

某河道历史遗留固体废物堆存场地环境污染风险评估与综合治理方案

马东卓, 楚敬龙, 苗雨, 林星杰, 刘楠楠, 张弛

矿冶科技集团有限公司, 北京

收稿日期: 2023年6月18日; 录用日期: 2023年7月19日; 发布日期: 2023年7月27日

摘要

以某河道内的历史遗留固体废物堆场为例, 通过对该研究区场地周围的土壤、固体废物、地下水、地表水现场采样及室内测定, 检测样品中重金属及其他特征污染物的含量, 分析其污染特征及原因并开展风险评估, 结果表明: 1) 土壤及底泥不存在污染物超标情况; 固体废物出现pH与氟化物超标为II类固废情况; 地下水超标因子中有锰、挥发酚、氨氮、氟化物超过背景值的情况; 地表水有pH、溶解氧、五日生化需氧量、氟化物、氨氮、总氮、挥发酚、阴离子表面活性剂超标现象; 2) 通过反距离插值法对土壤污染物空间范围进行模拟, 将风险评估范围划分为重点防控区与一般防控区, 风险评估重点关注场地内地下水的特征污染物。地下水关注污染物氨氮、锰和挥发酚危害商均小于1, 风险可接受; 氟化物危害商为 $7.5 > 1$, 其中饮用地下水暴露途径贡献率为100%。本次评估主要计算地下水中关注污染物氟化物的风险控制值为1.8 mg/L, 实际参考值为1.0 mg/L。3) 提出河道固废整治方案: 1、地表水抽至污水处理站处理; 河道内转移对人体健康影响较大II类固废进行堆土造景, 并建设人工湿地、种植耐碱草本植物对河道污染物进行长期治理, 并实施定期环境监测。

关键词

河道, 固体废物, 风险评估, 环境治理

Study on Environmental Pollution Risk Assessment and Comprehensive Treatment Plan of a Historical Solid Waste Storage Site in a River Course

Dongzhuo Ma, Jinglong Chu, Yu Miao, Xingjie Lin, Nannan Liu, Chi Zhang

BGRIMM Technology Group, Beijing

文章引用: 马东卓, 楚敬龙, 苗雨, 林星杰, 刘楠楠, 张弛. 某河道历史遗留固体废物堆存场地环境污染风险评估与综合治理方案[J]. 土壤科学, 2023, 11(3): 134-145. DOI: 10.12677/hjss.2023.113018

Abstract

Taking the historical solid waste dump in a certain river channel as an example, through on-site sampling and indoor measurement of the soil, solid waste, groundwater, and surface water around the site in the study area, the contents of heavy metals and other characteristic pollutants in the samples were detected, and the analysis was carried out. Its pollution characteristics and causes and risk assessment were carried out. The results showed that: 1) There were no pollutants exceeding the standard in soil and sediment; solid waste with pH and fluoride exceeding the standard was classified as Class II solid waste; the groundwater exceeded the standard factors including manganese, volatile phenol, ammonia nitrogen, and fluoride exceed the background value; surface water has pH, dissolved oxygen, five-day biochemical oxygen demand, fluoride, ammonia nitrogen, total nitrogen, volatile phenol, and anionic surfactants exceed the standard; 2) through inverse distance interpolation. The method simulates the spatial range of soil pollutants, and divides the scope of risk assessment into key prevention and control areas and general prevention and control areas. The risk assessment focuses on the characteristic pollutants of groundwater in the site. The hazard quotients of the pollutants of concern in groundwater ammonia nitrogen, manganese, and volatile phenols were all less than 1, and the risk was acceptable; the hazard quotient of fluoride was $7.5 > 1$, and the contribution rate of drinking groundwater exposure was 100%. This assessment mainly calculates that the risk control value of fluoride, a pollutant of concern in groundwater, is 1.8 mg/L, and the actual reference value is 1.0 mg/L. 3) Propose a plan for river course solid waste remediation: 1. Surface water is pumped to the sewage treatment station for treatment; class II solid waste transferred in the river course has a greater impact on human health, and soil landscaping is carried out, and artificial wetlands are built, and alkali-resistant herbs are planted. Conduct long-term treatment of river pollutants and implement regular environmental monitoring.

Keywords

River Course, Solid Waste, Risk Assessment, Environmental Governance

Copyright © 2023 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

由于上世纪人们环保意识薄弱以及一些历史原因,一些企业在追求快速发展的过程中,废渣的处置成为突出问题[1][2],一些早前为企业生产建立的废渣堆放场库容量有限,很多超过废渣堆放场的极限后停止使用,多余的废渣便被堆存于未经过环评与审批的环境污染风险较高的区域,而企业停产后这些废渣依旧堆存在原处。这些产生的废渣成分复杂,部分含有有毒有害物质[3][4],废渣中的污染物会经降雨淋溶、溶解渗漏到土壤、地下水、地表水中,造成环境污染状况[5][6]。因此,这些历史遗留的固体废物堆存场地产生的环境问题是不可忽视的。

调查区域为河道内的历史遗留固体废物堆场,由于多年未予治理,河道内存在乱挖乱采、倾倒垃圾、沿线工矿企业倾倒固体废物等现象,污染河道内水体及周围土壤和地下水环境,影响河道入黄口处水质

达标,已成为周围环境的重点污染源。同时由于长期的排污,河水污染变质,河水腥臭刺鼻,蚊虫大量滋生,已成为危害人民健康、制约经济发展、影响城市形象的重要因素,而另一方面,随着城区人民生活水平的提高,安全、良好的水环境正在成为生活质量的重要组成部分,人民群众对改善环境质量的要求日益强烈。

经文献查阅,国内外关于河道内固废堆积而引起环境污染问题的风险评估与治理方案尚无开展相关系统性的研究。因此,选取该区域堆存在河道内的历史遗留固体废物堆存区作为研究对象,通过现场调查、取样分析明确固体废物的属性与其污染物含量、分布特征、浸出特征,结合用地规划开展环境风险评估,明确该历史遗留固废堆存场地的环境风险现状,并根据污染特征分析对固废堆存场地提出合理的环境治理方案,对相关污染河道固废堆积的风险控制及环境治理工作具有一定指导意义。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

河道区域分为北部丘陵高原、中部山岳、南部平川,整个地形呈中间高,南北低。北部高原海拔高度 1400~1600 m,中部山岳地带,海拔高度 1200~2300 m。河沟大致为南北流向,深度一般在 3~10 m 之间,多呈“U”形。南部较浅,一般在 2 m 以下,多呈“V”形。河道源头始于北部高原,出山口至河道中间铁路处为冲洪积扇,地形北高南低,铁路以南为黄河冲积平原,地形平坦,地面高程 1004.93~1038.64 m,最大高差为 33.71 m。研究区属于中温带半干旱大陆性季风气候区,多年平均降水量 304.3 mm,降水年内分配极不均匀年际间差异较大,6~9 月降水占全年降水量的 75%以上,降水最多年份的降水量是最少年份的 4.2 倍;蒸发强烈,多年平均蒸发量 2172.9 mm。研究河段长 24.6 km,现状河道宽 300~500 m,局部段宽不足 60 m。其中,上段河道长 9.1 km,左右岸现有堤防长度 17.1 km,已建成为城市景观河道,断面为复式断面,主槽宽 200 m,堤距 350 m,过流能力满足行洪要求,两岸堤防均已达标,沿线两岸按照城市景观要求建有绿化景观带,河道内侧分段建有橡胶坝,以增加蓄水水面,提升水景观;下段长 15.5 km,主要位于农区,多年未予治理,河道现状口宽 300~500 m,局部段宽不足 60 m,河道内建筑垃圾众多,过流能力不满足行洪要求,两岸堤防不明显,部分段有堤防。

2.2. 样品采集与分析

综合考虑河道固废堆存现状,对河道内土壤、固体废物、地表水及底泥、地下水进去取样检测。在资料收集和卫星航片分析的基础上,根据初步调查要求,在均一性较好的地块,地块面积 $\leq 5000 \text{ m}^2$,土壤采样点位数不少于 3 个;地块面积 $> 5000 \text{ m}^2$,土壤采样点位数不少于 6 个,并可根据实际情况酌情增加。土壤及固废垂向柱状样采集方面:在孔深不得超过隔水层的前提下,一般情况下每个钻孔取 5 个样品。其中土壤样品取表层土壤样品 1 个及固体废物下方的土壤样品 2 个,固体废物样品在表层土壤下方的固体废物填埋厚度范围内均匀取 2 个样品。地下水样品采集方面:取地下水潜水位之下 1 m 处的水样。

2.2.1. 土壤样品采集与分析

共布设 55 个土壤点位(其中 22 个点位采集出固废样品),共采集了地块内 152 个土壤样品,12 个河流底泥,土壤及底泥样品检测结果均未超过《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018) [5]筛选值限值,表明土壤及底泥不存在 pH 超标、重金属污染及有机物污染情况。

2.2.2. 固体废物样品采集与分析

共有 22 个采集出固废样品的钻孔,共采集 37 个固体废物样品,浸出毒性评价标准采用《污水综

合排放标准》(GB 8978-1996)中表 1 第一类污染物最高允许排放浓度中表 4 第二类污染物最高允许排放浓度(一级标准), 其中共 24 个样品出现 pH 与氟化物超过《污水综合排放标准》第二类污染物最高允许排放浓度, 为 II 类固废, 剩余 13 个样品为 I 类固废。结合采样深度, 采用 ArcGIS 10.7 软件中的反距离插值法对土壤污染物空间分布情况进行初步模拟分析, 得出研究区河道中固废量约 170.94 万方, 其中 II 类固废 34.22 万方, II 类固废因 pH 超标的有 33.32 万方, II 类固废因氟化物超标的有 2.02 万方。

2.2.3. 地下水样品采集与分析

共布设 10 口地下水监测井, 评价标准采用《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) III 类标准, 部分点位存在总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、锰、挥发酚、耗氧量、氨氮、氟化物、总大肠杆菌群超标现象, 地下水污染物超标情况统计见表 1。

Table 1. Statistics on exceeding standards of groundwater pollutants

表 1. 地下水污染物超标情况统计

超标因子	超标倍数	超标点位个数/(个)
总硬度	0.94~1.79	8
溶解性总固体	0.36~1.78	9
硫酸盐	0.22~1.72	10
氯化物	0.05~1.86	10
锰	1.1~15.4	8
挥发酚	1.03~25.74	5
耗氧量	0.01~0.56	6
氨氮	0.598~15.92	8
氟化物	1.06~11.9	10
总大肠杆菌群	3.67~18	10

Table 2. Statistics on exceeding standards of surface water pollutants

表 2. 地表水污染物超标情况统计

超标因子	超标倍数	超标点位个数/(个)
pH	0.05	1
溶解氧	0.04~0.22	3
化学需氧量	0.1~0.5	5
五日生化需氧量	0.05~1.4	9
氟化物	0.49~12.7	12
氨氮	0.38~6.54	7
高锰酸盐指数	0.15~0.605	5
总磷	0.5~3.4	7
总氮	0.97~39.72	14
挥发酚	0.2~14.68	4
阴离子表面活性剂	0.035~0.175	4

2.2.4. 地表水样品采集与分析

共布设了 14 个点位, 评价标准采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准, 部分点位出现 pH、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、氟化物、氨氮、高锰酸盐指数、总磷、总氮、挥发酚、阴离子表面活性剂超标现象, 地表水污染物超标情况统计见表 2。

3. 结果与讨论

3.1. 风险评估

3.1.1. 风险评估分区

本次评估依据地块特性、历史遗留工业固体废物分布以及调查基础数据情况等, 将研究区河道历史遗留工业固体废物堆场风险评估范围分为重点防控区、一般防控区, 分别对区域开展环境风险评估。

1) 重点防控区

根据固废分布情况, 将自公路 A 至树林 B 域划分为重点防控区, 面积 1.36 km^2 。重点防控区内分布有钢渣、粉煤灰、脱硫石膏、炉渣等工业固体废物, 分布面积大, 污染相对严重, 而重点防控区以南基本无工业固体废物分布。

从监测数据来看, 此范围内的固体废物分布较多, 包括第 I 类一般工业固体废物和第 II 类一般工业固体废物, 地下水和地表水超标因子的超标程度较严重, 故为重点防控区。

2) 一般防控区

根据历史遗留固体废物的分布及监测数据结果, 自树林 B 的北部边界往南至入黄口处, 基本上没有固体废物分布, 划分为一般防控区, 面积为 2.56 km^2 。此范围应注意河道下游的末端, 即入黄口处的环境风险。

3.1.2. 重点防控区风险评估

1) 历史遗留工业固体废物风险评估

根据前期调查取样分析的结果, 取得固废样品的 22 个点位中, 15 个点位属于 II 类一般工业固体废物。依据历史遗留工业固体废物调查结果, 利用 ArcGIS 10.7 软件中的反距离插值法对历史工业固体废物的整体分布范围进行模拟分析, 分别得出了河道重点防控区的遗留工业固体废物占地面积 180.88 hm^2 , 总方量 170.94 万 m^3 ; 其中第 II 类一般工业固体废物占地面积 47.88 hm^2 , 总方量 34.22 万 m^3 。历史资料收集分析、人员访谈和现场调查等显示河道多年未予治理, 局部河段无明显堤防, 河道内存在历史遗留乱挖乱采及倾倒垃圾现象, 河道内存在历史遗留钢渣、粉煤灰、脱硫石膏和炉渣等固体废物。基于调查现场踏勘工作和资料收集结果, 表明河道内工业固体废物未彻底清理, 应开展风险评估后妥善处理处置, 并按相关要求开展后续工作。

2) 建设用地风险评估

资料显示, 研究区未来仍规划为河道, 参照建设用地 GB 50137 规定第二类用地公共设施用地类型, 建设用地风险评估主要取决于场地污染状况和未来用途。根据场地使用历史和现状, 并结合土地未来的规划利用方式, 确定场地内的关注污染物的污染程度和范围, 并明确敏感受体。

本次评估场地重点防控区内土壤重点关注污染物未超出《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》(GB 36600-2018)筛选值要求。地下水部分监测点检测显示总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、锰、挥发酚、耗氧量、氨氮、氟化物、总大肠菌群等超出《地下水质量标准》(GB/T 14818-2017) III 类水体标准限值要求。根据该地区 14 个地下水水源地的背景值显示, 总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、耗氧量的浓度均在背景值范围内, 而锰、挥发酚、氨氮、氟化物的浓度超出了背景值的范围。总大肠菌群超标可能是周围村庄的生活污染源造成, 地下水背景值数据见表 3。

Table 3. Background value data of 14 groundwater sources**表 3.** 14 个地下水水源地背景值数据

检测元素	浓度范围(mg/L)	超标倍数
总硬度	468~1007	0.04~1.24 倍
溶解性总固体	1156~5306	0.16~4.31 倍
硫酸盐	301~1499	0.20~5.00 倍
氯化物	295~2006	0.18~7.02 倍
耗氧量	3.15~3.47	0.05~0.16 倍
氨氮	0.69~3.41	0.38~5.82 倍
氟化物	1.08~1.79	0.08~0.79 倍
锰	0.14~0.28	0.4~1.8 倍
挥发酚	0.0006~0.0012	/
氰化物	0.002L	/

锰、挥发酚、氨氮、氟化物的浓度超出了背景值的范围可能是由于周围企业的排污水入渗和河道周围历史遗留固体废物的降雨淋溶液下渗导致的。根据区域水文地质勘察,研究场地普遍存在杂填粉土,杂填土厚度 1.20~4.10 m,地表粉土厚度 0.8 m,分布范围和厚度不太连续、不稳定,渗透系数为 5.9×10^{-5} cm/s,包气带防污性能为弱,即地层透水性较好,污染物容易在降雨淋溶的情况下下渗污染地下水。虽然目前河道周围的企业实施了废水治理工程(尾间工程),现状已经不往河道排放废水了,但是曾经排放的废水经过下渗,其中的污染物已经对区域地下水造成了一定程度的污染。另外河道周围堆存的历史遗留固体废物也含有各类污染物,如历史排放的钢渣(主要包括转炉渣、电炉渣)含有锰、硫等元素,粉煤灰中含有磷、硫等元素,在降雨淋溶的作用下,淋溶液入渗导致地下水受到污染。另外,由于河道区域属于全国高氟背景值地区,故地下水氟化物数值偏高一定程度收到环境本底影响。

为科学评估河道重点防控区地下水风险,本次评估重点关注场地内地下水特征污染物锰、挥发酚、氨氮、氟化物。锰浓度范围为 0.03~1.64 mg/L,挥发酚浓度范围为 0.0005~0.0535 mg/L,氨氮浓度范围 0.139~8.46 mg/L,氟化物浓度范围为 2.06~12.9 mg/L。根据现场调查结论,构建和完善了目标场地概念模型,明确了现场可能对人体健康造成风险的源、受体和暴露途径之间的相关关系。本次评估的重点关注污染物均适用于《建设用土壤风险评估技术导则》(HJ 23.5-2019)中规定/推荐的风险评估模型。

针对第二类用地,成人的暴露期长、暴露频率高,一般根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌效应,重点分析《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)中规定的吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气来自地下水的气态污染物、饮用地下水共 3 种地下水污染物暴露途径,为了更严格的评估其潜在风险,采用地下水污染物最大浓度作为暴露点浓度进行风险评估,计算参数取自《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019),重点防控区关注污染物锰、氨氮、挥发酚(以苯酚计)、氟化物第二类用地暴露量计算见表 4,风险表征见表 5。

根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)中的规定,单一污染物的可接受致癌风险水平为 10^{-6} ,可接受危害商为 1。即当单一污染物致癌风险水平大于 10^{-6} ,危害商大于 1 时,可能对人体具有危害,需采取进一步的管理措施。重点防控区地下水关注污染物氨氮(以氨计)、锰和挥发酚(以挥发酚)危害商均小于 1,风险可接受;氟化物危害商为 $7.5 > 1$,其中饮用地下水暴露途径贡献率为 100%。本次评估主要计算地下水中关注污染物氟化物的风险控制值为 1.80 mg/L。

Table 4. Concerned pollutant exposure calculation table for key prevention and control areas
表 4. 重点防控区关注污染物暴露量计算表

第二类用地 - 暴露量		致癌		
		地下水(L 地下水·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹)		
		吸入室外空气中来自地下水的气态污染物	吸入室内空气中来自地下水的气态污染物	饮用地下水
污染物	CAS 编号	IOVERca3	IIVERca2	CGWERca
苯酚	108-95-2	3.70E-06	1.22E-09	3.65E-03
锰	7439-96-5	-	-	3.65E-03
总氟化物	16984-48-8	-	-	3.65E-03
氨	7664-41-7	1.18E-05	9.64E-08	3.65E-03
第二类用地 - 暴露量		非致癌		
		地下水(L 地下水·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹)		
		IOVERnc3	IIVERnc2	CGWERnc
苯酚	108-95-2	1.12E-05	3.71E-09	1.11E-02
锰	7439-96-5	-	-	1.11E-02
总氟化物	16984-48-8	-	-	1.11E-02
氨	7664-41-7	3.60E-05	2.93E-07	1.11E-02

Table 5. Focus on pollutant risk characterization results in key prevention and control areas
表 5. 重点防控区关注污染物风险表征结果

第二类用地 - 风险		致癌			
		地下水			
		吸入室外空气中来自地下水的气态污染物	吸入室内空气中来自地下水的气态污染物	饮用地下水	合计
污染物	CAS 编号	CRiov3	CRiiv2	CRcgw	CRn
苯酚	108-95-2	-	-	-	-
锰	7439-96-5	-	-	-	-
总氟化物	16984-48-8	-	-	-	-
氨	7664-41-7	-	-	-	-
第二类用地 - 风险		非致癌			
		地下水			
		HQiov3	HQiiv2	HQCgw	HIIn
苯酚	108-95-2	2.56E-05	8.46E-09	3.95E-03	3.98E-03
锰	7439-96-5	-	-	2.60E-01	2.60E-01
总氟化物	16984-48-8	-	-	7.15	7.15
氨	7664-41-7	5.19E-03	4.22E-05	-	5.23E-03

Table 5 (continued). The calculation results of the contribution rate of each exposure route of pollutants in key prevention and control areas**表 5(续).** 重点防控区关注污染物各暴露途径贡献率计算结果

序号	中文名	CAS 编号	致癌									
			土壤						地下水			
			口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自地下水的气态污染物	吸入室内空气中来自地下水的气态污染物	皮肤接触地下水	饮用地下水
1	111-苯酚	108-95-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	503-锰 (Non-diet)	7439-96-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	423-总氟化物	16984-48-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	184-氨	7664-41-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	111-苯酚	108-95-2	非致癌									
			土壤						地下水			
			口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自地下水的气态污染物	吸入室内空气中来自地下水的气态污染物	皮肤接触地下水	饮用地下水
1	111-苯酚	108-95-2	-	-	-	-	-	-	0.64%	0.00%	-	99.36%
2	503-锰 (Non-diet)	7439-96-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00%
3	423-总氟化物	16984-48-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00%
4	184-氨	7664-41-7	-	-	-	-	-	-	99.19%	0.81%	-	-

计算基于致癌效应的地下水风险控制值时, 采用的单一污染物可接受致癌风险为 10^{-6} ; 计算基于非致癌效应的地下水风险控制值时, 采用的单一污染物可接受危害商为 1。最终确定污染场地中地下水风险管控目标值时, 应将基于风险评估模型计算出的地下水风险控制值作为主要参考值[6], 风险控制值见表 6。

Table 6. Key prevention and control areas focus on pollutant groundwater risk management and control objectives**表 6.** 重点防控区关注污染物地下水风险管控目标

污染物	第二类用地 - 地下水风险控制值(mg/L)			地下水 III 类水体标准限值 (GB/T 14848-2017) (mg/L)
	致癌风险控制值 RCVGn	非致癌风险控制值 HCVGn	风险控制值	
氟化物	-	1.80	1.80	1.0

场地内地下水中污染物超标主要受历史遗留工业固体废物堆存的影响。历史遗留工业固体废物的淋溶液在河道内沿地表水迁移路径迁移扩散, 以及周边污水处理设施排放的污水持续入渗, 造成了场地内地下水的污染。总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、耗氧量等超标主要受区域背景值影响。根据场地调查和风险评估的结果, 建议科学合理处置场地内固体废物污染物, 确保区域地下水安全。在后期环境管理中, 做好相应措施, 防止本场地污染源进入周边水域, 加强对场地地下水水质情况的监测工作[7]。

另外, 当基于污染地下水人体健康风险评估方法制定的目标值低于相应的地下水环境质量标准时, 参考相应地下水环境质量标准限值。本研究计算的地下水风险管控目标值低于《地下水质量标准》(GB/T

14818-2017) III 类水体标准限值,从环境安全、地下水治理修复周期与难度、风险管控可操作性及成本等角度考虑,基于场地分布特征和周边地下水开发利用现状调查,选取地下水水质逐步改善作为风险管控目标值[8]。该地下水风险管控目标值,既能有效控制环境和健康风险,又能符合管控工程的经济合理性。建议对重点防控区场地实施污染源综合治理,对河道堆存的历史遗留工业固体废物进行风险管控处置。

3) 地表水水质质量指数评价

重点防控区的地表水断面为 X1~X4。根据地表水水质质量指数法,主要超标因子为 pH、溶解氧、五日生化需氧量、氟化物、氨氮、总氮、挥发酚、阴离子表面活性剂等,其中 pH 最大超标倍数为 0.05 倍;溶解氧最大超标倍数为 0.16 倍;五日生化需氧量最大超标倍数为 0.20 倍;氟化物最大超标倍数为 12.7 倍;氨氮最大超标倍数为 1.15 倍;总氮最大超标倍数为 39.72 倍;挥发酚最大超标倍数为 0.24 倍;阴离子表面活性剂最大超标倍数为 0.175 倍。将地表水水体中的污染情况分为 4 个等级,地表水检测点位 X1~X4 的 WQI 值及其评价等级详见表 7。

Table 7. WQI value and evaluation level of monitoring sections in key prevention and control areas
表 7. 重点防控区监测断面 WQI 值及其评价等级

检测点位	WQI 值	评价标准
X1	1.68	低污染
X2	2.37	中度污染
X3	2.57	中度污染
X4	2.33	中度污染

根据地表水水质质量指数评价法,X1 断面的污染程度较小,虽然 X1 断面的 pH、氟化物、氨氮、总氮等部分因子超出《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准限值,但超标程度不高。根据地表水水质质量指数评价法总体评价,X1 断面处于低污染状态。

由表可知,根据地表水水质质量指数评价法,X2~X4 的污染程度为中度污染,主要影响因素为总氮(超标 33.63~39.72 倍),各断面其他监测因子如溶解氧、五日生化需氧量、氟化物、挥发酚、阴离子表面活性剂等虽然超出《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准限值,但超标程度不高。

地表水 pH、氟化物、氨氮、挥发酚超标可能受到河道堆存的历史遗留固体废物经大气降雨后的淋溶液的影响,也可能受到周边企业废水排放的影响,现场调查也确实存在不明来源的废水积存,另外由于本区地下水与地表水水力联系密切,部分区域地下水与地表水相互补排,也存在地下水与地表水互相影响的因素,如入黄口处的地下水中氟化物聚集,使得地下水氟化物偏高,而此处地下水水位较低并补给地表水,一定程度上使得地表水在入黄口处的氟化物偏高。根据地表水水质质量指数评价法总体评价,X1 处于低污染状态,X2~X4 断面均处于中度污染状态,主要影响因素为总氮,此外溶解氧、BOD5、高锰酸盐指数、总磷、总氮、阴离子表面活性剂等超标主要为河道两岸周边群众生活与基本农田施肥等因素影响。

4) 地下水环境影响分析

在固废堆存过程中,由于大气降雨对固废的淋溶以及地下水对固废的冲刷作用,使得固废中的污染物(以氟化物为代表)被释放到地下水中产生了污染,且污染晕沿地下水流方向不断往下游迁移扩散。在对固体废物进行综合整治后,切断了污染源,没有新的污染物再进入地下水中,而已有污染晕也会在地下水的稀释作用下,污染晕浓度逐渐降低直至消失,对研究区的地下水水质起到改善的作用。但由于研究区属于冲洪积平原的末端,地下水的水力坡度很小,导致地下水流动缓慢,不易于污染物自净,因此切断污染源后,仍需较长的时间,污染晕才能慢慢减小甚至消失。

3.1.3. 一般防控区风险评估

1) 历史遗留工业固体废物

一般防控区未发现固体废物样品。

2) 农用地土壤风险评估

一般防控区历史遗留工业固体废物堆存场地河道内分布的基本农田土壤样品均未超出《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618-2018)土壤污染风险筛选值要求,属于优先保护类。

3) 建设用地风险评估

一般防控区内土壤重点关注污染物未超出《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600-2018)筛选值要求,风险可接受。

一般防控区周围有地下水饮用水源地,因此需对地下水的健康风险进行评估。本区浓度超过《地下水质量标准》(GB/T 14818-2017) III 类水体标准的因子中总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、氨氮的浓度均在背景值范围内,而锰、挥发酚、氟化物的浓度超出了背景值的范围。一般防控区地下水关注污染物锰和挥发酚危害商均小于 1,氟化物危害商为 $2.30 > 1$,其中饮用地下水暴露途径贡献率为 100.00%。本次评估主要计算地下水中关注污染物氟化物的风险控制值为 1.80 mg/L 。从环境安全、地下水治理修复周期与难度、风险管控可操作性及成本等角度考虑,基于场地分布特征和周边地下水开发利用现状调查,选取地下水水质逐步改善作为风险管控目标值。该地下水风险管控目标值,既能有效控制环境和健康风险,又能符合管控工程的经济合理性。同时,建议周边居民优先以饮用水厂等集中供水管网的饮用水为日常饮用水源,并做好水源地保护与管理工作。

4) 地表水风险评估

一般防控区的地表水断面为 W1~W8。根据地表水水质质量指数评价法总体评价,W1~W5 断面大部分处于无污染或低污染状态。仅 W2 断面处于中度污染状态,主要影响因素为挥发酚(超标 14.68 倍),需进行进一步调查分析,其他各断面溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、氟化物、高锰酸盐指数、总氮、氨氮、总磷等部分因子虽然超出《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准限值,但超标程度不高,均为无污染或低污染断面。

W8 断面(入黄断面)的污染程度较小,虽然此断面五日生化需氧量、氟化物、总氮、总磷等部分因子超出《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准限值,但超标程度不高。根据地表水水质质量指数评价法总体评价,W8 断面处于低污染状态。

3.2. 环境治理方案及建议

由于场地环境风险隐患突出。根据环境质量现状、区域背景值且综合考虑地块地理位置及地形地貌、水文地质等条件对污染物的扩散影响、附近区域土壤性质以及工程实施的可操作性、经济可行性等方面 [9] [10],建议以消除污染源、降低污染 + 切断污染途径等风险管控措施作为主体工作思路。

1) 地表水治理及监测工程

根据现场调查,研究区内多处分布有孤立的水洼,其地表水水质多项因子超标,建议将重点防控区内的地表积水,利用潜水泵抽至在产企业污水处理站处理。并在重点防控区上游、下游各设置一个地表水监测断面,作为永久监测断面,以判断重点防控区地表水的水质。

建议在一般防控区上游(重点防控区的下游)设置小型人工湿地,进一步降低流经重点防控区的地表水中的化学需氧量、氨氮、总氮、总磷等因子的浓度,助力入黄口处的地表水达标。

2) 固废整治工程

根据风险评估报告,研究区治理范围内的第 II 类一般工业固体废物需要进行综合整治,其中 pH 超

标的第 II 类一般工业固体废物基本上原位处置, 不做扰动; 氟化物超标的第 II 类一般工业固体废物需要进行局部清运, 并将清运的氟化物超标的第 II 类一般工业固体废物集中堆存于选定的位置并“堆土造景”, 对堆体进行压实、削坡、表面防渗、四周建护坡平台等工程措施处理, 最终辅以景观设计, 使之与整体河道景观融为一体。

3) 河道整治工程

由于该河道是城市防洪安全的重要河道之一。建议开展河道整治工程, 通过堤防填筑、堤坡防护及河道滩面整理, 实现河道畅通, 满足行洪安全要求; 开挖河道主槽并护砌, 降低河道内垃圾及弃渣对河道水体的影响, 改善河道水质, 提升城市水生态环境。

4) 绿化及景观工程

根据河道整治工程的要求, 整体进行场地平整, 挖高垫低, 同时控制河槽两侧滩面的坡度, 使之按设计要求往河槽倾斜, 确保雨季的雨水流往河槽。

在场地平整以及河道整治工程已设计的绿化工程的基础上, 对 pH 超标的第 II 类一般工业固体废物区域, 应选择合适的耐碱草本植物, 以及对碱性富集的草本植物, 以便在确保植被正常生长的基础上, 对碱性土(固废)进行长期治理。对于无固废区域及第 I 类一般工业固体废物区域, 建议根据河道整体景观设计及绿化工程, 种植当地特色及适应性强的草本植被。

5) 地下水监测工程

为了对综合整治的场地进行地下水监测, 掌握场地地下水水质状况, 建议在研究区重点防控区范围的上游、侧面及下游布设地下水监测井作为永久监测井, 并做好防护措施, 实施定期监测。

4. 结论

1) 在做河道历史遗留固废堆存场地风险评估以及治理方案时, 基于采样分析结果, 可根据固废堆存范围或 I 类、II 类一般工业固体废物的分布情况对河道进行划分, 对污染严重的区域与污染较轻的区域分别进行风险评估后, 能提高后期环境治理的针对性与效率。

2) 在进行风险评估分析时, 应优先排除环境背景值对检测结果的影响, 合理的环境风险管控目标, 且当基于污染区人体健康风险评估方法制定的目标值低于相应的环境质量标准时, 应参考相应环境质量标准限值。例如研究区内检测结果仅有锰、挥发酚、氨氮、氟化物的浓度超出了背景值的范围。地下水关注污染物氨氮(以氨计)、锰和挥发酚(以挥发酚)危害商均小于 1, 风险可接受; 氟化物危害商为 $7.5 > 1$, 其中饮用地下水暴露途径贡献率为 100%。本次评估主要计算地下水中关注污染物氟化物的风险控制值为 1.80 mg/L 。选择地下水风险管控目标值低于《地下水质量标准》(GB/T 14818-2017) III 类水体标准限值(1 mg/L), 从环境安全、地下水治理修复周期与难度、风险管控可操作性及成本等角度考虑, 基于场地分布特征和周边地下水开发利用现状调查, 选取地下水水质逐步改善作为风险管控目标值, 既能有效控制环境与健康风险, 又能符合管控工程的经济合理性。

3) 可供参考的河道固废堆积整治方案: 河道的受污染地表水可采用抽走后送至污水处理站处理, 在河道污染区下游设置人工湿地, 降低相关污染因子的浓度, 并设置常规监测断面, 监测水质变化情况。

根据风险评估结果, 可从河道转移出对人体健康影响较大的 II 类一般工业固体废物至指定位置并进行“堆土造景”, 对堆体进行压实、削坡、表面防渗、四周建护坡平台等工程措施处理, 最终辅以景观设计, 使之与整体河道景观融为一体; 可对河道进行开挖并护砌, 降低河道内垃圾及弃渣对河道水体的影响, 改善河道水质; 在场地平整以及河道整治工程已设计的绿化工程的基础上, 可对 pH 超标的第 II 类一般工业固体废物区域, 选择合适的耐碱草本植物, 以及对碱性富集的草本植物, 以便在确保植被正常生长的基础上, 对碱性土(固废)进行长期治理。对于无固废区域及第 I 类一般工业固体废物区域, 建议

根据河道整体景观设计及绿化工程,种植当地特色及适应性强的草本植被;在河道的上游、侧面及下游布设地下水监测井作为永久监测井,并做好防护措施,实施定期监测。

基金项目

矿冶科技集团科研基金项目(04-2336)。

参考文献

- [1] 欧阳婕. 污染场地环境调查现状及存在问题探讨[J]. 环境与发展, 2018, 30(8): 31-32.
- [2] 陈瑶, 许景婷. 国外污染场地修复政策及对我国的启示[J]. 环境影响评价, 2017, 39(3): 38-42.
- [3] 庞建明. 冶金工业固体废物处理与利用[C]//新冶集团资源应用与合金材料事业部, 《中国冶金》编辑部. 2016(首届)全国铁合金热点难点技术交流会论文集. 北京: 北京钢研柏苑出版有限责任公司, 2016: 325-347.
- [4] 赵丽娜, 姚芝茂, 武雪芳, 任春, 徐成. 我国工业固体废物的产生特征及控制对策[J]. 环境工程, 2013, 31(S1): 464-469.
- [5] 林玉锁. GB36600-2018 土壤环境质量标准-建设用地土壤污染风险管控标准[S]. 2018.
- [6] 陈玺, 朱亮, 刘景涛, 周冰. 银川平原饮用地下水健康风险评价及风险控制研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(18): 78-84.
- [7] 鲁敏, 李荟敏, 贺小敏, 李爱民, 范俊楠. 某金矿周边土壤和地下水中砷的健康风险评价[J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(3): 45-47+65.
- [8] 刘蕊, 张辉, 勾昕, 罗绪强, 杨鸿雁. 健康风险评估方法在中国重金属污染中的应用及暴露评估模型的研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(7): 1239-1244.
- [9] 丁飞跃. 城市河道水环境生态治理研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [10] 朱晓丽. 浅析河道治理与水环境保护[J]. 浙江水利科技, 2005(2): 47-48.