

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第11期

Vol.33 No.11

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

京津冀与长三角区域大气 NO₂ 污染特征 王英, 李令军, 刘阳 (3685)

2008~2011年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析 杨俊益, 辛金元, 吉东生, 朱彬 (3693)

沧州市大气污染特征观测研究 王永宏, 胡波, 王跃思, 刘伟, 张武 (3705)

华北工业城市降水中金属元素污染特征及来源 李月梅, 潘月鹏, 王跃思, 王英锋, 李杏茹 (3712)

广州市交通主干道空气中苯系物的测量 叶丛雷, 谢品华, 秦敏, 凌六一, 郑尼娜, 刘文彬, 黄祖照 (3718)

基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究 黄成, 刘娟, 陈长虹, 张健, 刘登国, 朱景瑜, 黄伟明, 巢渊 (3725)

柴油轿车燃用煤基 F-T 合成油的排放特性 胡志远, 程亮, 谭丕强, 楼狄明 (3733)

九龙江口滨海湿地生源要素空间分布特征 余小青, 杨军, 刘乐冕, 田原, 余正, 王昌付 (3739)

南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价 舒凤月, 刘玉配, 赵颖, 吴艳鹏, 李爱华 (3748)

天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究 李兆富, 刘红玉, 李恒鹏 (3753)

北京市新建城区不透水地表径流 N、P 输出形态特征研究 李立青, 吕书丛, 朱仁肖, 刘泽权, 单保庆 (3760)

云阳宗海湖的分布与来源 张玉玺, 向小平, 张英, 陈玺, 刘景涛, 王金翠, 张媛静, 孙继朝 (3768)

南方某城市地表水体中粪源性污染指示微生物的分布特征研究 孙傅, 沙婧, 刘彦华 (3778)

三峡库区大宁河藻细胞昼夜垂直迁移研究 张永生, 郑丙辉, 姜霞, 郑浩, 钟娜, 陈春宵 (3787)

江淮农村生态型排水系统构建及截污作用研究 单保庆, 李楠, 唐文忠 (3797)

人工湿地植物床-沟壕系统水质净化效果 汪仲琼, 张荣斌, 陈庆华, 魏宏斌, 王为东 (3804)

潜流人工湿地演变对废水中有机物、氮及磷去除的影响 魏泽军, 谢建平, 黄玉明 (3812)

人工湿地处理含盐生活污水的特性研究 高峰, 杨朝晖, 李晨, 金卫红, 邓一兵 (3820)

催化湿式氧化法降解水中的 β -萘酚 刘杰, 于超英, 赵培庆, 陈革新 (3826)

ZVI/EDDS/Air 体系降解水中 2,4-二氯酚的研究 孙倩, 周海燕, 曹梦华, 吴琳娜, 王琳玲, 陈静, 陆晓华 (3833)

微波改性 MWNTs/TiO₂ 复合材料对 1,2,3-三氯苯的光催化降解研究 施周, 张茜, 张伟, 徐舜开, 张骅 (3840)

腐殖酸对生物炭去除水中 Cr(VI) 的影响机制研究 丁文川, 田秀美, 王定勇, 曾晓岚, 徐茜, 陈健康, 艾小雨 (3847)

臭氧氧化-活性污泥法处理含 PVA 工业废水的试验研究 邢晓琼, 黄程兰, 刘敏, 陈滢 (3854)

复合底物对颗粒化 EBPR 系统除磷特性的影响及优化试验研究 徐少娟, 孙培德, 郑雄柳, 董毅 (3859)

进水比例对水解反应器出水水质的影响研究 梁康强, 熊娅, 戚茂荣, 林秀军, 朱民, 宋英豪 (3868)

厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场渗滤液水质水量变化规律的研究 韩智勇, 刘丹, 李启彬, 陈馨 (3873)

我国城市污水回用调查研究 郭宇杰, 王学超, 周振民 (3881)

快雌醇和壬基酚在土壤中的吸附-解吸特征 姜鲁, 王继华, 李建忠, 辛佳, 李森, 刘翔 (3885)

黄土丘陵区刺槐林深层土壤有机碳矿化特征初探 马昕昕, 许明祥, 杨凯 (3893)

半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应 卫伟, 温智, 陈利顶, 陈瑾, 吴东平 (3901)

广西大石围巨型漏斗土壤中多环芳烃与环境因素 孔祥胜, 祁士华, 蒋忠诚, 黄保健 (3905)

酸性条件下黄铁矿氧化机制的研究 王楠, 易筱筠, 党志, 刘云 (3916)

淋洗条件下砂土和粉土水盐运移过程的监测研究 付腾飞, 贾永刚, 郭磊, 刘晓磊 (3922)

空气注射修复苯污染地下水模拟研究 樊艳玲, 姜林, 张丹, 钟茂生, 贾晓洋 (3927)

不同终点检测 5 种双酚 A 类化合物对 MCF-7 的细胞毒性 张帅帅, 刘堰, 刘树深, 朱祥伟 (3935)

上海世博园后滩湿地糙足类群落特征及其对环境因子的响应 陈立婧, 吴艳芳, 景钰湘, 王聪, 张饮江 (3941)

耐盐石油烃降解菌的筛选鉴定及其特性研究 吴涛, 谢文军, 依艳丽, 李小彬, 王君, 胡相明 (3949)

高效降酚菌株 *Ochrobactrum* sp. CH10 生长动力学和苯酚降解特性的研究 陈晓华, 魏刚, 刘思远, 孙江曼, 王芳芳, 李昊源, 刘宇军 (3956)

四溴双酚 A 好氧降解菌的筛选及其降解特性研究 钱艳园, 刘莉莉, 于晓娟, 丁丛, 王志平, 施玉衡, 李晨君 (3962)

长期施用有机和无机肥对黑土 *nirS* 型反硝化菌种群结构和丰度的影响 尹昌, 范分良, 李兆君, 宋阿琳, 朱平, 彭畅, 梁永超 (3967)

三氯乙烯在不同土壤中的吸附特性及其影响因素研究 何龙, 邱兆富, 吕树光, 逯志昌, 王治立, 隋倩, 林匡飞, 刘勇弟 (3976)

多菌灵在农田土壤中的降解及其影响因子研究 肖文丹, 杨肖娥, 李廷强 (3983)

硫化物对垃圾焚烧污泥焚烧飞灰高温过程中重金属挥发的影响 刘敬勇, 孙水裕 (3990)

关于医疗垃圾飞灰中二噁英在惰性气氛下的低温热脱附研究 纪莎莎, 李晓东, 徐旭, 陈彤 (3999)

第七届环境模拟与污染控制学术研讨会论文

稻田气溶胶 NH₃ 和气体 NO_x 排放在线测定研究 龚巍巍, 栾胜基 (4006)

一种可同时检测挥发性氯代烷烃和氯代烯烃的电子鼻的研制 文晓刚, 刘锐, 蔡强, 万梅, 汤灵容, 陈吕军 (4012)

基于被动采样技术的垃圾焚烧厂及周边大气中 PAHs 分布研究 孙少艾, 李洋, 周轶, 王海蛟, 孙英 (4018)

涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别 丁晓雯, 沈珍瑶 (4025)

人工湿地不同区域基质磷含量的差异分析 曹雪莹, 种云霄, 余光伟, 仲海涛 (4033)

基于 RT-qPCR 选择性检测水中活性病原菌 林怡雯, 李丹, 吴舒旭, 何苗, 杨天 (4040)

消毒副产物生成的温度影响和动力学模型 张小璐, 杨宏伟, 王小任, 付静, 解跃峰 (4046)

一种厌氧微定量研究新方法 张仲良, 吴静, 蒋剑凯, 姜洁, 李怀志 (4052)

梧桐树叶作为反硝化碳源的研究 熊剑锋, 徐华, 阎宁, 张永明 (4057)

降解嗜盐菌 AD-3 的筛选、降解特性及加氧酶基因的研究 崔长征, 冯天才, 于亚琦, 董斐, 杨昕梅, 冯耀宇, 刘勇弟, 林汉平 (4062)

《环境科学》征订启事 (3711) 《环境科学》征稿简则 (3767) 信息 (3998, 4039, 4045, 4056) 专辑征稿通知 (4051)

广州市交通主干道空气中苯系物的测量

叶丛雷¹, 谢品华^{1*}, 秦敏¹, 凌六一¹, 郑尼娜¹, 刘文彬², 黄祖照²

(1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所环境光学与技术重点实验室, 合肥 230031; 2. 广州市环境监测中心站, 广州 510030)

摘要: 为了研究广州市道边空气中苯系物的污染状况, 利用差分吸收光谱 (DOAS) 系统于 2010 年 11 ~ 12 月广州亚运会期间对广州市荔湾区黄沙大道道边空气中的苯系物 (苯、甲苯、二甲苯等) 及常规污染物 NO₂、O₃ 等进行了监测。结果表明, 在整个测量期间, 苯系物在夜间显示了较高的浓度值, 苯的平均浓度为 15.9 μg·m⁻³、甲苯为 61.3 μg·m⁻³、对-二甲苯为 6.5 μg·m⁻³、间-二甲苯为 16.9 μg·m⁻³、苯酚为 0.88 μg·m⁻³。甲苯与苯的平均浓度与国内其他城市的平均水平较为接近, 两者的比值变化范围在 1.2 ~ 6.16。通过对比甲苯与苯的相关性, 在整个测量期间内其相关系数为 0.86, 在浓度值较高时段, 其相关系数达到 0.985, 表明在该区域苯与甲苯存在同源性; 以甲苯为例, 分析其与 CO 的相关性, 相关系数为 0.78, 表明交通排放是苯、甲苯的一个主要来源。结合风速风向等气象数据的分析得出气象条件是影响苯系物污染物浓度水平的一个重要因子, 并给出了可能的点污染源。

关键词: 差分吸收光谱; 苯系物; 相关性; 交通排放; 气象条件

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)11-3718-07

BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou

YE Cong-lei¹, XIE Pin-hua¹, QIN Min¹, LING Liu-yi¹, ZHENG Ni-na¹, LIU Wen-bin², HUANG Zu-zhao²

(1. Key Laboratory of Environmental Optics and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 2. Guangzhou Environmental Monitoring, Guangzhou 510030, China)

Abstract: In order to study the levels of BTX (benzene, toluene, xylene, etc) nearby the main roads of Guangzhou from November 2010 to December 2010 during the Asian Games, BTX and conventional pollutants such as NO₂, O₃ in the air were monitored by the DOAS system nearby Huangsha Road, which is in the Liwan District of Guangzhou City. The results showed that, during the entire period, BTX showed a high concentration in the evening and the average concentrations of benzene, toluene, *p*-xylene, *m*-xylene and phenol were 15.9 μg·m⁻³, 61.3 μg·m⁻³, 6.5 μg·m⁻³, 16.9 μg·m⁻³, 0.88 μg·m⁻³, respectively. The average concentrations of benzene and toluene were close to those in other cities, and the ratio of toluene to benzene was in range of 1.2-6.16. Throughout the monitoring period, the correlation coefficient of benzene and toluene was 0.86 and it rose to 0.985 during the high concentration period, indicating that they had the same source in this region. The correlation coefficient between toluene and CO was 0.78, indicating that traffic emissions was the major source of benzene and toluene. Based on the combination of wind speed, wind direction and other meteorological data, it was found that the weather condition was an important factor which affected the BTX concentration, and some possible point sources were suggested nearby the site.

Key words: differential optical absorption spectroscopy; BTX; correlation; traffic emission; meteorological conditions

随着工业化的不断进步以及人口的激增, 城市大气中的挥发性有机物 (VOCs) 的种类也越来越多。长时间接触 VOCs, 尤其接触有毒的空气污染物, 会对人类健康造成严重的影响^[1-3]。其中一些挥发性有机物对人类的健康构成极大的威胁, 如苯是一种致癌物质, 而甲苯对人的神经系统具有强烈的刺激作用。苯系物 (BTX, 苯、甲苯、二甲苯等的总称) 作为 VOCs 的重要一类, 也是单环芳香烃的重要组成部分, 越来越被人们所关注。过去的几十年内, 在世界范围内都开展了对于苯系物的测量分析工作^[4-7]等。目前已有数篇关于广州市苯系物污染测量分析的文献^[8-10]。

本研究基于 DOAS 技术于 2010 年 11 ~ 12 月期

间对于广州市环境空气中的苯系物污染物进行了实时的监测, 监测地点位于广州市荔湾区黄沙大道。为了探究苯系物的污染状况及其来源, 本研究主要包括以下内容: 苯系物的污染水平, 苯系物之间的相关性, 结合常规污染物如 O₃ 分析了甲苯与苯的比值变化情况, 苯系物与交通排放 CO 的关系, 以及气象条件对于苯系物污染浓度的影响。

收稿日期: 2012-01-04; 修订日期: 2012-03-06

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2009AA063006); 国家自然科学基金项目 (60808034)

作者简介: 叶丛雷 (1987 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境光谱探测技术, E-mail: clye@aiofm.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: phxie@aiofm.ac.cn

1 实验站点

实验中采用的系统为自主研制的 DOAS 系统, 如图 1 所示, 该系统主要组成包括光源 (150 W 的氙弧灯)、发射和接收为一体的 Cassegrain 望远镜、角反射镜、光纤、光谱仪、探测器和计算机等^[11].

监测地点位于广州市荔湾区黄沙大道 (22°06'N, 113°13'E), 如图 2 所示, 该路段属于内环路高架桥, 上下均通车, 车流量比较密集, 附近以居民区为主. DOAS 系统放置于黄沙大道主干道旁边某办公楼的 4 楼, 系统距离地面约 20 m, 角反射器放置于马路对面一个三层楼的顶部, 总光程为 372 m.

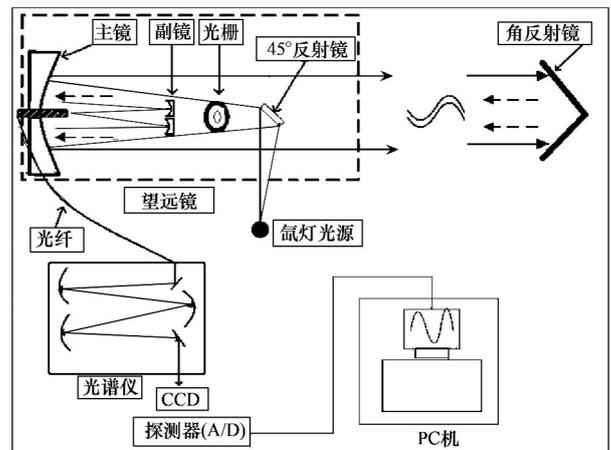


图 1 DOAS 系统示意

Fig. 1 Scheme of the DOAS system

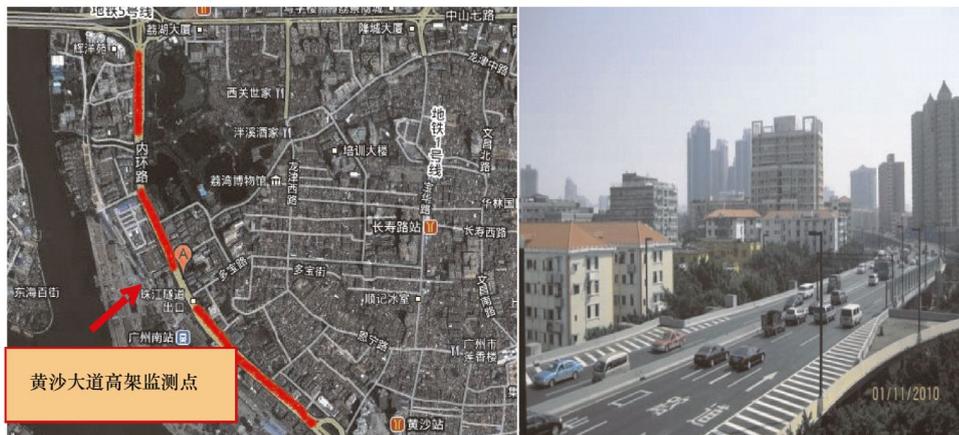


图 2 监测地点

Fig. 2 Measurement site

2 结果与讨论

2.1 DOAS 技术反演苯系物

为了使监测数据具有代表性、准确性、完整性和实现实验数据的科学管理, 实验就选址、质量保证等一系列问题进行了大量的现场考察、论证工作. DOAS 技术测量苯系物的质控过程主要包括以下内容: 在观测期间, 仪器 24 h 连续工作, 数据由计算机自动采集, 每日按照要求进行检查, 记录某些重要的仪器参数; 整个测量系统置于一个稳定的平台上, 以尽量避免振动对仪器产生影响; 为减少温度变化、光栅转动等因素引起的光谱漂移或者仪器函数的变化给实验结果带来的误差, 每天利用汞 (Hg) 灯对仪器进行一次校准, 并且进行暗电流、偏置、氙灯谱的测量更新; 气象参数如风速、风向、温度、气压等也被同时采集和记录, 用以后期的污染分析提供辅助条件; 实验中采用了国际上通用的标准吸收

截面作为标准进行定量测量^[10,12~16].

本研究利用 DOAS 技术, 在紫外 253 ~ 277 nm 波长范围内反演苯系物浓度. 在此波段内的干扰气体主要由 O_2 、 O_3 和 SO_2 ^[17]. 对于以上 3 种干扰气体的影响, 本研究采用如下方法^[10,12]进行修正: ①使用光程分别为 341 m 和 451 m 的两条氧气吸收谱作为参考谱, 来消除 O_2 的吸收干扰. ②对于 O_3 和 SO_2 , 各采用两条不同温度下的差分吸收截面作为拟合的参考谱, 从而消除其对于苯系物反演时的干扰. 利用该 DOAS 系统测量苯系物时, 各物质的检测上限和检测下限^[18]的计算结果如表 1 所示. DOAS 系统在测量中的误差来源^[19]是多方面的, 在测量大气中的苯系物时的主要误差来源存在于以下 3 个方面: ①DOAS 技术本身最小二乘法拟合误差, 根据文献^[20]中结论该误差 < 10%. ②由标准吸收截面所引起的误差 < 5%^[21]. ③其他方面的误差包括偏置暗电流以及杂散光的影响, 其引入的误差约

为 2%。根据误差传递函数可以得出反演苯系物时总的误差 < 11.35%。

表 1 各污染物的检测上下限

Table 1 Lower and upper detection limits of pollutants		
污染物名称	检测下限/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	检测上限/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
NO ₂	5.4	7.45×10^3
O ₃	2.8	5.88×10^3
SO ₂	0.7	3.70×10^3
苯	1.5	2.78×10^3
甲苯	2.4	4.84×10^3
对-二甲苯	1.3	2.38×10^3
间-二甲苯	3.0	5.66×10^3
苯酚	0.2	0.37×10^3

2.2 苯系物和其他污染物浓度的时间序列

于 2010 年 11 月 7 ~ 30 日,对苯系物进行了连续的测量. 图 3 中给出了苯 (Benzene)、甲苯 (Toluene)、对-二甲苯 (*p*-xylene)、间-二甲苯 (*m*-xylene)、苯酚 (Phenol) 以及 NO₂、O₃、SO₂ 在整个测量期间的瞬时 (时间分辨率 < 2 min) 值浓度. 从整个时间序列图可以看出: 苯系物的高污染浓度值主要出现在 11 月 12 日前以及 11 月 27 日, 其中在 11 月 9 日的 22:30 至 11 月 10 日的 02:00, 11 月 11 日 23:30 至 11 月 12 日 02:30, 苯系物达到了极高的污染浓度, 苯的最大瞬时值为 $159.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 甲苯为 $689 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 在 11 月 15 ~ 26 日之间, 苯系物大部分时间段都处于相对较低的水平. 整个测量期间苯的平均浓度 (时均值平均) 值为 $15.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、甲苯为 $61.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、对-二甲苯为 $6.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、间-二甲苯为 $16.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、苯酚为 $0.88 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 如图 4 给出整个测量期间各苯系物的平均日变化曲线: 各污染物均在夜间的 22:00 至凌晨 02:00 点之间出现较高的浓度, 可能来自于夜间的点污染源直接排放; 白天各污染物浓度均较低.

为了了解广州市交通主干道空气中苯系物的整体污染水平, 表 2 列出了国内外其他城市交通干道污染水平的结果 (时均值). 虽然监测的方式有所不同, 但是其监测结果均是真实有效的. 在所列举的 7 个城市中, 广州苯系物的污染水平处于中等偏下的水平, 但是其总体污染情况还是比较严重的, 因而对于苯系物的监控以及制定相应苯系物排放限制措施仍显得尤为重要.

2.3 苯系物污染来源分析

2.3.1 苯系物之间的相关性及其比值分析

城市环境空气中的苯系物主要来自于人类活动, 研究它们之间的相关性对于有效地确定其污染

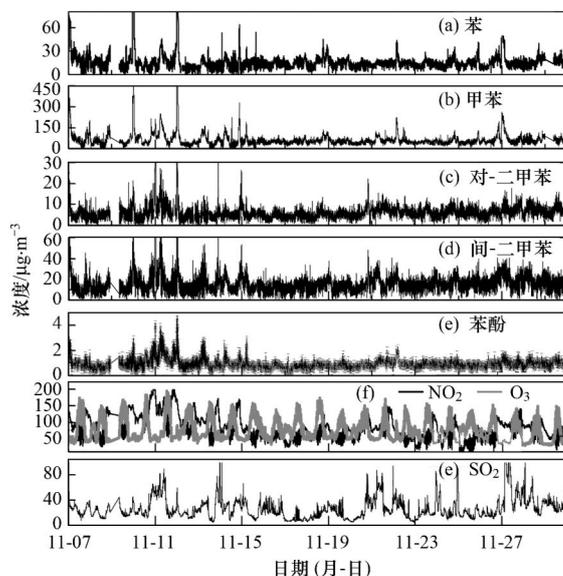


图 3 各污染物浓度的时间序列图

Fig. 3 Time series of all pollutants

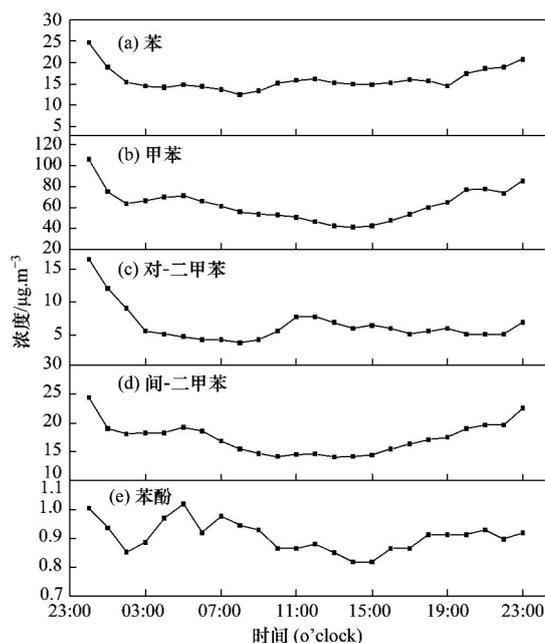


图 4 苯系物的日变化曲线

Fig. 4 Diurnal variations of BTX

来源具有重要的意义. 图 5 给出了不同苯系物之间的相关性 (时均值), 其中仅图 5 (b) 为高浓度 (其污染物的浓度达到时均值的 1.5 倍以上) 时间段内的瞬时值相关性, 是为了更好地说明苯、甲苯的高相关性, 其他均为整个测量时间段内的相关性. 在整个测量期间苯与甲苯的相关系数 R 为 0.86. 在高污染物浓度时, 其相关系数 R 达到 0.985, 由此推断二者很有可能来自于同一污染源. 在整个测量期间内其相关系数有所变化, 存在一定的差异, 这一差异

表 2 不同城市之间苯系物浓度的比较

Table 2 Comparison of BTX in domestic and foreign cities

城市名称	苯 $/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	甲苯 $/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	二甲苯 $/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	测量地点	测量时间 (年-月)
广州	15.9	61.3	23.4	交通主干道	2010-11
上海 ^[22]	14.4	55.6	24.4	交通主干道	2004-12
北京 ^[23]	78.7	66.5	27.7	交通路口	2001-11
南京 ^[24]	26.2	38.2	33.5	交通干道	2001-11
杭州 ^[25]	35.5	90.8	30.1	城市公交微环境(车厢内)	2001-10
香港 ^[26]	15.11	137.15	22.45	交通要道、人口密集区	1997-09 ~ 1999-09
那不勒斯 ^[27]	14.2	180.6	208.9	公路隧道	2005-05 ~ 2005-10

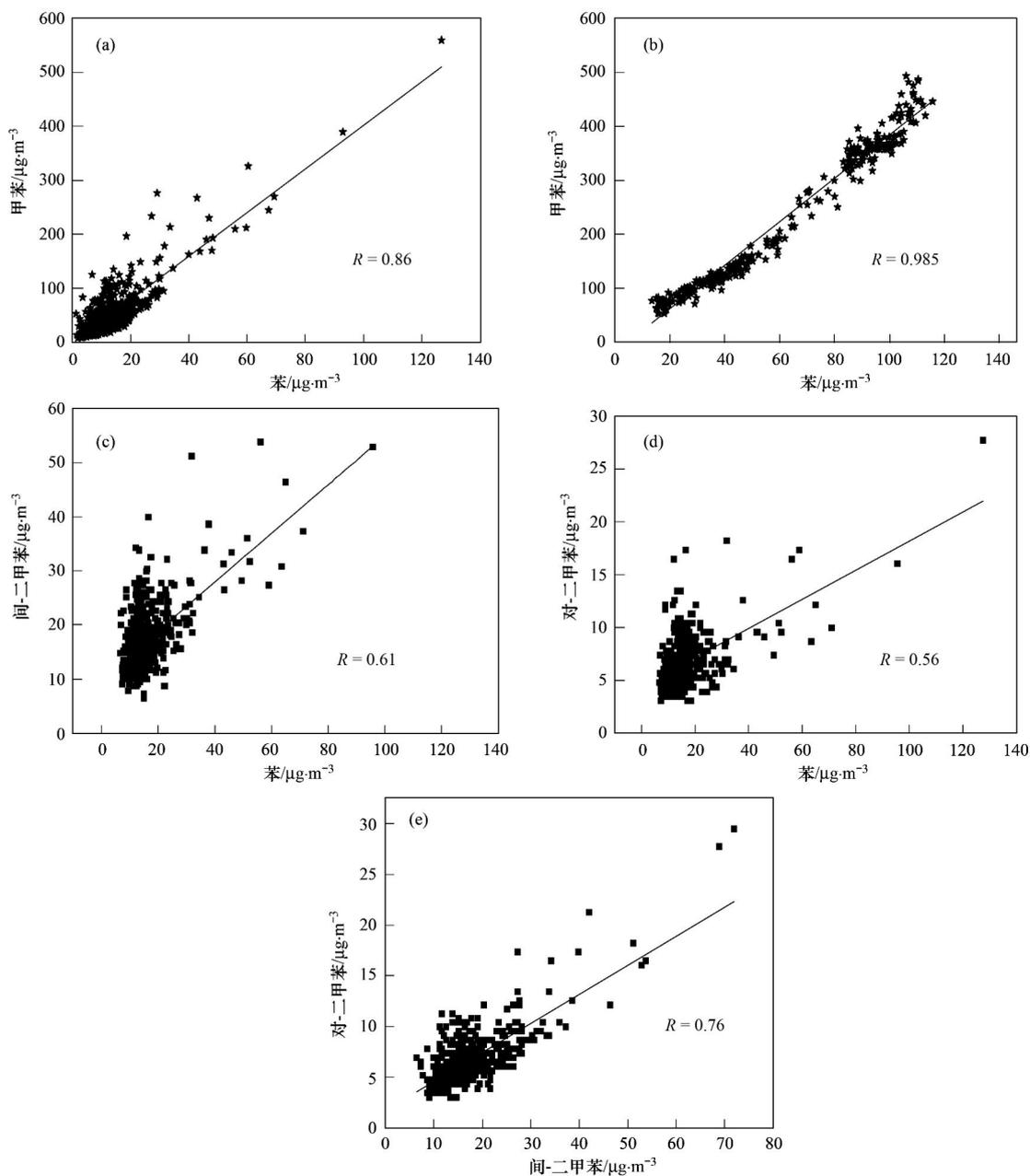


图 5 不同苯系物之间的相关性

Fig. 5 Correlation coefficient between components of BTX

可能主要来自两个方面: ①其它的次要来源; ②不同的反应活性及物理特性. 计算整个测量期间苯与间、对-二甲苯的相关系数 R 分别为 0.61、0.56, 间-二甲苯和对-二甲苯的相关系数 R 为 0.76. 通常当相关系数 > 0.5 时即认为二者存在着显著的相关性, 间、对-二甲苯与苯的相关系数要明显小于苯与甲苯的相关系数, 从而推断间、对-二甲苯的来源与苯、甲苯的来源存在着一定差异.

甲苯/苯的比值 (T/B) 常作为鉴别交通排放的标识, 当比值与交通排放或是存储和加油过程中的甲苯/苯比值相近时, 则表明污染源主要为道路交通排放.

与 OH 反应是苯系物消耗的一个重要途径, 相对于苯, 甲苯的反应速率为苯的 4.8 倍, 这就意味着甲苯和苯的比值将明显受到光化学反应的影响. 图 6 给出 T/B 值与 O_3 浓度变化的叠加 (均是晴天), 可以明显看出 O_3 与 T/B 变化成反相关变化. 正是由于苯、甲苯与 OH 反应, 受光照温度等影响较为明显, 因而在分析 T/B 的值时, 分别给出整个测量期间夜间和白天的 T/B 值, 从而更好地研究苯系物的污染来源, 如图 7 所示. 其中, 夜间选取的是当日 20:00 至次日凌晨 06:00 的瞬时值, 白天则是余下时段的值.

计算出的夜晚的 T/B 值 2.12 ~ 6.16, 要略高于白天的 T/B 值 1.2 ~ 5.5. 而城市交通源导致的甲苯/苯比值一般为 1.5 ~ 3.0, 对于燃油蒸发过程这个比值是 2.7 ~ 4.0. 计算 T/B 值在 1.2 ~ 6.16, 表明位于该区域环境空气中的甲苯和苯主要来自于交通排放, 同时也存其他的次要污染源.

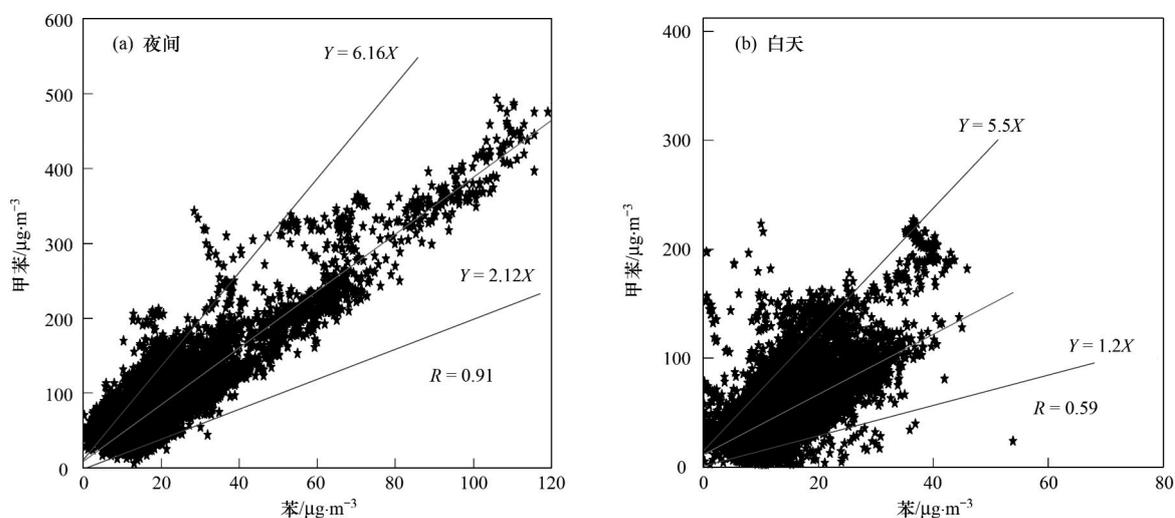


图 7 夜间和白天甲苯与苯的相关性及比值

Fig. 7 Correlation coefficient between Benzene and Toluene and their ratio during the night and day

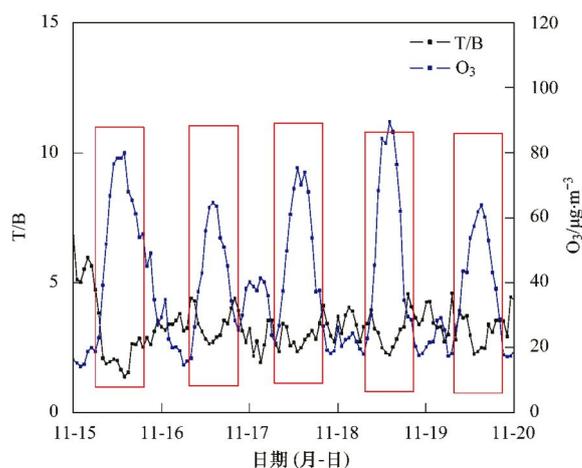


图 6 T/B 值与 O_3 的时间序列叠加

Fig. 6 T/B superimposed with O_3 time series

2.3.2 苯系物浓度与交通排放的关系

交通主干道的 CO 主要来自机动车排放的尾气. 在该监测站点, 设有 FTIR 的监测仪器. 前文已给出苯与甲苯呈现较高的相关性, 因而此处只以甲苯为例, 来分析其与交通排放的关系. 图 8 给出了在测量时间段内甲苯与 CO 的时均值时间序列. 计算得出在整个测量期间内甲苯与 CO 的相关系数 R 为 0.78. 由此可见在交通主干道地区, 甲苯和苯确实主要来自于交通排放. 苯酚、二甲苯与 CO 的相关系数经过计算均小于 0.4, 说明在该环境范围内它们主要来自非交通排放.

2.3.3 苯、甲苯与气象条件的关系

在整个测量期间内, 广州市的平均气温为 22.5℃ (图 9), 其中白天最高温度达到 29.9℃, 夜间最低气温为 16.2℃, 气温相对较高; 整个时间段内

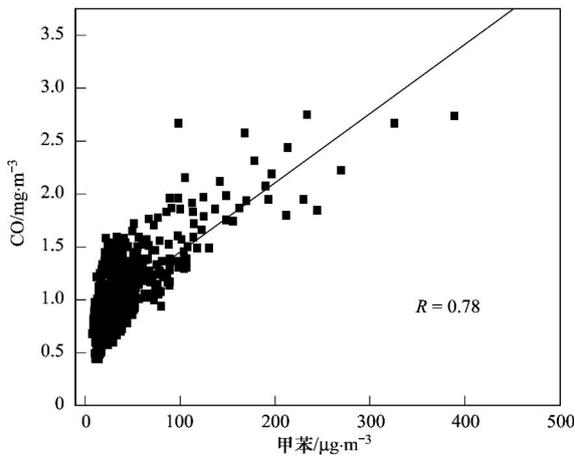


图 8 甲苯与一氧化碳的相关性

Fig. 8 Correlation coefficient between toluene and carbon monoxide

未出现阴雨天气,白天日照时间较长,加剧了苯系物与 OH 反应的消耗. 由风速的分布来看,在 11 月 15 日之前风速相对较小,只是偶有较大风速出现; 11 月 16~19 日风速持续较大,在之后的 11 月 23 日和 11 月 25 日出现了较大的风速,其他时段的风速相对较小较为稳定.

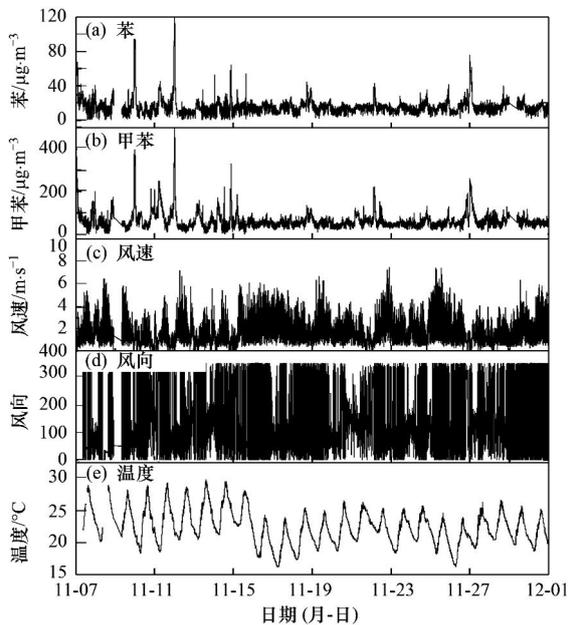


图 9 苯、甲苯与风向、风速、温度的时间序列图

Fig. 9 Time series of Benzene, Toluene, wind direction, wind speed and temperature

在整个测量期间内,风向与风速的分布如图 10 所示,其中,整个测量期间以偏东风和偏北风为主. 选取 2.3.1 节给出的高浓度时段值(以甲苯为例),多为深夜时间段,此时 T/B 值明显高于 4.0,而且并未出现车流量的突然增加,因而排除交通排放的可

能性. 为了研究其来源,以这几个时段值作风向分布图,如图 11 所示,污染物较高浓度时的风向以东风、北风为主,可以推测在该方向上可能存在一定的点污染源. 为了查询可能的污染排放源,对测量点附近的企业进行了调查:①北方向 190 m: 广东威登宝化工有限公司; ②北方向 830 m: 黄沙加油站; ③东北方向 600 m: 广州计成建材装饰有限公司; ④东偏北 20°方向 800 m: 广州市协成机电有限公司. 以上 3 个公司在生产过程中会使用到含有苯或甲苯的有机溶剂,而加油站的挥发性气体中也含有苯和甲苯. 这也证实了实验的观测结果.

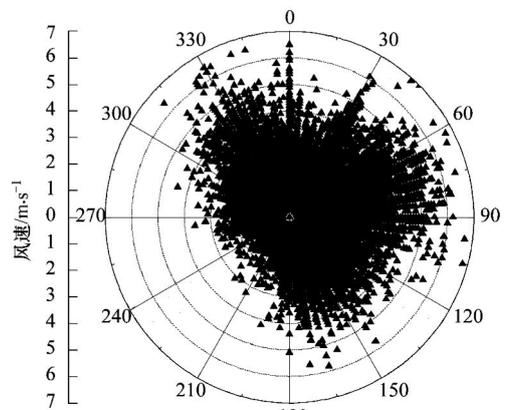


图 10 整个测量时间段内风速随风向的分布玫瑰图
Fig. 10 Rose plots of wind speed and wind direction in the entire measurement period

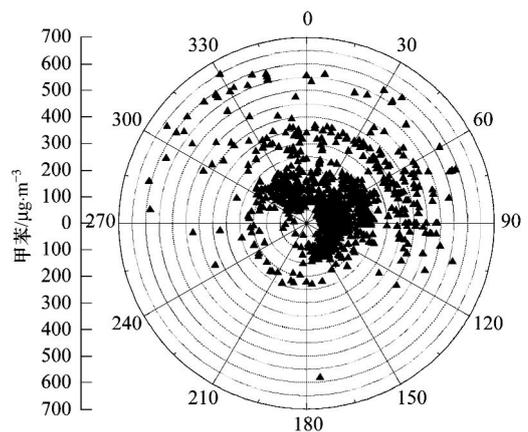


图 11 高污染浓度时甲苯随风向分布玫瑰图
Fig. 11 Rose plots of high levels of Toluene and wind direction

3 结论

通过一个月的监测并对监测结果进行了分析,可以看出:该主干道附近空气中苯、甲苯、间、对二甲苯、苯酚的平均值分别为 15.9、61.3、6.5、

16.9、0.88 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。通过对苯系物之间的比例、苯系物之间的相关性以及甲苯与交通排放的关系进行分析得出,该站点空气中的苯、甲苯来自于相同的污染源,且主要来自于交通的排放,而其他苯系物则主要由非交通排放产生。结合气象数据的分析可以得出:风速是苯系物污染浓度高低的一个重要影响因素;结合风向的分析得出,几个小型的点污染排放源也可能是造成该区域苯系物污染的一个重要因素。以上分析得出的结论为控制和改善城市环境空气中的苯系物污染提供了有效的理论依据。

参考文献:

- [1] 徐宏伟, 侯淑媛. 苯及苯系物接触人员白细胞减少影响因素分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2007, **25**(3): 129-131.
- [2] 李凤苏. 苯及苯系物对作业人员健康状况的影响[J]. 职业与健康, 2008, **24**(17): 1760-1762.
- [3] 查建溪, 林惠芳, 张巧红, 等. 低浓度苯系物对作业工人的健康影响[J]. 职业与健康, 2010, **26**(16): 1828-1829.
- [4] Pilidis G A, Karakitsios S P, Kassomenos P A. BTX measurements in a medium-sized European city[J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(33): 6051-6065.
- [5] Fernandes M B, Brickus L S R, Moreira J C, *et al.* Atmospheric BTX and polyaromatic hydrocarbons in Rio de Janeiro, Brazil [J]. Chemosphere, 2002, **47**(4): 417-425.
- [6] Kourtidis K, Ziomas I, Zerefos C, *et al.* Benzene and toluene levels measured with a commercial DOAS system in Thessaloniki, Greece [J]. Atmospheric Environment, 2000, **34**(9): 1471-1480.
- [7] Kourtidis K A, Ziomas I, Zerefos C, *et al.* Benzene, toluene, ozone, NO₂ and SO₂ measurements in an urban street canyon in Thessaloniki, Greece [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(34): 5355-5364.
- [8] Wang X M, Sheng G Y, Fu J M, *et al.* Urban roadside aromatic hydrocarbons in three cities of the Pearl River Delta, People's Republic of China [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(33): 5141-5148.
- [9] Liu Y, Shao M, Lu S H, *et al.* Volatile organic compound (VOC) measurements in the pearl river delta (PRD) region, China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008, **8**(6): 1531-1545.
- [10] Peng F M, Xie P H, Li H Y, *et al.* Effect of atmospheric interfering absorption on measurement of BTX by DOAS [J]. Chinese Journal of Chemical Physics, 2008, **21**(3): 202-210.
- [11] 秦敏, 谢品华, 刘建国, 等. 基于二极管阵列 PDA 的紫外-可见差分吸收光谱(DOAS)系统的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2005, **25**(9): 1463-1467.
- [12] Volkamer R, Eitzkorn T, Geyer A, *et al.* Correction of the oxygen interference with UV spectroscopic (DOAS) measurements of monocyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere [J]. Atmospheric Environment, 1998, **32**(21): 3731-3747.
- [13] Eitzkorn T, Klotz B, Sørensen S, *et al.* Gas-phase absorption cross sections of 24 monocyclic aromatic hydrocarbons in the UV and IR spectral ranges [J]. Atmospheric Environment, 1999, **33**(4): 525-540.
- [14] Kim K H. Comparison of BTX measurements using a differential optical absorption spectroscopy and an on-line gas chromatography system [J]. Environmental Engineering Science, 2004, **21**(2): 181-194.
- [15] Lee C, Choi Y J, Jung J S, *et al.* Measurement of atmospheric monoaromatic hydrocarbons using differential optical absorption spectroscopy: Comparison with on-line gas chromatography measurements in urban air [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(21): 2225-2234.
- [16] Jobson B T, Volkamer R A, Velasco E, *et al.* Comparison of aromatic hydrocarbon measurements made by PTR-MS, DOAS and GC-FID during the MCMA 2003 Field Experiment [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, **10**(4): 1989-2005.
- [17] Axelsson H, Eilard A, Emanuelsson A, *et al.* Measurement of aromatic hydrocarbons with the DOAS technique [J]. Applied Spectroscopy, 1995, **49**(9): 1254-1260.
- [18] 周斌, 刘文清, 刘峰, 等. 差分吸收光谱仪测量上下限的确定 [J]. 应用光学, 2001, **22**(5): 25-28.
- [19] 齐锋, 刘文清, 张玉钧, 等. 差分吸收光谱法测量大气痕量气体浓度误差分析及改善方法 [J]. 光子学报, 2003, **32**(10): 1234-1238.
- [20] Stutz J, Platt U. Numerical analysis and estimation of the statistical error of differential optical absorption spectroscopy measurements with least-squares methods [J]. Applied Optics, 1996, **35**(30): 6041-6053.
- [21] Yu Y, Panday A, Hodson E, *et al.* Monocyclic aromatic hydrocarbons in Kathmandu during the winter season [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2008, **191**(1-4): 71-81.
- [22] 张爱东, 郭明明, 修光利, 等. 上海市交通干道空气中苯系物冬季污染特征初探 [J]. 上海环境科学, 2005, **24**(3): 119-123.
- [23] 陆思华, 白郁华, 陈宽运, 等. 北京市机动车排放挥发性有机化合物的特征 [J]. 中国环境科学, 2003, **23**(2): 127-130.
- [24] 苗欣, 孙成, 王禹, 等. 南京市交通干道大气环境中挥发性有机物的研究 [J]. 环境保护科学, 2003, **29**(5): 6-9.
- [25] 罗晓璐, 沈学优. 杭州市城市空气中苯系物的污染现状及来源解析 [J]. 浙江大学学报(理学版), 2003, **30**(5): 570-573.
- [26] Lee S C, Chiu M Y, Ho K F, *et al.* Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong [J]. Chemosphere, 2002, **48**(3): 375-382.
- [27] Murena F. Air quality nearby road traffic tunnel portals: BTEX monitoring [J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, **19**(5): 578-583.

CONTENTS

Characteristics of Atmospheric NO ₂ in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and the Yangtze River Delta Analyzed by Satellite and Ground Observations	WANG Ying, LI Ling-jun, LIU Yang (3685)
Variation Analysis of Background Atmospheric Pollutants in North China During the Summer of 2008 to 2011	YANG Jun-yi, XIN Jin-yuan, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (3693)
Characteristics of Atmospheric Pollutants in Cangzhou	WANG Yong-hong, HU Bo, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3705)
Chemical Characteristics and Sources of Trace Metals in Precipitation Collected from a Typical Industrial City in Northern China	LI Yue-mei, PAN Yue-peng, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3712)
BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou	YE Cong-lei, XIE Pin-hua, QIN Min, <i>et al.</i> (3718)
Dynamic Road Vehicle Emission Inventory Simulation Study Based on Real Time Traffic Information	HUANG Cheng, LIU Juan, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (3725)
Emission Characteristics of a Diesel Car Fueled with Coal Based Fischer-Tropsch (F-T) Diesel and Fossil Diesel Blends	HU Zhi-yuan, CHENG Liang, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (3733)
Spatial Variations of Biogenic Elements in Coastal Wetland Sediments of the Jiulong River Estuary	YU Xiao-qing, YANG Jun, LIU Le-mian, <i>et al.</i> (3739)
Spatio-Temporal Distribution of TN and TP in Water and Evaluation of Eutrophic State of Lake Nansi	SHU Feng-yue, LIU Yu-pei, ZHAO Ying, <i>et al.</i> (3748)
Impact on Nitrogen and Phosphorous Export of Wetlands in Tianmu Lake Watershed	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Heng-peng (3753)
Nitrogen and Phosphorus Composition in Urban Runoff from the New Development Area in Beijing	LI Li-qing, LÜ Shu-cong, ZHU Ren-xiao, <i>et al.</i> (3760)
Distribution and Sources of Arsenic in Yangzonghai Lake, China	ZHANG Yu-xi, XIANG Xiao-ping, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (3768)
Occurrence of Fecal Indicator Bacteria in Urban Surface Water: A Case Study in Southern China	SUN Fu, SHA Jing, LIU Yan-hua (3778)
Vertical Migration of Algal Cells in the Daning River Bay of the Three Gorges Reservoir	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3787)
Construct of Yangtze-Huai River Rural Areas Ecological Drainage System and Its Retention Effect on Pollutants	SHAN Bao-qing, LI Nan, TANG Wen-zhong (3797)
Water Treatment Efficiency of Constructed Wetland Plant-Bed/Ditch Systems	WANG Zhong-qiong, ZHANG Rong-bin, CHEN Qing-hua, <i>et al.</i> (3804)
Effect of the Subsurface Constructed Wetland Evolution into Free Surface Flow Constructed Wetland on the Removal of Organic Matter, Nitrogen, and Phosphorus in Wastewater	WEI Ze-jun, XIE Jian-ping, HUANG Yu-ming (3812)
Treatment Characteristics of Saline Domestic Wastewater by Constructed Wetland	GAO Feng, YANG Zhao-hui, LI Chen, <i>et al.</i> (3820)
Degradation of β -Naphthol by Catalytic Wet Air Oxidation	LIU Jie, YU Chao-ying, ZHAO Pei-qing, <i>et al.</i> (3826)
Degradation of 2,4-Dichlorophenol in Aqueous Solution by ZVI/EDDS/Air System	SUN Qian, ZHOU Hai-yan, CAO Meng-hua, <i>et al.</i> (3833)
Study on Photocatalytic Degradation of 1,2,3-Trichlorobenzene Using the Microwaved MWNTs/TiO ₂ Composite	SHI Zhou, ZHANG Qian, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3840)
Mechanism of Cr(VI) Removal from Aqueous Solution Using Biochar Promoted by Humic Acid	DING Wen-chuan, TIAN Xiu-mei, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (3847)
Research on the Treatment of Wastewater Containing PVA by Ozonation-Activated Sludge Process	XING Xiao-qiong, HUANG Cheng-lan, LIU Min, <i>et al.</i> (3854)
Effects of Composite Substrates on the Phosphorus Removal in Granule-based EBPR System and Its Optimization Experiment	XU Shao-juan, SUN Pei-de, ZHENG Xiong-liu, <i>et al.</i> (3859)
Research of Input Water Ratio's Impact on the Quality of Effluent Water from Hydrolysis Reactor	LIANG Kang-qiang, XIONG Ya, QI Mao-rong, <i>et al.</i> (3868)
Evolution of Leachate Quantity and Quality in the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin, <i>et al.</i> (3873)
National Survey of Urban Sewage Reuse in China	GUO Yu-jie, WANG Xue-chao, ZHOU Zhen-min (3881)
Sorption and Desorption of 17 α -Ethinyl Estradiol and 4-n-Nonylphenol in Soil	JIANG Lu, WANG Ji-hua, LI Jian-zhong, <i>et al.</i> (3885)
Soil Organic Carbon Mineralization of Black Locust Forest in the Deep Soil Layer of the Hilly Region of the Loess Plateau, China	MA Xin-xin, XU Ming-xiang, YANG Kai (3893)
Effects of Soil Crusts on Surface Hydrology in the Semiarid Loess Hilly Area	WEI Wei, WEN Zhi, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (3901)
Environmental Factors on Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils from Dashiwei Karst Giant Doline (Tiankeng) in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, JIANG Zhong-cheng, <i>et al.</i> (3905)
Investigation on Mechanism of Pyrite Oxidation in Acidic Solutions	WANG Nan, YI Xiao-yun, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3916)
Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process	FU Teng-fei, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (3922)
Simulation on Remediation of Benzene Contaminated Groundwater by Air Sparging	FAN Yan-ling, JIANG Lin, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3927)
Detecting the Cytotoxicities of Five Bisphenol A Analogues to the MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell Line Through Different Endpoints	ZHANG Shuai-shuai, LIU Yan, LIU Shu-shen, <i>et al.</i> (3935)
Response of Copepod Community Characteristics to Environmental Factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai	CHEN Li-jing, WU Yan-fang, JING Yu-xiang, <i>et al.</i> (3941)
Isolation, Identification and Characterization of Halotolerant Petroleum-degrading Bacteria	WU Tao, XIE Wen-jun, YI Yan-li, <i>et al.</i> (3949)
Growth Kinetics and Phenol Degradation of Highly Efficient Phenol-degrading <i>Ochrobactrum</i> sp. CH10	CHEN Xiao-hua, WEI Gang, LIU Si-yuan, <i>et al.</i> (3956)
Isolation of Aerobic Degrading Strains for TBBPA and the Properties of Biodegradation	QIAN Yan-yuan, LIU Li-li, YU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3962)
Influences of Long-term Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Composition and Abundance of <i>nirS</i> -type Denitrifiers in Black Soil	YIN Chang, FAN Fen-liang, LI Zhao-jun, <i>et al.</i> (3967)
Characteristics and Influencing Factors of Trichloroethylene Adsorption in Different Soil Types	HE Long, QIU Zhao-fu, LÜ Shu-guang, <i>et al.</i> (3976)
Degradation of Carbendazim in Paddy Soil and the Influencing Factors	XIAO Wen-dan, YANG Xiao-e, LI Ting-qiang (3983)
Effects of Sulphur Compounds on the Volatile Characteristics of Heavy Metals in Fly Ash from the MSW and Sewage Sludge Co-combustion Plant During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3990)
Low-temperature Thermal Treatment of Dioxin in Medical Waste Fly Ash Under Inert Atmosphere	JI Sha-sha, LI Xiao-dong, XU-Xu, <i>et al.</i> (3999)
Hourly Measurement on Aerosol NH ₃ and Gas NO _x Emission in the Rice Field	GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (4006)
Implementation of an Electronic Nose for Rapid Detection of Volatile Chloroalkane and Chloroalkene	WEN Xiao-gang, LIU Rui, CAI Qiang, <i>et al.</i> (4012)
Pilot Study on PAHs of the Atmosphere Around the Refuse Incineration Plant Based on the Technology of Passive Sampling	SUN Shao-ai, LI Yang, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (4018)
Spatial Distribution and Pollution Source Identification of Agricultural Non-Point Source Pollution in Fujiang Watershed	DING Xiao-wen, SHEN Zhen-yao (4025)
Difference of P Content in Different Area Substrate of Constructed Wetland	CAO Xue-ying, CHONG Yun-xiao, YU Guang-wei, <i>et al.</i> (4033)
Selective Detection of Viable Pathogenic Bacteria in Water Using Reverse Transcription Quantitative PCR	LIN Yi-wen, LI Dan, WU Shu-xu, <i>et al.</i> (4040)
Formation of Disinfection By-products; Temperature Effect and Kinetic Modeling	ZHANG Xiao-lu, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (4046)
A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale	ZHANG Zhong-liang, WU Jing, JIANG Jian-kai, <i>et al.</i> (4052)
Leaves of <i>Platanus orientalis</i> as the Carbon Source for Denitrification	XIONG Jian-feng, XU Hua, YAN Ning, <i>et al.</i> (4057)
Isolation, Characterization of an Anthracene Degrading Bacterium <i>Marteella</i> sp. AD-3 and Cloning of Dioxygenase Gene	CUI Chang-zheng, FENG Tian-cai, YU Ya-qi, <i>et al.</i> (4062)

《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11月15日 33卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 11 Nov. 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮局	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

国内外公开发行人