

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第5期

Vol.34 No.5

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

基于过氧化物的消毒技术研究进展 刁海玲,赵三平,周文 (1645)

环境损害评估:国际制度及对中国的启示 张红振,曹东,於方,王金南,齐霖,贾倩,张天柱,骆永明 (1653)

不同国家基于健康风险的土壤环境基准比较研究与启示 徐猛,颜增光,贺萌萌,张超艳,侯红,李发生 (1667)

蚯蚓堆肥及蝇蛆生物转化技术在有机废弃物处理应用中的研究进展 张志剑,刘萌,朱军 (1679)

基于生态分区的我国湖泊营养盐控制目标研究 刁晓君,席北斗,何连生,邓祥征,吴锋,王鹏腾 (1687)

我国东北地区地表水酸化现状 徐光仪,康荣华,罗遥,段雷 (1695)

西安市对渭河水质的影响分析 于婕,李怀恩 (1700)

极端干旱水文年(2011年)夏季珠江口溶解氧的分布特征及影响因素研究 叶丰,黄小平,施震,刘庆霞 (1707)

应用相平衡分配法建立湘江衡阳段沉积物重金属质量基准 韩超南,秦延文,郑丙辉,张雷,曹伟 (1715)

长江口海域底栖生态环境质量评价——AMBI和M-AMBI法 蔡文倩,孟伟,刘录三,朱延忠,周娟 (1725)

温州城市降雨径流中BOD₅和COD污染特征及其初始冲刷效应 王骏,毕春娟,陈振楼,周栋 (1735)

影响悬浮颗粒物吸收系数测量的相关因素研究 余小龙,沈芳,张晋芳 (1745)

香溪河库湾春季pCO₂与浮游植物生物量的关系 袁希功,黄文敏,毕永红,胡征宇,赵玮,朱孔贤 (1754)

紊流脉动强度对藻类生长及水环境的影响研究 雷雨,龙天渝,伞磊,安强,黄宁秋 (1761)

高铁酸钾对水中藻类及其次生臭味污染物二甲基三硫醚同步去除研究 马晓雁,张泽华,王红宇,胡仕斐,李青松 (1767)

纳米Fe₃O₄-H₂O₂非均相Fenton反应催化氧化邻苯二酚 何洁,杨晓芳,张伟军,王东升 (1773)

水中萘普生的紫外光降解机制及其产物毒性研究 马杜娟,刘国光,吕文英,姚锬,周丽华,谢成屏 (1782)

酸活化赤泥催化臭氧氧化降解水中硝基苯的效能研究 康雅凝,李华楠,徐冰冰,齐飞,赵伦 (1790)

镉污染应急处置含镉絮体稳定性实验研究 柳王荣,魏清伟,杨仁斌,许振成,曾东 (1797)

基于光学在线监测及形态学研究的絮凝体强度分析方法 金鹏康,冯永宁,王宝宝,王晓昌 (1802)

不同电子供体下三氯苯酚的还原脱氯机制研究 王金泉,胡梦蝶,马邕文,黄明智 (1808)

壳聚糖季铵盐磁性颗粒的制备及其对甲基橙的吸附效果 张璐璐,胡筱敏,英诗颖,王芳 (1815)

城市污水二级出水超滤膜污染与膜特性的研究 孟晓荣,张海珍,王磊,王旭东,赵亮 (1822)

倒置A²/O-MBR处理城市污水的中试研究 张健君,邹高龙,杨淑芳,丁星,王莉,毛乾庄,杨丹 (1828)

不同电子供体的硫自养反硝化脱氮实验研究 袁莹,周伟丽,王晖,何圣兵 (1835)

短程同步硝化反硝化过程的脱氮与N₂O释放特性 梁小玲,李平,吴锦华,王向德 (1845)

基于固相萃取的水中多种有毒有害有机污染物富集方法优化 张明全,李锋民,吴乾元,胡洪营 (1851)

多环麝香污染胁迫对蚯蚓特异性蛋白基因表达的影响 陈春,刘潇威,郑顺安,周启星,李松 (1857)

浙江省制药行业典型挥发性有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评价 徐志荣,王浙明,许明珠,何华飞 (1864)

苯系物光催化开环降解产物低级醛类的健康效应 赵伟荣,廖求文,杨亚楠,戴九松 (1871)

四川妇女血清中多溴联苯醚的浓度水平与组成特征 邵敏,陈永亨,李晓宇 (1877)

咪唑类离子液体毒性的QSAR/QSPR研究 赵继红,赵永升,张宏忠,张香平 (1882)

宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征 樊新刚,米文宝,马振宁,王婷玉 (1887)

内蒙古包头白云鄂博矿区及尾矿区周围土壤稀土污染现状和分布特征 郭伟,付瑞英,赵仁鑫,赵文静,郭江源,张君 (1895)

福建省重点城市路面尘负荷及化学组成研究 郑桢,杨冰玉,吴水平,王新红,陈晓秋 (1901)

重金属污染场地电阻率法探测数值模拟及应用研究 王玉玲,能昌信,王彦文,董路 (1908)

丛枝菌根真菌对稀土尾矿中大豆生长和稀土元素吸收的影响 郭伟,赵仁鑫,赵文静,付瑞英,郭江源,张君 (1915)

海洋细菌N3对几种赤潮藻的溶藻效应 史荣君,黄洪辉,齐占会,胡维安,田梓杨,戴明 (1922)

1株分离自煤矿废水的铁硫氧化细菌LY01的鉴定及其氧化特性研究 刘玉娇,杨新萍,王世梅,梁银 (1930)

1株苯并[a]芘高效降解菌的筛选与降解特性 蔡瀚,尹华,叶锦韶,常晶晶,彭辉,张娜,何宝燕 (1937)

2,2',4,4'-四溴联苯醚的好氧微生物降解 张姝,Giulio Franco,李晓豹,卢晓霞,侯珍,杨君君 (1945)

养猪废水培养微生物絮凝剂产生菌群B-737及发酵特性 裴瑞林,信欣,张雪乔,周迎芹,姚力,羊依金 (1951)

1997~2011年北京市空气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析 陈圆圆,田贺忠,杨懂艳,邹本东,鹿海峰,林安国 (1958)

黄山降水酸度及电导率特征分析 石春娥,邓学良,吴必文,洪杰,张苏,杨元建 (1964)

夏季黄山不同高度大气气溶胶水溶性离子特征分析 文彬,银燕,秦彦硕,陈魁 (1973)

广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征 谭吉华,赵金平,段菁春,马永亮,贺克斌,杨复沫 (1982)

福建省三大城市冬季PM_{2.5}中有机碳和元素碳的污染特征 陈衍婷,陈进生,胡恭任,徐玲玲,尹丽倩,张福旺 (1988)

上海市含碳大气颗粒物的粒径分布 袁宁,刘卫,赵修良,王广华,姚剑,曾友石,刘邃庆 (1995)

上海市浦东新区二次气溶胶生成的估算 崔虎雄,吴迺名,段玉森,伏晴艳,张懿华,王东方,王茜 (2003)

沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义 钱鹏,郑祥民,周立旻 (2010)

厦门秋季近郊地面CO₂浓度变化特征研究 李燕丽,穆超,邓君俊,赵淑惠,杜可 (2018)

GC-MS和GC-ECD同时在线观测本底大气中的HCFC-142b 郭立峰,姚波,周凌晔,李培昌,许林 (2025)

城市居家环境空气真菌群落结构特征研究 方治国,欧阳志云,刘芄,孙力,王小勇 (2031)

城市污水处理厂挥发性芳香烃的气味指纹及定量评价研究 郭薇,王伯光,唐小东,刘舒乐,何洁,张春林 (2038)

内河多点分散码头大气污染叠加影响特征 刘建昌,李兴华,徐洪磊,程金香,王忠岱,肖杨 (2044)

义马煤中铅的热稳定性及转化行为研究 刘瑞卿,王钧伟 (2051)

基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究 谢元博,李巍 (2057)

《环境科学》征订启事(1652) 《环境科学》征稿简则(1789) 信息(1807,1821,1881,1987) 专辑征稿通知(1863)

1997 ~ 2011 年北京市空气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析

陈圆圆¹, 田贺忠², 杨懂艳¹, 邹本东¹, 鹿海峰¹, 林安国¹

(1. 北京市环境保护监测中心, 北京 100048; 2. 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

摘要: 依据北京市环境保护监测中心 1997 ~ 2011 年降水监测资料、大气环境质量监测资料, 结合北京经济发展和能源结构变化, 分析了酸雨前体物的排放与环境空气中酸性物质及降水组分的相关性, 为政府部门评定大气污染治理效果, 制定未来防控政策和规划提供科学决策依据。研究表明, 环境空气中 NO_2 、 NO_x 、 SO_2 年均浓度显著相关, 说明北京地区环境空气中氮与硫的来源基本相同, 均来自化石燃料燃烧排放, 这也是酸雨形成的根本原因。北京市大气中的污染物主要来自局地排放源, 而降水中硫、氮的湿沉降量与环境空气中 SO_2 、 NO_2 、 NO_x 浓度变化趋势的相关性较差, 表明降水中各离子浓度受局地源和外来大气输送共同作用的影响。同时发现降水中硝酸根浓度与机动车数量呈现相同变化趋势, 反映出机动车尾气排放的 NO_x 与降水中硝酸根浓度增长密切相关。

关键词: 酸性物质; 大气降水; 相关性; 污染特征; 北京市

中图分类号: X517 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)05-1958-06

Correlation Between Acidic Materials and Acid Deposition in Beijing During 1997-2011

CHEN Yuan-yuan¹, TIAN He-zhong², YANG Dong-yan¹, ZOU Ben-dong¹, LU Hai-feng¹, LIN An-guo¹

(1. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China; 2. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on the environment monitoring data and the ambient air quality data during the period of 1997-2011 from Beijing municipal environmental monitoring center, the correlations between primary pre-cursors of acid deposition, acidic materials and precipitation in Beijing area were analyzed in detail by taking economic development and energy mix into account. These results will be helpful for assessing the performance of environment quality improvement, as well as supplying scientific supporting information to make policies for national and local environment protection authorities. The main findings included as follows: there are significant correlations between the concentrations of NO_2 , NO_x and SO_2 in the atmosphere, which indicated that both N and S in ambient air of Beijing came from fossil fuels combustion; acidic pollutants in the air are mainly discharged from local emission sources in Beijing, while there is no obvious correlation between S and N in wet deposition and concentrations of SO_2 , NO_2 and NO_x in the atmosphere, which demonstrated that concentrations of different ions in the acid deposition were influenced by both local sources as well as the inputs from other surrounding districts. Besides, the concentration of NO_3^- appeared to be correlative with the amount of motor vehicles, implying that the NO_x from motor vehicles have contributed the increase of NO_3^- concentration of substantially.

Key words: acidic materials; acid deposition; correlation; pollution characteristics; Beijing

通常, 酸雨是指 pH 值小于 5.60 的酸性沉降(包括雨、雪、雹等)^[1]。20 世纪 50 年代酸雨对欧洲、北美的生态环境造成严重影响, 引起各国学者及政府的普遍关注。1979 年在我国湖南、贵州首次发现酸性降水, 近年来全国近 1/3 国土遭受酸雨危害, 使得我国成为继欧洲和北美之后的世界第三大酸沉降区。目前, 国内外学者对于酸雨的研究主要集中于酸雨的时空分布、化学组成特征及来源分析^[2-10]; 降水的形成机制及对颗粒物的去除机制^[11, 12]; 降水的模拟研究^[13-16]等。我国在酸雨控制方面开展了大量工作, 曾将其列入“六五”到“九五”科技攻关项目。2005 年酸雨又被列入国家重点

基础研究发展规划(973)项目“中国酸雨沉降机制、输送态势及调控原理”。该项目全面掌握我国不同地区酸沉降强度, 充分认识酸雨形成、输送和沉降机制以及酸性物质对生态系统的影响, 并根据未来经济发展、产业结构调整 and 能源需求变化预测我国酸雨污染的发展趋势及演化规律。而北京作为我国首都是最早开展酸雨监测的城市, 研究表明, 北京降水主要集中在夏季, 近年来出现酸度降低的趋势, 降水离子组成也发生显著变化^[17-22]; 降水特征已由

收稿日期: 2012-07-23; 修订日期: 2012-10-19

作者简介: 陈圆圆(1982~), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为环境监测分析方法, E-mail: 214151318@qq.com

硫酸型转为硫、硝混合型^[17,18]。降水特征的转变说明作为酸雨主要前体物的硫氧化物和氮氧化物^[23,24]在大气中比例有所改变,也是地区经济发展、产业布局和能源结构发生显著变化的体现。本研究利用北京市环境保护监测中心 1997~2011 年大气降水观测资料,结合污染源排放及大气成分观测资料,分析了北京市大气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性,探讨了北京地区湿沉降中硫、氮来源,以期为国家 and 地方政府评定大气污染治理效果,制定未来的酸雨和大气污染防控政策和规划提供科学的决策依据。

1 观测资料与方法

酸雨监测点位的布设与样品采集遵循大气降水样品的采集与保存(GB 13580.2-92)^[25]以及酸沉降监测技术规范(HJ/T 165-2004)^[1]中的相关规定。降水数据采用北京城区站点-海定车公庄站(国控站)数据。大气降水样品数据的质量保证与质量控制参照美国大气沉降项目 NADP^[26]中规定的检验标准。大气成分监测依据环境空气质量自动监测技术规范(HJ/T 193-2005)^[27],数据选取距离降水观测点最近的官园站(国控站)数据。

2 结果与分析

2.1 北京市大气酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析

不同能源消费结构产生的酸雨前体物排放量及其比例有所不同。北京市一次能源消费结构为煤、石油、天然气。其中原油为最主要的一次能源,占 43%^[28];其次是原煤,占 40%^[28];二者燃烧排放的主要污染物为二氧化硫与氮氧化物,它们也是造成北京酸性降水的主要前体物。

2.1.1 二氧化硫与降水中硫的相关性分析

目前北京市大气 SO₂ 污染主要来自燃煤。近年来,北京采取多种手段降低 SO₂ 排放,通过优化能源结构,增加清洁能源供应,天然气供应量由 1998 年的 3 亿 m³,增加到 2010 年的 60 亿 m³,2001 年开始“煤改电”试点工作,到 2012 年共有近 19 万户居民采暖告别小煤炉,使用电采暖。众多有效措施的实施使得北京地区 SO₂ 排放量及环境空气中的 SO₂ 质量浓度逐年降低,SO₂ 年排量由 1996 年的 35.3 万 t (1997 年数据不详)降至 2011 年的 9.79 万 t,降幅高达 72%;与此同时,环境空气中 SO₂ 年均质量浓度由 1997 年的 0.125 mg·m⁻³ (相当于环境空气质

量二级标准的 2.1 倍)降至 2011 年的 0.028 mg·m⁻³,下降了 0.097 mg·m⁻³,降幅达到 78%。同时,二者具有显著相关性,其相关系数为 0.95,说明环境中 SO₂ 污染主要来自本地 SO₂ 的排放。表明过去十几年来北京市政府颁布的一系列改善大气环境污染治理措施对 SO₂ 污染物排放量的削减效果明显,环境空气中的 SO₂ 污染浓度逐年降低。

1997~2011 年间北京市 SO₂ 排放量与硫的湿沉降量变化趋势如图 1 所示。可见,SO₂ 年度排放量逐年降低但湿沉降中的硫含量依旧升降交替进行,二者相关系数为 0.27($P < 0.01$)为不显著相关,这表明北京地区降水中硫的沉降量不仅取决于局地近地面的大气污染物排放还与远距离输送有关。有学者在对天津、河北、辽宁等地区的研究中同样得出华北地区湿沉降受到周边城市污染物迁移的影响^[29~31]。北京市 SO₂ 排放量虽然削减了,但是湿沉降污染并未明显减缓。因此,单纯依靠控制本地污染源的 SO₂ 排放不能彻底解决北京市的酸沉降污染问题。对 2006~2011 年北京市环境空气中 SO₂ 质量浓度月均值及硫湿沉降量月均值作图,如图 2 所示。

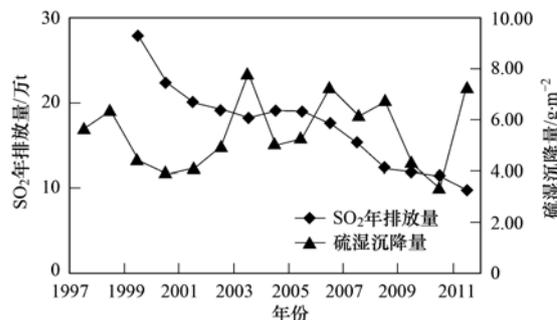


图1 1997~2011年北京市 SO₂ 年排放量与硫湿沉降量变化趋势

Fig. 1 Trend of SO₂ emissions and sulfur deposition from 1997 to 2011 in Beijing

由图 2 可以看出,北京市环境空气中的 SO₂ 月均值变化基本呈现“U”型分布,最低值出现在 7、8 月,最高值出现在 12 月或 1 月,受冬季燃煤影响,采暖期 SO₂ 平均浓度远高于非采暖期,这也表明冬季北京地区 SO₂ 污染主要来源于燃煤排放。而湿沉降中的硫与空气中 SO₂ 呈现出相反的变化趋势,呈“几”字分布。这与北京地区降水量的季节分布不均有关。夏季降水充足,硫的湿沉降作用明显,同时降水又起到净化空气作用使得空气 SO₂ 质量浓度降低;而降水量少的季节,硫的湿沉降量减少,如遇稳定的气象条件还容易造成污染物的积累,使得大气中气态污染物浓度升高。

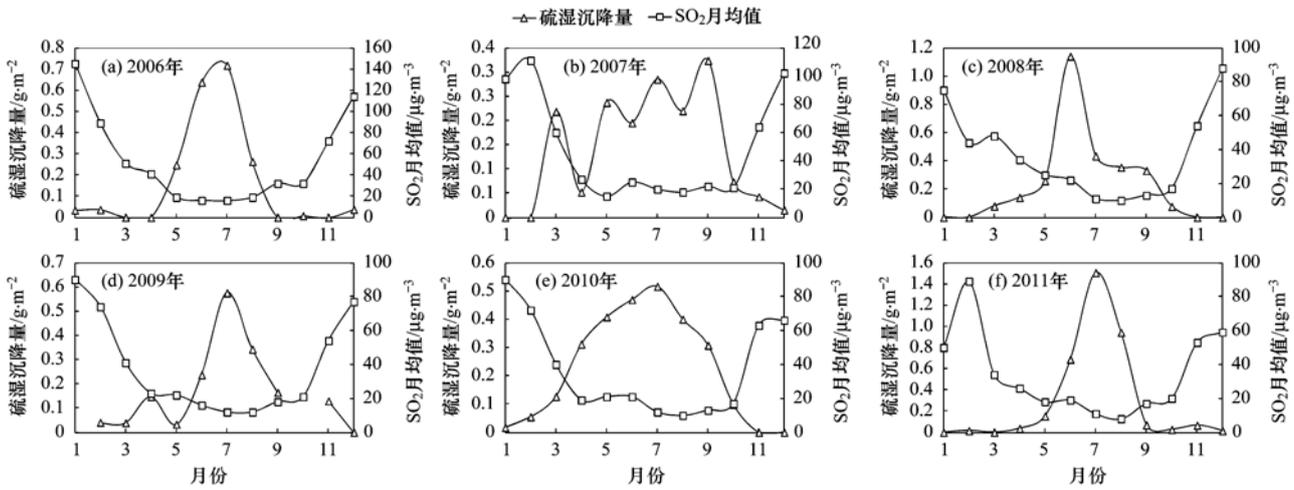


图 2 2006 ~ 2011 年 SO₂ 月均值与硫湿沉降量变化趋势

Fig. 2 Monthly variations of SO₂ concentration and sulfur deposition in Beijing, 2006-2011

综上所述,降水中的硫湿沉降量与近地面大气中的 SO₂ 质量浓度相关性较差,主要的原因可能如下:首先,降水发生随机性强且分布不均匀;其次,近地面大气污染物排放并不是北京地区大气降水的唯一来源,降水中的离子浓度还与区域大气外来输送有关;此外还可能与近年来大气氧化性有所增强,SO₂ 排放总量虽逐步减少,但经过液相或气相氧化后进入降水中的 SO₄²⁻ 含量不会成比例减少有关. 因此,硫的湿沉降是受多方面因素共同影响的结果.

2.1.2 氮氧化物与降水中氮的相关性分析

按照排放部门划分,我国约有 90% 的 NO_x 排放来自工业、电厂和交通. 其中燃煤排放占到总排放量的 60%. NO_x 包括 NO 和 NO₂, 进入大气后易发生氧化反应生成 NO₃⁻ 气溶胶. NO₂、NO_x、SO₂ 及氮湿沉降量年均浓度变化如图 3 所示. 从中可见, NO₂、NO_x 整体呈波动下降趋势,于 2008 年降至最低浓度点,NO₂ 质量浓度降至 0.049 mg·m⁻³,降幅 36%. NO_x 质量浓度降到 0.07 mg·m⁻³,降幅为 54%,之后又有小幅回升. 这表明北京市政府 1998 年开始对大气污染物进行治理后,NO₂、NO_x 质量浓度削减明显. 同时可以看出 NO_x 下降速率较 NO₂ 快,[NO₂]/[NO_x] 比值小幅上升,说明 NO₂ 在 NO_x 中所占比重有所提高,反映出北京地区大气的氧化性有增强趋势.

研究还发现 2000 年以来北京地区空气中 NO₂、NO_x 年均浓度与 SO₂ 年均浓度显著相关,其相关系数分别为 0.91 和 0.94,这表明北京地区大气中氮与硫的来源基本相同,均主要来自化石燃料燃烧排放.

图 3 中数据还显示,氨氮沉降量与总氮沉降量有很强的相关性(相关系数为 0.98, $P < 0.01$),二者具有相同的变化趋势. 而硝氮与总氮沉降量相关性较强(相关系数为 0.90, $P < 0.01$). 1999 年以来氮沉降量整体呈波动上升趋势,其中 2003、2008 以及 2011 年尤为明显,研究发现这几年中降水量较常年明显增多,可见降水对氮的淋洗作用明显. 与此同时,空气中 NO₂、NO_x 年均质量浓度呈明显下降趋势,说明湿沉降中的氮不仅与本地氮氧化物浓度有关,还受其它因素影响. 图 4 显示,环境中 NO_x 质量浓度夏季最低,冬季最高,NO₂ 月均质量浓度值变化幅度较小,季节性变化不明显. 而湿沉降中的氮一般随降水量的增多而增加. 由此可见氮的沉降量与环境空气中的 NO₂、NO_x 无明显相关性.

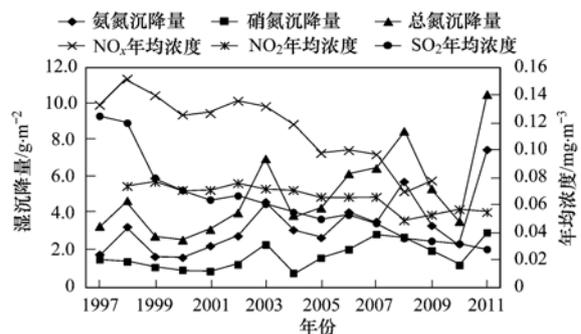


图 3 1997 ~ 2011 年北京市氮湿沉降量变化趋势

Fig. 3 Trend of nitrogen deposition from 1997 to 2011 in Beijing

综合上述分析表明,北京地区大气中二氧化硫、氮氧化物污染主要来自本地化石能源消耗的排放,但大气湿沉降中的硫、氮含量与污染排放及环境空气中相应物质的浓度相关性并不明显. 说明北京地区的湿沉降不仅来自近地面直接排放的污染物还包

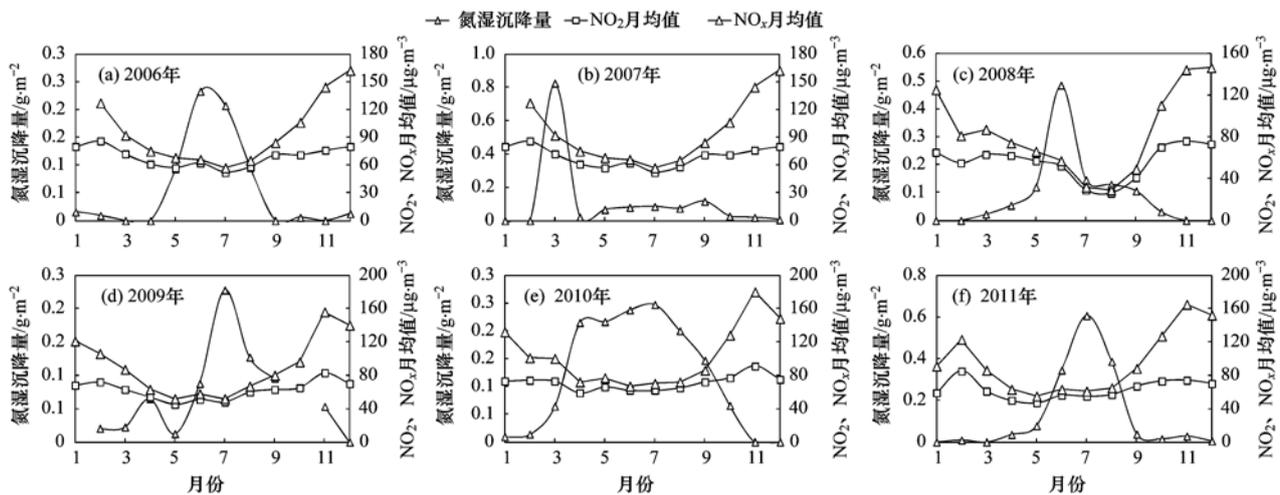


图4 2006~2011年空气 NO_2 、 NO_x 月均值与氮湿沉降量变化趋势

Fig. 4 Monthly variations of NO_2 , NO_x concentration and nitrogen deposition from 2006 to 2011 in Beijing

括外来输送的高浓度大气污染物。因此要彻底解决北京地区的酸沉降问题需要周边省市同步实施区域减排限产污染控制措施并实施污染物排放总量控制,由此才能改善区域大气环境质量。

2.2 机动车尾气排放对降水成分的影响

近年来,随着经济发展和人民生活水平的日益提高,北京市机动车保有量已由1982年的13万辆,增加至2011年的500万辆。机动车排放的主要污染物有氮氧化物、碳氧化物、硫氧化物、颗粒物等。根据2007年道路交通空气质量自动站监测数据显示(见表1),道路边环境空气中 NO_2 、 NO_x 的浓度均比市区环境空气高出很多,由此也可证实 NO_2 、 NO_x 是机动车尾气排放的特征污染物。图5为北京市 NO_2 、 NO_x 与机动车保有量变化曲线。从中可见,2008年前,机动车数量快速增长的同时 NO_2 、 NO_x 质量浓度却在波动下降,尤其是2008年降幅格外明显。这可能是由于近年来北京市政府严格执行不断加严的机动车排放标准和在用车检测/维护制度、强化车辆报废制度及更新改造清洁燃料车等手段使得在车辆快速增加的同时汽车尾气排放的污染物并没有同步增长^[32,33]。还有一个可能的原因是北京市实施的机动车限行措施对机动车尾气污染物排放起到一定的控制作用。2008年,为了保障奥运会期间空气质量,北京市出台了一系列机动车限行措施,这些措施的颁布实施主要集中于2008年7~9月。图6对比列出2006~2009年各月份污染物质量浓度变化,各项指标在2008年均均有大幅度的降低,可见交通限行措施对汽车尾气污染物削减作用明显。但2008年后,北京政府虽然继续实施每周限行1d的

尾号限行措施但由于机动车数量的快速增加使得空气中氮的氧化物浓度开始出现小幅回升,表明北京市氮氧化物污染控制任重道远。

表1 2007年道路交通监测站数据统计/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 1 Data of traffic monitoring station in 2007/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

典型路段	项目	SO_2	NO_2	NO_x
前门	年均值	0.055	0.088	0.144
	与市区比/%	17	33.3	48.5
车公庄	年均值	0.049	0.085	0.151
	与市区比/%	4.3	28.8	55.7

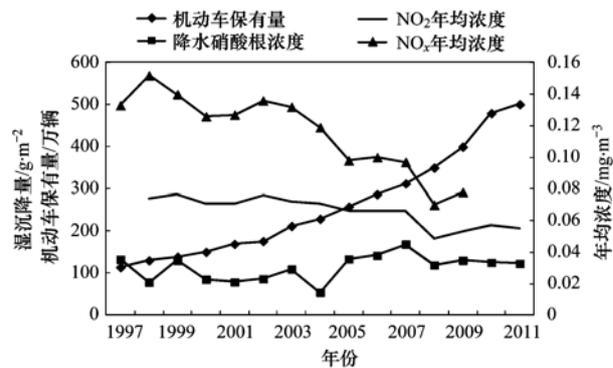


图5 1997~2011年北京市 NO_2 、 NO_x 与机动车保有量变化趋势

Fig. 5 Trend of NO_2 , NO_x and motor vehicle amount from 1997 to 2011 in Beijing

由图5降水中硝酸根离子浓度年际变化趋势可以看出,2000年前 NO_3^- 浓度呈波动变化,2000~2007年连续上升(除2004年外),由 $85.6\ \mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升到 $169\ \mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$,上涨了97%。同时机动车保有量由150.7万辆增加到312.8万辆。车辆增长与 NO_3^- 浓度增加趋势相同。2008~2011年对机动车实施限行

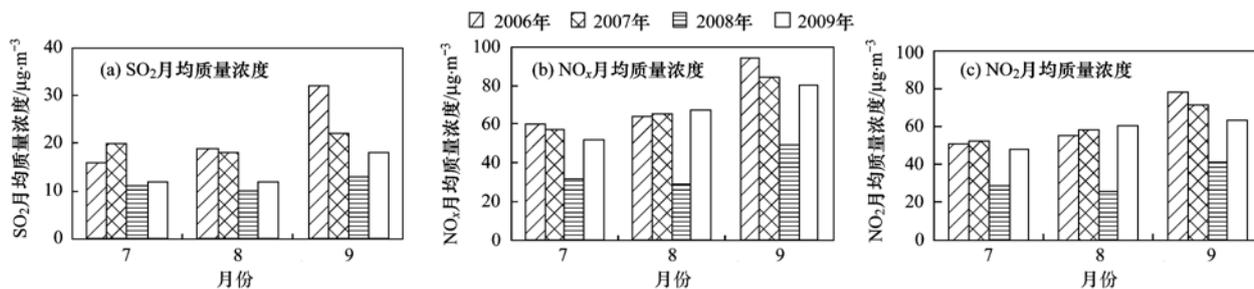


图 6 污染物浓度变化

Fig. 6 Variations of pollutant concentrations

措施后,降水中 NO_3^- 浓度呈现明显下降趋势,说明降水中 NO_3^- 浓度受机动车排放的影响明显。

3 结论

(1)北京市环境空气中 SO_2 、 NO_2 、 NO_x 年均浓度显著相关,说明北京地区环境空气中氮与硫的来源基本相同,均来自化石燃料燃烧排放。

(2)北京市大气中的污染物主要来自局地排放源,而降水中硫、氮的湿沉降量与环境空气中 SO_2 、 NO_2 、 NO_x 浓度相关性较差,主要原因是:首先,降水发生随机性强且分布不均匀;其次,近地面大气污染物排放并不是北京地区大气降水的唯一来源,降水中的离子浓度还与区域大气外来输送有关;此外还可能与近年来大气氧化性有所增强,污染物排放总量虽逐步减少,但经过液相或气相氧化后进入降水中的 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量不会成比例减少有关。因此,硫、氮的湿沉降是受多方面因素共同影响。

(3)降水中硝酸根浓度与机动车保有量呈现相同变化趋势,反映出机动车尾气排放的 NO_x 与降水中硝酸根浓度增长密切相关。

参考文献:

- [1] HJ/T 165-2004, 酸沉降监测技术规范[S].
- [2] 巴金, 汤洁, 王淑凤, 等. 重庆地区近10年酸雨时空分布和季节变化特征分析[J]. 气象, 2008, 34(9): 81-88.
- [3] 赵艳霞, 侯青, 徐晓斌, 等. 2005年中国酸雨时空分布特征[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(5): 242-245.
- [4] 叶小峰, 王自发, 安俊岭, 等. 东亚地区降水离子成分时空分布及其特征分析[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(1): 115-123.
- [5] 汤洁, 徐晓斌, 巴金, 等. 1992-2006年中国降水酸度的变化趋势[J]. 科学通报, 2010, 55(8): 705-712.
- [6] 丁国安, 徐晓斌, 王淑凤, 等. 中国气象局酸雨网基本资料数据集及初步分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15(增刊): 85-94.
- [7] 王文兴, 徐鹏举. 中国大气降水化学研究进展[J]. 化学进展, 2009, 21(2-3): 266-281.
- [8] Kulshrestha U C, Monika J, Kulshrestha R S, et al. Chemical characteristics of rainwater at an urban site of south-central India [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(21): 3019-3026.
- [9] 丁国安, 郑向东, 马建中, 等. 近30年大气化学和大气环境研究回顾——纪念中国气象科学研究院成立50周年[J]. 应用气象学报, 2006, 17(6): 796-814.
- [10] 徐敬, 张小玲, 徐晓斌, 等. 上甸子本底站湿沉降化学成分变化与来源解析[J]. 环境科学学报, 2005, 28(5): 1001-1006.
- [11] Zimmermann F, Lux H, Maenhaut W, et al. A review of air pollution and atmospheric deposition dynamics in southern Saxony, Germany, Central Europe [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(5): 671-691.
- [12] Chate D M, Rao P S P, Naik M S, et al. Scavenging of aerosols and their chemical species by rain [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(18): 2477-2484.
- [13] Dore A J, Vieno M, Tang Y S, et al. Modelling the atmospheric transport and deposition of sulphur and nitrogen over the United Kingdom and assessment of the influence of SO_2 emissions from international shipping[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(11): 2355-2367.
- [14] Chang K H, Jeng F T, Tsai Y L, et al. Modeling of long-range transport on Taiwan's acid deposition under different weather conditions [J]. Atmospheric Environment, 2000, 34(20): 3281-3295.
- [15] 王自发, 谢付莹, 王喜全, 等. 嵌套网格空气质量预报模式系统的发展与应用[J]. 大气科学, 2006, 30(5): 778-790.
- [16] Wang Z F, Akimoto H, Uno I. Neutralization of soil aerosol and its impact on the distribution of acid rain over East Asia: observations and model results [J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107(D19): 4389-4401.
- [17] 杨复沫, 贺克斌, 雷宇, 等. 2001~2003年间北京大气降水的化学特征[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 538-541.
- [18] 胡敏, 张静, 吴志军. 北京降水化学组成特征及其对大气颗粒物的去除作用[J]. 中国科学B辑: 化学, 2005, 35(2): 169-176.
- [19] 金蕾, 徐谦, 林安国, 等. 北京市近二十年(1987~2004)湿沉降特征变化趋势分析[J]. 环境科学学报, 2006, 26(7): 1195-1202.
- [20] 李令军, 王英, 徐谦, 等. 奥运期间北京大气降水酸化趋势及湿沉降来源探讨[J]. 环境科学学报, 2009, 29(10): 2017-2024.

- [21] 汤洁, 徐晓斌, 巴金, 等. 近年来京津地区酸雨形势变化的特点分析——气溶胶影响的探讨[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, **24**(5): 667-673.
- [22] 蒲维维, 张小玲, 徐敬, 等. 北京地区酸雨特征及影响因素[J]. 应用气象学报, 2010, **21**(4): 464-472.
- [23] 赵艳霞, 侯青. 1993-2006 年中国区域酸雨变化特征及成因分析[J]. 气象学报, 2008, **66**(6): 1032-1042.
- [24] 张新民, 柴发合, 王淑兰, 等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(5): 527-532.
- [25] GB 13580.2-92, 大气降水样品的采集与保存[S].
- [26] Rothert J, Harlin K, Douglas K. NADP CAL QA Plan2002-01 [EB/OL]. <http://nadp.sws.uiuc.edu/lib/qaplans/qapCal2002>.
- [27] HJ/T 193-2005, 环境空气质量自动监测技术规范[S].
- [28] 国家能源统计司. 中国能源统计年鉴[R]. 国家统计局. 2009.
- [29] 胡婧. 奥运期间北京地区大气环境质量保障成因诊断分析[D]. 北京: 北京工业大学, 2009. 2-3.
- [30] 汪凯庆. 辽宁省降水化学时空特征及影响降水酸碱性的气团来源分类[D]. 济南: 山东师范大学, 2011. 7-8.
- [31] 苏福庆, 任阵海, 高庆先, 等. 北京及华北平原边界层大气中污染物的汇聚系统——边界层输送汇[J]. 环境科学研究, 2004, **17**(1): 21-25, 33.
- [32] 晏平仲, 王喜全, 王自发, 等. 北京奥运会期间 NO₂ 浓度降低原因分析[J]. 气候与环境研究, 2010, **15**(5): 609-615.
- [33] 苏航, 王自发, 朱彬, 等. 北京奥运会前后静稳天气条件下 SO₂ 和 NO₂ 干沉降模拟[J]. 气候与环境研究, 2010, **15**(5): 636-642.

CONTENTS

Advances in Peroxide-Based Decontaminating Technologies	XI Hai-ling, ZHAO San-ping, ZHOU Wen (1645)
Environmental Damage Assessment; International Regulations and Revelation to China	ZHANG Hong-zhen, CAO Dong, YU Fang, <i>et al.</i> (1653)
Human Health Risk-Based Environmental Criteria for Soil: A Comparative Study Between Countries and Implication for China	XU Meng, YAN Zeng-guang, HE Meng-meng, <i>et al.</i> (1667)
Organic Waste Treatment by Earthworm Vermicomposting and Larvae Bioconversion: Review and Perspective	ZHANG Zhi-jian, LIU Meng, ZHU Jun (1679)
Strategies of Nutrients Control in Lakes Based on Ecoregions of Lakes in China	DIAO Xiao-jun, XI Bei-dou, HE Lian-sheng, <i>et al.</i> (1687)
Current Status of Surface Water Acidification in Northeast China	XU Guang-yi, KANG Rong-hua, LUO Yao, <i>et al.</i> (1695)
Impact Analysis of Xi'an to the Water Quality of Weihe River	YU Jie, LI Huai-en (1700)
Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Its Affecting Factors in the Pearl River Estuary During the Summer of the Extremely Drought Hydrological Year 2011	YE Feng, HUANG Xiao-ping, SHI Zhen, <i>et al.</i> (1707)
Application of Equilibrium Partitioning Approach to Establish Sediment Quality Criteria for Heavy Metals in Hengyang Section of Xiangjiang River	HAN Chao-nan, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (1715)
Assessing the Benthic Ecological Status in Yangtze River Estuary Using AMBI and M-AMBI	CAI Wen-qian, MENG Wei, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (1725)
Pollution Load and the First Flush Effect of BOD ₅ and COD in Urban Runoff of Wenzhou City	WANG Jun, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1735)
Influencing Factors in Measuring Absorption Coefficient of Suspended Particulate Matters	YU Xiao-long, SHEN Fang, ZHANG Jin-fang (1745)
Relationship Between pCO ₂ and Algal Biomass in Xiangxi Bay in Spring	YUAN Xi-gong, HUANG Wen-min, BI Yong-hong, <i>et al.</i> (1754)
Effects of Turbulent Fluctuation Intensity on the Growth of Algae and Water Environment	LEI Yu, LONG Tian-yu, SAN Lei, <i>et al.</i> (1761)
Simultaneous Removal of Algae and Its Odorous Metabolite Dimethyl Trisulfide in Water by Potassium Ferrate	MA Xiao-yan, ZHANG Ze-hua, WANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1767)
Catalyzed Oxidation of Catechol by the Heterogeneous Fenton-like Reaction of Nano-Fe ₃ O ₄ -H ₂ O ₂ System	HE Jie, YANG Xiao-fang, ZHANG Wei-jun, <i>et al.</i> (1773)
Photodegradation of Naproxen in Aqueous Systems by UV Irradiation: Mechanism and Toxicity of Photolysis Products	MA Du-juan, LIU Guo-guang, LÜ Wen-ying, <i>et al.</i> (1782)
Catalytic Ozonation of Nitrobenzene in Water by Acidification-activated Red Mud	KANG Ya-ning, LI Hua-nan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1790)
Experimental Studies on Stability of Floes from Cadmium Pollution Emergency Treatment	LIU Wang-rong, GUO Qing-wei, YANG Ren-bin, <i>et al.</i> (1797)
Evaluation of Floc Strength Based on Morphological Analysis and Optical Online Monitoring	JIN Peng-kang, FENG Yong-ning, WANG Bao-bao, <i>et al.</i> (1802)
Mechanism of Reductive Dechlorination of Trichlorophenol with Different Electron Donors	WAN Jin-quan, HU Meng-die, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (1808)
Preparation of Magnetic Quaternary Chitosan Salt and Its Adsorption of Methyl Orange from Water	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, YING Shi-ying, <i>et al.</i> (1815)
Membrane Fouling by Secondary Effluent of Urban Sewage and the Membrane Properties	MENG Xiao-rong, ZHANG Hai-zhen, WANG Lei, <i>et al.</i> (1822)
Treatment of Municipal Wastewater Using the Combined Reversed A ² /O-MBR Process	ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, YANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1828)
Study on Sulfur-based Autotrophic Denitrification with Different Electron Donors	YUAN Ying, ZHOU Wei-li, WANG Hui, <i>et al.</i> (1835)
Nitrogen Removal and N ₂ O Emission Characteristics During the Shortcut Simultaneous Nitrification and Denitrification Process	LIANG Xiao-ling, LI Ping, WU Jin-hua, <i>et al.</i> (1845)
Optimization of Solid-Phase Extraction for Enrichment of Toxic Organic Compounds in Water Samples	ZHANG Ming-quan, LI Feng-min, WU Qian-yuan, <i>et al.</i> (1851)
Polycyclic Musks Exposure Affects Gene Expression of Specific Proteins in Earthworm <i>Eisenia fetida</i>	CHEN Chun, LIU Xiao-wei, ZHENG Shun-an, <i>et al.</i> (1857)
Health Risk Assessment and Ozone Formation Potentials of Volatile Organic Compounds from Pharmaceutical Industry in Zhejiang Province	XU Zhi-rong, WANG Zhe-ming, XU Ming-zhu, <i>et al.</i> (1864)
Health Effect of Volatile Aldehyde Compounds in Photocatalytic Oxidation of Aromatics Compounds	ZHAO Wei-rong, LIAO Qiu-wen, YANG Ya-nan, <i>et al.</i> (1871)
Compositions and Distribution Characteristics of Polybrominated Diphenyl Ethers in Serum of Women from Sichuan Province	SHAO Min, CHEN Yong-heng, LI Xiao-yu (1877)
QSAR/QSPR for Predicting the Toxicity of Imidazolium Ionic Liquids	ZHAO Ji-hong, ZHAO Yong-sheng, ZHANG Hong-zhong, <i>et al.</i> (1882)
Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Metal Concentration of Surface Soil in Hebin Industrial Park in Shizuishan Northwest China	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning, <i>et al.</i> (1887)
Distribution Characteristic and Current Situation of Soil Rare Earth Contamination in the Bayan Obo Mining Area and Baotou Tailing Reservoir in Inner Mongolia	GUO Wei, FU Rui-ying, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1895)
Road Dust Loading and Chemical Composition at Major Cities in Fujian Province	ZHENG An, YANG Bing-yu, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1901)
Numerical Simulation and Application of Electrical Resistivity Survey in Heavy Metal Contaminated Sites	WANG Yu-ling, NAI Chang-xin, WANG Yan-wen, <i>et al.</i> (1908)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Rare Earth Elements Uptake of Soybean Grown in Rare Earth Mine Tailings	GUO Wei, ZHAO Ren-xin, ZHAO Wen-jing, <i>et al.</i> (1915)
Algicidal Activity Against Red-tide Algae by Marine Bacterial Strain N3 Isolated from a HABs Area, Southern China	SHI Rong-jun, HUANG Hong-hui, QI Zhan-hui, <i>et al.</i> (1922)
Isolation, Identification and Oxidizing Characterization of an Iron-Sulfur Oxidizing Bacterium LY01 from Acid Mine Drainage	LIU Yu-jiao, YANG Xin-ping, WANG Shi-mei, <i>et al.</i> (1930)
Isolation of an Effective Benzo[a]pyrene Degrading Strain and Its Degradation Characteristics	CAI Han, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1937)
Aerobic Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether	ZHANG Shu, Franco Giulio, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (1945)
Piggery Wastewater Cultivating Biofloculant-Producing Flora B-737 and the Fermentation Characteristics	PEI Rui-lin, XIN Xin, ZHANG Xue-qiao, <i>et al.</i> (1951)
Correlation Between Acidic Materials and Acid Deposition in Beijing During 1997-2011	CHEN Yuan-yuan, TIAN He-zhong, YANG Dong-yan, <i>et al.</i> (1958)
Characteristics of Precipitation pH and Conductivity at Mt. Huang	SHI Chun-e, DENG Xue-liang, WU Bi-wen, <i>et al.</i> (1964)
Chemical Characteristics of Water-Soluble Components of Aerosol Particles at Different Altitudes of the Mount Huang in the Summer	WEN Bin, YIN Yan, QING Yan-shuo, <i>et al.</i> (1973)
Pollution Characteristics of Organic Acids in Atmospheric Particles During Haze Periods in Autumn in Guangzhou	TAN Ji-hua, ZHAO Jing-ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (1982)
Characterization of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM _{2.5} During the Winter in Three Major Cities in Fujian Province, China	CHEN Yan-ting, CHEN Jin-sheng, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1988)
Size Distribution of Carbonaceous Particulate Matter in Atmosphere of Shanghai, China	YUAN Ning, LIU Wei, ZHAO Xiu-liang, <i>et al.</i> (1995)
Secondary Aerosol Formation Through Photochemical Reactions Estimated by Using Air Quality Monitoring Data in the Downtown of Pudong, Shanghai	CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, DUAN Yu-sen, <i>et al.</i> (2003)
Geochemical Characteristics and Sources of Atmospheric Particulates in Shanghai During Dust Storm Event	QIAN Peng, ZHENG Xiang-min, ZHOU Li-min (2010)
Near Surface Atmospheric CO ₂ Variations in Autumn at Suburban Xiamen, China	LI Yan-li, MU Chao, DENG Jun-jun, <i>et al.</i> (2018)
<i>In-situ</i> Measurement of Background Atmospheric HCFC-142b Using GC-MS and GC-ECD Method	GUO Li-feng, YAO Bo, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (2025)
Airborne Fungal Community Composition in Indoor Environments in Beijing	FANG Zhi-guo, OUYANG Zhi-yun, LIU Peng, <i>et al.</i> (2031)
Study on Quantification Assessment and Odor Fingerprint of Volatile Aromatic Hydrocarbons from Sewage Treatment Plant	GUO Wei, WANG Bo-guang, TANG Xiao-dong, <i>et al.</i> (2038)
Superposition Impact Character of Air Pollution from Decentralization Docks in a Freshwater Port	LIU Jian-chang, LI Xing-hua, XU Hong-lei, <i>et al.</i> (2044)
Thermal Stability and Transformation Behaviors of Pb in Yima Coal	LIU Rui-qing, WANG Jun-wei (2051)
Synergistic Emission Reduction of Chief Air Pollutants and Greenhouse Gases Based on Scenario Simulations of Energy Consumptions in Beijing	XIE Yuan-bo, LI Wei (2057)

《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5月15日 34卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 5 May 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