

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化	祁建华, 武丽婧, 高冬梅, 金川 (801)
基于重庆本地碳成分谱的 PM _{2.5} 碳组分来源分析	张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)
重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究	徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)
基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析	王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)
基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)
典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析	徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)
火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究	王占山, 潘丽波 (853)
国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性	楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)
稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)
河口湿地近地面大气 CO ₂ 浓度日变化和季节变化	张林海, 仝川, 曾从盛 (879)
三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量	李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)
施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH ₄ 、N ₂ O 和 NH ₃ 排放特征	万合峰, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 鄢玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)
干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响	张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)
长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究	吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)
汾河中游浮游藻类群落特征及水质分析	王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)
基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究	陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)
三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征	李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)
黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析	于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)
太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素	揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小锋, 穆云松 (951)
黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系	董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)
纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究	杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)
铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究	唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)
磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响	张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)
预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响	赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)
陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行	付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)
冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征	黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)
烷基多苷促进污泥水解产酸的研究	陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)
高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响	操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)
兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价	李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)
珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价	郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)
海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价	李飞, 徐敏 (1035)
再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险	吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)
瓦埠湖流域庄墓镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估	李如忠, 邵阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)
三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评价	张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)
基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评价	陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)
干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究	薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)
缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入	孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)
三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响	韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)
黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例	师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)
天然林土壤有机碳及矿化特征研究	杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)
不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化	张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)
硫脲对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响	杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)
6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应	山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)
基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究	张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)
人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究	吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)
农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析	陈晓娟, 吴小江, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)
中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态	宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)
苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析	周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)
UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响	刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)
Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响	张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)
对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究	宋彩霞, 邓新平, 厉阍, 肖伟 (1176)
克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用	刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)
铅元素人为循环环境释放物形态分析	梁静, 毛建素 (1191)
污染排放与环境质量关系模型构建与应用	李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)
微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展	闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)
《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)	

基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析

王苑^{1,2}, 邓军英², 史兰红², 陈勇航^{2*}, 张强¹, 王胜¹, 徐婷婷²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 兰州 730020; 2. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620)

摘要: 为了进一步认识上海地区浮尘污染的垂直分布特征, 利用地面微脉冲激光雷达 (MPL) 和 CALIPSO 星载激光雷达对 2009 年 10 月 19 日远程输送到上海的一次典型浮尘过程的气溶胶光学特性进行分析. 结果表明, 此次浮尘过程气溶胶层主要存在于 2 km 以下低空中, 气溶胶后向散射系数范围 $0 \sim 0.015 \text{ km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$, MPL 消光系数范围 $0 \sim 0.32 \text{ km}^{-1}$. 浮尘过程中消光系数先增加后降低, 气溶胶层不断抬升. 浮尘天气 2 km 以下大气中存在大量小粒径气溶胶颗粒, 而 $0 \sim 0.5 \text{ km}$ 近地面则以颗粒较大的气溶胶为主; $2 \sim 10 \text{ km}$ 大气中仅存在少量不规则气溶胶, 其中 $4 \sim 6 \text{ km}$ 高度范围的大气由不规则气溶胶和规则气溶胶混合组成, 球型和非球型粒子均存在. CALIPSO 星载激光雷达 532 nm 总后向散射系数和 MPL 归一化相对后向散射系数的垂直分布特征基本一致. CALIPSO 和 MPL 获得的消光系数垂直分布均随着高度增加而减少, 但消光系数值存在较大差异. 两者结合起来可以较全面客观地对上海地区浮尘天气进行观测.

关键词: 浮尘; 气溶胶; 光学特性; 垂直分布; CALIPSO 卫星; 微脉冲激光雷达

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-0830-09 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.03.004

A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties

WANG Yuan^{1,2}, DENG Jun-ying², SHI Lan-hong², CHEN Yong-hang², ZHANG Qiang¹, WANG Sheng¹, XU Ting-ting²

(1. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: The vertical distribution of aerosol optical properties of a typical floating-dust event on October 19, 2009 in Shanghai was analyzed by using Micro-pulse Lidar (MPL) and the CALIPSO satellite. The results showed that the floating-dust aerosol mainly existed below 2 km of height. The floating-dust aerosol backscatter coefficient ranged from 0 to $0.015 \text{ km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$, and the MPL extinction coefficient ranged from 0 to 0.32 km^{-1} . The MPL data showed that the aerosol extinction coefficient first increased and then decreased during the floating-dust event. At the same time, the aerosol layer was constantly lifting. The CALIPSO data showed that a large number of small particles were suspended in air at a height of below 2 km, while the big particles always stayed near the ground ($0 \sim 0.5 \text{ km}$). At the height of $2 \sim 10 \text{ km}$, there was only few aerosols; in the range of $4 \sim 6 \text{ km}$, there was a mixture of particles with regular and irregular shapes. The vertical distribution of CALIPSO 532 nm total attenuated backscatter coefficient and MPL normalized relative backscatter signal was basically the same, but the extinction coefficient values gained by them were different. Observations by CALIPSO and MPL together could be more comprehensive and objective for monitoring floating-dust in Shanghai.

Key words: floating-dust; aerosol; optical property; vertical distribution; CALIPSO; MPL

近几十年来,受气候变化和人类活动的影响,我国沙尘天气频发. 大气中的沙尘气溶胶不仅是影响生态环境的重要因素之一,同时会给人体健康带来危害,已经成为严重的环境问题,引起了国内外的高度重视. 在北方沙尘天气多发季节,上海易受到远程输送来的沙尘影响,出现浮尘天气. 虽然浮尘属于强度最弱的沙尘天气,但往往导致大气能见度降低,空气质量显著下降,对上海城市交通和人体健康的影响不容忽视.

沙尘气溶胶的垂直分布特征是评估其气候环境效应的关键因素之一^[1,2]. 以往传统的地面和卫星

观测往往无法满足需要,而近年来激光雷达技术的发展为探测大气气溶胶的垂直分布特征提供了有利的探测工具. 其中,星载激光雷达探测范围广,可以在全球范围内精确、快速地获取地面和大气三维空间信息^[3],而地面激光雷达也以其高时间分辨率的优势成为强有力的气溶胶消光系数实时监测工

收稿日期: 2013-07-04; 修订日期: 2013-09-24

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2011CB403405); 国家自然科学基金项目 (40975012); 干旱气象科学研究基金项目 (IAM201104)

作者简介: 王苑 (1989 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气环境和气候变化, E-mail: wangyuan_04@126.com

* 通讯联系人, E-mail: yonghangchen@dhu.edu.cn

具^[4]. 目前,利用地面和卫星观测资料,国内外学者在沙尘气溶胶的理化特性^[5~8]、远程输送^[9~12]、气候效应^[13~15]等方面取得了很多成果. 特别是Huang等^[16]利用地面激光雷达研究了沙尘气溶胶的辐射强迫及其相关的气候影响,并结合线性偏振激光雷达对大气气溶胶去偏振度进行了测量和对比分析^[17]. 郭本军等^[18]利用地面激光雷达分析了影响大连的一次沙尘天气过程,认为该次沙尘天气受大气层结的影响较大,外源性特征明显. 陈勇航等^[19]采用星载激光雷达资料,分析了一次远程强沙尘污染传输过程,对后向散射系数、退偏比、色比等光学特性参数进行了研究. 但是,同时结合地面和星载激光雷达,并对沙尘天气气溶胶垂直分布特征进行对比分析的研究尚属罕见.

本研究利用地面微脉冲激光雷达(micro pulse lidar, MPL)和 CALIPSO 星载激光雷达(cloud aerosol lidar and infrared pathfinder satellite observations, CALIPSO)对上海一次典型的浮尘天气气溶胶光学特性随高度和时间的变化进行分析,通过进一步认识上海地区浮尘污染的垂直分布特征,以为浮尘天气的预警预报提供参考.

1 数据与方法

本研究使用的 MPL_4B 型微脉冲激光雷达系统(MPL)安装于上海市城市环境气象中心(31.22°N, 121.55°E)三楼观测平台上的恒温室内(23.3°C),由激光发射系统、光学收发系统、探测器和数据采集系统四部分组成. 其主要技术参数有:波长 527 nm;激光器类型 ND:YLF;单次脉冲能量 6~8 μJ ;脉冲宽度 24 ns;脉冲重复频率 2.5 kHz;激光发散度为 0.002 86°;接收视场 0.005 73°;距离分辨率 30 m;积分时间 30 s;探测盲区 200 m. 本研究通过对激光雷达原始数据进行延时订正、驻留脉冲订正、背景噪声订正和距离订正^[20]得到归一化相对后向散射系数(normalized relative backscatter, NRB),并采用 Fernald 远端求解法^[21]对激光雷达消光系数进行反演.

星载激光雷达资料来源于 CALIPSO 卫星搭载的正交极化云-气溶胶激光雷达(the Cloud Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization, CALIOP). CALIPSO 由美国航天航空局(NASA)与法国国家空间研究中心(CNES)等联合研制,于 2006 年 4 月 28 日成功发射升空,主要用于提供云与气溶胶的特性. CALIOP 是 CALIPSO 卫星的主要有效载荷之一,包括激光发射系统和接收系统,其主要技术参数有:波

长 532 nm/1024 nm;单通道脉冲能量 110 mJ;脉冲重复频率 20.25 Hz;垂直分辨率 30~60 m;水平分辨率 333 m.

气溶胶质量浓度(PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{1.0}$)采用德国 Grimm Model 180 在线环境颗粒物监测仪观测;黑碳浓度(BC)采用美国 Magee Scientific Co. 生产的 AE-31 型黑碳仪观测;大气能见度、相对湿度、风速等气象数据采用芬兰 Vaisala 公司 Milos500 七要素自动监测仪观测. 这些数据均来自上海市城市环境气象中心.

根据文献[22]中浮尘天气的等级划分条件,结合上海浦东气象站的气象数据和中国卫星遥感信息服务网(<http://rsapp.nsmc.cma.gov.cn>)上发布的气象卫星沙尘监测信息,本研究定义,符合下列条件之一时认为出现浮尘天气:①在同一次天气过程中,上海市浦东、徐家汇、宝山和金山 4 个气象站点在同一观测时次出现了浮尘天气;②气象卫星沙尘监测报告显示非上海地区发生沙尘,同时上海地区当日或次日水平能见度 < 10.0 km、无风或平均风速 $\leq 3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、风向为沙尘来源方向,且排除降水、吹雪、雪暴等天气,认为沙尘远距离传输影响了上海地区大气能见度,记为浮尘天气. 根据此定义,本研究统计了 2008 年 12 月~2010 年 11 月两年内上海地区浮尘天气发生次数,同时结合 CALIPSO 的过境时间,选取了 2009 年 10 月 18~19 日的一次浮尘过程,利用 MPL 和 CALIPSO 对其气溶胶垂直分布和光学特性进行了分析.

2 结果与讨论

根据本研究定义,2008 年 12 月~2010 年 11 月两年内,上海地区发生浮尘的次数仅有 21 次. 在上海这 21 次浮尘天气中,CALIPSO 卫星经过上海地区上空、并记录下卫星数据的仅有一次. 该次浮尘天气发生于 2009 年 10 月 19 日 08:30~13:00, CALIPSO 卫星于 19 日中午 12:46 经过上海上空,并记录下此时上海地区大气的光学特性. 因此本文选取 2009 年 10 月 19 日发生在上海的浮尘天气作为研究对象,结合气象资料,分别利用 MPL 和 CALIPSO 对其气溶胶垂直分布和光学特性进行对比和分析.

2.1 浮尘天气气象条件和颗粒物特性

如图 1 所示气象资料,10 月 18 日 00:00~10 月 19 日 18:00,上海地区大气污染较严重,小时平均能见度均在 10 km 以下;19 日 18:00 后天气情况转

好,能见度上升至 10 km 以上. 10 月 18 日 00:00 ~ 07:00 大气相对湿度较高,平均相对湿度可达 93.6%,空气湿度对大气能见度的影响占主导地位;其中 04:00 ~ 07:00 相对湿度大于 95%,处于雾天. 08:00 后随着太阳辐射增强,温度升高,相对湿度迅速降低. 18 日 08:00 ~ 19 日 23:00 大气相对湿度最高只有 68%,平均相对湿度仅为 48.6%,相对湿度对能见度的影响逐渐减弱.

根据中国卫星遥感信息服务网站的沙尘监测信息,2009 年 10 月 18 日中午 11:25,风云三号气象卫星(FY-3A)监测到陕西东北部、山西西部以及河北南部等地出现了扬沙或浮尘天气,沙尘天气是由锋

面云系后部的偏北大风造成的(图 2). 图 1 中,18 日 08:00 至 19 日 07:00,上海地区地面主导风向一直为偏南风,风速较小,因此西北部的沙尘天气对上海地区的影响还不显著,这段时间内大气能见度较低主要是由于伴随人类活动开始而排放的城市污染物增多,且大气扩散条件较差,影响了污染物的稀释扩散. 19 日 07:00 地面主导风向转为偏北风,上海地区逐渐受到西北部沙尘天气的显著影响,大气能见度迅速下降,气象记录观测到浮尘天气. 19 日 14:00 地面主导风向转为偏东风,来自海面的清洁空气对大气污染物的扩散起到一定的积极作用,能见度逐渐升高,直至 18:00 转为晴好天气.

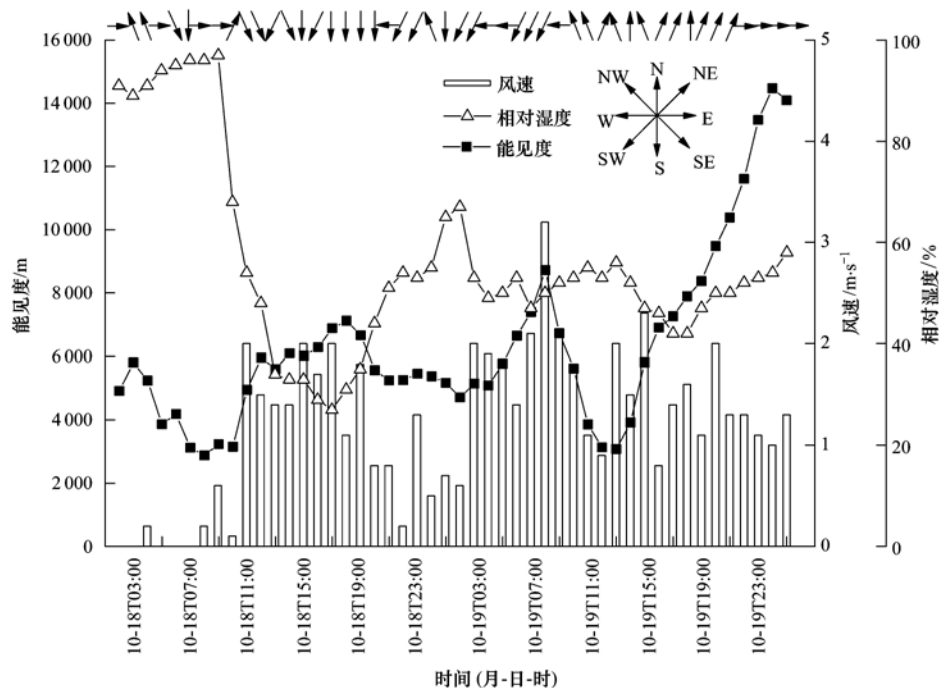


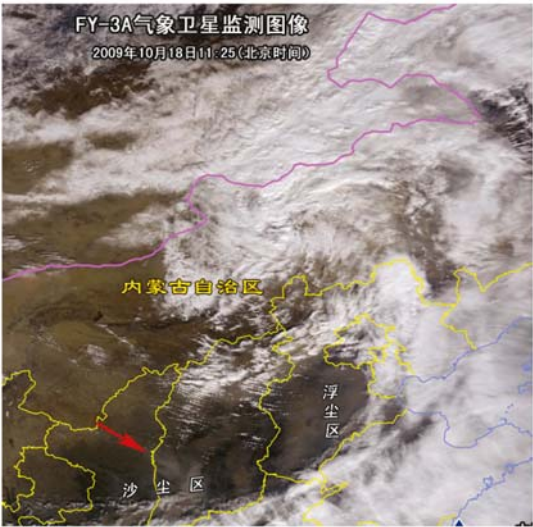
图 1 2009 年 10 月 18 ~ 19 日气象因子日变化

Fig. 1 Diurnal meteorological factors from Oct. 18th to 19th, 2009

2009 年 10 月 18 ~ 19 日的大气颗粒物浓度数据也在一定程度上反映了该次浮尘天气的污染情况. 其中,黑碳(BC)气溶胶是大气气溶胶的重要组成部分,其在气溶胶中的比重变化将对大气的物理化学特性及气候效应起着重要作用,一般作为人为一次源排放示踪物^[23],主要存在于 $PM_{2.5}$ 中^[6]. 本研究使用的黑碳仪进气口上加装了 $2.5 \mu m$ 切割头,因此所测得的黑碳为粒径小于 $2.5 \mu m$ 的黑碳质量浓度. 如表 1 所示,18 日 08:00, PM_1 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 BC 浓度突然上升,分别达到 62.6、106.1、240.4、18.915 $2 \mu g \cdot m^{-3}$,其中 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 BC 浓度均为两天中颗粒物浓度的最大值. 此时地面主导风向为东北风,风速仅为 $0.1 m \cdot s^{-1}$,扩散条件较

差. 18 日 18:00,BC 浓度再次突然上升,且从 18 日 18:00 至 19 日 01:00,BC 浓度一直处于较高浓度,地面主导风向为西南风,风速基本在 $1.0 m \cdot s^{-1}$ 以内. 由此可见,10 月 18 日大气中的污染物主要来源于两方面:一方面是交通高峰期汽车尾气排放,一方面是上海西南部较为集中的金山工业区人为污染源排放. 而较低的风速则使污染物难以扩散,综合导致 18 日大气能见度始终较低,污染情况严重.

19 日 08:30 浮尘发生时,同时也是交通高峰时段,颗粒物浓度和 BC 浓度均有显著上升. 09:00 PM_1 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度均达到最大值,分别为 79.3、103.7、198 $\mu g \cdot m^{-3}$,此时地面主导风向为西北风,风速 $1.1 m \cdot s^{-1}$,西北沙尘逐渐开始对上海地区产



来源于中国卫星遥感信息服务网
(<http://rsapp.nsmc.cma.gov.cn>)

图2 2009年10月18日11:25 FY-3A气象卫星沙尘监测图
Fig. 2 Dust distribution image observed by FY-3A
at 11:25 on Oct. 18th, 2009

生影响. 10:00 BC 浓度也达到峰值,大气能见度也达到最低,说明此时地面交通污染情况也较为严重,且扩散条件较差,导致污染物难以疏散. 因此此时大气环境质量明显下降是由于地面交通污染物排放和远程沙尘输送的共同影响. 19 日 12:00 之后,由于主导风向变为东北风,且风速略有上升,来自海面的清洁空气使大气颗粒物扩散较快,能见度逐渐上升,天气情况转好.

综上所述,此次浮尘天气大气相对湿度较低,相对湿度对能见度影响不显著,属于典型干质视程障碍. 浮尘过程中大气污染物主要来源于地面交通污染物排放和西北部沙尘远程输送. 风向和风速对污染物的输送和扩散起决定性作用.

2.2 浮尘天气气溶胶光学特性

2.2.1 气溶胶垂直分布

2009 年 10 月 19 日 12:46 (北京时间) CALIPSO 卫星过境上海(经纬度范围:32.77°N, 120.59°E~30.99°N,121.07°E),记录下此时大气

表1 2009年10月18~19日颗粒物浓度¹⁾/μg·m⁻³
Tabel 1 Concentration of particulate matter from Oct. 18th to 19th, 2009/μg·m⁻³

时间	10-18					10-19				
	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	BC	天气	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	BC	天气
00:00	37.1	67.3	165.4	8.480 3	/	/	/	/	8.873 7	/
01:00	35.9	63.5	159.7	6.996 5	/	/	/	/	8.019 0	/
02:00	37.2	64.6	157.5	6.232 4	/	73.2	93.7	137.3	8.206 3	/
03:00	36.3	62.1	138.6	5.718 5	/	62.2	78.8	112.6	6.405 4	/
04:00	37.3	63.3	138.6	9.710 9	雾	56.6	70.5	98.4	5.686 0	/
05:00	33.8	59.9	137.2	6.024 2	雾	44	55.1	77.1	4.851 6	/
06:00	35.7	61.1	134.5	5.600 5	雾	33.4	43	71.7	3.418 9	/
07:00	44.5	73.5	150.1	8.539 4	雾	44	58.6	106.8	4.552 3	/
08:00	62.6	106.1	240.4	18.915 2	/	53.6	72.9	152.1	6.120 3	浮尘
09:00	44.3	78	175.8	10.836 4	/	79.3	103.7	198	7.391 8	浮尘
10:00	35.3	65.4	132.4	5.921 0	/	/	/	/	9.433 2	浮尘
11:00	37.8	67.5	137.2	5.257 2	/	/	/	/	8.298 1	浮尘
12:00	33.9	61.1	125.7	4.250 3	/	/	/	/	5.040 9	浮尘
13:00	34.3	60.2	121.7	3.951 0	/	/	/	/	2.406 3	浮尘
14:00	34.8	60.1	124.8	3.881 9	/	/	/	/	2.316 7	/
15:00	34.4	59.5	129.7	3.690 0	/	/	/	/	2.432 2	/
16:00	34.9	60	135.8	3.937 5	/	/	/	/	2.385 1	/
17:00	39.1	64	138.6	5.205 8	/	/	/	/	2.368 2	/
18:00	/	/	/	7.060 6	/	/	/	/	2.534 8	/
19:00	/	/	/	9.982 0	/	/	/	/	2.261 8	晴天
20:00	/	/	/	10.760 4	/	/	/	/	2.054 3	晴天
21:00	/	/	/	10.082 1	/	/	/	/	1.427 9	晴天
22:00	/	/	/	9.755 3	/	/	/	/	1.570 8	晴天
23:00	/	/	/	9.850 6	/	9	21.5	68.6	1.857 4	晴天

1) 颗粒物浓度缺省部分是由于天气恶劣导致仪器暂时失灵; 天气缺省部分为未明确判断为浮尘的其他污染天气

532 nm 总后向散射消光垂直剖面图(图3). 如图3所示,在32.77°N,120.59°E~31.58°N,120.91°E范围内,2 km 以上空中少云无干扰,而2 km 以下的近地面则呈现明显的橙黄色后向散射系数高值区,

后向散射值在 $0.0020 \sim 0.0045 \text{ km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 范围内,说明近地面含有大量的气溶胶颗粒.部分地区由于在 $4 \sim 6 \text{ km}$ 空中存在云层,因此云层以下空气中的气溶胶情况难以监测.

2009年10月19日,MPL监测所得的上海浦东地区(31.22°N , 121.55°E)大气消光系数垂直分布的时空演化情况绘于图4,其中红色箭头为图3中对应的CALIPSO卫星过境时间点.通过图4可以观察到,10月19日上海浦东地区低空大气中普遍存在厚度约为 $1 \sim 2 \text{ km}$ 的气溶胶层,大气边界层明显.19日00:00~05:00,低空气溶胶层较薄,海拔 $4 \sim 6 \text{ km}$ 的云层可以被激光雷达探测到.08:00~13:00浮尘发生期间,气溶胶层厚度先降低至 1 km 左右,后升高至 1.5 km ;气溶胶消光系数值略有上升.浮尘结束后,低空大气中仍然存在厚度约为 1.5 km 的气溶胶气溶胶,但是消光系数逐渐降低,16:00后海拔 $4 \sim 6 \text{ km}$ 左右又可观测到云层.

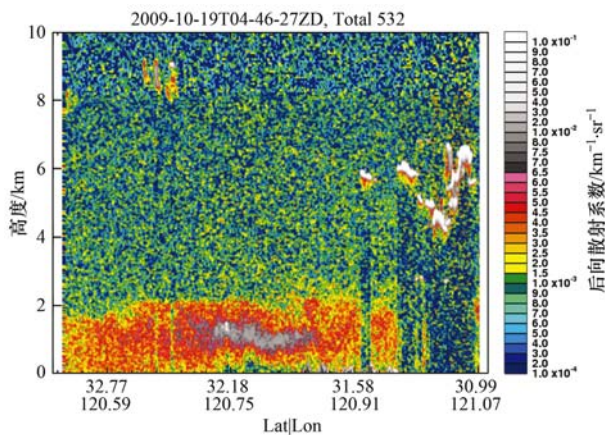


图3 2009年10月19日12:46(北京时间)CALIPSO 532 nm 总后向散射系数垂直剖面图

Fig. 3 Altitude-orbit cross-section of 532 nm total attenuated backscattering intensity at 12:46, Oct. 19th, 2009

对比观察图3和图4中箭头处,浮尘发生时低空中均出现明显气溶胶层,消光值较大,高空消光值为0,少云无干扰,两图显示了相似的气溶胶垂直结构.但是两图探测到的气溶胶层厚度略有不同,MPL探测的气溶胶层较薄,浮尘期间气溶胶层在 $1 \sim 1.5 \text{ km}$,而CALIPSO卫星探测所得气溶胶层厚度约为 2 km ,这有可能是由于近地面气溶胶浓度较大,阻碍了地面激光雷达向高空探测而产生误差.

结合图1和图4,19日09:00~10:00左右大气能见度达到最低,同时MPL观测到的气溶胶层也明显降低,大气消光系数增大,表明此时污染状况最为严重.随着能见度的增大,大气气溶胶厚度也略有

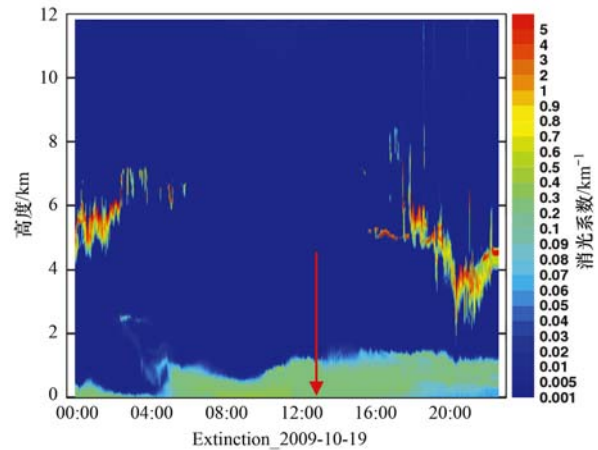


图4 2009年10月19日MPL消光系数垂直分布图 (31.22°N , 121.55°E)

Fig. 4 Aerosol extinction intensity from Oct. 18th to 19th, 2009

增加,消光系数值不断减少,地面大气能见度的变化与MPL气溶胶层厚度变化相一致.

2.2.2 后向散射系数特征

由于地面微脉冲激光雷达位于上海市浦东新区气象局观测场3楼,故以浦东站点(31.22°N , 121.55°E)为中心,挑出CALIPSO产品中距离浦东站点最近探测点(30.99°N , 121.07°E)的数据与MPL获得的数据进行对比分析.图5分别显示了2009年10月19日12:46浮尘期间CALIPSO卫星获得的 30.99°N , 121.07°E 532 nm 总后向散射系数(ABC)垂直廓线(a)和同一时次(12:00)MPL获得的归一化相对后向散射系数(NRB)小时均值(b).二者差异分析见表2.

如图5(a)所示,CALIPSO 532 nm 总后向散射系数主要在 $0 \sim 0.015 \text{ km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 范围内波动,峰值位于约 1.1 km 处.2~10 km后向散射系数值较小.如表2所示,在垂直高度上 $1 \sim 2 \text{ km}$ 范围内总后向散射系数均值最大,为 $0.00703 \text{ km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$.在2~10 km范围内,各高度层的总后向散射系数均值随着高度的增加而减小.图5(b)中,MPL归一化相对后向散射系数主要在 $0 \sim 0.015 \text{ km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 范围内波动,峰值位于约 1.3 km 处.在2~6 km高度范围内归一化相对后向散射系数值较小,在5 km以上复又增加.表3中, $1 \sim 2 \text{ km}$ NRB均值达最大为 $0.00845 \text{ km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$,在2~5 km高度范围内,NRB随着高度的增加而逐渐减小,在5~10 km高度范围内,NRB随着高度的增加而逐渐增大.

对比两图,发现CALIPSO获得的ABC和MPL获得的NRB波形基本相似,ABC波动幅度

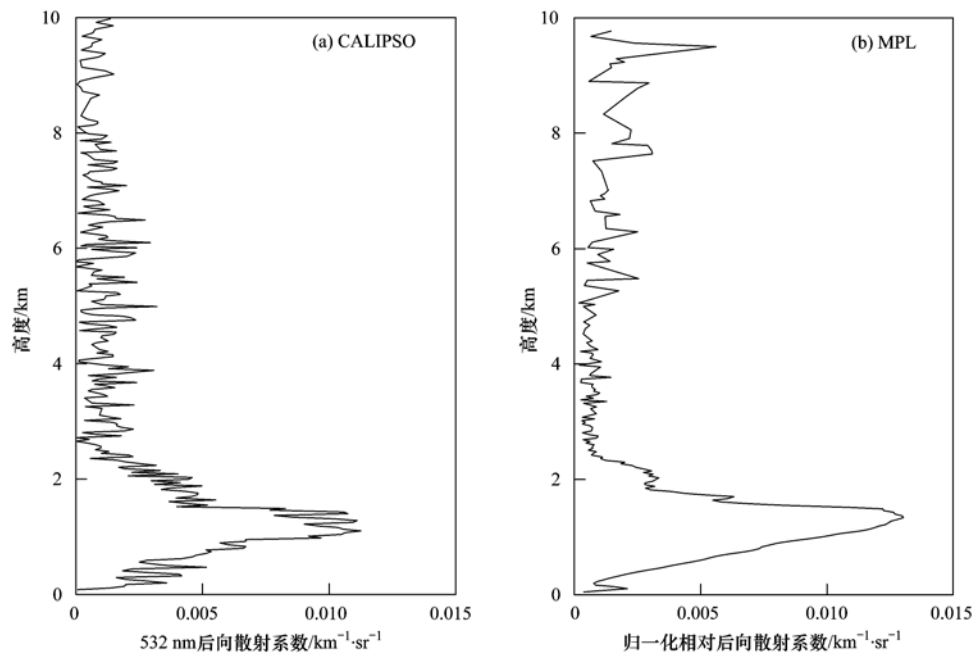


图5 2009年10月19日12:46 CALIPSO 532 nm 总后向散射系数(30.99°N, 121.07°E)垂直廓线图和
12:00 MPL 归一化相对后向散射系数(31.22°N, 121.55°E)垂直廓线图

Fig. 5 Vertical profiles of CALIPSO 532 nm total attenuated backscatter coefficient and
MPL normalized relative backscatter signal

数和 MPL 的归一化相对后向散射系数对低层大气气溶胶的光学特性的垂直分布特征分析是基本一致的。

为对比分析该时刻 CALIPSO 和 MPL 散射信号,表2 中还列出了 CALIPSO 532 nm 总后向散射系

数和 MPL 归一化相对后向散射系数的绝对差和相对误差,其中相对差异 R_{ABC} 和 R_{NRB} 分别由式(1)和式(2)计算所得:

$$R_{ABC} = |ABC - NRB| / ABC \quad (1)$$

$$R_{NRB} = |ABC - NRB| / NRB \quad (2)$$

表2 CALIPSO 和 MPL 各垂直高度层的散射系数及差值分析

Table 2 Backscatter coefficient and absolute value of CALIPSO and MPL

高度 /km	ABC /km ⁻¹ ·sr ⁻¹	NRB /km ⁻¹ ·sr ⁻¹	绝对差 /km ⁻¹ ·sr ⁻¹	R_{ABC}	R_{NRB}
[9 10)	0.000 81	0.002 07	0.001 26	1.556	0.609
[8 9)	0.000 47	0.001 91	0.001 44	3.064	0.754
[7 8)	0.000 93	0.001 98	0.001 05	1.129	0.530
[6 7)	0.001 09	0.001 17	0.000 08	0.073	0.068
[5 6)	0.001 01	0.001 02	0.000 01	0.010	0.010
[4 5)	0.001 07	0.000 61	0.000 46	0.430	0.754
[3 4)	0.001 25	0.000 68	0.000 57	0.456	0.838
[2 3)	0.001 65	0.001 31	0.000 34	0.206	0.260
[1 2)	0.007 03	0.008 45	0.001 42	0.202	0.168
[0 1)	0.004 02	0.004 25	0.000 23	0.057	0.054

如表2 所示,在垂直高度上,7~10 km 范围内的 532 nm 总后向散射系数和归一化相对后向散射系数的绝对差较大,最大为0.001 44;其次 1~2 km 绝对差为0.001 42。在垂直高度上,7~10 km 以及 3~5 km 范围内的相对误差 R_{ABC} 和 R_{NRB} 均较大;8~9 km R_{ABC} 达到最大 3.064,3~4 km R_{NRB} 达到最大 0.838。532 nm 总后向散射系数的值均小于 MPL 归

一化相对后向散射系数。可见,CALIPSO 星载激光雷达的 532 nm 总后向散射系数和 MPL 的归一化相对后向散射系数的值存在差异,且两者对大气气溶胶散射情况的观测显示在高空的差异较明显。

2.2.3 消光系数特征

用 2009 年 10 月 19 日 CALIPSO 卫星过境上海时(北京时间 12:46)获得的消光系数和 MPL 获得

的各时次消光系数作出消光系数廓线对比图. 如图 6 所示,通过 CALIPSO 和 MPL 观测到的浮尘天气消光系数在垂直高度上均随着高度的增加而减少,在

近地面气溶胶消光最强,当高度大于 3.0 km 时,大气消光系数均为 0,气溶胶颗粒稀少,两者描述的气溶胶垂直分布情况是基本符合的.

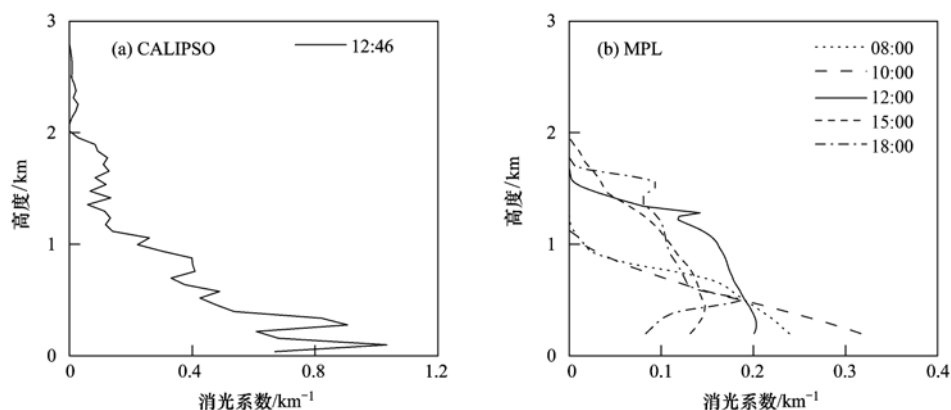


图 6 2009 年 10 月 19 日 CALIPSO 消光系数廓线图(30.99°N, 121.07°E) 和 MPL 消光系数廓线图(31.22°N, 121.55°E)

Fig. 6 Aerosol vertical profiles of CALIPSO and MPL extinction coefficient of Oct. 19th, 2009

对比图 6 中 12:00 的平均消光系数, CALIPSO 卫星获得的 12:46 大气消光系数在 0 ~ 1.2 km⁻¹ 范围内波动, MPL 12:00 的平均消光系数在 0 ~ 0.2 km⁻¹ 范围内波动,消光系数值差异较大,这可能由于以下 4 个方面的原因:①CALIPSO 消光系数在低空不确定性增大,这种数据不确定性对消光系数的准确度有较大影响. ②低空聚集的大量气溶胶层会影响 MPL 的探测高度,使气溶胶层上方大气的消光系数值迅速减小. ③12:00 的数据观测日照较强,使得 CALIPSO 和 MPL 的背景噪声增加,很大程度上较低了两激光雷达的信噪比. ④由于 MPL 的近端填充效果订正需要实验来订正,而受到实验条件的限制,没有做这部分的数据订正,使得 MPL 数据的误差增大.

图 6(b)表明, MPL 可实时显示气溶胶消光系数随时间的演化情况. 08:00 浮尘刚开始时, MPL 消光系数范围为 0 ~ 0.24 km⁻¹, 峰值出现在 210 m, 气溶胶层主要聚集在 1 km 以下. 10:00 气溶胶层仍在聚集于 1 km 低空, 气溶胶消光系数峰值增大至 0.32 km⁻¹. 12:00 浮尘接近尾声, 气溶胶层向空中发展至 2 km, 消光系数减弱至 0.2 km⁻¹ 左右. 下午 15:00 和 18:00, 浮尘已经结束, 气溶胶层继续向空中发展, 消光系数值不断减弱至 0.15 km⁻¹ 左右. 综上所述, 19 日浮尘期间大气消光系数呈现先增加后降低的特点; 浮尘发生时气溶胶主要存在于 1 km 以下, 浮尘期间气溶胶层不断由低空向 2 km 空中扩散.

2.2.4 体积退偏比和色比特征

通过 2009 年 10 月 19 日 12:46 (北京时间)

CALIPSO 卫星过境上海(30.99°N, 121.07°E)上空时获得的体积退偏比和色比资料,可以考察浮尘天气气溶胶粒子的规则性. 体积退偏比是 532 nm 垂直后向散射系数与 532 nm 平行后向散射系数之比,反映了被测颗粒物的不规则程度,退偏比越大,说明颗粒物越不规则. 通过退偏比可区分球形和非球形气溶胶粒子^[24]. Liu 等^[25]研究指出沙尘颗粒物粒径大且不规则,沙尘气溶胶体积退偏比较大. 如图 7(a)所示,该次浮尘天气发生时,在高度 0 ~ 2 km 范围,退偏比为 0 ~ 30% 的粒子所占比例较大;高度 2 ~ 4 km 范围,退偏比为 95% ~ 100% 的粒子所占的比例较大;高度 4 ~ 6 km 范围,退偏比值呈现 2 个峰值区,分别在 0 ~ 20% 和 95% ~ 100%;在高度 6 km 以上,退偏比以 95 ~ 100% 为主. 结合图 5(a)可知,19 日 12:46 探测点在 2 km 以下存在大量较规则的气溶胶颗粒;在 2 km 以上大气总后向散射系数值较小,仅存在少量气溶胶,且气溶胶颗粒物不规则程度较高;其中 4 ~ 6 km 高度范围的大气由不规则气溶胶和规则气溶胶混合组成,球型和非球型粒子均存在.

色比是 1064 nm 总后向散射系数与 532 nm 总后向散射系数之比,可识别颗粒物的大小,色比越大,颗粒物越大. 由图 7(b)可知, 0 ~ 0.5 km 低空中,色比值为 1.9 ~ 2.0 出现频率最高,说明浮尘天气近地面大气中有相当多的大颗粒存在. 0.5 ~ 10 km 高度范围内色比为 0.5 ~ 1.2 出现频率最高. 结合图 7(a),可判断 19 日 12:46 探测点 0 ~ 0.5 km 近地面存在部分规则的颗粒较大的气溶胶,这有可

能是浮尘气溶胶颗粒沉降而来; 2 km 以下大气中主要是大量规则的小粒径气溶胶粒子, 这部分气溶胶悬浮在低空中不易扩散, 对大气环境影响较大; 而 2 km 以上仅有少量不规则的非球形粒子和烟煤气溶胶存在, 且可能混合其它类型的气溶胶。此外, 图 7(b) 显示 6 ~ 10 km 高度色比值为 1.9 ~ 2.0 出现频率也略高, 通常高空气溶胶一般以小粒径的

气溶胶为主, 较大的颗粒比较容易沉降, 因此推测这部分大气可能受到高空云层以及冰晶的影响, 导致色比偏大。综合来看, 此次浮尘过程快结束时, 大气中浮尘气溶胶颗粒已经较为稀少。这一方面有可能是由于浮尘气溶胶快速沉降至地面, 一方面也有可能是北方沙尘较弱, 沙尘气溶胶在输送过程中已经大量沉降, 因此在上海地区残留较少。

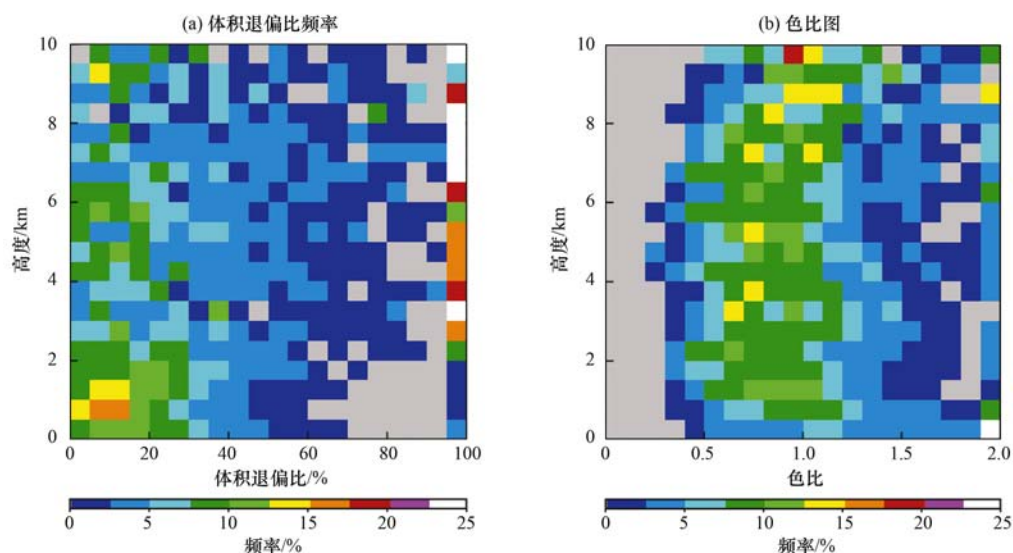


图 7 2009 年 10 月 19 日 12:46 (30.99°N, 121.07°E) 各高度体积退偏比频率图和色比图

Fig. 7 Frequency of the volume depolarization ratio and color ratio at 30.99°N, 121.07°E at 12:46, Oct. 19th, 2009

3 结论

(1) CALIPSO 星载激光雷达 532 nm 大气气溶胶总后向散射系数和 MPL 归一化大气气溶胶相对后向散射系数的垂直分布特征是基本一致的, 均反映出浮尘期间大气气溶胶主要集中在近地面 0 ~ 2 km 范围内, 后向散射系数范围在 0 ~ 0.015 km⁻¹·sr⁻¹。但两者对大气气溶胶散射情况的观测在高空有一定差异。

(2) CALIPSO 星载激光雷达和 MPL 的消光系数垂直分布情况基本符合, 均随着高度增加而减少; 但两者消光系数值存在较大差异, MPL 消光系数反演准确性还有待提高。

(3) MPL 实时显示浮尘过程中, 大气消光系数峰值先由 0.24 km⁻¹ 增加至 0.32 km⁻¹, 后逐渐减弱至 0.2 km⁻¹ 左右; 浮尘发生时气溶胶主要存在于 1 km 以下, 浮尘期间气溶胶层不断由低空向 2 km 空中扩散。

(4) 由 CALIPSO 观测可知, 浮尘快结束时, 2 km 以下则主要是大量较规则的小粒径气溶胶颗粒, 此

部分气溶胶对大气散射和消光产生显著影响, 其中近地面存在部分颗粒较大的气溶胶; 在 2 ~ 10 km 大气中仅存在少量气溶胶, 气溶胶颗粒物不规则程度较高; 其中 4 ~ 6 km 高度范围的大气由不规则气溶胶和规则气溶胶混合组成, 球型和非球型粒子均存在。

(5) CALIPSO 星载激光雷达和地面微脉冲激光雷达在探测污染天气的大气气溶胶垂直分布时各有优势。CALIPSO 星载激光雷达能够很好地探测高空气溶胶分布, 准确地分辨云层的干扰, 无云时能够较准确直观地反映气溶胶层高度及厚度, 较好地反映气溶胶光学特性的垂直分布特征及其粒子大小、不规则性随高度的变化特征, 但是由于卫星扫描的特点, 只能针对某一特定时段进行分析, 无法全天候监测; 而地面微脉冲激光雷达可以实时监测某一点的气溶胶垂直分布的时间演变规律, 两者结合起来可以较全面客观地为远程输送到上海地区的浮尘天气提供观测及科研数据。

致谢: 本研究卫星资料来自美国 NASA Langley Distributed Active Archive Center, 地面激光雷达数据

和气象资料均来自上海浦东新区气象局,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] Claquin T, Schulz M, Balkanski Y, *et al.* Uncertainties in assessing radiative forcing by mineral dust[J]. *Tellus B*, 1998, **50**(5): 491-505.
- [2] Huang J, Fu Q, Su J, *et al.* Taklimakan dust aerosol radiative heating derived from CALIPSO observations using the Fu-Liou radiation model with CERES constraints [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(12): 4011-4021.
- [3] Campbell J R, Reid J S, Westphal D L, *et al.* Characterizing the vertical profile of aerosol particle extinction and linear depolarization over Southeast Asia and the Maritime Continent: The 2007-2009 view from CALIOP[J]. *Atmospheric Research*, 2013, **122**(1): 520-543.
- [4] 贺千山, 潘鹄, 黄颖, 等. 上海干霾与湿霾气溶胶消光特性的比较[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2013, **49**(4): 497-503.
- [5] Formenti P, Schütz L, Balkanski Y, *et al.* Recent progress in understanding physical and chemical properties of African and Asian mineral dust [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(16): 8231-8256.
- [6] Li J M, Yi Y H, Minnis P, *et al.* Radiative effect differences between multi-layered and single-layer clouds derived from CERES, CALIPSO, and CloudSat data [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2011, **112**(2): 361-375.
- [7] 钱鹏, 郑祥民, 周立旻. 沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义[J]. *环境科学*, 2013, **34**(5): 2010-2017.
- [8] Koçak M, Theodosi C, Zampas P, *et al.* Influence of mineral dust transport on the chemical composition and physical properties of the Eastern Mediterranean aerosol [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **57**(1): 266-277.
- [9] 岳平, 牛生杰, 刘晓云. 浑善达克沙地春季沙尘暴期间沙尘启动及传输特性研究[J]. *中国沙漠*, 2008, **28**(2): 227-230.
- [10] 徐文帅, 魏强, 冯鹏, 等. 2010年春季沙尘天气对北京市空气质量的影响及其天气类型分析[J]. *中国环境监测*, 2012, **28**(6): 19-26.
- [11] Chen S Y, Huang J P, Zhao C, *et al.* Modeling the transport and radiative forcing of Taklimakan dust over the Tibetan Plateau: A case study in the summer of 2006[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, **118**(2): 797-812.
- [12] Ryder C L, Highwood E J, Lai T M, *et al.* Impact of Atmospheric Transport on the Evolution of Microphysical and Optical Properties of Saharan Dust [J]. *Geophysical Research Letters*, 2013, **40**(10): 2433-2438.
- [13] Knippertz P, Todd M C. The central west Saharan dust hot spot and its relation to African easterly waves and extratropical disturbances[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2010, **115**(D12), doi: 10.1029/2009JD012819.
- [14] 马越界, 黄建平, 刘玉芝. 利用星载云雷达资料分析夏季青藏高原的云辐射强迫[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2011, **47**(5): 48-54.
- [15] Bellouin N, Quaas J, Morcrette J J, *et al.* Estimates of aerosol radiative forcing from the MACC re-analysis [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(4): 2045-2062.
- [16] Huang Z W, Huang J P, Bi J R, *et al.* Dust aerosol vertical structure measurements using three MPL lidars during 2008 China-U. S. joint dust field experiment [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2010, **115**(D7), doi: 10.1029/2009JD013273.
- [17] Huang Z, Sugimoto N, Huang J, *et al.* Comparison of depolarization ratio measurements with micro-pulse lidar and a linear polarization lidar in Lanzou, China[A]. In: *Proceedings of the 25th International Laser Radar Conference* [C]. St. Petersburg, Russia: Curran Associates, Inc., 2010. 528-531.
- [18] 郭本军, 刘莉, 黄丹萍, 等. 激光雷达对一次沙尘天气探测与分析[J]. *气象*, 2008, **34**(5): 52-57.
- [19] 陈勇航, 毛晓琴, 黄建平, 等. 一次强沙尘输送过程中气溶胶垂直分布特征研究[J]. *中国环境科学*, 2009, **29**(5): 449-454.
- [20] 王治华, 贺应红, 李振声, 等. 气溶胶后向散射消光对数比对消光系数反演的影响研究[J]. *量子电子学报*, 2006, **23**(3): 335-340.
- [21] Fernald F G. Analysis of atmospheric lidar observations: Some comments[J]. *Applied Optics*, 1984, **23**(5): 652-653.
- [22] GB/T 20480-2006, 中华人民共和国国家标准, 沙尘暴天气等级[S].
- [23] 周敏, 陈长虹, 王红丽, 等. 上海市秋季典型大气高污染过程中颗粒物的化学组成变化特征[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(1): 81-92.
- [24] 徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 等. 环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征[J]. *环境科学*, 2012, **33**(7): 2165-2171.
- [25] Liu Z, Liu D, Huang J, *et al.* Airborne dust distributions over the Tibetan Plateau and surrounding areas derived from the first year of CALIPSO lidar observations[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(16): 5045-5060.

CONTENTS

Concentration and Community Diversity of Microbes in Bioaerosols in the Qingdao Coastal Region	QI Jian-hua, WU Li-jing, GAO Dong-mei, <i>et al.</i> (801)
Carbon Source Apportionment of PM _{2.5} in Chongqing Based on Local Carbon Profiles	ZHANG Can, ZHOU Zhi-en, ZHAI Chong-zhi, <i>et al.</i> (810)
Observation of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Beibei District, Chongqing	XU Peng, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (820)
A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties	WANG Yuan, DENG Jun-ying, SHI Lan-hong, <i>et al.</i> (830)
Analysis and Assessment of Atmospheric Pollution Based on Accumulation Characterization of Heavy Metals in <i>Platanus acerifolia</i> Leaves	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (839)
Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise	XU Zhi-rong, WANG Peng, WANG Zhe-ming, <i>et al.</i> (847)
Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants; a Numerical Simulation	WANG Zhan-shan, PAN Li-bo (853)
On Road Particle Emission Characteristics of a Chinese Phase IV Natural Gas Bus	LOU Di-ming, CHENG Wei, FENG Qian (864)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanols in Smoke from Rice and Maize Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (870)
Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO ₂ Concentration in the River Estuarine Marsh	ZHANG Lin-hai, TONG Chuan, ZENG Cong-sheng (879)
Partial Pressure and Diffusion Flux of Dissolved Carbon Dioxide in the Mainstream and Tributary of the Central Three Gorges Reservoir in Summer	LI Shuang, WANG Yu-chun, CAO Man, <i>et al.</i> (885)
Emission of CH ₄ , N ₂ O and NH ₃ from Vegetable Field Applied with Animal Manure Composts	WAN He-feng, ZHAO Chen-yang, ZHONG Jia, <i>et al.</i> (892)
Effects of Different Iron Oxides on Methane Emission in Paddy Soil as Related to Drying/Wetting Cycles	ZHANG Tian-jiao, TANG Jia, ZHUANG Li, <i>et al.</i> (901)
Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea	WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, <i>et al.</i> (908)
Phytoplankton Community Structure and Assessment of Water Quality in the Middle and Lower Reaches of Fenhe River	WANG Ai-ai, FENG Jia, XIE Shu-lian (915)
Lake Algae Chemotaxonomy Technology Based on Fluorescence Excitation Emission Matrix and Parallel Factor Analysis	CHEN Xiao-na, HAN Xiu-rong, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (924)
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas	LI Lu-lu, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> (933)
Distribution of Phosphorus in Surface Sediments from the Yellow River Estuary Wetland	YU Zi-yang, DU Jun-tao, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (942)
Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun	CHUAI Xiao-ming, YANG Liu-yan, CHENG Shu-bo, <i>et al.</i> (951)
Linking Optical Properties of Dissolved Organic Matter with NDMA Formation Potential in the Huangpu River	DONG Qian-qian, ZHANG Ai, LI Yong-mei, <i>et al.</i> (958)
Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Aquifer by Nano Zero-valent Iron; Debromination Kinetics and Pathway ...	YANG Yu-han, XU Wei-wei, PENG Si-kan, <i>et al.</i> (964)
Influencing Factors and Reaction Mechanism of Chloroacetic Acid Reduction by Cast Iron	TANG Shun, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (972)
Effect of Phosphorus Recovery on Phosphorous Bioaccumulation/Harvesting in an Alternating Anaerobic/Aerobic Biofilter System	ZHANG Shun, TIAN Qing, TANG Man-lin, <i>et al.</i> (979)
Effects of Pretreatment Methods on Corncob as Carbon Source for Denitrification	ZHAO Wen-li, HAO Rui-xia, LI Bin, <i>et al.</i> (987)
Start-Up by Inoculation and Operation of a CANON Reactor with Haydite as the Carrier	FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, QIU Fu-guo (995)
Diversity of Operation Performance and Microbial Community Structures in MBRs and CAS Processes at Low Temperature	HUANG Fei, MEI Xiao-jie, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1002)
Enhanced Hydrolysis and Acidification of Waste Activated Sludge by Alkyl Polyglycosides	CHEN Can, SUN Xiu-yun, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1009)
Effect of Substrate Concentration on Pathogen Indicators Inactivation During Thermophilic Anaerobic Digestion	CAO Hong-qing, ZHANG Fei-fei, LI Jian, <i>et al.</i> (1016)
Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Lanzhou	LI Ping, XUE Su-yin, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1021)
Ecological Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Aquatic Ecosystems of Pearl River Estuary	GUO Qiang, TIAN Hui, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> (1029)
Source Characteristics and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Surface Sediments of Haizhou Bay	LI Fei, XU Min (1035)
Health Risk Induced by Estrogens During Unplanned Indirect Potable Reuse of Reclaimed Water from Domestic Wastewater	WU Qian-yuan, SHAO Yi-ru, WANG Chao, <i>et al.</i> (1041)
Distribution Characteristics and Erosion Risk of Nitrogen and Phosphorus in Soils of Zhuangmu Town in Lake Wabuhu Basin	LI Ru-zhong, ZOU Yang, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1051)
Distribution and Risk Assessment of Mercury Species in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	ZHANG Cheng, CHEN Hong, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (1060)
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Residential Communities Built on Brownfields	CHEN Xing, MA Jian-hua, LI Xin-ning, <i>et al.</i> (1068)
Study on Ecological Risk Assessment Technology of Fluoride Pollution from Arid Oasis Soil	XUE Su-yin, LI Ping, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1075)
Rainfall Process and Nitrogen Input in Three Typical Forests of Jinyun Mountain	SUN Su-qi, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> (1081)
Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China	HAN Li-yang, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (1091)
Changes and Influencing Factors of the Soil Organic Carbon in Farmland in the Last 30 Years on Hilly Loess Plateau; A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie, <i>et al.</i> (1098)
Organic Carbon and Carbon Mineralization Characteristics in Nature Forestry Soil	YANG Tian, DAI Wei, AN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1105)
Dynamic Change of Phosphorus Leaching of Neutral Purple Soil at Different Re-wetting Rate	ZHANG Si-lan, SHI Xiao-jun, GUO Tao (1111)
Effects of Thiourea on pH and Availability of Metal Ions in Acid Red Soil	YANG Bo, WANG Wen, ZENG Qing-ru, <i>et al.</i> (1119)
Growth Responses of Six Leguminous Plants Adaptable in Northern Shaanxi to Petroleum Contaminated Soil	SHAN Bao-qin, ZHANG Yong-tao, CAO Qiao-ling, <i>et al.</i> (1125)
Plant N Status in the Alpine Grassland of the Qinghai-Tibet Plateau; Base on the N:P Stoichiometry	ZHANG Ren-yi, XU Dang-hui, CHEN Ling-yun, <i>et al.</i> (1131)
Development and Succession of Artificial Biological Soil Crusts and Water Holding Characteristics of Topsoil	WU Li, CHEN Xiao-guo, ZHANG Gao-ke, <i>et al.</i> (1138)
Carbon Dioxide Assimilation Potential, Functional Gene Amount and RubisCO Activity of Autotrophic Microorganisms in Agricultural Soils	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, JIAN Yan, <i>et al.</i> (1144)
Dynamics of Microbes and Enzyme Activities During Litter Decomposition of <i>Pinus massoniana</i> Forest in Mid-subtropical Area	SONG Ying, GU Xi-rong, YAN Hai-yuan, <i>et al.</i> (1151)
Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides(OCPs) in Camphor (<i>Cinnamomum camphora</i>) Tree Bark from Southern Jiangsu, China	ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, <i>et al.</i> (1159)
Combined Stress of Enhanced UV-B Radiation and 1,2,4-Trichlorobenzene Contamination on the Growth of Green Vegetable	LIU Cui-ying, FAN Jian-ling, XU Xiang-hua (1164)
Effect of Ectomycorrhizae on Heavy Metals Sequestration by Thermostable Protein in Rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Under Cu and Cd Stress	ZHANG Ying-wei, CHAI Li-wei, WANG Dong-wei, <i>et al.</i> (1169)
Isolation and Characterization of a Halotolerant <i>p</i> -nitroaniline Degrading Strain S8	SONG Cai-xia, DENG Xin-ping, LI Tian, <i>et al.</i> (1176)
Optimized Cultivation of a Biofloculant M-C11 Produced by <i>Klebsiella pneumoniae</i> and Its Application in Sludge Dewatering	LIU Jie-wei, MA Jun-wei, LIU Yan-zhong, <i>et al.</i> (1183)
Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China	LIANG Jing, MAO Jian-su (1191)
Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model	LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (1198)
Advances in the Pathway and Molecular Mechanism for the Biodegradation of Microcystins	YAN Hai, WANG Hua-sheng, LIU Xiao-lu, <i>et al.</i> (1205)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人