

郭伟, 刘寿东, 刘绍民, 等. 大孔径闪烁仪观测中的相似理论适用性分析[J]. 高原气象, 2013, 32(4): 944—955, doi: 10.7522/j.issn.1000-0534.2012.00090.

# 大孔径闪烁仪观测中的相似理论适用性分析

郭伟<sup>1-3</sup>, 刘寿东<sup>1</sup>, 刘绍民<sup>2</sup>, 徐自为<sup>2</sup>

(1. 南京信息工程大学 大气环境中心, 江苏 南京 210044; 2. 北京师范大学 遥感科学国家重点实验室/  
地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 3. 福建省气象服务中心, 福建 福州 350001)

**摘要:** 利用 2009 年馆陶站(1—12 月)和阿柔站(1—6 月和 10—11 月)的大孔径闪烁仪 LAS 相关数据, 分析了 LAS 观测中莫宁—奥布霍夫相似理论 MOST 理论的适用性, 并探讨了 MOST 理论适用性的定量判断方法。结果表明: (1)在不稳定条件下, 大尺度涡旋运动、大气湍流发展状况和温度尺度都能对 MOST 理论适用性产生显著影响; (2)确立了两种新的 MOST 理论适用性判断方法, 即因子分析法和温度结构参数法, 并验证了这两种判断方法是合理、可靠的。

**关键词:** 大孔径闪烁仪; 莫宁—奥布霍夫相似理论; 因子分析法; 温度结构参数法

**文章编号:** 1000-0534(2013)04-0944-12 **中图分类号:** P404 **文献标志码:** A

**doi:** 10.7522/j.issn.1000-0534.2012.00090

## 1 引言

感、潜热通量作为反映地—气之间热量与水汽交换强度的重要指标, 影响地—气之间的能量平衡, 为不同尺度的天气系统提供物质、动力和热力来源, 影响地—气之间的水循环过程<sup>[1]</sup>。因此, 有关感、潜热通量的研究在气象、水文、农业和生态等相关领域具有重大意义。

目前传统的地表通量观测方法有许多种, 如涡动相关系统(Eddy—Covariance system, EC)、波文比—能量平衡系统和空气动力学方法等。其中, 涡动相关系统是国际上公认的、最可靠的地表通量观测方法, 但是观测尺度较小, 其空间代表性仅有几十至几百米左右<sup>[2]</sup>。在非均匀下垫面条件下, 若要获得区域尺度的平均感热通量, 需要多套涡动相关系统组成的综合观测网, 实现起来存在诸多困难。大孔径闪烁仪(Large Aperture Scintillometer, LAS), 相对于传统的涡动相关系统, 能够获得区域尺度(几百米到几公里)的平均感热通量。由于 LAS 的观测尺度能较好地匹配卫星像元尺度以及数值天气预报和气候模式的网格尺度, 因此, LAS

的观测值能够作为遥感估算模型、数值天气预报模式和气候模式的像元/网格尺度的地面相对真值, 从而对这些模型/模式进行优化和验证<sup>[3-5]</sup>。正是凭借着这个优势, 近年来 LAS 在国内外众多通量观测试验中都得到了广泛应用<sup>[6]</sup>。

LAS 的观测原理是基于莫宁—奥布霍夫相似理论(Monin—Obukhov Similarity Theory, MOST), 结合观测得到的大气折射指数结构参数  $C_n^2$  和相关的气象数据, 利用与温度结构参数  $C_T^2$  相关的稳定度普适函数  $f_T$ , 得到地表的区域平均感热通量。MOST 理论认为近地层的湍流结构是由几个关键参数决定, 不同的湍流参数和统计特征都可以描述成一个仅含有稳定度参数  $z/L$  的普适函数<sup>[7]</sup>。利用 MOST 理论发展起来的通量估算方法主要有通量—梯度法、通量—方差法和闪烁法。通量—梯度法是利用风速、温度廓线与湍流特征之间的 MOST 理论关系, 发展最早、运用最成熟的通量估算方法, 并且具有观测精度高、适用范围广的优势<sup>[8-9]</sup>。通量—方差法是利用大气湍流的标量(风速、温度等)方差与湍流特征之间的 MOST 理论关系的通量估算方法, 不仅能够充当 MOST 理论适

收稿日期: 2011-10-18; 定稿日期: 2012-03-31

资助项目: 国家自然科学基金重大研究计划“黑河流域生态—水文过程集成研究”重点项目“黑河流域生态—水文过程综合遥感观测试验: 水文气象要素与多尺度蒸散发观测”(91125002); 中央高校基本科研业务费专项; 长江学者和创新团队发展计划

作者简介: 郭伟(1987—), 男, 福建福鼎人, 硕士研究生, 主要从事大气边界层研究。E-mail: guowei7821987@163.com

通讯作者: 刘绍民。E-mail: smliu@bnu.edu.cn

用性的指示器,而且还是 EC 数据质量评价的重要工具<sup>[10-11]</sup>。闪烁法是利用大气的温度结构参数  $C_T^2$  与湍流特征之间的 MOST 理论关系发展起来的通量估算方法,是 LAS 估算大尺度感热通量的理论基石<sup>[12]</sup>。

作为这些通量估算方法的理论基础, MOST 理论并不是适用所有条件<sup>[13]</sup>。Foken<sup>[14]</sup>认为传统的 MOST 理论仅适用于粗糙子层以上的常通量层、稳定度范围  $|\zeta| = |z/L| \leq 1 \sim 2$ 、下垫面水平均匀的条件。然而由于受下垫面覆盖类型、平坦程度、水热状况和天气条件等影响,实际情况很难达到理想的水平均匀假设。近年来,国外有不少研究<sup>[12, 15-20]</sup>关注 MOST 理论在 LAS 观测中的适用性问题,主要集中在非均匀下垫面、大尺度涡旋运动和大气稳定度状况等影响因素的研究。Meijninger et al<sup>[15]</sup>认为“掺混高度”能够解决下垫面的非均匀性造成的 MOST 理论适用性问题。Hoedjes et al<sup>[12]</sup>认为下垫面的非均匀性引起的平流运动是造成近中性条件下 MOST 理论失效的主要原因。其他研究中同样发现了近中性条件下 MOST 理论失效的现象<sup>[16-17]</sup>。Randow et al<sup>[17]</sup>发现不稳定条件下大尺度的涡旋运动能影响 MOST 理论适用性。此外,还有一些学者主要关注不同形式的稳定度普适函数对 LAS 感热通量估算结果的影响<sup>[18-20]</sup>。

近 30 年来,国内有关大气相似理论的研究也得到了较快发展和广泛运用<sup>[21-26]</sup>。马耀明等<sup>[21]</sup>和李英等<sup>[22]</sup>利用青藏高原草甸下垫面的湍流观测资料,证实了均匀下垫面条件下的湍流统计结果符合 MOST 理论关系。胡隐樵等<sup>[23]</sup>、张强等<sup>[24]</sup>、李萍阳等<sup>[25]</sup>和王丙兰等<sup>[26]</sup>分别利用城市、农田、森林和草地下垫面的湍流观测资料,分析发现局地相似理论在复杂下垫面有较强的适用性。目前国内的大气相似理论研究主要集中于风、温度廓线和湍流方差的相似性关系,然而有关闪烁法中的温度结构参数与湍流特征之间的相似性研究较少。

MOST 理论适用性的判断通常需要同 EC 的观测结果进行对比<sup>[10]</sup>,可通过绘制以稳定度参数  $z/L$  为横坐标,相关的实测值和理论值为纵坐标的散点图来判断 MOST 理论的适用性<sup>[12]</sup>。但是这种直观、定性的散点图判断方法在 LAS 数据处理过程中的可操作性较差。因此,需要有定量的方法来解决 LAS 数据处理中 MOST 理论适用性的判断问题。为了制定合理的 MOST 理论适用性定量判断方法,需要解决几个关键的问题:如何定量 MOST

理论的适用性程度? MOST 理论适用性的影响因素有哪些?只有解决了这些问题,才能保证 MOST 理论适用性判断方法的可行性,从而达到提高数据质量的目的。因此,本文利用 2009 年馆陶站(1—12 月)和阿柔站(1—6 月和 10—11 月)的 LAS 相关数据,分析 LAS 观测中的 MOST 理论适用性情况,探索有关 LAS 数据处理中的 MOST 理论适用性定量判断方法。

## 2 研究区域概况和资料处理

### 2.1 研究区域概况

馆陶站( $36^{\circ}30'54''N$ ,  $115^{\circ}07'39''E$ )位于河北省馆陶县河寨村,其观测场及周围下垫面为农田,包括冬小麦、玉米和棉花,其中冬小麦与玉米为轮作,冬小麦生长期为 10 月至次年 6 月,玉米生长期为 6—10 月,棉花生长期为 5—10 月,属于典型的华北平原农田下垫面。LAS 源区内冬小麦(玉米)面积约占 45%,棉花约占 47%。8 月农田植株达到最大株高,平均株高约为 1.4 m。观测仪器包括 LAS(Kipp & Zonen 公司生产)、涡动相关系统(CSAT3, LI 7500)和自动气象站 AWS 等。LAS 的发射仪和接收仪为南北向放置,光径长度为 2 760 m,有效高度为 15.6 m。EC 和 AWS 位于 LAS 光程路径的中点处,其中 EC 架高 15.6 m, AWS 观测的项目包括风场、温度、湿度、降水量、气压与向下(上)长(短)波辐射,同时还有近地层辐射温度、土壤热通量(0.02 m)、8 层土壤温度(0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 和 1.0 m)、7 层土壤水分(0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 和 1.0 m)等。

阿柔站( $38^{\circ}02'40''N$ ,  $100^{\circ}27'53''E$ )位于黑河上游的河谷地区,其观测场及周围下垫面为典型的高山草地,较为平坦。源区内的植被株高在生长旺季能达到 0.2~0.3 m。观测仪器包括 LAS(Scintec 公司生产, BLS450)、EC 和 AWS 等。该站 LAS 的发射仪和接收仪为东北—西南向放置,光径长度为 2 390 m,有效高度为 9.5 m。EC 和 AWS 位于 LAS 光程路径的中点处,其中 EC 架高 3.15 m, AWS 观测的项目包括风场、温度、湿度、降水量、气压与向下(上)长(短)波辐射,同时还有近地层辐射温度、土壤热通量(0.05 m 和 0.15 m)、6 层土壤温度(0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2 和 1.6 m)、6 层土壤水分(0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2 和 1.6 m)等。

## 2.2 资料处理

选取 2009 年馆陶站(1—12 月)和阿柔站(1—6 月和 10—11 月)的 LAS、EC 和 AWS 数据。在分析 LAS 数据的 MOST 理论适用性之前,对 EC 和 LAS 数据进行初步处理。EC 的观测数据需要从原始测量的 10 Hz 数据出发,采用英国爱丁堡大学发展的 EdiRe 软件对观测数据进行后处理,主要包括野点值的剔除、延迟时间的校正、超声虚温转化为空气温度、坐标旋转(平面拟合法)和空气密度效应的修正(即 WPL 修正)等<sup>[27]</sup>。

对 LAS 观测数据首先进行初步筛选:(1)剔除大气折射指数结构参数  $C_n^2$  达到饱和的数据(馆陶站和阿柔站的饱和阈值分别为  $5.34 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$  和  $7.25 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$ )<sup>[28]</sup>;(2)剔除降雨时的数据;(3)剔除解调信号强度较小的数据(馆陶站信号值  $\text{Demod} < -5 \text{ mv}$ ,阿柔站信号值  $X < 50$ )。其次,由初步处理得到的  $C_n^2$  经过湿度订正,得到温度结构参数  $C_T^2$ ,再结合相关气象数据(风速、温度等)、下垫面状况(零平面位移  $d$  和动力学粗糙度  $z_{0m}$ )以及大孔径闪烁仪架设的有效高度  $z_{\text{LAS}}$ ,经过大气稳定度的判断,选取相应的稳定度普适函数  $f_T$ ,经过迭代计算得到 30 min 的区域平均感热通量。数据处理过程中,大气稳定度符号考虑采用两层梯度空气温度差作为判断标准。其他计算过程(如  $C_T^2$  的湿度订正、 $d$ 、 $z_{0m}$  和  $z_{\text{LAS}}$  等)详见文献<sup>[29]</sup>。

需要说明的是,本文并没有对稳定度范围作限制,是为了探寻 MOST 理论在更大稳定度范围的适用情况。

## 3 MOST 理论适用性的判断方法

大孔径闪烁仪的 MOST 理论适用性判断研究,要解决的核心问题是 MOST 理论适用性程度的量化问题。目前,Foken et al<sup>[11]</sup>利用方差法对局部尺度(EC 观测尺度)的 MOST 理论适用性状况进行量化。本文建立了两种新的方法,即温度结构参数法和因子分析法,用于解决区域尺度(LAS 观测尺度)MOST 理论适用性的量化判断问题。

### 3.1 方差法

方差法是利用近地层的某一湍流标量  $x$  的标准差  $\sigma_x$ (或方差  $\sigma_x^2$ )与湍流特征之间符合 MOST 理论的函数关系发展起来的,其形式为<sup>[10]</sup>

$$\frac{\sigma_x}{x_*} = \varphi_x(\zeta), \quad (1)$$

其中: $x$  可代表空气温度  $T$ 、水平风速  $u$ 、垂直风速

$w$  和绝对湿度  $q$  等,若  $x$  为  $u$  或  $w$  时, $x_*$  取摩擦速度  $u_*$ ;若  $x$  为  $T$  或  $q$  时, $x_*$  则取温度尺度  $T_*$  或湿度尺度  $q_*$ ; $\varphi_x(\zeta)$  是稳定度  $\zeta = (z-d)/L$  的普适函数, $z$  为观测高度, $d$  为零平面位移, $L$  为莫宁—奥布霍夫长度。

当  $\zeta < 0$  时,与温度  $T$  相关的稳定度普适函数  $\varphi_T(\zeta)$  的形式为

$$\varphi_T(\zeta) = c_{T1}(1 - c_{T2}\zeta)^c, \quad (2)$$

其中: $c_{T1}$  和  $c_{T2}$  为半经验常数,通常由试验资料得到。Bruin et al<sup>[10]</sup>给出的经验常数为  $c = -1/3$ ,  $c_{T1} = 2.9$ ,  $c_{T2} = 28.4$ 。Panofsky et al<sup>[30]</sup>给出的经验常数则为  $c = -1/2$ ,  $c_{T1} = 5$ ,  $c_{T2} = 16$ 。而当  $\zeta > 0$  时, $\varphi_T(\zeta)$  的形式差异比较大。Bruin et al<sup>[10]</sup>认为, $\varphi_T(\zeta) = 2.9$ 。Pahlow et al<sup>[31]</sup>则认为, $\zeta > 0$  时的函数形式为

$$\varphi_T(\zeta) = 3 + 0.05\zeta^{-1}. \quad (3)$$

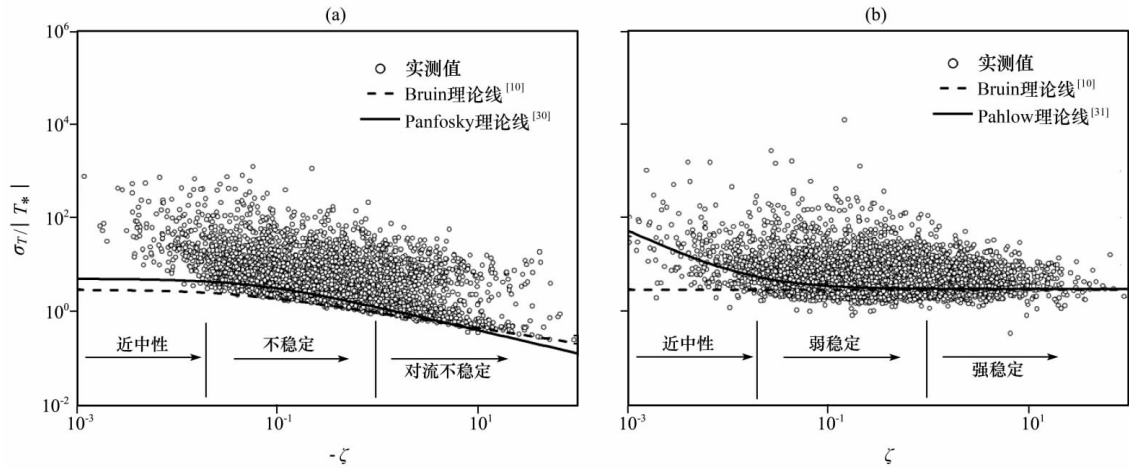
为了比较不同形式  $\varphi_T(\zeta)$  的适用性,利用 2009 年馆陶站资料绘制了  $\sigma_T/|T_*|$  实测值和理论函数线与稳定度  $\zeta$  关系的散点图(图 1),图 1 中 Bruin 理论线、Panofsky 理论线和 Pahlow 理论线分别表示 Bruin et al<sup>[10]</sup>、Panofsky et al<sup>[30]</sup> 和 Pahlow et al<sup>[31]</sup>在不同稳定度条件下得到的理论曲线。从图 1 中可以看出,大部分实测值符合 Panofsky et al<sup>[30]</sup> 和 Pahlow et al<sup>[31]</sup> 的函数关系。因此,本文采用 Panofsky et al<sup>[30]</sup> 和 Pahlow et al<sup>[31]</sup> 的形式作为理论函数。该图还能反映方差法的 MOST 理论适用性的情况,若  $\sigma_T/|T_*|$  实测值与理论值的离散程度越小,则表示 MOST 理论的适用性越好;反之越差。为了定量描述方差法中实测值的离散程度,Foken et al<sup>[11]</sup>引入了一个离散参数  $\text{ITC}_\sigma$ ,即:

$$\text{ITC}_\sigma = \left| \frac{(\sigma_T/|T_*|)_{\text{model}} - (\sigma_T/|T_*|)_{\text{measurement}}}{(\sigma_T/|T_*|)_{\text{model}}} \right|, \quad (4)$$

其中: $(\sigma_T/|T_*|)_{\text{model}}$  为理论值; $(\sigma_T/|T_*|)_{\text{measurement}}$  为实测值。同理,温度方差  $\sigma_T^2$  也可用离散参数  $\text{ITC}$  表示  $\sigma_T^2/T_*^2$  实测值与理论函数  $\varphi_T^2(\zeta)$  的离散程度。由于 EC 和 LAS 之间观测尺度的差异,方差法并不一定适用于 LAS 观测中的 MOST 理论适用性判断。因此,本文还需对比方差法与温度结构参数法来研究方差法充当 LAS 观测中 MOST 理论适用性判断方法的可行性。

### 3.2 温度结构参数法

LAS 通过观测得到的大气折射指数结构参数  $C_n^2$ ,结合相关的气象数据,经过湿度订正得到温度

图 1  $\sigma_T / |T_*|$  实测值、理论函数线与稳定度  $\zeta$  的关系(a)  $-\zeta$ , (b)  $\zeta$ Fig. 1 The relationship between  $\sigma_T / |T_*|$  measured value, theory function line and  $\zeta$ 

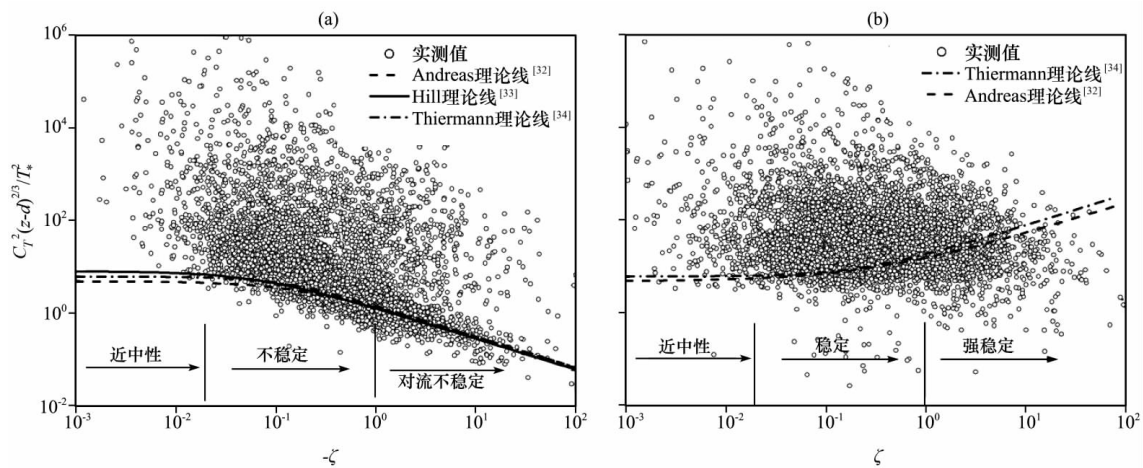
结构参数  $C_T^2$ , 并基于  $C_T^2$  与湍流特征之间存在的 MOST 理论关系, 利用稳定度普适函数  $f_T$  迭代得到近地层的区域平均感热通量。图 2 为利用 2009 年馆陶站数据绘制  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值和理论函数  $f_T$  与稳定度  $\zeta$  的关系, 通过实测值与  $f_T$  之间的离散程度来评价 LAS 数据的 MOST 理论适用性, 其中  $T_*$  和  $L$  是由 EC 观测得到<sup>[12]</sup>。

图 2 中 Andreas 理论线、Hill 理论线和 Thiermann 理论线分别表示 Andreas<sup>[32]</sup>、Hill et al<sup>[33]</sup> 和 Thiermann et al<sup>[34]</sup> 在不同稳定度条件下得到的  $f_T$  理论曲线。从图 2 中可以看出, 当  $\zeta < 0$  时,  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值结果更符合 Hill et al<sup>[33]</sup> 的  $f_T$  函数线, 其形式为

$$C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2 = f_T = 8.1(1-15\zeta)^{-2/3}. \quad (5)$$

而当  $\zeta > 0$  时, 实测值基本不满足 Andreas<sup>[32]</sup> 和 Bruin et al<sup>[10]</sup> 的  $f_T$  函数形式, 说明此时的 MOST 理论适用性较差。造成该现象的主要原因有: 一方面, 稳定边界层的常通量层高度随着稳定度的增大而降低, 使观测高度大于常通量层, 从而导致 MOST 理论失效<sup>[35]</sup>; 另一方面, 稳定边界层存在独有的中尺度运动特征, 诸如冷空气下沉、低空急流和重力波等, 也能影响 MOST 理论的适用性。基于稳定边界层结构的复杂性以及客观条件的限制, 本文对  $\zeta > 0$  时的 MOST 理论适用性状况不作分析。

利用散点图的离散关系来判断 MOST 理论适用性情况, 无法满足数据质量控制的需要。为此, 本文借鉴方差法中的离散参数  $ITC_e$  定义, 引入一

图 2  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值、理论函数线与稳定度  $\zeta$  的关系(a)  $-\zeta$ , (b)  $\zeta$ Fig. 2 The relationship between  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  measured values, theory function line and  $\zeta$

一个新的温度结构参数法离散参数  $D_{f_T}$  来描述 LAS 观测中 MOST 理论适用性情况, 即:

$$D_{f_T} = \left| \frac{f_T - C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2}{f_T} \right|. \quad (6)$$

当  $D_{f_T}$  越小时, 即  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值与  $f_T$  理论值之间的离散程度越小, 则 LAS 数据的 MOST 理论适用性越好; 反之越差。

需要指出的是, 这里的  $D_{f_T}$  不仅可以定量描述 LAS 数据的 MOST 理论适用性程度, 还可以直接充当 MOST 理论适用性判断方法的评价指标。

### 3.3 方差法的局限性和因子分析法

为了判断方差法是否适用于 LAS 观测中的 MOST 理论适用性判断, 这里利用馆陶站数据绘制不稳定条件下方差法离散参数 ITC 和温度结构参

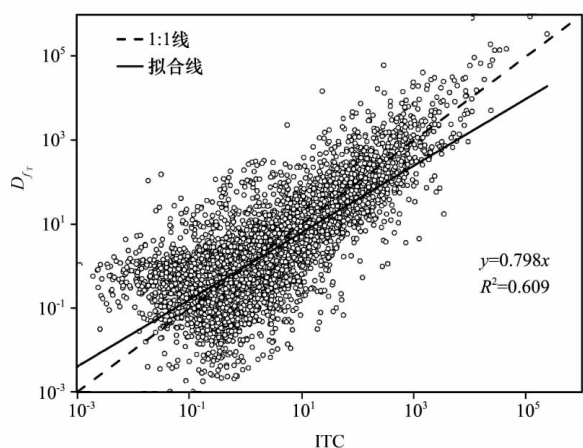


图 3 不稳定条件下方差法离散参数 ITC 与温度结构参数法离散参数  $D_{f_T}$  的关系

Fig. 3 The relationship between discrete parameter ITC variance method and discrete parameter  $D_{f_T}$  temperature structure parameter method under the unstable condition

数法离散参数  $D_{f_T}$  的关系(图 3)进行分析。从图 3 中可以看出,  $D_{f_T}$  随着 ITC 的增大而增大, 存在一定的线性关系, 相关性较高。这说明方差法能够在一定程度上描述 LAS 观测中 MOST 理论的适用性情况。然而, 当  $ITC_\sigma < 1$  时, 温度结构参数法中  $C_T^2 \cdot (z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值仍出现部分离散现象(图 4)。这说明方差法同样存在局限性, 并不能完全描述 LAS 的 MOST 理论适用性状况。

因此, 解决方差法的局限性还需结合相关 MOST 理论适用性的影响因子(如下垫面的非均匀性、大尺度涡旋运动和大气湍流发展状况)的量化分析, 并在此基础上得到 MOST 理论适用性判断方法, 这里称为因子分析法。因子分析法是利用影响 MOST 理论适用性的关键参数( $ITC_\sigma$ 、 $r_{wT}$ 、 $TT$  和  $T_*$ )作为指标, 旨在排除 LAS 观测中存在的大尺度涡旋运动、大气湍流发展状况等影响 MOST 理论适用性的因子, 从而最终提高 LAS 观测数据的质量。

## 4 MOST 理论适用性的影响因子分析

MOST 理论成立的一个重要假设就是下垫面要求水平均匀。但是理想的下垫面条件, 在现实中是很难达到的。尤其是对于 LAS 长期的、区域尺度的通量观测而言, 其下垫面状况极易受降水、云等自然因素影响, 不可避免会出现水热分布不均状况。已有学者通过引入了“掺混高度”的概念和修正稳定度普适函数的方法, 来解决 MOST 理论在非均匀下垫面适用性的问题, 并证实是确实可行的<sup>[15, 36]</sup>。这里以 2009 年馆陶站观测数据为例, 分

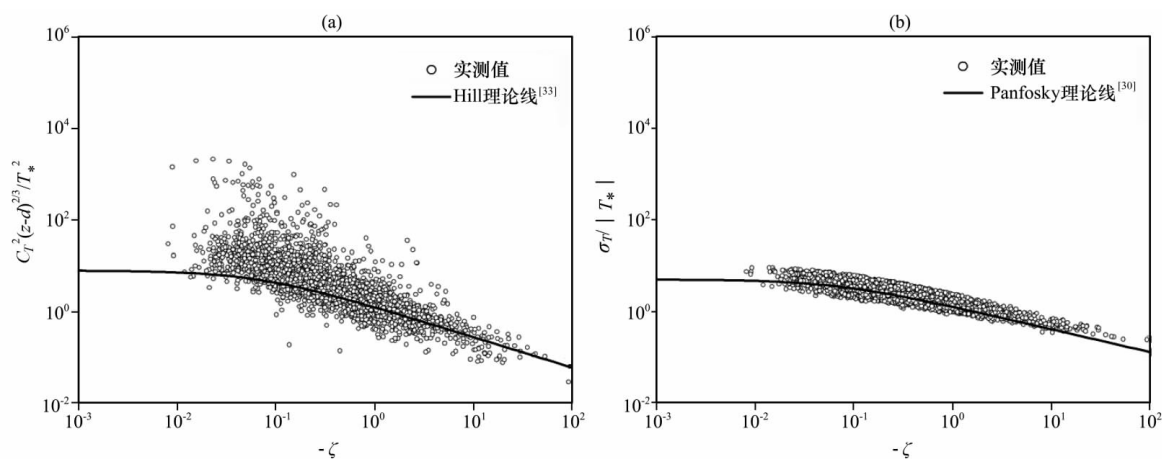
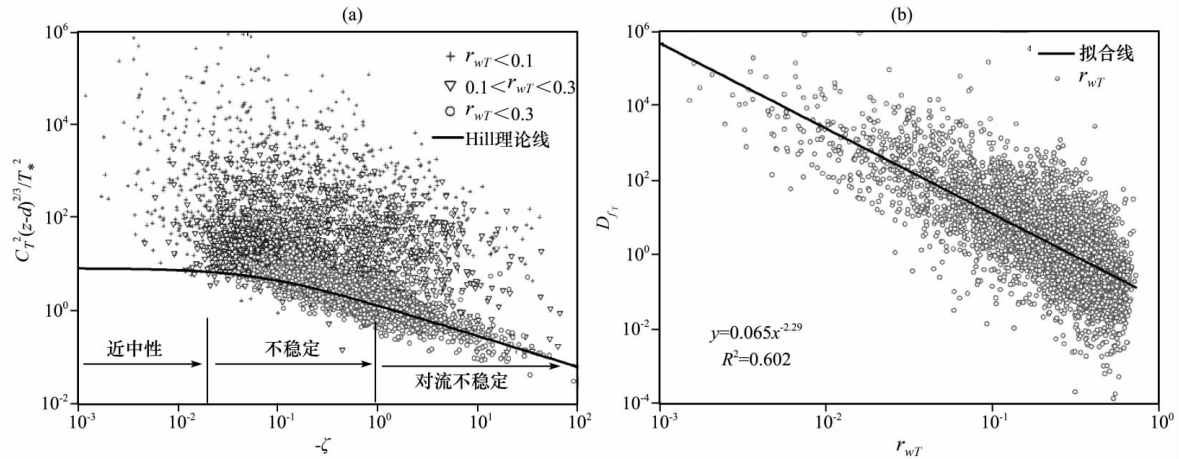


图 4 当  $ITC_\sigma < 1$  时,  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值(a)、 $\sigma_T/|T_*|$  实测值(b)和理论函数线与稳定度  $\zeta(\zeta < 0)$  的关系

Fig. 4 The relationship between  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  measured value (a),  $\sigma_T/|T_*|$  measured value (b), theory function line and  $\zeta(\zeta < 0)$  when  $ITC_\sigma < 1$

图 5  $r_{wT}$  对 MOST 理论适用性的影响(a)  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  与  $-\zeta$  的关系, (b)  $r_{wT}$  与  $D_{fT}$  的关系Fig. 5 The effect of  $r_{wT}$  on the applicability of MOST. (a) relationship between $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  and  $-\zeta$ , (b) relationship between  $r_{wT}$  and  $D_{fT}$ 

析不稳定条件下大尺度涡旋运动和大气湍流发展状况对 LAS 观测中 MOST 理论适用性的影响。

#### 4.1 大尺度涡旋运动

近地层的大气湍流不仅包括小尺度涡旋, 还包括大尺度涡旋和非均匀性引起的局地环流等大尺度涡旋运动<sup>[37]</sup>。这些大尺度涡旋运动是由边界层高度  $z_i$  和边界层对流速度尺度  $w_*$  参数决定的, 也称之为大气低频运动。Tillman<sup>[38]</sup> 发现大尺度涡旋运动能造成湍流方差的莫宁——奥布霍夫相似性变弱。Randow et al<sup>[17]</sup> 认为垂直速度和温度的相关系数  $r_{wT}$  可充当大尺度涡旋运动的指示器, 发现  $r_{wT}$  越小时, 大尺度涡旋运动越活跃, 造成 LAS 观测中的 MOST 理论适用性越差。

利用  $r_{wT}$  对大尺度涡旋运动的指示器作用, 来说明大尺度涡旋运动对 MOST 理论适用性的影响。图 5a 是根据  $r_{wT}$  的不同取值范围 ( $r_{wT} < 0.1$ ,  $0.1 < r_{wT} < 0.3$  和  $r_{wT} > 0.3$ ) 得到  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值与稳定度  $\zeta$  的关系。从图 5a 中可以看出, 当  $r_{wT} < 0.1$  时,  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值离散程度最大,  $0.1 < r_{wT} < 0.3$  时次之,  $r_{wT} > 0.3$  时最小。从  $r_{wT}$  与  $D_{fT}$  的关系 (图 5b) 可以看出,  $r_{wT}$  与  $D_{fT}$  之间存在负指数关系。这说明大尺度涡旋运动对 MOST 理论适用性的影响较为显著。当大尺度涡旋运动越活跃, 即  $r_{wT}$  越小时, LAS 观测中的 MOST 理论适用性越差; 反之则越好。

#### 4.2 大气湍流发展状况

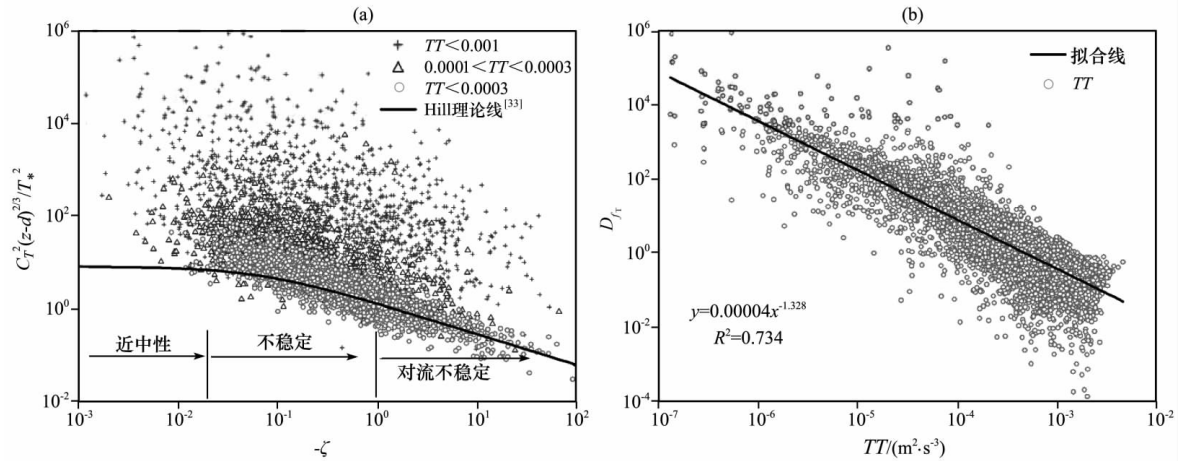
大气湍流发展状况主要受浮力和风切变两个因素共同作用的影响。白天不稳定边界层, 浮力机制

起作用, 便会产生热力湍流。当风切变加强时, 剪切机制起作用, 便会产生机械湍流。当浮力产生的热力湍流起主导作用, 大气处于自由对流状态; 当热力湍流作用很小或几乎为零时, 机械湍流起主导作用, 大气将处于近中性或中性层结。常用稳定度参数  $\zeta$  来描述大气的稳定状况, 即:

$$\zeta = \frac{z-d}{L} = -(z-d) \times \frac{k \left( \frac{g}{T} \right) \overline{w'T'}}{u_*^3}, \quad (7)$$

其中:  $k$  为卡曼常数;  $g$  为重力加速度;  $\overline{w'T'}$  为温度垂直脉动量, Franssen et al<sup>[39]</sup> 认为可用  $k(g/T) \overline{w'T'}$  (简称  $TT$ ) 代表湍流发展中的热力因子;  $u_*$  代表风切变产生的动力因子。这里主要分析热力因子  $TT$  和动力因子  $u_*$  对 LAS 观测中的 MOST 理论适用性的影响。

图 6a 是根据热力因子  $TT$  的取值范围 ( $TT < 0.0001 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$ ,  $0.0001 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3} < TT < 0.0003 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$  和  $TT > 0.0003 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$ ) 得到的  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值与稳定度  $\zeta$  的关系。从图 6a 中可以看出, 当热力因子较小 ( $TT < 0.0001 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$ ) 时,  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值离散程度最大; 当热力作用加强 ( $0.0001 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3} < TT < 0.0003 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$ ) 时, 离散程度稍微减小; 当热力作用较大 ( $TT > 0.0003 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$ ) 时, 离散程度最小。从  $TT$  与  $D_{fT}$  之间存在负指数关系 (图 6b), 这说明湍流热力因子对 LAS 观测中的 MOST 理论适用性的影响同样显著。当热力湍流越强时, 即  $TT$  越大时, LAS 的 MOST 理论适用性越好; 反之则越差。

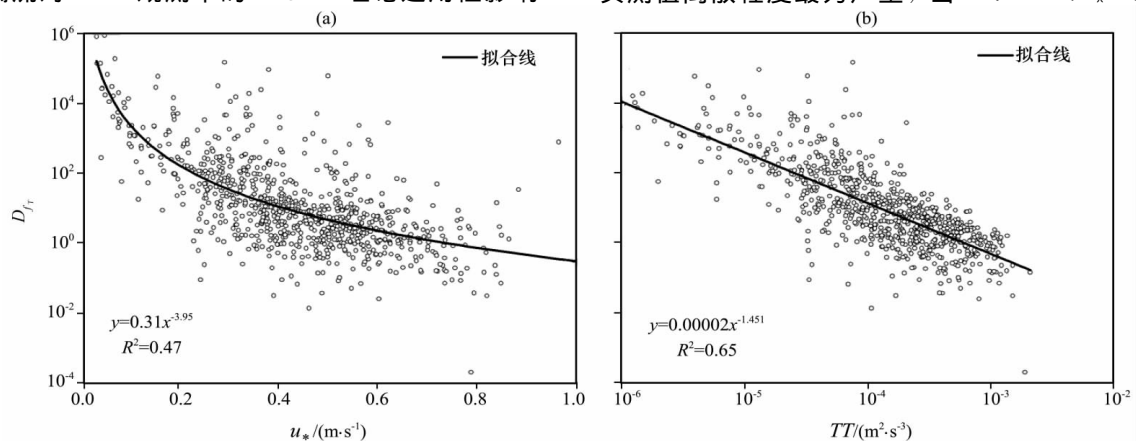
图 6  $TT$  对 MOST 理论适用性的影响(a)  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  与  $-z\zeta$  的关系, (b)  $TT$  与  $D_{f_T}$  的关系Fig. 6 The effect of  $TT$  on the applicability of MOST. (a) relationship between  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  and  $-z\zeta$ , (b) relationship between  $TT$  and  $D_{f_T}$ 

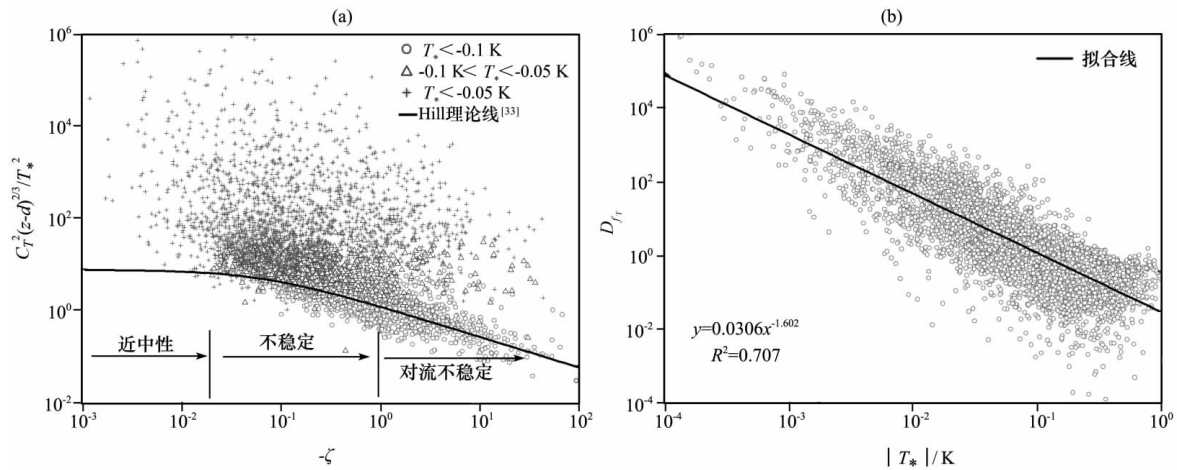
由图 6a 可知, 近中性条件下 ( $-0.062 < \zeta < 0$ ),  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值离散程度开始加剧, 热力湍流对 LAS 的 MOST 理论适用性影响开始减弱。虽然近中性条件下,  $TT$  与  $D_{f_T}$  之间还存在负指数关系 (图 7b), 但两者之间的相关性减小 (由 0.732 减小到 0.65)。与此同时, 剪切作用对湍流的贡献开始加强, 且逐渐占据主导地位。动力因子  $u_*$  与离散参数  $D_{f_T}$  之间从整个不稳定范围内的无相关性, 到近中性条件下存在一定程度的负指数关系, 这也说明近中性条件下机械湍流对 LAS 观测中的 MOST 理论适用性有一定影响, 而在不稳定和对流不稳定时影响较小或可忽略。

近中性条件下, LAS 观测结果容易出现系统性高估现象。这是因为大气处于近中性层结时, 除了机械湍流对 LAS 观测中的 MOST 理论适用性影响

外, 摩擦速度  $u_*$  本身对 LAS 观测结果的敏感性也较大 [18]。此外, 近中性条件下大尺度涡旋运动除了通过解调作用产生的机械湍流对 MOST 理论适用性影响外, 其自身也对 MOST 理论适用性极为敏感 (见 4.1 节的分析结果)。因此, 近中性条件下大尺度涡旋运动和湍流发展状况等综合作用, 将造成 LAS 观测中 MOST 理论的不适用现象。

Hoedjes et al [12] 认为, 温度尺度  $T_*$  数值大小对 LAS 观测结果影响显著, 尤其是在近中性条件下  $T_*$  较小时, 容易造成感热通量的高估。图 8a 是根据  $T_*$  的取值范围 ( $T_* < -0.1$  K、 $-0.1$  K  $< T_* < -0.05$  K 和  $T_* > -0.05$  K) 得到的  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值与稳定度  $-z\zeta$  的关系。从图 8a 中可以看出, 当  $T_* > -0.05$  K 时,  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  实测值离散程度最为严重; 当  $-0.1$  K  $< T_* < -0.05$

图 7 近中性条件下  $u_*$  (a)、 $TT$  (b) 与  $D_{f_T}$  的关系 ( $-0.062 < \zeta < 0$ )Fig. 7 The relationship between  $u_*$  (a),  $TT$  (b) and  $D_{f_T}$  under near-neutral condition ( $-0.062 < \zeta < 0$ )

图 8  $T_*$  对 MOST 理论适用性的影响(a)  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  与  $-\zeta$  的关系, (b)  $T_*$  与  $D_{f_T}$  的关系Fig. 8 The effect of  $T_*$  on the applicability of MOST. (a) the relationship between  $C_T^2(z-d)^{2/3}/T_*^2$  and  $-\zeta$ , (b) relationship between  $T_*$  and  $D_{f_T}$ 

K 时, 离散程度稍微减小; 当  $T_* < -0.1$  K 时, 离散程度最小。从  $|T_*|$  与  $D_{f_T}$  的关系(图 8b)可以看出,  $|T_*|$  与  $D_{f_T}$  存在负指数关系, 这充分证实了  $|T_*|$  对 LAS 观测中的 MOST 理论适用性影响显著, 即当  $|T_*|$  越大时, LAS 的 MOST 理论适用性越好; 反之则越差。

## 5 MOST 理论适用性判断方法的验证

### 5.1 MOST 理论适用性判断方法的评价等级

温度结构参数法的评价等级是根据  $D_{f_T}$  的不同取值范围制定的。因子分析法的评价等级则是根据 MOST 理论适用性影响因子的关键参数 ( $ITC_\sigma$ 、

$r_{wT}$ 、 $TT$  和  $T_*$ ) 的不同取值范围制定的。以 2009 年馆陶站数据为例, 表 1 和表 2 分别为温度结构参数法和因子分析法的评价等级分类, 并统计得到相应的样本平均  $D_{f_T}$ 、样本数和样本百分比情况。从表 1 和表 2 中可以看出, 等级 1 为 MOST 理论适用性最好的数据, 等级 2 次之, 依次递减。对比分析表 1 和表 2 可知, 温度结构参数法得到的样本平均  $D_{f_T}$  和样本数都优于因子分析法, 并且简单、易于操作; 因子分析法的结果较差, 且不同参数取值范围的组合复杂, 不易于操作。然而, 因子分析法从 MOST 理论适用性的影响因子出发, 通过控制几个关键参数的取值范围来评价 LAS 数据 MOST 理论

表 1 温度结构参数法的评价等级 ( $\zeta < 0$ )Table 1 Evaluation grades of the temperature structure parameter method ( $\zeta < 0$ )

等级	$D_{f_T}$	平均 $D_{f_T}$	样本数/个	样本百分比/%
1	$<1$	0.378	3 123	49.8
2	$<2$	0.598	3 965	63.3
3	$<3$	0.744	4 308	68.7
4	$<5$	0.939	4 587	73.2

注: 有效总样本数为 6 268 个, 平均  $D_{f_T}$  为统计样本的  $D_{f_T}$  平均值, 样本百分比表示统计样本数占有效总样本数的百分比

表 2 因子分析法的评价等级 ( $\zeta < 0$ )Table 2 Evaluation grades of the factor analysis method ( $\zeta < 0$ )

等级	$ITC_\sigma$	$r_{wT}$	$TT/(m^2 \cdot s^{-3})$	$T_*/K$	平均 $D_{f_T}$	样本数/个	样本百分比/%
1	$<1$	$>0.1$	$>0.0003$	$<-0.1$	0.547	3 001	47.9
2	$<1$	$>0.1$	$>0.0003$	$<-0.05$	0.754	3 731	59.5
3	$<2$	$>0.1$	$>0.0001$	$<-0.05$	0.877	4 063	64.8
4	$<2$	$>0.1$	$>0.0001$	$<-0.03$	0.993	4 217	67.3

注: 说明同表 1



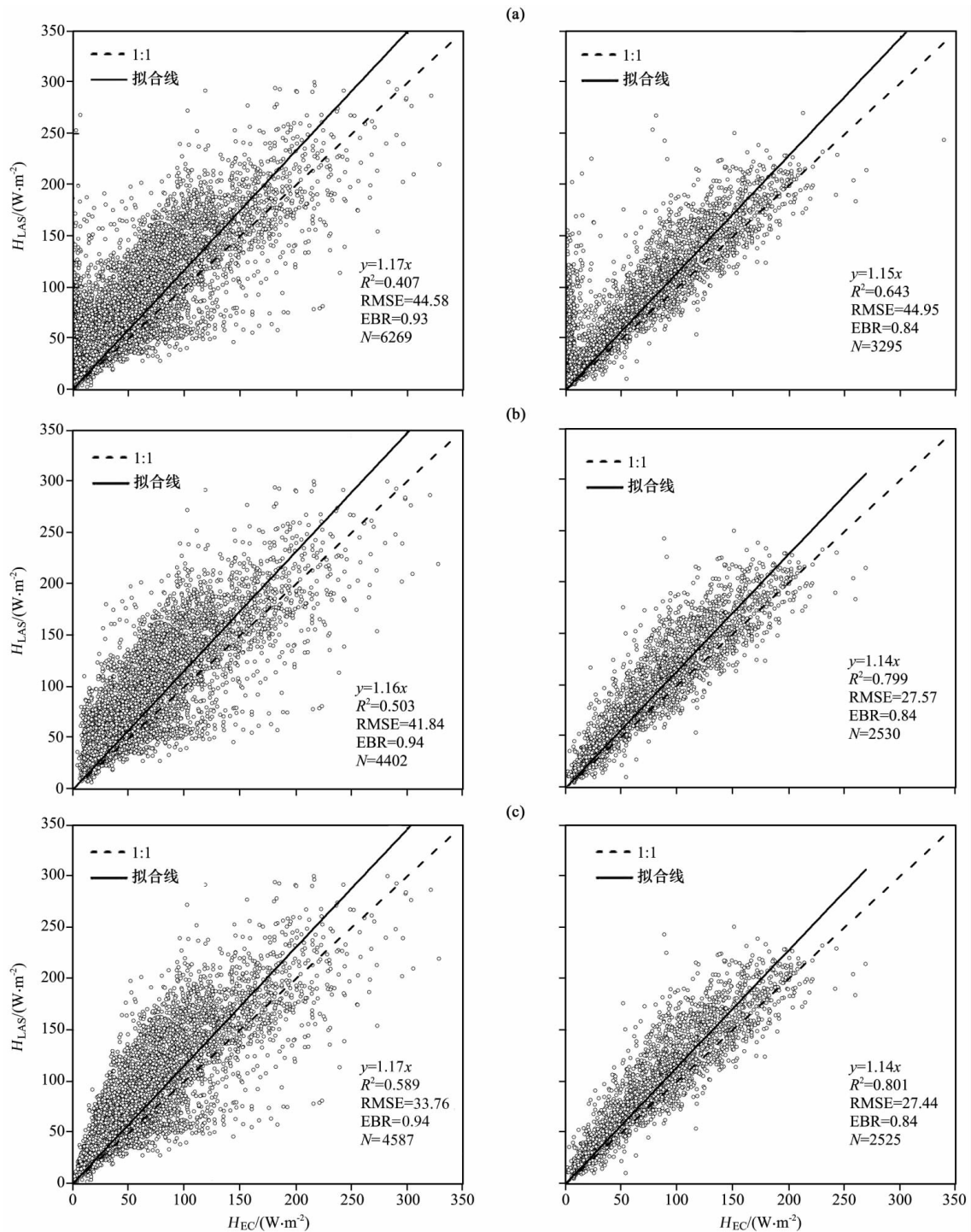


图 9 2009 年馆陶站(左)、阿柔站(右)数据绘制的 LAS 与 EC 感热通量的关系

(a) 未经 MOST 理论适用性判断方法, (b) 经过因子分析法等级 4 判断,

(c) 经过温度结构参数法等级 4 判断, N 为样本数, EBR 为能量闭合率

Fig. 9 The relationship of sensible heat flux between LAS and EC at Guantao station (left) and Arou station (right) in 2009. (a) assessment method without MOST applicability, (b) assessment by factor analysis method evaluation classification 4, (c) assessment by temperature structure parameter method evaluation classification 4. N is sample number, EBR is energy balance rate

适用性状况, 具有较为明确的物理意义, 这些都是温度结构参数法所不具备的。此外, 温度结构参数

法的评价结果比较依赖于稳定度普适函数  $f_T$  的选取。

综合比较以上两种方法的优缺点得出: 温度结构参数法在选择合理  $f_T$  的前提下, 适用于常规 LAS 数据处理中的 MOST 理论适用性判断; 而因子分析法适用于基础理论研究, 如稳定度普适函数  $f_T$  的确定。

## 5.2 MOST 理论适用性判断方法的验证

为了保证 MOST 理论适用性判断方法在 LAS 数据处理中的合理性和可靠性, 需要对其判断后的结果进行验证。由于能量闭合问题是造成 EC 观测结果不确定性的主要因素<sup>[40]</sup>, 因此在验证 LAS 数据 MOST 理论适用性判断方法时, 还考虑 EC 的能量闭合问题。这里的能量闭合率 EBR 是通过(感热通量+潜热通量)与(净辐射-土壤热通量)之间的比值来确定<sup>[41]</sup>。图 9 为 2009 年馆陶站(1—12 月)和阿柔站(1—6 月和 10—11 月)数据绘制的 LAS 与 EC 感热通量的关系。从图 9 中可以看出, 经过 MOST 理论适用性判断的 LAS 数据, 在相关系数  $R^2$  和均方根误差 RMSE 都有较大改善, 数据质量得到提高; 因子分析法和温度结构参数法都可适用于不同类型下垫面(馆陶站为农田下垫面, 阿柔站为草地下垫面)和不同 LAS 型号(馆陶站为 Kipp & Zonen, LAS; 阿柔站为 Scintec, BLS450)。结果验证了两种 MOST 理论适用性判断方法在实际 LAS 数据处理中是合理、可靠的。

## 6 结论与讨论

本文以 2009 年馆陶站(1—12 月)和阿柔站(1—6 月和 10—11 月)的 LAS 相关数据, 对 LAS 观测中的 MOST 理论适用性情况以及 LAS 数据处理中的 MOST 理论适用性判断方法进行了初步分析, 得到以下主要结论:

(1) 大尺度涡旋运动和大气湍流发展状况对 LAS 观测中的 MOST 理论适用性有显著影响。当大尺度涡旋运动越活跃( $r_{wT}$  越小)时, MOST 理论适用性越差; 反之则越好。不稳定条件下, 热力湍流越强( $TT$  较大), MOST 理论适用性越好; 反之则越差。近中性条件下, 大尺度涡旋运动、湍流发展状况等综合作用下, 造成 LAS 观测中的 MOST 理论不适用现象。

(2) 确定了两种 LAS 数据处理中的 MOST 理论适用性判断方法, 即温度结构参数法和因子分析法。综合比较这两种方法的优缺点, 认为温度结构参数法适用于常规 LAS 数据处理, 因子分析法较适用于基础理论研究。验证结果证实了两种方法

都能一定程度提高了 LAS 观测结果的数据质量。

非均匀下垫面 LAS 观测结果的可靠性是众多学者最为关注的问题。虽然非均匀下垫面 LAS 观测中确实存在 MOST 理论适用性的问题, 但是本文的研究结果也发现了若采用相应的 MOST 理论适用性判断后, 剔除 LAS 观测中不满足 MOST 理论的数据, 可在一定程度上提高观测数据质量。卢俐等<sup>[42]</sup>指出, LAS 是根据电磁波传播路径上的闪烁间接测量湍流通量的, 而引起光闪烁的最活跃的涡旋是尺度较小的涡旋, 它们易于和局地地形达到平衡, MOST 理论成立的限制可能较小。Meijninger et al<sup>[15]</sup>认为, 考虑通量源区影响后, 非均匀下垫面的 LAS 观测结果是可靠的。Kanda et al<sup>[36]</sup>认为, 城市下垫面 LAS 观测中采用修正的稳定度普适函数, 也能得到较为可靠的感热通量。因此, 非均匀下垫面的 LAS 观测虽受到一定的限制, 但若进行必要的数据处理和分析等过程, 其最后的观测结果仍然是可靠的。

尽管 LAS 观测技术已得到长足发展, 但仍存在一些问题。特别是 MOST 理论在非近地层(稳定边界层、粗糙子层)适用性以及复杂下垫面观测等问题仍需要更加深入的试验和研究。

## 参考文献:

- [1] 胡非, 湍流、间歇性与大气边界层[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 160.
- [2] 艾力·买买提明, 何清, 霍文, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地 LAS 和 EC 观测感热通量对比分析[J]. 地球科学进展, 2010, 25(11): 1228—1236.
- [3] Marx A, Kunstmann H, Schüttemeyer D, et al. Uncertainty analysis for satellite derived sensible heat fluxes and scintillometer measurements over Savannah environment and comparison to mesoscale meteorological simulation results[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148(4): 656—667.
- [4] 何延波, Su Zhongbo, Jia Li, 等. SEBS 模型在黄淮海地区地表能量通量估算中的应用[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1092—1100.
- [5] 贾贞贞, 刘绍民, 毛德发, 等. 基于地面观测的遥感监测蒸散量验证方法研究[J]. 地球科学进展, 2010, 25(11): 1248—1260.
- [6] 刘绍民, 李小文, 施生锦, 等. 大尺度地表水热通量的观测、分析与应用[J]. 地球科学进展, 2010, 25(11): 1113—1127.
- [7] Moraes O L L, Acevedo O, Martins C A, et al. Analyzing the Validity of Similarity Theories in Complex Topographies [M]//Borrego C, Norman A L, eds. Air Pollution Modeling and Its Application XVII. US: Springer, 2007: 608—614.
- [8] Molder M, Grelle A, Lindroth A, et al. Flux-profile relationships over a boreal forest-roughness sublayer corrections[J].

- Agricultural and forest meteorology, 1999, 98: 645—658.
- [9] Simpson I J, Thurtell G W, Neumann H H, et al. The validity of similarity theory in the roughness sublayer above forests [J]. Bound-Layer Meteor, 1998, 87(1): 69—99.
- [10] Bruin D, Kohsiek H W, Hurk B. A verification of some methods to determine the fluxes of momentum, sensible heat, and water vapour using standard deviation and structure parameter of scalar meteorological quantities [J]. Bound-Layer Meteor, 1993, 63(3): 231—257.
- [11] Foken T, Gockede M, Mauder M, et al. Post-field data quality control [M]//Lee X, Massman M, Law B, eds. Handbook of Micrometeorology. A Guide for Surface flux Measurement and Analysis. Boston: Kluwer Academic, 2004: 181—208.
- [12] Hoedjes J C B, Zuurbier R M, Watts C J. Large aperture scintillometer used over a homogeneous irrigated area, partly affected by regional advection [J]. Bound-Layer Meteor, 2002, 105(1): 99—117.
- [13] 刘红年, 刘罡, 蒋维楣, 等. 关于非均匀下垫面大气边界层研究的讨论 [J]. 高原气象, 2004, 23(3): 412—416.
- [14] Foken T. 50 years of the Monin-Obukhov similarity theory [J]. Bound-Layer Meteor, 2006, 119(3): 431—447.
- [15] Meijninger W M L, Hartogensis O K, Kohsiek W, et al. Determination of area-averaged sensible heat fluxes with a large aperture scintillometer over a heterogeneous surface-Flevoland field experiment [J]. Bound-Layer Meteor, 2002, 105(1): 37—62.
- [16] Hoedjes J C B, Chehbouni A, Ezzahar J, et al. Comparison of large aperture scintillometer and eddy covariance measurements: Can thermal infrared data be used to capture footprint-induced differences [J]. J Hydrometeorology, 2007, 8(2): 144—159.
- [17] Randow V, Kruijt C B, Holtslag A A M, et al. Exploring eddy-covariance and large-aperture scintillometer measurements in an Amazonian rain forest [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148(4): 680—690.
- [18] Asanuma J, Iemoto K. Measurements of regional sensible heat flux over Mongolian grassland using large aperture scintillometer [J]. J Hydrometeorology, 2007, 333(1): 58—67.
- [19] Savage M J. Estimation of evaporation using a dual-beam surface layer scintillometer and component energy balance measurements [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(3-4): 501—517.
- [20] Zhang X D, Jia X H, Yang J Y, et al. Evaluation of MOST functions and roughness length parameterization on sensible heat flux measured by large aperture scintillometer over a corn field [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(9): 1182—1191.
- [21] 马耀明, 马伟强, 胡泽勇. 青藏高原草甸下垫面湍流强度相似性关系分析 [J]. 高原气象, 2002, 21(5): 514—517.
- [22] 李英, 李跃清, 赵兴炳. 青藏高原东坡理塘地区近地层湍流特征研究 [J]. 高原气象, 2009, 28(4): 745—753.
- [23] 胡隐樵, 张强. 论大气边界层的局地相似性 [J]. 大气科学, 1993, 17(1): 10—20.
- [24] 张强, 胡隐樵. 局地相似性在近地面层大气中的一个应用 [J]. 气象学报, 1994, 52(2): 212—222.
- [25] 李萍阳, 蒋维楣. 局地相似性理论在林地及林木湿地下垫面塔层中的应用研究 [J]. 高原气象, 2002, 21(4): 421—426.
- [26] 王丙兰, 胡非, 程雪玲, 等. 边界层局地相似理论在草原下垫面的适用性检验 [J]. 高原气象, 2012, 31(1): 28—37.
- [27] 徐自为, 刘绍民, 宫丽娟, 等. 涡动相关仪观测数据的处理与质量评价研究 [J]. 地球科学进展, 2008, 23(4): 357—370.
- [28] Ochs G R, Wilson J J. A second-generation large aperture scintillometer [R]. NOAA Technical Memoranda ERL ETL-232, NOAA Environmental Research Laboratories, Boulder, CO USA, 1993: 24.
- [29] 白洁, 刘绍民, 丁晓萍, 等. 大孔径闪烁仪观测数据的处理方法研究 [J]. 地球科学进展, 2010, 25(11): 1148—1165.
- [30] Panofsky H A, Dutton A. J Atmospheric Turbulence: Models and Methods for Engineering Applications [M]. New York: John Wiley and Sons, 1984: 397.
- [31] Pahlow M, Parlange M B, Porte A F. On Monin-Obukhov similarity in the stable atmospheric boundary layer [J]. Bound-Layer Meteor, 2001, 99(2): 225—248.
- [32] Andreas E L. Estimating Cn2 over snow and sea ice from meteorological data [J]. Journal of the Optical Society of America A, 1988, 5(4): 481—495.
- [33] Hill R J, Ochs G R. Surface-layer similarity of the temperature structure parameter [J]. J Atmos Sci, 1992, 49(15): 1348—1353.
- [34] Thiermann V, Grassl H. The measurement of turbulent surface-layer fluxes by use of bichromatic scintillation [J]. Bound-Layer Meteor, 1992, 58(4): 367—389.
- [35] Mahrt L. Stratified atmospheric boundary layers and breakdown of models [J]. Theoretical and computational fluid dynamics, 1998, 11(3): 263—279.
- [36] Kanda M, Moriwaki R, Roth M, et al. Area-averaged sensible heat flux and a new method to determine zero-plane displacement length over an urban surface using scintillometry [J]. Bound-Layer Meteor, 2002, 105(1): 177—193.
- [37] Randow V, Kruijt C B, Holtslag A A M. Low-frequency modulation of the atmospheric surface layer over Amazonian rain forest and its implication for similarity relationships [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 141(2-4): 192—207.
- [38] Tillman J. The indirect determination of stability, heat and momentum fluxes in the atmospheric boundary layer from simple scalar variables during dry unstable conditions [J]. J Appl Meteor, 1972, 11: 783—792.
- [39] Franssen H J H, Stockli R, Lehner I, et al. Energy balance closure of eddy-covariance data: A multisite analysis for European FLUXNET stations [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(12): 1553—1567.
- [40] Liu S, Xu Z, Wang W, et al. A comparison of eddy-covariance and large aperture scintillometer measurements with respect to the energy balance closure problem [J]. Hydrology and Earth

System Sciences, 2011, 15: 1291–1306.

2002, 113(1-4): 223–243.

[41] Wilson K, Goldstein A, Falge E, et al. Energy balance closure at FLUXNET sites[J]. Agricultural and Forest Meteorology,

[42] 卢俐, 刘绍民, 孙敏章, 等. 大孔径闪烁仪研究区域地表通量的进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(9): 932–938.

## Analysis on the Applicability of Similarity Theory in Large Aperture Scintillometer Observations

GUO Wei<sup>1-3</sup>, LIU Shou-dong<sup>1</sup>, LIU Shao-min<sup>2</sup>, XU Zi-wei<sup>2</sup>

(1. Yale-NUIST Center on Atmospheric Environment, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. State Key Laboratory of Remote Sensing Science/School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Meteorological Services Center of Fujian, Fuzhou 350001, China)

**Abstract:** LAS (Large Aperture Scintillometer) observational data at Guantao station (from January to December) and Arou station (from January to July and from October to November) in 2009 were used to analyze the applicability of MOST (Monin-Obukhov similarity theory) in LAS observations. The quantitative evaluation method was also discussed. The results show that: (1) The applicability of MOST is significantly influenced by the large-eddy movement, atmospheric turbulence development and temperature scale under unstable condition signally. (2) Two new evaluation methods, such as the factor analysis method and the temperature structure parameter method, are established. The rationality and reliability of these two methods are also proved by the validation results.

**Key words:** Large Aperture Scintillometer; Monin-Obukhov similarity theory; Factor analysis method; Temperature structure parameter method