

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

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

我国4个WMO/GAW本底站大气CH ₄ 浓度及变化特征	方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳	(2917)
我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源	李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙	(2924)
2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析	李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海	(2932)
厦门市冬春季灰霾期间大气PM ₁₀ 中多环芳烃的污染特征及来源分析	钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红	(2939)
气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用	王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J	(2946)
松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征	张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超	(2953)
河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究	赵亚娟,龚巍巍,栾胜基	(2960)
印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选	马英歌	(2967)
烹调油烟中挥发性有机物的排放初探	何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕	(2973)
生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究	胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟	(2979)
分期布液生物滴滤床净化H ₂ S废气性能研究	刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪	(2987)
粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究	孟阳,王书肖	(2993)
太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价	刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁	(3000)
巢湖水质与流域农业投入的关联性研究	张燕,高翔,张洪	(3009)
巢湖十五里河水花生生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性	李如忠,李峰,周爱佳	(3014)
巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价	刘恩峰,杜臣昌,羊向东,沈吉	(3024)
巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性	陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼	(3031)
丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究	雷沛,张洪,单保庆	(3038)
水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响	刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤	(3046)
平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究	杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波	(3051)
江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析	刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功	(3057)
太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价	甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩	(3064)
南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究	刘静,路风,杨廷钊,徐娜,王田妮	(3070)
珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系	何洪威,周达诚,王保强,梁艳红	(3076)
东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价	王若师,许秋瑾,张炯,魏群山,颜昌宙	(3083)
深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究	孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉	(3089)
福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响	高文华,杜永芬,王丹丹,高抒	(3097)
渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨	蔡文倩,刘录三,乔飞,林岍璇,周娟	(3104)
地下水污染防治区划体系构建研究	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮	(3110)
北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(3117)
川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO ₃ ⁻ 的存储和运移	杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风	(3124)
改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究	董锡臻,石宝友,解岳,王东升	(3132)
水溶液中臭氧和溴离子的反应研究	俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇	(3139)
HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布	张晗,董秉直	(3144)
不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOCs)产生机制研究	卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才	(3152)
不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响	况烨,周琰,王清萍,陈祖亮	(3160)
多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水	李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶	(3167)
三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究	徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮	(3172)
改性花生壳对水中镉的动态吸附研究	龙腾,易筱筠,党志	(3177)
硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能	王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军	(3182)
海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型	罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰	(3189)
营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复	张著,高大文,袁向娟,勾倩倩	(3197)
生物表面活性剂强化污泥水解的研究	易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平	(3202)
厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定	刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波	(3208)
阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究	李绍峰,朱静,李铁晶	(3214)
农业废物堆肥中高产漆酶新菌株的分离鉴定及酶学性质研究	任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明	(3220)
糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定	李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云	(3228)
餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析	刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕	(3236)
共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究	吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳	(3241)
<i>Geobacter sulfurreducens</i> 对汞的甲基化及其影响因素研究	邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳	(3247)
单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应	武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷	(3253)
金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价	杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新	(3261)
环境激素氯菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响	董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵	(3266)
地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究	金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳	(3272)
焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化特征	刘敬勇,孙水裕	(3279)
城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例	于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞	(3288)
NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析	连静,刘俊新	(3295)
《环境科学》征订启事(3037)	《环境科学》征稿简则(3151)	信息(2999,3030,3096,3227)

2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析

李婷苑¹, 邓雪娇^{1,2*}, 范绍佳¹, 吴兑², 李菲², 邓涛², 谭浩波², 蒋德海²

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 2. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州 510080)

摘要: 利用2010年11月4日~12月10日广州地区NO₂、O₃、SO₂、PM、能见度实测资料, 区域空气污染指数RAQI及大气输送扩散特征参数, 分析广州亚运期间空气质量与气象条件变化特征。结果表明, 亚运期间空气质量比亚运前后好, 能见度比亚运前后大, PM₁和PM_{2.5}浓度比亚运前后小, 能见度与PM₁和PM_{2.5}有较好的反相关; 亚运期间NO₂和SO₂日均值和小时均值均达到国家一级标准, PM₁₀日均值和O₃小时均值均满足国家二级标准, 污染物得到较好的控制; 广州地区SO₂受本地源和外地源远距离输送叠加影响, NO₂受本地源影响较大; 广州周边城市NO₂、SO₂和PM₁₀有向广州输送的潜势, 而广州O₃有向其周边城市扩散的潜势; 亚运期间污染气象条件比亚运前后有利, 亚运期间污染物浓度降低得益于政府实施的减排措施及良好的气象条件。

关键词: 亚运; 广州; 空气质量; 气象条件; 变化特征

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-2932-07

Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games

LI Ting-yuan¹, DENG Xue-jiao^{1,2}, FAN Shao-jia¹, WU Dui², LI Fei², DENG Tao², TAN Hao-bo², JIANG De-hai²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Based on the monitoring data of NO₂, O₃, SO₂, PM, visibility, regional air quality index (RAQI) and the atmospheric transport and diffusion data from Nov. 4, 2010 to Dec. 10, 2010 in Guangzhou area, the variations of air quality and meteorological conditions during the Guangzhou Asian Games were analyzed. It was found that, during the Asian Games, the air quality was better than the air quality before or after the Asian Games. The visibility was greater than the visibility before or after the Asian Games, while the concentrations of PM₁ and PM_{2.5} were lower. The correlation coefficient between visibility and the concentrations of PM₁, PM_{2.5} indicated anti-correlation relationships. Daily and hourly concentrations of NO₂ and SO₂ met the primary ambient air quality standards, whereas the daily concentration of PM₁₀ and hourly concentration of O₃ met the secondary ambient air quality standards. Pollutants had been well controlled during the Asian Games. The concentration of SO₂ in Guangzhou was influenced by local sources and long distance transmission, while the concentration of NO₂ was significantly influenced by local sources. The emissions of NO₂, SO₂ and PM₁₀ surrounding Guangzhou had a trend to affect the concentrations in Guangzhou, but the situation of O₃ was opposite, the relatively high concentration of O₃ in Guangzhou had tendency to be transported to the surrounding areas. The pollution meteorology conditions in the period of Asian Games were better than the conditions before or after the Asian Games. The decrease in the concentrations during the Asian Games did not only benefit from the emission control by the government, but also from the good meteorological conditions.

Key words: Asian Games; Guangzhou; air quality; meteorological conditions; variations

珠江三角洲(珠三角)是我国经济发展最快、综合竞争力最强的地区之一。工业化、城市化、交通运输现代化的迅速发展,使珠三角地区气态污染物和气溶胶的排放量及污染浓度较大^[1~3],珠三角区域性空气污染问题已引起广泛关注。研究表明气象条件对污染物浓度存在显著的影响^[4~14],在东北气流和沿海气团的影响下,容易形成珠三角高浓度的污染过程^[4,7];城市群的发展对边界层大气输送与扩散影响较大,使污染物更易集中在城市群区域内^[15],污染物的排放以及城市间的相互传输是珠三角区域污染的重要原因^[16,17]。

广州位于珠三角城市群中心,是国内细粒子污染较严重的城市之一,近年频发的低能见度现象对广州景观造成较大负面影响^[18~21],2010年广州亚运会举办期间广州空气质量受到国内外的密切关

收稿日期: 2011-11-02; 修订日期: 2012-01-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41175117); 广东省科技计划项目(2010A030200012); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2011CB403403); 广东省财政厅亚运专项; 广东省环境污染控制与修复技术重点实验室重要方向(重大课题)科研助手计划项目; 广东省气象局科技创新团队计划项目(201103)

作者简介: 李婷苑(1988~),女,硕士研究生,主要研究方向为污染气象学, E-mail: l-tiny@163.com

* 通讯联系人, E-mail: dxj@grmc.gov.cn

注. 为保障亚运期间的空气质量, 广州及周边城市携手进行区域大气环境联合整治, 成功保障了亚运期间广州地区的环境空气质量. 监测表明, 亚运期间广州环境空气中 NO_2 、 O_3 、 PM_{10} 、 SO_2 浓度均显著下降, 满足国家环境空气质量二级标准. 本研究利用 2010 年 11 月 4 日~12 月 10 日广州地区 NO_2 、 O_3 、 SO_2 、 PM 、能见度实测资料, 区域空气污染指数 RAQI 及大气输送扩散特征参数, 分析广州亚运期间空气质量与气象条件变化规律.

1 材料与方法

1.1 使用资料

(1) 环境空气污染物浓度资料

2010 年 11 月 4 日~12 月 10 日粤港珠三角空气质量监测网 16 个监测子站的逐时 NO_2 、 O_3 、 PM_{10} 、 SO_2 浓度资料.

(2) 广州区域空气污染指数资料

2010 年 11 月 4 日~12 月 10 日广州地区天湖、麓湖公园和万顷沙这 3 个监测子站的区域空气污染指数 RAQI 资料.

(3) 广州番禺大气成分站资料

2010 年 10 月 1 日~10 月 31 日中国气象局大气成分监测网广州番禺主站逐时 NO_2 浓度资料.

2010 年 11 月 4 日~12 月 10 日中国气象局大气成分监测网广州番禺主站逐时 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度和能见度资料.

(4) 广州市常规气象资料

2010 年 11 月 4 日~12 月 10 日广州市气象局五山观测站逐时地面风速、气温和相对湿度实测资料.

(5) 混合层高度资料

2010 年 11 月 4 日~12 月 10 日广东清远高空探空站的混合层高度资料. 因广州地区没有探空站, 故用广州最近的清远高空探空站混合层高度代表广州地区混合层高度.

1.2 样品采集和仪器设备

粤港珠三角空气质量监测网的质量控制及保证工作等可参照广东省环境保护公众网的粤港珠江三角洲区域空气监控网络 2010 年检测结果报告, 本研究主要介绍番禺大气成分站的仪器设备.

中国气象局广州番禺大气成分站位于广州市番禺南村镇大镇岗山山顶 ($23^\circ 00.236' \text{N}$, $113^\circ 21.292' \text{E}$), 是番禺第一高峰, 海拔 141 m, 地处广州腹地, 本站代表广州地区大气成分均匀混合的平均

特征.

1.2.1 NO_2 观测设备

美国 Thermo-Fisher 公司最新的 i 系列在线 $\text{NO}/\text{NO}_2/\text{NO}_x$ 气体分析仪器 Ecotech EC9841B, 该分析仪器采用气相化学发光检测方法, 对 NO 、 NO_2 和 NO_x 进行连续分析. 番禺大气成分站已全面落实质控工作, 包括每双周/月检查采样支管、更换离子过滤器滤膜和进行零/标检查校准; 每半年/年更换仪器辅助口和抽气口各种介质、进行精密度测量、多点校准和转化炉转化率测定. $\text{NO}/\text{NO}_2/\text{NO}_x$ 气体分析仪器 Ecotech EC9841B 的量程: $0 \sim 20 \times 10^{-6}$; 精度: 0.001×10^{-6} ; 零漂: $< 1 \times 10^{-9}$ (24 h), $< 1 \times 10^{-9}$ (30 d); 跨漂: $< 1\%$ (24 h), $< 1\%$ (30 d).

1.2.2 颗粒物观测设备

德国 GRIMM 公司的颗粒物监测仪 MODEL180, 其原理是抽气泵以恒定流量将环境空气吸入测量室, 半导体激光源以高频率产生激光脉冲, 根据检测器接收到脉冲信号的频次和强弱, 可得出颗粒物的数量和所属粒径范围, 进而得出颗粒物的质量浓度与粒径谱. 质控工作包括每双周清洁采样头、检查采样管路、清洁玻璃瓶内积水积尘和清洁机箱; 每月清洗剔除采样头上滤网的杂物头、吹扫采样管和清洁进气路; 每年进行仪器和流量校准、更换主尘过滤器、清扫采样管和仪器内部积尘. 颗粒物监测仪 MODEL180 的测量粒径范围: $0.25 \sim 32 \mu\text{m}$; 精度: $\pm 2\%$; 采样流量: $1.2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \pm 5\%$; 测量质量浓度范围: $1 \sim 1500 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

1.2.3 能见度观测设备

美国 Belfort 公司(美国 FAA 认证)生产的能见度仪器 BELFORT MODEL 6000, 该能见度仪器使用前向散射感应器测量能见度. 质控工作包括每双周进行支撑杆检查; 每月进行数字量与模拟量对比; 每季度检查和清理光学部件、并检查电缆; 每半年进行零/标校准. 能见度仪器 BELFORT MODEL 6000 的测量范围: $6 \sim 80 \text{ km}$; 精确度: 10% .

1.3 数据处理方法

(1) 粤港珠江三角洲区域空气监控网络子站中广州地区有 3 个空气质量自动监控子站, 分别位于广州东北部的从化市天湖、市中心的越秀区麓湖公园和南部的南沙区万顷沙, 取这 3 个子站小时监测值的几何平均值为广州地区 NO_2 、 O_3 、 PM_{10} 、 SO_2 小时均值; 3 个子站 RAQI 的几何平均值为广州地区 RAQI 值.

(2) 污染物浓度及气象资料处理的日界均为自然日; RAQI 指数直接取自粤港珠江三角洲区域空气监控网络, 日界是 12:00 ~ 次日 12:00.

(3) 定义 11 月 4 ~ 11 日为亚运前, 11 月 12 ~ 27 日为亚运期间, 11 月 28 日 ~ 12 月 10 日为亚运后.

(4) 定义当日均能见度 < 10 km, 日均相对湿度 < 90%, 并排除降水等其他导致低能见度事件的情况为一个灰霾日.

2 结果与分析

2.1 亚运期间与前后的环境空气质量、能见度及相应气象条件变化特征

图 1 给出 2010 年 11 月 4 日 ~ 12 月 10 日广州区域空气污染指数 RAQI、风速、能见度、PM_{2.5} 浓度

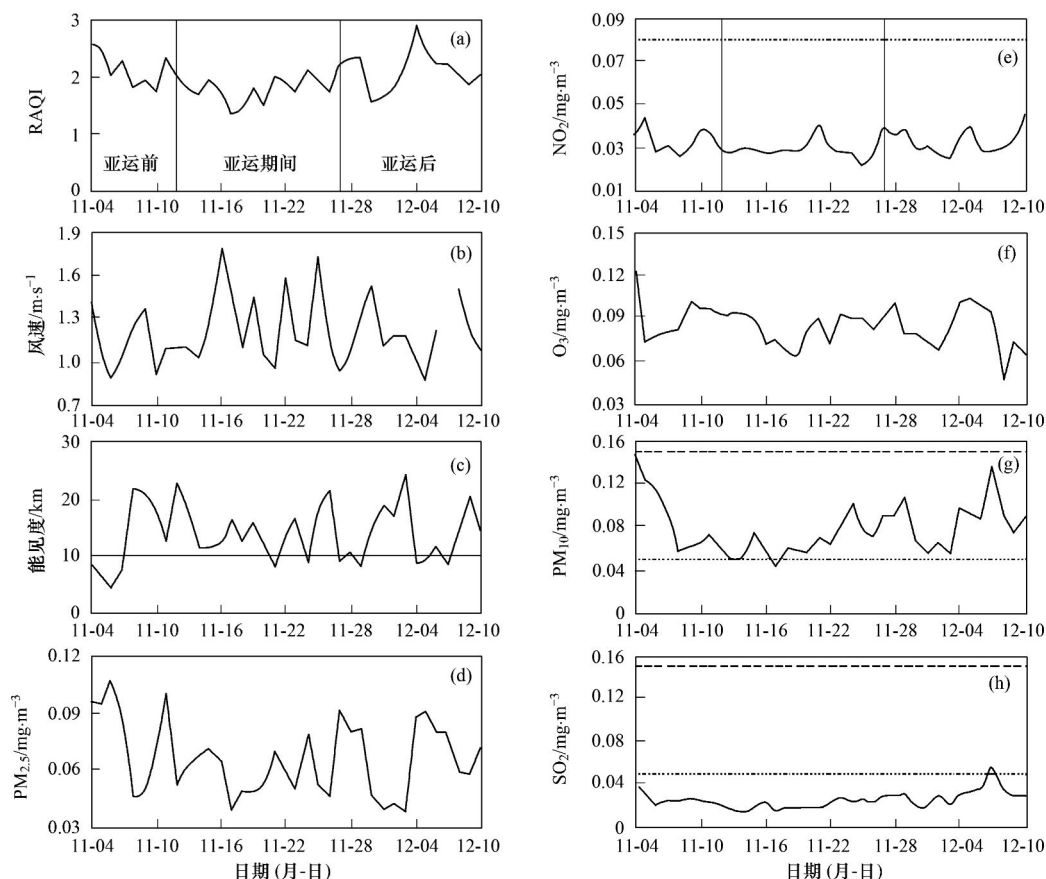
和 NO₂、O₃、PM₁₀、SO₂ 浓度逐日变化曲线.

从图 1(a) 可见, 亚运期间广州空气质量比亚运前后好. 亚运前、亚运期间、亚运后 RAQI 平均值分别为 2.15、1.78 和 2.10, 亚运期间 RAQI 值比亚运前后小.

从图 1(e) ~ 1(h) 可见, 亚运期间广州地区空气污染得到了较好的控制. 亚运期间 NO₂、PM₁₀ 和 SO₂ 平均浓度均比亚运前后小; O₃ 平均浓度则低于亚运前, 高于亚运后. 亚运期间 NO₂、O₃、PM₁₀ 和 SO₂ 平均浓度分别比亚运前下降了 12.84%、8.84%、28.17% 和 23.31%.

为分析气象条件对污染物浓度的影响, 表 1 给出 2010 年 11 月 4 日 ~ 12 月 10 日主要的天气过程.

表 2 给出亚运期间与亚运前后气象条件对比.



图中圆点线为我国环境空气质量一级标准, 短划线为我国环境空气质量二级标准

图 1 2010 年 11 月 4 日 ~ 12 月 10 日广州区域空气污染指数 RAQI、风速、能见度、PM_{2.5} 浓度和 NO₂、O₃、PM₁₀、SO₂ 浓度逐日变化

Fig. 1 Daily variations of the regional air quality index (RAQI), wind speed, visibility, the concentration of PM_{2.5}, the concentrations of NO₂, O₃, PM₁₀ and SO₂ in Guangzhou from Nov. 4, 2010 to Dec. 10, 2010

表 1 2010 年 11 月 4 日 ~ 12 月 10 日主要的天气过程

Table 1 Main weather process from Nov. 4, 2010 to Dec. 10, 2010

冷空气强度	弱	中等偏弱	弱	弱	弱	弱
到达时间	11 月 3 日	11 月 16 日	11 月 19 日	11 月 22 日	11 月 25 日	12 月 7 日
降雨时间	11 月 5 ~ 6 日	无	无	无	无	无

表 2 亚运期间与亚运前后气象条件
Table 2 Variations of meteorological conditions before, during and after the Asian Games

时间	风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	湿度/%	混合层高度/m
亚运前	1.12	20.53	53.41	1133
亚运期间	1.24	20.48	60.89	1323
亚运后	1.18	20.76	57.11	1259

由图 1(b)、表 1 和表 2 可以看出,亚运期间有 4 次冷空气过程,亚运前和亚运后各有一次冷空气过程. 亚运期间的风速和混合层高度比亚运前后稍大,而温度则稍低于亚运前后,即亚运期间的扩散条件比亚运前后略好. 而亚运后 NO_2 、 O_3 和 PM_{10} 浓度均未回升到亚运前的浓度水平,说明亚运后持续采取的减排措施对降低空气中这 3 种污染物浓度仍有较为明显的作用. 亚运期间的 4 次冷空气过程, NO_2 和 PM_{10} 得到较好的清除,分别下降了 34.5% 和 10.6%; 而 O_3 和 SO_2 的浓度却分别上升了 26.2% 和 15.0%. 可见,亚运期间 O_3 和 SO_2 浓度的下降得益于政府实施的减排措施.

表 3 给出亚运期间与亚运前后 PM_1 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与能见度的平均值.

表 3 亚运期间与亚运前后 PM_1 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与能见度

Table 3 Variations of PM_1 , $\text{PM}_{2.5}$ and visibility before, during and after the Asian Games			
时间	PM_1 / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{PM}_{2.5}$ / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	能见度 /km
亚运前	0.073	0.081	12.31
亚运期间	0.053	0.059	14.26
亚运后	0.057	0.065	13.68

从图 1(c)、1(d) 和表 3 可见,亚运期间 PM_1 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度比亚运前后小,亚运期间能见度比亚运前后大,但仍出现了 1 个灰霾日(21 日). 亚运前、亚运期间和亚运后广州地区细粒子 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均占 PM_{10} 浓度的 60% 以上,表明广州地区空气中细颗粒物在 PM_{10} 中的比重大于粗颗粒物,这与吴兑等^[18] 的研究相一致. 细粒子污染形成灰霾天气是导致广州地区能见度下降的重要原因^[18~21].

细粒子 $\text{PM}_{2.5}$ 污染与能见度日变化有相反的变化趋势,经计算,能见度与细粒子 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度之间的相关系数达到 -0.70,能见度与 PM_1 浓度之间的相关系数达到 -0.76,均通过了 $\alpha=0.01$ 的置信度检验.

2.2 亚运期间与前后污染物浓度的变化与过程特征

由图 1(e)~1(h) 可以看出,亚运期间 NO_2 和 SO_2 浓度的日均值达到国家一级标准; PM_{10} 浓度日均值满足国家二级标准. 由于国家环境空气质量标

准无 O_3 日均浓度和 PM_{10} 小时平均浓度限值,因此本研究不分析 O_3 浓度日均值和 PM_{10} 小时浓度值是否超标的问题.

结合气象条件分析,可发现污染物浓度变化和气象条件有密切关系. 根据广东省天气观测站网及香港天文台的资料分析,亚运前,11 月 5~6 日受广东沿岸地区广阔云带的影响,广州地区出现降雨,温度下降,污染物得到清除. 11 月 7 日~12 月 9 日广州连续 34 d 滴雨未下,空气干燥. 11 月 7~11 日污染物逐渐累积,浓度增加. 12 日为保障亚运会开幕式的顺利进行,在广州周边地区(肇庆、云浮、清远等地)进行了人工消雨,导致广州周边地区的空气较为清洁,污染物的区域输送不明显,使广州地区的污染物浓度下降.

亚运期间,11 月 16 日由于中等偏弱的冷空气的作用, NO_2 、 PM_{10} 和 O_3 浓度均明显下降. 11 月 15 日 PM_{10} 浓度明显增大,是由于冷空气来临之际污染物明显的积聚过程所造成(这是冷空气来临之前普遍出现的污染现象,即锋前暖区不利扩散的气象条件使得污染物明显积聚,导致冷空气主体来临之前出现明显的污染过程). 11 月 19 日、22 日和 25 日又有弱冷空气过境, PM_{10} 浓度也同样出现先增后减的现象; NO_2 和 O_3 浓度均有所减小. 18 日 O_3 浓度减小,这可能是由于 PM_{10} 浓度的明显增大,使到达地面的光化学辐射通量减小,从而减缓光化学反应进程,使得 O_3 浓度减小^[22]. 25~26 日 NO_2 与 O_3 浓度日均值变化出现相反的现象. O_3 是由于 VOC_s 与 NO_x 经过一系列的反应生成,前体物与臭氧的浓度并不一定有相同变化趋势^[23~25].

亚运后,11 月 30 日风速较大,扩散条件较好, NO_2 、 SO_2 和 PM_{10} 浓度均有不同程度的下降. 12 月 1~7 日,广州受高压脊的影响,温度升高,有利于污染物的积累^[7,9~11]. 12 月 7 日夜冷空气到达广州地区,12 月 8 日 O_3 、 PM_{10} 和 SO_2 浓度均明显减小.

为了研究亚运期间 16 日、22 日冷空气过程前后 SO_2 浓度增加的原因,图 2 给出 2010 年 11 月 15 日、16 日和 23 日后向轨迹图.

由图 2 可以看到,11 月 15~16 日和 23 日冷空气来临前后,气流携带北部韶关的污染物到达广州近地面^[26],使 SO_2 浓度明显上升. 因此, SO_2 浓度上升的原因除了与冷空气来临之际污染物明显的积聚过程有密切关系外,也与冷空气携带的远距离输送的污染物有一定关系.

图 3 给出亚运期间 NO_2 、 O_3 和 SO_2 浓度逐时变

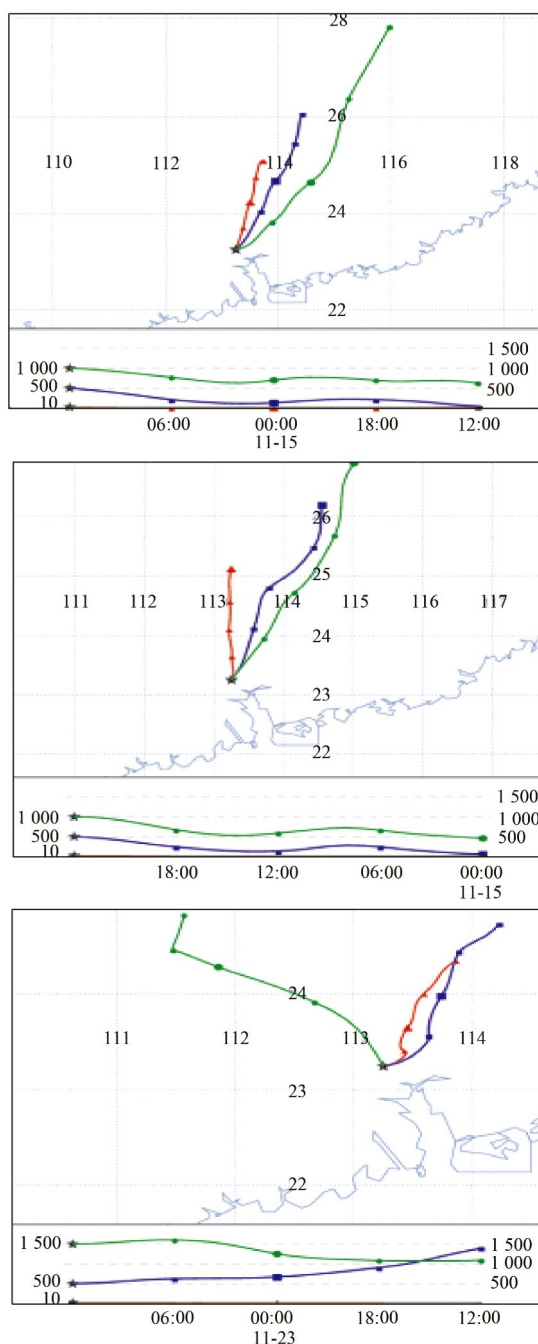
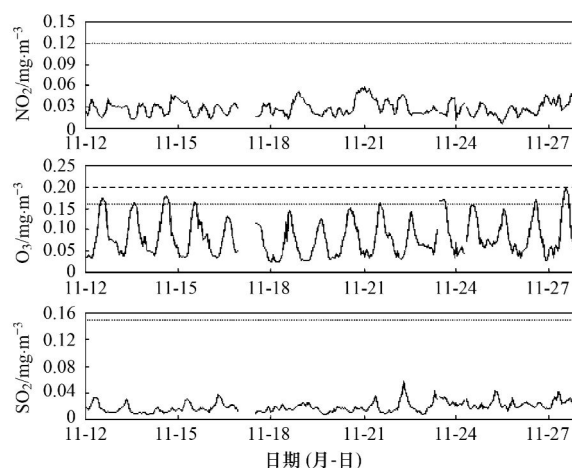


图2 广州2010年11月15日、16日和23日
世界时间00:00 24 h后向轨迹图

Fig. 2 24 h backward trace at 00:00 (UTC) on the 15th, 16th and 23rd of Nov., 2010 in Guangzhou

化曲线。

从图3可见, SO_2 和 NO_2 浓度小时均值均达到国家一级标准; O_3 浓度小时均值满足国家二级标准, 其中11月27日的14:00和15:00的 O_3 浓度非常接近国家二级标准限值, 分别为 $0.197 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $0.198 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。



图中圆点线为我国环境空气质量一级标准,
短划线为我国环境空气质量二级标准

图3 亚运期间 NO_2 、 O_3 和 SO_2 浓度逐时变化

Fig. 3 Hourly variations of NO_2 , O_3 and SO_2
during the Asian Games

O_3 浓度在午后达到最大, 这是由于午后阳光充足, 有利于光化学反应生成 O_3 。亚运期间广州大多数时段为晴天, 日照时间长, 能见度高, 为前体物的光化学反应提供了很好的条件, 导致广州地区臭氧浓度较大。

为了分析亚运期间汽车单双号限行对 NO_2 浓度的影响, 图4给出亚运期间以及2010年10月(未实行单双号限行) NO_2 浓度的日变化曲线。

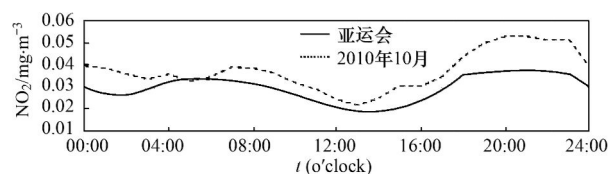


图4 亚运会期和2010年10月 NO_2 浓度的日变化

Fig. 4 Daily dynamics of NO_2 during the Asian
Games and in Oct., 2010

由图4可以看出, 亚运期间与2010年10月 NO_2 浓度的日变化曲线趋势大致相同, 但亚运期间 NO_2 浓度明显比2010年10月低, 汽车单双号限行效果明显, 广州地区 NO_2 浓度受汽车尾气排放的影响较大。

2.3 亚运期间与亚运前广州与其近周边城市污染物浓度对比分析

广州地处珠三角城市群中心, 广州地区空气污染主要受当地污染源及外地污染源远距离输送的叠加影响^[4,7,16,17]。2010年亚运期间, 广州市政府联合周边城市开展了大规模的协同减排

措施,为探讨协同减排措施成效,图 5 给出亚运期间和亚运前广州及近周边城市的 NO₂、O₃、PM₁₀和 SO₂ 浓度直方图。

由图 5 可以看出,亚运期间除东莞市的 O₃ 浓度和肇庆市的 PM₁₀浓度有所上升以外,广州及其近周边城市的 NO₂、O₃、PM₁₀和 SO₂ 浓度均比亚运前有不同程度的降低。区域空气污染协同防控措施达到

了较好的效果。

亚运期间广州地区 NO₂、PM₁₀和 SO₂ 浓度均低于其相邻城市,而高于离广州较远的城市;但 O₃ 浓度则相反,广州地区 O₃ 浓度高于其相邻城市。

为分析广州与近周边城市空气污染物之间的关系,表 4 给出亚运期间广州与近周边城市污染物浓度的相关分析。

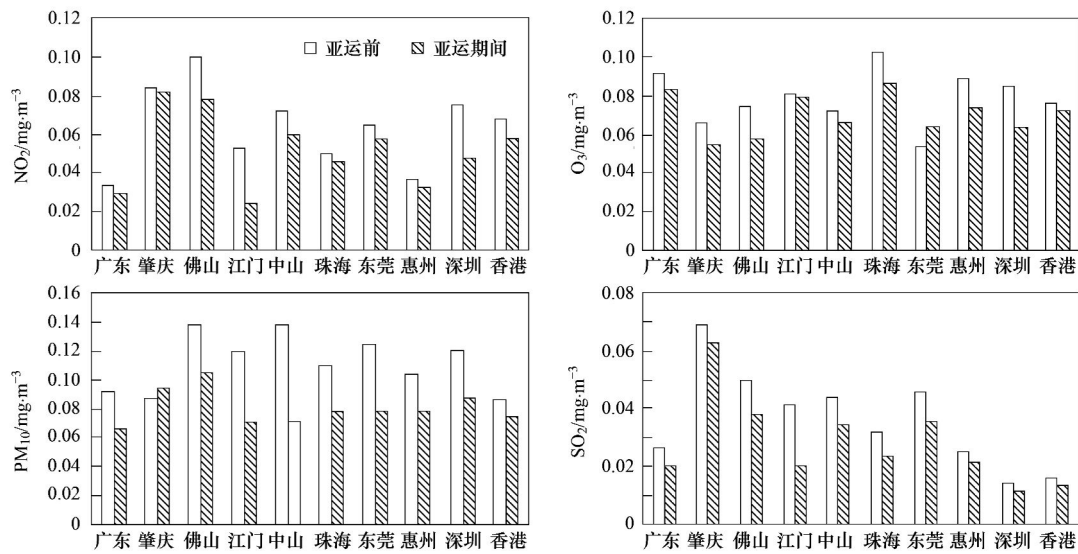


图 5 亚运期间和亚运前广州及近周边城市的 NO₂、O₃、PM₁₀和 SO₂ 浓度

Fig. 5 Variations of NO₂, O₃, PM₁₀ and SO₂ in Guangzhou and the surrounding areas before and during the Asian Games

表 4 亚运期间广州与近周边城市的 NO₂、O₃、PM₁₀和 SO₂ 相关分析

Table 4 Correlation analysis of NO₂, O₃, PM₁₀ and SO₂ between Guangzhou and the surrounding areas during the Asian Games

项目	肇庆	佛山	江门	中山	珠海	东莞	惠州	深圳	香港
NO ₂	0.629	0.539	0.299	0.305	-0.057	0.615	0.472	0.279	0.040
O ₃	0.852	0.935	0.894	0.872	0.804	0.876	0.888	0.719	0.615
PM ₁₀	0.200	0.530	0.272	0.257	0.001	0.634	0.665	0.116	0.077
SO ₂	0.134	0.188	0.317	0.237	0.257	0.185	0.518	0.362	0.317

由表 4 可以看到,广州与肇庆、东莞、佛山空气中 NO₂ 的相关性较好,分别为 0.629、0.615、0.539;广州与近周边 16 个城市空气中 O₃ 的相关性都很好,最大为广州与佛山之间的相关性,高达 0.935;广州与惠州、东莞、佛山空气中 PM₁₀的相关性较好,分别为 0.665、0.634、0.530;广州与惠州空气中 SO₂ 的相关性较好,为 0.518;以上相关系数均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。广州相邻城市的 NO₂、PM₁₀和 SO₂ 均有向广州传输的潜势,广州地区的 O₃ 有向其周边城市输送的潜势。

3 结论

(1)亚运期间空气质量比亚运前后好,能见度比亚运前后大,PM₁和 PM_{2.5}浓度比亚运前后小,空

气中 PM_{2.5}在 PM₁₀中的比重大于粗颗粒物。亚运前、亚运期间、亚运后 RAQI 平均值分别为 2.15、1.78 和 2.10。能见度与 PM₁、PM_{2.5}浓度有较好的反相关,能见度与 PM₁、PM_{2.5}之间的相关系数分别为 -0.76和 -0.70。

(2)亚运期间广州及近周边城市的 NO₂、O₃、PM₁₀和 SO₂ 浓度均比亚运前有不同的降低,区域空气污染协同防控措施达到了较好的效果,其中广州地区 NO₂、O₃、PM₁₀和 SO₂ 平均浓度分别比亚运前下降了 12.84%、8.84%、28.17%和 23.31%。亚运期间广州地区 NO₂和 SO₂ 浓度日均值和小时均值均达到国家一级标准,PM₁₀浓度日均值和 O₃ 浓度小时均值均满足国家二级标准,其中 11 月 27 日 14:00 和 15:00 O₃ 浓度非常接近国家二级标准限

值,分别为 $0.197 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $0.198 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。广州地区 SO_2 浓度受本地源和远距离输送叠加的影响;汽车单双号限行效果明显, NO_2 浓度受汽车尾气排放的影响较大。广州相邻城市的 NO_2 、 PM_{10} 和 SO_2 有向广州传输的潜势,而 O_3 有由广州地区向其周边城市输送的潜势。

(3) 亚运期间气象条件比亚运前后略好。亚运期间 4 次冷空气过程 NO_2 和 PM_{10} 平均浓度低于亚运期间的平均浓度,而 O_3 和 SO_2 平均浓度则高于亚运期间的平均浓度。亚运期间污染物浓度的降低得益于政府实施的减排措施以及良好的气象条件。

致谢:广东省环境保护厅提供的粤港珠三角空气质量监测网 16 个监测子站的数据;广东省气象局大气成分观测站与天气观测站网的数据;美国国家海洋大气局(NOAA)HYSPLIT 轨迹模式。

参考文献:

- [1] Wu D, Bi X Y, Deng X J, *et al.* Effect of atmospheric haze on the deterioration of visibility over the Pearl River Delta[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2007, **21**(2): 215-223.
- [2] 车汶蔚, 郑君瑜, 钟流举. 珠江三角洲机动车污染物排放特征及分担率[J]. *环境科学研究*, 2009, **22**(4): 456-461.
- [3] 吴兑, 廖雪莲, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲霾天气的近地层输送条件研究[J]. *应用气象学报*, 2008, **19**(1): 1-9.
- [4] Zheng J Y, Zhong L J, Wang T, *et al.* Ground-level ozone in the Pearl River Delta region: Analysis of data from a recently established regional air quality monitoring network [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(6): 814-823.
- [5] Jef H, Clemens M, Gerwin D, *et al.* A neural network forecast for daily average PM_{10} concentration in Belgium[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(18): 3279-3289.
- [6] 邓雪娇, 李菲, 吴兑, 等. 广州地区典型清洁与污染过程的大气湍流与物质交换特征[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(9): 1424-1430.
- [7] 李颖敏, 范绍佳, 张人文. 2008 年秋季珠江三角洲污染气象分析[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(10): 1585-1591.
- [8] 张人文, 范绍佳. 珠江三角洲风场对空气质量的影响[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2011, **50**(6): 130-134.
- [9] Cheng S Q, Lam K C. Synoptic typing and its application to the assessment of climatic impact on concentrations of sulfur dioxide and nitrogen oxides in Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(4): 585-594.
- [10] 王莉莉, 王跃思, 王迎红, 等. 北京夏末秋初不同天气形势对大气污染物浓度的影响[J]. *中国环境科学*, 2010, **30**(7): 924-930.
- [11] 邓雪娇, 黄健, 吴兑, 等. 深圳地区典型大气污染过程分析[J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(Suppl.): 7-11.
- [12] 刘子锐, 孙扬, 李亮, 等. 2008 奥运和后奥运时段北京大气颗粒物质量浓度和数浓度比对研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(4): 913-923.
- [13] 唐贵谦, 李昕, 王校科, 等. 天气型对北京地区近地面臭氧的影响[J]. *环境科学*, 2010, **31**(3): 573-578.
- [14] 孙贞, 杨育强, 徐晓亮, 等. 青岛市连续天气过程中不同气溶胶浓度特征对比分析[J]. *环境科学*, 2010, **31**(4): 871-876.
- [15] 陈燕, 蒋维楣, 郭文利, 等. 珠江三角洲地区城市群发展对局地大气污染物扩散的影响[J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(5): 700-710.
- [16] 王淑兰, 张远航, 钟流举, 等. 珠江三角洲城市间空气污染的相互影响[J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(2): 133-137.
- [17] 胡晓宇, 李云鹏, 李金凤, 等. 珠江三角洲城市群 PM_{10} 的相互影响研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2011, **47**(3): 519-524.
- [18] 吴兑, 邓雪娇, 毕雪岩, 等. 细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降[J]. *热带气象学报*, 2007, **23**(1): 1-6.
- [19] 陈静, 吴兑, 刘啟汉. 广州地区低能见度事件变化特征分析[J]. *热带气象学报*, 2010, **26**(2): 156-164.
- [20] 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.
- [21] 陈瑜. 广州市区 $\text{PM}_{2.5}$ 的污染特征[J]. *环境保护科学*, 2010, **36**(3): 7-8, 11.
- [22] 邓雪娇, 铁学熙, 吴兑, 等. 大城市气溶胶对光化辐射通量及臭氧的影响研究(II)[J]. *广东气象*, 2006, (4): 5-11.
- [23] Shao M, Zhang Y H, Zeng L M, *et al.* Ground-level ozone in the Pearl River Delta and the roles of VOC and NO_x in its production [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, **90**(1): 512-518.
- [24] Meng Z, Dabdub D, Seinfeld J H. Chemical coupling between atmospheric ozone and particulate matter[J]. *Science*, 1997, **277**(5322): 116-119.
- [25] 辛金元, 王跃思, 唐贵谦, 等. 2008 年奥运期间北京及周边地区大气污染物消减变化[J]. *科学通报*, 2010, **55**(15): 1510-1519.
- [26] 谢媚, 陈能坚. 从清洁区看广州市空气污染变化及污染控制对策[J]. *广州环境科学*, 1999, **14**(1): 28-31.
- [27] 孙志强, 吉东生, 宋涛, 等. 奥运时段北京及近周边区域空气污染观测与对比分析[J]. *环境科学*, 2010, **31**(12): 2852-2859.
- [28] 李宗恺, 潘云仙, 孙润桥. 空气污染气象学原理及应用[M]. 北京: 气象出版社, 1992. 557-594.

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《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9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol.33 No.9 Sep. 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

国内外公开发售