

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, 高闯光, 徐亮, 焦洋, 李胜, 童晶晶, 程已阳 (3347)
福建茫荡山地区春季大气O ₃ 、HONO、HCHO、H ₂ O ₂ 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, 谢微微, 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N ₂ O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, 陈求稳, 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, 胡凌雪, 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SO ₂ 储存性能研究	曹琳, 王海林, 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	
多证据分析技术在地表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)	

我国城市不同功能区地表灰尘重金属分布及来源

李晓燕¹, 刘艳青²

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 2. 环境保护部环境保护对外合作中心, 北京 100035)

摘要: 为揭示城市不同功能区地表灰尘重金属的分布规律及污染来源, 在文献调研的基础上, 通过对多个省会城市主要功能区地表灰尘重金属数据的分析和比对, 阐述了我国城市不同功能区地表灰尘中 Cd、Cu、Pb 和 Zn 的分布及累积差异, 并探讨了不同功能区地表灰尘重金属的可能来源及影响因素。结果表明, 工业区地表灰尘重金属含量最高, 交通区地表灰尘重金属含量最低, 商业区和居民文教区地表灰尘重金属含量处于中等水平。4 种功能区之间地表灰尘重金属水平分异较大的元素是 Zn 和 Pb, Cu 和 Cd 在不同功能区地表灰尘中的含量差异较小。相对于城市土壤, 工业区地表灰尘重金属累积最重, 其它 3 个功能区地表灰尘重金属累积差异不明显, 但相对而言, 交通区地表灰尘重金属累积最轻。不同功能区地表灰尘累积程度差异最小的元素是 Cd。

关键词: 重金属; 累积; 灰尘; 功能区; 城市

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)09-3648-06

Heavy Metals and Their Sources in Outdoor Settled Dusts in Different Function Areas of Cities

LI Xiao-yan¹, LIU Yan-qing²

(1. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. Foreign Economic Cooperation Office, Ministry of Environmental Protection of China, Beijing 100035, China)

Abstract: To study the distribution of heavy metals in outdoor settled dusts in different functional areas, based on the literature published, we described the difference in heavy metal accumulation in functional areas and their sources by comparing and analyzing the data of heavy metal concentrations in some capital cities. The results showed that industrial area had the highest heavy metal concentration, followed in descending order by residential area and commercial area, and finally, traffic area. The levels of Zn and Pb in the four functional areas showed higher spatial variability, while there was little difference in Cu and Cd levels. Compared to the heavy metal concentration in urban soils, industrial area appeared heavily accumulated and traffic area appeared lighter accumulated with heavy metals, while there was little difference among other three functional areas except industrial area. The accumulation of Cd in the four functional areas showed the lowest spatial variability.

Key words: heavy metal; accumulate; dust; functional area; cities

城市地表灰尘的物质组成和含量可以作为城市环境重金属污染的指示^[1], 对城市居民存在潜在的健康威胁^[2]。城区地表由多种土地利用方式共同组成, 其中包含局部和可扩散的污染源, 如交通、工业和家庭活动等, 不同类型的活动释放的重金属种类和含量不同, 因而沉降在地表导致了地表灰尘中重金属水平的空间差异^[3]。

我国不少学者对城市不同功能区地表灰尘重金属进行了研究^[4-6], 对于不同城市, 基本上都表现为工业区地表灰尘重金属含量最高, 但其它功能区的重金属分布特征因城市不同而各有相似或差异, 而且, 不同城市因其地域范围和人类活动频繁程度不同, 研究时选择的功能区也不尽相同。那么对于城市地表, 城市主要功能区灰尘重金属的分布特征总体表现如何? 其来源有何特征差异? 对于相关问题的研究, 还鲜见文献报道。本文在文

献调研的基础上, 主要以省会城市为例, 选取 4 种主要城市功能区, 通过对功能区地表灰尘重金属数据的分析和比对, 阐述我国城市不同功能区地表灰尘中 Cd、Cu、Pb 和 Zn 的分布及累积差异, 并探讨不同功能区地表灰尘重金属的可能来源及影响因素。

1 城市不同功能区地表灰尘重金属分布

将按功能分区讨论的省会城市(洛阳为地级市)的地表灰尘数据分区统计。列于表 1~表 4。

1.1 工业区地表灰尘重金属分布

不同城市工业区地表灰尘 Cd 的差异最大(表

收稿日期: 2013-02-22; 修订日期: 2013-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161079)

作者简介: 李晓燕(1966~), 博士, 教授, 主要研究方向为区域环境质量, E-mail: lxyan421@163.com

1), 重庆的 Cd 含量远高于表中其它城市, 是多城市几何平均值的 8.6 倍, 南京地表灰尘 Cd 含量最低. 表 1 中 10 城市地表灰尘 Cu 含量范围为 39.3 ~ 850 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 变异系数为 104%, 最高值出现在洛阳, 最低值出现在济南; 与 Cd 和 Cu 相比, 不同城市灰尘中 Pb、Zn 含量的差异相对较小, Pb 含量范围: 48.0

~ 545 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Zn 含量范围: 204 ~ 2 192 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Pb、Zn 含量最高值分别出现在重庆和洛阳, 最低值均出现在济南. 10 个城市中, 洛阳的 Cu 和 Zn 含量最高, 重庆的 Cd 和 Pb 含量最高, 4 个元素综合比较可知, 重庆和洛阳的灰尘重金属含量较高, 而济南灰尘重金属含量最低.

表 1 不同城市工业区地表灰尘重金属含量¹⁾

Table 1 Concentrations of heavy metals in the industrial area in cities

城市	重金属/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$				相关工业	文献
	Cd	Cu	Pb	Zn		
乌鲁木齐	—	80.9	79.6	579		[7]
济南	—	39.0	48.0	204		[8]
沈阳 ²⁾	3.32	120	406	247	汽车、机械加工	[9]
西安	—	159	545	960	电镀、水泥、造纸等	[10]
洛阳	2.87	850	467	2 192	铜业、机车制造	[11]
太原	—	73.3	107	1 186	钢铁等	[12]
南京	0.99	142	120	439	钢铁、石化、电力	[13]
杭州	2.62	199	137	504	钢铁等	[14]
重庆	25.8	589	558	441	钢铁、机械、电力	[15]
贵阳	1.11	260	147	744	钢铁、金属加工	[16]及本研究
几何平均	2.99	166	189	548		
变异度/%	158	104	79	86		

1) 表中所有数据根据原文献提供的数据取 3 位有效数字; 2) 非采暖期空气降尘, 下同

1.2 商业区地表灰尘重金属分布

不同城市之间商业区地表灰尘重金属含量的分布较为均一(表 2), 4 个元素含量变异度均低于 100%. Cd、Cu、Pb 和 Zn 含量最高的城市分别为沈

阳、洛阳、杭州和洛阳, Cd 含量最低的城市是贵阳, Cu、Pb 和 Zn 含量最低的城市是济南. 总体而言, 商业区地表灰尘重金属含量较高的城市是洛阳, 较低的城市是济南.

表 2 不同城市商业区地表灰尘重金属含量

Table 2 Concentrations of heavy metals in the commercial area in cities

城市	重金属/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$				文献
	Cd	Cu	Pb	Zn	
乌鲁木齐	—	123	111	657	[7]
济南	—	51.3	66.0	180	[8]
沈阳	3.52	116	110	232	[9]
西安	—	76.1	142	279	[10]
洛阳	2.53	265	143	1 318	[11]
南京	1.09	157	139	514	[13]
太原	—	91.6	86.8	574	[12]
杭州	1.54	159	365	239	[14]
贵阳	0.867	96.6	59.8	313	[16]及本研究
几何平均	1.67	114	118	375	
变异度/%	58	50	67	81	

1.3 交通区地表灰尘重金属分布

因重庆市地表灰尘 Cd 含量远高于其它城市, 故其参与比较的各功能区不同城市之间 Cd 的变异度都较高. 除 Cd 外, 不同城市交通区地表灰尘 Pb 的变异度相对较高, 最高值 437 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (北京) 是最低值 60.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (贵阳) 的 7.2 倍. 其它两元素含量变异度都较低, 特别是 Zn, 最高值 788 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

(乌鲁木齐) 与最低值 211 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (沈阳) 相差仅 3.72 倍. 总体看来, 交通区地表灰尘重金属含量较高的城市是重庆, 较低的城市是西安(表 3).

1.4 居民文教区

表 4 显示, 除 Cd 外, 不同城市居民文教区地表灰尘重金属含量差异不大, 变异度均低于 50%. 北京的 Cd 含量最低; Cu、Pb 含量最高值均出现在南

表 3 不同城市交通区地表灰尘重金属含量

Table 3 Concentrations of heavy metals in the traffic area in cities

城市	重金属/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$				文献
	Cd	Cu	Pb	Zn	
乌鲁木齐	—	86.2	85.6	788	[7]
沈阳	3.03	105	129	211	[9]
北京	1.11	67.3	437	—	[17]
西安	—	70.4	108	227	[10]
洛阳	1.79	117	83.6	748	[11]
南京	0.94	164	116	408	[13]
太原	—	132	88.2	633	[12]
重庆	12.7	275	245	394	[15]
贵阳	0.894	128	60.7	394	[16]及本研究
几何平均	2.00	116	123	405	
变异度/%	136	50	80	51	

表 4 不同城市居民文教区地表灰尘重金属含量

Table 4 Concentrations of heavy metals in the residential and education area in cities

城市	重金属/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$				文献
	Cd	Cu	Pb	Zn	
乌鲁木齐	—	69.3	90.6	411	[7]
沈阳	2.85	75.8	105	201	[9]
北京	0.705	57.3	69.4	301	[18]
西安	—	103	268	434	[10]
洛阳	2.30	41.8	98.2	719	[11]
太原	—	124	107	667	[12]
南京	1.46	137	142	467	[13]
杭州	0.800	36.0	85.0	154	[14]
重庆	7.83	123	140	209	[15]
贵阳	1.08	124	103	423	[16]及本研究
几何平均	1.73	81.0	112	332	
变异度/%	103	42	47	48	

京,Zn 最高值出现在洛阳,Cu、Zn 最低值出现在杭州,Pb 最低值出现在北京. 总体看来,杭州地表灰尘重金属含量处于较低水平.

2 城市不同功能区地表灰尘重金属分布差异

从多城市不同功能区地表灰尘重金属含量的几何均值(表 1~表 4)来看,各元素含量分布趋势如下($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Cd:工业区(2.99)>交通区(2.00)>居民文教区(1.73)>商贸区(1.67); Cu:工业区(166)>交通区(116)≈商贸区(114)>居民文教区(81.0); Pb:工业区(189)>交通区(123)>商贸区(118)>居民文教区(112); Zn:工业区(548)>交通区(405)>商贸区(375)居民文教区>(332). 工业区地表灰尘中 4 种元素含量明显高于其它 3 个功能区,交通区地表灰尘 Zn、Cd 略高于其它两个功能区,商贸区与居民文教区地表灰尘 Cd、Pb、Zn 含量较为接近.

表 1~表 4 每个功能区所涉及的城市不完全相

同,因而上述比较可能会存在些许偏差,为更准确地描述不同功能区地表灰尘重金属的分布差异,将 4 个功能区数据齐全的 7 个城市(乌鲁木齐、沈阳、西安、洛阳、太原、南京、贵阳)的地表灰尘重金属含量取几何均值,如图 1.

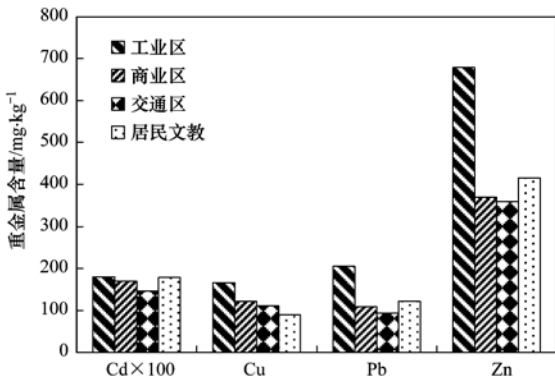


图 1 城市不同功能区地表灰尘重金属分布

Fig. 1 Distribution of heavy metals in street dust of different function areas

从图 1 可看出工业区 Pb、Zn 明显高于其它 3 个功能区,Cu 略高于 3 个功能区,Cd 的含量与居民文教区相当,分别为 $1.80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1.79\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;商业区、交通区和居民文教区地表灰尘中 Cd、Cu、Pb 和 Zn 的含量差别不大,其中,交通区的 Cd、Pb 和 Zn 含量均处于最低值,而居民文教区的 Cu 含量最低. 总体而言,工业区地表灰尘重金属含量最高,交通区地表灰尘重金属含量最低,商业区和居民文教区地表灰尘重金属含量接近,处于中等水平. 4 种功能区之间地表灰尘重金属水平分异较大的元素是 Zn 和 Pb,而 Cu 和 Cd 的差异较小.

另外,对于 7 个城市的灰尘重金属含量最大值和最小值出现的功能区及其出现频次进行了统计

表 5 城市灰尘重金属极值出现最多的功能区及频次($n=7$)

Table 5 Function area with the max and min value of heavy metals in dusts and its frequency				
项目	Cd	Cu	Pb	Zn
$P_{\max}(R)$	工业区(50%)	工业区(57.1%)	工业区(71.4%)	工业区(71.4%)
$P_{\min}(R)$	交通区(50%)	居民文教区(42.8%)	交通区(42.8%)	居民文教区(42.8%)

1) $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$ 分别为元素含量最高值和最低值出现频次最多的功能区,R 为出现频次

3 相对于城市土壤的累积程度

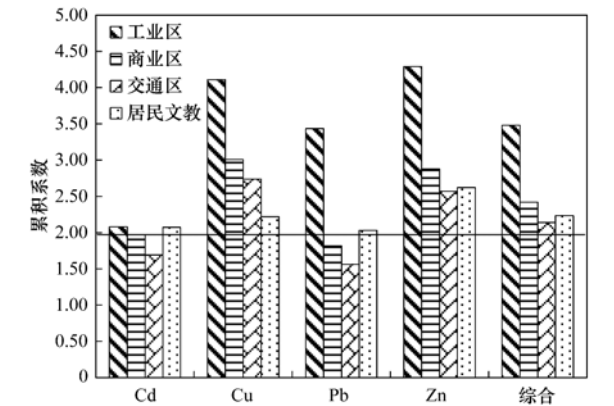
对于城市灰尘中重金属的累积或污染的评述,目前没有统一的标准和限值. 目前我国大多数此类研究都是以土壤背景值为参照依据进行污染风险评价,但在对土壤背景值的取值方面存在一些差异. 多数研究^[7, 19]直接引用 1990 年中国环境监测总站公布的以省为单位给出的土壤元素背景值来代替城市土壤背景值进行评价;但也有些研究^[6, 8]采用已发表的该城市的土壤元素背景值数据评估地表灰尘重金属污染状况;不同时段、不同范围的背景值的取向不可避免会带来评价结果的局限性,同时也降低了城市之间污染程度的可比性. 城市土壤重金属含量及其理化特征是近年来较为关注的热点研究之一,不少学者将城市土壤与灰尘重金属结合起来进行系统研究^[1, 6, 20],在采样范围、点位以及分析手段上都存在诸多一致,因此直接使用近年来发表的城市土壤重金属数据进行参比,探讨不同功能区地表灰尘相对于城市土壤的累积程度,对评价城市不同功能区地表灰尘重金属累积程度的差异更可靠和更直接.

7 城市土壤 Cd、Cu、Pb 和 Zn 含量见表 6. 图 2 为城市不同功能区地表灰尘重金属含量相对于城市土壤的累积系数.

(表 5),结果显示灰尘中 Cd、Cu、Pb、和 Zn 的最高值均主要出现在工业区,而 Cd、Pb 和 Cu、Zn 的最低值出现最多的功能区分别是交通区和居民文教区. 因此,无论是从整体平均值(图 1)还是从城市样本比例来看,研究结果都显示工业区重金属含量最高,而交通区和居民文教区重金属含量相对较低. 交通区一直是重金属污染的重点关注区域,但近来陆续有研究显示,与其它功能区相比,交通区地表灰尘或土壤重金属含量并不总是位于较高水平^[11, 13]. 虽然交通活动是重金属的主要释放源之一,也是导致城市地表灰尘重金属累积的主要人类活动之一,但是,在复杂多变的环境动态活动的扰动下,沉积在交通区地表灰尘中的重金属含量并不一定总是处于较高水平.

表 6 城市土壤重金属含量

Table 6 Concentrations of heavy metals in urban soils					
城市	重金属/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$				文献
	Cd	Cu	Pb	Zn	
乌鲁木齐	—	44.0	55.2	169	[21]
沈阳	2.40 ^[22]	55.6	110	94.4	[23]
西安	—	38.2	60.5	179	[24]
洛阳	0.210	29.7	33.8	83.3	[25]
太原	0.143	24.4	23.7	72.0	[26]
南京	1.13	40.0	117	273	[27]
贵阳	0.984	66.1	79.5	243	[28]



综合累积系数为各功能区 4 个元素累积系数的平均值

图 2 地表灰尘重金属相对于城市土壤的累积系数

Fig. 2 Accumulation coefficient of heavy metals in street dust to soil

相对于城市土壤元素含量,地表灰尘重金属的累积系数在 1.56 ~ 4.29 之间(图 2),Cd 的累积程度最低,4 个功能区灰尘 Cd 含量平均累积系数为 1.95,Pb 的累积程度次之,除工业区外,其它 3 个区域地表灰尘的累积系数都小于 2.00 或略高于 2.00;Zn 的累积程度最高,4 个功能区 Zn 累积系数均值为 3.09。另外,图 2 显示,工业区灰尘 Cu、Pb 和 Zn 累积程度明显高于其它 3 个区域;在商业区、交通区和居民文教区之间,居民文教区的 Cu 累积程度明显小于其它 2 个功能区,而 Cd、Pb 和 Zn 在 3 个功能区之间的累积差异较为接近,但比较而言,交通区的 Cd 和 Pb 累积系数最低。从 4 种元素的综合累积系数来看,工业区地表灰尘重金属累积最重,其它 3 个功能区累积差异不明显,但相对而言,交通区地表灰尘重金属累积最轻。

4 不同功能区地表灰尘重金属来源及影响因素分析

工业区地表灰尘重金属含量远高于城市土壤,说明该区域灰尘重金属并不主要来源于土壤,而是很大程度上来源于与之有关的工业生产。不同类型的工业活动释放的重金属元素不同^[4, 11]。表 1 列出了各城市的相关的工业类型。钢铁生产释放的最普遍的元素是 Zn,汽车制造与 Pb 的释放有关,冶炼和机械加工因原材料的不同释放的元素也不同,如洛阳的铜业生产则可能释放大量的含 Cu 微粒进入周边环境导致灰尘 Cu 含量增高,Cd 的释放可能与机械、电镀等工业类型有关,热电工业与 Pb 等多种重金属的释放有关。

交通区地表灰尘主要受交通活动的影响。影响途径包括机车刹车块、轮胎及其它零件的磨损、尾气的排放以及道路扬尘的反复扬起和沉积^[29]。Zn 主要来源于轮胎的磨损,ZnO 作为硬化过程的催化剂被添加到轮胎中,在轮胎中占 0.4% ~ 4%^[30];Cu 主要来源于刹车块的磨损^[29];Pb 可能来源于用于平衡轮胎的铅块的磨损^[31]和尾气的排放;而反复扬起和沉积的道路扬尘的物质组成较为复杂,它包含了多种来源的有害重金属,Kumar 等^[32]对印度交通路口的重悬浮颗粒物进行了定量分析,研究显示 41% 来自道路灰尘,15% 来自机车释放,15% 来自海洋气溶胶,6% 来自金属工业,6% 来自煤的燃烧。因此扬尘的再次沉降是交通区地表灰尘多种元素的共同输入途径。

商业区地表灰尘来源相对多样和复杂。与工业区和交通区不同,商业区没有工业生产和交通运输

等释放重金属的主体活动,商业区的特点是位于城市干道(街道)旁、商品种类繁多和人群聚集且流动量大,因此商业区地表灰尘重金属既来源于土壤、空气沉降,又部分受交通活动的影响,还与建筑物外墙的风化、城市设施表面油漆碎片的脱落^[33]、商品的磨蚀以及人群的聚集所产生的灰尘的携带和运移有关,并且人体足部对灰尘和重金属的搬运与富集具有不可忽视的作用^[34]。

居民文教区与商业区地表灰尘重金属来源部分相似,但因其地理位置的相对僻静,其受交通活动的影响总体上小于商业区,而且居民区地表灰尘具有其它 3 个功能区几乎不具备的独特来源室内灰尘的输入。家庭住房室内环境相对复杂,不少家具和家用小商品都含有重金属,如铜质家具、镀锌镀铬器具^[35]等,这些器具的磨损和室内墙体的腐蚀以及化妆品的释放产生的重金属微粒都会存在室内灰尘中,然后通过垃圾倾倒和与室外的空气流通等途径进入室外环境沉降到地表,不少研究报道家庭灰尘中的 Pb、Cd^[36, 37]等重金属明显高于室外地表灰尘和土壤,本研究显示居民文教区地表灰尘中的 Pb 和 Cd 无论是绝对含量还是相对于土壤的累积系数都高于商业区和交通区,这可能体现了家庭灰尘对室外地表灰尘的影响。

5 结论

(1)工业区地表灰尘重金属含量最高,交通区地表灰尘重金属含量最低,商业区和居民文教区地表灰尘重金属含量接近,处于中等水平。4 种功能区之间地表灰尘重金属水平分异较大的元素是 Zn 和 Pb,Cu 和 Cd 在不同功能区地表灰尘中的含量差异较小。

(2)相对于城市土壤,工业区地表灰尘重金属累积最重,其它 3 个功能区地表灰尘重金属累积差异不明显,但相对而言,交通区地表灰尘重金属累积最轻。不同功能区地表灰尘累积程度差异最小的元素是 Cd。

参考文献:

- [1] Li X D, Poon C S, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong[J]. *Applied Geochemistry*, 2001, **16**(11-12): 1361-1368.
- [2] Okorie A, Entwistle J, Dean J R. Estimation of daily intake of potentially toxic elements from urban street dust and the role of oral bioaccessibility testing[J]. *Chemosphere*, 2012, **86**(5): 460-467.
- [3] Rio-Salas R D, Ruiz J, De la O-Villanueva M, et al. Tracing

- geogenic and anthropogenic sources in urban dusts: Insights from lead isotopes [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **60**: 202-210.
- [4] 龙永珍, 邹海洋, 戴塔根. 长株潭市区近地表灰尘中重金属分布污染研究[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2010, **41**(4): 1633-1638.
- [5] 李如忠, 周爱佳, 童芳, 等. 合肥市城区地表灰尘重金属分布特征及环境健康风险评价[J]. *环境科学*, 2011, **32**(9): 2661-2668.
- [6] 史贵涛, 陈振楼, 许世远, 等. 上海城市公园土壤及灰尘中重金属污染特征[J]. *环境科学*, 2007, **28**(2): 238-242.
- [7] 刘玉燕, 刘浩峰, 刘敏. 乌鲁木齐市地表灰尘重金属含量及其健康风险[J]. *干旱区研究*, 2009, **26**(5): 750-754.
- [8] 陈青林, 王惠, 杨宝山, 等. 济南市地表灰尘重金属含量及其污染评价[J]. *济南大学学报(自然科学版)*, 2013, **27**(4): 428-432.
- [9] 李崇. 沈阳城市灰尘中金属的空间分布特征研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2008.
- [10] Han Y M, Du P X, Cao J J, *et al.* Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **355**(1-3): 176-186.
- [11] 刘德鸿, 王发园, 周文利, 等. 洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险[J]. *环境科学*, 2012, **33**(1): 253-259.
- [12] 曹冬霞. 太原市地表灰尘重金属的污染状况及环境风险[D]. 太原: 山西大学, 2012.
- [13] Hu X, Zhang Y, Luo J, *et al.* Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China[J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(5): 1215-1221.
- [14] 张慧敏, 章明奎. 杭州不同功能区道路灰尘中污染物的分布和有效性[J]. *广东微量元素科学*, 2007, **14**(12): 14-18.
- [15] 王学良. 重庆市主城区街道灰尘的污染分析研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [16] 李晓燕, 李保冬, 陈朋, 等. 城市功能对地表灰尘 Cd 的影响——以贵阳市为例[J]. *华中农业大学学报*, 2012, **31**(4): 33-37.
- [17] 杨孝智, 陈扬, 徐殿斗, 等. 北京地铁站灰尘中重金属污染特征及健康风险评价[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(6): 944-950.
- [18] 李晓燕, 陈同斌, 雷梅, 等. 北京城市广场及校园表土(灰尘)中重金属水平与健康风险[J]. *地理研究*, 2010, **29**(6): 2-9.
- [19] 王晓云, 马建华, 侯千, 等. 开封市幼儿园地表灰尘重金属积累及健康风险[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(3): 583-593.
- [20] Shi G T, Chen Z L, Xu S Y, *et al.* Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China[J]. *Environmental Pollution*, 2008, **156**(2): 251-260.
- [21] 刘玉燕, 刘敏, 刘浩峰. 乌鲁木齐城市土壤中重金属分布[J]. *干旱区地理*, 2006, **29**(1): 120-123.
- [22] 依艳丽, 王义, 张大庚, 等. 沈阳城市土壤-旱柳-降尘系统中铅、镉的分布迁移特征研究[J]. *土壤通报*, 2010, **41**(6): 1466-1470.
- [23] 田佳昕, 魏忠义. 沈阳市土壤重金属的空间变异规律分析[J]. *江西农业学报*, 2008, **20**(4): 54-56.
- [24] 阴雷鹏, 赵景波. 西安市主要功能区表层土壤重金属污染现状评价[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2006, **34**(3): 109-112.
- [25] 王志坤, 宁福政, 付巧玲, 等. 洛阳城区土壤重金属污染现状评价[J]. *物探与化探*, 2008, **32**(4): 412-416.
- [26] 李德胜, 杨忠芳, 靳职斌. 太原盆地土壤微量元素的地球化学特征[J]. *地质与勘探*, 2004, **40**(3): 86-89.
- [27] 吴新民, 李恋卿, 潘根兴, 等. 南京市不同功能城区土壤中重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的污染特征[J]. *环境科学*, 2003, **24**(3): 105-111.
- [28] 李晓燕, 曹益金, 齐乐, 等. 城市功能对贵阳市城区土壤重金属分布的影响[J]. *地球与环境*, 2010, **38**(4): 421-427.
- [29] Apeagyei E, Bank M S, Spengler J D. Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(13): 2310-2323.
- [30] Adachi K, Tainosho Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust[J]. *Environment International*, 2004, **30**(8): 1009-1017.
- [31] Caravanos J, Weiss A L, Blaise M J, *et al.* A survey of spatially distributed exterior dust lead loadings in New York City [J]. *Environmental Research*, 2006, **100**(2): 165-172.
- [32] Kumar A V, Patil R S, Nambi K S. Source apportionment of suspended particulate matter at two traffic junctions in Mumbai, India [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(25): 4245-4251.
- [33] Turner A, Sogo Y S K. Concentrations and bioaccessibilities of metals in exterior urban paints [J]. *Chemosphere*, 2012, **86**(6): 614-618.
- [34] Hunt A, Johnson D L, Griffith D A. Mass transfer of soil indoors by track-in on footwear[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **370**(2-3): 360-371.
- [35] Lisiewicz M, Heimburger R, Golimowski J. Granulometry and the content of toxic and potentially toxic elements in vacuum-cleaner collected, indoor dusts of the city of Warsaw[J]. *Science of the Total Environment*, 2000, **263**(1): 69-78.
- [36] Liggans G L, Nriagu J O. Lead poisoning of children in Africa, IV: Exposure to dust lead in primary schools in south-central Durban, South Africa [J]. *Science of the Total Environment*, 1998, **221**(2-3): 117-126.
- [37] Tong S T Y, Lam K C. Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong[J]. *Science of the Total Environment*, 2000, **256**(2-3): 115-123.

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 Jiaxing	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 (Epichlorohydrin-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, HUANG 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 Xiang-yi, <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-ming, <i>et 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-ying, <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

国内外公开发行人