

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第9期

Vol.37 No.9

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

1960~2013年我国霾污染的时空变化	符传博,唐家翔,丹利,何媛 (3237)
太原大气颗粒物中水溶性无机离子质量浓度及粒径分布特征	王璐,温天雪,苗红妍,高文康,王跃思 (3249)
石家庄秋季一次典型霾污染过程水溶性离子粒径分布特征	刘景云,刘子锐,温天雪,魏俊龙,黄小娟,乔宝文,王莉莉,杨洋,徐仲均,王跃思 (3258)
南京北郊大气颗粒物的粒径分布及其影响因素分析	吴丹,曹双,汤莉莉,夏俊荣,陆建刚,刘刚,杨孟,李凤英,盖鑫磊 (3268)
南京北郊黑碳气溶胶污染特征及影响因素分析	肖思晗,于兴娜,朱彬,何稼祺 (3280)
上海崇明地区大气分形态汞污染特征	李舒,高伟,王书肖,张磊,李智坚,王龙,郝吉明 (3290)
三峡库区典型农田系统大气汞浓度及不同自然界面释汞通量	王永敏,赵铮,孙涛,王娅,薛金平,张成,王定勇 (3300)
长白山背景站大气 VOCs 浓度变化特征及来源分析	吴方堃,孙杰,余晔,唐贵谦,王跃思 (3308)
铅冶炼厂无组织排放源不同颗粒物中铅含量特征	刘大钧,汪家权 (3315)
祁连山东段降水的水化学特征及离子来源研究	贾文雄,李宗省 (3322)
三峡库区(重庆—宜昌段)沉积物中钒的污染特征及生态风险评价	郭威,殷淑华,徐建新,徐东昱,高丽,郝红,高博 (3333)
太湖不同富营养化水域磷的分布特征及其环境影响因素	车霏霏,王大鹏,甄卓,颜昌宙,王灶生 (3340)
太湖表层沉积物中 PPCPs 的时空分布特征及潜在风险	张盼伟,周怀东,赵高峰,李昆,刘巧娜,任敏,赵丹丹,李东佼 (3348)
岩溶地下河系统中有机氯的分布特征与来源分析	张媚,孙玉川,谢正兰,余琴,徐昕 (3356)
西南典型岩溶地下河系统水文地球化学特征对比:以重庆市青木关、老龙洞为例	詹兆君,陈峰,杨平恒,任娟,张海月,刘黛薇,蓝家程,张宇 (3365)
不同水源补给情形的溪流沟渠沉积物磷形态及释放风险分析	李如忠,秦如彬,黄青飞,耿若楠 (3375)
滇池柱状沉积物磷形态垂向变化及对释放的贡献	李乐,王圣瑞,焦立新,余佑金,丁帅,王跃杰 (3384)
荧光光谱结合平行因子分析研究夏季周村水库溶解性有机物的分布与来源	黄廷林,方开凯,张春华,周石磊,曾明正,刘飞,夏超,丛海兵 (3394)
富营养化水体中黑水团的吸收及反射特性分析	张思敏,李云梅,王桥,朱利,王旭东,温爽 (3402)
基于微生物生物完整性指数的地下水生态系统健康评价:以包钢稀土尾矿库周边地下水生态系统为例	安新丽,陈廷廷,赵晗,张又弛,侯艳伟,蔡超 (3413)
于桥水库水源地水体沉积物重金属空间分异与景观格局的关系	王祖伟,王伟玮,侯迎迎,包姗姗,王子璐,王倩倩 (3423)
人工湿地构型对水产养殖废水含氮污染物和抗生素去除影响	刘佳,易乃康,熊永娇,黄翔峰 (3430)
共生细菌对盐生小球藻富集和转化硝酸盐的影响	许平平,刘聪,王亚,郑燕恒,张春华,葛滢 (3438)
模拟水体硝态氮对黄菖蒲生长及其氮吸收的影响	王兵,温奋翔,肖波 (3447)
对羟基联苯在黄河兰州段底泥上的吸附行为	周琦,蒋煜峰,孙航,慕仲峰,张振国,展惠英 (3453)
多级 A/O 工艺强化处理城市污水的效果研究	尹子华,盛晓琳,刘锐,陈吕军,张永明 (3460)
某微污染水源自来水管网的纳滤深度处理效果研究	吴玉超,陈吕军,兰亚琼,刘锐 (3466)
Fe ⁰ -PRB 去除Cr(VI)反应动力学及影响机制	卢欣,李森,唐翠梅,辛佳,林朋飞,刘翔 (3473)
EDTA-nSiO ₂ 纳米颗粒对 Cd ²⁺ 的吸附	蒋顺成,秦睿,李满林,李荣华,张增强,Amjad Ali,梁文 (3480)
硝酸-PPy/AQDS 联合处理改善阳极性能的分析表征	沈伟航,朱能武,尹富华,吴平霄,张彦鸿 (3488)
人工合成水铁矿对含磷废水的吸附性能	崔蒙蒙,王殿升,黄天寅,刘锋 (3498)
生物沸石人工湿地处理分散养猪冲洗水性能	牟锐,沈志强,周岳溪,陈学民,伏小勇,谭蕾蕾,瞿畏 (3508)
甘油基混合培养物合成 PHA 及其与 OUR 的关系	刘东,张小婷,张代钧,曾善文,卢培利 (3518)
光催化体系中噻虫胺降解动力学及机制	胡倩,阳海,石妮,胡乐天,易兵 (3524)
宁夏干旱地区工业区对农田土壤重金属累积的影响	王美娥,彭驰,陈卫平 (3532)
北方某大型钢铁企业表层土壤中多环芳烃污染特征与健康风险评价	董捷,黄莹,李永霞,张厚勇,高甫威 (3540)
红壤剖面重金属分布特征及对有机碳响应	贾广梅,马玲玲,徐殿斗,成杭新,周国华,杨国胜,罗敏,路雨楠,刘志明 (3547)
外源锌刺激下水稻对土壤镉的累积效应	辜娇峰,杨文骏,周航,张平,彭佩钦,廖柏寒 (3554)
改性生物炭材料对稻田原状和外源镉污染土钝化效应	杨兰,李冰,王昌全,刘倾城,张庆沛,肖瑞,李一丁 (3562)
生物淋滤联合类 Fenton 反应去除污染土壤中重金属的效果	周普雄,严颀,余震,王跃强,朱艺,周顺桂 (3575)
长期石油污染对盐碱化土壤中微生物群落分子生态网络的影响	赵慧慧,肖娴,裴孟,赵远,梁玉婷 (3582)
应用 PLFA 法分析氮沉降对缙云山马尾松林土壤微生物群落结构的影响	曾清苹,何丙辉 (3590)
三江平原不同退化阶段小叶章湿地土壤真菌群落结构组成变化	隋心,张荣涛,许楠,刘赢男,柴春荣,王继丰,付晓玲,钟海秀,倪红伟 (3598)
外源氮、硫添加对闽江河口湿地 CH ₄ 、CO ₂ 排放的短期影响	胡敏杰,任鹏,黄佳芳,仝川 (3606)
模拟条件下侵蚀-沉积部位土壤 CO ₂ 通量变化及其影响因素	杜兰兰,王志齐,王蕊,李如剑,吴得峰,赵慢,孙棋棋,高鑫,郭胜利 (3616)
太原晋祠地区果园土壤呼吸的年际变化及其温度敏感性	严俊霞,郝忠,荆雪镨,李洪建 (3625)
生物炭对壤土土壤温室气体及土壤理化性质的影响	王月玲,耿增超,王强,尚杰,曹胜磊,周凤,李鑫,刘福义,张萍 (3634)
氮沉降对臭氧胁迫下青杨光合特性和生物量的影响	辛月,尚博,陈兴玲,冯兆忠 (3642)
冠层辐射温度对冬小麦生态系统碳通量的影响	李洪建,杨艳,严俊霞 (3650)
堆肥过程水溶性有机物组成和结构演化研究	李丹,何小松,席北斗,高如泰,张慧,黄彩红,党秋玲 (3660)
酸碱改性活性炭及其对甲苯吸附的影响	刘寒冰,杨兵,薛南冬 (3670)
《环境科学》征订启事 (3517) 《环境科学》征稿简则 (3561) 信息 (3289,3321,3422)	

铅冶炼厂无组织排放源不同颗粒物中铅含量特征

刘大钧^{1,2}, 汪家权^{1*}

(1. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 合肥 230009; 2. 环境保护部环境工程评估中心, 北京 100012)

摘要: 使用 TH 880-F 型烟尘测试仪和低压颗粒物冲击仪 (low pressure impactor, LPI) 对云南某铅锌冶炼厂无组织排放区 (1 区和 2 区) 烟气颗粒物进行分级采样, 并分析各粒径段颗粒物中的铅元素粒径分布特征及含量情况。从铅在不同粒径颗粒物中的分布特征来看, 无组织 1 区排放的细颗粒物 (fine particulate matter, $PM_{2.5}$, 粒径小于 $2.5\mu m$ 的颗粒) 中的铅分别占可吸入颗粒物 (particulate matter, PM_{10} , 粒径小于 $10\mu m$ 的颗粒) 和总悬浮颗粒物 (total suspended particle, TSP, 粒径小于 $100\mu m$ 的颗粒) 中的 66.6% 和 43.1%, 无组织 2 区相应占比分别为 54.1% 和 38.7%, 这表明无组织排放的铅污染物粒径以小粒径颗粒为主。无组织排放颗粒物中铅含量与地面气象资料中风向、风速密切相关, 其次是风能密度。铅冶炼区无组织排放颗粒物中铅含量与边界层风向、风速的相关度最高, 其次是风能密度 w ; 而渣场无组织排放颗粒物中铅含量与边界层温度垂直分布 γ 的相关度最高, 其次是 u 、 v 分量, 然后为风能密度 w 。

关键词: 铅锌冶炼; 铅 (Pb); 无组织排放; 总悬浮颗粒物 (TSP); 可吸入颗粒物 (PM_{10}); 细颗粒物 ($PM_{2.5}$)

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)09-3315-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2016.09.009

Characterization of Particle Size Distributions of the No-organized Lead Emission for a Lead and Zinc Smelter

LIU Da-jun^{1,2}, WANG Jia-quan^{1*}

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Appraisal Center for Environment & Engineering, Beijing 100012, China)

Abstract: Using TH 880-F type dust tester and low pressure impactor (LPI), the size-segregated atmospheric particulates were collected, the particle size distribution characteristics and the content of lead were analyzed in the unorganized emission area (1 and 2) from the Blast and ISA furnaces within a lead-zinc smelter in Yunnan province. The results showed that lead in $PM_{2.5}$ (fine particulate matter, particle size $< 2.5\mu m$) accounted for 66.6% and 43.1% of PM_{10} (particulate matter, particle size $< 10\mu m$) and TSP (total suspended particle, particle size $< 100\mu m$) in unorganized emission area 1, and the corresponding proportions in the unorganized emission area 2 were 54.1% and 38.7%, all these showed that the lead pollution mainly existed in small size particles. There was a close correlation between the lead content in the unorganized emission particulate matter and the wind direction and wind speed in the surface meteorological data, followed by the wind energy density. In lead smelting area, the correlation of lead content in the unorganized emission particulate matter with the wind direction and wind speed was the highest, followed by the wind energy density w . In the slag field, the correlation between lead content in the unorganized emission particulate matter and the vertical distribution of the temperature (γ) of the boundary layer was the highest, followed by the component u and v , and then the wind energy density w .

Key words: lead-zinc smelter; lead (Pb); unorganized emissions; total suspended particle (TSP); respirable particulate matter (PM_{10}); fine particulate matter ($PM_{2.5}$)

铅是一种具有毒性的重金属, 进入环境中的铅可通过呼吸、食物、饮水等途径进入人体, 并在人体组织中不断累积并对人体产生危害^[1~6]。国内外学者对铅锌冶炼企业的污染特性和防治措施方面进行了大量的研究^[7~10], 譬如 Mihaljevic 等^[11] 则对纳米比亚某铅锌矿周围土壤和树木年轮中的痕量元素和不同的价位铅含量比值进行了研究, Durand 等^[12] 对法国某一长期开采铅锌矿周边污染土壤的重金属暴露风险进行了评估, Chrastny 等^[13] 对某铅锌厂附近区域的落叶和针叶林土壤表层铅的迁移特性进行了研究, Garcia-Vargas 等^[14] 对墨西哥某铅锌厂周围地区年轻人有毒重金属的空间聚类特征进行分析。

国内学者对铅锌冶炼厂周围大气环境中的铅污染特征和来源研究较多^[15~23], 譬如王利军等^[24] 对宝鸡长青镇冶炼厂周边土壤中的重金属进行了研究, 发现土壤中铅的含量均高于国家和陕西省土壤背景值, 表明已受到轻度污染, 并且易于向植物体迁移; 梁俊宁等^[25]、杨柳等^[26] 分别对陕西西部某工业园区大气降尘重金属元素特征和铅元素同位素比值分析作了相关研究。现有的研究成果主要针对铅冶炼

收稿日期: 2015-08-03; 修订日期: 2016-04-07

基金项目: 环境保护部财政资金项目 (144132110103)

作者简介: 刘大钧 (1978 ~), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为市政及环境工程, E-mail: liudj@acee.org.cn

* 通讯联系人, E-mail: jiaquan.wang@163.com

厂周围生态环境中的铅污染特征及其潜在的健康风险,而对铅冶炼厂排放源及厂区内部环境关注较少. 本文以云南省某铅锌冶炼厂为研究对象,通过主动采样的方式对该厂无组织颗粒物进行分级采样,测定不同粒径颗粒物中的铅元素含量,并分析排放的铅与气象因素之间的关系,以期科学确定铅冶炼行业大气安全防护距离及防控区域的划分提供理论支撑.

1 材料与方法

1.1 采样点布设

云南某铅锌冶炼厂采用顶吹熔炼铅锌工艺,年生产电锌 18×10^4 t、电铅 10×10^4 t. 主要生产流程为备配料、顶吹熔炼炉熔炼、鼓风机还原、烟化炉挥发、烟气制酸等 5 个主流程. 本次采样将铅冶炼的生产区域划分为 2 个区域,分别是无组织 1 区(铅冶炼区)和无组织 2 区(渣场). 在无组织 1 区和 2 区的监测点位依据《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T 55-2000)进行无组织排放样品采集. 在无组织 1 区上风向设置参照点 1 个,下风向设置监测点 8 个,共 9 个点位;每个监测点位设置 3 台无组织采样设备,共设置 27 台采样设备(图 1),设备源强高度设置为 2~15 m,平均高度为 8 m. 在无组织 2 区同时设置 5 个监测点位,上风向 1 个参照点,下风向 4 个监测点;每个监测点位设置 3 台无组织采样设备,共设置 15 台采样设备(图 1),设备源强高度设置为 2~6 m,平均高度为 4 m. 其中无组织 1 区参照点和监测点同步采样,无组织 2 区

参照点和监测点同步采样,采样时间均为 1 h. 为使样品具有代表,采样期间选择在工厂正常生产负荷状态下进行,并且每个点位重复采样 3 次.

其中 TSP 选用武汉天虹 TH 880-F 型烟尘测试仪进行测试,PM₁₀和 PM_{2.5}选用芬兰 Dekati 公司的低压颗粒物冲击仪(low pressure impactor, LPI)进行测试. LPI 是现有测量颗粒物较为准确和精密的仪器之一, LPI 各级撞击板可以根据研究需要安装铝膜、石英膜、Teflon 膜或其他材质滤膜,进行称重或相应的化学分析,本研究选用 Teflon 膜. 采样前滤膜和滤筒依据《固定污染源排气中颗粒物和气态污染物采样方法》(GB/T 16157-1996)规定进行处理,采集后的滤膜样品密封保存于专用的滤膜盒,储存在冰箱(0~4℃)中以待称重及化学组分分析.

1.2 排放量计算

依据中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所 2008 年 8 月编写的《卫生防护距离标准修订项目技术手册(试行)》,《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T 55-2000). 无组织排放源的反推计算公式如下:

$$Q = 11.3c_0U_{10}\sigma_z(\sigma_y^2 + \sigma_{y0}^2)^{0.5} \exp\left(\frac{\bar{H}^2}{2\sigma_z^2}\right) \times 10^{-3}$$

式中, c_0 为无组织排放源的监测浓度 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$); U_{10} 为距地面 10 m 高处 10 min 的平均风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); σ_y 为垂直于平均风向(x 方向)的水平横向(y 方向)扩散参数(m); σ_z 为铅直(z 方向)扩散参数(m); σ_{y0} 为初始扩散参数(m); $\bar{H}$ 为无组织排放源的平均排放高度(m); Q 为无组织排放量

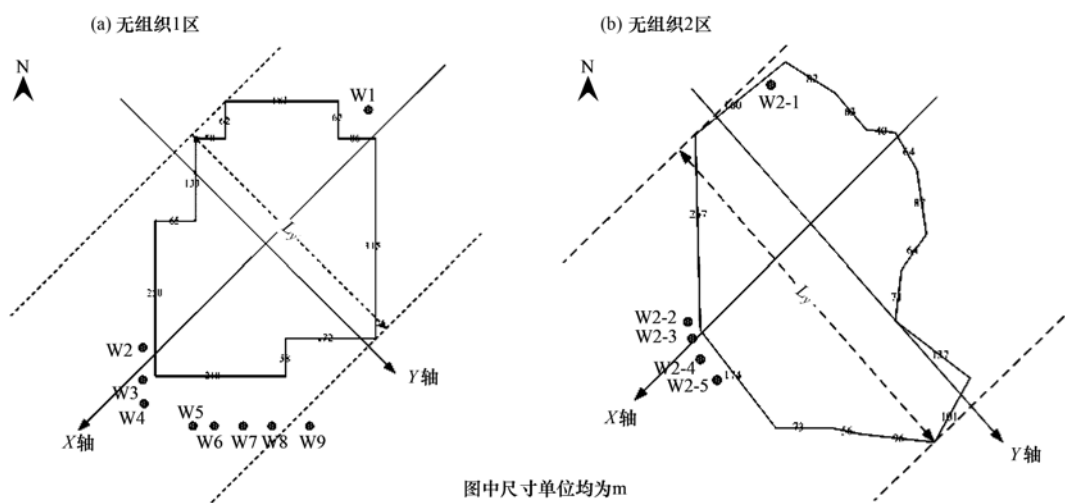


图 1 铅冶炼厂无组织 1 区、2 区域及测点分布示意

Fig. 1 Schematic distribution of the measuring points in the unorganized region 1 and region 2 of the Lead smelter

($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$).

计算参数说明: c_0 的选取,以每次监测的测定浓度最高点的测值扣除相应参照点测值之差; σ_y 、 σ_z 的选取,根据大气稳定度等级按 HJ/T 55-2000 推荐方法查表计算所得; σ_{y0} 的选取, $\sigma_{y0} = \frac{L_y}{4}$, L_y 为无组织排放源在 y 方向的长度,经测量, L_y 为 444 m; $\bar{H}$ 的选取,根据该冶炼厂无组织排放口的位置,确定 1 区无组织源排放区域的平均高度为 8 m,2 区无组织源排放区域的平均高度为 4 m.

1.3 样品处理与测定

将采样膜上颗粒物通过微波消解为液体,采用上海屹尧 Excel-D 型微波消解仪. 将采样膜置于消解罐中,加入 1 mL 氢氟酸,7 mL 硝酸,密闭消解罐,放入微波消解仪中消解. 微波消解程序设定为升温

至 120℃ 保持 5 min,升温至 160℃ 保持 15 min,升温至 180℃ 保持 10 min. 消解完毕后,罐内温度降至室温时,取出消解罐,将溶液倒入 50 mL 容量瓶中,并用去离子水淋洗消解罐及消解罐盖,溶液一并倒入容量瓶中,定容至 50 mL. 采用等离子体质谱(ICP-MS)对不同粒径颗粒物中的铅(Pb)含量进行分析. 标准样品为土壤标准物质 GBW07403 (GSS-3) 和 GBW07404 (GSS-4),同时,在测定过程中采取每 10 个样品增加一个盲样平行样.

2 结果与分析

2.1 无组织排放量计算结果

无组织 1 区和 2 区源强的平均高度分别取 8 m 和 4 m,根据公式,可计算获得无组织 1 区和 2 区铅在 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中的量(表 1、表 2).

表 1 无组织 1 区铅排放量统计结果

Table 1 Statistic result of lead emissions of the unorganized region 1			
监测项目及时段		$Q/\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	$\bar{Q}/\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$
TSP 中的铅	I 时段(2010-10-30T09:00 ~ 13:00)	0.071 17	0.047 89
	II 时段(2010-10-30T14:00 ~ 18:00)	0.068 39	
	III 时段(2010-10-30T18:30 ~ 22:30)	0.025 23	
	IV 时段(2010-10-31T09:00 ~ 13:00)	0.026 76	
PM_{10} 中的铅	I 时段(2010-10-30T9:00 ~ 13:00)	0.050 20	0.031 01
	II 时段(2010-10-30T14:00 ~ 18:00)	0.040 18	
	III 时段(2010-10-30T18:30 ~ 22:30)	0.016 34	
	IV 时段(2010-10-31T09:00 ~ 13:00)	0.017 33	
$\text{PM}_{2.5}$ 中的铅	I 时段(2010-10-30T9:00 ~ 13:00)	0.042 30	0.020 65
	II 时段(2010-10-30T14:00 ~ 18:00)	0.026 76	
	III 时段(2010-10-30T18:30 ~ 22:30)	0.006 60	
	IV 时段(2010-10-31T09:00 ~ 13:00)	0.006 95	

表 2 无组织 2 区铅排放量统计结果

Table 2 Statistic result of lead emissions of the unorganized region 2			
监测项目及时段		$Q/\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	$\bar{Q}/\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$
TSP 中的铅	I 时段(2010-10-27T14:30 ~ 18:30)	0.008 760 81	0.004 651
	II 时段(2010-10-28T09:30 ~ 13:30)	0.001 412 32	
	III 时段(2010-10-28T14:00 ~ 18:00)	0.001 119 02	
	IV 时段(2010-10-29T09:30 ~ 13:30)	0.007 310 75	
PM_{10} 中的铅	I 时段(2010-10-27T14:30 ~ 18:30)	0.006 676 45	0.003 327
	II 时段(2010-10-28T09:30 ~ 13:30)	0.000 615 52	
	III 时段(2010-10-28T14:00 ~ 18:00)	0.000 540 39	
	IV 时段(2010-10-29T09:30 ~ 13:30)	0.005 474 54	
$\text{PM}_{2.5}$ 中的铅	I 时段(2010-10-27T14:30 ~ 18:30)	0.003 256 81	0.001 799
	II 时段(2010-10-28T09:30 ~ 13:30)	0.000 332 92	
	III 时段(2010-10-28T14:00 ~ 18:00)	0.000 338 49	
	IV 时段(2010-10-29T09:30 ~ 13:30)	0.003 269 21	

2.2 不同粒径尘中铅的排放特征

无组织 1 区排放的 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中铅分别为 0.047 89、0.031 01 和 0.020 65 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$, 其中 PM_{10}

中的铅占 TSP 中铅的 64.8%, $\text{PM}_{2.5}$ 中的铅占 PM_{10} 中铅的 66.6%, $\text{PM}_{2.5}$ 占 TSP 中铅的 43.1% (图 2). 无组织 2 区排放的 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中铅分别为

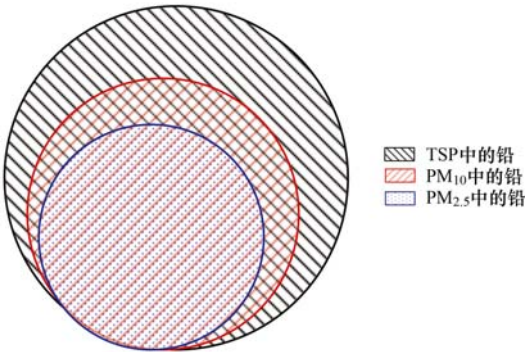


图2 无组织1区排放无组织的铅在 TSP、PM₁₀和 PM_{2.5}中的分布情况

Fig. 2 Lead distribution of the fugitive emissions in the TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} of the unorganized zone 1

0.004 651、0.003 327 和 0.001 799 kg·h⁻¹, 其中 PM₁₀中铅占 TSP 中铅的 71.5%, PM_{2.5}中铅占 PM₁₀中铅的 54.1%, PM_{2.5}占 TSP 中铅的 38.7% (图3). 可见,无组织1区和2区铅污染物主要附着在细颗粒物中.

2.3 气象因子对铅排放特征的影响分析

从无组织1区不同时段排放量情况来看,同一天内各种颗粒物中的铅含量随着时间早晚变化有不断下降的趋势,譬如 TSP、PM₁₀中的铅含量从上午(09:00~13:00)的 0.071 17 kg·h⁻¹和 0.050 2 kg·h⁻¹下降到晚上(18:30~22:30)的 0.025 23 kg·h⁻¹和 0.016 34 kg·h⁻¹; PM_{2.5}中的铅含量从白天(09:00~18:30)的 0.042 3 kg·h⁻¹降到晚上(18:30~22:30)的 0.006 6 kg·h⁻¹. 从无组织2区不同时段

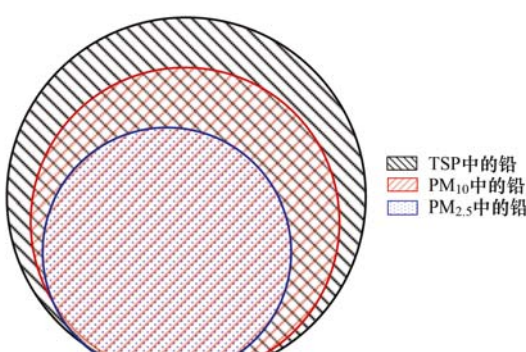


图3 无组织2区排放无组织的铅在 TSP、PM₁₀和 PM_{2.5}中的分布情况

Fig. 3 Lead distribution of the fugitive emissions in the TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} of the unorganized zone 2

段排放量情况来看,同一天内各种颗粒物中的铅含量随着时间早晚变化也有下降的趋势,譬如 TSP、PM₁₀、PM_{2.5}中的铅含量从上午(09:00~13:00)的 0.008 76、0.006 67、0.003 25 kg·h⁻¹下降到下午(14:00~18:00)的 0.001 1、0.000 54、0.000 34 kg·h⁻¹.

收集分析了样品采集期间,监测点位处的地面气象资料和高空格点气象资料(表3、表4). 表3中各气象因子为样品采集期间的同步时间地面气象资料平均值,表4中各气象因子为样品采集期间的同步时间边界层 500 m 以下(地面、10、30、50、100、150、200、270、340、420、500 m)气象资料统计值.

表3 地面气象资料统计¹⁾

Table 3 Ground meteorological data

时间	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>e</i>	<i>ρ</i>	<i>w</i>
2010-10-27T14:30~18:30	-0.331	-1.524	9.560	1.005	2.533
2010-10-28T09:30~13:30	-0.124	1.104	9.155	1.010	0.802
2010-10-28T14:30~18:00	-0.708	0.800	9.435	1.004	0.774
2010-10-29T09:30~13:30	-0.916	-0.502	8.322	1.013	1.381
2010-10-30T09:00~13:00	-0.218	-1.174	8.525	0.998	1.459
2010-10-30T14:30~18:00	0.098	-0.461	8.689	0.970	0.863
2010-10-30T18:30~22:30	-0.235	0.795	10.001	0.994	0.877
2010-10-31T09:00~13:00	-0.793	0.548	8.339	1.000	0.711

1)表中*e*为水汽压、*ρ*为空气密度;*u*表示*x*轴方向的风速,西风为正,东风为负;*v*表示*y*轴方向的风速,北风为正,南风为负;*w*为风能密度, $w=0.5\times\rho\times V^3$, $V=(u^2+v^2)^{1/2}$,下同

将表3、表4气象要素与表1、表2无组织排放颗粒物中铅含量进行相关分析,*r*为相关系数,可见无组织排放的颗粒物中铅含量与气象因素密切相关(表5~8).

无组织排放颗粒物中铅含量和地面气象资料的

相关关系中,由于采样点主要布置在污染源的南侧,因此无组织排放颗粒物中铅含量与*v*分量的相关系数最高,无组织1区 TSP、PM₁₀、PM_{2.5}中铅含量与*v*分量的相关系数分别达到 0.96、0.99、0.99,无组织2区 TSP、PM₁₀、PM_{2.5}中铅含量与*v*分量的相关

表 4 高空格点气象资料统计¹⁾
Table 4 High altitude grid point meteorological data

时间	u	v	e	ρ	w	γ
2010-10-27T14:30 ~ 18:30	-3.504	-0.961	8.268	0.975	27.381	-0.011
2010-10-28T09:30 ~ 13:30	-4.099	-0.124	7.314	0.986	39.973	-0.007
2010-10-28T14:30 ~ 18:00	-3.897	-0.622	7.633	0.982	39.614	-0.008
2010-10-29T09:30 ~ 13:30	-4.044	-3.848	6.830	0.990	91.661	-0.012
2010-10-30T09:00 ~ 13:00	-3.775	-3.961	6.525	0.982	88.974	-0.011
2010-10-30T14:30 ~ 18:00	-5.204	-0.802	6.727	0.959	79.467	-0.012
2010-10-30T18:30 ~ 22:30	-4.317	0.676	6.618	0.973	66.410	0.014
2010-10-31T09:00 ~ 13:00	1.059	2.441	5.409	0.963	18.724	-0.008

1)表中 $\gamma = -\Delta T/\Delta Z = -(T_2 - T_1)/(Z_2 - Z_1)$, T_1 、 T_2 为 Z_1 、 Z_2 高度处的气温; γ 为边界层温度垂直分布

表 5 无组织 1 区不同颗粒物中铅含量与同期
地面气象要素的相关分析

Table 5 Correlation analysis of lead content and ground
meteorological elements of the unorganized zone 1

回归方程	r^2	r	r 排序
TSP = 0.046 2u + 0.061 1	0.456 7	0.68	2
TSP = -0.0265v + 0.046	0.916 2	0.96	1
TSP = -0.015 3e + 0.183 7	0.207 9	0.46	5
TSP = -0.907 9ρ + 0.947 2	0.248 3	0.50	4
TSP = 0.051 4w - 0.002 4	0.448 7	0.67	3
PM ₁₀ = 0.026 8u + 0.038 7	0.344 7	0.59	3
PM ₁₀ = -0.018 4v + 0.029 7	0.985 9	0.99	1
PM ₁₀ = -0.010 3e + 0.122 5	0.211 9	0.46	4
PM ₁₀ = -0.389 2ρ + 0.416 5	0.102 6	0.32	5
PM ₁₀ = 0.040 8w - 0.008 9	0.635 7	0.80	2
PM _{2.5} = 0.024 4u + 0.027 7	0.275 2	0.52	3
PM _{2.5} = -0.018 8v + 0.019 3	0.987	0.99	1
PM _{2.5} = -0.01e + 0.109 9	0.193 8	0.44	4
PM _{2.5} = -0.245 6ρ + 0.263 9	0.039 2	0.20	5
PM _{2.5} = 0.045 4w - 0.023 7	0.752 6	0.87	2

系数分别达到 0.97、0.97、0.93. 相关度第二高的气象因子为风能密度 w , 无组织 1 区 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 中铅含量与 w 的相关系数达到 0.67、0.80、0.87, 无组织 2 区 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 中铅含量与 w 的相关系数达到 0.90、0.90、0.82. 无组织排放颗粒物中铅含量与 e 、 ρ 的相关系数在 0.16 ~ 0.50 之间, 与 u 分量的相关系数在 0.21 ~ 0.68 之间, 其中无组织 1 区略高.

无组织排放颗粒物中铅含量和边界层气象要素的相关关系与地面气象资料有一定差异, 其中相关度最高的仍为 v 分量, 其次是风能密度 w . 但无组织 2 区颗粒物中铅含量与边界层温度垂直分布 γ 的相关度最高, 其次是 u 、 v 分量, 然后为风能密度 w ; 表明铅冶炼区和渣场无组织排放颗粒物中铅含量与边界层气象因子存在不同的相关关系.

表 6 无组织 1 区不同颗粒物中铅含量与同期
边界层气象要素的相关分析

Table 6 Correlation analysis of lead content in different
particulate matter and meteorological elements in the
same period of the unorganized zone 1

回归方程	r^2	r	r 排序
TSP = -0.005u + 0.032 5	0.312 2	0.56	4
TSP = -0.008v + 0.044 6	0.726 5	0.85	1
TSP = 0.022 7e - 0.095 8	0.302 9	0.55	5
TSP = 0.389 6ρ - 0.329 8	0.024 9	0.16	6
TSP = 0.000 6w + 0.008 8	0.578 2	0.76	2
TSP = 1.392 1γ + 0.041 9	0.469 5	0.69	3
PM ₁₀ = -0.003u + 0.021 8	0.251 3	0.50	5
PM ₁₀ = -0.005 7v + 0.028 6	0.850 6	0.92	1
PM ₁₀ = 0.014e - 0.057 4	0.257 8	0.51	4
PM ₁₀ = 0.550 8ρ - 0.502 9	0.112	0.33	6
PM ₁₀ = 0.000 4w + 0.004 8	0.582 5	0.76	2
PM ₁₀ = 0.898 7γ + 0.027 1	0.44	0.66	3
PM _{2.5} = -0.002 8u + 0.011 9	0.215 2	0.46	5
PM _{2.5} = -0.006 1v + 0.018 2	0.907 4	0.95	1
PM _{2.5} = 0.013 5e - 0.064 7	0.230 6	0.48	4
PM _{2.5} = 0.756 8ρ - 0.713 1	0.202 8	0.45	6
PM _{2.5} = 0.000 4w - 0.005 9	0.574 1	0.76	2
PM _{2.5} = 0.862 6γ + 0.016 9	0.388 8	0.62	3

表 7 无组织 2 区不同颗粒物中铅含量与
同期地面气象要素的相关分析

Table 7 Correlation analysis of lead content and ground
meteorological elements of the unorganized zone 2

回归方程	r^2	r	r 排序
TSP = -0.002 3u + 0.003 4	0.044 4	0.21	4
TSP = -0.003 2v + 0.004 6	0.942 8	0.97	1
TSP = -0.001 7e + 0.019 7	0.054 3	0.23	3
TSP = 0.159 6ρ - 0.156 3	0.029 3	0.17	5
TSP = 0.004 3w - 0.001 3	0.804 1	0.90	2
PM ₁₀ = -0.002u + 0.002 3	0.049 4	0.22	4
PM ₁₀ = -0.002 6v + 0.003 2	0.948 9	0.97	1
PM ₁₀ = -0.001 3e + 0.015 2	0.051	0.23	3
PM ₁₀ = 0.118 8ρ - 0.116 4	0.024 6	0.16	5
PM ₁₀ = 0.004 3w - 0.001 3	0.804 1	0.90	2
PM _{2.5} = -0.001 6u + 0.001	0.113 9	0.34	4
PM _{2.5} = -0.001 3v + 0.001 8	0.87	0.93	1
PM _{2.5} = -0.001 1e + 0.012	0.136 4	0.37	3
PM _{2.5} = 0.109ρ - 0.108 1	0.074 9	0.27	5
PM _{2.5} = 0.001 7w - 0.000 5	0.670 2	0.82	2

表 8 无组织 2 区不同颗粒物中铅含量与同期
边界层气象要素的相关分析

Table 8 Correlation analysis of lead content in different particulate
matter and meteorological elements in the same period
of the unorganized zone 2

回归方程	r^2	r	r 排序
TSP = 0.008 7u + 0.038 3	0.346 7	0.59	2
TSP = -0.001 4v + 0.002 7	0.339 7	0.58	3
TSP = 0.001 4e - 0.005 7	0.044 4	0.21	6
TSP = -0.16ρ + 0.161 9	0.069 1	0.26	4
TSP = 0.000 04w + 0.002 9	0.065 7	0.26	4
TSP = 1.573 3γ - 0.010 3	0.851 5	0.92	1
PM ₁₀ = 0.0071u + 0.031 1	0.357 2	0.60	2
PM ₁₀ = -0.001 1v + 0.001 8	0.340 1	0.58	3
PM ₁₀ = 0.0012e - 0.005 4	0.047 6	0.22	6
PM ₁₀ = -0.133 7ρ + 0.134 7	0.073 2	0.27	4
PM ₁₀ = 0.000 03w + 0.001 9	0.064 2	0.25	5
PM ₁₀ = 1.280 4γ - 0.008 8	0.855 2	0.92	1
PM _{2.5} = 0.003u + 0.013 5	0.229 3	0.48	3
PM _{2.5} = -0.000 7v + 0.000 8	0.493 3	0.70	2
PM _{2.5} = 0.000 2e + 0.000 3	0.004 9	0.07	6
PM _{2.5} = -0.032 2ρ + 0.033 5	0.015 3	0.12	5
PM _{2.5} = 0.000 02w + 0.000 6	0.160 7	0.40	4
PM _{2.5} = 0.706 8γ - 0.004 9	0.941 2	0.97	1

3 结论

(1)从铅在无组织排放的不同颗粒物粒径分布特征来看,铅污染物主要赋存于细颗粒物中,其中 PM_{2.5} 中的铅在无组织 1 区和 2 区分别占 PM₁₀ 的 66.6% 和 54.1%,占 TSP 的 43.1% 和 38.7%。

(2)无组织排放颗粒物中铅含量与地面气象资料中风向、风速密切相关,其次是风能密度,与水汽压和空气密度的相关性相对较小。

(3)铅冶炼区和渣场无组织排放颗粒物中铅含量与边界层气象因子有不同的相关关系。铅冶炼区颗粒物中铅含量与边界层风向、风速的相关系数仍然最高,其次是风能密度 w ; 而渣场无组织排放颗粒物中铅含量与边界层温度垂直分布 γ 的相关度最高,其次是 u 、 v 分量,然后为风能密度 w 。

参考文献:

[1] 汪晔君. 铅污染对人体健康的危害及防治措施[J]. 沈阳大学学报, 2004, **16**(6): 103-106.

[2] 李瑞萍, 王安建, 曹殿华, 等. 云南兰坪金顶铅锌矿区土壤中 Pb 分布特征[J]. 地球学报, 2009, **30**(1): 72-78.

[3] 周小勇, 雷梅, 杨军, 等. 某铅冶炼厂对周边土壤质量和人体健康的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(9): 3675-3678.

[4] Fan G Q, Du G H, Li H J, *et al.* The effect of the hemochromatosis (HFE) genotype on lead load and iron metabolism among lead smelter workers[J]. PLoS One, 2014, **9**(7): e101537, doi: 10.1371/journal.pone.0101537.

[5] Schreck E, Dappe V, Sarret G, *et al.* Foliar or root exposures to smelter particles; consequences for lead compartmentalization and

speciation in plant leaves[J]. Science of the Total Environment, 2014, **476-477**: 667-676.

[6] Chai L Y, Shi M Q, Liang Y J, *et al.* Behavior, distribution and environmental influence of arsenic in a typical lead smelter[J]. Journal of Central South University, 2015, **22**(4): 1276-1286.

[7] Zhang H, He P J, Shao L M, *et al.* Leaching behavior of Pb and Zn in air pollution control residues and their modeling prediction [J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, **18**(3): 583-586.

[8] Sheng X F, Xia J J, Jiang C Y, *et al.* Characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from rape (*Brassica napus*) roots and their potential in promoting the growth and lead accumulation of rape[J]. Environmental Pollution, 2008, **156**(3): 1164-1170.

[9] Gawel J E, Asplund J A, Burdick S, *et al.* Arsenic and lead distribution and mobility in lake sediments in the south-central Puget Sound watershed: the long-term impact of a metal smelter in Ruston, Washington, USA [J]. Science of the Total Environment, 2014, **472**: 530-537.

[10] Mohajeri G, Norouzian M A, Mohseni M, *et al.* Changes in blood metals, hematology and hepatic enzyme activities in lactating cows reared in the vicinity of a Lead-Zinc Smelter[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2014, **92**(6): 693-697.

[11] Mihaljevic M, Ettler V, Vanek A, *et al.* Trace elements and the lead isotopic record in Marula (*Sclerocarya birrea*) tree rings and soils near the Tsumeb smelter, Namibia[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2015, **226**(6): 177, doi: 10.1007/S11270-015-2440-4.

[12] Durand C, Sauthier N, Schwoebel V. Assessment of exposure to soils contaminated with lead, cadmium, and arsenic near a zinc smelter, Cassiopée Study, France, 2008 [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, **187**(6): 352, doi: 10.1007/s10661-015-4587-2.

[13] Chrastny V, Vaněk A, Čadková E, *et al.* Lead migration in smelter-impacted deciduous and coniferous organic soil horizons based on a long-term *in-situ* implantation and laboratory column experiments[J]. Applied Geochemistry, 2014, **48**: 168-175.

[14] Garcia-Vargas G G, Rothenberg S J, Silbergeld E K, *et al.* Spatial clustering of toxic trace elements in adolescents around the Torreón, Mexico lead-zinc smelter [J]. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 2014, **24**(6): 634-642.

[15] 郑娜, 王起超, 郑冬梅. 锌冶炼厂周围重金属在土壤-蔬菜系统中的迁移特征[J]. 环境科学, 2007, **28**(6): 1349-1354.

[16] 黄维, 连兵, 常沁春, 等. 某铅冶炼厂周围环境铅污染调查 [J]. 环境与健康杂志, 2007, **24**(4): 234-237.

[17] 许中坚, 吴灿辉, 刘芬, 等. 典型铅锌冶炼厂周边土壤重金属复合污染特征研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2007, **22**(1): 111-114.

[18] 程新伟. 土壤铅污染研究进展[J]. 地下水, 2011, **33**(1): 65-68.

[19] 梁俊宁, 李文慧, 葛毅, 等. 铅锌冶炼厂不同工艺铅元素粒径分布特征[J]. 环境科学, 2014, **35**(8): 2883-2889.

[20] 张小锋, 卓建坤, 宋嵩, 等. 燃烧过程中铅颗粒粒径分布的实验研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, **47**(8):

1347-1351.

[21] 陈建民, 酒青霞, 王雪峰. 传统铅冶炼企业污染物排放量的核定[J]. 有色金属, 2008, **60**(4): 166-173.

[22] 林星杰, 汪靖, 杨晓松. 铅冶炼行业污染物排放模型研究[A]. 见: 2010 年铅污染防治技术及政策研讨会论文集[C]. 北京: 环境保护部科技标准司, 2010. 204-211.

[23] 刘大钧, 李时蓓, 李飒, 等. 铅锌冶炼行业铅尘污染防治[J]. 环境保护, 2010, (24): 42-44.

[24] 王利军, 卢新卫, 荆淇, 等. 宝鸡长青镇铅锌冶炼厂周边土壤重金属污染研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, **31**(2): 325-330.

[25] 梁俊宁, 刘杰, 陈洁, 等. 陕西西部某工业园区采暖期大气降尘重金属特征[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(2): 318-324.

[26] 杨柳, 李旭祥. 大气降尘中重金属元素及铅同位素分析[J]. 西安交通大学学报, 2014, **48**(2): 118-124.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2015 年 10 月 21 日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单.《环境科学》连续 14 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号. “百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.

CONTENTS

Temporal and Spatial Variation of Haze Pollution over China from 1960 to 2013	FU Chuan-bo, TANG Jia-xiang, DAN Li, <i>et al.</i> (3237)
Concentrations and Size Distributions of Water-soluble Inorganic Ions in Aerosol Particles in Taiyuan, Shanxi	WANG Lu, WEN Tian-xue, MIAO Hong-yan, <i>et al.</i> (3249)
Characteristics of the Size Distribution of Water Soluble Inorganic Ions During a Typical Haze Pollution in the Autumn in Shijiazhuang	LIU Jing-yun, LIU Zi-rui, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (3258)
Variation of Size Distribution and the Influencing Factors of Aerosol in Northern Suburbs of Nanjing	WU Dan, CAO Shuang, TANG Li-li, <i>et al.</i> (3268)
Characteristics of Black Carbon Aerosol and Influencing Factors in Northern Suburbs of Nanjing	XIAO Si-han, YU Xing-na, ZHU Bin, <i>et al.</i> (3280)
Characteristics of Speciated Atmospheric Mercury in Chongming Island, Shanghai	LI Shu, GAO Wei, WANG Shu-xiao, <i>et al.</i> (3290)
Total Gaseous Mercury and Mercury Emission from Natural Surface at One Typical Agricultural Region in Three Gorges Reservoir	WANG Yong-min, ZHAO Zheng, SUN Tao, <i>et al.</i> (3300)
Variation Characteristics and Sources Analysis of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Changbai Mountain Station	WU Fang-kun, SUN Jie, YU Ye, <i>et al.</i> (3308)
Characterization of Particle Size Distributions of the No-organized Lead Emission for a Lead and Zinc Smelter	LIU Da-jun, WANG Jia-quan (3315)
Hydrochemical Characteristics and Sources of Ions in Precipitation at the East Qilian Mountains	JIA Wen-xiong, LI Zong-xing (3322)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Vanadium in Sediments of the Three Gorges Reservoir (Chongqing-Yichang Section)	GUO Wei, YIN Shu-hua, XU Jian-xin, <i>et al.</i> (3333)
Distributions of Arsenic Species in Different Eutrophic Waters of Lake Taihu and Their Relations to Environmental Factors	CHE Fei-fei, WANG Da-peng, ZHEN Zhuo, <i>et al.</i> (3340)
Spatial, Temporal Distribution Characteristics and Potential Risk of PPCPs in Surface Sediments from Taihu Lake	ZHANG Pan-wei, ZHOU Huai-dong, ZHAO Gao-feng, <i>et al.</i> (3348)
Distribution Characteristics and Source Identification of Organochlorine Pesticides in the Karst Groundwater System	ZHANG Mei, SUN Yu-chuan, XIE Zheng-lan, <i>et al.</i> (3356)
Comparison on the Hydrogeochemical Characteristics of Typical Karst Groundwater System in Southwest China, a Case of Qingmuguan and Laolongdong in Chongqing	ZHAN Zhao-jun, CHEN Feng, YANG Ping-heng, <i>et al.</i> (3365)
Fractions and Release Risk of Phosphorus in Surface Sediments of Three Headwater Streams with Different Styles of Water Supply	LI Ru-zhong, QIN Ru-bin, HUANG Qing-fei, <i>et al.</i> (3375)
Vertical Variation of Phosphorus Forms in Lake Dianchi and Contribution to Release	LI Le, WANG Sheng-rui, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (3384)
Analysis of Distribution Characteristics and Source of Dissolved Organic Matter from Zhoucun Reservoir in Summer Based on Fluorescence Spectroscopy and PARAFAC	HUANG Ting-lin, FANG Kai-kai, ZHANG Chun-hua, <i>et al.</i> (3394)
Absorption and Reflection Characteristics of Black Water Blooms in the Eutrophic Water	ZHANG Si-min, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (3402)
Assessment of Ecosystem Health of Baogang Tailings Groundwater Based on Microbiome Index of Biotic Integrity (M-IBI)	AN Xin-li, CHEN Ting-ting, ZHAO Han, <i>et al.</i> (3413)
Relationship Between Landscape Pattern and Spatial Variation of Heavy Metals in Aquatic Sediments in Headwaters Area of Yuqiao Reservoir	WANG Zu-wei, WANG Yi-wei, HOU Ying-ying, <i>et al.</i> (3423)
Effect of Constructed Wetland Configuration on the Removal of Nitrogen Pollutants and Antibiotics in Aquaculture Wastewater	LIU Jia, YI Nai-kang, XIONG Yong-jiao, <i>et al.</i> (3430)
Effects of a Symbiotic Bacterium on the Accumulation and Transformation of Arsenate by <i>Chlorella salina</i>	XU Ping-ping, LIU Cong, WANG Ya, <i>et al.</i> (3438)
Effects of Nitrate in Water on the Growth of <i>Iris pseudacorus</i> L. and Its Adsorption Capacity of Nitrogen in a Simulated Experiment	WANG Bing, WEN Fen-xiang, XIAO Bo (3447)
Adsorption Behavior of <i>p</i> -hydroxy Biphenyl onto Sediment of the Yellow River in Lanzhou	ZHOU Qi, JIANG Yu-feng, SUN Hang, <i>et al.</i> (3453)
Enhanced Pollutants Removal in a Municipal Wastewater Treatment Plant with Multistage A/O Process	YIN Zi-hua, SHENG Xiao-lin, LIU Rui, <i>et al.</i> (3460)
Performance of Nanofiltration for Improving the Drinking Water Quality in a Water Supply Plant with Micropolluted Water Resource	WU Yu-chao, CHEN Li-jun, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3466)
Reaction Kinetics and Impacting Mechanism of Cr(VI) Removal in Fe ⁰ -PRB Systems	LU Xin, LI Miao, TANG Cui-mei, <i>et al.</i> (3473)
Adsorption Cd ²⁺ from Solution by EDTA-modified Silicate Nanoparticles	JIANG Shun-cheng, QIN Rui, LI Man-lin, <i>et al.</i> (3480)
Analysis and Characterization of Multi-modified Anodes via Nitric Acid and PPY/AQDS in Microbial Fuel Cells	SHEN Wei-hang, ZHU Neng-wu, YIN Fu-hua, <i>et al.</i> (3488)
Adsorption Characteristics of Phosphorus Wastewater on the Synthetic Ferrihydrite	CUI Meng-meng, WANG Dian-sheng, HUANG Tian-yan, <i>et al.</i> (3498)
Performance of Bio-zeolite Constructed Wetland in Dispersed Swine Wastewater Treatment	MOU Rui, SHEN Zhi-qiang, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3508)
Polyhydroxyalkanoate (PHA) Synthesis by Glycerol-based Mixed Culture and Its Relation with Oxygen Uptake Rate (OUR)	LIU Dong, ZHANG Xiao-ting, ZHANG Dai-jun, <i>et al.</i> (3518)
Kinetics and Mechanistic Investigation of the Photocatalytic Degradation of Clothianidin	HU Qian, YANG Hai, SHI Ni, <i>et al.</i> (3524)
Impacts of Industrial Zone in Arid Area in Ningxia Province on the Accumulation of Heavy Metals in Agricultural Soils	WANG Mei-e, PENG Chi, CHEN Wei-ping (3532)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Soils of a Large Steel enterprise in the North of China	DONG Jie, HUANG Ying, LI Yong-xia, <i>et al.</i> (3540)
Vertical Distribution of Heavy Metals and Its Response to Organic Carbon in Red Soil Profile	JIA Guang-mei, MA Ling-ling, XU Dian-dou, <i>et al.</i> (3547)
Provoking Effects of Exogenous Zn on Cadmium Accumulation in Rice	GU Jiao-feng, YANG Wen-tao, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (3554)
Effect of Modified Biochars on Soil Cadmium Stabilization in Paddy Soil Suffered from Original or Exogenous Contamination	YANG Lan, LI Bing, WANG Chang-quan, <i>et al.</i> (3562)
Performance of Bioleaching Combined with Fenton-like Reaction in Heavy Metals Removal from Contaminated Soil	ZHOU Pu-xiong, YAN Xie, YU Zhen, <i>et al.</i> (3575)
Effect of Long-term Oil Contamination on the Microbial Molecular Ecological Networks in Saline-alkali soils	ZHAO Hui-hui, XIAO Xian, PEI Meng, <i>et al.</i> (3582)
Effect of Nitrogen Deposition on Soil Microbial Community Structure Determined with the PLFA Method Under the Masson Pine Forest from Mt. Jinyun, Chongqing	ZENG Qing-ping, HE Bing-hui (3590)
Fungal Community Structure of Different Degeneration <i>Deyeuxia angustifolia</i> Wetlands in Sanjiang Plain	SUI Xin, ZHANG Rong-tao, XU Nan, <i>et al.</i> (3598)
Short-term Effects of Nitrogen and Sulfate Addition on CH ₄ and CO ₂ Emissions in the Tidal Marsh of Min River Estuary	HU Min-jie, REN Peng, HUANG Jia-fang, <i>et al.</i> (3606)
Variation of Soil CO ₂ Flux and Environmental Factors Across Erosion-Deposition Sites Under Simulation Experiment	DU Lan-lan, WANG Zhi-qi, WANG Rui, <i>et al.</i> (3616)
Interannual Variations of Soil Respiration and Its Temperature Sensitivity in an Orchard in Jinci Region of Taiyuan City	YAN Jun-xia, HAO Zhong, JING Xue-kai, <i>et al.</i> (3625)
Influence of Biochar on Greenhouse Gases Emissions and Physico-chemical Properties of Loess Soil	WANG Yue-ling, GENG Zeng-chao, WANG Qiang, <i>et al.</i> (3634)
Effects of Elevated Ozone and Nitrogen Deposition on Photosynthetic Characteristics and biomass of <i>Populus cathayana</i>	XIN Yue, SHANG Bo, CHEN Xing-ling, <i>et al.</i> (3642)
Effects of Canopy Temperature on Carbon Dioxide Exchange of Winter Wheat in Taiyuan Basin	LI Hong-jian, YANG Yan, YAN Jun-xia (3650)
Composition and Evolution Characteristics of Dissolved Organic Matter During Composting Process	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (3660)
Effects of Acidic and Basic Modification on Activated Carbon for Adsorption of Toluene	LIU Han-bing, YANG Bing, XUE Nan-dong (3670)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年9月15日 第37卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 9 Sep. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行