

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第4期

Vol.36 No.4

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示	高庆先,刘俊蓉,李文涛,高文康	(1141)
2013年1月北京市PM _{2.5} 区域来源解析	李璇,聂滕,齐珺,周震,孙雪松	(1148)
2013年1月北京市一次空气重污染成因分析	程念亮,李云婷,张大伟,聂滕,邱启鸿,徐文帅	(1154)
上海大气总悬浮颗粒物中金属的可溶性特征	常燕,冯冲,瞿建国,张经	(1164)
厦门春季PM ₁₀ 中PAHs成分谱特征及其与气象要素相关性分析	张健,樊曙先,孙玉,张悦,魏锦成	(1173)
硫氧同位素示踪南京北郊大气PM _{2.5} 中硫酸盐来源	魏英,郭照冰,葛鑫,祝胜男,姜文娟,石磊,陈姝	(1182)
结合激光雷达分析2014年春季南京地区一次大气污染过程	包青,贺军亮,查勇,程峰,李倩楠	(1187)
春季华东高山背景区域PM _{2.5} 和PM _{2.5-10} 中水溶性无机离子特征	苏彬彬,张智胜,陶俊,许梹洋,纪贤鑫,刘心东,张若宇	(1195)
落叶燃烧排放的颗粒物及有机碳、元素碳的研究	杨伟宗,刘刚,李久海,徐慧,吴丹	(1202)
四川省秸秆露天焚烧污染物排放清单及时空分布特征	何敏,王幸锐,韩丽,冯小琼,毛雪	(1208)
深圳市船舶排放清单与时空特征研究	杨静,尹佩玲,叶斯琪,王水胜,郑君瑜,区家敏	(1217)
超细颗粒通过建筑狭缝的传输特性	孙在,陈秋方,蔡志良,杨文俊,汪晗	(1227)
空调病房真菌气溶胶浓度及粒径分布特征	张华玲,冯鹤华,方子梁,王本栋,李丹	(1234)
基于氢氧稳定同位素的黄土高原云下二次蒸发效应	靳晓刚,张明军,王圣杰,朱小凡,董蕾,任正果,陈粉丽	(1241)
黄河小浪底水库水沙调控对DOC输送的影响	张永领,王明仕,董玉龙	(1249)
调水调沙工程长期实施对黄河口近岸沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的影响	王苗苗,孙志高,卢晓宁,王伟,王传远	(1256)
春季生物作用对山地岩溶池水地球化学特征的影响	于正良,杨平恒,赵瑞一,李林立,张琳,童小容,罗刚	(1263)
降雨期间岩溶城镇区地下水重金属变化特征及来源解析	任坤,杨平恒,江泽利,王尊波,师阳,王凤康,李晓春	(1270)
北江和珠江广州河段水体的三卤甲烷风险评价	钟惠舟,韦朝海	(1277)
丰水期洪湖水水质空间变异特征及驱动力分析	李昆,王玲,李兆华,王祥荣,陈红兵,吴忠,朱鹏	(1285)
三峡库区典型干-支流相互作用过程中的营养盐交换:以梅溪河为例	操满,傅家楠,周子然,邓兵,王雨春,汪福顺	(1293)
营养盐输入对太湖水体中磷形态转化及藻类生长的影响	王睿喆,王沛芳,任凌霄,王超,王颖雪	(1301)
一小型藻华池塘浮游植物群落动态及其影响因子研究	杨文,朱津永,张克鑫,万莉,陆开宏	(1309)
昌黎生态监控区夏季浮游植物群落年际变化特征分析	梁晓林,杨阳,王玉良,张月明,赵志楠,韩晓庆,张鉴达,高伟明	(1317)
河道曝气提升河流水质的WASP模型研究	朱文博,王洪秀,柳翠,张建,梁爽	(1326)
γ辐射降解水中的盐酸丙沙星的研究	祝胜男,郭照冰,赵永富,葛鑫,魏英,陈姝,王静	(1332)
电化学氢化物发生法处理含锑废水及对锑的回收	陈京晶,张国平,李海霞,付志平,欧阳小雪,吴琼	(1338)
Fe-MCM-41催化臭氧氧化间甲酚废水	孙文静,王亚旻,卫皇墨,王森,李旭宁,李敬美,孙承林,安路阳	(1345)
生物阳极及其反转为生物阴极降解氯霉素	孔德勇,梁斌,云慧,王爱杰,任南琪	(1352)
308 nm光作用下α-Fe ₂ O ₃ 表面HNO ₃ 的光解	陆军,孙云东,谢晶晶,赵军,邹家骥,朱承强	(1359)
L-组氨酸-赤藓红复合膜修饰电极同时检测对苯二酚、邻苯二酚	何家洪,徐强,丁武泉,李强	(1365)
酞基功能型高分子生物载体(PET-AQS)制备及催化生物反硝化特性研究	许晴,侯正浩,田秀蕾,牛春梅,郭延凯,廉静,郭建博	(1374)
枯草芽孢杆菌对土霉素和2-甲基异冰片的降解动力学特性	马念念,罗国芝,谭洪新,姚妙兰,王晓用	(1379)
嗜碱降解菌筛选及其对焦化废水强化处理	李静,李文英	(1385)
Fe ³⁺ 对同步硝化反硝化过程氮元素迁移转化及N ₂ O释放的影响	李浩,闫玉洁,谢慧君,贾文林,胡振,张建	(1392)
内循环半短程亚硝化工艺运行条件与微生物群落研究	赵志瑞,焦海华,崔丙健,黄迪,曹世超,王云,刘上千,马斌,白志辉	(1399)
利用处理含4-氯苯酚模拟废水的剩余污泥培养普通小球藻	王璐,陈秀荣,闫龙,何怡萱,施震东	(1406)
进水渗滤液总氮和BOD ₅ /TN对填埋场反应器反硝化和厌氧氨氧化协同脱氮的影响	杨盈盈,陈奕,李明杰,谢冰	(1412)
重庆金佛山土壤中PAHs含量的海拔梯度分布及来源解析	师阳,孙玉川,梁作兵,任坤,袁道先	(1417)
湖南攸县典型煤矿和工矿区水稻田土壤镉污染特征及污染途径分析	张敏,王美娥,陈卫平,牛俊杰	(1425)
沟渠化对三江平原湿地铁元素沉积过程的影响	苏文辉,于晓菲,王国平,栾金花,邹元春	(1431)
施用磷酸盐和沸石对土壤镉形态转化的影响	王秀丽,梁成华,马子惠,韩月	(1437)
不同条件下皂苷对污染壤土中Cu、Pb的淋洗修复	邓红侠,杨亚莉,李珍,许岩,李荣华,孟昭福,杨亚提	(1445)
陕北某化工企业周围污灌区土壤-作物系统重金属积累特征及评价	齐雁冰,楚万林,蒲洁,刘梦云,常庆瑞	(1453)
有机无机缓释复合肥对不同土壤微生物群落结构的影响	王菲,袁婷,谷守宽,王正银	(1461)
玉米对铅胁迫的响应及体内铅化学形态研究	程海宽,张彪,景鑫鑫,杨素勤,赵鹏,孙晓雪,周志云	(1468)
硼锑交互作用对水稻吸收积累锑和硼的影响	向猛,黄益宗,蔡立群,保琼莉,黄永春,王小玲,乔敏,胡莹,金姝兰,李季,王斐	(1474)
丛枝菌根真菌对不同含盐量湿地土壤中芦苇生长的影响	郭江源,郭伟,毕娜,付瑞英,赵文静,赵仁鑫,王立新	(1481)
滨海区芦苇和香蒲耐盐碱性及除氮磷效果对比研究	陈友媛,孙萍,陈广琳,王宁宁	(1489)
不同温度下的土壤微生物呼吸及其与水溶性有机碳和转化酶的关系	吴静,陈书涛,胡正华,张旭	(1497)
工业VOCs经济手段和工程技术减排对比性分析	王宇飞,刘昌新,程杰,郝郑平,王铮	(1507)
《环境科学》征订启事		(1216)
《环境科学》征稿简则		(1248)
信息		(1163,1194,1248,1424)

结合激光雷达分析 2014 年春季南京地区一次大气污染过程

包青^{1,2}, 贺军亮³, 查勇^{1,2*}, 程峰^{1,2}, 李倩楠^{1,2}

(1. 南京师范大学地理科学学院虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023; 2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 3. 石家庄学院资源与环境科学学院, 石家庄 050035)

摘要: 利用环境监测数据、气象数据以及数值模拟结果, 结合激光雷达数据反演的气溶胶消光系数, 分析了 2014 年 5 月 26 日至 6 月 1 日南京地区一次典型的大气污染过程. 本次污染过程受到外源性沙尘和烟尘输入以及本地污染排放叠加影响. 气象因素对污染物的生消起到了重要作用, 低压、逆温等因素阻碍污染物扩散, 最终强降雨的出现使本次污染过程终结. 整个污染过程中大气边界层高度偏低且变化不大, 大形势稳定, 污染物扩散困难. 激光雷达可以有效探测气溶胶的垂直分层结构, 能直观准确地反映出污染物的分布聚集情况以及时空变化, 对大气污染监测具有重要意义.

关键词: 激光雷达; 大气污染; 消光系数; 沙尘; 颗粒物

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)04-1187-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.04.007

Analysis of an Air Pollution Process Using LiDAR in Nanjing, Spring of 2014

BAO Qing^{1,2}, HE Jun-liang³, ZHA Yong^{1,2*}, CHENG Feng^{1,2}, LI Qian-nan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, College of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 3. Department of Resource and Environment, Shijiazhuang College, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: Based on environmental monitoring data, meteorological data and the results of numerical simulation, a typical air pollution process in Nanjing, from 26th May to 1st June, 2014 was deeply analyzed combining aerosol extinction coefficient derived from LiDAR system. Experimental results showed that the entire pollution process was affected by both local pollution and exogenous inputs including dust and smoke. Meteorological factors played a significant role in the generation and elimination of pollutants. Low pressure and temperature inversion also hindered the diffusion of pollutants, while strong rainfall terminated the pollution process. During the pollution, the height of atmospheric boundary layer was lower than normal situation and changed little during the pollution period, which provided a poor diffusion condition for pollutants. LiDAR could accurately detect aerosol vertical structure which was able to capture the temporal and spatial variation of pollutant distributions. Therefore, LiDAR can be of great significance for the atmospheric pollution monitoring.

Key words: LiDAR; air pollution; extinction coefficient; dust; particle matters

近年来,大气气溶胶造成的大气污染事件频发,给人类社会的生产生活造成了极大影响^[1,2]. 然而大气污染过程的成因复杂且变化多端,仅仅依靠单一的手段很难做到对污染过程的全面、客观、科学分析. 激光雷达以其探测距离远、时空分辨率高、使用方便高效等优势在大气污染监测中发挥着重要作用^[3]. 激光雷达能够有效探测大气气溶胶垂直结构及其演变过程,对分析污染物的来源、分布以及生消机制具有重要作用^[4~8]. 目前普遍将激光雷达结合气象观测数据、卫星遥感资料以及数值模拟结果等数据进行综合观测分析.

利用激光雷达结合多源资料进行大气污染监测已经得到广泛的应用. 李成才等^[9]用 MODIS 在可见光通道气溶胶光学厚度的卫星遥感数据和 523

nm 波长的微脉冲激光雷达对气溶胶消光系数垂直分布进行了观测,分析了珠三角地区在 2003 年 6 月的一次气溶胶污染过程. 黄艇等^[10]利用激光雷达结合实测 PM₁₀ 质量浓度和地面及探空资料对 2006 年 4 月大连地区的一次沙尘过程的时空分布特征进行了精确分析; 马井会等^[11]结合激光雷达、地面气象数据和气溶胶观测资料以及卫星遥感资料分析了 2010 年 3 月上海地区一次浮尘天气,进而得出外源性输入和垂直风场分布是本次污染的主要原因; 王

收稿日期: 2014-09-10; 修订日期: 2014-12-05

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2014CB953802); 河北省教育厅科研项目(Z2014090); 江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介: 包青(1990~),男,硕士研究生,主要研究方向为激光雷达大气污染监测, E-mail: baoqing2004@126.com

* 通讯联系人, E-mail: 09082@njnu.edu.cn

苑等^[12]利用地面和星载(CALIPSO)激光雷达联合分析了2009年10月上海地区一次浮尘过程的气溶胶光学特性;焦艳等^[13]利用激光雷达等多种地面观测资料,研究2011年4月上海的一次典型污染过程,分析污染物的来源、生消机制以及气溶胶垂直分布的演变过程。Miffre等^[14]利用激光雷达观测法国里昂地区颗粒物的垂直分布,并将结果与实测值 PM_{10} 做了比较,此外还结合空气质量轨迹模型进行了污染源评价。Wu等^[15]利用激光雷达、地表环境监测数据以及WRF模式模拟结果研究了南京仙林地区一次逆温引起的大气污染事件。

南京作为长三角核心城市之一,经济结构复杂,人为污染排放源种类多且数量大,大气污染形势严峻。本文利用南京仙林地区的南京师范大学大气遥感试验站Mie激光雷达系统观测数据结合南京市环境监测站仙林站点环境监测数据、气象数据以及Navy Aerosol Analysis and Prediction System (NAAPS)、HYSPLIT模式模拟结果对2014年5月26日至6月1日南京地区一次复杂的污染过程进行研究,分析了污染物的来源及生消机制以及气溶胶的垂直分布及变化规律。

1 材料与方法

1.1 激光雷达数据及处理

利用安置在南京师范大学仙林校区学正楼(118.913°E, 32.103°N)5楼的532 nm的Mie激光雷达系统进行气溶胶垂直观测。该系统连续观测采集了2014年5月26日09:00至5月31日13:00的大气回波信号。由于本研究采用非同轴发射的激光雷达系统致使观测存在约120 m盲区,因此激光雷达在120 m以下高度的反演结果本文并未分析。将所得的雷达回波信号经过背景信号扣除、几何因子订正、信号滤波等处理后采用Fernald法反演气溶

胶消光系数廓线^[16,17]。

1.2 其他数据获取

近地表污染物数据包含 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 质量浓度数据,以及实测温度、风速、相对湿度、气压等数据来自南京市环境监测中心站提供的仙林站点数据。该站点与雷达系统部署在同一地点,且都选用整点观测的小时数据进行分析,确保了数据的高度匹配。

地面天气图由香港天文台提供。南京市地面探空资料由安徽省气象数据共享平台获得。NAAPS模式和HYSPLIT模式模拟结果分别由网站(<http://www.nrlmry.navy.mil>; <http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>)在线获取。

2 结果与讨论

2.1 污染过程分析

根据环境保护部2012年颁布的《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)^[18], $PM_{2.5}$ 日均质量浓度的二级标准为 $75 \mu g \cdot m^{-3}$ 。本次污染期自2014年5月26日至6月1日, $PM_{2.5}$ 日均质量浓度分别为92.8、125.7、117.3、155.5、199.9、106.4以及48.8 $\mu g \cdot m^{-3}$ 。6月1日10:00之前空气污染较为严重,随后 $PM_{2.5}$ 降至较低水平,整个污染过程结束。因此虽然6月1日 $PM_{2.5}$ 日均值并不高,本文也将其纳入到整个污染过程进行分析。

整个污染过程中颗粒物质量浓度变化情况如图1所示。 $PM_{2.5}$ 质量浓度反映的是空气中细颗粒物的质量浓度变化情况, $PM_{10}-PM_{2.5}$ 可以认为代表着大粒径颗粒物的浓度变化。从整体趋势来看,大粒径颗粒物分别在5月26日和5月28日出现过两次增加。

根据黄鹂鸣等^[19]的研究结果,南京地区空气中细颗粒物($PM_{2.5}$)在 PM_{10} 中的比重大于粗颗粒物,约占68%,可见在常规情况下空气中的 $PM_{2.5}$ 浓度应该略大于 $PM_{10}-PM_{2.5}$ 。由此,本研究将整个污染

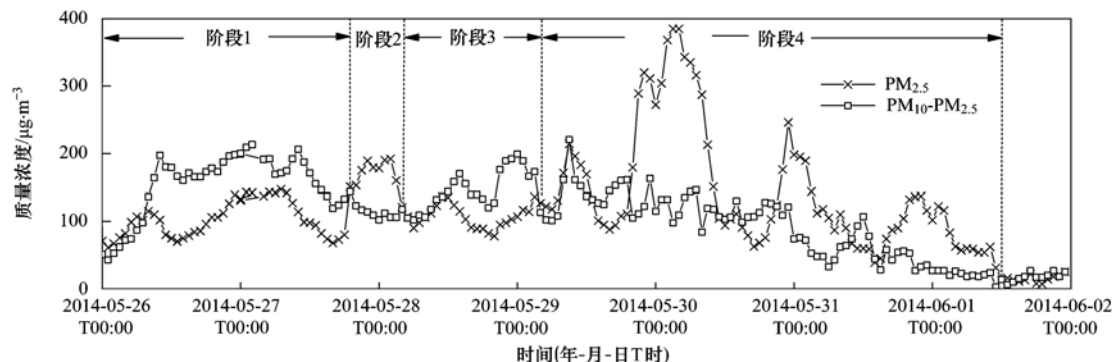


图1 2014年5月26日至6月1日颗粒物质量浓度随时间变化情况

Fig. 1 Time variation of particulate matter mass concentration from 26th May to 1st June, 2014

过程分为 4 个阶段. 第一阶段为从污染开始至 5 月 27 日 18:00, 空气中污染物以大粒径颗粒物为主, $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的比重均值为 0.4, 最低值为 0.295, 出现在 5 月 26 日 12:00. 第二阶段从 5 月 27 日 18:00 至 28 日 05:00, 在此阶段内 $PM_{2.5}$ 浓度急剧上升, 最高值达到 $189 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (5 月 27 日 22:00), 随后又急剧下降至 $107 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 第三阶段从 5 月 28 日 05:00 至 29 日 04:00, 在此阶段 PM_{10} - $PM_{2.5}$ 的值又出现明显上升, 虽然 $PM_{2.5}$ 浓度也在同步上升, 但前者的幅度明显大于后者. 第四阶段为 5 月 29 日 04:00 直至污染过程结束, 在此阶段空气中大粒径

颗粒物浓度在震荡中明显降低, 但 $PM_{2.5}$ 浓度依旧保持较高水平. 值得注意的是, $PM_{2.5}$ 质量浓度在每天凌晨都会出现一次明显的暴增. 尤其在 5 月 30 日凌晨, 细颗粒浓度最高达到 $385 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

2.2 污染原因分析

NAAPS 模式可以预报和模拟沙尘、烟尘和硫酸盐气溶胶的全球分布. 本研究主要使用其东亚地区的沙尘模拟结果. 由图 2 中 NAAPS 的模拟结果可以看出, 在 5 月 26~31 日, 中国东部地区经历了一次沙尘污染天气, 本次污染最早发源于内蒙古西部地区, 随后扩散至中国东部沿海地区.

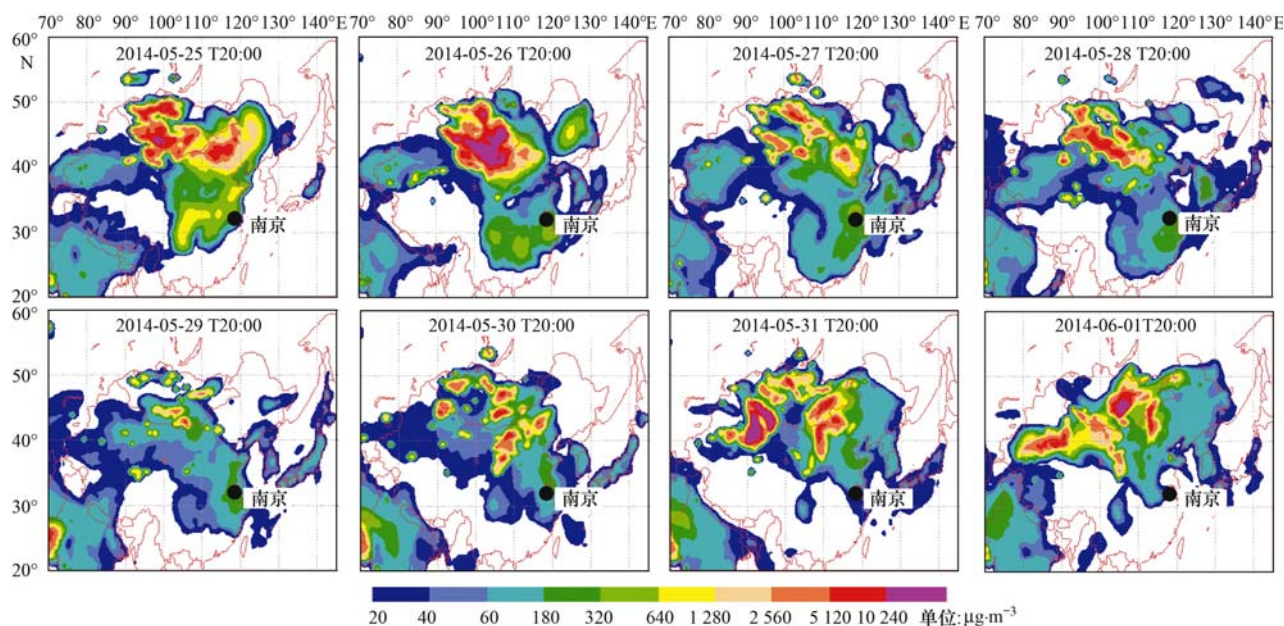


图 2 NAAPS 模式模拟的东亚地区地表沙尘浓度分布

Fig. 2 Simulation result of dust surface concentration distribution in East Asia using NAAPS

利用 HYSPLIT 模型对仙林地区污染来源进行轨迹分析, 如图 3(a), 时间为北京时间 5 月 27 日 00:00, 100 m 和 1 500 m 高度的 72 h 后向轨迹分析. 结合 NAAPS 模拟结果可以认定: 本次污染的第一阶段主要为西北方向输入性沙尘所致. 由于沙尘气溶胶粒径比较大, PM_{10} 质量浓度上升速度明显高于 $PM_{2.5}$, 因此在污染的第一阶段 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的比重明显低于常规值.

为分析第二阶段空气中 $PM_{2.5}$ 质量浓度出现急剧上升的原因, 如图 3(b), 对 5 月 28 日 00:00, 100 m 和 1 500 m 两个高度进行 72 h 后向轨迹分析. 从中可见, 此段时间内空气中的气溶胶虽然也是起源于北方, 但是不同高度的进入路径有一定区别. 1 500 m 高度的污染物由北方直接进入南京, 对应下文分析此时第二波沙尘已经开始侵入. 由于此时沙

尘还处在较高的位置, 因此地表的环境监测站并未监测到. 100 m 高度的污染物经过安徽省从南京的西南方向进入南京, 根据环保部每日的遥感监测数据, 自 5 月 23~27 日安徽省共发现秸秆燃烧着火点 18 处. 此外, 5 月 27 日晚南京南部高淳桤溪地区也被发现有大面积秸秆焚烧出现, 仙林地区很可能受到影响. 吴万宁等^[20]经过分析发现秸秆焚烧造成的污染具有爆发性并且污染重, 持续时间短. 张红等^[21]研究了郑州市一次秸秆焚烧引起的严重雾霾天气, 发现秸秆焚烧会导致空气中微小粒子数量增加, 进而增大空气污染的概率. 污染第二阶段细颗粒物浓度猛增而大粒径颗粒物浓度略有下降的污染特征与前二者的研究相符. 因此综合分析第二阶段 $PM_{2.5}$ 的异常升高的主要原因为秸秆焚烧.

由于秸秆焚烧造成的污染持续时间短, 因此 5

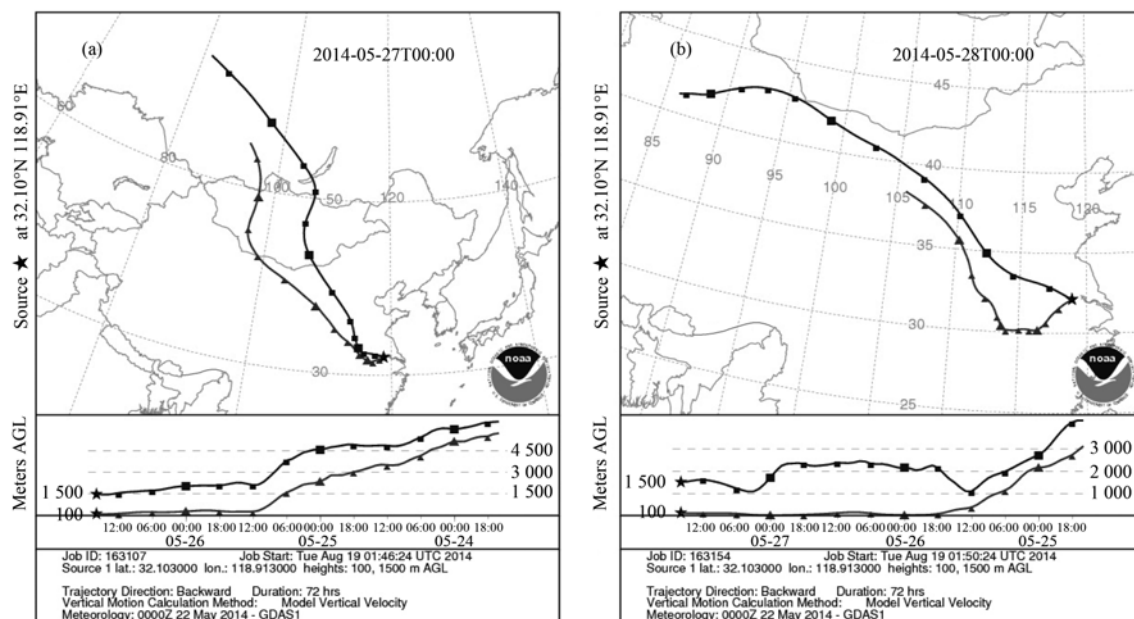


图3 后向轨迹分析

Fig. 3 HYSPLIT back trajectory analysis

月28日细颗粒物浓度下降而5月27日夜间开始侵入的沙尘也逐渐沉降近地表,污染进入第三阶段,主要污染物转变为大粒径沙尘颗粒物。

根据 NAAPS 模拟以及监测站实测结果,5月29日起空气中沙尘的含量已开始逐渐缓慢降低,但 $PM_{2.5}$ 由于有本地污染源的持续供给,浓度仍一直居高不下,因此第四阶段的污染主要是本地排放的污染物与沙尘叠加。

2.3 气象资料分析

2.3.1 地面天气系统分析

图4为2014年5月26日至6月1日隔天上午08:00的东亚地区地面天气图。由中可见,自5月26日起至5月30日,南京一直处于多个天气系统的对峙交界处,气压梯度小,地表风速低,有利于污染物的积累。6月1日时苏皖地区已处于低压天气系统控制范围。低压的出现使得天气形势更加稳定,会造成污染物的进一步积累,加重污染程度。本

次西北沙尘在5月28日上午第二次侵入后,直至5月31日才基本消散,正是由于稳定的气压系统减缓了污染物扩散速度。但另一方面,由于低压天气时,气流从四面八方流入低压中心,中心气流被迫上升而凝云致雨,所以气旋过境时,云量增多,可能会出现阴雨天气,这对污染的消除反而具有积极作用。

2.3.2 地表气象要素分析

图5为环境监测站观测的温度、风速、相对湿度、气压以及降水资料。从中可见,温度和相对湿度都呈现明显的日变化。每日的气温在凌晨到达谷点,午后到达峰点。相对湿度变化则与温度变化情况相反,二者呈现明显的负相关关系。此二者在6月1日变化异常,这主要是出现了强降雨,使温度降低,湿度陡然升高。

本次污染期间,气压变化情况总体稳定,在6月1日出现明显下降,对应上文南京进入低压系统。风速一直处于较低水平且变化不大,这主要是由于

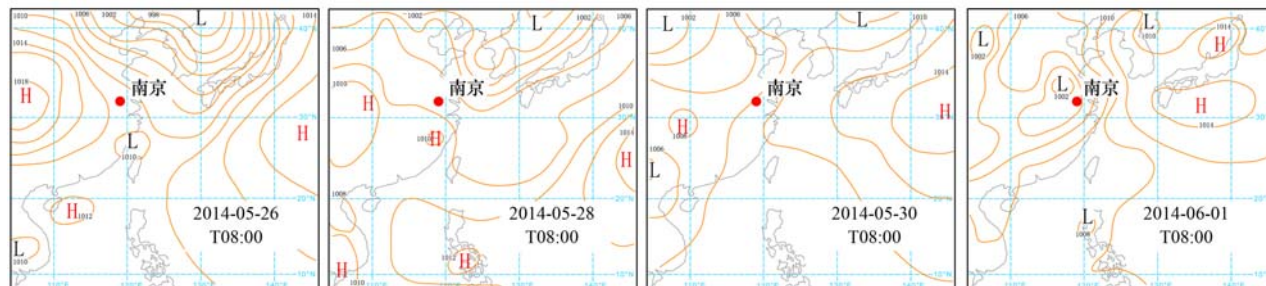


图4 东亚地区地面天气

Fig. 4 Surface weather maps over East Asia

稳定的天气形势导致,对污染物的消散极其不利. 6 月 1 日 10:00 出现了一次强降雨天气,随后 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 均降低到了较低水平,整个污染过程结束. $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度由雨前的 $102 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 降至 11

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,下降了近 90%,可见降雨对细颗粒物污染的消散起到了决定作用. 但是由于在降雨来临之前大粒径颗粒物浓度已经降至较低水平,因此降雨对其影响并不大.

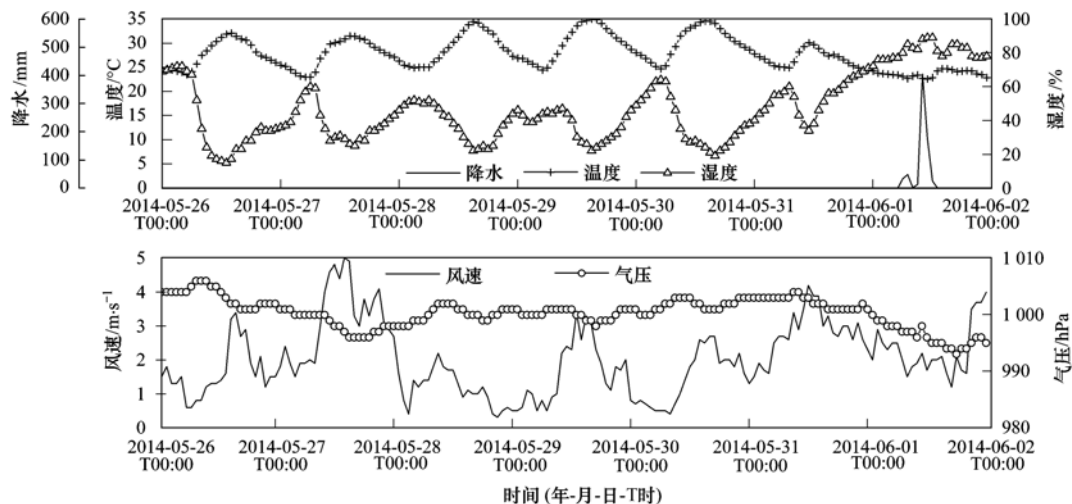


图 5 2014 年 5 月 26 日至 6 月 1 日监测站风速、温度、气压、湿度、降雨量随时间变化情况

Fig. 5 Time variation of wind speed, temperature, air pressure, relative humidity and precipitation from 26th May to 1st June, 2014

2.4 激光雷达探测结果分析

2.4.1 消光系数垂直廓线

图 6 为激光雷达观测的大气污染期间不同时间点的消光系数垂直廓线图. 由上文分析可知,5 月 26 日南京经历了一次沙尘天气,图 6(a)很好地反映了本次沙尘天气过程中气溶胶垂直结构的变化情况. 5 月 26 日 09:00, 3 km 以下的消光系数均在 0.17 km^{-1} 左右,到了 15:00 和 20:00 消光系数大值区域出现了明显下移同时消光系

数数值也出现明显增长,说明沙尘气溶胶是由高层向低层扩散,这与马井会等^[11]的研究结论一致. 同样的情况在 5 月 27 日夜间至 28 日上午也有发生.

如图 6(b)和 6(c),27 日 20:00 的消光系数廓线在 2.3 ~ 3.3 km 高度存在明显高值区,到了 5 月 28 日上午 09:00 高值区域出现明显下降,这属于沙尘天气时的消光廓线变化特征,说明 5 月 27 日夜间至 5 月 28 日凌晨确实出现了沙尘输入. 这也印证

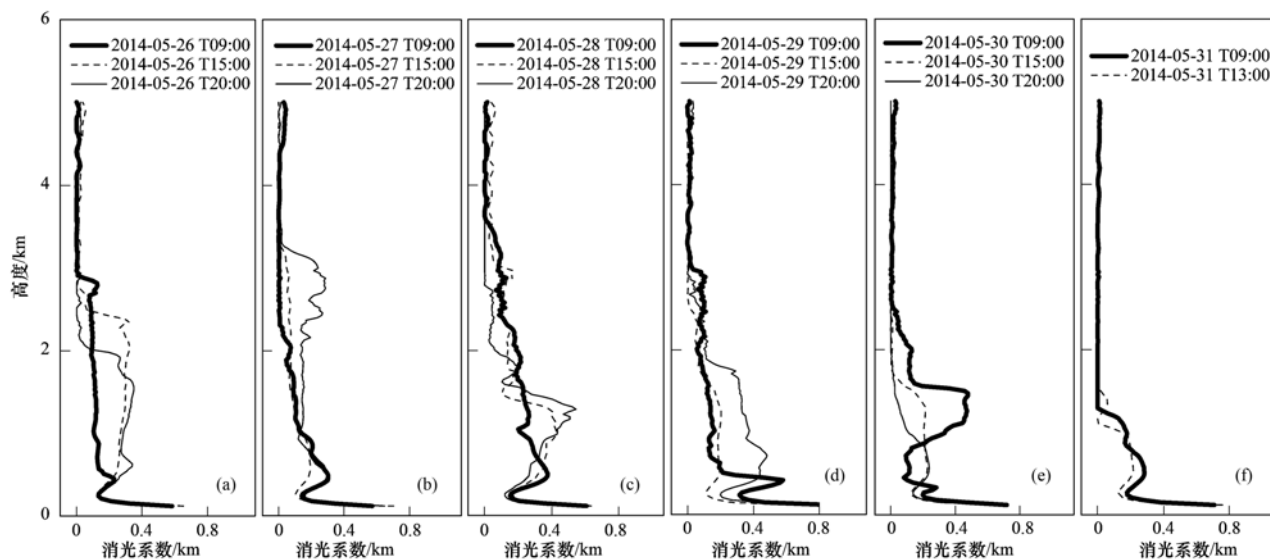


图 6 2014 年 5 月 26 ~ 31 日消光系数 (532 nm) 垂直廓线

Fig. 6 Vertical profiles of extinction coefficient (532 nm) on 26th to 31st May, 2014

了前文中大粒径颗粒物含量分别在 5 月 26 日和 28 日出现增加的分析。

5 月 29~31 日,消光系数主要集中在 2 km 以下且变化情况复杂,这主要是由于沙尘天气终止但由于大气形势稳定污染物扩散困难,两次沙尘输入加上本地产生的污染物相互叠加。

2.4.2 消光系数垂直结构时间序列

图 7 是根据激光雷达观测结果反演的消光系数垂直结构随高度和时间变化。从中可以看出 5 月 26 和 5 月 28 日两次明显的沙尘天气过程。这两次沙尘期间,整个边界层以下消光系数分布均匀且强度变化不大,都在 $0.2 \sim 0.4 \text{ km}^{-1}$ 之间。

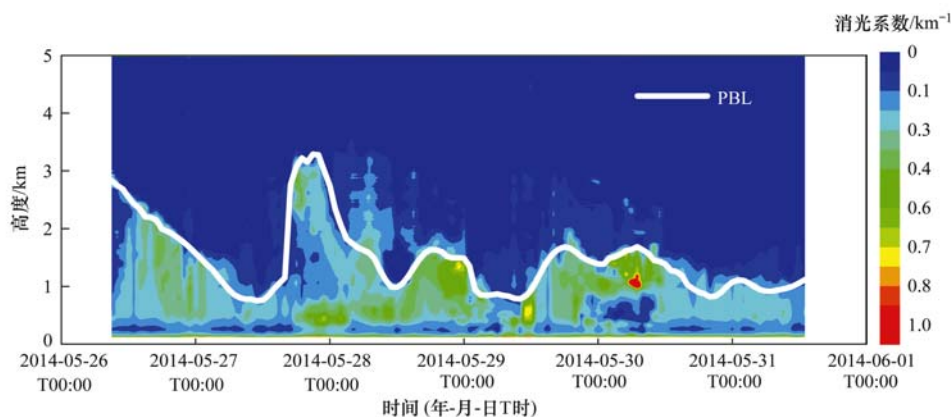


图 7 2014 年 5 月 26 日~6 月 1 日激光雷达反演的消光系数及边界层高度随高度和时间变化

Fig. 7 Altitude and time variation of LiDAR inversed extinction coefficient and PBL from 26th May to 1st June, 2014

5 月 27 日夜间至 5 月 28 日凌晨在近地表 500 m 以下范围出现了消光系数大值区域,由前文分析认为是秸秆焚烧导致 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度陡升。由污染物出现的高度较低可以判断污染源应该出现在南京附近,因为如果是长距离的烟尘输送,那么在到达南京时污染物出现的高度应该更高。结合污染出现的时间点分析,高淳地区的秸秆焚烧应该是主要污染源。

5 月 28 日午后随着地表温度的上升,湍流作用使得消光系数大值区域出现抬升,到了夜间 20:00 之后开始下降。同样的状况在 5 月 29 日也有发生。

由于污染物在夜间出现沉降,因此地表 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度在 5 月 30 日、31 日以及 6 月 1 日凌晨均出现峰值,5 月 30 日凌晨污染最为严重,随后逐次递减。

此外 5 月 28 日 23:00、29 日 11:00 以及 30 日 07:00 分别在 1.4、0.5、1 km 处出现了消光系数明显的大值区域,消光系数均大于 0.7 km^{-1} ,可见有大量污染物聚集。由临近时间点南京气象观测站的探空数据(图 8)可以看出,污染物聚集的高度附近存在明显的逆温层,这导致大气湍流减弱,层结稳定,污染物聚集。

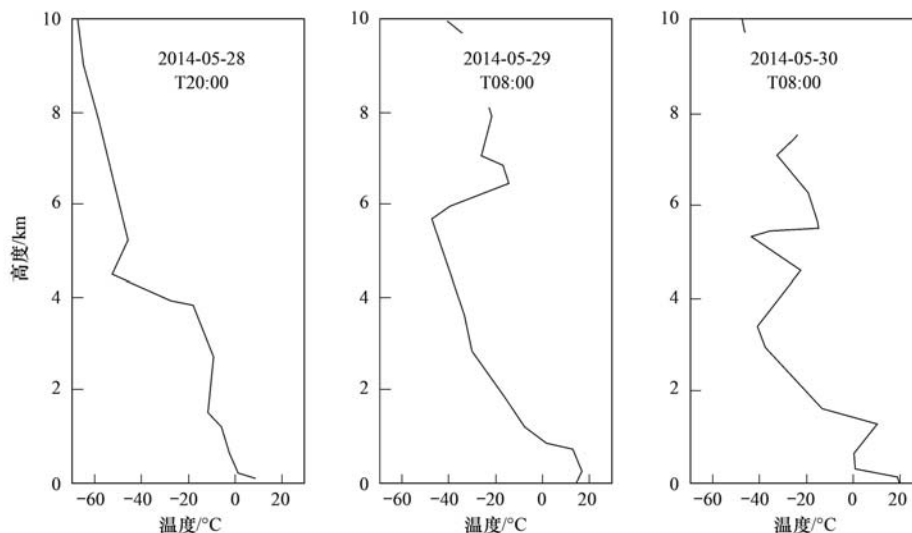


图 8 南京站高空探测温度层结曲线

Fig. 8 Temperature stratification curve of upper air sounding of Nanjing station

2.4.3 大气边界层变化分析

大气边界层(PBL)是指对流层直接受地面影响的部分,其厚度随着空间和时间而变化,幅度从几百米到几公里不等。本研究根据雷达反演结果采用斜率法^[22]直接计算大气边界层高度,斜率法的优点是方便简洁,对于稳定大气条件下的边界层计算快捷,不足之处是如果大气环境复杂计算的结果波动会很大,所以利用 Savitzky-Golay 方法^[23]对计算结果进行平滑滤波,滤波窗口选择 11。

图 7 中白线为经过平滑滤波得到的边界层高度变化图。PBL 是反映空间扩散条件的重要指标之一,其高度越低,越不利于近地层空气垂直混合,大气污染物扩散也越差^[24]。根据姜杰等^[25]的研究,南京地区春季大气边界层平均高度应该在 1.8 km 左右,而本次污染期间大气边界层平均高度仅为 1.24 km,明显偏低。此外,除了两次沙尘输入导致大气边界层异常升高之外,整个污染期间边界层高度变化范围不大,也说明了大气结构稳定,垂直湍流作用不强,不利于污染物的扩散。

3 结论

(1)本次污染过程分为 4 个阶段:第一阶段主要为西北沙尘输入影响;第二阶段由于秸秆焚烧导致细颗粒物浓度出现短暂暴增;第三阶段是由于沙尘第二次输入,主要污染物再次转变为大粒径沙尘颗粒物;第四阶段为滞留的沙尘与本地排放的污染物叠加。这说明南京地区大气污染过程复杂且污染源多样,大气污染治理形势严峻。

(2)大气形势稳定是本次污染加剧的主要原因。一方面,由于地面气压梯度小,风速低,污染过程后期南京地区逐渐被低压系统控制,这些都不利于污染物的扩散,加上本地污染物后续的不断积压使得污染不断加重。另一方面,在垂直方向上由于逆温现象的出现阻碍大气湍流,大气边界层偏低且变化稳定,多种不利条件更使得污染形势雪上加霜。

(3)降雨对污染物的消除具有重要作用。本次污染过程中,大气环境对污染物的消散极其不利,细颗粒物($PM_{2.5}$)污染最终依赖于 6 月 1 日的强降雨得以终结。可见气象因素对污染物的生消起到重要作用。

(4)利用激光雷达可以有效探测气溶胶的垂直分层结构,这体现出了其对于大气污染检测的独特优势。激光雷达反演结果可以清晰地看出污染物的分布聚集情况以及时空变化。这尤其体现在污染第

二阶段,高空沙尘和近地表烟尘同时存在于不同高度,这是其他监测设备无法做到的。此外,在本次污染初期,激光雷达的反演结果很好地揭示了沙尘输入期间,沙尘气溶胶由上向下的扩散现象。雷达反演污染物聚集范围与逆温层分布范围一致,也说明激光雷达监测大气污染具有较高的精度。

参考文献:

- [1] 毛节泰, 张军华, 王美华. 中国大气气溶胶研究综述[J]. 气象学报, 2002, **60**(5): 625-634.
- [2] 张小玲, 夏祥鳌, 车慧正, 等. 区域污染对本底地区气溶胶光学特性及辐射强迫影响的地基和卫星遥感观测研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(7): 2439-2448.
- [3] 夏俊荣, 张镭. Mie 散射激光雷达探测大气气溶胶的进展[J]. 干旱气象, 2006, **24**(4): 68-72.
- [4] 汪少林, 谢品华, 胡顺星, 等. 车载激光雷达对北京地区边界层污染监测研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(3): 562-568.
- [5] 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.
- [6] 陈敏, 孙东松, 顾江, 等. 激光雷达探测的大气气溶胶空间二维分布[J]. 红外与激光工程, 2007, **36**(3): 369-372.
- [7] 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.
- [8] 刘琼, 耿福海, 陈勇航, 等. 上海不同强度干霾期间气溶胶垂直分布特征[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(2): 207-213.
- [9] 李成才, 刘启汉, 毛节泰, 等. 利用 MODIS 卫星和激光雷达遥感资料研究香港地区的一次大气气溶胶污染[J]. 应用气象学报, 2005, **15**(6): 641-650.
- [10] 黄艇, 宋煜, 胡文东, 等. 大连地区一次沙尘过程的激光雷达观测研究[J]. 中国沙漠, 2010, **30**(4): 983-988.
- [11] 马井会, 顾松强, 陈敏, 等. 结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程[J]. 生态学报, 2012, **32**(4): 1085-1096.
- [12] 王苑, 邓军英, 史兰红, 等. 基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析[J]. 环境科学, 2014, **35**(3): 830-838.
- [13] 焦艳, 陶俊, 傅刚, 等. 2011 年春季上海市一次典型污染过程及气溶胶的垂直分布特征[J]. 中国粉体技术, 2013, **19**(1): 1-6.
- [14] Miffre A, Abou Chacra M, Geffroy S, et al. Aerosol load study in urban area by LiDAR and numerical model[J]. Atmospheric Environment, 2010, **44**(9): 1152-1161.
- [15] Wu W, Zha Y, Zhang J, et al. A temperature inversion-induced air pollution process as analyzed from Mie LiDAR data[J]. Science of the Total Environment, 2014, **479-480**: 102-108.
- [16] Fernald F G. Analysis of atmospheric LiDAR observations: some comments[J]. Applied Optics, 1984, **23**(5): 652-653.
- [17] Chiang C W, Das S K, Nee J B. An iterative calculation to derive extinction-to-backscatter ratio based on LiDAR measurements[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and

- Radiative Transfer, 2008, **109**(7): 1187-1195.
- [18] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [19] 黄鹂鸣, 王格慧, 王荟, 等. 南京市空气中颗粒物 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 污染水平[J]. 中国环境科学, 2002, **22**(4): 334-337.
- [20] 吴万宁, 查勇, 王强, 等. 南京地区冬夏季大气重污染个例对比分析[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(3): 581-587.
- [21] 张红, 邱明燕, 黄勇. 一次由秸秆焚烧引起的霾天气分析[J]. 气象, 2008, **34**(11): 96-100.
- [22] 袁松, 辛雨, 周军. 合肥市郊低层大气的激光雷达探测研究[J]. 大气科学, 2005, **29**(3): 387-395.
- [23] 蔡天净, 唐瀚. Savitzky-Golay 平滑滤波器的最小二乘拟合原理综述[J]. 数字通信, 2011, **38**(1): 63-68.
- [24] 李礼, 刘芮伶, 翟崇治. 重庆主城区大气重污染形势的激光雷达探测与分析[J]. 环境工程学报, 2013, **7**(11): 4469-4474.
- [25] 姜杰, 郑有飞, 刘建军, 等. 南京上空大气边界层的激光雷达观测研究[J]. 环境科学与技术, 2014, **37**(1): 22-27.
-

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2014年9月26日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2013年度中国科技论文统计结果.统计结果显示2013年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.

《环境科学》综合评价总分76.6,排名第一,总被引频次6941,影响因子1.266.

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系,计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等),采用层次分析法确定重要指标的权重,分学科对每种期刊进行综合评定,计算出每个期刊的综合评价总分.这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异,使科技期刊可以进行跨学科比较.根据发布的统计结果,2013年度《环境科学》综合评价总分76.6,在被统计的33种环境科学技术及资源科学技术类期刊中名列第一.

CONTENTS

Comparative Analysis and Inspiration of Air Quality Index Between China and America	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, LI Wen-tao, <i>et al.</i>	(1141)
Regional Source Apportionment of PM _{2.5} in Beijing in January 2013	LI Xuan, NIE Teng, QI Jun, <i>et al.</i>	(1148)
Formation Mechanism of a Serious Pollution Event in January 2013 in Beijing	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i>	(1154)
Soluble of Metals within TSP in Shanghai	CHANG Yan, FENG Chong, QU Jian-guo, <i>et al.</i>	(1164)
Analysis of Component Spectral Characteristics of PM ₁₀ -Bound PAHs and the Influence of Weather Conditions During Spring in Xiamen	ZHANG Jian, FAN Shu-xian, SUN Yu, <i>et al.</i>	(1173)
Tracing Sources of Sulfate Aerosol in Nanjing Northern Suburb Using Sulfur and Oxygen Isotopes	WEI Ying, GUO Zhao-bing, GE Xin, <i>et al.</i>	(1182)
Analysis of an Air Pollution Process Using LiDAR in Nanjing, Spring of 2014	BAO Qing, HE Jun-liang, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(1187)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} and PM _{2.5-10} in Mountain Background Region of East China in Spring	SU Bin-bin, ZHANG Zhi-sheng, TAO Jun, <i>et al.</i>	(1195)
Emission of Particulate Matter, Organic and Elemental Carbon from Burning of Fallen Leaves	YANG Wei-zong, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i>	(1202)
Emission Inventory of Crop Residues Field Burning and Its Temporal and Spatial Distribution in Sichuan Province	HE Min, WANG Xing-rui, HAN Li, <i>et al.</i>	(1208)
Marine Emission Inventory and Its Temporal and Spatial Characteristics in the City of Shenzhen	YANG Jing, YIN Pei-ling, YE Si-qi, <i>et al.</i>	(1217)
Characteristic of Ultrafine Particles Transferring Through Building Envelopes	SUN Zai, CHEN Qiu-fang, CAI Zhi-liang, <i>et al.</i>	(1227)
Airborne Fungal Aerosol Concentration and Distribution Characteristics in Air-Conditioned Wards	ZHANG Hua-ling, FENG He-hua, FANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1234)
Effect of Below-cloud Secondary Evaporation in Precipitations over the Loess Plateau Based on the Stable Isotopes of Hydrogen and Oxygen	JIN Xiao-gang, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i>	(1241)
Effect of the Runoff-sediment Control of the Xiaolangdi Reservoir on DOC Transport	ZHANG Yong-ling, WANG Ming-shi, DONG Yu-long	(1249)
Effects of Long-term Implementation of the Flow-Sediment Regulation Scheme on Grain and Clay Compositions of Inshore Sediments in the Yellow River Estuary	WANG Miao-miao, SUN Zhi-guo, LU Xiao-ning, <i>et al.</i>	(1256)
Influences of Biological Processes on Geochemical Characteristics: An Example of a Mountain Karst Pool in Spring Season	YU Zheng-liang, YANG Ping-heng, ZHAO Rui-yi, <i>et al.</i>	(1263)
Variation Characteristics and Sources of Heavy Metals in an Urban Karst Groundwater System during Rainfall Event	REN Kun, YANG Ping-heng, JIANG Ze-li, <i>et al.</i>	(1270)
Risk Assessment of Trihalomethane Production Using the Beijiang River and the Pearl River, Guangzhou as Drinking Water Sources	ZHONG Hui-zhou, WEI Chao-hai	(1277)
Spatial Variability Characteristics of Water Quality and Its Driving Forces in Honghu Lake During High Water-level Period	LI Kun, WANG Ling, LI Zhao-hua, <i>et al.</i>	(1285)
Nutrient Exchange Between Meixi River and Yangtze River Due to the Typical Interaction Process of the Three Gorges Reservoir and Its Tributary	CAO Man, FU Jia-nan, ZHOU Zi-ran, <i>et al.</i>	(1293)
Effects of Nutrient Inputs on Changes of Phosphorus Forms and Phytoplankton Growth in Taihu Lake	WANG Rui-zhe, WANG Pei-fang, REN Ling-xiao, <i>et al.</i>	(1301)
Community Dynamics of Phytoplankton and Related Affecting Factors in a Eutrophicated Small Pond	YANG Wen, ZHU Jin-yong, ZHANG Ke-xin, <i>et al.</i>	(1309)
Yearly Changes of Phytoplankton Community in the Ecology-monitoring Area of Changli, Hebei in Summer	LIANG Xiao-lin, YANG Yang, WANG Yu-liang, <i>et al.</i>	(1317)
Improvement of River Water Quality by Aeration: WASP Model Study	ZHU Wen-bo, WANG Hong-xiu, LIU Cui, <i>et al.</i>	(1326)
Radiolytic Decomposition of Ciprofloxacin Hydrochloride in Aqueous Solution Using γ Irradiation	ZHU Sheng-nan, GUO Zhao-bing, ZHAO Yong-fu, <i>et al.</i>	(1332)
Removal of Antimony in Wastewater by Electrochemical Hydride Generation and the Recovery of Antimony	CHEN Jing-jing, ZHANG Guo-ping, LI Hai-xia, <i>et al.</i>	(1338)
Degradation of <i>m</i> -Cresol with Fe-MCM-41 in Catalytic Ozonation	SUN Wen-jing, WANG Ya-min, WEI Huang-zhao, <i>et al.</i>	(1345)
Bioanode and Inversion of Bioanode to Biocathode for the Degradation of Antibiotic Chloramphenicol	KONG De-yong, LIANG Bin, YUN Hui, <i>et al.</i>	(1352)
Photolysis of Gaseous HNO ₃ on the α -Fe ₂ O ₃ Films Under 308 nm UV Light	LU Jun, SUN Yun-dong, XIE Jing-jing, <i>et al.</i>	(1359)
Simultaneous Determination of Hydroquinone and Catechol Based on L-Histidine-Erythrosine Composite Film Modified Glassy Carbon Electrode	HE Jia-hong, XU Qiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i>	(1365)
Preparation and Characterization of Quinone Functional Polymer Biocarrier (PET-AQS) for Bionitrification Catalysis	XU Qing, HOU Zheng-hao, TIAN Xiu-lei, <i>et al.</i>	(1374)
Kinetic Characteristics of Degradation of Geosmin and 2-Methylisoborneol by <i>Bacillus subtilis</i>	MA Nian-nian, LUO Guo-zhi, TAN Hong-xin, <i>et al.</i>	(1379)
Screening of a Highly Efficient Quinoline-degrading Strain and Its Enhanced Biotreatment on Coking Waste Water	LI Jing, LI Wen-ying	(1385)
Effect of Ferric Iron on Nitrogen Immigration and Transformation and Nitrous Oxide Emission During Simultaneous Nitrification Denitrification Process	LI Hao, YAN Yu-jie, XIE Hui-jun, <i>et al.</i>	(1392)
Running Condition and Bacterial Community Associated with the Partial Nitrification System	ZHAO Zhi-rui, JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, <i>et al.</i>	(1399)
Using Excess Activated Sludge Treated 4-Chlorophenol Contained Waste Water to Cultivate <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Lu, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i>	(1406)
Effects of Total Nitrogen and BOD ₅ /TN on Anaerobic Ammonium Oxidation-Denitrification Synergistic Interaction of Mature Landfill Leachate in Aged Refuse Bioreactor	YANG Ying-ying, CHEN Yi, LI Ming-jie, <i>et al.</i>	(1412)
Altitudinal Gradient Distribution and Source Analysis of PAHs Content of Topsoil in Jinpo Mountain, Chongqing	SHI Yang, SUN Yu-chuan, LIANG Zuo-bing, <i>et al.</i>	(1417)
Characteristics and Inputs of Cd Contamination in Paddy Soils in Typical Mining and Industrial Areas in Youxian County, Hunan Province	ZHANG Min, WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i>	(1425)
Effects of Canalization on the Iron Deposition in Sanjiang Plain	SU Wen-hui, YU Xiao-fei, WANG Guo-ping, <i>et al.</i>	(1431)
Effects of Phosphate and Zeolite on the Transformation of Cd Speciation in Soil	WANG Xiu-li, LIANG Cheng-hua, MA Zi-hui, <i>et al.</i>	(1437)
Leaching Remediation of Copper and Lead Contaminated Lou Soil by Saponin Under Different Conditions	DENG Hong-xia, YANG Ya-li, LI Zhen, <i>et al.</i>	(1445)
Accumulation Characteristics and Evaluation of Heavy Metals in Soil-Crop System Affected by Wastewater Irrigation Around a Chemical Factory in Shenmu County	QI Yan-bing, CHU Wan-lin, PU Jie, <i>et al.</i>	(1453)
Effects of Organic and Inorganic Slow-Release Compound Fertilizer on Different Soils Microbial Community Structure	WANG Fei, YUAN Ting, GU Shou-kuan, <i>et al.</i>	(1461)
Response of Maize to Lead Stress and Relevant Chemical Forms of Lead	CHENG Hai-kuan, ZHANG Biao, JING Xin-xin, <i>et al.</i>	(1468)
Effect of Boron-antimony Interaction on the Uptake and Accumulation of Antimony and Boron by Rice Seedling	XIANG Meng, HUANG Yi-zong, CAI Li-qun, <i>et al.</i>	(1474)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of Reeds in Wetland Soils with Different Salt Content	GUO Jiang-yuan, GUO Wei, BI Na, <i>et al.</i>	(1481)
A Contrastive Study on Salt-alkaline Resistance and Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus by <i>Phragmites australis</i> and <i>Typha angustifolia</i> in Coastal Estuary Area	CHEN You-yuan, SUN Ping, CHEN Guang-lin, <i>et al.</i>	(1489)
Soil Microbial Respiration Under Different Soil Temperature Conditions and Its Relationship to Soil Dissolved Organic Carbon and Invertase	WU Jing, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i>	(1497)
Comparison Analysis of Economic and Engineering Control of Industrial VOCs	WANG Yu-fei, LIU Chang-xin, CHENG Jie, <i>et al.</i>	(1507)

《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)

2015年4月15日 第36卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 4 Apr. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行