

莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地土壤污
染治理与修复试点项目

治理修复技术方案
(备案稿)



江苏大地益源环境修复有限公司

2020年10月

目 录

1. 总论	1
1.1 任务由来.....	1
1.2 编制依据.....	1
1.3 编制内容.....	4
1.4 编制原则.....	6
2. 场地问题识别	8
2.1 所在区域概况.....	8
2.2 场地基本信息.....	13
2.3 场地环境特征.....	15
2.4 生产工艺及产污情况.....	16
2.5 场地污染特征.....	18
2.6 土壤污染风险.....	18
3. 场地修复模式	20
3.1 修复总体思路.....	20
3.2 场地修复范围及拐点坐标.....	20
3.3 场地修复目标.....	21
4. 修复技术筛选	23
4.1 土壤修复技术简述.....	23
4.2 土壤修复技术可行性评估.....	37
4.3 技术筛选结论.....	48
5. 修复方案设计	50
5.1 修复技术路线.....	50

5.2 氰化物异位化学氧化工艺.....	50
5.3 六价铬异位固化/稳定化工艺.....	51
5.4 原址阻隔回填.....	52
5.5 修复技术工艺参数.....	53
5.6 修复工程量估算.....	55
5.7 总施工平面布置.....	56
5.8 修复工程费用估算.....	59
5.9 修复进度计划.....	59
6. 环境管理计划.....	61
6.1 修复工程监理.....	61
6.2 二次污染防治.....	67
6.3 场地环境监测计划.....	75
6.4 工程验收监测计划.....	81
6.5 环境长期监管计划.....	90
6.6 环境应急方案.....	91
7. 成本效益分析.....	104
7.1 修复费用.....	105
7.2 环境效益、经济效益、社会效益.....	105
8. 结论.....	107
8.1 可行性研究结论.....	107
8.2 问题和建议.....	107
附件 1 修复范围图及拐点坐标.....	109
附件 2 专家评审会意见.....	110

附件 3 《治理修复技术方案》修改说明	111
附件 4 专家组长复核意见	113

1. 总论

1.1 任务由来

莆田市荔城区恒赫五金电镀厂建于 2006 年 8 月，2009 年新建滚镀和挂镀车间，年电镀五金件 3000 吨。该厂于 2015 年 6 月起停产至今，目前用地已收储，按《莆田市荔城区玉湖分区单元控制详细规划》（报批稿）拟作为体育健身公园、防护绿地及道路。根据莆田市土壤污染防治行动计划实施方案及其年度工作计划，被列为莆田市土壤污染治理与修复试点示范项目。

根据国家和地方相关法律法规以及环境管理要求，莆田市生态环境局委托了福建省环境科学研究院开展了场地初步调查、详细调查、风险评估等工作。场地调查和风险评估表明，土壤存在风险，地下水无风险，目前处于管控阶段。根据环境管理的要求，该场地需要修复达标后才能进行再开发利用。2020 年 7 月通过公开招投标，确定我单位江苏大地益源环境修复有限公司为该项目的施工单位和方案编制单位。我司根据场地调查与风险评估结果，确定适合于目标场地的最佳修复技术方案，并制定配套的环境管理计划，为该污染场地的土壤修复施工提供科学依据。

1.2 编制依据

1.2.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日）
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日）
- (3) 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年 1 月 1 日）
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月 1 日）

- (5) 《中华人民共和国大气污染防治法》(2018年10月26日)
- (6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》(2018年12月29日)
- (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法(修订草案)》(2020年9月1日)
- (8) 《中华人民共和国安全生产法》(2014年12月1日)
- (9) 《国家危险废物名录》(2016年8月1日)
- (10) 《建设项目环境保护管理条例》(2017年10月1日)
- (11) 《危险化学品安全管理条例》(2013年12月27日)
- (12) 《建设工程质量管理条例》(国务院令第714号)

1.2.2 政策文件

- (1) 《污染地块土壤环境管理办法》(2017年7月1日)
- (2) 《突发环境事件应急管理办法》(2015年6月5日)
- (3) 《建设工程安全生产管理条例》(2004年2月1日)
- (4) 《环境保护公众参与办法》(2015年9月1日)
- (5) 《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》(环发[2014]66号)
- (6) 《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》(环发[2012]140号)
- (7) 《国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知》(国发[2016]65号)
- (8) 《莆田市土壤污染防治行动计划实施方案》(莆政综【2017】26号)
- (9) 《福建省建设用地土壤污染风险评估、风险管控效果评估、治理与修复效果评估报告省级评审工作规程(试行)》(闽环保土〔2019〕

12 号)

1.2.3 相关标准

- (1) 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》
(GB36600-2018)
- (2) 《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)
- (3) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)
- (4) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)
- (5) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)
- (6) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996)
- (7) 《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2.1-2019)

1.2.4 相关技术导则及规范

- (1) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019)
- (2) 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》
(HJ25.2-2019)
- (3) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)
- (4) 《建设用地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2019)
- (5) 《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则（试行）》
(HJ25.5-2018)
- (6) 《大气污染物无组织排放检测技术导则》(HJ/T55-2000)
- (7) 《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ46-2005)
- (8) 《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)
- (9) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004)
- (10) 《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002)
- (11) 《地下水环境监测技术规范》(HJ/T164-2004)
- (12) 《2014 年污染场地修复技术名录（第一批）》(环发[2014]75

号)

(13)《水文水井地质钻探规程》(DZ/T0148-2014)

(14)《防治城市扬尘污染技术规范》(HJ/T393-2007)

(15)《环境空气质量手工监测技术规范》(HJ194-2017)

(16)《固定源废气监测技术规范》(HJ/T397-2007)

(17)《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》(环保部 2014 年 11 月)

(18)《建设用土壤环境调查评估技术指南》(2018 年 1 月)

(19)《建设工程施工现场供用电安全规范》(GB50194-2014)

(20)《工程测量规范》(GB50026-2007)

(21)《建筑施工安全技术统一规范》(GB50870-2013)

(22)《福建省土壤环境管理“三防三监控”技术指南(试行)

1.2.5 其他资料

(1)《福建省政府采购货物和服务项目公开招标文件-莆田市生态环境局莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地土壤污染治理与修复试点项目治理与修复及其治理修复效果评估工作技术服务服务类采购项目》(2020 年 7 月)

(2)《莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地环境调查报告》(2018 年 6 月)

(3)《莆田市荔城区恒赫五金电镀厂土壤环境详细调查报告》(2019 年 3 月)

(4)《莆田市荔城区恒赫五金电镀厂污染场地风险评估报告》(2019 年 11 月)

1.3 编制内容

本修复技术方案主要针对恒赫五金电镀厂场地土壤修复，包括修复模式的确定、修复技术的遴选；针对修复模式的确定、修复技术的遴选，综合考虑经济、技术、社会等各方面因素，综合评价各修复模式、修复技术的优劣，筛选出最适合本场地修复工程的模式和技术，编制最终修复技术方案。修复技术方案编制的工作程序如下图所示。

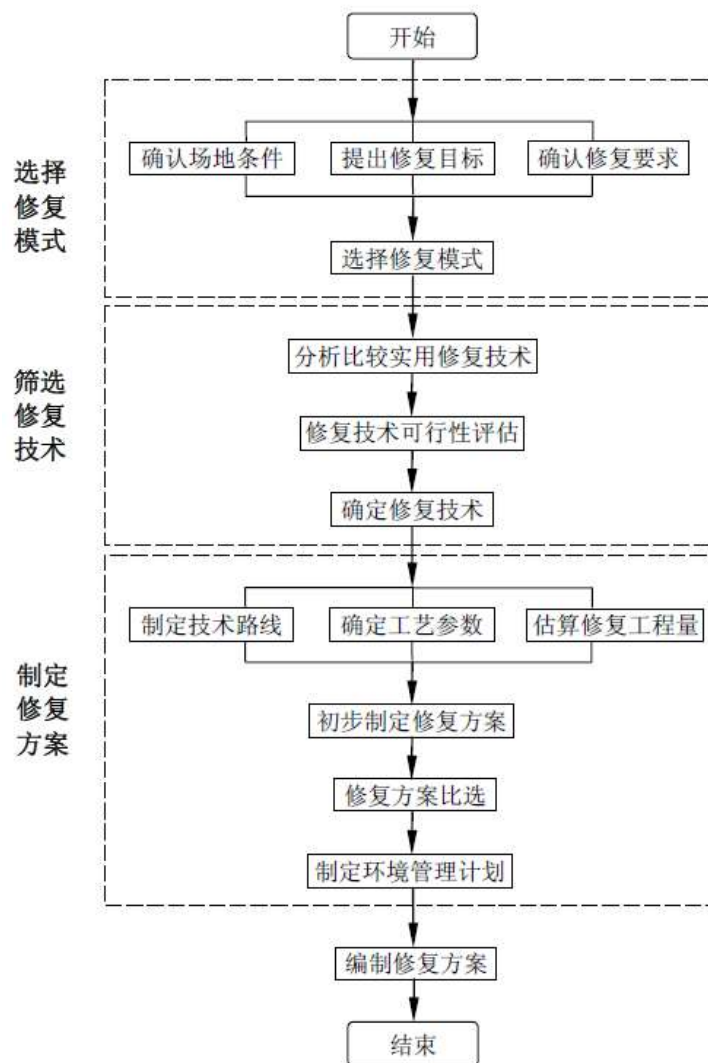


图 1-1 污染场地土壤修复方案编制程序

污染场地土壤修复方案编制分为以下三个阶段：

(1) 选择修复模式

在分析前期污染场地环境调查和风险评估资料的基础上，根据污染场地特征条件、目标污染物、修复目标、修复范围和修复时间长短，选择确定污染场地修复总体思路。

(2) 筛选修复技术

根据污染场地的具体情况，按照确定的修复模式，筛选实用的土壤修复技术，对土壤修复技术应用案例进行分析，从适用条件、对场地土壤修复效果、成本和环境安全性等方面进行评估。

(3) 制定修复方案

根据确定的修复技术，制定土壤修复技术路线，确定土壤修复技术的工艺参数，估算污染场地土壤修复的工程量，提出初步修复方案。从主要技术指标、修复工程费用以及二次污染防治措施等方面进行方案可行性比选，确定经济、实用和可行的修复方案。

1.4 编制原则

本方案的制定遵循“科学性、安全性、规范性、可行性、经济性”的总体原则。

科学性原则：采用科学的方法，综合考虑污染场地修复目标、土壤修复技术的处理效果、修复时间、修复成本、修复工程的环境影响等因素，制定修复方案。

安全性原则：在污染土壤处置的各个阶段，保证人员安全和环境安全，防止产生污染转移和二次污染。

规范性原则：土壤污染清理与修复中的各项工作均应遵循相关环保标准、规范以及相关环保部门批复的清理与修复方案的要求。

可行性原则：综合考虑气候条件、场地条件、技术条件和时间因素，采取因地制宜的措施，应对工程实施过程中遇到的问题制定可操作性强、易于工程实施的实施方案。

经济性原则：在保证修复效果的前提下，选择处理费用较低的修复方案或方案组合，以有效降低处理成本。

2. 场地问题识别

2.1 所在区域概况

2.1.1 区域地质条件

根据该项目的调查报告的土工试验结果，荔城区恒赫五金电镀厂场地所在区域地层结构主要分为4层，从上到下依次为：0~2m 杂填土层、2~3m 粉质黏土层、3~7m 淤泥黏土层、7~9m 粉细砂层。场地的地质情况如图 2-1~2-4 所示。

层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:100	岩性描述
①	16.35	1.95	1.95		杂填土:杂色,稍密,湿。主要成分以混凝土块、砖渣等建筑垃圾混合少量粘性土、石英砂颗粒组成,均匀性差。
②	15.70	2.60	0.65		粉质粘土:灰黄色,可塑,饱和。含有高岭土及铁锰质氧化物,无光泽反应,无摇晃反应,干强度高、韧性高。
③	12.30	6.00	3.40		淤泥质土:深灰色,流塑,饱和。含有腐殖质,略具臭味。捻面光滑,稍有光泽,干强度、韧性中等,摇晃反应慢。

图 2-1 场地 ZK1 孔位土壤钻孔柱状图

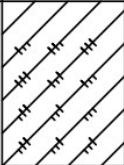

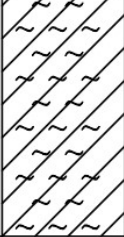
层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:100	岩性描述
①	16.30	2.00	2.00		杂填土:杂色, 稍密, 湿。主要成分以混凝土块、砖渣等建筑垃圾混合少量粘性土、石英砂颗粒组成, 均匀性差。
②	15.90	2.40	0.40		粉质粘土:灰黄色, 可塑, 饱和。含有高岭土及铁锰质氧化物, 无光泽反应, 无摇晃反应, 干强度高、韧性高。
③	12.10	6.20	3.80		淤泥质土:深灰色, 流塑, 饱和。含有腐殖质, 略具臭味。捻面光滑, 稍有光泽, 干强度、韧性中等, 摇晃反应慢。

图 2-2 场地 ZK2 孔位土壤钻孔柱状图

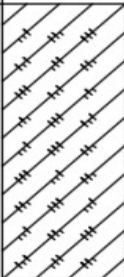
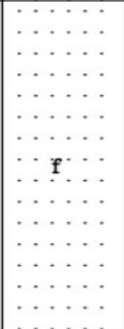
层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:100	岩性描述
①	14.40	3.90	3.90		杂填土:杂色, 稍密, 湿。主要成分以混凝土块、砖渣等建筑垃圾混合少量粘性土、石英砂颗粒组成, 均匀性差。
④	9.70	8.60	4.70		粉细砂:灰黄色, 稍密, 饱和。主要矿物成分为石英长石颗粒, 颗粒级配差, 石英长石颗粒呈棱角状-次棱角状。

图 2-3 场地 ZK3 孔位土壤钻孔柱状图

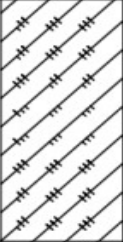
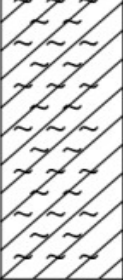
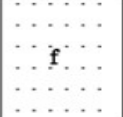
层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:100	岩性描述
①	14.90	3.40	3.40		杂填土:杂色, 稍密, 湿。主要成分以混凝土块、砖渣等建筑垃圾混合少量粘性土、石英砂颗粒组成, 均匀性差。
③	10.90	7.40	4.00		淤泥质土:深灰色, 流塑, 饱和。含有腐殖质, 略具臭味。捻面光滑, 稍有光泽, 干强度、韧性中等, 摇震反应慢。
④	9.10	9.20	1.80		粉细砂:灰黄色, 稍密, 饱和。主要矿物成分为石英长石颗粒, 颗粒级配差, 石英长石颗粒呈棱角状-次棱角状。

图 2-4 场地 ZK4 孔位土壤钻孔柱状图

根据地层岩性变化在不同层次采集土壤原状土柱样品, 按照《土壤农业化学分析方法》测定土壤的基本理化性质, 主要包括: 土壤含水率、土壤颗粒密度、有机质含量、孔隙比等。其中, 杂填土层主要为混凝土块、砖渣等建筑垃圾混合少量粘性土、石英砂颗粒, 其特性主要为均匀性差, 相关数据结果见下表。

表 2-1 土层划分及土壤特征参数

孔号	取样深度 (m)	含水率 (%)	干密度 (g/cm ³)	有机质含量 (%)	孔隙比	塑性 指数	液性 指数	压缩系数 (MPa ⁻¹)	凝聚力 (kPa)	垂直渗透系数 (10 ⁻⁶ cm/s)	水平渗透系数 (10 ⁻⁶ cm/s)
ZK1	4.4-4.6	59.1	1.04	1.69	1.613	17.4	1.55	1.35	15.6	1.04	2.11
ZK2	4.3-4.5	56.3	1.07	2.55	1.512	17.3	1.44	1.24	13.8	2.16	3.33
ZK3	5.2-5.4	—	—	0.08	—	—	—	—	—	—	—
	8.3-8.5	—	—	0.07	—	—	—	—	—	—	—
ZK4	5.3-5.5	53.6	1.09	2.01	1.459	17.7	1.28	0.93	12.2	5.01	7.24
平均值		56.3	1.07	1.28	1.528	17.5	1.42	1.17	13.9	2.74	4.23

2.1.2 区域水文条件

莆田市荔城区境内水系密布，溪河纵横交错。主要河流有木兰溪、延寿溪、下磨溪、后卓溪、企溪、东郊河、和平河、渠桥河等。木兰溪流域面积 1830 km²，全长约 103 km，发源于仙游县西北部西苑乡仙西黄坑头，自西至东流经仙游，横贯荔城区平原地带，于三江口注入兴化湾；以木兰溪主干流为界，分为南洋水系和北洋水系，木兰溪主干流以南的称为南洋水系，以北的称为北洋水系。南北洋水系发达，河网密布，形成四通八达的水网，河沟总长 431.175 km，水域面积 9.27 km²，总库容 3100 万立方米。

荔城区恒赫五金电镀厂区地下水潜水层埋深为 1.3~2.7m 左右，地下水流向总体呈现由东北至西南方向。

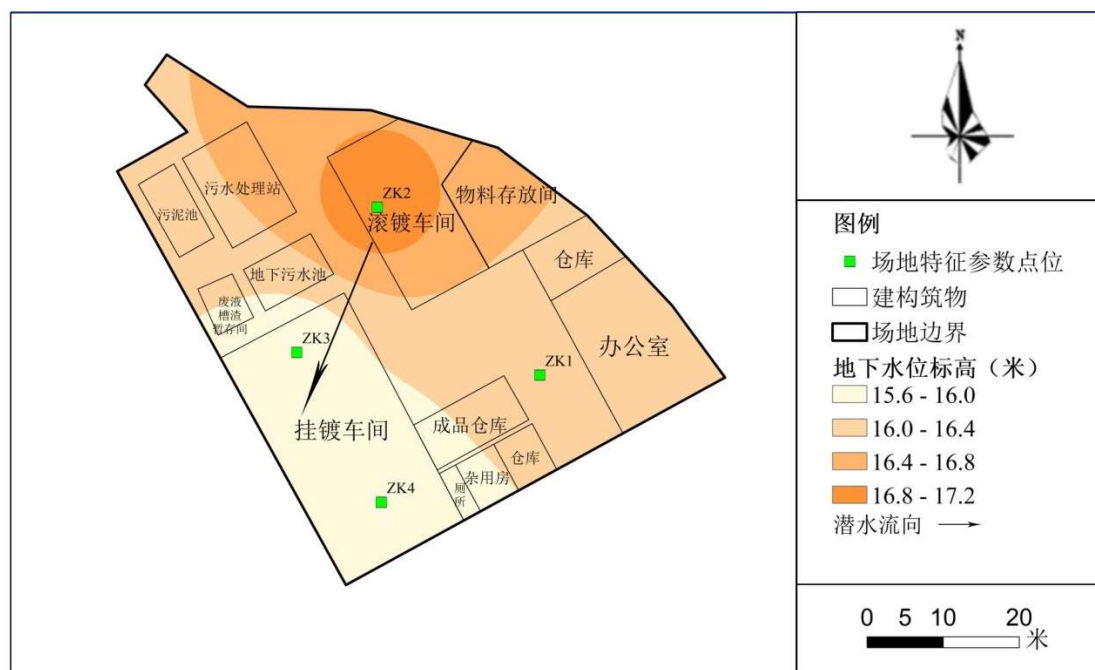


图 2-5 场地潜水流场图

2.1.3 区域气候条件

荔城区地处北回归线北侧边缘，东濒海洋，属亚热带海洋性季风气候。年降雨量 1500 毫米，日照充足、温度适宜是荔城区气候的一大特征。平均年太阳辐射量达 110.41 千卡/平方厘米；年日照时数平均为 1995.9 小时，年均日照率为 45%。日照时间从山区至沿海逐步增多。无霜期年平均达 316 天至 350 天之间。平均温度 20 摄氏度，常年多为东南风，温和湿润，冬无严寒，夏无酷暑。气温由东南沿海向西北内陆山区逐渐降低。全荔城区年平均气温在 16℃至 21℃之间。

2.2 场地基本信息

2.2.1 地理位置

莆田市荔城区恒赫五金电镀厂位于莆田市荔城区新度镇白埕村。北侧距木兰溪及其防洪堤约 200m，北侧邻临时安置平房，与玉湖路距离约 150m；东侧隔滨西路，为尚未入驻的商住楼；西侧距最近民房约 70m（中间隔一条小沟）。南侧为原鞋厂（现已拆除）和农田。场地面积约 2000m²，地理位置见图 2-6、场地周边环境见图 2-7。



图 2-6 场地地理位置

2.2.2 场地使用历史及现状

莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地面积约 2000m²。在 2006 年之前，该地块为白垵村耕地；2006 年 8 月建设荔城区恒赫电镀厂，2009 年变更企业名称后，新建滚镀和挂镀车间；2015 年 6 月起停产至今，厂内已无设备，但墙体和顶棚等建筑物尚在，整体为钢结构建筑。

2.2.3 场地利用规划

所在地块已被荔城区政府收储，按《莆田市玉湖分区单元（350304-09）控制性详细规划》拟作为体育健身公园、防护绿地及道路。

2.3 场地环境特征

莆田市荔城区恒赫五金电镀厂地块已被荔城区政府收储，东侧及北侧为万科城工地、木兰溪旧赶潮段，东侧为在建的万科城，南侧为鞋厂、农田和木兰溪新赶潮段，西侧为埭里村和农田。厂区内建筑物未拆除。



图 2-7 场地周边环境





图 2-8 场地内部环境

2.4 生产工艺及产污情况

莆田市荔城区恒赫五金电镀厂年电镀五金件 3000 吨，镀种主要有镀环保枪色、镀环保镍、镀枪色、镀仿金、镀镍、镀锌、镀金、镀银、镀铬等，详见下表。

表 2-2 产品产量表

序号	产品名称	年产量 (t)	
		滚镀车间	挂镀车间
1	镀环保枪色	400	400
2	镀环保镍	400	400
3	镀枪色	200	100
4	镀仿金	100	100
5	镀镍	300	300
6	镀锌	100	-
7	镀金	-	50
8	镀银	-	50
9	镀铬	-	100

滚镀车间及挂镀车间工艺流程及产污节点如下图。

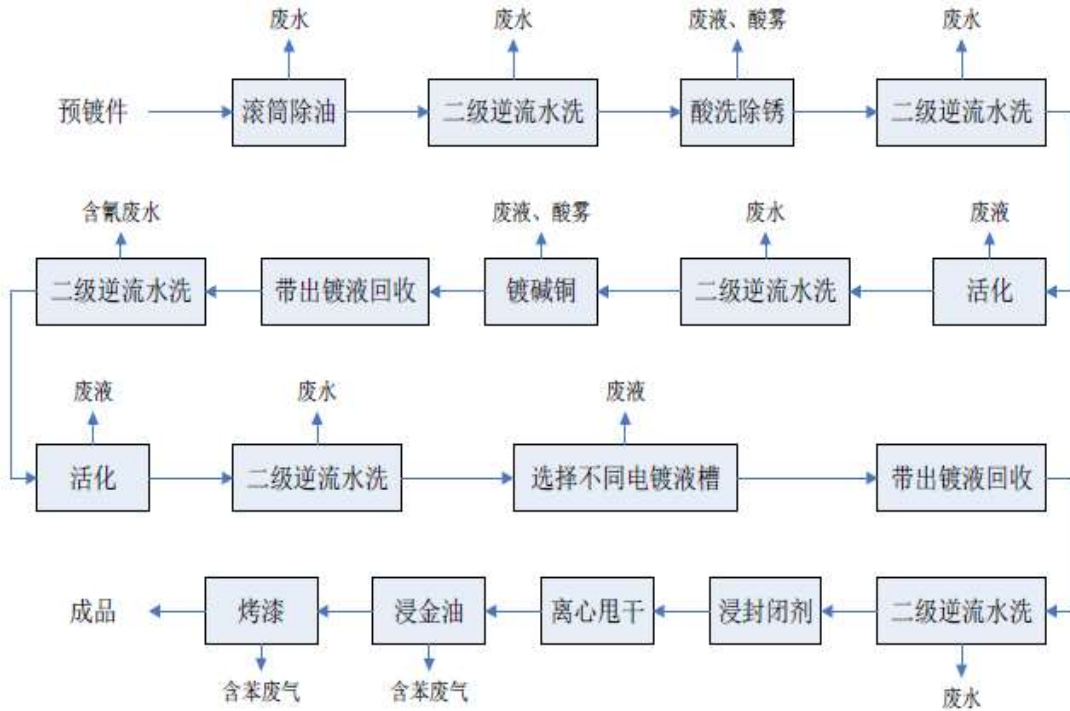


图 2-9 滚镀工艺流程及产污节点图

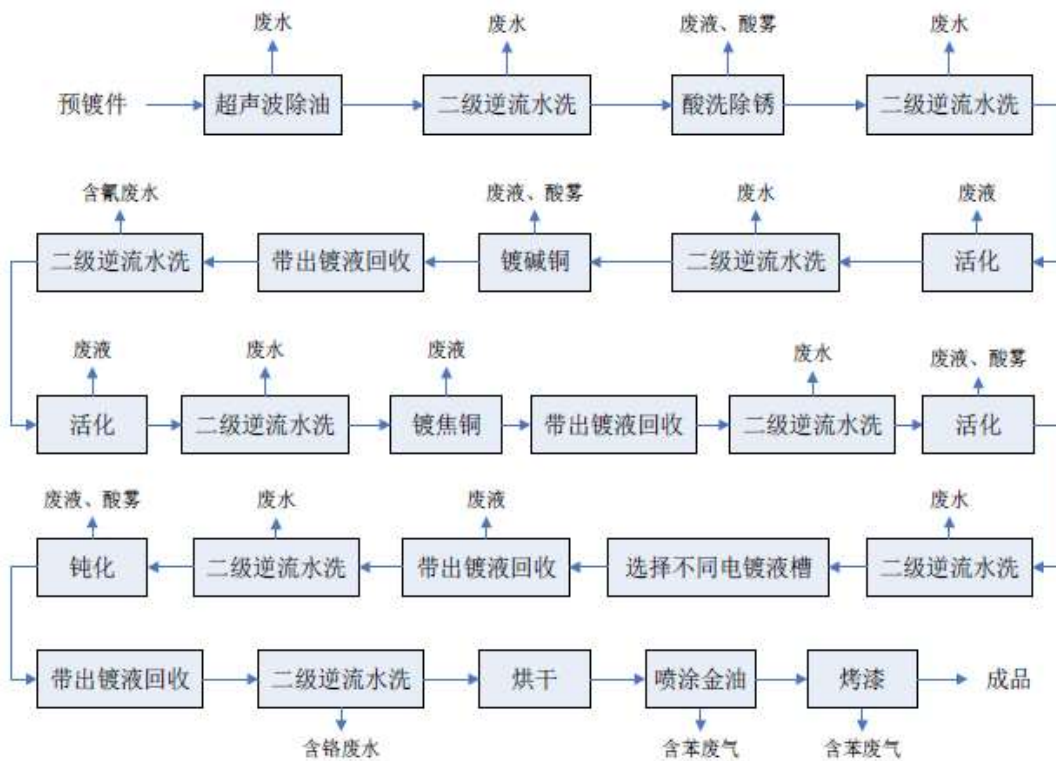


图 2-10 挂镀工艺流程及产污节点图

在生产过程中，会产生含氰废水、含铬废水、含镍废水等废水，同时产生盐酸雾、氢氰酸雾、铬酸雾和含苯废气等。

2.5 场地污染特征

(1) 初步调查结果

该场地已于 2018 年 6 月完成场地初步调查工作，调查内容包括场地土壤、地下水、地表水和底泥（初步采样调查共布设 40 个监测点，其中土壤采样点 30 个、地下水采样点 5 个，地表水采样断面及底泥采样点 5 个），结果表明：

1) 六价铬和氰化物含量超过 GB 36600-2018 第二类用地筛选值；
2) 厂区及周边地下水中总硬度、溶解性总固体、挥发性酚类、氯化物、氨氮、锰、钴、铬(六价)、镍为《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) V 类标准，其中厂区内 3 个点位中，氯化物、氨氮、锰、钴、铬(六价)、镍高于上游参照点位；
3) 厂区周边地表水底泥检测结果符合国家标准要求。

(2) 详细调查结果

2019 年 3 月完成该场地详查工作，在超标点附近加密布点检测，结果表明：滚镀车间氰化物超标，挂镀车间六价铬超标，其超过筛选值最大倍数分别为 10.33、36.02，初步估算本场地超第二类用地筛选值的总面积约为 532.26 m²。

2.6 土壤污染风险

2019 年 11 月完成该场地风险评估工作，风险评估报告结论：

1) 在第二类用地条件下氰化物、六价铬存在风险不可接受的情况，风险控制值分别为 161 mg/kg、83.6 mg/kg；六价铬的主要风险暴

露途径为吸入土壤颗粒，主要危害暴露途径为经口摄入土壤颗粒，氰化物的主要危害暴露途径为吸入土壤蒸气及经口摄入土壤颗粒。

2) 在第二类用地条件下氰化物、六价铬的修复目标值分别为 161 mg/kg、78 mg/kg。

3) 初步测算需要开展土壤修复的土方量为 442.88 m³。

4) 暴露评估表明本场地地下水中的污染物不存在危害途径，即不存在风险。同时报告提出：场地主要危害为含污染物的土壤颗粒及含氰化物的蒸汽，因此在场址修复、开发过程中应结合其关键暴露途径制定相应的风险管理措施及人员防护措施。

3. 场地修复模式

3.1 修复总体思路

针对本场地状况和污染情况，从技术可行性分析、方案设计、修复工程实施、环境保护、工程验收等方面对本场地修复方案进行设计，结构完整、流程清晰。

首先通过小试实验进行可行性分析与验证。

通过模拟、计算与工程经验进行实施设计，保证修复设计合理、可操作性强。

根据国家、地方相关法律法规与技术规范，确定工程验收计划，保证修复工程质量。

设计科学完善的环境管理计划和应急方案，确保工程实施过程中环境安全，无二次污染的风险。

3.2 场地修复范围及拐点坐标

该场地采用插值计算的方法估算超标土方量，通过估算，本场地超标面积约为 377.80 m²，需修复的总土方量约为 442.88 m³。

氰化物超标需修复的总土方量为 383.24 m³，其中，0~0.5 m、0.5~1.0 m、1.0~1.5 m 土层修复范围一致，且修复边界位于 1.5~2.0 m 土层超标修复范围内，土方量均为 84.66 m³，1.5~2.0 m 土层超标修复土方量为 129.26 m³。

六价铬仅 0~0.5 m 土层超标，需修复的土方量为 59.64 m³。

修复范围见图 3-1，修复范围拐点坐标见表 3-1。

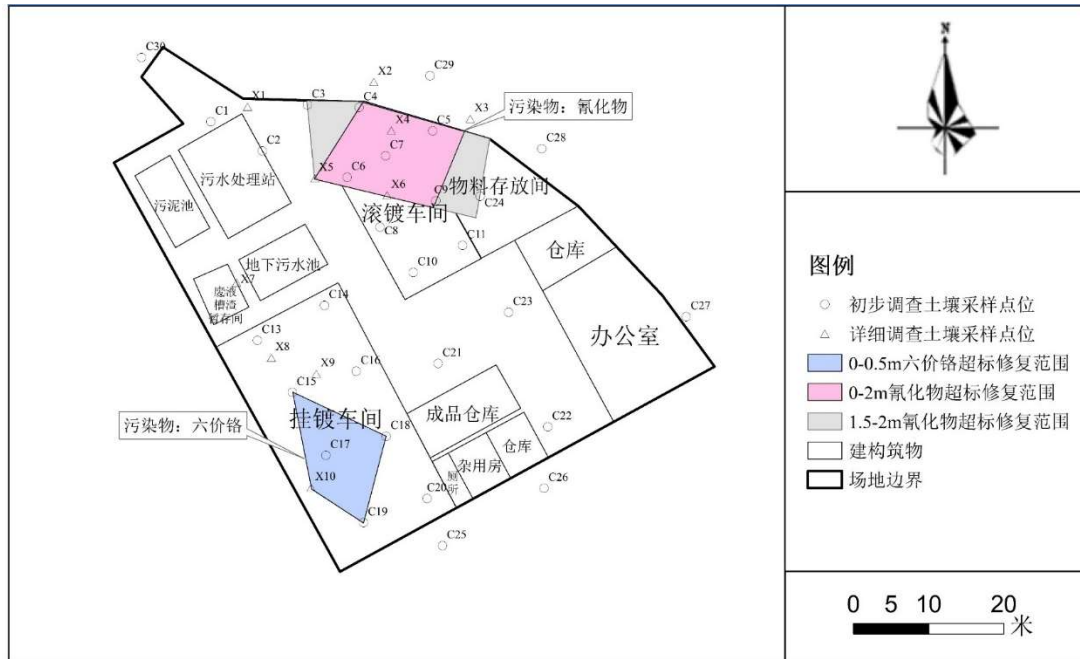


图 3-1 污染土壤修复范围分布图

表 3-1 修复范围区域拐点坐标

序号	土层	六价铬超标区域		氰化物超标区域	
		X	Y	X	Y
1	0-0.5m	39705641.9686	2813685.576	39705644.1934	2813711.2164
2		39705644.3577	2813674.1951	39705658.4374	2813707.9982
3		39705650.862	2813670.1932	39705662.1246	2813717.0336
4		39705653.118	2813680.6477	39705649.7912	2813720.3918
5	0.5-1.5 m	—	—	39705644.1934	2813711.2164
6		—	—	39705658.4374	2813707.9982
7		—	—	39705662.1246	2813717.0336
8		—	—	39705649.7912	2813720.3918
9	1.5-2m	—	—	39705644.1934	2813711.2164
10		—	—	39705663.5909	2813706.7470
11		—	—	39705665.0569	2813716.1917
12		—	—	39705649.8918	2813720.3934
13		—	—	39705643.1450	2813720.5118

3.3 场地修复目标

该污染场地关注污染物的修复目标值如下所示：

表 3-2 场地修复目标

序号	污染物	修复目标 (mg/kg)
1	六价铬	78
2	氰化物	161

4. 修复技术筛选

4.1 土壤修复技术简述

根据前期场地调查结果，本场地涉及有机物（氰化物）修复和土壤重金属（六价铬）修复，考虑的污染土壤的修复技术有：原位/异位化学氧化、原位热脱附、原位/异位固化稳定化、水泥窑协同处置、异位淋洗、植物修复、微生物修复等。

4.1.1 原位化学氧化技术

① 技术介绍

原位化学氧化技术是利用机械钻头或固定井将氧化剂通过加压方式注入到受污染地下水含水层中，使氧化剂与地下水中污染物充分接触并发生化学反应，达到将地下水中有有机污染物氧化分解的目的。

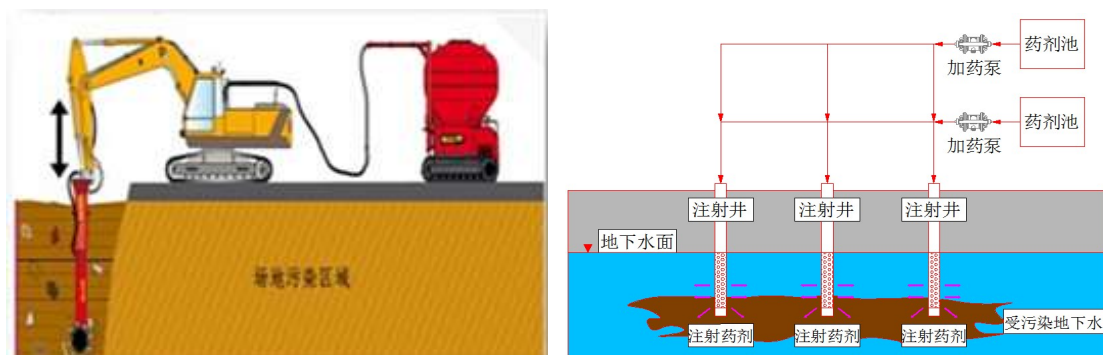


图 4-1 原位化学氧化修复工艺示意图

该技术不用对污染土壤进行挖掘，对土壤扰动较小，处理深度可达到地表下数十米。工程操作简单，处理速度相对较快，从几周到数月不等。对于渗透性很差土壤（如渗透系数为 $1E-7$ cm/s 及以下）处理效果较逊色，需要其他方法辅助完成；该技术需要根据场地的土壤

性质、地质水文情况进行药剂选择，压力范围控制、流速以及布点密度的合理确定，对设计要求较高。

影响原位化学氧化修复效果的因素主要包括影响半径和氧化药剂的用量。

（1）影响半径

原位化学氧化修复技术药剂注射的有效影响半径是指药剂经过加压注射后，保持一定的有效浓度所能到达的最远距离。有效浓度一般指该位置的药剂浓度达到初始浓度（注射浓度）的 50%。由于注射药剂量、注射浓度以及验收标准等因素各不相同，在实际施工过程中，影响半径指药剂注射后地下水中污染物浓度能够达到的验收标准的最远距离。有效影响半径主要受土壤性质（含水层介质）的影响，最主要的因素是含水层介质的渗透性能，即渗透系数。根据渗透系数，可以估算出有效影响半径，设计各注射点的分布，注射压力以及注射频率。

（2）氧化药剂的用量

药剂的用量与污染物的消耗量、土壤天然需氧量以及药剂自然衰减量有关。污染物消耗量与污染物的种类和浓度有关，根据调查结果计算得知，土壤天然需氧量与土壤中有机质含量、药剂种类和药剂停留时间有关。药剂自然衰减量是指天然条件下药剂本身的分解量。土壤天然需氧量和药剂自然衰减量可以根据经验或根据前期室内试验确定，污染物消耗量可根据污染物浓度和修复目标值确定。药剂的注

入体积可以根据注射影响的土壤体积和土壤孔隙度等参数确定。依据药剂的用量和体积可以计算得到需要配置药剂的浓度。

②应用情况

适用于污染土壤和地下水。其中,化学氧化可处理石油烃、BTEX(苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、酚类、甲基叔丁基醚、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物;化学还原可处理重金属类(如六价铬)和氯代有机物等。

原位化学氧化/还原修复技术处置成本适中,受腐殖酸含量、还原性金属含量、土壤渗透性、pH 值变化影响较大。

4.1.2 异位化学氧化技术

①技术介绍

异位化学氧化技术首先需将污染土壤清挖,再暂存至处置区,向污染土壤添加氧化剂或还原剂,通过氧化或还原作用,使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧。常见的还原剂包括连二亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、硫酸亚铁、多硫化钙、二价铁、零价铁等。

修复系统包括土壤预处理系统、药剂混合系统和防渗系统等。其中:(1)预处理系统。对开挖出的污染土壤进行破碎、筛分,将土壤中的石块、建筑垃圾等进行筛除,并将土壤破碎只粒径 50mm 以下。筛分后的建筑垃圾单独堆放。该系统设备包括破碎筛分铲斗、挖掘机、推土机等。(2)药剂混合系统。将污染土壤与药剂进行充分混合搅拌,按照设备的搅拌混合方式,可分为两种类型:采用内搅拌设备,即设

备带有搅拌混合腔体，污染土壤和药剂在设备内部混合均匀；采用外搅拌设备，即设备搅拌头外置，需要设置反应池或反应场，污染土壤和药剂在反应池或反应场内通过搅拌设备混合均匀。搅拌次数 1-2 次，反应时间为 2h，具体可以根据施工前中试试验结果进行。对存在异味的建筑垃圾同样进行异位化学氧化修复处理。该系统设备包括行走式土壤改良机、浅层土壤搅拌机等。(3)防渗系统为反应池或是具有抗渗能力的反应场，能够防止外渗，并且能够防止搅拌设备对其损坏，通常做法有两种，一种采用抗渗混凝土结构，一种是采用防渗膜结构加保护层。

影响异位化学氧化/还原技术修复效果的关键技术参数包括：污染物的性质、浓度、药剂投加比、土壤渗透性、土壤活性还原性物质总量或土壤氧化剂耗量(SoilOxidant Demand, SOD)、氧化还原电位、pH、含水率和其它土壤地质化学条件。

(1)土壤活性还原性物质总量：氧化反应中，向污染土壤中投加氧化药剂，除考虑土壤中还原性污染物浓度外，还应兼顾土壤活性还原性物质总量的本底值，将能消耗氧化药剂的所有还原性物质质量加和后计算氧化药剂投加量。

(2)药剂投加比：根据修复药剂与目标污染物反应的化学反应方程式计算理论药剂投加比，并根据实验结果予以校正。

(3)氧化还原电位：对于异位化学还原修复，氧化还原电位一般在-100 mV 以下，并可通过补充投加药剂、改变土壤含水率、改变土壤与空气接触面积等方式进行调节。

(4)pH: 根据土壤初始 pH 条件和药剂特性, 有针对性的调节土壤 pH, 一般 pH 范围 4.0~9.0。常用的调节方法如加入硫酸亚铁、硫磺粉、熟石灰、草木灰及缓冲盐类等。

(5)含水率: 对于异位化学氧化/还原反应, 土壤含水率宜控制在土壤饱和持水能力的 90%以上。

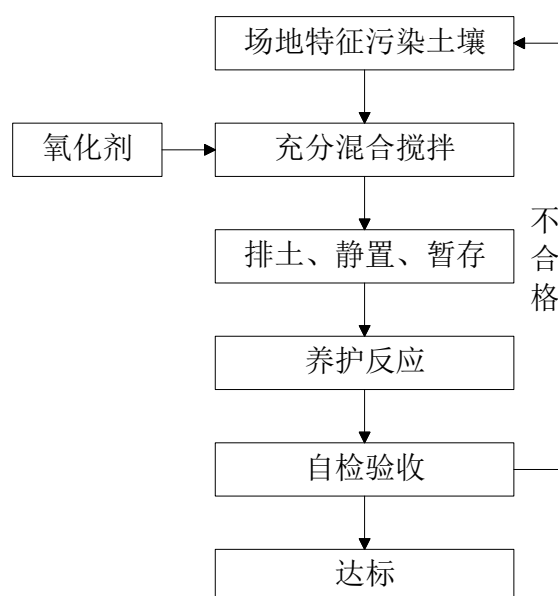


图 4-2 异位化学氧化修复工艺流程图

②应用情况

对高浓度苯系物、卤代烃和多环芳烃等有机污染物比较有效和经济。异位化学氧化/还原修复技术可用于多种污染场地的修复, 处置成本适中, 影响处置效果的主要因素是土壤性质, 污染物成分。异位化学氧化不适用于重金属污染土壤的修复, 对于吸附性强、水溶性差的有机污染物应考虑必要的增溶、脱附方式; 异位化学还原不适用于石油烃污染物的处理。

4.1.3 热脱附技术

①技术介绍

热脱附技术分为电阻热脱附技术、蒸汽热脱附技术和热传导热脱附技术，其技术特点分别如下：

（1）电阻热脱附技术

通过在土壤中安装电极系统并施以足够的电压，使得土壤中产生电流。由于土壤是天然的电阻介质，所以电流通过带有薄水层的土壤颗粒时，便产生热量，进而对土壤进行加热处理。电阻加热能够将土壤温度加热到的最高温度接近水的沸点，一般在 100-120°C 之间。

（2）蒸汽热脱附技术

采用蒸汽注入的方式加热土壤环境，一般应用于土壤渗透系数较高的区域，通常要求渗透系数达到 10^{-4} cm/s。蒸汽通过注射井进入到土壤环境中后，冷凝成液相的过程中放出热量，此部分热量用以加热土壤。

（3）热传导热脱附技术

通过加热井，将热量以热传导的形式传递给土壤。加热井内部的热量来源可以是电流通过其内部的电阻元件产生的热量，也可以是液化石油气或者天然气燃烧之后产生的高温热气，目前，燃气热脱附技术（Gas Thermal Remediation, GTR[®]）发展较为成熟，并且在国内已有 6 个完工/在建工程案例（且均由本单位实施）。GTR[®]技术可以使土壤温度达到 550°C 以上。

工艺原理如下：在燃烧器中燃烧天然气或液化石油气，产生高温气体；将高温气体注入单个的加热井中，并使其在井内往返流动；高

温气体间接加热土壤，通过热传导方式加热目标修复区域，使得土壤温度升高到目标温度；当土壤温度达到目标值后，土壤中的污染物能够从土壤中迅速解吸并分离出来，形成含污染物的蒸汽并部分进入水体；同时用双相抽提系统（DPE）和气相抽提系统（SVE）将污染物蒸汽抽提至地表，然后进行汽水分离；并对含有污染物的水 and 气做进一步处理，达标排放。

在整个加热过程中，对单个燃烧器的燃烧状况、压力以及土壤中关键位置的温度、压力进行实时监测，记录数据并通过无线数据系统进行传输，通过远程访问数据实现对整个过程的实时监控。修复区域中的单个燃烧器可以单独控制，达到温度梯度和能量消耗最优化。

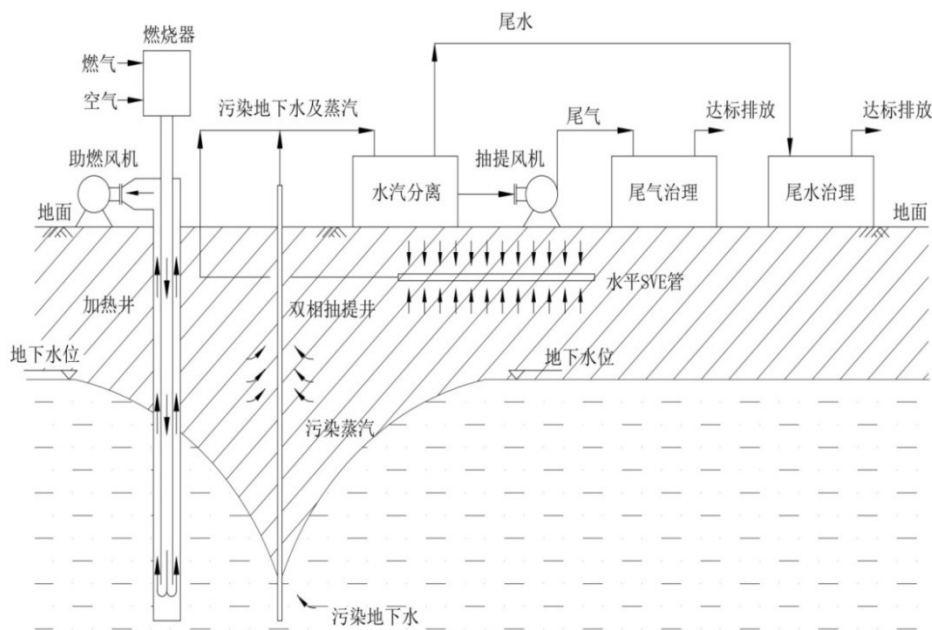


图 4-3 原位 GTR®工艺原理

②应用情况

该技术较为成熟，在国外应用广泛，在国内已有少量应用，适用于大部分有机物污染土壤，并适合处理汞污染土壤、自由相污染物（NAPL）等污染物污染的土壤和地下水。

热脱附技术处置污染土壤优点是高效、广谱性强；可同步处理污染土壤与地下水。但技术设备系统多样，集成度较高，工艺较为复杂，且投资大，处置成本高，

4.1.4 固化/稳定化技术

① 技术介绍

固化/稳定化技术包括固化技术和稳定化技术，固化技术将污染的土壤与固化剂按照一定比例混合，熟化形成渗透性很差的固体混合物，使污染物被包裹起来，处于相对稳定状态。稳定化技术是指将稳定化试剂与污染物发生络合、螯合等化学反应，将污染物转化为不易溶解、迁移能力或毒性更小的形态来实现其无害化，降低其对生态系统危害的风险。实际应用中，往往将固化技术和稳定化技术结合起来以便达到更好的效果。

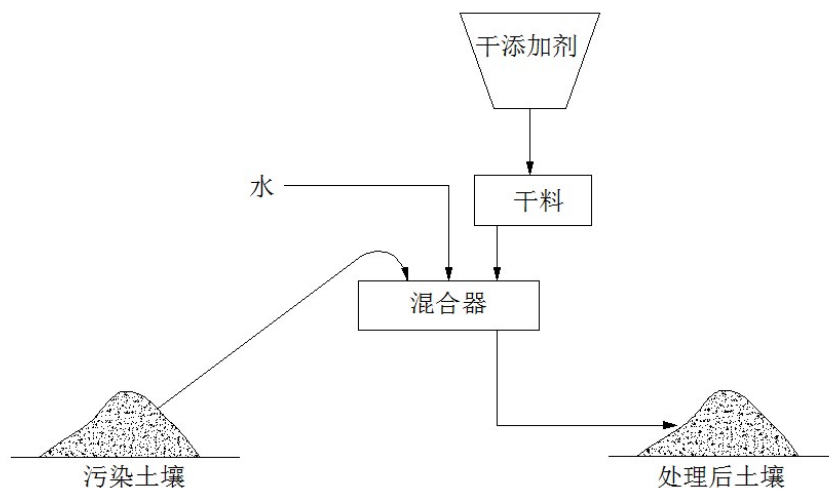


图 4-4 固化/稳定化工艺示意图

②应用情况

固化/稳定化是比较成熟的废物处置技术，经过几十年的研究，已经成功应用于放射性废物、底泥、工业污泥和污染土壤的无害化和资源化。与其它技术相比，该技术具有处理时间短、使用范围广的优势，美国环保局曾将固化/稳定化技术称为处理有毒有害废物的最佳技术。固化/稳定化在国际上使用非常广泛，1982~2008年间，在美国环保署超级基金场地修复中，有259个场地采用固化/稳定化技术进行处置，约占所有修复技术的25%，其中203个采用异位固化/稳定化。据不完全统计，目前国内实施异位固化/稳定化修复的工程案例也已超过50项。

4.1.5 水泥窑协同处置

①技术介绍

水泥窑协同处置技术是指将满足或经过预处理后满足入窑要求的土壤/固体废物投入水泥窑，在进行水泥熟料生产的同时实现对土壤/固体废物无害化处置的过程。

水泥窑具有窑温高（气体最高温度达1500~2200℃，物料最高温度达1500℃左右）、烟气停留时间长（约6~10s），气体湍流强烈（雷诺氏指数大于100000）等特点，能将有毒有机物质彻底分解；无机重金属类物质则与水泥熟料充分混合，通过物理包容、化学吸附、晶格固化等方式都被固定在熟料或水化物中，起到无机物固化稳定的作用。

水泥窑协同处置由处置单位负责，主要包括：破碎预均化、生料制备、生料均化、预热分解、熟料烧成、水泥粉磨 6 个步骤，具体如下：

（1）破碎预均化

在固体废物及其余物料进入粉磨设备之前，尽可能将大块物料破碎至细小、均匀的粒度，以减轻粉磨设备的负荷，提高磨机的产量。物料破碎后，可减少在运输和贮存过程中不同粒度物料的分离现象，有利于制得成分均匀的生料，提高配料的准确性。

同时，在物料堆放时，由堆料机把进来的原料连续地按一定的方式堆成尽可能多的相互平行、上下重叠和相同厚度的料层。取料时，在垂直于料层的方向，尽可能同时切取所有料层，依次切取，直到取完，即“平铺直取”。

（2）生料制备

电动机通过减速装置带动磨盘转动，固体废物及其余物料通过锁风喂料装置经下料溜子落到磨盘中央，在离心力的作用下被甩向磨盘边缘交受到磨辊的碾压粉磨，粉碎后的物料从磨盘的边缘溢出，被来自喷嘴高速向上的热气流带起烘干，根据气流速度的不同，部分物料被气流带到高效选粉机内，粗粉经分离后返回到磨盘上，重新粉磨；细粉则随气流出磨，在系统收尘装置中收集下来，即为产品。没有被热气流带起的粗颗粒物料，溢出磨盘后被外循环的斗式提升机喂入选粉机，粗颗粒落回磨盘，再次挤压粉磨。

（3）生料均化

采用空气搅拌、重力作用，产生“漏斗效应”，使生料粉在向下卸落时，尽量切割多层料面，充分混合。利用不同的流化空气，使库内平行料面发生大小不同的流化膨胀作用，有的区域卸料，有的区域流化，从而使库内料面产生倾斜，进行径向混合均化。

（4）预热分解

预分解技术的出现是水泥煅烧工艺的一次技术飞跃。它是在预热器和回转窑之间增设分解炉和利用窑尾上升烟道，设燃料喷入装置，使燃料燃烧的放热过程与生料的碳酸盐分解的吸热过程，在分解炉内以悬浮态或流化态下迅速进行，使入窑生料的分解率提高到 90%以上。将原来在回转窑内进行的碳酸盐分解任务，移到分解炉内进行；燃料大部分从分解炉内加入，少部分由窑头加入，减轻了窑内煅烧带的热负荷，延长了衬料寿命，有利于生产大型化；由于燃料与生料混合均匀，燃料燃烧热及时传递给物料，使燃烧、换热及碳酸盐分解过程得到优化。因而具有优质、高效、低耗等一系列优良性能及特点。

（5）熟料烧成

生料在旋风预热器中完成预热和预分解后，下一道工序是进入回转窑中进行熟料的烧成。

在回转窑中碳酸盐进一步的迅速分解并发生一系列的固相反应，生成水泥熟料中的 AC3、AFC4、SC2 等矿物。随着物料温度升高近 1300°C 时，AC3、AFC4、SC2 等矿物会变成液相，溶解于液相中的 SC2 和 CaO 进行反应生成大量 SC3（熟料）。熟料烧成后，温度开始降低。最后由水泥熟料冷却机将回转窑卸出的高温熟料冷却到下游

输送、贮存库和水泥磨所能承受的温度，同时回收高温熟料的显热，提高系统的热效率和熟料质量。

（6）水泥粉磨

水泥粉磨是水泥制造的最后工序，也是耗电最多的工序。其主要功能在于将水泥熟料（及胶凝剂、性能调节材料等）粉磨至适宜的粒度（以细度、比表面积等表示），形成一定的颗粒级配，增大其水化面积，加速水化速度，满足水泥浆体凝结、硬化要求。

②应用情况

因水泥窑具有处置量较大，成本较低等优势，国内部分区域已经采用水泥窑协同处置技术处置危险废物、市政污泥和城市垃圾，个别水泥窑企业经过设备改造和技术论证，尝试处理污染土壤或污泥。

水泥窑共处置污染土壤的单价约 800~1000 元/m³，优点是处置量较大，成本较低；缺点是不适用于沸点低的有机物污染土壤，不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤；由于水泥生产对进料中氯、硫等元素的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土的添加量。

4.1.6 土壤淋洗

①技术介绍

土壤淋洗修复技术，是利用淋洗液去除土壤污染物的过程，通过水力学方式机械地悬浮或搅动土壤颗粒，使污染物与土壤颗粒分离。土壤清洗干净后，再处理含有污染物的废水或废液。如果大部分污染物被吸附于某一土壤粒级，并且这一粒级只占全部土壤体积的一小部

分,那么可以只处理这部分土壤。土壤淋洗技术包括原位土壤淋洗和异位土壤淋洗。

原位土壤淋洗修复技术是根据污染物分布的深度,让淋洗液在重力或外力作用下流过污染土壤,使污染物从土壤中迁移出来,并利用抽提井或采用挖沟的办法收集洗脱液。洗脱液中污染物经合理处置后,淋洗液可以进行回用或达标排放,处理后的土壤可以再安全利用。

异位土壤淋洗修复技术流程为:挖掘土壤;土壤颗粒筛分,剔除杂物如垃圾、有机残体、玻璃碎片等,并将粒径过大的砾石移除;淋洗处理,在一定的土液比下将污染土壤与淋洗液混合搅拌,待淋洗液将土壤污染物萃取后,静置,进行固液分离;淋洗废液处理,含有悬浮颗粒的淋洗废液经处理后,可再次用于淋洗挥发性气体处理达标后排放。淋洗后的土壤符合控制标准,进行回填或安全利用,淋洗废液处理中产生的污泥经脱水后可再进行淋洗或送至最终处置场处理。

②应用情况

土壤淋洗技术在发达国家已有 30 年的成熟使用经验,可用于处置多种污染土壤。原位土壤淋洗修复技术适用于水力传导系数大于 10 cm/s 的多空隙、易渗透的土壤,如沙土砂砾土壤、冲积土和滨海土等。去除吸附态污染物,包括重金属、易挥发卤代有机物和非卤代有机物。异位土壤淋洗修复技术适用于粘粒含量低于 25%,被重金属、放射性核素、石油烃类、挥发性有机物、多氯联苯和多环芳烃等污染的土壤。

土壤淋洗技术处置污染土壤处置量大，适用于多种污染土壤，处置成本适中，约 1000~1500 元/m³，影响处置成本的主要因素是土壤物理性质。

4.1.7 植物/微生物修复

①技术介绍

利用植物进行提取、根际滤除、挥发和固定等方式移除、转变和破坏土壤中的污染物质，使污染土壤恢复其正常功能。

②应用情况

适用于重金属（如砷、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、铬、汞等）污染土壤，以及特定的有机污染（如石油烃、五氯酚、多环芳烃等）土壤。

适用于修复面积较大的场地，修复成本相对较低，二次污染较少。但修复周期较长，不适用于工期较短的工程。

4.1.8 原位生物通风技术

①技术介绍

通过向土壤中供给空气或氧气，依靠微生物的好氧活动，促进污染物降解；同时利用土壤中的压力梯度促使挥发性有机物及降解产物流向抽气井，被抽提去除。可通过注入热空气、营养液、外源高效降解菌剂的方法对污染物去除效果进行强化。

②应用情况

该技术在国外应用广泛，国内尚处于中试阶段。

原位生物通风技术是价格较低的修复技术，约 200~300 元/m³，适用于非饱和带污染土壤，可处理挥发性、半挥发性有机物。不适合于重金属、难降解有机物污染土壤的修复，不宜用于粘土等渗透系数较小的污染土壤修复；且修复周期相对较长。

4.1.9 土壤阻隔技术

①技术介绍

水平阻隔技术是一种基于风险管控的土壤修复方式，通过阻断场地内重金属的迁移，以避免扩散。采用的复合土工膜通常为为一布一膜。阻隔防渗施工流程：基层处理→铺设保护垫层→复合土工膜铺设→HDPE 膜焊接→HDPE 膜焊缝检测→土工布缝合→覆盖保护垫层。

②应用情况

该技术较为成熟，在国内外均有应用。适用于不同污染程度土壤的长期管控。

4.2 土壤修复技术可行性评估

4.2.1 修复技术筛选矩阵

根据场地调查风险评估结论，本场地土壤需修复的污染物为氰化物和六价铬。根据本方案的制定遵循“科学性、安全性、规范性、可行性、经济性”的总体原则，进行土壤修复技术的技术可行性评估，土壤修复技术筛选矩阵见表 4-1。

表 4-1 污染土壤修复技术筛选矩阵

序号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
1	原位化学氧化/还原技术	通过向土壤或地下水的污染区域注入氧化剂或还原剂,通过氧化/还原作用,使土壤或地下水中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质	技术成熟,国内有应用	视修复对象具体情况而定	中	化学氧化可处理石油烃、BTEX、酚类、MTBE、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物;化学还原可处理重金属类和氯代有机物等	受腐殖酸含量、还原性金属含量、土壤渗透性、pH 值变化影响较大	该技术成本中等,技术成熟,国内应用经验相对丰富,因此可建议可用于处置本场地氰化物污染土壤。
2	异位化学氧化/还原修复技术	将污染土壤清挖出以后,向污染土壤添加氧化剂或还原剂,通过氧化或还原作用,使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质	技术成熟,国内有应用	处理周期较短,一般为数周到数月	中	对高浓度苯系物、卤代烃和多环芳烃等有机污染物比较有效和经济	异位化学氧化不适用于重金属污染土壤的修复,对于吸附性强、水溶性差的有机污染物应考虑必要的增溶、脱附方式;异位化学还原不适用于石油烃污染物的处理	本方法对氰化物污染比较有效且经济,且本场地重金属和氰化物污染土壤不在同一区域,因此建议用此方处置氰化物污染土壤。

序号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
3	异位热脱附技术	在真空条件下或通入载气时，通过直接或间接热交换，将土壤中的有机污染物加热到足够的温度，以使有机污染物从污染介质上得以挥发或分离，进入气体处理系统的过程	技术成熟，国内已有应用	前期准备时间长，处置较快	较高	适用与多种挥发性、半挥发性有机物如卤代烃类、苯系物、农药等	设备投资较大，处置成本相对较高	该技术成熟、国内应用广泛，但由本地块土方量较小，相对成本较高，因此不建议使用
4	原位热脱附修复技术	通过升高污染区域的温度，改变污染物的物化性质（蒸汽压及溶解度增加，粘度、表面张力、亨利系数及土水分配系数减小），促进土壤污染物脱附进入气相，再被抽提脱离地下环境	较为成熟，国外应用广泛，国内少量应用	相对较快	高	适用于大部分有机物污染土壤，并适合处理汞污染土壤、NAPL等污染物污染的土壤和地下水	工艺较为复杂，且投资大，处置成本高	该技术成本过高、且国内应用经验少，因此不建议采用
5	固化/稳定化技术	向污染土壤中添加固化剂/稳定化剂，充分混合，使其与污染介质、污染物发生物理、化学作用，将污染土壤固封为结构完整的具有低渗透系数的固化体，或将污染物转化成化学性质不活泼形态，降低污染物在环境中的迁移和扩散。	成熟	较短	较低	可处理金属类、石棉、放射性物质、腐蚀性无机物、氰化物以及砷化合物等无机物；农药/除草剂、石油或多芳烃类、多氯联苯类以及二噁英等有机化合物。	不适用于挥发性和以污染物总量为验收目标的项目。当需要添加较多的固化/稳定剂时，对土壤的增容效应较大，会显著增加后续土壤处置费用。	本场地重金属主要为0~0.5m范围污染，可使用异位修复技术，将污染土壤与固化剂/稳定剂充分混合，建议用此方法处置重金属污染土壤

序号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
6	水泥窑协同处置技术	利用水泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性环境、无废渣排放等特点，在生产水泥熟料的同时，焚烧固化处理污染土壤	较成熟/国内应用较多	由于受水泥品质限制，添加配比较低，处理能力视水泥窑数量和容量而定	中等	适用于不宜挥发的重金属污染的固化及几乎全部有机污染物的破坏去除，污染物去除比较长久彻底	不适用于沸点低的有机物污染土壤，不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤	该技术前期投入高，本地块需修复土方量较小，相对成本较高，因此不建议使用
7	原位淋洗技术	根据污染物分布的深度，让淋洗液在重力或外力作用下流过污染土壤，使污染物从土壤中迁移出来，并利用抽提井或采用挖沟的办法收集洗脱液。洗脱液中污染物经合理处置后，淋洗液可以进行回用或达标排放，处理后的土壤可以再安全利用	成熟可靠	1~3年	中	适用于水力传导系数大于10cm/s的多空隙、易渗透的土壤，如沙土砂砾土壤、冲积土和滨海土等。去除吸附态污染物，包括重金属、易挥发卤代有机物和非卤代有机物	不适用于低渗透性污染场地的处理，可能会污染地下水，无法对去除效果与持续修复时间进行预测。	考虑到该技术可能存在地下水污染风险，不建议采用

序号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
8	异位淋洗技术	异位土壤淋洗修复技术流程为：挖掘土壤。土壤颗粒筛分，剔除杂物如垃圾、有机残体、玻璃碎片等，并将粒径过大的砾石移除。淋洗处理，在一定的土液比下将污染土壤与淋洗液混合搅拌，待淋洗液将土壤污染物萃取后，静置，进行固液分离。淋洗废液处理，含有悬浮颗粒的淋洗废液经处理后，可再次用于淋洗挥发性气体处理达标后排放。淋洗后的土壤符合控制标准，进行回填或安全利用，淋洗废液处理中产生的污泥经脱水后可再进行淋洗或送至最终处置场处理。	成熟可靠	0.5~2年	中	适用于粘粒含量低于 25%，被重金属、放射性核素、石油烃类、挥发性有机物、多氯联苯和多环芳烃等污染的土壤	不适合于土壤细粒（粘/粉粒）含量高于 25% 的土壤	该技术对场地水文地质、土壤特性和运行条件等要求较高，因此不建议使用
9	植物/微生物修复技术	原理：利用植物进行提取、根际滤除、挥发和固定等方式移除、转变和破坏土壤中的污染物质，使污染土壤恢复其正常功能	技术成熟/国内外项目均有应用	较长，需要数年	较低	适用于重金属（如砷、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、铬、汞等）污染土壤，以及特定的有机污染（如石油烃、五氯酚、多环芳烃	对植物根系以下部分的污染物作用很小，对深度污染的土壤不适用。修复周期较长，不适用于工期较短的工程	本场地工期要求相对紧张，因此不建议采用该技术

序号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
						等)土壤。适用于修复面积较大的场地		
10	原位生物通风技术	通过向土壤中供给空气或氧气,依靠微生物的好氧活动,促进污染物降解;同时利用土壤中的压力梯度促使挥发性有机物及降解产物流向抽气井,被抽提去除。可通过注入热空气、营养液、外源高效降解菌剂的方法对污染物去除效果进行强化	国外应用广泛,国内尚处于中试阶段	较长,需要数年	低	适用于非饱和带污染土壤,可处理挥发性、半挥发性有机物。不适合于重金属、难降解有机物污染土壤的修复,不宜用于渗透系数较小的污染土壤修复	修复周期相对较长,适用于对土地修复时间没有严格限制的工程	本场地亟待开发,对场地修复工程工期要求较高,且此技术不适合处理重金属,因此不建议采用该技术
11	土壤阻隔技术	水平阻隔技术是一种基于风险管控的土壤修复方式,通过阻断场地内重金属的迁移,以避免扩散	技术成熟/国内外项目均有应用	施工时间段	低	适用于不同类型的污染场地	管控周期较长	本场地0~0.5 m深度范围内的六价铬污染土经修复回填后应进行长期管控,建议采用该技术

4.2.2 案例分析

案例一：上海某汽车厂场地修复工程项目

(1) 土壤污染物及污染浓度：多环芳烃有机污染物，具体情况见表下表。

表 4-2 上海某汽车厂土壤污染物浓度

超标点位	超标深度	污染物名称	检出浓度(mg/kg)	修复目标值(mg/kg)
1#	0.5m	苯并(a)蒽	28.4	2.94
		苯并(a)芘	16.7	0.4
		苯并(b)荧蒽	22.7	2.95
		茚并(1,2,3-cd)芘	4.7	2.95
		二苯并(a,h)蒽	1.4	0.29
	1.0m	苯并(a)芘	1.6	0.4
		二苯并(a,h)蒽	0.3	0.29
2#	1.0m	苯并(a)芘	0.7	0.4
3#	1.0m	苯并(a)蒽	5.4	2.94
		苯并(a)芘	4.9	0.4
		苯并(b)荧蒽	6.4	2.95
		茚并(1,2,3-cd)芘	3	2.95
		二苯并(a,h)蒽	0.3	0.29
4#	0.5m	苯并(a)芘	1	0.4

(2) 工艺参数：在对原污染区域开挖后，使用 3~5% 的过硫酸盐类药剂实施异位化学氧化处理。

(3) 修复效果：所有效果评估监测土壤样品均达到了修复目标值的要求。

案例二：上海闵行某污染场地修复工程项目

(1) 污染物及污染浓度：多环芳烃及其它有机污染物，其中土壤中多环芳烃的污染情况如下表所示：

表 4-3 上海闵行某污染场地土壤污染物浓度

污染物名称	最大值 (mg/kg)	修复目标值 (mg/kg)
苯并(a)蒽	25.9	0.73
苯并(b)荧蒽	89.2	0.73
苯并(a)芘	51.7	0.4
茚并(1,2,3-cd)芘	15.8	0.73
二苯并(a,h)蒽	10.21	0.1

(2) 处理方法：采用异位化学氧化技术进行修复。修复药剂选用过硫酸盐类复配药剂，配合碱激活剂使用，氧化剂添加量为污染土方量的 2% (质量比)，激活剂的添加量为氧化药剂的 40% (质量比)。

(3) 修复效果：经异位化学氧化处理后，效果评估监测中苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽均未检出，苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、茚并(1,2,3-cd)芘检出浓度均低于修复目标值，经第三方检测机构效果评估达标。

案例三：广西某搬迁化工厂场地修复

(1) 污染物及污染浓度：六价铬，污染浓度详见下表。

表 4-4 山东青岛某污染场地污染物浓度

污染物名称	最大值 (mg/kg)	修复目标值 (mg/kg)
六价铬	78	5.7

(2) 处理方法：采用异位固化/稳定化技术进行修复。修复药剂为自主研发的药剂 D，主要成分为高效还原剂及胶凝材料。药剂添加比例为 6%。

(3) 处理效果：经异位固化/稳定化处理，所有样品中六价铬检出浓度均低于修复目标值，经第三方检测机构效果评估达标。

案例四：江苏泰州某污染场地修复

(1) 污染物及污染浓度：镍，污染浓度详见下表。

表 4-5 江苏泰州某污染场地污染物浓度

污染物名称	最大值 (mg/kg)	修复目标值 (mg/kg)
六价铬	3556	900

(2) 处理方法：采用土壤阻隔技术进行修复及管控。采用的复合土工膜（1.0 mm HDPE 膜，500 g/m² 土工布）为一布一膜。

(3) 处理效果：经阻隔施工后，土壤长期管控监测中未发现镍污染泄漏。

4.2.3 小试试验

(1) 化学氧化小试试验

本次氰化物污染土壤的小试试验样品取自调查阶段污染最严重的点位（C7）附近，深度为表层到 0.5m，采集土壤样品共计约 6.0kg。对采集的土壤样品在实验室进行筛分和混匀等处理后，进行化学氧化实验。样品共分为四份，每份土壤取 1kg 左右，采用的药剂为氢氧化钠活化的过硫酸钠，氢氧化钠与过硫酸钠的质量比例为 4:10。

具体实验设计见下表，实验过程照片见图 4-5~图 4-8。其中药剂投加量为过硫酸钠相较土壤的质量分数。

表 4-6 化学氧化小试实验设计

来源	样品编号	药剂投加量
氰化物污染区域（C7）	QH-1	0.5%
	QH-2	1%
	QH-3	1.5%
	QH-4	2%



图 4-5 采集的土壤照片



图 4-6 筛分前（左图）、后（右图）土壤照片



图 4-7 污染土壤加药剂后搅拌



图 4-8 检测分析

对该四份样品按设计比例添加碱活化过硫酸钠后，进行搅拌混合，搅拌后养护五天。该药剂对本场地氰化物的试验效果如下表所示。土壤中氰化物的测定参考《土壤氰化物和总氰化物的测定分光光度法》（HJ 745-2015），在本公司实验室由专业测试人员进行测定。

表 4-7 氧化药剂对土壤处理效果

样品编号	药剂投加	污染物	处理前浓度 (mg/kg)	处理后浓度 (mg/kg)	修复目标值 (mg/kg)
QH-1	0.5%	氰化物	1218	821	161
QH-2	1%			315	
QH -3	1.5%			91.6	
QH-4	2%			21.2	

小试实验结论：添加 0.5%时，有一定效果，但是效果不太明显，这和土壤中本身含有还原性物质有关；当药剂添加量达到 1%，有显著效果，但是仍不满足修复目标值要求；当加入药剂的量为 1.5%时，氰化物浓度即可达到修复目标值；进一步增加比例到 2%，氰化物浓度进一步降低。考虑到工程实施过程中药剂与污染土壤的混合程度，工程拟采用 2%的药剂投加比例。实际施工过程中要随时检测污染物的浓度，并对添加药剂剂量进行调整。

（2）固化稳定化小试试验

本次六价铬污染土壤的小试试验样品取自调查阶段污染最严重的点位（C17）附近，深度为表层到 0.5m，同样采集土壤样品共计约 6.0kg。对采集的土壤样品在实验室进行筛分和混匀等处理后，进行固化/稳定化实验。样品共分为四份，每份土壤取 1kg 左右，采用的药剂为我公司自主研发的高效药剂 D，该药剂对六价铬的还原和固化/稳定化具有较好的效果。

具体实验设计见下表，实验过程照片见图 4-5~图 4-7。其中药剂投加量为 D 药剂质量相较土壤的质量分数。

表 4-8 固化稳定化小试实验设计

来源	样品编号	药剂投加量
六价铬污染区域 (C17)	ZJ-1	1%
	ZJ-2	2%
	ZJ-3	3%
	ZJ-4	5%

对该四份样品按设计比例添加 D 药剂后，进行搅拌混合，搅拌后养护五天。该药剂对本场地六价铬的试验效果如下表所示。土壤中六价铬的测定参考美国 USEPA 《六价铬的测定 比色法》 3060A-1996 和 USEPA 7196A-1992 的方法，在本公司实验室由专业测试人员进行测定。

表 4-9 固化/稳定化药剂对土壤处理效果

样品编号	药剂投加	污染物	处理前浓度 (mg/kg)	处理后浓度 (mg/kg)	修复目标值 (mg/kg)
QH-1	1%	六价铬	182	174	78
QH-2	2%			76	
QH-3	3%			34	
QH-4	5%			21	

小试实验结论：添加 1%时，六价铬浓度基本未变，效果较差，这和文献和工程案例较为一致，六价铬的修复主要采取还原机理的药剂，所需药剂较化学氧化要多；当药剂添加量达到 2%，有显著效果，且六价铬浓度即可满足修复目标值要求；当加入药剂的量为 3%和 5%时，六价铬浓度进一步降低。考虑到工程成本及实施过程中药剂与污染土壤的混合程度，工程拟采用 3%的药剂投加比例。实际施工过程中要随时检测污染物的浓度，并对添加药剂进行调整。

4.3 技术筛选结论

六价铬污染土壤的异位固化稳定化技术，国内外已有较多成功案例，我单位目前也已实施数项六价铬的异位固化稳定修复项目，效果较好。且本项目污染浓度较低，该技术较为成熟，建议采用。

对氰化物污染土壤的修复，美国 EPA 推荐技术之一为异位化学氧化技术。美国已有较多成功案例，对低浓度的氰化物修复场地，化学氧化能够达到较好的效果，建议采用。

综上所述比较各土壤修复技术的优缺点，针对本场地的土壤污染特征、水文地质条件以及场地开发用途、时间要求，及目前国内外相关的案例，并经小试试验后，本项目建议针对六价铬污染土壤建议采用异位固化/稳定化技术进行处理；对本场地氰化物污染土壤，建议采用异位化学氧化技术进行处理，对上述异位修复后的土壤原址阻隔回填。

5. 修复方案设计

5.1 修复技术路线

该项目的整体修复技术路线如下图所示：

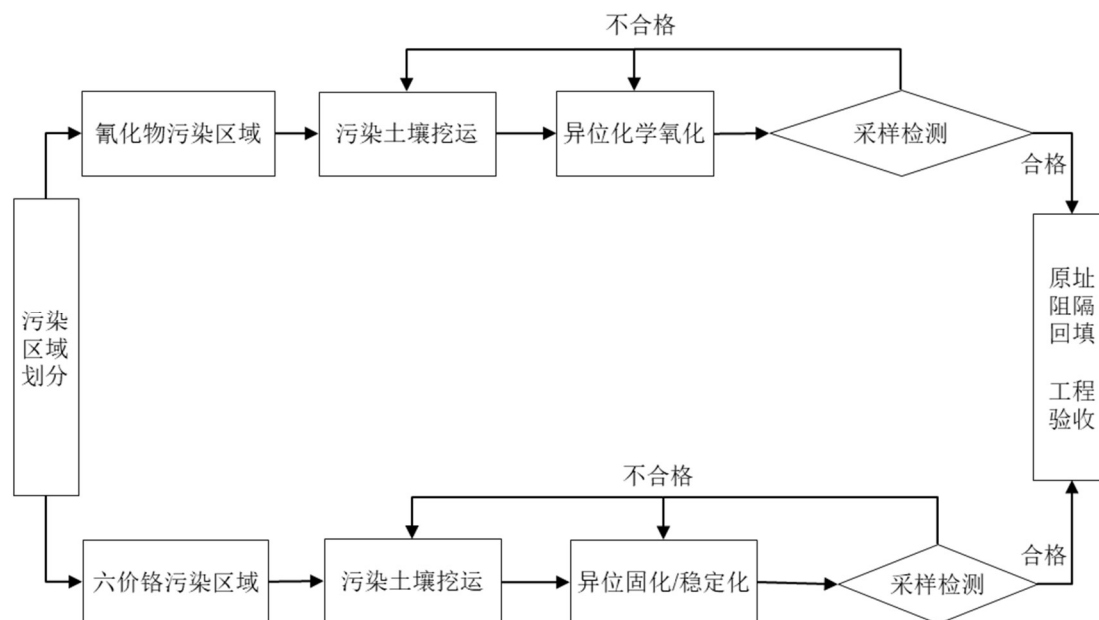


图 5-1 修复技术路线图

5.2 氰化物异位化学氧化工艺

异位化学氧化修复工艺流程如下图所示，工艺流程：定位放线→区域区分、标记→污染土壤挖运→基坑自检和验收→污染土壤异位化学氧化→药剂与土壤搅拌施工→养护→修复后土壤自检和验收→阻隔回填。

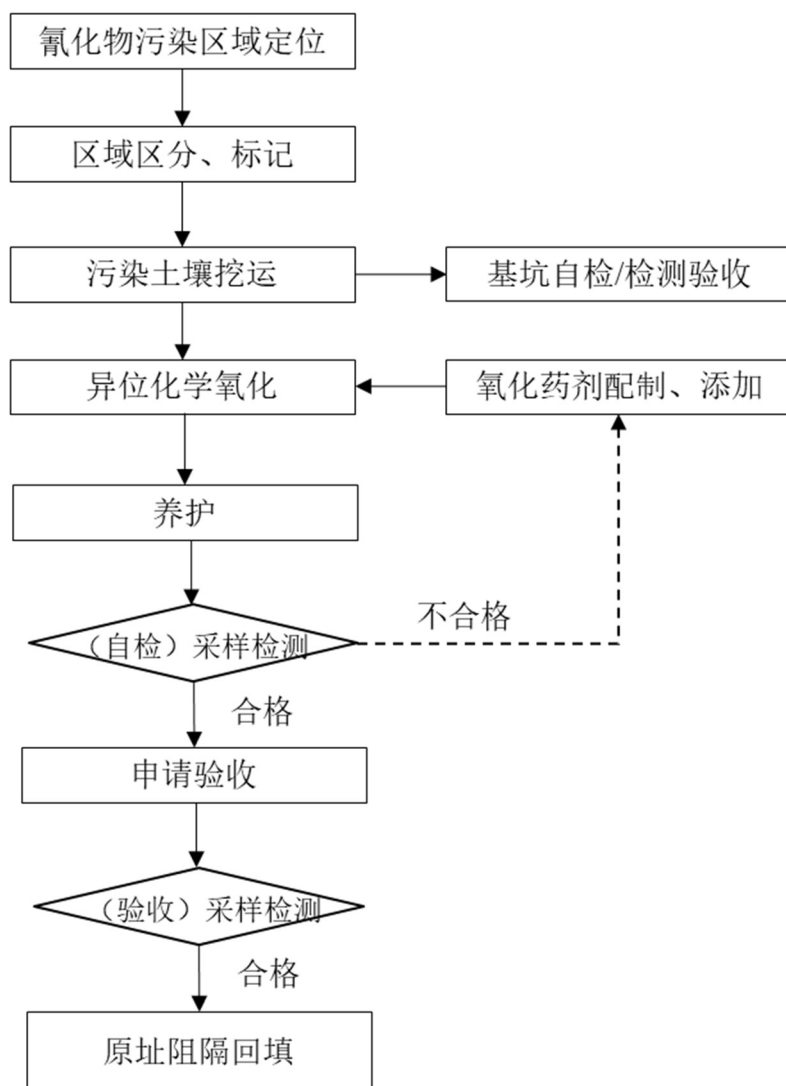


图 5-2 异位化学氧化工艺流程

5.3 六价铬异位固化/稳定化工艺

异位固化/稳定化修复工艺流程如下图所示，工艺流程：定位放线→区域区分、标记→污染土壤挖运→基坑自检和验收→污染土壤异位固化稳定化→药剂与土壤搅拌施工→养护→修复后土壤自检和验收→阻隔回填。

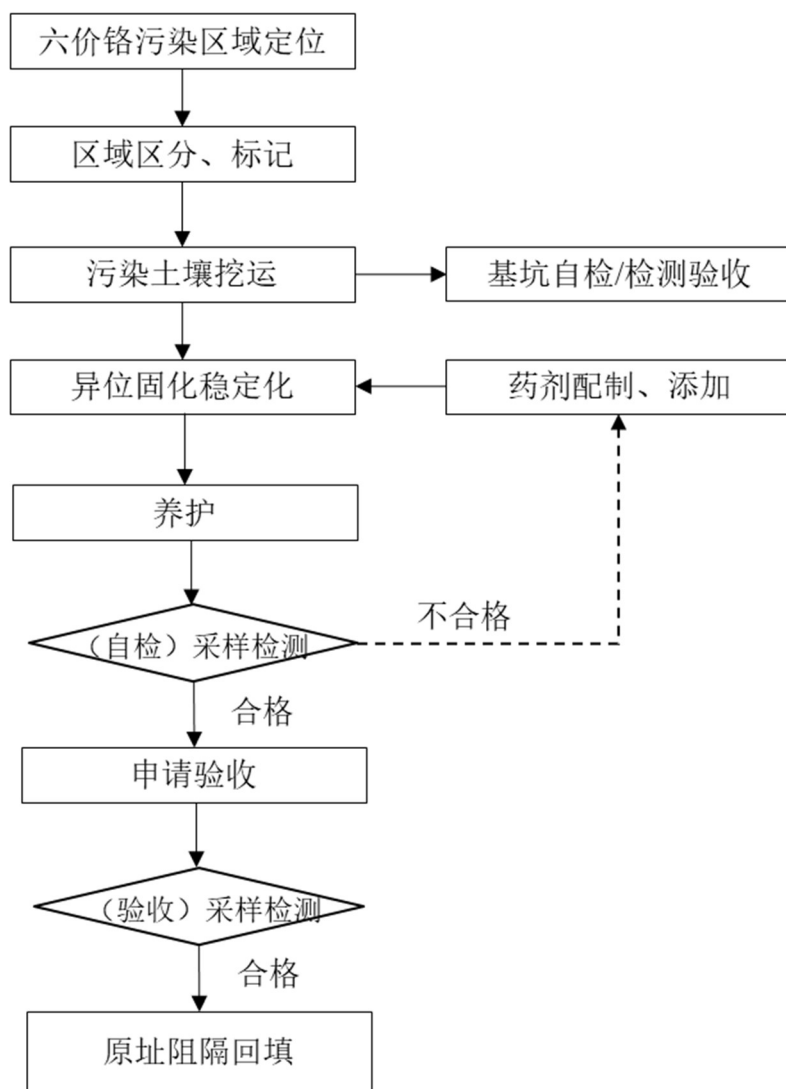


图 5-3 异位固化/稳定化工艺流程

5.4 原址阻隔回填

阻隔技术是一种基于风险管控的土壤修复方式，通过阻断场地内污染物的迁移，以避免扩散。本工程基坑验收、修复后土壤验收后，对修复后的土壤采取阻隔回填。采用的阻隔形式为复合土工膜（1.0 mm HDPE 膜，500 g/m² 土工布）即一布一膜。

阻隔回填施工流程：基层处理→铺设保护垫层→复合土工膜铺设→HDPE 膜焊接→HDPE 膜焊缝检测→土工布缝合→覆盖保护垫层→修复后土壤回填。

5.5 修复技术工艺参数

5.5.1 化学氧化修复技术

5.5.1.1 药剂参数

可选择的化学氧化药剂有 Fenton 试剂、过硫酸盐、高锰酸盐、臭氧等。由工程经验可知，高锰酸盐的氧化能力弱、感官不易接受而应用受限；臭氧由于易分解、气体的传质阻力降低其修复效果。因此，常用的药剂有 Fenton 试剂及过硫酸盐，这两种药剂的氧化能力均很强，现对两种药剂进行比较。

表 5-1 常用化学氧化药剂比较

药剂名称	反应机理及氧化电位 (Eh)	形态	药剂持续时间	应用特点
Fenton 试剂	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{OH}^{\cdot} + \cdot\text{OH} + \text{Fe}^{3+};$ 2.7V	液体	几分钟至数小时	(1) 氧化能力强； (2) 添加到土壤后，药剂会迅速分解，不利于药剂的扩散，在粘土场地不适用； (3) 芬顿试剂主要有效成分为双氧水，易爆炸； (4) 药剂加入到土壤后会产生大量的热和气体，使得部分污染物被挥发出土壤而非降解，造成污染物的转移和安全隐患； (5) 由于该技术的 SOD 值较高，不适用于有机质含量较高的污染土壤。
过硫酸盐	$\cdot\text{SO}_4^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2\cdot}$ $\text{OH} + \text{e}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ $\cdot\text{OH} + \text{e}^- \rightarrow \text{OH}^-;$ 2.6V	粉末/溶液	2-3 月	(1) 经活化后过硫酸盐的氧化能力与芬顿试剂相当，对于大部分污染物均有较好的降解效果； (2) 活化过硫酸盐的药剂持续作用时间长，有利于药剂降解更多的污染物，即便粘土污染场地也适用； (3) SOD 值明显偏小，对于有机质含量较高的土壤也不会影响其作用效果，降低药剂投加量，从而节约成本； (4) 药剂使用过程中不会产生热和气体，不存在安全隐患；

药剂名称	反应机理及氧化电位 (Eh)	形态	药剂持续时间	应用特点
				(5) 同时过硫酸盐属于固态物质, 更加便于贮存和运输。

通过对两种药剂的比较, 并结合该场地的污染物种类及修复方式, 从安全、经济及环保的角度考虑, 选用活化的过硫酸盐作为氧化药剂。

常用的活化方式包括双氧水活化、碱活化、亚铁/螯合过渡金属活化和热活化等方式, 本单位对不同活化方式均有丰富的现场实施经验, 能够根据现场条件选择最佳的氧化剂实施方式和活化方式, 保证现场污染物全部被降解。对于该场地特点, 选用更经济、安全及高效的碱活化的活化方式, 活化药剂选用的是氢氧化钠。

根据本单位的工程经验及场地实际情况, 初步拟定氧化药剂(过硫酸钠)的添加量为 2%, 活化药剂(氢氧化钠)的添加量为 0.8%。在使用时将药剂配制成溶液形式。


该项目共需修复 383.24 m³ 氰化物污染土壤, 共需 12.3 t 过硫酸钠, 4.9t 氢氧化钠。

5.5.1.2 设备参数

异位化学氧化修复使用的主要设备为 Allu 斗筛分设备, 参数如下:

表 5-2 异位化学氧化处置主要设施、设备参数

设备名称	Allu 斗筛分设备
型号	PM500+PF7
技术参数	处理能力: 20m ³ /h; 功率: 160kw; 1 台
功能	实现污染土壤与药剂拌合功能

筛分斗	
-----	------------------------------------------------------------------------------------

5.5.2 固化/稳定化修复技术

5.5.2.1 药剂参数

根据本场地地质条件及污染物分布状况，结合工程实施经验，综合考虑适用性和经济性，本工程拟采用自主研发的药剂 D，主要成分为高效还原剂及胶凝材料。

D 药剂与六价铬反应是一种物理化学还原作用，在一定 pH 的范围内，高效还原剂将六价铬还原成稳定的三价铬，之后胶凝材料经过物理化学反应（如螯合、络合及水化反应等）将重金属固定在混合体内，更进一步减少污染废物在固化体中的迁移率，降低重金属的释放，达到污染土壤的无害化处理。

根据本单位的小试试验和工程经验，拟加入药剂量为 3%。需修复的土方量为 59.64 m³，共计药剂 3.8 t。

5.5.2.2 设备参数

固化/稳定化修复使用的主要设备为 Allu 斗筛分设备，数量 1 台，参数详见表 5-2。

5.6 修复工程量估算

5.6.1 异位化学氧化修复范围

采用异位化学氧化技术修复氰化物。在本项目中，氰化物超标需修复的总土方量为 383.24m³，其中 0~0.5m、0.5~1.0m、1.0~1.5m

土层修复范围一致,且修复边界位于 1.5~2.0m 土层超标修复范围内,土方量均为 84.66m³, 1.5~2.0m 土层超标修复土方量为 129.26m³。

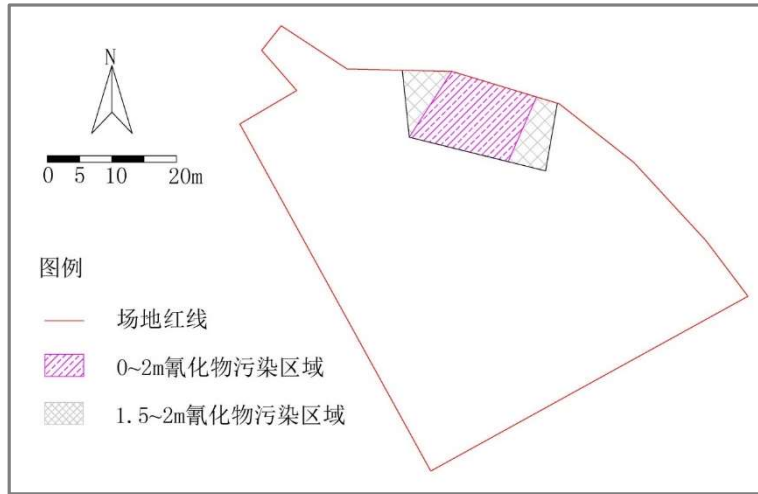


图 5-4 异位化学氧化修复范围

5.6.2 异位固化/稳定化修复范围

六价铬仅 0~0.5m 土层超标, 需修复的土方量为 59.64m³。

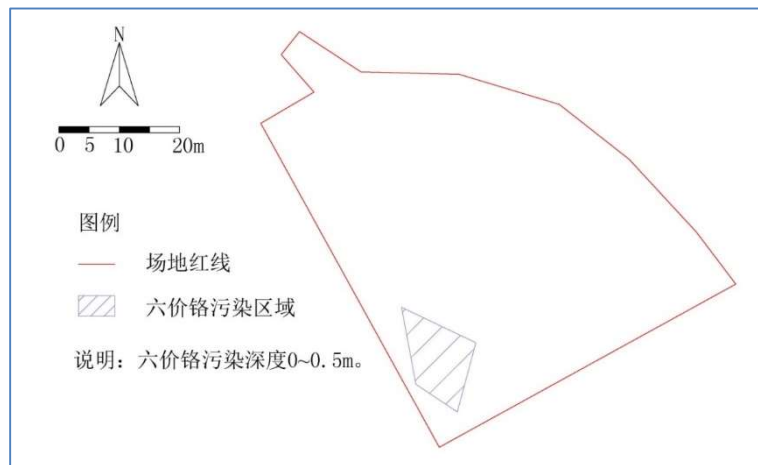


图 5-5 异位固化/稳定化修复范围

5.7 总施工平面布置

根根据工艺及现场条件,将现场主要划分为污染区、办公生活区、异位修复(异位化学氧化、异位固化/稳定化)区域、土壤暂存区、废水池、药剂仓储区及办公生活区。

各区之间留有充分的施工距离及安全卫生防护距离。各区之间通

过道路连接,保证物质、人力、材料的高效率调度,亦便于施工管理。

各个区域的面积如表 5-3 所示。施工总平面布置如图 5-6 所示。

表 5-3 临时用地表

序号	用途	规格	面积/长度	备注
1	办公生活区	10m×10m	100m ²	
2	土壤暂存区	15m×20m	300m ²	
3	废水池	9m×13m	117m ²	
4	药剂仓储区	15m×7m	105m ²	
5	土壤异位处置区	15m×20m	300m ²	
6	施工道路	宽 6m	20m	

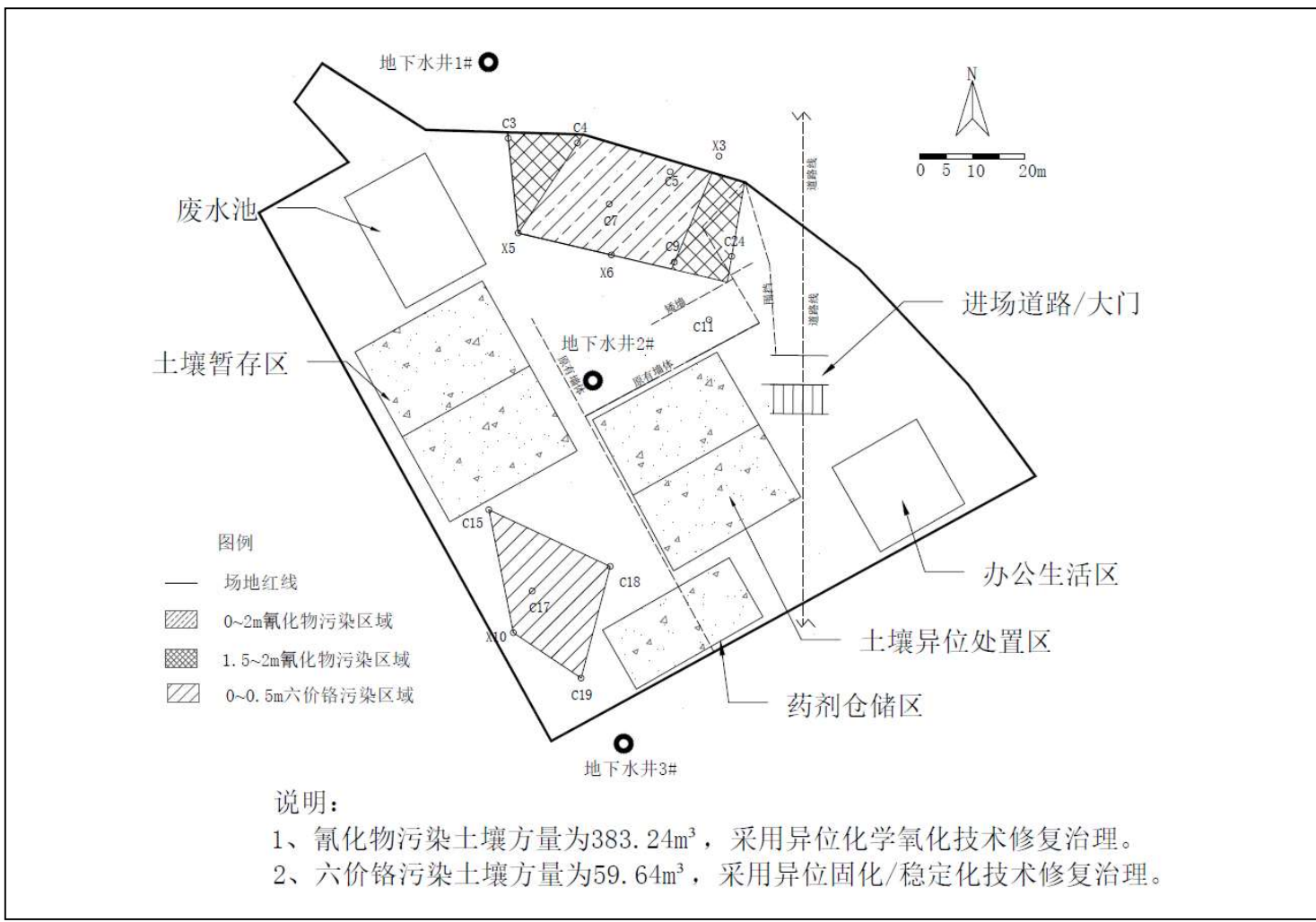


图 5-6 施工平面布置图

5.8 修复工程费用估算

根据该场地的污染情况和修复范围，预估算修复工程费用为 89.19 万元。

表 5-4 场地修复费用

序号	项目名称	单位	工程量	单价	合计	
1	场地平整、建筑物加固				50000	
2	临时设施建设（道路、异位处置区、暂存区、仓库、办公生活区、废水池等）	项			450000	
3	ALLU 斗搅拌、混合施工	m ³	442.88	800.00	238250	
3.1	过硫酸钠	t	12.3	8000	98400	
3.2	氢氧化钠	t	4.9	500	2450	
3.3	自主研发的药剂 D，主要成分为高效还原剂及胶凝材料。	t	3.7	2000	7400	
3.4	机械费	台班	26	3000	130000	
4	检测费				30000	
5	安全文明				50000	
6	税金		811100	9%	73642.5	
	合计				891892.5	

5.9 修复进度计划

本场地污染土壤的修复工作周期约 150 天，其中修复方案的评审及备案工作、环评等约 25 天，施工准备 10 天，污染土壤修复施工 35 天，基坑及修复后土壤验收 35 天，原址阻隔回填 13 天，竣工报告评审及备案 32 天。

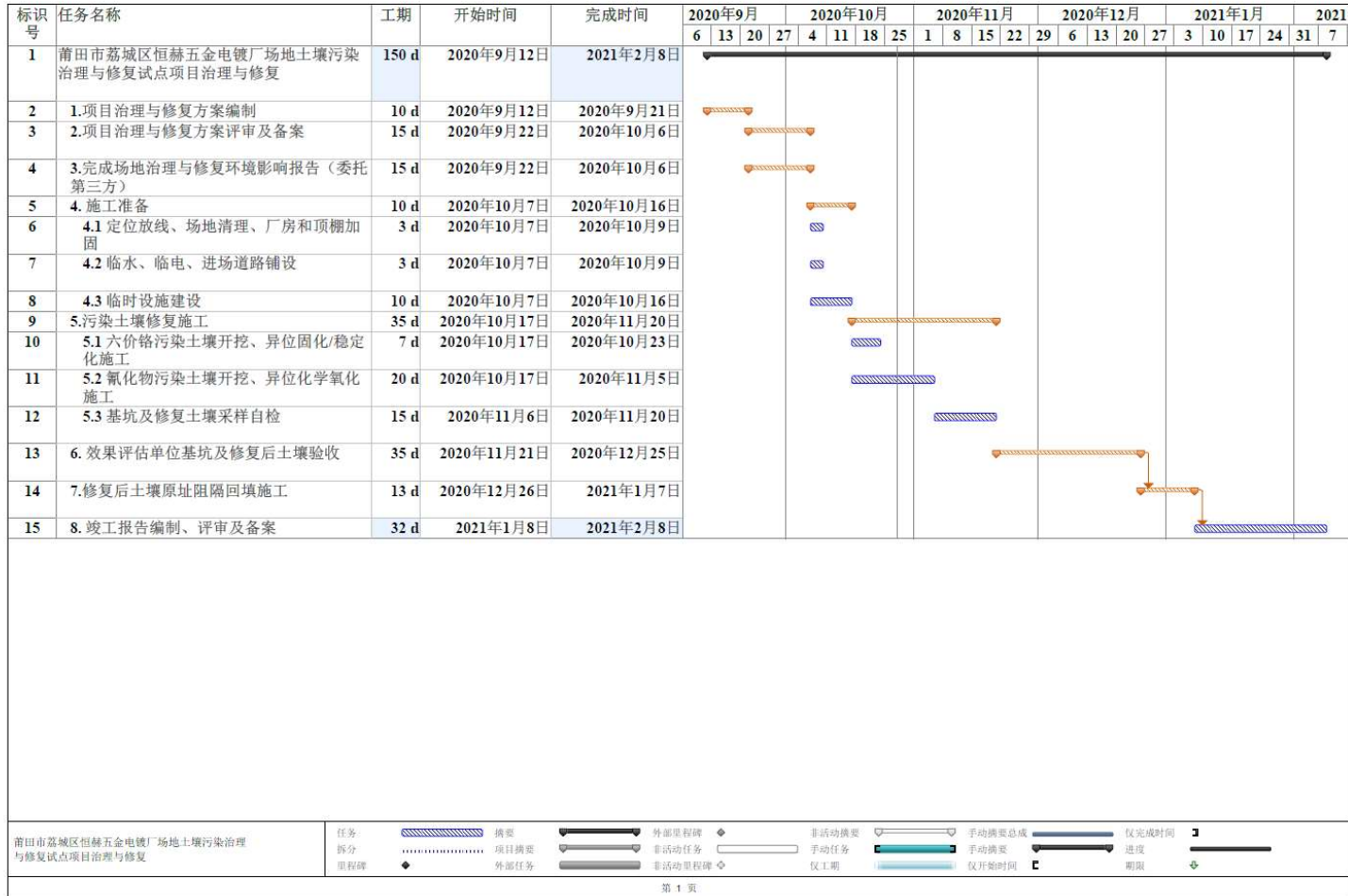


图 5-7 工程实施进度计划

6. 环境管理计划

6.1 修复工程监理

本工程需在现场配备监理员 2 名，主要负责如下工作：

- (1) 审核技术文件及工程修复方案的完整性；
- (2) 制定环境监理的内容、范围、方式、程度、进度和组织机构等；
- (3) 监督二次污染防治措施的落实情况；
- (4) 监督监测计划和环境应急安全计划的实施情况等。

污染地块修复工程环境监理工作包括施工准备阶段环境监理、工程实施阶段环境监理和竣工验收阶段环境监理，工作流程如图 6-1 所示。

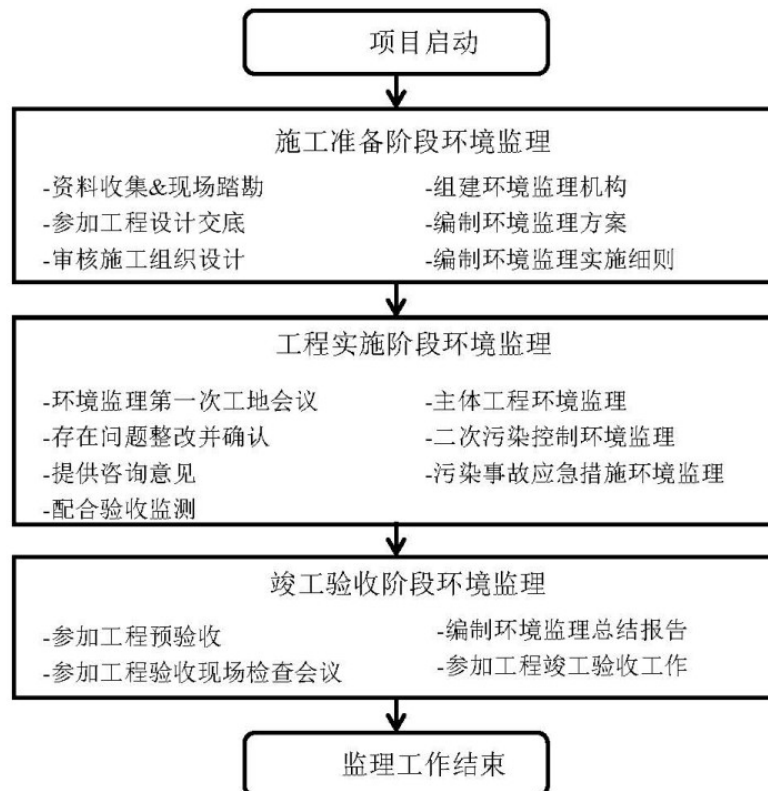


图 6-1 监理工作流程

6.1.1 施工准备阶段监理

(1) 资料收集与现场踏勘

①资料收集

环境监理单位需要收集的资料包括但不限于以下内容：

- a)地块调查报告、地块修复方案、地块修复实施方案等技术文件；
- b)环境保护主管部门的相关批复文件；
- c)地块及周边环境资料；
- d)相关法律法规和标准。

②现场踏勘

应对地块及周边区域进行现场踏勘。现场踏勘的主要内容包括：地块及周边区域现状、环境敏感目标和地块修复工程施工条件等。现场踏勘的工作方法包括摄影和照相、现场记录、人员咨询等方式。

(2) 核查污染防治措施的符合性

应核查污染防治措施是否符合国家相关法律法规与标准的规定；应核查配套环保设施是否与主体修复设施同时设计，其主要技术指标是否满足修复方案及环境主管部门批复文件的要求。

若污染防治措施不符合相关规定，配套环保设施未同时设计或其技术指标未满足相关要求，应及时反馈建设单位，建议建设单位增加相应的设计内容和污染防治措施。

应核对修复工程实施方案与修复方案的符合性。

若修复工艺发生调整，应对调整的内容及其可能产生的环境影响进行初步判断，并及时反馈建设单位，建议建设单位完善环保设施和污染防治措施、办理相关环保手续。

(3) 建立环境监理体系和制度

应建立环境监理工作记录制度、文件审核制度、报告制度、会议制度等，规范环境监理工作，用于协调解决修复工程实施过程中可能产生的问题。

应督促建设单位针对修复工程产生的废水、废气、噪声等污染物建立相应的污染防治措施和操作规程。

应督促建设单位落实各类环保协议、相关环保手续的办理工作。应督促建设单位建立完善有效的环保责任体系，明确分工、责任到人。

(4) 核实污染防治措施的落实情况

应核实配套环保设施是否与主体修复设施同时建设，其主要技术指标是否满足修复工程实施方案的要求；应核查试运行期间的排放指标是否符合相关标准要求。

若配套环保设施建设与试运行未达到相关要求，应及时反馈建设单位，建议其整改。

6.1.2 工程实施阶段监理

工程实施阶段环境监理工作包括：召开环境监理第一次工地会议，根据环境监理实施细则开展主体工程环境监理、二次污染控制环境监理、污染事故应急措施环境监理。重点对施工内容落实及变化情况、二次污染控制措施落实情况和污染事故应急措施落实情况实施监理；同时为建设单位提供技术咨询，对存在的问题提出整改意见，并告知施工单位。

(1) 第一次环境监理工地会议

环境监理单位组织建设单位和施工单位召开第一次环境监理工地会议，由环境监理单位根据环境监理实施细则向建设单位和施工单位进行修复工程环境监理工作交底，明确环境监理的关注点与监理要

求。环境监理单位应就会议结果形成交底记录，并由建设单位、施工方和环境监理单位三方签字确认。第一次工地会议还须邀请验收监测单位参加，由验收监测单位进行验收监测方案交底，明确工程验收监测程序，工程实施中各单位和验收监测单位的协同工作内容等。

（2）主体工程环境监理

1）检查治理修复区域的现场放样工作

根据技术方案和施工组织设计检查施工单位的现场放样工作，核实放样范围是否符合技术方案和施工组织设计中确定的治理修复范围要求。

2）核实确认工程实施地块平面布置

根据技术方案和施工组织设计核实确认工程实施地块的平面布置。

3）核实环境敏感区域与主体工程位置关系

核实工程区域与环境敏感区域位置关系是否发生重大变化，变化带来的环境影响是否可以接受。

4）检查土壤暂存情况

如有污染土壤的分类暂存情况，重点检查污染土壤的分类是否符合技术方案和施工组织设计要求。

5）核查工程材料和设备

协助建设单位对工程材料进行检查，如防渗膜，修复药剂及其它工程耗材等，重点检查工程材料质量和数量是否符合技术方案和施工组织设计的要求。

核查进场仪器设备与施工组织设计的相符性，监督各施工设备、修复设施、单元系统和其他构筑物的构建。

6) 监督修复工程实施过程

对施工工地进行日常巡查，对主体工程与设计文件的相符性及各项工艺的落实情况进行监督，对治理修复工程的各个关键环节/工序进行检查。

7) 主体工程环境监理要点

污染地块主体修复工程环境监理关键环节或要点应根据工程修复模式和具体的修复技术确定。

污染地块工程控制主体工程环境监理要点应根据工程控制模式和具体的工程控制措施确定，做好施工过程中各关键工序的质量检查与验收。

8) 工程进度控制工作

根据施工单位上报的进度计划，检查进度计划的实施并记录实际进度及其相关情况。

9) 工程计量管理工作

环境监理工程师对施工单位完成的工程量进行现场计量，按施工合同的约定审核工程量清单，签署工程量签证单和工程款支付申请表，并报环境监理总监审定，环境监理总监签署工程款支付证书，并报建设单位。

就上述主体工程监督和检查中发现的问题，环境监理机构应及时通知相关单位，并提出改进措施要求。对于重大问题，应向建设单位递交《环境监理联系单》，并同时向施工方下达《环境监理整改通知单》或《环境监理停工通知单》，责令整改。整改完成后，施工方填写《环境监理整改消项单》，由环境监理单位检查签字认可当发现实际进度滞后于计划进度时，应向建设单位递交《环境监理联系单》，

并签发《环境监理整改通知单》指令施工单位采取调整措施。当实际进度严重滞后于计划进度时应及时报环境监理总监，由环境监理总监与建设单位商定采取进一步措施。

（3）二次污染控制环境监理

在污染地块修复工程实施过程中，核实二次污染控制措施与修复方案及施工组织设计的相符性，指导施工方落实各项二次污染防治措施，并针对工程运行过程和周边敏感区域开展必要的环境监测。监测范围包括修复工程技术方案中确定的地块修复范围，以及治理修复中废水、废气及废渣影响的区域范围。

1) 检查地块修复工程区域、暂存区域、设备区域和工程材料储存区域的防渗防漏措施落实情况，对于涉及产生危险废物情况的治理修复工程，还应检查地块危险废物的贮存条件：

2) 检查主体工程设备、地面废水处理设施、废气处理设施和运输车辆（或其它交通工具或运输机械）等的密封性，对潜在二次污染产生源实施环境监理；

3) 检查工程运行过程中产生的废水、废气、废渣和噪声等排放情况及其对周边环境敏感区域的影响，并根据环境监理方案组织环境监测；

4) 二次污染控制环境监理关键环节和要点应根据修复模式和具体的修复技术确定。

若发生二次污染问题，环境监理单位应指导并监督施工单位进行处理。同时施工方应填写《环境问题处理意见单》，对二次污染问题处理措施进行描述，并报送环境监理单位，由环境监理单位审批后监督施工单位执行。

(4) 污染事故应急措施环境监理

检查污染事故应急措施的落实与修复方案中的环境污染事故应急预案是否相符。如发生突发性环境污染事故，环境监理单位应协助建设单位并指导和监督施工单位按照应急预案进行事故处理。施工单位应向环境监理单位和建设单位递交《环境污染/生态破坏事故报告单》，就污染事故原因、造成的破坏情况和补救措施及初步处理意见进行汇报，由环境监理单位和建设单位审查签字确认。突发性环境污染事故发生原因及处理过程和结果应同时向相关环保部门汇报。

6.1.3 竣工验收阶段监理

工程实施完成后，参加工程预验收，配合工程验收监测单位开展验收监测工作，并在上述工作基础上编制污染地块修复工程环境监理总结报告，参加工程验收现场检查会议，并参加工程竣工验收工作。

6.2 二次污染防范

6.2.1 大气污染防治措施

本场地污染物主要为氰化物和六价铬，在污染土壤现场清挖施工过程中，应以控制氰化物挥发、减少扬尘为主，尽量减少场地治理对周围居民的影响。

清挖现场的污染源主要集中在：施工废气，清挖、装卸等施工过程因风力作用而产生的扬尘污染；施工机械产生的尾气二次污染，防治污染因子为 NO₂、CO、烃类物。

(1) 废气

①污染土壤挖掘、运输、堆存、处置过程中可能会存在有机污染气体挥发；

②污染土壤加入药剂和拌和过程中产生的有害气体等；

③处理过程中有机污染物挥发及臭气扩散；

施工前应做好废气二次污染防治措施，施工中参照执行；此外，施工过程中应制定相应监测计划，防止废气二次污染。

（2）扬尘

扬尘污染是修复期间重要的污染因素，项目在开挖、搅拌、运输及回填过程中，不可避免地会产生一些地面扬尘，尽管这些扬尘是短期行为，但会对附近区域带来不利的影响，所以在修复实施期间，应采取积极的措施来尽量减少扬尘的产生，如喷水保持湿润，合适安排施工计划。修复过程应严格遵守《防治城市扬尘污染技术规范》（HJ/T393-2007）的相关规定；在风力大于4级的情况下应停止土方作业，同时作业处应覆以防尘网。

同时，施工产生的扬尘对施工人员会有一些影响，应采取必要的个人防护措施。主要的防治措施如下：

①根据主导风向和周围环境敏感目标的分布，合理布置修复现场。风速过大时（4级及以上），应停止挖掘施工作业，并做好遮掩工作。

②修复工程中，修复单位必须使用围护材料以防止扬尘，设置高度2m以上的围挡，围挡之间应无缝隙，同时设置有效抑尘的密目防护网或防尘布，尤其加强对工程附近敏感点的防护措施，并在临近敏感点场界处设置监测点位，一旦发现监测值接近标准限制，则停止修复活动，加大洒水频次。

③污染区域基坑开挖后，裸露土壤应立即采用苫布覆盖，及时验收，尽快回填。

④施工过程中产生的建筑材料弃渣应及时处理。垃圾渣土运出施工现场时，应当按照批准的路线和时间到制定的消纳场所倾倒。

⑤施工区域内限制车速，减少行驶产生的扬尘；车辆行驶便道应进行夯实硬化处理，加强道路管理和路面养护，减少起尘量；保持施工道路平整，设立施工道路养护、维修、洒水专职人员，保持道路清洁，运行畅通。车辆通过道路要经常洒水抑尘，并设置洗车冲洗平台，车辆驶离工地前先在洗车平台清洗轮胎及车身，确保车辆不带泥土驶离工地。

⑥加强运输管理，运输车辆不宜装载过满，同时要加盖篷布减少散落，控制车速，运输车辆进入修复区域应减速行驶，或限速行驶，减少车辆运输过程中的洒漏，减少地面扬尘，按照方案划定的行驶路线行驶，避开污染土壤洒落到未污染区域；对不慎洒落的污染土壤，应及时清理。

⑦土壤清挖、筛分等作业过程中，需合理安排施工进度和施工强度，文明施工，严禁抛洒等行为，减少扬尘的产生。

⑧修复药剂需存放仓库内，施工现场不得随意堆放，粉状试剂需袋装化。

⑨修复过程应有专职环境保护管理人员和环境监理，主要是指导和现场管理工程现场的污染土壤的处置、清运、回填等，防止二次扬尘污染。

⑩修复工作人员应做好个人防护，做好隔离措施，工作完成后应立即洗漱干净。

（3）挥发性有机废气

由于土壤在开挖、筛分等扰动过程中，土壤中一些易挥发的有机污染物容易散逸出来，对工作人员的健康造成不利影响，也对周围居民造成一定影响。因此，修复单位应负责实施下列减缓措施：

①应逐个开挖、分层开挖，避免大范围作业，开挖完成后及时验收，验收合格后尽快回填。

②污染土壤清挖后，及时转运，尽量避免污染土壤堆存，以免造成二次污染。

③污染土壤运输车辆，应尽可能采用密闭车斗，并保证不遗撒外漏。若无封闭车斗，运输车辆的装载高度不得超过车辆槽帮上沿，车斗应用篷布遮盖严实，且篷布边缘至少遮住槽帮上沿以下 15cm，保证吨袋不外露。

④合理安排施工进度和施工强度，文明施工，严禁抛洒等行为，减少土壤的扰动强度，严格控制修复过程中作业面，从源头上减少有机气体的逸散。

⑤污染土壤清挖后，可能挥发出有机气体，为减少挥发性有机气体的产生，采用有机物挥发抑制剂喷洒于施工现场异味产生处。该有机物挥发抑制剂环保无毒可降解，不会产生二次污染，可有效控制场地中异味，该抑制剂有效作用时间为 24h。一旦失效，如 PID 读数大于 10，需重新喷洒抑制剂。

⑥在场界临近敏感点处设置监测点位，加强监测工作，并定期公布。

⑦修复过程应有专职环境保护管理人员和环境监理，主要是指导和现场管理工程现场的污染土壤的开挖、筛分等，防止挥发性气体污染事故发生。

⑧本次修复工程严格按照《中华人民共和国大气污染防治法》（主席令第三十一号，2015年）第四条的要求进行扬尘污染防治，主要包括：在施工工地设置硬质围挡，并采取覆盖、分段作业、择时施工、洒水抑尘、冲洗地面和车辆等有效防尘降尘措施；污染土壤及时清运；在场地内堆存的土壤等采用密闭式防尘网遮盖；在施工工地公示扬尘污染防治措施、负责人、扬尘监督管理主管部门等信息，装卸物料应当采取密闭或者喷淋等方式防治扬尘污染。

6.2.2 废水污染的防治

本场地修复过程中将利用场地原有污水处理设施作为废水收集池，对废水进行分类收集，统一规范处理，避免废水外溢污染周边环境。

（1）雨水收集

本项目场地基本处于顶棚全覆盖，部分已经破损。施工中对异位修复区、污染区域的顶棚进行修复和加固，利用厂房周边原有导流沟对雨水进行收集，统一收集至周边市政雨水管网。

（2）基坑渗水和生产废水

污染场地清挖过程中基坑渗水、生产过程中的冲洗水及化学氧化和固化稳定化施工中的废水统一收集至废水收集池。废水收集池内的废水定期检测，若达标，则就近纳管排放；若不达标，则外运委托处置。

（3）施工人员生活污水

施工人员在生活区产生的生活污水，经一体化化粪池处置后，外运至生活污水厂处理。

6.2.3 噪声污染防治

修复实施过程中，施工噪声对周围声环境质量有一定影响，根据《中华人民共和国环境噪声污染防治法》第 28 条规定“在城市市区内向周围生活环境排放建筑施工噪声时，应当符合国家规定的建筑施工场界环境噪声排放标准”，尽管施工期产生噪声干扰无法完全避免，但可以采取防治措施使周围环境受到的噪声影响降低到一定程度。

建筑施工由于各阶段使用的机械设备组合情况不同，噪声影响程度也不同。由于施工为露天作业，流动性和间歇性较强，对各生产环节中的噪声治理有一定难度。结合施工特点，建设单位在施工期间应从各个方面采取措施降噪、防噪，具体措施如下：

(1) 施工单位必须选用符合国家有关标准的施工机械和运输工具，尽量选用低噪声或备有消声降噪设备的施工机械，操作人员需经过环保培训；

(2) 对强声源设置控噪装置，对于噪音比较大的设备安装时同时安装消音设备或者设施（消音器、减震、隔音屏等），降低设备噪音；

(3) 加强施工机械的维护保养，使施工机械保持良好运行状态，避免由于设备性能差而使机械设备噪声增加的现象发生；

(4) 施工单位需合理安排施工进度，尽量避免夜间施工，若必须进行夜间施工时应向当地环保部门申请，批准后才能根据规定施工，并降低噪声严格控制作业时间，禁止出现夜间扰民现象；

(5) 运输车辆进出施工现场禁止鸣喇叭，低速行驶，减少交通噪声。合理选择运输路线，减少交通噪声对周边环境的影响；

(6) 车辆限定行驶，调整物料的运输时间，尽量将其安排在白天进行，以减轻载重汽车噪声对环境的影响。对于确需夜间施工的

施工活动，施工单位必须事前报经城管部门批准，同时执行建筑施工噪声申报登记制度，在工程开工 15 日前填写《建筑施工场地噪声管理审批表》，向当地环保主管部门申报。并于施工前两天公告附近居民；

(7) 施工现场提倡文明施工，坚持文明施工、科学施工，建立健全控制人为噪声的管理制度。尽量减少人为的大声喧哗，增强全体施工人员防噪声扰民的自觉意识。严禁在钢管、机械上敲打金属形式联系操作人员。施工过程中各类材料搬运及安装，要求做到轻拿轻放，严禁抛掷或从汽车上一次性下料，减少噪声的产生；

(8) 加强施工现场环境噪声的监测，在临近敏感点场界处设置监测点位，采取专人管理的原则，做好现场施工噪声测量记录，凡超过《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)标准的，要及时对施工现场噪声超标的有关因素进行调整，达到施工噪声不扰民的目的；

(9) 制定施工噪声控制备用应急方案，重视噪声源头的治理工作。当常规噪声控制措施不能满足要求，出现噪声扰民情况，应及时对产生噪声的设备和施工工艺停止施工，并检查噪声防治措施的可靠性；

(10) 施工阶段和周边居民、单位友好协商。做好与周边单位、居民的沟通工作，如有发出高分贝噪声的施工内容或必须进行夜间施工时，施工单位在施工前，应当主动将发出高分贝噪声的施工内容及夜间施工的时段、内容、降噪措施以及应急情况处置等情况与项目场地周边的企事业单位、居民进行沟通，并取得这些单位和市

民的谅解；同时将上述内容以“告示”的形式张贴在施工现场周围，接受社会监督。

6.2.4 固体废物的污染防治

对竣工验收合格后本工程范围内的所有设施设备、设备基础、剩余建筑材料等设立专门的废弃物临时贮存场地，废弃物分类存放，做好安全防范措施并设置醒目标识。固体废物的运输应尽量避免暴雨期。对可能造成二次污染的建筑垃圾石块等单独贮存，并清洗后随其他建筑垃圾一起处理。

每一区域的污染土壤全部清挖清理完成之后，组织人员对清挖清理现场进行清扫，确保遗洒的污染土壤全部进行处理。进出车辆经过严格的清洗过程后，在运输过程中仍可能会洒落泥土或清洗不干净，因此，安排工人定期对场内道路进行清扫，清扫的泥土回收处理。

本场地修复过程中产生的所有的生活垃圾应经分类收集后，由当地环卫部门统一外运作进一步处置。

6.2.5 土壤二次污染的防治

应对现场施工的挖掘机械进行分类，污染区域土壤挖掘操作的挖掘机械禁止进入放坡区，避免产生交叉污染。挖掘污染土壤的机械应在指定地点清理完毕后方可在其它区域进行操作。对污染土壤根据污染程度分层、分区分开堆放。

运输司机证件由项目部备案，并接受项目部的安全教育，注意行驶安全，每辆车的装运量不得超过额定装载量的 90%，时速不得超过 30km/h，一般情况下禁止快速行驶与突然快速启动或制动。

本项目土壤不外运，仅需内部倒运。运输便道管理应有专人负责，运输便道易发生凹陷情况，应及时组织用砂石填充压实，防止运输车辆颠簸及污染土壤散落；如发现运输过程中污染土壤散落，应组织人员清理，防止污染土壤的二次污染。

6.2.6 地下水污染防治

修复过程中可能会存在土壤污染物的下渗风险，因此，需加强对本项目区域地下水的管控，在污染土壤修复过程中，对地下水进行定期监测。

6.3 场地环境监测计划

6.3.1 监测目的和类型

场地环境监测的目的是对修复施工过程进行全过程的质量监督和评估，按照既定修复目标，对各修复区块修复质量进行监督，及时发现施工过程中出现的修复质量问题及可能发生的二次环境污染问题，协助各方提出解决方案，与各方一起确保修复工程保质保量的完工。主要包括场内污染源情况、污染土壤处理过程中和修复后效果进行监测，修复过程中二次污染监测。

6.3.2 地表水环境监测

(1) 监测范围

场地周边范围木兰溪地表水。

(2) 监测样品采集程序和方法依据

样品采样程序和方法按《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T 91-2002）的相关要求进行。

(3) 监测点位

本项目地表水环境监测共设置 2 个监测点（北侧和东侧）具体见下图，受咸潮影响的河段（南侧）不进行布点。



图 6-2 地表水环境监测点位

(4) 监测频次

每月采样送检 1 次。

(5) 监测样品数量

地表水环境监测样品每月 2 个。

(6) 监测指标

本项目地表水监测指标执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的IV类标准，其中药剂特征参数硫酸盐参考该标准中的集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值。具体数据要求如下表所示。

表 6-1 地表水监测标准（单位：mg/L）

序号	项目	排放限值
1	pH	6.0≤pH≤9.0

2	氨氮 (NH ₃ -N)	1.5
3	COD	30.0
4	氰化物	0.2
5	六价铬	0.05
6	石油类	0.5
7	硫酸盐	250

6.3.3 环境空气质量监测

(1) 监测范围

本场地污染修复区域、下风向场地边界及边界外 100~500m 内的主要环境敏感点。

(2) 监测样品采集程序和方法依据

根据《空气和废气监测分析方法》(第四版)和《环境空气质量手工监测技术规范》中监测的采样方法,选用专用大气采样器,应用于大流量采样系统进行大气采样。

(3) 监测点位

按照《环境空气质量监测点位布设技术规范(试行)》(HJ664-2013)要求,在场地施工区域四周共布设监控点4个(均在边界外100~500m内),可在不同季节充当上风向参考点和下风向监控点,监测施工场地对周边环境空气的影响。



图 6-3 环境空气监测点位

(4) 监测频次

监测频次拟定每月 1 次。

(5) 监测样品数量

施工期间每月共采集送检空气样品 4 个点位。

(6) 监测指标

表 6-2 本项目环境空气监测指标

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值
1	二氧化硫	24 小时平均	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	二氧化氮	24 小时平均	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3	臭氧	日最大 8 小时平均	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4	一氧化碳	24 小时平均	4 mg/m^3
5	PM10	24 小时平均	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
6	PM2.5	24 小时平均	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
7	总悬浮颗粒物 (TSP)	24 小时平均	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
8	氮氧化物	24 小时平均	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

6.3.4 噪声排放监测

在修复工程施工过程中，机械作业产生的噪声需定期检测。测量时尽量选择无雨雪、无雷电天气，风速为 5m/s 以下的气候，且选择在场平坦、无大反射物的场地中进行监测。

(1) 监测范围

场地周边靠近敏感点区域

(2) 监测程序和方法依据

采用积分平均声级计测量，监测方法按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）执行。

(3) 监测点位

按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中规定，测点应设在厂界外 1m，高于围墙 0.5m 且靠近噪声敏感点方向，在厂界四周共布设噪声监测点 5 个，其中西部监测点在现场施工停止时的环境噪声作为噪声背景值。



图 6-4 环境噪声监测点位

(4) 监测频次

施工期间，测量连续 20min 的等效声级，夜间同时测量最大声级。“昼间”是指 6:00 到 22:00 之间的时段；“夜间”是指 22:00 到次日 6:00 之间的时段。

监测频次拟定每月 1 次。

(5) 监测数量

施工期间，噪声监测数量为 4 个，施工期间噪声监测数量共 20 个。

(6) 评价标准

按照施工期间的环保要求，治理过程中噪声排放控制执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）相关标准。

表 6-3 本项目环境噪声排放标准

监测区域	昼间 dB(A)	夜间 dB(A)	参考标准
治理区域边界	70	55	《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）

6.3.5 废水环境监测

本项目场地基本处于顶棚全覆盖，部分已经破损。施工中对异位修复区、污染区域的顶棚进行修复和加固，利用厂房周边原有导流沟对雨水进行收集，统一收集至周边市政雨水管网。本项目不会产生雨水污染问题。

本项目的废水主要为开挖过程中的基坑渗水、建筑垃圾和设备冲洗废水、施工过程中的渗水等。本项目废水统一收集至废水收集池，废水收集池内的废水定期检测，若达到《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）A 类标准，则就近纳管排放；若不达标，则外运委托处置。

表 6-4 废水排放限值 (mg/L)

序号	污染物种类	排放限值
1	总氰化物	0.5
2	六价铬	0.5
3	硫酸盐	400
4	pH	6.5~9.5

6.4 工程验收监测计划

工程验收监测计划主要是对修复效果是否达到修复技术方案要求进行的采样、分析和评价。

为保证本项目土壤修复效果达到目标,验收监测程序参照污染地块土壤修复效果评估工作程序,包括更新地块概念模型、制定布点采样方案、现场采样与实验室检测、土壤修复效果评估、提出后期环境监管建议、编制效果评估报告,工作程序流程见下图。

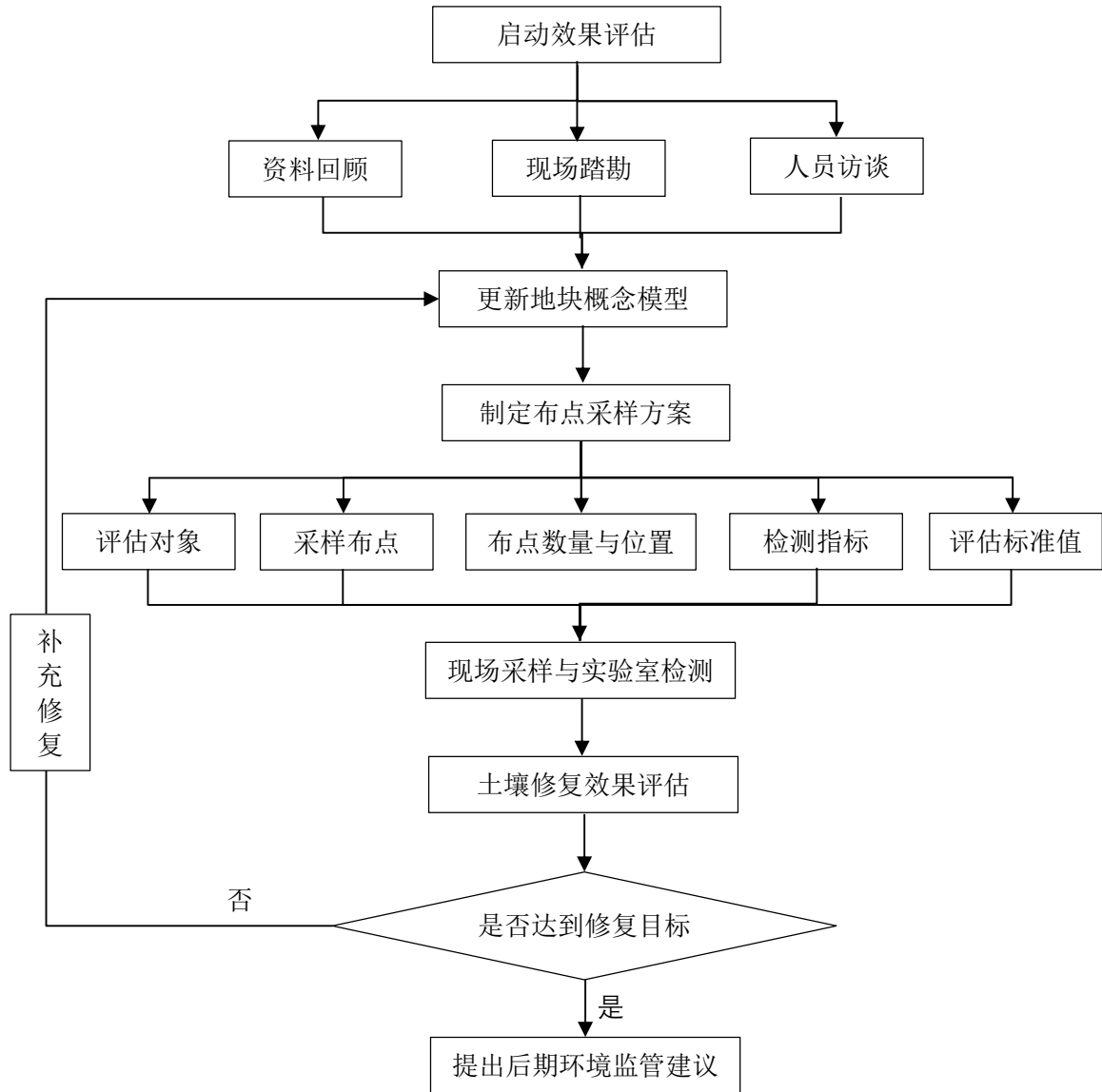


图 6-5 污染场地修复后自检工作程序

6.4.1 更新地块概念模型

在资料回顾、现场踏勘、人员访谈的基础上，掌握地块风险管控与修复工程情况，结合地块地质与水文地质条件、污染物空间分布、修复技术特点、修复设施布局等，对地块概念模型进行更新，完善地块风险管控与修复实施后的概念模型。

地块概念模型一般包括下列信息：

(1) 地块风险管控与修复概况：修复起始时间、修复范围、修复目标、修复设施设计参数、修复过程运行监测数据、技术调整和运

行优化、修复过程中废水和废气排放数据、药剂添加量等情况；

(2) 关注污染物情况：目标污染物原始浓度、运行过程中的浓度变化、潜在二次污染物和中间产物产生情况、修复技术去除率、污染物空间分布特征的变化以及潜在二次污染区域等情况；

(3) 地质与水文地质情况：关注地块地质与水文地质条件，以及修复设施运行前后地质和水文地质条件的变化、土壤理化性质变化等，运行过程是否存在优先流路径等；

(4) 潜在受体与周边环境情况：结合地块规划用途和建筑设计资料，分析修复工程结束后污染介质与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径等。

6.4.2 评估对象及监测指标

效果评估项目主要为场地修复的目标污染物，如修复过程可能导致二次污染的，还包括二次污染排放相关污染物；效果评估标准主要为修复目标值，二次污染排放涉及的污染物执行相应的环境质量标准和污染物排放标准。

(1) 基坑清挖监测指标

本项目基坑清挖后需要对基坑底和侧壁进行验收监测，监测指标为对应的特征污染物六价铬和氰化物，清挖目标值分别为六价铬 78 mg/kg，氰化物 161 mg/kg。

(2) 异位修复的土壤监测指标

异位修复的土壤监测指标除了对应的特征污染物六价铬和氰化物外，还应包括可能的二次污染物、中间产物或运行指标。本项目氰化物污染土壤采用碱活化的过硫酸钠，无对应的中间污染产物或二次污染物，需要增加监测的为运行指标 pH 和硫酸根离子；对于六价铬污染土壤，采用还原性的固化稳定化药剂，无中间污染产物和二次污

染物，需要增加监测的为运行指标 pH。具体监测指标见下表。

表 6-5 修复后土壤监测指标

序号	监测指标	修复目标 (mg/kg)	备注
氰化物污染土壤			
1	氰化物	161	目标污染物
2	pH	/	运行指标
3	硫酸根离子	/	
六价铬污染土壤			
4	六价铬	78	目标污染物
5	pH	/	运行指标

6.4.3 采样布点

6.4.3.1 布点依据与原则

(1) 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)；

(2) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)；

(3) 《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91-2002)；

(4) 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》(HJ25.5-2018)；

(5) 环境保护部公告 2014 年第 78 号《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》。

6.4.3.2 基坑采样布点

为了检测基坑清挖是否达到验收标准，需对清挖后的基坑侧壁及底部土壤进行采样。如仍有部分点位六价铬、氰化物污染物浓度没有达到目标值，则继续进行清挖，直至达到相关要求为止。采样数量按《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》(HJ 25.5-2018)

中所规定数量，自检采样计划见下表。

表 6-6 基坑采样布点原则

面积 (m ²)	坑底采样点数量 (个)	侧壁采样点数量 (个)
<100	2	4
100≤x<1000	3	5
1000≤x<1500	4	6
1500≤x<2500	5	7
2500≤x<5000	6	8
5000≤x<7500	7	9
7500≤x<12500	8	10
>12500	网格大小不超过 40m×40m	采样点间隔不超过 40m

表 6-7 计划基坑采样数

基坑	坑底采样点数量 (个)	侧壁采样点数量
六价铬污染土壤基坑 (深 0.5m, 面积 119.28m ²)	3	5
氰化物污染土壤基坑 (深最大 2 m, 面积 258.52m ²)	3	10 (分 2 层)

6.4.3.3 修复后土壤堆体采样布点

异位修复后土壤效果评估的对象为异位修复后的土壤堆体。

采样节点：异位修复后的土壤应在修复完成后、再利用之前采样。异位修复后的土壤堆体，可根据修复进度进行分批次采样。

布点数量与位置：修复后的土壤原则上每个采样单元（每个样品代表的土方量）不应超过 500 m³。对于按批次处理的修复技术，在符合前述要求的同时，每批次至少采集 1 个样品。修复后的土壤一般采用系统布点法设置采样点；同时考虑修复效果空间差异，在修复效果

薄弱区增设采样点。

表 6-8 堆体采样布点原则

堆体体积 (m ³)	采样单元数量 (个)
<100	1
100~300	2
300~500	3
500~1000	4
每增加 500	增加 1 个

表 6-9 计划土壤堆体采样数

堆体体积 (m ³)	采样单元数量 (个)
六价铬 (59.64)	1
氰化物 (383.24)	3

6.4.3.4 二次污染区域布点

(1) 土壤二次污染布点

本项目修复的主要对象是厂区内检测已表明含具有环境风险的污染物（氰化物、六价铬）的土壤，并保证修复区域及其影响区其他污染物浓度在现有水平以下。

对于污染区域采取异位修复，修复区域为风险评估报告中划定的区域。对于施工过程中可能造成的二次污染区域也要进行采样，确保污染浓度在现有水平以下。

潜在二次污染区域包括：污染土壤暂存区、修复设施所在区、固体废物或危险废物堆存区、运输车辆临时道路、修复过程中污染物迁移涉及的区域及其他可能的二次污染区域。

潜在二次污染区域土壤原则上根据修复设施设置和潜在二次污染来源等资料判断布点，也可采用系统布点法设置采样点。

潜在二次污染区域样品以去除杂质后的土壤表层样为主

(0~20cm)，不排除深层采样。

(2) 地下水二次污染布点

由于本项目地下水水位较浅，在污染土壤修复过程中可能对地下水产生二次污染，本项目在修复区域上游、内部和下游布置地下水监测井，在修复工程开始前和修复工程完成后对地下水进行监测，共采集两次样。本项目地下水不作饮用用途，本项目地下水参考《地下水质量标准》(GBT14848-2017)中IV类标准。

表 6-10 地下水二次污染监测指标

序号	监测指标	修复目标 (mg/L)	备注
1	氰化物	0.1	目标污染物
2	六价铬	0.1	目标污染物
3	pH	5.5-9	二次污染物、运行指标
4	硫酸根离子	350	

6.4.4 现场采样与实验室检测

6.4.4.1 样品采集及检测依据

(1) 土壤样品和地下水样品的采样方法、现场质量控制、现场质量保证、样品的保存与运输方法、样品分析方法、实验室质量控制，现场人员防护和现场污染应急处理等按照 DB11/T 656 的规定执行。

(2) 验收项目检测方法的检测限应低于修复目标值。

(3) 实验室检测报告内容应包括检测条件、检测仪器、检测方法、检测结果、检测限、质量控制结果等。

6.4.4.2 土壤样品的采集

《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)和《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》的相关要求，进行土壤样品采集。

（1）表层土壤样品的采集

1) 采用挖掘方式进行，采用锹、铲及竹片等简单的工具。

表层土采样采用手工采样或螺旋钻采样。手工采样是先用铁锹、铲子和泥铲等工具将地表物质去除，并挖掘到指定深度，然后用不锈钢铲子进行样本采集；螺旋钻采样是先钻孔达到所需深度后，获得一定高度的土柱，然后用竹片去除土柱外围的土壤，获取土芯作为土壤样品。收集土壤样时，把表层硬化地和大的砾石、树枝剔除。

采样过程中佩戴手套。每采完一次样，都将采样工具用自来水洗净后再用蒸馏水淋洗一遍。

2) 为减少土壤的扰动，保证土壤样品在采集过程中不被二次污染，采用非扰动采样器将土样直接推入顶空瓶中。现场采样时，采用手持式实时分析仪器（XRF）进行顶空法现场测试、初筛。



图 6-6 土壤验收采样

（2）深层土壤样品的采集

钻孔取样的采样深度扣除地表非土壤硬化层厚度，测量重金属的样品用竹片或竹刀去除与金属采样器接触的部分土壤，再用其取样。

6.4.4.3 样品保存、运输和储存

依据《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）、《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》“附录 2 土壤样品保存要求”等

相关规范要求，对土壤样品收集器选型，并按规范对样品进行运输和保存。

土壤样品采取低温保存的运输方法，并尽快送到实验室分析测试。针对本项目中氰化物的样品检测，采用塑料瓶（袋）收集，针对六价铬的采样容器、保存技术、样品体积及保存时间要求见下表。

表 6-11 容器、保存技术、样品体积以及保存时间的要求

监测项目	容器	保存条件	样品最小 体积或重量	样品最大 保留时间
金属				
六价铬	P, G, T	加 HNO ₃ 使 pH < 2, 4°C 低温保存	500mL (水) ; 227g (土壤)	180 天 (水和土壤)

样品运输保存选择牢固、保温效果好的保温箱；用发泡塑料包裹样品瓶防止直接碰撞；放置足量的冰块确保保温箱冷藏温度低于 4°C。

在采样现场样品逐件与样品登记表、样品标签和采样记录进行核对，核对无误后分类装箱。运输过程中严防样品的损失、混淆和沾污。对光敏感的样品避光外包装。

由专人将土壤样品送到实验室后尽快分析，送样者和接样者双方同时清点核实样品，并在样品交接单上签字确认。土壤样品运输环节按规范要求运输空白样和全程序空白样质控。

6.4.4.4 实验室检测

土壤样品关注污染物的分析测试应参照 GB 36600 和 HJ/T 166 中的指定方法、土壤的常规理化特征土壤 pH、粒径分布、密度、孔隙度、有机质含量、渗透系数、阳离子交换量等的分析测试应按照 GB 50021 执行。

6.4.5 土壤修复效果评估

基坑土壤的清挖效果和修复土壤的评估标准值为土壤的修复目

标值。

可采用逐一对比和统计分析的方法进行土壤修复效果评估。

(1) 当样品数量 <8 个时，应将样品检测值与修复效果评估标准值逐个对比：

a)若样品检测值低于或等于修复效果评估标准值，则认为达到修复效果；b)若样品检测值高于修复效果评估标准值，则认为未达到修复效果。

(2) 当样品数量 ≥ 8 个时，可采用统计分析方法进行修复效果评估。一般采用样品均值的 95%置信上限与修复效果评估标准值进行比较，下述条件全部符合方可认为地块达到修复效果：

- a) 样品均值的 95%置信上限小于等于修复效果评估标准值；
- b) 样品浓度最大值不超过修复效果评估标准值的 2 倍。

(3) 若采用逐个对比方法，当同一污染物平行样数量 ≥ 4 组时，可结合 t 检验分析采样和检测过程中的误差，确定检测值与修复效果评估标准值的差异：

a) 若各样品的检测值显著低于修复效果评估标准值或与修复效果评估标准值差异不显著，则认为该地块达到修复效果；

b) 若某样品的检测结果显著高于修复效果评估标准值，则认为未达到修复效果。

(4) 原则上统计分析方法应在单个基坑或单个修复范围内分别进行。

(5) 对于低于报告限的数据，可用报告限数值进行统计分析。

6.5 环境长期监管计划

本项目对修复达标后的氰化物污染土壤和六价铬污染土壤采用原址填埋的方式。建议在该场地修复工程完成后，对地下水进行长期

监测，监测周期为1年，每季度监测一次。场地内部、上游、下游均需设置地下水监测井，评价依据为地下水中污染物浓度无显著变化。监测指标参考本方案表6-10。

6.6 环境应急方案

为确保场地修复过程中施工人员与周边居民的安全，应制定周密的场地修复工程环境应急安全计划，编制环境应急方案，方案内容包括安全问题识别、需要采取的预防措施、突发事故时的应急措施、必须配备的安全防护装备和安全防护培训等。

6.6.1 应急组织机构

为确保劳动安全及场地修复工作如期进行，本项目建立以项目负责人为组长的紧急情况处置领导小组，技术负责人、项目安全工程师和质量工程师为副组长，并形成由公司总部、社会机构、项目相关职能部门等共同参与的紧急情况处置组织体系。事故应急组织机构图见下图。

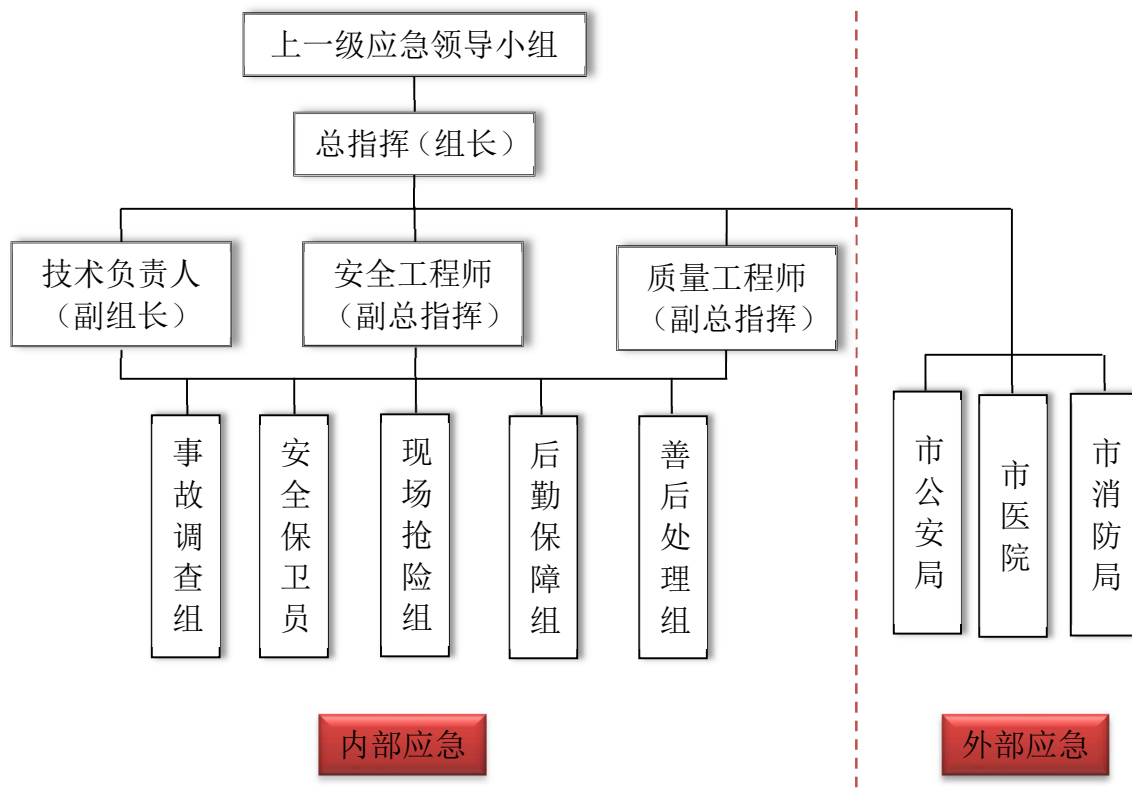


图 6-7 应急组织结构图

6.6.2 岗位职责

表 6-12 应急组织机构职责表

岗位	构成	主要职责
总指挥	由应急领导小组指派	指挥本工程范围内的应急救援。
副总指挥	质量工程师、安全工程师	协助总指挥负责应急救援的具体指挥工作。
现场抢险组	组长由现场经理担任,以工程部为主体。成员由安全总监、现场经理、机电经理、项目总工程师和项目班子及分包单位负责人组成。	组织实施抢险行动方案;协调有关部门的抢险行动;及时向指挥部报告抢险进展情况。
安全保卫组	组长由现场经理担任,以工程部为主体。成员由安全总监、现场经理、机电经理、项目总工程师和项目班子及分包单位负责人组成。	组织实施抢险行动方案;协调有关部门的抢险行动;及时向指挥部报告抢险进展情况。
后勤保障组	组长由项目副经理担任,以综合办公室为主体。成员由项目物资部、行政部、商务	负责调集抢险器材、设备;负责解决全体参加抢险救援工作人员的食宿问题。

岗位	构成	主要职责
	部、食堂组成。	
善后处理组	组长由执行经理担任,成员项目领导班子组成。	负责做好对遇难者家属的安抚工作;协调落实遇难者家属抚恤金和受伤人员住院费问题;做好其它善后事宜。
事故调查组	组长执行经理、公司责任部门领导担任,成员由项目总工、公司相关部门、公司有关技术专家组成。	负责事故现场保护和图纸的测绘;查明事故原因,提出防范措施;提出对事故责任者的处理意见。

6.6.3 应急准备工作流程

根据工程的特点及施工工艺的实际情况,认真的组织项目部人员对危险源和环境因素的识别和评价,特制定项目发生紧急情况或事故的应急措施,开展应急知识教育和应急演练,提高现场操作人员应急能力,减少突发事件造成的损害和不良环境影响。其应急准备和响应工作程序见下图:

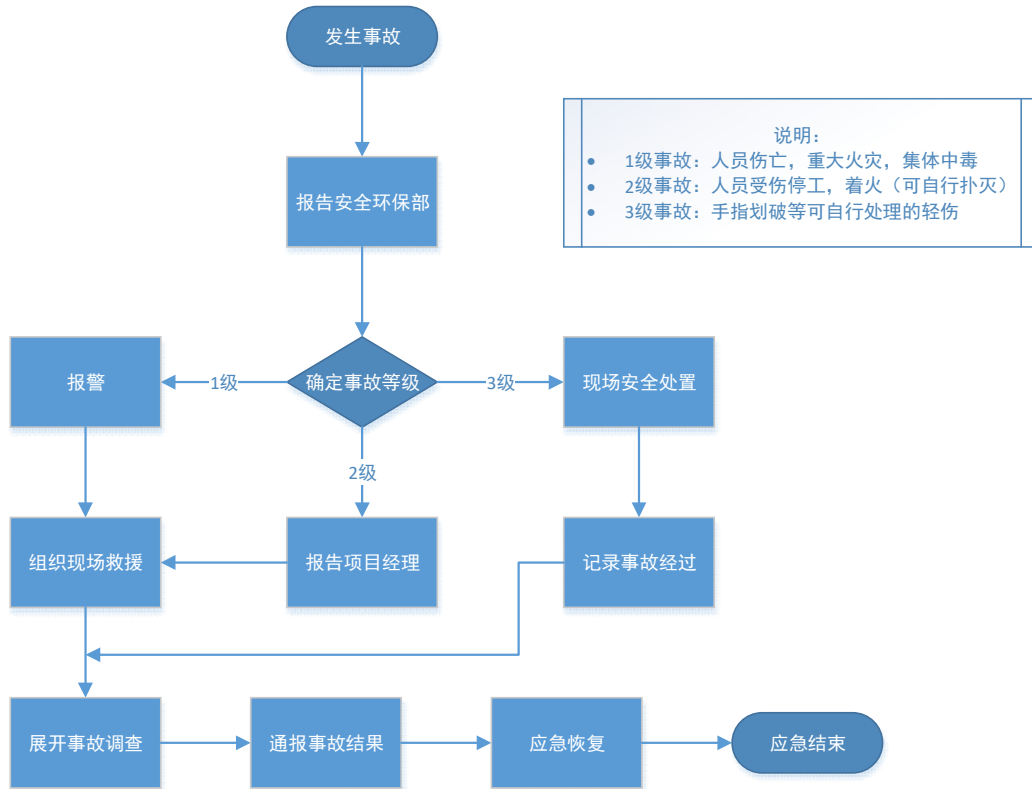


图 6-8 应急准备和响应工作程序图

6.6.4 应急响应机制

(1) 应急响应分级

按安全事故灾难的可控性、严重程度和影响范围，应急响应级别原则上分为 I、II、III 级。当达到本预案应急分级响应条件时，事故单位应按照应急响应程序，启动相应响应程序，开展应急行动，并根据事故等级及时上报。

表 6-13 应急响应分级表

应急响应级别	应急响应分级条件				
	死亡（含失踪）、遇险人数	重伤（含中毒）人数	火灾、爆炸事故等级	直接经济损失	其他条件
I 级	3 人及以上	10 人及以上	特大	1000 万元以上	需要启动 I 级应急响应的其他伤亡事故
II 级	1~2 人	3~10 人	重大	100 万元~1000 万元	发生与安全生产有关的并造成恶劣社会影响的事件；需要启动 II 级应急响应的其他伤亡事故
III 级	0 人	3 人以下	重大以下级别	100 万元以下	需要启动 II 级应急响应条件以下的安全事故

(2) 启动条件

- 1) 发生符合国家和行业有关规定需启动应急预案的事故。
- 2) 现场工作人员认为需要上报并启动应急预案的较严重事故。

(3) 报告制度

应急程序启动后，根据事故发展态势和现场救援进展情况，执行如下应急响应程序：

- 1) 事故发生后，押运员及驾驶员立即组织自救，同时向指挥小组报告事故情况。

2) 指挥小组接到事故报告后, 根据事故情况, 立即派遣工作小组增援现场, 同时向领导小组通报事故情况。

3) 现场应急指挥小组在向联营体领导小组汇报情况的同时, 必须向省项目办如实汇报。

4) 领导小组根据事故情况, 对救援工作进行相应支持和监督。

(4) 处理程序

工作小组到达事故现场后, 按照如下程序救援:

1) 紧急疏散

发生的事故有可能对周围人员安全构成威胁时, 必须在指挥小组的统一领导下, 设立安全警戒线, 并将与事故应急救援无关的人员进行紧急疏散。疏散方向一定要处于事故时的上风向。

2) 人员抢救

实施抢救任务时, 要坚持“以人为本”的原则, 想方设法从事故现场抢救被困人员。承担抢救任务的人员要保护好自身安全, 穿戴相应安全防护装备。医疗救援人员对抢救出的被困人员, 在现场要及时进行一些必要的抢救, 并以最快速度送往医院进行全面抢救。

3) 风险排除

执行排险抢修任务的人员, 根据不同的事故情况采取不同的处置办法, 在做好自我防护基础上, 以最快的速度, 最有效的方法及时堵漏排险, 消除事故。

4) 物资供应

抢救、排险、抢修时所需物资, 必须做到有效保障, 各种专用器材、交通工具、医疗器械、药品和衣物等, 按照分工各负责人员必须做好充分准备, 随时服从救援组的统一调度和安排。

5) 社会支援

如工作小组能力和物资不足以清除风险时，指挥小组迅速向有关部门汇报，并要求社会支援。社会援助队伍进入抢救、排险、抢修现场时，现场救援人员负责联络、引导、告知安全注意事项并配合开展工作。

(5) 应急结束

应急结束条件：事故现场得以控制，环境符合有关标准，导致次生、衍生事故隐患消除后，经指挥小组确认和批准，现场应急处置工作结束，应急救援队伍撤离现场。

结果评估：领导小组相关机构对事故处理结果进行监督评估。

事故分析：由指挥小组负责召开事故分析会，填写事故分析报告，总结经验教训并追究责任。

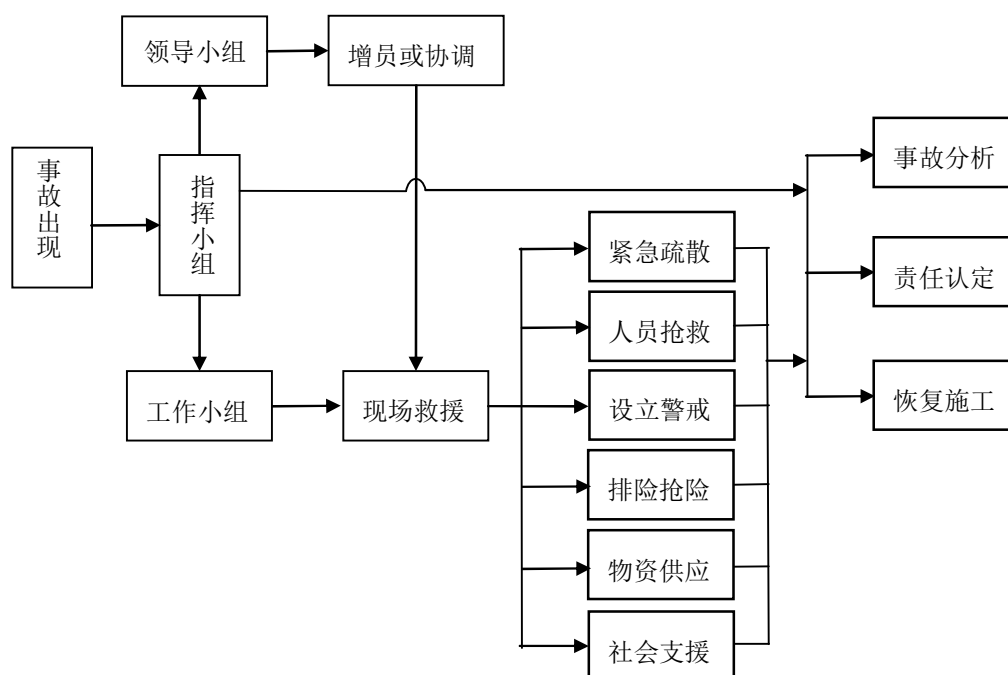


图 6-9 事故处理程序

6.6.5 单项应急措施

6.6.5.1 人员中毒

由于本项目污染物所含污染物对人体健康危害很大，因此，在工

程开工前，对全体人员进行安全教育。在施工过程中加强劳动保护，所有进出现场的人员必须佩带相应防护用品，工作现场禁止吸烟、进食和饮水。工作后，彻底清洗。

如果发生人员中毒事故，将按照以下程序进行应急：

（1）中毒人员救援

现场中毒事件发生后，应立即联系医疗等部门，禁止盲目施救，并确认事故地点。根据实际中毒情况，轻度中毒人员应立即带离现场，到空气新鲜的地方，解开衣领、腰带，取出口、鼻内可能有的分泌物，使中毒者仰卧并头部后仰，保持呼吸畅通，注意身体的保暖，并送入医院进行相关的治疗；对中毒严重者，如出现呼吸停止或心跳停止，应立即按常规医疗手段进行心肺脑复苏。如呼吸急促、脉搏细弱，应进行人工呼吸（有条件的可使用呼吸器），给予吸氧，并及时送往医院救治。

（2）安全警戒

中毒事件发生后封锁现场，只准应急救援人员、车辆进入，其余人员、车辆必须经突发事件应急处置领导小组批准后方可进入，对无关人员劝其离开，禁止围观，直至中毒人员安全送至医院救治、现场取证结束等工作完成后，经突发事件应急处置领导小组批准后解除。

（3）信息记录

对事故现场情况进行拍照记录，记录救援情况、中毒人员、现场指挥领导，事故后的现场情况。询问值班人员事故发生的原因和过程。及时将信息报给突发事件应急处置领导小组组长。

（4）信息报送

根据现场中毒人员情况进行信息报送，1小时内由突发事件应急处置领导小组组长报告建设单位领导，并根据事故调查结果编写信息

并及时上报。

6.6.5.2 灼伤

灼伤的急救措施见下表。

表 6-14 灼伤事故的急救措施

事故类别	导因	应急措施 药品和医疗设备
药品灼伤	眼睛灼伤或掉进异物	一旦眼内溅入任何化学药品，立即用大量水缓缓彻底冲洗。洗眼时要保持眼皮张开，可由他人帮助翻开眼睑，持续冲洗 15 分钟。对因溅入浓酸、浓碱或其它刺激性物质的眼睛灼伤者，急救后必须迅速送往医院检查治疗。
	皮肤灼伤	碱灼伤：先用大量水冲洗，再用 1%硼酸或 2%醋酸溶液浸洗，最后用水洗。在受上述灼伤后，若创面起水泡，不宜把水泡挑破。 酸灼伤：先用大量水冲洗，以免深度受伤，再用稀碳酸氢钠溶液或稀氨水浸洗，最后用水洗。

6.6.5.3 触电

本修复工程部分机械设备以电力作为动力，易造成触电事故。本方案已作出相应的预防措施，但万一发生触电事故，要采取以下措施。

表 6-15 触电事故的急救措施

序号	类别	应急措施
1	触电者的抢救	应尽快使触电者脱离电源。人触电后，可能由于疼或失去知觉（昏迷）等原因而紧抓带导电体，不能自行摆脱电源。这时，应使触电者尽快脱离电源，切断通过人体的电流。
2	触电急救方法	（1）口对口人工呼吸法：人工呼吸法是触电急救行之有效的科学方法，对于尚有心跳而呼吸停止或不正常的触电者宜用此法。 （2）胸外心脏按压法：对于尚有心跳而呼吸不正常的触电者宜用此法。 （3）如果触电者呼吸和心跳都停止，上述两种方法须同时进行。只有一人救护时，可以先吹气 2~3 次，再挤压 10~15 次，交替进行。并适当提高挤压和吹气的速度。若有二人救护，则一人侧跪作人工呼吸，另一人跨跪作胸外心脏挤压。
3	现场应急措施	（1）消除不安全因素，将出事的电源开关拉掉，防止事故扩大，避免更大的人身伤害及财产损失。 （2）注意保护现场，因抢救触电者和防止事故扩大，需要

序号	类别	应急措施
		移动现场物件时，应做出标志、拍照、详细记录和绘制事故现场图。 （3）事故发生后应急小组在抢救触电者、保护事故现场的同时，立即报公司领导、工程管理部按规定向上级有关部门报告。 （4）工程管理部得知事故发生后，应立即赶赴事故现场，开展上述应急措施，注意检查事故现场是否处于安全状态，防止事故的扩大。 （5）配合公司有关部门开展事故调查工作。



图 6-10 胸外心脏按压+人工呼吸急救

6.6.5.4 机械伤人

机械伤人事故发生后，现场人员应立即向值班人员（项目负责人）汇报事故时间、地点、方位、受伤人员情况。应急领导小组根据情况启动预案，组织人员设备进行抢救行动。施工现场的机械伤害事故，会造成不同程度损伤，以至死亡。根据施工作业地点、机械类型等因素，伤害类型多为挤、压、绞、缠、切等引起的外伤。

（1）现场急救

对伤员的现场处理十分重要，否则会贻误治疗，而不正确的处理又容易使伤员雪上加霜。根据实际情况首先应停止设备运转或移动机械设备，使伤员脱离致害物，对于肢体动脉流血的伤员要及时包扎止血，防止流血过多造成休克或生命危险。事故中如果发生手、脚或手指、脚趾断掉时，在料理好伤者后，及时找回断肢，用清洁的布块包好放入塑料袋内，让断肢保持低温，如有可能在塑料袋周围放些冰块，但不要将冰块直接碰到断肢。

(2) 伤员转运

外伤患者，经过现场急救之后，需要送往医院救治。在搬运伤员的过程中，如果不懂得伤员转运中的知识和方法，很有可能由于搬运不当引起严重后果。例如：脊椎损伤的病人，转运中不能使病人的脊椎弯曲，应用坚固的木板将身躯固定好，并用硬木板担架搬运。没有应用物时，多人同时搬运中，应使其身体保持在伸直位置，以免损伤脊椎神经，导致下肢瘫痪；对于昏迷者，应让其取侧卧位，以防呕吐物吸入肺部，引起肺炎或窒息死亡；危重伤员搬动身体时，必须将患者的头、肩、躯干做为一个整体，在同一平面上同时翻转和搬动，不可使其扭曲等等。患者在担架上，应根据不同的伤情，做一些体位上的调整，例如：怀疑脑损伤的可将伤员的头适当的垫高。有头头骨骨折时头部两侧还应用棉衣、枕头、砖、石等予以固定，避免晃动加重损伤。如果怀疑患者内出血休克，则应采用头低脚高位。如果患者呼吸困难或是胸部创伤，则应该采用半坐位。经过伤员现场处理之后，及时送往医院治疗观察。伤员送到医院后，应立即将断肢交给救护人员处理。

6.6.5.5 消防火灾

消防火灾的具体应急措施如下表所示。

表 6-16 火灾事故的急救措施

序号	类别	具体措施
1	立即报警	当接到火灾信息时，应确定火灾的类型和大小，并立即报告防火指挥系统，防火指挥系统启动紧急预案。根据事故大小，指挥小组决定是否拨打“119”火警电话，并及时报告上级，便于及时扑救处置火灾事故。
2	组合扑救	当施工现场发生火灾时，应急准备与响应指挥部除及时报警外，还要立即组织生活区域或施工现场义务消防队员和职工扑救火灾，义务消防队员选择相应的器材进行扑救。扑救火灾时按照“先控制，后灭火；救人重于救火；先重点，后一般”的灭火战术原则。派人切断电源，联系业主接通消防水

序号	类别	具体措施
		泵电源，组织抢救伤亡人员，隔离火灾危险源和重点物资，充分利用项目中的消防设施器材进行灭火。
3	人员疏散	在现场布置安全疏散通道，在任何情况下确保安全通道畅通，一旦发生火灾，人员可顺利撤离到安全地带。
4	协助公安消防队灭火	拨打 119、120 求救，并派人到路口接应。当专业消防队到达火灾现场后，应急小组成员要简要说消防队负责人说明火灾情况，并全力协助消防队员灭火，听从专业消防队指挥，共同灭火。
5	现场保护	火灾发生时和扑灭后，指挥小组要派人保护好现场，维护好现场秩序，等待对事故原因和责任人的调查。同时应立即采取善后工作，及时清理，将火灾造成的垃圾分类处理以及采取其他有效措施，使火灾事故对环境造成的污染降低到最低限度。
6	事故调查处置	按照公司事故、事件调查处理程序规定，火灾发生情况报告要及时按“四不放过”原则进行查处。事故后分析原因，编写调查报告，采取纠正和预防措施，负责对预案进行评价并改善。应急小组要及时将火灾发生情况报告上报公司。

6.6.5.6 扬尘、异味和噪声扰民

收到扰民申诉后，应做好居民的接待工作，认真听取居民诉求，向其询问扰民污染物类型、性状，并对场地内产污工段进行判别，并向其作出解释和安抚。具体的急救措施如下。

表 6-17 扰民类事故的急救措施

类别	起因	具体急救措施
扬尘	修复过程中的扬尘扩散	立即停工寻找根源，并进行喷雾降尘。同时由现场负责人向居民做出解释和安抚工作。
噪声	运输车辆发出的噪声	项目负责人要及时查出原因，如是司机鸣笛造成的噪声，要对司机进行教育，令其马上改正；如是行驶噪声，则要改变运输时间、降低运载量等进行处理。当施工现场的机械噪声扰民时，项目应急小组应马上组织人员对机械降噪处理，并对施工机械运转质量进行检修，以使其达到排放标准。
	夜间施工噪声扰民	停止施工并调整夜间施工时段、工序、设备以降低噪声源。如围挡过低，则施工集

类别	起因	具体急救措施
		中区域周边设置新的围挡。

6.6.5.7 社会群体性事件

预防和处置本工程实施过程中存在的各种矛盾纠纷及不稳定因素引发的群体性事件，遵循“预防为主”的方针，坚持“以人为本”的原则，坚持“教育疏导、防止矛盾激化和扩大”的原则，对群体性事件及其苗头要及时、果断采取措施，坚决制止违法行为，尽快平息事态。力争做到发现的早、化解的了、控制的住、处置的好，切实把问题解决在萌芽状态、解决在内部，努力维护大局。

(1) 工作要求

- 1) 本工程项目部负责组织排查、调解可能引发群体性事件的矛盾纠纷。
- 2) 搜集群体性事件情报信息。
- 3) 组织调动应急资源做好群体性事件的先期处置工作。
- 4) 宣传普及有关法律、法规、政策，引导群众以理性方式表达诉求，通过合法途径反映和解决问题。

(2) 检查和报告

1) 项目部认真执行当地政府及有关部门关于加强突发事件信息报送工作的有关规定，强化值班制度、落实监测人员，完善监测网络，收集可能造成重大群体性事件的信息，采取积极应急措施。对群体性事件、突发事件做到早发现、早报告、早处置；

2) 发生群体性事件后，项目部相关责任领导应在事件发生后向业主及当地相关部门报告事件主要情况，包括时间、地点、事由、经

过、影响范围、动态趋势、已采取的处置措施、现场指挥员的联系方式等，可先口头报告，随后及时提供书面情况报告，并根据事态发展和处置情况及时书面续报动态信息。

（3）处置程序和方法

1) 一旦发生群体性事件，工地首先应立即停工，项目负责人和相关部门负责人应在接到报告后 30 分钟内赶到现场，成立现场指挥部，协助公安等部门开展警戒、控制现场、疏散救护等基础处置工作；收集现场动态信息，分别向县人民政府应急管理办公室等有关部门报告。

2) 在处置群体性事件现场，项目负责人及有关负责人员要面对面地做群众的工作，认真听取群众的意见，准确判断群体性事件的性质和发展趋势，掌控局面，把握尺度，讲究策略和方法，采取措施，尽快平息事态。对群众提出的要求，符合法律法规和政策规定的，要当场表明解决问题的态度；无法当场明确表态解决的，要责成相关人员限期研究解决；对确因决策失误或工作不力而侵害群众利益的，要如实向群众讲明情况，公开承认失误，尽快予以纠正；对群众提出的不合理要求，要讲清道理，耐心细致地做好说服教育工作。

3) 群体性事件现场事态平息后，有关责任人对现场处置时向群众承诺解决的问题，必须尽快解决到位，不得搞虚假承诺或者久拖不决。要坚决避免违背承诺、失信于民，重新引发群体性事件的现象发生。

4) 对于群体性事件中违反相关规定的人员，由公司研究决定予以相应的处罚；触犯法律法规的，由相关执法部门依法进行处罚。

6.6.6 应急演练

(1) 演练时间和次数及内容

适时进行环境污染事故应急预案的演练活动，检测应急预案的可行性和有效性，使应急预案得到不断的完善和提高。进入现场后，定期模拟演练应急事件的处理情况，根据实际作业情况，找出不足和存在问题，及时进行修定。演练内容包括事故期间通讯系统能否运作；人员能否安全撤离；应急服务机构能否及时参加事故抢救；能否有效控制事故进一步扩大。

(2) 演练前施工人员的培训

正式演练前，对现场所有作业人员进行相关知识的培训，内容如下：

表 6-18 应急培训内容表

序号	类别	具体内容
1	污染物中毒急救技术	场地中的主要污染物中毒症状以及急救常识
2	火灾防爆安全技术	防火防爆主要技术措施；火灾、爆炸事故预防措施；点火源控制、火灾爆炸危险物质控制、安全保险装置、限制火灾爆炸蔓延扩散的措施。
3	电气安全技术	(1) 电气安全基础知识：电气安全的基础知识，电流对人体的危害及影响因素，触电的主要预防措施和触电急救知识。 (2) 电气系统安全技术：电气火灾爆炸及危险区域的划分，变配电室、动力、照明和电气系统的防火防爆。
4	雷电保护技术	雷电的分类和危害，建（构）筑物的防雷措施。
5	气瓶安全技术	气瓶分类、气瓶的颜色和标记，以及安全附件和安全管理。
6	重大危险源与化学事故应急救援	污染土壤清理、修复、运输的安全要求；废弃危险化学品的处置知识；掌握重大危险源辨识技术；重大危险源普查技术；重大危险源的风险评价；重大危险源监控技术。
7	个体防护用品	个体防护用品的分类、选用原则、使用方法。

7. 成本效益分析

7.1 修复费用

经初步估算该场地按本修复技术方案开展修复工作所需资金约为 89.19 万元，各分部分项工程及其他费用详见表 5-3。

7.2 环境效益、经济效益、社会效益

7.2.1 环境效益

场地的规划用地方式为体育健身公园、防护绿地及道路，场地周围的敏感保护目标主要有：东面 70 m 处的万科城；西面 75 m 处的埭里村；南面 370 m 处的木兰溪新赶潮段；北面 145 m 处的木兰溪旧赶潮段。本项目为污染土壤治理修复项目，通过本项目的实施，可以解决场地内土壤污染问题，控制土壤的环境风险。1) 能够满足场地服务用地开发利用要求；2) 可以避免因场地土壤污染导致的应急备用水源地的饮用水安全及长江经济带的生态安全问题。3) 不仅可改善区域环境，同时可促进莆田市整体环境水平。

7.2.2 经济效益

场地修复治理达标后，可以进行体育健身公园、防护绿地及道路用地的开发。通过项目建设：1) 本项目的成功运作改善当地生态环境，环境大幅度改善所带来的地价升值和当地区域优势的显现，会吸引更多的资金来此投资开发，从而促进区域经济发展；2) 本项目的实施，不仅可有效改善当地生态环境，同时将因为地价升值，提升区域优势等，吸引资金，从而有效拉动当地经济的快速发展，当地居民将有更多的就业机会，收入将明显提高；

7.2.3 社会效益

本项目建成后，将对社会产生如下影响：

1) 项目对所在地区居民生活水平和生活质量的影响

居民收入的增加是改善居民生活水平的主要方面，同时环境质量的提高，生态环境的改善，将给当地居民创造一个清新干净的居住空间，让人们身体健康、安居乐业，从而进一步提高居民的生活质量。

2) 项目对所在地区居民就业的影响

该项目的建设和运营需要一定人力，能暂时解决部分居民的就业问题。本项目运营期短，对居民就业问题的影响作用不明显，运营后地区发展，尤其是会带动莆田市荔城区旅游产业的发展，而带动居民就业或就地自我经营等作用会更显著。

3) 项目对所在地区不同利益群体的影响

本项目属于环境治理工程，应该说受益的是莆田市荔城区市民，从长远来说全社会人民以及子孙万代均受益不穷。政府承担了治理污染的沉重任务，政府为此付出了较大代价，但同时政府也是受益者，它造福人民，是一块历史的丰碑。

4) 项目对所在地区城市化进程的影响

推进城市化进程是我国今后发展的一个必然趋势，全面加快推进城市化是我国全面建设小康社会的重要载体，也是各级党委和政府执政为民的具体体现。推进城市化进程，要把城市化规划与整个经济社会发展规划、用地规划、环保规划等重要规划协调好，注意经济与社会、环境统筹科学地发展，通过市场化运作，作好土地经营和增值，加大城市基础设施建设市场化运作力度。本项目解决了莆田市环境保护的一大难题，将一块位置非常优越的土地改良升值，实现环境保护和城市化进程双丰收，对城市化进程起到重要作用。

8. 结论

8.1 可行性研究结论

根据本场地的污染特征、场地水文地质条件、土地利用规划和场地未来的开发建设计划，经修复技术的初步筛选和进一步的可行性评估，通过修复技术的筛选和综合评估，结合本项目的场地概念模型，经对场地污染土壤修复适用技术的合理组合，形成了场地污染土壤修复的备选方案，再对其进行进一步的方案比选和优化，最终确定本场地污染土壤修复的最佳修复思路为采用方案：

对于氰化物污染土壤采用原地异位化学氧化技术进行处理；对于六价铬污染土壤采用原地异位固化稳定化技术进行处理，采用土壤阻隔技术进行长期管控。

经测算，采用上述组合技术处理本场地污染土壤的总费用约为 89.19 万元。本场地污染土壤的修复工作周期约 150 天，其中修复方案的评审及备案工作约 25 天，施工准备 10 天，污染土壤修复施工 35 天，验收和退场 35 天，竣工报告评审及备案 45 天。

8.2 问题和建议

(1) 场地清理过程和修复过程中应采取有效的安全和环保措施，防止二次污染和污染风险。在场地清理和修复施工前，应制定详尽的二次污染防治计划和风险防范预案，并对相关人员进行必要的安全和环保培训，持证上岗；施工中，应严格参照执行，减少意外环境污染事故和污染风险的发生，确保工程的顺利实施。

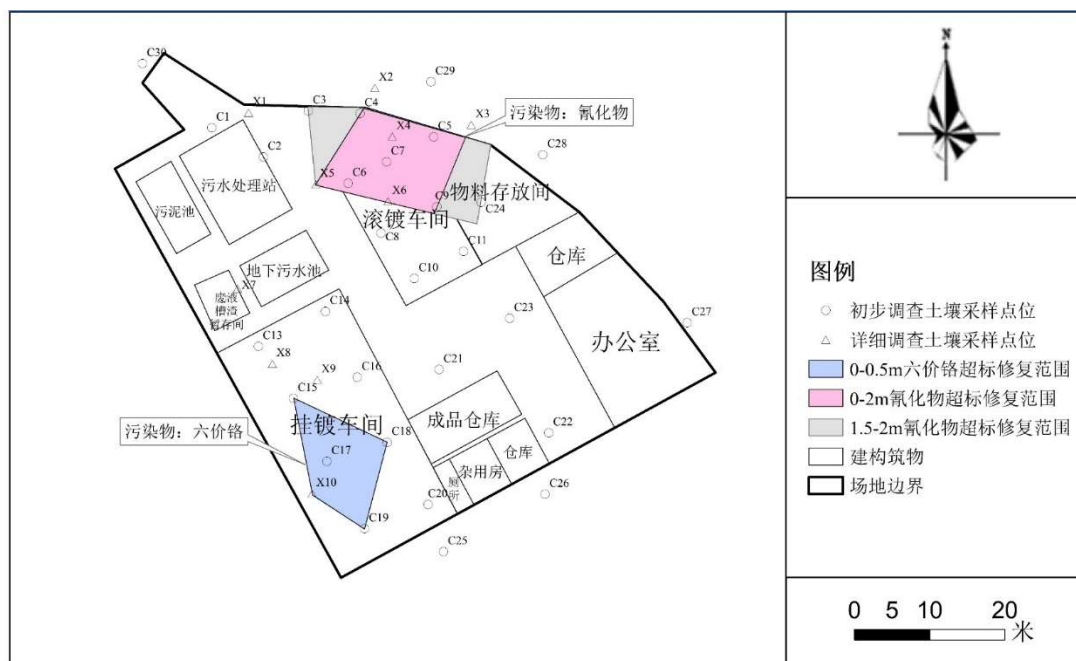
(2) 前期调查与修复工程实施间隔较长时间，可能产生污染情况的变化。建议在场地污染土壤修复施工过程中，时刻关注和防范现

场突发情况，根据现场情况实时调整污染土壤清理边界，以保证场地修复方案能够达到预期目标。

（3）场地的修复实施方案应与场地后期施工计划紧密结合，如有变化，应及时调整。由于本场地后期的建设和施工方案目前还未形成，因此在现阶段还无法精确获得与场地污染修复密切相关的一些基础资料，今后还需根据实际情况在实施方案阶段进行调整。

（4）场地修复过程应进行跟踪检查，及时发现问题。在场地修复过程中，应随时观察、发现是否有新的污染产生，如地下埋藏物、地下罐体、地下管线和有明显特殊气味的地方。一经发现，应及时上报，并由专业人员进行处理。

附件 1 修复范围图及拐点坐标



污染土壤修复范围分布图

修复范围区域拐点坐标

序号	土层	六价铬超标区域		氰化物超标区域	
		X	Y	X	Y
1	0-0.5m	39705641.9686	2813685.576	39705644.1934	2813711.2164
2		39705644.3577	2813674.1951	39705658.4374	2813707.9982
3		39705650.862	2813670.1932	39705662.1246	2813717.0336
4		39705653.118	2813680.6477	39705649.7912	2813720.3918
5	0.5-1.5 m	—	—	39705644.1934	2813711.2164
6		—	—	39705658.4374	2813707.9982
7		—	—	39705662.1246	2813717.0336
8		—	—	39705649.7912	2813720.3918
9	1.5-2m	—	—	39705644.1934	2813711.2164
10		—	—	39705663.5909	2813706.7470
11		—	—	39705665.0569	2813716.1917
12		—	—	39705649.8918	2813720.3934
13		—	—	39705643.1450	2813720.5118

附件 2 专家评审会意见

《莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地土壤污染治理与修复 试点项目治理修复技术方案》专家评审会意见

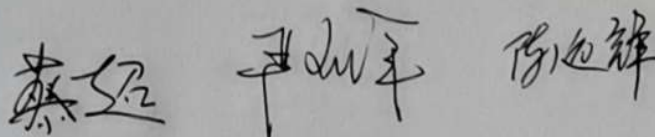
2020年9月22日，莆田市生态环境局会同莆田市自然资源局在莆田市荔城区主持召开了《莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地土壤污染治理与修复试点项目治理修复技术方案》（以下简称“方案”）评审会，会议邀请三位专家组成专家组（名单附后）。参加会议的有莆田市荔城生态环境局、荔城区自然资源局、新度镇政府、江苏大地益源环境修复有限公司（修复方案编制单位）、福建格瑞恩工程设计有限公司（监理及修复效果评估单位）、北京水木丰岳环境咨询有限公司（环评单位）等单位代表。与会专家和代表察看了现场、听取了修复方案编制单位对方案的汇报，经讨论和质询，形成以下意见：

一、方案基本符合国家相关法律法规和技术导则的要求，修改完善并经专家复核后可作为下一步工作的依据。

二、建议：

1. 补充完善场地调查、风险评估阶段地块基本信息。
2. 细化案例分析，完善修复技术论证内容。
3. 结合现场实际情况，进一步优化修复技术路线和工艺参数。
4. 加强二次污染防治措施的针对性，优化施工平面布置。
5. 细化修复监理及效果评估工作内容，明确修复地块后期环境监管要求。
6. 与会专家与代表提出的其他意见。

专家组签名：



2020年9月22日

附件3 《治理修复技术方案》修改说明

《莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地土壤污染治理与修复试点项目治理修复技术方案》修改说明


专家建议	修改情况	对应章节
补充完善场地调查、风险评估阶段地块基本信息	补充介绍了原厂的产品、生产工艺和产生污染物的工艺节点，并分析了生产废水和废气中的主要成分，完善了该地块的相关信息。	2.4~2.5 章节
细化案例分析，完善修复技术论证内容	具体分析了异位化学氧化和异位固化/稳定化技术在工程实施中的应用，从场地污染状况、处置方法和处置效果等方面阐述两种技术方法切实可行，对污染物的去除效果显著。	4.2.2 章节 案例分析部分
结合现场实际情况，进一步优化修复技术路线和工艺参数。	已根据现场的实际情况，对异位化学氧化、异位固化/稳定化、土壤阻隔技术进行了优化。并根据目标污染物浓度和我施工单位的小试及施工经验，进一步优化了各技术的药剂配比等工艺参数	5.1~5.5 章节
加强二次污染防治措施的针对性，优化施工平面布置。	针对废气、废水、噪声、固废、土壤二次污染、地下水交叉污染等污染提出了针对性的措施，确保在修复过程中无二次污染产生。已根据场地内构筑物情况及周边道路环境情况对施工平面图作了优化，各功能区根据污染区域作出调整。	6.2 章节和 5.7 章节
细化修复监理及效果评估工作内容，明确修复地块后期环境监管要求	详述了监理在施工准备阶段、工程实施阶段和竣工验收阶段的工作内容（6.1 章节）；补充完善了效果评估工作的方法、布点、监测指标及后期环境监管要求（6.4 和 6.5 章节）	6.1 章节、6.4 和 6.5 章节
技术可行性论证采用小试实验，完善具体实验过程与结果分析	补充了可行性论证章节的小试实验过程和结论	4.2.3 章节
地下水埋深较浅，污染物存在迁移可能，技术方案应要求修复过	补充了地下水的现场复核内容	6.4.3.4 章节

程应开展现场复核		
完善过程监测和验收监测的方法、布点、指标等内容	补充了修复过程中和验收监测的具体监测要求，如基坑、修复土壤、收集废水、地下水的点位布设、采样方法、测试项目等（6.3 和 6.4 章节）；补充了可能产生的污染物指标，验收监测补充了场地内地下水的监测内容；	6.3 和 6.4 章节
未确认土壤修复范围，明确修复土壤边界的拐点坐标	补充和完善了拐点坐标相关内容	3.2 章节
未明确修复及固化/稳定化后土壤的最终处置方式	补充了修复后土壤的最终去向相关内容	5.1 和 5.4 章节
未说明场地内挖掘区、污染物堆放区、修复区等规划布局及废水处理设施等配套环保设施布局	补充了完善了场地布局及废水设施等相关内容	5.7 和 6.2.2 和 6.3.5 章节
与会专家与代表提出的其他意见	与会专家与代表提出的其他意见和建议已于《治理修复技术方案》中一一作出修改	

附件 4 专家组长复核意见

《莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地土壤污染治理与修复试点项目 治理修复技术方案》专家复核意见

2020年9月22日，莆田市生态环境局会同莆田市自然资源局在莆田市荔城区主持召开了《莆田市荔城区恒赫五金电镀厂场地土壤污染治理与修复试点项目治理修复技术方案》专家评审会。会后，江苏大地益源环境修复有限公司按照专家意见对方案进行了修改完善。经认真审阅和复核，修改后的方案已经基本符合国家和地方相关环保规范和文件的要求，可作为后续工作依据。

专家签字：

2020年10月18日