

## 激光雷达组网观测济宁市大气污染变化特征

李峰<sup>1</sup>, 林晶晶<sup>2</sup>, 云杰<sup>3</sup>, 张帅<sup>4\*</sup>, 王贺<sup>5</sup>, 张海<sup>4</sup>, 陶宗明<sup>6</sup>

1. 山东省济宁市生态环境局, 山东 济宁 272004
2. 山东省生态环境监测中心, 山东 济南 250013
3. 呼和浩特市生态环境监控中心, 内蒙古 呼和浩特 010010
4. 合肥中科光博量子科技有限公司, 安徽 合肥 230088
5. 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029
6. 解放军陆军炮兵防空兵学院基础部, 安徽 合肥 230031

**摘要** 大气气溶胶通过直接效应影响到达地表的辐射量以及间接效应影响云的生消和降水等过程, 还因其含有的各种有毒物质颗粒, 影响城市能见度, 导致霾过程频发, 而这些颗粒进入人体会对人体健康造成一定危害。利用济宁市 2018 年—2019 年期间多台气溶胶激光雷达的垂直观测廓线数据与区域空气质量监测数据, 分析了不同大气污染过程中的颗粒物时空演变特征。结果显示, 济宁市夏季的细粒子污染存在一定的区域差异性, 主要呈现两种日变化特征。一种是部分区域在夜间消光强, 白天消光弱, 主要是因为夜间受到湿度偏大与污染源排放叠加的影响; 另一种是部分区域白天消光相对较强且整体无明显日变化特征, 原因在于周围污染源较少且受人工湖的影响。此外, 近地面气溶胶消光系数变化显示辰欣制药站与金马酒店站附近颗粒物浓度相对更高。沙尘观测结果显示, 济宁市的沙尘天气多出现于 4 月和 5 月, 沉降过程中颗粒物浓度可高达平时浓度的 5 倍。同时对比扫描观测结果显示, 局地污染的轮廓无规则、范围小、突发且消光很强, 而大范围污染过程则轮廓面积大且其消光逐渐增大。

**关键词** 激光雷达; 气溶胶; 沙尘; 大气污染; 变化特征

**中图分类号:** O433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)11-3467-09

### 引言

近年来, 随着经济与城市化的快速发展, 社会各界对环境空气质量和气象要素的关注越来越多, 其中对大气污染的监测与防治已成为大气环境领域的重要研究内容<sup>[1]</sup>。早期监测主要是利用地面空气站设备围绕 PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO 和 O<sub>3</sub> 这六个参数进行, 虽然其准确性较高, 但时空分辨率较差, 只能获得小范围的监测结果; 基于卫星观测<sup>[2]</sup>及地面观测数据插值处理的方法在时效性和精细化方面存在短板, 无法获取大气污染物的立体时空分布特征。

随着遥感技术的发展, 激光因其拥有良好的准直性、较高时间分辨率、较高的垂直分辨率等众多特点被越来越多的应用于大气污染监测和污染溯源等方面<sup>[3-5]</sup>。基于米散射技术原理的气溶胶激光雷达通过对回波信号的反演获得的气溶

胶消光系数与颗粒物浓度<sup>[3]</sup>有密切关联, 可以反映大气的污染程度; 退偏振比与气溶胶粒子不规则程度的关联, 可以反映大气污染物的粒子特征; 也因其具备全天候观测能力, 越来越多的被应用于大气污染物监测与溯源之中<sup>[4]</sup>, 进而为颗粒物日变化特征和分析污染的发生、发展与消亡过程<sup>[5]</sup>等研究提供帮助, 最终为大气污染治理提供有效的数据支撑。

由于激光雷达结构与原理的复杂性与精密性, 在利用多台激光雷达一同观测时, 其结果的一致性十分重要。2018 年周红根等利用多个地区激光雷达及探空资料, 分析了江苏地区一次沙尘天气过程, 阐述了激光雷达在大气污染物观测中的重要作用<sup>[6]</sup>。对于多台雷达综合观测方面, 我国众多地区已先后开展了各种观测及应用。本工作利用 2018 年—2019 年济宁市多台气溶胶激光雷达的联合观测结果与本地的空气质量监测站的观测结果, 分析了不同污染情景下的变化特征, 同时结合多台雷达与气象观测分析了污染过程的传输与

收稿日期: 2021-06-30, 修订日期: 2021-09-02

基金项目: 中国科学院重点部署项目(KFZD-SW-320)和安徽省重点研究与开发计划项目(1804a0802196)资助

作者简介: 李峰, 1967 年生, 山东省济宁市生态环境局高级工程师 e-mail: lifeng96920@163.com

\* 通讯作者 e-mail: zhangshuai@gbqtech.com

演变。

## 1 实验部分

### 1.1 研究区域与仪器

济宁市位于山东省西南部(115°52′—117°36′, 34°26′—35°57′),属于暖温带季风气候,四季分明。春季易旱多风,回暖较快;夏季多偏南风,高温多雨;秋季凉爽,但时有阴雨;冬季多偏北风,多晴寒天气。考虑到济宁的气候特点、大气环境及污染溯源和站点环境等方面的因素,将激光雷达分布于济宁市区周边四个方位。图 1 所示黑色线区域内为济宁市辖区,四个红色五边形代表激光雷达的位置。

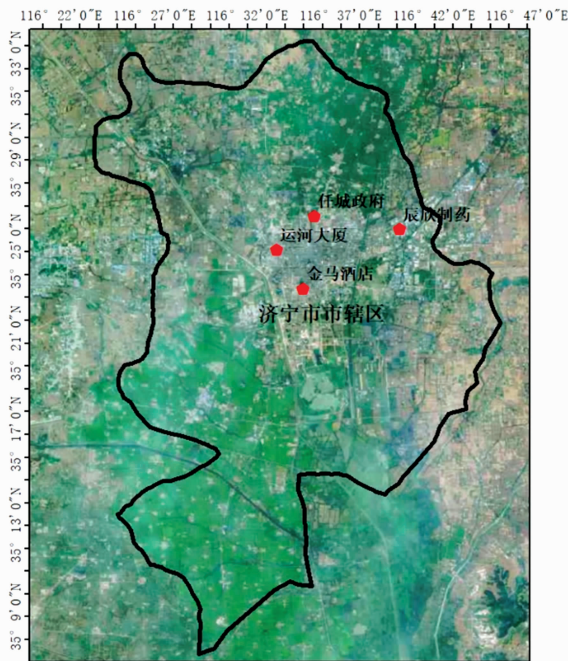


图 1 济宁市行政区划与雷达分布图

Fig. 1 Administrative divisions of Jinan City and lidar distribution

大气气溶胶激光雷达主要由激光雷达系统、三维扫描镜头、激光器及电源、工控机等组成,其原理如图 2 所示,激光器发射 532 nm 的激光,望远镜接收大气气溶胶、云等后向散射信号,通过解析 532 nm 的后向散射平行、垂直偏振信号光,就可以获得气溶胶的消光、退偏振等特性。仪器将激光雷达系统、工作环境监测控制系统和数据传输系统集成在一起,基于一体化方舱设计,整机达到 IP55 防护等级,安全性和可靠性高,可进行远程维护操作,数据通过无线自动传输,可以满足户外全天候和全天时的监测。激光雷达系统由发射单元、接收单元、探测单元、采集单元及其他相关辅助单元,其各单元的技术指标参数如表 1 所示。

### 1.2 激光雷达标定与计算方法

#### 1.2.1 激光雷达标定

为了保障多台激光雷达测量数据的准确性、一致性,必须对四台激光雷达进行统一的标定,主要包括 CCD 相机探

测和低空几何因子订正<sup>[7]</sup>、高空(30~50 km)大气信号经过平均处理后作为背景噪声去除、接收横截面均匀性标定和大气瑞利散射信号测试。

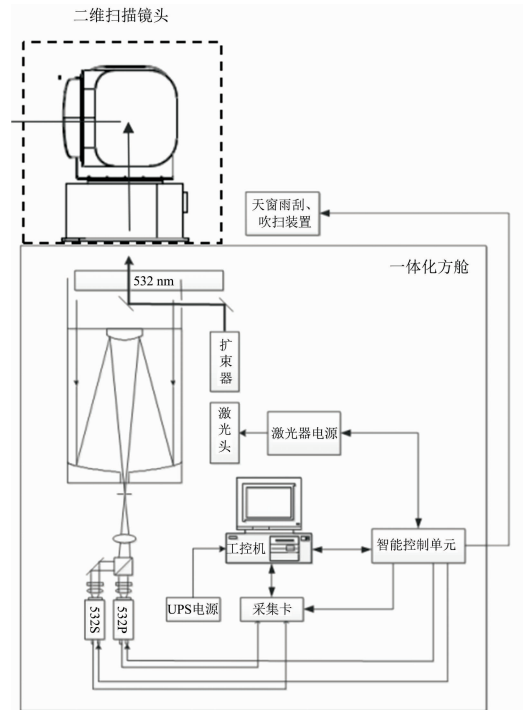


图 2 气溶胶激光雷达结构图

Fig. 2 The structure diagram of aerosol lidar

表 1 气溶胶激光雷达主要技术参数

Table 1 Specifications of aerosol lidar

主要单元	指标名称	技术参数
发射单元	输出波长/nm	532
	脉冲频率/kHz	≥3
	单脉冲能量/mJ	≥1
接收单元	接收口径/mm	≥200
	视场角/mrad	0.5~3
探测单元	探测器	光电倍增管(PMT)
采集单元	采样频率/MHz	20
	采集方式	模拟采集
	时间分辨率/s	3~1 800
其他辅助单元	空间分辨率/m	7.5
	窗口吹扫加热单元	可设置时间间隔
	UPS/kVA	3

由于低空范围内的回波信号只能部分被望远镜接收或无法接收。因此,需要对低空的激光雷达信号进行几何因子订正,传统的方法是在大气中的气溶胶含量很小(近似为 0)且均匀的条件下,使用 3~4 km 远场信号的斜率,来与近场信号比较,校正近场信号,得到几何因子。此外,还可以采用 CCD 相机的探测求出,如图 3(a)与(b)所示,图 3(a)黑线为雷达原始信号,红线为 CCD 雷达测量信号对比,通过信号处理可以得到图 3(b)所示的低空几何因子订正信号结果。由于所用激光雷达系统为同轴系统,对于接收横截面均匀性

的标定只需要进行望远镜的四象限(UP 为右上, UL 为左上, DP 为右下, DL 为左下, FULL 为信号完全接收)标定即可。图 3(c)为标定后的信号, 结果显示四个象限的信号一致性良好。图 3(d)是大气瑞利散射信号测试结果, 其中黑色散

点为 532 nm 激光雷达的距离校正信号, 红色线为拟合高空的 532 nm 分子信号, 结果显示信号在气溶胶十分稀少后对应良好。

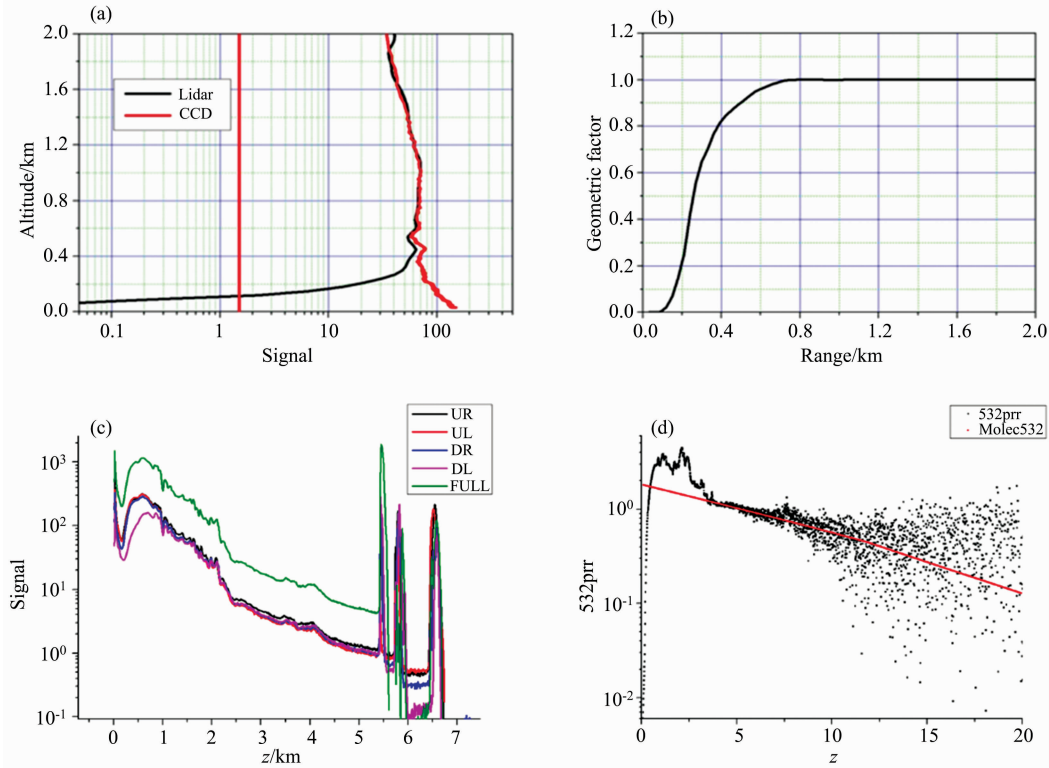


图 3 CCD 相机对气溶胶激光雷达几何因子标定(a, b), 接收横截面均匀性标定后信号(c), 大气瑞利散射测试信号(d)  
 Fig. 3 Calibration of geometric factors of aerosol lidar with CCD camera (a and b), the signal after cross section uniformity calibration (c), the test signal of atmospheric Rayleigh scattering (d)

1.2.2 气溶胶消光系数的反演方法

激光雷达信号反演的方法采用 Fernald 方法, 其原理是将大气视为空气分子与气溶胶两部分, 大气总的消光系数是空气分子的消光与气溶胶消光系数之和。因此, 可以根据激

光雷达方程得到如下公式:

若已知高度  $Z_0$  处的气溶胶粒子和空气分子消光系数, 则  $Z_0$  以下高度的气溶胶粒子消光系数(后向积分)为

$$\sigma_1(Z) = -\frac{s_1}{s_2}\sigma_2(Z) + \frac{X(Z)\exp\left[2\left(\frac{s_1}{s_2}-1\right)\int_Z^{Z_0}\sigma_2(Z')dZ'\right]}{\frac{X(Z_0)}{\sigma_1(Z_0) + \frac{s_1}{s_2}\sigma_2(Z_0)} + 2\int_Z^{Z_0}X(Z')\exp\left[2\left(\frac{s_1}{s_2}-1\right)\int_Z^{Z'}\sigma_2(Z'')dZ''\right]dZ'} \quad (1)$$

$Z_0$  高度以上的气溶胶消光系数(前向积分)为

$$\sigma_1(Z) = -\frac{s_1}{s_2}\sigma_2(Z) + \frac{X(Z)\exp\left[-2\left(\frac{s_1}{s_2}-1\right)\int_Z^{Z_0}\sigma_2(Z')dZ'\right]}{\frac{X(Z_0)}{\sigma_1(Z_0) + \frac{s_1}{s_2}\sigma_2(Z_0)} - 2\int_Z^{Z_0}X(Z')\exp\left[2\left(\frac{s_1}{s_2}-1\right)\int_Z^{Z'}\sigma_2(Z'')dZ''\right]dZ'} \quad (2)$$

这里  $X(Z)$  表示距离校正信号,  $s_1$  和  $s_2$  分别表示气溶胶、分子的消光散射比。气溶胶消光散射比  $s_1 = \sigma_1/\beta_1$  通常被假设为常数, 大气分子消光散射比  $s_2 = \sigma_2/\beta_2 = 8\pi/3$ 。  $s_1$  的取值依赖于气溶胶的尺度、谱分布、组成成分和折射率等共同决定, 在已有一些研究中给出了取值范围为 20~70 之间, 本工作对气溶胶进行反演时选取的雷达比为 50。空气分子消光系数  $\sigma_2$  可以根据标准大气廓线计算得到, 然后通过式(1)与

式(2)便可得到气溶胶消光系数结果。

气溶胶光学厚度(aerosol optical depth, AOD)采用对距离内的气溶胶消光系数进行积分求得, 公式为

$$AOD = \int_{Z_1}^{Z_2}\sigma_1(Z)dZ \quad (3)$$

为了检验气溶胶激光雷达长期的观测结果, 采用四台激光雷达 100~300 m 的气溶胶光学厚度平均值和多个济宁市

控站点  $PM_{2.5}$  及  $PM_{10}$  平均结果, 分别对其进行归一化处理并求取了激光雷达观测与国控点观测的相关系数。如图 4 所示, 图中三条曲线一致性较好, 且激光雷达所得气溶胶光学厚度值与国控点平均  $PM_{2.5}$  浓度相关性约为 0.83, 与国控点平均  $PM_{10}$  浓度相关性约为 0.77。结果说明四台激光雷达垂直探测结果与几个国控点观测平均结果一致性很好。需要指出的是, 利用消光系数反演颗粒物浓度时, 与相对湿度有关的气溶胶吸湿增长, 是影响二者关系的最主要因子<sup>[8]</sup>。

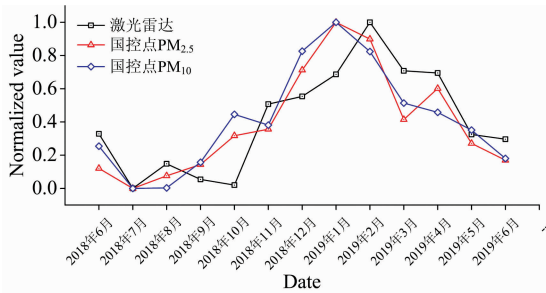


图 4 激光雷达 100~300 m 测得的气溶胶光学厚度与国控点颗粒物 ( $PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$ ) 浓度归一化结果图

Fig. 4 Normalized values of aerosol optical depths measured by lidar and particle ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ) concentrations obtained from state controlling air sampling sites

## 2 结果与讨论

### 2.1 空气质量月平均

根据我国 HJ633-2012《环境空气质量指数 (AQI) 技术规范 (试行)》对空气质量指数 (AQI) 的要求, 绘制济宁市 2017 年至 2019 年的每月空气质量等级天数百分比变化图如图 5 所示, 呈现近双峰的特征; 12 月—1 月与 6 月—7 月前后污染突出, 这种现象主要是分别受到夏秋季臭氧浓度升高与春冬季颗粒物浓度升高的影响; 以 2019 年为例, 臭氧浓度超标天数 106 天, 占总污染天数的 58%。而夏季臭氧超标天数为 50 余天。此外, 4 月污染天数的增加主要受外来沙尘输入的影响。

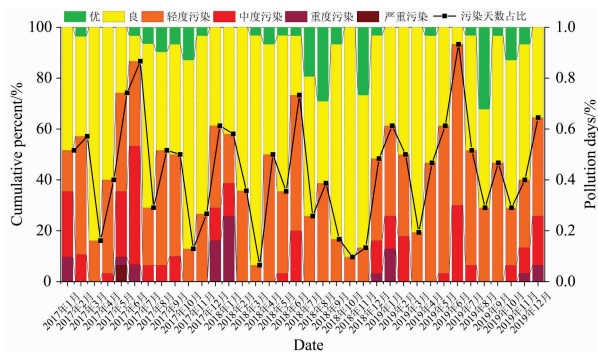


图 5 逐月空气质量等级天数累计百分比变化图

Fig. 5 Cumulative percentage monthly change of days for each air quality level in Jinjing

同时, 对激光雷达 (100~300 m) 观测反演所得气溶胶光学厚度月平均的结果进行归一化处理得到图 6 所示结果。从

图 6 中可以看出, 激光雷达观测结果也基本呈现近双峰的特征, 这与济宁污染累计天数基本一致, 其高值出现在 2 月与 6 月, 与污染累计日数一致性较好。通过对比四台激光雷达观测值与其平均值的归一化结果可以看出, 济宁近地面颗粒物浓度空间分布在夏秋季差异十分明显, 而春冬季节差异相对较小, 这可能与夏秋季复杂多变的天气和污染过程有密切关系。

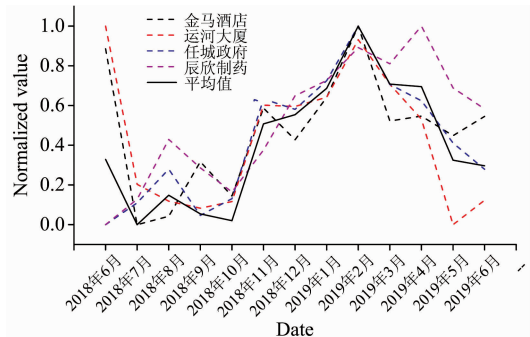


图 6 激光雷达 100~300 m 测得的气溶胶光学厚度归一化结果图

Fig. 6 Normalized values of aerosol optical depth measured by lidar

不同的颗粒物污染源 (大致可分为扬尘源、煤烟尘、沙尘源、工业源排放、机动车排放、区域生物质燃烧及烟花爆竹、气态前体物转化的二次颗粒物<sup>[9]</sup>) 对于区域的污染影响程度在时间和空间上都各不相同, 及时并准确获取污染源的排放情况对于精细化大气污染监管工作十分重要。下面将结合多台气溶胶激光雷达数据反演所得的气溶胶粒子消光及退偏振、地面空气站观测结果与 HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) 后向轨迹模式等, 分析不同污染源导致的污染过程特征。

### 2.2 细粒子污染过程分析

通过对夏季四个方位的雷达图谱的反演, 并筛选退偏振比一致性好且都较小的时段进行济宁市细粒子污染过程分析。如图 7 所示, 其高空大气大致分为两种类型, 一种有较为明显的日变化特征, 如金马酒店与运河大厦站, 表现为夜间空中消光系数明显升高, 而白天消光系数变小; 另一种无明显日变化特征, 如任城区政府与辰欣制药站。此外, 对站点与站点之间激光雷达月平均两两求相关系数, 结果显示金马酒店站与运河大厦站相关性最好 (约 0.79), 而任城政府站与辰欣制药站结果相关性最好 (约 0.84)。

图 7 中的数据来源于 2019 年 5 月 1 日—8 日四台雷达观测, 从图 7 可以看出, 金马酒店站观测结果为第一种日变化特征, 出现这种特征原因: 首先是夜间边界层高度低, 大气层结稳定 (时段内风力较弱, 平均风速  $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 局地排放的污染物不易扩散且在夜间积累导致浓度升高; 其次是夜间吸湿性细粒子更易吸湿增长, 使得产生消光效应逐渐加剧, 同时这些粒子还可以为气态污染物提供非均相转化载体, 促进硫酸盐和硝酸盐等细颗粒物的生成<sup>[10]</sup>; 白天边界层高度变高, 太阳辐射增强, 气温上升, 湿度降低都不利于吸



湿增长，使得产生消光效应逐渐减弱。任城政府站观测结果则为第二种日变化特征，出现这种特征原因：首先是夜间周围污染源相对较少，更少的排放使得不利天气条件下的这种日变化不明显；其次是白天太阳辐射增强，气温上升，受湿地公园影响，空气湿度相对金马酒店较高，吸湿增长使得这种日变化不明显。虽然运河大厦站与金马酒店站消光系数在

高空变化相似，但运河大厦周边排放源相对较少，其近地面消光较小，而高空易受周边电厂影响，因此高空与金马酒店相似，近地面相对浓度较低。辰欣制药站同样与任城区政府站的高空消光系数变化十分相似，不同点是辰欣制药站近地面附近工业园区较多，排放源较多，所以其近地面消光系数明显较大。

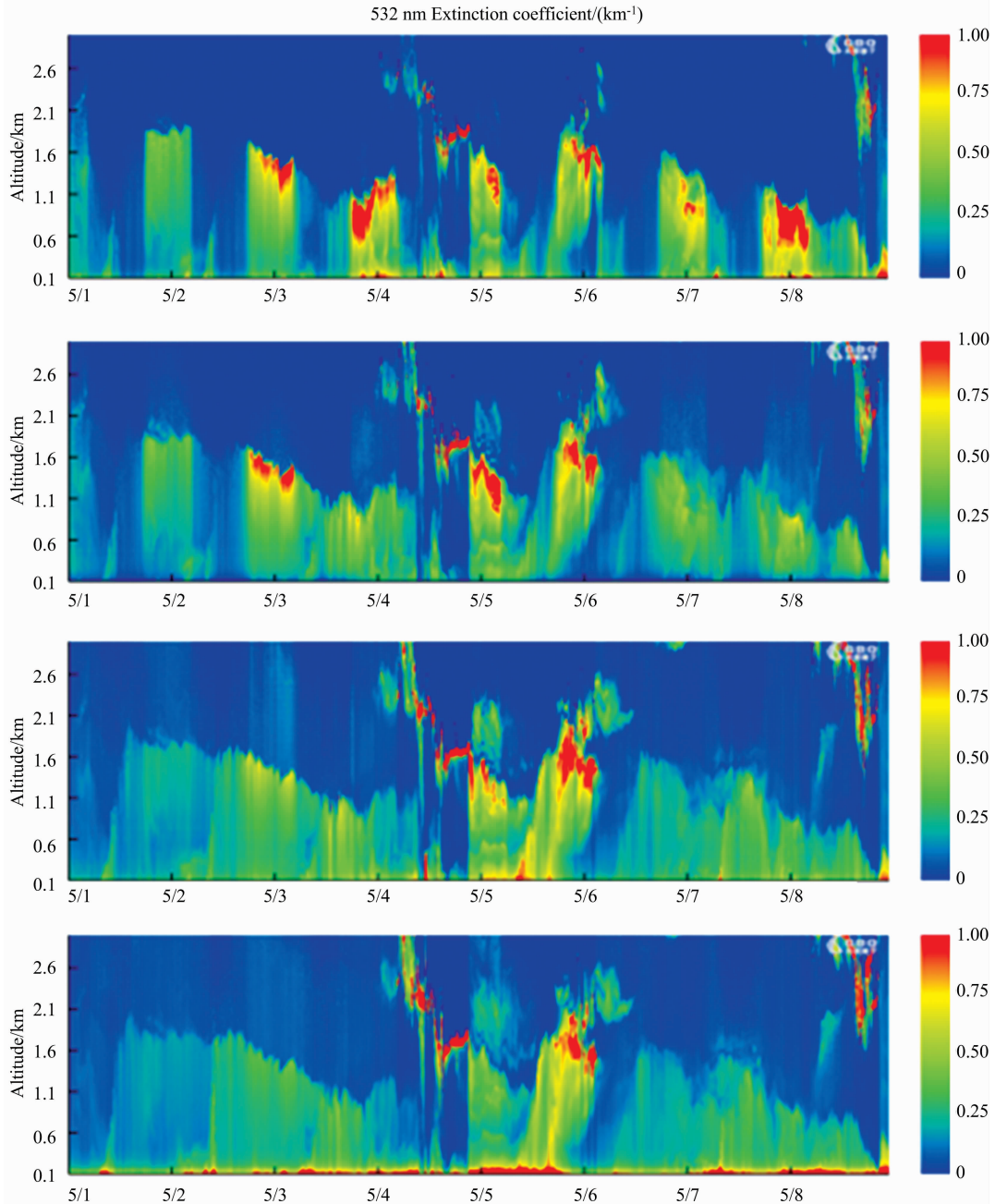


图 7 2019 年 5 月 1 日—8 日各站点雷达的消光时序图

(a): 金马酒店; (b): 运河大厦; (c): 任城政府; (d): 辰欣制药

Fig. 7 Lidar-Based extinction timing maps at each station from May 1 to 8, 2019

(a): Jinma Hotel; (b): Yunhe Building; (c): Rengcheng Government; (d): Cisen Pharmaceutical Co., Ltd.

### 2.3 沙尘污染过程分析

沙尘是大气环境中组成复杂、危害较大的污染物之一，其大范围长距离传输对于区域的空气质量影响十分明显，通过激光雷达观测可以十分有效的捕捉沙尘的传输，而激光雷达主要是根据退偏振比大小作判断，沙尘气溶胶的退偏振比在 0.2~0.4 范围之间。

图 8 描述的是 2018 年 4 月 14~15 日一次沙尘传输过程。由于沙尘天气四台雷达垂直结果相似，仅选取了辰欣灼药站的雷达结果。如图 8 雷达消光与退偏振比结果所示，4 月 14 日凌晨 8:00 左右，1.5 km 高空附近出现高浓度颗粒

物，退偏振比约为 0.3 左右，高空沙尘 11:00 左右开始沉降，低空及近地面消光系数与退偏振比逐渐增大。与此同时，图 9 中地面监测站的  $PM_{10}$  在 11:00 时  $PM_{10}$  浓度升高明显， $PM_{2.5}$  无明显变化，至 14:00 与 15:00 地面站  $PM_{10}$  浓度达到峰值(可达  $323 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )，增加约 5 倍之多，随着沙尘沉降逐渐减少，之后退偏振比逐渐减小，近地面  $PM_{10}$  浓度在 18:00 时下降至  $150 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  以下，受影响时间约 7 h。根据图 10 后向轨迹显示，沙尘由济宁北部高空输送至本地，同时轨迹的高度变化也显示出了沙尘到达济宁有所沉降这一特征。

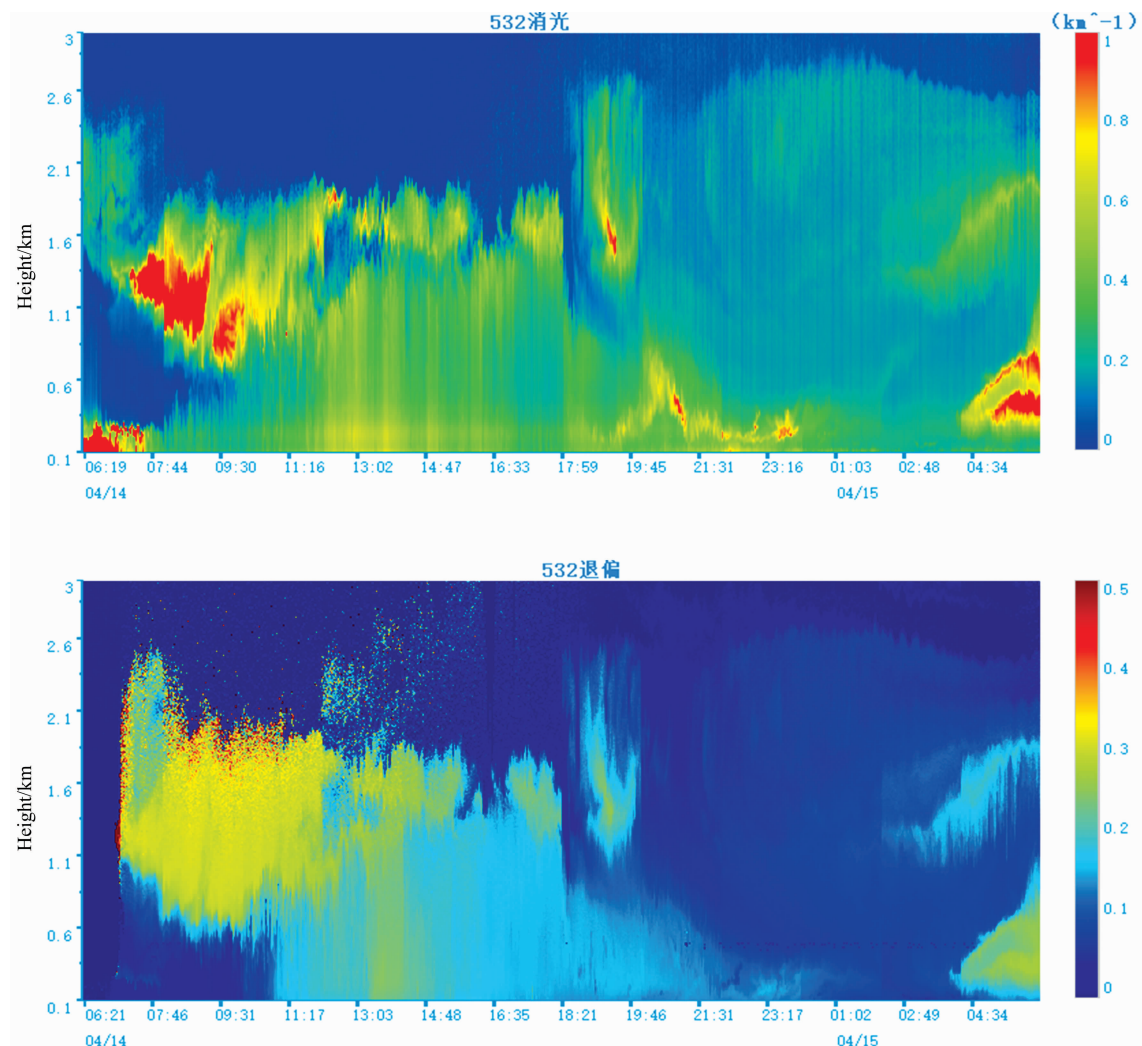


图 8 2018 年 4 月 14 日—15 日激光雷达观测结果

(a): 消光时序图; (b): 退偏时序图

Fig. 8 Observation results of lidar from April 14 to 15, 2018

(a): Extinction timing diagram; (b): Depolarization timing diagram

### 2.4 局地与外来输入污染过程对比分析

人为排放源排放过程的监测对于大气环境的改善十分重要，如何判断局域污染与输入污染是一个较为复杂的问题。利用激光雷达的扫描观测的结果，所获取的瞬时信号强度大小可代表对应位置当时的大气污染程度。图 11 为选取的局

域产生的扬尘污染情况与外来沙尘输入情况的对比。通过对比可以看出，黑线圈中的为局域排放污染，其特点较为集中，消光突然较高，范围小且无规则，容易引起局域高浓度污染过程，从而影响范围内大气环境，影响扩散范围较小[图 11(a)]; 图 11(b)则为外来输入过程，其特点多为较大范

围的消光强度逐渐增大，易随时间渐进式影响整个区域内大气环境。

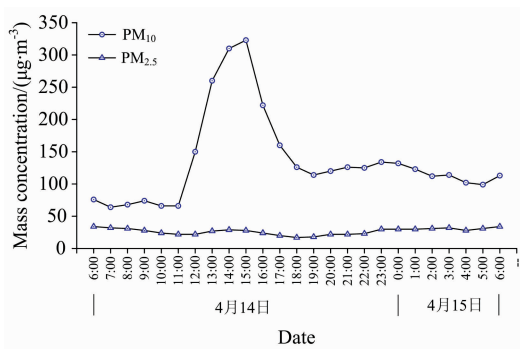


图 9 2018 年 4 月 14 日—15 日颗粒物浓度时序图

Fig. 9 Particle concentration from April 14th to 15th, 2018

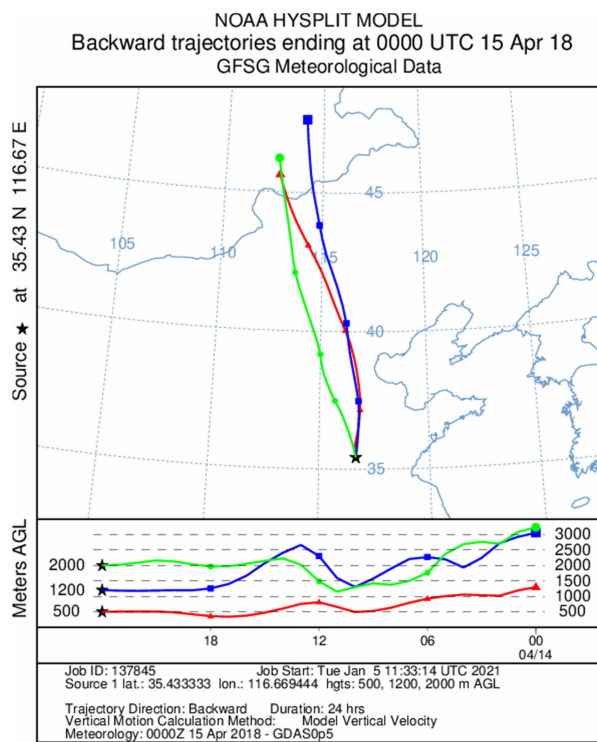


图 10 2018 年 4 月 14 日—15 日后向轨迹图

Fig. 10 Backward trajectory from April 14th to 15th, 2018

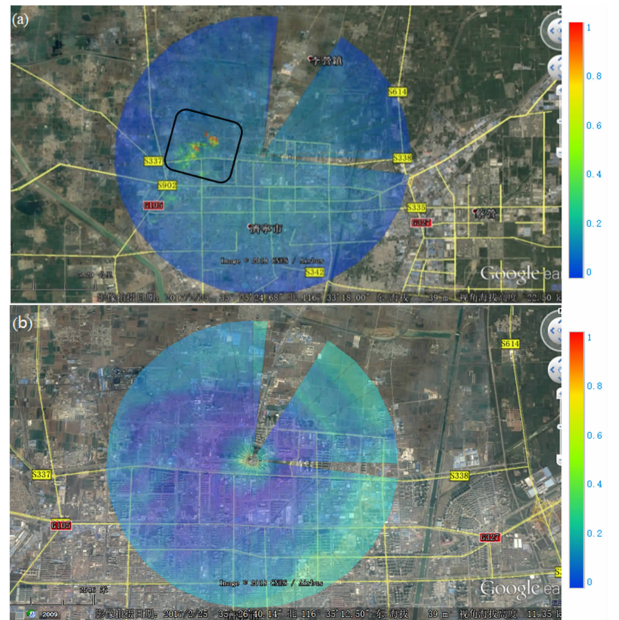


图 11 任城政府站激光雷达水平扫描结果

(a): 2018 年 5 月 7 日; (b): 2018 年 4 月 14 日

Fig. 11 The horizontal scanning result by Lidar at Rencheng government station

(a): May 7, 2018; (b): April 14, 2018

### 3 结 论

(1) 通过分析多台激光雷达长期的观测结果，济宁市夏季大气气溶胶空间分布呈现两种日变化特征，一种夜间消光大，白天消光小，如金马酒店站与运河大厦站；另一种则日变化不明显，如任城政府站与辰欣制药站。存在明显日变化特征的原因是受夜间湿度增大及周围污染源的共同作用。此外，近地面消光系数变化显示金马酒店站与辰欣制药站颗粒物浓度更高。

(2) 济宁市沙尘多出现于四、五月，沙尘沉降影响范围较大，但持续时间一般较短， $PM_{10}$  浓度最高可增长约 5 倍。

(3) 通过对比扫描观测结果，局地污染呈现不规则、小范围有高消光特征，而大范围污染过程则为渐进式消光增强。

通过对比多台激光雷达长期观测结果，可以更精细的了解城市内部的大气污染情况，其时空分辨率可以弥补地面监测的一些空白，为污染治理提供较为可靠的数据支撑。

## References

- [ 1 ] ZHANG Shuai, WANG Ming, SHI Qi-bing, et al(张 帅, 王 明, 施奇兵, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2021, 41(8): 2484.
- [ 2 ] JING Qiong-qiong, CAO Nian-wen, YANG Shao-bo, et al(景琼琼, 曹念文, 杨少波, 等). The Journal of Light Scattering(光散射学报), 2017, 29(3): 243.
- [ 3 ] TAO Zong-ming, MA Xiao-min, LIU Dong, et al(陶宗明, 麻晓敏, 刘 东, 等). Acta Optica Sinica(光学学报), 2016, 36(6): 0601001-6.
- [ 4 ] ZHU Yu, TAO Zong-ming, ZHANG Shuai, et al(朱 余, 陶宗明, 张 帅, 等). Environmental Monitoring in China(中国环境监测), 2019, 35(6): 138.
- [ 5 ] WANG Jie, ZHANG Yi-qin, GAO Jian, et al(王 杰, 张逸琴, 高 健, 等). China Environmental Science(中国环境科学), 2019, 39(11): 4521.
- [ 6 ] ZHOU Hong-gen, CHEN Yu-bao, MA Na, et al(周红根, 陈玉宝, 马 娜, 等). Meteorological, Hydrological and Marine Instruments 气象水文海洋仪器), 2018, 35(3): 48.
- [ 7 ] Wang Z, Tao Z M, Liu D, et al. Optics Letters, 2015, 40(8): 1749.
- [ 8 ] SHEN Lei, GU Fang, ZHANG Jia-hong, et al(沈 雷, 顾 芳, 张加宏, 等). The Journal of Light Scattering(光散射学报), 2017, 29(3): 251.
- [ 9 ] HU Min, TANG Qian, PENG Jian-fei, et al(胡 敏, 唐 倩, 彭剑飞, 等). Environment and Sustainable Development(环境与可持续发展), 2011, 36(5): 15.
- [10] YE Nan-xing, CHEN Jian-min(叶兴南, 陈建民). Chinese Journal of Nature(自然杂志), 2013, 35(5): 334.

## Analysis on Variation Characteristics of Air Pollution in Jining City Based on Lidars Networking Observation

LI Feng<sup>1</sup>, LIN Jing-jing<sup>2</sup>, YUN Jie<sup>3</sup>, ZHANG Shuai<sup>4\*</sup>, WANG He<sup>5</sup>, ZHANG Hai<sup>4</sup>, TAO Zong-ming<sup>6</sup>

1. Jining Municipal Ecology and Environment Bureau, Jining 272004, China
2. Shandong Ecological Environment Monitoring Center, Jinan 250013, China
3. Huhhot Ecological Environment Monitoring Center, Huhhot 010010, China
4. Hefei CAS GBO-Qua. Technology Co., Ltd., Hefei 230088, China
5. State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Institute of Atmospheric Physics (IAP), Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China
6. Department of Basic Sciences, PLA Army Academy of Artillery and Air Defense, Hefei 230031, China

**Abstract** Atmospheric aerosols can affect the earth's clouds and water cycle through sunlight scattering and absorption effects and can also reduce the visibility of cities, leading to frequent haze processes. They are also rich in various chemical substances and can enter the human body and cause harm to human health. This paper analyzes the spatiotemporal variation characteristics of particulate matter in different air pollution processes using the vertical profile data of multiple aerosol lidars and regional air quality monitoring data from 2018 to 2019 in Jining City. The results show that there are certain regional differences in fine particle pollution in Jining City during the summer, and there are mainly two diurnal characteristics. One is that some areas have strong extinction at night and weak extinction in the daytime, mainly because they are affected by the superposition of high humidity and pollution source emissions at night. On the other hand, some areas have relatively strong daytime extinction and no obvious diurnal variation, which is due to less pollution sources and artificial lakes. Moreover, the near-surface aerosol extinction coefficient variation showed that the concentration of particulate matter near Chenxin Pharmaceutical Station and Jinma Hotel Station was relatively higher. Dust observation results show that the dust weather in Jining city mainly occurs in April and May,



and the concentration of particulate matter in the sedimentation process can be as high as 5 times the normal concentration. Additionally, the contrast scanning observation shows that the profile of local pollution is irregular, small in scope, burst and strong in extinction, while the profile of large-scale pollution process is extensive in area, and its extinction gradually increases.

**Keywords** Lidar; Aerosol; Dust; Air pollution; Variation characteristics

(Received Jun. 30, 2021; accepted Sep. 2, 2021)

\* Corresponding author