

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

16 届亚运会期间广州城区 PM<sub>2.5</sub> 化学组分特征及其对霾天气的影响 ..... 陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)

北京地区秋季雾霾天 PM<sub>2.5</sub> 污染与气溶胶光学特征分析 ..... 赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)

上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究 ..... 王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)

杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征 ..... 谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)

保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别 ..... 李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)

春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究 ..... 周变红, 张承中, 王格慧 (448)

华东区域高山背景点 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 背景值及污染特征 ..... 苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)

基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估 ..... 田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)

积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征 ..... 张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)

靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究 ..... 徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)

正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究 ..... 欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)

干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素 ..... 刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)

降尘收集方法对降尘效率的影响 ..... 张正德, 董治宝 (499)

海河流域水生生态功能一级二级分区 ..... 孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)

长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究 ..... 时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)

内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究 ..... 黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)

溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响 ..... 邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)

自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究 ..... 张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)

淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制 ..... 周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)

高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征 ..... 崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)

城市雨水径流水质演变过程监测与分析 ..... 董雯, 李怀恩, 李家科 (561)

复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果 ..... 任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔杰, 王为进 (570)

给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究 ..... 郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)

1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用 ..... 李三华, 张奇亚 (583)

水生植物热解生物油对中肋骨条藻抗氧化酶活性的影响 ..... 姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)

TiO<sub>2</sub> 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学 ..... 张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)

皮革废水有机污染物生物降解特性研究 ..... 王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)

链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究 ..... 谢练武, 方继生, 郭亚平 (611)

一种负载型生物载体的制备及性能研究 ..... 杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)

基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*) 培养研究 ..... 嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)

温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响 ..... 陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)

天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH<sub>4</sub> 的影响 ..... 姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)

蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征 ..... 青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)

基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究 ..... 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)

区域地下水污染风险评价方法研究 ..... 杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)

地下水有机污染源识别技术体系研究与示范 ..... 王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)

祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究 ..... 朱凌宇, 潘剑群, 张威 (668)

黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应 ..... 骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平平 (676)

根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响 ..... 张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)

长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究 ..... 罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)

外源 Cr(III) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究 ..... 郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)

某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征 ..... 潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)

大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析 ..... 刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)

天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征 ..... 姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)

沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定 ..... 吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)

动物饲料中砷、铜和锌调查及分析 ..... 姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)

氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究 ..... 王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)

2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性 ..... 倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)

嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究 ..... 厉阆, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)

固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响 ..... 唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)

16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性 ..... 刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗杰 (767)

氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响 ..... 刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)

筒青霉 (*Penicillium simplicissimum*) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征 ..... 沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)

石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究 ..... 杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)

土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响 ..... 王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)

生活垃圾填埋过程含水率变化研究 ..... 李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)

动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化 ..... 吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)

《环境科学》征订启事(447)      《环境科学》征稿简则(493)      信息(508,588,610,731)      专辑征稿通知(788)

# 16 届亚运会期间广州城区 PM<sub>2.5</sub> 化学组分特征及其对霾天气的影响

陶俊<sup>1</sup>, 柴发合<sup>2\*</sup>, 高健<sup>2</sup>, 曹军骥<sup>3</sup>, 刘随心<sup>3</sup>, 张仁健<sup>4</sup>

(1. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 中国科学院地球环境研究所, 西安 710075; 4. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

**摘要:** 于 2010 年 11 月 4~30 日在广州城区每天昼夜各采集一个 PM<sub>2.5</sub> 样品. 对样品进行有机碳、元素碳和水溶性离子分析, 同步收集了在线 PM<sub>2.5</sub> 浓度、大气消光系数( $b_{\text{ext}}$ )以及气象因子, 探讨了 PM<sub>2.5</sub> 特征及其与大气消光系数的关系, 并利用修正后的 IMPROVE 消光系数方程重建大气消光系数. 结果发现: 亚运期间 PM<sub>2.5</sub> 日均值质量浓度为  $(77.0 \pm 24.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , 比亚运前低 27.8%. PM<sub>2.5</sub> 和相对湿度是导致霾天气的重要因素. 亚运期间大气消光系数为  $418 \text{ Mm}^{-1}$ , 比亚运前低 28.3%, ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、POM (particulate organic material) 和 LAC (light-absorbing carbon) 是主要贡献因子, 贡献率达到 87.0%. 广州及其周边城市采取的减排措施对于缓解亚运期间广州城区的霾天气作用明显.

**关键词:** 亚运会; PM<sub>2.5</sub>; 化学组分; 霾; 大气消光系数

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0409-07

## Characterization of Chemical Compositions in PM<sub>2.5</sub> and Its Impact on Hazy Weather During 16<sup>th</sup> Asian Games in Guangzhou

TAO Jun<sup>1</sup>, CHAI Fa-he<sup>2</sup>, GAO Jian<sup>1</sup>, CAO Jun-ji<sup>3</sup>, LIU Sui-xin<sup>3</sup>, ZHANG Ren-jian<sup>4</sup>

(1. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China; 4. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Aerosol samples for PM<sub>2.5</sub> were collected days and nights from 4 to 30 November 2010 in Guangzhou. The concentrations of organic carbon, element carbon, and water-solubility ions of all particle samples were determined by thermal/optical carbon analyzer and ion chromatography, respectively. In-situ online PM<sub>2.5</sub> mass concentrations, light extinction coefficients ( $b_{\text{ext}}$ ), and selected meteorological parameters for this period were also measured. Temporal variation of PM<sub>2.5</sub> mass concentrations and its relationship with  $b_{\text{ext}}$  were discussed, and  $b_{\text{ext}}$  was reconstructed by revised IMPROVE formula. The results showed that the average mass concentration of PM<sub>2.5</sub> was  $(77.0 \pm 24.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  during the Asian Games period, which was 27.8% lower than that of the period before Asian Games. PM<sub>2.5</sub> and relative humidity were the dominant factors contributing to hazy weather. The average value of  $b_{\text{ext}}$  was  $418 \text{ Mm}^{-1}$  during the Asian Games period, which was 28.3% lower than that of the period before Asian Games. The major contributors to  $b_{\text{ext}}$  included ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, POM, and LAC, which accounted for 87.0% of  $b_{\text{ext}}$  during the Asian Games period. A series of stringent air quality control measures were implemented by the Guangzhou Municipal Government and other cooperative cities, which greatly alleviated the hazy weathers in Guangzhou urban area during the Asian Games period.

**Key words:** Asian Games; PM<sub>2.5</sub> aerosol; chemical composition; haze; light extinction coefficient

PM<sub>2.5</sub> (空气动力学直径 < 2.5 μm) 具有明显消光作用, 是导致大气能见度下降最为主要的因子. 高浓度的 PM<sub>2.5</sub> 不仅会直接导致大气能见度下降, 影响人们的视觉景观<sup>[1]</sup>, 还会增加死亡率和呼吸道系统疾病的发病率<sup>[2~4]</sup>. 可见, 开展城市 PM<sub>2.5</sub> 的相关研究, 对于改善城市景观和保护人体健康十分重要.

第 16 届广州亚运会于 2010 年 11 月 12~27 日在广州及其周边城市举行. 广州是珠三角地区最大的城市之一, 相同季节的 PM<sub>2.5</sub> 浓度较高<sup>[5]</sup>, 且霾天气频繁<sup>[6]</sup>, 因此在本次亚运会期间广州及其周边城

市采取很多污染源减排的控制措施来保障广州地区的空气质量达标. 在亚运会期间广州地区实行机动车单双号限行措施, 主要的工业源实行停产或减产等措施, 周边城市对主要工业源排放也加强了控制. 尽管广州及其周边地区采取比较严格的控制措施, 但是亚运会期间广州还是出现了霾天气, 且主要是

收稿日期: 2012-04-19; 修订日期: 2012-06-20

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

作者简介: 陶俊 (1979~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为大气化学与大气环境, E-mail: taojun@scies.org

\* 通讯联系人, E-mail: chaifh@craes.org.cn

细粒子引起的<sup>[7]</sup>. 此外,同期的广州郊区南沙万顷沙的观测点也显示亚运会期间能见度下降与较高的 $PM_{2.5}$ 浓度有关,硫酸盐、硝酸盐、有机物是 $PM_{2.5}$ 主要化学成分也是导致能见度下降主要因子<sup>[8]</sup>. 可见,广州地区霾天气具有明显的区域性特点.

为进一步了解广州及其周边城市采取的控制措施条件下对广州城区 $PM_{2.5}$ 浓度及霾天气改善效果,本研究利用环境保护部华南环境科学研究所大气环境观测站作为观测平台,经过2010年11月4~30日连续27 d昼夜观测,获得了 $PM_{2.5}$ 中OC、EC、水溶性离子质量浓度等观测数据,同步在线观测了 $PM_{2.5}$ 质量浓度、大气散射系数、黑碳浓度、以及能见度、风速、温湿度、太阳辐射、降雨等气象因子,在此基础上识别出广州城区霾天气及其形成原因,探讨了 $PM_{2.5}$ 化学组分和气象要素对霾天气影响机制,并得到主要贡献因子的贡献率,以期为该地区进一步霾天气整治工作提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 采样地点

采样地点设广州市天河区华南环境科学研究所大气环境观测站(23°07'N, 113°21'E), 距离地面约50 m, 采样点周围是集中居住区, 2 km 范围内无明显大气污染源, 周围无建筑物遮挡, 视野比较开阔<sup>[9]</sup>. 观测数据在一定程度上代表了广州城市区域大气污染水平.

### 1.2 样品采集

于2010年11月4~30日利用英国Gravisol连续颗粒物采样器(Casella Monitor Inc., UK)每天昼夜各采集一个 $PM_{2.5}$ 样品. 昼间采样时间为当日的08:00~19:00, 夜间采样时间为当日的20:00~次日07:00, 整个观测期间合计采集27个昼间样品和27个夜间样品, 空白样品5个. 采样器流量为16.7 L·min<sup>-1</sup>, 使用的滤膜为直径47 mm的石英膜(Whatman, England). 滤膜在采样前用800℃高温灼烧4 h, 冷却后称量, 采样完成后样品放入冰箱冷冻柜中-18℃保存待进行化学分析.

### 1.3 在线数据采集

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 $< \pm 1\%$ , 每周用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. 利用

AE31黑碳仪(TSP切割头)观测880 nm的黑碳浓度<sup>[10]</sup>, 并根据黑碳浓度与吸收系数之间的转换系数 $8.28 m^2 \cdot g^{-1}$ , 获得532 nm吸收系数<sup>[11,12]</sup>. 利用Rp1400a(TEOM)在线观测 $PM_{2.5}$ 质量浓度<sup>[13]</sup>. 利用MAWS301自动气象站在线观测风速(wind speed, WS)、温度(temperature, TEMP)、相对湿度(relative humidity, RH)、降雨量(precipitation, PR)、太阳辐射(solar radiation, SR)和能见度(visibility, VIS)等气象因子<sup>[9]</sup>.

### 1.4 样品化学成分分析

所有样品的OC(organiics carbon)和EC(element carbon)分析采用美国沙漠研究所研制的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, 该方法的主要测试原理参考文献[14].

剪取四分之一的石英膜加入10 mL去离子水( $R > 18.2 M\Omega \cdot cm$ ), 超声萃取1 h, 采用0.45  $\mu m$ 的过滤器过滤定容, 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. 具体分析方法见文献[15].

### 1.5 在线 $PM_{2.5}$ 浓度修正和消光系数重建方法

由于在线 $PM_{2.5}$ 小时浓度由Rp1400a仪器获得, 其测量温度为50℃, 较高的温度使得其测得的 $PM_{2.5}$ 浓度较实测值低<sup>[16,17]</sup>, 因此需要利用手动滤膜采样获得的 $PM_{2.5}$ 浓度对其进行修正. 图1为昼夜 $PM_{2.5}$ 在线浓度与滤膜采样浓度之间关系. 由图1可知, $PM_{2.5}$ 在线浓度与滤膜采样浓度相关性很好, 但平均偏低16%左右, 根据回归方程修正在线 $PM_{2.5}$ 浓度.

利用美国IMPROVE消光系数(550 nm)方程<sup>[18]</sup>来重建广州消光系数, 并与实测消光系数进行比较,

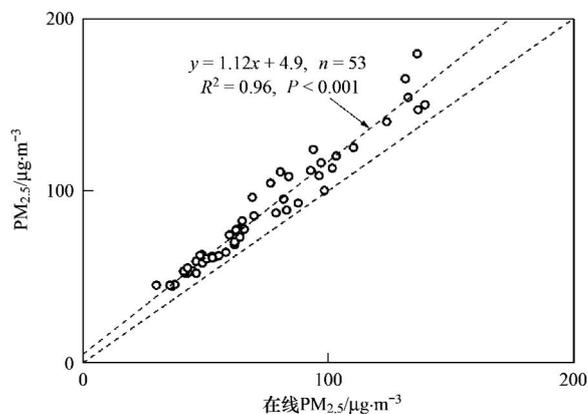


图1 在线 $PM_{2.5}$ 浓度与手工滤膜采样 $PM_{2.5}$ 浓度之间的关系

Fig. 1 Relationship between  $PM_{2.5}$  mass concentrations measured by TEOM and by manual samplers

再评估 IMPROVE 消光系数方程的适用性<sup>[19,20]</sup>,而后决定 IMPROVE 消光系数方程能否用于广州亚运期间大气消光系数重建. 本研究参考文献[9]中修正后的 IMPROVE 消光系数重建公式,其中 OC 与 POM 之间换算系数为 2.0<sup>[8,21]</sup>. 相对湿度增长曲线  $f_s(\text{RH})$ 、 $f_L(\text{RH})$  和  $f_{SS}(\text{RH})$  见文献[18]. 重建消光系数的相对湿度来源于浊度计内部温湿度传感器. 由图 2 可知,大气消光系数重建值与测量值相关性很好 ( $R^2 = 0.92$ ),且斜率基本等于 1.0,由此可见,文献[9]中修正后的 IMPROVE 消光系数重建方程可以用于广州亚运期间大气消光系数重建.

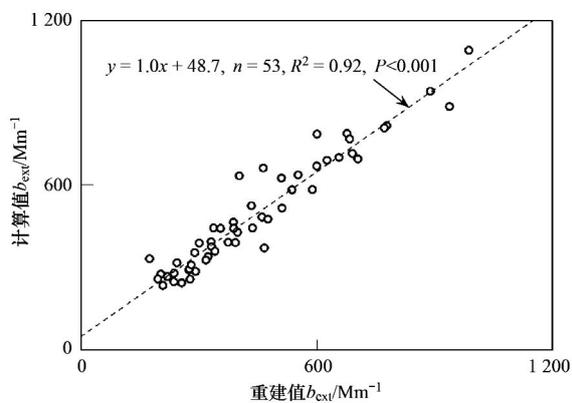


图 2 大气消光系数重建值与实测值之间的关系

Fig. 2 Relationship between reconstructed  $b_{\text{ext}}$  and measured  $b_{\text{ext}}$

## 2 结果与分析

### 2.1 PM<sub>2.5</sub> 浓度特征与控制措施

本研究将 11 月 4 ~ 11 日定义为亚运前,11 月 12 ~ 27 日定义为亚运期间,11 月 28 ~ 30 日定义为亚运后. 表 1 为亚运会期间广州城区 PM<sub>2.5</sub> 中主要化学组分的浓度. 由表 1 可知,整个观测期间 PM<sub>2.5</sub> 浓度为  $86.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \pm 33.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,高于《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中 PM<sub>2.5</sub> 日均值二级标准 ( $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 的 1.15 倍.

亚运前 PM<sub>2.5</sub> 浓度高达  $106.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \pm 43.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,其中  $\text{SO}_4^{2-}$ 、OC 和 EC 是主要化学组分. 随着亚运会临近,广州及其周边城市燃煤电厂实行了减产和严格管制措施后,PM<sub>2.5</sub> 浓度明显下降,亚运期间浓度  $77.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \pm 24.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,基本达到《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中 PM<sub>2.5</sub> 日均值二级标准,其中  $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC 浓度削减幅度分别达到 37.3% 和 33.0%. 亚运会闭幕后,由于监管力度的放松,PM<sub>2.5</sub> 浓度小幅度的升高达到  $82.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \pm 29.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . 11 月 1 ~ 29 日 (07:00 ~ 20:00) 广州实行了严格的机动车单双号限行措施,PM<sub>2.5</sub> 中的  $\text{NO}_3^-$  浓度无显著变化,且处于较低的水平,可见单双号限行对 PM<sub>2.5</sub> 浓度改善也有较为显著的效果.

表 1 亚运会期间广州城区 PM<sub>2.5</sub> 中主要化学成分浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

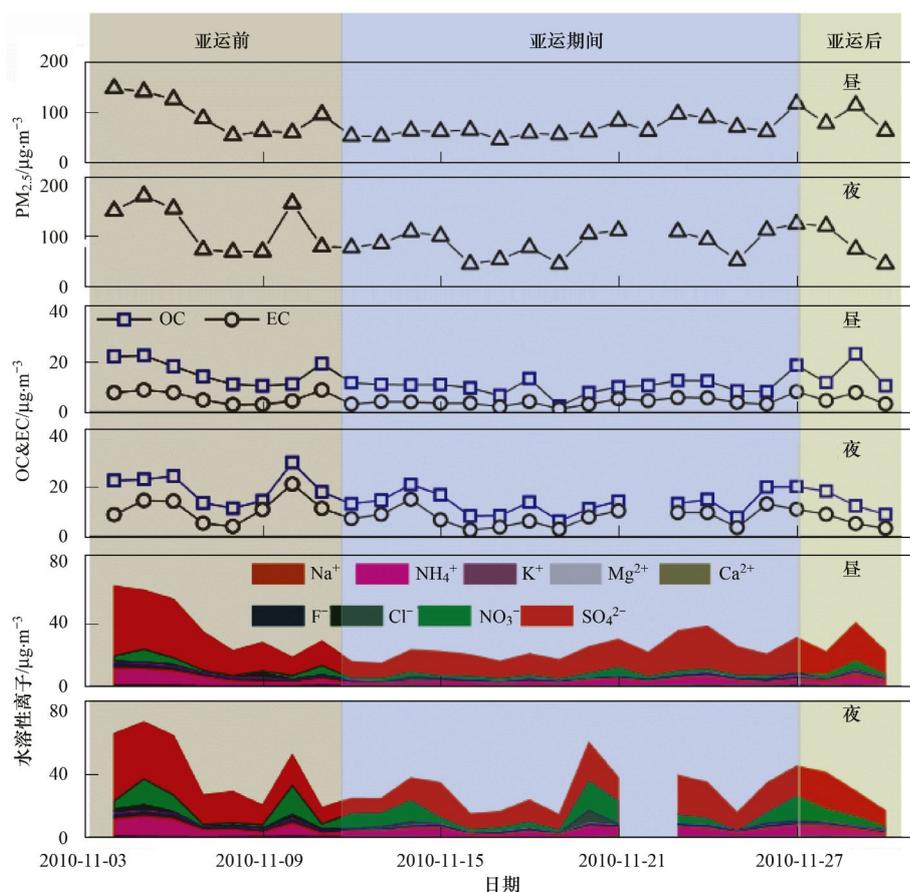
Table 1 Chemical components concentrations in PM<sub>2.5</sub> during Asian Game in Guangzhou/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

项目	均值	昼间均值	夜间均值	亚运前	亚运期间	亚运后
PM <sub>2.5</sub>	86.6 ± 33.9	78.2 ± 28.2	95.2 ± 37.6	106.7 ± 43.4	77.0 ± 24.4	82.1 ± 29.1
OC	14.0 ± 5.4	12.8 ± 5.8	15.3 ± 5.7	17.9 ± 5.7	12.0 ± 4.2	14.2 ± 5.4
EC	6.8 ± 3.9	5.0 ± 2.1	8.7 ± 4.4	8.8 ± 4.8	6.1 ± 3.3	5.7 ± 2.3
F <sup>-</sup>	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Cl <sup>-</sup>	0.8 ± 1.3	0.5 ± 0.7	1.2 ± 1.7	1.2 ± 1.1	0.7 ± 1.5	0.4 ± 0.4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.2 ± 4.8	3.0 ± 1.8	7.5 ± 5.8	5.6 ± 5.4	5.1 ± 4.8	4.8 ± 2.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18.5 ± 8.9	18.8 ± 8.8	18.3 ± 9.1	24.9 ± 11.9	15.6 ± 5.4	16.8 ± 5.5
Na <sup>+</sup>	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.6 ± 0.2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4.7 ± 2.7	4.2 ± 2.5	5.2 ± 2.9	6.7 ± 3.7	3.8 ± 1.6	4.3 ± 1.7
K <sup>+</sup>	1.3 ± 0.7	1.2 ± 0.7	1.4 ± 0.7	1.9 ± 0.8	1.0 ± 0.4	1.4 ± 0.8
Mg <sup>2+</sup>	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
Ca <sup>2+</sup>	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	0.4 ± 0.3	0.6 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.4 ± 0.2

总体来看,亚运期间广州及其周边地区对工业源和移动源源的管制措施对于广州城区 PM<sub>2.5</sub> 浓度改善的效果显著.

图 3 为亚运会期间广州城区 PM<sub>2.5</sub> 中主要化学组分逐日昼夜变化趋势. 图 4 为亚运会期间广州城区主要气象因子逐日昼夜变化趋势. 由图 3 和图 4 可知,亚运前 (11 月 4 ~ 11 日) 昼间 PM<sub>2.5</sub> 浓度基本

是逐渐下降,一方面是由于昼间风速逐渐上升,另一方面太阳辐射也逐渐增强,这两方面原因均有利于污染物扩散,另外污染源控制措施也起到一定的作用. 图 5 为 OC/EC 比值、K<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 昼夜变化. 由图 5 可知,亚运前期昼夜 K<sup>+</sup> 或 Cl<sup>-</sup> 浓度均较高,可初步推断亚运前较高的 PM<sub>2.5</sub> 浓度不仅与工业源排放有关,还与生物质燃烧排放有关<sup>[22-24]</sup>. 但 OC/EC 比

图3 广州  $PM_{2.5}$  及其化学成分浓度变化趋势Fig. 3 Temporal variations of  $PM_{2.5}$  and its chemical compositions

值  $< 4.0$  并没有期望的高值,其可能的原因是生物质不完全燃烧同样可以排放较高的  $EC^{[25]}$ 。

亚运期间(11月12~27日)昼间  $PM_{2.5}$  浓度差异小,基本维持在  $65 \mu g \cdot m^{-3}$ ,除了11月27日其浓度突然升至  $116.2 \mu g \cdot m^{-3}$ 。其主要原因可能是由于27日基本为全云天气,太阳辐射弱,边界层低,不利于污染物扩散。夜间浓度明显地高于昼间浓度,且夜间  $PM_{2.5}$  浓度变化则相对昼间明显,其中夜间  $PM_{2.5}$  浓度超过  $100 \mu g \cdot m^{-3}$  有6 d,分别为14、15、20、21、23、26和27日。由图5可知,这6 d夜间的  $K^+$  或  $Cl^-$  浓度明显升高,值得注意的是,当  $K^+$  升高时  $OC/EC$  比值略高,而  $Cl^-$  升高时  $OC/EC$  比值则比较低,这表明  $Cl^-$  浓度升高时意味着排放更多的  $EC$ 。可见生物质燃烧时  $OC/EC$  比值不一定高,还与生物质燃烧的种类有关,总之夜间生物质燃烧对广州城区  $PM_{2.5}$  浓度贡献相对较大。可见亚运期间昼间污染源的控制较好,但是夜间对生物质燃烧的控制力度明显不够。

亚运后(11月28~30日)昼间  $PM_{2.5}$  浓度先升

后降,其中11月29日昼间  $PM_{2.5}$  浓度达到  $113.2 \mu g \cdot m^{-3}$ ,但是随风速增加,太阳辐射增强,浓度明显下降。夜间  $PM_{2.5}$  浓度则呈逐渐下降趋势,其中11月28日夜间  $PM_{2.5}$  浓度达到  $120.1 \mu g \cdot m^{-3}$ 。11月28日夜间和11月29日昼间基本为全云天气,边界层相对较低可能是导致其浓度升高重要原因。但是  $SO_4^{2-}$  和  $K^+$  浓度明显升高,可见亚运后广州及其周边城市放松对工业源和生物质燃烧源监管后,广州城区  $PM_{2.5}$  浓度显著升高。

综合来讲,亚运期间广州及其周边城市减排措施对广州城区  $PM_{2.5}$  浓度的改善比较显著,主要是由于对工业燃煤源控制较好。尽管也对生物质燃烧源排放也采取一定的控制措施<sup>[7]</sup>,但实际效果并不明显,尤其是夜间生物质燃烧的现象,且导致了较高的  $PM_{2.5}$  浓度。

## 2.2 大气消光系数与 $PM_{2.5}$ 之间的关系

根据中国气象局《霾的观测与预报等级》(QX/T 113-2010)霾天气判别标准,  $RH < 80\%$ ,且能见度  $< 10 km$ 。由图4可知,整个观测期间  $RH$  昼夜均值

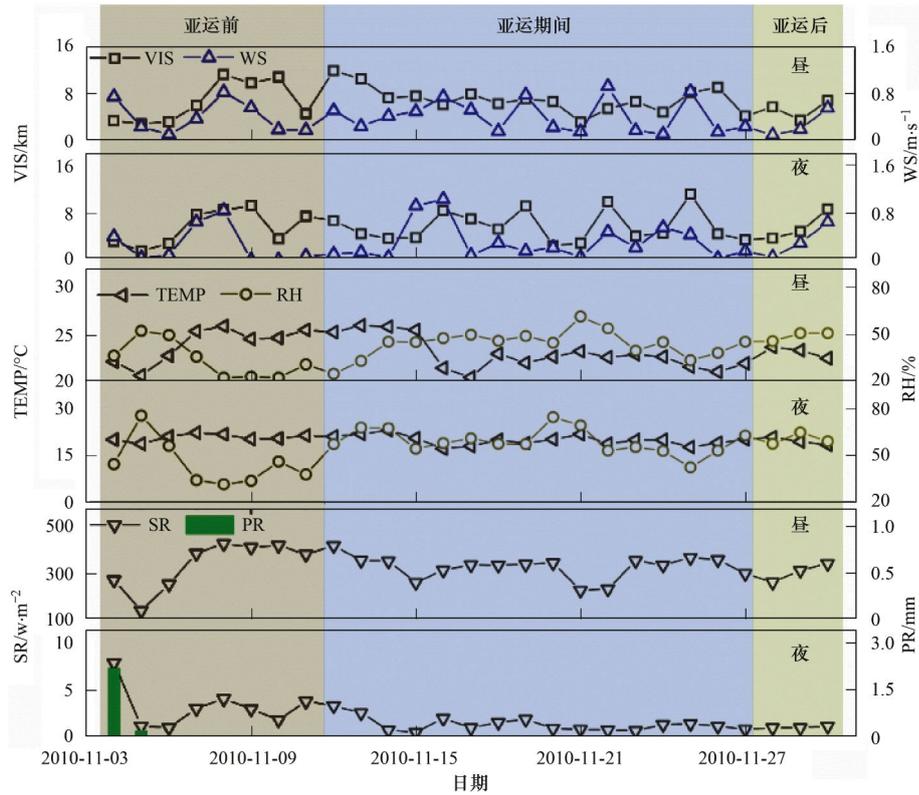


图 4 广州主要气象因子变化趋势

Fig. 4 Temporal variations of selected meteorological parameters

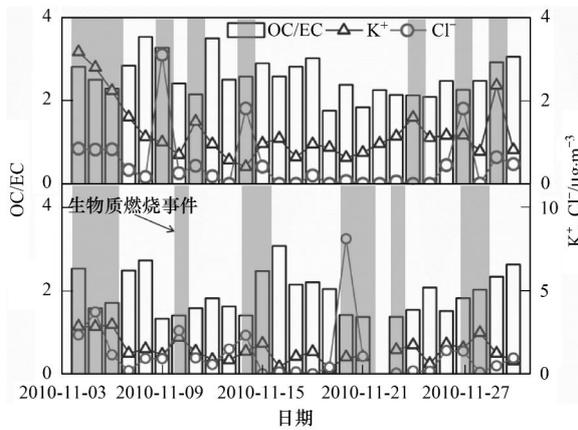


图 5 OC/EC 比值、K<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 昼夜变化

Fig. 5 Diurnal variations of OC/EC ratio, K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>

均小于 80%，因此可以直接根据能见度判断霾天气。观测期间，能见度均值为 5.2 km，亚运前为 4.3 km，亚运期间为 5.4 km，亚运后为 5.0 km。由此可见，尽管广州亚运期间广州及其周边城市采取大量减排措施，但霾天气还是较为频繁。

除了利用浊度计和黑碳仪可以直接获得干气溶胶消光系数外，能见度仪测得的能见度也可以近似换算成 550 nm 的湿气溶胶消光系数<sup>[9]</sup>。由图 6 可知，修正后 PM<sub>2.5</sub> 小时浓度与干气溶胶消光系数相关

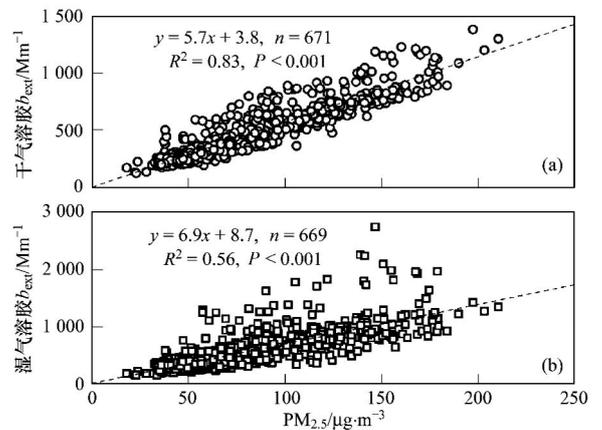


图 6 修正后在线 PM<sub>2.5</sub> 浓度与干气溶胶消光系数和湿气溶胶消光系数之间的关系

Fig. 6 Relationship between revised online PM<sub>2.5</sub> mass concentrations and dry  $b_{ext}$  and wet  $b_{ext}$

性较好 ( $R^2 = 0.83$ )，而与湿气溶胶消光系数相关性略差 ( $R^2 = 0.56$ )，主要是由于 PM<sub>2.5</sub> 吸湿组分 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 浓度变化比较明显，在不同 RH 条件下其吸湿增长特性可直接影响 PM<sub>2.5</sub> 消光能力<sup>[26-28]</sup>。值得注意的是，干气溶胶状态下 PM<sub>2.5</sub> 质量消光效率为 5.7 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>，而湿气溶胶状态下其质量消光效率达到 6.9 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>，可见较高的 RH (>40%) 能增强 PM<sub>2.5</sub>

消光能力. 综合来看,  $PM_{2.5}$  浓度升高是导致亚运期间霾天气最为重要的因素.

### 2.3 大气消光系数的贡献因子及其贡献率

利用实际环境中 RH 计算得到的大气消光系数, 并获得不同时段广州城区大气消光系数主要贡献因子贡献率见图 7. 从中可知, 整个观测期间大气消光系数均值为  $471 Mm^{-1}$ , 其主要贡献因子为  $(NH_4)_2SO_4$ 、POM 和 LAC, 三者总贡献率达到 88.8%. 夜间  $NH_4NO_3$  贡献率达到 10.7%, 明显高于昼间的 2.8%, 主要是由于夜间  $NO_3^-$  浓度明显高于昼间, 另外夜间 RH 较昼间高,  $NO_3^-$  吸湿作用也增强了其消光效率.

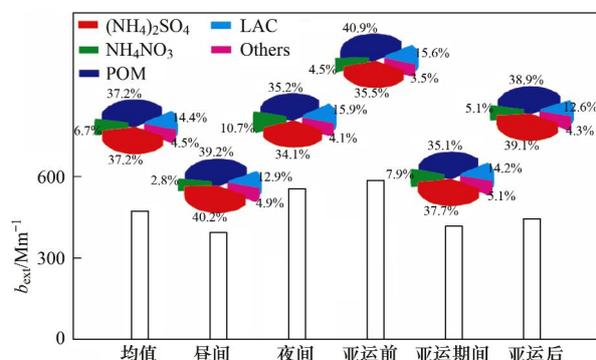


图 7 不同时段广州城区大气消光系数主要贡献因子贡献率

Fig. 7 Reconstructed  $b_{ext}$  and  $b_{ext}$  load percentages in different time periods in Guangzhou

亚运前大气消光系数均值达到  $583 Mm^{-1}$ , 亚运期间下降到  $418 Mm^{-1}$ , 其主要贡献因子的贡献率发生微妙的变化, 尽管亚运期间广州及其周边城市对工业源和移动源进行了严格控制,  $SO_4^{2-}$  和  $NO_3^-$  浓度也确实显著下降, 但是亚运期间  $(NH_4)_2SO_4$  和  $NH_4NO_3$  贡献率略有上升, 而 OC 浓度及其贡献率均有显著下降, 可见吸湿能力弱的组分如 OC 消光贡献率明显下降, 而吸湿组分如  $SO_4^{2-}$  和  $NO_3^-$  消光贡献率不降反升, 这表明污染源控制措施与控制效果如霾天气改善之间存在较为明显的非线性关系. 亚运后大气消光系数略有升高, 达到  $445 Mm^{-1}$ ,  $SO_4^{2-}$  和 OC 浓度明显升高其消光贡献率也升高, 可见当污染源控制措施不力时, 控制效果却是线性恶化的.

综合来看, 整个观测期间大气消光系数在亚运前、亚运期间和亚运后其绝对值有明显变化, 但其主要贡献因子以  $(NH_4)_2SO_4$ 、POM 和 LAC 为主, 与同期广州郊区南沙获得结果也比较类似<sup>[7]</sup>, 说明广州地区霾天气具有典型的区域性特征, 其霾天气的主导因子也很类似. 值得注意的是, 尽管广州及其周

边城市采取减排措施, 霾天气改善效果较好, 但是不能忽视的是亚运期间仍有霾天气发生, 且硫酸盐贡献率最大, 可见珠三角地区的燃煤源(尤其燃煤电厂)  $SO_2$  排放还需进一步加大力度进行控制, 才能从根本上缓解广州地区乃至整个珠三角地区的霾天气.

### 3 结论

(1) 亚运期间  $PM_{2.5}$  浓度均值仅为  $77.0 \mu g \cdot m^{-3} \pm 24.4 \mu g \cdot m^{-3}$ , 基本达到《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 中  $PM_{2.5}$  日均值二级标准, 较亚运前和亚运后  $PM_{2.5}$  浓度低. 亚运期间广州及其周边地区采取的减排措施对降低  $PM_{2.5}$  浓度的效果较为显著.

(2) 实际环境下, RH 能使  $PM_{2.5}$  质量消光效率明显增强.

(3) 广州地区霾天气具有典型区域性特点. 广州及其周边城市污染源减排措施与霾天气改善效果呈非线性关系. 区域输送的硫酸盐仍是导致亚运期间霾天气频发的主要贡献源, 需进一步加强控制.

#### 参考文献:

- [1] Watson J G. Visibility: science and regulation[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, 52(6): 628-713.
- [2] Pope C A III. Review: epidemiological basis for particulate air pollution health standards[J]. Aerosol Science and Technology, 2000, 32(1): 4-14.
- [3] Tie X X, Wu D, Brasseur G. Lung cancer mortality and exposure to atmospheric aerosol particles in Guangzhou, China [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43(14): 2375-2377.
- [4] Cao J J, Xu H M, Xu Q, et al. Fine particulate matter constituents and cardiopulmonary mortality in a heavily polluted Chinese city[J]. Environmental Health Perspectives, 2012, 120(3): 373-378.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 吴兑, 廖碧婷, 吴晟, 等. 2010 年广州亚运会期间灰霾天气分析[J]. 环境科学学报, 2012, 32(3): 521-527.
- [8] Wang X M, Ding X, Fu X X, et al. Aerosol scattering coefficients and major chemical compositions of fine particles observed at a rural site in the central Pearl River Delta, South China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(1):

- 72-77.
- [ 9 ] Tao J, Cao J J, Zhang R J, *et al.* Reconstructed light extinction coefficients using chemical compositions of PM<sub>2.5</sub> in winter in Urban Guangzhou, China [ J ]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, **29**(2): 359-368.
- [ 10 ] 陶俊, 朱李华, 韩静磊, 等. 广州城区冬季黑碳气溶胶污染特征及其来源初探[ J ]. *中国环境监测*, 2009, **25**(2): 53-56.
- [ 11 ] 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.
- [ 12 ] 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.
- [ 13 ] 张剑鸣, 陶俊, 张仁健, 等. 2008 年 1 月广州大气污染特征及能见度观测研究[ J ]. *环境科学研究*, 2008, **21**(6): 161-165.
- [ 14 ] Cao J J, Lee S C, Chow J C, *et al.* Spatial and seasonal distributions of carbonaceous aerosols over China [ J ]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**: D22S11, doi: 10.1029/2006JD008205.
- [ 15 ] Zhang T, Cao J J, Tie X X, *et al.* Water-soluble ions in atmospheric aerosols measured in Xi'an, China: seasonal variations and sources [ J ]. *Atmospheric Research*, 2011, **102**(1-2): 110-119.
- [ 16 ] Cyrus J, Dietrich G, Kreyling W, *et al.* PM<sub>2.5</sub> measurements in ambient aerosol: comparison between Harvard impactor (HI) and the tapered element oscillating microbalance (TEOM) system [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2001, **278**(1-3): 191-197.
- [ 17 ] Charron A, Harrison R M, Moorcroft S, *et al.* Quantitative interpretation of divergence between PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> mass measurement by TEOM and gravimetric (Partisol) instruments [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(3): 415-423.
- [ 18 ] Pitchford M L, Malm W C, Schichtel B A, *et al.* Revised formula for estimating light extinction from IMPROVE particle speciation data [ J ]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2007, **57**(11): 1326-1336.
- [ 19 ] 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.
- [ 20 ] 朱李华, 陶俊, 陈忠明, 等. 2010 年 1 月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 [ J ]. *环境科学*, 2012, **33**(1): 13-19.
- [ 21 ] Chen X, Yu J Z. Measurement of organic mass to organic carbon ratio in ambient aerosol samples using a gravimetric technique in combination with chemical analysis [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(39): 8858-8864.
- [ 22 ] Ryu S Y, Kim J E, Zhuanshi H, *et al.* Chemical composition of post-harvest biomass burning aerosols in Gwangju, Korea [ J ]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2004, **54**(9): 1124-1137.
- [ 23 ] 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.
- [ 24 ] 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.
- [ 25 ] Schwarz J, Chi X, Maenhaut W, *et al.* Elemental and organic carbon in atmospheric aerosols at downtown and suburban sites in Prague [ J ]. *Atmospheric Research*, 2008, **90**(2-4): 287-302.
- [ 26 ] Kim K W, Kim Y J, Oh S J. Visibility impairment during Yellow Sand periods in the urban atmosphere of Kwangju, Korea [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(30): 5157-5167.
- [ 27 ] Chan Y C, Simpson R W, McTainsh G H, *et al.* Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques [ J ]. *Atmospheric Environment*, 1999, **33**(19): 3237-3250.
- [ 28 ] 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.

## CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM <sub>2.5</sub> and Its Impact on Hazy Weather During 16 <sup>th</sup> Asian Games in Guangzhou .....	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> ( 409 )
PM <sub>2.5</sub> Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area .....	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> ( 416 )
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China .....	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> ( 424 )
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou .....	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> ( 434 )
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City .....	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> ( 441 )
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival .....	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui ( 448 )
Characteristics of PM <sub>10</sub> and PM <sub>2.5</sub> Concentrations in Mountain Background Region of East China .....	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun ( 455 )
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose .....	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> ( 462 )
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control .....	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> ( 468 )
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique .....	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> ( 476 )
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and $\delta^{13}\text{C}$ Records in the Sediments of Shijiu Lake .....	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> ( 484 )
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City .....	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan ( 494 )
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency .....	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao ( 499 )
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China .....	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> ( 509 )
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River .....	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> ( 517 )
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body .....	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, <i>et al.</i> ( 525 )
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate .....	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> ( 532 )
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland .....	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> ( 540 )
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin .....	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> ( 547 )
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River .....	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> ( 555 )
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area .....	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke ( 561 )
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage .....	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> ( 570 )
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis .....	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> ( 576 )
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium .....	LI San-hua, ZHANG Qi-ya ( 583 )
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities .....	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 589 )
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO <sub>2</sub> Photocatalytic Combined Technologies .....	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> ( 596 )
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater .....	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> ( 604 )
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645 .....	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping ( 611 )
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline .....	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> ( 616 )
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization .....	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> ( 622 )
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content .....	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> ( 629 )
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter .....	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> ( 635 )
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products .....	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen ( 642 )
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model .....	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> ( 647 )
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution .....	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> ( 653 )
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application .....	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> ( 662 )
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain .....	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei ( 668 )
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization .....	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> ( 676 )
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return .....	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> ( 685 )
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations .....	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> ( 692 )
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis .....	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-chen, <i>et al.</i> ( 698 )
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise .....	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> ( 705 )
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant .....	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> ( 712 )
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin .....	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> ( 718 )
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments .....	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> ( 724 )
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds .....	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> ( 732 )
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field .....	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> ( 740 )
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity .....	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> ( 746 )
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6 .....	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> ( 753 )
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection .....	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> ( 760 )
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method .....	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> ( 767 )
Assessment of the Effect of Influent NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process .....	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> ( 773 )
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes .....	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> ( 781 )
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil .....	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> ( 789 )
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters .....	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> ( 795 )
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill .....	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yue-wei, <i>et al.</i> ( 804 )
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms .....	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-bin, <i>et al.</i> ( 810 )

# 《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)

2013年2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 15, 2013

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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

国内外公开发刊