

广州城区冬季大气边界层气溶胶激光雷达探测

刘文彬¹ 伦伟明¹ 邝俊侠¹ 刘建国² 谢品华²

(¹广州市环境监测中心站, 广州 510030; ²中国科学院安徽光学精密机械研究所环境光学与技术重点实验室, 合肥 230031)

摘要 激光雷达是大气边界层气溶胶和云的一个高效探测工具。2010 年 12 月利用 Mie 散射激光雷达对广州城区冬季大气边界层进行系统观测, 分析讨论了测站地域上空大气气溶胶的消光系数垂直分布和时间变化的主要特征。结果表明: 冬季广州大气边界层气溶胶主要分布在 1 100 m 以下区域, 气溶胶分布具有多层结构; 大气边界层高度稳定分布在 500~620 m 左右, 边界层高度日变化不明显; 冬季广州气溶胶源较为稳定并且变化慢; 广州城区气溶胶浓度白天比晚上大, 峰值出现 11:00~14:00 左右, 谷值出现在 20:00 左右。

关键词 激光雷达 气溶胶 边界层 边界层高度

大气边界层 (Planetary Boundary Layer, PBL) 是指大气圈的最低层。其厚度与多种因素有关, 从几百米至 1.5~2.0 km, 平均约为 1 000 m。颗粒物是广州目前一种最重要的空气污染成分, 这种固体颗粒物构成的大气气溶胶主要集中在近地面的大气边界层中, 常形成边界明显的近地面气溶胶层。人类和地球上的生物都生活在大气边界层内, 雾、霾和低空层积云是边界层中的天气现象。在地球表面和自由大气之间的动量、热量和水汽交换中, 大气边界层也扮演着主要角色。进行大气边界层的研究已逐步形成一门独立的分支科学。大气边界层的变化特征, 不仅对于低层大气中气溶胶的垂直输送、光化学反应等大气物理和环境化学过程是重要的, 它对于大气环境质量预报乃至采取改善城市大气环境质量的措施都有重要意义^[1,2]。激光雷达由于其具有精细的空间分辨率、时间上的连续测量和较高的探测精度而成为实时监测大气气溶胶空间分布, 特别是其垂直分布的一种十分有效的手段^[3-7]。本文利用 AGHJ-I-LIDAR 型激光雷达对广州冬季边界层气溶胶进行了探测, 反演得到气溶胶消光系数廓线, 分析讨论了测站地域上空大气气溶胶的消光系数垂直分布和时间变化的主要特征, 以期为研究广州市区冬季边界层气溶胶积累提供参考。

1 激光雷达系统及测量原理

测量采用的激光雷达系统是由中科院安徽光机所制造的 AGHJ-I-LIDAR 型激光雷。该系统具有结构紧凑、稳定、自动化程度高等特点, 可连续、长期地开展对对流层大气气溶胶、云和大气边界层 (PBL) 的结构分布进行探测。对给定波长的激光雷达, 在一次散射的条件下, Mie 散射型激光雷达方程可用公式 (1) 表示:

$$X(z) = P(z) \cdot z^2 = C\beta(z) \exp \left[- \int_0^z 2\sigma(z) dz \right] \\ = C(\beta_a(z) + \beta_m(z)) \exp \left[-2 \int_0^z [\sigma_a(z) + \sigma_m(z)] dz \right] \quad (1)$$

式中:

$P(z)$ ——激光雷达接收探测距离 z (km) 处的大气后向散射回波信号强度 (W);

C ——系统常数 ($W \cdot km^3 \cdot sr$);

$\beta(z), \sigma(z)$ ——距离 z 处大气总的后向散射系数 ($km^{-1} \cdot sr^{-1}$) 和消光系数 (km^{-1});

$\beta_a(z), \sigma_a(z)$ ——距离 z 处气溶胶的后向散射系数 ($km^{-1} \cdot sr^{-1}$) 和消光系数 (km^{-1});

$\beta_m(z), \sigma_m(z)$ ——距离 z 处空气分子的后向散射系数 ($km^{-1} \cdot sr^{-1}$) 和消光系数 (km^{-1})。

上述激光雷达方程的求解方法通常有 2 种, 即 Klett 方法和 Fernald 方法, 本文采用 Fernald^[8] 方法来反演激光雷达数据。

收稿日期: 2011-05-10, 修改稿收到日期: 2011-06-10

$$\alpha_a(z) = -S\alpha_m(z) +$$

$$\frac{X(z)\exp\left[2(S-1)\int_z^{Z_c}\alpha_m(z)dz\right]}{\alpha_a(Z_c)+S\alpha_m(Z_c)} + 2\int_z^{Z_c} X(z)\exp\left[2(S-1)\int_z^{Z_c}\alpha_m(z')dz'\right] dz \quad (2)$$

$$\alpha_a(z) = -S\alpha_m(z) +$$

$$\frac{X(z)\exp\left[-2(S-1)\int_z^{Z_c}\alpha_m(z)dz\right]}{\alpha_a(Z_c)+S\alpha_m(Z_c)} + 2\int_z^{Z_c} X(z)\exp\left[2(S-1)\int_z^{Z_c}\alpha_m(z')dz'\right] dz \quad (3)$$

式中, $S = S_a/S_m$, 其中 S_a 为气溶胶消光后向散射比, 其值随气溶胶浓度、尺度谱分布和化学成分的变化而变化, 本文中取 $S_a = 50 \text{ sr}^{[9]}$; S_m 为大气分子的消光后向散射比, $S_m = 8\pi/3 \text{ sr}$; Z_c 为标定点高度, 可通过选取几乎不含气溶胶粒子的清洁大气层所在的高度来确定, 在此高度上满足气溶胶散射比 $R(Z_c) = \beta_a(Z_c) + \beta_m(Z_c)/\beta_m(Z_c) = 1.01^{[10]}$ 。 $\alpha_a(Z_c)$, $\alpha_m(Z_c)$ 分别为标定点上的气溶胶和大气分子的消光系数。

2 观测结果及分析

2.1 边界层消光系数垂直分布

观测地点位于广州市环境监测中心站, 利用上述反演方法, 本文分别对 2010 年 12 月 27 日、28 日和 30 日 3 个晴天无云的激光雷达数据进行处理和分析, 得到气溶胶消光系数的垂直分布。

图 1 为 2010 年 12 月 27 日、28 日和 30 日不同时刻(6 时、14 时和 23 时)的气溶胶消光廓线。从图中可以看出:

(1) 在任意探测时刻消光系数的极大区均分布在 1 100 m 以下区域;

(2) 与空气分子 Rayleigh 散射消光消光系数随高度的增加而单调递减不同, 在任意探测时刻对流层气溶胶消光系数垂直分布的一个明显特点是具有多层结构, 大体上可分为大气边界层和对流层; 27 日 14 时、23 时消光廓线在 1 800~2 300 m 高度内, 28 日 6 时、14 时、23 时消光廓线在 1 500~1 800 m 高度内, 30 日 6 时、14 时、23 时消光廓线在 1 300~2 200 m 高度内均存在浓度较大的气溶胶层。层内的气溶胶消光系数变大, 这反映了气溶胶浓度垂直分布的复杂性。

(3) 三日大气边界层高度均稳定分布在 500~600 m 左右, 边界层高度日变化不明显。

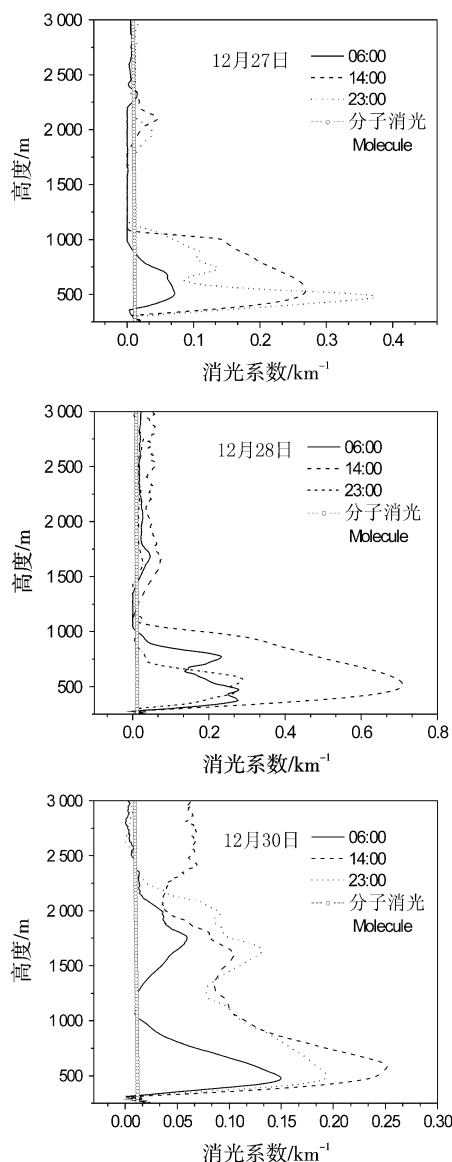


图 1 2010 年 12 月 27 日、28 日和 30 日不同时刻的气溶胶消光系数廓线

(4) 27 日、28 日 3 个探测时刻, 从边界层顶往上气溶胶浓度随高度降低, 在 1 100 m 左右气溶胶消光系数与空气分子消光系数交汇, 对流层上部的大气较为干净。与 27 日、28 日不同, 30 日 23 时气溶胶消光系数在 2 300 m 才与分子消光系数交汇。而 14 时气溶胶消光系数在 3 000 m 以内始终都大于分子消光系数; 这表明该日对流层内大气并不干净, 富集着一定数量的气溶胶粒子。

2.2 消光系数时空渲染图

图 2 为 2010 年 12 月 27 日、28 日和 29 日的消光系数时空分布图, 探测时间间隔为 6 min, 3 d 共获

得 720 条气溶胶消光系数廓线, 为了清楚的看出这些气溶胶消光系数廓线的时间演变特征, 利用这 720 条廓线画出彩色图。图中纵轴表示高度, 横轴表示时间, 不同的颜色表示不同的消光系数数值大小, 蓝色表示消光系数最小, 红色表示消光系数最大。消光系数时空分布图从整体上反应了气溶胶的变化过程。从图中可以看出:

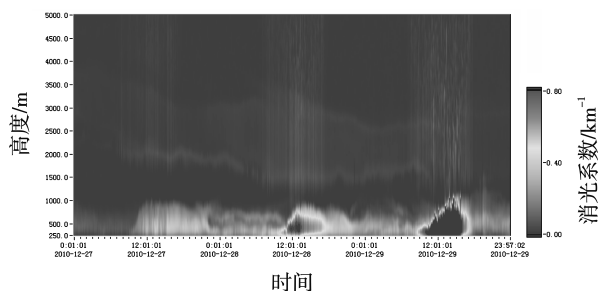


图 2 消光系数时空渲染

(1) 冬季广州城市气溶胶分布变化不明显, 表明气溶胶源较为稳定并且变化慢。可能与测站所处环境有关, 因测站位于广州市市中心, 附近都是交通主干道, 汽车尾气、路面扬尘、工业生产都是气溶胶的主要来源。

(2) 中午气溶胶浓度总是很大, 总体上白天的污染大于夜间。

2.3 测站处消光系数的时空分布

以激光雷达测量最低点的消光系数代表测站处消光系数, 把不同时刻的最低点消光系数按照时间顺序分布, 得到消光系数的时间分布图(见图 3)。

从图 3 中可以看出: 消光系数每天呈现周期性变化, 整体上白天的消光系数大于夜间。峰值出现 11:00~14:00 左右, 谷值出现在 20:00 左右。消光系数的变化特征主要取决于污染源的变化以及城市大气边界层内气象要素的变化。6:00~10:00 出现的消光系数高值, 原因可能是上班高峰期车辆逐渐增多, 交通排放污染物浓度升高; 然后城市开始出现交通堵塞状况, 车辆低速行驶导致化石燃料不完全燃烧, 颗粒物逐渐累积后出现峰值; 经过消散和沉降, 颗粒物浓度逐渐降低后出现谷值。

3 结论

利用 Mie 散射激光雷达对广州城区冬季大气边

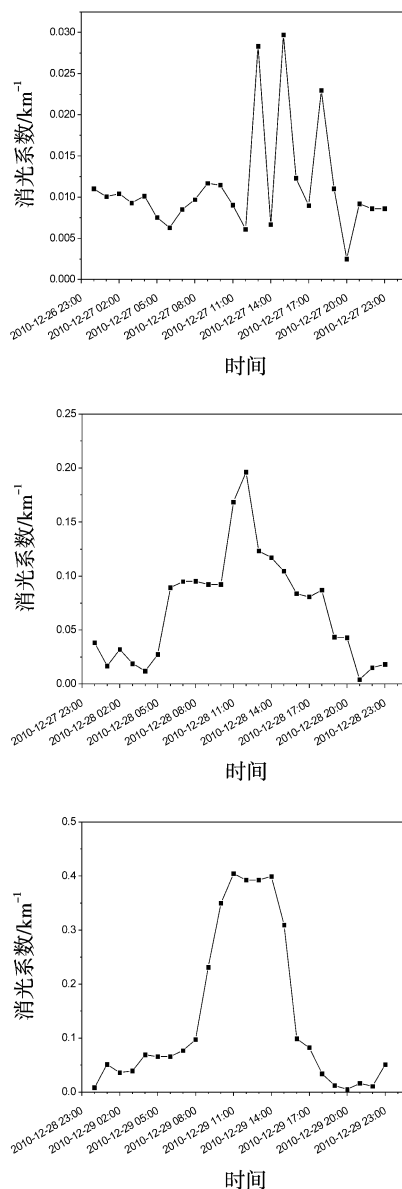


图 3 消光系数时间分布

界层进行系统观测, 分析了测站地域上空大气气溶胶的消光系数垂直分布和时间变化的主要特征, 得出以下结论:

(1) 冬季广州大气边界层气溶胶主要分布在 1 100 m 以下区域, 气溶胶分布具有多层结构, 大体可分为大气边界层和对流层。

(2) 大气边界层高度稳定分布在 500~600 m 左右, 边界层日变化不明显。

(3) 冬季广州气溶胶源较为稳定并且变化慢。

(4) 广州城区因交通引发的气溶胶占很大比重, 气溶胶浓度每天呈现周期变化, 峰值出现在

11:00~14:00左右,谷值出现在20:00左右。

4 参考文献

- [1] 周秀骥,陶善昌,姚克亚,等. 高等大气物理[M]. 北京:气象出版社,1990:226-230.
- [2] 赵鸣,苗曼倩. 大气边界层[M]. 北京:气象出版社,1992:1-18.
- [4] McElroy J L, Smit h T B. Lidar descriptions of mixed layer thickness characteristics in a complex terrain/coastal environment[J]. J. A pl. Meteor., 1990, 30:585-597.
- [5] Hoff R M, Harwood M, Sheppard A, et al. Use of airborne lidar to determine aerosol sources and movement in t he Lower Fraser Valley (LFV), BC[J]. Atmospheric Environment, 1997, 31 (14): 2123-2134.

- [6] 周军,岳古明,戚福弟,等. 大气气溶胶光学特性激光雷达探测[J]. 量子电子学报,1998,15(2):138-145.
- [7] 白宇波,石广玉,田村耕一,等. 拉萨上空大气气溶胶光学特性的激光雷达探测[J]. 大气科学,2000,24(4):559-567.
- [8] Fernald F G. Analysis of atmospheric lidar observation: some comments[J]. Appl. Opt., 1984, 23:652-653.
- [9] Takamura T, Sasano Y. Ratio of aerosol backscatter to extinction coefficient s as determined from angular scattering measurements for use in atmospheric lidar applications[J]. Optical and Quantum Electronics, 1987, 19 :293-302.
- [10] Sasano Y. Tropospheric aerosol extinction coefficient profiles derived from scanning lidar measurement over Tsukuba, Japan, from 1990 to 1993[J]. Appl. Opt., 1996, 35:4941-4952.

PBL Aerosol Monitoring by Lidar over Guangzhou in Winter

Liu Wenbin Lun weiming Kuang Junxia Liu Jianguo Xie Pinhua

Abstract Lidar is a more effective device in monitoring the planetary boundary layer(PBL) aerosol and cloud. The systematic observational results over Guangzhou in Dec 2010 were obtained by using Mie scattering lidar. The spatial-temporal characteristics of aerosol extinction coefficient in PBL are analyzed and discussed. The results indicate that the aerosol mainly distributes within 1 100 m over Guangzhou in winter, and its distribution has a multi-layer structure. The PBL locates stably at 500~620 m, without obvious diurnal change. The sources of aerosol are stable and change slowly. The aerosol density is heavier at daytime than at night, and its peak value appears at 11:00~14:00, while its valley value appears at 20:00.

Key words lidar aerosol PBL PBL height

(上接第6页)

点,从而确保数据按时上报。亚运前期,全市进行了3次数据上报流程演习,不断对报送程序进行完善。

4 广州亚运水环境质量保障监测系统应用及实施效果

亚运水监测系统每天提供了大量监测数据,并广泛应用于亚运水环境质量保障。通过监测,向亚运期间每日专家会商提供了最新的监测数据,为各种有针对性的水保障措施出台提供了最直接的资

料;向各级部门报送综合分析报告,及时发布各类水环境质量信息;为涉水场地、河道的水质改善整治提供了第一手的技术支撑,确保亚运期间水质达到要求。

经过了“两个亚运”的实践,亚运水监测系统顺利地完成了亚运水环境质量保障任务,监测数据及时、全面、准确地反映了亚运水环境质量状况,满足各级部门的使用需求,为亚运期间全面实现水环境质量保障目标提供有力的技术支撑。

Establishment and Application of Water Environment Quality Security Monitoring System for Guangzhou Asian Games

Wang Yujun Dong Tianming Chen Hongzhan Zhang qianhua

Abstract Environmental monitoring is important in ensuring the water quality requirements of Guangzhou Asian Games. In this paper, the pressure of Guangzhou Asian Games on water quality, and the difficulty in environmental monitoring are analyzed. The water quality protection monitoring system is introduced in aspects of monitoring links, ideas, composition and characteristics. The effects of system are discussed.

Key words Guangzhou Asian Games monitoring system establishment and application