

广州锌片厂安置房地块场地环境污染治  
理与修复工程

# 实施方案

建设单位：广州市土地开发中心

编制单位：中冶南方都市环保工程技术股份有限公司

2019年9月

# 目录

<b>1 概述</b> .....	<b>1</b>
1.1 项目概况.....	1
1.2 任务由来.....	1
1.3 编制依据.....	3
1.3.1 法律法规.....	3
1.3.2 政策文件.....	3
1.3.3 标准规范.....	4
1.3.4 其他文件.....	6
1.4 编制原则.....	6
1.5 编制程序和内容.....	7
<b>2 场地概况</b> .....	<b>10</b>
2.1 场地地理位置.....	10
2.2 场地自然环境状况.....	11
2.2.1 地形地貌.....	11
2.2.2 气象气候.....	12
2.2.3 地质条件.....	12
2.2.4 水文地质条件.....	15
2.3 场地生产历史及现状.....	17
2.3.1 场地历史.....	17
2.3.2 场地现状.....	20
2.4 相邻场地历史与现状.....	21
2.5 场地未来利用规划.....	21
2.6 场地周边敏感目标.....	22
2.7 场地施工条件.....	23
2.7.1 供排水条件.....	23
2.7.2 电力供应条件.....	24
2.7.3 道路运输条件.....	24
2.7.4 施工布局条件.....	24

<b>3 场地污染现状与风险评估</b> .....	<b>25</b>
3.1 初步调查阶段场地污染情况.....	25
3.1.1 场地环境质量评价标准.....	25
3.1.2 场地土壤污染情况.....	27
3.1.3 地下水污染情况.....	32
3.2 详细调查阶段场地污染情况.....	34
3.2.1 土壤污染详细调查结果.....	34
3.2.2 地下水污染详细调查结果.....	55
3.2.3 详细调查结论与建议.....	58
3.3 场地风险评估结论.....	60
<b>4 修复目标值及修复范围确定</b> .....	<b>61</b>
4.1 原场调与风险评估确定的修复目标值及修复范围.....	61
4.1.1 原修复目标值.....	61
4.1.2 原修复范围及工程量.....	62
4.2 修复目标值调整及修复范围确定.....	63
4.2.1 调整依据.....	63
4.2.2 修复目标值的确定.....	65
4.2.3 调整修复目标值后的土壤修复面积及土方量计算.....	66
4.2.4 污染范围分析.....	66
4.2.5 修复范围及工程量.....	71
<b>5 场地修复技术筛选与评估</b> .....	<b>73</b>
5.1 技术筛选原则.....	73
5.2 土壤修复技术发展趋势.....	73
5.3 土壤修复常用技术介绍.....	74
5.3.1 有机污染土壤的修复技术介绍.....	75
5.3.2 重金属污染土壤的修复技术介绍.....	77
5.4 土壤修复技术筛选.....	81
5.5 土壤修复技术评估.....	86
5.5.1 国内应用案例.....	86
5.5.2 场地应用条件分析.....	87

5.5.3 可行性试验.....	87
5.6 修复技术筛选评估结论.....	94
<b>6 场地修复工艺设计方案.....</b>	<b>95</b>
6.1 设计原则.....	95
6.2 修复目标及修复范围.....	95
6.3 修复实施条件分析.....	96
6.4 修复策略确定.....	97
6.5 修复总体思路.....	98
6.6 修复总体技术路线.....	98
6.7 修复工程量.....	100
6.8 基坑支护工艺设计方案.....	100
6.8.1 开挖范围及周边环境.....	100
6.8.2 基坑支护设计.....	100
6.9 污染土壤异位固化稳定化工艺设计方案.....	102
6.9.1 异位固化稳定化修复处理工程量.....	102
6.9.2 异位固化稳定化工艺设计.....	102
6.9.3 异位固化稳定化主要配套设备选型.....	110
6.9.4 异位固化稳定化主要配套设施设计.....	113
6.10 污染土壤异位热脱附修复工艺设计方案.....	117
6.10.1 热脱附修复工程量.....	117
6.10.2 热脱附修复实施工艺流程.....	117
6.10.3 异位热脱附主要设备选型.....	124
6.10.4 异位热脱附主要配套设施设计.....	125
6.11 污染建筑垃圾冲洗工艺设计方案.....	126
6.11.1 污染建筑垃圾冲洗技术说明.....	126
6.11.2 污染建筑垃圾冲洗工程量.....	127
6.11.3 污染建筑垃圾冲洗工艺设计.....	127
6.11.4 污染建筑垃圾冲洗主要配套设备选型.....	131
6.11.5 污染建筑垃圾冲洗主要配套设施设计.....	131
6.12 污废水处理工艺设计.....	133

6.12.1	污废水来源.....	133
6.12.2	污废水水量.....	133
6.12.3	污废水水质.....	135
6.12.4	污废水处理技术说明.....	136
6.12.5	污水处理设计.....	136
<b>7</b>	<b>修复工程环境管理计划.....</b>	<b>140</b>
7.1	环境问题识别.....	140
7.1.1	二次污染识别与影响分析.....	140
7.1.2	环境风险识别与评估.....	144
7.2	环境管理目标.....	145
7.2.1	二次污染防治目标.....	146
7.2.2	环境风险防范目标.....	146
7.3	修复过程二次污染防治措施.....	146
7.3.1	土壤二次污染防治措施.....	146
7.3.2	大气环境污染防治措施.....	150
7.3.3	水环境污染防治措施.....	156
7.3.4	噪声环境污染防治措施.....	159
7.3.5	固体废弃物污染防治措施.....	162
7.4	环境风险防范及应急预案.....	165
7.4.1	人员安全防护计划.....	165
7.4.2	环境应急预案.....	172
7.5	修复过程环境监测方案.....	177
7.5.1	过程环境监测目的.....	177
7.5.2	过程环境监测内容.....	178
7.5.3	大气环境质量监测方案.....	178
7.5.4	水环境质量监测方案.....	180
7.5.5	声环境质量监测方案.....	183
7.5.6	修复过程环境监测基本要求汇总.....	184
<b>8</b>	<b>修复过程自验收监测方案.....</b>	<b>186</b>
8.1	自验收目的.....	186

8.2 自验收内容.....	186
8.3 自验收工作流程.....	186
8.4 自验收对象及评价标准.....	187
8.5 污染土壤清挖效果自验收监测方案.....	188
8.5.1 采样布点方案.....	188
8.5.2 现场采样及送检要求.....	190
8.5.3 清挖效果评价方法.....	193
8.6 污染土壤修复效果自验收监测方案.....	194
8.6.1 采样布点方案.....	194
8.6.2 采样及送检要求.....	195
8.6.3 修复效果评价方法.....	196
8.7 污染建筑垃圾冲洗效果自验收监测方案.....	197
8.7.1 采样布点方案.....	197
8.7.2 冲洗效果评价方法.....	198
8.8 质量保证与控制.....	199
8.8.1 样品采集质量控制.....	199
8.8.2 样品流转质量控制.....	199
8.8.3 实验室分析质量控制.....	200
8.9 修复工程自验收监测基本要求汇总.....	202
<b>9 修复工程修复效果评估原则要求.....</b>	<b>204</b>
9.1 修复效果评估内容.....	204
9.2 评估对象及评价标准.....	204
9.3 布点采样原则.....	205
9.3.1 场地内污染土壤清挖后遗留的基坑.....	205
9.3.2 固化稳定化修复后的土壤.....	206
9.3.3 异位热脱附修复后的土壤.....	206
9.3.4 冲洗后建筑垃圾.....	207
9.3.5 潜在二次污染土壤.....	207
<b>10 修复工程施工组织设计.....</b>	<b>208</b>
10.1 项目施工目标.....	208

10.1.1	计划开工、竣工日期.....	208
10.1.2	质量目标.....	208
10.1.3	HSE 目标.....	208
10.2	编制依据.....	209
10.2.1	法律法规.....	209
10.2.2	政策文件.....	209
10.2.3	标准规范.....	210
10.2.4	输入文件.....	211
10.3	施工进度计划.....	211
10.3.1	与北区修复工程的配合工作.....	211
10.3.2	基坑清挖配合.....	213
10.3.3	土壤运输配合.....	217
10.3.4	土壤处置配合.....	219
10.3.5	阻隔填埋配合.....	219
10.3.6	施工段的划分.....	220
10.3.7	施工流向及施工顺序.....	220
10.3.8	施工总体进度计划.....	222
10.4	资源配置.....	223
10.4.1	劳动力准备.....	223
10.4.2	机械、设备、材料需求计划.....	223
10.5	施工部署.....	224
10.5.1	项目管理组织机构.....	225
10.5.2	施工总平面布置.....	227
10.5.3	施工用水、电.....	228
10.5.4	施工临时道路.....	232
10.6	专项施工方案.....	232
10.6.1	测量放线专项施工方案.....	232
10.6.2	污染土壤清挖专项施工方案.....	235
10.6.3	污染土壤运输专项施工方案.....	237
10.6.4	热脱附修复施工专项方案.....	243

10.6.5 污染土壤修复后回填专项施工方案.....	245
10.7 修复工程质量保证措施.....	249
10.7.1 质量保证管理体系.....	249
10.7.2 设计质量控制点.....	249
10.7.3 质量保证措施-人力.....	249
10.7.4 质量保证措施-技术.....	250
10.7.5 质量保证措施-施工过程.....	251
10.7.6 其他质量保证措施.....	253
10.7.7 工程质量检验.....	253
10.7.8 工程技术资料管理.....	254
10.8 修复工程工期保证措施.....	254
10.8.1 完善的计划保证体系.....	254
10.8.2 施工进度管理.....	255
10.8.3 施工进度保证措施.....	256
10.8.4 工期调整及措施.....	257
10.9 季节施工措施.....	258
10.9.1 雨季施工.....	258
10.9.2 高温天气施工.....	261
10.9.3 冬季施工.....	262
10.9.4 台风天气施工.....	263
10.10 工程竣工验收及项目移交.....	264
10.10.1 工程竣工验收.....	264
10.10.2 项目移交.....	264
<b>11 附图.....</b>	<b>265</b>
<b>12 附件.....</b>	<b>266</b>

# 1 概述

## 1.1 项目概况

项目名称：广州锌片厂安置房地块场地环境污染治理与修复工程

项目业主：广州市土地开发中心

项目地点：项目所在地位于广州市海珠区昌岗西路 1-3 号，西邻珠江

项目性质：污染土壤修复治理工程

项目规模：总污染土壤方量 3476.69m<sup>3</sup>

污染因子：重金属（砷）、多环芳烃（苯并(b)荧蒹、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒹）、石油烃

修复技术：固化稳定化（重金属污染土壤）、异位热脱附（有机污染土壤）

工程质量：达到广州市环保主管部门验收要求，项目验收合格

项目工期：收到监理单位下发的开工令后，在 90 个日历天完成所有污染土壤的修复治理及效果自评估检测合格，并在 30 个日历天内达到广州市环保主管部门验收备案标准。

## 1.2 任务由来

为控制工业污染场地变更用途后对使用人群的危害，环境保护部等四部委联合颁布的《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环办〔2012〕140号），规定“关停并转、破产或搬迁工业企业原场地采取出让方式重新供地的，应当在土地出让前完成场地调查和风险评估工作”，“经场地环境调查和风险评估属于被污染场地的，应当明确治理修复责任主体并编制治理修复方案”，“被污染场地治理修复完成，经监测达到环保要求后，该场地方可投入使用”。国家环境保护部 2014 年发布了《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），要求“对于已经开发和正在开发的外迁工业区域，要尽快制定土壤环境状况调查、勘探和监测方案，对施工范围内的污染源进行调查，确定清理工作计划和土壤功能恢复实施方案，尽快消除土壤环境污染”。

因广州市“三旧”项目改造工作推进的需要，原广州锌片厂于 2007 年搬迁

出市区，之后该地块作为公安交警支队违法及事故车辆停车场使用，目前，锌片厂南区地块已规划为安置房建设项目。广州锌片厂始建于上世纪 20 年代，生产历史久远，早期粗放的生产与管理模式、落后的三废处理方法对厂区内及周边环境污染较大，不仅危害周边居民身体健康，也限制了厂区搬迁后土地的开发再利用。受广州市土地开发中心委托，北京建工环境修复股份有限公司分别于 2013 年 9 月和 2014 年 3 月对锌片厂南片区拆迁安置房地块（调查范围）进行了场地初步调查和场地环境详细调查及风险评估工作，并编制完成了《广州锌片厂南区保障房地块场地环境初步调查报告》（以下简称《初步调查报告》）和《广州锌片厂南区保障房地块场地环境详细调查及风险评价报告》（以下简称《详细调查及风险评价报告》）。调查评估表明，锌片厂南区地块存在重金属砷、石油烃和多环芳烃污染，需要进行修复治理。

本项目为广州锌片厂安置房地块场地环境污染治理与修复工程，位于广州锌片厂南片区 AH012207 首期出让地块。根据国家环境保护部、国土资源部等四部委《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）、《国务院办公厅关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》（国办发〔2013〕7 号）、《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）等国家相关文件规定，对原工业用地转化其他用地类型的场地土壤要进行环境调查和风险评估，经环境调查和风险评估属于被污染场地的，应编制治理修复方案，并开展修复工作。2015 年 5 月，广东省环境科学研究院编制了《广州锌片厂南区保障房地块污染土壤修复技术方案》（以下简称《修复技术方案》）。

广东粤能工程管理有限公司受广州市土地开发中心委托，对广州锌片厂安置房地块场地环境污染治理与修复工程进行公开招标，发布了《广州锌片厂南区拆迁安置房（一期）项目污染土壤修复治理招标文件》（以下简称《招标文件》）。中冶南方都市环保工程技术股份有限公司（原武汉都市环保工程技术股份有限公司）根据《招标文件》要求编制了相应的投标文件并最终中标，承接南片区拆迁安置房地块（调查范围内）的修复实施工程。依据《广州锌片厂南区拆迁安置房（一期）项目污染土壤修复治理招标文件》（以下简称《招标文件》）、《修复技术方案》等进行该项目的实施方案的编制。

## 1.3 编制依据

### 1.3.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015年1月1日)
- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019年1月1日)
- (3) 《中华人民共和国水污染防治法》(2008年6月1日, 2017年6月27日第二次修订)
- (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》(2016年1月1日)
- (5) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》(1997年3月1日, 2018年12月29日修订)
- (6) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2005年4月1日, 2016年11月7日修订)
- (7) 《中华人民共和国水污染防治法实施细则》(2000年3月20日)
- (8) 《中华人民共和国大气污染防治法实施细则》(2000年9月1日)
- (9) 《中华人民共和国安全生产法》(2014年12月1日)
- (10) 《建设项目环境保护管理条例》(2017年10月1日)
- (11) 《建设工程安全生产管理条例》(2004年2月1日)
- (12) 《建设工程施工现场管理规定》(2007年9月21日)
- (13) 国家危险废物名录》(环保部令第39号; 2016年8月1日施行)
- (14) 《危险废物转移管理办法(修订草案)》(征求意见稿)
- (15) 《广州市建设工程文明施工管理规定》(2012年3月1日)
- (16) 《广东省固体废物污染环境防治条例》(2019年3月1日)
- (17) 《职业病防治法》(2018年12月29日)

### 1.3.2 政策文件

- (1) 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办[2004]第47号)
- (2) 《关于进一步加强重金属污染防治工作的指导意见》(国办发[2009]第61号)

- (3) 《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》(环办[2012]140号)
- (4) 《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)
- (5) 《关于加强环境保护重点工作的意见》(国发[2012]35号)
- (6) 《关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》(国办发[2013]7号)
- (7) 《国务院办公厅关于推进城区老工业区搬迁改造的指导意见》(国办发[2014]9号)
- (8) 《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知》(国发〔2016〕31号)
- (9) 《广州市环境保护局办公室关于印发广州工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点的通知》(穗环办[2018]173号)
- (10) 《环境保护部关于征求<挥发性有机物无组织排放控制标准>(征求意见稿)等两项国家环境保护标准意见的函》(环办大气函[2017]565号)
- (11) 《广州市污染地块再开发利用环境管理实施方案(试行)》(穗环[2018]26号)
- (12) 《广东省土壤污染防治行动计划实施方案》(粤府[2016]145号)
- (13) 《广州市土壤污染防治行动计划工作方案》(穗府[2017]13号)

### 1.3.3 标准规范

- (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/T14848-93)
- (3) 《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)
- (4) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996)
- (5) 《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)
- (6) 《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)
- (7) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)
- (8) 《环境空气质量非甲烷总烃限值》(DB13/1577-2012)

- (9) 《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002)
- (10) 《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)
- (11) 《家具制造行业挥发性有机物排放标准》(DB44/814-2010)
- (12) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)
- (13) 《声环境质量标准》(GB3096-2008)
- (14) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)
- (15) 《场地环境监测技术导则》(HJ25.2-2014)
- (16) 《污染场地土壤修复技术导则》(HJ25.4-2014)
- (17) 《固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法》(HJ557-2010)
- (18) 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2001)
- (19) 《环境监测分析方法标准制修订技术导则》(HJ168-2010)
- (20) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004)
- (21) 《环境空气质量手工监测技术规范》(HJ/T194-2017)
- (22) 《环境监测分析方案标准制定技术导则》(HJ/T168-2004)
- (23) 《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T55-2000)
- (24) 《环境空气质量监测规范(试行)》(国家环保总局2007年第4号)
- (25) 《空气和废气监测分析方法》(第四版) 国家环境保护部
- (26) 《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002)
- (27) 《地下水环境监测技术规范》(HJ/T164-2004)
- (28) 《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)
- (29) 《环境监理工作制度(试行)》(国家环保局环监[1996]888号)
- (30) 《聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范》(SL/T231-1998)
- (31) 《职业健康安全管理体系要求》(GB/T28001-2001)
- (32) 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分:化学有害因素》  
(GBZ2.1-2007)
- (33) 《工作场所有害因素职业接触限值第2部分:物理因素》  
(GBZ2.2-2007)
- (34) 《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》(HG2026-2013)
- (35) 《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)

- (36) 《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11T811-2011)
- (37) 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012);
- (38) 《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2002);
- (39) 《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009年版);
- (40) 《建筑地基与基础工程施工质量验收规范》(GB50202-2002);
- (41) 《钢筋焊接及验收规范》(JGJ18-2003);
- (42) 《建筑基坑工程监测技术规范》(GB50497-2009);
- (43) 《工程测量规范》(GB50026-2007);
- (44) 《广州地区建筑坑槽支护技术规定》(GJB02-1998);
- (45) 《企业突发环境事件风险分级方法》(HJ941-2018);
- (46) 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)》  
(HJ25.5-2018)

### 1.3.4 其他文件

- (1) 《广州锌片厂南区保障房地块场地环境初步调查报告》，2013年9月；
- (2) 《广州锌片厂南区保障房地块场地环境详细调查及风险评价报告》，2014年3月；
- (3) 《广州锌片厂南区保障房地块污染土壤修复技术方案》，广东省环境科学研究院，2015年5月；
- (4) 《广州锌片厂南区拆迁安置房(一期)项目污染土壤修复治理招标文件》，广州市土地开发中心，2016年3月；
- (5) 《污染土壤修复治理工程合同(广州锌片厂南区拆迁安置房(一期)项目)》，2016年4月；
- (6) 《广州锌片厂安置房地块场地环境污染治理与修复工程实施方案和环境监理方案专家评审意见》(2019年8月)

## 1.4 编制原则

本方案的制定以“消除污染，不留隐患”为出发点，遵循“科学性、可行性、安全性、合规性”的总体原则。

(1) 科学性原则：采用科学的方法，综合考虑污染地块修复目标，修复技术的成熟性、安全可靠性和经济性，修复时间，修复工程的环境影响等因素，制定修复方案。

(2) 可行性原则：制定的污染土壤修复治理工程实施方案要合理可行，要在前期工作的基础上，针对污染地块的污染性质、程度、范围、土质、水文地质条件以及对人体健康或生态环境造成的危害等，因地制宜地制定修复实施方案，合理选择修复技术，实现修复目标。

(3) 安全性原则：制定污染土地治理修复方案要确保污染地块中的污染得以去除，保证污染地块修复工程过程不对施工人员、周边人群健康及生态环境产生危害和二次污染。

#### (4) 修复彻底

按照相关文件和批复要求，科学合理选择修复工艺，彻底解决土壤污染问题，达到修复治理目标要求，不留环境与安全隐患，保证场地长期使用安全性。

#### (5) 工程合规

修复治理工程各项工作均应遵循国家和地方相关法律法规、标准以及环保部门批复的要求等。

## 1.5 编制程序和内容

本项目实施方案编制分五个阶段进行，分别为确定修复目标、选择修复策略、修复技术筛选、制定修复方案和编制实施方案。本项目实施方案编制程序和内容见图 1-1 所示。

#### (1) 确定修复目标

根据前期场调及风险评估结果，结合国家及地方最新法律法规、标准规范要求等，确定本项目的修复目标。

#### (2) 选择修复策略

在对污染场地前期信息和环境调查资料进行全面核查、场地状况现场考察和相关技术资料分析等工作的基础上，确认场地目标污染物、修复总体目标、修复范围和修复时间需求等，选择适合本场地的修复策略。

#### (3) 修复技术筛选

以场地总体修复目标和修复策略为核心，调研常用的修复技术，综合考虑修

复效果、可实施性及成本等因素进行技术筛选，找出适用于目标场地的潜在可行技术，并根据需要开展相应的技术可行性评估，确定目标场地的可行修复技术。修复技术筛选主要包括潜在可行技术筛选、技术可行性评估和修复技术定量评估 3 个过程。

#### （4）制定修复方案

根据确定的修复技术，制定污染场地修复技术路线，优化并确定修复工艺参数，估算污染场地土壤修复的工程量，提出并确定修复方案，并编制场地修复环境管理计划。其中，环境管理计划为目标场地的修复工程实施提供指导，防止场地修复过程的二次污染，并为场地修复过程的环境监管提供技术支持。环境管理计划主要包括二次污染风险分析控制、修复工程监测计划、环境应急安全计划和场地修复效果自评估和第三方评估计划和相关要求。

#### （5）编制实施方案

根据上述选择修复策略、修复技术筛选、形成修复实施方案、制定环境管理计划的流程，进行实施方案的编制，形成实施方案文本。

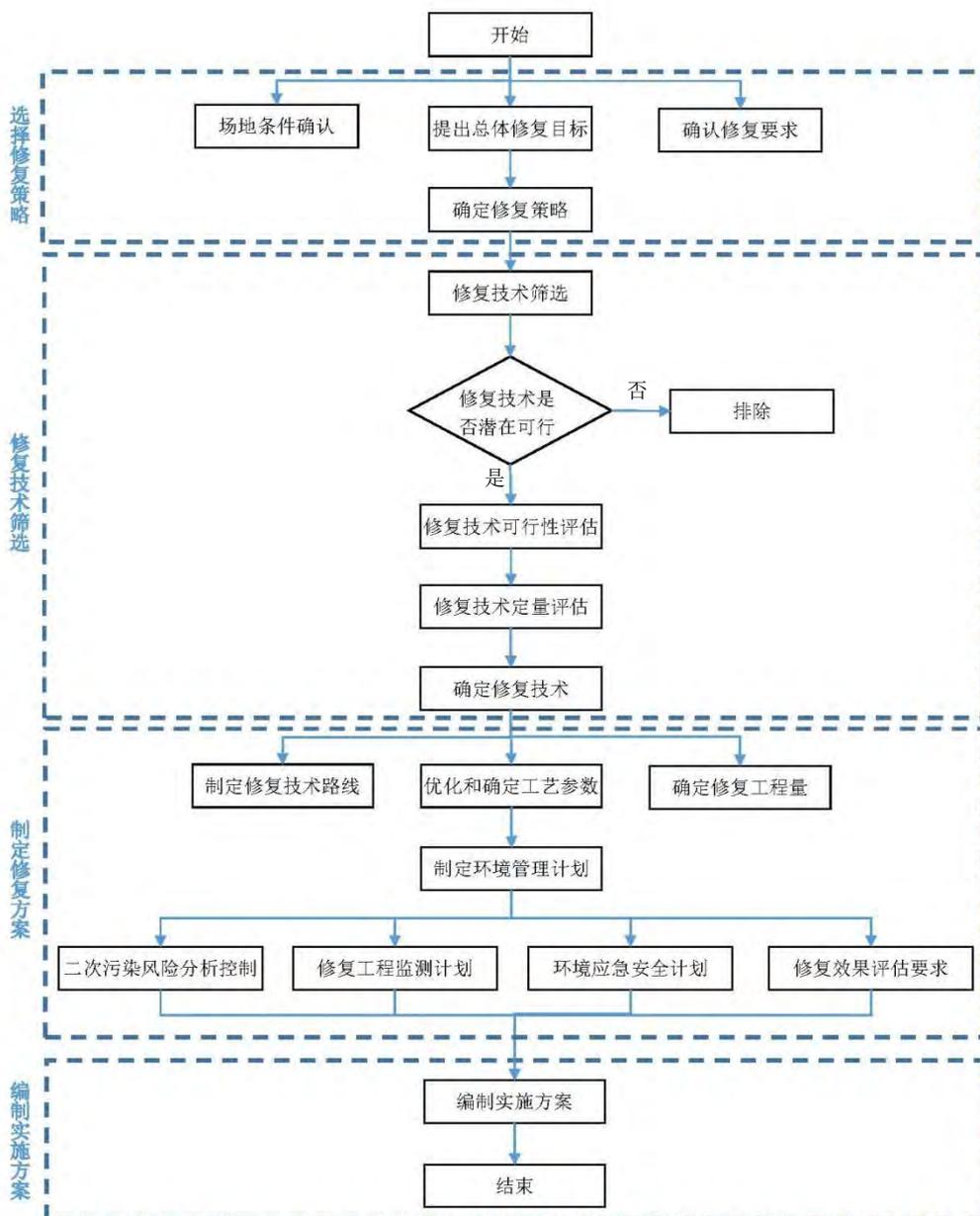


图 1-1 实施方案编制程序和内容

## 2 场地概况

### 2.1 场地地理位置

锌片厂南片区拆迁安置房地块（调查范围内）位于项目所在地位于广州市海珠区昌岗西路 1-3 号，西邻珠江。场地中心位置东经  $113^{\circ} 15' 34''$ ，北纬  $23^{\circ} 04' 48''$ ，具体地理位置详见图 2-1。本项目位于广州市海珠区鹤洞大桥以南原广州锌片厂南厂区，为锌片厂首期开发用地，场地北面紧邻昌岗西路，东面与原广州市橡胶一厂住宅院及宝玉直实验小学（南边路校区）相邻，南边紧邻原广州第一棉纺织厂。本次规划用地面积 16896 平方米，场地内原有建筑物已全部拆迁完毕，现为空地。

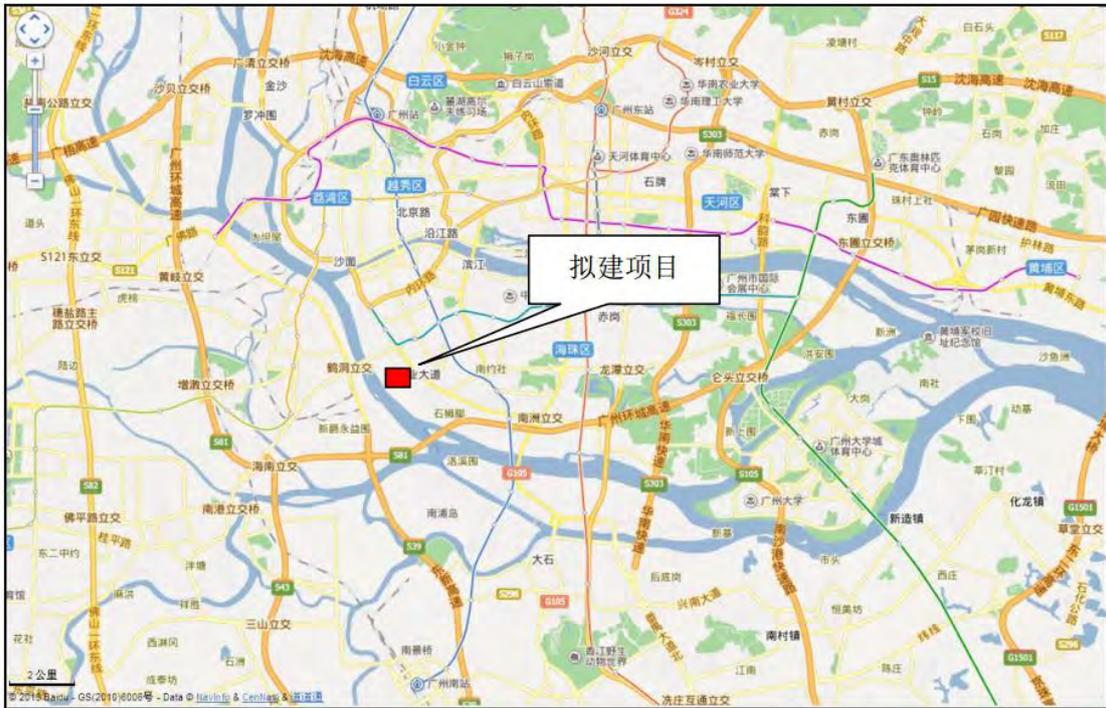


图 2-1 场地地理位置图



图 2-2 场区边界及周边环境

## 2.2 场地自然环境状况

### 2.2.1 地形地貌

广州属丘陵地带。地势东北高，西南低，北部和东北部是山区，中部是丘陵、台地，南部是珠江三角洲冲积平原。中国的第三大河——珠江从广州市中心穿流而过。

(1) 区内地壳基本稳定，但仍有一定活动性，特别是某些主干断裂交汇处具备发生里氏 5.5 级地震的地质背景。

(2) 区内第四纪沉积厚度一般在 10 多米，总体地基条件良好，但在局部地区和主干断裂通过部位厚度加大，在某些断裂破碎带上软弱岩土发育，在上白垩纪底层中多有“岩土互层”现象，导致地基条件复杂。

(3) 区内某些地段具有不良地址现象，造成地基不稳定因素。这些地段包括煤矿采空区和石灰岩隐伏岩溶发育区，易因抽水和承压力加大而发生局部地面塌陷，房屋变形；在大面积、大厚度的淤泥分布区可能导致浅部工程的桩基损坏失稳。胀缩土分布区在一定条件下会造成低层建筑的开裂。

### 2.2.2 气象气候

本项目所在地区位于珠江三角洲的腹部，季风气候区，气候宜人，雨量充沛。农作物四季生长。

海珠区年平均降雨量是 1725 毫米，降雨最大年 2516.7 毫米（1975 年），最小年 1243 毫米（1984 年）。降雨多集中于 4~9 月，占全年的 81%，尤其以 5~6 月雨量最大，占全年的 32.8%，降雨量最小是 12 月，占全年降雨量的 1.4%。年平均降雨日为 151 天，日最大降雨量 284 毫米。每年 10 月至次年 3 月为旱季，年蒸发量平均为 1603.5 毫米，平均相对湿度 79%。

海珠区年平均气温为 21.8℃，7 月份最高温平均为 28.4℃，1 月份最低温平均为 13.3℃。日极端高温为 38.1℃（1980 年），极端低温为 0.1℃（1975 年），平均年积温 7957℃，无霜期达 340 多天。

海珠区年平均日照为 1960 小时，日照率为 44%。2~4 月份日照时数较短，阴天平均每月达 17.3 天。其中，3 月份阴天最多，平均年份可达 20 天，个别年份达 22 天之多。7~10 月份日照时数最多，阴天平均每月不足 5 天，个别年份没有出现阴天，其中 10 月份晴天最多。年平均总辐射量 106.7 千卡/平方厘米；7 月份最大，平均达 11.8 千卡/平方厘米；2 月份最小，平均为 5.9 千卡/平方厘米。

海珠区季风分明。秋、冬季以吹北风和西北风为主，春夏季以吹南风 and 东南风为主。天河地区年平均风速为 1.9~2 米/秒。每年 7~9 月，台风盛行，风力一般 6~9 级，最大风力 12 级以上，最大风速 37 米/秒，对农作物和建筑物造成危害。

### 2.2.3 地质条件

据场地调查阶段的勘探采样所揭示的土层情况，按地层沉积年代、成因类型，将场地最大勘探深度（7.0m）范围内的地层划分为人工堆积层和第四纪沉积层两大类，并按土层岩性、赋水特征及其物理性质，进一步划分为 7 个大层及其亚层，各层岩性及分布特征概述如下：

### 1) 人工堆积层

分布于地表，主要为粉土填土、砂质粉土填土①层，房渣土和碎石填土①1，粉土填土①2，该大层在场地内普遍分布，厚度在 0.00-3.0m 左右（含水泥地面及路面厚度）。

### 2) 第四纪沉积层

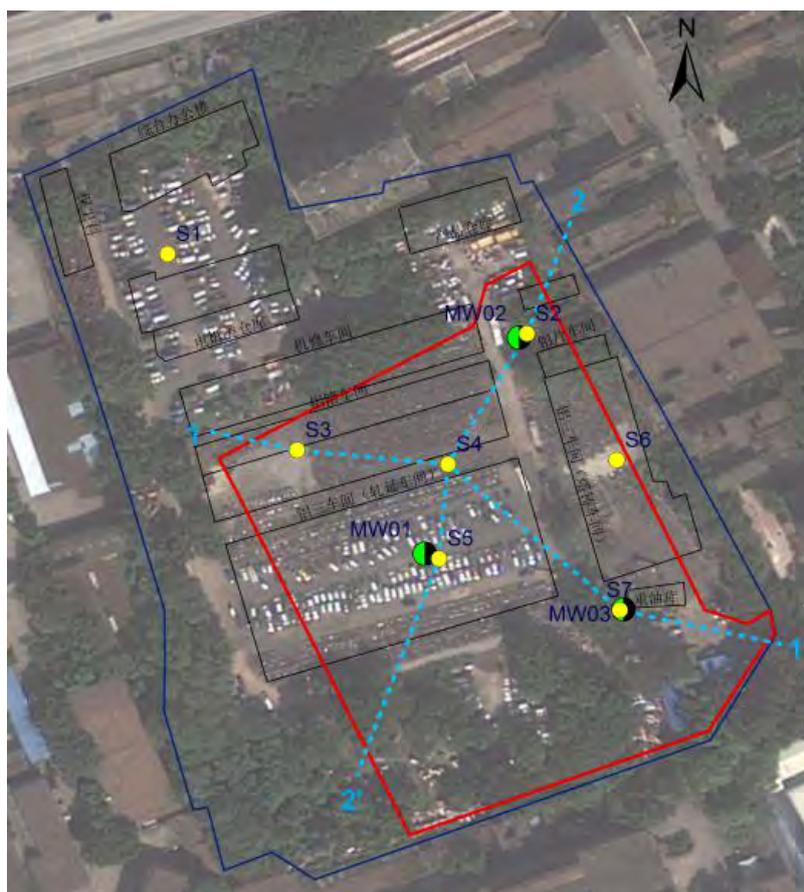
分布于人工堆积层之下，其层顶标高为 4.282~1.202m（埋深为 0.00-7.00m），主要为冲洪积之粘性土、粉土和粗砂、碎石石层，具体分布及岩性特征如下：

标高-0.853~4.282m（埋深为 0.00-5.0m）以下为砂土②层，粗砂②1 层和粉砂②2 层以及砂砾②3 层，该大层粗砂、粉砂和砂砾层的渗透性相对较强，为第一层含水层分布区域。

标高 0.677~2.977m（埋深为 2.4-4.80m）以下为粉土、粘质粉土、砂质粉土③层，粘质粉土③1 层，砂质粉土③2 层，该大层的综合渗透性差，为相对不透水层。

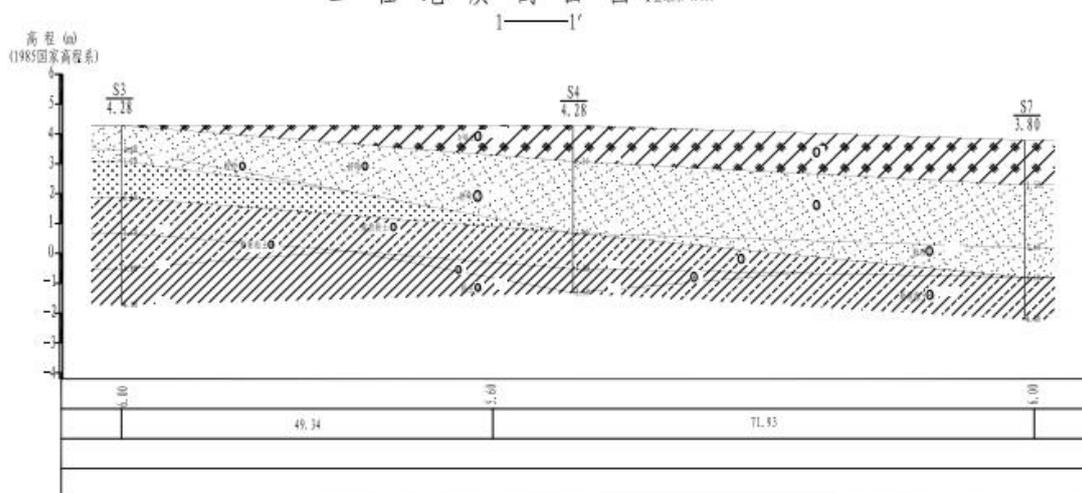
标高-0.853~2.318m（埋深为 2.40-7.00m）以下为粘土、粉质粘土④层，粉质粘土④1 层，粘土④2 层。该大层的综合渗透性差，为相对不透水层。

由《初步调查报告》可知，本项目场地的工程地质剖面图如下：

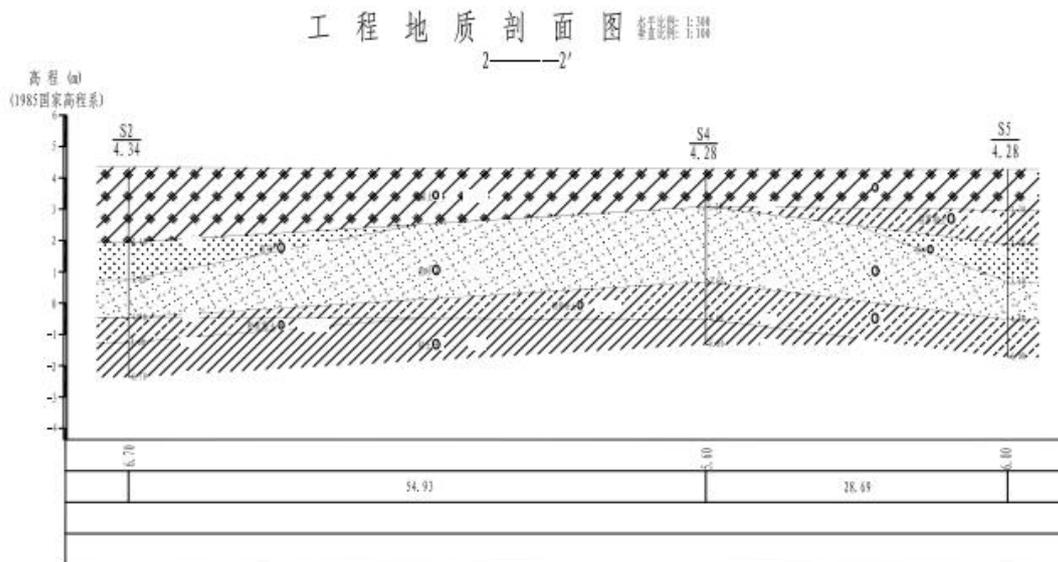


(a)

工程地质剖面图



(b)



(c)

图 2-3 场区工程地质剖面图

(a) 场区平面图；(b) 1-1'断面工程地质剖面图；(c) 2-2'断面工程地质剖面图

## 2.2.4 水文地质条件

广州属丘陵地带。地势东北高，西南低，北部和东北部是山区，中部是丘陵、台地，南部是珠江三角洲冲积平原。中国的第三大河——珠江从广州市中心穿流而过。该场地位于广州市海珠区，位于珠江三角洲冲积平原北部，西北部往东为一系列略有起伏的低丘岗峦，最高处的圣堂岗海拔 54.3 米。东南部为平原，河网密布，地势低平，海潮可达，河涌众多，为典型的平原水网地带，海拔 10 米以下。第四系沉积厚度一般在 10 多米，为粘性土、粉土与砂类土交互沉积。该场地西南紧邻珠江，珠江水流流向为由西北向东南方向。项目所在地地下水埋深较浅，一般 1.5m 即可见地下水。

本项目所在地地下水为浅层地下水，地下水水位大致从西北向东南方向。



图 2-4 地下水流向示意图

地下水水位详情如下：

初步调查和详细调查阶段共布设了 6 口地下水监测井，详细调查阶段对 6 口井的水位进行了统一测量。根据场地勘探期间揭露的地层和地下水分布情况，并结合以往收集的资料得出，场地基岩之上分布有潜水层，6 口井地下水静水位范围为地面以下 1.114~2.005m。各监测井水位测量结果见表 2-1 所示。

表 2-1 场地地下水监测井水位量测结果一览表

采样点号	监测井号	坐标		地面标高(m)	井口标高(m)	监测井深(m)	水位标高(m)	水位埋深(m)
		x	y					
S5	MW1	113.25425	23.082409	4.277	4.324	6.01	3.21	1.114
S2	MW2	113.254545	23.083089	4.338	4.274	5.805	2.839	1.435
S7	MW3	113.254871	23.082234	3.795	3.83	5.918	2.19	1.64
SB2-14	MW2-01	113.253994	23.082864	4.246	4.027	4.787	2.809	1.218
SB2-10	MW2-02	113.254052	23.082079	4.287	4.198	4.74	2.193	2.005
SB2-07	MW2-03	113.254698	23.081848	3.858	3.786	5.278	1.866	1.92

## 2.3 场地生产历史及现状

### 2.3.1 场地历史

场地前身是大生铜厂，建于 1920 年，1954 年改为地方国营广州锌片厂，2000 年 10 月，广州锌片厂关闭，转制重组成立广州市腾业锌材有限公司，广州市腾业锌材有限公司于 2007 年搬迁出市区。2009 年场地的建筑物被拆除，随后，广州锌片厂（北区）地块处于空置，2008 年拆除建筑物，并作为凤安驾校训练场；广州锌片厂（南区）一直作为公安交警支队违法及事故车辆停车场使用。2013 年，根据广州市土地管理委员会 2013 年第四次会议决定，广州锌片厂（南区）保障性住房地块将由广州市土地开发中心自行建设安置房，用地性质由工业用地变住宅用地。2013 年该场地进行了车辆的清运工作。

根据历史航拍图及相关的历史信息资料，广州锌片厂北区场地的土地利用历史可大致分为四个阶段，如下表所示。

表 2-2 锌片厂南区土地利用历史

序号	时间	用途
1	1980 年前	农田
2	1980-2000 年	广州锌片厂（南区）厂区
3	2007-2013 年	公安交警支队违法及事故车辆停车场
4	2013 年-至今	安置房建设用地



图 2-5 场地 2009~2019 年卫星遥感图

广州锌片厂南区的平面布置图见图 2-6，主要包括保卫科、综合办公楼、宿舍、仓库（机电、重油）、机修车间、铝车间（熔铸、轧延）、铝车间等，锌片厂（北区）主要包括锌车间、仓库（铝）、维修组、办公楼、化验室等。本项目用地位于锌片厂南区，调查范围为图 2-6 中红色边界内区域。



图 2-6 广州锌片厂南区平面布置图

广州锌片厂原名“大生铜厂”，始建于 1921 年。自 1953 年 8 月试制出我国第一张电池锌板后，经过不断的技术改造和技术革新，发展成为年产各种锌材、

锌合金 3 万吨、铝材 2 万吨、铝材 10 吨的大型有色金属综合加工企业。1957 年电池锌片质量在化学成份、物理性能等方面赶上当时国外较好水平的比利时锌片。1958 年锌片出口香港、新加坡、马来西亚等地区和国家，使我国锌片由过去依靠进口变为现在出口为主。1966 年 1 月试制成功最新型印刷锌板—微晶锌板，主要技术指标接近日本同类产品，是国内印刷技术上一项重大成果，成为全国最早生产微晶锌板的企业。1966 年开始研究三相感应电炉熔锌和连续浇铸新工艺。1969 年建成第一套具有我国自己特点的三相感应电炉和连续浇铸设备，1977 年获全国科技大会奖状，这项新技术已为全国各大锌加工厂采用，每年可为国家节约金属锌 500 吨。1981 年建成整体锌筒车间，提高了电池锌筒的劳动生产率，降低劳动强度，节约了大量金属锡。1981 年试轧成功“双零”铝箔。1982 年建成全国第一座微晶锌板专业生产车间，扩大了生产能力，适应了出版印刷事业的需求。1982 年，该厂进行了企业全面整顿，加强了企业管理，各项主要技术经济指标均超过历史最好水平。2000 年，广州锌片厂转制成为广州有色金属有限公司腾业锌片厂。2007 年，该厂整体迁至从化市。

广州锌片厂主要产品：电池锌板、锌饼、锌筒、印刷用微晶锌板、压铸锌合金；纯铝及铝合金板、铝带、铝箔、铝箔基压敏胶带、热熔胶铝箔、电缆铝箔；复铝钢背双金属板轴瓦材料及用作可控硅元件支承件的铝圆等。主要的生产工艺见图 2-7。铝材用重油于熔铸炉熔铸，锌材用电炉熔炼。



图 2-7 广州市锌片厂工艺流程图

根据锌片厂南区平面布置图，本项目所在地块的工艺主要是用铝锭和铝锭生产各种铝制品及铝制品，重油库作为生产用重油的储存场所。

### 2.3.2 场地现状

根据现场踏勘，本项目场区内建筑物均已拆除，场区现为空置场地。场区内存在部分混凝土地面，场区出口处有砂石路。本项目修复实施前需在场区内建设临时道路，便于修复施工作业。场地现状情况见图 2-8 所示。



图 2-8 场地现状图

## 2.4 相邻场地历史与现状

本项目场地周边主要以工业及仓储建筑为主，西侧是原广东省石油公司昌岗路油库（距离约 50m），目前已停业；东侧是广州市第一橡胶厂（距离约 20m），南侧是广州第一棉纺织厂（距离约 5m）；北侧紧邻昌岗西路。橡胶厂与棉纺织厂场均已搬迁，控规为居住用地。

## 2.5 场地未来利用规划

根据场地的用地规划图，锌片厂南区规划的用途主要为居住用地；锌片厂北区规划的用途主要为商业用地、防护绿地和公园绿地。广州锌片厂地块规划图如下。



图 2-9 广州锌片厂地块规划图

2013 年，根据广州市土地管理委员会 2013 年第四次会议决定，锌片厂南区 AHO12207 一期地块将由广州市土地开发中心自行建设安置房。本项目所在区域南区 AHO12207 地块首期用地占地面积 16896m<sup>2</sup>，可建设用地面积 10878m<sup>2</sup>，容积率 3.0，计算容积率建筑面积 32634m<sup>2</sup>。

## 2.6 场地周边敏感目标

本项目场区东北紧邻宝玉直实验小学(南边路校区)，西边距离珠江约 200m。

表 2-3 项目周边敏感目标一览表

敏感目标名称	敏感目标方位	敏感目标类型	敏感目标距本项目最近距离
宝玉直实验小学（南边路校区）	东北	学校	紧邻
珠江	西	地表水	200m

本项目周边敏感目标位置示意图如下。



图 2-10 项目场区周边敏感点

## 2.7 场地施工条件

### 2.7.1 供排水条件

经现场踏勘，场内无供水管网，可从厂区东侧的居民生活区接水点接入给水。

场内产生的污水经北区水处理设备处理后进行再利用，回用水主要用于建筑

垃圾冲洗、洗车用水、土壤养护用水等。

### 2.7.2 电力供应条件

由业主指定点接入电。

### 2.7.3 道路运输条件

本项目从场区东北出口直接与昌岗西路相连，具备较好的场外运输条件。

目前场内空置，修复施工前需修建临时道路，以满足修复过程中场内运输要求。

### 2.7.4 施工布局条件

目前，原广州锌片厂厂区内建筑已全部拆迁完毕，场区场地空置，且项目修复实施过程主要在北区进行，修复设备及设施均位于北区。南区具备修复施工布局条件。

### 3 场地污染现状与风险评估

北京建工环境修复有限责任公司于 2013 年 9 月和 2014 年 3 月先后对场地进行了初步调查和详细调查，并形成了《初步调查报告》和《详细调查及风险评价报告》，两次调查结论如下。

#### 3.1 初步调查阶段场地污染情况

##### 3.1.1 场地环境质量评价标准

###### (1) 土壤筛选标准的确定

在进行土壤和地下水筛选标准选取时主要依据场地用途，我国污染场地调查与风险评价工作起步较晚，截至 2013 年 9 月初步调查进行时，除 2007 年《展览会用地土壤环境质量评价标准（暂行）》和 2008《土壤环境质量标准（修订）（征求意见稿）》外，国内尚无其它国家统一的土壤污染物风险筛选标准，但 2007 年《展览会用地土壤环境质量评价标准（暂行）》的制定是为确保展览会建设用地的环境安全性，并没有专门针对居住用地类型的标准，不适合本项目，且该标准是 2007 年的暂行标准，初步调查阶段业内使用较少，故初步调查未采用。当时 2008《土壤环境质量标准（修订）》尚处于修订阶段，可能具有一定不确定性，初步调查时也未使用。

地方上仅北京于 2011 年颁布了《场地土壤环境风险评价筛选值》，对于北京筛选值缺乏的污染物，当时行业中多参考美国的土壤风险筛选值和荷兰的土壤干预值。美国筛选值（目标致癌水平为  $10^{-6}$ ）相比国际上其它国家偏严，荷兰污染物干预值偏松（目标致癌水平为  $10^{-4}$ ）。

初步调查结合广州锌片厂实际情况，综合考虑项目后期环境治理成本及公众安全，最终确定该场地土壤污染物风险筛选标准采用国内唯一已正式颁布的北京《场地土壤环境风险评价筛选值》，对于该标准中缺乏的污染物风险筛选标准，优先选择美国九区的土壤筛选标准，其次是荷兰的土壤干预值。

###### (2) 地下水筛选标准的确定

初步场调阶段国内尚没有基于风险的地下水风险筛选标准。当时我国最新公布的《污染场地风险评估技术导则（报批稿）》中规定采用《地下水质量标准

GB/T14848-93》作为地下水筛选标准，但该标准主要针对重金属等无机污染物，除了滴滴涕、六六六之外缺乏有机污染物的标准，无法满足项目需求；而我国2009年发布的《地下水质量标准（报批稿）》中重金属和有机污染物标准均包括，且重金属污染物标准与《地下水质量标准 GB/T14848-93》中相同。故初步调查时地下水污染物的筛选评价标准优先选取我国2009年发布的《地下水质量标准（报批稿）》中的IV类水标准；对于该标准中缺乏的污染物风险筛选标准，优先选择美国九区的筛选标准，其次是荷兰的地下水标准。

初步调查选取的土壤和地下水的主要筛选评价标准详见下表。

表 3-1 初步调查场地土壤、地下水检出污染物及其风险筛选标准

序号	污染物	土壤 (mg/kg)	地下水 ( $\mu\text{g/L}$ )	序号	污染物	(mg/kg) 土壤	地下水 ( $\mu\text{g/L}$ )
1	砷	20	50	32	二苯呋喃	78*	5*
2	汞	10	1	33	唑啉	32#	5*
3	镉	8	10	34	乙酰苯(苯乙酮)	7800*	3700*
4	铬	250	30	35	苯酚	80	10
5	铅	400	100	36	3-甲基苯酚&4-甲基苯酚	7500*	40*
6	银	390*	100	37	2,4-二甲基酚	1200*	100*
7	钡	15000*	4000	38	2-硝基酚	/	—
8	1,2-二氯乙烷	3.1	/	39	2-甲基萘	310*	150*
9	1,1-二氯乙烷	/	/	40	二氢茈	3400*	200*
10	1,1,2-三氯乙烷	/	10	41	芴	50	300*
11	1,1,2,2-四氯乙烷	/	/	42	菲	5	200*
12	四氯化碳	2	/	43	蒽	50	600
13	氯仿	0.22	/	44	荧蒽	50	800
14	氯乙烯	0.25	/	45	芘	50	1000
15	1,1-二氯乙烯	/	/	46	1,2-二氯丙烷	/	60
16	顺-1,2-二氯乙烯	43	/	47	氯苯	41	600
17	三氯乙烯	7.5	/	48	苯并(a)芘	0.2	/
18	四氯乙烯	4.6	/	49	茈	3400*	/
19	苯	0.64	100	50	苯并(b)荧蒽	0.5	/
20	甲苯	850	6000	51	苯并(k)荧蒽	5	/
21	乙苯	450	3000	52	苯并(a)蒽	0.5	/
22	二甲苯	74	6000	53	茚并(1,2,3-cd)芘	0.2	/
23	苯乙烯	1200	6000	54	苯并(g,h,i)芘	5	/
24	二甲苯	74	6000	55	屈	50	/
25	正丙苯	3400*	/	56	2,4-二氯酚	180*	/

序号	污染物	土壤 (mg/kg)	地下水 ( $\mu\text{g/L}$ )	序号	污染物	(mg/kg) 土壤	地下水 ( $\mu\text{g/L}$ )
26	异丙基苯	2100*	/	57	2,4,6-三氯酚	44*	/
27	正丁基苯	3900*	/	58	邻苯二甲酸二甲酯	—	/
28	对-异丙基甲苯	—	—	59	邻苯二甲酸双(2-乙基己基)酯	35*	/
29	1,3,5-三甲基苯	780*	370*	60	1,4-二氯苯	/	/
30	1,2,4-三甲基苯	62*	15*	61	二苯并(a,h)蒽	0.05	/
31	萘	50	200	62	亚硝基吗啉(二期)	/	

备注：（1）“/”表示该种介质中未检出该种物质，“-”表示该种污染物无相关标准；  
（2）土壤中的“\*”标准选自美国九区筛选值，“#”来自展览会标准，其余选择北京筛选值。

### 3.1.2 场地土壤污染情况

广州锌片厂初步调查阶段采集的土壤样品，分析检测按照美国环保署和国家相关技术指南及规范要求进行。土壤样品的检测分析由第三方权威实验室澳实分析检测（上海）有限公司（ALS）完成。土壤样品的检测指标包括：含水率、pH值、重金属 10 种（As、Ba、Cd、Cr、Pb、Hg、Se、Ag、Cu、Zn）、VOCs、SVOCs、氰化物和氟化物。共检测各项指标 219 项，其中物质有检出的指标 35 种，超标污染物 8 种，为重金属和 PAHs 污染。8 种超标污染物分别为砷、镉、锌、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘和二苯并(a,h)蒽。其他 27 种污染物虽有检出，但均超标。

本项目场地未来规划为居住用地，故筛选标准选用初步调查时国内正式公布且业内使用最多的《场地土壤环境风险评估筛选值》（北京市环保局 2011）中的住宅用地标准，对个别该标准中缺乏的筛选值的污染物，采用国外发达国家的相关标准，初步调查采样点布点图见图 3-1，场地土壤中污染物检测结果见表 3-2，污染物超标情况统计见表 3-3。



图 3-1 初步调查土壤采样点分布图

表 3-2 土壤超标污染物检测结果

采样点	采样深度	砷	镉	锌	苯并(a)蒽	苯并(b)荧蒽	苯并(a)芘	茚并(1,2,3-cd)芘	二苯并(a,h)蒽
筛选值		20	8	3500	0.5	0.5	0.2	0.2	0.05
S1	0.5m	24.4	1.89	743	1.37	2.16	1.69	0.85	0.24
	1.0m	10.5	1	297	1.19	1.71	1.39	1.12	0.32
	2.0m	17.5	1.34	476	1.21	1.69	1.52	1.13	0.29
	3.0m	18.7	<0.50	67.2	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	4.7m	35.8	<0.50	70.9	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
S2	0.8m	18.7	1.06	124	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	1.8m	38.5	0.72	288	0.13	0.21	0.18	0.14	<0.10
	4.5m	11.9	<0.50	50.1	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	5.5m	12.4	<0.50	40.2	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	6.6m	13.2	<0.50	51	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
S3	0.5m	29.3	0.66	134	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	1.0m	22.2	0.53	47.5	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	3.5m	14.3	0.56	38.4	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	4.5m	2.2	<0.50	4.2	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	5.5m	3.6	<0.50	9.8	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
S4	0.6m	2.7	<0.50	34.4	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
	1.8m	3	<0.50	67.4	0.24	0.35	0.29	0.19	<0.10
	3m	1.8	<0.50	7.4	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	3.8m	2	<0.50	5.7	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	5.0m	12.5	<0.50	8.6	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
S5	0.9m	10.1	<0.50	69.2	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	1.4m	16.9	<0.50	32.3	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	2m	22.5	<0.50	63.9	0.12	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	4m	10.2	<0.50	18.4	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	5.8m	19.8	0.92	38.3	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
S6	0.4m	8.6	1.04	330	0.45	0.87	0.58	0.27	<0.10
	1.0m	17.7	3.48	2590	1.4	2.38	1.67	1	0.24
	2.2m	22.8	<0.50	673	0.19	0.41	0.27	0.16	<0.10
	3.4m	8.2	<0.50	34.4	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
	5.5m	36.7	<0.50	51.1	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
S7	0.8m	13.2	<0.50	87	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	1.8m	14.2	8.2	5120	3.27	5.9	4.7	2.16	<1.00
	3m	16.7	<0.50	45.4	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	3.8m	16.5	1.16	414	0.13	0.18	0.15	<0.10	<0.10
	5.5m	45.3	<0.50	71.9	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10

注：红色加粗字体为超出筛选值点位；

表 3-3 土壤中污染物的检出及超标情况统计

检出物质名称	检测限 (mg/kg)	检出个数	最大浓度	超标数目	超标率 (%)	最大超标倍数	北京筛选值-住宅用地
可溶性氟化物	1	29	39.2	0	0.00%	0	650
总氰化物(以 CN 计)	1	1	2.6	0	0.00%	0	300
砷	1	35	45.8	9	25.71%	2.29	20
钡	0.5	35	439	0	0.00%	0	15000
镉	0.5	13	8.2	1	2.86%	1.03	8
铬	0.5	35	237	0	0.00%	0	250
铜	0.5	35	102	0	0.00%	0	600
铅	0.5	35	120	0	0.00%	0	400
硒	0.5	2	1.4	0	0.00%	0	390
锌	0.5	35	5120	1	2.86%	1.46	3500
汞	0.05	9	5.58	0	0.00%	0	10
邻苯二甲酸二正丁酯	0.1	3	0.11	0	0.00%	0	6100
邻苯二甲酸双(2-乙基己基)酯	1	3	2.9	0	0.00%	0	35
2-甲基萘	0.1	1	0.42	0	0.00%	0	310
二氢茈	0.1	1	0.16	0	0.00%	0	2340
菲	0.1	12	4.18	0	0.00%	0	5
蒽	0.1	5	1.59	0	0.00%	0	50
荧蒽	0.1	10	7.56	0	0.00%	0	50
芘	0.1	11	7.21	0	0.00%	0	50
苯并(a)蒽	0.1	11	3.27	5	14.29%	6.54	0.5
屈	0.1	10	4.25	0	0.00%	0	50
苯并(b)荧蒽	0.1	8	5.9	6	17.14%	11.8	0.5
苯并(k)荧蒽	0.1	8	2.02	0	0.00%	0	5
苯并(a)芘	0.1	10	4.7	8	22.86%	23.5	0.2
茚并	0.1	9	2.16	6	17.14%	10.8	0.2

检出物质名称	检测限 (mg/kg)	检出个数	最大浓度	超标数目	超标率 (%)	最大超标倍数	北京筛选值-住宅用地
(1,2,3-cd)芘							
二苯并(a,h)蒽	0.1	4	0.32	4	11.43%	6.4	0.05
苯并(g,h,i)芘	0.1	9	1.81	0	0.00%	0	5
氯苯	0.05	1	0.08	0	0.00%	0	41
苯	0.05	1	0.08	0	0.00%	0	0.64
甲苯	0.05	4	0.91	0	0.00%	0	850
乙苯	0.05	2	0.07	0	0.00%	0	450
间-二甲苯和对-二甲苯	0.05	3	0.26	0	0.00%	0	74 (总)
邻-二甲苯	0.05	2	0.07	0	0.00%	0	
1,3,5-三甲苯	0.05	1	0.1	0	0.00%	0	780
1,2,4-三甲苯	0.05	2	0.12	0	0.00%	0	62

从检测结果可见，该场地超标污染物为重金属（砷、镉、锌）和 PAHs（苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽）。所采的 35 个土壤样品中，有 15 个超标，超标率为 42.86%，且以砷和苯并(a)芘超标最为普遍。

所采的 7 个土壤样品均在不同程度的污染物超标情况，其中位于重油库的 S7 点超标最严重，所有污染物的浓度最大值均出现在该点，超标倍数在 1.03~23.50 之间。其中 1.8m 土样苯并(a)芘超标最为严重，超标 23.5 倍。其次为苯并(b)荧蒽，超标 11.8 倍。

位于熔铸车间的 S6 点超标也比较严重，除 3.4m 深度外，其他深度均存在超标情况，且以 0~2.2m 的表层土壤 PAHs 超标较为严重。该车间紧邻重油库，初步判断可能是由于重油库污染物扩散所致。

在位于原厂区宿舍区域布设了 S1 点作为背景点，用于检测该场地的背景值，以辅助判断其他点位的污染程度。但检测结果显示 S1 点表层 0~2.0m 的土壤 PAHs 存在超标情况，该点 0~2.0m 为干燥、松散的杂填土，由于该地块作为交

通事故停车场，初步判断可能是时事故车辆漏油等造成；另外，根据现场情况，该点紧临高速公路，汽车尾气中颗粒物沉降也可能会对表层土壤中污染物浓度产生影响；亦不排除该点处的杂填土为进行场地平整时从其他车间清运而来，从而出现 PAHs 污染。S1 点 4.7m 深层土壤砷浓度为 35.8mg/kg，初步判断这与该地区土壤重金属背景值偏高有关。

S2、S3 和 S5 点仅为重金属砷超标，且超标倍数较小，最大超标倍数为 1.92 倍。S4 点超标仅为苯并（a）芘，超标 1.45 倍。但从现场调查情况来看，S2、S4 和 S5 在 0.5~3.6m 范围内存在表面有油花且焦油味较重的土壤，因此建议在详细调查过程中在附近布设采样点进行验证，以进一步判断污染范围及污染深度。

### 3.1.3 地下水污染情况

广州锌片厂项目初步调查阶段采集的地下水样品，分析检测按照美国环保署和国家相关技术指南及规范要求进行。地下水样品的检测分析由第三方权威实验室澳实分析检测（上海）有限公司（ALS）完成。检测指标为 pH 值、重金属 10 种（As、Ba、Cd、Cr、Pb、Hg、Se、Ag、Cu、Zn）、SVOCs、VOCs、氰化物和氟化物，共检测指标 216 项。其中检出污染物 7 项，分别为总氟（以氟计）、钡、镉、铬、铜、锌和邻苯二甲酸二正丁酯，地下水初步调查采样布点见图 3-2，初步调查结果详见表 3-4。

参考我国 2009 年发布的《地下水质量标准（报批稿）》中的 IV 类水标准，虽然该场地有 7 种污染物检出，有少量检出，但均未超过相关标准值，浓度较低，对周围环境影响较小，该场地所采集的 3 个地下水样品未存在超标的情况。



图 3-2 初步调查地下水监测井分布图

表 3-4 地下水检测出污染物统计

检测指标	检测样品 ( $\mu\text{g/L}$ )			筛选值
	GW-CP1321-MW 1- 20130820	GW-CP1321-M W2-20 130820	GW-CP1321-M W3-20 130820	
总氟(以氟计)	0.52	1.09	0.53	1500
钡	105	164	64.8	4000 <sup>#</sup>
镉	0.15	0.67	<0.10	10
铬	2.3	2.2	4.8	30
铜	<1.0	1.2	<1.0	1500
锌	18	22	10	5000
邻苯二甲酸二 正丁酯	<1.0	<1.0	6.2	3700 <sup>*</sup>

注：“\*”为参考美国九区标准，“#”为参考荷兰标准

## 3.2 详细调查阶段场地污染情况

### 3.2.1 土壤污染详细调查结果

#### (1) 超标污染物统计分析

广州锌片厂原厂区详细调查阶段共布设采样点 16 个，采集土壤样品 88 个，详细调查阶段土壤采样点布设如图 3-3 所示，土壤样品超标统计结果见表 3-5 所示。



图 3-3 详细调查土壤采样点分布图

表 3-5 场地详细调查土壤样品超标统计表

类别	污染物	筛选标准	最大值	超标个数	最大超标倍数	超标率/%
重金属	砷	50	70.4	4	1.41	4.82
	镉	10	32	1	3.2	1.2
	铜	300	467	1	1.56	1.2
	锌	500	4280	6	8.56	7.23
	汞	4	1.35	0	0	0
PAHs	苯并(a)蒽	1	0.25	0	0	0
	屈	0.5	0.55	1	1.1	1.2
	苯并(b)荧蒽	1	0.76	0	0	0
	苯并(a)芘	0.5	0.31	0	0	0
	茚并(1,2,3-cd)芘	0.5	0.2	0	0	0
	二苯并(a,h)蒽	0.5	0	0	0	0
石油烃	石油烃	1000	27200	2	27.2	8.33

## (2) 污染物空间分布

依据两次土壤样品的调查结果，绘制了土壤中主要污染物的分布范围图，以更为清晰地描述污染物的分布情况。具体如下文所述：

### 1) 砷污染分布

砷在各层土壤中的污染分布情况见图 3-4 到图 3-6 所示。砷在全厂区各层分布较为分散，且污染相对较轻。第一层的砷虽有检出，但未出现超标的情况；第二层的砷主要集中在轧延车间附近，位于轧延车间的 SB2-10 点在 2m 处砷浓度最高。这可能是由原料或产品的生产、堆放过程产生的。第三层的砷主要分布在轧延车间及铝箔车间中间的区域。第四层的砷主要分布在场区的东南侧，厂区入口处重油库附近及位于厂区南侧 SB2-09 点附近有部分超标土壤，但超标浓度相对较低。



图 3-4 场区砷污染分布图第 2 层 (1.5-3m)



图 3-5 场区砷污染分布图第 3 层 (3-5m)



图 3-6 场区砷污染分布图第 4 层 (5-7m)

### 2) 镉污染分布

镉在场区各土层的污染分布情况见图 3-7 所示。镉只在场区第二层 1.5~3m 土层范围内，场区入口附近的 SB2-05 点存在超标情况，最大超标倍数为 3.2 倍，

这可能是由于在厂区入口处进行原料或产品的堆放时造成的污染。



图 3-7 场区镉污染分布图第 2 层 (1.5-3m)

### 3) 锌污染分布

详细调查阶段的调查结果表明, 锌在全厂区的超标率为 7.23%。锌在场区各

土层的污染分布情况如图 3-8 和图 3-9 所示。从图中可见，场区的锌污染分布在 0~3m 的土层中，3m 以下未发现锌超标的土壤。

场区第一层的锌污染较为严重，分布范围较广，主要集中在场区入口处及重油库附近区域，这可能是在原料的搬运、堆放、产品的熔铸及表面除油过程中产生的。另外在场区西南侧的 SB2-08 和 SB2-09 点附近也存在部分锌超标的土壤，场区西侧边界附近的 SB2-11 点附近有少量土壤锌超标，但超标浓度均相对较低。

场区第二层（1.5~3m）的土壤中锌污染范围较第一层大幅度减小，只有位于场区入口区域的 SB2-05 点和紧邻重油库的熔铸车间有少量超标土壤，且浓度较低。

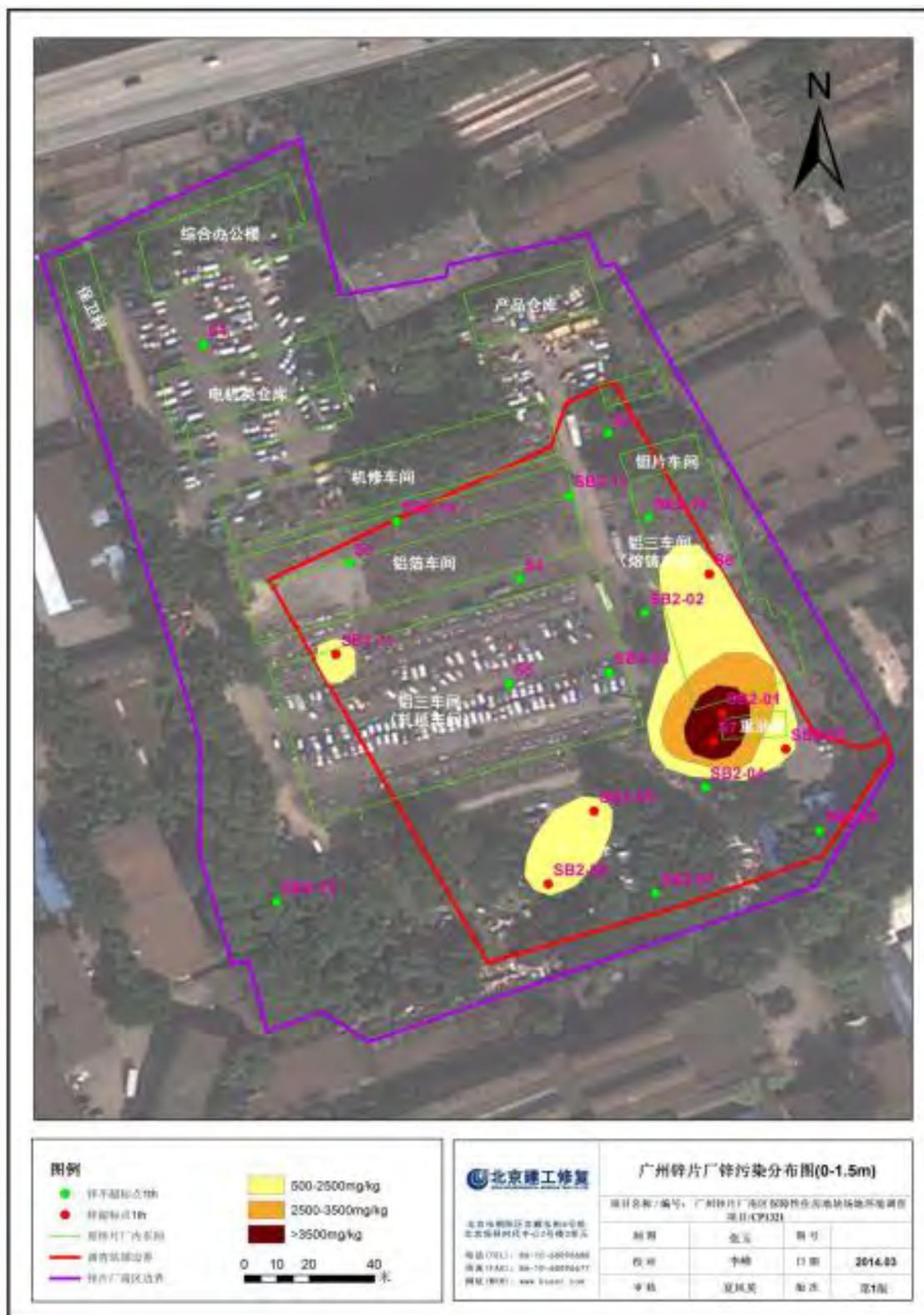


图 3-8 场区锌污染分布图第 1 层 (0-1.5m)



图 3-9 场区锌污染分布图第 2 层（1.5-3m）

#### 4) 铜、汞污染分布

重金属铜和汞仅在场区第一层（0~1.5m）范围内存在超标的情况，且为单点超标，超标倍数较小。铜的污染分布如图 3-10 所示。汞的污染分布见图 3-11。

铜和汞超标土壤集中分布在场区入口处及重油库附近区域。这可能是在原料的搬运、堆放过程中产生的。



图 3-10 场区铜污染分布图第 1 层 (0-1.5m)



图 3-11 场区汞污染分布图第 1 层 (0-1.5m)

5) 多环芳烃 (PAHs) 污染分布

多环芳烃类污染物在厂区各土层的污染分布情况见图 3-12 至图 3-17 所示。多环芳烃污染物种类较多, 污染物分布范围基本一致, 因苯并(a)芘致癌毒性较大、

标准较低，其污染范围基本可涵盖其它多环芳烃物质。故多环芳烃的污染特性描述以苯并(a)芘为代表。

苯并(a)芘在厂区重油库区域污染最为严重，且紧邻重油库的熔铸车间以及压延车间部分区域也存在多环芳烃超标的情况，可见苯并(a)芘已出现向周围迁移扩散的情况。第一层（0~1.5m）土壤中苯并(a)芘超标主要集中在重油库及其临近区域，初步判断是由于贮存重油时及用重油熔铸铝材时，重油可能经跑、冒、滴、漏途径进入环境从而造成污染；另外，在位于锌片厂南区办公区域的 S1 点，存在超标的情况，由于锌片厂原厂区搬迁后，该场地一直用作违法及事故车辆停车场，因此初步判断这是由于事故车辆停放的过程中漏油所致。另外，该场地紧临高速公路，汽车尾气中颗粒物沉降也可能会对表层土壤中污染物浓度产生影响；亦不排除该点处的杂填土为进行场地平整时从其他车间清运而来，从而出现 PAHs 污染。

场地 1.5m 以下的土壤中，多环芳烃类污染物未存在超标的情况。

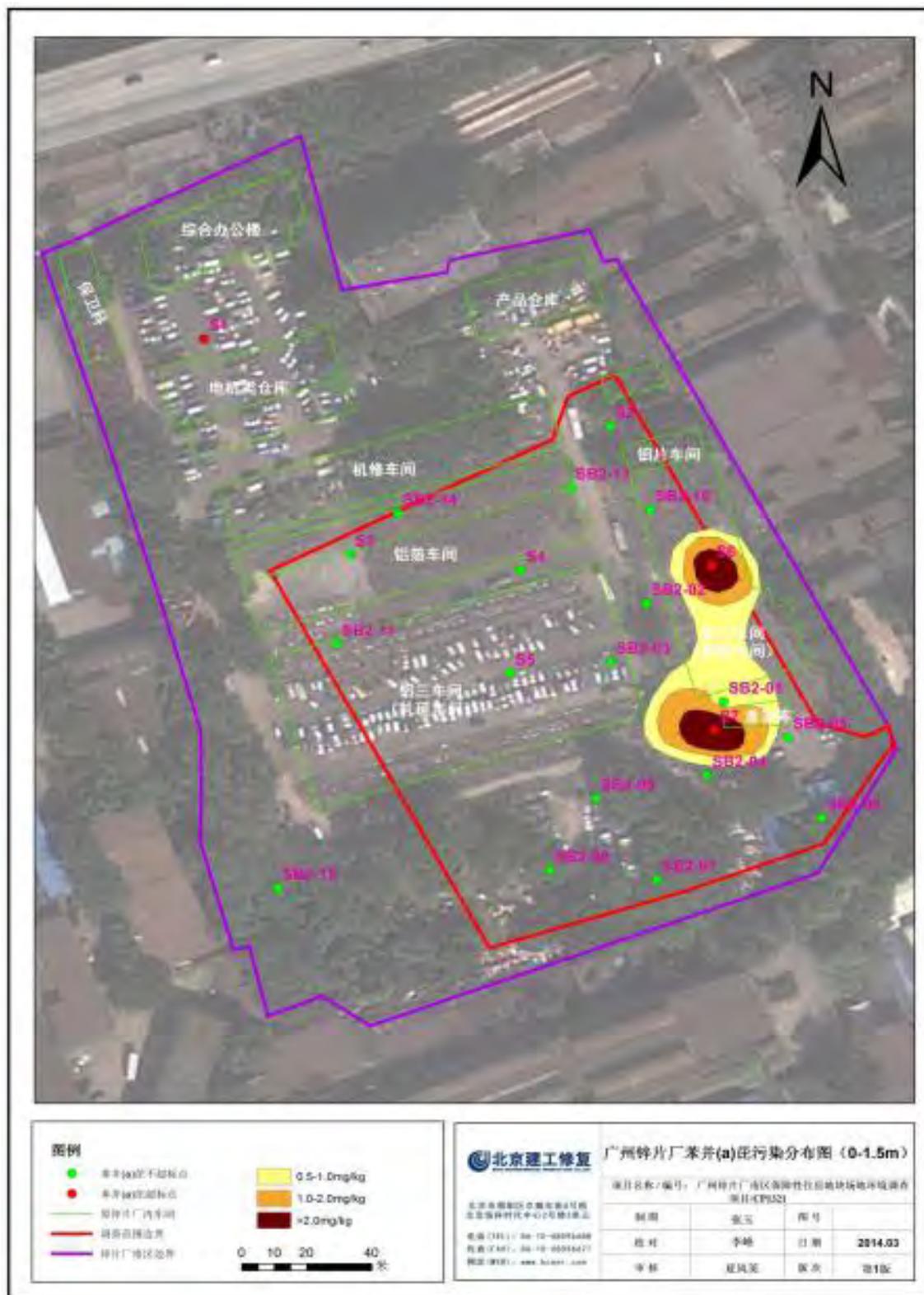


图 3-12 场区苯并(a)芘污染分布图第 1 层 (0-1.5m)



图 3-13 场区苯并(a)蒽污染分布图第 1 层 (0-1.5m)



图 3-14 场区届污染分布图第 1 层（0-1.5m）



图 3-15 场区苯并(b)荧蒽污染分布图第 1 层 (0-1.5m)



图 3-16 场区蓝并(1,2,3-cd)污染分布图第 1 层 (0-1.5m)



图 3-17 场区二苯并(a,h)蒽污染分布图第 1 层 (0-1.5m)

6) 总石油烃 (TPH) 污染分布

石油烃在场区各土层的污染分布情况见图 3-18 和图 3-19 所示。石油烃类污染物主要分布在地面以下 0~3m 土层范围内, 且集中分布在场区东侧重油库及

其附近车间；3m 以下土层中，除了 SB2-03 点在地表下 7.0m 检出了石油烃污染物，其余点位均未检出，表明粉质粘土层对污染物具有良好的阻隔作用。

位于重油库附近区域的 SB2-04 点在第 1 层（0~1.5m）范围内石油烃总量超过标准值约 2.6 倍，初步判断重油库附近区域石油烃总量超标，需进行后续处理，这可能由于重油库存储过程中泄漏造成；另外，位于熔铸车间内的 SB2-16 点在第 2 层（1.5~3m）土层内的样品 TPH 浓度超过标准值 27.2 倍，超标较严重，初步判断在该点附近区域存在石油烃总量超标的土壤。

根据前期场地历史和场地调查的结果，判断石油烃类污染来自重油时及用重油熔铸铝材时的跑、冒、滴、漏，或者违法及事故车辆在停放和转运过程中漏油所致。



图 3-18 场区总石油烃污染分布图第 1 层 (0-1.5m)



图 3-19 场区总石油烃污染分布图第 2 层 (1.5-3m)

### 3.2.2 地下水污染详细调查结果

广州锌片厂项目详细调查阶段共建 3 口地下水监测井，采集地下水样品 4

个（含 1 个平行样），分析检测按照美国环保署和国家相关技术指南及规范要求进行。地下水样品的检测分析由上海 ALS 完成。检测指标为 pH 值、重金属 10 种（As、Ba、Cd、Cr、Pb、Hg、Se、Ag、Cu、Zn）、SVOCs、VOCs，共检测指标 214 项。其中检出污染物 9 项，除初步调查阶段检测出的污染物钡、镉、铬、铜、锌、邻苯二甲酸二正丁酯外，还检测出了砷、乙酰苯和二硫化碳，地下水采样点布置如图 3-20，地下水调查结果详见表 3-6。

本项目详查时，所采集的 3 个地下水样品中有 9 种污染物少量检出，但均未超过相关标准值，浓度较低，对周围环境影响很小。

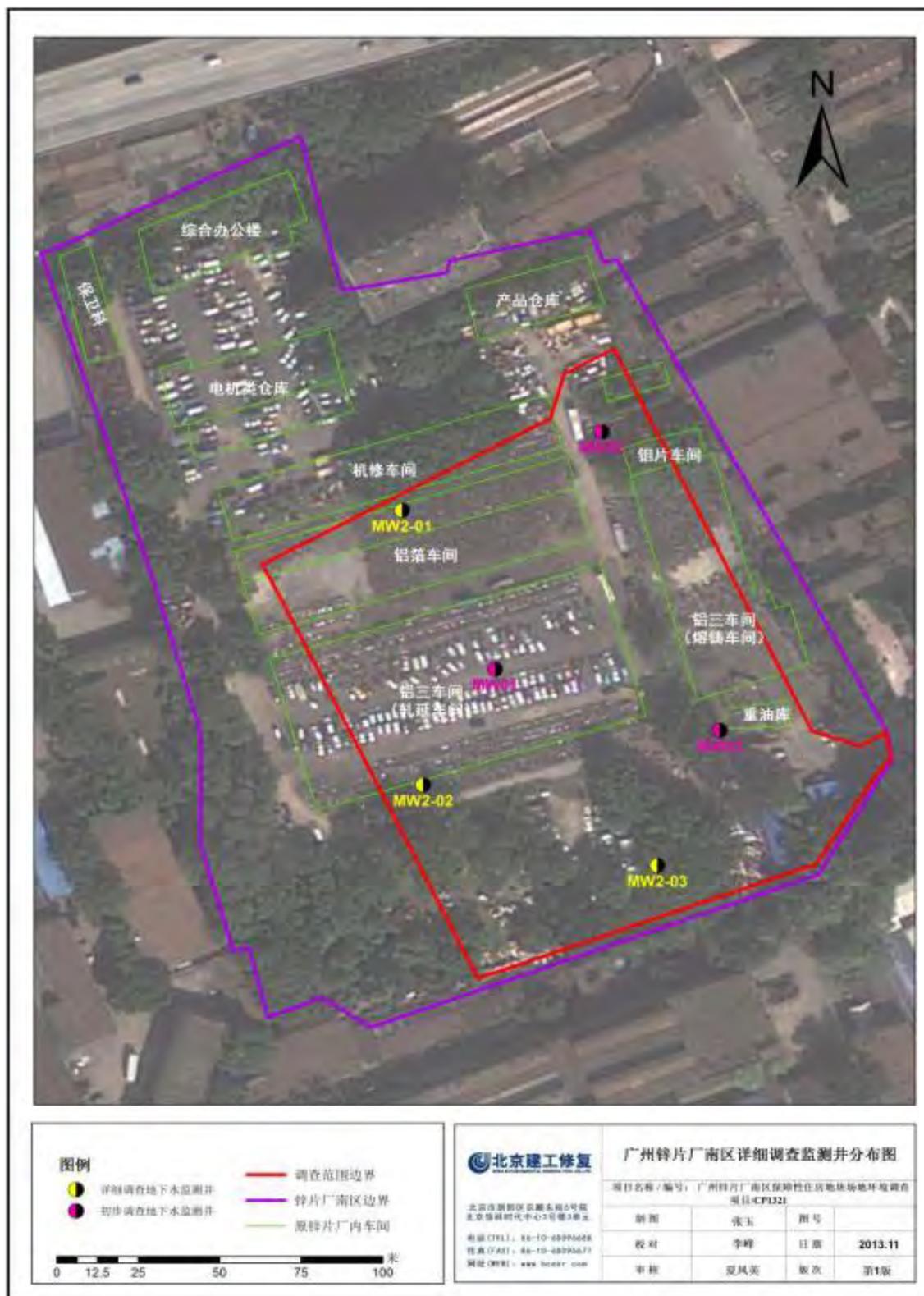


图 3-20 详细调查地下水监测井分布图

表 3-6 地下水检出污染物统计

检测指标	检测样品 (µg/L)			筛选值
	GW-CP1321-MW2-01-20131018	GW-CP1321-MW2-02-20131018	GW-CP1321-MW2-03-20131018	
砷	17	<10	<10	50
钡	18.3	149	31.1	4000
镉	<0.10	<0.10	<0.10	10
铬	3.7	2.1	4.8	100
铜	5.9	1.5	1.7	1500
锌	<5	10	8	5000
乙酰苯	8	<1.0	<1.0	3700*
邻苯二甲酸二正丁酯	<1.0	<1.0	<1.0	3700*
二硫化碳	0.7	<0.5	<0.5	1000*

三口监测井中的检出污染物虽然未见超标情况,但3口井的pH值分别为10.4、7.03、6.85,IV类水中pH的标准为5.5~6.5,8.5~9,水质pH值超标,因此后期需对其用途进行严格限制,以防被引用或与人体接触。

### 3.2.3 详细调查结论与建议

详细调查共布设土壤采样点16个,地下水监测井3口,土工样采集点8个,采集并分析土壤样品88个,土工样品28个,地下水样品4个。依据对广州锌片厂原厂区详细调查检测结果,得出结论如下:

(1) 详细调查阶段土壤样品共检测出45种污染物,其中超标污染物6种,分别为砷、镉、铜、锌、屈和石油烃总量。所采集的88个土壤样品中,有13个超标,超标率为14.77%,且以砷、锌、TPH的超标最为普遍。其中TPH的超标率最高,为8.33%,其次为重金属锌,超标率为7.23%,再次为砷,超标率均为4.82%。其它39种污染物虽有检出,但均未超标。

(2) 重金属中锌污染分布在0~3m的土层中,场区第一层的锌污染较为严重,在场区入口处,重油库附近区域,场区西南侧的区域均存在不同程度锌超标的土壤。场区第二层(1.5~3m)的土壤中锌只在场区入口区域和紧邻重油库的熔铸车间有少量超标土壤,且浓度较低。

砷在第二、三、四层均存在超标的情况,且分布较为分散。第二层的砷主要集中在轧延车间附近最大超标3.3倍。第三层的砷主要分布在轧延车间及铝箔车

间中间的区域。第四层的砷主要分布在场区的东南侧，厂区入口处重油库附近及厂区南侧有部分超标土壤，但超标浓度较低。

(3) 多环芳烃类污染物以苯并(a)芘的污染范围最广，其污染范围基本可涵盖其它多环芳烃物质。在空间分布上，厂区的多环芳烃只分布在表层(0~1.5m)土层范围内，1.5m以下未发现超标的情况。

第一层(0~1.5m)土壤中苯并(a)芘超标主要集中在重油库及其临近区域，初步判断是由于贮存重油时及用重油熔铸铝材时，重油可能经跑、冒、滴、漏途径进入环境而造成污染；场地1.5m以下土壤中苯并(a)芘及其他多环芳烃类污染物的检测结果未出现超标的情况。PAHs在重油库区域污染最为严重，且紧邻重油库的熔铸车间以及轧延车间部分区域也存在多环芳烃超标的情况，可能已经出现PAHs向周围迁移扩散的情况。

(4) TPH的检测结果表明，场区地面以下0~3m土层范围内存在石油烃污染的土壤。3m以下的粉质粘土层很好的起到了阻隔作用，未出现土壤TPH超标的情况。表层(0~1.5m)TPH污染土壤集中在重油库附近区域，其在1.5~3m土层的污染则主要集中在紧邻重油库的熔铸车间。

(5) 地下水样共检测指标214项，其中有9种污染有少量检出，分别为砷、钡、镉、铬、铜、锌、乙酰苯、邻苯二甲酸二正丁酯和二硫化碳，但均未超过筛选评价标准，浓度较低，对周围环境影响较小。但地下水pH值存在超标情况，建议在后期使用过程中对其用途进行限制。

(6) 本项目场地所在位置地层可划分为人工堆积层和第四纪沉积层两大类。其中第四纪沉积层主要包括砂土(埋深0.00~5.00m)、粉土(埋深2.40~4.80m)和粘土(埋深2.40~7.00m)三个亚层。场区地下水水位较浅，在1.114~2.005m之间，下部为不透水层，不利于污染物下移，场地污染主要集中在表层。场区地下水流向为从西北到东南。

(7) 土工试验分析结果表明场地各土层的含水率范围为12.9~59.4%，主要天然密度范围为1.61~2.03g/m<sup>3</sup>；土粒比重范围主要为2.61~2.74%；主要有机质含量范围为2.2%~11%；主要孔隙度范围为0.55~1.61。

场区土壤污染较为严重，需进行风险评价，以进一步确定其对人体可能造成的危害及其修复目标值。场区地下水中各项污染物存在超标情况较小，无需进行

风险评价，但部分监测井的 pH 值偏高，超过 IV 类水标准，因此在后期使用过程中，需对其用途进行限制。

### 3.3 场地风险评估结论

依据以上风险评价的结果，可以得到如下初步结论：

(1) 场地内土壤样品中有 12 种关注污染物，重金属（砷、镉、铜、锌、汞）、多环芳烃（苯并(a)蒽、屈、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘和二苯并(a,h)蒽）和 TPH（石油烃总量）的浓度超过了相应风险评估的筛选值；地下水中检测出的污染物都低于相应的风险评估筛选值。因此，以土壤为介质的污染物需要进一步的定量风险评估确定是否对人体健康产生致癌和非致癌的风险。

(2) 根据场地未来整体规划以及现有生活生产设施，以及为保护人体健康为目的的情况下，敏感受体为居住场景下的儿童和现场施工的工人。暴露途径为皮肤接触、经口摄入、呼吸摄入土壤以及市内/室外吸入污染物蒸汽五个途径。

(3) 针对居住场景下的受体人群，重金属砷在土壤调查范围内的四层土壤中都存在着较高的人体致癌风险和非致癌危害商；多环芳烃类污染物中，苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽在第一层土壤（0~1.5m）中，对受体人群产生的致癌风险超过了可接受风险水平；石油烃类（C21-C35）污染物在第一层和第二层（0~3.0m）中的非致癌危害商超过了可接受风险水平。其他重金属及多环芳烃类污染物的致癌风险及非致癌危害商皆在可接受风险水平内。

(4) 针对现场的作业工人，除石油烃类污染物在第二层土壤（1.5~3.0m）中的非致癌危害商超过了可接受风险水平外，其他污染物对建筑工人产生的致癌风险与非致癌危害商均在可接受风险水平内。

(5) 地下水的健康风险在此次人体健康风险评估中不作为考虑对象，原因是检测出的污染物都没有超过相对应的初步筛选值。同时，场地建成后地下水也不作为日常生活使用。

(6) 虽然通过人体健康风险评估 RBCA 软件计算得到的石油烃污染物对人体的风险处于可接受的水平，但是目前国际上对由于石油烃污染物的致癌机理和毒性研究尚未清楚，缺少相应的毒理学参数。因此石油烃类污染物的修复治理工作需从多方面综合考虑，以最大可能的确保未来以及当前人体和环境的安全。

## 4 修复目标值及修复范围确定

### 4.1 原场调与风险评估确定的修复目标值及修复范围

#### 4.1.1 原修复目标值

原风险评估结果表明，砷、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽和石油烃总量 5 种污染物的健康风险超过可接受水平，需进一步计算修复目标，后期采取修复措施。按照我国风险评估技术要求，本项目对于同时具有致癌和非致癌效应的污染物，其修复目标计算结果取基于致癌和非致癌风险的修复目标的最小值。**错误!未找到引用源。**列出了该场地未来居住场景下土壤中砷、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽和石油烃总量的修复目标值计算结果，并与当时国内相关标准进行了比较。

表 4-1 土壤修复目标及比较（单位：mg/kg）

污染物	本项目计算目标值	本项目最终确定值	2008 年土壤质量标准二级标准	北京风险筛选值
石油烃总量	1604.7	1000	1000	230 (<C16) 10000 (>C16)
苯并(b)荧蒽	4.21	4.21	1.0	0.5
苯并(a)芘	0.43	0.43	0.5	0.2
二苯并(a,h)蒽	0.42	0.42	0.5	0.05
砷	3.33	50	50	20

原风险评估最终选取《土壤环境质量标准（修订）》（征求意见稿 2008）二级标准中的 1000mg/kg 作为 TPH 的修复目标，砷污染的土壤修复目标值为 50mg/kg。本项目原《详细调查与风险评估报告》最终确定土壤中污染物修复目标值如**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**。

表 4-2 重金属污染土壤修复目标值

污染物类型	污染物	清挖边界目标（mg/kg）
重金属	砷	50

表 4-3 有机污染土壤修复目标值

污染物类型	污染物	有机污染土壤修复目标（mg/kg）	依据
有机物（PAHs）	苯并(b)荧蒽	4.21	《详细调查及风险评价报告》
	苯并(a)芘	0.43	
	二苯并(a,h)蒽	0.42	

有机物 (TPH)	总石油烃	1000	
-----------	------	------	--

#### 4.1.2 原修复范围及工程量

根据原《详细调查与风险评估报告》，各层各类型污染土最终需要修复的面积与土方量详见错误!未找到引用源。，污染范围详见错误!未找到引用源。。全厂区需要修复的土方量为 6664.62m<sup>3</sup>，其中需要修复的重金属污染的土壤 2888.11m<sup>3</sup>，有机污染土壤 3776.51m<sup>3</sup>（包括单独 PAHs 污染土壤 2234.05m<sup>3</sup>，单独 TPH 污染土壤 1196.12m<sup>3</sup>，PAHs+TPH 复合污染土壤 346.34m<sup>3</sup>）。在既定的修复目标值下，没有重金属与多环芳烃/TPH 复合污染的土壤。

表 4-4 区域内修复范围及方量统计

土层	污染点位 编号	污染 类型	面积 (m <sup>2</sup> )	污染土壤 开挖方量 (m <sup>3</sup> )
第一层 (0-1.5m)	S6、S7、 SB2-01、SB2-05	有机物 (PAHs、TPH)	1822.29	2733.43
第二层 (1.5-3m)	SB2-16	有机物 (TPH)	695.39	1043.08
	SB2-10	重金属 (砷)	393.14	589.71
第三层 (3-5m)	SB2-11	重金属 (砷)	301.17	602.33
第四层 (5-7m)	SB2-01、SB2-09	重金属 (砷)	848.03	1696.07
合计	/	有机物	/	3776.51
	/	重金属	/	2888.11

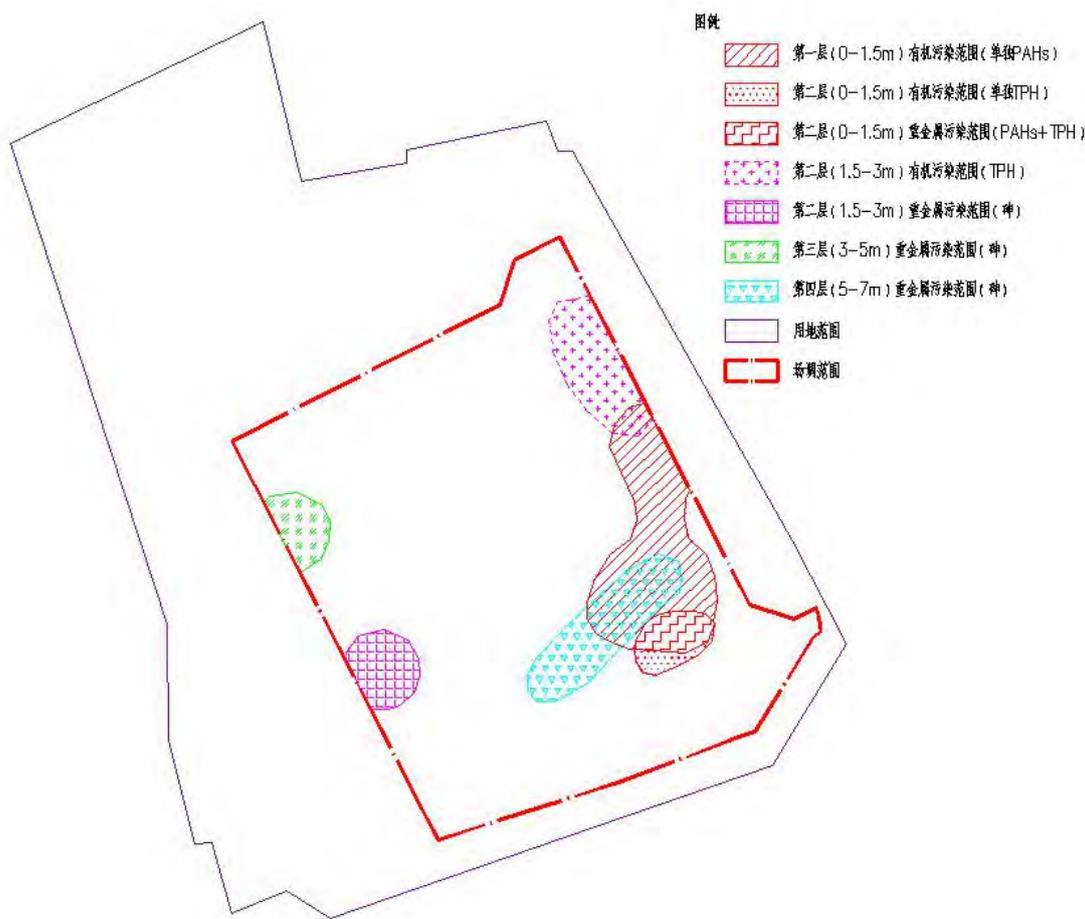


图 4-1 原场调与风险评估确定的污染范围分布图

## 4.2 修复目标值调整及修复范围确定

### 4.2.1 调整依据

由于目标地块开展初步调查和详查的时间为分别 2013 年 9 月及 2014 年 3 月，场调及风险评估阶段目标污染物的修复目标值主要以风险评估计算目标值及《土壤环境质量标准（修订）》（GB15618-2008）中规定的第二级筛选值为依据。其中，石油烃总量和砷的修复目标值均采用《土壤环境质量标准（修订）》（GB15618-2008）中规定的第二级筛选值，苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽的修复目标值选用风险评估计算目标值。

《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）于 2018 年 8 月 1 日实施，由于新发布的国家标准对目标地块拟修复污染物的风险筛选值和管制值的规定与原确定的修复目标值存在较大差异，根据《广州锌片厂安置房地块场地环境污染治理与修复工程实施方案和环境

监理方案专家评审意见》(2019年8月),本方案需重新核定修复目标值,复核修复范围和工程量。

根据2018年1月实施的国家标准《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)第一类用地标准限值,目标污染物的筛选值发生了较大变化。如表4-5所示。

表4-5 目标污染物筛选值变化情况表

污染物	按照HJ25.3计算的土壤风险控制值	《详细调查与风险评估报告》确定的修复目标值	《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)第一类用地标准限值	详查倍数(国标/原风评目标值)	本方案拟采用风险筛选值
石油烃	1604.7(石油烃总量)	1000(石油烃总量)	826(石油烃C10-C40)	/	826(石油烃C10~C40)
苯并(b)蒽	4.21	4.21	5.5	1.31	5.5
苯并(a)芘	0.43	0.43	0.55	1.27	0.55
二苯并(a,h)蒽	0.42	0.42	0.55	1.31	0.55
砷	3.33	50	60(附录A土壤环境背景值)	1.2	60

由表4-5可知,现行国家标准的多环芳烃限值高于《详细调查与风险评估报告》中的修复目标值1.27~1.31倍,砷的限值高于《详细调查与风险评估报告》中的修复目标值1.2倍。考虑《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)属强制标准,为了避免过度修复,本方案结合专家意见,拟采用《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)第一类用地标准限值作为目标地块多环芳烃及砷的风险筛选值。

另外,原《详细调查与风险评估报告》计算得到的石油烃总量的修复目标值为1604.70mg/kg,但考虑到目前国际上对石油类污染物的毒理参数研究尚不完全清楚,从确保人体健康的角度考虑,最终选取《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)第一类用地标准限值的826mg/kg作为石油烃(C10-C40)的风险筛选值。

## 4.2.2 修复目标值的确定

修复目标值的确定需根据现行国家导则、技术指南及地方规范等相关要求确定。

《污染场地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2014）规定，修复目标值确定的依据为：分析比较按照 HJ25.3 计算的土壤、地下水风险控制值和场地所在区域土壤、地下水中目标污染物的背景含量和国家有关标准规定限制，合理提出土壤、地下水目标污染物的修复目标值。

《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）明确，建设用地土壤污染风险筛选值是指在特定土壤利用方式下，建设用地土壤中污染物含量等于或者低于该值的，对人体健康的风险可以忽略；超过该值的，对人体健康可能存在风险。

根据以上规定，本项目多环芳烃及砷的浓度低于《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地标准限值时，对人体健康的风险可忽略。本项目按照 HJ25.3 计算的土壤多环芳烃及砷的风险控制值均低于《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地标准限值，故以《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地标准限值作为本项目多环芳烃及砷的修复目标值。考虑到目前国际上对石油类污染物的毒理参数研究尚不完全清楚，从确保人体健康的角度考虑，选取《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地标准限值作为石油烃（C10-C40）的修复目标值。详见表 4-6。

**表 4-6 本方案确定的土壤目标污染物修复目标值**

序号	污染物	修复目标值（mg/kg）
1	石油烃（C10-C40）	826
2	苯并(b)荧蒽	5.5
3	苯并(a)芘	0.55
4	二苯并(a,h)蒽	0.55
5	砷	60

若采用固化稳定化进行重金属污染土壤的修复处理，则采用我国《固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法》（HJ557-2010）进行固化稳定化处理后土壤的污染物浓度浸出测试，修复后土壤重金属污染物的浸出浓度应低于《地下水质量标

准》(GB/T14848-2017) IV类水标准。

表 4-7 重金属污染土壤修复目标值

污染物类型	污染物	修复土壤浸出目标 (mg/L)
重金属	砷	0.05

#### 4.2.3 调整修复目标值后的土壤修复面积及土方量计算

#### 4.2.4 污染范围分析

根据本方案确定的土壤修复目标值,分析本项目场调中超过修复目标值的点位及目标污染物浓度详见表 4-8。

表 4-8 超过修复目标值的土壤样品汇总表

监测点位	点位坐标		污染深度 (m)	关注污染物	检测值 (mg/kg)	变更后修复目标值 (mg/kg)	超修复目标值倍数
	X	Y					
S6	37061.396	24069.743	0-1.5	苯并(a)芘	0.58	0.55	1.05
					1.67	0.55	3.04
S7	37062.501	24021.518	0-1.5	苯并(b)荧蒽	5.91	5.5	1.07
				苯并(a)芘	4.7	0.55	8.55
				二苯并(a,h)蒽	0.56	0.55	1.02
SB2-10	36982.055	24007.101	1.5-3	砷	67.4	60	1.12
SB2-11	36956.029	24046.583	3-5	砷	70.4	60	1.17
SB2-16	37044.486	24085.341	1.5-3	石油烃	16560	826	20.05

根据以上变更后的修复目标值及超修复目标值点位信息,结合原场调及风险评估阶段的场地调查结果,采样 ArcGIS 软件使用反距离加权插值法进行初步差值,然后依据通过污染物浓度值或差值结果同修复目标值进行比较,确定修复边界。进而结合污染物检测结果及原《场调及风险评估》结果进行修正,最终绘制了污染土壤的空间分布图,并计算了需进行修复的面积及污染土方量,具体如下。

##### (1) 砷污染区域

根据本方案变更后的修复目标值,污染物重金属砷超过目标值的点位主要为点位 SB2-10 和 SB2-11,砷污染土壤主要位于第 2 层(1.5-3m)和第 3 层(3-5m),

砷在各层土壤中的污染分布情况详见图 4-2。

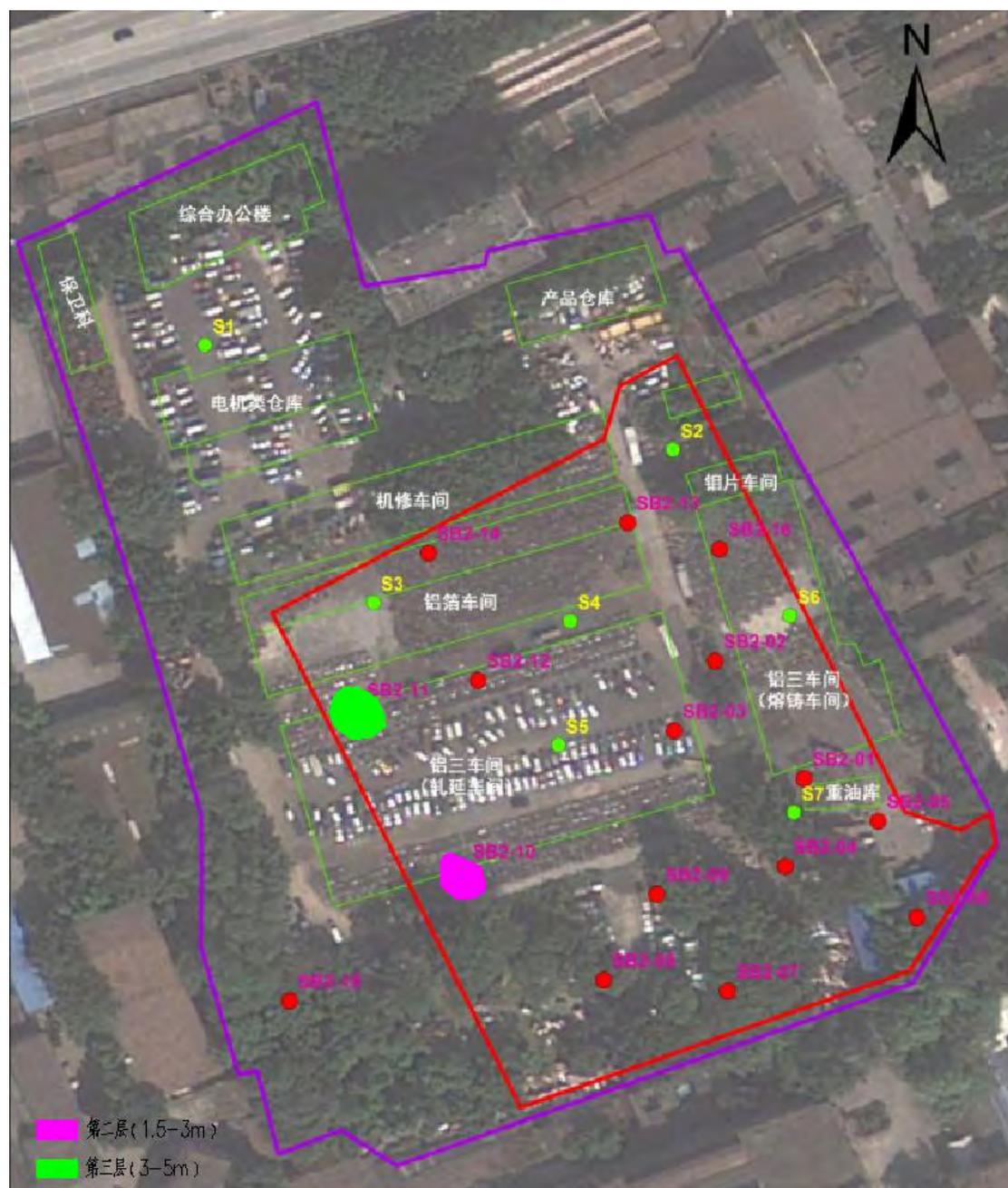


图 4-2 场区砷污染分布图（第 2 层和第 3 层）

#### （2）多环芳烃污染区域

根据本方案变更后的修复目标值，本项目多环芳烃污染物主要为苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘和二苯并(a,h)蒽，多环芳烃超过目标值的点位主要为点位 S6 和 S7，多环芳烃污染土壤主要位于第 1 层（0-1.5m），多环芳烃在土壤中的污染分布情况详见图 4-3。

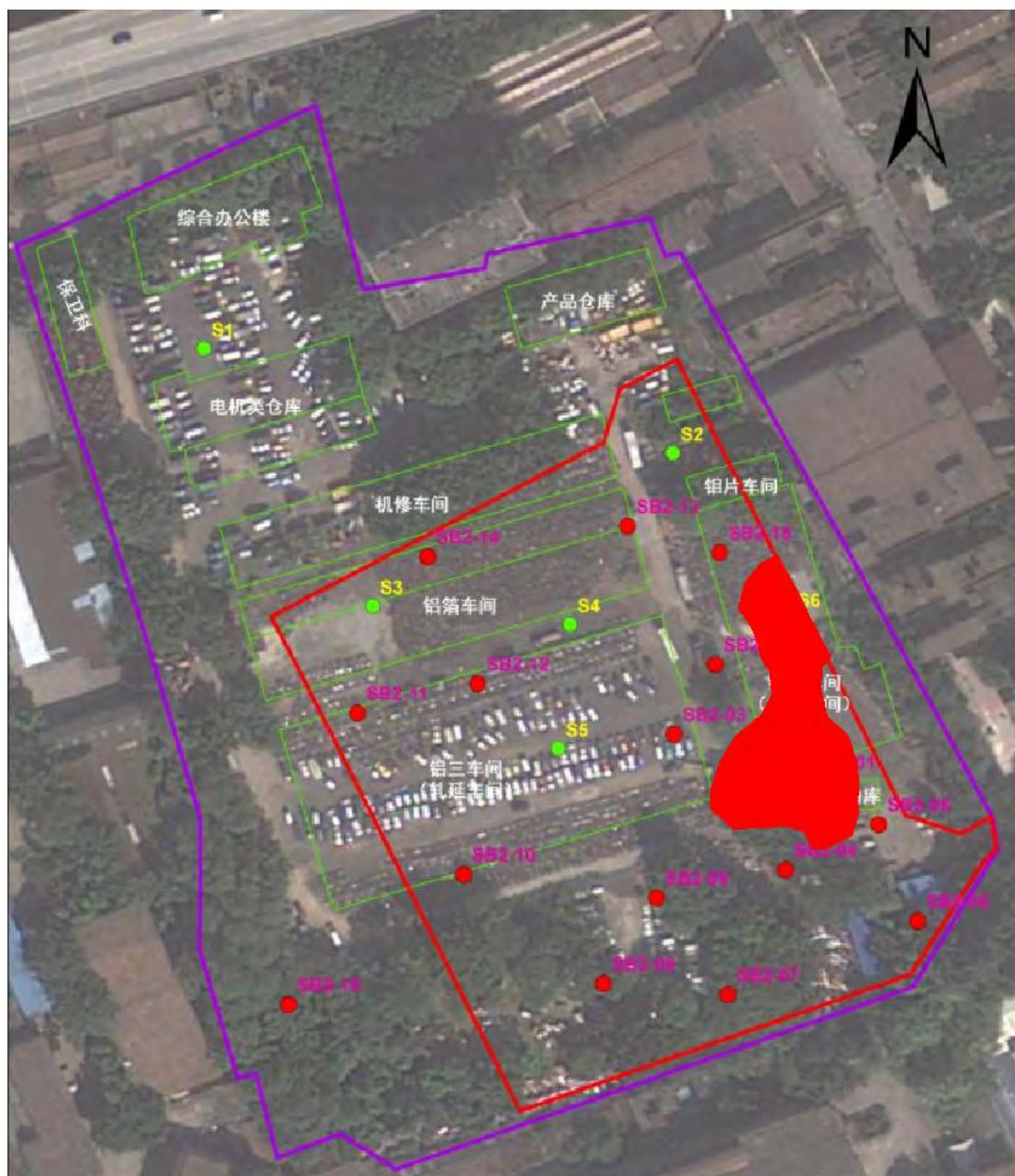


图 4-3 场区多环芳烃污染分布图（第 1 层）

## （2）石油烃污染区域

根据本方案变更后的修复目标值，本项目石油烃超过目标值的点位主要为点位 SB2-16，石油烃污染土壤主要位于第 2 层（1.5-3m），石油烃在土壤中的污染分布情况详见图 4-3。

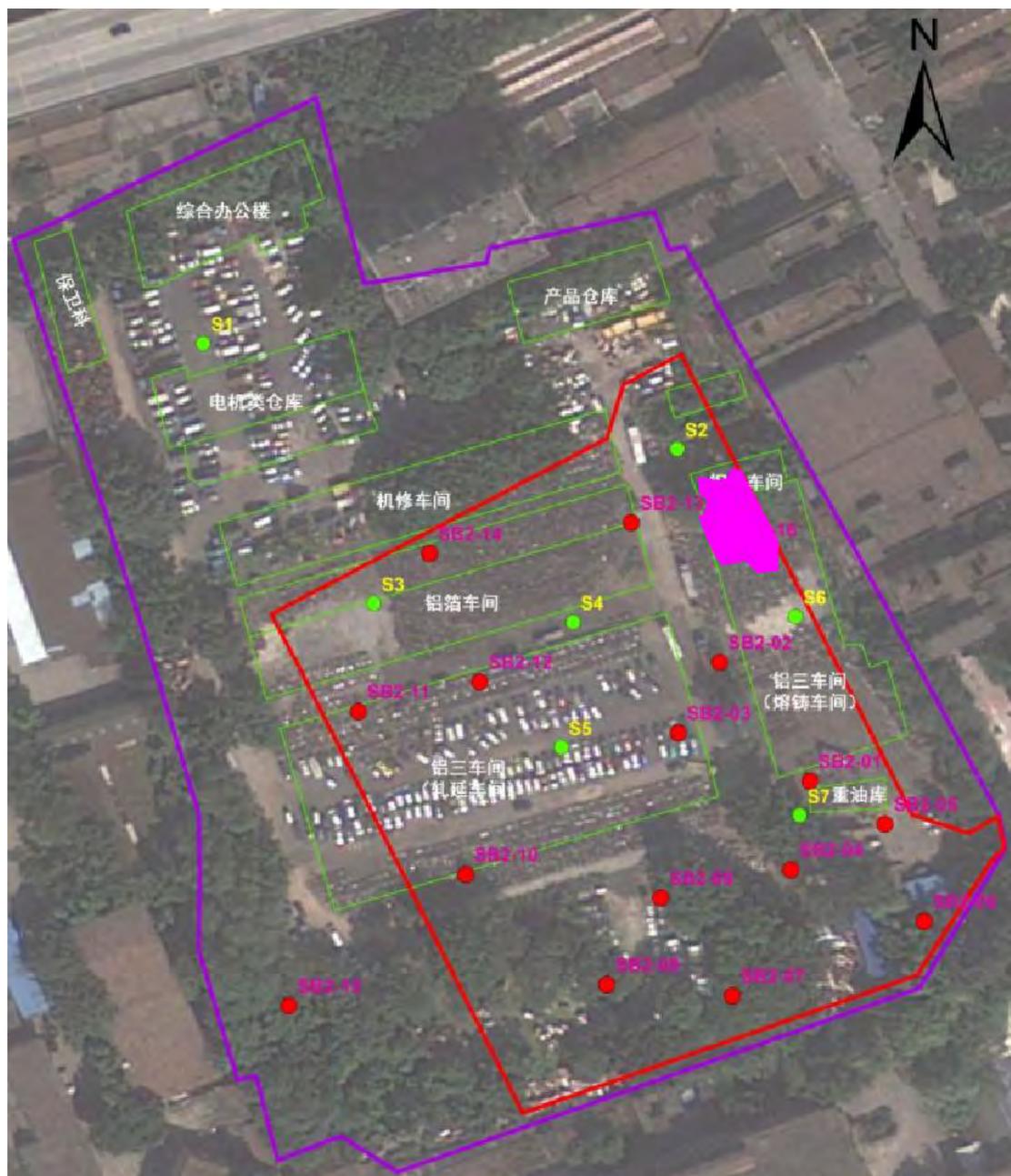


图 4-4 场区石油烃污染分布图（第 2 层）

各污染区域拐点坐标如下表所示。

表 4-9 修复区域拐点坐标

土层	污染物	污染深度	拐点编号	拐点坐标	
				X	Y
第 1 层	PAHs	0-1.5m	1-1	37077.516	24028.715
			1-2	37078.062	24023.635
			1-3	37077.973	24017.679
			1-4	37078.060	24015.094
			1-5	37076.717	24009.275
			1-6	37069.771	24005.689

土层	污染物	污染深度	拐点编号	拐点坐标				
				X	Y			
第 1 层	PAHs	0-1.5m	1-7	37066.794	24005.692			
			1-8	37064.505	24010.406			
			1-9	37059.926	24011.753			
			1-10	37046.188	24010.810			
			1-11	37040.727	24015.955			
			1-12	37040.607	24020.715			
			1-13	37042.657	24027.802			
			1-14	37047.430	24035.294			
			1-15	37053.271	24039.861			
			1-16	37056.089	24045.778			
			1-17	37055.476	24051.314			
			1-18	37052.995	24055.198			
			1-19	37052.787	24057.832			
			1-20	37050.969	24062.037			
			1-21	37048.753	24065.730			
			1-22	37047.813	24067.026			
			1-23	37049.352	24073.891			
			1-24	37053.279	24079.260			
			1-25	37057.689	24080.883			
			1-26	37071.207	24054.854			
			1-27	37068.922	24052.427			
			1-28	37068.511	24046.779			
			1-29	37070.237	24039.790			
			1-30	37075.563	24034.694			
			第 2 层	石油烃	1.5-3m	2-1	37035.067	24092.565
						2-2	37040.062	24080.626
						2-3	37041.847	24077.491
						2-4	37047.137	24075.809
						2-5	37049.603	24075.968
						2-6	37052.461	24073.265
2-7	37057.703	24073.505						
2-8	37057.555	24081.374						
2-9	37043.384	24109.830						
2-10	37037.650	24109.764						
2-11	37036.559	24107.426						
2-12	37036.559	24107.426						
2-13	37032.778	24106.945						
2-14	37031.933	24106.273						
2-15	37032.730	24104.418						
2-16	37036.535	24097.538						
2-17	37035.434	24094.310						

土层	污染物	污染深度	拐点编号	拐点坐标	
				X	Y
			2-18	37035.067	24092.565
第 2 层	重金属砷	1.5-3m	3-1	36975.765	24009.333
			3-2	36976.811	24011.352
			3-3	36978.167	24011.732
			3-4	36986.274	24008.145
			3-5	36987.272	24003.702
			3-6	36986.892	24001.706
			3-7	36985.732	24001.084
			3-8	36984.452	24000.489
			3-9	36983.753	24000.013
			3-10	36979.901	24000.013
			3-11	36978.666	24000.667
			3-12	36976.131	24003.203
			3-13	36975.647	24004.354
			3-14	36975.647	24008.219
			3-15	36975.765	24009.333
第 3 层	重金属砷	3-5m	4-1	36951.775	24051.936
			4-2	36954.947	24051.936
			4-3	36957.818	24050.470
			4-4	36960.270	24048.854
			4-5	36961.636	24045.260
			4-6	36962.229	24041.823
			4-7	36958.536	24038.811
			4-8	36953.536	24038.527
			4-9	36949.900	24040.914
			4-10	36948.081	24044.834
			4-11	36949.104	24049.607
			4-12	36951.775	24051.936

#### 4.2.5 修复范围及工程量

根据上述确定的各污染物分布分析,计算本项目土壤污染面积及污染土方量详见表 4-10, 污染范围详见图 4-5 所示。

表 4-10 污染土壤修复面积及土方量统计表

土层	深度(m)	污染物	修复面积 (m <sup>2</sup> )	修复土方量(m <sup>3</sup> )
第一层	0-1.5	多环芳烃	1554.81	2332.21
第二层	1.5-3	石油烃	517.14	775.71

土层	深度(m)	污染物	修复面积 (m <sup>2</sup> )	修复土方量(m <sup>3</sup> )
		重金属砷	102.95	154.43
第三层	3-5	重金属砷	142.89	214.34
合计		多环芳烃	1554.81	2332.21
		石油烃	517.14	775.71
		重金属砷	245.84	368.77
		总计土方量	/	3476.69

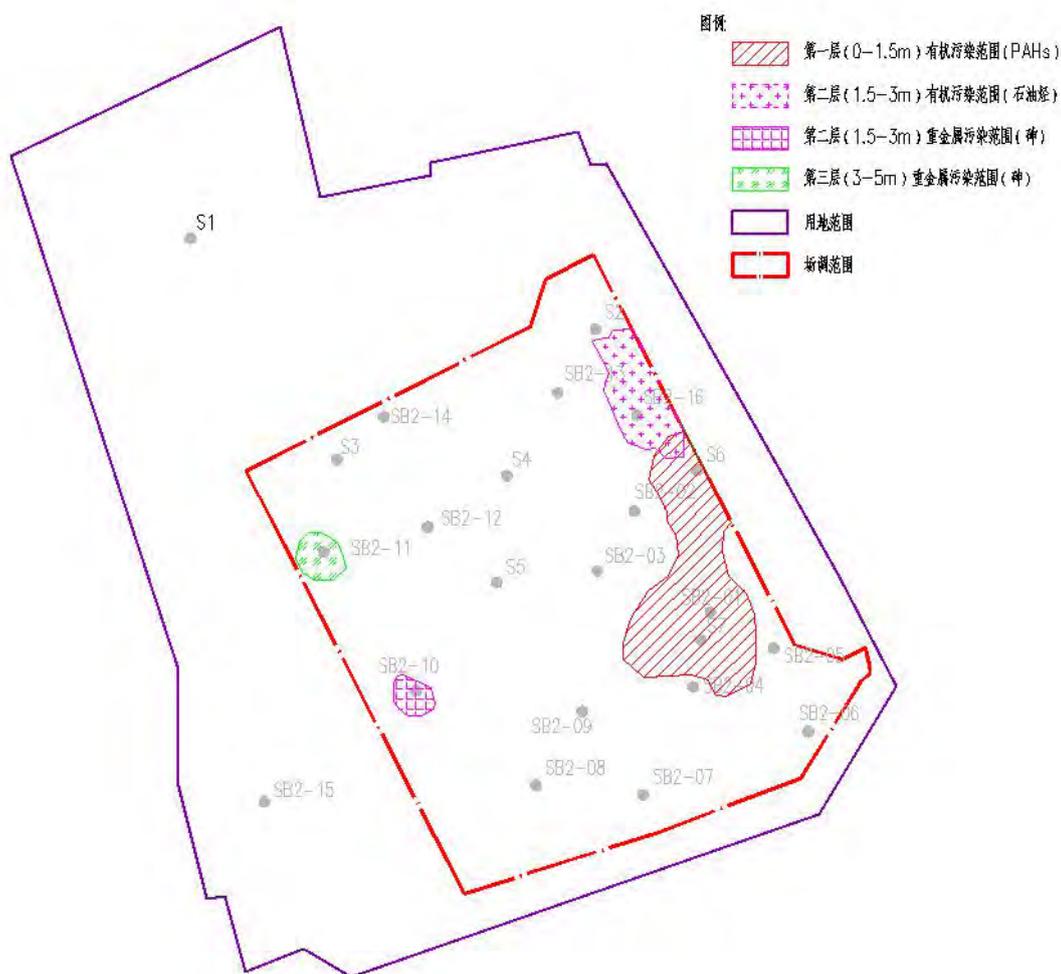


图 4-5 污染范围分布图

## 5 场地修复技术筛选与评估

### 5.1 技术筛选原则

本场地土壤污染物修复技术的筛选应以该场地前期污染调查与风险评估工作为基础，充分借鉴国外在污染场地修复领域的先进经验，满足我国现阶段污染场地修复技术的研发、应用与管理水平，以有效去除或降低场地土壤中污染物的浓度和风险，提高修复效率，减少二次污染，确保人体安全为基本原则。具体原则如下：

1) 场地适用性原则：应针对场地污染物特性和污染特征、场地地质和水文地质条件，场地未来规划、场地后期建设方案等重要因素，因地制宜选择修复技术。具体应根据本场地土壤中污染物的种类、污染程度等实际情况选择。

2) 技术可靠性原则：为保证场地修复工作的顺利完成，本场地的修复技术应尽可能采用绿色、可持续、成熟可靠的修复技术，而不应单纯追求技术的先进性，避免采用处于研究初期的修复技术。

3) 时间合理性原则：为尽快完成污染场地的修复工作，开展场地的进一步的开发利用，同等条件下，应尽量选择修复周期短的修复技术。

4) 费用合理性原则：在满足场地污染修复目标可达、技术可行前提下，应尽量选择经济上可行的修复技术，降低修复费用。

5) 减少环境影响：本场地污染土壤的修复，应尽可能采用工艺较为简单，且修复过程二次污染较少的修复技术，以降低修复过程的环境影响。

6) 结果达标原则：本场地所选的污染土壤修复技术，必须满足本场地土壤修复目标的要求，确保环境安全及居民健康。

### 5.2 土壤修复技术发展趋势

土壤修复技术总体上可分为原位修复技术和异位修复技术两大类。土壤原位修复技术是在原有位置进行修复，不需要挖掘和运输土壤，修复成本较低，但需要较长的运行时间和修复周期，而且受场地本身特性影响较大，修复效果和修复周期不可确定性较大。因此，原位修复技术一般应用于污染面积大、污染物迁徙较深、污染浓度较低、不急于开发利用的污染场地；与原位修复技术相比，异位

修复技术具有修复手段多样、修复周期短、效率高、效果好等特点，容易满足对较快工期的要求，但异位修复技术需要挖掘和运送土壤，工程费用相对较高。因此，异位修复技术常用于开发价值较高且急于开发利用的污染场地。

据美国超级基金计划场地修复技术应用统计，自 1982 年美国实施超级基金计划以来，至 2002 年，在美国实施的 1781 项场地修复工程中，有 58% 采用了异位修复技术，42% 采用原位修复技术。在已完成的 464 项修复工程中，有 341 项（73.5%）采用异位修复技术，有 123 项（26.5%）采用原位修复技术（图 5-1），也即大多数已完成的修复工程采用的技术为异位修复技术。这主要是因为原位修复技术所处的环境受人为控制的程度相对较小，对其修复过程难以掌握。

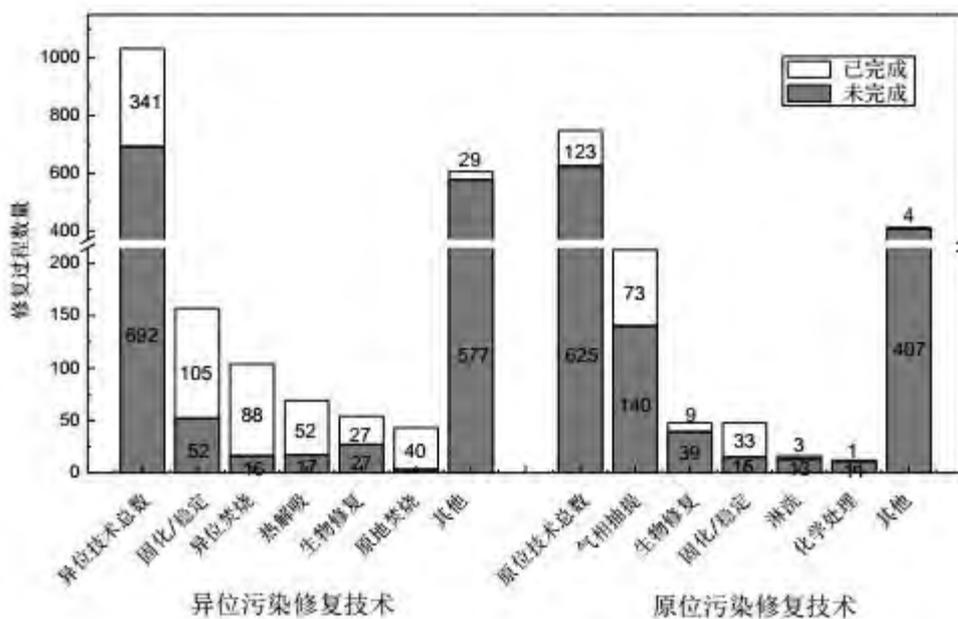


图 5-1 1982-2002 年美国超级基金计划场地污染土壤修复技术应用统计结果

目前，国际上用于场地土壤污染修复的具体技术虽多，但由于受场地本身特性及经济成本的约束，真正能在实际工程中应用的修复技术并不多。目前常用的有机污染土壤修复技术主要有气相抽提、生物修复、常温解吸、化学氧化、水泥热脱附等，常用的重金属污染土壤修复技术主要有固化/稳定化、土壤洗脱技术、植物修复、水泥窑协同处置。

### 5.3 土壤修复常用技术介绍

目前，有机污染场地土壤修复的技术虽较多，但真正大规模应用的修复技术仍然非常有限。有机污染土壤的修复技术主要包括：气相抽提、常温解吸、化学

氧化、热脱附、生物修复等，重金属污染土壤的修复技术主要包括：固化/稳定化、土壤洗脱技术、植物修复、水泥窑协同处置等，为有效开展场地污染土壤修复技术的筛选，下面将针对该场地土壤中的主要污染物对目前常用的有机污染和重金属土壤修复技术进行概要性介绍，为本场地土壤修复技术的选择提供理论依据。

### 5.3.1 有机污染土壤的修复技术介绍

#### a) 化学氧化技术

化学氧化技术是利用氧化剂的强氧化性与污染土壤中的有机污染物发生化学反应，使有机污染物反应生成  $H_2O$ 、 $CO_2$  或其它没有危害的中间产物，达到修复有机污染土壤的目的。化学氧化方法可以在短时间（几天或十几天）内获得污染物浓度的大量降低（60%~90%以上）。

化学氧化技术是一种常用的处理场地污染物的方法。在美国，化学氧化工艺已经用于数千个有毒废弃场地的修复治理工程。美国环保署（EPA）资料显示，近期现场修复案例中化学氧化技术占了 33%，成为目前发展最迅速的污染土壤修复技术。

#### b) 异位热脱附技术

热脱附是将污染土壤加热到有机污染物沸点以上，使目标污染物从土壤中得以挥发或分离的过程，热脱附过程中目标污染物发生蒸发、蒸馏、沸腾、氧化和热解等作用，通过控制系统温度和加热时间可以选择性的移除不同的污染物，污染土壤中的污染物在负压条件下从土壤中分离出来，最终在尾气处理设施（后燃烧器、浓缩器或活性炭吸附装置等）中彻底消除或浓缩收集。该修复技术能够高效地去除污染土壤中的 VOCs 及 SVOCs 污染物，污染物去除率最高可达 99.98% 以上。

热脱附技术的工艺路线为：污染土壤预处理→土壤进料→热脱附加热挥发分离有机污染物→废气处理：一次除尘、高温焚烧（温度可达 1100℃以上，停留时间大于 2s）、急速冷却器（有效控制二噁英的再生成）、二次除尘、脱酸，最后通过烟囱清洁排放。

热脱附技术是先把有机污染物从污染土壤中分离出来再处理有机废气，有机

废气采用高温燃烧工艺处理，处理温度 1100-1200°C，烟气停留时间可以在 2 秒以上，燃烧效率大于 99.9%，焚毁去除率大于 99.99%。

加热使土壤中的污染物解吸出来，是物理过程，不直接焚烧有机污染物，其所要求的温度比水泥回转窑的处理温度低得多，根据污染物沸点的不同，一般处理温度范围为 150-560°C，从这个意义上说，热脱附所要求的能耗比水泥回转窑的能耗低一些。但是如果土壤水分含量高，热脱附过程中水分受热的耗能会大大增加热脱附的耗能，所以含水率高的污染土壤应采取措施降低水分含量后才进入热脱附设备进行去除污染物的处理。热脱附处理后的清洁土壤的处置用途也较多，比如建筑回填、路基材料、复育农用等。

热脱附的处理温度可以通过其能源供给控制系统调节，所需处理温度根据土壤质地、土壤含水率、污染物沸点及其性质等因素进行设计。当多种污染物污染土壤采用热脱附技术处理污染土壤的通常为 300-500°C，可以一次性清除土壤中的多种污染物。热脱附技术在国外已经非常成熟，广泛应用于 VOCs、SVOCs、含氯农药和较难挥发有机污染物如 PCBs 污染土壤的修复。热脱附技术适用于本场地污染土壤的修复。

热脱附技术针对不同的污染物和污染浓度，使用的热脱附设备及其工艺不同。其不同之处主要体现在前端的热脱附滚筒的加热方式（直接加热/间接加热）和后端的尾气处理方式（破解去除/冷凝回收）上。根据直接热脱附和间接热脱附设备烟气量特点和国外已有的工程经验，热脱附处理工艺主要有两类：直接热脱附+烟气破解去除、间接热脱附+烟气冷凝回收。

### c) 微生物修复技术

微生物修复技术是在人为优化的条件下，利用自然环境中生息的微生物或人为投加的特效微生物的生命代谢活动，来分解土壤中的污染物，修复受污染的环境。微生物对物质进行各种转化作用的生理学基础是其新陈代谢活动，即分解代谢和合成代谢。在新陈代谢过程中，微生物使各种物质经历了种种复杂的转化。微生物在生物修复中起着主导作用。

大多数环境中都存在着天然微生物降解净化有毒有害有机化合物的过程，只是由于环境条件的限制，使微生物自然净化的速度很慢，因此需要采用各种方法来强化这一过程。例如提供氧气、添加营养盐、接种经驯化培养的高效微生物等，

以便能够迅速地去除污染物。

天然的土壤是微生物的大本营，存在着数量巨大的各种各样微生物，在遭受有毒有害的有机物污染后，可出现一个天然的驯化选择过程，使适合的微生物不断增长繁殖、数量不断增多，以达到降解环境中污染物的目的。

对于本场地中的主要 SVOCs 污染物多环芳烃来说，生物修复被认为是目前最具潜力的修复方法之一。但由于其疏水性和稳定性，严重限制了其生物可利用性和修复速度，因此，通过采取强化措施提高其生物修复效率就成为生物修复多环芳烃类污染土壤的关键。有关 PAHs 生物降解的强化方法研究已开展很多，但很多技术还不够成熟，生物降解效率较低，且长时间占用土地，不利于土地的再利用，离实际应用还有一定距离。

### 5.3.2 重金属污染土壤的修复技术介绍

#### a) 固化/稳定化修复技术

固化/稳定化技术是指防止或者降低污染土壤释放有害化学物质过程的一组修复技术，通常用于重金属和放射性物质污染土壤的无害化处理。固化/稳定化技术既可以将污染土壤挖掘出来，在地面混合后，投放到适当形状的模具中或放置到空地，进行稳定化处理，也可以在污染土地原位稳定处理。从风险评估角度理解，固化/稳定化技术主要通过改变污染物存在形式、存在状态、以及存在环境等因素，降低污染物通过土壤摄入、皮肤接触等各类暴露途径进入人体的可能性，减少人体污染物暴露量，从而实现污染修复的目的。图 3-10 为固化/稳定化工艺流程图。

从作用机理上讲，固化/稳定化技术涉及两个作用过程：固化作用和稳定化作用，固化作用主要通过向土壤投加水泥、窑灰、石灰、飞灰等粘合剂，并通过机械搅拌等作用，使土壤转变为不可流动的固体，或在土壤表面形成一层低渗透性的涂层，有效限制污染物的流动性。稳定化作用主要通过向土壤中投加化学药剂与污染物进行化学反应，达到降低污染物迁移性、溶解性、活性或毒性的目的，减少其可浸出性。

固化处理与稳定化处理可联合使用，也可单独使用，实际上，使用的固化药剂或稳定化药剂往往具有固化和稳定化的双重作用。

该技术适用范围广，不会产生需要二次处理的废液/废气。常用于修复重金

属的固化/稳定化药剂为水泥、碱性材料、含磷材料和氧化镁材料。

美英等国家率先开展了污染土壤的固化/稳定化研究，并制订了相应的技术导则。据美国环保署统计，2005-2008年应用该技术的案例占修复工程案例的7%。大量的成功案例证明了固化/稳定化技术可以令土壤及其它介质中各种重金属的危害远远低于环保要求。对于本场地中的重金属污染物来说，固化稳定化修复技术是目前重金属污染修复的最常用的修复方法。为避免后期开发建设施工对修复回填后的重金属类土壤产生二次扰动，造成对环境和人体的潜在风险，需对该部分土壤进行永久性阻隔填埋处置。

### b) 土壤洗脱技术

土壤洗脱技术是指借助能够促进土壤环境中污染物溶解或迁移作用的溶剂，通过将溶剂与污染土壤混合，然后再把包含有污染物的液体从土壤中抽提出来，进行分离处理的技术。原位土壤洗脱一般是指将冲洗液由注射井注入或渗透至土壤污染区域，携带污染物质到达地下水后用泵抽取污染的地下水，并于地面上去除污染物的过程。异位土壤洗脱技术需要将污染土壤挖掘出来，用水或淋洗剂溶液清洗土壤、去除污染物，再对含有污染物的清洗废水或废液进行处理，洁净土可以回填或运到其他地点回用。

土壤洗脱技术在使用时，一般需要先根据处理土壤的物理状况对土壤进行分类，再基于二次利用的用途和最终处理需求将其清洁到不同的程度。清洗液可以是清水，也可以是包含冲洗助剂的溶液。冲洗剂主要有无机冲洗剂、人工螯合剂、阳离子表面活性剂、天然有机酸、生物表面活性剂等。无机冲洗剂具有成本低、效果好、速度快等优点，但用酸冲洗污染土壤时，可能会破坏了土壤的理化性质，使大量土壤养分淋失，并破坏土壤微团聚体结构。人工螯合剂价格昂贵，生物降解性差，且冲洗过程易造成二次污染。在处理质地较细的土壤时，需多次清洗才能达到较好效果。低渗透性的土壤处理困难，表面活性剂可粘附于土壤中降低土壤孔隙度，冲洗液与土壤的反应可降低污染物的移动性。较高的土壤湿度、复杂的污染混合物以及较高的污染物浓度会使处理过程更加困难。冲洗废液如控制不当会产生二次污染，因此需回收处理。洗脱过程通常采用可移动处理单元在现场进行，因此该技术所需的实施周期主要取决于处理单元的处理速率及待处理的土壤体积。该技术要求较大的处理场地。

该技术可用来处理重金属污染物,对于大粒径级别污染土壤的修复更为有效,砂砾、砂、细砂以及类似土壤中的污染物更容易被清洗出来,而粘土中的污染物则较难清洗。一般来说,当土壤中粘土含量达到 25%~30%时,不考虑采用该技术,由于本场地污染分布地层以粉质粘土为主,因此不推荐在本项目使用该技术。

### c) 水泥窑协同处置技术

水泥窑焚烧技术是一项可以显著减少废物的体积、降低废物毒性或危害的处理工艺。水泥窑焚烧技术适用于土地亟需开发的场地修复,具有修复工期短,修复效率高等特点。污染土壤由污染场地运输至水泥厂暂存后,在严格控制二次污染的前提下,在水泥生产过程按计算投加比例消耗污染土壤,不影响原土地的开发流转。同时,水泥生产过程中本身就需要添加一定量的粘土物质,污染土壤在修复过程中也充当水泥窑生产的原料。水泥窑协同处置技术适用范围广,适用于基本所有重金属和有机物污染土壤,但不宜用于汞、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,需根据具体污染物种类及土壤氯、硫等元素含量控制污染土壤的投加比例

《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)适用于“利用水泥窑协同处置危险废物、生活垃圾(包括废塑料、废橡胶、废纸、废轮胎等)、城市和工业污水处理污泥、动植物加工废物、受污染土壤、应急事件废物等固体废物过程的污染控制和监督管理”,本项目所涉及的“受污染土壤”是可以采用水泥窑焚烧协同处置技术的。

由此可见,该技术处理效果好,技术成熟,国内有成功应用经验,对于本场地中的重金属污染物有较好的协同处置效果。但是采用该技术要求污染场地周边有愿意接收且满足水泥窑协同处置条件的水泥厂,而且污染土壤外运二次污染风险较大,运输和协同处置费用均较高。经初步了解,本项目周边无满足协同处置条件的水泥厂,因此,本项目的污染土壤不推荐采用水泥窑协同处置技术。

### d) 阻隔技术

阻隔为施工于污染介质周围的地下沟渠、地墙或地膜所组成的垂直阻隔系统,有时也与地面生态覆盖系统结合。阻隔系统主要有几方面的功能:(1)阻断污染土壤与人的直接接触;(2)阻止受污染地下水迁移扩散;(3)阻断污染土壤或污染地下水挥发出的气体扩散。早期阻隔技术主要用于防止建设工程外侧土壤坍

塌或外围地下水渗入基坑，钢板桩是世界各地普遍采用的阻隔技术。

**表 5-1 阻隔技术的优缺点**

优点	缺点
1.可防止污染物横向或侧向移动扩散。 2.可改变局部的地下水流模式。 3.阻止及避免污染土壤与地下水相互接触。 4.可阻隔污染并保护邻近区域。 5.常用于出水量大或污染来源复杂的地区。 6.降低水力传导系数。 7.可有效缩短治理修复周期。	1.非处理方式。 2.设置费用高。 3.适用于小地块。 4.有潜在渗漏及移动风险。

阻隔技术包括水平阻隔和垂直阻隔两大类。水平阻隔相对简单，垂直阻隔可分成取代法、挖掘法、注射法等基本类型。各类型特点及适用性见表 5-2。

1.取代法：把阻隔系统施工于地下而地面不受大的干扰。其中，钢板桩 (steelsheetpiling)是最常用的一种方法。

2.挖掘法：将土壤挖出，然后用阻隔材料代替原有土壤，即建置一低渗透性的垂直阻隔系统，将其插入土壤甚至更深的透水层。例如，交叉桩法 (secantpiling) 是由一系列连锁相邻的桩构成完整的墙；浅层截水墙 (shallowcut-offwall)的建造过程是先用切割机挖出一个足够深的狭槽，然后插入地膜，再用压实的黏土填充；泥浆沟渠 (slurrytrench)的建造过程是先挖一条沟渠，然后用不同材质混合的泥浆（如皂土—水泥混合，有时还加入挖出的土壤进行混合）进行填充，形成不同形式的泥浆沟渠，如黏土阻隔系统、皂土—水泥阻隔系统、膜阻隔系统和混凝土横隔墙等。

3.注射法：向土壤中注入一定的材料，填充土壤的空隙、孔隙和裂隙，以降低土壤渗透性的过程。注射法形成的垂直阻隔系统包括化学灌浆阻隔、深层土壤混合（通常是皂土和水泥混合）技术、喷射灌浆和喷射混合灌浆等。

4.其他方法：包括电动力学阻隔技术、地面冰冻、化学阻隔和生物阻隔等。其中，电动力学阻隔技术是指通过控制电荷形成对污染物迁移进行阻隔的系统。地面冰冻也可以形成垂直阻隔系统，用于控制土壤中污染物的迁移。目前，生物阻隔方法也在发展当中。

**表 5-2 不同类型垂直阻隔系统的特点及适用性**

类型	举例	适用性	特征
取代法	钢板桩 震动波墙 膜墙	大多数土壤类型，但大石头、岩石或大量废弃物存在或许会影响施工	低 pH 土壤一般对苯和甲苯等污染物具有抗性；钢板桩的地方也需要结构上或机械上的支

			持
挖掘法	横切堆积墙 浅层切断墙 喷射灌浆 泥浆沟渠 混凝土横隔墙	大多数土壤和岩石类型	应用广泛；需要对阻隔系统的损坏进行处置
注射法	水泥或化学灌浆 喷射灌浆 喷射混合	最好是粒状土壤或破碎的岩石，而黏土或废弃物效果较差	/
其他	地面冰冻 电动力学 生物阻隔 化学阻隔	地面冰冻只在一定颗粒大小的土壤（主要是砂土）上有过成功的实例	在国外受到广泛重视

## 5.4 土壤修复技术筛选

针对上述污染土壤常用修复技术，本章节将结合场地的污染特征、用地规划和场地后期的开发建设计划，采用国际上常用的修复技术筛选矩阵，从修复技术的修复效果、技术成熟性、修复周期、修复成本及其场地适应性方面对其进行筛选，以确定本场地土壤修复适用技术。经分析对比，本项目重金属污染土壤拟采用异位固化稳定化处理技术，有机污染土壤拟采用异位热脱附技术进行处理。有机污染土壤筛选矩阵及其筛选结果详见表 5-3，重金属污染土壤筛选矩阵及其筛选结果详见表 5-4。

表 5-3 有机污染土壤修复技术筛选矩阵

编号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	不适应性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
1	化学氧化	利用氧化剂的强氧化性与污染土壤中的有机污染物发生化学反应，使有机污染物反应生成 H <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> 或其它没有危害的中间产物，达到修复有机污染土壤的目的。	技术成熟/国内常用技术	时间较短	较高	(1) 对于 VOCs 等易降解有机物较有效和经济；(2) 比较适用于土壤渗透性好的土壤。	(1) 对于部分多环芳烃，氧化效果较差，而本项污染物含量高，且验收标准非常严格，导致所需投加的药剂量大，而且难以修复达标；(2) 中间产物不明确，安全可靠一般。	不建议采用
2	异位热脱附	将污染土壤加热到有机污染物沸点以上，使目标污染物从土壤中得以挥发或分离的过程，热脱附过程中目标污染物发生蒸发、蒸馏、沸腾、氧化和热解等作用，通过控制系统温度和加热时间可以选择性的移除不同的污染物，污染土壤中的污染物在负压条件下从土壤中分离出来，最终在尾气处理设施（后燃烧器、浓缩器或活性炭吸附装置等）中彻底消除或浓缩收集。	技术成熟/国内常用技术	时间较短	较高	(1) 对 VOCs 和 SVOCs 比较有效，辅以合适的尾气处理系统，适应的污染物浓度水平也比较宽泛。(2) 适用于各类类型的土壤。	(1) 在现场建设热脱附设备；(2) 需准确控制加热温度和土壤的停留时间。(3) 需严格控制热脱附尾气，确保达标排放。	建议采用

编号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	不适应性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
3	微生物修复	利用本土或接种的微生物（真菌、细菌和其他微生物）降解（代谢）土壤中的有机污染物，将它们转变为无害的终产物。使用营养物、氧气或其他改良剂能加强污染土壤区域的生物降解过程，促进生物修复和污染物从土壤中解析。	技术较成熟/ 国内偶有应用	时间长	较低	好氧微生物可以降解多环芳烃。设备技术成熟，施工与运行简单。	（1）多环芳烃生物降解效率较低，修复不达标风险高；（2）需要长时间占用土地，不利于土地的再利用。	不建议采用
4	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，焚烧处理污染土壤。有机物污染土壤从窑尾烟气室进入水泥回转窑，窑内气相温度最高可达 1800℃，物料温度约为 1450℃，在水泥窑的高温条件下，污染土壤中的有机污染物转化为无机化合物，高温气流与高细度、高浓度、高吸附性、高均匀性分布的碱性物料（CaO、CaCO <sub>3</sub> 等）充分接触，有效地抑制酸性物质的排放，使得硫和氯等转化成无机盐类固定下来；	技术较成熟/ 国内应用较多	时间段	较高	水泥窑焚烧协同处置可以分解多种有机物，能有效处置有机污染土壤。	（1）含氯有机物污染土壤处理时，需精确控制燃烧温度，否则可能产生二噁英，需要对尾气处理装置进行改造。（2）为达到水泥质量要求，土壤混入量有限，影响处理进度；3）无水泥厂接收	

表 5-4 重金属污染土壤修复技术筛选矩阵

编号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	不适应性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
1	异位固化/稳定化	将污染土壤挖掘出来，向污染土壤中添加固化/稳定化剂，经充分混合，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，随后填埋至稳定结构的设施内进行封闭，要对污染区域进行封闭或对人类活动有限制，要定时对场地进行监测。	技术成熟/ 国内常用 技术	时间较短	较低	适用于各种重金属污染土壤。	(1) 不适用于挥发性有机化合物和以污染物总量为验收目标的项目。 (2) 不适用于不具备在原场地进行回填条件的污染场地	建议采用
2	土壤洗脱技术	通过向污染土壤添加水或合适的增效剂分离重度污染土壤组分或使土壤中污染物组分从土壤转移至液相后进行修复处理。	技术成熟/ 国内偶有 使用技术	时间较短	较低	适用于重金属污染土壤	不适用于土壤细粒/粉粘粒含量高于 25% 的污染土壤	不建议采用

编号	技术名称	技术路线简介	应用参考因素			适应性	不适应性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
3	植物修复技术	在污染土壤表层种植富集效果较好的植物，利用植物进行提取、根际滤除、挥发和固定等方式转变和破坏土壤中的污染物质。该技术需要培养合适的植物，且修复工期较长。	技术成熟/ 国内偶有使用技术	时间长	较低	适用于重金属污染土壤	不适用于北方气候条件不利于植物生长的区域	不建议使用
4	水泥窑协同处置	将污染土壤挖出，与水泥原料混合，在水泥窑内高温燃烧，可将重金属污染物固定在水泥产品中。采用该技术要求污染场地周边有愿意接收且满足水泥窑协同处置条件的水泥厂，而且污染土壤外运二次污染风险较大，运输和协同处置费用均较高。	技术成熟/ 国内常用技术	时间长	高	适用于各种非挥发性重金属污染土壤。	(1)为达到水泥质量要求，土壤混入量有限，影响处理进度；(2)无水泥厂接收	不建议采用

## 5.5 土壤修复技术评估

为进一步明确上述所选修复技术在本场地污染土壤修复中的应用可行性，本项目从国内应用案例、场地应用条件、可行性试验验证三个方面对其作进一步的分析与评估。

### 5.5.1 国内应用案例

#### a) 有机污染土壤修复案例

热脱附技术可用于场地有机污染土壤的处置，目前也已成为我国场地污染土壤修复的一种主要处置技术。表 5-5 列出我国采用热脱附技术处置土壤中有机污染物的部分案例。

表 5-5 采用热脱附技术修复有机污染土壤的案例

序号	项目名称	实施时间	主要污染物
1	杭州某农药厂	2013-2015	多环芳烃、VOCs
2	武汉某化工厂污染场地修复项目	2017-至今	VOCs、多环芳烃、农药
3	宁波某热电厂污染场地修复项目	2016-2017	VOCs、多环芳烃
4	无锡某化工厂污染土治理修复项目	2013~2015	多环芳烃、苯系物

上述案例表明，热脱附技术用于处置土壤中 VOCs 和 SVOCs 污染土壤在我国现阶段技术上是可行的。

#### b) 重金属污染土壤修复案例

固化/稳定化技术可用于场地重金属污染土壤的处置，目前也已成为我国场地污染土壤修复的一种主要处置技术。表 5-6 列出我国采用固化/稳定化技术处置土壤中重金属污染物的部分案例。

表 5-6 采用固化/稳定化修复重金属污染土壤的案例

序号	项目名称	实施时间	主要污染物
1	武汉某染料厂污染场地修复项目	2013-2018	重金属、有机污染
2	武汉某化工厂退役场地修复项目	2015-至今	重金属、VOCs、多环

序号	项目名称	实施时间	主要污染物
			芳烃、农药
3	广州某化工厂退役场地修复项目	2017-至今	重金属、VOCs、多环芳烃
4	广州某钢厂污染场地修复项目	2017~2018	重金属、多环芳烃

上述案例表明，热脱附技术用于处置土壤中重金属污染土壤在我国现阶段技术上是可行的。

### 5.5.2 场地应用条件分析

土壤热脱附是一个热分离过程，污染物特性和浓度及土壤的质地、可塑性等物理指标会其修复效果产生影响。本场地土壤中所需要修复的多环芳烃污染物，其沸点均小于 500°C，在热脱附温度大于 500°C 的情况下，易于挥发去除。土壤多为粘性土壤，经预处理后，土壤质地、可塑性和物理指标如含水率、粒径等都能满足热脱附处理要求。可见，异位热脱附技术适用于本场地多环芳烃污染土壤的修复处理。

土壤异位固化/稳定化技术适用于多种重金属污染物，包括了本场地主要污染物砷。

### 5.5.3 可行性试验

#### a) 有机污染土壤热脱附修复小试试验

本项目目前的能源介质条件尚未安装完成，因本项目不具备开展现场中试的条件，为进一步验证热脱附技术对本场地污染土壤的适应性，我公司在本项目场地内采集污染土壤开展了热脱附小试试验。

##### (1) 试验方案

在本项目场地内多环芳烃污染点位附近深度为 1.5m-2m 范围内，采集了 30kg 污染土壤开展了热脱附小试试验。现场试验土壤采集过程照片如下图所示。



图 5-2 试验土壤现场采集照片

为模拟实际热脱附工况，特选择马弗炉进行热脱附试验。本次试验重点关注本项目处理难度最大的多环芳烃污染物。

本试验控制的参数为土壤粒度、热脱附温度和停留时间，试验分组设计如下：

- 1) 在给定的土壤粒径和停留时间下，设计三组试验温度：450°C、500°C、550°C。
- 2) 在给定的试验温度和土壤粒径下，设计三组停留时间：20、30、40min。
- 3) 在给定的试验温度和停留时间下，设计三组土壤粒径：30、50、80mm。

表 5-7 热脱附试验分组

编号	土壤粒径 (mm)	加热时间 (min)	热脱附温度 (°C)
S1	50	20	450
S2	50	20	500
S3	50	20	550
S4	50	30	500
S5	50	40	500
S6	30	30	500
S7	80	30	500

## (2) 试验步骤

1) 将土样筛分破碎预处理，剔除砖石等杂质，使土壤粒径达到 50mm 以内，按每个 3kg 分成 8 份（7 用 1 备），分别用自封袋密封；预处理完成后取 1 个土

样，编号为 S0，送第三方实验室检测含水率和多环芳烃浓度。

2) 准备试验工具、材料及试验土壤，连接好烟尘收集装置。起动回转滚筒。

3) 取试验土样，按设计分组方案进行热脱附试验，记录每组试验实际参数。

4) 对每组热脱附后土壤分别取样，送第三方实验室检测含水率和多环芳烃浓度。



图 5-3 热脱附小试试验照片

(3) 试验结果

本次试验结果如下表所示：

表 5-8 热脱附试验数据统计表

编号	实验条件			有机物含量 (mg/kg)	
	粒径 (mm)	加热时间 (min)	加热温度 (°C)	苯并(b)荧蒽	苯并(a)芘
	沸点 (°C)			481	475
	原始浓度			6.23	2.68
	修复目标值			5.5	0.55
S1	50	20	450	2.15	0.83
	去除率 (%)			65.5	69.1
S2	50	20	500	1.76	0.68
	去除率 (%)			71.8	74.6
S3	50	20	550	0.37	0.25

编号	实验条件			有机物含量 (mg/kg)	
	粒径 (m m)	加热时 间(min)	加热 温度 (°C)	苯并(b)荧蒽	苯并(a)芘
	去除率 (%)			94.1	90.1
S4	50	30	500	0.24	0.1
	去除率 (%)			96.2	96.3
S5	50	40	500	0.18	0
	去除率 (%)			97.1	100
S6	30	30	500	0	0.11
	去除率 (%)			100	95.9
S7	80	30	500	1.89	0.75
	去除率 (%)			69.7	72.0

### 1) 热脱附温度对修复效果的影响

从表中试验数据可以看出，只要土壤最终加热温度大于污染物的沸点温度，其污染物去除率均大于 90%，在此基础上延长加热时间或提高加热温度，去除率可以更高。

从理论与实际的试验结果均可表明，温度是热脱附工艺中重要的影响因素，它在一定程度上决定了热脱附工艺对污染土壤的修复效率。在一定范围内，提高热脱附温度有利于提高污染土壤的修复效果。因此，建议热脱附温度不低于其污染物沸点温度，实际加热温度可根据加热时间具体确定。

### 2) 热脱附加热时间对修复效果的影响

相同粒度的土壤在相同的加热温度下，延长了加热时间后，污染物的去除效率也随之增加。这表明，延长热脱附工艺的加热时间有助于提高污染物的去除率。然而，综合考虑处理成本及时间，则应在能够达到修复目标值的前提下，尽可能的缩短加热时间。从实验结果来看，在加热温度达到污染物沸点温度时，30min 以内的热脱附时间可使污染土壤达到修复标准。

### 3) 土壤特性对热脱附修复效果的影响

本次试验分别采用粒度 30mm、50mm 和 80mm 土壤样品在相同条件下进行试验，从表中数据可以看出，粒度越小，污染物去除效果越好，而对于粒度 80mm 的试验土壤，即使加热温度达到污染物沸点，部分土壤样品污染物仍未修复达标。这是因为对于大粒度的污染土壤，包裹在土壤内部的污染物由于温度相对较低，且不易从加热后结块的土壤中挥发出去，所以导致其去除率较低。结合本试验结果并结合其它项目经验，在本项目土壤热脱附工程中，建议将土壤入料粒度控制在 50mm 以内较为合适，既可保证修复效果，也能够实现对成本的控制。

综合以上试验结果可以看出，只要选择合适的土壤粒度、热脱附温度和停留时间，采用热脱附技术可以将本项目场地内污染土壤修复达标，因此，此试验验证了热脱附技术在本项目具有可行性。

#### b) 重金属污染土壤固化稳定化修复小试试验

##### (1) 异位固化稳定化修复药剂材料选择

常用的固化稳定化凝胶材料可以分为四类：

- 1) 无机粘结物质，如水泥、石灰等；
- 2) 有机粘结剂，如沥青等热塑性材料；
- 3) 热硬化有机聚合物，如尿素、酚醛塑料和环氧化物等；
- 4) 玻璃质物质。

由于技术和费用等方面的原因，水泥和石灰等无机材料为基料的固化/稳定化技术应用最为广泛。水泥或石灰为基础的固化/稳定化技术可以通过以下几种机制稳定污染物：在添加剂表面发生物理吸附；与添加剂中的离子形成沉淀或络合物；污染物被新形成的晶体或聚合物所包被，减小了与周围环境的接触界面。水泥和石灰的水化作用是其凝固和硬化的必要条件，因此影响水化反应的因素都会影响污染土壤固化/稳定化的效果。主要分为以下两个方面：

- 1) 污染土壤的理化性质，包括：土壤 pH 值，土壤物质组成；

2) 固化/稳定化工艺, 包括凝胶材料和添加剂品种与用量、水分含量、混合均匀程度、养护条件等。

针对不同种类重金属污染的土壤, 充分考虑以上两个方面(土壤理化性质和固化稳定化工艺)因素的影响, 设置多种胶凝材料和添加剂的批量试验, 根据评价指标来确定最佳组合。根据我司以往工程案例, 以石灰为基料的固化稳定化药剂 E 对于砷污染土壤有较好的固化稳定化修复效果。本项目选用固化稳定化药剂 E 进行重金属污染土壤固化稳定化修复小试试验。

### (2) 异位固化稳定化小试试验

2019 年 4 月, 针对广州锌片厂污染土壤固化稳定化修复技术, 进行了实验室小试试验研究。通过实验室小试试验, 判断固化稳定化技术是否适用于本项目中的重金属污染土壤, 并进一步结合不同药剂投加量条件下污染物的处理情况, 确定适宜的药剂投加量及配比。

#### 1) 试验试剂、主要仪器及目标

主要试剂: 固化稳定化药剂。

主要仪器: 烧杯、精密天平、样品养护盒、玻璃棒等。

试验目标: 土壤中重金属污染因子经固化稳定化后低于修复目标值。

#### 2) 样品采集

采取本项目污染范围内重金属污染土壤做为试验土壤, 为确保小试试验具有代表性, 采取试验土壤样品时靠近初步调查及详细调查阶段砷浓度较高的点位进行取样。场地详细调查结果显示, 场调阶段土壤砷最高浓度为 70.4mg/kg, 小试阶段在砷污染最重的点位附近采样, 试验土壤的原始浓度为: 砷 (70.2mg/kg)。

#### 3) 试验步骤

##### a) 土壤制备

将试验土壤经过初步筛分混匀后存放待用。

### b) 制备反应体系

准备好烧杯，烧杯中每次装入 400g 试验土壤，按表格顺序添加对应的药剂，添加适量的水，使最终含水率保持在 30%左右（各组合含水率相同），搅拌均匀，将搅拌均匀的小试土样用塑料盒保存，按表编号。室温下静置养护，保持水分。

### c) 取样检测

试验土壤在加药完成后的第 7d 时，对所有试验分组进行取样。每个土壤样品质量为 70g。



图 5-4 重金属污染土壤固化稳定化小试试验

表 5-9 重金属污染土壤固化稳定化小试试验分组（质量比）

样品	试验分组	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
某场地	固化稳定化药剂	0%	2%	4%	6%	2%	4%	6%

### 4) 试验结果

本试验用公司自主研发的修复药剂对重金属污染土壤进行处理，固化稳定化后的土壤浸出浓度如下表所示。

表 5-10 重金属污染土壤小试结果（单位，mg/L）

实验编号	稳定化药剂	砷（浸出浓度）
S1	0%	0.09
S2	2%	0.06
S3	4%	0.04
S4	6%	\

实验编号	稳定化药剂	砷（浸出浓度）
S5	2%	\
S6	4%	\
S7	6%	\

试验结果表明，经添加固化稳定修复药剂处理后，土壤中的重金属砷污染浓度均有不同程度的下降。重金属固化稳定化药剂添加量为4%时，反应7天后土壤中重金属砷浸出浓度小于修复目标值0.05mg/L。当重金属固化稳定化药剂添加量为6%时，反应7天后土壤中重金属浸出浓度基本未检出。通过上述试验进一步证明固化稳定技术适用于本项目重金属污染土壤修复。

根据工程案例和试验结果，确定固化稳定化技术适用于本项目重金属污染土壤修复。鉴于工程实施过程放大等因素，在实际施工过程中，可根据污染土壤中重金属污染物浓度调整药剂添加量、适当增加土壤养护时间。参考我公司已完成类似污染物修复项目经验，针对不同污染物和污染程度的固化稳定化药剂投加比为3%~5%，养护时间7~14d，可满足本项目的修复需求。

## 5.6 修复技术筛选评估结论

结合该场地土壤污染物的分布特征、场地水文地质条件、场地规划及后期建设的相关要求，经修复技术的初步筛选和进一步的可行性评估，确定广州锌片厂安置房地块场地环境污染治理与修复工程污染土壤修复的适用技术如下：

重金属污染土壤为异位固化稳定化/阻隔填埋技术，多环芳烃污染土壤为异位热脱附技术。

## 6 场地修复工艺设计方案

### 6.1 设计原则

#### (1) 实施安全

加强安全生产管理，切实提高工程项目施工现场安全生产、文明施工的管理水平，确保污染土壤挖运、修复和处置等各个环节的人员安全和环境安全，最大程度降低实施过程中的安全隐患。

#### (2) 修复彻底

按照相关文件和批复要求，科学合理选择修复工艺，彻底解决土壤污染问题，达到修复治理目标要求，不留环境与安全隐患，保证场地长期使用的安全性。

#### (3) 工程合规

修复治理工程各项工作均应遵循国家和地方相关法律法规、标准以及环保部门批复的要求等。

#### (4) 节能环保

本工程生态修复工程作为环保工程项目，必须将节能环保放在重要位置，在设计施工时应尽量选用低能耗产品和清洁能源，充分考虑防止施工过程中产生污染转移和二次污染的措施，最大程度降低实施过程中的环境污染风险。

### 6.2 修复目标及修复范围

本项目重金属污染土壤主要为多环芳烃(苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽)、石油烃和重金属砷，土壤修复目标值如表 6-1 和表 6-2 所示。

表 6-1 有机污染土壤修复目标值

序号	污染物	修复目标值 (mg/kg)
1	石油烃 (C10-C40)	826
2	苯并(b)荧蒽	5.5

3	苯并(a)芘	0.55
4	二苯并(a,h)蒽	0.55

表 6-2 重金属污染土壤修复目标值

序号	污染物	清挖目标值 (mg/kg)	固化稳定化修复后浸出浓度 (mg/L)
1	砷	60	0.05

场地修复范围及修复工程量详见第 4.2.5 章节。

## 6.3 修复实施条件分析

### (1) 修复工期紧

本项目共需修复污染土壤 3476.69m<sup>3</sup>，其中重金属污染土壤 368.77m<sup>3</sup>，有机污染土壤 3107.92m<sup>3</sup>，整个修复工程实施时间约为 3 个月。在相对较短的工期内完成不同种类污染土壤的清挖、转运、修复处理处置、验收回填、阻隔填埋等工作，是本工程重难点。因而，在选择修复策略时应考虑项目工期特点，选择能够满足工期的修复策略。

### (2) 后续开发对修复区域扰动性大

本场地修复完成后作为安置房建设区，后续开发对土壤扰动较大，故选择修复策略时应考虑修复完成后场地污染隐患得以去除。

### (3) 有机污染物种类多、污染情况复杂

本项目场地有机污染土壤污染指标主要为多环芳烃（PAHs）和石油烃，有机污染物特别是多环芳烃性质较稳定，修复难度较大。

### (3) 场地施工条件局限性

通过分析，本场地的道路运输条件和施工布局条件较好，但在给水、排水条件上存在一定的局限性。因此，在选择修复策略和修复技术时应充分考虑修复施工对用水和排水的需求，使所选择的修复策略和修复技术在现有场地条件下能够切实可行，以免对修复施工的质量和进度造成影响。

#### (4) 《修复技术方案》推荐修复技术局限性

根据《初步调查报告》和《详细调查及风险评估报告》，可知本场地苯并(a)芘最大浓度为 4.7mg/kg，苯并(a)芘修复目标值为 0.55mg/kg，苯并(a)芘最大超标倍数为 8.55 倍；石油烃最大浓度为 16560mg/kg，石油烃修复目标值为 826mg/kg，石油烃的最大超标倍数达 20.05 倍。本项目《修复技术方案》推荐采用化学氧化技术及微生物处理技术修复有机污染土壤，但本项目石油烃浓度较大，修复目标值较低，石油烃超标倍数较大，根据我公司以往工程经验和相关小试试验结果，采用化学氧化修复技术难以满足项目石油烃污染物修复要求。另外多环芳烃生物降解效率较低，修复不达标风险较高，故本项目拟采用热脱附技术进行有机污染土壤的处理，以确保有机污染土壤修复合格。

## 6.4 修复策略确定

### (1) 修复策略确定原则

场地修复策略是指以风险管理为核心，将污染造成的健康和生态风险控制在可接受范围内的场地总体修复思路。包括采用污染源处理技术、切断暴露途径的工程控制技术以及限制受体暴露行为的制度控制技术 3 种修复模式中的任意一种或其组合。

本项目场地修复策略的确定遵循以下原则：

- 1) 综合考虑场地用地规划、场地开发方式、时间进度安排、是否允许原位修复、修复后土壤的再利用或处置方式等；
- 2) 综合考虑场地近期、中期和长期目标的要求，修复技术的可行性以及成本、周期、政府、公众可接受程度等因素；
- 3) 选择绿色的、可持续的修复策略，使修复行为的净环境效益最大化；
- 4) 可采用污染场地风险评估，作为判断不同修复策略能否达到修复目标的

方法。

## (2) 修复策略最终确定

根据《详细调查及风险评价报告》所述，本场地污染分区明显，未发现有重金属和有机物复合污染的情况。根据污染土壤修复目标值和修复范围及场地现状和规划等要求，确定本项目污染土壤修复策略如下：

结合锌片厂场地未来的用地发展规划和时间进度，结合上述修复实施条件，建议本场地的重金属砷污染采用异位修复，多环芳烃和石油烃污染物考虑异位修复。

## 6.5 修复总体思路

本项目主要受重金属砷及有机污染物（PAHs、石油烃）污染。结合本场地内土壤污染特点，根据场地修复技术筛选与评估结果，对本项目重金属污染土壤采用异位固化稳定化技术进行处理，对有机污染土壤采用异位热脱附技术进行处理。重金属及有机污染土壤清挖完成后均运输至北区进行修复处理。

## 6.6 修复总体技术路线

综合考虑该场地的自然环境条件、污染特征、污染程度、土壤修复目标与范围，结合本场地实际情况，从修复效果、污染土壤工程量、实施周期、工程适应性等方面进行分析和比选，结合我公司工程经验以及现场小试实验分析论证，确定本项目采用的修复治理工艺具体如下：

(1) 对于重金属砷污染土壤，采用异位固化稳定化修复技术进行处理，使得重金属污染物砷被稳定于土壤中，不易迁移和扩散，达到重金属污染土壤修复的目的。修复后重金属污染物砷的浸出浓度低于修复目标值；重金属污染土壤在广州锌片厂北区修复处理合格后在阻隔填埋区进行阻隔填埋。

(2) 对于有机污染土壤，采用异位热脱附技术，修复后土壤中有机物（PAHs 和石油烃）浓度低于修复目标值，有机污染土壤运往北区进行修复处理合格后，用于场区内清挖后基坑的回填。

(3) 对于污染区域表层砖石、混凝土等大粒径杂物，在北区采用高压水对其进行冲洗处理，即可去除表面沾附的污染物。冲洗产生的污水经沉淀后进入北区污水处理设备处理达标后回用。沉淀产生的污泥全部按危废进行处理，由有资质的危废处置单位外运处置；

(4) 对于本项目施工过程中产生的废水，采用北区水处理设备进行处理达标后再利用。污水处理工艺为“混凝气浮+电催化氧化+活性炭吸附”组合工艺。具体修复技术路线见下图：

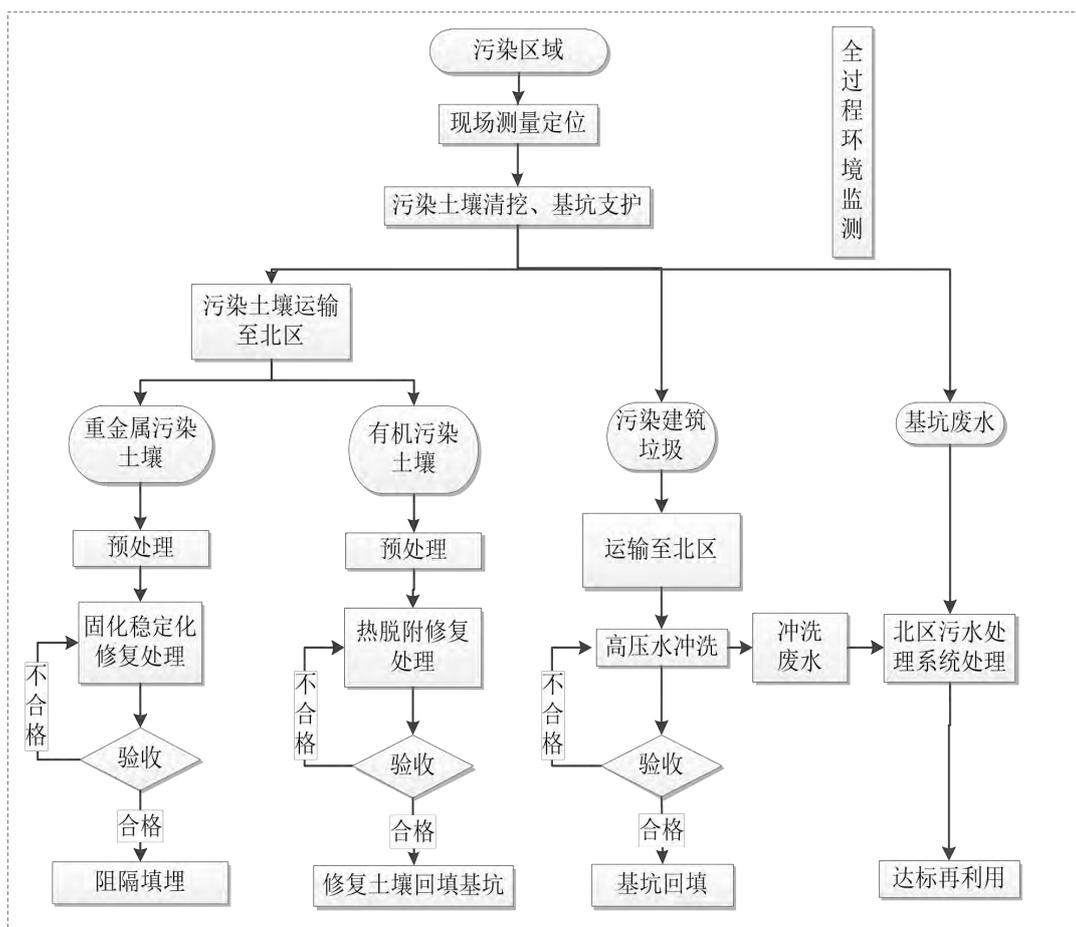


图 6-1 总体技术路线图

## 6.7 修复工程量

本项目重金属污染土壤采用固化稳定化技术进行处理,有机污染土壤采用异位热脱附技术进行处理,修复工程量如下。

表 6-3 项目修复工程量统计

土壤污染类型	污染因子	修复方量 (m <sup>3</sup> )
重金属污染	砷	368.77
有机污染	PAHs (苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽)、石油烃	3107.92
合计		3476.69

## 6.8 基坑支护工艺设计方案

### 6.8.1 开挖范围及周边环境

场地污染土壤主要分布于地表至地下 5m 的土层中,开挖深度为 0~5m。污染范围内原有建筑物已拆除,污染区域现为空地。

### 6.8.2 基坑支护设计

本项目污染区域污染深度主要为 0-1.5m、1.5-3m、3m-5m,污染土壤开挖过程中基坑支护方案如下:

(1) 对于开挖深度 1.5m 的基坑,采用 1:1 坡度放坡的方式进行开挖。由于本项目场地地下水埋深较浅,一般 1.5m 内即可见地下水,故本项目在进行污染土壤清挖过程中应做好排水工作。清挖过程中在坡顶设截排水沟,截排水沟规格为 30cm\*30cm。

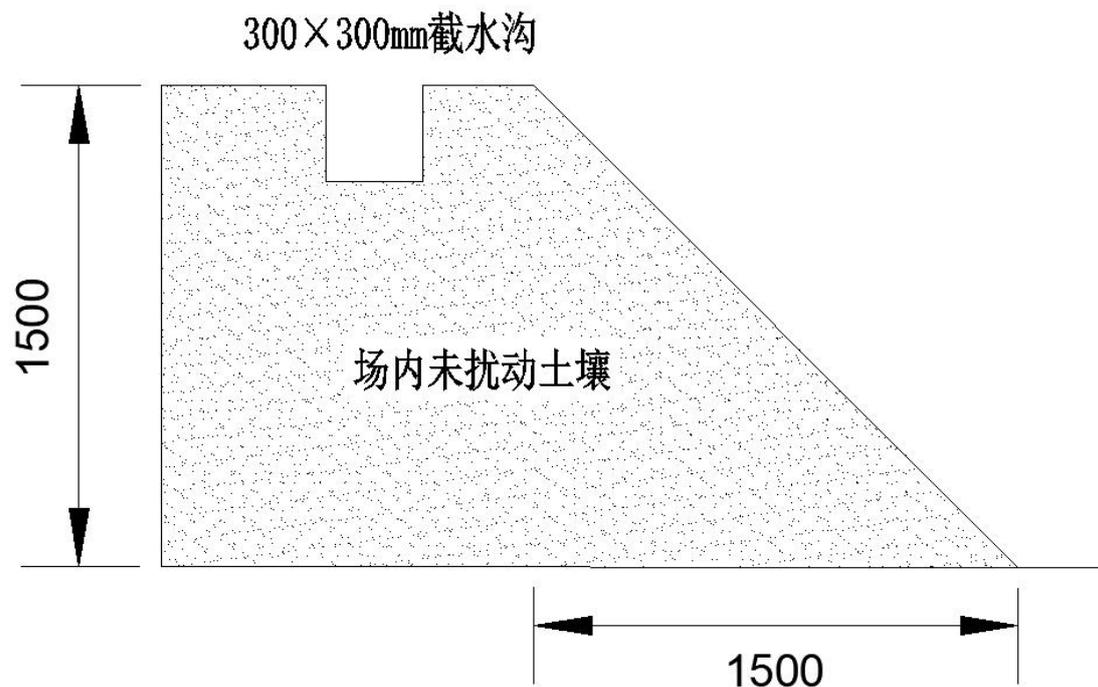


图 6-2 深度 1.5m 的基坑边坡图

(2) 对于开挖深度为 3m 的基坑，采用 1:1 坡度放坡的方式进行开挖。清挖过程中在坡顶设截排水沟，截排水沟规格为 30cm\*30cm。

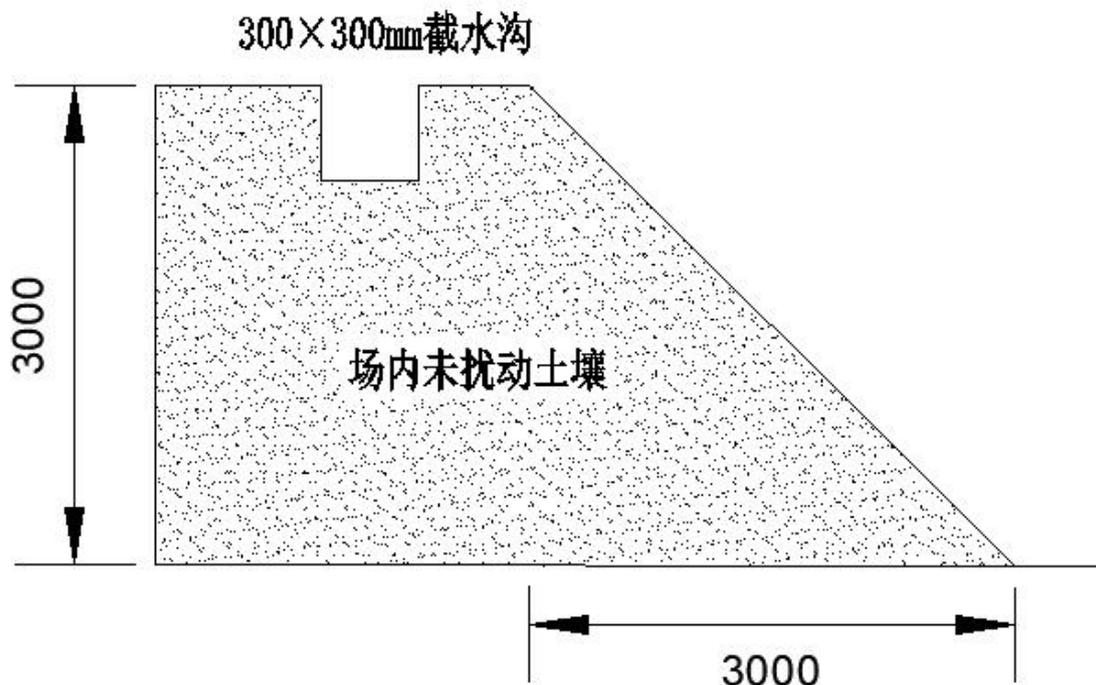


图 6-3 深度 3m 的基坑边坡图

(2) 对于开挖深度为 5m 的基坑，采用 1:1.5 坡度放坡的方式进行开挖。清

挖过程中在坡顶设截排水沟，截排水沟规格为 30cm\*30cm。

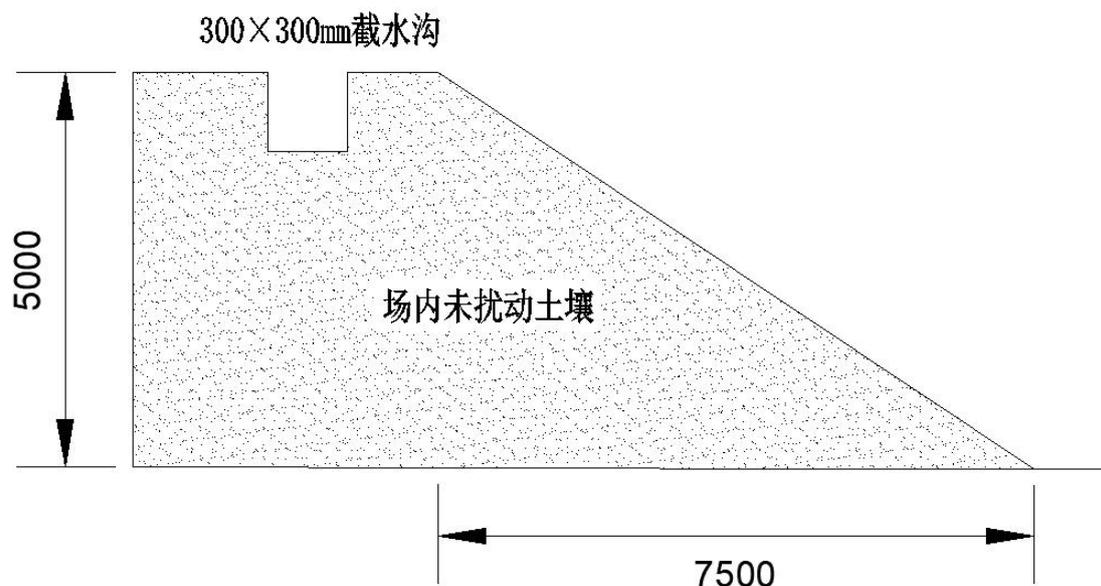


图 6-4 深度 5m 的基坑边坡图

## 6.9 污染土壤异位固化稳定化工艺设计方案

### 6.9.1 异位固化稳定化修复处理工程量

对于重金属砷污染土壤采用固化稳定化技术进行修复，修复后土壤中重金属被固化稳定化在土壤中，不再扩散和迁移，达到重金属污染土壤修复的目的。本项目重金属污染土壤工程量如下。

表 6-4 重金属污染土壤固化稳定化修复工程量

土层	深度(m)	污染物	修复面积 (m <sup>2</sup> )	修复土方量(m <sup>3</sup> )
第二层	1.5-3	重金属砷	102.95	154.43
第三层	3-5	重金属砷	142.89	214.34
合计		重金属砷	245.84	368.77

### 6.9.2 异位固化稳定化工艺设计

本项目重金属污染土壤直接采用固化稳定化工艺进行处理。重金属污染土壤处理实施工艺流程主要包括污染土壤预处理、土壤与药剂混合、处理后土壤的堆

置养护、修复后土壤的检测与验收等。

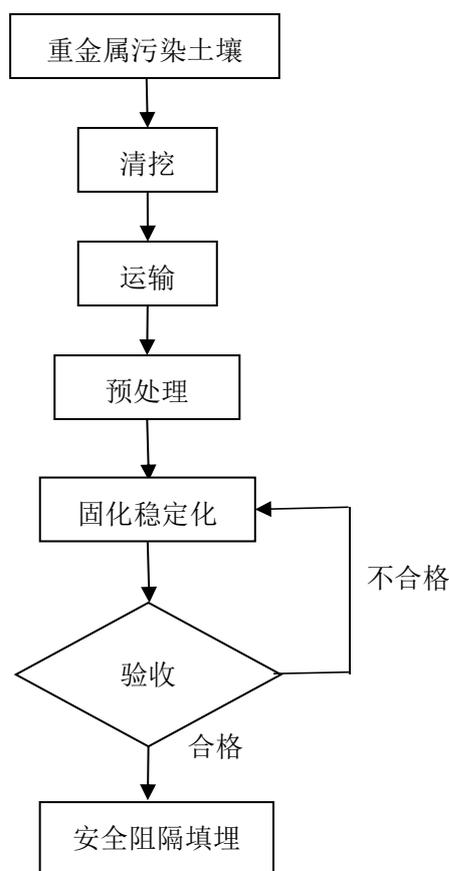


图 6-5 重金属污染土壤固化稳定化修复工艺流程图

### (1) 污染土壤清挖运输

对于场地重金属污染土壤，严格进行污染区域的测量定位、标识和清挖。采用挖掘机对确认的污染区域进行分类挖掘，边坡允许偏差±200mm。开挖过程中，基坑内的污水需及时抽排并经处理达标后方可进行再利用，北区设置有集中污水处理站对上述污水进行处理。

清挖出的污染土壤采用中型自卸车运输到北区固化/稳定化处置大棚进行后续的处理作业。自卸车有效运输体量约 12m<sup>3</sup>/车，控制运输量 10m<sup>3</sup>/车，装载能力控制<85%。采用挖掘机配合人工的方式将污染土装车，装车时如有土壤洒落，及时清理归堆。装车后及时毡盖，运输过程控制车速在 15km/h 以内，防止洒落、扬尘。车辆必须按设计的路线行驶，路线设有警示标识，司机不能任意自行改变

路线。污染土壤运输时须听从指挥员指挥，按要求堆放每车土壤，方便污染土壤预处理。

土方开挖基坑区域作业时会产生较大的扬尘，污染作业区工作环境，必须对这些扬尘点进行控制，保护环境、改善工作条件。

## （2）污染土壤预处理

由于污染土壤修复设备对入料的粒径与含水率有一定要求，大颗粒杂物如混凝土块、石块、砖块或大尺寸钢筋等会影响修复效果，且对修复设备存在损坏的风险，含水率过高则影响药剂与污染土壤的混合效果。因此，为保证修复效果，对清挖出的污染土壤，需经过筛分破碎和降低含水率的预处理，使其达到粒度小于 50mm，含水率不超过 20%后，方可进行后续处理。预处理工序设计如下：

重金属污染土壤的预处理作业在北区固化/稳定化处置大棚内进行，主要包括筛分破碎和降低含水率。在土壤挖掘过程中筛除大块建筑垃圾，再在北区固化/稳定化处置大棚内采用筛分破碎斗进行筛分破碎处理，筛除土壤中大颗粒杂物（如混凝土块、石块、砖块等）在筛上物冲洗区进行冲洗处理。筛下的污染土壤进入后续修复处理工序。

## （3）重金属污染土壤固化稳定化修复处理

对于不同污染程度重金属污染土壤还需通过调节药剂的投加比例，以确保固化稳定化修复效果。本项目重金属污染土壤中污染因子主要为砷。本项目采用我公司自主研发的固化稳定化药剂进行砷污染土壤的修复处理。固化稳定化处理主要修复原理是稳定化药剂与目标重金属污染物发生化学反应形成很稳定难溶的化合物，从而有效降低土壤中 As 的迁移能力和浸出能力。此药剂已在多个含 As 污染土壤修复项目中得到成功应用且修复效果良好。针对本工程中的土壤砷污染情况，以工程实际经验数据，含 As 污染土壤经固化稳定化药剂修复后，土壤浸出液中 As 浓度削减均可达 95%以上，具有很好的修复效果。

重金属污染土壤直接进行固化稳定化，针对本项目污染土壤的修复规模、土质特点和污染物特性，设计配置 1 台我公司自有的筛分破碎斗进行污染土壤与修复药剂的混合搅拌。搅拌结束后暂存于土壤堆置养护区进行堆置、养护。

为确保重金属污染土壤的修复效果、保证施工进度并有效控制修复成本，在进行修复处理前需先对土壤重金属污染程度进行确认，采用 XRF 重金属速测仪检测其重金属含量。根据结果判定具体污染程度，确定固化稳定化药剂投加比。

表 6-28 污染土壤固定稳定化药剂投加比设定

污染类型	药剂类型	投加比
重金属污染	固化稳定化药剂	3~5%

#### (4) 修复处理后土壤堆置养护与待检

经固化稳定化修复处理后的重金属污染土壤暂存于固化/稳定化处置后重金属养护区，堆置期间需定期加水养护，确保土壤含水率在 30%左右，养护时间 2~3d。

#### (5) 修复后土壤检测与验收

对重金属养护区内堆置待检的修复后土壤采样，进行自验收检测，自验收检测采样点数量详见 8.6.1 章节。样品采集后进行分析检测，将检测结果与验收标准进行对比，评价修复效果，评价不合格则对不合格土壤进行再次修复，重新现场采样、实验室检测分析、效果评价，直至合格为止；评价合格后进行阻隔填埋。

#### (6) 基坑验收

污染土壤清挖完毕后需对基坑进行验收，验收范围包括基坑清挖底部和基坑侧壁。基坑验收分为自验收和第三方效果评估，首先进行自验收，自验收合格后再向业主申请第三方验收，清挖基坑经第三方验收合格后方可进行回填。

#### (7) 重金属污染土壤修复后阻隔填埋工艺设计方案

为避免重金属污染土壤由于人为扰动等对环境造成二次污染，本项目重金属

污染土壤经固化稳定化处理合格在锌片厂北区进行阻隔填埋，以最大程度降低土壤中重金属的污染风险，阻隔填埋区位置示意图如图 6-6 所示，运输路线如图 6-7。

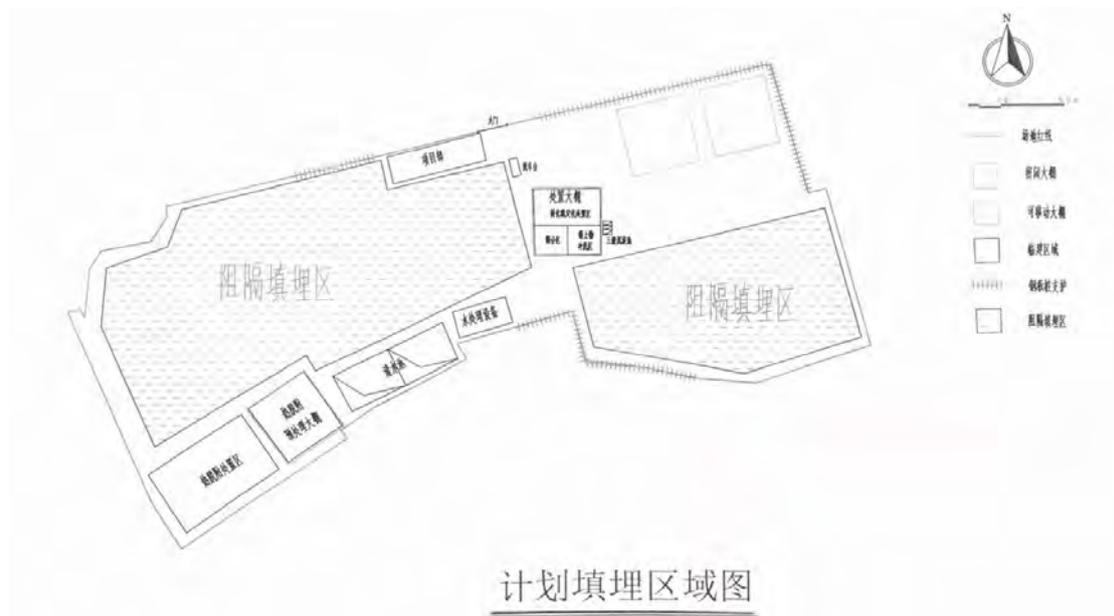


图 6-6 阻隔填埋区位置示意



图 6-7 固化稳定化修复合格后土壤运输路线

污染土壤开展运输前，需要项目部对运输车队队长及司机进行施工交底，确保运输车队能够高效的完成污染土壤场内运输工作。

污染土壤装车后及时对车辆进行遮盖，运输过程控制车速在 15km/h 以内，防止洒落、扬尘。每辆车辆出场前必须对轮胎及车身进行冲洗干净，防止携带污染土壤，污染场外环境。对车辆必须按设计的路线行驶，路线设有警示标识，司机不能任意自行改变路线。污染土壤运输至阻隔填埋区后须听从指挥员指挥，按要求卸土，杜绝土壤随意堆放。

### a) 阻隔填埋设计

#### 1) 阻隔回填区选择

根据场地的用地规划图，锌片厂南区规划的用途主要为居住用地；锌片厂北区规划的用途主要为商业用地、防护绿地和公园绿地。根据广东省相关规范要求，结合本项目实际情况，阻隔填埋场建设在锌片厂北区公园用地区域。固化/稳定化处理后的重金属污染土壤经检测合格后，在该处进行安全阻隔填埋。



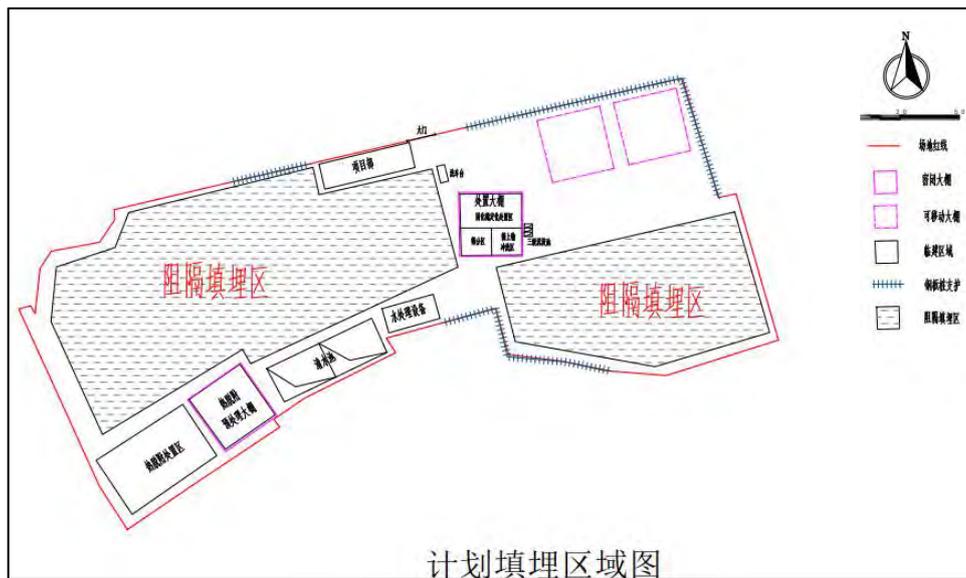


图 6-8 阻隔填埋区位置示意图

2) 阻隔填埋防渗

阻隔结构为外层采用混凝土(15cmC20 混凝土)结构进行支护,内部采用“两布一膜”(1.5mmHDPE 膜, 400g/m<sup>2</sup> 无纺土工布), 对其底部、顶部、侧壁进行阻隔, 有效的避免了污染物迁移, 降低修复风险, 完成下层阻隔填埋后, 对填埋区上层 0-3m 处采用干净土暂存处土壤进行回填。

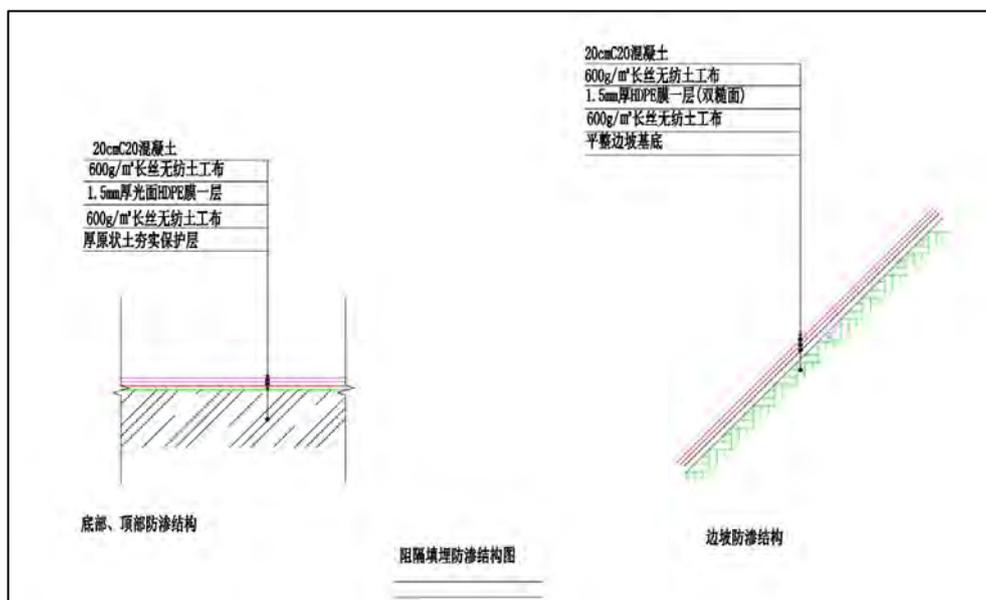


图 6-9 阻隔填埋区防渗结构图

HDPE 土工膜是整个防渗工程的核心部分, 施工质量是工程的关键。本工程为单层复合 HDPE 膜防渗结构, 采用 1.5mmHDPE 膜作为主防渗层, 选用优质工

艺生产的 HDPE 土工膜，具有高的拉伸性能和延伸性能，配合专业的焊接工艺和铺膜工艺。

### b) 阻隔填埋工艺流程

本阻隔回填区用于重金属污染土壤修复合格后进行安全填埋修复后土壤在下层3m-5m深处进行阻隔填埋，阻隔结构为外层采用20cm混凝土结构进行支护，内部采用“两布一膜”（600g/m<sup>2</sup>无纺土工布+1.5mmHDPE膜+600g/m<sup>2</sup>无纺土工布）对其底部、顶部、侧壁进行阻隔，有效的避免污染物迁移，降低修复风险，完成下层阻隔填埋后，对回填区上层0-3m深处采用干净土壤进行回填，至原地面标高。阻隔填埋工艺流程图见下图。

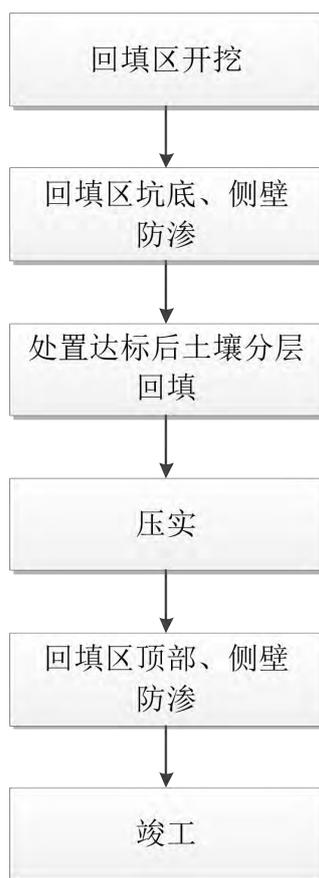


图 6-10 阻隔工艺流程图

### c) 阻隔填埋区标识

阻隔填埋施工完成后，需对阻隔填埋区域设置围挡，并设置相应标识。

### 6.9.3 异位固化稳定化主要配套设备选型

#### (1) 筛分破碎斗

筛分破碎斗用于污染土壤的筛分破碎及降低含水率等预处理作业及污染土壤与修复药剂搅拌混合作业，该设备与通用装载机或挖掘机连接使用，通过斗内三个带有齿辊的同向旋转辊轴，可实现对污染土壤的筛分、破碎、搅拌混合作业，在作业过程中，硬度不大的土壤经齿辊的剪切作用而破碎，破碎后粒度小于齿辊间隙的土壤从齿辊间落下，高硬度大颗粒的砖石等杂质则留在齿辊上部，从而实现破碎和筛分的功能，在破碎筛分过程中物料发生强烈扰动，达到混合的目的。该设备具有移动灵活、操作方便、适应性强、处理效果好等优点，在大量土壤修复项目上得到了成功应用。

根据土壤特性，筛分破碎斗单台处理能力可达 50~150m<sup>3</sup>/h，筛分破碎斗主要技术参数见下表，设备实物照片见下图。

表 6-5 筛分破碎斗技术参数表

序号	项目名称	单位	参数或说明
1	用途	/	污染土壤筛分、破碎预处理及修复处理
2	型号	/	ALLUDH3-23X75
3	产地		芬兰进口
4	数量	台	1
5	处理能力	m <sup>3</sup> /h	50~150（单台）
6	斗容量	m <sup>3</sup>	2.0
7	工作动力	kW	75（持续）/110（峰值）



图 6-11 筛分破碎斗实物照片

(2) 常规机械

常规机械配置挖掘机 1 台、自卸运输车 2 台，装载机 1 台，主要用于污染土壤的清挖、运输、上料等土方作业。

1) 履带式反铲挖掘机



图 6-12 履带式反铲挖掘机实物照片

表 6-6 履带式反铲挖掘机技术参数表

序号	项目名称	单位	参数或说明
1	设备用途	/	污染土壤清挖、上料、加药作业
2	产地	/	国产
3	台数	台	1
4	铲斗容量	m <sup>3</sup>	1.0

2) 自卸运输车



图 6-13 自卸运输车实物照片

表 6-7 自卸运输车技术参数表

序号	项目名称	单位	参数或说明
1	设备用途	/	土壤运输作业
2	产地	/	国产
3	台数	台	2
4	车斗尺寸	mm	5800×2300×1150
5	车斗容量	m <sup>3</sup>	12

## 3) 轮胎式装载机



图 6-14 轮胎式装载机实物照片

表 6-8 轮胎式装载机技术参数表

序号	项目名称	单位	参数或说明
1	设备用途	/	装车、配合挖掘机上料等作业
2	产地	/	国产

3	台数	台	1
4	铲斗容量	m <sup>3</sup>	2.0
5	发动机功率	kW	175

#### 6.9.4 异位固化稳定化主要配套设施设计

##### (1) 固化/稳定化处置大棚

本项目重金属污染经清挖后，转运至北区的固化/稳定化处置大棚，设计大棚面积 900m<sup>2</sup>，规格大小：30m\*30m\*9m。固化/稳定化处置大棚具体搭建位置见下图。

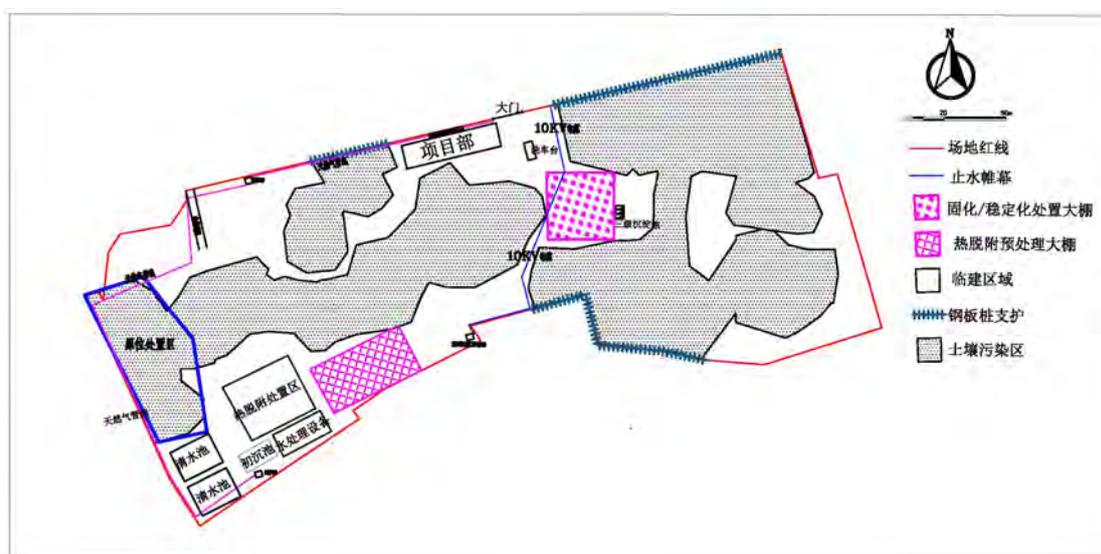


图 6-15 固化/稳定化处置大棚搭建位置

为了防止修复施工过程中污染土壤对周边环境造成二次污染，处置大棚基础进行防渗，防渗设计如下：

采用“素土夯实碾压+两布一膜+抗渗混凝土防渗”结构，采用 1.5mm 的 HDPE 膜，上下各铺设一层 150g/m<sup>2</sup> 的土工布，最后上层浇筑 20cmC25P8 抗渗混凝土。

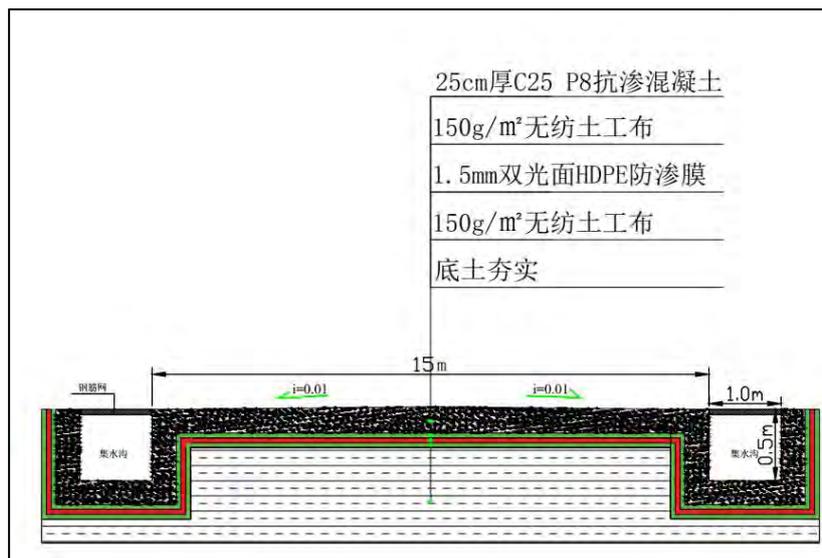


图 6-16 固化/稳定化处置场防渗结构图

大棚四周设置排水沟，采用蒸压灰砂砖砌明渠，排水沟面尺寸为 400mm (B) ×500mm (H)。具体做法为在地基夯实的基础上建设 240mm 厚蒸压灰砂砖砌筑后涂 20mm 厚水泥砂浆找平。根据地形走向由起点折 0.5%坡度坡向终点，排水沟穿过道路处采用 d700III级钢筋混凝土管。排水沟末端汇入调节池之前，设铁篦子拦截枯枝树叶等较大杂质。

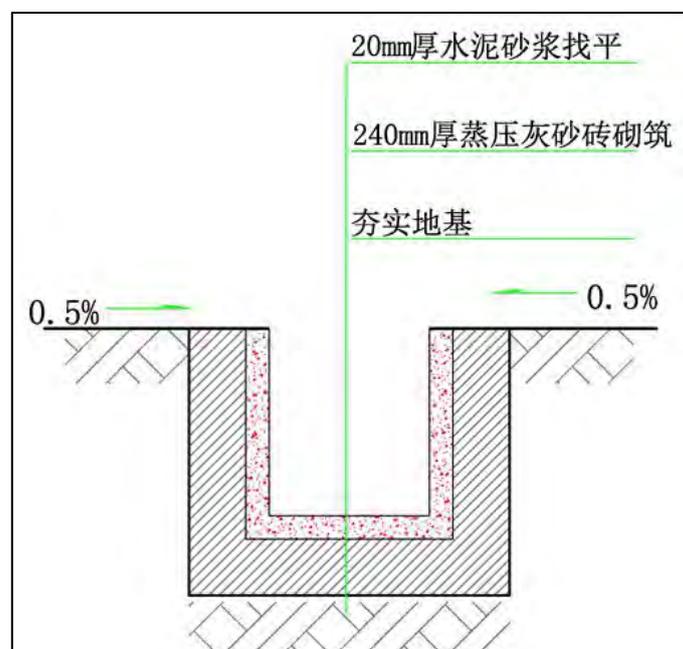


图 6-17 固化/稳定化处置场防渗结构图

大棚设备主要组成部分：

1) 滤筒除尘器：规格型号—MC72-60000-II，采用 32 根滤筒式除尘器，除尘器配备数量：1 台，最大处理风量 24300m<sup>3</sup>/h。

2) 活性炭净化器：规格型号—DYJ-60000，本方案采用的活性炭净化器吸附剂为活性炭，活性炭净化器配备数量：1 台，活性炭数量：1t。

3) 离心风机：本方案采用一台功率为 37kW 的离心风机，最大风量：24300m<sup>3</sup>/h，全压：2500Pa。

固化/稳定化处置场内布设 30m\*15m，450m<sup>2</sup> 固化稳定化处置区；15m\*15m，225m<sup>2</sup> 筛分区及 15m\*15m，225m<sup>2</sup> 筛上物冲洗区，筛上物冲洗区具体布设情况详见 6.9.5 章节。具体布设情况见下图。

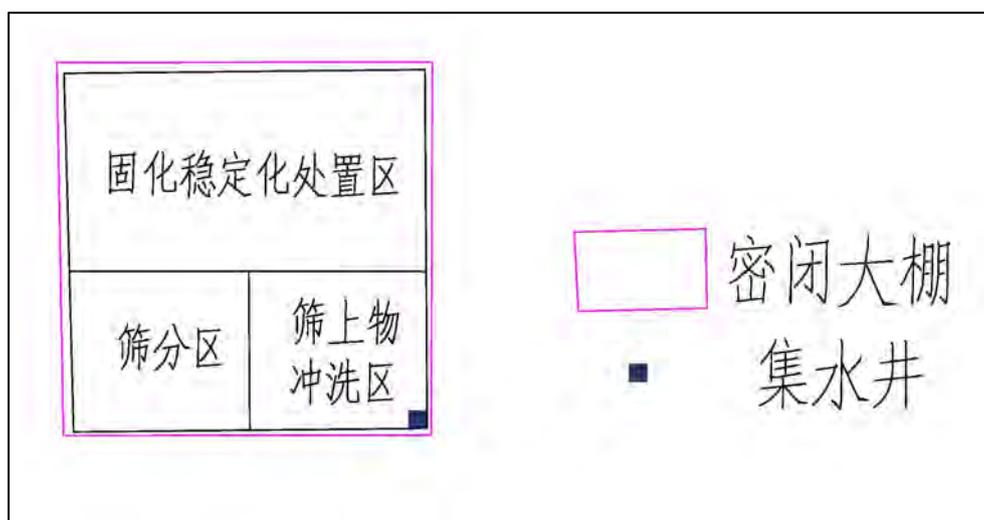


图 6-18 固化/稳定化处置场布设示意图

## (2) 固化/稳定化处置后重金属养护区

固化/稳定化处置后重金属养护区位于锌片厂北区，面积 3000m<sup>2</sup>，重金属养护区地坪防渗采用素土夯实碾压+15cm 厚 C25P8 抗渗混凝土。四周设置排水沟，采用蒸压灰砂砖砌明渠，排水沟面尺寸为 300mm×300mm。为防止养护过程中对环境产生二次污染，固化/稳定化处置后养护堆放的土壤及时用苫布遮盖。

由于场内可利用区域小，计划先在未开挖区上方建设养护场地，具体建设位置如图 A 所示，待完成部分区域开挖并回填后再移动养护场至已完成开挖并回

填后区域，具体建设位置如图 B 所示。



A



B

图 6-19 养护待检场布设示意图

### (3) 洗车池

本项目在南区出口附近设置洗车池，在将重金属污染土壤、有机污染土壤、污染建筑垃圾等运往北区时，出南区前对车辆进行冲洗，避免车辆轮胎带土，对外部道路等造成污染。洗车池尺寸为长 10m，宽 3.15m，深 0.6m，采用混凝土结构。规格见表 6-9。

表 6-9 洗车池规格一览表

序号	项目名称	单位	规格或说明
1	设施用途	/	土壤外运时的洗车处理
2	结构形式	/	混凝土结构，地下式
3	尺寸	m	长 10m，宽 3.15m，深 0.6m

沉砂池尺寸为长 2m，宽 2m，深 1m，采用混凝土结构。规格见表 6-10。

表 6-10 沉砂池规格一览表

序号	项目名称	单位	规格或说明
1	设施用途	/	用于洗车污水污泥沉淀
2	结构形式	/	混凝土结构，地下式
3	场地尺寸	m	长 2m，宽 2m，深 1m

## 6.10 污染土壤异位热脱附修复工艺设计方案

### 6.10.1 热脱附修复工程量

本项目有机污染土壤污染因子主要为 PAHs（苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽）和石油烃，采用异位热脱附修复技术进行修复。有机污染土壤异位热脱附修复处理工程量如下。

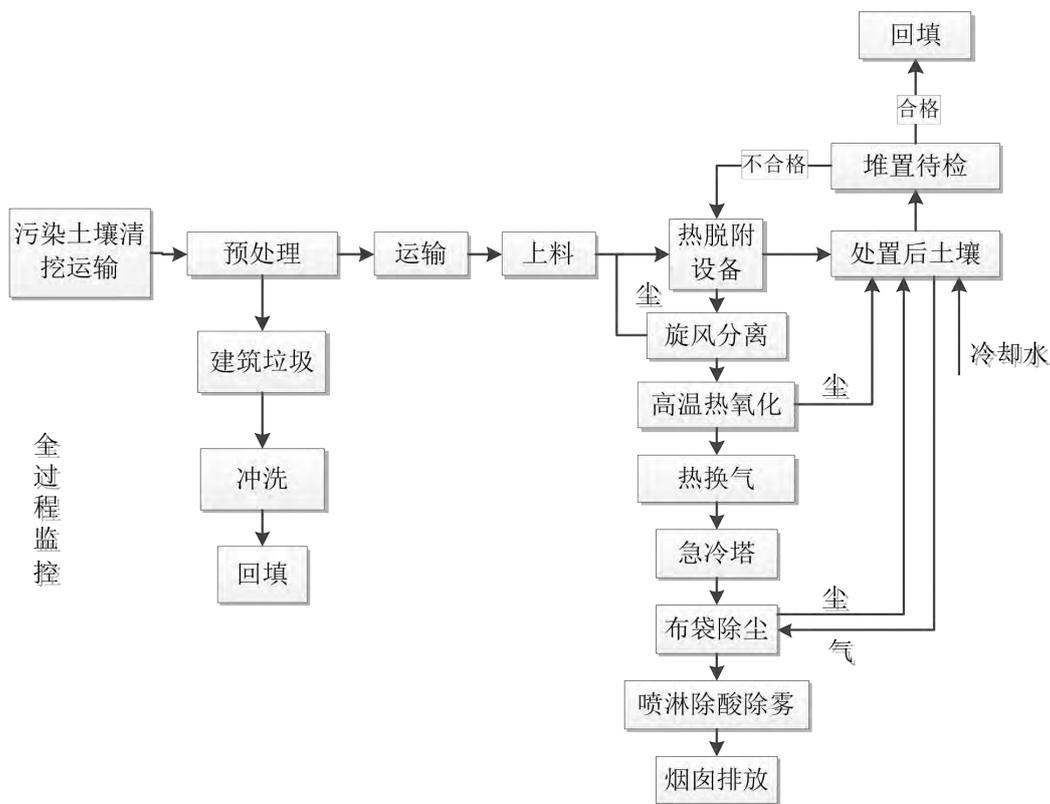
表 6-11 有机污染土壤异位热脱附修复处理工程量

土层	深度(m)	污染物	修复面积 (m <sup>2</sup> )	修复土方量(m <sup>3</sup> )
第一层	0-1.5	多环芳烃	1554.81	2332.21
第二层	1.5-3	石油烃	517.14	775.71
合计		多环芳烃	1554.81	2332.21
		石油烃	517.14	775.71

### 6.10.2 热脱附修复实施工艺流程

本项目热脱附处置的土壤污染主要是挥发性或半挥发性有机污染物，采用直接热脱附工艺，对给料直接加热，将污染土壤加热至目标污染物的沸点以上，通过控制系统温度和物料停留时间有选择地促使污染物气化挥发，使目标污染物与

土壤颗粒分离去除，污染气体通过高温氧化，尾气处理装置后达标排放。其工艺流程图见下图。



6-20 热脱附处置工艺流程图

直接热脱附工艺流程共分为五部分：污染土壤清挖运输、污染土进料预处理部分、热脱附部分、洁净土处理部分、气体处理部分和水处理部分。

(1) 污染土壤清挖运输

对于拟进行热脱附处理的有机污染土壤，严格按照《详细调查与风险评价报告》确定的有机污染范围进行污染区域的测量定位、标识和清挖。采用挖掘机对确认的污染区域进行分类挖掘，边坡允许偏差±200mm。开挖过程中，基坑内的污水需及时抽排并经北区污水处理站处理达标后再利用。

在清挖过程中加强气味抑制措施（如及时采用防雨膜覆盖等），清挖前对污染区域进行防水膜覆盖，清挖过程边清挖边揭开防水膜，避免清挖过程有机物逸散。在该部分土壤清挖完成后迅速用防水膜对整个基坑进行覆盖，基坑防水膜遮盖图见图 6-21 所示。

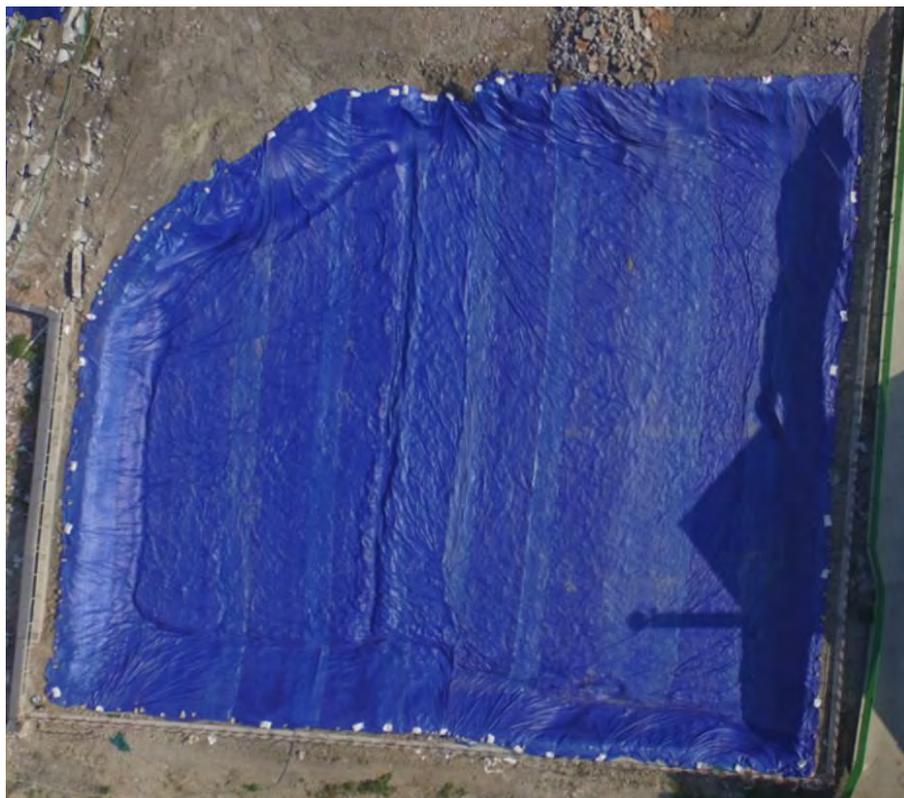


图 6-21 基坑防水膜遮盖示意图

清挖出的有机污染土壤采用中型自卸车运输到北区热脱附预处理大棚进行预处理作业。

## (2) 污染土进料预处理

污染土壤预处理在热脱附预处理大棚内进行处置。首先对土壤中不宜破碎的较大石块、混凝土块及金属等进行初步分拣并对土壤水分进行初步降低。大棚内进行气相收集，收集的气体先除尘过滤，再通过吸附处理，保证排放的气体无污染。

为保证有机污染土壤的进料粒径满足进料要求 ( $<50\text{mm}$ )，采用筛分破碎斗对污染土壤进行预处理，筛分破碎斗长 2.69m，宽 1.5m，高 1.45m，自重 2.87T，斗容达到 1.7-2.0 $\text{m}^3$ ，每天可处理 300-400 $\text{m}^3$  土壤，是一种高效的筛分破碎装置。土壤筛分破碎的时候质检员应定期巡查，避免机械带病施工，造成土壤粒径不合格，影响修复效果。有机污染土壤筛分破碎后，按照摊铺厚度为 0.2m 左右进行晾晒风干一定时间后进入热脱附设备处理。

经初步处理的污染土壤用挖掘机间歇式投入到格栅式料斗，格栅孔大小为50mm×50mm。不能通过的大块被筛选出来，能够通过土壤落入振动筛，经干式振动筛不停的振荡，大于50mm的块被再次筛分出来，粒径小于50mm的土壤进行热脱附处理。

### (3) 热脱附处置

预处理后的土壤经摆渡传送带进入回转窑。回转窑是土壤热脱附的关键设备，在回转窑内，土壤从常温被加热到280~500℃，土壤中的有机污染物随着温度的升高不断变成气体与土壤分离，去除污染物的土壤从回转窑出口进入排料口，高温土从排料口下部经过两个串联的翻板阀和旋转阀排到土壤调节输送机。

1) 回转窑。在回转窑的入口设有加热用的火嘴和点火装置，火嘴设有进燃料和进空气管线，空气管线设流量和温度检测；燃料管线上设流量和压力检测。回转窑出口设有温度检测器，通过检测出口土的温度调节燃料进料量以保证土的温度，从而保证热脱附的效果。

2) 在回转窑内，土壤从常温被加热到280~500℃，土壤中的有机污染物随着温度的升高不断变成气体与土壤分离，去除污染物的土壤从回转窑出口进入排料口，高温土从排料口下部经过两个串联的翻板阀和旋转阀排到土壤调节输送机。排料口下部设的温度检测器检测土的温度，通过检测的温度调节火嘴燃料的进料量以及火嘴空气的进料量，达到控制回转窑中温度的目的。火嘴后设有火焰检测器，检测火焰，熄火时能够及时发出信号，避免事故。

3) 火嘴的供气设燃烧器鼓风机，鼓风机同时给回转窑火嘴和高温氧化器火嘴供空气，满足燃烧所需的氧气。

### (4) 清洁土处理

1) 从卸料口下部经星形阀落下的热土落到土壤调节输送机。土壤调节输送机共有三股进口和两股出口。三股进口分别是：卸料口落下来的已经热脱附好的

热土、冷却和调节用的水及旋风分离器分离出来的土颗粒。两股出料分别是：调节好的土的下料和去布袋除尘器的蒸汽。土壤调节输送机调节好的土从出料口落到摆渡传输带。摆渡传输带把土壤调节输送机来的处理好土送至堆料输送带。

2) 堆料输送带把处理完成的土输送到指定的地点堆放。

#### (5) 过程尾气处理

尾气处置是环境管理控制的主要关键部位，本部分的燃料气共分七步：旋风分离、高温热氧化、冷却器冷却、袋式过滤器过滤、喷淋塔冷却降温、除酸和烟囱排放。

经回转窑热脱附出来的有机废气，除部分燃烧外，剩余有机废气输送到焚烧窑高温区燃烧，处理温度 950°C、烟气停留时间在 2.0 秒以上，保证烟气中污染物被彻底分解去除，且不会产生二噁英。

燃料气从回转窑出料端出来，经卸料口上部进入旋风分离器，进旋风分离器前的管道上设温度检测和压力检测。夹带的有机污染物气体最终到高温氧化器进行彻底的氧化处理。

#### 1) 旋风分离

进入旋风分离器的燃料气经旋风分离，把大于 8 $\mu\text{m}$  的固体颗粒从气体中分离出来，经旋风分离器底部的旋分转阀落到除尘螺旋。经两级除尘螺旋送至土壤调节输送机。气体进入高温氧化器，气体管线上设压力检测。

#### 2) 高温热氧化

高温氧化器顶部设有火嘴和点火装置，火嘴设有进燃料和进空气的管线。空气管线设流量和温度检测；燃料管线上设流量和压力检测。

由旋风分离器顶部来的燃料气从高温氧化器上部进入，在高温氧化器内进行充分热氧化。出气管线上设有压力和温度指示检测。通过检测到的温度控制火嘴燃料和空气进料量，实现对高温氧化器内温度的控制，使有机污染物被充分氧化。

有机污染物的去除率为 99.9%~99.99%。火嘴下方设有火焰检测器，检测火焰，控制出气温度。

### 3) 冷却塔降低尾气温度

有机污染物被彻底热氧化后的燃料气从高温氧化器的底部出来，从冷却塔顶部进入冷却塔。

冷却塔顶设有冷却用的冷却水，管道设有流量控制阀和流量检测。进塔后设水喷嘴，使水形成水雾，以便水雾和热的燃料气进行充分的热交换，提高降温效率。冷却后的燃料气从冷却塔的下部出去进入袋式过滤器进行过滤。出口管线上进行燃料气的温度和压力检测，用检测到的温度控制上部冷却水的流量，实现控制出气温度的目的。为确保检测温度无误，此处同时并列设有三个温度测量点检测出气温度。

冷却塔上部还设有冷却用的空气，空气来自一级仪表空气压缩出口。空气管线上设有流量检测。冷却塔下部设有高位开关，用来检测塔底料位，进行高料位报警提示。塔底部设有冷却塔出料链板。螺旋下部设有排料阀。

### 4) 袋式过滤器过滤

经冷却塔冷却后的燃料气进入袋式过滤器进行过滤，另有土壤调节输送机的蒸汽也一并进入袋式过滤器进行过滤（管线上设有调节阀可调节进气量）。袋式过滤器共设有五台，每台的进出气口均设有隔离阀，底部设有闸阀，可对单台进行隔离故障处理。

过滤器的燃料气经滤袋过滤，把大于 0.3 $\mu\text{m}$  的固体颗粒过滤在袋子的外侧，经滤袋顶部设的反吹空气按照设定时间周期吹落到过滤器底部；滤后气体经出口管线进入引风机，出口设有温度和灰尘检测。

袋式过滤器的滤袋可除去大于 0.3 $\mu\text{m}$  的固体颗粒，滤袋设计温度 220 $^{\circ}\text{C}$ 。袋过滤器的进出气管线上设有差压监测，在控制室显示并设有低高压报警及联锁。过

滤出来的固体通过底部的除灰螺旋送到旋风分离器底的螺旋，共同回收到土壤调节输送机。滤袋顶部设有反吹用压缩空气，通过电磁阀有序的定期开关，从滤袋顶部由里向外进行吹扫，达到清除滤袋外部固体颗粒的目的。

#### 5) 引风机引风

引风机是整个装置气相管线的动力设备。入口燃料气克服袋式过滤器的阻力、形成旋风分离器的离心力、回转窑的负压维持以及克服管道等系统阻力均靠引风机。出口克服淋洗塔填料及除雾器的阻力也靠此引风机。引风机入口管线设有流量检测，出口则设有压力检测。

#### 6) 冷却

引风机出口的燃料气进入淋洗塔进行最后降温淋洗。淋洗塔是燃料气的最后处理工序，设有进气管水喷淋降温、碱洗及除雾器除雾。大量水循环利用并设 pH 值调节。

从引风机来的燃料气在进入淋洗塔前的管道中首先用新水或淋洗塔循环泵来的水进行冷却。新水的量通过检测淋洗塔的液位进行控制，液位低时补水量增加，新水管道上设有流量检测、流量控制和压力检测。当液位高新水进口阀关小时，冷却用水的量自动由淋洗塔循环泵出口的水补充，进塔前的燃料气同时检测温度，温度高时增加新水量，保证燃料气进填料段前的温度冷却到 125℃ 以下。

为充分地把燃料气中的酸性气体去除，淋洗塔上部设有 2 米高的填料段，能够使向上走的燃料气和向下流的碱性水在填料段中更加高效的接触，提高洗涤效率。淋洗水采用专门设置的循环泵，采用过量的水并经喷嘴进行洗涤，进塔前设流量检测，而且水中配有碱液，配碱的量由检测到的 pH 值进行控制，pH 值低时增加进碱的量，保证循环用水的 pH 值在 6~7 之间，实现有效洗涤酸性气的目的。

为将燃料气最后排放时更加干净，携带更少的水分等，在淋洗塔的填料段上

部还设有 1.6 米高的除雾段，除去干净气中的雾滴。除雾段下方设有喷淋水进行喷淋。除雾器上下各设压力检测。

#### 7) 烟囱排放

处理干净的燃料气最后通过烟囱高空排放到大气中。排放前设有两个取样口和一条连续取样分析取样泵的检测管线，通过取样泵连续的把气样取出并送到分析仪进行分析。

本处理系统烟气排放烟囱高度 30m，直径 1200mm，其高度满足《工业炉窑大气污染物排放标准》规定，且其高度高于周围 200m 半径范围内最高建筑物 3m 以上。

### 6.10.3 异位热脱附主要设备选型

#### a) 污染土壤热脱附修复系统

针对本项目有机污染土壤的修复规模、土质特点及污染物特性，在北区配置 1 套污染土壤热脱附修复系统，包括进料单元，热脱附单元、出料单元、冷凝单元、烟气排放处理单元及电控单元等。回转窑是土壤热脱附的关键设备，在回转窑内，土壤从常温被加热到 280~500℃。

#### b) 筛分破碎斗及常规机械

本项目有机污染土壤热脱附修复过程中需用到筛分破碎斗及常规机械，如挖掘机、自卸运输车、装载机等主要用于污染土壤的清挖、运输、上料等土方作业。筛分破碎斗型号详见表 6-12。常规机械设备型号详见 6.9.3 节。

表 6-12 筛分破碎设备技术参数一览表

序号	项目	参数
1	规格型号	DH3-23 型筛分破碎斗
2	长	2.69m
3	宽	1.5m
4	高	1.45m
5	斗容	1.7-2.0m <sup>3</sup>

序号	项目	参数
6	处理能力	300-400m <sup>3</sup> /d

#### 6.10.4 异位热脱附主要配套设施设计

##### (1) 热脱附预处理大棚

本项目有机污染土壤清挖后运往北区的热脱附预处理大棚进行预处理。热脱附大棚建设主要为热脱附预处理大棚及污染土壤处置后出料大棚，设计热脱附预处理大棚面积 1100m<sup>2</sup>，污染土壤处置后养护场面积 4000m<sup>2</sup>。大棚具体建设位置见下图。



图 3-4 热脱附预处理大棚

大棚建设施工顺序为：基础工程→主体钢结构工程→屋面及墙面工程→室外工程。

固化/稳定化处置大棚的尾气采用先用滤筒除尘法，对气体中大颗粒物进行初步过滤，再进入活性炭处理装置，采用活性炭吸附法对污染土挥发出来的有害气体进行集中收集、集中处理，最后达标排放。

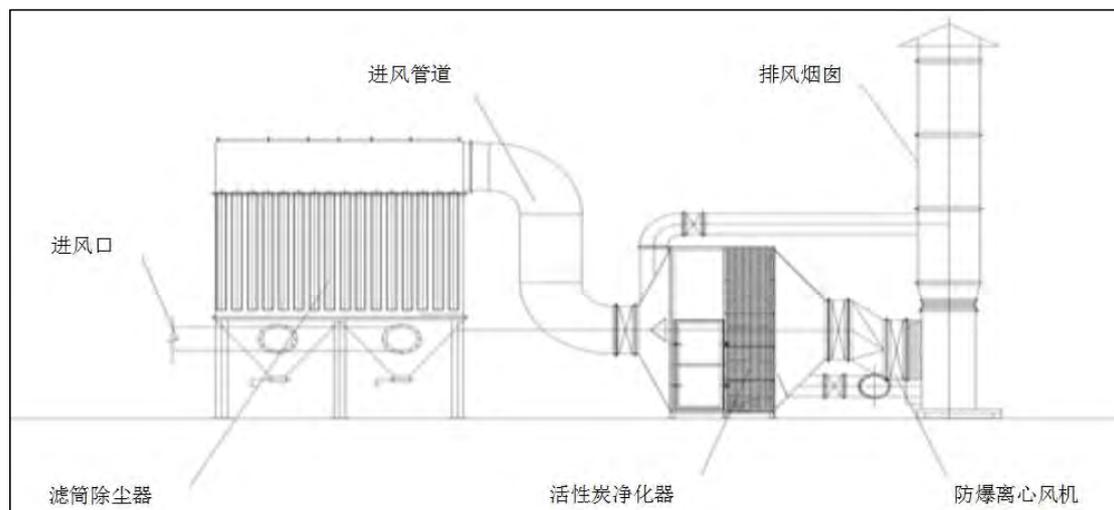


图 6-8 气体处理工艺

### (2) 异位热脱附处置后有机待检区

异位热脱附处置后有机待检区面积 1800m<sup>2</sup>。有机待检区地坪防渗采用素土夯实碾压+15cm 厚 C25P8 抗渗混凝土。四周设置排水沟，采用蒸压灰砂砖砌明渠，排水沟面尺寸为 300mm×300mm。异位热脱附处置后待检区采用苫布或 HDPE 膜对整个有机待检土壤四周及底部进行包裹，保证包裹的密闭性。异位热脱附处置后有机待检区位置详见图 6-19。

### (3) 洗车池

本项目在南区出口附近设置洗车池，在将重金属污染土壤、有机污染土壤、污染建筑垃圾等运往北区时，出南区前对车辆进行冲洗，避免车辆轮胎带土，对外部道路等造成污染。洗车池尺寸为长 10m，宽 3.15m，深 0.6m，采用混凝土结构。沉砂池尺寸为长 2m，宽 2m，深 1m，采用混凝土结构。具体设计详见 6.9.4 章节。

## 6.11 污染建筑垃圾冲洗工艺设计方案

### 6.11.1 污染建筑垃圾冲洗技术说明

本项目污染区域表层中含有较多砖石、混凝土等建筑垃圾。根据现场踏勘情

况，此部分建筑垃圾可分为两类，一类是位于原始地坪以上、场地拆迁过程中产生的建筑垃圾，这类建筑垃圾未受污染，也不在场地污染土方量之内，无需修复处理，但为开挖污染土壤，需将其清理后暂存，称为表层建筑垃圾；另一类是场地原始地坪破碎产生的建筑垃圾或位于原始地坪以下的建筑垃圾，这部分建筑垃圾与污染土壤长期接触很可能受到污染，需进行处理，称为污染建筑垃圾。此外，在污染土壤筛分破碎预处理过程中产生的少量筛上建筑垃圾也需作为污染建筑垃圾修复处理，一并称为污染建筑垃圾。

场地内的污染建筑垃圾无法直接进入修复处理设备处理，否则会造成设备堵塞和甚至损坏。对于此类砖石、混凝土等大粒径杂物，污染物只沾附于其表面而不会渗入其内部，因此采用高压水对其进行充分冲洗，即可去除表面沾附的污染物。冲洗产生的污水经沉淀后进入北区的水处理设备处理达标后进行再利用，沉淀的污泥根据其污染类型运回相应的修复大棚与污染土壤一起进行修复处理。

### 6.11.2 污染建筑垃圾冲洗工程量

本项目表层需破除建筑垃圾的面积约为 3549.31m<sup>2</sup>，根据现场踏勘结果，污染区域表面混凝土地坪厚度约为 20cm，约 50%区域保存有原有混凝土地坪，破除污染区域表面地坪产生污染建筑垃圾方量约为 710m<sup>3</sup>。并结合以往项目经验，本项目污染土壤筛分产生建筑垃圾约为需筛分土壤的 10%左右，土壤筛分约产生污染建筑垃圾 595m<sup>3</sup>。本项目需进行高压冲洗处理的污染建筑垃圾方量约为 516m<sup>3</sup>。

### 6.11.3 污染建筑垃圾冲洗工艺设计

针对本工程部分污染建筑垃圾，采用高压水冲洗工艺进行修复处理。污染区域建筑垃圾修复处理工艺的工艺流程主要包括污染建筑垃圾运输、高压水冲洗处理以及冲洗废水、污泥处理等，其工艺流程图见图 6-22。

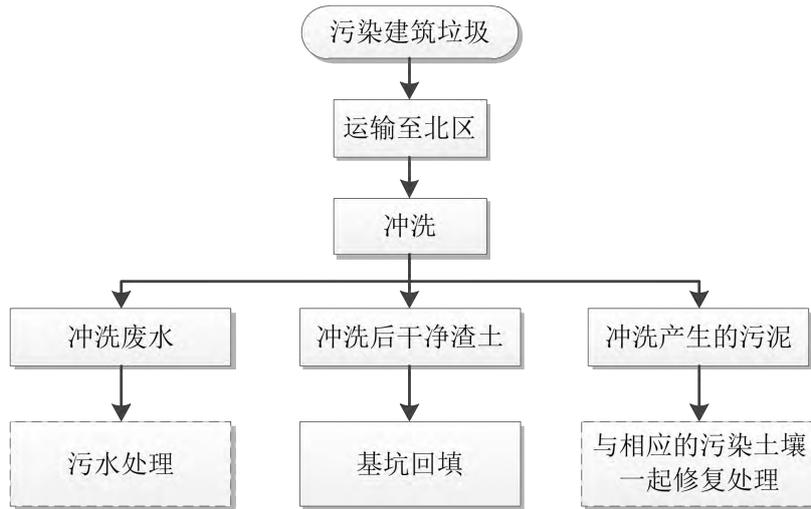


图 6-22 污染建筑垃圾冲洗工艺流程

## a) 污染建筑垃圾运输

污染区域表层中的砖石、混凝土等大粒径杂物通过人工分拣及挖掘机清理后装车，直接运输至北区的筛上物冲洗区进行冲洗处理。另外，清挖运输至固化/稳定化处置大棚及热脱附预处理大棚的污染土壤在预处理过程筛分出的粒径大于 50mm 的混凝土块、砖块等杂物也装车运往筛上物冲洗区进行冲洗处理。污染建筑垃圾采用自卸运输车进行运输，车辆车箱容量为 12m<sup>3</sup>，每车装运建筑垃圾量 10m<sup>3</sup> 左右。

## b) 污染建筑垃圾冲洗处理

污染建筑垃圾装车后运输至污染筛上物冲洗区，将污染建筑垃圾卸至筛上物冲洗区，采用高压水枪对污染建筑垃圾进行充分冲洗，冲去粘附在污染建筑垃圾表面的土壤及附着的污染物。冲洗过程中采用挖掘机对污染建筑垃圾进行翻拌确保底层的污染建筑垃圾能够得到有效的冲洗。

冲洗后的干净建筑垃圾直接采用挖机倒转堆置于筛上物堆置待检区，并采用防尘网覆盖。采样检验合格后进行回填处置。污染建筑垃圾冲洗、冲洗效果及堆置分别见图 6-23 至图 6-25。



图 6-23 污染建筑垃圾冲洗示意图



图 6-24 冲洗后的建筑垃圾示意图



图 6-25 冲洗后建筑垃圾的堆置示意图

### c) 冲洗后废水、污泥处理

污染建筑垃圾冲洗过程中产生的废水由筛上物冲洗区四周的排水槽收集，汇入沉砂池进行初步沉淀，沉淀时间约 20min。沉淀后的上清液抽排至北区水处理设备处理达标后再利用。

沉砂池底部沉淀的污泥定期进行清理，污泥脱水后运输至相应修复大棚与相应的污染土壤一起进行修复处理。其中，重金属污染区域的污染建筑垃圾冲洗产生的污泥与重金属污染土壤一起进行固化稳定化处理，处理合格后在锌片厂北区的阻隔填埋区进行阻隔填埋；有机污染区域的污染建筑垃圾冲洗产生的污泥与有机污染土壤一起进行异位热脱附处理，处理合格后用于基坑回填。排水沟及沉沙池的底泥清理见图 6-26。



图 6-26 筛上物冲洗区污泥清理示意图

#### 6.11.4 污染建筑垃圾冲洗主要配套设备选型

##### a) 高压冲洗设备

本项目污染土壤中存在大量的粗颗粒建筑垃圾，计划采用对筛分破碎斗筛分出粒径大于 50mm 的粗颗粒建筑垃圾进行冲洗。对于粒径较大的建筑垃圾，污染物只沾附于此类大粒径渣块的表面，因此利用高压水对其进行充分冲洗，即可去除表面沾附的污染物。冲洗干净后堆放于筛上物堆置待检区待检，检测达标的建筑垃圾即可用于场内堆存或基坑回填。筛上物冲洗设施设备配置见下表。

图 6-27 筛上物冲洗设施设备配置表

设备名称	规格/型号
高压冲洗机	601/h, 100bar
铲车	20 返铲
运输车	12m <sup>3</sup>
污泥泵	601/h

##### b) 常规机械

常规机械如挖掘机、自卸运输车主要用于污染建筑垃圾的装车、冲洗时翻拌及冲洗污泥运输等土方作业。各常规机械的功能及参数见 6.9.3 节。

#### 6.11.5 污染建筑垃圾冲洗主要配套设施设计

##### (1) 筛上物冲洗区和筛上物堆置区

本项目产生的污染建筑垃圾在北区的筛上物冲洗平台进行冲洗。在北区固化/稳定化处置场内建设一个筛上物冲洗平台，用于场地内建筑垃圾的冲洗。冲洗平台面积 225m<sup>2</sup>，长 15m，宽 15m，冲洗平台表面坡度 i=0.01。冲洗平台两侧分别建设两条长 20m、深 0.5m、宽 1.0m 的排水沟，用于建设垃圾冲洗过程中产生的废水的收集，集水沟顶部安装钢筋网，用于拦截垃圾。冲洗平台从下至上的防渗结构为 150g/m<sup>2</sup> 无纺土工布+1.5mm 双光面 HDPE 土工膜+150g/m<sup>2</sup> 无纺土工布+厚度 15cmC25P8 抗渗混凝土。冲洗平台旁边建设一个池底长 10m、宽 10m、深 2m 的污水收集池，两个池底部和侧壁需要铺设 150g/m<sup>2</sup> 无纺土工布和 1.5mm 双光面 HDPE 土工膜。筛上物冲洗完成后，于场地内筛上物堆置待检区内堆置待检，验收合格后用于基坑回填。冲洗平台剖面图见下图。

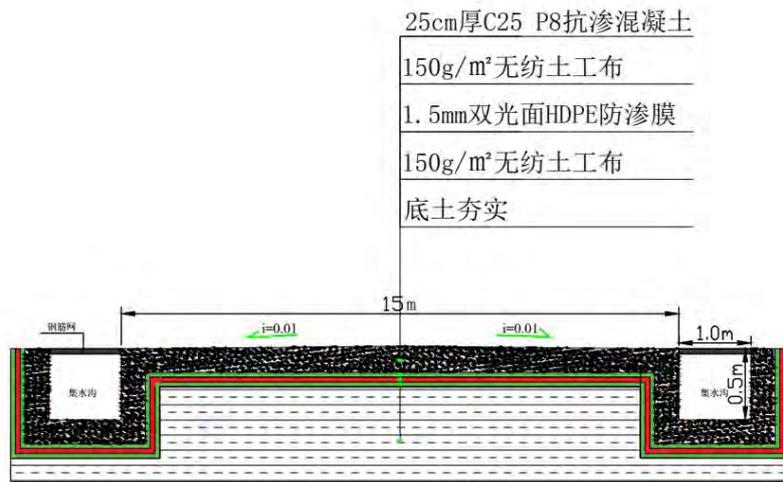


图 6-13 建（构）筑物冲洗池剖面图

筛上物冲洗平台及用于堆置冲洗后建筑垃圾的筛上物堆置待检区位置详见图 6-19。

(2) 洗车池

本项目在南区出口附近设置洗车池，在将重金属污染土壤、有机污染土壤、污染建筑垃圾等运往北区时，具体设计详见 6.9.4 章节。

## 6.12 污废水处理工艺设计

### 6.12.1 污废水来源

本项目的污水主要是随着土壤的挖掘过程产生的基坑废水，其它污水还包括污染土壤热脱附过程中产生的废水、建筑垃圾冲洗废水、洗车废水、生活污水等。

### 6.12.2 污废水水量

项目供水由城市供水系统提供水源，可满足项目需求。项目所需用水包括：施工人员生活用水、建筑垃圾冲洗用水、固化稳定化养护用水、热脱附土壤冷却用水、降尘用水、车辆冲洗用水等。

场地内各用水及排水点给排水计算如下

(1) 生活用水及排水：生活用水主要包括办公生活用水。根据《建筑给排水设计规范》(GB50016-2003 (2009 年版))，办公生活用水量按 150L/人·天计，本项目办公区预计人数共计 20 人，日用水量 3m<sup>3</sup>。本项目生活用水量为 3m<sup>3</sup>/d，排水按照用水量的 85%排放，则生活污水排放量为 2.55m<sup>3</sup>/d。本项目办公生活区和食堂位于锌片厂北区，与锌片厂北区修复项目共用。

(2) 建筑垃圾冲洗废水：场地建筑垃圾总量约为 516m<sup>3</sup>，建筑垃圾冲洗冲洗水土比为 1.2，平均每天冲洗建渣垃圾量约为 64m<sup>3</sup>，则每天共计产生冲洗废水约 20.8m<sup>3</sup>，冲洗过程蒸发量约 20%，过程损耗 2%，故每天排水量约为 16.2m<sup>3</sup>，建筑垃圾冲洗时间约为 26d，冲洗后废水排入北区水处理设备进行处理并循环利用。

(3) 固化稳定化养护用水：根据污染土壤固化稳定化要求，添加固化稳定化修复药剂后需要将土壤含水率从 20%补充至 30%。根据本项目施工进度安排，每天完成固化稳定化处理土壤方量为 400m<sup>3</sup>/d (虚方)，则每天补充用水量约为 55.3m<sup>3</sup>，无废水排放，固化稳定化养护用水周期 15d。

(4) 污染土壤开挖区基坑降水：在土壤开挖过程中需对土壤修复区进行抽排水，根据《初步调查报告》及《详细调查与风险评估报告》，本场地地下水埋深较浅，一般 1.5m 即可见地下水。场地内地下水涌水量计算均按照地下潜水考虑；水位降深为基坑底部以下 0.5m；含水层厚度为 0~5m，取 3m。由于场地内地下水位平均埋深为 1.5m，因此只考虑基坑开挖大于 1.5m 的区域。

地下水潜在的最大污染面积为 2238m<sup>2</sup>，排水深度平均 3m。根据《调查报告》土壤污染区域从地面至地下 4.8m 的地层分布为杂填土、砂土、粉土，基坑废水抽出采用挖坑明排的方式进行抽出，抽出水量计算如下：

$$\mu = 1.137n(0.0001175)^{0.607(6+\lg K)}$$

式中：n--场地土壤平均孔隙率，0.41；K--场地土壤渗透系数 2.5×10<sup>-3</sup>cm/s，数据来源于抽水试验。经计算，场地平均给水度μ=0.15。

各土层开挖抽排水量可通过下式计算出：

$$Q=\mu*H*S$$

Q—开挖区域抽排水量；

μ—给水度；

H—含水层厚度，3m；

S—开挖区域面积，2238m<sup>2</sup>

经计算，开挖区总抽排水量约为 1007m<sup>3</sup>，由于理论计算会与实际产生差异，具体水量以实际修复施工抽出的水量为准，按照 64 个日历天估算平均每天抽出约 15.7m<sup>3</sup>。

(5) 场地降尘用水：本工程对工程评价范围内按照一日三次的频率洒水降尘。洒水按 0.5L/m<sup>2</sup>·d 计，则日用水量 27.9m<sup>3</sup>，用水来源为市政给水，用水周期为 90 天，无外排水。

(6) 车辆冲洗用水：本项目运输车辆共 2 辆，施工过程中无土方外运，只有日常车辆进出冲洗水，则车辆冲洗用水量为  $1.6\text{m}^3/\text{d}$ ，排水按用水量 85% 计，洗车废水排放量为  $1.36\text{m}^3/\text{d}$ ，用水周期为 90 天。

表 6-13 项目给排水核定表

序号	用水环节	用水来源	用水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )	排水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )
1	办公生活用水	市政给水	3	2.55
2	污染土壤开挖区基坑降水	/	0	15.7
3	建筑垃圾冲洗用水	市政给水、回用水	20.8	16.2
4	固化稳定化养护	市政给水	55.3	无
5	车辆冲洗用水	市政给水、回用水	1.6	1.36
6	场地降尘用水	市政给水	27.9	无

根据项目进度及安排，本项目建筑垃圾冲洗过程与固化稳定化处理过程可错开，故本项目最大日用水量为  $87.8\text{m}^3/\text{d}$ ，最大日排水量为  $35.8\text{m}^3/\text{d}$ 。

### 6.12.3 污水水质

场地内的污水主要为建筑垃圾冲洗废水、洗车废水等，可能受到了重金属砷和有机污染物（PAHs、石油烃）的污染，具体污染情况要根据现场情况而定。污水经抽送至北区水处理设备处理后，达到相关要求后进行再利用。处理后水质常规指标需达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）中车辆冲洗标准限值，特征污染物指标总有机碳参考《水污染排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级排放标准限值方可进行再利用。污水处理后监测指标及评价标准限值见表 6-14，达标后再利用的途径为固化稳定化养护用水、建筑垃圾冲洗用水。

表 6-14 污水处理后监测指标及评价标准限值（再利用）

序号	污染物	浓度（mg/L）	参考标准
1	pH	6-9	《城市污水再生利用城市杂用水水质》

序号	污染物	浓度 (mg/L)	参考标准
2	色度	30	(GB/T18920-2002)
3	浊度	5	
4	溶解性总固体	1000	
5	总有机炭	20	
6	总砷	0.5	《水污染排放限值》(DB44/26-2001) 第一类污染物最高允许排放浓度
7	苯并[a]芘	0.00003	
8	石油类	5	

#### 6.12.4 污废水处理技术说明

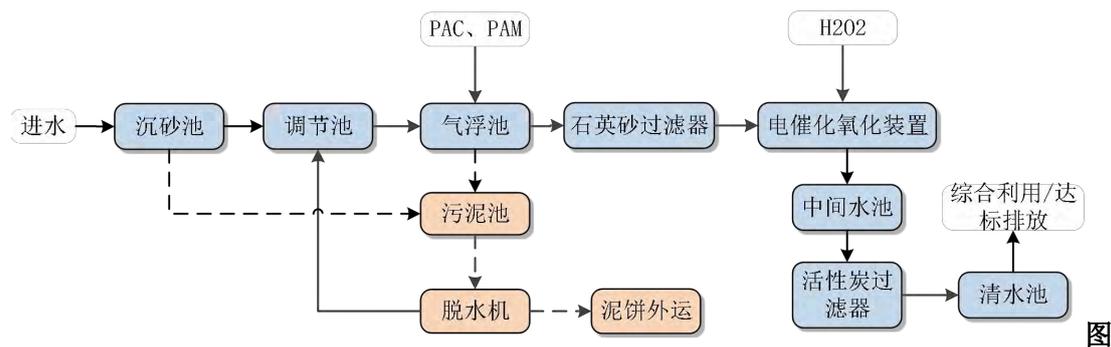
本项污废水采用“混凝气浮+电催化氧化+活性炭吸附”组合工艺进行处理。

经北区水处理设备处理后检测达标的污水进行再利用,主要用于建筑垃圾冲洗及固化稳定化处理过程中的养护用水。污水处理后水质常规指标需达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)中车辆冲洗标准限值,特征污染物指标总有机炭参考《水污染排放限值》(DB44/26-2001)第二时段一级排放标准限值方可进行再利用,特征污染物砷和苯并[a]芘达到《水污染排放限值》(DB44/26-2001)第一类污染物最高允许排放浓度限值后方可进行再利用。

#### 6.12.5 污水处理设计

本项目污水运往北区水处理设备进行处理。废水通过一套场地内废水处理设备进行收集处理,设备处理能力为 20m<sup>3</sup>/h,废水经过统一收集至废水处理设备中进行处理。

处理工艺采用“混凝气浮+电催化氧化+活性炭吸附”,共建设砖砌水泥抹面初沉池(5m×5m×2m)一座,一体化水处理设施一座、支架水池式清水池(10m×20m×2.5m)两座,具体布置见施工总平面布置图。水污染物处理系统工艺流程如下图所示。



6-28 地下水污染物处理系统工艺流程图

有机废水经沉砂池去除较大的颗粒物质后，通过三角溢流堰自流进入综合调节池，进行水质水量的均质。经过均质均量的废水经污水泵提升进入混凝气浮池前端加药池，依次投加混凝剂聚合氯化铝（PAC）及絮凝剂聚丙烯酰胺（PAM），并通过机械搅拌充分反应。加压溶气水通过释放器产生大量微小的气泡，粘附废水中的细小悬浮污染物后上浮，并通过刮渣机去除。出水进入石英砂过滤器，过滤器配套反冲洗水泵，定期对过滤器进行反冲洗。过滤器的出水进入电催化氧化装置，通过投加催化剂双氧水（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>），电解产生具有强氧化性的羟基自由基（•OH），进而去除废水中绝大部分有机物。电催化氧化单元的出水自流进入中间水池，然后经提升泵打入活性炭过滤器，通过活性炭的吸附作用进一步去除废水中剩余的污染物，处理达标的废水排入市政管网。具体处置流程见下图：

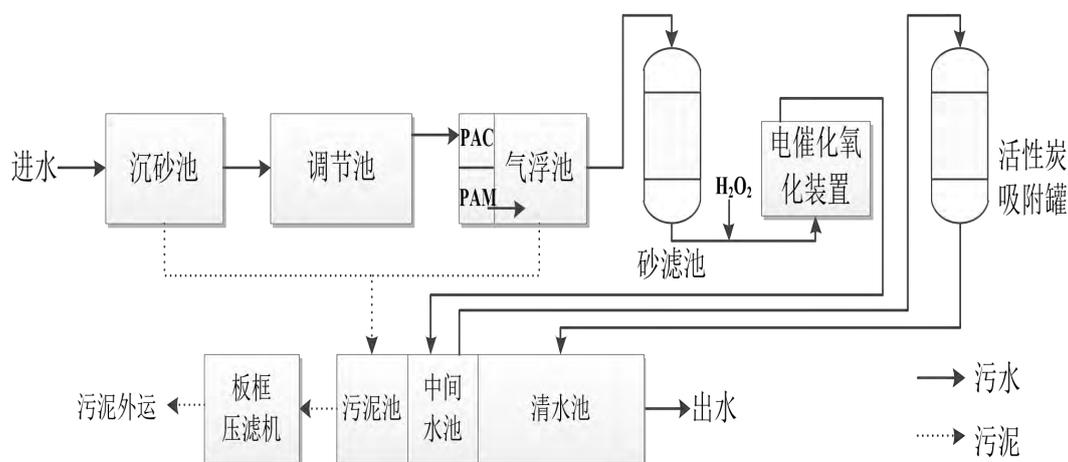


图 6-29 地下水处理流程示意图

各处理单元作用如下：

### 1、沉砂池

沉砂池设计容积为 40m<sup>3</sup>，尺寸 6000×2500×2800mm，碳钢喷涂环氧树脂防腐。沉砂池采用平流式，底部设计 3 个污泥斗并设有排泥阀，定期排除沉淀在泥斗的泥沙至污泥池，出水通过溢流堰自流进入综合调节池。

### 2、综合调节池

调节池作为污水均质均量的收集水池，尺寸为 6000×2000×2000mm，池内配有潜水泵，将废水打入后续气浮池。

### 3、混凝气浮设备

将加药反应池、气浮池、中间水箱组合为一体化设备，其中加药装置包括 3 台隔膜计量泵（2 用 1 备），配套 2 个体积为 2m<sup>3</sup> 溶药搅拌罐，用于配置 PAC 和 PAM。气浮装置由钢制箱体、溶气系统、释放系统、刮渣机、浮渣槽、混合搅拌机、走道扶梯、空压机、溶气水泵组成，整个一体化设备尺寸为 5000×1800×2500mm。

### 4、石英砂过滤器

过滤器处理能力为 20m<sup>3</sup>/h，直径 1600mm，高度 3100mm，其中滤层高度为 1000mm，过滤速度 10m/h。配套手动蝶阀。

### 5、电催化氧化设备

本设备集氧化、还原、混凝功能于一体，实现了多功能化，达到了设备极小、效率高、成本低的优越技术指标。设备尺寸为 5800×1200×2800mm，设备功率约 22kW，配套双氧水（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>）加药装置。

### 6、水箱组合

将中间水箱、污泥池、清水池组合为一个箱体，其中中间水池和污泥池尺寸为 2500×1500×2500mm，清水箱尺寸为 8000×2500×2500mm。

### 7、活性炭过滤器

活性炭过滤器配套两台，根据现场调试或水质情况可分别设计为并联或串联使用，直径 2000mm，高度 4100mm，滤层高度为 1500mm，过滤速度 7m/h，反洗强度  $0.5\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$ 。

#### 8、板框压滤机

配备两台螺杆泵，型号 G-50，板框压滤机面积为  $30\text{m}^2$ ，采用液压装置进行板框压滤，压滤液回流至调节池，干泥压滤后外运。

#### 9、再利用

经水处理设备处理达标的污水进行再利用，主要用于建筑垃圾冲洗及固化稳定化处理过程中的养护用水。污水处理后水质常规指标需达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）中车辆冲洗标准限值，特征污染物指标总有机碳参考《水污染排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级排放标准限值方可进行再利用，特征污染物砷和苯并[a]芘达到《水污染排放限值》（DB44/26-2001）第一类污染物最高允许排放浓度限值后方可进行再利用。

另外本修复工程实施过程中采取措施进行雨污分流，主要是对清挖基坑进行防水膜遮盖等。

## 7 修复工程环境管理计划

本项目污染土壤中存在重金属砷、多环芳烃和石油烃的污染，修复治理过程中若不采取有效的环境管理与监测，则可能会因修复施工对周边环境和居民身体健康造成影响与危害。因此修复实施过程中的环境管理工作尤为重要。本项目在场地修复治理实施的过程中，采取全过程控制管理的模式对本场地及其周边的土壤、大气、水、固废和噪声环境进行环境管理并制定相应的环境监测方案。

### 7.1 环境问题识别

#### 7.1.1 二次污染识别与影响分析

本项目为污染土壤修复治理工程，污染土壤与地下水在修复治理过程中可能会对环境影响的因素主要包括污染土壤二次污染、大气污染、水污染、噪声污染及固体废物等五类，以下就本项目污染土壤与地下水修复施工过程中的关键污染产生环节和重大污染源进行识别，以便有针对性的采取二次污染防治措施。具体详见表 7-1 所示。

表 7-1 污染土壤修复施工污染产生环节识别

序号	施工环节	环境影响因素类型	可能产生的二次污染或污染物
1	场地平整	大气污染	粉尘及扬尘、PM10 和 PM2.5
		噪声污染	施工机械噪声
2	建筑垃圾冲洗	水污染	冲洗废水
		固体废物	冲洗污泥
		噪声污染	施工机械噪声
3	建筑垃圾堆置	大气污染	产生扬尘
		噪声污染	施工机械噪声
4	临时设施建设	大气污染	产生扬尘
		噪声污染	施工机械噪声、人为噪声
		固体废物	水泥包装袋
5	污染土壤清挖	土壤二次污染	污染土壤清挖不彻底

序号	施工环节	环境影响因素类型	可能产生的二次污染或污染物
			土壤交叉污染
		大气污染	扬尘、PM10 和 PM2.5、有机气体、异味逸散
		水污染	雨水接触污染土壤
			基坑积水
噪声污染	施工机械噪声		
6	污染土壤运输	土壤二次污染	污染土壤遗撒
			车辆使用或清洗过程交叉污染
		大气污染	产生扬尘、有机气体和异味逸散
		水污染	洗车废水
		噪声污染	交通噪声
7	污染土壤固化稳定化及堆置养护	土壤二次污染	随意堆置、污染物渗漏至防渗层下土壤
			设备使用或清洗过程交叉污染
		大气污染	产生扬尘
		固体废物	尾气处理废活性炭、粉尘、药剂包装袋
			遗撒的化学药剂
		噪声污染	施工机械噪声
水污染	雨水接触污染土壤		
8	固化稳定化处理合格土壤阻隔填埋	土壤二次污染	污染土壤遗撒
			车辆使用或清洗过程交叉污染
		大气污染	产生扬尘、有机气体和异味逸散
		水污染	洗车废水
噪声污染	交通噪声		
9	污染土壤热脱附处理	土壤二次污染	随意堆置、污染物渗漏至防渗层下土壤
			设备使用或清洗过程交叉污染
		大气污染	产生扬尘、有机气体和异味逸散
		固体废物	尾气处理废活性炭、粉尘、药剂包装袋
			遗撒的化学药剂
		噪声污染	施工机械噪声
水污染	雨水接触污染土壤		
10	基坑回填	大气污染	扬尘，PM10 和 PM2.5
		噪声污染	施工机械噪声
		土壤污染	设备使用或清洗过程交叉污染
11	污水处理	水污染	设备管道跑冒滴漏

序号	施工环节	环境影响因素类型	可能产生的二次污染或污染物
			废水未处理达标
		大气污染	产生有机污染气体或气味
		固体废物	水处理污泥
			水处理废活性炭
		药剂包装袋	
12	办公生活区	水污染	生活污水
		固体废物	生活垃圾
13	临时设施拆除	土壤二次污染	污染土壤残留
		噪声污染	施工机械噪声、人为噪声
		固体废物	建筑垃圾
			废弃防雨布
废弃防尘网			

按照环境因素分类统计汇总如表 7-2。

表 7-2 污染土壤修复施工污染产生环节识别汇总表

序号	环境影响因素类型	施工环节	可能产生的二次污染或污染物
1	土壤二次污染	建筑垃圾堆置	随意堆置
		污染土壤清挖	污染土壤清挖不彻底
			土壤交叉污染
		土壤运输	污染土壤遗撒
			设备使用或清洗过程交叉污染
		污染土壤修复处理	污染土壤随意堆置
			设备使用或清洗过程交叉污染
修复后土壤养护	随意堆置、污染物渗漏至防渗层下土壤		
	临时设施拆除	污染土壤残留	
2	大气污染	场地平整	扬尘、PM10 和 PM2.5
		建筑垃圾堆置	扬尘、PM10 和 PM2.5
		临时设施建设	扬尘、PM10 和 PM2.5
		污染土壤清挖	扬尘、PM10 和 PM2.5
			有机气体逸散
			异味逸散
		土壤运输	扬尘、PM10 和 PM2.5
异味逸散			
有机气体逸散			

序号	环境影响因素类型	施工环节	可能产生的二次污染或污染物
		污染土壤修复处理	扬尘、PM10 和 PM2.5
			有机气体逸散
			异味逸散
		修复后土壤养护	扬尘、PM10 和 PM2.5
			有机气体逸散
			异味逸散
3	水污染	建筑垃圾冲洗	冲洗废水
		建筑垃圾堆置	雨水冲刷建筑垃圾
		土壤污染区域排水	基坑污水
		污染土壤清挖	雨水接触污染土壤
		污染土壤场内运输	洗车废水
		修复后土壤养护	雨水接触污染土壤
		污水处理	设备管道跑冒滴漏
			废水未处理达标
		办公生活区	生活污水
设备冲洗	冲洗废水		
4	噪声污染	场地平整	施工机械噪声
		临时设施建设	施工机械噪声
			人为噪声
		止水帷幕施工	施工机械噪声
		污染土壤清挖	施工机械噪声
		土壤运输	交通噪声
		污染土壤修复处理	施工机械噪声
临时设施拆除	施工机械噪声		
	人为噪声		
5	固体废物	建筑垃圾冲洗	冲洗污泥
		污染土壤修复处理	尾气处理废活性炭
			尾气处理收集粉尘
			药剂包装袋
		污水处理	水处理污泥
			水处理废活性炭
			药剂包装袋
办公生活区	生活垃圾		
车辆设备冲洗	冲洗污泥		

序号	环境影响因素类型	施工环节	可能产生的二次污染或污染物
		临时设施拆除	建筑垃圾
			废弃防水膜
			废弃防尘网

### 7.1.2 环境风险识别与评估

针对修复工程实施过程中或不利气象条件下可能发生的突发事件（地震、洪水、火灾、爆炸、交通事故、设备故障等），识别潜在有毒有害物质释放对施工人员、周边人群健康和环境的危害，评估危害程度。

本项目为污染土壤修复治理工程，污染土壤在修复治理过程中存在着环境风险，可能会造成不良环境和社会影响。为尽可能避免环境事故的发生，需对环境风险进行识别与评估，以采取相应的环境风险防范措施和应急预案。

环境风险识别与评估主要是针对修复工程实施过程中或不利气象条件下可能发生的突发事件（地震、洪水、火灾、爆炸、交通事故、设备故障等）进行分析，并识别潜在有毒有害物质释放对施工人员、周边人群健康和环境的危害，评估危害程度。

以下就本项目污染土壤修复施工过程中可能的环境风险进行识别与评估，确定出本项目各施工环节可能存在的环境风险，见表 7-3 所示。

表 7-3 污染土壤修复环境风险识别

序号	施工环节	可能产生的环境风险
1	场地平整	粉尘/扬尘、细小颗粒物超标
		超过标准规定值的噪声
2	临时设施建设	粉尘/扬尘、细小颗粒物超标
		超过标准规定值的噪声
3	污染土壤清挖	含污染物的粉尘/扬尘、细小颗粒物超标
		超过标准规定值的噪声
		有机废气、异味超标
4	污染土壤场内运输	含污染物的粉尘/扬尘
		洗车废水泄漏

序号	施工环节	可能产生的环境风险
		超过标准规定值的噪声
		交通事故产生的污染土壤遗撒
		有机废气和异味超标
5	污染土壤固化稳定化处理及堆置养护	含污染物的粉尘/扬尘、细小颗粒物等超标排放
		缺乏封闭的环境可能导致污染粉尘外逸
		固化/稳定化处置大棚通风设备故障，导致大棚环境恶化，影响作业人员身体健康
6	固化稳定化修复后土壤运输进行阻隔填埋	含污染物的粉尘/扬尘
		洗车废水泄漏
		超过标准规定值的噪声
		交通事故产生的污染土壤遗撒
7	污染土壤热脱附处理后堆置养护	含污染物的粉尘/扬尘、细小颗粒物和有机废气超标排放
		化学药剂有腐蚀工作人员的风险
		缺乏封闭的环境可能导致 VOC 挥发
		热脱附预处理大棚通风设备故障，导致大棚环境恶化，影响作业人员身体健康
8	基坑回填	粉尘及扬尘
9	建筑垃圾冲洗	冲洗废水溢出筛上物冲洗区排水沟、集水池，造周边土壤、地下水和临近珠江河段污染
		超过标准规定值的噪声
10	建筑垃圾堆置	超过标准规定值的噪声
		粉尘/扬尘、细小颗粒物超标
11	污水处理	化学药剂灼伤施工人员
		含污染物的废水、污泥
		有机污染气体和异味
12	临时设施拆除	超过标准规定值的噪声
		粉尘/扬尘

## 7.2 环境管理目标

### 7.2.1 二次污染防治目标

通过对本项目污染土壤修复施工过程中各环节可能产生的二次污染进行识别，并有针对性的采取相应的二次污染防治措施，确保修复实施不会对周边环境造成污染风险，各项环境指标满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）、《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2014）、《污染场地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2014）、《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）、《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）等国家、省、市、行业及相关标准的规定，详见“7.5 修复过程环境监测方案”。

### 7.2.2 环境风险防范目标

通过分析和预测场地修复项目存在的潜在危险、有害因素、项目实施期间可能发生的突发性事件或事故，引起有毒有害和易燃易爆等物质泄漏，所造成的人身安全与环境影响，提出可行的防范、应急与减缓措施，以使修复项目事故率、损失和环境影响达到可接受水平。

## 7.3 修复过程二次污染防治措施

### 7.3.1 土壤二次污染防治措施

据对本项目污染土壤修复施工各环节土壤环境影响因素的识别与分析，下面就本项目各施工环节所采取的土壤二次污染防治措施逐一介绍。

#### （1）建筑垃圾堆置环节污染防治措施

为防止现场建筑垃圾的随意堆置造成土壤二次染，在施工时安排专人指挥建筑垃圾的运输和堆放，严禁不按要求的乱堆乱放。并拟在施工现场设置专门的建筑垃圾堆置场地，场地地坪采用厚度为 150mm 的 C30 混凝土地坪进行防渗，避免污染建筑垃圾对堆置场地下土壤造成污染。建筑垃圾堆置场地混凝土地坪实物

图见图 7-1。



图 7-1 建筑垃圾堆置场地混凝土地坪示意图

## (2) 污染土壤清挖环节污染防范措施

1) 严格控制清挖范围：严格按给定的拐点坐标施工，不随意更改施工方案，严禁无目的挖掘及超挖。污染土壤清挖施工过程中，设专人指挥挖掘机作业。清挖至规定范围后停止施工，及时通知监理对清挖边界和标高进行核对，并组织自验收，自验收检测合格后向验收单位申请委托的第三方检测机构，对清挖开挖区域侧壁和底部的清挖效果进行验收检测，见图 7-2。



图 7-2 清挖效果验收检测示意图

2) 污染土壤开挖后直接装车, 严禁在现场临时堆放, 避免未污染土壤与污染土壤混合形成交叉污染。

3) 严格限制清挖阶段清挖机械的活动范围, 防止清挖机械将污染土壤带离污染区域。

4) 清挖终点扫尾: 清挖至区域边界后, 派专人对开挖区域底部进行清理, 将散落的污染土壤收集后运入相应的修复大棚进行处理, 避免污染土壤遗留在基坑中。

### (3) 污染土壤运输环节污染防治措施

1) 污染土壤运输车辆严禁与其他运输车辆混用, 避免造成二次交叉污染。

2) 采用加装封闭设施的环保车辆运输污染土壤, 防止污染土遗撒造成其它区域土壤污染。封闭式运输车实物图见图 7-3。



图 7-3 全封闭式环保运输车

3) 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, 车辆场内行驶速度不能超过 15km/h, 禁止快速行驶与突然快速启动或制动。

4) 污染土壤装载时禁止超载, 土壤装载量只能为运输车车厢的 4/5, 禁止满载, 避免在运输过程中撒落。

5) 施工现场指定统一的机械行驶、车辆运输路线, 路线便道平整压实, 设置简易护栏、标识牌和警示牌。严禁车辆在场区内随意行驶, 防止污染土遗撒至

未污染区域，造成场区内土壤二次污染。

6) 运输便道管理应有专人负责，运输便道易发生凹陷情况，应及时组织填充压实，防止运输车辆颠簸及污染土壤散落。

7) 如发现运输过程污染土壤散落，应立即组织人员清理与收集，防止污染土壤的二次污染，并防止其在降雨时随地表径流被带走。

8) 卸料前，应确定四周应无人员来往。卸料时，应将车停稳，不得边卸边行驶；卸料过程中尽量做到减缓速度和降低落差，减少人为污染扩散；卸料后，应在车厢复位后方可起步，不得在倾斜情况下行驶，以免将污染土壤带出。

9) 非施工车辆禁止进入施工场区，防止非施工车辆将场区内污染土带出场外，造成场外土壤二次污染。

#### (4) 污染土壤修复环节污染防范措施

污染土壤的预处理、固化稳定化处理均在固化/稳定化处置大棚和热脱附预处理大棚内进行，修复大棚采用混凝土地坪进行防渗，防止污染土壤对修复大棚下的土壤造成污染。且所有施工机具在离开大棚时需对机具上粘附的污染土壤进行清理，清理方式为人工清理和冲水清理，防止污染土壤被施工机具带出修复大棚，造成二次污染。修复大棚混凝土地坪实物图见图 7-4。



图 7-4 修复大棚混凝土地坪示意图

#### (5) 固化稳定化修复后土壤填埋阻隔环节污染防范措施

阻隔填埋前对填埋阻隔区域做好防渗处理，防止可能发生的土壤污染物渗出，污染周边土壤和地下水的风险。回填过程中应注意做好降尘措施，避免施工扬尘污染。阻隔填埋完成后在表面覆盖防渗膜并覆盖干净土壤，并对区域表面进行绿化、围挡和设置标识，避免可能产生的环境风险。

#### (6) 临时设施拆除环节污染防范措施

在修复工作完成后，需对临时修复设施进行拆除，以便移交场地。对清理的污染土壤进行统一收集，并根据其污染类型进行修复处理。

### 7.3.2 大气环境污染防治措施

根据对本项目污染土壤修复施工各环节土壤环境影响因素的识别与分析，以下就本项目各施工环节所采取的大气环境污染防治措施逐一介绍。

#### (1) 场地平整环节大气污染防治措施

在施工前，需对拆迁后的场地进行平整，便于临时设施的建设和后续的修复施工开展。在场地平整环节，推土机和挖掘机等施工机械的作业可能产生扬尘，

产生大气环境影响，拟采取的主要措施如下：

- 1) 在进行场地平整作业前，首先在作业面进行适当洒水，减少扬尘来源；
- 2) 在进行平整作业时，控制推土机的行进速度或挖掘机的操作幅度，安排专人指挥，做到文明施工，减少扬尘产生；
- 3) 在平整作业过程中产生的扬尘，可使用多功能抑尘车对作业面进行快速有效降尘，见图 7-5 所示；
- 4) 如遇大风天气，则停止平整作业，并对裸露的地面采用防尘网进行覆盖，见图 7-6 所示。



图 7-5 场地平整环节多功能抑尘车降尘示意图



图 7-6 裸露地面覆盖示意图

## (2) 建筑垃圾堆置环节大气污染防治措施

在建筑垃圾堆置环节，运输车辆倾倒建筑垃圾、挖掘机进行堆置场地整堆以及堆放过程中遇到大风天气可能产生扬尘，产生大气环境影响，拟采取的主要措施如下：

- 1) 卸料过程中尽量做到减缓速度和降低落差，减少人为污染扩散；
- 2) 合理规划堆置场地的堆置顺序，尽量避减少整堆次数；
- 3) 在进行整堆作业前，可先对堆体适当洒水，减少尘土来源；
- 4) 堆置过程中产生的扬尘，可使用雾炮进行快速有效降尘；
- 5) 建筑垃圾堆置完成后，采用防尘网覆盖，避免大风天气产生扬尘和气味扩散，见图 7-7 所示。



图 7-7 建筑垃圾覆盖示意图

### (3) 临时设施建设环节大气污染防治措施

修复施工前，需完成临时设施的建设，在临时设施建设环节，使用建筑材料时也可能产生扬尘，产生大气环境影响，拟采取的主要措施如下：

1) 规范化管理建筑材料，禁止乱堆乱放，采用抑尘网对建筑材料进行覆盖，减少扬尘来源；

2) 尽量直接购买使用商用混凝土，避免水泥、石灰等易产生扬尘的材料在现场堆放；

3) 建设过程产生的建筑垃圾及时清运，且洒水减少扬尘；

4) 临时设施建设过程产生的扬尘，可使用多功能抑尘车进行快速有效降尘；

#### (4) 污染土壤清挖环节大气污染防治措施

在污染土壤清挖环节，挖掘机清挖作业及装土作业时可能产生扬尘及有机气体逸散，对大气环境产生影响，拟采取的主要措施如下：

1) 现场清挖的土壤直接装车，控制扬尘的产生，见图 7-8 所示；

2) 在有机污染土壤清挖前，用防水膜覆盖清挖区域，清挖过程中边清挖边揭膜。

3) 在土壤的清挖过程中，在清挖作业面拆除搭设期间，及时用防雨布覆盖裸露的基坑和侧壁，防止扬尘产生及气味逸散。

4) 在土壤清挖完成后，立即用防水布覆盖基坑，防止扬尘产生及气味逸散。

#### (5) 污染土壤运输环节大气污染防治措施

在污染土壤运输环节，运输车辆行驶过程可能产生扬尘及气味逸散，产生大气环境影响，拟采取的主要措施如下：

1) 所有运载污染土壤的车辆均须覆盖防护，且车厢四周完全密封，并将场内车速控制在 15km/h 以内，以减少扬尘和气味逸散，图 7-8。



图 7-8 运输车辆严密遮盖示意图

2) 污染土壤运输过程中，采取洒水降尘措施，安排洒水设备进行定期洒水作业，并在期间安排专人不定期洒水；

3) 运输道路，至少是主干道应硬底化，减少运输过程中的扬尘，同时定期对运输道路进行洒水降尘；

4) 运输车辆需将污染土壤运至专门的修复大棚后方能解除遮盖措施，并卸至指定位置。

#### (6) 污染土壤修复处理环节大气污染防治措施

在污染土壤修复处理环节，污染土壤筛分、均混及药剂使用过程中可能产生扬尘及有机气体逸散，产生大气环境影响，拟采取的主要措施如下：

1) 污染土壤的修复处理须在封闭的修复大棚内进行，修复处理过程中产生的有机气体和扬尘抽出后经处理达标后排放。

2) 定期对大棚尾气及场区大气环境进行检测，当发现大气环境异常时，应及时停止作业，并进行整改。场区大气日常环境检测见图 7-9。



图 7-9 场区大气环境日常检测示意图

#### (7) 修复处理后土壤养护环节大气污染防治措施

在修复处理后土壤养护环节，使用挖机进行堆置场地整堆等过程中可能产生扬尘、有机气体逸散，产生大气环境影响，拟采取的主要措施如下：

- 1) 土壤堆置过程中采用膜进行覆盖，防止气体及扬尘逸散污染大气。
- 2) 卸土过程中尽量做到减缓速度和降低落差，减少人为污染扩散；
- 3) 合理规划堆置场地的堆置顺序，尽量减少整堆次数；
- 4) 在进行整堆作业前，可先对堆体适当洒水，减少尘土来源；
- 5) 在整堆过程中，若出现扬尘，须停止施工，并利用多功能抑尘车快速降尘；

#### (8) 污染土壤运输及阻隔填埋过程二次污染防治措施

在污染土壤运输过程中，车辆应注意封闭覆盖，避免运输过程中扬尘产生。车辆运输过程中控制车速 $<1\text{km/h}$ ，严格按指定运输路线进行运输。

在阻隔填埋阶段，应严格做好作业面洒水降尘工作，避免施工扬尘污染大气环境。

#### (9) 基坑回填环节大气污染防治措施

本项目有机污染土壤修复合格后对基坑进行回填，在推土机进行摊平作业及运输车卸土作业时可能产生扬尘，产生大气环境影响，拟采取的主要措施如下：

1) 回填工作面出现扬尘, 采用洒水作业降低和控制扬尘; 若洒水作业仍无法有效控制扬尘, 则采用多功能抑尘车对挖掘作业面进行快速有效降尘, 图 7-10。



图 7-10 多功能抑尘车喷雾降尘示意图

2) 遇到大风天气, 停止土方回填作业, 并对裸露的污染土壤进行覆盖, 防止扬尘产生。

### 7.3.3 水污染防治措施

根据对本项目污染土壤修复施工各环节土壤环境影响因素的识别与分析, 以下就本项目各施工环节所采取的水污染防治措施逐一介绍。

#### (1) 建筑垃圾冲洗环节水污染防治措施

在建筑垃圾冲洗环节, 高压水枪冲洗建筑垃圾后形成污水, 在筛上物冲洗区周边设置一圈排水沟, 经沉砂池沉淀后抽排至北区水处理设备进行集中处理。沉砂池内的沉淀泥根据其污染类别送回相应修复大棚分别与相应的土壤一起进行修复处理。筛上物冲洗区排水沟和沉砂池实物参照图见图 7-11 所示。



图 7-11 筛上物冲洗区排水沟和沉砂池示意图

## (2) 建筑垃圾堆置环节水污染防治措施

在建筑垃圾堆置环节，运输车辆倾倒建筑垃圾、挖掘机进行堆置场地整堆以及堆放过程中遇到降雨天气时，雨水冲刷建筑垃圾后形成污水，产生水环境影响，拟采取的主要措施如下：

- 1) 施工现场的筛上物冲洗区周围设置一圈排水沟如图 7-11。
- 2) 如遇降雨天气，则停止堆置作业，并及时对堆置的建筑垃圾采用防雨布进行覆盖。

## (3) 污染土壤清挖环节水污染防治措施

在污染土壤清挖环节中，遇到强降雨天气时，雨水冲刷污染土壤可能形成污水，产生水环境影响，拟采取的主要措施如下：

- 1) 在基坑周围设置围挡高出地面 400mm，作为防雨挡墙防止基坑四周地面水或雨水流入基坑内，避免雨水受到污染。
- 2) 在污染土壤的清挖过程中，及时用防雨布覆盖裸露的基坑和侧壁，防止雨水和土壤接触。
- 3) 污染土壤清挖完成后，及时从清挖工作面开始向后退 1m 设置隔离带（围挡等），并用防水布将整个清挖区域覆盖，实物参照图见图 7-12 所示。防雨布粘接后可以保证不透水，保证清挖区域覆盖防雨布的完全覆盖裸露土壤，防止雨水和土壤接触。



图 7-12 基坑防雨布全遮盖示意图

5) 每天对污染土壤运输路径上遗落的少量土壤进行及时清理，保证所有运输路面不会残留污染土壤，避免下雨对路面冲刷，产生二次污染。



图 7-13 运输道路清理示意图

#### (5) 污水处理环节水污染防治措施

本项目施工过程中产生的基坑废水、建筑垃圾冲洗废水、洗车废水等经水泵抽排或导排至北区水处理设备进行集中处理。在北区水处理设备后进行水质检测，达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）中车辆冲洗用水标准，可作为建筑垃圾冲洗用水、固化稳定化处理的补水养护等方式实现再利用，

禁止外排。

1) 定期检查维护水处理设备的设备管路、构筑物,防止设备管道跑冒滴漏和构筑物渗漏。

2) 调节池采用镀锌钢板材料,地上设置,防止池内污水渗漏和外部废水进入。

#### (6) 办公区生活污水污染防治措施

临时办公区产生的生活污水禁止随意倾倒,经统一收集通过卫生间的排水系统排入附近居民排水点。

### 7.3.4 噪声环境污染防治措施

根据对本项目污染土壤修复施工各环节环境影响因素的识别,本项目实施过程中各环节产生的噪声主要有施工机械噪声、交通噪声以及人为噪声。其中施工机械噪声主要为挖掘机、装载机等施工机械在施工过程中产生的噪声;交通噪声主要为运输车辆在行驶过程中产生的噪声;人为噪声主要为施工过程中各类材料装卸、搬运、安装过程中产生的噪声。为减少各环节产生的噪声污染,拟采取的主要措施如下:

#### (1) 场地平整环节噪声污染防治措施

在使用挖掘机、推土机及液压破碎锤等施工机械进行场地平整时产生的噪声较大,尤其是在利用液压破碎锤对混凝土障碍物进行破除时产生的噪声更为强烈,针对场地平整环节产生的噪声污染,拟采取的主要措施如下:

1) 所选挖掘机、推土机等施工机械应符合环保标准,操作人员需经过环保教育。



图 7-14 低噪音施工机械

2) 按照要求定期对挖掘机、推土机等施工机械定期进行保养，维持施工机械良好的工作状态。



图 7-15 施工机械日常保养维护示意图

3) 施工作业安排在白天进行，并尽量避免在中午（12:00~14:00）期间进行强噪声作业。

#### (2) 临时设施建设环节噪声污染防治措施

修复施工前需进行临时设施的建设，在建设过程中使用挖机、吊车等施工机械以及建设施工人员产生噪声，影响周边环境，针对上述情况，拟采取的主要措

施如下：

- 1) 所选吊车、挖机等施工机械应符合环保标准，操作人员需经过环保教育。
- 2) 按照要求定期对挖掘机、推土机等施工机械定期进行保养，维持施工机械良好的工作状态。
- 3) 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。
- 4) 严禁在钢管、机械上敲打金属形式联系操作人员。
- 5) 施工过程中各类材料搬运及安装，要求做到轻拿轻放，严禁抛掷或从运输车上一次性下料，减少噪声的产生。
- 6) 钢材等材料的切割、焊接施工须在指定的工作棚内进行，以减少噪声扩散。
- 7) 临时设施建设施工安排在白天进行，且尽量避免在中午（12:00~14:00）期间进行强噪声作业。

#### （3）污染土壤清挖环节噪声污染防治措施

污染土壤清挖环节噪声主要来源于挖掘机的施工噪声，针对污染土壤清挖产生的噪声，开挖机械选择应符合环保标准，且操作人员需经过环保教育，定期对挖机进行保养，维持施工机械良好的工作状态。

#### （4）污染土壤修复处理环节噪声污染防治措施

污染土壤固化稳定化处理及热脱附处理环节噪声主要来源于筛分破碎斗、运输车辆及热脱附设备的施工噪声，针对污染土壤修复处理产生的噪声，固定稳定化处理机械、热脱附处理设备、运输车辆选择应符合环保标准，且操作人员需经过环保教育，定期对筛分破碎斗及运输车辆进行保养，维持施工机械良好的工作状态。此外，污染土壤固化稳定化和热脱附处理作业尽量安排在白天进行，并尽量避免在中午（12:00~14:00）期间进行强噪声作业。

#### （5）基坑回填环节噪声污染防治措施

在污染土壤清挖完成且基坑验收合格后，若需要对基坑进行回填，则需对回填施工环节的噪声进行控制。建议采取的主要措施如下：

1) 所选挖掘机、推土机等施工机械应符合环保标准，操作人员需经过环保教育。

2) 按照要求定期对挖掘机、推土机等施工机械定期进行保养，维持施工机械良好的工作状态。

3) 施工作业安排在白天进行，并尽量避免在中午（12:00~14:00）期间进行强噪声作业。

#### (6) 临时设施拆除环节噪声污染防治措施

修复工作完成后前需前期建设的临时设施进行拆除，拆除过程中使用的施工人员较多，并有吊车等大型设备在现场，拆除施工过程中会产生较多噪声，针对上述情况，拟采取的主要措施如下：

1) 施工现场提倡文明施工，建立健全人为噪声控制管理制度。

2) 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。

3) 严禁在钢管、机械上敲打金属形式联系操作人员。

4) 施工过程中各类材料搬运及装车，要求做到轻拿轻放，严禁抛掷，减少噪声的产生。

5) 所选吊车、运输车等施工机械应符合环保标准，操作人员需经过环保教育。

### 7.3.5 固体废弃物污染防治措施

根据对本项目污染土壤与地下水修复施工各环节土壤环境影响因素的识别与分析，下面就本项目各施工环节所采取的固/液体废弃物污染防范措施逐一介绍。

#### (1) 建筑垃圾堆置环节污染防治措施

在建筑垃圾冲洗环节，高压水枪冲洗建筑垃圾后形成污水，在筛上物冲洗区周边设置一圈排水沟，污水汇集至沉砂池后导排至北区水处理设备进行集中处理，形成的沉淀污泥经简单脱水处理后根据其类别与相应污染土壤一并进行修复处理处置。

### (2) 污染土壤修复环节污染防范措施

在场地修复环节，尾气处理设备产生的废活性炭全部作为危险废物，委托有资质的单位进行处置。最终废活性炭处置量以实际发生为准。

### (3) 污水处理环节污染防范措施

在污水处理环节，水处理药剂的包装袋/箱、水处理产生的废活性炭及污泥等均会带来固体废弃物环境影响，拟采取的主要措施如下：

1) 污水处理过程中产生的药剂包装袋/箱，设立专门的废弃物临时贮存场地，全面管理废弃物的存放、收集及处理并对整个施工现场的废弃物处理进行监督，发现有不当做法及时纠正。



图 7-16 药剂包装袋收集存放示意图

2) 针对北区水处理设备产生的废活性炭，拟参考《国家危险废物名录》(2016版)的危险废物进行处理处置，在施工结束后委托具有相应危险废物处理处置资

质的专业单位进行处置。

3) 北区水处理设备调节池、混凝沉淀单元等设备设施产生的污泥，收集后有危废处置资质的单位外运处理，污水处理污泥收集处理过程参照图 7-17 所示。



图 7-17 污水处理产生污泥收集处理示意图

#### (5) 办公生活区固体废弃物污染防范措施

办公生活区产生的各种瓶子、打印废纸、废塑料袋及餐厨垃圾等生活垃圾会产生固体废弃物，对环境造成影响，拟采取的主要措施如下：

1) 本项目设专职人员负责卫生打扫及垃圾收集，产生的生活垃圾经分类收集后，由当地环卫部门统一外运作进一步处置。

2) 全面管理废弃物的存放、收集及处理并对整个施工现场的废弃物处理进行监督，发现有不当做法及时纠正。

#### (6) 临时设施拆除环节污染防范措施

在临时设施拆除环节，产生的建筑垃圾、药剂桶、废弃防水膜、废弃防水膜、废弃防尘网等固体废弃物会对环境造成影响，拟采取的主要措施如下：

1) 对建筑拆除施工过程中产生的建筑材料等，设立专门的临时贮存场地，分类存放，后期进行二次利用。

2) 废弃物外运选择有准运证的单位进行处理，要求外运的车辆必须将废弃

物覆盖严实，运输过程中不得出现遗洒。

3) 对拆除施工中产生的药剂桶进行清洗，清洗的液体能进行二次利用，清洗后的药剂桶可回收使用。

4) 可回收利用的防水膜、防尘网等应回收利用，施工生产中应加强管理尽量减少废弃物产生量。

5) 因使用过程已损坏，不能进行二次利用的防水膜、防尘网等，为减少堆放对环境产生的影响，采用高压水枪进行冲洗，冲洗后的污水进入污水处理站，冲洗后的固体废弃物则作为生活垃圾中可回收部分进行分类堆放。

## 7.4 环境风险防范及应急预案

### 7.4.1 人员安全防护计划

根据针对本项目污染土壤修复施工过程中可能的环境风险进行的识别与评估，本项目拟采用的人员安全防护计划措施如下：

#### (1) 职业健康危害防范措施

本工程严格遵守《职业病防治法》，认真贯彻“预防为主、防治结合”的方针，严格执行《工业企业设计卫生标准》、《工作场所有害因素职业接触限值》等有关国家职业卫生标准，加强职业卫生保护，创造符合国家职业卫生标准和卫生要求的工作环境和条件。各主要防范措施如下：

#### 1) 防毒、防化学伤害措施

(a) 化学药品放置放在阴凉干燥处，对室内堆放化学药品的场所设置机械通风装置；

(b) 在呼吸区域使用光离子化检测器（PID）进行挥发性有机污染物气体的现场浓度监测；

(c) 在已知污染物浓度可能超过特定行动等级的区域采用适当的呼吸防护；

(d) 通过监测显示何时超过行动等级并必须升级个人防护器材，从而降低风险；

(e) 使用适当的个人防护器材，如防护服、手套等，并采取正确的清洁步骤来控制化学品的皮肤接触；

(f) 在场地工作区域任何时间禁止吸烟、喝水（包括酒，饮料）或进食，在离开工作区域时应该迅速洗手、洗脸。

## 2) 防尘伤害措施

(a) 对于场地内施工过程中容易产生扬尘的位置采取遮盖、封闭、降尘、抑尘、除尘等措施较少和消除扬尘；

(b) 使用适当的个人防护器材，如防护服、手套等，并采取正确的清洁步骤来控制化学品的皮肤接触；

(c) 采取扬尘控制措施，例如在邻近区域洒水。

## 3) 防噪声伤害措施

(a) 对强噪声源采取降噪消声、隔声措施；

(b) 当噪音等级超过 85dBA 时，需使用噪音降低等级至少为 30dBA 的听力防护。员工或需要进入该区域的来访者需配备听力防护装置（如耳塞/耳罩）。

## 4) 防高温辐射、烫伤和防暑、防潮伤害措施

(a) 污染土壤修复大棚通风方式为机械通风结合自然通风降温；

(b) 办公室等人员集中处设置空调，夏季送冷风，改善工作条件；

## 5) 公告警示及个人防护措施

(a) 在场地入口等醒目位置设立公告栏，公布有关职业病防治的规章制度、操作规程、职业病危害事故应急救援措施和工作场所职业病危害因素检测结果。

(b) 在醒目位置设立职业病危害中文警示说明，写明产生职业病危害的种类、后果、预防以及应急救治措施等内容。

#### 6) 有机污染区域开挖人员安全防护

参加有机污染区域开挖施工的人员应提前对本区域污染物的性质进行充分地了解，并组织学习施工安全手册。施工过程中，所有人员尽可能在高处和上风处进行作业，并严禁单独行动。施工前根据污染物的性质和污染程度选择适当的防护用品，防止施工过程中发生中毒或伤亡等事故。在较高浓度有机污染区域作业时，采取轮班制，严禁长时间工作。

#### 7) 修复人员安全防护

参加大棚内修复施工的人员应提前对本区域污染物的性质进行充分地了解，并组织学习施工安全手册。施工过程中，严禁单独行动。施工前根据污染物的性质和污染程度选择适当的防护用品，防止施工过程中发生中毒或伤亡等事故。在污染土壤修复大棚作业时，要保持废气处理常开，并也要实施轮班作业制，严禁长时间工作。

#### 8) 安全交底

需在工作中操作或使用危险原料的人员必须接受培训和教育。培训应包括化学物品的安全使用说明、危险原料的操作步骤、如何阅读和获取材料安全数据表（MSDS）以及正确标示的要求。对于现场中使用的化学品，项目人员应有合适的材料安全数据表。所有在受控工作区，尤其是浓度较高的有机污染区域内不得个人单独工作。

### (2) 特殊劳动防护用品的选用

#### 1) 呼吸类劳动防护用品的选择

合理的选择不同防护等级的防护用品需根据污染物的浓度，毒性综合考虑，同时要顾及的操作的方便性，及气候条件。呼吸类防护用品的选择见表 7-4。

表 7-4 呼吸类用品选择原则

有害环境	适用的呼吸防护用品种类
------	-------------

			自吸式过滤式						
			防毒		防尘		防毒、防尘		
			半面	全面	半面	全面	半面	全面	
氧气浓度未知或缺氧<18%			不可使用（只能使用自携气式呼吸防护用品）						
IDLH 环境			不可使用（只能使用自携气式呼吸防护用品）						
不缺 氧且 空气 污染 物浓 度已 知	空气污染物为 有毒有害气体 或蒸气	危 害 因 素	<10	√	√			√	√
			<25		√				√
			<50		√				√
			<100		√				√
			>100	需选用防护等级更高产品					
	空气污染物为 颗粒		<10			√	√	√	√
			<25				√		√
			<50				√		√
			<100				√		√
			>100	需选用防护等级更高产品					
	空气污染物为 复合污染时		<10					√	√
			<25						√
			<50						√
			<100						√
			>100	需选用防护等级更高产品					

根据以上选择原则，我公司拟配备以下呼吸类劳动防护用品：3M 防尘口罩 9002V、3M 防护口罩 9042A、3M 防尘面具 3200(为半面罩，需配合 301+3N11+385 使用)，各类型防护口罩见图 7-18 所示。

若经对现场空气中污染物进行检测，污染物浓度过高或出现其他新的情况，现有的劳动防护用品不能满足需要时，需配置更高防护等级的防护用品，如压风式、自携气式呼吸防护用品。



3M 防尘口罩 9002V



3M 防护口罩 9042A



3000 系列面具防尘组合

3M 防尘面具 3200

图 7-183M 防尘口罩示意图

## 2) 防接触类劳动防护用品的选用:

在进入皮肤或眼睛有接触污染土壤或污水和有毒有害物高浓度环境时,需选择使用防直接接触劳动防护用品。结合本项目的特点,我公司拟配备以下防接触类劳动防护用品:斯博瑞安(巴固)防化手套、莱尔防化靴、3M 防腐蚀液护目镜,各类型接触类劳动防护用品见图 7-19 所示。



斯博瑞安（巴固）防化手套



莱尔防化靴



防腐蚀液护目镜

图 7-19 常用防护用品示意图



图 7-20 安全防护用品穿戴示意图



图 7-21 药剂搬运过程中安全防护用品穿戴

## 3) 本项目劳动防护用品选择方案

依据以上选择原则和项目特点的，本项目特殊劳动防护用品选择方案见表 7-5 所示。

表 7-5 本项目特殊劳动防护用品选择方案

作业区域	室外流动作 业	污染土壤开 挖区	污染土壤处 理区域	水处理设备
3M 防尘口罩 9002V				
3M 防护口罩 9042A	√	√		√
3M 防尘面具 3200 (配合 301+3N11+385 使用)		√		
3M 防毒面具 6800 (配合 3M 滤毒盒 6006 使用)		√	√	
斯博瑞安(巴固) 防化手套		选用	√	选用
莱尔防化靴		选用	√	选用
3M 防腐蚀液护目镜		选用	√	√
建议使用	3M 防护口罩 9042A	3M 防护口罩 9042A		

作业区域	室外流动作 业	污染土壤开 挖区	污染土壤处 理区域	水处理设备
备注	1、有皮肤接触污染土壤可能时选用防护手套和防化靴。 2、眼睛不适时选用护目镜。 3、当感觉不适时，应选择更高防护等级的劳保用品或暂时离开现场。		在大棚内操作时要注意保持同外部联系，严禁单独作业	当有皮肤直接接触污染土壤的可能时要选用防护手套和防化靴

#### 4) 特殊劳保用品使用中注意事项

(a) 防护口罩、面罩使用前要仔细检查有无破损，确保正常后按要求佩戴。

(b) 防护服、手套、靴子和防护眼镜在使用前和使用时要检查是否存在如下情况：化学渗透的明显痕迹、膨胀、褪色、变硬、变脆、裂缝以及任何刺穿的痕迹和磨损的痕迹。如果存在以上特征，可重复使用的手套、靴子或连体工作服也应被抛弃。在已知或怀疑存在高浓度化学品的区域工作时，不应重复使用个人防护器材。

(c) 较高浓度有机污染区域施前应组织专项的教育，对污染物的性质进行充分地了解。施工过程中，所有人员尽可能在高处和上风处进行作业，并严禁单独行动。工作采取在高浓度污染轮班制，每个班组工作 40 分钟需进行轮换，并安排专人管理。

(d) 在污染土壤修复作业时，实施轮班作业制，严禁长时间工作。每个班组工作 40 分钟需进行轮换。随身携带对讲机的通讯设备，严禁单独作业。

### 7.4.2 环境应急预案

为了确保重大环境污染发生以后，项目部能迅速、高效、有序地开展重大环境污染源的治理及善后工作，采取切实有效的措施及时控制污染源，及时制止重大环境污染源的继续发生和恶化，最大限度地降低对环境的污染，特制定本工程重大环境污染应急准备和响应预案。

### （1）重大环境危害分析

在施工过程中本项目可能发生的环境污染事故识别与分析详见章节“7.1.2 环境风险识别与评估”。

### （2）组织体系及职责

应急救援组织体系包括“应急救援工作领导小组”和“事故应急处置与善后小组”。

#### 1) 应急救援工作领导小组

总指挥：对应急救援工作负总责，负责建立应急救援组织体系，为应急救援工作提供人力、物力支持，当事故发生时对救援工作进行总指挥。

副总指挥：总指挥不在时，履行总指挥职责。

组员：职责是为其日常工作的开展提供人力、物力、财力支持，以及各项内容的落实。

#### 2) 事故应急处置与善后小组

设置总指挥 1 人，副总指挥 1 人，下设救援资源保障小组、现场伤员抢救小组、设备抢险小组、保卫小组、善后处理小组，共 5 个小组。

总指挥：负责事故现场救援行动的总体指挥工作。判断是否启动应急预案，是否上报上级救援机构和是否需要上级协作；组织调查和评估事故的可能发展方向，以预测事故的发展过程；指导危险设施的全部或部分停止运行，并与现场事件管理人员和关键岗位的人员配合，指挥危险源现场人员撤离；与消防人员、地方政府和政府安全监管人员保持密切联系；对难以解决的紧急情况做出安排；在事故紧急状态结束之后，安排恢原受事故影响地区的正常秩序。

副总指挥：配合总指挥做好现场抢险的指挥工作，在总指挥不能及时到场的时候执行总指挥的职责。

资源保障小组：根据事故类别，负责召集抢险救援的人员；协调有关单位提

供各类应急装备、器材和物资，确保抢险救援所需的人力、物资、设备、资金。必要时，请求上级救援组织或地方政府机构协调、协助救援。

**现场伤员抢救小组：**根据现场伤员的受伤情况，确定伤员抢救的临时处置方案，在资源保障小组的配合下，以最快的速度 and 最安全的方式把伤员运送到医疗机构救治。

**设备抢险小组：**在出现人员伤亡、设备损坏的情况下，根据设备出险情况，向总指挥提出抢险方案，组织设备抢险方案的实施。在需要设备辅助救援时，联络相关设备，保证救援工作实施。

**现场保卫小组：**负责事故现场的安全保卫、治安管理和交通疏导工作；组织疏散、撤离、危险区域内的人员、物资；根据事故现场情况，设置警戒区，严格控制进出人员及车辆，预防和制止各种不利于社会稳定的活动，维护现场治安；并负责安排抢险救援人员的膳食。

**善后处理小组：**根据实际情况，协调安全监督、公安、工会、保险公司等相关部门，组织对伤亡人员的处置和身份确认；及时通知伤亡人员家属，做好相应的接待和安抚解释工作，稳定伤者、伤亡人员家属及其相关人员的情绪，防止出现不稳定的局面；及时向指挥部报告善后处理的动态。

### （3）预防与预警

#### 1) 预防措施

（a）挖掘环节，在保证安全的前提下，尽量减小土壤挖掘面的大小。在进行场地清理作业时，应在作业前、作业中对作业表面洒水防尘。

（b）运输环节要制定运输路线，修整运输通道，运输车尽量保持低速匀速行驶，车辆装载污染土壤后严密覆盖，密闭车厢才能驶离。

（c）污染水必须经过处理之后方可再利用，严禁排放，同时设有应急的调节池，一旦出现临时污水量过大的情况，可将一时无法处理的污水暂存。

(d) 所有密闭大棚膜材料均为合成纤维材料，具有拉伸强度高、抗老化等优点，不易破损；同时在项目现场备用一部分膜材，一旦出现膜破裂的情况，可直接用胶水进行粘接。

(e) 本项目尾气处理装置设置两个活性炭吸附单元，当其中一个单元失效时，可立即切换至备用活性炭吸附单元。

## 2) 预警行动

一旦发现有紧急突发事件的可能性时，要立即进行以下预警：

(a) 符合应急启动条件的应立即启动本预案。

(b) 通知应急救援组进入预警状态，采取有效的预防措施。

(c) 应急领导小组随时跟踪事态发展，对可能或发生的重特大事件进行风险评估，得出事件发展趋势及应急措施。

预警结束后，应急小组宣布预警解除。

## (4) 信息报告程序

1) 目击者立即向现场施工负责人汇报。

2) 施工负责人在下达应对措施或停止施工命令的同时，组织现场人员进行补救。

3) 应急小组了解情况后，启动应急预案。

## (5) 应急处置

1) 施工现场发生一般的环境（如噪声超标）污染，项目环境污染应急响应组组织上相关人员及时处理、中止施工，并制定相应的处理方案及采用有效措施，确保能达标时方可继续施工。

2) 当施工现场发生为重大的环境污染（如密闭大棚破损等），项目部应及时组织人员进行抢险。同时采取有效措施，切断污染源及时制止污染的后续发生，并及时上报项目部。

3) 对很严重的环境污染发生(如火灾发生、大量有害有毒化学品泄漏)后,要首先保护好现场,组织人员进行自救并立即向项目部上报事件的初步原因、范围、估计后果。如有人员在该严重的环境污染中受到人身伤害,则应立即向当地医疗卫生部门(120)电话求救。同时通知项目部及环保部门进行环境污染的检测。项目部管理人员赶赴现场,按各自职能组织处理事故。

4) 当火灾发生后遵循消防预案有关规定,采取切实有效措施最快速度切断火源,断绝火点,控制火势及熄灭火灾。并做好现场的有效隔离措施,及火灾的善后处理工作。及时组织地分类清理、清运,最大限度地减少环境污染;当发生大量有害有毒化学品泄漏后,应及时采取隔离措施,采取适当防护措施后及时清理外运,或采取隔离措施后及时委托环保部门处理、检测,以求将环境的污染降低到最低限度。

5) 立即组织安全自查自纠、消除隐患,确保施工安全;立即组织对全体施工作业人员的举一反三环境保护安全再教育,提高安全防范意识,做到遵章守纪,防止同类事故发生。

#### (6) 事故处理

##### 1) 补偿处理

按国家有关法律、法规和规定,做好事故的善后人员伤亡和环境破坏经济补偿事宜。

##### 2) 调查分析

对事故原因调查分析,确定责任和应该吸取的教训。

##### 3) 事故处理

根据事故调查结果,对产生事故的责任人或责任部门依照相关法律法规,提出事故处理意见。

##### 4) 事故总结

事故处理完毕后，认真总结经验教训，完善管理，对事故后的处理过程认真分析总结、防范措施及应急预案进行补充和修改。

#### 5) 事故报告

按照《生产安全事故报告和调查处理条例》的要求，决定是否要上报事故。一旦需要，要按照文件要求进行。

##### (a) 上报的部门

发生安全事故后，项目部向公司安全生产部及建设单位等相关单位汇报。

##### (b) 事故报告应包括以下内容：

- (一) 发生事故的单位、时间、地点、报告人及联系电话。
- (二) 事故的简要经过、伤亡人数、财产损失的初步估计。
- (三) 事故原因、性质的初步判断。
- (四) 事故抢救处理的情况和采取的措施。
- (五) 需要有关部门协助抢险救援和事故处理的有关事宜。

##### (7) 恢复生产

事故发生以后，项目部在处理事故时，在确认危险已经解除且经公司领导机构和建设单位等相关单位同意的前提下，应尽快组织人员恢复生产，避免影响施工生产进度。

## 7.5 修复过程环境监测方案

### 7.5.1 过程环境监测目的

工程施工一般均会造成一定程度的环境影响，加之本工程作为污染场地治理项目，污染土壤中存在重金属砷污染及有机物多环芳烃、石油烃污染，若疏于管理，在施工过程中，污染物将会通过扬尘、污水、地下扩散等途径对周边环境造成污染风险，危害较大。因此，制定准确可行的环监测方案，对施工环境及周围

环境进行严密监控，保障施工安全和周边环境不受污染影响。

监测过程以项目部的日常巡检结合第三方检测机构采样检测方式进行，确保施工过程中施工场区内环境安全以及周边环境不受二次污染。根据《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估技术文件审查要点》的要求，修复过程监测需由场地责任单位委托第三方监测机构实施，修复过程中环境监测样品的采集由第三方监测机构执行，并对样品负责。

### 7.5.2 过程环境监测内容

修复工程过程环境监测将通过大气环境、水环境（场区水、地下水）、和声环境三个方面展开，确保环境监测工作的科学性、全面性和准确性。

### 7.5.3 大气环境质量监测方案

为判断污染物在场地内部和场地外大气环境中的扩散量和残留量是否符合相关的国家及地区安全标准，确保贮存和处置现场工人短期接触的职业健康安全和周边社区居民健康安全，需对施工全过程的大气环境质量进行监测。此外，为确定施工开始前与施工结束后场地及周边空气中污染物的含量与污染状况，即提供对比验证背景值，施工前后需对场地内和场地外大气介质中污染物浓度进行监测。

场地大气环境质量标准参照《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）执行，施工过程中的排放为无组织排放，因此排放标准执行无组织排放监控浓度限值。

#### 1、监测范围

场地治理修复过程中，监测范围即为治理修复过程中确定的场地修复范围以及周边敏感点。

#### 2、监测项目

监测项目为颗粒物、苯并[a]芘、非甲烷总烃、砷及其化合物、总 VOCs 等。

### 3、监测点位布设

根据《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T55-2000)、《广州市环境保护局办公室关于印发广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估文件技术要点的通知》(穗环办(2017)149号)的要求,需在场地边界设置监控点,监控点的布置需适当靠近场区附近的环境敏感点。南区边界外1m各设置3个采样点,北区热脱附预处理大棚、热脱附出口采样点和固化/稳定化处置大棚分别布置1个。结合现场敏感点位置布置,采样点分布见下图。

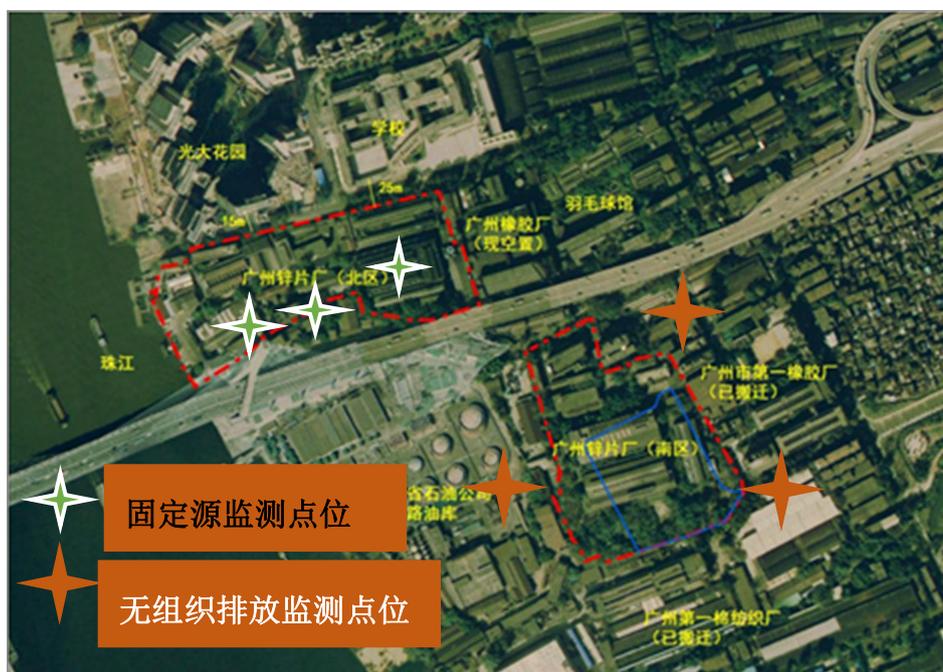


图 7-22 大气监测点位置示意图

### 4、监测指标及评价标准

本项目实施过程中可能对大气环境造成影响的主要因素为粉尘、挥发性有机物及恶臭等,依据《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)及《环境空气质量标准》(GB3095-2012)等标准,确定本项目烟囱排气及空气质量的主要检测指标包括颗粒物、非甲烷总烃、苯并[a]芘和总 VOCs 等。

场地边界监测点,针对颗粒物、非甲烷总烃指标按照《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)第二时段无组织排放监控浓度限值执行;总 VOCs 参照《挥发

性有机物无组织排放控制标准》（征求意见稿）规定的企业边界限值来评价。监测指标对应的浓度限值见表 7-6。

表 7-6 边界点大气环境监测指标浓度限值

监测指标	监控浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	执行或参考标准
颗粒物	1.0	《大气污染物排放限值》 (DB44/27-2001)
苯并[a]芘	0.008μg/m <sup>3</sup>	
非甲烷总烃	4.0	
砷及其化合物	0.010	
总 VOCs	4.0	《挥发性有机物无组织排放控制标准》（征求意见稿）

### 5、采样频率

结合项目特点，每季度监测 1 次。

## 7.5.4 水环境质量监测方案

### (1) 场区水环境监测方案

场区水环境质量监测的主要目的为保证场区内处理后污水再利用时，水质满足相关标准要求。进入污水处理站的污废水包括建筑垃圾冲洗废水、洗车废水等。施工过程中产生的污废水统一收集进入北区水处理设备，污水处理后水质常规指标需达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）中车辆冲洗标准限值，特征污染物指标总有机碳参考《水污染排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级排放标准限值要求，特征污染物指标总砷和苯并[a]芘需达到《水污染排放限值》（DB44/26-2001）第一类污染物最高允许排放浓度后，方可进行再利用。场区水环境质量监测由场地责任单位委托第三方检测机构进行相关污染指标的测定。

#### 1) 监测点位设置

监测点位布设在北区水处理设备出水口。

#### 2) 监测频率

清水池自检频率根据排放时间确定，在废水排放前进行检测。

### 3) 监测采样要求

根据《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估技术文件审查要点》的要求，修复过程监测需委托第三方监测机构实施，样品的采集也由第三方监测机构进行，并对样品负责。以下采样的原则和要求可供第三方检测单位参考：

样品采样和分析检测方法严格依照《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T91-2002）的相关要求进行。现场检测员采集水样时，应在水处理设备正常运行时进行，用样品容器直接采样时，必须用水样冲洗三次后再进行采样。每一次采样，根据检测指标分别采用不同的样品瓶装样，如有需要还应加入相应的保存剂。

### 4) 监测指标及评价标准

污水处理后水质常规指标需达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）中车辆冲洗标准限值、特征污染物指标总有机碳需达到《水污染排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级排放标准限值，特征污染物指标总砷和苯并[a]芘需达到《水污染排放限值》（DB44/26-2001）第一类污染物最高允许排放浓度后，方可进行再利用。

根据水样品的检测结果，并与标准限值对比，若排放污染物超标，则需立即停止作为冲洗用水或再利用，并分析处理不达标的原因，进行及时处理，待处理水质检测结果达标后才能再利用，污水处理后再利用检测指标及评价标准见表 7-7。污水处理后再利用水质监测指标检测分析方法见表 7-8。

表 7-7 污水处理后再利用监测指标及评价标准限值

序号	污染物	浓度（mg/L）	参考标准
1	pH	6-9	《城市污水再生利用城市杂用水水质》 （GB/T18920-2002）
2	色度	30	
3	浊度	5	

序号	污染物	浓度 (mg/L)	参考标准
4	溶解性总固体	1000	《水污染排放限值》(DB44/26-2001) 第一类污染物最高允许排放浓度
5	总有机炭	20	
6	总砷	0.5	
7	苯并[a]芘	0.00003	
8	石油类	5	

表 7-8 污水处理后再利用监测指标及评价标准限值

序号	指标	检测方法
1	pH	pH 电位法(GB/T5750)
2	色度	铂-钴标准比色法 (GB/T5750)
3	浊度	分光光度法 (GB/T5750)
4	溶解性总固体	重量法(烘干温度 180℃) (GB/T5750)
5	总有机炭	非色散红外分析法 (GB13193)
6	总砷	二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法 (GB7485)
7	苯并[a]芘	乙酰化滤纸层析荧光分光光度法 (GB11895)
8	石油类	水质石油类的测定紫外分光光度法 (试行) (HJ970-2018)

## (2) 地下水监测

对于地下水流向及地下水位,结合环境调查结论间隔一定距离按三角形或四边形布置 3-4 个点位监测判断。地下水监测点位沿地下水流向布设,在地下水流向上游、地下水可能污染较严重区域和地下水流向下游分别布设监测点位。根据监测目的、所处含水层类型及其埋深和相对厚度来确定监测井的深度,且不穿透浅层地下水底板。地下水监测目的层与其他含水层之间要有良好止水性,一般情况下采样深度在监测井水面下 0.5m 以下。在地下水流向上游的一定距离设置对照监测井。



图 7-23 地下水监测点位置示意图

### 7.5.5 声环境质量监测方案

本修复工程中主要的噪声来自于施工使用的挖掘机、运输机械、水泵、发电机、原位搅拌、异位热脱附等机械设备。

修复工程实施过程中，机械设备产生的噪声需定期监测。测量时尽量选择无雨、无雪、风力 6 级以下的天气进行，且选在场地平坦、无大反射物的场地中进行。

#### 1、监测点的确定

按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)中规定，在“场界有围墙且周边有敏感建筑物”情况下布设噪音监测点，监测点应设置在厂界外 1m，高于围墙 0.5m 的位置。因此该场区监测点沿场地边界布设。在南区场区布置 3 个噪声监测点，具体布点如下图。

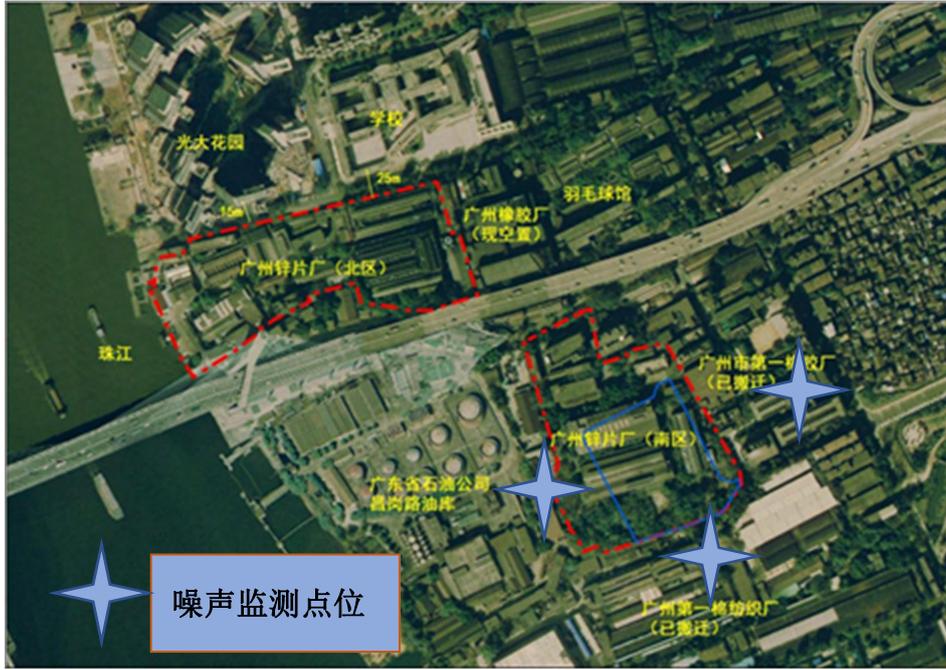


图 7-24 噪声监测点位置示意图

2、测量气象条件

测量选在无雨雪、无雷电的天气，风速为 5m/s 以下进行。

3、采样方法与频率

采用积分声级计采样，以 20min 的等效 A 声级表征该点的噪声值。白天测量选在 8:00~12:00 时或 14:00~18:00 时，夜间选在 22:00~6:00 时。在工程稳定运行期每月监测一次。

4、评价标准

按照施工期间的环保要求，施工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) 标准，即昼间 70dB (A)，夜间 55dB (A)。

表 7-9 建筑施工场界环境噪声排放限值

昼间 dB(A)	夜间 dB(A)
70	55

7.5.6 修复过程环境监测基本要求汇总

修复过程环境监测基本要求见下表。

表 7-10 修复过程环境监测基本要求

序号	监测位置	监测项目	采样点位	参考标准规范	检测因子	检测频率
1	项目现场	基坑土壤	基坑侧壁及坑底	《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2014） 《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估文件技术要点》（2017年8月）	砷、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃	清挖完成后检测
		修复后土壤	修复后土壤养护区	《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2014）	pH、砷（浸出浓度）、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃	回填前检测
		废水	清水池	《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2014） 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）	pH、色度、浊度、溶解性总固体、总有机炭、总砷、苯并[a]芘	废水排放前检测
		大气	场界外 1m 设置 5 个采样点（南区和北区），热脱附尾气排放口 1 个	《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T55-2000） 《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)	颗粒物、苯并[a]芘、非甲烷总烃、砷及其化合物、总 VOCs	1 次/季度
		噪声	在南区和北区场区各布置 3 个噪声监测点	《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2014） 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）	$L_{Aeq}$	1 次/月

## 8 修复过程自验收监测方案

### 8.1 自验收目的

对场地污染修复效果进行自验收监测，准确掌握土壤中目标污染物去除情况，确定修复终点，及时开展后续修复效果评估工作。

### 8.2 自验收内容

修复工程自验收监测主要包括三方面内容：一是对清挖完成的基坑进行自验收监测，在确定基坑已经按照《详细调查与风险评价报告》确定的污染区域边界清挖到位的前提下，对基坑的侧壁和底部采集土壤样品进行分析，检验污染土壤是否已经清挖完成；二是对修复完成的土壤进行自验收监测，确保土壤的修复质量满足污染物修复目标的要求；三是对冲洗后的建筑垃圾进行自验收监测，确保污染建筑垃圾被冲洗干净，无污染物粘附。

### 8.3 自验收工作流程

污染区域的土壤按照《详细调查与风险评价报告》确定的边界及深度清挖完成后，对基坑各拐点和基坑底部标高及时进行验收确认，然后对基坑侧壁及底部分别划分采样段及采样网格，采集侧壁和坑底土壤样品，监测污染土壤是否清挖干净。如果侧壁或者坑底局部仍有污染存在，当进一步清挖，直至检测合格为止。当确认基坑清挖完成并检测合格自验收通过后，可向监理单位申请修复效果评估。

本项目经固化稳定化处理后的重金属污染土壤在固化/稳定化处置后重金属养护区堆置养护，有机污染土壤在异位热脱附处置后有机待检区进行堆置养护，对养护结束的土壤堆体划分网格、采样送检，检测合格的土壤可进入下一工序进行回填，检测不合格的土壤返回修复处理工序进行再次处理。

本项目经冲洗后的干净建筑垃圾暂存于筛上物堆置待检区内，对冲洗后暂存的干净建筑垃圾进行划分网格、采样送检，检验合格后干净建筑垃圾可用于基坑回填。

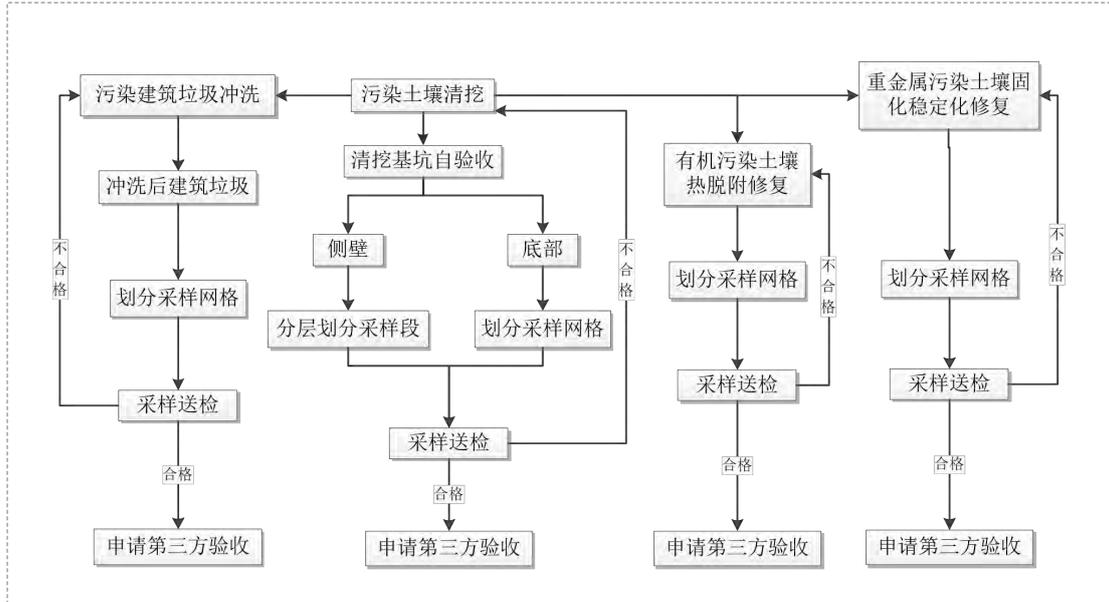


图 8-1 场地修复效果自验收监测工作流程图

### 8.4 自验收对象及评价标准

本项目修复效果自验收监测的对象主要包括以下几项内容，针对不同的验收对象应采用对应的验收标准。

a) 场地内污染土壤清挖后遗留的基坑

该场地内污染土壤清挖后基坑以《详细调查与风险评价》确定的修复目标值作为验收标准，验收指标为场地修复的目标污染物，污染土壤清挖后遗留的基坑验收指标及其标准限值如表 8-1 所示。

表 8-1 污染土壤基坑验收指标及其标准限值

序号	污染指标	土壤清挖边界目标值 (mg/kg)
1	砷	60
2	苯并(b)荧蒽	5.5
3	苯并(a)芘	0.55
4	二苯并(a,h)蒽	0.55
5	石油烃	826

b) 固化稳定化修复后的土壤

表 8-2 固化稳定化修复处理后的土壤的验收指标及其标准限值

序号	污染物类型	污染物	浸出浓度 (mg/L)
1	重金属	砷	0.05

d) 热脱附修复后的土壤

表 8-3 热脱附修复处理后的土壤的验收指标及其标准限值

序号	污染指标	土壤清挖边界目标值 (mg/kg)
1	苯并(b)荧蒽	5.5
2	苯并(a)芘	0.55
3	二苯并(a,h)蒽	0.55
4	石油烃	826

## d) 冲洗后建筑垃圾

对于采用高压水工艺冲洗的污染建筑垃圾,以土壤修复目标值作为验收标准,验收指标为场地修复的目标污染物,经高压水冲洗后的建筑垃圾的验收指标及其标准限值如表 8-4 所示。

表 8-4 冲洗后建筑垃圾验收指标及其标准限值

序号	污染指标	修复目标值 (mg/kg)
1	砷	60
2	苯并(b)荧蒽	5.5
3	苯并(a)芘	0.55
4	二苯并(a,h)蒽	0.55
5	石油烃	826

## 8.5 污染土壤清挖效果自验收监测方案

### 8.5.1 采样布点方案

#### (1) 基坑侧壁布点

依据《广州工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点》，根据基坑大小和污染强度，将侧壁等分成段，每段最大长度不应超过 40m，在每段均匀采集 9 个表层土壤样品制成混合样测重金属污染物含量。

当修复深度小于等于 1m 时，侧壁不进行垂向分层采样。当修复深度大于 1m 时，侧壁应进行垂向分层采样，第一层为表层土（0-0.2m），0.2m 以下每 1-3m 分一层，不足 1m 时与上一层合并。各层采样点之间垂向距离不小于 1m，采样点位置可依据土壤异常气味和颜色，并结合场地污染状况确定。

结合《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）中推荐的基坑侧壁采样点数量详见表 8-5。当基坑深度大于 1m 时，侧壁应进行垂向分层采样，应考虑地块土层性质与污染垂向分布特征，在污染物易富集位置设置采样点，各层采样点之间垂向距离不大于 3m，具体根据实际情况确定。

表 8-5 基坑侧壁推荐最少采样点数量

基坑面积 (m <sup>2</sup> )	侧壁采样点数量 (个)
x<100	4
100≤x<1000	5
1000≤x<1500	6
1500≤x<2500	7
2500≤x<5000	8
5000≤x<7500	9
7500≤x<12500	10
x>12500	采样点间隔不超过 40m

在土壤修复区域的污染土壤开挖完毕后，对开挖区域的侧壁和底部进行 1 次取样检测，作为清挖效果自验收监测。结合《广州工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点》及《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）采样布点要求，本项目基坑侧壁布点采样送检数量统计见表 8-6。

表 8-6 污染区域基坑侧壁布点采样送检数量

序号	基坑深度	采样区域周长 (m)	采样区域面积 (m <sup>2</sup> )	采样区域分段 (段)	推荐最少采样点数量	采样区域分层 (层)	每段采集样品个数 (个)	侧壁送检数量 (个)
1	0-1.5m	191.6	1554.8	5	7	2	1	14
2	1.5-3m	120.3	517.1	4	5	2	1	10
3	1.5-3m	57.4	103.0	2	5	2	1	10
4	3-5m	73.7	142.9	2	5	2	1	10
合计								44

### (2) 基坑底部布点

依据《广州工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点》，将底部均分采样单元，每个单元的最大面积不应超过 400m<sup>2</sup>，在每个采样单元中均匀分布地采集 9 个表层土壤样品制成混合样测重金属污染物含量。

结合《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）中推荐的基坑侧壁采样点数量详见表 8-7。

表 8-7 基坑底部推荐最少采样点数量

基坑面积 (m <sup>2</sup> )	坑底采样点数量 (个)
x<100	2
100≤x<1000	3
1000≤x<1500	4

基坑面积 (m <sup>2</sup> )	坑底采样点数量 (个)
1500≤x<2500	5
2500≤x<5000	6
5000≤x<7500	7
7500≤x<12500	8
x>12500	网格大小不超过 40m×40m

本项目基坑底部布点采样送检数量统计见表 8-8。

表 8-8 污染区域基坑底部布点采样送检数量

序号	采样区域面积 (m <sup>2</sup> )	采样区域分块 (块)	推荐最少采样点数量	每块采集样品个数 (个)	底部送检数量 (个)
1	1554.8	4	5	1	5
2	517.1	2	4	1	4
3	103.0	1	3	1	3
4	142.9	1	3	1	3
合计					15

### 8.5.2 现场采样及送检要求

在按要求完成采样点的布设后，土壤样品的现场采样参照《重点行业企业用地调查样品采集保存和流转技术规定（试行）》和《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166-2004）的相关要求进行。

#### （1）土壤样品采集的一般要求

用于检测含水率、重金属、SVOCs、石油烃指标的土壤样品，用不锈钢铲或表面镀特氟龙膜的采样铲将土壤转移至广口样品瓶内并装满填实。

采样过程应剔除石块等杂质，保持采样瓶口螺纹清洁以防止密封不严。

土壤装入样品瓶后，应及时将填写有样品详细信息的标签贴到样品瓶上，为了防止样品瓶上编码信息丢失，应同时在样品瓶用记号笔手写样品编码和采样日期，要求字迹清晰可辨。

土壤采样完成后，样品瓶需用泡沫塑料袋包裹，随即放入现场带有冷冻蓝冰的样品箱内进行临时保存。

#### （2）土壤平行样要求

土壤平行样应不少于单次采集总样品数的 10%，每次至少采集 1 份。平行样

应在土样同一位置采集，两者检测项目和检测方法应一致，在采样记录单中标注平行样编号及对应的土壤样品编号。

### （3）土壤样品采集拍照记录

土壤样品采集过程应针对采样工具、采集位置、土壤采样瓶土壤装样过程、样品瓶编号等关键信息拍照记录，每个关键信息至少 1 张照片以备质量控制。



图 8-2 土壤样品采集拍照记录示意图

### （4）其他要求

土壤采样过程中应做好人员安全和健康防护，佩戴安全帽和一次性的口罩、手套，严禁用手直接采集土样，使用后废弃的个人防护用品应统一收集处置；采样前后应对采样器进行除污和清洗，不同土壤样品采集应更换手套，避免交叉污染。

### （5）土壤样品保存

土壤样品保存方法参照《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166-2004）的要求进行。结合项目的实际情况，样品保存包括现场暂存和流转保存两个主要环节，应遵循以下原则进行：

1) 样品现场暂存。采样现场需配备样品保温箱，内置冰冻蓝冰。样品采集后应立即存放至保温箱内，样品采集当天不能寄送至实验室时，样品需用冷藏柜在 4℃ 温度下避光保存。

2) 样品流转保存。样品应保存在有冰冻蓝冰的保温箱内寄送或运送到实验室，样品的有效保存时间为从样品采集完成到分析测试结束。具体保存条件和有

效保存时间见表 8-9。

表 8-9 土壤样品的保存条件和保存时间

测试项目	容器材质	温度 (°C)	有效保存时 间 (d)	备注
重金属	玻璃 (棕色)	<4	180	样品箱 (具有冷藏功能) 用于 样品保存
半挥发性有机物	玻璃 (棕色)	<4	10	采样瓶装满并密封

### (6) 样品流转

#### 1) 装运前核对

样品装运前, 应将样品与采集记录单逐个核对, 检查无误后分类装箱, 如发现异常, 应及时查找原因, 并纠正。核对完成后, 应填写“样品送样单”, 包括样品名称、采样时间、样品介质、检测指标、检测方法和样品寄送人等信息, 样品运送单用防水袋或自封袋保护, 随样品箱一同送达样品检测单位。

样品装箱过程中, 要用泡沫材料填充样品瓶和样品箱之间空隙, 以晃动样品箱样品瓶不晃动为准。样品箱用密封胶带打包。

#### 2) 样品运输

样品流转运输应保证样品完好并低温保存, 采用适当的减震隔离措施, 严防样品瓶的破损、混淆或沾污, 在保存时限内运送至样品检测单位。

样品运输应设置运输空白样进行运输过程的质量控制, 一个样品运送批次设置一个运输空白样品。

#### 3) 样品接收

寄样人应对样品的寄送进度进行跟踪, 在确认样品检测单位收到样品箱后, 寄样人应立即与检测单位联系, 核实检查样品箱是否有破损, 按照样品送样单清点核实样品数量、样品瓶编号以及破损情况。若出现样品瓶缺少、破损或样品瓶标签无法辨识等问题, 应及时反馈给项目现场技术负责人, 对样品进行补采, 并查找出现问题的原因, 避免再次出现类似问题。

### (7) 检测

土壤样品检测由具有相应资质的单位进行, 本项目中土壤清挖效果自验收监测项目及检测方法见表 8-10。

表 8-10 土壤目标污染物检测方法

序号	污染指标	污染物检测方法	方法检出限 (mg/kg)
1	砷	电感耦合等离子体原子发射光谱法	1
2	苯并(b)荧蒽	半挥发性有机化合物 GC-MS 测试法	0.1~1
3	苯并(a)芘		
4	二苯并(a,h)蒽		
5	石油烃	土壤和沉积物石油烃的测定气相色谱法 (HJ1021-2019)	6~24

### 8.5.3 清挖效果评价方法

#### (1) 评价方法

参照《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》，污染土壤清挖效果自验收采用逐个对比法进行评价：

- 1) 当样本点检测值低于或等于修复目标值时，则认为清挖完全，达到验收标准。
- 2) 当样本点检测值高于修复目标值时，则认为未清挖完全，未达到验收标准。

#### (2) 超标点位处理

参照《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估技术文件审查要点》，对于超标区域根据检测结果确定二次清挖的边界，二次清挖后再次进行检测，直至达到相应要求。若基坑侧壁存在超标点位，则在该超标点位所代表的区段内继续向外扩挖 0.5m，如扩挖后再次检测还是不合格，则继续向外扩挖，直至检测合格为止；若基坑底部存在超标点位，则在该超标点位所代表的网格内继续向下清挖 0.5m，如扩挖后再次检测还是不合格，则继续向外扩挖，直至检测合格为止。

## 8.6 污染土壤修复效果自验收监测方案

本项目采用了多种修复技术进行污染土壤的修复治理,对于修复处理后的土壤进行采样检测,保证污染土壤修复治理清挖质量达标。

### 8.6.1 采样布点方案

本项目重金属污染土壤经固化稳定化处理后暂存堆置于固化/稳定化处置后重金属养护区,有机污染土壤经热脱附处理后暂存堆置于异位热脱附处置后有机待检区。依据《广州工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点》,根据修复后重金属污染土壤和有机污染土壤土方量,在堆体上表面按照 500 方/格的频次划分采样网格。在每个网格内设置 2 个采样点取样进行送检。结合《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)》(HJ25.5-2018)中推荐的采样点数量详见表 8-11。

**表 8-11 堆体模式修复后土壤最少采样点数量**

堆体体积 (m <sup>3</sup> )	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



**图 8-3 修复后土壤堆体采样网格划分参照图**

本项目固化/稳定化处置后重金属养护区堆置固化稳定化修复后土壤约

332m<sup>3</sup>，共采集 2 个土壤样品进行固化稳定化修复后土壤的自验收检测。异位热脱附处置后有机待检区堆置热脱附修复后土壤约 2629m<sup>3</sup>，共采集 12 个土壤样品进行热脱附修复后土壤的自验收检测。

现场表 8-12 修复后土壤自验收取样数量统计

项目	堆放土壤体积 (m <sup>3</sup> )	取样单元 (个)	最少采样点数量	样品数 (个)	检测指标	备注
固化/稳定化处置异位热脱附后重金属养护区	332	1	3	2	砷	实际采样个数以固化/稳定化处置后重金属养护区实际尺寸为准
异位热脱附处置后有机待检区	2629	6	8	12	苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃	实际采样个数以异位热脱附处置后有机待检区实际尺寸为准

## 8.6.2 采样及送检要求

在按要求完成采样点的布设后，土壤样品的现场采样参照《重点行业企业用地调查样品采集保存和流转技术规定（试行）》和《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166-2004）的相关要求进行。

### （1）采样钻贯入

为使所采土壤样品更具有代表性，拟使采样位置处于土壤堆体的中间深度。采样前，在已划分好的网格内随机选择一点，根据土壤堆体高度，采用挖掘机挖深 1.5~2m，在清挖的坑槽内取样，或再在 1.5~2m 深处采用土钻垂直贯入土体取样。修复后土壤采样参照图见图 8-4 所示。



图 8-4 修复后土壤样品采集参照图

### (3) 样品采样、保存流转及送检

修复后样品的采样及送检详细要求同土壤清挖效果自验收监测，详见章节 8.5.2。

本项目土壤修复效果自验收监测项目及检测方法见表 8-13。

表 8-13 土壤修复效果自验收监测项目及检测方法

序号	土壤类别	污染指标	污染物检测方法	方法检出限 (mg/kg)
1	固化稳定化修复后土壤	pH	pH 电位法(GB/T5750)	/
2		砷 (浸出浓度)	前处理：《固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法》(HJ557-2010)； 分析：电感耦合等离子体原子发射光谱法	0.03mg/L
3	热脱附修复后土壤	苯并(b)荧蒽	半挥发性有机化合物 GC-MS 测试法	0.1~1
4		苯并(a)芘		
5		二苯并(a,h)蒽		
6		石油烃	土壤和沉积物石油烃的测定气相色谱法 (HJ1021-2019)	6~24

### 8.6.3 修复效果评价方法

参照《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》，污染土壤修复效果自验收采用逐个对比法进行评价：

(1) 当样本点检测值低于或等于修复目标值时，则认为污染土壤修复合格，

达到验收标准。

(2) 当样本点检测值高于修复目标值时，则认为污染土壤修复不合格，未达到验收标准。

### (3) 超标点位处理

如检测结果表明个别点位处理效果不达标，在排除人为采样干扰后，需对该点位所代表的 500m<sup>3</sup> 污染土壤再次进行修复处理，其中重金属污染土壤进行固化稳定化处理，有机污染土壤进行热脱附处理。并再次进行采样检测，直至修复效果达到相应预定目标值。

## 8.7 污染建筑垃圾冲洗效果自验收监测方案

### 8.7.1 采样布点方案

在所有的建筑垃圾冲洗完成后，在环境监理单位监督下，对冲洗干净的建筑垃圾进行采样。参照污染土壤修复效果自验收方案，按照每 500m<sup>3</sup> 不得少于 2 个样品的原则，进行建筑垃圾冲洗效果自验收。结合《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）中推荐的基坑侧壁采样点数量详见表 8-11。

本工程约有 516m<sup>3</sup> 的污染建筑垃圾需要进行冲洗处理，暂定布设 3 个建筑垃圾采样点，届时根据现场建筑垃圾的实际产生量计算总的采样单元。冲洗后建筑垃圾自验收取样数量统计见表 8-14。

本项目拟在采样前按照待验收建筑垃圾量和堆体尺寸，在建筑垃圾堆体上表面按照 500m<sup>3</sup>/格的频次划分采样网格，每个网格内随机采集 2 个建筑垃圾样品进行送检，作为冲洗效果自验收。

表 8-14 冲洗后建筑垃圾自验收取样数量统计

项目	取样单元 (个)	最少采样点数量 (个)	样品数 (个)	检测指标	备注
冲洗后建筑垃圾	2	4	4	砷、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃	建筑垃圾自验收总方量约 516m <sup>3</sup> ，每 500m <sup>3</sup> 采集 2 个建筑垃圾样品进行自验收检测

### 8.8.2 现场采样及送检要求

### (1) 样品采集

首先在已划分好的采样网格内随机选取一处作为采样点。确定采样点后，采用清洗干净的不锈钢刮刀在冲洗后的建筑垃圾表层刮下部分建筑垃圾样品，转移至预先准备的相应采样瓶中。冲洗后的建筑垃圾采样参照图 8-5。



图 8-5 冲洗后的建筑垃圾采样示意图

### (2) 样品保存、流转、运输和接收

建筑垃圾样品的保存、流转、运输和接收的详细要求同土壤清挖效果自验收监测，详见章节 8.5.2。

### (3) 检测

本项目建筑垃圾冲洗效果自验收监测项目及检测方法，参照土壤修复效果自验收，见表 8-15。

表 8-15 冲洗建筑垃圾目标污染物检测方法

序号	污染指标	污染物检测方法	方法检出限 (mg/kg)
1	砷	电感耦合等离子体原子发射光谱法	1
2	苯并(b)荧蒽	半挥发性有机化合物 GC-MS 测试法	0.1~1
3	苯并(a)芘		
4	二苯并(a,h)蒽		
5	石油烃	土壤和沉积物石油烃的测定气相色谱法 (HJ1021-2019)	6~24

## 8.7.2 冲洗效果评价方法

### (1) 评价方法

参照污染土壤修复效果自验收评价方法，采用逐个对比法进行评价：

1) 当样本点检测值低于或等于修复目标值时，则认为建筑垃圾冲洗合格，达到验收标准。

2) 当样本点检测值高于修复目标值时, 则认为建筑垃圾冲洗不合格, 未达到验收标准。

### (3) 超标点位处理

如检测结果表明个别点位处理效果不达标, 在排除人为采样干扰后, 需对该点位所代表的 500m<sup>3</sup> 建筑垃圾再次进行冲洗。对不合格点位建筑垃圾再次冲洗完成后, 再次进行采样检测, 直至检测结果达到预定目标值。

## 8.8 质量保证与控制

### 8.8.1 样品采集质量控制

#### (1) 采样点位核查

在采样前, 需核对采样点位的布设是否与布点方案一致, 还应核对地下水监测井建井、洗井记录, 判别建井位置、建井材料选择、成井过程、洗井方式等是否满足相关技术规定要求。

#### (2) 采样过程质量控制

采样前, 应核对采集设备、采集位置/深度、采集方式(非扰动采样等)是否满足相关技术规定要求;

样品采集后, 还需再次对样品重量和数量、样品标签、容器材质、保存条件、保存剂添加、采集过程现场照片等记录是否满足相关技术规定要求进行核对;

此外, 还应对密码平行样品、运输空白样品等质量控制样品的采集、数量是否满足相关技术规定要求进行核对。

### 8.8.2 样品流转质量控制

#### (1) 现场平行样

每批送检样品, 同种采样介质, 应采集至少 1 个平行样, 即从相同点位收集并单独封装和分析的样品, 平行样以密码样方式送检。

#### (2) 运输空白样

采集土壤样品用于分析挥发性有机物指标时, 每次运输至少采集一个 1 个运输空白样, 即从实验室带到场地现场后, 又返回实验室的与运输过程有关, 与分析无关的样品。

### (3) 样品质量状况检查

寄样人和检测单位在样品交接过程中，应对接收样品的质量状况进行检查。检查内容主要包括：样品送样单是否填写完整，样品标识、重量、数量、包装容器、保存温度、应送达时限等是否满足相关技术规定要求。

寄样人如发现所寄送样品有下列质量问题，或与检测单位核对寄达样品时如发现有下列质量问题，应查明原因，及时整改，必要时重新采集样品：

- 1) 样品无编号、编号混乱或有重号；
- 2) 样品在保存、运输过程中受到破损或沾污；
- 3) 样品重量或数量不符合规定要求；
- 4) 样品保存时间已超出规定的送检时间；
- 5) 样品交接过程的保存条件不符合规定要求。

## 8.8.3 实验室分析质量控制

本项目实验室分析质量控制参照《重点行业企业用地调查质量保证与质量控制技术规定（试行）》执行

### (1) 分析方法选择与确认

检测实验室在进行样品分析前，寄样人应于检测实验室核对检测方法，确认检测单位具有目标污染物的检测资质，出具的检测报告应加盖实验室资质认定标识。

### (2) 实验室内部质量控制

实验室内部分分析整个过程应严格执行标准检测方法和计量认证体系要求。通常使用的质量控制方法有空白试验、加标回收分析、密码加标样分析、标准物对比分析等，检测实验室可结合自身条选择适合和足够的质量控制方法。

#### 1) 空白试验

a) 每批次样品分析时，应进行空白试验。分析测试方法有规定的，按分析测试方法的规定进行；分析测试方法无规定时，要求每批样品或每 20 个样品应至少做 1 次空白试验。

b) 空白样品分析测试结果一般应低于方法检出限。若空白样品分析测试结果低于方法检出限，可忽略不计；若空白样品分析测试结果略高于方法检出限但比较稳定，可进行多次重复试验，计算空白样品分析测试结果平均值并从样品分

析测试结果中扣除；若空白样品分析测试结果明显超过正常值，实验室应查找原因并采取适当的纠正和预防措施，并重新对样品进行分析测试。

## 2) 定量校准

### a) 标准物质

分析仪器校准应首先选用有证标准物质。当没有有证标准物质时，也可用纯度较高（一般不低于 98%）、性质稳定的化学试剂直接配制仪器校准用标准溶液。

### b) 校准曲线

采用校准曲线法进行定量分析时，一般应至少使用 5 个浓度梯度的标准溶液（除空白外），覆盖被测样品的浓度范围，且最低点浓度应接近方法测定下限的水平。分析测试方法有规定时，按分析测试方法的规定进行；分析测试方法无规定时，校准曲线相关系数要求为  $r > 0.999$ 。

### c) 仪器稳定性检查

连续进样分析时，每分析测试 20 个样品，应测定一次校准曲线中间浓度点，确认分析仪器校准曲线是否发生显著变化。分析测试方法有规定的，按分析测试方法的规定进行；分析测试方法无规定时，无机检测项目分析测试相对偏差应控制在 10% 以内，有机检测项目分析测试相对偏差应控制在 20% 以内，超过此范围时需要查明原因，重新绘制校准曲线，并重新分析测试该批次全部样品。

## 3) 精密度控制

a) 每批次样品分析时，每个检测项目（除挥发性有机物外）均须做平行双样分析。在每批次分析样品中，应随机抽取 5% 的样品进行平行双样分析；当批次样品数  $< 20$  时，应至少随机抽取 1 个样品进行平行双样分析。

b) 平行双样分析一般应由本实验室质量管理人员将平行双样以密码编入分析样品中交检测人员进行分析测试。

c) 若平行双样测定值（A，B）的相对偏差（RD）在允许范围内，则该平行双样的精密度控制为合格，否则为不合格。

## 4) 准确度控制

### a) 使用有证标准物质

当具备与被测土壤或地下水样品基体相同或类似的有证标准物质时，应在每批次样品分析时同步均匀插入与被测样品含量水平相当的有证标准物质样品进

行分析测试。每批次同类型分析样品要求按样品数 5%的比例插入标准物质样品；当批次分析样品数 $<20$ 时，应至少插入 1 个标准物质样品。

将标准物质样品的分析测试结果 ( $x$ ) 与标准物质认定值 (或标准值) ( $\mu$ ) 进行比较，计算相对误差 (RE)，若 RE 在允许范围内，则对该标准物质样品分析测试的准确度控制为合格，否则为不合格。当出现不合格结果时，应查明其原因，采取适当的纠正和预防措施，并对该标准物质样品及与之关联的详查送检样品重新进行分析测试。

#### b) 加标回收率试验

当没有合适的土壤或地下水基体有证标准物质时，应采用基体加标回收率试验对准确度进行控制。每批次同类型分析样品中，应随机抽取 5% 的样品进行加标回收率试验；当批次分析样品数 $<20$ 时，应至少随机抽取 1 个样品进行加标回收率试验。此外，在进行有机污染物样品分析时，最好能进行替代物加标回收率试验。

基体加标和替代物加标回收率试验应在样品前处理之前加标，加标样品与试样应在相同的前处理和分析条件下进行分析测试。加标量可视被测组分含量而定，含量高的可加入被测组分含量的 0.5~1.0 倍，含量低的可加 2~3 倍，但加标后被测组分的总量不得超出分析测试方法的测定上限。

#### 5) 分析测试数据记录与审核

a) 检测实验室应保证分析测试数据的完整性，确保全面、客观地反映分析测试结果，不得选择性地舍弃数据，人为干预分析测试结果。

b) 检测人员应对原始数据和报告数据进行校核。对发现的可疑报告数据，应与样品分析测试原始记录进行校对。

c) 分析测试原始记录应有检测人员和审核人员的签名。审核人员应对数据的准确性、逻辑性、可比性和合理性进行审核。

## 8.9 修复工程自验收监测基本要求汇总

表 8-16 修复工程自验收监测基本要求

项目	基坑清挖效果		土壤修复效果		冲洗后的建筑垃圾
	基坑侧壁	基坑底部	固化稳定化修复效果	热脱附修复效果	
监测时段	清挖完成后	清挖完成后	修复完成后		冲洗完毕后
采样布点	按照 40m 一段进行划分，每段均匀取 9 个土壤样品制成 1 个混合样。0-0.2m 一层，0.2m 以下 1~3m 一层，两个采样点间垂向距离不少于 1m。采样数量不少于《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）中推荐的最少采样点数。	将坑底均匀分块，单块面积不应超过 400m <sup>2</sup> ，每块均匀采集 9 个土壤样品制成 1 个混合样。采样数量不少于《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）中推荐的最少采样点数。	在土壤堆体上表面按照 500m <sup>3</sup> /格划分采样网格，每个网格内随机采集 2 个土壤样品进行送检。土方量小于 500m <sup>3</sup> 的，至少设置 2 个采样点。采样数量不少于《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）中推荐的最少采样点数。	在土壤堆体上表面按照 500m <sup>3</sup> /格划分采样网格，每个网格内随机采集 2 个土壤样品进行送检。土方量小于 500m <sup>3</sup> 的，至少设置 2 个采样点。采样数量不少于《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）中推荐的最少采样点数。	参照污染土壤修复效果自验收方案，按照不低于每 500m <sup>3</sup> 建筑垃圾采集 2 个样品的原则，进行建筑垃圾冲洗效果自验收。当建筑垃圾方量小于 500m <sup>3</sup> 时，至少设置 2 个采样点进行自验收检测。采样数量不少于《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）中推荐的最少采样点数。
监测频次	清挖完成后采样 1 次，直到合格	清挖完成后采样 1 次，直到合格	修复完成后采样 1 次，直到合格	修复完成后采样 1 次，直到合格	冲洗完成后采样 1 次，直到合格
监测指标	砷、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃	砷、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃	pH、砷（浸出浓度）	苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃	砷、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃
监测标准	土壤修复目标值	土壤修复目标值	土壤修复目标值	土壤修复目标值	土壤修复目标值
评价方法	逐个对比法	逐个对比法	逐个对比法	逐个对比法	逐个对比法

## 9 修复工程修复效果评估原则要求

### 9.1 修复效果评估内容

修复工程修复效果评估主要包括两方面内容：一是对清挖完成的基坑进行修复效果评估，在确定基坑已经按照复查划定的污染区域边界清挖到位的前提下，对基坑的侧壁和底部采集土壤样品进行分析，检验污染土壤是否已经清挖完成；二是对修复完成的土壤进行修复效果评估，确保土壤的修复质量满足污染物修复目标的要求。

### 9.2 评估对象及评价标准

本项目修复效果评估的对象主要包括以下几项内容，针对不同的对象应采用对应的验收标准。

#### a) 场地内污染土壤清挖后遗留的基坑

该场地内污染土壤清挖后基坑以《详细调查与风险评价》确定的修复目标值作为评价标准，评价指标为场地修复的目标污染物，污染土壤清挖后遗留的基坑评价指标及其标准限值如表 8-1 所示。

表 9-1 污染土壤基坑评价指标及其标准限值

序号	清挖区域	评价指标	土壤清挖边界目标值 (mg/kg)
1	重金属污染区域	砷	60
2	有机污染区域	苯并(b)荧蒽	5.5
3		苯并(a)芘	0.55
4		二苯并(a,h)蒽	0.55
5		石油烃	826

#### b) 固化稳定化修复后的土壤

表 9-2 固化稳定化修复处理后的土壤的评价指标及其标准限值

序号	污染物类型	评价指标	浸出浓度 (mg/L)
1	重金属	砷	0.05

#### c) 异位热脱附修复后的土壤

表 9-3 热脱附修复处理后的土壤的评价指标及其标准限值

序号	评价指标	土壤清挖边界目标值 (mg/kg)
1	苯并(b)荧蒽	5.5
2	苯并(a)芘	0.55
3	二苯并(a,h)蒽	0.55
4	石油烃	826

#### d) 冲洗后建筑垃圾

对于采用高压水工艺冲洗的污染建筑垃圾，以土壤修复目标值作为评价标准，评价指标为场地修复的目标污染物，经高压水冲洗后的建筑垃圾的评价指标及其标准限值如表 9-4 所示。

表 9-4 冲洗后建筑垃圾评价指标及其标准限值

序号	污染指标	修复目标值 (mg/kg)
1	砷	60
2	苯并(b)荧蒽	5.5
3	苯并(a)芘	0.55
4	二苯并(a,h)蒽	0.55
5	石油烃	826

## 9.3 布点采样原则

### 9.3.1 场地内污染土壤清挖后遗留的基坑

#### (1) 基坑侧壁布点

依据《广州工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点》根据《广州市工业企业场地环境调查、修复、验收等工作技术审查要点》及《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）的要求，在土壤修复区域的污染土壤开挖完毕后，对开挖区域的侧壁和底部进行 1 次取样检测，作为清挖效果自验收监测。本项目基坑侧壁布点采样送检数量统计见表 9-5。

表 9-5 污染区域基坑侧壁布点采样送检数量

序号	基坑深度	采样区域周长 (m)	采样区域面积 (m <sup>2</sup> )	采样区域分段 (段)	推荐最少采样点数量	采样区域分层 (层)	每段采集样品个数	侧壁送检数量 (个)
1	0-1.5m	191.6	1554.8	5	7	2	1	14
2	1.5-3m	120.3	517.1	4	5	2	1	10
3	1.5-3m	57.4	103.0	2	5	2	1	10
4	3-5m	73.7	142.9	2	5	2	1	10
合计								44

#### (2) 基坑底部布点

依据《广州工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点》根据《广州市工业企业场地环境调查、修复、验收等工作技术审查要点》及《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）的要求，本项目基坑侧壁布点采样送检数量统计见表 9-6。

表 9-6 污染区域基坑底部布点采样送检数量

序号	采样区域面积 (m <sup>2</sup> )	采样区域分块 (块)	推荐最少采样 点数量	每块采集样品 个数(个)	底部送检数 量(个)
1	1554.8	4	5	1	5
2	517.1	2	4	1	4
3	103.0	1	3	1	3
4	142.9	1	3	1	3
合计					15

### 9.3.2 固化稳定化修复后的土壤

根据《广州市工业企业场地环境调查、修复、验收等工作技术审查要点》及《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）的要求，对原地异位固化稳定化修复处理后的暂存土壤布设监测点位，监测点位个数如下。

表 9-7 固化稳定化修复处理后的暂存土壤检测布点数

项目	堆放土 壤体积 (m <sup>3</sup> )	取样 单元 (个)	最少采 样点 数量	样品数 (个)	检测指标	备注
固化/稳定化处 置异位热脱附后 重金属养护区	332	1	3	2	砷	实际采样个数以 固化/稳定化处置 后重金属养护区 实际尺寸为准

### 9.3.3 异位热脱附修复后的土壤

根据《广州市工业企业场地环境调查、修复、验收等工作技术审查要点》及《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）的要求，对异位热脱附修复处理后的暂存土壤布设监测点位，监测点位个数如下。

表 9-8 热脱附处置后的暂存土壤检测布点数

项目	堆放土 壤体积 (m <sup>3</sup> )	取样 单元 (个)	最少采 样点 数量	样品数 (个)	检测指标	备注
异位热脱附处置 后有机待检区	2629	6	8	12	苯并(b)荧 蒽、苯并 (a)蒽、二 苯并(a,h) 蒽、石油烃	实际采样个数以 异位热脱附处置 后有机待检区实 际尺寸为准

### 9.3.4 冲洗后建筑垃圾

根据《广州市工业企业场地环境调查、修复、验收等工作技术审查要点》的要求，冲洗后的建渣，根据堆放形状建立三维网格，布设监测点位，每 500m<sup>3</sup> 不得少于 2 个样品。

### 9.3.5 潜在二次污染土壤

本项目临时设施、供土壤运输使用的临时道路等部分建于无污染区域。为确定施工开始前与施工结束后上述临时设施及临时道路等下方表层土壤内污染物的含量与污染状况，即提供对比验证背景值，施工前后需对上述临时设施和临时道路下表层土壤内污染物浓度进行监测，确定施工过程是否造成土壤二次污染。临建下方土壤监测由场地责任单位委托第三方检测机构进行监测，并对样品负责。

依据《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估技术文件审查要点》相关要求，在上述临时设施修复工程结束后，对上述临时设施及临时道路所在潜在二次污染区域分单元监测，每个监测单元不应超过 400m<sup>2</sup>，在每个监测单元中均匀分布的采集 9 个表层土壤样品制成混合样。上述区域采用硬底化地面且保持完好，每个监测单元不应超过 1600m<sup>2</sup>。

考虑到修复大棚和筛上物冲洗区将均采用混凝土地坪进行防渗，具有较好的防渗效果，且在进行清挖基坑回填前，重金属养护区和筛上物堆置区需堆置修复合格的土壤及冲洗干净的建筑垃圾，为不影响整个项目的实施进度，拟计划在不具备地坪下土壤的采样条件时，也可在临时设施四周均匀布点进行样品采集，采样数依据上述《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估技术文件审查要点》相关要求确定。

## 10 修复工程施工组织设计

### 10.1 项目施工目标

#### 10.1.1 计划开工、竣工日期

本项目计划开工日期为2020年3月20日，竣工日期为2020年6月20日。

#### 10.1.2 质量目标

##### 1) 修复工程实施方案编制质量目标

我单位将依据已备案的《初步调查报告》和《详细调查与风险评估报告》内容，结合本地块实际情况，根据法律法规及广州市环保政策要求，编制修复工程实施方案，并顺利通过环保管理部门组织的专家评审，并顺利备案。

##### 2) 修复工程质量目标

对本项目地块内全部重金属及有机污染土壤进行清挖、预处理、修复、堆置养护及回填处置，妥善设置二次污染防治措施，达到修复目标值。确保修复场地内无残留污染超标重金属及有机污染土壤，顺利通过本工程修复效果评估单位的环保验收，并达到广州市环保主管部门的验收备案条件。

#### 10.1.3 HSE 目标

##### 1) 健康（H）目标

无疾病流传，无辐射、无有毒物质损害人员健康。

##### 2) 安全（S）目标

重大人身伤亡事故为零，重大交通事故为零，重大火灾事故为零，杜绝工亡事故，减少一般事故。

##### 3) 环境（E）目标

最大限度地保护生态环境，不发生环境破坏、环境污染和水体污染事故。本项目 HSE 管理目标如下：

- (1) 修复工程施工过程中因工死亡事故发生频次≤0 起；
- (2) 修复工程施工过程中因工重伤事故发生频次≤0 起；
- (3) 修复工程施工过程中因工轻伤事故发生频次≤3 起；

- (4) 修复工程施工过程中火灾事故发生频次 $\leq 0$ 起;
- (5) 修复工程施工过程中职业病发病率 $\leq 0\%$ 起;
- (6) 修复工程施工过程中土壤及地下水一次修复合格率 $\geq 95\%$ ;
- (7) 修复工程施工过程中土壤及地下水一次修复合格率=100%;
- (8) 修复工程施工过程中扰民现象发生频次 $\leq 0$ 起。

## 10.2 编制依据

### 10.2.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015年1月1日施行);
- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法(草案)》(2017年6月29日);
- (3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2015年4月24日修订);
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法》(2017年6月27日修订);
- (5) 《中华人民共和国大气污染防治法》(2016年1月1日施行);
- (6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》(1997年3月1日施行);
- (7) 《中华人民共和国土地管理法》(2004年8月28日修订);
- (8) 《土壤污染防治行动计划》(国发[2016]31号; 2016年5月28日);
- (9) 《危险化学品安全管理条例》(国务院令第591号; 2011年12月1日施行);
- (10) 《国家危险废物名录》(环保部令第39号; 2016年8月1日施行);
- (11) 《污染地块土壤环境管理办法(试行)》(环保部令第42号; 2017年7月1日施行);
- (12) 《广东省土壤污染防治行动计划实施方案》(粤府[2016]145号; 2016年12月30日);
- (13) 《广州市土壤污染防治行动计划工作方案》(穗府[2017]13号; 2017年5月19日)。

### 10.2.2 政策文件

- (1) 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办[2004]47号);
- (2) 《关于印发<全国地下水污染防治规划(2011-2020年)>的通知》(环发

[2011]128号);

(3)《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);

(4)《关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》(国办发[2013]7号);

(5)《关于推进城区老工业区搬迁改造的指导意见》(国办发[2014]9号);

(6)《全国土壤污染状况调查公报》(2014年4月17日);

(7)《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);

(8)《广东省环境保护厅关于印发广东省土壤环境保护和综合治理方案的通知》(粤环[2014]22号);

(9)《广州市人民政府关于印发广州市申请使用建设用地规则的通知》(穗府[2015]15号);

(10)《广州市环境保护局关于印发广州市土壤环境保护和综合治理方案的通知》(穗环[2014]128号);

(11)《广州市土地开发中心关于加快开展土地污染环境调查、污染风险评估和土地污染修复工作的函》(穗土开函[2015]115号);

(12)《广州市工业企业场地再开发利用环境管理办法(试行)》(征求意见稿), 2015年12月。

### 10.2.3 标准规范

(1)《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001);

(2)《土的分类标准》(GBJ145-1990);

(3)《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999);

(4)《供水水文地质勘察规范》(GB50027-2001);

(5)《工程测量规范》(GB50026-2007);

(6)《供水水文地质钻探与凿井操作规程》(CJJ13-87)。

(7)《环境监理工作制度(试行)》(国家环保局环监[1996]888号)

(8)《职业健康安全管理体系要求》(GB/T28001-2001)

## 10.2.4 输入文件

- (1)《广州锌片厂南区拆迁安置房污染土壤修复治理工程合同》(穗土合字[2016]0105号);
- (2)《广州锌片厂南区保障性住房地块场地环境初步调查报告》(2013年9月);
- (3)《广州锌片厂南区保障性住房地块场地环境详细调查及风险评价报告》(2014年3月);
- (4)《广州锌片厂南区保障房地块污染土壤修复技术方案(报批稿)》(2015年5月)。

## 10.3 施工进度计划

### 10.3.1 与北区修复工程的配合工作

广州锌片厂安置房地块场地环境污染治理与修复工程位于场地南区安置房区域内,其主要污染因子与本修复项目基本相似,有机污染土壤方量为 $3107.92\text{m}^3$ ,重金属土壤方量为 $368.77\text{m}^3$ ,主要修复工艺与北区修复工程一致,污染土壤开挖后密闭运输至北区相应处置场地进行修复处置,重金属污染土壤经处置筛分后约有 $400\text{m}^3$ 需要进行阻隔填埋,北区阻隔填埋区设计已考虑到该部分修复土壤,能够完全容纳该部分土壤进行阻隔填埋。北区对安置房修复工程密闭运往的污染土壤建立污染土壤流转单,明确每一方污染土壤的处置去向。

锌片厂南区安置房区域与非安置房区域污染土壤清挖、转运、处理、阻隔填埋均在锌片厂北区所有污染土壤处置完毕后进行,北区土壤处理场地、热脱附设备等均能充分满足南区污染土壤处置需求。

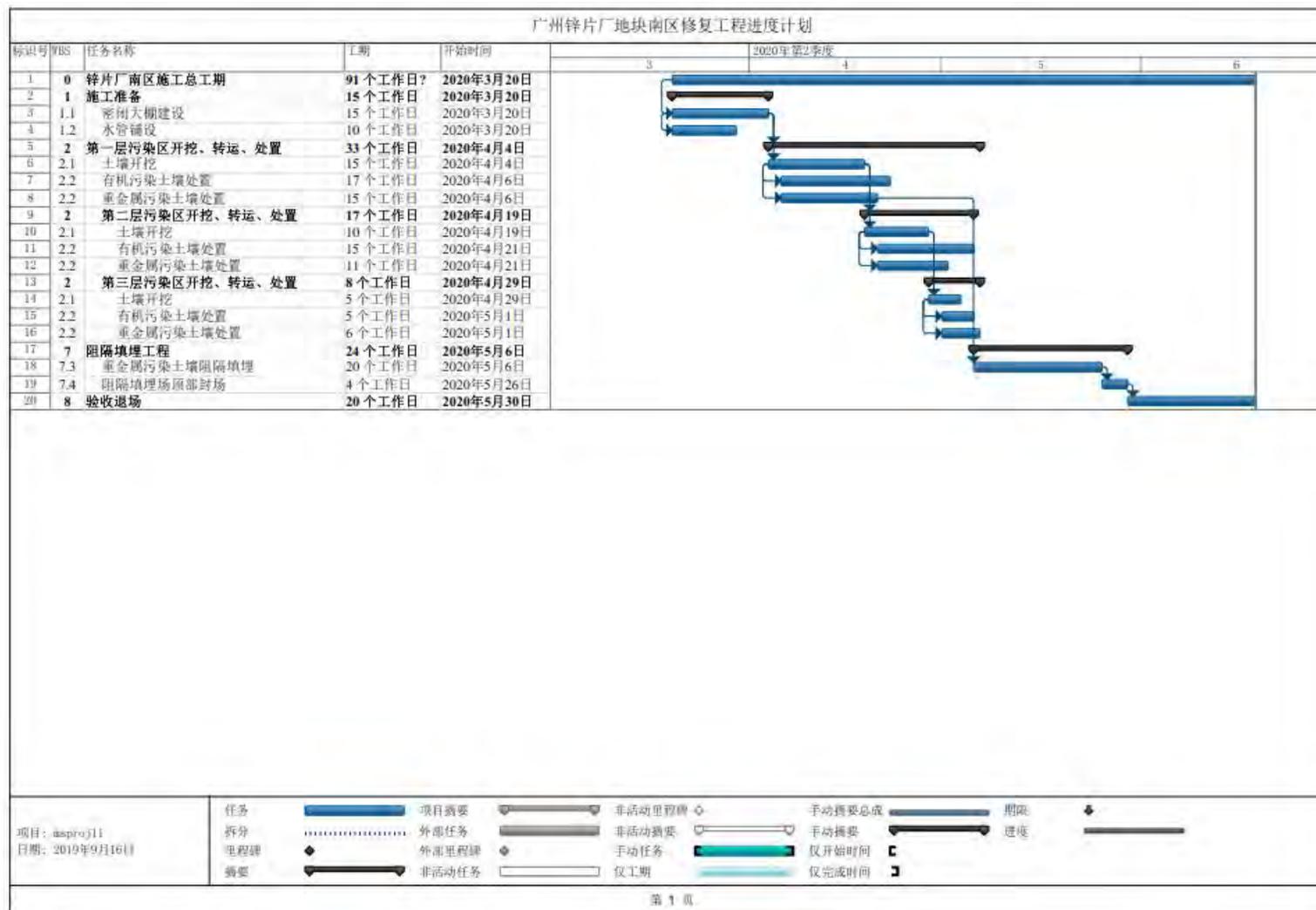


图 10-1 锌片厂南区施工进度计划安排

### 10.3.2 基坑清挖配合

锌片厂南区场地分为安置房区与非安置房区，其中非安置房区域由北京高能时代环境技术股份有限公司进行修复，经重新核算土方量，锌片厂南区安置房区域需修复土方量为 3476.69m<sup>3</sup>，非安置房区需修复土方量为 7189.4m<sup>3</sup>。

表 10-1 锌片厂南区修复土方量统计

深度编号	所在区域	深度 (m)	核算后土方量 (m <sup>3</sup> )	合计 (m <sup>3</sup> )
A	非安置房区	0-1.3	3161	7189.4
B		1.3-3	3494.2	
C		3-4.5	534.4	
D	安置房区	0-1.5	2332.21	3476.69
E		1.5-3	930.14	
F		3-4.5	214.34	

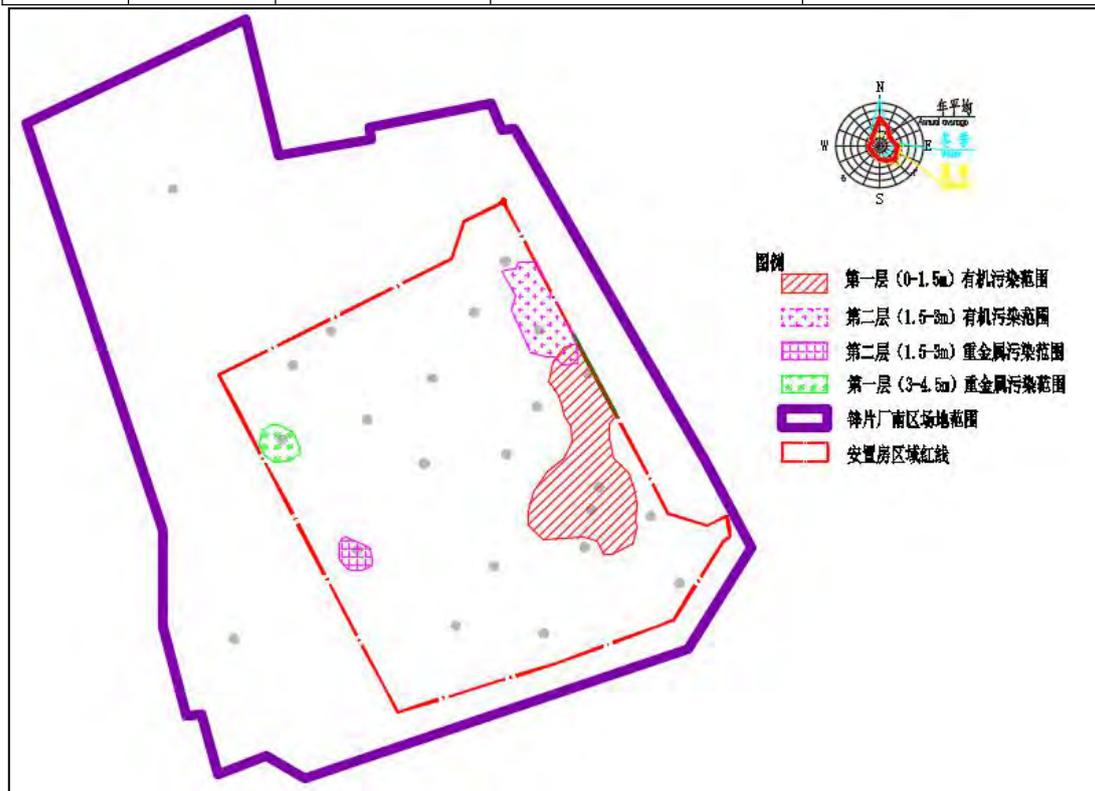


图 10-2 安置房区修复范围示意图

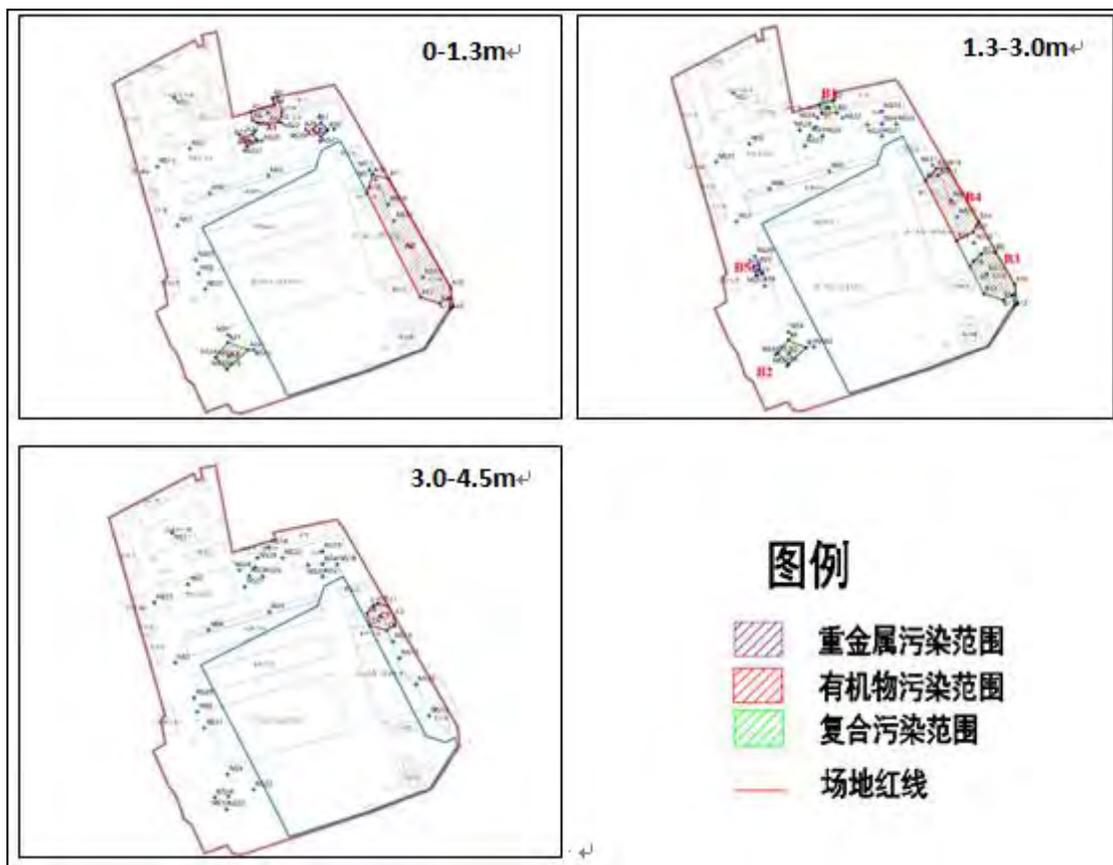


图 10-3 非安置房区修复范围示意图

锌片厂北区完全处置完毕后，开始进行锌片厂南区土壤开挖，由于北区已经全部处置完成，土壤预处理场地能充分满足南区污染土壤处置需求。

根据锌片厂南区安置房与非安置房修复范围、修复工程量与修复分层，考虑到两区域第一层与第二层污染范围相邻，因此两区域共同开挖，开挖出的土壤根据污染物情况进行分类，如相邻两污染区污染物种类不同，则先开挖污染物种类较多区域，并向另一区域侧向超挖 1m，以免造成交叉污染。开挖出的土壤采用密闭运输侧横梁运送至锌片厂北区进行处置。

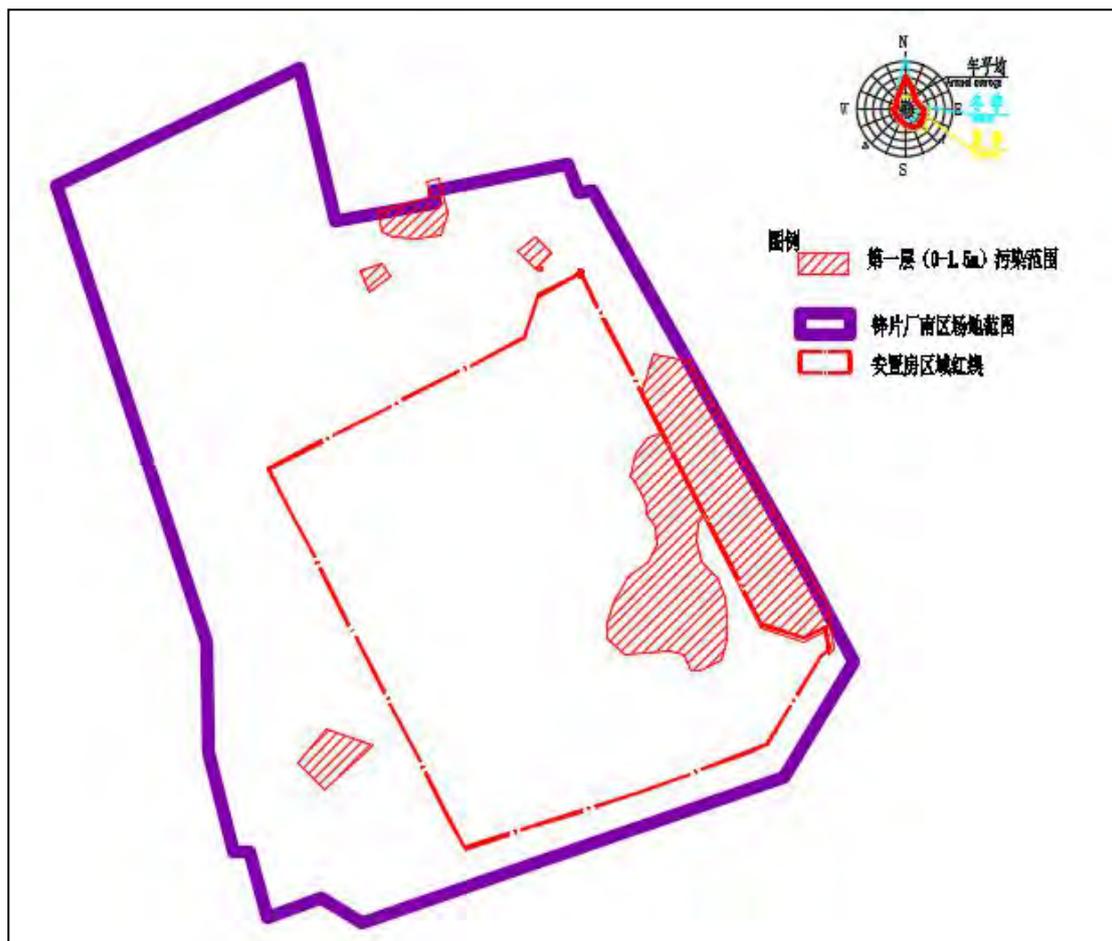


图 10-4 锌片厂南区第一层修复范围示意图

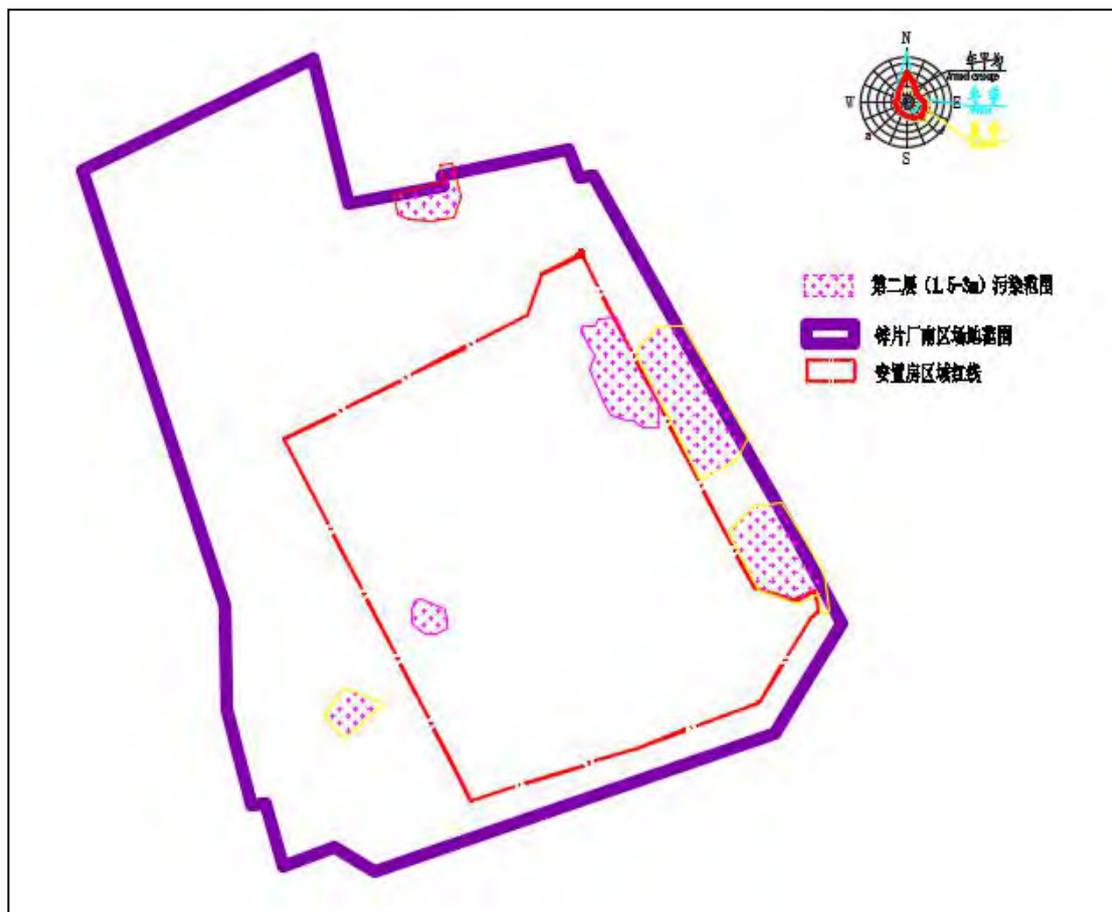


图 10-5 锌片厂南区第二层修复范围示意图

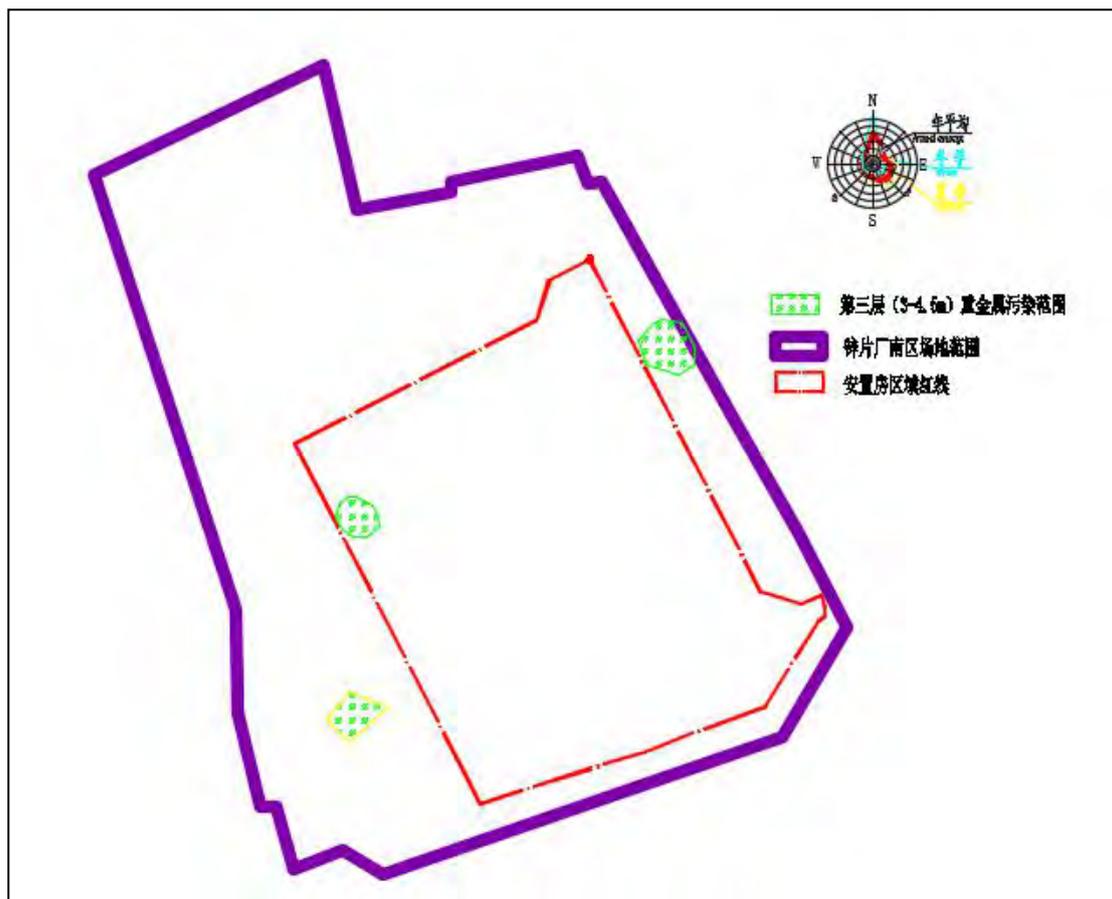


图 10-6 锌片厂南区第三层修复范围示意图

### 10.3.3 土壤运输配合

开挖出的污染土壤根据污染物种类不同分批次进行转运，转运采用密闭运输车辆进行运输，运输路线如下图，所有污染土壤均运送至锌片厂北区进行处置，每转移一车填写一张转移联单。南区、北区两处场地间距 100m 以内，中间隔昌岗西路，可直接横穿公路。具体的运输路线根据实际施工情况确定。



图 10-7 污染土计划转运路线图

土壤转运过程控制措施如下：

(1) 每一辆车土壤的来源、运输过程和运输去向都应有详细的监控和记录。在运输车辆上安装行车记录仪进行全过程的监控和记录，同时采用 GPS 监测，实行 24 小时全天候监控。

(2) 根据运输土壤的性质和状态，在旧厂区和修复区域内设置安全网，装卸人员将穿戴相应的防护用品。

(3) 运输车辆要统一编号组队前行，不得单独出行，同时对每辆车进行全程跟踪监控，并配备专车进行现场指导与监控。

(4) 载运污染土壤的运输车，在行驶中要严格遵守避碰规则。装卸时将悬挂或显示规定的信号。运输整个过程中严禁吸烟。

(5) 在车辆出入口处安排专人清洗车辆，清洗完成后方可上路。

(6) 杜绝运输车发生污染土壤泄漏等事故的发生，在运输过程中严格防止扬尘和洒落，严防二次污染。

(7) 安排专门的清扫车辆和人员对运输路线进行巡视，若发现运输过程中有污染土的遗撒，立即组织人员清理，将散落的污染土集中起来转运至处理场。

(8) 运输车在行驶中，为保护运输车和人命安全，不得将泄漏物、冲洗水排放到水中，泄漏废物遵守交通、消防、治安等法规，并严格控制车速、保持与

前车的距离，严禁违章超车，确保行车安全。驾驶人员一次连续驾驶 4 小时应休息 20 分钟以上，24 小时之内实际驾驶时间累计不超过 8 小时。

(9) 自卸车辆将配备随车人员在途中经常检查，如货物有丢失、被盗，将立即报告当地交通运输、环境保护主管部门，并由交通运输主管部门会同公安部门和环保部门查处。

(10) 车辆运输途中严禁靠近明火、高温场所，如需停靠，安排人员看管。

#### 10.3.4 土壤处置配合

本项目单独重金属污染土壤转运至锌片厂北区重金属处置大棚进行处理，对于安置房区重金属污染土壤采用我司所选用药剂进行处置，非安置房区土壤采用北京高能筛选土壤修复药剂进行处置，均能保证处置后土壤稳定达标。

有机污染土壤及有机重金属复合污染土壤首先转运至热脱附预处理大棚进行分区堆放，在堆存区进行筛分破碎等预处理，完成预处理后转移进热脱附设备进行土壤热脱附处理。完成热脱附处理后单独有机污染土壤即已达标，可作为干净土壤转运回南区进行基坑回填；完成热脱附后的重金属有机复合污染土壤，转运至重金属处置大棚内进行进一步稳定化处理，直至达标后进行下一步阻隔填埋。

#### 10.3.5 阻隔填埋配合

本项目重金属污染土壤清挖后转运至北区进行修复处理，北区针对安置房区约 400m<sup>3</sup> 重金属污染土壤，在阻隔填埋区中单独划出一小块填埋区域进行回填，具体区域位置根据现场施工确定，在完成回填后明确该部分土壤回填位置拐点坐标，根据拐点坐标位置进行后续责任认定，并针对该区域进行长期监测，以确保土壤固化稳定化+阻隔填埋的长期有效性。

### 10.3.6 施工段的划分

根据施工进度安排，整体工程主要分为四个重要节点，工期安排见表 10-1。

表 10-1 项目重要节点一览表

序号	工作阶段	工期（天）	开始时间
一	施工准备	15	2020.3.20
二	污染土壤开挖、转运、处置	58	2020.4.4
2.1	第一层污染区开挖、转运、处置	33	2020.4.4
2.2	第二层污染区开挖、转运、处置	17	2020.4.19
2.3	第三层污染区开挖、转运、处置	8	2020.4.29
三	阻隔填埋工程	24	2020.5.6
四	验收退场	20	2020.5.30

### 10.3.7 施工流向及施工顺序

本项目修复工程作为环保工程项目，必须将节能环保放在重要位置，在方案编制时应尽量选用低能耗产品和清洁能源，充分考虑防止施工过程中产生污染转移和二次污染的措施，最大程度降低实施过程中的环境污染风险。

本项目施工路线见图 10-1。

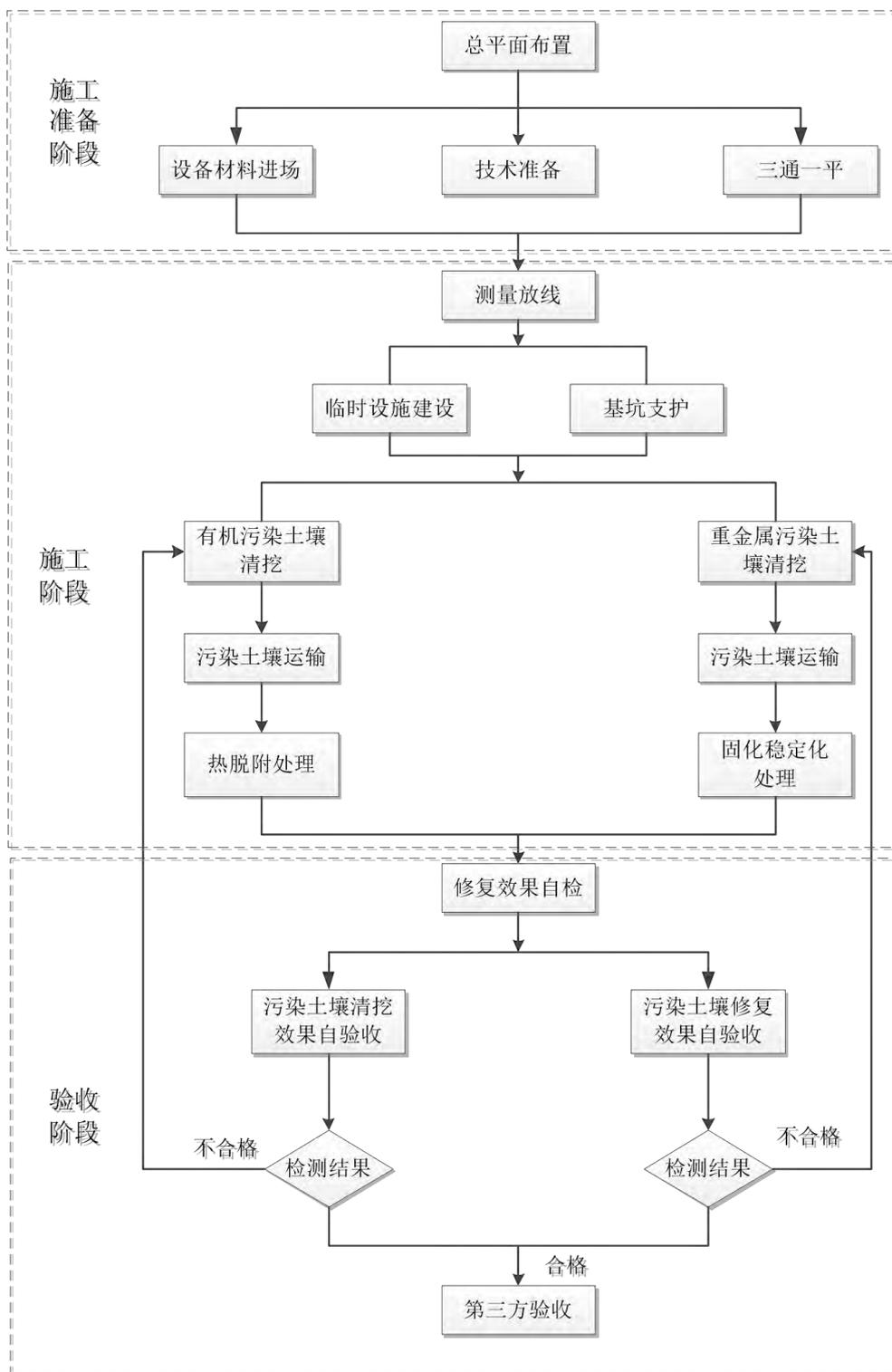


图 10-1 施工路线

1) 场地测量和清理

修复施工前，首先根据设计要求对广州锌片厂南区项目修复场地进行测量放线，并对场地进行清理，以满足后续施工要求。

2) 临时修复设施建设

场地清理完成后，在现场组织进行临时修复设施的建设。

#### 4) 污染土壤清挖修复

##### (1) 污染土壤清挖转运

在污染土壤清挖前，首先将场地原地面或探孔的起始零点（即该相应地块《调查报告》中土壤污染深度的计算起始面）以上的建筑垃圾清理干净。然后，再测量场地原地面或探孔的起始零点标高，相关测量结果经监理单位和建设单位确认后，再进行污染区域范围现场确认工作。及时办理测量定位桩的确认，并进行相关资料的交接和手续办理。

在完成场地原地面或探孔的起始零点标高测量后，应根据各地块《调查报告》及复查确定的污染区域范围，现场划出污染区域边界，并按要求对污染区域边界范围进行验证，具体验证方法按经评审、论证并报环保主管部门备案的《调查报告》规定的方法执行。

##### (2) 污染土壤修复

清挖出的污染土壤转运至北区的固化/稳定化处置大棚及热脱附预处理大棚内进行。

进入北区固化/稳定化处置大棚的重金属污染土壤首先进行筛分破碎预处理，预处理完成后再进行固化稳定化修复处理。利用筛分破碎斗进行筛分、破碎、药剂混合搅拌处理，连续对污染土壤和固化稳定化药剂搅拌混合 3~4 遍，确保土壤与药剂混合均匀。进入北区热脱附预处理大棚的污染土壤首先经过筛分破碎预处理，再送入热脱附处理设备进行处理。

项目经固化稳定化处理后的重金属污染土壤在固化/稳定化处置后重金属养护区堆置养护，有机污染土壤在异位热脱附处置后有机待检区进行堆置养护，养护过程中进行补水，保持土壤含水率在 30% 左右。养护完成后进行自验收采样。

污染土壤清挖完毕后需对基坑进行验收，验收范围包括基坑清挖边界和清挖深度。验收合格后，采用修复合格的土壤及冲洗干净的建筑垃圾进行基坑回填，分层摊铺和压实。

### 10.3.8 施工总体进度计划

具体施工进度安排详见“附件-1 工程实施总体进度计划”。

## 10.4 资源配置

### 10.4.1 劳动力准备

本项目施工包括场地测量、场地清理、修复配套设施建设、污染土壤清挖运输及修复处理等工序，各工序所需劳动力数量和工种各不相同。本项目各劳动力准备见表 10-2 所示。

表 10-2 劳动力准备一览表

序号	工序	工种	人数	时间(天)
1	场地测量放线	测量员	2	30
2	场地清理平整	力工	10	20
3	施工用水、用电接入	水电工	2	5
4	临时道路修建	土建	7	22
5	办公生活区、仓库建设	土建	5	23
6	洗车池建设	土建	5	5
7	污染土壤开挖	施工员	2	35
8	污染土壤场内运输	土方运输调度	2	31
9	清挖后土壤运输至锌片厂北区填埋	土方运输调度、操作人员	2	36

### 10.4.2 机械、设备、材料需求计划

(1) 要求使用工器具(水准仪、GPS 测量仪、全站仪、水泵、运输车、反铲等)必须工作性能良好,能够很好的满足现场施工需要;在施工前必须检查各种施工机械的性能;

(2) 施工电源、水源、天然气源必须在施工前投入运行,并保证正常通电、通水和通气,保证照明。综合考虑工作量、施工能力及工期要求等因素,编制污染土壤清挖施工拟投入的主要机械器具表。

根据修复工程施工要求,拟配置筛分破碎斗、挖掘机、渣土运输车等工程机械、设备,具体详见表 10-3。

表 10-3 主要机械设备需求量计划表

序号	设备名称	规格型号	数量	用途
1	筛分破碎斗	ALLUDH3-23	1	污染土壤筛分破碎混合
2	多功能雾炮抑尘车	射程 60m	1	喷雾降尘、洒水抑尘
3	液压破碎锤	HXDZ	1	污染区域地坪破碎
4	挖掘机	沃尔沃 EC240B	4	土方开挖、装车
5	渣土运输车	东风 LZ3092, 20t	6	土方运输
6	推土机	山推 SD10YE	1	土方回填
7	叉车	美科斯 FD40T, 4t	1	材料装卸转运
8	汽车起重机	三一 STC200, 80t	1	设备安装
9	污水泵	WQ20-15-1.5	4	基坑降水、污水抽排
10	交流电焊机	EX500	2	设备安装
11	双轨热熔焊接机	TH-II 900W	1	土工膜焊缝
12	热脱附设备系统	/	1	有机污染土壤修复

## 10.5 施工部署

根据修复工程施工要求，拟配置光离子气体检测仪、便携式 pH 计、便携式 ORP 检测仪等测量、试验仪器，具体详见表 10-4。

表 10-4 主要测量、试验仪器表

序号	仪器设备名称	规格型号	数量	用途
1	光离子气体检测仪	RAE3000	1	挥发性有机气体检测
2	便携式 pH 计	PHB-3	1	土壤、水 pH 值检测
3	便携式 ORP 检测仪	SX721	1	土壤、水 ORP 检测
4	含水率测试仪	CMEXpert II	1	土壤含水率检测
5	电导率仪	DDB-303A	1	电导率检测
6	数字式噪声计	AR854	1	噪声检测
7	手持式风速风向仪	TES1340	1	风速风向测定
8	高精度手持式 PM10 粉尘仪	TES-5321	1	大气颗粒物检测
9	全站仪	KTS-442RLC	1	测量定位

序号	仪器设备名称	规格型号	数量	用途
10	水准仪	AL12A-32	1	测量高程
11	GPS-RTK	X900	1	测量定位
12	台秤	TCS-60	1	称重
13	磅秤	TCS-XH-A	2	称重

### 10.5.1 项目管理组织机构

#### 1) 组织机构框图

本项目施工组织机构框图见下图。

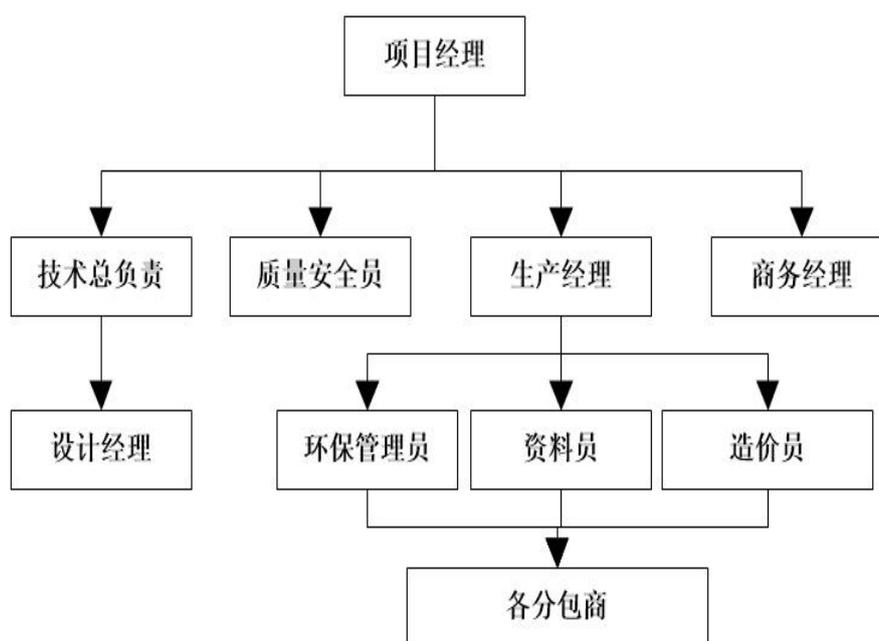


图 10-2 组织机构框图

#### 2) 项目管理团队及职责

##### (1) 项目管理团队组成

本项目实施前将组建项目部在项目实施全过程进行项目管理，主要成员见下表 10-5。

表 10-5 项目管理团队

序号	岗位	人数 (个)
1	项目经理	1
2	技术总负责	1

序号	岗位	人数(个)
3	设计经理	1
4	生产经理	1
5	商务经理	1
6	环保管理员	2
7	质量安全员	1
8	造价员	2
9	资料员	1

## (2) 主要管理团队职责

### (a) 项目经理

项目负责人是我公司法定代表人在本工程项目上的全权委托代理人,代表公司行使并承担工程承包合同中承包方的权利和义务,向公司法定代表人负责,按照公司的制度和授权,全面领导并主持项目组的工作,按合同规定的承包工作范围、内容、和约定的设计工期、质量标准、投资限额全面完成合同任务。

项目负责人在项目合同签订之日起,由公司法定代表人任命。项目负责人的任命有严格的要求,包括其资历、职称、工作经验及项目管理培训资格等,项目负责人作为项目的全面负责人拥有相应的权利和义务。

### (b) 技术总负责

负责设计工作,实行优化设计,限额设计和限时设计。把采用先进技术、先进设备与控制工程投资有机结合起来,从而保证设计质量和控制投资。协调各专业的衔接关系,落实各设计专业的进度,保证整个设计工期。在现场施工阶段,负责组织一流的环境、设备、电气及自控、土建等方面的技术专家,深入现场进行技术服务。

### (c) 设计经理

协助项目经理指导和管理项目控制专业人员的工作,审查他们的输出文件。

### (d) 生产经理

生产经理:负责组织现场土方开挖、转运、修复设施、设备安装、调试及修复运行,协调建设方(业主)、承包方之间的关系,负责现场各种组织管理,解决现场技术问题,保证施工过程中的质量和工期。

### (e) 商务经理

协助项目经理，对项目合同的签订、进度款的跟进等进行全面把控，负责与业主、环保单位等的接洽。

#### (f) 环保管理员

环保管理员：在生产经理的指导下，完成本项目日常的环保技术工作。

#### (g) 质量安全员

质量安全员：完成日常质量和安全管理工作。

#### (h) 造价员

造价员：根据项目需要，负责项目工程造价相关工作。

#### (i) 资料员

资料员：负责在整个项目实施过程中的资料收集整理与备案。

## 10.5.2 施工总平面布置

### 1) 布置原则

(1)严格按照 ISO14001 和《职业健康安全管理体系规范》(GB/T28001-2011) 的标准进行布置，符合施工现场卫生及安全技术要求和防火规范；

(2)在平面布置中应充分考虑好施工机械设备、办公、道路、现场出入口、堆放场地等的优化合理布置，根据施工场地及周边交通状况设置道路及主要出入口；

(3)充分考虑现有道路有效利用的原则，便于大型运输车辆通行并保证其安全性；

(4)在总体布置上，应充分考虑扬尘污染、噪音污染的有效控制，噪声较大的处置设备尽量远离居民区；

(e)为防止临时设施重复搭设，现场临时设施、处置设施等尽量布置在不影响后续工作区域；

(f)现场平面随着工程施工进度进行布置和安排，阶段平面布置要与该时期的施工重点相适应。

### 2) 总平面布置

本项目施工总平面布置图(图 10-3)，具体详见附图-1，南区主要为项目部，修复施工过程中所涉及的设备设施主要位于锌片厂北区。

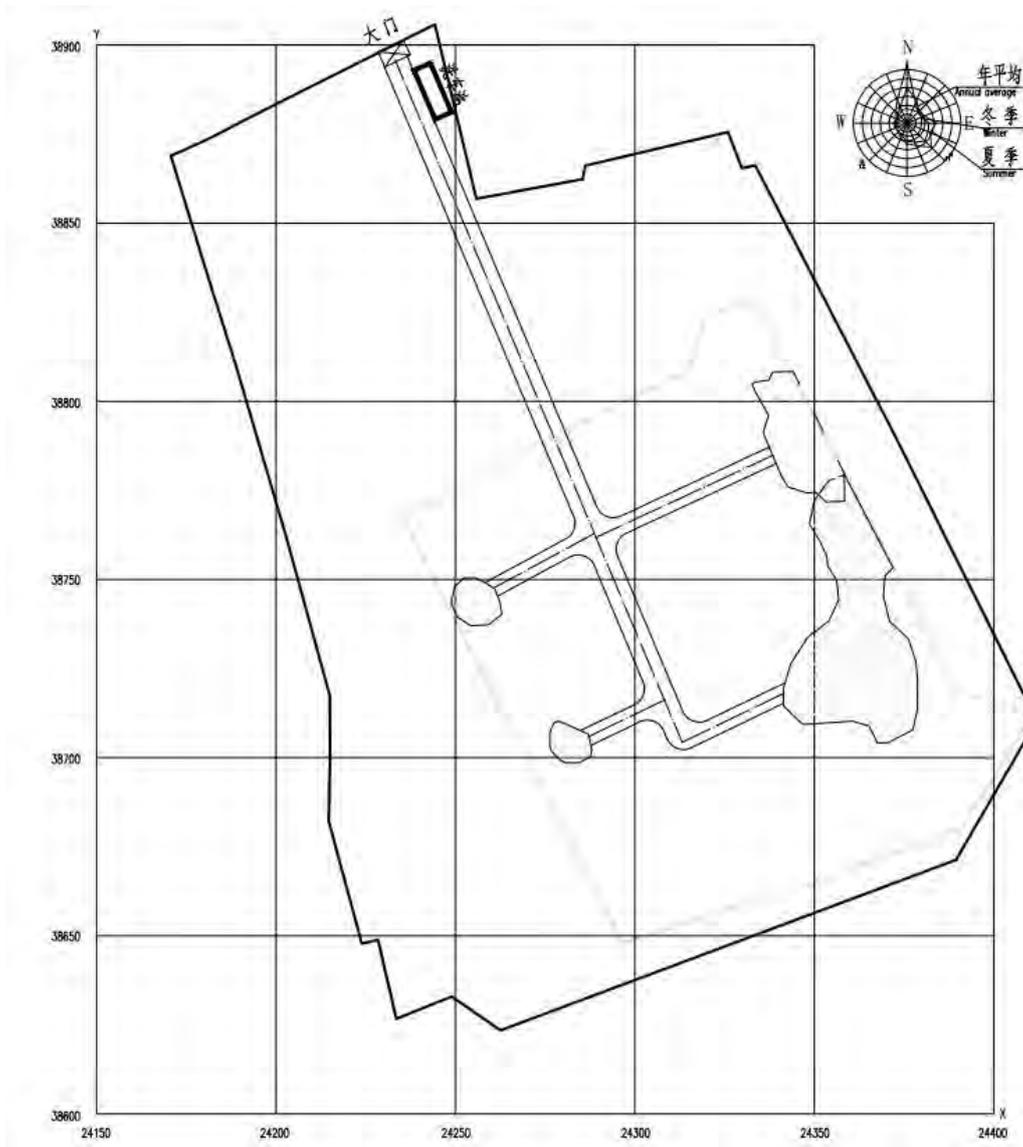


图 10-3 施工总平面布置图

北区施工总平面布置详见北京高能关于北区修复的实施方案。

### 10.5.3 施工用水、电

#### 1) 施工用水

由业主指定点接入水。

##### (1) 供排水设计原则

1) 根据修复工程施工的实际需要，合理进行给排水设计，保证供排水满足工程需要，排水顺畅，并满足水质要求；

2) 充分考虑场地修复工程中产生的污水特点，合理预测水量和水质，采用国内外先进、成熟、可靠的技术，使污水处理工程的设计、施工和运行管理能力

达到预期的效果；

3) 节能降耗，清洁生产，保护环境。

项目供水由城市供水系统提供水源，可满足项目需求。项目所需用水包括：施工人员生活用水、固化稳定化养护用水、热脱附土壤冷却用水、建筑垃圾冲洗用水、降尘用水等。

#### (2) 给排水水量统计

场地内各用水及排水点给排水统计如下：

表 10-2 项目给排水核定表

序号	用水环节	用水来源	用水量(m <sup>3</sup> /d)	排水量(m <sup>3</sup> /d)
1	办公生活用水	市政给水	3	2.55
2	污染土壤开挖区基坑降水	/	0	15.7
3	建筑垃圾冲洗用水	市政给水、回用水	20.8	16.2
4	固化稳定化养护	市政给水	55.3	无
5	车辆冲洗用水	市政给水、回用水	1.6	1.36
6	场地降尘用水	市政给水	27.9	无

根据项目进度及安排，本项目建筑垃圾冲洗过程与固化稳定化处理过程可错开，故本项目最大日用水量为 87.8m<sup>3</sup>/d，最大日排水量为 35.8m<sup>3</sup>/d。

#### 2) 生活给水系统

进驻现场后，根据业主单位提供的水电接入点位置，根据本修复工程用水位置，接入水。本工程生活给水用户主要为施工及管理人员生活用水。生活用水水源从附近居民家中给水管接入。生活用水量为 3m<sup>3</sup>/d。

场区生产生活水供水总管为 1 根 DN100 的 HDPE 管，供水压力≥0.2MPa。

#### (4) 排水设计

场内产生的施工废水来源主要有建筑垃圾冲洗污水、车辆冲洗污水以及基坑排水产生的污水，经估算约为 35.8m<sup>3</sup>/d。

上述污水经统一收集送北区水处理设备进行处理，经处理后再利用，用于建筑垃圾冲洗和固化稳定化土壤养护等。

#### (5) 雨污分流设计

项目有组织雨排水包括堆场雨排水、大棚屋面排水，基坑收集的雨排水、无

组织雨排水为场地地表雨排水，通过设置于场地内的雨水沟、集水井等收集，并定期用潜污泵抽至北区水处理设备处理后再利用。本项目所有暴露的未验收达标的污染土壤或基坑均采用蓝银布进行覆盖，确保雨污分流，雨水一旦与污染土壤接触，或与已受污染土壤污染的雨水接触，则须按污水进行处理。

## 2) 施工用电

由业主指定点接入电。

### (1) 电力管线施工

架空电力线路由电杆、导线、横担、金具、绝缘子和拉线等组成。架空电力线路的施工主要项目包括线路的勘测定位、基础施工、立杆、拉线的制作和安装、横担的安装、导线架设及弛度观测等。

架空电缆的金属护套、铠装及悬吊线均应有良好的接地，杆塔和配套金具均应进行设计，应满足规程及强度要求

支撑架空电缆的钢绞线应满足荷载要求，并全线良好接地，在转角处需打拉线或顶杆。

### (2) 变压器安装

变压器施工流程：变压器安装→开关柜就位安装→母线安装→开关柜调试→变压器试验→设备送电。

#### (a) 变压器安装

变压器在装卸的过程中，设专人负责统一指挥，指挥人员发出的指挥信号必须清晰、准确。

采用起重机具装卸时，起重机具的支撑腿必须稳固，受力均匀。应准确使用变压器油箱顶盖的吊环，吊钩应对准变压器重心，吊挂钢丝绳间的夹角不得大于60°。起吊时必须试吊，防止钢索碰损变压器瓷套管。起吊过程中，在吊臂及吊物下方严禁任何人员通过或逗留，吊起的设备不得在空中长时间停留。

#### (b) 开关柜就位安装

由辅助移动工具或人力搬运，将柜体就位，划定柜眼、套扣。开关柜搬运过程要固定牢靠，以防受力不均，柜体变形或损坏部件。

盘柜组立调整，与基础间采用0.5-1mm垫片进行调整，每处垫片最多不能超过3片，各柜之间应用厂家配备螺栓进行紧固连接。

柜内照明齐全，机械闭锁、电器闭锁动作准确可靠，电加热装置正常，高压带电显示正常。

### (c) 母线安装

母线平置时贯穿螺栓应由下往上穿，其余情况下螺母应置于维护侧，螺栓长度宜露出螺母 2-3 丝扣。当母线平置时，母线支持夹板的上部压板应与母线保持 1-1.5mm 间隙，当母线立置时，上部压板应与母线保持 1.5-2mm 间隙，相间及对地距离应符合设计及规范安装要求。

上下布置的交流母线由上到下排列为 A、B、C 相，水平布置的交流母线，由柜后向柜面排列为 A、B、C 相，引下线的母线由左至右排列为 A、B、C 相，三相交流母线颜色分别为 A、B、C 相对应黄色、绿色、红色。

单片母线及多片母线的裸露部分均有相色绝缘处理，母线的螺栓连接及支持连接处，母线与电气的连接处 10mm 以内不应有绝缘胶，螺栓连接部分应装绝缘护套接头盒。

### (d) 开关柜调试

检查弹簧储能完毕后，辅助开关将电动机电源切除，合闸完毕后，辅助开关自动接通电动机电源。

合闸弹簧储能后，牵引杆的下端或凸轮与各合闸锁扣可靠锁紧。

机构合闸后，可靠保持在合闸位置，调整弹簧机构缓冲器行程，符合产品的技术规定。

### (e) 变压器试验

变压器一、二次绕组直流电阻；1600kVA 及以下容量等级变压器三相测量出的绕组直流电阻相间相互差值小于三相平均值的 4%，线间相互差值小于三相平均值的 2%。

变压器绕组电压比；测试出变压器绕组电压比的数据与制造厂铭牌数据相比应无明显差别，额定分接头测量出的绕组电压比误差小于 $\pm 0.5\%$ ，其他分接头的电压比应在变压器阻抗电压值的 1/10 以内但不得超过 $\pm 1\%$ 。

变压器绕组绝缘电阻；变压器绕组绝缘电阻值不低于出厂试验值的 70%；变压器绕组交流耐压试验前后均应测量绝缘电阻，前后测得的绝缘电阻值相比较不应有明显的降低；手动绝缘电阻表摇到额定转速才可接上被试绕组，测量完毕，

先切开高压线，然后停止摇动绝缘电阻表。

#### 10.5.4 施工临时道路

为便于修复施工，需新建部分混凝土道路作为运输道路，混凝土道路主路宽 7m，采用 150mm 厚 C30 混凝土浇筑而成；支路宽 5m，采用 150mm 厚 C30 混凝土浇筑而成。

### 10.6 专项施工方案

#### 10.6.1 测量放线专项施工方案

##### 1) 编制依据

- (1) 《工程测量规范》(GB500026-2007)
- (2) 《建筑基坑工程检测技术规范》(GB50497-2009)
- (3) 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB50202-2002)
- (4) 《建筑施工安全检查标准》(JGJ59-2011)
- (5) 《建筑施工手册》(第五版)
- (6) 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2001
- (7) 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33-2012
- (8) 《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》(建质[2009]87号)，住房和城乡建设部，2009年05月

##### 2) 施工部署

###### (1) 测量施工部署

测量施工单位进场后应及时与场调单位进行控制点的交接工作，在施工区域配备不少于 3 个备用控制点，并做好控制点的保护工作。

使用全站仪对场内平面控制点进行校核，使用水准仪对场内的高程控制点进行校核，并将平面以及高程控制点引测至全场施工区域，建立工程测量控制网。经自检合格后连同测量资料报请监理单位与场调单位认可。

使用测量型 GPS 对施工区域平面进行测量放线，使用水准仪控制开挖深度，放线测量后及时进行复测，并将复测结果与设计图纸进行对比，严格控制施工精度。

## (2) 测量准备

充分做好测量前的准备工作，保证测量工作的顺利进行。

测量准备包括以下内容：控制点的交接与校核，编制测量方案，图纸审核，数据准备，最后检查测量仪器鉴定证书是否在有效期内，并组织合格测量人员的进场进行工程测量施工，测量员需持证上岗。

## (3) 测量工作要点

熟悉施工图纸，严格按照规定的程序要求和标准精心施测。

选用合适精度仪器，所有测量仪器在使用前按有关规定检验校正。

放线前，对已有数据、资料和施工图中的几何尺寸，必须校核，严禁凭口头通知或未签字的草图放线。

在施工期间保护好测量控制点，如有损坏必须及时补上，施工中发现控制点有位移迹象，需及时进行复测校核，以保证其精度。在现场用混凝土埋设通视良好、不宜破坏的控制点。在施工中应随时进行开挖控制，严格按照设计图纸进行放线。

施工放线做到“防”、“勤”、“精”、“复”、“明”。

“防”：即做好工作防护，根据场地条件，气象条件，使用合适的防护措施，以保障施工人员的身体健康。

“勤”：即勤测，每一道工序开始时都要施测，必要时可重测或加密测量间隔，以保证施工精度。

“精”：施测结果要精确，技术要熟练，设计和规范的要求要精通，施测方法要先进，措施要可靠。

“复”：即所有施工测量工作做到有测必复，分别由专人负责，并对测量控制点定期进行复测，测量内业工作由专人校核，确保测量成果准确无误。

“明”：即所有的测量标志清楚、明了，施工人员可以一目了然。

所有外业测量资料，都应用记号笔登记，测量时应有监理旁站，测量完成后，需附测量资料经监理工程师复核并签字认可。

## (4) 测量人员、测量仪器构成及管理

为保证放线工作按时、保质完成。修复单位应成立专门的施工测量小组，施工测量小组由一名测量主管以及两名测量技术人员组成，测量成果必须进行多级

审核。在整个施工过程中，充分发挥测量工作的先导作用。

测量人员持证上岗，严格遵守仪器测量操作规程作业。

施测过程中，要注意旁边的障碍物，以免仪器碰撞或倾倒。使用钢尺测距需使尺带平坦，不能扭转折压，测量后应立即卷起。钢尺使用后表面有污垢及时擦净长期贮存时尺带涂油防锈。

仪器使用完毕由专人负责保管，存放在通风干燥的室内，并及时充电养护。

### 3) 测量放线实施

#### (1) 自然平面开挖放线

首先根据控制点用 GPS 根据坐标放出外边线主要轮廓，并根据放坡要求撒出上口开挖边线。

#### (2) 基坑地面开挖放线

污染土壤开挖边线应严格遵照测量放线的边线，当开挖深度接近基坑设计深度时，测量人员应使用水准仪进行标高控制，应按照设计要求，严禁少挖。

#### (3) 基坑验槽

当污染土壤挖方结束后，根据控制点放出拐点，用白灰或者红漆洒出拐点位置，以方便监理单位和场调单位验槽。

#### (4) 高程控制点的联测

向基坑内引测标高时，首先联测高程控制网点。经复核确认无误后，方可向坑内引测实际施工标高

#### (5) 基坑土方开挖标高控制

在土方开挖即将挖至坑底标高时，测量人员要对开挖深度进行实时测量，严格控制开挖标高，高程控制原则为严禁少挖，尽量不超挖。

### 4) 质量控制及保证措施

对监理单位和场调单位提供的基准点首先进行复核，发现问题及时以书面形式与相关方沟通。

控制点要做醒目标志，并采取保护措施。

测量作业完成后进行校核，误差小于测量规范值可进行下一步工序，如超过规范要求，需查找问题并重新测量。测量结果经自检合格后，连同测量资料上报监理工程师验收，经监理单位和场调单位确认后，方可作为各项工程定点放线的

依据。

所有观测记录簿必须保持完整，不得撕页，不许涂改，记录中间也不得无故留下空页。

施工测量成果资料（包括观测记录簿、放线单、放线记载簿），图表（包括地形图、竣工图、控制网资料）应予以统一编号，妥善保管。

## 10.6.2 污染土壤清挖专项施工方案

### 1) 编制依据

- (1) 《建筑施工安全检查标准》（JGJ59-2011）
- (2) 《建筑施工手册》（第五版）
- (3) 《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB50300-2001）
- (4) 《建筑机械使用安全技术规程》（JGJ33-2012）
- (5) 《工程地质手册》第四版
- (6) 《建筑与市政降水工程技术规范》（JGJ/T111-98）

### 2) 施工准备

污染土壤场内运输施工作业开展前必须具备如下条件：

#### (1) 确定起始零点

进场后，先将场地原地面或探孔的起始零点（即该相应地块《调查报告》中土壤污染深度的计算起始面）以上的建筑垃圾清理干净。然后，再测量场地原地面或探孔的起始零点标高，相关测量结果经监理单位和建设单位确认后，再进行污染区域范围现场确认工作。

#### (2) 测量定位桩点和资料的移交

进场后，及时办理测量定位桩的确认，并进行相关资料的交接和手续办理。

#### (3) 确定污染边界

在完成场地原地面或探孔的起始零点标高测量后，应根据各地块《调查报告》确定的污染区域范围，现场划出污染区域边界，并按要求对污染区域边界范围进行验证，具体验证方法按经评审、论证并报环保主管部门备案的《调查报告》规定的方法执行。验证过程中经过检测的样品必须详细标注。

#### (4) 污染土壤清挖区域清理

污染场地地表的草皮、地面基层、面层（包括混凝土、广场砖等）、路缘石、

苗木、建筑垃圾等，必须在正式开工前清理干净后，再进入土壤开挖工序。

### 3) 污染土壤开挖

#### (1) 污染开挖原则

##### (a) 尽量减少土方开挖工程量的原则

根据经确认的污染区域范围、清挖起始零点及污染深度，确定实际开挖边界线。开挖过程中应注意开挖面的控制，在确保污染区域边界范围内土壤全部开挖的前提下降低土方开挖工程量。

##### (b) 分区开挖、分区检测的原则

对于各区污染分布情况不一致的污染区域，应根据相应地块调查与评估报告中计算的各区范围，分区确认污染区域边界、分区检测验证、分区开挖。

##### (c) 方案先审批，后实施的原则

开挖前需协调建设单位，收集本地块的地下管线及基础分布情况的信息，制定相应开挖方案。如开挖过程中遇到未知的地下管线，需立即停工，报监理单位和建设单位确认。待编制专项方案后，方可继续施工。

#### (2) 土壤开挖

在清挖过程中加强气味抑制措施（如喷洒气味抑制剂），土壤清挖前在表面覆盖防水膜，清挖过程边边揭开防水膜边清挖。该部分土壤清挖完成后迅速用防水膜对基坑进行覆盖，基坑防水膜遮盖图见图 10-4 所示。



图 10-4 基坑防水膜遮盖示意图

### 10.6.3 污染土壤运输专项施工方案

#### 1) 编制依据

- (1) 道路运输、交通安全、环境保护、卫生管理相关法规和条例等。
- (2) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》
- (3) 《中华人民共和国道路交通安全法》
- (4) 《中华人民共和国道路运输条例》
- (5) 《广州市城市市容和环境卫生管理规定》

#### 2) 总体运输方案

##### (1) 污染土壤场内运输

污染土壤场内运输主要包括两方面内容：一是将清挖出的污染土壤由开挖区通过自卸运输车转运至污染土壤固化/稳定化处置大棚和热脱附预处理大棚进行预处理及固化稳定化处理，处理后在相应堆场内堆置养护待检；二是采用自卸运输车将污染土壤筛分出的建筑垃圾运输至筛上物冲洗区堆存，定期集中进行冲洗处理，冲洗后的干净建筑垃圾进行资源化利用或场内回填处置。

##### (2) 污染土壤运输

污染土壤清挖后需运输至锌片厂北区进行修复处理及安全阻隔填埋。本工程污染土壤场外运输流程见图 10-5 所示。



图 10-8 固化稳定化修复合格后土壤运输路线

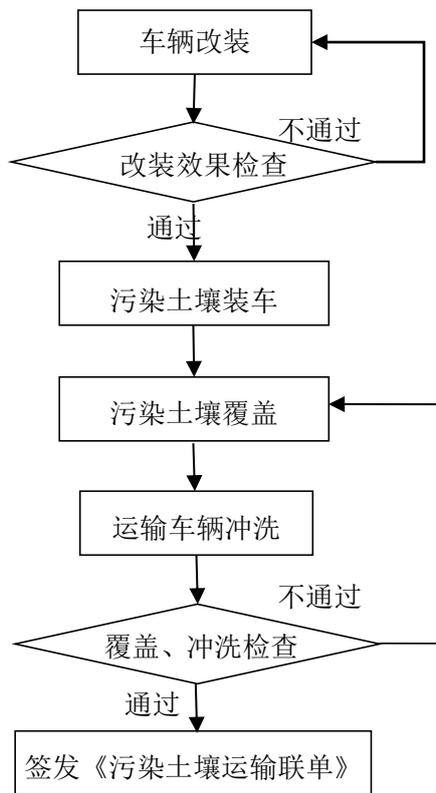


图 10-5 污染土壤运输流程图

### 3) 运输工具选择

根据总体运输方案，场内运输采用自卸式渣土运输车，所有车辆都为证照齐

全、已购保险、取得运营许可、车况良好的合法运输车。

根据土方开挖的施工进度、预判出土能力确定单车的装载能力和车辆数，并保持一定的富余运力作为应急备用。为便于运输管理和监控，运输任务应由固定的车辆和司机承担。

### (1) 运输车辆防护改装

本项目污染土壤运输工作均采用城管部门和交通运输管理部门许可的渣土运输车辆运输，运输车辆已领取有效的建筑废物运输车辆标识，运输企业具备运输资质。运输车辆参见图 10-6。



图 10-6 自卸式运输车

所有车辆需进行防护改装和遮盖，防止泄露、运输车辆防护改装，车箱尾挡板加装防水密封胶条，确保不漏不洒。所有车辆车箱尾挡板加装防水密封胶条、覆盖措施准备等运输车辆防护改装均需由施工单位和监理单位共同检查通过后方可准许用于污染土壤运输。

### (2) 污染土壤装车

污染土壤装载量控制在运输车装载能力 85%以内，采用挖掘机配合人工的方式将污染土装车，装车时如有土壤洒落，及时清理，防止造成二次污染。

### (3) 污染土壤现场覆盖

由于污染土壤中含有有机污染物，为防止运输过程中可能产生的二次污染，

对污染土壤运输车进行密封覆盖。



图 10-7 自卸式运输车密封覆盖示意图

#### (4) 运输车辆冲洗

所用运输车辆在离场前，均需在洗车池中，采用高压水枪冲洗干净，确保没有污染土壤通过车辆轮胎和车厢粘附带出场外。



图 10-8 修复后土壤运输车冲洗示意图

#### (5) 运输车辆覆盖、冲洗情况检查

所有车辆出厂前均需由施工单位和环境监理单位对车辆覆盖和冲洗情况进行检查，确保车辆按照要求采取严格的二次污染防治措施后方可离场。



图 10-9 运输车辆覆盖、冲洗情况检查示意图

#### (6) 签发《污染土壤运输联单》

污染土壤运至阻隔填埋区的全过程，须经施工单位、监理单位、运输单位和接收单位四方签字，填写《污染土壤运输联单》，作为竣工验收的资料。

### 3) 资源配置

#### (1) 组织准备

根据场内运输任务的规模和特点，建立以项目经理为首的土壤运输管理小组，与车队管理方共同设立调度小组，承担整个运输过程中的车辆调度、人员安排、安全文明等的组织协调和管理工作；制定相关的运输管理措施，对土壤运输中的违法、违规现象及时纠正与处置。

项目部成立土壤运输管理小组，人员组成如下：

组长：项目经理

副组长：施工经理

成员：专业工程师

#### (2) 测量准备

做好场地控制网的测量工作，建立控制基准点，测放取土坑开挖边线。将高

程控制点引至取土坑附近，以便随时控制挖土标高。

**(3) 协调准备**

核查运输车辆、挖掘机及操作司机的有关证件，保证各项手续齐全完善。

**(4) 机械材料准备**

**(a) 自卸式运输车**

配置配套污染土壤清挖能力的运输车的数量，确保污染土壤清挖后能够及时运输至北区相应区域进行修复处理。

**(b) 对讲机**

污染土壤运输过程中现场指挥人员及运输司机每人配置一台有效距离为2km的对讲机，便于现场指挥人员的统一管理。

**(c) 多功能雾炮车**

污染土壤运输期间，配置一台容量为5m<sup>3</sup>的多功能雾炮车，在现场随时对有扬尘的运输路段及时进行洒水降尘。

污染土壤运输施工拟投入的主要机械器具表，见下表。

**表 10-6 污染土壤清挖施工拟投入的主要机械器具表**

施工机械	规格型号	数量(台)	备注
运土车	东风 LZ3092	3-6	污染土壤运输
对讲机	有效距离 2km	5-8	现场指挥
多功能雾炮车	5m <sup>3</sup> /车	1	洒水降尘

**4) 进度计划**

污染土壤场内运输的进度计划同污染土壤清挖工期目标一致，具体开工日期以监理批准的开工时间为准。

**5) 质量控制与保证措施**

**(1) 运输车辆要求**

本项目污染土壤运输工作均采用自卸式运输车运输，运输车辆已领取有效的《广州市建筑废物运输车辆标识》，运输企业具备运输资质，运输司机有相关证件。

**(2) 运输车辆负荷**

清挖出的污染土壤由自卸车运输到北区修复处理区进行后续的筛分破碎处

理作业。污染土壤的场内转运采用中型自卸建筑垃圾运输车，有效运输体量约 $12\text{m}^3$ ，控制运输量不大于 $10\text{m}^3$ ，装载能力控制 $<85\%$ 。

### (3) 运输车辆行驶要求

污染土壤装车后及时对车辆进行遮盖，运输过程控制车速在 $15\text{km/h}$ 以内，防止洒落、扬尘。车辆必须按设计的路线行驶，路线设有警示标识，司机不能任意自行改变路线。污染土壤运输至大棚内时须听从大棚内的指挥员指挥，按要求堆放每车土壤，方便污染土壤预处理施工。

### (4) 运输过程中的扬尘控制

污染土壤运输车辆在场内运输过程中难免会产生扬尘，本项目在土壤运输过程中采用多功能雾炮车对污染土壤场内运输道路区间进行洒水降尘。多功能雾炮车洒水降尘示意图如下。



图 10-10 雾炮车洒水降尘示意图

## 10.6.4 热脱附修复施工专项方案

### 1) 热脱附修复施工应具备条件

- (1) 水、电、天然气等能源介质能保证供应。
- (2) 试验土壤、材料等准备就绪。
- (3) 所有设备已进行热态联动试车，整改工作已完毕。

- (4) 生产线上通讯正常。
- (5) 各方人员安排已到位，并经过培训。
- (6) 各种试车用的工具已准备齐全。
- (7) 各种安全、消防设施已符合要求，安全、消防、保卫措施落实到位。
- (8) 机械、电气、仪表（测量仪表）处于随时可运转状态；
- (9) 技术人员、班组长、岗位操作人员已经确定，且经考核合格。
- (10) 试车方案和有关操作规程已经批准并印发到岗位及个人，在现场以适当形式公布。
- (11) 生产记录报表齐全并已印发到岗位。
- (12) 安全卫生、消防设施、电视监控等防护设施已处于完好备用状态。
- (13) 重大危险源、危险区域、职业卫生监测点已确定，按照规范、标准应设置的标识牌和警示标志已到位。
- (14) 保运队伍已组建并到位。
- (15) 试车现场有碍安全的机器、设备、场地、通道处的杂物等已清理干净。

## 2) 热脱附修复实施

### (1) 施工说明

热脱附工艺主要针对场地内有机污染土壤。污染土壤热脱附工艺施工说明如下：

#### (a) 污染土壤预处理

将污染土壤开挖运输至热脱附预处理大棚，对大棚内的污染土壤采用筛分破碎斗进行筛分破碎预处理，筛分破碎斗处理能力为 50-150m<sup>3</sup>/h，筛分粒径为 50mm，根据污染土壤含水率的高低在预处理过程中适当投加预处理药剂，根据土壤含水率和粘性的不同，拟定投加比例为 5%。污染土壤预处理后将筛上粒径>50mm 建筑垃圾运输至筛上物冲洗区进行污染建筑垃圾冲洗工艺。

#### (b) 污染土壤进料及异位热脱附处理

将筛下粒径<50mm 土壤进行热脱附处理。热脱附处理合格后的土壤用于基坑回填。

### (2) 注意事项

施工过程中需注意以下几个影响污染土壤热脱附效果的主要因素：

(a) 土壤质地：土壤质地一般划分为沙土、壤土、粘土。沙土质疏松，对液体物质的吸附力及保水能力弱，受热易均匀，故易热脱附，热脱附修复过程中可缩短停留时间；粘、壤土颗粒细，性质正好相反，不易热脱附，则应适当增长停留时间。

(b) 水分含量：水分受热挥发会消耗大量的热量。土壤含水率在 5-35% 间，所需热量约在 117-286kcal/kg。为保证热脱附的效能，进料土壤的含水率宜小于等于 20%。

(c) 土壤粒径分布：如果超过 50% 的土壤粒径小于 200 目，细颗粒土壤可能会随气流排出，导致气体处理系统超载。最大土壤粒径不应超过 5cm。

(d) 污染物浓度：有机污染物浓度高会增加土壤热值，可能会导致高温损害热脱附设备，甚至发生燃烧爆炸，故排气中有机物浓度要低于爆炸下限 25%。

(e) 在开始投料阶段，处理能力应设置较小值（如 2t/h），待系统稳定运行后，逐渐提高处理能力，直到达到设计处理能力为止。

(f) 在开始投料阶段，设定好参数后，待系统运行稳定后，可在设计范围内设置不同的温度等参数进行试验，以检验系统是否达到设计要求。

(g) 万一操作不顺，点火失败，由于炉内已充满未燃气体有引发爆燃之危险，故不得再次点火。此时应保证引风机、助燃风机工作约 10min 后，待烟气排除后重新点火。

(h) 点火时一定要待点火烧嘴燃烧稳定 3-5min 后再开启主烧嘴；点火时严禁出现先开煤气再点火的操作。

(i) 开启主烧嘴时应先送风（风机开度 25-30%）然后送入煤气，待燃烧稳定后，再调整主空气和主煤气。

(j) 严格控制进入布袋除尘的烟气温度，不得超过 220℃。

## 10.6.5 污染土壤修复后回填专项施工方案

### 1) 编制依据

- (1) 《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002
- (2) 《建筑与市政降水工程技术规范》(JGJ/T111-98)
- (3) 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB50202-2002)
- (4) 《建筑施工安全检查标准》(JGJ59-2011)

- (5) 《建筑施工手册》(第五版)
- (6) 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2001
- (7) 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33-2012
- (8) 《岩土工程手册》 建筑工业出版社 1995 年
- (9) 《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》(建质[2009]87 号), 住房和城乡建设部, 2009 年 05 月。

## 2) 施工准备

主要装运土方机械有: 铲土机、自卸运输车、推土机、铲运机及翻斗车等。  
碾压机械有: 平碾和振动碾等。

填土前应对填方基底和已完工程进行检查和中间验收, 合格后要作好隐蔽检查和验收手续。施工前, 应做好对填方水平高程标志布置。大面积场地上或地坪每隔一定距离钉上水平桩。

确定好土方机械、车辆的行走路线, 应事先经过检查, 必要时要进行加固加宽等。

回填土性质检测确保回填土源为修复后验收合格到达回填要求的土壤。有机污染土壤修复后直接回填无需进行防渗处理。

## 3) 回填实施

### (1) 回填过程

回填过程中应分层回填分层压实每层铺摊摊平后, 进行夯实, 夯实遍数在 3~4 遍, 夯实土达不到设计要求时, 可以增加夯实遍数。对于基础砖墙两侧的回填土夯实, 必须对称等层同时进行夯实。严禁一侧夯实, 再进行另一侧的夯实或一侧回填夯实多层以后再进行另一侧回填夯实。打夯要一夯压半夯, 夯夯相连, 行行相连, 纵横交叉。并且严禁用水浇使土下沉的所谓“水夯法”。

### (2) 回填结束

回填结束后将表层土壤进行夯实, 利用标高控制点严格控制回填区域顶板标高, 确保压实后的回填区域顶板标高与周边地貌标高一致。

回填结束后将回填工作相关测量放线及回填土方量等资料上报业主及监理。业主和监理审批同意后方可视为回填工作彻底结束。

## 4) 资源配置

### (1) 作业人员

现场施工人员，必须密切指导并配合现场操作的人员及时准确解决现场存在的用电、电源以及开挖之间的协调问题，力争现场施工时不存在返工、窝工等影响现场施工进度现象发生。并根据现场实际情况编制土方回填劳动力计划表，见下表。

表 10-7 边坡支护劳动力计划表

工序	工种	总人数	用工时间(月)
放点、放线	测量员	1	0.1
回填施工	施工员	1	0.2
合计:		0.3 人·月	

### (2) 机械材料准备

(a) 要求使用工器具必须工作性能良好，能够很好的满足现场施工需要；在施工前必须检查各种施工机械的性能；

(b) 施工电源、水源必须在施工前投入运行，并保证正常通电、通水，保证照明。综合考虑工作量、施工能力及工期要求等因素，编制土方回填施工拟投入的主要机械器具表，见下表。

表 10-8 土方回填拟投入的主要机械器具表

施工机械	规格型号	数量(台)	备注
全站仪	科力达 KTS-462LL	1	仪器已校核
GPS 测量仪	华星 A6	1	
水准仪	苏光四等水准仪	1	仪器已校核
挖掘机	沃尔沃 EC240B	1	---
运土车	东风 LZ3092	3-6	土壤运输

### 5) 进度计划

有机污染修复后土壤计划土方回填工期为 10 日历天，具体施工日期以土壤修复效果评估完成时间为准。

### 6) 质量控制与保证措施

#### (1) 回填注意事项

(a) 填料标准：土壤经效果评估合格后方可回填，除淤泥、粉砂、杂土、有机质含量大于 8% 的腐植土、过湿土和大于 20cm 石块外，其它均可回填；

(b) 回填前，将基坑内排水、杂物清理干净，符合回填的虚土压实，并经监理检验合格后方可回填；

(c) 各类回填土使用前，分别取样测定，确定填料含水量控制范围、铺土厚度等参数。回填土为粘性土和砂质土时，在最佳含水量附近时填筑，如含水量偏大应翻松、晾干或加干土拌均；如含水量偏低，可洒水湿润，并增加压实遍数或使用重型压实机械碾压。回填料为碎石类土时，回填或碾压前宜洒水湿润。不同类土回填，按土类分层填铺；

(d) 基坑回填分层、水平夯实；基坑回填标高不一致时，从低处逐层填压；

(e) 采用机械碾压时，要薄填、慢行、先轻后重、反复碾压，碾压时搭接宽度应符合规范要求；

(f) 基坑回填碾压过程中，取样检查回填土密度；

(g) 基坑雨季回填时，应集中力量，分段施工，工序紧凑，取、运、填、平、压各环节紧跟作业。雨季施工，雨前要及时压完已填土层并将表面压平后，做成一定坡势。雨中不得填筑非透水性土壤；

## (2) 回填安全措施

(a) 机械施工区域禁止无关人员进入场地内。挖土机工作回转半径范围内不得站人或进行其它作业，卸土时应待运土汽车停稳后进行，不得将铲斗从运输汽车驾驶室顶部越过，装土时任何人不得停留在装土车上；

(b) 挖土机操作和汽车装土行驶要听从现场指挥，所有车辆必须严格按照规定的行驶路线行驶，防止撞车；

(c) 夜间作业，机上及工作地点必须有充足的照明设施，在危险地段应设置明显的警示标志和护栏；

(d) 雨期施工，运输机械和行驶道路应采取防滑措施，以保证行车安全；

(e) 基坑开挖时及基坑回填完成之前，四周的围护要及时跟上，不要留有安全隐患。

(f) 开挖区域周边严禁超堆荷载。在坑边堆放弃土、材料和移动施工机械时，应与坑边保持一定的距离，当土质良好时，要距坑边 1m 以外，堆放高度不

能超过 1.5m。

(g) 在进行回填工序时，其下方不得有人，所使用的打夯机等要检查电器线路，防止漏电、触电，停机时要切断电源。

(h) 在拆除护壁支撑时，应按照回填顺序，从下而上逐步拆除。更换护壁支撑时，必须先安装新的，再拆除旧的。

## 10.7 修复工程质量保证措施

### 10.7.1 质量保证管理体系

我公司通过 GB/T19001:2000-ISO9001:2000 国家、国际质量保证体系认证和复审认证。因此我们将严格按照 GB/T19001:2000-ISO9001:2000 国家、国际质量保证体系认证标准以及本公司各有关程序文件要求，并根据本工程的特点，对该项目的施工全过程进行控制。

### 10.7.2 设计质量控制点

表 10-9 质量控制点设置计划

序号	质量控制要点	责任人	主要控制内容
1	设计交底、图纸会审	专业工程师	图纸、资料是否齐全，能否满足施工要求； 了解设计意图，提出疑难问题；
2	材料进货检验	材料员	原材质保书、主品合格证； 分类堆放，建立台账； 取样复试。
3	各分部分项工程技术交底	工长	图纸规范要求； 各工种交接检查交底； 冬雨期施工措施；
4	测量定位放线、标高控制、沉降观测	专业工程师 项目工长	定位测量及图纸复核； 定位放线复核计划； 沉降观测记录及复核。
5	分项工程隐蔽验收	专业工长	分项工程隐蔽验收计划； 隐蔽内容、质量标准及隐蔽验收记录。
6	分部项工程质量评定	专职质检员	严格执行质量评定标准； 质量问题整改； 质量评定记录。

### 10.7.3 质量保证措施-人力

#### 1) 选好管理人员

在全公司范围内挑选有学历,有丰富施工实践经验的同志承担现场的管理工作,实行竞争上岗;选择有实力、有信誉、有良好业绩的施工承包商管理人员,为保证工程质量打下基础。

## 2) 选好专业队伍

认真选择专业队伍和人员。通过招标选择信誉好,特别是施工质量要有实绩、要有保证的专业队伍。

进场的专业队伍及操作人员必须持有有效的资质证书和上岗资格证书,不符合要求的队伍及无证人员严禁上岗操作。对现场的一般作业人员要进行必要的培训,在施工中严格监督,发现问题,立即令其整改。

## 10.7.4 质量保证措施-技术

### 1) 按规程、技术方案、作业指导书施工

(1) 技术方案、作业指导书的主要编制依据是合同、标准、设计图纸、图纸会审、设计变更通知单、设备厂提供的技术文件及联系单。

(2) 技术方案和作业指导书按规定的程序编、审、批。

(3) 技术方案和作业指导书由专业技术人员编制,内容包括施工顺序、方法、质量工艺标准及计量、安全要求等,进行技术交底,严格按技术方案、作业指导书施工,保证质量。

### 2) 质量记录管理

(1) 质量记录是对施工过程的真实记载,其形成与施工过程同步。

(2) 质量记录所采用的表式均是经公司注册的标准化格式,填写内容要求清晰、完整。当监理工程师有其他格式要求时,按监理工程师的要求执行。

(3) 所有质量记录均妥善保存并备目录索引,随时可供追溯。

### 3) 发挥技术监督作用

(1) 本工程技术监督人员将对土壤清挖、运输、堆置、修复、回填等工作进行重点监督,各专业技术监督人员均具有较强的业务能力,熟悉国家和行业的相关制度、法律、法规。

(2) 在项目总工程师的领导下,由工程部组织实施日常专业技术监督活动,制定各专业的技术监督计划,提出质量改进措施,并组织实施。配合建设单位、监理工程师和上级质监部门的质量监督活动。

(3) 所有监督活动都将形成记录，发现不合格及时督促整改。

#### 4) 计量管理

(1) 计量管理工作目标

标准计量器具受检率 100%；

在用计量器具受检合格率 100%。

(2) 施工使用的检验、测量、试验设备具有检验机构出具的检定合格证书，并在有效期内。保证现场使用合格的计量器具，确保数据准确、客观。

(3) 施工质量记录使用法定的计量单位，并填写使用的计量器具编号。

### 10.7.5 质量保证措施-施工过程

#### 1) 测量施工的质量保证措施

测量作业和各项技术按有关测量规程、规范执行。

测量仪器设备，必须检定合格并在有效期内。

加强现场测量桩点的保护，并且明确标识，防止用错。

每次放线前，核查拐点坐标，放线后技术、质检人员及时对所放的线进行检查，检查合格后方可报请工程监理进行验线。

#### 2) 土方开挖的质量保证措施

地坪以下土壤主要为杂填土层、原土层等，待混凝土面层清理完成后，根据各污染区域土壤按所需清理深度逐一清理。污染土壤清除完成后，向甲方现场工程师汇报，对土壤中污染物含量进行见证检测，确认检测结果达标后，方可不继续开挖，若检测不合格，根据还需清理深度，经甲方确认之后继续向下开挖清理，直至检测合格为止，超挖部分请监理单位见证，并做好签证；

##### (1) 严格控制清挖范围

严格按招标文件中规定的拐点坐标施工，不随意更改施工方案，严禁无目的挖掘及超挖。挖土施工过程中，设专人指挥挖机作业。清挖至规定范围后应停止施工并及时通知由招标人委托的验收单位，对清挖基坑侧壁和底边进行清挖效果自验收检验的采样监测。

基坑开挖过程中，建立工程监测系统，做好对基坑工程监测和控制。同时，经常对平面控制桩、水准点、标高、拐点坐标等进行复测。

##### (2) 技术交底要求

在施工前，做好全体施工人员及挖掘机驾驶员的技术交底和施工指导工作，贯彻落实业主的施工意图和原则，强化质量意识。施工过程中随时检查施工质量，严格按工艺标准控制作业整个过程，虚心听取业主及监理人员提出的意见和建议，认真地执行自检与互检工作。

### **(3) 预防基坑泡水质量保证措施**

开挖基坑顶部周围应设排水沟或挡水堤，防止地面水流入基坑。

### **(4) 预防边坡塌方质量保证措施**

做好地面排水措施及基坑周边路面硬化处理，避免在影响边坡稳定的范围内积水，造成边坡塌方。

土方开挖应自上而下分段分层、依次进行，随时做成一定的坡势，以利泄水，避免先挖坡脚，造成坡体失稳。

定期检测：每天对土方边坡进行巡视，查看边坡是否有裂缝、滑坡现象，如发现异常及时向项目主管领导进行汇报，及时采取措施解决；每周定期对深度超过 5m 边坡及护坡桩区域采用经纬仪、水准仪进行观测，确保边坡位移在规范允许范围之内。

### **(5) 预防边坡超挖质量保证措施**

机械开挖至污染范围边界时，安排测量人员随时对污染范围进行观测，严禁超挖。

对松软土层避免各种外界机械车辆等的振动，采取适当保护措施。

加强测量复测，进行严格定位，在坡顶边脚设置明显标志和边线，并设专人检查。

### **(6) 预防边坡滑坡质量保证措施**

加强地质勘察和调查研究，注意地形及地表、地下水流向和分布，制定切实可行的施工方案，采取合理的施工方法，避免破坏地表的排水设施，消除滑坡因素，保持坡体稳定。

施工中尽量避免在坡脚处取土、在坡体上弃土或堆放材料。尽量遵循先治理后开挖的原则。发现滑坡裂缝，应及时填平夯实；沟渠开裂渗水，要及时修复。

### **(7) 清挖终点的确定**

与本场地土壤污染物修复目标值比较，若现场清挖基坑侧壁和底面土壤中的

目标污染物浓度小于本场地土壤修复目标浓度，则为清挖终点。若土壤中目标污染物浓度大于修复目标浓度，则继续进行清挖，直到土壤中污染物浓度小于修复目标浓度为止。

#### **(8) 继续清挖要求**

清挖施工中，在清挖至规定的范围后，若发现并经第三方检测单位监测确认，施工现场土壤中的污染物浓度仍超过本场地土壤修复目标值，将与第三方检测机构一起通知业主，经业主确认并同意后实施进一步的继续清挖。

### **10.7.6 其他质量保证措施**

#### **1) 材料、工程设备进场验收程序**

进场的材料、设备要进行验收。不合格的材料、设备不得投入使用。所有工程材料、设备均应有质保书/出厂合格证。同时对进场的材料和设备要按规定进行抽检和复试，经复试合格后才能用于工程之中。复试工作必须实行“见证取样、送样”。

#### **2) 施工过程控制程序**

在施工过程中，我们严格执行 ISO9002 质量保证体系，做到施工标准化作业、管理过程标准化记录。

### **10.7.7 工程质量检验**

#### **1) 质量检验及评定程序**

(1) 提供便利条件，积极配合建设单位、监理工程师和主管质检站的检查，虚心接受检查结果。

(2) 施工前，公司将编制适用于本工程质量验收的包含评定项目、性质、验收级别等内容的《施工质量检验项目划分表》，明确见证点(H点)、停工待检点(W点)，送建设单位或监理工程师审核批准；定稿出版后，严格按此表进行检查验收。

#### **(3) 质量验收评定的等级划分**

施工班组为一级质检，自检与互检相结合，质量验收由班组长确认。

施工专业(工地)专职质检员进行二级验收。

项目工程管理部质检人员进行三级验收，分专业审查一、二级质量验收记录，

进行评定与签证。

(4) 工程竣工时，会同建设单位、监理工程师和其他单位进行全面的检查验收，办理移交手续。

(5) 建设单位或监理工程师对总承包商产品质量的验证不能免除公司提供合格产品的责任，在建设单位或监理工程师检查合格后，如仍发现由于公司原因引起的质量问题，其责任仍由公司承担，并无条件地及时返工，达到合格及以上要求。

## 2) 不合格的处理

(1) 各级检查、验收发现质量不合格时，按四不放过原则进行处理，必要时制定纠正或预防措施。纠正后进行再次验证。

(2) 各级专职质检员发现施工过程中存在较大质量问题时，应立即令其停止施工，待问题处理完后才能继续施工。

(3) 按规定的程序办理开工、停工、复工，只有具备条件时才允许开工和复工。

(4) 发现设备缺陷时，应及时通知厂商和监理工程师，对处理结果应予以确认。

## 10.7.8 工程技术资料管理

(1) 现场设专职的资料员负责收集、整理工程资料（包括录像带、照片）。

(2) 应每天记录好本单位在现场施工时所发生的工作量、人工、机械使用、施工部位、材料设备进出场、质量问题、产生原因、补救办法及天气情况等内容。

## 10.8 修复工程工期保证措施

### 10.8.1 完善的计划保证体系

为了更好地对项目进行动态管理，及时准确的掌握各工程项目的进展情况，确保项目汇报工作的落实，采用项目报告制度。各项目部应指定专人负责项目汇报工作，责任到人。项目报告分为周汇报、月汇报。

#### 1) 项目周报内容包括：

(1) 工程进展情况；

- (2) 项目质量、安全控制情况；
- (3) 当前遇到的困难与问题及拟订的解决措施；
- (4) 需要上级有关部门协调解决的问题；
- (5) 下周工作计划；
- (6) 其他有关事宜。

各项目部的周汇报在每周周五之前向公司工程部书面汇报，同时向招标方提交周施工汇报。提交给招标方的书面报告中主要反映工程进度状况、工程质量问题和整改情况，提出加强质量管理的措施。

## 2) 项目月报内容包括：

(1) 进度管理：根据生产能力负荷平衡进行作业分配，按照生产进度计划日程要求，发布作业指令；根据各项原始记录及生产作业统计报表，进行作业分析，确定每天生产进度，并查明计划与实际进度出现偏离的原因；进度管理的目标，不仅要及时发现计划与实际的偏离程度，采取有效措施，予以消除，还要提高预见性，预防偏离情况的发展。

(2) 安全管理：对施工过程的安全情况进行介绍，对后续施工可能带来风险进行管控。

(3) 质量管理：对项目实施的各个环节进行质量把控，纠正不符合质量要求的行为。

(4) 技术管理：针对修复技术提出合理的修复实施方案，优化设计。

(5) 项目资金管理：对每月实施过程中的资金进行统计，对后续资金流进行管控。

(6) 成本管理；

(7) 项目管理其它方面；

(8) 目前项目管理过程中存在的需要上级协调解决的问题。

月汇报在每月末（每月 25-30 日内）向公司工程部书面汇报，同时向招标方提交月施工汇报。提交给招标方的书面报告中主要反映工程进度状况、工程质量问题和整改情况，提出加强质量管理的措施。

## 10.8.2 施工进度管理

工程施工采用 IPMP 国际项目管理模式对项目进行全方面的管理，其中进度

管理采用网络计划技术（P6 软件）进行控制管理。

### 1) P6 软件使用经验

我公司是国内较早用 P3 来进行工程管理的单位，是国内 P3 销售总代理上海普华公司的客户之一。通过近几年的应用，P6（P3 升级版）已经成为我公司工程管理信息系统中的最重要的一个组成部分，在我公司的工程管理中发挥着不可替代的作用。

### 2) 项目中 P6 应用规划

为确实掌控本项目的工程进度控制，建成“更安全、更可靠、更先进、更经济、更规范”的电厂，使工程施工能合理有序并如期建成投产，按照招标文件的有关要求，切实用好 P6 软件，实现对工程进度的“静态控制、动态管理”，提高工作效率，加快工程信息交流，实现数据共享，使 P6 成为工程管理的核心工具。

### 3) 交给业主的报告

提供给业主的施工计划中除了横道图外，还应包括：

工序清单（包括工序代码、说明、原定工期。每工序还需罗列其紧前、紧后工序）、原定工期、实际工期、实际开工日期报告（实际开工日期、实际完工日期）、作业计划完成合同费用的报告、完成情况累计报告（计划完成、实际累计完成）。

随月度更新计划上报给业主的还包括一份书面的报告，描述本期实际进度、下期计划进度、赶上进度滞后的措施（对所有有负浮时的路径），说明遇到困难/问题以及对工程的影响。此外，还应提出可能的解决方案供业主参考。

在项目施工中，将积极配合业主使用 P6 对工程进行全方位管理，实现“投资最少、工期最短、质量最好、效益最好”的目标。

## 10.8.3 施工进度保证措施

### 1) 严格按计划组织施工

开工前，认真编制各分项、分部和总体工程实施性施工组织设计及各项目实施技术工艺，并报业主单位审核批准。按施工组织设计和施工网络计划制定“月、周”施工计划，严格按计划组织施工。

### 2) 加强施工现场管理

全员熟悉操作规程和质量标准，加强施工现场管理。充分利用现有成熟工法，

积极推广应用新技术、新工艺，合理调配资源，充分发挥设备能力和材料性能，结合工程实际，适时调整施工方案和施工工艺，杜绝质量事故和安全事故，不断提高劳动生产率。

### 3) 增强工期意识，保证材料、机械及时到位

按施工计划编制材料采购及设备配置计划，保证材料及时到位，杜绝停工待料，优选先进精良设备和机具，加强机械设备的使用、维修、保养和管理，确保设备完好率。做好节假日期间的材料储备工作，保证节假日正常施工。

### 4) 建立健全工程例会制度

工地每天召开工作会，总结当日计划完成情况及确定第二天工作计划；项目经理部组织召开周例会，落实本周计划完成情况及第二周工作计划的安排，研究解决施工中存在的问题，以“周”保“月”、“月”保总工期的实现。

### 5) 主动加强与业主和地方有关部门的联系

严格执行业主下达的各项计划、指令。主动加强与业主等单位的联系，及时汇报工程进展情况，做到每个环节、每道工序的质量达到标准取得签证。同时，加强与地方政府及有关部门的联系与协调，为施工创造良好的外部环境。

### 6) 做好雨季施工的管理和安排

随时保持与气象部门的联系，提前做好抵御暴雨等灾害性天气的各种措施；所有排水设施必须保证畅通，加强对地表水的疏导，对施工场地周围地面进行硬化，沿周边设置排水沟，配备足够的抽水设备，最低限度的减小天气变化对工期的影响。

## 10.8.4 工期调整及措施

本工程将严格按照施工计划安排，均衡组织生产，但若因重大设计变更、自然灾害或其它一些原因影响了计划施工工期，我们将采取如下措施调整和追赶工期，确保总工期最终实现。

### 1) 挖掘潜力，优化施工方案

通过科学分析并结合施工实际情况，挖掘潜力，优化施工方案，调整施工工序，做好工序衔接，确保关键工序，使施工作业更科学、更合理，达到使工期缩短的目的。

### 2) 增加人力、物力、机械和资金的投入

适当增加劳动力，积极做好职工工作，搞好材料、物资储备，减少节假日对施工的影响。合理增加施工机械设备、料具的投入，充分发挥机械化施工效率。

加强施工管理，确保资金更好的用于施工生产，保障施工生产顺利进行。

## 10.9 季节施工措施

### 10.9.1 雨季施工

#### 1) 施工准备与管理

##### (1) 主动掌握天气信息

本工程施工期间加强与当地气象局的联系，并设立天气专员。及时了解气候变化情况，详细记录每天的天气情况，听取 2~3d 的天气预报，了解天气变化趋势。把天气预报情况与施工安排结合起来，提前作好各项预防措施。施工过程中，根据所掌握的气象资料，尽量避开台风或大雨等恶劣天气施工。

##### (2) 雨季施工准备

(a) 雨季施工以预防为主，强调提前做好生产部署，采用防雨措施和加强排水手段确保雨季正常的施工生产，不受季节性气候的影响。

(b) 加强雨施信息反馈，及时掌握雨情、汛情信息，认真研究每年的雨季气候特点，对施工中可能发生的问题提前采取预防措施，及时解决。

(c) 做好施工人员的雨季施工培训工作。

(d) 雨季前对于大棚等建筑物应进行检查和修理，防止漏雨、漏电和其他不安全因素存在，保证基础、道路不塌陷，房间不漏雨，场区不积水，施工现场驻地、仓库、车辆机具等停放场地以及生产设施都应设在地势较高的地方。

(e) 施工驻地在雨季来临前购置必要的消毒药品，保证能够及时控制雨季传染病的发生。

##### (3) 停工与撤离

大雨或雷暴雨时室外施工必须停工，并在第一时间组织现场工作人员有序撤离到安全区域躲避，同时立即组织专门人员穿戴绝缘手套、雨靴等全套绝缘防护服，对现场的露天电器、机械、配电箱等进行断电处理；并在金属设备、精密仪器等上覆盖塑料防雨遮盖；遇到雨势很大、可能上升为灾害级别的大雨，必须立即上报相关部门，并有序按照相关部门指示进行抢险救援；雨后必须组织机电、

安全人员对施工用电、安全防护等各种设施进行全面检查。确保无安全隐患后方可继续施工；定期对漏电保护器等安全防护装置进行检查，及时更换失效的设施。

## 2) 施工设施和机电设备防护

在雨季到来之前，必须做好处置设施和机电设备的防雨、防淹、防潮、防霉、防锈蚀、防漏电、防雷击等项防护措施，管好、用好施工现场机电设备，确保施工任务的顺利完成。

(1) 固化/稳定化处置大棚及热脱附预处理大棚的主要材料不透水，在雨季要每天检查大棚是否完好，如有破损应立即进行修补和维护，防止在雨天有雨水渗漏，影响施工进行。修复大棚和办公室等现场构筑物的地面设计应比自然地坪高出 30cm，防止室外雨水进入室内。

(2) 对可能露天放置的大型机电设备，比如挖掘机、卡车、土壤修复设备、热脱附设备、尾气处理系统等要防雨、防潮，对其机械螺栓、轴承部件要经常加油并转动以防锈蚀，所有机电设备都要严格执行“一机一闸一保护”制度，投入使用前必须做好保护电流的测试，严格控制在允许范围内。在现场的最高机械起重机上加装避雷针，施工现场的低压配电室应将进出线绝缘子铁脚与配电室的接地装置相连接，作防雷接地，以防雷电波侵入。

(3) 在施工现场比较固定的机电设备要搭设防雨棚或对电机加防护罩；不允许用塑料布包裹。

(4) 对于变压器、避雷器的接地电阻值必须进行复测（电阻值不大于 4 欧姆），不符合要求的必须及时更换或处理。避雷器要作一次预防性试验。

(5) 机电设备的安装、电气线路的架设必须严格按照临时用电方案措施执行。

(6) 各种机械的机电设备的电器开关，要有防雨、防潮设施。

(7) 雨后对各种机电设备、临时线路等进行巡视检查，如发生倾斜、变形、下沉、漏电等迹象，应立即设置危险警示标志并及时修理加固，有严重危险的立即停工处理。

(8) 施工现场的移动配电箱、施工机具全部使用绝缘防水线。用后应放回工地库房或加以遮盖防雨，不得放在露天淋雨，不得放在坑内，防止雨水浸泡、淹没。

(9) 加强用电安全巡视，检查每台机器的接地接零是否正常，检查线路是否完好，若不符合要求，及时整改。

(10) 雨天作业，机械操作人员应戴绝缘手套、穿雨靴进行用电操作。

### 3) 清挖和运输措施

雨期来临前应在施工现场及边坡四周提前做好排水措施，保证水流畅通、不积水。

雨天清挖和运输要注意雨量大小，雨量大时停止施工，并采用预先准备好的防水塑料布等防水材料对现场污染土壤、基坑进行防雨遮盖，并采取相应行动，对挖掘机和卡车等设备进行防护。

### 4) 防雷工作

雨季施工重点作好防雷工作，并派电工每天对避雷针电阻进行测试。雷雨时人员不要走近架子，架空电线周围 10m 以内区域，人若遭受雷击触电后，应立即采用人工呼吸急救并请医生采取抢救措施。在施工过程中看见闪电或听见雷击时，停止可能会给自身带来危险的工作，三十分钟内没有再次观察到闪电和雷声时方可重新开始工作，若雷电频繁，则立即组织现场人员有序撤离到预先制定的避雷区域，同时远离树木、水、空旷处，不要使用有线电话和耳机，在无法找到掩蔽所时，蹲下以手塞住耳朵；特别要注意的是不要到不安全区域进行躲避，不安全区域包括：草棚、雨篷等小型建筑，距离护栏、门等金属物品、仪表电气设备、电线和插头较近的区域。

### 5) 排水工作

在施工开始前，就要预先做好预防大雨天气的排水工作，建设相应设施，在大雨天气，应组织专门人员将雨水引入排水设施：

(1) 基坑外排水：在基坑边界有高于开挖面 400mm 的围挡阻挡雨水，能够有效避免雨水深入基坑内容

(2) 基坑内排水：

开挖后的基坑均采用不透水防雨膜覆盖，有效进行雨污分流避免二次污染。

降水多时集水井内的积水随时用泵排出，保证基坑底干燥。将基坑四周地面填平，留一定外坡，使基坑四周 8m 宽范围地面不积水。

## 10.9.2 高温天气施工

本工程所在地属海洋性亚热带季风性气候，温暖多雨，夏季较长。因此，夏季施工以安全生产为主题，以“防暑降温”为重点，切实抓好安全生产，确保工程质量和施工人员的生命健康。

### 1) 施工安全组织措施

(1) 采用合理的劳动休息制度，适当调整作息时间，修复大棚内工人要缩短工作时间，保证工人休息和睡眠时间；

(2) 改善职工的生活条件，项目部在现场准备遮阳棚、凉开水及降暑药品，确保防暑降温物品及设备落到实处；

(3) 对所有工人进行防暑降温知识的宣传教育，确保使每一个工人掌握中暑症状和急救措施；

(4) 夏季天气较热，施工人员的个人防护用品往往比较厚，部分工人为了图凉快不佩戴防护用品，安全管理人员要做好宣传教育工作，确保所有工人按照规范要求佩戴个人防护用品；

(5) 对高温作业人员进行就业前和入暑前的健康检查，凡检查不合格的，均不得在高温条件下作业；

(6) 积极与气象部门联系，争取掌握近一个星期的天气温度情况，采取有针对性措施，尽量避免在高温天气进行大工作量施工。

(7) 做好施工人员宿舍通风降温措施，控制宿舍内的员有一个良好的休息环境。加强宿舍卫生检查管理，保证宿舍环境卫生，清除污染源，防止传染疾病传播。

(8) 夏季气温比较高，工人宿舍用电器比较多，加大安全隐患，项目部安全部门要经常组织定期、不定期检查用电，防止私拉乱接，禁止使用大功率电器，确保宿舍用电安全。

### 2) 施工过程中环境保护措施

根据本工程的施工特点，本场地中的主要污染物为石油烃和萘，此类污染物在高温天气较于平时更易于挥发，因此需采取措施控制气味扩散，同时加强人员的防护。

#### (1) 挖掘施工过程防护措施

在挖掘施工过程中，被封在土壤中的气味容易释放出来向周围扩散，并在较强气流的影响下沿下风向扩散明显。挖掘施工组织及安排要条理有序，需控制污染场地的开挖面积，减少污染土壤的暴露面，及时采用洒水、塑料膜覆盖开挖作业面等措施控制气味的扩散，严重的采用气体抑制剂进行应急防护。

### **(2) 土壤运输过程防护措施**

运输过程中，所有运载污染土壤的车辆均需帆布覆盖防护。

### **(3) 土壤修复过程防护措施**

修复过程中为保证施工安全，进入修复大棚作业时须佩戴防毒口罩。在污染土壤修复大棚作业时，实施轮班作业制，严禁长时间工作。每个班组工作 40 分钟需进行轮换。

### **(4) 施工过程中设备防护**

机械设备在高温下持续工作，会使油温过高，导致设备的零部件发生热变形，严重时会使设备失去工作能力。因此，在日常的维护中要注意以下几点：

- (a) 经常保持油箱中的油位，使系统中的油液有足够的循环冷却条件。
- (b) 经常保持冷却器内水量充足，管路畅通。
- (c) 在系统不工作时，液压泵必须卸载。
- (d) 正确选择系统中所用油液的黏度。

并且，在每天的施工作业过程中，要检查所有运行的机械设备是否处于正常的作业状态，若遇设施和设备已经遭受高温破坏的情况，必须立即维修和更换，保证施工安全顺利进行；若遇到意外情况或者重大损坏的，需要及时向管理人员汇报，对情况进行及时处理，保证施工工作顺利实施，不延误工期。

每天施工工作完成后，操作人员也必须对机械设备进行检查后再行离开。若遇紧急情况，参照应急措施进行处理。

## **10.9.3 冬季施工**

本工程位于我国南方，一般气温较高，常年平均温度 20℃，冬季气温绝大多数高于冰冻温度，也没有冻土现象，因此冬季施工的问题不是十分突出。如果遇到极端天气出现，例如极端低温，则要做好成品保护，暂停施工。

### 10.9.4 台风天气施工

本项目地点位于广州，处于东南沿海，气象属于亚热带季风气候，受热带气旋气候影响明显，为了确保工程的顺利、安全进行特根据本地区地理环境编制防台风如下措施：

(1) 风力达到六级以上时，启动紧急预案，做好设备、支架、大棚等垂直高度较高施工设备加固。

(2) 设备支架应与其附属建筑物进行必要连接，同时在顶部从四个方面用缆风绳在地面锚座或者其他可靠建筑物连接。

(3) 现场所有松散的材料都要帮扎并锚固或者转移到安全区域；堆放在安装好的梁上的材料应当绑在钢架上，地面成堆叠放的构件应全面检查防止倾斜翻落必要时将其固定在钢管柱或者其他物体上，防雨油布压重物并将其端部帮扎牢固。

(4) 对现场中大型设备的防雷接地进行检查。

(5) 对临建设施状况及生活区的用电进行检查，并做好排水措施检查，保证场间排水畅通。

(6) 加强施工电缆、电线的检查加固，使电缆，电线固定于建筑物或者其他固定物上，对台风暴雨期间不使用的电器设备，将其电源全部切断。

(7) 风雨过后，应重新对施工设备、大棚及配套施工设备认真检查、整改、加固，并经专职人员检查合格后方可上人进行施工。由专职机电人员对电缆、电线、机电设备等进行检查合格，并经试运转正常后方能投入使用。

(8) 关闭电源或煤气来源，非绝对必要，不要生火，生火时应办理动火证，并严格戒备。

(9) 施工现场重要物资应有专人看管，门窗破坏时，警戒人员应采取紧急措施。

(10) 现场的施工材料应回收到工具房内，施工废料要清理到安全地方。

(11) 电源线要绑扎固定好，遇到有棱有角的地方要用橡皮或胶垫抱起，并闭合所有的电源开关。

(12) 电源设备摆放稳定，电缆分开设置，必要时转移到安全地方。

(13) 安全监督员会同项目成员应彻底检查整个建筑，保证所有的防风措施都能落实到位。

## 10.10 工程竣工验收及项目移交

### 10.10.1 工程竣工验收

#### 1) 工程验收管理要求

修复过程中，在开挖网格清挖到位后，方可开展该层的开挖区域验收工作；开挖区域验收通过后，可以开展回填工作。

#### 2) 工程竣工验收条件

验收主要参照《场地环境检测技术导则》（HJ25.2-2014）和《广州工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点》执行。

首先由施工单位进行自验收，自验收通过后由修复单位提出申请，并组织修复效果评估单位进行验收。

本工程验收检测主要包括：对清挖完成的开挖区域进行验收，在确定开挖区域已经按照招标文件要求的污染区域边界清挖到位的前提下，对开挖区域的侧壁和底部采集土壤样品进行分析，检验污染土壤是否已经清挖完成；对修复后的土壤进行修复效果评估。

### 10.10.2 项目移交

#### 1) 工程竣工资料管理

施工过程中做好各类施工过程记录，相关工序的检验批等施工资料要及时归档，做好各类隐蔽工程验收记录，保证施工与其资料文件同步进行，杜绝先施工后补资料情况发生。

#### 2) 项目移交

项目验收通过后，将修复治理合格后的场地移交给业主，进行后续的开发利用。在竣工交付过程中，应同时提交相关验收资料。

## 11 附图

附图-1 污染范围分布图

附图-2 施工总平面布置图

附图-3 重金属污染土壤固化稳定化修复工艺流程图

附图-4 有机污染土壤热脱附修复处理工艺流程图

附图-5 污染建筑垃圾冲洗处理工艺流程图

## 12 附件

附件-1 工程实施总体进度计划