

Spatial Distribution of Heavy Metals Ba, As and Mn in Soils of a Chemical Slag Field in Sichuan Province

Fangjian Wu¹, Guihong Xu²

¹NO. 605 of Sichuan Province Metallurgical Geological Bureau, Chengdu Sichuan

²Guizhou Institute of Technology, Guiyang Guizhou

Email: zhgwfj@163.com

Received: Jan. 29th, 2020; accepted: Feb. 17th, 2020; published: Feb. 24th, 2020

Abstract

Taking an industrial slag field in Sichuan Province as its research goal, based on the situation of the site, 45 boreholes were determined, and the content and characteristic distribution of heavy metals such as barium (Ba), arsenic (As), manganese (Mn) and sulfate ions and chloride ions were determined according to the stratification of 10~20 cm. The results showed that the main contamination factors were barium, chloride ion and sulfate, followed by arsenic and manganese in soil of investigated site.

Keywords

Heavy Metals, Spatial Distribution, Pollution

四川省某化工渣场土壤中重金属Ba、As、Mn等元素空间分布特征分析

吴方见¹, 徐桂弘²

¹四川省冶金地质勘查局六〇五大队, 四川 成都

²贵州理工学院, 贵州 贵阳

Email: zhgwfj@163.com

收稿日期: 2020年1月29日; 录用日期: 2020年2月17日; 发布日期: 2020年2月24日

摘要

本文以四川省某工业渣场为研究对象, 依据场地的情况, 确定了45个钻孔, 按照10~20 cm分层为土壤

取样, 测定了土壤中钡(Ba)、砷(As)、锰(Mn)等重金属元素及硫酸根离子、氯离子的含量及特征分布。分析结果表明调查场地土壤主要受污染因子为钡、氯离子和硫酸盐, 其次为砷、锰。

关键词

重金属, 空间分布, 污染

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

重金属污染严重影响了一个区域的经济水平, 并对该地区的食品安全及人体健康构成了威胁。因土壤污染而造成的“毒米”、“毒菜”事件不断在新闻媒体上报道, 尤其是 2013 年湖南“镉米”事件给人们带来了很大的恐慌。准确的环境状况综合评价(包括土壤重金属的污染特征、来源和生态风险评价等)对于了解该地区重金属污染状况预测及有效的预防和治理, 具有重要战略意义[1]-[14]。

本文以四川省自贡市某化工渣场土壤重金属分布为研究对象, 对其多种元素进行了含量测定, 揭示化工渣场土壤中 Cr, Hg, As 等元素的富集特征与空间分布规律, 旨在为化工渣场堆积地区中土壤环境保护、土壤污染治理、土壤环境风险预警、土壤资源合理利用等提供参考依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

研究区域位于自贡市, 场地整体面积约为 55,200 m², 于 1938 年建立, 主要由某氯碱化工有限责任公司及周边大量小型私营化工厂的生产废料露天堆积而形成, 场地中心地理位置坐标东经 104°45'47.71", 北纬 29°23'33.68"。东临张家坝化工建材厂, 西接川渝挖掘机培训学校, 南至自贡市新纪元恐龙景观制作有限公司及洗涤厂, 北至自贡市三和包装有限公司。项目调查范围见图 1。调查区气候为亚热带湿润季风气候类型, 冬暖夏热, 雨量适中, 年均气温 17.5℃~18℃, 极端温度为-6℃和 42℃。区内全年主导风向为夏季西北风、冬季北风, 夏季平均风速 1.8 m/s, 冬季平均风速 1.5 m/s。年平均湿度为 77.5%。区内年降雨量 1100 mm 左右。



Figure 1. Investigation status of the study area (the left picture shows barium slag and other waste slags; the right picture shows the river on the east side of the site; shooting time is June 25, 2018)

图 1. 研究区域踏勘现状(左图为钡渣等废渣, 右图为场地东侧河流, 拍摄时间 2018 年 6 月 25 日)

踏勘调查渣场发现, 研究区域中东部较低, 西南及东北部较高, 西南区域因常年堆积的废渣形成的“渣山”约高出场地平局海拔 12~15 m 如图 1 所示, 东北区域“渣山”约高出 16~20 m; 现场堆积混乱, 如图 2 所示。渣场的东面区域为 2018 年新建的渗滤液挡墙, 挡墙长约 200 m, 墙外有一条渗滤液收集沟, 收集的渗滤液用泵抽入污水处理厂进行综合处理。

2.2. 布设点位及取样

本研究区域布设点位主要依据《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)、《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)、北京市《场地环境评价导则》(DB11/T 656-2009)、《建设用土壤环境调查评估技术指南》等相关技术标准。按照网格布点法, 每 1600 m² 布设一个钻孔点位, 共计布设 44 个钻孔点位(如图 2 所示)。取样深度由渣土接触面与原状土壤表层开始, 表层取样深度 0~20 cm, 其后每间距 0.5 m 深度取一个样, 直至该区基岩层(强风化带)。本次详查野外取样工作于 2018 年 7 月 2 日开始, 至 2018 年 8 月 3 日完成。共取土壤样 220 件, 所有样品皆送至四川省冶金地质勘查局分析测试中心进行分析检测。



Figure 2. Layout of drilling plane
图 2. 钻孔平面布置图

2.3. 样品测定

样品测定包括现场快速检测及室内检测。现场快速检测主要使用设备有 XRF (美国 nov-X System)、便携式 pH 计(PHBJ-260)、浊度测定仪(GDYS-101SZ)、便携式电导率仪(DDBJ-350 型)、掌上溶氧计(JPB-607

型)等。室内检测样品 220 件。相关指标检测方法参考国内相关标准、USEPA 等相关检测标准, 具体检测指标与方法见表 1。

Table 1. Detection methods and method sources

表 1. 检测方法与方法来源

类别	检测项目	检测方法与方法来源	仪器名称及型号	检出限
土壤	砷	土壤和沉积物砷的测定 微波消解/原子荧光法 HJ 680-2013	原子荧光光度计 AFS-3000(012)(013)	0.01 mg/kg
	锰	土壤和沉积物 12 种元素的测定 王水提取 - 电感耦合等离子体质谱法 HJ 803-2013	电感耦合等离子质谱仪 (010)	0.7 mg/kg
	钡	区域地球化学样品分析方法第 3 部分: 钡、铍、铋 等 15 个元素量测定电感耦合等离子体质谱法 DZ/T 0279.3-2016	电感耦合等离子质谱仪 (010)	1.1 mg/kg
	pH 值	土壤 pH 的测定 NY/T 1377-2007	PHSJ-4F 酸度计(168)	/
	氯离子	土壤 氯离子含量的测定 土壤检测第 17 部分 NY/T 1121.17-2006	25.0 mL 滴定管	0.01 g/kg
	硫酸根	土壤硫酸根离子含量的测定 土壤检测第 18 部分 NY/T 1121.18-2006	25.0 mL 滴定管	0.01 g/kg

2.4. 数据处理

常规数理统计分析采用 excel 软件完成, 主成分分析和统计相关检验分析采用 DPS@15.1 数据处理系统完成, 空间分布图通过 ArcGIS@10.1 软件制作。

3. 检测结果分析

3.1. 土壤样品分析及统计特征分析

样品分析结果数据繁多, 为分析土壤中各种化学元素随深度的分布特征, 现取 ZK-07#检测结果为例(采用深度取 60 cm 间距), 土壤检测数据信息, 如表 2 所示。

Table 2. Monitoring data of soil pollutants and volatile organic compounds

表 2. 土壤污染物及挥发性有机物监测数据

检测项目/采样深度(cm)	700~720	720~740	780~800	840~860	900~920	960~980	1020~1040	1050~1070		
砷 mg/kg	60	140	4.08	3.81	3.57	3.97	4.01	2.31	2.15	2.01
钡 mg/kg	2000 (重庆地方标准)	577	678	651	557	652	602	575	571	
钙 mg/kg	/	4736	5664	5764	5493	5571	4121	4250	4029	
锰 mg/kg	2000 (重庆地方标准)	412	464	589	571	609	578	486	457	
pH 值	/	7.12	7.35	7.44	7.19	6.55	5.85	5.81	5.85	
氯离子(g/kg)	0.04 (背景值)	0.2	0.14	0.12	0.14	0.14	0.12	0.10	0.094	
硫酸根(g/kg)	0.02 (背景值)	0.4	0.45	0.05	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	

检测结果调查场地土壤样品分析结果如下表 3:

Table 3. Mean value and distribution range of pollution sources in soil
表 3. 土壤中污染源均值及分布范围

污染物	均值	分布范围	污染物	均值	分布范围(mg/kg 或 $\mu\text{g}/\text{kg}$)
pH	7.752	5.21~12.6	氯离子	2.016 g/kg	0~18.4 g/kg
硫酸根	0.944 g/kg	0~6.812 g/kg	砷	8.72 mg/kg	1.29~88.43
锰	636.41 mg/kg	119.6~9057 mg/kg	钡	3189.17 mg/kg	393.75~34280 mg/kg

3.2. 土壤重金属 Ba、As、Mn 等元素空间分布特征

利用 ArcGIS10.1 绘制研究区域土壤级种重金属空间分布如图 3~22 所示。元素含量空间分布图中, 以黄色及以上色区标识不同层位土壤中该元素超标区域, 图中蓝色框线为调查场地实际范围, 红色外框线为场地周边区域范围, 所显示的土壤深度为去除上层覆渣的相对深度。

3.2.1. 不同深度土壤中钡含量分布图

不同深度土壤中钡含量分布如图 3~6 所示。

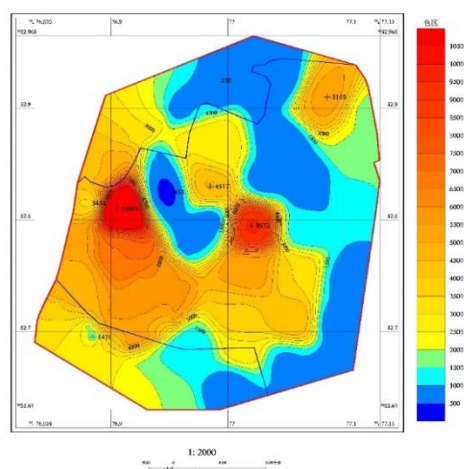


Figure 3. Distribution of barium content at 0~0.2 m depth in soil
图 3. 土壤 0~0.2 m 深度钡含量分布图

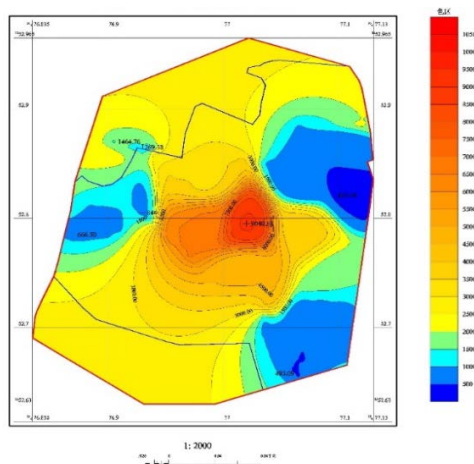


Figure 4. Distribution of barium content in soil at a depth of 1~1.2 m
图 4. 土壤 1~1.2 m 深度钡含量分布图

依据室内检测结果及图 3~6 分析, 调查区域土壤中钡的均值为 2909.66 mg/kg, 主要分布在 411.8~27,500 mg/kg 范围内, 土壤检测样品 220 件, 根据《场地土壤环境评估筛选值》(DB 50/T 723-2016 重庆市地方标准)中商服/工业用地标准限值(钡——2000 mg/kg), 超标样品数为 75 件, 样品超标率为 34.09%, 最大超标倍数 16.14, 场地区域超标点位及污染深度不集中, 主要受污染点位为 ZK01 (污染深度 0.4~2.8 m, 此处污染深度为实际深度, 即算渣层厚度, 下同)、ZK09 (污染深度 0.5~0.6 m)、ZK10 (污染深度 10.1~10.6 m)、ZK11 (污染深度 0.2~10.6 m)、ZK14 (污染深度 7.5~8.0 m)、ZK18 (污染深度 9.3~10.7 m)、ZK19 (污染深度 6.3~7.8 m)、ZK27 (污染深度 14.2~14.8 m)、ZK21 (污染深度 7.2~7.4 m)、ZK20 (污染深度 7.5~8.0 m)、ZK25 (污染深度 15.2~16.9 m)、ZK31 (污染深度 5.2~6.0 m)、ZK26 (污染深度 10.0~11.9 m)、ZK33 (污染深度 6.3~7.0 m)、ZK37 (污染深度 0~0.2 m)、ZK38 (污染深度 0.2~1.1 m)、ZK36 (污染深度 0.5~1.0 m)、ZK34 (污染深度 5.1~5.8 m)、ZK42 (污染深度 1.1~4.0 m)、ZK35 (污染深度 3.0~3.6 m)、ZK43 (污染深度 0~0.2 m)、ZK40 (污染深度 0.5~0.7 m)。

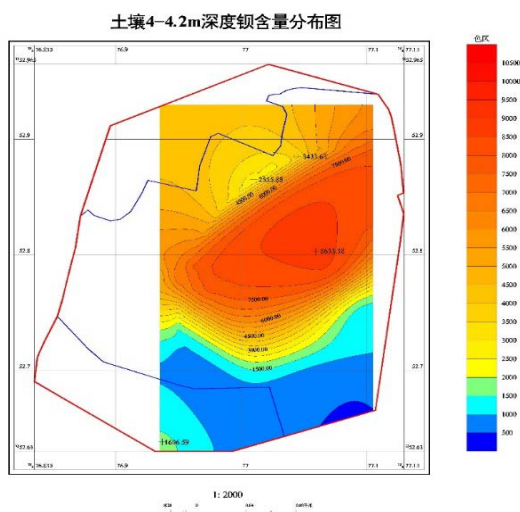


Figure 5. Distribution of barium content in soil at a depth of 4~4.2 m
图 5. 土壤 4~4.2 m 深度钡含量分布图

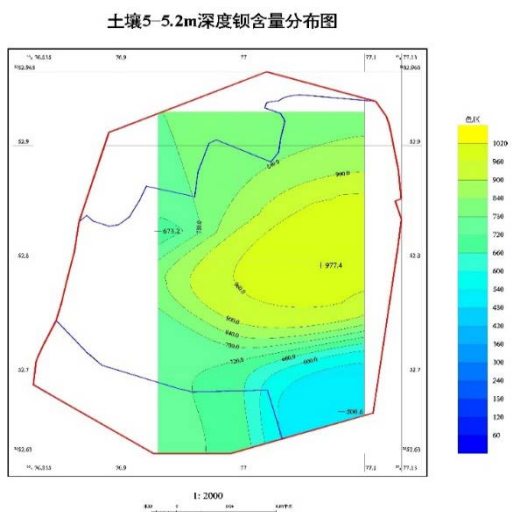


Figure 6. Distribution of barium content in soil at a depth of 5~5.2 m
图 6. 土壤 5~5.2 m 深度钡含量分布图

3.2.2. 不同深度土壤中砷空间分布

不同深度土壤中砷含量空间分布如图 7~10 所示。

调查区域土壤中砷的均值为 8.72 mg/kg, 主要分布在 1.29~88.43 mg/kg 范围内, 根据《土壤环境质量建设用 地土壤污染风险管控标准(试行)》(发布稿) (GB36600-2018) 的评价标准(砷筛选值——60 mg/kg), 土壤检测样品 220 件, 超标样品数为 2 件, 样品超标率为 0.91%, 最大超标倍数为 0.474 倍, 超标点位主要分布在 ZK-35# (污染深度 3.0~3.6 m)。

3.2.3. 不同深度土壤中锰含量空间分布图

不同深度土壤中 Mn 含量空间分布如图 11~14 所示。

调查区域土壤中锰的均值为 636.41 mg/kg, 主要分布在 119.6~9057 mg/kg 范围内, 根据《场地土壤环境评估筛选值》(DB 50/T 723-2016 重庆市地方标准)中商服/工业用地标准限值(锰——2000 mg/kg), 超标样品个数 3 个, 样品超标率为 1.36%, 最大超标倍数为 3.469 倍, 超标点位主要分布在 ZK-01# (污染深度 0.4~1.8 m)。

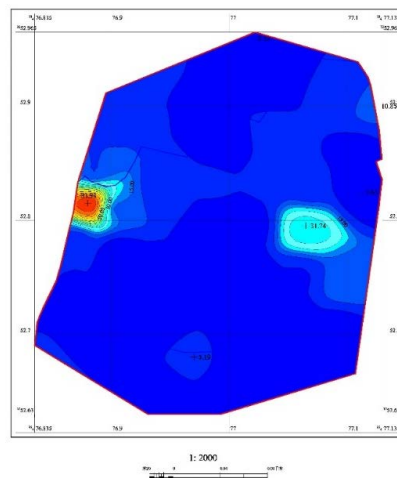


Figure 7. Distribution of As content at 0~0.2 m depth in soil
图 7. 土壤 0~0.2 m 深度 As 含量分布图

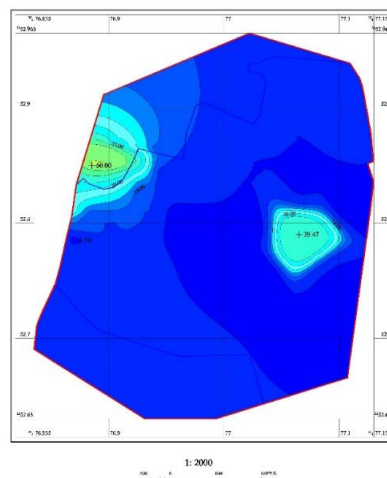


Figure 8. Distribution of As content in soil at a depth of 1~1.2 m
图 8. 土壤 1~1.2 m 深度 As 含量分布图

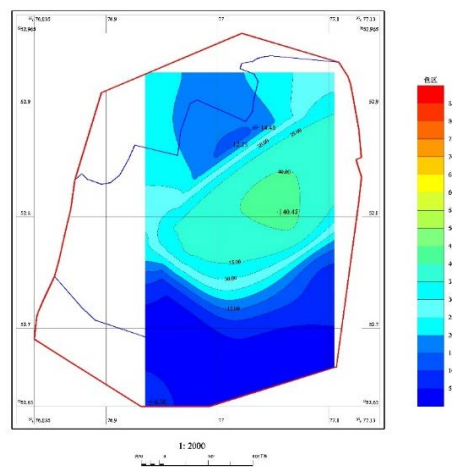


Figure 9. Distribution of As content at 4~4.2 m depth in soil
图 9. 土壤 4~4.2 m 深度 As 含量分布图

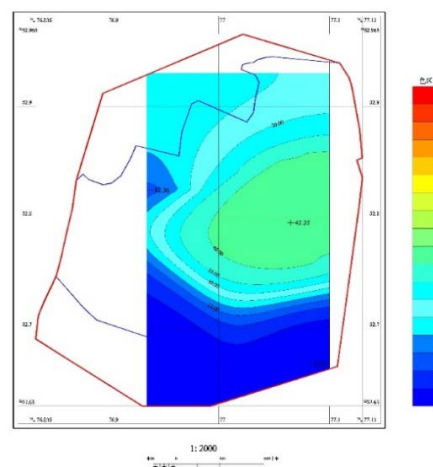


Figure 10. Distribution of As content in soil at 5~5.2 m depth
图 10. 土壤 5~5.2 m 深度 As 含量分布图

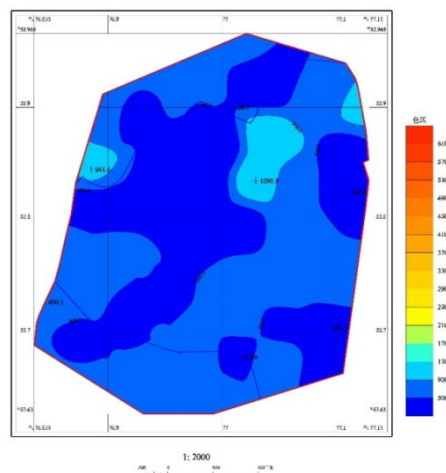


Figure 11. Distribution of Mn content at 0~0.2 m depth in soil
图 11. 土壤 0~0.2 m 深度 Mn 含量分布图

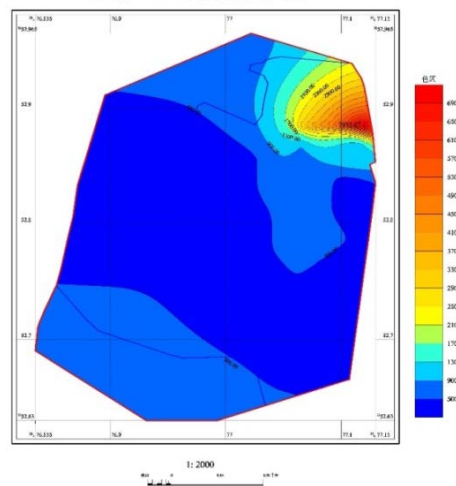


Figure 12. Distribution of Mn content in soil at a depth of 1~1.2 m
图 12. 土壤 1~1.2 m 深度 Mn 含量分布图

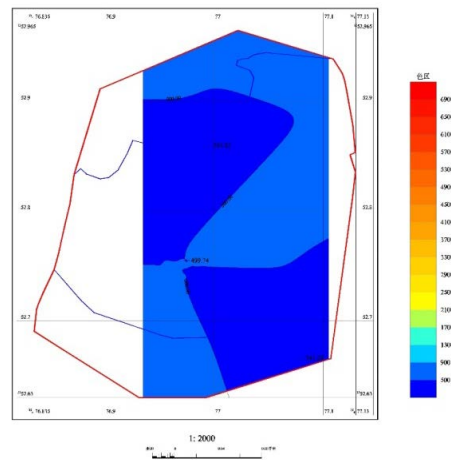


Figure 13. Distribution of Mn content in soil at 3~3.2 m depth
图 13. 土壤 3~3.2 m 深度 Mn 含量分布图

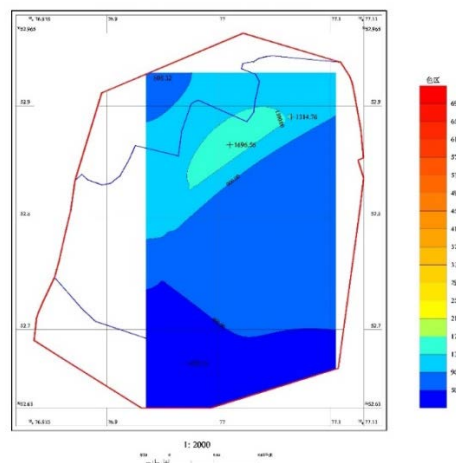


Figure 14. Distribution of Mn content in soil at a depth of 4~4.2 m
图 14. 土壤 4~4.2 m 深度 Mn 含量分布图

3.2.4. 不同深度土壤中氯离子含量空间分布图

不同深度土壤中氯离子含量空间分布如图 15~18 所示。

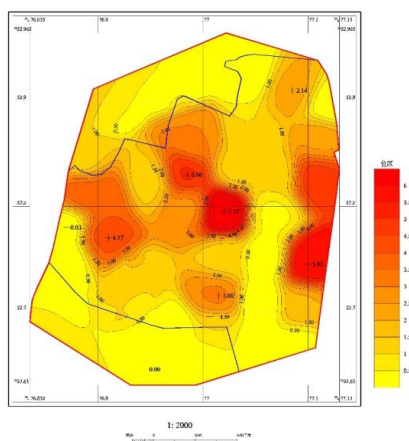


Figure 15. Distribution of chloride ion content in soil at a depth of 0~0.2 m

图 15. 土壤 0~0.2 m 深度氯离子含量分布图

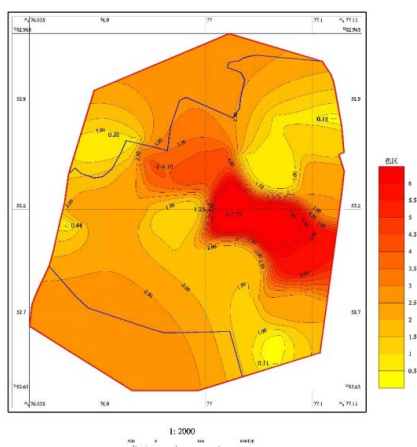


Figure 16. Distribution of chloride ion content in soil at a depth of 1~1.2 m

图 16. 土壤 1~1.2 m 深度氯离子含量分布图

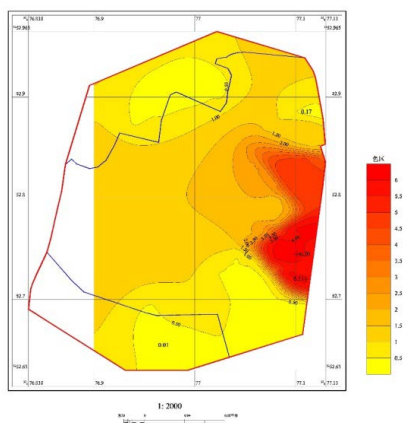


Figure 17. Distribution of sulfur chloride ion content in soil at a depth of 2~2.2 m

图 17. 土壤 2~2.2 m 深度硫氯离子含量分布图

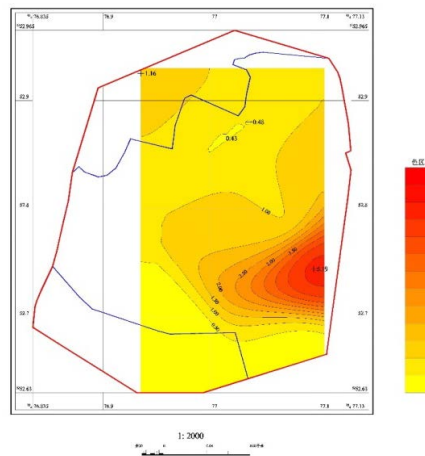


Figure 18. Distribution of chloride ion content in soil at a depth of 4~4.2 m
图 18. 土壤 4~4.2 m 深度氯离子含量分布图

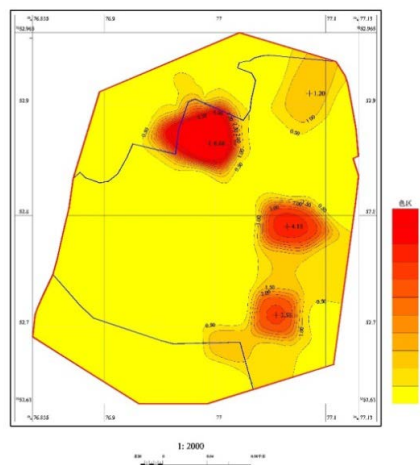


Figure 19. Distribution of sulfate ion content at 0~0.2 m depth in soil
图 19. 土壤 0~0.2 m 深度硫酸根离子含量分布图

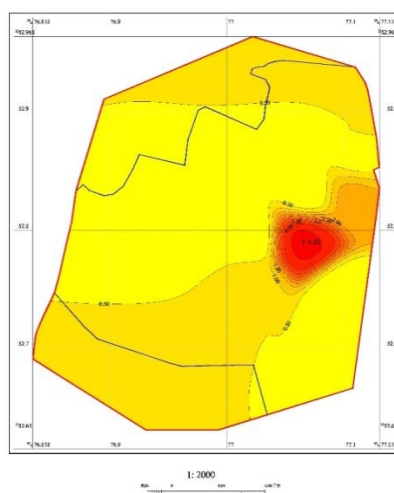


Figure 20. Distribution of sulfate ion content in soil at a depth of 1~1.2 m
图 20. 土壤 1~1.2 m 深度硫酸根离子含量分布图

根据室内检测结果分析及图 15~18 分析可知, 调查区域土壤中氯离子均值为 2.0 g/kg, 主要分布在 0~18.4 g/kg 范围内, 区域背景值为 0.04 g/kg; 硫酸根均值为 0.944 g/kg, 主要分布在 0~6.8 g/kg 范围内, 区域背景值为 0.02 g/kg。

3.2.5. 不同深度土壤中硫酸根含量空间分布图

不同深度土壤中硫酸根离子含量空间分布如图 19~22 所示。

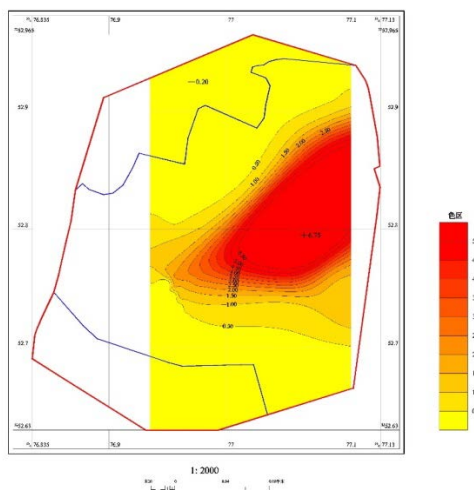


Figure 21. Distribution of sulfate ion content in soil at a depth of 3~3.2 m
图 21. 土壤 3~3.2 m 深度硫酸根离子含量分布图

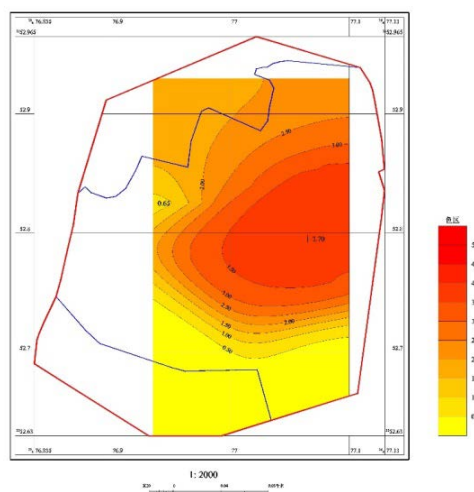


Figure 22. Distribution of sulfate ion content in soil at a depth of 4~4.2 m
图 22. 土壤 4~4.2 m 深度硫酸根离子含量分布图

4. 结论

调查场地土壤主要受污染因子为钡、氯离子和硫酸盐, 其次为砷、锰。调查场地土壤质量不满足《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(发布稿)(GB36600-2018)中二类用地筛选值, 也不满足《场地土壤环境评估筛选值》(DB 50/T 723-2016 重庆市地方标准)中商服/工业用地标准限值, 土壤中氯离子和硫酸盐含量相比该区土壤背景值异常偏高。建议相关部门开展相关修复方案设计等工作。

参考文献

- [1] 高瑞忠, 张阿龙, 张生, 等. 西北内陆盐湖盆地土壤重金属 Cr, Hg, As 空间分布特征及潜在生态风险评价[J]. 生态学报, 2019, 7(39): 2531-2543. <http://www.ecologica.cn>
- [2] 中国环保网. 土壤重金属污染日益加剧修复之路需全员参与[EB/OL]. http://hbw.chinaenvironment.com/zxxwlb/index_55_109400.html, 2019-09-24.
- [3] 赵玉庭, 董晓晓, 王立明, 齐延民, 由丽萍, 孙珊, 马元庆. 海洋沉积物重金属生态风险评价方法比较及实例验证——以莱州湾为例[J]. 海洋通报, 2019, 38(3): 353-360.
- [4] 张婉璐, 吴云. 基于内梅罗指数法与地质累积指数法对海宁市土壤重金属污染状况评价的比较与分析[J]. 中国资源综合利用, 2017, 35(12): 13-15+20.
- [5] 李啸宇, 何祥英, 罗万次, 黄琪喜. 广西防城湾表层沉积物重金属的分布及其潜在生态风险评价[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(5): 712-717.
- [6] Nasiri, M.M., Shakouhi, F. and Jolai, F. (2019) A Fuzzy Robust Stochastic Mathematical Programming Approach for Multi-Objective Scheduling of the Surgical Cases. *OPSEARCH*, **56**, 890-910. <https://doi.org/10.1007/s12597-019-00379-y>
- [7] 杨文刚. 生态建设小流域土壤重金属迁移-沉积过程及其生态风险评价[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [8] 洪涛, 孔祥胜, 岳祥飞. 滇东南峰丛洼地土壤重金属含量、来源及潜在生态风险评价[J/OL]. 环境科学, 2019(10): 1-12. <https://doi.org/10.13227/j.hjks.201901081>
- [9] Lu, X., Hu, W.-Y., Huang, B., Li, Y., Zu, Y.-Q., Zhan, F.-D. and Kuang, R.-X. (2018) Source Apportionment of Heavy Metals in Farmland Soils around Mining Area Based on UNMIX Model. *Huan Jing Ke Xue*, **39**, 1421-1429.
- [10] 苏晓玲. 九龙江江东库区段重金属生态风险评估及其来源解析[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 厦门大学, 2018.
- [11] 耿雅妮, 梁青芳, 杨宁宁, 董洁, 张军. 宝鸡市城区灰尘重金属空间分布、来源及健康风险[J/OL]. 地球与环境, 47(5): 696-706. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFQ&dbname=CJFDLAST2019&filename=DZDQ201905015&v=MDk4MTMzcVRyV00xRnJDVVI3cWZaZWRTRnkvaFVvN0JJVGZQZjdHNeg5ak1xbzlFWVISOGVYMUx1eF1TNORoMVQ>, 2019-09-30.
- [12] 杨之江, 陈效民, 景峰, 郭碧林, 林高哲. 基于 GIS 和地统计学的稻田土壤养分与重金属空间变异[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1893-1901.
- [13] 倪晓坤, 封雪, 于勇, 姜晓旭, 李宗超, 李好, 夏新. 典型固废处理处置场周边土壤重金属污染特征和成因分析[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(9): 2146-2156.
- [14] 徐焯. 基于聚类的农产品产地土壤重金属污染与企业空间分布关系研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2019.