

登山科学考察丛书



# 南迦巴瓦峰地区 自然地理与自然资源

中国科学院登山科学考察队

科学出版社

登山科学考察丛书

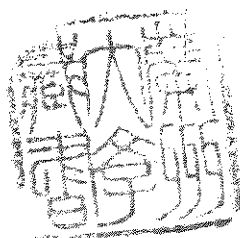
# 南迦巴瓦峰地区自然地理 与自然资源

中国科学院登山科学考察队

指导:任美镔

主编:彭补拙(南京大学地理系)

杨逸畴(中国科学院地理研究所)  
国家计划委员会



科学出版社

1996

(京)新登字 092 号

## 内 容 简 介

本书是南迦巴瓦峰《登山科学考察丛书》之一,是对南迦巴瓦峰及雅鲁藏布江下游大拐弯这个科学上空白地区进行自然地理研究的全面总结。本书对南迦巴瓦峰地区的地质构造、地貌、第四纪地质、现代冰川、古冰川、泥石流、气候、水文、植被和土壤等方面作了较系统地分析和全面地阐述,并重点分析了垂直自然带的景观特征、结构类型、区域差异及景观类型的分布规律,较全面地研究了该地区的环境背景值,以及对该地区自然资源及其合理开发利用进行了讨论,其中,绝大多数资料属国内外首次获得。本书较全面地反映了该地区科学研究的新成果。文中附有大量插图,书后附有大量照片。

本书可供地理、地质、环境、水文、气象、土壤、生物、自然资源等专业从事科研、教学及工农生产部门人员参考。

## 登山科学考察丛书 南迦巴瓦峰地区自然地理 与自然资源

中国科学院登山科学考察队

责任编辑 刘卓澄

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

北京洛神公司照排

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1996 年 8 月第 一 版 \* 开本: 787×1092 1/16

1996 年 8 月第一次印刷 印张: 25 1/2 插页: 5

印数: 1-450 字数: 605 000

ISBN 7-03-005115-7/P·885

定价: 56.00 元

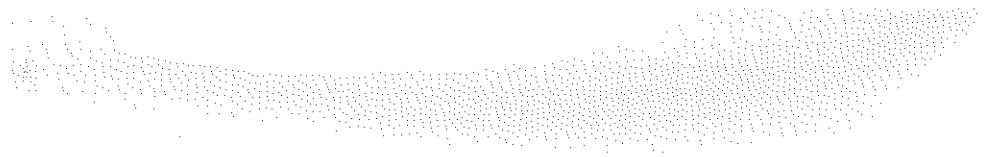
## 主持编写单位及编写人员

主持编写单位: 南京大学地理系

中国科学院  
国家计划委员会地理研究所

编写人员: 彭补拙 王富葆 包浩生 雍万里 严蔚云 赵培道  
李春华 窦贻俭 刘育民 吴评生 张厚森(南京大学  
地理系)  
杨逸畴 林振耀 吴祥定(中国科学院-国家计划委员会  
地理研究所)  
张文敬 张振栓(中国科学院兰州冰川冻土研究所)  
王志超 陈亚宁(中国科学院新疆地理研究所)  
刘世建(中国科学院成都地理研究所)  
关志华(中国科学院-国家计划委员会自然资源综合考察  
委员会)  
李渤生(中国科学院植物研究所)  
刘全友 黄衍初 单孝全 刘克纳 马慈光 徐良才  
孙维湘 陈荣莉 施国函(中国科学院环境化学研究所)  
卯晓岚(中国科学院微生物研究所)





## 序

西藏自治区东南部的南迦巴瓦峰(简称南峰)是喜马拉雅山东段的最高峰,也是世界第十五高峰,海拔 7 782 米,是当今世界 7 500 米以上高峰中唯一没有被人类征服的处女峰。南峰地处喜马拉雅山东端和横断山、念青唐古拉山脉汇合处,南临印度洋,地理位置十分重要。青藏高原上最大的河流雅鲁藏布江由西向东流,其下游围绕南峰作急转弯南流,形成举世闻名的大拐弯峡谷(简称大峡弯)。高峰耸峙,大峡弯深切,平均切割深度在 5 000 米以上。这里是世界上地形发生转折变化最急剧的地方,山体陡峭峻险,攀登难度之大,为世界所瞩目。在喜马拉雅山西端属巴基斯坦实际控制区的克什米尔境内,有南迦帕尔巴特峰(海拔 8 125 米)耸立,其山麓有印度河上游大峡谷围绕。地质上把这两峰喻为喜马拉雅山东西两端的两个“地结”,尤如两颗巨大的“钉子”,把欧亚板块紧紧地钉牢在印度板块之上。随着地球力的作用而发生着一系列有规律的地质变化。科学家们把青藏高原和喜马拉雅山视为打开地球历史的金钥匙所在。那么它的两端无疑是最敏感和理想的部位。西端的南迦帕尔巴特峰已先后被十多个国家的登山队所征服和进行了考察。唯独东端我国境内的南迦巴瓦峰尚属空白的处女地。因此,长期以来,南峰就以其独特的高耸险峻和自然条件的特殊奇异、自然资源的特殊丰富而赢得各国登山家的瞩目和青睐。在我国,随着 1973—1980 年大规模青藏高原综合科学考察的胜利完成,80 年代初,考察的重点转移到东部的横断山区,原来由于自然条件的特殊艰险而作为“死角”的南峰地区,对它的考察和研究无疑对整个青藏高原考察起着承西联东的枢纽作用。

为了发展我国登山和科学考察事业,经中央批准,国家体委和中国科学院决定从 1982 年起,对南峰地区开展登山和综合性的科学考察活动。

1982—1984 年,中国科学院登山科学考察队先后组织了有关科研机构和大专院校共 22 个单位,分属地质学、生物学、大气物理学以及科教电影和摄影等 26 个专业,参加考察的共 100 余人次。1982 年、1983 年两次对南峰地区开展了大规模的综合性的科学考察;1983 和 1984 年,以队领导为首,两次派出小分队,配合国家体委登山队和西藏体委登山队,为攀登南峰作更高海拔地区的科学考察<sup>①</sup>。考察地区以南峰为中心(29°37'51"N, 95°03'31"E)的大拐弯内侧为主,涉及其周围的米林、墨脱、波密、林芝等四个县。

南峰地区的科学考察主要以下列五大课题作为研究目标:

1. 喜马拉雅山的形成及地质发展历史;
2. 南峰地区动植物区系的形成、演变及迁徙规律;
3. 南峰地区气象气候规律;
4. 南峰地区自然地理特征与高原隆起的关系;

---

<sup>①</sup> 两次配合国家登山队作攀登考察的有杨逸畴、高登义、张文敬、杜泽泉、刘玉海、王天武、刘全友、杜继武、潘惠根、陈富财等同志。

#### 5. 南峰地区自然资源的保护和综合利用。

在两年多的四次考察中,科学考察队员冒着生命危险,以顽强的拼搏精神,克服了高山缺氧、风雪严寒、交通极端不便、山崩滑坡、洪水泥石流的侵袭以及野兽、毒蜂、蚂蟥、毒蛇的威胁,跋山涉水,风餐露宿,艰苦奋斗,团结协作,终于全面胜利地完成了野外考察任务,获得了大量珍贵的第一手资料。

生物组越冬考察的五位同志<sup>①</sup>,在南峰东南坡的墨脱地区连续考察长达15个月之久,一举完成了相当于一般考察的4年工作量,更是开创了我国综合科学考察的新面貌。

1984年开始,转入室内总结,参加资料分析、鉴定、整理和总结工作的单位和人员又大大增加,组成了更大规模的社会主义大协作。

现在和读者见面的南迦巴瓦峰《登山科学考察丛书》实际是整个《青藏高原科学考察丛书》的一部分,它是1982年至1985年4年多来参加南峰登山科学考察野外和室内工作的广大科技工作者心血的结晶。

《登山科学考察丛书》包括《南迦巴瓦峰地区地质》、《南迦巴瓦峰地区的自然地理和自然资源》、《南迦巴瓦峰地区的生物》、《南迦巴瓦峰地区的气象气候》、《南迦巴瓦峰地区的昆虫》、《南迦巴瓦峰地区的植被》等专著。

我们试图通过《登山科学考察丛书》比较系统地反映考察所得的资料和观点,希望它的出版能够对我国的地学、生物学科的发展,对西藏的社会主义建设起到一点作用。同时,我们也殷切希望读者对《登山科学考察丛书》的错误和缺点提出批评指正。我们深深感到,现在对青藏高原和南迦巴瓦峰地区的考察研究仅仅是迈出了开拓性的第一步,填补了空白,积累了基本的科学资料,该做的工作还很多,特别是结合生产实践的科研工作更有待进一步深入。我们愿意和更多的科学工作者一道为进一步揭开青藏高原的奥秘,为探索南迦巴瓦峰地区的自然面貌,为建设社会主义的新西藏而继续不懈地努力,争取对人类作出较大的贡献!

中国科学院登山科学考察队

1986年10月

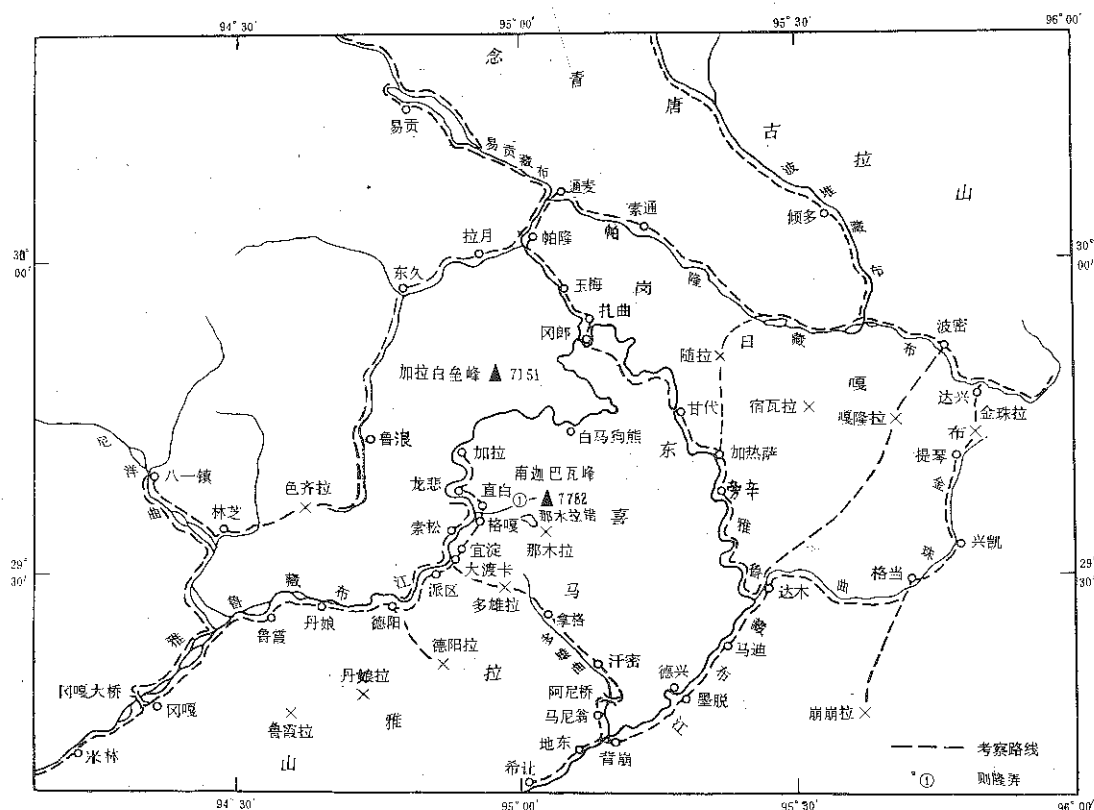
---

<sup>①</sup> 参加越冬考察的五位同志是李渤生、程树志、苏永革、韩寅恒、林再。

## 前言

近十几年来,中国科学院青藏高原综合科学考察队曾对南峰地区进行过若干专业的考察,作了一些初步的研究,取得了某些成果。无疑,对于我们的研究工作具有一定的参考价值。

1982—1983年,中国科学院登山科学考察队两次对南峰地区开展了大规模的综合科学考察(附图),获得大量第一手的珍贵科学资料,通过室内总结和研究,业已取得许多重要成果,并产生一些新的科学观点和见解,为发展我国科学事业作出了一定贡献。



南迦巴瓦峰地区科学考察路线图

南峰地区处于南亚、欧亚两大板块碰撞地带,出露一套中、深变质岩系,其最老年龄为7.49亿年,属前寒武纪。古地磁研究表明,南峰地块自中生代以来由南向北已移动了15个纬度之多。新构造运动活跃,以上升为主,平均上升速度为2.47毫米/年,全盛期隆起速度为7.50—8.03毫米/年,而平均侵蚀速度为0.95—1.26毫米/年,全盛期的侵蚀速度可达到3.10—4.10毫米/年。

以南峰为首的喜马拉雅山东端山地,构造对地貌发育的控制非常明显,倒置地貌现象

非常典型。由于不同高程水热状况的差异,至少可划分出4个垂直地貌带及多级、成层地貌面。研究表明,南峰山体为一强烈上升的褶断体,而围绕南峰的雅鲁藏布江大拐弯河谷则是受构造控制,发育于复杂构造弧弯之中,明显具有构造先成河的性质。

本地区高山现代冰川发育,山谷冰川和悬冰川以雪崩补给为主,现代冰川面积超过1200平方公里。现代冰川的形态类型多样,成冰作用及积累和消融具有海洋性冰川的特征,冰雪的矿化度低,其杂质元素的含量 $3.08-71\text{ppm}$ ;痕量元素的含量均很低;冰川冰及雪粒中氘含量 $6\pm 2, 46\pm 10\text{TU}$ ,底层高于表层。雪中氙的含量低于我国某些高山地区。在现代冰川的外围常见有古冰川遗迹;第四纪冰川大致可划分出3次冰期,且新冰期和小冰期遗迹清晰完整,每次冰期,气候都经过2—3次波动,新冰期末冰川前进的时间为距今2980年前后、距今1920—1540年、距今1150年前后和在17世纪。新冰期中森林线和雪线分别下降150—200米和200—300米,由此推知,新冰期的温度降低值为 $1.2-1.6^{\circ}\text{C}$ 。本地区是我国泥石流最活跃的地区,属藏东南泥石流活动中心,类型多种多样,其发育主要受东北向断裂构造控制,同时与降水和地貌条件关系密切,因而海拔3000米左右的多降水带和陡峻的西北坡泥石流更为发育,发生频繁,规模较大。

在南峰地区雅鲁藏布江河谷海拔1100米以下的地区气候潮湿炎热,年平均温度大于 $16^{\circ}\text{C}$ ,冬季较我国同纬度的东部平原地区高 $3-5^{\circ}\text{C}$ ,年降水量大于2000毫米,是热带北缘,一直伸延至 $29^{\circ}\text{N}$ 处,是世界热带分布的北界。按湿度和温度的指标,划分为7个垂直气候带和若干气候类型。

南峰地区河川径流的补给类型多样,其分布由南向北递减,东北部最少,其变幅在4000—400毫米,最高与最低约可相差10倍。全地区的年产径流量约1082亿立方米,又另有686亿立方米年均过境水量汇入,是我国河川径流资源最丰富的地区之一。河川径流的年际变化较小,年变差系数一般在0.2左右,然而径流的年内分配又很不均匀,平均最大月径流量一般占全年的 $1/4$ 左右,最小的月径流量仅占全年的 $1\%-2\%$ 。河流洪峰流量大,雅鲁藏布江鲁霞站最大洪峰流量达12700立方米/秒,多年平均值约8000立方米/秒。河流悬移质泥沙含量小,多年平均值小于500克/立方米。河水的矿化度变动范围为 $26.51-187.87$ 毫克/升,平均值为70.00毫克/升,硬度的变动范围为 $0.222-2.379$ 毫克当量/升,平均为0.859毫克当量/升,南坡湿润地区河流主要水化学类型为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Cu} \cdot \text{Mg}$ 型,北坡河流及雅鲁藏布江干流的则为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$ 型。河流水化学性质的垂直变化仍较为明显。

南峰地区植被类型多样,自低海拔的热带季雨林至高山冰缘植被带共有50多种植被类型,从而成为我国植被类型的“天然博物馆”和青藏高原的“西双版纳”。植被的垂直带谱相当完整,南翼有从低山常绿季雨林至高山冰缘植被带的8个植被垂直带;北翼则发育6个植被垂直带。同时,还对南峰地区植被的水平地带问题进行了深入的讨论,提出了本地区各植被水平地带的带变方向朝着青藏高原西北端印度洋水汽输送终点所在的生态早极地区,并称这种水平地带为植被的极向地带性。

在南峰地区首次取得了较完整的土壤资料,根据土壤的形成条件、成土过程及性态特征进行了土壤类型的划分,并确定了土壤垂直带的复杂结构,南坡由8个垂直土壤带组成,北坡则由5个垂直土壤带组成。同时,还对本地区土壤水平地带及其与土壤垂直带的关系进行了详细的讨论,提出了高原土壤水平地带规律和垂直水平复合地带性规律的见



解。

南峰地区的垂直自然带谱相当完整,南坡拥有从准热带到冰雪带的9个垂直自然带,是我国最为完整齐全的垂直自然带地区,也为世界所罕见。垂直自然带谱的结构类型复杂,5个结构类型分属于湿润和半湿润结构类型组。南峰地区山地的坡向、雅鲁藏布江水汽通道、山地冰雪覆盖及逆温对垂直自然带结构和分布深有影响。冰雪覆盖迫使邻近地区若干垂直自然带的界线下移,甚至使某些垂直自然带消失;逆温使某些垂直自然带的界线上移,但尚未产生垂直自然带的倒置现象。此外,还与我国同纬度山地垂直自然带进行了比较,在带谱的性质、结构及景观特征等均具有经度地带性规律。同时,讨论了本地区在全国自然区划中的地位等问题。

通过对南峰地区采集到的样品所获得的大量资料和分析数据表明:河水中Ba,Cr,Cu,Pb,Zn,Hg,Se和Be的浓度与世界河水的平均值接近,但Sr含量较低,Al,Fe和Mn较高。根据对土壤元素的概率分布和影响其含量的因素的讨论,提出了土壤元素背景值,并与其它一些研究地区土壤中元素含量进行了比较。同时分别计算了大气粗、细粒子中元素的相关性,在两种粒级中大多数元素的富集因子接近于1,但Cu和Zn的富积程度较高,Hg的浓度较低,约4纳克/立方米。毛发样品中元素的含量正常,水体和有机组织中的有机氯化物含量很低,仅为ppb数量级。以上充分说明本地区基本未受人为污染影响,为我国环境背景值的研究提供了可贵的资料。

初步研究了南峰地区气候、水、土地和生物资源的数量、质量及其分布规律,为自然资源的合理开发利用提供了重要的科学依据。同时还探讨了该地区经济发展及其对自然环境和自然资源的影响,对本地区自然环境和自然资源的保护提出了合理的建议。

鉴于此次考察时间不长,加之水平有限,深感对上述方面的研究和认识是初步的,还有待于深入研究。文中不妥之处,敬希广大读者批评指正。

初稿完成后,经南京大学地理系名誉系主任任美镔教授对全书进行审阅,南京大学地理系包浩生、刘育民教授,中国科学院南京土壤研究所龚子同教授、高以信教授,中国科学院地理研究所郑度教授等对部分章节进行审阅修改并提供了宝贵意见。同时,受到中国科学院地理研究所、新疆地理研究所、兰州冰川冻土研究所、成都地理研究所<sup>①</sup>、环境化学研究所、植物研究所、微生物研究所、北京自然博物馆、自然资源综合考察委员会及南京大学地理系等领导和同志的帮助;中国科学院登山科学考察队中其它专业许多同志热情地提供了资料;野外考察期间,波密县刘敬然同志协助作顾问和藏语翻译;范信、李玉琛同志清绘书中插图,均在此深表感谢。

<sup>①</sup> 该所现称成都山地灾害与环境研究所。

PLANT

PLANT

PLANT

PLANT

PLANT

PLANT

P94275  
5

## 目 录

序

前言

第一章 地质与构造特征	杨逸畴(1)
第一节 地表物质组成	(1)
第二节 地质构造的基本特征	(3)
第三节 区域新构造地质特征	(8)
第四节 地质历史的演化及其与自然环境的关系	(9)
第二章 地貌	杨逸畴(11)
第一节 地貌结构和营力作用	(11)
第二节 山地地貌	(12)
第三节 河谷地貌	(22)
第四节 区域地貌发育史上若干重大问题探讨	(25)
第五节 区域地貌的形成、演化及其与自然环境的关系	(28)
第三章 第四纪地质	王富葆、张厚森(31)
第一节 第四纪沉积物的成因类型及其分布规律	(31)
第二节 第四纪地层的划分	(35)
第三节 第四纪环境变迁中的若干问题	(40)
第四节 新构造运动	(45)
第四章 现代冰川	张文敬(49)
第一节 概况	(49)
第二节 冰川发育的自然地理条件	(49)
第三节 冰川数量及分布规律	(52)
第四节 冰川的形态类型及其特征	(57)
第五节 冰川的成冰作用	(61)
第六节 冰川的积累和消融特征	(63)
第七节 冰川的地球化学特征	(66)
第八节 冰川生态环境的一些特征	(72)
第九节 冰川的变化	(75)
第十节 特殊的冰川类型——跃动冰川	(77)
第十一节 积雪和雪害	(81)
第五章 第四纪冰川作用	(85)
第一节 第四纪冰川遗迹分布	王志超、陈亚宁(85)
第二节 第四纪冰川沉积物特征	张振栓、王志超、陈亚宁(89)



第三节	第四纪冰期划分探讨 .....	王志超、陈亚宁(102)
第四节	第四纪冰川发展演化与气候变化 .....	王志超、张振栓、陈亚宁(104)
<b>第六章</b>	<b>泥石流</b> .....	刘世建(112)
第一节	泥石流分布特征 .....	(112)
第二节	泥石流的形成条件分析 .....	(114)
第三节	泥石流的类型和分区 .....	(117)
第四节	泥石流沉积物特征 .....	(123)
第五节	泥石流活动、危害及其发展趋势 .....	(130)
<b>第七章</b>	<b>气候</b> .....	林振耀、吴祥定(135)
第一节	气候的基本特征 .....	(135)
第二节	南峰地区气候带及气候类型 .....	(147)
第三节	南峰地区的垂直气候带 .....	(152)
<b>第八章</b>	<b>水文</b> .....	关志华(154)
第一节	河流与水系 .....	(154)
第二节	河川的径流形成与水资源 .....	(159)
第三节	径流的年际变化与年内分配 .....	(163)
第四节	洪水与枯水 .....	(169)
第五节	泥沙 .....	(172)
第六节	水温 .....	(175)
第七节	天然水的化学特征 .....	彭补拙、李春华(177)
<b>第九章</b>	<b>植被</b> .....	李渤生(187)
第一节	植被的区系组成特征 .....	(187)
第二节	主要植被类型特点 .....	(190)
第三节	植被的分布规律 .....	(214)
<b>第十章</b>	<b>土壤</b> .....	(219)
第一节	土壤形成条件及主要土壤类型的基本特征 .....	彭补拙、赵培道、刘育民、窦贻俭(219)
第二节	土壤的地理分布规律 .....	彭补拙(230)
第三节	土壤的合理利用与保护 .....	彭补拙(234)
<b>第十一章</b>	<b>垂直自然带</b> .....	(239)
第一节	垂直自然带的景观特征 .....	彭补拙、窦贻俭(239)
第二节	垂直自然带的区域差异及景观类型的分布规律 .....	彭补拙(268)
第三节	南峰地区与我国同纬度山地垂直自然带比较及其在全国自然区划中的地位 .....	彭补拙、雍万里(276)
<b>第十二章</b>	<b>环境背景值</b> .....	(286)
第一节	自然环境状况及其采样方法 .....	刘全友(286)
第二节	水环境背景值 .....	单孝全、刘克纳、黄衍初、刘全友(291)
第三节	土壤环境背景值 .....	刘全友、黄衍初(297)
第四节	大气环境背景值 .....	马慈光、刘全友、徐良才(315)

第五节	生物环境背景值 .....	孙维湘、陈荣莉、施国函、刘全友(326)
<b>第十三章</b>	<b>自然资源的合理开发利用与保护</b> .....	(335)
第一节	气候资源的合理开发利用 .....	林振耀(335)
第二节	水资源的合理利用与保护 .....	关志华、彭补拙、李春华(339)
第三节	生物资源的合理开发利用与保护 .....	李渤生、卯晓岚(342)
第四节	土地资源及其合理利用与保护 .....	包浩生、彭补拙、严蔚云(362)
第五节	经济发展的特点与自然保护 .....	彭补拙、吴评生、李渤生(373)
<b>参考文献</b>	.....	(381)
<b>英文摘要</b>	.....	(386)



## CONTENTS

Preface

Foreword

Chapter 1	Geological Setting and Tectonics .....	Yang Yichou(1)
Section 1	Composition of Surface Materials .....	(1)
Section 2	Basic Characteristics of Tectonics .....	(3)
Section 3	Geological Characteristics of Regional Neotectonic Movement .....	(8)
Section 4	Geological Evolution History and Its Relation to Natural Environment .....	(9)
Chapter 2	Geomorphology .....	Yang Yichou(11)
Section 1	Geomorphic Contour and the Analysis to Agents .....	(11)
Section 2	Mountain Landform .....	(12)
Section 3	Valley Landform .....	(22)
Section 4	Discussion on Some Important Problems of Regional Geomorphological History .....	(25)
Section 5	Formation and Evolution of Regional Landform and Its Relation to Natural Environment .....	(28)
Chapter 3	Quaternary Geology .....	Wang Fubao, Zhang Housen(31)
Section 1	Genesis of Quaternary Deposits and Their Distribution .....	(31)
Section 2	Division of Quaternary Strata .....	(35)
Section 3	Some Problems on Quaternary Environmental Changes .....	(40)
Section 4	Neotectonic Movement .....	(45)
Chapter 4	Present Glacier .....	Zhang Wenjing(49)
Section 1	Survey .....	(49)
Section 2	Physical Geographical Conditions for Glacial .....	(49)
Section 3	Quantity and Distribution of Glaciers .....	(52)
Section 4	Formal Types of Glaciers and Their Features .....	(57)
Section 5	Ice Formation for Glaciers .....	(61)
Section 6	Accumulation and Melting of Glaciers .....	(63)
Section 7	Geochemical Characteristics of Glaciers .....	(66)
Section 8	Some Features of Ecological Environment in Glacial Area .....	(72)
Section 9	Changes of Glaciers .....	(75)
Section 10	A Special Glacial Type-Leap forward Glacier .....	(77)
Section 11	Snow Accumulation and Its Catastrophe .....	(81)
Chapter 5	Quaternary Glaciation .....	(85)

Section 1	Distribution of Quaternary Glacial Relics .....	Wang Zhichao, Chen Yaning(85)
Section 2	Characteristics of Quaternary Glacial Deposits .....	Zhang Zhenshuan, Wang Zhichao, Chen Yaning(89)
Section 3	Division of Quaternary Ice Age .....	Wang Zhichao, Chen Yaning(102)
Section 4	Evolution of Quaternary Glaciers and Climatic Changes .....	Wang Zhichao, Zhang Zhenshuan, Chen Yaning(104)
Chapter 6	Debris Flow .....	Liu Shijian(112)
Section 1	Distribution of Debris Flows .....	(112)
Section 2	Formative Conditions of Debris Flows .....	(114)
Section 3	Types and Divisions of Debris Flow .....	(117)
Section 4	Characteristics of the Deposits of Debris Flows .....	(123)
Section 5	Movement of Debris Flows and Its Damage and Trend .....	(130)
Chapter 7	Climate .....	Lin Zhenyao, Wu Xiangding(135)
Section 1	Basic Characteristics of Climate .....	(135)
Section 2	Climatic Zones and Climatic Types .....	(147)
Section 3	Vertical Climatic Zones in Mt. Namjagbarwa Area .....	(152)
Chapter 8	Hydrology .....	Guan Zhihua(154)
Section 1	Rivers and Drainage Systems .....	(154)
Section 2	Formation of Stream Flow and Water Resources .....	(159)
Section 3	Variation and Seasonal Distribution of Annual Runoff .....	(163)
Section 4	Flood and Low Flow .....	(169)
Section 5	Silts .....	(172)
Section 6	Water Temperature of Rivers .....	(175)
Section 7	Chemical Characteristics of Natural Water .....	Peng Buzhuo, Li Chunhua(177)
Chapter 9	Vegetation .....	Li Bosheng(187)
Section 1	Flora's Compositions .....	(187)
Section 2	Types of Primary Vegetation .....	(190)
Section 3	Distribution of Vegetation .....	(214)
Chapter 10	Soil .....	(219)
Section 1	Formation Conditions and Basic Characteristics of Main Soils .....	Peng Buzhuo, Zhao Peidao, Liu Yumin, Dou Yijian(219)
Section 2	Geographic Distribution of Soils .....	Peng Buzhuo(230)
Section 3	Rational Utilization and Conservation of Soil .....	Peng Buzhuo(234)
Chapter 11	Vertical Natural Zonation .....	(239)
Section 1	Landscape Characteristics of Vertical Natural Zones .....	Peng Buzhuo, Dou Yijian(239)
Section 2	Regional Differentiation of Vertical Natural Zones and Distribution of	

	Landscape Types .....	Peng Buzhuo(268)
Section 3	Patterns of Vertical Zones in Mt. Namjagbarwa Area to Compare with Those Located in Same Latitude in China and Its Situation in the Physical Regionalization of China .....	Peng Buzhuo, Yong Wanli(276)
Chapter 12	Environmental Background Values .....	(286)
Section 1	Natural Environmental Conditions and the Method of Collecting Samples .....	Liu Quanyou(286)
Section 2	Water Environmental Background Values .....	Shan Xiaoquan, Liu Kena, Huang Yanchu, Liu Quanyou(291)
Section 3	Soil Environmental Background Values .....	Liu Quanyou, Huang Yanchu(297)
Section 4	Atmospheric Environmental Background Values .....	Ma Ciguang, Liu Quanyou, Xu Liangcai(315)
Section 5	Biological Environmental Background Values .....	Sun Weixiang, Chen Rongli, Shi Guohan, Liu Quanyou(326)
Chapter 13	Rational Utilization and Conservation of Natural Resources .....	(335)
Section 1	Rational Utilization and Conservation of Climatic Resources .....	Lin Zhenyao(335)
Section 2	Rational Utilization and Conservation of Water Resources .....	Guan Zhihua, Peng Buzhuo, Li Chunhua(339)
Section 3	Rational Utilization and Conservation of Biological Resources .....	Li Bosheng, Mao Xiaolan(342)
Section 4	Rational Utilization and Conservation of Land Resources .....	Bao Haosheng, Peng Buzhuo, Yan Weiyun(362)
Section 5	Characteristics of Economic Development and Natural Conservation .....	Peng Buzhuo, Wu Pingsheng, Li Bosheng(374)
References	.....	(382)
Abstract	.....	(387)



# 第一章 地质与构造特征

南峰地区正处于喜马拉雅东西向构造带与冈底斯褶皱带、雅鲁藏布江缝合带弧形转折部位的交汇处,构造作用强烈,变质作用和岩浆活动特别突出,从而表现出南峰地区区域地质构造的特殊复杂性。

## 第一节 地表物质组成

南峰地区地表的岩石主要是变质岩系,少部分地区出露岩浆岩,尚未发现沉积岩。变质岩系基本可划分出 7 类 21 种(章振根,1985),即片麻岩类、片岩类、角闪岩类、变基性岩类、变粒岩类、碳酸盐岩类和岩浆岩类。其中片麻岩类和片岩类占绝对优势,其次为角闪岩类、变粒岩类和变基性岩类,后 3 种岩类均呈薄层状夹于片麻岩类和片岩类之中,呈顺层产出。碳酸盐岩类主要见于阿尼桥地区、大渡卡及其对岸,以及帕隆地区、波密达兴、嘎隆拉及金珠曲上游一带,主要是方镁石金云母透闪石大理岩、方镁石金云母橄榄石大理岩、石英大理岩和金云母镁橄榄石大理岩等。岩浆岩类主要见于区域北部的林芝、波密一带,以及大拐弯内侧的马尼翁附近,以花岗岩、花岗闪长岩为主。此外,沿雅鲁藏布江河谷大拐弯地带的龙悲、大拐弯顶端西北侧和旁辛以南等地,零星有基性、超基性岩出露,表征着雅鲁藏布江地缝合带的存在。

岩石化学的全分析资料表明:南峰地区变质岩有正、副两种,以正变质岩占大多数,这表明本区变质岩的原岩大多数来自火成岩,只有少数来源于沉积岩。稀土元素的分析资料更进一步证实变质岩的原始物质以玄武岩为主,尤以大陆拉斑玄武岩占优势。而且,岩石微量元素的地球化学特征还表明以角闪岩类最为突出,其中 Cr, Ni 和 V 的含量都高于克拉克值,成为找寻这类元素矿床的有利围岩地层(王天武,1985)。

通过对变质矿物的研究,南峰地区的变质岩大致可分出高绿片岩相石榴子石带、低角闪岩相十字石-蓝晶石带和夕线石带和高角闪岩相夕线石-钾长石带。尽管这些变质岩类型繁多,但就其变质岩的原岩和变质岩相带的特征来分析,表明区域变质岩的种类是分别隶属于喜马拉雅、雅鲁藏布江和冈底斯三个变质带(王天武,1985)(图 1.1)。

### 1. 南峰区变质岩带

南峰区变质岩带主要在大峡谷内侧,总体呈北东走向,为以高角闪岩相为主的深变质岩带。从岩石特征和变质构造方向分析,还可明显区分出混合岩化显著的高角闪岩相的峰体附近深度变质区(照片 1.1, 1.2)和混合岩化不显著的山麓变质岩区(照片 1.3)。在构造上,前者普遍发育着东西向片麻理和褶皱,后者主要是由北东向片理和片麻理所构成的巨大背斜隆起。根据区域对比分析,虽均属于前寒武古老的变质岩系,但两者之间存在着不





整合或成断裂接触的痕迹,表明其间发生过显著的构造变动,有可能是属于两个时代的古老构造层。根据这套变质岩 Pb-Sr 同位素年龄测定为 7.49 亿年的事实,可确定应属于前寒武纪元古代的古老地层,大致与喜马拉雅中段高喜马拉雅结晶岩系(同位素年龄为 6.40—6.60 亿年)相当,这也是迄今为止我国喜马拉雅山一侧所发现的最老地层年龄<sup>①</sup>。

## 2. 雅鲁藏布江大拐弯河谷变质岩带

本带除在大拐弯顶端脱离河谷绕加拉白垒峰西北麓入帕隆藏布下游河谷外,基本上是沿雅鲁藏布江大拐弯由上游向下游呈带状展布的,宽狭不等,一般为 5—20 公里。具体分布是西起米林,沿雅鲁藏布江河谷呈北东东—北东向伸至大拐弯顶端绕加拉白垒峰经帕隆折向南东,然后沿帕隆藏布下游河谷至达木后转向南西,即包括河谷及其两侧部分山地在内的大拐弯弧形条带。由于此带受到多种方向断裂构造的破坏和干扰,地层变形强烈,岩层产状多变,且岩石类型极为复杂,主要是以富含石榴子石的各类片岩、片麻岩、变粒岩所构成的高绿片岩相石榴子石带,层间夹有大量变基性火山岩,以及分散的变基性—超基性岩体的侵位。必须指出,某些地段还受强动力变质作用的影响,主要是地缝合带上强烈挤压作用的结果(照片 1.4)。据测定,大拐弯河谷带的加热萨、马尼翁等地变质岩年龄分别为 0.123 亿年和 0.265 亿年,而且地层普遍只发生过一次变质作用,这表明其整体时代主要属于中生界(郑锡澜等,1979)。

## 3. 岗日嘎布山地为主的冈底斯变质岩带

本带实际是属于冈底斯东段的弧形转折地带。变质类型以低角闪岩相的蓝晶石带和夕线石带为特征,带内有规模较大的黑云母花岗岩和电气石花岗岩及花岗闪长岩体穿插,并导致部分岩石的混合岩化现象的出现。这类岩浆岩体在雅鲁藏布江外侧与整个大拐弯的展布相一致,由它所构成的弧形花岗岩带是燕山—喜马拉雅期旋回的侵入,主要地层时代属于晚古生代无疑。

# 第二节 地质构造的基本特征

## 一、褶皱和断裂构造地质简述

### (一)褶皱构造

南峰地区主要褶皱及其展布表现出形态不完整、规模大小悬殊、空间分布不平衡等特征(图 1.2)。

(1)形态类型方面以复式褶皱类型最发育。根据轴面倾角的陡度又可分出陡立高角度的(大于 50°)和宽缓的(小于 50°)两种褶皱。前者多出现在雅鲁藏布江带和冈底斯带中,后者则出现于大拐弯内侧南峰地区。两者的褶皱构造明显反映出所在构造单元性质上的明显差别。此外,区内小型褶曲发育较多,有扇形、同斜紧闭柔皱等。其轴面往往与区域构

<sup>①</sup> 由中国科学院地球化学研究所章振根提供。

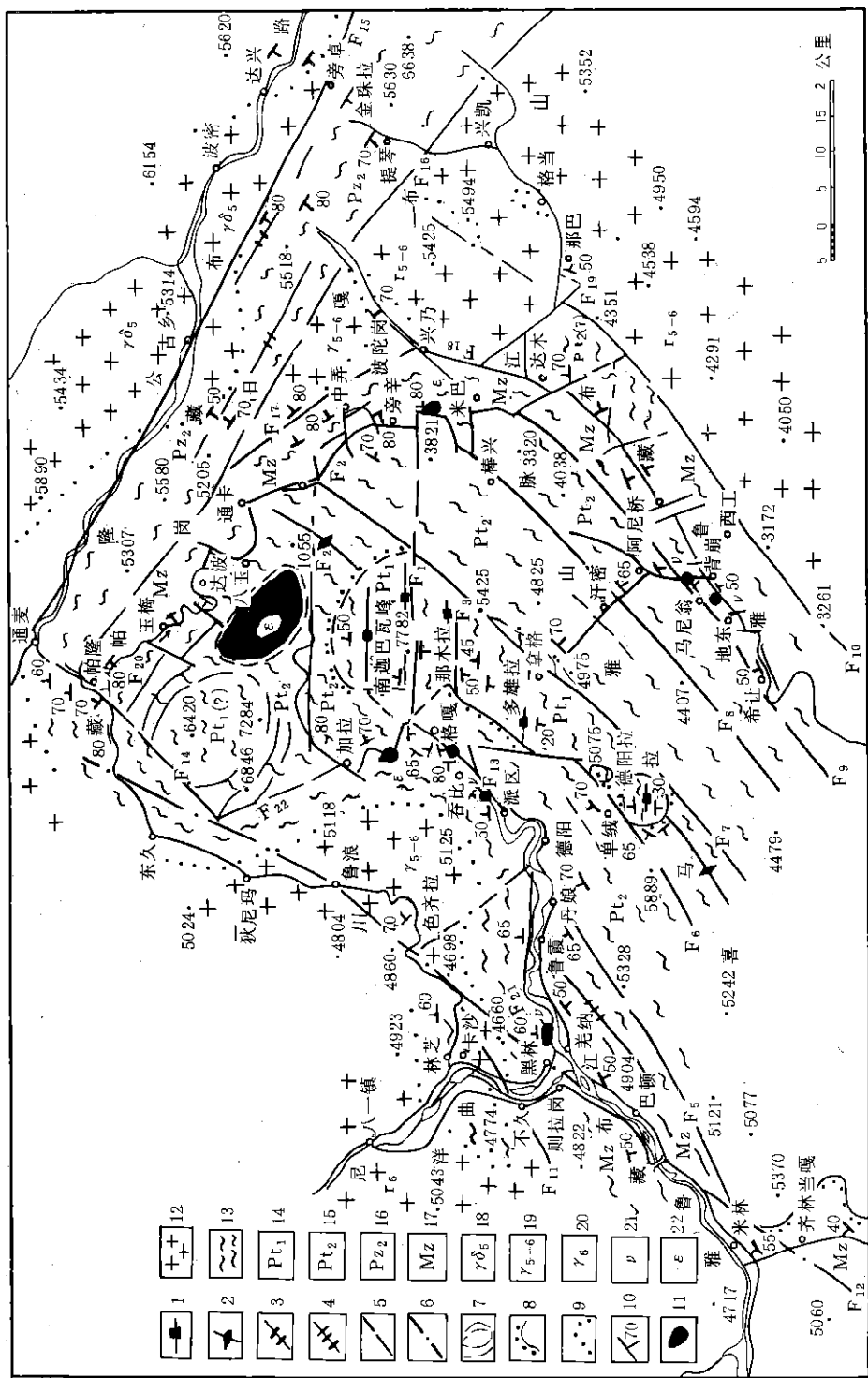


图 1.2 南迦巴瓦峰地区地质构造图

1. 下元古界褶皱轴; 2. 上元古界褶皱轴; 3. 上古生界褶皱轴; 4. 中生界褶皱轴; 5. 断层及推冲断层; 6. 卫星照片解译断层; 7. 卫星照片解译弧形断层; 8. 不整合; 9. 花岗岩边界面; 10. 地层产状; 11. 基性、超基性岩体; 12. 花岗岩及花岗岩长岩; 13. 片理、片麻理; 14. 早元古代; 15. 晚元古代; 16. 晚古生代; 17. 中生代; 18. 燕山期花岗岩; 19. 燕山—喜馬拉雅期花岗岩; 20. 喜馬拉雅期花岗岩; 21. 基性岩(变质); 22. 超基性岩; F<sub>1</sub>: 南迦断裂; F<sub>2</sub>: 玉松—勒卡断裂; F<sub>3</sub>: 那木拉错断裂; F<sub>4</sub>: 德母断裂; F<sub>5</sub>: 米林—丹娘断裂; F<sub>6</sub>: 单线断裂; F<sub>7</sub>: 拿格断裂; F<sub>8</sub>: 汗密断裂; F<sub>9</sub>: 马尼翁断裂; F<sub>10</sub>: 大波登—俄马拉断裂; F<sub>11</sub>: 打则断裂; F<sub>12</sub>: 米林断裂; F<sub>13</sub>: 大渡卡断裂; F<sub>14</sub>: 加拉白垒东北坡断裂; F<sub>15</sub>: 通麦—嘎隆寺断裂; F<sub>16</sub>: 岗日嘎布山南麓山前断裂; F<sub>17</sub>: 拿其断裂; F<sub>18</sub>: 达木—兴乃断裂; F<sub>19</sub>: 冬久拉断裂; F<sub>20</sub>: 白马断裂; F<sub>21</sub>: 鲁古—旁辛断裂; F<sub>22</sub>: 打巴拉断裂

造线的方向相一致,从而具有区域性意义。

(2)空间展布特征方面,褶皱轴向主要有东西向、北东向、北西西向和北北西向4种。

东西向褶皱系统,轴向东西,轴面陡倾(大于 $70^{\circ}$ ),两翼岩层变化于 $30^{\circ}$ — $60^{\circ}$ 间,较对称、宽缓。集中于德阳拉到南峰峰体之间沿北东向山脊展布。

北东向褶皱系统,轴向北东,往往是一个不整合于东西向褶皱之上的长垣状隆起构造,其西北翼倾向北西,倾角大于 $70^{\circ}$ ;东南翼倾向南东,倾角约 $60^{\circ}$ — $70^{\circ}$ 。周边大致都以断裂为界。

北西西和北北西向褶皱系统实际是冈底斯带和雅鲁藏布江大拐弯弧形构造带的转折所引起的局部构造变形特征。

必须指出,最完整的褶皱构造发现在考察区的东南侧,即在墨脱以下雅鲁藏布江谷地内江波—英肯一带存在一个完整的大型背斜构造,此处雅鲁藏布江完全沿其轴部而流。

## (二)断裂构造

区内断裂构造较发育,归纳其性质多属逆冲和斜冲型,扭性平移兼而有之。就展布特征看,同褶皱一样也存在有北东、东西、北西和北北西4种方位,后两个系统同样处于弧形构造带转折段。在这些断裂构造中,长度超过50公里的区域性大断裂多达数十条,选择主要者简述如下:

### 1. 雅鲁藏布江大拐弯断裂带

本带是一条宽10—20公里的复杂断裂构造系统。断裂带自米林、羌纳到大渡口一带基本呈北东—北东东向,至直白—龙悲—加义间转为北北西向,经鲁浪东打巴拉山口绕拉白垒峰北麓转向南东,过大拐弯东北端直至达木后再转为南西直抵墨脱、地东。大多数地段存在左右两条主边界断裂,内部还发育一系列次级断裂或剪切断裂。沿断裂带有基性、超基性岩体和玄武岩喷发物质断续展布。地球物理资料表明沿该断裂带是个明显的重力异常带,并且是地热异常区和现代地震的强烈活动带,显示出它具有岩石圈断裂的性质。

### 2. 米林断裂

本带在米林附近沿雅鲁藏布江河谷向北东延伸,经林芝县里林、色齐拉、鲁浪到东久附近则受北西向断裂限制。这断裂也是由几条断裂所构成的,区内出露长约120公里左右,断裂带两侧中生界地层不连续,具有反时针平移性质,水平错距可达80公里以上,显示出具有较深背景的韧性断裂带的特征。

### 3. 拿格断裂

本带位于南峰东南坡,东北经甘代抵岗日嘎布山麓,为分割南迦巴瓦群和多雄河群的北东向线性斜冲断层。类似的断裂还有汗密断裂,它分割了汗密组和阿尼桥组地层,使断层两侧原岩种类有明显不同。

#### 4. 马尼翁断裂

本带展布于南峰东南麓的雅鲁藏布江河谷右岸一带,是北东走向,它分割中生代与前寒武纪地层,是大拐弯弧形断裂带的右侧主边界断裂,属高角度逆冲性质。沿断裂带有大量基性火山岩及局部基性岩体分布,地磁测量表明这里为最大磁负异常带通过部位。

#### 5. 大波登-俄马拉断裂

它是大拐弯下游河谷左岸外侧的(即雅鲁藏布江大拐弯弧形断裂带左侧)一条北东向主边界断裂,其东侧发育着岗日嘎布花岗岩体,向北东延伸达岗日嘎布山南麓,南东延至江波-英肯倾伏背斜附近,它作较宽的条带状展布显示挤压特征的地壳断裂。

#### 6. 通麦-嘎隆寺断裂

本断裂具有挤压逆冲、平移特征。呈北西西向在区内延伸长100公里左右,自东南经金珠拉北坡旁卓处外延;向北西至嘉黎、班戈一带。区内燕山期花岗闪长岩的侵入活动与此断裂活动关系密切。与此断裂雷同的还有岗日嘎布山前断裂,在随拉山口和提琴等地见此断裂具有高角度斜冲(显顺时针平移)性质(照片1.5,1.6)。

#### 7. 拿其断裂

本断裂为大拐弯东北端的北北西向断裂,在雅鲁藏布江河谷左侧则表现为强烈挤压破裂变形带,但在加热萨的拿其附近出露产状甚陡,显示顺扭斜冲特征。

#### 8. 白马断裂和鲁古-旁辛断裂

该断裂呈北北西向展布于雅鲁藏布江大拐弯东北端河谷右岸,由于其展布过程中受到一系列其它方向断裂的错断而变得不连续,实际上却是一条巨大的错裂带。断裂带上存在巨大的基性和超基性岩体等。

#### 9. 打巴拉断裂

该断裂为加拉白垒峰西麓南起加义、北至东久一带的近南北方向断裂,表现为剪切破裂带。

#### 10. 加拉白垒东北坡断裂带

本带为雅鲁藏布江大拐弯顶端北部断裂,呈北东向展布,帕隆-通麦断裂属其东北段,挤压特征显著。

#### 11. 南坳断裂

该断裂为南峰地区最大的东西向断裂,它西起直白,沿则隆弄支沟经南峰南侧南坳向东延伸,地形低凹,沿带有温泉、汽泉溢出。此断裂带分割南峰和乃彭峰,穿过南峰向斜,造成两翼不对称的形态。



从上述褶皱和断裂的论述,可以明显看出,它们在各自所处的构造带内反映出自己的地质构造特征,从而成为不同时代地层、构造运动的分界标志,控制着不同构造地块的地质发展历史,也控制着南峰断块峰体的生成和大拐弯峡谷水系的奇特发育。

## 二、地质构造分区

通过对南峰地区岩石地层和构造地质的研究表明:南峰地区可分成 3 个地质构造区和 4 个地质构造亚区(表 1.1)。

表 1.1 南峰地区地质构造分区

地 质 构 造 区	地 质 构 造 亚 区
I. 南峰前寒武纪古隆起区	I-1. 南峰早元古代结晶地块亚区
	I-2. 南峰晚元古代长垣状隆起亚区
II. 雅鲁藏布江大拐弯中生代复杂弧形构造带区	
III. 岗日嘎布海西-印支褶皱区	III-3. 岗日嘎布晚古生代褶皱亚区
	III-4. 冈底斯喜马拉雅期花岗岩带亚区

### I 南峰前寒武纪古隆起区

包括大拐弯内侧及其顶端的加拉白垒峰在内的广大地区,属于前寒武纪的古陆。向南与印度古陆为统一的整体,向西与高喜马拉雅地壳具有类同的性质,是属于印度板块中最古老的、向北伸展最远的部分。古地磁研究表明,今日南峰地块,在中生代时所处的古纬度相当于现今  $13^{\circ}\text{N}$  的位置,明显地向北偏移了  $15^{\circ}-16^{\circ}$  的水平距离(杨惠心等,1985),证明了南峰地块确属印度板块北进的一部分。区内又可分出两个亚区:

I-1 南峰早元古代结晶地块亚区,由南迦巴瓦群深变质岩系组成,呈“构造窗”型式露于南峰为首的北东走向山岭的峰巅地带,它成为晚元古代北东向隆起的核心,发育有一系列东西向复式褶皱和断裂,岩层混合岩化均一普遍,东西走向的片麻理稳定。

I-2 南峰晚元古代长垣状隆起亚区,这是由多雄河群变质岩系组成的北东向长垣状隆起背斜构造,其轴部受后期剥蚀直接出露深变质的南迦巴瓦群。它自西南的德阳拉起,经多雄拉、乃彭峰、南峰直至大拐弯的顶端作北东延伸,岩层产状稳定,隆起西北翼倾向北西、倾角  $50^{\circ}-70^{\circ}$ ;东南翼倾向南东,倾角  $60^{\circ}-70^{\circ}$ ,明显呈一宽缓的背斜构造,以北东向为主的断裂构造极为发育。

### II 雅鲁藏布江大拐弯中生代复杂弧形构造带区

系由大拐弯群绿片岩带及侵位的蛇绿岩套所构成。米林至大拐弯顶端,大致呈北东至北北东方向延展,以断裂为边界。如米林东侧巨大的北东向韧性剪切断裂带等。在大拐弯顶端,由于受到加拉白垒峰山麓北北西和北东向各组断裂切割,构成弧形转折的弧顶。自帕隆沿帕隆藏布下游河谷地段大致呈北北西向展布,两侧均受断裂控制,至达木后又转折向南西。整个构造带呈现强裂的构造挤压变形,不仅产生巨大的边缘断裂,而且发育了十分显著的剪切破裂带,区内岩层普遍发生强变质,基性、超基性岩构造侵位,这是自中生代

开始分隔印度大陆和亚洲大陆的古特提斯洋壳,历经燕山-喜马拉雅期旋回,两大块体碰撞封闭所产生的,具有板块缝合带性质的地质构造带。在这里它表现为地壳的消减,古老的前寒武纪地壳与冈底斯地壳的镶嵌和并合。雅鲁藏布江河谷的发育至今仍受到本构造带的严格控制。

### Ⅲ 岗日嘎布海西-印支褶皱区

本区包括岗日嘎布山在内的变质岩系和穿插其间的燕山-喜马拉雅期冈底斯花岗岩带,共同组成与雅鲁藏布江下游大拐弯河谷展布形态相似的、向北东方向突出的弧形构造带,属于海西-印支地槽褶皱系统。岩石地层特征反映具有岛弧区边缘冒地槽的性质,经印支-燕山旋回褶皱,并受到后期燕山-喜马拉雅期岩浆旋回强裂的影响,形成该地槽褶皱系的边缘弧形花岗岩带。

Ⅲ-3 岗日嘎布晚古生代褶皱亚区,主要在通麦一波密一带,并涉及林芝、格当等地,为一系北西西向的复式褶皱群。实际是处于冈底斯-念青唐古拉弧形褶皱带由东西向向南东作转折的弧形转弯部位,故构造上呈北西西至北西向展布,其边界基本受同方向的断裂所控制。断裂构造十分发育,如帕隆藏布大断裂等。

Ⅲ-4 冈底斯喜马拉雅期花岗岩带亚区,其主体部分处于岗日嘎布上古生代褶皱亚区与雅鲁藏布江复杂构造带之间,均呈巨大的岩基侵入。岩体展布基本与雅鲁藏布江大拐弯作一致的弧形转折。

上述地壳的岩石组构特征及地质构造分区特征,与通过卫星影象地质信息所获得的分析的结果,都得到了比较一致的效果,特别是不同构造区和亚区内的线性构造系统,明显具有北东、北西-北西西和东西向等断裂系统以及密集的剪切断裂带等,影象反映十分清晰。此外如对本区内不整合构造现象、米林以西中生代地层的东延终止界线、米林附近循雅鲁藏布江河谷展布的巨大北东向韧性剪切断裂带、控制雅鲁藏布江大拐弯河谷发育的不同方向线性构造剪切带、沿江基性-超基性岩体、大拐弯外侧一个向北东突出的花岗岩弧形带、雅鲁藏布江下游地缝合带为直线边界的多转折的弧形带以及大拐弯顶端旋扭构造环等现象的判定,也都得到了很好的信息和清晰的图象解释。

## 第三节 区域新构造地质特征

南峰地区的地质构造位置决定了它第四纪中新构造运动特殊的强烈和复杂。

南峰地处印度板块往北突出的最前缘部分,也可以说它是处在印度板块向欧亚板块俯冲碰撞的东北挤角部位,东侧又有强大的太平洋板块砥柱,因此地壳应力在这里特别集中;而围绕南峰的雅鲁藏布江地缝合带,在这里作多直角转折的弧形急拐弯,地壳应力沿着这东西向构造带的地缝合线向两端转折部位迁移和集中,也是很自然的事情。这些都决定了南峰地区新构造运动特殊强烈的可能性。观察地质地貌现象的表现也完全证实了这一点。这里地壳应力的集中和释放,总体表现在以南峰为中心的断块强烈抬升。1950年8月15日发生了8.5级的大地震,山河面貌为之改观,居民和建筑遭到毁灭性的损失,而且几十年来这里还是大小地震继续不断,区内地热活动多处显示,在大拐弯顶端正在喷汽冒

水的热泉,形成了高 10 余米的泉华台地(照片 1.7)。南峰西坡则隆弄沟中厚 200 余米的古冰碛层,为硫磺汽泉所通透。南峰山麓第四纪沉积层普遍发生  $5^{\circ}$ — $10^{\circ}$  倾斜,大渡卡到格嘎间公路旁晚更新世冰碛层中的新断层竟直接错断了现代表土层(照片 1.8)。这些现象都表明了新构造的强烈活跃性,而这种强烈活跃尤其集中表现以南峰为首的山地强烈上升的特征上,如多级成层的地貌面,双层的冰斗(照片 1.9),乃至不同高程部位上红色古土壤层(风化壳)的出现等等。据地质体冷却历史和隆起速度的理论计算,南峰地区的平均上升速率应为 2.47 毫米/年,比起我国天山地槽的平均隆起速度 0.09 毫米/年要快 25.7—27.4 倍,这是一个非常惊人的隆起速度<sup>①</sup>。

就雅鲁藏布江而言,在大拐弯地区所表现出的深峻峡谷、众多瀑布和跌水、巨颗粒的河床相堆积等,正是相应南峰山地强烈上升的反映。在大拐弯以上近北东到东西向的宽谷河段,表现出靠河谷南侧第四纪堆积物多而深厚,洪积冲积扇及多级阶地发育,例如岗嘎大桥南侧、鲁霞、丹娘一带山麓;而北侧相反。这样,东喜马拉雅山麓的雅鲁藏布江,尤其是它的近东西向宽谷河段,相对于山地的强烈上升来说,新构造运动特征又表现出其处于相对的沉降地段。类同的情况,见之于尼洋曲中下游宽谷,其谷地东侧如八一镇、林芝等山麓阶地发育、湖相层堆积深厚,表征着这段尼洋曲谷地相对其东北侧的念青唐古拉山地讲,是处于相对沉降地段,而念青唐古拉山地则处于相对上升的地段。这是本区新构造在平面格局上的一个总特点,也反映出新构造运动的区域不均匀性。

## 第四节 地质历史的演化及其与 自然环境的关系

南峰地区地质构造特点的本身,清楚地记录了区域地质构造演化的历史过程。但是,从各个构造单元的特征来分析,各单元的地质历史演化差异甚大。

南峰前寒武古隆起区,早自 7.49 亿年前就曾发生过强烈地壳变动,从构造特征上提供的上、下元古界之间的不整合事实,表明这里发生过包括元古代末期构造运动在内的两次显著地壳变动。南峰古隆起区内的区域变质作用和混合岩化作用体现了这两次构造作用的结果。由南迦巴瓦群所组成的东西向复式背斜构造和断裂,以及稳定的东西向片麻理构造,证实了这里古东西向构造带的存在。尽管现今南迦巴瓦群的地理位置较之中段喜马拉雅山已明显向北偏移了 50—60 公里,但两者之间的构造特征仍存在着相似性,不过南峰地区作为古隆起的形成时代更早,变质更深些。作为古老印度地块的一部分,它在以后的雅鲁藏布江大拐弯地段地壳的变形中一直作为刚性的核心,不断地发挥着砥柱作用,对其外围不断施加和产生影响。南峰地区晚元古代的构造运动,导致这里北东向古陆梁的萌生和长垣状台背斜的形成。反映在早期强大的南北向水平挤压应力场作用下,使这时期的南迦巴瓦地块发生了南北向不均衡的扭动,同时古隆起上沉积了以滨海相碎屑岩,碳酸盐岩类为主的盖层沉积(多雄河群),元古代末期出现宽缓的北东向长垣状台背斜构造,相应地发生规模显著的北东向压扭性断裂(如米林-丹娘断裂、拿格断裂、汗密断裂、马尼翁断裂等的开始形成)。

<sup>①</sup> 由中国科学院地球化学研究所章振根计算并提供数据。

海西-印支期地壳强烈变动主要集中于本区北部(包括岗日嘎布山在内),导致冈底斯褶皱带形成并作弧形的转折。这可以追溯到最早自晚古生代起,整个冈底斯-念青唐古拉地槽褶皱系就开始明显地受到印度地块北移的影响,印支运动变形加剧,燕山旋回晚期这种变形达到了高潮,因而本区北东一侧出现了由北而南,由东而西的自老而新的褶皱带和岩浆岩带,并形成与雅鲁藏布江大拐弯形状相似的向北东突出的弧形构造带(以冈底斯带为外带,雅鲁藏布江带为内带的弧形构造带),但是断裂和褶皱构造最显著地表明为早期格局呈北西西向展布的特点(如帕隆藏布断裂、岗日嘎布山前断裂、随拉向斜、嘎隆拉背斜等)。

燕山-喜马拉雅期地壳构造活动最强的部分则是在雅鲁藏布江大拐弯区,以及与其毗连的冈底斯花岗岩带亚区。其特点是:以断裂为主,褶皱紧闭,倒转线性展布。岩层均为高角度(大于 $70^{\circ}$ ),走向依大拐弯作相应的弧形展转。当然,南迦巴瓦隆起区和冈底斯褶皱区同样也都被卷入过喜马拉雅运动之中,但主要表现为再次热事件所产生的变质影响。以板块构造运动演化来追溯南迦巴瓦地区地壳运动的过程,同样证实伴随中生代开始的印度大陆与亚洲大陆的相互作用,到渐新世—中新世时喜马拉雅运动导致南北两大块体发生剧烈碰撞、挤压而导致雅鲁藏布江下游大拐弯缝合带构造的最终形成。随着印度板块向欧亚板块的俯冲和碰撞的继续,作为印度板块向北东方向最突出的前哨部分,南峰地区终于作为板块缝合带后部的壅集体而相应仰冲、强烈上升而断块翘起,奠定了南峰作为藏东南最高峰的基础地位,本区地壳演化最后的一幕达到高潮。

进入第四纪,大陆的漂移,板块相向作用的水平力的长期积累,终于转化为以垂向运动为主的新构造运动阶段。新构造运动除继承了老构造的总体特点外,又明显表现出它以强烈上升为主的新特点。而强烈上升表现在时间上和地域上具有以南峰为中心,出现明显的间歇性和掀斜性以及后期加速性的特点。其中特别是中更新世的这次强烈上升,终于使以南峰为首的山地大部分能进入到雪圈的范围,成为本区大冰期发育的时期。同时,以南峰为首的东喜马拉雅山的地形屏障作用也得到了发挥。随着山地的上升,围绕南峰的雅鲁藏布江相应作强烈的间歇性下切,至中更新世末期的间冰期时期,普遍强烈的流水作用使地形进入大切割时期,这时雅鲁藏布江大拐弯作为南来水汽北上进入高原的通道作用同时得到发挥,从而使区域自然环境发生了一系列超乎常规的变化。因此,中更新世时期可以说是奠定了现今地貌和自然环境的格架和基础,在地质发展史上具有划时代的意义。

## 第二章 地貌

### 第一节 地貌结构和营力作用

喜马拉雅山东段尾间的最高峰——南迦巴瓦峰，海拔 7 782 米(照片 2.1)，峰体外形呈角峰状，耸峙于藏东南群峰之上(照片 2.2)。围绕南峰的雅鲁藏布江下游大拐弯峡谷(简称大峡弯)(照片 2.3)，谷底急流奔涌，江面海拔自 2 800 米(派区段江面)降落到 580 米(希让段江面)，地面高差一般在 5 000 米以上，构成了岭谷高差悬殊的高山峡谷地貌，

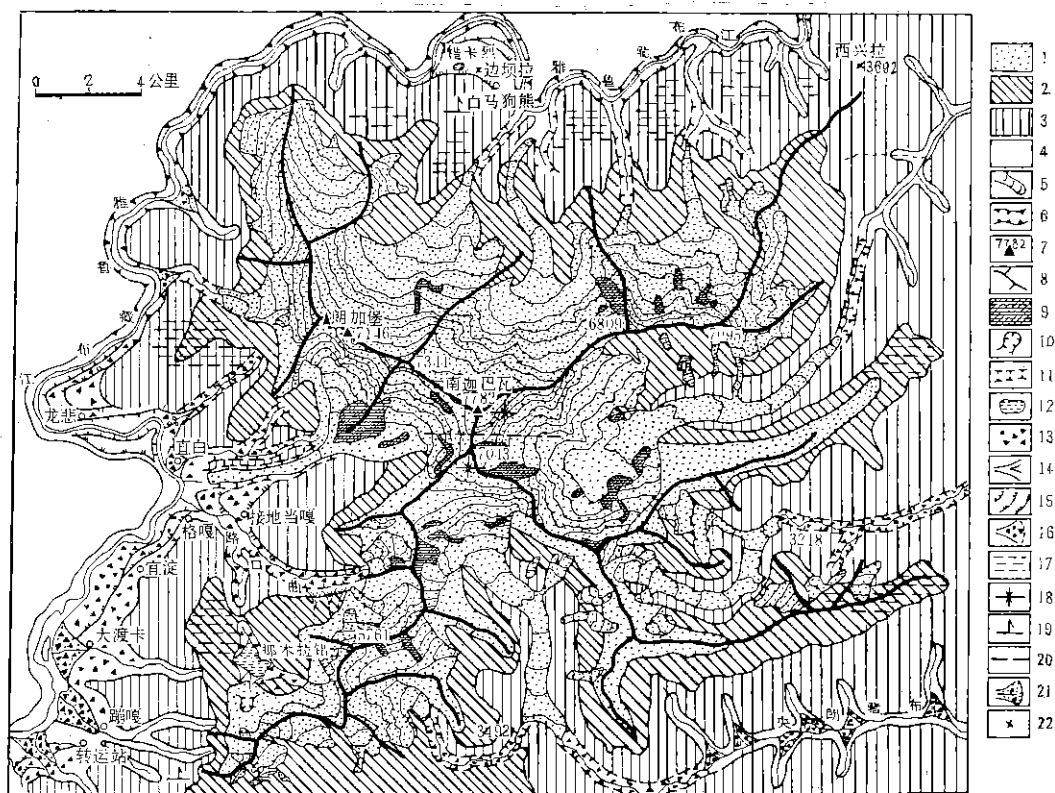


图 2.1 南迦巴瓦峰地貌略图

1. 高山冰雪作用带; 2. 亚高山寒冻风化作用带; 3. 坡面洪流重力作用带; 4. 山麓谷底流水作用带; 5. 现代冰川; 6. 峡谷; 7. 山峰; 8. 山脊线; 9. 裸岩; 10. 冰斗; 11. 槽谷; 12. 湖泊; 13. 冰碛; 14. 雪崩锥; 15. 阶地或台地; 16. 泥石流堆积扇; 17. 夷平面; 18. 向斜; 19. 单斜; 20. 断层; 21. 洪积扇; 22. 山口

成为区域地貌的基本结构。

南峰处于喜马拉雅山东段的末端,其东北面为北西向的念青唐古拉山系,东侧与伯舒拉岭等一系列近南北向岭谷相间的横断山系相邻。南峰地区构造紧密,山系集结,地势特别高耸,高山峡谷地貌十分复杂又独具特点。

南峰地区处于印度板块俯冲插入欧亚板块东北角的挤角处,地壳应力相对集中,褶皱与断裂纵横交错,地热活动多处显露,地震活动频繁而强烈,1950年8月15日发生过8.5级大地震(即一般所称察隅大地震)。在地貌上,除地形高耸、地面深受切割的特征外,山脉与河流均受不同方向构造的控制,但排列有序,颇有规律。一系列地貌现象都反映地貌作用的内营力是以新构造的强烈上升为主要特点。第四纪以来,在强烈上升为主的内营力作用下,以南峰为首的高峰断块形成,同时以雅鲁藏布江下游大拐弯为主的大峡谷水系适应和追踪构造,急剧深切,形成高山深谷地貌。由于高山成为巨大的地形屏障,阻挡着印度洋湿润气流北上进入高原,导致南北坡自然景观的巨大差异,同时随着山地垂直高度的增加,水热分配和组合又发生变化,于是形成垂直地貌带。相反地,由于雅鲁藏布江大拐弯峡谷的存在,成为高原东南缘地形屏障上的一个巨大缺口,使南来印度洋的湿热气流部分能沿峡谷北上,深入高原内部。因此,本区地貌形成的外营力作用复杂多样,雅鲁藏布江等河谷部分发生强烈的流水侵蚀作用,两侧山坡和谷坡受到强烈的寒冻风化作用和重力作用,山地上部承受冰雪作用,在不同高程地貌带内塑造了多种的地貌类型。还应指出,这里地貌作用明显是以高频度、高能量为特点,地貌作用过程之迅速是高原上其它地方所无法比拟的(图2.1)。

## 第二节 山地地貌

### 一、构造对山地地貌的控制——倒置地貌极为典型

地质构造控制着大中地貌的基本骨架在南峰地区表现得特别清楚。根据地质资料,南峰地区的构造形迹,主要有三组:即属于海西期念青唐古拉-三江构造系统的北西向构造,属于燕山期印度地台的北北东向构造和属于喜马拉雅期喜马拉雅系统的近东西向构造。由于这些构造体系在时间上有着不同序次的叠置,空间上有着不同方向的互相穿插复合,因此南峰地区构造形迹对地貌形成的影响,显得十分复杂。

首先,不同方向的构造系统决定了山脉的系统方向。其中以南峰峰体为首的东西喜马拉雅山系主要属于东西向构造体系中喜马拉雅弧形构造的东段,在其形成过程中受到东南侧属于印度古老地块的北东东向构造影响,导致东喜马拉雅山由东西向转折为北东东向延伸,同时东西向构造明显地向北偏移,从南峰往东延到金珠曲中下游一带,最终与北西向的岗日嘎布山系统斜接复合。

北西西向构造系统决定了南峰东侧岗日嘎布山脉呈北西方向延伸数百公里,其北端在易贡以北斜插入近北西西向的念青唐古拉主干山系,其间帕隆藏布、易贡藏布等河流的发育也受此构造系统的控制。

上述两列山系构成本区地貌的骨架,其两侧均以区域性大断裂作为边界,控制着山系的形成和发育。例如,以南峰为首的东西喜马拉雅山西北侧就有北东东向的米林韧性剪切大断

裂带发育,水平错距可达到 80 公里以上,致使断裂东南侧的南峰山体向北变形推移;同样,山系东南侧一系列北东向延展的区域性大断裂控制着整个山系的展布和形态,如有拿格断裂、汗密断裂和马尼翁断裂等等。类同的情形在岗日嘎布山两侧山麓,也分别有北西西向的通麦-嘎隆寺断裂和岗日嘎布南麓山前大断裂控制。

其次,山地的形态也明显受到构造的控制。如在岗日嘎布山的嘎隆拉山口附近,沿着北西向延伸的大断裂带发育着相向的河谷和山谷冰川;往嘎隆北曲下游断层带一侧出露的大理岩形成明显的断崖陡壁,在其北部大面积的花岗闪长岩体中,北西  $80^{\circ}$  和北东  $20^{\circ}$  两组节理控制着山地雪崩道和坡面沟谷的发育,以及沟谷的不对称形态,乃至山麓倒石锥的分布等等。

北东延伸的东喜马拉雅山脉,从其岩层、片理、片麻理等基本上具有东西走向的特点来分析,仍应归属于东西向构造系统。据研究,南峰本身是正处在复式向斜构造中的向斜轴部,轴向近于东西向,岩层直立,但其南侧却受断层挤压破坏而成为一个褶断耸峙的峰体,峰体南侧受东西向断裂(南坳-则隆弄断裂)的影响构成相对高约 700 米的陡崖峭壁(照片 2.4);在后期以冰雪寒冻作用为主外营力的强烈侵蚀、啃蚀下,遂形成三角形的耸峙角峰地形。由南峰往北西延伸的漫长山脊,拥有象朗加堡那样几个 7 000 米以上的高峰,多数是差异侵蚀剥蚀所造成的,高峰顶部都座落在坚硬地层部位。

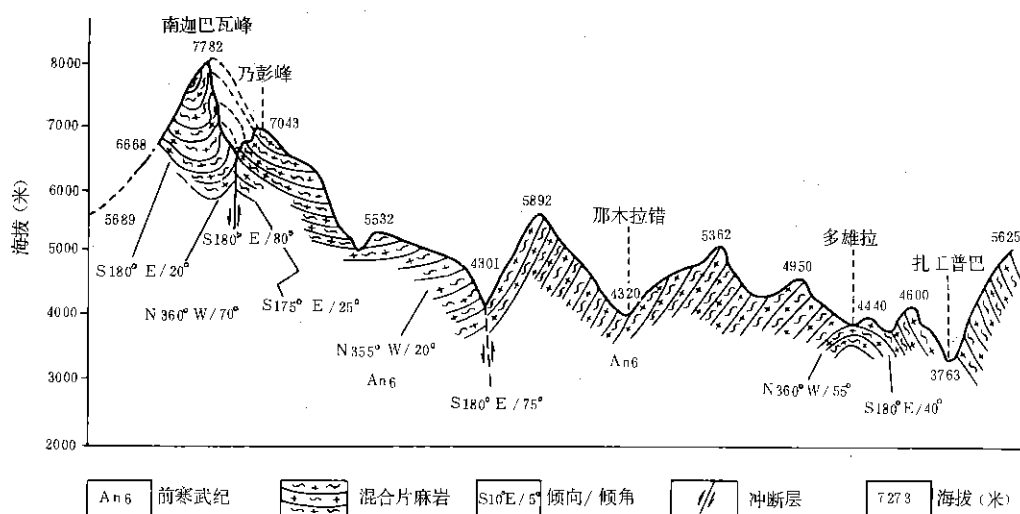


图 2.2 喜马拉雅东段的倒置地貌剖面示意图

南峰西南,经南坳为海拔 7 043 米的乃彭峰,发育于宽缓的向斜构造之中,呈平台状。再往西南延伸是喜马拉雅山的多雄拉,它是喜马拉雅山东段的最低山口,海拔只有 4 030 米,历来为沟通喜马拉雅山南北的主要通道。多雄拉在构造上是南峰复向斜往西南自然延伸的一个背斜构造,山口处在背斜轴部,东南坡出露的混合岩地层产状走向东西,山口部位片麻岩的走向则为北西西,但整个岩层中发育一组横切地层的南北向直立节理,走向南北,它分割山地,形成极为险峻的陡坡地。

由多雄拉继续往西南,经过一个向斜即进入德阳拉背斜构造,这背斜由变质稍浅的混

合片麻岩系构成,由于其内部的老岩层已被剥露,并经强烈风化,从而地表出露一块块由铁氧化膜包裹的褐黄色岩层,还可见有明显的整合面和断裂构造。

总之,东喜马拉雅山系的德阳拉—多雄拉—乃彭峰—南峰段是东西向构造系统往北推移的一组复式向斜和背斜构造,但在地貌上向斜则构成了耸峙的山岭(如南峰、乃彭峰),背斜却构成了低凹的山口(如多雄拉、德阳拉),这种地形在构造上的倒置现象在南峰地区是极为明显而典型的。然而,在背斜或向斜构造的一翼,由于不等量的侵蚀切割,又出现一系列的单斜山地貌,如多雄拉背斜北翼派区转运站东侧山岭,经侵蚀后成为一系列叠瓦式单斜山;从南峰—多雄拉往东南坡下到墨脱雅鲁藏布江之间,以及南峰向斜往西北至褶皱一翼的白马狗熊一带,同样出现一系列单斜构造,在地貌上表现出一系列叠瓦状陡峻单斜山构成的地形特点(图 2.2)。

## 二、现代冰川作用和古冰川地貌遗迹

考察地区无论在南峰或其周围高峰,或是外围的岗日嘎布、念青唐古拉山地,高山上都发育有现代冰川;从山地到河谷还普遍的见有古冰川作用的遗迹。

### (一)现代冰川作用及古冰川遗迹分区论述

#### 1. 多雄拉两侧山地

这里现代冰川很不发育,仅在山口西南侧南坡有小型悬坡冰川(一种悬挂在坡面上的冰川)和悬冰川。悬冰川下方冰川谷注入拿格盆地时,出现相对高 10 米左右的断续终碛垄;在垭口东北侧南坡,发育有二条小型悬冰川,其下方跌落入一个仅有局部季节性积雪的围谷中,而后又跌落入 U 形谷中,再注入拿格盆地,其左侧有相对高约 80 米的侧碛垄延伸;此外,在多雄拉西坡南侧的山地,也有一条悬冰川发育在一列悬谷中间。

从拿格往上直到多雄拉山口之间,有三级平台,高度分别出现在海拔 3 250—3 290 米、3 740 米和 3 870—3 900 米。最高一级平台直抵山口下方,实际是一巨大的冰川围谷。相似的情况也出现在多雄拉的西北坡,其三级平台的海拔高度分别为 3 970—3 890 米、3 770—3 760 米和 3 500 米。显然这三级平台实际上是三级叠置的冰川悬谷遗迹,这种悬谷叠置地貌形态还见于派区转运站背后的山地上。

#### 2. 南峰西坡山地

本区至少可以看到 6 条以上的现代冰川,多数属于由雪崩补给的悬冰川,只有则隆弄冰川为山谷冰川,长有 10 公里左右(照片 2.5)。通常冰川上方的积雪山地布满了一道道雪崩的滑槽。

则隆弄冰川不仅直接接受南峰峰体雪崩的补给,同时还沿途接纳谷地两侧山地冰雪崩落的补给,并在右侧纳入从南峰西北山脊伸下来的一条支沟冰川的汇入,整条冰川末端出现在接近直白村附近的雅鲁藏布江边(海拔 2 900 米左右的地方)。在则隆弄冰川上段与支沟冰川汇合的部位,出现大片棕黄色块砾冰碛,与则隆弄主冰川上灰色的新鲜冰碛截然不同,反映了冰碛物源岩性的不同。此外,则隆弄冰川谷地的两侧还可以看到高大整齐



的侧碛垄,相对高度达 200 米左右(照片 2.6),由上游向下游作 S 形延伸直达沟口。这条侧碛垄内侧陡峭,在 U 谷壁下段基岩上,见有大量平行的冰川擦痕、剖面新鲜(照片 2.7),显然受到现代冰川的修剪;相反,外侧坡面和缓,其上已长满了灌木和少数乔木。侧碛与 U 谷壁之间存在一排水沟道,流水潺潺,从侧碛中朽木<sup>14</sup>C 年龄为  $287 \pm 93$  和  $394 \pm 83$  年,分析这是小冰期的遗迹。

由南峰西坡山地各支沟伸出的古冰碛曾直接落入雅鲁藏布江谷地中,在直白、格嘎山前和宜淀、大渡卡一带河谷中,均见到由古冰碛组成的阶状平台,相对高 200 米和 120 米,其上覆盖有较厚层的黄土状堆积物;在路口曲沟口冰积平台剖面中,冰碛层中夹有红棕色古土壤层和略具韵律的砂粘土细砾层,反映为一种间冰期的沉积。因此,这些冰碛物应是末次冰期和倒数第二次冰期的冰川遗迹。

必需指出,在格嘎村对岸山坡,海拔 3 600 米处有残余的冰碛层,其上覆盖着有层次的河相层形成堆积平台,相对高差达 700—900 米,这应该是倒数第二次冰期冰川遗迹的残余。

特别需要指出的,则隆弄现代山谷冰川在平面空间上分成六段断续展布在谷地内(照片 2.8)。断续的冰体之间有水道相贯连,这是我国首次见到的一种跃动冰川类型。其成因是由于山地陡峭,冰床地形坡度大,致使冰川的存在几乎处于随时可以滑动崩落的临界状态,而且海洋性冰川温度接近熔点,冰体与冰床之间又有大量冰融水活动,因此一旦有巨大地震发生的情况下,就触发冰川崩裂分段脱落,快速跃动。例如,在 1950 年大地震中曾发生分段的跃动。跃动的结果往往使冰川在谷地脱落隔断,这样主要依靠两侧陡峻山体上频繁的雪崩,和一些支沟悬冰川的汇注和崩落的补给,以及表部深厚表碛覆盖的保护等来维持其生命的存在。

目前冰川消融区都被大量表碛覆盖着。表碛覆盖的冰面裂隙纵横,坎坷不平,表碛随时都在发生蠕动;大量冰融水从末端冰洞逸出,水体混浊(照片 2.9),表明现阶段冰川具有退缩的特征和强烈的地质地貌作用。在冰川末端可以看到小冰期时形成的侧、终碛受到后期冰川跃动而破坏的残余堆积;冰川谷两侧新冰期的高大侧碛垄是极为完整、典型的。

总之,古冰川的遗迹以侧碛和山前及河谷中的冰碛平台为主,联系附近多雄拉、派区转运站一带山地之间叠套式悬谷和古冰斗等侵蚀遗迹的事实,表明这里第四纪时期,至少发生过三次冰川作用,其时代大致为中更新世及晚更新世早期和晚期。中更新世大冰期时冰川曾直接溢出山麓,并逆雅鲁藏布江而上,堵塞江道,形成派区以上中游宽谷河段许多地方出现静水相的沉积物。

### 3. 念青唐古拉山南麓

(1) 易贡错地区。湖区西北侧支沟为一冰川改造过的 U 形谷,其横剖面上显示出三级叠套的 U 谷形态,高位 U 谷以谷肩形式相对高 400—600 米,低位 U 谷相对高 200—150 米,现代支 U 谷谷口底部为海拔 2 300—2 400 米,沟底有冰水平原组成的长条状阶地,表面有众多的冰川漂砾。在沟口有弧形起伏的终碛垄岗,相对高 20—30 米。终碛内侧有一片基岩构成的羊背丘,相对高 5—10 米,丘面上有明显的冰川擦痕。同样的 U 谷叠套现象还见于易贡错上游主河谷上。这些都是不同时期冰川作用的遗迹。

在易贡错农场二连连部下方 1 公里的湖边,还见有二级垄状顶平的冰碛平台,相对高

30 米和 150 米,由冰碛巨砾组成,顶部覆有流水相砂砾层和黄土状的堆积物。从其处于上述支沟末次冰期终碛垄外侧的部位分析,属于主谷盆地内的冰川堆积遗迹,应是倒数第二、三次冰期的遗迹。

在易贡错农场场部下方,盆地中出现一系列起伏的终碛垄,相对高 30 米左右,作断续展布,目前其上已长满松林,从其出现在易贡错盆地最远和最低的部位(海拔 2 100 米左右)来看,应是中更新世大冰期时的遗迹。

综上所述,仅易贡错地区在第四纪中发育过三次冰川作用的遗迹是清楚的,而且这些古冰川作用主要来自湖盆北侧的念青唐古拉山,而易贡错盆地则是经过古冰川侵蚀改造过的河谷盆地。

(2)卡钦冰川。这是念青唐古拉山南坡长达 35 公里的山谷冰川。该冰川镶嵌在一条典型的深 U 形谷地中。U 谷两侧,特别是右侧基岩裸露成陡崖,由灰岩、细粒花岗岩组成,陡崖壁高 200 米处见有大量冰川擦痕,在 100 米高处有冰川侵蚀痕迹和堆积物残余。冰川下游消融区冰体厚 60—100 米,冰面覆盖着 1—3 米厚的表碛层,整个冰面作 5—10 米高差的起伏;冰体中裂隙纵横,尤以纵向的张裂隙发育,沿裂隙进行着强烈的消融,表碛随时在蠕动坍塌,并见大量冰桌、冰蘑菇、冰面小湖等消融形态,沿裂隙还形成众多的冰洞。冰川末端宽约 80 米,冰体大量崩落坍塌,有冰融水从右侧冰洞逸出,洞宽 10 米,融水流量达到 5 立方米/秒。冰川末端海拔 2 600—2 680 米。由冰川末端往下进入主谷时,谷侧见有相对高 60—80 米的侧碛垄延伸。

上述许多现象都表明该冰川目前处于强烈的消融退缩状态。据 1975 年到过这里考察的同志谈,8 年来此冰川已后退了 500 多米;当地向导也证实近 45—50 年来已后退 4 公里左右。由此估算,近 50 年内该冰川平均每年以 80—100 米的速度在后退着。

(3)波堆藏布谷地。波堆藏布是帕隆藏布中游北侧的大支流,源出于念青唐古拉山中段南坡,源头山地有多条现代冰川发育,其中以则普冰川为主源,都属于季风型海洋性冰川,冰川末端下伸到林线(海拔 4 000 米左右)以下。

波堆藏布河谷是巨大的古冰川 U 型谷地(照片 2.10),平均宽 1 公里左右,最宽处可达 2 公里。谷地两侧还有不少支冰川谷。在主谷许木区附近波堆藏布左岸,可以见到高出谷地 1 100 米的古宽谷面,但在此面上并未见到古冰川遗迹。在 U 形槽谷中,古冰川堆积遗迹明显有两期:晚更新世早期的古乡冰期和晚更新世晚期的白玉冰期(李吉均等,1976)。两次古冰川作用的遗迹均断续分布在 U 形谷两侧谷坡上,以不同高程的侧碛垄为代表,构成高出现代河床约 700—800 米和 500 米左右的两级冰碛平台。高平台最宽处可达 150—200 米,表面向谷坡微缓倾斜;低平台至许木区附近保持着 300 米左右的相对高度,但延至白玉曲附近,就逐渐降低演化成多列式的侧碛、终碛垄,横亘于河谷当中。左侧则为现代流水所切开。在此末次冰期(白玉冰期)冰川终碛垄的内侧,U 谷底部十分宽敞平坦,是被冰碛和冰水相砾石充填了的平缓地;现代波堆藏布多半在 U 谷左侧附近山麓切流而过,使谷底构成相对高 10 余米的冰水阶地。在这河谷冰水阶地以上,海拔 3 000 米处,有零星分布的坟堆状冰碛丘陵,往上游逐渐密集成为冰碛丘阜,再向上到许木、育仁区之间的河谷(海拔 3 100 米左右),冰碛丘陵更是密集而高大,甚至连续成片,波状起伏,组成一种特殊的基碛丘陵地貌景观(杨逸畴,1983)(照片 2.11)。

从波堆藏布的倾多往下游不远,右侧有珠西沟汇入,其源头为雪山,多雪崩补给,下方

有好几条再生冰川发育。在冰川下方不远处(海拔 2 920 米),堵塞谷地的是一墙状终碛垄,相对高约 100 米左右,表部已有五六个缺口,可能是小冰期冰川前进侵蚀新冰期冰碛物所造成的。

沿 U 谷往下,右侧为基岩山地,左侧则有侧碛垄沿谷展布,组成平台状,上下有二列,相对高分别在 500—600 米和 150—200 米。此 U 谷末端一直汇入波堆藏布,汇口处有一条保存完整的老侧碛和终碛相交汇复合,它们可能是末次冰期的产物。

#### 4. 岗日嘎布山嘎隆拉两例

嘎隆拉北东坡有小型山谷冰川和悬冰川发育(照片 2.12, 2.13),而西南坡仅见有悬坡冰川发育(照片 2.14)。

嘎隆拉北东坡在沿着北西向大断裂带构成的谷地中,发育有两条北西方向的山谷冰川,即多列拉冰川和嘎隆拉冰川。其中,多列拉冰川源头系由雪崩补给的 3 条悬冰川汇合而成的山谷冰川,但悬冰川的两侧,甚至其前端各自有侧碛和终碛垄存在。嘎隆拉山谷冰川则由两条冰斗冰川汇拢组成,冰斗冰川源头为小型积雪盆地。由于坡地甚陡,冰川似瀑布形式陡急下挂。无论是多列拉或嘎隆拉冰川,长度不过 3—5 公里,其上段一般为冰体裸露的积累区,白色的冰体布满纵横的裂隙和坎坷的冰阶;下段一般是有大量表碛覆盖的消融区,表碛高低起伏,有的地方沿裂隙洼下成坑或成冰面小湖,有的则形成表碛丘陵,两侧有新鲜冰碛组成的侧碛垄,其上尚未生长植物,砾石上有苔藓地衣覆附。新侧碛外侧还有高大的侧碛垄沿谷地伸展,相对高达 80—120 米。此侧碛内侧由于受现代冰川的修剪而露出新鲜的冰碛剖面。在高侧碛上部和外侧已生长有针叶树和灌木、草本植物等,显然这是比现代冰川要早一期的冰积物。在冰川舌末端冰体坡度较陡,有冰融水从冰洞逸出。在嘎隆拉冰川末端外围有三道高大完整的终碛垄围绕;多列拉冰川的末端则出现一些消融的冰碛小丘陵,终碛垄以较矮小而断续展布为其特征。这两条山谷冰川往下延伸注入嘎隆寺盆地,末端海拔都在 3 700 米左右。在冰川延伸的两侧山坡上,满布着高山针叶林,林线海拔为 4 000—4 100 米。冰川末端的冰融水在盆地中的沼泽草甸上形成众多汉道曲流的辫状水系。就在嘎隆寺盆地东侧边缘,出现一相对高 15 米左右的冰碛垄岗,其上已长满茂密的针叶林,嘎隆寺建于其上,巨大的大理岩冰漂砾被认为是“天石”得到供奉。显然,此残留冰碛垄岗是更早一期冰川的遗迹。由嘎隆寺盆地往下继续是宽大平直的 U 形谷地。谷地两则多倒石锥裙, U 形谷下延 30 余公里到达沟口汇入帕隆藏布,汇口海拔 2 900 米,有被森林密蔽的冰碛垄围堵谷地,外侧有冰水扇形地冲出。此终碛垄由砂土混杂巨大块砾组成,风化较深;冰水扇形地上部有黄土状堆积物并夹红色古土壤层,这是本区所见的分布部位最低,时代最老的冰川堆积遗迹。

在嘎隆寺下方 U 谷左侧见二条镶嵌入基岩陡坡裂隙中的悬冰川,状如冰瀑布,下方坡麓堆积成的冰碛平台(系由侧碛、终碛等共同堆成),清楚地见到现代冰川的新冰碛超覆叠置在较老的、长有针叶树的冰碛层上,反映了这里现代冰川在小冰期中(300 年左右)的明显前进状态。

嘎隆拉两侧现代冰川所表现的特点和古冰川的遗迹表明:不同时期冰川作用的地貌表现在同一地区复合、叠置、交错是明显的。巨大的冰川谷地、上游嘎隆寺的古冰川侧碛垄平台、谷口古老终碛垄和冰水扇形地,应是第四纪晚更新世末次冰期的遗迹。冰碛物上的

黄土状堆积物和红棕色的古土壤层可作为判断时代的对比证据。而在山体上方海拔4 000米左右普遍能见到的一列空出冰斗(在嘎隆拉北侧和南侧山坡都有),以及嘎隆拉西南坡三个冰蚀湖存在的巨大围谷(海拔4 000米),应是末次冰期遗留的对应侵蚀遗迹。嗣后,全新世新冰期来临,在古冰川U谷中发育了冰川,留下了高达80—120米,长有植被的侧碛垄和终碛垄地形,据藏东南地区区域地层的对比,其时代约在距今3 000年前。现代冰川是小冰期的残留,从冰碛的超覆和冰川消融区普遍有深厚密集的表碛覆盖看,一些小的悬冰川在小冰期中一度具有明显的前进迹象;在这里至少大部分冰川现阶段是基本处于稳定状态,强烈而明显的后退迹象不显著。看来,同一地区各类冰川目前所表现出的前进、稳定或退缩的变化特征,除与气候的变化有关外,显然与各冰川所处的地形条件等也有一定关系,应作具体分析。

类同的情况出现在嘎隆拉往东南延伸的金珠拉山口两侧山地,但发育的现代冰川规模更小。例如金珠拉北坡旁卓以上山地主要是悬冰川,多康对岸山地是悬坡冰川。多康以上到山口附近存在三条悬冰川,其上方都有不大的雪盆,两侧山地多雪崩补给。因此,冰川积累区明显,有表碛覆盖的消融区不明显,冰川末端往往崩落或消融形成多条瀑布飞泻而下。

## (二)关于现代冰川作用及其地貌的分析

本区高山面积很大,许多山峰海拔均在5 500米以上,具备长期低温的环境条件,且直接受到来自印度洋的湿润气流惠泽,降水丰沛,按推论冰川发育的规模应当较大。但实际上,在岗日嘎布山的嘎隆拉山口、金珠拉山口、念青唐古拉山的东段南坡以及东喜马拉雅山的多雄拉山口和南峰峰体周围山地,目前所见的现代冰川规模都不大。据统计,南峰地区冰川和雪盖面积仅150平方公里左右。

南峰及其周围的现代冰川主要分布在东南坡和北坡。据研究,东南坡有三条规模较大的山谷冰川,长度在10—15公里之间,北坡有两条山谷冰川,最长的可达15公里左右,但西北坡只有则隆弄等少数山谷冰川,长不足10公里。总体看来,这里冰川以南峰为中心,呈掌状不对称分布,反映了不同坡向地形和补给来源有巨大差异。

现代冰川发育的类型,除山谷冰川外,更多的是悬冰川、悬坡冰川和冰斗冰川,少数为再生冰川,以及经过地震触发的跃动型山谷冰川。但无论何种类型的冰川,主要是依赖雪崩补给发育的。由于山体特别陡峭,雅鲁藏布江水系强烈深切,山坡与谷坡坡度多数在40°以上,故雪线以上有效积雪的面积不大,这就决定了本区冰川发育的总体规模不大,以悬冰川和冰斗冰川为主,并出现悬坡冰川、再生冰川等比较特殊的形态类型。

显然,主要靠雪崩补给的冰川,其补给量总是有限的,这同样影响了冰川发育的规模。因此,现有冰川的补给区都比较短小,而消融区则比较长。同时,受海洋性气候的影响,也就必然具有季风型海洋性冰川的性质特点,在强烈的地质地貌作用下,冰川消融区的表面一般都具有深厚的表碛块砾覆盖,而冰蚀地貌(如冰斗、雪盆)和冰碛地貌(如终碛等)发育并不典型,这与强烈风化下的物质源供应丰富,以及冰川前进和后退速度较快也有关系。此外,现代冰川的末端一般都远伸到山麓暖温带针阔叶混交林中。例如南峰西坡的则隆弄冰川末端一直伸到海拔2 980米的雅鲁藏布江边,据目测估算其冰川末端1983年较

之1973年至少后退了1200米之多,实测1982年到1983年则后退了16米。但是,南峰东南坡的几条山谷冰川末端一般伸展到3000—3500米处,其中,嘎隆拉北坡的山谷冰川末端则在海拔3600米处。

南峰地区现代雪线在海拔4700米左右。在登山路线经过的路口曲源头冰川上,海拔4900米的粒雪盆内,聚积物多为角砾粒雪冰,表明冰川源地主要由雪崩补给的。在雪线以上500米处,发现有1个数十厘米厚的附加冰层,这可能是成冰过程中原生的一个附加冰层,不同的是更高处的乃彭峰等海拔6000米以上的微倾斜地形面上,往往堆积有百余米厚的粒雪冰,表部有几十厘米厚的粒雪层,足见这里的成冰作用则是以渗浸重结晶为主的。总之,本区不同海拔高度上的山地,由于地形等情况的差异,成冰作用和成冰过程并不相同。

### (三)关于冰期划分问题

冰期的划分和对比是个很复杂的问题,尤其是青藏高原(包括藏东南)自第四纪以来,经历了独特而复杂的自然地理环境,其冰川的发育和地域对比问题就更为困难。关于藏东南地区冰期的划分,李吉均、郑本兴等有过论述,对我们研究南峰地区的古冰川作用及其对比提供启示和依据。由于南峰地区地表强烈上升和深受切割,第四纪古冰川遗迹不易保存,间冰期的侵蚀与堆积证据也很难找到,确定时代年龄依据不足,因此我们只能按考察路线中所见到的古冰川侵蚀和堆积的遗迹,从形态、保存程度、地貌部位的高低等来进行冰期的划分和区域对比,现列表如下,以供参考(表2.1)。

## 三、山地地貌的垂直地带性和成层性

### (一)垂直地带性

以南峰为首的山地强烈上升所导致的巨大高差形成了不同高程的垂直地貌带,归纳起来,由上往下可分出四个带:

#### 1. 高山冰雪作用带

本带是雪线以上的地带,冰雪作用、雪崩、冰崩极为频繁,发育季风型海洋性冰川,以悬冰川为主,次为再生冰川,西坡则有少量山谷冰川,尤其是东南坡发育较多和较大的山谷冰川。通常山坡上布满众多的雪崩滑槽,山麓多雪崩锥,但冰雪作用随坡向不同而有较大差异。由于海洋性冰川的活动能力强、地质地貌作用迅速、冰雪作用可下伸到相邻带内,冰川末端下游常有冰川融水引起的泥石流,为当地一种主要的山地灾害现象(照片2.15)。

#### 2. 亚高山寒冻风化作用带

在雪线以下,林线以上的地区,大部分山体基岩嶙峋裸露,有局部斑状积雪和冰川,季节性冻土发育,冻融风化作用强烈,反复的冻融结果,形成多种高山冰缘地貌类型,其中尤



表 2.1 冰期划分和冰川地貌特征

时代	冰期	分布和地貌遗迹				年龄
		多雄拉两侧	南峰西坡	岗日嘎布山	念青唐古拉山南坡	
全新世 $Q_4$	现代冰川	小型悬冰川、悬坡冰川、围谷	则隆弄跃动型山谷冰川、残破的终碛、冰碛丘,现代冰川明显退缩	山谷冰川、悬冰川、再生冰川,处于稳定状态	卡钦冰川—山谷冰川长 35 公里,处于强烈退缩状态,年平均后退速度为 85 米/年	
	小冰期	终碛垄	残余的冰碛丘、高大的侧碛垄	终碛垄	则普冰川、珠西沟冰川的终碛垄、冰碛丘阜	则隆弄 $^{14}\text{C}$ 年龄为 $287 \pm 93$ 年和 $394 \pm 83$ 年;白玉曲全新世最新冰碛年龄为 400—200 年
	新冰期	侧碛垄	高大的侧碛垄	侧碛垄、终碛垄高大完整	波堆藏布珠西沟口完整的终、侧碛垄	白玉曲 $^{14}\text{C}$ 年龄为 3 000 年、2 000 年和 1 500 年左右;若果冰川侧碛 $^{14}\text{C}$ 年龄为 $1\,920 \pm 110$ 年和 $1\,540 \pm 150$ 年
晚更新世 $Q_3$	末次冰期 (白玉冰期) $Q_3^3$	悬谷、空出冰斗	U 谷、山麓冰碛平台,相对高 120 米	U 谷、残破的终碛垄	易贡错地区有 U 谷、终碛垄、羊背岩,波堆藏布有 U 谷、低侧碛平台、终碛垄及基碛丘陵	接地当嘎冰碛中 $^{14}\text{C}$ 年龄为 $11\,265 \pm 328$ 年;白玉曲终碛中 $^{14}\text{C}$ 年龄为 $8\,300 \pm 200$ 年
	倒数第二次冰期 (古乡冰期) $Q_3^2$	悬谷、U 形谷	山麓冰碛平台,相对高 200—300 米		易贡错地区有 U 谷、残余低冰碛平台,波堆藏布为 U 谷、终碛垄、高侧碛平台	
中更新世 $Q_2$	倒数第三次冰期 (高台冰期) $Q_2$		残留的高位冰碛平台,相对高 700—900 米		易贡错盆地中残余的高位冰碛平台、终碛垄等	

以岩屑坡、倒石堆、石流、石海、石环以及雪蚀洼地、槽谷等最常见,一些地形平缓处发育有沼泽草甸。此外,此带内古冰川遗迹众多,在一些沟头冰蚀盆地和槽谷内还存在一定数量的高山湖泊,如那木拉错(照片 2.16)等属之。在槽谷湖盆中,多草甸沼泽,为良好的高山夏季牧场。

### 3. 中山山坡洪流,重力作用带

本带一般包括林线以下到谷底之间的山坡和谷坡地带。地貌作用营力多种多样,既有坡面和支沟的洪流作用和陡峭山崖上的重力作用,也有部分流水作用,且多瀑布和跌水。本带内重力作用除与陡峭的地形有关之外,还与区内强烈而频繁的地震作用有密切关系。

沿着断层、节理或层面,往往形成崩塌陡崖、崩塌沟谷和滑道。在陡峻山崖下,崩塌倒石堆、石流、滑坡、泥石流等重力地貌类型较为发育,坡面上有冲沟、切沟等流水地貌类型。带内蕴藏着南峰地区最为丰富的暗针叶林,针阔叶混交林等森林资源及其林副产品,地形平缓处还分布有农田和居民点。

#### 4. 山麓谷底流水作用带

本带是强烈流水作用的深切峡谷和嶂谷地段。通常情况下,局部谷地中有阶地,支沟口的洪积扇和泥石流堆积扇等。这里气候条件优越,水力资源特别集中而丰富,为南峰地区主要的农业地带和居民集中地(照片 2.17)。

### (二)成层性

南峰山地新构造上升在时间上具有明显的间歇性特点,反映在山地和河谷地貌上具有显著的成层性,这是南峰地区很突出的一个地貌特征。

由峡谷底部向上,分别出现的成层地貌景观带是:残余的河谷阶地、多级的谷肩、宽谷面、夷平面、蚀余山等,构成一种地面侵蚀回春的典型成层地貌景观。其中阶地至少有三级,一般残余零星分布在河流凸岸或支沟沟口,多具复合堆积性质,高差变化大,其原因是地壳上升虽有间歇,但终究是以快速上升为主导,没有充分的间歇时间在峡谷中开拓堆积宽坦的阶地,而已有的阶地在再次强烈的上升中又往往受到强烈的物理地质作用的侵蚀破坏。但必需指出,在雅鲁藏布江下游大峡弯中的高阶地上,发现普遍存在有黄土状堆积物,可作为划分地貌年代的标志层。阶地往上的侵蚀谷肩,往往是不同侵蚀阶段谷地形态的残留物,常呈现为侵蚀平台,或为山嘴平梁,或成为上下叠套的交错山嘴形式。至于宽谷面和夷平面,一般都出现在河间地或靠近河间地的最高裂点以上,河流溯源侵蚀尚未涉及从而保持着壮年期的宽谷和保留着面积较广的古夷平面,如金珠藏布在提琴以上,帕隆藏布在然乌以上,多雄曲在拿格以上的宽谷和源头盆地。河间分水岭处保留的古夷平面一般有两级,在南峰西坡雅鲁藏布江两岸(包括朗加堡往西北延伸的山梁),以及色齐拉周围山地,都呈现有明显齐一的峰线,海拔分别为 4 200—4 500 米和 5 000 米左右。

必需指出,所有这些成层的地貌面,保存都欠完整,变异性较大,且多复合存在,显然是与特别迅速变动的地貌过程有关。这种成层地貌景观,不仅反映了区内有过多次抬升(下切)、间歇(堆积)过程,也反映了目前南峰地区山地正处于强烈的地面侵蚀回春阶段;而成层地貌又明显的反映出新生和古老的地貌形态并列交错组合。因此,这里是研究地貌发育多代性的理想场所。

## 四、南迦巴瓦峰山体地貌的形成

南峰地区处于南亚板块向青藏板块俯冲的东北角,长期受北北东-南南西方向的挤压,在多次构造运动作用下,形成一系列不同方向构造系统的褶皱山系。东喜马拉雅褶皱山系在多次构造运动作用下,使岩层遭受多旋回深度变质,同时岩层遭受超强负荷而作破裂褶断,形成一系列以近东西向为主的韧性推覆剪切断裂或区域性的冲断裂。无论是褶皱

或断裂,在南峰地区现代地貌形态上都有明显反映,实际控制着现代地貌的基本形态特征。

对南峰峰体的观察分析证实,其构造属近东西向的南峰向斜,其南翼已遭近东西向南坳大断裂的破坏。南坳大断裂具逆冲性,通过南坳时在地形上呈垭口,往东延伸至南峰东南坡,则是高峻的断层崖,为东南坡冰川发育的源地。大断裂西段为则隆弄沟所占据,沟内出现一系列地热露头。据此推论,在南亚板块向青藏板块俯冲的东北角部位,应力特别集中,以至南亚板块的东北端作相应的仰冲,仰冲过程中南坳大断裂起有逆冲作用,致使南峰成为区内的最高峰体。更进一步来看,南峰峰体西侧还有近南北向断裂通过,断裂两侧的地层不连续,断崖峭壁发育;南峰峰体东南侧也有北东向拿格大断裂相隔。因此,南峰峰体在褶皱基础上又同时受几组不同方向的断裂围割,受力挤压,致使仰冲后作强烈断块抬升,南峰峰体实属一褶皱了的断块峰体。嗣后,在长期继续断块抬升中,又承受以冰雪为主的外营力塑造,使南峰终于成为一个巍峨屹立于喜马拉雅山东端群峰之上的三角形峰体。

### 第三节 河谷地貌

#### 一、构造对河谷地貌的控制—— 大峡湾发育于复杂的构造弧弯中

以强烈上升为特点的南峰地区及围绕它的雅鲁藏布江水系,反映出构造对河流控制的最典型例证。如前所述,本区受东西向、北西向和北东向三个大构造系统的控制,每个系统还有它相配套的构造互相组合,构成大峡湾地区以南峰为中心的一个复杂的构造弧弯。并且,不同系统的构造在不同的时间都有它自己的构造特点和构造性质,就是同一构造系统的不同地段(或部位)在不同时间内所积聚的应力,所反映出的构造活动性也会有差异,而河流的发育正是构造的这样复杂的时空组合关系下进行选择适应或追踪的结果。雅鲁藏布江大拐弯峡谷,并不是一个简单的弧弯,而是在大的拐弯中还叠套着许多小的拐弯,它是一个复杂的弧弯。大峡谷本身是由上而下一个紧套着一个的叠置河谷,这反映了对不同方向构造明显的适应性,以及从上而下的间歇切割过程。如南峰西坡派区以上的东西向河段就明显受东西向地缝合带大断裂的控制发育;派区以下雅鲁藏布江突然由东西向转折为向北流去,是受米林以下的北东向韧性剪切大断裂带的制约;在大峡湾顶端一系列直角形的拐弯则是受制于北东和北西向共轭配套断裂构造;雅鲁藏布江下游大拐弯峡谷段大的支流(如帕隆藏布和易贡藏布)是沿北西—北西西向大断裂构造发育的;金珠曲至少在格当以下的中下游河段明显受东西向构造(即南峰构造带的东延部分)控制;雅鲁藏布江下游在金珠曲以下的墨脱河段则受北东向构造控制。此外沿雅鲁藏布江河谷混合岩带内一系列平行地层走向的密集断裂,断续展布很长距离,沿此断裂构造岩发育,应力矿物相对集中亦十分明显。而且根据卫星影像照片判读,可清晰见到雅鲁藏布江下游在江波以下出现一个北西向的倾伏背斜构造;雅鲁藏布江由此往南流至江波,突然转向南东,这是受背斜轴部剪切大断裂的影响。除此之外,主干流本身的转折拐弯变化,主流和支流的组合格局等等,也无不都是适应和追踪不同方向活动构造段发育或变化的结果,尤其如帕隆藏布、金珠曲下游作直角状的汇入干流(照片 2.20),更体现了不同方向构造交接复合对



水系组合格局的控制。由此看来,雅鲁藏布江下游大拐弯峡谷的形成,决不是简单的河流袭夺弯(杨逸畴等,1985),而是适应不同方向构造发育的复杂弧弯(图 2. 3)。

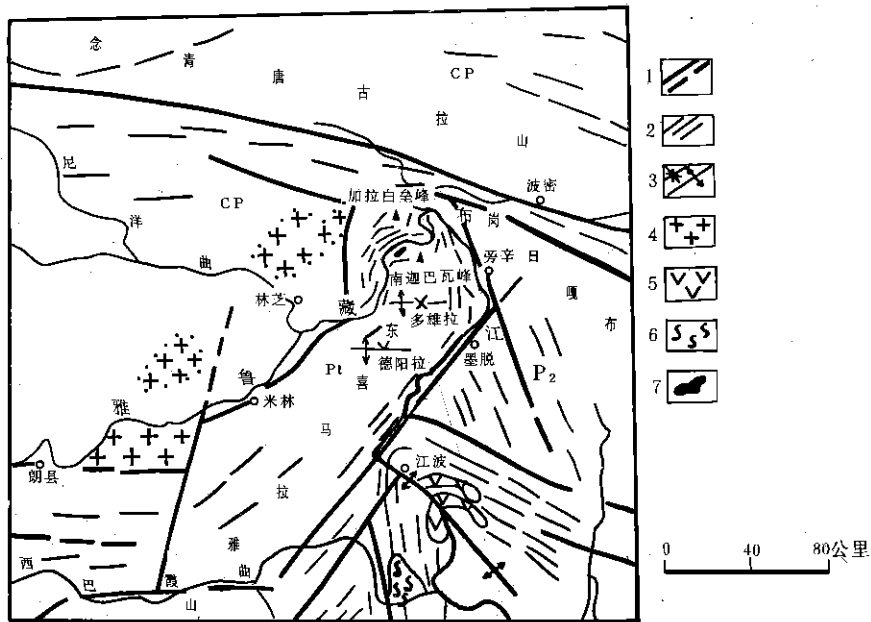


图 2. 3 雅鲁藏布江大峡弯与地质构造略图

1. 断裂及推测断裂;2. 岩层、片理和褶皱走向;3. 背斜和向斜;4. 花岗岩;5. 火山岩;6. 片麻岩;7. 超基性岩

大拐弯峡谷从上而下河流侵蚀发育而成的层状地貌,反映出它是适应构造发育的先成河。不但如此,即使河谷地貌中一些微地貌形态也常常受到构造的影响,如现代峡谷河床上出现的一些深槽、洼坑、壶穴、拍浪疤痕等都是水力作用对构造薄弱部位和软弱岩层进行差异选择性侵蚀的结果;在主流河床上基岩残留的中流砥柱,河床普遍的跌水湍流乃至支沟或坡面瀑布的形成,很大程度上亦与断裂构造的存在和岩性差异的影响有关。

## 二、新构造运动和河谷地貌的特殊复杂性

南峰地区新构造运动表现出对于老构造的继承性,也表现出它自身的独特的间歇性和掀斜性的特点。

首先,就总体上看,以南峰为首的东喜马拉雅山表现出明显的快速强烈上升,因此大峡弯成为世界上最强烈下切的雄伟峡谷。同时,山地西北麓适应断裂发育的雅鲁藏布江,在大峡弯以上所表现出的宽谷形态及其较深厚的河湖相堆积层,则表明此处新构造处于相对沉降阶段(照片 2. 18)。

南峰的强烈抬升,还表现为切割山体地面的不同方向断裂构造系统几乎都呈张裂状态以及山地多级的成层地貌和双层的冰斗(见于那木拉错南侧山地)等,并且地震活动强烈而频繁,地热活动多处显示,为现代构造运动活跃而强烈的直接佐证。当地的门巴族、珞巴族和藏族同胞谈起地震还有色变之感,我们在短短的考察期中也多次感受到小地震的

发生。对历史的地震资料初步统计表明,1950年米林、墨脱各发生过2次6级以上地震,1938年波密有过1次6级以上地震,1950年2—8月察隅先后发生过6—8级地震9次等。特别是1950年8月15日察隅大地震,震级高达8.5级,这次大地震把南峰周围山地的居民点几乎全部毁灭,许多村庄被抛入了江中,并造成山崩地裂,冰川崩落跃动。地热出露于墨脱至巴玉村下和然乌、波密、易贡一带的有15个温泉,通麦一带竟有50个温泉,派区附近也有8个温泉,在南峰西坡厚约200米的冰碛层中还有硫磺喷气孔存在等等。

现代构造运动抬升强烈还表现于:南峰西坡山麓第四纪河流相、湖相和冰碛相地层的倾角一般达到 $5^{\circ}$ — $10^{\circ}$ ;宜淀附近晚更新世冰碛层中发育有反映当地主应力作用结果的北东向新断层,它直接错断了上覆的现代土层。

由于以南峰为中心的强烈上升,可以看出,发育在南峰周围,雅鲁藏布江大峡湾内侧的支流都比较短小,而它的外围即大拐弯外侧的支流(如帕隆藏布、金珠藏布等)特别长大;而且以南峰为中心的河流水系明显的具有放射状直角布局的平面结构的形式特点,这显然与南峰山体新构造的强烈上升有关。

南峰地区新构造除具有很强烈的抬升性质外,还具有明显的掀斜性质,比如发育在南峰东南坡的多雄曲(流向南去)和央朗藏布(大体流向东),其河谷表现出明显的不对称性,谷中河床偏切于右岸,靠南峰的河谷北侧山麓,山崩、滑波、石流、泥石流等物理地质现象特别发育(照片2.19),反映出南峰快速上升具有明显的掀斜特性。

在雅鲁藏布江口大峡湾的主谷形态上,形成U套V,V套嶂谷的叠置形态,交错的山嘴形成的侵蚀平台和谷肩也十分清楚,还有一些交错的山梁和切割的夷平面,一些地方出现孤立的平顶山原(如墨脱仁钦朋、地东站、格林站等平台),与附近河间地联系起来还可明显恢复出古高原面的形态,反映出雅鲁藏布江从古高原面上逐级下切的过程。在现代的峡谷中,至少还可以发现三级以上的阶地遗迹,尤其在支沟的汇口或曲流的凸岸更清楚,表明这里新构造运动具有间歇性的上升性质。

### 三、大峡湾的形成和演化

以往,有些学者在分析雅鲁藏布江成因时,根据其上游和印度河上游之间有贯通谷地;一些主要支流呈反向汇流等,把雅鲁藏布江看作是一条沿着大断裂带发育的典型袭夺河,而雅鲁藏布江下游大拐弯就是一个重要的河流袭夺例证,属典型的河流袭夺弯。关于雅鲁藏布江是否是袭夺河?大峡湾是否属袭夺弯?笔者已有过专门论述(杨逸畴,1982),这里仅补充论证。

雅鲁藏布江大峡湾长数百公里,是由一系列小拐弯所组成的一个大拐弯。如前所述,整个雅鲁藏布江,包括其下游大峡湾在内,纵向上是一条巨大的地缝合带。在南峰的大峡湾地区,则是由一系列不同方向深大断裂组成的复杂弧形构造带,大峡湾水系即发育在复杂的构造弧弯之中。

大峡湾在横向上明显表现出河流多次下切叠套的痕迹,成层地貌显著。这就是:①大峡湾入口两侧的高处,海拔5000米左右的高原面十分完整,向北一直可扩展到色齐拉附近;大峡湾内侧的南峰周围,同一级夷平面(即高原面)虽经以南峰为中心的强烈断块抬升而变形,并遭雅鲁藏布江支流的切割而显得较为破碎,但靠近分水岭地区平坦的山顶面或

齐一的山脊线(海拔 5 000—5 500 米)还是到处可见的;②大峡弯两侧对称排列有海拔 4 000—4 500 米的一系列山脊和山梁,彼此联系起来可恢复出一个古雅鲁藏布江宽谷面的形态;③大峡弯内至少有三级阶地,其中,高阶地上有黄土状覆盖物,并常以谷肩或交错的山嘴出现。

综上所述,大峡弯的演化过程是:原始的高原面时期(即夷平面,形成于上新世,当时平均海拔约 1 000 米左右),地面起伏和缓,由北西向南东倾,初始的流水必然随地势汇集于较低洼的地缝合带部位,整个雅鲁藏布江,包括大峡弯的流路和水系格局已大体确立。第四纪时,板块相向俯冲的地壳水平运动,逐渐转化成以垂直运动为主的新构造运动阶段,青藏高原大面积隆起,地缝合带内蜿蜒曲折的河流逐步下切,使高原面仅保留于河流两侧及山峰周围;同时,随着高原的强烈分阶段隆起和喜马拉雅山地的间歇抬升,河流追踪地缝合带内不同方向的活动构造带作间歇性下切,形成了峡谷中三级阶地。鉴于高原隆起具有后期加速性的特点,故愈向下河流下切出的峡谷愈益深峻,阶地间的高差自老至新逐级加大,大峡弯流路严格受不同方向构造系统控制。由此可见,整个雅鲁藏布江及其下游大峡弯是形成于整个青藏高原隆起之前,是一条典型的适应构造发育的先成河。

## 第四节 区域地貌发育史上若干重大问题探讨

### 一、黄土状堆积物的出现和分布特征

南峰周围雅鲁藏布江大峡弯中多处发现有黄土状堆积物,主要是棕黄色的粘土夹细砾岩屑,多孔隙,厚 1—2 米之间,一般分布在比较平缓的地方,如阶地平台上、谷肩上、交错的山嘴平梁或缓坡地上。从大峡弯上游所见分布情况如表 2.2。

表 2.2 南迦巴瓦峰地区黄土的分布情况

雅鲁藏布江 大峡弯	地 点	海拔(米)	地貌部位	备 注
上 游 ↓ 下 游	大渡卡、宜淀	3 165	冰碛高平台上	晚更新世冰碛平台
	错卡勒边坝(在白马狗熊上游不远)	3 025	山嘴平台	沼泽化的山嘴平台
	岗郎一扎曲	2 000	山嘴平台	黄土中夹大量岩屑、细砾
	达木山	1 800	山嘴缓坡	
	墨脱仁钦朋	1 500	山梁平台	
	月儿东—马崩	1 400	山梁平台	
	地 东	1 200	山梁垭口	

从表 2.2 可以看出,在雅鲁藏布江大拐弯峡谷内,黄土状堆积物的出现是有一定的规律性,即由上游向下游,出现在主流两侧平缓地貌部位,其海拔高度由高到低,这是大致符合于河流纵剖面正常发育规律,具有一定的坡度比降差。从相对切割程度看,由上游向下游,一般高差都在 200—600 米以上,都出现在比较高的谷肩或高阶地平台上。

黄土状堆积物的出现具有一定的气候地貌和地质历史意义,一般认为与间冰期的气候条件有关。根据区域地层的对比,一般黄土和黄土状堆积物质多被认为是晚更新世的产物,因此这里的黄土状堆积物也可能是晚更新世间冰期气候条件下的产物。在这级黄土状

堆积平台以上,雅鲁藏布江大拐弯无论是峡谷和更高部位的宽谷,其形态还是比较宽广的,显然这级平台以下的现代雅鲁藏布江河谷早已定型,基本是深切的峡谷,甚至是谷壁陡立的峰谷。残存在大峡谷中的这级黄土平台,往往成为峡谷沼泽草地发育的平坦牧场或主要的居民点、寺庙所在,或是比较好的农业用地所在。而且黄土堆积平台以下定型峡谷的出现,似乎反映了晚更新世以来山地的更快速强烈上升和河流加速线状下切的特点。黄土状堆积平台的相对切割程度都在200—600米以上,这就表明晚更新世以来至今的地质历史时期中,这里山地的上升和河流的下切量至少在600米以上,其上升的速率是相当快的。

## 二、河谷冰碛平台的出现及其地质地貌意义

在雅鲁藏布江大拐弯峡谷的上口,即从派区转运站往下到大渡卡的宜淀、格嘎、直白、龙悲一带河谷两侧,出露有三级平坦的阶地,相对高度分别为8—10米、120—150米和200—250米,中、高两级阶地皆由冰碛物所构成。最高级冰碛阶地覆盖着2米左右厚的棕黄色土层,其中夹杂着巨大的漂砾,剖面中部为5米厚的灰色冰碛层,大小块砾混杂,由砂泥细砾充填,层中多裂隙,裂隙中有钙质白色菌丝,角砾大者一般在70—80厘米。从冰碛阶地平台往上自然延伸,可直通格嘎村上方的则隆弄冰川谷地,沿谷地而上直至南峰西坡峰体下,两侧有相对高200余米的新冰期侧碛垄出现。在则隆弄冰川谷口雅鲁藏布江对岸山坡上,相对高度800米处见有残留的冰碛层覆盖在基岩谷肩上,这是本区最老的冰碛物,应属中更新世大冰期的堆积遗迹。可以设想,在中更新世和晚更新世的大冰期中,南峰发育的山谷冰川曾沿谷地向下延伸,在格嘎和直白之间注入雅鲁藏布江,沿江而下至少可达到龙悲一带,并逆雅鲁藏布江而上直达到大渡卡宜淀一带。当时冰川所及山麓和谷地两侧,目前留下了完整的冰碛阶地平台,而且在派区转运站以上的雅鲁藏布江宽谷两侧高阶地的剖面中还出现厚层的湖相堆积物,这种情况表明在冰期中冰川曾堵塞谷地,致使其上游形成了静水环境。因此,雅鲁藏布江中游谷地高阶地中的湖相堆积物亦应是中、晚更新世时期的产物。从此以后,南峰山地所发育的冰川从未直接延伸堵塞雅鲁藏布江主谷,当然在大地震的触发下,冰川体跃动的冰体、山体崩落江道,暂时堵塞雅鲁藏布江的可能还是存在的。例如1950年8月15日大地震,就导致则隆弄冰川分段跃动,其末段曾堵塞江流,至今尚残留当年堵江的新鲜冰碛物。此外,1968年夏秋之交,则隆弄沟口冰川泥石流爆发时,也曾一度堵断江流。这种因山崩或冰川爆发泥石流而堵塞峡谷江道的现象,在历史上曾多次发生过,当然也有可能造成上游宽谷中局部的静水环境,但堵塞时间不会太长,静水相堆积也就不可能很厚,更多的情况则是形成河湖相的混杂堆积。

## 三、季风海洋型冰川地貌作用的若干特点

如前所述,南峰地区现代冰川发育的规模并不大,除山谷冰川外,更多的是悬冰川、悬坡冰川以及少量再生冰川等。由于高山地区雪崩作用强烈,坡面布满着雪崩滑槽,山麓矗立着一个个雪崩锥,致使山体显得分外峻峭,山势格外尖峭峥嵘。由于南峰地区的冰川主要靠雪崩补给,在强烈的风化以及海洋性冰川固有的强烈地质地貌作用下,冰川消融区表

面具有较深厚的表碛块砾层覆盖。

特别需要指出的,南峰西坡的则隆弄冰川是一条长 10 公里左右的山谷冰川,沿着东西向的断裂谷地以六段冰体残存于 U 谷底部,两侧围以高达 200 米的侧碛垄。这六段冰体之间都有冰碛和水道相连系,冰体表部都为表碛覆盖,裂隙纵横、坎坷起伏。则隆弄冰川原来应是南峰西坡一条坡度极陡的山谷冰川,已处于临界的崩离状态,1950 年发生特大的地震时,这里正处震中区,致使具有临界状态的山谷冰川分崩离析,一下崩裂为六段,沿谷向下跳跃崩动,其巨大的运动能量在谷侧高大侧碛的内壁上至今还留下了鲜明而整齐的冰川修剪线,以及谷壁基岩上众多平行的擦痕。目前,跃动过的六段冰体虽在 U 谷底部尚有残存,但只有上游三段还能直接受到山体上方或支沟冰雪的补给而维持其生命,更主要的还是赖表部深厚的表碛覆盖而维持其存在,并且已明显显示出它们处于强烈消融退缩状态的特征。这种因地震而使冰川分段跃动过的实例,在我国还是首次发现,这是我国季风海洋型冰川地区一种特殊的类型。

如前所述,南峰山地在第四纪中至少发育过三次古冰川作用,这给南峰山地增添了不少特殊的侵蚀地貌和堆积地貌。一般来说,区内见到的古冰川遗迹,年代愈老,规模愈大,但保存的完整程度愈差。

这里有一种基碛丘陵地貌,发现于本区北部的波堆藏布等谷地内,其发育的完整典型,保存的良好实为罕见。在波堆藏布谷地内,几十公里长的古冰川 U 形谷底部,出现成片的基碛丘陵,处于末次冰期终碛垄(有三列)的内侧,明显地由下游向上游,从孤立的(坟堆状,高 3—5 米或 8—10 米)、密集的(三五成群,高 15—20 米)到连续的(连座成群,高 30—50 米不等)分布,其数量由少到多,个体也由小变大。鉴于波堆藏布的基碛丘陵只存在在末次冰期的完整终碛垄(在白玉村附近)以内,而且是在比较平缓的冰碛冰水平原谷地中出现,显然这是一种 消融冰碛堆积的地貌形态。在末次冰期时,冰川从念青唐古拉山流出,沿波堆藏布中上游谷地曾伸展到白玉村(海拔 3 000 米左右)附近,经过三次较长时间的停顿,形成高度不等,大小不一的三列弧形终碛垄。而后,气候急剧变暖,冰川后退,即进入冰碛丘陵形成时期,一般来说,冰碛丘阜的形成与冰川后退方式及冰川搬运(或挟带)物质的多寡直接有关,即当冰川进入山麓平原或宽广而平缓的河谷平原后,由于温度升高或冰川补给迅速减少,使整个冰舌或冰舌前段成为“死冰”,当冰川挟带岩屑或块石较多时,在冰川全面消亡过程中便产生差别消融,并形成起伏不平的丘陵地形。这种冰碛地形在冰川逐渐融化过程中不断倒置和改变位置,直至冰川全部融化,这样便在地面留下大片冰碛丘阜。在冰川下游末端,由于冰川变薄和消融解体愈烈,因此形成个体小而孤立的冰碛丘陵,愈向上游则逐渐增多加大。

本区冰川的发育,自季风环流形成起就受到海洋性气候的影响,从而发育海洋型冰川类型。随着雅鲁藏布江谷地水汽通道作用的发挥,海洋型冰川作用的规模向高原内部扩展,中更新世大冰期时,在藏北嘉黎县麦地卡一带高位盆地中,曾形成小型冰盖,留下了现代盆地中大片清晰保存的冰盖堆积遗迹景观<sup>①</sup>。可见,中更新时期,雅鲁藏布江下游谷地的通道作用就可达到高原内部麦地卡一带了,而到晚更新世冰期时,波堆藏布等谷地都曾被冰川所充填,山谷冰川长者可达百余公里(如古乡冰期时的波堆藏布冰川)。即使末次冰

① 郑本兴,青藏高原古冰盖的分布及其特征,1977 年 11 月。

期的冰川也长达 50 公里左右,在波堆藏布留下了完整而典型的基碛丘陵地貌。现在,沿雅鲁藏布江下游河谷通道深入高原的大量水汽仍被阻于通道方向上的念青唐古拉山南坡,遂导致了像卡钦冰川长达 35 公里的海洋型冰川的发育。

#### 四、南迦巴瓦峰的地形屏障作用和大峡弯的通道作用

在同一地区相同的内外营力作用下,耸峙的山地对气流的屏障作用,以及谷地地形对气流的通道作用,应该说是同时并存,相辅相成,具有辩证的关系。南峰的南侧濒临孟加拉湾的印度洋,自第三纪末高原开始形成,海陆轮廓定型,亚洲季风环流系统得到奠定,地形对环境的影响作用就显得非常突出,而且随着高原的隆升而愈来愈明显。青藏高原的隆升,喜马拉雅等一系列横向山系所造成的层层地形阻挡作用,导致了我国广大西北地区干旱和沙漠环境的形成和发展。南峰为首的东喜马拉雅山的地形起着屏障作用,导致喜马拉雅山南北坡自然环境和景观的巨大差异,但大峡弯近南北向河谷对气流的通道作用又和缓和缩小喜马拉雅山南北坡的巨大差异,并沿通道产生特殊优越的水热条件,从而导致生态环境的特殊变异。

显然,印度洋作为季风的源地,在整个季风环流形成后,就应该发挥其作用。但是,地形的屏障作用和通道作用发挥,有个发展的过程。换言之,以南峰为首的东喜马拉雅山和雅鲁藏布江下游大峡弯很早就存在,但尚未发展到一定的高度和深度规模以前,不可能起到其地形屏障作用和发挥通道的作用。本区地貌发育历史的研究,尤其是对冰期冰川作用的研究表明,到中更新世时,以南峰为首的东喜马拉雅山地上升到平均海拔接近 4 000 米左右,这时全球性冰期到来,大部分山体已能进入雪圈范围,从而南峰地区才发生了大规模的冰川作用。在这次上升以后,中更新世后期的大间冰期所导致的地形大切割,使大峡弯的下切所达到的深度和谷地宽度的规模才足以诱导西南季风沿谷地北上,伸入高原内部,从此南峰地区的自然环境就发生了划时代的巨大变化。

南峰所达到的巨大高度,屏障了西南季风的北上,于是在南坡形成大量的地形降雨,因此迎风坡上历来是冰川发育集中之地。相反,东喜马拉雅西北坡,尤其是雨影区,就显得比较干燥寒冷,南北坡自然环境的分异变得越来越大。

### 第五节 区域地貌的形成、演化 及其与自然环境的关系

分析南峰地区的地质地貌发育历史,表明它是一个古老而又年轻的地质地貌体。

说它古老,指的是以南峰为首的地质基底属前寒武纪,其后并经历过多次的构造运动;说它年轻,是指南峰地区所表现出的高山峡谷地貌,实际又是地质历史长河中的最新产物,而且至今当地地震活动强烈,地热露头众多,地质地貌作用活跃旺盛,地壳目前尚处于继续隆起过程中。

把南峰地区同喜马拉雅山系和青藏高原的地质历史进行对比后发现,东喜马拉雅山与西、中喜马拉雅山相比,在这里(东部)南亚、欧亚两大板块的结合较早。南峰地区是南亚板块伸入中国境内的最北部分,当地自前寒武纪以来,就可能一直是个隆起剥蚀区。鉴于

南峰地区普遍受到年轻的喜马拉雅运动的强烈影响,因此在分析该地地貌的成因和演化时,尤应加以详尽考虑。

晚白垩世,喜马拉雅运动第一幕开始,当时的雅鲁藏布江一带可能处于隆起状态。在雅鲁藏布江以南的喜马拉雅山脉一带,形成了几条近东西向的岛弧,其中有的是继承的,有的是新生的,显示出喜马拉雅山脉形成的先兆。随着时间的推移,隆起的岛弧不断扩大,洼陷的海盆不断缩小乃至消失。在雅鲁藏布江以北的冈底斯-波密褶皱带,有中性杂岩侵入(距今7 900万年)并伴有大量中性火山岩喷出。这时,南亚板块开始向欧亚板块俯冲、运移。

始新世—中渐新世时的喜马拉雅运动第二幕时,喜马拉雅山区全部升出海面,西藏特提斯带的构造运动强烈,并伴有二云母-黑云母花岗岩侵入(距今3 400—4 200万年),冈底斯-波密褶皱带进一步加强。晚白垩世喷出的火山岩在这一幕中发生褶皱和断裂,并伴有黑云母斑状花岗岩侵入(距今3 700万年)。欧亚板块与南亚板块开始直接碰撞、陆地拼合增生。以复理石地层为主的雅鲁藏布江带,在地形上常表现为低洼盆地,接受大量来自冈底斯带的破碎物质。

这时,青藏地区的自然环境反映在生物界上也有巨大的变化。如白垩世以前,西藏古陆上长满了由古蕨类植物和原始裸子植物(如古苏铁类等)组成的植物群;而白垩世以后,新生的被子植物群则占据了整个西藏古陆。这时随着古地中海的西撤,高原中部地区正处于古地中海的东缘,具有夏干冬雨的地中海型气候特点。该地为耐旱的以桉树为主的硬叶常绿阔叶林覆盖,在西藏阿里、川西以及雅鲁藏布江谷地都有桉属树种化石,并在雅鲁藏布江谷地北侧有一套蒸发岩为主的地层,这亦证实了当时那里为干旱环境。

中新世中期时的喜马拉雅运动第三幕,喜马拉雅运动达到了高潮,在特提斯南带形成断层和舒缓褶皱,沿基底剪切面形成大推覆体,并伴有许多白云母-电气石花岗岩侵入(距今1 000—2 000万年),这时自然环境又发生了巨大的变化。中新世以后,地层中不再含有蒸发岩,这表明干旱环境得到了改善,根据藏北伦坡拉盆地等出现了大面积的湖相沉积,表明当时复又出现比较湿润的环境,以致几条高原纵向谷地及其中湖泊群得到发展,植物开始出现代表较为湿润环境的由高山栎、铁杉等组成的山地植被类型。同时,由于古海洋的全部撤出西藏,完整的大陆块拼合形成,这就必然导致季风气候的形成并发挥作用,所以高原季风气候的出现大致是在中新世。也只有在这样的环境下,才能形成雅鲁藏布江谷地的雏形,并发挥其对气流的通道作用。随着高原的隆起,河流逐步溯源侵蚀,进而疏通谷地,联结湖泊,形成水系。

第三纪后期,由于高原隆起而使气候再度变干,这可由阿里地区等盆地湖相地层中的石膏夹层作为例证。

早更新世的喜马拉雅运动第四幕时期,喜马拉雅山南坡的磨拉石西瓦里克群褶皱,其北侧的边界大断裂形成,使古生界冈瓦纳群推覆于西瓦里克群之上。喜马拉雅山区(含南峰地区)开始作强烈的断块抬升,并使西藏南部成为世界上最年轻,最壮观和最高的造山活动带,造山活动至今仍在强烈继续进行着。

喜马拉雅山向南凸出作弧形,这是南亚板块碰撞形成的。高峰四周有一组倾向由北西经北东转向南东,倾角在 $70^{\circ}$ 以上的密集弧形破裂面,该组破裂面垂直方向上还有一组以南峰为中心的放射状张性破裂面,这两组破裂面控制着雅鲁藏布江大峡弯和大峡弯内一

系列作直角转折的小峡弯的发育,以及大峡弯水系以南峰为中心作放射状分布的格局,这都是流水追踪活动构造发育的结果。

进入第四纪,随着南峰为首的山地作间歇性的强烈断块隆升,并在第四纪全球性寒暖期气候交替出现的情况下,地貌外营力也数度转换。在南峰地区曾发生多次冰期和间冰期,冰雪作用和流水作用交替进行,留下了它们清晰的对地貌作用遗迹。对区内古冰川遗迹和成层地貌所作的分析结果表明:南峰断块山体在第三纪末形成后,早更新世时,海拔并不高,推测平均海拔约 3 000 米,还没有进入雪圈范围内,也没有构成明显的地形屏障,山地还未发育有冰川。

早更新世末,全区发生了一次强烈的抬升,到进入中更新世时,山地的主要部分已被抬升到雪圈的范围,随着全球性冰期气候的到来,山地发育了规模最大的冰川,这时为大冰期时期。冰川从南峰下来曾直达西坡山麓的雅鲁藏布江谷地,因而在目前相对高度 700—900 米的山坡上,留下了完整的冰碛平台和冰蚀三角面的遗迹。

中更新世末,出现间冰期气候,流水作用旺盛,山地同时再次强烈抬升,河流进一步深切,这时属地形大切割时期。当初以南峰为首的山系已构成南来季风的天然屏障,而地形的大切割也使雅鲁藏布江谷地成为南来气流的天然通道。南峰东南坡的墨脱地区处于通道的咽喉部位,这就成为了我国一个多雨的地区。雅鲁藏布江谷地的气流通道作用,导致了水热状况的重新分配,在藏东南形成了一个向北凸出的舌状多雨带,对藏东南雨季的起始时刻和降水带来举足轻重的影响。沿通道生物南来北往,东行西走的迁徙变异,在喜马拉雅山北坡的易贡、林芝、波密一带,出现“西藏江南”的自然景观;通道所在的墨脱一带,生物种类特别丰富,物种在此子遗残留或发生分化,这里成为高原上的“西双版纳”和植被类型的天然博物馆。

中更新世后,山地又抬升,致使晚更新世时当地还先后发育了两次冰期;全新世时出现了新冰期和小冰期,这些都留下了清晰的遗迹。不过它们的作用都只是在中更新世奠定了的地形基础上加以发挥的,而且规模一次比一次小。

时至今日,以南峰为中心作快速抬升的现代构造运动之强烈,是喜马拉雅山地以外的其它山地所无法比拟的。

1950 年察隅大地震就发生在这个地区。根据震源机制分析结果表明,当地的地壳上部受北东-南西向挤压,这和地面的地质构造是一致的。根据古地磁资料所描绘的印度板块从冈瓦纳大陆分裂出来以后在不同时期的漂移位置,并把印度板块各部分与现代位置的距离与时间关系作图时,发现自白垩纪以来南峰的位置已明显北移了 15 个纬度左右;也明显发现印度板块的东北部远比西北部的运动速度要快得多。印度板块至今仍以每年约 5 厘米的速度向北移动,因此东喜马拉雅及南峰依然在不断抬升是毋庸置疑的。若对板块的现在主边界断裂到印度河-雅鲁藏布江缝合线之间的距离作一估算,则南峰地区比珠穆朗玛峰地区的地壳缩短量至少要大 100 公里。重复水准测量资料证明,目前青藏高原东南部仍处于快速抬升过程中,年平均抬升量达 3.2—12.7 毫米,藏东南的佼佼者南迦巴瓦峰的抬升量当不止于此值。



## 第三章 第四纪地质

南峰地区,第四纪各时期的沉积主要分布于分水岭地区以及雅鲁藏布江和尼洋曲下游宽谷地段。本章就第四纪沉积物的类型、第四纪地层和环境变化等作一概述。

### 第一节 第四纪沉积物的成因类型 及其分布规律

本区范围内山高谷深,降水丰沛,冰川、泥石流和流水作用成为塑造这一地区地形的  
主要外动力;另外,由于山地强烈上升和河流急剧下切,以及频繁的地震作用等,不时发生  
大规模山崩和滑坡。这种复杂的地质地貌过程相应地形成了多种类型的第四纪沉积,其中  
以河流沉积、过水湖泊沉积、冰川和冰水沉积分布最广,厚度也最大。此外,泥石流和各种  
重力堆积的分布也十分普遍。

#### 一、河流和过水湖泊沉积

现代河流可分山地河流和山间盆地河流两类。山地河流具有陡的坡降和湍急的流速,  
较小支流的坡降通常达10%—20%,少数可达40%,常呈悬谷或瀑布形式汇入主谷。山地  
河流的河源多出自现代冰川,流量的日变化和年变化大,含沙量高。雅鲁藏布江和尼洋曲  
下游坡降较缓,河床宽浅,流速较小。由于上述两类河流水动力条件的不同,因此其沉积物  
的特性也有明显区别。一般来说,山地河流的沉积物是以巨砾为主,泥沙含量少,两者的体  
积比通常为7:1—13:1,砾石的砾径一般在10—30厘米以上,长径大于50厘米的巨砾  
屡见不鲜,多数砾石已经过磨损,具有一定的磨圆度和排列方向,长轴走向垂直主流线,但  
扁平面的倾向不明显。此外砾石间的充填物为灰白色砂及砂质土,缺乏河漫滩相的细粒沉  
积,如组成大渡卡及派区一带各级阶地的砾石层都具有这些特点。较小支流的堆积物则以  
巨砾为主,砾间充填细砾和砂,几乎无粘粒存在。

自米林以下至派区之间的雅鲁藏布江谷地,八一镇以下的尼洋曲下游谷地中的河流  
堆积物,其组构和粒度特征与上述河流沉积有显著差别,通常可粗略地分出河床相细砾堆  
积和河漫滩相的细粉砂和砂质土沉积,具二元结构的特征,但漫滩相沉积的厚度一般不足  
1米。

过水湖相沉积主要分布在雅鲁藏布江及尼洋曲下游的宽谷两岸,其中以林芝附近厚  
度最大,出露厚度可达百米左右。过水湖相的沉积特征为:①常为细砾、粗砂和亚粘土互  
层,局部夹粘土层;②粉砂和粗砂层常具水平层理和交错层理,局部见有纹层构造;③矿物  
成分与现代河流沉积物相似,稳定矿物和不稳定矿物同时存在,含大量云母,其中粘土矿

物以伊利石和水云母为主;④砂质土中偶见碎木块,但整个沉积物中缺乏孢粉和介形类化石,只有局部灰色淤泥中见到与附近植被相似的孢粉,如云杉(*Picea*)和栎(*Quercus*)等;⑤在地貌上,这类沉积均组成高度不同的阶地。这些特征说明,这类沉积是属过水湖性质的沉积,因为这类湖泊的水化学性质与河流一样,并具有一定的流动速度,同时沉积速率较快,因此沉积物中缺少一般湖相沉积中孢粉和介形类化石较丰富的特点。例如现代古乡湖和易贡错等,湖水位的季节变化大,pH值与入湖河水一致,因入湖水流速减慢,入湖泥沙迅速沉积,形成粒度较粗,层理清晰的湖相沉积。

## 二、冰川和冰水堆积物

念青唐古拉山东段和雅鲁藏布江大拐弯一带是我国现代冰川作用中心之一,冰川作用面积约7 536平方公里(中国科学院兰州冰川冻土研究所,1986)。第四纪冰期中,冰川作用的面积则更大,目前各支流上游的分水岭地区以及大拐弯峡谷中都可见到第四纪不同时期的冰川堆积。冰碛物分布的范围密切受地形和冰川规模的控制,全新世冰碛主要分布在现代冰川冰舌两侧和末端,其下限高度一般在3 100米以上,仍保持较完整的冰碛地形形态——侧碛和终碛,侧碛上端与现代冰川相连。更新世冰碛分布在全新世冰碛外围,其中末次冰期盛冰期的冰碛常常与全新世冰碛相连,具有较完整的侧碛和终碛形态,在谷地中则组成冰碛丘陵。例如帕隆藏布各支沟口的高大侧碛和终碛。更早时期的冰碛都已遭到破坏,仅在一些谷地的谷肩上部及部分分水岭地区见有零星分布,如波堆藏布两岸断续分布的高侧碛和帕隆藏布上游康沙及拉古附近山地上部的零星冰碛等。此外,南峰附近谷地深邃,有利于冰川进入较低位置,并形成大渡卡附近沿江分布的大片冰碛台地。

根据对本区全新世冰碛物的观察,冰川堆积物具有以下特点:①冰碛物的成分与冰川所在谷地基岩特别是与粒雪盆周围岩石成分相一致。若粒雪盆周围或各支冰川源头的岩石成分不同,这时在同一条冰川内不同部位的冰碛物成分就有显著区别。如阿扎冰川北支下游右岸侧碛主要为紫红色砂岩,次为花岗岩,而其上游段则以灰岩为主,反映出该冰川上游支冰川范围的变化,类似情况也见于拉古冰川。拉古冰川是一条复式山谷冰川,上游有多条出自不同岩石山地的支冰川,因此侧碛、中碛以及侧碛的不同地段其冰碛成分不同;②冰碛物的粒度组成与基岩性质密切相关。发育在石灰岩地区的冰川,由于灰岩较为软弱,一般来说,巨砾等粗大冰碛石较少,含有大量粉砂和粘粒,形成所谓的泥砾(如帕隆藏布上游屋鲁堆附近的冰碛)。而且冰碛中巨砾的棱角常被磨去,形成磨光面以及大量擦痕。然而发育在混合岩以及花岗岩等结晶岩、石英岩等山地中的冰川,其堆积物均以巨砾和漂砾为主,粘粒的含量甚少。如大渡卡附近以混合片麻岩为主的冰碛物,其中基质部分(粒径<30毫米)的粒度成分为:小于0.005毫米粒径的含量为6%—8%,砂的含量为50%左右。当然,冰碛物粒度的变化还与冰碛类型有一定关系,通常,侧碛和冰上融出碛中粘粒含量少于基碛;③冰碛物基质部分的矿物和化学成分与冰川作用区的岩石成分基本一致,其中不稳定矿物含量达50%左右,但由于母岩的原因,稳定矿物的含量有时也可很高。基质中的粘土矿物主要为伊利石及少量蛭石、绿泥石等半风化矿物,缺少高岭石。化学成分中 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{CaO}$ 的含量达70%左右,其中 $\text{SiO}_2$ 的含量为50%—60%,而 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量常较原岩少,这可能是与这类矿物在形成过程中易被冰融水带走的

缘故。至于冰碛中基质的化学成分与原岩基本一致的原因,显然是由于冰碛物在形成过程中未受到强烈化学风化的结果;④在混杂的冰川堆积物中往往可以看到呈透镜状分选良好的冰水相砂砾层,这是冰内河流的堆积;⑤同一冰碛石的不同擦面甚至同一擦面上可以看到由多次磨擦作用形成的擦痕,这些擦痕的方向和大小不一,形态也不相同,表明随冰川的运动,冰碛石不时地改变它在冰内的位置。

冰碛的上述特点是与冰川特有的运动、搬运物质的方式和形成过程有关。冰川的运动与流水的最大差别在于它无横向环流和对于某一冰晶体来说只具“层流”的特点,因而右岸的冰体就不可能与左岸冰体相混杂,由此产生冰川右岸的物质(冰碛)只能停积在右岸,这就产生同一时期冰川两侧冰碛成分可以不同的原因。其次,冰川搬运物质的能力与其运动速度无关,落入冰内的物质不论其大小均可被搬运到所在冰体到达的地方,这是因为冰川冰是具有一定塑性的固体,在其自身的压力和重力作用下向下运动,所夹带的冰碛物也随之下移,所以冰碛物的粒度总是大小杂乱的。另外,冰碛物的堆积不是由于冰川运动速度减慢或冰量减小所致,而是因为冰川融化的结果。换言之,当冰川基本停止向前运动时,冰川便逐渐融化消亡,这时冰中所夹带的大小岩块便不断融出并集聚堆积,加上原来冰面的融出碛一起形成了冰碛。所以冰碛物在其形成过程中不存在分选作用,故其大小必然杂乱。但是,在冰碛物的形成过程中由于受到分散的或集中成河道的冰融水的作用,冰融水夹带的砂砾可以有较好的分选和磨圆程度,这种有层理的冰水沉积往往呈不规则的透镜体夹于杂乱的冰碛之中,成为冰碛物特有的结构构造。

关于同一条冰川不同部位冰碛物成分分带的现象,早在研究珠穆朗玛峰北坡的绒布冰川时已被引起注意,指出来自不同岩石山地的支冰川,当汇入主冰川时,由于主支冰川冰体互不混杂,因此各冰川所夹带的成分不同的冰碛当冰川融化后仍保持原来的特点(中国珠穆朗玛峰登山科学考察队,1962;崔之久,1975)。

冰水沉积物。本区所见冰水沉积可分冰水砾石堆积和冰湖纹泥堆积两类。冰水砾石层分布在主支流上游,地貌上常组成地面平坦和前缘陡峭的气候阶地。冰川融水补给的河流其水文特征是流量的季节和日变化大,河水含沙量高,并呈乳白色或灰色。河水的这种颜色及其变化决定于冰川所在山地岩石的颜色,因为水中泥沙是由冰川碾磨基岩而成,未经化学风化,故保持原岩颜色。这些泥沙充填在河床堆积的粗大砾石间的缝隙中,形成冰水砾石层的基质较为细小的特点。冰水砾石层的组构特征是,砾石和巨砾虽有较好的磨圆度,但砾径大小悬殊,并以巨砾为主,混有漂砾,砾间充填的泥沙及其矿物成分与母岩相似,但重矿物和稳定矿物的比例增加。

冰川纹泥是冰川补给的湖泊沉积物,见于松宗以下5公里左右的帕隆藏布两岸,色浅灰至灰白,呈浅色细粉砂和色略深的亚粘土互层,前者单层厚1—2毫米,后者0.5—1毫米,具明显的纹层构造。

### 三、泥石流堆积

本区属季风海洋性气候,降水主要集中在夏季,这一时期也是冰川融化最强盛的时期,加上地表深受切割,地面坡度大和有大量松散物质,故泥石流作用十分频繁,特别是冰川泥石流最为常见,例如闻名的古乡泥石流和雅鲁藏布江大峡谷中的泥石流。因此泥石流

堆积在本区第四纪中占有一定地位。根据对古乡泥石流的观察,其堆积物的特点是:砾石大小虽然悬殊,但自沟口向泥石流扇外缘不仅砾径变小,而且分选程度也逐渐增高,多数砾石的偏平面向上游倾斜。根据对沟口不同距离内各 100 块砾石要素的测量,砾石长轴走向距沟口愈远愈分散,距沟口约 30 米处,长轴斜交和垂直沟谷方向者占 44%,距沟口约 100 米处约占 9%;砾石长径的变化为距沟口 100 米处 20—50 厘米者占 60%,距沟口 200 米处相同砾径的砾石占 30%(图 3.1)。

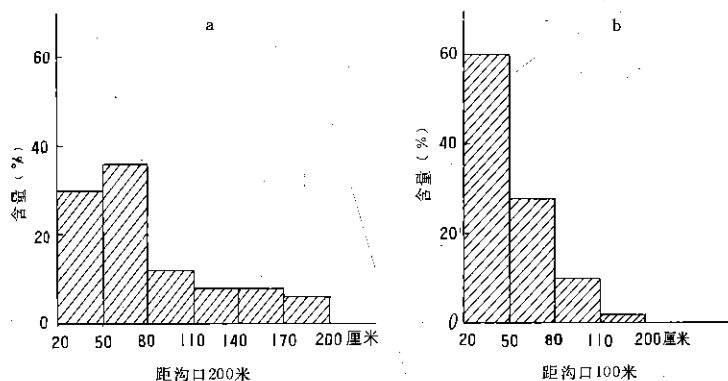


图 3.1 古乡泥石流堆积体中砾石长径的百分含量

冰川泥石流往往堵塞江河,形成湖泊。如 1950 年 8 月 15 日地震引发的加拉白垒泥石流,曾冲过雅鲁藏布江至对岸山坡,使雅鲁藏布江暂时受堵,形成过水湖;古乡泥石流曾数度暴发,堵塞帕隆藏布形成古乡湖;现代易贡错是 1900 年藏洛弄巴发生的特大冰川泥石流堰塞易贡曲而形成的;1985 年 6 月 13 日东久培龙沟 104 道班泥石流堵塞帕隆藏布,形成长约 8 公里的湖泊。

## 四、重力堆积

重力堆积可分两种类型,一为由寒冻风化作用产生的岩屑堆积,另一类由滑坡和山崩作用形成的块石堆积。

森林线以上的高山地区,寒冻风化作用十分强烈,地表基岩被风化破裂成大量岩块和岩屑,顺山坡滚落至缓坡或坡麓地带堆积起来,形成岩屑锥和石河。本区岩屑锥主要分布在 3800 米以上地带,下限可达 3500 米或更低。岩屑锥的稳定角与岩屑块石的大小有关,一般为  $30^{\circ}$ — $32^{\circ}$ 。碎石砾径自锥顶向锥底逐渐增大,锥底有时混有较大的岩块。岩屑锥堆积具粗分选,略成层的特征。

滑坡和崩塌堆积多见于雅鲁藏布江大峡谷两岸及通麦至东久一带的帕隆藏布下游地区。1950 年大地震造成的垮山和山崩物质曾堵塞雅鲁藏布江,形成急滩。崩塌和垮山堆积是一种快速堆积,为不分选的大小块石堆积体,可在部分岩块上形成粗糙的擦面及粗大擦痕。

除上述类型堆积物外,还有零星的泉华堆积和风成堆积。前者见于通麦一带,后者见

于米林以下雅鲁藏布江宽谷两岸。

## 第二节 第四纪地层的划分

西藏地区第四纪地层的划分与对比,已有初步研究(李炳元等,1983;林一璞等,1980),但南峰地区第四系的研究,则由本次登山科学考察队进行的。由于本区第四纪沉积物的组成物质是以粗碎屑沉积为主,缺乏化石和测年材料,因此系统建立第四纪地层层序和确定各层的年代目前尚有困难,下面所阐述的地层划分乃是初步的,有待今后进一步工作。

### 一、地层剖面概述

#### 1. 林芝县建筑公司砖瓦厂采泥场地层剖面

剖面(图 3.2)位于城南尼洋曲左岸,组成相对高度约 100 米的阶地,主要由砂质土和粉细砂组成,局部夹砾石层。其岩性为:

- (9)中细砂与粉砂互层,上部夹薄层细砾,灰色。厚 12 米
- (8)灰黄色粉细砂层,粉砂层具水平层理,细砂层中交错层理发育。  
厚 6.8 米
- (7)含砾砂层。厚 4.5 米
- (6)灰色中细砂层,具交错层理。厚 6.4 米
- (5)灰色砂质土,中夹一层厚约 1 米的灰黑色淤泥,含云杉、冷杉(*Abies*)、栎(*Quercus*)等木本及菊科(*Compositae*)、禾本科(*Gramineae*)等草本植物花粉。具水平层理,节理发育,节理走向为北东 50°及北西,近乎直立。厚 19.6 米
- (4)青灰、灰黄色砂质土,具薄层理,夹薄层铁质砂岩或铁盘。厚 12.8 米
- (3)灰黄至棕黄色中细砂层,砂的成分主要为  $\text{SiO}_2$ ,含量达 92%,具薄层理。  
厚 4.8 米
- (2)灰黄色粉砂层,具斜层理。厚 2.2 米
- (1)浅灰色亚粘土,具薄层理,中夹碎木块及古藤本植物化石,并产哺乳动物褐把(*Bibos*),测得木块的 $^{14}\text{C}$ 年代距今 36 000 年以上(林一璞,1980) 厚 >3.6 米

#### 2. 冈嘎大桥南头砖瓦窑采泥场剖面

剖面(图 3.3)位于桥南下游方向的一条支沟口,组成高出河面约 60 米的三级阶地,其岩性:

- (7)灰黄色砾石层,砾石成分以石英岩和混合岩为主,砾径 5—10 厘米,磨圆度甚好,由砂胶结,质松散。厚 >5 米
- (6)黄棕色古土壤。厚 0.1—0.4 米
- (5)灰黄色砾石层,成分同(7),磨圆度和分选性均好,砾径以 10—20 厘米为主,由砂胶结,质松散。厚 9.6 米
- (4)浅灰至灰黄色砂质土,质坚硬,节理发育。厚 6.4 米
- (3)灰黄色中细砂层,交错层理发育。厚 8 米

(2)灰色亚粘土,具水平层理。

厚 8 米

(1)灰黄色砾石层,顶部为中粗砂层,砾石成分同(7)。

厚>10 米

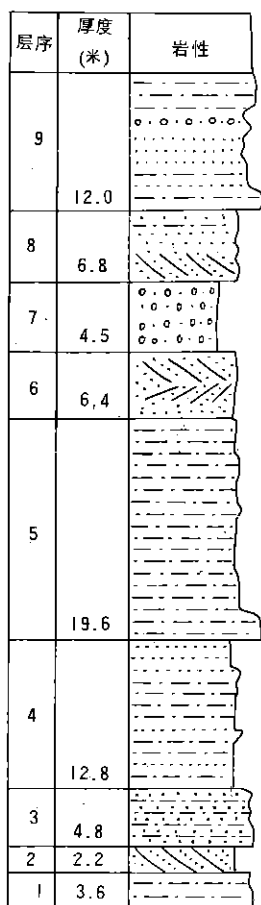


图 3.2 林芝县建筑公司砖瓦厂  
采泥场地层剖面(1974 年测)

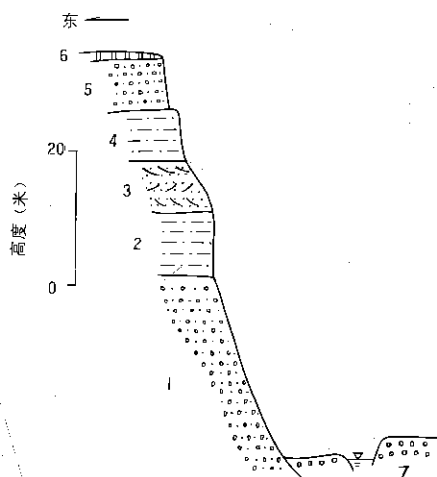


图 3.3 冈嘎大桥南头砖瓦窑剖面

类似特性的剖面还见于鲁霞村东公路边,为砾石层夹浅灰、灰白色亚粘土层,亚粘土中夹未炭化的小木块,厚度大于 18 米。

派区一带阶地发育,其中高出江面 120 米的四级阶地主要由棕黄色及灰白色砾石层组成,上部夹亚粘土层,砾石中偶见有长径大于 2—3 米的大漂砾。派区与大渡卡间的五级阶地上部由厚达 6—7 米的河湖相亚粘土组成,下部为砾石层。总之,冈嘎大桥以下至大渡卡间的雅鲁藏布江右岸阶地发育,各级阶地均由砂砾石层组成,中夹厚度不等的过水湖沉积的亚粘土或亚砂土。

帕隆藏布下游及易贡错沿岸的第四系是以冰川和冰水沉积为主,如古乡冰川峡谷中的古冰碛自上而下可分三层:第一层厚约 30 米,由各种砾径的砾石和巨砾组成,为无层理和无分选的混杂堆积,中夹枯树干,可能为 1953 年特大泥石流作用时形成。第二层厚 60—70 米,由细砾和碎石组成,偶见巨砾,呈灰黑色,有明显的层理,层面向下游倾斜,倾角  $10^{\circ}$ — $15^{\circ}$ ,为冰水沉积。第三层出露厚约 80 米,以粗砾和巨砾为主,砾间充填泥沙,呈灰黄色,无层理和无分选,为冰川堆积。

易贡错北岸早中一带广泛出露晚更新世冰碛,所见为褐色及棕黄色含砾粘土,粘土及粉土占 20%—30%,砂占 50%左右,砾石占 20%—30%,砾径大于 2 厘米,个别达数十立方米,该冰碛组成高度大于 30 米的阶地。早中东部的冰碛呈褐、灰褐和黄色,其中粘土及粉土占 10%—20%,砂占 45%—55%,砾石占 30%—40%,个别漂砾体积达 11 米×14 米×15 米,并已有一定风化。因此早中一带的冰碛形成时代较早,可能为中更新世。

秋得嘎一带的终碛为灰褐至灰黄色,主要由砾石和岩块组成,占70%左右,基质为砂。

在莎玛北侧陡壁上可见厚度大于100米的冰水砾石层,砾径一般为2—30厘米,个别达40—50厘米,磨圆较好,呈扁圆。

帕隆藏布上游康沙一带有第四纪中期以来各时期的冰碛出露(图3.4)。按高度不同,冰碛物由上而下可分四级,其间还有两级冰水或河流冲积阶地。

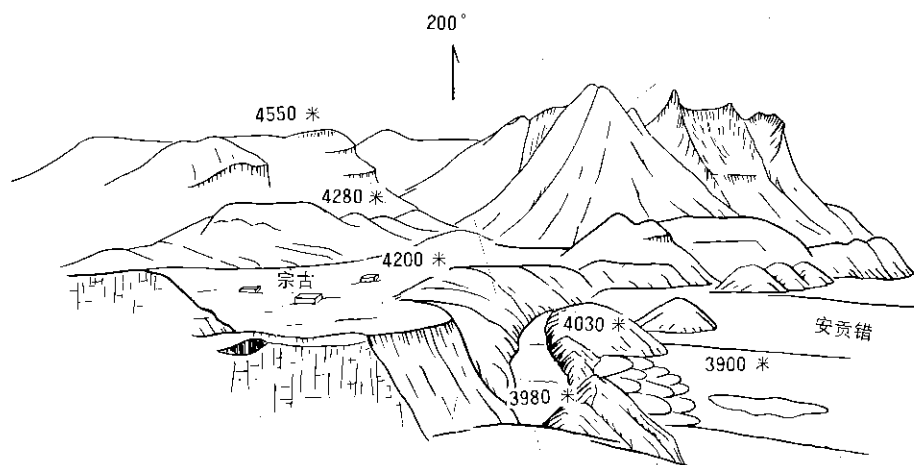


图3.4 康沙附近然乌错右岸冰碛地形素描图

高冰碛台地,海拔4550—4600米,高出湖面550—600米,冰碛物分布在由古生代灰岩和板岩组成的平缓山脊顶部,厚约20—30米,其成分主要有花岗岩、混合岩和紫红色砾岩,砾间充填着棕黄色砂质土,所见最大漂砾达22米×22.5米×20米。该平台由屋鲁堆向北延伸到然乌区南侧。在然乌区附近的然乌错右岸山坡上,成为高出湖约400米的冰碛阶地。

中冰碛平台,海拔4200—4280米,高出湖面300—380米,基底仍为灰岩,局部地区基岩突露地面,形成缓丘。冰碛物以各种砾径的漂砾为主,成分与高冰碛台地的冰碛相似,但紫红色砂岩明显减少,灰岩成分增多,显示出形成高、中冰碛台地时冰川作用的规模或冰川源地有所改变。

低冰碛台地,海拔4030—4100米,高出湖面150—200米,台地面宽约450米,上部为大漂砾,下部为冰水相砾石层。砾石成分有花岗岩、混合岩、紫红色砂砾岩、灰岩和火山岩等,由砂胶结,质地松散,厚0—20米。

冰碛小丘,见于康沙村西侧然乌错边,高2—5米,地表植被生长良好,由灰色冰川泥砾组成,风化甚浅。然乌区所在地的数个冰碛小丘的形成时代应早于康沙附近的小丘,因为两者的风化程度明显不同,后者风化较深。

高冰水阶地,海拔4010—4030米,高出湖面100—130米,组成起伏平缓的小丘。砾石成分以花岗岩、混合岩为主,次为砂岩、石英岩、灰岩和闪长岩等,偶见紫红色砾岩,磨圆度和分选均较好,砾径以5—10厘米者为多,由砂胶结,质松散。

低冰水阶地,高出湖面 60—80 米,地貌上呈缓丘,由磨圆甚佳的砾石组成,中夹湖相粉砂岩,已半固结,走向北东 30°,倾向东南,倾角 32°。地面有厚 10—40 厘米的棕黄色古土壤层,形成时代可能为晚更新世早期。

## 二、第四纪地层划分

### 1. 划分地层的主要依据

本区广泛出露的各种类型的第四纪沉积均以砂砾石堆积为主,缺乏化石,连孢粉等微古化石也很少见,加上剖面厚度小,沉积物不连续等,因而给确定地层的时代和划分与对比带来不少困难。本节主要依据地貌和古土壤方法及考古方法,就本区第四系的划分对比提出初步方案。

(1)地貌方法。雅鲁藏布江和尼洋曲下游的第四系往往组成高度不同的阶地,如冈嘎大桥与大渡卡间雅鲁藏布江右岸阶地可分五级,分别高出河面 10—15 米、20—30 米、40—60 米、80—120 米和 150 米左右。第三级以下阶地多数为堆积阶地,以上为基座或堆积阶地,各级阶地均由河床相砾石层夹过水湖相的粉砂岩和亚粘土组成;另外,第二级以上阶地均有厚度不等的古土壤发育。

冰川堆积组成的各种地貌形态有侧碛、终碛、冰碛丘陵及冰碛台地等。由于形成时代的不同,较早期的冰碛地貌形态往往破坏严重,冰碛物的风化也深,末次冰期以来的冰碛都组成形态较为完整的各种冰碛地貌形态,并与现代冰川有密切联系,冰碛物也较新鲜,很少风化。但一些大型山谷冰川由于冰舌位置低,即使全新世冰碛,其地面都已生长茂密的森林,也有一定风化。

第四纪以来,本区冰川作用规模有逐次缩小的趋势,因此不同时期冰川冰碛物的分布范围逐渐缩小,这就使早期冰碛有可能被保存下来,并可根据这一特点来区分冰碛物形成时代的先后,例如早期冰碛通常与现代冰川已无直接联系,甚至覆盖在海拔较低的分水岭上,而晚期冰碛都分布在现代冰川末端,并与现代冰川相连。

另外,还可根据冰碛物上覆地层来区分其形成时代的先后,如康沙真空弄巴麦巴村和拉古村一带的冰碛物上部都有厚度不等的黄土堆积;白玉和珠西沟等冰碛上部有古土壤发育,根据这些特点也可区分冰碛物形成的先后时间。

(2)古土壤方法。本区第二至第五级阶地面上都有厚度不等的棕黄色土壤层发育,有的直接出露地面,有的上部又发育了现代土壤,在帕隆藏布流域其分布高度最大可达 4 200 米。古土壤的化学成分和粘土矿物都接近红壤型土壤。粘土矿物以高岭石、伊利石和石英为主(王富葆,1984),与同高度现代土壤相比  $Al_2O_3$  和高岭石的含量都较高,因此现代土壤层下或地表出露的棕黄色古土壤层是全新世高温期或间冰期气候下的产物,故可作为划分地层的依据。

(3)考古方法。在林芝一级阶地上部砂质土中发现有新石器时期的文化遗迹(林一璞,1980),与此相似的现象也见于本区东部昌都澜沧江边一级阶地的卡若村,卡若遗址的 $^{14}C$ 年代为距今 3 700±95 年、4 230±80 年、5 270±300 年(中国社会科学院考古研究所实验室,1983),因此,一级阶地应形成于中全新世以前。此外,据 $^{14}C$ 年代,林芝县砖瓦厂剖面的形成时代应大于距今 36 000 年,同时据剖面中所夹木块尚未炭化的特点推测,其形成



时也不会早于晚更新世。

## 2. 关于更新世和全新世底界的年代问题

(1)更新世下限年代问题。第四纪下限是第四纪地质研究中的一个重要而未解决的问题,目前国际上较多的意见是将意大利南部卡拉布里亚(Calabria)地区的弗里卡(Vrica)剖面作为划分第三纪和第四纪界限的典型剖面,并将距今170万—180万年作为第四纪的下限。但在我国有趋势将黄土的底界(距今247万年)作为第四纪的开始(张宗祜,1983)。在西藏地区,根据亚汝雄拉南坡剖面的岩性、化石和古地磁极性世,第四纪底界的年代亦为距今247万年(王富葆,1985)。沙克尔顿(Shackleton et al.,1984)等人在研究了北大西洋深海沉积的氧同位素后也指出,冰川作用的开始时间为距今240万年。因此将松山负极性世的底界距今247万年作为第四纪的下限看来是可以的。

(2)全新世与更新世分界的时代问题。一般是按照气候变暖、冰川消融后退和海面上升为标志来划分全新世和更新世的界限,考虑到不同纬度和高度的地区气候变暖时间的不一致,因此,国际上通常将距今 $10\,000\pm 300$ 年作为全新世底界。从青藏高原南部的气候变化和沉积物类型的变化等分析,这一年代作为本区全新世底界是合适的,因为从那时起气候明显好转,在念青唐古拉山南麓开始发育泥炭堆积,如当雄乌马塘泥炭便开始形成于距今 $9\,970\pm 135$ 年,附近的乌达泥炭剖面中,距今 $9\,075\pm 120$ 年时已出现少量栎属和木犀科(Oleaceae)喜温的木本植物(汪佩芳,1981)。羊八井一带自距今8100年前起气候已进入温暖和湿润时期(王富葆,1985)。南峰地区虽缺乏这方面的材料,但当雄等念青唐古拉山南麓泥炭地层所反映的气候是具有区域意义的。因此,距今10000年可以作为本区全新世的下限。

## 3. 第四纪地层划分

根据上述划分地层的依据和第四纪下限年代,试将本区第四系作如下划分:

(1)中更新统。雅鲁藏布江及尼洋曲下游四级及五级阶地砾石层、大峡谷中打林村上方大渡卡附近的老冰碛、波堆藏布沿岸的高侧碛以及康沙附近高、中冰碛台地的冰碛都属于中更新统。组成阶地的砾石主要为冲积相,局部夹过水湖相沉积,在派区附近可能混有冰川和泥石流堆积。这一时期的堆积物均未固结,质松散,且未经明显的构造变动,厚度一般为20—50米。它与西藏南部广泛出露的下更新统贡巴砾岩有显著区别。贡巴砾岩系湖滨相至冲积相沉积,已半成岩,并受到构造变动,地层倾角通常在 $10^\circ$ 左右,断裂发育,厚度达200—400米(李炳元等,1983)。

大渡卡附近雅鲁藏布江沿岸的老冰碛的分布高度低于四级阶地,其形成时代应晚于该阶地,但冰碛物上部已有厚0.5—1.0米的棕黄色古土壤或风化壳发育,冰碛物本身也有一定风化,故其时代应早于晚更新世,为中更新世后期产物。

(2)上更新统。雅鲁藏布江及尼洋曲下游第二及第三级阶地的冲积相砾石层,以及分布于现代冰川前端谷地中的形态较为完整的侧碛、终碛和冰碛丘陵均属上更新统。前者如冈嘎大桥南头和鲁霞附近及八一一带的尼洋曲左岸第二和第三级阶地沉积。后者有雅鲁藏布江大渡卡以下至龙悲之间南峰西坡和加拉白垒峰南坡的冰碛,波堆藏布上游的冰碛丘陵以及白玉等支沟口的高大终碛和侧碛。第三级阶地和冰碛物上部普遍有厚度不等的

古土壤发育,同时冰碛物表面往往附着大量的白色次生碳酸盐沉积。白玉终碛上部古土壤中 $\text{SiO}_2$ 的含量为35.76%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量达19.59%。其中 $\text{SiO}_2$ 含量较现代冰碛少15%左右,而 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量高5%—7%。 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 的比率为1.96(王富葆,1984)。可见该冰碛已经过间冰段或全新世高温期气候的风化和破坏。

南峰西麓这一时期的冰碛厚达100—200米,自大渡卡沿江向下至龙悲,组成顶高3150米的冰碛台地和终碛,地面已有厚0.5米左右的古土壤发育,测得冰碛中无机碳的年代为 $11\,265 \pm 330$ 年(见本书第四章),这一时期相当北欧的新仙女冰期,因此该冰碛可能系冰后期冰川的一次前进所形成。但已有经验表明,同一层位中次生无机碳的 $^{14}\text{C}$ 年代通常较实际年代为新,因此该冰碛仍可能是末次冰期中盛冰期的产物。

(3)全新统。组成一级阶地的砾石层及砂质土属全新统。如林芝的一级阶地,大约形成于全新世中期,因在阶地上部曾采集到石器、陶片和牛类、野马等古文化及古脊椎动物化石。

属于全新统的冰碛层分布十分广泛,各现代冰川前缘及冰舌两侧形态完整的侧碛和终碛大多形成于全新世。根据阿扎冰川、若果冰川和拉古冰川侧碛中埋藏木头的 $^{14}\text{C}$ 年代,全新世冰碛主要形成于距今3000年、1900—1500年和1100年及17世纪以来的新冰期和小冰期。

### 第三节 第四纪环境变迁中的若干问题

第四纪以来,频繁的气候变化和强烈的构造运动,导致本区自然环境发生了巨大而又复杂的变化,加上本区因海拔高度大而引起的冰川和植被对气候变化较平原区更加敏感,因此冰川作用的规模和森林线高度都发生了大幅度变化。现就全新世气候波动及第四纪冰川作用的性质作一些讨论。

#### (一)全新世气候波动

##### 1. 全新世冰川波动

全新世以来,本区气候曾经过多次冷暖和干湿的波动,已有资料表明,仅新冰期以来至少经过4—5次明显的变化,致使冰川发生相应进退。

南峰及附近地区各现代冰川末端和冰舌两侧通常有三至四道终碛和侧碛,其中侧碛的相对高度由下游向上游逐渐减小至消失。由于许多大型山谷冰川的冰舌均伸入森林,因此侧碛中往往埋藏较多的树木,这为 $^{14}\text{C}$ 测年提供了可靠的材料;另外,不同时代侧碛的风化程度不同,地面土层的厚度和植物生长的情况也有差别,这也给了解冰川前进时代提供了依据。

本区东部冰川自新冰期以来的较大进退有四次,第一次前进发生在距今 $2\,980 \pm 150$ 年(表3.1)(李吉均等,1986),这在阿扎冰川冰舌两侧和前端形成高大的侧碛,侧碛的高度由200米左右向上游逐渐减小,至穷宗降低为80—100米。可见,距今3000年左右的冰进,使阿扎冰川冰舌的厚度增大100—200米,但冰川长度增加不多。

阿扎冰川第二次前进发生在距今 $1\,820 \pm 100$ 年左右,在穷宗附近形成高60米的侧

碛。以后,在公元1813—1852年,1884—1908年和本世纪50年代前还有一系列小的波动(王富葆,1984)。

位于阿扎冰川东侧的拉古冰川,源头与阿扎冰川相连,全新世以来也经过多次波动,其中距今 $1\,150\pm 80$ 年的前进,在冰舌两侧留下了一道高40米的新鲜侧碛,拉古湖便是这次冰川前进堵塞拉古河而形成。在这次前进之前拉古冰川还曾发生过两次前进,形成洪马曲沟口两道已被上述侧碛切断的侧碛。此外,本世纪40—50年代还有一次小的前进,形成仅见于冰舌末端的一系列低矮侧碛,自此以来,冰川开始后退,1 000年来,冰舌末端的厚度减薄了40—50米。

易贡藏布上游的若果冰川两侧也有高大侧碛发育。侧碛上已生长着茂密的森林,侧碛中埋藏树木的 $^{14}\text{C}$ 年代为距今 $1\,540\pm 80$ 年和 $1\,920\pm 110$ 年(李吉均等,1986)。

南峰附近现代冰川末端通常有1—2列全新世侧碛和终碛。加拉白垒峰附近的一些悬冰川或小型山谷冰川仅见近期冰进形成的冰碛。南峰西坡的则隆弄冰川在距今390—290年间曾发生过一次大规模冰进,形成高大的侧碛和终碛。

综上所述,可知新冰期以来本区冰川曾发生四次规模较大的冰进,分别出现在距今 $2980\pm 150$ 年, $1\,920\pm 110$ — $1\,540\pm 85$ 年, $1\,150\pm 80$ 年和17世纪以来。根据侧碛的形态和规模,可知冰川波动具有以下特点:

(1)新冰期以来冰川作用的规模逐次缩小,早期的冰进使一些大型山谷冰川的冰舌增厚100—200米,冰川长度增加2—3公里;小冰期以来的冰进主要表现为冰舌段冰体厚度的增加,除少数冰床坡降大的冰川外,多数冰川的长度没有明显变化。冰川作用规模的逐次缩小可能与青藏高原高度的不断增大而引起的降水量减少有关。

(2)根据冰川作用的遗迹,可知某些冰川自新冰期来就存在跃动的特点,如则隆弄冰川,17世纪时的冰进规模远远大于其他冰川,这可能是与该冰川在小冰期中一次大规模跃动有关。

(3)小冰期以来气候变化的周期有缩短的趋势。如上述阿扎冰川穷宗附近侧碛形成的年代显示出这一特点。

(4)多数现代冰川处于退缩中,显示气候有变暖变干的趋势。

(5)新冰期温度降低值估算,利用雪线(冰斗)降低值来估算冰期温度的降低值是行之有效的方法之一。本区新冰期冰斗的高度常为海拔4 400—4 500米,与同坡向现代雪线的高差约300米。例如然乌区附近阴坡冰斗高约4 450米,冰斗底及冰斗口均有十分新鲜的冰碛,目前森林线的上限已接新冰碛。此处雪线高4 700—4 800米,冰斗与现代雪线的高差为250—350米。南峰地区新冰期冰斗与现代雪线的高差200—300米。如果以每升高100米温度降低 $0.6^{\circ}\text{C}$ 计算,新冰期时温度降低值约 $1.5$ — $2.1^{\circ}\text{C}$ 。至于小冰期时的温度降低值,据吴祥定等的研究,认为17世纪中叶的年平均气温一般比平均值低 $0.5^{\circ}\text{C}$ 以下。并认为18世纪初,19世纪前半叶和70—90年代以及本世纪40年代前相对较暖(宋海远等,1985),这与我们根据阿扎冰川侧碛研究所得结果不完全一致。

## 2. 新冰期前的气候波动

有关新冰期前至距今10 000年间的气候波动目前尚缺乏材料来论证,不过根据西藏南部泥炭发育的情况以及所含孢粉,可以认为全新世气候开始明显好转的时间为距今

9 970±135 年,而距今 8 175±200—3 050±200 年间为西藏气候的最宜期(王富葆, 1985)。例如,当雄乌马塘一带坡麓,在距今 9 970—9 075 年已普遍出现泥炭堆积,莎草科植物生长茂密,并出现了栎属和木犀科等木本花粉(汪佩芳,1981)。距今 8 200—3 000 年间,当雄至羊八井一带的念青唐古拉山南坡谷地堆积了厚达 3 米左右的泥炭,局部地区可达 5 米左右。特别是距今 5 000 年前,这里可能生长有栎、桦(*Betula*)和冷杉(*Abies*),如乌马塘泥炭下部 120 厘米处便有少量冷杉残体出现,<sup>14</sup>C 测年为距今 5 335±135 年(宋海远等,1985)。另外,羊八井北侧念青唐古拉山南坡某些现代冰川与其所在谷地的形态极不相称,宽阔的冰川围谷中发育着小小的冰斗冰川或冰斗谷冰川,这种迹象表明在全新世高温期中一些规模较小的冰川可能已消失,目前的冰川是新冰期产物。

### 3. 新冰期以来森林线高度的变化

森林生长的上限高度随着温度冷暖的变化而变化,目前西藏东南部森林线的高度为 3 800—4 100 米,局部地区可达 4 300 米,与这一地区现代雪线间的高差为 500—800 米(表 3.2),与新冰期冰斗间的高差为 150—500 米,部分地区仅百米左右,如然乌错口的阴坡仅 300 米左右。由此可见,现代森林上限较新冰期时升高了 150—200 米,也就是说新冰期以来温度上升 0.9—1.2℃。这一温度升高值与用冰斗与雪线高差计算出的新冰期降温值偏大 0.6—0.9℃。引起这种偏差的原因可能是由于对雪线和新冰期冰斗高度估算上的出入所引起,因此,有关新冰期温度降低值等问题尚待今后进一步研究。

表 3.1 南峰及附近地区新冰期以来冰川前进的<sup>14</sup>C 年代

冰川名称	地 层	测年材料	年代(B. P.)	资料来源
阿扎冰川	相对高 160 米的侧碛	木头	2 980±150	李吉均,1986
阿扎冰川	相对高 80 米的侧碛	木头	1 820±100	王富葆,1985
拉古冰川	相对高 40 米的侧碛	木头	1 150±80	王富葆,1985
若果冰川	冰川左岸海拔 3 950 米处侧碛	木头	1 920±110	李吉均,1986
若果冰川	冰川左岸海拔 3 900 米处侧碛	木头	1 540±85	李吉均,1986
则隆弄冰川	相对高 80 米的侧碛	木头	390±80	张文敬[本书]
则隆弄冰川	相对高 80 米的侧碛	木头	290±90	张文敬[本书]

表 3.2 南峰地区现代森林线、雪线和新冰期冰斗高度对比表

地点	森林线高度(米)	雪线高度(米)	新冰期冰斗高度(米)
然乌错	4 300	4 600—4 800	4 450—4 550
松宗	4 200	4 600—4 700	4 500—4 600
白玉	4 100	4 600	4 300(阴坡)
扎木	4 200	4 600	
古乡	4 200	4 600	4 400

全新世气候波动还造成一定高度上不同生境的树木混生的现象。如多雄拉南坡,在云杉和冷杉林中常常混生少量喜暖的落叶阔叶树;同样,在落叶阔叶林中也可看到少量喜凉湿的云杉和冷杉等树木,至于林下草本的混生更是常见。造成这一现象的原因是,当气候

转暖时,树线随之升高,各植物群落的生长高度也向上迁移,在树木的迁移过程中,少数树木留在原地,并逐渐适应新的环境而生存下来。当气候变冷时也会产生类似情况,这样便造成在某一植物群落中混杂有非本群落的分子。

## (二)更新世冰期与冰川作用性质

更新世环境的变化较全新世更为复杂和剧烈,如大幅度气候波动所导致的冰川、冻土和植物群落的大规模消长和迁移,山地的气候效应随着地面的不断升高而改变等。下面就有关冰期划分和冰川作用性质等问题作一概述。

### 1. 更新世冰川作用遗迹概述

南峰及雅鲁藏布江下游的第四纪冰川作用遗迹大多已遭到破坏,保存较好的冰碛物仅见于大渡卡与龙悲间海拔 2 800 米处,为晚冰期时南峰西坡则隆弄冰川的产物。其次,在派区附近海拔 3 000 米以上高处也有这一时期的冰碛分布。本区外围,特别是帕隆藏布及其支流上游地区,第四纪冰川遗迹则到处可见。

有关帕隆藏布流域的第四纪冰川作用已有报道(杨逸畴,1983;王富葆,1984)。应该指出,仅仅利用冰川作用遗迹来划分冰期是有一定问题的。首先,目前所见到的古冰川侧碛、终碛和 U 形谷等不能代表第四纪来冰川作用的全部遗迹,因为早期冰川作用的遗迹往往被后期冰川及流水作用所破坏,特别是侵蚀形态极难保留;其次,目前还缺少手段来测定冰川堆积物的年代, $^{14}\text{C}$  法测年又受到材料和时限的限制,因此,目前划分冰期只能根据地貌和沉积的方法,所确定的时间是相对的。

波堆藏布的第四纪冰期可分三次,各次冰期的遗迹保存较完整。倾多附近高出谷底 200 米并延伸至谷口的高侧碛是最早一次冰期的产物。白玉村附近的两道终碛和相应的侧碛以及白玉以上谷地中的冰碛丘是另一冰期的产物。在这次冰期中,珠西沟、白玉曲和亚龙藏布的冰川均曾伸到谷口,形成高大的侧碛和终碛,其中亚龙藏布沟口这一时期的侧碛又可分 3 列,显示这次冰川作用至少经过 3 次大的波动。上述冰碛形成之后,气候一度变暖,形成白玉曲和珠西沟沟口终碛上部的棕红色古土壤层。另外,许木附近组成冰碛丘的花岗岩砾石在这次间冰期中已遭到强烈风化。育仁附近的冰川终碛是最近一次冰期的产物。该终碛距现代冰川约 10 公里,海拔 3 090 米,而距现代冰川约 1 公里的高大终碛可能是全新世新冰期的产物。

除冰碛以外,波堆藏布谷地中还有三级阶地和两级洪积扇,阶地分别高出河流 3—5 米、15—30 米、60—70 米。其中一级阶地可能形成于全新世,二级和三级阶地相应形成于最近两次冰期。

波密以上至然乌错之间的帕隆藏布沿岸,各较小支沟口几乎都分布着高大的侧碛和终碛,如 87 道班沟口所见。此处有 4 列高大的侧碛和终碛,其中最外一道已略遭破坏,最里一道形态完整。冰碛形成之后,帕隆藏布还发育两级阶地(图 3.5)。

来古河上游的第四纪冰川作用可分四次冰期(图 3.6)。

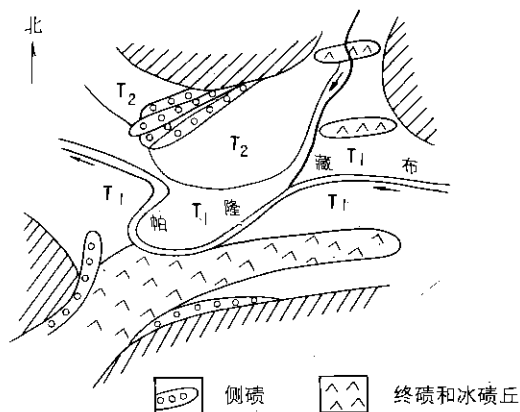


图 3.5 波密—然乌错间 87 道班附近第四纪冰川作用略图

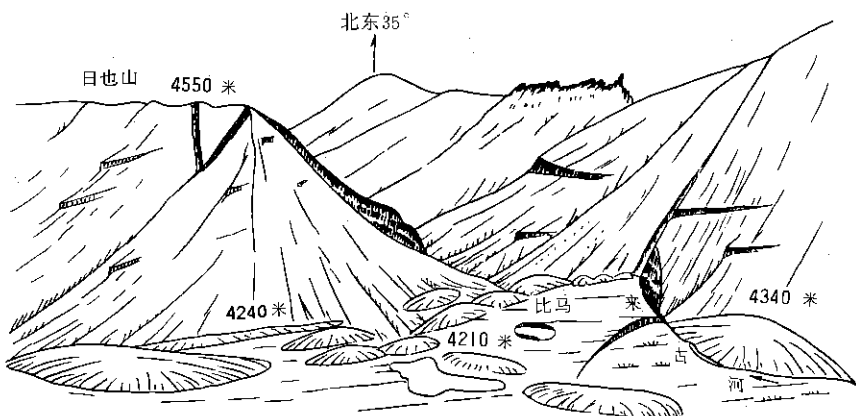


图 3.6 来古河上游日也山附近第四纪冰川作用素描图

### I. 日也山冰蚀地形

这是本区所见最早一次冰川作用遗迹,来古与比马之间的日也山(海拔 4 550—4 600 米)被冰川侵蚀成略有起伏的小丘,在古生代砂岩、板岩和灰岩组成的缓丘间有许多由冰川挖掘形成的小湖和洼地,地面则散落着零星的花岗岩砾石和漂砾,有时还能见到冰溜面及冰川擦痕。因此在这次冰期中日也山曾全被冰川覆盖,形成面积大于 500 平方公里的冰帽或小冰盖。

### II. 来古河主谷冰川

第一冰期以后,河流下切,形成现在的来古河。第二次冰期冰川沿来古河发育,当时整个河谷被冰川充填,形成巨大的复式山谷冰川,在康沙附近与主谷冰川相汇合,末端抵达

目前的然乌错以下,长达 60 余公里。冰川所经之处留下大量的冰蚀和冰碛地形,如来古小学附近的羊背石、冰碛丘以及然乌运输站附近高 300 米的冰碛阶地等。

### Ⅲ. 第三次冰期的冰川作用

本次冰期的冰川作用仍沿来古河发育,形成来古河右岸的低冰碛阶地,以及来古村上方来古河右岸的羊背石群。这次冰川作用的规模较小,但末端仍抵达然乌附近,形成长约 50 公里左右的复式山谷冰川。

### Ⅳ. 第四冰期的冰川作用

本次冰期即最近一次冰期的冰川作用,规模大大缩小,主流上游冰川仅抵比马附近,形成冰碛丘、冰碛湖以及众多的羊背石,冰川长度仅较现代冰川长 10 余公里。支沟中的冰川仅达沟口,未进入主谷,故为小型复式山谷冰川。这次冰川作用曾发生过二至三次波动,形成相应的二至三道侧碛,如查曲冰川和阿扎冰川北支末端所见。

## 2. 第四纪冰川作用的性质

据上述材料,本区自中更新世以来曾经过 4 次冰川作用,但冰川作用的规模逐次缩小。

第一次冰川作用时,来古河上游的广大地区曾全部被冰川覆盖,形成日也山冰川侵蚀缓丘和康沙东侧的高中碛,冰川面积达 500 平方公里左右,为冰帽冰川或为小冰盖。

第二次冰川作用为巨大的复式山谷冰川,如帕隆藏布上游冰川末端抵达然乌错以下约 3 700 米高处,冰川长达 60 余公里,不过整个帕隆藏布并未全被冰川充填形成统一的大冰川。雅鲁藏布江大峡谷中这一次冰川作用的规模也十分大,目前在高谷肩上还保留有当时冰川作用留下的冰碛。

第三次冰川作用仍为复式山谷冰川,帕隆藏布上游和来古河的冰川已经分离,波堆藏布上游的冰川仅达白玉附近,亚龙藏布的冰川未进入波堆藏布主谷,因此冰川规模已较上次冰期大大缩小。

第四次冰川作用为山谷冰川或复式山谷冰川,当时冰川的长度仅较现代冰川大 1—10 公里,如帕隆藏布上游的来古冰川仅抵康沙附近,波堆藏布上游的则普冰川抵育仁附近,因此冰川的规模已较第二和第三冰期大为缩小。

## 第四节 新构造运动

南峰就像一颗巨大的“钉子”一样插在喜马拉雅山的东端,这颗“钉子”不仅促使此处喜马拉雅山和雅鲁藏布江拐弯,而且使其周围岩石的变质程度也围绕“钉子”发生变化,即愈接近南峰变质愈深。可见这颗“钉子”早在中生代开始已经起到“地结”的作用,长期来这里都为应力最集中的地方,晚第三纪来的构造运动特征也说明了这一点。另外,种种迹象表明,以雅鲁藏布江为界的印度板块和欧亚板块间的相撞俯冲作用早在新世开始已减弱到从地表地质现象中难以观察到的程度。例如,位于缝合带西段面积达 7 000 平方公里的扎达盆地中的上新统和下更新统河湖相沉积,除盆地边缘部分地区受到较明显的构造

变动以外,基本上保持原始产状,扎达县城至香孜一带厚逾 800 米的上新统均为水平产出。类似现象也见于喜马拉雅山北坡的一系列上新世盆地,如吉隆盆地和达涕盆地等。本区新构造运动的性质实际上也反映出这一点,是以复杂的扭性和张性断裂、水平挤压并伴随差异性升降运动为主。

### (一)活动断层

本区断裂构造十分发育,其中以北东和北西西两组压扭性断裂和北北西及近南北向两组张性断裂为主(图 3.7)。

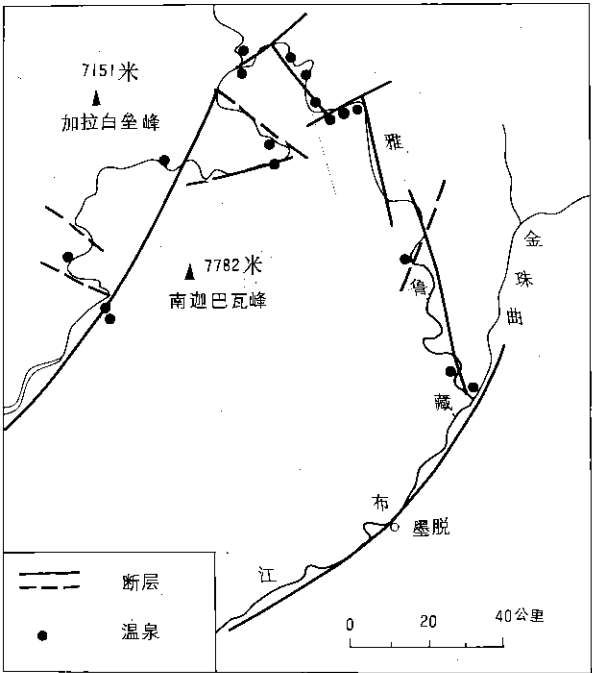


图 3.7 南迦巴瓦峰地区构造略图(据《西藏地貌》1983,《西藏地热》1981 资料绘制)

#### 1. 北东向断裂系

雅鲁藏布江派区以下至帕隆藏布汇口处,以及金珠曲汇口以下的雅鲁藏布江主流,均沿着这一组断裂发育,这是本区最主要的一组断裂,它控制着雅鲁藏布江的主要流向和大拐弯“中央地块”的上升。从水系形式看,该断裂应属右旋压剪性断裂。

#### 2. 北北西和北西西向断裂系

这是一组近期活动十分强烈的断裂构造,其中以北北西向断裂最为发育,雅鲁藏布江大峡谷的南拐主要受这一组断裂控制。本区广泛出露的温泉和频繁的地震作用都与这组断层的近期活动有关,特别是北北西(或北西)向和北东向断裂交汇处几乎都有高温温泉出露。大拐弯东北端是南峰地区应力最集中的地区,断裂最为发育;温泉集中,地震和现代地质地貌过程十分强烈,致使通麦以下的帕隆藏布下游和雅鲁藏布江峡谷地段的山崩、泥



石流作用频频发生。

北北西和北西西向断裂还控制着本区水系发育和水系形式。易贡藏布和帕隆藏布是沿北北西向断裂发育,该断裂西起八盖,经易贡、扎木、松宗、然乌向东南至德姆拉,断裂带中的易贡—通麦—索通一带还有强烈的水热活动,通麦长青还出现了蒸汽显示(佟伟等,1981)。另外,现代易贡藏布与帕隆藏布的平直河形也是该断裂控制的结果。但是帕隆藏布流至通麦附近呈“S”形锐角拐弯,这是由于受到北西、北北西和北东向断裂的影响,并使帕隆藏布呈反向汇入雅鲁藏布江。

除了上述断裂系统以外,尚有近南北向及北北东向和东西向等张性断裂发育,这些断裂近期也有活动,表现为现代河流的发育及其河谷形态往往与这些断裂的方向一致。

以上断裂主要形成于新生代早期,是印度和欧亚板块的相互碰撞所形成的统一构造应力场的反映。北东向和北西西向断裂是近南北向主压应力的产物,北北西、北北东及近南北向断裂则是平行或斜交主压应力方向的横向张裂或张扭性断裂。这些断裂形成后经过多期活动,形成目前本区常见的谷中谷的地貌结构,特别是大峡谷中这种现象十分常见,如相对高达600米的谷肩及三级高度相差甚大的阶地(杨逸畴,1982)。

## (二) 差异性升降运动

现今的“世界屋脊”主要形成于第四纪以来地壳的整体抬升,同样本区地貌结构的叠置现象,如现代河谷刻入U形谷底达300—600米以及多级谷中谷现象也说明地壳在不断上升,而同时雅鲁藏布江及尼洋曲下游又有许多近期处于相对下沉的宽谷,谷中堆积着厚度很大的砾石层,因此就整个地区来说存在差异性升降作用,不过这种差异升降和掀升运动是整个高原上升过程中的次一级构造运动。

### 1. 垂直升降运动

南峰和加拉白垒峰是青藏高原强烈隆起中更为强烈的上升中心。以南峰为中心的上升区具有显著的断块上升性质,断块的南北两侧都受到断裂的控制,北侧为通过派区至扎曲的大断裂,东侧为通过加热萨的一系列北北西向和近南北向的张断裂,南侧是墨脱大断裂,西南侧与喜马拉雅山主脊线相连,但通过多雄拉的近南北方向仍然可能有断层发育。

由于“中央地块”和加拉白垒峰的强烈上升,就使这一地区河谷深邃,跌水和瀑布随处可见,山崩和泥石流作用强烈。

大渡卡以上的雅鲁藏布谷地和尼洋曲下游谷地则是另一番景色,这里河床宽,并沉积了厚度很大的砂砾石层,两岸还出露厚逾百米的第四系,这说明该处河谷处于相对下沉之中,不过下沉的中心有所迁移。

### 2. 掀升运动

喜马拉雅山的掀升运动早已引起人们的注意(杨理华,1974),主要表现为山地上升量明显大于北坡谷地。

喜马拉雅山主脉的上升量大于雅鲁藏布江谷地的现象,主要表现在雅鲁藏布江河谷形态的不对称及两岸出露的第四系厚度不一样。雅鲁藏布江下游的现代河床紧靠北岸(左

岸)山地,南岸山麓有宽广的阶地发育,而北岸则不明显或无阶地。南岸阶地一般可分为4—5级,高阶地高出现代河面达150米,并为基座阶地。尼洋曲的河谷形态与雅鲁藏布江相反,北岸阶地发育,河床则紧靠南岸,北岸还出露厚150米左右的河湖相沉积。

由上可见,喜马拉雅山脉相对于雅鲁藏布江谷地和念青唐古拉山相对于尼洋曲谷地都具有掀升性质,并根据阶地的高度和现代河床沉积物的厚度,自第四纪中期以来山地的掀上量至少在200米以上。而处于雅鲁藏布江和尼洋曲之间的郭喀拉日居山的上升具有断块性质,不过其上升量相对喜马拉雅山和念青唐古拉山要小得多。

上述现代构造运动中的垂直和掀升运动的存在,表明产生高原强烈上升的动力是复杂的,用单一的南北向挤压是不能圆满地解释这些现象的,也就是说,在高原上升中还必须考虑来自地幔深处的垂直上升运动所产生的力。

## 第四章 现代冰川\*

### 第一节 概况

海拔 7 782 米的南迦巴瓦峰,从西坡到南坡,山体相对垂直高差多达 5 000—7 000 多米,为国内任何 7 000 米以上山峰所不及。由于其地理纬度偏南,又处于西藏东南部“舌状多雨带”的要冲,不仅发育着一定数量的现代冰川和积雪,而且动植物及微生物种类繁多、资源丰富,包括河谷准热带季风雨林黄色赤红壤带到高山永久冰雪带的垂直自然带谱分明而且完整;加之大峡谷奇特的地貌环境和它所蕴藏的丰富的森林资源、水力资源和地热资源,已越来越引起中外科学家、登山家和旅游家们所注目。

本世纪 20 年代、30 年代和 70 年代,一些植物学家、地貌学家曾先后进入峰区附近的大峡谷地带进行过某些项目的考察。但对本区,尤其是对南峰主峰附近的现代冰川作用进行较为系统、全面的考察研究,在此次登山科学考察之前还是没有过的事。

广义的南峰地区,是指南峰及其周围包括岗日嘎布山脉以南墨脱县全部,米林县之派区和加拉白垒峰(海拔 7 151 米)在内的地区(图 4.1)。其总面积 1 万多平方公里。从地貌单元看,真正的南迦巴瓦峰区却只限于派区附近的多雄拉山口(海拔 4 150 米)两侧南北多雄曲与雅鲁藏布江大峡谷所围成的地区。按反时针方向,依次包括多雄曲、那木曲,央朗藏布、白弄巴、德弄巴,勒卡弄巴、则隆弄巴,路口曲等流域,其面积约 2 000 平方公里,其中海拔 4 400—4 700 米(雪线)以上面积约 320 平方公里。

考察队冰川组分别于 1982 年 7—8 月、1983 年 3—5 月、8—10 月、1984 年 3—4 月先后对岗日嘎布山之嘎隆拉山口附近以及南峰西坡的则隆弄沟、路口曲、那木拉、多雄拉等地的现代冰川、积雪和其环境进行了考察研究,同时还对则隆弄沟的则隆弄冰川进行了重点考察。

### 第二节 冰川发育的自然地理条件

区内海拔超过 7 000 米的山峰 5 座,6 000 米以上的山峰 12 座,5 000 米以上的山峰 50 余座。过南峰作纵、横剖面,峰区东西长约 42 公里,南北长约 64 公里。

南峰山体呈明显的不对称状(图 4.2)。西坡和北坡山体小而陡,东坡和南坡山体大而缓。

区内新构造运动十分强烈,已发现周围地带地热出露点达 60 余处,为国内著名现代

---

\* 本文得到谢自楚、杨逸畴、郑本兴、王富葆、王立伦等同志审阅、指正;野外工作中得到杨逸畴同志指导以及张振栓、邓任伍、扎西多吉、达娃等同志的配合;蒲建辰同志帮助进行部分冰川统计量算,谨此致意。

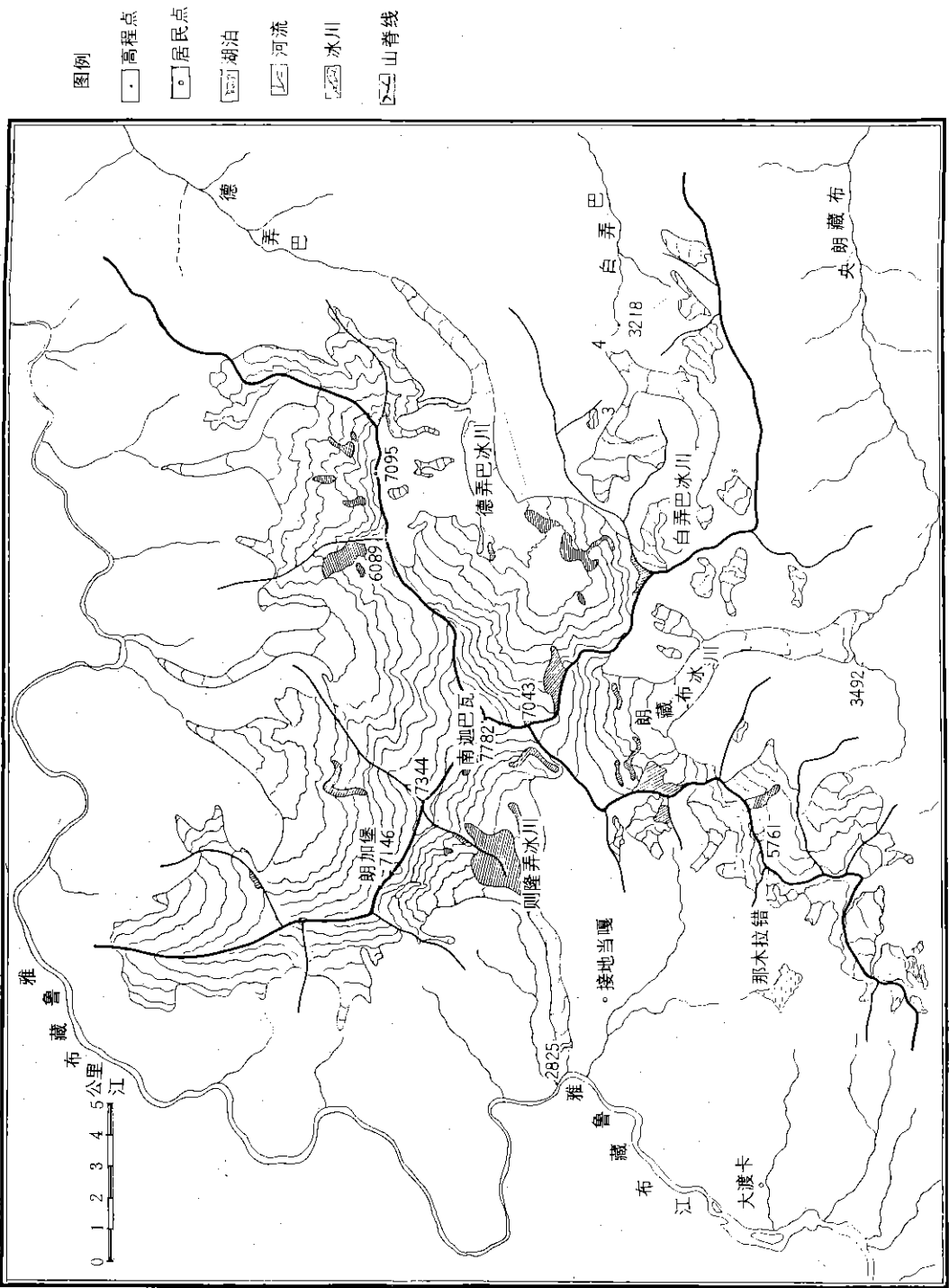


图 4.1 南迦巴瓦峰现代冰川分布图

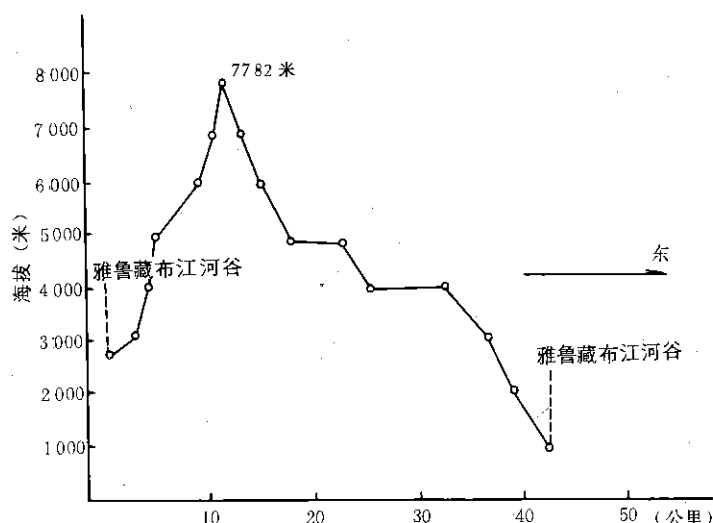


图 4.2 南迦巴瓦峰东西向山体剖面示意

冰川区所少见。变质岩在全区广泛出露,其中相当一部分经受混合岩化作用。主要类型有片麻岩、片岩、大理岩、角砾岩、变粒岩和混合岩等。

据峰区周围一些气象台站资料(表 4.1)推算得西坡雪线(海拔 4 700 米)附近的年平均气温为 $-4.4^{\circ}\text{C}$ ,暖季(5—9 月)雪线平均气温为 $2.4^{\circ}\text{C}$ ,年平均零温层通过的高度为 4 260 米,5—9 月平均零温层通过的高度为 5 170 米。

雅鲁藏布江流经本区时,以半封闭状呈马蹄形围绕南峰,然后向南亚次大陆及印度洋流去而成为北上水汽的有利通道。该区地处青藏高原东南边缘,地形切割十分强烈,岭谷高差达 5 000—7 000 米。它们的存在同时又起着一种对水汽的屏障作用。这样一来,气流中的水汽和云沿着作为通道的雅鲁藏布江河谷北上时,首先在这里受阻而剧烈抬升,加之从高原南下的高空切变线进入河谷后,产生动力辐合作用,使其成为藏东南湿舌的中心所在。

表 4.1 南迦巴瓦峰附近台站气象要素统计

台站	海拔 (米)	坡向	资料年限 (年)	降水量(毫米)					平均气温(℃)			气温较差(℃)		
				年总量	5—9月	占全年 (%)	10—4月	占全年 (%)	年平均	5—9月	10—4月	1月 平均	7月 平均	年较差
墨脱	1 100	SE	3	2 276.6	1 789.9	79	486.7	21	16.1	21.1	12.5	8.4	22.2	13.8
察隅	2 328	E	13	793.9	422.6	53	371.3	47	11.7	17.4	7.7	3.9	18.7	14.8
波密	2 750	NE	20	749.3	494.6	66	254.8	34	13.3	14.9	3.8	—0.3	16.3	16.0
林芝	3 000	NW	23	654.2	543.0	83	111.2	17	8.5	14.0	4.8	0.2	15.5	15.3
米林	2 950	W	3	695.4	549.4	79	146.0	21	8.2	14.2	3.9	—0.6	15.6	15.0

从表 4.1 可知,该区迎风坡的墨脱年降水量为 2 276.6 毫米,估计迎风坡冰川雪线附近的年降水量可达 3 000 毫米左右。根据克连克(A. Кренке)公式

$$h = (t_{6-8\text{月}} + 9.5)^3 \quad (1)$$

可以推算出峰区西坡即雨影区海拔 4 700 米附近年降水量可达 1 686 毫米。(1)式中  $t_{6-8月}$  为西坡雪线附近 6—8 月平均气温,据米林和林芝同期气温并按海拔每上升 100 米温度降低  $0.65^{\circ}\text{C}$  的梯度推算而出。式中  $h$  为雪线附近年消融深,其他诸如蒸发、风吹雪等因素忽略不计,则年消融深即为年降水量。

影响本区降水过程的水汽来源有三:暖季(5—9 月)为印度洋西南季风;秋冬为孟加拉风暴;冬春则为南支西风槽控制。从表 4.1 看出,该区 5—9 月降水量占全年的 50%—80% 以上,足见西南季风气流为本区降水的主要来源。由于暖季雪线附近平均气温高于零度,所以大量降水不一定引起大量的雪积累。因此从有效的冰川发育的物质条件而言,主要活动在冷季的孟加拉风暴和南支西风槽的影响不可低估,因为这一时期内冰川降水以固态相占绝对优势。固态降水不仅有助于积累量的增加,而且由于其具有很高的反射率而使消融大大减弱。日本的上田丰等(Ageta et al., 1980 年)在尼泊尔的 AX010 号冰川,樋口敬二(Higuchi, 1977 年)在中央尼泊尔的一条冰川上以及前苏联的特罗诺夫(Тронов, 1962 年)在中央阿尔泰一些冰川上也注意到这种现象。估计本区冷季雪线附近的固态降水量达 500 毫米以上。

雪崩是本区现代冰川的重要补给方式。冰川区雪崩多发生在海拔 5 000 米以上地带。一些大中型山谷冰川两侧山坡上的季节性积雪以雪崩的方式搬运到冰川消融区形成多年性积雪,促使冰川局部地带的粒雪线低于正常雪线位置达 500 米以上。考察期间的 2—10 月份均可观测到较为频繁的雪崩,但一些大雪崩主要发生在冷暖交替的时节。

### 第三节 冰川数量及分布规律

据放大到 1:25 万彩色卫星照片及部分 1:5 万和 1:10 万地形图,并加上一些实际的考察资料,量得南峰地区仅然乌错源、嘎隆拉以西之岗日嘎布山、加拉白垒和南峰主峰地区的现代冰川面积共 1 004.20 平方公里,若再加上无图的金珠拉附近和嘎隆拉附近,那么本区现代冰川面积当超过 1 200 平方公里。以考察期间一些实际观测厚度资料估算,本区冰川储量约 600 亿立方米以上。由于到目前为止尚未收集到全面的、详细的大比例尺地形图,很难按国际冰川编目规范要求对区内各类型冰川进行逐一登记,现仅根据部分资料及实地考察结果对一些主要冰川进行统计和描述。

#### 一、岗日嘎布山脉的现代冰川

##### 1. 然乌错附近的现代冰川

然乌错是雅鲁藏布江主要支流之一——帕隆藏布的主源。它位于岗日嘎布山脉东端北麓,是一个受构造控制、经过古冰川之挖蚀作用,出口又被冰川泥石流堵塞的多成因淡水外流湖泊,主要受冰川及季节性积雪融水所补给。其源头属岗日嘎布山系的现代冰川 45 条,面积 418.13 平方公里(表 4.2)。其中亚龙冰川(即拉古冰川)上限 6 508 米,末端 3 960 米,长 36 公里,冰川平均宽(面积与长度之比)5.7 公里,冰舌平均宽 2.5 公里,面积 175.57 平方公里,冰川作用系数(即积累区和消融区面积之比)为 1.37。冰川朝向南东,末端因囿于原始地形而突然折向东北。无论从长度还是从面积看,它均属于我国西藏地区最

表 4.2 然乌错源冰川统计

坡向	冰川名称	编号	冰川类型	朝向	上限高(米)	下限高(米)	雪线(米)	冰川长(公里)	冰川平均宽(米)	面积(平方公里)	消融区面积(平方公里)
北坡		1	冰斗山谷冰川	NE	5 400	4 940	5 100	1.9	500	1.02	0.56
		2	冰斗山谷冰川		5 140	5 050		0.6	200	0.14	
	打龙冰川	3	山谷冰川	N	6 200	4 620	5 060	6.2	2 400	14.75	5.20
		4	冰斗冰川		5 400	5 050		1.1	300	0.31	
	日龙巴冰川	5	山谷冰川	NE	5 983	4 620	5 280	7.5	1 700	13.08	4.75
		6	冰斗冰川		5 500	5 070		1.1	500	0.56	
		7	冰斗悬冰川		5 763	5 000		1.8	1 000	1.79	
		8	峡谷冰川	E	5 644	4 940		2.2	500	1.13	0.32
		9	冰斗悬冰川		5 640	5 070		1.2	400	0.46	
	塔罗冰川	10	山谷冰川	E	5 664	4 840	5 220	3.3	400	4.50	2.20
		11	悬冰川		5 400	4 920		0.6	200	0.13	
	曲马龙巴冰川	12	冰斗山谷冰川	NE	5 530	5 050		2.2	500	1.17	0.56
	确果龙巴冰川	13	山谷冰川	N	5 629	4 870	5 120	3.9	900	3.67	1.31
		14	悬冰川		5 420	4 940		0.9	400	0.33	
		15	冰斗悬冰川		5 300	4 870		1.1	300	0.38	
		16	悬冰川		5 620	5 140		0.9	300	0.32	
		17	悬冰川		5 664	5 100		0.8	900	0.74	
		18	悬冰川		5 657	4 940		1.5	700	1.10	
		19	悬冰川		5 763	5 320		0.6	700	0.40	
		20	冰斗悬冰川		5 460	5 050		1.4	500	0.71	
		21	冰斗冰川		5 400	4 880		1.3	500	0.59	
		22	冰斗悬冰川		5 864	5 050		1.2	1 300	1.60	
	作求甫冰川	23	山谷冰川	NW	5 982	4 430		5.9	1 300	7.82	
		24	冰斗冰川		5 641	4 760		2.5	1 600	4.07	
		25	山谷冰川		5 983	4 420	4 800	11.2	3 200	36.34	14.89
		26	冰斗悬冰川		5 400	4 410		2.1	1 700	3.61	
	喜日尤甫冰川	27	山谷冰川	SE NE	6 884.8	4 260	4 780	19.3	900	95.62	19.47
		28	悬冰川		5 200	4 560		0.8	600	0.48	
		29	冰斗悬冰川		5 440	4 380		1.8	300	0.60	
		30	冰斗冰川	E	5 520	4 440		2.3	4 000	1.04	
		31	山谷冰川	E	5 740	4 540	5 020	4.3	700	2.90	1.54
		32	冰斗山谷冰川	NE	5 500	4 690	5 040	2.2	800	1.69	1.00
		33	山谷冰川	E	6 040	4 690	5 040	4.4	1 300	5.66	2.22
		34	冰斗悬冰川	NE	5 360	4 770		1.1	400	0.40	

续表 4.2

坡向	冰川名称	编号	冰川类型	朝向	上限高(米)	下限高(米)	雪线(米)	冰川长(公里)	冰川平均宽(米)	面积(平方公里)	消融区面积(平方公里)
北坡		35	冰斗悬冰川	NE	5 220	4 760		0.9	300	0.32	
		36	冰斗冰川	N	6 008	4 850		3.3	1 700	5.60	
		37	悬冰川	N	5 140	4 920		0.6	300	0.21	
		38	冰斗冰川	NW	5 421	4 920		1.6	700	1.15	
	亚龙冰川	39	山谷冰川	SE NE	6 508	3 960	4 800	36.0	5 700	175.27	74.05
		40	冰斗冰川	E	5 245	4 880		2.1	1 200	2.50	
		41	冰斗悬冰川	N	5 460	4 900		1.3	600	0.82	
		42	冰斗冰川	NE	5 178	4 870		1.0	1 000	1.03	
		43	冰斗冰川	NW	5 474	4 500		3.4	1 400	4.75	
		44	冰斗冰川	N	5 700	4 130		4.0	1 900	7.40	
		45	冰斗冰川	NE	6 313	4 230		4.6	2 200	9.97	
平均					5 358	4 769	5 024	3.56	113	9.29	
总计		45								418.13	

\* 为蒲建辰同志所统计,其中亚龙冰川为笔者所统计。

大的山谷冰川。另一条大型山谷冰川即喜日尤甫冰川,长为 19.3 公里,面积为 95.62 平方公里,冰川朝向南东后亦转向北东,末端以下发育着四个串珠状冰川湖泊。

## 2. 玉璞藏布南岸的现代冰川

然乌错出口至波密县之松宗区的帕隆藏布流域段称为玉璞藏布。它南岸的岗日嘎布山发育着现代冰川共 356 平方公里,其中长度为 5 公里以上的山谷冰川共 8 条,面积为 175 平方公里。最长的山谷冰川是乃孔冰川,长 11.0 公里,平均宽 3 182 米,面积 35 平方公里,上限 6 200 米,下限 3 800 米(表 4.3)。

表 4.3 玉璞藏布南岸的山谷冰川

坡向	冰川名称	编号	冰川类型	朝向	上限高(米)	下限高(米)	雪线高(米)	冰川长(公里)	冰川平均宽(米)	面积(平方公里)
北坡	古勒冰川	1	山谷冰川	N	6 595	3 900	5 200	8.5	2 588	22.0
	乃孔冰川	2	山谷冰川	N	6 200	3 800	4 400	11.0	3 182	35.0
	巴桑冰川	3	山谷冰川	NE	5 806	4 000	5 000	9.0	1 978	17.8
		4	山谷冰川	NW	5 806	4 000	4 400	5.1	2 990	15.25
		5	山谷冰川	NE	5 000	4 000	4 200	5.1	2 794	14.25
		6	山谷冰川	N	5 844	3 700	4 600	5.2	3 413	17.75
		7	山谷冰川	NE	5 844	3 900	4 800	9.0	2 028	18.25
		8	山谷冰川	NE	6 380	4 200	4 600	10.2	3 402	34.70
平均					5 934	3 938	4 650	7.89	2 797	21.88
总计										175.00



表 4.4 岗日嘎布山西部(嘎隆拉以西)冰川

[illegible]

### 3. 金珠拉山口附近的现代冰川

金珠拉山口海拔 4 250 米,是波密县通往墨脱县必经地之一。山口两侧现代冰川面积约 117 平方公里。其中北坡的格同曲源西岸的一条山谷冰川长约 5.8 公里;南坡金珠藏布源头的兴凯靠钦丢丘宰附近一条山谷冰川长约 10 公里。

### 4. 嘎隆拉山口的冰川

嘎隆拉山口(海拔 4 200 米)位于岗日嘎布山脉的中部,是波密县通往墨脱县的最低山隘,也是目前的扎(木)墨(脱)公路必经之地。在其北侧即北嘎隆弄巴源头,发育着四条主要的冰川。按顺时针方向,分别编为 1—4 号。1 号冰川当地牧人叫做“昌角”。上限海拔 5 500 米,朝向西,冰川末端海拔 3 650 米,长约 5.5 公里,冰舌平均宽约 400 米。2 号冰川又叫“新各角”,上限 5 518 米,朝向东然后朝向北,末端海拔 3 600 米,长约 5 公里,面积约 6.3 平方公里。以上两条冰川是嘎隆拉附近较大的山谷冰川,雪线高度约为海拔 4 500 米。3 号冰川上限与 2 号同,但积累区与消融区之间地形转折极大,是一条雪崩锥型冰川。其末端海拔 3 550 米,朝向东北。此是该流域下伸得较低的一条冰川。冰舌长约 1 公里,冰舌平均宽约 80 米,厚约 50—70 米。4 号冰川亦是一条雪崩锥型冰川,末端海拔 3 600 米,朝向东。以上四条冰川消融区的大部分均伸入森林区。其中 3 号冰川粒雪线仅海拔 4 000 米,成为目前为止西藏考察中发现的冰川粒雪线之最低值。造成此最低值的主要原因是由于强烈而频繁的雪崩使大面积内的积雪以雪崩的方式、以比大气降水快得多的时间过程集中积累在海拔较低的地区,强烈的消融也不能使其全部融化,如此而形成的雪崩锥型冰川,其雪线位置必然远低于正常的山谷冰川雪线。

南嘎隆弄巴流域内共有现代冰川 8 条,其中源头 3 条悬冰川,上限均在海拔 5 500 米以上,末端海拔 3 800—4 100 米;第一支流雀恰曲源 3 条,第二支流西陇曲源 2 条,此 5 条均属典型的裙状冰川。以上冰川朝向西或北西。

### 5. 岗日嘎布山西部的现代冰川

此包括嘎隆拉以西之岗日嘎布山的现代冰川(表 4.4)。

由于岗日嘎布西部山脉最高峰(即恰母那峰)海拔高仅 5 590 米,主山脊的平均高度为 4 900 米,冰川平均上限为 5 030 米,因此冰川规模不大。这里北坡冰川面积和冰川条数均大于南坡。北坡平均每条冰川的面积为 1.53 平方公里,南坡平均面积为 0.87 平方公里。

## 二、加拉白垒峰附近的现代冰川

加拉白垒峰(海拔 7 151 米)又称比鲁峰,当地人又称为加拉泽东。它位于雅鲁藏布江大峡湾北岸,与南峰隔江相望,雅鲁藏布江在它们之间经过时形成了世界上最深邃、最雄伟的大峡谷。从地貌单元看,它属于念青唐古拉山脉东南翼之最高峰。在它的周围分别发育着一定数量的山谷冰川、冰斗山谷冰川、冰斗冰川和悬冰川。其中山谷冰川面积为 149.13 平方公里(表 4.5),占加拉白垒峰冰川总面积 90% 以上。

表 4.5 加拉白垒峰的山谷冰川

坡向	冰川名称	编号	冰川类型	朝向	上限高(米)	下限高(米)	雪线(米)	长度(公里)	冰川平均宽(米)	面积(平方公里)
西北坡	色列丁冰川	1	山谷冰川	N	6 846	3 900	4 600	8.0	1 906	15.25
		2	山谷冰川	N	5 200	3 800	4 500	3.0	917	2.75
	拉月冰川	3	山谷冰川	N	6 846	3 200	4 400	12.0	2 313	27.75
		4	山谷冰川	N	6 420	3 200		5.2	1 394	7.25
东坡	钟埃杰多冰川	5	山谷冰川	NE	7 284	2 600	4 700	14.5	2 707	31.25
		6	山谷冰川	NE	5 000	3 000		8.5	2 500	11.38
		7	山谷冰川	E	7 284	3 300	5 400	8.0	1 563	12.50
南坡		8	山谷冰川	S	7 284	3 200	4 600	7.5	3 000	22.50
		9	山谷冰川	SW	5 000	4 100	4 600	4.4	2 386	10.50
					6 351	3 367	4 686	7.90	2 076	16.57
总计										149.13

东坡即迎风坡色弄巴沟源头的钟埃杰多冰川末端下伸至海拔 2 600 米,是整个青藏高原末端下伸得较低的几条现代冰川之一,也是本区现代冰川下伸得最低的一条。加拉白垒峰附近的山谷冰川消融区均伸入亚热带山地森林区,消融区三分之一以上为冰川表碛所覆盖。迎风坡地区的冰川作用明显较其它各坡为强。

### 三、南迦巴瓦主峰区的现代冰川

谢自楚、郑本兴(1982 年)在论述中国冰川的分布、特征及变化时曾经指出,青藏高原南部受印度洋西南季风影响强烈,突出地表现在喜马拉雅山区雪线向南急剧降低及在雅鲁藏布江大拐弯处等雪线向西北方向急剧升高。区内冰川雪线变化在海拔 4 500—5 000 米左右,较纬度相近的珠穆朗玛峰低 1 000—1 500 米。但由于没有大面积的高山山结、山汇以接受一定强度的固态降水,因此冰川发育的规模受到相应的限制(表 4.6)。

从表 4.6 知,主峰附近发育着最少 41 条现代冰川,面积 214.93 平方公里。其中山谷冰川 7 条,占总条数的 17%,面积 160.95 平方公里,占总面积的 75%。北坡山谷冰川条数最多,面积最大;东坡次之,西坡最少。区内 10 公里以上长度的大型山谷冰川共 6 条,其中 5 条发育在西南季风进入大拐弯谷地之后的迎风坡上,仅一条即则隆弄冰川发育在雨影区。这充分表明,与热量条件相比水汽物质补给在本区冰川发育条件和冰川数量的分布上起到相当重要的作用。

## 第四节 冰川的形态类型及其特征

按照传统的冰川分类法,山谷冰川、冰斗冰川、悬冰川以及它们之间的过渡类型——冰斗山谷冰川、冰斗悬冰川在本区均有发育。但由于新构造运动十分强烈,冰雪崩亦甚为发育,冰斗冰川的形态均不典型;山谷冰川的粒雪盆大多呈不规则形状。此外还有一些雪

崩锥型冰川和裙状冰川发育。

表 4.6 南迦巴瓦峰地区的冰川

坡向	冰川名称	编号	冰川类型	朝向	上限高(米)	下限高(米)	雪线高(米)	长度(公里)	冰川平均宽(米)	面积(平方公里)
西坡		1	悬冰川	NE	6 075	4 250		0.7	429	0.30
		2	悬冰川	NE	6 075	4 200		0.9	600	0.54
		3	悬冰川	NW				0.9	278	0.25
		4	悬冰川	NW				0.9	278	0.25
	那木拉冰川	5	冰斗山谷	NW	5 246	4 200	4 600	1.4	464	0.65
		6	冰斗山谷	S	5 761	4 700		1.2	333	0.40
	路口曲 1 号冰川	7	悬冰川	N	5 761	4 640		1.6	525	0.84
	路口曲 2 号冰川	8	冰斗山谷	NW	5 644	4 400	4 700	2.7	389	1.05
	路口曲 3 号冰川	9	冰斗山谷	SW	5 532	4 620	4 800	2.1	452	0.95
		10	悬冰川	S	5 441	5 000		0.5	156	0.78
	则隆弄冰川	11	山谷冰川	W	7 782	2 950	4 500	10.25	1 742	17.86
		12	悬冰川	S	6 000	5 500		0.5	60	0.03
		13	悬冰川	W		5 000		0.4	50	0.02
		14	悬冰川	W		5 000		0.6	50	0.03
		15	悬冰川	W		5 000		0.5	80	0.04
		16	悬冰川	W	5 644			2.8		2.60
		17	悬冰川	W				1.5		1.73
		18	悬冰川	W				2.0		2.15
平均					5 914	4 574	4 650	1.75		1.69
合计										30.47
北坡	白马狗熊 1 号冰川	1	冰斗冰川	N	5 404	3 700		4.5	3 000	13.50
	白马狗熊 2 号冰川	2	冰斗冰川	NE	5 404	4 000	5 000	3.1	1 226	3.80
	白马狗熊 3 号冰川	3	山谷冰川	NE	6 936	2 840	5 000	11.0	2 300	25.30
	白马狗熊 4 号冰川	4	山谷冰川	NW	7 782	2 900	4 600	10.0	2 460	24.60
	白马狗熊 5 号冰川	5	山谷冰川	N	7 043	3 240	4 400	7.0	2 557	17.90
		6	悬冰川	W	5 075	4 600		1.0	1 250	1.25
		7	悬冰川	E	5 325	4 080		1.3	3 200	4.16
		8	悬冰川	NE	5 412	3 200		3.1	1 139	3.53
平均					6 048	3 570	4 750	5.13	1 147	11.76
合计										94.04

续表 4.6

坡向	冰川名称	编号	冰川类型	朝向	上限高(米)	下限高(米)	雪线高(米)	长度(公里)	冰川平均宽(米)	面积(平方公里)
东坡		1	悬冰川	E	4 764	4 300		1.0	1 320	1.32
	德弄巴冰川	2	山谷	NE	7 782	3 040	4 400	15.7	2 839	44.57
		3	悬冰川	S	4 500	4 200		0.5	500	0.25
	白弄巴冰川	4	山谷	NE	6 421	3 310	4 100	10.00	1 092	10.92
		5	悬冰川	NE	5 098	4 240		1.20	800	0.96
		6	悬冰川	NW	5 056	3 900		1.70	1 176	2.00
		7	悬冰川	NE	4 762	3 800		1.90	489	0.93
		8	悬冰川	NE	4 825	3 740		1.90	584	1.11
平均					5 401	3 816	4 250	4.24	1 324	7.58
合计										62.06
南坡		1	悬冰川	W	4 970	3 980		1.30	392	0.51
		2	悬冰川	W	5 592	3 890		2.30	400	0.92
		3	悬冰川	W	5 400	4 250		1.30	354	0.46
		4	悬冰川	S	5 550	4 010		0.85	294	0.25
	央朗冰川	5	山谷	S	7 043	3 190	4 300	12.00	1 983	23.80
		6	悬冰川	SW	5 032	4 780		0.35	714	0.25
		7	冰斗山谷	E	5 644	4 100	4 300	2.00	575	1.15
		8	冰斗山谷	E	5 246	4 200	4 400	1.75	2 874	5.03
		9	悬冰川	E	5 156	4 200		1.75	1 040	1.82
		10	悬冰川	S	5 156	4 340		1.75	371	0.65
		11	悬冰川	E	5 542			2.51	836	2.10
		12	悬冰川	E	5 362			1.31	802	1.05
		13	悬冰川	E	4 364			0.40	500	0.20
		14	悬冰川	S	4 472			0.41	512	0.21
		15	悬冰川	S	4 884			0.40	600	0.24
平均					5 294	4 094	4 333	2.03	816	2.57
合计										38.64
总平均					5 743	4 080	4 546	2.88	841	4.90
总合计										225.21

山谷冰川的长度和面积一般均大于其他各类冰川。山谷冰川一般都由两条以上支冰川汇流而成。在两条支流汇合之后形成中碛,中碛的规模与支冰川大小相关。当冰川下伸到某一海拔高度后,中碛即为表碛所取代。山谷冰川消融区长度的  $1/3-2/3$  伸入亚热带山地森林带,从而形成独具一格的,包括永久冰雪带、高山草甸带、灌丛带、暗针叶和针阔混交林带相互交错或并列,从而失去正常垂直自然带谱特征的自然景观。在这里,冰川对气候、对自然环境的反馈作用得到了最好的表现。

根据有无表碛覆盖的情况可将区内现代冰川分为洁净型和表碛覆盖型两大类。前一类多属悬冰川、冰斗悬冰川、冰斗冰川和裙状冰川。此类冰川的上限较低,下限较高,冰川作用正差(冰川上限海拔高度与雪线海拔高度之间的相对高差)很小,景观过程(Landscape process)的空间变化较小,难以形成所谓冰川“勺状构造”,冰川底部的石碛(即所谓滞碛)因缺乏强烈的剪切作用而很少可能上升到冰川表面以形成表碛。另外,该类小冰川的纵向坡度一般均比较大,后壁和两侧由于冰崩、雪崩所带来的寒冻风化石块很容易越过冰川而滚落到更低的地区堆积起来。所以此类冰川表面一般均较为洁净。表碛覆盖型冰川主要包括山谷冰川(尤其是长度超过5公里的大、中型山谷冰川)和雪崩锥型冰川。此类冰川地质地貌作用的空间和时间变化尺度均比较大,冰川冰由压缩流变为张性流之后,与冰面呈近直交状的冰层之间的剪切作用甚为强烈,再辅之以高强度和长时段的冰面消融,于是形成了表面岩屑覆盖层。

山谷冰川消融区1/2以上面积为不同厚度的表碛所覆盖。其一般厚度在10—30厘米以上,有的部位厚达几米以上。雪崩锥型冰川表碛上限可达雪线附近。一般山谷冰川雪线附近可见零星岩屑,到消融区中带可见斑状表碛分布。至消融区中下带则完全为表碛所覆盖。在消融区下游带,多以不规则的圆锥状表碛丘陵为其地貌特征。表碛丘陵主体为冰川冰。其向阳面因消融强度较大而坡度较陡且多有冰崖冰坎出露。在冰崖冰坎底部发育着类似“倒石锥”的冰碛岩屑堆积,“倒石锥”的规模与冰碛丘陵的大小相关。若冰川流向恰与向阳面一致,则冰崖、冰坎下部又多有冰洞出露(冰下河道多由此而形成明流)。在表碛区的上游段,则发育着蛇形冰丘、冰桌、冰蘑菇等。冰内水道广泛发育,冰川末端几乎都发育着一个或数个冰融水洞。由于区内降水丰沛,空气湿度大,高角度的太阳辐射进入冰川区上空后多被吸收,所以无冰塔发育,裸露冰区地形起伏变化不大。由于冰温较高,在消融区上带冰瀑下方多有弧拱构造。

一些研究者曾经将消融区表碛覆盖度较大的冰川称为“土耳其斯坦型”或“托木尔型”冰川(中国科学院兰州冰川冻土研究所托木尔峰冰川考察组,1982)等。通过对南峰地区现代冰川形态的考察研究表明,消融区表碛覆盖乃是中低纬度山谷冰川存在的一种较为普遍的现象。这种现象与冰川性质无关,是由冰川地形和冰川本身的地质地貌作用所造成。

洁净型冰川的末端一般等于或高于附近的森林上限。

雪崩锥型冰川是指以雪崩为主要或唯一补给来源而且具有山谷冰川(主要为中、小型山谷冰川)地貌形态的冰川类型。在冰川目录的编纂中往往把它们归入山谷冰川一类。此类冰川的消融区与原始积累区以一条或几条雪崩槽相断开。消融区上方与雪崩槽相衔接的地方,发育着一个或多个雪崩锥堆积体,我们把它们叫做雪崩锥型冰川的再生补给区。此类冰川的粒雪线很低。像北嘎隆拉4号冰川的雪线低至海拔4000米,成为整个西藏东南部现代冰川雪线的最低值。

裙状冰川是发育在残留山原面(区内所见残留山原面边缘海拔一般均在4000米以上)上的一种宽度远大于长度的小型冰川。在现代气候条件下,这类冰川的末端最低位置只能与残留山原面边缘的海拔高度等同。由于第四纪以来山体的抬升和冰川与流水的下切作用,残留山原面边缘以下多为坡度在70°以上的断壁,断壁相对高差约在2000米以上,即使冰川物质平衡多年表现为正值,其末端也将以断裂崩坍的方式限制冰川的下伸。此类冰川冰面较为洁净,冰面地形起伏不大,冰体较薄。裙状冰川多见于地形切割度较大

的南坡次一级山脊两侧,以南嘎隆拉流域冰川最为典型。

## 第五节 冰川的成冰作用

1947 年苏姆斯基(И. А. Шумский)在他的《冰川作用能和冰川的生命》一文中论及,冰川作用能不仅由赤道向极地减低,而且也由海岸向大陆内部减低。尔后他(1955 年)又指出海洋性气候地区冰川的补给带除了高处的冷冰外,粒雪盆的主体是温冰。所以海洋性冰川积累区的成冰作用基本上遵循如下规律:从上而下为:重结晶带,重结晶-渗浸带,冷渗浸带和暖渗浸带;而季节冻结带则仅存于粒雪线附近地段(图 4.3)。

对于南峰地区来说,由于纬度较低,海拔较高的地段太阳辐射仍能使部分冰雪发生融化(1973 年 8 月在则隆弄冰川后壁所见新雪崩雪块中有渗浸冰片即为佐证,该处雪崩发源地为海拔 7 000 米以上的主峰区),此为冰川重结晶带。此外其余各带在本区主要高山峰区均有出现。但在雪崩堆积甚丰的地段,冰川重结晶-渗浸带和冷渗浸带在空间分布上有下移现象(图 4.4)。

图 4.4 所列雪坑剖面为 1984 年 4 月上旬在路口曲 3 号冰川粒雪盆所采。资料表明,本区现代冰川积累区下部 10—4 月的成冰过程主要表现为冷渗浸作用。我国山地季风海洋性冰川受低纬度地理位置的控制,加之气候环境的季风性,冷季空气湿度相对减少,太阳辐射在这期间的成冰过程中起着较大的作用。以雪坑剖面所在的冰川为例,路口曲 3 号冰川位于乃彭峰南侧,平均坡度约 26°。据寇有观等研究结果(寇有观等,1982)推算,本区年有效辐射当为 189—210 千焦耳/(平方厘米·年),而冬季的 12 月份有效辐射最高可达 23.1 千焦耳/(平方厘米·月)。按雪面 90%的反射率计算,实际上消耗

于增加雪温和融化积雪的热量约 2.31 千焦耳/平方厘米。也就是说,仅冬季的 12 月份太阳辐射热就能融化相当于 7 厘米水层厚的积雪。显然,剖面中的渗浸冰片即由此而形成。

4 月以后,冰川积累区下部地带(海拔 4 700—5 500 米)的成冰作用则因在季节融雪水和一定程度的液态降水的参与下,除巨厚的雪崩堆积区外,变成了以暖渗浸作用类型为主,而雪崩锥中部以上积雪较厚的地段当属冷渗浸重结晶作用类型。

主峰区冰川积累区上限一般均高于 6 000—7 000 米,在一定地形条件的配合下(如著名的乃彭峰冰雪平台),积雪年层可达 10 米以上,当属冷渗浸重结晶作用类型。在海拔 5 500—6 000 米之间是为冷渗浸成冰作用带。同时,考察期间,在主峰西坡海拔约 6 000 米的陡坡上,发现多处发育不甚完好的冰钟乳。说明区内极高山地带也存在冻结成冰类型。据观测,冰钟乳附近均有裸露的深色基岩,它们较容易吸收太阳辐射热,再以长波辐射的

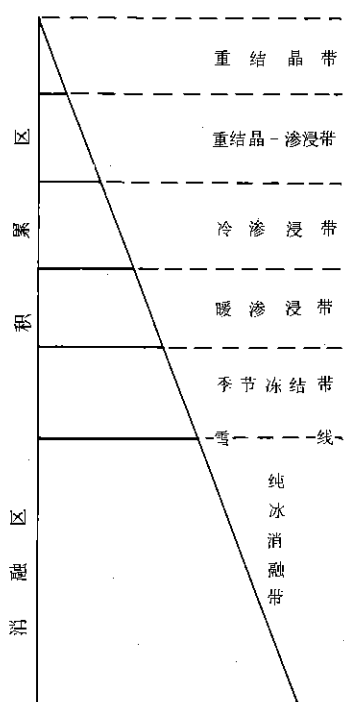


图 4.3 海洋性冰川成冰作用垂直结构图

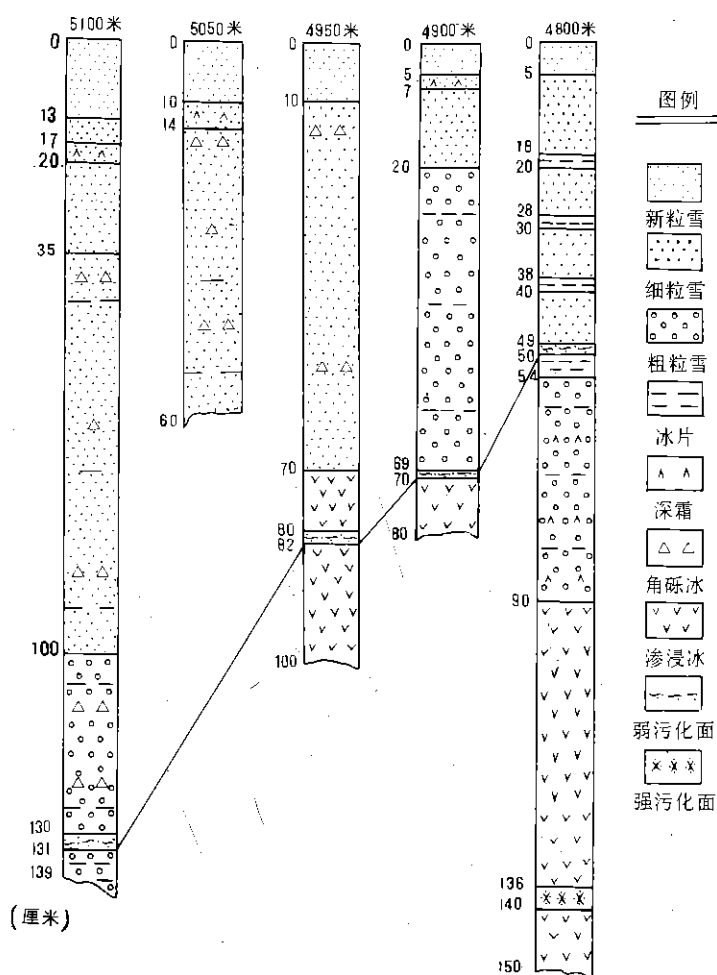


图 4.4 路口曲 3 号冰川积累区雪坑剖面

方式馈赠给附近的积雪,使其融化后再冻结,于是形成了此种冻结成冰现象。此类现象为局部所有,不能单独成为一个成冰作用带。

由于雪崩的广泛发育,在冰雪沉积剖面中存在一定数量的角砾冰块。在路口曲 3 号冰川海拔 5 000 米以上地段,观测到角砾冰一般长径为 10 厘米左右,最大的可达 40 厘米以上,但大都变质不深,为乳白色的渗浸冰。冰块中除观察到冰片外,还含有许多粒雪。透过冰层,可见包裹之中的粒雪呈锡块般的光泽。劈开冰块后,粒雪可自行脱落,在劈面上留下一个个小坑。

日本的樋口敬二教授在谈到冰的变质作用时指出,高温(即接近  $0^{\circ}\text{C}$ )的冰体之间存在着所谓“烧结作用”(sintering)。季风海洋性冰川冰温接近  $0^{\circ}\text{C}$ 。在这种温度状态下,雪崩堆积中的角砾冰在自身进一步变质过程中,还必然地同其周围的冰、雪物质发生这种“烧结作用”。



## 第六节 冰川的积累和消融特征

### 一、积累特征

现代冰川的主要物质积累来源是堆积于补给区的大气固态降水。固态降水即积雪经过成冰作用同时向下游运动而形成冰川。除大气固态降水之外,作为冰川次要补给来源的还有:雪和粒雪中的水汽凝结作用所形成的深霜(在一定条件下),霜、硬凇、附加冰和吹雪以及雪崩补给等。除附加冰外,其余各类积累因素在本区均有表现。

本区富有较充沛的大气降水。研究表明,我国许多高山冰川作用区存在第二降水带。南峰资料表明,区内冰川带降水量也出现了大于同期中附近河谷及中山森林带降水量的现象(表 4.7)。

表 4.7 南峰不同高度降水量对比

站点名称	海拔(米)	观测日期	降水量(毫米)
北嘎隆拉 1 号冰川	3 650	1982 年 7 月 17—19 日	33.0
波 密	2 750		0.0
则隆弄冰川	3 650	1982 年 9 月 1—22 日	132.0
林 芝	3 000		104.0
路口曲 3 号冰川	4 800	1984 年 3 月 26—27 日	30.0
接地当嘎	3 520		8.8

1984 年 4 月上旬的雪坑资料表明主峰西坡现代冰川冬半年积累量也有随海拔升高而增大的趋势。以平均密度 0.4 计,各高度雪坑第一个污化层以上同时期内的积累量随海拔变化呈线性正相关关系(图 4.5)。

$$\text{即: } y = 0.91x + 4\,638 \quad (2)$$

式中  $y$  表示海拔(米); $x$  表示积累量(毫米水层)。相关系数为 0.98。

从上式可以看出这期间冰川积累梯度可达 91 毫米/100 米。

图 4.4 中海拔 4 800 米处雪坑剖面表明该处冬半年积累深可达 600 毫米(水层),接近山麓地带的林芝(654.2 毫米)和米林(695.4 毫米)的多年平均降水量。本区雨季开始于 5 月上旬,结束于 10 月上旬,正是现代冰川的主要积累期。这期间由于受西南季风的影响,降水量占全年的 50%—80%。

冰川雪线附近暖季平均气温高于  $0^{\circ}\text{C}$ ,在一般情况下,季风海洋性冰川暖季雪线等于或略高于零平衡线。但以雪崩补给为主的冰川粒雪线往往出现例外的现象。因为在岭谷

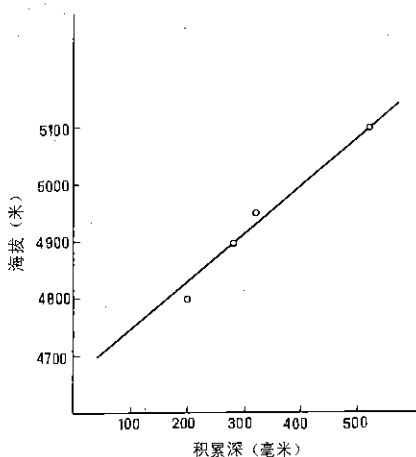


图 4.5 路口曲 3 号冰川积累与海拔高度之间的关系

高差极为悬殊的南峰地区,雪崩以再沉积的方式对于若干冰川,尤其是若干山谷冰川的物质补给,具有特殊意义。

雪崩在冰川后壁造成雪崩雪锥,而被气浪卷起的飞雪则可在更广泛的范围内堆积。对雪崩发生区来说,雪崩无疑是一种额外的损耗,但对雪崩锥和飞雪分布区来说,它却是额外的补给来源。当雪崩锥及飞雪远离粒雪线及零平衡线时,不可能显著地影响粒雪线和零平衡线之间的相对位置;当飞雪波及和越过粒雪线和零平衡线位置时,粒雪线和零平衡线重合并将显著下降(图 4.6)。

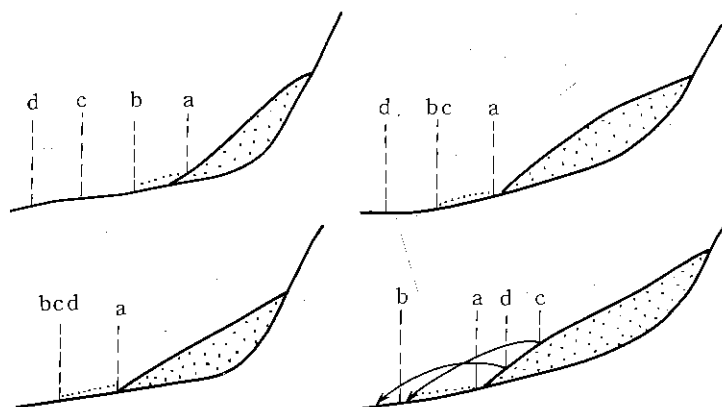


图 4.6 雪崩和飞雪对粒雪线和零平衡线的影响

a. 雪崩雪锥末端; b. 飞雪波及最远点; c. 粒雪线; d. 零平衡线

考察发现,由于雪崩的影响,在一些冰川上,局部粒雪线的下降较正常雪线低 100—500 米。如嘎隆拉北坡 2 号冰川南侧雪崩雪延伸到海拔 3 900 米左右的表碛区。1982 年 8 月和 1983 年 9 月均曾观测到该冰川海拔 3 900 米处雪崩雪厚达 3 米以上。显然,无论作为季节性积雪还是多年性积雪,它们对冰川物质平衡均具积极作用。

冬季发生雪崩的主要原因是由于雪积累到一定厚度时发生断裂所致;春夏和秋冬季节转化时期发生雪崩的主要原因是由于雪的再结晶作用促使雪的坚固性减小所致;而夏天发生雪崩的主要原因则是由于雪的融化而破坏了雪层之间或雪层与下垫面之间的联系所致。本区以暖雪崩占绝对优势,冬季为冷雪崩,但其量甚少。

如图 4.4 所示,1984 年 4 月曾观测到冰川积累区雪层剖面中有深霜,此表明本区现代冰川粒雪中存在水汽的凝结作用。

1983 和 1984 年的春季,中国登山队宋志义、陈建军、金俊喜等均在主峰附近海拔 6 000 米以上地带发现广泛的雾凇现象。在晴好天气状况下,每天早上,帐篷绳、冰镐把、帐篷上发育的雾凇达 1—2 厘米厚;在海拔 4 800 米登山 2 号营地(即路口曲 3 号冰川粒雪盆)曾观测到一次大的雪崩过程中,雪崩气浪所过之处,人的头发上,衣服以及帐篷上面均生成了一层约 0.5 厘米厚的霜晶。另外,海拔 6 000 米以上较陡的山脊和山峰处发育着许多表面呈絮状的雪檐。从雪檐处发生雪崩的频率看,其生长速度较快,有时似与降水过程无关。除了考虑受吹雪影响外,推测也可能与水汽的凝华作用有关。据观测,本区 4 月中旬水汽凝华作用下限可以达到海拔 3 600 米。在地形陡峻,空气具有较大湿度的高山地带,水汽的凝华作用无疑是冰川积累的一笔值得注意的物质补给来源。

## 二、消融特征

消融是冰川物质支出的最主要的途径。消融的方式、空间及时间上的分布、强度等对冰川物质平衡、冰川性质和冰川规模、冰川变化等都有极为密切的关系。

通过考察研究,发现与国内大多数现代冰川一样,区内冰川纯冰消融强度与气温之间,在无表碛覆盖的情况下,存在着良好的对应关系(图 4.7)。

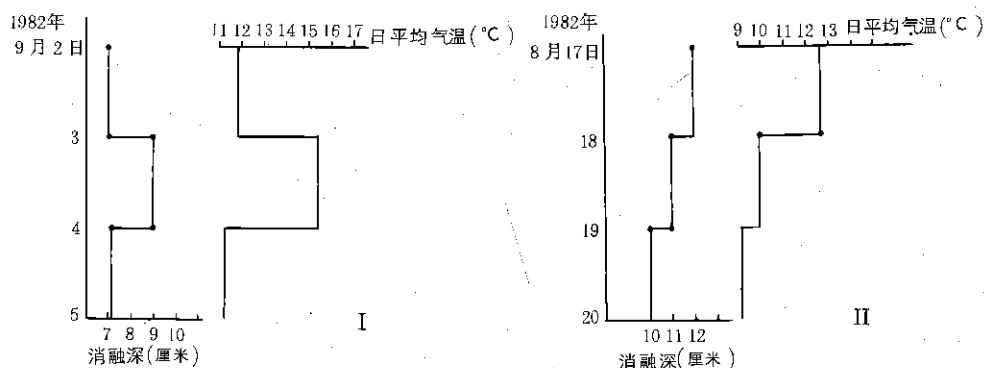


图 4.7 纯冰消融与气温之间的关系

在厚表碛覆盖下,冰川的消融则受到明显的抑制作用(表 4.8)。

本区山谷冰川末端下伸均比较低,有的超过亚热带山地农作物种植上限,这与冰川被大面积的厚表碛覆盖所起的保护作用,在一定程度上抵消了低纬度不利冰川发育的热量因素,减少了冰川物质平衡的支出分不开。

表 4.8 冰川表碛区消融观测值的对比

冰川名称	海拔 (米)	观测时间	表碛厚度 (厘米)	纯冰消融深 (毫米水层)	日平均气温 (°C)
北嘎隆拉 1 号冰川	3 700	1982 年 8 月 17—19 日	30	0.0	11.9
	3 700	1982 年 8 月 17—19 日	0	35.0	11.9
北嘎隆拉 2 号冰川	3 630	1982 年 8 月 17—19 日	24	1.1	11.9
	3 630	1982 年 8 月 17—19 日	0	37.0	11.9
则隆弄冰川	3 550	1982 年 9 月 3—6 日	27	2.3	12.9
	3 550	1982 年 9 月 3—6 日	0	23.2	12.9

冰川消融区 5—9 月几乎全为液态降水。1982 年 8 月 19 日在北嘎隆拉 1 号冰川海拔 3 700 米处量测雨水温度可达 8℃;9 月 6 日在则隆弄冰川海拔 3 550 米处量测雨水温度可达 6℃。大量雨水渗入表碛,同时再吸收表碛中接受太阳辐射时所储存的热量,然后对冰川进行动力和热力蚀融,从而又一定程度地抵消了厚表碛覆盖对冰川消融的抑制作用。1982 年 9 月 3—5 日,则隆弄冰川海拔 3 550 米处当表碛厚为 27 厘米时,冰面下降为零;而 1982 年 9 月 5—6 日,在气温略有下降的情况下,因降了 34.5 毫米水,冰面却下降了 2.3 厘米。暖季中的暴雨还可以在消融区形成强烈的冰面和冰下径流。这是季风海洋性冰

川物质支出的一个重要的热力、动力因素。1982年9月5—6日则隆弄冰川海拔3550米降了34.5毫米水,附近冰洞中流量猛增至晴好天气条件下的3—5倍。强大的冰面、冰下洪水径流不仅起到融蚀冰体的作用,更重要的是可以在较短的时间内冲坍和带走大量的冰川冰。当时曾观测到被暴雨形成的冰川洪水径流冲坍带走的冰川冰块直径多在40厘米至50厘米左右。冰块之间,冰块与冰碛砾石之间的碰撞声、撕裂声连续不断,震耳欲聋。

冰内湖水的溃决是影响区内冰川物质支出的另一因素。嘎隆拉1号冰川海拔3850米处冰坎壁上曾见到有一冰喷泉发育,喷射距离1—1.5米;还发现一些规模不等的冰涌泉,这些现象都是冰内大量积水的有力证据。当某处冰壁被融蚀到一定厚度时,因经受不住湖水的静压力而发生溃决性洪水径流。这种现象多发生在冰川消融期末,而且持续时间较短,同时造成冰川河流量突发性增加,表现出流量过程线的峰值变化与降水或气温变化的不相关特征。1982年9月16日早晨,则隆弄冰川末端冰洞突然发生洪水,洪峰高出正常水位2米多,将下游1.5公里处一座木结构人行桥部分冲毁。当日10时赶赴现场时,河水水位已然恢复到平常状态,但沿途及桥面上仍堆积着不少的冰川冰块。当时天气晴好,显然属冰内湖水溃决所致。据调查,1968—1982年,类似事件曾多次发生,其中3次冲毁木桥,时间多为秋季的9月或10月。

冰川雪线附近季节性积雪的消融产流期为6—8月。

冬季,大型山谷冰川冰舌下部地段仍有液态降水,而且仍有正温日,所以这期间冰川河道并不断流,但主要消融期是4—10月,与冰川的主要积累期具有同时性。

## 第七节 冰川的地球化学特征

考察期间先后采集了冰川冰、雪、水样品共20多个。样品直接装入清洗干净的小型聚乙烯瓶中,密封送实验室分析。用半微量滴定法测定了Ca和Mg元素含量;K和Na元素含量用EKO型火焰光度计测定,Mo,Co,Cr,Sr,Ni,Cu,Zn,V,Pb,As,Cd,Ti,Sn,Hg,Ag,Se等痕量元素含量用ICPQ-100型电感耦合等离子体发射光谱测定,用气相色谱法和分光光度法联合测定了Al元素的含量,分析统计和评价了样品中杂质元素的含量、富集系数以及痕量元素含量等,同时就这些资料探讨本区现代冰川发育的水汽来源、地质地貌作用与水化学特征之间的某些关系。

### 一、冰川冰、雪、水中的杂质元素含量

冰川冰、雪、水中杂质元素含量对研究自然地理环境和冰川区水汽补给来源、不同气候条件下冰川的发育等具有一定的意义。

将冰川冰、雪、水中的杂质元素含量列于表4.9。由表4.9知,Ca,Mg,Na,K,Mn,Fe,Al等元素含量均较低,其中Ca元素含量最高,为 $0.16 \times 10^{-6}$ — $44.72 \times 10^{-6}$ ,而Na,Mg,K,Mn,Fe,Al等元素含量则均低于 $10.00 \times 10^{-6}$ 。

南峰地区是我国高山区冰川冰、雪矿化度较低的地区之一,因此水体为优质淡水。如则隆弄冰川冰矿化度为16.20—21.70毫克/升,低于天山托木尔峰固态水矿化度(32.50毫克/升)和祁连山冷龙岭冰川固态水矿化度(32.47毫克/升)以及唐古拉山固态水矿化

表 4.9 南峰地区冰川冰、雪、水中的杂质元素含量

采样地点	样品编号	采样时间 (年·月·日)	样品类型	海拔 (米)	pH	矿化度 (毫克/升)	杂质元素含量(×10 <sup>-6</sup> )						水化学类型	
							Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe		Al
则隆弄 冰 川	则 1	1982.9	冰川冰	3 700	5.585	21.70	1.30	2.72	1.14	0.16	0.0014	0.1012	0.1102	HCO <sub>3</sub> ·Mg(Na)
	则 2			3 500	6.140	16.20	1.10	1.07	0.75	1.12	0.0043	0.0999	0.0713	HCO <sub>3</sub> ·Mg
	则 3			3 000	6.190	19.99	0.06	1.45	0.94	2.56	0.0186	0.03650	0.3472	HCO <sub>3</sub> ·Ca, Mg
	则 4			3 950	7.210	133.62	1.70	2.91	6.20	15.82	0.0004	0.0850	2.5750	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> ·Ca·Mg
	则 5		3 550	7.440	103.29	0.80	8.83	4.45	15.02	0.0009	0.0711	2.1180	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> ·Ca·Mg	
	则 6		2 950	7.340	183.88	1.30	5.24	7.80	38.04	0.0002	0.1058	3.4350	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> ·Ca·Mg	
	则 7		2 830	7.480		1.90	5.82	9.30	30.35	0.0009	0.2261	3.8870		
	则 8		2 840	7.135		1.00	2.42	1.10	23.16	0.0010	0.1128	2.1520		
	则 9		2 820	7.445		4.30	6.79	0.98	12.78	0.0007	0.0705	1.4420		
	则 10		3 550	6.680	28.78	1.40	2.81	1.08	1.92	0.0330	0.1141	0.3771	HCO <sub>3</sub> ·Mg·Ca	
嘎隆拉 冰 川	则 11	1982.10.5	泉水	2 850	7.130		8.95	12.12	2.40	44.72	0.0013	0.0685	4.8890	
	嘎 1	1982.8.17	冰川融水	3 560	7.375	89.34	0.15	4.17	1.20	14.86	0.0005	0.0803	1.3960	HCO <sub>3</sub> ·Ca·Mg
	嘎 2		冰川冰	3 700	6.260	39.36	0.15	0.29	1.10	1.44	0.0112	0.0623	0.1200	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> ·Ca
	嘎 3	1982.8.18	雪崩雪	3 640	4.245	21.71	3.00	1.84	1.24	0.32	0.0145	0.0717	0.1486	Cl·SO <sub>4</sub> ·Na, Mg
	嘎 4	1982.8.23	河 水	2 685	7.680	121.86	0.40	5.25	2.80	21.74	0.0002	0.0679	2.4650	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> ·Ca·Mg
	那 1	1982.10.1	冰川冰	4 600	5.707	71.00	0.46	9.41	0.57	7.03	0.0006	0.0631	0.0524	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> ·Mg
	那 2		粒 雪	4 700			0.60	1.45	0.58	0.80	0.0051	0.0698	0.0769	
那 3	湖 水		4 130	6.660	80.81	0.20	1.16	1.20	0.96	0.0006	0.0979	0.9148	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> ·Mg·Ca	
多雄拉 山 口	多 1	1982.9.28	积雪(上层)		5.500	7.64	0.15	0.48	0.26	0.48	0.0006	0.0636	0.0438	HCO <sub>3</sub> ·Cl-Mg
	多 2		积雪(下层)	4 100	5.468	3.08	0.15	0.09	0.27	0.16	0.0015	0.0653	0.0473	HCO <sub>3</sub> ·Cl-Mg·Ca
	多 3		地表径流		5.830	4.38	0.10	0.29	0.24	0.96	0.0004	0.0600	0.0535	HCO <sub>3</sub> ·Cl-Mg·Ca

度(46.79 毫克/升);则隆弄冰川冰矿化度亦低于当地雨水矿化度(28.78 毫克/升),更低于当地冰川融水矿化度(103.29—183.88 毫克/升)。由此可见,则隆弄冰川在历史上所处环境的化学风化不如现代化学风化强烈;而冰川融水矿化度较高,可能为则隆弄冰川强烈的地质地貌作用和频繁的新构造运动所致。该冰川周围地热出露点达五六处之多。有一处竟出露于冰川南岸末次冰期侧碛层上,穿透 100 多米厚的冰碛层而形成一个间歇性喷发地热蒸汽洞穴。

南峰地区暖季雨水矿化度(28.78 毫克/升)低于托木尔峰暖季雨水矿化度(43.67 毫克/升)。这反映影响两地暖季雨水矿化度的大气环流运行距离的差异性。前者的暖季雨水主要受印度洋西南季风气流的影响,而后的暖季雨水则多受西风环流的影响。

嘎隆拉距主峰较远。其雪崩雪矿化度为 27.71 毫克/升,冰川冰为 39.36 毫克/升,冰川融水为 89.34 毫克/升,河水为 121.86 毫克/升。显而易见,矿化度由雪→冰川冰→冰川融水→河水而渐次递增。

位于南峰西南的那木拉冰川矿化度(71.00 毫克/升)与相距该冰川末端不足 1 公里的那木拉错水矿化度(80.81 毫克/升)非常接近,这反映湖水主要由冰川融水所补给。

位于那木拉南侧的多雄拉山口(海拔 4 100 米)附近,季节积雪和地表径流矿化度十分接近(分别为 3.08—7.64 毫克/升和 4.38 毫克/升),属所有样品中矿化度的最低值。这除表明当地地表径流深受大气降水控制外,还说明通过多雄拉山口的气流基本上未受地表风化的影响。

南峰地区冰川冰、雪、水的水化学类型有一定的差异性。比如,则隆弄冰川冰的水化学类型是  $\text{HCO}_3\text{-Mg}$  或  $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$  型,而嘎隆拉冰川冰的水化学类型为  $\text{SO}_4\text{-Ca}$  型,那木拉冰川冰则为  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Mg}$  型。这些差异可能与冰川所在谷地围岩的物质组成成分以及不同季节的水汽来源有关。前已述及,影响当地降水过程的,除夏季为印度洋西南季风外,还有秋冬和冬春分别为孟加拉风暴和西风南支槽。

用 PHS-2 型酸度计和丹麦 PHM<sub>4</sub>d 型酸度计测定了各种水体的 pH 值(表 4.9)。令人惊奇的是,1982 年 8 月 18 日在岗日嘎布山嘎隆拉山口北侧海拔 3 640 米处所采集的雪崩雪样(嘎 3)之 pH 值为 4.245,该值接近我国酸雨污染严重的重庆市 1979 年 12 月降水 pH 值(4.04)和 1966 年欧洲出现的一次污染最严重的酸雨 pH 值(4.00)。到目前为止这是我国唯一发现受到酸性污染的高山冰川区。由于此种现象在大拐弯以及大拐弯以西地段的样品中均未出现,因此是否与重庆等地区的酸性污染有关,尚待进一步实验证实。如是,似乎可以表明,太平洋东南季风在某些时候可以越过横断山区而影响到雅鲁藏布江大拐弯以东地区。这个样品所代表的雪崩雪为 1982 年春末初夏所沉积。除此之外,所有样品 pH 值近于中性和中性状态,未受酸性污染。

## 二、冰川冰、雪中的杂质元素富集系数

国外常用元素富集系数及其排列顺序,来评价大气降水中元素的来源。

元素富集系数

$$EF_{\text{Al}} = \frac{X'/\text{Al}'(\text{冰川冰、雪})}{X/\text{Al}(\text{地壳})} \quad (3)$$

(3)式中  $X'/Al'$  为冰川冰、雪中的某元素  $X$  含量和  $Al$  浓度之比值;  $X/Al$  为地壳中的某元素含量和  $Al$  浓度之比值。据此,我们计算了冰川冰、雪中的杂质元素  $Na, K, Ca, Mg$  相对于  $Al$  的富集系数,并与国内外一些冰川区进行了对比(表 4.10)。

表 4.10 南峰地区与其他一些地区冰川冰、雪中的杂质元素富集系数对比

采 样 地 点	采样时间 (年·月·日)	海 拔 (米)	富集系数 $EF_{Al}$				排 列 顺 序
			Na	Mg	K	Ca	
则隆弄冰川	1982.9	3 700	33.56	95.56	32.37	3.22	$Mg > Na > K > Ca$
		3 500	43.89	58.10	32.91	34.80	$Mg > Na > Ca > K$
嘎隆拉冰川	1982.8.18	3 640	57.43	47.94	26.11	4.77	$Na > Mg > K > Ca$
那木拉冰川	1982.10.1	4 600	24.98	695.20	34.00	297.20	$Mg > Ca > K > Na$
		4 700	22.19	73.00	23.60	23.10	$Mg > K > Ca > Na$
多雄拉山口	1982.9.28	4 100	9.74	42.40	18.57	24.30	$Mg > Ca > K > Na$
			9.02	7.37	18.19	7.49	$K > Na > Ca > Mg$
南极东部 (杜蒙)	1975		28.75	8.02	4.94	2.19	$Na > Mg > K > Ca$
			20.17	5.62	3.34	1.53	
天山托木尔峰	1978	4 000	1.61	2.29	0.32	5.07	$Ca > Mg > Na > K$
珠峰绒布冰川	1964	5 600	19.32	4.98	4.83	28.30	$Ca > Na > Mg > K$
阿尔泰山友谊峰 哈拉斯冰川	1980.8	3 380	11.00	5.57	8.68	5.15	$Na > K > Mg > Ca$
	1980.7	3 200	1.57	5.57	1.73	1.12	$Mg > K > Na > Ca$
			1.01	4.15	2.68	0.98	$Mg > K > Na > Ca$
		2 800	60.30	41.60	51.50	14.90	$Na > K > Mg > Ca$

前苏联学者 Л. К 布里诺夫(1963)研究指出,海洋水中各成分阳离子之间的关系是  $Na > Mg > Ca$  型。而 В. Д 维列斯基(Виленьский, 1976)则指出,陆地水(主要指内陆湖等对区域性气候有一定影响的水体)各成分阳离子之间的关系是  $Ca > Mg > Na$  型。就冰川冰、雪中的杂质元素富集系数的排列顺序而言,南峰地区冰川与深受海洋性气候影响的南极冰川和受北冰洋气流影响的阿尔泰山友谊峰哈拉斯冰川(王立伦, 1985)相近。由此而表明,南峰地区冰川的补给来源受到季风海洋性气候的强烈影响,这与高登义等人得出的“雅鲁藏布江大峡弯成为印度洋气流向青藏高原输送水汽的主要通道”的结论是相吻合的。

但必须指出的是,南峰地区冰川冰、雪中杂质元素排列顺序与 Л. К. 布里诺夫所指出的纯海水中的杂质元素排列顺序是有差异的。比如那木拉和多雄拉冰川冰、雪中均有  $Mg > Ca > Na$  或  $Na > Ca > Mg$  的现象,这表明海洋性气流在运行途中,沿途受地表性杂质元素的污染,但其程度远不如我国大陆性冰川(如珠穆朗玛峰绒布冰川)那样严重。

### 三、冰川冰、雪、水体中的痕量元素含量

用慢中子活化分析和用 ICPQ-100 型电感耦合等离子体发射光谱测定了南峰地区各种水体中的  $Mo, Co, Cr, Sr, Ni, Cu, Zn, V, Pb, As, Cd, Ti, Sn, Hg, Ag, Se$  等痕量元素含量

表 4.11 南峰地区冰川冰、雪、水中的痕量元素含量

采样地点	样品编号	采样时间 (年·月·日)	样品类型	海拔 (米)	痕量元素含量( $\times 10^{-9}$ )															
					Mo	Co	Cr	Sr	Ni	Cu	Zn	V	Pb	As	Cd	Ti	Sn	Hg	Ag	Se
则隆弄冰川	则1	1982.9	冰川冰	3700	27.0	97.3	9.7	2.2	9.3	23.3	64.4	11.8	17.6		11.0	2.5	5.8	11.8	20.1	18.3
	则2			3500	16.0	26.3	6.2	0.8		17.6	60.2	6.7	9.9		7.5		4.3	6.6	8.7	15.9
	则3			3000	22.3	81.5	8.9	9.8	10.8	20.9	60.7	10.6	17.8	1.0	11.5	19.0	8.4	11.3	15.5	20.4
	则10		雨水	3550	21.0	91.1	12.6	13.4	11.6	62.7	33.8	11.3	24.5	32.0	13.0	0.7	9.9	11.7	18.8	25.4
	则4			3950	44.6	94.2	8.3	116.7	14.3	19.3	65.6	9.1	20.5	221.5	12.2	0.3	16.9	10.6	15.9	34.7
	则5		冰川融水	3550	40.8	109.9	12.7	77.9	16.7	21.2	70.9	12.0	24.1	174.2	14.8	1.2	16.6	13.1	19.7	36.6
	则6			2950	39.6	118.7	15.2	104.1	0.6	22.6	68.9	13.2	16.8	199.5	13.6	3.5	19.9	14.3	20.2	43.6
	则7		河水	2830	33.5	102.0	10.7	113.7	12.1	19.7	66.4	10.1	20.8	309.7	13.1	12.1	21.3	11.5	15.0	44.4
	则8			2840	34.7	103.7	9.8	36.3	14.6	20.9	63.6	10.7	24.4	194.9	13.2	3.4	16.0	11.5	18.3	35.5
	则9			2820	41.9	107.6	11.6	72.3	9.9	21.7	73.3	12.0	18.1	135.0	11.9	0.8	13.8	12.9	19.9	32.1
	则11	1982.10.5	泉水	2850	59.8	166.6	16.7	147.6	25.1	24.0	87.1	15.8	32.7	508.2	19.2	1.5	30.0	16.9	24.6	63.0
嘎隆拉冰川	嘎1	1982.8.17	冰川融水	3560	31.0	84.0	11.5	39.8	0.2	20.5	60.4	11.5	13.5	35.9	12.3	0.8	9.7	12.1	16.3	28.1
	嘎2		冰川冰	3700	19.4	91.7	11.5	3.9	1.5	30.8	71.5	12.1	14.2		11.4	0.5	6.5	12.7	19.4	17.9
	嘎3	1982.8.18	雪崩雪	3640	31.3	108.4	14.6	2.3		39.1	268.9	15.1	13.2		11.9	1.1	6.1	14.6	22.2	19.9
	嘎4	1982.8.23	河水	2685	38.7	101.3	14.1	82.0		22.1	61.5	12.9	9.5	43.6	10.6	0.6	12.0	13.3	19.3	27.5
那木拉冰川	那1	1982.10.1	冰川冰	4600	12.0	56.3	9.3	1.1		20.6	208.0	9.8	8.5		8.3		3.6	9.6	13.7	11.8
	那2		粒雪	4700	24.1	85.5	11.8	2.3		23.8	238.6	11.9	11.7		11.0	0.5	5.0	12.2	19.3	17.8
	那3		湖水	4130	33.4	88.6	13.3	14.8		22.5	59.5	12.7	10.5		10.1	2.4	8.6	12.4	17.7	22.5
多雄拉山口	多1	1982.9.28	积雪(上层)		28.4	81.6	8.8	0.2	4.2	21.4	63.9	9.5	15.9		9.7	0.4	4.9	9.9	16.0	16.6
	多2		积雪(下层)	4100	35.4	88.0	11.2	0.2		21.6	65.2	12.3	14.8		12.1	0.2	6.8	12.8	19.3	18.6
	多3		河水		17.5	73.7	7.1	0.6	7.5	19.8	56.5	9.0	13.2		9.2		5.9	9.3	15.9	13.1



(表 4.11)。由表 4.11 可见,则隆弄冰川区冰川融水、泉水的 As 含量以及河水的 As 含量都高于冰川冰的 As 含量达两个以上数量级。As 元素存在于低温热液矿床和含硫温泉的升华物中,它在雄黄( $\text{As}_2\text{S}_3$ )中的理论值为  $70.08(\text{S 为 } 29.92) \times 10^{-9}$ 。则隆弄冰川发育在新构造运动频繁的南峰主峰附近,这有助于增大冰川融水、河水和泉水的 As 含量。从表 4.11 还可以知道,冰川冰、雪中的痕量元素 Mo,Co,Cr,Sr,As 含量低于冰川融水、河水、湖水和泉水中的含量;Ni,Cu,Zn,V,Pb,Cd,Ti,Sn,Hg,Ag,Se 等元素在各种水体中的含量无明显差异;Ni,As,Ti 等元素在各冰川冰、雪中的含量均很低。南峰地区除 Cd,As 元素含量之外,其他元素含量均低于 1963 年我国卫生部规定的地表水有害物质的最高容许量。河水、泉水中的剧毒元素 As 含量超过或接近国家规定的标准( $<50 \times 10^{-9}$ ),水体中的 Cd 含量也超过或接近国家规定的标准( $<10 \times 10^{-9}$ )。泉水中的 Cd 含量最高,达  $19.2 \times 10^{-9}$ ,这在我国其他高山冰川区是不多见的。

#### 四、冰川冰、雪、水中的氡含量

用加热法对样品加以一次蒸馏,再用低水平液体闪烁计数器来测定氡含量。闪烁计数器性能指标为:当用乳化闪烁液测量时,20 毫升含水量为 35% 的样品,氡效率为 15.5%,本底为  $2.7 \pm 0.1 \text{cpm}$ 。闪烁液 ppo 为 6 克/升,popop 0.6 克/升。将所测结果列于表 4.12。

表 4.12 南峰地区冰川冰、雪、水中的氡含量

采样地点	样品编号	采样时间 (年.月.日)	海拔(米)	样品类型	氡含量(TU)
则隆弄冰川	则 1	1982.9	3 700	冰 川 冰	8±3
	则 2		3 500		15±4
	则 3		3 000		46±10
	则 10		3 550	雨 水	23±8
	则 4		3 930		95±9
	则 5		3 550	冰川融水	90±9
	则 6	1982.10.5	2 950	河 水	70±4
	则 7		2 830		43±3
	则 8		2 840	泉 水	38±8
	则 11		2 850		55±10
嘎隆拉冰川	嘎 1	1982.8.17	3 560	冰川融水	43±7
	嘎 2	1982.8.18	3 700	冰 川 冰	6±2
	嘎 3		3 640	雪崩雪(当年)	37±4
	嘎 4	1982.8.23	2 685	河 水	29±3
那木拉冰川	那 1	1982.10.1	4 600	冰 川 冰	23±9
	那 2		4 700	粒 雪(当年)	31±14
	那 3		4 130	湖 水	33±7
多雄拉山口	多 1	1982.9.28	4 100	积 雪(上部)	34±10
	多 2			积 雪(下部)	87±7
	多 3			地表径流	27±4

从表 4.12 可以看出,南峰地区冰川融水径流与多年性积雪堆下部层老雪中的氡含量较高。则隆弄冰川融水的氡含量为 70—95TU,平均达 85TU;多雄拉山口雪堆下部层雪样的氡含量为  $87 \pm 7 \text{TU}$ 。就氡含量而言,泉水次之,然后是河水,最低是当年的积雪和雨水。

在通常情况下,现代冰川消融区的冰川冰为世界上开始进行大规模核试验的1954年前所堆积,其氙含量很低,多在10TU以内。嘎隆拉冰川下游海拔3700米处冰川冰样(氙含量为 $6\pm 2$ TU)为其真正的样本。那木拉冰川冰样取自雪线(海拔4600米)以上,其为1954年后所堆积,其氙含量( $23\pm 9$ TU)当高于1954年前冰川冰样的氙含量。有意思的是,则隆弄冰川消融区下部海拔3000米处冰川冰的氙含量高达 $46\pm 10$ TU,这与则隆弄冰川1968年发生过跃动有关。冰川跃动时,各部分冰体(包括1954年后沉积、再经过崩坍而形成的雪崩雪)互相混杂,使1954年后形成的冰川冰、雪有可能被快速运动到冰川的较低部位。

多雄拉山口一处斑状积雪堆下部层的氙含量高于上部层氙含量1倍余,这可能是1980年夏季印度核试验所造成的污染。由此而说明这个下部层积雪为1980年所堆积,可见近年来西藏东南部海拔4000米左右的山地可以形成多年性积雪。这与西藏东南部一些冰川“退缩速度已减缓,而且近年来补给状态的改善……说明冰川已孕育着前进的趋势。”(张文敬等,1981)的结论相一致。

秋季的9月,则隆弄冰川融水的氙含量较高,这说明该时期冰川融水径流主要靠雪崩雪的融化所补给。这时已近冰川强烈消融的末期,在深厚表碛层的保护下,即使是消融区下部冰川的消融也将受到极大程度的抑制。由于山体上部的多年性积雪以雪崩的方式搬运到消融区,从而使该时期的融雪水成为冰川融水径流的主要补给来源,其氙含量与山体上部多年性积雪的氙含量相近。

泉水中的氙含量介于老雪和雨水之间,这说明泉水受到多年积雪融水和雨水的混合补给。1982年雨水、雪崩雪中的氙含量低于多年性积雪堆下部层的氙含量,由此而表明1980年以来南峰地区受核试验污染的影响在减弱。

经与国内某些高山冰川区对比表明,南峰地区雪中的氙含量是较低的(表4.13)。

表 4.13 南峰地区与其他一些地区雪中的氙含量对比

地 点	采样时间 (年·月·日)	海 拔 (米)	位 置		氙含量(TU)
			北 纬	东 经	
南峰地区冰川	1982.8—10	3000—4700	29°38'	95°10'	31.9 (9次平均)
天山冰川	1980.5—9	4100	43°06'	86°49'	106.7 (10次平均)
	1983.8.16				100.7 (6次平均)
贡嘎山冰川	1982.9	5100	29°36'	101°56'	33.0 (5次平均)
友谊峰哈拉斯冰川	1980.8	3380	49°07'	87°47'	102.8 (12次平均)
玉龙山冰川	1982.7—8	4670	27°25'	100°10'	26.2 (5次平均)

## 第八节 冰川生态环境的一些特征

冰川是气候和环境的产物。同时,冰川(尤其是分布比较集中的冰川作用区)将会必然地影响到周围一定范围内的环境结构。根据冰川本身的物理特性,将我国现代冰川划分为大陆性和海洋性冰川两大类型,而将前者又分为极大陆型和亚大陆型冰川(施雅风、谢自楚,1964)。有意思的是,上述各类冰川在生态环境方面也明显地表现出自身的特征。属大

陆性类型的珠穆朗玛峰北坡地区、祁连山西部地区、天山东部和中部地区如博格达峰地区以及青藏高原内陆水系如西昆仑等地的现代冰川周围均呈高山寒冻风化及高山、高原荒漠等自然景观,现代冰川末端均远离森林上限,植物群落多以雪莲、风毛菊、报春花、龙胆及针茅等草本为其主要结构特征。现代冰川之表碛区很少发现有草本植物生长,绝无木本植物生长。被称为亚大陆型的天山托木尔峰地区的现代冰川末端一般与森林上限齐,仅个别大型山谷冰川(如托木尔苏冰川,末端海拔 2 600 米左右)末端有伸入森林区的现象,但幅度不大,冰川表碛区有零星草本植物生长,间或发现为数极少的灌丛状木本植物如高山怪柳等杂生其间。可是在包括南峰在内的西藏东南部季风海洋性冰川周围地区,却表现出冷暖干湿等数组矛盾相互对立和统一的、复杂化了的亚热带山地自然地理景观。这种自然地理景观的垂直带谱在纬度较低、地形切割甚烈、处于“舌状多雨带”要冲的南峰地区表现得最为完整。现代冰川末端穿过高山寒冻风化壳状地衣高山寒漠土带、高山寒带草甸高山草甸土带、亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带、山地寒温带暗针叶林山地灰化土带而伸入海拔 3 200 米以下的山地暖温带针阔混交林山地棕壤带。在现代冰川表碛区的下游地段,生长着以蓼、黄芪、芒、蕨、草莓等为主要群落组合的草本植物以及不占优势的柳、沙棘等木本植物(表 4. 14)。在距今约 300—400 年以前( $^{14}\text{C}$  测定为  $287 \pm 93$  年和  $394 \pm 83$  年)所形成的小冰期侧碛垄上则生长着以柳、杉、桦、沙棘、杜鹃等为优势种类的植物群落组合(表 4. 14)。此外,据本次考察及 1973—1976 年和 1980 年多次对邻近地区的考察,发现在大型山谷冰川表碛区的中上部位斑状裸露冰面上有大量“冰川老鼠”(Glacial mice)生长。已经鉴定为高山墙藓(*Tortula sinensis* C. Mull-Broth.)在冰川上面的一种特殊生长形式。还有一种叫“雪蚤”的昆虫动物广泛地生长在消融区的冰川冰内以及冰面径流水沟中。在雪线附近的冰融水坑里还发现有“冰蚯蚓”生长,经鉴定为“华线蚓”(Sinichytracus glacialis gen. et. sp. nov.)。但由于南峰地区雪崩频繁,表碛分布上限较高,又一定程度上抑制了它们的生长。比如“冰川老鼠”在则隆弄冰川上的发育就远不如阿扎冰川(张文敬, 1981)上完整。“冰蚯蚓”除在我国西藏东南部季风海洋性冰川上有所发现外,在天山托木尔峰东坡的西台兰冰川雪线附近(海拔 4 400—4 800 米)也有生长,但在大陆性的珠穆朗玛峰北坡的绒布冰川以及祁连山冰川上却还未曾见到它们的踪迹。笔者等在论述托木尔峰现代冰川的类型时,曾将其划定为“亚大陆性冰川”,看来,在冰川区生态环境方面也是可以找出令人信服的证据的。

由于现代冰川生态环境方面的研究在我国尚处于初步阶段,而且又因考察季节的限制和标本鉴定等方面的原因,表 4. 14 中所列植物种数是不完全的,但对于说明其与大陆性冰川、亚大陆性冰川的生态环境特征之差异而言,还是有足够说服力的。

冰川表碛区的植物分布,呈现出一种海拔越低,植物种类越丰富,而且木本植物优势越大的规律。如则隆弄冰川海拔 3 100 米左右的末端附近表碛丘陵上已经形成了遮蔽度良好的幼树林。

小冰期侧碛垄上面的植被发育远较现代冰川表碛区为良好,其组合特征也较表碛高级和复杂。但由于冰碛形成年代较新,风化不强烈,土壤条件极差,许多种在附近第四纪古老冰碛上面以及附近非冰川堆积区上面广泛生长着的植物,却未能得以在小冰期冰碛物上面生长发育。比如箭竹、喜马拉雅圆柏等等。可见,对冰川区生态环境的研究不仅为确定冰川性质和类型提供依据,而且对了解冰川的演变历史,及在冰川退缩过程中植被向冰

川区推进的速度等方面都具有一定的意义。包括南峰在内的西藏东南部广大地区是西藏主要的农、牧、林业以及许多经济作物产区。通过对区内复杂的冰川生态环境的进一步研究,一定可以为当地农、牧、林业的区划,农作物及各种经济林木、建材林品种的变异、改良等科学研究提供某些信息。

表 4.14 现代冰川表碛区及小冰期冰碛区植物标本登记表

冰川名	采集部位	海拔(米)	名 录		生活型	鉴定者	标本号
则隆弄冰川	侧碛区 (小冰期)	3 500—3 750	筐柳	<i>Salix cheilophila</i> schneid.	木	方振富	8201008
			多穗蓼	<i>Polygonum polystachyum</i> Wall. ex Meisn.	草	李安仁	8201000
			金丝草(壶状)	<i>Pogonatherum urnigeum</i> (Nedw.) P. Beaur.	草	吴鹏程	8201018
			木本珍珠梅	<i>Sorbaria arborea</i> Schneid.	木	谷翠芝	8201019
			鳞腺杜鹃	<i>Rhododendron lepidotum</i> Wall.	木	方端正	8201030
			冷 杉	<i>Abies</i> sp.	木	方端正	8201031
			柳	<i>Salix</i> sp.	木	方振富	8201032
			褐背柳	<i>Salix daltioniana</i> Anderss	木	方振富	8201033
			糙皮桦	<i>Betula utilis</i> D. Don	木	李安仁	8201035
			同色黄花木	<i>Piptanthus concolor</i> Harrow.	木	李安仁	8201036
			白 桦	<i>Betula platyphylla</i> Suk.	木	李安仁	8201040
			草 莓	<i>Fragaria</i> sp.	草	李安仁	8201044
			黄 芪	<i>Astragalus</i> sp.	亚灌木	李安仁	8201045
			蹄盖蕨	<i>Athyrium</i> sp.	草	Lin	8201041
则隆弄冰川	表碛区中部	3 500—3 600	头状蓼	<i>Polygonum capitatum</i> Buch-Ham ex D. Don	草	李安仁	8201046
			丝毛柳	<i>Salix luctuosa</i> Levl.	木	方振富	8200997
			裸柱头柳	<i>Salix psilostigma</i> Anderss.	木	方振富	8200999
			沙 棘	<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	木	李安仁	8201002
			肾叶山蓼	<i>Oxyria digyna</i> (L.) Hill	草	李安仁	8201004
			裸柄芒	<i>Miscanthus nudipes</i> (Griseb.) Hack.	草	李安仁	8201009
			柳叶菜	<i>Epilobium wallichianum</i> Hausskn.	草	李安仁	8201010
			紫花蓼	<i>Polygonum griffithii</i> Hook. f.	草	李安仁	8201011
			多穗蓼	<i>Polygonum polystachyum</i> Wall. ex. Meisn.	草	李安仁	8201014
			柳	<i>Salix</i> sp.	木	方振富	8201016
路口曲2号冰川	侧碛区 (小冰期)	4 400—4 500	黑毛叶黄芪	<i>Astragalus pullus</i> Simp. var. <i>pubifolis</i> Niet Hi Pei-giong.	亚灌木	李安仁	8201017
			梭子芹	<i>Pleurospermum</i> sp.	草		84001
			红景天(一种)	<i>Rhodiola</i> sp.	草		84003
			雪层杜鹃	<i>Rhododendron nivale</i> Hook. f.	木	方端正	84005
			悬钩子	<i>Rubus</i> sp.	木	武素功	84006
			长毛岩须	<i>Cassiope wardii</i> Marq et Airy-shaw.	草	方端正	84007
			黄毛海绵杜鹃	<i>Rhododendron aganniphum</i> var. <i>flavorufum</i> (Balf. f. et Forr.) Cham-berlain	木	闵天禄	84009
			圆穗蓼	<i>Polygonum macrophyllum</i> D. Don.	草		84010
			海绵杜鹃	<i>Rhododendron aganniphum</i> Balf. f. et Ward	木	闵天禄	84012
			金露梅	<i>Potentilla fruticosa</i> L.	木		84014
			大丁草	<i>Leibnitzia nepalensis</i> (Knnze) Kitamura.	草		84015
			毛冠杜鹃	<i>Rhododendron laudandum</i> Cowan.	木		84017

## 第九节 冰川的变化

由于海洋性冰川的地质地貌作用十分剧烈,侵蚀、搬运及堆积能力很强,所以虽经长期的山地洪水(包括冰川融水、冰湖溃决洪水)等营力的破坏,但仍保留着较为丰富的冰川变化遗迹。

北嘎隆拉河在末次冰期时完全为一条长约 30 公里的山谷冰川所占据,当时冰川末端一直延伸到海拔 2 900 米左右,直达帕隆藏布主谷。在与主谷汇流处保留着形态较完整的冰碛剖面。由于后期河水的切割,冰碛物仅分布在沟口两侧。剖面厚 70—120 米,岩性复杂,无层理,排列方向较紊乱,胶结较好。一些风化较强、已呈粉碎状冰碛物表现为红黄颜色。往上海拔 3 600 米左右,始见有与现代冰川紧相依靠的新冰期及小冰期堆积物。新冰期冰碛一般高于现代冰川冰面 50 米以上,小冰期冰碛紧贴在新冰期冰碛内侧。现代冰川除厚度和宽度小于新冰期与小冰期之外,其长度大致与前两者等同。现代冰川以及周围新冰期、小冰期冰碛完全发育在与古谷地坡向、走向一致的冰水冲积平原上,而在冲积平原上却见不到末次冰期冰川与新冰期之间冰川逐渐退缩的任何堆积。显而易见,当末次冰期结束后,这里曾受到延续时间较长的冰水夷平作用,而现代冰川则是距今约 3 000 年(位于岗日嘎布山脉东南坡的阿扎冰川新冰期<sup>14</sup>C 年龄为  $2\,980 \pm 150$  年)以来重新发育起来的,是近代气候的产物,不可能是所谓第四纪末次冰期的残留体。

根据冰碛的堆积形态以及在龙悲北侧海拔 2 700 米处所采<sup>14</sup>C 标本绝对年龄<sup>①</sup> 资料,位于南峰西坡的则隆弄冰川在  $14\,853 \pm 265$  年前曾经是一条较现代冰川规模为大的扇形冰川。扇形的一端沿雅鲁藏布江大拐弯入口处向下,直达现今海拔 2 650 米处的龙悲地界,末端距南峰约 30 公里;扇形的另一端则自大拐弯入口处溯江而上,直抵现今海拔 2 950 米的米林县大渡卡乡二队地界,末端距主峰约 23 公里。由于雅鲁藏布江 50 多公里的河谷段被当时的冰流所堵塞,故而自此以上直至现今米林、林芝一带形成面积达 300 多平方公里的冰川堵塞湖。后来冰川退缩,冰湖溃决,但在派区至米林、林芝之间留下了若干丰富的湖相沉积物以及被冰水所夷平过的冰碛阶地。借助精度较高的( $\pm 5$  米)瑞士“THOMMEN”高度表和大比例尺航测地形图,发现流域内湖相沉积和冰碛阶地顶部的海拔高度均处于同一高度(海拔 3 000 米),显然,这是当时冰川阻塞湖水面的平均位置。其时,区内各主要冰川谷地均被大型山谷冰川或山麓冰川所占据,冰川雪线较现代冰川低 300 米左右。此后即进入不利于冰川发育的高温期——广昌高温期(Zheng Benxing et al., 1981),这期间区内各处冰川严重消退,目前所见如米林县大渡卡乡末次冰期冰碛平台和接地当嘎冰碛平台上的古土壤即为当时所形成。其间,仅在高山之巅残存着一些冰斗冰川和悬冰川,山谷冰川几乎绝迹。到距今  $1\,481 \pm 134$  年<sup>②</sup>,则隆弄冰川又重新发育。当其规模最盛时冰川末端也曾下伸至雅鲁藏布江主谷,并也曾堵塞主谷,但堵塞程度和延续时间显然不如末次冰期时大和长。到近代,本世纪 20 年代初期,英国学者华金栋(Kingdon Ward F., 1926)曾对该冰川当时的末端位置有过记录:末端海拔约 3 500 米,冰川长

① 据中国科学院兰州冰川冻土研究所分析室顾功树测定为  $14\,853 \pm 265$  年。

② 样品采自则隆弄冰川新冰期侧碛垄海拔 3 600 米处,经中国科学院兰州冰川冻土研究所分析室顾功树测定。

度约 7.7 公里,较目前短,却比 1950 年和 1968 年冰川跃动前夕的长度为长(关于冰川跃动见下节)。1950 年该冰川跃动前末端海拔 3 650 米,长 7.0 公里;跃动后末端延伸至雅鲁藏布江边,长度为 11.8 公里;至 1968 年第二次跃动前夕,冰川末端复退缩到海拔 3 650 米左右,跃动后再次伸至江边。此后于 1974 年冰川后退了 350 米,至 1982 年 9 月共退缩 1 200 米;1984 年 4 月又退缩 33 米。由于该冰川具有特殊的运动规律,跃动后的迅速后退并不能代表本区现代冰川真正的变化趋势。考察表明,本区现代冰川普遍处于比较稳定的状态,一些冰川还处于明显的前进状态(表 4.15)。

表 4.15 南峰地区一些冰川的变化

冰川名	观测部位	观测时期	变化情况	说 明
北嘎隆拉 1 号冰川	末 端	1982—1983 年	+16 米	末端超覆在长草的沙滩上
北嘎隆拉 2 号冰川	末 端	1982—1983 年	0	
北嘎隆拉 4 号冰川	表碛区中下游	1980—1983 年	前进	新鲜表碛大规模 地溢盖在新冰期冰碛上
则隆弄冰川	表碛区上部 海拔 4 000 米	1982—1984 年	前进	冰体壅高,上游表碛 超覆在下游表碛上
则隆弄冰川	表碛区海拔 3 700 米	1984 年 4 月	前进	块体滑动 3—15 米
则隆弄冰川	末 端	1982—1984 年	-33 米	
冰川名	观测部位	观测时期	变化情况	说 明
路口曲 1 号冰川	末 端	1983—1984 年	0	冰面减薄但现代冰川末端直抵 小冰期终碛垄内侧
路口曲 2 号冰川	末 端	1983—1984 年	0	现代冰川末端直抵 小冰期终碛垄内侧
那木拉 1 号冰川	末 端	1982 年 10 月	前进	冰舌末端切破 小冰期终碛垄

通过对冰川生态环境的研究,也能为冰川的变化提供某些信息。紧靠现代冰川小冰期或新冰期侧碛内侧的木本植物生长状态比较稳定的,说明该处冰川厚度变化不大;若植株根须裸露在外且多呈悬空状,表明冰川厚度已经降低减薄;若发现有被冰体压倒、推翻(在表碛区则表现为被表碛压倒、推翻)的植物,则表明冰川厚度增加呈前进状态。冰川表碛上的植物覆盖度大,木本植物年轮长,则表明冰川活动性较小,运动速度缓慢;若发现表碛区植物多有翻倒且一般倒伏方向指向冰川上游者说明冰川运动速度明显增大;冰川末端压在长有植物的冰碛物上则表明冰川末端处于前进状态之中;冰川末端的木本植物个体大,年轮数多,则表明冰川末端在此位置上处于稳定状态,其稳定时间应与树轮大致相当;若冰川末端以下一定距离之内多年生植物(尤其是木本植物)的分布突然中断,则表明冰川发生明显后退,后退时间可以由下游方向最近距离处植株的年轮所定。例如北嘎隆拉 4 号冰川新冰期侧碛三分之二面积上的植物不同程度地被现代冰川新鲜的表碛和现代终、侧碛所覆盖、压倒,据此不难判断该冰川正处于前进状态;而 2 号冰川表碛区下段植物均规律地向上游方向倾斜,表明冰川该段运动速度有所增加,而紧靠冰川末端生长的小叶柳(*Salix dulosomicrophylla* C. Wang et P. Y. Fu)和银背柳(*Salix ernesti* Schneid.)等木本

植物直径均在4—6厘米之间,年轮达9—11年,表明冰川末端近10年来一直处于稳定状态。该冰川末端以下350米处有一冰碛湖,据调查,近10年来冰川末端与湖岸之间的相对位置也无明显变化。

根据植物的生态状况还能对现代冰川表面的地貌特征及形态的演变进行一些定量的分析研究。例如则隆弄冰川海拔3100米左右表碛丘陵上已形成了遮蔽度较好的幼树林,树轮最长为7年,反映出表碛丘陵形成变化周期当在7年以上。

## 第十节 特殊的冰川类型——跃动冰川

跃动冰川(surge glacier)是指具有呈周期性快速前进状态的冰川。其跃动时运动速度往往是非跃动冰川(即常态冰川)运动速度的数倍乃至数十倍以上。由于对某一条跃动冰川来说其跃动的间隔时间似乎是固定不变的(Meier, et al., 1969)故又被叫做“波动冰川”。冰川跃动时对下游的森林、村庄和道路等危害极大,所以又称其为灾难性冰川前进或威胁性冰川。跃动冰川是近几十年以来才逐渐被科学界所重视并加以研究的一种自然现象。国外对跃动冰川有较多的研究。例如加拿大的W. A 伍德从1935年起就对加拿大育空地区的斯蒂尔冰川(Steele glacier)的跃动进行考察研究;梅森(Mason, 1935),德西奥(Desio, 1954)和赫威特尔(Hewitt, 1969)等都对喀拉昆仑山的跃动冰川作过报道。另外,张祥松(1980年)在研究喀拉昆仑山冰川进退变化特征时对该区若干具有跃动历史和跃动形迹的冰川进行过诸多描述和讨论。据近年来百万分之一彩色卫星照片等资料,发现我国新疆叶尔羌河上游克勒钦河源头柯雅加尔、特拉木凯里等冰川均明显地伸入主谷,并曾横断克勒钦河谷地而形成一些冰川阻塞湖。一些专家原分析认为可能属冰川跃动所致。但据叶尔羌河冰川洪水考察队实地考察初步表明,它们仅属一般运动速度较快的前进型冰川。1963年7月,1975年9月和1980年5月,西藏南部浪卡子县境内卡热拉山口附近一条悬冰川先后发生快速前进,并横断拉萨通往江孜、亚东的公路,一度造成交通运输困难。据分析,此仅为坡度太陡等原因引起的冰川冰崩坍性事件,不属于跃动冰川周期性的快速前进。

1982年9月经考察发现,南峰西坡的则隆弄冰川是一条跃动冰川。这在国内属首次发现。

### 1. 则隆弄冰川的跃动历史及若干形态特征

则隆弄冰川发育于一条呈东西向断裂谷地中。上限海拔7782米,下限海拔2950米,伸入林线(海拔4100米)以下1000余米,雪线(4500米)以下消融区平均宽约200米,目前长度10.25公里,面积17.9平方公里(其中积累区面积11.1平方公里),冰川作用系数(积累区面积与消融区面积之比)为1.63。冰川及周围海拔4500米以上地带冰雪崩频繁,流域内新构造运动较为活跃。这是一条属季风海洋性大型山谷冰川。

调查结果表明,则隆弄冰川近期曾发生过两次跃动。

第一次发生于1950年藏历七月初二日傍晚。当时则隆弄冰川迅速向下游流去。次日晨发现,快速移动后的冰体在雅鲁藏布江大峡弯入口处形成一高数十米的冰坝,并一度迫使江水断流。冰川跃动时,则隆弄冰川北侧支流因跃动冰体来不及汇入主流,结果冲决并

越过海拔 4 000 米处新冰期和小冰期侧碛堤,沿则隆弄北侧邻沟直白曲快速滑下,竟将沟口的直白村夷为平地。除一名叫直木错的藏族中年妇女因受一房梁保护得以幸免之外,其余 97 人悉数蒙难。这次冰川跃动,使冰舌由原来的海拔 3 650 米降至海拔 2 750 米的雅鲁藏布江畔。末端水平位移量达 4.8 公里。

由访问结果得知,冰川跃动的当天晚上曾发生大地震。经核实,此即 1950 年 8 月 15 日发生的察隅大地震,震级为 8.5,震中在察隅县城东南数十公里处。

第二次发生在 1968 年藏历七月(另有人回忆说,是阳历 1969 年 9 月 2 日)的一天下午。冰川附近格嘎村的农民正冒着烈日抢收荞麦。是日,南峰上空万里无云,平常喧嚣不已的雅鲁藏布江江水突然变得十分安静,原来是则隆弄冰川又一次快速前进后,雅鲁藏布江遭堵,再度形成一高数十米的冰坝,直到次日上午它渐被冲决。此次冰川跃动冲埋了则隆弄沟口的一座木桥,回水淹毁了与则隆弄冰川南侧邻沟——路口曲沟口高出江面 50 米处的一座水磨房。至今在水磨房遗址附近仍保留着当时被冲来的一块冰川漂砾(4 米×5 米×5.5 米),其顶部平坦,残留着较为新鲜的小冰碛石块及泥沙细砾。这次冰川跃动与第一次(1950 年)冰川跃动相比,空间变化大体接近。

由于地处边远,无人监测,当地居民所见的仅是冰川跃动之后的状态。至于冰川跃动的开始时间,以及跃动本身的空间和时间过程,目前尚不清楚。但由访问和考察结果得知:①第二次跃动前的冰舌末端位置已恢复到 1950 年冰川跃动前的位置;②两次跃动过程中均存在着一个最后“冲刺”,其速度至少为 1.5 公里/天。则隆弄冰川沟口以上 1.5 公里距离内为在附近居民视野范围内的冰川频繁活动区。两次冰川跃动的前一天,当地居民均未见冰流运动到该范围内的任何迹象。这就是说,冰川跃动在最后“冲刺”过程中,以 1 天 1.5 公里速度前进这一事实是毋庸置疑的。目前,这样高的冰川运动速度在世界上是难以见到的。例如,Desio, A. 等(1969)观测到喀喇昆仑山斯坦克谷地的库西亚冰川于 1953 年 3—5 月两个月之内前进 12 公里,平均每天不过 200 米;而北美阿拉斯加地区阿拉斯加山脉的马尔德罗冰川(Maldrow glacier)跃动时最大运动速度仅 6.6 公里/年。

一旦冰川跃动停止而处于间歇期时,冰川变薄,冰川基部与冰川谷床间的切应力减小,因而冰川运动速度不仅远低于跃动期的运动速度,而且也低于同区同属海洋型常态冰川的运动速度。如 1982—1983 年曾在则隆弄冰川消融区中部海拔 4 000 米处,测得冰川运动速度仅 9 米/年。而岗日嘎布东南坡同属季风海洋性冰川的阿扎冰川(常态冰川)消融区下部海拔 2 800 米处测得冰川运动速度却高达 400 米/年。

则隆弄冰川自 1968 年再次跃动后,经差别消融,目前主冰流已被分成六段。第一段为一巨大雪崩锥,其下缘海拔 4 500 米,高差 250 米左右。雪崩锥直接由主峰附近的雪崩物质补给。第二段以一宽数十米的横向裂隙与雪崩锥断开后,一直延伸到海拔 3 960 米处。第三段以一个坡度约 5°的冰碛滩(由冰水夷平)与第二段相连,然后延伸到海拔 3 650 米处。第四、五两段分别堆积在海拔 3 600—3 500 米和 3 450—3 400 米之间。第六段末端海拔 2 950 米,上部冰体呈楔形,顺北岸小冰期侧碛内侧延伸到海拔 3 180 米处尖灭(图 4.8)。除第四、五两段外,其余各段在横断面上都占满整个谷地,前端均发育有横断谷地的大冰崖;冰川融水自冰崖下部的冰洞中涌出,流至下段时,复潜入冰下成暗流。目前除第六段(其与第五段间被基岩所分隔)外,其余各段均由厚层表碛覆盖之下的埋藏冰所联结。

冰川的中下游呈“S”形。由于跃动时在“S”形弯道处产生离心作用,结果相应部位的



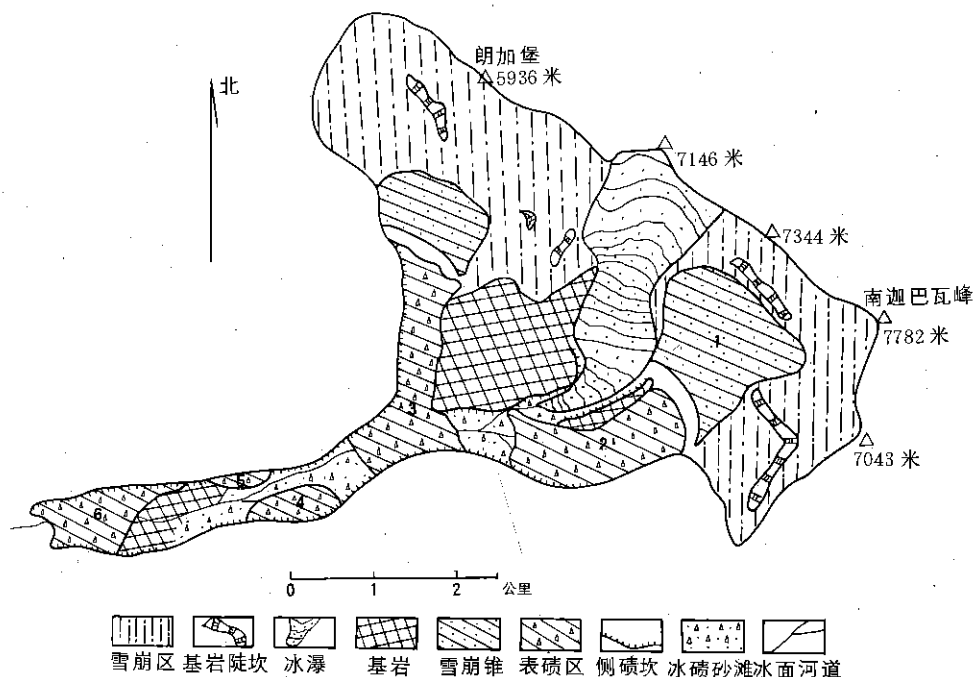


图 4.8 则隆弄跃动冰川地貌图

冰川横断面外侧高、内侧低，处于弯道内的第四、五两段冰体都呈现斜贴于谷地两岸小冰期侧碛之上的奇特现象(图 4.9)。

图 4.9a 表明，冰流运动于顺直段时跃动冰川横断面的空间几何特征与常态冰川横断面相仿，即冰面中部高于两侧。图 4.9b 和 4.9c 表示的是，冰流运动于弯道内时冰川横断面表现出明显的倾斜状态。图 4.9d 所示，冰流出弯道后，冰面倾角变缓，继而进入顺直段时冰川横断面两侧海拔大体一致，但冰面中部却低于两侧，原因是第六段与上游完全隔离，物质补给源被切断。这种现象在常态冰川中是难以见到的。

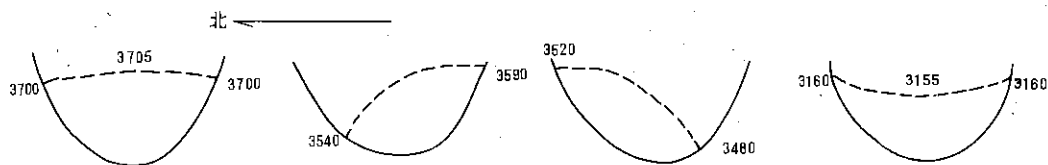


图 4.9 则隆弄冰川中下游横断面变化示意图

## 2. 关于冰川跃动的机制

这是一个十分复杂而有意思的研究课题。国际上一些著名的冰川学家对跃动冰川的机制和模式提出过各种假说。如罗宾(Robin, 1969)提出的：①应力不稳定性，②温度不稳定性，③水膜不稳定性等理论；李包特里(Liboutry, 1969)提出的“摩擦定律”；尼尔森

(Nielsen, 1969)提出的冰坝(Ice dam)粉碎流理论等等。但遗憾的是止于目前对该问题仍无统一的定论。不过通过世界各地跃动冰川的观测分析,都比较一致地认为:①几乎每一条被肯定为跃动冰川的,其发生跃动的旋回周期都接近于一个常数;②几乎所有的跃动冰川的跃动周期都与地震和气候等被认为最有希望的因素的变化不存在任何必然的因果关系(Meier, 1969)。根据迈耶 1969 年的统计,北美西部的贝林冰川(Bering glacier)的跃动周期为  $30 \pm 15$  年;克卢特兰冰川(Klutlan glacier)为  $30 \pm 10$  年,马尔德罗冰川为  $50 \pm 10$  年,克鲁安冰川(Kluane glacier)为  $19 \pm 1$  年等等。则隆弄冰川 1950 年之前有无跃动历史,暂难查考;下一次是否跃动,何时跃动,有待观测。1950 年的跃动似乎与地震有关。可是在整个藏东南地震区范围内再也没发现第二例因地震诱发的跃动冰川,而则隆弄冰川的第二次跃动又显然与地震毫无关系。如果关于冰川跃动时间的周期性理论也适用于南峰地区的话,那么则隆弄冰川的跃动周期似为 20 年左右。

就目前的研究和统计而言,世界上跃动冰川的数量是不多的,据波斯特(Post, 1969)等从北美洲的内华达山脉到阿拉斯加布鲁克斯山脉几万条现代冰川进行航片判读,仅发现 204 条冰川具有跃动迹象。

跃动冰川是近几十年才被发现并进行研究的一种灾害性的自然现象。此次对则隆弄冰川仅属线路性的考察。当发现其可能属于跃动冰川之后,仅对其若干地貌特征等进行了短期的初步观察,因此据现有的资料还无法对其跃动机制和规律作出结论性的探讨,许多问题尚需后来者进一步观测研究。随着研究工作的深入,资料的不断积累,包括则隆弄在内的跃动冰川有关课题必将获得突破。那时,这种灾害性的自然营力或许可以为人类经济建设服务。比如在我国天山和祁连山等地区,便可以用科学的方法在人们需要的时候,诱发冰川跃动,以降低其海拔位置,使之加速融化,以保证在人类经济活动最需要的时候获取一定量的淡水供应。

### 3. 则隆弄冰川的沉积特征

为研究该冰川的沉积特征,1984 年 4 月对则隆弄冰川跃动冰体消融后的遗迹进行组构量测<sup>①</sup>剖面的海拔自下而上分别为 2 800, 2 850 和 2 950 米。各剖面所在的冰碛形态,与圆丘状的冰碛卓极为相似,均高出河面 5—10 米。这种圆丘状冰碛在加拿大育空地区圣厄来阿斯山脉大角峰冰川(Bighorn glacier)被 N. W. 拉特作为该冰川跃动后的沉积地貌特征之一。剖面冰碛砾石的岩性大致为角闪黑云母斜长片麻岩、黑云母斜长片麻岩和云母石英片岩等。各剖面处随机量测砾石 100 个,数据由兰州大学地理系王爱英根据艾南山等编写的 BISIC 程序用 VICTOR——900 微型机处理后,用特征值法按砾石的 A 轴和 AB 面的倾向、倾角,分别算出各测点的  $E$ ,  $\ln(S_1/S_2)$ ,  $\ln(S_2/S_3)$ ,  $K$  和  $C$  值(表 4.16)。

上述  $E$  为离散度; $S_1, S_2, S_3$  分别为二次型对称矩阵(由砾石数  $N$  个单位向量坐标交叉积之和构成)的三个特征值; $K$  为质点的极密度; $C$  为优选定向的强度。

由表 4.16 可见,则隆弄跃动冰川冰碛的离散度  $E$  均大于 0.65; A 轴的极密度  $K$  均小于 1.0, 而 AB 面的极密度却大于 1.0; 优选定向的强度除靠近冰川末端的则-3A 之 A 轴大于 1.0 外,其余的均小于 1.0。

① 野外工作由杨逸畴与张文敬共同完成。

表 4.16 则隆弄跃动冰川沉积结构特征值

点号	海拔(米)	$E$	$\ln(S_1/S_2)$	$\ln(S_2/S_3)$	$K$	$C$
则-1A	2 800	0.66	0.092	0.782	0.118	0.874
则-2A	2 850	0.67	0.158	0.811	0.195	0.969
则-3A	2 950	0.71	0.344	0.949	0.362	1.311
则-1AB	2 800	0.69	0.523	0.143	3.657	0.666
则-2AB	2 850	0.66	0.434	0.037	11.73	0.471
则-3AB	2 950	0.69	0.416	0.4	1.04	0.816

## 第十一节 积雪和雪害

本区山地降水多达 1 500—2 500 毫米以上,仅冷季固态降水最高也可达到 1 000 毫米左右;从附近河谷地带的长期资料查知,察隅、波密、林芝等地降雪初、终之间日数为 110—167 天,而积雪初、终之间日数为 65—105 天。据王彦龙(1983)等,本区山地海拔 3 000 米以上地区稳定积雪的可能天数多达 100 天以上;而位于南峰西坡的接地当嘎(海拔 3 450 米)附近的阴坡地带,稳定积雪的可能天数竟达 150 天以上。可见,本区为我国丰富的积雪资源区。

本区积雪可分为永久性、多年性和季节性 3 种类型。永久性积雪分布在现代冰川积累区的海拔 4 500—5 000 米以上地带;多年性积雪分布在海拔 4 000—4 500 米附近的中高山地带;海拔 4 000 米和其以下地区为季节性积雪地带。由于近年来物质条件有所改善,作为局部水汽通道的 4 000 米左右的山隘附近发现有 3 个年层以上的粒雪堆积;在一些山体已进入雪线以上而无现代冰川发育的地带也属多年性积雪分布区(图 4.1)。

区内地形切割十分剧烈。据公式  $K = \frac{H}{\sqrt[4]{P}}$  (王彦龙,1983) 计算,仅南峰主峰西坡则隆弄沟的切割系数竟高达 700 以上,是贡嘎山的两倍多,成为整个青藏高原乃至我国各冰川作用区切割系数最大的地区。公式中  $K$  为切割系数; $H$  为流域内最大相对高差(米); $P$  为流域面积(公顷)。

王彦龙(1983)等将横断山凡地形切割系数大于 150 的算作雪崩发生区。在南峰地区,由于切割系数极大,雪崩的分布是很广泛的。雪崩与现代冰川的发育密切相关。雪崩对森林、草场、交通、边防建设等方面的危害是严重的。海拔 4 000 米以上的季节性积雪、多年性积雪和永久性积雪可以在极短的时间内崩坍到海拔 3 000 米以下的河谷地区,在亚热带山地森林带中形成许多雪崩堆积体。成片森林被毁,交通中断,河道受堵;由此而造成一些边防县区年内二分之一以上时间处于与内地相隔绝的“孤岛”状态。通过对区内多雄拉一汗密一线的实地调查,发现 1983 年进入南多雄曲的雪崩堆竟多达 42 处(表 4.17)。

雪崩在年内各种季节中均有发生,但大雪崩多见于气候的冷暖交替时期,尤其是春末夏初。冷季以干雪崩为主,暖季全为湿雪崩。从结构学观点看,冷季多为深霜全层位雪崩,暖季则因积雪自身融水和液态降水的渗透而引起积雪层位间结构力降低发生雪崩。

温度是积雪变质中的基本因素。在雪的变质作用过程中,温度主要通过它的实际值,

表 4.17 多雄拉—汗密雪崩堆积登记

坡向	编号	海拔(米)	长度(米)	宽度(米)	厚度(米)	积雪类型	堆积位置 and 危害程度
北	1	3 830—3 790	200	300	0.5—1.0	季节性	堆积在马行道上
	2	4 000—3 920	1 000	600	1.5—10	多年性	堆积在马行道上
	3	3 915—4 000	1 000	30—50	5—20	多年性	堆积在马行道上
南	4	3 770—3 820	800	500	3—15	多年性	堆积在马行道上
	5	3 300—3 400	1 000	500	2.5—10	季节性	堆积在马行道上
	6	3 200	50—70	60—80		雪崩堆积	位于多雄曲西 U 谷北侧,呈斑状
	7	3 200	50—70	60—80		雪崩堆积	位于多雄曲西 U 谷北侧,呈斑状
	8	3 200	50—70	60—80		雪崩堆积	位于多雄曲西 U 谷北侧,呈斑状
	9	3 200	500	500		雪崩堆积	位于多雄曲西 U 谷出口盆地中,呈断续状
	10	3 200	20	20		雪崩堆积	拿格兵站多雄曲西 U 谷东南侧
	11	3 200	20	20		雪崩堆积	拿格兵站多雄曲西 U 谷东南侧
	12	3 200	20	20		雪崩堆积	拿格兵站多雄曲西 U 谷东南侧
	13	3 200	20	5		雪崩堆积	拿格兵站北侧上方 300 米处
	14	3 120	200	150		雪崩堆积	于马行道上方约 100 米处
	15	3 100	50	30—40		雪崩堆积	于多雄曲西岸
	16	3 100	50	30—40		雪崩堆积	于多雄曲西岸
	17	3 100	50	30—40		雪崩堆积	于多雄曲西岸
	18	3 100	300	200	10	雪崩堆积	穿压在马行道上且直达多雄曲西岸
	19	3 100	250	200		雪崩堆积	紧逼马行道
	20	3 080	40	30		雪崩堆积	于马行道上方 80 米呈△形
	21	3 060	30	15		雪崩堆积	于马行道上方 300 米,曾波及马行道
	22	3 020	20	10		雪崩堆积	于马行道下方多雄曲岸
	23	2 930	500	300	10—20	雪崩堆积	穿压马行道
	24	2 870	400	10—20		雪崩堆积	紧靠马行道上方,雪堆下有融蚀洞,径流量>1 立方米/秒
	25	2 840				雪崩堆积	曾穿压马行道,波及面积约 100 平方米,现已融完
	26	2 810				雪崩堆积	曾穿压马行道,波及面积约 5 000 平方米,现已融完
	27	2 810				雪崩堆积	位于马行道上方,波及面积约 3 000 平方米,现已融完
	28	2 870	80	30		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	29	2 820	200	30—40		雪崩堆积	穿压马行道
	30	2 810	150	30		雪崩堆积	穿压马行道后将其以下 50 米处桦树林摧毁

续表 4.17

坡向	编号	海拔(米)	长度(米)	宽度(米)	厚度(米)	积雪类型	堆积位置和危害程度
南	29	2 860	200	30		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	30	2 850	250	40		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	31	2 810	80	30		雪崩堆积	与 28 同源,为复式雪崩堆积,穿压马行道
	32	2 780	150	30		雪崩堆积	穿压马行道且向下 30 米
	33	2 780	300	100		雪崩堆积	与 32 同源,穿压马行道
	34	2 800	200	50		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	35	2 770	100	15		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	36	2 850	150	15—30		雪崩堆积	距马行道上方 1 000 米
	37	2 700	200	50—70		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	38	2 600	200	100		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	39	2 500	450	250		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	40	2 450	350	400		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	41	2 400	300	300		雪崩堆积	位于多雄曲西岸
	42	2 550	100	10—15		雪崩堆积	距马行道上方 250 米

注:谢国卿同志协助调查。

使雪晶粒子在晶架中失去固定位置而在温度梯度作用下进行水分子的迁移促进再结晶作用的。对天山和横断山季节性积雪变质作用的研究表明,当积雪下部温度为 $-5^{\circ}\text{C}$ ,且具有 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{厘米}$ 的温度梯度时,易于深霜的生成。据 1984 年 4 月上旬在南峰西坡路口曲源海拔 5 000 米附近的观测,雪面以下 90 厘米处雪温为 $-3^{\circ}\text{C}$ ,温度梯度不足 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{厘米}$ 。可见至少从 4 月上旬起,区内海拔 5 000 米以下雪层中深霜作用明显减弱,随着暖季的到来,融雪性湿雪崩逐渐成为区内雪崩的主要类型了。

通过若干大型雪崩锥的观察,其中均含有大量的草根、灌木枝条等物质。区内海拔 4 000—5 000 米左右的中高山地区,多属高山草甸和高山灌丛带。这是雪崩发生的良好下垫面。可见,许多灾害性雪崩即发生在这类地带。

据天山雪崩站研究,当山坡坡度为 $40^{\circ}$ 时,积雪的极限厚度为 60—80 厘米。南峰地区积雪密度较大,温度梯度变质作用较弱,雪层强度较大,估计积雪的极限厚度在同样坡度条件下当大于 80 厘米以上。因此一旦发生雪崩,其规模较大。

1983 年 3 月下旬曾在则隆弄与路口曲等地测得季节性积雪密度高达 $0.32\text{克}/\text{立方厘米}$ 。

1984 年 3—4 月高登义等在西坡海拔 3 500 米登山大本营进行了气象观测。结果发现,附近山地及冰川区的雪崩发生率与降水过程具有明显的对应关系。例如,1984 年 3 月 19—21 日降水 20 毫米,之后 3 月 23—24 日观测到 4 次大雪崩;3 月 26—27 日降水 11.1 毫米,3 月 28—29 日也出现 4 次大雪崩;4 月 1 日 16 时 30 分—19 时 58 分降水 3.8 毫米后约一小时,出现 3 次小雪崩;4 月 2 日晚降水 5.8 毫米后,当夜又听到 2 次较大的雪崩。相反,当长期间无降水或降水很少时,雪崩现象也较少。例如 4 月 10—16 日大本营只有不

足1毫米的降水,其间仅观测到1次小雪崩。上述情况与雪崩发生区地形状态也有较大关系。峰区西坡则隆弄及路口曲谷地两侧及源头多为 $60^{\circ}$ 以上的陡壁。陡壁上缘发育着若干锯齿状的雪檐,本来已处于临界状态的雪檐,在降水过程后,其临界状态受到破坏,必然发生雪崩。但必须指出,在同一地区也出现过完全相反的情况,即雪崩与降水过程完全无关。例如1982年9月1—5日,区内天气晴好,但每日均有雪崩发生:9月1日大雪崩2次,小雪崩7次;9月2日大雪崩3次,中雪崩2次,小雪崩6次;9月3日大雪崩1次,小雪崩4次;9月4日大雪崩3次,中雪崩3次,小雪崩5次;9月5日大雪崩3次,中雪崩3次,小雪崩13次等等。

雪崩雪的消融期与现代冰川消融期大体相同。1982年8月15日在嘎隆拉南侧海拔4000米的雪崩雪面进行的观测表明,雪融深与气温和地温之间均具有良好的正变化关系(图4.10)。

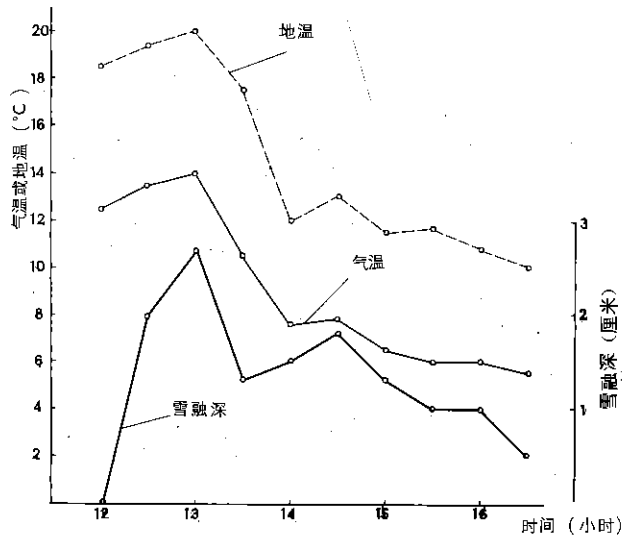


图 4.10 雪融深与气温、地温之间的关系



## 一、中更新世冰川遗迹

南峰地区早更新世冰川遗迹尚未发现。中更新世冰川遗迹保存也不多,典型的有4处,其中有3处都距南峰西坡的则隆弄冰川较近。

(1)南峰西坡对岸谷坡上,即打林村上方的山地坡面凹处海拔3 500—3 600米,有残存的冰碛层剖面,高出雅鲁藏布江面600—700米。剖面下部基岩为黑云母片岩,走向 $240^{\circ}$ ,倾向北西,倾角 $45^{\circ}$ — $50^{\circ}$ 。基岩之上为冰碛层,厚约20余米,由漂砾砂土构成,大小混杂,无层理,无分选,上覆厚约30米的流水相沉积物,主要为细粒物质,层理清晰。两层同受后期新构造运动影响,微有倾斜,走向为东西,倾角 $12^{\circ}$ — $15^{\circ}$ ,倾向南。

(2)则隆弄冰川西南,即索松北西的冰蚀三角面,其顶上为杂乱块砾堆积,略向南倾,下伏基岩为黑云母变粒岩(走向 $230^{\circ}$ ,倾向北西),上面生长着茂密的云杉林,高出江面约800米,海拔为3 700米。

(3)从宜定东望,有一高起的梁状台地,称卓马日。其顶面较为平坦,高出雅鲁藏布江面800—900米,是古冰川磨蚀形成。

(4)易贡藏布上游的麻果龙藏,在进入易贡错盆地前的山坡上,见到有两层冰蚀套谷,其中上层谷高出河面约900米。

中更新世的冰川遗迹一般是残留分布在高出河面700—900米的部位,多以较高的台地出现,故称高台冰期。根据丁锡祉教授研究(丁锡祉,1983),青藏高原近200万年来,隆起较快,尤其近10万年来隆起更快,粗略估算,中更新世冰期后至今上升量(扣掉剥蚀量)至少在1 000米左右,从山地上升幅度衡量冰碛分布高度基本上是相符的。

## 二、晚更新世冰川遗迹

晚更新世有过两次冰川活动。一次发生在晚更新世早期,规模较大;另一次发生在晚更新世晚期,冰川规模较小,但遗迹保存最好,有的地方在晚期的冰碛里还可分出两个阶段。

(1)晚更新世早期冰碛,在雅鲁藏布江大拐弯处残留不多。其中较典型的有龙悲北面高冰碛阶地,高出河面约450米,下为基岩,上为厚70米胶结较紧的块砾堆积。同级冰碛阶地在派区、大渡卡等地也有零星分布。

波密县西部约13公里的波堆藏布,其中,上游河谷两岸谷坡上部都有典型的冰碛分布,高出河面450—500米。其中以北东岸的冰碛保存较好,大多以侧碛形态延伸,长30—40公里。从上游往下游观察,育仁区向下5公里的沙仁村以东的谷坡上,有岭脊状的侧碛堤沿坡面分布,海拔3 420米,高出河面460米,高出内侧谷坡约百米,上面生长着茂密的原始森林。许木区向下约3公里的南多村后谷坡上,侧碛垄海拔3 378米,高出河面468米,高出内侧谷坡约40米。白玉村河口对岸谷坡上,古冰碛海拔约3 300米,高出河面约500米。这期冰川汇入主河谷后,曾伸展到帕隆藏布江的古乡附近,被命名为古乡冰期(郑本兴,1980)。波密县南山的嘎隆弄巴河口也分布有这期冰川遗迹。

冰积物分布的另一集中地在易贡藏布,其上游念青唐古拉山区发育着多条现代冰川,



最大的恰青冰川长 35 公里,面积 172 平方公里,是西藏地区最大的冰川(李吉均,1982),也是我国最大的海洋性冰川。晚更新世早期的冰碛在易贡错上游格尼村玉赛里根一带的东边山坡上,有杂乱无章的块砾堆积,其上多为原始森林覆盖,是侧碛的残留部分。在麻果龙藏布河边进入易贡盆地的山口,见到下层冰蚀槽谷,以西侧山坡的冰蚀基岩台地为代表,进一步还可分出两个平台,一个高出河床约 200 米,长约 1 公里,称桑牛寺平台;另一个高出河床 300 米,称嘎波平台,都为冰川磨蚀形成。在易贡藏布下游,这期冰碛分布在河谷两侧较高的谷坡上,断续残留。

此外,该期冰碛在林芝县电站附近一剖面上保存也较好,冰碛层厚 60—70 米,漂砾大小混杂,以花岗岩和片麻岩漂砾为主,海拔为 3 110 米。

(2)晚更新世晚期冰碛。在南峰地区,晚更新世晚期冰碛分布十分广泛。虽然也都遭受过不同程度的改造,但毕竟形成年代较近,堆积特征及侵蚀形态较为完整,为我们恢复其原始面貌提供了良好依据。

南峰西麓该期冰碛物在雅鲁藏布江进入大拐弯处的宜淀、索松、龙悲、打林一带出现,都以平坦的冰碛阶地为主,阶地表面上,巨大的冰漂砾兀立看,漂砾岩性为黑云母角闪片麻岩、石英长石角闪片麻岩、混合片麻岩等,测得其中最大一块漂砾的体积为 10.6 米×10 米×4.9 米(因底部埋于阶地中而未测全)。在宜淀冰碛阶地海拔 3 150 米,高出河床约 260 米,从阶地剖面看,组成冰碛平台的漂砾石块大小不等,磨圆较差、物质较松散,粘土质胶结,冰碛层厚百米以上。对岸索松亦位于同期的冰碛阶地上,两岸高度基本一致。位于宜淀接地当嘎村之间的格嘎村一带,有两级冰碛阶地,其冰碛物的分布高度、物质组成及胶结程度均与宜淀阶地基本一致,其中在路口曲有一典型冰碛剖面(图 5.2),高约 150 米,下部 60 余米为浅棕黄色冰碛物,上部 60 余米为浅黄色冰碛物,中部约 30 米为有层次的流水沉积,砾石较圆,有分选,水平层清楚,这个剖面反映了末次冰期间曾有过一次气候变暖的小波动。

从派区经大渡卡到宜淀,两侧山地也都有冰川汇入,范围较广。看来,末次冰期中沿雅鲁藏布江 20 余公里的谷地内,曾冰碛连片,其中则隆弄冰川是当时最长的冰川,伸入雅鲁藏布江后,向下游伸展,进入了峡谷,而在上游方向则因堵塞而沉积了湖相细砂层。

波堆藏布及其支流白玉曲、珠西曲,古冰川作用更是清楚典型。由于在白玉村处冰碛层保存最佳,故称白玉冰期,这是最后一次古冰川的遗迹。白玉曲和珠西曲各自的河口都分布有弧形终碛堤。珠西曲河源现代冰川长 6 公里,而古冰川时,长达 14 公里,在沟口有三道完整的弧形堤,以最外一道保存最佳,伸入到了主谷的西岸,高出主谷河床约 200 米,由块砾碎屑物构成,冰碛物表面附有较多的白色钙膜。白玉曲河源现代冰川长 9.4 公里,而末次冰川长达 19.6 公里,比现代冰川长出 10.2 公里,当时终碛垄堵入主谷,逼河道东移,垄顶高出河面 150—250 米,弧形堤保存完整,冰碛物表面钙膜较厚,约 1—2 毫米。波堆藏布的冰碛与支流白玉曲冰碛相接,主流上源发育有长 12 公里的关星冰川和中部发育的长 21 公里的则

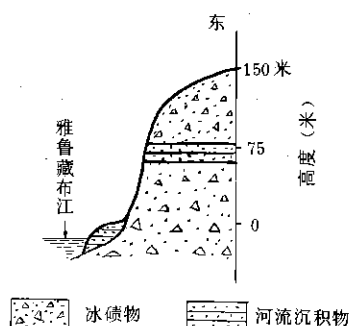


图 5.2 路口曲晚更新统冰碛剖面

波堆藏布的冰碛与支流白玉曲冰碛相接,主流上源发育有长 12 公里的关星冰川和中部发育的长 21 公里的则

普冰川,在末次冰期时,主谷中的古冰川长约 81 公里。主谷的冰碛可细分为两个阶段,表现在冰川末端有两次形态不同、高低亦异的冰碛,向上游两者合并为一。第一阶段,主冰川规模稍大,末端到达白玉终碛顶端,两者已接触,但各自在自己范围内活动;第二阶段,冰川长度要短 1—2 公里,未到白玉终碛处就停滞不前了,终碛垄横亘谷地,为块砾砂土组成,高 1—2 米,底宽 2—3 米,长数百米,在起伏较大的谷地中,稍不留意就会忽视这些低矮冰碛的存在。主谷矮小的终碛垄与支沟高大的白玉冰碛垄不能相比,这与主流冰川前端距粒雪盆远、运动距离长、搬运力减弱有关。并且在其终碛内侧,分布着高 2—3 米至 5—6 米的馒头状冰碛丘,冰碛丘内全由杂乱无章、大小混杂的冰碛石与砂土碎屑构成。冰碛岩性多为花岗岩、片麻岩及混合岩等,磨圆较差,其中花岗岩严重风化。冰碛丘底部周围的粒石有些磨圆较好,反映其形成过程中有冰水作用参与。从白玉村沿波堆藏布河道北上,冰碛丘逐渐密集,个体也渐趋增大,先为 10 余米高,到许木区附近高为 40 余米,到育仁区以上,冰碛丘相对高度可达百余米,其上生长着一些灌木丛和高山栎。则普冰川末端的支子村,是冰碛丘分布的上限,根据冰碛丘分布的距离可以推算出现今长 21 公里的则普冰川,在晚更新世晚期时,曾一度长达 54 公里。冰碛丘的分布有单个的,也有三五成群的,这可能是冰川强烈消融过程中由大量冰碛物在冰面低洼处聚集而成的。此类特殊的冰碛地貌是不多见的。除堆积地形外,在黑丁村北面的基岩山坡上,有高约 300 米的冰蚀阶地,阶地下边的陡壁上,有清楚的冰蚀擦痕,也是这期冰川作用形成。

易贡藏布谷地内的该期冰碛,多为侧碛或不太明显的终碛,高出河面十余米或数十米,以仲悲附近较为典型,冰碛特征明显,上面长有森林,植被茂密。终碛止于何处,因受易贡错后期的干扰而难以判断。这期冰川遗迹在这里出现较多。如海拔约 2 400 米的赛里根附近,有一处典型的羊背岩,高出地面 13 米,迎冰面平缓,擦痕、槽沟十分清楚。羊背岩的岩性为砂质板岩,岩层近于直立,走向为北东 70°,擦痕方向(北西 55°)与河流流向一致。羊背岩附近有一小丘,高 35 米,土层发育,长有树木,土层下为冰碛物。小丘与羊背岩属同一期产物。仲悲至根尼沿山前断续分布有一道侧碛,在谷坡上也零星散布一些冰碛。在易贡错口的党校与农场场部间,还可以看到一道砂石梁,大体呈南北向,宽数米至 20 余米,高差 10—20 米,梁脊上有直径 4—5 米的片麻岩大漂砾数块,这道砂石梁是从党校南西的一条长 11.5 公里的支沟出来的,现支沟 3 500 米以上仍有现代冰川,长 1.5 公里。可见晚更新世晚期冰期里,也有一些单独活动的冰川,直伸向现在的易贡错盆地。麻果龙藏布是易贡错的一条重要支流,上游冰川很发育,考察区最长的现代冰川——恰青冰川就分布在这里,崩果两侧有高出河床 200—250 米的侧碛,结构杂乱松散。

在南峰东北侧,该期冰碛分布于扎木大桥西南的嘎隆弄巴沟,从沟口向上冰碛物一直伸到 3 480 米的嘎隆寺附近,堆积物厚度一般为 30—40 米,其上长有一些乔、灌木。沟口的终碛垄呈长梁状分布,海拔 2 900 米左右,由于后期河流切割冲刷,遭到了破坏,冰碛物有轻微胶结。位于波密县正南的中龙弄巴,沟头有现代冰川发育,沟口有堆积物,分布高度也是 2 900 米。

末次冰期间,不仅形成了许多形态不同的典型的冰碛地形,而且同样也有形态各异的冰蚀地形,保存较好。从派区沿雅鲁藏布江左岸向下,沿途冰蚀三角面清晰可辨,分布高度在海拔 3 800 左右。在育仁、倾多一带分布的冰蚀三角面、悬谷、角峰亦较为典型。作为古雪线高度依据的古冰斗,在这一期间的保存尚好,但其分布的海拔有差异:如那木拉古冰斗

海拔3 630米,即现在的那木拉湖盆区;德阳拉北坡古冰斗,海拔3 600—3 700米;多雄拉山口南北两侧的古冰斗海拔为3 700—3 800米,南坡冰斗稍高于北坡;波堆藏布白玉曲对岸谷坡上的古冰斗海拔3 900米;从色齐拉山顶东望,前方有一排山地,山顶为夷平面海拔5 200—5 300米,在夷平面之下,有并列的古冰斗,海拔达4 000米以上,再下是典型的并列古槽谷。

### 三、全新世冰川遗迹

全新世冰碛物分布在现代冰川附近,由于形成时代很近,冰碛地形保存都较好,风化程度也微弱。如南峰西侧的则隆弄冰川西侧,有两列典型的侧碛垄,内侧一列略高,距谷底约150余米,长有2—3米高的小树,经对冰碛层中朽木进行 $^{14}\text{C}$ 年代测定,为 $287\pm 93$ 和 $394\pm 83$ 年,说明这一次冰碛的形成年代在200—400年间,属16世纪以来的产物。

麻果龙藏布在崩果段以上,全新世的冰碛也是侧碛保存较好,分布在现代冰川末端附近,高出河床100—200米,据当地60岁的边增老人讲,40年前他常去恰青冰川附近打猎,当时冰川末端位置比现在长出4公里,海拔2 580米;近40年内,平均每年冰川后退85米,现冰川末端为海拔3 170米,40年中末端每年平均上升14.8米,后退速度也是较快的。

波密南边的嘎隆拉附近,发育有两条较大的冰川,冰碛地形保存也好,在河源西支山谷冰川外围可以清楚地分出3道冰碛垄。第1道(即外侧一道)海拔高程为3 740米,厚约120米;第2道海拔3 720米,厚约100米;第3道为海拔3 700米,厚约80米,终碛垄与侧碛垄相对应,反映近期以来,冰川有过3次明显的停顿和后退。河源东支的冰斗山谷冰川,其外围的侧碛垄形态较完整,且高大,而终碛的规模则较小,厚约20—30米,表现为一系列退缩冰碛丘陵,大致可分出12—13道,植被很少,有些稀疏灌丛,形成时间不长,从冰碛规模和形态上都远不及河源西支的山谷冰川。

现代冰川周围新鲜而松散的冰碛,是最近数年至数十年间形成的。

## 第二节 第四纪冰川沉积物特征

在讨论冰川沉积过程、形成条件及其演变时,分析研究第四纪冰川沉积物结构构造、砾石组构、粒度特征、碎屑矿物、粘土矿物以及冰碛物化学成分等方面特征,对于了解冰碛层的沉积环境、冰川活动规模和冰期次数等有一定的意义。

### 一、冰碛物的岩石组成

冰川地区的基岩岩石类型,对冰碛物中岩石成分起着明显的控制作用。南峰地区基岩岩石类型较多,以区域变质岩为主,有角闪黑云母斜长片麻岩、黑云母斜长混合片麻岩、云母石英片岩、石英片岩、斜长角闪岩、变粒岩、花岗质片麻岩、二云母斜长片麻岩、眼球状混合片麻岩、条带状混合质变粒岩、石榴石角闪斜长片麻岩等类型。岩浆岩次之,以黑云母花岗岩、花岗闪长岩和角闪花岗岩为主。此外,在个别地段还见有角闪辉石岩、角闪岩等侵入

岩类。

南峰西坡岩石种类较少,以黑云母斜长片麻岩、花岗质片麻岩、石榴石黑云母混合岩和石榴子石角闪斜长片麻岩为主的变质岩类。在南峰西坡的冰碛物中,因为峰顶到雅鲁藏布江边的搬运距离短,仅 10 公里左右,所以在不同时期的新老冰碛物中,岩石组成没有明显变化。

南峰东北侧岗日嘎布山北坡,为一条构造断裂带,基岩以岩浆岩和中深变质岩为主。在嘎隆弄巴河流域,由于河源和河谷中、下部基岩的差异,致使不同时代冰碛物岩性变化较大。在河源西支冰川区,基岩以混合片麻岩、石英砂岩、片岩为主,小冰期和新冰期的冰碛物成分与此一致。东支冰川区基岩除上述岩石类型外,增添了大理岩,在冰碛物中亦可见到。在河谷中、下部,两侧基岩岩性为石英砂岩、页岩、黑色板岩和结晶灰岩等成分,从而该沟口晚更新世晚期冰碛物中岩性种类增加,为上述岩石成分的集合体。从以上可以说明,在同一区域,不同地点,由于基岩岩性的不同以及冰川作用范围大小不一,所形成的冰碛物砾石种类则有明显的差别。

在波密西北部的倾多沟、珠西沟一带,冰碛物中岩石组成较复杂,其原因是末次冰期时冰川规模大,物质来源广。岩石成分以花岗岩、花岗片麻岩、黑云母辉石岩、混合岩巨块角砾等为主,还可见到少量石英岩。

从以上冰碛物中岩性来源的分析,冰碛物中岩石种类的变化,对冰期时物质来源及冰川分布,确定冰川规模是有一定价值的。

## 二、冰碛物矿物特征

矿物种类及含量不是固定不变的,它随着基岩岩性变化和沉积环境、搬运沉积过程及形成条件的改变而有差异。

### (一) 冰碛物碎屑矿物特征<sup>①</sup>

#### 1. 不同地点冰碛物碎屑矿物含量

通过对本区 30 个冰碛物样品的矿物分析(油浸薄片鉴定)发现,在 0.25—0.05 毫米的粒级中,共含矿物 50 种,其中有主要重矿物 20 种,主要轻矿物 5 种。重矿物含量占总矿物的 20% 左右,其中不稳定矿物占重矿物含量的 45%—70%;较稳定矿物含量占 10%—60%,在南峰东北侧嘎隆弄巴河为 30%—60%,峰区西坡为 10%—20%,前者高于后者;稳定矿物含量占重矿物的 1.5%—25%,嘎隆弄巴河占 7%—25%,南峰西坡仅为 1.5%—3.5%;极稳定矿物则不同,在重矿物中占 3%—25%,嘎隆弄巴河为 3%—15%,南峰西坡高达 20%—25%。轻矿物含量占总矿物的 80% 左右。轻矿物中石英含量很高,为 30%—60%,在嘎隆弄巴河谷冰碛物中石英占 30%—60%,峰区西坡为 40% 左右;长石在轻矿物中含量次之,为 30%—40%,嘎隆弄巴河谷冰碛物中长石占 30%—40%,峰区西坡为 40% 左右。以上看出,峰区西坡较嘎隆弄巴河的极稳定矿物含量高,其它矿物则较

<sup>①</sup> 矿物鉴定和粘土矿物分析由马正海、邢泽民和区荣康协助进行。

低或接近,是与物理化学风化强烈有关。

2. 不同性质冰川的冰碛物中矿物含量特点

以上冰碛物中的矿物含量虽然在本区不同地点受基岩岩性分布的影响有一定差别。但在不同性质冰川区基岩岩性基本相似的情况下,冰碛物矿物含量则有明显的区别(表 5.1)。天山乌鲁木齐河基岩岩性为深变质岩类(王靖泰等,1981)。以黑云母花岗岩、片麻岩、眼球状花岗片麻岩、云母石英片麻岩、凝灰岩和闪长岩为主。与本区基岩岩性相似,但各种矿物含量不同,南峰海洋性冰川区不稳定矿物含量高,而天山乌鲁木齐河的大陆性冰川区含量较低;稳定矿物的含量则相反,后者明显的高于前者,但极稳定矿物前者高,后者低。冰碛物中轻矿物石英的含量,南峰海洋性冰川区比天山乌鲁木齐河大陆性冰川区高,长石含量则相反,前者低于后者。从轻矿物含量的差别可以看出,不同地区的气候条件及环境不同,它的物理化学风化则有明显的差异。南峰海洋性冰川区物理化学风化强,天山乌鲁木齐河大陆冰川区物理化学风化弱。致使石英的含量前者高于后者,长石的含量前者降低,后者增高。冰碛物表面风化程度与其形成时间的长短而有差别。较老的冰碛物不稳定矿物含量低(45%左右),而较新的冰碛物风化弱,不稳定矿物含量高,可达 60%左右,不同时期冰碛物的风化程度差别较大。现代冰碛表面光、新鲜,锤头敲不易破碎,而较老冰碛物表面粗糙,颜色深,锤头一敲,有一层风化物脱落,风化深度可达 0.2—0.3 厘米。

表 5.1 海洋性与大陆性冰川区冰碛物中矿物含量比较

区 域	不稳定 矿物 (%)	较稳定 矿物 (%)	稳 定 矿物 (%)	极稳定 矿物 (%)	轻 矿 物		样品数 (个)
					石英 (%)	长石 (%)	
南峰海洋性冰川区	52.08	23.45	5.76	18.65	52.01	38.56	23
天山乌鲁木齐河大陆性冰川区	41.60	22.95	22.85	8.09	22.39	61.02	26

3. 稳定系数

冰碛物中不稳定矿物与稳定矿物含量多少与冰川所在地的气候有密切关系。从石英/长石值来看(表 5.2),南峰海洋性冰川的冰碛物稳定系数高,一般在 1—1.5 之间,

表 5.2 海洋性与大陆性冰川区冰碛物中石英/长石比

比 值 地 区	样 品 号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
南峰海洋性冰川区	1.88	2.45	1.46	1.12	1.11	1.24	1.49	1.67	1.58	1.09
天山乌鲁木齐河大陆性冰川区	0.98	0.41	0.26	0.67	0.54	0.55	0.25	0.16	0.46	0.26
比 值 地 区	样 品 号									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
南峰海洋性冰川区	1.44	1.39	1.45	1.49	1.50	1.13	1.54	1.22	1.21	
天山乌鲁木齐河大陆性冰川区	0.41	0.21	0.22	0.33	0.61	1.54	0.48	0.44	0.48	

表 5.3 海洋性与大陆性冰碛的稳定矿物与不稳定矿物含量比较

冰川区	地 区	长石	辉石	角闪石	普通闪石	绿帘石类	锆英石 电气石 金红石	褐铁矿	石榴子石
海洋性	易贡地区	59.50		4.00	3.52	5.20	10.50	21.50	
	藏东南波密地区	28.07	1.94	6.67	4.67	25.41	3.40	18.17	
	藏东南岗日嘎布山区	28.39	1.23	0.86	18.46	13.25	8.50	20.75	2.59
	南峰地区	41.92	8.31	4.70	23.98	5.69	19.22		19.45
大陆性	念青唐古拉山	64.50	3.63	22.87	19.25	12.62	5.11	13.87	
	阿里喀喇昆仑山	56.20	2.82	22.07	18.20	9.98	2.78	21.40	
	天山乌鲁木齐河上游	61.02	18.52	1.78	19.11	5.89	0.85	5.08	1.83

最高可达 2.45, 乌鲁木齐河大陆性冰川的冰碛物稳定系数低, 一般在 0.6 以下。从而说明海洋性冰川区降水丰富, 湿度大, 温度高, 物理化学风化强烈, 长石含量减少, 而稳定矿物石英含量增高。大陆性冰川区则反之。冰碛物中不稳定矿物和稳定矿物含量多寡与冰川性质相联, 不同冰川性质受气候、降水、生物等因素的影响, 稳定矿物和不稳矿物有明显的变化。从表 5.3 中可知, 海洋性冰川区的冰碛物中, 长石、辉石、角闪石、普通闪石等不稳定矿物的含量较大陆性冰川区低; 较稳定矿物中的绿帘石类, 在冰碛物中是一种过渡矿物, 含量无规律; 稳定矿物中的褐铁矿、锆英石、电气石、金红石和石榴子石等矿物含量, 海洋性较大陆性冰川含量高。

## (二) 冰碛物粘土矿物分析

粘土矿物的 X 衍射分析结果表明(表 5.4), 各类冰碛物的粘土矿物组合均以水化金云母为主。这一粘土矿物成分特点, 是经过冰川作用, 在特殊的环境中形成, 如冰碛物粘土矿物中(冰川纹泥)水化金云母特别富集, 可形成水化金云母粘土岩。粘土矿物中并伴有少量的绿泥石、蛭石、水黑云母等, 它们主要是由水化金云母经低温热液蚀变或风化作用所形成, 并与本区基岩岩性和较老的冰碛物含有蒙脱石密切相关。碎屑混入物的石英、长石、方解石和阳起石在冰碛物中均有出现, 但含量很少或微量, 它们的出现是比较常见的, 在讨论粘土矿物的成因时可作为参考。

从山顶和沟口黄土粘土矿物 X 衍射图谱表明, 本区黄土分布, 不论山顶, 还是低洼处, 它的形成环境及条件是一样的, 以水云母为主, 其次为绿泥石、水黑云母和蛭石。而黄土与冰碛物的粘土含量及类别有一定差异。黄土以水云母为主, 主要是由金云母风化后形成。冰碛物则以水化金云母为主, 它主要是在镁质石灰岩或白云岩受到富含氟或水的矿化作用时, 产生氟交代作用, 使之形成水化金云母。说明了它们的形成环境及条件有所不同。

## 三、冰碛物的化学成分

冰碛物来自基岩, 应与基岩岩石化学成分一致。但是, 由于古冰川作用范围较大, 延伸距离很长。例如, 波堆藏布末次冰川作用时, 冰川曾长达 81 公里, 流经了不同基岩岩性带,

表 5.4 南峰地区冰碛物粘土矿物含量

样品号	取 样 地 点	海拔高程 (米)	粘 土 矿 物 组 合						碎 屑 混 入 物					
			名称	含量	名称	含量	名称	含量	名称	含量	名称	含量	名称	含量
2	则隆弄新冰期冰碛	3 530	水化金云母	主	绿泥石	很少	水黑云母	很少			长石	很少	阳起石	微
3	则隆弄新冰期冰碛	3 540	水化金云母	主	绿泥石	很少	蛭石	微	蒙脱石	很少	石英	很少		
6	则隆弄新冰期冰碛	3 540	水化金云母	主	绿泥石	很少	蛭石	微	蒙脱石	痕	石英	很少		
7	则隆弄冰川表碛	3 500	水化金云母	主	绿泥石	很少					石英	很少	方解石	很少
8	则隆弄冰川流碛	3 510	水化金云母	主	绿泥石	很少					石英	很少	阳起石	微
13	则隆弄沟口老冰碛	2 860	水云母	主	绿泥石	很少	蒙脱石	少			石英	微	阳起石	微
23	拉木拉错冰川表碛	4 400	蒙脱石	主	绿泥石 蛭石	很少	水黑云母 水化金云母	很少			石英	微	阳起石	微
24	大渡卡古冰碛	3 000	水云母		绿泥石	少					石英	少	斜长石	微
25	岗日嘎布山北坡西支冰川冰碛	3 710	水化金云母	主	绿泥石	很少	水黑云母	痕			石英	微	长石	
27	岗日嘎布山北坡西支冰川老冰碛	3 720	水化金云母	主	水黑云母	少	蛭石	微			石英	微	长石	微
29	岗日嘎布山垭口黄土层	4 050	水云母		绿泥石		水黑云母	少	蛭石	很少	石英	微	方解石	很少
31	岗日嘎布山北坡西支冰川小冰期冰碛	3 660	水黑云母	主	水云母	很少	绿泥石	很少			石英	微	方解石	很少
36	岗日嘎布山北坡西支冰川新冰期冰碛	3 650	水云母		绿泥石		蛭石	微			石英	微	方解石	少
46	嘎隆河口黄土	2 790	水云母		绿泥石		水黑云母	少	蛭石	微	石英	微	方解石	很少

岩石化学成分亦有明显差异,冰碛物的化学成分也随之发生变化。现将不同时代的 5 个冰碛样品的化学成分分析结果列表(表 5.5),得出平均值, $\text{SiO}_2$  含量最高占 53.9%,其次为  $\text{Al}_2\text{O}_3$  占 13.59%,依次为  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  等。冰碛物中的  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^-$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  的化学成分高于基岩岩石含量,其它化学成分一般则低于基岩岩石含量。冰碛物中  $\text{CaO}$  的含量高,是因雨水和融水的淋溶作用,使钙离子与水中的氧结合,形成  $\text{CaO}$  沉淀。本区降水与冰融水丰沛,这种沉淀作用较强。冰碛物中水分( $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^-$ )多,是与冰碛物易于吸水保水有关。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  在冰碛物中含量高,是  $\text{Fe}$  离子受到水和空气中的氧离子的氧化作用,则形成  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。据以上分析,冰碛物的化学成分与基岩密切相关。但由于冰川和水等的作用,其化学组成则随之发生较大的变化。

表 5.5 南峰地区冰碛物与主要基岩化学成分平均值对比

化学成分	冰碛物(5)	花岗岩(4)	片麻岩(7)	角闪片岩(2)	角闪岩(3)	变粒岩(3)
$\text{SiO}_2$	53.90	65.38	68.11	59.77	50.33	72.89
$\text{TiO}_2$	0.56	0.37	0.48	1.17	0.41	0.52
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.59	17.79	14.20	16.23	16.06	11.24
$\text{FeO}$	3.48	2.03	4.15	7.52	5.95	3.61
$\text{MnO}$	0.09	0.08	0.09	0.14	0.17	0.10
$\text{MgO}$	3.96	1.05	1.70	5.02	8.35	1.49
$\text{CaO}$	8.22	3.76	3.25	5.14	12.14	2.23
$\text{Na}_2\text{O}$	2.75	4.62	2.59	1.07	2.26	2.02
$\text{K}_2\text{O}$	3.20	3.06	3.75	2.46	0.71	3.93
$\text{H}_2\text{O}^+$	1.42	0.29	0.37	0.38	0.53	0.40
$\text{H}_2\text{O}^-$	1.17	0.20	0.39	0.19	0.32	0.34
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.10	0.07	0.07	0.06	0.05	0.07
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.95	0.82	0.80	0.85	1.39	0.97
	4.50	0.18				
合计	99.89	99.70	99.95	100.10	98.67	99.81

注:根据章振根资料。

括号内数字代表分析的样品数。

#### 四、冰碛物砾石组构特征

冰碛类型不同,它的长轴( $a$  轴)和扁平面( $ab$  面)的空间排列则有异,对于认识冰川流动方面,动力条件及其冰碛成因是有意义的。野外考察中对南峰则隆弄冰川的流碛(直径 0.06—0.37 米)和格嘎老冰碛扇的漂砾(直径 1.5—36.0 米)进行了组构测量(表 5.6)。流碛砾石长轴向下游倾斜,平均倾角  $29^\circ$ 。可以明显看出,流碛砾石所处的冰川表面很陡,从雅鲁藏布江(2 800 米)到南峰顶(7 782 米)之间仅 10 公里的水平距离,相对高度却近 5 000 米,可见河谷平均坡度很陡。

从图 5.3 可以看出,砾石  $a$  轴主密部倾向与沉积物坡面倾向呈  $90^\circ$ ,测量点在主谷的



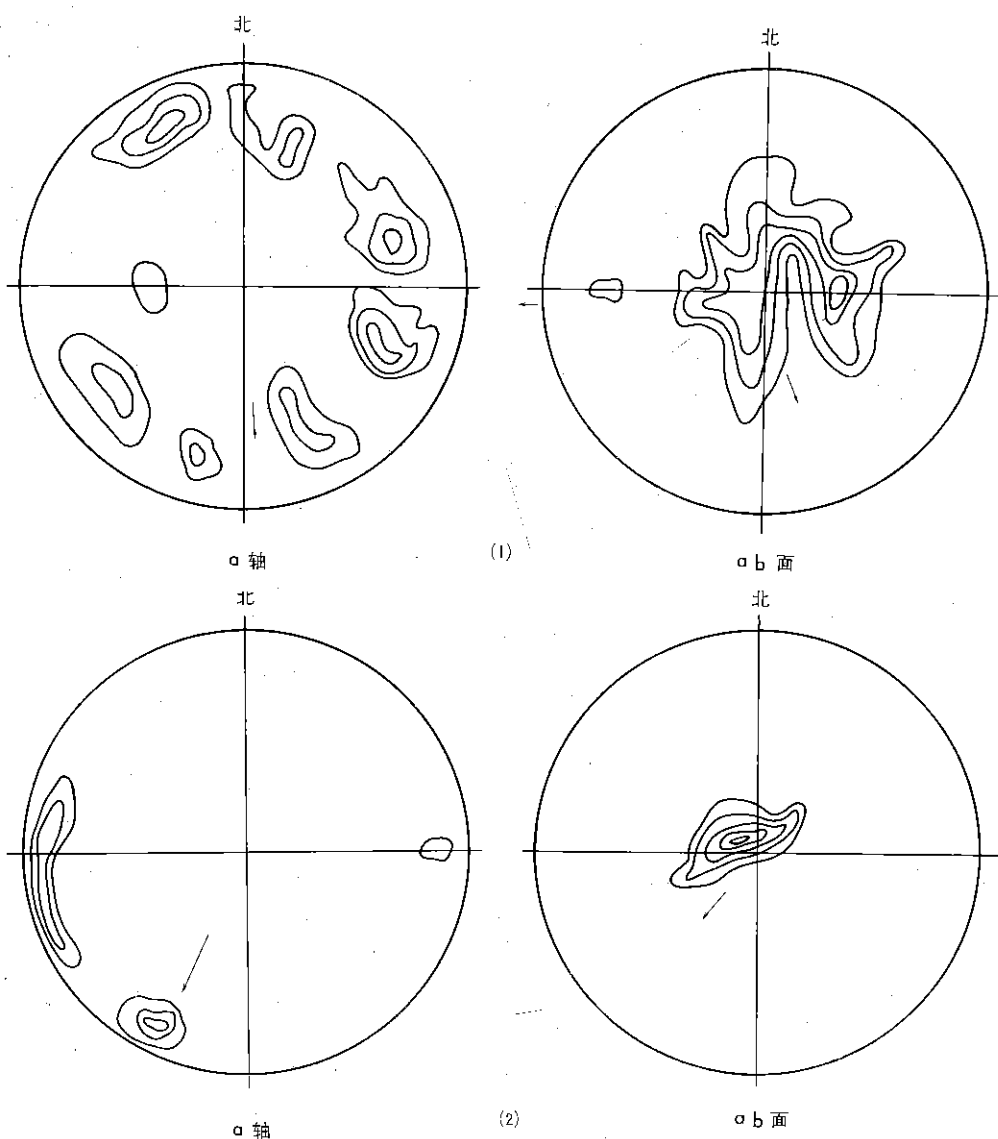


图 5.3 南迦巴瓦峰则隆弄冰川流碛(1),格嘎漂砾(2)组构图

北侧,流碛向主流线作垂直下滑。格嘎冰碛扇漂砾长轴倾斜角度小,扇形地相对平缓。砾石  $a$  轴和  $ab$  面的主密部所指方向与其沉积物表面倾向呈  $45^{\circ}-60^{\circ}$  夹角,  $a$  轴有一个次密部,倾角多在  $10^{\circ}-15^{\circ}$ 。

表 5.6 冰碛物砾石组构特征值

测点 编号	测量位置	海拔高程 (米)	冰碛 类型	冰川 流向 (度)	沉积面 坡 向 (度)	沉积面 坡 度 (度)	平均倾向(度)		平均倾角(度)	
							$a$ 轴	$ab$ 面	$a$ 轴	$ab$ 面
1	则隆弄冰川	3 520	流碛	290	270	27	174	163	29	28
2	格嘎冰碛扇	2 900	漂砾	270	270	10—25	204	220	9	16

## 五、冰碛物粒度(大于 $-5\phi$ )特征

### (一) 取样及实验室分析

文内所使用的粒度资料<sup>①</sup>系取自南峰西、南坡和岗日嘎布北坡的河谷中,均为不同时期的新老冰碛和不同类型的冰碛,为了对比,并采集部分河流与湖相沉积物,共计45处取样点。

实验室对 $(-5)-9.5\phi$ 的沉积物采用水筛和吸管方法分析,间隔分别为 $1/2$ 和 $1\phi$ 。为了计算参数和画图方便,将原始资料作成累积曲线,反查出部分资料 $1/2\phi$ 间隔数值。并运用计算机计算出粒度参数。粒级划分是按温德华(Wentworth, 1922)分类法。

### (二) 冰碛物粒度(大于 $-5\phi$ )特点

本区冰碛物粒度分布,具有海洋性山谷冰川的特点,粒度分布范围广,以中细砾占绝对优势(王靖泰等, 1981)。砾 $[( -5)-( -1)\phi]$ 的百分含量高,一般在 $52.17\%-76.41\%$ ,砂 $[( -1)-4\phi]$  $16.6\%-32.03\%$ ,粉砂 $(4-8\phi)$  $6.44\%-18.70\%$ ,粘土 $(>8\phi)$  $1.38\%-5.09\%$ 。

#### 1. 不同类型冰碛的粒度分配

通过冰碛物粒度分析表明,在本区不同河谷地带同类型冰碛物的粒度分布基本相近,但不同沉积过程形成的冰碛粒度分布确有差异(表5.7),侧碛和冰面岩屑砾石含量高,消融碛、流碛和终碛砾石含量低,经流水作用的冰水沉积和冰湖沉积物质砾石含量少,仅占 $13.31\%, 1.44\%$ 。在砂、粉砂和粘土含量中,消融碛、流碛和终碛则高于侧碛和冰面岩屑,冰水沉积和冰湖沉积的砂、粉砂和粘土含量同样高于侧碛和冰面岩屑。尤其粉砂含量显示的更为明显,反映出消融碛、流碛和终碛经受了冰川强烈的磨蚀作用,产生的细粒物质多,侧碛和冰面岩屑未经冰川底部的磨蚀,保持了原来破碎作用岩屑的物质成分,细粒级物质含量少(张振栓, 1983)。

表5.7 冰碛与非冰碛粒级(大于 $-5\phi$ )百分含量对比表(加权平均值)

类 型	粒级(%)			
	砾	砂	粉砂	粘土
消融碛	59.24	26.85	9.01	2.72
流 碛	52.17	23.46	18.70	5.09
侧 碛	76.41	16.60	6.44	1.38
终 碛	53.37	32.03	12.05	2.55
冰面岩屑	83.19	12.29	4.02	1.18
冰水沉积	13.31	68.57	20.23	1.62
冰湖沉积	1.44	54.25	35.85	8.46

① 粒度分析由刘彦卿协助进行。

## 2. 不同冰川性质冰碛物粉砂含量比较

冰碛物粒度分配的变化, 主要与冰川侵蚀、搬运和沉积作用、形成机制、沉积环境和冰川性质密切相关。冰川性质不同, 冰碛物的粉砂含量亦有明显不同, 海洋性冰川的各类冰碛物粉砂含量较大陆性冰川区高(表 5.8)。前者粉砂平均值为 10.05, 后者为 5.10, 前者比后者高一倍。说明了海洋性冰川运动速度快、磨蚀作用强烈, 致使产生粉砂物质多。

表 5.8 不同冰川性质冰碛物粉砂含量(%)

地 区	终碛	侧碛	消融碛	流碛	冰面岩屑
南峰海洋性冰川	12.09	6.44	9.01	18.70	4.02
天山博格达峰大陆性冰川	11.40	3.45	5.01		1.40
天山乌鲁木齐河大陆性冰川	8.98	2.86	3.65	6.44	2.68

## (三) 冰碛物粒度(大于 $-5\phi$ )曲线

冰碛物各种粒度曲线, 是反映冰碛物粒度分配状况及特点的, 冰碛类型不同在各种曲线图上分布不一样。

### 1. 累积曲线

冰碛物粒度累积曲线平缓而扩张, 图形凸起, 类似抛物线形, 图形在 $-3\phi$ 位置开始扩张。冰水沉积物则不同, 在 $0\phi$ 位置开始扩张, 图形短。不同类型冰碛物的累积曲线则不同, 图形上升的斜度有所差别。冰面岩屑和侧碛落在图的上方, 冰水沉积物和冰湖沉积物在图的下方, 冰水沉积物的累积曲线前部分较平缓,  $(-1)-2\phi$ 之间陡然上升, 反映这区间的粒级含量高、集中。消融碛、终碛和流碛的图形依次收敛降低, 具有上下沉积物粒度组成特点(图 5.4)。

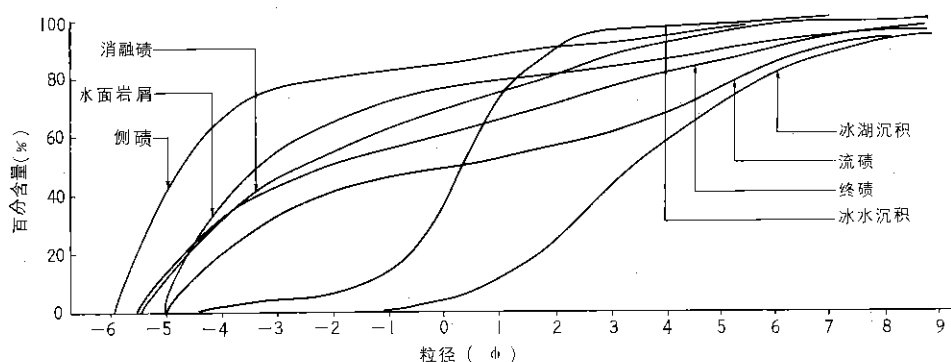


图 5.4 南峰地区冰碛与非冰碛累积曲线

## 2. 粒度频率曲线

冰碛物粒度频率曲线在 $-4\phi$ 和 $-5\phi$ 上出现明显的众数,均为第一峰。多数冰碛物则有次一级的众数,系为第二峰或第三峰(表 5.9)。第二峰出现在 $3\phi$ 和 $3.5\phi$ 位置上,为极细砂。第三峰值出现在 $5\phi$ 和 $5.5\phi$ 位置上,为粉砂粒级,在冰碛中出现的这一峰值,是冰川特有的磨蚀作用所形成的粒级。冰碛物的频率曲线形态为马鞍形、多峰式。冰水沉积物与冰碛物有明显的区别,粒度分布区间窄,峰态突起,呈单峰式,峰值出现在细砂位置(图 5.5)。

表 5.9 冰碛与非冰碛粒度频率曲线出现的峰值

类 型		流碛	消融碛	侧碛	终碛	冰面岩屑	冰水沉积	冰湖沉积
峰 值	出现位置( $\phi$ )	-4.5	-4.5	-4.5	-5.0	-5.0	+3.5	+2.5
第一峰	百分含量(%)	10.3	10.5	10.0	11.5	28.0	27.59	10.64
第二峰	出现位置( $\phi$ )	-1.0	+3.5	+3.0	+3.0			
	百分含量(%)	2.09	5.92	4.52	3.12			
第三峰	出现位置( $\phi$ )	+5.0	+5.0	+5.0	+5.5	+5.0		
	百分含量(%)	4.8	2.93	1.77	2.96	1.28		

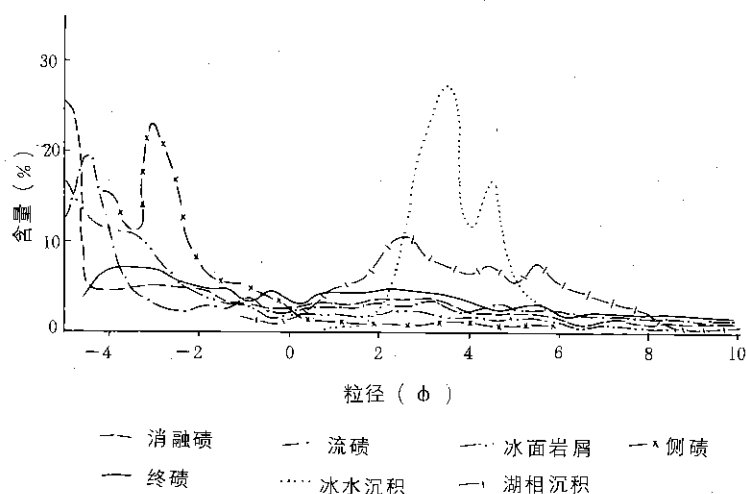


图 5.5 冰碛物粒度频率曲线

## 3. 冰碛的罗辛分布

在研究不同成因冰碛物时,用罗辛概率表示的图形比较清楚。克鲁宾和蒂斯戴尔(Krumbein & Tisdell, 1940)发现,基岩受物理风化而产生的颗粒分布一般符合罗辛-拉姆莱定律(Rosin-Rammler Law)(成都地质学院陕北队,1976)。工业粉碎岩屑、人工煤屑、闪长岩风化壳和雪崩岩屑具有这种特性,它们在罗辛概率图呈直线分布(张振栓,1983)。布勒和马纳斯(Buler & Memanus, 1973)指出,冰川短距离的搬运符合罗辛破碎作用定律,

他们发现已沉积的冰碛物偏离此种分布甚远,而处处接近半对数-正态分布。冰内岩屑、冰面岩屑和侧碛依然保存着原始寒冻风化破碎岩屑的粒度特征,符合罗辛定律。但侧碛中的细粒物质已有所增加,在 $3\phi$ 或 $2\phi$ 开始偏离。终碛、流碛、消融碛及不同时代的冰碛则明显的偏离,在 $-3\phi$ 和 $2\phi$ 出现拐点,反映了冰碛物的搬运距离长和后期冰融水改造强烈。因此在 $(-4)-(-2.5)\phi$ 出现第一拐点,第二拐点则出现在 $2-3.5\phi$ 位置上。老冰碛物形成的曲线已接近流水物质的形态,趋向正态分布。冰面岩屑细粒物质少,落在图的上方,呈直线分布(图 5.6)。

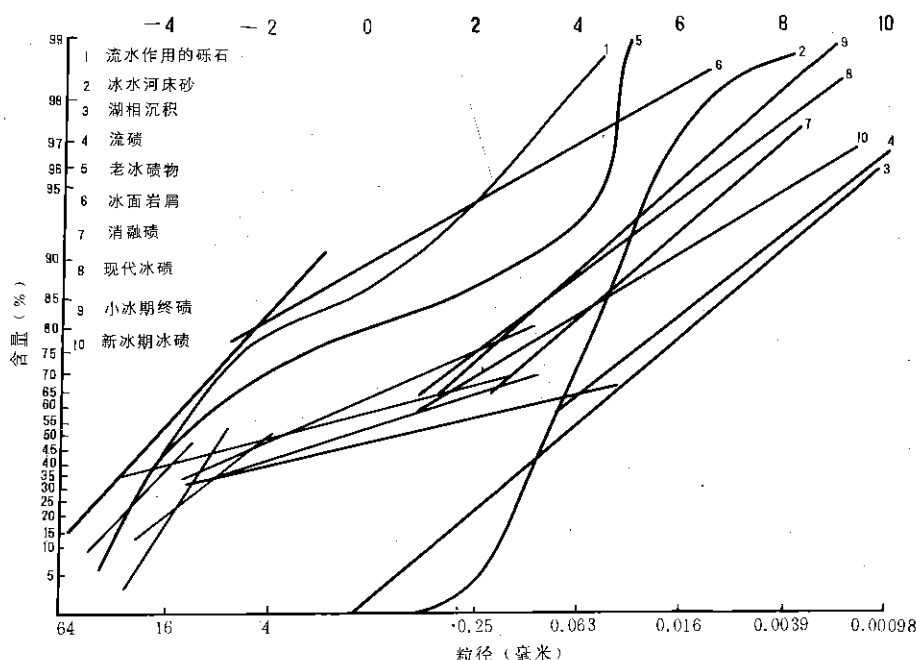


图 5.6 冰碛与非冰碛在罗辛概率图上的分布

冰碛物粒度分布是由多种因素造成的,主要是冰川在搬运过程中逐渐补充粗的物质,侵蚀河谷两侧,挖掘磨蚀岩床,冰川挤压破碎以及冰川融水等改造作用。而基岩岩性,硬度大小等因素,对冰碛物粒度组成的影响则占次要地位。

#### (四) 冰碛物粒度参数特征

##### 1. 常用统计参数

冰碛物常用统计参数,是参照福克和沃德的统计参数计算公式(Folk & Word, 1957)。因为这些参数都与沉积环境有联系,所以可判别不同环境的沉积物。从表 5.10 可以看出,冰碛物的平均值全为负值,说明冰碛物粒径是以粗粒级物质为主。冰碛物分选系

数(3.05—4.35)比冰水沉积物分选系数(2.03—2.69)大,分选性差。峰态值在0.72—2.30之间,偏态值在0.31—0.76。后两种参数与冰水沉积物没有明显区别,对于判别沉积环境相对差些,但是这两种参数与平均值和标准差所作的双变量关系图,可明显的划出不同环境沉积物的界线(王靖泰等,1981)。

## 2. 基质指数与磨蚀指数

冰碛物基质指数与磨蚀指数是哈尔道辛(Sylvi Haldorsen, 1981)引入的两个概念,并将挪威东南部150个冰碛样品的频率曲线划分为A, B, C三个区。A, B, C三个区分别代表砂、粉砂、砾重量百分数所围成的面积,然后计算出基质指数 $[(A+B)/C]$ 和磨蚀指数 $(B/A)$ 。但由于人为因素的影响和计算面积比较繁琐,不如直接运用重量百分数计算基质指数 $[(\text{砂}+\text{粉砂})/\text{砾}]$ 和磨蚀指数 $(\text{粉砂}/\text{砂})$ 更为简便。这一方法曾对天山博格达峰地区的冰碛物进行了计算和对比,结果与哈尔道辛计算的数值相吻合(张振栓, 1983)。运用此方法计算出南峰地区冰碛物的基质指数与磨蚀指数(表5.11)。本区冰碛物的磨蚀指数较高,一般在0.40—0.85,基质指数0.35—0.89。两个指数的多寡反映了冰碛物岩屑机械破碎和冰川磨蚀作用能力的大小。冰碛类型不同,所受冰川挤压破碎和磨蚀作用有差异。磨蚀指数高说明冰川磨蚀作用强烈,基质指数高说明机械破碎作用也较强。

表 5.10 冰碛与非冰碛粒度参数

数 值 参 数 名 称	类 型	流碛	消融碛	侧碛	终碛	冰面岩屑	冰湖沉积	冰水沉积
平均值(ME)		-0.78	-0.70	-3.20	-0.29	-2.23	3.84	2.40
标准差( $\delta_1$ )		4.35	4.00	3.05	3.79	2.89	2.69	2.03
偏 态( $SK_1$ )		0.53	0.31	0.58	0.76	0.61	0.25	0.16
峰 态(KG)		0.72	0.75	2.30	1.40	1.44	1.22	1.06

表 5.11 冰碛与非冰碛基质指数和磨蚀指数

指 数	类 型	消融碛	流碛	侧碛	终碛	冰面岩屑	冰水沉积	冰湖沉积
基质指数		0.68	0.87	0.35	0.89	0.20	15.02	62.57
磨蚀指数		0.41	0.85	0.58	0.40	0.26	0.29	0.66

表 5.12 不同冰川性质冰碛物的磨蚀指数

地 区	类 型	终碛	侧碛	消融碛	冰面岩屑
南峰海洋性冰川区		0.89	0.58	0.41	0.26
天山博格达峰大陆性冰川区		0.44	0.20	0.35	0.08

冰碛物磨蚀作用能力大小,与冰川类型及地区密切相关,不同地区冰碛物磨蚀作用不同,从表5.12中得知南峰海洋性冰川区较天山博格达峰大陆性冰川区的磨蚀指数高,冰川运动快,磨蚀作用强烈,后者则相反,磨蚀指数低,冰川活动性差,磨蚀作用弱。

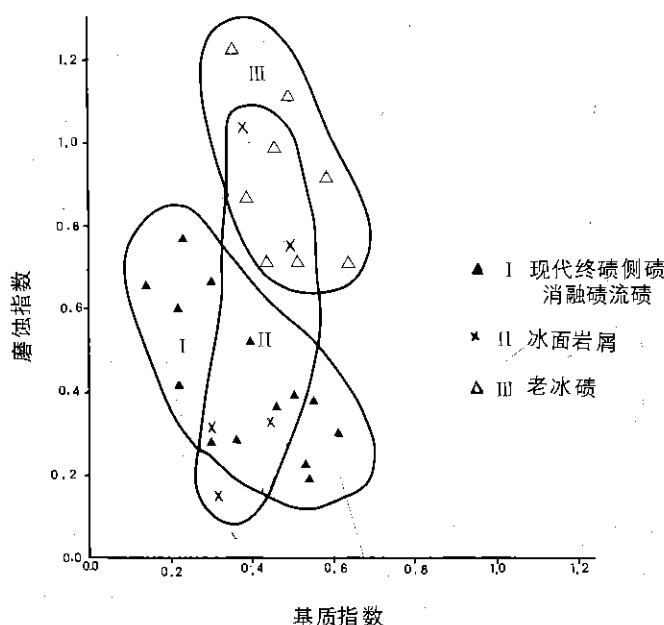


图 5.7 冰碛物基质指数对磨蚀指数关系图

本区冰碛物的基质指数与磨蚀指数呈正相关。所作的磨蚀指数与基质指数双变量关系图(图 5.7),可划分三个区,Ⅰ区集中了现代终碛、流碛、侧碛和消融碛的样品,基质指数和磨蚀指数反映了破碎作用与冰川磨蚀作用近于等同。Ⅱ区集中了冰面岩屑的样品,但是跨了两个区,从图 5.7 可以看出,跨Ⅰ区的数值多低于Ⅰ区样点,反映了它是以破碎作用的岩屑占优势,部分样品进入Ⅲ区,说明这类样品是从冰川底部通过剪切带搬运到冰川表面,它是经过磨蚀作用后的物质,细颗粒含量增加,所以落在Ⅲ区。Ⅲ区集中了老冰碛物,因当时冰川规模大,搬运距离长,运动快,磨蚀强,样点集中落在图的上方。

## 六、冰碛的搬运沉积过程

南峰地区为海洋性冰川区,系以雪崩补给为主的山谷冰川、冰斗冰川等冰川作用的沉积物。冰碛类型多、典型。它的成因及沉积过程复杂,搬运方式多样。本区冰碛物来源近,搬运距离短。搬运物质主要是来源于冰斗周围山坡的崩落、滑动和滚动的寒冻风化以及雪崩造成的岩屑、岩块。冰川前进时,冰下基岩受到冰川的高度围压而挖蚀底部岩屑,在谷地中还可获得两侧谷壁的融冻崩解的岩块岩屑。

在粒雪线以上,岩块、岩屑被雪埋没,进入冰川内部,呈冰内碎屑向前搬运。冰内岩屑随着搬运距离的增加,搬运方式越加复杂,它可进入冰川底部搬运并在冰前沉积。由于岩床的起伏变化以及剪切等作用还可连同底部岩屑一起上升到冰内或冰上搬运,直至冰前沉积。大部分岩屑继续在冰内搬运,冰川消融退缩后在冰舌末端沉积。

雪线以下,冰川消融将冰内岩屑暴露在冰川表面,成为冰面岩屑。冰川消融区几乎全部被冰面岩屑覆盖,而且厚度较大,一般为 0.1—0.5 米。由于岩屑厚度不等而产生差别消融,致使冰面岩屑重新分散富集。冰面消融不均一,起伏不平,常呈现一种“冰川喀斯特”的

冰面形态。冰川表面岩屑随着冰川的前进或后退在冰舌末端沉积,其搬运沉积方式是搬运和沉积作用同时进行,并参与侧碛垄和终碛垄的形成。

在冰川底部常常产生大量的岩屑。当岩床受到冰川高度围压时,岩床被挖掘与磨蚀,冰川规模大,运动快,挖掘和磨蚀作用愈强烈。在冰川底部常产生一种压力融化,促使岩石碎屑物释放并停积到冰床之上,冰川流动的任何地方都可能发生冰下滞卸,称为滞碛。暖冰川底部滞卸更为普遍,常常在羊背石的背冰流方向滞卸堆积,在此同时冰碛物充填了许多沟槽和不规则洼地。冰川底部的搬运沉积作用一般形成底碛或滞碛。冰川沿冰床运动,对冰下岩屑产生强烈的磨蚀作用,搬运距离越长,这种作用越显著。因此,从源头向下游冰碛物的性质逐渐发生变化,粒度分布逐渐偏离罗辛分布,而接近对数-正态分布。

南峰冰川区的冰面岩屑,因冰面消融常形成一种流动状态。覆盖在冰面的厚层碎屑,由于消融水在冰面和岩屑间有一个不稳定界面,当融水达到一定极限时,不稳定界面将覆盖的岩屑携带流动,在坡度较缓的地方停积下来,这种过程形成的冰碛称为流碛。这种流碛有平行的流动结构,石块扁平面的 $\alpha$ 轴平行于坡度方向。在流动过程中,泥沙石块混合参杂,在岩屑表面常见有一层细粒物质。野外观察到,流碛一般规模较小,有明显的舌状。流碛面坡度较缓,呈长条形。在天山冰川区,这种流碛常发生在向阳位置并有埋藏冰的冰碛垄上(表 5.13)。这一过程形成的沉积物,国外一些学者称为“冰缘泥石流”(Jong Mat & Rapal Martin,1983)。

表 5.13 流碛测量值

测点号	地 区	海拔高程 (米)	长 (米)	宽 (米)	高 (米)	表面倾角 (度)	流动方向 (度)
1	南峰则隆弄冰川	3 520	20.0	3.0	0.5	5—20	30
2	南峰则隆弄冰川	3 500	8.0	2.7	0.7	26	270
3	天山博格达峰扇状冰川	3 550	5.0	4.0	0.5	2	90

综上所述,冰碛物的搬运沉积过程、形成机制以及野外现代冰碛类型的观察,可大致分冰上冰内上部搬运带和冰下搬运沉积带。

### 第三节 第四纪冰期划分探讨

南峰地区及其周围的古冰期的划分研究,前人已作过一定的工作。对青藏高原第四纪古冰川演化与高原隆起的关系、古气候变化与冰期的关系、古冰缘与冰期、冰川与冻土之间的关系及现代冰川的演化等,都进行过较系统较全面的分析论述。总的看来,前人对青藏高原有关冰期划分和现代冰川发育特征的研究与我们在藏东南地区古冰川考察中所得结论基本一致。

#### 一、第四纪冰期的划分依据

古冰期划分是依据古冰川作用的遗迹而定。不论堆积地貌或侵蚀地形,在本区各流域的一定地貌部位都有其分布。这些古冰川遗迹是配套的,特征明显、典型,容易识别。但是这些分布高度不同、形态各异的冰川堆积物,如何正确地判断分期,这就要首先考虑每次



冰期发生时的自然环境与特点以及地貌条件等因素。本区各地自然条件情况不同,地貌发育演变差异较大,对冰碛物的时代划分要综合考虑,首先要进行野外宏观研究,即定性研究;同时,也要进行实验室工作,作微观分析,进行定量研究。在大量的室内外工作基础上,经反复分析论证后,才能得出较正确的结论。结合本区自然情况,先要了解这里的地貌发生发育过程。南峰地区属强烈上升区,南部邻印度平原,海拔仅百米左右,河流侵蚀基点很低,这里首先受到切割,地形表现支离破碎,沟壑纵横,高差很大,河谷狭窄,老的冰碛分布部位较高,冰碛愈新愈近河床,冰蚀槽谷地形也是愈高愈老。另外,也要从冰碛物本身来判断,如胶结程度及古冰碛是否受到新构造运动影响等。一般来讲,冰碛物愈老,胶结愈好,愈新愈松散。冰碛愈老受构造运动影响愈强,变动愈大,愈新则堆积物保持原来状态较好。有冰川擦痕的基岩多是最后一次古冰川作用形成。而早期的擦痕或为流水冲刷侵蚀或为漫长的寒冻风化剥蚀,或为后期的冰川运动所磨蚀,难以保存。还有悬谷地形也只有最后一次古冰川作用才能保存下来,因此,从多方认识后,古冰期的相对年代就可确定。再从室内所测得的孢粉、冰碛粒度、矿物成分变化及绝对年代等都可加以验证与补充,这样所定年代就比较可靠。本区冰碛分析到的绝对年代数据是愈新愈多,尤其对全新世冰川变化时间知道的更精确。老的冰碛经过后期改造残留不多,原始面貌全非,测定年代也颇不易。

## 二、第四纪冰期划分

根据实地观察和室内分析,参考前人成果及邻区的古冰川遗迹,可知南峰地区从第四纪开始就是强烈上升区。西藏高原少数极高的山峰发育了冰川。如世界第14高峰希夏邦马峰已确证有早更新世的冰碛,估计世界第15峰南峰比希夏邦马峰仅低231米,有地形高度的优势,又受印度洋湿润气候影响,降水较多,即冰期形成的温湿条件具备,应该也是可以发育冰川的。但由于雅鲁藏布江围绕南峰而过,把南峰限制在大拐弯内侧,山体面积狭窄范围不大,以现在主峰距离河床西边为12公里,北边为15公里,向东到邦辛稍远,也只有30公里。在早更新世冰川发育时,南峰距当时河谷西为6公里,北为2公里,东边最远也只有14公里。山坡面积有限,冰储量不大,冰川规模较小,冰碛分布范围也不广。后期河流的强烈侵蚀,冰碛不易保存。即使地形条件合适,能保存下来,恐怕也要在很高部位上去找。希夏邦马峰早更新世的冰碛分布在海拔6000米左右,因此,这里冰碛的分布高度恐怕也在6000米或更高些。我们这次考察高度,多在3000—4000米间进行工作,没有到达这种高度,当然也看不到早更新世冰碛。究竟冰碛物有无相当于希夏邦马峰的,仍待今后进一步去深入考察。

中更新世的冰碛因受山体强烈抬升,河谷及坡面遭受强烈侵蚀和冲刷,覆于基岩上的薄层松散的冰碛层易被流水冲掉,难以保存。事实也是该期冰碛保留下来的寥寥无几。保存最好的为打林村上方的山坡凹处,海拔约3500—3600米的高台冰碛层,高台冰碛残存数量不多,冰碛和冰水沉积受到构造变动,是一个划时代的重要标志。本区晚更新世的冰碛剖面,未受到构造运动影响。虽有个别地点产生断层,但断距不大,仅对断层两侧很小范围内有些影响。高台冰碛的时代无疑要早于该期而晚于早更新世,显然划为中更新世为合适。

晚更新世冰期遗迹完好,虽也受到后来的流水侵蚀和寒冻风化作用的破坏,但它毕竟

形成时代晚,原始面貌仍然清楚。晚更新世冰期有两次,一次发生在早期,索松的三角面,就是从中更新世的堆积物中下切形成的。龙悲的高冰碛阶地的胶结情况和分布高度也很典型。较大的支流和波堆藏布冰川遗迹最广,高出河面400—500米,并都汇入了主流帕隆藏布而止于古乡附近。晚更新世晚期的冰川规模显得小些,冰碛分布清楚。南峰的冰川从派区开始经大渡卡、宜淀、龙悲一直沿江而下进入大峡谷,估计冰川有20余公里长,冰碛高出雅鲁藏布江面在派区有10—20米,到宜淀升高到260米,格嘎紧邻宜淀之北,高度应一致,因它受到后来那木拉河流的不断冲刷,高度被削低,高出江面145米;位于格嘎东北的接地当嘎,背靠山地,为缓倾斜冰碛平台,高出江面300米以上。这里的冰碛堆积经流水作用后形成阶地,上面有很多漂砾分布,是当时河流无法搬运而留在原地的佐证。这次冰碛细分,还可看出两个阶段,以格嘎的路口曲晚更新世冰碛剖面最清楚,上下冰碛层之间,夹有冰水层,表示曾有一次较小的气候变暖过程,接地当嘎这期冰碛物较紧密,据 $^{14}\text{C}$ 年代测定为距今 $11\,265\pm 328$ 年。本区还有另一种沉积物属同期异相的湖相沉积层,它沿雅鲁藏布江大拐弯向上至米林一带,约百公里的范围内沿江两岸连续出现灰白色细粉砂层,夹薄层黄色或黄褐色砂层,它是由湖中铁质弱氧化生成。湖相沉积直到八一镇以上。它的形成过程是当南峰冰川发育时,冰体占据河谷,似一道“大冰坝”拦截了河的去路。此时也正是寒冷期,绝大部分山地白雪皑皑,雪线多数海拔3 600—3 700米,雅鲁藏布江水流很少,水位又低,冰川阻塞河水而在上游形成湖相沉积层,最薄处为宜淀,厚度只有数米,这是因为当湖水位较高时,才能在“冰坝”的内侧沉积。湖积层一般厚度20余米,因形成时间较近,故砂层松软,手触即散落。林芝电站处,剖面较典型,水平层理清楚,夹有透镜体和交错层,沉积物新鲜、未胶结,分布上限为海拔3 050米,未超过宜淀冰碛阶地分布高度。认为此湖相堆积与波堆藏布的冰碛丘及其支流白玉曲、珠西曲的冰碛垄同期异相,形态不同。从白玉曲高大的终碛末端采的样品,经 $^{14}\text{C}$ 年代测定为距今 $8\,300\pm 200$ 年。全新世的冰碛为新鲜松散的堆积物,测定 $^{14}\text{C}$ 年代是距今为3 000年、2 000年和1 800年左右,最新为400—200年即16世纪以来的冰碛物。

## 第四节 第四纪冰川发展演化与气候变化

### 一、第四纪冰川的发展演化

第三纪末,世界上的海陆分布格局基本已定,整个高原海拔千米左右(李吉均,1979),喜马拉雅山经过前期的强烈上升,已显示出雄伟的姿态,出现在西藏高原的南缘,其高度要比高原面高些,少数高峰也许在2 000米以上。整个高原起伏不大。西藏的主要河流雅鲁藏布江已形成,大拐弯以上,该江沿东西向深大断裂带发育,峡谷以下则是应顺雅鲁藏布江地缝合线东端构造的弧形转折所造就的一系列密集的断裂和褶皱而发育(杨逸畴,1982)。地质构造明显地控制着河道的总体流路。由于间歇性上升后的相对长期稳定,主支河流侵蚀活跃,削平了高原面上的一些山岭,形成了典型的高原夷平面,大气环流形势虽与今不同,但印度洋西南季风可能已开始孕育,并影响到周围临近地区,这里也受其利,气候较今湿润。第四纪开始新构造运动为大幅度整体的断块上升,一般平均海拔2 000米左右,部分山峰高度可能超过3 000米。山地的气温随高度而降低,同时,更重要的是第四

纪初,世界气候普遍变冷,气温下降,使一些地区发生冰缘现象,如昆仑山垭口早更新世地层中,有冰卷泥即融冻褶皱,少数高山位于雪线以上,发育了冰川称希夏邦马冰期。整个喜马拉雅山也只有少数的极高山有冰川形成,呈稀疏的点状分布。希夏邦马冰期发育于浑圆山顶,流到山麓不远,为小型山麓冰川。南峰从高度和降水量衡量,也具有冰川发育的条件,冰川类型可能是冰斗山谷冰川为主。因冰川活动范围小,侵蚀力要弱,冰碛分布范围不会大,加之这里河流的强烈冲刷切割作用,使冰碛物也难以保存。南峰地区的其它山地,因位在雪线以下,无冰川发育,但一些较高的山峰的冰缘现象可能还是有的。这次冰期过后,气温慢慢升高,西南季风经过形成和发展,已很强盛,并深入内陆到柴达木盆地,气候温暖湿润,河流水量增加,侵蚀活跃,南峰周围下切为主,极高山上的条条小冰川,也被融化一光,一些研究者称此期为帕里间冰期。

中更新世的地理环境和冰川作用。这是一个剧烈变动的时期,高原的剧烈抬升,使青藏高原面一般达到3 000米,升值为千米。而山地、山峰上升量可能更大。二是气候寒冷时间长,使冰川发育成长大的冰川。整个青藏高原命名此期为聂聂雄拉冰期。当时雅鲁藏布江两岸形成数十公里长的山谷、山麓冰川。在一些平坦的高原面上,如色齐拉山口两侧夷平面上,可能有平顶冰川类型发育。附近山地有并列的宽浅幽谷,谷头有冰斗地形,说明也发育过山谷冰川。南峰山地被切割得支离破碎,冰川类型为树枝状山谷冰川,堆积物受到后来的河流冲刷,多被侵蚀,残存不多,一般分布在海拔3 600—4 000米的坡面凹处或高台地上,即前文所称的高台冰川。易贡的麻果龙藏布冰川也深入盆地,在山坡上留下叠套的高一级U谷。高台冰期过后,气温上升,为热带亚热带气候,称加布拉间冰期。西南季风活动频繁,湿润多雨,森林茂密,有些高峰对气流起到了阻碍作用,一般影响不大,季风仍可继续伸向内地,南峰的雅鲁藏布江大拐弯,在以前切割的基础上形成更深更窄的狭谷,是高原地形的大切割期。中更新世末,南峰构造上升达到最高潮,使这期的沉积物受到变动。

晚更新世的地理环境和冰川作用。青藏高原隆起是强烈的,这个时期的上升量都在千米左右。到晚更新世是上升最强烈的时期。广大高原面已从原来的3 000米左右上升到4 500米—5 000米。上升量达1 500—2 000米。高原自然景况不断演化,并逐渐接近现代情况。晚更新世与上述各期也有不同之点。上两期的特点是每个阶段之始都为寒冷期来临,并愈来愈冷,待冰川发展到最大规模时,已接近中期阶段,气候开始转变,渐趋变暖,气温随之缓慢回升,直至冰川绝大部分融化殆尽即间冰期,才构成一个过程。而在晚更新世时期,前后曾发生过两次冰期,和一次间冰期。晚更新世早期冰川分布广,称古乡冰期。冰川长100—200公里,是山谷冰川展布最大的一次。当这次冰期时,由于高原的抬升,印度洋水汽活动范围已受到很大的限制,藏北高原已显得水分不足。晚更新世晚期的白玉冰期,水汽来源比古乡冰期时要少,冰川规模也较前次小,如波堆藏布在白玉冰期时,古冰川长才81公里,比古乡期冰川小多了,这与降水量少有关系。这期古雪线分布,多数在海拔3 600—3 700米,少数可达4 000米左右。雅鲁藏布江从大拐弯前方的派区向下一直进入狭谷,被南峰西坡下来的冰川(长20公里),堵塞了河谷,形成“冰坝”(高300米以上),上游聚水成湖长近百公里,沉积有细砂淤泥的河湖相物质,以林芝砖厂出露剖面最厚,可分三层。下层为灰色,灰褐色水平薄层细粉砂层,顶部海拔为3 010米,下部2 940米,相对高70米。白玉期末期的绝对年代距今 $8\,300 \pm 200$ 年。世界上最后一次冰期一般开始于

70 000年前,结束于距今10 000年。但也不全如此,各地还是有差异的。就以南峰地区而论,是处于强烈上升区,自然条件极为复杂,冰川后退也并非同时起步。如白玉曲冰川后退始于距今 $8\,300\pm 200$ 年,它是从冰川终碛高出河面约200米处作减薄后退的,起点比较高,而主谷冰碛矮小,仅为数米,是分布零散的冰碛丘。主支沟终碛在形态和高度上的差异巨大,说明虽在同一气候条件下,但发育过程和后退过程都是不一样的。主谷冰川长,两侧注入的支冰流多,气候稍有变化,主支流都会不同程度地在冰川末端有所表现。白玉曲本身就是一个支冰川,虽当时也有反应,但不及大冰川反应速度快,当主冰川从低矮的仅数米高的冰舌末端后退时,白玉曲终碛高200米,最多也只是稍有减薄而已。因此,冰川的后退时间在大的方面仍属同一时期,但具体上也是有先后之别,并不总是在同一起点上。这两处位于同一流域,而且两个终碛碰巧相接而后退时间都不同,不用说在不同流域不同地区的后退起始时间差异就更大些。另外,也有人如莱斯脱(Leistol, 1960)认为距今8 250年这次寒冷期可作为武木亚冰期,张家诚等(1976)认为是最近一次副冰期的残余阶段等等。总之,本区晚更新世的两次冰期中间为一间冰期分开,在波堆藏布中游,两次冰期的冰碛高差达400—500米之多,显然间隔的时间还是较长的。

## 二、末次冰期以来冰川的变化

在现代冰川外围,特别是在靠近冰川的谷地中,分布着一系列冰川退缩后的终、侧碛垄,它们是晚更新世以来气候变化的历史见证。

### (一) 冰 碛 地 层

据本区已发现的冰川遗迹,可分出3次冰川侵蚀堆积的沉积物。一般看来,晚更新世以来冰川作用的遗迹形态保存良好,易于辨认和比较。

#### 1. 末次冰期冰碛

本区末次冰期的冰碛层主要分布在冰川末端10公里以外的沟口处。峰区西坡则隆弄沟口可见有分布,其冰碛层以片麻岩为主,岩性较单一,砾石大小混杂。在地貌上呈垄岗状,形成多列终碛垄,最外侧的一道,海拔2 850米左右,厚达200米左右。经对该冰碛地层中冰碛细土(海拔3 040米) $^{14}\text{C}$ 年代测定,为距今 $11\,265\pm 328$ 年。

该期冰碛地层在嘎隆弄巴河口均有分布,但这里终碛垄受后期河流冲刷切割,终碛垄的中部已被冲出豁口,仅在沟口两侧残存。其冰碛岩性复杂,杂乱无章,无层理构造,虽有磨圆石块,但排列方向无规律。冰川末端高程在2 850米,厚100米左右。

#### 2. 新冰期冰碛

全新世的中晚期,本区曾发生过规模不大的冰川前进,形成冰碛垄。在峰区西坡则隆弄沟谷中,它与小冰期的冰碛叠置在一起,分布在外侧,形成长舌状垄岗地形,2 920—4 000米均有分布,冰碛层厚150米以上。岩性以花岗片麻岩为主。在嘎隆弄巴河谷中同样可见到该期冰碛,分布范围在现代冰舌末端向下1.0公里以内,海拔3 450米左右,厚约

100 米。岩性以石英片岩和花岗片麻岩为主。本期冰碛在相邻地区的阿扎冰川和若果冰川也很清晰,冰川前进破坏了槽谷两侧的森林,形成显著的冰川修剪线,从若果冰川前进型侧碛中采集的朽木 $^{14}\text{C}$  年代为距今  $1\,920\pm110$  和  $1\,540\pm85$  年,阿扎冰川附近高 100 米的侧碛中的朽木 $^{14}\text{C}$  年代为距今  $2\,980\pm150$  年(施雅风等,1979)。

### 3. 小冰期冰碛

小冰期冰碛分布在现代冰舌前方,一般由 2—3 道新鲜终碛垄组成。多由棱角状的漂砾、岩块及碎石粘土组成,岩性较单一,表面新鲜,未经风化,其岩性成分与所在冰斗岩性一致。则隆弄沟冰碛岩性是以花岗片麻岩为主的变质岩组成,终侧碛垄发育 2—3 列,高差 5—10 米,侧碛垄外高内低,外缓内陡。冰舌末端高程在 2 950 米左右,厚度 150 米以上。经对冰碛中朽木 $^{14}\text{C}$  年代测定,分别为距今  $287\pm93$  和  $394\pm83$  年。从而可知,该时期的冰碛形成时期大致在 400—200 年前。在嘎隆弄巴河源的现代冰川外围,均分布 3 道以上的新鲜终侧碛垄,终碛垄末端海拔在 3 650 米左右,厚度 50—120 米。冰碛岩性以石英片麻岩、花岗片麻岩、花岗闪长岩和大理岩为主。

## (二) 冰 川 演 化

在全球统一的水循环控制下,冰期时海面降低,而冰川扩大,雪线下降,冰期后雪线升高,冰川后退。据冰川变化所留遗迹可以重建末次冰期以来冰川变化过程(图 5.8,图 5.9)。

### 1. 末次冰期冰川变化

在青藏高原,由于中更新世时高原的再度强烈隆升,喜马拉雅山的屏障作用加强,高原内部降水减少,冰川发育受到控制。在南峰地区,虽然山地强烈抬升,但同时河流下切作用也随之加剧,这时属地形大切割时期,雅鲁藏布江谷地成为南来气流的天然通道(杨逸畴,1984)。所以本区降水丰沛,温度较高。

中更新世后,山地继续抬升,温度降低,固体降水增加。致使晚更新世发育了末次冰期,末次冰期冰碛物及冰蚀地形保存都很完整。可以清楚地看出这一次是规模较大的山谷冰川。在这次冰期冰川发育的最盛时期,各大冰斗中的冰雪汇入主谷,向前推进,形成长达 11.4 公里的大型山谷冰川。在则隆弄沟冰川面积达 40.32 平方公里,冰川末端海拔 2 850 米,雪线海拔  $4\,580\pm100$  米,比现代雪线降低了  $240\pm100$  米(表 5.14)。在嘎隆弄巴河谷中冰川面积 25.44 平方公里,冰川末端高程为 2 850 米,雪线海拔  $3\,770\pm110$  米,比现代雪线降低了  $430\pm110$  米(表 5.15)。

根据测年数据(距今  $11\,265\pm328$  年),冰川开始后退,虽后退过程并不长久,但极为复杂,从依次叠覆的多条终碛垄来看,后退是脉动型的,即在总的退缩过程中,又有过多次小的前进。以后至 6 000 年前冰川迅速退缩,但是,冰川并没有全部消失,只是比原来规模减小而已。

表 5.14 则隆弄沟末次冰期以来冰川变化表

冰 期	冰川长度 (公里)	冰川宽度 (公里)	冰川面积 (平方公里)	冰川末端高程 (米)	冰川雪线高程 (米)	比现代雪线降低值 (米)
现代冰川	10.25	0.5—2.5	22.77	3 000	4 820±100	
小冰期	10.55	0.6—2.6	24.50	2 950	4 760±100	60±100
新冰期	10.80	0.7—2.7	26.58	2 920	4 700±100	120±100
末次冰期	11.40	1.3—3.7	40.32	2 850	4 580±100	240±100

表 5.15 嘎隆弄巴河末次冰期以来冰川变化表

冰 期	冰川长度 (公里)	冰川宽度 (公里)	冰川面积 (平方公里)	冰川末端高程 (米)	冰川雪线高程 (米)	比现代雪线降低值 (米)
现代冰川	2.4—4.4	0.7—1.3	13.29	3 700	4 200±90	
小冰期	2.6—4.8	0.9—1.5	15.17	3 650	4 100±100	100±100
新冰期	2.8—5.1	1.0—1.6	16.82	3 450	4 000±100	200±100
末次冰期	11.4	1.0—2.7	25.44	2 850	3 770±110	430±110

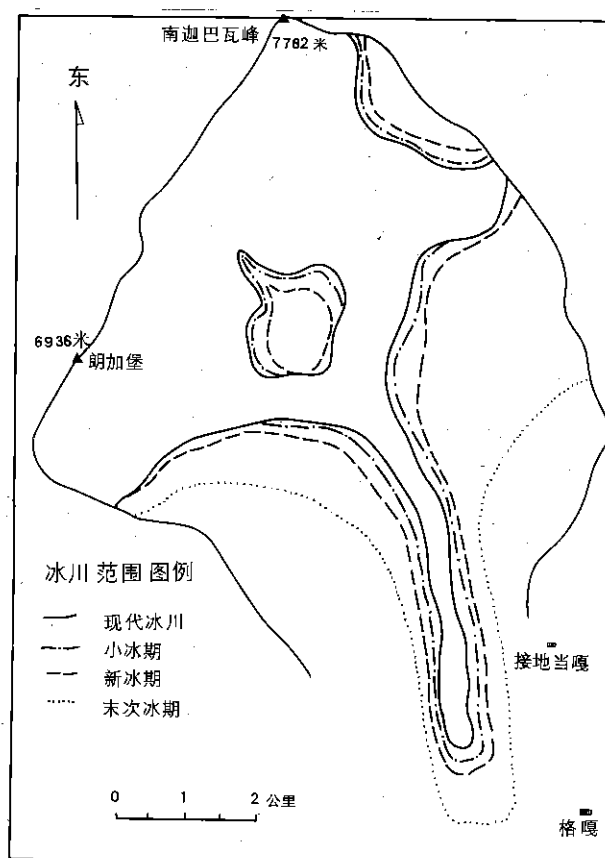


图 5.8 则隆弄沟末次冰期以来冰川演化图

## 2. 新冰期冰川变化

新冰期时的冰川规模较小,以山谷冰川和冰斗冰川为主(见图 5.8、图 5.9),它在原来冰川规模的基础上开始发展。在南峰西坡则隆弄沟比嘎隆弄巴河冰川长度长,面积前者大于后者,雪线下降值前者低于后者,(见表 5.14、表 5.15)。

## 3. 小冰期冰川变化

小冰期的冰川规模比前期小,以山谷冰川、冰斗冰川和悬冰川为主,多数在冰斗的阴坡继生。冰川前进时的冰川长度在则隆弄沟为 10.55 公里,嘎隆弄巴河冰川在 2.6—4.8 公里之间。冰川面积前者大于后者,冰川雪线高程前者高于后者。这期冰川一直延续至今,其发展趋势是逐渐缩小,后退速度是脉动型的,中间也有过几次前进波动。但从最大冰进到现在,冰川是逐步退缩,冰川面积减小雪线上升。

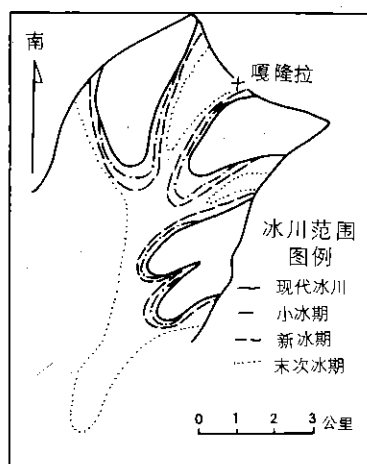


图 5.9 嘎隆弄巴河末次冰期以来冰川演化图

# 三、冰川变化与气候的关系

自晚更新世以来,冰川发生了很大变化,南峰地区冰川的变化与我国其它山区的冰川相近,都曾波动性地向后退缩,但由于各地区温度、降水和地形等条件的不同,冰川退缩幅度有所差异(表 5.16)。在天山和祁连山区晚更新世末次冰期时,冰川长度为现代冰川长度的 3—6 倍,雪线下降值达 500—700 米;昆仑山晚更新世末次冰期时,冰川长度是现代冰川长度的 1.5 倍左右,雪线下降值 500—600 米。南峰地区晚更新世末次冰期时,冰川长度是现代冰川长度的 1.1—4.8 倍,雪线下降值 240—430±110 米。显然,南峰地区晚更新世末次冰期时雪线下降值较低,其原因是与冰川规模有关,本区现代冰川和末次冰期时的冰川规模较小,冰川变化的幅度小,雪线下降值相对较低。

冰川进退,面积增减,雪线的升降,这一切变化都不是孤立的,而与气候关系最密切。根据波密(海拔 2 750 米)22 年和林芝(海拔 3 000 米)23 年的气象资料,年平均气温分别为 8.4℃和 8.6℃,年降水量分别为 885.2 毫米和 660.7 毫米。年平均零温度线通过 4 300 米左右。据张文敬推算,雪线附近的年平均温度在 -4.4℃左右,年降水量 1 686 毫米。据郑本兴研究,晚更新世冰期时藏东南地区温度较今日年平均温度下降 -2.4—3.4℃。本区末次冰期时的温度与此降低值接近。远较北欧的下降幅度(6—8℃)(Flint, 1971)为小。

全新世以来,我国气候发生了同北半球其它地区大致同步的多次变化。据竺可桢研究,在距今 6 000—3 000 年的气候最宜期,即我国仰韶文化时期,气候比今高 2℃(竺可桢,1973)。受全新世高温期干热气候影响,在冰碛表面均发育一层钙质薄膜,其<sup>14</sup>C 年代为距今 5 530±220(王靖泰,1981),距今 5 500±200 和距今 3 949±141 年(郑本兴等,1983)。在新冰期时温度较今日降低了 0.5—1.6℃。可见不论是冰期或非冰期,本区的气温变化幅度都不大,但是冰川发育的规模变化却很可观,末次冰期时的冰川长度都在 10

表 5.16 南迦巴瓦峰地区与我国其它地区现代冰川、晚更新世末次冰期冰川规模的对比

山 名	地 点	现代冰川 长度(公里)	晚更新世末次冰 期冰川长度(公里)	长度比	末次冰期比今日 雪线降低值(米)	资料来源
南迦巴瓦峰	嘎隆弄巴河源冰川	2.4—4.4	11.4	1 : 4.8—2.6	430±110	作者
	则隆弄沟冰川	10.25	11.4	1 : 1.1	240±100	
喜马拉雅山	珠穆朗玛峰北坡绒布冰川	22.2	35.0	1 : 1.6	300	谢自楚等, 1974
	卓奥友峰加布拉克冰川	21.0	40.0	1 : 1.9	350	
	希夏邦马峰北坡野博康加勒冰川	14.0	24.0	1 : 1.7	422	
	博格达山北坡四工河源	4.3	18.3	1 : 4.3	700	
天 山	喀尔山南坡庙尔沟	5.5	16.0	1 : 2.9	600	张振栓, 1981
	乌鲁木齐河源	2.4	12.0	1 : 5.0	440	
	大雪山老虎沟	10.0	28.0	1 : 2.8	500	
	走廊南山洪水坝河	5.6	17.0	1 : 3.0	600	
祁连山	冷龙岭北坡水管河源	5.7	30.5	1 : 5.3		谢自楚等, 1974
	南坡泉水沟多塔冰川	15.6	20.1	1 : 1.3	<100	
	北坡玉龙喀什河昆仑冰川	19.5	28.5	1 : 1.5	500—600	
昆仑山						郑本兴, 1986
						张振栓等, 1986



公里以上。虽然冰期时温度的降低是有限的,但是发育这样规模的冰川,是因固体降水量大大增加所致。

根据全新世新冰期以来冰碛物中孢粉组合情况看(表 5.17),在冰碛物中,乔木植物花粉占绝对优势,占总数的 93.7%。而冷杉占绝大多数,占乔木植物花粉的 47.3%,其次为松属,占 29.2%。从冷杉和松属的花粉组合看,当时的冷杉和松属如同现在生长的冷杉和松属林一样,很少含阔叶树种。因此,本区单一的垂直森林带至少在新冰期以来就是如此。据李渤生(1984)研究,亚高山冷杉林带分布海拔 2 800—4 000 米,年降水量 1 000—1 500 毫米,年平均温度在 2—8℃ 之间方可生长。从而可知,新冰期时的温度与降水条件完全可满足冷杉的生长要求。

表 5.17 全新世新冰期以来冰碛物孢粉分析结果表

孢 粉 量		样 品 号					
植 物 名 称		1	2	3	4	5	6
孢 粉 总 数		373	253	318	9	51	5
乔木植物花粉总数		372	225	314	8	47	5
草本植物花粉总数		1	2		1	1	
孢子总数			26	4		3	
乔木植物花粉	<i>Abies</i>	242	84	131	4	13	2
	<i>Picea</i>	2	5	1			
	<i>Pinus</i>	21	68	182	3	18	3
	<i>Tsuga</i>	105	68		1	3	
	<i>Betula</i>	2				13	
草本植物花粉	Sapindaceae		1		1		
	Caryophyllaceae	1					
	<i>Artemisia</i>		1			1	
孢子	Selaginellaceae		2			1	
	Pteridaceae		6				
	Sinopteridaceae		8	4			
	Plagiogyriaceae		2				
	Polypodiaceae		8			2	

南峰地区为海洋型冰川区,在全新世晚期,由于气温提高并不显著,而湿度增加,降水加大,雪量增多,冰雪积累作用加强,故冰川是增长的。所以本区冰川规模一直很可观。

## 第六章 泥 石 流

南峰地区自然资源丰富,是西藏今后重点开发利用地区之一,但南峰地区泥石流的危害影响着经济建设。目前,川藏公路线波密—林芝段每年夏季泥石流爆发,冲毁公路、桥梁,造成断道,影响交通运输,危及人民生命财产安全。墨脱县是全国唯一不通公路的县,除雪害,崩塌和滑坡等因素外,泥石流活动也是一个重要原因。此外,泥石流的活动,毁坏森林,阻塞江河,导致环境恶化等也是值得注意的环境保护问题。由此可见,南峰地区工农业生产、交通运输、资源开发利用等,均在不同程度上受到泥石流危害影响。因此,加强南峰地区泥石流活动规律综合防治研究,为西藏经济建设服务具有重大的意义。

### 第一节 泥石流分布特征

南峰地区是我国泥石流最发育、规模最大、类型最全的活动带之一。其分布以南峰峰体为中心,北起念青唐古拉山东延余脉的阳坡(色齐拉—波密),南至喜马拉雅山脉东段南坡(金珠拉—希让),东迄岗日嘎布山脉(帕隆—嘎隆拉);西抵喜马拉雅山东段北坡(米林—扎曲),均有泥石流分布(图 6.1)。据不完全统计,南峰地区活动的各类泥石流沟有 54 条(表 6.1)外,海拔 800—1 500 米也是泥石流相对集中的地带,但分布密度远不如前者。其次南峰地区坡向对泥石流分布的影响也十分明显。其阴坡、东南坡气候湿润,降水丰沛,森林茂密,除河谷多雨区内和最大降水带上容易产生泥石流外,大部分地区泥石流并不十分活跃,但在阳坡、西北坡冰雪盘踞各个山峰,发育了海洋性冰川,由于昼夜温差大,裸露的岩石容易产生机械物理风化,形成丰富的松散固体物质,夏季在持续几天高温条件下,冰川消融强烈,大量的冰融水激发形成泥石流,而且暴雨天气产生的泥石流也较常见。因此,阳坡泥石流发育,活动频繁,类型多,规模大。据分析,分布在阳坡的各类泥石流沟有 40 条,阴坡只有 14 条,其分布的高度也比阴坡的高。

表 6.1 南迦巴瓦峰地区泥石流分布状况

坡 位	泥石流类型			分布海拔 (米)	坡向	暴发频率
	冰川型(条)	降雨型(条)	混合型(条)			
南峰东南部	2	11	1	800—3 000	阴坡	高
南峰西北坡	14	5		2 700—3 300	阳坡	低
岗日嘎布山西坡	2	8	1	1 200—3 200	阳坡	低
念青唐古拉东段波密—东久	2	5	3	2 800—3 500	阳坡	高

南峰特殊的地理位置和山势结构,形成明显的山地自然垂直带,并由于雅鲁藏布江大拐弯起着水汽输送通道作用,使不同坡向上垂直带的水热状况,更为复杂化,因而导致泥石流在垂直、水平分布上的显著差异。

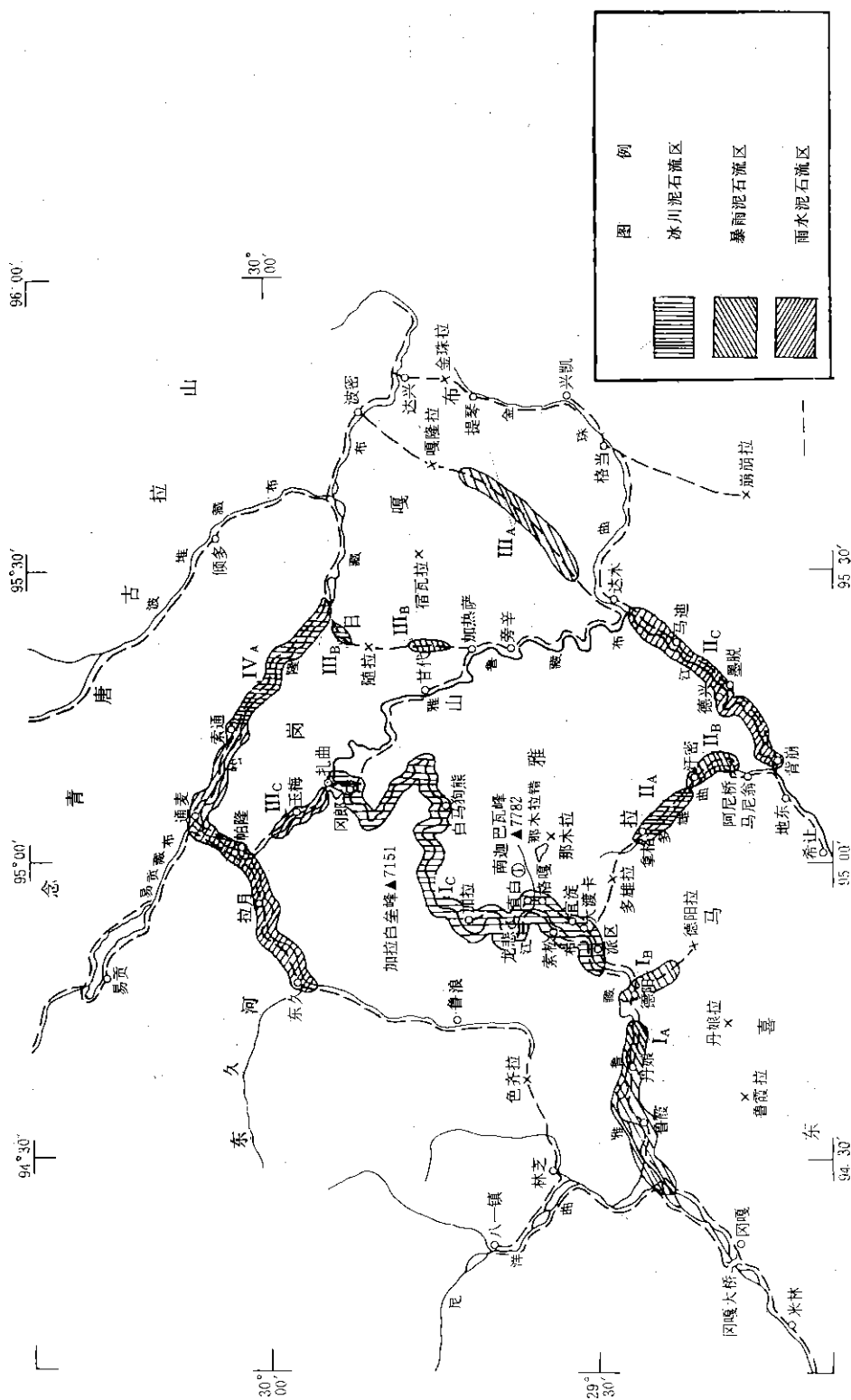


图 6.1 南迦巴瓦峰地区泥石流分布图

I A 丹娘暴雨型泥石流亚区; I B 德阳暴雨型泥石流亚区; I C 加拉冰川型泥石流亚区; I A 拿格冰川型泥石流亚区; I B 汗密暴雨型泥石流亚区; I C 墨脱雨水型泥石流亚区;  
II A 嘎隆拉西曲暴雨泥石流亚区; II B 随拉暴雨泥石流亚区; II C 帕隆藏布下游冰融水和雨水型泥石流亚区; IV A 波密—东久间冰川雨水型泥石流亚区

## 一、垂直分布特征

南峰地区水热状况随高度的变化而变化,降水从河谷底部随海拔升高而递增。最大降水带在东南坡海拔 2 400—3 200 米之间,在西北坡海拔 3 600—4 400 米之间(李渤生, 1984)。由于受降水和地形的影响,泥石流在垂直分布上相应形成三个活动带,即东南坡河谷区 800—1 500 米泥石流活动带;海拔 2 300—3 300 米泥石流活动带;以及西北坡 2 700—3 300 米泥石流活动带。泥石流的垂直分布与山地地貌过程亦有较密切的关系,因此南峰地区泥石流主要分布在高山冰雪带以下,集中在坡面洪流、重力作用和山麓谷底流水带上的上述活动带之内。其中,分布在高山冰雪作用带以下的冰川泥石流占 40%;坡面洪流,重力作用带上的降雨泥石流占 16%;山麓谷底流水带上的暴雨泥石流占 44%。如从泥石流与海拔密切相关的主支流关系上来分析,泥石流沟主要分布在雅鲁藏布江大拐弯峡谷的一级支流上,部分分布于它的二级支流和三级支流上。据统计,在雅鲁藏布江大拐弯峡谷沿岸一级支流上的泥石流沟 21 条,占 40%;二级支流上的泥石流沟 18 条,占 36%;分布在帕隆藏布下游一级支流上的泥石流沟 4 条,占 8%,二级支流上的泥石流沟 8 条,占 16%。

## 二、水平分布特征

南峰地区降水分布由南向北逐渐衰减,泥石流在水平方向上形成两个活动带,即雅鲁藏布江大拐弯沿岸泥石流带和帕隆藏布—东久河泥石流带。一般来说,南峰地区泥石流水平分布的总趋势是:以南峰峰体为中心,向外围地区延伸,从而峰体周围泥石流分布最密集,向外分布密度逐渐减小,即由带状分布变为岛状分布,其活动性逐渐减弱。例如,南峰西北坡和东南坡共有泥石流沟 33 条,占 61.1%;岗日嘎布山东坡有 11 条,占 20.4%;而外围区只有 10 条,占 18.5%,由此可见,泥石流的水平地带受到降水分布趋势的控制。

## 第二节 泥石流的形成条件分析

南峰地区泥石流是多种自然因素组合下产生的一种自然灾害现象,它受地形、地质和气候等因素的综合影响。因此,泥石流的形成发展,充分地反映了各种自然因素的有机组合。

### 一、地质条件

南峰地区是喜马拉雅山脉东端终结地区,地质构造十分复杂,泥石流的发育明显地受地质构造的制约。南峰地区构造体系主要由东西向、北东向、北北西和北西西向构造组成,这四种构造体系在此处以交接形式相复合。断裂的切割密度以南峰峰区为最大;外围多线状展布,较为集中(刘玉海,1984)。但泥石流主要受北东向构造控制,在此构造带内,褶皱、压扭性断裂、片理、片麻理发育;岩层陡倾或直立,沟谷沿断层发育,沟谷内岩层受挤压破

碎,坡面岩崩体发育。丰富的松散固体物质,有利于泥石流形成,尤其是断裂密集或几个构造体系交接复合处,泥石流更加活跃。例如,在北东向构造控制下,泥石流分布的范围从峰区的雅鲁藏布江河谷,一直延伸到峰区外围山麓。南峰地区分布着大量的混合片麻岩,在强烈的机械物理风化作用下沿片理方向很容易破碎,尤其是经断裂构造作用后,容易形成松散的粉砂质破碎层,有利于泥石流活动。例如,雅鲁藏布江下游北东向墨脱断裂带上,地层构造变形明显,岩石松散破碎,泥石流十分活跃,且规模较大。

南峰是新构造抬升的中心,也是著名的强地震带区,据地震资料统计,米林、墨脱、汗密发生6级以上地震已达15次(杨逸畴,1984)。地震活动不仅造成大量的岩体崩塌,边坡失稳,岩石破碎等,而且引起冰川活动,并加强形成特大泥石流。例如1950年8月15日察隅大地震(震级8.5级)使南峰地区新老泥石流齐发,再度进入活跃期。因此,频繁而强烈的地震活动,是南峰地区泥石流形成的一个极为重要的因素。

## 二、地形因素和固体物质来源

南峰地区现代地貌过程非常活跃,冰川作用、峡谷流水作用和坡面的物理地质作用十分强烈。由于地面急剧上升,雅鲁藏布江水系强烈的侵蚀下切,大多数沟谷呈V型,短小而陡急,沟床纵比降大(表6.2),上游为500‰左右,平均在400‰左右;中下游为250—300‰。这种陡峻的沟谷地形,在湍急的水流作用激发下易形成泥石流。在重力作用下沟谷内不断发生崩塌和滑坡。据调查南峰地区有利于泥石流形成的地形坡度大多在30°之上,而这个地区的沟谷上游谷坡一般可达40°—50°,最大达60°—70°,中下游谷坡亦在35°—40°之间,均有利于泥石流发育。

表 6.2 南峰地区泥石流沟主要特征值

沟名	流域面积 (平方公里)	沟 长 (公里)	平均纵比降 (‰)	形成区高度 (米)	堆积区高度 (米)
汗密2号沟	1.19	2.1	715	3 526	2 060
汗密5号沟	1.04	2.25	678	3 354	1 828
拿格小岩洞沟	1.66	2.25	762	4 250	2 535
拿格大岩洞沟	1.72	2.75	656	4 605	2 800
背崩沟	6.47	3.5	437	2 162	633
马迪沟	3.19	2.95	649	2 635	720
米日沟	4.97	3.45	632	2 902	720
得哥沟	9.26	8.1	388	3 843	700
汉格洛沟	34.20	10.9	302	3 998	709
卡布沟	4.60	2.15	861	2 584	732
随拉东沟	4.28	3.7	525	5 140	3 196
随拉西沟	1.96	2.60	864	4 460	2 220
加玉沟	9.09	5.2	675	5 008	1 500
加玉各打弄巴	27.13	8.3	453	5 307	1 548
玉麦捌拉弄巴	16.19	8.1	433	5 307	1 796

南峰地区泥石流沟的流域特征较为复杂。沟谷泥石流具有上游水源汇集区和松散固体物质储存区,以及中游狭窄流通区和伸入江河的堆积区。而坡面泥石流往往是形成区与流通区连在一起。部分泥石流沟沟口与江河以跌水形式相汇,泥石流堆积物直接输入江

河,从而堆积区不明显,例如,墨脱背崩泥石流沟就表现得十分典型。此外,还有部分沟谷由于上游二级支沟发育,水源汇集面积大,但其上游缺少丰富的固体物质,当强大的洪流在上游迅速汇集后,进入中游不断搬运和冲蚀沟床松散堆积,逐渐形成泥石流。这种泥石流在沟床运动过程中,通过挖掘底床和掏蚀边坡来补给固体物质,即使是短距离的搬运,也能将上万立方米计的固体物质输送到下游,造成灾害。

应该指出,泥石流的固体物质来源除了取决于地质地貌作用和地震活动以外,在海拔4 200米以上的高山寒冻风化带和高山冰雪带内,裸露的岩石受冰冻崩解,寒冻风化、融冻剥蚀等作用形成巨大的岩屑坡、倒石堆、石海、石流等,这些物质经冰川搬运后,堆积在山麓流水作用带内,成为泥石流固体物质的重要补给来源。另外,南峰地区频繁的雪崩活动,例如在波密古乡沟一次雪崩所形成的固体物质可达520万立方米以上(杜榕桓,1985),亦为泥石流的发生提供重要的物质来源。

### 三、水 源 条 件

南峰地区高山终年积雪,冰雪覆盖面积约170平方公里,沟谷上游具有丰沛的冰川融水和季节性积雪融水,这种水源的变化主要受气温控制,若连续几天高温,便可能引起大量的冰雪融水,形成泥石流,通常以7月为高峰期。若连续高温与连续降水天气则可形成冰雪融水-降雨混合水源,激发形成的泥石流规模更大,破坏力也更强。这种情况主要出现在南峰的西北坡,米林-冈郎和波密-东久一线。

南峰东南坡墨脱一带是藏东南最温暖湿润的地区,年降水量达2 000—3 000毫米(林振耀等,1984),雨季可长达9—10个月。南来的气流翻越较低山口进入北麓,往往形成暴雨天气,为泥石流形成提供了有利条件。由于降水方式不同,形成泥石流的激发条件也比较复杂化。南峰东南坡河谷区降水均匀,年雨日200天以上,激发泥石流形成的水源条件主要以雨程较长的细雨为主,在持续几天降雨后松散固体浸润饱和,达到一定的水动力条件就能转化成泥石流。必须指出,南峰地区海拔2 300—3 000米为多暴雨区。在夏季西南季风强盛时期常常出现局地性暴雨,暴雨径流迅速汇集,形成强大洪流,侵蚀下切沟床,冲蚀掏挖边坡,引起谷坡崩塌等,从而形成最猛烈、破坏力最大的暴雨泥石流。一般来说,南峰地区暴雨泥石流的产生与前期降雨有关。例如,1979年7月2日凌晨南峰西北坡丹娘一茨巴村爆发暴雨泥石流,就是一次雨程较长的降雨作用产生的。根据鲁霞水文站的雨量资料:6月31日到7月2日雨量为91.7毫米,其中7月1日雨量为35.2毫米,7月2日雨量为44.9毫米。但是同月19日该地出现一次该年日雨量最大的降水(日雨量为53毫米),却并没有一条沟发生泥石流,这可能与缺乏前期降雨(前3日雨量为1.4毫米)有关。由此可见,前期降雨对诱发泥石流形成至关重要,南峰地区大部分地方降水日数长,具备前期降雨的条件,一旦降雨超过激发泥石流的降雨指标,就可能形成泥石流。

根据波密古乡泥石流沟观测资料分析推测(张顺英,1980),南峰地区西北部米林一波密一带,只要有前期降雨,当日雨量达到40毫米左右就可能爆发泥石流;当3日高温之和大于73℃,无雨或少雨也可能引起冰川泥石流;3日降雨量之和达到20毫米以上,最高气温之和在66℃以上时,则可能引起冰融水-降雨泥石流。1983年7月29日凌晨帕隆沟爆发冰融水-降雨型泥石流,推测其日雨量在30毫米以上(易贡实测日雨量为29.8毫米,通

麦日雨量为 25.7 毫米)。南峰地区东南部墨脱—嘎隆拉一带激发泥石流的降雨量约高于西北部,即雨水型泥石流的降雨量估计在 50 毫米以下,而暴雨泥石流则估计日雨量超过 50 毫米才能爆发泥石流。

### 第三节 泥石流的类型和分区

#### 一、泥石流的类型

南峰地区是我国泥石流类型最齐全的地区。泥石流的类型可根据形成条件,泥石流沟形态,流体性质等进行分类(表 6.3)。

表 6.3 南峰地区泥石流分类表

分类原则	类 型		主 要 特 征
		亚 型	
成因分类	冰川型泥石流	冰雪融水-雨水型	以连续高温或降雨天气相遇产生大量的冰雪融水为激发条件
	降雨型泥石流	雨水型 暴雨型	日雨量小于 50 毫米 日雨量大于 50 毫米
沟谷形态分类	沟谷型泥石流		流域特征明显,汇流条件好
	坡面冲沟型泥石流		没有明显的形成区,流域面积<1 平方公里
流体性质分类	粘性泥石流		容重 $r_c \approx 2.0 - 2.4$ 吨/立方米
	稀性泥石流		容重 $r_c < 2.0$ 吨/立方米

#### (一) 按成因分类

根据南峰地区泥石流成因可分为冰川泥石流和降雨泥石流两类。

##### 1. 冰川泥石流

冰川泥石流指发育在高山冰川或积雪的边缘地带,以冰碛物、冰崩雪崩堆积物为主要固体物质补给来源,受夏季大量的冰雪融水激发而形成的泥石流。南峰西北坡海拔 4 800 米以上被冰雪覆盖,发育着海洋性冰川,该冰川特点是活动力强,积累和消融强烈,运动速度快,大量的冰碛物、冰崩、雪崩物被搬运到冰川末端的森林线以下地区,由于冰碛物经常处于饱和状态,在夏季连续高温时,冰川强烈消融,产生大量的冰融水,就可激发形成冰川泥石流。目前,南峰地区现代冰川正处于退缩阶段,大量的冰融水和冰碛物,有利于冰川泥石流形成发展。

另外南峰地区连续几日高温和连续降雨经常同时出现,导致冰雪融水和降雨共同作用或交替作用形成冰融水-降雨混合型泥石流,为冰川泥石流的一个亚类型,运动形式与冰川泥石流相似,由于增加了降雨作用,其规模大,活动频率低,历时长(整个活动过程可长达十几个小时),破坏力强,故危害性比一般冰川泥石流更大。南峰外围念青唐古拉山东段波密—东久一线常发生这种类型泥石流,这可能是降水比西北段较多有关。

## 2. 降雨泥石流

降雨泥石流指由降雨为水源条件形成的泥石流,按雨量指标,可分为暴雨型泥石流和雨水型泥石流两种。

**暴雨型泥石流。**指日降雨量达到暴雨指标形成的泥石流。南峰地区降水的区域性差异明显,各地诱发泥石流的雨量指标也不相同,在南峰东南坡和岗日嘎布西南坡,日雨量大于 50 毫米的暴雨才能形成泥石流;而南峰西北坡和波密—东久一线只需日雨量 40 毫米左右,但均需有前期降雨过程才可能形成暴雨泥石流。此外,南峰地区暴雨多发生在最大降水带的前缘以及个别低山口附近,主要集中于南峰东南坡汗密,嘎隆拉 88 公里附近和南峰西北坡丹娘附近等地。一般来说暴雨泥石流具有夜发性,暴发突然、历时短暂、规模大、搬运能力强等特点,对环境有较大的破坏作用。

**雨水型泥石流。**指日雨量 50 毫米以下的大雨形成的泥石流。南峰东南坡墨脱县是我国多雨的地区之一,全年雨日在 200 天以上,雨季长达 7 个月,其中 6—9 月降雨量可占全年降雨量 70% 左右,而且雨区的位置恰处在北东向墨脱活动断裂带上,容易发生泥石流。这种雨水型泥石流暴发频率高,活动规模以中小型为主,它不仅分布于东南坡河谷区,而且沿雅鲁藏布江北上伸入到波密—东久一线,是南峰地区常见的一种泥石流类型。

### (二) 按沟谷形态分类

根据泥石流运动的沟谷形态来划分,可分为沟谷型和坡面冲沟型两种。

#### 1. 沟谷型泥石流

南峰地区泥石流基本上沿沟谷向下运动,沟谷有明显的形成区、流通区和堆积区。流域面积最大者可达上百平方公里。沟谷内常年流水,流域面积 50 平方公里以下的沟谷,仅在夏季有较大的水量,10 平方公里以下的沟谷内即使夏季也是涓涓细流,但是遇到灾害性暴雨天气时,沟谷内均可出现比平常大几百倍的径流量。

在冰川作用为主的沟谷内,沟谷型泥石流的上游形成区既是现代冰川汇集区,也是冰碛物储存区。其面积比中下游大几倍以上,沟床坡度通常超过  $12^{\circ}$ 。中下游为古冰川塑造的 U 型谷,沟床平缓,堆积着冰川侧碛堤,沟口则形成庞大的冰水堆积扇,往往伸入到雅鲁藏布江河谷内。在以流水作用为主的沟谷内,沟谷型泥石流形成区具有较好的汇流条件,且沟坡在  $30^{\circ}$  以上,滑坡、崩塌等非常发育,暴雨期间,沟谷径流强烈冲刷沟床并迅速将松散固体物质向中下游汇集。在沟谷中游,沟床下切呈“V”型,边坡处于失稳临界状态,沟床纵比降一般在 200% 左右。因此,泥石流在流通区流动时,继续冲刷掏蚀沟岸边坡,并造成滑坡和崩塌,不断使泥石流容重增大。但有时可出现滑坡崩塌物,沟床堵塞一旦溃决,泥石流瞬间流量骤然增大,导致一场大规模的泥石流形成。在沟谷下游,沟口堆积扇明显,仅见有残留的大漂砾以及被水冲刷过的泥石流滩地。此外,雅鲁藏布江下游墨脱一线,由于构造抬升剧烈,支沟口多以跌水或瀑布与雅鲁藏布江交汇,泥石流直泄江中,被江水冲刷后形成暂时性堆积河滩。



## 2. 坡面冲沟型泥石流

是坡面冲沟内快速侵蚀堆积的一种地貌现象。坡面冲沟型泥石流的沟谷型态本不十分明显,流域面积在1—3平方公里之间,沟床呈直线型,纵比降在350%以上。坡面堆积物处于起动临界状态,在降雨作用激发下,即可发生崩塌、土溜等作用形成的泥石流,其特点是:规模小,流程短,来势猛,堆积快,没有明显的形成区和流通区,沟口堆积扇呈锥形。南峰地区峰区附近坡面型泥石流极为少见,仅分布于念青唐古拉山东段的拉月大坍方一线,对川藏线危害较大。

### (三) 按流体性质分类

根据泥石流流体性质,可分为粘性和稀性泥石流。

#### 1. 粘性泥石流

指容重 $r_c$ 大于2.0吨/立方米的泥石流。南峰地区以降雨为水源条件形成的泥石流基本上属粘性泥石流,这可能与汇流径流量和固体物质物理性质和化学组成有关。以降雨为水源条件激发的泥石流,其形成过程相当短,在数十分钟内便可形成泥石流。这种泥石流主要靠沟床两岸崩塌、滑坡或冲刷沟床来补给固体物质,在运动过程中流态不断变化,流量越来越大,容重也随着增大,最后形成粘性泥石流。粘性泥石流流体十分粘稠,支撑托浮力大,粘粒百分含量在5%左右,大漂砾在流体中几乎呈漂浮运动状态,其冲刷和搬运能力也是十分惊人,一次泥石流可搬运上百万吨计的固体物质。

#### 2. 稀性泥石流

指容重( $r_c$ )小于2.0吨/立方米的泥石流。以冰雪融水为水源条件激发的泥石流多属稀性泥石流。众所周知,在冰川作用地区,泥石流形成区以上冰雪覆盖的面积较大,当出现连续几天高温天气时,从冰雪融化到汇流的过程较长,流程相对也较长,最快也得几个小时甚至数十个小时。但冰融水径流汇流初始阶段流量相当大,足以把冰碛物转化成泥石流,此时泥石流容重相对较高,大致在2.0吨/立方米左右。由于冰雪融水在一定时间内保持一定的流量,即流量衰减过程相对较平缓,泥石流的容重逐渐减小,加上流通区两岸陡立,除有少量的冰川侧碛物补给外,泥石流在运动过程中不容易从沟岸得到固体物质补给,泥石流容重也不会增大。此外,冰碛物中缺少粘粒物质可能也是影响泥石流流态性质的因素之一。稀性泥石流具有紊流的特征,泥石流运动时可见大小石块翻滚,相互碰击、推挤现象,并发出巨大撞击声。由于泥石流以固体物质含量高而区别于其它流体,因此,当发生一场大规模稀性泥石流时,也能象粘性泥石流一样阻断江河,形成泥石流堰塞湖。

## 二、分 区

根据南峰地区泥石流的空间分布情况,由南向北可分为以下四个区(表6.4)。

表 6.4 南峰地区泥石流分区表

区 域	地 点	类型分区	主要泥石流沟
南峰西北坡	米林—丹娘 德阳拉北坡 丹娘—冈朗	I <sub>A</sub> 丹娘暴雨型泥石流亚区 I <sub>B</sub> 德阳暴雨型泥石流亚区 I <sub>C</sub> 加拉冰川泥石流亚区	红卫茨巴村沟 德阳沟 加拉恩打弄卓沟
南峰东南坡	拿格—汗密 汗密—背崩 背崩—达国桥	II <sub>A</sub> 拿格冰川型泥石流亚区 II <sub>B</sub> 汗密暴雨型泥石流亚区 II <sub>C</sub> 墨脱雨水型泥石流亚区	笨普巴大岩洞沟 汗密 2 号沟 背崩沟
岗日嘎布西坡	达国桥—54 公里 加热萨—玉梅 玉梅—扎曲	III <sub>A</sub> 嘎隆拉西曲暴雨泥石流亚区 III <sub>B</sub> 随拉暴雨泥石流亚区 III <sub>C</sub> 帕隆藏布下游冰融水和雨水型泥石流亚区	88 公里处泥石流沟 加玉村沟 帕隆藏布下游各支沟
念青唐古拉东 段波密—东久	波密—东久间	IV <sub>A</sub> 波密、东久间冰川雨水型泥石流亚区	古乡沟、帕隆沟、东久沟

### (一) 南峰西北坡泥石流区

这是我国冰川泥石流分布最密集的区域之一,以众多的冰川泥石流为其特色,但偶尔也有暴雨泥石流活动。现根据泥石流成因和分布密度分为以下两个亚区。

#### I<sub>A</sub> 丹娘暴雨型泥石流亚区

分布于米林—丹娘一线,海拔 2 800—3 000 米之间,为南峰地区最干旱处。年降水量 500 毫米左右,主要集中在 5—9 月且多暴雨,导致暴雨泥石流产生。这里泥石流活动与气流流动路径有关,一般发生在暴雨出现的地区,分布零星。活动并不频繁,仅对米林—派区公路和沟口附近的村庄和农田危害较大。

#### I<sub>B</sub> 德阳暴雨型泥石流亚区

分布于德阳沟呈沿沟北北西向狭长分布,海拔 3 500—2 800 米之间,由于源头德阳拉山口为南来湿润气流的通道之一,降水集中在 5—9 月,且多以暴雨性质出现,沿沟出现多处暴雨型泥石流,对沿沟森林和沟口道路造成危害。

#### I<sub>C</sub> 加拉冰川泥石流亚区

分布于派区—冈朗一线,海拔 2 950—1 600 米之间,是南峰地区冰川泥石流的主要聚集区。气候上虽属雅鲁藏布江“雨影区”,但大拐弯输送水汽的通道作用,使该区域降水明显多于丹娘。降水向西逐渐递减趋势十分明显。在雅鲁藏布江两岸支沟上游高山冰雪带内,发育着悬冰川、悬坡冰川和少量山谷冰川,大量的雪崩物被带到冰川末端,成为泥石流形成区。冰川泥石流沟中下游沟床较宽阔平缓,有利于泥石流形成庞大的堆积扇。往往伸入雅鲁藏布江谷地,对水能资源的开发利用有一定影响。

## (二)南峰东南坡泥石流区

在南峰东南坡泥石流分布具有明显的垂直地带性,从河谷区到冰雪作用带,泥石流的类型由雨水型泥石流→暴雨型泥石流→冰川型泥石流。因此本区进一步可分为墨脱雨水型泥石流亚区,汗密暴雨型泥石流亚区,拿格冰川型泥石流亚区。

### II A 拿格冰川型泥石流亚区

本亚区分布于南峰海拔 2 500—3 000 米之间,是南峰东南坡冰川型泥石流发育的区域之一。该区处于最大降水带的位置,降水丰富,海洋性冰川十分发育,冰川末端冰碛物储存丰富,沟谷分布格局受多雄拉断裂控制,大多沿多雄曲左侧发育。夏季沿谷坡而上的暖湿气流,带来更多的降水,往往出现冰融水和降雨同时作用形成混合型泥石流。由于沟谷纵坡大,泥石流将大量固体物质输入多雄曲,细粒物质被河水冲走,沟谷中留下许多 2 米左右粒径的大漂砾,沟道内还存在跌水。如拿格 1 号泥石流流通段末端跌水高 50 米左右。可见,这里不仅有有利于泥石流形成的水源激发条件,还有沿断裂构造发育的沟谷。因此,泥石流十分活跃,且规模较大,危害派区通往墨脱的骡马小道以及行人安全。

### II B 汗密暴雨型泥石流亚区

分布于海拔 2 100—1 800 米之间,是南峰地区暴雨泥石流分布最集中的区域。该区域恰好在最大降水带的前缘,多暴雨。而且多雄曲流经此段水流最湍急,河床最狭窄,河床纵比降比拿格段更大。两岸岩层陡立。支沟大多沿多雄曲左岸发育,流程不长的沟道内,往往有 2—4 级跌水,支沟平均纵比降为 786‰,其流域形态呈长锥形,平时沟内只有涓涓细流。沟道上游陡崖下的倒石堆、崩塌堆积极为发育,中下游由构造作用形成的片麻岩混杂堆积以及坡积层厚度大,并被沟道流水侵蚀切割。虽然全流域森林覆盖度较大,但该区域局地性暴雨的雨量和雨强指标大大超过森林效应能力,往往形成粘性的大型暴雨泥石流。以汗密村沟为例,沟流域面积 1.19 平方公里,河床平均纵比降 715‰,沟道长 2.05 公里,沟两岸基岩直立(大于 70°),沟中游可分为四段,每段由陡坎和狭窄的沟道相连,沟两岸滑坡、崩塌严重,是泥石流松散固体物质主要补给来源之一,估计沟内有松散固体物质 40 万立方米。沟下游堆积扇被多雄曲河水冲刷,河中屹立数块大漂砾,证明泥石流曾多次堵断多雄曲,沟口停积少量巨砾,其中有块漂砾体积 1 400 立方米左右,重约 3 700 吨,可见该沟泥石流的规模之大。值得注意的是该沟直接威胁汗密村军民的生命财产安全,1982 年 9 月 15 日泥石流就冲进了村庄。汗密泥石流区泥石流发展快,据调查,1974 年这一带仅有两条大的泥石流沟;1982 年 9 月以后,就有 7 条大的泥石流沟。泥石流的活动给过往行人带来更大的困难和危险,通往墨脱的羊肠小道从几条泥石流沟中穿过,沟底陡滑极为危险,今后修建公路也有困难。

### II C 墨脱雨水型泥石流亚区

分布于背崩—达国桥一线,海拔 650—950 米之间,是雨水型泥石流主要分布区。雅鲁藏布江下游河谷地带具有准热带季雨林气候特点,雨季长,雨量充沛,降雨强度不大,适宜

雨水型泥石流发育。如著名的背崩大坍方泥石流就发生在这一区域。由于雅鲁藏布江下游河床窄,水流速度快,泥石流排入江中后就被水冲刷,仅出现暂时性堆积河床。

### (三) 岗日嘎布西坡泥石流区

位于南峰东北侧,包括嘎隆拉、随拉、扎曲、玉梅,泥石流主要分布于西坡。现按泥石流成因特征和分布密度分为以下三个亚区。

#### Ⅲ<sub>A</sub> 嘎隆拉西曲暴雨泥石流亚区

分布于嘎隆西曲中游,即波密—墨脱公路 54—100 公里之间,海拔 1 200—1 800 米。嘎隆西曲是南来暖湿气流向高原输送通道之一,气流在一定高度上产生最大降水带。

嘎隆西曲中段 88 公里附近是暴雨中心,每年夏季几乎都有灾害性天气出现。由于局部的暴雨作用,泥石流往往呈点活动(如 54 公里、88 公里、102 公里泥石流)。但泥石流堆积扇相当发育,崩塌和滑坡也多,致使波密—墨脱公路至今不能通车。

#### Ⅲ<sub>B</sub> 随拉暴雨泥石流亚区

分布在随拉山口以下东西坡两个支流上,其海拔为 2 200—3 200 米之间。气候仍然受沿雅鲁藏布江上溯的暖湿气流影响,但降水已有所减少。随拉山口海拔 4 200 米,是南来气流北上经常翻越的山口之一,地形阻挡产生局地暴雨,导致东西坡支流两侧泥石流活动,严重影响过往行人的安全。但暴雨出现的概率小,泥石流活动较平静,分布也不太集中。

#### Ⅲ<sub>C</sub> 帕隆藏布下游冰融水和雨水型泥石流亚区

分布于玉梅—扎曲之间,海拔为 1 800—1 500 米。南来的暖湿气流到大拐弯顶端后分为两支,一支继续西行,另一支则沿帕隆藏布而上,给本区域带来丰沛的降水。帕隆藏布下游河谷沿北北西向构造发育,支沟则受断层控制,泥石流堆积物中粗砾砂成分比重较大,堆积扇不太发育,但其堆积坡度较陡(大于 10°)。由于缺乏地形雨,故该区域主要以冰川型泥石流(扎曲加玉)和雨水型泥石流活动为主。

### (四) 念青唐古拉东段波密—东久泥石流区

#### Ⅳ<sub>A</sub> 波密、东久间冰川雨水型泥石流亚区

位于南峰北侧:东起波密,西止东久,分布于念青唐古拉山东延余脉海拔 2 800—3 500 米阳坡上,是南峰外围地区最大的泥石流活动区。南来的暖湿气流由于受念青唐古拉山的阻挡,降水量丰沛,年降水量 800—1 000 毫米。帕隆藏布和东久河沿深大断裂发育,河流快速下切,形成高山峡谷地貌。区域内以冰川作用为主的外营力作用强烈,堆积形成各种类型松散堆积物。高山区海洋性冰川比南峰峰区发育,规模更大。外营力的物理作用十分强烈,崩塌、滑坡非常发育。如 1967 年 8 月 29 日拉月发生罕见的大坍方,阻断东久河长达 20 余小时,坍方总体积为 2 500 万立方米。这里不仅有暴雨泥石流和冰川泥石流,

而且混合型泥石流和坡面泥石流也十分发育,是南峰地区泥石流分布密集、类型多样、活动频繁、规模巨大的区域之一。波密—东久一线是南峰地区人类活动最频繁的区域,川藏线横穿而过,沿线共有 10 余条沟谷型泥石流,其中最著名的是古乡沟冰川泥石流,直接危害川藏线。近年来,沿线由冰融水和降雨共同作用形成的混合型泥石流有所发展,这可能与区域性降水方式有关。

## 第四节 泥石流沉积物特征

泥石流沉积物是南峰地区现代沉积的一个组成部分,从宏观和微观上研究它的基本特征、成因和沉积作用,对于区分和鉴别第四纪各种成因类型沉积物,以及第四纪时期南峰的自然环境都有重大的意义,现分述如下:

### 一、堆 积 类 型

泥石流的沉积物特征反映了泥石流成因、流体性质和停积的边界条件,根据堆积所处的部位不同,可分为沟道堆积和堆积扇堆积两种类型。

#### (一) 沟道堆积类型

由于泥石流的搬运动力、沟床条件冲淤变化的差异,在泥石流运动过程中出现不同的堆积现象。规模较大的泥石流具有惊人的搬运力,其冲淤变化也十分明显,在沟道纵坡大、多跌坎和沟坡失稳的地段,以冲刷掏蚀沟道边坡为主,很少出现堆积现象。然而在两岸为基岩陡壁古冰川沟谷的沟段,由于纵坡减小,流速随之减慢,而流体两侧阻力增大,流动的泥石流流体产生侧向推挤,从而大小砾石停积在沟道两侧,形成泥石流垄状堆积。垄状堆积堤上的大石块具有明显的方向性,即最大扁平面垂直于流向,相互重叠地倾向上游。但也仅沿沟道一侧堆积,关键取决沟床堆积边界条件。垄状堆积大多是不连续分段停积在沟中下游,其堆积高度在 1—2 米之间,堆积长度因沟而异。在古冰川作用过的沟道内可能出现几级垄状堆积。例如,南峰西北坡加拉恩打弄卓沟,从上游冰川末端的泥石流形成区到沟口堆积区垄状堤分成四段停积在沟内,堆积堤高约 2 米。然而,在流水切割的沟床内,沟床狭深,纵比降大,过流断面紧缩,有利于泥石流运动,而不利于形成垄状堆积。由于泥石流具有裁弯取直,弯道爬高的作用,在弯道超高时,泥石流流速大,巨大的惯性或冲力将堆积冲到凹岸,形成弯道侧向堆积,以堆积长度短、堆积体斜率大为特点有别于垄状堆积。

在泥石流沟中下游沟道内,还常见许多停积在沟道内的大漂砾,象征着泥石流随着沟床条件的改变而搬运动力不断减小。沟道内的大小石块混杂,没有任何分选,但磨圆度却明显地有变化,即从上游到下游砾石逐渐有一定的磨圆。如南峰西北坡则隆弄沟冰川末端的泥石流形成区,大小混杂的冰碛物,磨圆度相当差,经泥石流搬运后,则变得有一定的磨圆,沟口堆积扇与冰川末端冰碛物的砾石磨圆存在明显的差别,表明随着流体搬运动力的改变,相应地沉积特征也产生变化。

## (二) 堆积扇堆积类型

南峰地区泥石流堆积扇十分发育,多沿雅鲁藏布江大峡弯以及支流分布,大峡弯内局部堆积河段即为泥石流巨大堆积扇伸入所致。由于南峰地区处于强烈上升区,各种外营力作用都很强烈,老的泥石流堆积扇不容易保留,仅在一些阶地、平台上可见零星残存,且往往为其它成因堆积物相交错混杂,目前所见的巨大堆积扇基本上是1950年8月15日大地震后泥石流爆发形成的,其规模和物质组成结构均表明南峰地区泥石流正处于高峰活跃期,而以1950年大地震时产生的泥石流规模最大。

粘性泥石流是一种固体物质含量高,且十分粘稠的流体,具有层流运动的特点。携带的石块由粘土泥浆的托浮力和内聚性支撑,巨砾随流体漂浮而下,聚集于前端,形成“龙头”。粘性泥石流在堆积扇上停积时,能保留原有的流动结构特征,堆积形态呈垄岗状和舌状。其中舌状堆积反映了泥石流龙头的物质组成形式,多数由大石块或巨砾组成,舌部较陡,甚至可见陡坎,由于巨砾是受推挤作用向下运动的,故砾石倾向不明显,无粒度分异作用。龙头以后的流体停积则形成垄岗状堆积,是由粘稠的大小石块组成的整体堆积物,其倾斜角与扇坡角一致。应该指出,南峰地区堆积扇上常见有多处舌状堆积和垄岗,既可以表现为同一方向叠加堆积,也可向几个方向呈辐射状堆积。但是稀性泥石流则不同于粘性泥石流,其运动取决于水动力,大小石块在水中翻滚、碰撞,以跳跃或推移方式运动,具有明显的紊流特征。而且当其堆积时,首先发生水石分离,大石块容易停积下来,一部分细粒物质就地下渗,一部分却被水流带到扇的下部。渗入大小石块空隙的细粒物质在堆积体底部最富集,具有一定的结构性。但从堆积物整体而言,乃是向上逐渐粗化,表面多大石块,高低起伏,十分杂乱,缺乏组构特征,好似“石海”一样。然而堆积扇上往往是粘性泥石流与稀性泥石流交替出现,形成堆积形态互相重叠或穿插现象。例如:南峰西北坡接地当嘎沟沟口附近堆积剖面上,就明显地看出有两次截然不同的泥石流堆积过程,自下而上为稀性泥石流→洪积物→粘性泥石流→坡积物,根据其中腐木的 $^{14}\text{C}$ 测定分析,稀性泥石流为 $950\pm 60$ 年;粘性泥石流则小于300年。

南峰地区泥石流堆积扇表面高低起伏,洪水在扇上切割出沟道,扇坡角较陡,一般在 $8^{\circ}$ — $10^{\circ}$ 之间。由于堆积扇伸入江中,受江水的顶托,形成扇左缘陡,右缘缓平顺江延伸。沟口与河流直交的泥石流沟往往容易造成阻江,危害江河。

## 二、沉积物粒度及其成因分析

泥石流沉积物的粒度特征可反映泥石流流体动力条件和沉积过程。因此,分析其粒度是区分不同成因类型沉积物的主要方法之一。

对不同类型泥石流沉积物采样分析所取得的粒度数据进行整理后,采用夏普PC-1500微型计算机统计计算,绘制出累积曲线图、频率曲线图、直方图、罗辛概率曲线图和正态概率图。进行分析,其结果表明:泥石流频率曲线双峰式占11.2%,三峰式占22.2%,四峰式占44.4%,五峰式占22.2%,累积曲线粗粒端( $-3\phi$ )较陡,细粒端较圆滑,呈弧状(图6.2)。同时,在罗辛概率分布图上:泥石流粒度从 $-4\phi$ — $+4\phi$ 区间粒度分布为一直线,

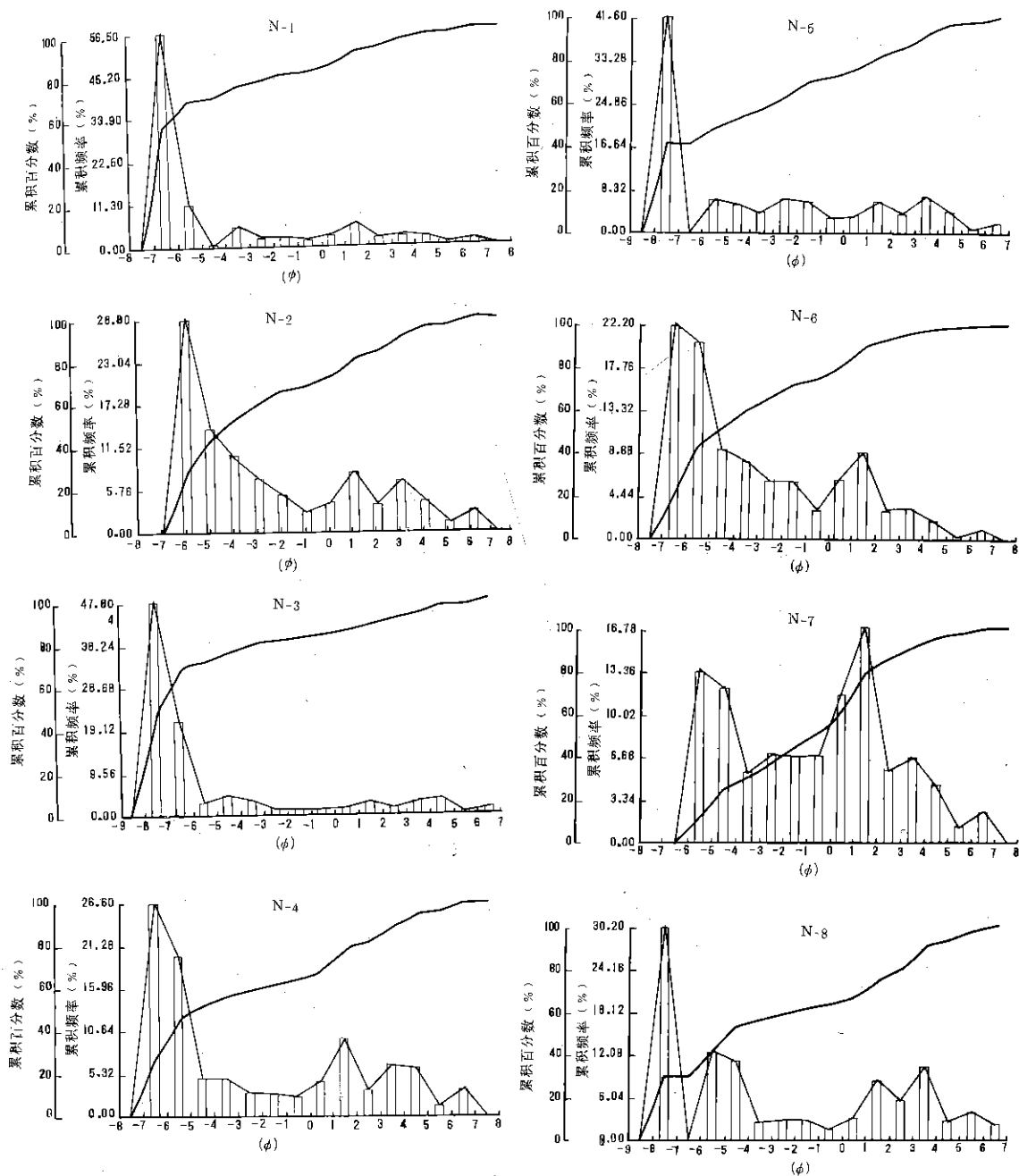


图 6.2 南峰地区泥石流累积、频率曲线和直方图

接近罗辛分布,但 $-4\phi$ 以上和 $+4\phi$ 以下产生明显偏离(图 6.3),粗端负偏可能与流体流变学有关,而细粒正端正偏是否由分析系统误差引起,这有待于进一步研究。同样,南峰地区泥石流正态概率曲线由四段以上直线组成,即有 2—4 个总体(图 6.4)这与泥石流搬运机制并不吻合,也需进一步研究。

南峰地区泥石流粒度范围大,大于 2 厘米砾石百分含量为 70%以上的地区占 63.7%,而粘粒含量低于其它地区的泥石流,仅有 1%—3.5%。由此可见,泥石流粒度组

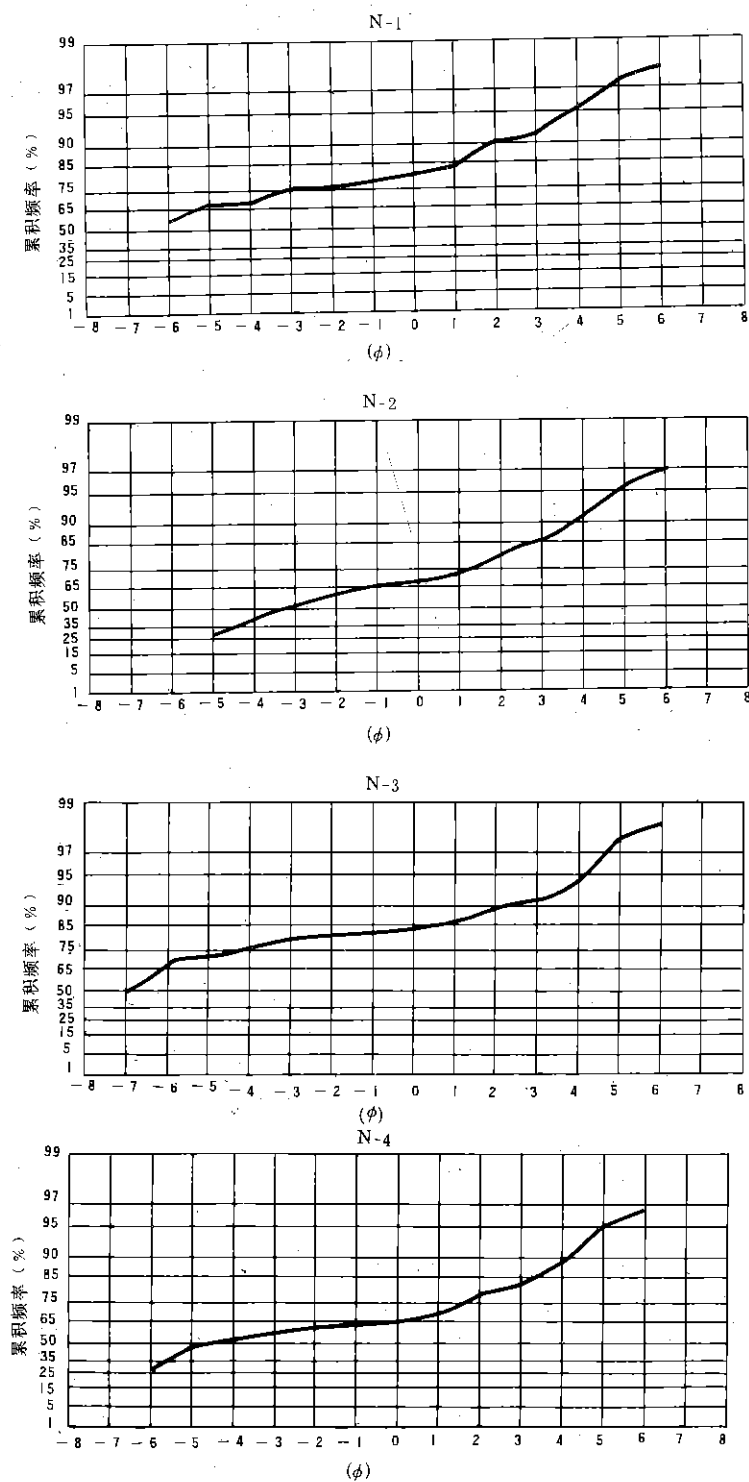


图 6.3 南峰地区泥石流罗辛概率曲线图



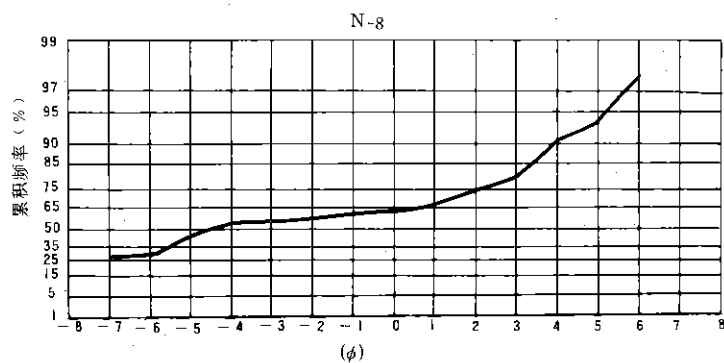
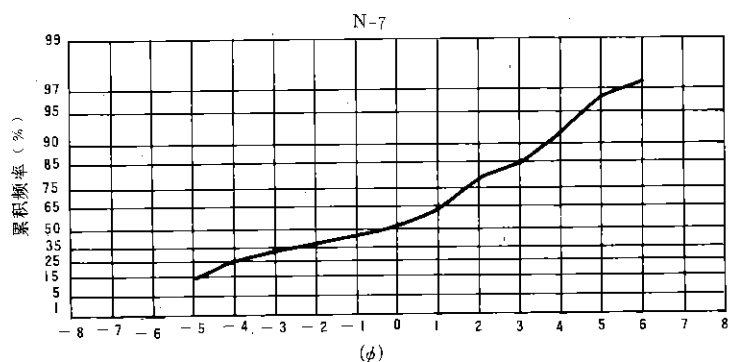
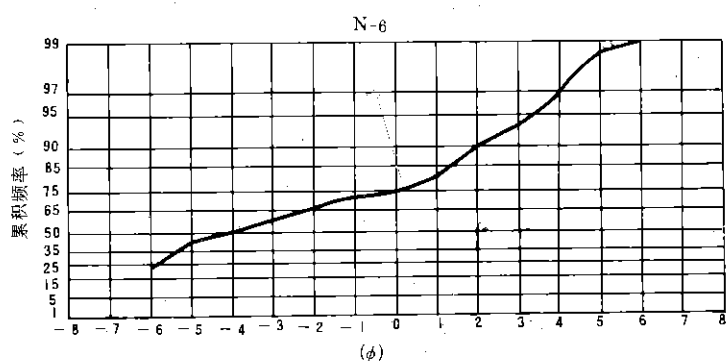
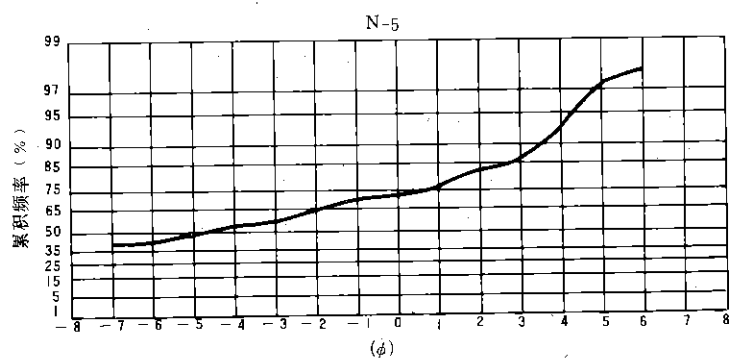


图 6.3 续

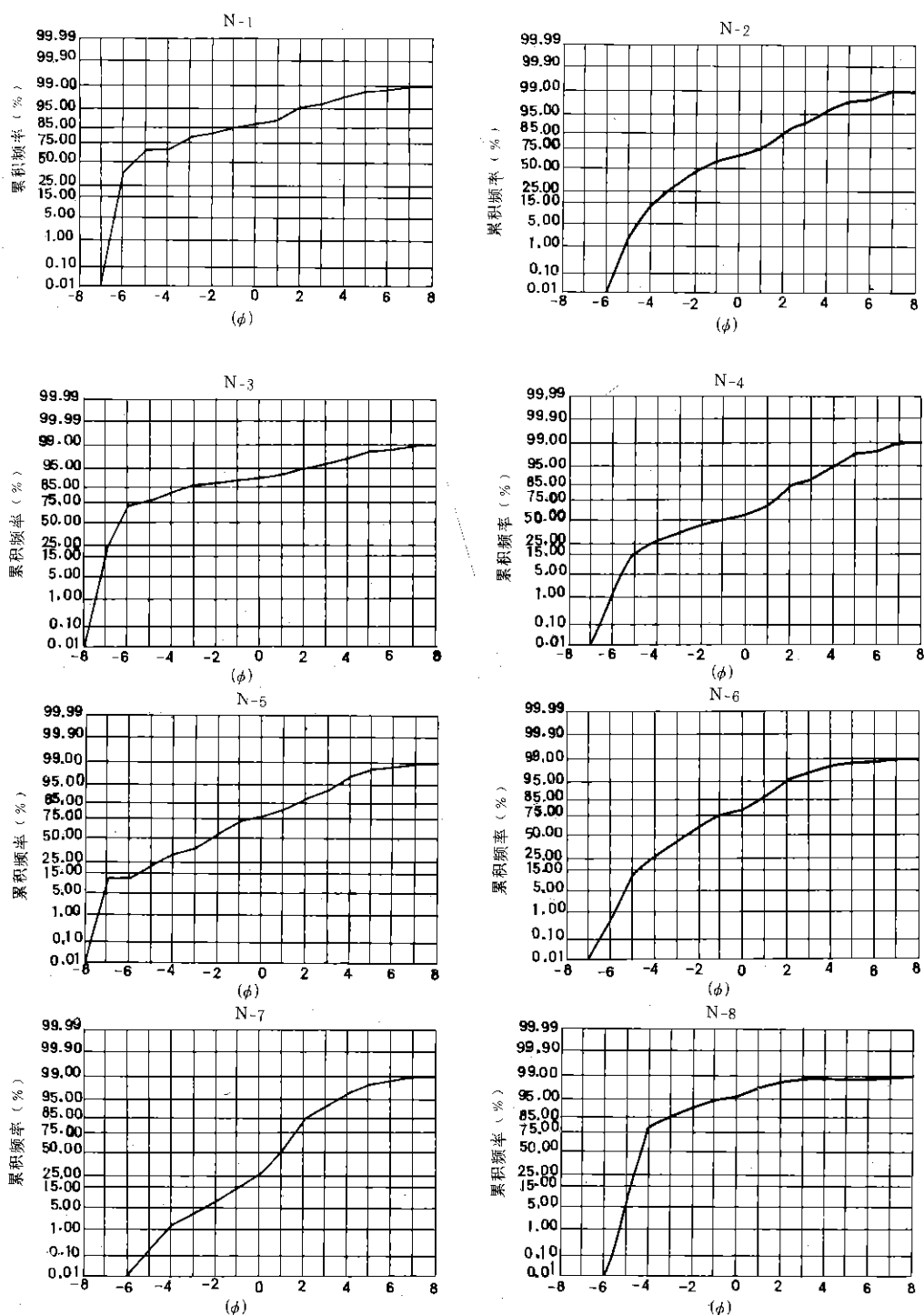


图 6.4 南峰地区泥石流正态概率曲线图

成以砾石成分占优势,粘粒含量极少。根据泥石流粒度资料,采用短值计算法计算出南峰地区泥石流粒度平均值( $\bar{X}_4$ ),分选系数( $\sigma_4$ )、偏度( $SK_4$ )和峰态  $K_4$  值(表 6.5)。

表 6.5 南峰地区泥石流粒度参数

编号	采样地点	泥石流类型	平均值 ( $\bar{X}_\phi$ )	分选系数 $\sigma_\phi$	偏度 $SK_\phi$	峰态 $K_\phi$	计算公式
1	米林派区则隆弄	冰川泥石流	-1.9	3.69	0.72	2.18	$\text{平均值 } \bar{X}_\phi = \frac{\sum f_x}{\sum f}$ $\text{标准差 } \sigma_\phi = \sqrt{\frac{\sum f(X - \bar{X}_\phi)^2}{\sum f}}$ $\text{偏度 } SK_\phi = \frac{\sum f(X - \bar{X}_\phi)^3}{\sum f\sigma_\phi^3}$ $\text{峰态 } K_\phi = \frac{\sum f(X - \bar{X}_\phi)^4}{\sum f\sigma_\phi^4}$
2	米林丹娘朋村	暴雨泥石流	-5.01	3.91	1.6	4.19	
3	米林加拉恩打弄卓	冰川泥石流	-4.1	3.7	1.38	3.53	
4	米林红卫茨巴	暴雨泥石流	-2.28	4.28	0.57	1.82	
5	墨脱汗密	暴雨泥石流	-3.33	4.43	0.6	1.95	
6	墨脱背崩	雨水泥石流	-2.99	3.42	0.77	2.44	
7	墨脱马迪	雨水泥石流	-0.67	3.35	0.08	1.98	
8	波密古乡	冰川泥石流	-3.96	2.2	1.95	6.47	
9	林芝玉梅	混合型泥石流	-2.52	4.65	0.4	1.64	

结果表明:南峰地区泥石流粒度区间大,平均粒度  $\bar{X}_\phi = -2.7\phi$ (砾石级),第一众数出现在  $-5\phi$  以上,根据福克和沃克(1957)分选性等级标准划分,南峰地区泥石流平均分选系数  $6\phi = 3.7\phi$ ,其中分选系数  $6\phi > 4$  占 33.3%,分选系数在 2—4 之间占 67.7%,以分选性差为主。南峰地区泥石流粒度频率曲线平均偏度  $SK_\phi = 0.53$ ,属正偏,并且绝大多数属于极正偏,与泥石流体中含大量粗粒物质相吻合。此外南峰地区泥石流频率曲线峰态  $K_\phi$  在 1.5—6.5 之间,属很窄和极窄范围。其中,冰川泥石流的峰态( $K_\phi > 3$ )。比暴雨泥石流峰态( $K_\phi 1.5—3.0$ )更窄,说明由冰碛物转化形成的冰川泥石流,其粒度更混杂,分选性更差,粘粒百分含量低于暴雨泥石流。

综上所述,泥石流以固体物质含量高而区别于其它流体,从形成、运动到沉积的全部过程较短暂,并且泥石流流动速度大于其它流体,沉积时能保留流体的结构。因此,泥石流堆积物包含许多巨砾、砾石、卵石,砂和极少的粘土,粒度分布以粗粒物质占优势,反映了泥石流形成区和沟道内粗大的松散固体物质,是经快速搬运就地杂乱堆积下来的。

据 D. R. 卢韦(Lowe, 1982)研究:高密度泥石流流体中较大碎屑属受内聚性基质支撑,其搬运能力取决于粘土-水流体的强度和密度,砾石受砂-泥-水流体浮力和分散压力联合支撑,而砂粒级颗粒主要受泥-水基质的浮力、湍动,可能还有内聚性联合支撑的。有时,有可能几种支撑作用同时作用于同一颗粒,如浮力、分散压力或湍动、内聚性基质的强度同时相互作用,使许多砾石级碎屑呈悬浮状态。然而,这种复合支撑机制并非永恒的,在运动过程中有可能产生变化,有可能从层流发展为湍流,搬运机制包括悬浮和牵引负载。事实上,许多大漂砾并非完全悬浮在流体之上,而是以推拉、滑动或滚动的形式前进。因此,泥石流搬运机制不能简单地理解为悬浮搬运,复合搬运很可能控制着泥石流的运动。即使在充分湍动的流动中,沉积物的内聚力在阻止颗粒粒级分选方面,起着重要作用,正是这种作用,才使粘性泥石流和稀性泥石流在运动堆积时表现出没有任何分选。由于泥石流流变学和复合搬运机制作用的影响,最终在沉积结构上反映出粗粒物质不完全符合罗辛分布,而是出现偏离。

### 三、石英颗粒表面形态特征

南峰地区第四纪不同成因类型的沉积物相互混杂,交叉堆积在一起,尤其是冰碛物和泥石流堆积物往往容易混淆。所以,现代泥石流石英颗粒表面形态特征研究,有助于区分和鉴别出南峰地区的老泥石流堆积。

将南峰地区泥石流堆积物部分样品区分、冲洗,选出粒径小于 0.25 毫米的石英颗粒、经过整理放在电子扫描显微镜下观测,其颗粒总体特征是多棱角,无磨损形,几乎所有的石英颗粒的顶端十分容易找到撞击坑、撞击痕、顶端被磨光、磨尖呈锯齿状等尤其是撞击数量多,广布于顶端,其深度较深,呈 V 字形。同时颗粒表面常见有许多由撞击形成的三角坑、方坑裂缝和深度痕,各个坑具有一定的方向性,近似于线状排列。坑内未见存留的化学沉淀物质,说明并非原生成时固有,而是高能量激流条件下形成的。另外,颗粒表面的平坦面多呈阶梯状分布,表面光洁,证明被研磨过,部分平坦面上也残余分布着由撞击作用形成的撞击痕。此外,石英颗粒表面贝壳状断口较为常见。6—12 条由挤压和撞碰形成的纵横交错裂隙尤为突出,具有方向性的磨擦痕深刻于颗粒表面,且多是两个具有明显同向的擦痕。

由于各种沉积物都具有反映沉积环境、搬运动力等因素的特性,因此,无论各种因素相互作用、干扰,改变其原有特性,而沉积物由搬运机制和沉积作用形成的特征却难以改变,并以不同形式反映原来固有的特性。石英颗粒表面形态特征反映了在特定环境因素所获得的特殊形态,因而常被用于解释沉积环境和搬运机制。特别是南峰地区泥石流来源于冰碛物、坡积物和断层破碎岩等,石英颗粒表面有可能出现冰川作用、构造作用等特征,再经泥石流搬运,很可能各种特征相互叠加,使石英颗粒表面形态复杂化。但泥石流的搬运机制与其它流体却有相当大的差别,其石英颗粒表面形态特征,具有特殊性。

泥石流石英颗粒表面形态特征是泥石流流体性质和搬运机制综合作用的结果。一般来说,泥石流的形成主要取决于地质地貌、水源和固体物质补给三个基本条件,其运动方式和流体性质在不同条件下发生显著的变化,这种变化最终会在沉积结构上反映出来。当泥石流在沟床初始运动阶段,流体性质可以随固体物质和水源补给条件发生变化,即可能由稀性转变为粘性;或从粘性转变为稀性。当流态为稀性泥石流时,流体运动机制以跳跃、推移搬运为主,石英颗粒处于急流状态,大小石块在运动中互相碰撞,撞击河岸,颗粒表面容易留下高强度撞击形成的各种深撞击坑,这是一般冰碛的石英颗粒表面不容易具备的特征,而流水作用是达不到如此高的强度的。泥石流流体中的大漂砾以浮漂运动为主,有的漂砾实际上是以滚动、滑动和推挤方式运动的,大小石块在粘滞的流体中推挤、碰撞,时而伴有滚动;由于周围的泥浆体运动速度快,推动或拖拉着大小砾石一起运动。这种搬运机制在石英颗粒表面形态上反映明显,由于受到撞击、研磨和挤压作用,形成一系列由泥石流搬运机制留下的特征。此外,泥石流的规模大小也影响石英颗粒表面形态的特征。

## 第五节 泥石流活动、危害及其发展趋势

南峰地区泥石流是在特定的自然条件组合下形成发展起来的。区域性自然因素的差

异,使得泥石流活动、危害和发展趋势在不同的区域变化较大。

## 一、泥石流的活动规律

南峰地区泥石流活动规律具有以下特点:

### 1. 活动的区域性

泥石流分布与地质构造带、降水带分布相吻合。在活动性断裂带内,泥石流十分发育,构成雅鲁藏布江沿岸泥石流带、岗日嘎布南坡泥石流带、念青唐古拉山东段阳坡泥石流带,这里泥石流活动明显受地质内营力制约。随着降水地带性差异的出现,泥石流活动地带性显得十分突出,南来的暖湿气流向北和向西逐渐减少,泥石流活动也相应减弱。降水在高度上的巨大差异性,使得泥石流在类型上相应发生变化。岩石破碎带上泥石流发育,有利于泥石流活动的岩性是混合片麻岩。这种岩石变质深,分布于深大断裂带内,或构成断裂破碎带。

### 2. 活动的时间性

南峰地区泥石流活动与西南季风活动路径与降雨过程有关。每年4月雅鲁藏布江下游河谷区就进入雨季,5月份就有泥石流活动,泥石流活动时间明显比其它地区提早约1个月。由于降水多为双峰型,同样泥石流活动也就有两个高峰期。6月雨量最多,雨水型和暴雨泥石流活动频繁;9月也是泥石流活动高峰期。由冰融水激发形成的冰川型泥石流,以7月最活跃。所以,冰川泥石流比降雨泥石流活动要晚一个月。由此可见,泥石流活动在空间上受西南季风环流控制,西南季风活动的提前,必将影响泥石流活动时间,即西南季风建立之日便是泥石流活动起始日期。除冰川泥石流多发生在午后或傍晚外,其它类型的泥石流活动具有明显的夜发性特点。南峰地区日夜温差大,暴雨多在夜间降落,泥石流爆发时间以凌晨居多,如1980年9月10日凌晨波(密)—墨(脱)公路线88公里和102公里处的暴雨泥石流就是如此。

### 3. 活动过程和规模

南峰地区泥石流大部分发生在流域面积大、汇流量大的沟谷内。各类泥石流每次活动过程比其它地区长,其中,冰融水-降雨混合型泥石流活动全过程可长达十几小时左右;冰川泥石流次之。活动过程较短的雨水型和暴雨型泥石流中,以坡面泥石流形成、流动和堆积过程最短,仅数十分钟就可完成全过程。

南峰地区特殊的自然环境赋予了泥石流发育以特殊的有利条件,因而泥石流活动规模远比其它地区大得多。从泥石流搬运的固体物质力量和洪峰流量持续的时间上看,其规模均在中国泥石流中居首位。

### 4. 活动周期

南峰地区泥石流活动频率大,一般约10年为一个周期,但它并非是按这个周期重复在某区域发生,而是在这个周期内,不同沟谷泥石流活动的出现。这主要取决于区域性气

候变化。总的来说,雨水型泥石流较暴雨泥石流活动频率高;冰川型泥石流多呈波状活动;混合型泥石流活动频率较低。南峰地区现代泥石流大致分为三个活动期与一个相对间歇期。1950年8月15日察隅大地震后,雅鲁藏布江大拐弯沿岸多沟泥石流齐发,并形成泥石流分布格局,如1953年9月下旬波密古乡沟爆发特大冰川泥石流。1962年泥石流曾再度进入活动期;70年代泥石流相对较平静,而80年代初期,本区进入丰水年份,从1979年开始泥石流又日趋活跃,近年来几乎每年都有大规模的泥石流爆发。如1980年9月波密—墨脱公路88公里附近的大型泥石流;1982年9月墨脱汗密附近的大型泥石流;1983年7月林芝帕隆特大泥石流和1985年6月林芝东久特大泥石流等。

## 二、泥石流危害

南峰地区泥石流是当地危害最严重的一种山地灾害,其规模之大,来势猛烈,直接危害工农业生产、交通、环境和人民生命财产安全,影响西藏国防建设和“西藏江南”的经济建设。

### 1. 对交通运输的危害

西藏是我国交通最不发达的地区之一,从东向西穿越南峰地区东北侧的川藏公路沿线泥石流活跃,有著名的古乡沟特大泥石流和拉月大坍方,是泥石流危害最严重的区域之一。几乎每年都有泥石流活动,少则几条沟,多则数十条沟同时爆发,或一年内爆发数次,造成公路桥涵被毁、淤埋,以及溃决的洪水冲毁路基,断绝交通的灾害。1983年7月29日凌晨帕隆沟爆发冰融水-雨水混合型泥石流,冲毁公路水泥桥一座,淤埋推土机二台,汽车一辆,房屋十间,经济损失约50万元,并造成川藏线前后断道半月之久。1984年夏季该沟再度爆发泥石流,死亡一人,桥梁再次被毁。1985年6月拉月大坍方附近的东久沟发生特大泥石流,致使川藏线数十公里的公路、桥梁被冲毁,汽车、房屋被淤埋等重大灾害,川藏线东久—帕隆段至今仍不通车,间接损失十分严重。

从70年代初期起,开始修建波(密)—墨(脱)公路,沿线崩塌、滑坡和泥石流活动强烈,规模巨大。在修建过程中,屡遭危害,到1982年为止已耗资近2600万元,最后被迫废弃,至今墨脱县军民仍靠肩背马驮来维持日常生活。波墨线上有9条大型沟谷泥石流,虽数量不多,但规模大、活动频繁,危害严重,以粘性泥石流为主。1980年9月10日深夜波墨线88公里和102公里处同时四条沟谷爆发暴雨泥石流,冲走工地帐篷、钢材、推土机、钢架桥以及部分器材设备,新修的公路、桥梁瞬间变成了乱石滩。由此可见,泥石流危害是影响西藏公路交通发展的主要因素。

### 2. 对森林的危害

南峰地区森林茂密,植被覆盖度大,对泥石流形成发展起到一定抑制作用。但一旦形成泥石流的自然因素超过森林的作用,就会爆发泥石流,并危害森林。常见对森林破坏方式有沟岸崩坍和沟口淤埋,沟岸被冲蚀而出现滑坍使沟坡上的森林滑入沟中,故在泥石流堆积扇上常见粗大的树木夹在大小混杂的砾石之中,以及沟道内残留着横七竖八的树干。在活动频率低的泥石流沟沟口段沟床两侧森林茂密,泥石流突然猛烈爆发,其固体径流量

骤然增大,沟床冲淤变化大,往往容易改变流向,泥石流冲进沟口森林地带,使大片森林被淤埋,最后成片死亡。如波墨线 54 公里处近 1 平方公里的森林被泥石流淤埋死亡。

### 3. 堵塞江河

泥石流沟大多沿雅鲁藏布江大拐弯和帕隆藏布、东久河等处发育,泥石流将大量的巨砾石块输入江河,增加江河推移质和跃移质,形成急流险滩,改变了江河水文特性。1950 年 8 月 15 日察隅大地震,沿江数条沟泥石流齐发,巨量的固体物质堵塞雅鲁藏布江,形成堵塞湖,个别堵塞湖甚至保留至今。如加拉思打弄卓沟泥石流堵塞雅鲁藏布江后,形成回水约 3 公里的堵塞湖,现仅一个缺口过流,庞大的泥石流堆积堤占据了 2/3 的河床。南峰地区风景宜人、环境优美的易贡错是由易贡藏布支流章龙弄巴沟 1900 年特大泥石流堆积物堵塞而成的。此外,泥石流堵塞湖溃决后,溃决的强大洪流,能造成次生重大灾害,1973 年 6 月底墨脱背崩沟爆发特大泥石流,堵断雅鲁藏布江近 15 分钟,嗣后溃决,溃决洪水浪头高达十几米,毁坏下游两岸农田和村舍等。

### 4. 危害村镇和过往行人

南峰地区虽然人口分布密度小,村镇分散,人类活动较少,但泥石流活动仍然危及人民生命财产安全。例如,1982 年 9 月 15 日夜墨脱汗密附近 7 条沟同时爆发泥石流,泥石流泥浆石块冲入汗密村;1983 年 7 月 29 日帕隆沟特大泥石流冲毁帕隆区政府厨房、卫生所等,区政府所在地受到泥石流威胁。泥石流沟具有较大的冲刷能力,沟床冲刷较深,过往的村民多有不便,有时甚至由此而丧命,其结果迫使个别村庄不得不废弃,以移居它乡来逃避泥石流的危害,大拐弯顶端加玉村便是一例。

## 三、泥石流发展趋势

从南峰地区目前泥石流活动趋势和形成条件上分析,泥石流活动可能近期不会减弱,有可能增强。

### 1. 沟谷地形变化趋势

南峰地区晚第三纪以来,上升 4 000 米以上,这种构造抬升作用至今仍在进行,地形急转河流深切的格局,只能促使支沟朝着有利于泥石流形成的纵横断面发展。例如,墨脱汗密泥石流沟群目前正处于幼年发育期,沟谷侵蚀基准与雅鲁藏布江下游河谷区相对高差达 1 500 米左右,沟谷的溯源侵蚀已快达到分水岭,然而侵蚀下切作用仍然强烈进行,其趋势将最终导致泥石流更加活跃。

### 2. 固体物质补给

南峰地区泥石流固体物质补给来源广泛,它不仅来源于构造作用形成的破碎岩体,而且强烈频繁的地震以及各种机械物理过程源源不断产生的固体物质,都十分有利于固体物质储备。尤其是冰川目前正处于消融后退阶段,今后冰川作用的冰碛物和雪崩物仍是泥石流固体物质的主要补给来源。总之南峰地区泥石流补给物质的积累过程不停,其丰富的

各类松散固体物质就有利于泥石流形成发展。

### 3. 水源变化

南峰高大山体的阻挡作用,形成了目前区域上气候差异,这种气候特点近期内不会出现变化,相应会影响泥石流的发展。目前,泥石流形成受西南季风的影响,产生局地性高强度降水,从而导致泥石流继续活动。从气候周期变动来看,在某一年份有可能不利于泥石流活动,但区域性小气候仍不可避免地会引起区域性泥石流活动,倘若大范围气候周期波动,相应泥石流爆发的概率更高。特别是气候周期性变化,导致冰川波动,由冰融水激发的泥石流也十分活跃。所以,特殊的气候条件是有利于泥石流发展的。

综上所述,南峰地区各种自然条件有利于泥石流发展,只要这些自然因素存在,就有可能爆发泥石流,因此推测泥石流活动在近一时期是不会减弱,在相当长的一个时期内泥石流活动仍处于高峰期,这是值得重视和研究的问题。

最后,应当指出:南峰地区泥石流是内外营力共同作用所致,人类活动作用影响不大。但随着西藏经济建设的发展,人类活动必然更加频繁,不合理的人类活动有可能促进泥石流产生和发展。目前,南峰地区农业和经济作物耕作生产活动主要限于泥石流活动带上,雅鲁藏布江下游墨脱一带生产方式落后,刀耕火种,毁林开荒现象严重,倘若不引起足够的重视,只能加速这一地区的泥石流形成发展,造成更严重的危害。



## 第七章 气 候

南峰地区位于青藏高原东南隅,三面环有著名的大山,即东喜马拉雅山、念青唐古拉山和伯舒拉岭,形成一个朝南开口的马蹄形地形,其内侧的一部分为墨脱县管辖范围。由于雅鲁藏布江自西向东流经南峰山麓西北,然后急速转向南下,到巴昔卡进入印度,这狭长的流域,即闻名于世的雅鲁藏布江大拐弯。印度洋暖湿气流可源源不断地通过这条通道,将水汽输送到高原,不仅对南峰地区的气候产生重大影响,而且对高原降水分布也有很大影响。另外,本区岭谷高差悬殊(达5 000—7 000米),破坏了当地的纬向气候带,起伏的地形,随海拔高度的不同,热量条件和水分状况都有明显差异,形成一地并存多种气候带的特征。

高大的青藏高原,深入对流层,迫使高空西风带气流分为南北两支。冬半年,当南支西风气流绕过高原南侧时,可把干暖的热带气团引至高原东南麓,加之北部重重叠叠的高山,阻止北方冷空气的南下;而南边孟加拉湾的暖湿气流则容易北上,使南峰地区的冬季异常温暖湿润。夏半年,西南季风强盛,本地区又处于迎风坡,降水极为丰沛。有利的地形和大气环流形势,使本区具有热带亚热带湿润气候特色。

南峰地区南北、东西之间相差不足一个经纬度,但这里气候上的差异,却远远超过十多个纬距造成的影响。若以喜马拉雅山主脊线作为划分高原的界限,那么,主脊线以北的波密、米林、林芝等地主要属高原温带气候;墨脱、背崩、希让以南则主要为山地热带、亚热带气候(林振耀、吴祥定,1981)。界线南北分属两个截然不同的气候带,气候差异十分明显。因此,为了充分合理地开发利用气候资源,探讨本地区、特别是墨脱县管辖地区的气候特征,是具有十分重要的生产实践意义的。

### 第一节 气候的基本特征

#### 一、资 料 来 源

南峰地区受历史和社会条件限制,以及山高谷深,悬崖陡壁,交通十分不便等原因,至今,墨脱县没建立正规的气象台站。缺少系统的气象观测资料,可以说是气象资料空白区。为了填补这一空白,多年来,我们就着手收集有关南峰地区零星的气象资料,包括1966年中国人民解放军边防防疫站在墨脱等地进行的短期气象观测资料;1973年10月中国科学院青藏高原科学考察队在墨脱进行一年的气象观测资料;1982年中国科学院登山科学考察队在丹娘、派区两地设立了临时气象观测站,以及在墨脱进行考察时对格当至地东之间的流动气象观测;1983年在墨脱、背崩又设置两个为期一年以上的临时气象站,并首次在多雄拉山口东西两侧分别设立几个观测点,进行降水的对比观测;此外,还在则隆弄,格

嘎冰川上进行了气象观测。为了对本区南端气候特征的了解,还收集了印度过去在这一地区进行的零星气象观测资料。由于这些资料零散,观测项目不统一,年代也不尽相同,所以难于直接利用。为此,我们以墨脱两年多的气象观测资料,还有波密、林芝、米林、倾多、易贡五个气象站,和鲁霞水文站、丹娘临时气象站的资料作为分析南峰地区气候特征的基本资料。对于那些观测时期短的,流动性大的气象观测资料,均进行相关分析,然后对比合并使用。实际上,研究某一地区的山地气候时,不能仅仅依据几个气象站点的资料,还必须结合实地气候考察和调查访问,利用非常规气象资料,像雪线、林线、不同树种和作物分布高度、耕作制度等多学科的资料,进行综合分析来推断山区气候。

## 二、温度的分布特征

### (一) 温度随高度的变化

过去的研究指出,高度与气温相关性极高,它只随地域不同而有差异。现根据南峰地区几个站点的高度和气温资料,可求出年平均气温与海拔高度的相关线性方程为:

$$y = 22.4 - 0.005x$$

$y$  为年平均气温( $^{\circ}\text{C}$ ),  $x$  为海拔高度(米),相关系数为 $-0.99$ 。根据方程可将气温与海拔的关系,绘制成图 7.1。

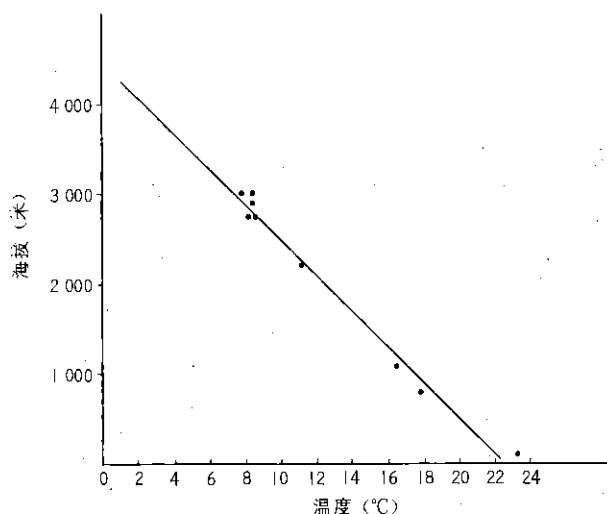


图 7.1 南峰地区海拔与气温相关图

由于森林上限、高山灌丛上界、雪线等的分布高度,不仅与年平均气温有关,更主要是与最暖月、最冷月的气温有关。因此,同样可根据高度和最暖月、最冷月的气温求出它们的线性方程为

$$y_1 = 27.8 - 0.004x$$

$$y_2 = 14.8 - 0.005x$$

$y_1$  为最暖月气温( $^{\circ}\text{C}$ ),  $y_2$  为最冷月气温( $^{\circ}\text{C}$ ),  $x$  为海拔高度(米),相关系数为 $-0.99$ ,因此,根据本地区各地的海拔和各种界限高度,就可估算出它们附近的温度状况。

温度随高度的变化,还可以用递减率来表征南峰地区的温度随高度递减率,具有明显的地域差异和季节变化,经过计算将不同地区和季节的递减率列入表 7.1。

表 7.1 南峰地区温度随高度的平均递减率(°C/100 米)

测 站	高度差(米)	月 份				年
		1	4	7	10	
墨脱—背崩	320	-0.66	-0.47	-0.34	-0.44	-0.47
背崩—迪布鲁加尔 <sup>1)</sup>	670	-0.75	-0.87	-0.63	-0.93	-0.84

1)迪布鲁加尔(Dibrugarh, 27°29'N 95°01'E, 海拔 111 米)。

在东喜马拉雅山—岗日嘎布山—伯舒拉岭构成的马蹄形地形内侧的墨脱,与背崩高度差所求得递减率,和迪布鲁加尔—背崩的递减率相比较有大的差异。反映出由背崩向南进入海拔较低地区时,其增温效应十分明显,也就是说,海拔的微小变化,会引起较大的温度差异,其中尤以过渡季节(4 月、10 月)最甚。一般地说,青藏高原的温度随高度变化的平均递减率,在雅鲁藏布江河谷中段以及横断山三江谷地最大,而在西藏东南边缘地带和喜马拉雅山南坡最小(林振耀、吴祥定,1985)。从背崩—墨脱间的平均递减率可以得到证实,但同时由迪布鲁加尔—背崩间的递减率又有增大,可见递减率随地域的不同,而有明显的差异。

## (二) 地面气温分布特征

青藏高原由于地势高亢,平均海拔 4 000 米左右,气温要比同纬度东部地区低很多,无论冬夏,温度的等值线都在高原上形成闭合的冷中心。地处高原东南隅的南峰地区,其等温线既不与纬度、经度平行,也不完全与等高线相重叠,而是沿着雅鲁藏布江呈树枝状分布,其主干一直向北伸至通麦附近,然后沿帕隆藏布东西分叉。另有一支,绕过南峰后沿雅鲁藏布江中游向西伸,这一分支的气温远较向北伸展至易贡的气温低(见图 7.2)。

从气温分布图可知,年平均气温等值线沿雅鲁藏布江及其支流十分密集,温度梯度亦大,1 月、7 月气温分布形势与平均气温分布的形势大体类同,故将 1 月、7 月气温分布图省略。图 7.2 表明,背崩、希让以南河谷低地,年平均气温高达 18—22℃,是本区,也是青藏高原最为温暖的地区。这一暖舌沿雅鲁藏布江向北伸至易贡,温度为 11—16℃,不仅比高原的气温高,即使与同纬度东部平原相比较也毫不逊色(见表 7.2)。

对南峰地区马蹄形内外两侧的气温比较,可以发现,东西之间虽然只相隔几十公里的东喜马拉雅山,温度差异非常显著。如背崩、墨脱等地的气温比米林、丹娘等地高 9—10℃;南北之间只隔岗日嘎布山,南部背崩、墨脱则比北部的波密高 8—9℃。

引人注目的是,墨脱、背崩等地冬季(12 月、1 月、2 月)的平均气温很高,分别为 9.1℃、11.3℃,比同纬度东部的长沙(6.0℃),重庆(8.8℃)高出 2—5℃。从全国冬季 1 月气温分布可知,10℃等温线大致位于 24°—25°N 之间。而在南峰地区,则比东部地区偏北 4—5 纬度,这里是同纬度我国冬季最为温暖的中心。资料还表明,墨脱冬季的极端最低气温为 -1.0℃,比同纬度东部地区高。这里夏季极端最高气温曾达到 38.2℃。



丰沛。冬季因北部高山屏障作用,又无寒潮侵袭之扰,有利的地形又促成孟加拉湾的暖湿气流可长驱直入,向北深入到很高的纬度,以至于在加热萨(29°50'N)仍能见到香蕉的生长。不难看出,这里与云南西双版纳的热带、南亚热带(大致相当于准热带)的气候和自然景观相类同,但纬度仍要偏北,是我国热带分布的最北地区。

### (三) 温度的年、月和日变化

#### 1. 年变化

这里温度的年较差比同纬度东部小 10℃ 左右。墨脱年较差为 15.0℃, 背崩为 13.9℃。而东部地区的重庆, 年较差却为 21.1℃, 长沙则高达 24.7℃ (图 7.3)。南峰地区

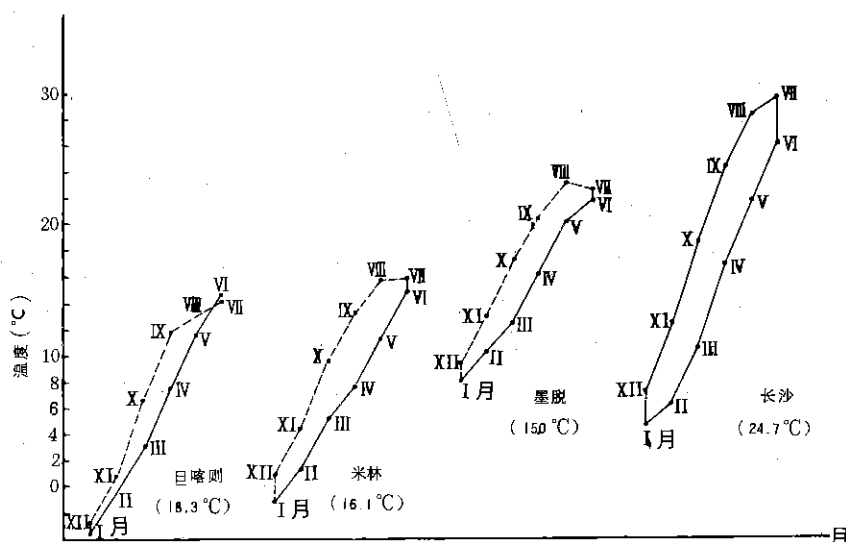


图 7.3 各地温度年变化曲线(括号内的数字为年较差, 罗马数字为月份)

与同纬度地区的年较差比较, 长沙年较差最大, 高原地区年较差虽比东部地区小, 但比墨脱大, 而且越往高原西部其年较差变化越大, 墨脱的年较差最小。因此, 若用温度年较差作为气候大陆度的标志, 南峰地区比东部平原和高原内部更具有“海洋性”气候特点, 其中尤以背崩以南地区更甚。这表明, 该地区冬季受偏南暖湿气流影响, 温度较高; 夏季则因云量和降水多, 抑制了气温升高, 故气温年较差小。

#### 2. 月际变化

现选择迪布鲁加尔、墨脱以及雅鲁藏布江中游的米林、日喀则四站的各月温度进行比较(见图 7.4)。从图 7.4 可见, 沿雅鲁藏布江流域各地温度的变化是非常有规律的。逆江而上, 气温由南向北逐渐降低, 由于南峰地区高差悬殊, 因此, 在不长距离内, 温度下降的幅度相当大。当雅鲁藏布江绕过南峰之后, 气温开始由东向西逐渐降低, 其下降幅度较小。从该图还可以看出, 迪布鲁加尔、墨脱最暖月出现在 8 月份, 高原腹地的日喀则出现在 6 月, 由半湿润向半干旱地区过渡的地带, 像米林、加查一带则最暖月出现在 7 月。我国东部

最暖月也大多出现在7月。这也就是说,南峰地区的温度月际变化,既不同于高原,也不同于东部地区。

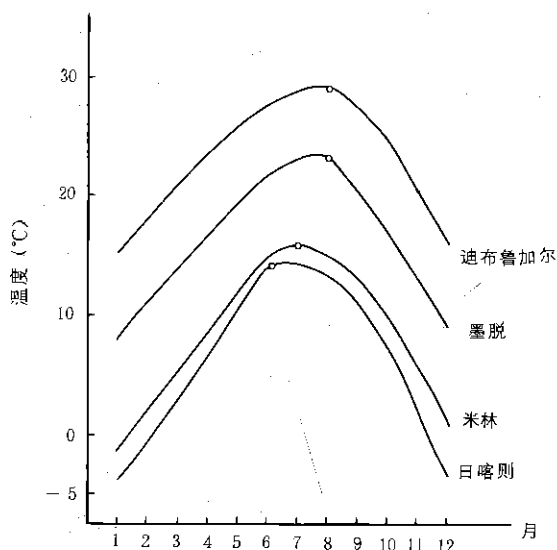


图 7.4 不同地点气温月际变化图

另外,南峰地区的墨脱、背崩3月、4月、5月,每月以 $3.0^{\circ}\text{C}$ 的速度升温。9月、10月、11月,每月又以 $3.6^{\circ}\text{C}$ 的速度降温。高原腹地日喀则的升温率为 $3.8^{\circ}\text{C}/\text{月}$ ,降温率为 $5.0^{\circ}\text{C}/\text{月}$ 。东部的长沙升温率为 $5.0^{\circ}\text{C}/\text{月}$ ,降温率为 $5.7^{\circ}\text{C}/\text{月}$ 。虽然各地都具有降温率高于升温率的特点,但南峰地区不论是升温率还是降温率都比高原和东部地区小,表明月际间气温变化和缓,并且南峰地区,受云量和降水季节变化的影响,春季(3月、4月、5月)与秋季(9月、10月、11月)的温度相比较,秋温高于春温。这又与高原地区的秋温低于春温(见表7.3)正好相反,可见南峰地区海洋性气候程度不只是比我国东部地区,而且比高原更加明显。

表 7.3 不同地点的春秋气温比较

地 点 \ 月 份	春 季			平 均	秋 季			平 均
	3	4	5		9	10	11	
墨 脱	12.4	15.9	20.0	16.1	20.5	17.1	12.8	16.8
背 崩	14.2	17.4	21.2	17.6	21.7	18.5	14.5	18.2
拉 萨	4.5	8.3	12.3	8.4	12.7	8.2	2.3	7.7
日 喀 则	3.1	7.6	11.5	7.4	11.6	6.6	0.7	6.3

### 3. 温度日变化

青藏高原气候的一个显著特点是气温日较差大,并且1月份的日较差大于7月。同时,与同纬度东部平原相比,高原日较差大,几乎与我国西北内陆地区相当。南峰地区日变化较高原小,墨脱1月日较差为 $10.4^{\circ}\text{C}$ ,8月为 $12.8^{\circ}\text{C}$ ;日喀则1月为 $18.7^{\circ}\text{C}$ ,8月为

11.5℃。与高原比较,墨脱日较差的季节变化是夏季(8月)气温日较差大于冬季(1月),与高原的冬季日较差大于夏季正好相反。

### 三、降水量的分布特征

#### (一) 降水随高度变化

青藏高原最大降水带处于高原边缘迎风坡上,南峰地区地处高原边缘,存在一个最大降水高度,在此高度以下,降水量随高度呈线性增大,在最大降水高度以上,还有可能出现“次大降水高度”。一般在非永久雪覆盖的山地,最大降水带大致相当于森林分布的上限;在有永久冰雪覆盖的山地,大都存在两个大的降水带,森林上限和雪线附近。

为了探讨南峰地区最大降水高度,1983年7月13—20日于东喜马拉雅山的东南坡,按不同海拔设立雨量观测点,进行了降水量的对比观测,其结果如表7.4所示。

表 7.4 不同海拔的降水量  
(1983年7月13—20日)

站 点	背 崩	墨 脱	汗 密	拿 格
海拔(米)	780	1 100	2 100	3 200
降水量(毫米)	40.4	48.0	62.2	95.5

南峰地区降水量随高度线性增加,从河谷的背崩,一直到山地暗针叶林带的拿格(3 200米)降水量随海拔升高逐渐增加。在7月13—20日期间,拿格于15日出现日降水量为31.9毫米的大雨,同一天在高程较低的汗密,日降水量仅为2.8毫米,背崩则无降水,三个地点的降水量相差甚大。在其它有对比观测的记录中,例如出现大暴雨的次数,也是拿格多于汗密、背崩。所以往往发生这样的情况,较低处的村镇、农田,并无降水或只是小雨,而不远的高山上,却可能是大雨或暴雨,甚至酿成洪水或泥石流的危害。

海拔再高时的降水量为多少,只能依据野外考察进行估算。这里的森林上限约3 600米左右,那么最大降水高度不会超出此界限,约为3 500米。根据计算拿格的年降水量可达3 200毫米左右,因此最大降水高度的降水量可达3 000—3 500毫米。据调查访问,这里每当进入冬季时,林下积雪可达数米之厚。至于是否存在次大降水高度的问题,因缺少实际观测资料难于论断,但南峰峰顶附近为永久性冰雪覆盖,以及邻近山地有大规模冰川的存在,有可能存在次大降水高度,但其高度和降水量有待进一步研究。

#### (二) 降水量分布特征

喜马拉雅山南坡和藏东南靠近边境的一些地方,降水量极为丰富。以位于墨脱以南,雅鲁藏布江河谷地的城镇巴昔卡为例,降水量最为丰沛,平均年降水量达4 495.0毫米(1931—1960年),是我国最多降水中心之一(林祥,1978)。由于高耸的喜马拉雅山、岗日嘎布山、伯舒拉岭构成朝南开口的马蹄形,每当夏季从孟加拉湾吹来的温暖偏南季风气流冲入马蹄形后,迫使气流转变成气旋性弯曲,这可从马蹄形内台站的地面风向频率看出,

东北风和西南风频率几乎相等,大约在 $26^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\text{E}$ 地方延伸至 $27.5^{\circ}\text{N}$ 、 $97^{\circ}\text{E}$ 一线上,此线以北盛行东北风,以南则盛行西南风,形成了季风辐合区,而巴昔卡正好地处西南气流转为东北气流的位置上,易造成丰沛的降水。沿雅鲁藏布江河谷而上,墨脱附近年降水量为2 200毫米以上,通麦降水量在1 500—2 000毫米之间。沿帕隆藏布、易贡藏布的降水量仍有1 000毫米左右。可是,沿雅鲁藏布江向西其降水量,比马蹄形内降水量明显的急剧减少,只有600毫米左右,其中丹娘、派区和加拉一狭长地带,出现了年降水量仅为350毫米的少雨地带(见图7.5)。这是由于东喜马拉雅山阻挡暖湿气流北上,气流翻过高大山体,

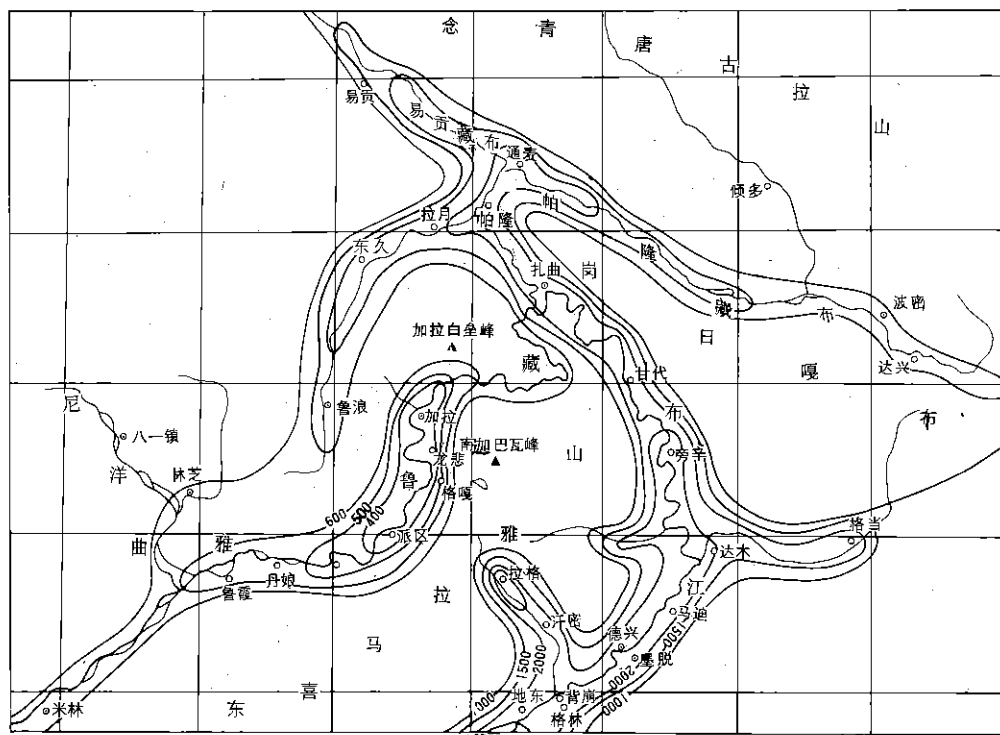


图 7.5 南峰地区年降水量分布图

下沉增温,相对湿度变小,在局地小范围内,不易形成降水造成的。

为了表征雅鲁藏布江中、下游地区降水的差异,利用巴昔卡、墨脱、米林和日喀则四个站点的降水量绘制成图7.6。逆江而上,降水量自南向北逐渐减少,绕过南峰之后,降水自东向西减少,最多降水的巴昔卡,是高原腹地日喀则降水量的100倍,相差甚大。

### (三) 降水量的季节变化

高原降水的年变化有两种形式:单峰型和双峰型。高原上大部分地区都呈单峰型,雨峰出现在8月,降水多集中在6—9月四个月里,占全年降水量的90%以上。

南峰地区墨脱、背崩降水年变化则呈双峰型。由图7.7可见,墨脱的主雨峰在6月,该月降水百分率为21%。8月份降水量明显减少,而此时高原地区正处于雨季,降水较多。9月再次出现雨峰,降水百分率为13%。年降水量的分配与高原相比,较为均匀,但仍可分



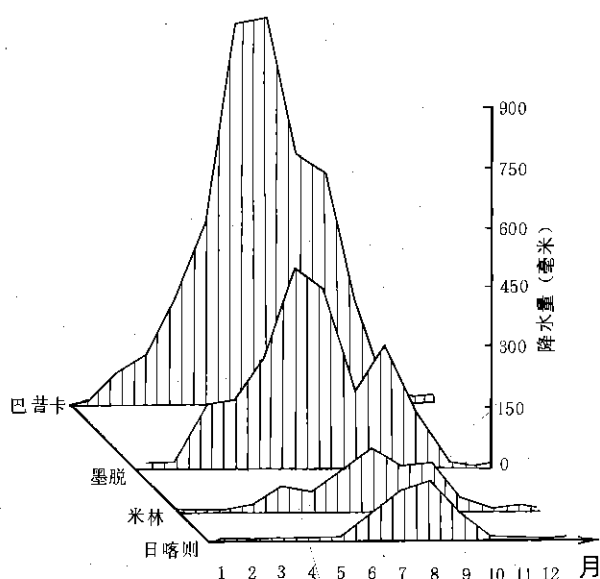


图 7.6 南峰地区不同地点的降水量图

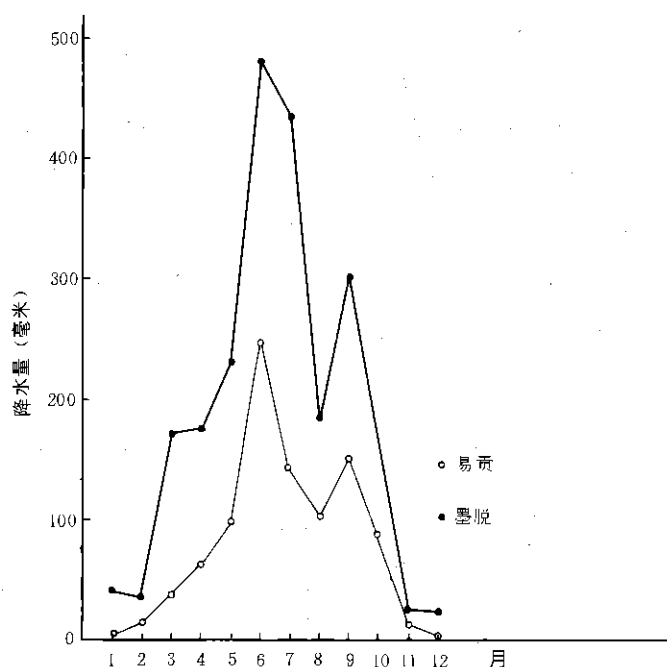


图 7.7 墨脱、易贡降水量变化

为干季和雨季。干季(10—3月)的降水量仅占全年降水的20%，尤其是12—2月三个月的降水量不足100毫米，只占年降水量的4%。南峰地区雨量集中在雨季(4—9)，占全年降水量的80%。由于8月份雨量的减少，气温升高，8月份成为该区全年最热的月份。

南峰地区的易贡降水也具有双峰型的特征，从图7.7可看出，降水年变化曲线与墨脱非常相似，易贡的主雨峰也在6月，次雨峰在9月，8月份的降水比相邻月份有明显的减

少。表明雅鲁藏布江大拐弯作为高原水汽通道对南峰地区降水影响的一致性。除墨脱、背崩、易贡等地外,西藏的察隅、云南的维西一带,其降水年变化也都呈双峰型。但这种双峰型,与南峰地区墨脱、易贡等有差异,不属同一气候类型。察隅和维西的降水年变化的双峰型更具有 consistency,它们都是 7—8 月为主雨峰,3—4 月为次雨峰,5 月的雨量很少。而南峰地区降水的双峰型与察隅、维西一带不同,这是由不同的天气系统和地形条件造成的。在我国东部地区,因受东南季风影响,降水年变化主要是单峰型,很少出现双峰型。

(四) 降水日数和降水强度

墨脱地区年降水日数 217 天,降水日数的分布特点与降水量的分布基本相同,但各地也略有不同,主要表现在降水强度的差异上。为了客观比较各地降水强度,应用下式:

平均降水强度(毫米/雨日)=年降水量/年降水日数

现计算出墨脱、林芝、波密和日喀则的降水强度并列入表 7.5 中。平均降水强度值大,表示该地只要出现降水,便有较大的降水量。反之,则表示即使出现降水现象,降水量也是不大的。由表 7.5 可见,墨脱的平均降水强度最大,为 10.4。其次日喀则。

表 7.5 各地年降水日数、平均降水强度和相对降水强度

站名	年降水日数	平均降水强度 (毫米/雨日)	日降水量≥10.0 毫米 的相对强度 $R_{10}$ (%)	日降水量≥25.0 毫米 的相对强度 $R_{25}$ (%)
墨 脱	217.0	10.4	34.1	5.5
林 芝	164.9	3.8	12.2	1.5
波 密	190.2	4.9	13.5	2.7
日喀则	77.8	5.6	19.9	2.3

为了比较各地强降水和弱降水的多少,再用日降水量分别大于、等于 25.0 毫米、10.0 毫米的日数与年降水日数之比率,并以  $R_{25}$  和  $R_{10}$  分别表示其相对降水强度。

$R_{25}$  = 日降水量 ≥ 25.0 毫米的降水日数 / 全年降水日数 × 100%;

$R_{10}$  = 日降水量 ≥ 10.0 毫米的降水日数 / 全年降水日数 × 100%。

现将结果列于表 7.5 中,  $R_{10}$  值小,相对而言该地以弱降水为主,  $R_{10}$  值大,则很少出现弱降水;  $R_{25}$  值大,相对表示该地出现强降水的概率大,否则就小。把降水相对强度  $R_{25}$ ,  $R_{10}$  与降水日数结合起来综合分析可以看出,墨脱地区年降水日数多,平均降水强度值大,强降水也最多,表明该地区只要出现降水,便有较大的降水量。

至于南峰地区暴雨(日降水量 ≥ 25.0 毫米)特征,除冬半年外,几乎每月都有可能出现暴雨,年暴雨日数约 12 天。6 月份曾出现过日降水量 90 毫米的大暴雨。南峰地区因暴雨常引起山洪、泥石流的爆发,给农业生产和人民生活带来严重危害。

四、其它气象要素的分析

(一) 云

南峰地区较常见的是一种絮状积云,云底不平整,如同棉絮状游荡在群山之间。这种

积云虽也变幻莫测,但远不如藏北高原由于热力作用生成的积云变化迅速,它比较稳定,有时可发展成菜花状隆起的云顶,顶部呈白色并发亮,但这种强对流性积云,在傍晚由于空气稳定,上升气流减弱,会渐渐变成层积云。这里的热力对流作用较高原弱,很少发生雷暴、或是雷鸣电闪的倾盆大雨、或降冰雹。

夏季每当雨后清晨,沿雅鲁藏布江及其支流的两岸山腰上,常常出现一条条带状层云,飘浮缓缓移动,犹如镶嵌山腰的玉带,这种带状层云其厚度往往只有100米左右,一般在上午10时许开始消失。另外,有时在南峰冰川的末端,也能形成一种带状的白云,云底较低,峰顶可见,几小时之后,带状云发展变厚,云底上升,但仍可见峰顶,当近12—15时,峰顶仅偶然可见,云层厚度变厚,云底继续抬高,至下午4—5时,南峰整体被云海淹没,白茫茫一片,一直到傍晚7—8时,云层消散,同时峰顶附近出现彩色斑斓的荚状层云,景色十分壮观。

冬季,当强盛的北方冷气流南下影响南峰地区时,在墨脱也能见到云色乳白而透亮的钩卷云,云量增加,云层加厚,在海拔较高处有降雪,甚至沿江河谷可飘雪花,但不积雪。

(二) 风

南峰地区风向主要受地形影响,除多静风外,风向主要是沿河谷走向而定。波密受东西走向的帕隆藏布的影响,以西北风为主,又因雅鲁藏布江大拐弯水汽通道的作用,给该地带来丰沛的水汽,加之地形抬升易形成降水。而这里刮偏东风时,则很少能引起降水的天气,林芝位于尼洋河畔,吹东北、东风。丹娘则以东、西风为主。墨脱、背崩两地地处南北走向的雅鲁藏布江河谷地,多偏南北走向的风,其中尤以偏西南风为主,西南风源源不断将印度洋暖湿水汽送入本地区,降水极为丰沛。冬季西南风减弱,多出现偏北风,由于这里温暖且水汽丰富,相对湿度很大,易形成云雾。每当出现偏北风时预示有降温和降水的天气过程。墨脱地区上午多静风,午后3时起,风速增大,可达6米/秒以上,傍晚风速减弱。

(三) 相对湿度

墨脱年平均相对湿度为82%,表明这里的空气相当潮湿,而且湿度的变动幅度很小,2月平均相对湿度最低73%,1月份最高为88%,年变化幅度只有15%。进入冬季(12月、1月、2月)的少雨季节但空气湿度仍很大为82%,所以墨脱地区常常是云雾缭绕。墨脱以南地东一带的冬季,更是雾气蒙蒙,湿度很大。表7.6说明,墨脱的相对湿度比东部地区的长沙和高原上的日喀则都要大,甚至可与云南西双版纳热带地区相比,从湿度而言,十分有利于热带亚热带作物的生长。

表 7.6 不同地点的相对湿度比较

月 份 地 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
墨 脱	88	73	78	83	75	84	84	80	87	84	85	86	82
长 沙	79	82	83	83	82	80	74	75	77	78	80	80	80
日喀则	27	21	23	28	38	53	66	72	65	46	35	33	42

## 五、温度和降水的综合分析

现取同纬度地区,高原腹地日喀则、东部地区的长沙和南峰地区的墨脱进行气温与降水综合变化的比较(见图 7.8)。

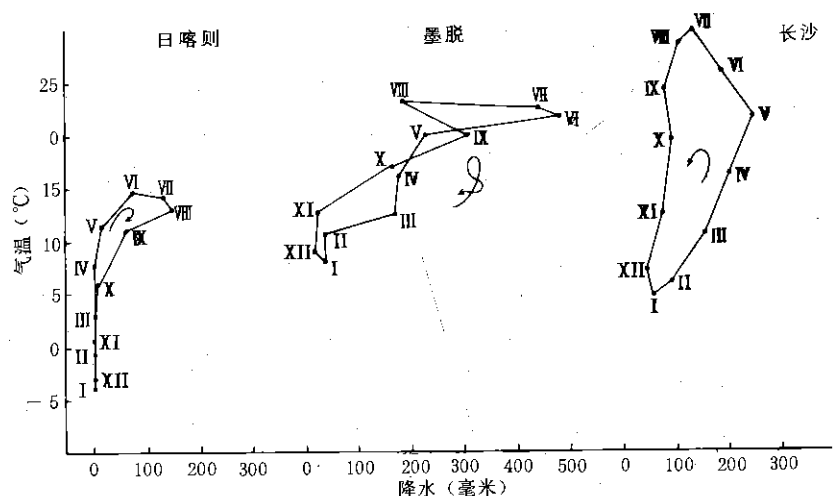


图 7.8 不同地区气温和降水综合变化图

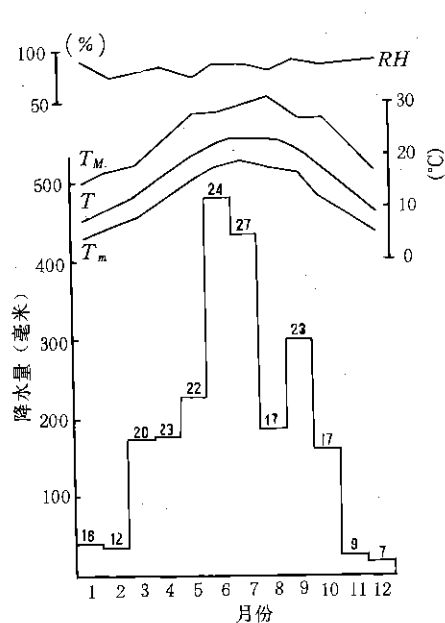


图 7.9 墨脱气象要素综合图

$T$ : 平均气温;  $T_M$ : 平均最高气温;  $T_m$ : 平均最低气温;  $RH$ : 相对湿度; 柱状体为降水量, 立柱上的数字为降水日数

图示,日喀则春季升温特别快,而降水甚少,雨季姗姗来迟,一直到6月份,气温达到最高为 $14.5^{\circ}\text{C}$ ,此后降水才开始剧增,到了8月份雨量最为丰沛为146.3毫米。8月份之后气温和降水同步减少,秋季的降温梯度比春季增温梯度小,由图7.8可见,气温和降水的综合变化随季节呈顺时针型变化。东部地区的长沙春季升温慢,7月气温最高 $29.3^{\circ}\text{C}$ ,但此时降水已明显减少进入伏旱(长沙5月份降水最多为230.8毫米)。8月之后温度和降水同步急速减少,秋季降温梯度比春季增温大,气温和降水的综合变化随季节呈反时针型变化。而墨脱地区与前两种变化型截然不同,有它独特之处,即不同于高原,也不同于东部平原地区,气温和降水的综合变化随季节呈一种交叉型。春季温度梯度比秋季小,这点与长沙类同,但长沙自5月之后,温度上升而降水减少,墨脱则是随温度升高降水增加,到8月降水才略有减少,气温最高。长沙7月之后,降水、气温同步减少,而墨脱出现在8月之后,这点又与高原日喀则很相似,

综合分析结果表明,墨脱的水热条件配合,比同纬度地区优越,它既无东部地区夏季酷热少雨,冬季低温干旱之缺陷,又无高原温度偏低,降水过少的不利气候条件。墨脱冬季温暖湿润,夏季多雨无酷热,一年四季水热条件均较东部地区适宜,有利于热带、亚热带作物的生长,可种植水稻、甘蔗、香蕉、柠檬等。

为了进一步了解墨脱地区的气候情况,利用墨脱 1973—1974 年、1983—1984 年两年多的气象观测资料,绘制出该地区气象要素综合图(见图 7.9)。

## 六、小 结

(1)南峰地区气温和降水的等值线,沿雅鲁藏布江河谷低地呈树枝状分布。背崩、希让以南海拔 1 100 米以下的河流谷地,气候湿热,年平均气温  $16^{\circ}\text{C}$  以上,年降水量可达 2 000—3 000 毫米,具有热带、亚热带气候特征。有利的地形和环流形势,使本区气候暖湿程度远远超出了应在的地理纬度,是我国热带最北地区。

(2)冬季十分温暖,比同纬度东部地区高  $3-5^{\circ}\text{C}$ 。虽然干季雨量少,但云雾缭绕,湿度大,对热带亚热带作物的生长有利。

(3)气温年较差小,日较差较大,且春温低于秋温。表明南峰地区气候的“海洋性”程度明显。

(4)本区降水丰沛,除山前地带多降水外,降水随高度而增加,最大降水高度约在海拔 3 500 米。本区南部降水量为 2 500 毫米以上,湿舌沿雅鲁藏布江向北伸入高原,形成狭长的多雨带。

(5)年降水日数较多,平均降水强度值大,暴雨时有发生,易形成危害。

(6)南峰地区气候资源丰富,水热条件配合适宜,有利于热带亚热带作物的生长,但山高坡陡,沿雅鲁藏布江及其支流的河谷低地,过于狭窄,可耕地甚少,限制了热带亚热带作物的种植。

## 第二节 南峰地区气候带及气候类型

南峰地区岭谷高差悬殊(达 5 000—7 000 米),这就破坏了当地的纬向气候带,与其它山区一样,南峰地区随海拔高度的不同,热量条件和水分状况差异明显,形成不同的垂直气候带。总的来说,这里属于藏东南亚热带山地湿润气候区,但由于地势起伏变化很大,一地并存各种气候带,独成一特殊的气候生态区域。因此,目前只能选择人们进行生产实践活动的高度(小于海拔 3 200 米)区域内进行气候分区。

温度是植物生长的重要条件,因而进行气候区划时,首先考虑温度,特别是与农作物关系密切的一些界限温度以及它的持续日数,现将日平均气温稳定通过  $10^{\circ}\text{C}$  的天数作为气候带划分的主要指标。

$10^{\circ}\text{C}$  是一个比较重要的农业界限温度,当日平均气温稳定升至  $10^{\circ}\text{C}$  以上时,喜凉作物开始迅速生长,某些多年生作物开始以较大的速度积累物质,喜温作物也可以开始播种,同时形成作物的产量的同化物的主体都是在  $10^{\circ}\text{C}$  以上期间中产生的。虽然以往在进行气候分区中使用积温,但  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的积温作为划分气候带的热量指标还存在一些问题,特

别是对地势高差明显的地区,出现用积温作为热量指标划出的气候带和实际气候带不相符合,其原因主要是因为 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温除了取决于 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数的长短外,还与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的日平均气温(特别是夏季气温)的高低有关。这点高原地区更为突出,因为夏季气温一般偏低,因此 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温也小。大量气象资料分析表明,同属一个气候带中的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温,可以因海拔不同而不同,但 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数则相同,为此,我们采用 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数作为本地

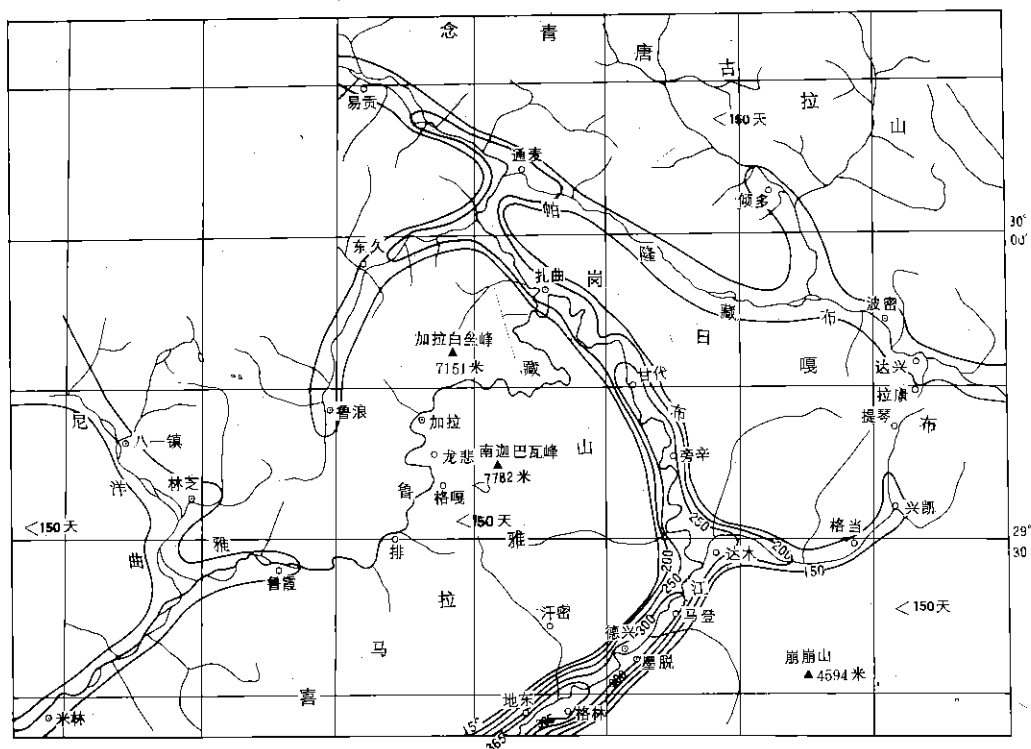


图 7.10 南峰地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 天数分布图

区热量带的划分指标。图 7.10 表明 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数分布形势与气温分布图相似,背崩以南的河谷低地,全年平均气温均在 $10^{\circ}\text{C}$ 以上,因此, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数为 365 天, $\geq 18^{\circ}\text{C}$ 的天数在 180 天以上。米林、林芝、波密一带 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数 155—159 天,但都不足 180 天。而易贡 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数则为 197 天。

根据实地考察,南峰地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的天数大于 365 天,为山地热带北缘;大于 180 天,为亚热带山地,相当我国东部地区的北亚热带,作物一年两熟;当 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 天数少于 180 天,但多于 50 天为高原温带。

$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的天数,仅表明作物所需要的热量持续时间,而作物生长后期时温度的高低,对作物成熟度和籽粒饱满程度起着重要的影响,现采用最暖月温度作为衡量作物后期温度高低的指标。在青藏高原虽然有些地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的天数大于 180 天,但种植某些喜温作物如水稻是不能正常成熟的,主要是因为作物生长后期的气温较低,所以在满足 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间天数的同时,还要考虑最暖月平均气温,当最暖月平均气温 $> 18^{\circ}\text{C}$ ,方能满足喜温作物水稻、玉米等的开花结实期时温度的要求。同时也作为一年两熟的界限温度。

根据上述指标,参照本地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的天数和最暖月平均气温,将南峰地区划分为

低山热带北缘、山地亚热带、高原温带三个不同的气候带,见表 7.7。

本区的水汽主要来源于印度洋孟加拉湾。沿布拉马普特拉河和雅鲁藏布江河谷北上的西南暖湿气流,这里优先受惠,往西、往北,水汽含量逐渐减少。根据计算(林振耀、吴祥定,1981),南峰地区的干燥度 $<1.5$ ,其中墨脱以南地区 $<1.0$ ,反映这里水分条件处于湿润、半湿润状况。由此考虑年降水量的多少,将本区划分为不同的气候类型,其指标见表 7.8。

表 7.7 南峰地区气候带温度指标

代 号	指 标 名 称	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间天数(天)	最暖月平均气温( $^{\circ}\text{C}$ )
I	低山热带北缘	$>365$	$>24$
II	山地亚热带	$>180$	24—18
III	高原温带	180—50	17.9—12

表 7.8 南峰地区气候类型水分指标

名 称	指 标	干燥度, $K = E_T/P$	年降水量(毫米)
湿 润		$<1.0$	$>800$
半湿润		1.0—1.5	800—500

注:  $K$  为干燥度,  $E_T$  为年可能蒸发量,  $P$  为年降水量。

对南峰地区( $<3\,200$  米河谷地)进行气候分区时,考虑了水平带与垂直带的结合,海拔  $3\,200$  米以上,主要突出其垂直变化的特征(林振耀、吴祥定,1984)。

本区的热带,不仅属于山地型,而且处于热带北界边缘地区,所以热量条件稍差一些。水稻可一年两熟或三熟,并能种植热带水果和经济作物,天然植被为常绿季风雨林。亚热带,其主要特征为作物一年两熟,典型的亚热带植物生长良好,天然植被主要为常绿阔叶林。高原温带,农作物两年三熟,除一季喜温(凉)作物外,还可种植半季荞麦等秋播作物或种一季冬小麦。苹果、梨等水果生长好,品质佳,天然植被为暗针叶林。现将本区这三带,分别称之为低山热带北缘湿润气候带,山地亚热带湿润气候带,高原温带半湿润气候带,每个带按农业生产活动,又可为成若干气候类型,见图 7.11。

现将南峰地区各地气候类型的特征概述如下:

### I 低山热带北缘湿润气候带

#### I<sub>A</sub> 希让热带北缘湿润气候区

本带分布于海拔  $1\,100$  米以下的雅鲁藏布江河谷低地,有的地区虽已超出南峰考察范围,但属墨脱县管辖地区,在此略加概述,以便了解全貌。本气候带按海拔高度的不同又可分为两个气候类型。

I<sub>1</sub> 希让湿热气候类型。本气候类型分布于海拔  $500$  米以下,雅鲁藏布江谷地及其支流内,包括希让以南地区,气候湿热,是青藏高原最潮湿、最热的地区,年平均气温  $20-22^{\circ}\text{C}$ ,冬季气温可达  $12^{\circ}\text{C}$  以上,与同纬度地区相比,异常温暖。本区受西南季风影响,地形雨特别突出,迎风坡降水极为丰沛,年降水量  $2\,500$  毫米以上,其中巴昔卡年降水量可达

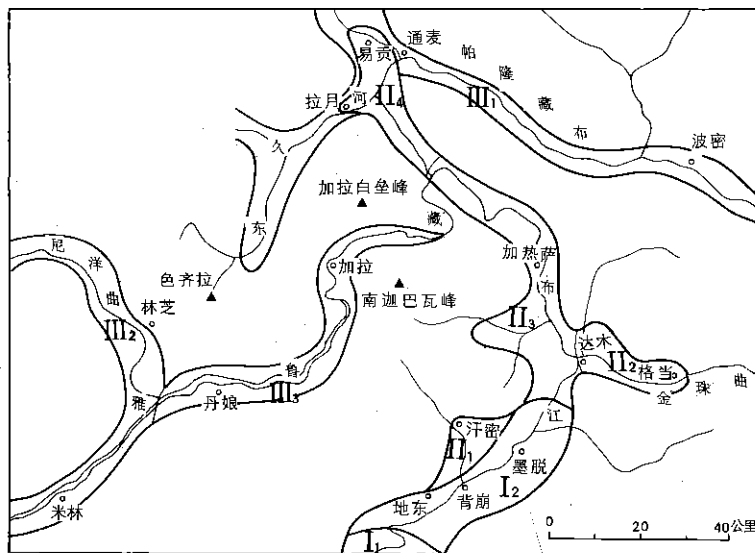


图 例

- I 低山热带北缘湿润气候带
- I<sub>A</sub> 希让热带北缘湿润气候区
- I<sub>1</sub> 希让湿热气候类型
- I<sub>2</sub> 墨脱湿热气候类型
- II 山地亚热带湿润气候带
- II<sub>A</sub> 南峰亚热带湿润气候区
- II<sub>1</sub> 汗密潮湿气候类型
- II<sub>2</sub> 达木暖湿气候类型
- II<sub>3</sub> 加东萨暖气候类型
- II<sub>4</sub> 易贡温和气候类型
- III 高原温带半湿润气候带
- III<sub>8</sub> 藏东温带半湿润气候区
- III<sub>1</sub> 波密湿润气候类型
- III<sub>2</sub> 林芝半湿润气候类型
- III<sub>3</sub> 丹娘略干气候类型

图 7.11 南峰地区(海拔<3 200 米河谷地)气候带及气候类型

4 500毫米。这里干湿季比较明显,尽管干季降水少,但多云雾,相对湿度高,又无寒潮侵袭,有利于热带作物生长,与我国云南西双版纳热带气候相类同。

I<sub>2</sub>墨脱湿热气候类型。这种气候类型分布于海拔 600—1 100 米的雅鲁藏布江谷地,包括背崩、地东、墨脱等地,气候湿热,年平均气温 16—18℃。最冷月气温约 10℃,墨脱境内≥10℃的天数为 300—365 天,≥10℃的积温 5 480—6 420℃。海拔较低背崩,全年气温几乎都在 10℃以上,≥18℃的天数在 180 天以上,≥18℃的积温 4 000℃以上。从热量和水分条件而言,这里的气候与云南热带、亚热带某些地区的气候极为相近。

本区海拔较高处,偶有轻微霜冻,但很少降雪。海拔较低处的气候就截然不同,冬季受印缅低压槽影响,春季孟加拉湾暖湿气流开始活跃,地形雨特别多,暖季西南季风强盛,降水丰沛。年降水量 2 000—3 000 毫米,降水年变化呈双峰型,每年 6 月降水最多为主雨峰期,9 月再次出现雨峰为次雨峰期。虽年降水呈现双峰型,但降水较均匀,仅有二三个月降水较少。冬季(当年 11 月至翌年 1 月)降水较少,但雾日甚多,相对湿度大,经常云雾弥漫,补充了冬季降水的不足。全年雨日可达 200 天以上。在这样的气候条件下,生长着具有某些热带季雨林特征的森林植被。海拔 1 100 米以下的山坡上,广泛分布着阿丁枫群落,野生果树有芭蕉、香蕉、柠檬、柑桔和柚等。在低处还有千果榄仁、阿丁枫、小果紫薇等。农作物以种植水稻、鸡爪谷(蔓稜)、玉米为主。

## II 山地亚热带湿润气候带

### II<sub>A</sub> 南峰亚热带湿润气候区

本带在海拔 1 100—2 400 米,沿南峰东侧雅鲁藏布江谷地呈舌状延伸。这一狭长地带受印度洋暖湿气流的影响,构成藏东南水汽输送的主要通道。根据水热条件的差异,以及植被和种植作物的不同,本气候区又可分成四种气候类型。

II<sub>1</sub> 汗密潮湿气候类型。此气候类型大多在海拔约 2 000 米处,气候温和,潮湿多雨,



分布面积较小。境内年平均气温约 $14^{\circ}\text{C}$ ，冬季稍冷，常有积雪。降水量丰沛，年降水量2 200毫米以上。当地主要受沿雅鲁藏布江支流而上的暖湿气流影响，因而年降水量比沿江的背崩、墨脱为多。这里常有云雾，植被长势甚好，主要为亚热带常绿阔叶林。该区地势陡峻，可垦地甚少，几乎无农作物。

I<sub>2</sub> 达木暖湿气候类型。这里气候温和湿润，海拔1 500—2 000米，年气温可达 $12^{\circ}\text{C}$ — $14^{\circ}\text{C}$ ，最暖月气温 $20^{\circ}\text{C}$ — $22^{\circ}\text{C}$ ，最冷月气温 $4^{\circ}\text{C}$ — $6^{\circ}\text{C}$ ，年降水量为1 500毫米，有降雪和轻微霜冻害。当地主要种植小麦、鸡爪谷、水稻，还有芭蕉、野广柑等，较高处种有青稞。

I<sub>3</sub> 加热萨暖热气候类型。境内海拔多在1 300米左右，是本气候带最为温暖的地方，它的北界在雅鲁藏布江与帕隆藏布汇合处，当地年平均气温 $14^{\circ}\text{C}$ — $16^{\circ}\text{C}$ ，年降水量约2 000毫米，冬季有降雪，有霜冻但并不严重，植被为常绿阔叶林，农作物以玉米、水稻、鸡爪谷等为主，可一年两熟；经济作物有甘蔗、烟草、花生、芭蕉、野广柑和茶树等。

I<sub>4</sub> 易贡温和气候类型。这里海拔多在2 300米左右。虽然地处喜马拉雅山脉以北，但由于喜马拉雅山东端山体破碎，雅鲁藏布江自西绕南峰拐弯南流，构成南北水汽通道，且帕隆藏布汇入雅鲁藏布江处又呈南北向，于是印度洋暖湿气流沿雅鲁藏布江上溯，经帕隆藏布、易贡藏布到达易贡，加之北部念青唐古拉山脉的阻挡，冷空气难以南下，因而易贡附近较之同纬度其它地区水汽要充沛，气温也较高。境内生长着茂密的常绿阔叶林。当地年平均气温 $11^{\circ}\text{C}$ — $13^{\circ}\text{C}$ ，最暖月气温 $18^{\circ}\text{C}$ — $20^{\circ}\text{C}$ ，最冷月气温 $3^{\circ}\text{C}$ — $5^{\circ}\text{C}$ ，年较差小约 $15^{\circ}\text{C}$ ，而且受云量和降水季节变化的影响，易贡一带春温高于秋温，具有较强的“海洋性”气候特征。降水量约1 000毫米，降水日数200天以上，降水年变化也呈双峰型，一个峰值在6月份，另一个在9月份，以6月雨峰最大。本区有降雪和霜冻。农作物主要为小麦、玉米、鸡爪谷等，蔬菜有四季豆、黄瓜等，经济作物有茶树和苹果。易贡错畔的茶场， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温为 $3\ 200^{\circ}\text{C}$ 以上，种植茶树能良好的生长。除个别年份，一般对茶树苗不需要采取任何防寒措施，都能正常生长。易贡以西的东久、索通一带，由于 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温只有 $3\ 000^{\circ}\text{C}$ ，热量条件稍差，只要冬季对茶苗加强田间管理，培土覆盖，茶树也能正常生长。总的来说，这里的水热条件均比波密、林芝要优越些。本类型与加热萨暖热气候类型差异较大，夏季温度较低，不能满足水稻开花期对高温的要求，而且灌溉用水也多为冰川融水，水温低，因此种植水稻比较困难，甘蔗、芭蕉、广柑更难以生长。

## II 高原温带半湿润气候带

### II<sub>B</sub> 藏东温带半湿润气候区

本带处于海拔2 400—3 200米之间，气候温和湿润，植被多为针阔混交林，本带分布面积较大，包括高原面上的帕隆藏布、东久河、尼洋曲和南峰西侧雅鲁藏布江谷地，海拔相差不大，热量条件也接近，稍有差异的是各地的降水量和降水季节分配不同(表7.9)。据此，将本气候带分成波密、林芝和丹娘三种气候类型。

II<sub>1</sub> 波密湿润气候类型。此类型属东喜马拉雅东段北部地区，一般在海拔3 200米以下。这里年平均气温 $8^{\circ}\text{C}$ — $10^{\circ}\text{C}$ ，最暖月气温 $17^{\circ}\text{C}$ — $19^{\circ}\text{C}$ ，最冷月气温 $0^{\circ}\text{C}$ — $-3^{\circ}\text{C}$ ，有霜冻；年降水量800—1 000毫米，比易贡略少。在这一东西狭长的地带内，又以通麦为界，通麦以西地区较以东地区更为暖湿，东部地区霜冻较重，种植冬小麦、青稞和苹果，但不宜种植茶树。

表 7.9 各地降水量

地 点	海拔(米)	年平均气温(℃)	年降水量(毫米)	5—9 月降水占全年降水(%)
波密	2 800	8.4	849.6	65
林芝	3 000	8.5	654.2	83
米林	3 000	8.2	662.1	83
丹娘	2 950	7.8	379.8	73

Ⅲ<sub>2</sub> 林芝半湿润气候类型。本气候类型包括色齐拉山以西和米林地区。年平均气温 8—10℃,最暖月气温 15—17℃。最冷月气温 0—-3℃,常有霜冻害。年降水量较波密地区为少,仅 600—800 毫米,降水年变化呈单峰型,冬季至 4 月份降水很少,主要集中于 5—9 月,占全年降水的 80%以上,农作物以冬春小麦和青稞为主。青稞收割后,尚可复种一茬荞麦、元根等短季作物,局部地区亦可种植玉米、烟草等喜温作物。

这一带森林面积大,干旱、大风、冰雹等气象灾害较少发生,对农牧业生产危害小。从气候条件以及农牧业生产管理技术水平而言,这一地区利于发展农牧业生产,但目前能源紧张,人们对森林、灌丛过度砍伐已达到相当严重的地步,必须认真对待,加以限制。

Ⅲ<sub>3</sub> 丹娘略干气候类型。雅鲁藏布江在加拉以东,河谷深切,地势十分陡峻,因此此类型东界与雅鲁藏布江谷地相连,西到尼洋曲与雅鲁藏布江汇合处。

这里是南峰地区较为干旱的地带,降水明显减少,年降水量少于 400 毫米,降水主要集中于 5—9 月,占全年降水的 70%以上,霜冻常有发生。境内风大,午后三四点钟的风特大,平均风速每秒可达 4—5 米,土壤风蚀严重,沿雅鲁藏布江一带有高大的新月形沙丘。当地年平均气温 6—8℃,最暖月气温 15—17℃,最冷月气温 -1—-4℃。农作物主要是冬春青稞和冬春小麦,这里若仅依靠大气降水是难以满足作物生长需要的,必须进行灌溉,方能保证农作物的正常生长和较高的产量。

### 第三节 南峰地区的垂直气候带

南峰地区大多处于海拔 3 200 米以上,但由于高山地带缺少最基本的气象观测资料,因此只能依据南峰地区植被考察和短期地面气象观测资料对 3 200 米以上高山进行粗略的垂直气候带的划分,而不再对有关气候类型进行区分。这样,垂直气候带划分的名称就与上节气候带的划分相衔接起来了。

#### Ⅳ 山地寒温气候带

这一带海拔 3 200—4 000 米。当地年降水量可达 3 000—3 500 毫米,最暖月气温 12—14℃,最冷月气温 -1—-4℃。降雪期长达半年之久(当年 9 月至翌年 4 月底),林下积雪可达 1—2 米厚。天然植被多为暗针叶林。南峰东坡以墨脱冷杉林为主,森林线高度为海拔 3 600—3 800 米;西坡以冷杉林和林芝云杉为主,森林线的高度为海拔 3 900—4 000 米,西坡的气候较东坡更加干冷。

#### Ⅴ 高山寒冷气候带

本带在森林线之上,海拔 3 900—4 300 米。带内气候寒冷,地面积雪可达半年之久(当

年 11 月至翌年 6 月), 由于在生长季节中常受海洋性暖湿气流的影响, 灌木组成的植被发育良好, 低处以柳和杜鹃灌丛为主, 高处则以草甸植被为主, 可供放牧利用。

#### Ⅵ 高山寒冻风化气候带

本带海拔 4 300—4 800 米, 气候十分寒冷, 全年大部分时间, 地表均为厚雪覆盖。融冻作用和寒冻风化剥蚀作用占主导地位, 植被稀少, 主要由各种地衣、苔藓以及菊科等植物群聚组成, 利用价值不高。

#### Ⅶ 高山冰雪气候带

本带地处雪线之上, 终年冰雪覆盖。海拔高于 4 800 米。在多雄拉东南, 雪线海拔约 4 800 米, 而在它的西坡雪线较高, 海拔约 5 000 米。

本带气候十分严寒, 降水量丰沛, 多为固体降水, 积雪甚厚, 冰川发育。

## 第八章 水 文

南峰地区地处喜马拉雅山东端的南北两侧。该地区河流众多,南来的印度洋暖湿气流,又主要沿该地区的雅鲁藏布江下游谷地进入到青藏高原。为此,南峰地区降水充沛,河流水资源十分丰富。

### 第一节 河流与水系

南峰地区的河流主要有雅鲁藏布江及其主要支流尼洋曲、帕隆藏布、金珠曲、锡约尔河。此外,还有在流到国境外汇入布拉马普特拉河的丹龙曲、西些尔河、希曼曲、西巴霞曲等河流。该地区的东北角还有怒江的支流康玉曲等(图 8.1)。南峰地区的河流全为外流河,并均属印度洋水系。按流域划分,可分为雅鲁藏布江流域、丹龙曲流域、西巴霞曲流域、在国外汇入布拉马普特拉河的其它河流域、怒江流域。其中属雅鲁藏布江流域的集水面积最大,占全地区总面积的 80.9%,属怒江流域的集水面积最小,仅占全地区总面积的 2.3%(表 8.1)。

表 8.1 南峰地区河系与主要河流的集水面积统计表

水系	流 域	河 名	集 水 面 积		
			(万平方公里)	占总计(%)	占全河(%)
印 度 洋 水 系	(I)雅鲁藏布江	尼洋曲*	0.44	6.8	25.1
		帕隆藏布*	1.83	28.5	63.9
		金珠曲	0.20	3.1	100
		锡约尔河	0.48	7.5	100
		其它	2.25	35.5	
		合计	5.20	80.9	
	(II)丹龙曲	丹龙曲*	0.48	7.5	42.6
	(III)西巴霞曲	西巴霞曲*	0.34	5.3	12.8
	(IV)在国外汇入布拉马普特拉河的其它河流域	西些尔河、希曼曲等	0.26	4.0	100
	(V)怒江	康玉曲*	0.15	2.3	87.5
	总 计		6.43	100	

\* 这些河流还流经南峰以外的西藏其它地区,其面积未计入。

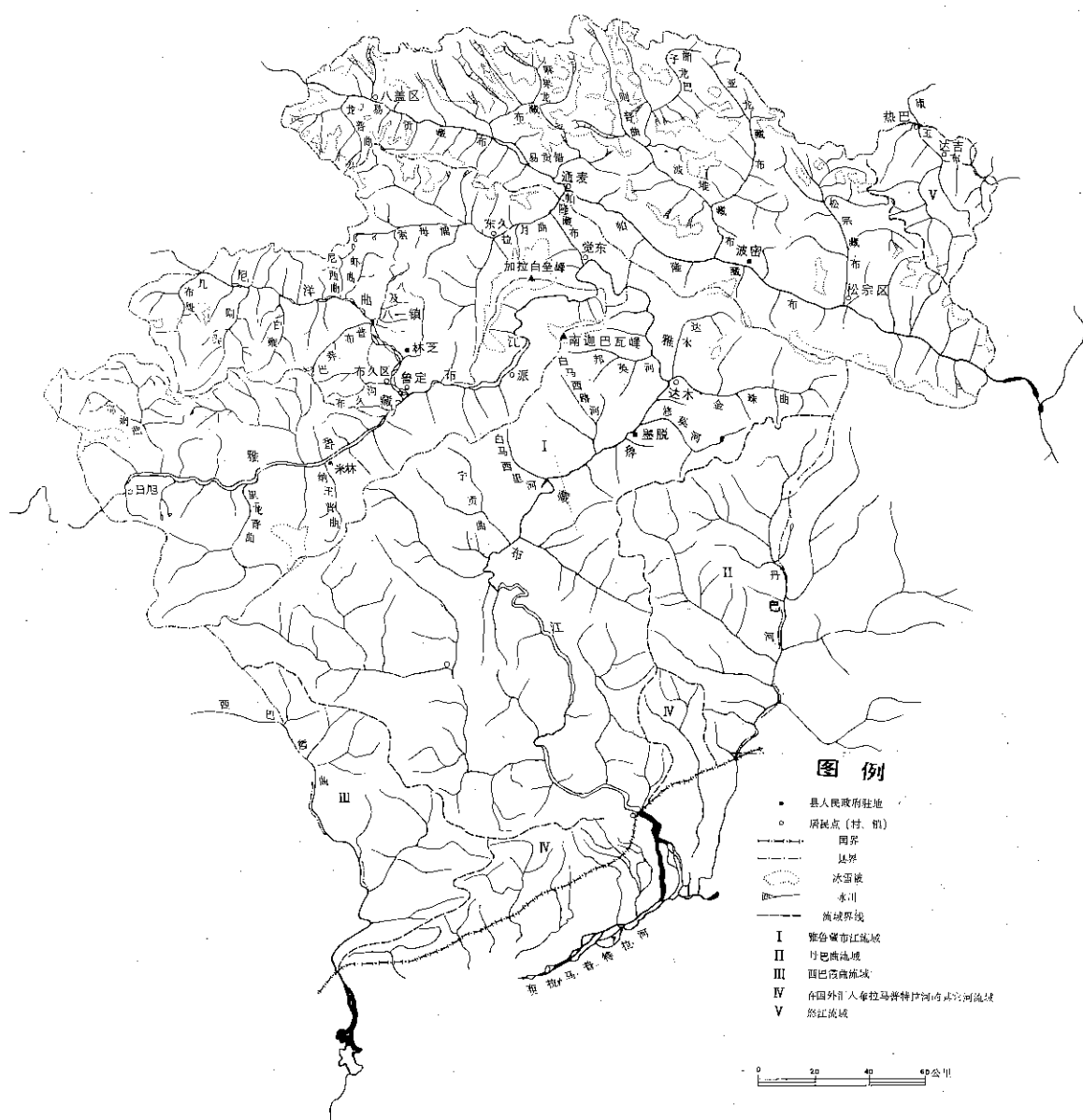


图 8.1 南迦巴瓦峰地区河流水系图

## 一、雅鲁藏布江流域

**雅鲁藏布江** 雅鲁藏布江发源于西藏自治区西南部，喜马拉雅山北麓的杰马央宗冰川附近，它大体由西向东流，流至米林县后逐渐转向北东，当支流帕隆藏布汇入之后急转向南，流经我国的巴昔卡附近进入邻国印度。该河流经印度时改称布拉马普特拉河。布拉马普特拉河在流经孟加拉国时又称为贾木纳河，于孟加拉国的戈阿隆多市附近与恒河相汇，最终注入印度洋。雅鲁藏布江流域位于  $28^{\circ}00' - 31^{\circ}16'N$  和  $82^{\circ}00' - 97^{\circ}07'E$  之间，全

流域总面积为 240 480 平方公里,河长 2 057 公里。流域东西向最大长度为 1 450 公里,南北向最大宽度为 290 公里,流域呈东西向的狭长形。地势总趋势是西高东低,东南部最低。河源海拔 5 590 米,流出国境处水面海拔约 155 米,流域平均海拔在 4 000 米以上,是世界上海拔最高的大河。雅鲁藏布江的长度居我国各河流中的第六位;流域面积居第五位;它的多年平均流量约 4 430 立方米/秒,仅次于长江、珠江,为全国各河流中的第三位;全流域水能蕴藏量达 1.1 亿千瓦,其中干流的水能蕴藏量约为 0.8 亿千瓦,只小于长江流域、长江干流。以流域或干流的水能蕴藏量统计,均居第二位。若以单位流域面积或单位河长的水能蕴藏量统计,均跃居我国各大河流的首位(关志华等,1980,1984)。

雅鲁藏布江干流,当流经朗县的该江支流金东曲汇入口下游约 6 公里后便流入到南峰地区。雅鲁藏布江流入该地区之后,河流的流向为东偏北,流经约 20 公里后便改为东西流向,自米林县里龙后又改为东偏北流向,到米林县派区附近又为北偏东流向,直至支流帕隆藏布汇入后急转南流。雅鲁藏布江围绕着海拔 7 782 米的南迦巴瓦峰,河道呈马蹄形的大拐弯。派区以上的雅鲁藏布江为中游河段(雅鲁藏布江由河源至仲巴县里孜为上游段,里孜至米林县的派区为中游段,派区至流出国境的巴昔卡附近为下游段),河谷除在日旭(日雪)附近较为狭窄外,其绝大多数河谷宽阔,谷底宽一般在 2 公里以上,在尼洋曲汇口一带,谷底宽可至 4 公里左右,水面宽可达 1 公里余。南峰地区内,雅鲁藏布江干流派区以上的河段长 182 公里,水面落差约 152 米,平均坡降为 0.84%,水流平缓,河道中多沙洲、浅滩和汊流。这段干流谷地风沙作用显著,沙丘的类型也较为复杂,有新月形沙丘、综合新月形沙丘、角状沙丘、刃脊状沙丘和山坡连续堆沙等。雅鲁藏布江流经派区之后,河谷很快变窄,进入到高山峡谷地区。下游河段谷底宽一般仅 200 余米,水面宽度多在 100 米左右,两岸山高坡陡,为“V”型峡谷,且在派区至金珠曲汇口一带,峡谷多呈“丫”形,谷坡上部为 40°左右,下部则在 60°—80°,甚至呈现直立的陡壁。从派区至该江流出国境处,雅鲁藏布江河道长 496 公里,水面海拔由 2 880 米急降到 155 米,落差达 2 725 米,平均坡降高达 5.49%,为该地区派区以上河段平均坡降的 6.5 倍余,是雅鲁藏布江全河平均坡降(2.64%)的 2.1 倍。其中派区—墨脱的 212 公里河段,落差达 2 190 米,平均坡降竟达 10.33%,在我国乃至世界上的大河中实属罕见。雅鲁藏布江下游段,山高谷深,峡谷雄伟险峻,河道迂迴曲折。从南峰峰顶到墨脱的雅鲁藏布江水面,水平直线距离仅 40 余公里,可两地垂直高差竟达 7 100 多米。因此,成为世界上切割最深的峡谷段,并且构成了一幅极其壮丽的景象。峰顶终年冰雪,白雪皑皑,河谷郁郁葱葱,森林密布,有从永久冰雪带到亚热带、热带的奇特景观。这独特的马蹄形大拐弯,峡谷幽深,险峻秀丽,奔腾的江水翻滚咆哮,水声惊天动地,从而形成了举世闻名的雅鲁藏布江大拐弯峡谷。南峰地区的雅鲁藏布江河段,长度为 678 公里,集水面积为 5.20 万平方公里,分别占雅鲁藏布江总长度的 33.0%、流域总面积的 21.6%;该地区内干流落差 2 877 米,占雅鲁藏布江干流总落差的 52.9%。该地区降水量大,冰川分布广泛,又位于雅鲁藏布江下游地区(部分处于中游地区等),因而河川径流资源与水能资源都极为丰富。

本地区雅鲁藏布江支流密集,其中尼洋曲、帕隆藏布、金珠曲、锡约尔河是主要的支流,此外还有那姆曲、里龙普曲、仰桑曲、宁贡曲、昔勒帕抵曲等。下面对几条主要支流进行简单介绍。

尼洋曲源于拉闸拉、俄拉等一系列山峰环抱的湖盆地带,河流大体由西偏北往东偏南

流,在林芝县鲁定附近汇入雅鲁藏布江。尼洋曲全长 286 公里,流域面积为 17 535 平方公里,多年平均流量约 584 立方米/秒,水量仅小于帕隆藏布,居各支流中的第二位。为此,该河属雅鲁藏布江的重要支流之一。尼洋曲全干流的落差 2 080 米,平均坡降 7.27‰。在南峰地区范围,尼洋曲处于中、下游段,在支流几布雄汇入口上游附近便开始流入到该地区。该地区的尼洋曲河道长度为 110 公里,占全河的 38.5%,集水面积为 4 400 平方公里,占全河的 25.1%。该河段的落差约 260 米,占全河总落差的 12.5%,平均坡降为 2.36‰,该河段的平均坡降不足全河平均坡降的 1/3,属全河最平缓段。该河段河谷较宽阔,谷底宽一般为 1—3 公里,为宽谷山地地貌类型。河流两岸阶地较为发育。在河口一带,河谷可宽达 8 公里,河谷宽阔。该地区的尼洋曲河段,河床摆动大,河汉交织,河流水流平缓,且多江心洲与浅滩。这种现象在八一镇以下尤为明显(关志华、陈传友等,1984)。

帕隆藏布源于西藏八宿县阿札贡拉冰川,河流先始向北流之后拐向西偏北流向,与西支易贡藏布在波密县通麦附近相汇,两河汇合后拐向南流,在林芝县觉东附近流入雅鲁藏布江。帕隆藏布全长 266 公里,流域面积 28 631 平方公里,多年平均流量达 989 立方米/秒,该河的水量居雅鲁藏布江各支流中的首位;流域面积仅小于拉萨河,居各支流中的第二位,是雅鲁藏布江的重要支流之一。帕隆藏布干流的总落差达 3 360 米,平均坡降为 12.6‰。帕隆藏布除上源约 56 公里的河段外,其余 210 公里河段全流经南迦巴瓦峰地区。该地区帕隆藏布的集水面积为 1.83 万平方公里,占帕隆藏布流域面积的 63.9%。在该地区,干流落差约 2 150 米,其平均坡降为 10.2‰,比全河平均坡降略小些。帕隆藏布基本上流经高山峡谷地带,仅忠坝至许瓦卡之间有些宽谷地段,如松宗、扎木等地。帕隆藏布中下游地区,山高坡陡,岩石主要为花岗岩以及板岩等,岩石节理发育、易风化,又加上降水较丰沛,且多冰川分布,致使泥石流、滑坡、干石流(泄溜)等现象频频出现。易贡藏布是帕隆藏布最主要的支流。此外,该地区还有波堆藏布、松宗藏布以及拉丹曲等支流汇入(关志华、陈传友等,1984)。

金珠曲源于墨脱县东部金珠拉附近,河流大致由东向西流,在墨脱县达木附近汇入雅鲁藏布江。该河流域全在南峰地区,河长约 74 公里,流域面积为 2 010 平方公里,落差约 3 200 米,平均坡降竟为 43.5‰。金珠曲流经高山峡谷地区,河流切割很深,两岸阶地很不发育。

锡约尔河源于墨脱县西南部扎日莎巴附近,河流大致由东偏南流,至永木河汇入口拐向南流,到库京一带又改为向东流,于潘金附近汇入到雅鲁藏布江。该河流域全部在南迦巴瓦峰地区,河长 197 公里,流域面积约 4 825 平方公里,落差约 3 810 余米,平均落差 19.3‰。锡约尔河的较大支流有德青姆河、永木河等,并分布在干流左侧。右岸支流全较短小。

该地区的雅鲁藏布江其它支流,河长、流域面积全较小。尽管这些河流全短小,但径流补给较充足,有些河又有冰雪融水补给,水量较丰富。此外,这些河一般还具有坡降大的特点,坡陡流急。

## 二、丹龙曲流域

丹龙曲发源于西藏墨脱县崩崩日的东部,上段称阿尊河。自河源起河流大体由北向南

流,当左岸支流因通河汇入后改为南偏西流向,于墨脱县尼杂木哈特附近流入邻国印度。丹龙曲流经印度的萨地亚西部,汇入到布拉马普特拉河的一级支流鲁希特河。丹龙曲在我国境内全长 150 公里,流域面积为 11 270 平方公里,总落差约 4 060 余米,全河平均坡降为 27.1‰。该河的主要支流有安扎河、德利河、唐工河、恩姆拉河、因通河等。丹龙曲自河源至马弄里附近全流经南峰地区,仅左岸的一些小支流上源不在该地区范围内。从马弄里附近至流出国境的丹龙曲这一河段,为墨脱县与昌都地区察隅县的界河段,其河流主流线的右侧属南峰地区的墨脱县所辖。为此,尽管丹龙曲干流全流经本地区,但该地区的集水面积只有 4 800 平方公里,占全流域面积的 42.6%。丹龙曲的左岸大支流德利河、唐工河、因通河等,全在南峰地区之外,这是使该地区丹龙曲的集水面积不足丹龙曲流域总面积一半的原因所在。丹龙曲流经高山峡谷地区,河流水量丰沛,且山高坡陡,水流湍急。

### 三、西巴霞曲流域

西巴霞曲源于西藏措美县的卡果附近,大体向东流,经日当、隆子县城、加玉、甲曲贡、诺德抵伯清。自伯清改为南偏东流,在勒林下游约 8 公里又拐向南偏西流向,最后又以南偏东向流入邻国印度。总体而言,其河流开始从西向东流之后拐为北向南流,这个特点与雅鲁藏布江干流、朋曲干流相似。西巴霞曲流入邻国后,改称为苏班西里河,在乔尔哈特以东汇入布拉马普特拉河。西巴霞曲在我国境内河长 406 公里,流域面积为 26 664 平方公里,落差 5 090 米,平均坡降为 12.5‰。该河的主要支流有洛曲、加波曲、扎日曲、坎拉曲等。其中,坎拉曲的河长、流域面积均居各支流中的首位。西巴霞曲只是在流经伯清之后流到南峰地区,并且为错那县与南峰地区墨脱县的界河。西巴霞曲从伯清至流出国境的这一河段,河流主流线左侧属墨脱县所辖,右侧属错那县所辖。在本地区,西巴霞曲的河段长约 118 公里,集水面积为 3 400 平方公里,仅分别占西巴霞曲全长与流域总面积的 29.1%、12.8%。在该地区,没有西巴霞曲的大支流,仅有小支流苏穆河等。西巴霞曲流出国境处的水面海拔仅有 110 米左右,成为该地区内海拔最低的地方。南峰地区的西巴霞曲河段,流经喜马拉雅山南翼,在高山峡谷地带中蜿蜒曲流(关志华、陈传友等,1984)。

### 四、在国外汇入布拉马普特拉河的其它河流域

该流域位于南迦巴瓦峰地区的最南部,在雅鲁藏布江最下游的左、右两侧。其左侧有西些尔河,右侧有希曼曲等。该流域的总面积仅有 2 600 余平方公里,只占南峰地区总面积的 4.0%。

西些尔河源于墨脱县埃瓦林的西北,河流大致由北向南流。西些尔河全长 53 公里,流域面积 600 余平方公里。希曼曲源于墨脱县巴沙以东,河流先向东流,至开金附近转向南流,河长 47 公里,流域面积约 700 平方公里。其它河流就更加短小。该流域的河流在流到邻国印度后,先后汇入到布拉马普特拉河。



## 五、怒江流域

该流域位于南峰地区的东北一角,流域面积也不大,仅1 540平方公里,只占该地区总面积的2.3%,是最小的一个流域。该流域内有康玉曲,它是怒江的二级支流。康玉曲源于松宗东北至大雪山的山麓,河流大致由南向北流,并有时拐向北偏东,又有时拐向北偏西。康玉曲全长约74公里,流域面积为1 760平方公里。在南峰地区,康玉曲的河段长66公里,集水面积为1 540平方公里,分别占康玉曲总长度的89.2%,流域总面积的87.5%。康玉曲下游约8公里河段在南峰地区之外,它汇入通错曲后,又流入怒江。

### 第二节 河川的径流形成与水资源

河川径流的形成与径流量的大小,是与流域的自然地理诸要素有关,尤其是与气候因素中的降水、蒸发、气温等关系更为直接和密切。关于南峰地区的降水、蒸发、气温等的时空分布特征,已在有关气候的章节中阐明了,这里不做更多的重复,仅提及到与径流有关的几个特点。

(1)南来的暖湿气流主要沿该地区雅鲁藏布江下游河谷上溯进入高原。为此形成该地区最南部降水量大,越向北部越小;从雅鲁藏布江最下游巴昔卡附近最大,向江两侧与向上游地区降水量呈递减趋势。例如巴昔卡附近的戴林,22年平均年降水量高达5 317毫米;巴昔卡35年平均降水量也达4 496毫米,为我国降水量最大的地区之一。向上游,多年平均年降水量在墨脱约为2 000余毫米,波密(扎木)一带约为800多毫米,林芝附近约为600多毫米。

(2)年降水量有明显的垂直分布特点。在同一地区,同一坡面,沿河谷向上,年降水量逐渐加大,往往在冰雪线或森林上限附近存在着一个大降水带。再向上,随着海拔不断升高,年降水量又有递减的趋势。

(3)降水量的年际间变化不大,而年内分配不均匀。年降水量的年内分配,虽然该地区与西藏其它地区相比稍均匀些,但月间变化仍然很大,多年平均连续最大3个月的降水量占全年降水量的55%左右,且多出现在6—8月份;而11—4月份半年的时期内,其降水量一般只占全年降水量的20%以下。

(4)水热同期,即降水多的时段,往往也是气温高的时期,冰雪融水量也大。

(5)蒸发量的分布特点,大体是雅鲁藏布江最下游地区小,向上游逐渐增大。雅鲁藏布江最下游以及墨脱一带,年均水面蒸发量不足1 000毫米,而北部林芝、波密一带则在1 000毫米左右。

还应当指出,南峰地区的现代冰川发育,冰川、雪被覆盖面积大。在该地区的北部念青唐古拉山一带,以及加拉白垒峰、南迦巴瓦峰一带,现代冰川广泛分布,属西藏,乃至我国现代冰川最集中分布的地区之一。

## 一、径流的补给

研究河川径流的补给,是进行河流水文情势分析和合理利用水资源的基础;而分析径流的补给,又是与水文观测工作分不开的。南峰地区,水文方面的观测站只是西藏和平解放之后才建立起来的。目前,水文观测站也少,虽前后建立几处观测站,但现正进行水文观测的观测站仅有雅鲁藏布江干流的鲁霞水文站、尼洋曲干流的久巴水文站两处。此外,中国科学院青藏高原综合科学考察队、中国科学院南迦巴瓦峰登山科学考察队对该地区的水文情态进行了实地调查和短期观测工作。

依据径流分割的方法,对该地区的雅鲁藏布江鲁霞水文站、尼洋曲久巴水文站、易贡藏布贡德水文站及麻果龙藏布嘎布通水文站的典型平水年或平水年(因实测水文资料年限太短,参照邻近水文站资料与气象资料,只能选取为平水年)进行径流补给分析(表 8.2)。从表 8.2 可以看出,久巴、贡德、嘎布通三个水文站的径流补给中,融水补给量全大于年径流量的 40%,属融水补给为主的河流;鲁霞站各补给中,融水补给量所占比重最大,但不足 40%,属融水、雨水混合补给的类型。从鲁霞站上游的羊村、奴各沙水文站资料分析,这两站的雨水补给量分别占年径流量的 47%,44%,均属雨水补给为主的类型。当属融水补给为主的尼洋曲汇入后,使雨水补给量从雅鲁藏布江羊村站的 47%降到鲁霞站的 32%,反而使其融水补给量从羊村站的 20%增加到 38%。从雅鲁藏布江羊村站到鲁霞站区间,除有大支流尼洋曲汇入外,还有许多属融水补给为主的小支流汇入。其它河流缺乏长期实测径流资料,但从实地考察以及降水资料等分析,现代冰川与雪被多分布在帕隆藏布流域的北部;林芝、波密等地冬、春时节降水要比西藏其它地区较多,这些地区高海拔地带则多固态降水,在林芝、波密一带的 4 000 米海拔处,年降雪量可占年降水量的 22%以上,海拔 4 500 米处,年降雪量可占年降水量的 45%左右,这样势必使帕隆藏布属融水补给类型的河流。从帕隆藏布的一、二级支流上的贡德、嘎布通水文站资料分析,其融水补给径流量分别占年径流的 53%、52%,也可分析出帕隆藏布出口处的径流补给属融水补给为主的类型。从雅鲁藏布江干流分析,该江上、中游主要属雨水补给为主的类型;待尼洋曲汇入后至帕隆藏布汇入口,为融水、降雨混合补给类型;当汇入的帕隆藏布年径流量约占汇入口上游处的水量一半,又属融水补给为主的支流汇入,从而造成雅鲁藏布江在帕隆藏布汇入后的一段,其径流补给为融水补给为主的类型。再往下游,随着地势的急速下降,降雨量又急剧增大,现代冰川与雪被反而逐渐减少乃至完全消失,导致雅鲁藏布江干流的径流补给又改为雨水补给为主的类型。总之,南峰地区,北部的河流如尼洋曲、帕隆藏布

表 8.2 南峰地区河流的年径流补给分析表

河流	水文站	典型平水 年或平水年	各类补给占年径流量(%)		
			雨水	融水	地下水
雅鲁藏布江	鲁霞	1961 年	32	38	30
尼洋曲	久巴	1981 年	29	48	23
易贡藏布	贡德	1968 年	25	53	22
麻果龙藏布	嘎布通	1965 年	25	52	23

以及康玉曲等均属融水补给为主类型,而南部地区的河流,如仰桑曲、锡约尔河以及丹龙曲和西巴霞曲的下游段,均属雨水补给为主的类型。

## 二、径流深分布

如前所述,受降水、蒸发、气温等因素以及雪被、现代冰川的影响,该地区径流深分布的总趋势是南部大,北部小,且从雅鲁藏布江干流的出国境处向上游递减,从干流向左、右两侧递减。从南峰地区内已建(曾建)的四个水文站资料分析,测站以上集水面积内的平均年径流深以麻果龙藏布的嘎布通站为最大,干流鲁霞站为最小(表 8.3)。有些河如雅鲁藏布江干流和尼洋曲,一条河上不只建立了一个水文测站,这样还可以计算出水文站区间的平均年径流深值。从表 8.3 中则可以看出,雅鲁藏布江干流的羊村站至鲁霞站区间,集水面积为 36 652 平方公里,区间平均年径流深值为 827 毫米[即年径流模数为 26.2 升/(秒·平方公里)];尼洋曲工布江达站至久巴站区间,集水面积为 9 183 平方公里,其区间平均年径流深值为 1 124 毫米[即年径流模数为 35.6 升/(秒·平方公里)]。从表 8.3 中还可以看出,南峰地区是西藏年径流深值最大的地区。该地区的年径流深平均约为 1 680 余毫米。

表 8.3 南峰地区与西藏其它地区各水文站径流深值统计表

河 流	水文站或 水文站区间	集水面积 (平方公里)	统计年限(年)		多年平均流量 (立方米/秒)	多年平均径流深 (毫米)	多年平均径流模数 [升/(秒·平方公里)]
			年 份	年数			
雅鲁藏布江	鲁霞	189 843	1956—1982	27 <sup>1)</sup>	1 880	313	9.92
尼洋曲	久巴	15 600	1979—1982	4	460	930	29.5
易贡藏布	贡德	10 917	1967—1969	3	377	1 090	34.6
麻果龙藏布	嘎布通	1 653	1965—1966	2	136	2 587	82.3
雅鲁藏布江	奴各沙	106 378	1956—1982	27	519	154	4.89
	奴各沙—羊村	46 813	1956—1982	27 <sup>2)</sup>	403	271	8.60
雅鲁藏布江	羊村	153 191	1956—1982	27 <sup>2)</sup>	922	190	6.02
	羊村—鲁霞	36 652	1956—1982	27 <sup>2)</sup>	958	827	26.2
雅鲁藏布江	鲁霞	189 843	1956—1982	27 <sup>1)</sup>	1 880	313	9.92
尼洋曲	工布江达	6 417	1979—1982	4	133	651	20.7
	工布江达—久巴	9 183	1979—1982	4	327	1 124	35.6
尼洋曲	久巴	15 600	1979—1982	4	460	930	29.5
年楚河	江孜	6 212	1964—1965, 1967—1968, 1972—1982	15	21.6	110	3.48
拉萨河	拉萨	26 225	1956—1965, 1967—1968, 1973—1982	22	287	345	10.9
沃卡河	沃卡	1 434	1972, 1974—1977	5	18.3	403	12.8

河 流	水文站或 水文站区间	集水面积 (平方公里)	统计年限(年)		多年平均流量 (立方米/秒)	多年平均径流深 (毫米)	多年平均径流模数 [升/(秒·平方公里)]
			年 份	年数			
森格藏布	狮泉河	15 200	1966—1968	3	9.36	19.5	0.62
澜沧江	昌都	48 448	1959—1975	17	487	317	10.1

注:1)统计资料时,除实测资料外,仅插补延长了3年资料(包括实测不完整年的插补)。

2)统计资料时,除实测资料外,仅插补延长了4年资料(包括实测不完整年的插补)。

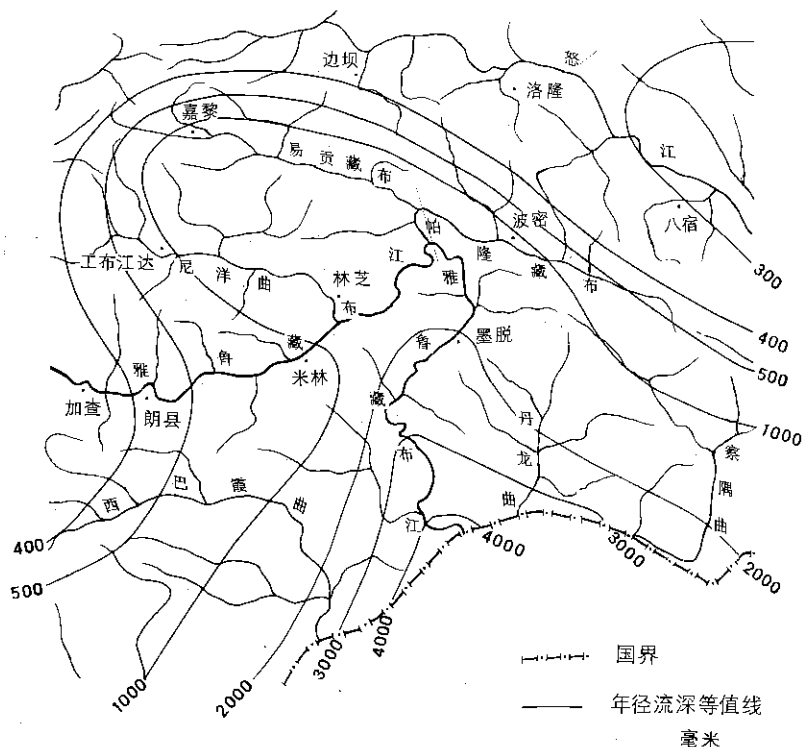


图 8.2 南迦巴瓦峰及毗邻地区年径流深等值线图

由南峰以及毗邻地区的水文、气象等资料,编绘了该地区的年径流深等值线图(图 8.2)。从图中不难看出,该地区的年径流深值分布是不均匀的,南部最高可达 4 000 毫米,为我国年径流深最大的地区之一;北部在 500—1 000 毫米;东北部康玉曲一带最小,约 400 毫米,最高与最低可相差十倍余。

### 三、水资源估算

根据已有水文站的实测资料和年径流深等值线,可以对南峰地区的河川年径流量进行估算,表 8.4 中表明,全地区的年产径流量约 1 082.3 亿立方米,即年平均流量约 3 432 立方米/秒,此外,雅鲁藏布江干流、尼洋曲、丹龙曲、西巴霞曲还从南峰以外的地区汇流注入到该地区,其总的过境水量约每年 686.4 亿立方米(丹龙曲、西巴霞曲的最下游河段,均属南峰地区与西藏其它地区的界河段,因此,这两河属该地区的过境水量及流出国境处的

水量全暂以全河的一半来计算)。这样,从南迦巴瓦峰地区流出的年径流总量约为1 768.7亿立方米,即各河川年平均流量总计为5 609 立方米/秒。在南峰地区各流域中,以雅鲁藏布江流域在该地区的产流量、区外流入量、流出的总水量都居首位;怒江流域由于在该地区的集水面积最小,径流深值也最低,且无区外流入的水量,致使这一流域的区内产流量、区外流入量、流出的总水量均处各流域之末位。南峰地区的总面积,仅占西藏外流区域总面积(约58.88万平方公里)的10.9%,然而该地区的多年平均年产径流量约1 082.3亿立方米,竟占西藏外流区域多年平均年产径流量(3 289.2亿立方米)的32.9%。当考虑到过境水量时,南峰地区年平均流出的水量约1 768.7亿立方米,占西藏外流区域年平均流出水量(约3 659亿立方米)的48.3%。由此可见,南峰地区的河川径流十分丰沛。同时,由于该地区的河流具有河道坡降大、水量丰沛等特点,使得水能资源尤为丰富,特别是雅鲁藏布下游河段。雅鲁藏布江从流入该地区起(即日旭上游约13公里)至流出国境处止(巴昔卡附近),该河干流河段的水能蕴藏量竟达7 089万千瓦,在只占雅鲁藏布江干流河长约1/3的河段里,而水能蕴藏量竟占了全干流的89.6%。南峰地区范围内,仅雅鲁藏布江干、支流的水能蕴藏量就达9 000多万千瓦,当包括西巴霞曲、丹龙曲在内,有1亿千瓦,占全西藏自治区水能蕴藏量的一半,占全国的1/7以上。由此可见,该地区的水能资源极其丰富。

表 8.4 南峰地区各流域年径流量估算表

流 域	地区内产流			地区外汇入			总 计		
	平均年径流量 (亿立方米)	年平均流量 (立方米/秒)	占合计 (%)	平均年径流量 (亿立方米)	年平均流量 (立方米/秒)	占合计 (%)	平均年径流量 (亿立方米)	年平均流量 (立方米/秒)	占合计 (%)
雅鲁藏布江	789.7	2 504	73.0	605.7	1 921	88.2	1 395.4	4 425	78.9
丹龙曲	110.4	350	10.2	19.2	61	2.8	129.6	411	7.3
西巴霞曲	85.1	270	7.9	61.5	195	9.0	146.6	465	8.3
在国外汇入布拉马普特拉河的其它河	91.1	289	8.4	—	—	0	91.1	289	5.2
怒江	6.0	19	0.5	—	—	0	6.0	19	0.3
合计	1 082.3	3 432	100	686.4	2 177	100	1 768.7	5 609	100

### 第三节 径流的年际变化与年内分配

#### 一、径流的年际变化

南峰地区内水文测站少,有长系列观测资料的仅有雅鲁藏布江干流鲁霞水文站。因此,除鲁霞站外,只得借助于该地区的气象资料以及该地区以外的临近测站的资料加以分析推论。鲁霞水文站,据1956—1982年间27年资料统计(其中实测完整年资料24年,插补缺测月资料2年,插补缺测年资料1年),历年中年均最大流量为2 870 立方米/秒(1962年),年均最小流量为1 430 立方米/秒(1982年),最大与最小值之比为2.01,年变

差系数  $C_v$  值为 0.18。上述数值在我国各河流中,均属低值,为年际变化小的河流。西藏的其它测站,年变差系数一般也在 0.20—0.30 之间,拉萨河及拉萨河以东地区一般小于 0.25;拉萨河以西地区则一般大于 0.25。历年年均流量的最大值与最小值之比,一般在 2.5 以下。该地区河流的年变差系数估计在 0.20 左右。

南峰地区河川径流的年际变化小,是与该地区的降水特点以及河川的径流补给来源分不开的。本地区降水的年际变化小,其年变差系数一般在 0.2 左右,最大与最小年降水量之比小于 2;北部河流又有丰富的冰雪融水补给,在降水量少的年份,多晴朗无云天气,气温也略有增高,冰雪融水量加大,致使河川径流量趋于稳定。此外,该地区的河流,其地下水补给量也往往占年径流总量的 20% 以上,而地下水补给量的年际间变化是较为稳定,这也是造成该地区河川径流年际变化小的原因之一。

从图 8.3 可以看出,雅鲁藏布江鲁霞站出现了连续几年的丰水年或连续几年的枯水

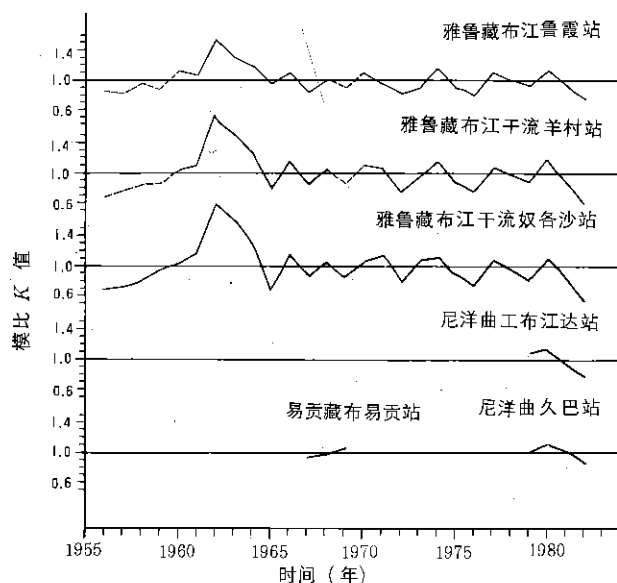


图 8.3 南迦巴瓦峰地区主要河流及雅鲁藏布江干流年平均流量与多年平均流量模比  $k$  值过程线图

年。用年平均流量的模比系数  $k[k = \bar{Q}_{\text{年}} / \bar{Q}_{\text{多年}} (\bar{Q}_{\text{年}} \text{ 为年平均流量, } \bar{Q}_{\text{多年}} \text{ 为多年平均流量})]$ , 做为划分年径流的多寡,  $k > 1.3$  为最丰水年,  $1.3 \geq k > 1.1$  为丰水年,  $1.1 \geq k > 1.0$  为偏丰水年;  $k < 0.7$  为最枯水年,  $0.7 \leq k < 0.9$  为枯水年,  $0.9 \leq k < 1.0$  为偏枯水年。鲁霞站 1960—1964 年为连续 5 年的丰水; 1956—1959 年、1971—1973 年、1975—1976 为连续 2 至 4 年的枯水年份。此外, 在鲁霞站 1956—1982 的 27 年资料统计中, 出现最丰水年为 2 年, 丰水年为 5 年, 偏丰水年为 4 年; 出现偏枯水年为 8 年, 枯水年为 8 年, 没出现最枯水年。1962 年的年平均流量最大, 为 2870 立方米/秒, 其  $k$  值为 1.53; 1982 年的年平均流量最小, 为 1430 立方米/秒, 其  $k$  值为 0.76。从图 8.3 还可以看出, 雅鲁藏布江干流的下游测站处的年径流变化要比上游小, 其年径流模比  $k$  值变幅小。这是与流域面积的增大, 流域呈狭长形态, 水汽来源又主要由下游河谷上溯等因素有关。

## 二、径流的年内分配

本地区的河流径流的年际变化不大,然而径流的年内分配是不均匀的。最大月径流多在7月份出现,其月径流量一般占全年的23%—26%;最小月径流多出现在2月份,其月径流量一般只占全年的1%—2%(表8.5、图8.4)。最大月径流量与最小月径流量之比,一般在13—26。单以雅鲁藏布江干流鲁霞站资料分析,该站的最大月径流量出现在8月份(表8.5)。而当选用干流鲁霞站与羊村站的23年同期实测资料统计时,便可分析出雅鲁藏布江羊村至鲁霞水文站区间的月径流变化过程,该区间的最大月径流量则出现在7月份,月径流量占年径流量的20.4%(表8.6)。南峰地区河流的最大月径流量多出现在7月份,这是与该时期的降水量大、气温高有关系。对于融水补给为主的河流,气温的高低是影响融水量多少的关键因素之一。林芝、波密等地,在全年各月的月平均气温中,7月份的月平均温为最大值。

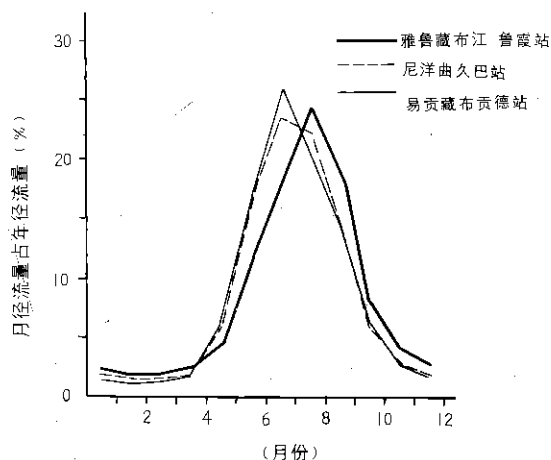


图 8.4 径流月分配图

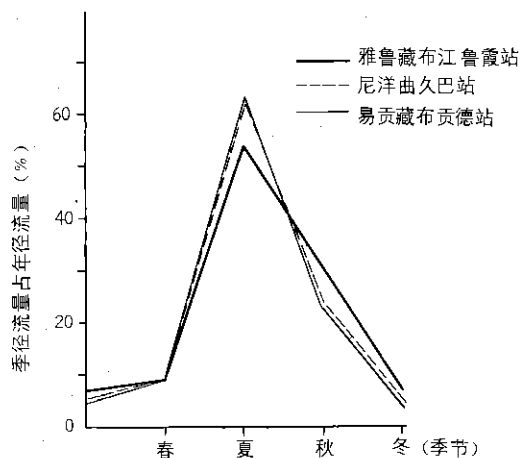


图 8.5 径流季节分配图

按季节来分析该地区的径流变化时,其6至8月夏季的径流量最大,一般占全年的60%以上;冬季最小,只占全年的5%左右(表8.7、图8.5)。连续最大3个月的径流量多在6—8月份出现,其径流量一般占全年的60%以上。连续最大4个月的径流量多在6—9月份出现,其径流量一般占全年的75%以上。南峰地区的河流与西藏其它地区的河流相比,径流的季节分配上,夏季径流占全年的比重增大,而秋、冬季径流占全年的比值则有所减小。造成这一现象的主要原因是与降水的年内分配与河川径流的不同组成有关。该地区降水较为集中,且多在夏季,最大降

水月的出现也比西藏其他地区早一个月左右,冬、春季节很少降水。这一地区的河流,冰雪融水补给量占年径流量的比值大,而地下水补给则较小。本地区北部的河流,其类型多属融水补给为主的河流。为此,在夏季,该地区降水量大,雨热同期,冰雪融水补给量也急剧加大;而在冬季,降水与融水补给量全大大减少,地下水补给量占年径流的比重又小,导致了该地区河川径流年内变化大,年内分配更趋于不均匀。

表 8.5 南峰地区及西藏其它地区主要河流的径流逐月分配表(实测)

河流	水文站	集水面积 (平方公里)	资料统计年限*		月径流量占年径流量(%)												多年平均流量 (立方米/秒)	
			年份	年数	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		全年
雅鲁藏布江	鲁霞	189 843	1956—1982	24	2.3	1.8	2.0	2.4	4.6	11.5	18.2	24.5	17.7	8.1	4.1	2.8	100	1 900
支流:																		
尼洋曲	工布江达	6 417	1979—1982	4	2.1	1.7	1.8	2.6	5.7	15.8	23.5	22.6	13.1	5.7	3.1	2.3	100	133
尼洋曲	久巴	15 600	1979—1982	4	1.9	1.5	1.6	2.0	5.6	16.3	23.6	22.4	14.3	6.0	2.9	2.0	100	460
易贡藏布	贡德	10 917	1967—1969	3	1.5	1.1	1.3	1.9	5.9	16.6	26.1	20.3	14.3	6.3	2.8	1.9	100	377
麻果龙藏布	嘎布通	1 653	1965	1	1.4	1.0	1.1	1.8	5.8	17.5	25.6	21.7	15.3	4.9	2.3	1.6	100	131
雅鲁藏布江	羊村	153 191	1957—1982	23	2.5	2.0	2.2	2.3	2.9	6.6	16.2	29.8	19.7	8.2	4.5	3.1	100	951
雅鲁藏布江	奴各沙	106 378	1956—1982	27	2.7	2.3	2.8	2.8	3.0	5.0	14.7	31.4	19.6	7.8	4.6	3.3	100	519
支流:																		
年楚河	江孜	6 212	1964—1982	15	3.8	3.4	3.5	1.7	1.6	5.7	19.0	27.4	17.6	8.0	4.2	4.1	100	21.6
拉萨河	拉萨	26 225	1956—1982	22	1.6	1.3	1.4	1.7	3.6	11.6	20.5	27.5	17.4	7.5	3.6	2.3	100	90.6
沃卡河	沃卡	1 434	1972—1977	5	3.3	2.9	3.1	3.0	4.7	9.2	19.0	18.7	17.0	9.1	5.6	4.4	100	18.3
森格藏布	狮泉河	15 200	1966—1968	3	5.2	4.5	6.0	7.6	6.2	5.0	7.5	31.8	10.4	6.9	4.5	4.4	100	9.36

\* 有些测站在所列统计资料的年限间有缺测年。



表 8.6 雅鲁藏布江干流鲁霞、羊村站及区间同期实测多年平均月径流量统计表

水文站及 其区间	集水面积 (平方公里)	项 目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
羊 村	153 191	月均流量(立方米/秒)	283	255	251	261	320	762	1 810	3 340	2 280	915	519	353	951
		月径流占全年(%)	2.5	2.0	2.2	2.3	2.9	6.6	16.2	29.8	19.7	8.2	4.5	3.1	100
鲁 霞	189 843	月均流量(立方米/秒)	507	449	441	542	1 030	2 690	4 130	5 580	4 090	1 810	951	641	1 910
		月径流占全年(%)	2.2	1.8	1.9	2.3	4.6	11.6	18.3	24.8	17.6	8.0	4.1	2.8	100
羊村—鲁霞	36 652	月均流量(立方米/秒)	224	194	190	281	710	1 930	2 320	2 240	1 810	895	432	288	964
		月径流占全年(%)	2.0	1.5	1.7	2.4	6.3	16.5	20.4	19.7	15.4	7.9	3.7	2.5	100

\* 1957年、1960—1968年、1970—1982年23年统计。

表 8.7 南峰地区与西藏其它地区河流径流量的季节分配特征值对照表(实测)

河 流	水文站	集水面积 (平方公里)	资料统计年限*(年)		季径流量占年径流量(%)				连续二个月最大径流量		最大月径流量		最小月径流量		最大与最小月 径流量之比
			年份	年数	春	夏	秋	冬	月份	占全年(%)	月份	占全年(%)	月份	占全年(%)	
雅鲁藏布江	鲁霞	189 843	1956—1982	24	9.0	54.2	29.9	6.9	7—9	60.4	8	24.5	2	1.8	13.6
尼洋曲	工布江达	6 417	1979—1982	4	10.1	61.9	21.9	6.1	6—8	61.9	7	23.5	2	1.7	13.8
尼洋曲	久巴	15 600	1979—1982	4	9.2	62.2	23.2	5.4	6—8	62.2	7	23.6	2	1.5	15.7
易贡藏布	贡德	10 917	1967—1969	3	9.1	63.0	23.4	4.5	6—8	63.0	7	26.1	2	1.1	23.7
麻朵龙藏布	嘎布通	1 653	1965	1	8.7	64.8	22.5	4.0	6—8	64.8	7	25.6	2	1.0	25.6
雅鲁藏布江	羊村	153 191	1957—1982	23	7.4	52.6	32.4	7.6	7—9	65.7	8	29.8	2	2.0	14.9
雅鲁藏布江	奴各沙	106 378	1956—1982	27	8.6	51.1	32.0	8.3	7—9	65.7	8	31.4	2	2.3	13.7
年楚河	江孜	6 212	1964—1982	15	6.8	52.1	29.8	11.3	7—9	64.0	8	27.4	5	1.6	17.1
拉萨河	拉萨	26 225	1956—1982	22	6.7	59.6	28.5	5.2	7—9	65.4	8	27.5	2	1.3	21.2
沃卡河	沃卡	1 434	1972—1977	5	10.8	46.9	31.7	10.6	7—9	54.7	7	19.0	2	2.9	6.55
森格藏布	狮泉河	15 200	1966—1968	3	19.8	44.3	21.8	14.1	7—9	49.7	8	31.8	12	4.4	7.23

\* 有些测站在所列统计资料的年份间有缺测年。

## 第四节 洪水与枯水

### 一、洪水

南峰地区内,目前只有雅鲁藏布江干流鲁霞一个水文站有长系列的洪水观测资料,其它几个水文站的观测系列很短,这对洪水的变化特性难以做出详尽分析。现只能在已有资料的基础上,并参考西藏其它地区的洪水资料做如下的粗略分析。

该地区河流的洪水一般有以下几个特点。

(1)洪峰流量大。该地区不少河流的流域面积大,有的在1万平方公里以上。雅鲁藏布江则超过20万平方公里;降水丰富,且较为集中,全年中60%,70%以上的降水量是集中在6—9月份;冰雪融水补给量大,且年内降水量集中的时段也是冰雪融水补给量大的时段。这些是形成该地区江河洪峰流量大的主要原因。例如,雅鲁藏布江干流鲁霞水文站,集水面积为189 843平方公里,1955—1982年间27年实测年最大洪峰流量统计,历年最大值竟达12 700立方米/秒,多年平均值为17 950立方米/秒。又如尼洋曲久巴水文站,集水面积15 600平方公里,1978—1982年5年实测资料表明,历年最大值为2 710立方米/秒,多年平均值为2 340立方米/秒(表8.8)。该地区多年平均最大洪峰流量时的径流模数,一般在100—300升/(秒·平方公里)。无论是年最大洪峰流量值,还是年最大洪峰流量时的产流模数,均属西藏各地的高值区。

表 8.8 南峰地区主要河流年最大洪峰流量特征值统计表

河流	水文站	资料年限 (年)	年数 (年)	历年最大值		历年最小值		多年平均 (立方米/秒)	历年最大值 与最小值 之比	集水面积 (平方公里)
				流量(立 方米/秒)	时间(年, 月·日)	流量(立 方米/秒)	时间(年, 月·日)			
雅鲁藏布江	鲁霞	1955—1982*	27	12 700	1962.8.31	4 710	1967.7.22	7 950	2.70	189 843
尼洋曲	久巴	1978—1982	5	2 710	1982.7.28	1 970	1981.7.14	2 340	1.38	15 600
易贡藏布	贡德	1976—1979	3	1 780	1969.7.7	1 460	1968.7.27	1 640	1.22	10 917
麻里龙藏布	嘎布通	1965	1	520	1965.7.22					1 653

\* 缺1969年资料。

(2)年最大洪峰流量出现的时间较为一致,且多在7月、8月份。正如前所述,这是与该地区降水的年内分配、气温的年内变化有关。

(3)洪峰流量过程线较为平缓、历时长。洪峰流量过程线是与降水的强度、降水在流域内的分布、流域的形态、冰雪的分布、气温的变化诸因素有关,与河川径流的补给类型关系也十分密切。由于该地区河流的径流补给中,融水补给占一定比量(有些河则占主要地位),且流域面积大,流域多呈狭长形态等,所以洪峰流量过程线较为平缓、历时长。但各河的过程线也有不少差异。雅鲁藏布江干流鲁霞站一带,径流补给类型属融水、雨水混合补给类型,雨水补给仍占较大的比重,受降水影响,洪峰多呈明显的双峰,一般在7月、8月份各出现一次高峰,且峰、谷相差较大(图8.6)。融水补给类型的易贡藏布、尼洋曲,其融水补给比重增大,降水补给比重减少,致使洪峰流量过程线不出现大的尖峰,而呈齿状的小峰变化,且洪汛历时增长,春汛也较为明显(图8.7、图8.8)。易贡藏布贡德站处的集水

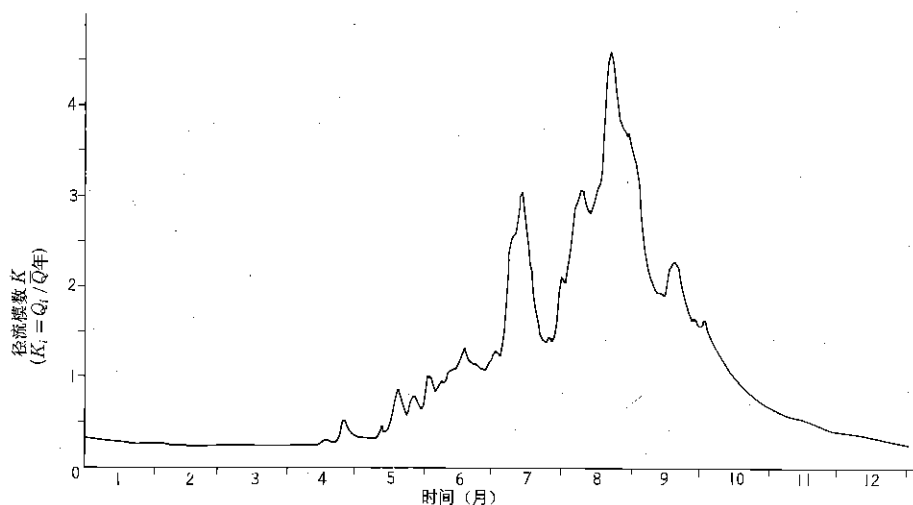


图 8.6 雅鲁藏布江鲁霞站相对流量过程线图  
(典型平水年, 1961 年)

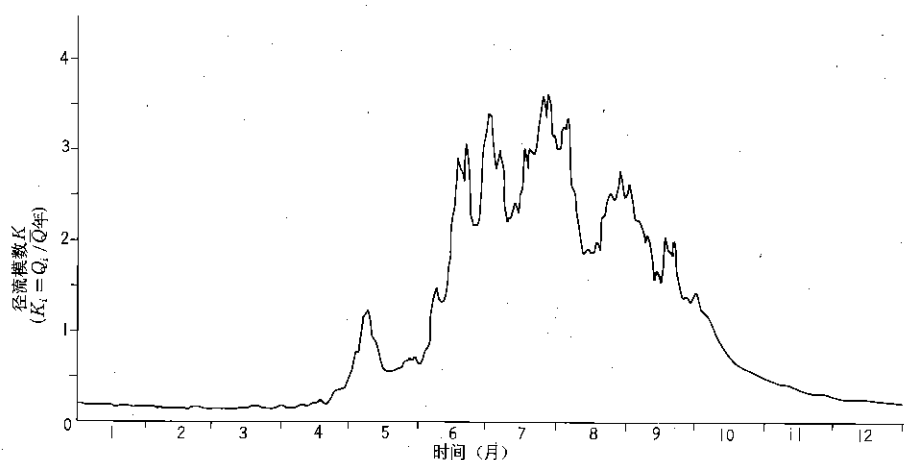


图 8.7 雅鲁藏布江支流贡藏布贡德站相对流量过程线图  
(平水年, 1968 年)

面积比尼洋曲久巴站小, 且前者的河川径流组成中, 融水补给所占比重比后者大。为此, 贡德站的洪峰流量过程线更具有齿状大小峰的特点, 春汛也更为明显。

(4) 年最大洪峰流量的年际间变化小。该地区年最大洪峰流量的年变差系数  $C_v$  值在 0.25 以下, 其年最大洪峰流量的历年最大值与最小值之比一般在 3 以下, 属西藏洪峰流量年际变化最小的地区, 也是我国洪峰流量变化最小的地区之一。形成这一特点的主要原因是该地降水量年际变化小, 特别是汛期的雨量年际变化小; 河川径流组成中, 融水、地下水补给量占较大比重。

除一般洪水外, 在南峰地区还有由于泥石流堵江后溃“坝”、山体崩塌堵江后溃“坝”造成的特殊洪水。南峰地区有降水丰沛, 融水量也大; 河谷两岸山高坡陡, 岭谷高差悬殊, 并有大量固体松散物质; 河流纵坡降大等特点。为此, 该地区的泥石流活动频繁, 其规模大, 是我国泥石流最发育、最活跃的地区之一。据实地调查, 例如 1968 年, 在帕隆藏布注入雅

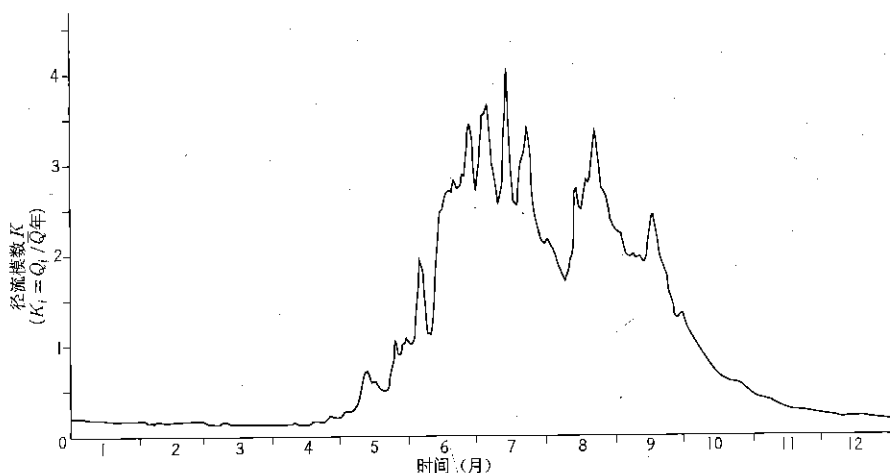


图 8.8 雅鲁藏布江支流尼洋曲久巴站相对流量过程线图  
(平水年, 1981 年)

鲁藏布江的汇入口下游格嘎至扎曲之间, 干流右岸的则隆弄暴发了大规模泥石流, 并造成了雅鲁藏布江干流被堵塞, 断流达 10 小时左右; 1972 年藏历 6 月初, 在雅鲁藏布江下游加拉莎附近的左岸中弄也暴发了大规模泥石流, 使干流断流; 1973 年 5 月, 在雅鲁藏布江下游亚让村附近江左岸的加嘎岗弄暴发了大规模泥石流, 使雅鲁藏布江干流断流……当临近江河一侧暴发大规模泥石流时, 往往形成一个拦河的天然“坝”体, 造成江河断流。该“坝”极易被冲毁, 并由溃“坝”形成特殊洪水, 使下游河水流量骤然加大。这种特殊洪水的洪峰流量有的也是十分大。如 1973 年加嘎岗弄暴发的一次泥石流, 堵江(堵塞雅鲁藏布江干流)后溃“坝”而形成的特殊洪水, 其最大洪峰流量竟超过了 3 万立方米/秒, 为该处历年最大洪水。

雅鲁藏布江下游地区多地震, 且强震又多, 震级高。1950 年 8 月 15 日该地区就发生了一次 8.5 级的墨脱-察隅大地震。这一地区河谷狭窄, 江两岸山高坡陡, 构造发育, 岩石很不完整, 在强大的地震之时, 在雅鲁藏布江下游加拉莎附近中弄一带, 发生大规模的山体崩塌, 并造成雅鲁藏布江断流。当山体崩塌堵江后再溃“坝”时, 汹涌的洪水直泄下游, 冲毁了中弄附近的一座溜索桥。在雅鲁藏布江下游加嘎岗弄等地, 也先后发生了猛烈的山崩, 并造成堵江溃“坝”后的特殊洪水。这次洪水的规模超过了该地 1972 年由于泥石流堵江后溃“坝”造成的那一次特殊洪水规模。

为此, 本地区除了要重视江河的一般洪水之外, 还要对由泥石流、山体崩塌堵江溃“坝”后而形成的特殊洪水, 也应高度重视。

## 二、枯 水

南峰地区冬、春季节降水少; 这一时期气温低, 冰雪融水量也大大减少; 河川径流组成中, 地下水补给量所占比重也比西藏其它地区的河流要小。为此, 该地区河流在冬、春季节

水量少,占全年径流量的比重低。11—4月份河水补给量少,为该地区河川径流最枯的时段。其径流量一般只占全年的10%—14%,径流补给来源主要靠地下水。最小月径流量多出现在2月,其水量只占全年的1.0%—1.8%,年最枯流量多在3月份出现。

南峰地区的枯水流量具有以下几个特点。一是最枯流量的年际变化小,枯水流量较为稳定。年最枯流量在历年变化中,其最大值与最小值之比一般在1—2之间(表8.9),年最枯流量的年变差系数 $C_v$ 值一般不足0.2,鲁霞站的 $C_v$ 值仅为0.1。这一特点在与西藏,乃至我国其它地区的河流相比,均为突出的,是属我国河川枯水径流最稳定的地区之一。这个特点是与该地区的枯水径流组成,以及人类活动较小等有关。其二,该地区的河流,年最枯流量尽管比年均流量小得多,但由于汇水面积大,又有较丰富的地下水补给河流,致使河川年最枯流量还是较大的。例如,雅鲁藏布江鲁霞站,1956—1982年间有24年实测的年最枯流量统计,历年中最枯流量仍有364立方米/秒,24年的平均年最枯流量达419立方米/秒,可见其枯水流量仍相当可观。尼洋曲久巴站,集水面约1.56万平方公里,4年观测中最枯流量仍大于50立方米/秒,平均为80.4立方米/秒,其年最枯流量也相当大(表8.9)。

表 8.9 南峰地区主要河历年最枯流量特征统计表

河流	水文站	集水面积 (平方公里)	资料年限 (年)	年数 (年)	历年最小值		历年最大值		多年平均 (立方米/秒)	历年最大 值与最小 值之比
					流量(立 方米/秒)	时间 (年·月·日)	流量(立 方米/秒)	时间 (年·月·日)		
雅鲁藏布江	鲁霞	189 843	1956— 1982*	24	364	1973.3.10	501	1960.4.26	419	1.38
尼洋曲	久巴	15 600	1979— 1982	4	56.6	1982.3.29	115	1979.3.17	80.4	2.03
易贡藏布	贡德	10 917	1967— 1969	3	49.4	1967.2.28	53.7	1969.3.4	51.0	1.09
麻果龙藏布	嘎布通	1 653	1965	1	15.2	1965.3.5				

\* 1958,1959,1969年缺测。

## 第五节 泥 沙

南峰地区的河流泥沙观测资料,要比河川径流的观测资料更为缺乏。目前,该地区只有雅鲁藏布江鲁霞水文站有河水悬移质泥沙的观测。现只能依据该站的泥沙资料,并根据地实地考察,以及参照西藏其它地区的河流泥沙观测资料,对本地区河流的泥沙特性,进行较粗浅的分析。

### 一、悬移质泥沙

雅鲁藏布江鲁霞站有19年泥沙观测资料,其多年平均含沙量(悬移质泥沙)为274克/立方米,年平均悬移质含沙量变幅在114—509克/立方米(表8.10)。参照上述表中所列出的西藏其它地区河流悬移质含沙量特征值统计,其年平均悬移质含沙量绝大多数不到

1 公斤/立方米,有的河流(如拉萨河)还不足 0.1 公斤/立方米。依野外实地考察,可以得出该地区森林面积大,植被条件好;人类活动少,农田垦殖率低;雨强较小,暴雨不多;河川径流组成中融水补给量大,也有一定的地下水补给。这些因素是导致该地区河川悬移质含沙量低的主要原因。从实地考察,确也证实该地区河水清澈,悬移质含沙量低。据估计,该地区河流的悬移质含沙量在 500 克/立方米以下,有些河流会小于 100 克/立方米。该地区悬移质含沙量的年际、年内变化是不大的。以鲁霞站为例,年平均悬移质含沙量的历年最大值与最小值之比为 4.46;多年平均的各月均含沙量的最大值与最小值之比为 4.97。由此可见,悬移质含沙量的变化不大,尤其是月变幅小,西藏其它地区河流悬移质含沙量的月变幅一般为 20 左右,约是该地区的 4 倍。南峰地区河流悬移质含沙量的各月均值中,最小值多在 2 月份出现,最大值多在 8 月份出现(表 8.11),这一特点与西藏其它地区相比,也基本一致。

表 8.11 雅鲁藏布江鲁霞站多年平均逐月悬移质含沙量、输沙率统计表

(1956,1957,1961—1968,1974—1982 年,计 19 年统计)

项 目	逐 月 平 均												多年平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
含沙量(克/立方米)	83.4	80.7	105	156	242	285	295	401	244	137	113	91.9	274
输沙量(公斤/秒)	42.9	35.9	45.2	84.5	257	776	1 250	2 510	1 160	259	114	63.4	554
月输沙量占全年(%)	0.7	0.5	0.7	1.2	3.9	11.5	19.2	38.4	17.2	4.0	1.7	1.0	100

河流的输沙量与河流的流量、含沙量有关。在丰水年份,由于降水量大,河流水量增大,且侵蚀模数也加大,使河流悬移质含沙量亦增大,从而导致河流年悬移质输沙量成倍增加。雅鲁藏布江鲁霞站年悬移质输沙量的历年最大值与最小值之比为 8,要比该站悬移质含沙量的年变幅约大一倍。输沙量的年内变化比含沙量、径流量的年内变幅大得多(表 8.11、图 8.9)。鲁霞站最大月输沙量在 8 月份出现,约占全年输沙量的 38.4%;最小月输沙量则在 2 月份出现,月输沙量只占全年的 0.5%,两者相差达 77 倍。鲁霞站 6—9 月份的 4 个月的输沙量,竟占全年输沙量的 86.3%,而 10—5 月份的 8 个月的输沙量,仅占全年的 13.7%,尽管该地区的河水悬移质含沙量较小,但由于该地区的河流水量丰富,使年输沙量仍然是非常大的。鲁霞站的多年平均悬移质输沙量就有 1 750 万吨。雅鲁藏布江流出国境的巴昔卡附近,估算悬移质泥沙的年输沙量约为 2 400 万吨。南峰地区,多年平均的河流侵蚀模数一般在 100 吨/平方公里左右(参见表 8.10)。

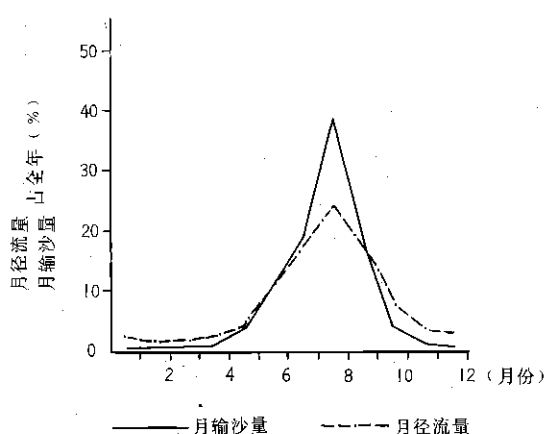


图 8.9 雅鲁藏布江鲁霞水文站平均月输沙量、月径流量过程线图

表 8.10 南峰及西藏其它地区主要河流悬移质泥沙特征值表

河 流	水文站	集水面积 (平方公里)	资料年限*(年)		含沙量特征值(克/立方米)			输沙率特征值(公斤/秒)			年输沙量特征值(万吨)			多年平均 侵蚀模数 (吨/平方公里)		
			年份	年数	多年平均	最大	最小	多年平均	最大	最小	多年平均	最大	最小			
雅鲁藏布江	鲁震	189 843	1956—1982	19	274	509	114	4.46	554	1 460	182	8.02	1 750	4 620	576	92.1
雅鲁藏布江	奴各沙	106 378	1958—1982	21	667	1 530	261	5.86	390	1 460	75.5	19.3	1 230	4 620	238	116
雅鲁藏布江	羊村	153 191	1961—1982	12	406	620	210	2.95	385	660	122	5.41	1 210	2 090	385	79.2
年楚河	江孜	6 212	1965—1982	11	1 280	2 810	180	15.6	32.2	114	1.86	61.3	101	359	5.88	163
年楚河	日喀则	11 121	1980—1982	3	1 000	1 310	390	3.36	34.3	50.8	7.62	6.67	108	161	24.0	97.5
拉萨河	唐加	20 367	1979—1982	4	94	100	80	1.25	25.2	32.4	17.4	1.86	79.5	103	55.0	39.1
拉萨河	拉萨	26 225	1963—1982	13	96	200	56	3.57	29.5	75.0	12.8	5.86	93.0	237	40.3	35.5

\* 所列资料年份间有缺测年。



## 二、推 移 质

南峰地区,目前尚未开展对河流推移物质的实测、观测工作,甚至全西藏也仍没进行这方面的观测工作。但是,该地区山高坡陡,岩石又较破碎,泥石流、山崩等现象时有发生。这一地区的河流坡降又大,一般在10‰以上,有些小河流可高达50‰以上,河水流速大。为此,河水携带着大量推移物质。根据艾里定律,河水流动可推移物质的重量是与流速的6次方成正比关系。由此可见,在高流速的河流(或河段),河水所推移的石块是很大的。沿雅鲁藏布江下游考察时,在水流湍急的河段,河两岸见到不少砾径达5米×5米×5米的巨大砾石,它具有一定的滚圆度,是河流的推移物质。我们在雅鲁藏布江干流下游许多河段,测得的河水流速在16米/秒以上,站在江边,可以听到河水中推移物质的巨大撞击声。南峰地区的河流悬移质泥沙不大,但河流的推移质问题却十分严重,兴修水利、水电工程时应给予足够的重视,这方面的研究工作,有待深入开展。

## 第六节 水 温

南峰地区,河谷海拔高程虽然低于西藏其它地区,其地理位置又偏南,纬度低,但是河水的年平均水温一般并不高。该地区北部的河流,主要属融水补给为主的类型,如尼洋曲、帕隆藏布等河,这是造成该地区河水温度低的重要原因。尼洋曲久巴水文站、易贡藏布贡德水文站的年平均水温分别为8.1℃和7.8℃,与海拔较高的拉萨河拉萨站(年平均水温7.7℃)相近。南峰地区帕隆藏布的二级支流麻果龙藏布,其融水补给量占年径流的比重大,且河流短小,流域面积不大,因而水温沿流程的增温作用较弱,水温很低。该河嘎布通水文站的年平均水温仅5.0℃,不仅低于南峰地区内各水文站值,而且还低于该地区的拉萨河、年楚河、雅鲁藏布江其它各水文站(江孜站除外)的年平均水温值(表8.12)。

表 8.12 南峰及西藏其它地区主要河流水温特征值表

河流	水文站	集水面积 (平方公里)	资料年限 (年)	年数 (年)	月 份												多年平 均水温 (℃)	年均温 最大差 值(℃)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
雅鲁藏布江	鲁霞	189 843	1960—1982	18	2.5	4.4	7.4	10.5	12.1	13.5	15.1	15.9	14.6	11.5	7.0	3.7	9.8	1.1
尼洋曲	久巴	15 600	1980—1982	3	2.8	3.8	6.3	8.8	10.4	11.2	11.6	12.0	11.4	9.2	5.7	3.5	8.1	0.6
易贡藏布	贡德	10 917	1967—1969	3	3.9	5.2	7.5	8.8	9.6	10.0	10.3	10.3	10.1	8.5	5.7	3.8	7.8	0.3
麻果龙藏布	嘎布通	1 653	1966	1	3.3	4.7	5.8	5.7	5.0	5.3	5.1	5.0	5.1	5.4	5.7	4.1	5.0	
雅鲁藏布江	奴各沙	106 378	1960—1982	23	0.9	2.1	4.9	8.6	11.8	14.8	15.4	14.9	13.4	9.1	4.3	1.5	8.5	0.8
雅鲁藏布江	羊村	153 191	1960—1982	23	0.8	2.6	5.9	9.7	13.1	16.3	17.1	16.5	15.2	10.9	5.3	1.8	9.6	0.8
年楚河	江孜	6 212	1962—1982	16	0.1	0.1	0.6	2.8	5.7	9.3	10.4	9.9	8.4	4.6	1.0	0.1	4.4	0.8
年楚河	日喀则	11 121	1980—1982	3	0.4	1.2	3.6	6.9	9.5	12.7	14.3	14.1	11.9	7.8	4.2	1.4	7.3	0.3
拉萨河	唐加	20 637	1977—1982	6	0.1	0.3	1.8	5.4	8.3	10.3	11.1	10.9	9.9	6.2	1.7	0.1	5.5	0.2
拉萨河	拉萨	26 225	1957—1982	20	0.7	2.0	4.7	7.7	10.8	13.4	13.7	13.1	12.2	8.9	4.2	1.2	7.7	1.1
尼洋曲	工布江达	1 434	1979—1982	4	0	0.9	3.4	6.5	8.2	9.3	9.9	9.9	9.1	6.5	2.6	0.3	5.5	0.3

\* 个别测站在所列资料年限期间有缺测年。

年平均水温值的年际变化不大,一般在1.0℃以下,年平均水温是较为稳定的。

南峰地区的河水温度与我国同纬度的河流相比,具有年平均水温低,年际变幅小的特点。

本地区河水月平均温度的变化较西藏其它地区小。从表 8.12 可以看出,雅鲁藏布江鲁霞站各月平均水温中,最高 15.9℃(8 月份),最低 2.5℃(1 月份),年内变幅为 13.4℃,其上游的羊村、奴各沙水文站,年内月平均水温变幅则分别为 16.2℃、14.5℃。尼洋曲久巴站、易贡藏布贡德的河水年内各月平均水温变幅为 9.2℃和 6.5℃,而麻果龙藏布嘎布通站的水温变幅值最小,仅为 2.5℃(图 8.10)。西藏其它地区各水文站河水月平均水温,

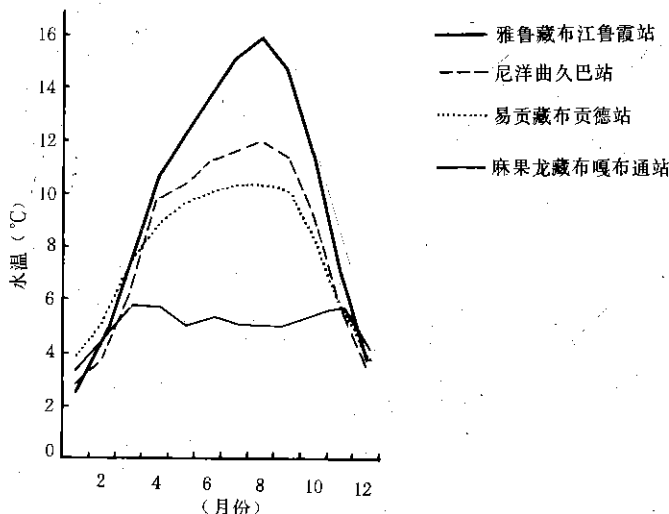


图 8.10 南迦巴瓦峰地区主要河流多年逐月平均水温过程线图

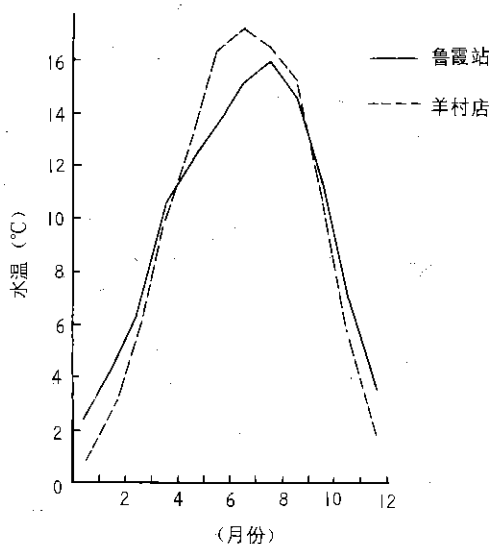


图 8.11 雅鲁藏布江干流鲁霞、羊村水文站同期多年逐月平均水温过程线对比图

年内变幅一般都大于 10℃。特别应当指出的是,南峰地区北部的河流,由于河川径流补给中融水占主要,所以在 11—4 月份融水量少的时段,河水月平均温度较西藏其它地区高;相反,在 6—9 月份冰雪融水补给量大的时段,河水温度却较西藏其它地区低。以雅鲁藏布江干流鲁霞、羊村水文站的水温相比较,能说明这个问题。羊村站位于鲁霞站上游,两站区间面积为 36 652 平方公里,其中有属融水补给为主的支流——尼洋曲汇入(流域面积为 17 535 平方公里,占上述区间面积的 47.8%),且水量又大。此外,该区间还有其它一些属融水补给为主的小支流汇入。以同其 18 年(1960—1965, 1967, 1968, 1973—1982

年)羊村、鲁霞水文站的逐月均水温统计, 10—4 月份的各月平均水温值,鲁霞站均高于羊村站;而 5—9 月份的各月平均水温值,却是鲁霞站低于羊村站(图 8.11)。6 月份平均

水温,两站可相差 $2.8^{\circ}\text{C}$ ,居两站全年各月均水温差的最大值(表 8.13)。从上述分析,也可以推论出在羊村至鲁霞水文站之间,是有大量低温的融水补给河流。从表 8.12 和图 8.10 还可以看出,融水补给比重大、流程短的麻果龙藏布,月平均水温的最高值不是在夏季气温高的时期出现,而是 3 月份的月平均水温最高( $5.8^{\circ}\text{C}$ ),4 月、11 月份的月平均水温值也达到了 $5.7^{\circ}\text{C}$ 。在夏季,各月平均水温值只为 $5.0-5.3^{\circ}\text{C}$ 。冬季,水温低,1 月份平均为 $3.3^{\circ}\text{C}$ 。从上述数值,可以说明在流程短,河水增温作用不显著的情况下,由于夏季冰雪融水量急剧加大时,尽管这时气温高,但河水温度仍然会低于春、秋季节。在春、秋季节,冰雪融水量大大减少,地下水、雨水所补给的水量占径流的比重会增大,这时气温也并不太低,促使水温提高些。

表 8.13 雅鲁藏布江干流鲁霞、羊村水文站同期多年逐月平均水温统计表

水文站	逐月平均水温( $^{\circ}\text{C}$ )												年平均水温( $^{\circ}\text{C}$ )
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
羊村	0.9	2.8	5.9	9.7	13.0	16.3	17.1	16.5	15.2	11.0	5.3	1.8	9.6
鲁霞	2.5	4.4	7.4	10.5	12.1	13.5	15.1	15.9	14.6	11.5	7.0	3.7	9.8
鲁霞—羊村	1.6	1.6	1.5	0.8	-0.9	-2.8	-2.0	-0.6	-0.6	0.5	1.7	1.9	0.2

注:引自 1960—1965,1967,1968,1973—1982 年计 18 年同期观测资料。

南峰地区的南部河流,河川径流的补给类型属雨水补给为主,再加上南部地区纬度偏南,河谷海拔低,气温也迅速增高,从而使这一地区河水的温度上升。估计雅鲁藏布江巴昔卡一带的河水年平均水温可达 $23^{\circ}\text{C}$ 左右。南峰地区的最南部一带,河流的年平均水温大于 $20^{\circ}\text{C}$ ,属西藏河水温度最高的地区。

## 第七节 天然水的化学特征

南峰地区的天然水包括河流、冰雪、湖泊及泉水等。河流除主流雅鲁藏布江贯穿本区以外,尚有尼洋曲、帕隆藏布、金珠曲、多雄曲等其它支流;湖泊除易贡错等较大以外,其它的高山湖泊面积均很小,它们均属冰川泥石流堵塞河道或冰蚀作用而形成的湖泊。本地区山势陡峻,现代冰川不甚发育。构造运动强烈,温泉广布。上述各种水体的质量较好,除温泉水以外,均属于低矿化度水。但各种类型的水体,以及同一水体不同的河段和地区之间,水化学特征仍存在一定的差异。

### 一、天然水水化学的基本特征

南峰地区各种天然水的矿化度较低,一般为低矿化度水,其值多在 200 毫克/升以下(表 8.14)。但由于本区内自然地理条件的差异,使各种天然水的化学特征依区域而有一定的变化。

河水的水化学成分是各种天然水中变化最为明显的。其中矿化度的变动范围为 26.51—187.87 毫克/升,平均为 70.06 毫克/升,硬度的变动范围为 0.222—2.379 毫克当量/升,平均为 0.859 毫克当量/升。矿化度及硬度低的河流多分布于南坡的雅鲁藏布江的一些支流,而温泉补给的某些河流矿化度较高。雅鲁藏布江源出于半干旱地区,它汇集

表 8.14 南峰地区水化学组成和类型

天然水种类	样品数	离子总量	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	主要水化学类型
河										
雅鲁藏布江	8	47.58—187.87 98.23	0	20.37—106.1 52.83	13.10—35.78 20.28	0—0.941 0.618	10.14—29.93 17.078	0.936—7.66 3.282	0.184—11.78 3.047	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> -Ca
水										
南坡	6	26.51—59.56 38.456	0	12.38—31.8 19.75	2.45—15.75 9.50	0	2.54—8.09 5.275	0.47—4.62 2.257	0.35—3.17 1.688	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> -Ca·Mg
北坡	13	26.1—172.70 73.47	0—1.98 0.762	10.61—71.22 33.73	9.54—62.88 18.99	0—2.46 0.794	3.17—39.0 14.78	0.468—5.148 1.735	0.046—5.037 2.239	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> -Ca
冰										
冰川冰	1	76.37	0	37.84	18.86	0.728	12.41	2.854	4.041	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> -Ca
川										
冰川融水	1	151.292	0	53.38	56.92	0.923	35.10	3.276	1.693	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> -Ca
泉水	3	252.91—1650.91 743.09	6.66—273.54 97.84	75.95—373.08 188.11	53.52—138.15 96.46	5.54—372.75 128.46	0—90.48 33.80	0—1.872 0.824	0.474—533.83 197.80	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> -Ca Cl·HCO <sub>3</sub> -Na
湖水	3	30.76—92.15 55.04	0	11.16—54.23 25.52	10.48—19.46 14.71	0.618—0.923 0.7197	4.68—19.50 9.88	0.468—2.34 1.716	0.943—3.358 2.492	HCO <sub>3</sub> -Ca SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> -Ca·Na
降水	2	27.57—110.38 68.98	0	10.18—36.29 23.24	7.488—41.93 24.71	3.053	2.34—12.48 7.41	0.468—3.276 1.872	4.039—6.578 5.309	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> -Na·Ca
雪水	1	36.11	0	6.771	17.95	0.618	2.34	0.468	7.958	SO <sub>4</sub> -Na

注: 最低值—最高值  
平均值, 单位: 毫克/升。

了不同矿化度的各支流的河水,流程不长故各河段的矿化度多在 70 毫克/升以上,其平均值为 98.23 毫克/升。从水化学类型看,南坡湿润地区河流的主要水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$  型,而北坡及雅鲁藏布江干流的水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$  型的河水。

大气降水、雪和冰川冰的矿化度及硬度是各种天然水中数值最低的(表 8.15),其中冰川冰的矿化度为 19.99—76.79 毫克/升,硬度为 0.174—0.853 毫克当量/升,属  $\text{HCO}_3\text{-Mg(Na)}$  或  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca}$  等型的极软水。大气降水(液态水)因采样时间和地点不同,其矿化度差别甚大,米林县雅鲁藏布江河谷海拔 2 950 米的丹娘,降水的矿化度为 27.57 毫克/升,而雅鲁藏布江河谷海拔 1 500 米左右墨脱县加热萨的大气降水,其矿化度为 110.38 毫克/升。水化学类型也不一致,前者阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  离子为主,属  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Na} \cdot \text{Ca}$  型,而后者  $\text{SO}_4^{2-}$  离子占优势。属  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$  型。这可能是由于受污染的大气从境外南部工业区,沿雅鲁藏布江水汽通道伸入,从而影响其降水的矿化度和水化学类型。雪(固态降水)的矿化度与冰川数值相近,为 21.71—36.11 毫克/升,其水化学类型属  $\text{SO}_4\text{-Na}$  或  $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{-Na} \cdot \text{Mg}$  型。

表 8.15 南峰地区大气降水的化学成分(1983)

样品 编号	采样地点时间	离子总量 (毫克/升 毫克当量/升)	总硬度 (毫克当量/升)	主要离子含量(毫克/升 毫克当量百分数)						水化学类型
				$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	
NP 21	3 700 米处雪 1983 年 6 月 27 日	36.11	0.156	6.771	17.95	0.618	2.34	0.468	7.958	$\text{SO}_4\text{-Na}$
		1.005		11.05	37.21	1.74	11.64	3.88	34.48	
NP 41	丹娘降水 1983 年 7—8 月	27.57	0.156	10.18	7.488	3.053	2.34	0.468	4.039	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Na} \cdot \text{Ca}$
		0.6632		25.18	23.52	1.30	17.64	5.88	26.48	
SP 40	加热萨降水 1983 年 8 月 28, 29 日	110.38	0.897	36.29	41.93	3.053	12.48	3.276	6.578	$\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$
		2.955		20.14	29.58	0.29	21.12	9.23	19.66	

湖水的矿化度为 30.76—92.15 毫克/升,平均值为 55.04 毫克/升;硬度变动于 0.273—1.17 毫克当量/升之间,平均为 0.64 毫克当量/升。因湖水的补给类型不同,其矿化度和硬度均有明显差异,以冰川补给的湖水低于以河流补给的湖水。

在各种天然水中泉水的矿化度最高,达 252.91—1 650.91 毫克/升。化学成分较为复杂,硬度的变化也很大。有的泉水以  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  离子为主,未检出  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  离子;而有的泉水的  $\text{Ca}^{2+}$  离子数值达 4.524 毫克当量/升,为弱的硬水。从水化学类型看有以  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  离子为主的  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca}$  型水,也有以  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  离子为主的  $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3\text{-Na}$  型水。

综上所述,南峰地区各种天然水的矿化度和硬度的顺序大致为:

泉水 > 湖水 > 河水 > 冰雪水

水化学类型以  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$  型为主,冰、雪、降水中  $\text{SO}_4^{2-}$  离子含量高,某些泉水为特殊类型,阴离子以  $\text{Cl}^-$  离子为主。

## 二、河流的水化学特征

南峰地区河水的离子总量和总硬度偏低,离子总量一般在 30—180 毫克/升之间,总

硬度一般为 0.3—2 毫克当量/升,水化学类型多为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$  型,具有湿润和半湿润地区河流水化学的一般特点。但由于自然地理条件的差异,河流水化学的特征在区域和时间上均具有不同的特点。

南峰南坡的广大地区,除雅鲁藏布江以外的其它支流矿化度及总硬度较北坡地区低,不仅南北坡之间海拔高度相近河段的河水矿化度和总硬度,而且各支流及不同海拔高度河水矿化度和总硬度的平均值都是南坡均较北坡低。如南坡多雄曲海拔 2 700 米处的河水,矿化度为 27.96 毫克/升,总硬度 0.312 毫克当量/升;而北坡派区附近的支流海拔 2 800 米处的河水,矿化度达 46.7 毫克/升,总硬度为 0.546 毫克当量/升,水化学类型均属  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$  型(表 8.16、表 8.17)。南坡支流海拔 2 000 米左右以上河水矿化度平均值为 27.66 毫克/升,总硬度平均值 0.314 毫克当量/升;而北坡支流河水矿化度平均值为 36.4 毫克/升,总硬度平均值为 0.46 毫克当量/升。产生这种差异的原因主要是由于南北坡气候湿润程度不同造成的,南坡气候湿润,降水充沛,降水量大于蒸发量;北坡气候半湿润,降水较少,蒸发量大于降水量。因此,南坡土壤及风化壳的淋溶作用较北坡强,土壤与风化壳中代换性盐基含量较北坡低,从而南坡土壤及风化壳中进入河流中的盐基离子也较少,河水矿化度偏低。

表 8.16 南峰地区河流水化学成分(雅鲁藏布江以外河流,1983)

样品 编号	采样地点 时间 (年·月·日)	离子总量 (毫克/升 毫克当量/升)	总硬度 (毫克当 量/升)	主要离子含量(毫克/升 毫克当量百分数)							水化学 类型
				$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	
NP 16	直白河水 (1983.6.21)	172.70 4.785	2.379	/	64.44 22.08	62.88 27.38	0.923 0.544	39.0 40.75	5.148 8.97	0.308 0.28	$\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$ -Ca
NP 22	那木拉东侧支流 (1983.6.29)	34.20 0.933	0.429	1.98 3.54	11.16 19.61	11.62 25.94	0.305 0.922	7.80 41.80	0.468 4.18	0.863 4.02	$\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$ -Ca
NP 23	马普拉河水 (1983.7.4)	63.36 1.762	0.858	1.98 1.87	25.44 23.69	19.82 23.45	0.618 0.988	11.70 33.21	3.276 15.50	0.529 1.30	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ -Ca · Mg
NP 25	多雄拉北侧河水 (1983.7.6)	42.72 1.144	0.390	1.98 2.88	17.99 25.79	10.46 19.06	0.923 2.27	6.24 27.27	0.936 6.82	4.186 15.91	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ -Ca · Na
NP 26	德阳河 3 550 米处 河水(1983.7.10)	82.98 2.234	1.092	1.98 1.48	30.52 22.38	27.31 25.47	1.693 2.14	19.50 43.64	1.404 5.24	0.577 1.12	$\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$ -Ca
NP 28	德阳河口 (1983.7.13)	85.98 2.29	1.014	/	40.69 29.12	21.70 19.74	0.923 1.14	18.72 40.87	0.936 3.41	3.013 5.72	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ -Ca
NP 30	加玉普河水 (1983.7.20)	34.0 0.915	0.273	/	13.54 24.26	10.46 23.83	0.618 1.91	4.68 25.57	0.468 4.26	4.232 20.16	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ -Ca · Na
NP 31	尼洋曲水 (1983.7.21)	56.70 1.505	0.624	1.98 2.19	24.77 26.98	14.21 19.67	0.618 1.16	11.70 38.89	0.468 2.59	2.953 8.52	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ -Ca
NP 34	迫隆藏布 1 900 米处(1983.8.18)	108.23 2.855	1.209	/	57.66 33.10	19.82 14.17	2.46 2.43	21.84 38.24	1.410 4.12	5.037 7.65	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ -Ca

续表 8.16

样品 编号	采样地点 时间 (年·月·日)	离子总量 (毫克/升 毫克当量/升)	总硬度 (毫克当 量/升)	主要离子含量(毫克/升 毫克当量百分数)							水化学 类型
				CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	
NP 36	迫隆藏布 2 760 米 处扎木附近 (1983. 8. 22)	114. 71 2. 963	1. 287	/	71. 22 39. 41	14. 22 10. 00	0. 618 0. 59	21. 84 36. 85	2. 34 6. 58	4. 471 6. 57	HCO <sub>3</sub> -Ca
NP 30	倾多河水 (1983. 9. 2)	86. 69 2. 106	1. 014	/	47. 48 36. 95	12. 36 12. 22	0. 618 0. 83	18. 72 44. 44	0. 936 3. 70	0. 902 1. 86	HCO <sub>3</sub> -Ca

表 8.17 南峰地区河流水化学成分(1982)

样品 编号	采样地点 时间 (年·月·日)	海拔 (米)	离子总量 (毫克/升 毫克当量/升)	总硬度 (毫克当 量/升)	pH	主要离子含量(毫克/升 毫克当量百分数)						水化学类型
						HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	
SP1	金珠藏布河水 (1982. 9. 3)	1 800	29. 16 0. 784	0. 332	7. 46	14. 15 29. 59	7. 68 20. 41	0	5. 86 36. 99	0. 47 4. 97	1. 45 8. 04	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> - Ca
SP2	雅鲁藏布江 (1982. 9. 20)	800	138. 88 3. 56	1. 268	7. 28	91. 98 42. 34	13. 10 7. 66	0	16. 99 23. 86	5. 03 11. 76	11. 78 14. 37	HCO <sub>3</sub> - Ca·Na
SP3	尼勒曲河水 (1982. 9. 22)	850	26. 51 0. 682	0. 222	7. 62	17. 69 42. 52	2. 45 7. 48	0	2. 54 19. 06	1. 16 13. 93	2. 67 17. 01	HCO <sub>3</sub> - Ca·Na
SP4	地东东侧河水 (1982. 9. 25)	840	57. 9 1. 576	0. 655	7. 40	28. 3 29. 19	15. 75 20. 81	0	7. 03 22. 21	3. 65 19. 04	3. 17 8. 75	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> - Ca·Mg
SP5	多雄曲河水 (1982. 9. 25)	700	59. 56 1. 632	0. 781	7. 32	31. 8 31. 86	14. 22 18. 14	0	8. 09 24. 51	4. 62 23. 28	0. 83 2. 21	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> - Ca·Mg
SP7	多雄曲河水 (1982. 10. 3)	2 020	29. 25 0. 810	0. 390	7. 34	14. 15 28. 64	8. 30 21. 36	0	4. 26 25. 93	2. 19 22. 22	0. 35 1. 85	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> - Ca·Mg
SP8	多雄曲河水 (1982. 10. 3)	2 700	27. 96 0. 764	0. 312	7. 20	12. 38 26. 57	8. 60 23. 43	0	3. 87 24. 87	1. 45 15. 71	1. 66 9. 42	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> - Ca·Mg
NP 10	派区附近支流 (1982. 10. 4)	3 390	26. 10 0. 744	0. 367	6. 96	10. 61 23. 39	9. 54 26. 61	0	3. 71 25. 54	2. 19 24. 19	0. 046 0. 27	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> - Ca·Mg
NP 11	派区附近支流 (1982. 10. 7)	2 850	46. 90 1. 274	0. 546	7. 16	23. 0 29. 83	12. 41 20. 17	0	6. 72 26. 69	2. 57 16. 48	2. 00 6. 83	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> - Ca·Mg
NP 12	雅鲁藏布江 (1982. 10. 9)	2 800	187. 87 4. 975	2. 126	7. 54	106. 1 34. 97	35. 78 15. 03	0	29. 93 29. 95	7. 66 12. 66	8. 4 7. 44	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> - Ca

南峰地区河流水化学的季节变化较为明显。从表 8.16 和表 8.17 可见,雅鲁藏布江海拔 2 800 米左右派区附近的河水,夏季(6 月)河水的矿化度 76.37 毫克/升,总硬度 0.858 毫克当量/升,属 HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>-Ca·Mg 型,而秋季(10 月)河水的矿化度高达 187.87 毫克/升,总硬度 2.126 毫克当量/升,属 HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>-Ca 型水。秋季河水矿化度为夏季河水矿化度的 2.5 倍,总硬度为 2.5 倍左右。显然,夏季降水量增加,河流的径流量增大,是使雅鲁藏布江河水矿化度和总硬度降低的主要原因。

雅鲁藏布江河水的水化学不仅有明显的季节变化的特点,而且在本区范围的流程内,不同的河段其矿化度和化学组成也具有不同的特征。如秋季雅鲁藏布江派区附近多雄曲的河水,其矿化度为 187.87 毫克/升,总硬度为 2.126 毫克当量/升,属  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$  型水,沿流程随海拔高度的降低,河流达海拔 800 米处时,河水的矿化度减少至 138.88 毫克/升,总硬度为 1.268 毫克当量/升,水化学类型属  $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na}$  型水。造成雅鲁藏布江秋季河水矿化度和水化学特征变化的原因是:雅鲁藏布江河水从西至东以较高的矿化度和总硬度自半干旱的中、上游地区流入本区北坡的半湿润地区后,经大拐弯折向西南进入南坡的湿润地区,汇集了金珠曲、尼勒曲、多雄曲等矿化度在 60 毫克/升以下的河水(表 8.17),从而使雅鲁藏布江河水的化学性质发生明显变化。

雅鲁藏布江水体自海拔 2 850 米左右的米林县城附近至大拐弯中海拔 1 500 米左右的加热萨一带的河段,其矿化度及总硬度随海拔高度的降低而增加,矿化度和总硬度分别由 47.58 毫克/升和 0.024 毫克当量/升增至 97.03 毫克/升和 1.248 毫克当量/升,但水化学类型一般仍以  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$  型为主。该河段河水矿化度和总硬度增高,可能由以下原因造成:一方面夏季汇入雅鲁藏布江的河水,除矿化度低的大气降水补给以外,更为重要的是冰雪水和冰川融水补给,随着夏季气温的增高,冰雪水和冰川融水补给增加,它们的矿化度和总硬度均较高,从而使雅鲁藏布江的矿化度和总硬度不断增高;另一方面,雅鲁藏布江流经地段温泉较多,而温泉的矿化度和总硬度均较高,作为河流补给之一的高矿化度温泉水,也使该河段河水矿化度的增高(表 8.18)。

表 8.18 南峰地区河流水化学成分(雅鲁藏布江,1983 年)

样品 编号	采样地点 时间 (年·月·日)	离子总量 (毫克/升 毫克当量/升)	总硬度 (毫克当量/升)	主要离子含量(毫克/升 毫克当量百分数)						水化学类型
				$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	
NP 29	雅鲁藏布江米林 附近(1983.7.19)	47.58	0.624	20.37	14.21	0.618	10.92	0.936	0.529	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$
		1.295		25.79	22.86	1.34	42.16	6.03	1.78	
NP 27	雅鲁藏布江鲁霞站 (1983.7.3)	74.49	0.78	38.31	16.08	0.941	12.48	1.873	4.801	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$
		1.979		31.73	16.93	1.34	31.54	7.88	10.56	
NP 24	雅鲁藏布江派区 附近(1983.6.19)	76.37	0.858	36.29	19.82	0.923	12.48	2.808	4.008	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$
		2.068		28.77	19.97	1.26	30.17	11.32	8.51	
NP 15	雅鲁藏布江 2 750 米处(1983.6.18)	68.80	0.858	25.44	25.44	0.923	10.14	4.21	2.645	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$
		1.946		21.42	27.34	1.34	26.05	18.04	5.91	
NP 33	雅鲁藏布江扎曲 附近(1983.8.17)	94.79	1.248	49.84	19.82	0.923	22.62	1.404	0.184	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$
		2.513		32.51	16.44	1.04	45.01	4.66	0.32	
SP 37	雅鲁藏布江加拉莎 附近(1983.8.29)	97.03	1.248	54.27	17.97	0.618	21.06	2.34	0.768	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$
		2.563		34.71	14.61	0.68	41.08	7.61	1.31	

雅鲁藏布江各支流河水的水化学特征,依河流补给类型、河流的大小及流程的长短等而有所不同。从表 8.16 和表 8.17 明显可见,有温泉补给的直白曲矿化度最高,其值达 172.70 毫克/升,属  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca}$  型水;以冰川融水及冰雪补给为主的德阳河、马普拉河及尼洋曲次之,矿化度在 56.70—85.95 毫克/升之间,以  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$  型水为主;以



雨水和冰雪补给为主的加玉普河,那木那东侧支流及多雄拉山口北侧支流,河水矿化度最低,一般在40毫克/升以下。帕隆藏布沿途汇集了扎木河、坝多藏布(河)及易贡藏布,水量大、流程较长,且以冰川融水补给为主,途中高矿化度的温泉甚多。因此,其矿化度高达114.71毫克/升,总硬度为1.287毫克当量/升,仅次于以温泉补给占有一定数量的河流。可见,同样以冰川和冰雪融水补给为主的河流,流程愈长,其矿化度一般愈高。

南峰地区河流水化学特征的垂直变化较明显,河流从上游至下游相继流经不同的垂直自然带时,河水中离子含量不断增加,化学组成也不断变化。现以南坡多雄曲和北坡派区附近支流河流水化学特征的垂直变化予以说明,南坡的多雄曲是一条以降水和冰雪融水补给为主的河流,多雄拉山口积雪的矿化度为3.08—7.64毫克/升,地表径流的矿化度仅4.38毫克/升,前者可代表该河补给水源的化学特点,后者在一定程度上可以说明河流源出于高山草甸土带时河水的水化学特征。河流流入海拔2700米左右的山地暖温带针阔混交林山地棕壤土带时,多雄曲河水中的矿化度增加至27.96毫克/升,总硬度为0.312毫克当量/升,属 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水。再往下达海拔2020米左右的山地准亚热带常绿阔叶林山地黄棕壤带,河水的矿化度达29.25毫克/升,总硬度为0.390毫克当量/升。流至海拔700米左右的准热带季雨林砖红壤性红壤带后,河水的矿化度达59.56毫克/升,总硬度为0.781毫克当量/升。虽然从水化学类型来看均属同一型,但各组成离子含量有所变化,随着海拔高度的降低,流程的增长, $\text{HCO}_3^-$ 的毫克当量百分数不断增加, $\text{SO}_4^{2-}$ 却不断减少; $\text{Ca}^{2+}$ 的毫克当量百分数虽无多大变化,但 $\text{Mg}^{2+}$ 却不断增大。

北坡派区附近的支流也源出于多雄拉山口附近,河流进入海拔3390米左右的山地寒温带暗针叶林山地灰化土带时,河水的矿化度由4.38毫克/升增至26.10毫克/升,总硬度达0.367毫克当量/升,属 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水。河源达海拔2850米处的山地暖温带针阔混交林山地棕壤带时,河水的矿化度急增至46.70毫克/升,总硬度达0.546毫克当量/升,虽水化学类型无变化,但 $\text{HCO}_3^-$ 的毫克当量百分数增加, $\text{SO}_4^{2-}$ 却不断减少; $\text{Ca}^{2+}$ 离子的变化不明显,而 $\text{Mg}^{2+}$ 的毫克当量百分数却随流程增加而减少。

由此可见,南峰地区河流水化学特征的垂直变化较明显。产生河流矿化度和离子含量顺序关系变化的原因,主要与流经地区自然地理特征的变化有关。高海拔地区气候寒冷,土壤发育年轻,含可溶性盐也很少,风化壳多为粗碎屑物质,其可溶性盐也很低。随着海拔高度的降低,气温增高,土壤发育程度增强,含有较多的可溶性盐随地表径流和地下径流汇集进入河流水体中,从而使河水的矿化度和硬度增加。离子含量顺序的变化与河流补给水源的化学性质有关,高海拔的河源地段, $\text{SO}_4^{2-}$ 的毫克当量/升接近或高于 $\text{HCO}_3^-$ 毫克当量/升,这主要由于该河流均以 $\text{SO}_4^{2-}$ 离子含量占优势的降水和冰雪融水补给为主(表8.15)。河流沿途经土壤和风化壳溶滤作用后的地面和地下径流的补给,河水中 $\text{HCO}_3^-$ 离子的含量不断增加, $\text{SO}_4^{2-}$ 离子的含量相对地减少。北坡气候较南坡干燥,土壤中 $\text{Na}^+$ 离子含量有所增加,从而进入河流中 $\text{Na}^+$ 离子的含量随流程而明显增加;南坡则相反, $\text{Mg}^{2+}$ 离子的含量(包括毫克当量/升)随流程而相对增加。

### 三、冰川的水化学特征

本地区现代冰川以南峰为中心呈掌状向四周散射,由于各坡向自然地理条件的差异,

冰川末端伸延的海拔高度不一。造成冰川水化学成分上的一定差异。从整体上看,南峰地区是我国高山区冰川冰、雪矿化度较低的地区之一,其矿化度为 19.99—76.37 毫克/升,低于托木尔峰地区冰川矿化度(97.64 毫克/升)及珠穆朗玛峰地区冰川的矿化度(107.7 毫克/升)(章申、于维新,1975)。

南峰地区冰川冰、冰川融水的化学成分及水化学类型,不同的冰川其特征不一,其中以冰川冰的差异最为明显(表 8.19)。则隆弄冰川冰的阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  离子为主,其水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{-Mg}$  型或  $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$  型。而嘎隆拉冰川的阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  离子占优势,  $\text{HCO}_3^-$  离子的含量较  $\text{SO}_4^{2-}$  离子要小,水化学类型为  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca}$  或  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Mg} \cdot \text{Ca}$  型。

冰川融水的矿化度较冰川冰的矿化度高,其值达 89.34—151.29 毫克/升,这与冰川冰转化为水的过程中使表碛中的岩石碎屑、泥土中的盐分挟带或溶解到水中的数量增加有关。还可能与本地区新构造运动及强烈的地质地貌作用有关,在一定程度上加强物质的溶解作用。

表 8.19 南峰地区冰川、冰川融水的化学成分\*

采样地点	样品类型	海拔(米)	采样时间	pH	矿化度 (毫克/升)	硬度 (毫克当量/升)	水化学类型
则隆弄冰川	冰川冰	3 700	1982 年 10 月	5.59	21.70		$\text{HCO}_3\text{-Mg(Na)}$
		3 200	1983 年 7 月	7.08	76.37	0.8583	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$
		3 000	1982 年 10 月	6.19	19.99		$\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$
	冰川融水	3 550	1982 年 10 月	7.21	133.62		$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$
		3 200	1983 年 7 月	7.20	151.292	2.028	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$
嘎隆拉冰川	冰川冰	3 700	1982 年 10 月	6.26	39.36		$\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca}$
	冰川融水	3 560	1982 年 10 月	7.38	89.34		$\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$
	雪崩雪	3 640	1982 年 10 月	4.25	21.71		$\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{-Na} \cdot \text{Mg}$

\* 1982 年资料由本队张文敬提供。

## 四、湖水的水化学特征

南峰地区的湖水的化学成分及含量的多寡与它所处地区的自然地理条件有关,尤其是与湖水补给水源的化学成分紧密相关。易贡错分布于海拔 2 300 米左右的易贡盆地,它是由于冰川泥石流堵塞易贡藏布而成,湖水的矿化度为 92.15 毫克/升,属  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型水(表 8.20)。与易贡藏布河水的化学特征相近。

位于南峰西南的那木拉错湖水的矿化度为 80.81 毫克/升(1982 年 10 月采样),与相距该湖不足 1 公里的那木拉冰川末端的冰川矿化度 71.00 毫克/升值非常相近,它反映了湖水主要受那木拉冰川补给。湖水的矿化度因季节不同而有所变化,如 1983 年夏季(6 月)那木拉错湖水的矿化度仅有 42.21 毫克/升,这反映了随降水量的增加,低矿化度的降水对湖水化学性质的影响。但是这种季节性的变化仅表现在矿化度的高低,尚未引起水化学类型的变化,均为  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$  型。

表 8.20 南峰地区湖水的化学成分(1983 年)

样品 编号	采样地点 时间 (年·月·日)	离子总量 (毫克/升 毫克当量/升)	总硬度 (毫克当 量/升)	主要离子含量(毫克/升 毫克当量/升)						水化学类型
				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	
NP 20	那木拉错湖水 (1983 年 6 月 29 日)	42.21	0.468	11.16	19.46	0.618	5.46	2.34	3.174	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Ca·Mg
		1.212		15.10	33.46	1.44	22.54	16.08	11.38	
NP 32	易贡错湖水 (1983 年 8 月 10 日)	92.15	1.17	54.23	14.21	0.923	19.50	2.34	0.943	HCO <sub>3</sub> -Ca
		2.422		36.71	12.22	1.07	40.26	8.05	1.69	
NP 38	随拉山口冰碛湖水 (1983 年 9 月 1 日)	30.76	0.273	11.16	10.48	0.618	4.68	0.468	3.358	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Ca·Na
		0.838		21.83	26.07	2.08	27.92	4.65	17.42	

随拉山口冰碛湖位于山口东北侧海拔 3 800 米左右,以冰雪融水补给为主,其矿化度仅 30.76 毫克/升,属 SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>-Ca·Na 型水,与本地区雪水的矿化度相近,但湖水中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子的含量略有增加,水化学类型略有区别。

## 五、泉水的水化学特征

南峰地区的泉水大多是深层断裂地下水流出的热泉,由于泉水形成的水文地质条件的不同,其泉水的水化学成分较为复杂,水的矿化度、硬度及各种离子间的比例多种多样表 8.21。

表 8.21 南峰地区泉水的化学成分(1983 年)

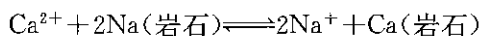
样品 编号	采样地点 时间 (年·月·日)	海拔 (米)	离子总量 (毫克/升 毫克当量/升)	总硬度 (毫克当 量/升)	主要离子含量(毫克/升 毫克当量百分数)							水化学 类 型
					CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	
NP 14	则隆弄温泉水 (1983.6.19)	2 850	325.459	4.524	13.32	75.95	138.15	7.085	90.48	0	0.474	SO <sub>4</sub> · HCO <sub>3</sub> -Ca
			9.0892		2.44	13.70	31.67	2.19	49.78	0	0.22	
NP 18	直白温泉水 (1983.6.17)	2 800	252.91	0.702	6.66	115.29	53.52	5.54	10.92	1.872	59.11	HCO <sub>3</sub> ·SO <sub>4</sub> -Na
			6.544		1.70	28.88	17.04	2.38	8.34	2.38	39.28	
NP 35	通麦附近温泉 (1983.8.20)	2 000	1 650.91	/	273.54	373.08	97.71	372.75	0	0	533.83	Cl·HCO <sub>3</sub> -Na
			46.42		9.80	13.18	4.30	22.62	0	0	50.0	

从所采样分析的泉水点看,地处南峰以西的则隆弄温泉是则隆弄(冰川)断裂谷地深处地热出露点之一。该泉水的水化学类型为 SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>-Ca 型水,矿化度不高,为 324.46 毫克/升,在阴离子中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子占 63.34%,阳离子中 Ca<sup>2+</sup> 离子占绝对优势,其毫克当量百分数高达 99.56%。从分析资料看,仅从水具有较高的温度尚不能表明它起源于很深的地方,因为地表水渗入达到相应的深度也将具有高温。此外,上升泉水的温度还取决于它的上升条件。则隆弄温泉的矿化度不高,水型与则隆弄冰川融水大体一致,可能有冰川融水的补给。

通麦附近的温泉受西北向断裂构造控制,其水化学类型,离子总量及各离子含量的百分比与前述温泉有很大差异,离子总量高达 1 650.91 毫克/升,在阴、阳离子中,Cl<sup>-</sup> 离子

和  $\text{Na}^+$  离子的含量都很高,而  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  离子用常规容量法未能检出,水化学类型为  $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3\text{-Na}$  型水。从该泉水的离子成分状况看,我们可以观察到天然水所特有的那些变化规律,即随着矿化度的增加,阴离子含量按  $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$  的次序递增;在盐水的阳离子中  $\text{Na}^+$  离子逐渐地代替  $\text{Ca}^{2+}$  离子而成为主要离子。

阳离子的交替作用在长期与岩石作用的地下水中常有发生。



因而水中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子的含量很少。

直白温泉位于米林县派区格嘎以北 8 公里左右处,离子总量低于则隆弄温泉水,只有 252.91 毫克/升,其水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Na}$  型水,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子含量虽较通麦附近的温泉水高,但  $\text{Ca}^{2+}$  离子含量远较则隆弄温泉水低,  $\text{Mg}^{2+}$  离子的含量也不高,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  离子合计只占阳离子的 21.44%,这可能与南峰西侧近东西向的断裂带地区,岩石中含  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  较少有关。

## 第九章 植 被

植被作为一种反映综合生态因子最基础和最直观的表征要素,其自身的性质、组成及分布特点直接控制着所在地区自然景观的性质、结构和区域分异;同时,植被本身又是人类赖以生存的最重要生产资料,所以对植被组成和分布特点的研究不仅在地理及生物科学上有重要的学术价值,而且还对正确制定地方经济发展战略、合理开发利用和保护当地生物资源有着极其重要的意义。

南峰地区气候条件异常优越,地表形态极其复杂;其植被生长之繁茂,区系成分之复杂、组成群落之丰富,水平及垂直分异之明显在我国十分罕见。她是我国最完整的一座植被类型的天然博物馆,一座无比珍贵的生物学宝库。

### 第一节 植被的区系组成特征

南峰地区正处在东喜马拉雅—岗日嘎布—伯舒拉岭—高黎贡山这一马蹄形山环的北端,该山环作为一道巨大的地形屏障将由此北上高原的印度洋暖湿气流阻截在它的内侧,这样气流在翻越山口和沿纵贯南峰地区的雅鲁藏布江—帕隆藏布下游谷地北进高原时,即将大量的降水抛掷在它所途经的山地迎风坡面上,同时释放出凝结潜热,而使南峰地区成为青藏高原南缘山地最温暖、湿润的地区(高登义、邹捍、王维,1985)。在这种极其有利的气候和地形条件下,南峰地区汇聚了异常丰富的植物种类,据初步统计,该地仅维管束植物就有208科、1100余属、3600余种,约占西藏维管束植物总数的三分之二,为西藏植物区系最丰富的地区(程树志等,1985)。

南峰地区的植物不仅种类丰富而且区系成分复杂。在植物区系区划上,南峰地区以东喜马拉雅—岗日嘎布山脉南坡1100米等高线为界,分属于泛北极植物区的中国-喜马拉雅亚区(以上)和古热带植物区的印度-马来西亚亚区(以下),所以南峰地区绝大部分的植物群落均主要由中国-喜马拉雅和印度-马来西亚这两种区系成分组成。

中国-喜马拉雅成分是南峰地区植被的最主要构建者,除分布于东喜马拉雅—岗日嘎布山脉南翼1100米以下谷地的常绿和半常绿季风雨林外,组建本区顶极植被类型的各种植物群落,几乎都以中国-喜马拉雅成分为建群种,如常绿阔叶林的瓦山栲(*Castanopsis ceratocantha*)、印度栲(*C. indica*)、刺栲(*C. hystrix*)、西藏石栎(*Lithocarpus xizhangensis*)、西藏栎(*Quercus lodicosa*)、环带青冈(*Cyclobalanopsis annulata*)等群落;半常绿阔叶林的西藏青冈(*Cyclobalanopsis xizangensis*)、薄皮青冈(*C. lamellosa*)、通麦栎(*Quercus tungmaiensis*)等群落;硬叶常绿阔叶林的川滇高山栎(*Quercus aquifolioides*)群落;常绿针叶林的云南铁杉(*Tsuga dumosa*)、苍山冷杉(*Abies delavayi*)、墨脱冷杉(*A. delavayi* var. *motouensis*)、急尖长苞冷杉(*A. georgei* var. *smithii*)、林芝云杉(*Picea likiangensis* var.

lintziensis)、高山松(*Pinus densata*)等群落;常绿革叶灌丛的黄杯杜鹃(*Rhododendron wardii*)、栎叶杜鹃(*R. phaeochrysum*)、紫背杜鹃(*R. forrestii*)、平卧杜鹃(*R. repens*)、鳞腺杜鹃(*R. lepidotum*)、弯柱杜鹃(*R. campylogynum*)、绿柱杜鹃(*R. lepidotum* ssp. *hypolepidotum*)、矮小杜鹃(*R. pumilum*)等群落;落叶阔叶灌丛的藏甸柳(*Salix faxonianaoides*)、丛毛矮柳(*S. floccosa*)、匙叶矮柳(*S. annulifera* var. *macriula*)、尖叶垫柳(*S. acuminatophylla*)、毛叶小垫柳(*S. pilosomicrophylla*)、扇叶柳(*S. flabellaris*)和爬柳(*S. souliei*)等群落;常绿针叶灌丛的方枝圆柏(*Sabina saltuaria*)、高山柏(*S. squamata*)、香柏(*S. pingii* var. *wilsonii*)等群落;高山杂类草甸的岩白菜(*Bergenia purpurascens*)、红花细茎驴蹄草(*Caltha sinogracilis* f. *rubriflora*)、叶状柄垂头菊(*Cremanthodium phyllodineum*)、纤萼粉报春(*Primula genestieriana*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、丛生菱叶委陵菜(*Potentilla coriandrifolia* var. *dumosa*)、近多鳞鳞毛蕨(*Dryopteris subbarbigera*)等群落;莎草草甸的川滇嵩草(*Kobresia cercostachys*)群落;以及高山冰缘植被的紫花蓼(*Polygonum griffithii*)、无茎芥(*Pegaeophyton scapiflorum*)、锡金葶苈(*Draba sikkimensis*)、毡毛雪莲(*Saussurea velutina*)、粉花蚤缀(*Arenaria roseiflora*)、条裂蚤缀(*A. delavayi*)等群落。这些以中国-喜马拉雅区系成分为其建群种的群落,约占上述顶极植被组建群落的85%以上。除建群种外,中国-喜马拉雅成分在上述群落以及其他一些次生群落的伴生种中亦占有优势。如本区常绿、半常绿阔叶林的主要伴生乔木树种小花木荷(*Schima parviflora*)、小箱石栎(*Lithocarpus arcuala*)、墨脱石栎(*L. obscurus*)、格当石栎(*L. godangensis*)、墨脱青冈(*Cyclobalanopsis motouensis*)、倒卵叶黄肉楠(*Actinodaphne obovata*)、墨脱楠(*Phoebe motuanan*)、长梗润楠(*Machilus longipedicellata*)、隐脉润楠(*M. obscurinervia*)、糙枝润楠(*M. ovatiloba*)、红梗润楠(*M. rufipes*)等;硬叶常绿阔叶林的主要伴生树种长序杨(*Populus pseudoglauca*)、高山松等;常绿针叶林的主要伴生树种滇藏木兰(*Magnolia campbellii*)、毛叶玉兰(*M. globosa*)、长尾槭(*Acer caudatum*)、锡金槭(*A. sikkimense*)、独龙槭(*A. taronense*)、毛柄樟楠(*Lindera villipes*)、绢毛木姜子(*Litsea sericea*)、西藏红杉(*Larix griffithiana*)、怒江红杉(*L. speciosa*)、糙皮桦(*Betula utilis*)等以及高山灌丛、高山草甸、高山冰缘植被的主要伴生植物如银背杜鹃(*Rhododendron aganniphum*)、假单花杜鹃(*R. pemakoense*)等多种杜鹃属植物,青藏垫柳(*Salix lindleyana*)、圆齿垫柳(*S. anticecrenata*)等多种柳属高山垫状柳组植物,和睫毛岩须(*Cassiope dendrotricha*)、扫帚岩须(*C. fastigiata*)、多花杉叶杜(*Diaplarche multiflora*)、大苞越桔(*Vaccinium modestum*)、刺毛叶白珠(*Gaultheria trichophylla*)、矮小白珠(*G. nana*)等杜鹃花科植物,以及无茎龙胆(*Gentiana namlaensis*)、朗县龙胆(*G. sherriffii*)等多种龙胆属植物,暗红紫晶报春(*Primula valentiniana*)、翅柄岩报春(*P. jonardunii*)等多种报春花属植物,毛盔马先蒿(*Pedicularis trichoglossa*)、大唇马先蒿(*P. megalochila*)等多种马先蒿属植物亦均为中国-喜马拉雅区系成分。

需要指出的是中国-喜马拉雅成分主要是在喜马拉雅山脉和青藏高原隆升过程中,印度洋暖湿气流创造的湿润、半湿润环境下形成的年轻植物区系,所以组成本区植被的中国-喜马拉雅成分是由多种区系成分演变而成,这在该成分的组成属中有很好的反映,其中最值得重视的是印度-马来西亚和泛热带分布及热带美洲和热带亚洲间断分布的热带属,前者如樟科的黄肉楠(*Actinodaphne*)、润楠(*Machilus*)、新木姜子(*Neolitsea*)、壳斗科的栲(*Castanopsis*)、石栎(*Lithocarpus*)、木兰科的木莲(*Manglietia*)、含笑(*Michelia*)、山茶科的

木荷(*Schima*)等属;后两者如樟科的琼楠(*Beilschmiedia*)、厚壳桂(*Cryptocarya*)、山矾科的  
山矾(*Symplocos*)、凤仙花科的风仙花(*Impatiens*)、冬青科的冬青(*Ilex*)、卫矛科的卫矛  
(*Euonymus*)、桑科的榕(*Ficus*)、樟科的木姜子(*Litsea*)、杜鹃花科的白珠树(*Gaultheria*)、猕  
猴桃科的水东哥(*Saurauia*)等属(吴征镒、王荷生,1983)。这显然说明了组建本区植被的  
最重要成分——中国-喜马拉雅成分有不少是源自热带区系成分特别是印度-马来西亚成  
分的。

中国-喜马拉雅分布属的另一个重要成分是与中国-日本成分共有的属,如五加科的  
五加(*Acanthopanax*)、杜鹃花科的吊钟花(*Enkianthus*)、虎耳草科的溲疏(*Deutzia*)、茜草科  
的薄皮木(*Leptodermia*)、壳斗科的青冈(*Cyclobalanopsis*)、山茱萸科的桃叶珊瑚(*Aucuba*)、  
青荚叶(*Helwingia*)、禾本科的方竹(*Chimonobambusa*)、桔梗科的党参(*Codonopsis*)、猕猴桃  
科的猕猴桃(*Actinidia*)、和茄科的山莨菪(*Anisodus*)等属(吴征镒、王荷生,1983)。这无疑  
说明了在西太平洋暖湿气流影响下形成的中国-日本区系与在印度洋暖湿气流影响下形  
成的中国-喜马拉雅区系之间的密切联系,这种联系是与两地具有相似的湿润、半湿润环  
境有直接关系的。

除上述两者外,该成分中还有一类非常值得重视的属——北温带分布的属,不过有一  
点必须指出,即本区许多中国-喜马拉雅成分所在的北温带的属并非一定就起源于北温  
带,如栎(*Quercus*)、槭(*Acer*)、樱桃(*Prunus*)、枹(*Fraxinus*)、桑(*Morus*)、花楸(*Sorbus*)、胡  
颓子(*Elaeagnus*)等所谓北温带的属其最原始的常绿或半常绿类型许多都仅产于东喜马  
拉雅-横断山区,其如西藏栎、通麦栎、川滇高山栎、飞蛾槭(*Acer oblongum*)、尖叶桂樱  
(*Prunus undulata*)、腺叶桂樱(*P. phaeosticta*)、多花白蜡树(*Fraxinus floribunda*)、光叶桑  
(*Morus macroura*)、尾叶花楸(*Sorbus subochracea*)等,另如一些所谓的北温带成分实际上  
都是以东喜马拉雅-横断山区为分布及分化中心的。这些属如杜鹃(闵天禄、方瑞征,  
1979),紫堇(*Corydalis*) (Wu Zheng-yi, Su Zhi-yun, Zhuang xuan, 1981.), 报春花(Chen-  
Feng-huai, Hu Qi-ming, 1981.), 点地梅(胡启明, 1986)、龙胆(*Gentiana*) (He Ting-nong,  
1981)、柳(*Salix*) (方振富、赵士洞, 1981)、马先蒿(杨汉碧, 1982)、九子母(*Dobinea*)、漆  
(*Toxicodendron*)、蚤缀(*Arenaria*)、冷杉(*Abies*)、云杉(*Picea*)、圆柏(*Sabina*)、虎耳草(*Sax-  
ifraga*)、乌头(*Aconitum*)、莢蒾(*Viburnum*)、忍冬(*Lonicera*)、风毛菊(*Saussurea*)等等,这些  
都说明这一地区很可能是一些温带成分的起源和分化地。

综上所述,我们可以清楚地看出南峰地区的主体区系成分——中国-喜马拉雅成分有  
着极其特殊的史渊,它真实地反映了本区植被的复杂形成历程。

组建南峰地区植被的另一重要成分是古热带植物区的印度-马来西亚成分。地史资料  
证明,早在第三纪渐新世时,从北非经印度次大陆至中南半岛并一直到印度尼西亚、巴布  
亚新几内亚群岛的广阔地区即处在湿润的热带环境下,其上生长着许多古老的热带植物。  
如龙脑香科(Dipterocarpaceae)、使君子科(Combretaceae)、千屈菜科(Lythraceae)、山榄科  
(Sapotaceae)、马鞭草科(Verbenaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、杜英科(Elaeocarpaceae)、  
大风子科(Flacourtiaceae)、梧桐科(Sterculiaceae)的许多热带植物那时已生长在这一地区。  
此时刚刚隆升的青藏高原南侧地区亦处在上述泛热带区域内,发现的植物化石表明它生  
长着与之相同的热带植物(Rajhendra N. Lakhanpal, 1970)。而到第四纪,包括南峰地区在  
内的青藏高原南缘地区已偏离赤道热带所在的地域,但由于新形成的季风气候,使古热带

植物区系在印度洋暖湿气候润泽下保留下来,并且在喜马拉雅等东西走向山脉的保护下免遭第四纪寒冷气候的侵扰(李渤生,1988)。如今南峰地区南部低海拔谷地的印度-马来西亚成分即是上述古老热带成分的后裔,它们是现在该区沿河谷分布至达木的常绿、半常绿季风雨林区系成分的主要组建者。例如南峰地区常绿、半常绿季风雨林的建群种羯布罗香(*Dipterocarpus turbinatus*)、千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)、阿丁枫(*Altingia excelsa*)等均属于这一成分;其群落的一些重要伴生树种如四数木(*Tetrameles nudiflora*)、阿萨姆婆罗双(*Shorea assamica*)、小果紫薇(*Lagerstroemia minuticarpa*)、斯里兰卡天料木(*Homalium zeylanicum*)、铁力木(*Mesua ferrea*)、多脂橄榄(*Canarium resiniferum*)、麻栋(*Chukrasia tabularis*)、葱臭木(*Dysoxylum gobara*)、翅子树(*Pterospermum lanceaefolium*)、中平树(*Macaranga denticulata*)、圆锥叶轮木(*Ostodes paniculatus*)、红光树(*Knema cinerea*)等即亦属这一成分。总而言之,它们是南峰地区1100米以下热带性质的常绿、半常绿季风雨林的主要组建成分。除此之外,南峰地区的热带森林还含有少量的热带亚洲—热带大洋洲成分和热带亚洲—热带非洲成分,前者如山黄麻(*Trema orientalis*)、斜叶榕(*Ficus tinctoria*)、桃榔(*Arenga pinnata*)、红椿(*Toona ciliata*)和鱼骨木(*Canthium dicoccum*)等,后者如藤麻(*Procris laevigata*)、毛刺蒴麻(*Triumfetta tomentosa*)等。

当然组成南峰地区植被的区系成分还不仅限于以上几种,其他诸如世界分布,中亚分布,地中海区、西亚至中亚分布,温带亚洲分布,旧世界温带分布,北温带分布等等区系成分本区都有所见,不过它们在植被的区系组成中均不起重要作用,多作为演替群落成分或次要伴生种类出现在群落中,并多见于林线以上的高山地区。

最后,还需补充一点,即南峰地区的植物区系中含有三个地区特有属:君范菊(*Sinoleontopodium*) (陈艺林,1985)、马松蒿(*Xizangia*) (洪德元,1986)和翅果蓼(*Parapteropyrum*) (李安仁,1981)属,并含有近150个地区特有种,这都说明本区还是植物物种分化异常活跃的地区。

综上所述,南峰地区的植物区系以种类丰富,起源古老,地理成分复杂,特有植物繁多,物种分化活跃为特点。植物区系是植被的基础。本区植物区系组成的这一特点给与该区植被以极其深刻的影响,本区植被的许多特点均与其有密切关系。

## 第二节 主要植被类型特点

在本书中要对南峰地区众多的植被类型一一进行介绍实无可能,所以在此我们仅能择其顶极植被类型作一概括性的论述。

### 一、阔 叶 林

#### (一) 常绿季风雨林

常绿季风雨林分布在东喜马拉雅—岗日嘎布拉南翼,28°30'N以南海拔900米以下的雅鲁藏布江与其支流各地。

其分布地受到印度洋暖湿气流的强烈影响,气候高温多雨,年均温26—22℃;年降水



量 3 500—5 000 毫米,80%以上集中在 5—10 月份的雨季;但在旱季,由于年降水总量大,土壤潮湿,空气含有较多水汽,早晨常形成浓雾和重雾,故无明显旱象出现。

南峰地区的常绿季风雨林,是分布中心位于印度东北部的常绿季风雨林沿江北延部分,植被在植物种类组成、群落结构以及外貌特征方面均与后者相近。植被以常绿的龙脑香科植物——羯布罗香为建群种,形成高大郁密的森林。与典型的赤道雨林不同,该雨林在季风气候影响下,乔木层伴生有较多的半常绿和落叶树种,如多脂橄榄、四数木、阿萨姆娑罗双、千果榄仁、小果紫薇、铁力木、红椿等。但是由于它们一般都属于二层乔木,所以该群落一年四季都保持常绿外貌。

常绿季风雨林群落结构不甚清晰,大体可分为乔木、灌木、草本三层,此外,群落的层外植物亦较发育。

其乔木层由 2—3 个亚层组成,第一亚层高 30—50 米,第二亚层 15—30 米,第三亚层低于 15 米。整个乔木层郁闭度在 0.6—0.8 之间。

常绿季风雨林的灌木层多不发育,盖度一般不足 40%。主要是由金株柳(*Maesa montana*)、山地五月茶(*Antidesma montana*)、止泻木(*Holarrhena antidysenterica*)、藏南山槟榔(*Pinanga gracilis*)、桃榔(*Arenga pinnata*)等组成,在潮湿沟边,还时而可以见到小露兜(*Pandanus greccitii*)和多种禾本蕨类如毛叶桫欏(*Cymnospaera andersonii*)、白桫欏(*Sphaeropteris brunoniana*)等。

群落的草本层发育程度不一,在二三层乔木和灌木较稀疏的林下,常长满了柊叶(*Phrynium capitatum*)、尖苞柊叶(*P. placentarium*)、闭鞘姜(*Costus speciosus*)、蒿笋花(*C. lacerus*)等根茎单子叶植物,盖度可达 40%—60%。而在下木及灌木发育的阴湿林中,则多以凤仙花、楼梯草(*Elatostema*)等属植物为主,盖度 30%—50%。

常绿季风雨林内,藤本植物、附生植物十分发达,树上常爬满了毛过山龙(*Rhaphidophora hookeri*)、多花省藤(*Calamus floribundus*)、扁担藤(*Tetrastigma planicaule*)、小翅鱼藤(*Derris microptera*)等多种藤本植物;树枝丫及树干、藤茎上亦长满了兰科、水龙骨科、膜蕨科、苦苣苔科的附生植物以及多种苔藓植物,树叶上还附生有发达的叶附生苔。

## (二) 半常绿季风雨林

半常绿季风雨林分布在东喜马拉雅—岗日嘎布拉南翼,达木(29°30'N 附近)以南的雅鲁藏布江及其支流谷地,分布高度一般不超过 1 100 米,但在局部环境,可分布至 1 200—1 500 米。南峰地区的半常绿季风雨林是北半球分布最北的雨林植被,它比正常分布的雨林植被高出了近 6 个纬度。这显然是与该区地处印度洋暖湿气流北进高原的主要水汽通道上,深受印度洋暖湿气流的影响有关。

半常绿季风雨林分布地区的热量条件已达到雨林发育的极限值,年平均温仅有 16—18℃。但是这里由于有东喜马拉雅及岗日嘎布山脉的屏护,冬季一般不出现 0℃和 0℃以下的绝对最低温,同时雨量亦较丰富,年降水量在 2 000—3 000 毫米之间,致使雨林植被能够在如此高的纬度正常生长。不过与常绿季风雨林相比,其年降水量已明显减少,这样在季降水仅有年降水百分之十几的旱季,气候出现明显旱象。特别是在旱季快要结束的 4 月份,随着气温迅速回升,旱象更为显著,有时大片的竹丛也为灼日烤得枯黄。

在这种气候条件下,半常绿季风雨林形成了与常绿季风雨林全然不同的群落特性。其一层乔木(无论建群种,还是伴生种)由在旱季末换叶的半常绿阔叶乔木如千果榄仁、阿丁枫、多脂橄榄、斯里兰卡天料木和旱季落叶的阔叶乔木如小果紫薇、四蕊朴(*Celtis tetrandra*)、红椿等组成;而二层乔木则80%以上均由常绿阔叶乔木组成,如马蛋果(*Gynocardia odorata*)、大叶桂(*Cinnamomum iners*)、印度栲(*Castanopsis indica*)、瓦山栲(*C. ceratacantha*)、长刺栲(*C. logispina*)、长棒柄花(*Cleidion javanicum*)、盖裂木(*Talauma hodgsonii*)、滇北杜英(*Elaeocarpus boreali-yunnanensis*)、少籽藤黄(*Garcinia anomala*)等。这样在旱季早中期,一层乔木的落叶树种叶很快落光,半常绿乔木亦有部分树叶脱落,及至旱季快结束的早春,这些半常绿乔木在很短时间内将余叶全部脱掉同时又长出新叶,在换叶初期一层乔木仅剩下光裸的枝干。但是,该群落并没有因此而呈现出与落叶阔叶林秋冬季相同的群落外貌,这主要是因为二层乔木大部由常绿阔叶树种组成,其郁密相连的深绿色树冠,使整个群落仍呈现与雨季相近的色调,唯一不同的只是在深绿的底色上点缀有一层乔木光裸枝干形成的灰褐色斑。

半常绿季风雨林以植物区系组成、群落结构和生态特征均具有雨林的特点而明显区别于常绿阔叶林。在群落的区系组成上,半常绿季风雨林以印度-马来西亚区系成分为主体,植物种类组成丰富并富热带性;在群落结构上半常绿季风雨林层次复杂,各层界限不明显:其乔木层一般可分为3层,一层25—40米,二层15—25米,三层小于15米。一层乔木树冠不连接,参差起伏,二层乔木树冠郁密且连接,一层乔木胸径一般在40—60厘米之间,仅有个别大树胸径可超过100厘米,乔木树皮薄且光滑,多呈灰白色,时见有板根和老茎生花现象。半常绿季风雨林内藤本植物较发达,特别是木质藤本植物种类比较丰富。林间附生植物种类繁多,生长茂盛。这些都与非雨林的森林形成明显差异。但是从另一方面来看,半常绿季风雨林已属极限条件下生长的雨林类型,上述这些雨林特征与典型的雨林植被难与相比。

南峰地区的半常绿季风雨林主要由以下两类群落组成:

### 1. 千果榄仁群落(*Community Terminalia myriocarpa*)

本群落是半常绿季风雨林最典型的代表性群落,在本区主要生长在1000米以下,地势平缓、土层深厚潮湿的雅鲁藏布江干支流谷地,其中在米日雅鲁藏布江急转回流形成的河滩低阶地上发育的最为良好。

千果榄仁在群落一层乔木中居绝对优势,其高25—40米,胸径60—120厘米。该层常见的伴生树种还有小果紫薇(照片9-1)和阿丁枫,四蕊朴,斯里兰卡天料木。一层乔木树冠多呈广伞形,不连续,郁闭度0.4—0.5。

二层乔木一般高15—25米,几乎全部由常绿阔叶乔木组成,最常见的如小果榕(*Ficus concinna* var. *subsessilis*)、大叶水榕(*F. glaberrima*)、马蛋果、多果厚壳桂(*Cryptocarya microcarpa*)、长刺栲、瓦山栲、喀西鹅掌柴(*Schefflera khasiana*)、长棒柄花、滇北杜英、少籽藤黄等,其郁闭度可达0.6—0.7。

群落三层乔木和灌木层不甚发育,其中还含有大量上层乔木的幼树。比较常见的植物为四瓣崖摩(*Amoora tetrapetala*)、西藏割舌树(*Walsura xizangensis*)、西蜀苹婆(*Sterculia lanceaefolia*)、桄榔、藏南山槟榔、桫欏(*Alsophila spinulosa*)、暹罗九节木(*Psychotria*

siamica)、云南九节木(*P. yunnanensis*)、长叶水麻(*Debregeasia longifolia*)、帕那参(*Brasaiopsis glomerulata*)、斜基粗叶木(*Lasianthus wallchii*)、云贵粗叶木(*L. biermanni*)和墨脱小堇棕(*Wallichia disticha*)等。

群落草本层发育良好,特别是在二层乔木较为稀疏的情况下,尖苞柊叶几乎覆盖了整个地表,其分盖度可达60%—70%。在较阴湿的林下,草本植物一般由荨麻科植物为主组成,常见的如长穗冷水花(*Pilea myriantha*)、长序冷水花(*P. melastomoides*)和肾蕨(*Nephrolepis auriculata*)、红色新月蕨(*Pronephrium lakhimpureense*)、食用观音座莲(*Angiopteris esculenta*)等蕨类植物,以及粗壮杜若(*Polia hasskarlii*)等。在局部流水湿地,则生长着大片野芭蕉(*Musa balbisiana*)。

千果榄仁群落层外植物丰富,树干上爬满了爬树龙(*Rhaphidophora decursiva*)、毛过山龙以及具柄胡椒(*Piper petiolatum*)、绿毛胡椒(*P. semiimmersum*)等草质藤本植物;而树间刺苞省藤(*Calamus acanthospatus*)、扁担藤及短柄垂籽买麻藤(*Gnetum pendulum* f. *intermedium*)则横贯斜垂,树干树丫及藤蔓之上长满了长叶巢蕨(*Neottopteris phyllitides*)、友水龙骨(*Polypodiodes amoena*)、披针叶石韦(*Pyrrosia lanceolata*)、密花石豆兰(*Bulbophyllum odoratissimum*)、束花石斛(*Dendrocium chrysanthum*)等附生植物;草灌木的枝叶上还密密麻麻地附着着叶附生苔类,呈现出一派雨林林内景观。

## 2. 阿丁枫群落(*Community Altingia excelsa*)

该群落是本区半常绿季雨林分布面积最大的群落,广布于东喜马拉雅—岗日嘎布拉山脉南翼,1 100米以下的雅鲁藏布江及其支流谷岸(照片9-2)。群落对生态环境有较强的适应性,经常生长在坡度大于30°、土壤瘠薄的谷坡,有时甚至在近于直立的石质陡壁上亦能发育。阿丁枫群落具有明显的向常绿阔叶林过渡的性质,它有较强的抗寒性,在局部小气候环境下,可以分布到1 500米的高度,镶嵌于常绿阔叶林群落之中。

阿丁枫群落一般由乔木、灌木、草本三个层次构成。由于群落生长地的生态环境变化幅度很大,其群落特征亦有明显差异。一般说来该群落的一层乔木基本均由阿丁枫组成,高达40—50米,胸径多在60—90厘米之间,最粗亦有超过1米者。群落一层伞形树冠不连接,参差起伏,呈褐绿色,当旱季到来时,阿丁枫开始缓慢落叶,而到最干旱的4月份,则迅速将叶脱光,随即长出鲜红的新叶。该群落在1 000米以下的低海拔谷地,一层乔木中常混有千果榄仁等其他树种。

阿丁枫群落的二层乔木主要由常绿阔叶乔木组成,树木枝叶茂盛,半球形树冠紧密相连,呈墨绿色,构成群落的优势林冠。在海拔1 000米以下,其组建树种与千果榄仁群落十分相似,主要由大叶水榕、小果榕、马蛋果、厚壳桂、滇北杜英、云南黄杞(*Engelhardtia spicata*)、印度栲、长刺栲等组成,在海拔1 000米以上,该群落二层乔木,则表现出与常绿阔叶林十分相近的树种组合状况。常见二层乔木为瓦山栲、刺栲、马蹄荷(*Exbucklandia populnea*)、小花木荷、锈毛山龙眼(*Helicia vestita*)、小箱石栎、厚叶石栎(*Lithocarpus pachyphyllus*)、钝叶樟(*Cinnamomum bejolghota*)、长梗润楠、长穗桦(*Betula cylindrostachya*)等,整个群落乔木层郁闭度在0.5—0.7之间。当海拔继续升高,一层乔木阿丁枫无法生存时,该群落即自然地过渡到常绿阔叶林。

阿丁枫群落三层乔木不发达,大部为二层乔木的幼树。灌木层主要由暹罗九节木、云

南九节木、长叶水麻等组成,高0.5—1.5米,盖度不足40%。

群落草本层发育良好,常以疏伞楼梯草(*Elatostema laxicymosum*)为优势,常见植物还有尖苞柊叶、红色新月蕨、粗状杜若、红姜花(*Hedychium coccineum*)、圆瓣姜花(*H. forrestii*)、棕叶狗尾草(*Setaria palmifolia*)、大叶仙茅(*Curculigo capitulata*)、长叶秋海棠(*Begonia acetosella*)、假芋(*Colocasia fallax*)等。

群落内藤本植物比较发育,除与千果榄仁一样拥有刺苞省藤、扁担藤、短柄垂籽、买麻藤、褐叶榕(*Ficus pubigera* var. *maliformis*)等多种木质藤本植物和爬树龙、毛过山龙、墨脱胡椒(*Piper bavinum*)、绿毛胡椒、螳螂跌打(*Pothos scandens*)等多种草质藤本植物之外,还有着大量藤本竹类,在林下,空竹(*Cephalostachyum latifolium*)形成数十根的丛体,攀援于枝上,高可达10米。形成独特的雨林景观。

阿丁枫群落的附生植物远不如千果榄仁群落发达,常见的附生植物有长叶巢蕨、友水龙骨、肾蕨、墨脱网藤蕨(*Lomagramma medogensis*)、西藏石韦(*Pyrrosia tibetica*)和圆叶匙唇兰(*Schoenorchis gemmata*)、束花石斛、密花石斛(*Dendrobium densiflorum*)、密花石豆兰(*Bulbophyllum odoratissimum*)、直唇卷瓣兰(*B. delitescens*)等多种附生兰。

### (三) 常绿阔叶林

南峰地区的常绿阔叶林主要分布于东喜马拉雅—岗日嘎布山脉南翼、甘代以南的雅鲁藏布江与其支流谷岸和两侧山地。分布高度在海拔1100—2200米之间。生长地气候温暖湿润,年平均气温15—18℃,无霜期290天左右,年降水量可达2000—2700毫米。因群落分布地区正是当地人类生产活动最集中的地区,大片常绿阔叶林已被辟为刀耕火种地,保存完好的常绿阔叶林不多见,大都呈小片残存在雅鲁藏布江陡峻的支流谷坡中。

南峰地区的常绿阔叶林以壳斗科、樟科、山茶科、木兰科和金缕梅科乔木为其基本成分。常绿阔叶乔木在乔木层中占据优势。与常绿和半常绿雨林相比,常绿阔叶林群落结构比较清晰和简单,群落一般分为乔木、灌木和草本三层,而乔木层只有两个亚层。一层乔木一般高20—30米,以栲(*Castanopsis*)属植物为主组成,上层树冠连续,多呈半球形,群落外貌整齐。除在春季盛花期,由于黄绿色的花序布满枝头,群落呈黄绿色外貌外,群落终年呈深绿色外观。

南峰地区的常绿阔叶林深受印度洋暖湿气流的影响,因而表现出许多与众不同的特性。一是在上节所提到的其植物区系组成以中国-喜马拉雅成分为主体,表现出鲜明的区域特色;二是常绿阔叶林仍保留着雨林植被的一些特征,这显示了本区常绿阔叶林在起源上与季风雨林植被密切的亲缘关系。如在1500米以下,常绿阔叶林群落中有时常常可以看到半常绿季风雨林的建群种阿丁枫矗立其间,犹如鹤立鸡群。林下常见有百日青(*Podocarpus neriifolius*)、红椿、具梗藤黄(*Garcinia pedunculata*)、滇藏杜英(*Elaeocarpus braceanus*)、长棒柄花、中平树、绵毛水东哥(*Saurauia griffithii*)、红萼水东哥(*S. rubricalyx*)、纯齿鱼尾葵(*Coryota obtusa*)、树蕨、野芭蕉等许多半常绿季风雨林中常见的植物以及半常绿雨林最富有的刺苞省藤、短柄垂籽买麻藤等木质藤本植物和长叶巢蕨、友水龙骨、柔毛水龙骨(*Polypodiodes polosa*)、光叶槲蕨(*Drynaria propinqua*)、匍茎石豆兰(*Bulbophyllum emarginatum*)等附生植物。除此之外,林内一些乔木有时亦可出现板根和

茎花现象。

南峰地区的常绿阔叶林主要由以下两个群落组成。

### 1. 瓦山栲群落(*Community Castanopsis ceratacantha*)

本群落是南峰地区常绿阔叶林中分布面积最大的群落,多分布在东喜马拉雅—岗日嘎布山脉南翼达木以南的谷坡和山地,分布海拔在 800—1 700 米之间;在 1 100 米以下,它一般是刀耕火种地弃耕后半常绿季风雨林演替的中间群落。在 1 100—1 600 米之间则发育良好,成为这一垂直高度带的优势植物群落,特别是在一些平缓、土质肥厚的山间盆地或台地(如格林),其生长甚好,形成异常郁密的森林。

瓦山栲群落成层现象明显,群落可分为乔木、灌木和草本三个层次,乔木层又进而可分为两个亚层。

作为单优群落,其一层乔木几乎均由建群种瓦山栲组成,一层乔木通常高 20—30 米,最高可达 35 米,树木胸径在 40—60 厘米之间,粗者亦有超过 1 米的,平均株距 6—8 米,冠幅一般为 8 米×6 米。树冠呈半球形、浓密浑圆、紧密相接、形成波状起伏的墨绿色林冠,而在春季盛花期则呈现出特殊的黄绿色季相,这是由其布满枝顶的黄色花序所造成的。除建群种外,瓦山栲群落一层乔木中偶尔亦可见到刺栲、短刺栲(*Castanopsis echidnocarpa*)、西藏石栎、小花木荷、马蹄荷和樟科的一些常绿阔叶乔木,一层乔木中一般不出现落叶阔叶树种,但是在海拔 1 500 米以下,瓦山栲群落中常常见有孤立的阿丁枫,高高突立于其一层乔木连续树冠之上。瓦山栲一层乔木的郁闭度多在 0.6—0.8 之间。

瓦山栲群落二层乔木和灌木层不发育,盖度不足 40%。常见乔木有倒卵叶黄肉楠、尼泊尔野桐(*Mallotus nepalensis*)、大花水东哥(*Saurauia megalantha*)、绵毛水东哥、单叶帕那参(*Brassaiopsis simplicifolia*)、灌木为毛果柃木(*Eurya trichocarpa*)、美果九节(*Psychotria calocarpa*)、长叶水麻、云贵粗叶木等。高度分别为 3—20 米和 0.5—2 米。

群落草本层发育尚好,一般以蕁麻科植物和常绿蕨类为主,层高 0.5—0.7 米,盖度 30%—40%。疏伞楼梯草、楔苞楼梯草(*Elatostema cuneiforme*)常占有优势,其他常见草本植物还有大叶仙茅、黄姜花(*Hedychium flavum*)、墨脱短肠蕨(*Allantodia medogensis*)、尾叶红线蕨(*Diacalpe caudifolia*)等。

群落的层外藤本植物时有出现,特别是刺苞省藤和藤本竹类灰白空竹(*Cephalostachyum pallidum*),前者高高攀援于一层乔木的顶端,垂直高度可达 20—30 米,而后者则呈数十株的丛体,环布于巨树之下,柔软的竹茎援树而上一一直伸展到大乔木的下层枝丫或上层乔木的树冠上。远观大树仿佛垂满了气生根。除木质藤本外,瓦山栲群落大树的树干上还时常爬满具柄胡椒、爬树龙、抱茎菝葜(*Smilax ocreata*)等草质藤本植物。

瓦山栲群落中附生植物亦有出现,如长叶巢蕨、长生铁角蕨(*Asplenium prolongatum*)、友水龙骨、灰白节肢蕨(*Arthromeris wardii*)、西藏石韦(*Pyrrosia tibetica*)、光叶槲蕨以及多种兰科植物如密花石豆兰、伏生石豆兰(*Bulbophyllum reptans*)、藓叶卷瓣兰(*B. retusiusculum*)等。

### 2. 刺栲群落(*Community Castanopsis hystrix*)

本群落分布于东喜马拉雅—岗日嘎布山脉南翼甘代以南的雅鲁藏布江谷岸和谷坡。

分布海拔在1200—2200米。生长地海拔较高,环境一般比瓦山栲群落潮湿和凉爽。由于人为破坏,该群落的原始林已极少见,仅在雅鲁藏布江支流一些人迹罕至的沟谷山坡才有小片残遗群落。所见发育最好的一片刺栲林在旁辛区旁辛附近,海拔高度1980米(照片9-3),森林异常高大郁密。

刺栲群落一般由乔木层、灌木层、草本层和苔藓地被层组成。乔木层又分为上下两个亚层。

刺栲群落亦如瓦山栲群落一样为单优群落,群落一层乔木除在群落垂直分布的上下限附近混生有西藏青冈、薄片青冈和阿丁枫外,几乎全部由建群种刺栲组成。群落中刺栲一般高20—35米,最高达40米,胸径60—80厘米,粗者可达1米。刺栲树干通直,树冠冠幅一般8米×7米,大可到20米×15米,呈半球形。一层树冠连接,色调褐绿色。一层乔木郁闭度在0.6—0.8之间。

刺栲群落二层乔木一般高15—20米。主要由常绿阔叶乔木组成,常见的有小花木荷、瓦山栲、马蹄荷、西藏山龙眼(*Helicia tibetica*)、小箱石栎、长梗润楠、西藏润楠(*Machilus tibetica*)、桂果琼楠(*Beilschmiedia cylindrica*)、云南樟(*Cinnamomum glanduliferum*)、川桂(*C. wilsonii*)、倒卵叶黄肉楠等,偶尔也有少量落叶阔叶乔木如红椿、叉按状槭(*Acer euca-lyptoides*)、西藏木莲(*Manglietia microtricha*)等。

群落灌木层发育不良,盖度在20%—30%之间,高度1—3米。常见的有贡山柃(*Eurya gungshanensis*)、云贵粗叶木、美果九节、双果冬青(*Ilex dicarpa*)、喜斑鸠菊(*Vernonia blanda*)、虎刺(*Damnacanthus indicus*)、小乔木状紫金牛(*Ardisia arborescens*)、水红木(*Viburnum cylindricum*)等。

群落草本层发育不良,盖度在20%左右,以疏伞楼梯草、沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)、楔苞楼梯草最为常见,此外橙花开口箭(*Tupistra aurantiaca*)、西藏石葶、大叶凤丫蕨(*Coniogramme fraxinea*)等也较常见。

刺栲群落生长地海拔较高,分布上限附近近临高山最大降水带,所以分布在1500米以上的群落,下层均有较发达的苔藓地被层,该层盖度在50%以上。但发育程度远不及分布在地最大降水量水带内的半常绿阔叶林和亚高山常绿针叶林。

刺栲群落,特别是分布海拔较低的群落中刺苞省藤、爬树龙、扁担藤、短柄垂籽买麻藤时有出现,随着海拔升高,林内藤本植物逐渐减少,及至分布上限树干上仅见有紫苞石柑(*Pothos cathcartii*)、球穗胡椒(*Piper mullesua*)等少数草质藤本植物。附生植物的情况亦是如此,随着海拔的升高其数量,种类均大大减少,林内显得比较干净。

#### (四) 半常绿阔叶林

半常绿阔叶林是本次考察新发现的一种阔叶林类型(李渤生,1985),就目前所知,它主要分布于东喜马拉雅—岗日嘎布—高黎贡,这一马蹄形山环的内侧,此外还沿雅鲁藏布江—帕隆藏布下游水汽通道延伸至山环外侧的白马狗熊、东久、帕隆、通麦、易贡、索通等局部地区。在甘代以北的雅鲁藏布江及其支流谷地,半常绿阔叶林多发育在1700—2600米的谷岸,在甘代以南,则生于1500—2400之间的山地。

半常绿阔叶林分布地区气候湿润多雨,年降水量可达1000—3000毫米,年平均气温

11—15℃,无霜期220—260天,冬季林下有薄层积雪。但是由于该区具有鲜明的季风气候特征,年降水80%以上集中在5—10月份的雨季,所以11—翌年4月的旱季则降水稀少,日照充足,蒸腾作用强烈,出现明显的旱象;特别是在旱季即将结束的4月底,随着气温的迅速回升,旱象更为明显。半常绿阔叶林即是以独特的一层乔木春季集中换叶的形式,适应这种短期恶劣气候的一种阔叶林类型。

半常绿阔叶林一般可以分为乔木层、灌木层、草本层和苔藓地被层四层。

乔木层由上下两个亚层组成,一层乔木除极少量常绿阔叶和落叶阔叶乔木外,绝大多数为半常绿阔叶乔木,后者控制着整个群落的形态外貌和季相变化。半常绿阔叶林一层乔木一般高度在25—40米之间,胸径60—120厘米。郁闭度0.6左右;主要由壳斗科的青冈、栎属和个别樟科的半常绿阔叶乔木组成,间有少量樟科、山茶科和金缕梅科的常绿阔叶乔木和木兰科、槭树科、蔷薇科的落叶阔叶乔木。二层乔木高10—20米左右,胸径在30厘米以下,以樟科、山茶科、五加科的一些植物以及高大的乔木状杜鹃组成。群落灌木层和草本层不发育,盖度都在40%以下。值得注意的是半常绿阔叶林一般都有着极其发育的苔藓地被层。厚达5—10厘米的苔藓形成绿色的毡被,密密覆盖于地表及树干表面,盖度可达60%—70%。为此,有些研究者常称之为苔藓常绿阔叶林。在半常绿阔叶林群落结构中另一个值得注意的现象是它的林下有着发达的由藤本竹类组成木质藤本植物层片,这种现象通常仅见于热带雨林中,与此类似的情况还表现在群落的一层乔木常发育有板根;以及林中有较多的附生植物等等。毋庸置疑,这些都与其生长地受到印度洋暖湿气流的强烈影响有直接关系。

南峰地区的半常绿阔叶林主要由以下三个群落组成:

### 1. 薄皮青冈群落(*Community Cyclobalanopsis lamellosa*)

本群落主要分布于南峰南部达木以南1800—2200米之间的山地,比较连续地占据着中山半常绿阔叶林带的下段,在达木以北旁辛以及格当附近的山地,该群落即仅呈斑块状分布在半常绿阔叶林带之中。

薄皮青冈群落可分为乔木层、灌木层、草本层和苔藓地被层四个层次。

群落的乔木层由两个亚层组成,一层乔木以半常绿阔叶乔木居绝对优势,除建群种薄皮青冈外,还常见有西藏青冈、通麦栎、曼青冈(*Cyclobalanopsis oxyodon*)等。另外,一层乔木还含有少量的常绿阔叶乔木如长梗润楠、西藏润楠、马蹄荷、小花木荷、刺栲、西藏石栎、黄丹木姜子(*Litsea elongata*)以及少量落叶阔叶乔木如粗梗稠李(*Prunus napaulensis*)、扇槭(*Acer flabellatum*)、叉按状槭、长喙木兰(*Magnolia rostrata*)等。一层乔木高度在25—35米之间,胸径60—90厘米。郁闭度0.5—0.8左右。

二层乔木高10—25米,平均胸径40厘米以下,主要由常绿阔叶乔木组成,其中以樟科植物为最多,常见的有毛柄钓樟(*Lindera villipes*)、墨脱山胡椒(*L. motuoensis*)、西藏钓樟(*L. pulcherrima*)、波密山胡椒(*L. fruticosa* var. *pomiensis*)、粉叶新木姜子(*Neolitsea aurata* var. *glauca*)、墨脱新木姜子(*N. culipala*)、川桂、桂果琼楠等;除此之外常见的树种还有泥椎石栎(*Lithocarpus fenestratus*)、西藏山龙眼、滇藏杜英、长柄线尾榕(*Ficus filicauda* var. *longipes*)、全缘叶石楠(*Photinia integrifolia*)、长尾冬青(*Ilex longicaudata*)等,群落郁闭度不足40%。

薄皮青冈群落灌木层发育不良,平均高度 0.5—3 米,分盖度在 30%—40%。亦以常绿阔叶灌木占优势。最常见的灌木为云贵粗叶木、粗毛帕那参(*Brassaiopsis hispida*)、薄叶山矾(*Symplocos anomala*)、团花山矾(*S. glomerata*)、小圆叶冬青(*Ilex nothofagiifolia*)、丽江柃(*Eurya hanoelnazzettii*)和落叶阔叶灌木马桑绣球(*Hydrangea aspera*)等。

群落草本层不发达,主要以楔苞楼梯草、长序冷水花(*Pilea melastomoides*)、大暗鳞鳞毛蕨(*Dryopteris gamblei*)为优势。草层高 60—100 厘米,盖度多不足 40%。

薄皮青冈群落具有发达的苔藓地被层。在林下,苔藓形成近 5—10 厘米厚的毡被,覆于地表,盖度可达 70%—80%;厚密的苔藓还被满了大树 15 米以下的枝干,形成独特的苔藓林景观。

薄皮青冈群落还具有发达的由藤本竹类组成的木质藤本植物层片,该层片主要由空竹(*Cephalostachyum capitatum*)组成,其高达 10—15 米,形成 10—20 株的丛体,高高攀援于二层乔木的枝端。

## 2. 西藏青冈群落(*Community Cyclobalanopsis xizangensis*)

本群落是南峰地区半常绿阔叶林的主要组建群落。仅见于本区东喜马拉雅一岗日嘎布山脉的南翼地区,在达木以北的山地,几乎整个半常绿阔叶林带均由该群落组成,在达木以南的山地,它则分布在薄皮青冈群落之上,形成一连续的带,分布高度在 1 800—2 400 米之间。

西藏青冈群落亦可分为乔木层、灌木层、草本层和苔藓地被层四个层次。

乔木层分上下两个亚层。一层乔木以半常绿阔叶乔木为主组成,其为建群种西藏青冈及伴生树种薄皮青冈、通麦栎和曼青冈。此外,一层乔木还含有一些常绿阔叶乔木如小花木荷、马蹄荷、长梗润楠、隐脉润楠、红梗润楠、泥锥石栎,以及少量落叶阔叶乔木如长蕊木兰(*Alcimandra cathcartii*)、长喙木兰、粗梗稠李,叉按状槭等和常绿针叶乔木云南铁杉等。平均树高 25—35 米,平均胸径 60—90 厘米,最高者可达 40 米,最粗者则胸径大于 120 厘米。一层乔木郁闭度在 0.5—0.7 左右。群落二层乔木以常绿阔叶乔木为主,常见树种为厚叶石栎、格当石栎、小箱石栎、西藏木莲、绒叶含笑(*Michelia velutina*)、毛柄钓樟、凹脉鹅掌柴(*Schefflera impressa*)、长柄线尾榕等以及少量落叶阔叶乔木如黄脉钓樟(*Lindera flavinervia*)、滇藏钓樟(*L. obtusiloba* var. *praetermissa*)等,此外还见有常绿针叶乔木云南红豆杉(*Taxus yunnanensis*)。二层乔木一般高度在 10—20 米之间,胸径小于 60 厘米。

西藏青冈群落林下灌木层发育情况不一,在比较潮湿的支谷山坡,林下灌木层由密密麻麻的墨脱方竹(*Chimonobambusa metuoensis*)组成,其高可达 3 米,盖度 50%—60%;而在雅鲁藏布江干流两侧的山坡,灌木层则由树形杜鹃(*Rhododendron arboreum*)、长萼杜鹃(*R. griffithianum*)、大红杜鹃(*R. neriiflorum*)、团花山矾、丽江柃等组成,盖度在 50% 以下。

群落草本层不发育,盖度低于 40%,主要以短叶瘤足蕨(*Plagiogyria decrescens*)和楔苞楼梯草为优势,其他伴生草本植物还有橙花开口箭、沿阶草等。

该群落亦同薄皮青冈群落一样有着十分发达的苔藓地被层,密厚的苔藓覆盖了 70%—80% 的地表。林下由灰白空竹和宽叶空竹(*Cephalostachyum latifolium*)形成发达的木质藤本层片,丛丛藤竹依树而升,并顺其枝攀援至大树下层枝丫及二层乔木的树冠上。



### 3. 通麦栎群落(*Community Quercus tungmaiensis*)

本群落是半常绿阔叶林中最耐寒旱者,在甘代以南的山地,多呈小片群落散布在半常绿阔叶林带的上段;在甘代以北,则成为优势植物群落分布于雅鲁藏布江河谷谷岸,它在岗郎附近越过高原南缘屏障,沿雅鲁藏布江-帕隆藏布下游水汽通道延伸至白马狗熊、东久、易贡、索通一线。通麦栎群落分布海拔较高,在山脉南翼一般分布在2100—2400米的海拔高度,在山脉北翼可上升至2700米。

通麦栎群落的结构因地而异,在湿润的山脉南翼地区,它与其他半常绿阔叶林一样由乔木层、灌木层、草本层和苔藓地被层四个层次组成;在山脉北翼地区因气候逐渐变干,苔藓地被层不发育以至不能独立成层。

该群落乔木层可进而分为两个亚层,一层乔木主要由建群种通麦栎组成,通麦栎系半常绿阔叶乔木,异常粗壮高大,树高一般都在30—40米左右,最高可达50米;树木胸径80—100厘米,最粗亦有大于2米者,群落一层乔木几乎少见有其他伴生植物,一般仅有曼青冈、西藏青冈和粗梗稠李、云南铁杉等寥寥几种。通麦栎树间距较大,故一层乔木郁闭度多不足0.6。

群落二层乔木发育尚好,树高10—20米,胸径20—60厘米。其中常绿阔叶乔木稍占优势,常见的有长梗润楠、红梗润楠、双核构骨、小花木荷、黄丹木姜子、藏含笑(*Michelia kisopa*)、小箱石栎、厚叶石栎、长尾线尾榕;除此之外,落叶阔叶乔木亦占相当比例,常见的有四数槭(*Acer tetramerum*)、灰叶花楸(*Sorbus pallescens*)、粗梗稠李、长喙木兰、长蕊木兰、滇藏木兰、绒毛山胡椒(*Lindea nacusua*)和水青树(*Tetracentron sinense*)等。群落二层乔木的盖度一般仅有40%。

通麦栎群落的灌木层因林下通光条件稍好,因而比较发育。灌木层主要由乔木状杜鹃组成(考虑到杜鹃的丛生状况,尽管其高可达5米,我们仍把它归入灌木层),多以大红杜鹃为优势,常见的还有巨魁杜鹃(*Rhododendron grande*)、毛脉杜鹃(*R. niveum*)、紫玉盘杜鹃(*R. uvarifolium*)以及小圆叶冬青、丽江柃、肖樱叶柃、黄栌叶荚蒾(*Viburnum cotinifolium*)、柳叶青香桂(*Sarcococca coriacea*)、长瓣瑞香(*Daphne longilobata*)、墨脱十大功劳(*Mahonia pachakshirensis*)和虎刺等,该层盖度一般为40%—60%。

群落草本层比较发育,一般盖度在40%—50%左右。上层常以墨脱马蓝为优势,高达80—120厘米,分盖度30%左右,下层则常见有异叶冷水花(*Pilea anisophylla*)、异叶楼梯草(*Elatosteam monandrum*)、黑鳞鳞毛蕨(*Dryopteris lepidopoda*)、喜马拉雅蹄盖蕨(*Athyrium fimbriatum*)、宽叶兔耳风(*Ainsliaea latifolia*)、橙花开口箭等。

群落在甘代以南的山地有发达的苔藓地被层,苔藓密被于地表及10米以下的大树枝干,盖度可达50%—60%,在甘代以北则不形成连续覆被。

通麦栎群落生长地的水热组合条件较差,林内较干净,树上仅生长着狭叶崖爬藤(*Tetrastigma hypoglaucum*)、常春藤(*Hedera nepalensis* var. *sinensis*)等少量藤本植物及狭叶铁角蕨(*Asplenium ensiforme* var. *stenophyllum*)、西藏石韦、岩生石仙桃(*Pholidota rupestris*)等少量附生植物。

## (五) 硬叶常绿阔叶林

本类型仅分布于东喜马拉雅—岗日嘎布山脉北翼白马狗熊—东久—易贡—索通这一舌形地区外侧的雅鲁藏布江及其支流谷地。多发育在 2 400—3 200 米之间的谷岸阶地及谷坡。在本区硬叶常绿阔叶林的生长地处在青藏高原南缘山地的北侧,沿水汽通道北上的印度洋暖湿气流至此已大大减弱,年降水量急剧减少至 600—900 毫米,随着海拔的升高,年均温也减至 8—10℃。无霜期不足 150 天,水热条件远逊于半常绿阔叶林。

硬叶常绿阔叶林是以具硬革质叶的常绿阔叶乔木为建群种的植被,在世界范围,它发育在具有冬雨夏干的地中海型气候的地区。但在喜马拉雅和青藏高原东南缘山地发育的硬叶常绿阔叶林已非地中海型气候的代表物,它作为过去古地中海沿岸地区硬叶常绿阔叶林的后裔,在青藏高原隆升的地史演变历程中,发生了根本性的变化,而成为印度洋水汽输送系统控制地区,半湿润、温暖气候的代表性植被。

南峰地区的硬叶常绿阔叶林是分布中心在青藏高原东南缘横断山北部山区硬叶常绿阔叶林的西延部分,其植被组建群落已极度简化,仅由川滇高山栎一个群落组成,而在该植被分布的中心地区,组建群落除其主体川滇高山栎群落外,还有黄背栎(*Quercus pannosa*)、帽斗栎(*Q. guayanae folia*)、长穗高山栎(*Q. longispica*)、光叶高山栎(*Q. rehderiana*)和灰背栎(*Q. senescens*)等许多群落(四川植被协作组,1980)。

### 1. 川滇高山栎群落(*Community Quercus aquifolioides*)

川滇高山栎群落结构比较简单;有乔木层、灌木层和草本层三层,除建群种川滇高山栎外,还伴生有少量的其他树种。发育在山坡的川滇高山栎群落最常见的伴生树种为林芝云杉、高山松和华山松(*Pinus armandi*),它们高达 25—30 米,成为耸立于群落林冠之上的超层孤立树木;发育在潮湿阶地上的高山栎群落,林冠郁密,其他伴生树种十分少见,仅在水流边伴生有少量落叶乔木如长序杨、米林杨(*Populus mainlingensis*)等。川滇高山栎群落乔木层高度 20—30 米,乔木直径 30—60 厘米,平均株距 7—9 米,树木十分郁密,群落郁闭度在 0.6—0.8 之间。川滇高山栎半球状相连的树冠,一年四季均呈黄绿色调。特别奇特的是其乔木高大的枝丫上挂满了灰白色的长松萝(*Vsnea longissima*),使整个群落呈现出一种黄绿灰白相间的色调。

群落的灌木层一般不甚发育,高度在 1—2 米之间,盖度只有 20%—40%。常见的灌木有黄栌叶荚蒾、柳叶忍冬(*Lonicera lanceolata*)、陇塞忍冬(*L. tangutica*)、粉枝莓(*Rubus biflorus*)、红花栒子(*Cotoneaster rubens*)、暗红栒子(*C. obscurus*)、黑果小檗(*Berberis ignarata*)、波密小檗(*B. gyalalaica*)、黄花木(*Piptanthus nepalensis*)、高丛珍珠梅(*Sorbaria arborea*)、黑穗箭竹(*Sinarundinaria melanostachys*)等。

群落草本层不发育,总盖度不足 30%。常见草本植物有白顶早熟禾(*Poa acroleuca*)、疏花早熟禾(*P. polycolea*)、展穗芨芨草(*Achnatherum effusum*)、小喙唐松草(*Thalictrum rostellatum*)、川滇槲蕨(*Drynaria delavayi*)、星叶草(*Circaeaster agrestis*)、老鹳草(*Geranium sibiricum*)等。

层外植物有丽叶铁线莲(*Clematis gracilifolia*)、常春藤、狭翅果卫矛(*Euonymus mon-*

*beigii*)、血色卫茅(*E. sanguineus*)等。

## 二、常绿针叶林

常绿针叶林是南峰地区分布面积最大、范围最广的森林,除本区南部1 200米以下的河谷和林线以上的高山地区,其遍及于本区各地,垂直分布幅度超过3 000米。

本区的常绿针叶林实际上是由两类性质完全不同的群落所组成。其一是由铁杉林、冷杉林和云杉林等顶极植物群落组成的地带性常绿针叶林群落(照片9-4);其二是由松林、柏木林等演替或残遗群落组成的非地带性常绿针叶林群落。在此我们仅重点对地带性常绿针叶林群落作一论述。

### (一) 地带性常绿针叶林群落

南峰地区的地带性常绿针叶林,是在印度洋暖湿气流影响下形成的青藏高原南及东南缘地带性常绿针叶林山地延伸部分,它无论是在生态环境还是在群落自身的特征上都体现出所在区域的鲜明地方色彩。

在生态环境上,该类森林群落多分布在2 400—4 300米之间的谷岸及山地。生长地年平均气温0.3—11℃,最冷月均温-7.6—3℃,最热月均温7.8—17.5℃,绝对最低温-20℃左右,年降水量700—3 000毫米,林下整个冬季均为厚厚积雪所覆盖。其与作为北半球寒温带地带性植被的常绿针叶林(泰加林或暗针叶林)生长地的气候条件有很大差异,后者年均气温低于-5℃,最冷月均温小于-25℃。最热月均温15℃,绝对最低温可达-50—-60℃,年降水量不足500毫米。在这些气候指标中,两者仅有最热月均温比较相近。

在区系组成上,该类常绿针叶林各群落的建群种都为当地起源分化的中国-喜马拉雅成分,这一成分在群落的伴生植物中也居绝对优势。此外,群落植物区系组成之丰富,亦为同类型森林群落所少见。

在群落结构上,南峰地区的地带性常绿针叶林以具有独特的由乔木状杜鹃以及箭竹组成的灌木层而明显区别于北半球寒温带常绿针叶林,以及非青藏高原南及东南缘的其他地区山地的地带性常绿针叶林。

在植物群落的生物生产量上,南峰地区的地带性常绿针叶林更以其他任何地区无法比拟的极高的生物生产量(李文华、韩裕丰,1977),显示出该地区在印度洋暖湿气流影响下形成了最适于该类植被生长发育的良好生态环境。

南峰地区的地带性常绿针叶林主要由以下四个群落组成:

#### 1. 云南铁杉群落(*Community Tsuga dumosa*)

该群落是本区东喜马拉雅—岗日嘎布山脉南翼湿润山地亚高山常绿针叶林带下半亚带的代表性植物群落,多分布在山脉南翼2 400—2 800米之间的山坡和沟谷,并沿雅鲁藏布江—帕隆藏布下游水汽通道分布至北坡的帕隆、东久、通麦、易贡、索通以及白马狗熊以东的雅鲁藏布江与其支流谷坡。在本区地带性常绿针叶林各群落中,云南铁杉群落生长地

有着最好的热量条件,年均温要比其他地带性常绿针叶林群落高 3—5℃,为此也有人称之为温性针叶林(刘伦辉、邱学忠,1980)。

云南铁杉林是第三纪业已生存在青藏高原及其边缘山地铁杉林的直接后裔,由于它对生态条件要求较严,所以现代的分布范围已很窄,而且在很多地区其群落的一层乔木中混生有大量阔叶乔木而形成针阔混交林(周以良,1980)。南峰地区具有异常优越的水热条件,云南铁杉在此生长良好并形成大面积高大的纯林,其森林发育之好,为世所罕见。

南峰地区的云南铁杉群落可以分为四个层次,乔木层、灌木层、草本层和苔藓地被层。

群落乔木层分为两个亚层,云南铁杉是一层乔木的唯一组成树种,树高 40—60 米,胸径 1—2 米,最高者可达 70—80 米,最粗者胸径亦可超过 3 米。过熟的云南铁杉林一层乔木一般都比较稀疏,加之云南铁杉林树冠呈塔形,枝叶稀疏,一层乔木树冠多不连续,郁闭度仅有 0.3—0.4;而处在青年或幼年期的云南铁杉林则比较郁密,郁闭度可达 0.5—0.7。该群落终年呈暗绿色外貌。云南铁杉林二层乔木多发育不良,主要由落叶阔叶乔木组成,常见的有长喙木兰、长尾槭(*Acer caudatum*)、美花槭(*A. flobellatimum*)、四数槭、独龙槭(*A. taronense*)、篦齿槭(*A. pectinatum*)、粗梗稠李、川西樱(*Prunus trichostoma*)、鳞木稠李(*P. buergeriana*)等;以及少量常绿阔叶乔木如毛柄钓樟、毛叶玉兰(*Magnolia globosa*)、双核枸骨(*Ilex diphyrena*)等,除此之外还有极少量的半常绿阔叶乔木和常绿针叶乔木,前者如通麦栎、西藏青冈,后者如墨脱冷杉、华山松等。整个二层乔木高一般在 10—25 米之间,盖度不足 30%。

云南铁杉群落的灌木层十分发育,主要以多种乔木状杜鹃为主组成,优势种为大红杜鹃、巨魁杜鹃和紫玉盘杜鹃等,其间伴生灌木繁多,主要以常绿草叶灌木为主,常见有管花杜鹃(*Rhododendron keysii*)、黄杯杜鹃、贡山铃、云南凹脉铃(*Eurya cavinervis*)、肖桫叶铃、乔木茵芋(*Skimmia arborescens*)、虎刺、尾叶白珠(*Gaultheria griffithiana*)等以及少量落叶阔叶灌木如毛叶吊钟花(*Enkianthus deflexus*)等。灌木层高度 1—5 米,盖度可达 40%—60%。

群落草本层发育尚好,不过种类十分单调,常以短叶瘤足蕨占优势,在 40%—50% 的总盖度中,其分盖度即占 30% 左右。此外,草本层常见的植物还有高寒露珠草(*Circaea alpina* subsp. *micrantha*)、硬果鳞毛蕨(*Dryopteris fructuosa*)、双色耳蕨(*Polystichum bicolor*)、沿阶草等。

群落还具有极其发达的苔藓地被层,总盖度高达 70%—80%,主要由山羽藓(*Abietinella abietina*)、拟狭叶泥炭藓(*Sphagnum cuspidatum*)等组成,十几米以下的树干上亦为之被满;在有些铁杉树上部枝丫上,有时还常可以见到苔藓团聚成的瘤状物。

## 2. 墨脱冷杉群落(Community *Abies delavayi* var. *motuoensis*)

在本区该群落主要分布在湿润的东喜马拉雅—岗日嘎布山脉南翼山地,是适于潮湿气候的一种常绿针叶林群落。分布海拔在 2 800—4 000 米之间。但在一些山口和山凹,由于冬季积雪过厚,夏季消融迟,森林难以生长,所以许多地方该群落只能分布至 3 600—3 800 米。

墨脱冷杉群落由乔木层、灌木层、草本层和苔藓地被层四个层次组成。

乔木层分为上下两层,一层乔木几乎全部由建群种墨脱冷杉组成,偶尔夹存少量苍山

冷杉(*Abies delavayi*),而在海拔稍低处,则常在一层乔木树冠之上高高挺立着数株云南铁杉。该层乔木高30—45米,胸径多在60—80厘米之间,墨脱冷杉具有尖塔形树冠,群落外观不整齐,外貌呈深绿色。群落二层乔木郁闭度0.4—0.5,乔木高10—20米,胸径30厘米左右,主要由落叶阔叶乔木川西樱组成,其他的伴生树种还有怒江红杉、篦齿槭、四蕊槭、独龙槭、尼泊尔花楸(*Sorbus wallichii*)、糙皮桦等。

群落灌木层比较发达,与云南铁杉群落相似均以乔木状杜鹃为主组成,其中巨魁杜鹃、大红杜鹃、镰果杜鹃(*Rhododendron fulvum*)、瓣萼杜鹃(*R. catacosmum*)等占据优势,其他常见的灌木还有紫玉盘杜鹃、革叶杜鹃(*R. coriaceum*)、小圆叶冬青、叶萼山矾(*Symplocos phyllocalyx*)、云南凹脉铃等常绿阔叶灌木和心叶荚蒾(*Viburnum cordifolium*)、密序溲疏(*Deutzia compacta*)等落叶阔叶灌木。整个灌木层高度在1—5米之间,盖度50%左右。

群落草本层不发育,仅在厚密的苔藓层间分布着一些草本植物斑块,较多见的为多鳞鳞毛蕨(*Dryopteris barbigera*),其他伴生草本还有白花酢酱草(*Oxalis acetosella*)、纯叶楼梯草(*Elatostema obtusum*)、裂萼草莓(*Fragaria daltoniana*)、无翅兔儿风(*Ainsliaea aptera*)等,盖度不足20%。

该群落有着十分发育的苔藓地被层,层厚5—10厘米,密被于林下地表以及树木枝干。盖度高达80%—90%。

### 3. 急尖长苞冷杉群落(Community *Abies georgei* var. *smithii*)

急尖长苞冷杉是长苞冷杉(*Abies georgei*)的一个变种,它组建的群落分布在东喜马拉雅—岗日嘎布—伯宿拉—高黎贡这一马蹄形山环外侧的半湿润区山地。该群落一般生长在海拔3600—4100米的山坡和谷岸,在局部地区可分布至4300米的高度,为地带性常绿针叶林中分布海拔最高者。

急尖长苞冷杉群落主要由乔木层、灌木层、草本层和苔藓地被层四个层次组成。

乔木层分上下两个亚层,一层乔木除在其分布的海拔下限附近混生有少量林芝云杉外,主要由急尖长苞冷杉和少量川滇冷杉(*Abies forrestii*)组成。群落一层乔木一般高25—35米,胸径60—80厘米,在林线附近,树木明显矮化、一般仅有15—20米,胸径缩小至30—40厘米,而一层乔木密度则大大增加,平均株距密者可达4—5米。急尖长苞冷杉一层乔木树冠呈尖塔形,较为连续,郁闭度0.4—0.6。群落外貌终年呈深绿色。群落二层乔木发育不良,主要由落叶阔叶乔木组成,常见的有糙皮桦、川西樱、西康花楸(*Sorbus prattii*)、西南花楸(*S. rehderiana*)、大翅色木槭(*Acer mono* var. *macropterum*)、长尾槭、四数槭等。此外在林缘还常见有西藏红杉。二层乔木一般高度为10—15米。盖度不足30%。

群落灌木层不甚发育。常以乔木状杜鹃为优势,最常见的为黄桢杜鹃、树形杜鹃和栎叶杜鹃等,其他伴生灌木还有毛喉杜鹃(*R. cephalanthum*)、华西忍冬(*Lonicera webbiana*)、陇寒忍冬、腺果大叶蔷薇(*Rosa macrophylla* var. *glandulifera*)、长花柳(*Salix longiflora*)、西藏箭竹(*Sinarundinaria setosa*)、康定五加(*Acanthopanax lasiogyhe*)、高山柏(*Sabina squamata*)等,在比较干旱的生地,群落灌木层常以毛叶吊钟花(*Enkianthus deflexus*)以及陇寒忍冬等为优势。灌木层一般高1—3米,盖度40%—50%。

群落草本层不发育,草层低矮,在50厘米以下,稍占优势者为纤维鳞毛蕨(*Dryopteris*

*sino fibrillosa*)、白花酢浆草、西南草莓(*Fragaria moupinensis*)等,其他常见伴生草本植物还有款冬(*Tussiloga farfara*)、紫花鹿药(*Smilacina purpurea*)、管花鹿药(*S. henryi*)、卷叶黄精(*Polygonatum cirrhifolium*)、腋花扭柄花(*Streptopus simplex*)、七筋姑(*Clintonia udensis*)、堇花唐松草(*Thalictrum diffusiflorum*)等。草本层盖度多在40%以下。

群落苔藓地被层比较发育,盖度70%—80%,在地表形成5—10厘米松软的地被,树干下部也多为其包裹。

#### 4. 林芝云杉群落(*Community Picea likiangensis* var. *linzhiensis*)

林芝云杉群落分布的范围与急尖长苞冷杉大体相同,稍广于后者,即还分布到偏西南一点的错那、朗县、隆子等地,为本区地带性常绿针叶林里最耐旱者。分布海拔高度一般在3 000—3 600米之间,居于急尖长苞冷杉群落分布地之下。

由于林芝云杉群落生长地气候进一步旱化,群落已不再具有连续的苔藓地被层,而仅由乔木层、灌木层和草本层三个层次组成。当然这也并不是绝对的,在某些海拔较高的地段,气候比较潮湿,群落有时也形成发达的苔藓地被层。

林芝云杉群落的乔木层由上下两个亚层组成,一层乔木中建群种林芝云杉居绝对优势。在较高海拔处有时混生有急尖长苞冷杉。林芝云杉是常绿针叶林中最高大的树种,除云南铁杉外几乎没有其他的树种能与之相比,其通常高40—50米,胸径60—80厘米,最高大粗壮者,可高达72米,胸径2.1米,单株立木材积在60立方米以上(李文华、韩裕丰等,1985)。林芝云杉树干挺拔,树冠呈圆冠形,由于一层乔木密度较大,尽管其平均冠幅不足8米×6米,群落上层树冠仍比较连续,郁闭度0.5—0.6,群落终年呈灰绿色调。分布在3 300米上的林芝云杉,群落二层乔木发育不良,主要为落叶阔叶乔木,常见的有大翅色木槭、长尾槭、独龙槭、红毛樱(*Prunus rufa*)、西南花楸、白桦(*Betula platyphylla*)、糙皮桦等。此外还常见有西藏红杉、高山松、华山松等针叶树种。该层乔木一般高10—20米,盖度20%—30%。但分布在3 300米以下特别是发育在平缓谷地中的林芝云杉林二层乔木常由茂密的川滇高山栎构成,其高20—25米,胸径30—60厘米,盖度可达40%—60%。

群落灌木层的组成差异较大,在上层乔木郁闭度较小的山坡,灌木层几乎全为异常茂密的光叶箭竹(*Sinarundinaria glabrifolia*)和西藏箭竹(*S. setosa*)组成,箭竹密不可入,分盖度可达50%—60%。但在群落发育良好,上层乔木郁密的林下则灌木发育不良,林内显得十分干净,人畜通行无阻。林下稀疏生长着黄桢杜鹃、紫玉盘杜鹃、高山冬青(*Ilex rockii*)、华西忍冬、杯萼忍冬(*L. inconspicua*)、陇塞忍冬、齿萼悬钩子(*Bubus calycinus*)、峨眉蔷薇(*Rosa omeiensis*)、尖叶栒子(*Cotoneaster acuminatus*)、刺楸茶藨子(*Ribes alpestre*)、高丛珍珠梅、甘肃荚蒾(*Viburnum kansuenses*)等。灌木层高1—3米,盖度20%—30%。

林芝云杉群落草本层发育情况一般。盖度平均30%—40%。主要由纤维鳞毛蕨、白花酢浆草、西南草莓、高山露珠草、双花堇菜(*Viola biflora*)、小喙唐松草、美丽唐松草(*Thalictrum reniforme*)、黄水枝(*Tiarella polyphylla*)、茜草(*Rubia manjith*)、沿阶草等组成。

此外本群落乔木枝干上常挂满长松萝,给群落增添了灰白的色调。

## (二) 非地带性常绿针叶林群落

除地带性常绿针叶林群落外,本区还分布着一些非地带性的常绿针叶林群落。其中比较重要的有以下几个:

### 1. 乔松群落(*Community Pinus griffithii*)

在本区主要分布于东喜马拉雅—岗日嘎布山脉南坡,一般分布在1500—3000米之间,为塌方、泥石流造成的次生裸地演替植物群落。常呈条带状嵌镶在常绿阔叶林、半常绿阔叶林和铁杉林之间,清晰地展示出植被形成前次生裸地所在的区域。乔松群落为单优群落,乔木层其他伴生树种极少,乔松高30—50米,胸径40—70厘米。一般密度较大,群落郁闭度0.6—0.7。

### 2. 高山松群落(*Community Pinus densata*)

本群落主要分布于东喜马拉雅—岗日嘎布山脉北翼地区,也见于南翼达木以北的雅鲁藏布江向阳谷坡。一般分布于2600—3500米之间,最低亦可分布至1200米,最高则可分布到3700米的高度。该类森林是云杉及高山栎林遭到人为和自然破坏后形成的演替群落,群落生长迅速,分布面积很大。高山松群落为单优群落,乔木层几乎全部由高山松组成,随着群落郁闭度的增大,林下逐步出现林芝云杉或川滇高山栎的幼树,以后,该群落即被上述两个长寿树种所组建的群落所取代。高山松高25—35米,胸径30—60厘米。群落郁闭度0.6—0.7。

### 3. 西藏柏木群落(*Community Cupressus torulosa*)

本群落主要分布于中—东喜马拉雅南坡,但在本区它却间断出现在位于帕隆藏布下游谷地水汽通道附近的易贡、帕隆、通麦等地,显然它是一种残遗群落,冰期时它在沿水汽通道北上的印度洋暖湿气流的润泽下残留于山脉北翼。西藏柏木群落一般呈斑块状嵌镶在通麦栎群落之间,在岩石裸露的山坡发育良好。西藏柏木高20—40米,胸径60—100厘米。尖塔形树冠不连续,群落郁闭度仅有0.3—0.4。

### 4. 巨柏群落(*Community Cupressus gigantea*)

本群落为南峰地区东喜马拉雅—岗日嘎布山脉北翼地区的特有群落,仅分布于甲格—米林鲁霞的雅鲁藏布江谷岸及林芝的尼洋曲河谷阶地。该群落分布在当地温度条件最好的谷地底部,海拔多不超过3300米。显然巨柏群落也是一种残遗群落,它的存留与水汽通道的特殊气候效应有密切关系。巨柏群落为单优群落,唯一乔木树种巨柏高10—30米,胸径60—100厘米,最粗者可达2.5米。巨柏群落乔木生长稀疏,其塔形树冠不连续,群落郁闭度仅有0.2—0.3。

### 三、灌 丛

#### (一) 常绿革叶灌丛

以杜鹃群落为主的常绿革叶灌丛是印度洋水汽输送系统控制下的青藏高原南及东南缘山地高山带下段的特征植被。在南峰地区,它广泛分布在各山地的高山地区,分布在湿润的喜马拉雅及岗日嘎布山脉为海拔 3 800—4 300 米,在北部半湿润的念青唐古拉山脉上升至 4 200—4 700 米。群落生长地年平均气温 $-3-2^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 1 000—3 000 毫米。夏季气候凉爽湿润,冬季群落分布地则覆满厚厚的白雪。对于本区的常绿革叶灌丛来说,冬季的雪被有着极其重要的生态意义。在青藏高原内陆的干旱地区,由于冬季缺少雪被或覆雪终期与雨季不相衔接,旱季(晚秋、冬、早春)强烈的蒸腾作用使该类植被难以生存。而在高原南及东南缘的湿润、半湿润区山地,群落生长地整个干旱期均为厚层积雪所覆盖,常绿革叶灌丛能平安渡过于寒的冬季,所以在这一地区可以得到很好地发育,并在高山带下段与草甸共同形成连续的高山灌丛草甸植被带。但是有一点特别需要指出即:本区的常绿革叶灌丛是高山植被中生活周期较长的一种类型(120—150 天),在积雪很厚或积雪消融期间很短的高山带上部地区它同样发育不良。它的分布地大致被限定在林线到林线上部 300 米的地段。

在南峰地区的高山植被中,常绿革叶灌丛有着最优越的生态条件,群落区系组成较为丰富,结构也比较复杂。

南峰地区的常绿革叶灌丛一般可分为三层:灌木层、草本层和苔藓地被层。

灌木层主要由各种杜鹃组成。该层一般只有一个层次,高 20—200 厘米不等,各种灌木密集生长,形成郁闭相连的丛体,盖度高达 80%—95%。丛间除杜鹃外,偶尔也混有少量落叶阔叶灌木如刺楸茶藨子、柱腺茶藨子(*Ribes orientale*)、川滇绣线菊(*Spiraea schneideriana*)、光秃绣线菊(*S. mollifolia* var. *glabrata*)、拱枝绣线菊(*S. arcuata*)、白毛花楸(*Sorbus albopilosa*)、西南花楸、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、理塘忍冬(*Lonicera litangensis*)、越桔忍冬(*L. myrtillus*)、吉拉柳(*Salix gilashanica*)、银背柳(*S. ernesti*)、坡柳(*S. myrtilleacea*)、褐背柳(*S. daltoniana*)等等。

由于灌木层异常郁密,群落下部的草本层多不发育,仅在丛体之间的空隙中聚成密集间断分布的斑块。平均盖度不足 20%。整个草本层的植物种类比较丰富,常见的植物有狭叶圆穗蓼(*Polygonum macrophyllum* var. *stenophyllum*)、珠芽蓼、多穗蓼(*P. polystachyum*)、圆叶蓼(*P. forrestii*)、岩白菜(*Bergenia purpurascens*)、长喙乌头(*Aconitum novovoluridum*)、美丽乌头(*A. pulchellum*)、腺毛唐松草(*Thalictrum foetidum*)、冻地银莲花(*Anemone rupestris*)、大花绿绒蒿(*Meconopsis grandis*)、皮刺绿绒蒿(*M. aculeata*)、墨脱黄堇(*Corydalis kingdonis*)、狭叶委陵菜(*Potentilla stenophylla*)、丁座草(*Boschniakia himalaica*)、贡山薊(*Cirsium bolosephalum*)、紫苞香青(*Anaphalis porphyrolepis*)、总状工本香(*Inula racemosa*)、卷叶黄精、小百合(*Lilium nanum*)等。

常绿革叶灌丛是南峰地区高山植被中唯一具有发达的苔藓层的植被。这显然与其丛下避风、阴蔽潮湿的环境有关。在常绿革叶灌丛下部,厚密的苔藓覆盖了整个地表,盖度高



达80%—90%，厚度5—8厘米。厚厚的苔藓层使草本植物难以生长。

南峰地区是印度洋水汽输送系统控制的青藏高原及其南—东南缘山地常绿革叶灌丛最发育的地区，这里有着极其丰富的群落组成。按生态和形态，它们大致可以分为两类，即中叶型及小叶型。前者大都由林线附近冷杉林下作为灌木层优势种的杜鹃组成，群落具有由森林向灌丛过渡的性质，伴生植物亦含有较多林下植物成分，而后者则为典型的高山植物群落，建群杜鹃大都由有鳞亚属的小叶杜鹃组成。南峰地区常绿革叶灌丛种类繁多，现仅择其重要的作一简单介绍：

### 1. 黄桧杜鹃群落(*Community Rhododendron wardii*)

本群落为中型叶杜鹃群落，建群种黄桧杜鹃是墨脱冷杉及急尖长苞冷杉群落灌木层的主要组成成分，但在林线以上的地区它亦单独组成高山常绿革叶灌丛群落，几乎见于本区各高山地区，群落高0.5—3米，群落盖度60%—70%，分布海拔高度3800—4200米。

### 2. 栎叶杜鹃群落(*Community Rhododendron phaeochrysum*)

本群落为中型叶杜鹃群落，仅见于南峰北侧的那木拉及多雄拉山口，建群种栎叶杜鹃是北坡急尖长苞冷杉林下的优势灌木，在4100—4400米的林线上部形成大面积灌丛，群落高1—2米，盖度60%—80%，林下苔藓层甚厚，草本植物稀疏。

### 3. 紫斑杜鹃群落(*Community Rhododendron principis*)

本群落属中型叶杜鹃群落，分布于北部半湿润地区高山，如舍其拉山口。群落高1—2米，盖度60%—70%，分布高度3800—4300米。

### 4. 大红杜鹃群落(*Community Rhododendron nerii florum*)

本群落为中型叶杜鹃群落，分布于多雄拉山口、嘎隆拉山口及崩崩拉。建群种大红杜鹃为急尖长苞冷杉林和墨脱冷杉林下的重要伴生灌木，亦在3500—3800米的山坡上形成小片灌丛，群落高1—2米，生长十分茂密，盖度高达95%。

### 5. 毛冠杜鹃群落(*Community Rhododendron laudandum*)

本群落为中型叶杜鹃群落，分布于那木拉及易贡的巴那山口，分布高度3600—4600米，群落高50厘米，盖度70%—80%。

### 6. 凝毛栎叶杜鹃群落(*Community Rhododendron phaeochrysum* var. *agglutinatum*)

本群落为中型叶杜鹃群落。分布于半湿润的林芝附近山地，分布高度4200—4400米，群落高1—3米。盖度70%—80%。

### 7. 紫背杜鹃群落(*Community Rhododendron forrestii*)

本群落为中型叶杜鹃群落，建群种在急尖长苞冷杉林下为乔木状灌木，但在林线以上则矮化为10—30厘米高的小灌木。在湿润的多雄拉、嘎隆拉山口形成大面积高山灌丛，盖度可达80%—90%。

#### 8. 腺房杜鹃群落(*Community Rhododendron adenogynum*)

本群落为中叶型杜鹃灌丛,建群种是急尖长苞冷杉林下的重要伴生灌木,在舍其拉东坡 4 100 米则形成小片高山灌丛,丛高 1 米,盖度 80%。

#### 9. 平卧杜鹃群落(*Community Rhododendron repens*)

本群落是本区东喜马拉雅及岗日嘎布山脉高山带绿革叶灌丛的主要组成群落,叶中小型,多生长在 3 900—4 300 米间的古冰碛物上,群落高 0.5 米,盖度达 85%。在嘎隆拉、多雄拉山口发育尤好。成为该地分布面积最大的杜鹃灌丛(照片 9-5)。

#### 10. 雪层杜鹃群落(*Community Rhododendron nivale*)

该群落分布极广,是喜马拉雅—岗日嘎布山脉北坡半湿润区山地最常见的杜鹃灌丛之一。雪层杜鹃叶小型,高 0.5 米,在舍其拉山口 4 000—4 700 米之间形成大片群落,盖度 70%左右。

#### 11. 红纹湄公杜鹃群落(*Community Rhododendron mekongense* var. *rubrolineatum*)

为小型叶杜鹃灌丛,分布海拔 3 800—4 200 米,群落高 0.5 米,盖度 60%。

#### 12. 鳞腺杜鹃群落(*Community Rhododendron lepidotum*)

本群落分布于多雄拉山口 3 600—4 000 米处,鳞腺杜鹃叶小型,高 0.8 米,群落盖度 60%—70%。

#### 13. 弯柱杜鹃群落(*Community Rhododendron camplogynum*)

该群落分布面积较小,一般呈斑块状镶嵌于其他杜鹃灌丛之中,在德阳拉、多雄拉和巴拉山口均有分布,弯柱杜鹃为小型叶,高 30—50 厘米,群落盖度 80%。

#### 14. 假单度杜鹃群落(*Community Rhododendron pemakoense*)

本群落为小叶类型,分布于湿润的多雄拉山口,分布海拔 3 800—4 200 米,群落高 50 厘米,盖度 80%。

#### 15. 绿柱杜鹃群落(*Community Rhododendron brachyanthum* subsp. *hypolepidotum*)

本群落为小叶类型,成斑块状分布于多雄拉、德阳拉等山口,群落高 50 厘米,盖度 70%,分布海拔高度 3 700—4 100 米。

#### 16. 矮小杜鹃群落(*Community Rhododendron pumilum*)

为小型叶杜鹃群落,分布于岗日嘎布山脉 4 200 米多石地段,群落高 10—20 厘米,盖度仅有 50%。

## (二) 常绿针叶灌丛

常绿针叶灌丛系指以常绿针叶(鳞叶)的裸子植物灌木为主组建的植被。在南峰地区,它主要分布在北部半湿润山地 4 200—4 400 米的阳坡,在此它与发育于阴坡的常绿革叶灌丛共同构建了高山带最下段的灌丛带;在南翼湿润山地,常绿针叶灌木很少形式大面积群落,多以个体形式星散分布于常绿革叶灌丛之中。

常绿针叶灌丛是南峰地区高山灌丛植被中最抗旱耐寒的一种类型。其生长地年平均气温 $-3-2^{\circ}\text{C}$ ,年降水量不足 1 000 毫米,冬季积雪覆被时间不连续,群落常常处于干旱的大风吹掠之下。

在这种恶劣的生态环境下,常绿针叶灌丛发育较差,整个灌木丛体多不连接,群落盖度仅有 40%—60%。群落结构简单,缺少苔藓地被层,仅由灌木和草本两个层次组成,其群落区系组成亦比较贫乏。

群落的灌木层高度一般为 50—80 厘米,鲜有高于 1 米者。主要以柏科圆柏(*Sabina*)属植物为建群种,多形成直径 80—120 厘米的垫形丛体匍匐于地,丛间空地常有各种伴生灌木出现,其中最多见的是多种杜鹃如栎叶杜鹃、毛冠杜鹃、雪层杜鹃、鳞腺杜鹃等,此外还见有多种落叶阔叶灌木如丛毛矮柳、褐背柳、吉拉柳、红柄柳(*Salix wangiana* var. *tibetica*)、藏南绣线菊(*Spiraea bella*)、窄叶鲜卑花(*Sibiraea angustata*)等。

群落草本层发育良好,在一些灌丛生长比较稀疏的地方形成丛间草甸斑块镶嵌分布的格局。草本层一般高 20—30 厘米,盖度 30%—40%,组成植物多是高山草甸成分,常见的如川滇嵩草、短轴嵩草(*Kobresia prattii*)、喜马拉雅嵩草(*K. royleana*)、珠芽蓼、细茎蓼(*Polygonum filicaule*)、展毛银莲花(*Anemone demissa*)、硬毛夏枯草(*Prunella hispida*)、绯色美丽马先蒿(*Pedicularis bella* f. *rosea*)、珠峰龙胆(*Gentiana stellata*)等。在郁密的丛冠之下,草本植物生长稀疏,一般仅见有少量禾本科植物如短颖鹅观草(*Roegneria breviglumis*)、华雀麦(*Bromus sinensis*)等疏生于丛枝之间。

南峰地区的常绿针叶灌丛组成群落十分简单,分布面积较大的仅有香柏和方枝柏两个群落,此外,高山柏有时在林线附近也形成小片群落。

### 1. 香柏群落(Community *Sabina pingii* var. *wilsonii*)

本群落是青藏高原南及东南部半湿润、半干旱山地最常见的常绿针叶灌丛群落,广泛分布在本区北部念青唐古拉山脉 4 200—4 600 米高山部下部的向阳山坡,同时也呈小片出现在东喜马拉雅及岗日嘎布山脉高山带的杜鹃灌丛中。香柏形成 80—100 厘米高、1—2 米丛径的垫形丛体,丛距 2—3 米不等;丛间伴生有多种灌木,丛下发育着草本植物层片,群落总盖度 60%—80%,香柏分盖度 30%—40%,群落呈褐绿色调。

### 2. 方枝柏群落(Community *Sabina saltuaria*)

在本区半湿润山地林线附近地区,方枝柏常长成 5—10 米高的乔木,组成小片森林群落,但在 4 200—4 600 米林线以上的阳坡,它则呈灌木形态,形成小片灌丛群落。如在舍其拉、崩崩拉、林芝八一镇尼洋曲南岸高山都可以见到发育良好的方枝柏灌丛群落。在群落

中,建群种方枝柏形成高0.5—2米,直径1—2米的垫形丛体,分盖度达40%—50%。丛间常伴生有多种杜鹃和柳树,丛下草本层发育良好。群落总盖度可达70%—80%,呈褐绿色外貌。

### (三) 落叶阔叶匍匐灌丛

落叶阔叶匍匐灌丛是青藏高原南及东南湿润、半湿润间山地特有的一种高山灌丛,它在东、中喜马拉雅山脉及岗日嘎布山脉尤为发育。该类灌丛以柳属(*Salix*)中的高山垫柳组植物为建群种,而高山垫柳组恰恰是仅产于上述山地特有的柳属植物。落叶阔叶匍匐灌丛多生在高山灌丛带上半部;分布海拔高度在4300—4600米之间,在湿润的东喜马拉雅—岗日嘎布山地与莎草草甸一起形成一连续的亚带,但在高山灌丛带下半段,及高山冰缘植被带以及半湿润山地,则与常绿草叶灌丛、常绿针叶灌丛、杂类草草甸、莎草草甸以及高山冰缘植被的多种群落呈交错分布,形成群落镶嵌。本区是落叶匍匐灌丛最发育的地区,它主要分布于湿润的东喜马拉雅和岗日嘎布山地。其发育最好的高山灌丛带上部年平均气温-2—-3℃,年降水量1000—2500毫米。它与前面所述的高山革叶灌丛一样,冬季连续的积雪覆被对该群落是绝对必要的,但是与之不同的是,落叶阔叶匍匐灌丛生长地海拔高,冬季积雪厚度大,所以夏季积雪消融时间很短,甚至在有些降雪较多的年份,灌丛上部积雪全年覆盖,这样生活在这里的植物不仅要具有很短的生活周期(50—100天),而且还要有一至数年长期休眠的本领。落叶阔叶匍匐灌丛生活周期很短,初夏积雪一化其即绽开花蕾并发出新叶,而秋霜一到它马上又进入休眠状态。此外,灌丛枝干紧伏于地表,可有效地减少雪被的重压,而且沿地表和石面伸展的枝干,长满了不定根,在生长期可最充分利用地表热能吸收融水以迅速进行营养活动。

落叶阔叶匍匐灌丛群落结构,植物组成异常简单,不管是建群种落叶阔叶匍匐灌木和伴生种常绿草叶灌木或匍匐灌木、草本植物、苔藓大都处在一个层次。实际上形成了一个多种生活型植物的镶嵌群落,而其中垫状柳属植物处于优势。

落叶阔叶匍匐灌丛群落盖度差异很大,在冰碛砾石地由于有大量裸露的砾石群落总盖度一般在40%—60%,而在一些平缓山坡及山口,总盖度多在80%以上,其中垫状柳属植物分盖度均在总盖度半值以上。落叶阔叶匍匐灌丛建群种种类十分丰富,最常见的为黄花垫柳、扇叶矮柳、毛叶小垫柳、尖叶垫柳、匙叶矮柳、丛毛矮柳、藏匍柳等。灌丛一般高不超过10厘米。有时仅有1—2厘米,形成一个个20—10厘米直径的丛体包裹于砾石表面或伏于地表。群落中常见的伴生植物有常绿草叶匍匐灌木喜马拉雅岩梅(*Diapensia himalaica*)、大苞越桔、矮小杜鹃、多花杉叶杜等以及钩状嵩草(*Kobresia uncinoides*)、线形嵩草(*K. duthiei*)、细弱嵩草(*K. angusta*)、截形嵩草(*K. cuneata*)、川滇嵩草、尼泊尔嵩草(*K. nepalensis*)、米林红景天(*Rhodiola milinensis*)、藏中虎耳草(*Saxifraga signatella*)、金星虎耳草(*S. stella-aurea*)、腺瓣虎耳草(*S. wardii*)、隐花虎耳草(*S. jacquemontiana*)、近岩梅虎耳草(*S. caveana*)、西藏棱子芹(*Pleurospermum hookeri*)、狭叶委陵菜(*Potentilla stenophylla*)、纤细委陵菜(*P. gracillima*)、丛生菱叶委陵菜等草本植物,该群落还伴生有大量苔藓,其多生长于砾石表面以及垫状柳丛间。

## 四、草 甸

### (一) 杂类草草甸

系指由多年生中生双子叶草本植物(包括个别蕨类植物)为建群种组成的群落。它是青藏高原南缘和东南缘湿润、半湿润山地高山最重要的植被类型之一。在南峰地区它在湿润的东喜马拉雅和岗日嘎布山地特别发育,在此它不仅有着最丰富的组建群落,而且还占据有相当可观的面积。但是杂类草草甸并不象莎草草甸那样形成一个以其为优势的植被垂直带。它仅在上述山地高山带下部,与灌丛形成复合分布的群落镶嵌,共同构成高山灌丛草甸植被垂直带。在南峰地区北部半湿润的念青唐古拉山地,杂类草草甸多呈小面积斑块状分布在常绿革叶灌丛以及莎草草甸群落间局部潮湿的小环境中。

在东喜马拉雅和岗日嘎布山地,该类型植被主要分布在3 800—4 300米,生长地气候环境与常绿革叶灌丛相同,但是由于坡度、雪被状况以及基质情况的不同,使这两种植被类型各占据着不同的地段,形成十分有规律的镶嵌分布。常绿革叶灌丛多生于基质比较稳定、坡度较和缓、夏季积雪消融较早的阳坡及山脊,而杂类草草甸则占据着冰碛砾石坡,雪融沟谷以及冬季积雪较厚的凹地。杂类草草甸分布地区夏季积雪消融较晚,可供植被生长的时间仅有100—130天左右,在降雪较多的年份,生长地的某些地段积雪可能终年覆被,所以杂类草草甸中的各种植物大都是有着发达的根茎或贮藏根,可以数年休眠于雪下。

杂类草草甸生长季有着相对优越的水热条件,当夏季其上所覆积雪融化后,气温已维持在较高的水平,此时解冻后的地表又异常潮湿,所以各种双子叶植物生长迅速,很快就形成郁密的植物被覆并进入盛花期,呈现出异常华丽的外貌。杂类草草甸群落结构简单,一般只有一个层次,高度多在15—30厘米之间,群落盖度高达80%—90%。杂类草草甸组建群落繁多,它们各占据着不同地段,生态环境,群落特点不尽相同,现仅能选几个主要群落作一简单介绍。

#### 1. 红花细茎驴蹄草群落(Community *Caltha sinogracilis* f. *rubriflora*)

该群落主要分布于湿润的东喜马拉雅、岗日嘎布山脉以及易贡附近的念青唐古拉山脉3 800—4 300米之间的积雪凹地和雪融谷地。以嘎隆拉山口发育最为良好。群落草层高20—25厘米,盖度85%—90%。建群种红花细茎驴蹄草分盖度60%—70%。主要伴生植物有展瓣紫晶报春(*Primula dickieana*)、纤萼粉报春、钟状独花报春(*Omphalogramma brachysiphon*)等,其生长地积雪融化晚;有时迟至8月份,或多年不化。群落进入盛花期时呈现出极其华丽的外貌。

#### 2. 丛生莢叶委陵菜群落(Community *Potentilla coriandriifolia* var. *dumosa*)

见于本区各山脉4 000—4 400米的高山带下段,主要分布于积雪融化较晚的积雪平台,山口凹地,在金珠拉山口尤为发育,群落生地比较平缓,夏季异常潮湿,群落盖度80%左右,几乎全部由丛生莢叶委陵菜组成,分盖度高达70%以上,莢叶委陵菜平展于地表,高度不足10厘米。

### 3. 狭叶圆穗蓼群落 (Community *Polygonum macrophyllum* var. *stenophyllum*)

本群落主要分布于本区北部半湿润山地 4 200—4 400 米的高山灌丛带中,如林芝东部的舍其拉山口,多生长在土质较厚,水热条件较好平缓山坳。群落高 15—20 厘米,盖度 70%—80%,建群种狭叶圆穗蓼分盖度 40%—50%,常见伴生植物还有珠芽蓼,川滇嵩草、短轴嵩蒿草、团花绢毛菊 (*Soroseris glomerata*)、椭圆叶花锚 (*Halenia elliptica*) 等。

### 4. 岩白菜群落 (Community *Bergenia purpurascens*)

该群落主要分布于本区东喜马拉雅及岗日嘎布等山地的冰碛砾石堆中,分布高度在 3 900—4 200 米之间,其生地布满冰碛砾石,砾径都在 0.5 米以上,岩白菜环石砾形成密集的丛体,因丛间为砾石所据,群落盖度多在 30% 以下,岩白菜高 30—40 厘米,有高者可达 50 厘米,群落间砾石表面常生有苔藓,群落中其他伴生植物鲜见,仅有长鞭红景天 (*Rhodiola fastigita*)、粗茎红景天 (*R. wallichiana*)、心叶大黄 (*Rheum acuminatum*) 等少数几种植物。

### 5. 近多鳞鳞毛蕨群落 (Community *Dryopteris subbarbigera*)

本群落分布于 3 800—4 500 米之间的冰碛砾石坡,生长地布满砾径 0.3—0.5 米的砾石,建群种近多鳞鳞毛蕨环生于石缘,群落高 20—30 厘米,盖度 60%—80%,建群种分盖度 40% 左右,常见伴生植物还有多雄拉鳞毛蕨 (*Dryopteris doshunglaensis*)、叶状柄垂头菊、尼泊尔香青 (*Anaphalis nepalensis*) 等。该群落在嘎隆拉山口发育尤好。

### 6. 狭叶委陵菜 (Community *Potentilla stenophylla*)

本群落分布于本区各大山脉 3 800—4 500 米的山坡积雪湿地。群落高 25—35 厘米,盖度可达 80%—90%,建群种狭叶委陵菜形成的直径 25—35 厘米的密集丛体相连成片,分盖度高达 70%。该群落在金珠拉山口,易贡的巴那山口,嘎隆拉山口都有较大面积的分布,群落中其他伴生植物还有簇生委陵菜 (*Potentilla turtosa*)、缘毛囊吾 (*Ligularia lia-troides*)、珠芽蓼等。

## (二) 莎草草甸

莎草草甸系指由莎草科特别是嵩草和苔草属中生植物为主组成的草甸植物群落。它与由双子叶植物组成的杂类草草甸在生态环境、群落外貌和植物组成上有显著区别。在生态环境上莎草草甸比后者更耐寒旱,所以在北部的半湿润地区发育良好,在高山灌丛带上部,形成了以之为优势的高山草甸带。在群落外貌上由于该群落主要由嵩草和苔草组成,伴生植物中双子叶植物种类少,群落在盛花期时外观亦较单调。植物群落的区系组成比较简单,其中含有较多的亚洲中部区系成分,喜马拉雅区系色彩远不如杂类草甸那么浓厚。

南峰地区的莎草草甸主要分布于北部的念青唐古拉山脉,也见于东喜马拉雅—岗日嘎布山脉以及南部的崩崩拉等山地。在北部地区分布于 4 200—4 700 米,在南部地区降至 3 900—4 500 米。与杂类草草甸相比,莎草草甸生长地水分条件有明显的变化,除年降水

总量减至1 000毫米以下外,最重要的变化是冬季覆雪时间要明显短于前者,也就是说雨期与覆雪期之间有明显的间断,对植物群落而言,早春的干旱具有重要的生态意义。这一期间植物必须在比较干旱的气候条件下复苏。在南部地区尽管莎草草甸生长在与杂类草草甸相同的气候环境下,但是莎草草甸多生长在陡峭的岩壁上和向阳、迎风的坡面。生长地雪被时间也要大大短于杂类草草甸。而从另一方面而言,本区的莎草草甸因春季化雪时间早,生长期较杂类草草甸长,其一般都在120—150天左右。与青藏高原其他地区的莎草草甸相比,本区莎草草甸水分及热量条件比较优越,草甸发育良好,并有较多的杂类草加入,具有某种过渡性质。群落区系组成相对比较丰富,莎草草甸群落高20—30厘米,盖度85%—95%。外观稍显华丽。本区的莎草草甸主要由川滇嵩草群落、尼泊尔嵩草群落、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)群落和短轴嵩草群落组成。

### 1. 川滇嵩草群落(*Community Kobresia cercostachys*)

川滇嵩草群落为莎草草甸中喜湿的一种群落,主要分布于本区中部和南部湿润的东喜马拉雅—岗日嘎布等山地,也见于北部的念青唐古拉山地,多生长在高山岩壁、石隙及石质山干旱山坡。一般分布高度在4 100—4 700米之间,在局部无积雪覆盖的裸露山岩,分布高度可达5 000米以上。该群落高10—15厘米,盖度80%—90%,伴生植物较少,建群种分盖度70%—80%。常见伴生植物仅有长叶绿绒蒿(*Meconopsis lancifolia*)、密生蚤缀(*Arensia densissima*)、珠芽蓼、长梗蓼(*Polygonum griffithii*)、睫毛岩须、美丽梭子芹(*Pleurospermum amabile*)、尼泊尔嵩草、线性嵩草等。

### 2. 尼泊尔嵩草群落(*Community Kobresia nepalensis*)

本群落分布地区与川滇嵩草大致相同,但要比后者稍喜干旱,所以在湿润的东喜马拉雅—岗日嘎布山地其分布不如川滇嵩草群落广泛,而在稍干旱的崩崩拉山地以及北部的林芝附近山地则异常发育,分布高度在4 100—4 500米之间。生长环境如川滇嵩草,多生长在向阳的石壁及砾石坡上。群落草层高10—15厘米,盖度80%—95%,建群种尼泊尔嵩草分盖度高达75%—80%,群落茂密,外貌呈褐绿色。主要伴生植物有珠芽蓼、狭叶圆序蓼、喜马拉雅三毛草(*Trisetum spicatum* ssp. *himalaicum*)、短颖鹅观草(*Roegneria breviglumis*)、羊茅(*Festuca ovina*)、川滇嵩草、钩状嵩草、线形嵩草等。

### 3. 高山嵩草群落(*Community Kobresia pygmaea*)

本群落是青藏高原莎草草甸植被中分布最广,面积最大的群落,亦可以说是高原该类植被的代表性群落。它主要分布于半干旱的藏东高原及半湿润的藏东南高山带中部,但本地区气候比较湿润,正处于半湿润与湿润区之间的过渡地带,所以就本区而言,高山嵩草带群落并不成为莎草草甸植被的主体群落,其仅在念青唐古拉山地4 400—4 800米之间的地段稍占优势,在中部的南部山地则多零星生长在干旱向阳多石的山坡和岩壁上。高山嵩草草甸草丛低矮,一般高度仅有1—2厘米,嵩草生长密集,组成的群落形如绿色毡毯,盖度高达95%,高山嵩草根系和地下茎异常发达,其与表层土壤盘织交结在一起,形成10—20厘米厚的棕黑色草皮层。该群落中建群种高山嵩草居绝对优势,分盖度多在80%以上,群落中伴生植物稀少,常见的有短轴嵩草、川滇嵩草、叶萼龙胆(*Gentiana phylloca-*

lyx)、珠峰龙胆(*G. stellata*)、柴胡、红景天(*Rhodiola bupleuroides*)等。

#### 4. 短轴嵩草群落(*Community Kobresia prattii*)

本群落仅见于本区北部山地,在舍其拉山口最为发育,形成较大面积群落,分布高度在4 200—4 700米之间。多生长在平缓的山坡,群落草层高10—12厘米,盖度85%—95%,建群种短轴嵩草分盖度50%—60%,次优势种常为川滇嵩草,分盖度可达30%—20%,群落中伴生植物较多,其中杂类草有相当数量,常见有珠芽蓼、狭叶圆序蓼、团花绢毛菊、毛盔马先蒿(*Pedicularis trichoglossa*)、菱叶委陵菜(*Potentilla coriandrifolia*)、尼泊尔香青、毛香火绒草(*Leontopodium stracheyi*)等。

### 五、冰缘植被

冰缘植被系指发育在寒冷所造成的极端生态环境区外缘,由各种适冰雪的先锋植物群聚组成的稀疏植被(李渤生,1981)。本区的冰缘植被为高山冰缘植被,主要分布在永久雪线附近4 400—5 200米之间并形成连续的高山冰缘植被带。该地带年平均气温均在0℃以下,最热月气温不足1℃。由地衣、苔藓及各种中生草本植物组成的小片植物群聚,呈斑块状生长在那些向阳、背风、夏季化雪较早的小生境中,本区的高山冰缘植被在南峰主峰4 400—4 800米的地段广泛发育,同时在念青唐古拉山及东喜马拉雅—岗日嘎布山脉一些雪峰下亦有分布。在雪线附近裸露的岩石表面,生长着由各种地衣组成的群聚,在潮湿的岩石缝隙里,苔藓植物群聚常有所见,除此之外,即是高山冰缘植被的主体,由菊科、十字花科、石竹科、景天科、莎草科、蓼科等科适冰雪植物组成的先锋植物群聚,它们择地而居,在流石坡碎石间冰碛砾隙、岩壁石隙等各种小环境中形成了自己的小群聚。

### 第三节 植被的分布规律

南峰地区地处青藏高原之东南隅。高原独特的大气环流形势、南峰地区特殊的地理位置及地势结构特点是控制南峰地区气候并使之发生分异的主导因素。由于决定本区水热组合条件的主要因素——印度洋暖湿气流的水热输送在沿纵贯本区中部的雅鲁藏布江下游谷地向高原运移时产生梯度变化,特别受到横贯本区中部的东喜马拉雅—岗日嘎布山脉的阻挡后气流强度的剧烈衰减,使本区气候在水平方向产生明显的区域分异,首先以山脉为界形成了南翼湿润气候区和北翼半湿润气候区,然后各区内又依序形成了不同的气候地带;在垂直方向,本区以高耸山体为主体的地貌形态,使山地气候的水热组合条件随海拔升降而发生变化(这种变化还受到印度洋暖湿气流水热释放的垂直变化的影响),而造成当地气候的垂直分异(李渤生,1984)。

在本区生物气候的水平和垂直分异的基础上,南峰地区的植被形成了与该区各种生物气候带相适应的植被水平地带以及附属于各水平地带的植被垂直带。



## (一) 植被水平地带

南峰地区正处在青藏高原与其南翼低平原之间的过渡地带。近几年来,我国学者在研究青藏高原的植被规律时发现:青藏高原的植被从东南向西北随着印度洋暖湿气流影响的梯度变化而出现了森林—草甸—草原—荒漠的变化,他们将高原植被的这种地带分异称为“西藏植被的高原地带性”(张新时,1978)。然而如稍加推敲,我们就会发现这种地带性并不是仅孤立存在于高原地区,它实质上是以孟加拉湾北岸为起点,青藏高原西北端为终点的印度洋水汽输送系统控制下的高原及其南翼地区植被水平地带组合系列的一部分。该植被水平地带系列随着印度洋暖湿气流向高原西北端水热输送量的梯度变化而显现出由常绿季风雨林地带,半常绿季风雨林地带,常绿、半常绿阔叶林地带,硬叶常绿阔叶林地带,常绿针叶林地带,灌丛草甸地带,草原地带及荒漠地带的有序排列,在包括南峰地区在内的青藏高原南缘山地地区,上述水平地带反映在穿切山谷的各个谷地中,这些谷地底部所构成的山地基准面倾斜角度大都仅有 $1^{\circ}$ 或小于 $1^{\circ}$ ,该谷地各植被生长带的底层带即为其所在水平地带的代表性植被,而底层带植被沿河谷所发生的变化即表现了该山地植被的水平地带性变化(李渤生,1985)。

纵贯南峰地区中部的雅鲁藏布-帕隆藏布江下游谷地是喜马拉雅山脉最长、最宽的谷地,该谷地纵坡降不到 $1^{\circ}$ ,无论是河谷宽度,还是谷地纵坡降均与横断山三江谷地相似,而前者又不出现横断山三江谷地所常见的非地带性干热河谷植被,所以南峰地区的雅鲁藏布江和帕隆藏布江谷地底层带植被可以很好地反映其所在地区植被水平地带的变化。

根据雅鲁藏布-帕隆藏布江下游谷地谷底顶极植被的性质,南峰地区植被实际上分属于五个不同的植被水平地带即:常绿季风雨林地带,半常绿季风雨林地带,常绿、半常绿阔叶林地带,硬叶常绿阔叶林地带和常绿针叶林地带,这五个地带恰是与高原灌丛草甸地带,草原地带和荒漠地带组成的大陆型植被水平亚系列相衔接的高原边缘海洋型亚系列的全体(李渤生,1985)。

### 1. 常绿季风雨林地带

该地带分布于本区 $28^{\circ}30'N$ 以南的雅鲁藏布江尾段谷地,该地带受到印度洋暖湿气流的最强烈影响,气候高温多雨,年平均气温 $26-22^{\circ}C$ ,年降水量 $3\,500-5\,000$ 毫米,尽管其降水主要集中于5—10月份的雨季,但因降水总量大,在少雨季节,空气仍含有较多的水汽,早晨形成雾和露,气候旱象不明显。地带性植被为常绿季风雨林,见于900米以下的河谷底部。植被以常绿的龙脑香科植物——羯布罗香为主组成,伴生树种含有较大比例的半常绿和落叶树种。植被的区系成分以印度-马来西亚成分为主。群落的种类组成、结构以及外貌特征均与发育于该地带中心部位的印度阿萨姆地区的常绿季风雨林相似。

### 2. 半常绿季风雨林地带

本地带在本区内分布于雅鲁藏布江达木至江尾段的谷地。在区外向西沿喜马拉雅山麓带一直延伸至印度河上游;向东则经丹巴江、察隅河下游地区到我国滇西南的无量山一带。半常绿季风雨林地带由于印度洋暖湿气流运移过程中水分和热量的损耗,年降水量渐

减至 3 500—1 500 毫米,同时因纬度升高,海拔升高等其他因素的辅助作用,年平均气温亦降至 22—18℃。总降水量的减少,使该地带在少雨季出现明显的旱象。地带性植被变为半常绿季风雨林,主要分布在 1 100 米以下的谷底。组成本地带半常绿季风雨林最重要的群落是千果榄仁群落和阿丁枫群落;此外,在滑坡、泥石流形成的贫瘠谷坡还发育有偏叶榕(*Ficus semicordata*)和中平树等演替群落。

### 3. 常绿、半常绿阔叶林地带

区内该地带南起达木附近的雅鲁藏布江谷地,向北沿在雅鲁藏布江大拐弯顶端汇入该江的帕隆藏布江下游河谷,伸展到东久—易贡—索通一线。向西还沿雅鲁藏布江大拐弯西侧谷地分布至白马狗熊东侧。区外,该地带分布在半常绿季风雨林地带的北侧和东北侧,占据着众多穿切喜马拉雅山脉纵向谷地的中游段和滇西南山原的中部和北部。在该植被地带,年降水量进一步减至 1 800—900 毫米,年均气温降至 18—15℃。地带内在鲁古以南的雅鲁藏布江主要由瓦山栲、刺栲、西藏栎三个主要群落组成的常绿阔叶林和由薄皮青冈、西藏青冈两个主要群落组成的半常绿阔叶林为其代表性植被,前者多分布在 1 000—2 000 米之间,后者则多分布在 1 800—2 400 米之间。在鲁古以北的雅鲁藏布江与其支流帕隆藏布江谷地,主要由通麦栎群落为主的半常绿阔叶林组成。此外,在上述这些群落分布山坡因崩塌、滑坡、泥石流所造成的次生裸地,还常分布有较大面积的乔松(*Pinus griffithii*)群落,在河谷则常见有桤木(*Alnus nepalensis*)群落。

### 4. 硬叶常绿阔叶林地带

该地带在区内分布于白马狗熊以西的雅鲁藏布河谷地和东久—易贡—索通一线以西、以北和以东的帕隆藏布及其支流谷地;在区外,则分布于喜马拉雅南坡,穿切山脉众多河谷的上游段和川西、藏东南高原的中部和南部。在该地带年降水进一步减少至 800—500 毫米,年均温降到 10—8℃。本地带的代表性植被为硬叶常绿阔叶林,在本区它仅由一个群落——川滇高山栎群落组成,群落多分布于雅鲁藏布江及其支流帕隆藏布、尼洋曲 3 200 米以下的河谷底部。本区的硬叶常绿阔叶林是作为该地带中心部位的川西高原硬叶常绿阔叶林的西延部分,群落分布地还生长有大片次生的高山松群落。

### 5. 常绿针叶林地带

区内该地带仅分布于本区北部和西北部 and 局部地区,所占面积很小,区外该地带分布喜马拉雅山脉南翼众多河流的上源,以及青藏高原东南部和川西高原西北部。该地带在北部和西北部与属大陆性的即所谓高原的灌丛草甸地带相接。本区的常绿针叶林地带年降水量 1 000—500 毫米,年均温 8—0℃。地带性植被常绿针叶林主要由林芝云杉和急尖长苞冷杉两个群落组成。与硬叶常绿阔叶林一样该地带的中心部位位于本区西部的川西高原,那里有着最为丰富的常绿针叶林群落。

## (二) 植被垂直带谱

众所周知,任何山地的植被垂直带谱均受其山地所从属之植被水平地带的控制。为众

多植被水平地带穿越的南峰地区,其植被的垂直带谱异常丰富,并依所属水平地带的不同而发生着变化。南峰地区植被垂直带谱的特征可以总结为以下几点:

(1)南峰地区的各植被水平地带均属于湿润和半湿润的海洋型亚系列,所以本区的各类植被垂直带谱首先鲜明地表现出这一特征即由各种森林植被组成的植被垂直带,在其植被垂直带谱中占主体地位。

(2)本区的植被垂直带谱与区内的植被水平地带湿润和半湿润的区域分异相一致,亦形成湿润和半湿润的两类不同的垂直带谱类型。这两者的分布区大体以东喜马拉雅—岗日嘎布山脉为界,前者形成于山脉南翼山地,后者形成于山脉北翼地区。它们之间最主要的区别在于湿润型山地植被垂直带谱中亚高山带常绿针叶林带的下部由铁杉林组成,而半湿润型山地植被垂直带谱中亚高山常绿针叶林带的下部则由云杉林组成。另外在高山各植被垂直带中,前者高山灌丛和草甸两种不同类型植被呈复合分布型式,而共同组成高山灌丛草甸带,其下部为常绿革叶灌丛、杂类草甸,上部为匍匐落叶灌丛、莎草草甸;而后者则灌丛和草甸各在不同的海拔区间形成以之为优势的高山灌丛带和高山莎草草甸带。

(3)在湿润区和半湿润区内部,其垂直植被带谱的分异则主要表现在基带的变化上,其垂直带谱其他部分保持一致,此外,在各带谱的分布高度,也发生一定的变化。

(4)由于雅鲁藏布江水汽通道的生态作用,伴随着南翼湿润型的常绿、半常绿阔叶林地带沿通道伸入到山脉北翼的帕隆、东久、易贡、索通和白马狗熊以东的雅鲁藏布江谷地,湿润型的山地垂直带谱亦反常出现于上述地区的山地。

我们将本区的多种垂直植被带谱及其与植被水平地带的关系以图的形式表现如图9-1。



## 第十章 土 壤

### 第一节 土壤形成条件及主要土壤类型的基本特征

#### 一、土壤的形成条件

本地区受喜马拉雅运动的影响,自晚第三纪以来地壳不断隆起,特别是第四纪以来的新构造运动使山体上升加剧,其幅度竟达4 000米左右。随着河流强烈下切,逐渐形成宽厚而高大的山体,地势起伏非常显著,相对高度超过7 000米,并使该地区的地形和母质类型多种多样,以致使气候和生物的分布产生明显的区域分异,从而强烈地影响着土壤的形成过程。

南峰地区在上升过程中,更新世期间经历了三次冰期和二次间冰期,至今在高海拔地区仍有现代冰川作用,广泛分布着不同时期的冰碛物及残留风化壳。南峰地区的成土母质,除上述的冰碛物和红色风化壳以外,主要有古生界和中生界的变质岩系,其中以片麻岩、片岩类为主,其它变质岩类也有一定的分布。此外,尼洋曲下游的林芝附近及金珠曲上游岗日嘎布山的西南麓尚有花岗岩的分布,波密至大兴一带常见有花岗闪长岩。这些基岩形成的多种多样的风化壳类型,致使本地区所形成的土壤更为复杂多样(彭补拙等,1985)。

本区冬半年受西风带的控制,天气晴朗而干燥,夏半年深受西南季风的影响,潮湿而多雨。由于南峰山地抬升对气流起了十分重要的屏障作用,阻挡了夏季印度洋暖湿气流的北进和冬季冷空气的南侵,致使山地南北两侧气候发生差异。南坡降水充沛,气候湿润,海拔1 100米以下的河谷地区具有准热带(热带北缘)气候的特点;北坡降水较少,气候半湿润,海拔3 200米以下的河谷地区,具有暖温带气候特征(林振耀等,1984;彭补拙,1984)。在这样的气候条件下,植被的垂直变化也非常明显。上述生物气候的垂直分异对本区土壤的形成发育及其地域差异也有深刻的影响。

#### 二、主要土壤类型及其基本特征

南峰地区的土壤与其自然条件关系密切,土壤类型多种多样。根据土壤形成因素和成土过程及其性态特征,本区土壤可划分为以下8种主要类型,现将其性态特征分述如下。

表 10.1 南迦巴瓦峰地区土壤一般理化性质

土壤 类型	剖面 号	地 点	深度 (厘米)	pH		有机质 (%)	全氮 (%)	C/N	代换性酸 (毫克当量/100 克土)			水解性酸 (毫克当量/ 100 克土)	代换性盐基 (毫克当量/100 克土)				代换量 (毫克当量/ 100 克土)	盐基 饱和度 (%)	颗粒组成(%)		备注
				水浸盐浸					Al	H	总量		Ca	Mg	K,Na	总量			<0.001	<0.01	
高山寒 漠土	N <sub>26</sub>	米林那木拉 海拔 4 750 米	0—7	5.924	3.2	2.80			1.60	0.1	1.7	15.40	2.45	0.64	0.87	3.96	19.36	20.45			
			7—12	5.423	5.6	1.16			0.00	0.3	0.3	10.10	1.56	0.39	0.39	2.34	12.44	18.81			
高山草 甸土	N <sub>25</sub>	米林那木拉 海拔 4 700 米	0—9	4.963	8.5	14.5			0.5	0.4	0.9	19.05	1.13	1.73	0.97	3.83	22.88	16.74			
			9—18	4.603	1.9	6.75	0.281	13.95	4.3	0.2	4.5	18.98	0.93	1.02	1.32	3.27	22.25	14.70	8.0	18.0	
			18—36	5.103	6.5	2.42	0.100	14.04	0.9	1.4	2.3	16.46	3.59	0.86	0.73	5.18	21.64	23.94	8.0	20.0	
	N <sub>24</sub>	米林县大渡卡 公社那木拉下 海拔 3 820 米	10—13	5.844	8.3	8.51			1.1	0.5	1.6	65.97	1.99	1.34	1.17	4.50	82.48	20.02			
			13—22	4.924	0.1	6.85			0.2	0.2	0.4	26.13	0.70	0.69	0.51	1.90	42.20	13.98			
			22—45	5.324	4.6	4.05			0.5	0.1	0.6	40.60	1.58	1.25	0.96	3.79	33.39	68.73			
山 地	N <sub>16</sub>	米林县多雄拉山口 南河流东侧山地 海拔 3 600 米	5—10			11.66			2.3	1.1	3.4	56.56	1.74	0.53	0.99	3.26	59.82	5.45			
			10—26			5.37			0.9	1.2	2.1	14.72	0.50	0.06	0.55	1.11	15.83	7.01			
			26—70			9.81			2.2	1.2	3.4	54.54	0.57	0.34	0.58	1.49	56.03	2.66			
灰 化 土	N <sub>28</sub>	米林县大渡卡公社 那木拉谷地 海拔 3 800 米	6—7	4.964	1.5	16.61	0.506	18.00	2.3	1.6	3.9	51.98	3.66	1.51	0.79	5.96	57.94	10.29			
			7—11	4.853	6.6	8.64	0.230	21.79	0.8	1.7	2.5	29.15	0.97	1.13	1.08	3.18	32.93	9.66			
			11—22	5.124	9.8	16.24	0.495	19.03	1.4	1.6	3.0	59.68	0.77	0.40	1.77	2.94	72.57	4.05			
	S <sub>14</sub>	墨脱县多雄拉河 上游海拔 3 250 米	0—20	4.963	7.8	13.39			1.73	2.67	4.40	22.63	1.24	0.84	0.66	2.74	25.37	10.80			
			20—32	4.924	1.8	5.56			6.38	6.2	6.58	45.79	2.98	2.13	0.19	5.30	51.09	18.37	8.0	16.0	
			45—70	4.723	3.2	8.12			1.90	0.2	2.10										

亚高山灌丛草甸土	EN <sub>4</sub>	波密县嘎隆拉山口北海拔 3 750 米	3—12 12—18 18—36 36—98	5.204.11 5.064.09 4.444.55 5.144.72	8.12		4.2	0.7	4.9	19.44	0.26	0.45	1.49	2.20	21.64	10.17	8.0	14.0
灌丛草甸土	ES <sub>1</sub>	波密县嘎隆拉山口南 1 000 米海拔 4 000 米	0—13 13—21 21—31	5.744.36 5.924.59 5.474.17			6.2	1.3	7.5	38.66	0.28	1.26	0.88	2.42	41.08	5.89		
	N <sub>27</sub>	米林县大渡卡公社那木拉南海拔 4 400 米	0—15 15—38 38—52	5.624.34 5.844.22 5.664.86	17.13 12.08 11.61		0.8	0.9	1.7	35.43	0.61	0.55	0.22	1.38	31.81	3.75		
山地棕壤	N <sub>17</sub>	米林县派区南西山地海拔 3 000 米	6.925.96 6.885.10	3.43 1.28			0.3	0.2	0.5	12.8	1.62	1.07	0.73	3.42	16.22	21.09		
山地棕壤	S <sub>13</sub>	墨脱县多雄河东岸海拔 2 450 米	0—14 14—28 28—60	4.833.51 4.963.62 5.104.20	6.95 5.26 3.98	0.211 0.139 0.232	0.8	0.5	1.3	40.77	2.33	1.53	0.34	4.20	44.97	9.34		
山地黄棕壤	S <sub>12</sub>	墨脱县多雄河东侧海拔 2 150 米	5—10 10—25 25—50	4.843.97 5.403.93 5.544.07	9.86 6.92 4.62	0.357 0.232 0.059	3.0	0.4	3.4	37.85	2.95	0.97	1.5	5.47	43.27	12.53		
山地黄壤	ES <sub>5</sub>	墨脱县格当区格当桥北 1 km 处海拔 1 900 米	0—8 8—30 30—70	5.444.08 5.344.32 5.564.50	8.60 5.15 2.81	0.374 0.256 0.173	1.8	0.5	2.3	36.17	4.2	0.79	0.42	5.41	41.58	13.01	17.0	26.7
	S <sub>10</sub>	墨脱县墨脱区墨脱公社海拔 830 米	0—35 35—45	6.464.96 6.364.92	2.24 1.05	0.173 0.059	7.5	3.12	4.02	15.65	1.19	0.55	0.10	1.84	17.49	10.52	16.0	32.0
砖红壤性黄壤	S <sub>11</sub>	墨脱县马尼翁附近海拔 890 米	0—35 35—57 65—80 107—117	5.314.26 5.404.32 5.844.57 5.924.69	3.35 0.98 0.57	0.195 0.063	6.37	0.3	6.67	15.61	1.16	0.81	0.76	2.73	18.34	14.89		
							0.5	0.6	1.1	11.90	0.70	0.42	0.27	1.39	13.29	10.46		
							2.8	0.4	3.2	6.34	0.12	0.73	1.28	2.13	8.47	25.15		
							0.21	0.09	0.30	3.05	0.71	0.30	1.1	2.11	5.16	40.89		

## (一) 高山寒漠土

高山寒漠土主要分布于海拔 4 800 米左右(南坡)及 5 000 米左右(北坡)以下气候严寒较湿润的地区。向下过渡到高山草甸土,地表多为裸露的岩石和大小不一的冰碛物,其上可见多种地衣,在岩石缝隙间广泛分布着以垫紫草为建群种的高山垫状植被(李渤生等,1985),整个群落覆盖度较高,可达 60%。土壤发育处于原始阶段,剖面发育程度很低,土层很浅,一般不超过 15 厘米,层次分化不明显,大多为 A—AC—C 型的剖面构造。表层多呈黑灰色,全剖面均含有大小不一的石块。这种土壤在一定程度上仍保存着冰碛物的沉积特征。其剖面形态特征以 N<sub>26</sub> 为例描述如下:

剖面 N<sub>26</sub> 采集于米林县那木拉山口西北海拔 4 750 米处,坡度为 30°,母质为冰川沉积物,生长着高山垫状植物。

A 0—7 厘米 灰黑色,壤土,粒状—团块状结构,夹有小石块,湿润,稍松,根系较多,向下逐渐过渡。

AC 7—12 厘米 淡棕色,砂壤土,夹有石块,块状结构,湿润,稍紧,根少。

C 12 厘米以下 以片麻岩为主的冰川沉积物。

高山寒漠土有机质含量,由表层向下逐渐减少,在 A 层为 2.8%,AC 层降至 1.6%。代换性盐基总量上下层差异不太大,表层为 3.96 毫克当量/100 克土,底层为 2.34 毫克当量/100 克土,代换性盐基以钙、镁含量较多,钾钠淋洗严重。土壤代换酸及水解酸均以表层为高,表层代换酸以代换铝为主,占代换酸的 94%,底层以代换氢为主,水解酸表层每百克土为 15.4 毫克当量,底层较低,为 10.10 毫克当量/100 克土。土壤呈酸性反应,pH 值约为 5.5—6.0 左右。土体中的多种氧化物无移动迹象(表 10.1)。可见成土时间不长,土壤发育不良。

## (二) 高山草甸土

高山草甸土广泛分布于海拔 3 900—4 300 米(南坡)和海拔 4 500—4 700 米(北坡)的山坡,以及海拔 4 200 米左右的古夷平面地区。气候寒冷较湿润,高山草甸植被相当发育,组成种类较丰富,主要为珠芽蓼、苔草、长毛岩须等。覆盖度可高达 90%。在这种生物气候条件下,土壤形成过程以有机质的累积为主,有机质分解程度低,在土层上部根系多以原形累积起来,形成毡状的草皮层,其厚度因植被的覆盖度不同而有所差异。其次由于季节性水分变化,在剖面下部铁、锰有氧化、还原的交替作用,而形成铁锰锈斑及结核。

高山草甸土剖面构型多以 A<sub>s</sub>—A<sub>1</sub>—B—C 型。草皮层(A<sub>s</sub>层)厚度不等,一般在 5—12 厘米之间。其下为腐殖质层,厚约 8—15 厘米,颜色灰黑,向下过渡明显,土层厚度一般不超过 50 厘米。其剖面形态特征,以剖面 N<sub>25</sub> 为例描述如下。

剖面 N<sub>25</sub> 采集于米林县派区那木拉山口偏西山坡上,海拔 4 700 米左右,坡度 10°,成土母质为冰碛物(片麻岩),生长着高山草甸植物。

A<sub>0</sub> 0—12 厘米 新鲜和半分解的植物根系。

A<sub>1</sub> 12—21 厘米 灰黑色的壤质土,粒状到团粒状结构,稍紧,润,根系很多,向下过渡分明。



表 10.2 南迦巴瓦峰土壤全量分析

土壤类型	剖面号	地 点	深 度 (厘米)	土体部分全量化学组成(占烘干土%)								
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
高山 寒漠土	N <sub>26</sub>	米林县那木拉 海拔 4 750 米	0—7	59.4	13.02	7.14	3.69	3.39	2.48	2.95	0.4106	0.8584
			7—12	61.6	12.94	7.12	2.94	3.68	3.00	2.94	0.2621	0.8754
亚高山 草甸土	N <sub>25</sub>	米林县那木拉 海拔 4 700 米	0—9	49.3	11.11	5.34	2.51	2.77	2.08	2.38	0.4718	0.7029
			9—18	54.1	12.78	7.14	2.83	3.40	2.40	2.63	0.4017	0.8766
			18—36	57.4	13.18	8.90	2.64	4.09	3.00	2.77	0.2542	0.9863
山 地 灰 化 土	N <sub>28</sub>	米林县大渡卡公社 那木拉谷地 海拔 3 800 米	0—7	50.4	4.84	1.97	0.96	0.58	0.89	0.78	0.2266	0.3771
			7—11	64.5	12.23	2.83	1.65	0.87	2.13	1.91	0.2631	0.9444
			11—12	48.7	11.72	7.55	3.37	2.36	1.99	1.87	0.3662	1.0772
	S <sub>14</sub>	墨脱县多雄曲上游 海拔 3 250 米	0—20	37.7	7.56	1.98	0.84	0.56	1.72	0.89	0.4411	0.4107
			20—32	58.8	11.64	8.57	2.77	2.26	1.93	2.19	0.2105	0.9871
			32—45	60.5	11.72	2.08	1.44	0.81	3.10	1.58	1.9543	0.7897
			45—70	67.2	12.49	5.76	1.56	1.21	3.27	1.60	0.2434	0.7046
	EN <sub>4</sub>	波密县嘎隆拉山口 北 海拔 3 750 米	3—12									
			12—18									
山 地 棕 壤	N <sub>17</sub>	米林县派区南面 山地 海拔 3 000 米	0—8	67.6	12.69	4.21			2.57	2.24	0.2105	0.6070
			8—38	69.8	13.10	4.27			2.70	2.40	0.2019	0.6176
	N <sub>19</sub>	米林县大渡卡公社 加拉 海拔 2 800 米	0—23									
			23—40									
山地 黄棕壤	S <sub>12</sub>	墨脱县多雄曲东侧 海拔 2 150 米	5—10	52.6	12.43	6.99	2.79	2.47	1.77	2.16	0.3058	0.9083
			10—25	52.1	13.34	7.15	2.95	2.96	1.87	2.17	0.2786	0.9614
			25—30	55.6	13.86	7.09	3.31	3.30	1.90	2.43	0.2551	0.9380
山地 黄壤	ES <sub>9</sub>	墨脱县格当桥北 1 公里处 海拔 1 900 米左右	0—8	61.6	12.84	2.15	1.65	0.74	2.27	2.21	0.2824	0.3441
			8—30	57.9	15.17	3.88	1.50	0.76	2.04	2.04	0.3028	0.4686
			30—70	61.8	16.21	4.04	1.69	1.04	2.29	2.42	0.2316	0.5053
砖红壤 性黄壤	S <sub>10</sub>	墨脱县墨脱公社 海拔 830 米	0—35	66.8	14.67	3.43	2.29	1.27	3.10	2.64	0.2221	0.4681
			35—45	59.7	12.75	11.32	2.70	1.95	2.86	2.33	0.4758	0.1084
	S <sub>11</sub>	墨脱县马尼翁附近 海拔 890 米	0—35	47.2	18.19	6.56	5.11	3.39	1.73	1.50	0.5588	0.6707
			35—57	48.1	17.38	6.85	5.83	3.91	1.72	1.58	0.4381	0.6862
			60—80	47.4	17.27	7.38	6.68	4.93	1.71	1.54	0.2980	0.1024
			107—117	46.4	17.31	8.24	6.61	6.60	1.59	1.45	0.2003	0.7501

AB 21—30 厘米 黑灰色砂壤土,块状结构,稍紧实,润,根系较多,有少量的胶膜和铁锈斑。

BC 30—48 厘米 黄灰色砂土,含少量小石块,碎块状结构,稍紧实,润,根系很少。

表 10.1 和 10.2 表明,高山草甸土表层有机质的含量较高,其含量在 15% 左右,向下逐渐减少,B 层仍可达 6%—7%,C/N 约在 14 左右,上下层近似。高山草甸土地区水分条件较好,年降水量约在 1 000 毫米以上,淋溶作用较明显,土壤 pH 值在 4.6—5.1 之间;但在干旱半干旱地区的高山草甸土,由于降水量相对减少,一般都在 700 毫米以下,淋溶作用减弱,土壤多呈酸性到中性反应(中国科学院南京土壤研究所珠峰组,1975),两者明显不同。高山草甸土各土层 <0.01 毫米的土粒含量约占 18%—20%,多属砂壤土。土体中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量自表层向下有下移的趋势,表层含量为 5.34%,向下增至 7%—9%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  也稍下有移的现象,但  $\text{P}_2\text{O}_5$  则在上层有微聚集的迹象。代换酸表层为 0.9 毫克当量/100 克土,向下增加到 2.3—4.5 毫克当量/100 克土,上中下层以代换铝为主,底层代换氢较高。水解酸上中层差异不大(16—20 毫克当量/100 克土),底层较低为 16 毫克当量/100 克土左右。代换量为 22—23 毫克当量/100 克土。代换性盐基总量为 3—5 毫克当量/100 克土,且下层含量较高,说明盐基在下层有聚集趋势。

### (三) 亚高山灌丛草甸土

亚高山灌丛草甸土分布的海拔高度略低于高山草甸土,在南坡分布于海拔 3 600—3 900 米,北坡分布于海拔 4 100—4 500 米处。气候虽仍寒冷湿润,但温度条件较高山草甸土地区好。植被组成较复杂,除湿生草本外,以黄桧杜鹃、栎叶杜鹃等多种杜鹃为主所组成的灌丛占有相当重要的地位,尤以北坡更为旺盛,灌丛的盖度达 70%—90%,而且地面多苔藓。由于有灌木等参与土壤的形成,草皮层一般韧而较紧实。生物分解较为旺盛。由于苔藓、草本与灌木生长的不同,草皮发育的厚度也不一致。草本生长不茂盛处,草皮层厚度在 3 厘米左右;草本生长茂盛处,草皮层厚度一般在 3—10 厘米左右。草皮下的腐殖质层厚约 10—25 厘米。其下为红棕色的淀积层,结构面上可见胶膜、锈斑及少量结核。局部地区的亚高山灌丛草甸土,在  $A_1$  层之下具有灰白色的土层,这可能是由于新构造运动上升,把低海拔的山地灰化土抬升到该地区,而以古土壤局部残存在亚高山灌丛草甸土之中。

亚高山灌丛草甸土的剖面形态特征,兹以剖面  $\text{EN}_4$  为例描述如下。

剖面  $\text{EN}_4$  采集于嘎隆拉山口南 3 750 米处,成土母质为花岗闪长岩坡积物,坡度 30° 左右,植物为多种灌丛和草本。

A<sub>0</sub> 0—30 厘米 新鲜及半分解的凋落物和根系,含少量细土,向下过渡明显。

A<sub>1</sub> 3—12 厘米 灰黑色砂壤土,粒状或核块状结构,疏松,润,多木质粗根和细根,向下过渡明显。

A<sub>bg</sub> 12—18 厘米 灰白色砂壤土,夹少量石块,片状结构,稍松,根系较多,向下过渡明显。

B<sub>1</sub> 18—36 厘米 灰棕色壤质土,夹少量石块,块状结构,稍紧实,润,少量根系。

B<sub>2</sub> 36—98 厘米 棕红色砂壤土,块状结构,有胶膜、锈斑及少量结核,稍紧实,润,根少。

C 98 厘米以下 花岗闪长岩坡积物,石块间隙有少量灰黄色砂土。

亚高山灌丛草甸土有机质含量一般在 5% 以上,高者可达 17%,且全剖面含量较均匀。淋溶强烈,土壤呈强酸性反应,pH 值在 4—5 左右。土壤代换性盐基含量在 1.0—2.4

表 10.3 南迦巴瓦峰土壤胶体全量分析

土壤 类型	剖面 号	地 点	深 度 (厘米)	土体部分全量化学组成(占烘干土%)											
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
山 地 灰 化 土	N <sub>28</sub>	米林县大渡卡公社那	0—7	61.73	18.54	3.98	1.01	1.39	1.56	2.30	0.018	0.14	3.97	5.65	3.36
		木拉谷地	7—11	63.35	19.96	2.63	0.59	1.02	1.33	3.14	0.023	0.07	4.95	5.36	66.0
		海拔 3 800 米	11—22	54.36	15.27	12.26	1.67	2.07	1.54	2.37	0.025	0.34	3.91	5.83	11.82
	S <sub>14</sub>	墨脱县多雄拉河上游	0—20	20.2	8.36	1.82	0.08	0.49	0.23	1.36	2.47	0.38	3.74	4.25	30.9
			20—32	30.6	15.91	12.69	0.12	1.63	0.37	2.67	8.98	0.56	2.17	3.27	6.46
			32—45	33.3	15.55	11.33	0.02	0.89	0.28	1.79	8.11	0.45	3.24	3.66	7.77
	N <sub>16</sub>	米林县多雄拉山南河	45—70	34.1	16.88	2.09	0.13	0.86	0.38	2.69	5.71	0.11	3.27	3.47	45.38
			5—10	61.97	21.11	2.89	0.50	1.08	1.07	3.17	0.0154	0.07	4.51	4.9	57.2
			10—26	66.31	17.66	2.70	0.37	0.87	1.01	2.13	0.0186	0.06	5.73	6.28	64.7
	亚高 山灌 丛草 甸土	EN <sub>4</sub>	波密县嘎隆拉山北口	26—70	51.59	17.51	11.93	0.76	1.25	1.67	2.01	0.012	0.34	3.49	4.99
3—12				39.5	20.45	3.12	0.012	1.02	0.43	3.25	9.18	0.09	3.00	3.30	33.00
12—18				35.0	18.32	3.93	0.07	0.95	0.37	2.81	5.49	0.16	2.83	3.20	23.20
18—36				36.5	19.63	3.92	0.04	1.00	0.40	2.86	7.59	0.25	2.84	3.20	24.40
36—39				53.54	17.60	8.64	1.06	1.36	1.83	3.07	5.05	0.33	3.92	5.10	16.5
砖红壤 性黄壤	S <sub>11</sub>	墨脱县马尼翁附近	0—35	39.0	29.70	4.84	0.19	1.43	0.31	1.93	1.89	0.11	2.03	2.24	21.67
			35—57	34.1	27.72	5.56							1.61	2.11	17.96
			57—98	28.3	16.70	7.47	0.58	3.90	0.31	0.73	1.55	0.37	2.63	3.35	12.22

毫克当量/100克土之间。代换酸表层为5—7毫克当量/100克土,以代换铝为主,约占代换酸的80%—90%。水解酸自上向下逐渐增加,A层约为20—38毫克当量/100克土,B层增至45—57毫克当量/100克土,代换性盐基以钙、镁为主,上下层盐基总量相差不大。 $<0.01$ 毫米土壤粘粒含量较低,但上下层差异明显(表层为14%,淀积层为24%),有较明显的粘粒下移淀积现象。胶体全量分析表明(表10.3):盐基以 $K_2O$ , $Na_2O$ 占优势,尤以 $K_2O$ 含量较高, $CaO$ , $MgO$ 以 $CaO$ 为多,全磷越往下含量越高;胶体的硅铝率约在3—5之间,越接近母质比例越大,但硅与半倍氧化物比率则相反,接近母质之 $B_2$ 层比率最小(16.5),说明该土铁的淋溶较强烈。

南峰地区由于深受西南季风及强大的印度洋暖湿气流的影响,水热条件均较珠峰地区优裕。因此,该地区雪线下移,而亚高山灌丛草甸土带上推及高山草甸土带下移,所以亚高山草甸土发育不良,致使缺失亚高山草甸土带。

#### (四) 山地灰化土

山地灰化土分布于海拔2800—3600米左右(南坡)和海拔3200—4100米(北坡)左右的山坡以及河谷地区。气候冷湿。植被主要为墨脱冷杉、苍山冷杉、林芝云杉以及急尖长苞冷杉组成的暗针叶林。林下郁闭,地表有苔藓层覆盖,土壤有机质分解缓慢,凋落物层的厚度一般在3—10厘米左右。腐殖质层厚度约5—10厘米,多为黑棕色壤土,此层以下清晰地可见灰白色或浅灰色的灰土层,即 $A_2$ 层,其厚度因地形坡度而异。淀积层较明显,可见少量的胶膜和结核。兹列举 $N_{28}$ 剖面的形态特征如下。

剖面 $N_{28}$ 采集于米林县大渡卡乡那木拉西北谷地平缓处,海拔3800米左右。成土母质为片麻岩冰碛物。植被为冷杉林,林下有多种杜鹃及苔藓。

$A_1$  0—7厘米 黑棕色壤土,粒状结构,稍紧实,润,根系较多,上部有很少的枯枝落叶。

$A_2$  7—11厘米 灰白色砂壤土,块状结构,稍紧实,润,根较多,向下过渡明显。

B 11—22厘米 棕色轻壤土,块状结构,较紧,根少,稍润,少量铁锰胶膜和结核,土体含有少量石块。

山地灰化土有机质含量很高,表层一般在8%—16%左右, $A_2$ 层为5%—8%,淀积层在4%—16%。全N量也较高(在0.23%—0.5%)。C/N比也较宽(为19—22)。全剖面均呈强酸性反应,pH值约5.0左右。代换酸南北坡土壤不一致,南坡该土壤代换酸较北坡为高;北坡该土的表层代换酸较高,且剖面以代换铝为主,南坡该土壤表底土代换酸相近,但表层以代换氢为主,底土以代换铝为主。水解酸以 $A_2$ 层最低,相当于其他层次的 $1/2$ — $1/4$ 。代换量也以 $A_2$ 层最低,相当于其他层次的 $1/3$ — $1/4$ 。代换性盐基含量各层不一,腐殖质层( $A_1$ 层)由于有机质的分解而有较多的盐基富集,B层则由于淀积作用其盐基含量较 $A_2$ 层为高。从土体全量化学成分看, $SiO_2$ 在 $A_2$ 层含量较高, $Fe_2O_3$ 下移。胶体的全量分析表明, $A_2$ 层 $SiO_2$ 含量较高,而铁的含量较表层及淀积层低,尤其比淀积层低(约低5—6倍),但 $Al_2O_3$ 无甚么变化。因此硅铁率, $A_2$ 层较其他各层均高(约高出5倍左右),而硅铝率各层变化不大。

关于山地灰化土的形成问题,前人已做过一些研究,如对珠穆朗玛峰地区南侧山地森林土壤的研究(中国科学院南京土壤研究所珠峰组,1975),认为漂灰土的灰白土层( $A_{bg}$ )

的形成,是由于在倾斜的谷地,土壤具有季节性冻层或滞水层上土壤进行嫌气还原作用形成的铁锰等还原物质发生侧向径流,从而形成漂灰层( $A_{bg}$ )。

南峰的山地灰化土的灰化层从前述土壤理化分析特征,尤其是从土体和胶粒的 $SiO_2$ , $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ 等的含量看,均与珠峰颇为相似。但我们认为山地灰化土的形成条件及原因较为复杂。在坡度较大的地区,水分侧向运动而造成漂灰作用固然很重要,但也不能排除水分垂直淋溶作用对灰化土形成的影响,尤其是在坡度较缓的坡地和谷地,下淋作用对灰化土的形成更是起着重要的作用。该地区气候冷湿,有机质分解程度较低,其上层枯枝落叶层较厚,有利于地表滞水,从而为水分的淋溶作用创造了有利的条件。当生物活动强烈的夏季,植物残体在温暖湿润条件下进行着强烈分解,分解产生的有机酸,对土壤中的原生矿物和次生粘土矿物的强烈分解和对铁、锰、铝氧化物以及腐殖质等增加了溶解度,随水分向下淋溶至B层淀积,形成了铁锰胶膜及结核等新生体,而表层( $A_1$ 层)之下则因淋洗,使土层脱色,并造成富含 $SiO_2$ ,其他氧化物贫乏的特征。土粒和胶粒的资料表明:表层 $Fe_2O_3$ 均较淀积层低约3倍左右。 $CaO$ , $MgO$ , $P_2O_5$ 也有下淋趋势。

山地灰化土发育的程度不同,其硅铝化合物的迁移状况也有一定差异。典型的山地灰化土 $A_2$ 层发育, $SiO_2$ , $Al_2O_3$ 在该层中相对富集。如 $N_{28}$ 剖面(但不象珠峰 $A_{bg}$ 出现在枯枝落叶层之下,南峰则在腐殖质层以下)。 $SiO_2$ 和 $Al_2O_3$ 均高于其他层次,其中 $SiO_2$ 富集更为显著。但有的山地灰壤 $A_2$ 层 $SiO_2$ , $Al_2O_3$ 相对富集作用不明显,从胶体的硅与铁铝比率才能看出,如 $S_{14}$ 剖面,与珠峰剖面类似,自枯枝落叶层下,即有 $A_2$ 层,该层 $SiO_2/Fe_2O_3$ 比率较其下二层高出4—5倍。但该区多数剖面,则枯枝落叶层之下尚有一有机质层, $A_2$ 层不是直接在枯枝落叶层之下,而在 $A_1$ 层之下,这不能不认为腐殖质层即 $A_1$ 层对其下灰化层的灰化作用。

由此可见,山地灰化土的形成条件和成土过程较为复杂,其形成原因及性态特征不尽相同,有待进一步的研究。

### (五) 山地棕壤

主要分布在南坡海拔2300—2800米和北坡海拔3200米以下的雅鲁藏布江河谷地区。气候温暖湿润或半湿润。植被为针阔叶混交林,组成树种主要有云南铁杉、长尾槭、川滇高山栎和高山松等,其下有多种灌木和草本植物。成土母质多为片麻岩、片岩的坡积、残积物,以及冰碛物、河流冲积物。土壤表层的枯枝落叶层很浅,其下为腐殖质层,厚度在10—20厘米。其下便为棕色的淀积层。发育在河流冲积物上的棕壤,因母质的影响,淀积层发育不甚明显。兹举 $N_{17}$ 剖面说明如下。

剖面 $N_{17}$ 采集于米林县派区南面海拔约3000米的第三级阶地上,母质为河流冲积物,植被为川滇高山栎和高山松等组成的针阔混交林。

$A_1$  0—8厘米 黄灰色砂壤土,夹少量的石砾,核块状—块状结构,较松,稍干,根多,向下过渡较明显。

B 8—38厘米 黄棕色砂壤土,夹多量石砾,块状,稍紧实,稍干,根较多。

BC 38—60厘米 棕黄色砂土,夹多量石砾,层状—块状结构,稍干,根少。

山地棕壤因形成条件的差异,性质略有不同。南坡较为暖湿,有机质累积较为明显,其

含量较高,表层一般可达50%左右,全剖面呈酸性反应,pH值约5.0左右;代换量为30—45毫克当量/100克土,向下逐渐减少;水解性酸为28—41毫克当量/100克土,向下逐渐下降;代换酸为1.3—2.8毫克当量/100克土,向下增高,表层以代换铝为主,下层以代换氢为主;代换性岩基为0.8—4.2毫克当量/100克土,向下减少,以钙镁为主。北坡温暖半湿润,植被郁闭度小,枯枝落叶少,且易分解,有机质累积不明显,其含量低,表层一般在3%左右;土壤淋溶作用较南坡相对要弱,土体呈中性反应,pH值在7.0左右,该土开垦后,其pH值竟高达8以上;代换量为10—16毫克当量/100克土;水解酸为8—13毫克当量/100克土;代换酸为0.5—0.9毫克当量/100克土,其中代换氢、铝不相上下(上述水解酸、代换酸、代换量约为南坡的1/2—1/3);代换性盐基含量为1.84—3.4毫克当量/100克土,以钙、镁为主。从土壤全量分析来看氧化物及半倍氧化物含量较稳定,且分布均匀。

## (六) 山地黄棕壤

该土分布于海拔1900—2300米,在易贡藏布一带,其上限可达海拔2600米左右。温度较高,湿度大,植被为半常绿阔叶林(李渤生,1985),林内有多种附生和草本植物。土壤发育程度较好,层次较明显。表层枯枝落叶层较厚,一般可达5厘米。腐殖质层厚度不一,一般在5—10厘米,厚者可达20厘米,该土黄棕色的淀积层明显。兹举剖面S<sub>12</sub>说明如下。

剖面S<sub>12</sub>采集于墨脱县多雄曲东侧海拔2150米处的洪积冲积扇中部,成土母质为洪积冲积物,植物为半常绿阔叶林。

A<sub>0</sub> 0—5厘米 半分解的植物残体。

A 5—10厘米 灰黑色壤土,粒状结构,稍松,润,根多。

B 10—25厘米 深灰带黄棕色,壤土,块状结构,稍紧,润,根系较多。

BC 25—100厘米 黄棕色壤土,含大量碎石块、砾石,块状结构,紧实,稍润,根少。

山地黄棕壤有机质含量较高,表层高达10%左右,向下逐渐减少到4%—7%,C/N较山地棕壤窄,在16—17之间。土壤pH值4.8—5.5,呈酸性反应。代换量表层较高,底层较低。代换性盐基表层较高,5.47毫克当量/100克土,向下逐渐降低至2.0—3.0毫克当量/100克土,盐基成分均以钙为主。水解性酸含量表层较高,约为38毫克当量/100克土,底层含量为25毫克当量/100克土。代换性酸含量表层较高,约为3.4毫克当量/100克土,向下逐渐减少至2毫克当量/100克土,其中以代换铝为主。从土壤部分全量分析来看,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及SiO<sub>2</sub>的剖面分异现象不明显,脱硅富铝化作用较弱。各土层小于0.001毫米的粒级含量在8%—10%,多属砂壤土。

## (七) 山地黄壤

该土分布于海拔1100—1900米的地区。气候湿热。植被为常绿阔叶林,建群种以壳斗科,樟科及木兰科植物为主,林内藤本和附生植物较丰富。局部缓坡、平台及阶地处,土壤发育程度较好。发生层次较明显,土壤颜色以黄色为主。缓坡和平台上发育的土壤质地较粘,淀积层明显,阶地上发育的土壤,质地较轻,多以壤质为主。土体中很少见各种铁质

新生体。兹从 ES<sub>9</sub> 剖面为例说明如下。

剖面 ES<sub>9</sub> 采集于墨脱县格当区格当桥北 1 公里处。海拔 1 900 米左右,母质为河流冲积物。植被为常绿阔叶林破坏后的次生灌丛。

A 0—8 厘米 灰棕色壤土,粒状—核块状结构,稍松,稍润,根系多,向下过渡较明显。

AB 8—30 厘米 灰黄色砂壤土,小块状结构,稍紧实,稍润,根系较少,向下逐步过渡。

B 30—37 厘米 黄色砂壤土,块状结构,紧实,根少,向下过渡至母质层。

山地黄壤地区水热条件优越,森林植被较为茂密,有机质分解虽较上述土壤为快,但气候较阴湿,所以表层有机质含量高达 8%—10%,其下渐减,底层也有 2% 以上。土壤全氮量较高,一般在 0.2%—0.4% 之间。全剖面 pH 值在 5.5 左右,呈酸性反应。代换量表层为 41.58 毫克当量/100 克土,其下渐少,各为 32.57 及 15.69 毫克当量/100 克土,水解性酸表层也较下层为高。代换性酸表层为 2—3 毫克当量/100 克土,下层渐减,以代换铝为主。由于有机质的含量较高,其分解所产生的盐基也多,所以表层代换性盐基较高,为 5.41 毫克当量/100 克土,且以钙为主,向下急剧下降,为 0.5—1.67 毫克当量/100 克土。盐基饱和度全剖面均较低。

各土层小于 0.01 毫米粒级的含量在 10%—24%,属壤质土,表层含量高,在一定程度上反映了湿热气候条件下的物理、化学风化作用的强度。<0.001 毫米粘粒表层较下层为低,说明有一定的侵蚀及淋溶作用。从土壤全量分析来看,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 A, B 层有一定差异,即表层低于底层,有淋溶淀积现象。

## (八) 砖红壤性黄壤

砖红壤性黄壤也可称赤黄壤。分布于海拔 1 100 米以下的谷坡和阶地上。植被为准热带季雨林,树种的组成和森林的结构均较复杂。尽管气候湿热,风化作用强烈,但由于谷坡陡峻,土壤的发育程度较差,土层较浅,厚度多为 20—40 厘米,仅在阶地和局部缓坡之处,发育程度较好,厚度可达 70—80 厘米,局部地区可超过 100 厘米。土壤层次较为分明,土体多呈灰黄或棕黄色。土体中较难发现铁锰结核等新生体。兹举 S<sub>11</sub> 剖面的形态特征如下。

剖面 S<sub>11</sub> 采集于墨脱县马尼翁附近西侧河谷的下部,海拔约 890 米。母质为混合片麻岩的残积坡积物。植被为准热带季雨林和破坏后的次生林。

A 0—35 厘米 灰黑色中壤土,粒状结构,稍松,湿,根很多,有蚯蚓粪,向下过渡明显。

AB 35—57 厘米 黑灰色重壤土,粒状—块状结构,稍紧实,湿,根较多,向下逐渐过渡。

B 57—98 厘米 灰黄色壤土,夹少量碎石块,块状结构,紧实,湿,根少。

BC 98—130 厘米 黄色砂壤土,夹少量碎石块,块状结构,紧实,湿,向下过渡至母质。

在上述生物气候条件下,该土的生物累积与分解作用强烈。土壤表层有机质含量高达 3.35% 左右,向下逐渐减少(约在 0.5%—1%)。全剖面 pH 值在 5.0—6.0 之间,呈酸性反应。土壤代换量较低,表层为 18 毫克当量/100 克土左右,向下减少至 3—8 毫克当量/100 克土。水解性酸含量较低,表层为 15 毫克当量/100 克土左右,向下逐渐减少。代换酸表层含量为 4.0—6.7 毫克当量/100 克土,向下减少,各层均以代换铝为主。全剖面盐基代换量为 1—3 毫克当量/100 克土,各层均以 Ca, Mg 含量为主。从土壤全量分析来看, CaO, MgO 含量较高(也较其他土类为高),而 Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O 含量较少,这与有机质含量较丰富及



一价碱金属易淋溶有关。 $\text{SiO}_2$  各层无差异,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  向下稍有富集, 尤以  $\text{S}_{10}$  明显。粘粒的全量分析表明,  $\text{SiO}_2$  各层差异不大,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  有表层富集现象, 而  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  则有向下淋溶趋势。硅与铝比率上层比下层低, 而  $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$  则上层较下层为高。说明该土有较强的富铝化作用。但因山地土壤的侵蚀作用较强, 其硅铝率稍大, (表层在 2.2 左右), 与云南思茅地区的紫色砂页岩上发育的山地赤红壤相近(李庆远, 1983)。山地土壤一般均有受水分淋溶作用, 尤以易变价的铁、锰, 在嫌气条件下高价铁、锰还原为低价的铁、锰而向下和侧向淋溶。因而下层  $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$  较低。

## 第二节 土壤的地理分布规律

南峰地区自然条件复杂, 土壤类型多样, 土壤资源丰富, 在地理分布上, 既有明显的垂直分布规律, 又有独特的水平分布规律, 两者之间关系密切而又特殊, 此外, 还有一定的中、微域土壤分布, 格局较为复杂。

### 一、土壤的垂直分布规律及土壤垂直分区的区域差异

#### (一) 土壤的垂直分布规律

南峰地区南北坡, 因所处地理位置不同, 谷底海拔及气候差异明显, 且随海拔的增加, 生物气候条件的差异显著, 形成不同的土壤类型, 以及由不同土壤类型有规律组合的土壤垂直带谱, 其带谱的性质、结构具有明显差异。

##### 1. 南坡土壤的垂直分布

如前所述, 南坡气候湿润, 其土壤垂直带谱属海洋性湿润型。雅鲁藏布江河谷海拔 1 100 米至海拔 500 米左右(本书研究的范围内), 从生物气候条件和土壤形成过程及其性态特征来看, 属于准热带(热带范畴)的砖红壤性黄壤, 这就决定了南坡土壤垂直带谱的基带土壤。再从本地区以南海拔 500 米以下的低山、丘陵土壤的形成条件和性态特征来分析, 已属热带砖红壤类型, 因此, 本书研究区域的砖红壤性黄壤基带实际上是该热带砖红壤为基带的一个垂直土壤带。

南坡土壤垂直带结构相当复杂, 随着山体海拔的增加, 生物气候条件发生明显的垂直分异, 自下而上依次出现砖红壤性黄壤(海拔 500—1 100 米)、山地黄壤(海拔 1 100—1 900 米)、山地黄棕壤(海拔 1 900—2 300 米)、山地棕壤(海拔 2 300—2 800 米)、山地灰化土(海拔 2 800—3 600 米)左右、亚高山灌丛草甸土(海拔 3 600—3 900 米)、高山草甸土(海拔 3 900—4 300 米)、高山寒漠土(海拔 4 300—4 800 米)等(图 10.1)。南坡土壤的共同特点是土壤淋溶作用十分强烈, 全剖面呈酸性至强酸性反应; 山坡陡峻, 成土时间相对较短, 土层一般较浅薄; 植被茂盛, 有机质的累积作用较强, 含量高。上述土壤类型中, 以各种森林土壤占优势, 其中山地亚热带常绿阔叶林下发育的山地黄壤与山地黄棕壤所构成的土壤垂直带成为南坡的优势带, 这时南坡土壤垂直带的组成和结构具有重要的作用。土壤的富铝化过程随海拔增高而减弱, 依次为粘化过程和草甸过程所代替。所有这些都反映



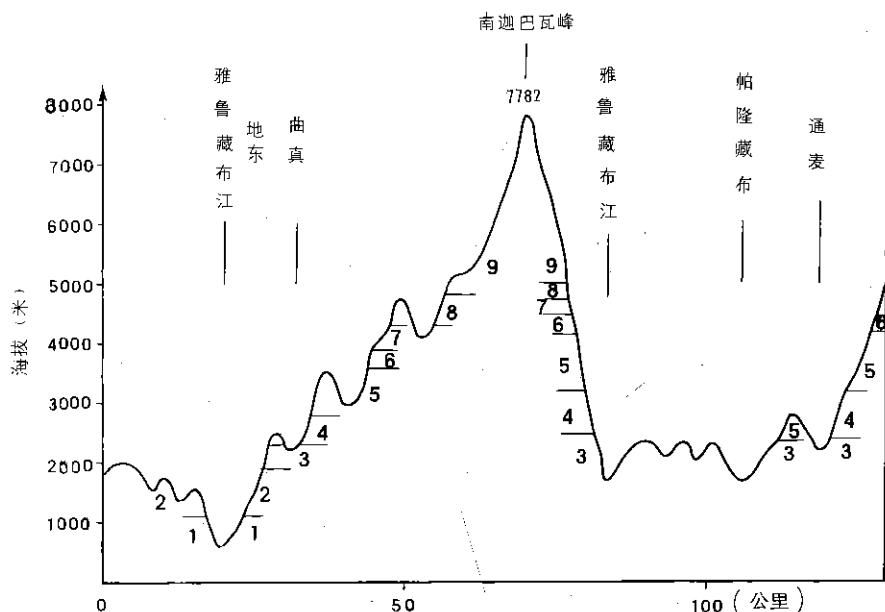


图 10.1 南迦巴瓦峰地区(地东—通麦)土壤垂直分布

1. 砖红壤性黄壤; 2. 山地黄壤; 3. 山地黄棕壤; 4. 山地棕壤; 5. 山地灰化土;  
6. 亚高山灌丛草甸土; 7. 高山草甸土; 8. 高山寒漠土; 9. 冰、雪

南坡山地土壤垂直结构的特点。

## 2. 北坡土壤的垂直分布

南峰北坡气候半湿润,其土壤的垂直带结构明显不同于南坡山地。土壤垂直带谱具有海洋性半湿润性质,垂直结构的基带为分布于雅鲁藏布江河谷的山地棕壤带。土壤垂直带谱没有南坡复杂,它由 5 个土壤垂直带组成,自下至上依次为山地棕壤(海拔 2 800—3 200 米)、山地灰化土(海拔 3 200—4 100 米)、亚高山灌丛草甸土(海拔 4 100—4 500 米)、高山草甸土(海拔 4 500—4 700 米)、高山寒漠土(>4 700 米)等带(图 10.1)。

北坡土壤垂直带中以山地灰化土带幅最宽,成为北坡明显的优势带。北坡土壤的共同特点是:土壤的发育程度较差,土层一般较薄,剖面分化层次不很明显;有机质的含量较高;土壤淋溶作用虽不如南坡,但仍较强,土体中均无碳酸盐反应,随着海拔的增加,降水增多,淋溶作用增强,土壤自中性至酸性和强酸性反应,粘化过程减弱,逐渐为灰化过程和草甸过程所代替,南北坡土壤逐渐趋向于一致。

## (二) 土壤垂直分布的区域差异

南峰地区土壤的垂直分布不仅由于南北坡谷地海拔的不同,以及气候条件的明显差异,而具有各自的土壤垂直带谱,而且在坡向基本一致的情况下,谷底的海拔及生物气候条件区域差异对土壤的垂直分布产生较明显的影响。

南坡雅鲁藏布江河谷自海拔 600 米左右沿大拐弯峡谷,经帕隆藏布至易贡盆地,谷底上升至海拔 2 200 米左右,气候湿润,土壤垂直带谱因基带的不同而具有三种结构类型,

即以谷地砖红壤性黄壤、山地黄壤及山地黄棕壤为基带的结构类型、其带谱的性质基本一致,均属于海洋性湿润型。北坡的雅鲁藏布江河谷及其支流帕隆藏布和易贡藏布等河谷,海拔2300米局部地区为2500米至海拔2800米以上的地区,气候半湿润,土壤垂直带谱因基带不同而具有二种结构类型、即以山地棕壤和山地灰化土为基带的结构类型、且带谱性质属海洋性半湿润型。可见,各地土壤垂直带的结构类型是明显不同的。

同时,南峰地区山地土壤垂直分布的区域差异还明显地表现在各土壤带的带幅和分布的界限上。南坡气候湿润,各土壤垂直带的带幅及分布的界限差异不甚明显,但由于降水量沿雅鲁藏布江河谷自西向东逐渐减少,湿润的程度略有降低,山地黄壤、山地黄棕壤、山地棕壤及山地灰化土带的界限,自西向东略有增高,上升的幅度大致在100米的范围之内,且各土壤带的带幅无明显变化。可见在湿润地区土壤垂直带的差异主要产生于各种森林土壤类型之中,高海拔地区的草甸土壤类型,其分布界限基本上没有什么变化。北坡地区气候半湿润,自雅鲁藏布江大拐弯至通麦一线,沿主支流河谷向东西两侧降水逐渐减少,干燥程度不断增大,各土壤垂直带的带幅及分布的界限产生明显的区域差异。如山地棕壤带的上限,自格嘎沿雅鲁藏布江河谷向西至米林附近,由海拔3200米左右上升到海拔3400米左右,其上限上移了约200米。山地灰化土的界限,自格嘎的海拔3200—4100米左右,至米林附近上升到海拔3400—4200米左右,上下限上移的幅度达100—200米,带幅缩小约100米左右。并且土壤的性状亦有一定的差异,土壤的发育程度较差;淋溶作用减弱,土壤pH值略有增大;有机质的含量逐渐减少。高海拔地区的亚高山灌丛草甸土与高山草甸土,自东向西其界限上移,带幅变宽,亚高山灌丛草甸土带自海拔4100—4500米,上移至海拔4200—4650米左右,高山草甸土带也相应向上移动,带幅增宽50—100米左右。岗日嘎布山北坡自西向东随着干旱程度的增加,垂直土壤带的界限也有上移的现象,在此不一一赘述。

## 二、土壤的水平分布规律

南峰地区地处青藏高原的东南边缘、地貌急剧转换地带,海拔高度一般都在4000米以下,除局部地区保存有海拔4200—4500米和5000—5500米的两级夷平面及其围绕的高峻山地以外,山高谷深,土壤的垂直分布极为明显。不仅如此,该地区的土壤还具有一定的水平分布规律,且两者关系较为密切,这反映出该地区综合自然地理的某些特征。

据研究,西藏高原的土壤其水平区域分异较明显,可分为3个土壤带和6个土壤地带(中国科学院南京土壤研究所珠峰组,1975),其中,南峰地区的土壤分属于藏南山地森林土壤带和藏南高原亚高山土壤带的亚高山草甸土地带的范围之内,两者的界线大致是西起纳玉东拉,向东北经德阳拉—多雄拉—南迦巴瓦峰—随拉山口,折向东南沿岗日嘎布山脉至察隅地区。有人依据土壤垂直带谱的结构进行西藏土壤区的划分时,共划分为六个土壤区,其中南峰地区南侧属喜马拉雅山南翼森林土壤区,北侧属藏东山地森林土壤区(中国科学院青藏高原综合科学考察队,1982a)。这种土壤区的划分实际上是以土壤的水平分异为基础的,两个土壤区分属于两个不同的土壤带,这两个土壤区的界线与前一种意见基本一致。又有人在研究青藏高原土壤水平分布规律时,将本地区北侧划归青藏高原温带土壤带的褐土、棕壤、暗棕壤垂直带;南侧属于西藏南缘山地亚热带黄色砖红壤、黄壤、黄棕



明显。因此,这种土壤的水平地带性规律深深地打上了垂直地带性规律的烙印,尤其是在南峰南坡的湿润地区,表现得更为明显,也可以说是这两种地带性规律共同作用的结果;我们称这种水平地带性规律为“垂直水平复合地带性规律”。

因此,根据土壤垂直带谱的基带及其性质作为划分土壤水平地带的主要依据,南峰地区可以分为4个土壤地带、自南向北,然后转向以东南至西北,依次为:砖红壤性黄壤地带、山地黄壤地带、山地黄棕壤地带及山地棕壤地带(图10.2)。

由此可见,南峰地区土壤的水平分布规律,明显地反映出喜马拉雅山南翼湿热的低山丘陵地区土壤向青藏高原半干旱和干旱地区土壤过渡的特点,且具有各种山地森林土壤的特征。

### 第三节 土壤的合理利用与保护

南峰地区土壤类型多样,垂直结构明显,土壤资源十分丰富,且具有一定的生产潜力。但长期以来,由于历史原因,土壤被不合理的利用,水土流失加剧,土壤质量不断下降;各种土壤之间利用极不平衡,不适宜于农牧业发展的需要;土壤的利用与治理保护之间,土壤资源的开发与生态环境的保护之间出现了不同程度的失调。充分而合理地利用土壤,对发展农、林、牧业生产,保护生态环境,促进本地区经济发展具有重要的意义。

#### 一、土壤利用现状及存在的主要问题

##### (一) 土壤利用现状

这里是藏、门巴、珞巴等民族居住的地区,各族人民在长期的生产活动中,根据本地区复杂的自然条件和土壤特点,采取不同的利用方式发展各种生产,在土壤利用上具有以下特点:

##### 1. 土壤类型多种,利用方式多样,生产潜力较大

南峰地区自然条件复杂,土壤类型多种多样,从河谷低海拔的准热带砖性黄壤到高山寒漠土,计有8个土类,垂直地带性规律极为明显,水平地带性规律亦有所表现。形成了山地特殊的立体结构的大农业土壤生态环境,为农、林、牧生产的立体布局及综合发展提供了十分有利的条件。

雅鲁藏布江河谷海拔1100米以下地区的砖红壤性黄壤,沿河谷的陡坡及远离居民点的地区尚保存有准热带的季雨林,热带的经济果木十分丰富,部分地区已成为次生林地;不少坡度略缓之处基本上都已开垦为旱地,种植鸡爪谷、玉米、高粱、荞麦等农作物;沿江坡度平缓的阶地和平台大都是辟为梯田,种植水稻等粮食作物。坡缓之处土层较厚,有机质含量较高,一般可达3%—5%,气候湿热,雨量充沛,土壤的生产潜力较大。雅鲁藏布江及其支流金珠曲和帕隆藏布等地的亚热带山地黄壤和山地黄棕壤,海拔在1100—2300米之间,局部地区可达海拔2500米左右,水、热和土壤条件均较好,大部地区生长着亚热带的常绿阔叶林,局部河谷阶地和缓坡之处已辟为耕地,种植水稻、旱稻、鸡爪谷、玉

米、青稞、谷子、高粱、黄豆等农作物；墨脱的达木、旁辛、加热萨及格当等地种植有棉花、甘蔗、烟叶等经济作物。波密、易贡盆地的黄棕壤不少已开垦为菜园；野生的广柑、芭蕉、橙子、桔子等亚热带水果广泛分布，桔子等已开始人工种植。海拔2300米（或2500米）至海拔3100米左右的雅鲁藏布江及其支流尼洋曲和帕隆藏布河谷广泛分布的山地棕壤，土壤较肥沃，水热条件尚好，是西藏的主要农业区之一，河谷两侧山地尚保存有暖温带的针阔叶混交林，其他大都已开垦种植水稻、小麦、青稞、玉米、油菜等多种农作物，素有“西藏粮仓”之称。野生的桃和核桃广泛分布，近来，苹果、梨、核桃等暖温带的水果亦有一定的发展。海拔3100米（南坡2800米左右）以上的山地灰化土，为森林集中分布的地区，是西藏重要的林业基地，在我国林业中也占有重要的地位。再往上依次为亚高山灌丛草甸土和高山草甸土，其上牧草丰富，是发展畜牧业的良好场所，目前仍处于待开发利用之中。因此，这样的山地立体农业结构，为进一步发展农、林、牧、副业生产，提供良好的土壤和生态条件。

## 2. 耕作土壤面积甚少而分散，肥力不均

南峰地区的墨脱、波密、米林及林芝四县耕地总面积共14.64万亩，远远低于全国耕地占总土面积10%的水平。由于地形复杂，山高谷深，坡度大，现有耕地零星分散于雅鲁藏布江及其主要支流尼洋曲、帕隆藏布及金珠曲等狭长的河谷地区。自宜淀以上的雅鲁藏布江中游及支流尼洋曲河谷，帕隆藏布自通麦以上的河谷，均较宽广，两岸阶地及洪冲积扇甚为发育，其上主要分布山地棕壤，且多已开垦为耕地，为西藏的主要农业区，这也是居民点集中的地区。附地上的耕作棕壤，土层较厚，肥力较高，有机质含量达4%左右；洪冲积扇上的耕性棕壤，土层较薄，质地砂壤，砾石含量较多，肥力较低，有机质含量一般在2%左右。墨脱境内耕性山地黄壤和砖红壤性黄壤，交错分布于雅鲁藏布江深切河谷两岸的阶地和平台上，其中大部分已修为梯田和台田，土壤肥力差异明显。刀耕火种地耕种几年以后，土壤肥力急剧下降，一般以种植玉米、鸡爪谷为主。

## （二）土壤利用中存在的主要问题

### 1. 农业土壤耕作粗放，利用程度不高，粮食作物单位面积产量低

南峰地区的耕作土壤中，虽有不少肥力较高的土壤，但由于耕作粗放，田间管理很差；一般是一年种一季，低海拔地区土壤肥力高的耕地，一年种二季，一季冬青稞或小麦，另一季为晚玉米。不少土壤实行轮休，土壤的利用程度低，粮食作物的单位面积产量在200公斤/亩左右，墨脱县地处亚热带和热带，水热条件优裕，粮食作物亩产平均超过250公斤；米林县最低，粮食作物亩产平均仅166公斤。水温偏低也是影响产量的一个重要原因，本区的河流主要是冰雪融水补给为主的，水温偏低，用这种水灌溉，降低土温，影响作物产量。墨脱县地东、背崩一带，海拔在800米以下，从水热条件来看，宜种双季稻，但由于早稻种植时，本区仍处于降水较少的干季，利用冰雪融水补给的河水灌溉，水温偏低，影响水稻的正常生长，二季的产量与种一季差不多，因此，目前基本上都是种植单季稻。从土壤条件来看，本地区农业生产的潜力是很大的，提高单位面积产量，不仅对本区，而且对西藏全区都有极其重要的意义。

## 2. 毁林开荒、水土流失加剧,土壤衰退,肥力降低

南峰地区山多耕地少,人均耕地 3.2 亩左右,低于西藏其他地区的水平;尤以墨脱耕地最少,人均耕地仅 1.4 亩左右。在生产水平低和缺乏科学技术指导的情况下,为了解决粮食和燃料的不足,人们甚至采取“杀鸡取蛋”、“竭泽而渔”的掠夺式办法,乱伐森林,滥垦土地,这种刀耕火种的耕种方式,以墨脱地区最为严重。毁掉森林以后,一般耕种二三年后又撂荒,且毁林开荒的山坡可达 35°左右,甚至 45°左右的山坡都被开垦,种植玉米、鸡爪谷等作物,新垦地是浅绿色,放弃后的耕地生长着野芭蕉林或次生的灌木林,是一片绿色,与邻近未开垦的暗绿色的常绿阔叶林呈鲜明对照。由于开垦地坡度大,加上暴雨不断冲刷,水土流失较为严重,表土层变浅,土壤肥力急剧下降,农作物产量显著减少,不得不丢荒,这种用牺牲自然环境和生态平衡为代价去换取眼前的短暂利益的做法,造成极为严重的恶果。有的地区水土流失之严重,致使土层侵蚀殆尽,基岩裸露,生态环境日趋恶化。

## 3. 河谷土壤利用不合理,水旱灾害较严重

如前所述,河谷土壤成因不一,土壤性状与肥力亦有一定差异,利用方向应有所区别,过去在“以粮为纲”的口号下,重农轻林牧的现象较为普遍而严重。不宜开垦的谷坡地和洪冲积扇上灌木林和草地,大都已开垦利用,从而造成农牧比例失调,农牧争地矛盾突出,牧业生产不但未能发展,反而有所下降,牲畜总数略有减少(如波密、林芝县),米林县则在每年 8 万头(只)左右变动。关键问题是草场不足,尤以冬初饲草缺乏更为严重,在一定程度上影响畜牧业的发展。本地区降水季节分配不够均匀,尤以北侧半湿润地区较为明显,降水主要集中于 5—9 月,占全年降水的 70%以上,且多暴雨,大雨和暴雨的日数较多,易产生水旱灾害,处于谷坡和洪冲积扇上的耕地更易受这种灾害的影响。如德阳河洪冲积扇上的耕地,常受洪水的危害,有时甚至毁坏整片农田。其他地区也经常发生洪水的危害。干旱的年份,这些耕地也更易受其影响,在无排灌设施的地区旱情尤为突出,粮食产量每亩仅几十公斤,有的甚至颗粒无收,抗御自然灾害的能力弱。

## 4. 森林土壤尚未充分利用,森林采伐不合理

本地区热带和亚热带土壤,除已开垦的以外,其上植物种类繁多,生物资源相当丰富,尤其是名贵的药用植物、野生的果木、大型的真菌等资源更为丰富,基本上处于待开发利用阶段。山地灰化土多生长阴暗的云杉与冷杉林,土壤肥力及森林的生产率的区域差异较明显,由湿润至半湿润再过渡至半干旱地区,其土壤肥力和森林生产率逐渐降低,森林的平均蓄积量高者可达 500—800 立方米/公顷,最高达 1 500 立方米/公顷;低者仅 220—350 立方米/公顷。目前,除沿公路的部分地区已采伐利用以外,大部分尚未开发利用,而这些森林不少已属超过采伐年龄的过成熟林,环境冷湿,生物分解缓慢,病腐率较高,有待合理开发利用。已采伐及正在采伐的森林很不合理,乱砍滥伐现象普遍,伐而不育,从而伐后常为山杨、白桦林所代替,土壤肥力降低,森林生态系统的生产量减少,水土流失加剧。

## 5. 草甸土壤利用很不平衡,草场建设与牧业生产发展不相适应

南峰地区的草甸土壤主要是亚高山灌丛草甸土及亚高山草甸土,河谷两侧局部地区

零星分布发育程度较差的灌丛草甸土,其上生长着各种类型的灌丛草甸植被,这些都是本地区重要的草场资源。亚高山灌丛草甸与亚高山草甸土及其形成的草场,牧草的盖度达80%—90%,每亩鲜草产量可达125公斤左右;河谷灌丛草甸土及其上形成的草场,盖度可达60%—80%,每亩鲜草产量也在125公斤以上。此外,林区及其边缘地区土壤上生长着各种灌木和禾草和莎草等,也是河谷地区的草场资源之一,有的甚至是一种重要的草场。但是,对于这些土壤及其草场利用很不平衡,亚高山草甸土壤除局部地区已辟为牧场以外,绝大部分地区尚未利用;而上述河谷地区的草场及作物茬地一般作为冬春牧场而过度利用,产草量减少,草场不断退化。很少进行草场的基本建设工作,随着畜牧业的发展草场不足的矛盾日趋严重。

## 二、土壤的合理利用与保护

根据南峰地区山地土壤的特点及利用中存在的问题,为了充分发挥土壤资源较丰富,水热条件充裕的优势,克服目前土壤利用中所存在的问题,提出以下几点合理利用与保护土壤的途径及措施:

### 1. 合理轮作,开辟肥源,提高土壤肥力

雅鲁藏布江中游及其支流的米林、林芝、波密等地轮作方式主要为青稞-豌豆或蚕豆-青稞3年一轮,或小麦和豌豆混作-青稞3年一轮;青稞-豌豆和青稞混播-春小麦(或油菜)-休闲4年一轮。雅鲁藏布江下游的墨脱除水稻一年一季以外,旱作有一年两季,冬青稞或小麦和晚玉米;海拔较高的地区也有3年一轮或4年一轮。70年代初期冬小麦播种面积的逐步扩大,1978年达历史最高水平,而对休闲地,豌豆单种或豌豆青稞混种面积压缩过多。冬小麦的多年连作,虽对粮食的增产在短期内起一定的作用,达到一定限度以后,土壤肥力明显降低,加之劳力、肥料等的不足,自1978年以后,不少地区的粮食减产,从而又提出减少冬小麦扩种面积达60%左右,并实行轮作。可见,合理轮作是培养地力和持续增产的一种重要的耕作制度,也是充分利用土壤资源促进农业高产稳产的有效措施。

合理轮作对提高作物产量固然很重要,但开辟肥源,增施肥料,为作物的增产提供了可靠的物质基础,具有重要的意义。本地区肥源广,主要有羊粪、驴马粪、牛粪、猪粪尿、草木灰、杂草及林区的枯枝落叶、淤泥等等。但群众很少使用,除牛羊粪肥以外,其他肥料基本不用;有些地区虽施用化肥,但科学技术落后,施用化肥不甚合理,从而直接影响作物产量的提高。因此,推广先进的农业科学技术,逐步改变落后的耕作方法,增施各种有机和无机肥料,提高土壤的肥力,可使目前作物产量由平均亩产150—200公斤,提高到更高的水平。

### 2. 兴修水利,改良土壤,提高土壤生产能力

南峰北侧的半湿润地区,农用耕地的灌溉效果非常显著,水浇地的平均亩产可成倍增加。米林县的耕地面积4.4万亩,1960年以前水浇地面积仅1.3万亩,近几年增至3.78万亩;波密县的耕地面积约5万亩,有效灌溉面积占全县耕地面积的50%左右;林芝县的有效灌溉面积2.8万亩,占全县耕地面积的70%左右。水利灌溉事业的发展,在除涝抗旱

中起了非常重要的作用,对土壤生产能力的提高提供了重要的条件,为农作物产量的提高,打下了良好的物质基础。但是,有些渠道年久失修,排灌能力减弱,有效灌溉面积仅占70%左右;旱涝保收的高产稳产农田较少,林芝县占总耕地面积的30%左右,米林县仅占15%左右。因此修整原有渠道,增加有效灌溉面积和旱涝保收的高产稳产农田的面积,才能使农业生产不断持久地发展。

本地区沿雅鲁藏布江及其支流河谷阶地上的耕地土壤,尤其是高阶地的耕地土壤,土质较好,大都是砂壤至壤质土,适耕性良好;但在洪冲积扇及高河漫滩上的耕作土壤,泥少沙多,土质差,漏水漏肥严重。对这些土壤除部分退耕还牧外,应增垫粘土以及施老墙土,以达到改良土壤质地、提高土壤肥力的目的。这对提高土壤生产能力、保证作物增产起了很大的作用。

### 3. 严禁毁林开荒,修筑梯田、台田,防止水土流失

本地区森林破坏较为普遍,尤以墨脱较为严重,其原因:毁林开荒、刀耕火种普遍;燃料问题无法解决;更为重要的是无人管理。为此必须严格执行国家“森林法”,严禁毁林开荒;刀耕火种的原始耕作方法应坚决予以制止;建立一定规模的薪炭林以解决这些地区的燃料问题;加强国家对森林的管理。

这里的人民早就在山坡上开垦耕地,生产粮食,以满足需要。墨脱县加热萨一带坡度达40°左右的山坡均早已开垦为耕地,但在山体的顶部保存有部分森林,以防止水土的流失,这固然可以起到一定的作用,但由于坡陡,无疑仍已引起水土流失。类似于加热萨地区的情况也较普遍。林芝、米林、波密等地固定和改造坡耕地,修筑梯田和台田取得一定的成绩,将这些坡耕地变为保水、保土和保肥的三保田,也加强了抗御旱、涝的能力。因此,加强农田基本建设,有计划、有步骤地将坡耕地修筑成梯田或台田,既保持了水土,又必将提高作物的产量,获得良好的生态环境效益和经济效益。

### 4. 合理采伐,提高土壤的利用率

正如前所述,本地区山地灰化土的暗针叶林,不少已属过成熟林,必须采伐利用,但采伐应合理,使之永续经营,发挥林区在木材生产和水源涵养、保障农业生产的双重作用。采伐量符合生产量,并及时更新。对于那些生长得非常旺盛的森林,可适当择伐,以提高土壤温度,降低其湿度,减低病腐率,使森林生长更好。这样,既充分利用了森林资源,又大大提高土壤的利用率。

### 5. 加强牧业生产,充分利用高山草场

南峰地区是西藏重要的农业区之一,但牧业生产已有一定的基础,目前畜产品尚不能满足当地藏族人民的需要,靠与邻近地区交换来解决畜产品(尤其是酥油)不足的问题。因此,必须加强牧业生产,适当地发展畜牧业。然而,草场不够,严重地妨碍畜牧业的发展,为此,加强草场的基本建设,建立天然饲料生产基地和人工饲料(栽培牧草)生产基地。实行封山(滩)育草,作为冬春季饲料基地;增施有机肥料和进行水利灌溉,以增加饲草产量。将原来是草场,现又不易耕种的耕地,退耕还牧,扩大草场面积。同时,应充分利用高山草场,以逐步解决饲料不足的问题。



## 第十一章 垂直自然带

南峰地区自然地理特征独特,自然资源丰富,垂直自然带谱相当完整,为世界所罕见;垂直自然带谱的结构类型复杂,区域差异明显,景观类型多种多样。山地垂直自然带规律性的研究,不仅是综合自然地理学研究的重要课题之一,而且还可为当地自然资源的合理开发利用提供科学依据,无论对发展基础科学理论或生产实践都有十分重要的意义。

### 第一节 垂直自然带的景观特征

#### 一、垂直自然带的形成条件

南峰地区垂直自然带的形成是与喜马拉雅山的崛起、青藏高原大幅度整体抬升紧密联系在一起的。南峰及其周围的雅鲁藏布江河谷地处印度板块与欧亚板块碰撞的缝合线的东端,其挤压应力集中而又强烈,形成一系列的构造弧,断裂、褶皱发育(郑锡澜等,1979),这些严格控制着山脉的走向和山体形态。碰撞的时间始于三叠纪,三叠纪以来,“特提斯”面积不断缩小,陆地面积不断扩大,海水逐步从西南方退去。但对本区自然景观形成有明显影响的还是新生代以来的构造运动。渐新世时喜马拉雅运动开始,上新世晚期喜马拉雅山脉形成,不过当时喜马拉雅山北坡某些点的海拔仅2 000米左右(杨理华、刘东生,1974),而整个青藏高原地面的海拔一般约1 000米左右。高原主要为半湿润的亚热带景观。可见,上新世晚期的南峰山地的气候上的屏障作用还不明显,自然景观的垂直差异也不显著。对本区自然景观形成影响最大的乃是第四纪以来的新构造运动,上新世末以来,因印度板块以更强大的力向欧亚板块俯冲,造成青藏高原强烈隆起,其幅度达3 500—4 000米,且具有整体断块上升,明显阶段性及后期加速性的特点。(李吉均等,1979)大量的地貌、植物和古土壤等资料证明了这一上升幅度。

南峰山地新构造上升的幅度更大,且具有继承性的明显特征。随着山地与青藏高原的强烈抬升,雅鲁藏布江急剧下切,并向高原内部溯源侵蚀,从而形成目前水平距离仅40公里,高差达7 000米左右(南坡)和5 000米(北坡)的高大山地,生物、气候垂直分异鲜明,这为垂直自然带的形成奠定了基础。由于各地上升的幅度不一,且地貌形态多受构造严格控制,故南峰及其周围山地的高度和山体的大小差异甚为明显,现代冰川发育的程度和作用的强度不一,这些对垂直自然带的形成和区域差异都产生了深刻的影响。

青藏高原隆起大大加强了我国低空季风环流形势,主要表现为高原的热力作用与机械阻挡作用。在夏季,高原地面辐射增强,高原上空大气温度比高原四周同高度自由大气温度要高,高原地面形成热低压,叠加在印度热低压之上,大大加强了印度热低压势力,从而对南半球东南信风具有强大的吸引,因而使南亚西南季风加强。青藏高原与喜马拉雅山

向南凸出的弧形山脉存在,迫使西南季风绕高原东侧北上;而近南北向的雅鲁藏布江深切谷地,又成为西南季风输送水汽与能量的天然通道,以至低谷热带景观可循河谷伸展到北纬 $29^{\circ}$ 附近,成为世界上热带景观纬度最高的地区。北有高山与大高原屏障,寒潮难以南侵,这为南峰地区垂直自然带的形成与发展提供了非常有利的环境。

本地区冬半年受西风带控制,天气晴朗,降水较少;夏半年深受西南季风湿润气流的影响,湿热多雨。南峰山地的形成对来自印度洋的湿润气流具有较明显的阻挡作用,致使山地南北两侧气候产生一定的差异。但是雅鲁藏布江大拐弯这种奇特峡谷地貌,成为极为重要的水汽通道,这不仅使湿润的印度洋气流自大拐弯的顶端沿着帕隆藏布江河谷影响易贡、波密等地,而且沿雅鲁藏布江河谷继续而行,影响南峰北坡,乃至雅鲁藏布江的中游地区,不过自东向西其影响程度逐渐减弱,加上强大的印度洋湿润气流仍可翻越较低矮的山口,由此而成为大渡卡以上雅鲁藏布江河谷地区更为重要的水汽来源。由于南峰地区所处的特定的地理位置,其南北坡之间的气候差异并不像中西喜马拉雅山地区那么显著,使本区成为西藏最为湿润的地区。但正如前所述,南北坡之间仍是有一定的差异。

南坡承受丰沛降水,气候炎热湿润,海拔1100米左右的墨脱,年平均降水量2276.6毫米,降水年变化呈双峰型,每年4—5月降水次之,6月降水最多。全年降水较为均匀,仅有2—3个月降水虽较少(当年11月至翌年1月),但雾日甚多,湿度较大,弥补了冬季降水不足,据此南坡垂直自然带的性质属于海洋性湿润型。北坡降水减少,海拔2920米左右的丹娘,年降水量约512.1毫米,降水主要集中于5—9月,占全年降水量的70%以上,干燥度1.0—1.5,因此北坡垂直自然带谱的性质属海洋性半湿润型(张荣祖、郑度、杨勤业,1982;林振耀、吴祥定,1984;彭补拙,1984)。

南峰南坡墨脱附近的雅鲁藏布江河谷,大致是由东北向西南伸长的峡谷,海拔自1100米左右降至700米左右,自然景观特征上显示着热带景观的色彩。因此,有人将此河谷地段划属热带范畴,称为低山热带季雨林带<sup>①</sup>,或低山热带半常绿林带(郑度、陈伟烈,1981)。但若从此河谷地段所处的纬度( $29^{\circ}12'—29^{\circ}30'N$ )来看,大致相当于我国东部地区的湖南、江西北部一带,墨脱县城( $29^{\circ}18'N$ )与江西九江的纬度相近,即相当于我国亚热带的范围,因此,有人将它划属中亚热带范畴(全国农业区划委员会《中国自然区划概要》编写组,1984)。如何正确认识墨脱附近河谷地带自然景观特征,不但有助于全面认识青藏高原自然地理规律,确定南峰南坡垂直自然带的基带及带谱的结构属性有着重要的意义,而且在农副业生产合理布局,热带经济作物的引种和发展亦极为重要。

墨脱1月平均温 $8.1^{\circ}C$ ,7月平均温 $22.2^{\circ}C$ ,年平均温 $16.1^{\circ}C$ ,极端最低温 $0^{\circ}C$ 左右, $\geq 10^{\circ}C$ 的积温在 $5300^{\circ}C$ 以上,持续期超过300天,无霜期在330天以上。它与同纬度的岳阳相比,两者活动积温值近似,但1月平均温墨脱比岳阳高 $4^{\circ}C$ ,积温的持续期长62天,可见本区冬季不受寒潮影响,水热条件要比岳阳优越。如果按《中国综合自然区划》所采用的热带标准: $\geq 10^{\circ}C$ 的积温 $8000^{\circ}C$ 以上;最冷月平均温 $\geq 16^{\circ}C$ ,极端最冷温多年平均值不低于 $5^{\circ}C$ 来衡量(中国科学院自然区划工作委员会,1959),显然是不足的,但与它所采用的南亚热带标准: $\geq 10^{\circ}C$ 的积温 $6500—8000^{\circ}C$ ;最冷月均温 $10—16^{\circ}C$ , $\geq 10^{\circ}C$ 持续期长达300天;年降水量1400—2000毫米来进行比较,除积温以外,其它标准基本符合,且降

<sup>①</sup> 郑度,1975,西藏南部东喜马拉雅地区的自然分带。

水有余。如按《中国自然区划概要》所采用的边缘热带标准： $>10^{\circ}\text{C}$  积温  $8\,200—8\,700^{\circ}\text{C}$ ， $>10^{\circ}\text{C}$  日数 365 天；最热月气温  $24—28^{\circ}\text{C}$ ，最冷月气温  $15—20^{\circ}\text{C}$ ，低温平均气温  $0—5^{\circ}\text{C}$  来衡量，显然也是不足的。而与它所采用的南亚热带标准： $>10^{\circ}\text{C}$  积温  $6\,500—8\,200^{\circ}\text{C}$ ， $>10^{\circ}\text{C}$  日数  $286—365$  天；最热月气温  $20—28^{\circ}\text{C}$ ，最冷月气温  $10—15^{\circ}\text{C}$ ，低温平均值  $0—5^{\circ}\text{C}$  进行比较（全国农业区划委员会，1984），同样也是除积温以外，其它标准也基本符合。但本区冬季温暖，积温的有效性远较中国东部地区为高，可以弥补积温的不足。

在这种优裕的水热条件下，河谷地带植被种类的组成成分和结构特征富有更多更明显的热带特征。这里代表性的植物为季雨林（或半常绿林），它的优势种大部分为热带科属。如使君子科、杜英科、桑科、梧桐科、木兰科、藤黄科、天料木科等，群落的层次不明显，结构稳定而复杂，藤本和附生植物相当发达，木本蕨类亦常可见，板根、茎花植物普遍。但是，它们大都属于泛热带的植物区系，而典型的热带植物如龙脑香科都未见，它却分布于海拔 600 米以下的典型的热带河谷地区。因此，植被更鲜明地反映本地区具有热带向亚热带过渡的特点。此外，本地区生长着热带野生果树如香蕉、菠萝等，亚热带的柑桔、柚等也可生长，但不是主要产区，同样显示出过渡性的特征。在这种生物气候条件下，土壤的形成过程也同样具有过渡性的特点，土体部分的硅铝率在  $2.6—2.9$  之间，硅铝铁率在 2 左右，（彭补拙等，1985）。可见其富铝化作用与生物累积较典型热带雨林下发育的砖红壤弱，而比亚热带常绿阔叶林下发育的红壤强。因此，它不宜称砖红壤，更不能称为红壤，而具有砖红壤性红壤（或赤红壤）的特征。由于新构造运动强烈，河流急剧下切，谷坡陡峻，土壤形成的年龄相对较短，发育程度一般较差；且土壤湿度较大，土体中铁的氧化物水化后而呈黄色，故发育成砖红壤性红壤的亚类——砖红壤性黄壤。

由此可见，本地区无论在植被的组成种类、区系特点和结构特征上，还是在土壤的性态特点上均带有热带色彩，但又不同于典型热带的植被和土壤，用我国东部地区热带的热量指标来确定这里的自然景观的类型及其性质是不适宜的。因此，我们认为南峰南坡垂直自然带的基带具有热带的性质，宜称为准热带（或热带边缘）（任美镔、杨纽章、包浩生，1979），为热带的亚带。

南峰北坡基带的海拔较高，谷底一般在海拔 2 800 米左右，丹娘 1 月平均温  $-1.2^{\circ}\text{C}$ ，7 月平均温  $16.6^{\circ}\text{C}$ ，年平均温  $7.9^{\circ}\text{C}$ 。以最暖月（通常为 7 月）平均温  $10—18^{\circ}\text{C}$  为主要指标（张荣祖、郑度、杨勤业，1982）海拔 3 200 米以下的河谷地区具有暖温带气候的特征，这就决定了北坡山地垂直自然带谱建立在暖温带的基础之上。

雅鲁藏布江下游河谷不仅是天然的水汽与能量输送的通道，而且与横断山脉地区一样，也为动植物南来北往、迁徙变异、相互渗透，以及新的种属形成提供了理想的环境，大拐弯多层次的立体气候成为古老生物的良好“庇护所”，这对南北坡自然景观的形成产生巨大的影响。山地随着高度的增加，气候发生明显的垂直变化。根据短期的气候观测资料，可大致求出温度递减率为  $0.58^{\circ}\text{C}/100$  米，无霜期每升高 100 米大致缩短 7 天。降水量随高度的变化在一定高度内是递增的，本区最大降水高度，迎风的南坡大致在海拔 2 500—3 000 米左右；背风的北坡约在 3 500—4 000 米。水、热条件的垂直变化又深刻地制约着植被与土壤等的垂直分布，形成南峰南北坡以一定景观类型为主的垂直自然带，构成了一定结构类型的垂直自然带谱。

## 二、垂直自然带的景观特征

围绕南峰山体的雅鲁藏布江大拐弯,江面从西北侧的海拔2 800米左右锐降至南侧的海拔500余米。正如前所述,南峰地区所处的地理位置特殊,谷底海拔与大气环流及相应的生物气候差异明显,从而形成了南北坡性质不一,基带不同的垂直自然带谱。

山地垂直自然带是在地带性因素与非地带性相互联系、彼此制约、共同作用的统一体。但是,山地的地貌特征,包括山地相对高度,山脉的走向与区域地貌特点,并由此导致水热的重新分配状况,应是形成垂直自然带的基础。植被与土壤类型直接表征水热状况的差异。因此,在具体划分南峰地区的垂直自然带时,以受地貌因素制约的水热状况作为主导因素和主要指标,以植被和土壤类型为主要标志。根据上述原则,现将南峰地区南北坡垂直自然带划分如下(图11.1):

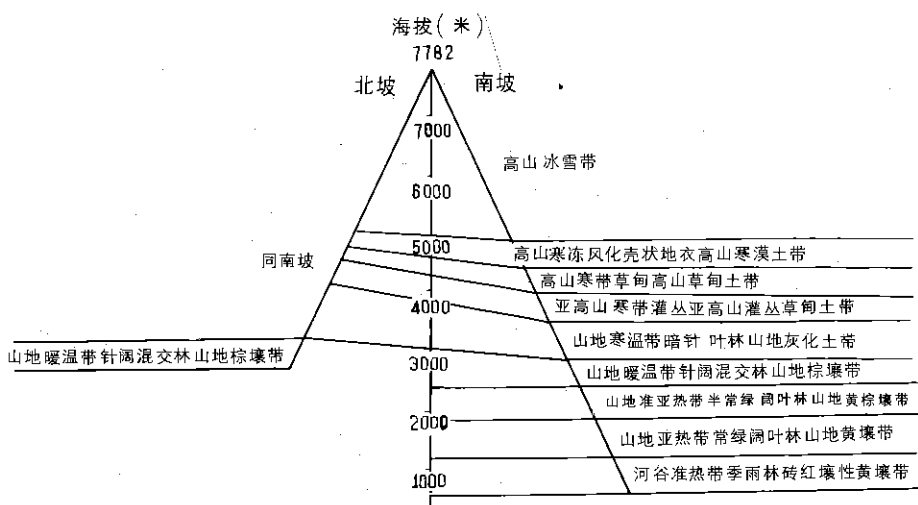


图 11.1 南迦巴瓦峰地区垂直自然带谱示意图

南坡:1. 河谷准热带(或称热带边缘)季雨林砖红壤性黄壤带,海拔600—1 100米;2. 山地亚热带①常绿阔叶林山地黄壤带,海拔1 100—1 900米;3. 山地准亚热带半常绿阔叶林山地黄棕壤带,海拔1 900—2 300米;4. 山地暖温带针阔混交林山地酸性棕壤带,海拔2 300—2 800米;5. 山地寒温带暗针叶林山地灰化土带,海拔2 800—3 600米;6. 亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带,海拔3 600—3 900米;7. 高山寒带草甸高山草甸土带,海拔3 900—4 300米;8. 高山寒冻风化壳状地衣高山寒漠土带,海拔4 300—4 800米;9. 高山冰雪带,海拔4 800米以上。

北坡:1. 山地暖温带针阔混交林山地棕壤带,海拔2 800—3 200米;2. 山地寒温带暗针叶林山地灰化土带,海拔3 200—4 100米;3. 亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带,海拔4 100—4 500米;4. 高山寒带草甸高山草甸土带,海拔4 500—4 700米;5. 高山寒冻风化壳状地衣高山寒漠土带,海拔4 700—5 000米;6. 高山冰雪带,海拔5 000米以上。

① 亚气候带前冠以山地以示与平原丘陵地区的水平气候带相区别。

## (一) 南坡垂直自然带的景观特征

南峰南坡的自然景观以准热带(任美镠, 1962)季雨林(或称半常绿季雨林)和亚热带常绿阔叶林为其主要特征。季雨林中植物种类较多, 含有印度、缅甸热带的丰富成分, 群落的层次不甚明显, 上层的高大乔木大多具有旱季末落叶的习性; 下层乔木则以常绿林为主, 结构比较复杂, 不少树具有板状根和茎花现象; 藤本和附生植物较丰富。亚热带常绿阔叶林具有典型的中国-喜马拉雅区系的特征; 林冠呈浑圆的波浪形, 郁闭度大, 层次较多, 藤本和附生植物仍不少。海拔较高的亚热带半常绿阔叶林(李渤生, 1985), 处于南坡最大降水带之内, 林内相当潮湿, 苔藓满布, 具有苔藓林的特征。随着海拔高度的增加, 气温降低, 植被逐步向针叶林和高山草甸方向演变。气候湿热, 以生物化学风化为主, 土壤淋溶作用十分强烈, 呈酸性和强酸性反应, 且由于新构造运动强烈, 河流急剧下切, 山坡陡峻, 土壤形成的相对年龄均较短, 土层一般较浅薄, 发育的程度一般均较差, 这是南坡土壤的共同特征。深受生物气候条件制约的土壤类型也随海拔的增高而呈有规律的变化: 富铝化过程逐渐减弱, 依次为灰化过程和草甸过程所代替; 硅铝和硅铝铁比率逐渐增大; 土壤有机质的含量不断增高(图 11.2)。

南坡的动物由两个区系组成, 季雨林和常绿阔叶林带动物种类极为丰富, 几乎全为东洋界成分, 亦富于准热带季雨林及亚热带的区系成分, 如兽类中的长尾叶猴(*Presbytis entellus*)、猕猴(*Macaca spp.*)、赤鹿(*Muntiacus muntjak*)、黄毛鼠(*Rattus losea*)、灰腹鼠(*Rattus eha*)等, 是林中的优势种; 鸟类中的优势种有多种噪鹛(*Garrulax spp.*)、小杜鹃(*Cuculus poliocephalus*)、楔尾绿鸠(*Treron sphenura yunnanensis*)等; 两栖类中的喜山蟾蜍(*Rufio himalayana*)、棘臂蛙(*Rana liebighi*); 爬行类中的喜山龙蜥(*Japalura kumaonensis*)、蜥蜴(*Trachischium tenuiceps*)等普遍分布。针叶林带及其以上的山区古北界的成分占优势, 动物的种类和数量均有所显著减少。热带季雨林与亚热带常绿阔叶林中较为常见的大型真菌有环柄侧耳(*Pleurotus sajor-caju* (fr.) Sing)、粘环蕈(*Oudemansiella mucida* (Fr.) Hoehnel)及苔藓层的伞菌和一年生多孔菌, 如小菇属(*Mycana*)、皮伞属(*Marasmius*)等。

南坡的雅鲁藏布江及其支流河流的比降大, 水流湍急, 径流量大, 径流深度可达 1 000—2 000 毫米, 径流的多年变化较小, 年径流变差系数在 0.3 以下。汛期出现于 5 月以后的雨季, 10 月中旬结束, 径流的月际变化较明显, 充分反映南坡以雨水和地下水补给为主的河流水文特征。河水的矿化度较低, 雅鲁藏布江支流的矿化度一般都在 50 毫克/升以下, 主流的矿化度一般在 100 毫克/升以上, 大多属  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  型水, 河水的矿化度和水化学类型呈有规律的垂直变化。

现将南坡各垂直自然带的景观特征分述如下:

### 1. 河谷准热带季雨林砖红壤性黄壤带

本带主要分布于雅鲁藏布江河谷海拔 500—1 100 米的地区, 沿支谷的局部地区可达海拔 1 200 米左右。该带是南坡垂直自然带谱的基带, 这里必须指出的是, 由于这次考察工作和本文讨论的范围, 仅限于海拔 600 米以上的雅鲁藏布河谷地区。如果向南和向下游延伸, 则海拔 500 米以下属于热带雨林砖红壤带, 而本带属于南坡山地垂直自然带中的一

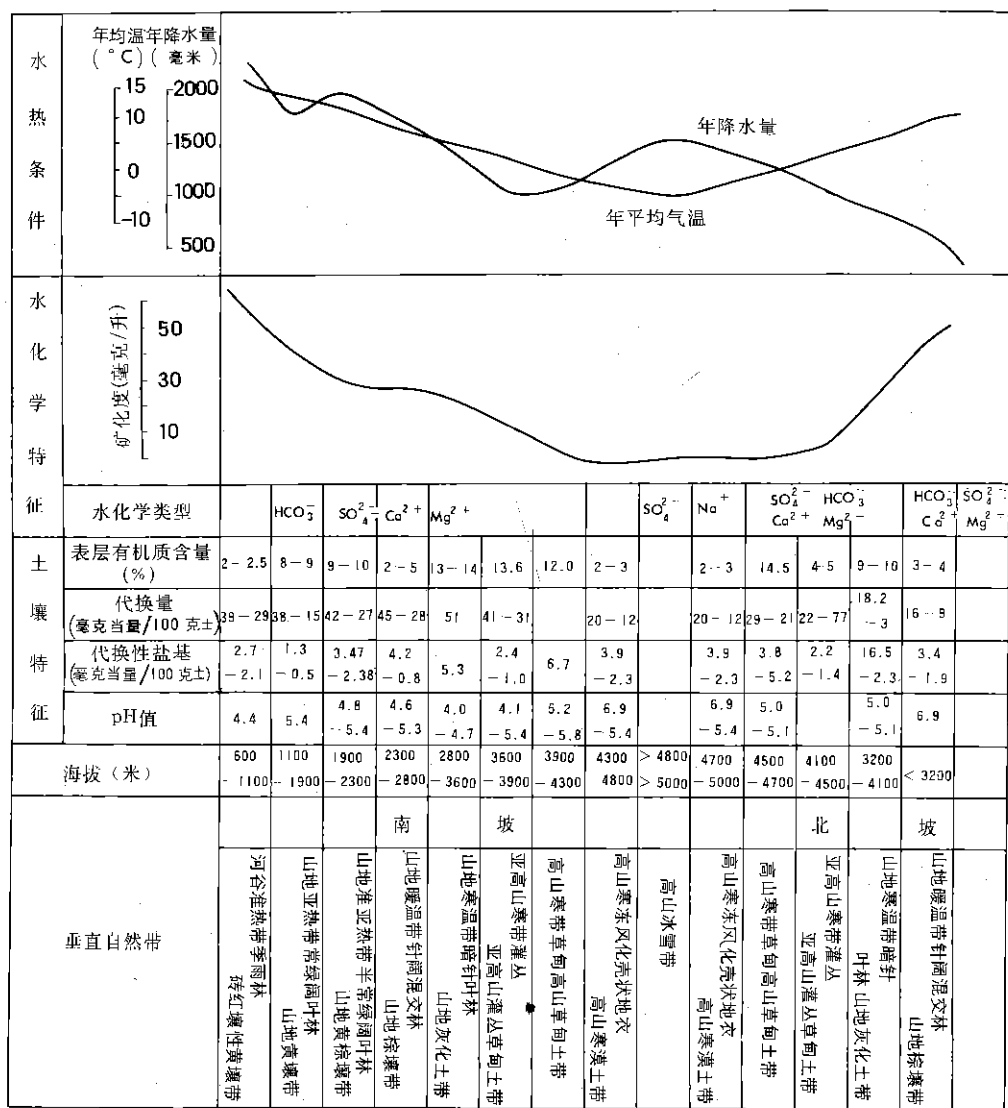


图 11.2 南迦巴瓦峰地区垂直自然带主要景观特征综合剖面图

个分带。

河谷两侧山坡陡峻,坡度一般都在  $40^\circ$  以上,沿江狭长而较平坦的阶地相间零星分布,一般残留在河流的凸岸或支谷的沟口,多具复合堆积性质。谷地气候夏季湿热,但无酷暑;冬季温暖,很少霜冻,极端最低温在  $0^\circ\text{C}$  左右。年平均温在  $16^\circ\text{C}$  以上,最热月均温  $22-25^\circ\text{C}$ ,最冷月平均温  $10-13^\circ\text{C}$ ,无霜期 330 天以上,累积的  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温在  $5340^\circ\text{C}$  以上,海拔较低的背崩,其  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温值达  $6250^\circ\text{C}$ ,全年气温均在  $10^\circ\text{C}$  以上。年降水量可达  $2000-3000$  毫米,全年雨日可达 200 天以上。

本带的植被为季雨林,主要由千果榄仁、阿丁枫、小果紫薇等组成的上层乔木,高达  $30-40$  米,干季时落叶,大部分树干光滑而挺直。下层乔木以印度栲、瓦山栲、大叶桂、马蛋果等占优势,多为常绿树种。森林植被的结构复杂,郁闭度约 0.7,林内藤本和附生植物

相当发达,藤本植物主要有倪藤(*Gynocardia montana*)、刺苞省藤等,附生植物以多种兰科植物为主,如金花石斛(*Dendrobium hookerianum*)、密花石豆兰、斑花石豆兰(*Bulbophyllum guttulatum*)等。此外,林下还常见多种蕨类植物。这种森林遭受破坏后,常为次生的野芭蕉林,以及木紫珠(*Callicarpa arborea*)、偏叶榕(*Ficus cunia*)等组成的次生林所代替。在这种生态环境中适宜喜高温的大型真菌繁殖生长,其中以环柄侧耳、粘环草、裂褶菌(*Schizophyllum commune* Fr.)、灵芝(*Ganoderma* spp.)等为主,与白蚁伴生的鸡枞菌(*Termitomyces albuminosus* (Berk) Heim)也分布较广泛(卯晓岚,1985)。

栖息于森林中的鸟类种类繁多,有些种数量也丰富,主要有红喉山鹧鸪(*Arborophila rufogularis*)、小杜鹃、楔尾绿鸠、金喉拟啄木鸟(*Megalaima franklinii*)、赤红山椒鸟(*Pericrocotus flammeus*)等,鸟类组成也同样显示出热带的色彩,除具有丰富的印度、缅甸成分以外,与云南西双版纳的鸟类极近似(王祖祥,1982)。生活在茂密森林中的兽类有成群的猕猴、果子狸(*Paguma larata*)等。两栖及爬行类的动物主要有泽蛙(*Rana limnocharis*)、斑腿树蛙(*Rhacophorus leucomystax*)、堰蜓(*Lygosoma boulengeri*)、渔游蛇(*Natrix picator*)等,它们自印度、马来西亚向北分布我国的一些种属,在亚热带的常绿阔叶林中也见有分布。

在上述生物气候条件下,生物化学风化和淋溶淀积作用均很强烈,同时,因本地区深受印度洋湿润气流的影响,年降水量较我国东部赤红壤分布地区高 500—1 000 毫米(中国科学院南京土壤研究所,1978),加之雾日甚多,时常云雾弥漫,大气湿度很大,土壤中含水量较高,发育成砖红壤性黄壤。土层一般浅薄,仅在阶地和局部缓坡处土层厚度可达 70—80 厘米,大体多呈灰黄或棕黄色,生物累积与分解作用均较强烈,表层有机质含量高达 6%—10%,全剖面呈强酸性反应。

为了更好地说明山地自然带的景观特征,以及组成要素之间的物质交换和地球化学上的内在联系,阐明各元素及其化合物在自然景观中的迁移转化规律。我们对每一自然带景观中的岩石、风化壳(土壤母质)、土壤中元素含量进行了化学分析,并计算大量元素、微量元素迁移系数,求出该景观风化壳、土壤的元素迁移系列。

在景观的表生作用带内不活泼的元素(或弱迁移的),有铝和钛等,在进行大量元素与微量元素迁移能力计算时,分别用铝和钛作为基准,计算各个元素的淋出量、淋出率(%)及迁移系数。

在河谷准热带季雨林景观中,水热与有机体都是活跃而旺盛的因素,各元素的迁移,是在该景观带下,内外因素的综合作用结果。通过迁移系列的计算,大量元素在表生地球化学作用带迁移系列为:

风化壳:Ca>Si>Ti>Al>Na>K>Fe>Mg>Mn

土壤:Ca>Si>Ti>Al>Na>Fe>K>Mg>Mn

从表 11.1 计算的结果,元素迁移系列的顺序,可以看出该带景观的地球化学特征是:

(1)元素 Si, Ca 在风化壳与土壤中都是淋溶的, Si 在风化壳中的相对溶出率达 44.74%, 在土壤中溶出率为 40.28%, 迁移系数分别为 -0.59、-0.52。Ca 的淋出率与迁移系数比 Si 还要强。

(2)元素 Fe 在该景观带的迁移特征为累积。Fe 在风化壳与土壤中的迁移系数分别为:0.56、0.40。前边已经说明,进行迁移系列计算时,我们用 Al 作为基准,如果用另一相

对稳定元素 Ti 作为基准时,则可推算 Al 的迁移系数,然而从以上的排列顺序,也可以看出 Al 排在 Ti 之后,也就是对 Ti 元素来说,Al 也为积累的,因此,可以肯定,在该带景观中的 Fe,Al 等元素是积累的。

(3)其它元素 Na,K,Mg,Mn 均有不同程度的积累,其迁移系列均排在 Al 之后,其中 Mn 的迁移系数在风化壳为 1.69,Mg 为 1.57 是元素 Na 的 20 多倍;Mn 在土壤中的迁移系数为 1.59,Mg 为 0.97,也是 Na 的 6—9 倍。

表 11.1 南峰地区河谷准热带季雨林景观岩石、风化壳、土壤大量元素含量统计资料

氧化物	岩石含量(%)	风化壳含量(%)	以 $Al_2O_3$ 为基准风化壳含量(克)	风化过程中淋出量(克)	风化过程中相对淋出率(%)	风化过程中迁移系数	土壤(表层)含量(%)	以 $Al_2O_3$ 为基准土壤含量(克)	成土过程中淋出量(克)	成土过程中相对淋出率(%)	成土过程中迁移系数
	a	b	c	a-c	$\frac{a-c}{a} \times 100\%$	$P_b = \ln \frac{c}{a}$	d	e	a-e	$\frac{a-e}{a} \times 100\%$	$P_d = \ln \frac{e}{a}$
SiO <sub>2</sub>	63.27	46.7	34.96	28.31	44.74	-0.59	47.2	37.78	25.49	40.28	-0.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.52	8.24	6.17	-2.65	-75.26	0.56	6.56	5.25	-1.73	-49.18	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.96	17.31	12.96	0.00	0.00	0.00	16.19	12.96	0.00	0.00	0.00
CaO	13.58	6.61	4.95	8.63	63.56	-1.01	5.71	4.57	9.01	66.34	-1.09
MgO	1.03	6.60	4.94	-3.91	-379.7	1.57	3.39	2.71	-1.68	-163.46	0.97
K <sub>2</sub> O	0.87	1.59	1.19	0.32	-36.83	0.31	1.73	1.39	-0.51	-59.18	0.47
Na <sub>2</sub> O	1.01	1.45	1.09	-0.08	7.49	0.07	1.50	1.20	-0.19	-18.89	0.17
MnO	0.027	0.196	0.147	-0.120	-443.5	1.16	0.165	0.132	-0.105	-389.19	1.59
TiO <sub>2</sub>	0.749	0.701	0.525	0.224	29.91	-0.36	0.669	0.536	0.213	28.44	-0.335

从以上元素的迁移特征,可以清楚的看出,在湿热的气候与季雨林生物条件下,土壤水分含量高,存在着强烈的淋溶条件与组成的生物小循环过程,在该景观带发育的砖红壤性黄壤在成土过程中富铁铝化作用和生物积累过程也是比较强烈的。

本带的水化学类型属重碳酸硫酸钙镁型,元素的迁移系列为:

$$Mg > Ca > K, Na$$

其中元素 Mg 的水迁移系数是 Ca 的 2 倍,远远大于 K,Na。关于水迁移系数的大小,除了与元素在水环境中的含量有关外,还受该元素在岩石中含量大小的影响,该景观的 Mg 由于在岩石中的含量较低,是 Ca 的 1/13,故水迁移系数反而大于 Ca,而在土壤、风化壳中迁移系数则排在 Ca 之后,表现为积累。

经生物富集系数的计算,其富集系列为:K>Ca>Mg>Mn>Si>Na>Ti>Fe>Al

从上述元素的排列情况,K,Ca,Mg,Mn 等元素为生物富集系数大于 1,属累积,也充分说明旺盛的生物循环过程,有利这些元素的积累。元素铁在该景观的土层中富集,而生物富集系数则小于 1,仅 0.13,说明这个地区的植物对铁的迁移能力较弱。

风化壳: Ni>Cr>Co>Pb>V>Cu>Ti>Zn>Be>Ba

土壤: Ni>Cr>Co>Pb>V>Ti>Cu>Zn>Ba>Be

元素 Ni,Cr,Co,Pb,V,Cu 迁移系数均小于 Ti,系列顺序排在 Ti 之前,说明在风化壳与土体中均受到一定程度的淋溶;只有 Zn,Be,Ba 几种元素排在 Ti 之后,有一定程度的



积累,但其迁移系数都比较小,均小于 0.2,说明这些元素在风化壳与土体中的积累量也不大。

表 11.2 南峰地区河谷准热带季雨林景观岩石、风化壳、土壤微量元素含量统计资料

元素	岩石含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 相对淋出 率(%)	风化过程 迁移系数	土壤(表 层)含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准土壤含量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 相对淋出 率(%)	成土过程 迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a}$ $\times 100\%$	$P_b =$ $\ln \frac{c}{a}$	$d$	$e$	$a-e$	$\frac{a-e}{a}$ $\times 100\%$	$P_d =$ $\ln \frac{e}{a}$
Zn	203.8	198.5	212.0	-8.22	-4.03	0.040	197.4	220.8	-17.02	-8.35	0.080
V	137.8	123.5	131.9	5.89	4.27	-0.044	109.0	121.9	15.87	11.51	-0.122
Ti	4492.3	4205.8	4492.3	0.00	0.00	0.00	4015.8	4492.3	0.00	0.00	0.00
Pb	52.85	46.80	49.99	2.86	5.42	-0.056	41.60	46.54	6.31	11.95	-0.127
Ni	179.2	125.8	134.37	44.83	25.02	-0.29	91.7	102.50	76.62	42.76	-0.558
Cu	108.8	98.1	104.78	4.02	3.69	-0.038	97.4	108.96	-0.16	-1.44	0.001
Cr	234.2	168.0	179.44	54.76	23.38	-0.267	128.0	143.19	91.01	38.86	-0.492
Co	40.82	31.65	33.81	7.01	17.18	-0.189	25.45	28.47	12.35	30.26	-0.360
Be	2.31	2.35	2.51	-0.20	-8.66	0.083	2.52	2.82	-0.51	-22.04	0.199
Ba	331.1	369.2	394.4	-63.25	-19.10	0.175	377.9	377.99	-46.89	-14.16	0.132

通过生物富集系数的计算,其系列为:

$$\text{Ba} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Be} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Ti} > \text{V}$$

植物对上述元素的迁移能力顺序与成土过程迁移系列比较,其规律性是一致的,在土壤中富集的元素,在生物体内也有一定程度的富集。但从它们的富集系数绝对值看,其值都不大,Ba,Cu,Zn,Pb 的富集系数在 1—1.2,这种生物迁移特征也与这些元素在土壤中积累量不大有关。

## 2. 山地亚热带常绿阔叶林山地黄壤带

它主要分布于海拔 1 100—1 900 米的范围内,包括地东至扎曲一带的雅鲁藏布江河谷地区;金珠曲谷地的格当地区;帕隆以下的帕隆藏布河谷地带;雅鲁藏布江两侧的支谷亦有广泛分布。谷坡陡峻,峡谷叠套,悬谷和瀑布广泛分布,堆积或侵蚀的阶地、平台相间分布于沿江及其支谷的两侧。气候湿热,最冷月平均温 6—10℃,最热月平均温 19—22℃,冬季稍冷,常有积雪,无霜期 240—330 天,年降水量估计可达 1 500—2 000 毫米,云雾较多。

本带植被为亚热带的常绿阔叶林,主要组成树种有壳斗科的刺栲、球江栎(*Cyclobalanopsis kiukiensis*)、西藏石栎,以及樟科的樟树(*Cinnamomum* sp.)和木兰科等植物。树叶革质较厚,颜色暗绿,表面光亮,林冠较整齐,景观外貌独特,林内藤本和附生植物仍较丰富。郁闭度 0.5—0.7,树高约 20—25 米。树蕨类植物于局部地区仍然可见,森林破坏后常为野芭蕉林所代替。优越的水热条件和丰富的基质物对大型真菌的繁殖和生长非常有利,其主要种类有炭球菌[*Daldinia concentrica* (Belt. ex Fr.) Ces]、褐扇[*Gloeophyllum subfer-*

*rugineum* (Berk.) Bond. & Sing], 皱木耳 [*Auricularia delicata* (Fr.) Henn] 等, 子实体发育良好, 皱木耳的直径可达 10 厘米, 有的多孔菌直径 60 厘米左右, 利用价值较大。

常绿阔叶林带动物种类相当丰富, 东洋界成分占绝对优势。鸟类中以蛇雕 (*Spilornis cheela*)、黑鸢 (*Lophura leucomelana*)、翠金鹃 (*Chalcites maculatus*)、多种噪鹛 (*Garrulax* spp.)、蓝喉太阳鸟 (*Aethopyga gouldiae*) 等占优势。兽类中的长尾叶猴 (*Presbytis entellus*)、熊猴 (*Macaca assamensis*) 成群活动, 非常活跃, 在东南亚一带常见的赤麂、黄毛鼠、灰腹鼠等是林中的优势种。两栖类中的喜山蟾蜍、棘臂蛙, 爬虫类中的喜山龙蜥和蜈蚣, 分布较普遍。

本带主要发育着山地黄壤, 生物化学风化与物质的淋溶淀积作用虽不及砖红壤性黄壤, 但仍较强烈, 土壤发育程度视地形而异, 局部缓坡、平台及阶地处, 发育程度较好, 土层厚度一般可达 70—80 厘米, 甚至可超过 1 米, 土色灰黄, 质地粘壤, 土壤发育层次较明显, 表层有机质含量较高, 可达 10% 左右。土体淋溶作用强烈, 富铝化过程较显著, 铁和铝的氧化物有向下淋溶淀积现象, 全剖面呈酸性反应, pH 值在 5.5 左右; 土壤代换性盐基总量低。

山地亚热带常绿阔叶林景观, 以湿热和植被生长旺盛是景观的特征之一。通过大量元素迁移系数的计算, 它们在该带景观的风化壳及土壤中的排列顺序为:

风化壳:  $Mg > Mn > Ti > Si > Na > Ca > K > Al > Fe$

土壤:  $Mg > Ti > Si > Na > K > Ca > Mn > Al > Fe$

表 11.3 南峰地区山地亚热带常绿阔叶林景观岩石、风化壳、土壤中大量元素含量统计资料

氧化物	岩石含量(%)	风化壳含量(%)	以 $Al_2O_3$ 为基准风化壳含量(克)	风化过程中淋出量(克)	风化过程相对淋出率(%)	风化过程迁移系数	土壤(表层)含量(%)	以 $Al_2O_3$ 为基准土壤含量(克)	成土过程中淋出量(克)	成土过程相对淋出率(%)	成土过程迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a} \times 100\%$	$P_b = \ln \frac{c}{a}$	$d$	$e$	$a-e$	$\frac{a-e}{a} \times 100\%$	$P_d = \ln \frac{e}{a}$
$SiO_2$	69.8	57.9	49.9	19.9	28.5	-0.336	57.9	59.07	10.73	15.4	-0.167
$Fe_2O_3$	2.75	4.27	3.68	-0.93	-33.8	0.291	4.04	4.12	-1.37	-49.88	0.405
$Al_2O_3$	13.1	15.2	13.1	0.00	0.00	0.00	12.84	13.1	0.00	0.00	0.00
$CaO$	1.82	1.69	1.46	0.36	19.98	-0.223	1.65	1.68	0.137	7.50	-0.078
$MgO$	1.38	1.04	0.896	0.484	35.1	-0.432	0.70	0.71	0.67	48.25	-0.658
$K_2O$	2.40	2.42	2.09	0.31	13.1	-0.140	2.12	2.16	0.24	9.89	-0.104
$Na_2O$	2.7	2.29	1.97	0.726	26.9	-0.313	2.27	2.32	0.38	14.22	-0.153
$MnO$	0.066	0.052	0.045	0.021	32.1	-0.387	0.069	0.070	0.004	-6.66	0.064
$TiO_2$	0.617	0.504	0.44	0.183	29.6	-0.351	0.344	0.351	0.266	43.12	-0.564

从迁移系列的顺序可以看出, 该带的景观大量元素地球化学特征主要是:

(1) 无论在岩石的风化过程, 还是土壤的发育过程中, 除了元素铁以外, 均属淋溶型。这是由于气候湿热、温度较高, 有利各种元素的迁移淋溶, 加之该带是本区人类活动最为集中的区域, 天然植被受到较大的破坏, 在一定程度上影响生物小循环对这些元素的累积, 因此各类元素 (除 Fe) 的迁移系数均小于 Al, 而表现出淋溶迁移的现象。

(2)元素 Si 的迁移顺序远远排在 Al,Fe 之前, Si 的迁移系数分别为 0.336—0.167,而 Fe 的迁移系数分别为 0.291,0.405,这种迁移特征是由于该带成土过程中脱硅富铝化作用结果而明显表现出来。

(3)元素 Mg 是较活跃的元素,在该带中表现为强烈的淋溶,在风化、成土过程中迁移系数分别为-0.432,-0.658。元素 Mn 在风化过程中排在 Ti 之前,表现为淋溶,而在成土过程中则排在 Ti 之后,表现出一定程度的富集,这种富集现象的产生与该元素的亲生物特性有一定关系。其它几个元素 Na,K,Ca 等在风化、成土两个过程中迁移顺序基本一致,其迁移系数都比较小,说明淋溶与恢复盐基的过程都较强烈而造成的。

该带中水对元素的迁移,也有相当大的作用,据测定其水化学类型为重碳酸硫酸钙型。部分元素的水迁移系列为:

$$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} + \text{Na}$$

岩石风化物中 Ca 的含量较低,水环境中 Ca 除了风化物中的来源外,还受其周围环境的影响,如生物富集后分解被淋溶等,计算结果 Ca 的迁移系数偏大,而排列在 Mg 之前。

通过微量元素在该带中迁移系数的计算,其微量元素亦表现出该景观的特点,结果列于表 11.4 中,迁移系列为:

表 11.4 南峰地区山地亚热带常绿阔叶林景观带岩石、风化壳、土壤中微量元素含量统计资料

元素	岩石含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 相对淋出 率(%)	风化过程 迁移系数	土壤 (表层) 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准土壤 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 相对淋出 率(%)	成土过程 迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a}$ $\times 100\%$	$P_d =$ $\ln \frac{c}{a}$	$d$	$e$	$a-e$	$\frac{a-e}{a}$ $\times 100\%$	$P_d =$ $\ln \frac{e}{a}$
Zn	77.24	73.2	78.94	-1.69	-2.20	0.022	65.5	96.03	-18.79	-24.33	0.218
V	56.21	51.5	55.54	0.67	1.195	-0.012	36.6	53.66	2.55	4.54	-0.046
Ti	3025.8	2805.8	3025.8	0.00	0.00	0.00	2063.8	3025.8	0.00	0.00	0.00
Pb	44.26	35.1	37.85	6.41	14.48	-0.156	26.5	38.85	5.41	12.22	-0.130
Ni	11.2	8.96	9.66	1.54	13.73	-0.148	7.53	11.04	0.16	1.43	-0.014
Cu	70.2	99.7	107.52	-37.32	-53.16	0.426	149.2	218.75	-148.54	211.6	1.137
Cr	23.7	20.2	21.78	1.92	8.09	-0.084	14.98	21.96	1.74	7.33	-0.076
Co	10.04	7.46	8.05	1.99	19.87	-0.222	6.37	9.34	0.70	6.98	-0.072
Be	3.6	3.15	3.39	0.20	5.64	-0.058	2.72	3.99	-0.39	-10.78	0.102
Ba	453.0	418.3	451.10	1.91	0.42	-0.004	443.1	649.64	-196.64	-43.41	0.361

风化壳:  $\text{Co} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Be} > \text{V} > \text{Ba} > \text{Ti} > \text{Zn} > \text{Cu}$

土壤:  $\text{Pb} > \text{Cr} > \text{Co} > \text{V} > \text{Ni} > \text{Ti} > \text{Be} > \text{Zn} > \text{Ba} > \text{Cu}$

根据这样的排列顺序,可以看出微量元素在该带的迁移特征主要表现为:

(1)绝大部分的微量元素表现出淋溶的特征,这是受该带水、热条件的支配所决定的。其中迁移能力较强的是 Pb,Co,Cr 等元素。

(2)元素 Cu, Zn 在该带有一定程度的积累,尤其在成土过程中, Cu 的累积速率较大,其迁移系数达 1.137。这种现象与 Cu 的活跃性有密切关系。

河谷高阶地和平台已开垦种植水稻、玉米和蔓稼(鸡爪谷)等,村庄附近毁林开荒,刀耕火种现象较普遍而严重,须引起足够重视。这一带还种植辣椒、大蒜等蔬菜,干辣椒是当地居民一项重要的经济收入。其它经济作物还有甘蔗、烟草等。本带水热条件优裕,宜发展柑桔、芭蕉等亚热带果木;这里云雾较多,对发展茶叶更为有利,宜适当发展。

### 3. 山地准亚热带<sup>①</sup> 半常绿阔叶林山地黄棕壤带

此地一般分布于海拔 1 900—2 300 米。其上限因地而异,扎曲至通麦一带可上升至海拔 2 400 米左右,易贡盆地可达 2 500 米左右。该带于雅鲁藏布江河谷一带,山坡仍很陡峻,谷肩和侵蚀平台时而相间出现;金珠曲和帕隆藏布河谷一带,除峡谷陡崖外,多发育有 2—3 级堆积或侵蚀阶地、平台,气温虽略低于前带,最热月平均温 17—19℃左右,最冷月平均温 4—6℃,无霜期大约 220—260 天;但湿度却很大,这里处于南坡最大降水带之内,年降水量在 2 500 毫米左右,这对植被的组成和结构特征产生一定的影响。

本带植被为半常绿阔叶林(李渤生,1985),其建群植物主要有薄片稠(又称薄皮青冈)、西藏青冈、西藏石栎等,间有少量的樟科、山茶科、金缕梅科的常绿阔叶乔木及木兰科、槭树科的落叶阔叶乔木,灌木和草本层多不发育,郁闭度 0.5—0.7。此外,林内附生的苔藓、蕨类及兰科植物相当丰富,充分反映林内已达相当潮湿的程度,具有苔藓林的特征(张新时,1978;郑度、陈伟烈,1981)。这种良好的生态环境条件,有利于大型真菌的繁殖生长,苔藓层上多长有小菇属、皮伞属、蜡伞科(Hygrophoraceae)、红菇属(*Russula*)等真菌。此外,还有猴类菌[*Hericium erinaceum* (Horn. ex Pers.) Karst. ]、灵芝菌(*Ganoderma* sp.)等,不少是重要的食用、药用真菌。

生活于林中的动物种类较为丰富,鸟类中主要有黑卷尾(*Picurus macrocercus*)、条纹噪鹛(*Garrulax striatus*)、红嘴相思鸟(*Leiothrix lutaa calipyga*)等,它们常活动于树林、灌丛之间。兽类中的大灵猫(*Viverra zibetha*)、小熊猫(*Allurus fulgens*)、黄尾鼠、灰腹鼠等分布较普遍。

林下发育的土壤为黄棕壤,土壤发育程度较好,层次较明显,表层未分解和半分解的枯叶和草根层可达 3—4 厘米;其下的 A 层呈深灰棕色,壤质,厚约 10 厘米,结构良好,有机质的含量可高达 10%左右;土壤淋溶淀积作用较明显,富铝化过程较弱,硅铝铁率在 2.5—2.7 之间,粘化过程较明显, B 层为黄棕色的壤土,块状结构;80 厘米下逐渐过渡到棕黄色的母质层,石块角砾含量多;盐基不饱和,全剖面呈酸性反应。

该带是南峰地区最有特色的一个山地自然景观带。大量元素的迁移特征,强烈受温湿、半常绿阔叶林等条件的影响。将各元素迁移系数计算结果列于表 11.5 中。

根据表 11.5 中计算值,大量元素在风化、成土过程中迁移系列分别为:

风化壳: K>Si>Na>Al>Ca>Ti>Mn>Mg>Fe

土壤: K>Si>Na>Ca>Al>Ti>Mg>Mn>Fe

归略大量元素在该带的迁移特点,主要有:

<sup>①</sup> 我们这里所称的山地准亚热带,即温度条件相当于我国东部亚热带的北部地区(任美镛、杨纫章、包浩生,1979);或相当于北亚热带(见中国科学院自然区划工作委员会,1959)。

表 11.5 南峰地区山地准亚热带半常绿阔叶林景观岩石、风化壳、土壤中大量元素含量统计资料

氧化物	岩石含量(%)	风化壳含量(%)	以 $Al_2O_3$ 为基准风化壳含量(克)	风化过程中淋出量(克)	风化过程相对淋出率(%)	风化过程迁移系数	土壤(表层)含量(%)	以 $Al_2O_3$ 为基准土壤含量(克)	成土过程中淋出量(克)	成土过程相对淋出率(%)	成土过程迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a} \times 100\%$	$P_b = \ln \frac{c}{a}$	$d$	$e$	$a-e$	$\frac{a-e}{a} \times 100\%$	$P_d = \ln \frac{e}{a}$
$SiO_2$	68.11	55.6	56.96	11.14	16.35	-0.179	52.6	60.0	8.06	11.83	-0.126
$Fe_2O_3$	0.80	7.09	7.26	-6.46	-807.99	2.206	6.99	7.98	-7.18	-897.4	2.300
$Al_2O_3$	14.20	13.86	14.2	0.0	0.00	0.00	12.44	14.2	0.00	0.00	0.00
$CaO$	3.25	3.31	3.39	-0.014	-4.35	0.043	2.79	3.19	0.07	2.01	-0.02
$MgO$	1.70	3.30	3.38	-1.68	-98.88	0.688	2.47	2.82	-1.12	-65.85	0.506
$K_2O$	3.75	1.90	1.95	1.80	48.09	-0.656	1.77	2.02	1.73	46.12	-0.618
$Na_2O$	2.59	2.43	2.49	0.10	3.88	-0.0395	2.16	2.47	0.124	4.80	-0.049
$MnO$	0.09	0.112	0.115	-0.025	-27.49	0.243	0.138	1.58	-0.068	-75.03	0.598
$TiO_2$	0.786	0.936	0.959	-0.173	-22.01	0.199	0.907	1.04	-0.249	-31.72	0.276

(1) K, Na, Ca, Si 等元素在该景观带属淋溶型, 尤其 K 和 Si, 无论在风化过程还是成土过程, 均表现强烈的淋溶, K 的迁移系数在以上两个地球化学作用过程中分别为 -0.656, -0.618, Si 的迁移系数分别是: -0.179、-0.126。这是由于湿度较大, 雨量丰沛, 淋溶作用强, 低价的 K 最易被淋溶, 在此生物气候条件形成的山地黄棕壤有一定程度的脱硅作用, 故 Si 亦呈现淋溶型。

(2) Fe, Mg, Mn 等元素在该带地球化学过程中均表现有一定程度的积累, 其中尤其是元素 Fe, 富集很明显, 其迁移系数分别为: 2.206, 2.30。其它 Mg, Mn 也因亲生物特征而有一定程度的积累。

(3) 元素 Ca 在风化过程中较稳定, 迁移系数为 0.043, 而成土过程中则表现为淋溶, 其迁移系数为 -0.02。

计算了该带中水体环境的 Ca, Mg 等元素的水迁移系数, 其排列顺序与风化、成土地球化学过程中基本是一致的, 迁移系列为:

$$Ca > Mg > K + Na$$

水化学类型为重碳酸、硫酸钙、镁型。

微量元素是反映景观地球化学特征的重要方面, 通过这些元素在表生地球化学作用中迁移系数的计算, 可以进一步描述该景观带的地球化学规律。

由表 11.6 计算结果, 微量元素的迁移系列分别是:

风化壳:  $Pb > Be > Ti > Zn > V > Cr > Ba > Ni > Co > Cu$

土壤:  $Pb > Be > Ti > V > Cr > Zn > Ni > Ba > Co > Cu$

从排列顺序可以发现, 该景观带的微量元素只有少数几个呈淋溶型, 主要是 Pb 和 Be; 而大部分微量元素呈累积状态, 其中 Cu, Co, Ni 等元素富集较明显, 如 Cu 的迁移系数分别为: 2.618, 2.485。这种迁移特征, 受该景观带水热条件制约而呈这种分布规律。该景观带分布的区域范围温度较低, 虽然雨水充沛, 然而有机质的分解速度较慢, 受生物富集

影响的元素,如 Cu,Co,Ni 等,在表生作用带呈累积状态,故迁移系数较大,排列在元素 Ti 之后,为正值。

表 11.6 南峰地区山地准亚热带半常绿阔叶林带景观中岩石、风化壳、土壤中微量元素含量统计表

元素	岩石含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 相对淋出 率(%)	风化过程 迁移系数	土壤 (表层) 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准土壤 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 相对淋出 率(%)	成土过程 迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a}$ $\times 100\%$	$P_b =$ $\ln \frac{c}{a}$	$d$	$e$	$a-e$	$\frac{a-e}{a}$ $\times 100\%$	$P_d =$ $\ln \frac{e}{a}$
Zn	52.9	103.1	86.54	-33.64	-63.59	0.492	109.4	94.83	-41.93	-79.25	0.584
V	60.0	119.2	100.05	-40.05	-66.75	0.511	106.97	92.72	-32.72	-54.53	0.435
Ti	4714.3	5616.5	4714.3	0.00	0.00	0.00	5438.9	4714.3	0.00	0.00	0.00
Pb	44.3	29.2	24.5	19.79	44.67	-0.592	39.0	33.80	10.49	23.69	-0.270
Ni	11.4	49.2	41.29	-29.89	-262.25	1.287	36.5	31.64	-20.24	-177.52	1.021
Cu	6.4	104.5	87.71	-81.31	-1270.5	2.618	88.6	76.79	-70.39	-1099.9	2.485
Cr	42.9	99.3	83.35	-40.45	-94.29	0.664	79.6	68.99	-26.09	-60.83	0.475
Co	1.4	22.1	18.55	-17.15	-1224.99	2.584	18.6	16.12	-14.72	-1051.59	2.444
Be	3.6	3.43	2.88	0.72	20.03	-0.223	2.99	2.59	1.01	28.01	-0.329
Ba	94.3	373.5	313.5	-219.2	-232.45	1.201	354.5	307.27	-212.97	-225.84	1.181

本带宜农耕地面积不多,气候适宜,一年可种二季,以玉米为主,青稞、小麦、蔓稼次之,毁林开荒严重,刀耕火种地以种植玉米、蔓稼等为主。易贡等地沿河谷的阶地和洪冲积扇上,部分已辟为茶园,发展亚热带的经济作物和果木仍具有一定的潜力,宜适当发展。

#### 4. 山地暖温带针阔混交林山地棕壤带

本带主要分布于海拔 2 300—2 800 米。其分布范围因各地水热条件的差异而有所不同,加热萨东北支谷,扎曲至通麦的帕隆藏布河谷一带分布范围为海拔 2 400—2 900 米,易贡盆地一带其下限可上升至海拔 2 500 米左右。山坡略缓。山咀、侵蚀平台及谷肩发育,夷平面虽被切割成交错的山梁,但仍可辨出其原貌;支沟谷坡陡峻,泥石流较发育,所有这些使植物、土壤产生较明显的局部变化。

气候温和湿润,最热月平均温 15—17℃,最冷月平均温 1—4℃,无霜期 160—220 天;年降水量 2 000 毫米以下,其雨量主要集中于 6—9 月,暴雨和大雨较多;冬季下雪,其厚度可达 1 米左右。

组成本带的植被为针阔混交林,针叶树由云南铁杉组成,树高可达 40 余米,胸径一般为 70—100 厘米,铁杉林生长良好,显然同潮湿与温暖的相互配合有关,优裕的水热条件为铁杉林的生长提供了极好的条件。阔叶树种主要有长尾槭、乔状杜鹃(*Rhododendron sinogrande*, *R. Keysil*, *R. spp*)等,树高 15—25 米,郁闭度 0.3—0.4,林内阴湿,藤本植物少,但树冠上挂满长短不一的松萝。林下草本植被发达,灌丛繁生,地面苔藓较厚,树干上苔藓明显减少,反映大气中的湿度较半常绿阔叶林带减低。在这种优越的生态环境下,各

类大型真菌相当发育,其优势种属有丝膜属(*Cortinarius*)、丝盖伞属(*Inocybe*)、环锈伞属(*Pholiota*)、毒伞属(*Amanita*)等。带内亦有小菇属、皮伞属等子实体小型的喜生于苔藓间的种类较为突出。

本带的动物从区系组成看,占有东洋界和古北界的成分,具有过渡地带的特征。主要种类有:黄嘴蓝鹊(*Cissa flavirostris*)、红尾水鸕(*Rhyacornis luliginosus*)、白翅拟蜡嘴雀(*Mycerobas carnipes*)、橙腹长吻松鼠(*Dremomys lokriah*)、长尾叶猴、小熊、黑熊(*Selenarctos thibetanus*)等,动物的数量有所减少。

在该生物气候下发育的土壤为山地棕壤,表层较厚,一般可达15厘米,坡陡之处一般在10厘米以下,壤质、灰黑色,有机质的累积较明显,其含量较高,一般在5%以上,粒状结构;淋溶作用较强,粘化过程较明显,底层多呈浅棕色,粘壤质;代换性盐基总量较低,一般在小于10毫克当量/100克土,向下显著减少;全剖面呈酸性反应,pH值一般都在5以下。本带森林保存较好,大都已呈过熟林,倒木现象明显,有待于合理开发利用。

### 5. 山地寒温带暗针叶林山地灰化土带

本带分布于海拔2800—3600米左右,加热萨东北河谷两侧山地森林的上限可达海拔3700米左右,金珠曲及其北侧支谷该带分布的上限达海拔3750—3800米左右。自加热萨、旁辛至地东的雅鲁藏布江河谷两侧的高夷平面仍局部保存;各支谷的河谷之间的宽谷面和夷平面较广泛分布;海拔2800米以上河谷明显加宽,如金珠曲在提琴以上的宽谷和河源盆地;多雄曲在拿格附近的宽谷及源头盆地相当明显。冰蚀和冰碛地形发育,洪冲积扇广泛分布,谷坡较缓,为森林的生长提供了较为有利的立地条件。

本带气候温寒湿润,最暖月平均温约9—12℃,最冷月平均温约1—5℃,无霜期少于160天,年降水量估计在1500毫米以下。降雪自当年10月上旬至翌年4月中旬,积雪可超过1米。在这种气候条件生长发育的暗针叶林,主要由墨脱冷杉、苍山冷杉组成。郁闭度0.3—0.4,局部地区可达0.5—0.6,树高20—30米,树干上附生有松萝。林中有时还混生有怒江落叶松、林下有糙皮桦、长尾槭、杜鹃(*Rhododendron basilicum*, *R. wardii*)等乔灌木,苔藓类地被物相当发育,盖度可达90%,林内阴湿,腐木交横,有利于大型真菌的生长,主要大型真菌有:环柄菇属(*Lepiota*)、金钱菌属(*Lollybia*)、栓菌属(*Frametes*)、层孔菌属(*Fomes*)、多孔菌属(*Polyporus*)及密环菌[*Armillariella mellea*(Fr. O Karst)]。

随着海拔的增高,气温降低,生态环境发生明显的变化,生活于本带的动物种类显著减少,且区系成分古北界已占优势,主要动物种类有白翅拟蜡嘴雀(*Mycerobas carnipes*)、红尾水鸕(*Rhyacornis fuliginosus*)、火尾太阳鸟(*Aethopyga ignicauda*)等,后者主要活动于河谷杜鹃林丛,以吸食杜鹃花花蜜。兽类中的林麝(*Moschus berzovskii*)、黑熊、赤鹿(*Muntiacus muntjak*)等亦时常出没于林中,塔尔羊(*Hemitragus jemlahicus*)在陡峭的谷坡上偶而可见。

在这种暗针叶林下发育的山地灰化土,其表层厚度一般在20厘米左右,灰黑色,粘状结构,有机质的分解程度低,有机质含量很高,一般在20%左右,最高可达46%;土壤淋溶作用,在A<sub>1</sub>层以下形成厚达10余厘米富含SiO<sub>2</sub>的浅灰色土层,块状结构明显;下层呈红棕色,铁和铝的淀积作用较明显,可见少量的胶膜和结核;全剖面呈酸至强酸性反应,pH值为4.5—5.5。

通过大量元素在该带风化壳与土层中迁移系数的计算,可以看出其迁移系列分别为(表 11.7):

表 11.7 南峰地区南坡山地暗针叶林景观岩石、风化壳、土壤大量元素含量统计表

氧化物	100 克岩石灼烧后含量(克)	100 克风化壳灼烧后含量(克)	以 $Al_2O_3$ 为基准风化壳含量(克)	风化过程中淋出量(克)	风化过程相对淋出率(%)	风化过程迁移系数	100 克土壤(表层)灼烧后含量(克)	以 $Al_2O_3$ 为基准土壤含量(克)	成土过程中淋出量(克)	成土过程相对淋出率(%)	成土过程迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a} \times 100\%$	$P_c = \ln \frac{c}{a}$	$d$	$e$	$a-e$	$\frac{a-e}{a} \times 100\%$	$P_d = \ln \frac{e}{a}$
$SiO_2$	53.18	67.2	96.67	-43.49	-81.78	0.598	37.7	84.08	-30.90	-58.10	0.458
$Fe_2O_3$	3.13	2.08	2.99	0.14	4.40	-0.045	1.98	4.42	-1.29	-41.08	0.344
$Al_2O_3$	16.86	11.72	16.86	0.00	0.00	0.00	7.56	16.86	0.00	0.00	0.00
$CaO$	8.96	1.44	2.07	6.89	76.88	-1.465	0.85	1.90	7.06	78.84	-1.553
$MgO$	5.09	0.81	1.17	3.92	77.10	-1.474	0.56	1.25	3.84	75.46	-1.405
$K_2O$	1.18	3.11	4.47	-3.29	-279.15	1.333	1.72	3.84	-2.66	-225.08	1.179
$Na_2O$	3.98	1.58	2.27	1.71	42.89	-0.560	0.90	2.01	1.97	49.57	-0.685
$MnO$	0.018	0.037	0.053	-0.035	-195.71	1.084	0.019	0.042	-0.024	-135.41	0.856
$TiO_2$	0.788	0.703	1.011	-0.223	-28.30	0.249	0.410	0.914	-0.126	-15.99	0.148

风化壳:  $Mg > Ca > Na > Fe > Al > Ti > Si > Mn > K$

土壤:  $Ca > Mg > Na > Al > Ti > Fe > Si > Mn > K$

从表 11.7 的数据分析,大量元素在表生地球化学作用带,表现出如下的特征:

(1)元素 Si 无论在风化壳还是土层中都是积累的,迁移系列排在 Al, Ti, Fe 之后。

(2)Fe 在风化壳被淋溶,土层中有一定程度的积累,但积累速率小于 Si,迁移系数仍排在 Si 之前,可以看成成土过程中相对稳定。元素 Al 因作为基准,看不出迁移系数的变化,但从排列顺序看都排在相对稳定的元素 Ti 之前,更在 Si 之前,对于元素 Si 来说,该元素仍属迁移淋溶之列。

(3)Ca, Mg, Na 无论在风化过程,还是成土过程都是淋溶的,迁移系数均小于 Al。

各元素之所以表现以上的迁移规律,是由于该景观带形成一种特殊的水分状况与生物区系,有利于 Ca, Mg, Na, Fe 等元素的迁移淋溶和 Si 的积累。据观察与研究,在本区暗针叶林景观下,因凋落物层深厚,气候冷湿,滞水性强,加之季节性冻层的存在,使土层终年处于湿润状态,甚至在土壤表层周期性形成水分过饱和环境,往往在凋落物层以下表土成嫌气缺氧的还原条件,使元素铁以二价铁存在,并与水溶性有机物质作用,产生铁的有机络合物,产生向下或侧向移动,渗出土层;在雨季多水时期,生物活动旺盛,同时因温度较高,植物残体进行着强烈分解,一方面可以富集一部分盐基,另一方面因分解产生的有机酸,增大  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$  的溶解度,随水渗滤向下移动。元素 K, Mn 是亲生物的元素,它们则因生物活动旺盛而表现积累。

水化学类型属重碳酸硫酸钙镁型,其元素的迁移系列为:

$Mg > Ca > K, Na$



水环境中的元素迁移系列与风化壳、土层中元素的迁移淋溶有密切关系,上列的顺序与风化壳土层中的迁移顺序基本相似。

冷杉是该带景观的代表种,计算了元素在冷杉茎中的富集系数,其系列为:

$$\text{Mn} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Fe} > \text{Na} > \text{Ti} > \text{Al} > \text{Si}$$

从该系列看出,Mn 明显受到生物的积累,土壤中也有一定程度的累积。但元素在生物体内的行为,除了受元素的迁移能力影响外,还与不同植物种类,有不同的选择性吸收能力,同一种类不同部位有关,故元素 Si 在土壤中虽有积累,然而在冷杉体内的富集并不高,就与选择性吸收有关。

从表 11.8 可以看出微量元素迁移系列为:

$$\text{风化壳: Ba} > \text{Zn} > \text{Ti} > \text{Be} > \text{Pb} > \text{V} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Co}$$

$$\text{土 壤: Pb} > \text{Ti} > \text{Zn} > \text{Ba} > \text{V} > \text{Be} > \text{Co} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu}$$

微量元素在该景观的迁移特征,大部分属累积型,除了 Ba, Pb, Zn 部分淋溶外,其余各元素均有不同程度的积累,这种迁移现象与该带的温湿条件、生物活动旺盛而受到一定程度的富集有密切关系。虽然各元素有一定程度的富集,但含量水平并不高,普遍低于土壤克拉克值。

表 11.8 南峰地区南坡山地暗针叶林景观岩石、风化壳、土壤微量元素含量统计表

元 素	岩石含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 相对淋出 率(%)	风化过程 迁移系数	土壤 (表层) 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准土壤 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 相对淋出 率(%)	成土过程 迁移系数
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a-c</i>	$\frac{a-c}{a}$ $\times 100\%$	$P_b =$ $\ln \frac{c}{a}$	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>a-e</i>	$\frac{a-e}{a}$ $\times 100\%$	$P_d =$ $\ln \frac{e}{a}$
Zn	69.6	61.7	69.16	0.44	0.63	-0.063	36.9	70.96	-1.36	-1.95	0.019
V	74.2	93.3	104.58	-30.38	-40.94	0.343	43.8	84.23	-10.03	-13.51	0.128
Ti	4729.1	4219.0	4729.1	0.00	0.00	0.00	2459.3	4729.1	0.00	0.00	0.00
Pb	35.5	40.0	44.84	-9.34	-26.30	0.233	18.3	35.19	0.31	0.87	-0.088
Ni	11.2	17.7	19.84	-8.64	-77.14	0.572	12.4	23.85	-12.65	-11.89	0.756
Cu	10.92	15.47	17.34	-6.42	-58.79	0.462	15.4	29.61	-18.69	-171.18	0.998
Cr	41.79	52.84	59.23	17.44	-41.73	0.349	41.1	79.03	-37.24	-89.12	0.637
Co	6.43	10.22	11.46	-5.03	-78.16	0.578	4.74	9.11	-2.68	-41.75	0.349
Be	2.62	2.77	3.11	-0.49	-18.51	0.170	1.62	3.12	-0.495	-18.90	0.173
Ba	428.2	341.9	383.24	44.96	10.50	-0.111	231.1	444.39	-16.19	-3.78	0.037

微量元素在该景观带的生物体中富集状况,也充分反映以上的迁移累积规律,其富集系列为:

$$\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Ba} > \text{Cr} > \text{Be} > \text{V} > \text{Ti}$$

以上式的排列,可以看出在该景观带的冷杉林对 Cu, Zn 等元素的生物迁移能力较强,其富集系数 Cu 为 20.03, Zn 为 13.41,而对 Cr, Be, V, Ti 的生物迁移能力较弱,其富集系数均小于 1。

本带是西藏重要的林业基地之一,森林资源相当丰富,应注意合理开发利用与保护。目前,因交通等原因,尚未开发利用,过熟林甚多,倒树腐木现象普遍,急待于开发利用。

## 6. 亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带

本带主要分布于海拔 3 600—3 900 米左右,加热萨及其东北支谷一带其分布界限可上升至 3 700—4 000 米左右,金珠曲河谷及其支谷地区分布界限可达 3 800—4 000 米左右。山坡陡峻,冻融风化作用强烈,雪蚀洼地、槽谷、岩屑坡、倒石堆等高山冰缘地貌广泛发育,现代冰川和古冰川遗迹广布,各支谷河源平缓之处一般发育有沼泽草甸。气候寒冷湿润,最热月平均温约 7—9℃,最冷月平均温约 -5—-8℃,无霜期仅 60 天左右,年降水量估计超过 1 000 毫米。自当年的 10 月底至翌年的 6 月中地面均有厚度不一的积雪覆盖。

亚高山灌丛景观中由灌木所组成的植被发育良好,以常绿革叶杜鹃中的平卧杜鹃、鳞腺杜鹃等多种杜鹃,以及柳、岩须属等植物为主组成的灌丛,高达 2.5—3.0 米左右,随高度增加,株体多呈匍匐状。高寒的生态环境不利于大型真菌的生长,种类少,较常见的有蜡蘑(*Laccaria* sp.)蜡伞(*Hygrophoraceae* sp.)、等属的少数种类,在杜鹃及柳的枯枝上有时生长有冬菇(*Flammulina velutipes* (Fr.) Sing),菌体均矮小,以适应这种高寒的环境。动物种类极为贫乏。在这种高寒气候和灌丛植被下形成的土壤为亚高山灌丛草甸土,层次较明显,剖面形态结构多为 A<sub>0</sub>-A<sub>1</sub>-B-C 型。主要由苔藓和灌木凋落物所组成的 A<sub>0</sub> 层,厚达 5 厘米左右;腐殖质的表层厚度可达 20 厘米,棕黑色、有机质的含量高,一般可超过 10%,淀积层呈深红棕色,壤质,结构明显,结构面上可见胶膜、铁锈纹及少量结核;淋溶作用强,全剖面呈强酸性反应,pH 值大都在 4—5.0 之间。

## 7. 高山寒带草甸高山草甸土带

主要分布于海拔 3 900—4 300 米左右,加热萨及金珠曲河谷地区其下限可达海拔 4 000 米左右。海拔 4 200—4 500 米的高一级夷平面广布,夷平面与山体之间山坡陡峻,高山冰川地貌广泛发育,为高山草甸植被的生长发育提供了各种不同的生态环境条件。气候更加寒冷湿润,最热月平均温约 6—7℃,最冷月平均温约 -8—-9℃,年降水量估计在 1 200 毫米左右,夏季仍多霜冻。高山草甸植被发育良好,主要由红花细茎驴蹄草、珠芽蓼、叶状柄垂头菊及纤葶粉报春等高山杂类草组成,花朵异常艳丽,有五花草甸之称。盖度可达 80—90%,草高 30—40 厘米左右。部分地区则主要由圆穗蓼(*Polygonum Sphaerostachyum*)、长毛岩须(*Cassiope wardii*)、苔草(*Carex* spp.)等组成。在这种生物气候条件下形成的高山草甸上具有以下特点:土壤发育程度良好,层次分化明显;草皮层厚,一般可达 10—15 厘米左右;表层有机质累积显著,含量较高,一般在 10—15% 之间;淀积层呈浅棕色。块状结构明显,结构面上含胶膜和铁锈纹等新生体,全剖面呈酸性反应,pH 值在 5 以下。本带是良好的高山天然草场,草质优良,毒草很少,除局部地区已放牧利用外,因交通、兽害等问题而很少利用,具有一定的开发潜力。

## (二)北坡垂直自然带的景观特征

南峰北坡的自然景观以茂密的森林为主要特征,其中山地暗针叶林山地灰化土带以

它宽厚的分布幅度成为北坡垂直自然带谱中的优势带。森林则以对湿润程度要求较低的林芝云杉和急尖长苞冷杉为主,林内组成结构较简单,林中松萝较南坡明显减少,海拔较高处的急尖长苞冷杉林中,因湿度增大,树冠和地面的苔鲜植物仍较发达。在植物区系上主要属于中国-喜马拉雅森林植物区。随着高度的增加,植被逐渐向高山草甸方向发展,具有明显的垂直变化特征。气候寒冷较湿润,仍以生物化学风化为主,土壤淋溶作用虽较南坡弱,但仍具有一定的强度,其土壤的共同特点是:土壤的发育程度一般较差,层次的分化不甚明显;有机质的累积过程一般仍比较明显,含量较高;土壤淋溶作用较强烈,土体中均不含碳酸钙,铁、铝等化学物质在一定的深度聚积较显著。植物土壤的垂直变化显著。

北坡在动物区系成分上以古北界占绝对优势,从动物的生态环境条件上,虽不如南坡优越,但较之西藏其它地区仍较好,动物种类仍较丰富。兽类中主要有马麝(*Moschus sifanicus*)、黄鼬(*Mustela sibirica*)、小熊猫、猕猴等,鸟类中的主要种类有暗绿柳莺(*Phylloscopus trochiloides*)、斑尾榛鸡(*Tetrastes sewerzowi*);两栖爬行类中的种类较多,主要有多种齿突蟾、林蛙(*Rana temporaria*)、丽纹龙蜥(*Japalura splendida*)等。大型真菌的种类仍较丰富,且以森林的种类占优势,主要有白蘑科的松口蘑[*Tricholoma matsutake* (s. Ito et Imai) Sing]、丝膜菌科的高丝膜菌(*Cortinarius elatior* Fr.)等,红菇科及牛肝菌科的种类也较丰富,分布也亦广泛。

北坡的雅鲁藏布江自米林县派区的宜淀附近由中游进入下游,中游河谷较宽,水流平缓,下游水流湍急。北坡的支流除尼洋曲及帕隆藏布以外,其它支流的流程较南坡河流短,比降大,水流十分湍急,瀑布较多。雅鲁藏布江的径流特征与南坡基本相近,但北坡降水远少于南坡,气候半湿润,支流的径流量相对较小,径流深度一般都在 600 毫米以下,具有以冰雪融水补给为主的河流水文特征。河水的矿化度较低,但主流与南坡的差异较明显,雅鲁藏布江河水的矿化度一般高于南坡,尤以旱季较明显;支流的矿化度一般都在 60 毫克/升以上,却高于南坡支流河水的矿化度。水化学类型也大都属于  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$  型,河水的矿化和水化学类型均具有明显的垂直变化。

现将北坡各垂直自然带的景观特征概述如下:

### 1. 山地暖温带针阔混交林山地棕壤带

本带主要分布于海拔 3 200 米以下的雅鲁藏布江河谷地区,其下限以谷底的海拔为限,米林县城附近为海拔 2 950 米左右,沿雅鲁藏布江而下,至派区附近下降至海拔 2 800 米左右,达到加拉以下的南峰的正北坡的河谷地区,下降至海拔 2 500 米左右,与山地准亚热带常绿阔叶林山地黄棕壤带的上限相接。其上限沿雅鲁藏布江河谷自东向西增高,至米林县城附近可达海拔 3 400 米左右。谷坡缓陡不一,河谷一般较宽,两岸阶地广泛发育,一般可见相对高度 8—10 米、120 米和 200 米左右的三级阶地。

气候温暖而较湿润,据米林、鲁霞、丹娘等地气候资料估算,最热月平均温 14—18℃,最冷月平均温 0—3℃,年平均温约 7—11℃,≥10℃积温约 2 400—1 700℃,常有霜冻害。降水远不如南坡,年降水量仅 500—700 毫米,局部地区可达 800 毫米。降水年变化呈单峰型,主要集中于 5—9 月,约占全年降水量的 80%以上,干湿季明显。

在这种气候条件下,自然景观具有针阔混交林的特征。组成该景观的植被以川滇高山栎和高山松为主,它们的分布因地而异,阳坡一般以耐旱的硬叶常绿阔叶的川滇高山栎为

主,且往往组成纯林;阴坡或半阴坡主要为高山松林或由高山松与川滇高山栎组成的混交林,在高山松林或针阔混交林中经常嵌有长序杨、米林杨的斑块,或成为混交林的组成树种之一。在米林大桥以西的雅鲁藏布江河谷阶地及洪积冲积扇上发育着西藏特有的巨柏(*Cupressus gigantea*)疏林,属于一种残遗的植物群落。针阔混交林的郁闭度一般达0.4—0.7,树高20—25米,林下灌木较发育,主要有薄皮木(*Leptodermis* sp.)、栒子木(*Cotoneaster* sp.)、狼牙刺(*Sophora moorcroftiana*)、架棚(*Cevastigma minus*)、柳叶忍冬等等。这种针阔混交林下适宜于大型真菌生长的种类主要有:白蘑科的松口蘑、鳞口蘑(*Tricholoma imbricatum* (Fr. ex Fr.) Kummer),红菇科的松乳菇(*Lactarius deliciosus* (L. ex Fr.) Gray),球盖菇科的韧黑伞(*Naematoloma sublateritium* (Fr.) Karst.)等等。由于人类活动的影响,森林面积的不断减少,生态环境的恶化,真菌的种类和数量均有所减少。

本带动物栖息条件较好,动物种类较丰富,主要有斑尾榛鸡、长尾山椒鸟(*Pericrocotus etholagus*)、小熊猫、大绯胸鹦鹉(*Psittacula derbiana*)、猕猴、林蛙、丽纹龙蜥和高原鼯(*Aglaiodon strauchii*)等,由于人类活动的干扰,数量显著减少。

在这种生物气候条件下发育的山地棕壤,枯枝落叶层一般较薄,一般仅2—3厘米,川滇高山栎纯林下发育的土壤,其枯枝落叶层的厚度可超5厘米;其下腐殖质层的厚度不一,棕灰色,砂壤质或壤质,土体适度淋溶,淀积层不甚发育,呈黄棕色;有机质含量较低,一般在3%左右,且向下逐渐减少;全剖面pH值7.0左右,呈中性反应;代换性盐基总量较高,三氧化物在各层的含量较稳定,具有山地棕壤的共同特点。

该带景观中元素的迁移均受生物气候因素的影响而表现出与其它自然带不同的特征。

表 11.9 南峰地区山地针阔混交林景观岩石、风化壳、土壤大量元素含量统计表

氧化物	岩石含量(%)	风化壳含量(%)	以 $Al_2O_3$ 为基准风化壳含量(克)	风化过程 中淋出量(克)	风化过程 相对淋出率(%)	风化过程 迁移系数	土壤 (表层) 含量(%)	以 $Al_2O_3$ 为基准土壤含量(克)	成土过程 中淋出量(克)	成土过程 相对淋出率(%)	成土过程 迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a}$ $\times 100\%$	$P_b = \ln \frac{c}{a}$	$d$	$E$	$a-e$	$\frac{a-e}{a}$ $\times 100\%$	$P_d = \ln \frac{e}{a}$
SiO <sub>2</sub>	69.8	61.8	42.36	27.44	39.32	-0.50	67.7	57.29	12.51	17.93	-0.198
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.34	4.04	2.77	2.57	48.15	-0.66	4.27	3.62	1.72	32.24	-0.389
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.11	16.21	11.11	0.00	0.00	0.00	13.11	11.11	0.00	0.00	0.00
CaO	1.82	1.69	1.16	0.66	36.36	-0.45	1.75	1.48	0.34	18.53	-0.205
MgO	1.38	1.04	0.71	0.67	48.35	-0.66	1.35	1.14	0.24	17.10	-0.188
K <sub>2</sub> O	2.70	2.42	1.66	1.04	38.57	-0.49	2.57	2.18	0.52	19.34	-0.215
Na <sub>2</sub> O	2.40	2.29	1.57	0.83	34.60	-0.43	2.24	1.90	0.50	20.91	-0.235
MnO	0.081	0.064	0.044	0.037	45.95	-0.62	0.081	0.068	0.012	15.36	-0.167
TiO <sub>2</sub>	0.616	0.504	0.346	0.27	43.83	-0.58	0.606	0.514	0.102	16.56	-0.181

大量元素通过计算(表 11.9),在该带风化壳与土壤中的迁移系列为:

风化壳: Fe=Mg>Mn>Ti>Si>K>Ca>Na>Al

土壤: Fe>Na>K>Ca>Si>Mg>Ti>Mn>Al

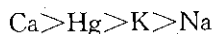
从以上的系列顺序可以看出该带元素的迁移特征是:

(1)所有大量元素,无论在风化壳还是在土壤层均受到淋溶,其迁移系数均小于 Al。说明该带的元素在矿物的风化分解过程中,在成土过程中随水向下迁移的强度大于生物累积的强度。这是由于该带处在本区北坡雅鲁藏布江河谷地带,气候虽属半湿润型,但仍有相当数量的降水,而且雨季气温也高,土壤剖面终年处于湿润状态,有机质分解强度比北坡其它景观带要强,而有机质累积要低,就是在旱季,所有这些要素均有利和促进各种元素的迁移。其中铁在剖面中有较明显的移动,而 Al 较稳定。

(2)风化过程中的迁移强度比成土过程中的迁移强度要大,从这些元素在风化壳与土层中的迁移系数看,风化壳的元素迁移系数普遍比土层中元素迁移系数高 1—2 倍,这是由于成土过程中生物累积因素的干扰所致。

(3)各元素的迁移系数虽然都小于 Al,属淋溶型,但迁移系数的绝对值都比较小,除了铁以外均小于 0.2,说明各元素的淋溶强度都比较低。

该带的水化学类型属  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$  型。这种水化学特征,不同于本区北坡的暗针叶林及高山灌丛草甸景观,更接近南坡的水化学类型,显然是受该景观带的湿润气候与生物条件的影响。元素的水迁移系列则又不同于南坡,而又与北坡类似。其元素的迁移系列为:



虽然风化成土过程以及水迁移过程中 Ca, Mg 等元素均为淋溶型,但生物有机体的地球化学作用却制约着这些元素的迁移方向。通过有机体富集系数的计算, Ca, Mg, K, Mn 等元素在该带内生物迁移能力较强,富集系数均大于 1, Ca 达到 16.30。而其它元素生物迁移能力较弱。富集系列的顺序为:



景观中微量元素含量及迁移特征值列于表 11.10。

表 11.10 南峰地区山地针阔混交林景观岩石、风化壳、土壤微量元素含量统计表

元素	岩石含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 相对淋出 率(%)	风化过程 迁移系数	土壤 (表层) 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准土壤 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 相对淋出 率(%)	成土过程 迁移系数
	a	b	c	a-c	$\frac{a-c}{a}$ $\times 100\%$	$P_b =$ $\ln \frac{c}{a}$	d	e	a-e	$\frac{a-e}{a}$ $\times 100\%$	$P_d =$ $\ln \frac{e}{a}$
Zn	65.64	77.24	94.41	-28.77	-43.83	0.36	67.84	69.02	-3.03	-5.15	0.050
V	74.11	56.21	68.70	5.41	7.29	-0.076	72.95	74.22	-0.11	-0.15	-0.002
Ti	3698.37	3025.8	3698.4	0.00	0.00	0.00	3635.02	3698.4	0.00	0.00	0.00
Pb	33.35	44.26	54.10	-20.75	-62.21	0.484	21.58	21.96	11.39	34.16	-0.418
Ni	28.11	11.20	13.69	13.42	51.30	-0.719	28.35	28.84	-0.73	-2.61	0.026
Cu	78.72	70.18	85.78	-7.06	-8.97	0.086	58.15	59.16	19.56	24.84	-0.286
Cr	50.49	23.70	28.97	21.52	42.63	-0.556	52.65	53.57	-3.08	-6.10	0.059
Co	12.59	10.04	12.27	0.32	2.53	-0.026	12.47	12.69	-0.10	-0.77	0.008
Be	2.95	3.60	4.40	-1.45	-49.16	0.40	2.97	3.02	-0.07	-2.43	0.024
Ba	363.66	453.02	553.72	-190.1	-52.26	0.42	350.93	357.05	6.61	1.82	-0.018

从此表可以看出微量元素在该带的迁移系列为:

风化壳: Ni>Cr>V>Co>Ti>Cu>Zn>Be>Ba>Pb

土壤: Pb>Cu>Ba>Ti>V>Co>Be>Ni>Zn>Cr

微量元素在该自然景观带的迁移则与大量元素不同,无论在风化壳、土层都出现部分淋溶,部分积累;其迁移系列的顺序,在风化壳与土壤中表现不一样。风化壳中被淋溶的元素有 Ni, Cr, V, Co, 而在土壤中被淋溶的元素为 Pb, Cu, Ba。元素 Pb 在风化过程与成土过程中的迁移特征差异特别显著,在风化壳中为迁移系列的末尾,迁移系数为 0.484,而在土层中则排列在迁移系列的首位,迁移系数为-0.418。

生物有机体的地球化学作用,将微量元素在该带景观中进行了再分配,有些元素与成土过程的迁移规律相一致,即成土过程中迁移系数小的,从土壤中被淋溶的,则生物富集系数小;而在土壤中表现为积累的,生物富集系数则大,如 Pb, Co, Zn, Ni 等。生物富集系列为:

Ni>Zn>Cu>Ba>Co>Cr>Pb>Be>Ti>V

其中 Cu 则与上述的迁移关系不太一致,成土过程中 Cu 的迁移系数为-0.286,表现为淋溶,而在高山栎的茎中富集系数则为 2.15,表现为生物积累。这种现象表明生物体的选择性吸收,制约着该景观 Cu 元素的迁移。

本带森林和耕地资源均较丰富,是当前西藏主要的用材林和粮食基地,温带果木生长良好,具有广阔的发展前景,由于该带是人类经济和生产活动集中的地区,合理开发利用自然资源,保护自然环境具有特别重要的意义。由于谷坡物质移动强烈,泥石流、滑坡等较频繁,对交通等有较大的威胁,宜采取积极的防治措施。

## 2. 山地寒温带暗针叶林山地灰化土带

主要分布于海拔 3 200—4 100 米,其界限由东而西逐渐上升,至米林县城附近,上移至海拔 3 400—4 100 米左右。谷肩、平台发育,海拔 4 000 米左右的剥夷面广泛分布,且以雅鲁藏布江北侧山地最为明显,其下山坡较陡峻。气候寒冷,湿润程度一般不及南坡的暗针叶林景观,仅在南峰峰体附近的沟谷地区湿润程度较大。最热月平均温约 8—14℃,最冷月平均温 0—-6℃左右,年平均温约 -1—7℃,年降水量估计在 700—900 毫米之间,局部沟谷地区可达 1 000 毫米左右。

山地暗针叶林景观的植物组成比较简单,海拔 3 700 米以下的暗针叶林主要由林芝云杉组成;其上则为急尖长苞冷杉林组成。林地郁闭度 0.4—0.5,树高 30—40 米。林中松萝较少,仅南峰峰体西侧沟谷中吊挂在树上的松萝较多,且随着高度增加,湿度增大,其数量增多,但仍不如南坡的暗针叶林景观。由急尖长苞冷杉组成的暗针叶林中,树冠和地面苔藓植物发达,地面苔藓层的厚度可达 10 厘米左右,似黄绿色的地毯。林下灌木和草本植物的种类较少。但是林下的大型真菌种类却较丰富,林芝云杉林下以丝膜菌科为主,常见的有丝膜菌、黄褐丝盖伞(*Inocybe flavobrunnea* Wang)等,密环菌分布广泛;急尖长苞冷杉林下除丝膜菌科以外,红菇科的种类也较多;在林缘及疏林地上生长着钨囊蕨(*Melanoleuca cagna* (Fr.) Konrab & Maubl)等。

在这种气候冷湿、凋落物层厚、表层持水性强的条件下,水分侧向运动和垂直淋溶作用强烈,土壤的灰化作用明显,形成较为典型的山地灰化土,尤以急尖长苞冷杉林下更为典型。土壤层次明显,腐殖质层厚 7—10 厘米,黑棕色,壤质,粒状结构,有机质含量很高,

表层可高达 46%，向下明显减少；此层以下为一较明显的灰白色土层(Ab<sub>g</sub>)，厚薄不一，砂壤质，富含 SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>；淀积层中有机质明显淀积，含量由漂灰层的 6%—8%，增加至 8%—12%，且铁的氧化物也明显淀积，土体部分 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量高达 5%—7.5%，为表层含量的 2.5—3.7 倍，土体呈暗棕色，可见少量铁锰胶膜；全剖面呈酸至强酸性反应，pH 值在 4.0—5.9 之间。

该带景观中，其生物区系比南坡更耐寒，进入该景观带的水分进行了再分配，各元素的迁移也具有其特殊规律。通过大量元素及微量元素迁移系列的计算，可以比较南北坡的异同。

表 11.11 南峰地区北坡山地暗针叶林景观岩石、风化壳、土壤大量元素含量统计资料

氧化 物	岩石含 量(%)	风化壳 含量(%)	以 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 为 基准风化 壳含量 (克)	风化过程 中淋出量 (克)	风化过程 相对淋出 率(%)	风化过程 迁移系数	土壤 (表层) 基准土壤 含量(%)	以 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 为 基准土壤 含量(克)	成土过程 中淋出量 (克)	成土过程 相对淋出 率(%)	成土过程 迁移系数
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a-c</i>	$\frac{a-c}{a}$ ×100%	$P_b =$ $\ln \frac{c}{a}$	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>a-e</i>	$\frac{a-e}{a}$ ×100%	$P_d =$ $\ln \frac{e}{a}$
SiO <sub>2</sub>	53.18	48.7	70.06	-16.88	-31.74	0.274	50.4	175.57	-122.38	-230.1	1.194
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.13	7.55	10.86	-7.73	-247.0	1.244	1.97	6.86	-3.73	-119.25	0.785
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.86	11.72	16.86	0.00	0.00	0.00	4.84	16.86	0.00	0.00	0.00
CaO	8.96	3.37	4.85	4.11	45.890	-0.614	0.96	3.34	5.62	62.68	-0.986
MgO	5.09	2.36	3.40	1.69	33.30	-0.405	0.58	2.02	3.07	60.31	-0.924
K <sub>2</sub> O	1.18	1.99	2.86	-1.68	-142.61	0.886	0.89	3.10	-1.92	-162.74	0.966
Na <sub>2</sub> O	3.98	1.87	2.69	1.29	32.41	-0.392	0.79	2.75	1.23	30.86	-0.369
MnO	0.018	0.084	0.121	-0.103	-571.33	1.904	0.027	0.094	-0.076	-422.52	1.654
TiO <sub>2</sub>	1.075	0.943	1.357	-0.282	-26.23	0.233	0.376	1.310	-0.235	-21.86	0.198

大量元素在该带景观中风化壳及土壤中的迁移系列分别为(表 11.11)：

风化壳：Ca>Mg>Na>Al>Ti>Si>K>Fe>Mn

土 壤：Ca>Mg>Na>Al>Ti>Fe>K>Si>Mn

从以上的迁移顺序可以看出，无论在风化壳还是土壤中 Ca, Mg, Na 都是淋溶的，说明北坡暗针叶林景观下，湿润，酸性淋溶条件，促进盐基的淋失，与南坡暗针叶林景观有类似的趋势。而 Si 在风化壳与土层中均为积累，从迁移系数的排列上都在 Al, Ti 之后，但 Si 在成土过程中积累的速度更大，其迁移系数比 Ti 高一个数量级，而且远远超过 Fe 的累积速度系数；Si 在北坡比南坡积累的强度也更大，Si 在南坡该景观带的迁移系数为：土层中 0.458，而北坡(土层)为：1.194，在土层中 Si 的迁移系数，北坡为南坡的 3 倍。元素铁在北坡该景观表现这样的特征：在风化壳迁移系数为 1.244，说明有较强的富集，但在成土过程中，其迁移系数下降到 0.785，说明在该景观带成土过程中，铁受到淋溶。同样元素 Al 的迁移顺序排在 Ti 之前，因此，如果以 Ti 作为基准时，则 Al 也是淋溶的。

以上的元素迁移特征，即富积 Si，淋溶 Fe, Al。是北坡暗针叶林景观带内表生地球化学迁移规律的具体表现。据观察，北坡暗针叶林景观带下的山地灰化土，仍是在倾斜的谷坡形成，土层中具有比南坡更突出的季节性冻层，凋落物层深厚，持水性强，形成土层滞

水,水分在土壤剖面中的潜积、嫌气还原更为突出,其灰化作用更加典型。元素Ca,Mg,Na包括Fe,Al等,在土体水分发生侧向或向下的运移过程中,因酸性条件,被淋出土层,而Si则相对富集。其它元素K,Mn等,是亲生物和生物必需的元素,由于生物的累积而被归还给土壤,则在土层中积累。

本区该景观带的水化学类型属 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型。其迁移系列为:

$$\text{Ca,Mg} > \text{K,Na}.$$

其中元素Ca的迁移系数远远大于Mg,说明Ca在该景观带内的迁移能力强,这种特征与土壤、风化壳中迁移特征是一致的。Ca在风化壳与土壤中其迁移顺序排在第一位,淋溶最强烈,在水环境中,也得到相应的反映。

生物富集系列,在该景观带的排列是:

$$\text{Mn} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Al} > \text{Si} > \text{Fe} > \text{Ti}$$

这种排列顺序与南坡基本一致,Mn,Ca,K,Mg等元素表现为较强的富集,被排在前边,而Na,Al,Si,Fe,Ti富集较弱,其富集系数均小于1。其中Si在北坡的生物富集强度比南坡要强,排列顺序从南坡的末尾而向前移动被列在Fe,Ti之前。

表 11.12 南峰地区北坡山地 针叶林景观岩石、风化壳、土壤微量元素统计资料

元素	岩石含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以Ti为基 准风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 相对淋出 率(%)	风化过程 迁移系数	土壤 (表层) 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以Ti为基 准土壤 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 相对淋出 率(%)	成土过程 迁移系数
	a	b	c	a-c	$\frac{a-c}{a}$ $\times 100\%$	$P_b =$ $\ln \frac{c}{a}$	d	e	a-e	$\frac{a-e}{a}$ $\times 100\%$	$P_d =$ $\ln \frac{e}{a}$
Zn	101.66	31.88	36.36	65.29	64.23	-1.028	23.41	66.87	34.79	34.23	-0.419
V	105.71	81.77	93.27	12.44	11.77	-0.125	38.98	111.34	-5.63	-5.32	0.052
Ti	6450.3	5655.2	6450.3	0.00	0.00	0.00	2258.3	6450.3	0.00	0.00	0.00
Pb	21.27	24.79	28.29	-7.02	-32.99	0.285	21.38	61.12	-39.85	-187.4	1.056
Ni	39.80	9.79	11.17	28.63	71.94	-1.271	9.28	26.51	13.29	33.40	0.407
Cu	205.6	9.26	10.56	195.04	94.86	-2.969	8.81	25.16	180.44	87.76	-2.101
Cr	39.99	43.22	49.30	-9.31	-23.27	0.209	18.25	52.13	-12.14	-30.35	0.265
Co	19.87	6.22	7.09	12.78	64.30	-1.030	5.47	15.62	4.25	21.37	-0.240
Be	3.30	2.64	3.01	0.29	8.75	-0.029	1.25	3.57	-0.27	-8.19	0.079
Ba	319.7	329.7	376.05	-56.36	-17.63	0.162	135.2	386.17	-66.47	-20.79	0.189

从表 11.12 计算结果,微量元素在风化壳与土壤中的迁移系列分别是:

风化壳:  $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Zn} > \text{V} > \text{Be} > \text{Ti} > \text{Ba} > \text{Cr} > \text{Pb}$

土壤:  $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Co} > \text{Ti} > \text{V} > \text{Be} > \text{Ba} > \text{Cr} > \text{Pb}$

在以上 10 个元素中,有一半的元素在该景观内受到淋溶,而另一部分的元素则相对稳定,甚致还有积累现象。Co,Ni 两元素在表生作用带中常以二价离子的化合物存在,在酸性介质中Co,Ni 是比较活跃的离子。该带下强烈的灰化过程中,酸性淋溶有利Co和Ni的淋洗,故表现出Co,Ni的迁移系数为负值,均排在Ti之前。Cu,Zn也以二价形式迁



移,在近似饱和的土壤中也利于 Cu,Zn 的淋溶。

急尖长苞冷杉对微量元素的生物迁移能力,不同元素表现出不同特征,经计算其富集系列为:

$$\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Ba} > \text{Be} > \text{Cr} > \text{V} > \text{Ti}$$

该系列顺序与南坡也基本一致,其中 Cu,Zn 的富集系数较高,北坡更加突出,富集系数分别为 36.48,24.82。Ni,Co 的富集系数为 4.02 与 3.11,其值也高于南坡,说明北坡景观带有利生物的富集。

本带森林覆盖率达 90% 左右,资源相当丰富,已是西藏重要的林业生产基地,但森林资源的开发利用仅限于公路沿线,且不甚合理,资源的浪费较严重,同时对生态环境已产生一定的不良影响,需合理开发,充分利用;交通不便之处,急待合理开发利用。

### 3. 亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带

本带主要分布于海拔 4 100—4 500 米左右。各地因自然条件的差异,其界限略有变化,如米林至金东一带其下限可达 4 200—4 300 米,随拉山口一带,亚高山灌丛景观仅以一种类型零星分布于上下两个垂直自然带之中,尚未形成一个完整而独立的垂直自然带。冻融风化作用强烈,高山冰缘地貌类型多样,冰川遗迹广布,气候寒冷湿润,最热月平均温 7—9℃,最冷月平均温 -5—-8℃,无霜期少于 60 天,年降水量估计在 1 000 毫米左右,略少于南坡。

亚高山灌丛景观的植被组成种类较简单,群落外貌较单调,以黄桧杜鹃、栎叶杜鹃、雪层杜鹃等多种杜鹃及糙皮桦,金露梅等为主组成的灌丛,随海拔增高,株体逐渐变矮,高由 2.5 米变至 0.5 米左右,且多呈匍匐状。灌丛间的草甸植被以莎草科的植物为主。在这种高寒的生态环境下,大型真菌的种类很少,主要有蜡蘑(*Laccaria* sp.)、小菇属等种类。动物种类也很稀少。在这种生物气候条件下形成的土壤为亚高山灌丛草甸土,层次较明显,凋落物层厚度一般可达 4—5 厘米;表层呈棕黑色,腐殖质的累积明显,有机质的含量高,一般在 5% 以上,深棕色的淀积层,质地粘重,结构明显,结构面上有少数的胶膜和铁锈纹;全剖面呈强酸性反应,pH 值一般在 4.5 以下。部分地区的亚高山灌丛草甸土有不同程度的灰化现象。

亚高山灌丛草甸景观中,全年只有在夏季,土壤季节性冻层解冻时,元素的迁移才活跃起来。该景观中岩石、风化壳及土壤大量元素分析统计列于表 11.13。

从表 11.3 的计算与分析可以看出,南峰亚高山灌丛草甸景观表作用带内风化过程与成土过程中大量元素的迁移系列分别为:

风化壳:  $\text{Ti} > \text{Si} > \text{Ca} > \text{Al} > \text{K} > \text{Na} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Mg}$

土壤:  $\text{Ti} > \text{Si} > \text{Al} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Mn}$

从它们的淋出量、相对淋出率及迁移系数看,该带的元素迁移规律表现如下特征:

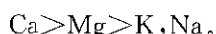
(1) 所有大量元素在风化、成土过程中迁移都很弱,虽然 Ti, Si, Ca 有淋失现象,但量都很小,淋出率均小于 10%,其迁移系数均大于 0.099;其它 K, Na, Fe, Mn, Mg 均有积累现象,说明在成土、风化过程中是较稳定的。其中 Mg, Mn 的迁移系数比其它都大,这两个元素的积累与次生矿物的形成和灌丛草甸植被下的生物积累有一定关系。

表 11.13 南峰地区亚高山灌丛草甸景观岩石、风化壳、土壤大量元素含量统计资料

氧化物	岩石含量 (%)	风化壳含量 (%)	以 $Al_2O_3$ 为基准风化壳含量 (克)	风化过程中淋出量 (克)	风化过程相对淋出率 (%)	风化过程迁移系数	土壤 (表层) 含量 (%)	以 $Al_2O_3$ 为基准土壤含量 (克)	成土过程中淋出量 (克)	成土过程相对淋出率 (%)	成土过程迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a} \times 100\%$	$P_b = \ln \frac{c}{a}$	$d$	$e$	$a-e$	$\frac{a-e}{a} \times 100\%$	$P_d = \ln \frac{e}{a}$
$SiO_2$	52.6	48.1	49.78	2.82	5.37	-0.055	51.88	51.88	0.72	1.36	-0.014
$Fe_2O_3$	4.81	6.03	6.24	-1.43	-29.73	0.26	6.33	6.36	-1.56	-32.33	0.280
$Al_2O_3$	12.78	12.35	12.78	0.00	0.00	0.00	12.71	12.78	0.00	0.00	0.00
$CaO$	3.69	3.41	3.53	0.16	4.37	-0.045	4.02	4.04	-0.35	-9.54	0.091
$MgO$	2.02	2.83	2.93	-0.91	-44.98	0.371	2.84	2.86	-0.84	-41.37	0.346
$K_2O$	1.55	1.55	1.60	-0.05	-3.48	0.034	1.62	1.63	-0.08	-5.09	0.050
$Na_2O$	1.99	2.09	2.16	-0.17	-8.68	0.083	2.41	2.42	-0.43	-21.77	0.197
$MnO$	0.076	0.094	0.097	-0.02	-27.99	0.247	0.108	0.109	-0.033	-42.89	0.357
$TiO_2$	0.914	0.80	0.828	0.086	9.41	-0.099	0.833	0.838	0.076	8.32	-0.087

(2) 风化过程与成土过程中的迁移系列略有差异, Ca 元素在风化过程中为淋溶, 排在 Al 之前, 而在成土过程中则排在 Al 之后, 表现为积累, 其它 Mg, Mn, Fe 等元素在积累的程度上有差异。这是由于在该带、蒸发量大于降水量, 成土过程中, 生物活动的加强, 因此在土层, 因蒸发、蒸腾、生物富集的综合作用下, 使 Ca 表现出积累。

该带的水化学类型属  $SO_4 \cdot HCO_3-Ca \cdot Mg$  型元素的水迁移系列为:



这种迁移顺序与它们在风化、成土过程中元素的迁移相呼应。

植物有机体对元素在景观带中的迁移、分散和富集起着很大作用。植物不仅直接从表生作用带中吸取各种元素, 以金属-有机化合物的形式归还给地表腐殖质层, 而且在生命活动过程中不断向表生作用带内放出  $CO_2$ ,  $O_2$  和有机酸等化合物, 使表生作用带的介质 pH 和 Eh 等物理化学性质发生变化, 从而影响这些元素在表生作用带内的再分配。为了说明该带景观中这些元素的行为, 我们进行了生物累积系数的计算, 其系列是:



从生物累积系数看, Mn, K, Ca, Mg 等元素, 部分地已参与了生物小循环, 而进入植物体中。为这些元素在土壤中有了一定程度的积累起了促进作用。

该带景观中岩石、风化壳及土壤微量元素的分析统计列于表 11.14。

从表 11.14 的结果可以看出, 微量元素在该带的迁移特征均表现为积累。在风化壳及土壤中的迁移系列是:

风化壳:  $Ti > Be > Ba > V > Cr > Pb > Zn > Co > Ni > Cu$

土壤:  $Ti > Be > Ba > Pb > V > Cr > Zn > Co > Cu > Ni$

从风化壳的迁移系列可以看出这样的现象: 元素的化学性质较接近的, 其迁移系数也较接近。如铍和钡, 钒和铬, 铅和锌, 钴和镍等。这些元素虽都排列在 Ti 以后, 但累积都不

很强烈,说明该带微量元素的迁移,受寒冷气候,生物活动不很旺盛等因素的控制,而表现出相当稳定。

表 11.14 南峰地区亚高山灌丛草甸景观岩石、风化壳、土壤微量元素含量统计资料

元素	岩石含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	以 Ti 为基 准风化壳 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	风化过程 相对淋出 率(%)	风化过程 迁移系数	土壤 (表层) 含量 ( $\times 10^{-8}$ )	以 Ti 为基 准土壤 含量 ( $\times 10^{-8}$ )	成土过程 中淋出量 ( $\times 10^{-6}$ )	成土过程 相对淋出 率(%)	成土过程 迁移系数
	$a$	$b$	$c$	$a-c$	$\frac{a-c}{a}$ $\times 100\%$	$P_b =$ $\ln \frac{c}{a}$	$d$	$e$	$a-e$	$\frac{a-e}{a}$ $\times 100\%$	$P_d =$ $\ln \frac{e}{a}$
Zn	56.62	65.18	74.46	-17.84	-31.50	0.274	71.87	78.83	-22.21	-39.23	0.331
V	117.3	120.78	137.97	-20.67	-17.62	0.162	31.60	44.37	-27.07	-23.08	0.208
Ti	5484.0	4800.8	5484.0	0.00	0.00	0.00	4999.0	5484.0	0.00	0.00	0.00
Pb	26.04	28.98	33.10	-7.06	-27.13	0.240	27.01	29.63	-3.59	-13.79	0.129
Ni	20.65	29.25	33.41	-12.76	-61.80	0.481	31.73	34.81	-14.16	-68.58	0.522
Cu	30.30	50.18	57.32	-27.02	-89.18	0.638	46.48	50.99	-20.69	-68.28	0.521
Cr	68.0	72.11	82.37	-14.37	-21.14	0.192	79.20	86.88	-18.88	-27.77	0.245
Co	12.55	17.20	19.65	-7.098	-56.56	0.448	17.96	19.64	-7.09	-56.47	0.448
Be	2.73	2.41	2.75	-0.023	-0.84	0.008	2.54	2.79	-0.06	-2.07	0.020
Ba	251.61	240.51	247.73	-23.12	-9.19	0.088	254.59	279.29	-27.68	-11.00	0.104

土壤中微量元素的迁移顺序,除了 Pb 稍有变化外,其它各元素基本不变,与风化壳的迁移系列相似。这种特征也充分说明了高山灌丛草甸景观中的风化过程、成土过程都不很强烈,土壤的发育也较年青。

通过生物累积系数的计算,该景观中微量元素的系列为:

$$\text{Ba} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Be} > \text{Cr} > \text{V} > \text{Ti}$$

这种排列顺序与土壤中迁移系列的顺序基本是相反,Ba,Cu,Zn,Ni,Co,Pb 等元素均排在 Ti 之前,表现出在生物体内有一定程度的积累。

#### 4. 高山寒带草甸高山草甸土带

它主要分布于海拔 4 500—4 700 米左右。高一级的山顶夷平面广泛分布,冰蚀和冰碛地貌相当发育。气候更加寒冷,最暖月平均温约 6—7℃,最冷月平均温约 -8—-9℃,年降水量估计在 1 000 毫米以上,仅夏季偶无霜冻。高山草甸植被相当发育,组成种类较丰富,其中以高山嵩草为主。此外,尚有珠芽蓼、圆穗蓼、长毛岩须(*Cassiope wardii*)等,盖度达 80%—90%,草高 20—30 厘米,部分地区尚有平卧杜鹃、多种垫柳等垫状灌木的分布。土壤主要为高山草甸土,草皮层较厚,一般可达 10 厘米左右;表层厚度不一,一般约 8—12 厘米,颜色灰黑,有机质含量较高,一般在 12%—15%;淀积层明显,灰棕色,结构面上有少量胶膜和铁锈纹、斑;淋溶作用较明显,全剖面呈酸性反应,pH 值在 5 以下,本带的草质优良,是良好的天然草场,但至今很少利用,是今后进一步发展本区牧业、扩大夏牧场的重要的潜力之一。

### 5. 高山寒冻风化壳状地衣高山寒漠土带

随着海拔的增加,南北坡水热条件的差异逐渐减少,从而自然景观特征的差异也逐渐减小而趋于基本一致,现将南峰南北坡更高的两个垂直自然带的景观特征进行并述。

本带主要分布于南坡海拔4300—4800米,北坡分布于海拔4700—5000米左右。气候严寒、风大,物理风化与现代冰川作用均强烈。最热月平均温仅2—6℃,最冷月平均温-9—-13℃,年降水量估计在1000—1500毫米左右,南坡略多于北坡。在这种高寒的生态环境条件下,裸岩及石块上生长着各种冷生的壳状地衣,且主要分布于裸岩和石块的背风面。以利于地衣的生长发育。在这种条件下形成的高山寒漠土,虽未形成明显的土层,但在地衣和固着的岩石表面之间,已形成原始的土壤物质,以细小的砂粒为主,但也含有少量的粘粒。仅在岩石缝隙和石块之间,土层较厚,可达10—15厘米,发育程度很差,层次不明显,砾石含量多,生长着长梗蓼(*Polygonum griffithii*)、塔黄(*Rheum nobile*)、山蓼(*Qxyria digyna*)、长鞭红景天(*Rhodiola fastigata*)及紫花虎耳草(*Saxifraga bergenoides*)、藏中虎耳草等,在高山寒带草甸高山草甸土带生长的植物种类,这里也可出现,但数量显著减少。这是一种组成成分和结构均极为简单的景观类型。

### 6. 高山冰雪带

南坡雪线约在海拔4800米左右,北坡略偏高,约在海拔5000米左右。雪线以上的地区为高山冰雪带。南坡虽然向阳,日照时间长,气温高于北坡,雪线理应偏高;但南坡为南来暖湿气流的迎风坡,降水优于北坡,冰雪量大,从而使雪线偏低,可见,降水的多寡对雪线的分布产生极为重要的影响,这与我国高纬度地区的其它高山南坡雪线高于北坡正好相反。新疆天山托木尔峰地区南坡的雪线高于北坡达550米左右,其差异远远高于其它山体,其原因除北坡背阴气温偏低以外,北坡承受更多的从西和西北而来的湿润气流所产生的降水,两种因素叠加在一起,从而使北坡的雪线下达海拔3700米左右(彭补拙、倪绍祥,1980)。

本带气候严寒,最热月平均温约在2℃以下,最冷月平均温约在-13℃以下,年降水量估计超过1500毫米,南坡降水多于北坡,高等植物一般都难以生存。丰沛的降水,除悬崖峭壁外,峰体和坡缓之处几乎均为冰雪所覆盖,裸露的角峰和山体极少见。

## 三、垂直自然带的结构类型

雅鲁藏布江自西至东流入本区,然后沿着构造线于南峰的东北侧切穿北东向的东喜马拉雅山脉,向南作一奇特的大拐弯后,又折向西南流经墨脱。谷地高度自米林附近的海拔2850余米下降至墨脱地东附近的海拔600余米。帕隆藏布自东南向西北经波密于通麦处汇集西北-东南向的易贡藏布,折向西南切割岗日嘎布山脉于扎曲汇入雅鲁藏布江,大致从谷地海拔2900米下降至海拔1600米左右。河谷基底海拔高度的变化在很大程度上决定了山地垂直自然带谱的基带,从而影响其结构类型。因此,本地区垂直自然带的结构类型实际上是以不同的基带出现的。

正如前文所述,东喜马拉雅山脉和岗日嘎布山脉对西南湿润气流的阻挡作用,南北侧

润湿程度差异明显,南侧山地垂直自然带性质属湿润型,各湿润型的山地垂直自然带的结构类型归并为湿润结构类型组;北侧山地垂直自然带的性质主要属半湿润,各半湿润型的山地垂直自然带的结构类型归并为半湿润结构类型组,它们均属于海洋性垂直自然带结构类型系统(张荣祖、郑度、杨勤业,1982;郑度、杨勤业,1985;彭补拙,1986)。现将本地区垂直自然带的结构类型按其结构类型组简述如下:

## (一) 湿润结构类型组

### 1. 河谷准热带季雨林砖红壤性黄壤基带的结构类型

此类型分布于南峰南坡山地,其基带的景观特征,以及由此向上依次出现的垂直自然带前文已详述,这九个垂直自然带所组成相当完整的山地垂直带谱,成为我国最为齐全、最为宝贵的垂直自然带的结构类型。

### 2. 山地亚热带常绿阔叶林山地黄壤基带的结构类型

此类型主要见于旁辛、加热萨、扎曲一带东喜马拉雅山的东侧、格当一带的岗日嘎布山的南坡以及扎曲至帕隆等地。垂直自然带的基带于海拔1 100—1 900米左右的河谷地段,局部地区上限可达海拔2 000米左右。由于降水量的减少,湿润程度低于墨脱、地东一带。亚热带常绿阔叶林以瓦山栲、西藏石栲、刺栲及樟科等植物组成,土壤为山地黄壤。其上自山地准亚热带半常绿阔叶林山地黄棕壤带至高山冰雪带与前述垂直自然带基本相近,分布的幅度略有差异。

### 3. 山地准亚热带半常绿阔叶林山地黄棕壤基带的结构类型

墨脱格当以上的金珠曲河谷,波密的帕隆藏布、易贡藏布河谷海拔2 000—2 400米(或2 500米),分布此种半常绿阔叶林山地黄棕壤基带,其建群植物主要有通麦栲、薄皮青冈、西藏青冈等,林内附生的苔藓和蕨类植物较丰富,发育着山地黄棕壤。其上的垂直自然带与前述结构类型基本相似。

## (二) 半湿润结构类型组

### 1. 山地暖温带针阔混交林山地棕壤基带的结构类型

以川滇高山栎和高山松为主组成的针阔混交林山地黄棕壤基带,广泛分布于米林、林芝及波密一带的东喜马拉雅山及岗日嘎布山的北侧,其上的山地寒温带暗针叶林山地灰化土带分布幅度宽达800—900米,成为该结构类型中的优势带。此带以上至高山冰雪带包括前述四个垂直自然带。

### 2. 山地寒温带暗针叶林山地灰化土基带的结构类型

帕隆藏布及易贡藏布等上游河谷海拔4 100或4 200米以下的地区,其下限一般在海

拔 3 500 米左右,主要由林芝云杉和急尖长苞冷杉组成的山地暗针叶林,其下发育的山地灰化土较为典型。以此为基带的垂直自然带结构类型在本区分布虽然不甚广泛,但它却是高海拔河谷地区的主要结构类型之一。

## 第二节 垂直自然带的区域差异 及景观类型的分布规律

### 一、垂直自然带的区域差异

南峰地区不仅南北坡之间垂直自然带的区域差异明显,而且在同一坡向内东西之间也存在有一定的区域差异,这些差异既表现在垂直自然带的界限上,也表现在垂直自然带的某些景观特征上。同时山体的大小和冰雪覆盖的程度、逆温的存在对垂直自然带的区域差异也产生极为重要的影响。

#### (一)雅鲁藏布江水汽通道对垂直自然带的影响

从印度洋南来的湿润气流沿雅鲁藏布江谷地而上,穿过大拐弯峡谷进入东喜马拉雅山及岗日嘎布山北侧的广大地区,其降水量的多少主要依赖于溯江而上的水汽输送量的多寡,两者呈正相关,系数约为 0.70(高登义等,1985)。此外,少量的水汽可翻越低矮的山口进入北侧地区。据调查,进入易贡藏布河谷的水汽优于帕隆藏布,而沿雅鲁藏布江河谷自扎曲后继续西行的水汽量最少。我们从上述地区几个气象台站的降水量资料可以说明这一差异(表 11.15)。

表 11.15 南峰地区各主要河谷降水量比较

河 流	地 点	年平均降水量(毫米)	资料年代
雅鲁藏布江	墨脱	2 276.6	1973—1974
			1982—1983
	米林	662.1	1979—1981
易贡藏布	易贡	958.8	1966—1971
帕隆藏布	波密	849.6	1961—1982

由此可见,自雅鲁藏布江大拐弯处至易贡藏布形成藏东南向西北略倾的舌状多雨区,向东西两侧降水逐渐减少,干燥度也随之增大,即由舌状多雨区的干燥度 $<1.0$ ,至波密、米林一带增大到 $1.0—1.5$ 。这不仅使垂直自然带的性质发生变化,正如前文已述,由湿润型的垂直自然带谱渐变至半湿润型的垂直自然带谱。

其次,使某些垂直自然带的景观特征产生明显的差异。如山地暖温带针阔混交林带,在南坡及雅鲁藏布江大拐弯内的湿润地区,组成针阔混交林的主要树种,是对湿度要求较高的云南铁杉、槭树及乔状杜鹃等,夏季多云雾,林内阴湿,树上挂满松萝,枯枝落叶层较厚,表层土壤腐殖质的累积较明显,淋溶作用强,且具有一定程度的粘化过程,发育的土壤为山地棕壤,属酸性;而在北坡的米林及波密一带的半湿润地区,组成针阔混交林的建群

植物,主要是对湿度要求较低,且具有一定耐旱性质的硬叶常绿阔叶的川滇高山栎及高山松,林内很少见松萝,枯枝落叶层较薄,腐殖质的累积不甚明显,淋溶作用相对较弱,发育的山地棕壤呈中性反应。又如山地寒温带暗针叶林山地灰化土带,虽均为暗针叶林,但组成树种却迥然不同,湿润地区组成暗针叶林的主要树种为墨脱冷杉和苍山冷杉,林内苔藓层十分发育;而在上述半湿润地区组成暗针叶林的主要树种,海拔 3 700 米左右以下地区主要由对湿润程度要求较低的林芝云杉林组成,林内苔藓层很不发育,以上则为耐寒旱的急尖长苞冷杉林组成,苔藓层发育。

再次,使垂直自然带的界限发生明显的移动,其带幅也有所不同。如山地寒温带暗针叶林山地灰化土带在南峰地区偏南坡的湿润地区,其分布界限一般自海拔 2 800—3 600 米左右,带幅约 800 米,而偏北坡的半湿润地区,该带分布的界限一般自海拔 3 200—4 100 米左右,带幅约 900 米,可见其上下限相差约 400—500 米,这固然与湿润程度的差异有关,但坡向却起了相当重要的作用。就是坡向及其它条件类似情况下,由于雅鲁藏布江水汽通道的作用而引起干湿程度的差异,从而产生垂直自然带界限的移动和带幅的不同。

南峰南坡西部多雄曲河谷地区与东部加热萨一带河谷地区山地垂直自然带界限的比较列于表 11.16。

表 11.16 南峰地区南坡垂直自然带界限高度的区域变化

垂直自然带	垂直自然带的界限高度(海拔:米)	
	多雄曲河谷地区	加热萨东北侧河谷地区
山地寒温带暗针叶林山地灰化带	2 800—3 600	2 900—3 700
山地暖温带针阔混交林山地棕壤带	2 300—2 800	2 400—2 900
山地准亚热带半常绿阔叶林山地黄棕壤带	1 900—2 300	2 000—2 400
山地亚热带常绿阔叶林山地黄壤带	1 100—1 900	<2 000

由表 11.16 可见,多雄曲河谷地区垂直自然带界限高度较之加热萨地区略低,两者相差 100 米左右。产生这种区域差异的原因是多方面的,但主要可能是由于地貌特征的不同,而影响到这些地区湿润程度的差异。印度洋的暖湿气流沿狭窄而弯曲的雅鲁藏布江河谷而上,降水逐渐减少,尽管南峰的南坡同属于湿润地区,但降水在加热萨一带少于其下游的多雄曲河谷地区,湿润程度后者优于前者,因而垂直自然带的界限高度后者略低于前者。

南峰北坡的山地寒温带暗针叶林山地灰化土带,自格嘎沿雅鲁藏布江河谷向西至米林与朗县交接处的金东,降水逐渐减少,干燥度逐渐增大,其带的界限明显上移,带幅略有缩小(表 11.17)。

由表 11.17 可见,山地寒温带暗针叶林山地灰化土带自格嘎至金东,其下限由海拔 3 200 米上移至 3 500 米;上限由海拔 4 100 米上移至 4 300 米,上下限上移的幅度 200—300 米,带幅由 900 米缩小至 800 米左右,减少约 100 米。显然,山地暖温带针阔混交林山地棕壤带的上限(即上述垂直自然带的下限)由东至西上移了 200—300 米。亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土的下限(即上述垂直自然带的上限)自东向西上移约 200 米。

表 11.17 南峰北坡山地寒温带暗针叶林山地灰壤分布界限的变化

地 区	垂直自然带的界限(海拔:米)	
	下 限	上 限
格嘎	3 200	4 100
派	3 250	4 150
德阳	3 250	4 150
米林	3 400	4 200
金东	3 500	4 300

沿雅鲁藏布江河谷西行的暖湿气流,其降水虽然逐渐减少,但在前进的途中向西侧山地扩展时却可产生一定量的降水,且如前所述,来自印度洋的暖湿气流可翻越低矮的山口进入北坡,也使得山地的降水优于河谷地区。因此,随着高度的增加降水增多(这一点与南坡明显不同),同时气温降低,蒸发减少,湿度增大,从而使对湿润程度和温度有一定要求的垂直自然带的界限上移。

由于上述同样的原因,岗日嘎布山北坡的山地寒温带暗针叶林山地灰化土带的界限,自卡达沿帕隆藏布河谷经波密至然乌一线,由海拔 3 200—4 100 米左右上移至海拔 3 500—4 200 米(或 4 300 米)左右。

综上所述,山地垂直自然带的结构和性质,以及垂直自然带界限的区域差异与降水量的多寡和湿润程度的不同,其关系之密切不仅表现于温带干旱和半干旱的大陆性气候地区,而且在暖温带、亚热带等半湿润、乃至湿润的地区同样也有所反映。

## (二) 冰雪覆盖与山地垂直自然带的关系

以南峰为首的东喜马拉雅山脉和岗日嘎布山脉,平均海拔不及 6 000 米,由于构造及侵蚀、剥蚀等的差异,区内地形较喜马拉雅山脉的其它地区破碎,山体的大小与海拔的高低差异较大,山地的垭口均较低矮,大都在海拔 4 500 米以下。山体的大小与海拔的高低在很大程度上影响到冰雪覆盖面积的多寡。地形的特点和降水的多少在一定程度上影响到现代冰川的规模。永久冰雪的覆盖和现代冰川的发育大都集中在南峰峰体的周围地区,岗日嘎布山脉的部分地区及本区北部边缘的念青唐古拉山脉冰雪覆盖和现代冰川都很发育。其它地区山体较小,海拔较低,冰雪覆盖的面积不大,现代冰川不甚发育,且冰川的规模较小。这种冰雪覆盖的大小和现代冰川发育的规模对垂直自然带的结构和界限的区域差异产生了一定的影响。

例如,在东喜马拉雅山主脊线以北,南峰的西侧及拉木拉一带,山地寒温带暗针叶林山地灰化土带的上限在山体内部近冰雪覆盖地区仅达海拔 4 000 米左右;而前山及无冰雪覆盖的其它山区,在坡向和地形类似的情况下,其上限可达海拔 4 100—4 150 米左右。亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带的上限在山体内部近冰雪区达海拔 4 400 米左右,而前山及无冰雪覆盖的其它山区可达 4 500—4 600 米左右。

又如,在岗日嘎布山脉的随拉山口附近,东南侧山地冰雪覆盖,悬冰川发育,冰川末端达海拔 3 800 米左右,冰层厚估计约 200 余米。山地寒温带暗针叶林山地灰化土带的上



限,在坡向基本相近的条件下,于冰雪覆盖区附近为海拔 3 650 米左右,离冰雪及冰川覆盖区愈远,其上限愈偏高,离冰雪区约 1 公里处,上升至海拔 3 700 米左右;2 公里处,上限达海拔 3 800 米左右,至山前地区可达 3 900—4 000 米,局部地区达海拔 4 100 米左右。在这里亚高山灌丛景观仅以一种类型零星分布于山地寒温带暗针叶林山地灰化土带之上部,或点缀于高山寒带草甸高山草甸土带之中,尚未形成一个完整而独立的垂直自然带,使垂直自然带带谱的结构在局部地区产生某种变异。类似上述情况在其它山体仍可见到,不一一例举。

产生这种区域差异的原因是多方面的:山体高大,冰雪覆盖面积广,悬冰川、再生冰川及山谷冰川发育;日温差大,物理风化和寒冻风化作用强烈,永久冰雪带以下的高山寒冻风化作用带完整,岩屑锥、倒石堆、石流等相当发育,它们均可迫使某些垂直自然带的上限下移,甚至可使高山草甸带中断。但是,更为重要的原因乃是气温的差异。由于冰雪面和非冰雪面这种下垫面的性质不同,冰雪面对短波辐射反射的能力很大,反射率高达 0.7 以上,而对于长波辐射近于黑体,因此,冰雪面上的温度可下降到很低,而非冰雪面则相反。据研究,冬季雪被上的气温在其它相等的条件下要比在没有雪被的情况下低 6℃。夏季冰雪融化时,冰雪体吸收太阳辐射能,但需要 1.91 焦耳/克的融解热,太阳辐射与暖气流的热量一般大部分用冰雪的融解,其次是湍流交换失热和蒸发失热等,冰雪面上空气增温受阻,(么枕生,1959),因此,冰雪面上的气温较其它相等条件下的非冰雪覆盖地区要低,这是不难理解的。

在非冰雪覆盖区随着下垫面大量的热量输送大气,使气温升高,形成一个低气压区;而在邻近冰雪覆盖下垫面上空的冷高压遥相呼应,形成所谓“冰川风”这种局地环流。在这种局地环流的长期作用下,使邻近地区的气温较相等条件下的其它地区气温偏低,这是迫使对温度条件有一定要求的某些垂直自然带的界限下移,甚至使有些垂直自然带在此地区消失,而仅以类型的形式零星分布的重要原因。往往由于这种局地环流的作用与强烈寒冻风化作用而引起岩屑锥、倒石堆和石流的广泛发育叠加在一起,它们对邻近垂直自然带的作用和影响就更为明显。

### (三) 逆温对山地垂直自然带的影响

逆温是自然界中一种自然现象,尤其是在地貌条件对逆温的形成有利的地区更为明显。逆温对山地垂直自然带界限及自然景观形成的影响已引起我们的注目(彭补拙、倪绍祥,1980)。本地区的易贡盆地是一个较宽阔的河谷盆地,受北北西构造控制的易贡藏布流经其间,河谷最宽处可达 2—3 公里,两侧山地相对高度达 3 000—4 000 米左右,谷口狭窄,谷坡较陡峻,谷坡物质移动强烈,滑坡,泥石流等现象频繁发生,易贡错就是由于 70 年前山地冰川泥石流堵塞而成。这种地形条件较其它地区更有利于逆温的形成和发展。

夏季夜间因地面辐射冷却,冷空气层沿山地而下聚积于盆地底部,形成逆温,此现象在晴朗而平静之天气表现得更为明显。据本队大气物理组探空资料,易贡于 7—8 月份低层逆温可达 250—300 米,即逆温层的高度可达海拔 2 450—2 500 米左右,逆温层以下温度递增率为 0.59℃/100 米。易贡最热月(7 月)平均气温 18.1℃,按此估算逆温层最热月均温可超过 19℃左右。冬半年本地区处于高空西风的范围内,降水稀少而干燥,北北西的

盆地对高原冷空气的聚积作用较明显,加之,从西伯利亚西部侵入我国的寒潮,由于高原和北部山系的阻挡,势力减弱,但南峰北翼地区仍可受寒潮的影响,从而对冷空气的聚积作用更为明显,同时冬半年夜长,地面辐射更盛,使得逆温层厚而持久,估计逆温层的高度可达海拔 2 500—2 600 米左右。易贡最冷月(1 月)平均温 3.3℃,逆温层上部的最冷月的平均温约 4.5—5.0℃。

南峰地区山地准亚热带半常绿阔叶林山地黄棕壤带一般分布于海拔 1 900—2 300 米左右,通麦、加热萨一带可达海拔 2 400 米左右,最热月平均温约 17—19℃;最冷月平均温约 4—6℃。但是,易贡河谷盆地一带山地准亚热带半常绿阔叶林山地黄棕壤的上限可达海拔 2 500—2 600 米左右,较其它地区其上限上移了 100—200 米。若从所处的纬度来考虑,易贡盆地已属本研究区域的北缘,其自然带的界限理应偏低,但事实不然,这种矛盾的自然现象看来用逆温层的存在来解释是比较合理的。但是逆温层的存在并未产生垂直自然带的“倒置”现象。因为本地区山地亚热带常绿阔叶林山地黄壤带最热月平均温 19—22℃,最冷月平均温 6—10℃,而易贡盆地一带逆温层上部的气温接近或低于山地亚热带常绿阔叶林生长和山地黄壤形成发育所需要的温度条件,因此,不可能形成山地亚热带常绿阔叶林山地黄壤带,从而也不可能产生垂直自然带的倒置现象。

#### (四) 垂直自然带界限与坡向的关系

以主脊线为界的南峰南、北坡,它们之间垂直自然带的性质和结构及其景观特征,前文已详述。但是,南峰的南、北坡并非均匀坡面,构造上的差异和流水切割形成各种山体。南坡山体既有阳坡也有阴坡,北坡山地也亦如此。我们称南坡山地的阴坡为次阴坡,北坡山地的阳坡为次阳坡(彭补拙、倪绍祥,1980)。此外,还有其它的坡向。下面我们将进一步讨论南峰主脊线两翼山体由于坡向不同而引起垂直自然带界限的差异。

南峰南北翼山地的不同坡向引起垂直自然带界限的差异,详见表 11.18。

表 11.18 南峰地区垂直自然带界限与坡向的关系

地 区	垂直自然带	坡向	垂直自然带界限(海拔:米)	
			上 限	下 限
鲁霞附近雅鲁藏布 江河谷的西侧山地	山地暖温带针阔混 交林山地棕壤带	阴 坡	3 200	
		次阳坡	3 600	
		西南坡	3 500	
格嘎东南侧山地	山地寒温带针阔混 交林山地灰化土带	北 坡	4 100	3 200
		东 坡	4 100	3 200
		西 坡	4 150	3 300
		次阳坡	4 200	3 500
	亚高山寒带灌丛亚 高山灌丛草甸土带	北 坡	4 500	4 100
		东 坡	4 500	4 100
		西 坡	4 550	4 150
		次阳坡	4 600	4 200

续表 11.18

地区	垂直自然带	坡向	垂直自然带界限(海拔:米)	
			上限	下限
多雄曲海拔 3 000 米左右的 拿格附近	山地寒温带暗针 叶林山地漂灰土带	南 坡	3 600	
		西 坡	3 600	
		东 坡	3 600	
		次阳坡	3 500	

由表 11.18 可见,南峰地区,尤其是北翼半湿润地区的山地,坡向对垂直自然带界限的影响是很明显的,在其它条件基本相近的条件下,由于坡向不同,日照长短不一,温度和蒸发的差异明显,从而引起土壤湿度的显著差异,迫使对水热条件有一定要求垂直自然带的界限发生上移;同时,随着海拔高度的增加,坡向而引起水热条件的差异缩小,因而使垂直自然带界限及带幅的差距缩小。

## 二、景观类型的分布规律

南峰地区不仅南北坡及其各垂直自然带之间,由于季风环流、构造及海拔等的影响,各自具有明显的不同景观特点;而且在同一垂直自然带内,因坡向和中、小地貌及地面组成物质的差异,从而引起水、热条件的进一步差异,形成以植被为明显特征的景观类型,且具有一定的分布规律。

### (一) 坡向对景观类型分布的影响

坡向对景观类型分布的影响明显地表现在北坡的半湿润地区,以及南坡湿润区域的高海拔地区,在不同的垂直自然带内,因坡向而产生景观类型的变化如表 11.19 所示。

表 11.19 南峰地区垂直自然带内景观类型的变化与坡向的关系

地点	垂直自然带	坡向	景观类型
龙悲附近海 拔 2 700 米左右	山地暖温带针阔混 交林山地棕壤带	南 坡 (次阳坡)	高山栎、锦鸡儿、尖叶栒子灌丛
		西 坡	高山栎纯林
		北 坡	川滇高山栎、高山松针阔混交林
宜淀附近 海拔 3 100 米 左右	同 上	次阳坡	高山栎林
		北 坡	高山栎、高山松针阔混交林
		西南坡	高山栎、狼牙刺、锦鸡儿灌丛
		东北坡	高山栎、山杨等针阔混交林

续表 11.19

地点	垂直自然带	坡向	景观类型
鲁霞附近地区, 海拔 3 300—3 600 米左右	山地寒温带暗针叶林山地灰化土带	南坡与西南坡 东南坡 北坡	高山栎、山杨、小叶野丁香等 稀树灌丛 山杨林 林芝云杉暗针叶林
拿格以北海拔 3 800 米左右	亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带	南坡 西坡 次阴坡	多种杜鹃、岩须、高山垫状柳亚高山灌丛 多种杜鹃、垂头菊、珠芽蓼高山灌丛草甸 珠芽蓼、垂头菊、马先蒿、报春等高山草甸

由表 11.19 明显可见, 南峰北坡山地暖温带针阔混交林山地棕壤带内, 坡向对景观类型分布的影响尤为明显, 该带是北坡半湿润地区中向半干旱地区过渡的地区, 气候温暖, 不同坡向表现出的湿润程度差异更为明显, 因而次阳坡及偏南的其它坡向几乎均为各种稀树灌丛或灌丛景观, 表现出较为干旱的景观特征; 加之, 该带也是人们从事生活和生产活动的主要地区, 对自然景观的干扰和破坏也较为严重, 在一定程度上加强了坡向对景观类型分布的作用。

高海拔地区坡向对景观类型分布的影响, 在垂直自然带的过渡地段表现得更加明显, 如南坡拿格附近海拔 3 800 米左右的地区, 南坡为多种杜鹃、岩须及高山垫状柳亚高山灌丛景观; 而次阴坡则为珠芽蓼、垂头菊、马先蒿、报春等高山草甸景观; 前者具有亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带的景观特征, 后者则具有高山寒带草甸高山草甸土带的景观特征, 西坡则为变换的坡向, 具有两者的某些特点。次阴坡背阴, 气温偏低, 湿度增大, 从某种意义上来说, 坡向起到了海拔高度的作用, 从而发育为高山草甸景观。由此可见, 随着干燥程度的增强和海拔在一定范围内的增高, 坡向对景观类型的影响表现得更为明显。

## (二) 中、小地貌地面组成物质与景观类型的关系

地貌部位不同, 地面组成物质不一, 引起水热条件及土壤性态的局地差异, 因而产生垂直自然带内低级景观类型的变化。现将其变化情况列于表 11.20。

表 11.20 南峰地区中、小地貌及地面组成物质与景观类型的关系

垂直自然带	地点	中、小地貌部位及地面组成物质特征	景观类型
山地暖温带针阔混交林山地棕壤带	宜淀附近	冰碛阶地, 砂壤质的冰碛物组成, 夹大小不一的块砾	薄皮木、锦鸡儿、狼牙刺灌丛
		河漫滩及一级冰碛阶地, 多为细砂质, 夹多量石块砾石	杨、竹林
		冰碛阶地边缘的山麓处, 多为壤质, 夹少量石块	高山栎、山杨林

续表 11. 20

垂直自然带	地点	中、小地貌部位及地面组成物质特征	景观类型
山地暖温带针阔混交林山地棕壤带	派区附近 海拔 2 900 米左右	洪积冲积扇上部的 凸地多为粗砂、砾物质	高山栎、锦鸡儿、 尖叶栒子、木灌丛
		洪积、冲积扇上的凹地 壤质夹少量细砂砾	杨树林
	派区附近 海拔 3 100 米左右	侵蚀平台的顶部, 含有 大量石块的风积残积物	高山栎灌丛
		平台间谷地的上部	林芝云杉林
		平台间谷地的下部	高山栎、高山松、山杨混交林
山地寒温带暗针叶林 山地灰化土带	鲁霞附近 海拔 3 200 米左右	冰川侧积物组成的坡地, 砂质、夹大量冰碛块砾	高山松、小叶野丁香 等稀树灌丛
		山坡地, 地面组成物质较细	林芝云杉林
亚高山寒温带灌丛 亚高山灌丛草甸带	多雄拉山 口南海拔 3 700 米左右	冰碛平台的缓坡地, 组成 物质较好, 含多量石砾	杜鹃、高山柳、岩 须亚高山灌丛
		冰碛平台的微凹地, 水分条件较好	珠芽蓼、垂头菊、 岩白菜高山草甸景观

从上述例子说明, 自米林至宜定一段的雅鲁藏布江河谷, 河流阶地及洪积冲积扇广泛发育, 地貌部位及物质组成的性质不同, 形成的带内低级景观类型较为复杂。加之, 这里处于半湿润地区, 山地暖温带针阔混交林景观的结构一般较脆弱, 易向其它景观类型的方向演替, 尽管在人类活动干扰较严重的地区已向较干旱的景观类型方向发展, 但是大都仍具有该带景观的一些共同特点, 尤其是在土壤的性状方面还保存有山地棕壤的一些特征。而且其中有些景观类型, 如杨竹林景观等, 不是稳定的类型, 当水分条件改变或人类活动干扰减弱, 它将向该垂直自然带的景观方向发展。

山地垂直自然带之间的过渡地段, 景观类型的变化深受中小地貌及地面组成物质的影响, 过渡地段的景观随中、小地貌部位及地面组成物质的变化, 各自向有利的方向形成发展, 分别具有不同垂直自然带景观的主要特征。因而使山地垂直自然带的界线显得更为复杂, 往往具有犬牙交错的特点。

高海拔地区的垂直自然带中, 微地貌及地面组成物质的差异而引起景观类型的变化, 更主要的是由于水分条件的差异而引起的, 积水凹地的自然景观往往表现为非垂直自然带的景观特征, 因此划分垂直自然带时更应注意考虑这种非垂直地带性因素的影响。

### 第三节 南峰地区与我国同纬度山地垂直自然带比较 及其在全国自然区划中的地位

#### 一、南峰地区与我国同纬度地区山地垂直自然带比较

我国自然环境十分复杂,地区差别异常显著,自然景观发展历史不一。因此,在我国境内纬度基本近似,山地海拔高度大致相仿,山地垂直自然带谱有的相当复杂,有的却相对简单;垂直带谱中的同一自然带,其分布高度不尽相同,带幅也有宽有窄;景观成分,如代表性的生物种属在不同的山地有不同程度的变异,或为别的种属所代替;山地坡向不同,垂直分带状况也有明显的差别等等。

##### (一) 与南峰同纬度山地垂直自然带基本特征

我国热带亚热带山地分布很广,东部地区除台湾岛上的玉山外没有高山类型分布;西部地区高山类型广布。现以东部地区的黄岗山、梵净山,西部横断山区的贡嘎山、碧罗雪山和西藏南部的南峰、珠穆朗玛峰山地垂直自然带彼此加以比较:

黄岗山地处我国东南沿海闽赣边境上,为武夷山脉最高峰,海拔 2 158 米,相对高度约 1 800 米,呈北东-南西走向;梵净山地处贵州高原东北部边缘,为武陵山脉主峰,海拔 2 572 米,相对高度约 2 100 米,呈北东-南西走向。两者同属于我国亚热带东部湿润地区,受东亚季风环流控制,山地垂直自然带谱中的基带,同属中亚热带常绿阔叶林-红壤、黄壤地带。贡嘎山是横断山脉最高峰,海拔 7 556 米,东侧为大渡河深切,相对高度超过 6 500 米,西坡相对高度只有 4 000 多米。东坡受到东南季风影响,西坡受西南季风影响,东西坡基带差异非常显著。介于怒江和澜沧江之间的碧罗雪山,相对高度约 2 400 米,受西南季风影响。贡嘎山与碧罗雪山两者地貌与水热条件不同,垂直带谱差异鲜明。珠穆朗玛峰位于喜马拉雅山主脊中段,南坡相对高度巨大,受西南季风影响,降水丰富,垂直自然带谱与南峰类似,北坡相对高度只有 3 000 多米,降水稀少,垂直带谱不及南峰北坡复杂。

上述各山地所处纬度地带基本相似,由于山地各自所处的地理环境不同,山地垂直自然带谱彼此差异。兹列简表对比如表 11. 21。

##### (二) 南峰与我国同纬度山地垂直自然带比较

从纬度带来说,以上列举山地都处于我国低纬度,但各山地垂直自然带谱既有其共同的一般规律,也有各自的特殊表现,南峰尤为突出。若将上述各山地垂直自然带加以连接,可以得出我国境内热带、亚热带地区十分完整的山地垂直自然带谱模式,而从热带雨林、季雨林-砖红壤带,直到高山永久积雪冰川带依次都有出现;如果对各个山地加以比较,又可看出它们之间的明显差异。在分析比较南峰与我国同纬度大致相同的东西部山地垂直自然带差异时,注意以下几方面的因素是十分重要的。

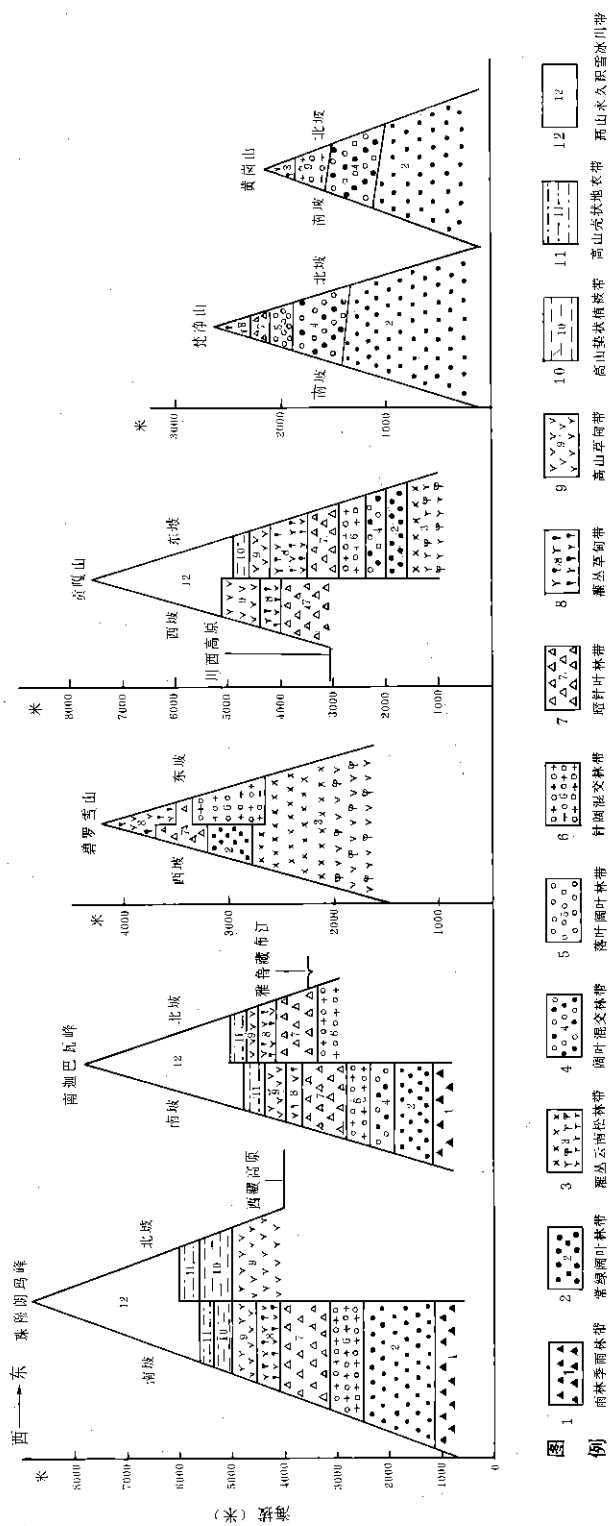


图 11.3 南迦巴瓦峰与同纬度几个山地位置略图

表 11.21 黄岗山、梵净山、贡嘎山、碧罗雪山、珠穆朗玛峰垂直自然带对比

黄岗山(117°E, 28°N) <sup>1)</sup>		梵净山(108°E, 29°N) <sup>2)</sup>		贡嘎山(101°E, 29°N) <sup>3)</sup>		碧罗雪山(98°30'E, 27°30'N) <sup>4)</sup>		珠穆朗玛峰(86°E, 28°N) <sup>5)</sup>		
垂直自然带	东南坡(米)	垂直自然带	东南坡(米)	垂直自然带	东坡(米)	垂直自然带	东坡(米)	垂直自然带	南坡(米)	北坡
亚热带常绿阔叶林-红壤黄壤带(基带)	上限 1 100	亚热带常绿阔叶林-红壤黄壤带(基带)	上限 1 400	干热河谷灌丛-云南松林-褐土、红壤带(基带)	1 000—1 600	干热河谷灌丛-云南松林-褐土、红壤带(基带)	1 600—2 700	准热带半常绿季雨林、雨林-砖红壤性黄壤带(基带)	1 200 以下	
山地暖温带常绿与落叶阔叶混交林-黄棕壤带	1 100—1 600	山地暖温带常绿与落叶阔叶混交林-黄棕壤带	1 400—1 900	山地亚热带常绿阔叶林-红壤、黄壤带	1 600—2 000	山地暖温带常绿阔叶林混交林-黄棕壤带	2 700—3 100	山地亚热带常绿阔叶林-黄壤带	1 200—2 500	
山地温带落叶阔叶林-针阔混交林-棕壤带	1 600—1 900	山地温带落叶阔叶林-棕壤带	1 900—2 240	山地暖温带常绿与落叶阔叶混交林-黄棕壤带	2 000—2 400	山地温带针阔混交林-暗棕壤带	3 100—3 250	山地暖温带针阔混交林-暗棕壤带	2 500—3 100	
山地温带高山松疏林-草甸-草甸土带	>1 900	山地寒温带暗针叶林-山地灰壤带	2 200—2 350	山地温带针阔混交林-暗棕壤带	2 400—2 800	山地寒温带暗针叶林-山地灰壤带	3 250—3 500	山地寒温带暗针叶林-山地灰壤带	3 100—4 100	
		山地寒温带杜鹃灌丛-草甸-草甸土带	>2 350	山地寒温带暗针叶林-山地灰壤带	2 800—3 500	高山寒带杜鹃灌丛-草甸-高山草甸土带	>3 500	高山寒带杜鹃灌丛-草甸-高山草甸土带	4 100—4 500	
				亚高山寒带杜鹃灌丛-草甸-草甸土带	3 500—4 200			高山寒带草甸-高山草甸土带	4 500—5 000	4 300—5 000 (基带)
				高山寒带草甸-高山草甸土带	4 200—4 600			高山寒带垫状植被-高山寒漠土带	5 000—5 400	5 000—5 600
				高山寒带垫状植被-高山寒漠土带	4 600—4 900			高山寒带垫状植被-高山寒漠土带	5 400—5 600	5 600—6 000
				高山永久积雪冰川带	>4 900			高山永久积雪冰川带	>5 600	>6 000

注: 1) 陈希荣等, 武夷山植被研究, 第一卷, 1984 年。  
 2) 贵州省科委、环保局, 梵净山综合考察报告, 1983 年。  
 3) 中国科学院成都地理研究所, 1982。  
 4) 中国植被编委会, 中国植被, 1982。  
 5) 侯学煜, 中国植被地理及优势植物化学成分, 1982。



首先,我国热带和亚热带地区,分别受到东亚季风和南亚热带季风环流的影响,它是我国热带亚热带内部划分东部和西部地区的主要依据。受东亚季风环流影响地区,冬季受强大的蒙古冷高压控制,由强冷空气和寒潮频繁活动带来的低温,导致我国东部广大地区冬季温度明显偏低;由于冷暖气团活动频繁交锋,年降水量虽相对集中在夏季,但并不存在明显的干季。受南亚热带季风环流影响的西部地区,冬半年绝大部分地区受到热带西南暖流控制,冬春多晴天,干而暖;夏半年,受到来自热带印度洋的西南季风影响,降水相当集中、丰沛,形成明显的雨季,即西部地区冬春温暖、年内干湿两季分明。东西部地区这种水热结合状况的差异,显然对山地垂直自然带的形成和发展有着极为重要的影响。

其次,我国境内地貌格局表明,东部地区除台湾岛外,没有巨大的隆起,山地以丘陵低山和中山为主,基带海拔低下,山地相对高度一般不大,坡向对山地垂直自然带的影响不占主要地位,而纬度因素起着支配作用,地形对山地垂直自然带谱的形成与发展干扰并不显著。西部地区与东部不同,西部地区既存在着巨大的隆起,又有强烈切割的高山深谷,地貌条件相当复杂,山地相对高度一般较大,基带海拔普遍偏高,山地两侧基带海拔高度不同现象也比较普遍,地形对水热状况起重新分配过程相当显著,纬度与地形同时起着重要作用,在某些局部地区,地形甚至起着主导作用。

第三,东部和西部地区古地理环境不同,自然景观发展历史不一。例如,东部地区地表形态,早在燕山运动已奠定了基础,西部青藏部分地区还没有脱离海洋环境;白垩纪到早第三纪,受到高气压笼罩,气候干热,但到上新世开始,季风环流因青藏隆起而增强,东部亚热带变得比较湿润,逐渐发展为常绿阔叶林景观;(侯学煜,1982)西部青藏自上新世开始大幅度抬升,高原主体向高寒环境演变,高原东侧和南侧向垂直系列发展。第三纪后期以来,地球上出现过几次冰期,研究资料表明,我国秦岭—淮河一线以南的东部地区海拔低于2500米山地很难产生冰川(侯学煜,1982);武夷山三港自然保护区和梵净山第三纪及其以前古遗留植物种多达数十种,由此可见,东部地区自然景观发展历史较早。青藏高原隆起,新构造运动影响,导致西部地区地表产生巨大高度,有些地区河流深切,造成巨大相对高度;青藏高原隆起,导致西南季风加强,并迫使西南气流由高原南侧绕过高原东侧循河谷北上,输送大量能量和水汽,以至自然景观在垂直方向上发生相应的急剧变化、景观成分发生某种程度的变异,或与目前自然环境显得不相适应。例如,南峰与珠峰森林带之上出现川滇高山栎常绿矮林等等,说明西部地区山地自然景观发展历史较晚。

上述三个基本因素,制约着我国低纬度地区东西部山地垂直自然带谱的形成与发展的基本方向。我们以上述三个基本因素为依据,分析、对比南峰与其同纬度山地垂直自然带主要差异如下:

(1)南峰与东部地区的梵净山、西部地区的贡嘎山,纬度基本相同,三者垂直自然带基带景观特征差异悬殊。如前所述,南峰地处雅鲁藏布江大拐弯处,其下游河谷成为暖湿的西南气流通道,向河谷山地输送丰富的能量和水汽,又有青藏高原和高山重重阻挡,这里冬季不受寒潮影响,热量比较充足,降水丰富,据推算,南峰南坡坡麓年平均气温大致与东部地区华南的广州(23°08'N)年平均气温(21.8℃)近似,故南峰南坡基带出现准热带或热带北缘季雨林景观。这在东部同纬度地区山地是没有的。贡嘎山东坡,大渡河深切,谷底焚风效应显著,且冬季不受寒潮影响,谷底形成干热环境,从而基带出现类似“萨王纳”景观和在干暖环境下形成的云南松林,这在东部山地区域未曾发现。东部地区的梵净山,冬

季受到冷空气与寒潮的侵袭,基带发育着典型的亚热带湿性常绿阔叶林景观。这在西部地区同纬度山地的基带内不可能出现。

(2)在山地垂直自然带谱中,西部地区暗针叶林带(山地南坡或西坡更为突出),往往成为带谱中的明显优势带,带幅宽达600—800米,有的甚至宽达1000米左右,以南峰与珠峰尤为明显,表征那里的山地以冷偏湿生境地段占有重要地位;贡嘎山、碧罗雪山的暗针叶林带西坡优于东坡,反映水热状况因坡向而有一定的差异。东部地区黄冈山和梵净山则以基带湿性常绿阔叶林为垂直带谱中的明显优势带,带幅宽达800米左右。而梵净山暗针叶林带,带幅宽只有150米上下,黄冈山则因山地高度不大而不出现此带。

(3)由于东西部山地水热状况不同,垂直带谱中相同自然带的分布高度存在着明显差别,一般规律是:西部高于东部。例如,山地亚热带常绿阔叶林带分布上限,东部的黄冈山1000—1100米,至梵净山升高为1300—1400米,到西部的贡嘎山则升高到2000米左右,而碧罗雪山西坡更升高到3200米上下。但南峰南坡因水热条件更为优越,尤其是水分条件更好,常绿阔叶林带分布上限则下降到1900米左右,而珠峰则升高到2500米。同样,山地寒温带暗针叶林带分布上限,东部梵净山为2350米,西部贡嘎山东坡为3500米,西坡高达4000米,而南峰南坡为3600—3700米,珠峰南坡高达4100米。

(4)从垂直带谱中的景观成分来看,东西部山地也存在着明显的地域差异。例如,常绿阔叶林带的代表成分,东部黄冈山、梵净山以大叶栲、南岭栲、米槎和棉槎等为代表,西部横断山以元江栲、滇青冈为代表,而南峰则以印度栲、瓦山栲为代表。东西部山地常见的为针叶林,东部以马尾松、黄山松为代表,西部则以云南松、高山松为代表。这既反映东西部山地水热状况的不同,也表征自然景观发展历史与古地理环境的地域差异。

(5)在垂直自然带谱结构中,东部地区山地在常绿阔叶林带或常绿与落叶阔叶混交林带之上,往往出现一个山地温带性落叶阔叶林带,其建群种以壳斗科落叶栎类为主,以山毛榉属为代表。西部山地垂直带谱中,一般不出现典型的落叶林带。这主要是由于东部山地冬春偏冷湿,西部山地冬春干而暖的缘故。东西部山地垂直带谱中都有针阔混交林带出现,如铁杉与阔叶林混交,但东部铁杉以南方铁杉等为主,阔叶林以山毛榉属的落叶成分为主;西部则以云南铁杉等为主,落叶阔叶林以多种槭树和桦为主,并含有较多的常绿阔叶成分。

(6)森林带以上,东部地区山地常有山地苔藓矮曲林出现,西部山地常有川滇高山栎矮林分布,尤以南峰和珠峰为典型,表征东西部自然景观发展历史差异;东部山地上部灌丛草甸带,其草甸成分以禾草和杂草类为主,西部山地上部高山草甸则以嵩草为主的草甸。这同样反映东西部山地水热状况的差异。

(7)南峰、珠峰与贡嘎山,同属极高山类型,但前两者南坡相对高差巨大,北坡高差较小;后者,东坡高差很大,西坡高差较小,加以各自所处的地理条件不一,以至三者垂直自然带谱同样存在着差异。例如,南峰北坡基带为针阔混交林带、珠峰北坡基带为山地草原带,而贡嘎山西坡基带划为暗针叶林带。这主要是三者基带海拔差异,又以珠峰为最高的缘故,同时,地形影响也不可忽视,例如珠峰对其北翼屏障作用比南峰对其北翼屏障作用要强得多,以致珠峰北翼更为干冷,而南峰北翼多少受到大拐弯水汽通道的有利地形影响,水热状况比珠峰北坡要好得多。

按全国山地等级划分标准,上述东部山地为中心类型,基带海拔虽较低下,但因山地

相对高度和绝对高度不大,所以山地垂直自然带谱远不如西部山地复杂多样,地形对山地垂直自然带谱形成的影响,也远不及西部区显著。

(8)南峰与珠峰,虽同属西部和同一山系,但两者自然地理条件不尽相同,山地垂直自然带同样存在着差异。例如,两者雪线高度南峰比珠峰要低 800 米左右;同一个自然带,其分布上限南峰比珠峰要低 300—500 米;南峰南坡常绿阔叶林带与针阔混交林带之间,有一个带幅宽约 500 米左右的常绿与落叶阔叶混交林带,而珠峰南坡则不明显。南峰南坡受雅鲁藏布江及其支流深切,山前受布拉马普特拉河切割,地面与河谷海拔低下,例如,墨脱附近雅鲁藏布江谷底海拔只有 600 米左右,至国境巴昔卡海拔只有 150 米上下。因此,在一定水平距离内,南峰相对高差大,有利于山地垂直带的建立与发展。南峰基带虽属准热带,如果往河谷下游更伸至国境,那里就是比较典型的热带河谷雨林、季雨林景观了。

综上所述,我国低纬度地区(热带亚热带)山地垂直自然带谱,东部与西部地区存在着明显的地域差异,呈现某种程度上的经向分布与变化规律。南峰因其所处的地理位置特殊、优越,在大气环流与有利的地形相配合下,成为我国同纬度地区山地垂直自然带谱最为完整的一座山地。南峰虽处于我国西部地区,却不像与之邻近的碧罗雪山、贡嘎山那样干湿季分明,谷底没有出现类似“萨王纳”景观。南峰所具有的某些特殊性,显然与南峰所处的地理位置、特定的地貌条件有重要联系,从而为南峰垂直自然带谱的形成和发展,提供了更为优越的自然地理环境。

## 二、南峰地区在全国自然区划中的地位

南峰地区在地域划分中究竟归属哪一个高级地域单位比较合理?中国科学院自然区划工作委员会(1959 年),将西藏东南角包括雅鲁藏布江大拐弯以下地区,划属亚热带湿润地区西部亚地区常绿阔叶林-红壤地带,并分属滇西山地和横断山脉两个三级地域单位。席承藩(1984 年)将南峰地区包括雅鲁藏布江下游地区直至国境,划属中亚热带云南高原-察隅区。张荣祖、郑度等(1972 年),将喜马拉雅山南翼划为雨林与山地常绿阔叶林地带(暖热、湿润),并将南峰地区划属本地带东喜马拉雅自然区的一部分。赵松乔(1983 年),将南峰地区划入青藏高寒青藏高原地区喜马拉雅山南翼热带亚热带山地森林区。任美镔(1980 年)将南峰地区划入青藏(自然)区藏南谷地与喜马拉雅高山亚区喜马拉雅山南翼小区。

从自然景观发展历史来看,青藏高原自然景观形成的历史较晚。它是自上新世以来受强烈构造运动而隆起上升的大高原,随着高原大幅度隆起,气候变冷,改变了隆起之前原来的热带亚热带景观。第四纪以来,喜马拉雅山与大高原强烈抬升,阻挡了低空南北气流交换,加强了高原内部干冷程度,从而形成大范围高寒草原、草甸和高寒荒漠景观。高原边缘,尤其是高原南侧和东南侧,随着大高原和边缘山地强烈抬升,地表风化侵蚀作用大大加强,流水的切割大大加剧,地表切割破碎、起伏明显增大。南迦巴瓦峰垂直自然景观带谱,正是伴随着喜马拉雅山与青藏大高原自上新世末以来强烈上升而形成和发展起来的,即南峰地区自然景观的形成与喜马拉雅山、青藏高原抬升有着发生上的联系。

如前所述,喜马拉雅山和青藏高原大幅度抬升,虽然增强了高原内部干冷程度,但却大大加强了喜马拉雅山南翼降水,而南峰所处的优越地理位置,获得更加丰富的能量和水

汽,以致在低海拔和河谷发育了准热带季雨林、山地亚热带常绿阔叶林、山地暖温带混交林、针阔混交林……,热带山地垂直自然景观系列,与大高原内部高寒草原草甸、高寒荒漠景观形成鲜明的对照。

青藏高原某些景观成分是在大高原隆起后才产生的,有些则是随着高原抬升而逐步产生变异而得以保存下来。例如,南峰山地森林带以上的川滇高山栎林的存在,人们认为正是随着山地急剧抬升而逐步矮化了的常绿林,而这类矮林原是在较低海拔、气候较目前为温暖的环境下形成的,只是随着高度增高,对新的生境的适应。由此可见,喜马拉雅山与大高原抬升,大高原向着高寒环境演变;喜马拉雅山南翼及边缘山地,则向着垂直系列方向迅速发展,从热带北缘季雨林发展为热带山地森林景观系列。

南峰地区自然景观,自然环境与横断山脉地区、云南(滇中)高原存在着明显的地域差异。

例如,云南高原、横断山区大部分地区有明显的较长干季,冬春干旱突出;南峰地区水热条件优越,河谷湿热或暖湿,没有明显的干季;南峰地区山地垂直自然带,南坡基带为准热带季雨林,这在横断山区和滇中高原包括河谷是没有的。例如,云南元江谷地、金沙江谷地、澜沧江和怒江中上游谷地,在干热环境下形成类似“萨王纳”景观,这在南峰地区谷地却没有出现。

综上所述,根据南峰地区自然景观发展历史、南峰地区山地垂直自然带基带属性、南峰地区与滇中高原、横断山区水热状况与自然景观地域差异,在地域划分中,我们认为南峰地区应归属青藏自然区,在青藏区内划为次一级地域单位。

### 三、南峰地区的综合自然区划

#### (一) 区划的原则、单位系统和方案

南峰地区的综合自然区划采用中国自然地理纲要中的区划原则,即综合性原则、发生性及地域完整性原则(任美鏊、杨纫章、包浩生,1979)。其方法采用全面综合分析各个自然地理因素的基础上,寻找地域分异的主导因素,以及各自然地理因素的分布特征的分析,找出作为区域的依据和指标。区划的等级单位系统采用:区、亚区、小区及亚小区等四级。亚小区的划分主要反映小区内部的区域差异,依小区内部区域分异规律进行划分。如东喜马拉雅小区内依雅鲁藏布江水汽通道而引起降水量的多寡,从而表现出湿润程度的差异,同时也主要是由于海拔的差异,而产生水热量状况的不同,可划分为湿热的墨脱亚小区、暖湿的加热萨-格当亚小区和易贡亚小区。东念青唐古拉南翼小区内亚小区的划分,除依上述原则外,还考虑到自然景观的形成演变地质历史,而将波密亚小区与其它亚小区区分开来。

据此,南峰地区可以划分为二个亚区,二个小区及七个亚小区。各级自然区域的命名一律以主要的地域或地区名称为主,其具体方案如图 11.4 所示。

关于本区喜马拉雅南翼亚区(I)与藏东川西山地高原亚区(Ⅱ)的界线,可根据南峰地区南北两侧自然景观的特征来确定,前者以准热带季雨林和亚热带常绿阔叶林景观为其主要特点;后者却以山地暗针叶林景观为其主要特征。正如前所述,南峰地区南侧山地

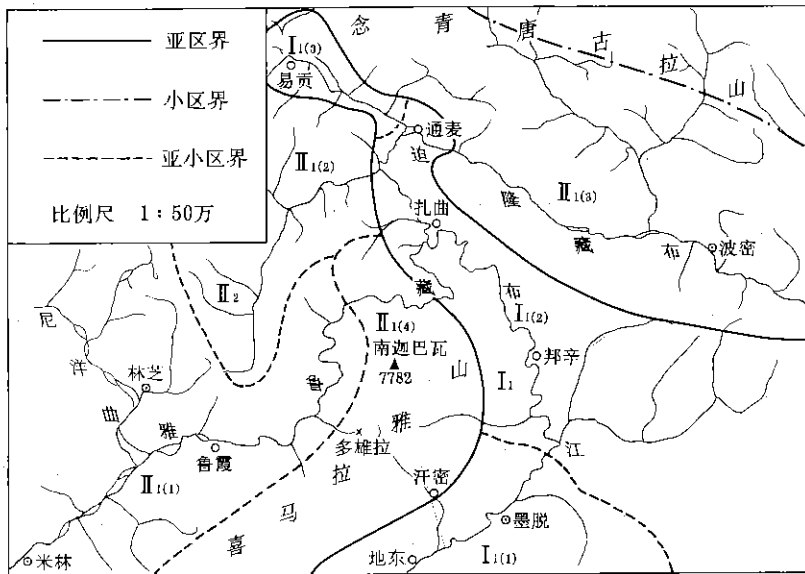


图 11.4 南迦巴瓦峰地区综合自然区划图

I. 喜马拉雅南翼亚区 I<sub>1</sub> 东喜马拉雅小区: I<sub>1(1)</sub> 墨脱亚小区; I<sub>1(2)</sub> 加热萨亚小区; I<sub>1(3)</sub> 易贡亚小区。II. 藏东川西山地高原亚区 II<sub>1</sub> 东念青唐古拉山南翼小区: II<sub>1(1)</sub> 米林-林芝亚小区; II<sub>1(2)</sub> 东久亚小区; II<sub>1(3)</sub> 波密亚小区; II<sub>1(4)</sub> 南峰亚小区

准亚热带半常绿阔叶林山地黄棕壤带以上的垂直自然带,其上的垂直自然带的景观特征,南北坡之间虽存在一定的差异,但随着海拔高度的增加,其差异逐渐缩小;同时动物区系逐渐以古北界的成分占优势;植物区系也逐渐以中国喜马拉雅的成分为主。总之,它具有更多的青藏高原自然景观的特征,因此,以山地准亚热带半常绿阔叶林的上限作为亚区的界线是比较妥当的。

各自然小区的自然地理特征,前文已详述,现将各亚小区的自然地理特征概述如下。

## (二) 各亚小区自然地理特征概述

### 1. 墨脱亚小区〔I<sub>1(1)</sub>〕

本区河谷深切,海拔高度大都在 1 100 米以下,河谷两侧交错分布 3—4 级阶地或平台。河谷出露岩层以片麻岩为主,节理发育,河谷走向基本上与地层走向一致。气候湿热,具有典型的准热带的气候特征,季雨林生长茂密,发展热带果木和经济作物具有较为充裕的水热条件。可耕地较少,以农业为主,作物种类较多,主要有水稻、旱稻、蔓稼、玉米、荞麦、谷子、芝麻等。

### 2. 加热萨亚小区〔I<sub>1(2)</sub>〕

本区主要包括雅鲁藏布江大拐弯峡谷及支流金珠曲两侧的广大地区。区内地形复杂,谷坡峻,雅鲁藏布江河谷两侧阶地和平台不甚发育,加热萨的居民点分散建立在阶地和平

台狭小的谷坡上。金珠曲自兴凯至下巴河谷较宽,阶地和洪冲积扇发育,一般可见3—4级阶地和平台,多为崩积,洪积和冲积的复合结构。雅鲁藏布江河道江面窄,落差大,水流湍急,最窄处不到80米,有的河段不到8公里,落差达350米,水力资源十分丰富。年降水量1500—2000毫米,年均温可达12—16℃,冬有降雪,霜冻现象不严重,属较典型的亚热带气候,常绿阔叶林生长茂盛,亚热带的野芭蕉、柑桔等广泛分布。经济作物有甘蔗、烟草等,农作物以玉米、蔓稼、水稻为主,可一年两熟。

### 3. 易贡亚小区〔I<sub>1(3)</sub>〕

易贡盆地是一个构造河谷盆地,谷底大都在海拔2100—2200米左右,谷宽可达2公里,两侧洪积、冲积扇发育,有些支谷为一典型的冰川槽谷,谷底较平坦,尚保存有较完整的冰碛垄和羊背石等冰碛和冰蚀地形。气候暖热湿润,年降水量可达1000毫米左右,盆地内逆温现象明显,尤以冬季更为显著。亚热带常绿阔叶林以青冈为主,林内藤本及附生植物较发育。山地黄棕壤发育较好,土层厚可达70—80厘米,层次较明显,表层有机质含量可达3%左右。局部地区有棕色石灰土的发育。河谷两侧多以辟为耕地,主要作物有小麦、玉米、青稞等,一年两熟。有些地方已垦为茶园,生长良好,已成为西藏主要的产茶地区之一。

### 4. 米林-林芝亚小区〔II<sub>1(1)</sub>〕

本区包括格嘎以上的雅鲁藏布江中游河谷,以及支流尼洋曲河谷和两侧山地的广大地区,河谷较为开阔,阶地、平台及洪冲积扇发育,山地的海拔高度一般在4500米以下。主要由各种类型的变质岩所组成,林芝附近亦有花岗岩体的出露。气候温暖较湿润,年降水量500—600毫米,山地的上部可达800—1000毫米,由东向西逐渐减少,干燥度>1.0。具有半湿润型的垂直自然带谱,对湿度有一定要求的若干垂直自然带的界限,由东向西逐渐升高。由高山松和川滇高山栎组成的山地针阔混交林,不少已遭破坏,演变成为各种类型的次生灌丛。本区的森林生长良好,覆盖率27.2%左右;森林资源丰富,是西藏重要的林区之一。这里也是西藏重要的农业区;主要作物有小麦、玉米、青稞等。果树主要有苹果、梨、野桃、核桃等,品质良好,产量较高,具有很大的生产潜力。

### 5. 东久亚小区〔II<sub>1(2)</sub>〕

帕隆藏布的支流东久河流经本区,拉月以上河谷宽广,明显可见2—3级阶地,海拔4000—4500米级的夷平面保存较完整,山坡较缓。气候温和半湿润,年降水量800—1000毫米左右,优于波密,河谷地区有霜冻。具有从山地准亚热带半常绿阔叶林山地黄棕壤带至高山寒冷草甸高山草甸土带的垂直自然带谱。种植的作物主要有冬小麦、青稞、玉米等,暖温带的苹果、梨等果树生长良好,拉月一带的亚热带地区已种植茶树。牧业生产有一定的发展,是林芝县的主要牧业区之一。

### 6. 波密亚小区〔II<sub>1(3)</sub>〕

本区包括帕隆藏布河谷海拔2400米左右以上,岗日嘎布山脉与东念青唐古拉山脉之间的广大地区。帕隆藏布及其支流波堆藏布贯穿本区,河谷较宽坦,一般可见二级阶地,

洪冲积扇广泛分布,冰川泥石流较发育,是西藏最主要的泥石流爆发区,爆发时常毁坏村庄和农田,阻断交通,堵塞河道。现代冰川相当发育,其冰川前端可伸入到山地森林带之中,古冰川遗迹分布也相当广泛。气候温和半湿润,年降水量 800 毫米左右,高山地区的年降水量可超过 1 000 毫米,局部地区达 1 500 毫米以上。山地垂直自然带属半湿润型,自山地暖温带针阔混交林山地棕壤带至高山冰雪带组成较为完整的垂直自然带谱。以农业为主,作物主要有冬小麦、青稞、豌豆、油菜、玉米等。牧业生产有一定的发展,河谷地区草场缺乏,畜牧业主要集中于松宗多吉及玉仁等地,高山草场资源较丰富。森林资源丰富,覆被率达 27.5%,波密县森林总蓄积量可达 9 251 万立方米,是西藏重要的林区之一。

#### 7. 南峰亚小区〔Ⅱ<sub>1(4)</sub>〕

主要包括海拔 4 500 米以上的高山地区,境内 7 000 米以上的高峰除南峰外,还有加拉白垒(海拔 7 151 米),地形崎岖,山坡陡峻,现代冰川发育,以这个峰为中心呈掌状分布。冰雪覆盖面积虽较小,但雪崩作用强烈,冰川以冰雪补给为主,冰川规模不大。寒冻风化作用十分强烈。年降水量约在 1 500 毫米以上,最热月平均气温低于 5℃。裸岩地区生长着各种冷生壳状地衣,发育着高山寒漠土。岩石缝隙间,土层较厚,生长着稀疏的高山草甸和垫状植被。极少受人类活动的影响。

## 第十二章 环境背景值\*

随着工农业生产及现代科学技术的发展,对自然环境的影响正日益引起人们的广泛重视。因此,人们不仅重视污染较严重地区的环境问题,而且重视那些几乎未受污染、生态系统尚未遭到破坏的洁净地区,并进行环境背景值的调查研究。所谓“环境背景值”是指在相对不受污染的情况下,各环境诸因素,如大气、水体、土壤、动植物和人体组织等原有的化学组成或化学元素的平均含量值,是环境科学的一项基础性工作。它对污染物在环境中迁移、转化规律的研究,环境标准的制定和环境质量的评价及预测等提供依据,同时对地方病的环境病因的研究和防治,国民经济规划和工业、城市合理布局,进一步研究现代环境的变迁等都有重要参考价值。

### 第一节 自然环境状况及其采样方法

南峰位于雅鲁藏布江下游大拐弯的中心部位。这里环境独特,自然资源丰富,原始自然状态保持完好,是研究环境背景值的理想之地。

#### 一、主要采样地点的环境状况

南峰地区气候潮湿,雨量充沛,这里具有丰富的植被类型和典型的垂直带谱,植被覆盖率达90%以上。其出露岩石主要为前寒武纪的变质岩,砂线石片麻岩以及石榴子石、黑云母混合片麻岩等。这里除以硫化氢形式出现的气泉以外,其它未发现有矿体出露。

根据一般布点原则,在本区合理布置采样点(图12.1),采集有代表性的环境样本,以反映该区环境背景值状况,需对本区自然状况进行考察。现将各主要采样点状况简述如下:

2号营地:位于南峰西南侧海拔5000米的古冰雪台上,从自然地理分带上属高山寒冻风化壳状地衣高山寒漠土带。局部地方覆盖着以矮嵩草为主的高山草甸植被,动物活动很少。除冰川外,裸露的岩石为石榴子石片麻岩、斜长角闪岩、角闪变砾岩等,土壤发育甚差。

大本营:位于南峰西南侧海拔3600米,由古冰川形成砾石堆的冰积扇上。在垂直自然带上,该地区属山地寒温带暗针叶林山地灰化土带。原始森林内发育着大型真菌及蕨类植物,树上广泛寄生着松萝等。动物出没频繁,是熊猫、獐子等动物栖息之地。马兰鸡、红

---

\* 课题指导人:刘静宜。参加本课题分析工作的还有:金龙珠、张力、陈乐恬、徐福正、韩恒斌、金秀兰、李丛、戴昭华、王庆广、李民、庞叔薇、葛继荣、孙安强等。同时承蒙中国登山队[宋志义]为提供高海拔冰雪样品,在此谨致以谢意。



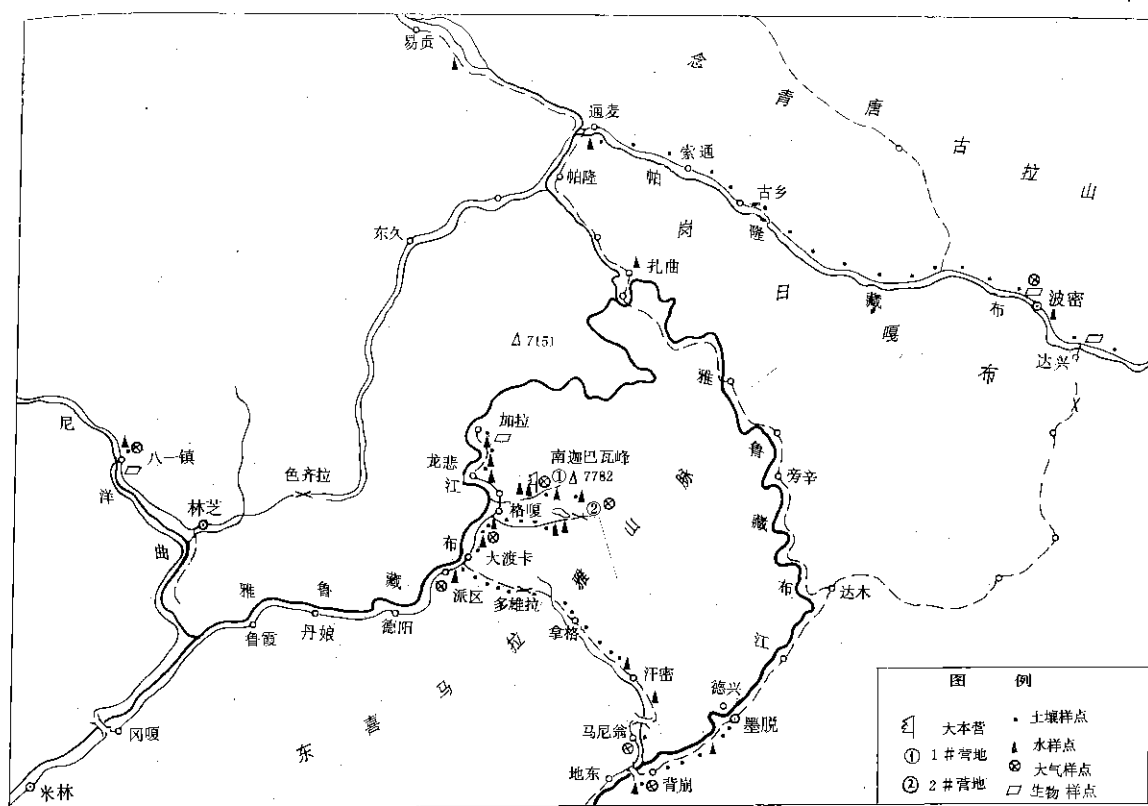


图 12.1 南迦巴瓦峰地区环境样品采样点示意图

尾鸡等任意飞翔,该点附近有一居民村,约四户人,生活及生产方式仍保持较原始的农牧民生活状况。交通闭塞。在村旁有一发源于主峰的溪流,并有一硫化氢气泉出露。

大渡卡:该村为派区的乡所在地,海拔 2 900 米,距主峰约 10 公里,在雅鲁藏布江河谷阶地上,其周围有 4 个自然村,约有 400 居民,当地以耕作为主,并有少量牧业,燃料为木柴。该点位于山地暖温带针阔叶混交林山地棕壤带,气候温和,雨量充沛。

派区:这里为区委所在地,距主峰约 10 公里,在海拔 3 000 米雅鲁藏布江阶地上,周围有 3 个自然村,约 1 000 居民,已有民用公路,并有少量汽车和拖拉机,农牧业仍是原始的生产方式,燃料为木柴,在村旁有一小型水力发电站,并有小型内燃机、发电机等。

背崩:是墨脱县的区委所在地,距主峰约 50 公里,全县人口约 700,位于喜马拉雅山脉的南麓海拔 600 米的准热带地区,该区由于受喜马拉雅山脉的阻隔,完全受西南季风的控制。因此,热带植物发育旺盛,形成茂密的原始森林,雨量充沛(年降雨量为 2 500 毫米),加之交通不便,使其成为一个独特的自然地理单元和与内地基本形成封闭状态的生活环境。而生活方式及生产资料仍保持原始状态,是一个远离工业污染地区,自然状态保持完好,风景秀丽的天然王国,是研究环境背景值的理想场所。

波密:位于主峰东北方向约 80 公里的帕隆藏布阶地上,在海拔 2 900 米的川藏公路沿线,交通流量较大,人为活动较多,雨量充沛,植被发育良好。并有汽车修理等企业事业单位,人口约 3 000 人;农业已有部分使用拖拉机等机械耕作,林业已有少量喷洒农药及

施用化肥等现象。

八一镇：是林芝县的一个镇，也是西藏东南部著名的新兴工业城镇。它位于主峰西南约100公里处的尼洋河畔，海拔3000米，是西藏与内地联系的交通要道。这里拥有15000多人，有大小厂矿如毛纺厂、火柴厂、汽车修理厂、火力发电厂等企事业单位。居民以烧柴为主，但也有少量煤油炉。农牧林业已有部分使用机械耕种，并有极少量的农药和化肥的使用现象。

## 二、调查研究的内容和方法

各种环境要素都是我们调查研究的对象，如：水质、土壤、大气、动物、植物等，而这些环境要素中在相对没受到外来污染的情况下，化学元素的自然含量，便是所要研究的内容。其中包括背景值的判断、检验、影响背景值的各种因素的分析，以及与背景值有关的采样、质量控制、数据分析处理等。在野外应采得有代表性的样品和避免外来污染。

在环境背景值的调查研究中注意了如下问题：远离已知的污染源，注意选择好样品的典型性和代表性；防止采样工具和容器污染样品；所取的样品都密封好，防止样品损失和沾污；调查地区的自然因素和工农业的生产情况；记录采样点的特征与样品的有关资料。

## 三、样品的采集与分析

### （一）冰雪水质样品

#### 1. 容器的前处理

容器的处理是保证所取样品清洁度的关键，根据不同的分析项目，其容器的预处理方法如下：

（1）重金属项目。将100毫升的塑料瓶先用自来水冲洗，后用1%的“海鸥”洗涤剂的温水浸泡1—2小时，用自来水冲净，再用1:1的硝酸（分析纯）浸泡3—5天，然后依次用自来水、去离子水冲洗晾干。加入高纯硝酸0.5毫升（使所取水样的pH保持2，以免重金属离子被瓶壁所吸附）备用。

（2）阴离子。将100毫升塑料瓶用1:1盐酸浸泡5小时，然后用自来水冲洗，去离子水再冲洗，晾干后加入1粒固体NaOH备用（使取的水样pH保持在11—12）。

#### 2. 样点布设

南峰地区除雅鲁藏布江绕南峰而过以外，其它流入该区的还有帕隆藏布、尼洋曲等主要河流，还有一些发源于主峰冰雪消融的主要溪流和高山湖泊等，水系十分发育。根据该区自然地理条件，布点时应根据水平与垂直布点两个原则。水平，即江河或湖泊；垂直，即不同高度的冰山上的积雪与所降的新雪，以及冰川溪流注入江河之前的不同地段等，以便进行比较对照。

在南峰地区，垂直方向为从海拔2900米的雅鲁藏布江为起点，向上分别为3600，4300，5000，6000，7000米直至顶峰。从水平方向上，沿雅鲁藏布江在该区一段，几乎凡

是有较大冰川,溪流进入江内的汇口处及该溪流即将入口处都进行了布点取样。同时在波密县、八一镇以及拉萨河等河流也布了点,以作对照。

### 3. 取样时间

水质为6—8月份,为冰雪消融的洪水季节,冰、雪为3—4月份。

### 4. 样品采集

水样按常规方法,用聚乙烯塑料瓶采集,然后密封保存。雪样用塑料袋采集,待雪融化后,转移到聚乙烯塑料瓶内密封保存。

## (二) 土壤样品

### 1. 布点方法

在全面了解污染源、污染方式、矿化点以及历史和现状的基础上,根据土壤类型以及成土母质、地形、天然植被以及农作物等情况布置采样点。

南峰地区的土壤在地理分布上受着生物气候带和山脉大幅度上升的双重因素的影响,而有其自己的特点,同时它又与岩性有关,为了尽可能的全面反映本区土壤状况,我们采用以下布点设想。

本区采用直线和网格布点相结合。在水平方向如有条件的地方并采用网格布点法,力求所采集的样品能代表主要的土壤类型和反映地理特征,以控制整个地区。同时在典型的山峰或垂直自然带等地进行直线法加以控制,以说明地球化学的特异性。此外,应根据土壤的发生层分层采集。

在本区因受山脉的阻隔以及人力、物力条件的限制,故采用了南北方向的两条线(派区—加拉与背崩—墨脱);东西为三条线[派区—背崩(全线)和格嘎—那木拉(半线)以及接地当嘎—南峰2号营地(半线)]。在东西的两条线里,一条起点为海拔3000米的河谷阶地,到海拔4300米的多雄拉山口,再降到海拔600米的准热带地区的背崩;在接地当嘎到2号营地其落差达2000米。这样,就可经过从海拔3000米至3500米的山地亚热带常绿阔叶林带,到海拔3500米至4000米的山地暖温带针阔叶混交林,到海拔4000米至4300米的山地寒温带暗针叶林带,到海拔4300米至4500米的亚高山寒带灌丛亚高山灌丛草甸土带,到海拔4500米至5000米的高山寒冻风化壳状地衣高山寒漠土带。因此,它们在不同温度、水分等自然条件影响下,受着不同成土母质的控制,所形成的土壤有很大的差异性。同时在水平方向上也要兼顾到母岩发育的各种类型的土壤。因为地表的地质形成物很大程度上决定了土壤的化学成分。

### 2. 取样方法

为了完整地反映化学元素在剖面中的分布特点,应取连续采样法,一般表层上取0—20厘米,心土和底土分别为20—40,40—100厘米进行分析采样(根据土壤层次及地质条件而定)。划分层次,拍下剖面照片,并进行描述,每层取土约500克。

### (三) 大气样品

#### 1. 布点

在本区从海拔 3 000 米的大渡口,分别向上在海拔 3 600 米的大本营和海拔 5 000 米的 2 号营地进行了布点观测。同时在水平方向上的派区、八一镇、波密以及墨脱县的背崩等四点进行布点观测。并选择了拉萨为对照点,来研究该地区各点的渐变关系,反映南峰地区大气背景状况。

#### 2. 大气颗粒物的采集

用中国科学院环境化学研究所研制单孔多级撞击式采样器采样,其各级粒径大小如下:

<0.7 微米,0.7—1.2 微米,1.2—2.3 微米,2.3—3.5 微米,  
3.5—5.0 微米,5.0—7.7 微米,7.7—11 微米,>11 微米。

采样器内 1—7 级用 8 微米厚的涤纶膜(原东德),并涂一层极薄的凡士林。第 8 级用 0.4 微米微孔滤膜(北京化工学院)。采样头接在大气取样器上(上海宏伟仪器厂出品),流量为 2 升/分,每次采样 10 小时以上(采样头离地 1.5 米)。

#### 3. 大气中汞的采集

用上海宏伟仪器厂出品的 GS-Ⅱ 便携式交直流两用大气采样器,并采用银丝吸收管直接串入上述仪器进行搜集,进行 4 小时间断式或 24 小时连续式采样。

### (四) 生物样品

生物样品能直接反映人类饮食、地方矿物质、中毒等环境的变化。如大型真菌——蘑菇等是自然环境变化较灵敏的指示性植物。

随着工农业的发展,林业、农业广泛使用农药,进入环境后的农药可随径流进入水体,随大气飘移至世界各地,并随雨雪返回大地。因此,在从未有人居住的南极洲及格陵兰岛等地检出有机氯农药。况且在环境中降解后,金属元素以无机或有机形态遗留在环境介质中或作物体内,通过植物富集和食物链(网)摄入动物体内(或直接被人体吸收),而作为动物性食品中所含农药再通过食物链或直接从水体中被人体摄入,富集于肝、肾、心脏等组织中蓄积。特别是残留农药能够通过母乳排出,或转入卵蛋等组织,影响子代。因此,动物的内脏和卵蛋便成为我们研究有机物农药的迁移、转化、富集规律的标本。

毛发,它具有采集容易,保存方便等特点,是反映人体健康、营养、中毒和环境对它影响的一种指示物。

在南峰地区,选取了猪、牛、鸡(卵)、羊等家禽杀后的心、肝、肺等内脏装入标本瓶内,并加入 10% 的甲醛浸泡,记录产地、属性、海拔、重量等,同时对原体及标本拍好照片。另外选择了雅鲁藏布江的鱼、野鸡、山鹊、獐子等野生动物及内脏作标本。在植物方面,采集杜鹃花、核桃、青稞等标本。此外,还采集了牛毛、人发样品。

## (五) 样品的分析

现将每种分析方法所做项目列于表 12.1。

表 12.1 分析方法一览表

方法	水	土	气	生物
石墨炉原子吸收	Cd, Cr, Cu, Pb	Cd, Pb		
电感耦合等离子体发射光谱	Mn, Sr, Zn, Al Fe, B, Ba	Cr, Ca, Co, Cu, K, Mg, Mn, Zn, Al, Fe, Na, Ni, Rb, V, Sr, Ba, Mo, Ga, Sc	Si, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Cu, Zn, Pb, As, Se, Ni, Br, Cr	Ca, Cu, K, Mg, Mn, Pb, Zn, Fe, Mo, Na, Ni, As, Cr, Sr
离子色谱	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>			
无机气相色谱	Be, Se			
微波等离子体发射光谱	Hg			
X-射线荧光光谱		Fe, Zr, Y		
原子荧光		As		
荧光光度法		Se, Hg		
冷原子吸收			Hg	
质子激发 X-射线			Si, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb, As, Se, Ni, Br, V, Cr	
气相色谱				DDT, 666, PCB

## 第二节 水环境背景值

为了解南峰地区的环境质量状况,采集了冰、雪和水样品,测定了水样中常见阴、阳离子及痕量元素含量,考察了水的质量,调查研究了水的元素环境背景值。

### 一、雪、水样中常见离子含量

南峰地区雪、水体中常见阴、阳离子测定结果列于表 12.2。

由表 12.2 可见,一般常见阴、阳离子含量较低,其中 Ca<sup>2+</sup> 含量为 0.90—50.2 毫克/升, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 为 12.0—66.0 毫克/升, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 为 0.50—90.0 毫克/升之间, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 含量低于 10×10<sup>-6</sup>。由于本区地质构造复杂,各天然水中离子的化学组成也显示出一定的差异性。从整体上看,各天然水体中离子的含量仍有一定的分布趋势。在溪水中,阴、阳离子

表 12.2 南峰地区雪、水中常见阴、阳离子含量

编 号	采样地点	采样时间 (年、月)	样品 类型	海拔 (米)	一 般 性 质				阴离子(毫克/升)				阳离子(毫克/升)			
					矿化度 (毫克/升)	碱度 (毫克当量/升)	硬度 (德国度)	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
6	加拉村北5公里	1983.6	河水	2850	200	0.75	7.48	6.7	46.0	90.0	0.40	1.67	5.20	6.60	44.6	5.51
7	加拉村北4公里		溪水	2850	81.8	0.67	2.32	7.3	41.0	6.60	—	1.63	4.60	2.70	14.2	1.40
8	直白村旁		溪水	2900	198	0.95	7.90	7.5	58.0	68.0	0.33	0.70	8.60	8.10	50.2	3.90
9	格嘎村路口		溪水	2900	119.1	0.72	4.90	7.7	44.0	31.5	0.16	2.10	4.40	2.70	33.0	1.25
10	格嘎村旁		河水	2900	65.9	0.52	2.38	7.6	32.0	7.20	—	1.65	3.80	5.1	14.6	1.50
12	那木拉措		湖水	4200	38.1	0.31	1.09	7.6	19.0	6.00	—	0.27	1.20	4.0	7.30	0.40
13	那木拉		雪	4250	71.4	0.62	2.30	7.6	38.0	6.50	0.16	2.40	5.10	3.5	14.2	1.60
14	派区区委		溪水	3650	23.5	0.15	0.36	7.4	9.00	2.70	—	0.45	1.70	6.60	2.10	0.45
15	派区区委	1983.7	河水	3600	63.8	0.51	1.99	7.2	31.0	11.5	0.17	0.10	3.40	—	15.9	1.70
16	派区转运站		溪水	3500	58.4	0.46	1.96	7.4	28.0	9.90	—	0.60	1.70	4.70	12.5	1.00
17	大渡卡三队		溪水	3000	24.2	0.21	0.42	7.2	13.0	1.00	0.35	1.15	2.80	2.90	2.70	0.25
18	墨脱与雅鲁间		溪水	700	39.9	0.38	1.09	7.1	23.0	2.00	0.45	0.30	3.00	3.40	7.10	0.60
19	雅鲁南10公里		溪水	700	97.3	0.67	1.48	7.6	41.0	23.7	0.16	0.65	14.0	7.40	9.70	0.65
20	青崩北5公里		溪水	700	24.3	0.25	0.53	7.6	15.0	1.00	0.12	0.40	1.30	3.00	3.00	0.50
22	背崩解放桥上游		溪水	600	41.8	0.36	0.81	7.4	22.0	6.80	—	1.10	2.00	4.30	5.00	0.60
25	波密大桥	1983.8	河水	3000	69.0	0.70	1.93	7.5	43.0	6.30	—	0.60	2.70	3.20	11.9	1.25
26	易贡措		湖水	3000	145.8	1.08	4.51	7.4	66.0	11.2	0.40	2.10	8.40	1.30	26.4	3.60
27	雅鲁藏布江大拐弯		河水	2900	108.3	1.00	3.75	7.5	61.0	8.40	0.12	1.35	5.65	6.30	23.4	2.10
30	1号营地	1984.8	雪	3600	24.3	0.20	0.11	7.5	12.0	0.67	0.73	1.27	4.00	4.60	0.90	0.10
31	2号营地	1984.4	雪	5000						0.50	0.37	0.31			1.00	0.25

的含量顺序为  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^-$ ; 河水中为  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^-$ ; 湖水中为  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{NO}_3^-$ 。雪水中主要离子的含量顺序与河、溪水基本相同, 这反映本区河、溪水与冰、雪融水补给有密切关系。各天然水体中  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  含量均较高。

南峰地区水体的 pH 值一般为 6.7—7.7, 碱度为 0.2—1.08 毫克当量/升, 水的矿化度多数在 25—100 毫克/升。天然水体的硬度较低, 通常在 0.1—7.9 之间, 变化幅度较大, 大部分试样的硬度低于 4, 一般为  $\text{HCO}_3^-$ -Ca(I) 型水, 属极软水。水体的硬度基本上随矿化度增加而增加。  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{Ca}^{2+}$  含量与矿化度的增加有较显著的相关性, 其回归方程分别为:

$$[\text{矿化度}](\text{毫克/升}) = 2.10[\text{HCO}_3^-](\text{毫克/升}) - 1.91 (n=17, R=0.95),$$

$$[\text{矿化度}](\text{毫克/升}) = 3.68[\text{Ca}^{2+}](\text{毫克/升}) + 20.36 (n=17, R=0.91)。$$

而  $\text{SO}_4^{2-}$  的含量与矿化度的关系不明显。

南峰地区溪水、河水的水质同其它地区的水质比较列于表 12.3。由于降水量丰沛, 化学淋溶较强, 水体中的含盐量相对较低, 总碱度低于 1 毫克当量/升, 硬度约为 2—3 左右。该区水体中的一般阴、阳离子 ( $\text{SO}_4^{2-}$  除外), 总碱度和硬度均比湘江、北京怀柔水库的数值低。  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  浓度比世界河水的平均水平低, 其余阴、阳离子浓度基本上相近。南峰地区的水体为优质淡水, 它们的水质状况可说明这地区水的自然背景特征。

表 12.3 南峰地区和其它地区水质对比表

地区	含量(毫克/升)								总碱度 (毫克当量/升)	硬度 (德国度)
	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$		
南峰溪水	29.4	15.3	0.26	0.91	4.41	4.58	14.0	1.06	0.48	2.18
南峰河水	38.2	24.7	0.23	1.07	4.15	5.30	22.1	2.41	0.70	3.51
湘 江	81.0	7.40	1.30	3.70	16.0	6.00	40.6	3.5	6.47	7.4
北京怀柔水库	97.0	8.00	0.20	3.10	48.5	8.50	26.4	10.9	6.19	8.1
梵净山河水	37.14	—	—	—	1.05	0.35	8.11	2.65	1.71	1.63
世界河水	58.4	11.2	1.0	7.8	6.3	2.3	15.0	4.1	—	—

## 二、土壤中阴、阳离子含量

由于南峰地区的河流多是水流湍急, 因此, 蒸发浓缩作用微弱。另外, 在湿润的南峰地区广泛分布着发育在片麻岩上的土壤, 其淋溶作用强烈, 土体中可溶盐贫乏, 多显酸性反应。为了便于对天然水中一些阴、阳离子的含量进行分析, 测定了南峰地区在不同海拔发育于片麻岩母质上的不同类型土壤中部分阴离子, 结果列于表 12.4。除此, 南峰地区丰沛的水源补给所形成较大径流的冲稀释作用也是该区天然水阴离子较低的原因之一。

表 12.4 南峰地区土壤中主要阴离子含量

土壤类型	海拔 (米)	剖面深度 (厘米)	pH	阴离子含量(微克/克)			植被情况
				SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	
亚高山灌丛草甸土	4 400	0—10	4.35	110	510	<0.5	冷杉、杜鹃林 并有苔鲜地衣等
		10—30	4.32	55	150	—	
山地耕作棕壤	3 600	0—15	4.95	60	90	<0.5	河谷阶地,青裸地
		30—50	5.40	30	<5	—	
山地灰化土	3 550	0—15	4.34	60	550	—	针叶林
		15—40	4.25	40	170	—	
山地棕壤	3 300	0—15	4.18	60	10	<0.5	草地
		30—50	4.46	30	<5	—	
山地棕壤	3 000	0—20	4.74	100	30	—	青冈树等
		20—40	4.98	130	<5	—	
山地棕壤	2 900	0—15	5.44	100	40	—	原始森林
		15—50	5.16	30	15	—	
山地耕作砖 红壤性黄壤	600	0—15	4.40	20	80	0.8	耕作地
		15—30	0.96	60	—	—	

从阳离子分布看, Ca<sup>2+</sup> 的离子含量较高。在多数样品中, 阳离子含量顺序为 Ca<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup>。大部分样品的阳离子含量低于世界河水及国内一些主要河流、湖泊的含量。

### 三、其它痕量阴、阳离子的分布

测定了该区天然水体中 17 个样品中痕量的 F<sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 其结果列于表 12.5。

表 12.5 南峰地区天然水中痕量阴、阳离子含量(单位:毫克/升)

形 态 离 子	江 水		溪 水		雪 水		湖 水	
	样品数	平均值	样品数	平均值	样品数	平均值	样品数	平均值
F <sup>-</sup>	4	0.16	9	0.16	3	0.09	1	0.03
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4	未检出	9	<0.30	3	<0.30	1	<0.30
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4	1.9	9	4.4	2	4.3	1	4.5

从表 12.5 可见, 南峰地区自然水中氟离子的含量偏低(国家饮用水标准: F<sup>-</sup> 为 0.5—1.0 毫克/升), 若长期饮用此水可能造成人体 F<sup>-</sup> 缺乏症状。



#### 四、水体的元素背景值

为考察水体的痕量元素的含量水平,测定了冰、雪、水样中的 Al, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sr 和 Zn 等元素的含量,结果列于表 12.6。

冰水样中:  $\text{Zn}(126) > \text{Fe}(49) > \text{B}(45) > \text{Ni}(20) > \text{Mn}(5.0) > \text{Pb}(1.9) > \text{Cr}(1.7) > \text{Cu}(0.57) > \text{Se}(0.17) > \text{Cd}(0.04) > \text{Hg, Be}(<0.02)$ ;

雪水中:  $\text{Al}(996) > \text{Fe}(786) > \text{Zn}(69.3) > \text{Mn}(25.8) > \text{Ni}(17.3) > \text{B}(12.6) > \text{Cu}(11.9) > \text{Sr}(10) > \text{Ba}(9.0) > \text{Cr}(4.2) > \text{Pb}(3.0) > \text{Se}(0.24) > \text{Cd}(0.05) > \text{Hg, Be}(<0.02)$ ;

溪水中:  $\text{Fe}(805) > \text{Al}(655) > \text{Mn}(46) > \text{Sr}(44) > \text{Zn}(19.9) > \text{Cr}(3.7) > \text{Se}(0.19) > \text{Hg, Be}(<0.02)$ ;

河水中:  $\text{Fe}(1\ 077) > \text{Al}(1\ 005) > \text{B}(86.7) > \text{Sr}(70.7) > \text{Mn}(55.1) > \text{Zn}(27.2) > \text{Ba}(18.7) > \text{Cu}(11.9) > \text{Pb}(6.7) > \text{Se}(0.15) > \text{Hg, Be}(<0.02)$ 。

由上可见,冰、雪水样中元素浓度( $1 \times 10^{-9}$ )大小顺序同溪水、河水中的各元素的顺序差异较大,而溪水同河水中各元素的排列顺序除 Mn, B 外,其余元素的顺序基本相同。元素浓度顺序的变化说明,冰、雪融水流入河流过程中,受接触的岩石、土壤、沉积物和植被等因素影响,使水的元素浓度和组合关系可能发生变化。

南峰冰水中 Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb 等元素均低于河流水中各元素的含量,其中 Cu, Mn 含量约低一个数量级左右。从海拔 4 200 米、4 800 米和 6 000 米收集的冰样中, B, Cd, Cr 元素含量有随高度升高而减小的趋势,其余元素含量没有这种规律性,但在 6 000 米冰样中元素含量最低。雪样水中 B, Ba, Fe, Mn, Pb, Sr 等元素含量低于河流中各元素含量。冰、雪融水是该地区河流的重要补给来源。冰、雪融水汇入江河过程中,同岩石、土壤、沉积物等接触,土壤元素的淋溶,使河水中一般元素含量比冰雪融水中各元素含量较高。在该区雅鲁藏布江江段中 B 含量较高,且从派区到下游 B 的含量有逐渐降低的趋势,如派区 B 含量高达  $147 \times 10^{-9}$ , 格嘎村为  $142 \times 10^{-9}$ , 加拉村为  $140 \times 10^{-9}$ , 大拐弯为  $90 \times 10^{-9}$ , 下游的背崩仅为  $39 \times 10^{-9}$ 。在该区采集的冰、雪、溪水样中, B 含量范围为  $2 \times 10^{-9} - 46 \times 10^{-9}$ , 大致平均值仅为  $14 \times 10^{-9}$ , 那木拉湖水中 B 含量为  $11 \times 10^{-9}$ , 尼洋曲的八一镇附近为  $36 \times 10^{-9}$ , 帕隆藏布江的波密为  $13 \times 10^{-9}$ 。上述数据说明雅鲁藏布江中 B 含量较高,不是来自南峰地区,可能来自上游, B 含量被稀释或自净作用而沿河逐渐降低。

在海拔 5 000 米收集的雪样水中, Cd 含量为  $0.02 \times 10^{-9}$ , Cu 为  $0.18 \times 10^{-9}$ , Pb 为  $0.3 \times 10^{-9}$ , 同北极格陵兰冰原中的 Cd( $0.034 \times 10^{-9}$ ), Cu( $0.85 \times 10^{-9}$ ), Pb( $0.2 \times 10^{-9}$ ) 含量相近,反映南峰地区受人为污染影响很小。

根据南峰地区水体元素含量测定结果,计算出各元素的平均值、标准差、变异系数和环境背景值(表 12.7)。由于样本数目较少,未对元素浓度的频数分布类型进行检验,因而环境背景值的确定按“含量平均值加减一倍标准差”的方法计算。按水体中各元素浓度的大致平均值可分为四组:第一组含量  $> 50 \times 10^{-9}$  的元素有 Fe, Al, Sr;第二组含量  $10 \times 10^{-9} - 50 \times 10^{-9}$  的元素为 B, Ba, Zn;第三组含量  $< 10 \times 10^{-9}$  的元素有 Cr, Cu, Pb;第四组含量  $< 1 \times 10^{-9}$  的元素为 Be, Hg, Se。

表 12-6 南峰地区冰、雪、水中痕量元素含量

编号	采样地点	采样时间 (年、月)	样品 类型	海拔 (米)	痕量元素含量( $\times 10^{-9}$ )															
					Al	B	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn	
1	接地当嘎大本营	1983.3	雪	3 000	20			<0.01	0.08	5.0	6.8	430	<0.02	18	17	3.1	—			
2	南峰2号营地		雪	4 200		16		<0.01	0.04	5.1	2.5	749	<0.02	30	17	1.5	0.41		12	
3	南峰2号营地		冰	4 200		15		<0.01	0.07	2.2	0.7	47	<0.02	3	20	<0.04	0.19		85	
4	南峰2号营地	1983.4	冰	4 800		11		0.045	0.03	1.6	0.8	72	<0.02	8	18	4.7	0.19		217	
5	南峰3号营地		冰	6 000		9		<0.01	0.02	1.3	<0.2	28	<0.02	4	22	0.5	0.12		77	
6	加拉村北5公里		河水	2 850	484	140	29	<0.01				5.1	752	<0.02	31			0.20	49	12
7	加拉村北4公里	1983.6	溪水	2 850	1 530	46	11	<0.01			7.4	1 370	<0.02	157			0.20	91	10	
8	直白村旁		溪水	2 900	585	33	32			3.5	2.1	1 480	<0.02	64		2.5		112	5	
9	格嘎村路口曲		溪水	2 900	249	22	6	<0.01				5.3	43	<0.02	10		—	36	7	
10	格嘎村旁		河水	2 900	553	142	10	<0.01				3.2	861	<0.02	49		0.10	49	8	
12	那木拉错		湖水	4 200	2 070	11	21	<0.01		3.3	10.5	295	<0.02	69		1.0	0.35	23	11	
13	那木拉		雪	4 250	1 610	7	13	<0.01		4.4	12.6	2 010	<0.02	48		4.5	0.20	18	79	
14	派区区委		河水	3 600	195	147	6	<0.01				3.2	232	<0.02	22			0.25	54	54
15	派区区委	1983.7	溪水	3 650	970	11	13	<0.01		4.4	6.3	1 620	<0.02	47		5.5	0.35	13	56	
16	派区转运站		溪水	3 500	806	2	12	<0.01		3.2	5.7	1 270	<0.02	36			0.10	6	6	
17	大波卡三队		溪水	3 000	295	8	6	<0.01		3.5	18.1	341	<0.02	14			0.20	24	7	
18	墨脱与雅壤间	1983.7	溪水	700	215	4	4				2.1	278	<0.02	4		3.5		13	20	
19	雅壤南10公里		溪水	700	185	3	6				2.0	351	<0.02	17		2.4		22	16	
20	背崩北5公里		溪水	700	1 650	13	17				2.0	1 170	<0.02	123		10.6		124		
21	背崩解放桥		河水	600	1 930	39	26	0.13		4.0	3.8	2 910		95		6.0	<0.1	64	18	
22	背崩解放桥上游		溪水	600	237	8	12	<0.01			4.2	347		15		2.0	<0.1	20	55	
23	马尼翁		溪水	1 000	487	2	29	0.017				9.1	581	<0.02	29		4.0		17	17
24	多雄拉山口		雪	4 200	382	4	5	0.014		4.3		36	611		18		5.7	0.10	2	35
25	波密大桥	1983.8	河水	3 000	2 090	13	26	0.014			2.9	1 970	<0.02	83		6	<0.10	155	21	
26	易贡错		湖水	3 000	806	2	12	<0.01		3.2	5.9	1 270	<0.02	36			<0.10	6	6	
27	雅鲁藏布江大拐弯		河水	2 900	54	90	5	<0.01				2.0	31		2		1.3		75	
28	八·镇	1983.9	河水	3 000	1 730	36	29	<0.01			63	724		104		13.3	0.10	49	50	
31	2号营地	1984.4	雪	5 000		16		<0.01		2.0	1.8	134		15		0.3	—		151	

表 12.7 南峰地区水的元素背景值( $\times 10^{-9}$ )

元素	测定值范围	平均值( $\bar{X}$ )	标准差( $S$ )	变异系数(%)	背景值( $\bar{X} \pm 1S$ )
Al	54—2 090	810	694	85.7	1504
B	2—147	38.7	51.1	132	89.8
Ba	4—32	14.9	9.4	63.1	24.3
Be	<0.01	—	—	—	<0.01
Cr	0—4.4	3.6	0.45	12.5	4.1
Cu	2—18.1	5.3	4.0	74.1	9.3
Fe	31—2 950	1 045	882	84.4	1 927
Hg	<0.02	—	—	—	<0.02
Mn	2—123	47.5	42.1	88.6	89.6
Pb	0—10.6	4.1	2.8	68.3	6.9
Se	<0.1—0.35	0.17	0.095	55.9	0.27
Sr	6—155	50.1	43.4	86.6	93.5
Zn	6—79	19.4	17.8	91.8	37.2

南峰地区水中各元素含量的平均值同一些环境背景区元素含量列于表 12.8。从表 12.8 可以看出,本区水体中的 Al, B, Fe, Mn 含量高于世界水平平均含量, Sr 含量稍低于世界河水的平均值,其余元素基本相近。

表 12.8 南峰与其它地区水体元素含量对照表( $\times 10^{-9}$ )

地区	Al	B	Ba	Be	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Se	Sr	Zn
南峰河水	810	38.7	14.9	<0.01	3.6	5.3	1045	<0.02	47.5	4.1	0.17	50.1	19.4
拉萨河水	134	161	9	—	—	2.0	174	<0.02	11	1.0	<0.1	86	6
珠峰河水	—	—	—	—	1.8	1.8	700	—	16.3	2.7	—	—	6.3
美国几个区域本底站	—	—	—	—	—	34	9	—	18.2	25.7	—	—	67.5
世界河水	400	10	20	—	1	7	670	0.04	7	3	0.2	70	20

本区水体的 pH, 总碱度, 硬度, 常见阴、阳离子含量及 Al, B, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Sr, Zn, Be, Se, Hg 等元素的含量水平, 表明该地区水的硬度小, 水质优良, 反映了测定元素的自然背景特征。

### 第三节 土壤环境背景值

土壤是自然环境的要素之一, 也是生态系统物质交换和循环的中心环节。作为陆生生态系统食物链上重要环节的土壤, 是化学元素的迁移、转化、富集的重要场所。因此, 开展土壤自然环境背景值的研究是环境保护工作的重要方面, 是鉴定土壤污染程度的基准。

#### 一、本区主要土壤元素含量

本区土类分布在不同类型的母质上, 即使是同一类型的土壤, 其含量和变化范围也有很大的差异, 现将各类土壤的算术平均值及其含量范围列于表 12.9。

表 12.9 南峰地区各主要土壤类型中元素含量

土类	土壤元素含量 (×10 <sup>-6</sup> )											样品数		土壤元素含量 (×10 <sup>-6</sup> )					样品数	
	Cr	Co	Cu	Mn	Zn	Ni	V	Sr	Ba	Mo	Rb	Ga	Sc	Zr	Y	Cd	Pb	As	Se	Hg
高山草甸土	111.8 100.3-123.3	38.40 31.70-45.00	26.7 19.5-33.8	1695 1030-2360	265.9 213.1-288.8	57.0 54.5-59.6	212.2 156.6-267.7	431.9 97.2-766.5	518.2 242.2-794.2	17.67 11.57-23.8	1033.7 404.1-663	56.8 36.4-97.3	19.1 12.2-25.9	258 245-271	31.8 30.4-33.2	0.38 —	18.75 —	5.26 —	0.17 —	0.038 —
亚高山灌丛草甸土	72.4 10.8-122.5	23.90 16.9-39.6	30.8 5.30-55.9	877 344-1152	148.2 38.87-277.8	41.6 12.4-61.7	147.8 108.1-205.2	154.5 58.1-337.1	244.3 152.9-343.7	8.14 2.98-14.5	314 74.4-624.4	30.5 14.3-48.5	12.2 5.3-21.3	335 261-552	27.5 18.7-34.6	0.18 0.30	10.75 7.50-18.75	3.16 1.59-4.18	0.15 0.11	0.086 0.053-0.11
山地灰化土	96.4 24.8-257.8	14.9 13.2-17.7	18.6 12.3-27.6	555 482-2360	85.3 76.9-91.24	26.3 14.5-52.4	144.8 90.23-196.3	71.8 136.2-84.6	190.4 156.9-240.4	5.70 4.01-7.02	100.4 20.6-153.8	22.5 13.1-28.8	9.4 3.3-17.6	299.5 198.5-383.7	26.3 24.6-31.8	0.09 0.13	14.69 12.5-18.75	5.49 3.67-9.13	0.21 0.09-0.33	0.114 0.09-0.17
山地棕壤	79.3 14.9-147.0	25.6 8.3-47.4	31.9 0-77.6	906 389-1460	140.5 45.5-190.9	42.3 7.4-124.4	116.8 66.1-187.8	115.3 52.6-278.8	315.6 170.4-744.9	10.75 1.71-27.09	373.6 52.7-1512	33.1 13.5-83.2	11.2 3.1-23.5	411.3 190.5-1922	31.4 14.7-54.2	0.13 0.20	18.75 13.75-31.25	7.02 1.97-14.3	0.21 0.04-1.04	0.042 0.002-0.079
山地耕种棕壤	79.9 54.9-98.1	25.3 17.7-31.6	36.6 17.2-66.2	868 460-1917	120.1 69.8-230.6	39.2 24.7-61.3	109.3 85.9-136.2	122.3 85.7-163.2	300 143.9-424.9	7.38 1.71-11.24	286.6 30.1-631.3	27.8 15.9-42.1	9.8 3.3-14.7	421.4 326.1-590.8	37.3 24.6-64.5	0.13 0.25	14.07 8.75-18.50	5.66 2.95-8.94	0.18 0.12-0.37	0.078 0.021-0.188
山地黄棕壤	93.9 27.8-303.0	19.4 14.7-24.2	23.5 15.9-30.2	1119 971-1238	174.0 148.5-210.4	67.7 24.7-118.1	93.7 71.0-111.1	134.7 101.2-143.3	452 294.3-600.6	5.39 3.59-6.56	150.4 32.4-680.2	29.4 25.2-38.9	11.9 9.2-13.4	379.3 296.0-470.9	39.7 30.4-50.0	0.21 0.38	34.0 25.04-43.75	4.41 1.39-14.55	0.10 0.02-0.26	0.139 0.106-0.163
山地草甸土	81.8 45.1-151.8	15.9 7.2-29.6	19.9 4.6-46.6	892 672-1522	140.6 84.74-281.9	44.5 22.1-101.3	94.9 50.9-145.6	244.7 104.4-385.9	392.4 292.0-549.6	9.29 4.60-12.94	229.8 16.1-475.4	30.8 17.1-47.5	12.0 7.8-19.0	376.9 178.3-553.9	33.4 24.8-42.8	0.13 0.20	13.75 10.00-17.50	7.65 1.01-20.16	0.07 0.04-0.13	0.035 0.007-0.075
山地砖红壤性黄壤	101.2 48.3-136.3	28.8 10.4-68.3	57.5 6.4-15.3	1130 681-1686	191.6 114.6-218.9	46.4 9.6-138.1	127.5 68.7-227.2	230.5 173.3-393.5	423.2 113.9-1019.4	10.66 2.87-16.63	313.7 0.9-413.5	34.2 9.5-50.4	9.6 4.1-20.4	215.7 35.8-359.6	25.4 15.2-34.1	0.11 0.08-0.13	35.00 15.00-50.00	2.86 1.39-4.30	0.22 0.05-0.39	0.082 0.063-0.108
本区各类土壤平均含量	89.6	24.0	29.8	935	185.2	46.4	130.2	181.6	345.6	9.18	314.9	33.9	12.11	342.9	30.90	0.17	19.97	5.19	0.16	0.078
世界正带土壤平均含量 (维诺格拉多夫1962)	83	18	47	1000	83	58	90	340	650	1.1	150	19	10	170	29	0.13	16	1.7	0.05	0.083
岩石圈平均含量 (维诺格拉多夫1964)	200	30	100	900	50	80	150	400	500	3	300	15	6	200	28	0.12	17.2	10.30	0.2	0.07
地壳平均含量 (费尔斯坦1933-1939)	300	20	100	1000	20	200	200	350	500	10	80	1	6	250	50	5	16	5	0.8	—
珠穆朗玛峰地区 (1966-1968)	27	5	13	423	60	17	50	—	—	0.6	—	17	—	—	—	—	—	—	—	—

高山草甸土:在南坡分布海拔 3 900—4 300 米,在北坡分布于海拔 4 500—4 700 米,气候湿冷,高山草甸植被比较发育。土壤受母质影响较大,该土壤发育在片麻岩、斜长角闪片麻岩等冰积物上,其元素含量除 K, Mn, Mg, Zn, Fe, Mo, Rb, Ga 等元素含量高其它土类或其它地区的含量外,其余元素含量水平都比较接近。这些元素含量较高的原因,是由于土壤表层有机质残体在湿润而寒冷的环境中分解较弱,在土壤剖面中形成草皮层累积大量的腐殖质。随着腐殖质的增多,某些元素如 Mn, Cu 等有一定的富集,常较母质中的含量还要高。

亚高山灌丛草甸土:南坡分布在海拔 3 600—3 900 米,北坡分布于海拔 4 100—4 500 米。主要发育在混合片麻岩风化物上,坡度较缓,植物以黄桧杜鹃,栎叶杜鹃等多种杜鹃和糙皮桦等所组成的灌丛,随着海拔的升高,株体逐渐变矮,并有一层很厚的地被物。此带由于低温和湿润的环境,表层腐殖质含量较高,其元素含量与亚高山草甸土相近,土壤呈酸性, Mn, Zn, Ga 普遍较高,而 Cu, Ni, Co 显著减少,其它都接近于世界正常土壤平均含量(武汉地质学院,1979)。

山地灰化土:分布在海拔 3 200 米的多雄拉南坡和海拔 4 000 米主峰南坡地段。主要由林芝云杉组成,还包括冷杉等。该土主要发育在混合片麻岩风化物上,土壤呈酸性反应。由于湿冷的条件,土壤有机质分解缓慢,在新凋落物层和苔藓活体之下,有厚达 10 厘米的腐殖质累积层。那么,土壤在酸性条件下,一些微量元素如 Co, Cu, Zn, Mn, Mg, K, Sr 等迁移能力增强,尤其是在表层土壤中表现得较为明显。而 Sc, Zr, Y 等元素都有明显升高。

山地棕壤:广泛分布在考察区域的沿雅鲁藏布江河谷阶地带及帕隆藏布江河谷波密一带。海拔在 2 300—2 800 米地段,植被为山地针阔叶混交林。土壤多发育在混合岩风化物上,地势较为平缓,部分为山地耕种棕壤,气候适宜,一年可种两季,腐殖质较丰富,多为酸性土壤,一般微量元素略高于山地灰化土。

山地黄棕壤:主要分布在南坡海拔 1 900—2 300 米高度,其母质多为混合片麻岩风化物,由于该土壤多分布在喜马拉雅山脉南坡汗密一带。植物主要有薄皮青冈、通麦栎、西藏青冈等,林内附生有苔藓、蕨类及兰科植物相当丰富,土壤中微生物种类繁多,腐殖质层厚达 5 厘米以上,故某些元素相对富集,如 Mn, Zn 以及抗风化能力很强的 Zr 等元素含量都比较高。其它元素含量一般都低于山地棕壤,趋于世界正常土壤含量范围。

山地砖红壤性黄壤:其母质多为黑云母混合片麻岩风化物,分布在南坡海拔 600—1 000 米的喜马拉雅山南麓的墨脱县境内,这里森林茂密,植被为准热带季雨林,气候炎热,雨量充沛。土壤中铁的氧化物水化后呈黄色,发育成砖红壤性黄壤。土壤中除锰有明显的增高外,其它如 K, Na, Ca, Mg, 以及 Y 等都有明显的淋失,其余元素都接近世界正常土壤平均含量。

## 二、表土与底土的关系

将每一剖面的表土和底土进行数据处理,分别求其算术平均值,几何平均值以及标准偏差等参数,列于表 12.10。

从表 12.10 可见,南峰地区化学元素尽管在不同母质发育的土壤及不同层次中的含量都不相同,普遍具有自下而上逐渐递减的趋势。南峰地处亚热带地区,年平均温度为

15—20℃,海拔较高,白天强烈的太阳辐射增温和夜间地面辐射迅速降温造成严寒冰冻的侵蚀,故天然风化剥蚀作用十分强烈,引起了不同的迁移,造成了新的分散和浓集,再加上该地区地形高差大,雨量充沛,年降雨量为2 000—2 500毫米。因此,岩石风化作用的发展,水土冲刷的加剧,元素的淋溶现象比较强烈。尤其是水迁移系数极大的碱金属和碱土金属元素随降水而淋失,它们大量的迁移,这就普遍造成表土含量低于底土含量的现象。

表 12.10 南峰地区土壤中元素含量( $\times 10^{-6}$ )

元素	层次	样品数	全 距	算术值			自然对数		几何平均值
				平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	
Cr	表	52	25.9—275.0	90.33	38.5	0.43	4.42	0.42	83.10
	底	51	23.5—303.0	86.62	51.1	0.59	4.31	0.56	74.44
Ca	表	52	10 261—48 912	21 385	9 111	0.43	9.90	0.38	19 835
	底	51	9 577—53 759	23 926	11.64	0.49	9.99	0.41	21 831
Co	表	52	7.19—51.19	21.74	8.6	0.40	3.00	0.39	20.19
	底	51	8.32—68.31	26.17	11.4	0.44	3.18	0.42	23.95
Cu	表	52	0—114.2	27.54	18.0	0.65	3.11	0.72	22.49
	底	51	5.25—152.5	34.50	25.0	0.73	3.33	0.66	27.85
K	表	52	6 014—24 473	13 556	5 090	0.38	9.45	1.53	12 639
	底	51	5 457—26 660	14 173	5 402	0.38	9.49	0.40	13 159
Mg	表	52	2 088—28 053	12 499	6 582	0.53	9.27	0.63	10 607
	底	51	3 711—31 910	14 666	7 414	0.51	9.45	0.57	12 709
Mn	表	52	258—1 917	910.2	307.6	0.34	6.75	0.36	857.2
	底	51	344—1 686	996.2	323.9	0.33	6.86	0.31	950.0
Zn	表	52	45—592	136.9	82.5	0.60	4.81	0.44	122.2
	底	51	66—828	173.5	147.2	0.85	4.98	0.52	144.8
Al	表	52	20 688—77 172	50 193	18 155	0.36	10.75	0.40	46 541
	底	51	21 552—81 342	524.8	16 710	0.32	10.80	0.40	49 163
Fe	表	52	26 250—81 015	45 039	14 339	0.32	10.01	0.30	22 147
	底	51	26 283—86 339	49 173	14 544	0.30	10.76	0.28	47 287
Na	表	52	7 063—30 903	14 422	4 991	0.35	9.53	0.32	13 710
	底	51	8 996—40 945	16 015	6 323	0.40	9.61	0.41	14 874
Ni	表	52	7.43—118.2	39.21	19.2	0.49	3.56	0.50	34.96
	底	51	9.61—138.1	48.13	26.3	0.54	3.74	0.51	42.28
V	表	52	61.99—210.1	110.1	33.4	0.30	4.66	0.30	105.4
	底	51	66.68—267.7	129.2	44.3	0.34	4.81	0.33	122.3
Sr	表	52	68.11—438.4	159.0	71.5	0.45	4.98	0.42	145.4
	底	51	52.61—385.9	162.7	73.66	0.45	5.00	0.45	147.6
Ba	表	52	113.9—1 019	338.4	156.4	0.46	5.74	0.43	310.9
	底	51	126.3—631.4	342.9	143.7	0.42	5.76	0.41	316.2

续表 12.10

元素	层次	样品数	全 距	算术值			自然对数		几何平均值
				平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	
Mo	表	52	1.71—20.50	8.54	3.6	0.42	2.04	0.49	7.70
	底	51	2.22—27.09	10.46	4.9	0.47	2.23	0.50	9.33
Rb	表	52	0.97—567.0	288.6	154.0	0.53	5.36	0.10	212.2
	底	51	17.56—719.4	351.3	244.8	0.70	5.59	0.83	268.8
Ga	表	52	9.54—56.15	30.91	11.8	0.39	3.36	0.37	28.89
	底	51	13.71—97.28	33.33	13.5	0.41	3.44	0.36	31.17
Sc	表	52	3.33—19.01	10.10	3.81	0.38	2.24	0.41	9.35
	底	51	5.26—25.94	12.12	4.78	0.39	2.41	0.42	11.16
Zr	表	52	44.82—641.9	349.9	106.8	0.31	5.80	0.40	329.5
	底	51	35.82—1 022	381.0	156.5	0.41	5.85	0.48	347.4
Y	表	52	15.20—54.24	30.18	7.7	0.26	3.35	0.39	28.70
	底	51	15.20—64.52	31.45	7.6	0.24	3.42	0.24	30.61
Cd	表	32	0.05—0.375	0.144	0.58	4.03	1.13	0.53	0.125
Pb	表	30	8.75—43.75	20.13	10.3	0.51	2.88	0.45	17.81
As	表	32	1.01—20.16	5.30	4.38	0.83	55.70	0.75	4.02
Se	表	32	0.034—1.045	0.174	0.187	1.07	1.13	0.79	0.125
Hg	表	31	0.002—0.188	0.078	0.046	0.59	1.85	0.95	0.058

### 三、物理化学组成

土壤中元素的含量和分布不但受成土母质的影响,还与有机质和土壤中物理化学组成的性质有关,现将发育在本区土壤类型中部分土壤的元素含量及物理化学组成列于表 12.11。

从表 12.11 可以看出,某些元素与有机质及颗粒度等物理化学组成有关。

由于喜马拉雅山脉为世界上最年轻的山脉,地壳的变动,一直延续到至今,并在新构造运动上表现了世界罕见的抬升强度,在这个地质基础上,南峰地区的广大地面从第四纪冰期的冰覆盖下暴露的历史与外国地区比较最为短促。自然环境在总的趋势上,经历着从暖到冷的变化,随着地壳的上升,高寒的生态条件不断变化,这一因素明显地影响着南峰地区的土壤发育。成土过程中的生物及化学作用在相对减弱,物理作用在相对增强,导致土壤发育停滞或中断而进入新的气候相对较冷的成土周期。因此,该区土体骨架粗,其粘粒含量( $<0.001$  毫米)很少,一般不到 10%,而有机质含量也较少,普遍低于 10%。

南峰地区降水充沛,植物覆盖率大,生物及化学作用增强,在土壤有机质的积累和粘粒的形成方面与其高度有明显的关系,即海拔愈低,生物和化学风化愈强烈。同时与珠峰地区相比,化学风化也有所增强,这就造成了本区土壤中除 Na, Mg, K 外,其它元素都接近于世界土壤元素含量的主要原因。

表 12.11 南峰地区土壤中元素含量与物理化学组成

编 号	土类与 成土母质	层 次	元 素 含 量( $\times 10^{-6}$ )														
			Cr	Co	Cu	Mn	Zn	Ni	V	Sr	Ba	Mo	Rb	Ga	Sc	Zr	Y
50	高山草甸土 (角闪斜长 片麻岩)	上	123.3	31.66	33.8	1 030	243.1	59.6	156.6	97.3	242.3	11.57	404.1	36.4	12.16	254.1	30.40
		下	100.3	45.03	29.5	2 360	288.8	54.5	267.7	166.5	794.3	23.47	663.3	97.3	25.94	276.0	33.17
10	亚高山灌丛 草甸土 (黑云母 花岗岩)	上	25.9	20.49	28.1	592	88.9	35.7	128.7	168.6	206.2	7.67	301.4	25.3	12.08	262.8	34.48
		中	10.8	32.94	55.9	1 120	103.0	54.6	192.8	300.7	246.3	8.53	259.3	26.3	21.26	421.2	24.60
36	多雄拉 (4 200 米)	下	43.3	39.57	93.7	1 098	117.7	61.7	205.2	337.1	187.2	7.02	342.7	26.2	6.51	282.1	22.62
		下	43.8	16.94	5.3	344	66.9	31.5	157.3	120.4	275.9	7.12	462	44.2	13.97	552.6	30.40
2	山地灰化土 (黑云母 变砾岩)	上	110.0	18.49	20.4	830	66.4	20.6	82.7	109.5	295.4	2.22	106.9	13.5	5.96	287.3	24.6
		下	86.8	26.96	37.7	704	101.4	41.9	116.1	96.8	227.5	1.71	53.4	13.7	6.72	327.6	24.6
35	多雄拉南坡 (3 200 米)	上	87.3	13.24	20.7	481	76.9	23.7	189.5	68.4	196.9	7.02	20.7	28.0	10.80	281.5	31.78
		下	102.0	17.74	27.6	652	85.0	52.4	196.3	63.2	167.4	4.01	151.3	28.8	17.62	199.6	26.26
5	加拉村北 (2 900 米)	上	94.0	20.67	29.3	744	92.7	42.3	95.6	103.7	219.3	5.74	183.7	20.8	7.43	421.8	27.14
		下	79.4	27.77	40.2	993	98.2	45.7	111.3	131.2	276.6	7.02	254.9	23.4	6.09	401.0	26.57
14	山地棕壤 (夕线石钾 长片麻岩)	上	89.7	23.17	28.1	1 003	127.1	34.6	98.1	85.7	220.3	6.99	412.8	32.1	5.03	334.6	46.33
		中	87.1	23.46	26.9	989	119.5	40.8	96.2	101.8	260.8	8.46	305.7	29.1	3.33	387.9	56.21
47	波密西 5 公里 (2 800 米)	下	95.2	25.51	25.9	920	120.1	41.4	100.2	74.4	143.9	8.62	631.4	42.1	5.26	408.3	64.52
		上	147.0	10.94	11.6	829	190.4	72.9	70.6	216.2	330.1	10.31	330.0	29.2	11.36	327.0	27.64
		下	147.0	16.2	9.5	793	190.9	71.1	67.5	259.5	309.3	10.82	349.9	305.5	10.44	336.1	27.64



续表 12.11

编号	土类与 成土母质	地点与 海拔	层 次	元 素 含 量( $\times 10^{-6}$ )					pH		代换量 (毫克当量 /100 克)	有机质 (%)	颗粒含量(%) (直径:毫米)					
				Cd	Pb	As	Se	Hg	水浸	盐浸			0.25— 0.10	0.10— 0.05	0.05— 0.01	0.01— 0.005	0.005— 0.001	<0.001
50	高山草甸土 (角闪斜长 片麻岩)	1号与2号营 地之间 (4 450 米)	上	0.375	18.75	5.26	0.1073	0.121	5.20	4.03	22.53	11.84	21.1	37.1	27.8	3.0	3.0	8.4
			下	0.175					5.26	4.28	17.72	9.43	21.1	41.4	22.9	3.6	4.8	6.3
10	亚高山灌丛 草甸土 (黑云母 花岗岩)	那木拉 错东侧 (4 250 米)	上	0.30	8.75	3.72	0.1763	0.062	4.71	3.37	22.25	15.39	24.8	37.7	22.5	1.8	5.2	8.0
			中		7.50				4.16	3.62	11.54	7.53	29.4	49.6	10.0	2.0	2.0	7.0
36		多雄拉 (4 200 米)	下		7.50				4.78	3.99	3.57	3.53	40.7	41.3	7.0	3.0	2.0	6.0
			下						4.25	3.62	23.35	12.89						
2	山地灰化土 (黑云母 变砾岩)	接地当嘎村 (3 500 米)	上	0.125	12.50	3.67	0.1732	0.053	4.91	4.42	48.35	24.17	9.4	33.6	41.5	4.0	2.5	9.0
			下						4.81	3.92	17.58	7.93	11.2	31.2	33.8	6.1	7.2	10.5
35		多雄拉南坡 (3 200 米)	上	0.05	12.50	4.87	0.0854	0.034	5.73	3.83	10.99	12.27	16.7	40.9	23.4	2.2	1.7	9.1
			下						5.03		16.76	11.77						
5		加拉村北 (2 900 米)	上	0.20	15.00	14.13	0.0910	0.108	7.56	6.86	8.91	4.21	1.1	36.4	46.3	5.1	4.1	7.0
			下						7.28	6.55	10.44	5.69	3.7	36.8	42.3	4.8	5.3	7.1
14	山地棕壤 (夕线石钾 长片麻岩)	派区江边 (3 150 米)	上	0.05	8.75	8.94	0.1286	0.076	6.86	6.06	9.07	6.84	5.4	41.8	31.0	5.2	6.6	10.0
			中						7.08	6.19	10.89	6.81	5.7	42.1	32.0	4.1	6.1	10.0
47		波密西 5 公里 (2 800 米)	下								7.69	6.00	5.4	46.6	26.0	5.0	6.0	11.0
			上	0.150	18.75	9.52	0.0415	—	8.09	7.31	6.43	2.76	8.5	41.4	28.6	7.7	5.8	8.0
			下						8.24	7.47	7.62	3.86	9.4	54.5	21.1	6.5	2.6	5.9

续表 12.11

编号	土类与成土母质	地点与海拔	层次	元素含量( $\times 10^{-6}$ )														
				Cr	Co	Cu	Mn	Zn	Ni	V	Sr	Ba	Mo	Rb	Ga	Sc	Zr	Y
34	山地草甸土 (黑云斜长角闪岩)	拿格 (3 000 米)	上	101.0	21.48	29.3	830	84.7	45.8	133.3	144.8	322.0	7.31	192.5	28.1	19.01	463.0	42.84
			下	147.3	22.61	28.8	783	91.5	67.7	138.8	104.4	292.0	4.60	233.6	29.1	15.93	272.0	33.17
39	通麦东道班 (2 200 米)	通麦东道班 (2 200 米)	上	68.3	7.19	4.6	672	143.0	24.2	50.9	293.1	490.8	6.70	109.8	28.7	9.01	281.0	24.82
			下	45.1	18.04	18.1	1 079	116.3	22.1	135.0	385.9	423.8	7.22	81.5	29.9	14.69	407.0	31.51
33	山地黄棕壤 (斜长片麻岩)	汗密与拿格间 (2 500 米)	上	110.8	18.09	31.1	259	98.5	46.8	116.8	121.2	271.4	5.99	368.9	28.3	12.84	422.0	33.40
			下	143.3	20.39	52.1	838	702	57.5	132.5	135.8	277.4	9.23	280.4	33.0	15.24	354.0	26.26
38	通麦大桥东 (2 200 米)	通麦大桥东 (2 200 米)	上	275.0	22.99	24.6	1 141	188.1	102.9	112.3	132.7	294.4	6.18	215.8	27.9	11.75	296.0	30.40
			下	303.0	24.23	30.2	1 238	210.4	118.1	111.1	161.4	441.0	5.24	32.5	25.2	13.44	305.0	36.17
31	阿尼桥 (1 000 米)	阿尼桥 (1 000 米)	上	35.0	10.40	23.0	758	207.9	19.6	72.3	277.0	1 019	3.81	0.97	13.2	7.99	268.7	24.87
			下	48.3	12.66	10.8	682	117.1	24.6	79.0	263.0	761.0	4.85	135.0	18.7	8.97	294.2	27.64
25	山地砖红壤性黄壤 (混合岩)	墨脱县委旁 (700 米)	上	80.6	51.19	29.9	1 459	261.0	43.3	210.1	181.6	334.2	15.50	423.8	56.2	10.21	333.0	30.52
			下	120.5	26.56	18.6	921	126.7	22.1	110.6	235.0	420.9	16.63	460.1	39.1	10.12	259.3	30.52
29	背崩解放桥 (600 米)	背崩解放桥 (600 米)	上	101.6	22.60	21.6	1 058	138.8	37.9	98.2	233.1	367.4	13.18	332.2	33.7	9.19	195.9	24.87
			中	122.9	18.50	13.6	863	114.6	22.5	77.3	193.1	287.5	10.80	291.4	29.4	6.34	190.5	24.87
			下	109.8	25.83	16.3	1 239	137.6	39.3	98.0	216.2	304.1	10.06	350.5	35.0	4.06	159.6	23.49

续表 12.11

编号	土类与成土母质	地点与海拔	层次	元素含量( $\times 10^{-6}$ )					pH		代换量 (毫克当量/100克)	有机质 (%)	颗粒含量(%) (直径:毫米)					
				Cd	Pb	As	Se	Hg	水浸	盐浸			0.25— 0.10	0.10— 0.05	0.05— 0.01	0.01— 0.005	0.005— 0.001	<0.001
34	山地草甸土 (黑云斜 长角闪岩)	拿格 (3 000 米)	上	0.125	17.50	1.01	0.134	0.075	5.28	4.00	5.49	2.15	20.6	65.2	5.0	2.0	2.1	5.1
			下						5.04	4.07	11.26	5.59	16.9	55.3	14.3	2.7	3.8	7.0
39	通麦东道班 (2 200 米)	通麦东道班 (2 200 米)	上	0.007	10.00	1.78	0.034	0.007	7.92	7.09	2.11	1.36	27.2	49.3	12.7	3.5	2.5	5.0
			下						8.04	7.29	9.61	4.43	34.7	17.3	3.5	3.6	3.6	6.0
33	山地黄棕壤 (斜长 片麻岩)	汗密与拿格间 (2 500 米)	上	0.125	25.04	1.97	0.051	0.133	4.81	3.98	15.66	12.76	35.5	39.5	12.2	1.8	4.5	6.5
			下						4.66	4.07	17.26	7.41	37.4	42.9	6.0	2.7	4.5	6.5
38	通麦大桥东 (2 200 米)	通麦大桥东 (2 200 米)	上	0.375	87.50	14.55	0.075	0.097	6.75	5.73	14.56	10.93	21.9	46.0	14.6	3.4	7.0	7.1
			下						7.10	5.83	13.74	10.93	20.0	43.5	15.3	4.2	7.8	9.2
31	阿尼桥 (1 000 米)	阿尼桥 (1 000 米)	上	0.125	37.50	1.39	0.128	—	5.99	5.14	10.71	8.69	17.4	43.6	21.0	5.0	7.0	6.0
			下						6.71	5.87	9.07	3.74	19.8	42.7	22.5	4.0	4.8	6.2
25	山地砖红 壤性黄壤 (混合岩 化角闪岩)	墨脱县委旁 (700 米)	上	0.10	23.75	2.36	0.389	0.007	5.16	4.16	22.13	9.74	26.5	38.5	17.8	3.2	6.1	7.9
			下						5.64	4.69	4.94	4.10	38.7	38.2	10.0	1.7	3.6	7.8
29	背崩解放桥 (600 米)	背崩解放桥 (600 米)	上	0.125	43.75	1.78	0.262	0.035	5.48	4.41	16.24	11.58	21.0	31.2	24.7	7.0	9.0	7.0
			中	0.20	40.00			0.038	5.03	4.28	18.68	10.24	20.7	32.8	22.9	6.8	8.4	8.4
			下	0.225	50.00				5.48	4.49	14.56	5.19	22.6	32.6	20.0	5.8	10.0	9.4

植物有机体对微量元素在土壤中的迁移、分散和富集起着很大作用。植物不仅直接从土壤中吸取微量元素,以金属-有机化合物的形式归还给地表腐殖质,而且在生命活动过程中,不断向表土壤内放出  $O_2$  和有机酸等化合物,使土壤的介质 pH 和氧化还原电位等物理化学性质发生变化,从而影响微量元素在土壤中的再分配。

在南峰地区同一土类中,土壤中 Mn 的含量变化幅度较大。在亚热带地区土壤中,富含有机质的上层可以观察到 Mn 的富集现象,在高山寒带地区土壤中也有此现象,如分布在那木拉错东侧的亚高山灌丛草甸土,由于该处位于混合片麻岩砾石冲积扇缘,广泛分布着杜鹃等高山植物,植物非常发育,富含有机质,土壤呈酸性,pH 值达 4.16。因此,具有深根的植物从底土中吸收 Mn,而在它们的残渣分解时再将 Mn 释放出来,同时,Mn 又被有机质固定,并聚积在富含腐殖质的层次中。这种元素与有机质含量的正相关,对于土壤有机质在剖面中的分布相一致,同时也与土壤质地有关。一般说来,砂质土含 Mn 不如粘质土丰富。即具有土壤中 Mn 的含量与土壤粘粒呈正相关。

#### 四、部分微量元素在本区地理分布特点

铬:本区铬的平均含量与世界土壤平均含量相近,但低于费尔斯曼计算的地壳平均含量,而高于珠峰地区。发育在海拔 2 200 米的通麦大桥附近的山地黄棕壤含量较高,达  $303 \times 10^{-6}$ 。同时还表现在墨脱县境内海拔 600—1 000 米河谷砖红壤性黄壤,其平均值为  $101.2 \times 10^{-6}$ 。这里的土壤普遍为酸性,pH 为 4—6,有机质含量偏高。分布在地棕壤等土类中铬的含量中等。

钴:本区大部分土壤中钴的含量高于费尔斯曼计算的地壳平均含量,更高出世界正常土壤平均含量的若干倍,同时也高于珠穆朗玛峰地区。因此,钴在本区是较丰富的元素。这不仅与土壤类型有关,同时与成土的岩石有关。因而,钴的含量变动也与宏观地理带有关,如发育在海拔 3 500 米多雄拉山口北侧一直到派区电站这一带的混合岩风化物的山地棕壤,底层含量  $46 \times 10^{-6}$ 。海拔 600 米的准热带地区的墨脱县境内的背崩一带,发育在黑云母片麻岩风化物的砖红壤性黄壤底层含量高达  $68 \times 10^{-6}$ 。而分布在混合片麻岩上的波密至通麦一段公路沿帕隆藏布江沿岸,受地下水影响的山地草甸土的含量却仅  $7 \times 10^{-6}$ — $18 \times 10^{-6}$ 。

铜:本区土壤中铜的平均含量低于费尔斯曼计算的地壳平均含量,接近世界正常土壤平均含量,而高于珠峰地区。发育在砂性母质上的土壤,如分布在波密至通麦一带沿帕隆藏布沿岸受地下水影响的山地草甸土的含量为  $5 \times 10^{-6}$ — $36 \times 10^{-6}$ ,而分布在海拔 650 米准热带地区的墨脱县境内的马尼翁、发育在含石榴子石的混合片麻岩风化物上的砖红壤性黄壤其含量高达  $153 \times 10^{-6}$ ,这可能与 pH 为中性,并富含有机质及粘粒有关。其它地区如冰积物上发育的高山草甸土、亚高山灌丛草甸土以及广泛分布在派区河谷的山地棕壤等铜的含量均属中等。

锰:本区土类锰的含量为中等水平,与世界平均土壤含量相近,而高出珠峰地区一倍。地理分布也较均一,分布在主峰西南坡 1 号营地下部海拔 4 000 米的山地灰化土,以及多雄拉山口的南侧的汗密的山地黄棕壤等贫瘠的土壤含锰量都比较低( $285 \times 10^{-6}$ — $859 \times 10^{-6}$ )。比世界平均土壤含量还要低。然而在富含有机质、粘粒的红壤等都会使锰含量聚

积。如分布在准热带地区的墨脱县境内,发育在黑云母片麻岩的山地砖红壤性黄壤以及发育在波密的山地耕种棕壤和通麦一带受地下水影响较深的山地草甸土等含量都比较高( $111 \times 10^{-6}$ — $1\,500 \times 10^{-6}$ )。况且在表层都有一定的富集,高达 $1\,917 \times 10^{-6}$ ,高出珠峰地区的5倍。

锌:本区土壤中锌的含量比较高,与费尔斯曼计算地壳平均值高出近10倍,是世界土壤含量的2倍,是珠峰地区的3倍。它主要分布在准热带的墨脱县境内的马尼翁等地的河谷砖红壤性黄壤和山地黄棕壤中,含量高达 $592 \times 10^{-6}$ 和 $702 \times 10^{-6}$ 。因为锌也是易受有机质、腐殖质、粘粒等因素影响的元素。这些土壤中锌高的原因除受混合片麻岩风化物母质影响外,还受高温潮湿的物理化学条件及植物和微生物的影响等有关。发生在不易累积的坡向和含砾石较多的多雄拉山口的亚高山灌丛草甸土及南坡比较贫瘠的山地灰化土和接地当嘎村和古乡的山地棕壤等,其含量在 $45 \times 10^{-6}$ — $96 \times 10^{-6}$ 。

铅:本区铅的平均含量略高于地壳平均值及世界土壤平均含量( $10 \times 10^{-6}$ )。尤其是分布在海拔较低的山地黄棕壤及河谷砖红壤性黄壤平均含量可达 $34 \times 10^{-6}$ 和 $35 \times 10^{-6}$ 。这与锌的分布规律基本相似。一般变质岩(片岩)为 $15 \times 10^{-6}$ — $20 \times 10^{-6}$ (刘铮等译,1983),而不同类型的土壤中发现铅的含量范围从痕迹(多种类型的热带土)到 $1\,200 \times 10^{-6}$ (加拿大的灰壤),但平均含量约为 $15 \times 10^{-6}$ — $25 \times 10^{-6}$ 。这与热带雨林有关,同时也与土壤中腐殖质沉积有关。

镍:本区镍的含量低于费尔斯曼计算的地壳平均含量,与世界土壤含量相一致,而高出珠峰地区3倍。同时,在本区地理分布上也比较均匀。镍的含量随成土母质而变,一般在变质岩和沉积岩上发育的土壤含量为 $90 \times 10^{-6}$ 。同时镍的含量也与腐殖质的多少有关,如发育在通麦大桥旁的混合片麻岩风化物上的山地黄棕壤,其含量为 $118 \times 10^{-6}$ 。

镉:本区镉的平均含量低于世界正常土壤平均含量。分布在1号营地海拔4 600米角闪斜长片麻岩冰积物上的发育的高山草甸土,含量高达 $766 \times 10^{-6}$ ,主要是受成土母质的影响,一般变质岩(如片麻岩、片岩)其平均含量为 $800 \times 10^{-6}$ (刘铮等译,1983)。而发育在1号营地和多雄拉山口南坡的混合岩风化物上发育的亚高山灌丛草甸土和山地灰化土其含量则在 $58 \times 10^{-6}$ — $68 \times 10^{-6}$ 之间。

钼:本区土壤中钼的平均含量与世界正常土壤平均值接近,而高出珠峰地区近20倍。况且地理分布也比较均匀,一般在变质岩内钼的含量为 $2 \times 10^{-6}$ 。分布在大本营附近的混合岩冰积物上的山地棕壤和分布在墨脱县境内的混合片麻岩风化物上的山地砖红壤性黄壤,它们的含量在 $1.75 \times 10^{-6}$ — $4.85 \times 10^{-6}$ 。而分布在1号营地上部海拔4 500米的斜长角闪片麻岩冰积物上的亚高山草甸土含钼量高达 $23.77 \times 10^{-6}$ 。其它地区一般都在 $7 \times 10^{-6}$ 左右。

镭:本区镭的平均含量略高于费尔斯曼计算地壳平均值,接近于世界土壤平均值( $0.01 \times 10^{-6}$ — $0.7 \times 10^{-6}$ ),而各土壤类型中的含量相差较小,地理分布比较均匀。

砷:本区砷的含量要比地壳平均值高出3倍多,而山地草甸土带含量达 $7.65 \times 10^{-6}$ ,尤其是分布在海拔3 000米的河谷阶地,如加拉村、古乡等地,其含量达 $14.13 \times 10^{-6}$ 和 $20.16 \times 10^{-6}$ ,为地壳平均值的12倍还多,这可能是该区广泛分布着 $H_2S$ 气泉的原因。砷在自然界一般不单独存在,多以化合物的形式存在于铅、铜、铁等矿体中。而该区的温泉、气泉的主要形式是 $H_2S$ 类型的,富含S,所以,它可能以 $As_2O_3$ (又称砒霜、信石)、 $As_2S_2$ (雄

黄)、 $\text{As}_2\text{S}_3$ (雌黄)以及气体的  $\text{AsH}_3$  的形式出露于自然界,影响到土壤的含量。

硒:本区硒的平均含量要比费尔斯曼计算的地壳平均值要高 3 倍之多,但低于世界正常土壤平均含量( $7 \times 10^{-6}$ ),近似于北京地区土壤中平均含量( $0.2 \times 10^{-6}$ )。除了分布在海拔 2 800 米左右的山地草甸土含量偏低( $0.07 \times 10^{-6}$ )外,其余各类土壤的含量都在  $0.1 \times 10^{-6} - 0.3 \times 10^{-6}$  之间。硒是一种人体必需的微量元素,近几年来,通过大量的实验证明,动物的膳食中硒的含量为  $0.04 \times 10^{-6} - 0.10 \times 10^{-6}$  之间。硒的中毒剂量:食物为  $5 \times 10^{-6}$ ,饮水为  $0.5 \times 10^{-6}$ (吴沈春,1980)。因此,自然环境中土壤中硒的含量适当,能有效地预防地方性心脏病(克山病)。

表 12.12 南峰地区土壤元素分布类型检验

元素	样品数	正态假设			对数正态假设			分布类型
		$X^2$	自由度	置信系数	$X^2$	自由度	置信系数	
Cr	50	13.57	3	$0.001 < P < 0.01$	12.62	4	$0.001 < P < 0.01$	偏态
Ca	52	20.52	1	$P < 0.001$	3.50	4	$0.3 < P < 0.5$	对数正态
Co	52	9.93	3	$0.01 < P < 0.02$	3.37	2	$0.1 < P < 0.2$	对数正态
Cu	52	8.03	1	$0.001 < P < 0.01$	6.30	2	$0.02 < P < 0.05$	偏态
K	52	5.72	2	$0.05 < P < 0.1$	2.64	4	$0.5 < P < 0.7$	对数正态
Mg	52	2.69	3	$0.3 < P < 0.5$	4.64	3	$0.1 < P < 0.2$	正态
Mn	52	3.14	3	$0.3 < P < 0.5$	3.32	2	$0.1 < P < 0.2$	正态
Zn	52	25.82	1	$P < 0.001$	5.24	2	$0.05 < P < 0.10$	对数正态
Al	52	4.01	3	$0.2 < P < 0.3$	11.80	1	$P < 0.001$	正态
Fe	52	20.69	2	$P < 0.001$	6.52	3	$0.05 < P < 0.1$	偏态
Na	52	6.86	2	$0.02 < P < 0.05$	9.95	3	$0.1 < P < 0.2$	对数正态
Ni	52	10.32	1	$0.001 < P < 0.01$	2.78	2	$0.2 < P < 0.3$	对数正态
V	52	8.01	2	$0.01 < P < 0.02$	1.67	3	$0.50 < P < 0.70$	对数正态
Sr	52	12.75	2	$0.001 < P < 0.01$	1.88	4	$0.70 < P < 0.80$	对数正态
Ba	52	13.35	2	$0.001 < P < 0.01$	2.36	3	$0.50 < P < 0.70$	对数正态
Mo	52	8.95	0	$P < 0.001$	3.16	3	$0.30 < P < 0.50$	对数正态
Rb	52	9.85	2	$0.001 < P < 0.01$	16.75	2	$P < 0.001$	偏态
Ga	52	12.37	1	$P < 0.001$	7.27	2	$0.02 < P < 0.05$	偏态
Sc	52	0.84	4	$0.90 < P < 0.95$	2.63	3	$0.30 < P < 0.50$	正态
Zr	52	2.08	3	$0.50 < P < 0.70$	4.25	2	$0.1 < P < 0.20$	正态
Y	52	6.96	1	$0.01 < P < 0.001$	31.87	0	$0.05 < P < 0.1$	偏态
Cd	32			$P < 0.01$			$P < 0.02$	对数正态
Pb	31			$P < 0.01$			$0.05 < P < 0.1$	偏态
As	32			$P < 0.01$			$0.2 < P$	对数正态
Se	32			$P < 0.01$			$0.02 < P$	对数正态
Hg	31			$0.1 < P < 0.5$			$P < 0.01$	正态

## 五、土壤中元素分布类型

为了研究土壤背景值,对 52 个表层土壤中 21 种元素含量的频数分布以  $X^2$  法检验其分布类型。而 Cd, Pb, As, Se, Hg 等元素由于  $N < 50$ , 采用  $W$  检验法检验其分布类型(超于  $\bar{X} \pm 2s$  不参与统计), 现将结果列于表 12. 12。其结果表明: Mg, Mn, Pb, Sc, Zr, Hg 呈正态分布; Ca, Co, K, Zn, Na, Ni, V, Sr, Ba, Mo, Cd, As, Se 呈对数正态分布, 而 Cr, Cu, Fe, Rb, Ga, Y, Pb 呈偏态分布。这说明以上元素如 Sc, Zr, Mn, Pb 等各因抗风化性强、腐殖质及生物累积等作用, 使之固定而呈与成土母质有密切关系的正态分布。而其它如呈对数正态分布的 Sr, K(本区含量为  $1\ 400 \times 10^{-6}$ , 世界含量为  $26\ 000 \times 10^{-6}$ ) 以及呈偏态分布的 Cu(本区含量为  $29 \times 10^{-6}$ , 而世界含量为  $100 \times 10^{-6}$ )、Fe(本区含量为  $50\ 929 \times 10^{-6}$ , 世界含量为  $42\ 000 \times 10^{-6}$ ) 等元素各因化学性质活泼而被迁移仅为世界平均值的一半。或因某种矿化异常点, 成土母质的高含量致使某些元素高出世界平均含量的一倍, 由于这些原因, 加之本区地理环境特点, 就造成某些元素失去原有的分布平衡。

## 六、土壤元素含量与成土母质和土壤类型的关系

土壤中的元素含量与成土母质和土壤类型有密切的关系, 现将主要土壤类型和成土母质中的元素测得值, 取其算术平均值, 并求标准偏差, 列于表 12. 13。

从表 12. 13 可以看出, 不同母质发育的土壤中, 元素含量有一定的差异, 不同类型的土壤中元素含量也有相当大的差别。说明土壤中的元素含量与成土母质和土壤类型有密切的关系。这主要与元素本身的化学性质及元素在成土过程中的地球化学性质有关。如发育在亚高山灌丛草甸土及分布在原始森林的山地棕壤中的 Ca, Cu, Mn 等含量都普遍高于其它类型母质的含量, 这主要是元素的生物地球化学作用的关系(武汉地质学院, 1979)。

由于土壤多呈酸性, 元素的溶解度增大, 使那些容易被植物吸收的元素如 Ca, Cu, Mn 等被富集。另外, 在主峰南坡的 1 号与 2 号营地之间 4 000 米处, 其母质为角闪斜长片麻岩风化物的高山草甸土, 铁的含量尤其高, 况且底层高于表层。这说明, 在表生地球化学过程中, 在一定的介质条件下, 极易生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀而不易迁移的缘故。同时, 岩石风化后的物质淋溶、迁移、富集状况, 以及植被类型和某些成土过程。如腐殖质累积过程, 淋溶淀积过程以及潜育化过程等都会影响土壤中的元素含量。

## 七、本区元素含量的相关分析

土壤中元素在没有外来污染的情况下, 直接来自成土母质, 虽然在成土过程中, 元素含量会发生变化, 但土壤中元素含量与成土母质有着密切的联系。研究土壤中元素的相关性, 根据各元素的观测值, 求其标准偏差, 只能看出该元素在该区内的波动范围, 利用数理统计法, 求其各元素之间的相关系数, 可了解元素的地球化学特征, 研究土壤中天然化学

表 12.13 南峰地区土壤类型和成土母岩风化物中微量元素含量( $\times 10^{-6}$ )

土壤类型	层次	样品数	Cr		Co		Cu		Mn		Zn		Ni		V		Sr		Ba		Mo	
			$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$
高山 草甸土	表	1	123.3	/	31.7	/	33.8	/	1 029	/	243.1	/	59.57	/	156.2	/	97.2	/	242.2	/	11.57	/
	底	1	100.3	/	45.0	/	19.5	/	2 360	/	238.8	/	54.47	/	267.7	/	116.5	/	794.3	/	23.77	/
亚高山灌 丛草甸土	表	4	75.8	34.7	19.9	1.40	28.2	5.20	840	194.4	149	76.8	32.18	13.9	123.9	13.6	203.7	128.5	217.5	51.9	7.91	4.16
	底	4	68.9	32.3	25.8	9.01	27.1	14.1	853	319.8	158.6	68.7	47.81	12.9	158.9	31.2	148.7	111.0	210.7	45.8	8.27	1.94
山地 灰化土	表	7	101.6	27.4	20.8	6.96	24.9	12.6	596	144.5	77.4	18.5	26.89	16.4	132.2	36.4	193.4	239.4	227.3	42.7	8.15	6.3
	底	6	113.0	64.3	30.4	11.9	42.8	21.0	772	205.5	303.9	308	45.93	20.5	153.7	35.9	94.8	18.1	239.6	51.7	8.83	6.1
山地棕壤	表	16	85.2	24.6	22.8	8.5	28.3	17.7	941	187	118	34.1	40.2	15.6	107.6	25.8	147.9	55.7	333.4	132	8.43	2.6
	底	16	68.5	30.4	26.5	9.3	31.1	12.8	967	122	127.4	33.7	47.6	23.3	114.9	33.3	152.4	46.2	332.2	127.6	12.10	4.7
山地耕 种棕壤	表	6	80.3	15.6	24.4	5.6	34.8	12.5	1 068	433	132.6	46	35.97	8.55	101.8	9.8	116.1	23.3	300.4	87.5	7.39	0.54
	底	6	79.5	10.9	25.6	2.7	36.7	16.8	900	279	111.0	31	39.77	5.25	113.4	12.8	122.9	30.4	299.6	87.9	7.91	2.06
山地黄棕壤	表	4	114.4	102.7	18.5	3.22	25.4	2.34	1 090	60	166	16.3	56.9	33.4	99.0	13.5	172.2	48.6	438.4	125.6	6.0	1.9
	底	4	100.6	112.6	18.8	3.99	24.9	6.4	1 223	199	168	30.2	56.52	43.6	111.9	33.7	185.3	80.2	438.8	29.9	7.59	2.5
山地 草甸土	表	6	84.3	33.7	16.3	7.6	162	8.2	834	219	242	244	47.8	24.8	96.0	41.3	233.2	101.4	403.6	85.6	8.55	1.67
	底	6	79.2	33.5	15.4	4.3	23.6	11.9	950	287	149	65.3	42.9	13.9	109.4	32.3	234.7	83.5	381.2	67.3	10.03	3.16
山地暗红 壤性黄壤	表	7	86.2	28.2	26.8	13.8	33.4	34.6	1 132	334	239	151	41.2	17.2	123.5	50.8	221.5	38.4	432.6	284.7	10.57	4.4
	底	7	94.5	33.5	32.1	17.2	43.8	48.5	1 246	260	154.9	35.0	54.98	45.5	138.6	56.7	244.7	65.7	378.6	122	10.7	4.8
角闪斜长片 麻岩风化物	表	3	90.2	39.3	24.9	4.7	19.1	14.15	975	86.6	225.7	51	41.2	20.2	124.1	34.2	158.1	85.3	443.7	217	9.47	5.2
	底	3	84.5	25.7	35.2	7.2	37.2	13.4	1 517	597	222	54	73.3	31.9	194.7	51.3	322.6	314.4	4 465	248	16.71	5.2
混合岩 风化物	表	3	42.1	8.7	21.9	4.54	22.8	8.1	641	228	71.3	10	26.7	13.6	117.6	7.9	115.3	38.7	204.3	21.4	6.39	0.9
	底	3	105.3	17.4	33.8	4.69	57.0	26.0	986	206	1.07	16	48.6	15.0	157.4	34.1	188.4	105.2	232.9	58.4	9.05	1.9
黑云母混合 片麻岩风化物	表	7	90.2	16.4	25.8	14.3	34.9	33.4	1 143	322	240	150	39.4	18.2	120.9	52.5	208.7	46.5	465.9	288.0	9.92	4.3
	底	7	68.8	37.6	30.7	18.12	39.9	40.2	1 127	316	156	34	52.9	46.5	134.7	60.2	228.3	82.9	391.6	212	10.22	5.1



续表 12.13

土壤类型	层 次	样 品 数	Rb		Ga		Sc		Zr		Y		Cd		Pb		As		Se		Hg	
			$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$
高山 草甸土	表	1	404.1	/	36.4	/	12.16	/	245.1	/	34.4	/	0.375	/	18.75	/	5.26	/	0.107	/	0.038	/
	底	1	663.3	/	97.3	/	25.94	/	271.0	/	33.2	/										
亚高山灌 丛草甸土	表	4	280	200	28.7	10.6	12.33	4.1	295.4	36.0	28.9	6.5	0.175	0.102	10.75	4.21	3.16	1.38	0.149	0.03	0.114	0.032
	底	4	362	222	33.3	13.8	9.7	3.9	354.8	121	26.8	2.8										
山地 灰化土	表	7	222	196	24.5	11.2	8.4	3.6	277.4	113	23.1	8.8	0.088	0.03	14.69	2.86	5.49	2.47	0.209		0.120	0.032
	底	6	325	232	30.7	12.6	14.2	6.7	298.7	153	27.5	7.6										
山地棕壤	表	16	311.4	120	32.7	13.1	9.61	3.75	396	106	31.9	6.3	0.133	0.04	18.75	6.47	7.02	4.44	0.22	0.40	0.042	0.026
	底	16	378.5	135	33.4	8.9	11.4	3.6	470	200	32.4	4.2										
山地耕 种棕壤	表	6	349.3	149	29.2	6.02	8.96	3.5	457	63.5	34.9	7.1	0.133	0.07	13.70	3.73	5.66	2.45	0.178	0.09	0.078	0.057
	底	6	267.7	175	28.7	6.5	11.3	3.3	457	63.5	39.5	11.4										
山地黄棕壤	表	4	215.9	10.4	28.2	2.1	13.5	1.5	343.9	71.6	35.3	6.9	0.206	0.12	34.40	9.36	4.41	5.68	0.103	0.09	0.140	0.021
	底	4	300.9	275	29.9	6.3	12.6	2.6	369.1	72.8	38.2	8.4										
山地 草甸土	表	6	215.9	152	32.7	7.5	11.6	3.7	354	117	32.8	5.9	0.133	0.06	13.75	3.75	7.65	10.8	0.072	0.05	0.035	0.029
	底	6	258.2	172	28.9	6.3	12.4	3.0	400	142	33.9	3.8										
山地砖红 壤性黄壤	表	7	320	137	33.9	16.6	8.94	3.1	231	96.7	25.8	5.6	0.105	0.02	30.00	11.28	2.86	1.27	0.22	0.14	0.082	0.018
	底	7	210.2	109	35.1	12.3	10.7	5.6	203.7	84.9	25.2	5.0										
角闪斜长片 麻岩风化物	表	3	394.8	168	56.8	22.5	10.76	1.32	271	26.1	29.2	2.2										
	底	3	514	183	60.8	26.3	19.0	5.3	287	475	31.8	3.0										
混合岩 风化物	表	3	293.8	38.3	27.3	3.1	2.43	3.3	349	61.4	29.9	4.1										
	底	3	340.6	16.5	27.5	3.0	8.45	2.9	320	52.2	22.6	6.5										
黑云母混合 片麻岩风化物	表	7	315.7	115	32.8	12.0	9.78	3.6	252	114	28.7	8.8										
	底	7	365.2	174	35.7	12.3	11.5	5.0	248	123	28.6	10.0										

表 12.14 南峰地区 20 种元素间的相关系数

元素 γ 元素	Ca	Co	Cu	K	Mg	Mn	Zn	Al	Fe	Na	Ni	V	Sr	Ba	Mo	Rb	Ga	Sc	Zr	Y
Ca	1.000																			
Co	-0.370	1.000																		
Cu	-0.079	0.444	1.000																	
K	0.602	-0.256	-0.163	1.000																
Mg	0.823	-0.189	0.224	0.487	1.000															
Mn	0.096	0.445	0.251	0.164	0.117	1.000														
Zn	0.120	0.172	0.558	-0.029	0.239	0.498	1.000													
Al	0.589	-0.124	0.187	0.647	0.805	0.140	0.226	1.000												
Fe	-0.067	0.610	0.279	-0.025	0.167	0.331	0.248	0.340	1.000											
Na	0.233	0.018	0.079	0.332	0.198	0.303	0.457	0.421	0.333	1.000										
Ni	0.232	0.361	0.382	-0.020	0.392	0.345	0.495	0.181	0.254	0.158	1.000									
V	-0.249	0.720	0.450	-0.388	-0.081	0.242	0.262	-0.080	0.768	0.173	0.307	1.000								
Sr	0.504	-0.133	0.059	0.475	0.480	0.250	0.373	0.561	0.139	0.464	0.313	-0.166	1.000							
Ba	0.253	-0.053	-0.221	0.379	0.188	0.284	0.070	0.416	0.180	0.239	-0.034	-0.202	0.590	1.000						
Mo	-0.069	0.303	-0.096	-0.224	-0.012	0.161	0.025	-0.014	0.373	-0.102	0.056	0.301	-0.055	-0.121	1.000					
Rb	-0.106	0.286	0.054	-0.260	-0.04	0.115	0.090	-0.136	0.145	-0.108	0.044	0.115	-0.236	-0.278	0.659	1.000				
Ga	-0.001	0.393	-0.294	0.107	0.009	0.260	-0.036	0.180	0.617	0.368	0.031	0.264	0.245	0.285	0.429	0.425	1.000			
Sc	0.451	0.078	0.451	0.327	0.759	0.182	0.237	0.764	0.455	0.287	0.267	0.308	0.184	0.102	0.084	-0.030	0.606	1.000		
Zr	-0.056	0.088	-0.132	0.143	-0.247	0.141	-0.404	-0.246	-0.176	-0.090	-0.125	-0.093	-0.282	0.039	-0.137	-0.150	-0.073	-0.107	1.000	
Y	0.123	0.080	-0.045	0.19	0.043	0.147	-0.182	0.009	-0.011	0.020	-0.029	-0.016	-0.132	0.084	0.107	0.236	0.202	0.17	0.342	1.000

组成的特性,而且对判断是否受外来污染和推断土壤背景值有一定参考价值。现对该区 20 种元素 52 个样品测定结果进行相关系数的计算,其结果列于表 12.14(由于 Cd,Pb,As,Se,Hg 因测得数据少,不再进行统计)。

南峰地区主要土壤类型为山地棕壤,根据数理统计原理,取显著性水平为 0.05,该地区 20 种元素间的相关系数大于 0.27,可以说元素间有相关性。从结果看出,元素间相关性相差较大,同类元素具有相似的化学性质,在同一起来源的母质中,它们在相同的外界条件下,其迁移、转化和富集程度也非常相近。如 Ca 和 Mg 其相关性达 0.823,还有同族的 Sr、Ba 等它们之间都有较好的相关性。因为它们在元素地球化学分类中同属一类(武汉地质学院,1979),不论是电子结构、地球化学形态、分布富集等都有一定的相对性,所以它们之间有很好的相关性。

另外,化学键性质的改变及元素溶解度对元素的迁移、富集也有较大的影响,如 Fe 与  $[S_2]^{2-}$  形成配位键化合物  $FeS_2$ (黄铁矿)时,它的溶解度很低,不易迁移,但在表生条件下,  $[S_2]^{2-}$  氧化成  $[SO_4]^{2-}$  络阴离子与 Fe 间以离子键结合,形成  $FeSO_4$ ,溶解度就增大,此时,极易迁移。而与以高度稳定,且有很强抗风化能力的 Zr 结合,却有很低的溶解度,从而具有很好的富集条件。因此,它们之间具有很好的负相关。另外,具有大离子半径化学性质非常活泼,且易于淋失的钠元素,与抗风化能力很强的锆也具有很好的负相关,其系数达 -0.247。

## 八、土壤中元素环境背景值

在数理统计中,算术平均值表达一个正态样本或近似正态样本,偏态分布需经正态化后的平均数值。几何平均值表达一个对数正态或近似对数正态样品的平均数值。根据上述两种分析结果的元素浓度频数分布类型研究,估计南峰地区 26 种元素的环境背景值,由上述检验各元素分布类型,分别用算术平均值和几何平均值表示及其 95%置信域,并参照世界元素含量范围列于表 12.15。

表 12.15 南峰地区土壤中 26 种元素的平均值( $\times 10^{-6}$ )及 95%置信域

元素	平均值	标准差	变异系数	95%置信域	世界土壤元素含量范围
Cr	87.8	28.1		80.0—95.6	100(5—3 000)
Ca	21 829	0.41		19 458—24 489	15 000(7 000—500 000)
Co	23.9	0.42		21.3—26.9	8(0.05—65)
Cu	29.8	7.73		10.5—110.8	30(2—250)
K	13 173	0.39		11 802—14 712	14 000(30—37 000)
Mg	12 499	658	0.53	10 673—14 325	3 000(400—9 000)
Mn	910.2	307.6	0.34	824.9—995.5	1 000(20—10 000)
Zn	144.9	0.52		51.0—411.6	90(1—900)
Al	50 193	18 155	0.36	45 157—55 229	71 000(10 000—300 000)
Fe	47 463	9 789		32 298—77 221	40 000(2 000—350 000)
Na	14 868	0.41		13 279—16 647	500(150—25 000)

续表 12.15

元素	平均值	标准差	变异系数	95%置信域	世界土壤元素含量范围
Ni	42.3	0.52		36.6—48.8	50(2—750)
V	122.4	0.33		111.6—134.1	90(3—500)
Sr	147.7	0.45		130.5—167.1	250(4—2 000)
Ba	316.4	0.41		282.9—354.0	500(100—3 000)
Mo	9.3	0.50		3.4—25.5	1.2(0.1—40)
Rb	303.1	141.6		51.4—535.2	150(20—1 000)
Ga	32.1	8.2		13.3—77.4	20(2—100)
Sc	10.1	3.81	0.38	9.0—11.2	7(0.5—55)
Zr	349.9	106.8	0.310	320.3—379.5	400(60—2 000)
Y	30.8	6.6		16.1—50.3	40(10—250)
Cd	0.13	0.53		0—0.28	0.06(0.01—0.7)
Pb	19.06	10.34		16.34—23.61	10(2—200)
As	4.02	0.75		3.8—4.25	6(0.1—4.0)
Se	0.13	0.79		0—0.36	7(10—25)
Hg	0.078	0.05	0.64	0.061—0.095	0.03(0.01—0.3)

由上表可见,除 Na, Mg, Pb, Zn 元素与世界土壤平均含量相比偏高外,其它元素的计算值与(Bowen, 1966)的报道值相比较十分接近。Na, Mg 高的原因主要是受成土母质的影响,发育在该区土壤的成土母质主要是以含黑云母、矽线石以及石榴子石为主的混合片麻岩,它们含 Na, Mg 的成分都比较高,如西藏南部花岗岩中黑云母中 Mg 的含量达  $72\ 903(\times 10^{-6})$ (中国科学院青藏高原科学考察队, 1982), Na 的含量达  $1\ 184 \times 10^{-6}$ 。由于其化学性质十分活泼,很容易在岩石风化的成土过程中,受表生地球化学的作用,而明显地影响着土壤。一般说来,成土母质和土壤的化学组成并不相同,但母质的化学组成是成土物质的主要来源,对风化和成土过程有着重大的影响,它决定着土壤中元素的最初含量。从而说明元素之间的相关性成土母质元素的化学性质以及地球化学特性有关,同时,为推算土壤元素背景值提供了可靠的依据。结合元素的分布形态,加之 95% 置信域,其数据可以认定为 26 种元素的自然背景值。

综上所述,由于南峰地区高差巨大,山地垂直带谱明显。每个垂直自然带的气候、地貌、植被、土壤等均具有明显的特征,并对土壤中元素的迁移、转化产生一定的影响,其环境背景值具有以下特点:

(1) 南峰地区属喜马拉雅山造山期的年轻上升区,本区高山草甸土和亚高山灌丛草甸土带的大部分直至更新世晚期后方从冰雪覆盖下裸露出来,其发育历史短,由于气温低,风化作用不甚强烈,土壤含大量砾石,机械组成以砂粒为主,多属砂壤土。因而,本区成土母质的微量元素含量一般低于世界岩石圈平均含量的特点,对其上形成的土壤有很明显的影响,并表现在表 12.10 中底土含量高于表土含量的现象。

同时,从表 12.10 中表土数据可以看出,本区元素含量的顺序与土壤克拉克值(表 12.9)的顺序完全相似,其顺序为:  $Al > Fe > Ca > K > Mg > Mn > Zr > Ba > Rb > Sr > Zn >$

V>Cr>Ni>Ga>Y>Cu>Co>Pb>Sc>Mo>As>Cd>Se>Hg。除因该区土壤发育年青、骨架粗,尤其是高寒区生物活动较弱,土壤发育不成熟,主要受成土母质影响而呈现这一特点外,同时也表明该区土壤没有受外来污染的影响。

(2)本区所研究的各类土壤中,耕作土壤占相当一部分,就其结果看,与其它各类土壤含量相比,其变化规律基本相同,这就说明,该区农牧业土壤虽然具有相当长的耕种历史,但因仍保持原始的耕作方式,并施用部分农家肥。至目前为止,只是施用极微量的化肥及农药等,即本区农业土壤基本没有受人为的沾污。

(3)由于本区广泛发育着混合片麻岩、角闪斜长片麻岩等风化物,因此,在该区所研究的各类土壤中的元素,除Na,Mg外,其余均低于或接近于世界正常土壤的平均含量。

(4)各类土壤中影响元素的迁移与累积的主要因素是:

1)腐殖质的累积过程。在表生地球化学作用过程中,伴随着植物的吸收及腐殖质的累积,一些微量元素在表层中有不同程度的累积,如Mn,Cu的累积比较明显,部分土壤表层中还有Mo,Rb等元素的积聚。

2)淋溶和淀积过程。物理的和化学的淋溶,使风化矿物中的某些元素发生迁移,这些元素的含量在被淋溶的层次中有所减少,而在底层却有所淀积,如表12.11中分布在加拉村北,发育在混合岩母质上的暗棕壤中,V,Co,Ni等元素含量其表层土均低于底土,这些元素含量的变化与层次的机械组成的变化有关,往往在粘粒增加的层次中其含量也相应增加。

(5)利用数理统计方法,对本区元素进行频数分布类型的检验,元素间相关性的统计,结合元素分布形态,加之95%置信域,推算出该地区表土中26种元素的自然含量及其含量范围。但因本区土壤中化学性质非常活泼的钠、镁在其特殊的地理单元内,经过表生地球化学作用过程和受成土母质的影响,使其含量高出世界平均含量,但仍在其含量范围内。因该区自然环境独特,远离工业污染源,人为活动较少,故上述数值即为本区土壤中26种元素的自然含量背景值。

## 第四节 大气环境背景值

环境中大气污染物可通过大气环流,输送到几千米高空以及扩散到遥远的地方并产生危害。因此,尽快地开展清洁区大气背景值的研究,追踪污染物质的来源,探讨其输送、扩散、转化和富集规律是十分必要的。

### 一、南峰大气颗粒物的元素浓度

用PIXE法分析了南峰地区2号营地、大本营、派区等点大气气溶胶样品,现将测得值列于表12.16。

表 12.16 南峰地区大气颗粒物(微克/立方米)测得结果

地点:2号营; 0.864 立方米; 日期:1984年4月1日 编号(1)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5	6	7
Si	0.628	0.355	0.587	1.244	0.772	0.645	1.281
S	0.046	0.039	0.253	0.115	0.039	0.060	0.002
Cl	0.867	0.767	0.387	0.684	1.686	0.439	2.273
K	0.106	0.049	0.038	0.057	0.103	<0.0049	0.204
Ca	0.106	0.109	0.274	0.294	0.197	<0.0039	0.111
Ti	0.133	0.004	0.003	0.008	0.008	<0.0023	0.007
Mn	0.002	0.004	0.005	0.002	0.003	0.005	0.004
Fe	0.066	0.035	0.058	0.049	0.078	0.043	0.213
Cu	0.010	0.017	0.001	0.004	0.016	0.044	0.043
Zn	0.016	0.005	0.006	0.009	0.015	0.012	0.032
Pb	<0.0073	<0.0073	<0.0073	0.116	<0.0073	<0.0073	<0.007

地点:2号营; 0.864 立方米; 日期:1984年4月1日 编号(2)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5	6	7
Si	0.483	0.029	0.596	0.212	0.355	0.929	0.949
S	0.065	0.029	0.041	0.196	0.045	0.036	0.044
Cl	0.764	0.085	0.491	0.398	0.829	0.522	1.094
K	0.086	0.015	0.007	0.066	0.080	0.146	0.033
Ca	0.033	<0.0039	0.028	0.026	<0.0039	0.056	0.069
Ti	<0.0023	<0.0023	0.006	0.002	0.001	0.016	0.009
Mn	0.003	0.002	0.003	0.007	0.002	<0.0009	0.004
Fe	0.025	0.008	0.041	0.030	0.024	0.148	0.091
Cu	<0.0006	<0.0006	0.015	0.039	0.001	0.002	0.057
Zn	0.026	0.0002	0.004	0.012	0.002	0.006	0.020
As	<0.004	<0.004	0.009	<0.004	<0.004	<0.004	<0.007

地点:2号营; 0.9 立方米; 日期:1984年4月 编号(3)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5	6	7	8
Si	0.747	0.656	0.573	0.414	0.747	1.041	0.733	15.063
S	<0.03	<0.03	0.041	<0.030	0.034	0.063	0.121	<0.023
Cl	1.152	0.794	0.620	0.336	0.761	0.728	1.126	4.179
K	0.069	0.157	0.022	0.012	0.119	0.024	0.122	0.018

续表 12. 16

地点:2号营;

0.9 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(3)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5	6	7	8
Ca	0.091	0.108	<0.002	0.009	0.062	0.002	0.086	<0.016
Ti	0.006	0.006	0.006	0.006	0.011	0.006	0.006	0.021
Mn	0.003	<0.0008	0.003	<0.0008	0.003	<0.0008	0.005	<0.001
Fe	0.075	0.079	0.034	0.025	0.095	0.078	0.249	0.003
Cu	0.009	0.008	0.007	0.001	0.007	0.045	0.052	0.070
Zn	0.012	0.014	0.007	0.002	0.005	0.023	0.032	0.314
Se	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.024

地点:2号营;

0.9 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(4)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5	6	7	8
Si	0.480	0.522	0.440	0.349	0.394	0.604	0.529	
S	0.169	0.065	0.149	0.316	0.028	0.084	0.022	
Cl	0.340	0.362	0.736	0.238	0.787	0.741	1.210	
K	0.035	0.004	0.030	<0.005	0.033	0.045	0.170	
Ca	0.031	0.006	0.038	<0.002	0.017	0.030	0.044	
Ti	0.012	0.003	<0.002	<0.002	0.002	0.002	0.006	
Mn	0.003	0.002	<0.0018	<0.0018	0.003	<0.0018	<0.0018	
Fe	0.037	0.034	0.013	0.271	0.045	0.043	0.028	
Cu	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.003	0.012	<0.0006	0.005	
Zn	0.007	<0.001	0.004	<0.001	0.002	0.009	0.0041	

地点:大本营;

1.35 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(5)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5	6	7	8
Si	0.371	3.819	0.201	0.310	0.259	0.349	0.365	0.03
S	0.201	0.080	0.123	0.053	0.055	0.043	0.094	<0.003
Cl	0.196	0.315	0.124	0.251	<0.0059	0.226	0.206	0.021
K	0.024	0.121	<0.003	0.020	0.011	0.004	0.040	<0.003
Ca	0.017	0.136	0.005	<0.003	0.007	0.023	<0.003	<0.0013
Ti	0.004	0.035	0.001	0.002	0.002	<0.002	<0.002	<0.004
Mn	0.002	0.006	0.003	0.002	0.003	<0.0018	0.003	<0.0018
Fe	0.058	0.332	0.019	0.039	0.039	0.029	0.049	<0.0012
Cu	0.167	0.020	0.018	0.004	0.010	0.002	<0.0004	<0.0012
Zn	0.069	0.002	<0.0006	<0.0006	0.002	0.001	<0.006	<0.0024

续表 12.16

地点:大本营;

0.924 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(6)

粒 元 素 级	1	2	3	4	5	6	7	8
Si	2.117	1.646	1.063	0.689	0.495	0.570	0.413	<0.043
S	0.037	0.176	0.173	0.175	0.085	0.044	0.101	0.235
Cl	0.210	0.190	0.313	0.165	0.149	0.475	0.259	0.104
K	0.030	0.038	0.046	0.096	0.023	0.042	<0.005	<0.005
Ca	0.017	0.021	0.030	0.013	<0.004	<0.004	<0.004	0.081
Ti	0.010	0.012	0.005	0.006	<0.002	<0.002	<0.002	<0.005
Mn	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	0.005	<0.0008	<0.0017
Fe	0.122	0.128	0.075	0.064	0.039	0.040	0.025	<0.0017
Cu	0.006	0.002	<0.0006	0.048	0.003	<0.0006	0.025	0.637
Zn	0.007	0.011	<0.0009	0.023	<0.0009	<0.0009	0.009	0.288

地点:大本营;

1.008 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(7)

粒 元 素 级	1	2	3	4	5	6	7
Si	0.886	0.384	0.649	0.412	0.461	0.772	0.299
S	0.015	0.169	0.025	0.044	<0.021	0.023	0.023
Cl	0.047	0.154	0.242	0.283	0.289	0.317	0.399
K	0.054	<0.004	<0.002	0.011	0.020	0.024	0.009
Ca	0.023	<0.003	0.015	<0.003	<0.003	0.019	<0.002
Ti	0.005	0.002	0.003	0.004	0.001	0.005	0.038
Mn	<0.0007	<0.0007	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001
Fe	0.081	0.025	0.048	0.053	0.019	0.077	0.094
Cu	<0.0005	<0.0005	0.010	0.001	<0.0005	<0.0005	0.002
Zn	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.007

地点:大本营;

0.84 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(8)

粒 元 素 级	1	2	3	4	5	6	7	8
Si	0.768	0.377	0.701	0.561	1.460	0.437	0.655	<0.048
S	0.074	0.052	0.269	0.126	0.136	0.011	0.031	<0.035
Cl	0.500	0.288	0.244	0.167	0.305	0.429	0.398	0.212
K	0.117	0.022	0.047	0.020	0.033	0.018	0.001	0.027
Ca	0.044	<0.004	0.012	0.020	0.011	<0.004	0.011	0.083
Ti	0.020	0.003	0.002	0.005	0.005	0.003	0.006	<0.006
Mn	0.006	0.004	0.004	0.007	0.010	0.003	0.002	<0.0019



续表 12.16

地点:大本营;

0.84 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(8)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5	6	7	8
Fe	0.193	0.036	0.060	0.071	0.065	0.041	0.053	<0.0019
Cu	0.006	0.011	0.021	0.011	0.073	0.001	<0.0006	<0.0008
Zn	0.054	0.008	<0.001	0.006	0.008	<0.001	0.002	<0.004
Pb	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	0.026	<0.007	<0.007	<0.007

地点:派区;

1.152 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(9)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5	6	7	8
Si	1.744	0.059	1.744	0.437	1.265	1.161	0.592	<0.035
S	0.109	0.226	0.109	<0.018	<0.018	0.100	0.022	<0.025
Cl	0.393	0.567	0.360	0.373	1.011	0.658	0.774	0.206
K	0.089	0.212	0.089	0.026	0.086	0.050	0.024	0.039
Ca	0.089	0.169	0.089	0.002	0.041	0.033	0.014	0.013
Ti	0.013	0.047	0.013	0.003	0.005	0.005	0.011	<0.004
Mn	0.008	0.008	0.008	0.002	0.003	0.002	0.002	<0.0014
Fe	0.201	0.706	0.201	0.041	0.095	0.061	0.053	<0.0014
Cu	0.074	0.049	0.074	0.001	0.003	<0.0005	<0.0005	<0.0006
Zn	0.053	0.064	0.053	0.002	0.002	0.001	0.001	<0.0029
Pb	0.010	<0.007	0.009	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
Ni	<0.0005	0.137	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.001

地点:派区;

1.8 立方米;

日期:1984 年 4 月

编号(10)

粒 级 元 素	1	2	3	4	5
Si	1.474	0.401	0.591	1.479	1.533
S	0.088	0.036	0.025	0.730	0.063
Cl	0.142	0.188	1.164	0.138	0.123
K	0.058	0.201	0.030	0.053	0.060
Ca	0.050	0.373	0.087	0.068	0.055
Ti	0.006	0.004	0.001	0.005	0.015
Mn	0.002	0.002	0.002	0.001	0.004
Fe	0.092	0.048	0.028	0.086	0.126
Cu	0.002	0.060	0.007	0.015	0.081
Zn	0.005	0.026	0.004	0.005	0.053
Br	<0.003	<0.003	0.007	0.004	0.003
V	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	0.002

续表 12.16

单级		编号(11)											
地 点	元 素	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Br
波密(0.378 立方米)		1.040	1.122	6.577	0.598	0.360	0.003	0.007	0.005	0.125	0.007	0.012	2.114
八一(1.224 立方米)		0.582	0.382	2.304	0.128	0.128	0.004	0.012	0.004	0.054	0.001	0.010	0.067
派区(1.296 立方米)		4.676	0.316	2.566	0.309	0.209	0.019	0.042	0.011	0.377	0.005	<0.003	0.073
背崩(1.33 立方米)		0.629	<0.022	5.786	0.213	0.201	0.005	0.029	0.007	0.099	0.007	0.007	0.045

用冷原子荧光法测定了本区大气中 Hg 的含量,现将结果列于表 12.17。

表 12.17 南峰地区与其它地区大气中汞的含量

地 点	海拔(米)	气压(Pa)	采样日期(年·月·日)	测得汞含量(微克/立方米)		
				测得值	平均值(校正)	
派区	3 100	0.65	1983.6.29—7.1	4.0	4.6	4.3
				3.3	4.7	
			1984.4.14—4.16	5.5	3.1	4.2
				4.9	3.3	
大渡卡	3 050	0.69	1983.6.13—6.17	2.7	1.9	2.3
大本营	3 600	0.65	1984.3.16—4.8	2.1	4.5	2.8
				1.4	1.8	
				4.9	1.1	
				4.8	1.7	
2 号营地	5 000	0.52	1984.3.31—4.2	1.1	3.1	2.0
				2.8	2	
背 崩	6 00	0.95	1983.7.15—7.17	2.1	2.0	2.1
八一镇	3 000	0.66	1983.7.26—7.31	5.3	11.4	8.3
波密县	3 500	0.65	1983.8.15—8.16	7.6	6.2	6.9
拉萨市	3 600	0.64	1984.3.5—3.6	6	4	7.6
				11	10	
北京怀柔水库	50	1	1981.11			6
北京颐和园	50	1				6.9
北京中关村	50	1	1981.7			15
北京东单	50	1	1982.7			23
北大西洋上空	4 000					2.8
北半球上空	4 000					1.45
南半球上空	4 000					1.08
北京百花山	2 000	0.8	1984.3.9—3.14			5.8
北京平谷四间房	1 062	0.9	1984.5.9			7.1

## 二、不同粒度元素含量的分布状况

按不同粒度分别统计,与北京及其它地区相比,具有自己的特点。现以 S 为例,比较其的含量分布(图 12.2)。

北京大气中硫含量普遍高,尤以细粒中含 S 量明显上升。西藏和恰卡尔塔亚(chacaltaya)山 S 的分布基本相似,细粒中 S 含量有下降的趋势,一般来自人为污染源的硫酸盐主要分布在小粒子上。表明这里无明显污染源的干扰。在南峰 S 的总量要高于南美玻利维亚恰卡尔塔亚山(Adams et al., 1977)。

## 三、粗粒中各元素富集因子和相关系数

通常取  $>11$  微米的粒子为粗粒级(即降尘),求南峰地区大气中粗粒级元素的富集因子(EF)列于表 12.18。

$$EF = \frac{\text{样品}(x/\text{Fe})}{\text{地壳}(x/\text{Fe})}$$

式中:样品  $(x/\text{Fe})$  为本区粗粒级某元素的含量与元素 Fe 的含量之比;地壳  $(x/\text{Fe})$  为地壳中某元素含量与元素 Fe 的含量之比值(Winchester, 1983)。

从 Si, Ca, K, Ti 等土壤主要元素看出,富集因子接近于 1 或稍大于 1, S, Cl, Cu 和 Zn 的富集因子较大。在分析中国北方大气的背景时 Winchester 等(Winchester et al., 1981)指出: S, Cl 的富集因子在粗粒中偏高,认为大气的运输特殊方式有可能造成以上元素的富集, Adams 等在研究南美玻利维亚恰卡尔塔亚山背景时(Adams, 1977),已发现大气气溶胶中 S, Cl, Pb 在粗粒中富集因子分别为 97, 130 及 51, 有某些类似之处。另外,西藏地区由于地质历史的变迁,古老的海相沉积环境,有可能本地 Cl 的含量较高。喜马拉雅山地区在第三纪渐新世前还是茫茫海洋,始新世后,由于喜马拉雅山造山运动而逐渐隆起成为陆地(中国科学院西藏科学考察队, 1975)。因此,该区在成土母质的风化过程中受到一定的影响。Zn 的富集因子较大的原因主要是来源于本区,在本章土壤背景值中, Pb, Zn 的含量均偏高, Zn 的平均值为  $144.9 \times 10^{-6}$ 。S 没有结果对照,估计有可能地壳中的硫酸盐或含硫矿物对粗粒气溶胶的 S 会有一定的贡献。

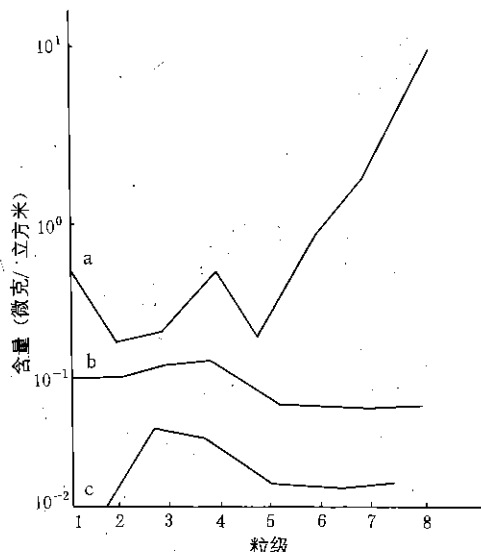


图 12.2 南迦巴瓦峰及其它地区大气不同粒级中 S 的分布曲线

- a. 北京在冬季时大气气溶胶不同粒级中 S 的分布;  
b. 南峰地区大气气溶胶中 S 的分布; c. 南美玻利维亚恰卡尔塔亚(chacaltaya)山的粒度分布曲线

表 12.18 南峰地区大气中粗粒级各元素的富集因子

元 素	粗粒含量(微克/立方米)	粗粒样品( $x/Fe$ )	地壳( $x/Fe$ )	富集因子( $EF$ )
Si	0.881	10.208	5.50	1.856
S	0.071	0.827	0.005	165.4
Cl	0.345	4.026	0.003	1342
K	0.668	0.703	0.52	1.352
Ca	0.050	0.527	0.72	0.732
Ti	0.021	0.222	0.088	2.523
Mn	0.031	0.032	0.019	1.684
Cu	0.027	0.310	0.011	28.18
Zn	0.012	0.141	0.001	141
Fe	0.086	1.000	1.00	1.00

为了进一步弄清粗粒中元素的来源,我们统计了各元素间的相关系数,列于表 12.19。从此表可以看出,Cl 与部分元素如 Ca,K,Ti 呈正相关,说明主要是自然来源的因素,而 Cl 与 S,Zn,Cu,Fe 等呈负相关,说明了除有自然来源因素外,还可能其它因素,如矿体等。

表 12.19 南峰地区大气粗粒级各元素间相关系数

元素	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn
Si	1.000	-0.302	-0.360	-0.118	0.027	-0.169	0.111	0.592	-0.246	-0.194
S		1.000	-0.319	-0.399	-0.277	-0.206	0.217	-0.133	0.653	0.544
Cl			1.000	0.539	0.685	0.388	0.195	-0.171	-0.133	-0.044
K				1.000	0.633	0.480	0.579	0.423	-0.250	0.214
Ca					1.000	0.607	0.421	0.228	-0.189	-0.016
Ti						1.000	-0.077	-0.068	-0.195	-0.099
Mn							1.000	0.699	0.159	0.597
Fe								1.000	-0.081	0.422
Cu									1.000	0.781
Zn										1.000

$$\text{回归方程} [Zn] = 0.004 - 0.019[Si] + 0.303[Fe] + 0.328[Cu]$$

$$R = 0.988$$

#### 四、细粒级元素富集因子与相关系数

取 $<1.2$ 微米的部分为细粒(飘尘),算出各个样品的平均值,并求出与 Fe 的比值,并选南极为相对洁净区,与之相应元素与 Fe 的比值作为对照,列于表 12.20。

$$\text{即 } EF = \frac{\text{南峰}(x/Fe)}{\text{南极}(x/Fe)}$$

式中:南峰( $x/Fe$ )为本区某细粒级元素的含量与元素 Fe 的含量之比值;南极( $x/Fe$ )

为南极地区某元素的含量与元素 Fe 的含量之比值。

从表 12.20 中看出, Cl/Fe, Zn/Fe 高于南极, 但 S/Fe 低于南极, 从富集因子看, Cu 和 Zn 的较大, S 的较小, 由上可见, 粗粒与细粒的富集因子是不同的。

表 12.20 大气中细粒级元素富集因子

元素	<1.2 微米粒子(微克/立方米)	南峰(x/Fe)	南极(x/Fe)	EF
Si	0.685	7.80	—	—
S	0.115	1.309	80	0.0163
Cl	1.804	20.54	4.2	4.89
K	0.086	0.979	1.1	0.89
Ca	0.076	0.864	—	—
Ti	0.017	0.196	—	—
Mn	0.004	0.048	0.021	2.286
Fe	0.088	1.00	1	1
Cu	0.037	0.420	0.047	8.94
Zn	0.123	1.389	0.053	26.2

为了进一步说明问题, 现将细粒中各元素相关系数列于表 12.21。

表 12.21 南峰地区大气中细粒级各元素相关系数

元素	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn
Si	1.000	0.171	0.880	-0.081	-0.123	0.357	-0.091	-0.143	-0.012	0.092
S		1.000	-0.282	-0.187	0.268	-0.274	-0.077	-0.006	-0.823	0.473
Cl			1.000	0.353	0.195	0.313	0.217	0.223	-0.084	0.540
K				1.000	0.595	-0.175	0.561	0.635	-0.156	-0.184
Ca					1.000	-0.229	0.641	0.535	0.375	0.164
Ti						1.000	0.258	0.085	-0.105	0.184
Mn							1.000	0.807	-0.057	-0.137
Fe								1.000	-0.150	-0.232
Cu									1.000	0.710
Zn										1.000

从表 12.21 中看出, Cl 与 Si 相关系数较大, 达 0.880, 与 Ti, Ca, K 也呈正相关, 说明它们有共同的来源, 而 Cl 与 S, Cu 呈负相关, 这与粗粒级的趋势是一样的, 只有 Cl 与 Zn 呈正相关, 达 0.54, 说明了细粒级的 Zn 也主要来源于本区。

## 五、大气中元素含量背景值

将所测原始数据取算术平均值, 并引用其它地区含量列于表 12.22。

从表中看出, 该区大气中 Pb, As, Se, Ni, Br 等元素含量非常低, 均在检测限以下 ( $<10^{-8}$  克) 即每立方米空气中低于  $10^{-9}$  克以下, 说明了本区该元素的背景洁净程度。

表 12.22 南峰地区气溶胶中元素含量(微克/立方米)与其它地区对比

地点	海拔	日期 (年.月)	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb	As	Se	Ni	Br	Cr
2号营	5 000	1984.4	8.088	0.554	5.29	0.442	0.465	0.075	0.020	0.505	0.118	0.151	0.159	0.035	0.070	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-3</sup>
大本营	3 600	1984.4	5.863	0.766	1.777	0.241	0.192	0.052	0.027	0.555	0.194	0.084	0.007	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-3</sup>
派区	3 100	1984.4	5.281	0.551	3.138	0.409	0.376	0.043	0.017	0.474	0.094	0.069	0.061	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	0.141	0.020	0.042
波密	3 000	1983.8	1.041	1.122	6.577	0.598	0.360	0.003	0.005	0.125	0.007	0.012	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	2.140	0.007
八一镇	3 000	1983.8	0.582	0.382	2.304	0.128	0.128	0.004	0.004	0.054	0.001	0.010	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	0.067	0.012
背崩	600	1983.7	0.629	0.022	5.786	0.213	0.201	0.005	0.007	0.099	0.007	0.007	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	0.045	0.029
平均值			3.581	0.566	4.145	0.339	0.287	0.030	0.013	0.302	0.070	0.056	0.076			<10 <sup>-4</sup>		
北京百花山	2 000	1983.12	25.28	1.919	1.630	0.659	2.796	0.147	0.041	1.602	0.132	0.023	0.016			<10 <sup>-4</sup>		0.038
北京天安门	50	1984.3	12.77	28.84	5.916	3.962	5.346	0.216	0.145	1.959	0.034	0.166	0.185			0.008	0.013	0.035
南美恰卡尔塔亚山	7 000	1980	2.34	2.00	0.130	0.128	0.109	0.026	0.005	0.284	0.026	0.036	0.120	0.025	6×10 <sup>-3</sup>	4×10 <sup>-4</sup>	0.023	0.001
南极		1979		0.049	0.003	7×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-4</sup>	6×10 <sup>-4</sup>	3×10 <sup>-3</sup>	3×10 <sup>-3</sup>		7×10 <sup>-4</sup>		0.002	0.002	4×10 <sup>-5</sup>

### (一) 硫的分布特点

S 在本区具有独自的特点,其含量大小顺序为波密>大本营>2 号营地>派区>八一镇>背崩,由于该区广泛发育着  $H_2S$  气泉,尤其是波密及大本营附近,含量显得较高,也表现在上述富集因子达 159。但总体上要比北京的最洁净区百花山低 70.5%,比天安门低 98%,比恰卡尔塔亚山还要低 71.7%。恰卡尔塔亚山位于南美玻利维亚境内,海拔为 5 220 米,采样点选在海拔 4 000 米处,此处附近有一天体物理实验站,离公路约 25 公里,空气洁净,可见度一般优于 250 公里,地面无植被,平均温度为  $-1^{\circ}C$ ,气压为 719.9388 百帕。

### (二) 氯的分布特点

Cl 在本区含量也比较高,其主要原因是来自于当地含有氯化物岩石风化成土过程中基值。另外,可能是来自印度洋海水氯化物蒸发和印度工业通过大气环流而输送至此的,使背崩及海拔 5 000 米的 2 号营地洁净点含量分别达到 5.786 和 5.29 微克/立方米,也表现在细粒级( $<1.2$  微米)的 Cl 富集因子高达 4.89。南峰地区冬季受西风带控制,天气晴朗干燥,夏半年深受西南季风湿润气流的影响,潮湿多雨。虽然喜马拉雅山脉对来自印度洋的湿润气流具有明显的阻挡作用,致使南北气候带产生一定的差异性,但雅鲁藏布江大拐弯这样的奇特峡谷地貌,形成极为理想的水汽通道,这不仅使湿润的印度洋气流直接影响到背崩,直至自大拐弯顶端沿帕隆藏布河谷影响着波密等地,使该点含量高达 6.577 微克/立方米,并沿着雅鲁藏布江河谷继续西行影响到派区以及八一镇等地,其含量分别降低到 2.566 和 2.304 微克/立方米。但与天安门 Cl 的含量相比还要低。

### (三) 汞的分布特点

(1)在对流层上下部和平流层下部的汞的全球分布测量中,一般汞的背景值是 1—4 纳克/立方米(庞叔薇等,1980)。北半球要高于南半球。如对流层上部汞的平均浓度在北半球是 1.45 纳克/立方米(Seiler et al., 1980)。在南半球是 1.08 纳克/立方米。这说明大气中汞的含量除一些自然来源如火山等散发外,还要受人类活动因素的影响。而海拔 5 000 米的 2 号营地其含量为 2.0 纳克/立方米,也说明了这一点。虽然这里是终年积雪,无交通及人为干扰,但受气流的影响而将人类活动的一些因素迁移至此。背崩因山势险要,与内地成封闭状态,自然状态保持完好,所测近地面大气中汞的含量为 2.1 纳克/立方米。可见,该地区未受工业空气污染的影响。

(2)大本营、大渡卡两点测得值分别为 2.8 纳克/立方米和 2.3 纳克/立方米,略高于背崩和 2 号营地,很可能是受距离大本营 2 公里,距大渡卡 5 公里处的接地当嘎村旁的  $H_2S$  气泉的影响。而日本北部三个温泉附近空气中的总汞量据 Yukio Takiciwa 等人在 1981 年发表的资料分别为 57 纳克/立方米,117 纳克/立方米,和 144 纳克/立方米。

(3)在派区、波密、八一镇这三点的数据中,派区为 6.6 纳克/立方米,因这里有极少量

汽车、拖拉机等活动,而波密、八一镇分别为 6.9 纳克/立方米和 8.3 纳克/立方米,尤其是八一镇车辆较多,人为活动增大,同时也有燃烧汽油炉的情况,并有部分小型工业。所以,比上述各点背景值高出 2—4 倍。说明已受人为活动因素的影响。

(4)拉萨市由于交通繁忙,并有部分中小型企业 and 烧油等现象,故汞的排放情况较重,再加上拉萨市是个高山古城,寺院等古建筑众多,鎏金及涂朱砂红墙等向空气中散发出一定数量的汞,所以汞的含量达 7.6 纳克/立方米。

从本区 Si 来看,比北京百花山和天安门都要低,如本区背景点仅是北京百花山的四十分之一,同时表现在粗粒级的 Si 更低,这就说明了本区风沙少,植被覆盖面大,受动力车活动等人为干扰小,受大气环流影响较弱等特点。

## 第五节 生物环境背景值

生物环境背景值,往往能够直接反映环境中各种营养元素及有毒物质的含量水平。

### 一、有机氯化物含量水平

有机氯化物如 DDT、666、PCB,由于性质稳定,在环境中可以受到各种自然因素的影响而作长距离的迁移。据报道,在南极的冰、雪、水(Tanabes et al., 1981)和企鹅体内(Ballschmiter, 1981)也曾检验出微量的 DDT、666,那么南峰地区是否也受到这类有机氯化物的污染,为此,我们首次用痕量分析方法,分析了水、土壤、动植物等样品中有机氯化物的含量,以达到了解南峰地区生物背景状况的目的。

#### 1. 雪、江水中 DDT 等含量

在南峰地区采集的江水和雪中都检出了微量的 DDT、666、PCB。雪中总 DDT 量达 0.0058 纳克/毫升,总 666 量为 0.1245 纳克/毫升,PCB 为 0.0105 纳克/毫升。不同江段中江水内含 DDT、666、PCB 量不一。距加拉村 5 公里采集的江水,总有机氯含量较低,其中 DDT 总量小于检出量,666 总量为 0.0047 纳克/毫升,PCB 量亦小于 0.001 纳克/毫升;派区江水段内含 DDT 总量较上述江水中含量为高,DDT 总量为 0.0125 纳克/毫升,666 为 0.1 纳克/毫升,PCB 为 0.0176 纳克/毫升(表 12.23)。

表 12.23 南峰地区雪、江水中有机氯化物含量( $\times 10^{-9}$ )

采集地点	日期 (年·月·日)	海拔 (米)	$\Sigma$ 666				
			$\alpha$ -666	$\beta$ -666	$\gamma$ -666	$\delta$ -666	$\Sigma$ 666
雅鲁藏布江拐弯 距加拉村北 5 公里处	1983.6.14	2 850	0.0012	<0.001	0.0012	0.0013	0.0047
曲子溪入江前段 格嘎村旁	1983.6.20	2 900	0.0313	0.0185	0.0155	0.0106	0.0759
派区江水段	1983.7.4	3 600	0.0465	0.0212	0.0234	0.0093	0.1004
那木拉错旁山上	1983.6.26	4 250	0.0514	0.0306	0.0360	0.0119	0.1245
平均值							0.0082



续表 12.23

	$\Sigma$ DDT					PCB-S	总有机氯含量
	PP'-DDE	PP'-DDD	OP'-DDT	PP'-DDT	$\Sigma$ DDT		
雅鲁藏布江拐弯 距加拉村北5公里处	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.0067
曲子溪入江前段 格嘎村旁	0.0012	0.0016	0.001	<0.001	0.0048	0.005	0.0857
派区江水段	0.004	0.0017	0.0036	0.0032	0.0125	0.0176	0.1305
那木拉错旁山上	0.001	0.002	0.0018	<0.001	0.0058	0.0105	0.1408
平均值					0.0060	0.0085	0.091

总的来看,江、雪水含 DDT、666、PCB 都是比较低的。如与北京房山县机井地下水水中所含 DDT、666 相比,666 总量低 91.4%。国外 1964 年报道了 Peterle(Peterle, T. J., 1969)在南极测得雪中 DDT 的含量为 0.04 纳克/毫升,与本地区雪中 DDT 含量相比约高 6.7 倍(表 12.24)。

表 12.24 其它地区雪、水中有机氯化物含量( $\times 10^{-9}$ )

采 集 地 点	日期	$\Sigma$ 666	$\Sigma$ DDT
北京房山县机井 9-35 段地下水	1980 年	0.423	0.282
蓟运河下游丰水期河水	1979 年 10 月	1.700	0.04
蓟运河下游枯水期河水	1980 年 5 月	4.00	0.07
南 极 雪	1969 年		0.04

## 2. 南峰地区土壤中 DDT、666 含量

在不同植被和不同海拔高度,特别是在很少人去过的地方海拔 4 000 米的森林与亚高山灌丛草甸交界处,采集了土壤样品,分析其中 DDT、666、PCB 的含量,从海拔较低的草甸土到海拔高的高山草甸土中均检出微量的 DDT、666、PCB(表 12.25)。

在海拔 4 000 米土壤中分析出 666 总量为 6.13 纳克/克,DDT 总量为 0.465 纳克/克,总有机氯含量为 5.85 纳克/克,DDT 总均值为 3.32 纳克/克,总有机氯含量的均值为 11.14 纳克/克,因此,可以用海拔 4 000 米处的土壤中 DDT、666、PCB 含量代表南峰地区土壤的一般含量。

总的来讲,土壤中有机氯的含量较低,如与北京近郊和远郊未用过农药地区土壤中 DDT、666 含量相比,仍是低的。与延庆县沙丘中 DDT 含量相比(2 纳克/克)低 76.8%,与 666 最低量(34 纳克/克)相比低 86.6%(表 12.26)。

表 12.25 南峰地区土壤中 666, DDT, PCB 含量 ( $\times 10^{-9}$ )

采集地点及主要植被情况	采集日期 (年·月·日)	海拔高度 (米)	土层深度 (厘米)	$\sum 666$					$\sum DDT$					PCB-S 氯含量	总有机
				$\alpha$ -666	$\beta$ -666	$\gamma$ -666	$\delta$ -666	$\sum 666$	PP'-DDE	PP'-DDD	OP'-DDT	PP'-DDT	$\sum DDT$		
帕龙藏布河边·草甸土	1983.8.24	2 600	0—30	1.261	0.531	0.621	0.281	2.653	0.371	0.124	0.417	1.341	2.259	0.738	5.69
大渡卡三队青裸地	1983.6.21	3 050	0—15	1.252	0.689	0.626	0.142	2.709	0.469	0.089	0.415	0.998	1.921	1.216	5.896
上点过 1 公里草地	1983.7.25	3 050	0—15	1.692	0.840	0.726	0.339	3.597	0.443	0.050	0.477	0.929	1.949	4.363	9.909
电站旁次生林带	1983.7.8	3 100	0—20	3.498	1.081	1.197	0.384	6.160	1.169	0.073	3.021	2.748	7.011	1.720	14.891
距加拉公路 2 公里草地	1983.7.8	3 300	0—15	2.205	0.824	0.784	0.255	4.068	1.073	0.128	3.241	1.659	6.101	1.193	10.891
多雄拉斯公路顶端 森林内·针叶冷杉林	1983.7.8	3 500	0—30	6.267	1.817	2.879	0.905	11.868	1.130	0.174	2.107	3.045	6.456	5.934	24.258
转运站神碑旁草地	1983.7.25	3 500	0—15	1.436	0.800	0.685	0.200	3.121	0.513	0.552	0.438	0.732	1.835	0.113	3.966
派区江边青裸地	1983.7.1	3 500	0—15	4.192	3.374	1.715	1.840	11.121	0.352	0.117	0.341	0.614	1.424	1.059	13.604
接地当嘎村北 1 公里次森林带、 青冈、橘山松	1983.3.5	3 550	0—30	4.651	0.583	1.765	0.381	7.380	0.357	0.072	0.018	0.648	1.0302	2.846	11.256
1 号营地往大本营 方向 1 公里·次森林与 森林交接处草岸上	1984.3.26	4 000	0—20	3.829	0.522	1.631	0.453	6.135	0.198	0.038	0.138	0.091	0.465	2.294	8.894
算术平均值								5.88					3.045	2.148	10.926

表 12.26 北京远近郊非用农药地区土壤中 DDT,666 含量( $\times 10^{-6}$ )

采样地点	DDT	666	采样地点	DDT	666
昌平八达岭长城外南坡	0.445	0.35	延庆西拨子公社沙丘	0.005	0.034
昌平八达岭长城外石峪沟	0.064	0.118	昌平八达岭长城内北坡	0.164	0.385
昌平八达岭长城内南坡	0.052	0.259	怀柔黄坎公社四渡河	0.128	0.124
怀柔石湖峪长城南 2 公里	0.117	0.201	昌平沙岭高山顶西坡	0.115	0.165
怀柔石湖峪长城南 2 公里(北)	0.117	0.120	房山云水洞附近高山顶	0.095	0.198
门头沟雁翅东 1 公里山坡	0.043	0.078	房山坊山风波咀峰	0.092	0.166
门头沟雁翅东 25 公里山坡	0.09	0.213	延庆西拨子公社沙丘	0.002	0.044

本区土壤中有有机氯与一般农药使用地区相比,则悬殊就更显著,与山东文登县小麦田、湖南衡阳衡山梯田、河南新乡梯田、昌平苹果园、北京海淀葡萄园土壤内 666,DDT 总量相比均低(表 12.27)。

表 12.27 其它地区土壤内 DDT,666 含量( $\times 10^{-6}$ )

地 点	时间	耕种种类	点数	DDT	666
山东文登县	1980 年 9 月	麦田	25	0.412	0.255
湖南衡阳衡山	1980 年 11 月	梯田	20	1.972	0.249
河南新乡	1979 年	梯田	14	1.196	0.711
北京海淀		葡萄园	11	18.77	1.715
北京昌平		苹果园	2	7.601	0.422

### 3. 高原植物对 DDT,666 等的富集作用

人们经常注意到食用植物对 DDT,666 的富集作用,而对天然植被对 DDT,666 的富集作用却很少研究。地衣这个真菌和藻类唯一复合体,它不仅能吸收环境中的化学物质,而且具有较强的富集能力。我们采集了天然植物地衣、杜鹃花、山核桃、青冈木等,分析了其植株内所含的 DDT,666,PCB 的含量,现将结果列于表 12.28。

从分析结果看,含量普遍较低,其中一般 666 含量要比 DDT 含量高,这与该地区土壤内 666 含量比 DDT 含量高的情况是一致的,同时这些高原植物体内 666,DDT,PCB 的含量均较该地区土壤中含量为高,说明它们具有富集作用,其中以地衣对 DDT,666 的富集能力最大,在富集 666 中又以  $\alpha$ -666 含量最高,约占总 666 含量的 40%,在富集 DDT 中,DDT 含量较高的约占总 DDT 含量的 50%,其原因可能由于酶的作用代谢而形成,杜鹃花在吸收 666 中同样也以  $\alpha$ -666 含量最高,约占总 666 含量的 70%。地衣、杜鹃中吸收富集的 DDT,666 含量与该地区土壤中 666,DDT 平均值相比,地衣中 666 含量比土壤中含量大 14 倍左右,比土壤中 DDT 总量高 25 倍左右。

表 12.28 南峰地区不同植物中 666, DDT, PCB 含量( $\times 10^{-9}$ )

植物名称	地点	海拔 (米)	日期 (年·月)	$\sum$ 666					$\sum$ DDT					PCB	总有机氯
				$\alpha$ -666	$\beta$ -666	$\gamma$ -666	$\delta$ -666	$\sum$ 666	PP'-DDE	PP'-DDD	OP'-DDD	PP'-DDT	$\sum$ DDT		
杜鹃花 <i>Rhododendron</i> sp.	那木拉	4 300	1983.7.	32.49	5.41	8.19	<0.01	46.11	0.50	<0.01	0.31	1.53	2.36	5.05	53.51
地衣 <i>Lichens</i>	加拉	3 000	1983.7.	34.88	14.64	21.68	15.55	87.77	5.11	2.23	1.88	1.17	10.38	<0.01	97.16
核桃 <i>Juglans regia</i> L.	格嘎	3 000	1984.4.11	16.25	4.89	13.76	4.91	39.80	3.78	0.74	4.52	14.15	23.18	20.56	83.54
青冈木(中径6厘米) <i>Cyclobalanopsis</i> sp.	波密	3 000	1983.7	4.85	1.63	2.43	1.73	10.63	2.12	0.76	1.07	1.13	5.07	7.75	23.45
松木(中径6厘米) <i>Pinus</i> sp.	波密	3 000	1983.7	13.08	6.11	6.21	3.77	29.12	<0.01	0.04	0.50	0.35	0.86	8.47	38.45
青  桉	格嘎	3 000	1984.4.11	33.79	6.30	7.75	2.10	49.94	1.49	<0.01	1.89	3.14	5.53	11.73	69.21
算术平均值								43.73					7.90	8.93	60.89

表 12. 29 南峰地区不同动物(内脏、毛发)内 666, DDT, PCB 含量( $\times 10^{-9}$ )

名称(内脏、毛发)	采集地点	海拔高度 (米)	采集时间 (年·月·日)	$\sum$ 666						$\sum$ DDT				PCB-S	总有机 氯含量
				$\alpha$ -666	$\beta$ -666	$\gamma$ -666	$\delta$ -666	$\sum$ 666	PP'-DDEPP'-DDDOP'-DDT	PP'-DDT	DDT	DDT	DDT		
鸡蛋	格嘎	3 000	1984. 4. 11	34. 074	2. 296	3. 149	2. 485	41. 984	1. 804	0. 713	1. 240	2. 966	6. 686	<0. 01	48. 68
公鸡 (心、肝、肺)	派区	3 100	1984. 4. 11	24. 655	32. 203	11. 473	4. 589	72. 92	11. 900	2. 615	2. 276	2. 205	18. 996	1. 3176	93. 292
藏马鸡 (心、肝、肺)	大本营 离峰 10 公里	3 600	1984. 3. 15	2. 708	4. 854	11. 211	0. 853	19. 626	0. 943	0. 249	2. 386	2. 311	5. 889	22. 179	47. 694
公鸭 (心、肝、肺)	大本营 离峰 10 公里	3 600	1984. 3. 16	3. 109	3. 510	<0. 01	<0. 01	6. 639	2. 107	0. 164	1. 099	1. 420	4. 79	13. 340	24. 769
牛尾毛	派区	3 100	1983. 7. 24	42. 439	10. 018	16. 861	1. 968	71. 286	1. 710	<0. 01	3. 255	5. 255	10. 23	30. 259	111. 775
头发(男)	派区	3 100	1983. 7. 24	24. 963	2. 727	11. 675	1. 188	40. 563	1. 985	<0. 01	2. 773	3. 359	8. 127	4. 877	53. 567

#### 4. 南峰地区脊椎动物体内 DDT, 666, PCB 的含量

通过分析不同地点家禽内脏、蛋等, 均测出 DDT, 666, PCB (表 12. 29)。

但若与其它地区相比, 666, DDT 等在南峰地区动物体内含量要低得多。如南峰地区所测鸡蛋中 666, DDT 含量, 要比河北省坝县鸡蛋样品中 666 含量低 75%, DDT 低 92. 5%; 若与晋县鸡蛋样品中 666 含量相比低 130 倍, DDT 低 365 倍 (表 12. 30)。与上海鸡内脏中 666 ( $0.84 \times 10^{-6}$ ) 的含量亦一样, 要低 89. 0%, DDT 低 98. 9%。国外研究者曾检测企鹅和企鹅脂肪及蛋内 DDT、PCB 的含量, 以了解海洋背景污染现状 (Tanabes, et al., 1983), 因它在海洋环境中生活时间较长, 但由于企鹅种类不同, 食量不一, 测定企鹅蛋内含 DDT、PCB 的含量也就不一, 其测定值为 0—580 纳克/克, PCB 为 10—400 纳克/克, 可作为海洋动物的背景值。本区所测鸡蛋等 DDT、666、PCB 含量也可达到了解高原脊椎动物体内有机氯背景值之目的。

表 12. 30 不同地区鸡蛋中 DDT, 666 含量

地 区	666 平均值 ( $\times 10^{-6}$ )	DDT 平均值 ( $\times 10^{-6}$ )
河北省坝县 <sup>1)</sup>	0. 247	0. 0685
河北省正定	1. 703	1. 492
河北省晋县	5. 458	2. 446
上海郊区 <sup>2)</sup>	0. 301	0. 375

1) 河北农业大学, 1982, 农药污染现状及评价研究;

2) 潘中华等, 1981, 上海农业土壤、饲料、鸡蛋中 BHC, DDT 的含量与分布研究。

## 二、无机物含量水平

南峰及北京地区部分生物样品中无机物含量列于表 12. 31。

## 三、结 论

根据对南峰地区水体、土壤、大气和某些生物样品中元素的环境背景值及含氯有机物的含量水平的调查研究, 其主要结果归纳如下:

1) 南峰地区的水体含盐量较低, 总碱度低于 1 毫克当量/升, pH 值为 7 左右, 大部分为  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$  (I) 型水, 水质为优质淡水。

2) 本区河水中元素含量水平与世界河水的含量大致平均值相比, Al, Fe, Mn 含量偏高, Sr 含量偏低, 而 Ba, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg, Se, Be 等元素含量基本相近。南峰地区雅鲁藏布江段河水中 B 含量比该地区冰、雪融水中含量高很多, 且沿江自上而下 B 含量有下降趋势, 可能主要不是来自该地区冰雪融水, 而是来自上游河水经稀释或自净作用所致。

3) 土壤质地较粗, 粘粒含量 ( $< 0.001$  毫米) 一般不超过 10%, 有机质含量除个别剖面外, 普遍低于 10% 左右, 除波密一带土壤呈中性反应外, 其余的土壤呈酸性反应。

表 12.31 南峰地区人发和牛毛中元素含量(微克/克)

地 点	取样日期 (年·月)	名 称	性别年龄	Ca	Cu	K	Mg	Mn	Pb	Zn	Fe	Mo	Na	Ni	As	Cr	Sr
派 区	1983.7	尼马次仁	男 19 岁	1 522	8.89	0	400	0	0	107	0	0	755	0.39	43.20	5.10	43.00
察隅县养蜂场	1983.8	琚 玛	女 24 岁	2 386	9.00	0	267	6.60	10.95	145	11.80	0	858	0.25	1.45	2.90	39.00
波密县易贡农场	1983.8	拔 珍	女 23 岁	1 884	14.40	0	0	0	0	110	0	12.90	0	2.70	0	9.10	49.00
北京空调器厂	1985.5	张 辉	男 31 岁	1 381	7.45	0	259	0.54	1.75	129	10.35	0	394	0.01	3.25	3.50	25.00
西安市 1020 所	1985.5	王 梅	女 21 岁	3 060	6.60	0	384	1.75	2.65	132	85.00	0	587	0.10	4.40	4.50	32.00
北京东城修理公司	1985.5	李化英	女 50 岁	1 238	8.05	0	227	1.00	3.20	143	116.00	0	242	0.97	7.40	3.50	17.00
北京塑料六厂	1985.5	杨莉军	女 23 岁	3 353	9.20	0	548	24.20	4.15	178	0	0	328	1.10	0	5.00	34.00
	1985.5	孙振华	男 23 岁	2 106	10.80	0	429	0.87	0.85	154	53.00	0	327	0.92	1.93	3.20	34.00
北京房修一公司	1985.5	王素梅	女 53 岁	1 967	8.03	44.20	384	0.65	2.98	114	0	0	282	1.04	7.00	5.30	37.00
墨脱县城	1983.8	牛 毛	公牛 5 龄	1 417	13.15	434	1 018	7.30	14.2	86	0	17.00	280	2.20	0	4.70	12.70
派 区	1983.8	牛 毛	母牛 5 龄	1 457	10.45	590	524	6.80	0	78	48.20	0	362	4.30	13.40	2.70	8.30
波密县城	1983.8	牛 毛	公牛 5 龄	1 959	1.74	75.80	369	4.40	0	29	23.50	0	149	0	0	0	2.30
北京清河马连店	1985.5	牛 毛	公牛 10 龄	2 694	10.8	0	651	6.20	0	88	127.40	0	239	0.37	71.50	3.60	16.30
北京清河马连店	1985.5	牛 毛	公牛 1.5 龄	798	11.30	536	513	4.20	0	81	73.40	0	717	0	11.70	3.10	4.50
北京清河马连店	1985.5	牛 毛	母牛 3 龄	1 660	4.60	349	680	12.70	0	80	83.20	0	497	0.47	8.20	3.90	7.00
北京和平农场	1985.5	牛 毛	母牛 3 龄	1 890	11.10	409	635	5.20	0	104	231.00	0	894	0.21	13.50	3.40	14.70

4)土壤元素背景值与土壤类型和成土母质等因素有密切关系。土壤元素浓度的频数分布类型检验结果,Mg,Mn,Al,Sc,Zr,Hg呈正态分布,Ca,Co,K,Zn,Na,Ni,V,Sr,Ba,Mo,Cd,As,Se呈对数正态分布,Cr,Cu,Fe,Rb,Ga,Pb,Y呈偏态分布。南峰地区土壤中上述元素含量水平与世界土壤相比,Na,Mg含量偏高,其余元素大体接近。土壤中Na,Mg含量偏高,可能与该地区变质岩系的矿物(如黑云母、夕线石及石榴子石等)富含Na,Mg元素有关。

5)粒级 $>11$ 微米的大气颗粒物中Si,Ca,K,Ti,Mn的富集因子接近于1,而S,Cl,Cu,Zn的富集因子较高。 $<10$ 微米粒子中,以Fe为参比元素的各元素的相对浓度同南极地区的相应数值相比,南峰地区大气颗粒物中,Cl/Fe和Zn/Fe较高,而S/Fe较低。大气中Hg的含量较低,约为4纳克/立方米左右,略高于对流层上下部和平流层下部全球性分布的含量水平(1—4纳克/立方米)。

6)南峰地区水体、土壤、某些植物和禽蛋中DDT,666含量很低,一般仅为 $10^{-9}$ 数量级。收集的人发和牛毛样品中,Ca,Cu,K,Mg,Mn,Pb,Zn,Fe,Mo,Na,Ni,As,Cr,Sr等含量水平未见异常。

7)南峰地区位置偏僻,人烟稀少,毗邻地区工农业生产水平低,受外来污染影响甚小,基本上仍保持原始自然景观和生态平衡。上述结果基本上表征了该地区水体、土壤、大气和某些生物样品中元素的环境背景值和含氯有机物的含量水平。

环境背景值调查研究是一门综合性工作,环境背景值是环境科学的基本资料。由于设置的样点较少,收集的样品数量有限,还有一些问题有待进一步研究,对某些结果进行验证和完善。



# 第十三章 自然资源的合理开发利用与保护

## 第一节 气候资源的合理开发利用

南峰地处高原东南隅,北部重重高山,南边靠近孟加拉湾,呈现出朝南开口的马蹄形地势。因此,冬季无寒潮袭击,夏季受惠于西南季风,气候温暖湿润。这里谷岭相差悬殊,形成一地并存多种气候带的特殊气候生态区域。

南峰地区气候复杂,可提供的农业气候资源相当丰沛。仅以适宜农业生产活动的海拔3 200米以下的地域而言,从几百米至2 500米的雅鲁藏布江及其支流河谷,气候异常温暖湿润,为低山热带北缘湿润气候带和山地亚热带半湿润气候带;岗日嘎布山以北地区,每拔3 000米以上,气候温凉,为高原温带半湿润气候带。从气候类型的划分来看,可将上述三种不同的气候带又可划分为9种不同的气候类型。其中尤以希让以南地区,是本区,也是青藏高原气候资源最为丰富的地区。

衡量一个地区气候资源,特别是农业气候资源是否丰富,看它对本区农业生产潜力的影响,生长季内供给植物的光、热、水等资源的数量、质量和季节变化,以及相互间的配合。因此,正确认识南峰地区气候资源,了解本地区太阳辐射能、温度和水分条件,以及其它有关气象要素,特别是与农业生产有关要素的多少和分布状况,以及在时间上,包括年、季、月和日的变化,这对提高本地区农业生产具有十分重要的意义。那么,南峰地区农业气候资源具有那些主要特征:

### 一、光合有效辐射高,生产潜力大

太阳辐射能是植物产量形成的唯一能源,南峰地区因多云雨,日照时数少,一年之中日照时数约1 600小时,太阳年总辐射量420—504千焦耳/平方厘米是青藏高原年总辐射量的低值区,其相应的光合作用有效辐射也比高原腹地小。由于光合作用有效辐射不仅取决辐射强度,还取决于界限温度所持续的日数。这里各种界限温度持续天数均较高原长,甚至与同纬度东部长江中下游地区相比较,也要长10多天。界限温度持续天数长,也就弥补了辐射量少的缺陷。因此,作物可充分利用有效辐射资源,产生更多的有机物质。其结果表明,本区光合作用有效辐射仍较高。据计算, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ , $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 期间的光合作用有效辐射分布形势类同,其值分别为252千焦耳/平方厘米,210千焦耳/平方厘米, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的生长期比 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 期间短,光合作用有效辐射为126—168千焦耳/平方厘米。实际上,绿色植物并不能全部将有效辐射都能利用上,还要看光能有效利用系数的大小。当各项农业技术水平的提高,水肥供应充足的情况下,把有效辐射利用系数提高到5.1%,其潜在生产力的产

量略高于同纬度东部平原地区。

墨脱南部地区的总辐射量较北部少,其生长季长,作物可周年生长,加之温度适宜,水分充足,促使本区的光合有效辐射资源能得以充分地利用。随着农业耕作技术改进,田间管理水平的提高,有效辐射能的利用系数增加,因此未来的农作物产量将获得高产。

## 二、热量资源丰富,生长季长

如前所述,农作物产量主要是人们利用太阳能,通过绿色植物,将  $\text{CO}_2$  转变为有机物质,储存于生物体中。在这个转变过程中,温度起着重要的作用。所以温度的高低,包括平均气温、极端温度等可反映热量资源丰富的程度。本区岗日嘎布山以南,年平均气温为  $16-18^{\circ}\text{C}$  (希让以南平均气温高于  $18^{\circ}\text{C}$ ),最高气温可达  $30^{\circ}\text{C}$ ,最低气温约为  $4^{\circ}\text{C}$ ,形成夏无酷暑,冬无严寒,温度适中的气候特征。一般的说,温度过高或偏低都不利于作物的生长和产量的提高,如喜凉的麦类作物等,开始生长发育和进行光合作用的下限温度为  $0^{\circ}\text{C}$ ,上限为  $30^{\circ}\text{C}$ ,低于  $0^{\circ}\text{C}$  或高于  $30^{\circ}\text{C}$ ,均不利于麦类作物的生长。据田间试验表明,最适宜麦类作物生长的温度为  $10-25^{\circ}\text{C}$ ,按此计算,墨脱从 1 月下旬开始至 11 月下旬,全年连续 10 个月为最适宜温度期,除 12 月和 1 月外,麦类作物都处于最佳温度状况下生长。与同纬度东部地区相比较,由于夏季酷暑,使最适宜温度期不连续,被分割成两段。长沙前一段为 2 月下旬到 5 月下旬,后一段为 8 月下旬到 11 月下旬,全年总计 6 个月麦类作物处于最佳温度状况下生长。由此可知,南峰南部地区最适宜温度期比同纬度东部地区长 4 个月。

岗日嘎布山以北地区,年平均气温  $8^{\circ}\text{C}$  左右,最高气温  $20-22^{\circ}\text{C}$ ,极端最高  $31-32^{\circ}\text{C}$ ,平均最低气温  $-5--6^{\circ}\text{C}$ ,极端最低可达  $-20^{\circ}\text{C}$  以下。本区北部热量条件虽差,但可被利用的热量资源较高,喜凉作物有 6 个月最适宜温度期间,与长江中下游地区相接近。

对农业生产有意义界限温度  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$  和  $18^{\circ}\text{C}$  的持续天数及其积温多少,也可作为衡量热量资源的指标。因为,日平均气温  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  的持续期,反映作物生长季长短。日平均气温  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  持续日数,是大多数植物进行光合作用积极生长期,也是保证禾本科作物籽粒成熟所必需的温度时期,日平均气温  $\geq 18^{\circ}\text{C}$ ,是喜温作物的旺盛生长期。

南峰南部地区,全年日平均气温几乎都在  $10^{\circ}\text{C}$  以上,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的积温为  $5\,500-6\,500^{\circ}\text{C}$ ;  $\geq 18^{\circ}\text{C}$  的持续期始于 4 月上旬—5 月上旬,结束于 9 月下旬—11 月下旬,约 150—240 天。虽然  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的积温比同纬度东部地区少  $1\,100^{\circ}\text{C}$  左右,但  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  持续期要长 10 天以上,加之冬季温暖多云雾,很少有寒潮侵袭,其热量资源可与比它纬度偏南  $5-6$  度的云南西双版纳相比,具有热带亚热带气候特征。现根据藏东南地区不同作物所需积温的计算表明,一季中熟梗稻约需  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $2\,600-2\,700^{\circ}\text{C}$ ,早熟玉米  $2\,000-2\,400^{\circ}\text{C}$ ,适宜种植茶树的积温  $> 3\,200^{\circ}\text{C}$ 。因此,这里的南部地区可因地制宜发展热带亚热带经济林木和喜温作物水稻、蔓稼、甘蔗、茶树等。

本区北部,由于 7 月的平均温度一般在  $12-16^{\circ}\text{C}$  之间,最高温度  $30^{\circ}\text{C}$  以下。因此,小麦在灌浆期时,没有高温逼熟的现象,小麦有足够长的灌浆期,加上白天气温高,光照强,利于光合作用外,进入夜间温度低、呼吸消耗少,促使有机物质的积累,形成小麦高产。这里将作为要求热量不高的喜光作物如冬小麦、青稞等的适宜栽培区。林芝,波密等地  $\geq$

10℃积温为2 000—2 200℃,易贡积温略高为3 100℃。最热月平均气温只有15—16℃,不能满足喜温作物生长后期的热量要求,所以不易推广种植中晚熟品种玉米和水稻。但是在易贡、拉月地区,如果采取一些防霜防冻措施,能适当地推广种植茶树。

### 三、降水丰沛,为余水区

当热量条件满足之后,水分则成为影响作物生长的重要条件,水分过多或过少都直接限制光热资源利用和养分吸收。“有收无收在于水”,表明农作物和牧草生长的好坏,产量高低,品质优劣,都与水分条件密切相关。

本区地处雅鲁藏布江大拐弯地段,是青藏高原水汽的主要通道,大气降水十分丰沛,是我国内陆地区降水最多的地方。根据对夏季风不同时期进入高原的水汽量计算表明,墨脱地区为青藏高原水汽净收入之冠。即使印度季风中断时期,大量水汽还可以从南海,通过藏东南向高原输入。

墨脱南北地区的降水差异比较明显,南部降水可达2 000—3 000毫米,降水日数220天以上。日降水量 $\geq 25$ 毫米的日数,全年约为12天,常因暴雨酿成灾害。北部降水量明显减少,约为800—1 000毫米,降水日数为150—200天,日降水量 $\geq 25$ 毫米的天数虽然很少,但是一旦出现易引起山洪暴发,泥石流、塌方给农业和交通运输带来灾害。

本区降水量丰沛,但能否被作物全部吸收利用,还要看蒸发量大小。因下垫面水分的盈亏,在不考虑人为控制因子的影响,主要取决于降水量和蒸发量。根据对干燥度的计算, $K = E_T/P$ 。 $K$ :干燥度; $P$ :降水量; $E_T$ :年可能蒸发量,是由彭曼公式求得。结果表明,南峰地区干燥度 $< 1$ ,为湿润地区,水分有盈余。这一计算与水汽输送量计算为余水区的结果相一致。墨脱地区北部,全年有7—9个月为余水月份,余水量约200—400毫米。虽有余水,也并非全部被作物所利用,还要看余水的季节分配。据调查,林芝地区种植玉米,需要灌溉,而波密地区种植玉米则无灌溉习惯。虽然同是余水区,前者要灌溉,后者不要灌溉,关键在于作物种类和生育期内降水分配的不同。林芝麦类作物生育期虽然总的来说降水量有余,但生育期中某个阶段仍有亏水月份,为了弥补水分的不足,只得采用灌溉方式来补充水分的不足。波密玉米生育期不仅总的水分有余,而且没有亏水月份。因此,习惯上不必对玉米地进行灌溉。

南峰地区虽为余水区,但对某些作物也会存在1—3个月的缺水期,为了保证本区农作物产量的提高,适当进行灌溉,还是必要的。而且这里灌溉条件较好,大部分农田都分布于河谷两岸,为灌溉用水提供了方便条件。

### 四、光温水配合适宜

本区太阳总辐射量少,积温较同纬度东部平原地区也少,可是与作物关系密切的界限温度的持续期较长,白天多处于适宜温度,又无高温的危害,光合作用较强,利于作物的生长。夜晚,本区北部温度较低,昼夜光呼吸和暗呼吸消耗都较少,有利于有机物质的积累。总之,这里积温低,其有效性较高。与之相反,东部平原地区夏半年,常常出现高温,以致超过光合作用所适宜的温度上限。冬半年,又由于温度过低,对作物生长很不利。

从气温降水的综合气候可知,东部长江中下游平原地区,春季升温过程中,降水量也随之增加至5月,对农事活动和作物前期生长非常有利,此后,气温继续升高,进入了一年中气温最高的季节,此时正是作物的积极生长期,作物需水量大大增加,但大气降水明显减少,若不及时进行灌溉,将会出现夏旱,有的年份甚至连着伏旱、对麦类作物和水稻扬花灌浆均为不利。7月之后温度下降,降水随之减少至年底。相比之下,墨脱地区水热条件配合较为适宜,随着春温的上升,降水一直增加到6、7月,满足了作物积极生长期所需要的热量和水分。这里仅在8月份出现一个短暂的少雨期,9月份的降水又有增加,然后温度和降水又都趋于下降。这种干冷同季,暖湿同季,水热分布时间上大体一致性的配合,对作物而言比起东部平原地区要优越。

## 五、丰富多采的垂直气候带,利于立体农业的布局

本区高差悬殊,从海拔几百米的河谷地,到4000米以上的高山坡地,遍布于墨脱地区,几乎可适于热带、亚热带作物到高山牧草的生长。在不同的高度上,依据作物对热量和水分要求上的差异,可种植多种农作物和经济林木,形成一种立体农业的布局。

在海拔600米以下的河谷地,只要选择适当的宜林环境和小气候条件,发展经济林木和果树是有前途的。目前在小范围地区内,应试种橡胶、咖啡、金鸡纳等热带作物,以及推广水稻一年两熟或三熟制。不久,这里将成为青藏高原发展热带作物生产的重要基地之一。

海拔600—1100米地段,广为种植热带、亚热带经济林木和果树(椰子、香蕉、柑桔),茶树以及喜温作物水稻、玉米、甘蔗、蔓稼等。

海拔1100—2500米山坡上,分布着常绿、落叶阔叶混交林,以及少量水稻、甘蔗、玉米喜温作物和喜凉作物小麦的种植。由于这里是南峰地区人类活动最为集中的地区,耕地和村寨侵占不少林区,使这里的原始森林遭到极为严重的破坏,造成水土流失。当前,应加强管理制止毁林开荒,滥砍滥伐森林。

海拔2500—3800米,主要分布着铁杉林,从气候条件来看,适宜种植冬小麦、青稞,随着农业技术措施的不断地改进,这里冬小麦单产将会进一步提高。

海拔3800—4200米,生长着大面积的冷杉林,主要种植耐寒作物,青稞、油菜、圆根等等。

海拔4200—4800米,森林消逝,不适宜农作物的生长,主要为亚高山杜鹃灌丛和高山草甸,成为放牧牲畜的天然牧场,以放牧为主。

海拔4800米以上,地面裸露,大部分被冰雪和冰川所覆盖。

墨脱地区多高山峡谷,耕地大多分布于沿江两岸。实际上,可耕种的面积甚少,限制了农作物的种植。当地的气候资源丰富、而耕地面积又少的情况下,提高单位面积产量显得格外重要。首先培育和引进早熟高产品种,提高栽培技术,加强机械化程度和劳动强度,同时还要注意解决灌溉,备足肥料、保护森林等等有利于农业生产发展的措施。

南峰地区气候资源极为丰富,但农牧业生产还处于落后状态,在开发利用气候资源的过程中,要顺其自然,因势利导,不可轻易开发和改造,要“顺天时,量地利”,先试种后推广。随着科学技术的进展,人们对可利用的气候资源的开发以及改造大自然的能力会大大

加强。对任何利用改造自然的措施,不但考虑经济效益,而且还要考虑生态系统的平衡,否则将贻害后世。

## 第二节 水资源的合理利用与保护

### 一、水资源及其开发利用现状

南峰地区的水资源正如第八章所述,是极其丰富的。该地区的河川径流资源中,属当地的年流量达1 082亿立方米,此外,每年平均还有686亿立方米的过境水量(即由区外汇流而流入该地区的平均年水量);全地区水能贮藏量为1亿千瓦占全西藏自治区的一半(关志华、陈传友,1980),占全国水能贮藏量的1/7以上。此外,据不完全统计,南峰南坡地区现代冰川的面积超过1 200平方公里,蕴藏着丰富的冰雪资源,起着“天然水库”的作用。

本地区水资源不仅蕴藏量极其丰富,而且质量也较好。河水的矿化度平均值为70.06毫克/升,硬度平均值为0.859毫克当量/升,其水化学类型一般为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca}$ 或 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型。除泉水以外,其它的类型水资源的矿化度、硬度及水化学类型均与河水相近。河水中痕量元素的含量低,如 $\text{Be} < 0.01 \times 10^{-9}$ ,  $\text{Cr} 3.2\text{--}3.5 \times 10^{-9}$ ,  $\text{Hg} < 0.02 \times 10^{-9}$ ,  $\text{Pb} 2.0\text{--}13.3 \times 10^{-9}$ ,  $\text{Zn} 5\text{--}50 \times 10^{-9}$ ,其中水体中痕量元素的含量也与河水相近。因此,南峰地区各种水体的矿化度与硬度偏低,痕量元素的含量正常,水质良好,有利于人民的生活和工农业生产。

目前,仅米林、林芝、波密县统计,农业灌溉面积9.08万亩;小型水电站50多座,水力发电装机2 753千瓦,单站装机容量最大的也只有3 100千瓦,全地区现有小水电总装机容量不到1万千瓦。

### 二、水资源开发利用的有利条件与不利因素

如此丰富的水资源,其开发利用条件很好。第一,由于该地区年降水量的年际间变化较为稳定,以及河川径流组成中又有年际变化较小的地下水、冰雪融水补给,造成了该地区河川径流的年际变化小,年变差系数一般值 $C_v$ 在0.20左右,为我国各河的低值区之一。这个特点,对于水资源的开发无疑是十分有利的。第二,该地区河流的坡降大。以雅鲁藏布江干流为例,在派区至巴诺卡的496公里长的河段中,落差达2 725米,平均坡降5.5%,其中派区至墨脱的212公里长河段,平均坡降竟达10.3%,在我国大河中居首位。该地区其他一些河流,如帕隆藏布、金珠曲、锡约尔河、丹龙曲等,全河平均坡降均超过10%。有的达40%以上(关志华、陈传友,1984)。由于河流坡降大,便给自流引水灌溉、供水,以及采用引水式发电创造了良好条件,减少一些工程量,降低工程造价。第三,该地区的河流还具有枯水流量大,悬移质泥沙含量小,水质好,冰冻问题一般不存在等特点,这些都有利于水资源的开发利用。同时,在水资源特性中也存在着对资源开发不利的一些因素,如河川径流的年内分配不均匀;一些河流的河段中推移质问题严重,水温低等。当采取一定的措施之后,是可以减少乃至消除这些不利因素的影响。例如:枯水期河道天然来水

量如不能满足用水量的要求时,可以采取拦河筑坝的方法,兴建水库,对河川径流的年内分配可进行人工调节,增大枯水期的供水量;一些河流径流组成中冰雪融水所占比重较大,致使河水温度低,低温水进行农田灌溉,影响农作物的生长与产量,为提高灌溉水的温度,可采用改串灌为固灌、严格控制灌水的时间、开辟晒水田等措施;为减少库区、引水渠内的泥沙与推移物质的淤积、堆积,要修建排沙、冲沙的设施,其冲沙闸、冲沙孔的位置要选择适宜,其尺寸也尽可能大些为好。在水资源的开发利用中,除受到资源本身特点的制约外,还要受到工程地质、淹没损失、交通条件、建筑材料以及资金来源、技术力量等条件的影响。资源的开发同时要考虑到它的经济效益、社会效益与环境效益。南峰地区地广人稀,当修建水利水电工程时,耕地的淹没与占用,以及库区内人口的搬迁问题都是很小的。这个特点与我国内地相比是十分优越的,可以大大减少工程投资中的人口搬迁安置费用,占用耕地的赔偿损失等费用。该地区有充足的砂、石料,能满足水利水电工程兴建时的需求,少量的水泥用量也可就地解决,木材用量完全可以在当地解决。建筑用钢材则需从内地运入。交通方面,该地区除墨脱县外其它各县也较为方便,波密、林芝就座落在川藏公路旁,米林县也有公路与川藏路相通。墨脱县至今尚无公路与外地相连,县境内交通也十分不便。值得指出的是,南峰地区工程地质条件复杂,新构造运动十分强烈。为此,在水资源的开发时,对工程地质条件应引起足够的重视,在建筑物选址、工程结构设计上要充分考虑到上述不利因素。当采取一定的工程措施,选用正确合理的结构设计方案后,一些不利的工程地质条件影响也是可以克服的,能确保工程的安全运行。目前这里的技术力量还很薄弱,资金更是十分有限,这也是影响水资源开发利用的不利因素。

### 三、水资源的合理开发利用

南峰地区水资源虽然很丰富,但开发利用程度很低,存在的问题不少,合理开发利用与保护水资源,对本区经济的发展有着重要的意义。

本地区的耕地主要分布在河谷的两侧阶地上,呈星条带状分布,并主要集中在尼洋曲下游一带,帕隆藏布干支流宽谷以及派区以上的雅鲁藏布江宽谷段的河两岸阶地上,耕地总面积 14 万亩左右,其中波密县最多,占 1/3 强,其次是米林、林芝县,墨脱县最小,约为 1.3 万亩。耕地绝大多数是分布在年降水量 600—1 000 毫米的高原温带半湿润区,农区以种植旱作物为主,青稞、春小麦、冬小麦、油菜、玉米等。由于受降水集中的影响,春播时节仍要进行灌溉。一般来说,在半湿润区的旱作中,春播作物每年需灌溉 1—2 次,净灌溉定额为 60—120 立方米/亩;冬播作物每年需灌溉 4—5 次,净灌溉定额为 240—300 立方米/亩(陈传友,1979)。该地区的南部降水丰沛,属湿润区,旱作物一般不进行灌溉,但水稻田仍要进行灌溉。目前该地区的农田灌溉面积约占耕地面积的 70%,尚有 1/4 的农田仍需要灌溉。在已经灌溉的耕地中,由于灌溉工程不配套,有些渠道年久失修,渗漏现象严重,有效灌溉面积仅占灌溉面积的 50—70%,其保证程度很低。为此,为保证农业稳定高产,就要在现有的基础上提高灌溉的保证程度,并适当扩大灌溉面积。目前该地区主要为自流引水式灌溉,在小支流、支沟的水量有限,耕地又较为集中的情况下,一遇天旱便感到水量不足。随着电力事业的发展,今后可适当发展提灌,开发利用大支流及大河流的水量,以提供更多的灌溉水量。宽谷中高阶地上的耕地以及坡塘田,由于耕地与河水面高差大,自流

引水十分困难,待发展提水灌溉后,这一部分耕地的灌溉问题不难解决,并且是最经济、有效的。该地区森林、草场资源丰富,发展潜力大;林芝的苹果,东久的茶树种植已有很大发展,品种,质量都很好。为此,随着农林牧业的发展,对水资源的开发利用也会提出更高的要求。从该地区的水量、资源条件以及其它条件分析,是完全可以满足用水要求的。今后,除对现有水利工程进行很好的维护、发挥它更大的效益外,还应大力发展提水灌溉和采用引提结合的方式,有条件的地方还可结合发电兴建蓄水工程,因地制宜地发展水利事业。

在地表水资源缺乏而地下水资源的比较丰富的地区,可采取打井及截潜流等工程措施,充分利用地下水资源;本地区高山冰蚀与冰碛湖泊较多,有稳定的冰雪融水补给,如在狭窄的湖口修建控制工程,可供灌溉使用,采取节流措施,加强灌溉管理,提倡计划用水,改变大水漫灌、串灌现象,以充分而合理地利用水资源。

南峰地区水能资源丰富,开发利用条件也优越。这里不仅可以修建星罗棋布的小水电站,可遍及县、各地,而且在一些大支流如尼洋曲,帕隆藏布干流上还可以兴建中型水电站,并且在雅鲁藏布江干流上可以兴建大型、巨型水电站,可发的水能资源量占水能蕴藏量的一半。例如,尼洋曲、帕隆藏布的许多支流上可修建小水电站,如易贡藏布上的索白沟,帕隆藏布支流牟奴弄巴、拉姆弄巴、松宗藏布、罗若弄巴、卡拉弄巴等等,分别可兴建500千瓦至5000千瓦的水电站。在尼洋曲下游多布一带,可建造装机10多万千瓦的水电站。雅鲁藏布江干流下游段,落差集中、河水流量大、河道又呈马蹄形大拐弯,当截弯取直开凿近40公里的隧洞(由派区—墨脱附近),即可获得2250米的毛水头。当在派区附近拦河筑坝后,上游水位将会抬高,这样能获得的水头(即落差)还要增大。派区附近的干流多年平均流量超过1910立方米/秒,且修建大坝后将形成一个蓄水量很大的大型水库,能很好地进行径流的调节,可兴建装机容量约4000万千瓦的巨型水电站,它将成为世界上最大的水电站。在上述墨脱水电站的下游日果附近,还可以修建装机容量大于300万千瓦的大型水电站。由此可见,南峰地区水能资源极其丰富,它将成为我国重要的能源基地之一。然而目前该地区的水能资源开发受种种因素限制,至今开发甚少,不仅雅鲁藏布江干流上的水能资源没能开发利用,连大支流尼洋曲、帕隆藏布等河的水能资源也有待开发。至今全区仅有一些小水电站,单站装机容量最大的也只有3100千瓦,其他一些小水电站的装机容量多在1000千瓦以下。全区现有小水电总装机容量不到1万千瓦,开发量不足蕴藏量的万分之一,开发程度是很低的。

目前,该地区已感到严重缺电,远不能满足工农业生产和人民生活的需要。林芝一带已形成西藏新型工业城镇,现有毛纺厂、造纸厂、印刷厂、火柴厂等,对电力的需要量大。特别是该地区缺煤,外运调入又十分困难。当地的居民、工厂、企业、机关的生活用燃料主要靠烧木材,有些工厂(如毛纺厂)靠烧木材来进行工艺生产,既大量花费了物力、人力,还影响了产品质量,每年还要大量地砍伐森林,以木材当燃料。从林芝等地运往区外的木材中,除部分作为建筑用材使用外,约有一半是被用作燃料烧掉了。发展当地水电事业,不仅为工、农、牧业的生产提供动力,对改善当地少数民族同胞的生活条件,提高文化、教育水平是十分有益的。在有条件的地区,还可发展电热,“以电代柴”,这对保持当地的生态平衡,促进环境向良性方面发展也是极为重要的。近期,水电的发展仍应以小型为主,适当兴建中型水电站;将来还可兴建大型水电站;更远一些可以修建巨型电站。强大的电源不仅能输往西藏腹心地带,还可往我国内地输送。那时,南峰地区将成为我国重要的能源基地之

一。

南峰地区新构造运动强烈,矿泉水资源相当丰富,仅墨脱至巴玉村下和然乌、波密、易贡一带的温泉有15个,通麦一带的温泉竟达50余个,派区附近也有8个温泉(杨逸畴,1984)这些温泉水温高,含有多种对人体有益的矿物质和化学元素,可逐步开发为医疗和矿泉饮料用。

南峰地区的水资源保护问题也应引起重视。首先是在资源的开发前期要做好流域的规划、勘测工作,使之资源开发合理,避免造成对环境的破坏。第二,注意污染问题。目前,该地区水质污染问题并不大,但随着工矿企业的发展,一定要严格控制污水的排放标准。对于造纸厂、木材加工厂、制革厂的污水需要进行污水处理之后才能向河道中排放。第三,保护森林,严禁乱砍滥伐。只有这样才能起到水土保持的效益,以减少河道中泥沙含量。在一些河流上游地区,划分出水源涵养林,严禁砍伐,起到保护水源的作用。

### 第三节 生物资源的合理开发利用与保护

南峰地区是西藏自治区生物种类最丰富的地区。据初步统计,南峰地区维管束植物约有3500种,约占西藏高等植物种数的2/3;大型真菌约有400余种,占西藏大型真菌总数的80%;鸟类约有221种,占西藏鸟类种数的46%;两栖爬虫类动物约有31种;昆虫约有2000余种,约占西藏昆虫总种数的60%以上;锈菌200余种,约占我国锈菌总种数的25%。合理开发本地区异常丰富的生物资源,发展多种经营,使之逐步成为西藏自治区茶叶、特种木材、药材、热带和亚热带水果、油料作物以及珍稀动植物繁衍的基地,无疑是目前发展该地区经济的主要方向。

#### 一、植物资源

在南峰地区多种生物资源中,植物资源占有最重要的地位,其种类丰富,蕴藏量大,应用的范围广。据其用途可以分为材用植物、药用植物、油料植物、芳香油植物、树脂植物、树胶植物、单宁植物、染料植物、纤维植物、花卉植物、果树植物、手工艺品原料植物、食用菌类……。以下我们就南峰地区一些主要的植物资源作一些简单的介绍:

##### (一) 材用植物

南峰地区除林线上的区域和面积不大的耕地外,80%以上的地区几乎为莽莽林海所覆盖。

材用植物种类丰富,蕴藏量大。本区东喜马拉雅—岗日嘎布山脉以北的地区,山势比较平缓,交通方便,海拔多在2800米以上,主要生长着山地常绿针叶林,已成为西藏自治区重要的材用林基地。这里主要的材用树种有林芝云杉、急尖长苞冷杉和高山松等。其木材纹理通直,均匀细致,而且轻软,易于加工,是西藏自治区最主要的商品木材。该地区水热条件适宜,山地常绿针叶林生长良好,以云杉为例,波密地区一般200年生的林芝云杉林,其林分平均直径达92厘米,平均高57米,每公顷可达2000—2500立方米;年平均生



物产量10—20立方米/公顷。一株最大的林芝云杉株高73米,胸径250厘米,单株材积量为50立方米(李文华,1985),该地区常绿针叶林如此之高的生物生长量在世界范围亦属罕见。该地区森林砍伐后缺少荫蔽条件目前更新较差,但由于高山松生长十分迅速,林地砍伐后20—30年,高山松便可自然更新形成高20余米郁闭的森林。所以南峰北部地区应逐渐建成西藏自治区永续利用的材用林基地。

东喜马拉雅—岗日嘎布山脉以南的南峰地区,山势陡峻,雨量丰沛,不管是现在还是将来其丰富的森林资源不宜大规模采伐,但是这一山体垂直高差大都在5000米以上,山地森林植被垂直分异明显,从雅鲁藏布江河谷底部的低山半常绿季风雨林,一直到森林上限附近的冷杉林,排布着我国最完整的地带性森林垂直带,蕴藏众多的珍贵材用树种,所以南峰南部地区应以发展特种材用树种的方式经营林业。该地区1100米以下的低海拔谷坡发育着半常绿季风雨林,这里蕴藏着许多珍贵的热带材用树种如千果榄仁、阿丁枫、小果紫薇、红椿、麻栎、斯里兰卡天料木、四蕊朴、假玉桂(*Celtis cinnamomea*)、大叶桂(*Cinnamomum iners*)、杏仁厚壳桂(*Cryptocarya amygdalina*)等,特别是红椿,其材色淡红,材质细致松软,纹理通直,为国内外市场上知名的上等木材。而在1100—2400米的山地常绿阔叶林中则含有大量亚热带珍贵材用树种,其中尤以樟科的一些树种为贵。如墨脱楠、滇楠(*P. nanmu*)、糙枝润楠、隐脉润楠、长梗润楠、红梗润楠、稠棕楠(*Beilschmiedia roxburghiana*)、粗壮琼楠(*B. robusta*)、香桂(*Cinnamomum subavenium*)等,均为贵重的家具及建筑用材,而壳斗科的许多树种如西藏青冈、薄皮青冈(*C. lamellosa*)、刺栲、瓦山栲、泥椎石砾、小箱石砾、通脉栎等,其木质坚硬,材色红褐或黄褐,为制作硬木家具的上等材料,同时亦可供建筑、车船、农具等用。此外木兰科、山茶科以及裸子植物的许多树种如绒叶含笑、藏含笑、红木荷、穗花杉(*Amentotaxus argotaenia*)等也都是具有特殊使用价值的材用树种。在2400—2800米的亚高山常绿针叶林中还含有蕴量比较丰富的耐湿抗腐的树种云南铁杉,它是造船、建桥的优良材料。

## (二) 药用植物

南峰地区有着异常丰富的药用植物资源。其中最为可贵的是南峰南部的雅鲁藏布江低海拔谷地是西藏自治区唯一生长有热带植被的地区,所以西藏自治区一些紧缺的依靠进口的热带及亚热带药材许多都可以在此找到,即使当地不产,在此亦有引种栽培的可能。南峰南部地区比较重要的热带、亚热带药材有南酸枣(*Choerospondias axillaria*),藏药用其果实治烧心和心痛病;榼藤子(*Entada phaseoloides*),藏药用其果实治疗肾炎;海南粗榧(*Cephalotaxus hainanensis*),枝叶可提取三尖杉酯碱,用于治疗血癌和淋巴瘤;乔木刺桐(*Erythrina arborescens*)皮可治成中药海桐皮,有祛风湿、通络、止痛之功效;香豆蔻(*Amomum subulatum*)、长果砂仁(*A. dealbatum*)、九翅豆蔻(*A. maximum*)为芳香性健胃、祛湿之良药;常绿苦树(*Picrasma javanica*)有清热燥湿及杀虫之功能;西藏野茉莉(*Styrax hookeri*)、齿叶野茉莉(*S. serrulatus*),可提取安息香,用于开窍祛痰、行气止痛;聚花桂(*Cinnamomum contractum*),可提取樟脑,有开窍祛湿、杀虫止痛之功效;海金沙(*Lygodium japonicum*)可清热利尿、通淋;狗脊(*Cibotium barometz*)用于补肝肾、强膝腰、除风湿;怀牛膝(*Achyranthes bidentata*)有消肿、补肝肾、强筋骨之功效;香椽(*Citrus medica*),可理气、宽

胸、生津、化痰；鱼腥草(*Houttuynia cordata*)可清热解毒，消肿痛；柴桂(*Cinnamomum tamala*)可制成桂皮，有湿肾壮阳，温中祛寒，温经止痛之良效；郁金(*Curcuma aromatica*)，可行气破血，散结止血，治子宫颈癌；攀枝钩藤(*Uncaria scandens*)，可治感冒；甘葛藤(*Pueraria thomsonii*)根可作葛根，有解肌退热，生津止渴及诱发斑疹之功效；薏苡(*Coix lachryma-jobi*)，可健脾补肺、清热，利尿渗湿；黄蜀葵(*Abelmoschus manihot*)，有清热凉血，消肿解毒之效。

在合理开发利用上述南峰热带、亚热带药用植物资源的同时，在南峰南部低海拔地区还可引种多种西藏自治区所短缺的南药。鉴于该地区交通不便，劳动力紧缺，所以引用的药种除西藏急需外，还要考虑到价值较高，而且费工少宜于栽培，所以应以木本植物为主。可供选择的有杜仲(*Eucommia ulmoides*)，其树皮为国内外紧缺药材，主治高血压，腰脊疼痛，腿足痿弱等症，宜于在1 900—2 200米之间的山坡栽种。另如大风子(*Hydnocarpus anthelmintica*)、印度大风子(*H. wightiana*)，其果子榨出的大风子油为祛风杀虫药，主治麻风、恶疮、疥癣等；使君子(*Quisqualis indica*)，果实为驱虫，消积良药；诃子(*Terminalia chebula*)，恒河诃子(*T. chebula* var. *gangetica*)，果实用于敛肺、涩肠；肉豆蔻(*Myristica fragrans*)，为温中行气、涩肠止泻之良药；榧子(*Torreya grandis*)，果实用于杀虫、消积；肉桂(*Cinnamomum cassia*)树皮为桂皮，主治肾阳虚衰、心腹冷痛、久泻、痛经等症，金鸡纳树(*Cinchona ledgeriana*)，可提取奎宁及奎尼丁，用以治疟疾。

除上述本区所产的热带、亚热带药用植物外，南峰地区还产有其它许多药用植物，尽管这些植物也产于西藏的其它地区，但是南峰地区的蕴藏量之丰富是西藏其它地区难以相比的，这些药用植物有天麻(*Gastrodia elata*)、珠子七(*Panax japonicus* var. *major*)、疙瘩七(*P. japonicus* var. *bipinnatifidus*)、参三七(*P. pseudoginseng*)、胡黄连(*Picrorhiza scrophulariiflora*)、延龄草(*Trillium tschonoskii*)、升麻(*Cimicifuga foetida*)、乌梅(*Prunus mume*)、七叶一枝花(*Paris polyphylla*)、川木通(*Clematis montana*)、西域旌节花(*Stachyurus himalaicus*)、毛叶木瓜(*Chaenomeles cathayensis*)、西藏木瓜(*Ch. tibetica*)、灵芝(*Ganoderma lucidum*)、云南黄连(*Coptisteeta*)、芦茎十大功劳(*Mahonia calamicaulis*)、墨脱十大功劳(*M. pachakshirensis*)、波密十大功劳(*M. pomensis*)、冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)、塔黄(*Rheum nobile*)、岩白菜等等。

### (三) 油料植物

南峰地区油料植物资源亦非常丰富。不过由于西藏自治区的工业尚不发达，加上该区交通不便，大量的工业油料植物近期还难以利用，目前应以开发食用野生油料植物为主。南峰地区所产的食物油料植物许多早以为当地居民所利用，如核桃(*Juglans regia*)、泡核桃(*Juglans sigillata*)、光核桃(*Prunus mira*)、破布木(*Cordia dichotoma*)、马蛋果、水红木、桃(*Prunus persica*)、青刺尖(*Prinsepia utilis*)、油葫芦(*Pyrularia edulis*)、油渣果(*Hodgsonia macrocarpa*)等等，上述这些油料植物除少数为当地居民有意识地栽培种植外，大部分处于半野生状态，其生长分散，产量低，利用价值也不高，根据当地居民食用油料短缺的情况，该地除可适当选育种植一些野生食用油料植物外，还可以考虑引入一些适于当地生长的优良木本油料植物，这样既可以充分利用当地的瘠薄刀耕火种弃荒地，解决当地居民的

食用油问题,又可以有效地防止水土流失。根据当地的气候情况,在2100m以下的山坡大量引种油茶(*Camellia oleifera*)、宛田红花油茶(*C. polyodonta*)、博白油茶(*C. gignentocarpa*)等是很有希望的;在本区北部,则应利用村边、道旁空地,广植核桃,特别是选种一些优良品种如当地的薄皮核桃,夹绵核桃及新疆核桃等,其核仁含油率都在65%以上。其不仅可以用于榨油,还可以作为食品出售,增加收入。

从长远来讲,本区特别是南部地区蕴藏着丰富的工业油料植物,是很有利用价值的,尤其是该地的樟科植物,种类极其丰富,该种中所含油脂植物最丰富的木姜子属(*Litsea*)和山胡椒属(*Lindera*)植物在这一地区就有20多种,其中主要的油脂植物有山鸡椒(*Litsea cubeba*)、木姜子(*L. pungens*)、团香果(*Lindra latifolia*)等。除樟类植物外,该区所产的楸木属(*Cornus*)、杜英属(*Elaeocarpus*)、藤黄属(*Garcinia*)、马桑属(*Coriaria*)、苦树属(*Picrasma*)、花椒属(*Zanthoxylum*)、吴茱萸属(*Evodia*)、叶轮木属(*Ostodes*)、血桐属(*Macaranga*)、野桐属(*Mallotus*)、油葫芦属(*Pyrularia*)植物以及许多裸子植物均是重要的工业油脂植物,今后可以根据其所含脂肪酸的情况,提取各种不同用途的工业油脂。

#### (四) 纤维植物

南峰地区的纤维植物种类也比较丰富,除本区所产的云杉、冷杉、松等许多针叶树种为优良的造纸原料外,本区目前最有开发价值的属瑞香科的滇瑞香(*Edgeworthia gardneria*)、瑞香(*E. chrysantha*)、长瓣瑞香(*Daphne longilobata*)、大花瑞香(*D. macrantha*)以及几种堇花属(*Wikstroemia*)植物。这些植物树皮纤维坚韧,含量高,是制造造纸、打字蜡纸、牛皮纸等高级纸张的原料。为满足日益发展的西藏宗教事业的需要,可考虑充分利用这一资源,在本区建造小型造纸厂,特别是本区南部地区,瑞香属植物蕴藏量大,建厂条件更好。此外,本区南部地区及北部亚高山常绿针叶林下均产多种竹类植物,如西藏香竹(*Chimonocalamus tortuosus*)、空竹(*Cephalostachyum capitatum*)、西藏牡竹(*Dendrocalamus tibeticus*)、墨脱方竹、喇叭箭竹(*Sinarundinaria extensa*)、西藏箭竹(*S. setos*)等均是很好的竹编及造纸原料,其蕴藏极其丰富,有较高的利用价值。本区南部可以利用的纤维植物还很多,如荨麻科的长叶芋麻(*Boehmeria macrophylla*)、水麻(*Debregeasia edulis*)、长叶水麻等,梧桐科的昂天莲(*Amboroma angusta*)、藏苹婆(*Sterculia hamiltoni*)、西蜀苹婆等均是很好的纤维植物,当地用以搓制绳索,而棕榈科的刺苞省藤,多花省藤则可破成藤篾,编织成各种精美实用的背篓、箱盒以及藤席,当地居民还用其藤条编成几十米甚至上百米长的藤索桥。在南峰地区,还可以适当引用种植一些纤维植物如剑麻(*Agave sisalana*)、棕榈(*Trachycarpus fortunei*)、黄麻(*Colona octorius*)等,这些纤维植物纤维质量好,产量高,如大面积种植,可以为小型绳索工厂提供原料。

#### (五) 果树资源

南峰地区生态环境具有明显的垂直分异,从谷底的热带环境经中山的亚热带环境、亚高山的温带环境最后可至高山的寒带环境。这使得本区的野生果树资源种类十分丰富,而且在引种其他地区的优良果树品种时选择范围很广,几乎热带、亚热带、温带的果树都可

以考虑。但是从经济方面上考虑,南峰地区是西藏自治区唯一具有热带生态环境的地区,所以无论是开发当地的果树资源还是引种外地优良果树品种都应发挥当地的环境优势重点发展热带和亚热带水果。

南峰地区主要野生果树资源有山荆子(*Malus baccata*)、变叶山荆子(*M. toringoides*)、丽江山荆子(*M. rockii*)、锡金山荆子(*M. sikkimensis*)、光叶滇池海棠(*M. yunnanensis*),它们都可以选作苹果的砧木。除此之外,本区北部所产的毛叶木瓜(*Chaenomeles cathayensis*)、藏木瓜(*C. tibetica*)还可以作为苹果的矮化砧木。粉枝莓(*Rubus biflorus*)、大花悬钩子(*R. wardii*)等十余种悬钩子的果实均可生食和酿酒。杏(*Prunus armeniaca*)、光核桃、梅(*P. mume*)、川西樱(*P. trichostoma*)等许多野生李属植物可以通过选育和嫁接改变其品质。而沙棘(*Hippophae rhamnoides* ssp. *yunnatensis*)是富含维生素C的重要果树,在本区北部有广泛的分布,适于在河滩荒地上广泛栽培,今后可为发展饮料工业提供原料。除沙棘外,这类植物还有牛奶子(*Actinidia venosa*)等胡颓子属植物。区内中山带所产的显脉猕猴桃(*E-laeagnus umbellata*)也是一种含维生素C很高的野生果树资源。本区南部还盛产许多热带、亚热带野生果树;如绵毛水东哥、大花水东哥(*S. megalantha*)、红萼水东哥,其果实香甜,别有风味。油葫芦(*Pyrularia edulis*),果肉可食,果核还可榨油。山枇杷果(*Ficus semicordata*)茎生果味道甘美。油楂果(*Hodgsonia crocarpa*)果仁如花生香甜可口。毛果柿(*Diospyros variegata*)、黑枣(*D. lotus*)均可以作柿子的砧木,本区最有意义的野生果树为香椽(*C. medica*),其广泛分布在1000米左右的山坡,尽管其果实极酸,但它是嫁接甜橙的好砧木,所以只要在原有野生果树上嫁接上优良甜橙的接穗,即可成为优质柑桔树。在本区嫁接柑桔的试验已见成效,该地气候极适于柑桔生长,所以,发展桔园,为自治区提供大量亚热带水果将是本区一个重要的发展方向。今后这里有可能成为果汁、固体饮料、水果罐头的生产基地。除柑桔外,芭蕉(*Musa basjoo*)是本区的另一重要热带水果,此外野芭蕉(*M. balbisiana*)、血红蕉(*M. sanguinea*)等野生芭蕉熟后也可食,但本区缺少品质较好的香蕉(*M. paradisiaca* var. *sapientum*)、粉蕉(*M. nana*)品种,今后应逐步改植香蕉、粉蕉以提高这种西藏稀有热带水果的品质。本区还可适当引种一些北热带和南亚热带的水果,如柚(*Citrus grandis*)、柠檬(*Citrus limon*)、芒果(*Mangifera indica*)、荔枝(*Litchi chinensis*)、龙眼(*Euphoria longan*)、榴莲(*Durio zibethinus*)、番石榴(*Psidium guajava*)、蒲桃(*Syzygium jambos*)、木菠萝(*Artocarpus heterophyllus*)等。总之本区作为西藏自治区唯一的亚热带、亚热带水果生产地,有着很好的发展前景。

除上述,本区的野生植物资源还有很多,例如可提取栲胶的多种壳斗科植物,川滇高山栎、刺栲、瓦山栲、薄皮青冈、西藏青冈、尼泊尔栎木(*Alnus nepalensis*)等,提取贵重芳香油的芳香植物如野桂花(*Osmanthus yunnanensis*)、素方花(*Jasminus officinale*)、岭南茉莉(*J. laurifolium*)、矮探春(*J. humile*)、松风草(*Beenninghausenia albiflora*)、长瓣瑞香、瑞香以及极其丰富的野生花卉植物,特别是高山花卉如杜鹃花,其种类多,色彩艳丽,其他还有报春花、龙胆、垂头菊、委陵菜、驴蹄草、岩白菜、岩梅、岩须等,在林中则有多种珍贵的兰花,以及野丁香、木兰、含笑、玉叶金花、苦苣苔等等。

## 二、动物资源

南峰地区森林郁密,草场丰美,繁育着种类繁多的各种动物,其中不少是国家重点保护的珍贵动物,此外还有很多有着较高经济价值的经济动物。但是从总的来看,由于人类长期捕猎的结果,本区许多动物(包括珍贵动物)的数量已急剧下降,如国家一级保护动物羚牛(*Budorcas taxicolor*),仅本区一年被捕杀的就近百头,而马麝(*Moschus sifanicus*)和林麝则更是当地居民主要的捕猎对象,现其数量已急剧减少。所以本区的动物资源,很多仅能称为一种潜在资源,只有认真加以保护,使其种群发展到一定数量,才有进一步利用的可能。对动物资源,我们可以根据用途把它分为珍贵保护动物、药用动物、毛皮动物和观赏动物。

### (一) 珍稀动物

本区一类保护动物有长尾叶猴(*Presbytis entellus*)、金猫(*Felis temminckii*)、孟加拉虎(*Panthera tigris bengalensis*)、雪豹(*Panthera uncia*)、羚羊、棕颈犀鸟(*Aceros nepalensis*)、灰腹角雉等;国家二类保护动物有猕猴(*Macaca mulatta*)、穿山甲(*Manis pentadactyla*)、金钱豹(*Panthera pardus*)、小熊猫(*Ailurus fulgens*)、水獭(*Lutra lutra*)、苏门羚、红胸角雉(*Tragopon satyra*)、红腹角雉(*Tragopon temminckii*)、蟒蛇(*Pytho molurus birittatus*)等。上述珍稀动物是科学研究的宝贵资料,是在这一地区建立自然保护区的主要科学依据。需认真加以保护,对于有些数量较多者,如猕猴等,可以少量提供科学实验或医用,或提供动物园展览。

### (二) 药用动物

本区可供药用的动物主要有马麝和林麝,其分泌的麝香为名贵药材,穿山甲(*Manis pentadactyla*)中医以鳞片入药,有活血通经、消肿之功效,蛇蜥(*Ophisaurus gracilis*)全体入药,活血去湿,银环蛇(*Bungarus multicinctus*)幼蛇入药,主治风湿痹痛,半身不遂,大眼镜蛇(*Naja hannaha*)的蛇毒入药。鼯鼠(*Trogopterus xanthipes*)粪可入药称“五灵脂”。孟加拉虎、金钱豹、雪豹(*Panthera uncia*)等,骨作虎骨可入药,有舒筋活血之功效。但本区的许多药用动物都是国家重点保护动物,所以它们大部分仅是一种潜在的药用动物资源,首先要严加保护。

### (三) 毛皮动物和观赏动物

本区许多珍贵的毛皮动物,如水獭(*Lutra lutra*)、石貂(*Martes foina toufous*)、金钱豹(*Panthera pardus*)、云豹(*Neofelis nebulosa*)、雪豹(*Panthera uncia*)、白鼬(*Mustela erminea*)、青鼬(*M. flavigula*)、豹猫(*Felis bengalensis*)等,不过现在当地居民的长期捕猎下其数量已十分稀少。国家重点保护的动物以外,其他亦需限猎,使这些资源得以永续利

用。

观赏动物中,前述许多国家一、二类保护动物都是重要的观赏动物,除此之外,本区还产有许多珍贵的观赏鸟类,如绯胸鹦鹉(*Psittacula alexandri*)、大绯胸鹦鹉(*Psittacula derbiana*)、蓝喉太阳鸟(*Aethophaga gouldiae gouldiae*)、火尾太阳鸟(*Aethophaga ignicauda ignicauda*)、红咀相思鸟(*Leiothrix lutea caliphga*),此外还有许多种美丽名贵的蝴蝶。

### 三、真菌资源<sup>①</sup>

南峰地区雨量充沛,植被复杂且类型多样。一般在海拔4000米以下的谷坡山峦森林发育,葱茏密茂。绝大多数林区人迹罕至,保持了完好的森林生态系统。南峰地区的广阔林带枯枝落叶成层及腐殖质肥厚,倒木交横,树种多样,根系复杂,从而为腐生、寄生或共生等不同习性的大型真菌提供了繁生条件,种类资源极为丰富(卯晓岚,1984,1985)。在开发应用方面具有广泛的内容和潜在力。以下仅食用、药用、有毒、木腐及菌根真菌资源等方面加以论述。

#### (一) 食用真菌资源

南峰地区已知野生食用菌238种,占该区大型真菌总数628种的37.7%,包括80属,31科(表13.1),占全国已知食用菌种数的52.9%,其中有利用价值的至少在百种左右。当地藏族、门巴族和珞巴族采食的不到20种。

据统计该区有白蘑科(*Tricholomataceae*)的食用菌45种,像松口蘑(*Tricholoma matsutake*),这种优良食菌产量多而群众普遍采食,主要分布波密、林芝、米林高山松和高山栎混交林中。同时还产鳞口蘑(*Tricholoma imbricatum*)、黄绿口蘑(*T. sejunctum*),其广布而产量较多。在林带红蜡蘑(*Laccaria laccata*)很丰富。鸡枞菌(*Termitomyces albuminosus*)、粗壮鸡枞菌(*T. robustus*)味鲜美,仅分布雅鲁藏布江下游墨脱境内,大约海拔1200米以下的谷地,并与白蚁的分布密切联系。当地门巴、珞巴族人普遍采食。蜜环菌(*Armillariella mellea*)和冬菇(*Flammulina velutipes*)这两种食菌是南峰林带的广布种,唯前种产量大。白粘环蕈(*Oudemansiella mucida*)和长根菇(*O. radicata*)较多且分布海拔稍低的林带。荷叶蘑(*Clitocybe decstes*)、块根蘑(*C. conglobata*)、杯蕈(*C. infundibuliformis*);粉肉色香蘑(*Lepista irina*)、黑白毡囊蘑(*Melanoleuca melaleuca*)、毡囊蘑(*M. cognata*)、条柄毡囊蘑(*M. gramnopia*)、绒点柄毡囊蘑(*M. verrucipes*)等这些食用菌中多属气香味鲜的种类,其中有的可选育栽培。

红菇科(*Russulaceae*)的食用菌27种,比较多见的有松乳菇(*Lactarius deliciosus*)、多汁乳菇(*L. volemus*)、红汁乳菇(*L. hatsudak*)、大白菇(*Russula delica*)、黄菇(*R. lutea*)、绿菇(*R. virescens*)、红斑黄菇(*R. aurata*)、菱红菇(*R. vesca*)、大红菇(*R. alutacea*)、黑紫红菇(*R. atropurpurea*)、花盖菇(*R. cyanoxantha*)、褪色红菇(*R. decolorans*)和粉红菇(*R. subdepalens*)等。这些种类产量多,可采收加工。牛肝菌科(*Boletaceae*)有食用菌17种,其中优质的

<sup>①</sup> 此部分经王云章教授审阅。应建浙、徐连旺两位先生协助鉴定部分标本。

表 13.1 南峰地区大型真菌资源种类统计

类别	科名		属	种	食用		有毒		药用		木腐		菌根	
					属	种	属	种	属	种	属	种	属	种
子囊菌	麦角菌科	Clavicipitaceae	1	3	1	1			1	3				
	炭棒菌科	Xylariaceae	2	2							2	2		
	盘菌科	Pezizaceae	1	2	1	2								
	马鞍菌科	Helvellaceae	3	6	2	4	1	2						
担子菌	木耳科	Auriculariaceae	1	6	1	6			1	4	1	6		
	银耳科	Tremellaceae	3	8	3	7			3	6	1	6		
	叉担子科	Dacryomycetaceae	3	3	2	2					2	2		
	革菌科	Thelephoraceae	4	10	1	1			1	1	1	9		
	珊瑚菌科	Clavariaceae	3	9	3	7	1	3	1	2	1	1	3	8
	喇叭菌科	Cantharellaceae	2	8	2	6	1	1	1	1			2	5
	齿菌科	Hydnaceae	4	7	3	5			3	5	2	3	1	2
	多孔菌科	Polyporaceae	17	53	5	9			16	37			1	3
	针孔菌科	Mucronoporaceae	2	7					1	6	1	6		
	牛肝菌科	Boletaceae	9	31	6	17	2	4	2	4			8	31
	松塔牛肝菌科	Strobilomycetaceae	2	3	2	2	1	1	1	1			1	1
	网褶菌科	Paxillaceae	1	3	1	2	1	3						
	铆钉菇科	Gomphidiaceae	1	4	1	4			1	1			1	4
	蜡伞科	Hygrophoraceae	3	13	2	10	1	1					3	4
	红菇科	Russulaceae	2	43	2	27	2	9	2	16			2	43
	裂褶菌科	Schizophyllaceae	1	1	1	1			1	1	1	1		
	侧耳科	Pleurotaceae	7	17	4	12	1	1	4	6	6	17		
	锈耳科	Crepidotaceae	2	2							1	2		
	白蘑科	Tricholomataceae	18	55	14	45	3	4	11	24	6	8	3	13
	毒伞科	Amanitaceae	1	23	1	6	1	14	1	4			1	23
	光柄菇科	Pluteaceae	2	5	2	4	1	1	1	2	2	3		
	蘑菇科	Agaricaceae	6	20	5	18	3	4	3	8				
	鬼伞科	Coprinaceae	4	15	3	9	3	7	1	3				
	粪锈伞科	Bolbitaceae	3	6	1	3	2	3	2	4				
	球盖菇科	Strophariaceae	4	20	3	10	4	7	2	13	1	5		
	丝膜菌科	Cortinariaceae	6	43	3	7	4	12	3	12			4	37
	粉褶菌科	Rhodophyllaceae	1	3	1	1	1	2	1	3				
	鬼笔菌科	Phallaceae	1	1	1	1			1	1			1	1
	腹菌科	Hymenogastreae	1	1									1	1
	硬皮马勃科	Sclerodermataceae	1	1	1	1							1	1
	灰包科	Lycoperdaceae	3	8	2	8			3	7				
	灰锤科	Tulostomataceae	2	2					2	2			1	1
	地星科	Gastraceae	1	2					1	2				
	鸟巢菌科	Nidulariaceae	2	2							2	2		
合计		38 科	130	447	80	238	33	79	71	179	30	73	34	178

是美味牛肝菌(*Boletus edulis*),以及小美牛肝菌(*B. speciosus*)。粘盖牛肝菌属(*Suillus*)的食用种较多并以松林中最丰富。常见的有褐环粘盖牛肝(*S. luteus*)、亚褐环粘盖牛肝(*S. subluteus*)、点柄粘盖牛肝(*S. granulatus*)、黄粘盖牛肝(*S. flavidus*)、灰环粘盖牛肝(*S. aeruginascens*)和粘盖牛肝菌(*S. bovinus*)等。另有黄疣柄牛肝(*Leccinum aurantiaca*)以及松塔牛肝菌科(*Strobilomycetaceae*)的松塔牛肝菌(*Strolimycetes floccopus*)等。铆钉菇科(*Gomphidiaceae*)有粘铆钉菇(*Gomphidius glutinosus*)、铆钉菇(*G. viscidus*)、红铆钉菇(*G. roseus*)三种。卷边网褶菌(*Paxillus involutus*)是网褶菌科(*Paxillaceae*)极多见的食用菌。

侧耳科(*Pleurotaceae*)的食用菌达12种,全属木生菌。这里分布大量的豹皮菇(*Lentinus lepideus*)和大幕菌(*Tectella calyptrata*)。侧耳(*Pleurotus ostreatus*)和金顶侧耳(*P. citrinopileatus*)是优质食用菌,当地有采食,可引种驯化而大量栽培,多生于阔叶树木桩上。在针叶林带多有长柄侧耳(*P. spodoleucus*)、肺形侧耳(*P. pulmoriis*)以及小白侧耳(*P. limpidus*)、环柄侧耳(*P. sajor-caju*)、密褶亚侧耳(*Hohenbuehelia geogenia*)。环柄侧耳仅分布在墨脱地区海拔1100米以下的热带季雨林带。裂褶菌(*Schizophyllum commune*)也是这里分布相当普遍的种并有采食。

蘑菇科(*Agaricaceae*)有食菌18种,以白林地菇(*Agaricus silvicola*)、野蘑菇(*A. arvensis*)、紫菇(*A. rubellus*)、小白菇(*A. comtulus*)、大肥菇(*A. bitorquis*)、白鳞菇(*A. bernardii*)、双环林地菇(*A. placomyces*)等。这些菌可收集加工。金褐鳞伞(*Phaeolepiota aurea*)多产于针阔混交林中,是一种优质食用菌。球盖菇科(*Strophariaceae*)以砖红韧黑伞(*Naematoloma sublateralitium*)、光帽黄伞(*Pholiota nameko*)这两种木生菌属优良食用菌,目前已有人工栽培。其次是黄伞(*Pholiota adiposa*)、白鳞环锈伞(*P. destruns*)等木生种类。

丝膜菌科(*Cortinariaceae*)资源颇丰富,主要有高丝膜菌、蓝丝膜菌(*Cortinarius caerulescens*)、粘腿丝膜菌(*C. collinitus*)、皱盖罗伞(*Rozites caperata*)。尤其后种产量大又味亦鲜美。上述种类以铁杉、冷杉、云杉及松林中多生长。粪锈伞科(*Bolbitaceae*)的田头菇(*Agrocybe praeox*)和柱状田头菇(*A. cylindracea*)广布而味好。另有银丝菇和野生草菇。

南峰地区多孔菌类食菌种类虽不很多,但经济价值高又名贵者不少。如齿菌科(*Hydnaceae*)的猴头菌(*Hericium erinaceum*)、玉髯(*H. coralloides*)、猪苓(*Polyporus umbellatus*)、灰树花(*P. frondosus*),均为重要的优良食菌。猴头菌多见于波密、东久及墨脱等地。猪苓多产于帕隆藏布江流域的桦木、杨、柳、栎等阔叶林地。上述几种个体巨大,产量可观,值得重视。此科中的齿菌(*Hydnum repandum*)、褐盖肉齿菌(*Sarcodon fuligineoalbus*)、翘鳞肉齿菌(*S. imbricatus*)是针叶林中生长最多的重要食菌(中国科学院青藏高原综合科学考察队,1983,臧穆,1980,卯晓岚,1985)。

革菌科(*Thelephoraceae*)的绣球菌(*Sparassia crispa*)和喇叭菌科(*Cantharellaceae*)的鸡油菌(*Cantharellus cibarius*)、疣孢鸡油菌(*C. tuberculosporus*)多产于混交林带,味道十分鲜美,此外还有金号角(*Craterellus aureus*)和灰喇叭菌(*C. cornucopioides*)。珊瑚菌科(*Clavariaceae*)中以金黄枝瑚菌(*Ramaria aurea*)、密枝瑚菌(*R. stricta*)、棒瑚菌(*Clavariadelphus pistillaris*)、平截棒瑚菌(*C. truncatus*)等可食种类出产很丰富,不过质脆易碎,不便收集加工和运输。

木耳(*Auricularia auricula*)是南峰地区产量多而很普通的食菌,此外还有皱木耳、毛木耳(*A. polytricha*)等种类。墨脱境内有野生银耳(*Tremella fuciformis*)但数量很少。该区



金耳(*T. mesenterica*)、茶耳(*A. foliacea*)、黄耳(*T. frondosa*)、胶勺(*Phlogiotis helvelloides*)、虎掌菌(*Tremellodon gelatinosus*)分布广而比较多产。

上述各科食菌均属担子菌类,总数为231种,76属,28科。而子囊菌类的食用菌种数很少,该区以黑脉羊肚菌(*Morchella angusticeps*)和白马鞍菌(*Helvella crispa*)较多,唯前种经济意义比较大。归结以上各类食用菌,产于林带的种类约占80%—90%。另外该峰区因受湿润季风的特惠,不仅食用菌种类多,且生长季节集中,便于收集利用,同时筛选优良栽培种很有潜力,值得重视。

## (二) 毒菌(毒蘑菇)资源

南峰地区的毒菌已知79种。隶属于33属,18科。占全国毒菌种数(150种)的50.6%。其中绝大多数为担子菌,仅有2种为子囊菌(见表13.1)。鹿花菌(*Gyromitra esculenta*)和赭鹿花菌(*G. infula*)此两种是生针叶林带的毒菌,均属于马鞍菌科(Helvellaceae),其毒素为鹿花菌素(*gyromitra toxins*)。可引起严重溶血病症。不过也有认为经处理可食。

担子菌类的毒菌占绝对优势。其中多孔菌类仅知珊瑚菌科的粉红枝瑚菌(*Ramaria formosa*)分布甚广,中毒导致严重腹泻。另外丁香丛枝(*R. mairei*)和黄丛枝菌(*R. flava*)往往也会食后感到不适,不过多记载食用。

南峰地区牧业比较发达。在雅鲁藏布江和帕隆藏布江及尼洋曲等流域的河岸及林缘草地上,以及作为夏季牧场的亚高山灌丛草甸及高山草甸带,喜粪生的大型真菌亦丰富,其中毒菌达9种。鬼伞科(Coprinaceae)的钟形花褶伞(*Panaeolus campanulatus*)、粘盖花褶伞(*P. phalenarum*)、花褶伞(*P. retirugis*)、紧缩花褶伞(*P. sphinctrinus*)、花褶伞(*P. foenisecii*)、半卵圆环褶伞(*Anellaria semiovata*=*Panaeolus separata*)分布十分普遍。另有球盖菇科(Strophariaceae)的半球盖菇(*Stropharia semiglobata*)、多鳞韧黑伞(*Naematoloma squamosus*=*Stropharia squamosa*)、粪生光盖伞(*Psilocybe coprophila*)和毒光盖伞(*P. venenata*)。除后种外一般有牲畜粪的地方均可发现。这些毒菌含有致神经精神异常及致幻觉的光盖伞素(*psilocybin*  $C_{12}H_{17}O_4N_2P$ )和光盖伞辛(*psilocin*)。而在花褶伞属的种内仅含前种毒素。上述两类毒素具有重要的药理作用,有可能在研究、治疗神经病方面有重要用途。簇生黄韧伞(*Naematoloma fasciculare*)这种木生毒菌分布极广泛。丝膜菌科(Cortinariaceae)的毒菌有12种,主要集中于丝盖伞属(*Inocybe*)。常见有黄丝盖伞(*I. flavobrunnea*)、黄褐丝盖伞和茶褐丝盖伞(*I. umbrinella*)等。另有木生的桔黄裸伞(*Gymnopilus spectabilis*)、绿褐裸伞(*G. aeruginosa*)及生针阔叶林地上的细鳞毒丝膜菌(*Cortinarius speciosissimus*)。该科还有毒滑锈伞(*Hebeloma fastibile*)、大毒滑锈伞(*H. crustuliniforme*)、大孢滑锈伞(*H. sacchuriolens*)。这后四种含毒蝇碱(*muscarin*  $C_9H_{20}O_2N^+Cl^-$ )等毒素(中国科学院微生物研究所真菌组,1975,卯晓岚,1982)。

该区红菇科的毒菌有9种。在冷杉、松林中以窝柄黄乳菇(*Lactarius scrobiculatus*)、绒白乳菇(*L. vellereus*)最多。而针阔混交林中以绒边乳菇(*L. pubescens*)、毛头乳菇(*L. torminosus*)、点柄臭黄菇(*Russula senesii*)及臭黄菇(*R. foeteus*)多产。鳞皮扇菇(*Panellus stypticus*)是一种广布而生木上的种类,这种属于侧耳科的毒菌夜晚可显萤光。网褶菌科的毒菌主要是覆瓦网褶菌(*Paxillus curtisii*)和卷边网褶菌。

表 13.2 南峰地区主要大型真菌经济用途

种 名	食用	有毒	药用	木腐	菌根
冬虫夏草	Cordyceps sinensis(Berk. )Sacc.	+		+	
珊瑚虫草	Cordyceps martilis Speg.			+	
蛹虫草	Cordyceps militaris (L. ex Fr. )Link			+	
炭球菌	Daldinia concentrica (Bolt. ex Fr. )Ces.				+
粪 碗	Peziza vesiculosa Bull. ex Fr.	+			
白马鞍菌	Helvella crispa Fr.	+			
黑脉羊肚菌	Morchella angusticeps Pk.	+			
鹿花菌	Gyromitra esculenta (Pers. )Fr.		+		
赭鹿花菌	Gyromitra infula Fr.		+		
木 耳	Auricularia auricula (L. ex Hook)Underw.	+		+	+
皱木耳	Auricularia delicata (Fr. )Hem	+			+
毛木耳	Auricularia polytricha (Mont. )Sacc.	+		+	+
虎掌菌	Tremellodon gelatinosus (Scop. ex Fr. )Pers.	+		+	
胶 勺	Phlogiotis helvelloides(Dc. ex Fr. )Martin	+		+	
银 耳	Tremella fuciformis Berk.	+		+	+
金 耳	Tremella mesenterica Retz ex Fr.	+		+	+
茶 耳	Tremella foliacea Pers. ex Fr.	+		+	+
胶角菌	Calocera viscosa Fr.				+
绣球菌	Sparassia crispa (Walf)Fr.	+		+	
杯珊瑚菌	Clavicornia pyxidata (Pers. ex Fr. )Doty	+			+
丁香枝瑚菌	Ramaria mairei Donk	+	+		+
粉红枝瑚菌	Ramaria formosa (Pers. ex Fr. )Quél.		+	+	+
黄枝瑚菌	Ramaria flava (Schaeff. ex Fr. )Quél.	+	+		+
金黄枝瑚菌	Ramaria aurea (Fr. )Quél.	+		+	
密枝瑚菌	Ramaria stricta (Fr. )Quél.	+			+
棒瑚菌	Cavariadelphus pistillaris (L. ex Fr. )Donk	+			+
鸡油菌	Cantharellus cibarius Fr.	+		+	+
喇叭菌	Cantharellus floccosus Schw.	+	+		+
金号角	Craterellus aureus Berk. et Curt.	+			+
灰号角	Craterellus cornucopioides(L. ex Fr. )Pers.	+			
猴头菌	Hericum erinaceus (Bull. ex Fr. )Pers.	+		+	+
玉 髯	Hericum coralloides(Scop. ex Fr. )Pers. ex Gray	+		+	+

续表 13.2

种 名	食用	有毒	药用	木腐	菌根
齿 菌	<i>Hydnum repandum</i> L. ex Fr.	+		+	
翅鳞肉齿菌	<i>Sarcodon imbricatus</i> (Fr.) Karst.	+	+		+
褐盖肉齿菌	<i>Sarcodon fuligineo-albus</i> (Fr.) Quél.	+	+		
松根层孔菌	<i>Fomes amosus</i> (Fr.) Cke.		+	+	
药用层孔菌	<i>Fomes officinalis</i> (Vill. ex Fr.) Faull.		+	+	
木蹄层孔菌	<i>Fomes fomentarius</i> (L. ex Fr.) Kickx		+	+	
红缘多孔菌	<i>Fomes pinicola</i> (Swartz ex Fr.) Cooke		+	+	
树舌灵芝	<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat.		+	+	
灵 芝	<i>Ganoderma lucidum</i> (Leyss. ex Fr.) Karst.		+	+	
松杉灵芝	<i>Ganoderma tsugae</i> Murr.		+	+	
茯 苓	<i>Poria cocos</i> (Schw.) Wolf	+	+	+	
褐孔菌	<i>Gloeophyllum saepiarium</i> (Walf ex Fr.) Karst.		+	+	
松囊孔菌	<i>Hirschioporus abietinus</i> (Dicks. ex Fr.) Donk		+	+	
桦剥孔菌	<i>Lenzites betulina</i> (L. ex Fr.) Fr.		+	+	
黑管菌	<i>Bjerkandera adusta</i> (Willd ex Fr.) Karst.		+	+	
灰树花	<i>Polyporus frondosus</i> (Dicks) Fr.	+	+		
猪 苓	<i>Polyporus umbellatus</i> (Pers.) Fr.	+	+		
地 花	<i>Polyporus confluens</i> (Alb. et Schw.) Fr.	+	+		+
多孔菌	<i>Polyporus varius</i> (Pers.) Fr.		+		
毛地花	<i>Polyporus cristatus</i> (Pers.) Fr.	+	+		
褐 芝	<i>Polystictus affinis</i> Fr.				+
桦剥管菌	<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull. ex Fr.) Karst.	+	+	+	
红栓菌	<i>Trametes cinnabarina</i> (Jacq.) Fr.		+	+	
灰带栓菌	<i>Trametes orientalis</i> (Yasuda) Imai.		+		
硫磺多孔菌	<i>Tyromyces sulphureus</i> (Bull. ex Fr.) Donk	+	+	+	
粗毛褐孔菌	<i>Xanthochrous hispidus</i> (Bull. ex Fr.) Pat.		+	+	
云 芝	<i>Coriolus versicolor</i> (L. ex Fr.) Quél.		+	+	
三色褶孔菌	<i>Daedaleopsis tricolor</i> (Bull. ex Fr.) Bond. et Sing.		+	+	
大孔菌	<i>Favolus alveolaris</i> (DC. ex Fr.) Quél.	+	+	+	
漏斗大孔菌	<i>Favolus arcularius</i> (Batsch ex Fr.) Ames	+	+	+	
宽鳞大孔菌	<i>Favolus squamosus</i> (Huds. ex Fr.) Ames	+	+	+	
针层孔菌	<i>Phellinus igniarius</i> (L. ex Fr.) Quél.		+	+	
松针层孔菌	<i>Phellinus pini</i> (Thore ex Fr.) Ames		+	+	
裂针层孔菌	<i>Phellinus rimosus</i> (Berk.) Pil.		+	+	
美味牛肝菌	<i>Boletus edulis</i> Bull. ex Fr.	+	+		+

续表 13. 2

种 名	食用	有毒	药用	木腐	菌根
小美牛肝菌 <i>Boletus speciosus</i> Frost	+				+
红绒盖牛肝菌 <i>Boletus chrysenteron</i> (Fr.) Quél.	+				+
红网牛肝菌 <i>Boletus luridus</i> Schaeff. ex Fr.		+			+
铅色圆孢牛肝菌 <i>Gyrodon lividus</i> (Bull. ex Fr.) Sacc.	+				+
褐疣柄牛肝菌 <i>Leccinum scabrum</i> (Bull. ex Fr.) Gray	+				+
黄疣柄牛肝菌 <i>Leccinum aurantiaca</i> (Bull. ex Amans) S. F. Gray	+				+
细南牛肝菌 <i>Austroboletus gracilis</i> (Peck) Sing.	+				+
红孢牛肝菌 <i>Porphyrellus pseudoscaber</i> (Sacc.) Sing.	+				+
褐环粘盖牛肝菌 <i>Suillus luteus</i> (Fr.) S. F. Gray	+				+
黄白粘盖牛肝菌 <i>Suillus placidus</i> (Bonorden) Sing.		+			+
黄粘盖牛肝菌 <i>Suillus flavidus</i> (Fr.) Sing.	+				+
橙黄粘盖牛肝菌 <i>Suillus flavus</i> (With. ex Fr.) Sing	+				+
粘盖牛肝菌 <i>Suillus bovinus</i> (L. ex Fr.) O. Kuntz.	+				+
凤梨小牛肝菌 <i>Boletellus ananas</i> (Curt.) Murr.		+			+
木生小牛肝菌 <i>Boletellus emodensis</i> (Berk.) Sing.	+			+	
松塔牛肝菌 <i>Strobilomyces floccopus</i> (Vahl. ex Fr.) Karst.	+		+		+
毛柄网褶菌 <i>Paxillus atrotomentosus</i> (Batsch. ex Fr.) Fr.	+	+			
卷边网褶菌 <i>Paxillus involutus</i> (Batsch. ex Fr.) Fr.	+	+			+
覆瓦网褶菌 <i>Paxillus cuttisi</i> Berk.		+		+	
铆钉菇 <i>Gomphidius viscidus</i> (L.) Fr.	+		+		+
粘铆钉菇 <i>Gomphidius glutinosus</i> (Fr.) Fr.	+				+
斑点铆钉菇 <i>Gomphidius maculatus</i> Scop. ex Fr.	+				+
白蜡伞 <i>Hygrophorus eburneus</i> (Bull.) Fr.	+				+
红蜡伞 <i>Hygrophorus puniceus</i> Fr.	+				
拱顶菌 <i>Camarophyllus virgineus</i> (Wulf ex Fr.) Karst.					+
黑褐乳菇 <i>Lactarius lignyotus</i> Fr.	+	+			+
多汁乳菇 <i>Lactarius volemus</i> Fr.	+		+		+
红汁乳菇 <i>Lactarius hatsudake</i> Tanaka	+		+		+
松乳菇 <i>Lactarius deliciosus</i> (L. ex Fr.) Gray	+				+
毛头乳菇 <i>Lactarius torminosus</i> (Schaeff. ex Fr.) S. F. Gray		+			+
绒白乳菇 <i>Lactarius vellereus</i> (Fr.) Fr.		+			+
白乳菇 <i>Lactarius piperatus</i> (L. ex Fr.) Gray	+	+	+		+
绒边乳菇 <i>Lactarius pubescens</i> Fr.		+			+
红斑黄菇 <i>Russula aurata</i> (With.) Fr.	+		+		+
点柄臭黄菇 <i>Russula senecis</i> Imai		+			+
黑白菇 <i>Russula adusta</i> (Pers.) Fr.	+		+		+

续表 13.2

种 名	食用	有毒	药用	木腐	菌根
黄 菇	<i>Russula lutea</i> (Huds.)Fr.	+			+
花盖菇	<i>Russula cyanoxantha</i> (Secr.)Fr.	+	+		+
大白菇	<i>Russula delica</i> Fr.	+	+		+
白黑菇	<i>Russula albonigra</i> (Krombn.)Fr.	+			+
绿 菇	<i>Russula viresceus</i> (Schaeff. ex Zanted)Fr.	+	+		+
稀褶黑菇	<i>Russula nigricans</i> (Bull. ex Fr.)Fr.	+	+	+	+
黑紫红菇	<i>Russula atripurpurea</i> (Krombn.)Britz.	+			+
臭黄菇	<i>Russula foeteus</i> (Pers.)Fr.		+		+
青黄红菇	<i>Russula olivacea</i> (Schaeff.)Fr.	+			+
红 菇	<i>Russula lepida</i> Fr.	+			+
蜜黄菇	<i>Russula ochroleuca</i> (Pers. ex Fr.)Fr.	+			+
粉红菇	<i>Russula subdepallens</i> Pk.	+			+
菱红菇	<i>Russula vesca</i> Fr.	+	+		+
裂褶菌	<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	+	+	+	
革 耳	<i>Panus rudis</i> Fr.	+	+	+	
鳞皮扇菇	<i>Panellus stypticus</i> (Bull. ex Fr.)Karst.		+	+	
豹皮菇	<i>Lentinus lepideus</i> Fr.	+	+	+	
贝壳状香菇	<i>Lentinellus cochlectus</i> (Pers. ex Fr.)Karst.	+		+	
环柄侧耳	<i>Pleurotus sajor-caju</i> (Fr.)Sing.	+		+	
金顶侧耳	<i>Pleurotus citrinopileatus</i> Sing.	+	+	+	
小白侧耳	<i>Pleurotus limpidus</i> (Fr.)Gill.	+		+	
侧 耳	<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq. ex Fr.)Quél.	+	+	+	
密褶亚侧耳	<i>Hohenbuehelia geogenia</i> (DC. ex Fr.)Sing.	+		+	
长根菇	<i>Oudemansiella radicata</i> (Fr.)Sing.	+	+		
白粘环覃	<i>Oudemansiella mucida</i> (Fr.)Hoehnel	+	+	+	
靴状金钱菌	<i>Collybia peronata</i> (Fr.)Kummer	+			
冬 菇	<i>Flammulina velutipes</i> (Fr.)Sing.	+	+	+	
蜜环菌	<i>Armillariella mellea</i> (Fr.)Karst.	+	+	+	+
白杯伞	<i>Clitocybe phyllophila</i> (Pers. ex Fr.)Quél.		+		
块根蘑	<i>Clitocybe conglobata</i> (Vitt.)Bres.	+			
杯 伞	<i>Clitocybe infundibuliformis</i> (Schaeff. ex Fr.)Quél.	+			
水粉杯伞	<i>Clitocybe nebularis</i> (Batsch. ex Fr.)Quél.	+	+	+	
紫蜡蘑	<i>Laccaria amethystea</i> (Bull. ex Gray)Murr.	+	+		+
红蜡蘑	<i>Laccaria laccata</i> (Scop. ex Fr.)Berk.	+	+		+
刺孢蜡蘑	<i>Laccaria tortilis</i> (Bolt. ex Fr.)Pat.	+	+		+
硬柄皮伞	<i>Marasmius oreades</i> (Bolt.)Fr.	+	+		

续表 13.2

种 名	食用	有毒	药用	木腐	菌根
荷叶蘑	<i>Lyophyllum decastes</i> (Fr. ex Fr.)Sing	+			
黑白鈺囊蘑	<i>Melanoleuca melaleuca</i> (Pers. ex Fr.)Murr.	+			
鈺囊蘑	<i>Melanoleuca cognata</i> (Fr.)Konrad & Maubl	+			
直柄鈺囊蘑	<i>Melanoleuca strictipes</i> (Karst.)Schaeff.	+			
簇生小管菌	<i>Filoboletus manipularia</i> (Berk.)Sing.			+	
洁小菇	<i>Mycena pura</i> (Pers. ex Fr.)Quél.	+		+	
盔盖小菇	<i>Mycena galericulata</i> (Fr.)S. F. Gray	+		+	
粉肉色香蘑	<i>Lepista irina</i> (Fr.)Bigelow	+		+	
灰紫香蘑	<i>Lepista glaucocana</i> (Bres.)Sing.	+			
花脸香蘑	<i>Lepista sordida</i> (Fr.)Sing.	+			
松口蘑	<i>Tricholoma matsutake</i> (S. Ito et Imai)Sing.	+		+	+
黄绿口蘑	<i>Tricholoma se junctum</i> (Sow. ex Fr.)Quél.	+		+	+
鳞口蘑	<i>Tricholoma imbricatum</i> (Fr. ex Fr.)Kumm.	+			+
突顶口蘑	<i>Tricholoma virgatum</i> (Fr.)Kumm.		+		+
赭红拟口蘑	<i>Tricholomopsis rutilans</i> (Fr.)Sing		+	+	+
鸡枞菌	<i>Termitomyces albuminosus</i> (Berk.)Heim	+		+	
粗柄鸡枞菌	<i>Termitomyces robustus</i> (Beeli)Heim	+			
白毒伞	<i>Amanita verna</i> (Lam. ex Fr.)Pers. ex Vitt.		+		+
黄褐毒伞	<i>Amanita flavorubescens</i> Alk.		+		+
黄毒蝇伞	<i>Amanita flavoconia</i> Alk.		+		+
灰托柄菇	<i>Amanita vaginata</i> (Bull. ex Fr.)Vitt.	+	+		+
橙盖伞	<i>Amanita caesarea</i> (Scop. ex Fr.)Bers. ex Schw.	+		+	+
豹斑毒伞	<i>Amanita phatherina</i> (DC. ex Fr.)Schumrn.		+		+
圈托柄菇	<i>Amanita inaurata</i> Sing.	+		+	+
毒蝇伞	<i>Amanita muscaria</i> (L. ex Fr.)Pers. ex Hork.		+	+	+
片鳞托柄菇	<i>Amanita agglutinata</i> (Berk. et Curt.)Lloyd		+	+	+
柠檬黄伞	<i>Amanita citrina</i> (Schaeff.)Pers. ex Gray		+		+
赭盖伞	<i>Amanita rubescens</i> Pers. ex Gray	+			+
角鳞灰毒伞	<i>Amanita spissacea</i> Imai		+		+
松果伞	<i>Amanita strobiliformis</i> (Vitt.)Quél.		+		+
银丝菇	<i>Volvariella bombycina</i> (Scop. ex Fr.)Sing.	+		+	+
草 菇	<i>Volvariella volvacea</i> (Bull. ex Fr.)Sing.	+		+	
粘盖包脚菇	<i>Volvariella speciosa</i> (Fr.)Sing.		+		
灰光柄菇	<i>Pluteus cervinus</i> (Schaeff. ex Fr.)Quél.	+			+
尖鳞环柄菇	<i>Lepiota acutesquamosa</i> (Weinm.)Gill.	+			

续表 13.2

种 名	食用	有毒	药用	木腐	菌根
细环柄菇 <i>Lepiota clypeolaria</i> (Bull. ex Fr.) Quél.	+	+			
褐鳞小伞 <i>Lepiota helveola</i> Bres.		+			
裂皮环柄菇 <i>Leucoagaricus excoriatus</i> (Schaeff. ex Fr.) Sing.	+				
粗鳞环柄菇 <i>Macrolepiota rachodes</i> (Vitt.) Sing.	+				
高环柄菇 <i>Macrolepiota procera</i> (Scop. ex Fr.) Sing.	+		+		
金褐鳞伞 <i>Phaeolepiota aurea</i> (Fr.) Maire	+		+		+
白林地菇 <i>Agaricus silvicola</i> (Vitt.) Peck	+				
大肥菇 <i>Agaricus bitorquis</i> (Quél.) Sacc.	+				
双环林地菇 <i>Agaricus placomyces</i> Peck	+	+			
拟林地双环菇 <i>Agaricus subrufescens</i> (Pers.) Hotson et Stunts	+				
野蘑菇 <i>Agaricus arvensis</i> Schaeff. ex Fr.	+		+		
皱盖囊皮菌 <i>Cystoderma amianthinum</i> (Scop. ex Fr.) Fayod	+				
墨汁鬼伞 <i>Coprinus atramentarius</i> (Bull.) Fr.	+	+	+		
小孢毛鬼伞 <i>Coprinus ovatus</i> (Schaeff.) Fr.	+				
粪鬼伞 <i>Coprinus sterquilinus</i> Fr.	+				
花边伞 <i>Psathyrella candolleana</i> (Fr.) A. H. Smith	+				
薄花边伞 <i>Psathyrella hydrophila</i> (Fr.) A. H. Smith	+				
钟形花褶伞 <i>Panaeolus campanulatus</i> (L. ex Fr.) Quél.		+			
花褶伞 <i>Panaeolus retirugis</i> (Fr.) Gill.		+			
紧缩花褶伞 <i>Panaeolus sphinctrinus</i> (Fr.) Quél.		+			
半卵圆环褶伞 <i>Anellaria semiovata</i> (Sow. ex Fr.) Pers. et Dem.		+			
田头菇 <i>Agrocybe praeor</i> (Pers. ex Fr.) Fayod	+		+		
柱状田头菇 <i>Agrocybe cylindracea</i> (DC. ex Fr.) Maire	+		+	+	
半球盖菇 <i>Stropharia semiglobata</i> (Batsch ex Fr.) Quél.	+	+			
多鳞球盖菇 <i>Stropharia squamosa</i> (Pers. ex Fr.) Quél.		+			
簇生黄韧伞 <i>Naematoloma fasciculare</i> (Huds. & Fr.) Karst.		+	+	+	
砖红韧黑伞 <i>Naematoloma sublateralitium</i> (Fr.) Karst.	+		+	+	
黄伞 <i>Pholiota adipsa</i> (Fr.) Quél.	+		+	+	
白褐环锈伞 <i>Pholiota albocrenulata</i> (Pk.) Sacc.	+			+	
翘鳞环锈伞 <i>Pholiota squarrosa</i> (Müller ex Fr.) Quél.	+	+	+	+	
白鳞环锈伞 <i>Pholiota destruns</i> (Bond.) Gill.	+			+	
光帽黄伞 <i>Pholiota nameko</i> (Ito) Ito & Imai	+		+	+	
毒光盖伞 <i>Psilocybe venenata</i> (Imai) Imazeki et Hongo		+			
粪生光盖伞 <i>Psilocybe coprophila</i> (Bull. ex Fr.) Kumm.		+			
黄褐丝盖伞 <i>Inocybe flavobrunnea</i> Wang		+			+
黄丝盖伞 <i>Inocybe fastigiata</i> (Schaeff. ex Fr.) Quél.		+			+

续表 13.2

种 名	食用	有毒	药用	木腐	菌根
星孢丝盖伞	<i>Inocybe asterospora</i> Quél.	+			+
毒滑锈伞	<i>Hebeloma fastibile</i> (Fr.) Quél.	+			+
大毒滑锈伞	<i>Hebeloma crustuliniforme</i> (Bull. ex Fr.) Quél.	+			+
大孢滑锈伞	<i>Hebeloma sacchuriolens</i> Quél.	+			+
兰丝膜菌	<i>Cortinarius caerulescens</i> (Schaeff.) Fr.	+			+
野丝膜菌	<i>Cortinarius torvus</i> (Fr.) Fr.		+		+
粘腿丝膜菌	<i>Cortinarius collinitus</i> (Pers.) Fr.	+	+		+
细鳞丝膜菌	<i>Cortinarius speciosissimus</i> Kühn. & Romagn.	+			+
阿美里丝膜菌	<i>Cortinarius armeniacus</i> (Schaeff. ex Fr.) Fr.	+			+
暗褐金钱菌	<i>Phaeocollybia fallax</i> A. H. Smith	+			
皱盖罗伞	<i>Rozites caeperata</i> (Pers. ex Fr.) Karst.	+	+		+
桔黄裸伞	<i>Gymnopilus spectabilis</i> (Fr.) A. H. Smith	+	+	+	
褐绿裸伞	<i>Gymnopilus aeruginosa</i> (Peck) Sing.	+	+	+	
褐盖粉褶菌	<i>Rhodophyllus rhodopolus</i> (Fr.) Quél.	+			
紫粉褶菌	<i>Rhodophyllus nitidus</i> Quél.		+		
晶盖粉褶菌	<i>Rhodophyllus clypeatus</i> (L. ex Fr.) Quél.	+			
白鬼伞	<i>Phallus impudicus</i> L. ex Pers.	+	+		
黄鬼伞	<i>Phallus tenuis</i> (Fisch.) Ktze.			+	
黄络九菌	<i>Rhizopogon luteolus</i> Fr. et Nordh. emend. Tul.				+
大孢硬皮马勃	<i>Scleroderma bovista</i> Fr.	+			+
大静口灰球菌	<i>Bovistella sinensis</i> Lloyd		+		
大马勃	<i>Calvatia gigantea</i> (Batsch ex Pers.) Lloyd	+	+		
紫色马勃	<i>Calvatia lilacina</i> (Mort. & Derk.) Lloyd	+	+		
白马勃	<i>Calvatia candida</i> (Rostk.) Hollos	+			
小灰包	<i>Lycoperdon pusillum</i> Batsch ex Pers.		+		
网纹灰包	<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	+	+		
梨形灰包	<i>Lycoperdon pyriforme</i> Schaeff. ex Pers.	+	+		
粗皮灰包	<i>Lycoperdon umbrinum</i> Pers.	+	+		
灰钉	<i>Battarrea phalloides</i> (Dicks.) Pers.		+		
褐灰锤	<i>Tulostoma bonianum</i> Pat.		+		
尖顶地星	<i>Geastrum triplex</i> (Jangh.) Fisch		+		
硬皮地星	<i>Geastrum hygrometricum</i> Pers.		+		
白蛋巢	<i>Crucibulum vulgare</i> Tul.				+
隆纹黑蛋巢	<i>Cyathus striatus</i> Willd. ex Pers.				+



南峰地区属于温带、亚热带或热带成分的毒伞科中,以毒伞属的毒菌种类最多且更重要。该属有 23 种而毒菌占 14 种。白毒伞(*Amanita verna*)亦极毒,属西藏首次记载。含毒伞肽(amatoxins)和毒肽(phallotoxins)两大类毒素,则毒性极强,致死率可达 90%—100%。其次多见的是豹斑毒伞(*Amanita phatherina*)、毒蝇伞(*A. muscaria*)、黄毒蝇伞(*A. flavoconia*)、黄赭毒伞(*A. flavorubescens*)、片鳞托柄菇(*A. agglutinata*)等。它们主要含毒蝇碱。考察发现毒蝇伞和黄毒蝇伞具显著的毒杀苍蝇等昆虫的作用。此科的毒菌还有柠檬黄伞(*A. citrina*)、角鳞灰伞(*A. spissacea*)、松果伞(*A. strobiliformis*)、纹缘毒伞(*A. spreata*)、黄毒伞(*A. gemmata*)及小托柄菇(*A. farinosa*)等。蘑菇科有冠状环柄菇(*Lepiota cristata*)和褐鳞小伞(*L. helveola*),前种广布而后种极毒,其毒性似白毒伞。其他毒菌有粉褶菌科(Rhodophyllaceae)的褐盖粉褶菌(*Rhodophyllus rhodopoliis*)等。

南峰地区毒菌种类丰富,中毒事例较多。曾在波密、易贡、东久、米林、墨脱、背崩和马尼翁等地发生过误食毒菌中毒,并有多人死亡现象。另外该区毒菌特点是极毒种较少,以林带毒菌集中,且有大量喜粪生种类,反映了林区和牧区真菌的生态特点。上述毒菌其毒素多样,误食毒菌有它不好的一面,然而可以变害为益,尤其利用毒蝇伞、白毒伞等所含毒素,应用于生物防治来诱杀农、林业害虫,这方面值得重视和研究。诚然在开发利用野生食用菌资源方面更需要调查研究毒菌,以防止误采误食而造成损失。

### (三) 药用真菌(药用菌)资源

南峰地区的大型真菌中,属于我国传统药用和民间药用以及国内外目前研究试验有药效的 179 种。隶属于 71 属,28 科。其中以担子菌类的多孔菌和伞菌为主,属于囊菌的仅 3 种。

冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)属于囊菌类麦角菌科(Clavicipitaceae)的重要药用菌,药用历史悠久而盛名于国内外。主要产于青藏高原。南峰区地处青藏高原的南缘。波密、林芝、米林海拔 3 500 米至雪线以下的高山灌丛和高山草甸带出产较多,当地历来收集外销。珊瑚虫草(*C. martialis*)和蛹虫草(*C. militaris*)虽可药用,但产量少。仅发现于海拔 1 800—2 700 米的林带。与冬虫夏草相比显然有其不同的生态环境(臧穆,1980,1984;卯晓岚,1984)。

担子菌类以生长于高山松等松属树木根部的茯苓(*Poria cocos*)最重要,在帕隆藏布江流域较多。猪苓也是一味较重要的中药,分布广泛,其地下菌核少者一株可采 2.5—3 公斤,多者可达 10—15 公斤。以上两种在产地均未收集利用。该区出产比较多的木耳、毛木耳、茶耳、金耳,同样可用作药物。银耳野生者很少,但这些种能引种栽培,可利用当地条件而大力发展。

该区多产灵芝属(*Ganoderma*)真菌。以树舌(*Ganoderma applanatum*)、灵芝(*G. lucidum*)、松杉灵芝(*G. tsugae*)、裂迭灵芝(*G. lobatum*)亦多见。红缘多孔菌(*Fomes pinicola*)、药用层孔菌(*F. officinalis*)、黄多孔菌(*Polyporus elegans*)、黑管菌(*Bjerkandera adusta*)、硫磺多孔菌(*Tyromyces sulphureus*)、松针孔菌(*Phellinus pini*)、裂针孔菌(*P. rimosus*)、针孔菌(*P. ignarius*)、红栓菌(*Trametes cinnabarina*)、松囊孔菌(*Hirschioporus abietinus*)、云芝(*Coriolus versicolor*)、木蹄层孔菌(*Fomes fomentarius*)、桦剥管菌(*Piptoporus betulinus*)、褐

扇(*Gloeophyllum subferrugineum*)等资源相当丰富且有不同药用价值(刘波,1984;应建浙等,1981;卯晓岚,1983)。另外像猴头菌、翘鳞肉齿菌、褐盖肉齿菌、绣球菌这些食用菌亦可药用。多孔菌类共计有药用真菌 52 种。

伞菌中可供药用的 102 种。其中大部分是食用菌。主要有冬菇、松口蘑、铆钉菇、裂褶菌、蜜环菌、白粘环蕈、褐环粘盖牛肝、豹皮菇、大白菇、黄伞等。另外网纹灰包(*Lycoperdon perlatum*)、梨形灰包(*L. pyriforme*)、灰钉(*Battarrea phalloides*)、褐灰锤(*Tulostoma bonianum*)、尖顶地星(*Geastrum rtiplex*)和白鬼笔(*Phallus impudicus*)等这些腹菌类的真菌多用于消炎、止血和解毒(刘波,1984),其分布广又多产。

南峰地区的大型真菌中,据报道试验(大塚重遠等,1976,1977),对小白鼠肉瘤(S-180)和艾氏癌(EC)的抑制率 60% 以上的 101 种。像褐多孔菌(*Polyporus picipes*)、红栓菌、木蹄层孔菌、褐环粘盖牛肝、灰褐粘盖牛肝、多汁乳菇、黑白菇(*Russula adusta*)、大白菇、豹皮菇、长根菇、松口蘑、紫红蘑菇(*Agaricus subrutilescens*)、毛头鬼伞、田头菇、多鳞韧黑伞、簇生黄韧伞、野丝膜菌(*Cortinarius torvus*)、牛丝膜菌(*C. bovinus*)、虎掌菌、粉肉黑蹄(*Fomes roseus*)、药用层孔菌、桦褶孔菌、漏斗大孔菌(*Favolus arcularius*)、美味牛肝菌、拟臭黄菇(*Russula laurocerasi*)、黄绿口蘑、翘鳞环锈伞(*Pholiota squarrosa*)及白粘环蕈等抑制率均在 80% 以上。而刺孢蜡蘑、金褐鳞伞、红汁小伞(*Mycena haematopus*)、红褶口蘑(*Tricholoma orientale*)、大白菇、墨色离褶伞(*Lyophyllum semitale*)、紫丝膜菌、黄丝膜菌(*Cortinarius luteus*)、晶盖粉褶菌、松囊孔菌、松针层孔菌、网纹灰包、黑汁鬼伞(*Coprinus atramentarius*)等抗癌率均在 100%。抗癌物质主要为多糖,如云芝多糖(coriolan)和多糖蛋白(PSK);茯苓多糖(pachymaran)、银耳多糖(heteroglycan)。像木蹄层孔菌、猴头菌等可用于治疗胃癌和食道癌等(卯晓岚,1984;刘正南等,1981;李茹光,1980)。

蜜环菌、粗柄杯伞、白粘环蕈、桦剥管菌、黄伞、冬虫夏草能抑制有害细菌、真菌及病毒。毒蝇伞有安眠作用,黄褐丝膜菌、圈托柄菇(*Amanita inaurata*)可抗湿疹。翘鳞肉齿菌、蜜环菌、皱木耳、长根菇、灵芝、金耳等对心血管系统疾病有作用。灵芝、树舌、鸡油菌对呼吸系统的疾病有作用。灰钉、墨汁鬼伞、粪鬼伞(*Coprinus stergilinus*)、尖顶地星等外敷消炎。由此表明,南峰区大型真菌中可供药用的种类和药用范围相当广泛且资源丰富,尤其在筛选新药方面富有潜力。

#### (四) 外生菌根菌

据统计南峰地区林地上生长的大型真菌 427 种。其中 185 种是树木的外生菌根菌(Ectendomycorrhizae),约 155 种属于伞菌,少数属于多孔菌和子囊菌。外生菌根菌主要包括在牛肝菌科、红菇科、毒伞科、丝膜菌科、白蘑科,仅这些科中能形成菌根的占总数的 60%。特别是上述科中牛肝菌属(*Boletus*)、粘盖牛肝菌属(*Suillus*)、红菇属、乳菇属(*Lactarius*)、毒伞属、丝膜菌属(*Cortinarius*)、蜡蘑属(*Laccaria*)、口蘑属(*Tricholoma*)、铆钉菇属(*Gomphidius*)几乎均形成外生菌根(Harley,1970,Lincoff,1981,卯晓岚,1985)。

往往多种菌根菌与某一种树木形成菌根关系。据考察如褐环粘盖牛肝、点柄粘盖牛肝与高山松。红菇属和乳菇属的许多种与冷杉、铁杉、高山松。毒伞属多出现在栲、槲、栎等常绿阔叶树及铁杉树木附近。丝膜菌属和冷杉、落叶松;金褐伞与冷杉;粉红丛枝菌与

杨、桦、榆树；鸡油菌、喇叭菌(*Cantharellus floccosus*)、灰号角(*Craterellus cornucopioides*)、橙盖伞(*Amanita caesarea*)、多汁乳菇、毛头乳菇、绒白乳菇、大白菇显然与冷杉、高山松形成菌根。褐柄牛肝(*Leccinum scabrum*)与杨、桦；白毒伞(*Amanita verna*)与高山栎有菌根关系。在帕隆藏布江、尼洋曲流域森林树木被砍伐的地段，与树木有关的菌根真菌不再生长。

上述大型真菌菌丝在树木根系形成套状菌根后，使其根系吸收面增大，促进了对磷、钾、钙、氮营养的利用。有菌根的树苗对一些营养物质的吸收量超过无菌根的数倍。另外菌根菌还产生抗菌素，能增强对毒害的抵御能力和抗寒能力，使树木提前4—5年成材。菌根菌还会通过菌根获得碳水化合物等。树木在缺少这类菌根真菌时难以生存或发育不良。所以，对于南峰地区树木外生菌根真菌的调查研究，有益于森林资源的保护和开发利用。尤其利用菌根菌在树木育苗、绿化荒山、发展林业上目前颇受重视。

### (五) 木材腐朽菌(木腐菌)

南峰地区生于立木、倒木、腐木及树桩上的大型真菌156种。其中已报道引起木材腐朽或产生根腐病的73种。包括于30属，15科中。这类真菌含纤维素或木质素分解酶，导致树木的木质腐朽等。该区最常见的木腐菌集中在多孔菌内，部分属伞菌。属腹菌和子囊菌类很少。

该区分布比较广泛的木腐菌以木栓属(*Trametes*)、层孔菌属(*Fomes*)、云芝属(*Coriolus*)、灵芝属(*Ganoderma*)、粘褶菌属(*Gloeophyllum*)、革菌属(*Stereum*)、针层孔菌属(*Phellinus*)、多孔菌属、褶孔菌属(*Lenzites*)、干酪菌属(*Tyromyces*)、多孔菌属(*Polyporus*)、绣伞属(*Pholiota*)、侧耳属(*Pleurotus*)及斗菇属(*Lentinus*)等多见。不同的属、种的木腐菌对树种有选择性。据考察红缘多孔菌、松针孔菌、药用层孔菌、松杉灵芝主要浸害冷杉、云杉、落叶松及松属的树木，很少浸害阔叶树。木蹄层孔菌、树舌、猴头菌浸害阔叶树为主，引起柞木、杨、柳、桦、榆木材腐朽。桦剥管菌只浸染桦木属的几种树木，产生心材褐腐。红缘多孔菌、篱边粘褶孔菌、硫磺多孔菌、黄伞引起不同树木产生褐腐。

炭球菌(*Daldinia concentrica*)、猴头菌、树舌、灵芝、多孔菌(*Polyporus varius*)、红栓菌、香栓菌(*Trametes suaveolens*)、桦褶孔菌、针层孔菌、金顶侧耳、裂褶菌、长柄侧耳等引起多种树木白色腐朽(刘正南等, 1981; 李茹光, 1980)。该区海拔3000米以下林区，特别是海拔2400米左右，雨量多，大气湿度大，蜜环菌可沿铁杉树干上升到2—3米处生长。红缘多孔菌可沿枯立木上升到10—20余米处生长。另外蜜环菌在南峰林区分布极广泛，除引起树木木质腐朽外，还往往生长在这里的松、杨、柳、槭、落叶松、柞木、桤木等多种树干基部，并能产生根朽病，又和天麻植物共生。在波密、米林、林芝地区利用这种共生习性培育天麻，具有优越的条件和发展潜力。

在南峰地区的针叶林带，往往发现大片树木枯死，在这样的地段显然也有大量多孔菌生长，出现树木死亡是否与多孔菌有关，值得进一步调查研究。按森林病理学认为多孔菌导致云杉、冷杉腐朽，是暗针叶林的不治之症，可见这类木腐菌对树木危害之大。不过在一般情况下，这些木腐菌促进森林新陈代谢，维持森林生态平衡中起着极其重要的作用。所以对南峰地区木腐菌种类资源的调查研究，对其森林资源的保护、林业发展，森林病害的

防治有着实际意义。

## (六) 有关其他方面的资源

南峰地区的大型真菌从用途分析范围较广。除了前面已叙述过的方面外,还可应用在其他方面。像层孔菌属、灵芝属、多孔菌属、云芝属、革菌属分解纤维素的能力很强。可作为寻找筛选比较理想的纤维素分解酶。侧耳、蘑菇(*Agaricus campestris*)可产生草酸。硫磺多孔菌、茯苓、豹皮菇、药用层孔菌能产生齿菌酸,用于合成甾体药物。毒蝇伞可产生丙酸,用于香料和防腐剂等。乳菇属含有橡胶物质,国外曾考虑用于合成橡胶的研究。

该区产有白毒伞等含有毒伞肽(amatoxins)和毒肽(phallotoxins)毒素,可用于杀虫,像毒蝇伞、黄毒蝇伞、豹斑毒伞等毒菌含有毒杀苍蝇等昆虫的作用,可考虑应用在诱杀农业、林业害虫。另外,像蜜环菌、豹皮菇、灵芝、松口蘑、滑菇等可制取香味物质,作为烟草等产品的增香剂。鸡油菌、金耳等多种产生胡萝卜素等。一般食用蘑菇含有10多种氨基酸,尤其可作为人的必需氨基酸的来源之一。羊肚菌等食用菌的菌丝体可大规模发酵培养,以制做调味品。由此可见,南峰地区出产的大型真菌中,可利用种类多,资源丰富。就应用范围广泛而言,远远不止上述几个方面。

## 第四节 土地资源及其合理利用与保护

南峰地区地广人稀,土地类型多样,自然资源亦较丰富,是我国西南天然林区的重要组成部分,也是西藏自治区的粮食基地和新兴的工业基地之一。由于地处祖国西南边陲,境内山高谷深,交通运输极不方便,大面积天然森林尚未充分利用,土地利用程度甚低。近年来,南峰地区国民经济建设与工农业生产虽有显著增长,但经济基础仍然相当薄弱,生产技术和管理水平落后,已开发利用的土地并未充分发挥生产潜力,粮食作物亩产远低于全国平均水平。而且,水土流失、泥石流活动等已有所增强和扩展,土地资源遭受损毁,生物产量降低,牧场退化,致使人类生态环境开始恶化,在一定程度上影响社会经济的发展。因此,深入调查研究南峰地区的土地资源及各类土地的自然属性,针对当前土地利用所存在的问题,充分考虑社会经济条件和管理水平,遵循自然环境发展的客观规律,因地制宜提出合理利用和保护土地资源的措施和途径,充分发挥土地生产潜力,以谋求最优的经济效益、生态效益和社会效益,这对改善南峰地区的经济面貌,促进西藏自治区国民经济发展,均有实际的重要意义。

### 一、土地类型及其主要特征

南峰地区米林、林芝、波密等县及墨脱县部分地区,总面积约36300平方公里,由于地处西藏高原东南边缘喜马拉雅山与横断山、念青唐古拉山脉相汇地段,以及举世闻名的雅鲁藏布江大拐弯峡谷地带,整个地势由北向南急剧下降,境内高峰耸立,峡谷深邃,地面相对高差达5000米以上,形成我国最齐全的垂直自然景观带结构。同时,雅鲁藏布江大拐弯是印度洋湿热气流向北输入青藏高原的重要水汽通道,波密、易贡、林芝和米林等地

均受惠泽,南峰北坡多数属海洋性半湿润气候类型,南坡为海洋性湿润型,从而南峰地区南坡与北坡之间的自然景观差异并不像中、西喜马拉雅山那样显著(彭补拙,1986)。然而,这种水汽通道作用,对于动植物的南北迁徙与变异起着重要的影响,导致景观成分的复杂性和地域分异性,为形成不同的土地类型提供了条件。

土地是自然综合体与人类经济活动相互协调而形成的历史自然产物,依据主宰土地系统宏观结构,或反映其功能(自然属性)的组成要素而划分出来的土地单元,称为土地类型。根据考察资料分析,南峰地区土地的宏观结构明显地受地貌要素所制约,而且地貌条件控制着热量和水分的再分配,导致植物群落面貌和土壤理化性状的地域分异,形成具有不同生产潜力的各种土地类型。另外,南峰地区地广人稀,土地开发程度极低,绝大部分土地的自然属性尚未受人类活动影响而发生显著和改变。因此,南峰地区土地类型的划分应以地貌为主导因素,参照气候特征及天然植被状况为原则。据此原则,南峰地区可划分出如下的土地类和土地型:(参阅图 13.1,表 13.3)

## I 湿润山地类

- I<sub>1</sub> 季雨林狭谷
- I<sub>2</sub> 常绿阔叶林狭谷
- I<sub>3</sub> 半常绿阔叶林狭谷
- I<sub>4</sub> 半常绿阔叶林宽谷盆地
- I<sub>5</sub> 半常绿阔叶林坡地
- I<sub>6</sub> 针阔混交林宽谷盆地
- I<sub>7</sub> 针阔混交林坡地
- I<sub>8</sub> 山地暗针叶林坡地
- I<sub>9</sub> 亚高山灌丛草甸坡地
- I<sub>10</sub> 亚高山灌丛草甸缓坡地
- I<sub>11</sub> 高山草甸谷地
- I<sub>12</sub> 高山草甸缓坡地
- I<sub>13</sub> 冰缘裸露地
- I<sub>14</sub> 永久积雪和冰川

## II 半湿润山地类

- II<sub>1</sub> 针阔混交林宽谷盆地
- II<sub>2</sub> 针阔混交林坡地
- II<sub>3</sub> 次生灌丛坡地
- II<sub>4</sub> 山地暗针叶林坡地
- II<sub>5</sub> 亚高山灌丛草甸坡地
- II<sub>6</sub> 亚高山灌丛草甸缓坡地
- II<sub>7</sub> 高山草甸坡地
- II<sub>8</sub> 高山草甸缓坡地
- II<sub>9</sub> 冰缘裸露地
- II<sub>10</sub> 永久积雪和冰川

表 13.3 南峰地区土地类型的主要特征

土地类型	面积 (平方公里)	占总面积的 百分数(%)	主要分布范围	主要特征	利用方向
I 湿润山地	13 440.67	37.04			
I <sub>1</sub> 季雨林狭谷	230.59	0.68	墨脱海拔 1 100 米左右以下谷地	以千果榄仁、阿丁枫等植物群落为主,森林结构复杂;土壤为砖红壤性红壤,土层浅薄,质地砂壤	热带果木和经济作物并可种植双季稻
I <sub>2</sub> 常绿阔叶林狭谷	1 023.06	2.86	墨脱、林芝等海拔 1 100—1 900 米的河谷地区	以刺栲、瓦山栲等植物群落为主,林内藤本、附生植物较丰富;土壤为山地黄壤,质地粘壤,有机质含量较高	亚热带果木和经济作物,一年两熟
I <sub>3</sub> 半常绿阔叶林狭谷	1 817.12	5.08	墨脱、林芝、波密及米林等海拔 1 900—2 400 米的河谷地区	建群植物以薄皮青冈、通麦栎、西藏青冈等为主;山地黄棕壤,壤质,结构良好	亚热带森林基地
I <sub>4</sub> 半常绿阔叶林宽谷盆地	434.35	1.19	波密县易贡等地	多为人工针、阔叶林;土壤为山地黄棕壤,层次明显,土层较厚,壤质	宜农耕地及亚热带经济作物,一年两熟
I <sub>5</sub> 半常绿阔叶林坡地	1 486.69	4.15	墨脱、波密等海拔 1 900—2 400(或 2 600)米的坡地及平台、夷平面地区	建群植物以薄皮青冈、西藏青冈、通麦栎等为主;山地黄棕壤的土层较厚,粘壤质,结构良好	以发展用材林和亚热带经济作用为主
I <sub>6</sub> 针阔混交林宽谷盆地	608.93	1.68	墨脱雅鲁藏布江支流河谷地区,海拔 2 400—2 500 米。	代表性植被为云南铁杉林,阔叶树种主要有长尾槭等;山地棕壤表层深厚,壤质,结构良好	宜发展农业,一年一熟或两年三熟
I <sub>7</sub> 针阔混交林坡地	1 282.10	3.48	墨脱海拔 2 300—2 800 米山坡、平台等地区	植被以云南铁杉林为主,林内有多种阔叶树种;山地棕壤土层较厚,粘壤质,酸性反应	用材林基地
I <sub>8</sub> 山地暗针叶林坡地	3 059.23	8.48	墨脱海拔 2 800—3 600 米左右的山坡地区	以墨脱冷杉和苍山冷杉为主;土壤为山地灰化土,表层较厚,粘状结构	用材林基地

续表 13.3

土地类型	面积 (平方公里)	占总面积的 百分数(%)	主要分布范围	主要特征	利用方向
I <sub>9</sub> 亚高山灌丛草甸坡地	996.25	2.75	墨脱海拔 3 600—3 900 米的山坡地区	由多种杜鹃为主组成的灌丛, 盖度达 70%—90%; 亚高山灌丛草甸土, 层次较明显, 粘壤质	适宜牧业发展
I <sub>10</sub> 亚高山灌丛草甸缓坡地	751.96	2.07	墨脱海拔 3 600—3 900 米的河谷及山坡地区	以多种杜鹃为主, 亚高山灌丛草甸土, 土层较厚, 结构良好	适宜牧业发展
I <sub>11</sub> 高山草甸谷地	357.34	0.98	墨脱海拔 3 900—4 300 米的古冰川谷地区	高山草甸植物以菊科、十字花科等为主; 盖度达 80%—90%; 土壤为高山草甸土有机质含量较高, 结构良好	草场辽阔, 适宜于牧业的发展
I <sub>12</sub> 高山草甸缓坡地	537.59	1.48	墨脱海拔 3 900—4 300 米的山坡地区	同上	同上
I <sub>13</sub> 冰缘裸露地	566.57	1.56	墨脱海拔 4 300—4 800 米的山坡地区	以各种冷生壳状地衣为主; 高山寒漠土发育程度差, 土层层次不明显, 砾石含量多	
I <sub>14</sub> 永久积雪和冰川	308.89	0.85	墨脱海拔 4 800 米以上的山地		
II 半湿润山地类	22 841.01	62.96			
II <sub>1</sub> 针阔混交林宽谷盆地	1 772.20	4.88	林芝、米林、波密等县雅鲁藏布江及其支流的河谷地区	以各种次生林为主; 山地棕壤发育程度较好, 多呈棕灰色, 部分已开垦利用	以农业为主, 适当发展牧业、经济作物和果木。作物一年一熟或两年三熟。
II <sub>2</sub> 针阔混交林坡地	1 593.06	4.49	米林、林芝、波密海拔 3 200 米以下的山坡地区	植被以川滇高山栎林和高山松林为主; 土壤为山地棕壤, 砂壤质, 微酸性反应	以发展林业为主, 适当发展牧业和果木
II <sub>3</sub> 次生灌丛坡地	540.66	1.59	同上	各种次生灌丛; 山地棕壤的土层较薄, 砂壤质	宜发展林、牧业

据初步量算,湿润山地类占地面积 13 440 平方公里,为总土地面积 37.05%,主要分布在雅鲁藏布江大拐弯以南的墨脱,以及林芝县东南部;半湿润山地类面积 22 841 平方公里,占 62.95%,包括波密、米林和林芝等县大部分地区,以及大拐弯以上雅鲁藏布江、帕隆藏布和尼洋曲等谷地(表 13.4)。以上土地类型中,山地暗针叶林坡地所占面积最广,其次是高山草甸缓坡地、亚高山灌丛草甸坡地,属于宽谷盆地与狭谷的各类土地面积不大,而冰缘裸露地及永久积雪和冰川却占有相当的比例(表 13.5)。因此,从土地类型的自然属性与经济技术条件来分析,南峰地区近期内可以开发利用的土地资源,粗略估算其数量不超过总土地面积的 20%,远期可望开发的潜在土地资源大约 40%左右,农、林、牧业上难于或无法利用的土地亦有 40%左右(包括水源涵养地)。

表 13.4 南峰地区各县土地类的面积

所属县称	土地面积(平方公里)		
	湿润山地类	半湿润山地类	合计
波密	1 580.89	13 293.26	14 874.15
米林	561.11	4 213.03	4 774.14
林芝	2 350.10	5 334.72	7 684.82
墨脱	8 948.57	—	8 948.57
总计	13 440.67	22 841.01	36 281.68

表 13.5 南峰地区主要土地类型的面积

主要土地类型	占地面积比例(%)
季雨林、常绿阔叶林、半常绿阔叶林狭谷	8.4
阔叶林、针阔混交林宽谷盆地	7.8
阔叶林、针阔混交林坡地	12.0
山地暗针叶林坡地	20.7
亚高山灌丛草甸坡地、缓坡地	13.2
高山草甸谷地、缓坡地	17.9
冰缘裸露地、永久积雪和冰川	18.3

从土地类型空间分布状况来分析,地形与气候因素起着显著的作用。雅鲁藏布江自米林县派区(海拔 2 800 米)开始强烈下切,下游段平均比降达 5.5%左右,流经墨脱县希让,海拔降至 500 米左右。在这深切的河谷地段,出现季雨林、常绿阔叶林和半常绿阔叶林等构成的土地类型,致使墨脱县境内土地类型的垂直更替现象较比波密等县更为明显,垂直结构也较复杂。海拔 3 200—4 000 米之间,谷肩平台发育,剥夷面甚广,为南峰地区山地暗针叶林坡地占地最广提供了基本条件。同时,由于湿润程度差别,墨脱县内不存在半湿润山地类的各种土地型,而大片连续的次生灌丛坡地仅见于半湿润山地内。即使是相同的土地类型,在湿润南坡分布的海拔高度往往比半湿润北坡低 400—700 米。总之,南峰地区土地类型的空间结构比较复杂,垂直分异与区域差异极为明显,开发利用时必须充分考虑因地制宜的基本原则。



## 二、土地利用现状及其存在问题

南峰地区总人口 5 万余人,是西藏自治区经济比较发达的地区,工农业总产值为占全自治区的 1/10 左右。在国民经济总产值中,农业产值占 85% 以上,尤其是波密、墨脱两县工业产值不及 5%,可见本区的国民经济是以农业经济为主体。在农业经济结构方面,种植业产值占首位,其次是林业、畜牧业。但是,从土地利用现状结构来分析,总土地面积中耕地仅占 0.27%,林地 35.75%,草场 32.80%,表明广大的森林和草场资源优势尚未发挥潜力,当前土地利用存在着不合理的问题。

### (一) 森林资源减少,林地生态平衡失调

据调查,南峰地区现有森林面积 129.7 万公顷,木材蓄积量 2.83 亿立方米(表 13.6),木材年生产量可达 250 多万立方米,年采伐量仅 27.3 万立方米,森林资源相当丰富。但由于缺少全面的林业规划,技术管理水平太低,森林面积逐年减缩,生物产量趋于下降。

表 13.6 南峰地区森林资源概况

所属县称	总土地面积(万公顷)	森林面积(万公顷)	覆盖率(%)	木材蓄积量(亿立方米)
墨脱	89.5	55.6	62.1	1.39
波密	148.8	40.9	27.5	0.70
林芝	76.8	20.1	26.9	0.47
米林	47.7	13.1	27.4	0.27
总计	362.8	129.7		2.83

森林资源减少的原因主要是乱砍滥伐,且伐而不育,这种情况在公路沿线及居民点附近更为严重,大片森林消失殆尽。波密县札木林场伐木 10 多年,仅育林 70 多亩;米林县红卫林场近 20 年内砍伐木材约 100—120 万立方米,仅在 1983 年育林 1 500 多亩。初步统计,林芝县森林面积已减 2 300 多公顷。必须指出,森林火灾也是重要原因。米林县 1980 年森林着火达 9 次之多,损失森林面积约 1 300 公顷;1981 年红卫林场一次火灾,焚毁森林 1 700 公顷之多。此外,大部分森林已属超过旺盛生长期的成熟林或过成熟林,有不同程度的病腐危害,每公顷木材蓄积量平均为 200 立方米左右,仅为旺盛生长期森林蓄积量的 1/4<sup>①</sup>。

乱砍滥伐森林导致林地生态平衡失调,珍贵的野生动植物资源不断减少。据调查,林芝县收购麝香,60 年代年平均达 22 公斤,70 年代急剧降至 1 公斤左右,反映出二类保护动物麝的数量大量减少;林芝县在 60 年代平均每年收购贝母 445 公斤左右,虫草约 400 多公斤,但至 70 年代收购量极少,表明珍贵的药用植物资源显著减量。林地生态环境的恶化,甚至影响着居民的生活,如米林县派区龙悲附近的居民点遗址,即由于北侧山地森林

<sup>①</sup> 李文华等,1983。西藏的森林。

遭受严重破坏后,沟溪断流,泉水干枯,居民难以生活,被迫迁居的例证。

## (二) 耕作粗放,农业用地潜力尚未充分发挥

现有耕地 14.64 万亩,零星分布于宜淀以上的雅鲁藏布江河谷,通麦以上的帕隆藏布河谷,以及尼洋曲、金珠曲等宽谷地带,为西藏的主要农业区,素有“西藏粮仓”之称。农业用地结构中,粮食作物用地占 88.8%,经济作物面积不大,主要种植油菜、棉花、黄豆、辣椒、烟叶、茶叶等。粮食作物,除墨脱县内种植水稻以外,主要是冬小麦、早熟玉米、冬青稞、荞麦等。近 20 多年来,粮食总产量增长 4 倍,年产 2 400 万公斤,粮食基本自给,并按计划外调支援其他地区,发挥了“粮仓”的作用。

南峰地区热量和水分条件比较优越,土壤有机质含量一般为 4% 左右,有利粮食作物生长。但粮食作物单位面积产量近几年来平均在 200 公斤/亩左右,气候条件较好的墨脱县亦不过 263 公斤,米林县只有 166 公斤,均低于全国粮食单产平均水平,反映农用地自然生产潜力尚未充分发挥,提高单产仍有前途。

虽然农业用地仅为总土地面积的 0.27%,但由于人口稀少,农业人口约 46 000 人,人均耕地 3.2 亩,每个劳力需负担 8—9 亩地,加之劳动素质差,田间管理水平很低,耕作粗放,刀耕火种的原始耕作方式依然存在,尤其是交通不便的墨脱县内更为常见。而且,大部分农田极少施肥,水利条件差,灌溉水源无保证,且易受洪水冲毁;种子久未更新,病虫害较严重,农业生态系统结构脆弱,土地生产潜力难以充分发挥,米林县仍有低产田 8 000 多亩,竟占耕地总面积的 1/4。

严重的土地资源浪费现象主要是不合理的开垦种植。首先是不断毁林开垦,以门巴和珞巴族聚居地区最为严重,通常在一地区种植几年之后,迁居他处放火烧山开辟新耕地,原来耕种的土地沦为荒地,遭受暴雨冲刷,土层减薄、无法利用。其次是在古老的洪积冲积扇上开垦种植,由于土壤质地多为砂壤质,漏水严重,且肥力低,生态环境脆弱,易受洪水冲毁。这类土地开垦后,每亩产量不过 100—150 公斤,干旱年份每亩产量仅数十公斤。而且,开垦前的土层厚达 70—80 厘米、表层黑灰色、有机质含量较高,开垦后土层迅速减至 40—50 厘米、呈浅灰色、有机质含量 1—2%,耕种数年后立即砾石表露,寸草不生。

## (三) 过度放牧,草场日趋退化

南峰地区畜牧业生产并不占有重要地位。建国以来,牲畜增加两倍多,达 22.9 万头,目前仍因饲料不足影响畜牧业发展,近年来牲畜总数已有下降。据调查,米林县牲畜总数约 8 万头,由于重农轻牧思想突出,草场建设不受重视,20 多年来草场面积仅增加 25%,现为 12.66 万亩,平均每头牲畜占草场 1.57 亩。

从自然条件来考虑,藏东南地区冬季牧场一般在海拔 4 000 米以下,夏季牧场可达 4 500 米以上。海拔 4 000 米以下主要是生长着针阔混交林及暗针叶林的坡地,仅在宽谷内河流阶地及洪积扇上局部地区分布着灌丛草原,可作为草场,但面积不大,饲草质量差,且农牧争地较为普遍,尤以米林县更为突出。海拔 4 000 米以上亚高山灌丛草甸与高山草甸地带,草场面积广大,牧草质量也好,但因交通困难,兽害等原因,至今仍未利用。从而,草

场不足,尤其是冬季牧场的缺乏,限制了南峰地区畜牧业的发展。同时,原始放牧现象非常普遍,经营管理相当落后,品种从未淘汰或更新,以致牲畜病多、瘦弱、商品率低,每年还需通过交换输入牲畜,以满足居民生活所需。

现有草场管理不善,放牧过度,不断遭受破坏,尤以居民点附近更为严重。米林县派区一带的阶地和平台上,各种类型的灌丛草地遭受牲畜的过度啃食,逐渐演变成为锦鸡儿、栒子木为主的灌木林,草本植被显著减少,覆盖度由 60%—70%下降至 20%—30%,产草量明显减少,草质变坏,草场日益退化,畜牧业生产受到威胁。

#### (四)水土流失加强,土地资源遭受损毁

南峰地区新构造运动活跃,地表经受强烈的切割,地面坡度大,物质运行速度快,在生态环境改变后容易产生水土流失,促使泥石流活动加强。

森林遭受大面积的砍伐,不合理的开垦种植,以及过度放牧促使地面植被覆盖的减缩,是南峰地区近 10 多年来水土流失加剧的根本原因。水土流失不仅直接导致林农牧业用地的减少,生态环境恶化影响土地生产力,而且使河水泥沙含量增多,河床不断抬高,湖泊淤塞加速,蓄洪能力减退,河湖沿岸耕地遭受洪水为害,导致土地资源的损失。例如尼洋曲河床的增高,洪水泛滥的频率增多,1980 年淹没耕地 1 700 多亩,1982 年淹没 1 669 亩。同时,易贡错亦因大量开垦而淤积作用正在加剧。蓄水量已明显减少,对防洪与灌溉均有影响。此外,水土流失的加剧在一定程度上促使泥石流活动、崩塌作用的发生,致使农林牧业用地损毁,这种现象对于泥石流活跃的南峰地区来说,不应忽视。

### 三、土地资源合理利用与保护

南峰地区在漫长的农奴制统治时期,人民生活极端贫困,思想封建愚昧,社会生产力极低,土地资源的利用基本上属于原始的垦殖方式,局部生态环境遭受不同程度改变。建国以来,生产力虽有所提高,社会经济也有显著增长,但国民经济仍然相当薄弱,保护生态环境的力量十分有限。随着人口的增加,土地承担的压力相应加重,在缺乏科学技术指导下,不合理的土地利用方式导致生态环境渐趋恶化,土地资源遭受损毁,明显地影响着社会经济的迅速发展。因此,在充分考虑自然条件和社会经济技术条件下,遵循生态经济学原则,合理利用与保护土地资源,对于发展南峰地区的经济,提高人民生活水平极为重要,并对于加强民族团结,巩固祖国西南边防更有特殊重要的战略意义。

根据南峰地区土地利用所存在的问题,对其土地资源合理利用与保护提出如下建议,以供参考。

#### 1. 因在制宜,确定土地资源合理利用的发展方向

南峰地区是农、林为主的农、林、牧交错区,土地利用的垂直差异非常明显,种植业集中在谷地和局部谷坡,山地多生长着天然森林,间有小片草地,林线以上的山地和剥蚀区是草甸牧场。而且,种植业在 2 100—2 300 米以下的谷地或坡地上,主要栽种小麦和冬青稞等,为水旱两熟或旱作两熟制,并有准热带、亚热带的经济林

木和果树栽培;在2100—2300米至2800—3100米的谷地或坡地上,主种中、早熟玉米、荞麦、马铃薯和冬、春麦等作物,基本上为旱粮一熟制,可广泛套种,局部为两年三熟制;在海拔2800—3100米以上,主要是冬、春麦等作物,仅零星分布于一些支流河谷中,已具高寒河谷种植业特色。根据藏东南地区农业用地垂直分异规律,南峰地区热量与水分优越的南部湿润地带,近期内应以发展种植业为主,充分利用有限的耕地,发展水稻、茶叶等喜温作物,远期重点发展用材林和经济林<sup>①</sup>。大部分半湿润地带,森林资源集中,为西藏主要伐木区,也是著名的“西藏粮仓”。其发展方向仍应以旱作粮食、用材林为主。

## 2. 加强农田基本建设,努力提高粮食单产

改变原始的耕种方式,加强农田科学管理,重视农田的基本建设,以提高防御自然灾害的能力,是南峰地区发展粮食作物的根本途径。据调查,耕作业的分布,水分条件起着关键性的作用,林芝、波密和米林等县降水比较富裕,易于满足大量耗水的冬麦要求,尤其是灌溉条件有利的地方,水浇地的粮食产量可成倍增加。目前,农田灌溉面积为50%—60%,由于水利设施年久失修,实际有效灌溉面积不及40%,丰富的水资源未能充分利用。而且,许多农田分布在支河谷口洪积扇上,山洪爆发时易受冲毁,干旱季节又因漏水更显干旱。因此,必须重视发展水利建设,增加有效灌溉面积,提高河谷两岸,尤其是尼洋曲沿岸农田的治涝标准,增强抗灾能力;同时,与用地养地相结合,提高地力,并将坡耕地改造成梯田或台田,既保持水土,又能保肥,也加强了农用地的抗灾能力。

西藏东南部太阳辐射强,热量有效性高,水热配合适当,喜凉作物生长季长,是麦类等旱作的高产区。就整个青藏高原而言,春小麦一季最高产量高达1000公斤,冬小麦871公斤,青裸达600公斤以上。目前南峰地区麦类等粮食作物产量远低于这些水平,必须努力加强田间管理,优选良种,防治病虫害,增施有机肥料,改良低产土壤,防治水土流失,建立一个良好的农业生态环境,提高粮、油作物的单产。

在门巴、珞巴族聚居地区,应严禁毁林开荒,改变刀耕火种的原始耕作方式。已开垦的地区,需要延长休闲期,恢复土壤肥力,不宜再扩大耕地。在农业劳力紧张的地区,可考虑推广免耕法来恢复土壤肥力,尽量少用化肥和农药,积极采用种植豆科植物轮作或间作的方式,综合防治病虫害,提高产量。

## 3. 落实林业规划,加强科学管理水平,积极保护森林资源

合理开发利用森林资源,不仅有利于南峰地区经济的发展,而且对于涵养水源,保护环境,改善农牧业生产条件,均有重要意义。

就自然条件而言,南峰地区林木生长速度比较快,生长持续时间长,单位面积蓄积量高,且病腐率较低。根据波密地区谷地内箭竹灌木云杉林样地的调查,在优势年龄为200年的云杉林中,每公顷蓄积量多达2000立方米,年平均生长量达10立方米/公顷以上,病腐率很低。从波密向西至林芝更张林场,随着海拔的增高和降水的减少,树高很少超过50米,每公顷蓄积量不足800立方米。但从实际现况来看,南峰地区森林平均年生长量仅2立方米/公顷,平均蓄积量只有200立方米/公顷,表明森林资源的发展蕴藏着巨大潜

<sup>①</sup> 程鸿等,1983,青藏高原农业地域分异。

力。

南峰地区森林资源的合理开发,首先要尽快落实林业规划,南部墨脱地区在充分考虑森林对水土保持和涵养水源的作用下,加速开发利用成、过熟林,以天然更新为主,辅以人工促进天然更新来恢复森林;波密、林芝、米林等县目前正在开发利用的林区,应加强采伐的管理,以人工更新为主,人工更新与天然更新相结合的方针,使更新跟上采伐,并逐步恢复过去未更新的老采伐迹地,适当扩大落叶松的栽培范围;此外,尼洋曲等少林地区要大力开展用材林、薪炭林和农田防护林的营造,以解决木材和燃料的需要,并防止水土流失。其次,应加强林业队伍建设,提高科学技术和管理水平,有计划、有步骤地修建林区公路,严禁对森林乱砍滥伐,发展森林工业,提高森林资源的综合利用率,建立良好的生态环境,以维持资源的永续利用。

#### 4. 开展多种经营,建立经济作物基地

墨脱县内海拔1100米以下的雅鲁藏布江谷地,年平均温在16℃以上,冬季极少霜冻,属准热带气候环境,野生的香蕉和菠萝等热带果木到处可见,今后可试种橡胶、金鸡纳、咖啡、胡椒、可可、油瓜等经济作物,以及芒果、木菠萝、香木瓜等热带水果。在海拔1100—2400米之间河谷地区,属亚热带气候,最热月平均温17℃以上,年降水在3000毫米左右,棉花、甘蔗、烟叶、辣椒、茶叶等经济作物已有一定的种植基础,尤其是辣椒种植面积较广,为墨脱门巴、珞巴族人民进行商品交换的主要物品之一,应大力发展。墨脱县及波密、林芝县部分地区的茶叶生产已有一定基础,茶园面积已有300多亩,年产茶叶1.5万公斤,仍有发展潜力,可考虑逐步发展成为西藏地区的茶叶生产基地之一。此外,野生的芭蕉,以及栽种的柠檬、柑桔等亚热带果木亦属常见。目前香蕉、桔子已开始种植,产量不高,但发展潜力大,应逐步发展以满足西藏人民的需要。

米林、林芝及波密的河谷地带,已处于暖温带气候范围内,适宜核桃、苹果、桃、梨等经济果木生长。野生的山桃(光核桃)含油量高,很有发展前途;温带水果品质优良,苹果已发展到年产13万公斤,如能进一步解决运输和加工贮藏问题,则发展果树有着很大潜力。因此,在发展粮油作物的基础上,重视经济作物的发展,开展多种经营利用土地资源,使南峰地区成为西藏重要的经济作物区。

#### 5. 控制畜牧业发展规模,提高牲畜质量

在海拔2500米以下河谷地带,狭窄的谷地与缓坡均已开垦种植,林间草地与山坡灌丛草场很少,目前主要是舍饲结合季节性放牧的畜牧业,以黄牛、猪、山羊为重点;在农林牧交错的高山峡谷区,2500—3000米以上的山麓坡地和谷地,零星分布有林间草地与灌丛草地,产草量高,覆盖度大,但适口性差,主要放牧黄牛和山羊;海拔4000米以上的高寒草甸与灌丛草甸草场,仅适宜牦牛放牧,但交通不便,冬季饲料缺乏。因此,从自然条件与社会经济条件来分析,南峰地区不宜大力发展畜牧业。

但是,本区牧业生产已有一些基础,而且藏族人民生活必需的酥油生产仍不能满足,因此有必要稳定现有牲畜总数,重视食用畜发展。当前巩固畜牧业的发展,关键在于解决冬季饲料的不足,为此必须加强草场管理,改良牧草品种,提高单位面积产草量,重点建设好冬季牧场。同时,调整畜群结构,合理淘汰老弱病畜,加速牲畜周转,适当提高畜群

中母畜比例,发展一定数量的犏奶牛。此外,引入良种,进行杂交,增加产肉能力,畜群结构中猪、黄牛、食用羊、山羊应以4:3:2:1为宜<sup>①</sup>。

## 第五节 经济发展的特点与自然保护

南峰地区行政上包括墨脱、米林、林芝和波密等县。面积约6.43万平方公里,人口约5万余人。经藏、门巴、珞巴等兄弟民族长期辛勤开发,经济有一定发展,主要是农牧业经济。自1956年西藏民主改革以来,经济有了较大的发展。

### 一、本区经济发展的主要特点

本区长期处于黑暗的农奴制度,经济、文化均十分落后,生产发展缓慢,人民生活十分贫困。经过民主改革,在党的民族政策指引下,经济发展取得了十分可喜的成绩,但发展中也存在一些问题。总的说来本区经济发展有如下特点:

#### 1. 经济发展速度较快,工业在工农业总产值中所占比重不断提高

由于生产力受到生产关系的束缚,本区原有农牧业基础差,工业基本上是一张白纸。当生产关系进行适当变革时,生产力就得到飞快的发展。

从工农业生产总值看,林芝和米林两县从1956年到1978年19年期间,工农业总产值都分别增加了12倍和5倍。即平均每年增加13.97%和8.83%。波密县从1974年到1982年8年间增加了2.37倍,平均每年增加11.39%。

其中工业产值增加速度更快:林芝县从1960年到1978年,18年间增加到100倍,平均每年增加29.16%,米林县从1961年到1980年的19年间增加35.27倍,平均每年增加20.63%。波密县从1974年到1982年8年间增加18.6倍,平均每年增加44.11%。工业产值在工农业总产值中所占比重也迅速提高。林芝县从1960年的2.11%到1977年已达28.36%。米林县从1960年的0.59%到1978年的4.06%。波密县从1975年的0.4%到1982年的3.5%。

农业总产值也有较快的增加,林芝和米林两县从1959年到1978年19年间分别增加5.1倍和4.8倍,平均每年分别增加8.95%和8.61%。波密县1974年到1982年8年间增加2.16倍,平均每年增加约10.11%。其中粮食总产和单产都有较大幅度的提高。墨脱县1968—1981年总产从18.195万公斤增至32.685万公斤,亩产从128公斤增加到263公斤;林芝县从1959—1981年,总产由146.075万公斤增至743.265万公斤,亩产由71.5公斤增加到226.5公斤;米林县总产由150.215万公斤增加到585.5万公斤,亩产由70公斤达166公斤;波密县总产由233.625万公斤增至890.13万公斤,亩产由89公斤增至189公斤。

这样快的发展速度,在内地也是罕见的。除工农业以外,交通运输、文教卫生也从无到有逐步发展。

<sup>①</sup> 黄文秀,1983,西藏高原家畜生态类群和畜种配置的探讨。

## 2. 农业现代化水平比较高

在工农业发展水平比较低的情况下,而农业现代化水平却比较高,这是本区经济发展的又一特点。其主要表现有三个标志。

(1)农业机械品种齐全,每个农业人口拥有农机比例较高。

农业机械有耕作机械、排灌机械、收获机械加工、运输机械和植保机械等,牧业机械有剪毛机、饲料粉碎机等。而且每万人拥有的农业机械数量和机械马力都比农业发达的江苏省平均值要高。如波密县 1980 年每万人都拥有农业机械动力 3 500 马力<sup>①</sup>就高于江苏省每万个农业人口拥有的 3 400 马力。

(2)机械面积比例大

波密县 1982 年实际机耕面积 1 万亩,占耕地面积的 26%,而米林县 1980 年机耕面积达 2.16 万亩,占耕地面积 55%。而江苏省 1982 年全省平均机耕面积只占 10%左右,远远低于本区。

(3)农村发电能力强,电力充裕

本区水力资源丰富,发电能力强,用电量。米林县 1980 年每万个农业人口拥有电量达 658 千瓦,波密县 1982 年每万人达 200 千瓦。而 1982 年江苏省农村平均每万个人口只有 0.54 千瓦。两者的差距实在太大了。

可见,不仅本区经济发展速度很快,而且潜力还很大。

## 3. 经济结构单一,工业生产仍然很薄弱

本区民主改革以来,虽然工业总产值在工农业总产值中所占的比重不断提高,但工业生产至今仍然十分薄弱。如工业生产最发达的林芝县,至 1978 年也才占工农业总产值的 28.36%,而波密县至 1980 年才占 3.55%。与东部地区的差距就太大了。如江苏省 1978 年工业已占工农业总产值的 65.89%。

就是占国民经济主体的农业经济,也是以农业和牧业为主的单一经济。如米林县 1980 年农业和牧业就分别占农业总产值的 50.72%和 48.07%,农牧业两项竟占 98.79%;波密县 1982 年农业和牧业则分别占农业总产值的 72.67%和 15.55%,两项竟占 88.22%。这两个县林业产值则只占 0.85%和 3.95%。但这两县林业资源都十分丰富,其森林总面积分别为 19.7 万公顷和 54.4 万公顷,木材蓄积量分别为 4084.07 万立方米和 9251.11 万立方米。这些数字说明本区仍然处于封闭型的自给自足的农业经济,商品生产极不发达。其表现为农作物种类虽较多,但耕作制度落后,单产较低,因生产的目的主要是为满足农户本身的需要;而牧业生产虽有一些发展,但牲畜质量差,商品率极低。如果不改革这种单一经济结构,资源优势就难以发挥,本区经济也难以得到合理的发展。

## 4. 资源利用不充分,经济发展潜力极大

本区自然资源极为丰富。水资源是全国最丰富的地区之一。据估算多年平均产水量约 1 082.3 亿立方米,占西藏三分之一。雅鲁藏布江从本区过境的多年平均水量达

<sup>①</sup> 1 马力=735.499 瓦。

1 768.7亿立方米。这么丰富的水资源,目前除有限的灌溉外,几乎是白白地流出国境。雅鲁藏布江蕴藏的水力资源仅次于长江,居全国第二位。全江的水力资源有三分之二集中在本区。据统计,本区集中的水力资源超过1亿千瓦,也基本上没有开发。土地资源丰富,典型多样,而且水热条件优越,如墨脱县境内年降水量在2 000毫米以上,年平均温15—20℃,日照丰富,土壤肥力较高,但粮食年亩产只有250公斤左右,其它县还不足200公斤,可见潜力还很大。森林资源仅次于我国东北和西南,居全国第三位。因地形闭塞,交通不便,绝大部分尚未得到开发。如高山针叶林中的铁杉林,每公顷蓄积量高达1 000立方米,其木材质地优良,细致,是建筑造船等方面的珍贵用材。波密地区的云杉林,200年林分平均直径达92厘米,平均高57米,蓄积量高达2 000—2 500立方米/公顷,年平均生长量约为10—20立方米/公顷。冷杉是西藏自治区的主要用材林,其木材纹理通直、均匀细致,既软且轻,加工容易,切面光滑,广泛用作建筑、枕木、电杆、板材家具和纸浆等原料。南坡的墨脱中山地区,含有大量亚热带用材林。如壳斗科树种木质坚硬,是制造硬木家具的上好原料;而樟科树种则是名贵的芳香木材。在墨脱境内,这些珍稀用材树种生长十分高大,可提供现已很稀有的大径特种用材。此外,芭蕉、柠檬、柑桔等亚热带水果在河谷地带到处可见。还可引种优质的枇杷、芒果、腰果、荔枝、菠萝等,以满足西藏旅游事业及当地居民的需要。

如此丰富的自然资源,将为本地以及西藏经济的发展发挥其重要作用。

## 二、本区经济合理发展的基本原则

目前南峰地区经济发展速度比较快,而且其发展潜力也很大。但也必须看到,本区生产力水平还很低,资源利用还很不充分、不合理,经济的发展还远远不能满足本区人民生活的需要,并且已经对环境造成较严重的影响。为了进一步加快本区经济发展速度,实现翻番的战略任务,特别是为了本区长期、持续的高速发展,必须制定本区中长期经济发展规划。规划的基本原则应能合理充分利用自然资源,使经济效益、社会效益和生态效益协调一致,并能满足人民的需要,具体应包括如下几点。

### 1. 立足本地,面向全西藏

一个地区经济的发展,主要取决于市场、原料和技术等因素。这些因素与该地区的地理位置、交通、资源及人民的风俗习惯都有直接联系。南峰地区位于喜马拉雅山、横断山、念青唐古拉山汇合的祖国西南边陲,不仅交通闭塞,来往不便,而且与内地距离长远。若用直线距离计算,东距成都800公里以上,东南与昆明、北面与西宁均有1 000公里之遥。这种地理位置,要想使经济得到发展,必须立足本地,尤其是农副产品,只有依靠自给。例如调进几十万斤粮食,就需五六十辆汽车历时一年。这样每公斤粮食,仅运费就在2元以上。如此高的运费,就是再便宜的商品,运到这里也异常昂贵。

本区是西藏新兴的工业基地之一,也是西藏最富饶地区之一。本区人口只占全西藏总人口的1/25,但工农业总产值却占全区的1/10左右,且集中了全区2/3的水力资源,1/3的水资源,有着丰富的森林、土地资源和生物资源,特别是亚热带和暖温带的经济作物和水果。



可见本区经济发展有着丰富的原料和广阔的市场。这种优势由于其独特的地理位置,使内地难以与其竞争,并使它在西藏占有举足轻重的地位。为此,本区经济的发展必须立足本地,充分利用其丰富的自然资源,把本区及西藏作为自己广阔而可靠的市场。

## 2. 因地制宜、合理布局

一个地区的经济系统都有本身的形成、发展和变化过程。但其合理的经济系统总是从当地的优势和市场需求出发。例如根据本区高度变化导致植被垂直分布规律,可合理安排林业和畜牧业的发展。对于农业也可根据海拔高度和水热的条件来布局不同的农作物。例如在较低海拔区,气候湿热,降水充沛,可种植热带和亚热带的经济作物和水果。如柑桔、香蕉、柠檬、柚子以及茶树、甘蔗、烟草等。农作物以水稻、鸡爪谷、玉米等为主。在较高海拔区,可发展青稞、小麦、豌豆、油菜等作物以及核桃、苹果、梨等木本油料和温带果树。

本区地形十分复杂,不仅有高度变化,还有迎风坡、背风坡及各种中小地形的变化。这种地形变化及由此引起的土壤性状及水热差异明显,对于合理布局农林牧副各业有着一定的影响。深入调查研究,充分利用各种不同的自然条件,以便合理地布局农林牧业生产。

对于工业布局必须考虑原料、能源、交通以及市场需求。除发展已有的毛纺、农机修理、农产品加工等工业外,有计划地发展电力、林产品加工等工业。水力发电厂宜选在水力坡度大、河谷相对开阔的天然河曲处作为坝址。同时,充分利用雅鲁藏布江下游及中下游支流内的水力资源,并就地取材,为合理开发利用当地丰富的森林资源提供重要的能源,这对于本区经济的发展具有深远意义。

通过统一规划,因地制宜地布局工农业生产的发展,是合理发展本区经济的有效途径。因为这样的布局是比较符合自然规律和经济规律,可收到投入小、收益高的效果,并可使经济和生态得到较好的协调。

## 3. 协调经济发展与环境之间的关系

一个地区自然环境系统和社会经济系统都是一个耗散结构。社会经济系统通过消耗自然环境系统中的物质和能量来维持其稳定的有序结构,又把废弃的物质和能量排入自然环境系统。社会经济系统是建立在自然环境系统基础上,并强烈依赖于自然环境系统。如果不协调这两个系统的关系,自然环境系统将逐步地恶化。最终必将危及社会经济系统的存在。对于本区来说,刀耕火种,局部森林过伐,过度放牧,滥捕野生动物,化肥、农药的不当使用,是造成本区环境恶化的主要因素。对这些问题如果不引起足够的重视,并采取有效措施,势必将严重影响本区经济的发展。

协调经济发展与环境之间关系的基本出发点是遵循自然规律和经济规律。具体的协调办法是除了上述提到的合理布局外,还必须研究合理利用自然资源。如对可再生资源,切不可过度开发,不可只顾经济效益而忽视生态效益,必须考虑资源的永续利用。对各种资源的开发,都必须考虑对其它资源的不利影响,并尽可能使开发的副作用降到最低限度。总之,经济发展一定要考虑环境的承受能力,并付出一定经济代价,对已产生的一些环境问题进行某些必要的整治,这样,才能使经济与环境协调一致。

#### 4. 协调各经济部门之间的关系

对于经济系统本身来说,必须使产品能满足人民各种生活和生产的需求,并且具有较强的竞争能力,这个经济系统才能得到发展。要达到这个目的,就必须使各经济系统具有良好的协调性,即必须使各经济部门具有合适的结构和规模。对于本区来说,最佳的经济结构是对环境资源最合理、最充分的利用,已如上所述。但要使各经济部门协调发展,影响最大的是限制因素。把投入重点用于突破限制因素,就能取得较高的产出。因为各个经济部门的协同作用,是受最差的子系统制约的。对于本区来说,必须重点解决交通、技术和资金等问题。如果这些问题能较快的得到解决,那么本区经济的腾飞将是屈日可待。

### 三、加速本区经济发展的几个问题

根据上述合理发展经济的四条原则,加快本区经济发展应该抓住如下几个根本问题。

#### 1. 水力资源的合理开发利用

本区水力资源极其丰富,水能蕴藏量约1亿多千瓦,更难得的是单位面积的蕴藏量居世界之冠。若在大拐弯的有利工程地貌条件下,采用裁弯取直用隧道方式加以开发,将可根本上解决高原能源短缺的问题。且也为利用本区丰富水资源,首先是增加有效灌溉面积,建立旱涝保收的稳产高产农田创造良好条件。

开发本区水力资源,从目前经济发展水平和资金条件,宜以小型、群众自办为主,随着资源的开发利用和工、农业生产的不断发展,有计划地逐步开发本区丰富的水力资源。

#### 2. 森林资源的合理开发利用

本区森林资源十分丰富,组成森林的主要树种是墨脱冷杉、苍山冷杉、林芝云杉等。气候适宜,土壤肥沃,林木生长较迅速。本区的森林大部分属超过采伐年龄。云杉、冷杉虽然生长尚旺,但有不同程度的病腐危害。不考虑森林的生长和更新,按现有速度采伐,其现存量也可供采伐数百余年,可见开发潜力很大。

开发本区的森林资源,对于全国经济的发展具有重要意义。但实现这一战略目标,也不是短期能够实现的。虽然在本区森林资源的开发也具有一些有利条件,如水能资源丰富,粮食和副食品基本能自给等,但劳力、财力不足,特别是交通运输的限制。

鉴于本区水资源和森林资源在全国占有重要地位,不仅对全国国民经济的发展,而且对加强民族团结、巩固祖国西南边防都有着重要的战略意义。近期可列入西藏自治区重点发展项目,长期可列为全国重点发展项目,以充分发挥其资源优势和经济潜力。

#### 3. 关于农牧业合理结构及布局问题

本区农业生产的自然条件优裕,是西藏重要的粮、油生产基地。1981年粮食总产达240万公斤,为1959年的4.0倍;据不完全统计,油粮总产增长6倍左右。粮食按人口平均在450公斤以上,粮食自给有余,每年均有外调任务支援西藏其它地区。本区的畜牧业一般与农业相结合,仅少数社队专业化经营。近几年不但牲畜总数没有增加,还略有减少,

其原因前文已详述。从本区自然条件、土地资源的特征及经济发展的特点看,合理调整农牧业的结构及布局应以发展农业作为主要方向,充分发挥“西藏粮仓”的作用。这对于充分发挥本区的经济优势和生产潜力,加速经济发展都具有重要意义。同时,目前西藏粮、油虽已基本自给,但一遇上严重自然灾害就减产,需从内地调进大量粮食,其运输压力很大,运费又很昂贵。因此,加速本区粮、油生产,努力建设好西藏的商品粮、油生产基地,具有重要的战略意义。

#### 4. 加快工业和交通的发展速度

本区虽然在西藏工农业生产中具有重要作用,是一个经济发达地区之一,但较之我国东部经济发达地区,却仍很落后,特别是工业和交通更是如此。加快本区工交发展速度,是本区经济发展的重点任务。在工业建设上,除了发展本区人民生产和生活所必需的产品外,应以发展水力发电、林木加工为重点,并应发展这些项目的配套工业项目。此外,食品加工工业应给予重点扶植。

对于交通,墨脱县是我国至今尚未通公路的唯一县。目前急待解决的问题应尽早开始通往墨脱的公路建设,以开发丰富的热带和亚热带地区的自然资源,同时也是我国西南边陲重地,在国防建设上具有重要意义。此外,林区公路也应有计划地逐步建设,以便合理地开发本地区的森林资源。

#### 5. 发展教育,引进技术和人才,提高管理水平

本区文教事业极不发达,人才奇缺。如波密这个具有2万多人的县至1982年,只有小学和中学各一所,学生均不足百人。文化水平低和技术力量薄弱,从而管理水平较低。这是造成目前耕作制度落后,单产低,牲畜质量不高,发展缓慢,某些生态环境受破坏的直接原因之一。当前要大力发展本区经济,使农林牧副和工农交、旅游业得到全面发展,其关键所在将是发展教育,引进技术和人才,提高管理水平。

引进技术和人才,应采取各种优惠政策。发展教育还应调动群众的积极性来创办各种学校和训练班。并应大力吸引内地高校和科研单位到本区进行科学研究,为本区的经济发展规划出谋划策,提供科学论证和代培技术人员,这是解决人才不足的一条捷径。

## 四、自然保护

### (一) 建立自然保护区的必要性

建立自然保护区是自然保护的重要内容之一。南峰地区深受来自印度洋的湿暖气流的润泽,形成了青藏高原少有的优越自然环境。在它南部的墨脱,热带半常绿季风雨林沿河谷一直分布到 $29^{\circ}30'N$ 处,成为北半球分布最北的雨林植被,其山坡上依序分布着常绿阔叶林,半常绿阔叶林,铁杉林,冷杉林,高山灌丛,高山草甸,高山冰缘植被等垂直植被带,使之成为我国拥有这种最完整山地植被垂直带谱的唯一地区,在这种优越的生态环境下,南峰地区不仅具有极其丰富的生物种类,而且还含有许多在科学研究和经济利用上具有重要意义的珍稀生物树种。以植物为例,如墨脱生长的长蕊木兰(*Alcimandra cathcar-*

tii), 海南粗榧、云南黄连、穗花杉、长喙木兰、(*Magnolia rustrata*)、滇南、胡黄连、桃儿七(*Sinopodophyllum emodi*)、干果榄仁、参三七、延龄草等和米林、波密、林芝生的巨柏、锡金山荆子(*Malus sikkimensis*)、天麻、黄牡丹(*Paonia delavayi*)、星叶草(*Circaeaster agvestis*)等均属我国的重点保护植物,其占整个西藏自治区国家重点保护植物总种数的 72.7%,而动物的情况亦是如此,南峰地区所产的国家一、二类重点保护动物就占整个西藏自治区该类动物总数的 50% 以上。如分布于墨脱的属国家一类保护动物的长尾叶猴、金猫、孟加拉虎、羚牛、灰腹角雉、棕颈犀鸟、黑鹇(*Lophura leucomelana*)等;属于国家二类保护动物的有:猕猴(*Macaca mulatta*)、林麝、小熊猫、水獭、马麝、红胸角雉、红腹角雉、蟒蛇等,除此之外,本区还生长有许多在科研上有重要价值的古老遗生物如树状蕨类桫欏(*Alsophila spinulosa*)、毛叶桫欏、白桫欏;水青树(*Tetracentron sinense*)、藻苔(*Takakia lepidozoides*)等和仅产于该地的珍稀生物如墨脱青冈、西藏青冈、西藏石栎、西藏山龙眼、西藏木莲(*Manglietia microtricha*)、墨脱楠等 150 余种。

由此我们不难看出,南峰地区(特别是位于喜马拉雅南翼的墨脱县)不仅是西藏自治区珍贵生物的主要分布地,而且还是我国仅有的几个生物种源宝库之一。它已日益引起了世界生物学界的注意,许多国外生物学家都已提出去该地考察的要求。显而易见,对这一地区一些保存较完整的地带生态系统,实加有效的保护措施是非常必要的而且是异常紧迫的,否则,根据现在的破坏速度,几年到十几年以后,该地区已难以找到一个比较完好的山地森林生态系统。

## (二) 自然保护区的设立

根据南峰地区自然条件和人民生活的具体情况,我们建议南峰地区应逐渐发展成为国际山地和高山研究的基地,这不仅能使该地区宝贵的生物等资源能得到很好的研究和保护,同时还能为进一步开发筹集资金,该基地的建立主要包括一个研究中心(拟设在易贡,利用原有党校的部分建筑)和几个自然保护区。

### 1. 嘎隆拉羚牛、雉类保护区

本保护区的范围自嘎隆拉山口至南坡的卡布。主要保护我国最完整的地带垂直自然带系统。在这一系统中栖息着数量众多的我国一类保护动物——羚牛和多种珍贵雉类,此外这里还含有许多其他的珍贵动物、植物种类,该保护区可作为最早对外开放进行国际合作研究的自然保护区之一,该区内可将原有废弃的波密公路,稍加修理,建成一简易小车道,因其所在地域没有村庄,只须将南北西路口封住即可使这里的环境得到很好的保护。

### 2. 德阳拉南坡,羚牛、棕颈犀鸟、长尾叶猴保护区

该区范围从白马希里河河口到德阳拉山口,主要保护羚牛,棕颈犀鸟,长尾叶猴等珍贵动物。特别是羚牛,这一地区的希让、地东等村居民,每年在此捕杀量达 20—60 头。

### 3. 西工湖(布琼湖)森林保护区

该区以西工湖为中心,包括其周围保存完好的大片森林。这些占地面积不大,但是墨

脱地区少数保存较好的原始森林之一,特别是该地区有特殊的小气候环境,使许多热带生物在此还能很好生长,使之成许许多多热带生物的最高分布地。

#### **4. 米日千果榄仁保护区**

本区唯一保存较好热带半常绿雨林位于米日林江边,这里是北半球分布最北的热带雨林植被,有着重要的保护价值。

#### **5. 达波通麦栎半常绿阔叶林保护区**

通麦栎是本区的特有树种,现保存完整的大片林仅见于东久区达波一带,其有着重要的保护价值,这片原始的通麦栎林应尽快予以保护。

#### **6. 林芝巴结乡巨柏自然保护区**

巨柏是仅生长米林、朗县、林芝等地的国家重点保护树种。现在林芝包结乡和朗县甲格一米林鲁霞的雅鲁藏布江沿岸等地还残存有小片森林,林芝包结乡的巨柏林年龄可达数百年至一千年,它不仅仅为一种珍稀植物有重要的保护价值,而且还是恢复这一地区近千年来古气候演变的重要实验分析材料。所以对林芝巴结乡的巨柏林应立即保护起来,并进行人工抚育幼林,促其繁衍扩大。

#### **7. 波密川滇高山栎自然保护区**

川滇高山栎为古老的残遗植被,在波密附近的河谷阶地发育良好,该植被有重要科学研究价值,应选其发育最好的地段建立小面积的自然保护区。

#### **8. 易贡猕猴自然保护区**

由于受到雅鲁藏布-帕隆藏布水汽通道的影响,位于青藏高原南缘屏障北部的易贡错附近地区形成了北部少有的亚热带环境,山下生长着通麦栎组成的半常绿阔叶林,林中还斑块状分布有我国仅产于此地的珍贵树种西藏柏木组成的森林,在这类森林里栖息着我国二类保护动物猕猴,对于这样一个在科学上有重要意义的地区,应立即保护起来,并逐步建立科研基地,开展科学研究。

## 参 考 文 献

- 丁锡祉, 1983, 横断山山地研究刍议, 山地研究, 1(1): 2—5。
- 么枕生, 1959, 气候学原理, 科学出版社。
- 中国科学院自然区划工作委员会, 1959, 中国综合自然区划(初稿), 科学出版社。
- 中国科学院南京土壤研究所, 1978, 中国土壤, 科学出版社。
- 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1980, 中国现代冰川面积的新统计, 冰川冻土, 2(2)。
- 中国科学院兰州冰川冻土研究所托木尔峰冰川考察组, 1982, 天山托木尔峰地区冰川的基本特征, 中国科学, (8), B 辑, 736—744。
- 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1981, 中国自然地理·地表水, 科学出版社。
- 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1981, 中国自然地理·土壤地理, 科学出版社。
- 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1983, 中国自然地理·植物地理(上册), 科学出版社。
- 中国科学院西藏科学考察队, 1975, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966—1968)自然地理, 科学出版社。
- 中国植被编委会, 1980, 中国植被, 科学出版社。
- 中国社会科学院考古研究所实验室, 1983, 中国考古学中碳十四年代数据集(1965—1981), 文物出版社。
- 中国珠穆朗玛峰登山科学考察队, 1962, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告, 科学出版社。
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队、中国登山队珠穆朗玛峰科学考察分队, 1980, 珠穆朗玛峰科学考察报告(1975)气象与环境, 科学出版社。
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1982, 西藏南部花岗岩类地球化学, 科学出版社。
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1982a, 西藏自然地理, 科学出版社。
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1983, 西藏真菌, 科学出版社。
- 中国科学院微生物研究所真菌组, 1975, 毒蘑菇, 科学出版社。
- 王天武, 1985, 南迦巴瓦峰地区变质作用概述, 山地研究, 3(4)。
- 王立伦等, 1985, 中国阿尔泰山的现代冰川, 地理学报, 40(2)。
- 王彦龙、邵文章, 1983, 川西滇北藏东南地区雪害分布及其特征, 横断山考察专集(一), 154—165 页, 云南人民出版社。
- 王祖祥, 1982, 西藏墨脱地区的鸟类区系, 高原生物学集刊, (1)。
- 王富葆, 1984, 西藏东南部第四纪冰期与全新世气候变迁, 第四纪冰川与第四纪地质论文集(第一集), 地质出版社。
- 王富葆, 1985a, 一万年来青藏高原气候的变化及发展趋势的初步研究, 第四纪冰川与第四纪地质论文集(第二集), 地质出版社。
- 王富葆, 1985b, 中国喜马拉雅山地区第四纪下限问题, 中国第四纪研究, 6(2)。
- 王靖泰, 1981, 天山乌鲁木齐河源的古冰川, 冰川冻土, (3): 56—63, 增刊。
- 王靖泰、张振拴, 1981, 天山乌鲁木齐河源的冰川沉积, 冰川冻土, (3): 49—55, 增刊。
- 王靖泰、张振拴, 1981, 天山乌鲁木齐河源冰碛物的粒度分析, 冰川冻土, (3): 64—77, 增刊。
- 方振富、赵上洞, 1981, 青藏高原柳属植物的发生和分布, 植物分类学报, 19(3)。
- 四川植被协作组, 1980, 四川植被, 四川人民出版社。
- 卯晓岚, 1981, 我国食用菌资源及其分类, 食用菌, (4)。
- 卯晓岚, 1982, 我国的毒蘑菇, 自然杂志, 5(4)。
- 卯晓岚, 1983, 药用菌分类概述, 食用菌, (2)。
- 卯晓岚, 1984, 南迦巴瓦峰地区大型真菌的垂直分布, 山地研究, 2(3)。
- 卯晓岚, 1985, 南迦巴瓦峰地区的大型真菌资源, 真菌学报, 4(4)。
- 卯晓岚, 1985, 东喜马拉雅高山大型真菌及其适应特征, 山地研究, 3(4)。
- 刘正南、郑淑芳、邵玉华, 1981, 东北树木病害真菌图志, 科学出版社。
- 刘玉海, 1984, 南迦巴瓦峰地区地质特征述要, 山地研究, 2(3)。
- 刘光文等, 1963, 水文分析与计算, 中国工业出版社。
- 刘伦辉、邱学忠, 1980, 我国铁杉林的地理分布及垂直带位置的研究, 云南植物研究, 2(1)。
- 刘波, 1984, 中国药用真菌, 山西人民出版社。
- 关志华、陈传友, 1980, 西藏河流水资源, 自然资源, (2)。

- 关志华、陈传友等,1984,西藏河流与湖泊,科学出版社。
- 任美镔,1982,中国的准热带,南京大学学报(地理学),6(1)。
- 任美镔、杨纫章、包浩生,1979,中国自然地理纲要,商务印书馆。
- 全国农业区划委员会《中国自然区划概要》编写组,1984,中国自然区划概要,科学出版社。
- 成都地质学院陕北队,1976,沉积岩(物)粒度分析及其应用,地质出版社。
- 李文华、韩裕丰,1977,西藏的森林,自然资源,(2)。
- 李文华、韩裕丰,1985,西藏森林,科学出版社。
- 李安仁,1981,翅果蓼属——中国蓼科一新属,植物分类学报,19(3)。
- 李吉均等,1979,青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨,中国科学,(6)。
- 李吉均等,1986,西藏冰川,科学出版社。
- 李吉均,1982,青藏高原现代冰川的基本特征,中国地理学会冰川冻土学术会议论文集(冰川学),14—17,科学出版社。
- 李吉均,1979,青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨,中国科学,(6):608—616。
- 李庆远主编,1983,中国红壤,科学出版社。
- 李炳元等,1983,西藏第四纪地质,科学出版社。
- 李渤生,1984,南迦巴瓦峰地区植被垂直带谱,山地研究,2(3)。
- 李渤生,1985,东喜马拉雅南翼山地半常绿阔叶林,植物学报,27(3)。
- 李渤生,1985,南迦巴瓦峰地区植被水平地带,山地研究,3(4)。
- 李渤生,1988,西藏植被发展历史概述,西藏植被,科学出版社。
- 李渤生等,1981,西藏高山冰缘植被的初步研究,植物学报,23(2)。
- 闵天禄、方瑞征,1979,杜鹃属(*Rhododendron* L.)的地理分布及其起源问题的探讨,云南植物研究,1(2)。
- 杜榕恒等,1985,西藏古乡沟冰川泥石流的形成与发展,中国泥石流研究专辑,科学出版社。
- 杜榕恒等,1982,试论我国泥石流分类,全国泥石流防治经验交流论文集,科学技术文献出版社重庆分社。
- 张文敬,1981,阿扎冰川上的“冰老鼠”,冰川冻土,3(2):51。
- 张文敬、谢自楚,1981,西藏南部某些冰川近年来的变化及若干新资料,冰川冻土,3(4)。
- 张宗祐,1983,中国黄土高原几个剖面的岩性、地质分析,海洋地质与第四纪地质,3(3)。
- 张顺英,1980,西藏古乡泥石流暴发的气象条件及预报的可能性,冰川冻土,2(2):41—47。
- 张振拴,1983,天山博格达峰地区冰碛物粒度特征,冰川冻土,5(3):191—199。
- 张家诚等,1976,气候变迁及其原因,31—33,科学出版社。
- 张祥松,1980,喀喇昆仑公路沿线冰川的近期进退变化,地理学报,35(2)。
- 张新时,1978,西藏植被的高原地带性,植物学报,20(2)。
- 杨汉碧,1982,西藏马先蒿属植物及其来源与演化的探讨,植物分类学报,20(1)。
- 杨逸畴,1982,雅鲁藏布江大拐弯峡谷的地貌特征和成因,地理研究,1(1)。
- 杨逸畴,1983,西藏东南部波堆藏布谷地的基碛丘陵,冰川冻土,5(4)。
- 杨逸畴等,1985,雅鲁藏布江河谷地貌特征和成因,西藏科技,(1)。
- 杨逸畴等,1983,西藏地貌,科学出版社。
- 杨逸畴,1984,南迦巴瓦峰地区地貌的基本特征及成因,山地研究,2(3)。
- 杨惠心等,1985,南迦巴瓦峰地区岩石磁性和古地磁特征,山地研究,3(4)。
- 杨理华、刘东生,1974,珠穆朗玛峰地区新构造运动,地质科学,(3)。
- 汪佩芳,1981,西藏南部全新世泥炭孢粉组合及其自然环境演化的探讨,地理科学,1(2)。
- 宋海远等,1985,西藏高原泥炭的形成与演化,地理科学,5(2)。
- 吴沈春,1982,环境与健康,人民卫生出版社。
- 吴祥定等,1978,西藏近代气候变化及其趋势的探讨,科学通报,23(12)。
- 佟伟等,1981,西藏地热,附图一,科学出版社。
- 应建浙、卯晓岚、马启明等,1984,中国药用真菌图鉴,科学出版社。
- 应建浙、赵继鼎、卯晓岚等,1982,食用蘑菇,科学出版社。
- 陈艺林,1985,中国菊科一新属——君范菊,植物分类学报,23(6)。
- 陈传友,1979,谈谈昌都地区农田水利建设问题,西藏日报。
- 林一璞等,1980,西藏古生物(第一分册),科学出版社。
- 林振耀、吴祥定,1981,青藏高原气候区划,地理学报,36(1)。
- 林振耀、吴祥定,1985,南迦巴瓦峰地区气候基本特征,山地研究,3(4):250—257。

- 林振耀、吴祥定, 1984, 南迦巴瓦峰地区垂直气候带及气候类型, 山地研究, 2(3): 165—173。
- 林 祥, 1978, 西藏降水分布特征, 气象, (3)。
- 竺可桢, 1973, 中国五千年以来气候波动的初步研究, 中国科学, (16): 226—256。
- 郑本兴, 1980, 青藏高原第四纪冰川研究的新进展, 冰川冻土, (2): 15—18。
- 郑本兴、张振栓, 1983, 天山博格达峰地区乌鲁木齐河源新冰期的冰川变化, 冰川冻土, 5(3): 133—142。
- 郑度、陈伟烈, 1981, 东喜马拉雅植被垂直带的初步研究, 植物学报, 23(3)。
- 郑度、杨勤业, 1985, 青藏高原东南部山地垂直自然带的几个问题, 地理学报, 40(1)。
- 郑锡澜等, 1979, 雅鲁藏布江下游地区地质构造特征, 地质科学, (2)。
- 武汉地质学院, 1979, 地球化学, 地质出版社。
- 庞叔薇、丘光蔡, 1980, 中国环境科学, (4)。
- 周以良等, 1980, 温性针阔混交林, 中国植被, 科学出版社。
- 洪德元, 1986, 西藏玄参科一新属, 植物分类学报, 24(2)。
- 胡启明、杨永昌, 1986, 中国点地梅属的修正, 植物学报, 24(2)。
- 施成熙, 1958, 中国河流分类的初步研究, 水利学报, (2)。
- 施成熙, 1959, 陆地水文学, 科学出版社。
- 施成熙、梁瑞驹等, 1964, 陆地水文学原理, 中国工业出版社。
- 施雅风等, 1979, 青藏高原的隆起和它对冰期之中国的影响, 冰川冻土, (1): 6—11。
- 施雅风、谢自楚, 1964, 中国现代冰川的基本特征, 地理学报, 30(3): 183—208。
- 侯学煜, 1982, 中国植被地理及优势植物化学成分, 科学出版社。
- 姜汉侨, 1980, 云南植被分布的特点及其地带规律, 云南植物研究, 2(1)。
- 高由禧、蒋世遒等, 1984, 西藏气候, 科学出版社。
- 高登义、邹捍、王维, 1985, 雅鲁藏布江水汽通道对降水的影响, 山地研究, 3(4)。
- 寇有观等, 1982, 青藏高原总辐射研究, 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 第3号, 科学出版社。
- 郭敬辉, 1955, 中国地表径流, 地理学报, 21(4)。
- 郭敬辉, 1958, 中国地表径流形成的自然地理因素, 地理学报, 24(2)。
- 崔之久, 1975, 从冰碛来源与基岩的关系探讨绒布冰川及其槽谷的演变过程, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966—1968), 科学出版社。
- 章振根, 1985, 南迦巴瓦峰地区变质岩类及花岗岩类的若干特征, 山地研究, 3(4)。
- 彭补拙, 1984, 南迦巴瓦峰地区垂直自然带的初步研究, 山地研究, 2(3)。
- 彭补拙, 1986, 关于南迦巴瓦峰地区垂直自然带的若干问题, 地理学报, 41(1)。
- 彭补拙、倪绍祥, 1980, 新疆天山托木尔峰地区的垂直自然带, 南京大学学报(自然科学版), (4)。
- 彭补拙、赵培道、刘育民、窦贻俭, 1985, 南迦巴瓦峰地区土壤类型, 山地研究, 3(4)。
- 谢自楚、郑本兴, 1982, 中国冰川的分布、特征及变化, 中国地理学会冰川冻土学术会议论文选集, 科学出版社。
- 程树志、倪志诚, 1985, 南迦巴瓦峰地区植物区系概貌, 山地研究。
- 日本土木学会, 1977, 水力公式集, 人民铁道出版社。
- 布里诺夫, Л. К., 1963, 论海洋对土壤和陆地水盐渍化的影响, 地表盐分的迁移和平衡, 科学出版社。
- 布朗格, A. H., (张翊等译), 1982, 地球化学, 科学出版社。
- 奥贝尔, H., (刘铮等译), 1982, 土壤中的微量元素, 科学出版社。
- 大塚重遠、土野三郎、吉汲親雄、広瀬文夫、大村嘉男、藤井孝美、大原稔, 制癌剤の製造法, 特許公報, 2(4)—19(20), 1976; 2(4)—28(256), 1976; 2(4)—37(265), 1977; 2(4)—44(227), 1977。
- Ageta, Y., T. Ohata, Y. Tanaka, K. Ikegami and K. Higuchi, 1980, Mass Balance of Glacier AX010 in Shorong Himal, East Nepal During the Summer monsoon Season. Seppyo, 41, Special Issue.
- Adams, F. et al., 1977, Atmospheric Environment, 11(8): 629—634, Background Aerosol Composition on Chacaltaya Mountain, Bolivia.
- Bailey, F. M., 1925, Note on a portion of the Tsangpo, Geographical Journal, 66(6).
- Ballschmiter K., et al., 1981, Studies of the Global Baseline Pollution V. Monitoring the Baseline Pollution of the Sub-Antarctic by Penguins as Bioindicators, Fresenius Z. Anal. Chem. 309.
- Balfour—Browne, F. L., 1955, Some Himalayan Fungi. Bull. Brit. Mus. (Natural History) 1(7).
- Bowen, H. J. M., Trace Elements in Biochemistry. Academia Press, London, 3(4): 45—46.
- Buler, A. T. and J. Mcmanus, 1973, The Quartile-Deviation/Median-Diameter Relationships of Glacial Deposits, Sedimentary Geology, 10: 135—146.



- Chen Fenghuai and Hu Qiming, 1981, Distribution of the Genus *Primula* L. in Xizang, Geological and Ecological Studies of Qinghai-Xizang Plateau, Volume 1, Science Press, Beijing, Gordon and Breach, Science Publishers, Inc, New York.
- Desio, A., 1954, An Exceptional Glacier Advance in the Karakoram-Ladakh Region, *J. Glacial*, 22.
- Donald R. Lowe, 1982, Sediment Gravity Flows, 1. Depositinal Models with Special Reference to the Deposits of High-density Turbidity Currents, *Jour. Sed. Petrology*, 52.
- Finy, R. F., 1971, Glacial and Quaternary Geology, New York, John Wiley and Sons, p. 892.
- Folk, R. L. and W. C. Word, 1957, Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain-size Parameters, *Jour. Sediment, Petrol*, 31: 514-529.
- Garrels, R. M. et al., 1975, Chemical Cycles and the Global Environmental, W. Kaufmen, Los Altos, Calif. Seiler, W., et al., *Pageoph.*, 118(1980).
- Hewitt, K., 1969, Glacier Surges in the Karakoram Himalaya (Central Asia), *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6.
- Higuchi, K., 1977, Outline of the Glaciological Expedition of Nepal (2), *Seppyo*, 39, Special Issur.
- He Tingnong, 1981, The Floristic Analysis of Gentianaceae in Xizang and it's Geographical Relationships, Geological and Ecological Studies of Qinghai-Xizang Plateau, Volume 1, Science Press, Beijing, Gordon and Breach, Science Publishers, Inc, New York.
- Harley, G., 1970, The Biology of Mycorrhiza 2nd Ed. Leonard Hill, London.
- Hedin, S., 1917, Southern Tibet, 1, Stockholm.
- Jong Mat, G. G. De and Rapal. Martin, 1983, Ice-Marginal Debris-Flow Deposits in Western Allgau Southern West Germany, *Boreas*, 12: 57-70.
- Kingdon Ward, F., 1926, Explorations in South-eastern Tibet. The Geographical Journal, 67.
- Krumbein, W. C. and F. W. Tisdell, 1940, Size Distribution of Source Rocks of Sediments, *Am. J. Sci.*, 238: 296-305.
- Law, B. C. and S. P. Chatterjee, 1965, Origin of Himalayan Lakes, Mountain and River of India.
- Leeden, F., 1975, Water Resources of the World, Water Information Center, Inc. New York.
- Lilbourny, L. A., 1969, Contribution a la Theorie Des Ondes Glaciaires, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6.
- Lincoff, G., 1981, Simon and Schuster, New York.
- Mason, K., 1935, The Study of the Threatening Glaciers. *Geogr. J.*, 85.
- Meier, M. F. and Post, A., 1969 What are Glacier Surges? *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6.
- Nielsen, K. E., 1969, The Ice-dam, Powder-flow Theory of Glacier Surges, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6.
- Peterle, T. J., 1969, DDT in Antarctic Snow Nature. 8: 224.
- Pranavananda, S., 1939, The Sources of the Brahmaputra, Indus, Sutlej and Karnali; With Notes on Manasarowar and Rakes Tal, *Geographical Journal*, 93, Jan. - June.
- Robin, G. De. Q., 1969, Initiation of Glacier Surges. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6.
- Rajhendra N. Laxhanpal, 1970, Tertiary Floras of India and Their bearing on the Hestorical Geology of the Region, *Toxon* 19(5) October 1970, *Journal of the International Association for Plant Taxonomy*.
- Snell, H. W., 1972, The Boleti of Northe Astern North America von. J. Cramer.
- Stanley, A. D., 1969, Observations of the Surge of Steele Glacier, Yukon Territory, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, (6): 819.
- Shackleton, N. J., et al., 1984, Oxygen Isotope Calibration of Glaciation in the North Atlantic Region, Reprinted From *Nature*, 307(5952): 620-623.
- Sylvj Holdorsen, 1981, Grain-size Distribution of Subglacial Till and Its Relation to Glacial Crushing and Abrasin, *Boreas*, 12: 91-105.
- Tanabes et al., 1983, PCB and Chlorinated Hydrocarbon Pesticides in Antarctic Atmosphere and Hydrosphere *Chemosphere*, 12(4): 277-288.
- United Nations, 1966, A Compendium of Major International Rivers in the ECAFE Region, Water Resources Series, 29, United Nations, New York.
- Winchester, J. W., 1983, Aerosol Composition in Remote and Contaminated Atmospheres, Application of PIXE Analysis. *Neuro Toxicology*, 4(3): 69-90.
- Winchester, T. W. et al., 1981, Atmospheric Environment, 16(6): 933-937. Fine and Coarse Aerosol Composition From a Rural Area in North China.
- Wu Zhengyi, Su Zhiyun and Zhuang Xuan, 1981, The Evolution of Some Sections of the Genus *Corydalis* in Qinghai-Xizang Plateau, Geological and Ecological Studies of Qinghai-Xizang Plateau, Volume 1. Science Press, Beijing, Gordon and

Breagh, Science, Publishers, Inc. New York.

Zang, M., 1984, Mushroom Distribution and the Diversity of Habitats in Tibet, China. *Mellvainea* 6(2).

Zheng Benxing et al., 1981, Quaternary Glaciation of the Qinghai-Xizang Plateau, Geological and Ecological Studies of Qinghai-Xizang Plateau, Volume I.

Виленицкий, В. Д., 1976, Химический состав снежного покрова восточной Антарктиды, Тесхимия, 1.

Тронов, М. В., 1962, О влиянии летних снегопадов на режим ледников Алтая. Гляциология Алтая, вып. 2, Томский ун-т, Томск.

Шумский, П. А., 1955, Основы структурного ледоведения. АН СССР, 456с.

# PHYSICAL GEOGRAPHY AND NATURAL RESOURCES IN THE MOUNT NAMJAGBARWA REGION

## ABSTRACT

This book, 13 chapters included, has systematically displayed the achievements of our expeditions to the Mount Namjagbarwa region in 1982 to 1984.

The Mount Namjagbarwa, 7782 meters high above sea level, the highest in the East Himalayas, is located in the collision zone between the southern Asia Plate and the Eurasian Plate and is primarily composed of a series of moderately and intensively metamorphosed rocks, with igneous intrusions occurred in its northern part. The Precambrian rock of 749 Ma old is the oldest outcropping in the mount region. Several tectonic movements have taken place in this region and have created complicated EW, WNW fold and fault systems, NE mountains and river systems. The careful researches have illustrated that Mt. Namjagbarwa region can be divided into at least four vertical geomorphological belts in light of the differences in temperature and moisture conditions and that the Mt. Namjagbarwa is a large and strongly uplifting fold and the "Big Bend" of Yarlung Zangbo River, an antecedent valley, is in fact a geological arc.

The present glaciers in the Mt. Namjagbarwa region, including valley glaciers, cirque glaciers, hanging glaciers and their transitional types such as cirque-valley glacier and cirque-hanging glaciers as well as avalanche glaciers, cover an area of about 1200 km<sup>2</sup> and contain approximately  $60 \times 10^9$  m<sup>3</sup> of water. They are characterized by monsoonal maritime glaciers, of which only a few show stable or advanced types. The scale of Quaternary glaciation in this region is larger than that of the present due to the suitable temperature and moisture conditions for the development of glaciers.

The debris flow in southeastern Tibet is distributed in some gullies along the Great Bend Gorge of the Yarlung Zangbo River.

It is humid and hot in the Yarlung Zangbo valley below 1100 meters above sea level in the Mt. Namjagbarwa region and the climate in this region has some tropical characteristics, with annual mean temperature of more than 16°C and an annual total precipitation of 2550—4000mm. The winter temperature here is 3—5°C higher than that in other places at the same latitude over the eastern plain of China. According to the temperature and humidity indexes, the Namjagbarwa region can be divided into 3 vertical climate zones, 9 climatic types.

The rivers in the region have their water supplies from different sources. In general, the rivers in the north are supplied by melted ice and snow whereas in the south by rain water. The runoff depth, with the average of 1860mm, changes from 400—4000mm, which decreases from the south to the north and gets its minimum in the northeast. The yearly runoff yield of 108200 million cubic metres and runoff of 68600 million cubic metres passing through the region have indicated that the Namjagbarwa region is one of the regions with abundant water resources in China. The natural water with the mineralized degree under 200 mg/l and the hardness under 2.5m.e./l belongs to the soft water of low mineralized degree.

Owing to the favourable climate and the long geological history, very complicated plant communities have formed in the Mt. Namjagbarwa region. Besides, lots of species similar to that in other places in the world, about 150 special species have developed.

The distribution of the soil in the Mt. Namjagbarwa region has revealed its pronounced changes in both horizontal and vertical directions. It can roughly be grouped into 8 categories on the basis of its properties and related features. The vertical spectrum of the soil on the southern slope of the mountains consists of 8 soil belts, while on the northern slope 5 soil belts.

In terms of the moisture and temperature conditions restricted by geomorphic factor as the main and principal index, together with the types of soil and vegetation as a mark, the vertical landscape in the Mt. Namjagbarwa region can be divided into 9 vertical zones on the southern slope and 6 vertical zones on the northern slope. The vertical spectra, however, could be grouped into 5 types in line with the differences in the basic belts and the structures of the vertical zonations.

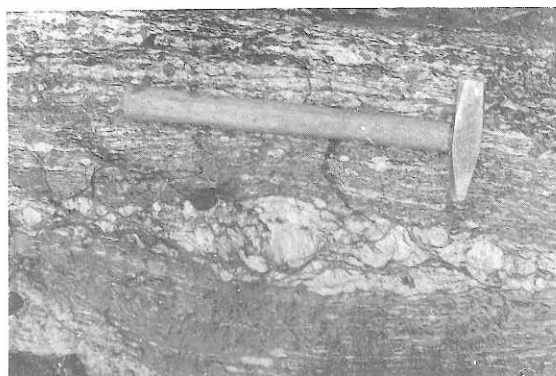
The environmental background values got through the analysis of collected ice, snow, soil, airborne particulates, the tissues of human body and organisms have revealed that the Mt. Namjagbarwa region is kept from man-made contamination and is suitable for the study of environmental background values.

In this book, the following contents in the Mt. Namjagbarwa region have also been expounded or discussed,

The fundamental geomorphological features of the mountains and river valleys, the close relationship between geomorphological development and the natural environment, the distribution of the Quaternary glacial relics, the characteristics of the Quaternary glacial deposits, division of the Quaternary Ice Age, the evolution of glaciers and its composition, primary vegetation types, the distribution of the modern vegetation, the influences of the moisture passageway along the Yarlung Zangbo valley, ice and snow cover, the inversion temperature on vertical spectra, the influences of moisture passageway along the Yarlung Zangbo valley, ice and snow cover, the inverture on vertical spectra, the range of vertical landscape zone, the conservation and rational utilization of natural resources etc.



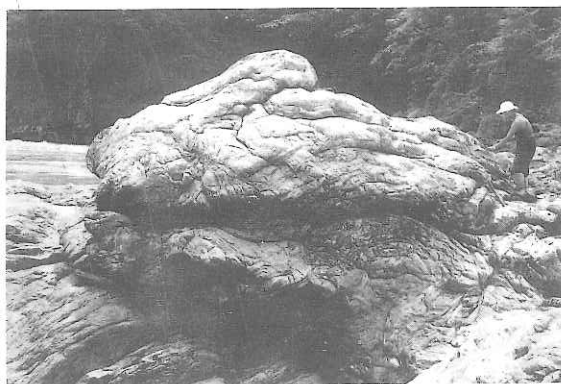
照片 1.1 南迦巴瓦峰西坡海拔 4 700 米处出露的条带状混合片麻岩



照片 1.2 南迦巴瓦峰西坡出露的眼球状混合片麻岩



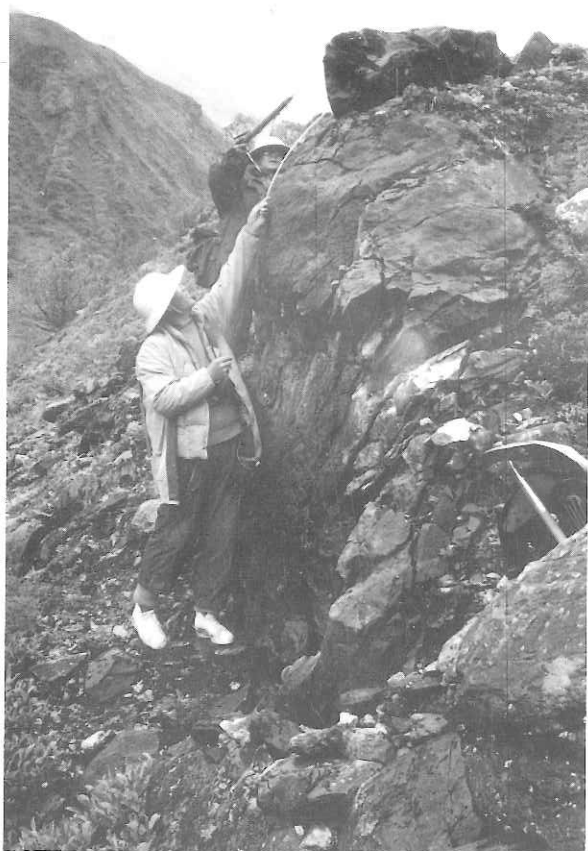
照片 1.3 南迦巴瓦峰西麓片岩中的褶曲



照片 1.4 墨脱附近雅鲁藏布江边, 岩石受强烈挤压、错动、混合后形成的混合岩和各种褶皱外貌



照片 1.6 岗日嘎布山山前断裂带上的褶皱和小断裂



照片 1.5 观测嘎隆寺断裂面性质



照片 1.8 大渡卡公路边中更新世冰碛层中的新断裂

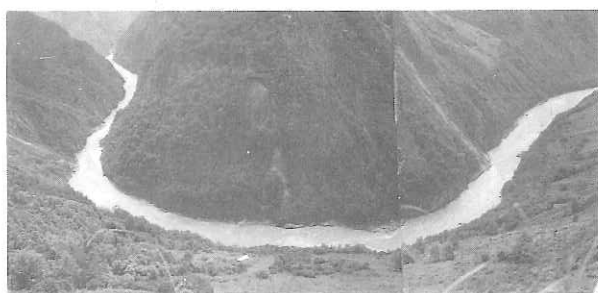
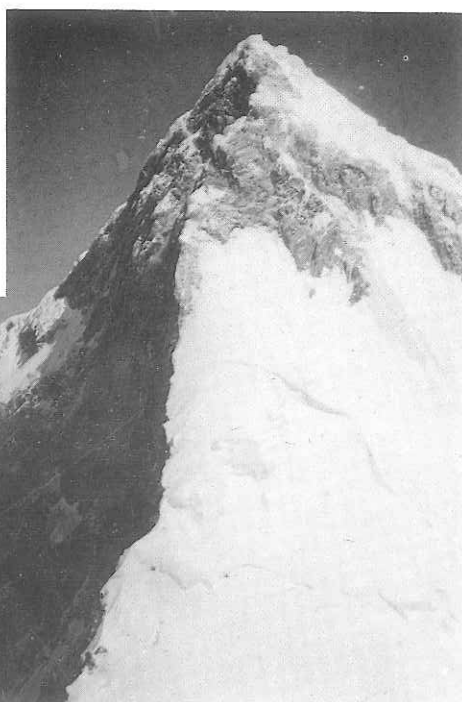


照片 1.7 雅鲁藏布江大峡弯顶端出露的热泉和泉华台地



照片 1.9 那木拉山口附近的双层冰斗

照片 2.2 站在乃彭峰(海拔 7 043 米)顶上看南迦巴瓦峰,峻峭甲天下



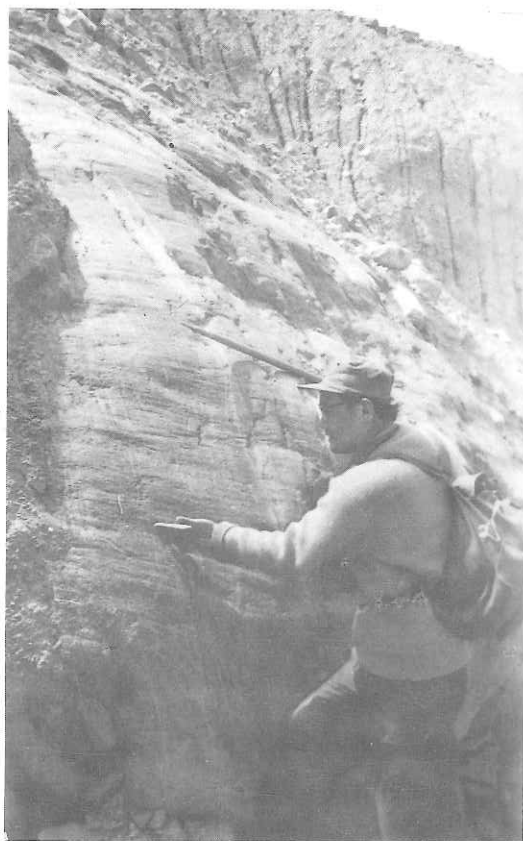
照片 2.3 雅鲁藏布江下游大拐弯的顶端



照片 2.4 南迦巴瓦峰向斜构造和乃彭峰平缓向斜构造,中间为东西向南坳断裂通过



照片 2.1 喜马拉雅山东端最高峰——南迦巴瓦峰海拔  
7 782 米



照片 2.7 则隆弄冰川谷地下游谷壁基岩上平行的冰川擦  
痕



照片 2.5 南迦巴瓦峰西坡的则隆弄山谷冰川



照片 2.6 则隆弄冰川谷侧高达 200 米的侧碛垄





照片 2.8 则隆弄冰川曾因地震触发而作分段跃动,这是跃动后的第三段冰体



照片 2.9 则隆弄冰川的末端直达雅鲁藏布江边,海拔 2 950 米



照片 2.10 波堆藏布上游的冰川 U 形谷地



照片 2.11 波堆藏布白玉以上 U 形谷底孤立的基磧丘陵



照片 2.12 嘎隆拉北东坡的山谷冰川



照片 2.14 嘎隆拉南坡的悬坡冰川和冰川湖



照片 2.15 培龙沟 1983 年暴发冰川泥石流,破坏川藏公路和桥梁



照片 2.16 南迦巴瓦峰西南坡的那木拉高山湖泊,位于寒冻风化带内



照片 2.13 嘎隆拉北坡陡峭谷坡上的悬冰川



照片 2.17 雅鲁藏布江下游墨脱境内的河谷,具有一派亚热带自然景观



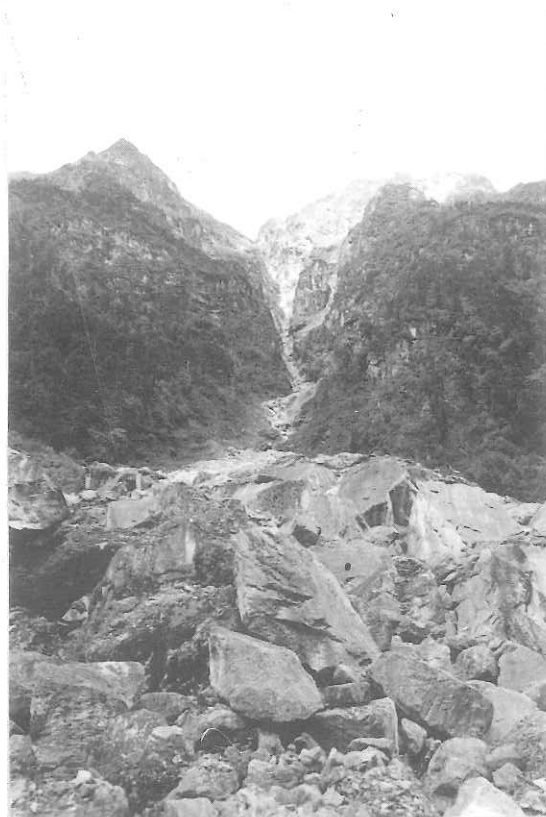
照片 2.20 帕隆藏布江下游在汇入雅鲁藏布江前作直角形拐弯



照片 2.18 雅鲁藏布江进入大峡弯以上的宽谷河段



图 9.5 嘎隆拉山口附近的平卧杜鹃群落 (Community *Rhododendron repens*)。海拔 4 000—4 400 米



照片 2.19 多雄曲在汗密附近发育的崩塌性泥石流

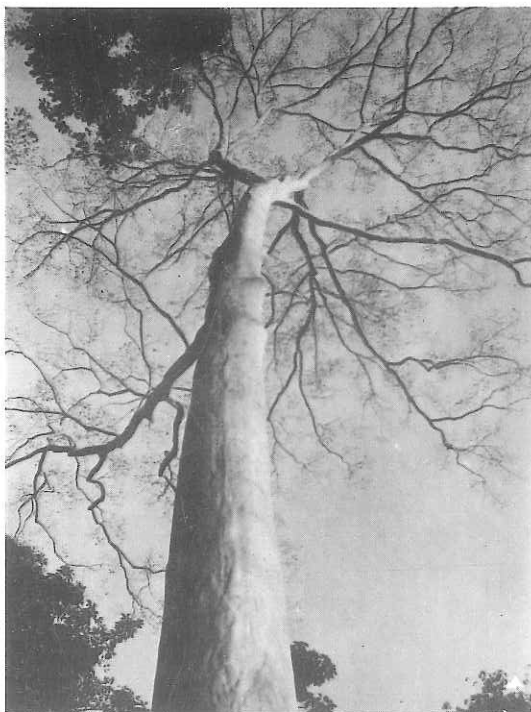


图 9.1 米日附近半常绿季雨林千果榄仁群落中的重要伴生乔木, 小果紫薇 (*Lagerstroemia minuticarpa*)



图 9.2 分布在嘎隆藏布下游谷岸的半常绿季雨林群落——阿丁枫群落 (*Community Altingia excelsa*), 海拔 1 000 米



图 9.3 发育在雅鲁藏布江支流谷地旁辛附近的常绿阔叶林群落——刺栲群落 (*Community Castanopsis hystrix*)。海拔 1 980 米



图 9.4 波密县旁竹附近山地上发育的亚高山常绿针叶林, 海拔 3 100—4 000 米

3. 水