

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第9期

Vol.34 No.9

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

利用PUF被动采样技术研究长三角城市群大气中多环芳烃的时空分布及来源 张利飞, 杨文龙, 董亮, 史双昕, 周丽, 张秀蓝, 李玲玲, 钮珊, 黄业茹 (3339)

FTIR对大气颗粒物PM_{2.5}中硝酸盐的定量分析 刘娜, 魏秀丽, 高闽光, 徐亮, 焦洋, 李胜, 童晶晶, 程巴阳 (3347)

福建茫荡山地区春季大气O₃、HONO、HCHO、H₂O₂对·OH的贡献率研究 刘昊, 王会祥 (3352)

水体类固醇雌激素污染现状研究进展 都韶婷, 金崇伟, 刘越 (3358)

嘉兴市地表水中兽用抗生素的污染现状调查 闫幸, 余卫娟, 兰亚琼, 李立, 吕升, 叶朝霞, 张永明, 刘锐, 陈吕军 (3368)

上海食用鱼中短链氯化石蜡的污染特征 姜国, 陈来国, 何秋生, 孟祥周, 封永斌, 黄玉妹, 唐才明 (3374)

水体环境内毒素活性的鲎法定量检测及影响因素研究 张灿, 刘文君, 张明露, 田芳, 孙雯, 钱令嘉, 战锐 (3381)

四环素类抗生素对淡水绿藻的毒性作用 徐冬梅, 王艳花, 饶桂维 (3386)

光照对东海典型赤潮藻生长及硝酸还原酶活性的影响 李鸿妹, 石晓勇, 丁雁雁, 唐洪杰 (3391)

围隔实验中浒苔在不同营养盐条件下的生长比较 庞秋婷, 李凤, 刘湘庆, 王江涛 (3398)

长江口及邻近海域浮游植物色素分布与群落结构特征 赖俊翔, 俞志明, 宋秀贤, 韩笑天, 曹西华, 袁涌铨 (3405)

长江中下游湖泊超微型真核藻类遗传多样性研究 李胜男, 史小丽, 谢薇薇, 龚伊, 孔繁翔 (3416)

峡谷型水源水库的氮、磷季节变化及其来源分析 黄廷林, 秦昌海, 李璇 (3423)

九龙江河流-库区系统沉积物磷特征及其生态学意义 鲁婷, 陈能汪, 陈朱虹, 王龙剑, 吴杰忠 (3430)

氮在高含沙水向人工浅水湖泊补水期间的变化规律 陈友媛, 申宇, 杨世迎 (3437)

石灰石和黄铁矿-石灰石人工湿地净化河水的研究 张菁, 李睿华, 李杰, 胡俊松, 孙茜茜 (3445)

杭州湾潮滩湿地3种优势植物碳氮磷储量特征研究 邵学新, 李文华, 吴明, 杨文英, 蒋科毅, 叶小齐 (3451)

滇池优势挺水植物茭草和芦苇降解过程中DOM释放特征研究 谢理, 杨浩, 渠晓霞, 朱元荣, 鄢元波, 张明礼, 吴丰昌 (3458)

自来水处理工艺对溶解相中全氟化合物残留的影响 张鸿, 陈清武, 王鑫璇, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 刘国卿 (3467)

J市饮用水氯消毒副产物分析及其健康风险评价 李晓玲, 刘锐, 兰亚琼, 余素林, 文晓刚, 陈吕军, 张永明 (3474)

水中硫酸根及溶解氧质量浓度变化对管垢金属元素释放的影响 吴永丽, 石宝友, 孙慧芳, 张枝焕, 顾军农, 王东升 (3480)

重金属捕集剂对水中微量Hg(II)的处理研究 胡运俊, 盛田田, 薛晓芹, 谭丽莎, 徐新华 (3486)

聚合氯化铁-聚(环氧氯丙烷-二甲胺)复合絮凝剂在模拟水处理中的混凝特性研究 刘新新, 杨忠莲, 高宝玉, 王燕, 岳钦艳, 李倩 (3493)

镁铝复合脱色絮凝剂的微观结构形态及絮凝机制 桑义敏, 常雪红, 车越, 谷庆宝 (3502)

钴掺杂铁酸铋活化过硫酸盐降解水中四溴双酚A的研究 欧阳磊, 丁耀彬, 朱丽华, 唐和清, 廖海星 (3507)

以海泡石为载体的双金属多相类芬顿催化剂的制备及表征 宿程远, 李伟光, 刘兴哲, 王恺尧, 王勇 (3513)

氧化还原介体调控亚硝酸盐反硝化特性研究 赵丽君, 马志远, 郭延凯, 席振华, 杜海峰, 刘晓宇, 郭建博 (3520)

缓释碳源滤池用于二级出水的深度脱氮 唐蕾, 李彭, 左剑恶, 袁琳, 李再兴 (3526)

微膨胀对好氧颗粒污泥脱氮过程中N₂O产生量的研究 陈丽丽, 高大文 (3532)

Fenton试剂与CPAM联合调理对污泥脱水效果的影响研究 马俊伟, 刘杰伟, 曹芮, 岳东北, 王洪涛 (3538)

高效厌氧氨氧化颗粒污泥的动力学特性 唐崇俭, 熊蕾, 王云燕, 郑平 (3544)

内蒙古温带草原氮沉降的观测研究 张菊, 康荣华, 赵斌, 黄永梅, 叶芝祥, 段雷 (3552)

湘中矿区不同用地类型面源Cd输出负荷的原位实验研究 刘孝利, 曾昭霞, 陈喆, 铁柏清, 陈永稳, 叶长城 (3557)

蠡湖沉积物重金属形态及稳定性研究 王书航, 王雯雯, 姜霞, 宋倩文 (3562)

密云县境内潮河流域土壤重金属分析评价 于洋, 高宏超, 马俊花, 李迎霞, 莫雁, 孔彦鸿 (3572)

西北干旱区黄河沿岸典型工业带表土磁性特征及其环境意义 许淑婧, 张英, 余晔, 王博, 夏敦胜 (3578)

复合稳定剂对砷污染土壤的稳定研究 王浩, 潘利祥, 张翔宇, 李萌, 宋宝华 (3587)

湖南下水湾铅锌尾矿库优势植物重金属含量及富集特征 何东, 邱波, 彭尽晖, 彭亮, 胡凌霄, 胡瑶 (3595)

安太堡露天矿复垦地不同人工植被恢复下的土壤酶活性和肥力比较 王翔, 李晋川, 岳建英, 周小梅, 郭春燕, 卢宁, 王宇宏, 杨生权 (3601)

三苯基锡的微生物降解及其对降解菌的影响 叶锦韶, 田云, 尹华, 彭辉, 黄捷, 麻榆佳 (3607)

二氯甲烷降解菌 *Methylobacterium rhodesianum* H13 的分离鉴定及降解特性研究 刘洪霞, 朱润晔, 欧阳杜娟, 庄庆丰, 陈东之, 陈建孟 (3613)

引物选择对污泥微生物多样性分析的影响 徐爱玲, 吴等等, 宋志文, 任杰, 夏岩, 董珊珊, 刘梦 (3620)

钙铝类水滑石衍生复合氧化物的SO₂储存性能研究 曹琳, 王海滨, 解强 (3627)

基于转运站满负荷的北京市新东西城区生活垃圾物流优化方案研究 袁京, 李国学, 张红玉, 罗一鸣 (3633)

重金属污染土壤治理与生态修复论坛会议论文

多证据分析技术在场地重金属污染评价中的应用研究 姜林, 钟茂生, 朱笑盈, 姚珏君, 夏天翔, 刘辉 (3641)

我国城市不同功能区地表灰尘重金属分布及来源 李晓燕, 刘艳青 (3648)

黄河下游滩区开封段土壤重金属分布特征及其潜在风险评价 张鹏岩, 秦明周, 闫江虹, 胡长慧, 赵亚平 (3654)

青岛北站规划区原场地表层土壤重金属污染研究 朱磊, 贾永刚, 潘玉英 (3663)

某铅蓄电池厂土壤中铅的含量分布特征及生态风险 郑立保, 陈卫平, 焦文涛, 黄锦楼, 魏福祥 (3669)

某铅冶炼厂对周边土壤质量和人体健康的影响 周小勇, 雷梅, 杨军, 周广东, 郭广慧, 陈同斌, 万小铭, 梁琪, 乔鹏伟 (3675)

某铅蓄电池厂表土不同粒径中铅分布规律研究 岳希, 孙体昌, 黄锦楼 (3679)

原位生物稳定固化技术在铬污染场地治理中的应用研究 张建荣, 李娟, 许伟 (3684)

淋洗剂对多金属污染尾矿土壤的修复效应及技术研究 朱光旭, 郭庆军, 杨俊兴, 张晗芝, 魏荣菲, 王春雨, Marc Peters (3690)

铅蓄电池厂污染土壤中重金属铅的清洗及形态变化分析 任贝, 黄锦楼, 苗明升 (3697)

超声波辅助化学萃取对某工业场地铅污染土壤修复效果研究 王鑫杰, 黄锦楼, 刘志强, 岳希 (3704)

摩擦清洗修复铅污染土壤的参数优化及清洗效率评价 杨雯, 黄锦楼, 彭会清, 李思拓 (3709)

土壤重金属钝化修复剂生物炭对镉的吸附特性研究 郭文娟, 梁学峰, 林大松, 徐应明, 王林, 孙约兵, 秦旭 (3716)

无机稳定剂对重金属污染土壤的化学稳定修复研究 曹梦华, 祝玺, 刘黄诚, 王琳玲, 陈静 (3722)

《环境科学》征稿简则(3404) 《环境科学》征订启事(3444) 信息(3492, 3551, 3696, 3715)

某铅蓄电池厂土壤中铅的含量分布特征及生态风险

郑立保^{1,2}, 陈卫平², 焦文涛², 黄锦楼², 魏福祥^{1*}

(1. 河北科技大学环境科学与工程学院, 石家庄 050018; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 以西南地区某搬迁铅蓄电池厂为研究对象, 在不同车间分层采集了 48 个(共 18 个土壤样点, 其中 3 个样点只采集表层, 15 个样点分 0~20、20~40、40~60 cm 三层采集)土壤样本, 利用电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)检测了土壤中铅的含量, 研究了铅在该蓄电池厂不同车间表层土壤中的累积状况和土壤剖面中铅的垂直分布特征并对其进行了生态风险评价. 结果表明: ①该搬迁铅蓄电池厂不同车间表层土壤(0~20 cm)中铅的含量介于 18.18~52 332.50 mg·kg⁻¹ 之间, 其最大含量严重超过国家相应标准(HJ 350-2007); 土壤中铅的累积排序为: 4 车间 > 2 车间 > 废铅存放坑 > 污水处理站 > 3 车间 > 5 车间 > 1 车间 > 原 4 车间 > 包装车间 > 办公区. ②在该厂区内, 铅的剖面分布表明土层深度对铅的累计无显著影响; 与一般的自然土壤或城市土壤中铅在表层的累积情况不同, 铅在土壤的不同深度均能实现较高的累积. ③ Hakanson 潜在生态危险指数法评价结果表明, 该厂区内土壤中的铅普遍存在生态风险, 在大量富集的车间存在“很强的生态风险”, 该铅蓄电池厂局部富集的场地如果要开发利用, 必须经过修复治理.

关键词: 铅蓄电池厂; 土壤污染; 铅; 空间分布; 生态风险

中图分类号: X53; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)09-3669-06

Distribution Characteristics and Ecological Risk of Pb in Soils at a Lead Battery Plant

ZHENG Li-bao^{1,2}, CHEN Wei-ping², JIAO Wei-tao², HUANG Jin-lou², WEI Fu-xiang¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Soil samples were collected from 18 sites at a relocated lead accumulator factory in the Southwest region, China. Among the 15 sample sites, profile soil samples at 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm were taken. Soil lead contents were analyzed by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES). Characteristics of Pb in topsoil and soil profiles collected from different sampling sites were discussed. Results showed that: ① The total Pb contents in topsoil (0-20 cm) ranged from 18.18 to 52 332.50 mg·kg⁻¹. The maximum content greatly exceeded the national standard (HJ 350-2007). The Pb concentration in different workshops followed a decreasing order: the fourth workshop > the second workshop > waste lead storage pit > sewage works > the third workshop > the fifth workshop > the first workshop > the original fourth workshop > the packing workshop > the office area. ② Results of profile distribution showed that soil depth had no significant effect on Pb content. Lead can be highly accumulated at different depths of the soil, which was quite different from natural soils. ③ Hakanson's potential ecological risk index evaluation showed that there was widespread ecological risk in the soil of the plant, and serious ecological risk existed in some workshops where a large number of lead was enriched. Therefore, the site must be restored in order to reuse it.

Key words: lead battery plant; soil contamination; lead; spatial distribution; ecological risk

随着工业和现代化农业的快速发展, 土壤重金属污染现象日益严重. 工业发达地区土壤中重金属含量已经明显超过背景值^[1], 部分厂区土壤中重金属含量甚至是背景值的上千倍, 形成污染. 近年来的重金属污染事件, 尤其是铅污染事件频频发生. 自 2006~2011 年, 我国已经报道 21 起铅污染事件, 极大地危害了事发地居民的身心健康. 重金属污染防治, 事关人体健康, 已经引起了相关管理部门的高度重视^[2]. 《重金属污染综合防治“十二五”规划》把铅污染列为优先治理的对象之一.

铅是重金属污染土壤中分布较广、强蓄积性、不可降解的环境污染物. 铅可通过食物链进入人体进行富集, 体内的铅能够与多种酶结合从而干扰有机体多方面的生理活动^[3], 破坏人体的神经、生殖、免疫和消化系统, 对人体健康产生威胁^[4,5]. 生活在铅污染的场地上的人类, 通过呼吸、皮肤接触、

收稿日期: 2012-08-10; 修订日期: 2012-11-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41173123)

作者简介: 郑立保(1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤污染修复, E-mail: zhenglibao123@126.com

* 通讯联系人, E-mail: wfxss@sohu.com

食物链等方式使得铅在体内富集,当铅的含量达到一定程度时会对人的健康或生命造成危害^[6, 7].

国家环境保护部 2011 年 5 月中旬下发了《关于加强铅蓄电池及再生铅行业污染防治的通知》,截止到 7 月底,国家环境保护部排查的 1930 家铅蓄电池生产、组装及回收企业中,已有 583 家被取缔关闭、405 家被停产整治、610 家停产. 这些不合要求的铅蓄电池厂面临着停业整顿、搬迁、污染场地修复等问题. 国外及中国台湾、香港地区关于重金属的研究较早,研究表明重金属铅在自然及城市土壤中的迁移比较缓慢,主要集中在表层和亚表层^[8-16]. 国内关于重金属在土壤中分布规律的报道,目前主要集中在农田^[17, 18]、公路两侧^[19-21]、重工业城市区内^[22-26]、矿区附近^[27-29]等,对于重金属在铅蓄电池厂区的分布状况的研究比较缺乏. 本研究以西南地区某搬迁的铅蓄电池厂区为对象,采集和分析该厂不同车间的 48 个土壤样本中重金属铅在表层和剖面中的含量,明晰铅在该厂不同车间土壤中的表层分布特征和剖面迁移特征,并评价其

生态风险,以期为该铅蓄电池厂的土壤污染评价和修复提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集及处理

在西南地区某搬迁铅蓄电池厂的车间、污水排放点、车间道路等地设置 18 个采样点,其中 15(16、17、18 样点只采取表层 0~20 cm 的土壤样品)个土壤样点采用四分法采集 0~20、20~40、40~60 cm 这 3 个层土壤样品各 1 kg,采集的样品放入聚乙烯塑料袋送实验室. 经风干研磨,过 100 目筛,密封保存待测. 采样点分布在办公区前面场地、包装车间、原 4 车间、1 车间、5 车间、3 车间、污水处理站、废铅存放坑、2 车间、4 车间 10 个车间区,实际采样点见图 1.

1.2 分析方法

Pb 含量采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 混合酸溶,电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES)测定; pH 值用水土比 5:1 的电位法测定;有机质含量用重铬

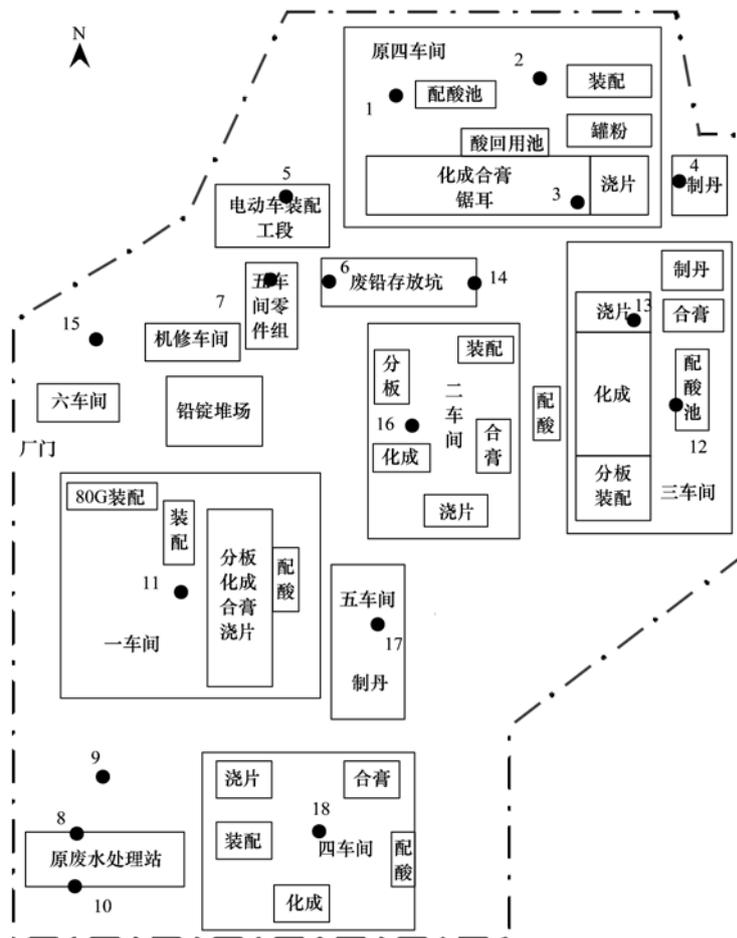


图 1 采样点位置示意

Fig. 1 Locations of sampling sites

酸钾容量法测定; 阳离子交换量(CEC)测定采用醋酸铵交换法测定. 质量控制通过实验过程中插入国家标准土壤样品一同消化测定, 并同时进行了空白对照实验.

1.3 数据处理

实验数据采用 Excel 2007 软件进行处理, 采用 SPSS 18.0 进行土壤中铅的含量和基本理化性质的统计分析.

1.4 评价方法

土壤中铅的生态风险评价采用 Hakanson 潜在生态危害指数^[30]. 计算公式如下:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_i$$

式中, E_i 表示第 i 种重金属的潜在生态危害系数; RI 表示研究区重金属的潜在生态危害综合指数. E_i 的计算公式如下:

$$E_i = T_i \times c_i / c_0$$

式中, c_i 、 c_0 、 T_i 分别为第 i 种重金属的监测浓度、参比值、毒性系数. 该方法中, 铅的毒性系数等于 5^[30]. 根据 E_i 和 RI 的大小, 可将土壤中重金属铅的潜在生态危害状况进行分级, 见表 1.

2 结果与分析

2.1 土壤中各指标测定结果

土壤中铅的含量和基本理化性质的统计分析结果

表 2 土壤中铅含量和理化性质的统计分析结果

Table 2 Statistical results of the soil lead content and the physicochemical properties

统计参数	样品量	最小值	最大值	平均值	中位值	标准差
铅/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	50	18.18	52 322.50	2 784.40	332.05	7 598.70
pH 值	50	4.16	10.28	7.86	8.07	1.07
有机质/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	50	100.00	18 400.00	4 846.00	3 750.00	4 258.26
阳离子交换量/ $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$	50	8.50	23.85	15.03	14.83	2.48

2.2 不同车间表层土壤中铅的分布特征

不同车间表层土壤中铅的含量如图 2 所示. 从中可以看出, 各个车间表层土壤中铅的含量差异显著(同一车间有多个采样点取平均值). 不同车间表层土壤中铅的累积程度为: 4 车间 > 2 车间 > 废铅存放坑 > 污水处理站 > 3 车间 > 5 车间 > 1 车间 > 原 4 车间 > 包装车间 > 办公区. 整体来看, 污染主要集中在生产车间与废物处理场地. 办公区及包装车间铅的含量接近重庆地区铅的背景值, 基本没有污染. 办公区及包装车间铅含量很低的原因是没有直接污染源, 同时和生产车间有一定的距离, 铅的积累主要是受大气沉降的影响.

表 1 Hakanson 潜在生态危害指标

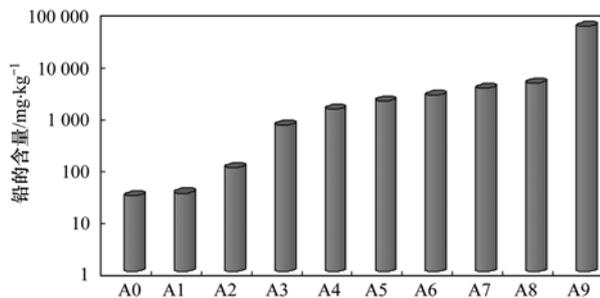
Table 1 Indices used to assess the potential ecological risk status			
潜在生态危害系数 E_i	单因子污染物生态风险程度	潜在生态危害指数 RI	潜在生态危害程度
< 40	低	< 150	轻度生态危害
40 ~ 80	中	150 ~ 300	中度生态危害
80 ~ 160	较重	300 ~ 600	强生态危害
160 ~ 320	重	\geq	很强生态危害
≥ 320	严重		极度生态危害

果见表 2. 从中可知车间表层土壤中铅的含量范围为 18.18 ~ 52 322.50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最高含量和最低含量相差 2878.6 倍. 该搬迁铅蓄电池厂土壤中铅的平均值为 2 784.40 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 中位值为 332.05 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 均超过《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》(HJ 350-2007)中规定的 A 级标准(140.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 表明该搬迁铅蓄电池厂采样区大部分受到污染. 土壤中铅的标准差为 7598.70 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值约为中位值的 8.39 倍, 表明土壤中的铅在该搬迁铅蓄电池厂厂区呈现局部富集现象. 该场地中土壤 pH 平均值是 7.86, 中位值是 8.07, 说明场地土壤整体成弱碱性; 有机质含量的平均值为 4 846.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (0.48%), 中位值为 3 750.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (0.38%), 大部分小于 1%, 表明该场地土壤的有机质含量较低, 场地比较贫瘠; 阳离子交换量的平均值和中位值比较接近, 说明场地的阳离子交换量比较一致.

原 4 车间包括了生产车间的各个功能: 配酸池、酸回用池、化成、合膏、锯耳、浇片、灌粉、装配. 但是原 4 车间污染程度较低的原因在于 80 年代由于建路的需要进行了搬迁, 对原 4 车间的场地污染土壤进行挖掘迁移, 并用新土进行了搅拌回填. 同样作为生产车间, 这可能是导致原 4 车间土壤中铅累积程度低的原因.

1 车间土壤中铅的累积程度比其他车间(除了原 4 车间)都低, 其原因是在 1943 ~ 1957 年主要生产通讯干电池, 1957 年至今主要是负责铅蓄电池的装配, 虽然使用年限久远但是并没有造成很大程度的污染. 5 车间属于制粉车间, 土壤中铅的来源主

要是铅粉大气沉降的影响. 2 车间、锅炉区、3 车间集中一个区域,三者的污染程度也比较接近,均超过《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》(HJ 350-2007) B 级标准($600.00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),属于土壤中铅的重度累积区. 2、3 车间都包括生产工艺的各个流程,但 2 车间污染浓度比 3 车间高的原因可能是使用年限久远的原因(2 车间建于 1983 年,3 车间建于 1995 年). 根据现场调查知道锅炉区是废铅存放区,长时间受到废铅的影响使得锅炉区土壤中铅的累积程度也较高. 导致 4 车间土壤中铅的累积程度比其他生产车间高出很多的原因可能是生产过程中操作不当,或者管理不完善. 污水处理站土壤中的铅主要来源于含铅废水的下渗,并受到周围生产车间含铅粉尘大气沉降的影响,使得污水处理站土壤中铅的含量很高甚至超过了 3 车间.



A0~A9 分别代表办公区前面场地、包装车间、原 4 车间、1 车间、5 车间、3 车间、污水处理站、废铅存放坑、2 车间、4 车间; 此处铅含量是同一车间不同点表层含量的平均值

图 2 不同车间表层土壤铅含量分布

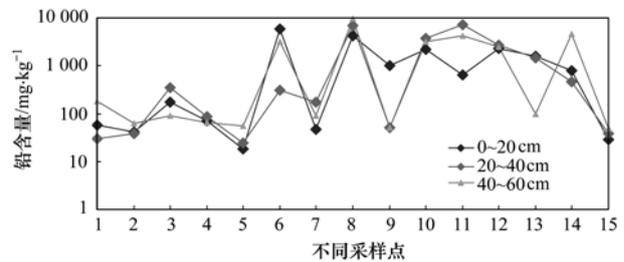
Fig. 2 Lead concentrations in topsoil collected from different workshops

2.3 不同车间剖面土壤中铅的分布特征

从图 3 可以看出,在不同样剖面样点中,土壤中铅的累积变化比较复杂,样点 2、4、5、8、10、12、15 在 0~20、20~40、40~60 cm 这 3 层土壤样本中铅的累积变化不大,有些则呈现先减小后增大(样点 1、6、14)、递减(样点 9、13)、先增大再减小(样点 3、7、11)3 种变化趋势. 整体来看,铅在不同的土壤剖面均呈现出较高的累积,表明土层深度对土壤中铅的累积没有显著的影响,与城市及农田土中铅在土壤表层和亚表层积累,深度越大铅含量越小的结果不符^[31, 32]. 搬迁场地中铅的分布不成规律与国内的一些研究结果比较相似^[33].

铅的累积不成规律可能有以下 4 个原因:① 采样点位于西南地区,受当地酸雨淋溶的影响;② 人为活动的影响,场地人为的翻覆过. 例如原 4 车间,

由于建路的原因进行了搬迁,对遗留场地的污染土壤进行了挖掘,并用新土进行了扰动回填,从而导致原 4 车间 4 个采样点在垂直分布上的累积既有变化不大(2、4)、先减小后增大(1),又有先增大后减小(3)这 3 个截然不同的分布规律;③ 车间使用年限,功能的不同. 例如 3 车间常年受到铅沉降的影响,使得采样点 12、13 在 0~40 cm 深度都呈现明显累积显现,并且 0~20 cm 和 20~40 cm 两层的累积程度都基本相同;④ 空气中铅沉降的影响,例如样点 9 位于办公区后面空地,主要累积在表层 0~20、20~40 和 40~60 cm 的累积程度很低并且两者的累积比较接近,说明此地主要是受铅大气沉降的影响,铅主要累积在表层.



1~4 是原 4 车间,5、7 是包装车间,6、14 是废铅存放坑,8~10 是污水处理站,11 是 1 车间,12、13 是 3 车间,15 是办公区

图 3 土壤中铅在不同剖面样点的含量分布

Fig. 3 Lead contents in soil profiles collected from different sampling sites

2.4 土壤中铅的生态风险

当前,将 Hakanson 潜在生态危险指数用于评价土壤重金属污染状况时,根据实际情况的不同所选的参比值有很大差别,有的用当地土壤重金属背景值为参比值^[34],大部分人以国家土壤环境质量标准(GB 15618-1995)为参比值^[35],也有一些学者采用展览会用地土壤质量评价标准(HJ 350-2007)为参比值^[33]. 由于我国于 2007-08-01 日起,实施了新的土壤环境质量标准《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》(HJ 350-2007),用于对场地开发的土壤环境进行质量评价,其 A 级标准值代表了土壤未受污染的环境水平^[36],故本研究选取 HJ 350-2007 A 级标准值($140 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)作为参比值.

评价结果见表 3,原 4 车间、包装车间生态风险程度为“低”,铅的单因子生态风险危险程度为轻度生态危害;3 车间、5 车间生态风险程度为“中”,铅的单因子生态风险危险程度为轻度生态危害;1 车间、2 车间生态风险程度为“较重”,铅的单因子生态风险危险程度分别为轻度生态危害、中度生态

表3 研究区土壤铅潜在生态风险计算结果

Table 3 Evaluation results of potential ecological risk in the study area

空间位置	E_i 值	土壤铅生态危险程度风险	RI 值 ¹⁾	潜在生态危险程度
原4 车间	3.54	低	3.54	轻度生态危害
包装车间	2.40	低	2.40	轻度生态危害
1 车间	145.26	较重	145.26	轻度生态危害
2 车间	151.99	较重	151.99	中度生态危害
3 车间	53.56	中	53.56	轻度生态危害
4 车间	1 869.02	严重	1 869.02	很强生态危害
5 车间	47.23	中	47.23	轻度生态危害
污水处理站	185.45	重	185.45	中度生态危害

1) 本研究中 $RI = E_i$, 表征铅的单因子潜在生态危害程度

危害; 污水处理站生态风险程度为“重”, 铅的单因子生态风险危险程度为中度生态危害; 4 车间生态风险程度为“严重”, 铅的单因子生态风险危险程度为很强生态危害. 表明该铅蓄电池厂的核心生产厂区及废水处理厂区土壤中铅的局部富集引起了生态风险, 搬迁场地需要及时修复治理才能继续利用.

3 结论

(1) 本研究的该搬迁铅蓄电池厂土壤中铅总含量在 $18.18 \sim 52\,322.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均含量为 $2\,784.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤中铅的累积程度排序为: 4 车间 > 2 车间 > 废铅存放坑 > 污水处理站 > 3 车间 > 5 车间 > 1 车间 > 原 4 车间 > 包装车间 > 办公区, 污染主要集中在生产和废物处理车间.

(2) 土壤中铅含量的标准差为 $7\,598.70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值约为中位值的 8.39 倍, 明显大于中位置, 表明铅在空间分布上存在严重的局部富集现象, 这与污染源强有着直接的关系. 从土壤的垂直分布上看, 铅在该蓄电池厂 3 个层间均呈现明显累积现象, 表明土层深度对土壤中铅的累积没有显著影响.

(3) Hakanson 潜在生态危险指数法的评价结果表明, 该厂区内土壤中的铅普遍存在生态风险, 在铅大量富集的车间存在“很强生态风险”, 表明该铅蓄电池厂土壤中铅的富集场地已达到了严重污染, 富集的场地必须经过修复治理才能继续开发利用.

参考文献:

[1] 王贵, 王芳. 重工业城市土壤重金属含量分布特征及污染评价——以包头市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 170-172.

[2] 王海峰, 赵保卫, 徐瑾, 等. 重金属污染土壤修复技术及其研究进展[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(11): 15-20.

[3] 张跃进, 王娟, 余旋. 嘉兴市市区加油站周边土壤中重金属铅的分布特征及影响评价[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(6): 898-903.

[4] 高文谦, 陈玉福. 铅污染土壤修复技术研究进展及发展趋势[J]. 有色金属, 2011, 63(1): 131-134.

[5] 张博. “血铅”危机的反思[J]. 中国有色金属, 2011, (5): 23-28.

[6] 陈满怀. 土壤环境学[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 216-273.

[7] 管东升, 陈玉娟, 阮国标. 广州城市及近郊土壤重金属含量特征及人类活动的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 40(4): 93-96.

[8] Komai Y. Heavy metal contamination in urban soils; Comparison of urban park soils between two cities with different city and industrial activities [J]. Bulletin of the University of Osaka Prefecture, 1981, 33: 17-22.

[9] Albasel N, Cottenie A. Heavy metal contamination near major highways, industrial and urban areas in belgian grassland [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1985, 24(1): 103-109.

[10] Cotrufo M F, De Santo A V, Alfani A, et al. Effects of urban heavy metal pollution on organic matter decomposition in *Quercus ilex* L. woods [J]. Environmental Pollution, 1995, 89(1): 81-87.

[11] Yeh C Y, Chiou H Y, Chen R Y, et al. Monitoring lead pollution near a storage battery recycling plant in Taiwan, Republic of China [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1996, 30(2): 227-234.

[12] Chen T B, Wong J W C, Zhou H Y, et al. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong [J]. Environmental Pollution, 1997, 96(1): 61-68.

[13] Schuhmacher M, Meneses M, Granero S, et al. Trace element pollution of soils collected near a municipal solid waste incinerator: Human health risk [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 1997, 59(6): 861-867.

[14] Lin Z X, Harsbo K, Ahlgren M, et al. The source and fate of Pb in contaminated soils at the urban area of Falun in central Sweden [J]. Science of the Total Environment, 1998, 209(1): 47-58.

[15] Madrid L, Diaz-Barrientos E, Madrid F. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville [J]. Chemosphere, 2002, 49(10): 1301-1308.

[16] Li X D, Lee S L, Wong S C, et al. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach [J]. Environmental Pollution, 2004, 129(1): 113-

- 124.
- [17] 应卫明, 章申. 海南岛琼山热带土壤中重金属分布和矿物特征的关系[J]. 土壤学报, 1988, (4): 54-61.
- [18] 毛海立, 余荣龙. 铅锌矿渣堆周围农田土壤中铜和铅的分布分析[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(25): 7884-7885.
- [19] 殷云龙, 宋静, 骆永明, 等. 南京市城乡公路绿地土壤重金属变化及其评价[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 206-209.
- [20] 胡晓荣, 查红平. 成渝高速公路某段路旁土壤铅含量分布的研究[J]. 化学研究与应用, 2006, 18(8): 1001-1004.
- [21] 詹凤平, 江映翔, 李明. 汽车尾气中铅在两侧土壤中的分布规律研究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(10): 58-61.
- [22] 滕彦国, 倪师军, 张成江, 等. 攀枝花地区不同工业区表层土壤中重金属分布的特征[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(3): 254-262.
- [23] 陈同斌, 郑袁明, 陈煌, 等. 北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J]. 环境科学, 2004, 25(1): 117-122.
- [24] 郭岩, 杨国义, 董巧香, 等. 汕头市典型区域土壤重金属污染特征及评价[J]. 环境科学, 2007, 28(5): 1067-1074.
- [25] 钟晓兰, 周生路, 李江涛, 等. 经济快速发展区土壤重金属累积评价[J]. 环境科学, 2010, 31(6): 1608-1615.
- [26] 柳云龙, 章立佳, 韩晓非, 等. 上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价[J]. 环境科学, 2012, 33(2): 599-604.
- [27] 项萌, 张国平, 李玲, 等. 广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律[J]. 环境科学, 2012, 33(1): 266-271.
- [28] 郭伟, 赵仁鑫, 张君, 等. 内蒙古包头铁矿区土壤重金属污染特征及其评价[J]. 环境科学, 2011, 32(10): 3099-3104.
- [29] 孙锐, 舒帆, 郝伟, 等. 典型 Pb/Zn 矿区土壤重金属污染特征与 Pb 同位素源解析[J]. 环境科学, 2011, 32(4): 1146-1152.
- [30] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [31] 郑袁明, 陈同斌, 陈煌, 等. 北京市不同土地利用方式下土壤铅的积累[J]. 地理学报, 2005, 60(5): 791-796.
- [32] 郭平, 谢忠雷, 李军, 等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价[J]. 地理科学, 2005, 25(1): 108-111.
- [33] 邓劲蕾, 张晟, 唐敏, 等. 铅在搬迁企业原址场地土壤中的空间分布及生态风险[J]. 环境化学, 2011, 30(2): 435-438.
- [34] 赵沁娜, 徐启新, 杨凯. 潜在生态危害指数法在典型污染行业土壤污染评价中的应用[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2005, (1): 111-116.
- [35] 李章平, 陈玉成, 杨学春, 等. 重庆市主城区土壤重金属的潜在生态危害评价[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, 28(2): 227-230.
- [36] HJ 350-2007, 展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)[S]. 国家环境保护总局/国家质量监督检验检疫总局, 2007.

CONTENTS

PUF Passive Air Sampling of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmosphere of the Yangtze River Delta, China: Spatio-Temporal Distribution and Potential Sources	ZHANG Li-fei, YANG Wen-long, DONG Liang, <i>et al.</i> (3339)
Quantitative Analysis of Nitrate in Atmospheric Particulates PM _{2.5} with Fourier Transform Infrared Spectroscopy	LIU Na, WEI Xiu-li, GAO Min-guang, <i>et al.</i> (3347)
Study on Contribution Factor to Atmospheric ·OH by O ₃ , HONO, HCHO and H ₂ O ₂ in Spring at Mangdang Mountain, Fujian Province	LIU Hao, WANG Hui-xiang (3352)
A Review on Current Situations of Steroid Estrogen in the Water System	DU Shao-ting, JIN Chong-wei, LIU Yue (3358)
A Study on the Veterinary Antibiotics Contamination in Groundwater of Jiaying	LÜ Xing, YU Wei-juan, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3368)
Contamination Characteristics of Short-Chain Chlorinated Paraffins in Edible Fish of Shanghai	JIANG Guo, CHEN Lai-guo, HE Qiu-sheng, <i>et al.</i> (3374)
Detection of Endotoxin Activity in Water Environment and Analysis of Influence Factors for TAL Assay	ZHANG Can, LIU Wen-jun, ZHANG Ming-lu, <i>et al.</i> (3381)
Cellular Response of Freshwater Green Algae to the Toxicity of Tetracycline Antibiotics	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, RAO Gui-wei (3386)
Illumination's Effect on the Growth and Nitrate Reductase Activity of Typical Red-Tide Algae in the East China Sea	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, DING Yan-yan, <i>et al.</i> (3391)
Compare the Growth of <i>Enteromorpha prolifera</i> Under Different Nutrient Conditions	PANG Qiu-ting, LI Feng, LIU Xiang-qing, <i>et al.</i> (3398)
Phytoplankton Pigment Patterns and Community Structure in the Yangtze Estuary and Its Adjacent Areas	LAI Jun-xiang, YU Zhi-ming, SONG Xiu-xian, <i>et al.</i> (3405)
Genetic Diversity of Picoeukaryotic Phytoplankton in the Lakes Along the Middle-lower Reaches of the Yangtze River	LI Sheng-nan, SHI Xiao-li, XIE Wei-wei, <i>et al.</i> (3416)
Studies on Seasonal Variation and Sources of Nitrogen and Phosphorus in a Canyon Reservoir Used as Water Source	HUANG Ting-lin, QIN Chang-hai, LI Xuan (3423)
Characteristics of Sediment Phosphorus in the Jiulong River-Reservoir System and Its Ecological Significance	LU Ting, CHEN Neng-wang, CHEN Zhu-hong, <i>et al.</i> (3430)
Variation of Nitrogen During the High Suspended Sediments Concentration Water Supply in an Artificial Shallow Lake	CHEN You-yuan, SHEN Yu, YANG Shi-ying (3437)
Limestone and Pyrite-Limestone Constructed Wetlands for Treating River Water	ZHANG Jing, LI Rui-hua, LI Jie, <i>et al.</i> (3445)
Dynamics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Storage of Three Dominant Marsh Plants in Hangzhou Bay Coastal Wetland	SHAO Xue-xin, LI Wen-hua, WU Ming, <i>et al.</i> (3451)
Dissolved Organic Matter Release of <i>Zizania caduciflora</i> and <i>Phragmites australis</i> from Lake Dianchi	XIE Li, YANG Hao, QU Xiao-xia, <i>et al.</i> (3458)
Influence of Tap Water Treatment on Perfluorinated Compounds Residue in the Dissolved Phase	ZHANG Hong, CHEN Qing-wu, WANG Xin-xuan, <i>et al.</i> (3467)
Study on Chlorinated Disinfection Byproducts and the Relevant Health Risk in Tap Water of J City	LI Xiao-ling, LIU Rui, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3474)
Effect of the Change in Sulphate and Dissolved Oxygen Mass Concentration on Metal Release in Old Cast Iron Distribution Pipes	WU Yong-li, SHI Bao-you, SUN Hui-fang, <i>et al.</i> (3480)
Research on Low-level Hg(II) Removal from Water by the Heavy Metal Capturing Agent	HU Yun-jun, SHENG Tian-tian, XUE Xiao-qin, <i>et al.</i> (3486)
Coagulation Characteristics of Polyferric Chloride-Poly (Epiclorohydrin-Dimethylamine) Composite Flocculant for Simulated Water Treatment	LIU Xin-xin, YANG Zhong-lian, GAO Bao-yu, <i>et al.</i> (3493)
Microstructure Morphology and Flocculation Mechanism of the Decolorizing Flocculant Poly-aluminum(III)-magnesium(II)-sulfate	SANG Yi-min, CHANG Xue-hong, CHE Yue, <i>et al.</i> (3502)
Efficient Degradation of Tetrabromobisphenol A in Water by Co-doped BiFeO ₃	OUYANG Lei, DING Yao-bin, ZHU Li-hua, <i>et al.</i> (3507)
Preparation Bimetallic Heterogeneous Fenton-Like Catalyst as Sepiolite Supported and Its Surface Chemical Characterization	SU Cheng-yuan, LI Wei-guang, LIU Xing-zhe, <i>et al.</i> (3513)
Nitrite Denitrification Characteristics with Redox Mediator	ZHAO Li-jun, MA Zhi-yuan, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (3520)
Advanced Nitrogen Removal Using Innovative Denitrification Biofilter with Sustained-Release Carbon Source Material	TANG Lei, LI Peng, ZUO Jian-e, <i>et al.</i> (3526)
N ₂ O Production in Nitrogen Removal by Micro-expansion of Granular Sludge	CHEN Li-li, GAO Da-wen (3532)
Sludge Dewaterability with Combined Conditioning Using Fenton's Reagent and CPAM	MA Jun-wei, LIU Jie-wei, CAO Rui, <i>et al.</i> (3538)
Kinetic Characteristics of High-rate ANAMMOX Granules	TANG Chong-jian, XIONG Lei, WANG Yun-yan, <i>et al.</i> (3544)
Monitoring Nitrogen Deposition on Temperate Grassland in Inner Mongolia	ZHANG Ju, KANG Rong-hua, ZHANG Bin, <i>et al.</i> (3552)
Non-Point Loads of Soluble Cadmium by <i>in situ</i> Field Experiment with Different Landuses, in Central Hunan Province Mining Area	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, CHEN Zhe, <i>et al.</i> (3557)
Heavy Metal Speciation and Stability in the Sediment of Lihu Lake	WANG Shu-hang, WANG Wen-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3562)
Analysis and Evaluation of Heavy Metals Along the Chaohe River in Miyun County	YU Yang, GAO Hong-chao, MA Jun-hua, <i>et al.</i> (3572)
Magnetic Properties of Topsoils in Typical Industrial Belt Along the Yellow River in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Significance	XU Shu-jing, ZHANG Ying, YU Ye, <i>et al.</i> (3578)
Study on Composite Stabilization of Arsenic (As) Contaminated Soil	WANG Hao, PAN Li-xiang, ZHANG Xiang-yu, <i>et al.</i> (3587)
Heavy Metal Contents and Enrichment Characteristics of Dominant Plants in a Lead-Zinc Tailings in Xiashuiwan of Hunan Province	HE Dong, QIU Bo, PENG Jin-hui, <i>et al.</i> (3595)
Comparison of Soil Fertility Among Open-pit Mine Reclaimed Lands in Antaibao Regenerated with Different Vegetation Types	WANG Xiang, LI Jin-chuan, YUE Jiao, <i>et al.</i> (3601)
Biodegradation of Triphenyltin and Its Effect on <i>Klebsiella pneumoniae</i>	YE Jin-shao, TIAN Yun, YIN Hua, <i>et al.</i> (3607)
Isolation and Degradation Characteristics of Dichloromethane-Degradation Bacterial Strain by <i>Methylobacterium rhodesianum</i> H13	LIU Hong-xia, ZHU Run-ye, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3613)
Effect of Different Primers on Microbial Community of Activated Sludge	XU Ai-ling, WU Deng-deng, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i> (3620)
Reaction of SO ₂ over CaAl Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites Samples	CAO Lin, WANG Hai-lin, XIE Qiang (3627)
Optimization for MSW Logistics of New Xicheng and New Dongcheng Districts in Beijing Based on the Maximum Capacity of Transfer Stations	YUAN Jing, LI Guo-xue, ZHANG Hong-yu, LUO Yi-minget <i>al.</i> (3633)
Application of Multiple Lines of Evidence Analysis Technology in the Assessment of Sites Contaminated by Heavy Metals	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, ZHU Xiao-yong, <i>et al.</i> (3641)
Heavy Metals and Their Sources in Outdoor Settled Dusts in Different Function Areas of Cities	LI Xiao-yan, LIU Yan-qing (3648)
Study on Distribution Characteristics and Potential Ecological Risk of Soil Heavy Metals in the Yellow River Beach Region in Kaifeng City	ZHANG Peng-yang, QIN Ming-zhou, YAN Jiang-hong, <i>et al.</i> (3654)
Study on Pollution Evaluation of Heavy Metal in Surface Soil of the Original Site of Qingdao North Station	ZHU Lei, JIA Yong-gang, PAN Yu-ying (3663)
Distribution Characteristics and Ecological Risk of Pb in Soils at a Lead Battery Plant	ZHENG Li-bao, CHEN Wei-ping, JIAO Wei-tao, <i>et al.</i> (3669)
Effect of Lead on Soil Quality and Human Health Around a Lead Smeltery	ZHOU Xiao-yong, LEI Mei, YANG Jun, <i>et al.</i> (3675)
Distribution Characteristics of Lead in Different Particle Size Fractions of Surface Soil of a Lead-acid Battery Factory Contaminated Site	YUE Xi, SUN Ti-chang, HUANG Jin-lou (3679)
Research on the Application of <i>In-situ</i> Biological Stabilization Solidification Technology in Chromium Contaminated Site Management	ZHANG Jian-rong, LI Juan, XU Wei (3684)
Research on the Effect and Technique of Remediation for Multi-Metal Contaminated Tailing Soils	ZHU Guang-xu, GUO Qing-jun, YANG Jun-xing, <i>et al.</i> (3690)
Analysis of Washing Efficiency and Change in Lead Speciation in Lead-contaminated Soil of a Battery Factory	REN Bei, HUANG Jin-lou, MIAO Ming-sheng (3697)
Remediation Efficiency of Lead-Contaminated Soil at an Industrial Site by Ultrasonic-assisted Chemical Extraction	WANG Xin-jie, HUANG Jin-lou, LIU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (3704)
Parameters Optimization and Cleaning Efficiency Evaluation of Attrition Scrubbing Remediation of Pb-Contaminated Soil	YANG Wen, HUANG Jin-lou, PENG Hui-qing, <i>et al.</i> (3709)
Adsorption of Cd ²⁺ on Biochar from Aqueous Solution	GUO Wen-juan, LIANG Xue-feng, LIN Da-song, <i>et al.</i> (3716)
Effect of Inorganic Amendments on the Stabilization of Heavy Metals in Contaminated Soils	CAO Meng-hua, ZHU Xi, LIU Huang-cheng, <i>et al.</i> (3722)

《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9月15日 34卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 9 Sep. 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