

我国逐日降水量格点化方法

沈 艳 冯明农 张洪政 高 峰

(国家气象信息中心, 北京 100081)

摘 要

国家气象信息中心(NMIC)和美国大气海洋局气候预测中心合作开发了“中国逐日格点降水量实时分析系统(V1.0)”,并已在 NMIC 投入业务试运行。该系统基于我国 2419 个国家级地面气象站日降水量观测(08:00—08:00,北京时)数据,采用“基于气候背景场”的最优插值方法,实时生成空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的格点化日降水量资料。通过对汛期典型区域和单站降水过程的对比分析表明:该格点化产品的精度较高,能准确捕捉并再现每一次降水过程。误差分析表明:约 91% 的数据绝对误差小于 1.0 mm/d。该产品在定量分析天气实况、检验天气气候模式精度、检验卫星产品精度等方面有应用前景。

关键词: 格点降水量; 实时系统; 气候背景场; 最优插值

引 言

降水量是气象要素中最为重要的因子之一。高精度的格点降水量数据,是大气、气候、水文、生态模式所需的重要输入参数,也是检测和评估模式预报、预测准确性的必要数据。但由于受地理位置局限以及气象观测仪器设备不足的影响,获取某一区域的实测数据存在一定困难。因此,在研究全球或区域大尺度气候变化序列时,往往需要先将气候序列网格化,从而有效减小或避免空间采样误差。

国际上对降水量资料格点化的研究始于 20 世纪 80 年代,利用站点观测资料相继发展了很多有影响力的格点降水量数据集:如 NCDC 的全球历史气候格点数据集(GHCN)^[1-2]、CRU 数据集^[3]、GPCP 全球月降水量数据集^[4-5]以及由美国大气海洋局气候预测中心发展的 CMAP 数据集^[6]和全球陆地月降水量数据集 PREC^[7]等。90 年代后期,利用台站观测降水量资料,美国、南美、澳大利亚、印度以及欧洲一些国家相继开发了格点化降水量实时系统。实时系统的建立,能将站点上报的降水量观测资料快速加工成降水量格点场,在洪涝监测、气象防灾减灾等方面发挥了极大作用,产生了不容低估的社会和经济效益。近年来,我国气象工作者也加强了对格

点数据产品的研制并相继发布了气温和地面水汽压格点产品^[8-9],但我国降水资料长期处在整理收集阶段,对高质量降水产品的研制略显不足。

随着需求的日益迫切和基础资料质量与分析技术的不断完善,2007 年国家气象信息中心(NMIC)与美国大气海洋局(NOAA)气候预测中心(CPC)合作,开始研制中国实时格点化降水量产品,并取得了阶段性成果。逐日(08:00—08:00,北京时,下同)格点化产品生成系统已经建立,相关格点与图形产品已在网络上实时发布。本文主要对这一系统进行全面介绍。

1 降水量资料格点化的思路与方法

已有研究表明:格点降水量资料质量会受到降水场空间变率、站点密度、雨量计结构以及客观分析方法的影响^[10-11]。由于降水量的空间变率大,对其直接插值的误差相对较大。因此,通常的插值思路是:先构建空间分布上相对连续的气候场,进一步借助气候场来定义一个新的要素,如降水量的差值^[7]或比值^[12]进行空间插值,以减小因降水量空间分布不连续而带来的插值误差。Xie 等的研究明确指出:定义比值能获得更高的插值精度^[13]。因而,本系统采用通过气候背景场定义日降水量比值的插值思路。

中国气象局气候变化专项(CCSF-09-6)和气象行业科研专项经费(GYHY(QX)2007-6-5)共同资助。

2009-05-11 收到,2010-02-26 收到再改稿。

1.1 格点化的步骤

日降水量资料格点化包括以下 3 个步骤:① 建立日降水量气候值的网格背景场;② 计算各台站日降水量比值数据并插值生成对应的格点场,比值数据是借助气候背景场来定义的一个新要素:日降水量比值=台站观测日降水量/对应格点日降水量气候值;③ 由日降水量比值格点场与对应的气候背景场相乘生成日降水量格点场。

1.2 气候背景场的建立

降水量在空间分布上不连续,但其气候值在空间分布上相对连续,基于气候背景场构建降水量格点场一定程度上可以减小或消除由于空间分布不连续而带来的分析误差,显著提高空间插值精度^[7]。另外,地形对降水量的影响也不容忽视,然而目前国际上还没有一种非常有效的方法来订正地形对降水量的影响。在本系统中,借助 PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model)数据间接订正地形的影响。

1.2.1 PRISM 数据

PRISM 是考虑坡度的降水-海拔高度回归模型,由这种模型生成的数据称其为 PRISM 数据,是国际上公认的质量最好的气候数据集^[12]。该数据通过建立点降水量观测值与局地海拔高度的经验关系,生成了考虑地形影响的月气候标准值(<http://www.prism.oregonstate.edu/>)。Daly 等在定义中国区域的 PRISM 数据时,共利用了 2600 个台站 1961—1990 年 30 年标准值^[12]。PRISM 是月气候值,按照 Xie 等的方法通过平滑拉伸得到 PRISM 的日值^[13]。

1.2.2 气候背景场的构建

选取我国 2260 个台站 1971—2000 年的日气候标准值数据,在该数据傅立叶变换剔除高频毛刺噪声后,应用 Shepard 空间插值方法^[14]进行空间插值,得到日气候背景场,其空间分辨率为 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 。进一步用同样的拉伸方法平滑该数据,并定义与对应日期 PRISM 数据的比例系数,并将此系数与没有经过拉伸处理的日气候背景值相乘,得到经过 PRISM 订正后的日气候背景场。此时定义的日气候背景场在一定程度上考虑了地形影响^[13]。

1.3 降水量比值格点场的生成

为了减小由于降水量空间分布上不连续带来的

插值误差,没有直接对降水量数据进行空间插值,而是先利用日气候背景值定义降水量的比值数据,如式(1)所示。

$$\text{某日降水量比值} = \frac{\text{台站观测日降水量}}{\text{对应格点的日降水量气候值}}, \quad (1)$$

即某日降水量的比值数据是站点观测的日降水量与对应格点、对应日期气候背景值的商。客观分析方法也是影响格点化资料质量的重要一环,尤其是对于空间分布上不连续的气象要素如降水量,客观分析方法会显得更为重要。借鉴 CPC 对 Cressman^[15], Shepard^[14]和 Optimal Interpolation(OI)^[16]3 种插值方法的评估结果^[17],认为 OI 法是目前针对降水量插值的最有效方法。OI 方法在空间插值过程中能考虑要素空间结构的影响,而降水场的空间结构恰恰是需要重点考虑的。因此,该系统也选用 OI 空间插值方法对降水量比值数据进行空间插值,生成降水量比值格点场,空间分辨率为 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 。

1.4 降水量格点化产品的生成

降水量格点场由式(2)得到

$$\text{降水量格点产品} = \text{降水量比值格点值} \times \text{降水量气候背景场}, \quad (2)$$

即某日的降水量格点数据是该日比值数据的格点值与对应日期、对应格点气候背景场的乘积,其空间分辨率为 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 。因为降水量随海拔高度的变化非常显著,且分辨率越高得到的格点数据越有利于订正地形效果^[12]。而提供用户给使用的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 产品就是在此基础上重新采样生成的。另外,也可以根据用户需求很方便地生成不同空间分辨率的产品。

2 实时系统简介

2.1 流程设计

该系统从气象实时数据库提取站点观测日降水量数据(08:00—08:00),对其进行标准化处理与质量控制,剔除错误资料,然后按照前面所述方法进行空间插值,生成格点化产品,纳入综合数据库存储管理,并发布到内网和外网的网站供用户浏览和下载。系统信息流程见图 1。

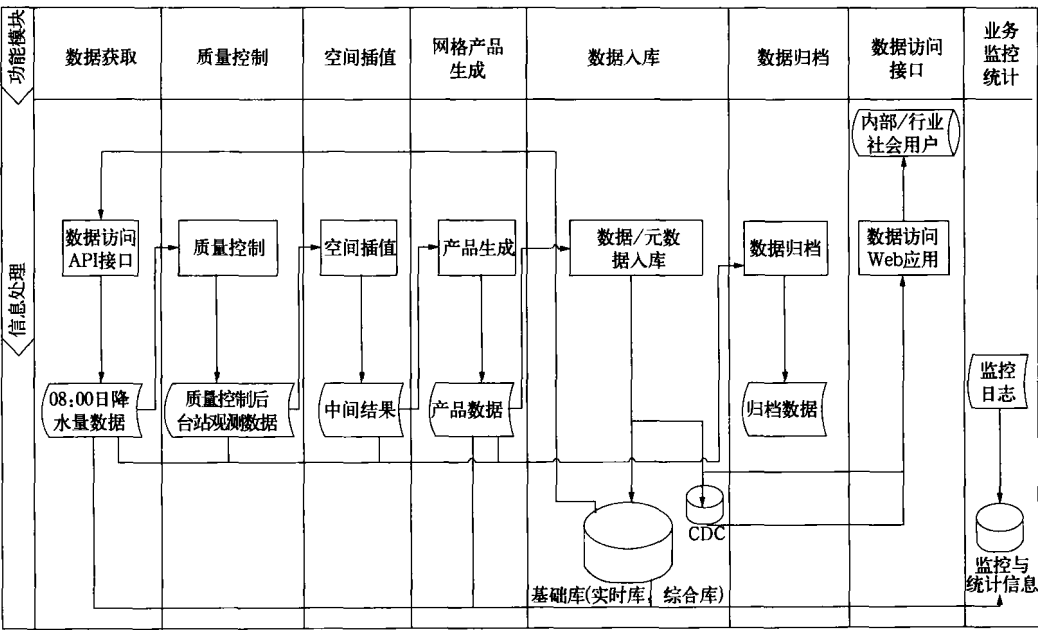


图 1 中国逐日格点降水量实时业务系统信息流程

Fig. 1 Information flow of daily precipitation analysis system over China

2.2 系统模块

2.2.1 站点观测数据的实时获取模块

近年来,我国台站观测网密度显著提高,且能实时上传到 NMIC。系统每天定时从实时库中自动提取台站观测资料,包含全国区号在 50~59 范围内的所有台站,按统一格式存放到一个新文件中,文件以日期命名。

2.2.2 站点资料的质量控制模块

传统的质量控制方法如极值检查、内部一致性检查、空间一致性检查等被广泛用于各类气象资料的质量控制中^[18-19]。该系统主要采用了极值检查和空间一致性检查来对日降水量数据实施质量控制。首先,按指定的台站列表(与 A 文件^[20]台站列表一致,2419 个台站)提取台站观测资料;然后对其进行质量控制,包括极值检验(0~800 mm)和空间一致性检验。将可疑数据附成缺测—999.0,经过质量控制后的数据存入另一个文件。另外,统计质量控制后的到报率和可疑数据。

2.2.3 格点产品生成模块

根据提前设定的日期来启动,完成全部格点化资料加工和产品制作任务。每天 09:00 和 09:08 定时启动两次。

该模块包含以下子模块:计算站点与站点距

离;站点与格点距离;借助空间分析技术对经过质量控制的台站观测资料进行空间插值;生成不同分辨率的产品。

每天 09:12 输出产品,产品分辨率为 0.5°×0.5°,包括 GrADS 标准格式、ArcGIS 标准格式和 gif 图形格式。产品生成后会自动拷贝到“下游”指定服务器。

2.3 产品服务

用户可以通过中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)获得该产品,获取时间为每日 09:20。从“实时数据”、“重点数据集推介”、“最新数据集”和“数据分类查询”4 个入口均可获取该数据。另外,在“实时数据”栏目中,会显示近 3 天的文件链接和相关文档。文件主要包括 gif 图形产品(图 2)、GrADS 标准格式数据和 ArcGIS 格式数据;相关文档有数据的说明文档和元数据说明文档以及 cti 说明文件。对于非实时产品,可以通过“文件类型+时间”的检索方式,根据检索列表打包下载。

GrADS 格式的数据产品包括两个变量:一是格点降水量数据,另一个是对应网格内的站点数。用户可以根据站点数的分布情况,对数据质量做出相应评价。

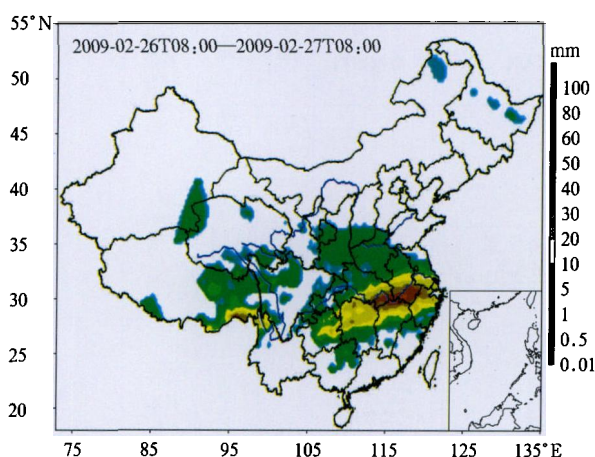


图2 实时发布的日格点降水量
图形产品(单位:mm)

Fig. 2 Distribution map of daily precipitation
analysis supplied to users (unit: mm)

3 系统试运行阶段的精度评价

系统自2008年6月建立并在NMIC试运行以来,运行基本平稳。本章通过与站点时间序列对比分析和误差分析,来说明系统精度。

3.1 时间序列对比分析

图3是典型台站广西桂林站2008年6月1日

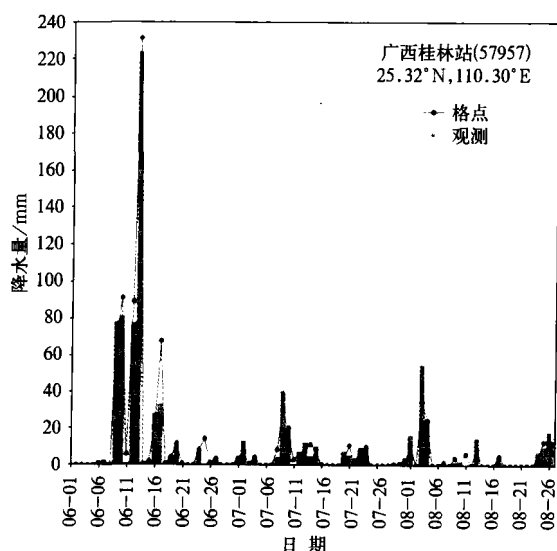


图3 2008年6月1日—8月27日广西桂林站
观测日降水量和对应格点
降水量的时间序列

Fig. 3 Time series of measured daily precipitation
and its grid-box analysis for Guilin Station in
Guangxi from 1 June 2008 to 27 August 2008

—8月27日观测值与对应网格的降水量格点值的时间序列。从图3可以看到,站点观测无降水时,对应格点场的降水量为0,二者高度一致;当站点观测降水量不为0时,格点场也较好地反映了每一次降水过程。例如,该站6月13日的强降水过程,观测的日降水总量为224.3 mm,对应网格的格点降水量为231.5 mm,绝对误差为-7.2 mm,相对误差为3.21%。

图4是典型区域长江流域($28^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$,共涉及台站总数约340个),2008年6月1日—8月27日,将台站观测值与对应网格的格点值求平均后的时间序列。图4a表明:该流域格点值较好地再现了台站观测降水量的日变化特征。如在6月9—11日、14日、18日、22日、23日、7月7—9日和23日,该流域分别出现了中到大雨的降水过程。另外,进入8月以后,发生在1日和16日的两次大降水过程,格点场都很好地“捕捉”到了,二者差值均小于1 mm。图4a也表明:6,7月长江流域的降水过程表现为间歇性过程,持续时间一般为1~2 d。8月的降水过程,持续时间较长,为5 d左右。

青藏高原站点稀疏,格点场能否客观反映该区域的降水过程,是很多研究者所关注的。图4b为青藏高原区6月1日—8月27日台站观测值与对应网格的格点值求平均后的时间序列。结果表明:格点场能较好地反映该区域的降水过程,但在一定程度上有高估日降水量的趋势,高估量小于0.5 mm。同期该区域的平均日降水量约为5.0 mm,因此格点场的相对误差在10%以内,这样的误差范围在该区域仍是比较理想的。

由于卫星估算降水量会受到诸如传感器设计、天气状况以及反演算法等的综合影响,目前尚不足以定量表示研究区的降水量,但却能比较准确地反映降水的空间分布。本系统在青藏高原区域使用的气象站点分布见图5,目前只有43个气象站的数据参与了计算。在缺少站点观测的青藏高原区,利用卫星产品检验格点场的空间分布,是目前可行性和可信度较高的方法之一。图6为同一天的降水量格点场(图6a)和CMORPH^[21]卫星反演日降水量产品(图6b)。对比分析表明:在青藏高原没有站点观测的区域,CMORPH观测到了一定的降水分布。但同时也注意到:在没有站点观测的青藏高原区,CMORPH反演的降水量与格点降水量存在一定差

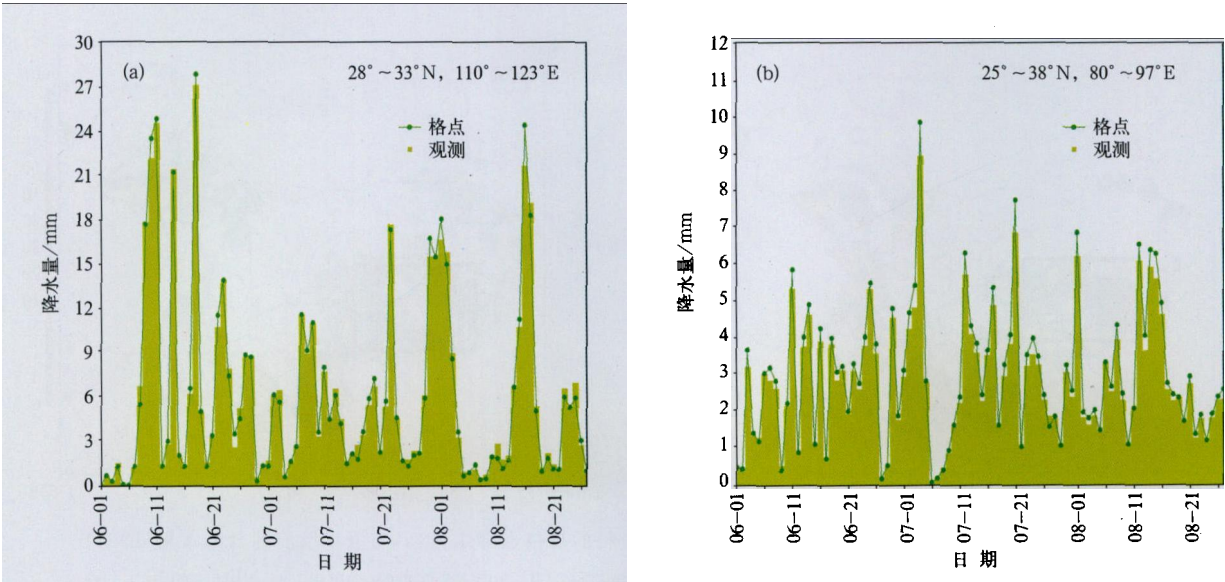


图 4 2008 年 6 月 1 日—8 月 27 日观测日降水量和对应格点降水量的时间序列
(a) 长江流域区, (b) 青藏高原区

Fig. 4 Time series of measured daily precipitation and its grid-box analysis over two researched regions from 1 June 2008 to 27 August 2008 (a) the Yangtze River Basin, (b) Tibetan Plateau region

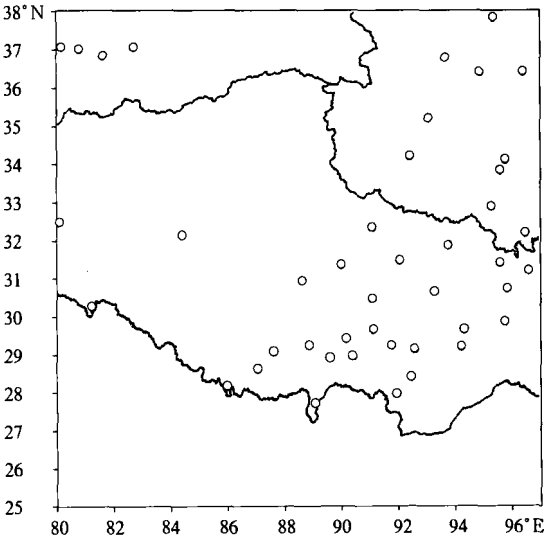


图 5 本系统中青藏高原区域的气象站点分布

Fig. 5 Distribution of meteorological stations over Tibetan Plateau in the system

异,主要表现在卫星资料更好地反映了该区域的降水空间分布,而雨量站格点场资料能更好地反映降水量。在青藏高原区布设更多的气象观测站,是提高青藏高原地区格点资料质量的有效途径。但在目前站网密度有限的情况下,如何充分利用两种资料的优势,生成融合的降水量资料,是今后一段时间需要努力的方向。

从典型台站(广西桂林站)和典型区域(长江流

域和青藏高原区)的时间序列分析可知,区域格点场降水量精度要优于单个网格点结果,这是空间插值的内在原理决定的。因为无论是哪种空间插值方法,在插值过程中都会考虑周围站点的影响,因而对单个台站来说,由于受周围站点影响,插值结果可能会在一定情况下“放大”或“缩小”实际观测值。与其他插值方法多用距离作为权重不同,OI 插值方法还考虑到周围站点降水分布的影响,因此是一种插值精度相对较高的方法。而在考虑区域时间序列时,这种“放大”或“缩小”影响一定程度上将相互抵消,精度相对有所提高。另外,对于站点分布稀疏区,融合卫星资料是目前提高格点资料精度的有效途径。

3.2 误差分析

2008 年 6 月 1 日—7 月 27 日格点值与降水量观测值的差值(格点值—观测值)空间分布如图 7 所示。由图 7 可知:西北地区内蒙古等相对干旱区,误差为-1.0~1.0 mm;而在东南部地区误差稍大。表明:降水量越大的区域,误差相对越大,而相对误差越小(图略)。另外,分别统计了误差<-3.0 mm,-3.0~-1.0,-1.0~1.0 mm,1.0~3.0 mm 和误差≥3.0 mm 的样本数及所占的样本百分比(表 1)。结果表明:约 91%的台站降水量格点值与观测值的误差为-1.0~1.0 mm;约 98.94%的台站降水量其格点值与观测值的误差为-3.0~3.0 mm;只有约 1.06%的台站绝对误差大于 3.0 mm。格点值小于观测值的样本占总样本数的 3/4。

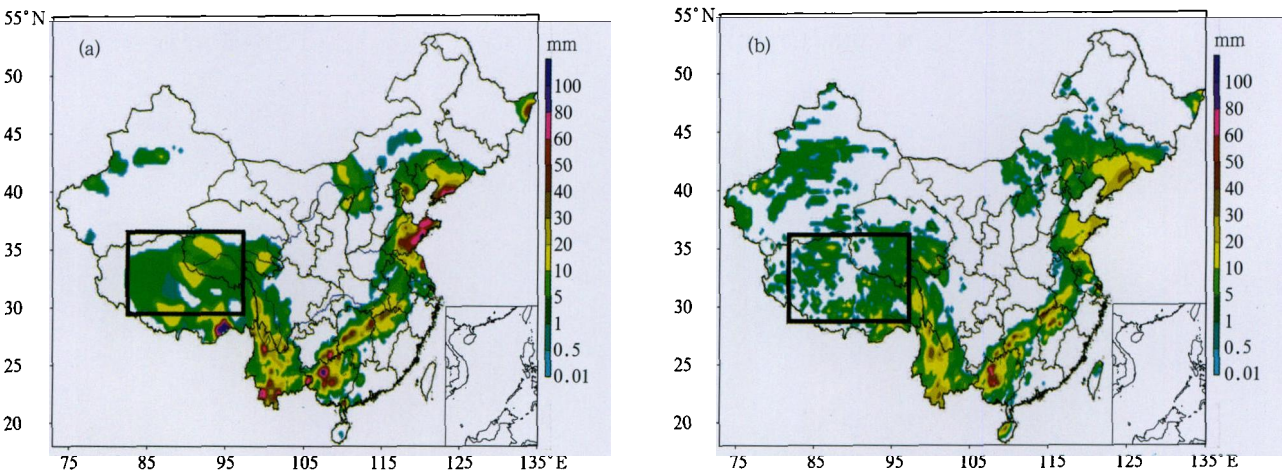


图 6 2008 年 8 月 17 日 08:00—18 日 08:00 基于站点资料的日格点降水量(a)与卫星反演的日降水量(b)对比
Fig. 6 Comparison of gauge-based daily precipitation analysis (a) and its corresponding satellite product (b)
from 08:00 17 August 2008 to 08:00 18 August 2008

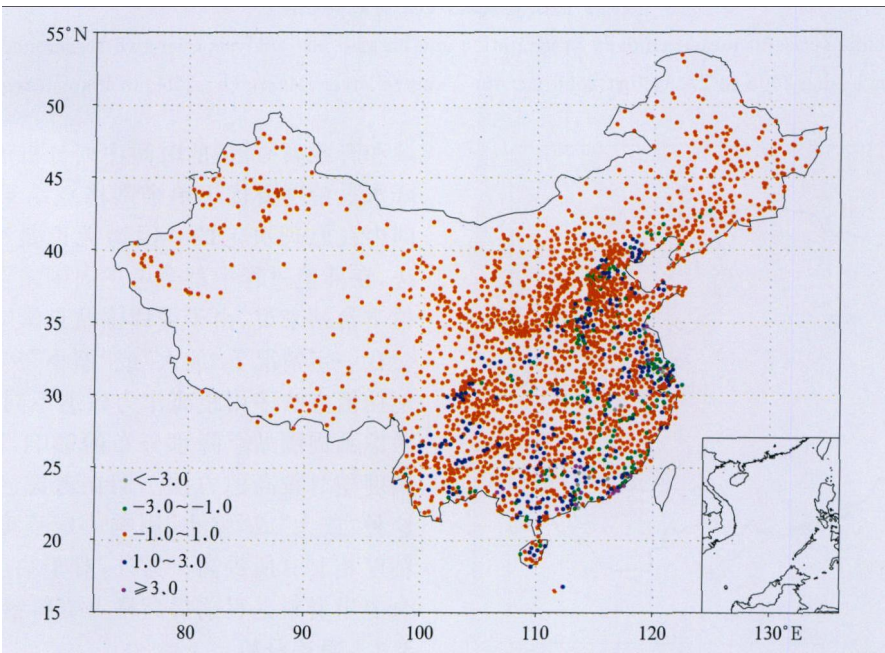


图 7 2008 年 6 月 1 日—7 月 27 日的格点降水量与站点降水量观测值
之间的误差空间分布图 (单位:mm)
Fig. 7 Error spatial distribution between precipitation analysis and its
observations from 1 June 2008 to 27 July 2008 (unit: mm)

表 1 不同误差范围的样本数和所占百分比 (总样本数 943)

Table 1 Sample number and its percentage at each error intervals (total sample number is 943)					
误差范围	<-3.0	-3.0~-1.0	-1.0~1.0	1.0~3.0	≥3.0
样本数	3	45	858	30	7
百分比/%	0.32	4.77	90.99	3.18	0.74

4 小结与讨论

高精度、实时的降水量格点化产品,不仅是天

气、气候模式研究与改进的需要,也是提高灾害性天气监测预警和公共气象服务能力的重要手段。中国逐日格点降水量实时分析系统(V1.0)通过实时获取全国 2419 个台站的日降水量观测数据并对数据

进行了简单的质量控制,在构建气候背景场的基础上,采用最优插值方法,实时生成我国区域逐日降水量格点场。误差分析表明:约 91% 的数据绝对误差小于 1.0 mm/d。该产品能够较好地再现降水落区范围、空间与时间分布特征,在预报、预测与公共服务领域有一定的应用价值。

目前在网站提供下载的产品序列从 2008 年 4 月 1 日起,近 60 年的长序列格点降水量产品正在研制中。近年来,极端降水事件监测和卫星产品检验等工作受到了研究者的普遍关注^[22-26],该资料可以为相关研究提供更加可靠的数据支持。另外,本文介绍的成果是建立实时高分辨率降水产品这一长期计划中的基础和核心部分,未来将考虑订正风对降水量的影响以及发展台站观测降水量与卫星反演降水产品的融合系统。

参 考 文 献

- [1] Vose R S, Schmoyer R L, Steurer P M, et al. The Global Historical Climatology Network: Long-term Monthly Temperature, Precipitation, Sea-level Pressure, and Station Pressure Data. 1992, ORNL:1-325.
- [2] Peterson T C, Vose R S. An overview of the global historical climatology network temperature database. *Bull American Meteor Soc*, 1997, 78(12):2837-2849.
- [3] Hulme M. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general Circulation Models. *Climate Dyn*, 1992, 7(1):57-72.
- [4] Huffman G J, Adler R F, Rudolf B R, et al. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation dataset. *Bull Amer Meteor Soc*, 1997, 78(1):5-20.
- [5] Adler R F, Kidd C, Petty G, et al. Intercomparison of global precipitation products: The Third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3). *Bull Amer Meteor Soc*, 2001, 82(7):1377-1396.
- [6] Xie P, Arkin P A. Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs. *Bull Amer Meteor Soc*, 1997, 78(11):2539-2558.
- [7] Chen M, Xie P, Janowiak J E, et al. Global land precipitation: A 50-year monthly analysis based on gauge observations. *J Hydrometeor*, 2002, 3:249-266.
- [8] 张强,阮新,熊安元.近 57 年我国气温格点数据集的建立和质量评估. *应用气象学报*, 2009, 20(4):385-393.
- [9] 沈艳,熊安元,施晓晖,等.中国 55 年来地面水汽压网格数据集的建立及精度评价. *气象学报*, 2008, 66(2):283-291.
- [10] Barrett E C, Martin D W. *The User of Satellite Data in Rainfall Monitoring*. London: Academic Press, 1981.
- [11] Arkin P A, Ardanuy P E. Estimating climatic-scale precipitation from space: A review. *J Climate*, 1989, 2:1229-1238.
- [12] Daly C, Neilsen R P, Phillips D L. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *J Appl Meteor*, 1994, 33:140-158.
- [13] Xie P P, Yatagai A, Chen M, et al. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. *J Hydrometeor*, 2007, 8:607-626.
- [14] Shepard D. A Two Dimensional Interpolation Function for Irregularly Spaced Data//Proc 23rd National Conf of the Association for Computing Machinery. Princeton, NJ, ACM, 1968:517-524.
- [15] Cressman G P. An operational objective analysis system. *Mon Wea Rev*, 1959, 87(10):367-374.
- [16] Gandin L S. *Objective Analysis of Meteorological Fields*. Israel Program for Scientific Translations, 1965:1-242.
- [17] Chen M Y, Shi W, Xie P P, et al. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *J Geophys Res*, 2008, 113, D04110, doi:10.1029/2007JD009132.
- [18] 王伯民.基本气象资料质量控制综合判别法的研究. *应用气象学报*, 2005, 15(增刊):50-59.
- [19] 刘小宁,鞠晓慧,范邵华.空间回归检验方法在气象资料质量控制中的应用. *应用气象学报*, 2006, 17(1):37-43.
- [20] 中国气象局.地面气象观测数据文件和记录簿表格式.北京:气象出版社, 2005.
- [21] Joyce R J, Janowiak J E, Arkin P A, et al. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J Hydro*, 2004, 5:487-503.
- [22] 蔡敏,丁裕国,江志红.我国东部极端降水时空分布及其概率特征. *高原气象*, 2007, 26(2):309-318.
- [23] 江志红,丁裕国,陈威霖.21 世纪中国极端降水事件预估. *气候变化研究进展*, 2007, 3(4):202-207.
- [24] 孙凤华,杨素英,任国玉.东北地区降水日数、强度和持续时间的年代际变化. *应用气象学报*, 2007, 18(5):610-618.
- [25] 岳彩军,寿亦萱,寿绍文,等.湿 Q 矢量释用技术及其在定量降水预报中的应用. *应用气象学报*, 2007, 18(5):666-675.
- [26] Shen Y, Xiong A, Wang Y, et al. Performance of high-resolution satellite precipitation products over China. *J Geophys Res*, 2010, 115, D02114, doi:10.1029/2009JD012097.

Interpolation Methods of China Daily Precipitation Data

Shen Yan Feng Mingnong Zhang Hongzheng Gao Feng

(*National Meteorological Information Center, Beijing 100081*)

Abstract

Precipitation is one of the most important meteorological factors. Its spatial and temporal distribution is critical in climate diagnostics, numerical models verifications and hydrological models initiation. Substantial progress has been made in the last two decades in quantitatively documenting global precipitation. The development and operation of precipitation analysis products over China are relatively lagging behind other countries. Through the cooperation with the Climate Prediction Center (CPC) affiliated to National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the real-time operational system of daily precipitation analysis over China is established in National Meteorological Information Center (NMIC). Based on the daily precipitation observations of over 2419 gauges, a system with the resolution of $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ is established. It is consisted of four modules: Data obtaining, quality controlling, data processing and products serving. The kernel interpolation algorithm of this system is introduced from the CPC known as the climatological optimal interpolation (OI) method which can reduce the analysis error substantially arising from the large spatial discontinuity of precipitation. Daily climatology is defined for each station as the summation of the first 6 harmonics for the 365-calendar-day time series of the mean daily precipitation, and then climatology fields are created by interpolating the truncated station climatology through the algorithm of Shepard. These fields are then adjusted by the PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model) monthly precipitation climatology data, and the temporal variation patterns in the original daily climatology time series which also reflect orographic effects reasonably are retained. Analyzed fields of the ratio between daily precipitation and climatology are derived by interpolating the corresponding station values through the OI technique. Analyses of total daily precipitation are finally calculated by multiplying the daily climatology with the daily ratio. This system runs stably with reasonable products and users can get the products in three formats after 09:20 everyday on CDC website. It is an integral part of China real-time and fine-resolution precipitation analyses system under construction. Further improvements of the gauge-based analysis will be implemented to correct the bias of wind effects. Collaborations in improving this system by refining the algorithm and merging with the satellite-based precipitation products are welcome.

Key words: precipitation analysis; real-time system; climatology field; optimal interpolation