

广西某五金厂遗留场地调查及风险评估

孙义刚, 江祖嘉*

广西环投水务集团有限公司, 广西 南宁

收稿日期: 2024年8月12日; 录用日期: 2024年9月23日; 发布日期: 2024年10月10日

摘要

以广西某五金厂遗留场地为调查对象, 根据生态环境部土壤环境评估技术指南及风险评估技术导则等规范为依据, 对该五金厂遗留场地开展调查, 该场地以火炼的方式非法冶炼生产铅锭被关停。通过收集资料、现状监测等, 结果表明: 场地内铅、砷重金属指标超过土壤环境中第二类用地管制值, 地下水监测因子符合GB14848-2020中的III类标准要求, 地块内地下水未受到污染。

关键词

污染场地调查, 风险评估, 铅酸蓄电池

Investigation and Risk Assessment of the Remaining Site of a Hardware Factory in Guangxi

Yigang Sun, Zujia Jiang*

Guangxi Huantou Water Group Co. Ltd., Nanning Guangxi

Received: Aug. 12th, 2024; accepted: Sep. 23rd, 2024; published: Oct. 10th, 2024

Abstract

The investigation focused on the remaining site of a hardware factory in Guangxi. Following the guidelines for soil environment assessment and risk assessment issued by the Ministry of Ecology and Environment, an assessment was conducted on the site where illegal lead ingot production had taken place through illegal smelting processes. By collecting data and conducting current status monitoring, the results indicated that the levels of lead and arsenic in the soil exceeded the regulatory values for Class II land use. However, the groundwater monitoring parameters met the Class III

*通讯作者。

standards specified in GB14848-2020, indicating that the groundwater in the area is not contaminated.

Keywords

Contaminated Site Investigation, Risk Assessment, Lead-Acid Battery

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

近年来, 铅电池行业生产规模的发展不断扩大。废旧的铅蓄电池再生铅厂生产工艺简单, 能源消耗高, 环境污染程度严重。一些小规模的铅酸电池回收小企业主要使用传统的小反射炉、鼓风机和冲天炉等熔炼工艺, 将板栅和铅泥混合在一起进行熔炼, 基本没有经过预处理工艺, 甚至有些企业采用传统的土窑土炉进行冶炼。在炼铅和化铅的过程中, 大量的铅粉飘散于空气中, 导致严重的环境污染[1]。随着工业企业的转移或停业、倒闭, 留下了大量、各种各样、错综复杂的污染场地, 包括土壤污染、地下水污染、墙壁和设备污染以及废弃物污染等一系列突出问题, 成为工业革新和城市拓展的附带影响[2]。国内关于废旧铅酸蓄电池拆解冶炼土壤重金属污染的研究比较缺乏。本次以广西某五金厂遗留的污染场地为研究对象, 对污染场地的土壤和地下水进行调查, 为相类似的行业污染场地保护和修复土壤环境提供科学依据。

2. 调查方法

2.1. 场地概况

该五金厂于 2015 年 12 月在闲置的水泥厂厂区内建设两条处置废旧铅酸蓄电池生产线, 以火炼的方式冶炼生产铅锭, 处置废旧铅酸蓄电池约 1.2 万吨。因该厂未办理相关合法手续, 2016 年 9 月被政府相关部门依法取缔关停。厂区设有拆解破碎清洗区、电池拆解区、熔炼区、冷却循环水池区、收尘区及仓库等, 占地面积约为 23 亩(折合 15335 m²)。

通过资料搜集、场地勘查和人员访谈, 得以确定场地污染要素, 初步推断出潜在的污染物如表 1 所示[3]。

Table 1. Identification of potential pollutant factors on site

表 1. 场地潜在污染物因子识别

生产工艺	产污环节	潜在污染物			污染介质
		铅	镉	砷	
铅酸蓄电池拆解 熔炼	电池拆解	★	★	★	土壤、地下水
	电池破碎清洗	★	★	★	土壤、地下水
	金属熔炼	★	★	★	土壤、地下水、大气

2.2. 采样点布设和样品采集

根据《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)等相关规定, 进行了土壤和地下水的监测采样工作[4]。

本次设计 56 个土壤采样点位[5], 其中厂内布设 50 个, 厂外背景点布设 6 个。采样深度根据 HJ 25.2-2014 中 6.2 章节土壤监测点位取样深度要求, 3 m 以内采样间隔为 0.5 m。背景点采样以原状土层为主, 采样深度初步设定为 1 m。在地块内选择 5 个土壤监测点兼作地下水监测井, 在地块外北面 and 南面各设 1 个地下水对照监测井, 共 7 个地下水监测井。场地调查采样布点图见图 1。

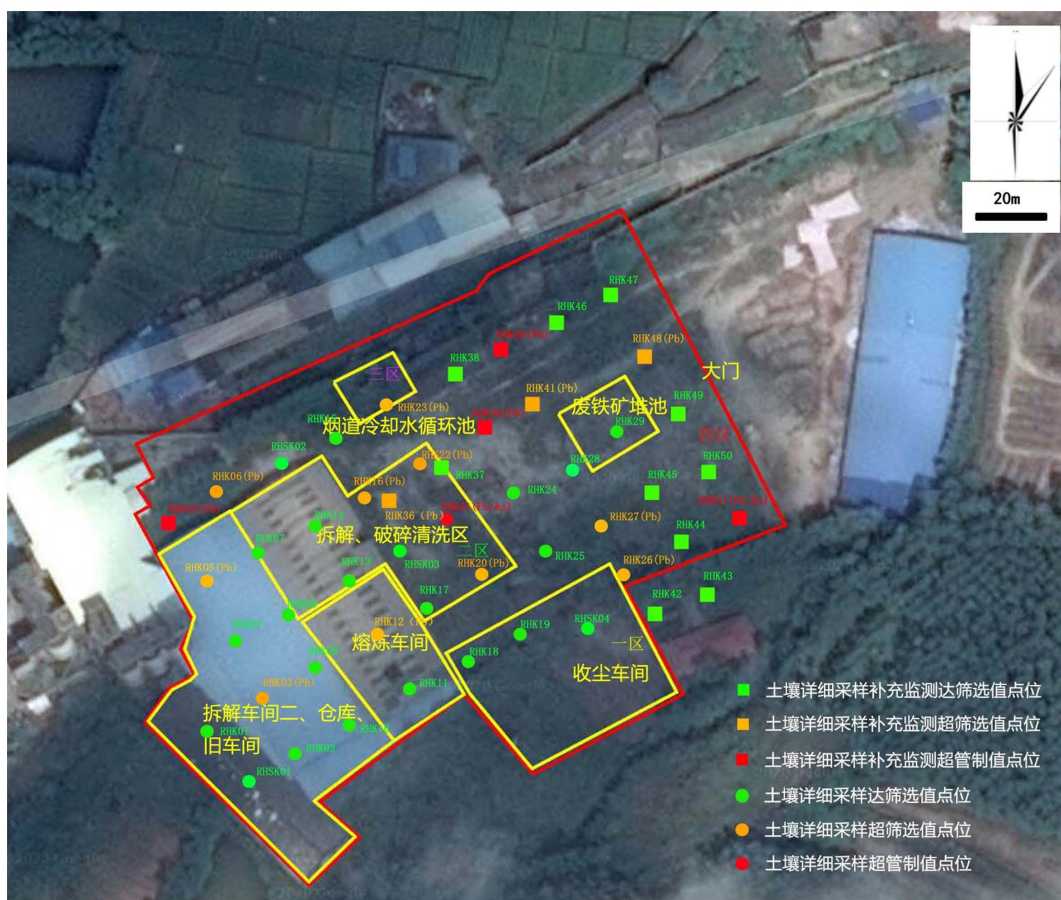


Figure 1. Site survey sampling layout
图 1. 场地调查采样布点图

2.3. 检测分析项目和分析方法

土壤样品检测的项目为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(GB 36600-2018)中的: pH、铅、镉、砷共 4 个指标。

地下水样品检测项目为《地下水环境监测技术规范》(HJT164-2004)中的: pH、总硬度、耗氧量、汞、镉、铬(六价)、砷、铅、镍、锌、铜、 SO_4^{2-} 共 12 个指标。

土壤中重金属的检测标准包括《土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 2 部分: 土壤中总砷的测定》(GB/T 22105.2-2008)、《土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》(GB/T 17141-1997)等, 土壤 pH 值的分析方法为《土壤检测 第 2 部分: 土壤 pH 的测定》(NY/T 1121.2-2006), 而地下水中重金属的测试则采用《水质 铜、锌、铅、镉的测定 原子吸收分光光》(GB 7475-1987)、《生活饮用水标准检验方法 金属指标》(GB/T 5750.6-2006)、《水质 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法》(GB/T 11912-1989)、《水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法》(HJ 694-2014)等[6]。

2.4. 评价方法

调查地块所在地为现状建设用地, 拟对该旧址地块进行污染修复整合治理后, 规划继续将其以工业类非敏感用地方式进行使用(如工业用地、物流仓储用地等), 因此, 该地块调查选用《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中“第二类用地”的“建设用地土壤污染风险管制值”作为评价标准[7]。地下水详细采样检测选择《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中III类标准作为评价标准[8]。

3. 结果与讨论

3.1. 土壤样品检测结果评价与分析

采用单因子指数法进行评价, 评价公式:

$$K_i = E_i / EO_i$$

式中 K_i ——土壤中 i 污染物的污染指数;

E_i ——土壤中 i 污染物的实测含量;

EO_i —— i 污染物的评价标准[9]。

土壤污染因子的 $K_i > 1$, 表明该污染物超过了规定的标准限值, 标准指数越大, 说明超标越严重[10]。

Table 2. Summary of soil detailed sampling and testing results

表 2. 土壤详细采样检测结果汇总情况

监测项目	监测值范围 (mg/kg)	样品数	管制值 (mg/kg)	超管制值样品数	污染指数
砷	4.3~587.8	220	140	2	0.03~4.20
镉	1.62~43.1	161	172	0	0.01~0.25
铅	15~7342	220	2500	6	0.01~2.94

地块内共 220 个土壤样品, 6 个样品超管制值, 样品超标率 2.73%。其中砷超管制值样品 2 个, 砷样品管制值超标率 0.91%, 管制值污染指数 0.03~4.20; 铅超管制值样品 6 个, 铅样品管制值超标率 2.73%, 管制值污染指数 0.01~2.94。镉监测因子未超管制值。土壤详细采样检测结果见表 2。

根据监测结果, 地块内 5 个超管制值点位中, 拆解破碎清洗区域有 1 个点位超管制值, 占比 20%; 非生产区有 5 个点位超管制值, 占比 80%。超管制值点位各区域占比见图 2。

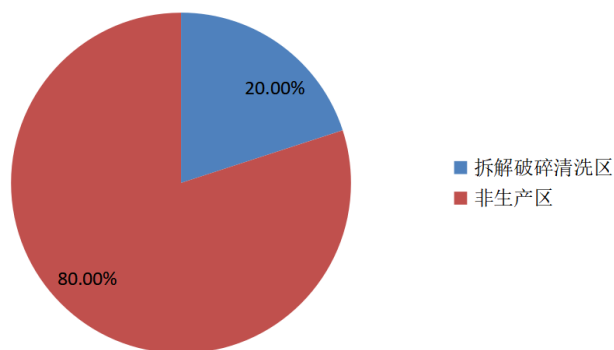


Figure 2. Proportion of each area at the point where pollutants exceeded the control value

图 2. 污染物超管制值点位各区域占比

地块内划定的生产区域中, 拆解破碎清洗区域超标情况最为严重, 其次为拆解车间二、仓库、旧车间区域, 熔炼车间区域和烟道间接冷却水循环池也有超标现象; 除生产区域外大部分的超标现象位于划定的生产区域外, 其中主要分布在拆解车间二、仓库、旧车间区域北面、废铁矿堆池区域北面和收尘车间区域东北面 3 个区域; 地块内四周边界附近均有超筛选值或管制值情况。

3.2. 地下水样品检测结果评价与分析

根据《环境影响评价技术导则地下水环境》(HJ610-2016), 我们采用了标准指数法评价地下水检测结果, 如果标准指数超过 1, 则表示水质参数超标, 具体分析结果请参考表 3 [11]。

Table 3. Summary of detailed sampling and detection results of groundwater

表 3. 地下水详细采样检测结果汇总

序号	监测项目	地下水质量标准	监测值范围	超标率
1	pH 值	6.5~8.5	6.92~6.94	0
2	总硬度	450	319~348	0
3	耗氧量	3	0.5~0.8	0
4	汞	0.001	0.0003L	0
5	镉	0.01	0.00004L	0
6	铬(六价)	0.05	0.005~0.006	0
7	砷	0.01	0.010L	0
8	铅	0.05	0.001L	0
9	镍	0.02	0.05L	0
10	锌	1	0.05L	0
11	铜	1	0.05L	0
12	SO ₄ ²⁻	250	60.8	0

根据监测结果, 地块内的监测井地下水样品的 pH、总硬度、耗氧量、汞、镉、铬(六价)、砷、铅、镍、锌、铜、SO₄²⁻ 共 12 个监测因子, 在监测期间均达到 GB14848-2017 中 III 类标准, 地块内地下水未受到污染。

4. 风险评估

4.1. 土壤污染风险

(1) 土壤砷污染

利用风险评估模型对土壤和地下水中单一污染物的致癌风险和危害商进行计算, 综合评估该单一污染物的总致癌风险和危害指数, 进行详细分析。风险表征的结果可被视为确定土地污染范围的关键考量。当一个采样点所计算得到的单一污染物的致癌风险值超过 10⁻⁶ 或危害商超过 1 时, 该地块区域应被判定为污染风险不可接受的区域[12]。

土壤中单一污染物致癌风险计算公式采用 HJ 25.3-2014 中附录 C 计算致癌风险和危害商的推荐模型 [13]。

根据公式推算, 该采样点的土壤污染物致癌风险已经超出可接受范围, 具体数据见表 4 [13]。

Table 4. Calculation results of arsenic (As) carcinogenic risk in soil of the plot
表 4. 地块土壤砷(As)致癌风险计算结果

序号	采样点位	采样深度(m)	单一污染物致癌风险			
			经口摄入	皮肤接触	吸入土壤颗粒物	综合值
1	RHK21	0.3	8.70E-05	1.58E-05	9.97E-06	1.13E-04
2		0.8	3.84E-05	6.97E-06	4.41E-06	4.98E-05
3	RHK41	0.3	4.99E-05	9.05E-06	5.72E-06	6.46E-05
4	RHK51	0.3	3.21E-04	5.83E-05	3.68E-05	4.17E-04

根据模型公式, 地块土壤污染物的危害商见表 5, 从表中可知该采样点位为污染物致癌风险不可接受。

Table 5. Calculation results of soil arsenic hazard quotient
表 5. 地块土壤砷(As)危害商计算结果

序号	采样点位	采样深度(m)	单一污染物致癌风险			
			经口摄入	皮肤接触	吸入土壤颗粒物	综合值
1	RHK21	0.3	1.17E+00	2.13E-01	9.40E-01	2.33E+00
2		0.8	5.19E-01	9.42E-02	4.15E-01	1.03E+00
3	RHK41	0.3	6.74E-01	1.22E-01	5.39E-01	1.33E+00
4	RHK51	0.3	4.34E+00	7.88E-01	3.47E+00	8.60E+00

根据表 6 可知, 地块土壤砷(As)的致癌风险主要来自经口摄入, 非致癌风险主要来自经口摄入和吸入土壤颗粒[14]。

Table 6. Risk contribution rate of soil exposure pathway
表 6. 土壤暴露途径的风险贡献率

项目		砷
致癌风险	经口摄入	77.16%
	皮肤接触	13.99%
	吸入土壤颗粒物	8.85%
非致癌风险	经口摄入	50.48%
	皮肤接触	9.15%
	吸入土壤颗粒物	40.37%

(2) 土壤铅污染

采用成人血铅模型(ALM)计算基于孕妇体内胎儿血铅的土壤铅环境基准值时, 对计算结果影响最大的 3 个参数为 $PbB_{adult,0}$ 、 EF_s 和 $GSD_{i,adult}$, 其余参数取值基本通用[15]。本次评估过程, EF_s 根据 HJ 25.3-2019 中取值 250 d/a; 根据张红振等人的文献报道, 我国妇女血铅含量范围在 2.25~6.69 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 之间, 本研究 $PbB_{adult,0}$ 取其几何均值 4.79 $\mu\text{g}/\text{dL}$, $GSD_{i,adult}$ 取标准差 1.48 作为土壤环境铅基准推导的默认参数[15]。

Table 7. Parameter value of adult blood lead model (ALM)**表 7.** 成人血铅模型(ALM)参数取值

参数符号	参数定义	单位	本地块取值
RBC/PbS	基于人体健康风险的土壤铅环境基准值	mg·kg ⁻¹	—
PbB _{adult,central,goal}	暴露于铅污染地块的孕妇血铅平均含量目标值	μg·dL ⁻¹	—
PbB _{adult,0}	无铅暴露时育龄妇女的血铅背景水平	μg·dL ⁻¹	4.79
AT	长期暴露平均时间	d	365
BKSF	血铅与每日摄入体内铅含量的斜率系数	d·dL ⁻¹	0.4
IR _s	每日土壤摄入率	g·d ⁻¹	0.05
AF _s	肠胃对摄入体内铅的吸收效率	—	0.12
EF _s	每年平均暴露于铅污染场景的天数	d·a ⁻¹	250
PbB _{fetal,0.95,goal}	胎儿血铅含量的 95% 概率目标值	μg·dL ⁻¹	10
GSD ⁿ _{i,adult}	育龄妇女血铅含量几何标准差	—	1.48
R _{fetal/maternal}	胎儿与母亲血铅含量相关系数	—	0.9
n	根据设定且标血铅浓度时保护人群的概率水平取值	—	1.645

采用“成人血铅模型(ALM)”评估地块土壤铅(Pb)超筛选值点位成人铅(Pb)暴露风险评估计算结果见表 7。

Table 8. List of risk characterization results of lead (Pb) in soil of the plot**表 8.** 地块土壤铅(Pb)风险表征结果一览表

序号	采样点位	采样深度(m)	监测值(mg/kg)	成人血铅浓度(μg/dL)
1	RHK03	0.3	1255	6.85
		0.3	1467	7.20
2	RHK05	0.8	1644	7.49
		1.3	1433	7.15
		0.3	954	6.36
		0.8	834	6.16
3	RHK06	1.3	1281	6.90
		1.8	1194	6.75
		0.3	1106	6.61
4	RHK12	0.8	829	6.15
		1.3	908	6.28
5	RHK16	2.3	833	6.16
6	RHK20	0.3	933	6.32
7	RHK21	0.3	3728	10.92
		0.8	923	6.31
		0.3	1154	6.69
8	RHK22	0.8	850	6.19
		1.8	908	6.28
		2.3	1064	6.54

续表

9	RHK23	0.8	960	6.37
10	RHK26	0.3	1532	7.31
11	RHK27	0.3	882	6.24
12	RHK36	1.8	1125	6.64
		2.3	840	6.17
13	RHK39	0.5	4841	12.75
		0.3	7342	16.86
14	RHK40	1.3	3252	10.14
		1.8	1181	6.73
15	RHK41	0.3	1450	7.17
16	RHK48	0.3	1311	6.95
17	RHK51	0.3	3578	10.67
18	RHK52	0.3	6024	14.69

由表 8 可知, 本地块土壤中, 地块土壤铅(Pb)超筛选值点位成人血铅浓度的最大值为 16.86 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 高于 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 对其人体的健康危害不可接受。

4.2. 风险控制

根据 HJ 25.3-2014 中的附录 E, 土壤和地下水风险控制值的计算公式采用推荐模型。

据公式模型显示, 土壤中的污染物风险管控值包括致癌作用和非致癌作用, 具体数值可参考表 9 [16]。

Table 9. Calculation of risk control value of soil pollutants in the plot

表 9. 地块土壤污染物风险控制值计算情况

污 染 物	基于致癌效应的风险控制值				基于非致癌效应的风险控制值			
	经口 摄入	皮肤 接触	吸入	综合致癌 效应	经口 摄入	皮肤 接触	吸入	综合非致癌 效应
砷	1.83E+00	1.01E+01	1.60E+01	1.41E+00	1.35E+02	7.46E+02	1.69E+02	6.83E+01

经计算得出表 9 中的土壤风险控制值, 选取最小值确定地块的风险控制值, 因此地块土壤砷(As)的基于致癌效应的风险控制值为 1.41 mg/kg , 而基于非致癌效应的风险控制值为 68.3 mg/kg [17]。因此, 地块土壤砷(As)的风险控制值为 1.41 mg/kg 。

针对胎儿的血铅目标浓度为 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 同时育龄妇女的血铅含量几何标准差为 1.48。当育龄妇女没有暴露于铅时, 其血铅背景水平约为 4.79 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 。根据成人血铅模型(ALM)反推得出, 土壤中铅的风险控制值约为 633 mg/kg 。

4.3. 土壤修复目标值的确定

该地块为现有建设用地, 规划将继续以工业类非敏感用地的方式利用, 例如工业用地和物流仓储用地。因此, 为了确保修复目标值的合理科学性, 避免过度修复, 建议将地块土壤中砷(As)的风险控制值与地块土壤中砷(As)的背景浓度(参考广西壮族自治区砷等值线分布图中该地区砷背景浓度范围为 25~157

mg/kg)及 GB36600-2018 中第二类用地土壤污染风险筛选值(60 mg/kg)、管制值(140 mg/kg)进行比较。据此评估可知, 基于无机砷的毒性和暴露特性推导的土壤砷风险控制值为 1.41 mg/kg, 明显低于背景值。为确保修复目标值科学合理, 避免过度修复, 建议以 GB36600-2018 规定的第二类用地土壤污染风险筛选值(140 mg/kg)作为土壤修复目标值。

本地块的敏感受体主要是成人, 因此建议采用成人血铅模型(ALM)计算的风险控制值(633 mg/kg)作为土壤铅(Pb)修复目标值。本地块土壤污染物建议修复目标值见表 10。

Table 10. List of recommended remediation target values of soil pollutants in this block

表 10. 本地块土壤污染物建议修复目标值一览表

土壤污染物	风险控制值	区域背景值	GB36600 第二类用地筛选值 (mg/kg)	GB36600 第二类用地管制值 (mg/kg)	修复目标值 (mg/kg)
砷(As)	1.41	25~157	60	140	60
铅(Pb)	633	—	800	2500	633

5. 结论与建议

5.1. 结论

根据调查结果显示, 监测井地下水样品的监测因子在监测期间均符合 GB14848-2017 中III类标准, 证实地块内地下水未受到污染[17]。地块内有土壤检测点位砷、铅超过 GB36600-2018 中第二类用地管制值。地块内划定的生产区域中, 拆解破碎清洗区域超标情况最为严重, 其次为拆解车间二、仓库、旧车间区域, 熔炼车间区域和烟道间接冷却水循环池也有超标现象; 除生产区域外大部分的超标现象位于划定的生产区域外, 其中主要分布在拆解车间二、仓库、旧车间区域北面、废铁矿堆池区域北面和收尘车间区域东北面 3 个区域; 地块内四周边界附近均有超标情况。

根据 HJ 25.3-2019 的相关规定, 如果某个采样点计算出的单一污染物致癌风险值超过 10^{-6} 或危害商超过 1, 那么该地块区域将被认定为风险不可接受的污染区域, 可能对人体造成危害, 因此需要采取进一步的管理措施[18]。考虑经济和技术可行性, 确定了土壤砷(As)污染物的修复目标值为 60 mg/kg; 铅(Pb)污染物的修复目标值为 633 mg/kg。

5.2. 建议

该地块属于污染地块, 砷、铅等污染物对人体健康具有一定风险, 地块修复之前做好地块土壤和地下水的风险管控。建议制定风险管控方案, 采取相应的风险管控措施, 同时制定风险管控环境监测计划。在地块东、南、西、北四个方向及主要出入口位置各设立公告牌, 防止无关人员进入场地导致人体健康暴露风险或对污染地块造成影响; 污染地块边界采用围墙等设施进行围挡, 采取污染隔离、阻断等措施, 防止污染扩散; 指定一个专人为本地块环保负责人, 有关人员进入污染地块时, 该地块环保负责人员应主动告知场地内存在的土壤环境风险情况, 避免进入者和污染土壤的直接接触。

合理进行地块未来用地规划。按照地块规划, 本项目以非敏感用地类型进行风险筛选和风险评估, 其风险评估结果也仅适用于当前的规划条件和规划范围。如地块后期规划用地性质发生改变, 则需要重新进行风险筛选和风险评估。环境调查确定的污染区域内, 后期用地不应规划为学校、养老院、医院、居民住宅等第一类建设用地。

参考文献

- [1] 李敏, 刘毅, 朱东方, 等. 废旧蓄电池中再生铅资源的回收利用[J]. 河南化工, 2012, 29(7): 25-27.
- [2] 杨健, 吴以中, 王蔡华. 土壤中苯和硝基苯蒸气入侵建筑物研究[J]. 安全与环境工程, 2015, 22(2): 74-78.
- [3] 李心治, 张健钦, 胡昊, 等. 基于 CatBoost 的重金属污染场地风险等级预测模型[J]. 绿色科技, 2022, 24(24): 140-145, 151.
- [4] 张亚男. 农用地土壤重金属污染防治与管控研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2018.
- [5] 陈晓. 某大型工业区土壤污染状况调查布点方法探讨[J]. 节能, 2021, 40(4): 62-64.
- [6] 鹿守敢, 孟慧芳. 某化工企业搬迁遗留场地环境调查与健康风险评估[J]. 环境科技, 2017, 30(6): 40-45.
- [7] 程伟, 臧瑶, 胡崑. 某铁选厂土壤污染隐患排查案例分析[J]. 现代矿业, 2023, 39(5): 205-208.
- [8] 夏旗, 焦永杰. 天津某建设用地土壤及地下水环境调查分析[J]. 绿色科技, 2022, 24(16): 127-130.
- [9] 高军侠, 姜灵彦, 党宏斌, 等. 郑东新区不同利用类型土壤重金属污染评价[J]. 河南农业科学, 2014, 43(5): 76-81.
- [10] 柴建华. 云南蒙自氮肥厂污染场地地下水污染规律研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.
- [11] 梁军. 佛山市某陶瓷企业搬迁遗留场地调查及风险评估[J]. 广东化工, 2019, 46(14): 34-36.
- [12] 孟佩俊, 李淑荣, 和彦苓, 等. 土壤中有有机氯农药的分布特征及健康风险评估研究进展[J]. 包头医学院学报, 2017, 33(6): 130-135.
- [13] 罗成成. 加油站遗留地块土壤污染状况调查与风险评估[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(5): 155-161.
- [14] 王凯. 场地土壤重金属污染特征及健康风险评估研究——以华中地区某废弃冶炼厂为例[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2019.
- [15] 张红振, 骆永明, 章海波, 等. 基于人体血铅指标的区域土壤环境铅基准值[J]. 环境科学, 2009, 30(10): 3036-3042.
- [16] 徐磊. 某化工厂污染场地风险评估与修复研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [17] 湛磊. 某蓄电池企业遗留污染地块详细调查与风险评估[J]. 区域治理, 2021(5): 0199-0202.
- [18] 陈乾, 蓝江慧, 马志鹏, 等. 基于广东某地的重金属污染场地调查与风险评估[J]. 云南化工, 2022, 49(9): 74-76.