

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

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

16 届亚运会期间广州城区 PM_{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响 陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)

北京地区秋季雾霾天 PM_{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析 赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)

上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究 王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)

杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征 谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)

保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别 李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)

春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究 周变红, 张承中, 王格慧 (448)

华东区域高山背景点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 背景值及污染特征 苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)

基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估 田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)

积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征 张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)

靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究 徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)

正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究 欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)

干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素 刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)

降尘收集方法对降尘效率的影响 张正德, 董治宝 (499)

海河流域水生生态功能一级二级分区 孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)

长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究 时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)

内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究 黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)

溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响 邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)

自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究 张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)

淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制 周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)

高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征 崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)

城市雨水径流水质演变过程监测与分析 董雯, 李怀恩, 李家科 (561)

复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果 任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔杰, 王为进 (570)

给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究 郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)

1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用 李三华, 张奇亚 (583)

水生植物热解生物油对中肋骨条藻抗氧化酶活性的影响 姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)

TiO₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学 张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)

皮革废水有机污染物生物降解特性研究 王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)

链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究 谢练武, 方继生, 郭亚平 (611)

一种负载型生物载体的制备及性能研究 杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)

基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*) 培养研究 嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)

温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响 陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)

天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH₄ 的影响 姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)

蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征 青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)

基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)

区域地下水污染风险评价方法研究 杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)

地下水有机污染源识别技术体系研究与示范 王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)

祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究 朱凌宇, 潘剑群, 张威 (668)

黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应 骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平平 (676)

根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响 张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)

长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究 罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)

外源 Cr(III) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究 郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)

某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征 潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)

大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析 刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)

天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征 姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)

沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定 吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)

动物饲料中砷、铜和锌调查及分析 姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)

氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究 王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)

2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性 倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)

嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究 厉闾, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)

固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响 唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)

16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性 刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗杰 (767)

氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响 刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)

筒青霉 (*Penicillium simplicissimum*) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征 沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)

石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究 杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)

土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响 王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)

生活垃圾填埋过程含水率变化研究 李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)

动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化 吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)

《环境科学》征订启事(447) 《环境科学》征稿简则(493) 信息(508,588,610,731) 专辑征稿通知(788)

基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估

田秀英^{1,2}, 蔡强^{1*}, 刘锐¹, 张永明²

(1. 浙江清华长三角研究院水质科学与技术重点实验室, 嘉兴 314006; 2. 上海师范大学生命与环境科学学院, 上海 200234)

摘要: 根据上海某土壤与地下水污染修复现场情况, 应用自主研发的电子鼻系统 (iSA-M1) 分别对未修复及修复过程中的土壤和地下水、修复场地上空及周边空气中的 VOCs 和恶臭类气体进行检测. 结合前期研究所得 TPI 和 OPI 公式, 求得各点的值, 并将其用图表示. 结果表明: ①修复后 TVOC 和恶臭的浓度总体呈下降趋势; ②在土壤和地下水修复过程中, VOCs 和恶臭的挥发受气象要素和作业的影响, 其浓度在总体下降的过程中伴随着阶段性上升现象; ③结合 GIS 技术, 电子鼻能初步用于评估土壤和地下水修复现场造成的空间污染情况及对周围居民产生的影响. 但造成影响程度的具体细化分级还需要进一步研究.

关键词: 电子鼻; GIS; TVOC; 恶臭; 土壤; 地下水; TPI; OPI

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0462-06

Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose

TIAN Xiu-ying^{1,2}, CAI Qiang¹, LIU Rui¹, ZHANG Yong-ming²

(1. Key Laboratory of Water Quality Science and Technology, Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University Zhejiang, Jiaxing 314006, China; 2. Department of Life and Environment Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: According to the conditions of a contaminated soil and groundwater remediation site in Shanghai, the self-built electronic nose was applied to detect VOCs and odor of previously remedied soil and groundwater, remedying soil and groundwater, and the air above and around the site. Combining the formula of TPI and OPI, the value of each point was got and was shown in figures. Results showed: ① Comparing the determination results of previously remedied with remedying contaminated soil and groundwater, the concentration of TVOC and odor was overall declined. The result was consistent with the fact. The detection result of electronic nose was proved to be right; ② In the remediation process of soil and groundwater, the volatilization of VOCs and odor was inflected by temperature and works of crushing, adding medicine and turning the soil on time. The concentration showed a trend of overall decline with stage rising, so the electronic noses can be used for dynamic monitoring of the whole remediation process; ③ Combined with the GIS, the electronic noses can preliminary assess space pollution situation caused by the remediation of contaminated soil and groundwater and the influence on the residence in the surrounding region. However, further study on the refined classification of the impact degree is needed.

Key words: electronic nose; GIS; TVOC; odor; soil; groundwater; TPI; OPI

近年来, 中国土壤和地下水污染事故频发, 引起了社会和政府部门的广泛关注^[1,2], 如齐齐哈尔某日本“遗化”场地挥发有毒气体(芥子气), 造成 10 余人死亡, 百余人受害; 2004 年, 北京地铁 5 号线宋家庄工地挖掘过程中, 造成 3 人死亡, 多人受伤^[3]. 其中受 VOCs 和恶臭污染的场地占有较大比重^[3]. 而在地下水中甚至发现过一些没有注册使用的农药^[4].

修复污染场地, 需要评估监测. 但是传统检测技术费用高昂, 据 Nielsen 等^[5]统计, 如果在土壤和地下水修复前, 采用传统检测技术确定主要污染成分将花费超过 5 000 亿美元, 约占到美国总修复费用的

15%. 因此, Aelion 等^[6]提到在土壤和地下水修复工程中, 低成本高效检测技术是重要的发展方向.

电子鼻是一种能快速无损的检测 VOCs 和恶臭的低成本、实时监测设备^[7]. 近年来, 电子鼻开始被应用到土壤和地下水 TVOC 和恶臭检测方面. 如 2004 年, Yang 等^[8]在实验室模拟 SVE(土壤气相抽提技术)去除土壤中的 VOCs, 将半导体传感器检测

收稿日期: 2012-04-16; 修订日期: 2012-05-28

基金项目: 嘉兴市科技项目(2010AY1079); 国际科技合作项目(2008DFA91300)

作者简介: 田秀英(1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境监测、传感器应用, E-mail: xiuying.tian@hotmail.com
* 通讯联系人, E-mail: caiq@mail.tsinghua.edu.cn

结果和 GC 比对, 相关系数达到 98% 以上; 2011 年, 卜凡阳等^[9] 选用长三角典型水稻土模拟 SVE 去除其中的挥发性氯代烃, 半导体和电化学传感器检测结果与 GC 比对, 相关系数达到 99% 以上. 虽然电子鼻的技术特点显示了现场监测潜力, 但目前还没有把这一技术应用于土壤和地下水修复现场的研究报道.

本研究采用自主研发的电子鼻系统, 结合 GIS 进行布点和空间污染分析, 尝试分析土壤和地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的区域性分布及对周围居民的影响.

1 材料与方 法

1.1 仪器设备

自行研制的电子鼻检测系统 (iSA-M1); 美国麦哲伦海王星 300E; 三杯风速风向表 (天津气象仪器厂, DEM6); 便携式温湿度露点测量仪 (国家农业信息化工程技术研究中心 NERCITA); ArcGIS 9.3 (美国环境系统研究所, ESRI); 自制电源箱; 活性炭 (颗粒状); 样品瓶 (采取和检测土壤样品); 广口玻璃瓶 (采取和检测水样).

1.2 现场检测

在上海某土壤与地下水污染修复现场进行检测. 该地原为 S 化工厂, 主要生产酚醛玻璃丝压塑料, 虽已拆迁, 但对该场地土壤和地下水造成的污染一直存在. 地块呈“L”型, 东西长约 160 m, 东部最宽约 105 m, 西部最宽约 69 m, 占地面积约为 13 445 m².

土壤中危害风险超过可接受水平的关注污染物包括: 双 (2-乙基己基) 酞酸酯、1, 2-二氯乙烷、1, 2, 3-三氯丙烷、苯、氯仿、吡啶、偶氮苯以及 N-亚硝基二正丙胺等. 污染区域分为 1~4 号地块, 如图 1 所示, 所需挖掘深度 (m) 已在图中标出, 地块污染程度和所需挖掘深度与该区域颜色深度正相关.

地下水中危害风险超过可接受水平的关注污染物包括: 苯、1, 4-二氯苯、氯苯以及甲苯等. 污染区域分为 A 区 (高污染区域)、B 区 (较高污染区域)、C1 (轻污染区域) 和 C2 (轻污染区域), 分布如图 2 所示.

土壤和地下水修复流程及采样检测处如图 3 和图 4 所示.

电子鼻系统检测包括两个过程. ①基线过程: 点击数据采集软件上的“基线”按钮, 开始记录数据. 电子鼻自动切换进样阀至与活性炭相连的 Sample 1

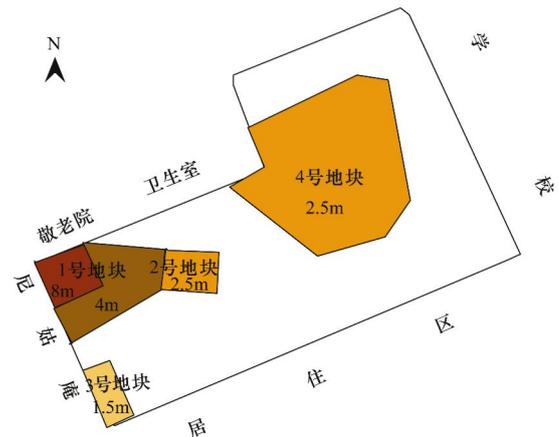


图 1 土壤污染分布示意

Fig. 1 Distribution schematic of soil pollution

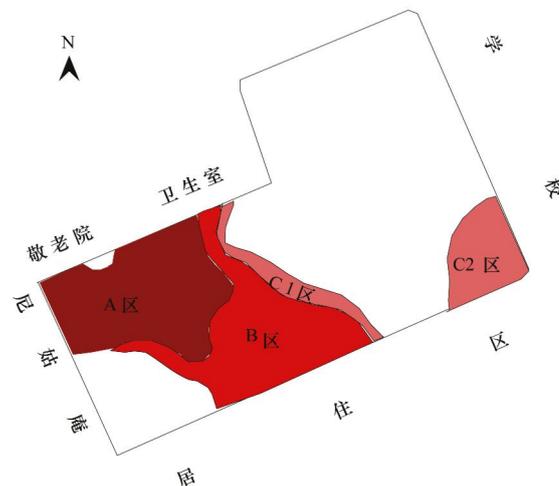


图 2 地下水污染分布示意

Fig. 2 Distribution schematic of groundwater pollution

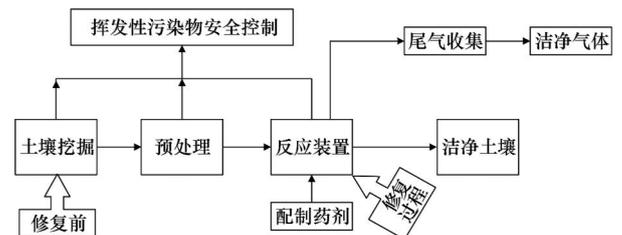


图 3 土壤修复工艺——现场异位土壤蒸汽抽提

Fig. 3 Contaminated soil remediation—Site ectopic soil vapor extraction

进样口, 对 PTFE (聚四氟乙烯) 气体检测腔进行冲洗, 持续 15 min, 待基线平衡; ②检测和采样过程: 点击“检测”按钮, 切换至 Sample 2 进样口, 抽气泵起动, 气体样品进入 PTFE 检测腔, 进行检测, 持续 1 min. 将气体采样袋连接到排气口 waste1, 进行采样, 记录每次检测的地点、时间、温度及湿度, 需要时记录风向风速和经纬度.

土壤修复前, 用采样瓶在土壤挖掘处取样, 顶空

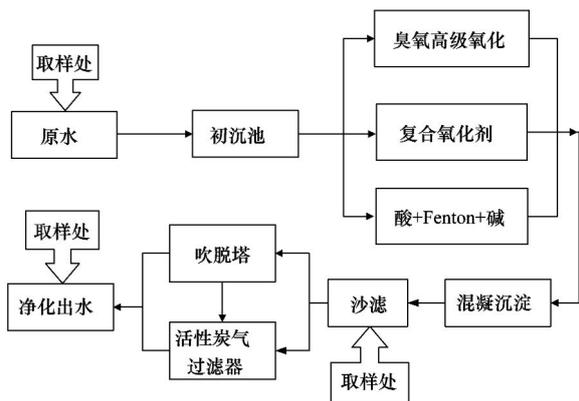


图 4 地下水修复工艺——现场异位高级氧化

Fig. 4 Contaminated groundwater remediation-Site ectopic advanced oxidation

检测；修复过程中，移动电子鼻至反应装置处，将检测用塑料管伸入到装置内进行现场检测。地下水抽取前，用塑料薄膜密封井口 24 h，移动电子鼻至每口抽提井处，将检测用塑料管伸入到抽提井内距地下水 1 m 处进行现场检测；修复过程中，用广口玻璃瓶分别从原水、沙滤和净化出水处取样，顶空检测。在修复场地上空和周边均匀选取检测点，移动电子鼻至每个点，检测该点环境气体。记录每次检测的地点、时间、温度及湿度，需要时记录风向风速和经纬度。

1.3 分析方法

对传感器阵列获得的数据，应用 MATLAB 软件提取响应值^[10]。根据响应值和 TVOC 污染指数 (TVOC pollution index, TPI) 及恶臭污染指数 (odor pollution index, OPI) 的公式^[7]，得出各点 TPI 和 OPI 的值。

2 结果与讨论

2.1 土壤修复检测结果

选取污染相对严重的 1 号和 2 号地块，分别在两地块修复过程中选连续的 3 d 进行检测，规定每天的 10:00、13:00 和 16:00 为检测时间，每次检测时的温度和湿度如表 1 和表 2 所示。表 3 为两地块修复前 TPI 和 OPI；1 号和 2 号地块动态修复过程 TPI 和 OPI 趋势图见图 5~8。其中的值分别与表 3 对比，发现修复过程中 TVOC 和恶臭的浓度整体呈下降趋势，并伴随阶段性上升，如比较明显的 1 号地块编号为 1、5 和 7，2 号地块编号为 4、5 和 7 检测时间的检测值，由于检测当天天气晴朗，中午气温明显升高，促进了 VOCs 和恶臭的挥发，同时修复初期

的破碎、规定的每天 11:00 添加修复药剂和翻土作业也是导致 TPI 和 OPI 升高的重要原因。

表 1 1 号地块检测时温度和湿度

编号	检测时间	温度/℃	湿度/%
1	第 1 d 10:00	9	55
2	第 1 d 13:00	16	59
3	第 1 d 16:00	10	57
4	第 2 d 10:00	11	60
5	第 2 d 13:00	17	58
6	第 2 d 16:00	8	52
7	第 3 d 10:00	7	60
8	第 3 d 13:00	14	65
9	第 3 d 16:00	11	61

表 2 2 号地块检测时温度和湿度

编号	检测时间	温度/℃	湿度/%
1	第 1 d 10:00	11	55
2	第 1 d 13:00	12	65
3	第 1 d 16:00	7	64
4	第 2 d 10:00	12	58
5	第 2 d 13:00	16	67
6	第 2 d 16:00	11	66
7	第 3 d 10:00	13	58
8	第 3 d 13:00	12	60
9	第 3 d 16:00	8	56

表 3 土壤修复前 TPI 和 OPI¹⁾

地块	TPI/mg·L ⁻¹	OPI/kΩ
1 号	82.64	3.00
2 号	56.91	3.35

1) 检测时温度约 12℃，湿度约 50%

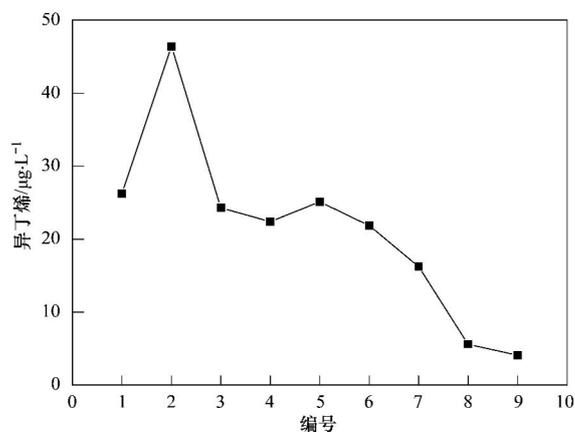


图 5 1 号地块 TPI

Fig. 5 TPI of area 1

2.2 地下水修复检测结果

在 A、B 和 C 区分别选:6、8 和 3 口抽提井对

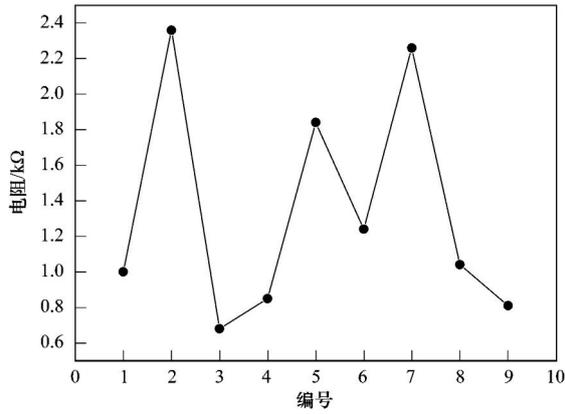


图 6 1 号地块 OPI

Fig. 6 OPI of area 1

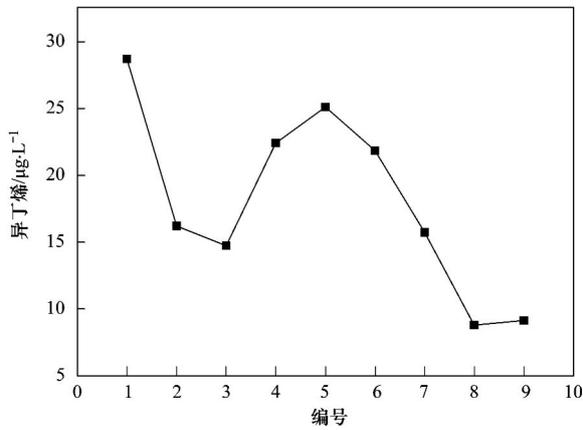


图 7 2 号地块 TPI

Fig. 7 TPI of area 2

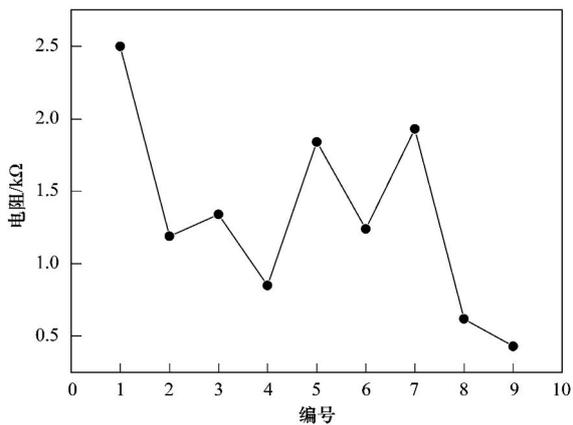


图 8 2 号地块 OPI

Fig. 8 OPI of area 2

地下水进行检测。编号分别为：A1 ~ A6、B1 ~ B8、C1 ~ C3。A、B 和 C 区 TPI 和 OPI 分别见表 4 ~ 6。

将污染的地下水通过临近抽提井从地下抽取到地面水池内暂存，视为原水。开始修复时，再从水池内抽取到处理设备内。取样检测，连续 3 d，检测结果

分别编号为：d11、d12、d13、d21、d22、d23 和 d31、d32、d33，每次检测时的温度和湿度如表 7 所示。连续 3 d 检测的 TPI 和 OPI 值的趋势图见图 9 和图 10。图 9 和图 10 与表 4 ~ 6 对比，发现修复过程中 TVOC 和恶臭的浓度明显在降低，并伴随阶段性上升，如比较明显的 d21、d23 和 d31，由于修复过程中不同批次的水来源不同，其受污染程度不同，同时气温变化，规定的每天 11:00 添加复合氧化剂等修复药剂也是导致 TPI 和 OPI 升高的重要原因。

表 4 A 区 TPI 和 OPI¹⁾

Table 4 TPI and OPI of area A

A 区井编号	TPI/mg·L ⁻¹	OPI/kΩ
A1	16.53	3.03
A2	26.83	4.13
A3	27.86	4.53
A4	28.70	4.64
A5	27.04	4.08
A6	26.35	3.90

1) 检测时气温约 23℃，湿度约 72%

表 5 B 区 TPI 和 OPI¹⁾

Table 5 TPI and OPI of area B

B 区井编号	TPI/mg·L ⁻¹	OPI/kΩ
B1	26.66	8.22
B2	20.49	7.80
B3	20.54	8.52
B4	20.97	9.52
B5	23.32	8.18
B6	20.56	7.49
B7	19.89	9.63
B8	18.74	9.40

1) 检测时气温约 20℃，湿度约 75%

表 6 C 区 TPI 和 OPI¹⁾

Table 6 TPI and OPI of area C

C 区井编号	TPI/mg·L ⁻¹	OPI/kΩ
C1	20.59	5.05
C2	20.49	8.05
C3	26.18	3.92

1) 检测时气温约 21℃，湿度约 76%

表 7 地下水检测时温度和湿度

Table 7 Temperature and humidity of groundwater

编号	检测时间	温度/℃	湿度/%
d11	第 1 d 10:00	10	71
d12	第 1 d 13:00	15	70
d13	第 1 d 16:00	11	74
d21	第 2 d 10:00	12	72
d22	第 2 d 13:00	19	75
d22	第 2 d 16:00	14	73
d32	第 3 d 10:00	15	76
d32	第 3 d 13:00	20	78
d32	第 3 d 16:00	17	75

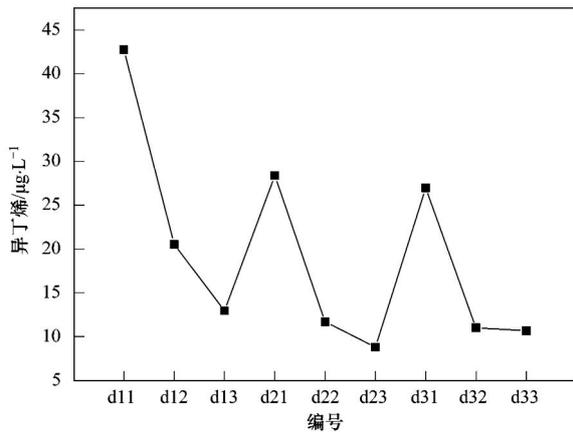


图 9 地下水修复动态检测 TPI

Fig. 9 TPI of the groundwater remediation processes

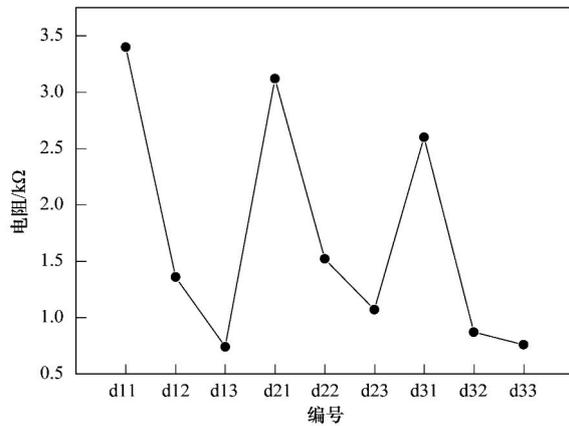


图 10 地下水修复动态检测 OPI

Fig. 10 OPI of the groundwater remediation processes

2.3 场内及周边环境影响分析

在土壤和地下水修复过程中, VOCs 和恶臭会挥发到场地上空的空气中, 检测当天 3~4 级的西北风促使其散播到场地周围, 影响周围居民的生活. 为了评估该修复工程对周围人群的影响, 在修复场内尽量均匀选 10 个有代表性的点, 分别为 Ch1 ~ Ch10, 表 8 为各点 TPI 和 OPI; 在场地周边 300 m 左右均匀选 5 个点, 分别为: KB1 (敬老院和卫生院)、KB2 (尼姑庵)、KB3 (居住区)、KB4 (居住区) 和 KB5 (学校), 记录经纬度, 各点 TPI 和 OPI 如表 9 所示. 各点 TPI 和 OPI 对比图如图 11 和图 12 所示, 污染指数大小与点的大小成正比.

场内及周边检测结果与修复后期的土壤和地下水检测结果相对比, 发现场内各点 TVOC 和恶臭浓度大部分高于周边各点, 由于受污染区域分布和风等气象因素影响, 检测点 Ch1 恶臭浓度较高; 检测点 Ch3、Ch4、Ch5、Ch7、KB1、KB2 和 KB3 TVOC

表 8 Ch1 ~ Ch10 各点 TPI 和 OPI¹⁾

Table 8 TPI and OPI of Ch1 to Ch10

检测点	TPI/mg·L ⁻¹	OPI/kΩ
Ch1	6.89	1.01
Ch2	13.82	1.27
Ch3	13.46	0.49
Ch4	13.63	0.41
Ch5	11.38	0.45
Ch6	8.99	0.27
Ch7	16.40	0.83
Ch8	12.42	1.37
Ch9	8.21	0.24
Ch10	9.23	0.37

1) 检测时气温约 16℃, 湿度约 64%

表 9 KB1 ~ KB5 各点 TPI 和 OPI¹⁾

Table 9 TPI and OPI of KB1 to KB5

检测点	TPI/mg·L ⁻¹	OPI/kΩ
KB1	12.30	0.30
KB2	11.62	0.38
KB3	11.43	0.29
KB4	22.86	2.02
KB5	8.33	0.10

1) 检测时气温约 16℃, 湿度约 60%

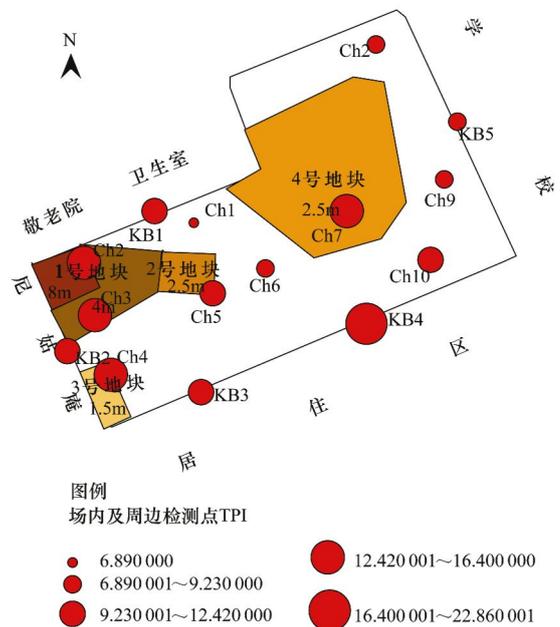


图 11 KB1 ~ KB5 和 Ch1 ~ Ch10 TPI 分布示意

Fig. 11 Distribution schematic of TPI of KB1 to KB5 and Ch1 to Ch10

浓度较高; Ch2、Ch8 和 KB4 TVOC 和恶臭浓度都较高.

因此, 本修复工程会对修复场地南侧居住区、敬老院、卫生院和尼姑庵产生不良影响, 尤其由于风向影响, 修复现场南侧空气污染浓度甚至高于修

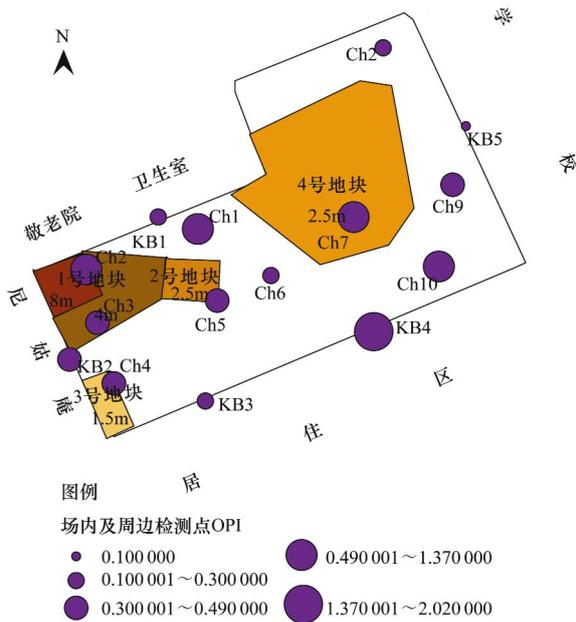


图 12 KB1 ~ KB5 和 Ch1 ~ Ch10 OPI 分布示意

Fig. 12 Distribution schematic of OPI of KB1 to KB5 and Ch1 to Ch10

复现场内部,南侧居民区会受到严重影响.

3 结论

(1) 将修复前和修复过程中的土壤和地下水的检测结果相对比, TVOC 和恶臭的浓度总体呈下降趋势, 与事实相符.

(2) 在土壤和地下水修复过程中, TVOC 和恶臭的挥发受气温和破碎、定时加药及翻土作业等影响, 其浓度在总体下降的过程中伴随着阶段性上升现象.

(3) 结合 GIS 技术, 电子鼻能初步用于评估土壤和地下水修复现场造成的空间污染情况及对周围居民产生的影响. 但造成影响程度的具体细化分级还需要进一步研究.

参考文献:

- [1] 孟凡勇. 挥发性氯代烃在我国典型土壤中的吸附-解吸特性研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2011.
- [2] 罗启仕. 土壤原位电动-生物修复技术及其机理研究[D]. 北京: 清华大学, 2004.
- [3] 殷甫祥. 气相抽提法(SVE)去除污染土壤中挥发性有机物(VOCs)的技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2010.
- [4] Stockmarr J, 郭华明(译). 修订后的丹麦 1998~2003 年地下水水质监测计划[J]. 地质科学译丛, 1998, 15(4): 26-30.
- [5] Nielsen B J, Gillispie G D, Bhone D A, *et al.* New site characterization and monitoring technology[J]. *Environmental Monitoring and Hazardous Waste Site Remediation*, 1995, 2504: 278-290.
- [6] Aelion C M, Shaw J N, Ray R P, *et al.* Simplified methods for monitoring petroleum-contaminated ground water and soil vapor[J]. *Journal of Soil Contamination*, 1996, 5(3): 225-241.
- [7] 田秀英, 蔡强, 叶朝霞, 等. 工业园区 TVOC 和恶臭的电子鼻检测技术研究[J]. *环境科学*, 2011, 32(12): 3635-3640.
- [8] Yang J W, Cho H J, Lee S H, *et al.* Characterization of SnO₂ ceramic gas sensor for exhaust gas monitoring of SVE process[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2004, 92(1-3): 153-61.
- [9] 卜凡阳, 文晓刚, 万梅, 等. 电子鼻检测污染土壤中挥发性氯代烃的适用性研究[J]. *环境科学*, 2011, 32(12): 3641-3646.
- [10] Tian X Y, Cai Q, Zhang Y M. Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method[J]. *Sensors*, 2012, 12(1): 260-277.

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and δ ¹³ C Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, <i>et al.</i> (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> (692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-chen, <i>et al.</i> (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yue-wei, <i>et al.</i> (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-bin, <i>et al.</i> (810)

《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2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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

国内外公开发刊