

新疆戈壁地区近地面大气折射率结构常数观测对比

胡月宏^{1,2}, 艾力·买买提明¹, 宗飞^{1,2}, 霍文¹,
王柯², 何清¹, 封双连²

(1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要: 利用大口径闪烁仪和 QHTP-2 型温度脉动仪对新疆戈壁地区近地面大气折射率结构常数进行对比观测。结果表明:两种仪器测量所得大气折射率结构常数具有较好的相关性,皮尔森相关系数达 0.68。大口径闪烁仪所测结果符合新疆戈壁地区近地面大气湍流强度日变化特征,与温度脉动仪测量结果随时间变化趋势基本一致。两种仪器测量结果在数量级上存在的差异,可能是由测量原理、测量高度、大气稳定状态等因素造成的。

关键词: 大气光学; 大气折射率结构常数; 大口径闪烁仪; 温度脉动仪

文章编号: 1000-694X(2017)06-1237-03

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00098

中图分类号: P425.2

文献标志码: A

0 引言

激光在大气中传输时,大气湍流造成的折射率脉动导致激光波阵面发生畸变,破坏光波的相干性,导致光束产生闪烁、飘移、扩展和抖动等现象,对激光大气传输、自由空间光通讯、天文观测等带来严重影响^[1],而在整层大气中,近地面大气湍流对整层大气湍流起着重要作用。目前,利用各种仪器进行测量是获知近地面大气折射率结构常数的主要方法^[2-3],测量局地大气折射率结构常数可通过折射率脉动法和温度脉动法来进行。利用光学方法获取折射率脉动具有直接性,但还需要进一步改进,而通过测量温度脉动获取折射率脉动是一种间接方法,却是最常用和有效的手段^[4]。

本文利用 2015 年 10 月 20 日至 11 月 15 日在新疆博斯腾湖边的戈壁地区进行的大口径闪烁仪(LAS)和 QHTP-2 型温度脉动仪(MTM)对比试验数据,分析了大口径闪烁仪和温度脉动仪在戈壁地区观测大气折射率结构常数的异同,检验了大口径闪烁仪在戈壁地区观测大气折射率结构常数的适用性。

1 测量原理

1.1 大口径闪烁仪原理

大口径闪烁仪分为发射和接收两部分,发射仪

和接收仪的光学孔径相同,两者相隔一定的距离。当发射仪发出一定波长和直径的波束在大气中传播时,大气温度、湿度和气压波动引起大气密度的波动,进而引起空气折射系数的波动,这个波动再进一步引起光波强度的变化,从而影响接收波束的强度。根据接收到的光强度(I)自然对数的方差($\sigma_{\ln I}^2$)可由下式计算出大气折射率结构常数 C_n^2 ^[5-6]:

$$C_n^2 = 1.12\sigma_{\ln I}^2 D^{7/3} L^{-3} \quad (1)$$

式其: D 为光学孔径(m); L 为发射仪和接收仪之间的距离(m)。

1.2 温度脉动仪原理

由 Kolmogorov 局地均匀各向同性假设可知,在大气湍流的惯性区间内,两点间的结构常数与两点间距离满足“2/3”定律^[7-8],具体表示为:

$$D_n(r) = [n(r_1 + r) - n(r_1)]^2 = C_n^2 r^{2/3} \quad (2)$$

$$D_T(r) = [T(r_1 + r) - T(r_1)]^2 = C_T^2 r^{2/3} \quad (3)$$

式中: $D_n(r)$ 为折射率结构函数; $D_T(r)$ 是温度结构函数; C_T^2 为温度结构常数; C_n^2 为温度结构常数; n 为折射率; T 为温度; r 为空间两点的距离。

大气折射率与气压、温度、水汽压以及波段等有关。在可见光波段,水汽的影响较小,可忽略不计,折射率可由下式给出:

$$n - 1 = 79 \times 10^{-6} p/T \quad (4)$$

可进一步得出 C_n^2 和 C_T^2 之间的关系为:

$$C_n^2 = C_T^2 \times (79.9 \times 10^{-6} \times \frac{P^2}{T^2}) \tag{5}$$

式中： P 为大气压强。

测量地位于新疆博斯腾湖湖边的戈壁滩上。LAS 的发射端和接收端分别安置在距离地面高度约 8 m 左右和 10 m 左右的楼顶上，二者水平距离约 1 000 m。温度脉动仪架设在距 LAS 接收端约 200 m 的测杆上，离地面高度为 9 m。观测场四周除西北方向有低矮建筑物和少量小树外均为开阔地，下垫面为戈壁滩，沙砾碎石土上生长有少量骆驼刺，有利于空气的流动。

2 结果与分析

由图 1 可以看出，两套仪器保持了比较好的工作状态，提供了完整的全天测量数据，大口径闪烁仪与温度脉动仪所测大气折射率结构常数随时间的变化趋势基本一致，均符合新疆戈壁地区 11 月近地面大气湍流强度日变化规律^[8]，即正午前后湍流最强，白天强湍流时段持续时间长达 6~8 h，主要分布在 10:00—18:00；夜间无明显规律但夜间湍流略强于白天；日出及日落时段湍流最弱，日出弱湍流时段主要在 09:00 左右，日落弱湍流时段主要在 19:00 左右。这些均说明了所测数据的可靠性。

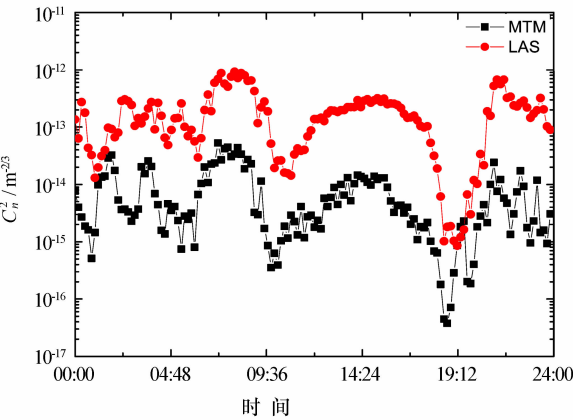


图 1 2015 年 11 月 10 日测量的大气折射率结构常数日变化对比

Fig. 1 Comparison of diurnal variation of atmospheric refractive index structure constant on November 11, 2015

两组测量数据皮尔森相关系数为 0.68。两组测量数据存在一定偏差，LAS 所测大气折射率结构常数值普遍偏大(图 2)，相差近 2 个数量级。

(1) 两者的测量原理不同。大口径闪烁仪测量的是大气湍流引起的光束强度起伏，所用光源是 880 nm 红外光源，强度起伏测量容易受光源本身功

率不稳定的影响，且在强湍流条件下易发生探测器饱和效应；到达角起伏测量容易受抖动频率的影响，成像过散势必影响光斑质心的计算，采样率只能通过延长采样时间、增加数据量来减小偏差。温度脉动仪测量的是空间两点之间的大气温差起伏，易受陆地因素影响，导致测量结果不一致^[9-10]。

(2) 测量路径不完全一致。在实际测量过程中，大口径闪烁仪测量的是路径上的近地面大气折射率结构常数，路径长度为 1 000 m，受保障条件限制，系统呈东(发射端)西(接收端)向布置，由于日出时段的背景光较强，可能导致在 08:00—10:00 的测量结果较大。而温度脉动仪测的是路径上某一点距地面 9 m 高度处的值，这种测量路径不完全一致导致二者的测量结果出现偏差。

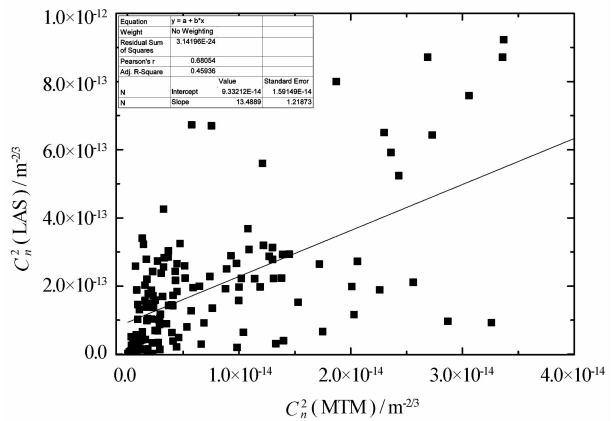


图 2 大气折射率结构常数测量结果拟合关系

Fig. 2 Fitting relationship of the measured result by LAS and MTM

3 结论

在戈壁地区，大口径闪烁仪和温度脉动仪测量的大气折射率结构常数随时间的变化趋势基本一致，均表现出明显的日变化特征，能够反映出近地面大气湍流强度的日变化规律，从而验证了大口径闪烁仪在戈壁地区测量大气折射率结构常数的适用性。两种仪器测量结果在数量级上存在明显差异，大口径闪烁仪测量结果普遍偏大，可能是由测量原理、测量高度、大气稳定状态等因素造成的。想要达到更好的一致性，还需要结合这些干扰因素，做长期大量的观测比对实验。

参考文献：

[1] 饶瑞中. 现代大气光学[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 370.
[2] 吕炜煜, 苑克娥, 胡顺星, 等. 戈壁地区近地面折射率结构常数统计特性分析[J]. 强激光与粒子束, 2015, 27(1): 72—78.

[3] 吴晓庆,王英剑,曾宗泳,等. 一维大气边界层光学折射率结构常数的数值模拟[J]. 强激光与粒子束,2002,14(6):819—822.

[4] Mei H P,Li B S,Huang H L,et al. A piezoelectric optical fiber stretcher for applications in atmospheric optical turbulence sensor[J]. Applied Optics,2007,46(20):4371—4375.

[5] 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.

[6] Kipp & Zonen. Large Aperture Scintillometer Instruction Manual[Z/CD]. Delft, Netherlands;Holland Kipp & Zonen, 2007:41—50.

[7] 宋正方. 应用大气光学基础[M]. 北京:气象出版社,1990:67—70.

[8] 封双连,张志刚,强希文,等. 戈壁地区近地面大气折射率结构常数的统计分析[J]. 强激光与粒子束,2012,24(1):39—42.

[9] 徐安伦,彭浩,董保举. 大口径闪烁仪和涡动相关仪测量大气折射率结构常数的比较[J]. 高原气象,2015,34(4):935—941.

[10] 马晓珊,朱文越,绕瑞中. 测量大气折射率结构常数的大口径激光闪烁仪[J]. 中国激光,2008,35(6):898—902.

Test of Atmospheric Refractive Index Structure Constant near
Ground in Gobi Region of Xinjiang, China

Hu Yuehong^{1,2}, Ali Mamtimin¹, Zong Fei^{1,2}, Huo Wen¹, Wang Ke²,
He Qing¹, Feng Shuanglian²

(1.Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 2.Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: The atmospheric refractive index structure constant near ground in gobi region was measured by using the large aperture scintillometer and the micro-thermal meter at the same time. The results show that there was a good correlation between the values of atmospheric refractive index structure constant by two kinds of instruments with the Pearson correlation coefficient up to 0.68. The measuring result by the large aperture scintillometer can show the diurnal variation character near ground in gobi region, and it was consistent with that by the micro-thermal meter. However, the measured values by the large aperture scintillometer were almost bigger in magnitude than by the micro-thermal meter because of different measurement factors.

Key words: atmospheric optics; atmospheric refractive index structure constant; large aperture scintillometer(LAS); micro-thermal meter