

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第2期

Vol.33 No.2

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

基于人体健康风险的水污染事件污染物安全阈值研究	郑丙辉, 罗锦洪, 付青, 秦延文, 胡林林 (337)
基于人体健康风险的水污染事件遗传性致癌物安全浓度研究	罗锦洪, 郑丙辉, 付青, 黄民生 (342)
湿地水环境健康评价方法及案例分析	李玉凤, 刘红玉, 郝敬峰, 郑因, 曹晓 (346)
北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价	单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 张洪 (352)
漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别	徐华山, 徐宗学, 唐芳芳, 于伟东, 程燕平 (359)
黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用	安乐生, 赵全升, 叶思源, 刘贯群, 丁喜桂 (370)
沉积物扰动持续时间对悬浮物中磷形态数量分布的影响	李大鹏, 黄勇, 李勇, 潘杨 (379)
沉水植物生长期对沉积物和上覆水之间磷迁移的影响	王立志, 王国祥, 俞振飞, 周贝贝, 陈秋敏, 李振国 (385)
长寿湖表层沉积物氮磷和有机质污染特征及评价	卢少勇, 许梦爽, 金相灿, 黄国忠, 胡文 (393)
洪泽湖沉积物中营养盐和重金属的垂向分布特征研究	张文斌, 余辉 (399)
降雨对农家堆肥氮磷流失的影响及其面源污染风险分析	彭莉, 王莉玮, 杨志敏, 陈玉成, 乔俊婧, 赵中金 (407)
浅水湖泊水动力过程对藻型湖区水体生物光学特性的影响	刘笑菡, 冯龙庆, 张运林, 赵林林, 朱梦圆, 时志强, 殷燕, 丁艳青 (412)
基于半分析模型的太湖春季水体衰减系数 K_d (490) 估算及其遥感反演	刘忠华, 李云梅, 李瑞云, 吕恒, 檀静, 郭宇龙 (421)
基于 QAA 算法的巢湖悬浮物浓度反演研究	张红, 黄家柱, 李云梅, 徐伟凡, 刘忠华, 徐昕 (429)
好氧/厌氧潜流湿地结构工艺优化	李锋民, 单时, 李媛媛, 李扬, 王震宇 (436)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻活性氧自由基的影响	别聪聪, 李锋民, 李媛媛, 王震宇 (442)
Rac-及 S-异丙甲草胺对 2 种微藻毒性特征影响研究	蔡卫丹, 刘惠君, 方治国 (448)
羟基自由基致死船舶压载水海洋有害生物研究	白敏冬, 张拿慧, 张芝涛, 陈操, 孟祥盈 (454)
天然菱铁矿改性及强化除砷研究	赵凯, 郭华明, 李媛, 任燕 (459)
零价铁降解 4-氯硝基苯动力学研究	廖娣劫, 杨琦, 李俊鎔 (469)
水体中氧氟沙星的光化学降解研究	邵萌, 杨桂朋, 张洪海 (476)
阿替洛尔在硝酸根溶液中的光降解研究	季跃飞, 曾超, 孟翠, 杨曦, 高士祥 (481)
吡啶在紫外光辐射下的生物降解	方苗苗, 阎宁, 张永明 (488)
蜜环菌漆酶对蒽醌类染料的脱色条件优化	朱显峰, 秦仁炳, 余晨晨, 范书军 (495)
ϵ -聚赖氨酸生产废菌体对六价铬吸附影响的研究	曹玉娟, 张杨, 夏军, 徐虹, 冯小海 (499)
丝状菌污泥致密过程的强化条件研究	李志华, 孙玮, 姬晓琴, 王晓昌 (505)
亚硝化颗粒污泥对温度变化的响应特性研究	罗远玲, 杨朝晖, 徐峥勇, 周玲君, 黄兢, 肖勇, 曾光明, 汪理科 (511)
我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究	李东玲, 吴烨, 周昱, 杜让, 傅立新 (518)
北京市 PM_{10} 自动监测网络优化研究	齐玲, 赵越, 谢绍东 (525)
道路绿化带对街道峡谷内污染物扩散的影响研究	徐伟嘉, 幸鸿, 余志 (532)
Fe^{II} (EDTA) 络合协同 RDB 去除 NO 废气效能及过程分析	陈浚, 杨宣, 於建明, 蒋轶锋, 陈建孟 (539)
UV-B 辐射对亚热带森林凋落叶氮、磷元素释放的影响	宋新章, 张慧玲, 江洪, 余树全 (545)
干热河谷林地燥红土固碳特征及“新固定”碳表观稳定性	唐国勇, 李昆, 孙永玉, 张春华 (551)
九龙江河口表层水体及沉积物中甲烷的分布和环境控制因素研究	郭莹莹, 陈坚, 尹希杰, 孙治雷, 邵长伟 (558)
秋季黄河口滨岸潮滩湿地系统 CH_4 通量特征及影响因素研究	姜欢欢, 孙志高, 王玲玲, 牟晓杰, 孙万龙, 宋红丽, 孙文广 (565)
我国典型非木浆造纸二噁英排放研究	王志芳, 丁琼, 王开祥, 吴昌敏, 曲云欢, 赵晓冬 (574)
典型电器工业区河涌沉积物中的多溴联苯醚空间和垂直分布	邱孟德, 邓代永, 余乐洹, 孙国萍, 麦碧娴, 许玫英 (580)
电子废物拆解区农业土壤中多氯联苯的污染特征	王学彤, 李元成, 张媛, 缪绎, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (587)
北京科教园区绿地土壤中多环芳烃的残留特征与潜在风险	彭驰, 王美娥, 欧阳志云, 焦文涛, 陈卫平 (592)
上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价	柳云龙, 章立佳, 韩晓非, 庄腾飞, 施振香, 卢小遮 (599)
海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价	尚林源, 孙然好, 王赵明, 汲玉河, 陈利顶 (606)
三峡库区消落带不同水位高程土壤重金属含量及污染评价	王业春, 雷波, 杨三明, 张晟 (612)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中细菌群落结构分析	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝健, 蔡明山, 许燕滨, 占星星 (618)
大庆聚驱后油藏内源微生物群落结构解析与分布特征研究	赵玲侠, 高配科, 曹美娜, 高梦黎, 李国强, 朱旭东, 马挺 (625)
不同碳源刺激对老化污染土壤中 PAHs 降解研究	尹春芹, 蒋新, 王芳, 王聪颖 (633)
应用电致化学发光分子探针技术对微小原甲藻的检测	朱霞, 甄毓, 米铁柱, 于志刚, 池振明, 路兴岚 (640)
软骨藻酸直接竞争 ELISA 方法的建立及优化	王茜, 程金平, 高利利, 董宇, 席磊 (647)
固相萃取-高效液相色谱法同时测定水体中的 10 种磺胺类抗生素	洪蕾洁, 石璐, 张亚雷, 周雪飞, 朱洪光, 林双双 (652)
五氯酚对 HeLa 细胞毒性及 DNA 损伤的研究	金帮明, 王辅明, 熊力, 张晓峰, 刘堰 (658)
建筑陶瓷碳计量与优化模型研究	彭军霞, 赵宇波, 焦丽华, 曾路, 郑为民 (665)
《环境科学》征订启事 (447) 《环境科学》征稿简则 (475) 信息 (524, 586, 605, 624)	

北京市 PM₁₀ 自动监测网络优化研究

齐玲¹, 赵越², 谢绍东^{1*}

(1. 北京大学环境科学与工程学院, 环境模拟与污染控制国家联合重点实验室, 北京 100871; 2. 北京市环境保护监测中心, 北京 100044)

摘要: 以北京市 26 个 PM₁₀ 监测站点 2007-07-01 ~ 2008-06-30 的监测数据为基础, 应用正矩阵因子分析法将这些监测站点划分区域, 使得每个区域具有独特的季节变化特征, 并依据各类区域的去除偏差识别冗余信息站点, 优化监测网络。结果表明, 北京市 PM₁₀ 监测网络包括 10 个具有独特季节变化特征的区域。通州、延庆、密云水库、房山良乡和平谷世纪广场为 5 个独立区域; 丰台花园、丰台云岗、门头沟滨湖广场、海淀北部新区和石景山古城 5 个西部站点为一个区域; 东城东四、东城天坛、西城官园、西城万寿西宫、朝阳奥体中心、朝阳农展馆和顺义站点构成一个区域; 南部站点大兴亦庄开发区、大兴黄村和大兴榆堡为一个区域; 密云奥林匹克广场和怀柔站点为一个区域; 西北部站点海淀香山、昌平定陵、海淀万柳和昌平镇站归为一个区域。每个区域 PM₁₀ 在 2007 ~ 2008 年具有独特的季节变化特征, PM₁₀ 浓度由北向南逐渐升高。根据去除标准, 设置 2 种 PM₁₀ 监测网络优化方案。方案 1 以监测网络不确定度为去除标准, 12 ~ 18 个站点即可完全代表 26 个站点的监测信息; 方案 2 以 2 倍不确定度为去除标准, 各典型月份需要保留的站点数目为 10 ~ 13 个。

关键词: PM₁₀; 监测网络; 优化; 正矩阵因子分析; 去除偏差

中图分类号: X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2012)02-0525-07

Optimization of PM₁₀ Monitoring Network in Beijing

QI Ling¹, ZHAO Yue², XIE Shao-dong¹

(1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100044, China)

Abstract: PM₁₀ monitoring network in Beijing was classified using a new technique, positive matrix factorization (PMF). And then the removal bias of each cluster was calculated by GIS system and sites with redundant information were identified. The daily average mass concentrations of PM₁₀ from July 2007 to June 2008 were analyzed at 26 sites. The result showed that PM₁₀ monitoring network of Beijing was separated into 10 clusters. Tongzhou, Yanqing, Miyunshuiku, Fangshan, and Pinggu formed five separate clusters. The five clusters with more than one site each were Cluster 4, which included sites Fengtaihuayuan, Fengtaiyungang, Mentougou, Haidianbeibuxinqu, and Shijingshan, located within the west developing urban area; Cluster 7, which included Dongchengdongsi, Dongchengtiantan, Xichengwanshouxigong, Xichengguanyuan, Chaoyanggaotizhongxin, Chaoyangnongzhanguan, and Shunyi, located mainly within the developed area and the east developing area; Cluster 8, which included Daxingyizhuang, Daxinghuangcun, and Daxingyufa, located within the southern suburban industrial area; Cluster 9, which included Miyunzhen and Huairou, located within the north remote rural area; and Cluster 10, which included Haidianxiangshan, Changpingdingling, Haidianwanliu, and Changpingzhen, located within the northwest suburban area. All the 10 clusters had unique seasonal variations. According to the removal criteria, two scenarios were constructed. The criterion of scenario 1 was the uncertainty of the PM₁₀ monitoring network, and the optimization result in which 12-18 sites should be retained was equal to the original monitoring network included 26 sites. The criterion of scenario 2 was two times of the uncertainty, and 10-13 sites needed to be retained.

Key words: PM₁₀; monitoring network management; optimization; positive matrix factorization; removal bias

随着城市化和工业化的快速发展, 我国的城市区域和功能区亦发生了很大变化, 大气污染也由局部向区域性污染发展。因此, 传统的环境空气监测布点优化方法设置的空气质量自动监测站点已不能满足我国目前城市与区域大气污染控制的需求。

传统的监测网络优化研究集中在对监测站点的分类, 如主成分分析^[1~3]、聚类分析^[4~6]、人工神经网络^[7~9]、相关性分析^[10~12]、物元法^[13,14]、多目标优化法^[15,16]等方法, 以及以空气质量模式模拟结果

为基础的多污染物优化方法^[17~19], 它们已在国内外得到广泛应用。2004 年 Rizzo 等^[20]尝试将正矩阵因子分析法 (positive matrix factorization, PMF) 应用于美国东北部臭氧监测网络的分类和优化。与传统的统计分类方法相比, PMF 将监测网络的不确定度作

收稿日期: 2011-03-23; 修订日期: 2011-05-03

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(2007090001)

作者简介: 齐玲(1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为城市与区域污染控制, E-mail: qiling0420@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: sdxie@pku.edu.cn

为重要的输入数据之一,使得分类结果更加可靠.此外,PMF 的算法使得解析结果均为正值,具有明确的物理意义.不仅能够解析出监测网络的分类,而且能够提取出各类站点污染物浓度变化的独特特征.

然而,相对于对监测站点的分类方法来说,国内外识别冗余信息站点的研究却较少报道.文献[21]提出了优化筛选监测站点的方法,包括结合站点测量参数、污染物达标情况、人口数及其变化的空间分析方法适合模型(suitability modeling)筛选法、去除偏差法等,并应用于监测站点的筛选^[22,23].北京市环境空气质量自动监测网络自 20 世纪 80 年代建立以来,目前已有 27 个自动监测子站.但随着监测子站的增多,日常监测费用也不断增加,识别并合理删除或者迁移冗余信息站点已迫在眉睫.

本研究选择 PMF 方法解析北京市 PM₁₀ 监测站点,并模拟每类站点污染物浓度的季节变化特征,同时应用去除偏差法识别冗余信息站点,提出了相应的优化方案,以期北京市以及其他城市的空气质量监测网络优化提供参考.

1 材料与方法

1.1 数据

数据来源于北京市 26 个自动监测站点 2007-07-01 ~ 2008-06-30 的 PM₁₀ 日均浓度,各站点位置如图 1 所示.图 1 中站点编号为:海淀香山站(1),丰台花园站(2),丰台云岗站(3),门头沟滨湖广场站(4),房山良乡站(5),亦庄开发区站(6),通州运河广场站(7),大兴黄村镇站(8),大兴榆垓站(9),平谷世纪广场站(10),密云奥林匹克广场站(11),密云水库站(12),延庆夏都公园站(13),海淀北部新区站(14),昌平定陵站(15),东城东四站(16),西城官园站(17),东城天坛站(18),西城万寿西宫站(19),朝阳奥体中心站(20),朝阳农展馆站(21),海淀万柳站(22),石景山古城站(23),昌平镇站(24),顺义站(25),怀柔站(26).

1.2 正矩阵因子分析法(PMF)

正矩阵因子分析法的二维模型 PMF2 的数学原理^[24]如下:

$$X = GF + E \quad (1)$$

式中, X 是一个 $n \times m$ 矩阵,代表 m 个监测站点 n 天监测数据,是正矩阵因子分析模式主要的输入数据; G 和 F 是正矩阵因子分析模式主要的输出结果, G 是一个 $n \times p$ 矩阵; F 是一个 $p \times m$ 矩阵, G 的列和对应的 F 的行表征一个因子的特性, p 即为需要解

析确定的因子数.本研究设置 F 矩阵每列最大值为 1,其中每个因子负荷量的物理意义表示每个监测站点某类因子的贡献,贡献最大的几个站点归分为一类; G 矩阵表示每个因子中站点污染物浓度季节变化的共同规律; E 是一个 $n \times m$ 矩阵,代表解析残差.

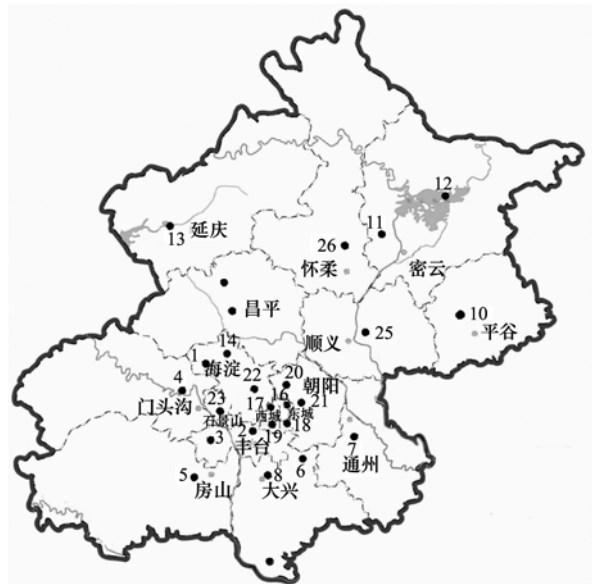


图 1 北京市 PM₁₀ 监测站点分布示意

Fig. 1 Distribution of PM₁₀ monitoring sites in Beijing

为解析出 G 和 F ,正矩阵因子分析的过程要求 Q 趋于最小,使用最小二乘法计算^[25]:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{e_{ij}^2}{s_{ij}^2} \quad (2)$$

式中, e_{ij} 表征监测站点 j 在时间 i 时观测值的残差; s_{ij} 表示监测站点 j 在时间 i 时观测值的不确定度.其中, s_{ij} 设置为:

$$s_{ij} = k \cdot x_{ij} + DL \quad (3)$$

式中, k 为监测网络的不确定度, x_{ij} 是污染物 PM₁₀ 的日均质量浓度,DL 是污染物的检测限. PM₁₀ 监测网络的不确定度假设为 10%. 缺失数据的 s_{ij} 值加倍.

如前所述, p 值是矩阵 G 的列数和矩阵 F 的行数,代表解析出来的因子数,即分类个数,是需要确定的最重要的参数.最常用的方法是选择使得 Q 值约等于经验 Q 值(约为 $n \times m$)^[26]时的因子数 p ,这时,计算的残差与输入的不确定度相近^[27].

1.3 去除偏差法

应用 PMF 初步分区北京市 PM₁₀ 监测网络后,应用去除偏差法评估各区域中各个站点的重要性并识别冗余信息站点.对于只包含一个监测站点的区域,

该站点具有表征污染物在特定区域浓度水平和季节变化特征的作用,需要保留,不进行去除偏差分析.本研究只对监测网络中包含多个监测站点的区域进行去除偏差分析.去除偏差越大,表明站点的插值重要性越大;反之,去除偏差越小,表明站点存在冗余信息,可以作为去除备选点.

去除偏差的使用方法如下:26个站点 PM₁₀ 监测浓度在北京市域范围内用反距离加权平均法(IDW)插值;分别去除各区域站点,对余下区域站点的监测浓度进行插值;每个区域两次插值之差即为区域内各站点的去除偏差;根据去除标准取舍各区域内站点得到去除方案;去除所有区域中的可去除站点再次插值确定方案的去除偏差;根据去除标准增添或删除部分站点并确定最终站点去除方案.

PM₁₀监测系统不确定度作为各区域和各方案取舍站点的标准.根据对误差的容忍度设置两种选择方案.方案1中,每个区域保留偏差大于系统不确定度的站点,去除偏差小于系统不确定度的站点,该方案与原监测网络在不确定度范围内表达同样的信息;方案2中,去除偏差 < 2 倍系统不确定度的站点,保留偏差 > 2 倍系统不确定度的站点.方案2与原监测网络的偏差约为 1 倍的系统不确定度.由于北京市具有明显的季节变化特征,PM₁₀ 浓度水平和空间分布特征在不同季节有所不同.因此,选择具有季节代表性的 1 月、4 月、7 月、10 月和浓度峰值月份 5 月和 12 月分别进行去除偏差分析.

2 结果与讨论

2.1 PMF 分类结果

图 2 显示 PMF 解析出的 F 矩阵,26 个 PM₁₀ 监测站点共反映出 10 个相对独立的区域.图 3 显示解析出的各区域 G 矩阵对应结果及该区域中站点实测浓度变化特征.表 1 总结了各个区域的最值、均值以及 PM₁₀ 日均浓度 2007 ~ 2008 年的达标率.根据图 2、图 3 和表 1 的结果可以识别出下述信息.

区域 4、7、8、9 和 10 中均包含多个站点,分别位于北京市的西部、城区、南部、北部远郊区以及西北部郊区.区域 7 站点(包括东城东四、西城官园、东城天坛、西城万寿西宫、朝阳奥体中心、朝阳农展馆和顺义)在 2007 ~ 2008 年内 PM₁₀ 浓度变化特征为:12 月下半月的浓度峰值低于 5 月下半月,分别约为 0.265 mg·m⁻³ 和 0.300 mg·m⁻³,2 月上半月出现浓度低谷,约为 0.070 mg·m⁻³,3 月上半月浓度升高到 0.160 mg·m⁻³,并保持到 5 月上半月,7 ~ 11 月

PM₁₀ 浓度值在 0.100 ~ 0.165 mg·m⁻³ 之间波动.区域 4(包括丰台花园、丰台云岗、门头沟滨湖广场、海淀北部新区和石景山古城)、区域 8(包括大兴亦庄开发区、大兴黄村和大兴榆堡)、区域 9(包括密云奥林匹克广场和怀柔)和区域 10(包括海淀香山、昌平定陵、海淀万柳和昌平镇)与区域 7 站点浓度变化轮廓相似,各区域独特特征为:区域 4 中站点浓度在 10 月下半月到 12 月上半月之间高于区域 7 站点;区域 8 站点 12 月下半月的浓度值 0.300 mg·m⁻³ 高于区域 7,5 月下半月的浓度 0.250 mg·m⁻³ 低于区域 7;区域 9 站点 PM₁₀ 浓度值在这 5 类站点中最低;区域 10 站点的 PM₁₀ 浓度值仅高于区域 9.

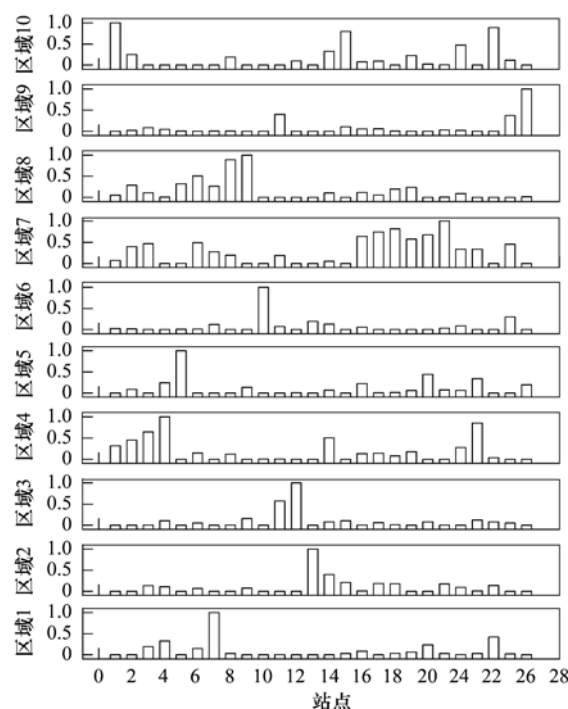


图 2 北京市 PM₁₀ 监测站点 PMF 分区结果

Fig. 2 PM₁₀ monitoring network classification using PMF

区域 1、区域 2、区域 3、区域 5 和区域 6 中均只包含一个站点,分别为通州运河广场站、延庆夏都公园站、密云水库站、房山良乡站和平谷世纪广场站.均为郊区站点,分别位于北京市东南部、西北部、北部远郊、南部和东部.各区域 PM₁₀ 浓度均有独特的变化特征.区域 1 站点 PM₁₀ 浓度在 12 月下半月和 5 月下半月的峰值浓度分别为 0.234 mg·m⁻³ 和 0.279 mg·m⁻³.与其他区域站点不同的是,该类站点 11 月上半月也出现了一个较高的峰值,约为 0.221 mg·m⁻³;区域 2 PM₁₀ 浓度水平及其变化规律与区域 10 西北部站点相似,12 月下半月的浓度峰值低于 5 月下半月的峰值,分别为 0.174 mg·m⁻³ 和

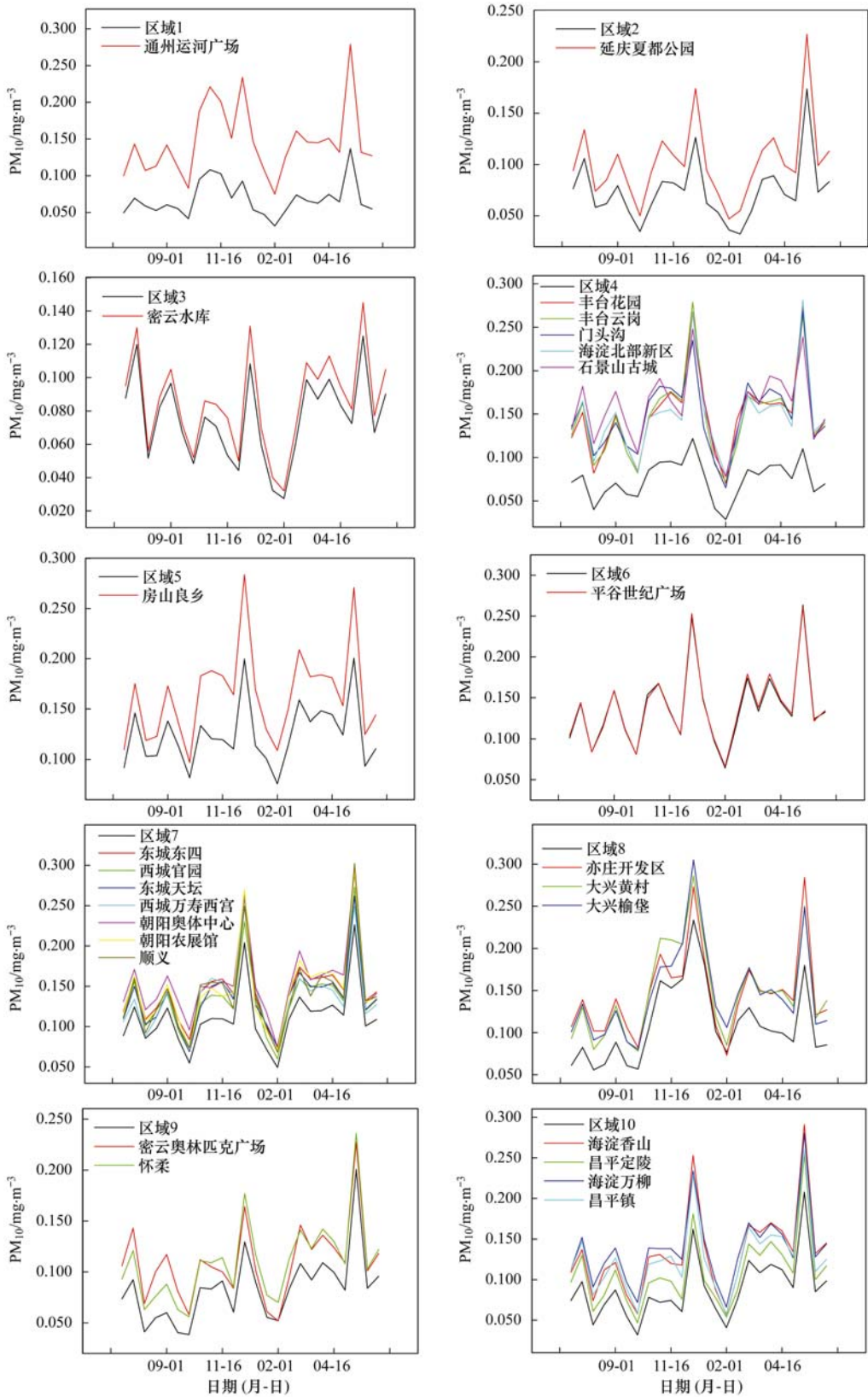


图3 各区域 PM_{10} 月均浓度变化

Fig. 3 PM_{10} seasonal variation of each cluster

0. 227 $mg \cdot m^{-3}$. 不同的是 2 ~ 5 月期间, 区域 2 站点的 PM_{10} 浓度逐渐升高, 最高值约为 0. 126 $mg \cdot m^{-3}$,

而区域 10 的西北部站点在这期间的浓度水平在 0. 160 $mg \cdot m^{-3}$ 左右; 区域 3 是北京市 2007 ~ 2008

年均值达标的唯一站点,是北京市 PM₁₀的背景浓度站,该区域全年 PM₁₀浓度半月均值在 0.040~0.145 mg·m⁻³之间,12 月和 5 月浓度峰值分别为 0.131 mg·m⁻³和 0.145 mg·m⁻³;区域 5 站点的 PM₁₀浓度变化趋势与区域 7 站点相似,12 月和 5 月的峰值浓度为 0.284 mg·m⁻³和 0.271 mg·m⁻³.但在其他相对低值月份,此类站点浓度高于区域 7 站点.区域 6 站点 PM₁₀浓度在 12 月上半月浓度明显下降至 0.100 mg·m⁻³,而其他类似站点并无此趋势.

由上述可见,城区站点及快速发展的邻近地区顺义站点归为一类,丰台、门头沟、石景山等西部站点归为一类,海淀、昌平等西北部站点归为一类,密云、怀柔北部远郊站点归为一类,大兴的 3 个站点归为一类,位于北京市南部.通州、密云水库、延庆、平谷和房山良乡几个站点独立成类,PM₁₀浓度变化趋

势与其他各类别差别较大.北京市 PM₁₀浓度特征呈现由北向南逐渐升高的趋势.2007 年 11、12 月以及 2008 年的 1、5、6 月 PM₁₀浓度较高.其中 1、2、11、12 月为北京市冬季采暖期,燃煤是 PM₁₀主要来源.5、6 月的天气情况有利于二次硫酸盐和二次硝酸盐的形成,可能成为夏季 PM₁₀的主要来源.

PMF 解析所得 **G** 矩阵能够表征各区域站点浓度及其独特的季节变化特征,如图 3 所示.对通州 11 月上半月的高值、延庆点 2~5 月的低值、密云水库的背景浓度变化特征,房山良乡区域的相对高值、平谷世纪广场 3、4 月份的独特变化,**G** 矩阵均有良好的描述.**G** 矩阵对于多站点区域,如区域 7、8、9 和 10 的浓度模拟效果也较好.只是区域 4 的 **G** 矩阵模拟较实际站点浓度低,但站点浓度变化特征能够准确模拟.

表 1 北京市 PM₁₀监测网络 2007~2008 年各区域特征值

Table 1 PM ₁₀ characterization description of each cluster in Beijing from 2007 to 2008					
区域	最大日均值 /mg·m ⁻³	最小日均值 /mg·m ⁻³	年均值 /mg·m ⁻³	达标天数/d	达标率/%
1	0.674	0.011	0.147	235	64
2	0.656	0.008	0.103	301	82
3	0.367	0.004	0.086	308	84
4	0.610	0.018	0.151	219	60
5	0.656	0.006	0.165	210	57
6	0.746	0.014	0.139	246	67
7	0.598	0.016	0.143	244	67
8	0.579	0.020	0.148	234	64
9	0.579	0.011	0.110	287	78
10	0.618	0.010	0.127	265	72

2.2 PM₁₀监测网络典型月份优化方案

2 种方案中各区域站点在各典型月份的保留结果如表 2 所示.由表 2 可见,PM₁₀监测网络优化方案 1 和方案 2 中需要保留的站点数目和位置在不同季节有所不同.方案 1 中保留的站点数约为 12~18,方案 2 中保留的站点数目为 10~13.5 月需要保留的站点数目最少,方案 1 中只需要保留 12 个站点,方案 2 中需要保留 10 个站点.其次为 4 月份,方案 1 中需要保留 14 个站点,方案 2 中需要保留 10 个站点.丰台花园在 2 种方案的所有月份都可以去除.门头沟滨湖广场、大兴亦庄开发区、东城东四、西城官园、东城天坛、西城万寿西宫、朝阳农展馆、海淀万柳在方案 2 的所有月份中均可去除.门头沟滨湖广场站、大兴亦庄开发区站、东城东四和西城万寿西宫站均只需要在方案 1 中的一个 月 给 予 保 留,分 别 为 10、7、5 和 10 月.除了单一站点区域——房山良

乡、通州运河广场、平谷世纪广场、密云水库和延庆夏都公园站需要在所有月份中保留,怀柔站点在所有月份的所有方案中也都需要保留,其次,顺义、昌平定陵、密云镇、石景山古城和海淀香山站点需要保留的月份也较多.

区域 4 各站点不同季节的去除偏差差别较大.1 月丰台云岗和海淀北部新区去除偏差较大,前者去除偏差为负值,后者为正值.4 月和 5 月石景山古城站点去除偏差较大,4 月去除偏差为正值,5 月为负值.7 月石景山古城站点和海淀北部新区去除偏差为较大正值.10 月海淀北部新区,门头沟滨湖公园和石景山古城站点去除偏差为较大的正值.12 月与 1 月相似,丰台云岗去除偏差为负,海淀北部新区为正.丰台云岗在秋冬季较重要,其浓度较周围站点低,海淀北部新区在夏冬季较重要,其浓度较周围站点高.石景山古城站点在春夏较重要.

表 2 PM₁₀监测网络各典型月份 2 种优化方案中保留的站点

Table 2 PM₁₀ monitoring sites retained in typical months in each optimization scenario

区域	站名	1 月		4 月		5 月		7 月		10 月		12 月	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	海淀香山	√	√			√	√	√	√	√	√		
2	丰台花园												
3	丰台云岗	√	√							√			
4	门头沟滨湖广场									√			
5	房山良乡	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6	大兴亦庄开发区							√					
7	通州运河广场	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
8	大兴黄村	√		√				√	√				
9	大兴榆堡	√	√	√				√	√	√		√	√
10	平谷世纪广场	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
11	密云奥林匹克广场	√	√	√	√	√	√					√	√
12	密云水库	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
13	延庆夏都公园	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
14	海淀北部新区	√	√					√		√		√	√
15	昌平定陵	√	√	√	√			√		√	√	√	√
16	东城东四					√							
17	西城官园	√								√		√	
18	东城天坛					√		√				√	
19	西城万寿西宫									√			
20	朝阳奥体中心	√	√					√				√	
21	朝阳农展馆	√								√			
22	海淀万柳			√								√	
23	石景山古城			√	√	√	√	√	√	√			
24	昌平镇	√		√				√		√	√	√	
25	顺义	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
26	怀柔	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
保留站点数		18	13	14	10	12	10	17	11	18	10	16	11

区域 7 各站点在不同季节的去除偏差差别不大. 顺义, 朝阳奥体中心站点的去除偏差 1 a 中都为正值, 朝阳农展馆 1、10 和 12 月为负值, 4 月和 7 月为正值, 东城东四、西城官园、东城天坛、西城万寿西宫站点的去除偏差为负值. 顺义, 朝阳奥体中心的 PM₁₀ 浓度在 1 a 中都高于周边站点. 朝阳农展馆在秋冬季浓度较周围站点低, 春夏季浓度高于周边站点. 其余站点的浓度都低于周边站点.

区域 8 各站点在 1 月和 12 月去除偏差为正值, 其余时间段均为负值. 站点浓度在冬季高于周边站点, 其他季节浓度较低. 区域 9 中, 怀柔站点的去除偏差在 1 a 中都为负值, 其 PM₁₀ 浓度较周围站点低, 密云镇站点 4 月和 5 月去除偏差为正值, 浓度较周围站点高, 其余时间去除偏差均为负值, 浓度较周围站点低. 除了海淀香山在 5 月的去除偏差为正值之

外, 区域 10 站点在一年中的去除偏差均为负值, 站点浓度低于周边站点.

3 结论

(1) 北京市 PM₁₀ 监测网络中 26 个监测站点可分为 10 个浓度变化特征不同的区域. 10 个区域分别为: 区域 1 为通州运河广场, 区域 2 为延庆夏都公园, 区域 3 为密云水库, 区域 4 为丰台花园、丰台云岗、门头沟滨湖广场、海淀北部新区和石景山古城, 区域 5 为房山良乡, 区域 6 为平谷世纪广场, 区域 7 为东城东四、西城官园、东城天坛、西城万寿西宫、朝阳奥体中心、朝阳农展馆和顺义光明广场, 区域 8 为大兴亦庄开发区、大兴黄村和大兴榆堡, 区域 9 为密云奥林匹克广场和怀柔, 区域 10 为海淀香山、昌平定陵、海淀万柳和昌平镇站.

(2)根据不同的去除偏差标准,若以系统不确定度为去除标准,其优化结果可以完全代表 26 个站点的监测结果,需要保留的站点数目和位置在不同季节有所不同,站点数约为 12~18;若以 2 倍系统不确定度为去除标准,其优化结果与 26 个站点的监测结果偏差为系统不确定度,保留的站点数目为 10~13。丰台花园在 2 种方案的所有月份都可以去除;门头沟滨湖广场、大兴亦庄开发区、东城东四、西城官园、东城天坛、西城万寿西宫、朝阳农展馆、海淀万柳在方案 2 的所有月份中均可去除。此外,部分站点在 1 a 中的部分月份可以去除,因此可在不同季节选择性的停止这类站点,以节约监测成本。

参考文献:

- [1] Pires J C M, Sousa S I V, Pereira M C, *et al.* Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis—Part I: SO₂ and PM₁₀ [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(6): 1249-1260.
- [2] Pires J C M, Sousa S I V, Pereira M C, *et al.* Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis—Part II: CO, NO₂ and O₃ [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(6): 1261-1274.
- [3] 庄世坚. 环境监测优化布点的一种新方法 [J]. *数理统计与管理*, 1992, **11**(5): 8-11.
- [4] Flemming J, Stern R M, Yamartino R J. A new air quality regime classification scheme for O₃, NO₂, SO₂ and PM₁₀ observations sites [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(33): 6121-6129.
- [5] Tarasova O A, Brenninkmeijer C A M, Jöckel P, *et al.* A climatology of surface ozone in the extra tropics: cluster analysis of observations and model results [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, **7**(24): 6099-6117.
- [6] 冯治宇. 网格采样-聚类分析在优化环境监测点中的应用 [J]. *环境工程*, 2003, **21**(2): 55-58.
- [7] Astel A, Tsakouski S, Barbieri P, *et al.* Comparison of self-organizing maps classification approach with cluster and principal components analysis for large environmental data sets [J]. *Water Research*, 2007, **41**(19): 4566-4578.
- [8] 李祚泳. 环境监测优化布点的人工神经网络模型 [J]. *中国环境科学*, 1997, **17**(1): 28-30.
- [9] 韩波, 孙利, 黄勇. 环境监测优化布点的自组织神经网络决策模型 [J]. *环境研究与监测*, 2006, **19**(1): 16-18.
- [10] Pittau M G, Romano D, Cirillo M C, *et al.* An optimal design for air pollution monitoring network [J]. *Environmetrics*, 1999, **10**(3): 351-360.
- [11] Ito K, De Leon S, Thurston G D, *et al.* Monitor-to-monitor temporal correlation of air pollution in the contiguous US [J]. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2005, **15**(2): 172-184.
- [12] 张远东. 相关分析在大气优化布点过程中的成功演绎 [J]. *环境科学与技术*, 2005, **28**(增刊): 42-45.
- [13] 张勇, 黎雪梅. 物元分析在环境质量评价及优化布点的应用 [J]. *环境科学与技术*, 2005, **28**(增刊): 14-16.
- [14] 徐明德, 陈武. 模糊物元法在优选大气监测点中的应用 [J]. *测试技术学报*, 2007, **21**(5): 391-395.
- [15] 许丽忠, 张江山, 王菲凤. 熵权多目标决策环境监测优化布点模型及应用 [J]. *环境工程*, 2007, **25**(1): 61-64.
- [16] Sarigiannis D A, Saisana M. Multi-objective optimization of air quality monitoring [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, **136**(1-3): 87-99.
- [17] Elkamel A, Fatehifar E, Taheri M, *et al.* A heuristic optimization approach for air quality monitoring network design with the simultaneous consideration of multiple pollutants [J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, **88**(3): 507-516.
- [18] 刘潘伟, 郑君瑜, 李志成, 等. 区域空气质量监测网络优化布点方法研究 [J]. *中国环境科学*, 2010, **30**(7): 907-913.
- [19] 李春福. 丹东市空气监测优化布点的研究 [J]. *辽东学院学报(自然科学版)*, 2009, **16**(1): 16-19.
- [20] Rizzo M J, Scheff P A. Assessing ozone networks using positive matrix factorization [J]. *Environmental Progress*, 2004, **23**(2): 110-119.
- [21] Raffuse S M, Sullivan D C, McCarthy M C, *et al.* Ambient air monitoring network assessment guidance [R]. US: Environmental Protection Agency, 2007. 1-72.
- [22] Schmidt M. Monitoring strategy: national analysis [R]. NC: Monitoring Strategy Workshop, 2001.
- [23] Cimorelli A J, Chow A H, Stahl C H, *et al.* Region III ozone network reassessment [R]. Atlanta, GA: Air Monitoring & Quality Assurance Workshop, 2003.
- [24] Paatero P, Tapper U. Positive Matrix Factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values [J]. *Environmetrics*, 1994, **5**(2): 111-126.
- [25] Paatero P. Least squares formulation of robust non-negative factor analysis [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 1997, **37**(1): 23-35.
- [26] Reff A, Eberly S I, Bhav P V. Receptor modeling of ambient particulate matter data using positive matrix factorization: Review of existing methods [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2007, **57**(2): 146-154.
- [27] Paterson K G, Sagady J L, Hooper D L. Analysis of air quality data using positive matrix factorization [J]. *Environmental Science & Technology*, 1999, **33**(4): 635-641.

CONTENTS

Safety Value of Contaminant in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	ZHENG Bing-hui, LUO Jin-hong, FU Qing, <i>et al.</i> (337)
Safety Concentration of Genotoxic Carcinogens in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	LUO Jin-hong, ZHENG Bing-hui, FU Qing, <i>et al.</i> (342)
A Quantitative Method and Case Analysis for Assessing Water Health	LI Yu-feng, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (346)
Temporal and Spatial Variation of Nitrogen and Phosphorus and Eutrophication Assessment in Downstream River Network Areas of North Canal River Watershed ...	SHAN Bao-qing, JIAN Yu-xiang, TANG Wen-zhong, <i>et al.</i> (352)
Spatiotemporal Variation Analysis and Identification of Water Pollution Sources in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, TANG Fang-fang, <i>et al.</i> (359)
Hydrochemical Characteristics and Formation Mechanism of Shallow Groundwater in the Yellow River Delta	AN Le-sheng, ZHAO Quan-sheng, YE Si-yuan, <i>et al.</i> (370)
Impacts of Sediment Disturbance Time on the Distribution of Phosphorus Forms in Suspended Solids	LI Da-peng, HUANG Yong, LI Yong, <i>et al.</i> (379)
Influence of Submerged Macrophytes on Phosphorus Transference Between Sediment and Overlying Water in the Growth Period	WANG Li-zhi, WANG Guo-xiang, YU Zhen-fei, <i>et al.</i> (385)
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments of Lake Changshouhu in Chongqing, China	LU Shao-yong, XU Meng-shuang, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (393)
Vertical Distribution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Lake Hongze	ZHANG Wen-bin, YU Hui (399)
Effects of Rainfall on Nitrogen and Phosphorus Loss from Courtyard Compost and Its Risk of Nonpoint Source Pollution	PENG Li, WANG Li-wei, YANG Zhi-min, <i>et al.</i> (407)
Effects of Hydrodynamic Process on Bio-optical Properties in Algal-Dominated Lake Region of Shallow Lake	LIU Xiao-han, FENG Long-qing, ZHANG Yun-lin, <i>et al.</i> (412)
Estimation and Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient $K_d(490)$ in Lake Taihu in Spring Based on Semi-analytical Model	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, LI Rui-yun, <i>et al.</i> (421)
Monitoring the Total Suspended Matter of Lake Chaohu Based on Quasi-Analytical Algorithm	ZHANG Hong, HUANG Jia-zhu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (429)
Optimization of Aerobic/Anaerobic Subsurface Flow Constructed Wetlands	LI Feng-min, SHAN Shi, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (436)
Effects of Allelochemical Dibutyl Phthalate on <i>Gymnodinium breve</i> Reactive Oxygen Species	BIE Cong-cong, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (442)
Toxicity Effects of <i>Rac</i> - and <i>S</i> -Metolachlor on Two Algae	CAI Wei-dan, LIU Hui-jun, FANG Zhi-guo (448)
Studies for Killing the Oceanic Harmful Organisms in Ship's Ballast Water Using Hydroxyl Radicals	BAI Min-dong, ZHANG Na-hui, ZHANG Zhi-tao, <i>et al.</i> (454)
Modification of Natural Siderite and Enhanced Adsorption of Arsenic	ZHAO Kai, GUO Hua-ming, LI Yuan, <i>et al.</i> (459)
Kinetic Study of 4-Chloronitrobenzene Degradation by Zero-Valent Iron	LIAO Di-jie, YANG Qi, LEE Chun-chi (469)
Photochemical Degradation of Ofloxacin in Aqueous Solution	SHAO Meng, YANG Gui-peng, ZHANG Hong-hai (476)
Photodegradation of Atenolol in Aqueous Nitrate Solution	JI Yue-fei, ZENG Chao, MENG Cui, <i>et al.</i> (481)
Biodegradation of Pyridine Under UV Irradiation	FANG Miao-miao, YAN Ning, ZHANG Yong-ming (488)
Optimization on Decoloration Conditions of Anthraquinone Dyes by Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	ZHU Xian-feng, QIN Ren-bing, YU Chen-chen, <i>et al.</i> (495)
Biosorption of Chromium(VI) by Waste Biomass of ϵ -Poly-L-lysine Fermentation	CAO Yu-juan, ZHANG Yang, XIA Jun, <i>et al.</i> (499)
Investigation on Enhanced Conditions for the Densification of Filamentous Sludge	LI Zhi-hua, SUN Wei, JI Xiao-qin, <i>et al.</i> (505)
Effect of Temperature on the Response Characteristics of Shortcut Nitrification Granular Sludge	LUO Yuan-ling, YANG Zhao-hui, XU Zheng-yong, <i>et al.</i> (511)
Fuel Consumption and Emission Inventory of Typical Construction Equipments in China	LI Dong-ling, WU Ye, ZHOU Yu, <i>et al.</i> (518)
Optimization of PM ₁₀ Monitoring Network in Beijing	QI Ling, ZHAO Yue, XIE Shao-dong (525)
Effect of Greenbelt on Pollutant Dispersion in Street Canyon	XU Wei-jia, XING Hong, YU Zhi (532)
Investigation of Effect and Process of Nitric Oxide Removal in Rotating Drum Biofilter Coupled with Absorption by Fe ^{II} (EDTA)	CHEN Jun, YANG Xuan, YU Jian-ming, <i>et al.</i> (539)
Effect of UV-B Radiation on Release of Nitrogen and Phosphorus from Leaf Litter in Subtropical Region in China	SONG Xin-zhang, ZHANG Hui-ling, JIANG Hong, <i>et al.</i> (545)
Characteristics of Carbon Sequestration and Apparent Stability of New Sequestered Carbon in Forested Torrid Red Soil at Dry-Hot Valley	TANG Guo-yong, LI Kun, SUN Yong-yu, <i>et al.</i> (551)
Spatial Distribution of Methane in Surface Water and Sediment of Jiulongjiang Estuary and the Effect Environment factors of It	GUO Ying-ying, CHEN Jian, YIN Xi-jie, <i>et al.</i> (558)
Methane Fluxes and Controlling Factors in the Intertidal Zone of the Yellow River Estuary in Autumn	JIANG Huan-huan, SUN Zhi-gao, WANG Ling-ling, <i>et al.</i> (565)
Study on Dioxin Emission for Typical Non-Wood Pulp Making in China	WANG Zhi-fang, DING Qiong, WANG Kai-xiang, <i>et al.</i> (574)
Horizontal and Vertical Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediment from a Typical Electrical Equipment Industrial Area	QIU Meng-de, DENG Dai-yong, YU Le-huan, <i>et al.</i> (580)
Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (587)
Characterization and Potential Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Green Space Soils of Educational Areas in Beijing	PENG Chi, WANG Mei-e, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (592)
Spatial Variability and Evaluation of Soil Heavy Metal Contamination in the Urban-transect of Shanghai	LIU Yun-long, ZHANG Li-jia, HAN Xiao-fei, <i>et al.</i> (599)
Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of Rivers in Northern Area of Haihe River Basin, China	SHANG Lin-yuan, SUN Ran-hao, WANG Zhao-ming, <i>et al.</i> (606)
Concentrations and Pollution Assessment of Soil Heavy Metals at Different Water-level Altitudes in the Draw-down Areas of the Three Gorges Reservoir	WANG Ye-chun, LEI Bo, YANG San-ming, <i>et al.</i> (612)
Analysis of Community Structure on Sludge Aerobic/anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (618)
Research on Population Structure and Distribution Characteristic of Indigenous Microorganism in Post-polymer-Flooding Oil Reservoir	ZHAO Ling-xia, GAO Pei-ke, CAO Mei-na, <i>et al.</i> (625)
Study on Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) with Different Additional Carbon Sources in Aged Contaminated Soil	YIN Chun-qin, JIANG Xin, WANG Fang, <i>et al.</i> (633)
Detection of <i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller with the Electrochemiluminescence-Molecular Probe	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (640)
Development of Direct Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Determination of Domoic Acid	WANG Qian, CHENG Jin-ping, GAO Li-li, <i>et al.</i> (647)
Simultaneous Determination of 10 Sulfonamide Antibiotics in Water by Solid-phase Extraction and High Performance Liquid Chromatography	HONG Lei-jie, SHI Lu, ZHANG Ya-lei, <i>et al.</i> (652)
Effects of Pentachlorophenol on DNA Damage and Cytotoxicity of HeLa Cells	JIN Bang-ming, WANG Fu-ming, XIONG Li, <i>et al.</i> (658)
Modeling of Carbon Dioxide Measurement and Optimization on Building Ceramic Industry	PENG Jun-xia, ZHAO Yu-bo, JIAO Li-hua, <i>et al.</i> (665)

《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2月15日 33卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 2 Feb. 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

国内外公开发行