

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究 吴起鑫, 韩贵琳 (2145)

成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建 岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)

太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析 饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)

环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征 徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)

南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布 张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)

青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征 刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)

城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性 邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)

基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算 陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)

浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究 高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)

福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析 李雪丁 (2210)

HSPF 水文水质模型应用研究综述 李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)

城市降雨径流模拟的参数不确定性分析 黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)

利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度 姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)

嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定 谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)

重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张烨 (2251)

南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究 郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)

宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)

影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析 丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)

大型底栖动物生物评价指数比较与应用 耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)

青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征 王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郑伟 (2288)

青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征 郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)

用物理-生态集成技术局部控制富营养化 李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)

太湖氮素出入湖通量与自净能力研究 陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)

富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应 袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)

巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究 温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)

南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究 方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)

东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究 林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)

嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征 蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)

电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源 王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)

基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究 李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)

渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响 秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)

崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价 李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)

白洋淀底泥重金属形态及竖向分布 李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)

西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究 刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)

氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制 刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)

Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性 张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)

声电氧化处理扑热息痛的研究 戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)

粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究 白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)

利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究 张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)

Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究 王小蓉, 吴平霄 (2432)

核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究 武国正, 徐宗学 (2438)

A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究 翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)

系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究 蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)

氧化还原介体催化强化 *Paracoccus versutus* 菌株 GW1 反硝化特性研究 李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)

1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析 刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)

蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化 秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)

双季稻田 CH₄ 和 N₂O 排放特征及品种筛选研究 傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄璜 (2475)

闽江河口短叶茳芰湿地 CH₄ 和 N₂O 排放对氮输入的短期响应 牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)

青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征 彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)

不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律 吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)

土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响 吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)

多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应 潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)

不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究 梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)

废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究 伊元荣, 韩敏芳 (2522)

中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析 卢愿清, 史军 (2528)

《环境科学》征稿简则(2431) 《环境科学》征订启事(2532) 信息(2157, 2271, 2367, 2418)

成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建

岳建华¹,陶俊^{1*},林泽健¹,朱李华¹,曹军骥²,罗磊³

(1. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655; 2. 中国科学院地球环境研究所, 西安 710075; 3. 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610071)

摘要: 于2009年4月19日~5月17日在成都城区每天采集PM_{2.5}样品. 利用热光碳分析仪、离子色谱、X荧光光谱仪和高效阴离子交换色谱分别分析样品中有机碳/元素碳、水溶性离子、地壳元素和左旋葡聚糖,同步测量了大气散射系数(b_{sp})和气象数据. 利用IMPROVE方程重建大气散射系数,并与实测大气散射系数进行对比. 结果发现,PM_{2.5}浓度均值为133.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,大气散射系数为530 Mm^{-1} . 左旋葡聚糖和地壳元素能很好地反映生物质燃烧和沙尘事件. 观测期间成都城区计算值 b'_{sp} 为504 Mm^{-1} , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 、OM(organic matter)、FS(fine soil)和CM(coarse mass)贡献率分别为26%、15%、53%、4%和2%. DS(dust storm)期间,计算值 b'_{sp} 为575 Mm^{-1} ,FS和CM贡献率达到17%和21%. BB(biomass burning)期间,计算值 b'_{sp} 为635 Mm^{-1} ,OM贡献率达到62%.

关键词: PM_{2.5}; 生物质燃烧; 沙尘; 散射系数; 重建; 贡献因子

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2151-07

Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring

YUE Jian-hua¹, TAO Jun¹, LIN Ze-jian¹, ZHU Li-hua¹, CAO Jun-ji², LUO Lei³

(1. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China; 2. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China; 3. Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610071, China)

Abstract: Aerosol samples for PM_{2.5} were collected from 19 April to 17 May in 2009 at Chengdu. The concentrations of organic carbon, element carbon, water-solubility ions, crustal elements and levoglucosan of all particle samples were determined by thermal/optical carbon analyzer, ion chromatography, X-ray fluorescence spectrometer and high performance anion exchange chromatography, respectively. In-situ scattering coefficients (b_{sp}) and meteorological parameters for this period were also conducted. Ambient scattering coefficients were reconstructed by IMPROVE formula and compared with measured scattering coefficients. The results showed that the average mass concentration of PM_{2.5} and measured b_{sp} were 133.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and 530 Mm^{-1} , respectively. Levoglucosan and crustal elements were good traces for biomass burning and dust storm events, respectively. The calculated b'_{sp} was 504 Mm^{-1} during campaigning period. The major contributors to scattering coefficients included: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (26%), NH_4NO_3 (15%), OM (53%), FS (4%) and CM (2%), respectively. The calculated b'_{sp} was 575 Mm^{-1} and the dominant species were FS (17%) and CM (21%) during dust storm period (DS). The calculated b'_{sp} was 635 Mm^{-1} and OM contributed 62% during biomass burning (BB) period.

Key words: PM_{2.5} aerosol; biomass burning (BB); dust storm; scattering coefficient; reconstruction; contribution factors

区域复合大气污染是我国主要的大气环境问题^[1]. 近几年来,颗粒物一直是我国主要城市的首要大气污染物,而高浓度的颗粒物是导致区域霾天气的最直接的因子之一. 霾天气形成时,不仅影响人们的视觉感受,还能引起呼吸道系统疾病^[2]. 我国沿海经济发达地区和四川盆地是我国霾天气的高发地区^[3]. 尽管我国在大气能见度和霾天气形成机制方面已经开展了一系列的研究工作,也取得了很多成果^[4~14],但主要集中在沿海经济发达地区,而在四川盆地的研究还十分鲜见^[15,16].

成都位于四川盆地的西部,是我国西南地区最大的城市之一. 由于封闭的地形,较高的静小风频率,使得成都地区颗粒物浓度处于较高的水平^[17]. 尽管较高的颗粒物浓度和相对湿度是导致成都地区能见度下降的重要因素^[16],但能见度下降的机制还

收稿日期: 2011-09-04; 修订日期: 2011-10-20

基金项目: 国家环境保护公益性行业科研专项(200809143, 201009001)

作者简介: 岳建华(1965~),男,博士,副研究员,主要研究方向为大气环境管理, E-mail: yuejianhua@scies.org

* 通讯联系人, E-mail: taojun@scies.org

不清楚. 春季成都城区还受到周边生物质燃烧和北方沙尘天气输送的影响, 使得成都春季大气能见度下降机制更加复杂. 本研究利用中国气象局成都高原气象研究所大气环境观测点, 经过 2009 年 4 月 19 日~5 月 17 日连续 29 d 的观测, 获得的 $PM_{2.5}$ 中 9 种水溶性离子、有机碳(organic carbon, OC)、元素碳(element carbon, EC)、5 种地壳元素和左旋葡聚糖(levoglucosan, LC)等观测数据, 同步观测了大气散射系数, 并收集了成都温江气象站风速、风向、温湿度、大气压和降雨量等气象因子以及成都市区草堂环境监测站 PM_{10} 数据. 在此基础上利用 IMPROVE 方程重建大气散射系数, 评估生物质燃烧期间(biomass burning, BB)和沙尘期间(dust storm, DS)大气散射系数主要贡献因子的贡献率, 以期为成都地区进一步开展大气能见度改善工作提供科学依据.

1 材料与方 法

1.1 采样地点

采样地点设在中国气象局成都高原气象研究所的办公楼顶, 距离地面约 15 m, 采样点周围是集中居住区, 5 km 范围内无工业污染源, 观测数据在一定程度上代表了成都城区大气污染水平.

1.2 样品采集

于 2009 年 4 月 19 日~5 月 17 日利用 2 台 MiniVOI (Air Metrics Corporation) 颗粒物采样器每天同步采集一张 $PM_{2.5}$ 石英膜(Whatman QM/A, England)和一张 Teflon 膜(Whatman PTFE, England)样品. 采样时间为当日的 10:00 到次日的 10:00, 采样器流量为 $5.0 L \cdot min^{-1}$. 石英膜在采样前在中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室用 $800^{\circ}C$ 高温灼烧 3 h (去除可能的碳污染), 冷却后放在恒温恒湿箱(温度 $20 \sim 23^{\circ}C$, 相对湿度 $35\% \sim 45\%$)平衡 24 h, 再用精度为 $1 \mu g$ 电子天平(Sartorius, Göttingen, Germany)进行称量, 采样完成后样品放入冰箱冷冻柜中 $-18^{\circ}C$ 保存待进行化学分析.

1.3 其他数据采集

利用浊度仪(AURORA 1000, Echotech)收集每 5 min 散射系数(波长 520 nm, TSP 切割头, 检测范围 $>0.25 Mm^{-1}$, 每 24 h 进行零点检查, 24 h 零点漂移 $< \pm 1\%$, 定期用 R134a 气体进行跨度标定), 通过内部温湿度传感器来控制内部加热系统使得仪器内部腔室中气溶胶相对湿度控制在 60% 以下. 收集成都市温江气象站(编号 56187, $N30^{\circ} 42'$,

$E103^{\circ} 50'$, 海拔 539.3 m) 风速、风向、温度、相对湿度和降雨量等气象因子. 同步收集位于成都高原气象研究所东南方向 1.4 km 的草堂环境监测站的 PM_{10} 的日均值浓度数据.

1.4 样品化学分析

1.4.1 水溶性离子分析

剪取四分之一的石英膜加入 10 mL 去离子水($R > 18.2 M\Omega$), 超声萃取 1 h, 采用 $0.45 \mu m$ 针孔过滤器过滤, 用中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室的 Dionex-600 型离子色谱仪对水溶性离子进行分析. Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 这 5 种阳离子使用 CS12A 分析柱和 CG12A 保护柱及 CSRS 抑制器进行检测分析, 淋洗液使用浓度为 $20 mmol \cdot L^{-1}$ 的 MSA, 流速为 $1 mL \cdot min^{-1}$. 4 种阴离子 F^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 使用 AS11-HC 分析柱和 AG11-HC 保护柱及 ASRS 抑制器进行检测分析, 淋洗液是 $20 mmol \cdot L^{-1}$ 的 KOH, 流速为 $1 mL \cdot min^{-1}$. 数据质量控制采用美国沙漠所(DRI)质量控制标准, 每测定 10 个样品复检 1 个, 样品溶液质量浓度在 $0.030 \sim 0.100 g \cdot L^{-1}$ 范围时, 允许的标准偏差为 $\pm 30\%$; 样品溶液质量浓度在 $0.100 \sim 0.150 g \cdot L^{-1}$ 之间时, 要求标准偏差为 $< 20\%$; 样品溶液质量浓度 $> 0.150 g \cdot L^{-1}$ 时, 允许的标准偏差为 10% .

1.4.2 有机碳和元素碳分析

所有样品的 OC 和 EC 分析采用美国沙漠研究所研制、中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室的 DRI Model 2001 热光碳分析仪(Thermal/Optical Carbon Analyzer). 应用 IMPROVE 热光反射的实验方法^[18]. 该方法的主要测试原理是: 在无氧的纯 He 环境中, 分别在 $140^{\circ}C$ (OC1)、 $280^{\circ}C$ (OC2)、 $480^{\circ}C$ (OC3) 和 $580^{\circ}C$ (OC4) 温度下, 对 $0.526 cm^2$ 的滤膜片进行加热, 将滤纸上的颗粒态碳转化为 CO_2 ; 然后再将样品在含 2% 氧气的氦气环境下, 分别于 $580^{\circ}C$ (EC1)、 $740^{\circ}C$ (EC2) 和 $840^{\circ}C$ (EC3) 逐步加热, 此时样品中的元素碳释放出来. 上述各个温度梯度下产生的 CO_2 , 经 MnO_2 催化, 于还原环境下转化为可通过火焰离子检测器(FID)检测的 CH_4 . 样品在加热过程中, 部分有机碳可发生碳化现象而形成黑碳, 使滤膜变黑, 因此, 在测量过程中, 采用 633 nm 的氦-氖激光监测反射光强, 利用光强的变化明确指示出元素碳氧化的起始点. 有机碳碳化过程中形成的碳化物称之为光学检测裂解碳(OP). IMPROVE 协议将有机碳定义为 $OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + OP$, 元素碳定义为 $EC1 + EC2 + EC3 - OP$.

1.4.3 元素分析

用中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室能量色散型 X 荧光光谱仪 (Epsilon5, PANalytical Company, Netherlands) 对 Teflon 样品中的地壳元素进行分析, 地壳元素种类如下: 铝 (Al)、硅 (Si)、钙 (Ca)、铁 (Fe) 和钛 (Ti), 具体方法见文献 [19].

1.4.4 糖分析

2.0 cm² 的石英膜片加入 2 mL 超纯水, 超声萃取 1 h, 采用针孔滤膜 (0.2 μm PTFE membrane, Whatman) 过滤. 利用华南环境科学研究所大气观测站美国戴安公司 ISC3000 色谱和 MA 糖柱分析 LC, 具体分析方法见文献 [20].

2 结果与分析

2.1 沙尘天气和生物质燃烧的识别

利用地壳元素 (Al、Si、Ca、Fe 和 Ti) 和 LC 分别示踪 DS^[21] 和 BB 事件^[22,23]. 将样品中 Al、Si、Ca、Ti 和 Fe 浓度分别超过观测期间均值 2.41、2.28、1.72、2.39 和 0.19 μg·m⁻³ 的观测日, 定义为 DS 事件. 将 LC 浓度超过观测期间均值 396.5 ng·m⁻³ 的

观测日, 定义为 BB 事件. 整个观测期间, 发生一次 DS 事件 (4 月 24 ~ 26 日) 和 4 次 BB 事件 (4 月 29 日, 5 月 5 日、5 月 8 日 ~ 13 日和 5 月 17 日).

表 1 为成都春季 PM_{2.5} 中主要化学成分浓度及散射系数水平. 由表 1 可知, 春季观测期间 PM_{2.5} 浓度均值达到 133.2 μg·m⁻³. DS 期间 PM_{2.5}、Al、Si、Ca、Fe 和 Ti 均值分别达到 242.5、12.99、13.46、8.13、10.72、和 0.88 μg·m⁻³, 其中 4 月 24 日 PM_{2.5}、Al、Si、Ca、Fe 和 Ti 均值分别达到 300.5、17.69、18.90、11.47、14.11 和 1.16 μg·m⁻³, 明显高于正常天气 (ND, normal day). 此外, DS 期间 Ca²⁺、Mg²⁺ 和 Na⁺ 也呈现明显升高. BB 期间 PM_{2.5} 和 LC 均值分别达到 139.7 μg·m⁻³ 和 829.2 ng·m⁻³, 明显高于 ND 期间. 在 4 次生物质燃烧 BB1、BB2、BB3 和 BB4 期间 LC 浓度分别达到 508.8、897.5、756.2 和 1519.1 ng·m⁻³, 十分显著地高于 ND 和 DS 期间. 此外, BB 期间与生物质燃烧相关的 K⁺ 和 Cl⁻ 浓度也明显升高^[24]. 由此可见, 利用地壳元素和 LC 可以很好地反映 DS 和 BB 事件.

表 1 成都春季 PM_{2.5} 中主要化学成分浓度及散射系数水平¹⁾

Table 1 Level of chemical components concentrations in PM_{2.5} and scattering coefficients in spring at Chengdu

项目	ND (04-19 ~ 04-23)	DS (04-24 ~ 04-26)	ND (04-27 ~ 04-28)	BB1 (04-29)	ND (04-30 ~ 05-04)	BB2 (05-05)	ND (05-06 ~ 05-07)	BB3 (05-08 ~ 05-13)	ND (05-14 ~ 05-16)	BB4 (05-17)	ND	DS	BB	均值
PM _{2.5} /μg·m ⁻³	107.8	242.5	117.0	216.7	118.1	189.2	131.4	114.9	83.5	161.8	110.4	242.5	139.7	133.2
LC/ng·m ⁻³	93.2	194.8	218.1	508.8	246.4	897.5	275.2	756.2	255.2	1519.1	203.0	194.8	829.2	396.5
OC/μg·m ⁻³	16.8	20.4	16.6	24.3	18.6	27.9	17.6	24.1	18.6	41.8	17.7	20.4	26.5	20.7
EC/μg·m ⁻³	4.8	5.1	6.4	9.9	5.6	9.0	5.5	5.5	4.7	7.6	5.3	5.1	6.6	5.7
F ⁻ /μg·m ⁻³	0.4	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3
Cl ⁻ /μg·m ⁻³	1.4	3.0	2.3	4.5	2.1	6.9	2.8	3.1	2.0	6.8	2.0	3.0	4.1	2.7
NO ₃ ⁻ /μg·m ⁻³	6.4	5.7	11.1	31.7	10.1	21.4	13.9	7.3	8.6	9.5	9.3	5.7	11.8	9.7
SO ₄ ²⁻ /μg·m ⁻³	12.4	12.6	14.9	37.2	16.5	32.6	28.6	11.7	8.6	14.0	15.1	12.6	17.1	15.5
Na ⁺ /μg·m ⁻³	0.9	1.7	0.0	1.0	0.2	0.0	0.4	0.2	0.1	0.6	0.4	1.7	0.3	0.5
NH ₄ ⁺ /μg·m ⁻³	2.1	0.7	6.4	17.1	4.7	13.4	10.6	3.5	2.4	5.4	4.5	0.7	6.3	4.6
K ⁺ /μg·m ⁻³	1.3	1.9	1.5	4.0	3.2	4.3	3.1	4.4	2.3	8.6	2.3	1.9	4.8	3.0
Mg ²⁺ /μg·m ⁻³	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Ca ²⁺ /μg·m ⁻³	3.2	7.3	1.5	0.6	1.7	2.4	1.5	1.3	1.9	2.2	2.1	7.3	1.4	2.4
Al/μg·m ⁻³	2.60	12.99	1.59	0.97	1.15	0.73	0.16	0.87	0.32	0.62	1.37	12.99	0.84	2.41
Si/μg·m ⁻³	1.90	13.46	1.43	1.14	0.96	0.81	0.23	0.72	0.39	0.53	1.12	13.46	0.76	2.28
Ca/μg·m ⁻³	2.10	8.13	0.78	0.82	0.99	0.62	0.27	0.77	0.36	0.53	1.11	8.13	0.73	1.72
Fe/μg·m ⁻³	2.30	10.72	1.58	2.85	1.28	1.32	1.26	1.16	0.46	0.84	1.47	10.72	1.33	2.39
Ti/μg·m ⁻³	0.20	0.88	0.16	0.14	0.11	0.09	0.06	0.09	0.05	0.07	0.12	0.88	0.09	0.19
b _{sp} /Mm ⁻¹	328	567	589	1180	460	1129	806	523	364	884	460	567	726	530

1) 括号内数值为观测期(月-日)

2.2 气溶胶散射特征

图 1 为成都春季散射系数和内置相对湿度时间变化趋势. 从中可知, 春季观测期间散射系数小时均值为 530 Mm⁻¹, 小时最大值达到 2962 Mm⁻¹ (5 月 6

日 03:00), 小时最小值为 50 Mm⁻¹ (5 月 14 日 06:00). 图 2 为成都春季主要气象因子时间变化趋势. 由图 2 可知, 春季成都没有较为明显的主导风向, 主要盛行南风 and 北风, 盛行南风时, 通常散射系

数较低,盛行北风时散射系数较高,这主要是与成都北边工业区和农村的生物质燃烧有关.通常情况下,夜间相对湿度较大,昼间逐渐变低,而散射系数夜间也明显高于昼间,一方面是由于夜间边界层较低,颗粒物不易扩散,使得颗粒物浓度保持在较高的水平,另一方面是由于夜间湿度较大,颗粒物吸湿增长增强了其散射能力.降雨对污染物清除效果比较明显,通常降雨过后散射系数明显降低.

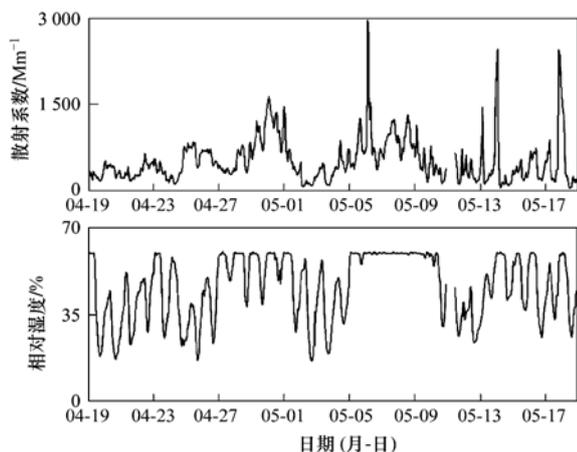


图1 成都春季散射系数和内置相对湿度时间变化趋势

Fig. 1 Daily variation of scattering coefficients and inner relative humidity during spring period at Chengdu

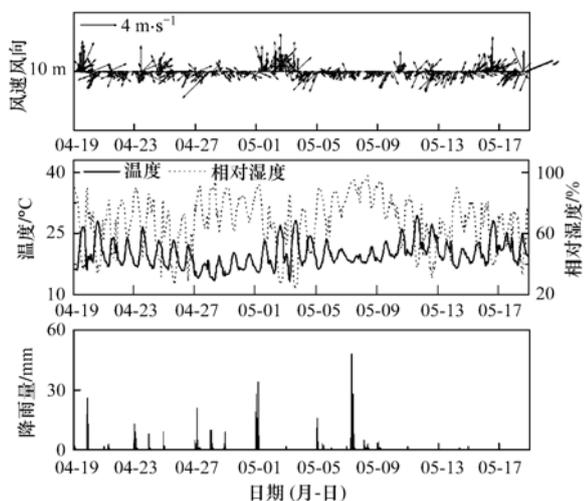


图2 成都春季主要气象因子时间变化趋势

Fig. 2 Daily variation of meteorological parameters during spring period at Chengdu

DS期间,散射系数从 232 Mm^{-1} (4月24日12:00)持续上升到 854 Mm^{-1} (4月25日10:00),然后逐渐下降直至沙尘影响结束. BB1期间,散射系数从 695 Mm^{-1} (4月29日17:00)持续上升到 1641 Mm^{-1} (4月30日02:00),并基本保持在 1100 Mm^{-1} 左右直至4月30日18:00. BB2期间,散射系数从

639 Mm^{-1} (5月5日11:00)持续上升至 1261 Mm^{-1} (5月5日15:00),直到18:00下降至 800 Mm^{-1} ,但到5月6日02:00急剧上升至 1496 Mm^{-1} ,并在03:00达到极值 2962 Mm^{-1} ,直至09:00下降至 675 Mm^{-1} . BB3期间,连续6d发生BB事件,尽管散射系数并没有一直保持在较高的水平,但是与BB1和BB2期间散射系数极值出现的时间较为类似,即夜间和凌晨.其中5月14日02:00散射系数达到 2464 Mm^{-1} ,为观测期间的第二高值. BB4期间,散射系数从 372 Mm^{-1} (5月17日18:00)快速上升 1094 Mm^{-1} (5月17日19:00),在20:00达到观测期间的第三极值 2447 Mm^{-1} ,并保持在较高的水平直至04:00,05:00后散射系数快速下降至较低水平 ($< 300 \text{ Mm}^{-1}$).

综合来看,DS和BB期间散射系数均有明显的上升趋势,尽管DS期间 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度明显高于BB期间,但是BB期间散射系数要明显高于DS期间,这表明大气散射系数不仅与颗粒物质量浓度有关,还与颗粒物的化学组成散射效率和粒径大小有关^[25~27].尤其值得注意的是,BB期间散射系数在凌晨01:00~03:00有明显的上升,与ND和DS期间有显著差别(见图3),这表明成都周边地区夜间生物质燃烧现象较为严重,经过短距离输送,使得城区散射系数在凌晨急剧升高.生物质燃烧产生大量的有机物,而有机物散射效率要明显高于沙尘输送的粗粒子^[28].

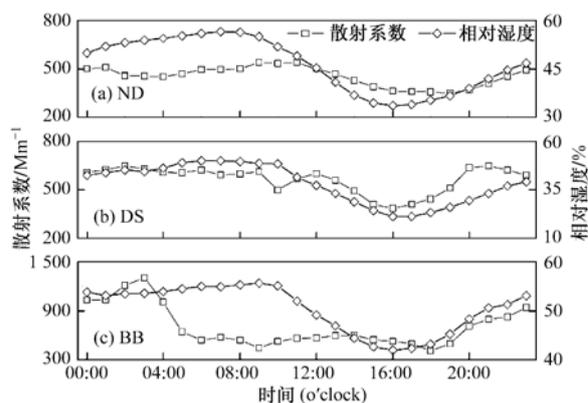


图3 不同事件下散射系数日变化趋势

Fig. 3 Diurnal variation of scattering coefficients in different pollution events

2.3 重建散射系数及其因子解析

为进一步了解春季成都城区较高的大气散射系数水平的主要影响因子,利用IMPROVE方程重建大气散射系数,在此基础上估算主要影响因子对大气散射系数的贡献率.首先利用IMPROVE方

程计算得到大气散射系数并与实测散射系数进行比较,评估 IMPROVE 方程适用性. IMPROVE 方程如下:

$$b'_{sp} = 2.2 \times f_s(\text{RH}) \times [(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]_{\text{Small}} + 4.8 \times f_L(\text{RH}) \times [(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]_{\text{Large}} + 2.4 \times f_s(\text{RH}) \times [\text{NH}_4\text{NO}_3]_{\text{Small}} + 5.1 \times f_L(\text{RH}) \times [\text{NH}_4\text{NO}_3]_{\text{Large}} + 2.8 \times [\text{OM}]_{\text{Small}} + 6.1 \times [\text{OM}]_{\text{Large}} + 1.7 \times f_{\text{SS}}(\text{RH}) \times [\text{SS}] + 1 \times [\text{FS}] + 0.6[\text{CM}] \quad (1)$$

$$[X]_{\text{Large}} = [X]_{\text{Total}}^2 / (20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) \quad ([X]_{\text{Total}} < 20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$$

$$[X]_{\text{Large}} = [X]_{\text{Total}} \quad ([X]_{\text{Total}} \geq 20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$$

$$[X]_{\text{Small}} = [X]_{\text{Total}} - [X]_{\text{Large}}$$

式中, X 分别为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 和 OM .

公式(1)中, ① $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 1.375 [\text{SO}_4^{2-}]$;

② $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.29 [\text{NO}_3^-]$; ③ Organic Matter (OM) = $1.8 [\text{OC}]$ (非生物质燃烧期间) 和 $= 2.2 [\text{OC}]$ (生物质燃烧期间)^[29]; ④ Sea Salt (SS) = $1.8 [\text{Cl}^-]$;

⑤ Fine Soil (FS) = $2.20 [\text{Al}] + 2.49 [\text{Si}] + 1.94 [\text{Ti}] + 1.63 [\text{Ca}] + 2.42 [\text{Fe}]$; ⑥ Coarse Mass (CM) = $[\text{PM}_{10}] - [\text{PM}_{2.5}]$; b'_{sp} 单位为 Mm^{-1} . $[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{NO}_3^-]$ 、 $[\text{OC}]$ 、 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{Al}]$ 、 $[\text{Si}]$ 、 $[\text{Ti}]$ 、 $[\text{Ca}]$ 、 $[\text{Fe}]$ 、 $[\text{PM}_{10}]$ 和 $[\text{PM}_{2.5}]$ 单位为 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. 相对湿度增长曲线 $f_s(\text{RH})$ 、 $f_L(\text{RH})$ 和 $f_{\text{SS}}(\text{RH})$ 参见文献[28]. 用于验证 IMPROVE 方程适用性的相对湿度数据来源于 AURORA 1000 浊度仪内部温湿度传感器的实测数据. 本研究仅利用 DS 期间草堂环境监测站 PM_{10} 浓度, 估算粗粒子 CM 对 b_{sp} 的贡献, 而不是全部观测期间, 主要考虑到 DS 期间 PM_{10} 浓度明显升高, 不能忽略 CM 对 b_{sp} 的影响, 其次草堂环境观测站 PM_{10} 测量方法是振荡天平且日均值算术平均时间(当日 12:00 ~ 次日 12:00)与滤膜采样时间(当日 10:00 ~ 次日 10:00)略有差异. 此外值得注意的是, 成都属于内陆城市, 海盐对成都城区 $\text{PM}_{2.5}$ 基本可以忽略, 但实际测得的 Cl^- 浓度却比较高, 可判断 Cl^- 来源生物质燃烧而非海盐^[24], 因此也忽略 SS 对 b_{sp} 的贡献.

由图 4 可知, 尽管忽略了 SS 和非 DS 期间 CM 的影响, 计算值 b'_{sp} 和实测值 b_{sp} 相关性系数达到 0.96, 且斜率为 1.17, 计算值 b'_{sp} 略小于实测值 b_{sp} . 但 DS 期间 IMPROVE 方程计算值 b'_{sp} 略高于实测值 b_{sp} , 其主要原因是 DS 期间粗粒子相对较多, 而浊度仪测量粗粒子的截断误差较大, 导致实测值偏

低^[30]. 尽管 DS 期间 IMPROVE 方程计算值 b'_{sp} 略高于实测值 b_{sp} , 总体来讲春季观测期间 IMPROVE 方程计算值略低估实测大气散射系数, 但能较好地反演 DS 和 BB 期间成都城区实际的大气散射系数, 因此可以认为 IMPROVE 方程基本适用于成都春季大气散射系数的因子解析.

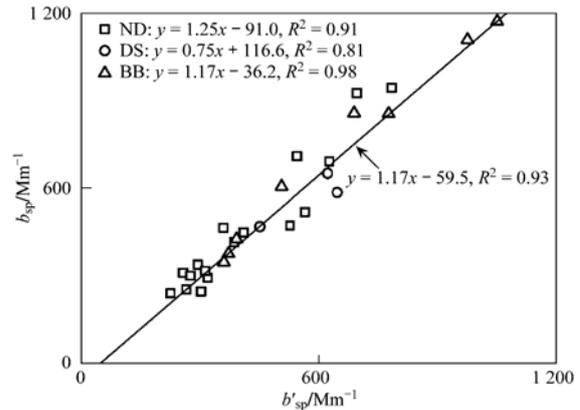


图 4 b'_{sp} 与 b_{sp} 之间相关关系

Fig. 4 Relationship between b'_{sp} vs b_{sp}

为了解春季成都城区大气散射系数的主要影响因子的贡献率, 利用 IMPROVE 方程和浊度仪实测相对湿度数据分别计算出 ND、DS 和 BB 期间 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 、 OM 、 FS 和 CM 对大气散射系数的贡献率(见图 5). 由图 5 可知, 观测期间成都城区计算值 b'_{sp} 为 504 Mm^{-1} , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 、 OM 、 FS 和 CM 贡献率分别为 26%、15%、53%、4% 和 2%. DS 期间, 计算值 b'_{sp} 为 575 Mm^{-1} , FS 和 CM 贡献率达到 17% 和 21%, 可见 DS 期间沙尘对大气散射系数贡献十分明显. BB 期间, 计算值 b'_{sp} 为 635 Mm^{-1} , OM 贡献率达到 62%, 可见生物燃烧对大气散射系数影响十分明显.

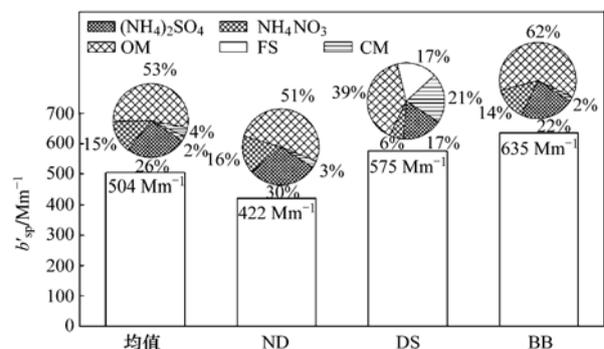


图 5 成都春季不同污染事件计算值散射系数贡献因子的贡献率

Fig. 5 Calculated b'_{sp} load percentages in different pollution events during spring period at Chengdu

3 结论

(1) 成都春季 $PM_{2.5}$ 浓度均值为 $133.2 \mu g \cdot m^{-3}$, 大气散射系数均值为 $530 Mm^{-1}$. LC 和地壳元素可以很好地反映生物质燃烧和沙尘事件.

(2) 观测期间散射系数小时最大值为 $2962 Mm^{-1}$, 小时最小值为 $50 Mm^{-1}$. BB 期间散射系数在凌晨 01:00~03:00 有明显的上升, 与 ND 和 DS 期间有显著差别, 成都周边地区夜间生物质燃烧现象较为严重.

(3) 利用 IMPROVE 方程重建了大气散射系数, 计算值 b'_{sp} 和实测值 b_{sp} 相关性系数达到 0.96, 且斜率为 1.17, 可见 IMPROVE 方程可以较好地反演 DS 和 BB 期间成都城区大气散射系数.

(4) 观测期间成都城区计算值 b'_{sp} 为 $504 Mm^{-1}$, $(NH_4)_2SO_4$ 、 NH_4NO_3 、OM、FS 和 CM 贡献率分别为 26%、15%、53%、4% 和 2%. DS 期间, 计算值 b'_{sp} 为 $575 Mm^{-1}$, FS 和 CM 贡献率分别达到 17% 和 21%. BB 期间, 计算值 b'_{sp} 为 $635 Mm^{-1}$, OM 贡献率高达 62%.

参考文献:

- [1] Chan C K, Yao X H. Air pollution in mega cities in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(1): 1-42.
- [2] Pope C A, Dockery D W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect[J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2006, **56**(6): 709-742.
- [3] Husar R B, Husar J D, Martin L. Distribution of continental surface aerosol extinction based on visual range data [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(29-30): 5067-5078.
- [4] Yan P, Tang J, Huang J, *et al.* The measurement of aerosol optical properties at a rural site in Northern China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(8): 2229-2242.
- [5] 颜鹏, 潘小乐, 汤洁, 等. 北京市区大气气溶胶散射系数亲水增长的观测研究[J]. *气象学报*, 2008, **66**(1): 111-119.
- [6] 宋宇, 唐孝炎, 方晨, 等. 北京市能见度下降与颗粒物污染的关系[J]. *环境科学学报*, 2003, **23**(4): 468-471.
- [7] 刘新罡, 张远航, 曾立民, 等. 广州市大气能见度影响因子的贡献研究[J]. *气候与环境研究*, 2006, **11**(6): 733-738.
- [8] Andreae M O, Schmid O, Yang H, *et al.* Optical properties and chemical composition of the atmospheric aerosol in urban Guangzhou, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(25): 6335-6350.
- [9] Deng X J, Tie X X, Wu D, *et al.* Long-term trend of visibility and its characterizations in the Pearl River Delta (PRD) region, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(7): 1424-1435.
- [10] Wu D, Mao J T, Deng X J, *et al.* Black carbon aerosols and their radiative properties in the Pearl River Delta region [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2009, **52**(8): 1152-1163.
- [11] Wu D, Tie X X, Li C C, *et al.* An extremely low visibility event over the Guangzhou region: a case study [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(35): 6568-6577.
- [12] 陶俊, 张仁健, 许振成, 等. 广州冬季大气消光系数的贡献因子研究[J]. *气候与环境研究*, 2009, **14**(5): 484-490.
- [13] Yang L X, Wang D C, Cheng S H, *et al.* Influence of meteorological conditions and particulate matter on visual range impairment in Jinan, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **383**(1-3): 164-173.
- [14] 许建明, 耿福海, 甄灿明, 等. 上海浦东地区气溶胶散射系数及影响因子[J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(1): 211-216.
- [15] 李成才, 毛节泰, 刘启汉. 用 MODIS 遥感资料分析四川盆地气溶胶光学厚度时空分布特征[J]. *应用气象学报*, 2003, **14**(1): 1-7.
- [16] Chang D, Song Y, Liu B. Visibility trends in six megacities in China 1973-2007 [J]. *Atmospheric Research*, 2009, **94**(2): 161-167.
- [17] 王淑兰, 柴发合, 张远航, 等. 成都市大气颗粒物污染特征及其来源分析[J]. *地理科学*, 2004, **24**(4): 488-492.
- [18] Chow J C, Watson J G, Chen L W, *et al.* The IMPROVE_A temperature protocol for thermal/optical carbon analysis: maintaining consistency with a long-term database [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2007, **57**(9): 1014-1023.
- [19] Watson J G, Chow J C, Frazier C A. X-ray fluorescence analysis of ambient air samples [A]. In: *Elemental analysis of airborne particles* [M]. Newark: Gordon and Breach, 1996. 1-31.
- [20] Engling G, Carrico C M, Kreidenweis S M, *et al.* Determination of levoglucosan in biomass combustion aerosol by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(2): S299-S311.
- [21] Zhang X Y, Gong S L, Shen Z X, *et al.* Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: 1. Network observations [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108**(D9): 4261, doi: 10.1029/2002JD002632.
- [22] Zhang Z S, Engling G, Lin C Y, *et al.* Chemical speciation, transport and contribution of biomass burning smoke to ambient aerosol in Guangzhou, a mega city of China [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(26): 3187-3195.
- [23] Kundu S, Kimitaka K, Andreae T W, *et al.* Diurnal variation in the water-soluble inorganic ions, organic carbon and isotopic compositions of total carbon and nitrogen in biomass burning aerosols from the LBA-SMOCC campaign in Rondônia, Brazil [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2010, **41**(1): 118-133.
- [24] Hays M D, Fine P M, Geron C D, *et al.* Open burning of agricultural biomass: physical and chemical properties of Particle-phase emissions [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(36): 6747-6764.

- [25] Cheung H C, Wang T, Baumann K, *et al.* Influence of regional pollution outflow on the concentrations of fine particulate matter and visibility in the coastal area of southern China [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(34): 6463-6474.
- [26] Jung J S, Lee H L, Kim Y J, *et al.* Aerosol chemistry and the effect of aerosol water content on visibility impairment and radiative forcing in Guangzhou during the 2006 Pearl River Delta campaign[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, **90**(11): 3231-3244.
- [27] 张涛, 陶俊, 王伯光, 等. 广州市春季大气颗粒物的粒径分布及能见度研究[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2010, **27**(3): 331-337.
- [28] Pitchford M, Malm W C, Schichtel B, *et al.* Revised algorithm for estimating light extinction from IMPROVE particle speciation data[J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2007, **57**(11): 1326-1336.
- [29] Hand J L, Malm W C. Review of the IMPROVE equation for estimating ambient light extinction coefficients [EB/OL]. http://vista.cira.colostate.edu/IMPROVE/Publications/GrayLit/016_IMPROVEEqReview/IMPROVEEqReview.htm, 2006.
- [30] Anderson T L, Ogren J A. Determining aerosol radiative properties using the TSI 3563 integrating nephelometer [J]. *Aerosol Science and Technology*, 1998, **29**(1): 57-69.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊” 和“中国精品科技期刊”称号

2011年12月2日,中国科技论文统计结果发布会在北京举行,会议公布了“百种中国杰出学术期刊”和“中国精品科技期刊”获奖名单.《环境科学》连续10次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号和再次荣获“中国精品科技期刊”称号.

“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定.该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析,对期刊分学科进行评比,其评价结果客观公正,为我国科技界公认,并具有广泛影响.

CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jiashan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH ₄ ⁺ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH ₄ , N ₂ O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH ₄ and N ₂ O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《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)

2012年7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行