

云南某铬渣污染场地土壤修复工程实例

孟祥琪, 许超, 杨远强, 李书鹏*, 朱宏伟, 周强

北京建工环境修复股份有限公司, 污染场地安全修复技术国家工程实验室, 北京 100095

摘 要 该工程一期对云南省牟定县境内某关停企业原址内受六价铬及砷污染土壤进行了修复治理, 修复面积约 11 680 m², 土方量共计 2.62 万 m³。工程采用异位还原稳定化对重金属污染土壤进行了无害化处理, 所用还原稳定化药剂为某环境技术公司自主研发的硫系和铁系稳定化药剂。无害化处理后的近 3 万 m³ 土壤采用安全填埋进行处置。

关键词 铬渣污染土壤; 重金属污染修复; 还原稳定化; 安全填埋

中图分类号 X53 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2017)12-6547-07 DOI 10.12030/j.cjee.201702157

Soil remediation engineering instances of some chromium residue contaminated sites in Yunnan

MENG Xiangqi, XU Chao, YANG Yuanqiang, LI Shupeng*, ZHU Hongwei, ZHOU Qiang

BCEG Environmental Remediation Co. Ltd., National Engineering Laboratory for Site Remediation Technologies, Beijing 100045, China

Abstract This first phase of this project has repaired the soil contaminated by hexavalent chromium and arsenic in a shut down enterprise in Mouding county, Yunnan Province. The area of this repair and treatment is about 11 680 m² and the total volume of soil is about 26 200 m³. In the engineering project, ex-situ reduction stabilization technology was adopted to remediate the contaminated soils in a harmless way by use of the sulphur-based and iron-based reduction stabilization reagents independently developed by the environmental technology company itself. After the remediation, about 30 thousand cubic meters of soils were disposed by safe landfill.

Key words chromium residue contaminated soils; remediation of heavy metal contaminated soil; reduction stabilization; safe landfill

牟定县位于云南省中北部, 楚雄彝族自治州中部。县内某化工厂年产重铬酸钠 7 000 t, 铬酸酐 2 000 t, 铬盐生产过程中产生大量含铬废渣, 其堆放场地“三防”达不到要求, 废渣亦未及时进行无害化处理, 形成了历史堆存铬渣场。2005 年国家环保总局发布《铬渣污染综合整治方案》^[1]提出, 到 2010 年底, 全国历史堆存铬渣处置完毕。2008 年 11 月牟定县环境保护局对该化工厂历年共产生的 9.41 万 t 含铬废渣进行处置, 并已完成全部铬渣的无害化处置。由于铬渣的长期堆放, 渣场堆放点的土壤铬污染严重, 虽然铬渣已清理完毕, 但场地土壤污染依然存在。

经场地环境调查及风险评估, 确定场地土壤污染物包括六价铬及砷, 总污染土方量达到 12 万 m³, 包含厂区原铬渣堆场、生产区及生活区, 其中工程一期范围为原铬渣堆场, 污染土方量约 2.6 万 m³。由于我国土壤污染形势及污染场地的特点较复杂, 目前国内典型污染场地土壤修复技术的工程应用种类也较多^[4-5], 主要包括解吸脱附技术^[6]、化学氧化/还原技术^[7]、化学淋洗技术^[8-9]、固化/稳定化技术^[10-11]以及联合修复^[12]技术等。通过潜在的修复技术评估和比选, 本修复工程确定采用异位还原稳定化技术和阻隔填埋技术对受污染的土壤进行治理。

工程一期自 2016 年 3 月开始施工, 预计 2017 年 4 月竣工。通过实施该化工厂污染土壤修复治理工程, 场地受污染土壤得以有效地修复与治理, 彻底消除铬渣处置后场地受污染土壤对场地及其周围区域地

收稿日期: 2017-02-24; 录用日期: 2017-05-15

第一作者: 孟祥琪(1989—), 男, 硕士, 研究方向: 污染场地修复及地下水污染防治。E-mail: mengxiangqi@bceer.com

* 通信作者, E-mail: lishupeng@bceer.com

下水造成的污染,全面解决该历史堆存渣场污染场地造成的水环境污染隐患,最终达到改善龙川江水环境质量的目的。

1 场区污染情况

1.1 土壤污染情况

场地内土壤采样点位布设参照《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)中的要求执行,渣场与生产区以 20 m×20 m 的密度进行布点采样,生活区以 10 m×10 m 的密度进行采样,总布采样点 44 个,送检取样深度分为 0~1 m、1~3 m、3~5 m 和 >5 m 4 个层次,各深度层取一个样送检,并根据实际 XRF 监测结果与土壤变层情况现场调整,共采样 149 个样品。采样方法参照《原状土取样技术标准》(JBj 89-92)中规定进行。土壤重金属监测结果按照北京市地方标准《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011)和美国地区通用筛选值(USEPA-RSL,2015)进行评价,结果发现,场地土壤中锌、铬、铜、铅、镉、砷和汞均有检出,除铬和砷超标外,其余重金属均未超标。其中,本场地选用总铬、六价铬和砷的筛选值分别为 800、30 和 20 mg·kg⁻¹。总铬的超标率相对较低,在生产区和生活区,六价铬和砷的超标率均超过 45%。

场地 pH 范围在 4~10.6 之间,大部分点位土壤呈酸性,个别点位由于产品生产过程中化学原材料的遗撒问题,土壤呈现出偏碱性。生活区、渣场、生产区的 pH 平均值分别为 5.2、5.3 和 5.2,土壤 pH 总体偏酸性。



图 1 污染场地位置图
Fig.1 Location of contaminated sites

表 1 土壤样品超标情况
Table 1 Results of soil samples exceeding standard

位置	重金属	样品数	最小值 /(mg·kg ⁻¹)	最大值 /(mg·kg ⁻¹)	平均值 /(mg·kg ⁻¹)	超标个数	超标率/%
渣场	砷	43	1.1	20.9	7.2	2	4.7
	六价铬	43	0.5	700.0	184.2	10	23.3
	总铬	43	48.7	5 430.0	247.8	1	2.3
生产区	砷	55	3.1	132.0	22.8	25	45.5
	六价铬	55	0.5	1 370	265.4	26	47.3
	总铬	55	47.3	2 300	451.2	10	18.2
生活区	砷	51	8.3	69.2	24.5	29	56.9
	六价铬	51	0.5	469	155.3	30	58.8
	总铬	51	94.2	1 880	375.1	1	2.0

1.2 地表水和地下水污染情况

从了解地块范围内地表水和地下水重金属现状考虑,在场地和周围共采集 6 个水样,监测指标包括砷、镉、铬、铜、镍、铅、锌和汞共 8 种重金属。浅层地下水采用我国《地下水质量标准》(GB-T 14848-93)中的Ⅲ类标准(不宜饮用,其他用水可根据使用目的选用)进行评价。积水坑中的地表水按《地表水环境质

量标准》(GB 3838-2002)中的 V 类标准(主要适用于农业用水区及一般景观要求水域)进行评价,对比发现 2 个样品中六价铬超出筛选的标准($0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。

1.3 场地存在的风险

该化工厂渣场位置敏感,位于龙川河西约 1.5 km 处,渣场内的土壤环境对龙川河有较大的影响。场地距离牟定现场约 1.5 km,场地周边有 5 个村庄,其中距场地东部的龙马池村距离仅 200 m;场地南部为饮马塘小二型水库,最近距离约 100 m,蓄水量 15 万 m^3 ,主要功能为农田灌溉用水。场地存在较大的环境风险问题,因此,渣场内的污染土壤修复治理迫在眉睫。

2 修复目标的确定

利用 HERA 模型计算的总铬风险控制值为 $44\ 400\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,远大于本次调查总铬的检出最大浓度值,即场地内铬污染对人体健康的危害处于可接受风险水平,所以该场地的总铬可以不进行修复。

按照风险评价模型计算,在绿地用地情况下,砷在风险水平为 10^{-6} 下计算的风险控制值为 $1.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,远远小于云南省“十一五”期间的砷元素背景值 $10.43\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。为避免过度修复,计算得到的风险控制值不宜作为砷污染的修复目标值。

北京《场地土壤环境风险评价筛选值》中砷的居住用地、公园与绿地和工业/商服用地筛选值均为 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。该值与区域背景值较接近,相对合理,故基坑和侧壁砷的修复目标值选取北京《场地土壤环境风险评价筛选值》 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而经过修复的土壤砷浸出含量则应低于国家污水综合排放标准(GB 8978-1996)要求的 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

通过模型计算土壤六价铬的风险控制值为 $1.52\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。因模型设置比较保守计算出来的风险控制值过低,会造成过度修复。因此,修复目标值在参考计算出来的风险控制值的情况下还需做进一步调整。目前关于土壤质量的参考标准——1995 年颁布的《土壤环境质量标准》和《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》(HJ 350-2007),只对土壤总铬含量做出规定且用地类型与本项目不相符。本项目计算的修复目标介于国内相关标准之间,且用地规划为绿地,标准应低于住宅用地。另外,参考已修复的某铬渣场地的修复目标值,同时综合考虑受体安全及修复成本,最终确定基坑和侧壁六价铬的修复目标值为 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,且经过修复的土壤六价铬浸出含量则应低于相关标准要求。

本项目修复目标是:1)清挖后场地基坑及侧壁土壤中六价铬含量低于 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,砷含量低于 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;2)经还原稳定化处理后的污染土壤,满足《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599-2001)中第 I 类一般工业固体废物的有关要求,即修复后的土壤按照《固体废物浸出毒性浸出方法硫酸硝酸法》(HJT 299-2007)浸出,浸出液中目标污染物砷和六价铬浓度低于《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3-2007);按照《固体废物浸出毒性浸出方法 翻转法》(GB 5086.1-1997)浸出,浸出液中目标污染物砷和六价铬浓度均未超出《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)最高允许排放浓度;修复后土壤中的六价铬含量低于 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3 工程修复实施过程

3.1 还原稳定化设备及混合平台建设

在原铬渣废水池南部一侧空地设置混合平台及药剂临时堆存区,土壤开挖后由卡车运输至污染土壤处置区,在混合平台进行土壤筛分及药剂混合。为保证土壤修复效果,我公司投入两套自有的土壤改良设备,分别为专业筛分设备、双轴搅拌土壤改良机,两套设备相互补充,满足本项目六价铬及砷污染土壤修复的技术要求。混合平台及双轴搅拌土壤改良机如图 2 所示。

其中,本项目专业筛分设备处理量为 $100\sim150\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,可用于各种土壤的筛分、破碎和预混合等作业,工作效率高,操作运行成本低。双轴搅拌土壤改良机,处理能力为 $60\sim120\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,每天工作 $8\sim16\text{ h}$ 。双轴搅拌土壤改良机配备进土计量装置及药剂称量装置,可通过自动化控制系统精确控制药剂与土壤配比,设备采用双卧轴强制式搅拌机,可强制搅拌粒径不大于 80 mm 的各类污染土,并明显提升药剂与

土壤的混合程度。

混合平台面积 600 m²,长 30 m,宽 20 m,采用混凝土面板基础,底部采用 HDPE 土工膜进行防渗。防渗层结构从上至下依次为:0.2 m 厚 C25 混凝土面板、400 g·m⁻²土工布、1.5 mm HDPE 防渗膜、400 g·m⁻²土工布、0.5 m 厚粘土($k < 1.0 \times 10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$)(支持层,压实度 0.96)、平整地基。

3.2 修复土壤临时堆场建设

临时堆场包括两大部分区域:一是利用原化工厂生产区回转窑、精细车间、干燥车间和锅炉房,其占地面积 4 426 m²,堆体体积 8 681 m³。平整好的地面经 1.5 mm 厚 HDPE 土工膜进行防渗处理,四周设置导流沟和渗滤液收集池;二是利用渣场区铬渣废水收集池东北侧空地,占地面积 6 000 m²,堆积边坡为 1:2.0,堆高 4.0 m,堆体体积为 19 331 m³。修复后土壤临时堆场需进行防渗处理。

3.3 污染土壤修复主要过程

本项目主要针对场地范围内受六价铬和砷污染的非饱和层土壤进行异位还原稳定化修复,主要修复过程包括以下 5 个工序:

(1)土方开挖及回填

渣场范围内的污染土壤,按照污染深度进行分层开挖,开挖方式依照生产组织采取分批次的方式进行。土壤修复工序完成后,验收合格的土壤回填至原渣场场地内,回填过程中边回填、边平整、边压实。

(2)土方转运

清挖后的污染土壤由汽车短驳运输后运送至混合平台,经筛分、破碎,加药混合修复后准运至指定待检区进行待检养护堆置,经检测验收合格后回填至原渣场开挖基坑内。

(3)污染土壤修复治理

从污染场地将污染土壤清运至土壤修复平台区域,对土壤进行破碎及筛分,然后将土壤运送进入双轴搅拌土壤改良机,同时投加还原稳定化药剂,实现土壤与药剂充分混合均匀;随后将混合后土壤转运堆存,往堆体喷水至近饱和状态,养护静置。

(4)场地平整、防渗处理

场内的污染土壤完成清挖后,对原场地的基坑及侧壁进行平整,铺设防渗层,场地基坑、侧壁及防渗措施验收合格后,修复验收合格的土壤方可回填至原场地。

(5)修复后场地覆土及水土保持

所有修复并经验收合格的土壤清运至原场地回填完毕后,对场地表层进行覆土、压实,布设雨水导流沟渠,进行水土保持,种植灌木及草本,起到防风固土、防治表层水土流失的作用。

3.4 污染土壤还原稳定化处理

本项目为重金属复合污染,其中重点关注的污染物为六价铬和砷。六价铬修复不同于其他重金属,具有特殊性,首先需要改变铬在土壤中的赋存形态,将 Cr(VI)还原为 Cr(III),降低其毒性,然后再对其进行稳定化修复以降低其环境的迁移性,而砷污染不需要改变其赋存形态,只需进行稳定化修复降低其在自然环境状态下的浸出浓度,限制其迁移性即可。

修复原理主要通过向污染土壤中加入特定复配的还原稳定化药剂,使药剂与土壤中的重金属污染物发生吸附、沉淀,络合、螯合和还原等反应,改变土壤重金属的价态及赋存形态,降低重金属的迁移能力和生物有效性,从而将污染物转化为不易溶解、迁移能力或毒性更小的形态,实现其无害化,降低对环境的风险。

本项目采用的还原稳定化药剂 MetaFix,其前身产品已列入《2014 年国家重点环境保护实用技术名



图 2 混合平台及双轴搅拌土壤改良机

Fig. 2 Mixed platform and the equipment

录》(第二批),是经过大量案例实践和国家认可的重点环境保护实用技术。

MetaFix 药剂包括 A、B 两种成份,是由强还原性、反应性矿物质、活化剂、催化剂、pH 调节剂和吸附剂组成的复合配方产品,结合了生物化学还原、络合和吸附作用,其主要组成均为天然矿物质或原材料,安全且无毒害。

其中 A 药剂主要成分为零价铁、钠盐、钾盐及缓释碳源,有降低土壤中重金属污染物的迁移能力和浸出能力的作用,主要用于除六价铬以外重金属的稳定化修复;B 药剂是含有 S、Mg、Ca、Si 和 Al 等成分的复合稳定化药剂,B 药剂将 Cr(VI)还原成毒性较小的 Cr(III),主要用于修复六价铬污染土壤。

针对修复药剂与污染土壤均匀混合的问题,我公司使用自主研发的双轴土壤改良机,该设备配备了进土计量装置及药剂称量装置,可以通过程控系统精确控制药剂投加量。此外,该设备具有先进的搅拌结构,能明显提升药剂与污染土壤的混合程度。

根据本项目小试中试实验结果,在充分考虑各污染区块六价铬污染浓度并参考国内类似项目实施经验的基础上,设定第一层污染土壤药剂投加比为 5%,第二层和第三层投加比为 4%,第四层投加比为 3%,其中药剂 A:B 的配比为 4:1。由于 A 药剂的使用量远大于 B 药剂用量,在双轴搅拌设备混合仓内搅拌时,极有可能出现 B 药剂搅拌不均匀,被包裹在局部土壤中从而会影响修复效果的现象。针对这一问题,我公司技术人员根据 B 药剂的性质将其配制为一定浓度溶液,通过泵体输送时间控制 B 药剂到搅拌仓内的量,在土壤和 A 药剂搅拌切削时均匀地喷洒至土壤表面,使药剂与污染物充分反应。

最后,修复后土壤通过堆体苫盖和喷水养护,为加药后的土壤提供一个避光、厌氧的反应环境,可有效提高药剂的反应活性和修复效果。修复后土壤堆置养护周期为 15 d。具体养护周期,可由现场技术人员根据污染状况进行适当调整,最低养护周期不得少于 10 d,以确保反应效果。

3.5 修复后土壤回填

3.5.1 修复后土壤验收

根据《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)中关于污染场地修复工程验收监测点位的布设条款规定,对于原地异位治理修复工程措施效果的监测,处理的污染土壤应布设一定数量监测点位,每个样品代表的土壤体积应不超过 500 m³。处理后污染土壤划分采样区后进行样品采集及送检工作,取样前,应使用刮刀刮去表层约 1 cm 厚样品,以排除因取样管与外界接触造成的交叉污染,对于深层样品采用挖掘机挖深后,在深处采用土钻垂直贯入堆体取样,使所采样品更具有代表性。

3.5.2 基坑建设及回填

待修复区内的受六价铬及砷污染的土壤一次性开挖完成、对基坑及侧壁进行验收合格后,在回填修复土之前需要对清挖后场地进行防渗处理,防渗层须达到《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599-2001)规定的第 II 类一般工业固体废物处置场的要求。

按照《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T 783-2011),对清挖后的基坑底部及边缘侧壁进行布点、采样、实验室检测,清挖后场地基坑及侧壁土壤中六价铬含量低于 30 mg·kg⁻¹、砷含量低于 20 mg·kg⁻¹的可验收通过,才可进行修复后达到修复目标值的清洁土回填工作。

为控制回填后场地因风力扬尘而造成尘土扩散,对污染场地内裸地实施封场并人工覆土、植被覆盖的生态恢复措施。场地覆土厚度 0.3 m,覆土量为 4 030 m³。耕植土层厚度 0.6 m,覆土量为 8 060 m³。场地覆土完成后利用修建的排水沟和锚固沟导排雨水,排水沟截排场外雨水,锚固沟兼作雨水沟主沟。雨水沟均采用浆砌石砌筑。临时堆场使用完成后,在覆土绿化。

封场处理最终覆盖层为多层结构,从上至下依次为:植被恢复层(0.6 m 营养土层)、0.3 m 厚粘土(隔水层)、0.3 m 厚碎石($d=10\sim30$ mm,排水层)、400 g·m⁻²土工布、1.0 mm HDPE 防渗膜。反应后检测合格土壤堆存体。

3.5.3 后期监测

地下水点位布点参照《地下水环境监测技术规范》(HJ/T 164-2004)中的要求执行。监测井监测:填埋场共有 4 口地下水监测井,根据治理区域地势北高南低的特点,拟在治理场地的东西侧各建设 1 口监测

井,南侧建设2口监测井,封场后每月从4口监测井中采集水样监测,监测地下水水质,确保填埋场不会对地下水造成污染。

4 修复效果

评价本项目修复效果的指标为:1)污染土壤修复后六价铬总量修复至 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以下;2)修复后土壤中六价铬及砷浸出液的验收标准是经楚雄州环保局评审备案的浓度值,修复后土壤满足《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599-2001)中的第I类一般工业固体废物的要求,即修复后的土壤按照《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》(HJT 299-2007)浸出,浸出液中目标污染物砷和六价铬浓度低于《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3-2007),砷 $\leq 5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,六价铬 $\leq 5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;按照《固体废物浸出毒性浸出方法 翻转法》(GB 5086.1-1997)浸出,浸出液中砷和六价铬2项指标浓度达到《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)的规定,砷 $\leq 0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,六价铬 $\leq 0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

修复后土壤需自检测,确保土壤修复质量满足污染物修复目标的要求。截至目前,项目修复后土壤土方量约 2万 m^3 ,现场技术人员采集自验收样品38个,其中34个常规样品,4个平行样(10%)。样品均送至具备土壤检测能力,并具有国家计量认证合格资质(CMA)和中国实验室国家认可委员会认可资质(CNAS)的第三方检测单位进行检测。

4.1 土壤中Cr(VI)浓度变化

场地一期渣场内六价铬浓度范围在 $0.5\sim 700\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,砷浓度范围在 $1.1\sim 20.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。根据各污染区块六价铬污染浓度,分层处理污染土壤,污染土壤药剂投加比分别为3%、4%和5%。

修复前后土壤样品中Cr(VI)浓度变化见图3。修复后土壤中六价铬均未检出,其中六价铬的检出限为 $0.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。修复后土壤中六价铬浓度远低于修复目标值。质控报告中,污染土壤中六价铬检测加标回收率为95%,相对差异为5%;修复后土壤中六价铬检测加标回收率为92%~98%,相对差异为2%~4%。

4.2 修复前后土壤浸出液中总Cr、Cr(VI)和As浓度变化

4.2.1 修复前后浸出液中Cr(VI)和As浓度变化

经还原稳定化处理后的土壤按照《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》(HJT 299-2007)浸出,浸出液中目标污染物砷和六价铬浓度低于《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3-2007)的要求,即 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;同时按照《固体废物浸出毒性浸出方法 翻转法》(GB 5086.1-1997)浸出,浸出液中目标污染物砷和六价铬浓度均未超出《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)最高允许排放浓度,即 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。质控报告中,污染土壤浸出液中六价铬和砷检测加标回收率分别为90%和84%,相对差异为3%和7%;修复后浸出液中六价铬和砷检测加标回收率分别为88%~98%和91%~95%,相对差异为1%~3%和1%~6%。

图4为修复前后六价铬毒性浸出浓度变化,六价铬的检出限为 $0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,按照两种浸出方法得到的浸出液中六价铬浓度远低于标准规定要求。由于修复前土壤中砷的含量较低,根据过往工程经验,现场技术人员只检测修复后土壤浸出液中砷浓度,得到修复后浸出液中砷含量都低于检出限($0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的结果,低于修复目标值。

4.2.2 修复后浸出液中总铬浓度

为保证修复质量,现场技术人员对修复后土壤按照硫酸硝酸法和翻转法浸出,检测浸出液中总铬含量,得到修复后浸出液中总铬含量低于检出限($0.15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的结果,低于相关标准规定。质控报告中,

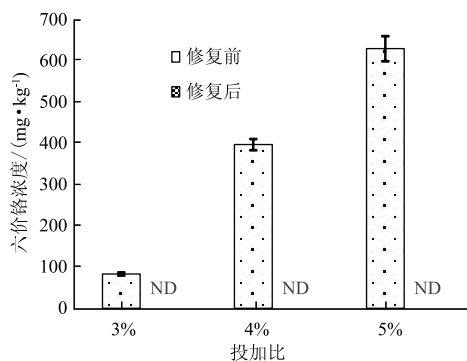


图3 修复前后土壤中六价铬浓度

Fig.3 Concentration of Cr(VI) in soil before and after remediation

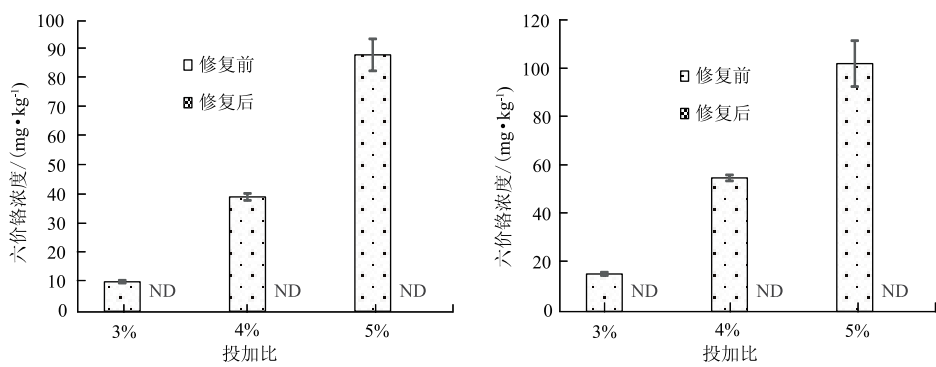


图 4 六价铬毒性浸出浓度变化
Fig.4 Leaching toxicity of Cr(VI)

修复后浸出液中总铬检测加标回收率为 89% ~ 95% ,相对差异为 1% ~ 3% 。

5 结论

- 1)工程一期以铬渣污染土壤为治理对象,主要对象重金属为六价铬和砷,治理中重金属污染土方约 2.62 万 m³。
- 2)工程根据场地污染状况选用异位还原稳定化技术对污染土壤进行了无害化处理,所用还原稳定化药剂为某药剂公司自主研发的硫系和铁系稳定化药剂,通过自验收,发现修复后土壤各项指标满足修复目标值,还原稳定化效果好。
- 3)还原稳定化处理后的 2.62 万 m³ 土壤采用安全填埋方式进行处置,为确保污染土壤的治理效果及长期安全性提供了双重保障。工程的实施,可为铬渣堆放污染土壤的治理提供技术支持。

参 考 文 献

[1] 国家发展和改革委员会,国家环境保护总局. 铬渣污染综合整治方案[Z]. [2017-05-11]. <http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/fzgh/ghwb/gjjgh/200709/P020150630514230029245.pdf>,2005

[2] 骆永明. 中国污染场地修复的研究进展、问题与展望[J]. 环境监测管理与技术,2011,23(3):1-6

[3] 唐晓丽,李书鹏,汪福旺,等. 重金属污染场地的修复技术[J]. 环境与生活,2014(14):195-196

[4] VINEGAR H J, STEGEMEIER G L. Low cost, self regulating heater for use in an in situ thermal desorption soil remediation system; U. S. Patent 6,485,232[P]. 2002-11-26

[5] 蒋小红,喻文熙,江家华,等. 污染土壤的物理/化学修复[J]. 环境污染与防治,2006,28(3):210-214

[6] 熊惠磊,王璇,马骏,等. 多级筛分式淋洗设备在复合污染土壤修复项目中的工程应用[J]. 环境工程,2016,34(7):181-185

[7] KONG H, SUN R, GAO Y, et al. Elution of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil columns using low-molecular-weight organic acids[J]. Soil Science Society of America Journal,2013,77(1):72-82

[8] 郭丽莉,许超,李书鹏,等. 铬污染土壤的生物化学还原稳定化研究[J]. 环境工程,2014(10):152-156

[9] 杨远强,王翔,郭丽莉,等. 高浓度含砷污泥的药剂稳定化和水泥固化研究[J]. 环境科学与管理,2013,38(5):94-99

[10] 杨勇,何艳明,栾景丽,等. 国际污染场地土壤修复技术综合分析[J]. 环境科学与技术,2012,35(10):98-104

(责任编辑:新炜)