

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第12期

Vol.34 No.12

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

序	郝郑平 (4503)
南京北郊大气 VOCs 体积分数变化特征	安俊琳, 朱彬, 李用宇 (4504)
天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析	翟增秀, 邹克华, 李伟芳, 王亘, 翟友存 (4513)
南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析	杨辉, 朱彬, 高晋徽, 李用宇, 夏丽 (4519)
上海市春季臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算	崔虎雄 (4529)
四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单及其对大气环境的影响	韩丽, 王幸锐, 何敏, 郭卫广 (4535)
武汉市秸秆燃烧 VOCs 排放估算及管理对策	黄碧捷 (4543)
北京市冬季灰霾期 NMHCs 空间分布特征研究	段菁春, 彭艳春, 谭吉华, 郝吉明, 柴发合 (4552)
广州市中心城区环境空气中挥发性有机物的污染特征与健康风险评价	李雷, 李红, 王学中, 张新民, 温冲 (4558)
天津某家具城挥发性有机物健康风险评估	张银, 王秀艳, 高爽 (4565)
废旧有机玻璃再生利用行业挥发性有机物 (VOCs) 排放特征研究	王浙明, 徐志荣, 叶红玉, 许明珠, 王晓星 (4571)
农药企业场地空气中挥发性有机物污染特征及健康风险	谭冰, 王铁宇, 庞博, 朱朝云, 王道涵, 吕永龙 (4577)
电子产品加工制造企业挥发性有机物 (VOCs) 排放特征	崔如, 马永亮 (4585)
汽车涂料生产环节 VOCs 的排放特征及安全评价	曾培源, 李建军, 廖东奇, 涂翔, 许玫英, 孙国萍 (4592)
载人汽车室内空气 VOCs 污染的指标评价	陈小开, 程赫明, 罗会龙 (4599)
基于 GC-MS 的烹调油烟 VOCs 的组分研究	何万清, 聂磊, 田刚, 李靖, 邵霞, 王敏燕 (4605)
VOCs 污染场地挖掘过程的环境健康风险评价	房增强, 甘平, 杨乐, 戴子瑜, 祁世鸿, 贾建丽, 何绪文 (4612)
挥发性有机物污染场地挖掘过程中污染扩散特征	甘平, 杨乐巍, 房增强, 郭淑倩, 于妍, 贾建丽 (4619)
土壤中苯向大气挥发过程的影响因素和通量特征研究	杜平, 王世杰, 赵欢欢, 伍斌, 韩春媚, 房吉敦, 李慧颖, 细见正明, 李发生 (4627)
土壤组分对四氯乙烯吸附解吸行为的影响	胡林, 邱兆富, 何龙, 宴颖, 吕树光, 隋倩, 林匡飞 (4635)
自来水常规和深度处理工艺中挥发性有机物的变化规律	陈锡超, 罗茜, 陈虎, 魏孜, 王子健, 许科文 (4642)
杭州市典型企业废水中挥发性有机物排放特征及其评价	陈峰, 徐建芬, 唐访良, 张明, 阮东德 (4649)
维生素 C 工业废水处理系统 VOCs 污染特性	郭斌, 律国黎, 任爱玲, 杜昭, 邢志贤, 韩鹏, 高博, 刘淑娅 (4654)
新型生物滴滤填料性能评价	梅瑜, 成卓韦, 王家德, 活泼 (4661)
微量臭氧强化生物滴滤降解甲苯性能研究	张超, 赵梦升, 张丽丽, 陈建孟 (4669)
BF 和 BTF 工艺去除 DCM 性能比较	潘维龙, 於建明, 成卓韦, 蔡文吉 (4675)
改性 13X 沸石蜂窝转轮对甲苯的吸附性能研究	王家德, 郑亮巍, 朱润晔, 俞云锋 (4684)
转轮吸附法处理有机废气的研究	朱润晔, 郑亮巍, 毛玉波, 王家德 (4689)
活性炭吸附有机蒸气性能的研究	蔡道飞, 黄维秋, 王丹莉, 张琳, 杨光 (4694)
UV-生物过滤联合降解苯乙炔废气的研究	沙昊雷, 杨国靖, 夏静芬 (4701)
蜂窝状 ZSM-5 型分子筛对丙酮和丁酮吸附性能研究	杜娟, 栾志强, 解强, 叶平伟, 李凯, 王喜芹 (4706)
内浮顶油罐“小呼吸”对环境影响过程的分析	吴宏章, 黄维秋, 杨光, 赵晨露, 王英霞, 蔡道飞 (4712)
基于 Tanks 4.0.9d 模型的石化储罐 VOCs 排放定量方法研究	李靖, 王敏燕, 张健, 何万清, 聂磊, 邵霞 (4718)
铜铈复合氧化物上石化行业典型 VOCs 的氧化行为与动力学	陈长伟, 于艳科, 陈进生, 何焜 (4724)
KrBr ⁺ 准分子灯直接光解一甲胺气体	赵洁, 刘玉海, 韦连梅, 叶招莲, 张善端 (4734)
异味混合物中组分浓度与其强度贡献关系研究	颜鲁春, 刘杰民, 付慧婷, 孙媛, 林文辉 (4743)
挥发性有机污染物排放控制标准制订中的关键技术问题研究	江梅, 张国宁, 任春, 邹兰, 魏玉霞 (4747)
挥发性有机污染物排放控制标准体系的建立与完善	江梅, 张国宁, 邹兰, 魏玉霞, 张明慧 (4751)
我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究	王铁宇, 李奇锋, 吕永龙 (4756)
固定源废气 VOCs 排放在线监测技术现状与需求研究	王强, 周刚, 钟琪, 赵金宝, 杨凯 (4764)
石化行业炼油恶臭污染源治理技术评估	牟桂芹, 隋立华, 郭亚逢, 马传军, 杨文玉, 高阳 (4771)
植物源挥发性有机化合物排放清单的研究进展	谢军飞, 李延明 (4779)
基于动态 CGE 的挥发性有机污染物 VOCs 排放预测和控制研究	刘昌新, 王宇飞, 郝郑平, 王铮 (4787)
《环境科学》第34卷(2013年)总目录	(4792)
《环境科学》征订启事 (4717) 《环境科学》征稿简则 (4742) 信息 (4528, 4626, 4693, 4700)	

天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析

翟增秀^{1,2}, 邹克华¹, 李伟芳¹, 王亘¹, 翟友存^{1,2}

(1. 天津市环境保护科学研究院国家环境保护恶臭污染控制重点实验室, 天津 300191; 2. 天津迪兰奥特环保科技有限公司, 天津 300191)

摘要: 为研究天津中心城区挥发性有机物的污染特征, 在天津中心城区布点 26 个, 分别对春、夏、秋、冬四季进行了系统采样. 天津中心城区共检出挥发性有机物 80 余种, 检出率大于 80% 的物质主要为烷烃、苯系物和卤代烃. 天津中心城区挥发性有机物总浓度(体积分数, 下同)季节变化特征为: 春季(110.43×10^{-9}) > 秋季(93.73×10^{-9}) > 冬季(73.37×10^{-9}) > 夏季(60.43×10^{-9}). 统计结果表明, 城区挥发性有机物总浓度主要集中在 $30 \times 10^{-9} \sim 90 \times 10^{-9}$ 之间, 在此区间 4 个季节的样品百分比均在 50% 以上. 天津中心城区不同季节 VOCs 组成存在一定差异. 含氧有机物和烷烃是 VOCs 主要组成物质, 两者浓度百分比之和 4 个季节均在 50% 以上. 对苯系物和卤代烃这两类主要污染物, 进行了季节变化分析.

关键词: 天津中心城区; 环境空气; 挥发性有机物; 苯系物; 卤代烃

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4513-06

Pollution Characterization of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Tianjin Downtown

ZHAI Zeng-xiu^{1,2}, ZOU Ke-hua¹, LI Wei-fang¹, WANG Gen¹, ZHAI You-cun^{1,2}

(1. State Key Laboratory on Odor Pollution Control, Tianjin Academy of Environmental Sciences, Tianjin 300191, China; 2. Tianjin Sinodour Environmental Protection Science and Technology Development Co., Ltd., Tianjin 300191, China)

Abstract: To study the pollution characteristics of volatile organic compounds (VOCs) in Tianjin downtown ambient air, 26 sampling points were distributed in Tianjin and systematic sampling was carried out in Spring, Summer, Autumn and Winter, respectively. More than 80 kinds of VOCs were detected which mainly included alkanes, BETX and halohydrocarbon with detection rates of over 80%. The total concentration of VOCs changed with the seasons, in the order of Spring (110.43×10^{-9}) > Autumn (93.73×10^{-9}) > Winter (73.37×10^{-9}) > Summer (60.43×10^{-9}). The result of concentration statistics indicates that the total concentration of VOCs in urban areas was in the range of $30 \times 10^{-9} \sim 90 \times 10^{-9}$ and the number of samples in every season in this concentration range accounted for over 50%. There were also differences in the composition of VOCs with the change of seasons in Tianjin. Oxygenated organic compounds and hydrocarbons were the main substances of VOCs and the concentration percentage of them was over 50% in every season. Two main pollutants, BETX and halohydrocarbon, were analyzed for seasonal variation in this paper.

Key words: Tianjin downtown; ambient air; volatile organic compounds (VOCs); BETX; halohydrocarbon

近些年, 中国挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 年排放量呈现逐步上升趋势^[1]. 预计到 2020 年, 中国 VOCs 排放量将比 1990 年增长 60%^[2-4]. 挥发性有机物是臭氧和二次有机颗粒物的主要前体物, 在大气化学反应过程中扮演着极其重要的角色, 同时, 部分挥发性有机物危害人体健康^[5]. 2012 年底出台的《重点区域大气污染防治“十二五”规划》中首次明确提出控制挥发性有机物, 为挥发性有机物的全面控制治理提供了重要的机遇和条件. 2013 年 1 月以来, 我国中东部地区多次出现大范围的雾霾天气, 北京更是连续 4 次遭遇侵袭. 除了气象因素外, 雾霾频发与空气污染的加剧密不可分, 以臭氧、细颗粒物 (PM_{2.5})、酸雨为特征的区域性大气复合污染问题日益突出, 因此作为臭氧和二次有机颗粒物的重要前体物, 挥发性有机

物受到越来越多的关注^[6]. 有关挥发性有机污染的研究已经引起政府、地方、企业和科研人员密切的关注.

目前国内关于 VOCs 排放规律及时空分布特点的报导主要集中在长三角、珠三角等区域及部分一线城市 (如香港、北京、上海、杭州等)^[7-14], 而天津这方面的研究数据较少. 魏恩棋等^[15] 针对 2008 年 6 月和 2009 年 1 月的采样数据对天津大气中挥发性有机物的分布特征作了初步的研究, 阐明了天津大气中挥发性有机物在夏季和冬季的质量浓度变化和分布特征, 对挥发性有机物的可能来源也

收稿日期: 2013-07-02; 修订日期: 2013-08-12

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项 (201009034); 国家自然科学基金项目 (21207098); 天津市自然科学基金项目 (11JCYBJC05300)

作者简介: 翟增秀 (1983 ~), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为恶臭的污染与测试, E-mail: zhaizengxiu1983@sina.com

进行了分析. 曹文文等^[16]针对 2008 年 4 月~2009 年 1 月的采样数据对天津和沈阳这两个北方典型城市大气中 VOCs 的组成及分布特征进行了分析.

为研究天津中心城区挥发性有机物的污染特征,本研究在天津中心城区布点 26 个,分别对春、夏、秋、冬四季进行了大规模系统采样,以期进一步分析挥发性有机物的浓度水平及组成特征.

1 样品采集与分析

1.1 采样点的设置及采样周期

采用网格布点法,在天津市共布点 26 个,其中红桥区 4 个(1~4 号);南开区 6 个(5~10 号);河北区 4 个(11~14 号);和平区 2 个(15 号、16 号);河东区 5 个(17~21 号);河西区 5 个(22~26 号).覆盖的功能区全面,包括文教区,居住区,商业区,交通密集区,风景区,居住商业交通混合区等.点位分布如图 1 所示.

在 2011 年 6 月、2011 年 9 月、2012 年 4 月和 2012 年 11 月,分别对天津中心城区 26 个采样点进行了夏季、秋季、春季和冬季采样,其中冬季选取了 13 个代表点位进行采样,每个采样点位连续采样 3 次.春季、夏季和秋季分别获得有效数据 78 个、78 个和 75 个,冬季 39 个.

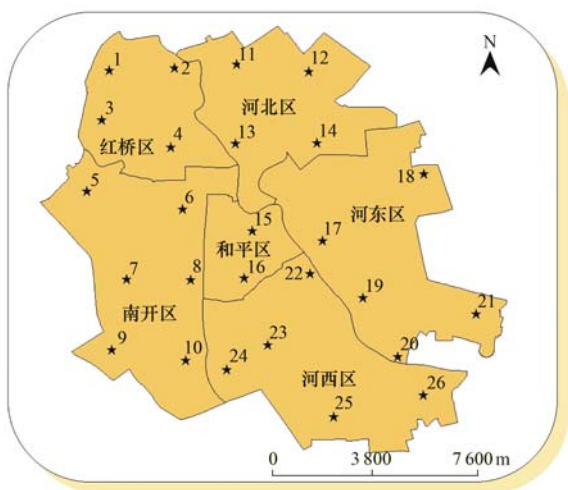


图 1 天津市采样点分布示意

Fig. 1 Distribution of sample points in Tianjin

1.2 主要仪器和试剂

1.2.1 主要仪器:

真空不锈钢罐(美国 ENTECH 公司);Entech 罐采样-低温冷阱浓缩系统(美国 ENTECH 公司 7100 型号);自动清罐仪(美国 ENTECH 公司 3100A 型号);Agilent7890A/5975C 气相色谱质谱

联用仪(美国安捷伦科技公司).

1.2.2 主要试剂

① 美国 EPA VOCs 标准气体,内含 65 种体积分数为 1×10^{-6} 的挥发性有机物,主要为卤代烃、芳香烃和含氧有机物.

② 美国 EPA PAMs 标准气体,内含 57 种体积分数为 1×10^{-6} 的挥发性有机物,主要为烷烃、烯烃和芳香烃.

③ 硫化物标准气体,内含硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、乙硫醇、乙硫醚、二甲二硫醚,除硫化氢外其余硫化物体积分数均为 10×10^{-6} ,硫化氢体积分数为 20×10^{-6} .

④ 三甲胺标准气体,体积分数为 10×10^{-6} .

⑤ 萜烯类标准气体,内含柠檬烯、 α -蒎烯、 β -蒎烯,体积分数为 10×10^{-6} .

⑥ 内标气体:含溴氯甲烷、1,4-二氟苯、氯苯-d5、4-溴氟苯,体积分数为 1×10^{-6} .

1.3 样品采集和分析方法

1.3.1 样品采集

采用体积为 6 L,内壁硅烷化的不锈钢苏码罐采集全空气样品.采样前使用自动清罐仪清洗至经 MS 分析无杂质,抽真空至 10 mTorr(1 333.22 mPa)以下,放在平稳的地方,用扳手拧开采样进口螺母,连接限流阀、不锈钢过滤头和采样管.设置采样时间为 2 h,控制采样流量为 $50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

1.3.2 分析方法

用内壁硅烷化的苏玛罐采集空气样品,样品在预浓缩系统一级冷阱中经液氮低温冷冻浓缩除去空气中的氧气和氮气后,经二级冷阱去除样品中的水蒸气 and 大部分二氧化碳,最后经第三级冷阱冷聚焦后瞬间升温将待测组分导入气相色谱,经色谱柱分离后,由质谱对恶臭物质进行定性定量分析.分析方法参照美国 EPA TO-15 方法^[17],并且对该方法进行了优化,目前能对 115 种物质进行定量.

2 结果与讨论

2.1 天津中心城区 VOCs 物质组成分析

在对天津中心城区 26 个采样点环境空气的定量检测中,共检出挥发性有机物 80 余种,涵盖了烷烃、烯烃、卤代烃、苯系物、含氧有机物和硫化物等六类物质.从检出物质数量来看,冬季检出物质数量最多,共检出 88 种物质,其中烷烃 26 种;烯烃 10 种;卤代烃 20 种;苯系物 18 种;含氧有机物 8 种以及硫化物 6 种.春季检出物质数量最少,共检

出 46 种,其中烷烃 9 种; 烯烃 6 种; 卤代烃 10 种; 苯系物 14 种; 含氧有机物 5 种; 硫化物 2 种. 夏季和秋季检出物质数量相差不大,但检出的物质种类有一定差别,夏季共检出物质 64 种,其中烷烃 23 种; 烯烃 9 种; 卤代烃 7 种; 苯系物 17 种; 含氧有机物 6 种; 硫化物 2 种. 秋季共检出物质 59 种,其中烷烃 13 种; 烯烃 6 种; 卤代烃 15 种,苯系物 17 种; 含氧有机物 5 种; 硫化物 3 种.

表 1 给出了天津中心城区全年总检出率大于 80% 的物质名单,从中可以看出,检出率大于 80% 的物质主要包括苯系物、卤代烃和烷烃,其中苯系物有 3 种,卤代烃有 4 种,烷烃有 5 种,此外还包括含氧有机物 1 种. 苯、甲苯、乙苯和二氯甲烷均被列入了“中国环境优先污染物黑名单”^[18],另外苯、甲苯、乙苯、二氯甲烷和氯甲烷均属于美国环境保护局重点控制污染物.

表 1 总检出率大于 80% 的 VOCs 物质名单

Table 1 List of VOCs substances with detection rates of over 80%			
序号	物质名称	总检出率 /%	序号 物质名称 总检出率 /%
1	二氯甲烷	99	8 丁烷 96
2	甲苯	99	9 戊烷 93
3	异丁烷	98	10 二氯二氟甲烷 89
4	苯	98	11 三氯氟甲烷 88
5	2-甲基丁烷	98	12 氯甲烷 85
6	间二甲苯	97	13 2-甲基戊烷 84
7	乙苯	97	14 乙醇 80

2.2 天津中心城区 VOCs 浓度水平分析

2.2.1 天津中心城区 VOCs 总浓度统计分析

春季和夏季共采集有效样品 78 个,秋季采集有效样品 75 个,冬季采集有效样品 39 个. 表 2 总结了 4 个季节 VOCs 总浓度的平均值、标准偏差、最大值、最小值和中位数. 从中可以看出,春季 VOCs 总浓度最高,夏季最低,4 个季节 VOCs 总浓度由高到低依次为春季 (110.43×10^{-9}) > 秋季 (93.73×10^{-9}) > 冬季 (73.37×10^{-9}) > 夏季 (60.43×10^{-9}). 这与曹文文等^[16]对其他城市的分析结果相一致,即 VOCs 总浓度春秋季节大于冬夏季节. 从标准偏差、最大值和最小值来看,4 个季节 VOCs 总浓度波动均较大,尤其是春季,最小值为 9.38×10^{-9} ,而最大值高达 596.02×10^{-9} .

为了进一步说明天津中心城区 VOCs 总浓度的分布状况,图 2 对春、夏、秋、冬四季有效样品的 VOCs 总浓度进行了概率分布统计. 从中可以看出, VOCs 总浓度在 $30 \times 10^{-9} \sim 60 \times 10^{-9}$ 之间的样品数

量是最多的,在此区间,春季样品百分比为 30.77%,夏季为 42.31%,秋季为 32.00%,冬季为 38.46%. 其次,春季、夏季和秋季在 $60 \times 10^{-9} \sim 90 \times 10^{-9}$ 浓度区间的样品数量也较多,样品百分比分别为 20.51%、25.64% 和 24.00%,冬季在 $0 \sim 30 \times 10^{-9}$ 浓度区间的样品较多,所占百分比为 23.08%. 综合整体数据来看,天津中心城区 VOCs 总体浓度范围主要集中在 $30 \times 10^{-9} \sim 90 \times 10^{-9}$ 浓度区间,在此区间 4 个季节的样品百分比分别为 51.28%、67.95%、56.00% 和 56.41%.

表 2 天津中心城区 VOCs 总浓度统计 $\times 10^{-9}$

Table 2 Statistics of total concentration of VOCs in downtown Tianjin $\times 10^{-9}$

季节	平均值	标准偏差	最小值	最大值	中位数
春季	110.43	121.24	9.38	596.02	63.50
夏季	60.43	43.21	8.67	303.38	53.37
秋季	93.73	76.46	17.26	389.23	67.24
冬季	73.37	73.48	16.18	416.22	53.93

2.2.2 天津中心城区 VOCs 浓度组成特征

图 3 所示,天津中心城区不同季节 VOCs 组成存在一定差异. 春季 VOCs 组成特征为:含氧有机物 > 烷烃 > 卤代烃 > 苯系物 > 硫化物 > 烯烃; 夏季:含氧有机物 > 烷烃 > 苯系物 > 卤代烃 > 烯烃 > 硫化物; 秋季:含氧有机物 > 烷烃 > 苯系物 > 卤代烃 > 硫化物 > 烯烃; 冬季:烷烃 > 含氧有机物 > 苯系物 > 卤代烃 > 烯烃 > 硫化物. 从图 3 可以看出,含氧有机物和烷烃是 VOCs 主要组成物质,两者浓度百分比之和均在 50% 以上,春季高达 80% 以上,夏季和秋季均超过了 60%. 除冬季外,春、夏、秋三季含氧有机物的浓度百分比均达到了 40% 以上.

在含氧有机物中,乙醇的含量最高,尤其是春季,占到了此类物质的 81.71%. 在烷烃中,春季丙烷含量最高,浓度为 $(22.57 \pm 24.28) \times 10^{-9}$,占春季烷烃的 50.53%. 丁烷、戊烷、异丁烷和 2-甲基丁烷这 4 种烷烃的含量在 4 个季节均相对较高,而且浓度相差不大. 硫化物和烯烃这两类物质均有检出,但是含量相对较低. 夏季烯烃含量最高,烯烃主要来自于植物的释放^[19],夏季植物的新陈代谢较快,从而导致夏季烯烃浓度较高,尤其是异戊二烯,夏季该物质的检出率高达 99%,在其他季节基本没有检出. 硫化物浓度则是秋季和冬季较高,秋季硫化氢的检出率最高,检出率为 59%,浓度为 $(4.25 \pm 5.96) \times 10^{-9}$,硫化氢在其他季节基本没有检出.

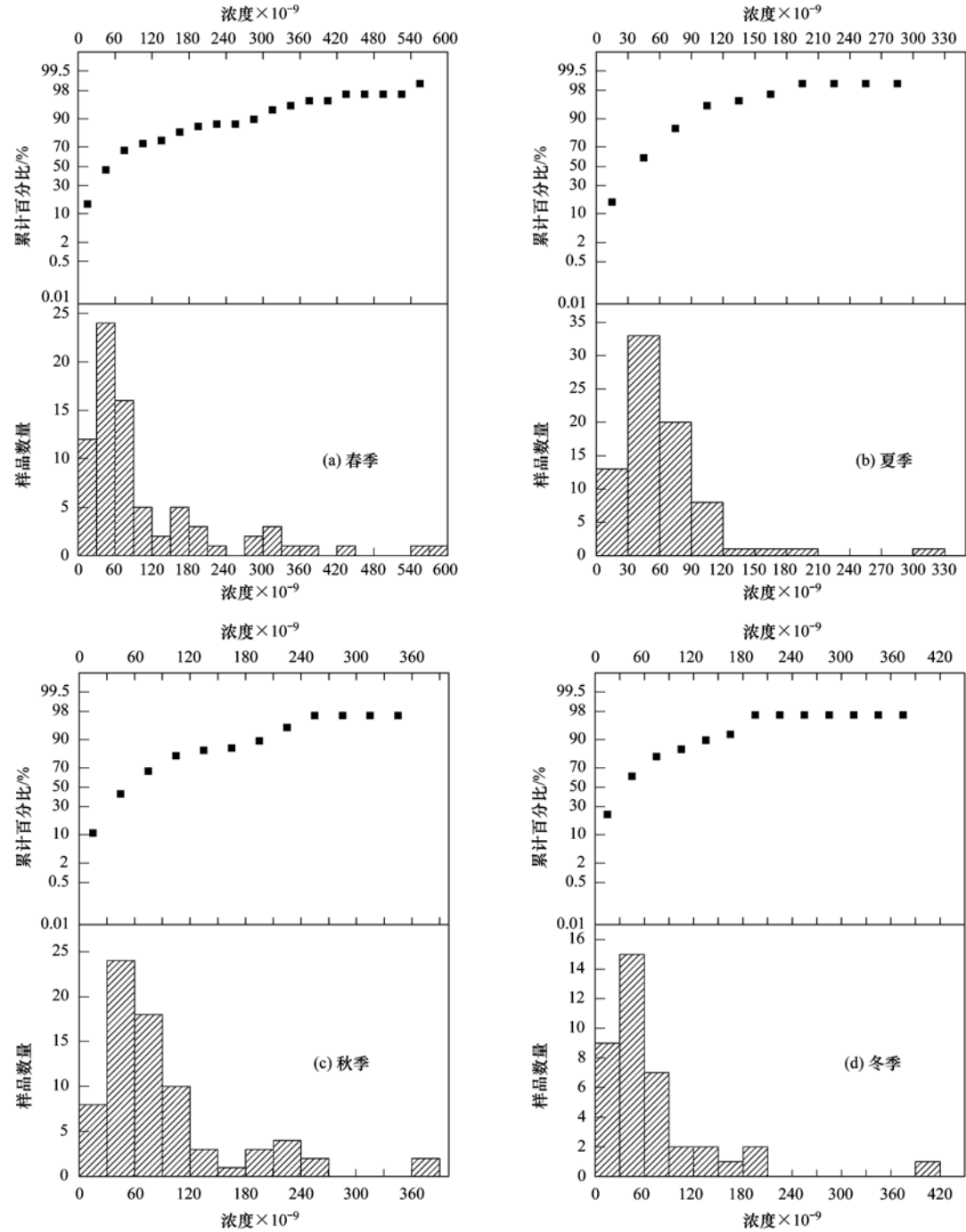


图2 天津中心城区 VOCs 总浓度分布概率

Fig. 2 Probability distribution of total concentration of VOCs in downtown Tianjin

2.2.3 环境空气中重要 VOCs 物质浓度分析

在所检出的六类物质中,苯系物和卤代烃浓度虽然不是很高,但却是人类活动排放的重要污染物,对城市的空气质量和人类的身体健康具有严重的负面影响.在表1统计的检出率大于80%的14种物质中,苯系物和卤代烃有7种.

苯系物具有较强的毒性和致癌性.苯是强致癌性,可通过呼吸道、消化道和皮肤进入人体,与白血

病的高发有着较大的相关性;甲苯对人的中枢神经系统及血液系统具有较大的毒害作用;乙苯、苯乙烯等其他苯系物对人体也存在较大的危害^[20~22].在本研究中,检出的苯系物主要为苯、甲苯和乙苯.表3给出了4个季节主要苯系物浓度及苯系物总浓度.苯系物总浓度季节变化为冬季>秋季>夏季>春季.从表3中可以看出,春季、夏季和秋季这3种苯系物浓度水平较为接近,冬季这3种苯系物浓度

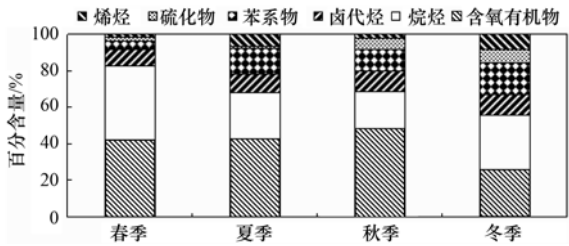


图3 不同季节天津中心城区 VOCs 浓度组成

Fig. 3 VOCs concentration composition in downtown
Tanjin in different seasons

均是最高。4 个季节这 3 种苯系物浓度均为甲苯浓度最高,乙苯浓度最低。苯和甲苯的比值 (B/T) 也常常被用来确定 VOCs 的主要来源,比值接近于 0.5 时,反映出 VOCs 的主要来源是机动车排放,而当比值远大于 0.5 时,大气中的主要来源是石油化工和涂料使用^[23]。本研究中苯浓度与甲苯浓度比

值范围在 0.70 ~ 0.85 之间,说明除机动车排放源外,苯系物还来源于其他地面排放源。

近年来,大气中挥发性卤代烃对人体健康的危害受到了世界各国的普遍重视,挥发性卤代烃所代表的大气挥发性有机物还是城市光化学烟雾的重要前体物质,同时一些卤代烃还对大气臭氧层产生破坏作用,并且是重要的温室气体^[24,25]。大气中挥发性卤代烃是大气中挥发性有机物的一部分,其中比较受关注的有氟氯烃类 (CFCs) 和有毒有害挥发性卤代烃类^[26]。在本研究中,卤代烃总浓度季节变化为秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季,与 VOCs 总浓度变化趋势相一致(表 4)。春季和夏季卤代烃浓度组成较为接近,氯甲烷 > 二氯甲烷 > 二氯二氟甲烷 > 三氯氟甲烷; 秋季和冬季卤代烃浓度组成较为接近,二氯甲烷 > 氯甲烷 > 二氯二氟甲烷 > 三氯氟甲烷。

表 3 不同季节主要苯系物浓度 $\times 10^{-9}$

Table 3 Concentration of major BTEX substances in different seasons $\times 10^{-9}$

物质	春季	夏季	秋季	冬季
苯	1.65 ± 1.53	2.52 ± 1.74	2.73 ± 3.19	3.16 ± 3.43
甲苯	1.95 ± 2.04	3.11 ± 3.14	3.50 ± 5.11	4.34 ± 5.89
乙苯	0.57 ± 0.65	0.68 ± 0.70	1.08 ± 1.07	1.15 ± 1.60
苯系物总浓度	5.35 ± 1.45	8.48 ± 2.56	11.05 ± 1.89	12.82 ± 2.10

表 4 不同季节主要卤代烃浓度 $\times 10^{-9}$

Table 4 Concentration of major halohydrocarbon substances in different seasons $\times 10^{-9}$

物质	春季	夏季	秋季	冬季
氯甲烷	3.75 ± 2.18	3.11 ± 3.44	2.43 ± 1.85	1.49 ± 0.90
二氯甲烷	1.81 ± 3.83	1.13 ± 0.73	2.74 ± 9.72	2.05 ± 2.33
二氯二氟甲烷	1.76 ± 0.60	1.00 ± 1.02	1.14 ± 0.38	1.52 ± 0.33
三氯氟甲烷	0.55 ± 0.26	0.49 ± 0.87	0.40 ± 0.28	0.39 ± 0.15
卤代烃总浓度	9.48 ± 1.45	6.20 ± 2.24	10.92 ± 2.85	7.94 ± 1.16

3 结论

(1)天津中心城区共检出挥发性有机物 80 余种,春季检出物质数量最多,达 88 种,春季检出物质数量最少,为 46 种。夏季和秋季分别检出 64 种和 59 种。检出率大于 80% 的物质主要为烷烃、苯系物和卤代烃。

(2)天津中心城区挥发性总浓度季节变化特征为:春季(110.43×10^{-9}) > 秋季(93.73×10^{-9}) > 冬季(73.37×10^{-9}) > 夏季(60.43×10^{-9})。浓度统计结果表明:城区挥发性有机物总浓度主要集中在 $30 \times 10^{-9} \sim 90 \times 10^{-9}$ 之间,在此区间 4 个季节的样品百分比均在 50% 以上。

(3)天津中心城区不同季节 VOCs 组成存在一定差异。春季 VOCs 组成特征为:含氧有机物 > 烷

烃 > 卤代烃 > 苯系物 > 硫化物 > 烯烃; 夏季:含氧有机物 > 烷烃 > 苯系物 > 卤代烃 > 烯烃 > 硫化物; 秋季:含氧有机物 > 烷烃 > 苯系物 > 卤代烃 > 硫化物 > 烯烃; 冬季:烷烃 > 含氧有机物 > 苯系物 > 卤代烃 > 烯烃 > 硫化物。含氧有机物和烷烃是 VOCs 主要组成物质,两者浓度百分比之和 4 个季节均在 50% 以上。

(4)苯系物和卤代烃是环境空气中的主要污染物。苯系物总浓度变化为苯系物总浓度季节变化为冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季,主要物质为苯、甲苯和乙苯; 卤代烃总浓度浓度季节变化为秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季,主要物质为氯甲烷、二氯甲烷、二氯二氟甲烷和三氯氟甲烷。

参考文献:

[1] 孙丽娜,刘刚. 环境空气中挥发性有机污染物的研究现状

- [J]. 环境与健康杂志, 2011, **28**(10): 930-933.
- [2] 宁晓宇, 刘博, 王亘. 天津市某重点居住区 VOCs 污染现状浅析[J]. 科技导报, 2011, **29**(29): 56-60.
- [3] 张军科, 王跃思, 吴方堃, 等. 贡嘎山本底站大气中 VOCs 的研究[J]. 环境科学, 2012, **33**(12): 4159-4158.
- [4] 孙杰, 王跃思, 吴方堃, 等. 唐山市和北京市夏秋季节大气 VOCs 组成及浓度变化[J]. 环境科学, 2010, **31**(7): 1438-1443.
- [5] 刘雅婷, 彭跃, 白志鹏, 等. 沈阳市大气挥发性有机物 (VOCs) 污染特征[J]. 环境科学, 2011, **32**(9): 2777-2785.
- [6] 邵敏, 董东. 我国大气挥发性有机物污染与控制[J]. 环境保护, 2013, **41**(5): 25-28.
- [7] 王伯光, 张远航, 邵敏. 珠江三角洲大气环境 VOCs 的时空分布特征[J]. 环境科学, 2004, **25**(S1): 7-15.
- [8] 张靖, 邵敏, 苏芳. 北京市大气中挥发性有机物的组成特征[J]. 环境科学研究, 2004, **17**(5): 1-5.
- [9] Duan J C, Tan J H, Yang L, *et al.* Concentration, sources and ozone formation potential of volatile organic compounds (VOCs) during ozone episode in Beijing [J]. *Atmospheric Research*, 2008, **88**(1): 25-35.
- [10] 周裕敏, 郝郑平, 王海林. 北京地区城乡结合部大气挥发性有机物污染及来源分析[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3560-3565.
- [11] 王红丽, 陈长虹, 黄成, 等. 上海市城区春节和“五一”节日期间大气挥发性有机物的组成特征[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(9): 1749-1757.
- [12] Cai C J, Geng F H, Tie X X, *et al.* Characteristics and source apportionment of VOCs measured in Shanghai, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(38): 5005-5014.
- [13] 刘刚, 盛国英, 傅家谟, 等. 香港大气中有毒挥发性有机物研究[J]. 环境化学, 2000, **19**(1): 61-66.
- [14] Guo H. Source apportionment of volatile organic compounds in Hong Kong homes [J]. *Building and Environment*, 2011, **46**(11): 2280-2286.
- [15] 魏恩棋, 时庭锐, 李利荣, 等. 天津市大气中挥发性有机物的组成及分布特点[J]. 中国环境监测, 2010, **26**(4): 4-8.
- [16] 曹文文, 史建武, 韩斌, 等. 我国北方典型城市大气中 VOCs 的组成及分布特征[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(2): 200-206.
- [17] U. S. EPA. EPA/625/R-96/010b, method TO-15, determination of volatile organic compounds (VOCs) in air collected in specially-prepared canisters and analyzed by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) [S]. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency, 1999.
- [18] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测[M]. (第三版) 北京: 高等教育出版社. 2004.
- [19] 罗玮. 海陆风对广州大气烯烃组成特征及其化学活性的影响研究[D]. 广州: 暨南大学, 2011.
- [20] 张平. 杭州市空气中苯系物的污染特征、来源及健康风险[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [21] Khoder M I. Ambient levels of volatile organic compounds in the atmosphere of Greater Cairo [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(3): 554-566.
- [22] 邹宇, 邓雪娇, 王伯光. 广州番禺大气成分站挥发性有机物的污染特征[J]. 中国环境科学, 2013, **33**(5): 808-813.
- [23] 罗晓璐. 室内外空气中苯系物的污染现状及来源研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [24] 王琛. 广州大气中挥发性卤代烃的时空分布特征与来源分析研究[D]. 广州: 暨南大学, 2010.
- [25] 翟增秀, 刘迎春, 邹克华, 等. 天津市环境空气中卤代烃污染特征[J]. 科技导报, 2012, **30**(34): 65-69.
- [26] 向武, 邓南圣, 吴峰. 挥发性卤代烃的天然来源及其生成机制[J]. 上海环境科学, 2003, **22**(9): 623-627.

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (4503)
Variation Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Nanjing Northern Suburb, China	AN Jun-lin, ZHU Bin, LI Yong-yu (4504)
Pollution Characterization of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Tianjin Downtown	ZHAI Zeng-xiu, ZOU Ke-hua, LI Wei-fang, <i>et al.</i> (4513)
Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer	YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (4519)
Estimation of the Formation Potential of Ozone and Secondary Organic Aerosol in Shanghai in Spring	CUI Hu-xiong (4529)
Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from the Typical Anthropogenic Sources in Sichuan Province	HAN Li, WANG Xing-rui, HE Min, <i>et al.</i> (4535)
Study on Volatile Organic Compounds Emission of Straw Combustion and Management Countermeasure in Wuhan City	HUANG Bi-jie (4543)
Spatial Distribution Characteristics of NMHCs During Winter Haze in Beijing	DUAN Jing-chun, PENG Yan-chun, TAN Ji-hua, <i>et al.</i> (4552)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China	LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, <i>et al.</i> (4558)
Health Risk Assessment of VOCs from a Furniture Mall in Tianjin	ZHANG Yin, WANG Xiu-yan, GAO Shuang (4565)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Recycled Waste Polymethyl Methacrylate (PMMA) Industry	WANG Zhe-ming, XU Zhi-rong, YE Hong-yu, <i>et al.</i> (4571)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory	TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, <i>et al.</i> (4577)
Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Electronic Products Processing and Manufacturing Factory	CUI Ru, MA Yong-liang (4585)
Emission Characteristics and Safety Evaluation of Volatile Organic Compounds in Manufacturing Processes of Automotive Coatings	ZENG Pei-yuan, LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, <i>et al.</i> (4592)
Index Assessment of Airborne VOCs Pollution in Automobile for Transporting Passengers	CHEN Xiao-kai, CHENG He-ming, LUO Hui-long (4599)
Study on the Chemical Compositions of VOCs Emitted by Cooking Oils Based on GC-MS	HE Wan-qing, NIE Lei, TIAN Gang, <i>et al.</i> (4605)
Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site	FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site	GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, <i>et al.</i> (4619)
Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics	DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, <i>et al.</i> (4627)
Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil	HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, <i>et al.</i> (4635)
Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes	CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, <i>et al.</i> (4642)
Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City	CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, <i>et al.</i> (4649)
Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production	GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, <i>et al.</i> (4654)
Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings	MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (4661)
Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation	ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, <i>et al.</i> (4669)
Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter	PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, <i>et al.</i> (4675)
Removal of Toluene from Waste Gas by Honeycomb Adsorption Rotor with Modified 13X Molecular Sieves	WANG Jia-de, ZHENG Liang-wei, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (4684)
Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor	ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, <i>et al.</i> (4689)
Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons	CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, <i>et al.</i> (4694)
Degradation of Styrene by Coupling Ultraviolet and Biofiltration	SHA Hao-lei, YANG Guo-jing, XIA Jing-fen (4701)
Adsorption Characteristics of Acetone and Butanone onto Honeycomb ZSM-5 Molecular Sieve	DU Juan, LUAN Zhi-qiang, XIE Qiang, <i>et al.</i> (4706)
Analysis of the Distribution of VOCs Concentration Field with Oil Static Breathing Loss in Internal Floating Roof Tank	WU Hong-zhang, HUANG Wei-qiu, YANG Guang, <i>et al.</i> (4712)
Study on the Quantitative Estimation Method for VOCs Emission from Petrochemical Storage Tanks Based on Tanks 4.0.9d Model	LI Jing, WANG Min-yan, ZHANG Jian, <i>et al.</i> (4718)
Oxidation Behavior and Kinetics of Representative VOCs Emitted from Petrochemical Industry over CuCeO _x Composite Oxides	CHEN Chang-wei, YU Yan-ke, CHEN Jin-sheng, <i>et al.</i> (4724)
Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr [*] Excilamp	ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, <i>et al.</i> (4734)
Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture	YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, <i>et al.</i> (4743)
Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, <i>et al.</i> (4747)
Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, <i>et al.</i> (4751)
Characteristics and Countermeasures of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China	WANG Tie-yu, LI Qi-feng, LÜ Yong-long (4756)
Status and Needs Research for On-Line Monitoring of VOCs Emissions from Stationary Sources	WANG Qiang, ZHOU Gang, ZHONG Qi, <i>et al.</i> (4764)
Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry	MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, <i>et al.</i> (4771)
Research Advances on Volatile Organic Compounds Emission Inventory of Plants	XIE Jun-fei, LI Yan-ming (4779)
Study of VOCs Emission Prediction and Control Based on Dynamic CGE	LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (4787)

《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12月15日 34卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 12 Dec. 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. 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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行