

# 佛山照明禅城总部厂区北区地块 土壤修复技术方案

生态环境部华南环境科学研究所

二〇二三年十一月



地块名称：佛山照明禅城总部厂区北区地块

土地使用权人：佛山电器照明股份有限公司

土壤修复技术方案编制单位（盖章）：生态环境部华南环境科学研究所



姓名	职务/职称	负责内容	签名
刘煌睿	工程师	方案设计、第1,5-9章	刘煌睿
闫海虎	工程师	第2, 3, 4章	闫海虎
陈晨	高级工程师	技术指导	陈晨
陈禧	副研究员	统筹协调	陈禧

报告审核：钟昌琴 高级工程师

报告审定：刘伟民 高级工程师

生态环境部  
华南环境科学研究所

## 佛山照明禅城总部厂区污染地块土壤修复技术方案专家评审意见

2023年12月4日，土地使用权人佛山电器照明股份有限公司在广州市组织召开了佛山照明禅城总部厂区污染地块土壤修复技术方案（以下简称《修复技术方案》）专家评审会。3位受邀专家和报告编制单位生态环境部华南环境科学研究所的单位代表参加了会议。与会专家和土地使用权人代表听取了编制单位关于《修复技术方案》主要内容的介绍，经质询与充分讨论，形成专家评审意见如下：

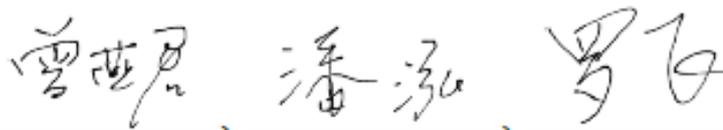
### 一、总体评价

《修复技术方案》编制依据较充分，内容较全面，修复技术路线选取恰当，费用估算依据较为充分，修复工期安排基本合理可行，专家组同意《修复技术方案》通过技术评审，《修复技术方案》经修改完善后可作为下一步土壤修复工作的依据。

### 二、修改完善意见

- 1、结合中区和北区修复范围，统筹安排修复施工平面布局；
- 2、完善汞污染热脱附修复技术参数的确定，细化尾气中汞的处理工艺；
- 3、完善二次污染防控监测方案。

专家组：



2023年12月4日

修改情况反馈表

专家意见	修改反馈	修改位置
结合中区和北区修复范围，统筹安排修复施工平面布局	以尽量不占用南区地块为原则，重新对中区修复功能区进行布设，将无污染土暂放于南区，其他功能区通过阶段验收腾出空间。	图6.5-1
完善汞污染热脱附修复技术参数的确定，细化尾气中汞的处理工艺	细化汞污染热脱附参数确定，细化尾气中汞的处理工艺。处理尾气产生的含汞废水采用“混凝+沉淀+过滤+冷却”组合工艺净化处理，废水净化后循环使用，废水中的单质汞经浓缩提纯后进行回收，其余汞富集在水处理泥饼中，统一收集后进行最终处置。	7.3.3水环境二次污染防治措施 7.3.4大气二次污染防治措施
完善二次污染防控监测方案	在修复地块上风向、下风向和敏感点布设大气监测点；废弃固定源监测非甲烷总烃，删除石油烃；修改苯并芘废水评价标准。	7.2修复工程环境影响监测方案
汞含量高，实际案例缺乏，支撑性欠缺。	补充汞热脱附案例，并建议进行汞热脱附中试实验以确定实际工程参数，并且考虑通过加入助剂降低汞污染土壤加热温度，提高汞去除效率。	5.3.3实际工程案例
方案把空间范围补充完整，每层的拐点坐标。	补充修复范围拐点坐标。	3.3.2污染物分类修复范围与工程量
核算基坑支护费用，补充支护数量和参数描述	补充支护类型、对应位置、设计深度和长度，完善基坑支护费用。	表6.7-2 基坑支护类型与长度 表5.5-1 修复费用匡算表
修复效果自检改成修复效果评估。	已修改相关描述	7.4 修复效果评估

## 摘要

佛山照明禅城总部厂区地块位于佛山市禅城区汾江北路东侧、汾江北一路北侧，厂区地块占地面积约276亩。佛山照明禅城总部厂区共分为三个地块（北区、中区和南区）开展土壤污染状况调查。本项目目标地块为北区地块，该地块调查面积为60462.41m<sup>2</sup>（约90.69亩），未来规划为商业、商务、娱乐康体用地，兼容二类居住用地。结合佛山市自然资源局禅城分局和佛山市禅城区祖庙街道办事处的相关规划文件，本调查地块按第一类用地进行评价。

《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤污染风险评估报告》于2023年11月完成备案。根据地块初步调查报告、详细调查报告和风险评估报告，北区汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯和石油烃（C10-C40）污染指标对人体健康存在不可接受风险，需要采取风险管控及修复措施。根据地块污染土壤修复范围确定原则和方法，本地块修复投影面积为20752.88m<sup>2</sup>，修复总土方量为32736.12m<sup>3</sup>，修复深度为8m。地下水的钼、钨、锰和砷超标，该地块所在区域为地下水禁采区，地下水不开发利用，且超标污染物不具有挥发特性，因此不考虑地下水修复。

修复方案结论如下：

（1）经技术比选，针对乙苯、石油烃、汞单独污染土壤可选择异位热脱附技术处理；针对汞+除汞外其他重金属、汞以外其他重金属+乙苯、汞以外其他重金属+石油烃形式的复合污染土壤，可先采用异位热脱附的方式去除汞、乙苯和石油烃，待检测合格后再送往水泥窑进行协同处置。

（2）地块修复工程费用估算为7298.86万，监理费用为229.6万元，效果评估费用为273.59万元，计划工期约为382天。

# 目录

第1章 总论.....	1
1.1 任务由来.....	1
1.2 编制依据.....	1
1.2.1 法律法规及相关政策.....	1
1.2.2 相关技术导则、标准和规范.....	2
1.2.3 其他文件.....	2
1.2.4 编制原则.....	3
1.3 编制内容.....	3
1.3.1 编制目的.....	3
1.3.2 编制内容.....	3
第2章 地块问题识别.....	5
2.1 地块基本信息.....	5
2.2 所在区域概况.....	7
2.2.1 地形地貌.....	7
2.2.2 气候气象.....	8
2.2.3 地表水.....	8
2.2.4 地下水.....	9
2.2.5 区域土壤类型.....	12
2.3 地块历史沿革.....	13
2.3.1 开发利用历史.....	13
2.3.2 建构筑物布局变动情况.....	14
2.3.3 历史卫星影像记录.....	15
2.4 地块环境特征.....	23
2.4.1 地块地质.....	23
2.4.2 地块水文.....	26
2.4.3 地块周边敏感目标.....	27
2.5 地块用地规划.....	29
2.6 地块污染特征.....	30

2.6.1 北区地块初调结果.....	31
2.6.2 北区地块详调结果.....	36
2.7 土壤污染风险.....	48
第3章 地块修复模式.....	49
3.1 地块修复总体思路.....	49
3.2 地块修复目标.....	49
3.3 地块修复范围.....	50
3.3.1 污染物叠加修复范围与工程量.....	50
3.3.2 污染物分类修复范围与工程量.....	53
3.4 场地修复模式.....	76
3.4.1 修复模式确定遵循的原则.....	76
3.4.2 常用的修复模式.....	76
3.4.3 修复模式初步确定.....	78
第4章 修复技术筛选.....	80
4.1 土壤修复技术简述.....	80
4.1.1 技术筛选原则.....	80
4.1.2 重金属污染土壤修复技术.....	80
4.1.3 有机物污染土壤修复技术.....	89
4.2 土壤修复技术可行性评估.....	94
4.2.1 污染场地修复工程实施原则.....	94
4.2.2 技术定量评估.....	95
4.2.3 修复方案比选.....	96
4.2.4 修复技术比选结论.....	102
第5章 修复方案设计.....	104
5.1 修复技术路线.....	104
5.2 污染土壤方量与土壤性质参数.....	104
5.3 场地修复小试试验.....	106
5.3.1 实验方案.....	106
5.3.2 小试结果.....	111
5.3.3 实际工程案例.....	112

5.3.4 热脱附小试结论 .....	114
5.4 修复实施过程 .....	114
5.4.1 水泥窑协同处置 .....	114
5.4.2 异位热脱附 .....	121
5.4.3 修复工程量估算 .....	124
5.5 修复工程费用估算 .....	124
第6章 工程部署 .....	126
6.1 项目组织机构 .....	126
6.2 总体部署 .....	127
6.3 总体施工顺序与准备 .....	128
6.4 施工准备 .....	131
6.4.1 物资准备工作 .....	131
6.4.2 施工技术准备工作 .....	131
6.4.3 施工现场准备 .....	132
6.4.4 其他准备工作 .....	132
6.5 施工平面布置 .....	132
6.5.1 布置原则 .....	132
6.5.2 布置内容 .....	133
6.5.3 施工平面管理 .....	133
6.5.4 施工总平面布置 .....	134
6.6 施工工期 .....	138
6.7 基坑支护设计 .....	142
6.7.1 基坑支护方案选型 .....	142
6.7.2 施工顺序 .....	144
6.7.3 施工要求、工艺和注意事项 .....	145
6.7.4 基坑降排水 .....	147
6.7.5 基坑监测 .....	147
6.7.6 支护工程监测 .....	148
6.7.7 基坑危险源分析及应急预案 .....	148
6.8 施工组织 .....	148

6.8.1 施工前准备 .....	149
6.8.2 进场各项准备 .....	150
6.8.3 临时设施建设 .....	153
6.8.4 土方清挖 .....	154
6.8.5 土方场内转运 .....	159
6.8.6 污染土壤筛分处理 .....	160
6.8.7 污染土修复（热脱附） .....	161
6.8.8 水泥窑协同处置 .....	164
6.8.9 施工废水处理方案 .....	176
第7章 环境管理计划 .....	181
7.1 修复工程监理、环境监理 .....	181
7.1.1 工作目的 .....	181
7.1.2 工作模式 .....	182
7.1.3 监理工作程序及内容 .....	182
7.1.4 监理工作制度 .....	185
7.1.5 监理工作方法 .....	187
7.1.6 监理要点 .....	191
7.1.7 环境监理重要文件资料的编制 .....	193
7.2 修复工程环境影响监测方案 .....	193
7.2.1 大气环境监测 .....	193
7.2.2 水环境监测 .....	197
7.2.3 声环境监测 .....	198
7.3 二次污染防治 .....	199
7.3.1 环境保护标准 .....	199
7.3.2 二次污染防治组织措施 .....	200
7.3.3 水环境二次污染防治措施 .....	201
7.3.4 大气二次污染防治措施 .....	203
7.3.5 噪声环境二次污染防治措施 .....	209
7.3.6 固废污染防治措施 .....	210
7.3.7 土壤环境二次污染防治措施 .....	211

7.4 修复效果评估 .....	213
7.4.1 效果评估依据 .....	213
7.4.2 效果评估原则 .....	214
7.4.3 自验收内容 .....	214
7.4.4 效果评估流程 .....	214
7.4.5 自验收项目和评价标准 .....	215
7.4.6 污染土壤异位修复效果评估方案 .....	216
7.4.7 基坑清理效果评估方案 .....	217
7.5 环境应急方案 .....	218
7.5.1 编制目的 .....	218
7.5.2 适用范围 .....	218
7.5.3 健康与安全管理 .....	218
7.5.4 环境应急预案 .....	219
7.5.5 应急准备 .....	220
7.5.6 应急程序 .....	221
第8章 成本效益分析 .....	223
8.1 修复费用 .....	223
8.2 环境效益 .....	224
8.3 经济效益 .....	224
8.4 社会效益 .....	224
第9章 结论 .....	225
9.1 可行性研究结论 .....	225
9.2 问题和建议 .....	225

# 第1章 总论

## 1.1 任务由来

佛山电器照明股份有限公司（以下简称“公司”）与佛山市禅城区土地开发中心签订了《国有土地使用权收储出补偿协议》《国有土地使用权有偿收回协议书》，计划将佛山照明禅城总部厂地块交储，交储地块占地面积约276亩，共包括北区、中区、南区三个地块单元。北区面积约90.67亩，中区面积约113.89亩，南区面积约70.93亩。根据原国家环境保护部、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）等相关文件的规定与要求，工业用地原址在改变原土地使用性质，进行二次开发利用前必须土壤污染状况调查。联合体牵头单位森特土壤修复研究院（深圳）有限公司与佛山市铁人环保科技有限公司于2022年12月共同中标佛山照明禅城总部厂区土壤调查项目。

《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤污染风险评估报告》于2023年11月完成备案。根据地块初步调查报告、详细调查报告和风险评估报告，北区汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯和石油烃（C10-C40）污染指标对人体健康存在不可接受风险，需要采取风险管控及修复措施。因此，受佛山电器照明股份有限公司委托，生态环境部华南环境科学研究所编制了《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤修复技术方案》。

## 1.2 编制依据

### 1.2.1 法律法规及相关政策

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015年1月1日起施行）；
- (2) 《中华人民共和国水污染防治法》（2018年1月1日起施行）；
- (3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年9月1日起施行）；
- (4) 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2018年8月31日通过）；
- (5) 《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）；
- (6) 《关于土壤污染防治工作的意见》（环发〔2008〕48号）；
- (7) 《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》（国发〔2011〕35号）；
- (8) 《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）；

- (9)《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环境保护部 部令 第42号）；
- (10)《建设用土壤污染状况调查质量控制技术规定（试行）》（2022年7月8日印发）
- (11)《广东省环境保护条例》（2022年修订）；
- (12)《广东省固体废物污染环境防治条例》（2022年修订）；
- (13)《广东省人民政府关于印发广东省土壤污染防治行动计划实施方案的通知》（粤府〔2016〕145号）；
- (14)《关于印发建设用土壤污染状况调查、风险评估、风险管控及修复效果评估报告评审指南的通知》（环办土壤〔2019〕63号）；
- (15)《广东省建设用土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》（粤环办〔2020〕67号）。

### 1.2.2相关技术导则、标准和规范

- (1)《建设用土壤污染风险管控和修复术语》（HJ682-2019）；
- (2)《建设用土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）；
- (3)《建设用土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2-2019）；
- (4)《建设用土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；
- (5)《建设用土壤修复技术导则》（H25.4-2019）；
- (6)《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6—2019）；
- (7)《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》（2014年12月1日）；
- (8)《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ25.5- 2018）；
- (9)《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166-2004）；
- (10)《土壤环境质量 建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）；
- (11)《国家危险废物名录》（2021年）；
- (12)关于印发《广东省建设用土壤污染修复工程环境监理技术指南（试行）》的通知（粤环办〔2020〕75号）；
- (13)《建筑地基处理技术规范》（DBJ/T 15-38-2019）；
- (14)《建筑地基设计规范》（GB 50007-2011）；
- (15)《广东省地基处理技术规范》（DBJ 1538-2005）。

### 1.2.3其他文件

- (1) 《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤污染状况初步调查报告》;
- (2) 《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤污染状况详细调查报告》;
- (3) 《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤污染风险评估报告》。

## 1.2.4编制原则

(1) 执行国家以及佛山市的环境保护政策，符合国家以及广东省和佛山市有关规范标准。

(2) 采用高效节能、简便易行和稳定可靠的土壤修复工艺，确保土壤修复效果，减少工程投资和日常运行费用，采用可靠的控制系统，做到技术可靠，经济合理。

(3) 设备选型在考虑成熟稳定的前提下，优化配置，减少投资。

(4) 保证修复系统的可靠性，并考虑一定的事故调节能力，严格控制粉尘和噪音等对环境的影响。

(5) 妥善处理 and 处置生产过程中产生的废水、废气、废渣，避免二次污染。

(6) 既着力于解决当前场地内的土壤污染问题，又为以后同类型污染场地的修复提供参考依据。

## 1.3编制内容

### 1.3.1编制目的

根据场地调查与风险评估结果，并结合场地实际情况，进行修复技术比选，从而确定适合于本地块的最佳修复技术方案，并制定配套的环境管理计划，作为目标场地的修复工程实施依据，支撑该场地相关的环境管理决策。

### 1.3.2编制内容

本方案编制内容包括地块修复相关条件 and 需求分析、确定地块修复模式、修复技术筛选、修复技术方案比选、修复效果自验收、环境管理计划、环境监理及修复效果评估等几方面内容，在对国内外相关修复技术初步筛选基础上，结合地块污染特征、水文地质条件及地块利用规划，从修复工程的工作内容、修复技术、资金强度及修复周期等方面分析本地块土壤修复技术的可行性，确定适合本地块土壤中污染物修复技术方案，估算工程投资，提出工程进度。其具体内容如下：

- (1) 地块修复相关条件 and 要求的分析

根据地块环境调查及风险评估结果，细化地块概念模型并确认地块修复总体目标，综合分析地块的污染特征、地块水文地质条件、地块未来土地利用规划和建设计划及修复过程的环境管理要求，明确地块修复相关条件，提出地块的修复目标，为开展后续工作提供基础。

#### （2）确定地块修复模式

根据地块水文地质条件、污染物特征及开发利用规划等，确定地块修复模式。

#### （3）修复技术筛选

以地块总体修复目标与修复模式为核心，调研常用的修复技术，综合考虑修复效果、可实施性及其成本等因素进行技术筛选，找出适用于目标地块的潜在可行技术，并开展相应技术的可行性评估，确定目标地块的可行修复技术。

#### （4）修复技术方案比选

在实践中，往往面临许多技术的选择，每个技术又组合成多种方案，这些方案或是采用不同的技术工艺和设备，或是有不同的修复模式。当这些方案在技术上都可行，经济上也都合理时，最终选择出具有最佳修复及投资效果的方案。

#### （5）修复技术方案设计

根据地块修复技术，确定修复技术路线，各种修复方法工艺流程、工艺参数、使用的设备等。

#### （6）环境管理计划

根据施工组织方案，提出配套环境管理计划，二次污染防控措施及环境监测相关内容。

（7）针对所确定的方案，制定环境监理及修复效果评估方案，核算工程量，估算工程投资及工期等。



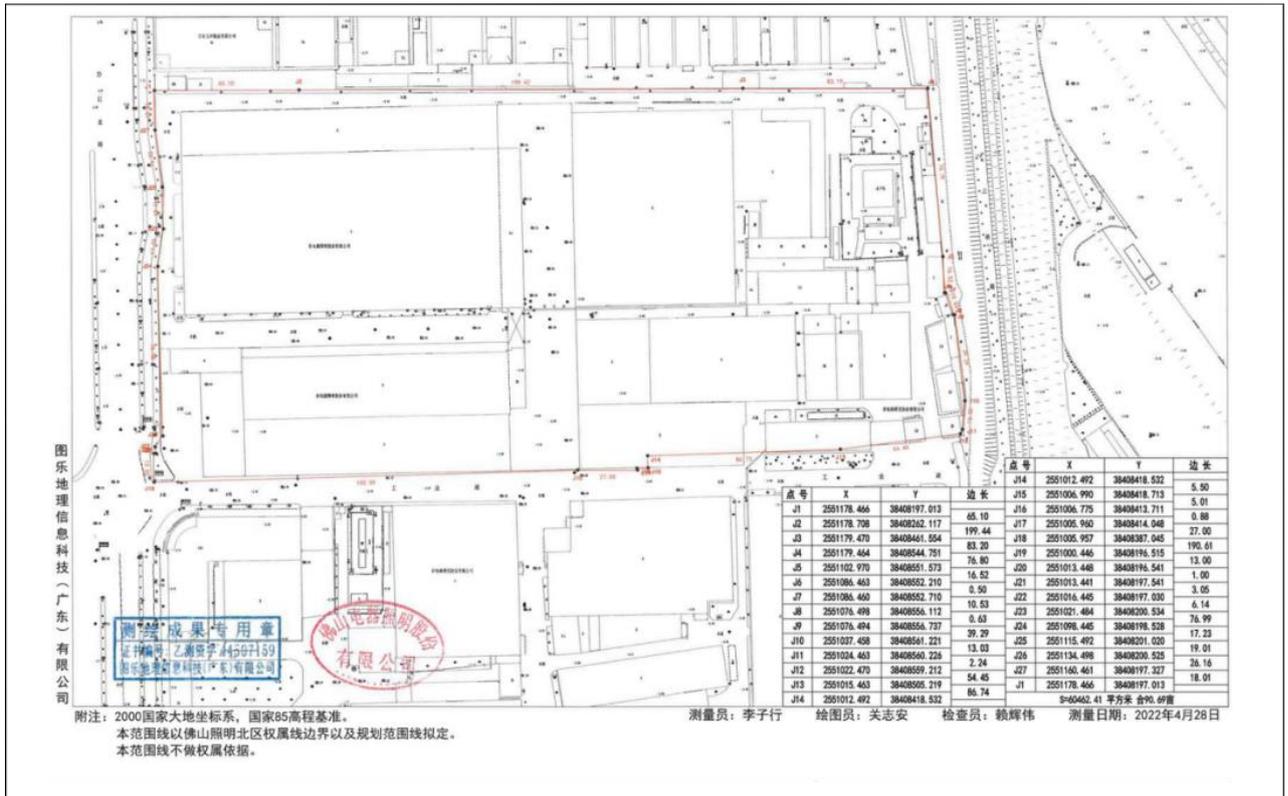


图2.1-2 北区地块调查范围示意图

表2.1-1 拐点坐标信息表

点号	X	Y
J1	2551178.466	38408197.013
J2	2551178.708	38408262.117
J3	2551179.470	38408461.554
J4	2551179.464	38408544.751
J5	2551102.970	38408551.573
J6	2551086.463	38408552.210
J7	2551086.460	38408552.710
J8	2551076.498	38408556.112
J9	2551076.494	38408556.737
J10	2551037.458	38408561.22
J11	2551024.463	38408560.226
J12	2551022.470	38408559.212
J13	2551015.463	38408505.219

J14	2551012.492	38408418.532
J15	2551006.990	38408418.713
J16	2551006.775	38408413.711
J17	2551005.960	38408414.048
J18	2551005.957	38408387.045
J19	2551000.446	38408196.515
J20	2551013.448	38408196.541
J21	2551013.441	38408197.541
J22	2551016.445	38408197.030
J23	2551021.484	38408200.534
J24	2551098.445	38408198.528
J25	2551115.492	38408201.020
J26	2551134.498	38408200.525
J27	2551160.461	38408197.327
J1	2551178.466	38408197.013

注：2000 国家大地坐标系。

## 2.2 所在区域概况

### 2.2.1 地形地貌

地块所在禅城区地处东经113°0'41"~113°05'40"，北纬22°35'01"~23°02'24"。位于珠江三角洲腹地，广州市西南，佛山市中部。辖区东、西、北面与南海区接壤，东南、南面与顺德区毗邻，南北长15公里，东西宽19公里。辖域面积154.09平方公里。禅城区地质属第四纪地层，以粘土为主，其他归粒径不等的沙层，属七度地震区。矿产资源主要是非金属矿，石膏石分布广，层厚床宽，质量好，储量丰富，属于与断陷盆地有关的湖相蒸发膏盐矿床。禅城区为平坦的冲积平原，绝大部分海拔1.3~4.6 米，有零星的小山丘，海拔在50米以下。地貌以堆积地系列为主，类型单一，属三角洲平原。三角洲平原组成物质是亚砂土和淤泥层，属珠江三角洲沉积的顶积层。地表大部分被松散沉积物所覆盖，厚约15~25米。调查地块地貌类型图见下图。

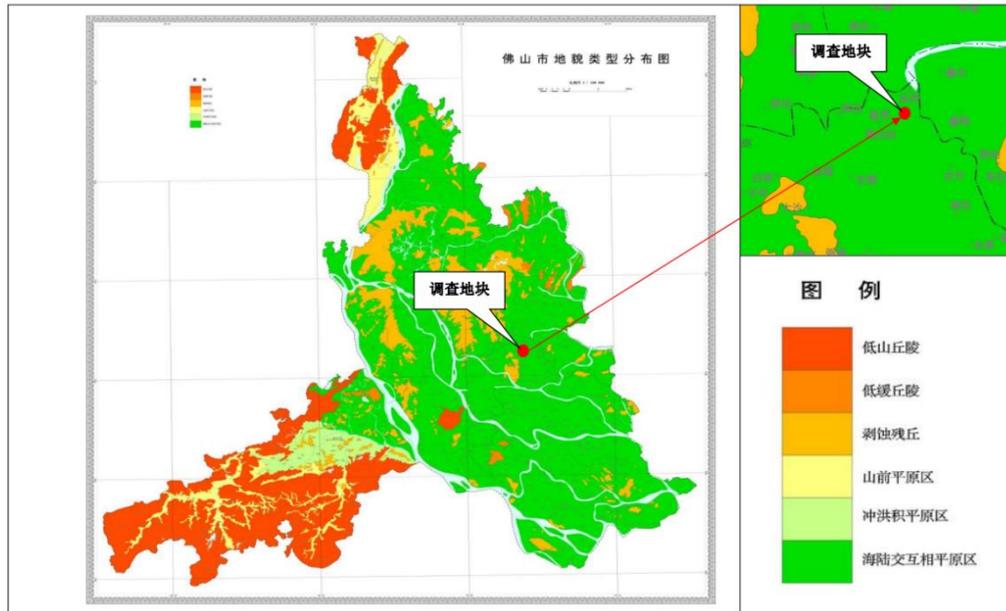


图2.2-1 佛山市地貌类型分布图

### 2.2.2 气候气象

地块所在的禅城区位于北纬 $23^{\circ}4'$ ~ $22^{\circ}55'$ 之间，属亚热带海洋性季风气候，降雨充沛，但分布不均匀，时有洪涝、干旱等灾害发生，夏秋两季常受热带风暴（台风）影响。影响禅城区的气象灾害主要有：早春的低温阴雨、夏季的台风、暴雨及强对流天气（强雷暴、大风、冰雹等）、冬季的寒潮等。总的来看，禅城区地理位置优越，土地肥沃，气候温和，雨量充足，四季常绿，景色迷人。气温：据佛山市气象站近年的观测资料表明，佛山市年平均气温为 $22.7^{\circ}\text{C}$ ，最高气温为 $36.3^{\circ}\text{C}$ ，最低气温为 $2.9^{\circ}\text{C}$ ；一年四季中，夏季的平均气温最高，达 $28.8^{\circ}\text{C}$ ，冬季最低，为 $14.9^{\circ}\text{C}$ ，春、秋季分别为 $22.3^{\circ}\text{C}$ 和 $24.7^{\circ}\text{C}$ 。日照：年平均日照时数为1407.7小时，秋季和夏季日照时数较多，分别为438.8小时和432.4小时，春季最少，为228.1小时，冬季为308.3小时。日最大日照时数为11.3小时。降水：年平均降水量为1600~2000mm，降水有明显的季节变化，主要集中在4~9月，约占全年降水量的80%。全年雨季分为两段：4~6月为前汛期，主要是锋面低槽带来的降水；7~9月为后汛期，主要是热带气旋、热带辐合带等引起的降水。由于地处低纬，海洋和陆地天气系统均对佛山有明显影响，冬夏季风的交替是佛山季风气候突出的特征：冬春多北风，夏季多东南风。冬季的北风因极地大陆气团向南伸展而形成的，干燥寒冷。夏季东南风因热带海洋气团向北扩张所形成的，温暖潮湿。多年平均相对湿度74%，自南向北微弱递减。年平均风速约为 $2.2\text{m/s}$ 。

### 2.2.3 地表水

地块所在的佛山市主要河流有西江干流、顺德水道、东平水道、潭洲水道、容桂水道。佛山水道西起禅城区的沙口，由潭洲水道分出，流经佛山市禅城区，南海区的罗村街道、桂城街道、大沥镇，广州的芳村区，到沙尾桥与平洲水道汇合后流入珠江的后航道，全长约25.5公里。佛山水道流速不大，一般为0.2~0.6m/s左右，不同断面，不同时刻及不同水期差异很大；流量较小，一般从几立方米/秒至几十立方米/秒。佛山水道西起禅城区的沙口，由潭洲水道分出，流经佛山市禅城区，南海区的罗村街道、桂城街道、大沥镇，广州的芳村区，到沙尾桥与平洲水道汇合后流入珠江的后航道，全长约26.5公里。佛山水道流速不大，一般为0.2~0.6m/s左右，不同断面，不同时刻及不同水期差异很大；流量较小，一般从几立方米/秒至几十立方米/秒。佛山水道禅城区段称汾江河，宽20~60m，深1.5~6m。河面狭窄，河道弯曲，河底淤浅。佛山水道支流佛山涌（军桥涌）在平洲水道出口处原有石肯水闸改建为单向闸后，水闸门只在涨潮时打开，让平洲水道较清洁的水流入佛山涌。退潮时水闸关闭，防止佛山涌受污染水体通过石肯水闸退向平洲水道。在水闸的作用下佛山涌内的水体反向流入汾江河，形成人为控制的单向流感潮河段。

## 2.2.4地下水

### 2.2.4.1区域水文地质情况

佛山市地下水资源较为丰富，地下水类型主要有松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类裂隙溶洞水、红层孔隙裂隙水和基岩裂隙水等，不同地区含水量有所差异，总体含水量为中等至丰富。以松散岩类孔隙水为主，地下水位高，一般埋深1-2米，连续含水层分布有1-3层，以微承压至承压水为主，以顺德区陈村、伦教、勒流、杏坛和均安一线的东南部为咸水区，佛山市其余地区为淡水区，过渡带为上淡下咸区。根据广东省水文地质单元区划图，调查地块周边地下水所在一个水文地质单元；根据广东省水文地质图，调查地块所在区域地下水类型为松散岩类孔隙水。地下水类型详见下图。地块所在地的地下水类型为松散岩类孔隙水，该含水层主要为全新统的冲积、海冲积砂层，次为上更新统冲积砂层，含水层岩性主要为填土层和砂层等，含水层普遍含泥质或夹薄层粘土、泥炭土等，结构多为中密，分选性较差，该区域的水量贫乏，以潜水为主，地下水主要补给来源为降雨入渗补给。

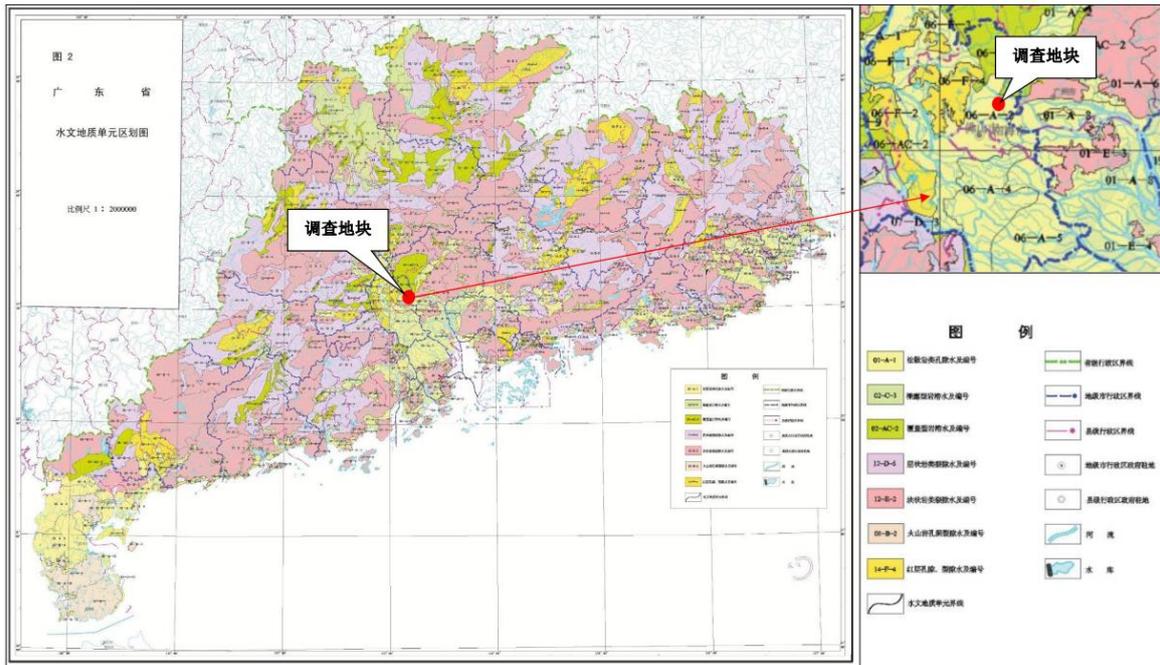


图2.2-2 广东省水文地质单元区划图

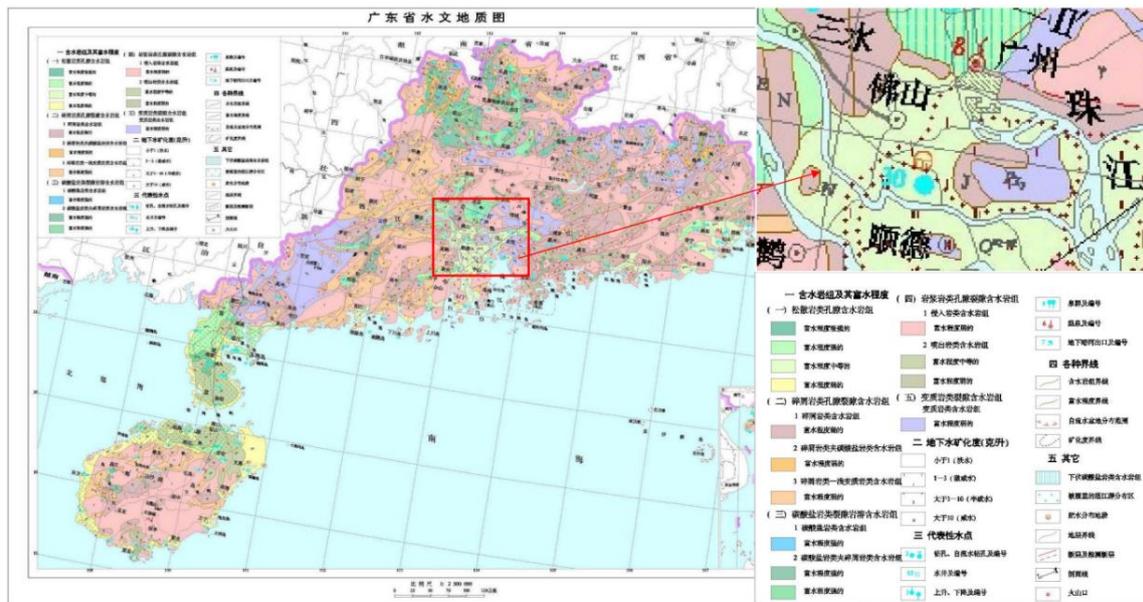


图2.2-3 地块区域水文地质图

### 2.2.4.2 地下水功能区域

根据广东省水利厅2009年8月发布的《广东省地下水功能区划》以及广东省人民政府办公厅《关于同意广东省地下水功能区划的复函》（粤办函[2009]459号），调查地块所在的区域地下水一级功能区为佛山保护区，二级功能区为珠江三角洲佛山南海分散式开发利用区，代码为H074406001Q01。调查地块所在位置及周边区域为分散式开发利用区，

地下水现状水质类别为I-V类。地下水功能区划详见下图。



图2.2-4 地块区域地下水功能区划图

#### 2.2.4.3 水源保护区

根据《广东省人民政府关于调整佛山市部分饮用水水源保护区的批复》（粤府函[2018]426号），地块与最近的饮用水源保护区：沙口-石湾水厂饮用水源二级水源保护区陆域范围最近距离约8.0km，不在饮用水水源保护区范围内。地块与水源保护区的位置关系详见下图。

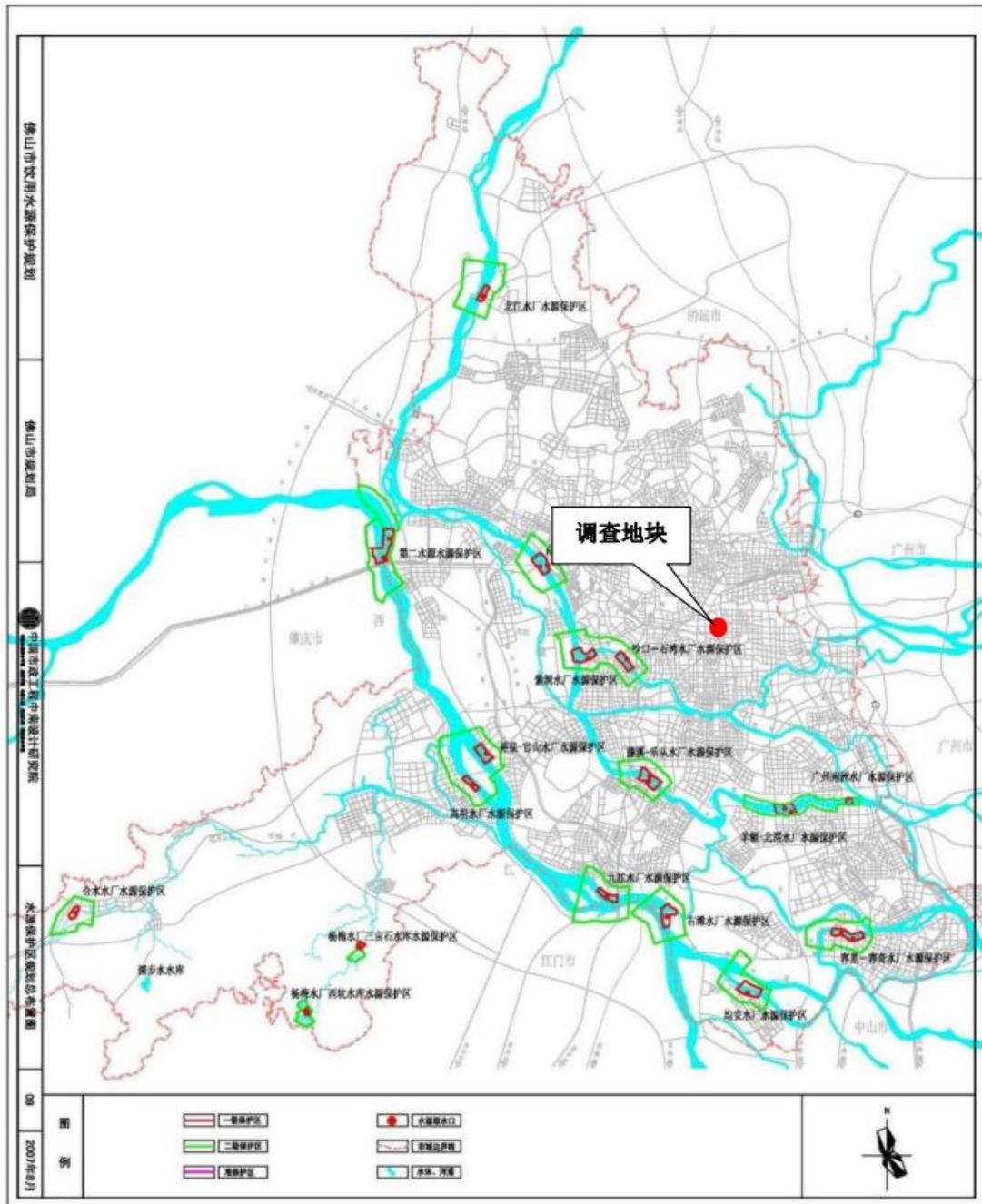


图2.2-5 地块与饮用水水源保护区位置图

## 2.2.5 区域土壤类型

评价区域为珠江三角洲冲积平原，自然土壤为赤红壤，耕作土壤有水稻土、菜园土和堆叠土等。根据中国科学院南京土壤研究所开发的土壤信息服务平台（网址：<http://www.soilinfo.cn/map/index.aspx>），调查地块所在位置土壤类型为水稻土，详见下图。



图2.2-6 地块所在区域土壤类型示意图（图源：土壤信息服务平台：

<http://www.soilinfo.cn/map/index.aspx>）

## 2.3 地块历史沿革

### 2.3.1 开发利用历史

本地块红线范围内所有区域初始用途为农用地，不存在鱼塘养殖情况。敦厚村村民在地块内种植蔬菜自用，种植过程中可能会施加一些天然肥料和化学肥料，不涉及使用有机氯农药。

1973年佛山地方国营广东电工厂在地块内东侧建设厂房进行生产，佛山地方国营广东电工厂从事漆包线生产。

1991年欧亚电缆有限公司在地块内西侧建成厂房进行生产，欧亚电缆有限公司从事电线电缆生产。

2000年佛山电器照明股份有限公司收购原佛山地方国营广东电工厂与欧亚电缆有限公司的厂房。2000年佛山电器照明股份有限公司在收购地块厂房后陆续对地块原有建筑进行改建，佛山照明禅城总部厂区北区地块历史上先后从事T8荧光灯、高效节能荧光灯和LED灯生产。2018年，佛山电器照明股份有限公司厂区内各条生产线陆续停产搬迁，生产设备、成品、原辅料陆续搬迁至高明新厂区；2021年至今地块上再无生产活动。目前留有部分员工在厂内办公。调查地块历史用途情况一览表见下表。

表2.3-1 调查地块历史用途情况一览表

序号	历史用途	使用时间	备注	权属

1	农用地	~1973年	/	敦厚村
2	佛山地方国营广东电工厂	1973~2000年	生产漆包线	佛山地方国营广东电工厂
3	欧亚电缆有限公司	1991~2000年	生产电线电缆	欧亚电缆有限公司
4	佛山电器照明股份有限公司 (北区)(2000~2022年)	2000~2006年	生产T8荧光灯	佛山电器照明股份有限公司
		2006~2014年	生产高效荧光灯	
		2014~2021年	LED灯装配	
		2021年~至今	再无生产活动, 留有部分员工在厂内办公	

### 2.3.2 建构物布局变动情况

调查地块内历史上企业分布见下图。





### 2.3.3 历史卫星影像记录

本项目地块所在区域的1986~2022年历史影像图如下：



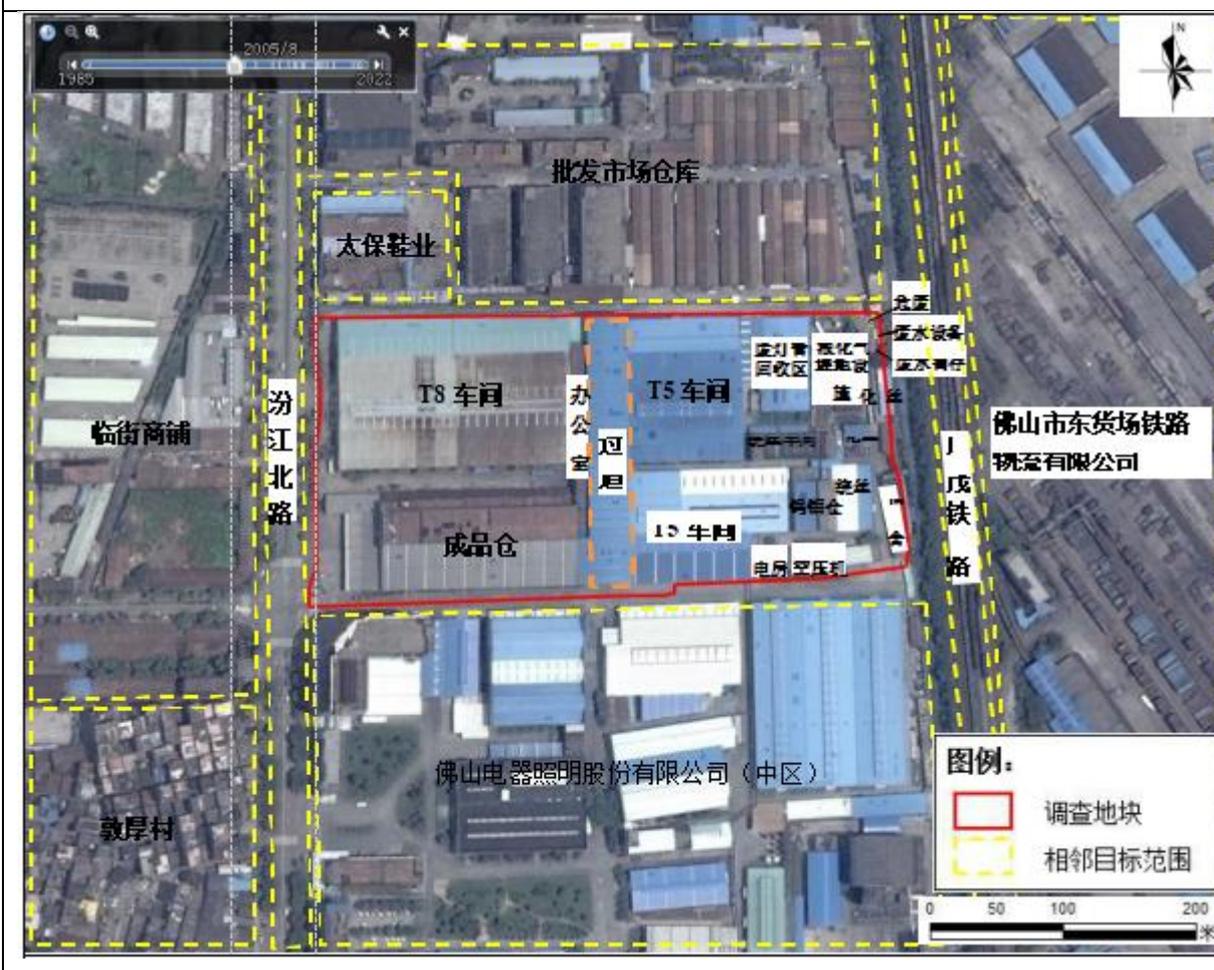
1986年历史影像图



1994年历史影像图



1999年历史影像图



2005年历史影像图



2008年历史影像图



2010年历史影像图

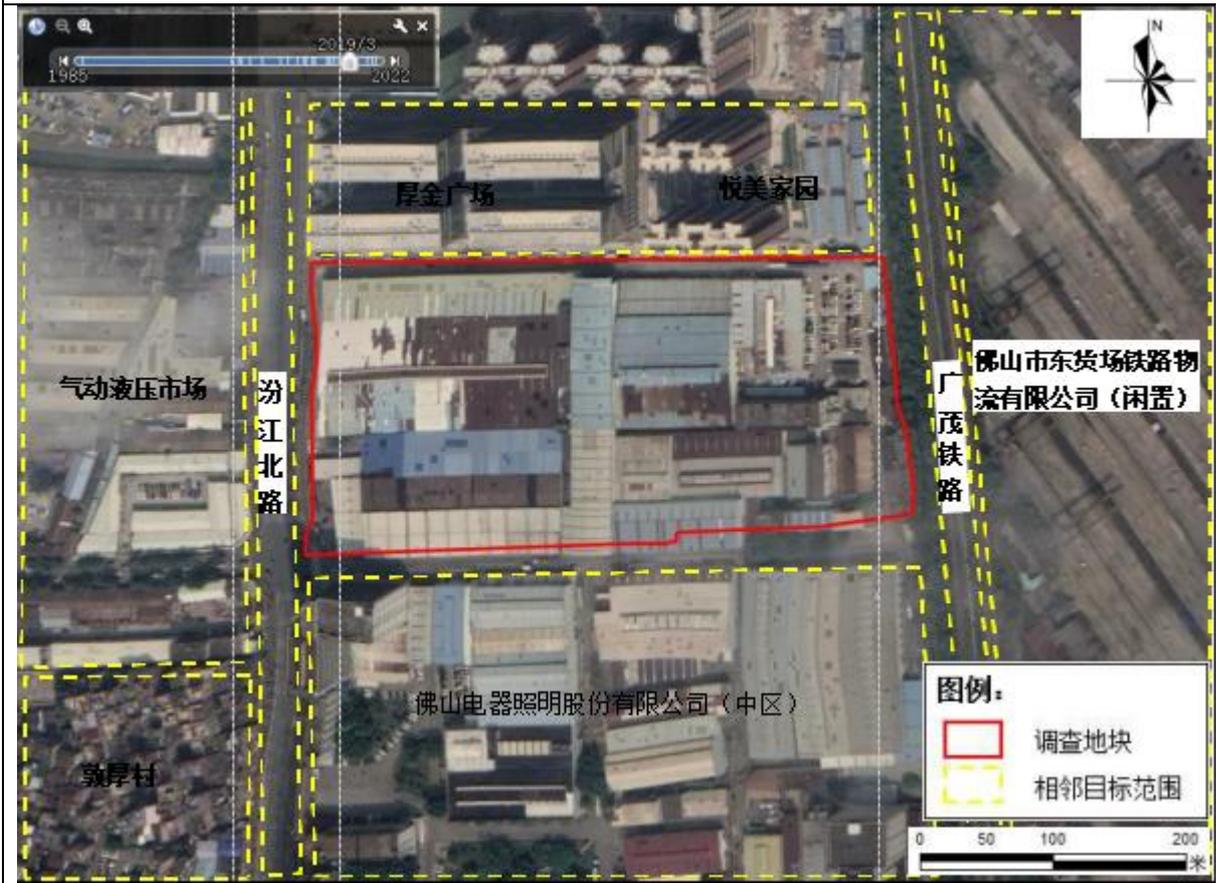




2016年历史影像图



2017年历史影像图



2019年历史影像图





图2.3-1 1986~2022年历史影像图

## 2.4 地块环境特征

### 2.4.1 地块地质

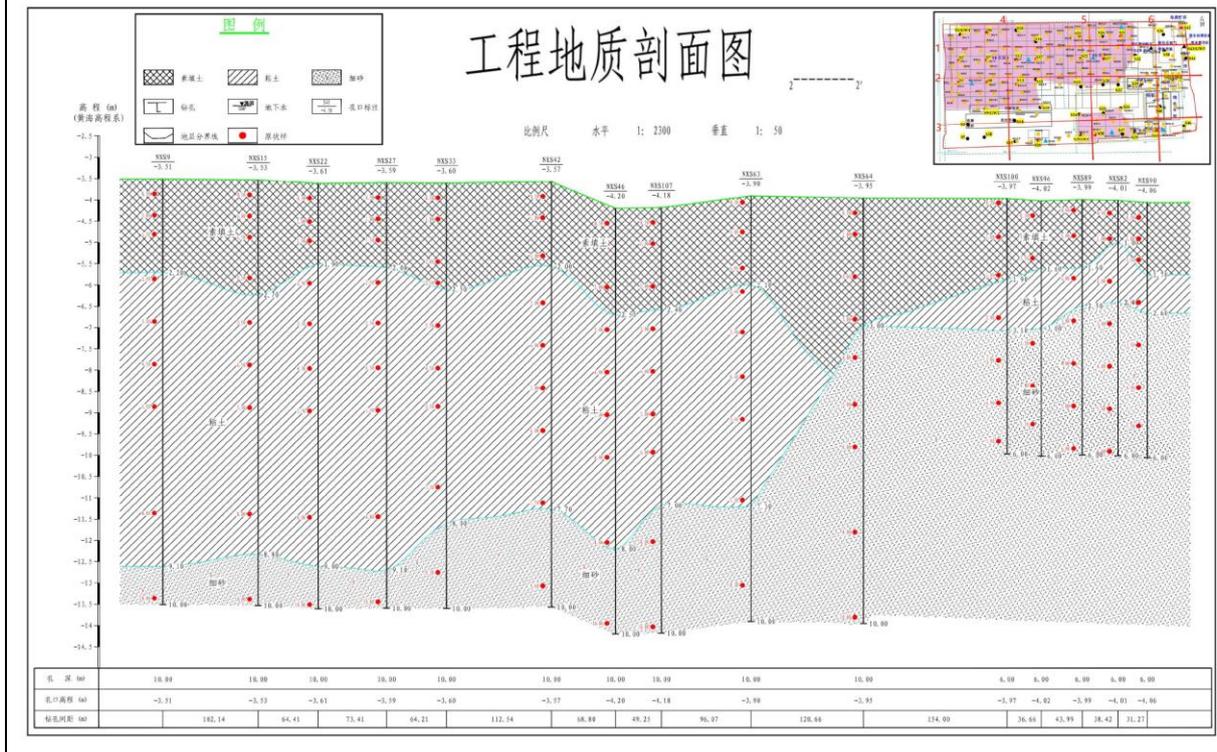
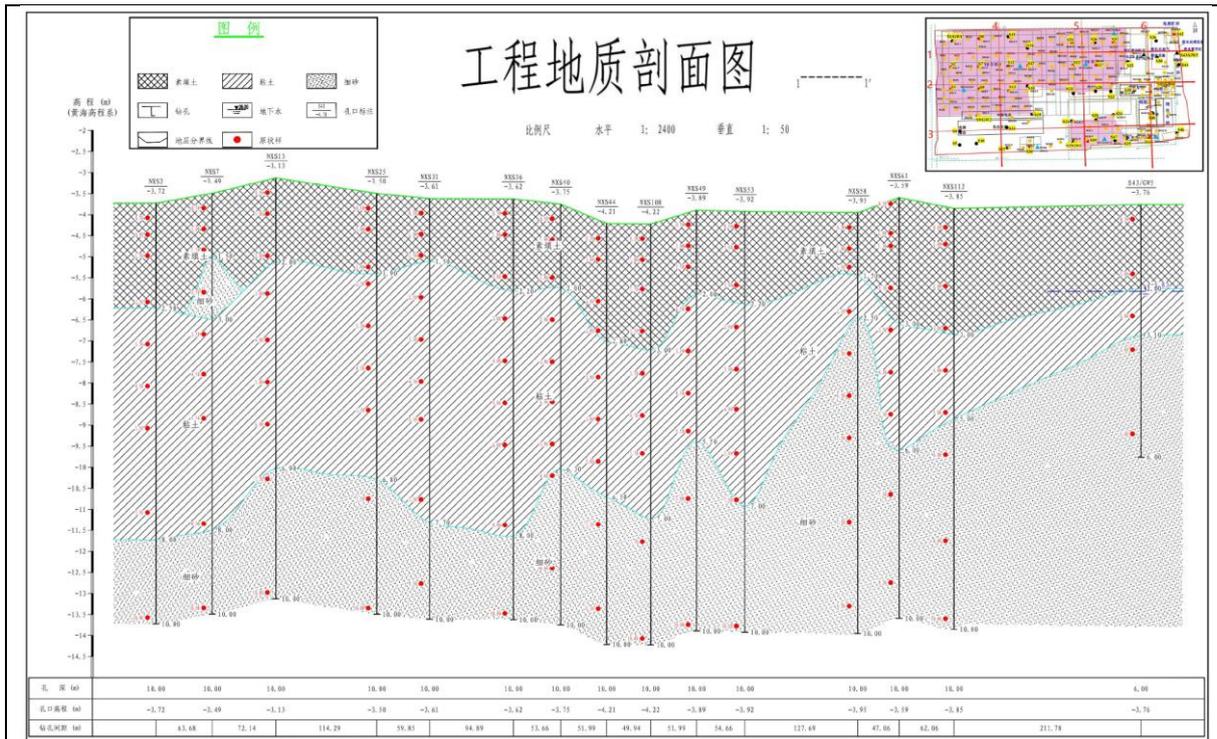
根据调查过程现场设置的155个钻孔的钻探记录，地块被素填土、粘土、细砂覆盖。本次调查所揭露调查深度范围（10m范围内）地块第四系地层垂直剖面结构如下：

①素填土（Q4ml）：土层层底深度范围为1.0~4.5m，呈红褐、灰黑、灰棕、红棕、浅灰、黑色等颜色，以粉土、粘性土为主堆填而成，稍湿，结构松散，局部含砂质粘土和少量碎石；

②粘土（Q4al）：土层层底深度范围为1.0~9.0m，分层厚度范围为1.0~8.0m，呈灰黑、黑、深灰、棕褐色等，饱和，软塑，以粘粒为主，富含有机质及少量粉细砂，局部含砂粒；

③细砂（Q4al）：土层层底深度范围为1.2~10.0m，分层厚度范围为0.9~8.8m，呈浅灰黑、灰白色、灰色，饱和，松散，主要成分为石英及细粒组成，级配不良，含泥质较少，

磨圆一般，呈次棱角状，局部含淤泥团。地块剖面图如下所示。





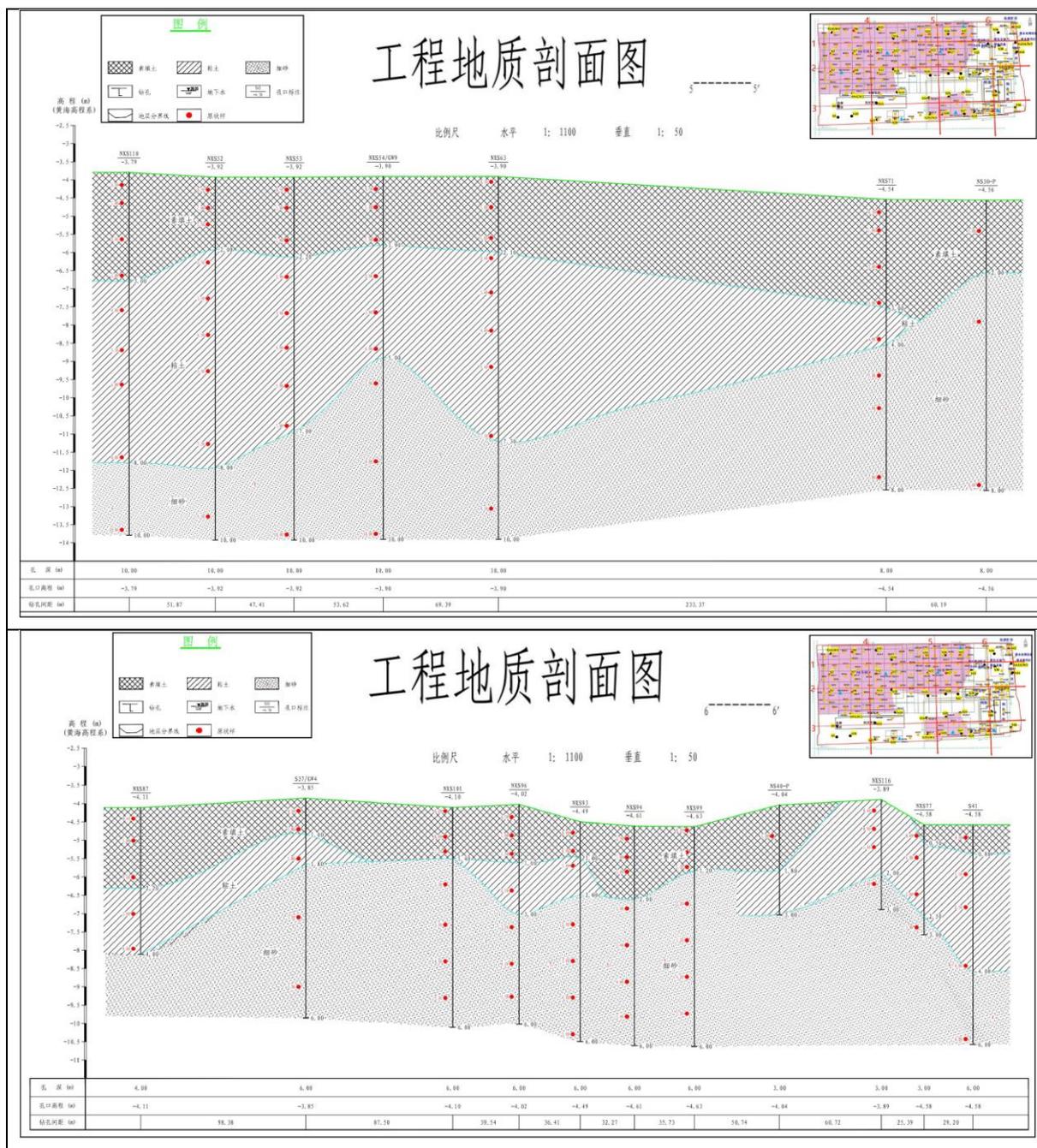


图2.4-1 调查地块水文地质剖面图

## 2.4.2 地块水文

根据项目地块内现场勘察情况，XY-1A-4型钻机勘察钻孔均遇地下水。该区域地下水分为第四系孔隙水和基岩裂隙水两种基本类型。因砂层发育广泛，且厚度大，其含水量较丰富。含水层上覆土层具有微透水性，具有隔水作用，地下水具有水头压力，松散层的孔隙水微属潜水。地下水补给来源为大气降雨、地下水循环及生活废水，靠蒸发及地下径流排泄；受季节性影响较大。总体上看，该区域主要含水层为填土层和砂层，地下水含量较丰富。

根据初步调查和详细调查中所设置的13口地下水监测井，地下水位的测量情况如表所示。地块内地下水埋深在1.42~3.21m之间，相应稳定水位标高范围为-6.57~-5.29m，水位变化不大。地下水平均埋深为2.08m，埋深较浅。根据所记录的地下水水位标高，地块内地下水位整体呈西北高东南低。

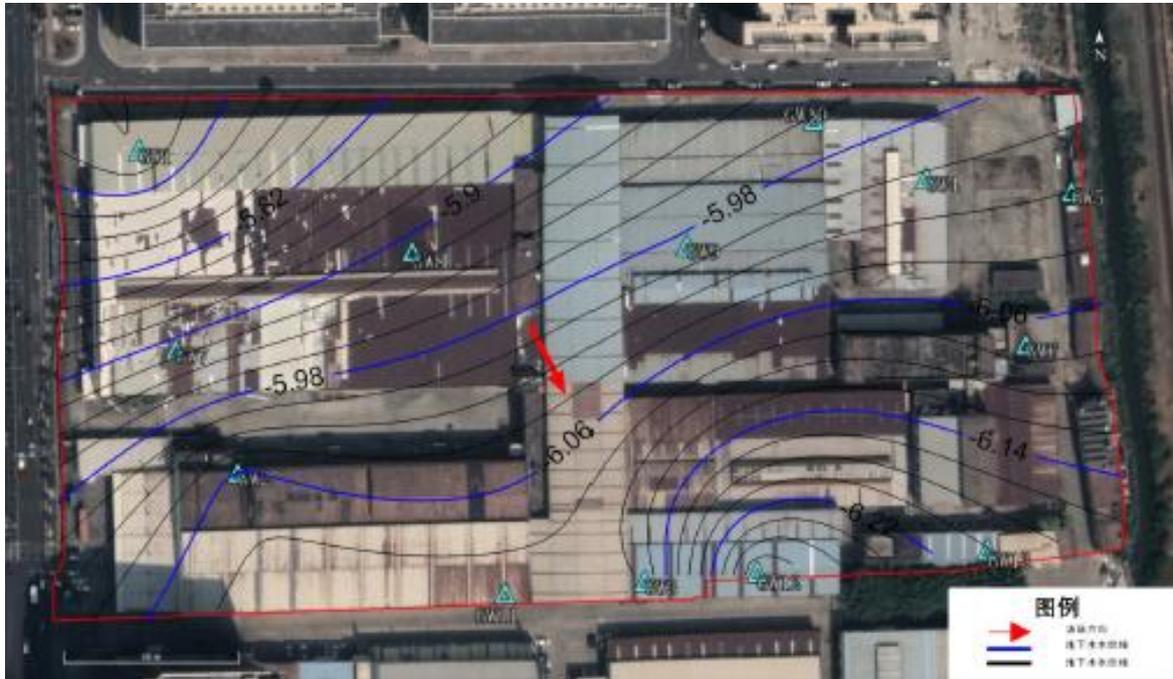


图2.4-2 地下水流向图

### 2.4.3 地块周边敏感目标

经现场勘查，调查地块1000 m 范围内无名木古树、历史文物等需要特殊保护的目。地块周围主要环境敏感目标情况见下表和图。

表2.4-1 主要环境敏感目标

序号	敏感目标名称	性质	方位	距地块最近距离	规模/人
1	金谷国际	居民点	北面	20 m	约 2000
2	敦厚村	居民点	西面	60 m	约 20000
3	城北中学	学校	北面	300 m	约 800
4	东海国际	居民点	西面	320 m	约 400
5	保利时代天珀	居民点	东面	400 m	约 2300
6	合盈家园	居民点	南面	400 m	约 2000
7	佛山水道	地表水体	北面、东面	570 m	/
8	瓜步讯村	居民点	北面	670 m	约 4000
9	秀丽湖	地表水体	南面	680 m	/
10	扶西村	居民点	东北面	600m	约 2000
11	滨江首府	居民点	东北面	690m	约 5000
12	海员新村	居民点	东面	800m	约 1800
13	中文玉兰春晓	居民点	东面	400 m	约 2000

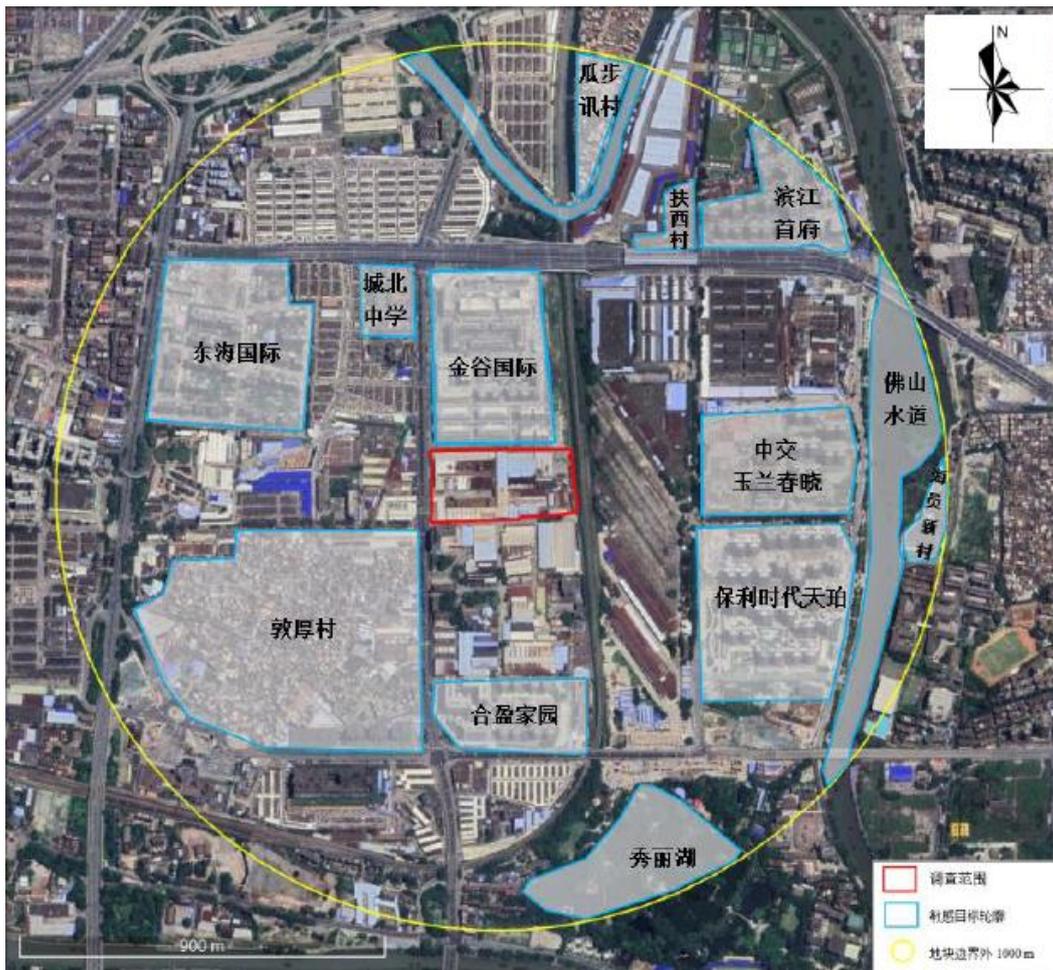


图2.4-3 调查地块主要敏感目标

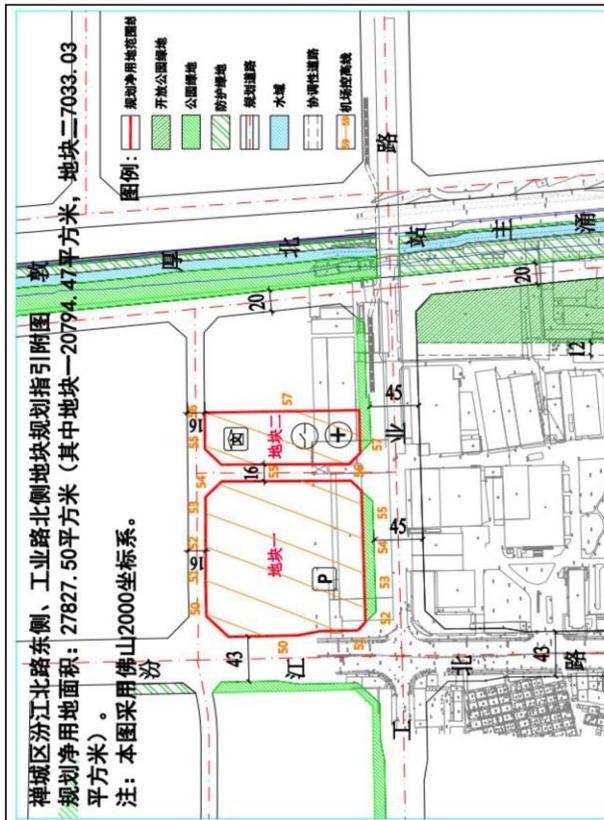
## 2.5 地块用地规划

根据佛山市自然资源局禅城分局出具的《佛山市自然资源局禅城分局关于提供禅城区汾江北路东侧、工业路北侧（佛山照明厂）地块规划指引的函》（2023年7月11日），其中明确了调查地块（西侧）未来规划为商业、商务、娱乐康体用地，兼容二类居住用地。

又根据佛山市禅城区祖庙街道办事处出具的《关于明确佛山电器照明股份有限公司工业路以北地块土壤污染修复标准的复函》（2023年4月21日），其中明确了为满足工业路以南地块“工改居”需提供25%的公益性用地的要求，同意佛山电器照明股份有限公司从本调查地块（东侧）补足公益性用地（约34亩），公益性用地执行一类用地标准。

结合佛山市自然资源局禅城分局和佛山市禅城区祖庙街道办事处的相关规划文件，本调查地块按第一类用地进行评价。

<p style="text-align: center;"><b>佛山市自然资源局禅城分局</b></p> <p style="text-align: center;">不公开</p> <p style="text-align: center;"><b>佛山市自然资源局禅城分局关于提供禅城区汾江北路东侧、工业路北侧（佛山照明厂）地块规划指引的函</b></p> <p>佛山电器照明股份有限公司： 近期，我局收到佛山市禅城区祖庙街道关于佛山照明地块城市更新单元计划的申报材料，悉知贵司正在申请办理城市更新单元计划及实施方案。为更好地推进项目落实，提升城北片区的城市建设水平，加快禅城区城市更新升级，现提供贵司权属范围内城市更新单元计划申报范围相邻地块规划指引。因涉及地块在《佛山市中心城区控制性详细规划整合规划（一期）》地块开发细则中规划为规划待定用地，暂无规划数据，故根据《佛山市中心城区控制性详细规划整合规划（一期）》动态维护和《佛山市城市规划管理技术规定（2020年修编版）》等相关文件拟定地块相关规划数据，供贵司参考，指引如下：</p> <p>一、规划净用地面积：27827.50平方米（其中地块一20794.47平方米，地块二7033.03平方米）。</p> <p>二、规划用地性质：商业、商务、娱乐康体用地，兼容二类居住用地。</p> <p>三、规划用地强度：容积率<math>\leq 4.0</math>，建筑密度<math>\leq 45\%</math>，绿地率<math>\geq 25\%</math>，兼容二类居住用地面积不超过地块总净用地面</p> <p style="text-align: center;">- 1 -</p>	<p>积的30%，兼容二类居住类建筑的计容建筑面积不超过地块总计容建筑面积的20%。独立占地的两个指标要同时满足，非独立占地的按计容建筑面积控制，且本地块不得设置服务型公寓。</p> <p>四、建筑最高点高度控制要求：按附图所示的机场控高线（85国家高程）要求控制。若建筑最高点高度超过45米（85国家高程），则须报机场管理部门审核同意。</p> <p>五、公共设施配套要求：</p> <p>1. 配电房（含公共电房、开关房等），燃气调压站（柜）等市政设施，其中在地块二设置开关房一处；2. 信息基础设施；3. 物业管理用房，建筑面积按规划总建筑面积的2‰计；4. 体育健身场地，按居住人均用地面积<math>\geq 0.3\text{ m}^2</math>或按居住人均建筑面积<math>\geq 0.1\text{ m}^2</math>标准配置；5. 公共停车场（库），设置在地块一，建筑面积：<math>\geq 3500\text{ m}^2</math>（100泊位）；6. 文化活动中心，设置在地块二，建筑面积<math>\geq 2400\text{ m}^2</math>，用地面积<math>\geq 3000\text{ m}^2</math>；7. 社区卫生服务站，设置在地块二，建筑面积<math>\geq 150\text{ m}^2</math>；8. 社区居家养老服务设施，应按每百户不低于20<math>\text{ m}^2</math>的标准配套。</p> <p>附件：禅城区汾江北路东侧、工业路北侧（佛山照明厂地块）地块规划指引附图</p> <p><b>注：本规划指引自发出日起有效期壹年，过期后无效。</b></p> <p style="text-align: right;">佛山市自然资源局禅城分局 2023年7月11日</p> <p style="text-align: center;">- 2 -</p>
--	--



# 佛山电器照明股份有限公司 文件

佛照字〔2023〕30号

## 佛山电器照明股份有限公司关于明确 工业路以北地块土壤污染修复标准的函

佛山市禅城区祖庙街道办事处：

我司拟对位于禅城区汾江北路64号工业路以南地块进行挂账收储。按规定，为满足我司工业路以南地块“工改居”需提供25%的公益性用地的要求，我司拟从工业路以北地块（东侧）补足公益性用地（约34亩）。现我司已对相应地块进行土壤污染状况调查，后续将依法对污染土壤进行治理修复。按照相关政策要求，我司拟对工业路以北地块东侧公益性用地（约34亩）按一类标准进行修复，工业路以北的剩余地块（约57亩）按二类标准进行修复。

特此致函，请予函复。

佛山电器照明股份有限公司  
2023年4月14日

（联系人：吴文翰，联系电话：13724826083）

（共印3份）

佛山电器照明股份有限公司办公室 2023年4月14日印发

## 佛山市禅城区祖庙街道办事处

### 关于明确佛山电器照明股份有限公司工业路 以北地块土壤污染修复标准的复函

佛山电器照明股份有限公司：

“佛山电器照明股份有限公司关于明确工业路以北地块土壤污染修复标准的函”收悉。经研究，现函复如下：

根据《建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）4.1.1及4.1.1.1：

第一类用地包括：城市建设用地中的居住用地，公共管理与公共服务用地中的中小学用地，医疗卫生用地和社会福利设施用地，以及公园绿地中的社区公园或儿童公园用地等。

第二类用地包括：城市建设用地中的工业用地，物流仓储用地，商业服务业设施用地，道路与交通设施用地，公用设施用地，公共管理与公共服务用地（中小学用地，医疗卫生用地和社会福利设施用地除外），以及绿地与广场用地（社区公园或儿童公园用地除外）。

佛山电器照明股份有限公司污染地块的修复目标，建议根据该地块未来的发展规划用途确定，确保该地块环境调查和风险评价确定的目标污染物对人体健康和环境不产生直接或潜在危害。

- 1 -

或不具备环境风险。原则上同意工业路以北地块东侧公益性用地（约34亩）按一类标准进行修复。工业路以北的剩余地块（约57亩），建议你司根据你司的发展计划所对应的标准进行修复，相关的使用须按规定完善手续。

另外，根据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5-2018）8.1的要求，修复后土壤中污染物浓度未达到GB36600第一类用地筛选值的地块需进行后期环境监测，直至土壤中污染物浓度达到GB36600第一类用地筛选值、地下水污染物浓度达到GB/T 14848中地下水使用功能对应标准值为止。

佛山市禅城区祖庙街道办事处  
2023年4月29日

- 2 -

图2.5-1 调查地块未来规划相关文件

## 2.6 地块污染特征

北区地块初步调查报告和详细调查报告于2023年8月23日通过评审，风险评估报告于2023年11月8日完成备案。

### 2.6.1 北区地块初调结果

初步调查共布设47个土壤采样点，每个点位垂直方向至少采集4个样品，共采集239份土壤样品（含24份现场平行样），以《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB36600—2018)一类用地筛选值为评价标准，调查地块土壤超风险筛选值污染物为汞、镉、铜、砷、钨、钼、石油烃（C10-C40）和乙苯共8个参数，超标率分别为3.8%、2.5%、0.8%、1.7%、0.8%、0.8%、0.8%、0.4%，最大超标倍数分别为62.25、46.2、3.33、1.83、0.75、7.12、10.19、3.56。超标样品多位于素填土层，最大超标样品深度6m，在所有点位的超标样品下部均采集到了未超标样品，即已探明点位污染的最大深度。各污染物超标点位空间分布详见下图。

序号	超标点位	深度/m	超标因子	检测结果	超标倍数	
1	NS2	NS2-1	0.3-0.5	汞	159	18.88
2		NS2-2	1.9-2.1	汞	60.8	6.60
3	NS3	NS3-1	0.1-0.3	汞	31.7	2.96
4		NS3-3	3.8-4.0	汞	9.26	0.16
5	NS7	NS7-1	0.2-0.4	汞	55.5	5.94
6	NS12	NS12-1	0.2-0.4	汞	506	62.25
7		NS12-2	1.4-1.6	汞	170	20.25
8	NS17	NS17-1	0.3-0.5	汞	332	40.50
9		NS17-2	1.5-1.7	汞	18.7	1.34
10	NS21	NS21-1	0.2-0.4	汞	16.2	1.03
11	NS22	NS22-1	0.3-0.5	汞	262	31.75
12		NS22-2	1.8-2.0	汞	15.3	0.91
13		NS22-3	2.4-2.6	汞	15.6	0.95
14	NS27	NS27-1	0.2-0.4	汞	133	15.63
15		NS27-2	0.9-1.1	汞	202	24.25
16		NS27-3	2.8-3.0	汞	228	27.50
17		NS27-4	3.8-4.0	汞	20.7	1.59
18	NS31	NS31-1	0.2-0.4	汞	28.9	2.61

序号	超标点位	深度/m	超标因子	检测结果	超标倍数	
1	NS3	NS3-1	0.1-0.3	镉	943	46.15
2		NS3-2	1.8-2.0	镉	33.3	0.67
3		NS3-3	3.8-4.0	镉	273	12.65
4		NS3-4	5.8-6.0	镉	83.8	3.19
5		NS3-4DUP	5.8-6.0	镉	82.1	3.11
6	NS6	NS6-4	5.0-5.2	镉	27.8	0.39
7	NS7	NS7-3	3.7-3.9	镉	93.8	3.69
8	NS8	NS8-1	0.1-0.3	镉	54.7	1.74
9	NS31	NS31-1	0.2-0.4	镉	92	3.60
10	NS30	NS30-3	2.3-2.5	镉	38.7	0.94
11		NS30-4	4.2-4.4	镉	49.1	1.46
12	NS47	NS47-3	2.3-2.5	镉	20.3	0.015

序号	超标点位	深度/m	超标因子	检测结果	超标倍数	
1	S20	NS20-2	2.3-2.5	铜	3540	0.77
2	S30	NS30-2	1.8-2.0	铜	2070	0.04
3		NS30-3	2.3-2.5	铜	8660	3.33

序号	超标点位	深度/m	超标因子	检测结果	超标倍数	
1	S3	NS3-1	0.1-0.3	砷	113	1.83
2	S13	NS13-1	0.2-0.4	砷	56.2	0.41
3	S30	NS30-3	2.3-2.5	砷	95.6	1.39
4	S41	NS41-1	0.2-0.4	砷	65.6	0.64

序号	超标点位	深度/m	超标因子	检测结果	超标倍数	
1	S42	NS42-1	0.2-0.4	钨	1190	3.76
2		NS42-2	1.4-1.7	钨	1960	6.84
3		NS42-2	1.4-1.7	钨	55.9	0.12
4		NS42-2DUP	1.4-1.7	钨	2030	7.12
5		NS42-2DUP	1.4-1.7	钨	55.8	0.11
6	S45	NS45-2	1.0-1.3	钨	381	0.52
7		NS45-2	1.0-1.3	钨	88	0.75

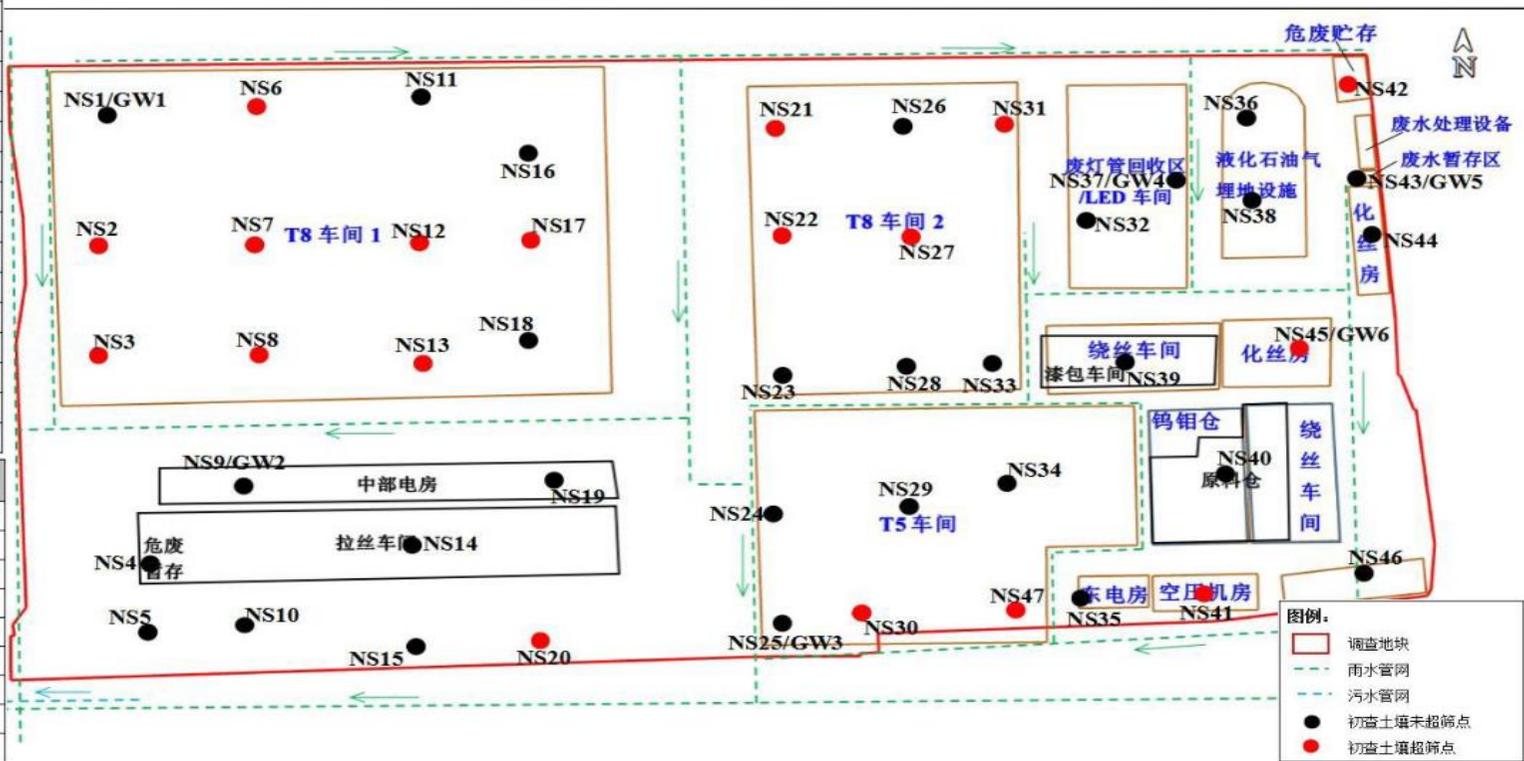
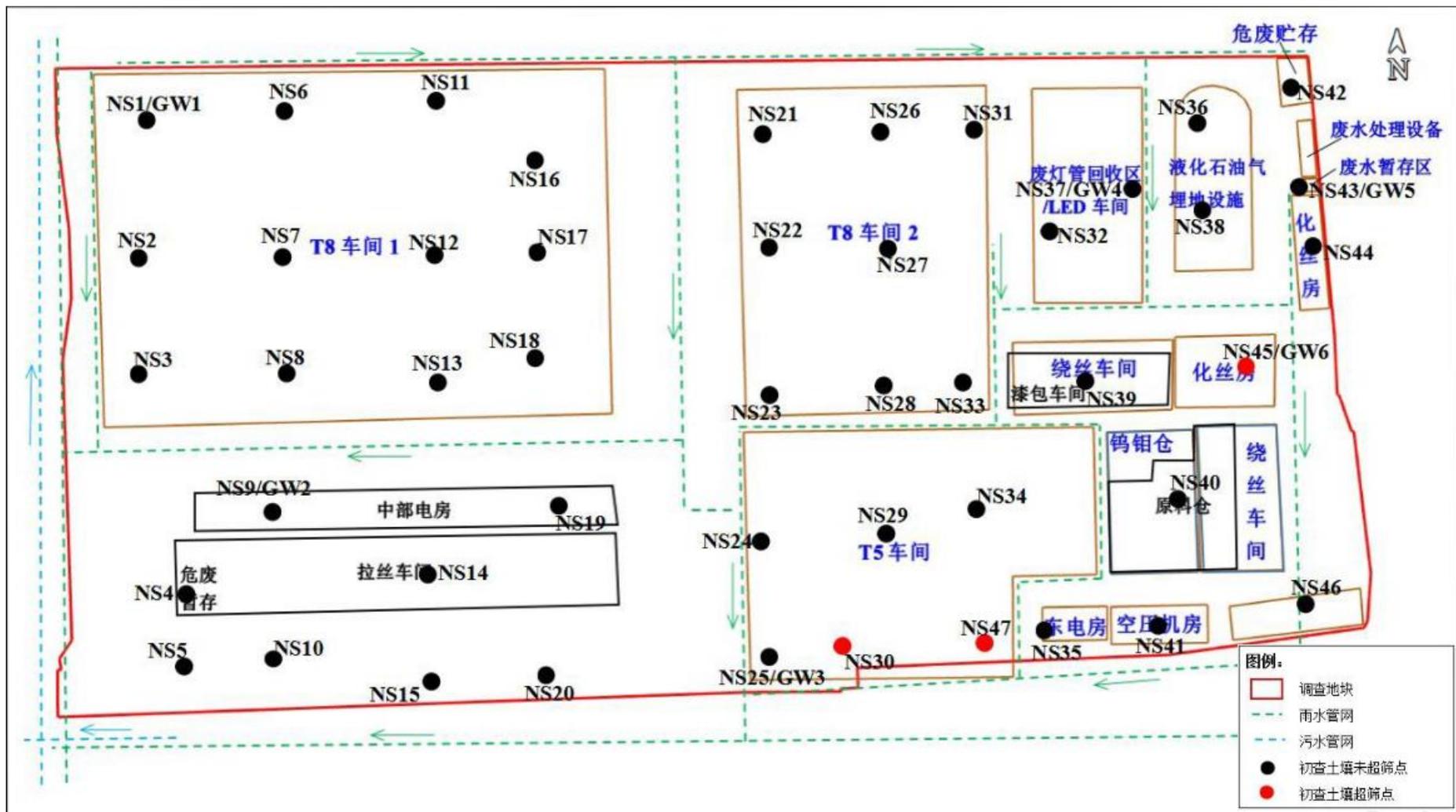


图2.6-1 初步调查土壤重金属超标筛选值点位分布图



序号	超标点位	深度/m	超标因子	检测结果	超标倍数
1	NS30	NS30-2	石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )	3250	2.93
2		NS30-3	石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )	1060	0.28
3	NS47	NS47-3	石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )	9240	10.19
4		NS47-4	石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )	5130	5.21

序号	超标点位	深度/m	超标因子	检测结果	超标倍数
1	S45	NS45-2	乙苯	32.8	3.56
2		NS45-3	乙苯	15	1.08

图2.6-2 初步调查土壤有机物超筛选值点位分布图

初步调查共采集地下水样品6个，以《地下水质量标准》（GBT14848-2017）中Ⅲ类水标准作为评价指标，钼、锰存在超标情况，超标率分别为16.7%、66.7%；最大超标倍数分别为0.76、11.6。初步调查地下水超筛选值点位分布情况见下图。

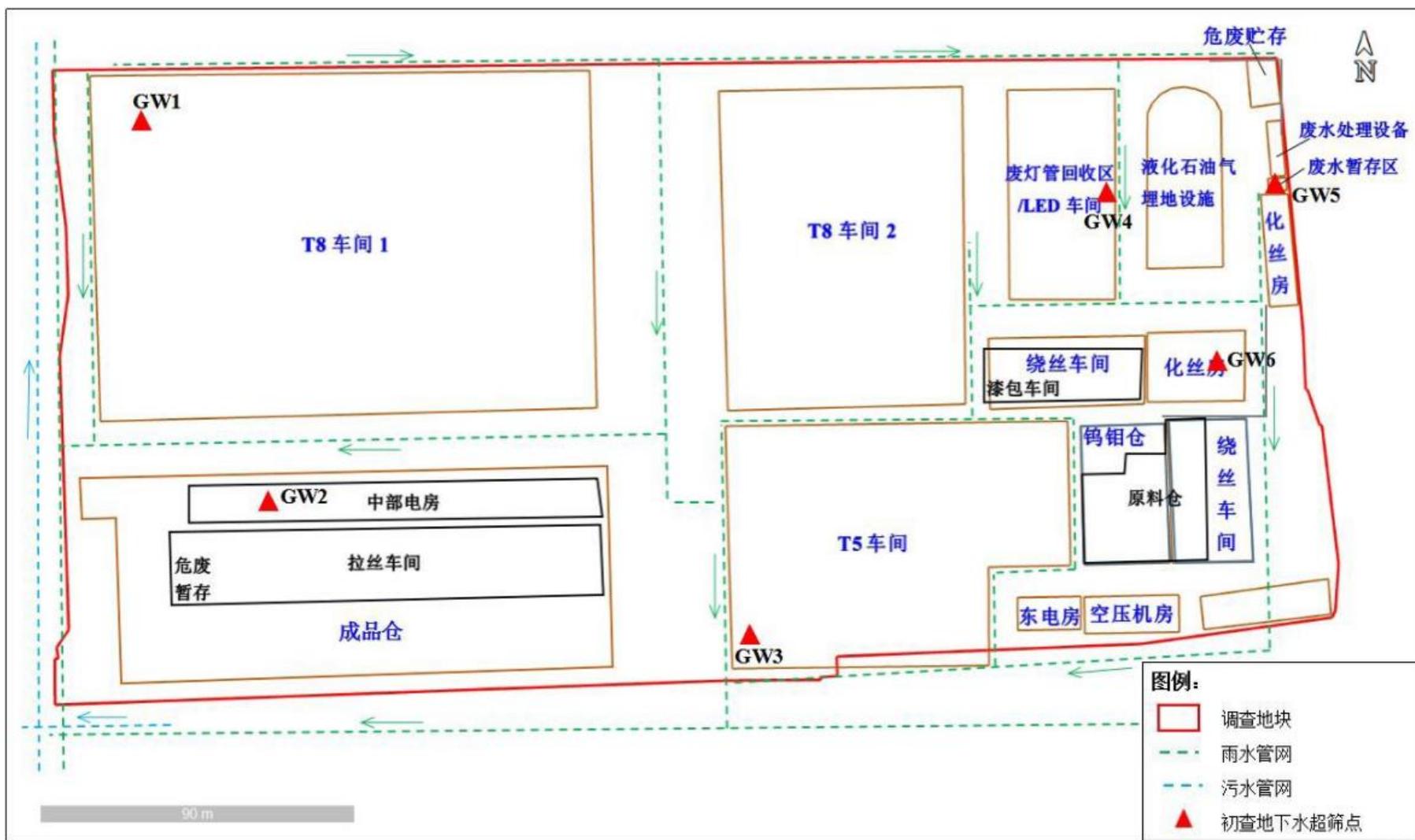


图2.6-3 初步调查地下水超筛选值点位分布图

## 2.6.2北区地块详调结果

详细调查阶段共采集土壤样品1176个（未包括质控样），以《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB36600—2018)一类用地筛选值为评价标准，超筛选值污染物为汞、镉、砷、铜、钨、钼、石油烃（C10-C40）和乙苯。

综合初步调查与详细调查检测结果，超筛选值污染物为汞、镉、砷、铜、钨、钼、石油烃（C10-C40）和乙苯，超标率分别为4.1%、1.7%、1.7%、0.3%、0.4%、0.4%、0.6%、0.7%。最大超标倍数分别为4086、46.15、2.78、3.33、2.05、6.84、11.7、1042。超标样品大多位于素填土层，最大超标样品深度8m。各污染物超标点位空间分布及总超筛选值范围详见下图。

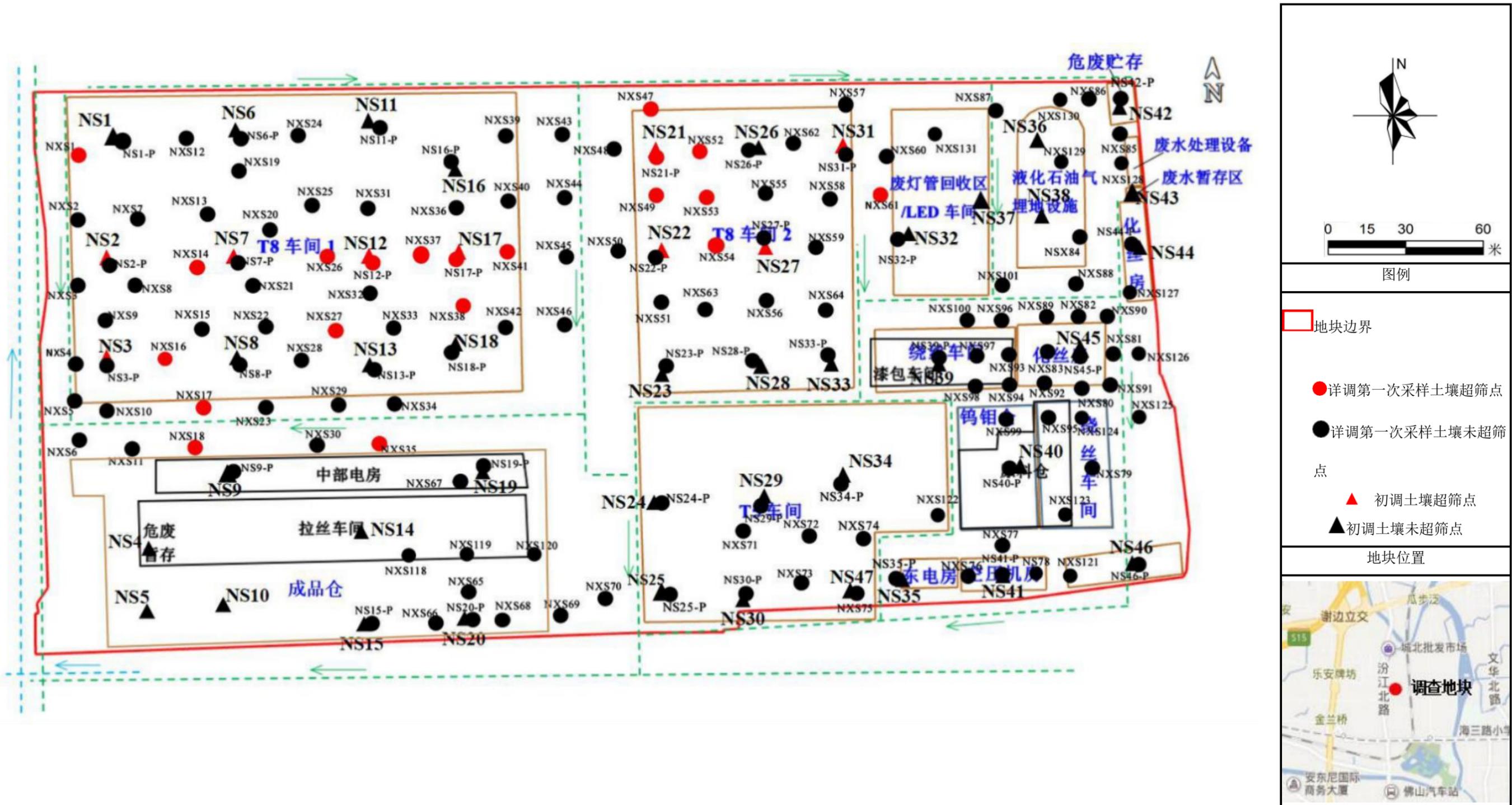


图2.6-4 详调第一次采样重金属汞超筛选值土壤点位分布图

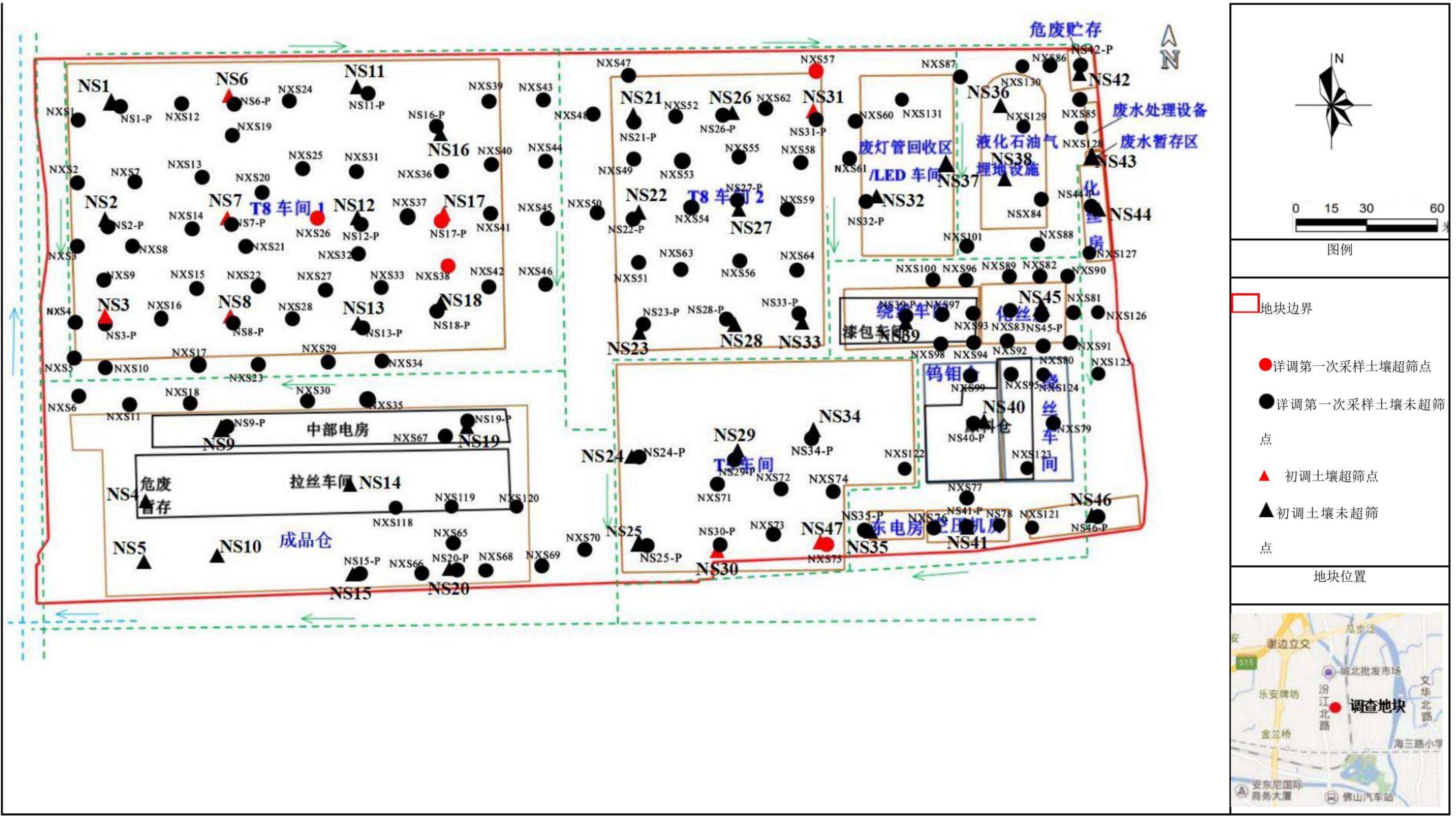


图2.6-5 详调第一次采样重金属镉超筛选值土壤点位分布图

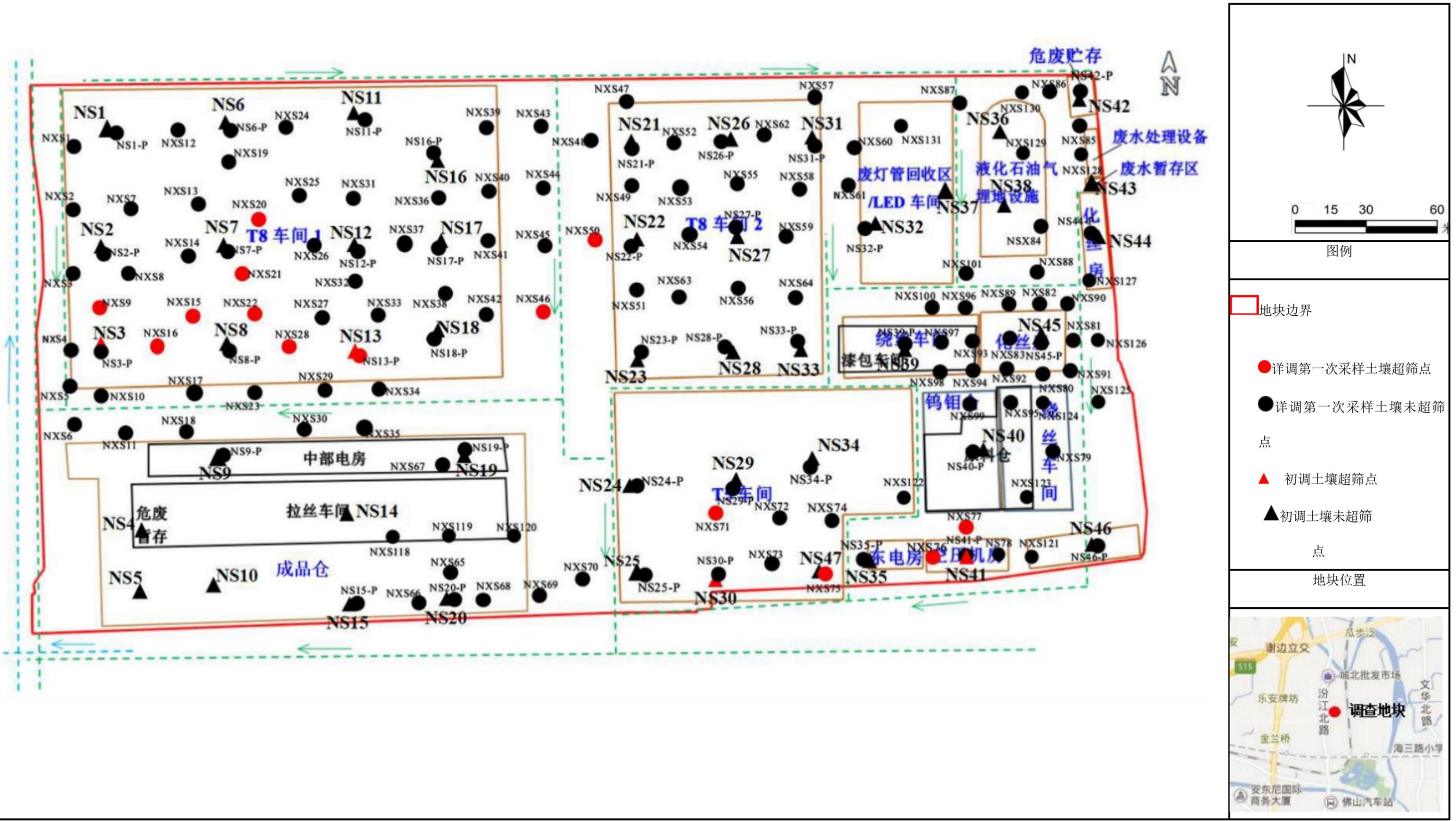


图2.6-6 详调第一次采样重金属砷超筛选值土壤点位分布图

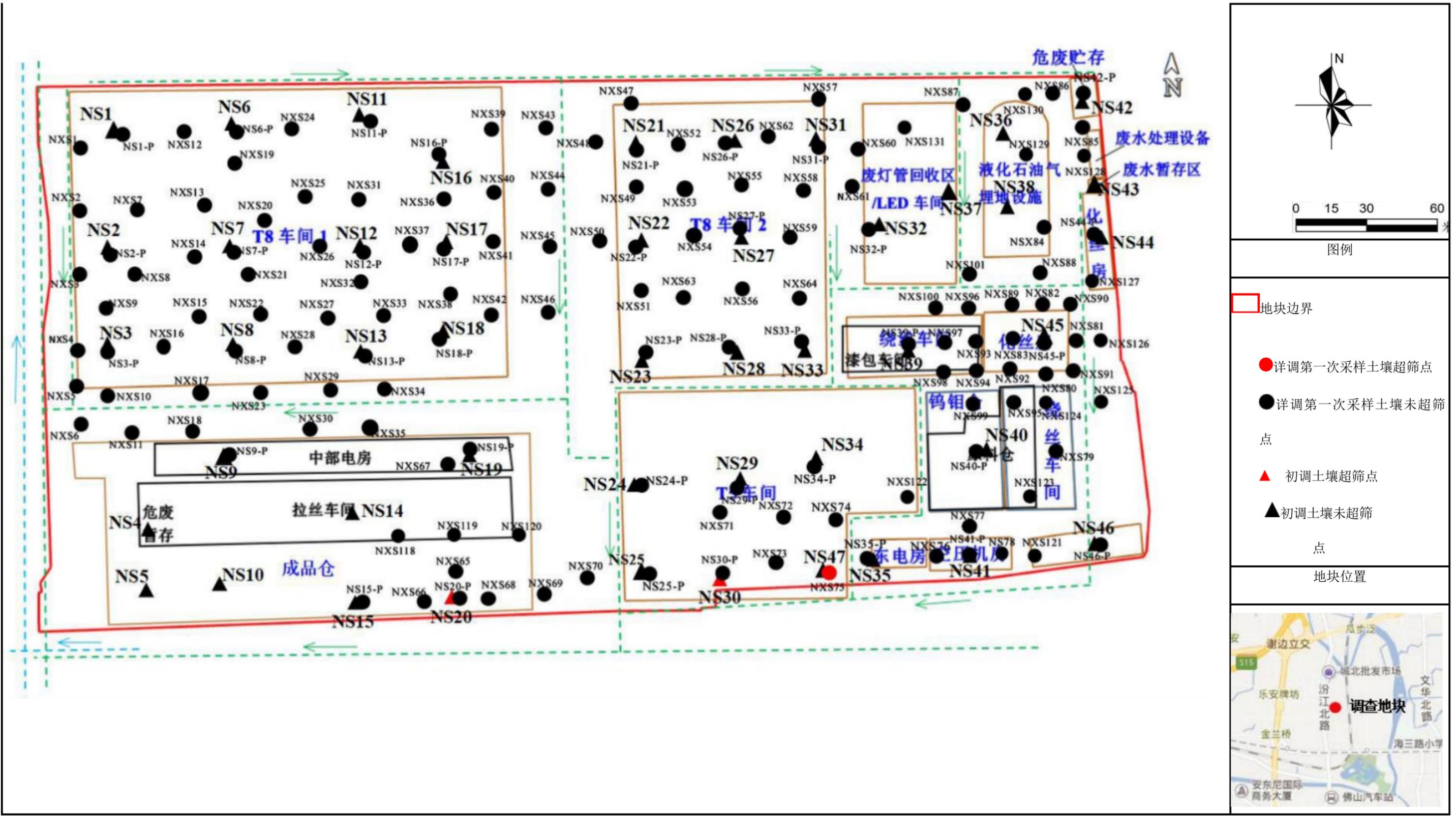
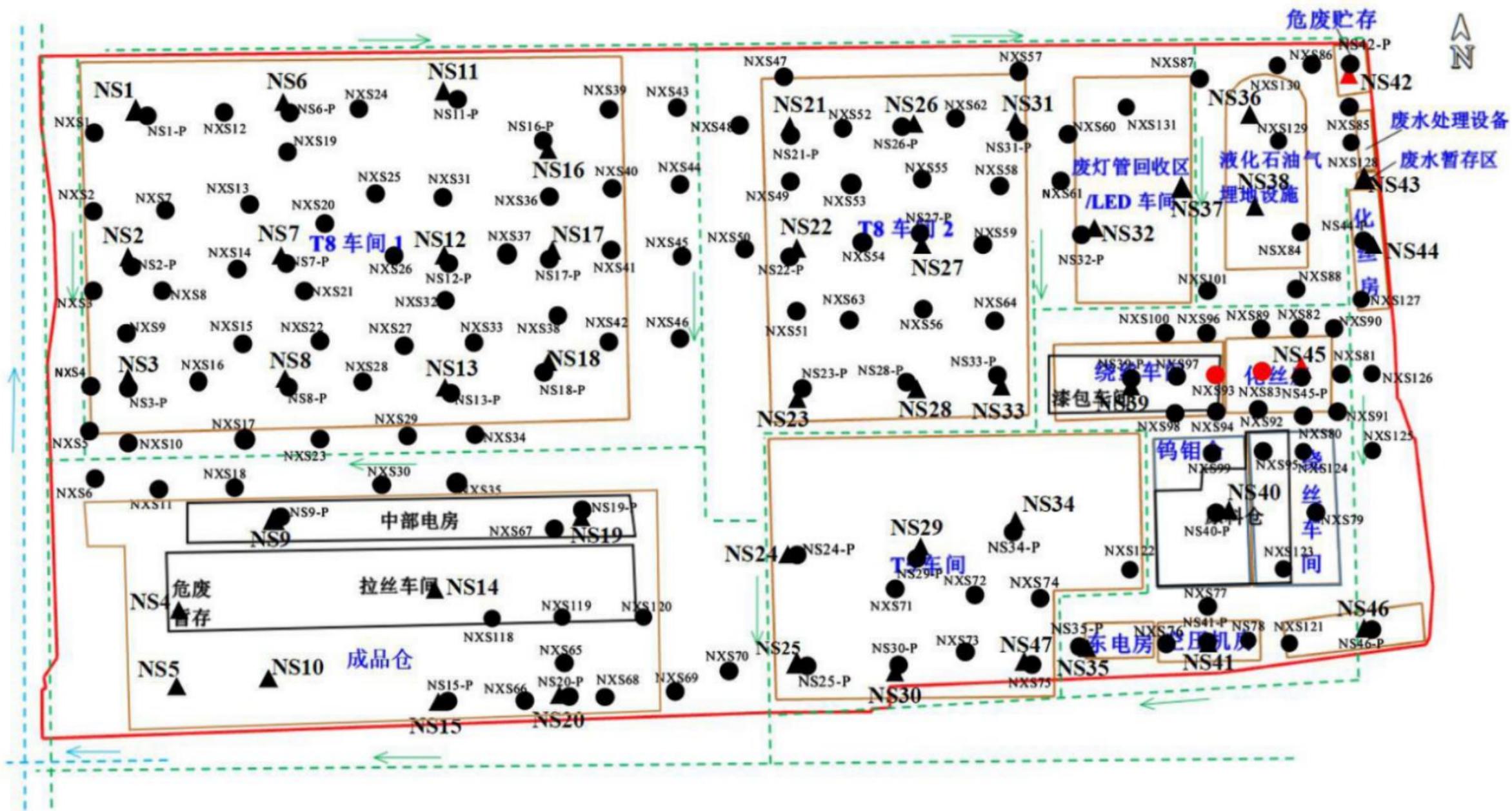


图2.6-7 详调第一次采样重金属铜超筛选值土壤点位分布图



0 15 30 60 米

图例

- 地块边界
- 详调第一次采样土壤超筛点
- 详调第一次采样土壤未超筛点
- ▲ 初调土壤超筛点
- ▲ 初调土壤未超筛点

点

地块位置

图2.6-8 详调第一次采样重金属钨超筛选值土壤点位分布图

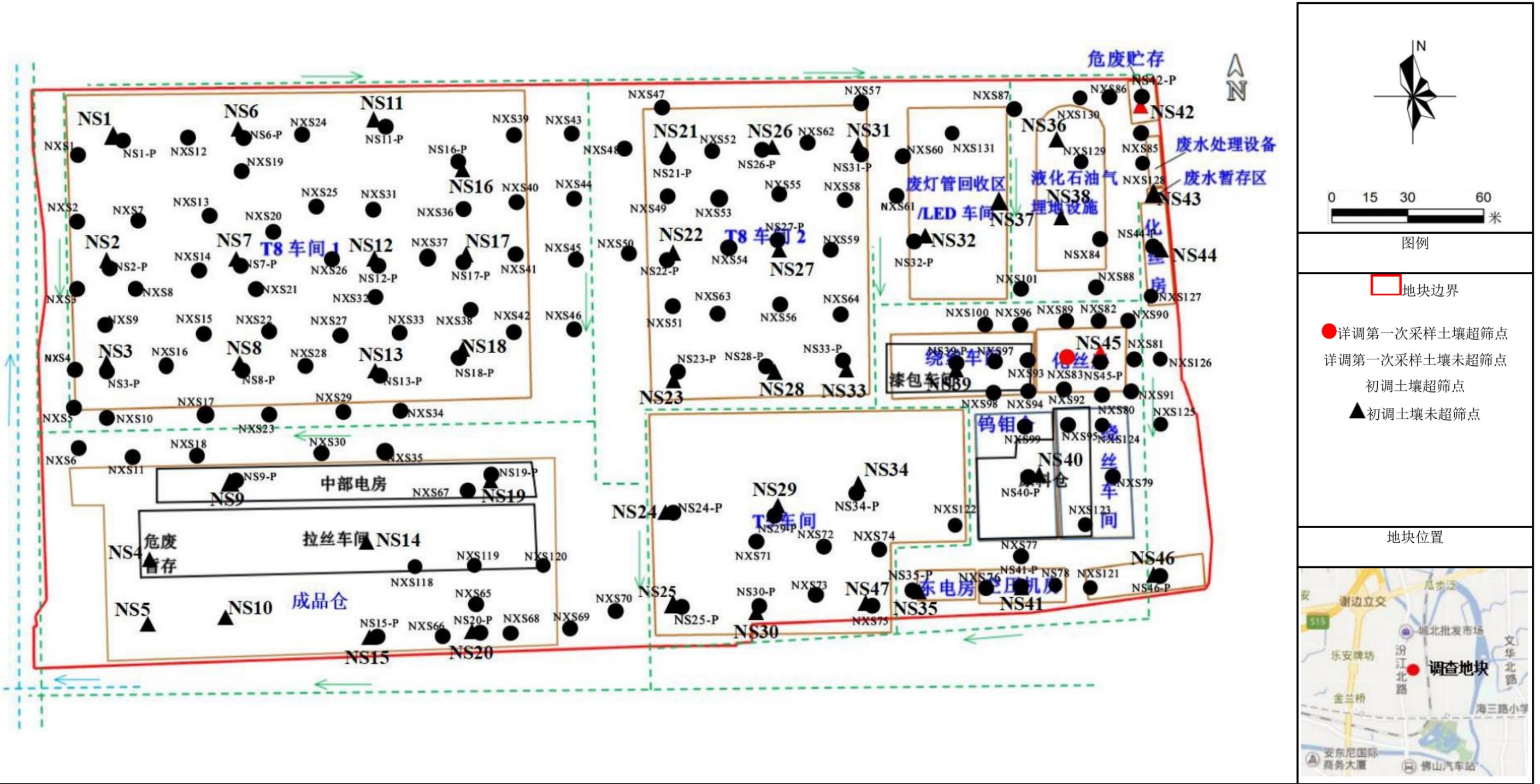


图2.6-9 详调第一次采样重金属铅超筛选值土壤点位分布图

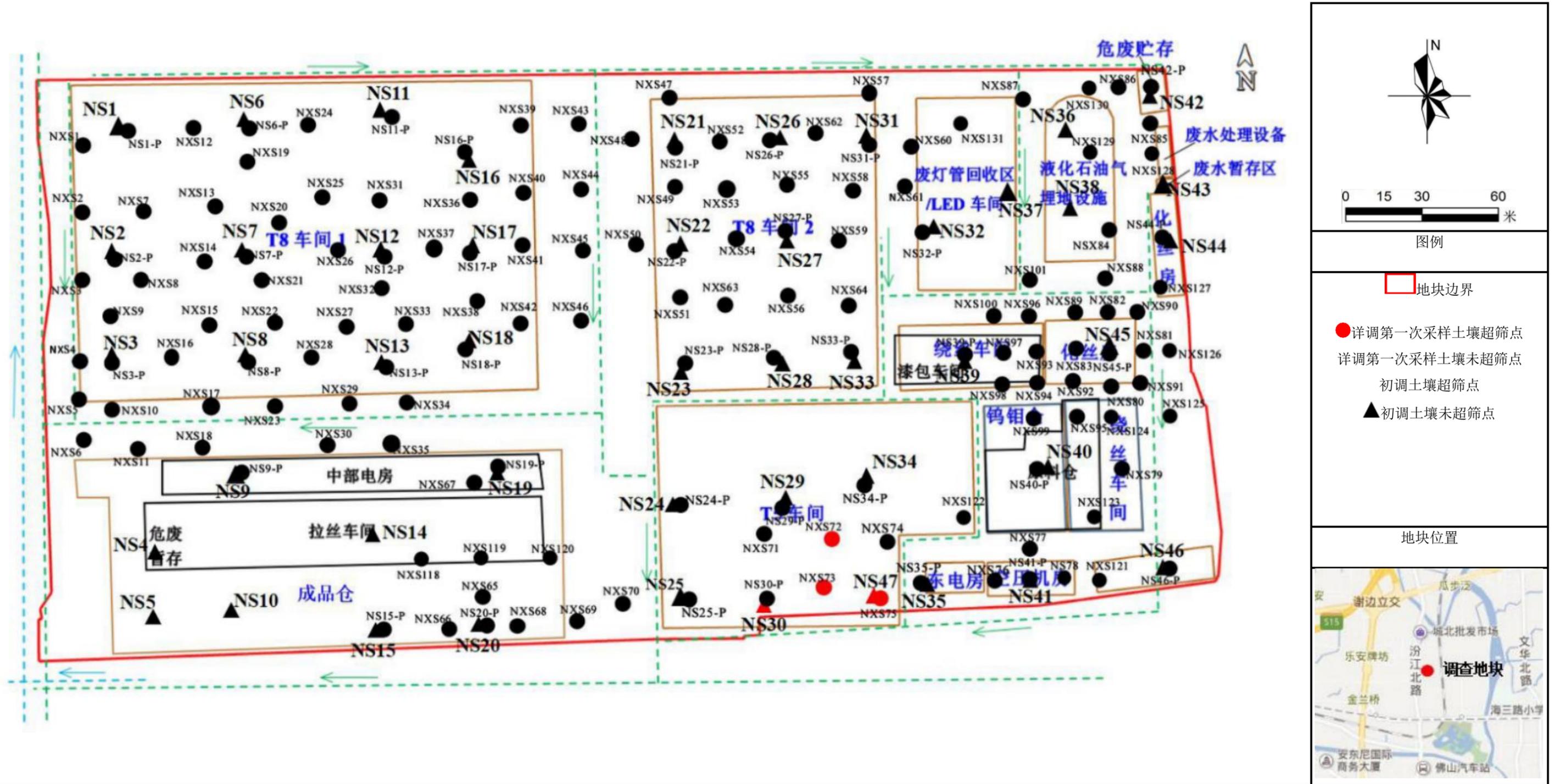


图2.6-10 详调第一次采样有机物石油烃（C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>）超筛选值土壤点位分布图

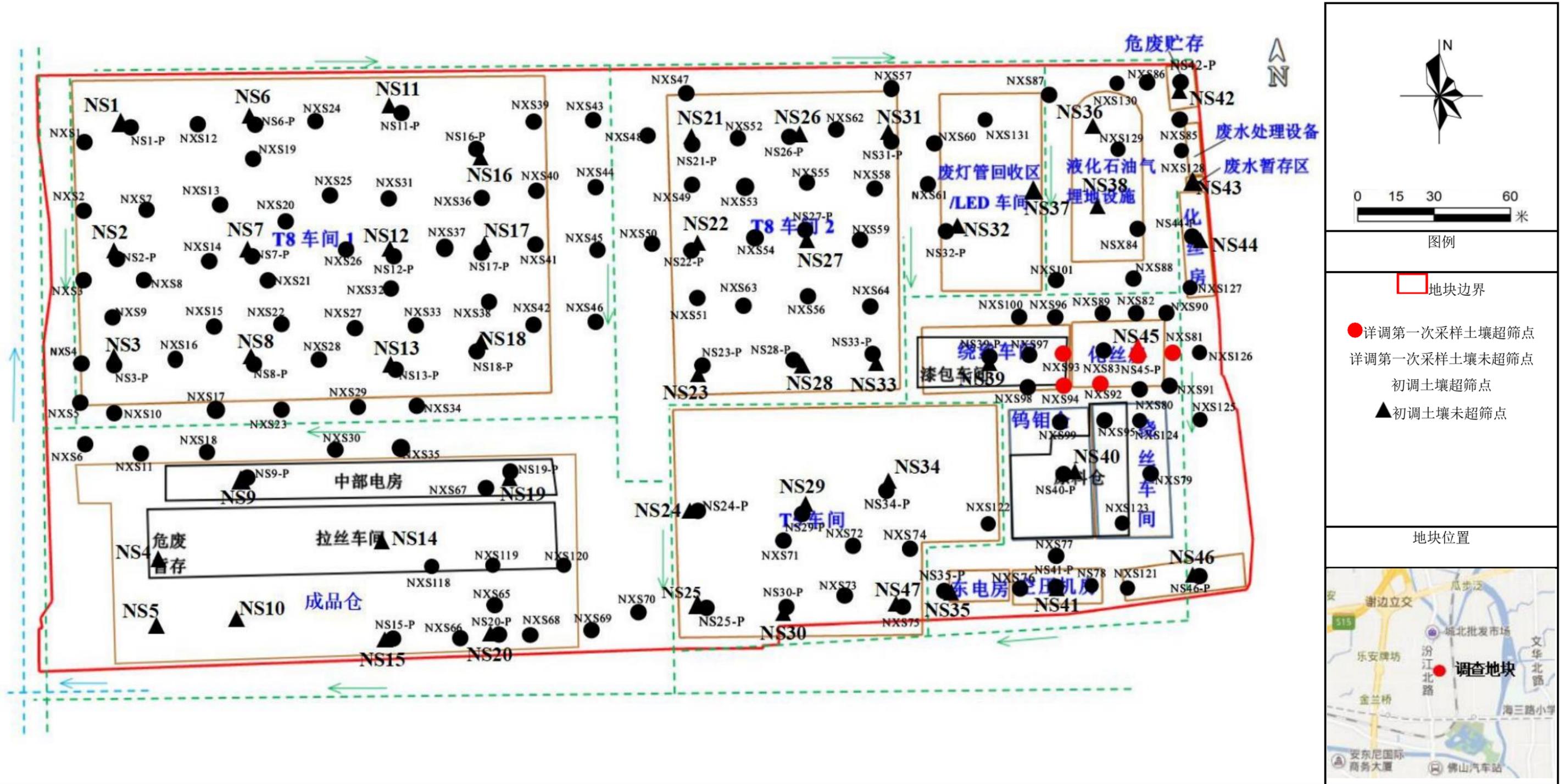


图2.6-11 详调第一次采样有机物乙苯超筛选值土壤点位分布图

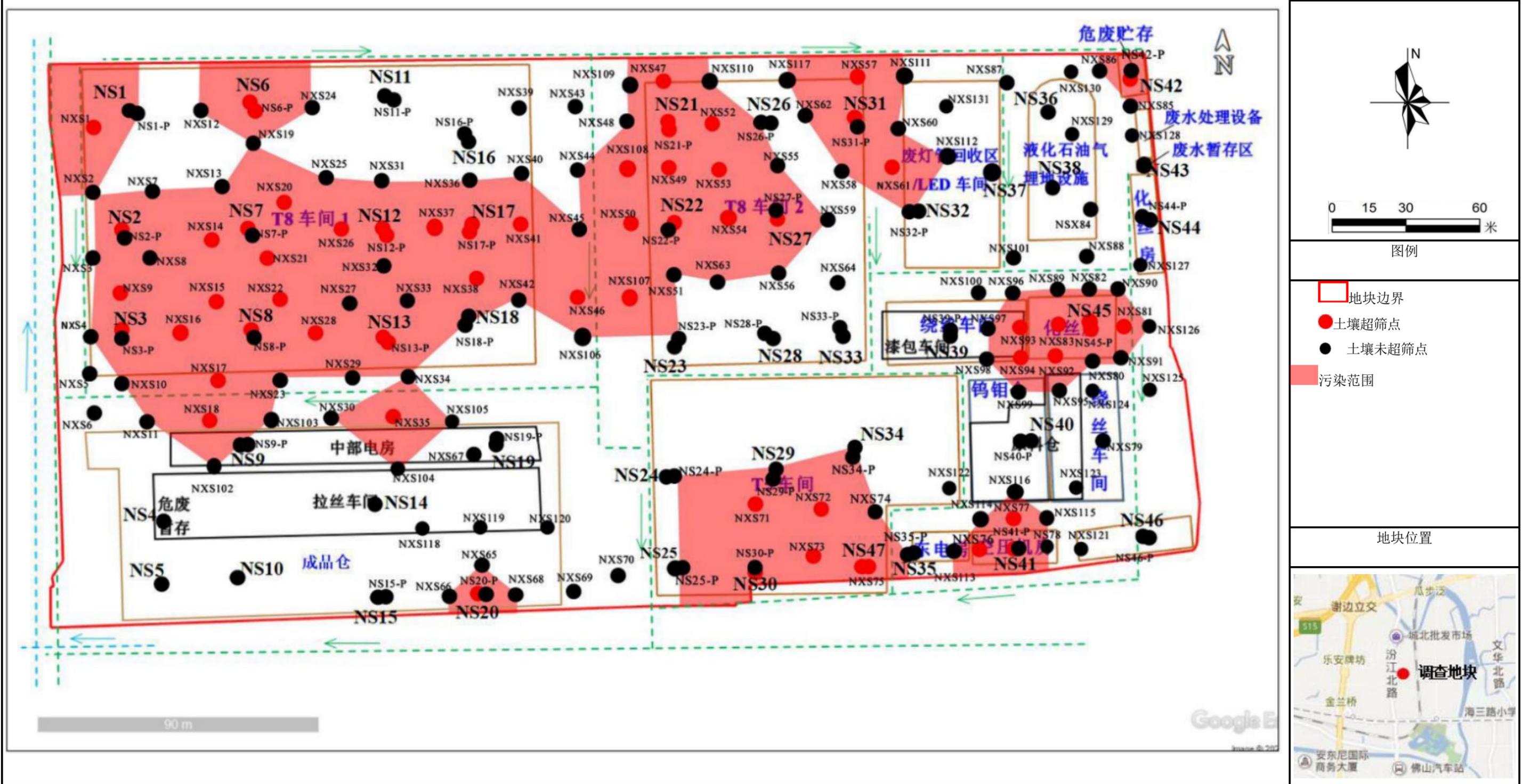


图2.6-12 调查地块土壤总超筛选值范围图

详细调查阶段一共在北区地块内建设了7口地下水监测井，采集地下水样品7份（未包含质控样品），地下水检测项目为pH、浊度、汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯、石油烃（C10-C40）、锰。以《地下水质量标准》（GBT14848-2017）中III类水标准作为评价指标，砷、钼、钨、锰4项指标的超标率分别为14.3%、28.6%、42.9%、85.7%

结合初步调查的检测结果，13口监测井均存在超标，超标指标为砷、钼、钨、锰4项，最大超标倍数分别为1.57、2.8、1.95、11.6。地下水点位超筛图如下。

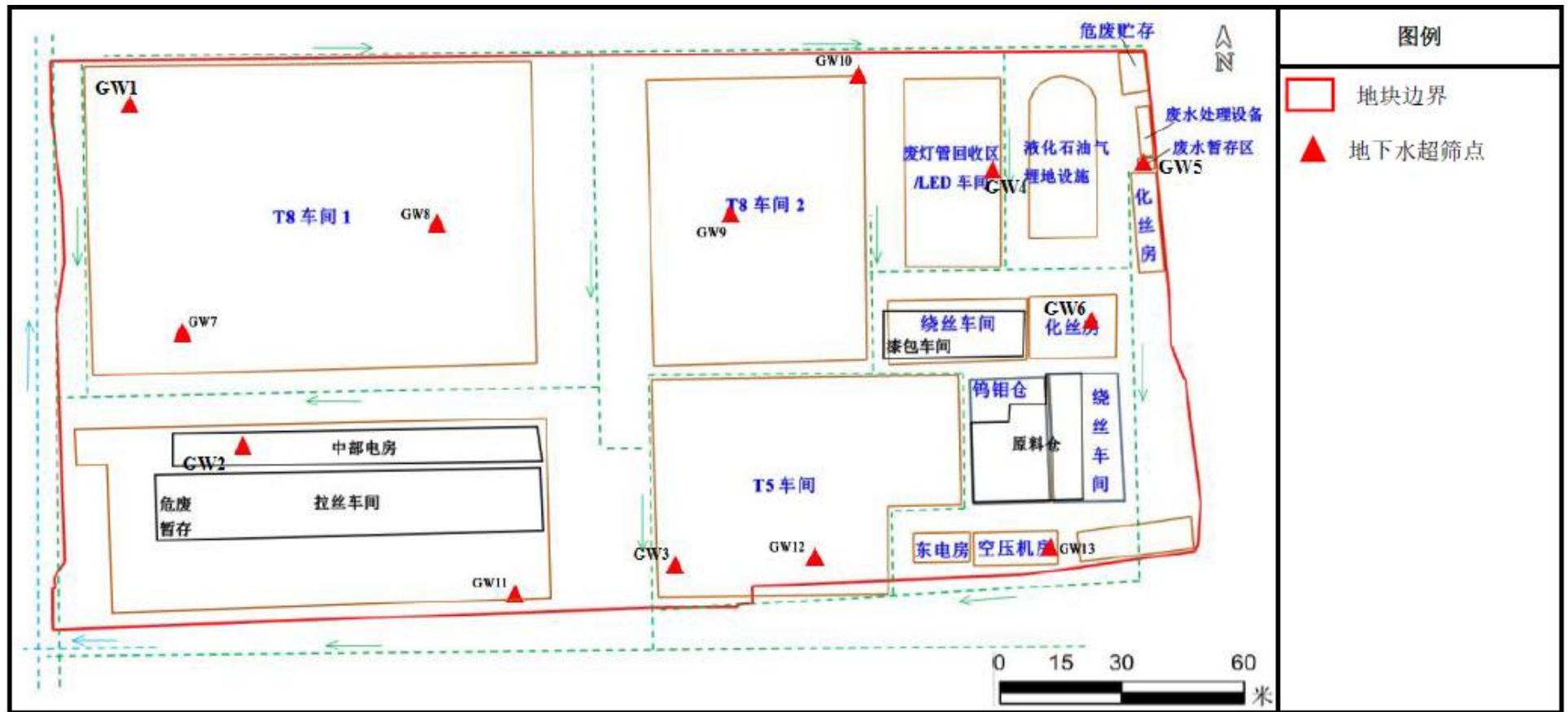


图2.6-13 调查地块地下水点位超筛图

## 2.7 土壤污染风险

根据地块未来用地规划和开发建设规划情况，本报告基于第一类用地方式对调查地块进行了风险评估，结果如下：

对于土壤重金属无机污染物砷，采用地块内浓度最大值作为暴露浓度进行风险表征，致癌风险和非致癌危害均超过可接受水平，对使用人群存在健康风险。对于土壤重金属污染物汞、镉、铜、钨、钼，采用地块内浓度最大值作为暴露浓度进行风险表征，非致癌危害超过可接受水平，上述污染物对使用人群存在健康风险。

对于土壤有机污染物乙苯，采用地块内浓度最大值作为暴露浓度进行风险表征，致癌风险和非致癌危害商超过可接受水平，对使用人群存在健康风险。对于土壤有机污染物石油烃，采用地块内浓度最大值作为暴露浓度进行风险表征，石油烃（C10-C40）无致癌风险，非致癌危害商超过可接受水平，对使用人群存在健康风险。

因此，对人群健康存在不可接受风险的土壤污染物包括汞、镉、铜、砷、钨、钼、石油烃（C10-C40）和乙苯共8项。土壤污染物需根据地块实际情况进一步分析，确定修复目标值，采取必要的风险管理手段。

地块区域地下水不属于地下水饮用水源（在用、备用、应急、规划水源）补给径流区和保护区，地块及周边区域均由市政供水，没有居民以地下水作为饮用水水源、日常洗澡、游泳或清洗用水。结合地块地层分布、水文地质信息、土壤污染分布及地下水污染分布特征以及迁移转化过程，地下水中污染物砷、锰、钼和钨不存在暴露途径，不存在人体健康风险。

## 第3章 地块修复模式

### 3.1 地块修复总体思路

由于该场地污染修复的目的是去除污染、保证场地的再利用、确保环境与健康安全，因此场地修复包括污染控制、污染去除、污染物降解、降低环境与健康风险等综合过程。从总体上将优先采用永久性处理修复，即显著地减少污染物数量、毒性和迁移性，在适当的条件下有限度地采用安全处置的修复方法；优先采用绿色、可持续和资源化的修复方法，有限度地采用高耗能、低资源利用率的修复方法；综合平衡考虑修复时间、修复成本、场地利用等因素；选用的修复方法要确保在修复过程中将二次污染降低到最低程度，确保不对环境和周围民众产生不可接受的负面影响。

根据以上要求与总体思路，该场地的修复将从满足场地尽快再开发利用为优先条件，考量原位与异位修复的选择，本场地主要污染类型为重金属和有机复合污染土壤，部分为有机物污染土壤，结合原位修复与异位修复各技术的过程及修复目标的可控性，修复效果的长效性等特征，异位修复均显著的优于原位修复。综上所述，为适用本地块的条件特征，满足项目再开发利用需求，本场地土壤污染修复总体思路为：主要采用异位修复技术，综合考虑管理要求、污染地块情况、修复费用及工期等因素，合理选择原位或异位或两者相结合的修复方式。

### 3.2 地块修复目标

根据《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》及本地块实际情况，本地块土壤和地下水修复目标值的确定将遵循以下原则：

（1）以采用本地块相关参数计算得出的场地土壤风险控制值和地下水风险控制值计算结果为主要依据；

（2）综合考虑风险控制值、风险筛选值和风险管制值、区域背景值等，选取土壤修复目标值。如风险控制值低于筛选值，则采用筛选值作为修复目标值；如调查地块所在区域的背景值高于筛选值和风险控制值，则选取背景值作为修复目标值；且修复目标值应小于GB 36600 风险管制值。

（3）土壤砷修复目标值说明：本次风险评估阶段，为避免出现过度修复情况，考虑到后续修复的可行性和经济性，砷以区域地带性土壤赤红壤作为背景土壤，而不再以

局部耕作土壤水稻土为背景土壤。因此土壤砷修复目标值为赤红壤砷背景浓度60 mg/kg。

根据上述原则，本地块土壤关注污染物的修复目标值见下表。

**表3.2-1 地块土壤修复目标值**

污染物名称	风险控制值	风险筛选值	风险管制值	修复目标值
汞	5.18	8	33	8
镉	19.2	20	40	20
砷	4.55E-01	40	120	60
铜	1920	2000	8000	2000
钨	48	50.1	/	50.1
钼	240	250	/	250
乙苯	7.45	7.2	72	7.45
石油烃（C10-C40）	809	826	5000	826

### 3.3 地块修复范围

#### 3.3.1 污染物叠加修复范围与工程量

根据确定的土壤修复目标值，本地块划定污染土壤修复面积为20752.88m<sup>2</sup>，污染土壤修复总土方量为32736.12m<sup>3</sup>；其中第1层（0~0.5m）修复土方量为8458.58m<sup>3</sup>、第2层（0.5~1.0m）修复土方量为3754.75m<sup>3</sup>、第3层（1.0~2.0m）修复土方量为7393.76m<sup>3</sup>、第4层（2.0~3.0m）修复土方量为7094.27m<sup>3</sup>、第5层（3.0~4.0m）修复土方量为2964.36m<sup>3</sup>、第6层（4.0~5.0m）修复土方量为1035.02m<sup>3</sup>、第7层（5.0~6.0m）修复土方量为1185.88m<sup>3</sup>、第8层（6.0~8.0m）修复土方量为849.50m<sup>3</sup>。

各层土壤的污染面积及修复方量见下表所示。

**表3.3-1 本地块各层土壤的污染面积和修复方量**

土层深度	污染面积（m <sup>2</sup> ）	修复方量（m <sup>3</sup> ）
0~0.5m	16917.16	8458.58
0.5~1.0m	7509.50	3754.75
1.0~2.0m	7393.76	7393.76
2.0~3.0m	7094.27	7094.27
3.0~4.0m	2964.36	2964.36

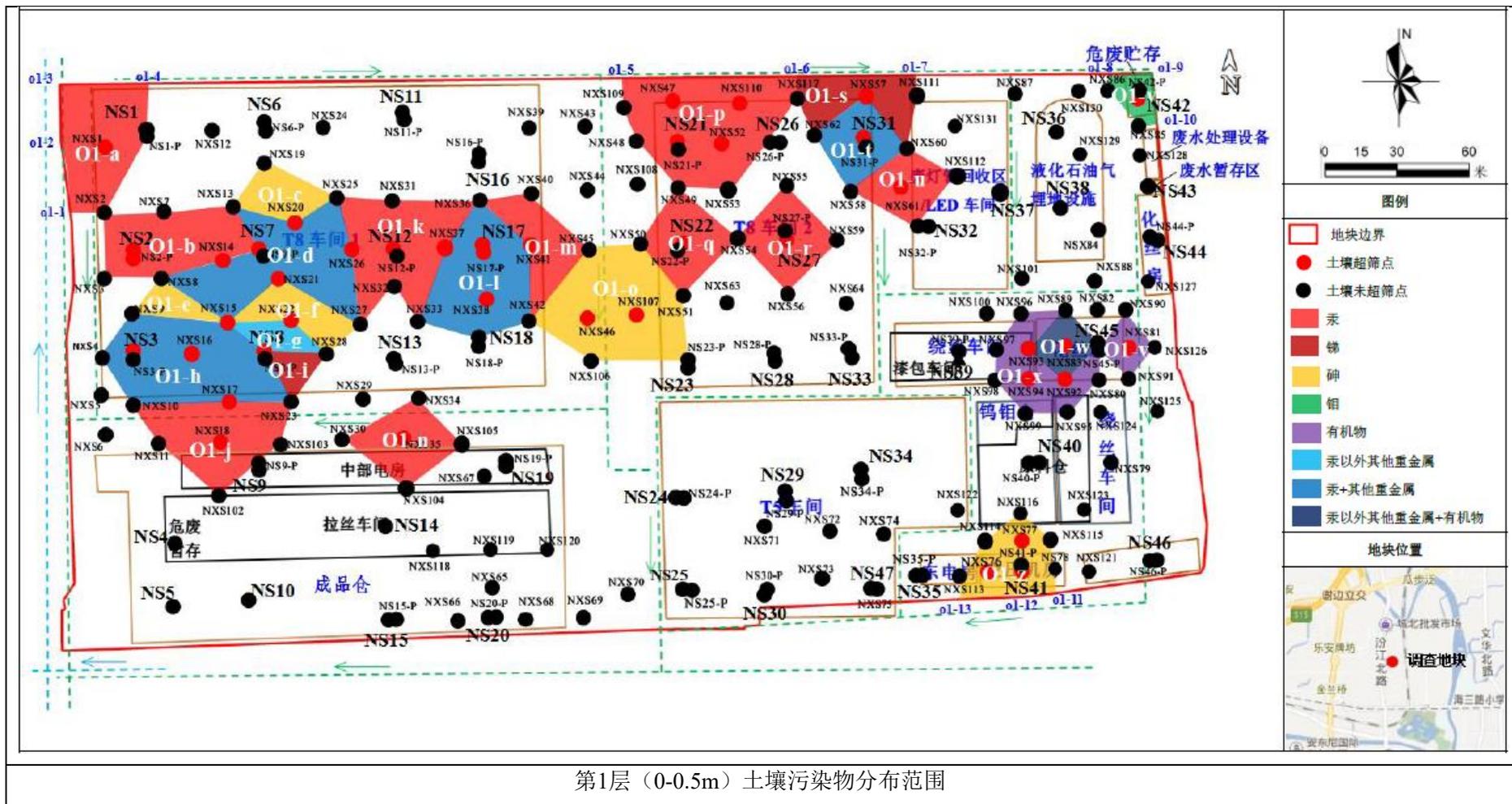
4.0 ~ 5.0m	1035.02	1035.02
5.0 ~ 6.0m	1185.88	1185.88
6.0 ~ 8.0m	424.75	849.50
总计	--	32736.12

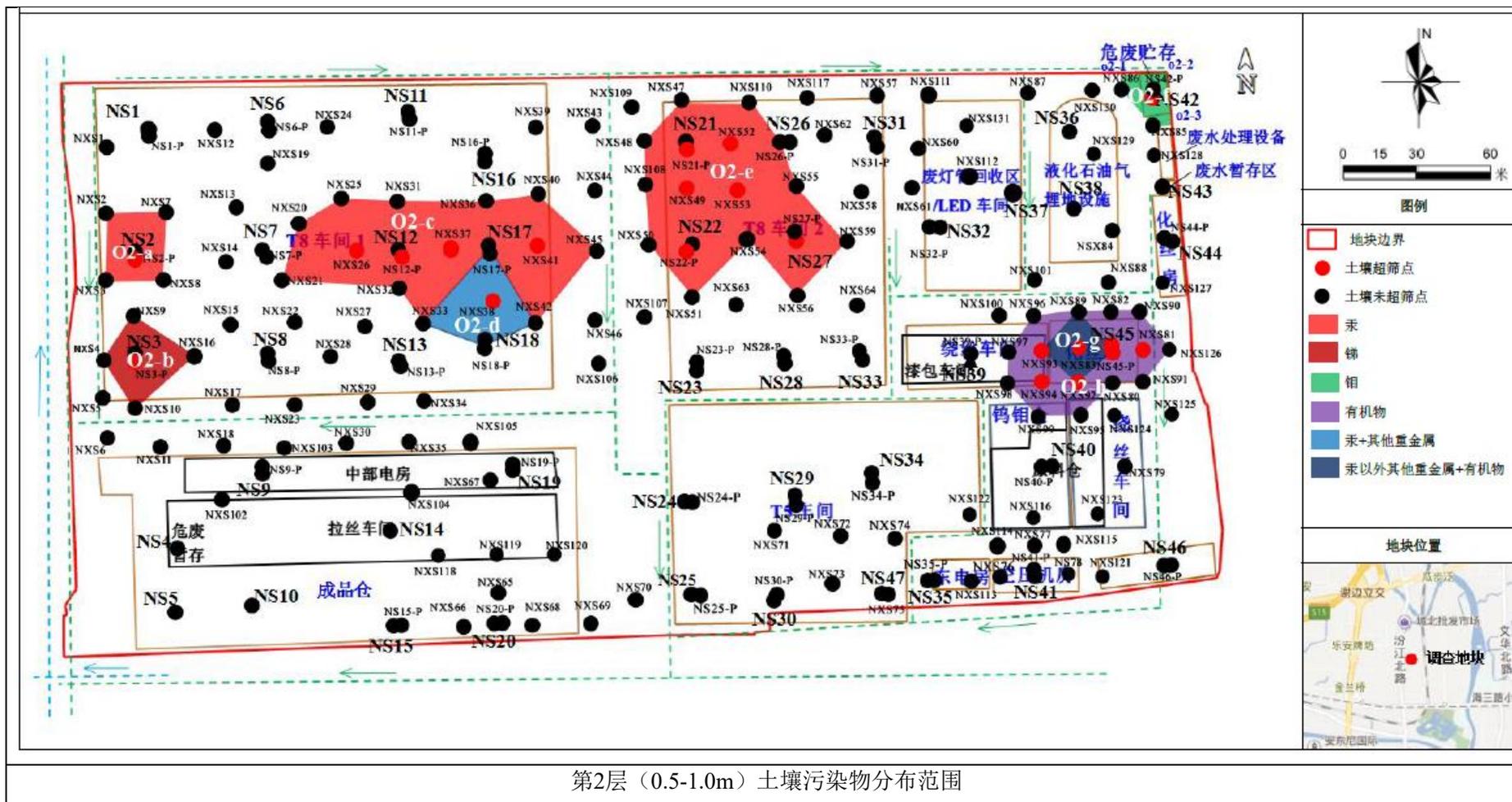
本地块各深度层的综合叠加土壤污染面积共32736.12m<sup>2</sup>，下图为各深度层的综合叠加土壤污染范围。

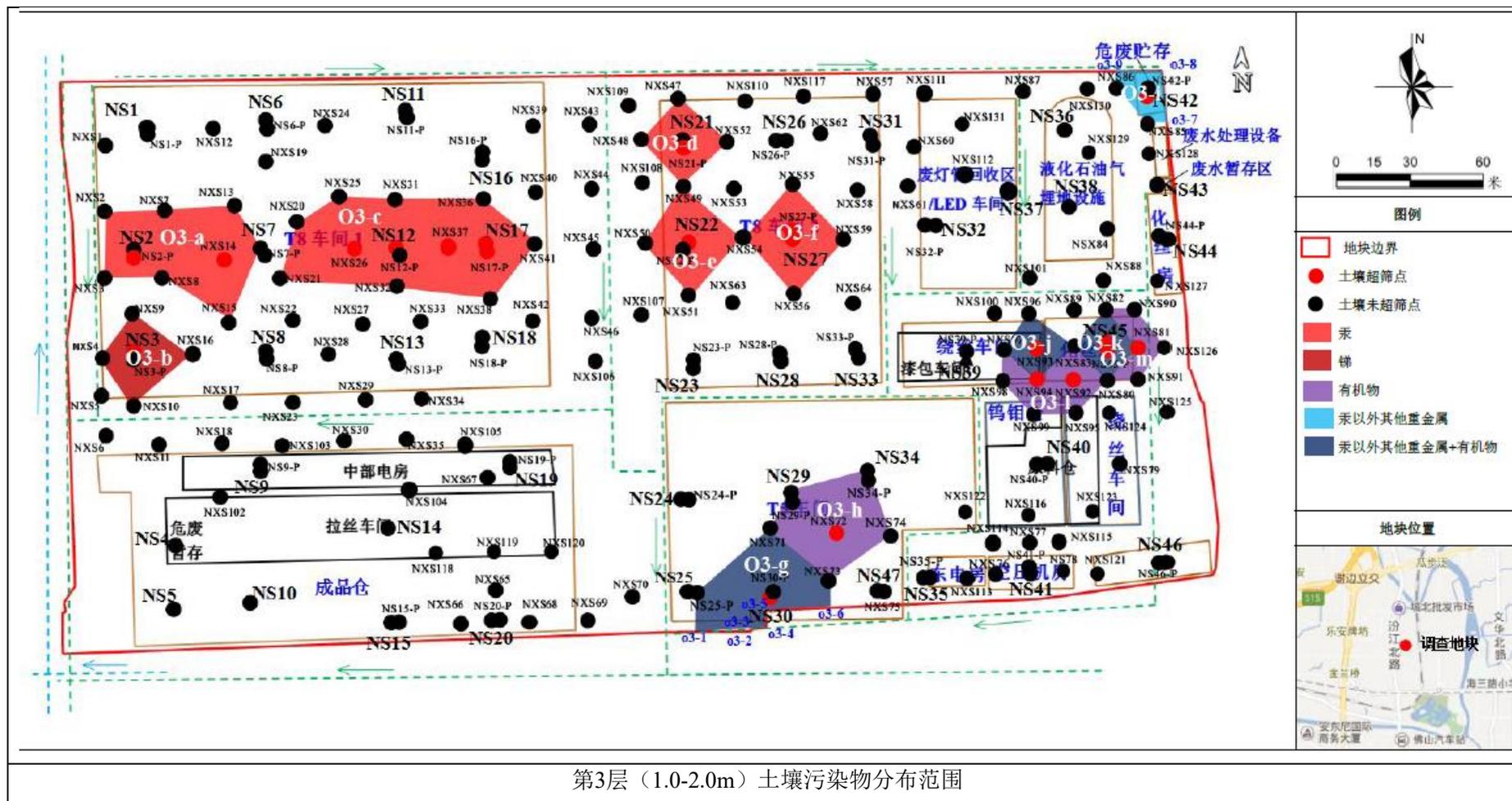


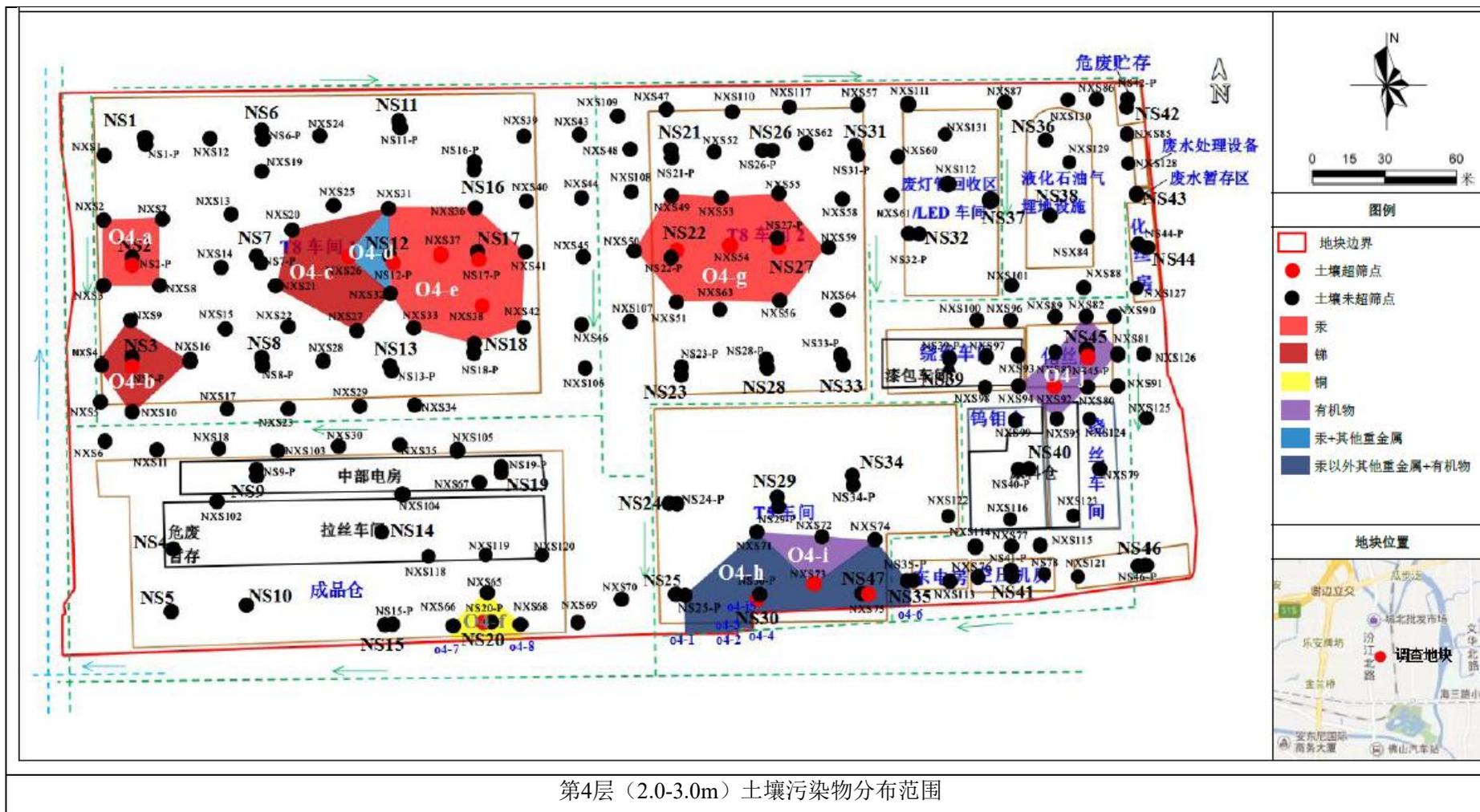
### 3.3.2 污染物分类修复范围与工程量

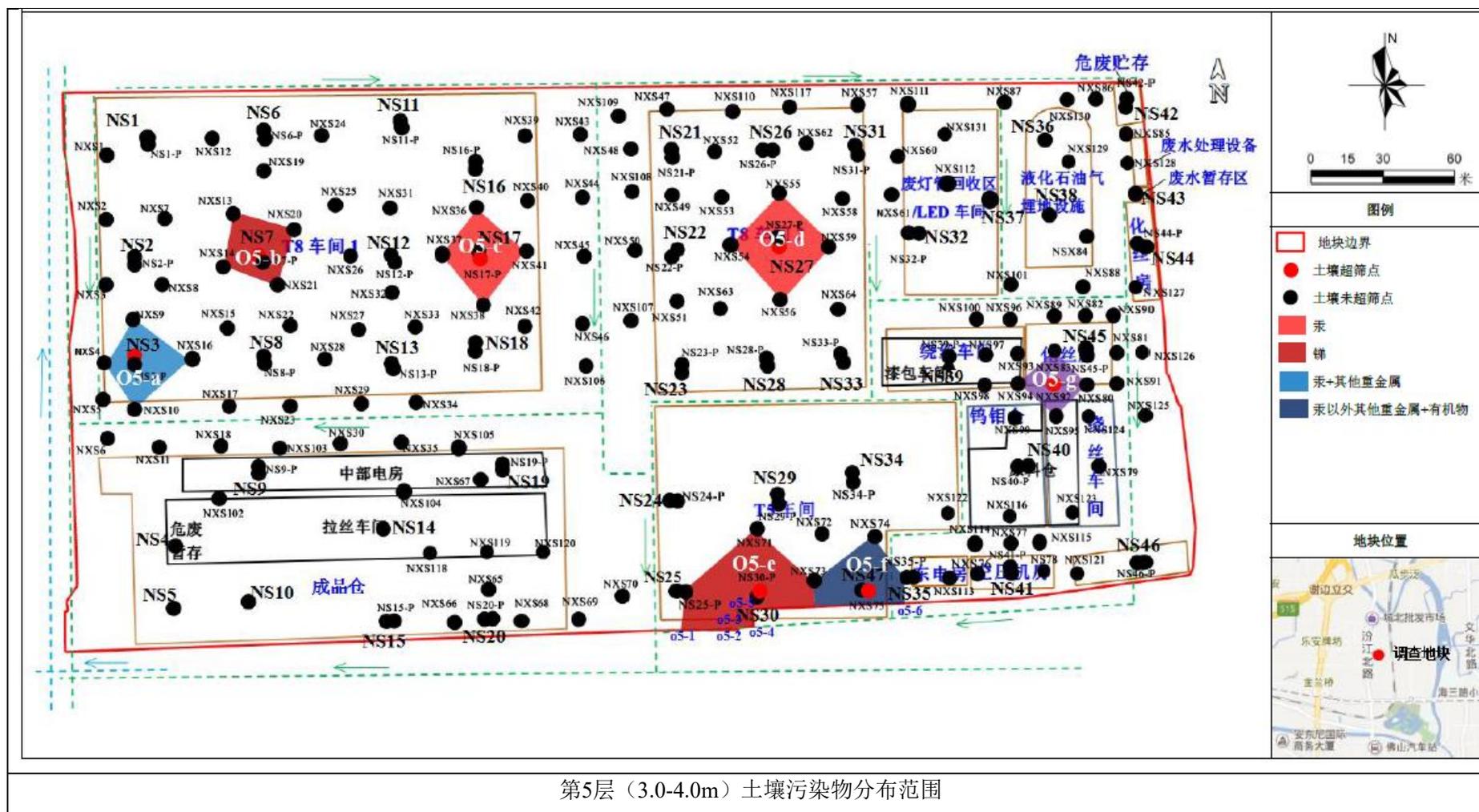
本地块需开展修复的各类污染物的空间分布情况详见下图。

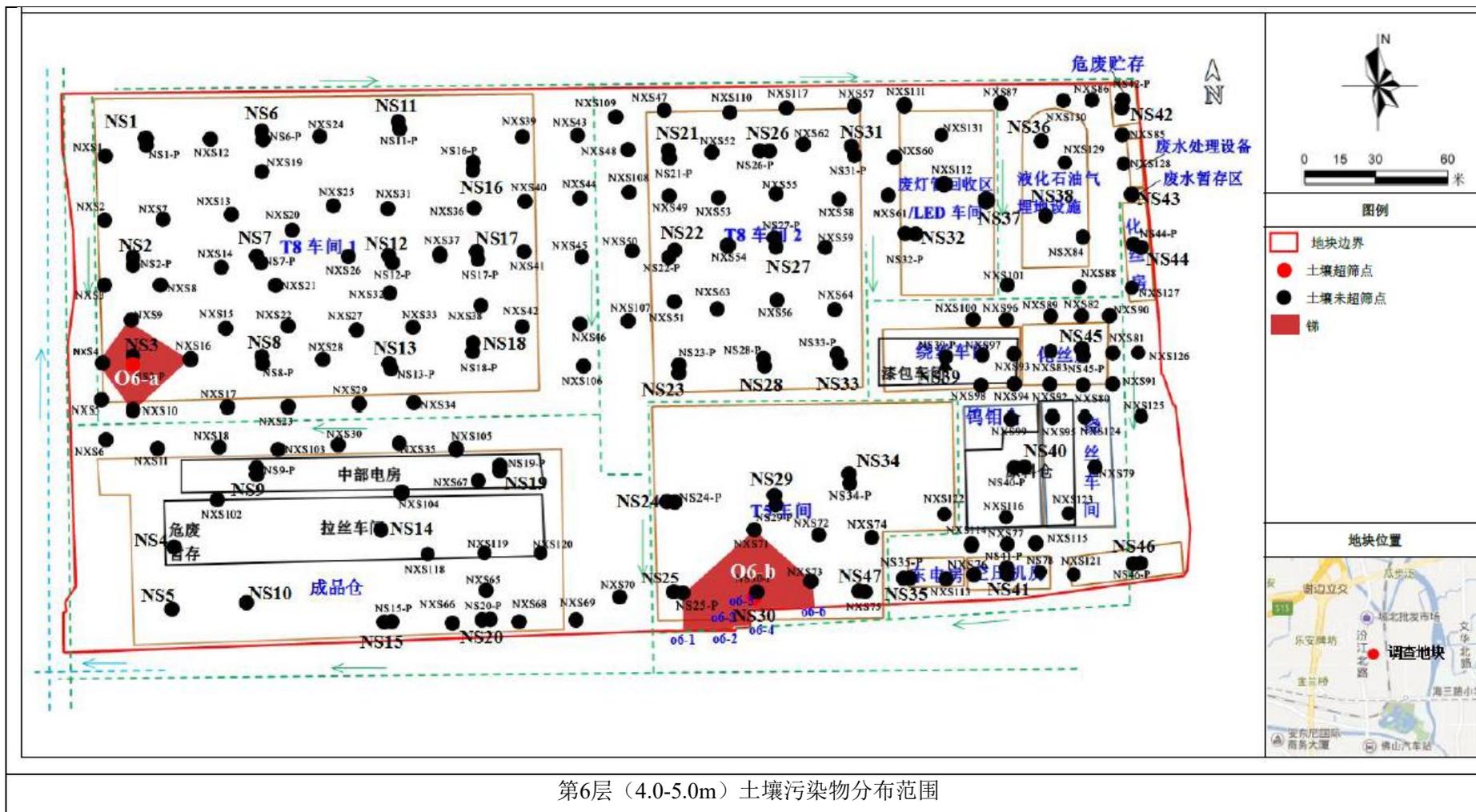


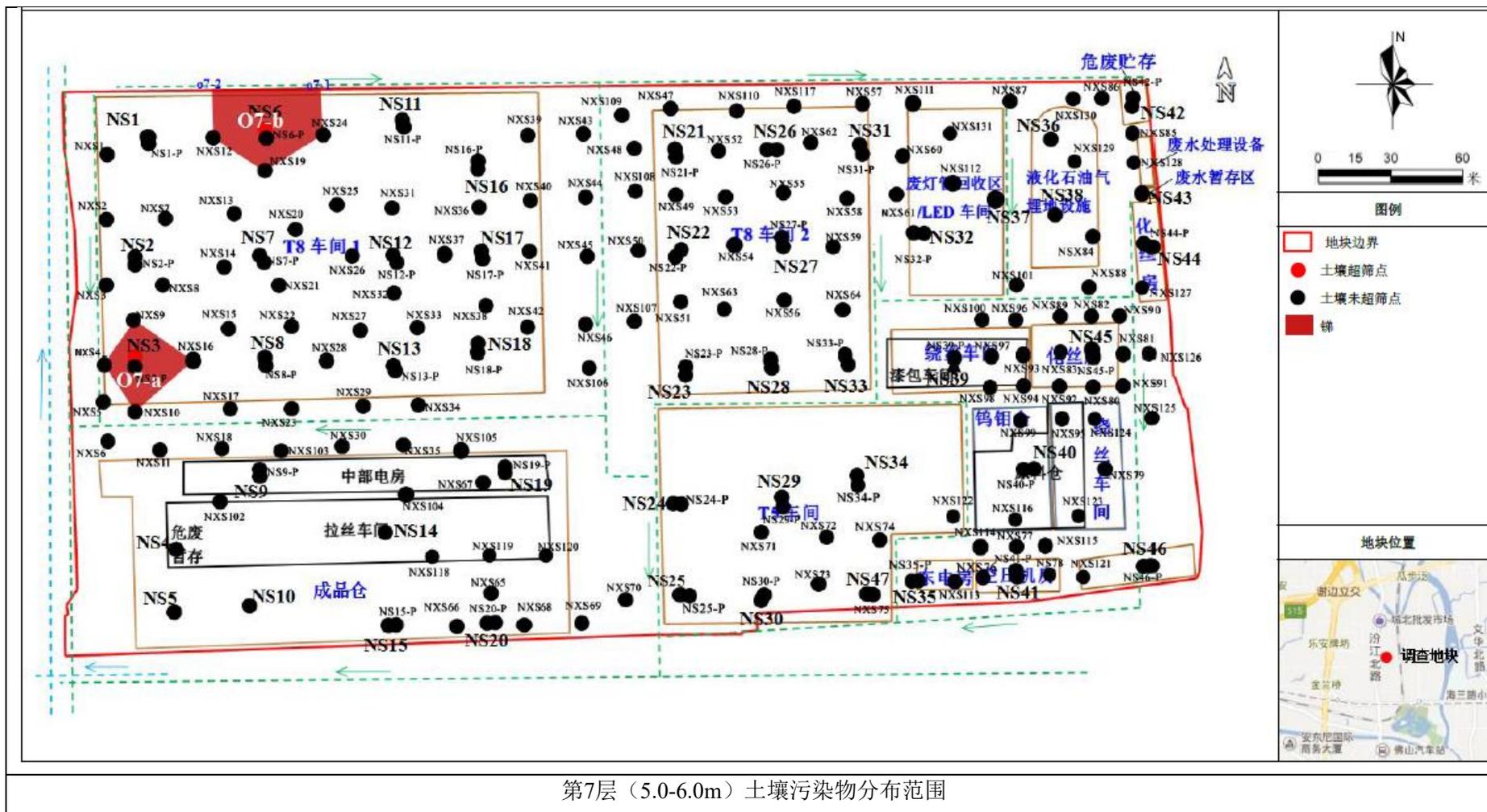




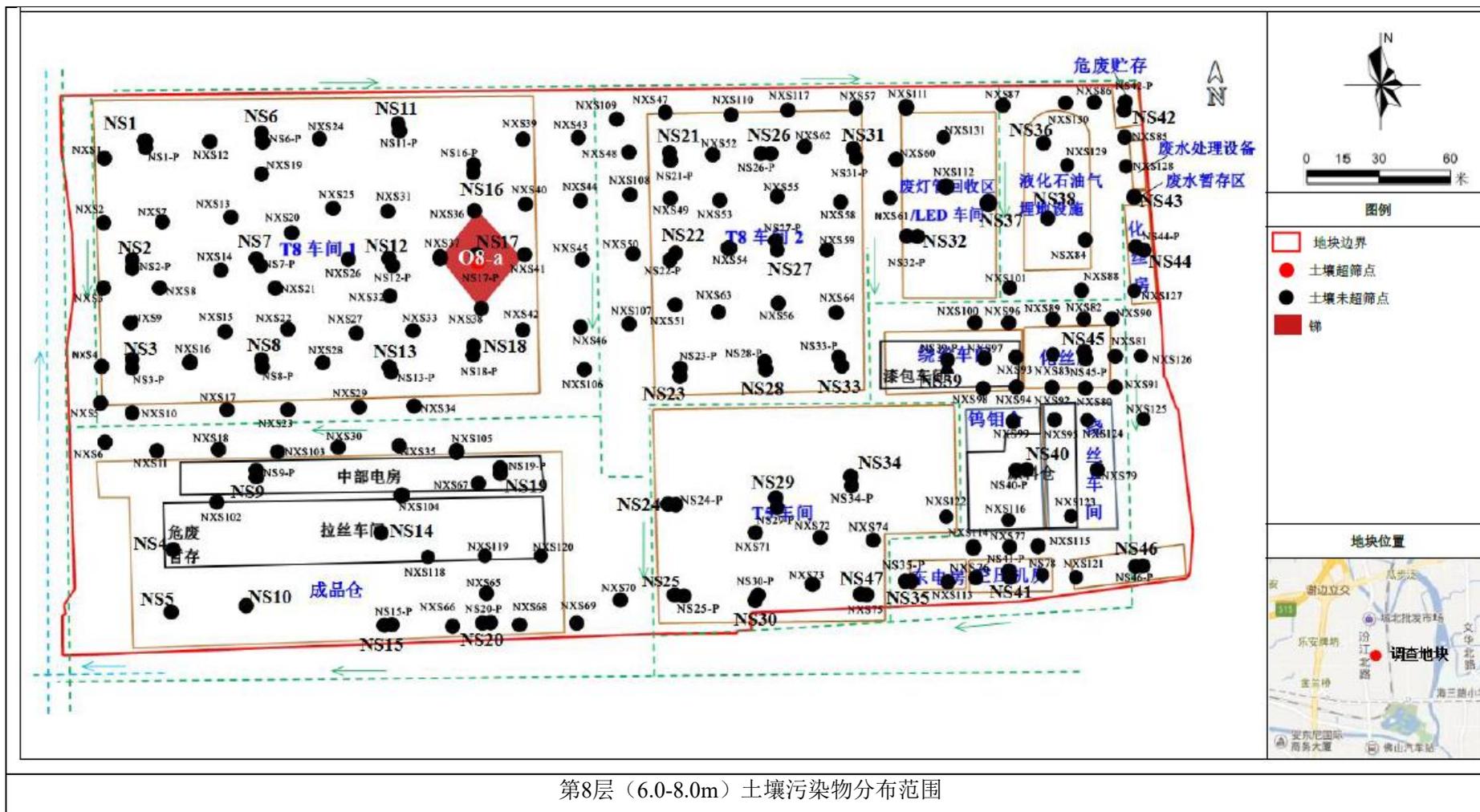








第7层 (5.0-6.0m) 土壤污染物分布范围



调查地块各深度层的单一污染物和复合污染物土壤修复范围拐点坐标见下表。

表3.3-2 第1层（0-0.5m）土壤修复范围拐点坐标

区域	超修复目标值污染物及 点位	拐点编号	拐点X坐标	拐点Y坐标	高程
O1-a	汞：NXS1	NS1	2551156.71	38408227.01	-3.71
		NXS2	2551136.87	38408211.72	-3.72
		o1-1	2551135.95	38408200.36	-3.71
		o1-2	2551160.46	38408197.33	-3.71
		o1-3	2551178.47	38408197.01	-3.71
		o1-4	2551178.50	38408227.14	-3.71
		NS1	2551156.71	38408227.01	-3.71
O1-b	汞：NS2/NS2-P	NXS2	2551136.87	38408211.72	-3.72
		NXS3	2551115.83	38408211.69	-3.87
		NXS8	2551115.94	38408229.73	-3.50
		NXS14	2551121.80	38408249.34	-3.13
		NS7	2551121.19	38408257.95	-3.62
		NXS13	2551138.39	38408252.83	-3.66
		NXS7	2551137.09	38408230.58	-3.62
		NXS2	2551136.87	38408211.72	-3.72
O1-c	砷：NXS20	NXS13	2551138.39	38408252.83	-3.66
		NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
		NXS25	2551140.96	38408285.95	-3.60
		NXS19	2551152.07	38408261.11	-3.72
		NXS13	2551138.39	38408252.83	-3.66
O1-d	汞：NXS14、NS7、 NXS26；砷：NXS15、 NXS20、NXS26	NXS8	2551115.94	38408229.73	-3.50
		NXS15	2551102.30	38408250.97	-3.49
		NXS21	2551115.38	38408267.14	-3.70
		NXS27	2551101.26	38408293.19	-4.57
		NXS26	2551124.87	38408290.46	-3.58
		NXS25	2551140.96	38408285.95	-3.60
		NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
		NXS13	2551138.39	38408252.83	-3.66
		NS7	2551121.19	38408257.95	-3.62
		NXS14	2551121.80	38408249.34	-3.13

		NXS8	2551115.94	38408229.73	-3.50
O1-e	砷: NXS15	NXS8	2551115.94	38408229.73	-3.50
		NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
		NXS15	2551102.30	38408250.97	-3.49
		NXS8	2551115.94	38408229.73	-3.50
O1-f	砷: NXS15、NXS21、 NXS22	NXS15	2551102.30	38408250.97	-3.49
		NXS22	2551102.73	38408270.85	-3.61
		NXS28	2551091.91	38408282.27	-3.62
		NXS27	2551101.26	38408293.19	-4.57
		NXS21	2551115.38	38408267.14	-3.70
		NXS15	2551102.30	38408250.97	-3.49
O1-g	砷: NXS15、NXS22 镉: NS8	NXS15	2551102.30	38408250.97	-3.49
		NS8	2551089.63	38408258.06	-3.60
		NXS28	2551091.91	38408282.27	-3.62
		NXS22	2551102.73	38408270.85	-3.61
		NXS15	2551102.30	38408250.97	-3.49
O1-h	汞: NS3、NXS16、 NXS17; 镉: NS3; 砷: NS3、NXS16、NXS15	NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
		NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
		NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
		NXS17	2551118.17	38408335.11	-3.61
		NXS23	2551085.38	38408391.48	-3.63
		NS8	2551089.63	38408258.06	-3.60
		NXS15	2551102.30	38408250.97	-3.49
		NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
O1-i	镉: NS3	NXS23	2551085.38	38408391.48	-3.63
		NS8	2551089.63	38408258.06	-3.60
		NXS28	2551091.91	38408282.27	-3.62
		NXS23	2551085.38	38408391.48	-3.63
O1-j	汞: NXS18、NXS17	NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
		NXS11	2551064.44	38408228.49	-3.48
		NXS102	2551046.16	38408248.06	-3.01
		NXS103	2551064.43	38408267.24	-3.73
		NXS23	2551077.03	38408271.00	-3.58
		NXS17	2551118.17	38408335.11	-3.61

		NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
O1-k	汞: NXS26、NS12、 NXS37	NXS25	2551140.96	38408285.95	-3.60
		NXS26	2551124.87	38408290.46	-3.58
		NXS27	2551101.26	38408293.19	-4.57
		NXS32	2551113.16	38408303.92	-3.99
		NXS33	2551102.15	38408311.33	-4.00
		NXS37	2551125.57	38408320.39	-3.99
		NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
		NXS31	2551139.96	38408303.57	-3.51
		NXS25	2551140.96	38408285.95	-3.60
O1-l	汞: NS17、NS17-P、 NXS37、NXS41; 铈: NS17-P、NXS38	NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
		NXS37	2551125.57	38408320.39	-3.99
		NXS33	2551102.15	38408311.33	-4.00
		NS18	2551092.14	38408336.59	-3.64
		NXS42	2551102.37	38408346.69	-3.56
		NXS41	2551125.85	38408347.66	-3.55
		NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
O1-m	汞: NXS41	NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
		NXS41	2551125.85	38408347.66	-3.55
		NXS42	2551102.37	38408346.69	-3.56
		NXS45	2551124.41	38408365.89	-4.20
		NXS40	2551142.24	38408347.86	-3.55
		NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
O1-n	汞: NXS35	NXS34	2551077.89	38408311.60	-3.94
		NXS30	2551065.19	38408287.02	-4.06
		NXS104	2551047.57	38408306.90	-3.76
		NXS105	2551065.50	38408326.79	-3.73
		NXS34	2551077.89	38408311.60	-3.94
O1-o	砷: NXS46、NXS107	NXS42	2551102.37	38408346.69	-3.56
		NXS106	2551083.43	38408365.23	-4.19
		NS23	2551077.03	38408271.00	-3.58
		NXS51	2551109.61	38408395.73	-4.58
		NXS50	2551126.30	38408382.61	-4.58
		NXS45	2551124.41	38408365.89	-4.20

		NXS42	2551102.37	38408346.69	-3.56
O1-p	汞: NS21、NXS47、 NXS52、NXS110	NXS53	2551142.97	38408410.39	-4.55
		NS26	2551124.87	38408290.46	-3.60
		NXS117	2551169.41	38408433.40	-3.79
		o1-6	2551179.36	38408433.40	-3.99
		o1-5	2551179.06	38408377.82	-4.01
		NXS109	2551168.42	38408377.64	-4.00
		NXS48	2551158.43	38408381.37	-4.59
		NXS49	2551143.73	38408394.50	-4.57
		NXS53	2551142.97	38408410.39	-4.55
O1-q	汞: NS22	NXS51	2551109.61	38408395.73	-4.58
		NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
		NXS49	2551143.73	38408394.50	-4.57
		NXS50	2551126.30	38408382.61	-4.58
		NXS51	2551109.61	38408395.73	-4.58
O1-r	汞: NS27	NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
		NXS55	2551143.85	38408428.74	-4.11
		NXS59	2551126.58	38408445.03	-4.11
		NXS56	2551115.16	38408429.59	-3.79
		NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
O1-s	铈: NXS57	NXS62	2551162.73	38408437.87	-3.95
		NXS57	2551170.76	38408448.07	-3.98
		NXS60	2551159.90	38408466.96	-3.95
		NXS111	2551169.42	38408467.84	-3.82
		o1-7	2551179.39	38408467.84	-4.01
		o1-6	2551179.36	38408433.40	-4.01
		NXS117	2551169.41	38408433.40	-3.79
		NXS62	2551162.73	38408437.87	-3.95
O1-t	汞、铈: NS31	NXS62	2551162.73	38408437.87	-3.95
		NXS58	2551142.06	38408449.53	-3.56
		NXS60	2551159.90	38408466.96	-3.95
		NXS57	2551170.76	38408448.07	-3.98
		NXS62	2551162.73	38408437.87	-3.95
O1-u	汞: NXS61	NXS58	2551142.06	38408449.53	-3.56

		NS32	2551125.52	38408474.23	-3.54
		NXS112	2551141.98	38408480.89	-3.85
		NXS60	2551159.90	38408466.96	-3.95
		NXS58	2551142.06	38408449.53	-3.56
O1-v	钼: NS42	NXS85	2551161.44	38408541.38	-4.34
		NXS86	2551170.80	38408531.29	-4.37
		o1-8	2551179.58	38408531.29	-4.17
		o1-9	2551179.46	38408544.75	-4.17
		o1-10	2551161.79	38408546.34	-4.17
		NXS85	2551161.44	38408541.38	-4.34
O1-w	钨、乙苯: NXS83	NXS89	2551105.21	38408517.46	-4.49
		NXS93	2551092.41	38408508.47	-4.49
		NXS92	2551083.94	38408517.33	-4.49
		NS45	2551091.75	38408526.30	-3.72
		NXS89	2551105.21	38408517.46	-4.49
O1-x	乙苯: NXS93、NXS94、NXS92	NXS96	2551103.61	38408507.41	-4.02
		NXS97	2551090.93	38408496.98	-4.34
		NXS98	2551081.96	38408496.93	-4.62
		NXS99	2551073.26	38408507.12	-4.63
		NXS95	2551073.09	38408517.37	-3.44
		NXS80	2551081.66	38408528.80	-4.08
		NS45	2551091.75	38408526.30	-3.72
		NXS92	2551083.94	38408517.33	-4.49
		NXS93	2551092.41	38408508.47	-4.49
		NXS89	2551105.21	38408517.46	-4.49
		NXS96	2551103.61	38408507.41	-4.02
O1-y	乙苯: NXS93、NXS94、NXS92	NXS90	2551104.76	38408536.73	-3.13
		NS45	2551091.75	38408526.30	-3.72
		NXS91	2551083.15	38408537.83	-3.49
		NXS126	2551093.18	38408545.78	-3.70
		NXS90	2551104.76	38408536.73	-3.13
O1-z	砷: NS41、NXS76、NXS77	NXS113	2551020.46	38408483.43	-4.36
		NXS114	2551031.04	38408492.41	-4.58
		NXS116	2551037.63	38408502.60	-3.89

	NXS115	2551030.59	38408512.50	-4.60
	NXS78	2551032.19	38408503.18	-3.80
	o1-11	2551014.81	38408515.68	-3.80
	o1-12	2551015.46	38408505.22	-3.80
	o1-13	2551016.42	38408512.87	-3.80
	NXS113	2551020.46	38408483.43	-4.36

表3.3-3 第2层(0.5-1.0m)土壤修复范围拐点坐标

区域	超修复目标值污染物及点位	拐点编号	拐点X坐标	拐点Y坐标	高程
O2-a	汞: NXS1	NXS2	2551136.87	38408211.72	-3.72
		NXS3	2551115.83	38408211.69	-3.87
		NXS8	2551115.94	38408229.73	-3.50
		NXS7	2551137.09	38408230.58	-3.62
		NXS2	2551136.87	38408211.72	-3.72
O2-b	镉: NS3/NS3-P	NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
		NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
		NXS16	2551091.51	38408239.32	-4.06
		NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
		NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
O2-c	汞: NXS37、NS12-P、	NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
	NS17、NXS26、NXS41	NXS21	2551115.38	38408267.14	-3.70
		NXS32	2551113.16	38408303.92	-3.99
		NXS33	2551102.15	38408311.33	-4.00
		NS17	2551118.17	38408335.11	-3.65
		NXS42	2551102.37	38408346.69	-3.58
		NXS45	2551124.41	38408365.89	-4.04
		NXS40	2551142.24	38408347.86	-3.55
		NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
		NXS31	2551139.96	38408303.57	-3.51
		NXS25	2551140.96	38408285.95	-3.60
		NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
O2-d	汞、镉: NXS38; 汞: NS17	NXS33	2551102.15	38408311.33	-4.00
		NS17	2551118.17	38408335.11	-3.65
		NXS42	2551102.37	38408346.69	-3.58

		NS18	2551092.14	38408336.59	-3.64
		NXS33	2551102.15	38408311.33	-4.00
O2-e	汞NS21NS22NS27、 NXS49、NXS52、NXS53	NXS47	2551170.76	38408393.75	-4.61
		NXS48	2551158.43	38408381.37	-4.59
		NXS44	2551143.13	38408365.80	-4.58
		NXS50	2551126.30	38408382.61	-4.58
		NXS46	2551102.93	38408365.25	-4.57
		NXS106	2551083.43	38408365.23	-4.19
		NS23	2551085.38	38408391.48	-3.58
		NXS51	2551109.61	38408395.73	-4.56
		NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
		NXS56	2551115.16	38408429.59	-3.79
		NXS59	2551126.58	38408445.03	-4.11
		NXS55	2551143.85	38408428.74	-4.11
		NS26	2551156.62	38408422.97	-3.60
		NXS110	2551169.46	38408407.06	-3.79
				NXS47	2551170.76
O2-f	钼：NS42	NXS85	2551161.44	38408541.38	-4.34
		NXS86	2551170.80	38408531.29	-4.37
		o2-1	2551179.58	38408531.29	-4.17
		o2-2	2551179.46	38408544.75	-4.17
		o2-3	2551161.79	38408546.34	-4.17
		NXS85	2551161.44	38408541.38	-4.34
O2-g	钨、乙苯：NXS83	NXS89	2551105.21	38408517.46	-4.49
		NXS93	2551092.41	38408508.47	-4.49
		NXS92	2551083.94	38408517.33	-4.49
		NS45	2551091.75	38408526.30	-3.72
		NXS89	2551105.21	38408517.46	-4.49
O2-h	乙苯：NS45/NS45-P、 NXS81、NXS93、 NXS94、NXS92	NXS89	2551105.21	38408517.46	-4.49
		NXS96	2551103.61	38408507.41	-4.02
		NXS97	2551090.93	38408496.98	-4.34
		NXS98	2551081.96	38408496.93	-4.62
		NXS99	2551073.26	38408507.12	-4.63
		NXS95	2551073.09	38408517.37	-3.44

	NXS80	2551081.66	38408528.80	-4.08
	NXS91	2551083.15	38408537.83	-3.49
	NXS126	2551093.18	38408545.78	-3.70
	NXS90	2551104.76	38408536.73	-3.13
	NXS82	2551104.37	38408527.61	-4.21
	NXS89	2551105.21	38408517.46	-4.49
	NS45	2551091.75	38408526.30	-3.72
	NXS92	2551083.94	38408517.33	-4.49
	NXS93	2551092.41	38408508.47	-4.49
	NXS89	2551105.21	38408517.46	-4.49

表3.3-4 第3层（1.0-2.0m）土壤修复范围拐点坐标

区域	超修复目标值污染物及点位	拐点编号	拐点X坐标	拐点Y坐标	高程
O3-a	汞：NS2-P、NXS14	NXS2	2551136.87	38408211.72	-4.49
		NXS3	2551115.83	38408211.69	-4.31
		NXS8	2551115.94	38408229.73	-3.25
		NXS15	2551102.30	38408250.97	-3.49
		NS7	2551121.19	38408257.95	-3.62
		NXS13	2551138.39	38408252.83	-3.41
		NXS7	2551137.09	38408230.58	-4.14
		NXS2	2551136.87	38408211.72	-4.49
O3-b	镉：NS3/NS3-P	NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
		NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
		NXS16	2551091.51	38408239.32	-4.06
		NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
		NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
O3-c	汞：NXS37、NS12-P、NS17/NS17-P、NXS26	NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
		NXS21	2551115.38	38408267.14	-3.70
		NXS32	2551113.16	38408303.92	-3.99
		NXS38	2551108.99	38408333.41	-4.51
		NXS41	2551125.85	38408347.66	-3.55
		NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
		NXS31	2551139.96	38408303.57	-3.51
		NXS25	2551140.96	38408285.95	-3.60

		NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
O3-d	汞: NS21-P	NXS47	2551170.76	38408393.75	-4.61
		NXS48	2551158.43	38408381.37	-4.59
		NXS49	2551143.73	38408394.50	-4.57
		NXS52	2551157.27	38408408.22	-4.54
		NXS47	2551170.76	38408393.75	-4.61
O3-e	汞: NS22	NXS49	2551143.73	38408394.50	-4.57
		NXS50	2551126.30	38408382.61	-4.58
		NXS51	2551109.61	38408395.73	-4.56
		NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
O3-f	汞: NS27	NXS49	2551143.73	38408394.50	-4.57
		NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
		NXS55	2551143.85	38408428.74	-4.11
		NXS59	2551126.58	38408445.03	-4.11
		NXS56	2551115.16	38408429.59	-3.79
O3-g	铜、石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> ): NS30	NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
		NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
		NXS55	2551143.85	38408428.74	-4.11
		NXS59	2551126.58	38408445.03	-4.11
		NXS56	2551115.16	38408429.59	-3.79
		NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
		NS25	2551014.16	38408391.66	-3.62
		o3-1	2551005.93	38408391.77	-3.73
		o3-2	2551005.96	38408414.04	-3.93
O3-h	石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> ): NXS72	o3-3	2551006.78	38408413.71	-3.93
		o3-4	2551006.99	38408418.71	-3.93
		o3-5	2551012.49	38408418.53	-3.93
		o3-6	2551012.71	38408427.33	-3.89
		NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.91
		NS25	2551014.16	38408391.66	-3.62
		NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.91
		NXS74	2551031.63	38408457.69	-3.89
		NS34	2551048.21	38408455.42	-3.94
		NS29	2551042.98	38408423.92	-4.08
O3-i	钨、钼: NS42	NXS71	2551030.96	38408415.24	-3.90
		NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.91
		NXS85	2551161.44	38408541.38	-4.34
		NXS86	2551170.80	38408531.29	-4.37
		o3-9	2551179.58	38408531.29	-4.17

		o3-8	2551179.46	38408544.75	-4.17
		o3-7	2551161.79	38408546.34	-4.17
		NXS85	2551161.44	38408541.38	-4.34
O3-j	钨、乙苯: NXS93	NXS83	2551093.46	38408517.90	-4.21
		NXS96	2551103.61	38408507.41	-4.02
		NXS97	2551090.93	38408496.98	-4.34
		NXS94	2551083.01	38408507.49	-3.23
		NXS83	2551093.46	38408517.90	-4.21
O3-k	钨、钼、乙苯: NS45	NXS82	2551104.37	38408527.61	-4.21
		NXS83	2551093.46	38408517.90	-4.21
		NXS80	2551081.66	38408528.80	-4.08
		NXS81	2551094.00	38408539.64	-4.20
		NXS82	2551104.37	38408527.61	-4.21
O3-l	乙苯: NXS94、NXS92	NXS97	2551090.93	38408496.98	-4.34
		NXS98	2551081.96	38408496.93	-4.62
		NXS99	2551073.26	38408507.12	-4.63
		NXS95	2551073.09	38408517.37	-3.44
		NXS80	2551081.66	38408528.80	-4.08
		NXS83	2551093.46	38408517.90	-4.21
		NXS94	2551083.01	38408507.49	-3.23
		NXS97	2551090.93	38408496.98	-4.34
O3-m	乙苯: NXS81	NXS80	2551081.66	38408528.80	-4.08
		NXS91	2551083.15	38408537.83	-3.49
		NXS126	2551093.18	38408545.78	-3.72
		NXS90	2551104.76	38408536.73	-3.13
		NXS82	2551104.37	38408527.61	-4.21
		NXS81	2551094.00	38408539.64	-4.20
		NXS80	2551081.66	38408528.80	-4.08

表3.3-5 第4层（2.0-3.0m）土壤修复范围拐点坐标

区域	超修复目标值污染物及 点位	拐点编号	拐点X坐标	拐点Y坐标	高程
O4-a	汞: NS2-P	NXS2	2551136.87	38408211.72	-4.49
		NXS3	2551115.83	38408211.69	-4.31
		NXS8	2551115.94	38408229.73	-3.25

		NXS7	2551137.09	38408230.58	-4.14
		NXS2	2551136.87	38408211.72	-4.49
O4-b	铈: NS3/NS3-P	NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
		NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
		NXS16	2551091.51	38408239.32	-4.06
		NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
		NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
O4-c	铈: NXS26	NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
		NXS21	2551115.38	38408267.14	-3.70
		NXS27	2551101.26	38408293.19	-4.57
		NXS32	2551113.16	38408303.92	-3.99
		NXS26	2551124.87	38408290.46	-3.58
		NXS31	2551139.96	38408303.57	-3.51
		NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
O4-d	汞 NS12-P; 铈 NXS26	NXS31	2551139.96	38408303.57	-3.51
		NXS26	2551124.87	38408290.46	-3.58
		NXS32	2551113.16	38408303.92	-3.99
		NS12	2551117.28	38408299.84	-3.58
		NXS31	2551139.96	38408303.57	-3.51
O4-e	汞: NXS37、NS12-P、 NS17-P、NXS38	NXS31	2551139.96	38408303.57	-3.51
		NS12	2551117.28	38408299.84	-3.58
		NXS32	2551113.16	38408303.92	-3.99
		NXS33	2551102.15	38408311.33	-4.00
		NS18	2551092.14	38408336.59	-3.60
		NXS42	2551102.37	38408346.69	-3.58
		NXS41	2551125.85	38408347.66	-3.55
		NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
		NXS31	2551139.96	38408303.57	-3.51
O4-f	铜: NS20	NXS65	2551020.91	38408334.24	-4.01
		NXS66	2551010.60	38408321.86	-3.93
		o4-7	2551003.93	38408322.02	-3.93
		o4-8	2551004.88	38408346.15	-3.93
		NXS68	2551013.29	38408346.15	-3.93
		NXS65	2551020.91	38408334.24	-4.01

O4-g	汞: NS22、NS27、 NXS54	NXS49	2551143.73	38408394.50	-4.57
		NXS50	2551126.30	38408382.61	-4.58
		NXS51	2551109.61	38408395.73	-4.56
		NXS56	2551115.16	38408429.59	-3.79
		NXS59	2551126.58	38408445.03	-4.11
		NXS55	2551143.85	38408428.74	-4.11
		NXS53	2551142.97	38408410.39	-4.55
		NXS49	2551143.73	38408394.50	-4.57
O4-h	铜、石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> ): NS30、NXS73、NXS75	NS25	2551014.16	38408391.66	-3.62
		o4-1	2551005.93	38408391.77	-3.73
		o4-2	2551005.96	38408414.04	-3.93
		o4-3	2551006.78	38408413.71	-3.93
		o4-4	2551006.99	38408418.71	-3.93
		o4-5	2551012.49	38408418.53	-3.93
		o4-6	2551014.23	38408469.15	-4.03
		NS35	2551019.22	38408468.77	-3.51
		NXS74	2551031.63	38408457.69	-3.89
		NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.91
		NXS71	2551030.96	38408415.24	-3.90
		NS25	2551014.16	38408391.66	-3.62
O4-i	石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> ): NXS73	NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.91
		NXS74	2551031.63	38408457.69	-3.89
		NXS72	2551018.26	38408426.94	-3.90
		NXS71	2551030.96	38408415.24	-3.90
		NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.91
O4-j	乙苯: NS45-P、NXS92	NXS83	2551093.46	38408517.90	-4.21
		NXS94	2551083.01	38408507.49	-3.23
		NXS95	2551073.09	38408517.37	-3.44
		NXS80	2551081.66	38408528.80	-4.08
		NXS81	2551094.00	38408539.64	-4.20
		NXS82	2551104.37	38408527.61	-4.21
		NXS83	2551093.46	38408517.90	-4.21

表3.3-6 第5层 (3.0-4.0m) 土壤修复范围拐点坐标

区域	超修复目标值污染物及 点位	拐点编号	拐点X坐标	拐点Y坐标	高程
O5-a	汞、镉：NS3/NS3-P	NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
		NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
		NXS16	2551091.51	38408239.32	-4.06
		NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
		NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
O5-b	镉：NS7	NXS13	2551138.39	38408252.83	-3.41
		NXS14	2551121.80	38408249.34	-3.13
		NXS21	2551115.38	38408267.14	-3.70
		NXS20	2551133.18	38408272.47	-3.63
		NXS13	2551138.39	38408252.83	-3.41
O5-c	汞：NS17-P	NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
		NXS37	2551125.57	38408320.39	-3.99
		NXS38	2551108.99	38408333.41	-4.51
		NXS41	2551125.85	38408347.66	-3.55
		NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
O5-d	汞：NS27	NXS55	2551143.85	38408428.74	-4.11
		NXS54	2551127.11	38408413.57	-4.55
		NXS56	2551115.16	38408429.59	-3.79
		NXS59	2551126.58	38408445.03	-4.11
		NXS55	2551143.85	38408428.74	-4.11
O5-e	镉：NS30-P	NS25	2551014.16	38408391.66	-3.62
		o5-1	2551005.93	38408391.77	-3.73
		o5-2	2551005.96	38408414.04	-3.93
		o5-3	2551006.78	38408413.71	-3.93
		o5-4	2551006.99	38408418.71	-3.93
		o5-5	2551012.49	38408418.53	-3.93
		o5-7	2551012.71	38408427.33	-3.89
		NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.91
		NXS71	2551030.96	38408415.24	-3.90
		NS25	2551014.16	38408391.66	-3.62
O5-f	镉、石油烃（C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> ）： NXS75	NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.91
		o5-7	2551012.71	38408427.33	-3.89

		o5-6	2551014.23	38408469.15	-4.03
		NS35	2551019.22	38408468.77	-3.51
		NXS74	2551053.14	38408410.76	-3.89
		NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.93
O5-g	乙苯: NXS92	NXS83	2551093.46	38408517.90	-4.21
		NXS94	2551083.01	38408507.49	-3.23
		NXS95	2551073.09	38408517.37	-3.44
		NXS80	2551081.66	38408528.80	-4.08
		NXS83	2551093.46	38408517.90	-4.21

表3.3-7 第6层（4.0-5.0m）土壤修复范围拐点坐标

区域	超修复目标值污染物及 点位	拐点编号	拐点X坐标	拐点Y坐标	高程
O6-a	铈: NS3/NS3-P	NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
		NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
		NXS16	2551091.51	38408239.32	-4.06
		NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
		NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
O6-b	铈: NS30	NXS71	2551030.96	38408415.24	-3.90
		NS25	2551014.16	38408391.66	-3.62
		o6-1	2551005.96	38408391.66	-3.73
		o6-2	2551005.960	38408414.048	-3.93
		o6-3	2551006.775	38408413.711	-3.93
		o6-4	2551006.990	38408418.713	-3.93
		o6-5	2551012.492	38408418.532	-3.93
		o6-6	2551012.79	38408427.13	-4.03
		NXS73	2551018.26	38408426.94	-3.93
		NXS71	2551030.96	38408415.24	-3.90

表3.3-8 第7层（5.0-6.0m）土壤修复范围拐点坐标

区域	超修复目标值污染物及 点位	拐点编号	拐点X坐标	拐点Y坐标	高程
O7-a	铈: NS3/NS3-P	NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
		NXS10	2551076.67	38408220.57	-3.50
		NXS16	2551091.51	38408239.32	-4.06

		NXS9	2551104.92	38408220.34	-3.58
		NXS4	2551092.05	38408204.99	-3.75
O7-b	镉: NS6	NXS12	2551165.35	38408246.33	-3.40
		NXS19	2551152.07	38408261.11	-3.72
		NXS24	2551165.68	38408281.49	-3.73
		O7-1	2551178.78	38408281.30	-3.93
		O7-2	2551178.65	38408245.97	-3.95
		NXS12	2551165.35	38408246.33	-3.40

表3.3-9 第8层（6.0-8.0m）土壤修复范围拐点坐标

区域	超修复目标值污染物及点位	拐点编号	拐点X坐标	拐点Y坐标	高程
O8-a	镉: NS17-P	NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52
		NXS37	2551125.57	38408320.39	-3.99
		NXS38	2551108.99	38408333.41	-4.51
		NXS41	2551125.85	38408347.66	-3.55
		NXS36	2551140.13	38408331.35	-3.52

### 3.4 场地修复模式

#### 3.4.1 修复模式确定遵循的原则

本场地污染土壤修复技术的筛选应以该场地污染特征及水文地质条件为基础，充分借鉴国内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污染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。

#### 3.4.2 常用的修复模式

##### 3.4.2.1 基于污染源削减的修复模式

污染源的削减是污染地块治理修复的最重要、最直接、最有效的手段。污染源削减意味着将土壤和地下水中污染物的总量或活性降低到低水平，使其不再对当地人群产生健康危害。大部分修复技术，包括热脱附、气相抽提、化学氧化、生物修复等都是对污

染物移除、降解或活性降低的方式实现土壤和地下水中污染源的削减。污染源削减的方式多种多样，除了挖掘处理的异位修复方式外，也可以采用原位化学氧化等对周边环境影响相对较小的方式，以及监控自然衰减等非工程类手段。

### **(1) 异地修复、异地处置**

污染土壤经挖掘清理后，运输至地块外的场所进行工程修复或处理处置的模式，称为异地修复或异地处置模式，也称为离场修复。在地块清理达到要求后，原污染地块即有可能达到风险削减要求，恢复利用功能。因此，采用异地修复模式可以加速地块的再次开发利用。在此模式下，在污染土壤清理之前，应首先确定地块外用于存放污染土壤、安装运行修复设备的场所，以及从污染地块到处理场所的运输方式及路线。修复工程对环境造成的影响包括：地块清理对污染地块及其周边的影响，污染土壤运输过程对运输线路及其周边的影响，以及污染土壤堆放、修复、处置对处理处置场所及其周边的影响。相应的工程监理和环境管理也必须针对污染地块、运输路线和修复地点。对需要转运污染土壤的，则需落实土壤运输及最终去向的全程监管。

### **(2) 原地修复**

污染土壤在地块范围内进行工程修复的模式称为原地修复模式，也称为原场修复。修复工程的主体工作在地块内完成，在整个修复过程中，受污染的土壤不离开地块。同时，修复工程所涉及的污染排放也局限在地块范围内，对环境造成的影响基本局限在地块及其周边，但排放强度相对集中。在原地修复模式下，对修复工程和污染土壤的监管同样主要在地块范围内完成。修复工程竣工验收后，地块可按规定的利用方式进行开发利用。原地修复模式下，土壤修复可采用原位修复和异位修复技术。在采用异位修复技术时，需在地块内预先确定污染土壤的存放区、处理设备区、处理后土壤存放区，并确定污染土壤的运输路线。在采用原地异位修复技术的修复工程中，由于涉及大量污染土壤的开挖，挖掘作业面、污染土壤堆场及运输路线极易排放污染土壤颗粒（扬尘）和挥发性污染物，造成施工过程大气环境二次污染。当土壤中含有大量刺激性、恶臭类污染物时，如果二次污染防控措施不力，就极易影响周边人群的正常工作和生活。因此，在涉及强烈异味污染土壤的治理修复时，必须考虑相应的阻隔措施，减少二次污染对周边环境的不利影响。土壤修复施工阶段针对大气污染扩散途径的常见阻隔方法包括洒水、喷雾、苫盖、地面硬化、覆膜、搭棚等。

## **3.4.2.2 基于风险管控的修复模式**

### **(1) 污染阻隔、人群防护与制度控制**

污染阻隔模式是指使用工程技术手段建立屏障（主要为物理屏障），将污染物与周边环境隔离，消除其对周边居民健康和生态环境的不利影响。污染隔离着重针对切断污染物对人和自然环境的暴露途径，并控制污染物在环境中的迁移。单纯的污染阻隔不针对污染物总量的削减，因此可以用作污染扩散的风险管控手段，以及对污染源开展治理修复时的辅助手段。由于土壤介质本身易吸附污染物，且迁移性不强，因此污染土壤对人体健康的直接影响具有较强的局域性，影响范围基本局限在与污染土壤直接接触的人群。与之对应，以污染土壤为源头，通过地下水、大气、食物链等途径影响人体健康的间接影响，往往影响到更广泛的范围。对于污染地块，浅层地下水和近地面大气是土壤污染物迁移扩散的最主要的途径，也是污染阻隔的防控重点。针对地下水扩散途径，常用的阻隔方式包括水平阻隔、垂向阻隔、水力控制等。人群防护手段可以包括居民迁移、提供饮水用水、住宅周边的污染物阻隔等。

### **(2) 改变用地方式**

在不改变污染地块污染物浓度的情况下，人群在受污染地块上的暴露时间越长，污染物引起的健康风险通常也越高。因此，在同样的污染程度下，污染地块用作居住用地的风险高于用作工商业用地的风险，而工商业用地的风险又高于绿地、停车场、道路用地的风险。在污染地块风险超过规划土地利用方式所对应的风险要求时，通过改变用地方式的途径，则有可能在满足风险控制要求的前提下，直接实现土地的再利用。同样，通过改变用地方式（例如将规划居住用地改为绿地），也可以相应改变基于风险的污染土壤、地下水修复目标值，达到节约修复成本、缩短修复工期的目的。

“土十条”要求，“地方各级国土资源、城乡规划等部门在编制土地利用总体规划、城市总体规划、控制性详细规划等相关规划时，应充分考虑污染地块的环境风险，合理确定土地用途”。在涉及污染地块的相关规划编制前，充分调查了解地块的环境风险信息，及时调整土地规划用途，将非常有利于降低地块后期开发利用的环境风险，节省治理修复成本。

## **3.4.3 修复模式初步确定**

结合佛山市自然资源局禅城分局和佛山市禅城区祖庙街道办事处的相关规划文件，本调查地块按第一类用地进行修复。综合上述修复模式分析的因素，本项目用地方式初步确定，对于地块内污染土壤，暂时无法采用基于风险管控模式下的改变用地模式的方法

式。因此，本地块汞、镉、铜、砷、钨、钼和石油烃污染土初步选用基于污染源消减的异地处置模式，或基于污染源消减的原地异位修复模式；乙苯污染土初步选用基于污染源消减原地异位修复模式。对于地下水，由前章可知，该地块地下水无暴露途径，对人体无风险，无需进行修复。

## 第4章 修复技术筛选

在污染场地修复技术方案等文件编制过程中，需要对土壤修复技术进行筛选和评估，从而为污染场地修复相关技术文件的编制提供技术支持。修复技术筛选可采用专家评估法、类比法、定性矩阵法、评分矩阵法等多种方法，一般分为两步：第一步为修复技术筛查阶段，第二步为修复技术选择阶段。

根据地块污染情况选择比选的修复技术，汇总如下：

重金属汞、镉、铜、砷、钨、钼污染土常用修复模式有土壤淋洗技术、固化/稳定化技术、水泥窑协同处置技术、阻隔填埋技术、植物修复技术。

半挥发性有机物石油烃（C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>）和挥发性有机物乙苯污染土常用修复模式有化学氧化技术、热脱附技术、土壤淋洗技术、生物堆技术、常温解吸技术、阻隔填埋技术。

### 4.1 土壤修复技术简述

#### 4.1.1 技术筛选原则

筛选修复技术遵循以下原则：

（1）地块修复技术筛选的目标是保障人体健康，使得地块土壤中污染物的环境风险降低到可以接受的水平（即达到修复目标值）。

（2）在技术上，选择经济可行的修复技术；地块修复技术选择可以达到目标的最简化的途径或方法，而不是单纯的追求技术的先进性。

（3）在经济上，地块修复技术的筛选兼顾地块特征、污染物概况和后期规划，结合后期规划，最大程度的降低修复成本。

（4）在可操作性上，修复技术方案从修复企业目前的工程实施水平出发，充分考虑修复设备的可获得性，修复工期的长短及污染地块所在地的施工基础条件。

（5）充分考虑项目特征条件，业主对修复工期要求，以及满足后期开发需要的要求。

#### 4.1.2 重金属污染土壤修复技术

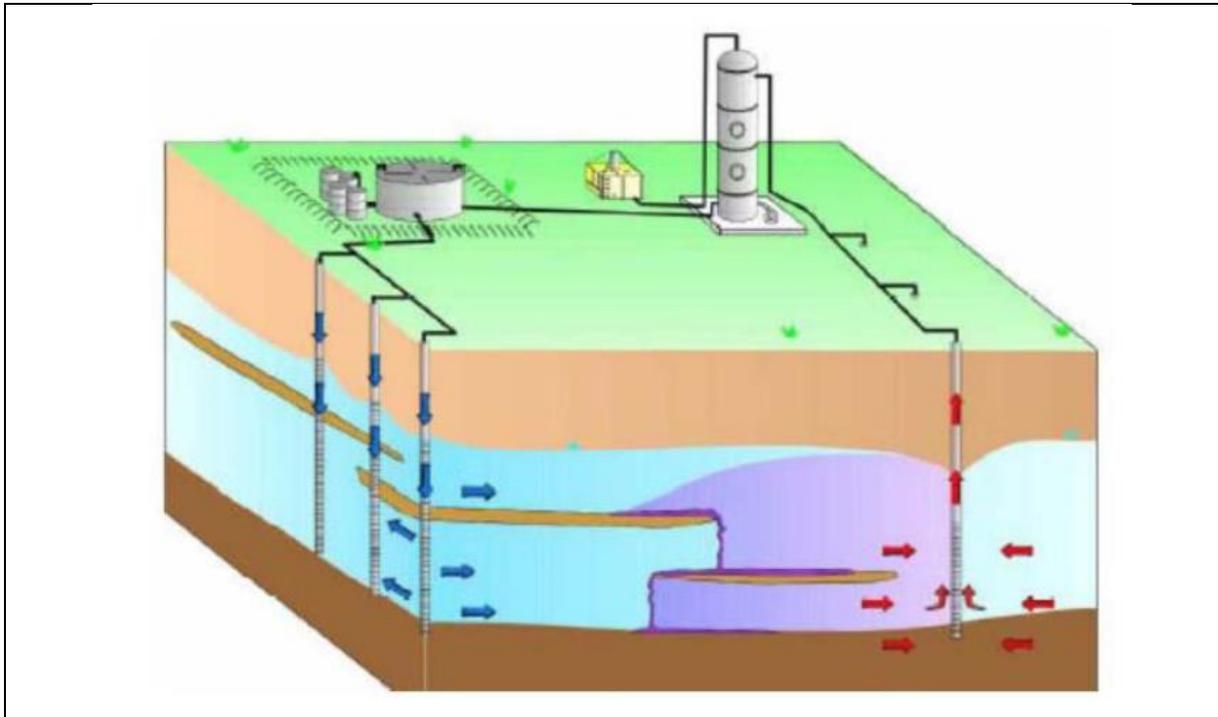
##### 4.1.2.1 土壤淋洗技术（原位/异位）

###### 1) 技术原理

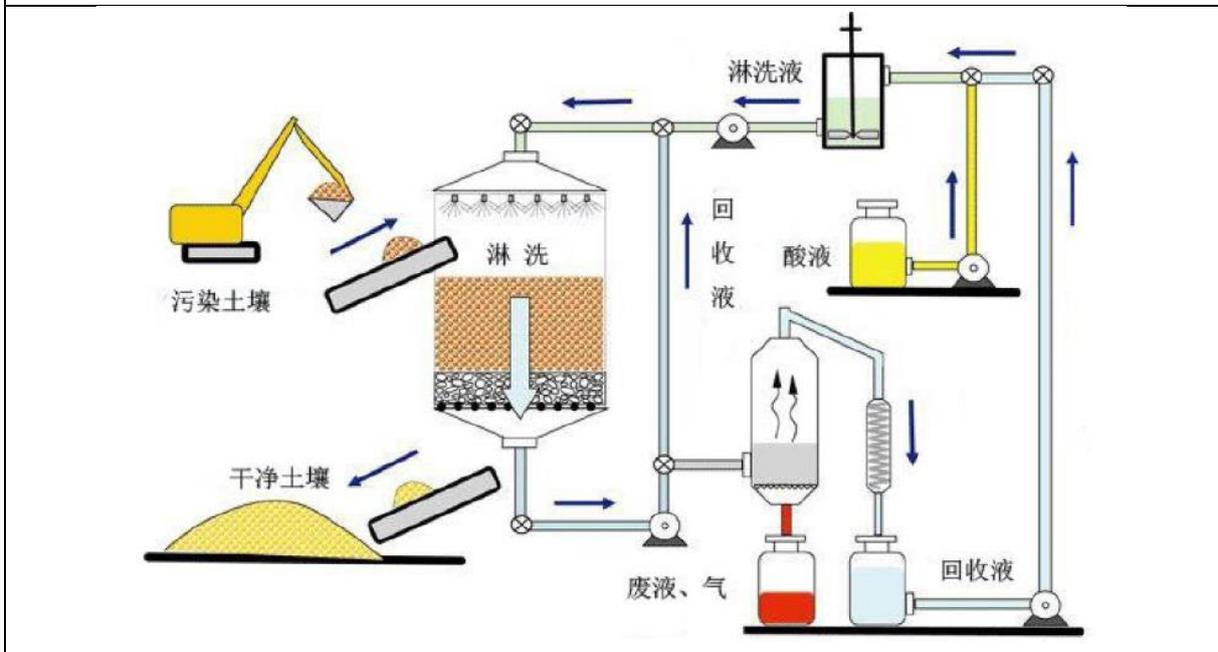
土壤淋洗是指借助能够促进土壤环境中污染物溶解或迁移作用的溶剂，通过将溶剂

与污染土壤混合，再把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。

异位淋洗技术是把受污染的土壤挖出后，采用专门的清洗设备和药剂对其进行清洗，从而使吸附、固定或沉淀在土壤中的污染物被去除，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。



原位土壤淋洗修复示意图



异位土壤淋洗修复示意图

图4.1-1 土壤淋洗技术示意图

## 2) 技术特点

土壤淋洗在使用时，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，表面活性剂可黏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。淋洗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地块。

### 3) 系统构成和主要设备

异位土壤洗脱处理系统一般包括土壤预处理单元、物理分离单元、洗脱单元、废水处理及回用单元及挥发气体控制单元等。具体场地修复中可选择单独使用物理分离单元或联合使用物理分离单元和增效洗脱单元。

主要设备包括土壤预处理设备（如破碎机、筛分机等）、输送设备（皮带机或螺旋输送机）、物理筛分设备（湿法振动筛、滚筒筛、水力旋流器等）、增效洗脱设备（洗脱搅拌罐、滚筒清洗机、水平振荡器、加药配药设备等）、泥水分离及脱水设备（沉淀池、浓缩池、脱水筛、压滤机、离心分离机等）、废水处理系统（废水收集箱、沉淀池、物化处理系统等）、泥浆输送系统（泥浆泵、管道等）、自动控制系统。

### 4) 适用范围

该技术主要适用于重金属和部分半挥发性有机污染物，不适用于含有挥发性有机污染物或污染废渣的土壤。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。

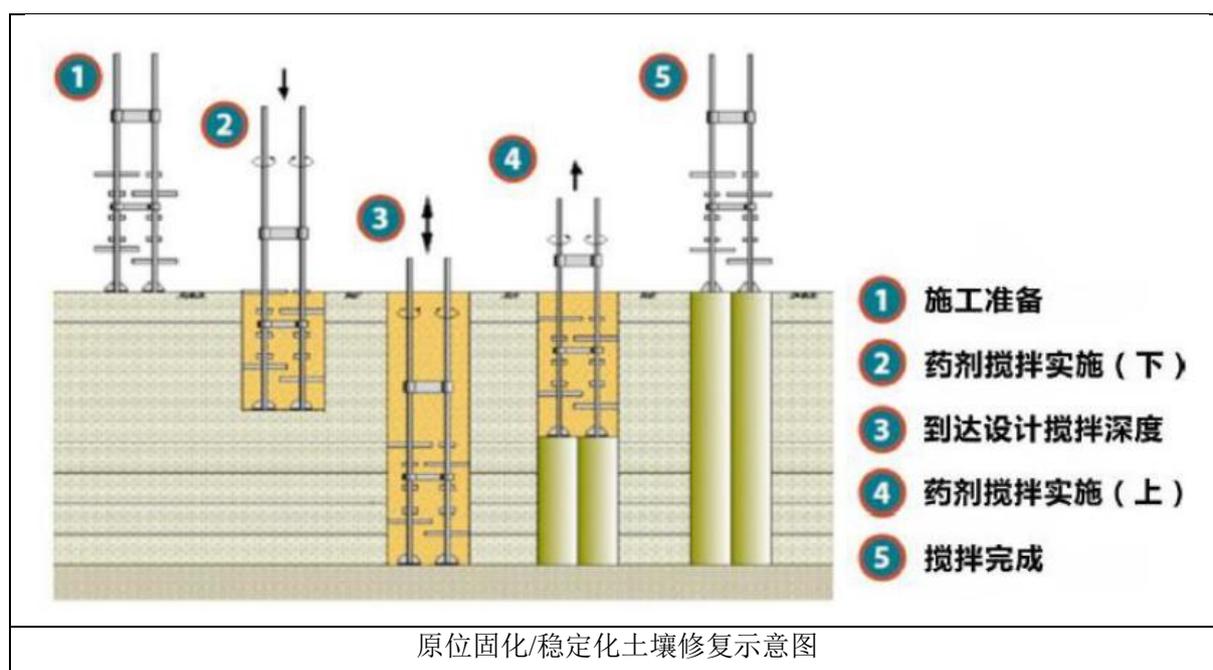
## 4.1.2.2 固化/稳定化技术（原位/异位）

### 1) 技术原理

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。异位固化/稳定化技术是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。

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。固化/稳定化技术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。制约稳定化修复重金属污染土壤的因素主要有成本和效果两点，因此，寻找到一种或多种高效、稳定、易得、环境友好的稳定剂是该技术的研究重点。常用的稳定剂主要有四类：①无机稳定剂：天然、天然改性或人工合成的沸石，羟基磷石灰、磷矿粉、磷酸氢钙等磷酸盐，石灰、氧化钙/氢氧化钙、粉煤灰等碱性物质、膨润土、无机硅肥、金属铁盐等；②有机稳定剂：以有机堆肥、畜禽粪便、城市污泥、草炭和作物秸秆等为主；③微生物稳定剂：如硫酸盐还原细菌、丛枝菌根(AM菌)等。④无机-有机复合材料：该材料由前三种组合而成，较为复杂，如有机堆肥+铁砂、石灰+绿肥、AM菌+牛粪等。不同的稳定过程和作用机制将直接影响稳定修复的效果。



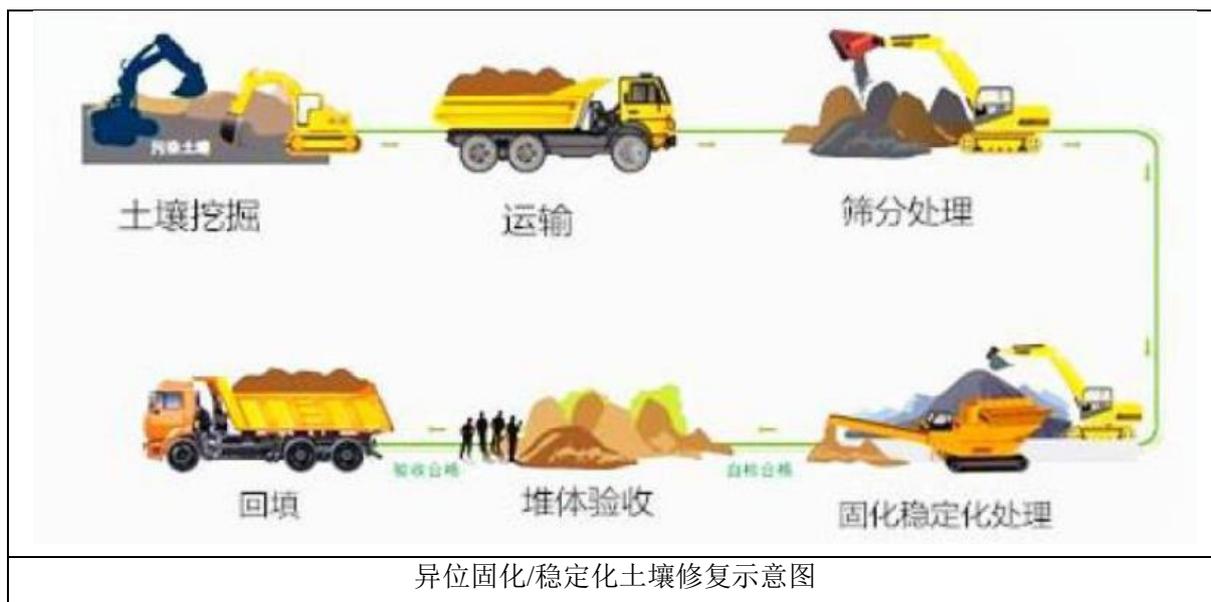


图4.1-2 固化/稳定化技术原理示意图

## 2) 技术特点

采用固化/稳定化药剂可以有效修复多种介质中的重金属污染，其适用的pH值及其宽泛，在环境pH值2~13的范围都可以使用，与重金属瞬时反应，可短期内大面积修复污染，处理量可达数千吨每天。修复过程产生可长期稳定存在的化合物，保证污染治理效果长期可靠。固化/稳定化技术操作工艺简单，无需特制设备，对各种地块情况都有成熟的项目施工方案。固化/稳定化药剂本身成分不具有重金属或其他危险化学物质，相比于其他处理技术所用药剂，固化/稳定化药剂安全性更好，不造成二次污染。固化/稳定化技术不降低污染物总量，主要是通过物理和化学的途径降低土壤中重金属的迁移性、从而降低重金属的危害性，不适用于测浸出毒性为验收标准的修复情形；处理后土壤性质改变较大，再次利用途径受限制，一般需配合阻隔技术使用，并进行长期监控；需根据规划和地块用途协调落实阻隔回填区域，且未来存在被扰动的风险；对于地块地下基础复杂的地块，工程施工成本较高。

## 3) 系统构成和主要设备

异位固化/稳定化系统主要由土壤预处理系统、固化/稳定剂添加系统、土壤与固化/稳定剂混合搅拌系统组成。其中，土壤预处理系统具体包括土壤水分调节系统、土壤杂质筛分系统、土壤破碎系统。主要设备包括土壤挖掘系统（如挖掘机等）、土壤水分调节系统（如输送泵、喷雾器、脱水机等）、土壤筛分破碎设备（如振动筛、筛分破碎斗、破碎机、土壤破碎斗、旋耕机等）、土壤与固化/稳定剂混合搅拌设备（双轴搅拌机、单轴螺旋搅拌机、链锤式搅拌机、切割锤击混合式搅拌机等）。

原位固化/稳定化系统主要由挖掘、翻耕或螺旋钻等机械深翻松动装置系统、试剂调配及输料系统、气体收集系统、工程现场取样监测系统以及长期稳定性监测系统组成。

主要设备包括机械深翻搅动装置系统（如挖掘机、翻耕机、螺旋中空钻等）、试剂调配及输料系统（输料管路、试剂储存罐、流量计、混配装置、水泵、压力表等）、气体收集系统（气体收集罩、气体回收处理装置）、工程现场取样监测系统（驱动器、取样钻头、固定装置）、长期稳定性监测系统（气体监测探头、水分、温度、地下水在线监测系统等）。

#### 4) 适用范围

该技术适用范围广，不会产生需要二次处理的废液/废气，主要适用于重金属及砷化合物等污染物，有时也用于石棉、部分氰化物和有机污染物，一般不适用于单质汞、挥发性氰化物、挥发性有机污染物。

### 4.1.2.3 水泥窑协同处置技术

#### 1) 技术原理

该技术主要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、碱性气氛、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，既可有效节省资源，又能保护环境，具有良好的经济、社会效益。目前该技术主要采用新型干法水泥生产工艺。熟料烧成系统采用双系列五级旋风预热器预分解工艺，气流与料流整体呈逆向运行；系统热工制度稳定，全过程负压操作，安全可靠；生料经窑尾塔架顶部喂入预热器，经过四级旋风筒与上升的高温气流逐级换热后进入分解炉，在炉内窑尾高速喷腾而上的近1000℃的气流与三次风管高速水平对向喷入的850~950℃的两股气流和煤粉交汇混合，煤粉无焰燃烧，整个炉内形成了气温达870~900℃的温度场，气体在炉内通过时间为2秒，物料在炉内通过时间为5~7秒；生料大部分在此分解，分解率高达90%。分解后物料由分解炉上部随气流进入第五级旋风筒内，物料与废气分离从竖烟道（与炉底部相接）两侧喂入窑尾。窑尾气温可达1050℃，生料由此开始主要进行固相反应，同时随窑旋转缓慢向窑头移动，直至进入烧成带（距窑口20m处）进行充分的液相反应；在此，由三通道燃烧器喷入煤粉剧烈燃烧，提供充足热量，气体温度高达1750℃，物料温度达1450℃，保证了分解后物料反应完全，煅烧为优质的水泥熟料。冷却机后段鼓入的气体经换热后直接排入布袋收尘器，经过除尘器排向大气；前段的一部分高温气体由三次风管送入分解炉，大部分高温气体则进入窑内，为窑内物料反应、煤粉燃烧提供充

分的氧气，这部分气体在窑内通过时间有6~8秒，由窑尾经竖烟道喷入分解炉，与三次风、物料、煤粉搅和；出炉后经五级旋风筒逐级向上继续与由上而下的物料换热，直至排出系统。

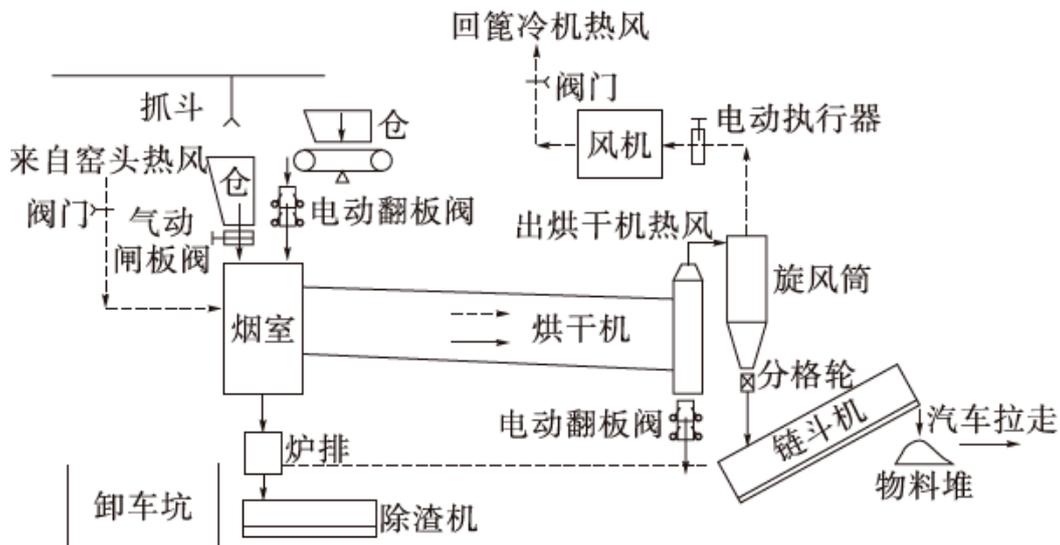


图4.1-3 水泥窑协同处理工艺流程图

## 2) 技术特点

优点：技术成熟，适用范围较广，对有机污染物处置彻底，有利于重金属污染地块周转，可实现资源化。

局限性：需协调水泥厂进行处置，容易受限于水泥厂协同处置污染土壤的处理能力；耗能较大，对于含水率高、热值低的土壤需要消耗更多能量。

## 3) 适用范围

可处理的污染物类型：主要适用于挥发及半挥发性有机污染物（如石油烃、农药、苯系物、多氯联苯等）、重金属等。应用限制条件：需满足GB30485、HJ662等相关要求；有机物和挥发半挥发性重金属不得从生料磨投加；对重金属入窑浓度有限制；需考虑污染土壤中氯、氟和硫的含量，以确定污染土壤的添加比例；必要时需对水泥窑进料系统和尾气处理系统进行改造。

### 4.1.2.4 阻隔填埋技术（原位/异位）

#### 1) 技术原理

阻隔填埋技术是将污染土壤或经过治理后的土壤置于防渗阻隔填埋场内，或通过敷

设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径，使污染土壤与四周环境隔离，避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害。按其实施方式，可以分为原位阻隔覆盖和异位阻隔填埋。

土壤阻隔填埋技术主要由土壤阻隔系统、土壤覆盖系统、监测系统构成。根据具体项目所在地地质及污染土壤情况需要，通常还可以设置地下水导排系统、气体抽排系统或者地面生态覆盖系统等。其中，土壤阻隔系统主要由HDPE膜、泥浆墙等防渗阻隔材料组成，通过在污染区域四周建设阻隔层，将污染区域限制在某一特定区域。土壤覆盖系统通常由粘土层、人工合成材料衬层、砂层、覆盖层等一层或多层组合而成。监测系统主要是评估阻隔技术的运行状况及性能，其监测内容和频次取决于阻隔系统的具体类型，通常由阻隔区域上下游监测井构成。

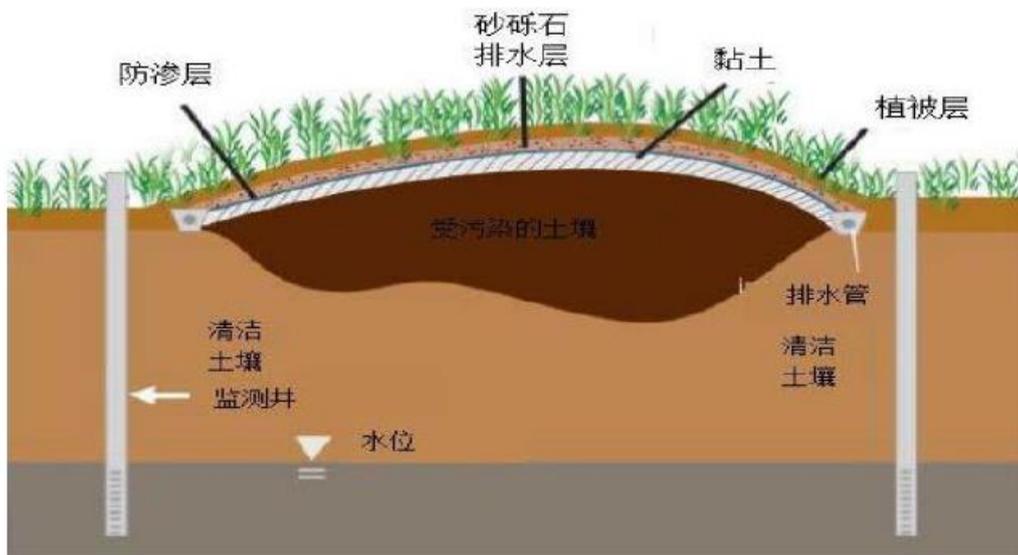


图4.1-4 阻隔填埋技术修复示意图

## 2) 技术特点

阻隔填埋技术成熟、应用广泛、成本较低、实施周期短，是修复技术中最常用的技术之一。其不能降低土壤中污染物本身的毒性和体积，但可以降低污染物在地表的暴露及其迁移性。通常干旱气候条件要求的填埋系统简单一些，湿润气候条件可以设计比较复杂的填埋系统。阻隔填埋存在污染物泄漏风险，其所占用区域将对地块开发利用产生影响。阻隔回填区应避开地质条件较差的区域。

## 3) 系统构成和主要设备

原位土壤阻隔覆盖系统主要由土壤阻隔系统、土壤覆盖系统、监测系统组成。土壤阻隔系统主要由HDPE膜、泥浆墙等防渗阻隔材料组成，通过在污染区域四周建设阻隔

层,将污染区域限制在某一特定区域;土壤覆盖系统通常由粘土层、人工合成材料衬层、砂层、覆盖层等一层或多层组合而成;监测系统主要是由阻隔区域上下游的监测井构成。

异位土壤阻隔填埋系统主要由土壤预处理系统、填埋场防渗阻隔系统、渗滤液收集系统、封场系统、排水系统、监测系统组成。其中:该填埋场防渗系统通常由HDPE膜、土工布、钠基膨润土、土工排水网、天然粘土等防渗阻隔材料构筑而成。根据项目所在地地质及污染土壤情况需要,通常还可以设置地下水导排系统与气体抽排系统或者地面生态覆盖系统。主要设备包括:阻隔填埋技术施工阶段涉及大量的施工工程设备,土壤阻隔系统施工需冲击钻、液压式抓斗、液压双轮铣槽机等设备,土壤覆盖系统施工需要挖掘机、推土机等设备,填埋场防渗阻隔系统施工需要吊装设备、挖掘机、焊膜机等设备,异位土壤填埋施工需要装载机、压实机、推土机等设备,填埋封场系统施工需要吊装设备、焊膜机、挖掘机等设备。阻隔填埋技术在运行维护阶段需要的设备相对较少,仅异位阻隔填埋土壤预处理系统需要破碎、筛分设备、土壤改良机等设备。

#### 4) 适用范围

主要适用于重金属、有机污染物及复合污染土壤。用于腐蚀性、挥发性较强的污染物时,环境风险相对较大。

### 4.1.2.5植物修复技术

#### 1) 技术原理

植物修复技术利用植物进行提取、根际滤除、挥发和固定等方式移除、转变和破坏土壤中的污染物质,使污染土壤恢复其正常功能。目前国内外对植物修复技术的研究和推广多数侧重于重金属元素,因此狭义的植物修复技术主要指利用植物清除土壤中的重金属。

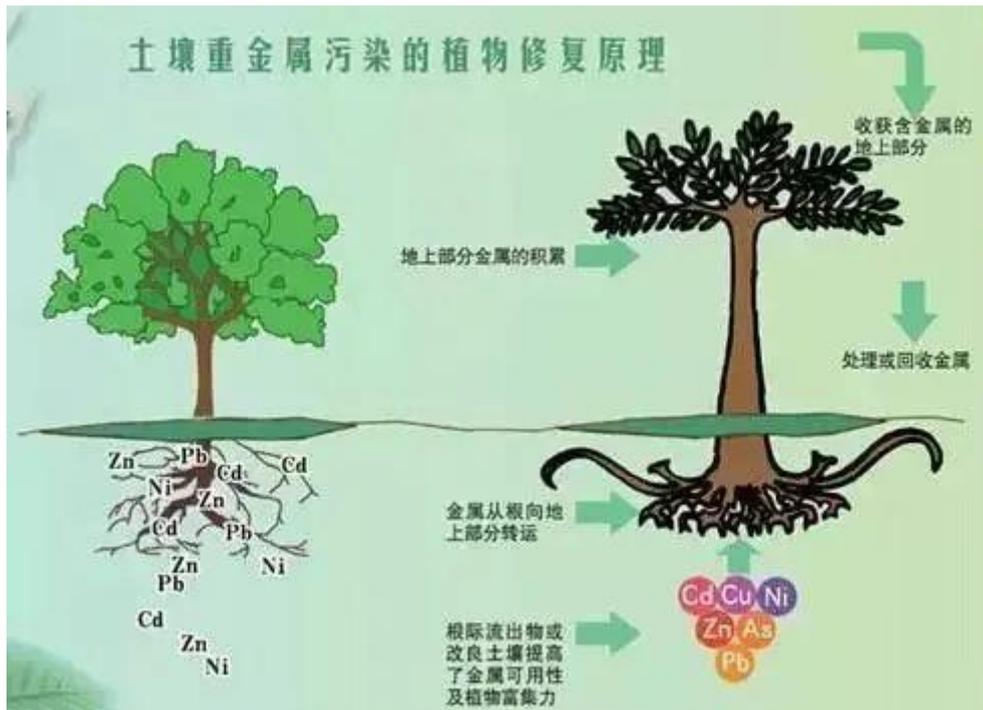


图4.1-5 植物修复技术原理示意图

## 2) 技术特点

植物修复技术多用于污染浓度低，污染面积大的地块，与物理和化学修复技术相比具有成本低的特点，约240-1000元/m<sup>3</sup>，没有二次污染，不破坏植物成长所需的土壤环境，但修复周期长，一般需要3-8年。

## 3) 系统构成和主要设备

系统主要由植物育苗、植物种植、管理与刈割系统、处理处置系统与再利用系统组成。富集植物育苗设施、种植所需的农业机具（翻耕设备、灌溉设备、施肥器械）、焚烧并回收重金属所需的焚烧炉、尾气处理设备、重金属回收设备等。

## 4) 适用范围

植物修复技术适用于重金属（如砷、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、铬、汞等），以及特定的有机污染物（如石油烃、五氯酚、乙苯等）；不适用于未找到修复植物的重金属，也不适用于除石油烃、五氯酚、乙苯之外的有机污染物（如六六六、滴滴涕等）污染土壤修复。植物生长受气候、土壤等条件影响，本技术不适用于污染物浓度过高或土壤理化性质严重破坏不适合修复植物生长的土壤。

### 4.1.3 有机物污染土壤修复技术

#### 4.1.3.1 化学氧化技术（原位异地）

### 1) 技术原理

该技术向土壤中注入化学氧化剂，通过氧化剂与污染物的接触，把土壤中的有机污染物氧化为无害的或毒性更小的物质。该技术可氧化多种有机污染物，包括本项目中的苯系物及乙苯等物质，且污染物被破坏。另外，其氧化处理后残留的少量污染物更容易被微生物降解，与其他技术相比成本低，处理速度更快。

常用的氧化剂为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 、 $\text{KMnO}_4$ 、Fenton试剂、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{O}_3$ 等，可氧化的物质有苯系物、总石油烃、氯代溶剂、多氯联苯、乙苯等。

### 2) 技术特点

通过清挖有机污染土壤，在搅拌设备中将化学氧化剂与土壤混合均匀。向污染土壤添加氧化剂或还原剂，通过氧化或还原作用，使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧。

### 3) 适用范围

适用于污染土壤。其中，化学氧化可处理石油烃、BTEX(苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、酚类、MTBE(甲基叔丁基醚)、含氯有机溶剂、乙苯、农药等大部分有机物等。

## 4.1.3.2热脱附技术

### 1) 技术原理

热脱附技术是指以加热方式将受有机物污染的土壤加热至有机物沸点以上，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，达到将污染物与土壤颗粒分离，并进行后续处理的过程。

相关资料显示，热脱附修复技术对污染物去除效率受加热方式、加热温度、停留时间、污染物含量和土壤性质等因素影响。虽然各类热脱附技术的应用过程存在差异，但加热温度已经成为决定土壤热脱附技术有效性的最关键因素。尽管热脱附过程中需要的加热温度受热脱附工艺、土壤性质、污染物性质等多种因素影响，但总体而言，对于高沸点污染物所需要的加热温度明显高于低沸点污染物。

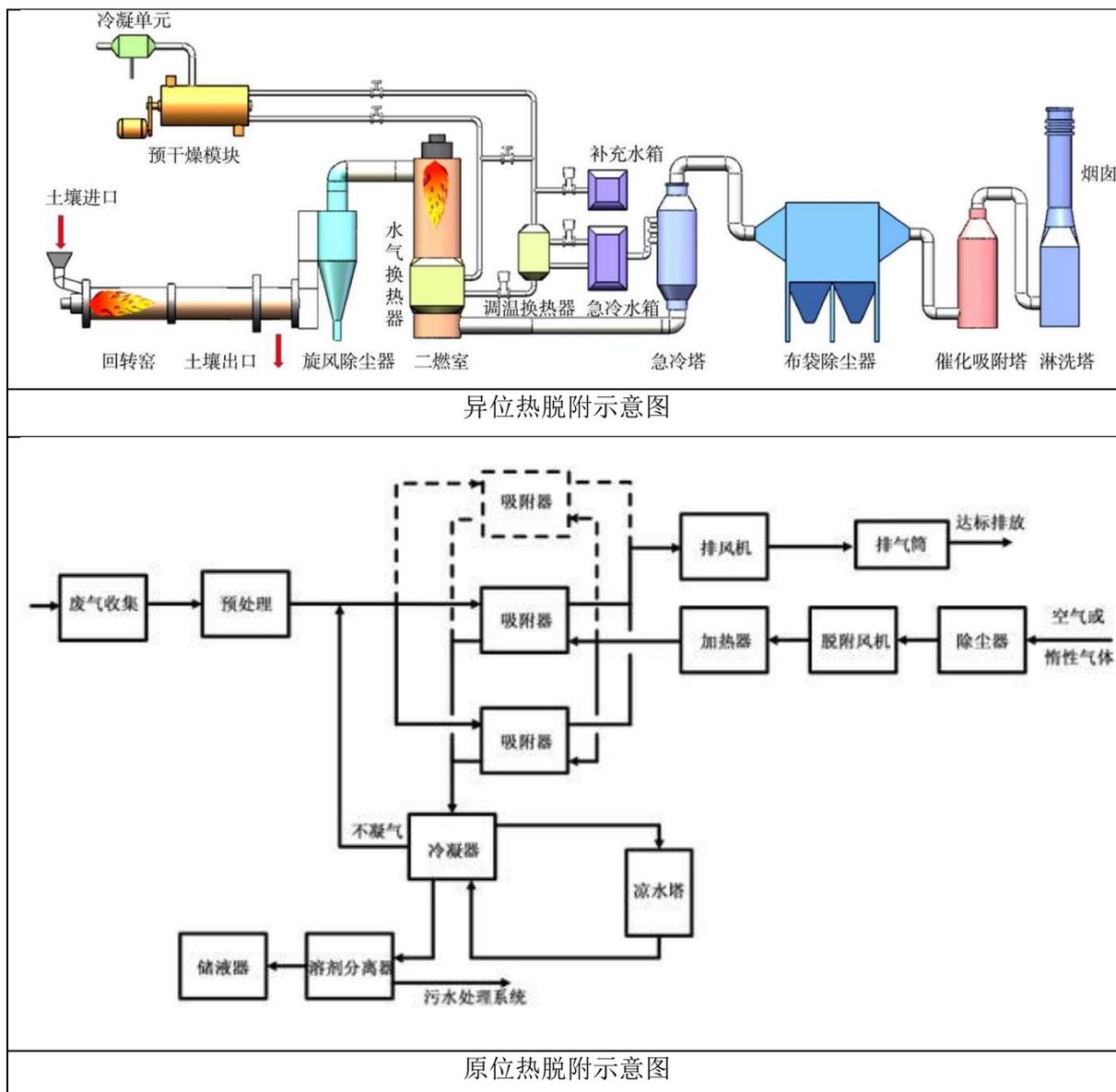


图4.1-6 热脱附示意图

## 2) 技术特点

热脱附(又名“热解吸”)技术中加热的方式有多种,如高频电流、微波、过热空气、燃烧气等。加热温度控制在200-800℃,热解吸过程中发生蒸发、蒸馏、沸腾、氧化和热解等作用,通过调节温度可以选择性的移除不同的污染物。土壤中的部分有机物在高温下分解,其余未能分解的污染物在负压条件下从土壤中分离出来,最终在地面处理设施(后燃烧器、浓缩器或活性炭吸附装置等)中彻底消除。热解吸技术具有工艺简单、技术成熟等优点,但该方法能耗大、操作费用高。该技术对处理土壤的粒径和含水量有一定要求,一般需要对土壤进行预处理;有产生二噁英风险。热解吸过程通常在现场由移动单元完成,由于解吸过程并对污染物破坏小,所以随后要对解吸出的产物进行处理。

### 3) 系统构成和主要设备

#### 1. 异位热脱附

异位热脱附系统可分为直接热脱附和间接热脱附，也可分为高温热脱附和低温热脱附。

a) 直接热脱附由进料系统、脱附系统和尾气处理系统组成。进料系统：通过筛分、脱水、破碎、磁选等预处理，将污染土壤从车间运送到脱附系统中。脱附系统：污染土壤进入热转窑后，与热转窑燃烧器产生的火焰直接接触，被均匀加热至目标污染物气化的温度以上，达到污染物与土壤分离的目的。尾气处理系统：富集气化污染物的尾气通过旋风除尘、焚烧、冷却降温、布袋除尘、碱液淋洗等环节去除尾气中的污染物。

b) 间接热脱附由进料系统、脱附系统和尾气处理系统组成。与直接热脱附的区别在于脱附系统和尾气处理系统。脱附系统：燃烧器产生的火焰均匀加热转窑外部，污染土壤被间接加热至污染物的沸点后，污染物与土壤分离，废气经燃烧直排。尾气处理系统：富集气化污染物的尾气通过过滤器、冷凝器、超滤设备等环节去除尾气中的污染物。气体通过冷凝器后可进行油水分离，浓缩、回收有机污染物。

主要设备包括进料系统：如筛分机、破碎机、振动筛、链板输送机、传送带、除铁器等；脱附系统：回转干燥设备或是热螺旋推进设备；尾气处理系统：旋风除尘器、二燃室、冷却塔、冷凝器、布袋除尘器、淋洗塔、超滤设备等。

#### 2. 原位热脱附

原位热脱附系统主要包括加热单元、抽提单元、废气废水处理单元和监测控制单元等。加热单元包括供能系统和地下加热单元；抽提单元包括地下抽提和地面抽提单元；废水废气处理单元包括冷凝、气液分离和废水废气处理等单元；监测单元实现对温度、压力和运行参数等的监测；控制系统实现各生产工艺参数如温度、压力、流量、液位的控制。

### 4) 适用范围

能高效地去除污染场地内的各种挥发或半挥发性有机物。

#### 4.1.3.3 生物堆技术

##### 1) 技术原理

生物堆技术是对污染土壤堆体采取人工强化措施，促进土壤中具备污染物降解能力的土著微生物或外源微生物的生长，降解土壤中的污染物。

##### 2) 技术特点

生物堆技术可针对不同的有机污染物，喷洒特定菌种，高效吞噬有机污染物，封闭处理过程，无污水废气病菌等二次污染物扩散风险。修复过程中控制温度湿度，实现最佳生物处理环境，加快处理速度，既可以在污染场地就地处理，也可以将污染土壤搬运到他处集中处理，适应性强；除挖掘土壤外无需大型设备，不用大量消耗能源，成本低，人工少，维护简单。但其不适用于重金属或难降解有机污染物土壤修复，粘土类污染修复效果较差。

### 3) 系统构成和主要设备

生物堆主要由土壤堆体、抽气系统、营养水分调配系统、渗滤液收集处理系统以及在线监测系统组成。其中，土壤堆体系统具体包括污染土壤堆、堆体基础防渗系统、渗滤液收集系统、堆体底部抽气管网系统、堆内土壤气监测系统、营养水分添加管网、顶部进气系统、防雨覆盖系统。抽气系统包括抽气风机及其进气口管路上游的气水分离和过滤系统、风机变频调节系统、尾气处理系统、电控系统、故障报警系统。营养水分调配系统主要包括固体营养盐溶解搅拌系统、流量控制系统、营养水分投加泵及设置在堆体顶部的营养水分添加管网。渗滤液收集系统包括收集管网及处理装置。在线监测系统主要包括土壤含水率、温度、二氧化碳和氧气在线监测系统。

主要设备包括抽气风机、控制系统、活性炭吸附罐、营养水分添加泵、土壤气监测探头、氧气、二氧化碳、水分、温度在线监测仪器等。

### 4) 适用范围

该技术适用于石油烃等易生物降解的有机物污染土壤，不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤的修复，粘土类污染土壤修复效果较差。生物堆技术属于自然过程的人工强化，基本不对环境造成二次污染。

#### 4.1.3.4 常温解吸技术

##### 1) 技术原理

常温解吸修复技术是在密闭系统内，利用翻抛设备对规则码放的污染土壤进行人为扰动和翻抛，通过增大污染土壤与空气的接触面积增加孔隙度，在良好的通透性条件下，利用抽气系统，使吸附于土壤中的污染物在浓度梯度的驱动下挥发进入土壤气，从而使污染土壤得以修复。

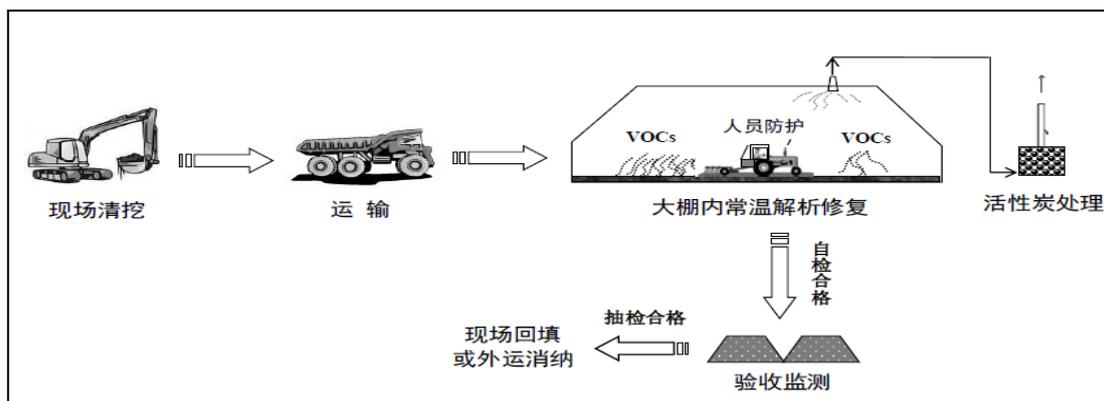


图4.1-7 常温解吸技术工艺流程图

## 2) 技术特点

该技术具有操作简单、修复效果明显、修复成本低，适用浓度范围广等特点；对于沸点在50°C-250°C、室温下饱和蒸汽压超过133.32Pa、常温下以蒸汽形式存在于空气中的污染物尤其有效。土壤粘度较高时施工难度大，环境温度较低时，处理效率较低。

## 3) 适用范围

高效去除污染地块内的各种挥发或半挥发性有机污染物。

### 4.1.3.5 土壤淋洗技术

详细见4.1.2.1节。

### 4.1.3.6 阻隔填埋技术

详细见4.1.2.4节。

## 4.2 土壤修复技术可行性评估

### 4.2.1 污染场地修复工程实施原则

本项目污染场地修复技术方案的选择遵循以下原则：

#### (1) 科学选择修复技术路线

针对本场地的各重点关注污染物，充分考虑不同区域特以及所在情况针对本场地的各重点关注污染物，充分考虑不同区域特以及所在情况就不同区块提出有针对性的修复技术，工艺原理合成熟。

#### (2) 修复技术可行性

依据修复目标值及技术要求，对部分区域有机污染土壤重金属进行依据修复目标值

及技术要求，对部分区域有机污染土壤重金属进行修复，使土壤的目标污染物达到工程切实可行。

(3) 尽量减少二次污染

制定合理的场地环境管方案，确保污染修复工程实施安全防止对人员、制定合理的场地环境管方案，确保污染修复工程实施安全防止对人员、制定合理的场地环境管方案，确保污染修复工程实施安全防止对人员、周边人群健康以及生态环境产生危害和二次污染。

(4) 符合国家和地方相关法律、法规及规范的要求。

#### 4.2.2 技术定量评估

(1) 可接受性

修复技术与污染场地目前（或未来规划）的使用功能、社会接受程度以及修复技术与污染场地目前（或未来规划）的使用功能、社会接受程度以及其他需要接受的标准之间相互兼容性。

(2) 可操作性

是否具备相应的处置单位，修复技术可操作性、场地设施影响及是否具备相应的处置单位，修复技术可操作性、场地设施影响及是否在同类场地应用过。

(3) 项目工期

所预期的项目场地施工。

(4) 运输过程二次污染风险

所预期污染土壤运输过程中对环境造成的二次风险。

(5) 处置效率

修复技术在类似场地的处置效率高低。

(6) 所预期的总成本。

表4.2-1 评价标准

项目 编号	评价指标	评价内容	标准	分数	备注
(1)	可接受性	修复技术与污染场地目前（或未来规划）的使用功能、社会接受程度与其他需要接受的标准	完全可接受	4	该指标为门槛条件，低于3分（不含3分）则可不作后续评判
			可接受	3	
			勉强可接受	2	
			局部可接受	1	

		之间的相互兼容性			
(2)	可操作性	是否具备相应的处置单位，修复技术可操作性、场地设施影响及是否在同类场地应用过	操作性强	4	具备相应的处置单位为门槛条件，若否则可作后续评判
			可操作	3	
			勉强可操作	2	
			局部可操作	1	
(3)	项目工期	所预期的项目场地施工	短	4	---
			中等	3	
			长	2	
			非常长	1	
(4)	二次污染风险	所预期污染土壤运输过程中对环境造成的二次风险	低	4	---
			中等	3	
			高	2	
			非常高	1	
(5)	处置效率	修复技术在类似场地的处置效率高低	非常高效	4	---
			高效	3	
			一般有效	2	
			效率很低	1	
(6)	所预期的总成本	---	低	4	分数越高，表明该技术越有利于在场地修复中被应用
			中等	3	
			高	2	
			非常高	1	

#### 4.2.3 修复方案比选

本项目场地土壤污染物类型主要为砷、汞、钨、钼、石油烃、乙苯的单一污染和复合污染，污染深度最深可达8m，污染土壤修复总土方量为32736.12m<sup>3</sup>；污染物类型、污染深度和土方量见下表。结合对地块污染状况的深入认识、未来该地块的规划用途和业主对时间的要求，纳入技术比选的修复技术有：常温解吸、异位热脱附、异位化学氧化、水泥窑协同处置、异位淋洗、异位固化稳定化、异位安全填埋。

表4.2-2 污染类型与土方量

污染类型	污染深度	污染土方量
汞	0-0.5m、0.5-1m、1-2m、2-3m、3-4m	15423.045m <sup>3</sup>
镉	0-0.5m、0.5-1m、1-2m、2-3m、3-4m、4-5m、5-6m、6-8m	6300.665m <sup>3</sup>
砷	0-0.5m	1426.205m <sup>3</sup>

铜	2-3m	291.31m <sup>3</sup>
钼	0-0.5m、0.5-1m	209.93m <sup>3</sup>
有机物	0-0.5m、0.5-1m、1-2m、2-3m、3-4m	3049.26m <sup>3</sup>
汞以外的金属+无机物	0-0.5m、1-2m	345.64m <sup>3</sup>
汞+其他金属	0-0.5m、0.5-1m、2-3m、3-4m	2893.315m <sup>3</sup>
汞以外其他重金属+无机物+有机物	0-0.5m、0.5-1m、1-2m、2-3m、3-4m	2796.75m <sup>3</sup>
总计	/	32736.12m <sup>3</sup>

表4.2-3 修复技术比选

序号	技术名称	技术简介	主要应用参考因素			应用的适用性	应用的不适用性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
1	常温解吸	将污染土壤挖出，移至临时密闭大棚内，用机械堆放成条垛，定时不断翻动，并在大棚内强制通风，保持负压，促使土壤中VOCs污染物挥发，防止污染气体外溢。当土壤中的污染物浓度达到修复目标浓度时，即为修复终点。	技术成熟，国内有较多应用	需要较大处理场地，同时配备翻抛和废气收集处理设备，处理时间总体较短，100天左右。	较低	适用于挥发性有机化合物，能耗低，操作简单。	粘性土壤，挥发性差的有机污染物解析难度相对较大，可能需要反复翻抛；需要较大处置场所，需要配备工作大棚，尾气收集设施，二次污染防治要求高。	不建议采用
2	异位热脱附	通过火焰、蒸汽、热油等方式加热，使得容器内的土壤在一定时间内保持在某一温度下。在此过程中，土壤中的污染物和水分将成为气体或呈细颗粒状进入气相。通过控制反应器的温度及土壤在反应器中的停留时间，可以使污染物挥发出来，但是并不	技术成熟，国内有少量工程案例	大型设备需要时间较短，100天左右；中小型设备，需要时间为1年左右。	较高	对重金属汞、挥发性和半挥发性有机化合物均比较有效，适合于多环芳烃、苯系物和石油烃类有机物及重金属汞的处理，适应的污染物浓度水平也比较宽泛。	能耗高，需要尾气和废水处理系统，需要较大的资金投入建立处理设施，有可能对土壤的自然性质产生较大破坏，不利于土壤的再利用。	建议采用

		发生氧化、分解等化学反应。						
3	异位化学氧化	向污染土壤添加氧化剂，通过氧化作用使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。	技术成熟，应用广泛	一般化学氧化修复的周期较短，一般可以在数周到数月内完成。	适中	化学氧化可处理石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、苯系物、农药等大部分有机物。	对于吸附性强、水溶性差的有机污染物应考虑必要的增溶、脱附方式，对于粘性土壤效果差。	不建议采用
4	水泥窑	可处理的污染物类型：主要适用于挥发及半挥发性有机污染物（如石油烃、苯系物、农药、多环芳烃、多氯联苯等）、重金属等。应用限制条件：需满足GB30485、HJ662等相关要求。	技术成熟，应用广泛	受污染土壤添加比例、水泥产能产量及水泥厂协同情况影响较大。根据广东省及国内其它地区现有案例，工程修复时间中等。	较高	技术成熟，适用范围较广，对有机污染物处置彻底，有利于重金属污染地块周转，可实现资源化。	不适用于重金属汞污染土壤修复，需协调水泥厂进行处置，容易受限于水泥厂协同处置污染土壤的处理能力；耗能较大，对于含水率高、热值低的土壤需要消耗更多能量。	建议采用
5	异位淋洗	可处理的污染物类型：主要适用于重金属和部分半挥发性有机污染物。应用限制条件：不适用于黏性	技术成熟，国内有工程应用	根据广东省及国内其他地区现有案例，工程修复时间较短。	中等	污染土壤减量化效果明显；可有效降低土壤中污染物总量。	对土质有较高要求，不适用于粘土，产生大量废水处理成本高，二次污染重，需配	适合低浓度及非粘性土

		土质及含有挥发性有机污染物或废渣的土壤。					合其他技术处理洗脱后剩余的高污染土壤；对小体量污染土壤项目及细颗粒含量较高的土壤技术要求，经济性较差。	
6	异位固化 稳定化	可处理的污染物类型：主要适用于重金属及砷化合物等污染物。有时也用于石棉、氰化物及部分有机污染物。应用限制条件：一般不适用于单质汞、挥发性氰化物、挥发性有机污染物。	技术成熟， 国外应用广泛	根据广东省及国内其他地区现有案例，工程修复时间较短。	中等	技术成熟、应用广泛、处理时间短、费用低；无需进行开挖。	不降低污染物总量，不适用于以总量为验收标准的修复情形；一般需配合阻隔技术使用，并进行长期监控；修复效果存在一定不确定性；未来存在被扰动的风险；受当地水文地质条件影响较大；不适用于未来将要开挖或其他扰动的情形。	不建议采用
7	异地安全 填埋场填 埋处置	填埋法是将污染土壤进行掩埋覆盖，采用防渗、封顶等配套设施防止污染物扩散的处理方法。填埋法不能降低土壤中污染物本	公众认可度 差	时间短	较低	适用于重金属类污染物、施工时间短、操作方便、工程成本低。	不适用于挥发性污染物处置，本地块土方量较大，会大量占用填埋场资源，且转运及填埋处置过程的环	不建议采用

		身的毒性和体积，可以降低污染物在地表的暴露及其迁移性。					境风险较大，二次污染防治要求高，政府监管力度大，公众认可度低。	
--	--	-----------------------------	--	--	--	--	---------------------------------	--

按技术定量评估标准对以上备选修复技术方案进行打分，各技术方案得分如下。

表4.2-4 重金属修复技术评分

评分项\修复技术	水泥窑	异位淋洗	异位固化稳定化	异地安全填埋场填埋处置
可接受性	4	4	1	1
可操作性	4	3	2	2
项目工期	3	2	3	4
二次污染风险	3	2	1	1
处置效率	4	3	4	2
预期总成本	3	3	3	3
总计	21	17	14	13

表4.2-5 有机物修复技术评分

评分项\修复技术	常温解吸	异位热脱附	异位化学氧化	水泥窑
可接受性	4	4	3	4
可操作性	1	4	2	3
项目工期	3	3	2	3
二次污染风险	2	2	2	3
处置效率	3	3	2	4
预期总成本	3	3	3	2
总计	16	19	14	19

#### 4.2.4修复技术比选结论

对比以上7种修复技术的定量评估结果，水泥窑协同处置、异位热脱附、异位淋洗修复技术得分较高，综合考虑本项目的修复目标要求以及开发建设利用要求，技术筛选结果说明如下：

(1) 水泥窑对含汞重金属污染土壤浓度有严格标准限值要求，根据《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》HJ662-2013中重金属最大允许投加量限值计算（Hg 0.23mg / kg、掺烧比例约3%），如下表所示，本场地内汞污染浓度较高，所有超过修复目标值浓度的含汞污染土壤，经计算均已超过水泥窑的入场标准要求，因此汞超标土壤不适用水泥窑技术处置。

表4.2-6 水泥窑各指标最大允许投加量限值

重金属	单位	重金属的最大允许投加量
汞 (Hg)	mg/kg-cli	0.23

铊+镉+铅+15*砷 (Tl+Cd+Pb+15*As)		230
铍+铬+10*锡+50*锑+铜+锰+镍+钒 Be+Cr+10Sn+50Sb+Cu+Mn+Ni+V)		1150
总铬 (Cr)	mg/kg-cem	320
六价铬 (Cr <sup>6+</sup> )		10 <sup>(1)</sup>
锌 (Zn)		37760
锰 (Mn)		3350
镍 (Ni)		640

从汞的理化性质来看，金属汞常温下为液体，汞常温下即可蒸发，汞蒸气和汞的化合物多有剧毒，因此不适合异地填埋处置工艺。汞沸点为356℃，加热易转变为汞蒸气，选择异位热脱附处理汞污染土壤。重金属污染土可直接送往水泥窑协同处置。

(2) 针对石油烃、乙苯、汞单独污染土壤，可选择异位热脱附技术处理。

(3) 针对汞+重金属（除汞以外）、重金属（除汞以外）+石油烃和重金属（除汞以外）+乙苯污染土，可先采用异位热脱附的方式去除汞和有机物，待检测合格后再送往水泥窑进行协同处置。

## 第5章 修复方案设计

### 5.1 修复技术路线

通过技术筛选，综合考虑场地污染特征、水文地质条件、场地未来开发需求及场地周边环境，项目推荐采用异位热脱技术+水泥窑协同处置技术进行修复，具体说明如下：

(1) 异位热脱附技术：针对含汞污染土壤，单独石油烃污染、单独乙苯污染土，采用异位热脱附修复技术。

(2) 水泥窑协同处置技术：不含汞和有机污染土采用水泥窑协同处置技术。

(3) 异位热脱修复技术+水泥窑协同处置联合技术：针对汞+除汞外其他重金属、汞以外其他重金属+乙苯、汞以外其他重金属+石油烃形式的复合污染土壤，可先采用异位热脱附的方式去除汞、乙苯和石油烃，待检测合格后再送往水泥窑进行协同处置。

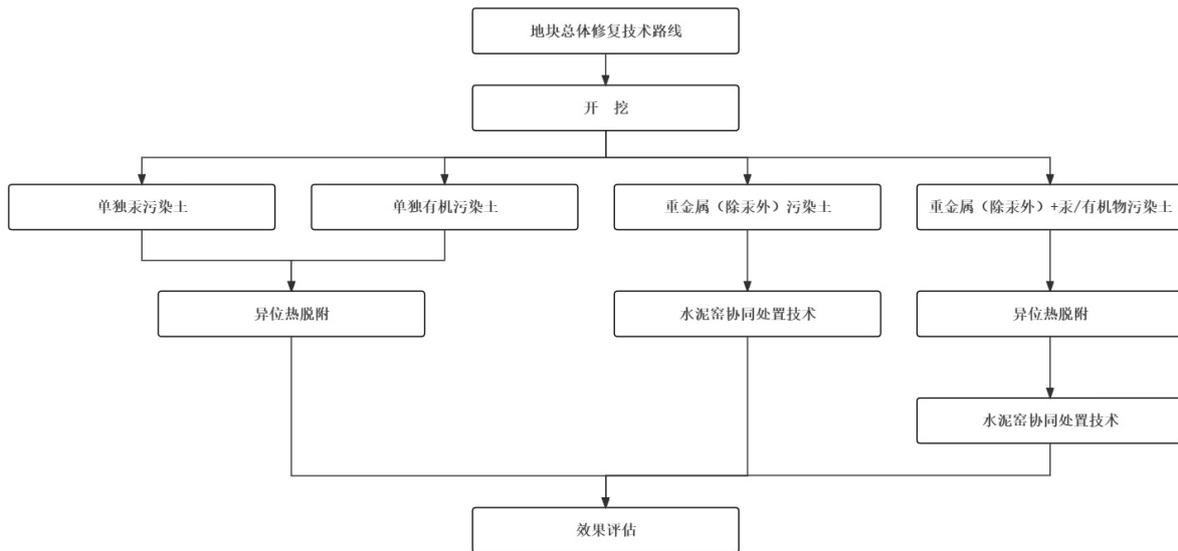


图5.1-1 地块修复技术路线图

### 5.2 污染土壤方量与土壤性质参数

根据风险评估报告，针对各超标指标按1m的厚度间隔划定了各深度层的土壤污染范围，北区地块总污染工程量合计32736.12m<sup>3</sup>，污染类型及工程量统计如下。针对含水率超过30%的粉质粘土和细沙污染土，需进行脱水处理。

表5.2-1 污染类型及工程量统计

序号	污染物名称	修复方量 (m <sup>3</sup> )							
		第一层	第二层	第二层	第三层	第四层	第五层	第六层	第七层

									层
		( 0~0.5m )	( 0.5~1m )	( 1~2m )	( 2~3m )	( 3~4m )	( 4~5m )	( 5~6m )	( 6~7m )
1	汞	4004.125	2621.77	4363.24	3558.03	875.88	\	\	\
2	镉	316.895	242.39	484.78	1288.38	897.82	1035.02	1185.88	849.5
3	砷	1426.205	\	\	\	\	\	\	\
4	铜	\	\	\	291.31	\	\	\	\
5	钼	104.965	104.965	\	\	\	\	\	\
6	有机物	375.925	460.565	1255.59	739.71	217.47	\	\	\
7	汞以外的金属+无 机物	135.71	\	209.93	\	\	\	\	\
8	汞+其他金属	1999.955	230.26	\	178.32	484.78	\	\	\
9	汞以外其他重金 属+无机物+有机 物	94.8	94.8	1080.22	1038.52	488.41	\	\	\
合计		8458.58	3754.75	7393.76	7094.27	2964.36	1035.02	1185.88	849.5

基坑最大开挖深度7m，根据现场的钻探记录，北区地块自上至下土层分布有填土、淤泥质土、粉砂、泥质粉砂岩等。

①素填土(Q4ml)：土层层底深度范围为1.0~4.5m，呈红褐、灰黑、灰棕、红棕、浅灰、黑色等颜色，以粉土、粘性土为主堆填而成，稍湿，结构松散，局部含砂质粘土和少量碎石；

②粘土(Q4al)：土层层底深度范围为1.0~9.0m，分层厚度范围为1.0~8.0m，呈灰黑、黑、深灰、棕褐色等，饱和，软塑，以粘粒为主，富含有机质及少量粉细砂，局部含砂粒；

③细砂(Q4al)：土层层底深度范围为1.2~10.0m，分层厚度范围为0.9~8.8m，呈浅灰黑、灰白色、灰色，饱和，松散，主要成分为石英及细粒组成，级配不良，含泥质较少，磨圆一般，呈次棱角状，局部含淤泥团。地块特征参数见下表，土壤性质参数选择水文地质调查、土工试验等方式获取的地块实测数据。

表5.2-2 实测参数值及取值原则

参数名称	符号	单位	一类用地	二类用地	取值依据
地下水埋深	Lgw	cm	118	118	各监测井实测埋深平均值

非饱和土层厚度	hv	cm	113	113	地块平均水位埋深减毛细管层厚度
土壤有机质含量	fom	g/kg	17.8	17.8	各土工样品平均值
土壤容重	ρb	kg/dm <sup>3</sup>	1.64	1.64	各土工样品平均值
土壤含水率	Pws	kg/kg	0.22	0.22	各土工样品平均值
土壤颗粒密度	ρs	kg/dm <sup>3</sup>	2.60	2.60	各土工样品平均值
土壤中水的渗透速率	l	cm/a	30	30	HJ25.3 推荐值
土壤透性系数	Kv	cm <sup>2</sup>	1.00×10-8	1.00×10-8	HJ25.3 推荐值

### 5.3 场地修复小试试验

项目组针对应用热脱附去除汞、石油烃和乙苯的修复方案进行小试试验。根据场地调查结果，土壤中石油烃的主要成分为固体石蜡，是一种固态高级烷烃的混合物，主要成分为直链烷烃，分子式为C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>，其中n=17~35。石蜡的熔点范围为47~64℃，沸点300~550℃；汞是在常温、常压下唯一以液态存在的金属，熔点为-38.87℃，沸点为356.6℃；乙苯的熔点为-95℃，沸点为136.2℃。因此可以使用热脱附去除土壤中的汞、石油烃和乙苯。

该修复技术是通过直接或间接热交换，将污染土壤及其所含的有机污染物加热到足够的温度，以使各种有机污染物从污染土壤得以挥发或分离的过程。含污染物的尾气将通过尾气处理系统进一步处置后达标排放。以下通过小试试验确定土壤污染物通过热脱附的可行性。

#### 5.3.1 实验方案

- ① 小试污染土取样地点：佛山照明禅城总部厂区中区和北区地块（北区地块与中区地块相连，污染种类类似，故合并进行采样和热脱附小试）
- ② 地块内污染物及污染浓度：

表5.3-1 中区地块汞与石油烃污染情况

污染物	污染土层	超标土壤浓度范围 (mg/kg)	土壤性质	含水率范围
汞	第1层 (0-1m)	10.05-678	填土	填土一般小于 30%，粘土大于 30%
	第2层 (1-2m)	8.959-29.7	粉质粘土	
	第4层 (3-4m)	10.6-15.3	细砂	
石油烃	第1层 (0-1m)	2620	粉质粘土	

	第2层 (1-2m)	2810		
	第3层 (2-3m)	1680-5940		

表5.3-2 北区地块汞与有机物污染情况

污染物	污染土层	超标土壤浓度范围 (mg/kg)	土壤性质	含水率范围	
汞	第1层 (0-0.5m)	9.14-32700	素填土	填土一般小于 30%，粘土大于 30%	
	第2层 (0.5-1.0m)	4.09-2240			
	第3层 (1.0-2.0m)	4.42-170	粘土		
	第4层 (2.0-3.0m)	15.6-229			
	第5层 (3.0-4.0m)	9.26-222	细砂		
乙苯	第2层 (0.5-1.0m)	41.6-581	素填土		
	第3层 (1.0-2.0m)	15-7510	粘土		
	第4层 (2.0-3.0m)	10.3			
石油烃	第3层 (1.0-2.0m)	3250-10500	粘土		
	第4层 (2.0-3.0m)	1060-9240			
	第5层 (3.0-4.0m)	2400	细砂		

③ 北区采样点初筛：结合初调和详调检测点情况确定采样位置和范围，确保最大可能捕获高浓度污染物。

表5.3-3 采样点初筛表

污染形式	点位编号	污染深度(m)	土壤性质	含水率	污染浓度 (mg/kg)
中区汞+石油烃复合超标点，也是石油烃污染最为严重的点	FX105	汞：0.3-0.5 石油烃：2.2-2.5	填土、粉质 粘土	填土一般 小于30%， 粘土大于 30%	汞：35.9 石油烃： 5940
中区汞最高污染点位	FCZ31	0.3-0.5	填土		678
北区汞高污染点位，附近所有点位汞超标倍数都在100倍以上	NS12、 NS17	NS12：0.2-0.4 NS17：0.3-0.5	填土		NS12：506 NS17：332
中区石油烃高污染点位	NS30、 NS47	NS30：2.5-2.6 NS47：2.2-2.3、2.9- 3.0	填土、粘质 土		NS30： 1060 NS47： 9240、

					5130
北区乙苯高污染点 位	NXS93 NS45	NXS93: 1-1.4m NS45: 0.5-1m	素填土		NXS93: 114-7510 NS45:15- 45

④ 现场采样:

表5.3-4 现场采样点位选择

采样深度	污染物	所属区域	高污染点位	点位命名	控制边界
0-0.5m	汞	中区	FCZ31	FCZ31-汞	\
0-0.5m	汞	北区	NS12、NS47	NS17-汞	NS16\NXS41\NXS38\NXS32\ NXS26\NXS31\NXS36
2-3m	石油 烃	北区	NS30、NS47	NS47-石油烃	NS35\NXS74\NXS72\NXS71\ NS25-P
0.5-1m	乙苯	北区	NS45	NS45-乙苯	NXS90\NXS81\NXS91\NXS80\ \NXS95\NXS99\NXS98\NXS9 7\NXS96
0.5-1m	乙苯	北区	NXS-93	NXS-93-乙苯	NXS90\NXS81\NXS91\NXS80\ \NXS95\NXS99\NXS98\NXS9 7\NXS96



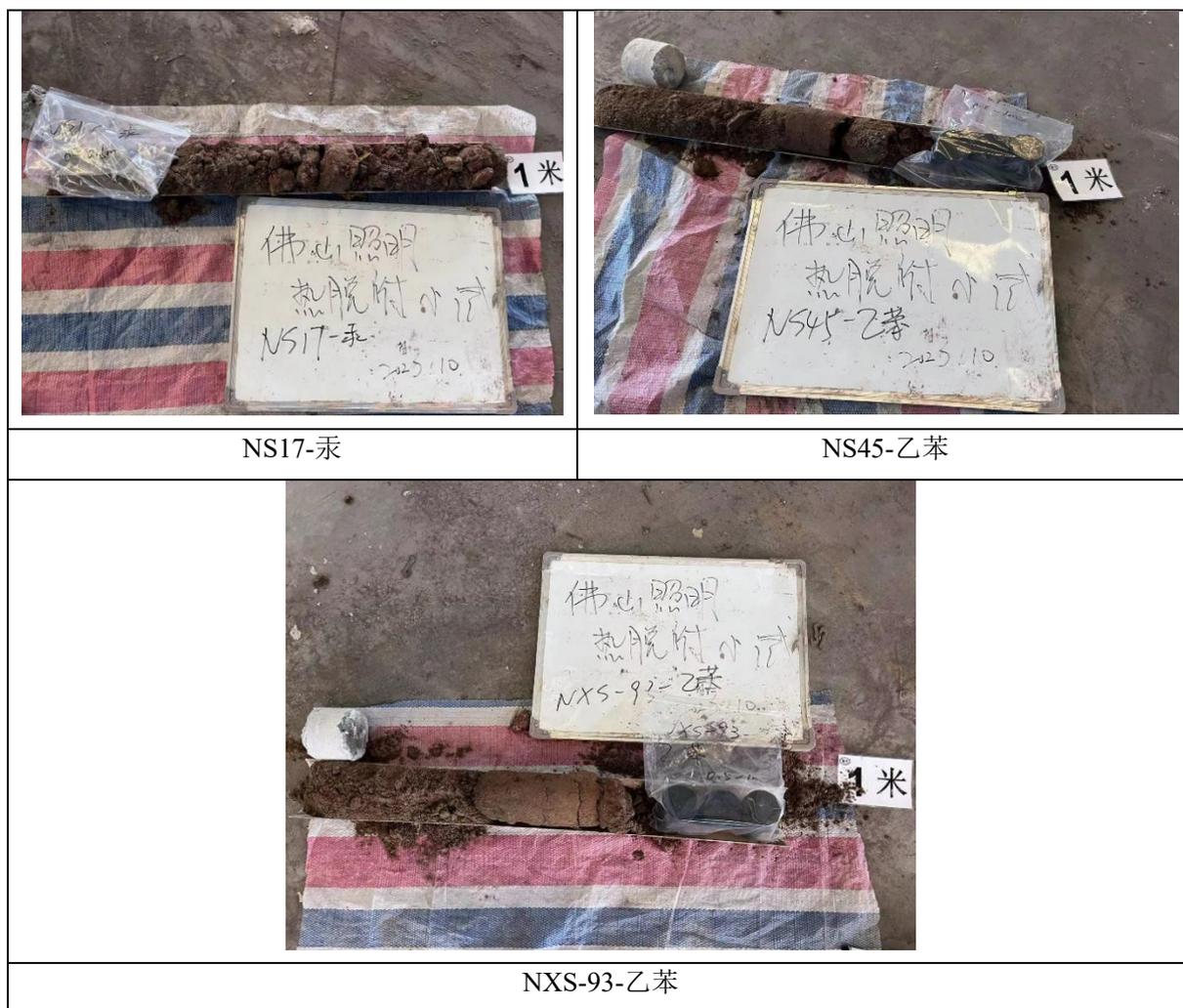


图5.3-1 现场采样图

⑤ 试验方法：均质化土壤，去除石头以及植物残渣。过2mm筛，用四分法取一定量土壤作为一个样品。称取3份质量相同的上述污染土壤（各200g），放置于马弗炉中，根据目标污染物的沸点，对不同污染的土壤，分别设置对应温度和保持时间，各处理3个平行。样品名称、设置温度和停留时间见下表。

表5.3-5 土样信息汇总表

样品名称	温度	深度	停留时间
FCZ31-汞	200, 300, 400	0-0.5m	60min
NS17-汞	200, 300, 400	0-0.5m	60min
NS47-石油烃	450,550,650	2-3m	20min
NXS-93-乙苯	100、200、300	0.5-1m	10min
NS45-乙苯	100、200、300	0.5-1m	10min

⑥ 热处理：使用马弗炉（马弗炉（JZ-6-1200））加热，设置相应的温度和时间，加热后待土壤冷却，分析其中汞、石油烃和乙苯含量。试验情况见图。

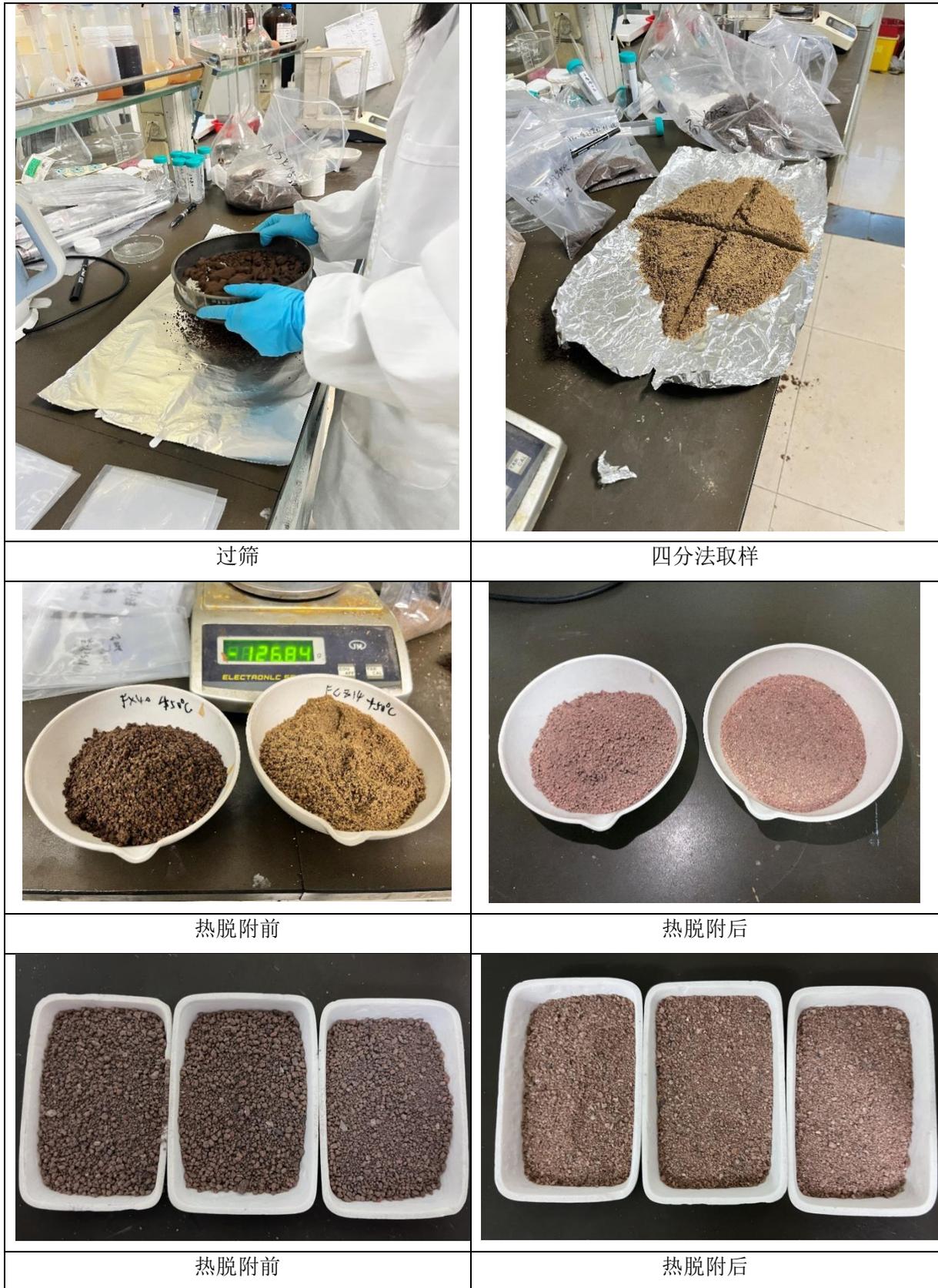


图5.3-2 试验情况图

⑦ 分析方法:

表5.3-6 汞、乙苯、总石油烃分析方法

序号	污染物项目	分析方法	标准编号	检出限
1	汞	土壤和沉积物汞、砷、硒、铋、锑的测定微波消解/原子荧光法	HJ680	0.002mg/kg
2	乙苯	土壤和沉积物挥发性有机物的测定吹扫捕集气相色谱-质谱法	HJ 605-2011	6 μg/kg
3	石油烃 (C10-C40)	土壤和沉积物挥发性有机物的测定顶空 / 气相色谱-质谱法	HJ642	6mg/kg

5.3.2小试结果

由该表可知, 经过热脱附处理后, 污染土壤中汞的去除率介于79.20%-99.66%。仅当温度为400℃且停留时间达60min时, 修复后的土壤中汞的浓度才能满足修复目标值(8mg/kg); 在其他处理条件下, 修复后的汞浓度未能达到此目标。对于石油烃(C10-C40), 在450-550℃下, 持续15-20min热脱附后的去除率范围为87.55%-98.08%。当处理条件为100℃并持续10分钟时, 土壤中乙苯的残留含量低于修复目标值(7.45mg/kg), 修复效果好。

表5.3-7 总石油烃、乙苯、汞污染土热脱附小试结果(单位: mg/kg)

热脱附温度与时间	样品编号	污染物	处理前浓度	处理后浓度均值	修复目标值 (mg/kg)	降解率 (%)
200℃/60min	FCZ31	汞	2037	293.4	8	85.60
300℃/60min	FCZ31			35.4		98.26
400℃/60min	FCZ31			6.84		99.66
200℃/60min	NS17		804.33	167.33	8	79.20
300℃/60min	NS17			20.35		79.20
400℃/60min	NS17			4.68		99.42
450℃/20min	NS47	石油烃	6438	801.22	826	87.55
550℃/20min	NS47			434.97		93.24
650℃/20min	NS47			123.5		98.08
100℃/10min	NXS-93	乙苯	843.5	ND	7.45	100%
200℃/10min	NXS-93			ND		100%

300°C/10min	NXS-93			ND		100%
100°C/10min	NS45		58.21	ND		100%
200°C/10min	NS45			ND		100%
300°C/10min	NS45			ND		100%

### 5.3.3 实际工程案例

美国环保署（EPA）发布的《场地清理处理技术：年度状态报告（第12版）》中，给出了在1982至2005年美国超级基金所开展的场地修复项目中技术的采用情况，共有69个项目采用了热脱附技术，占比8%。热脱附技术也已被成功用于下列污染物相关的污染场地修复项目中：苯系物、其他非卤代半挥发性有机物、多环芳烃、其他非卤代挥发性有机物、有机农药和除草剂等。异位间接热脱附技术被原环境保护部《污染场地修复技术目录》（2014年）、《土壤污染防治先进技术装备目录》（2017年）、2020年《国家先进污染防治技术目录（固体废物和土壤污染防治领域）》等收录推广应用。广东和云南修复场地使用热脱附技术修复了多环芳烃、石油烃和汞的污染土壤。这些实际案例的结果与本研究项目的结果是一致的。因此可以确定，本研究项目设计的小型试验成果具有较高实际工程应用参考价值。

表5.3-8 热脱附修复污染土工程案例列举

地块名称	污染物类型	地块未来规划	修复温度及停留时间	修复效果
云南红云氯碱有限公司	汞、 $\alpha$ -六六六	GB36600第二类用地	380°C/60min	达到标准
广州油制气厂地块项目土壤及地下水修复工程(标段二)	单环芳烃、多环芳烃类、苯胺类和联苯胺类及总石油烃	GB36600第二类用地	直接热脱附停留时间15-20min； 间接热脱附时间30-60min； 多环芳烃、石油烃处理温度：500-600°C	验收合格
广州某造油制气项目场地	SVOCs、VOCs	GB36600第二类用地	修复温度为450~650°C；停留时间为20~40min	验收合格

北区地块汞超标土壤浓度在9.14-32700mg/kg, 修复目标值为8mg/kg, 美国国家环保署推荐的在较高汞浓度范围(>260mg/kg)使用热脱附法修复汞污染土, 在国外已经有大量成功案例。美国MRS公司的Rose等人<sup>1</sup>介绍了商业化含汞土壤两段热脱附修复系统, 针对氯碱厂固废含有汞、氯、硫等多种污染物的特点, 其采用了特殊的预处理添加剂, 在加热循环去除99%以上汞的同时避免了氯和硫进入尾气; 除此之外, 通过独特的双层微负压腔体结构以及设备冗余等措施, 最大限度降低了意外导致汞泄漏的风险。设备最高加热温度650℃, 单套处理量达到12t/d, 多组试验和示范运行显示其对不同类型土壤和汞形态具有较好适应性, 处理后土壤和排气均符合环保标准。台北科技大学的Chang和Yen<sup>2</sup>应用热脱附方法对台北南部某氯碱厂的汞污染土壤进行了处理, 试验表明在700℃加热温度、2h停留时间的处理条件下可以成功将土壤中的汞由100mg/kg左右降至2mg/kg以下, 全规模修复面积为0.3746hm<sup>2</sup>目标地块的汞去除率达到99%以上。该校的李欣怡<sup>3</sup>针对采自台湾中石化安顺厂附近的受污染土壤样品进行了研究, 分析结果显示目标汞形态以生物有效性较差的残渣态为主, 所有样品经500℃温度处理0.5h均可将总汞含量降至20mg/kg的管制标准以下, 另外PCDD/Fs中的氯含量和毒性随之降低。贵州省环境科学研究所的学者在低温热脱附土壤修复方面开展了持续工作。邱蓉等<sup>4</sup>针对贵州清镇某有机化工厂附近采集的污染土壤进行了热脱附修复研究。结果表明土样中绝大部分汞呈现残渣态和难氧化降解有机结合态, 综合考虑汞去除率、能耗和土壤理化性质的保存等因素, 确定了温度350℃、处理时间90min和土壤含水率13.8%的优化操作条件。在后续研究中, 赖莉<sup>5</sup>结合热脱附单因素和双因素实验的方差分析显示, 对目标土壤汞去除率影响最显著的因素依次为温度、停留时间和土壤含水率; 样品在加热温度330℃时汞的去除率即可达90%以上, 且修复后土壤可逐步改善至适合作物栽培的状态。赵婷等<sup>6</sup>开展的研究显示, 经过上述低温热脱附修复的土壤70%的汞得以去除, 特别是毒性较大的有机

---

<sup>1</sup> Rose M V, Weyand T E, Koshinski C J. Mercury cleanup: The commercial application of a new mercury removal/recovery technology[J]. Remediation Journal, 1995, 5(3): 89-101

<sup>2</sup> Chang T, Yen J H. On-site mercury-contaminated soils remediation by using thermal desorption technology[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 128(2): 208-217

<sup>3</sup> 李欣怡. 汞与戴奥辛污染土壤热脱附处理研究[D]. 台北: 台北科技大学, 2012.

<sup>4</sup> 邱蓉, 张军方, 董泽琴, 等. 汞污染农田土壤低温热解处理性能研究[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(1): 48-52

<sup>5</sup> 赖莉. 低温热解法修复贵州清镇地区汞重污染土壤[J]. 化学工程与装备, 2015(9): 248-253

<sup>6</sup> 赵婷, 余志, 张军方, 等. 高浓度汞污染土壤低温工程性修复复垦的可行性[J]. 环境工程学报, 2017, 11(5): 3214-3219

结合态和残渣态汞的去除率较高，同时土壤的肥力未明显破坏，缓解了作物器官受汞胁迫的状态，使得其生长状况改善、产量提高。

根据小试试验，汞在400℃热脱附60分钟才能达到修复目标值，其他条件下无法达到，后续建议进行汞热脱附中试实验以确定实际工程参数，并且考虑通过加入助剂降低汞污染土壤加热温度，提高汞去除效率。

### 5.3.4热脱附小试结论

经综合分析，热脱附的修复技术研究和污染土热脱附小试实验证明了本项目针对汞、石油烃、乙苯污染土采用热脱附修复工艺是切实可行的，参考实际工程案例和各污染物的沸点信息，本项目为本地块各类污染土提供了不同的处理条件，具体如下表所示。

表5.3-9 推荐热脱附参数

污染类型	温度（℃）	停留时间（min）
汞	400	60
石油烃	450-550	15-20
乙苯	100	10

在小试阶段，我们使用马弗炉对土壤进行加热，此时土壤保持静止状态。这与实际操作中土壤在滚筒内随滚筒旋转而产生的扰动状态有所不同。同时，小试中使用的土壤样品量与真实工程实践中的土壤量存在显著差异。因此，在实际工程应用中，技术参数应根据生产过程中的监测数据进行适时调整。

## 5.4修复实施过程

### 5.4.1水泥窑协同处置

#### 5.4.1.1工艺流程

水泥窑协同处置污染土壤的实施工艺流程主要包括污染土壤清挖、污染土壤场内运输、预处理、危废鉴别、土壤外运和水泥窑协同处置等，其工作程序见图。

##### （1）土壤预处理要求

污染土壤入窑前应与协同处置水泥厂核实入窑土壤的特性要求，必要时应对污染土壤进行适当的预处理，使之达到水泥窑协同处置设施进料要求。根据项目修复技术路线，对于重金属（除汞外）污染土直接送至水泥厂，而对于汞+重金属（除汞以外）、重金属（除汞以外）+石油烃和重金属（除汞以外）+乙苯污染土，先采用异位热脱附，现场处

置汞或有机物后，再运输至水泥窑协同处置。

水泥窑协同处置污染土壤修复技术主要适用于半挥发性有机污染土壤、重金属污染土壤等。污染土壤应具有稳定的成分组成和理化性质，污染土壤的投加不应对水泥生产过程和水泥产品质量产生不利影响。因此，对于重金属与汞/有机物复合污染土，需先进行异位热吸附，经过处置后，才可运输至水泥窑协同处置。在进行水泥窑协同处置前，还应对土壤中污染物质进行分析，以确定污染土壤的投加点及投加量。土壤相关指标检测结果应满足土壤转运出场地要求及《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》

(HJ662-2013)，具体见下表。应采取适当的污染土壤掺加比控制入窑物料中氟元素含量不大于0.5%，氯元素含量不大于0.04%；通过配料系统投加的物料中硫化物与有机硫总含量不应大于0.014%，从窑头、窑尾高温区投加的全硫与配料系统投加的硫酸盐硫总投加量不应大于3000mg/kg-cl<sub>i</sub>。此外，入窑土壤含水率一般不宜大于20%，需满足粒径≤50mm的要求，可采用晾干、添加吸水剂（如生石灰）、筛分、破碎等预处理方式使土壤含水率和颗粒度满足水泥厂接收条件；土壤理化性质均匀，保证水泥窑运行工况的连续稳定；满足协同处置水泥企业已有设施进行输送、投加的要求。

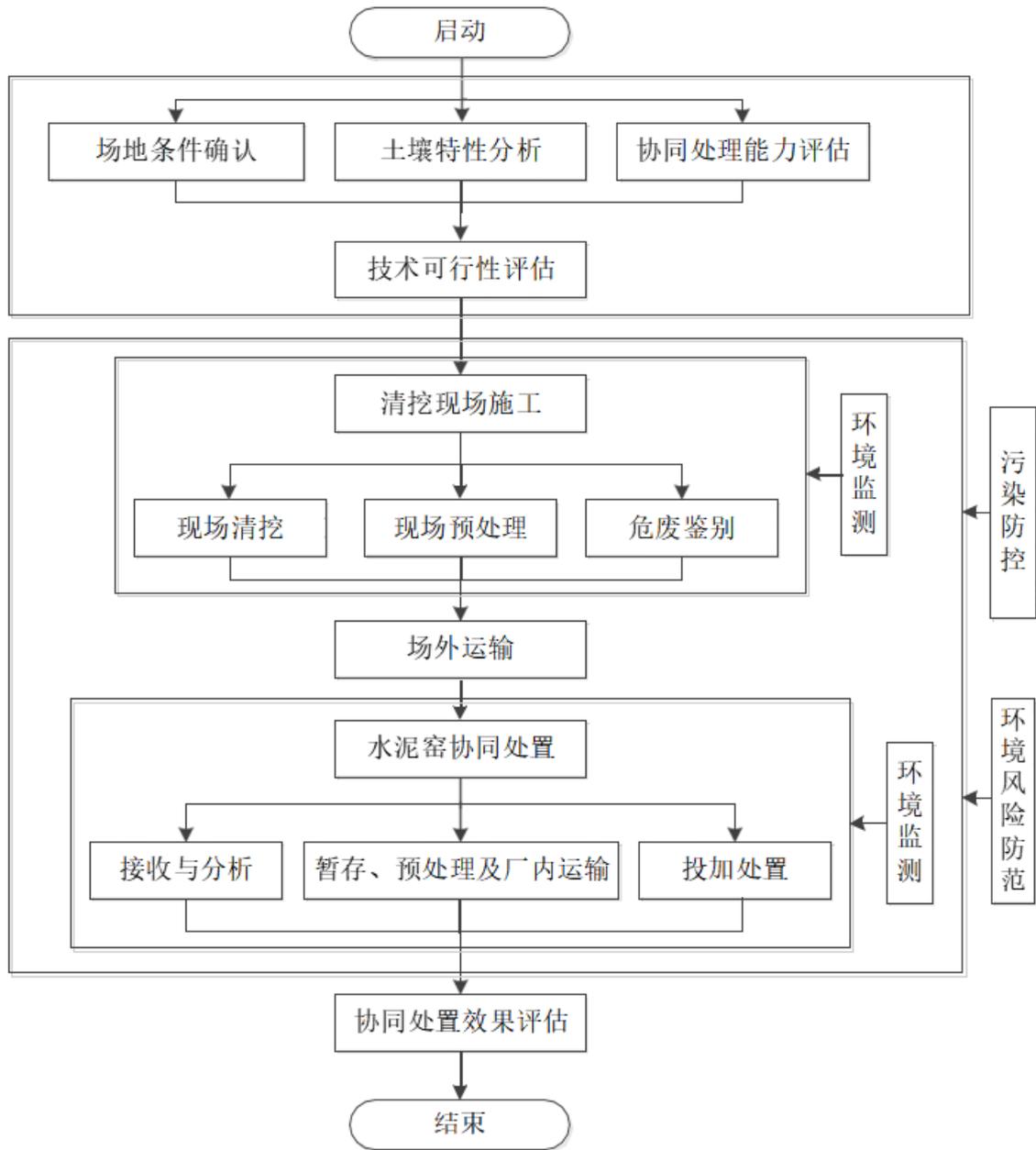


图5.4-1 水泥窑协同处置污染土壤的工作程序

水泥窑协同处置时应保证预处理操作区域有害物质限值应满足《工业场所有害因素职业接触限值》（GBZ2.1-2007）标准限值要求，污染物排放应满足《恶臭污染物排放标准》（GB14554-1993）、《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）等标准限值要求。

应对污染土壤预处理过程进行详细记录，包括每天的预处理土壤方量、药剂投加量筛上物方量（如有）、二次污染防控措施落实情况（尾气处理设施运行记录等）等。

表5.4-1 水泥窑各指标最大允许投加量限值

指标	单位	最大允许投加量
----	----	---------

Hg		0.23
铊+镉+铅+15×砷(Tl+Cd+Pb+15×As)		230
铍+铬+10×锡+50×锑+铜+锰+镍+钒 (Be+Cr+10×Sn+50×Sb+Cu+Mn+Ni+V)	mg/kg-cli	1150
S		3000
总铬 (Cr)		320
六价铬 (Cr <sup>6+</sup> )		10 <sup>(1)</sup>
锌 (Zn)		37760
锰 (Mn)		3350
镍 (Ni)		640
钼 (Mo)	mg/kg-cem	310
砷 (As)		4280
镉 (Cd)		40
铅 (Pb)		1590
铜 (Cu)		7920
汞 (Hg)		4 <sup>(2)</sup>
F		≤0.5%
Cl		≤0.04%
S		≤0.014%

注：(1) 计入窑物料中的总铬和混合材中的六价铬。(2) 仅计混合材中的汞。

## (2) 危险废物鉴别要求

针对污染土壤拟采用水泥窑协同处置方式进行处置，根据生态环境部部长信箱中关于污染土壤外运是否需要对其进行危废鉴定的回复：

一、关于判断异位修复的污染土壤外运是否要进行危废鉴定的有关程序1.鉴别是否属于固体废物。主要依据是：《固体废物鉴别标准通则》(GB34330-2017)中“4依据产生来源的固体废物鉴别”和“6不作为固体废物管理的物质”的有关规定：“在污染地块修复、处置过程中，采用下列任何一种方式处置或利用的污染土壤属于固体废物：1) 填埋；2) 焚烧；3) 水泥窑协同处置；4) 生产砖、瓦、筑路材料等其他建筑材料”、“修复后作为土壤用途使用的污染土壤不作为固体废物管理”。2.经鉴别属于固体废物的，需要进行危废鉴定。

二、关于污染土壤外运审批流程对不属于危险废物的外运污染土壤，根据《中华人民共和国土壤污染防治法》第四十一条规定，“修复施工单位转运污染土壤的，应当制定转运计划，将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等，提前报

所在地和接收地生态环境主管部门”。对外运的污染土壤属于危险废物的，应该遵照《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的有关规定执行。

综上，拟采用水泥窑协同处置的外运污染土壤须按照固体废物相关规范进行管理，在出场前应进行危废鉴定。如被鉴定为危险废物，则按照危险废物相关规定进行处置。污染土壤产生过程已确定不存在的特性项目或者不存在、不产生的毒性物质，在危废鉴别时不进行检测。如无法确认污染土壤是否存在GB5085-2007系列标准规定的危险特性或毒性物质时，须按照《危险废物鉴别技术规范》（HJ/T298-2007）的相关要求进行危废鉴别。污染土壤特性鉴别需使用GB5085-2007系列标准规定的相应方法和指标限值进行鉴别。

### （3）污染土壤预处理设施要求

如清挖出的污染土壤需采取预处理措施，应设置污染土壤预处理设施，保障污染土壤在预处理过程中的环境污染风险在可控范围内；污染土壤预处理设施内应保持密闭和负压状态；应设置机械通风，设施内排出的空气应经过净化处理。

污染土壤预处理设施大小应根据污染土壤工程量、处置工期、日处理能力、配套设施要求及现有地块条件等进行设计和建设。预处理设施高度需根据土壤堆土高度、预处理机械操作面高度的要求进行设计和建设。

污染土壤预处理设施地面应做硬化和防渗处理。

污染土壤预处理设施内应进行功能区划分。设施内功能区可分为污染土壤卸车区、污染预处理区、预处理药剂堆放区等。

污染土壤预处理设施预处理区宜配置脱水、分选、破碎、筛分、混合、搅拌、输送等设备。

预处理设施设备所用材料需适应污染土壤特性以确保不被腐蚀，同时不与预处理药剂发生化学反应。

### （4）污染土壤场外运输技术要求

场外运输启动时机：修复实施单位与水泥窑协同处置单位签订完成协同处置合同或协议；地块采用水泥窑协同处置技术的实施方案已通过生态环境主管单位组织的专家评审并完成实施方案的备案工作；修复实施单位已制定转运计划，将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等，提前报所在地和接收地生态环境主管部门。

运输单位要求：运输单位必须依法取得《中华人民共和国道路运输经营许可证》和《佛山市建筑垃圾处置证》（运输）等相关证件。

运输车辆要求：运输车辆涂装、标识、监控终端、整体及车厢尺寸规格、车厢密闭等均需满足《佛山市建筑垃圾运输车辆行业专用功能指导意见》（2017年11月20日）等相关规定要求，保证不撒漏。

运输时间要求：污染土壤场外运输时间应满足当地城管部门备案所规定的时间要求。

运输路线要求：污染土壤运输前应制定运输路线，原则上污染土壤运输路线应避开水源保护区等敏感目标。

运输过程监管要求：污染土壤运输前，应提前向运出地和接收地所在环境保护主管部门报告，告知拟运输污染土壤工程量、运输单位、运输路线、运输时间等信息。污染土壤运输过程中，严格执行联单制度，土壤修复施工单位、监理单位等相关单位需通过GPS平台对土壤运输车辆进行定位和实时跟踪，实时监控污染土壤运输去向。

运输过程记录要求：在污染土壤运出场前，由现场项目部和环境监理单位记录车辆二次污染防治措施落实情况，车辆编号、土壤出场时间等内容。污染土壤运输车辆到达水泥厂后，由环境监理单位对运输车辆到场时间、车辆和土壤总重量进行记录，并对运输车辆的二次污染防治措施进行记录。污染土壤卸土出厂前，由环境监理和水泥厂工作人员对车辆空载重量、车辆出厂时间、车辆冲洗情况进行记录，完成污染土壤的运输记录工作。

#### 5.4.1.2水泥窑协同处置土壤危险废物鉴别

危险废物的鉴别应按照以下程序进行：

1) 由生态环境部部长信箱中《关于污染土壤外运是否需要对其进行危废鉴定的回复》可知，本项目污染土壤属于固体废物，无需再进行固体废物定性鉴别。

2) 属于固体废物的需依据《国家危险废物名录》判断，凡列入《国家危险废物名录》的属于危险废物，不需要进行危险特性鉴别（感染性废物根据《国家危险废物名录》鉴别）；未列入《国家危险废物名录》的，应按照第3条进行危险特性鉴别。

3) 依据《危险废物鉴别标准》（GB5085.1-GB5085.6）进行鉴别，凡具腐蚀性、毒性、易燃性、反应性等一种或一种以上危险特性的，属于危险废物。危废鉴别流程如下图所示。

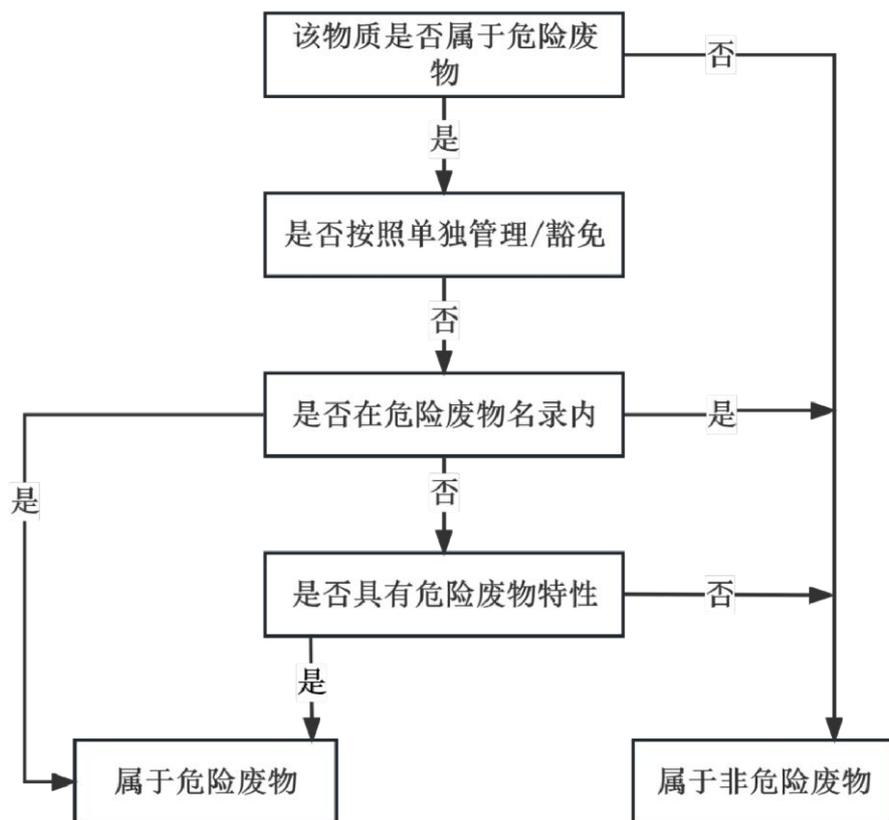


图5.4-2 危废鉴别流程

### 一、样品检测

1) 固体废物特性鉴别的检测项目应根据固体废物的产生源特性确定。根据固体废物产生过程可以确定不存在的特性项目或者不存在、不产生的毒性物质，无需进行检测。固体废物特性鉴别使用GB5085规定的相应方法和指标限值。

2) 无法确定固体废物是否存在GB5085规定的危险特性或毒性物质时，按照以下顺序进行检测。

- ①反应性、易燃性、腐蚀性检测；
- ②浸出毒性无机物质项目的检测；
- ③浸出毒性有机物质项目的检测；
- ④毒性物质含量鉴别项目中无机物质项目的检测；
- ⑤毒性物质含量鉴别项目有机物质项目的检测；
- ⑥急性毒性鉴别项目的检测。

在进行上述检测时，如果依据第1条规定确认其中某项特性不存在时，不进行该项目的检测，按照上述顺序进行下一项特性的检测。

3) 在检测过程中, 如果一项检测的结果超过GB5085相应标准值, 即可判定该固体废物为具有该种危险特性的危险废物, 是否进行其他特性或其余成分的检测, 应根据实际需要确定。

4) 在进行浸出毒性和毒性物质含量的检测时, 应根据固体废物的产生源特性首先对可能的主要毒性成分进行相应项目的检测。

5) 在进行毒性物质含量的检测时, 当同一种或者一种以上毒性物质存在时, 以分子量最高的毒性物质进行计算和结果判断。

6) 无法确认固体废物的产生源时, 应首先对这种固体废物进行全成分元素分析和水分、有机分、灰分三成分分析, 根据结果确定检测项目, 并按照第2条规定进行检测。

7) 根据第1、4、6条规定确定固体废物特性鉴别检测项目时, 应就固体废物的产生源特性向该固体废物的鉴别工作无直接利害关系的行业专家咨询。

根据前期场地调查与风险评估结果, 本次地块土壤需关注的污染物为: 汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯和石油烃 (C10-C40)。

## 二、样品的采集

本项目需鉴别物质为汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯和石油烃 (C10-C40), 土方量为32736.12m<sup>3</sup>, 根据《危险废物鉴别技术规范》最小份样数的要求, 后期至少采集100个样品进行分析测试。

## 三、采样方法

1) 固体废物采样工具、采样程序、采样记录和盛样容器参照HJ/T20的要求进行。

2) 在采样过程中应采取必要的个人安全防护措施, 同时应采取措施防止造成二次污染。

## 四、制样、样品的保存和预处理

采集的固体废物应按照HJ/T20中的要求进行制样和样品的保存, 并按照GB5085-2007中分析方法的要求进行样品预处理。

## 五、检测项目确定的依据

根据《危险废物鉴别标准通则》(GB5085.7-2007), 未列入《国家危险废物名录》的, 应按照危险废物鉴别标准进行危险特性鉴别; 依据GB5085.1-GB5085.6鉴别标准进行鉴别, 凡具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性等一种或一种以上危险特性的, 属于危险废物。

### 5.4.2 异位热脱附

污染土壤的热脱附，首先需要对污染土壤清挖、运输，然后转运至热脱附修复区域进行热脱附。待修复土壤进入前处理系统，进行破碎筛分、含水率调节后，通过输送设备进入热处理设备回转窑内，污染土壤温度升高至修复目标温度，污染物完全解吸进入气体，净化土壤进入后处理系统经过湿度调节后进行最终处置，而回转窑内的污染气体进入尾气处理系统，经过二次燃烧、冷却降温、除尘、脱酸后达标排放。

对于热脱附预处理大棚、出料大棚内的废气，直接热脱附的尾气处理系统为：富集气化污染物的尾气通过旋风除尘、焚烧、冷却降温、布袋除尘、碱液淋洗等环节去除尾气中的污染物；间接热脱附的尾气处理系统为：富集气化污染物的尾气通过过滤器、冷凝器、超滤设备等环境去除尾气中的污染物。

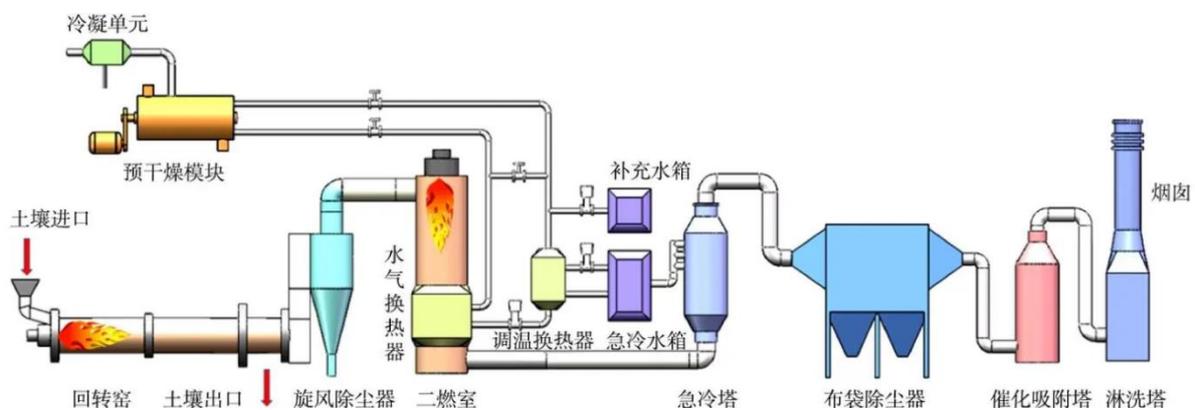


图5.4-3 异位脱附工艺流程示意图

从上图可以看出，此工艺首先对污染土壤进行清挖，控制清挖过程中的二次污染。污染土壤经过清挖后由封闭运输车运至进料棚，依次进行污染土壤前处理阶段、污染土壤热脱附阶段、净化土壤后处理阶段、尾气处理阶段。具体流程如下：

#### (1) 测量和放线

确定本地块污染土壤的修复范围边界坐标点，结合土壤污染状况调查报告，采用高精度GPS仪确定边界点位，现场采用全站仪进行复检，校对，通过放线标记相应的点位和修复范围。

#### (2) 污染土壤开挖、运输和储存

对待修复区域污染土壤开挖，应分层分段的顺序依次进行开挖，注意施工期间注意噪声、扬尘及土方滑坡等影响。挖出的污染土壤应随挖随运，每班污染土壤应当班运出，严禁将土方随意堆在基坑四周造成边坡超负荷受力，基坑边3m范围内不得堆载。施工过程中应关注污染土的状况，含水率是否过高，若过高，其产生的废液需谨慎收集，用吸污罐车外运处置。场地涉及挥发性有机物，再开挖乙苯污染区域时需密闭开挖。

根据《建设用地土壤修复技术导则》(HJ25.4-2019)、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》(粤环办〔2020〕67号)等相关规定对基坑修复范围内部和边缘的原址土进行采样,采样点位于坑底和侧壁,以表层样为主。土壤样品采集后委托第三方具备资质检测单位进行检测,土壤污染物的含量应低于GB36600-2018第一类用地筛选值要求,则视为清挖干净;否则需针对采样布点位置进行二次清挖,清挖后继续进行布点、采样及检测,直到满足基坑土壤污染物检测值低于第一类用地筛选值要求。污染土壤在开挖、装载至运输车辆后,运送到区域指定的临时储存场地。

### (3) 土壤筛分

通过土壤传送装置,临时储存场地堆存的土壤转移至振动筛分装置,对土壤进行振动筛分处理。筛分结束后,筛上物为大石块和建筑垃圾,需修复合格后将其中回填至基坑处,筛下物为砂土和黏土,筛下物筛分完成后待处理。

### (4) 污染土壤前处理阶段

对筛分后的土壤进行适当的预处理,例如调节土壤含水率、磁选等。污染土壤的粒径会影响其受热的均匀程度以及升温效率,当土壤中的含水率较高时,水分受热挥发会消耗大量的热量。土壤含水率在5-30%之间,热量约在117-286kcal/kg区间。为保证热脱附的效能,进料土壤的含水率宜保持在10%以下。当污染土壤中的含水率超过25%,向污染土壤中加入生石灰后,采用多功能筛分机进行生石灰同土壤的混合搅拌,以充分吸收土壤中的水分。

### (5) 污染土壤热脱附阶段

根据异位热脱附修复技术特点进行理论分析,污染土壤修复温度达到处理污染物沸点以上,且达到一定停留时间即可使土壤中污染物解析进入气体中。含汞污染土采用间接热脱附设备进行修复,单独有机污染土可采用间接热脱附或直接热脱附设备进行修复。结合5.3节场地修复小试试验、实际工程案例和各污染物的沸点信息,本项目为本地块各类污染土提供了不同的处理条件,具体如下表所示。

**表5.4-2 推荐热脱附参数**

污染类型	温度(℃)	停留时间(min)
汞	400	60
石油烃	450-550	15-20
乙苯	100	10

#### (6) 净化土壤后处理阶段

经过热脱附高温处理净化后的土壤，将由螺旋出料机进行出料。在螺旋出料机设备中，还配有土壤湿度调节器，通过向土壤中喷洒干净水，降低高温处理后土壤的温度，并调节土壤湿度，最后，经由运输车送至修复后待验收土暂存区进行待检。

#### (7) 尾气处理阶段

热脱附尾气处理系统一般包括尾气除尘、喷淋降温、尾气净化等处理环节。处理含汞污染土的废气经过除尘后通过管道进入尾气处理单元，经急冷洗涤塔使高温热脱附气体温度降至80℃以下，再经填料洗涤塔使热脱附气体温度降至60℃以下，最后经冷凝盘管降温至5℃以下后，热脱附气体中的绝大部分的汞冷凝下来随洗涤废水进入到工艺水处理单元，剩余热脱附气体经载硫脱汞活性炭吸附罐处置后达标排放。

处理有机污染土的尾气处理方式尾气二次燃烧。气体燃烧净化方式的气体燃烧温度高达800-1200℃，在足够的停留时间下，能够对进入燃烧器的颗粒态和气态污染物进行彻底的焚毁去除，降解为二氧化碳和水蒸气，确保尾气中的各种有机污染物的达标处理。

### 5.4.3 修复工程量估算

根据施工内容进行土方量统计，各土方量情况如下表所示。

表5.4-3 土方统计

类型	实方 (m <sup>3</sup> )	虚方 (1.1系数) (m <sup>3</sup> )
处置污染土	32736.12	36009.73
水泥窑处置污染土	8573.75	9431.13
异位热脱附污染土	18472.31	20319.54
异位热脱附+水泥窑	5690.07	6259.07
外运污染土 (即水泥窑处置土)	14263.82	15690.20

### 5.5 修复工程费用估算

修复费用参考《广东省土壤修复工程造价指引》(2021年1月)、《广州市工业企业场地土壤修复治理技术汇编》(2018年版)、《工程勘察设计收费导则(第二版)》(粤勘设协字[2021]2号)及市场报价相关依据匡算。修复工程费用为7298.86万，监理费用为229.6万元，效果评估费用为273.59万元。

表5.5-1 修复费用匡算表

序号	项目明细	数量	中区费用
			总价(万元)
一	前期准备	1	174.8
二	基础设施建设	1	768.9
三	工程直接费用	1	588.2
四	修复工程费用	1	4399.2
五	安全文明施工费	(一+二+三+四) *2.90%	172.0
六	不可预见费与管理费	(一+二+三+四) *10%	593.1
七	税费	9%	602.66
合计(万元)			7298.86

**表5.5-2 监理费用**

项目明细	内容	中区费用
		总价(万元)
工程监理费	项目管理、方案编制、日常巡检、监理日志、报告编制、办公费、邮电费、会议费等费用	92.00
环境监理服务费	修复工程施工内容核查、二次污染防治环境监理、污染物排放及环境影响监测、风险控制措施落实情况监理	92.00
环境监测费	环境监理产生的采样检测费	26.64
税	---	18.96
总计	---	229.60

**表5.5-3 修复效果评估匡算表**

项目明细	内容	中区费用
		总价(万元)
效果评估服务费	效果评估方案编写、阶段效果评估报告编写、总体效果评估报告编写、交通费、住宿与人员劳务费、专家咨询与评审费	155.00
效果评估检测费	效果评估涉及的采样与检测	96.00
税	---	22.59
总计	---	273.59

## 第6章 工程部署

### 6.1 项目组织机构

本工程在项目上实行三级管理，第一级项目总部即单位，单位法定代表人作为项目质量、安全第一责任人，指派项目经理组成现场施工项目部，协调各施工班组之间、班组与供应方之间的关系，并对施工全过程的安全、质量、进度进行总体管理与监控；总工程师全面负责技术质量工作，单位相关的质量、技术、安全等职能部门负责对项目质量进行检查、监督与指导、技术方案的确定、重大技术质量问题的处理、生产力要素配置和经常性职能事务。

第二级的管理结构为现场施工项目部，该部门位于施工现场并起到核心的管理、组织和协调作用。其主要职责是确保工程施工的有序进行，并对工程的质量、进度和安全进行全面监控。该部门还与监理单位紧密合作，以确保各分部、分项工程的质量得到严格的检查、评估和验收。项目经理是由单位法定代表人所委派，其在整体项目中承担关键领导职责，并对工程的整体质量承担全责。此外，项目技术事务由专门的技术主管领导并负责日常运作。为保证技术质量的高标准执行，所有项目参与人员均需参与质量管理过程。基于项目特性，我们制定了详细的质量管理和控制策略，确保施工现场的每个阶段和工序都受到严格管理，并有明确的负责人。这旨在确保项目的质量标准得以维持和提高。

项目施工班组为三级管理小组，负责各班组内的具体组织管理、安全施工、质量、进度计划的实施。

(1) 在项目总负责的领导下，组织施工经验丰富、技术力量强的技术人员成立项目部开展施工工作；人员组成知识结构搭配合理，具体见项目部组织结构图。

(2) 项目部下设土方施工组、测量组、土建组、机修组、后勤组，各组设立组长，实行项目负责人、组长、组员三级现场管理制度，明确各自职责，逐级贯彻落实。

(3) 完善管理办法，建立管理制度，严格组织管理。

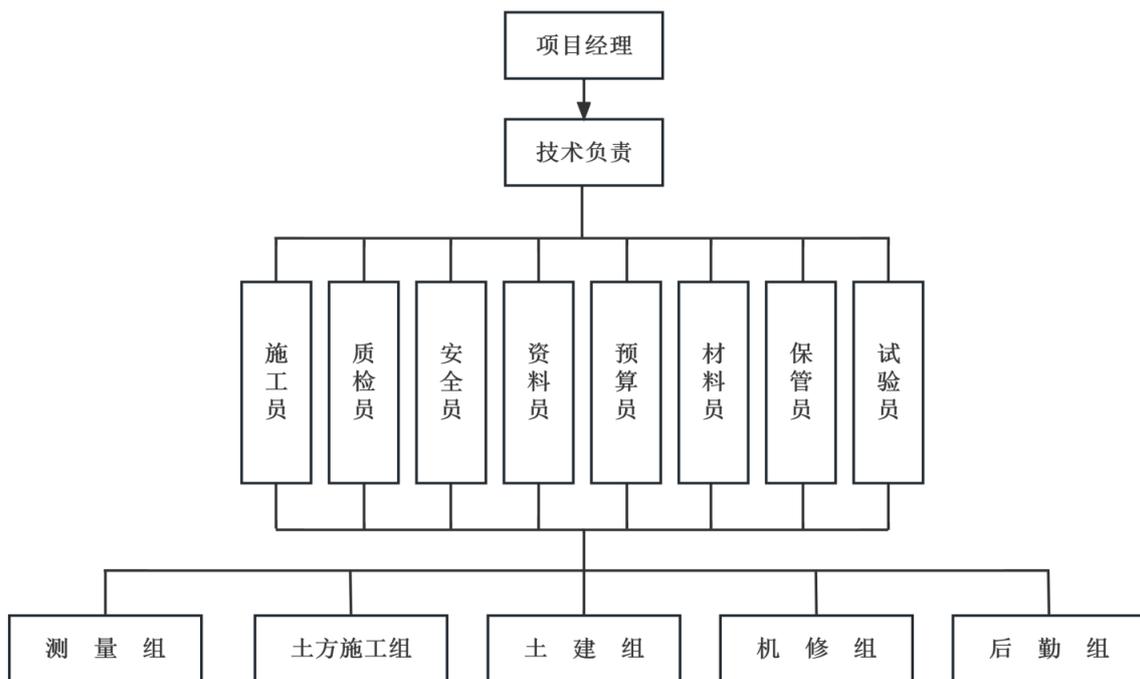


图6.1-1 项目部组织结构图

## 6.2 总体部署

本修复工程规划围绕污染场地土壤展开，同时考虑保护周边环境，避免造成二次污染。结合现场实际情况以及工期要求，本工程总体施部署如下：

(1) 施工准备，包括场地测量和清理、临时道路建设、施工等。

(2) 重金属（除汞外）污染土直接送往水泥窑协同处置；对于石油烃、乙苯、汞单独污染土壤，采用异位热脱附处理后，进行检测验收，合格后回填；针对汞+重金属（除汞以外）、重金属（除汞以外）+石油烃和重金属（除汞以外）+乙苯污染土，先采用异位热脱附的方式去除汞和有机物，待检测合格后再送往水泥窑进行协同处置。

(3) 根据污染物以及区块的具体位置和本场地污染区域特点，将污染区域分为9个区。

1号、4号修复区污染土清挖后采用异位热脱附方式去除污染物，待检测合格后放置修复后土壤暂存区；

2号、5号、7号、9号修复区污染土清挖后直接送往水泥窑协同处置；

3号、6号、8号修复区污染土采用异位热脱附和水泥窑协同处置组合的方式，按不同类型污染区进行开挖和处置。

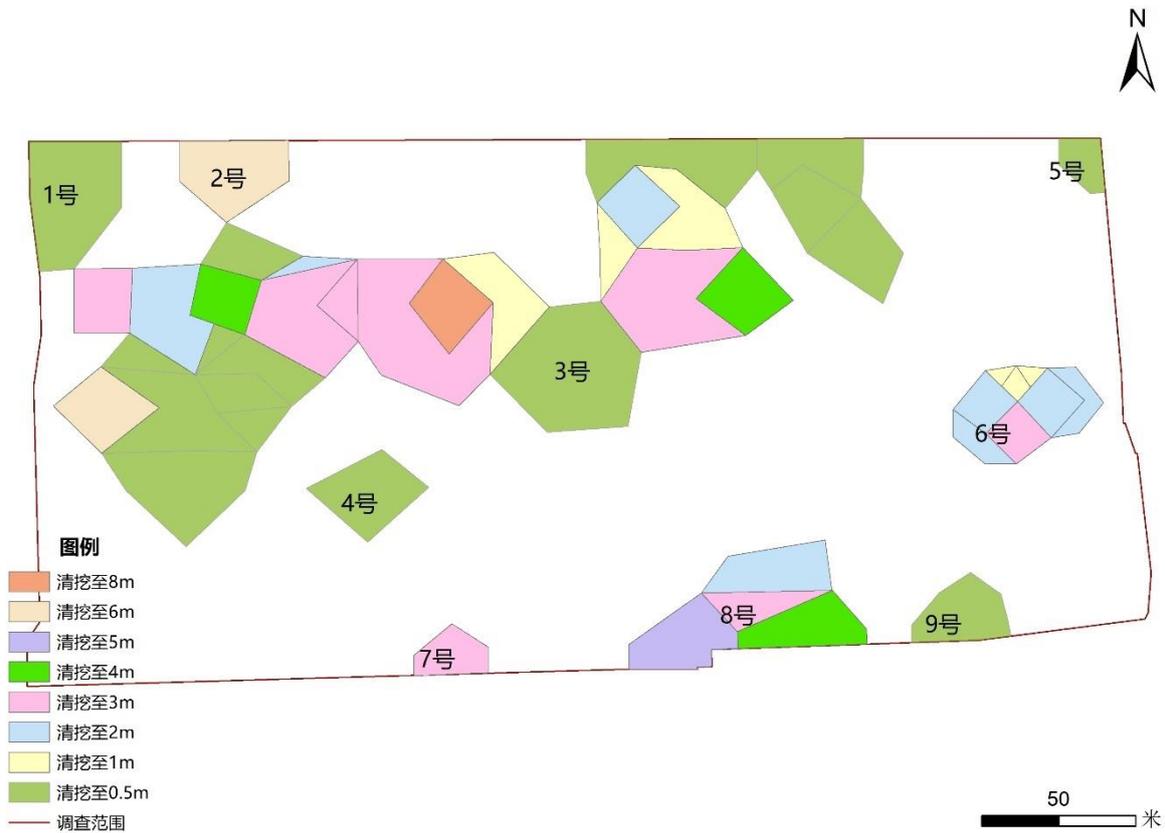


图6.2-1 修复区编号

### 6.3总体施工顺序与准备

本项目土壤修复工程拟采用的技术为异位热脱修复技术+水泥窑协同处置联合技术：重金属（除汞外）污染土直接送往水泥窑协同处置；针对汞+重金属（除汞以外）、重金属（除汞以外）+石油烃和重金属（除汞以外）+乙苯污染土，先采用异位热脱附的方式去除汞和有机物，待检测合格后再送往水泥窑进行协同处置；对于石油烃、乙苯、汞单独污染土壤，采用异位热脱附处理后，进行检测验收，合格后回填。

进场后开始施工准备工作，主要包括食宿的准备工作，施工人员的培训学习，现场三通一平，临时设施的建设以及设备等进场安装调试等施工准备工作。

#### (1) 场地测量和清理

修复施工前，首先根据设计要求对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。将现场分为热脱附区、待检区、预处理大棚、修复后土壤暂存区、清洁土暂存区、疑似污染土暂存区、筛上物冲

洗区、筛上物暂存区、密闭开挖大棚，热脱附区域设置进出料大棚和设备放置区。其他配套设施还包括办公区、药剂库、洗车池、地磅、废水处理站、危废车间、临时道路等。

(3) 按照施工顺序进行污染土外运处置和土壤异位热脱附。

(4) 水泥窑协同处置

将(3)中经过异位热脱附的污染土以及重金属(除汞外)污染土运输至水泥窑处置。

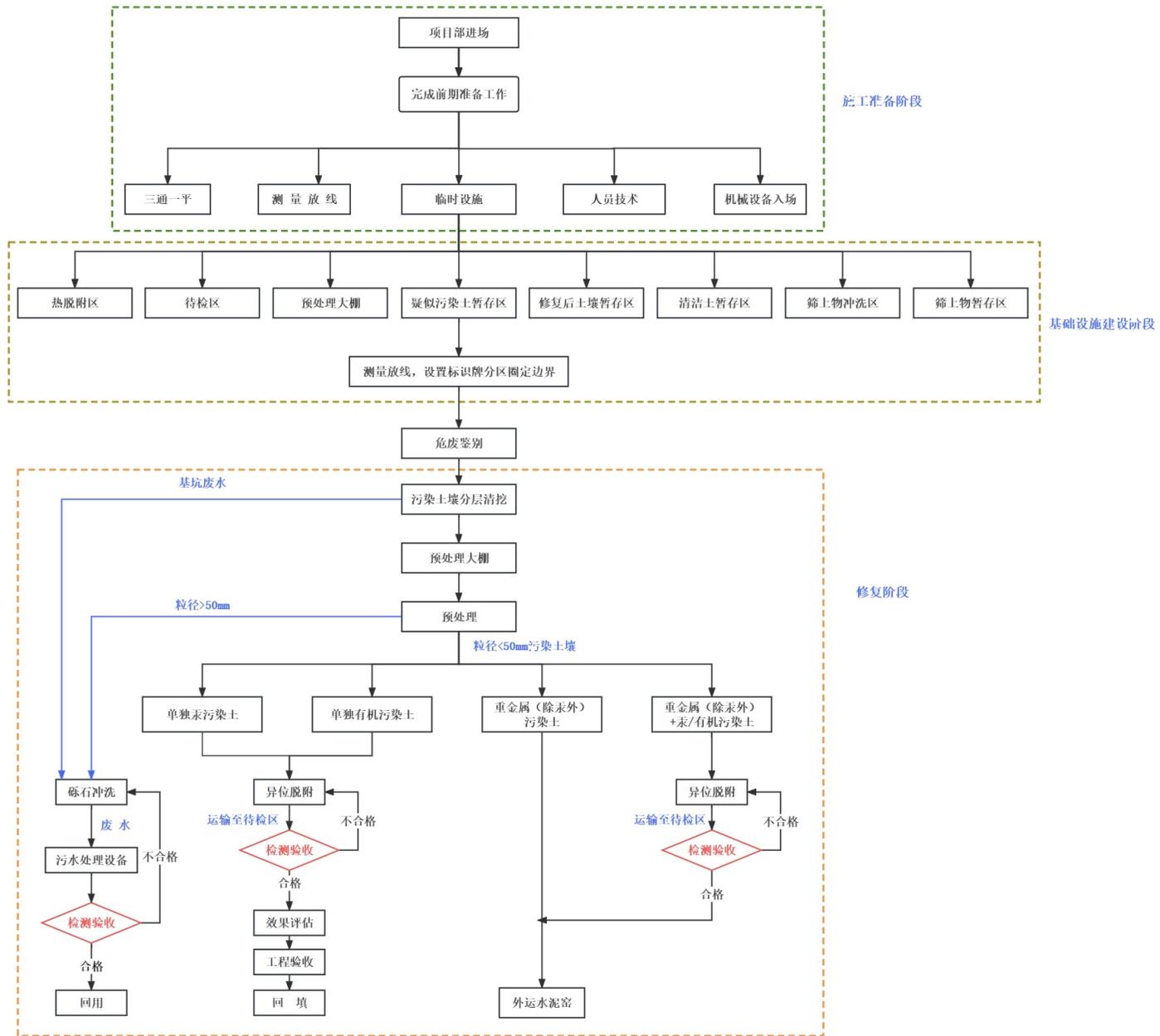


图6.3-1 本场地土壤污染治理总体施工流程图

## 6.4 施工准备

施工准备工作是顺利实施项目的基础和前提，应提前做好施工准备工作的各项计划，确保项目的顺利实施，本项目的施工准备工作流程图见下图。

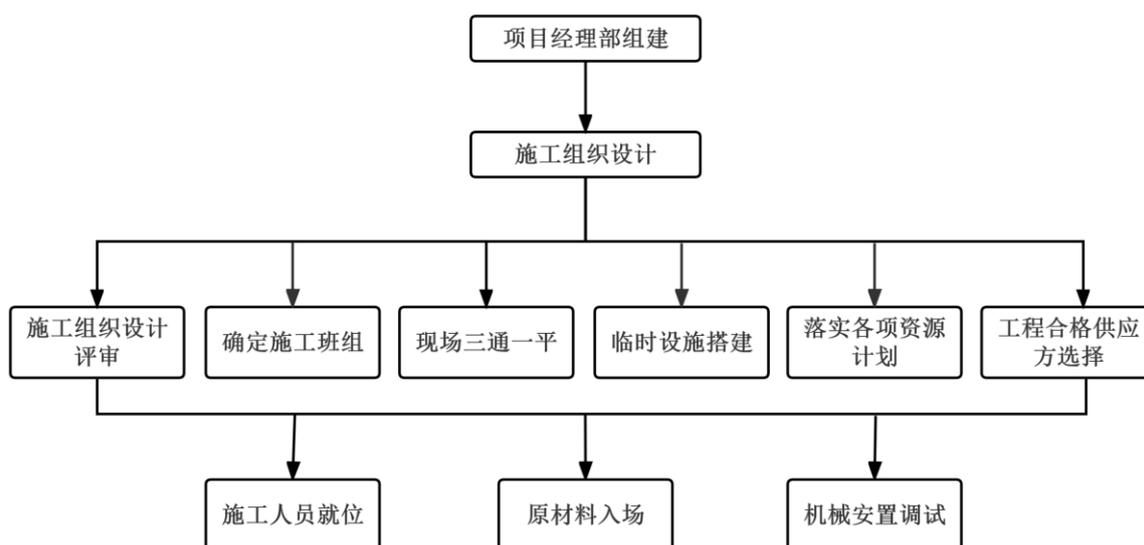


图6.4-1 施工准备工作流程图

### 6.4.1 物资准备工作

项目经理部组建后，应立即将劳动力需用量清单、机械需用量清单、材料需用量清单分别送交相关部门。各部门应立即根据项目经理部要求进行准备。项目经理部生产经理编制施工队伍需用计划，负责落实劳动力。对特殊工种操作人员做好考核工作，做到必须持证上岗。

项目总工根据工程特点及施工方案，在施工前，及时将机械设备计划报施工单位，落实机械设备的进场时间。采购主管提出材料加工计划，落实各种材料的分供方，并根据工程进度计划确定进场日期，做好各种材料进场的检验及复试工作。

### 6.4.2 施工技术准备工作

施工技术是确保本工程顺利实施、实现工程施工目标的基础。主要包括：

#### (1) 技术人员配备、培训准备

技术管理人员的配备（项目经理、技术负责人、土建施工工程师、质量管理质检工程师、测量工程师、安全工程师、资料图档信息管理员）必须按有关规定进行岗前培训，学习相关技术标准规程及技术文件、合同条款以实现项目目标，并持证上岗。施工技术

人员应具有精深的高新技术知识，知识面广，同时具有较强的组织协调能力。

#### (2) 图纸会审、技术交底准备

本项目土壤基坑开挖由专业的设计公司设计，工程开工前由项目技术负责人组织相关专业技术人员熟悉图纸，积极组织参加由业主组织的图纸会审，参加业主进行的设计交底。项目开工后由技术负责人对项目进行书面技术交底，做好充分的技术准备。

#### (3) 施工标准、规范、规程的准备（见国家、行业、地方的法律法规）。

### 6.4.3 施工现场准备

现场施工时根据业主提供的水电接入点的具体位置进行布置管线，充分利用永久工程设施，尽量少建临时性管线工程；对临时道路进行压实；组建项目部办公区域；对施工区域进行围挡；根据项目部劳动力、材料、机械、设备、施工技术及计划，安排人员、材料、机械设备入场。建设单位向施工单位现场点交坐标点和水准点并填写点交记录，由监理工程师见证移交过程并在点交记录上签字，并在监理日记上详细记录点交过程和点交的主要数据。

### 6.4.4 其他准备工作

(1) 现场自备小轿车和卡车各一辆，以方便工程施工业务和施工物资运输。

(2) 由施工单位工程中心组织，对项目管理人员进行上岗、工程施工前的培训与教育工作。

(3) 确定工程管理网络，明确分部分项工作的具体责任人，确保项目施工过程中遇到问题第一时间找到责任人。

(4) 制定好详细的施工进度计划、机械投入使用计划、周转材料投入计划等。

(5) 由施工单位工程中心按施工计划组织施工所需劳务，劳务队伍均是参加过该公司优质工程施工的作业班组，特种作业人员均需持证上岗。对于危险作业人员，及时办理相关保险手续。

## 6.5 施工平面布置

### 6.5.1 布置原则

(1) 依据本工程特点和各施工阶段的施工要求，综合考虑施工任务，平面布置合理，尽量节约施工用地。

(2) 按照本工程各施工专业划分施工用地，避免各专业用地交叉而造成的相互影响干扰。

(3) 在保证场内交通运输畅通和满足施工要求的前提下，合理布置运输道路，保证运输畅通，尽量使用场区内原有道路。最大限度的减少场内二次搬运。

(4) 施工区域的划分应符合施工流程要求，尽量减少本工程各专业施工与其他项目的干扰。

(5) 现场布置符合施工现场卫生及安全技术要求和防火规范。

(6) 现场布置满足环境保护要求，尽量避免对周围环境的干扰和影响。

(7) 现场平面布置中充分考虑好施工机械设备、办公、道路、现场出入口、临时堆放场地等的优化合理布置。充分考虑施工场地状况及场地主要出入口交通状况。现场出入口设置洗车池。

(8) 施工现场设置硬化道路，加工场地要做表面硬覆盖处理，防止施工现场尘土飞扬。

## 6.5.2 布置内容

(1) 招标文件中对施工现场布置的有关要求。

(2) 现场的实际情况和勘察成果。

(3) 现场红线、水源、电源、道路的位置。

(4) 现场已有建设项目的概况以及拟建建筑的概况和后期本工程场地的设计规划等。

(5) 本工程的设计资料。

(6) 本工程的总体布局（包括热脱附区、待检区、预处理大棚、修复后土壤暂存区、清洁土暂存区、疑似污染土暂存区、筛上物冲洗区、筛上物暂存区、密闭开挖大棚、危废车间、废水处理站、场内道路、办公区等）。

(7) 本工程有关安全文明施工、消防及环境保护的要求。

## 6.5.3 施工平面管理

(1) 平面管理总原则

在工程实施前，制定详细的大型机具使用、进退计划，主材及周转材料生产、加工、堆放、运输计划，以及各工种施工队伍退场调整计划。同时制定各计划的具体实施方案，严格依照执行标准，奖罚条例，实施施工平面的科学，文明管理。

## （2）平面管理计划的确定

施工平面科学管理的关键是科学的规划及周密详细的具体计划，在工程进度网络计划的基础上形成主材、机械、劳动力的进退场、布设网络计划，以确保工程进度、充分、均衡的利用平面为目标，制定出切合实际情况的平面管理实施计划。

## （3）平面管理计划的实施

根据工程进度计划的实施调整情况，分阶段发布平面管理实施计划，包含时间计划表、责任人、执行标准、奖罚标准。计划执行中，不定期召开调度会，经充分协调研究后，发布计划调整书。经理部负责组织阶段性的和不定期的检查监督，确保平面计划的实施。

## （4）平面管理办法

①施工平面管理由项目经理总负责，由技术负责人和工程部组织实施。

②施工现场按照《广东省建设用地土壤污染修复现场环境信息公开与标识指南》的要求设置必要的图和牌。

③按照总体规划要求做好平面布置，主要包括：现场办公临设布置、热脱附区、待检区、预处理大棚、修复后土壤暂存区、清洁土暂存区、疑似污染土暂存区、筛上物冲洗区、筛上物暂存区、密闭开挖大棚、危废车间布置、洗车槽、现场排水等排污布置。施工现场要加强场容管理，做到整齐、干净、安全、节约，力求均衡生产。

④施工现场切实做到工完场清，施工垃圾要集中堆放，及时清运，以保持场容整洁。

⑤办公区，场外生活区参见文明施工有关规定。

## 6.5.4施工总平面布置

佛山照明禅城总部厂区北区地块污染土壤修复项目施工区共布置热脱附区、待检区、预处理大棚、密闭开挖大棚、修复后土壤暂存区、清洁土暂存区、疑似污染土暂存区、筛上物冲洗区、筛上物暂存区、废水处理站、办公区、危废车间、洗车区等，均布置在地块无污染区域。**施工布置可根据实际修复时间要求、外运时间段要求和现场施工顺序进行调整。**

### （1）热脱附区和待检区

土壤修复计划采用异位热脱附技术处理含汞和有机污染土壤，需要对待修复土壤进行开挖，将含汞和有机污染土运送至该区域，进行筛分处理后投加进入热脱附装置进行反应，处理后的土壤临时堆存并进行检验，检验合格后根据污染土类型外运或放置清洁

土区。

热脱附区域设置进料大棚、出料大棚、热脱附设备放置区，区域采用密闭膜结构大棚，防止污染向大气扩散，并配套废气处理设备。本次设计的热脱附区的规划面积为4000m<sup>2</sup>，地面采用C30混凝土硬化。

热脱附后污染土分批次按照污染类别放置至待检区，设有汞、石油烃、乙苯3个待检区，总规划面积为1500m<sup>2</sup>，地面采用C30混凝土硬化。

#### (2) 密闭开挖大棚

乙苯污染土区域(6号修复区)涉及挥发性有机物开挖，采用膜结构密闭负压大棚，规划面积为2200m<sup>2</sup>。大棚均配套尾气处理系统，由引风机不断抽出棚内空气进行处理后排放，总体上使棚内气压微小于棚外，形成棚内空气不主动外泄的微负压环境，控制产生空气中的二次污染。

#### (3) 预处理大棚

预处理大棚用于污染土筛分、调节水分工作，规划面积为2500m<sup>2</sup>，采用钢构微负压大棚，地面采用C30混凝土硬化。车间设置污染土筛分区以及待转运区，并配套废气处理设备。

#### (4) 修复后土壤暂存区

汞、有机物污染土热脱附后经检测，污染物浓度达到目标修复值，暂存于该区域，待修复效果评估后处置。修复后土壤暂存区规划面积为5000m<sup>2</sup>，地面采用C30混凝土硬化，周边设置排水沟。

#### (5) 清洁土暂存区

对待修复土壤进行开挖，对于错层清洁土和放坡土需设置清洁土暂存区来临时放置。本次设计的清洁土暂存区的规划面积为5000m<sup>2</sup>，底部采用两布一膜防渗。

#### (6) 疑似污染土暂存区

本项目对于污染层上方0.5m清洁土当作疑似污染土处理，对疑似污染土进行检测，检测超标当作污染土修复，检测不超标则当作清洁土处理。疑似污染土暂存区的规划面积为3000m<sup>2</sup>，采用C30混凝土硬化，周边设置排水沟。由于地块可布置区域有限，拟在清挖完部分污染土基坑后进行效果评估，修复效果评估通过后填平硬化作为疑似污染土暂存区。

#### (7) 筛上物冲洗区和暂存区

土壤修复过程中会进行筛分处理后，筛分后产生土壤筛上物，土壤筛上物需要进行

检测，达标后才能进行处置，因此需要设置土壤筛上物暂存区来临时放置土壤筛上物。筛上物冲洗区规划面积为300m<sup>2</sup>，暂存区规划面积为3000m<sup>2</sup>，地面均采用C30混凝硬化，周边设置排水沟。

#### (8) 废水处理站

本修复项目产生的废水主要包括地表积水、洗车废水、筛上物清洗废水、基坑废水、热脱附废水等，占地规划面积为800m<sup>2</sup>，底部采用水泥硬化防渗。废水处理站功能区包含污水处理设备和支架池（沉淀池和暂存池）。设2个暂存池，用于处理后废水暂存待检及循环使用。

表6.5-1 主要构筑物一览表

序号	名称	规划面积 (m <sup>2</sup> )	功能	防渗
1	热脱附区	4000	修复污染土	硬化
2	待检区	1500	修复后污染土检测	硬化
3	预处理大棚	2500	筛分污染土	硬化
5	修复后土壤暂存区	5000	暂存外运污染土	硬化
6	清洁土暂存区	5000	暂存清洁土	两布一膜
7	疑似污染土暂存区	2000	暂存疑似污染土	硬化
8	筛上物冲洗区	250	冲洗筛上物	硬化
9	筛上物暂存区	2000	暂存筛上物	硬化
10	废水处理站	800	厂区施工或修复废水处理	硬化
11	密闭开挖大棚	2200	乙苯污染土开挖	膜结构密闭负压 大棚

#### 6.5.4.1 办公区布置

办公区与生活营地统一设置，生活营地设在办公区内，经平整后摆放集装箱作为现场办公用房，休息用房，库房等。

#### 6.5.4.2 施工辅助设施布置

(1) 消防安全设施本工程实施时，根据消防有关标准，在仓库，施工辅助生产区等配备适量的干粉及泡沫灭火器和沙箱。每台作业机械配备灭火器，随作业车辆佩带。

(2) 设置警戒带，本场地已采取彩钢围墙全封闭，并安排专人看守场地。但考虑本项目清挖后，场内将形成坑槽，故本方案将对清挖地块基坑四周安装防护栏。

(3) 设置安全警示牌，在大门门柱上书写安全标语，在门卫房进出口，污染土清

理现场,施工现场内的各种运输道路转弯处等位置设置警示标语,在围挡上设置警示灯。

#### 6.5.4.3场内转运道路

场内道路是指为了实现污染地块开挖和转运而在污染地块内铺设的道路,用于转运表层渣土以及污染土壤。临时道路与需要清挖的地块允许有部分的重叠,在未设计临时道路的污染地块内禁止机具通行,临时道路随开挖进度同时消退。为防止扬尘、土壤遗撒等二次污染,本项目场内临时运输道路全部要求进行地面硬化。临时道路规划面积1300m<sup>2</sup>。

#### 6.5.4.4场内水电和消火栓布置

应根据踏勘情况,布置场内水电。水路,电路布设应以紧邻场区围墙为原则。依据《消火栓系统设计规范》修复场区内需布设消火栓。

#### 6.5.4.5其他

地块内设置药剂库,规划面积为20m<sup>2</sup>,主要用于存放水处理设备施工用药、大气处理设施材料等。

洗车区采用C30防渗混凝土15cm硬化,旁边设置三级沉淀池,规划占地面积为30m<sup>2</sup>。

危废车间主要用于存放废气处理后的废活性炭和水处理产生的底泥,规划面积为20m<sup>2</sup>。

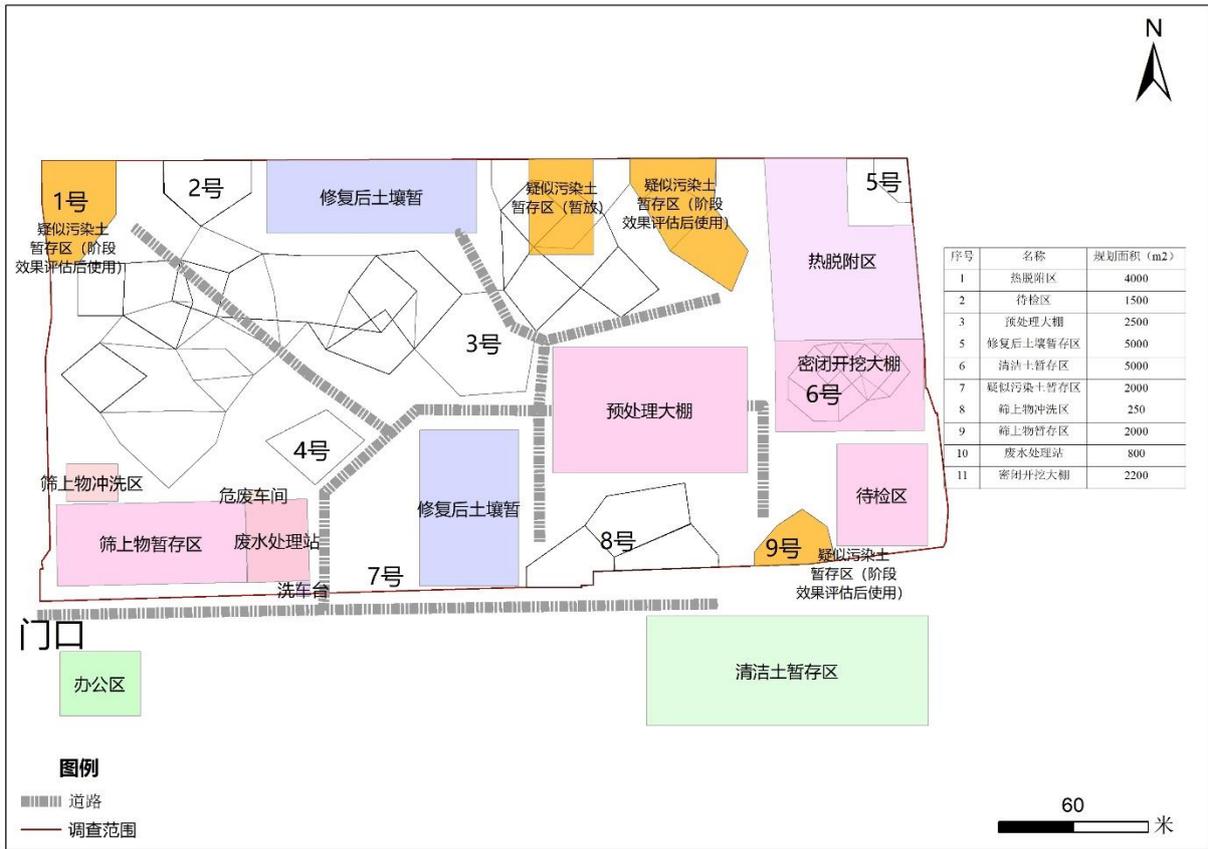


图6.5-1 施工总平面布局图

## 6.6 施工工期

工程施工部署总体划分为三个阶段：工程准备阶段、工程实施阶段、验收与竣工撤场阶段。计划工期约为382天，实施内容主要包括修复施工准备、修复施工、验收资料整理等工作，不包含招投标、汞污染土热脱附中试实验、污染土危废鉴别、深基坑阶段效果评估、实施方案和效果评估评审及备案、地块移出名录等。

具体进度安排如下：

修复方案编写：35日历天，不包含评审与备案时间。

施工准备与基础设施建设：45日历天，场地三通一平、测量放线、地质勘察、大棚基础建设、地面防渗硬化、尾气处理设备安装和其他功能区建设。为保证施工进度，该阶段投入劳动力较多，进行多工段同时施工。树木移栽需在树木专章工作评审通过后进行。

基坑支护与止水帷幕：35日历天，清挖边界跟红线重叠，确保本工程实施不对相邻地块造成二次污染，深基坑开挖基坑支护所用时间已在基坑土方开挖时间中体现。该项工作需在详细地勘评审通过后进行。

基坑土方开挖：278日历天，根据污染土分层开挖和接受情况决定工期长短，主要施工内容有土壤清挖及场内运输、基坑验收、深基坑开挖支护等，为保证施工进度，该阶段投入劳动力较多，进行多工段同时施工。

阶段效果评估：40日历天，时间包含在基坑土方开挖内。区域无污染土范围小，无合适的区域堆放全场清挖产生的疑似污染土，需通过回填部分基坑作为疑似污染土放置区，该阶段需投入人力进行资料核对和报告编写，第二层开挖时间适时延后进行。基坑回填与硬化可与其他区域污染土开挖同步进行。

污染土预处理：278日历天，主要包括土壤筛分破碎，含水率调节等土壤处理。

污染土外运：277日历天，外运污染土方量为14263.815m<sup>3</sup>，每天外运200-300m<sup>3</sup>，需用时48-72天，考虑分层开挖时序，本次按277天计。

原地异位热脱附：150日历天，修复污染土前需预留5天进行设备调试和预处理。修复工程拟投入2台热脱附设备，2台设备处理速率共10-12m<sup>3</sup>/h，每天运行16h，一天可以处理160-192m<sup>3</sup>污染土，热脱附污染土24162.37m<sup>3</sup>需要126-152天。汞和有机污染土分布在0-4m，热脱附完成时间需根据相应污染土开挖情况进行调整，故热脱附用时按150天计。

修复效果评估：45日历天。包含基坑、侧壁验收、热脱附土验收、水泥窑处置验收，不包含送审等外部因素影响时间。

工期制约因素：

- 1、不可抗力因素（如天气或政策管制）；
- 2、地块内污染土鉴定为危险废物，接收单位数量受限，外运速度会受限制；
- 3、污染土接收单位接收量需与该修复工程的污染土外运量匹配（每天外运200-300m<sup>3</sup>）；
- 4、重金属污染土送至水泥窑，需预留重金属污染土完全处置完成的时间；
- 5、地块周边有居民区，污染土外运时间段可能会受到政府规定或社会舆论等方面的影响；
- 6、含汞污染土需采用间接热脱附的方式进行修复，间接热脱附设备每日污染土处理量比直接热脱附设备处理量小，处理速度会受限制。热脱附设备需保证160-192m<sup>3</sup>/d的处理速率。
- 7、由于修复范围占厂区面积的比例超过40%，需进行基坑阶段验收，回填硬化后做疑似污染土放置区和修复后土壤待检区使用，阶段效果评估评审时间不可控，会直接影

响回填硬化开始时间，进而影响其他区域基坑开挖进度。

表6.6-1 工期安排表

项目名称	开始日期	结束日期	工期
修复方案编写	1/1	2/4	35
施工准备与基础设施建设	1/10	2/23	45
基坑支护与止水帷幕	1/20	2/28	40
基坑土方开挖	2/29	12/2	278
第一层污染土开挖与转运	2/29	3/12	13
第一层污染土基坑与侧壁采样检测	3/13	3/28	16
回填基坑阶段效果评估	3/29	5/7	40
通过阶段评估基坑回填与硬化	5/8	5/12	5
第二层污染土开挖与转运	5/13	5/19	7
第二层污染土基坑与侧壁验收采样检测	5/20	6/4	16
第三层污染土开挖与转运	6/5	6/17	13
第三层污染土基坑与侧壁采样检测	6/18	7/3	16
第四层污染土开挖与转运	7/4	7/16	13
第四层污染土基坑与侧壁采样检测	7/17	8/1	16
第五层污染土开挖与转运	8/2	8/8	7
第五层污染土基坑与侧壁采样检测	8/9	8/24	16
第六层污染土开挖与转运	8/25	8/28	4
第六层污染土基坑与侧壁采样检测	8/29	9/13	16
第七、八层污染土开挖与转运	9/14	9/17	4
第七、八层污染土基坑与侧壁采样检测	9/18	10/3	16
深基坑效果评估	10/4	11/2	30
污染土检测不合格后扩挖	11/3	11/16	14
扩挖后基坑与侧壁采样检测	11/17	12/2	16
污染土预处理	2/29	12/2	278
水泥窑协同处置	3/1	12/2	277
原地异位热脱附	3/5	8/1	150
修复效果评估	12/3	1/16	45
总计	24/1/1	24/1/16	382

佛山照明禅城总部厂区北区地块修复工程进度计划表

序号	项目名称	开始时间	结束时间	施工 天数	2024 年																																																											
					1 月					2 月					3 月					4 月					5 月					6 月					7 月					8 月					9 月					10 月					11 月					12 月				
					1	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	28	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	31
1	修复方案编写	2024/1/1	2024/2/4	35	■																																																											
2	施工准备与基础设施建设	2024/1/10	2024/2/23	45	■																																																											
3	基坑支护与止水帷幕	2024/1/20	2024/2/28	40	■																																																											
4	基坑土方开挖	2024/2/29	2024/12/2	278	■																																																											
5	污染土预处理	2024/2/29	2024/12/2	278	■																																																											
6	水泥窑协同处置	2024/3/1	2024/12/2	277	■																																																											
7	原地异位热脱附	2024/3/5	2024/8/1	150	■																																																											
8	修复效果评估	2024/12/3	2025/1/16	45																																■																												
	总计	2024/1/1	2025/1/16	382	■																																																											

北区基坑土方开挖进度计划表

序号	项目名称	开始时间	结束时间	施工 天数	2024 年																																																	
					3 月					4 月					5 月					6 月					7 月					8 月					9 月					10 月					11 月					12 月				
					5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	31	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	31	5	10
2	第一层污染土开挖与转运	2024/2/29	2024/3/12	13	■																																																	
3	第一层污染土基坑与侧壁采样检测	2024/3/13	2024/3/28	16	■																																																	
4	回填基坑阶段效果评估	2024/3/29	2024/5/7	40	■																																																	
5	通过阶段评估基坑回填与硬化	2024/5/8	2024/5/12	5						■																																												
6	第二层污染土开挖与转运	2024/5/13	2024/5/19	7						■																																												
7	第二层污染土基坑与侧壁验收采样检测	2024/5/20	2024/6/4	16						■																																												
8	第三层污染土开挖与转运	2024/6/5	2024/6/17	13						■																																												
9	第三层污染土基坑与侧壁采样检测	2024/6/18	2024/7/3	16						■																																												
10	第四层污染土开挖与转运	2024/7/4	2024/7/16	13						■																																												
11	第四层污染土基坑与侧壁采样检测	2024/7/17	2024/8/1	16						■																																												
12	第五层污染土开挖与转运	2024/8/2	2024/8/8	7						■																																												
13	第五层污染土基坑与侧壁采样检测	2024/8/9	2024/8/24	16						■																																												
14	第六层污染土开挖与转运	2024/8/25	2024/8/28	4						■																																												
15	第六层污染土基坑与侧壁采样检测	2024/8/29	2024/9/13	16						■																																												
16	第七、八层污染土开挖与转运	2024/9/14	2024/9/17	4						■																																												
17	第七、八层污染土基坑与侧壁采样检测	2024/9/18	2024/10/3	16						■																																												
18	深基坑效果评估	2024/10/4	2024/11/2	30						■																																												
19	污染土检测不合格后扩挖	2024/11/3	2024/11/16	14						■																																												
20	扩挖后基坑与侧壁采样检测	2024/11/17	2024/12/2	16						■																																												

## 6.7 基坑支护设计

### 6.7.1 基坑支护方案选型

本基坑支护设计主要满足污染土壤清挖安全需要，基坑最大开挖深度8m，根据现场的钻探记录，北区地块第四系地层垂直剖面结构如下：

①素填土（Q4ml）：土层层底深度范围为1.0~4.5m，呈红褐、灰黑、灰棕、红棕、浅灰、黑色等颜色，以粉土、粘性土为主堆填而成，稍湿，结构松散，局部含砂质粘土和少量碎石；

②粘土（Q4al）：土层层底深度范围为1.0~9.0m，分层厚度范围为1.0~8.0m，呈灰黑、黑、深灰、棕褐色等，饱和，软塑，以粘粒为主，富含有机质及少量粉细砂，局部含砂粒；

③细砂（Q4al）：土层层底深度范围为1.2~10.0m，分层厚度范围为0.9~8.8m，呈浅灰黑、灰白色、灰色，饱和，松散，主要成分为石英及细粒组成，级配不良，含泥质较少，磨圆一般，呈次棱角状，局部含淤泥团。

根据前期的调查报告可知，地下水位高，一般埋深1.42~3.21m，由此可见，本地块深基坑所在区域，地下水富水性较好。本基坑支护设计可采取的几种基坑支护形式如下：

表6.7-1 基坑支护形式简介

结构形式	支护方式	支挡构件或护坡方式	适用条件
放坡	自稳边坡	根据土质按一定坡率放坡（单一坡或分阶坡），土工膜覆盖坡面，抹水泥砂浆或喷混凝土（砂浆）保护坡面，袋装砂、土包反压坡脚、坡面。当土质较软，坡脚采用搅拌桩加固。	基坑侧壁安全等级宜为三级；基坑周边开阔，相邻建（构）筑物距离较远，无地下管线或地下管线不重要，可以迁移改道；坑底土质软弱时，为防止坑底隆起破坏可通过分阶放坡卸载；当地下水位高于坡脚时，应采取降水措施。
土钉墙	钢筋网喷射混凝土面层，土钉。		基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地带；基坑深度不宜大于12m；当地下水位高于基坑地面时，应采取降水或截水措施；不适用于深厚淤泥、淤泥质土层、流塑状软黏土和地下水位以下土层。

锚固式 (单层 或多层 )	上列桩型加预应力或非预应力灌浆锚杆、螺旋锚或灌浆螺旋锚、锚定板(或桩);冠梁;围檩。	可用于不同深度的基坑,支护体系不占用基坑范围内空间,但锚杆需伸入邻地,有障碍时不能设置,也不宜锚入毗邻建筑物地基内;锚杆的锚固段不应设在灵敏度高的淤泥层内,在软土中也要慎用;在含承压水的粉土、粉细砂层中应采用跟管钻进施工锚杆或一次性锚杆。
------------------------	--	---

从以上简介可知,以上几种基坑支护形式均有一定的防渗效果,本地块基坑最大开挖深度为8m,可采用放坡+挂网喷砼施工形式进行,靠近红线区域可采用水泥土桩复合土钉墙支护。具体各基坑支护情况如下:

- ① 北区1号、3号的北侧和5号北侧与东侧清挖边界跟红线重叠,与马路相邻,为确保本工程实施不对相邻地块造成二次污染,拟采用水泥土桩复合土钉墙支护形式,支护桩设计深度为2m。
- ② 北区7号、8号和9号南侧清挖边界部分区域跟红线重叠,为确保本工程实施不对相邻地块造成二次污染,拟采用水泥土桩复合土钉墙支护形式,7号南侧支护桩设计深度为4m,9号支护桩设计深度为2m。
- ③ 2号、3号西侧和中区、8号的西侧(面积共1610.63m<sup>2</sup>)开挖深度在5m以上,采用放坡+挂网喷砼施工形式进行。
- ④ 其他基坑清挖采取放坡支护。

根据前期场地调查,各地下水监测井内稳定水位埋深在1.42~3.21m之间,地下水的渗出会影响坑壁稳定,需做好基坑底部排水,必要时在开挖基坑外围建设止水帷幕。

以上支护形式为初步设计,具体以专家论证后的基坑支护专项方案为准。

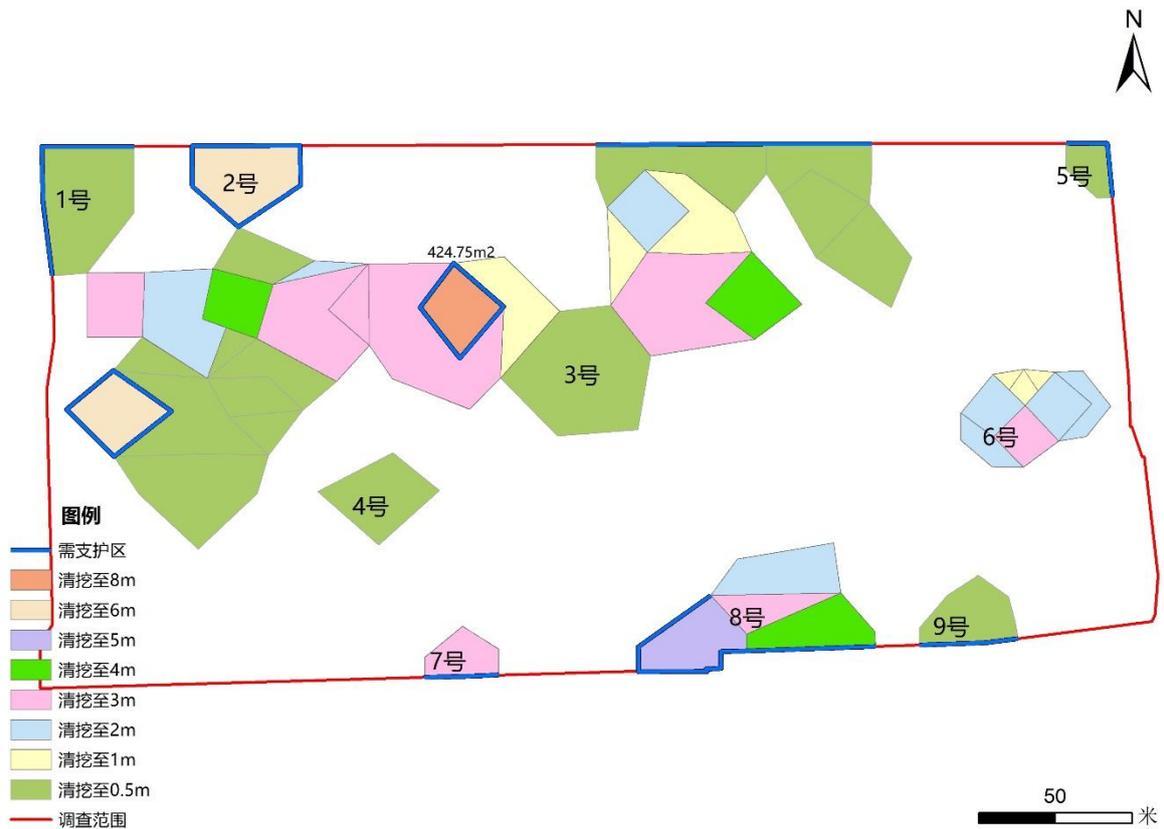


图6.7-1 支护区位置图

表6.7-2 基坑支护类型与长度

支护类型	位置	支护桩设计深度	支护桩设计长度
水泥土桩复合土钉墙 支护	清挖边界跟红线重叠处	2m	295m
放坡+挂网喷砼	3号修复区清挖至8m区	9m	83m
放坡+挂网喷砼	3号修复区清挖至6m区	7m	89m
放坡+挂网喷砼	2号修复区	7m	107m
放坡+挂网喷砼	8号修复区清挖至5m区	6m	80m

## 6.7.2 施工顺序

### (1) 放坡

第1步：平整场地并施工旋喷桩；

第2步：分层分段开挖并挂网喷锚开挖至坑底。

### (2) 水泥土桩复合土钉墙支护

第1步：整场地，先进行钢板桩的施工；

第2步：分层分段开挖至第一道土钉下0.3m，施工第一道土钉；

第3步：待第一道土钉强度达到设计强度的75%后，分层分段开挖至第二道土钉下0.3m，施工第二道土钉；

第4步：重复以上步骤开挖至基坑底。

### （3）挂网喷砼

1) 挂钢筋网铺设前，将凹凸不平的坡面尽量喷平，先素喷4cm厚一层，待底浆达到强度的70%后，自上而下布设钢筋网。

2) 钢筋网由14@1500（长度L=1000mm）钢筋（平面梅花形布置）插筋固定，钢筋端部折弯钩向上嵌入土中固定钢板网。

3) 钢筋网必须紧贴混凝土表面，以保证钢筋网保护层厚度。

4) 布设钢筋网完成后，经监理工程师验收后方可进行下道工序。

5) 喷射砼。在喷射混凝土前按照设计及规范标准对开挖断面进行检验，现场设置混凝土干料储存罐，小型搅拌机拌合后由运输车运到工作面，经湿喷机二次拌和，以高压风为动力，经喷头射至受喷面。

喷射混凝土应分段，分片由下而上顺序进行，每段长度不宜超过6m。作业开始时，应先送风，后开机，再给料。结束时，应待料喷完后再关机，向喷射机供料时应连续均匀，机器正常运转时，喷射机内应保持足够的存料。喷头与受喷面宜垂直，距离应与工作压力相适应，以0.6~1.2m为宜。有钢筋网时，喷射距离可小于0.6m，喷射角度可稍偏一些，偏角控制在20度以内。喷射开始时，应减小喷头至受喷坡面的距离，并调节喷射角度，以保证钢筋网与坡面间混凝土的密实性。按照从下往上施喷的顺序，呈"S"形运动，喷前先找平受喷面的凹处，再将喷头呈螺旋形缓慢均匀移动，自下而上分2~3次喷射，直到钢筋网完全被覆盖，喷砼过程中，保持喷射机供风稳定，完成或因故中断喷射作业时，将喷射机和输料管内的积料清除干净。

6) 养护。喷射砼终凝2h后，喷水养护，养护时间宜为3-7d。

## 6.7.3 施工要求、工艺和注意事项

### （1）施工要求

1、施工前应仔细查明场地内地下管线的具体位置，并会同建设单位、监理单位和管线权属部门进行共同研究，协同解决管线的迁移、加固、悬吊等问题，确保管线的安全和正常使用。

2、施工必须做好坡顶地面截水、有组织排水和基坑内土方开挖临时降水措施。

3、在基坑开挖过程中，应严格按照设计要求分层开挖，在每道层施工达到设计强度后方可继续开挖，严禁"大锅底"式开挖，严禁超挖，并做好基坑内的排水工作，如在雨季施工必须准备足够的抽水设备，务必保证基底不被长时间浸泡。

#### (2) 土钉枪施工工艺

1、土钉施工按《岩土锚杆（索）技术规程》（CECS22:2005）。

2、土钉杆体采用直径22mm的钢筋。

3、要求压力灌注纯水泥浆，水灰比为0.45~0.55，水泥标号为42.5R普通硅酸盐水泥，注浆压力为0.5~1.0MPa。

4、施工过程中，若土钉遇到基坑外侧障碍物或地下管线时，及时通知设计人员，调整土钉的入射角度和位置，保证基坑的安全。

5、土钉施工必须分层进行，土钉锚固体强度达到设计强度的75%后，方可进行下一层的开挖。

6、处于周边建筑基础下的锚杆（管）应分步间隔施工并及时灌浆。

7、施工过程中若发现地质情况与原地质报告不符，必须及时通知设计人员，以便修改设计，保证基坑的安全。

#### (3) 挂网喷砼施工工艺

1、挂钢筋网铺设前，将凹凸不平的坡面尽量喷平，先素喷4cm厚一层，待底浆达到强度的70%后，自上而下布设钢筋网。

2、钢筋网由14@1500（长度L=1000mm）钢筋（平面梅花形布置）插筋固定，钢筋端部折弯钩向上嵌入土中固定钢板网。

3、钢筋网必须紧贴混凝土表面，以保证钢筋网保护层厚度。

4、布设钢筋网完成后，经监理工程师验收后方可进行下道工序。

5、喷射砼。在喷射混凝土前按照设计及规范标准对开挖断面进行检验，现场设置混凝土干料储存罐，小型搅拌机拌合后由运输车运到工作面，经湿喷机二次拌和，以高压风为动力，经喷头射至受喷面。

6、养护。喷射砼终凝2h后，喷水养护，养护时间宜为3-7d。

#### (4) 止水帷幕

止水帷幕方式可采用普通深搅或高压旋喷桩（普通深搅桩难以施工时采用）帷幕墙，帷幕底部进入中风化泥岩或进入强风化泥岩不小于0.5m，止水帷幕设计深度均为7m。

### (5) 放坡施工方法

1、人工放坡在开挖时，应采用相应的坡面、坡顶和坡脚排水、降水措施。当基坑开挖至地下水位以下且土层中可能发生流砂、流土现象时，应采取降水措施；如土质较好，亦可采用明沟或集水井排水。

2、基坑顶部周边不宜堆积土方或其他材料、设备等，否则应在稳定性验算中作为地面超载予以考虑。

3、人工放坡宜对坡面采取保护措施。护坡措施可采用水泥砂浆抹面、浆砌片石、在坡脚或坡面堆砌砂土袋、打入压脚短钢（木）桩、螺旋锚预坡面、坡面铺设抗拉或防水的塑料布（土工袋）、喷浆或挂网喷射砼等。

4、基坑开挖完成后，应及时进行地下工程施工。在整个地下工程施工期间应进行坡顶位移和地面及邻近建筑物的沉降观测，并做好记录。当发现边坡有失稳迹象时，应立即采取削坡、坡顶减载、土钉支护或坡脚压载等支挡措施。

### 6.7.4 基坑降排水

1、基坑顶、底四周设置排水沟，坡度1%，将雨水及地下渗水导流排入集水井，经泵送排往地面、沉淀后排入市政地下水道。具体集水井位置和数量安排视现场情况确定。沿排水沟每40m左右设一个集水井（1000mm×1000mm,深1000mm），基坑底面不得有凹坑。

2、施工场区内临设、用水区必须作硬化地坪处理。

3、对基坑边出现的裂缝应及时做必要的填补，严防地表水的渗漏。

4、基坑开挖到设计深度后要做好护角和基坑底面的排水沟、集水井内的积水要及时排除。

5、基坑开挖前，应完成地面排水系统，要保持地面排水系统的完善，不得让地面水流入基坑。

6、必要时在开挖基坑外围建设止水帷幕。

### 6.7.5 基坑监测

1、原材料（包括水泥、钢材、砂石、水及外加剂等）的质量检验。

2、土钉检测试验要求：抗拔试验选取总土钉数的1%进行，且不少于10喷射混凝土厚度检测每500于一组每组不少于3。

3、同时，检测数量须满足规范要求。

## 6.7.6 支护工程监测

1、安全监测工作应委托有资质的专业监测单位承担，施工单位应采取有效的安全监测措施。

2、基坑工程监测方案有关图纸。

3、基坑回填至现状地面前，基坑安全工作应列入工程管理的主要任务范畴，现场必须制定应急安全措施并配备足够的抢险加固材料。

4、基坑开挖前应进行基坑降水试验，以检测围护结构的止水效果。

5、如管线先于本工程污染土清挖前施工完毕，则应加强对管线的监测。

## 6.7.7 基坑危险源分析及应急预案

1、基坑工程危险源分析

1) 场地可能存在旧建筑基础；

2) 基坑开挖过程中，支护结构存在变形过大风险；

3) 基坑存在漏水风险；

4) 坡脚全风化或强风化花岗岩泡水易软化；

2、对危险源采取应急预案、措施

1) 基坑开挖过程避免超挖，严格按照设计工况进行施工，土方分层分段开挖，让支撑系统均匀受力，现场预备充足砂包和钢材，支护结构出现踢脚、倾覆变形，或周边地面出现沉陷时，应及时用砂包在支护结构前反压并在坑底与坑壁架设型钢斜撑；

2) 当支护结构出现漏水时，若出水量较小，须进行封堵或隔泥隔砂引流处理；若出水量较大，必要时须回填补打旋喷桩进行止水，以达到止水效果，然后再次开挖；

3) 严禁坡脚泡水，坡脚施工水或地面水需及时抽排；

4) 基坑开挖前须对已勘探钻孔进行封堵，以及引孔管桩施工完成后及时封底处理。

3、基坑开挖前，应预计事故发生的可能性，做好基坑抢险加固的准备工作，储备止水堵漏的必要器材，现场准备好加固前的钢材、水泥、编织草袋等。

## 6.8 施工组织

该污染地块修复工作整体分为三个阶段，总体施工流程可分为施工准备流程、土壤修复流程和验收移交流程。

首先进行第一阶段为准备工作，包括进行临时设施建设、污染土危险废物鉴别与备

案、修复实施方案编写与备案；完成后再进行第二阶段修复工作，包括0~8m污染土修复工作，开挖过程中需进行部分基坑侧壁检测，验收合格再进行下一层开挖；待所有工作修复完成后，进行第三阶段验收工作。

#### （1）施工准备流程

组建项目部→清表平整→放线定位→施工道路→临时水电→地块建设→临时设施建设。

#### （2）土壤修复流程

测量放线→土壤开挖、筛分→污染土、建渣根据修复工艺进行修复→分阶段、分批次验收→污染土外运水泥窑协同处置。

#### （3）验收移交流程

竣工移交流程包括竣工验收流程和地块移交流程。

##### 1) 竣工验收流程

验收申请→文件审核→现场检查→专题论证→修复效果评价→验收；

##### 2) 地块移交流程

地块平整→资料移交→办理移交手续。

## 6.8.1 施工前准备

施工前准备工作主要包括现场交接、手续办理、机械设备进场、地块“三通一平”、测量放线、临时设施建设等。

施工单位在工程施工前组建项目班子和工程所需的各专业技术管理人员，在合同规定时间之内进驻施工现场。在现场勘查的基础上，重点完成以下工作。

#### （1）现场交接和地块确定

接管施工现场，与建设单位办理现场交接手续；根据建设单位的要求并协调一致后根据施工总平面布置图来确定施工现场的使用范围，安排现场地块道路的使用、临时设施的施工。

#### （2）污染土危险废物鉴别与备案、修复实施方案编写与备案

由生态环境部部长信箱中《关于污染土壤外运是否需要对其进行危废鉴定的回复》可知，对于异地处置污染土需进行危废鉴别，具体流程见5.4.1.2章节。同时，在污染土动工之前，需按层修复实施方案编制、评审与备案。

#### （3）测量定位桩点和资料的移交

进场后，与建设单位及时办理场区红线桩和测量定位桩的确认，并进行相关资料的交接和手续办理。

#### (4) 临时水电条件落实

进场后，与建设单位落实施工现场电源、水源和污水排放口等施工条件。

#### (5) 与监理单位的协调和沟通

进场后，施工单位将及时与监理单位进行联系和沟通，听取监理单位的要求、意见和建议，并按其要求开展相关工作。

#### (6) 与生态环境局和第三方效果评估单位的协调和沟通

进场后，施工单位将及时与生态环境局及第三方效果评估单位进行联系和沟通，听取相关要求、意见和建议，并按其要求开展相关工作。

#### (7) 特殊要求和相关事宜的落实

进场后，将及时与建设单位、监理单位、地块调查单位落实现场特殊要求和重大事宜，并制定相关措施方案，进行及时安排和实施，以满足各方的要求。

#### (8) 与政府相关部门的衔接和沟通

进场后，施工单位将及时与政府有关部门取得进一步联系，取得政府相关部门的支持，为工程施工创造良好的外部条件。

### 6.8.2 进场各项准备

#### (1) 管理人员就位和岗位责任制的建立

按照现场组织管理机构和项目经理部岗位设置，及时安排项目经理部项目班子和各工程、技术、管理和技术工种就位，建立健全项目经理部岗位责任制，根据岗位职责，快速有效地开展各项工作。

#### (2) 技术准备工作

技术准备工作主要包括以下工作：

##### ① 施工组织设计和方案编制报审

根据现场交接、交底以及对有关情况的进一步掌握，组织技术人员完善、优化施工组织设计，及时报送建设单位安排专家会议论证；同时按照施工进度要求，提前编制各专项施工技术方案，以指导整个工程的施工。

本工程总体施工方案编制计划如下表所示。

**表6.8-1 总体施工方案编制计划一览表**

序号	施工项目	编制部门	审批部门	最迟完成时间
1	施工组织设计	项目技术部	公司技术部及工程部	项目进场1周内
2	测量方案	项目工程部	公司技术部及工程部	项目进场1周内
3	污染土处置专项方案	项目技术部	公司技术部及工程部	项目进场1周内
4	监测与自验收方案	项目技术部	公司技术部及工程部	项目进场1周内
5	安全文明施工方案	项目工程部	公司技术部及工程部	项目进场1周内
6	临时用电专项方案	项目工程部	公司技术部及工程部	项目进场1周内
7	季节性施工专项方案	项目工程部	公司技术部及工程部	项目进场1周内
8	应急预案	项目工程部	公司技术部及工程部	项目进场1周内

注：做到初步设计和施工组织设计先行、可行、先进，方案指导生产。同时根据实际情况进行调整和细化。

#### ②施工测量和控制网布设

进场后，及时报批定位和测量放线施工方案，根据市政规划红线桩、测量定位水准点，进行平面控制网和高程控制网的布设，并对原施工的测量控制网和桩点进行复测和核验；同时做好测量桩位的保护。

#### ③制定施工进度计划和相关计划

根据合同约定和建设单位要求，制定工程施工总控制进度计划、阶段施工进度计划；根据进度计划制定各配套计划，包括劳动力计划、药剂采购进场计划、施工机械设备进场计划和分包队伍进场计划、检验试验计划、资金计划等，及时报送建设单位和监理单位审批确认。

#### ④技术安全交底

以施工组织设计和各专项施工技术方案为依据，在各工序施工之前，分级进行认真详尽、有针对性和可操作性的技术安全交底，使所有工程技术管理人员、作业组、施工操作人员在施工开始前做到明确工作任务。

#### ⑤物资设备材料计划

按照工程总控制进度计划、分阶段施工进度计划以及配套计划，根据图纸编制各种物资、设备、材料计划，及时组织加工、采购和按计划进场。

### (3) 施工生产条件准备

施工生产条件准备主要包括以下工作：

① 大型专业修复设备进场安装、调试

本工程修复工艺复杂，现场用到多套大型专业修复设备。进场后，做好土壤预处理（筛分、含水率调节等预处理）、热脱附等大型专业修复设备及污水一体化设备的安装、调试以及其他生产准备工作，并及时向建设单位和监理单位申报。拟投入的大型专业修复设备如下表所示。

表6.8-2 拟投入的大型专业修复设备表

序号	设备名称	数量	主要用途
1	ALLU	1台	污染土壤破碎、修复处置
2	一体化污水处理设备	1套	建渣冲洗废水、洗车废水、基坑废水处理、热脱附废水处理
3	雾炮机	4台	现场降尘
4	热脱附设备	2台	修复含汞和有机物污染土

②常规施工机械设备、机具、仪器和工具准备

根据工程需要，将迅速落实施工阶段各种常规机械设备、机具、仪器和工具，按计划进场。

本工程常规施工机械、机具的配备及进场计划如下表所示。

表6.8-3 拟投入的常规施工机械设备表

序号	设备名称	数量	主要用途
1	挖掘机	4台	地块平整、污染土壤开挖
2	铲车	1台	地块平整
3	吊车	1台	基础、修复设施吊放
4	洒水车	1台	现场降尘
5	潜水泵	2台	基坑水抽出，废水处理等
6	柴油发电机	1台	临时供电
7	工程车	1台	现场机动
8	旋耕机	3台	解吸处理
9	建筑垃圾破碎锤	1台	地面破碎
10	自卸汽车	12辆	地块污染土内倒、建筑垃圾清理
11	RTK测绘仪	1台	现场测量放线
12	水准仪	2台	现场测量
13	PID	2台	有机物快速检测
14	XRF	2台	重金属快速检测

③药剂供应单位落实及药剂供应

进场后，抓紧落实为本项目供应药剂的厂家，并及时向建设单位和监理单位申报，请建设单位和监理单位考察或审批认可，便于做好药剂生产准备工作，主要使用药剂为污水处理药剂。

施工单位将根据修复进度计划安排编制药剂需求计划和分阶段进场计划，进行药剂备料和采购订货，按计划及时组织生产和进场。

#### ④现场临时水电施工

按照建设单位和监理单位批准的现场临时水、电布置方案，抓紧进行施工用水接驳和管线铺设、施工用电线路铺设和电箱布置，以及防降雨和排水设施施工。

#### ⑤土方施工队伍落实

积极进行土方施工队伍的落实，确保按计划进场施工。同时，本项目有大量污染土壤和修复土在场内进行二次倒运，开工后，应抓紧运输队伍的落实，保证与污染土壤修复的及时衔接。

#### ⑥资金计划和资金准备

为保证本工程顺利开工，施工单位已经做好了充分的资金准备和资金安排，将根据施工进度计划编制更为详尽的资金计划，以保证工程的使用需求。

#### ⑦其他施工条件准备

合同备案：确保所有工程合同都已得到妥善备案，以便在项目实施过程中提供法律依据和参照。

办理手续：提前与政府相关部门协调，完成开工前必须的各类审批和手续，包括建设用地许可、施工许可证、环境影响评估批复等。

通过综合以上各项准备工作，可以为工程的顺利开工和高效进行提供有力保障。同时，也应持续监控施工过程中的风险点，及时调整策划方案，以应对可能出现的各类问题。

### 6.8.3临时设施建设

本方案修复地块内临时设施建设主要包括热脱附区、待检区、预处理大棚、密闭开挖大棚、修复后土壤暂存区、清洁土暂存区、疑似污染土暂存区、筛上物冲洗区、筛上物暂存区、危废车间、废水处理站、场内道路、办公区等。现分述如下：

施工围挡搭设在各施工区域周边采取栅栏封闭式围护，在行车方向上留出专门的出入口，作为施工人员、设备的专用通道，并在门口设置专业保安人员进行看护，悬挂宣

传标识，保证人员的安全。为防止施工期间无关人员擅自进入现场，对人员的出入进行严格的管理，每人凭胸卡进出。

### 1) 施工道路防护

土方清运前，做好施工区道路的硬化，铺设碎石硬化。出入口处设置洗车池等设施，车辆出厂前进行清洗，防止车辆带泥土出场。

### 2) 施工路面硬化

场内设计的临时施工辅道宽6m，转弯半径9m，满足转运车辆行驶，可保证容许两台运输车辆并行通过，道路采用20cm厚C25混凝土硬化处理。临时施工便道是为了实现场内转运等功能而铺设的道路，在未设计临时道路污染区域内禁止机械设备通行。

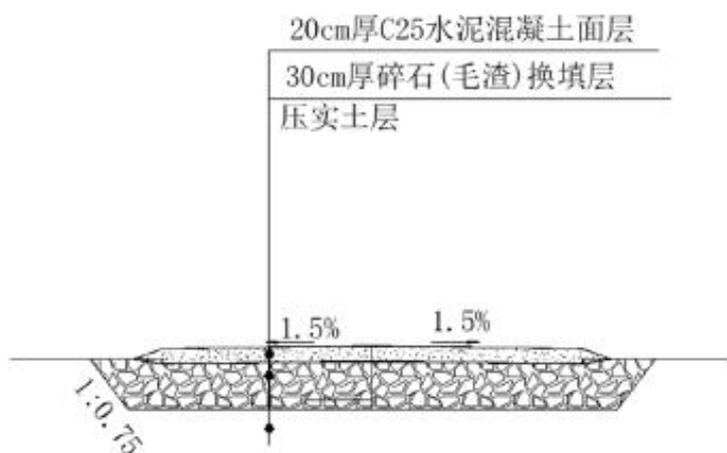


图6.8-1 临时道路结构图

### 3) 施工区域围挡

修复单位将根据招标人规定及现场实际需求建设施工围挡，为便于现场管理，现场进行封闭式施工。根据现场实际情况，在修复区域、污染土壤暂存区域和修复设备及临时设施建设区四周设临时施工围挡。围挡外侧与道路衔接处采用绿化或者硬化铺装措施，围挡建设要求：

- (1) 围挡稳固、安全、整洁、美观，施工围挡高度2.2m，采用彩钢压型板；
- (2) 设置专人负责围挡日常清洁及维护；
- (3) 对破损、变形的围挡应及时修复、更换；
- (4) 进场后，根据工程特点和招标人要求，制定符合要求的围墙标识。

## 6.8.4土方清挖

### 6.8.4.1开挖总体思路

地块风险评估报告可知，污染土修复投影面积为20752.88m<sup>2</sup>，修复总方量为32736.12m<sup>3</sup>，基坑开挖思路为分区分层分污染物进行开挖，开挖顺序为5号、1号、9号→6号、8号→4号、7号→2号、3号北侧→3号其他区域。清挖过程遵循边清挖边覆盖的原则，在保证工期的前提下，尽量缩小开挖作业面；清挖现场实时进行大气环境监控原则，以保障地块内施工人员及周边居民的健康风险。修复范围对应编号详见图6.2-1。

#### 6.8.4.2清挖方案

本地块开挖土壤分为污染土壤、清洁土和疑似污染土。污染土壤清挖后转运至预处理大棚进行筛分；清洁土包括开挖过程产生的错层土和上层清洁土，清洁土清挖后转运至清洁土暂存区暂存。

#### 6.8.4.3工艺流程

地块污染土壤清挖工艺流程见下图。

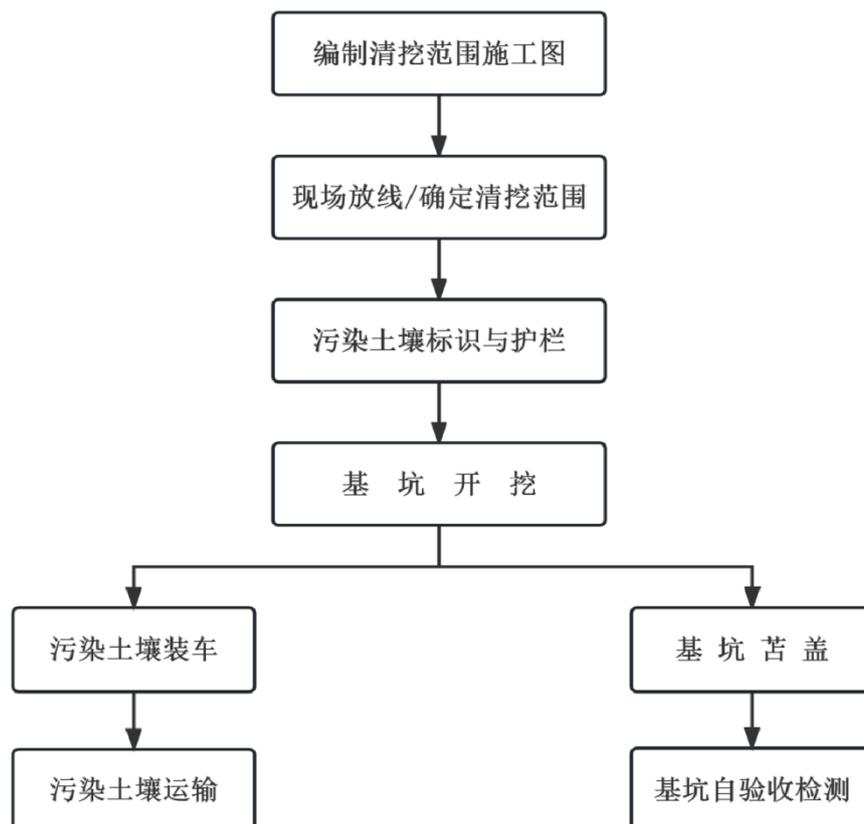


图6.8-2 清挖工艺流程图

##### 1) 开挖准备

在施工区域周边采取栅栏封闭式围护，在行车方向上留出专门的出入口，作为施工人员、设备的专用通道，并在门口设置专业保安人员进行看护，悬挂宣传标识，保证人员的安全。为防止施工期间无关人员擅自进入现场，对人员及车辆的出入进行严格的管理，人员凭胸卡进出、车辆凭出入证进出。

## 2) 土方开挖操作要求

### ①测量放线要求

现场采用RTK设备完成污染范围测定后设开挖边线桩，外放控制桩。控制桩应避开机械行驶路线并采取可靠的保护措施。用白灰撒出开挖边线，做好放线记录。

### ②土方开挖方法

a) 定位桩、线保护：在施工中上口开挖线经常被散土层覆盖看不清楚，放线员要立即补撒未挖部分已看不清楚的边线并保证其准确无误。

b) 为保证正常施工，现场施工机械必须服从管理，紧密配合施工，确保土方可以及时挖出、倒运满足现场施工要求。

c) 为了保证开挖深度符合设计要求，防止超挖，挖至接近槽底标高时，由现场测量人员配合挖掘机随时抄平。

d) 土方开挖的反铲司机在施工期间驻工地，以应对可能出现的应急方案，如将土方回填、防止边坡坍塌等。

### ③土方开挖的质量要求

基坑挖完后应由我司、监理单位或建设单位人员共同到现场检查、验线，确定现场情况与合同要求是否相符合，有无少挖、超挖现象。经检查质量不符合要求时应返修并重新验收：

a) 各基坑开挖标高允许偏差 $\pm 150\text{mm}$ 。

b) 边坡允许偏差 $+200\text{mm}$ ，严禁亏坡。

c) 严禁出现边坡塌陷或者支护结构受到严重损毁的情况。

## 6.8.4.4清挖要求

### 1、在现场开挖过程中的要求

(1) 施工工人必须佩戴个人防护装备，如安全帽和防止接触污染土壤的口罩、手套、工作服等；

(2) 土方开挖的顺序、方法必须与设计工况相一致，并严禁超挖或少挖；

(3) 开挖过程中做好土壤气体逸散控制，防止有机气体扩散影响周边居民和相关人员；

(4) 开挖过程中做好边坡防护，防止边坡坍塌伤人，如边坡防护距离不足，则应妥善设置其他防护措施；

(5) 基坑开挖后及时设置坑内排水沟和集水井，防止坑底积水；

(6) 基坑开挖至设计标高后，应及时通知相关单位验收；

(7) 当出现恶劣天气、基坑积水严重或导致污染扩大的其他情况时，应及时停止开挖作业并采取适当应对措施；

(8) 每天的作业结束时清理现场，保持整洁；

(9) 应对开挖作业进行详细记录，包括开挖时间、开挖量或车次、场地特殊情况、天气情况、安全记录等。

(10) 污染土壤的清挖运输过程中，运输车辆封闭防止遗散造成二次污染。在污染土壤清理之前，与建设单位进行地下管线和其他地下构筑物的交接工作。清理过程中如遇不明地下管线，应立即停止清理，查清地下管线的情况，分清是否为废弃管线，如不是废弃管线，应立即上报，通知管线相关部门进行处理。

## 2、清挖过程中的安全防护

在本工程的施工过程中，项目部建立安全保障体系，设立专职安全人员对施工现场进行安全管理。

本工程工期较紧，需设立专门的交通指挥人员指挥运输车辆的行驶，确保运输车辆严格按照规定路线行驶，确保挖运工作的有序进行；日常工作期间，定期对司机进行安全教育，增强安全意识，时刻铭记安全第一。

本工程将安排专业监测人员，每日对基坑周边例行检查和巡视，做好日常的基坑监测，严谨记录每日的监测数据。基坑周边距离基坑边沿1.5m处设置安全警示带。

## 3、清挖过程人员的培训及防护

清理作业现场以及运输车辆均应配备如下防护用具和应急药品：防毒口罩、化学安全防护眼镜、工作防护服、防腐蚀手套、生理盐水等。对作业人员进行上岗培训，以及急救常识培训。

### 6.8.4.5降水和排水

在土方开挖过程中将遇到地下水，同时在基坑开挖过程中可能遇到降雨，因此，需

要设置降水及排水措施，使基坑开挖和施工达到无水状态。

本次施工拟采用明渠降水和排水方案（如图），在开挖作业面底沿开挖纵深方向设置适量的排水明渠，明渠深度低于开挖最大深度以保证开挖区内地下水的顺利收集，渠内每隔30m至50m（视地下水量多少而定）间隔设置一口集水井，明渠底部按0.5%~1%坡度向集水井找坡，集水井收集的地下水通过提升泵抽出开挖区。

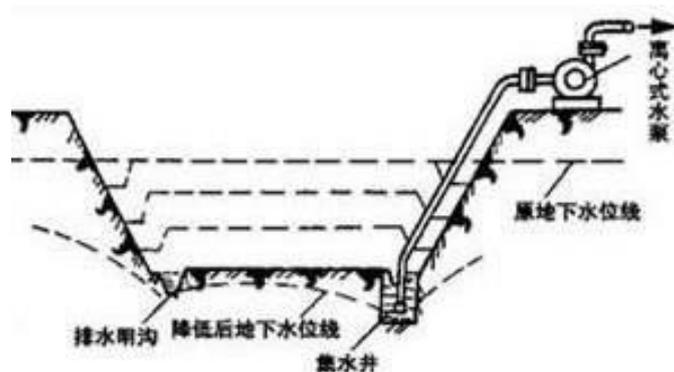


图6.8-3 基坑降水排水示意图

#### 6.8.4.6 基坑验收

在基坑清挖完成后，需对基坑的底部以及侧壁进行采样验收，以确认该区域受污染土壤已被完全挖出。

如果基坑的底部或侧壁验收样品中的污染物浓度仍然高于修复目标值，则需针对该超标样品所代表的区域进行进一步清挖，并对该区域重新采样验收，直至基坑内所有的底部样品以及侧壁样品均达到相应污染物的场地修复目标值。所有批次清挖出的样品均根据污染特性分批进行筛分外运处置。

#### 6.8.4.7 施工组织安排

清挖进度随污染土壤处置同步进行，当日清挖、当日筛分、修复，尽量避免地块内暂存污染土壤。现场需清挖污染土方量 $32736.12\text{m}^3$ 。

#### 6.8.4.8 注意事项

1) 基坑开挖应根据安全组织方案的规定加强现场作业人员的安全防护工作，根据现场作业风险的不同，配备不同等级的防护装备，基坑开挖所有作业人员，必须穿戴安全防护装备。

2) 加强工程质量及施工管理，禁止在开挖后的基坑外侧推土和停放机械，同时机

械和车辆不得在基坑边缘碾压。

3) 基坑开挖必须严格按施工方案要求进行。

4) 施工期间，项目部人员跟班作业，进行必要的技术协作及控制标高，及时处理施工中可能出现的一切情况。

5) 已开挖完成基坑要在基坑四周设置警戒线，安装警戒灯。

### 6.8.5土方场内转运

本项目地块内清挖的污染土全部转运至预处理大棚进行处置，共计32736.12m<sup>3</sup>。

#### (1) 运输道路设计

现场临时道路在原场区道路的基础上设计，设置双向车道，路宽6m。场区内地形较平坦且保存较完整的硬化水泥路面，只需将道路表面土堆及建筑垃圾等进行清除，清理出车辆行驶通道即可。对于部分路面受损或无硬化的道路，则需对车辆经过路线的松软地面土层进行压实处理和硬化，保障车辆的运输畅通。

#### (2) 需求计算

本项目场内运输污染土壤为32736.12m<sup>3</sup>。

#### (3) 污染土壤运输注意事项

为防止土壤开挖与车辆运输过程可能造成土壤二次污染问题，机械行驶与污染土壤运输的安全管理设计如下：

①设定机械行驶、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。

②污染土壤现挖现装，装载时禁止超载，土壤装载量只能为卡车车厢的4/5，禁止满载。

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，车辆行驶速度不能超过15km/h，一般情况下禁止快速行驶与突然快速启动或制动。

④运输车辆进行转运标识牌管理，根据污染土壤转运标识牌的标识把污染土壤运输至相应的大棚位置。

⑤运输便道管理应有专人负责，运输便道易发生凹陷情况，应及时组织用渣土填充压实，防止运输车辆颠簸及污染土壤散落；如发现运输过程污染土壤散落，应组织人员清理与收集，防止污染土壤的二次污染；另外，运输便道易扬尘，故便道应注意洒水，防止扬尘污染。



图6.8-4 密闭运输车

## 6.8.6 污染土壤筛分处理

### 6.8.6.1 筛分处理工程量

地块0-3m开挖范围污染土分层清挖后在正式进入对应修复工艺前，需全部进行筛分处理，专业筛分设备（ALLU筛分斗）将粒径 $>50\text{mm}$ 的建渣和粒径 $<50\text{mm}$ 污染土壤进行分离，筛分后污染土进入后续处理单元依次修复处理，建渣转运至冲洗区进行冲洗。大粒径建渣按照第一层污染总面积按20-30cm厚度计算，建渣产生量约 $3383\text{-}5075\text{m}^3$ ，最大虚方量为 $5582.5\text{m}^3$ 。

### 6.8.6.2 施工流程

污染土壤筛分工艺施工流程主要包括：污染土壤挖运、污染土壤筛分。各处理过程施工操作描述如下：

#### （1）污染土壤挖运

污染土壤从污染区域开挖、运输至预处理大棚。

#### （2）污染渣土破碎

运入预处理大棚的污染土壤进行破碎处理。即利用专业筛分设备（ALLU筛分斗）将粒径 $>50\text{mm}$ 的污染砾石筛除后，剩余污染土进入后续处理单元依次修复处理。

#### （3）含水率

通过自然风干或者添加生石灰进行含水率调节，当土壤含水率较低或天气较炎热时，采用自然风干工艺进行含水率调节，将土壤码垛，垛宽5m，垛高1m，风干时间1~2天，

风干时间根据土壤含水率进行调整；当土壤含水率较高或天气较冷时，采用添加生石灰进行含水率调节，将生石灰均匀平铺在土壤上方，使用筛分斗进行翻抛搅拌，生石灰添加量为1~3%，添加量根据土壤实际含水率进行调整。

### 6.8.6.3 设备和参数

土壤筛分机械：挖掘机配备反铲筛分铲斗，筛分铲斗原产地芬兰，型号：SMH3-23或同等型号，配备CAT320挖掘机，筛料粒径 $\leq 50\text{mm}$ ，处理能力 $50\sim 70\text{m}^3/\text{h}$ ，筛分轴距及筛分刀片可视其筛分土质和需求调整更换。

表6.8-4 设备及工艺参数一览表

序号	分类	名称	参数
1	设备机械	土壤筛分设备	型号：SMH3-23，筛料粒径小于 $50\text{mm}$
			处理能力 $50\sim 70\text{m}^3/\text{h}$ ；耗油 $60\text{L}/\text{h}$
3		挖掘机	CAT320或同等型号
4		运输车	斯太尔：长 $\times$ 宽 $\times$ 高= $4.8\times 2.3\times 1.3\text{m}$

### 6.8.7 污染土修复（热脱附）

异位热脱附技术：针对石油烃、乙苯、汞污染土壤，选择异位热脱附技术处理；针对重金属+汞/有机物污染土，可先采用异位热脱附的方式去除汞和有机物，待检测合格后再送往水泥窑进行协同处置。

以上类型污染土经筛分后，密闭送往热脱附区进行异位热脱附工作，按批次修复完成后运输至待检区。工艺流程如下：

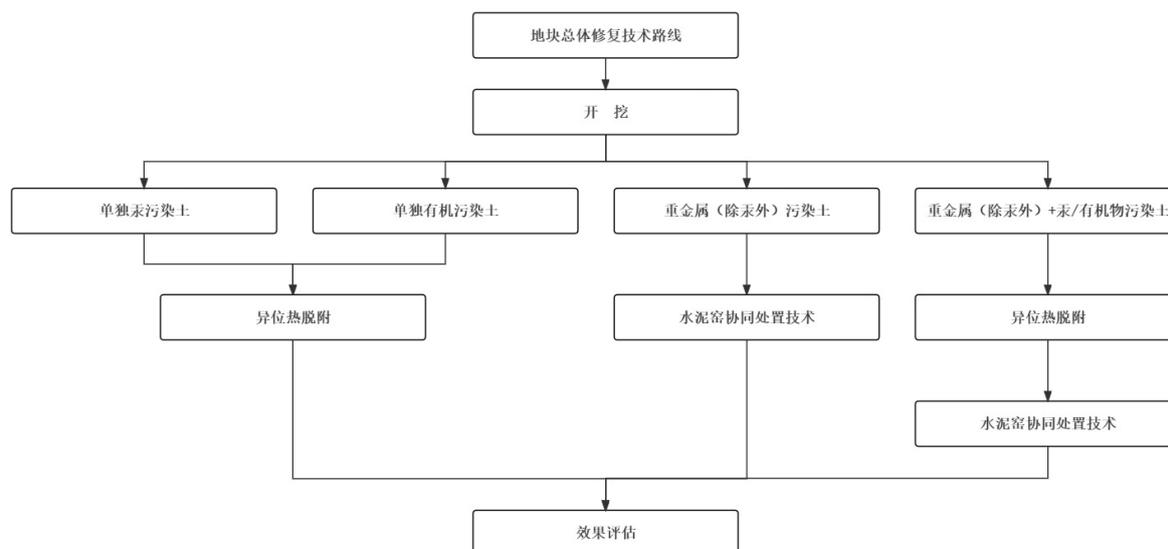


图6.8-5 本地块污染土壤热脱附处置流程

本项目拟投入2套热脱附系统对含汞和有机物污染土进行处置，设备尺寸和运行参数如下表所示。

表6.8-5 直接热脱附设备

窑体处理温度范围	0-750℃		
二燃温度范围	0-800℃		
处理量	0-20t/h		
部件	尺寸 (m)		
	长	宽	高
旋风除尘器	3.2	3.2	10.2
布袋除尘器	10.6	3.7	9
出料螺旋	5.2	直径1.1	
回转窑	13.2	直径2.6	
进料螺旋	6	直径2.2	
二燃室	最大直径2.9		13.6
急冷塔冷却系统	直径3.1		10.7
喷淋塔系统	直径3.4		13
烟囱	直径1		15





表6.8-6 间接热脱附设备

处理量				
最大上料量	9t/h			
温度				
设备可调节最高温度	780℃			
设备运行温度	550-750℃（暂设定）			
设备尺寸、型号				
序号	设备名称	尺寸（mm）	电机功率（kw）	泵流量
1	A组给料单元	6000*2400*3300	5.5	/
2	B组给料单元	6000*2400*3300	5.5	/
3	进料输送机	13000*1200*800	5.5	/
4	进料料斗	1300*800*1300	5.5	/
5	热脱附主机	12000*2400*2600	5.5	/
6	出料冷却单元	3900*1600*2000	4	/
7	出料输送机	13000*1200*800	5.5	/
8	出料加湿单元	6000*2400*3700	5.5	/
9	尾气淋洗单元	6000*2400*2600	/	/
10	尾气处理单元	12000*2400*2600	/	/
11	中央控制室	6000*2400*2600	/	/
12	设备储运装置	12000*2400*2600	/	/

13	淋洗液系统	12000*2400*2600	/	25立方
14	沉渣压滤	5000*2400*2400	/	30立方



### 6.8.8 水泥窑协同处置

#### (1) 处理单位

施工单位备选5家水泥窑协同处置单位，各单位名称与处理量见下表。

**表6.8-7 各单位名称与处理量**

公司名称	年处理量 (万t/a)
广州市越堡水泥有限公司	18.6
惠州市光远环保科技有限公司	30
惠州市光大水泥企业有限公司	30
青洲水泥(云浮)有限公司	8.3626
华新水泥(恩平)有限公司	9.4550

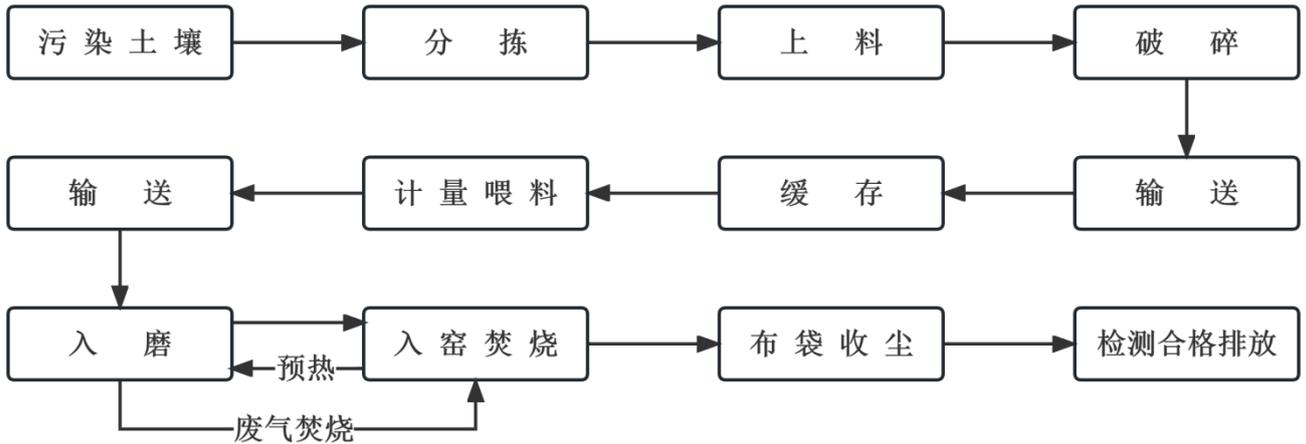


图6.8-6 污染土壤处置工艺流程图

### (2) 污染土壤添加

水泥窑添加比需提供土壤外运鉴别报告,根据报告数据分析添加比例,确定添加量,计算日处理能力。

### (3) 水泥窑协同处置

筛分后和达到含水率要求的污染土壤进行水泥窑处理,水泥焚烧前先进行生料制备,生料制备包括物料破碎、原料预均化、原料配料、生料的粉磨和均化等。

### (4) 水泥窑协同处置前处理

#### a.前处理施工工艺流程



图6.8-7 前处理施工工艺流程

#### b.污染土壤前处理施工:

##### 1) 污染土壤的破碎

污染土壤的前处理在密闭堆放大棚内进行。大棚内建有破碎和皮带传输系统,可完

成污染土壤的破碎，污染土壤的破碎可采用双齿辊破碎机设备。



图6.8-8 双齿辊破碎机及其内部图

污染土壤经过破碎后，把粒径小于100mm的粗颗粒存储于预均化堆场，进行初步的预均化。

## 2) 污染土壤的预均化

生料预均化是通过控制均化库底料电震机来实现的，生料预均化库为长条形，通过电震机由一台可编程控制器（PLC）按一定时间程序进行卸料控制，从而达到不同时间的料按照一定比例预均化后进磨。

## 3) 污染土壤的粉磨、烘干

将经过破碎和预均化后的污染土壤计量传送至污染土壤粉磨机中，实现污染土壤粉磨和烘干的同时处理。

### ① 粉磨设备的选择

污染土壤磨机可选择球磨机或立磨机。

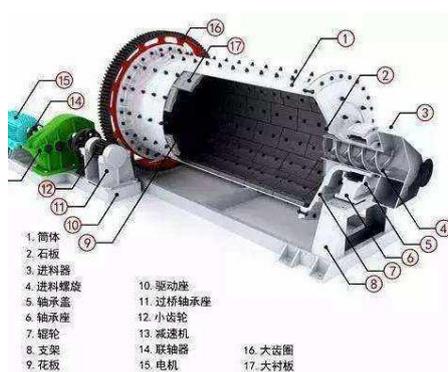


图6.8-9 球磨机及其内部构造

### ② 设备的运行

在磨机中引入高温热风来自水泥窑，使污染土壤的粉磨和烘干过程同时进行。同时，保证磨机在负压状态下运行，防止污染土壤中挥发性废气造成的大气污染。

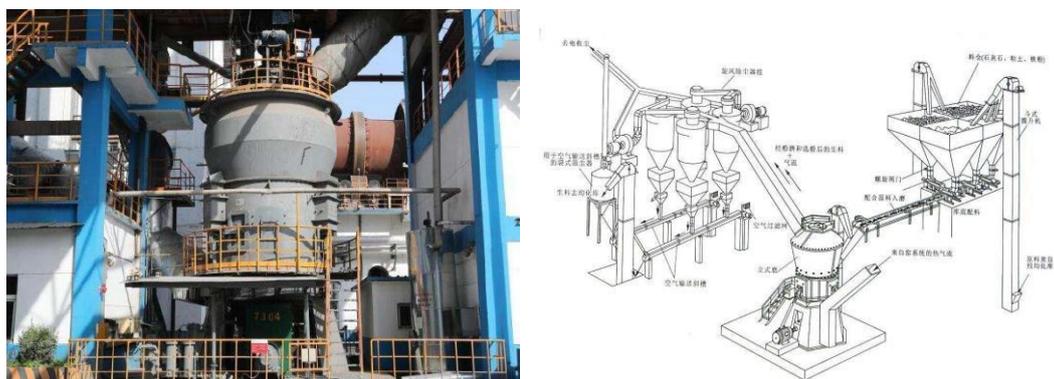


图6.8-10 污染土壤的粉磨、烘干过程

### 3) 污染土壤的均化和入窑投加

预处理后的污染土壤被输送至专门设计的均化库，在密闭的负压条件下进行保存和均化。之后，土壤通过输送系统以固定比例被送至分解炉底部进行焚烧处理。整个操作过程都在负压封闭状态下进行，确保挥发出来的污染物被立即通过专用管道送至水泥窑中焚毁，从而彻底防止污染物向外部环境扩散。此外，那些经过粉磨和烘干后满足特定粒径要求（如 $80\ \mu\text{m}$ 筛余小于10%）的污染土壤可以被送至生料均化库进行进一步的均化处理。



图6.8-11 均化库

最后，均化处理过的污染土壤将通过计量方法加入到窑中进行处理。



图6.8-12 污染土进料口

(5) 水泥窑生产过程

水泥生产过程主要包含：预热、水泥焚烧、水泥粉磨、尾气及水泥包装等。



图6.8-13 水泥焚烧过程

① 预热

含有污染土壤的生料在经过混合均匀后，会进入旋风装置进行预热。这种方式可以代替回转窑的部分功能，缩短回转窑的长度。它也使窑内的气料换热过程从堆积状态转变为预热器内的悬浮状态。这样，生料可以与窑内排出的高温气体充分混合，从而增大气料的接触面积，提高传热速度和热交换效率。这有助于提高窑系统的生产效率并降低熟料的烧成热耗。

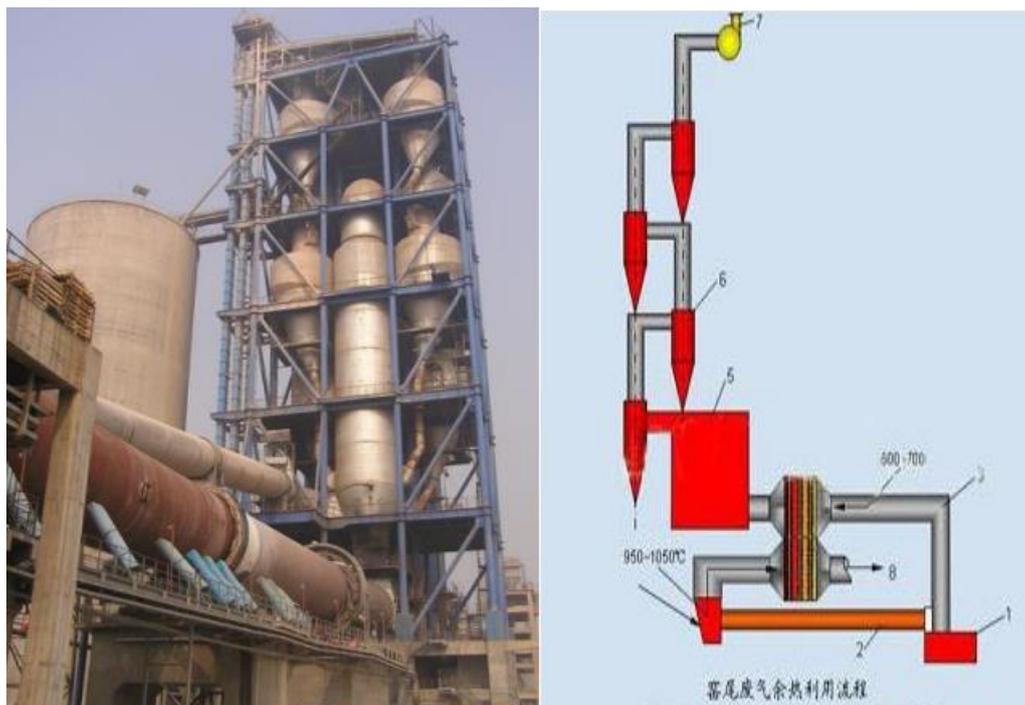


图6.8-14 水泥窑预热系统

② 水泥熟料的烧成

水泥熟料主要由石灰石、粘土和铁质原料组成，它们根据特定比例混合形成生料，然后被烧制至部分或完全熔融状态，冷却后得到半成品。在水泥行业中，最常见的类型是硅酸盐水泥熟料，其主要的化学成分包括氧化钙、二氧化硅，以及少量的氧化铝和氧

化铁。它的主要矿物成分是硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸四钙。将这种硅酸盐水泥熟料与适当的石膏一起磨细，即可得到硅酸盐水泥。

水泥回转窑焚烧系统由金属筒体、窑内的耐火砖、形成的结皮和待燃烧物料组合而成。由于其巨大的热惯性，燃烧状态显得十分稳定。新型的回转窑焚烧炉具有高效的运转能力，其年运转率一般超过90%。此外，即使废物的投入量和性质发生变化，也不会引起显著的温度波动，从而影响焚烧效果。这确保了焚烧的稳定性，能够处理的数量也相对较大，速度也非常迅速。在水泥生产流程中，唯一的原料是生料和经煅烧产生的熟料。除尘设备收集的飞灰会返回到原料制备系统进行再次利用，整个过程中没有任何废渣产生。

在水泥回转窑焚烧系统中污染土壤的共处置过程在高温条件下完成，水泥窑内气体和物料温度分别可以达到1750℃和1450℃，物料停留时间大于30min，气体在高于1300℃温度的停留时间大于10s。

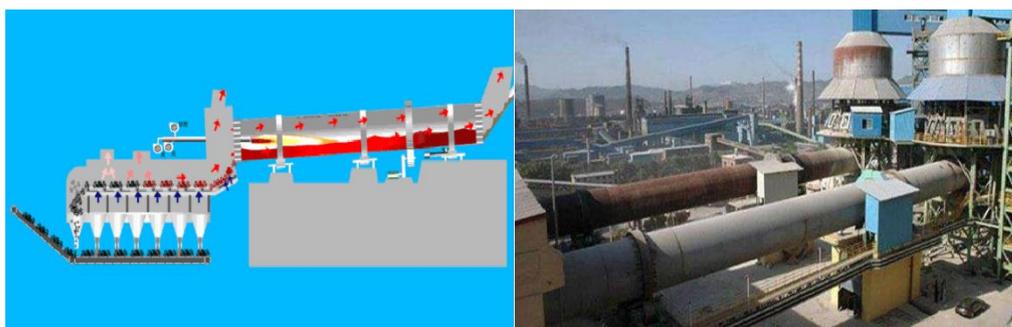


图6.8-15 水泥窑协同处置系统

### ③水泥粉磨

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

粉磨系统主要有开路磨、辊压机+开路磨、辊压机+闭路磨、立磨等几类。不同的粉磨系统在水泥颗粒组成与能源消耗等方面各不相同，且各有利弊。针对产品的用途，根据需要选择合适的粉磨系统，不但能够提高水泥和混凝土材料性能，而且可以降低能源消耗和环境污染。



图6.8-16 水泥窑粉磨系统

### ③ 尾气除尘系统

从窑尾出来的约1100℃的高温气体以约20-30m/s的速度进入分解炉和预热器，并与从预热器顶部进入的常温下的水泥生料进行气固相换热，在极短的时间内（约5-10秒）把生料加热到800℃-900℃，而气体温度则降至300-400℃。从预热器顶部出来的300-400℃的气体进入雾化增湿塔，经过雾化冷水后降低至250℃以下，最后经过袋式除尘器过滤除尘后通过108.8m排气筒高空排放。

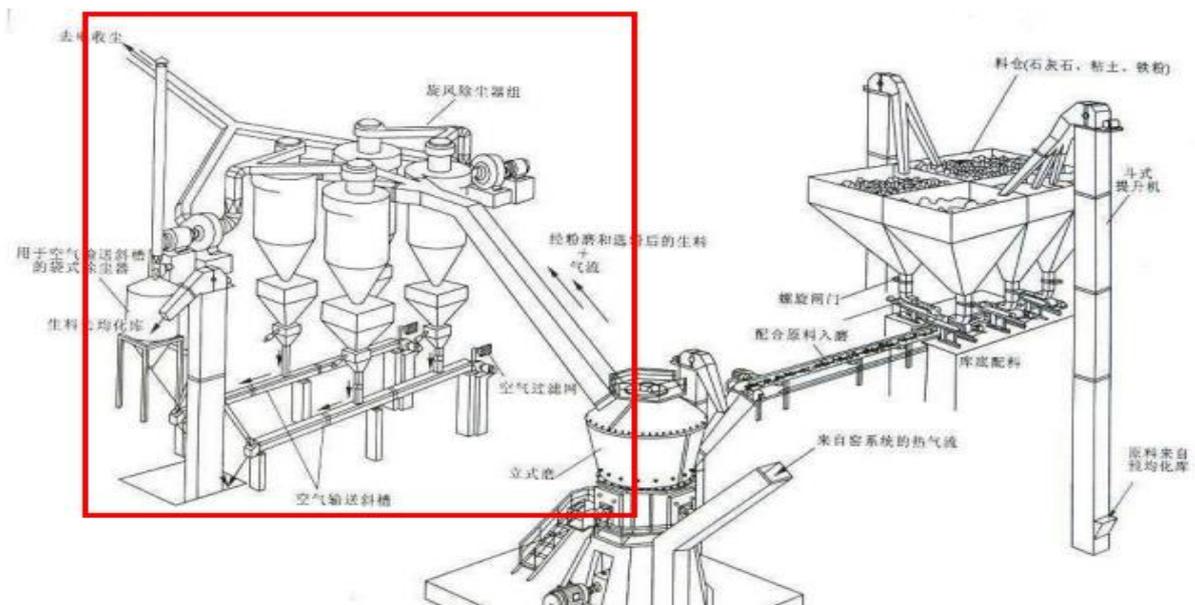


图6.8-17 水泥窑尾气系统

生产控制过程采用中控DCS生料质量控制系统和生产管理信息分析系统。废气排放

口安装了烟气在线CEMS自动监测设备，与环保部门联网控制。同时，按分布式控制系统（以下简称“DCS”）进行实时监控生产运行状况；DCS记录了生产负荷、脱硝反应区烟气流量、烟气温度、烟气压力、烟气含氧量、氮氧化物浓度、废气流量及其他生产参数数据，保证了处置污染土期间生产运行状况的正常及稳定。

### 6.8.8.1污染土运输专项方案

本节分别对污染土外运施工、土壤运输保护及防护制度和措施进行了论述。

#### （1）运输原则与依据一、运输原则

污染土壤装载、场内运输、场外运输等环节。其运输应遵循如下原则：

1) 污染土壤的运输车辆应全过程密闭，出场前应进行清洗，减少遗撒和防止二次污染。

2) 污染土壤的运输车辆进出场应填写转运联单，运输途中应进行跟踪监督，并配备专车进行现场指导与监控，确保污染土壤运输到位。

3) 污染土壤的场地内运输应尽量采用单循环形式，避免车辆对污染土运输带来的延误与不便。

4) 污染土壤的运输时间应符合当地政府的有关规定，尽量选择在非高峰期出行，并减少运输车辆在路途上的停留时间。

#### 二、运输依据

1) 施工现场勘查获得的资料；

2) 《工程测量规范》（GB50026-2007）；

3) 《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤污染风险评估报告》（2023年11月）。

#### （2）运输设备配置

本工程采用建筑工程常用的土方运输车辆作为运输工具，装载量大，装卸方便，适合场地内行驶和短距离运输。

运输车辆安全技术状况应符合GB7258的要求，技术状况应符合JT/T198规定的一级车况标准。车辆应配置符合GB13392的标志，并按规定使用，应配置运行状态记录装置(如行驶记录仪等)和必要的通讯工具。

车辆应有切断总电源和隔离电火花装置，切断总电源装置应安装在驾驶室内，车厢底板应平整完好，周围栏板应牢固。各种装卸机具应有可靠的安全系数。

运输污染土的车辆应配备消防器材并定期检查和保养，发现问题应立即更换或修理。

计划使用国内优质自卸车或相似型号的载重车辆进行运输，该型号运输车的设计装载体积为12m<sup>3</sup>，所有运输车辆为满足当地渣土运输要求的有顶盖设计的运输车。

### (3) 外运要求

本次污染土全部采用陆运，外运至水泥窑厂家进行协同处置。

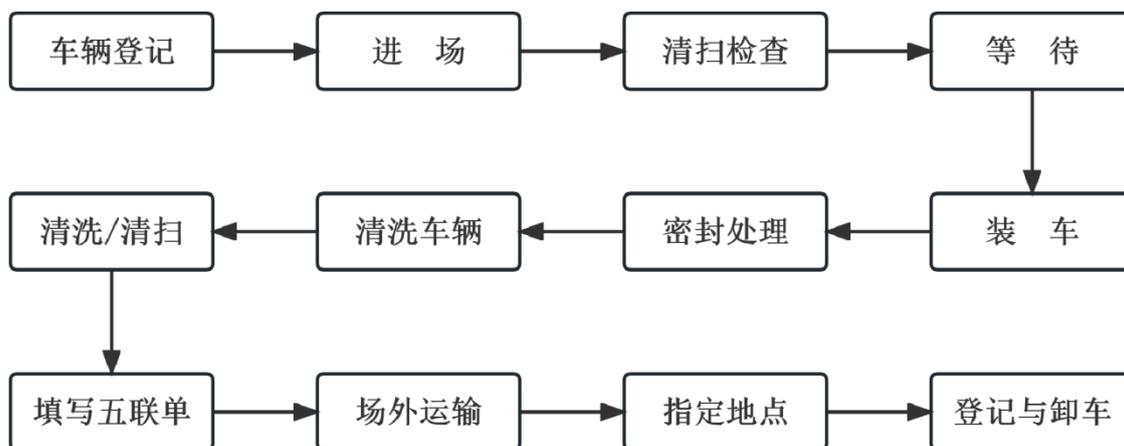


图6.8-18 污染土壤运输工艺流程示意图

### (4) 运输路线

场外运输线路应尽量避免人口密集区及相关敏感点。运输渣土采用覆膜袋包装后封口，采用密封式运输车辆运输，同时对车辆顶部进行苫盖处理，防止灰尘风吹外溢。

开挖的污染土壤要外运至施工单位选定的水泥窑厂进行协同处置，采用陆路运输，土方车全部实行帆布软加盖密闭运输，且在运输过程中，需在车辆底部和侧壁铺设防渗膜，运输前对司机进行专业培训和教育。

装车过程中应采取防扬尘措施，装车完毕后驾驶员应对土壤遮盖和车体捆绑等安全措施及对现场影响车辆启动的不安全因素进行检查，确认无不安全因素后方可起步。对运输道路进行洒水降尘，防止扬尘污染。

运输单位建立应急预案，在遇到事故或其他原因导致污染土壤洒落时，应及时采取措施组织清理，免污染土进一步扩散。



图6.8-19 土壤运输车及出场清扫

### 6.8.8.2 运输车辆出场规定

在进行污染土壤的场外转移前，修复施工单位需谨慎制定详尽的转运计划。该计划应包含运输时间、方式、路线、污染土壤的量和去向，以及最终的处置和利用方法，并需提前向所在地及接收地的生态环境管理部门报告。应特别注意避免运输路线穿过饮用水源保护区等敏感区域。

在污染土壤运输车辆启程前，环境监理和修复施工单位需联合记录车辆的出场时间、车牌号以及装载土壤的总重量，并详细记录关于防止二次污染的控制措施。

为防止扬尘、渗漏和散落，运输车辆应按照《佛山市建筑垃圾运输车辆行业专用功能指导意见》规定的防护要求进行相应的装备。同时，需严格执行联单制度（如下图所示），相关单位包括修复施工单位和环境监理单位应对运输车辆实施定位和实时监控，以确保对污染土壤的去向保持持续跟踪。

当运输车辆到达目的地后，环境监理和接收单位需记录车辆的到场时间、车牌号和土壤总重量，并再次记录关于防止二次污染的措施。

在卸载污染土壤之后，环境监理和处置单位的工作人员应记录车辆的空载重量、出厂时间和洗车情况。此外，需提供接收单位同意接收污染土壤的正式证明文件。

污染土壤的接收单位必须具备适当的风险管理、修复或再利用的能力。通常情况下，该单位应设置专门的暂存区，该区域应拥有足够的暂存容量和完善的防渗、防尘、防雨等二次污染防控设施，以及有效的环境管理体系。对于固化或稳定化后需再利用的土壤，应选择环境影响较小、污染物传播和扩散途径受限或可控的场地，确保安全可控。

如污染土壤的接收单位在修复方法、风险管理或再利用工艺、处置方法等方面进行改变，必须向相关生态环境行政管理部门报告并备案相应的修复技术方案。

项目名称：

编号：\_\_\_\_\_

第一联（出场）			
修复施工单位名称	(盖章)		
修复施工单位经办人 (签名)		联系电话	
环境监理单位名称	(盖章)		
环境监理单位经办人 (签名)		联系电话	
土壤污染类别及主要污染物		数量(吨)	
包装方式			
外运目的	中转贮存( ) 再利用( ) 风险管控( ) 修复( ) 其他_____		
第二联（运输）			
运输单位名称	(盖章)		
运输单位经办人(签名)		联系电话	
运输时间	_____年_____月_____日		
运输车型		运输数量(吨)	
运输起点	_____省_____市_____区(县)_____街道_____		
运输终点	_____省_____市_____区(县)_____街道_____		
运输工具牌照号			
第三联（接收）			
接收单位名称	(盖章)		
接收单位地址	_____省_____市_____区(县)_____街道_____		
接收单位经办人 (签名)		联系电话	
环境监理单位名称	(盖章)		
环境监理单位经办人 (签名)		联系电话	
接收时间	_____年_____月_____日		
接收数量(吨)			
土壤处置措施	中转贮存( ) 再利用( ) 风险管控( ) 修复( ) 其他_____		
注1：此表由修复施工单位、运输单位、接收单位、环境监理单位(如有)填写，并在同一张表格上盖章(公章、业务专用章或项目专用章)、签字确认。 注2：转移联单一式5份，由土地使用权人(或土壤污染责任人)、修复施工单位、运输单位、接收单位、环境监理单位(如有)各执一份。 注3：污染土壤转移联单保存十年。 注4：联单编号一般由4位数字组成，宜按土壤出场顺序编号。			

图6.8-20 污染土转运联单

### 6.8.8.3 运输安全

司机们需积极参与安全教育培训，进一步巩固交通安全知识，提升安全驾驶的自觉性。每位司机都要严格遵循公安及交通管理部门制定的所有规章制度，并依照机动车驾驶操作的标准程序操作，绝不允许无证人员操作车辆。

司机必须恪守交通规则，严禁超速驾驶、抢行及其他违章行为。在运输过程中，尽量避免紧急刹车，并应在转弯时减速慢行。通过隧道、涵洞或立交桥等特殊路段时，需

注意限高和限速标识。工作期间禁止饮酒，严禁酒后驾车，并需全程保持专注。

负责运输污染土壤的车辆必须遵循规定的行驶路线。车辆应随车携带应急包装袋及必备的装卸清扫工具。

专业运输企业需要了解所承运的污染土壤的名称、重量、成分和性质，并对可能发生的紧急情况下的应对措施和补救方法了如指掌，并须接受环境保护部门的监督管理。出场前应由专人负责车辆的登记和发票工作。到达目的地后，应有专人进行签收确认。实行双人驾驶制度，以便在紧急情况下及时应对，确保运输过程万无一失。

在运输途中，驾驶员应定期停车进行车辆检查，一旦发现问题要立即采取相应措施。如遇到交通事故，驾驶员必须立即通知项目部，并向当地公安部门报告，同时保护好车辆及货物，并协助实施所有必要的警示和救援措施。

当天气或道路条件发生变化时，驾驶员应及时采取适当的安全防护措施。若需要避雨，应选择一个安全的地点停车。在泥泞、结冰、颠簸、狭窄或靠近悬崖等危险路段，驾驶员应降低车速慢行，以防车辆侧滑、滑行或物料散落，确保安全顺利地完成任务。

#### 6.8.8.4 施工组织安排

本项目外运污染土方量为 $14263.815\text{m}^3$ ，每天外运 $200\text{-}300\text{m}^3$ ，本次备选5家水泥窑处置单位，土壤修复实施过程中至少选择3家水泥窑处置单位，预计48-72天完成外运。热脱附污染土 $24162.37\text{m}^3$ ，拟投入2台热脱附设备，每日可以处理 $160\text{-}192\text{m}^3$ 污染土，共需126-152天完成，汞和有机污染土分布在0-4m，热脱附完成时间需根据相应污染土开挖情况进行调整。

#### 6.8.8.5 热脱附处置检测

热脱附处置后的污染土壤按污染种类分类放置在待检区，本地块可将修复后污染土待检区分为石油烃、汞、汞+石油烃、石油烃+乙苯待检区，若污染物的含量未到达场地热脱附土壤修复要求，需再次进行热脱附，合格后，含重金属污染土需送往水泥窑进行协同处置，其余放置修复后土壤暂存区暂存。

#### 6.8.8.6 水泥窑协同处置验收

##### (1) 水泥窑协同处置产品验收

主要针对水泥窑协同处置后的熟料进行检测评估,重金属污染土壤修复效果评估标准参照《水泥窑协同处置固体废物技术规范》(GB30760-2014)相关要求。

## (2) 水泥窑协同处置尾气处理效果验收

水泥窑协同处置工艺应配备完善的尾气处理系统,在燃烧过程中和尾气处理过程中严格控制条件。尾气中的烟尘浓度满足《水泥工业大气污染物排放标准》(GB4915-2013)、《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ622-2013)和《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)的相关要求。

## 6.8.9 施工废水处理方案

地块内废水主要包括建渣冲洗废水、车辆冲洗废水、基坑涌水和热脱附冷凝水。建渣冲洗废水、车辆冲洗废水、基坑涌水经收集后统一泵入污水处理设施进行处理,处理达标后回用于建渣冲洗、车辆废水和泼洒抑尘用水。汞污染土热脱附后冷凝塔、淋洗塔产生的含汞废水汞浓度较高,建议在热脱附废气处理装置处加装汞废水处理装置,通过酸洗条件、加硫化钠、硅藻土等发生化学反应,通过PAC、PAM形成絮凝沉淀,将絮凝沉淀物泵入浓缩沉淀池形成上清液和含汞泥浆,上清液循环使用,含汞泥浆通过进一步处置后收集并送往有资质单位进行资源化处置。

### 6.8.9.1 建渣冲洗废水量

本项目理论最大建渣量为 $5582.5\text{m}^3$ 。洗石量与用水量按1:0.5计算,总计 $2791.25\text{m}^3$ 洗石用水,废水产生量按照用水量的80%计算,则洗石废水产生量为 $2233\text{m}^3$ 。

### 6.8.9.2 洗车废水量

本项目一天渣土运输车次按10车次计,冲洗水按 $100\text{L}/\text{辆}\cdot\text{次}$ ,车辆冲洗用水量为 $1\text{m}^3/\text{d}$ ,废水产生量按照用水量80%计算,则洗车废水为 $0.8\text{m}^3/\text{d}$ ,污染土开挖与转运工期为170天,洗车废水量共 $136\text{m}^3$ 。

### 6.8.9.3 降尘用水量

预计车辆每日洒水3次,早、中、晚各一次,每次冲洗量为 $10\text{m}^3$ ,则预计每日需 $30\text{m}^3$ ,现场施工至效果评估时间按207天计,共计需要 $6210\text{m}^3$ 。

### 6.8.9.4 基坑涌水量

根据勘察报告及项目经验，本场地基坑涌水量适中（总涌水量约3000m<sup>3</sup>），采用集水明排的方式可疏干开挖区域内积水。

### 6.8.9.5 废水处理的的原则和依据

(1) 严格执行有关环境保护的各项政策和法规，工艺流程合理有效，确保各项出水指标达到国家和地方有关排放标准。

(2) 认真贯彻国家关于环境保护工作的方针政策，精心编制，做到技术先进、经济合理、安全实用、质量可靠。

(3) 设备、仪表、管材、阀门采用知名品牌，以及国家推荐的节能产品。易损配件易于购买。

(4) 采用成熟的处理工艺，节省能源，达到资源的有效利用。

(5) 因地制宜地根据客观实际，在保证处理效果达标排放的前提下，尽量节省工程投资、节省用地、降低运行成本。

### 6.8.9.6 水处理设备准备

本工程配备一体化污水处理设备，计划投入的设备参数如下表所示。

**表6.8-8 一体化移动式污水处理设备参数（处理能力100m<sup>3</sup>/d）**

序号	产品名称	规格型号	材质	单位	数量
一	沉砂调节池				
1	支架水池	100立方米		套	6
2	提升泵	流量：Q=10m <sup>3</sup> /h扬程：H=15m软管连接	铸铁	台	2
3	流量计	转子流量计		套	1
二	芬顿反应器				
1	水箱	15m <sup>3</sup> 水箱下部配备穿孔曝气装置	PE	套	2
2	pH在线监测仪			套	1
3	硫酸亚铁加药装置	容积1t加药箱/PE，含搅拌/304	PE	套	2
4	硫酸亚铁加药泵	计量泵200L/h0.6mpa		套	1
5	过氧化氢加药装置	容积1t加药箱/PE，含搅拌/304	PE	套	2
6	过氧化氢加药泵	计量泵200L/h0.6mpa		套	1
7	增压泵（管道泵）	流量：Q=10m <sup>3</sup> /h扬程：H=15m	铸铁	台	2
8	罗茨风机	Q=0.55m <sup>3</sup> /minp=44.1kPa	铸铁	台	2

三	中和絮凝反应池	水箱 I、II 与斜板沉淀池为一体化设备			
1	水箱 I	6m <sup>3</sup> 含搅拌装置两座	碳钢	套	1
2	水箱 II	6m <sup>3</sup> 含搅拌装置两座	碳钢	套	1
3	氢氧化钙加药装置	容积1t加药箱/PE, 含搅拌/304	PE	套	1
4	氢氧化钠加药装置	容积1t加药箱/PE, 含搅拌/304	PE	套	2
5	氢氧化钠加药泵	计量泵200L/h0.6mpa		套	1
6	pH在线监测仪			套	1
7	PAM加药装置	容积1t加药箱/PE, 含搅拌/304	PE	套	2
8	PAM加药泵	计量泵200L/h0.6mpa		套	2
9	PAC加药装置	容积1t加药箱/PE, 含搅拌/304	PE	套	2
10	PAC加药泵	计量泵200L/h0.6mpa		套	2
四	斜板沉淀池				
1	斜板沉淀池 I	2*7*3m碳钢一体化设备	碳钢	台	1
2	斜板沉淀池 II	2*5*3m碳钢一体化设备	碳钢	台	1
3	出水排泥设备 (自吸泵)	流量: Q=10m <sup>3</sup> /h扬程: H=10m		套	1
五	中间水池				
1	水箱	8m <sup>3</sup>	PE	套	1
2	提升泵 (管道泵)	流量: Q=15m <sup>3</sup> /h扬程: H=20m	铸铁	台	2
六	石英砂过滤器				
1	石英砂过滤器	φ1.5	碳钢	台	1
2	滤料			套	1
七	沸石过滤器				
1	沸石过滤器	φ1.5	碳钢	台	1
2	滤料			套	1
八	清水池				
1	水箱	8m <sup>3</sup>	PE	套	1
2	反洗水泵	流量: Q=30m <sup>3</sup> /h扬程: H=30m	铸铁	台	1
九	污泥浓缩池				
1	水箱	8m <sup>3</sup>	PE	套	1
2	板框压滤机	30m <sup>2</sup> 自动拉板		套	1
3	砂浆泵	流量: Q=10m <sup>3</sup> /h扬程: H=30m	铸铁	台	1
十	电控			套	1

(1) 支架水池和处理设备

废水处理站主要用于施工废水的处理, 占地规划面积为800m<sup>2</sup>, 底部采用水泥硬化

防渗。包括污水处理设备和4个支架池（2个沉淀池、2个暂存池），暂存池用于处理后废水暂存待检及循环使用。



图6.8-21 水处理设备及支架水池

## （2）污水处理运行

### （1）设备调试

连接好风机、水泵控制线路，并注意风机、水泵的转向必须正确无误。

根据现场实际水质情况，对药剂配比、投加量，以及最佳pH等工作条件进行确定；确定药剂的投加量以及其在污水中的处理效率，从而控制污水能够处理达标，并能减少运行成本。

调节修复设备的污水流量大小，以及污水泵的工作频率，以确保污水能够在修复设备中能够有足够的停留时间，达到彻底去除污水中剩余污染物的目的。

### （2）污水处理试运行

通过试运行可以进一步检验土建工程、设备和安装工程的质量，是保证正常运行过程能够成功的基础，进一步达到污染地下水治理项目的环境效益、社会效益和经济效益。

## （3）污水处理运行

### 1) 污水调节

该设施主要对施工产生废水进行初步沉淀和暂存的作用。

沉淀池采用支架水池，底部设置污泥排放口，以使沉淀下来的物质沉于池底后排出，保证出水中悬浮性颗粒较少。

### 2) 反应池处理

污水处理采用“调节池+混凝沉淀+芬顿氧化+石英砂过滤+活性炭吸附”工艺，其中重金属废水采用混凝沉淀，石油烃和乙苯废水采用芬顿氧化+混凝沉淀处理。

隔油池出水进入混凝沉淀单元，该单元通过投加碱稳定pH至8~9，再投加PAC，PAM对污水进行絮凝混凝处理。水中悬浮物凝聚成块后，悬浮物通过斜板填料进行泥水分离，

污泥沉积在沉淀池底部锥斗内，由螺杆泵抽出至污泥脱水单元。上清液通过溢流堰板，自流入缓冲区，随后由泵送入芬顿氧化单元。

芬顿氧化单元先投加酸使废水呈酸性，再投加双氧水和硫酸亚铁。芬顿反应后通过加碱将废水的pH值回调，再投加PAM进行絮凝，随后进入后续设备进行泥水分离。

表6.8-9 水处理药剂投加比

序号	药剂名称	投加比
1	过氧化氢（7%）	0.5%
2	硫酸亚铁	0.3%
3	浓硫酸	0.0125%
4	氢氧化钠	0.015%
5	PAM	0.001%
6	PAC	0.01%

### 3) 沉降池和砂滤罐

反应池的水自流到斜板沉降池，经过沉降处理的上层清水继续流入砂滤罐进行过滤，过滤后的水汇入回用水池等待检测。沉降池底部的污泥通过锥形出泥口排出，输送至叠螺式污泥脱水机进行脱水处理，产生的脱水污泥送至稳定化处理，而滤出的水则回流至暂存池。

### 4) 水体自检测

若处理后水体中重金属和有机污染物的浓度低于修复目标值，则可进行第三方检测。若处理后水体中重金属和有机物浓度仍未达标，则将其回引至污水处理一体化设备进行再次处理。

### 5) 水体回用+外排

经第三方检测达标的水优先利用，其余外置。

### (3) 修复效果

生产废水经现场水处理修复区处理达标后循环使用。

## 第7章 环境管理计划

### 7.1 修复工程监理、环境监理

#### 7.1.1 工作目的

工程监理是受项目法人的委托，依据国家批准的工程项目建设文件、有关工程建设法律、法规和工程建设监理合同及其他工程建设合同，对工程建设实施监督管理，控制工程建设的投资、建设工期和工程质量，以实现项目的经济和社会效益。

环境监理是受污染地块责任主体委托，依据有关环境保护法律法规、地块环境调查评估备案文件、地块修复方案备案文件、环境监理合同等，对地块修复过程实施专业化的环境保护咨询和技术服务，协助和指导建设单位全面落实地块修复过程中的各项环保措施，以实现修复过程中对环境最低程度的破坏、最大限度的保护。

总体目标：监理工程师将依照国家法律、相关技术和经济法规，本行业的标准与规范，以及业主和承包人之间签订的施工合同文件。同时，结合业主与公司签订的施工监理服务合同，监理工程师将积极履行监理职责。他们将独立且公正地执行监理工作，并科学、规范、主动、高效地对工程的质量、进度和费用进行全面监控。通过严格的合同管理，确保工程建设在质量、工期和投资上均能满足施工合同的要求。

质量控制目标：为确保工程质量达到施工合同规定的标准，施工作业必须严格遵循施工合同条款、《技术规范》、相关施工技术规程及地方性法规的规定。在任何情况下，均需确保工程质量满足施工合同要求，并力争实现优良等级。

进度控制目标：在控制工程的总工期方面，应严格遵守业主与承包人间签订的施工合同规定。除非遭遇不可抗力的事件，或者是为了满足业主的特殊需求，工期的变更应当保持在合理的范围内。

投资控制目标：将以业主和承包人之间签定的施工合同总价为基础进行投资控制。除了不可抗力因素或满足业主特定需求的情况外，任何投资变动都应保持在一个合理的限度之内。

环境控制目标：在施工前及施工期间，我们将加强对工地及其周围环境的管理，以确保施工活动不对周边环境产生不良影响。

安全控制目标：将重点强化安全预防措施，目标是确保本项目零重大安全事故发生率。

合同管理目标：严格遵守业主和承包人签订的施工合同条款，监理工程师将在其独立和公正的地位上充分发挥作用，协调承包人、业主以及其他部门之间的关系，规范所有合同方的行为，确保合同条款得到正常执行。

## 7.1.2 工作模式

工程监理和环境监理一般包括三种工作模式：

1、包容式监理模式：在这种模式下，工程监理同时承担环境监理的职责。它的优势在于能够整合工程监理的架构，将环保工作直接与工程的质量、进度和费用挂钩，具有较强的执行力；但也存在劣势，即监理团队可能缺乏环保方面的专业知识，解决环境问题的能力不够专业。

2、独立式监理模式：在此模式中，环境监理与工程监理是相互独立、并行运作的。这种方式的优点是专业性强，能够更好地与环保部门协调，对环保要求理解更为精准；然而，它也有不足之处，比如环境监理人员可能对工程具体实施的知识了解有限，对施工方的约束和指导力度可能不够。

3、组合式环境监理：在这种方式下，监理机构会设立专门的环境监理部门，并由专业的环保人员执行监理工作。其优点是能够实现资源的共享和实时跟进，更好地利用专业性；但缺点在于，环境监理可能会受到工程监理的制约，难以保持必要的独立性。

鉴于修复工程本质上是环保工程，对监理人员在环境保护方面的专业知识有较高的要求。因此，无论选择哪一种模式，都应以实施有效的环境监理为核心目标，确保按照修复方案进行工程建设。

## 7.1.3 监理工作程序及内容

### 7.1.3.1 工程监理程序及内容

根据有关监理规范要求并结合一般工程监理经验，本项目工程监理服务的主要内容

包括：

- 1) 熟悉施工合同文件和施工合同文件，了解施工现场；
- 2) 参加技术交底和各种大小例会，审查承包人提交的复测结果和施工图设计；
- 3) 督促和检查承包人建立的质量保证体系和安全检查体系；
- 4) 主持召开或参加各种工地会议；
- 5) 发布开（复）工令，批准单项工程的开工报告；

- 6) 审核承包人授权的常驻现场代表的资质, 以及派驻现场的主要技术人员的资质;
- 7) 督促承包人严格按照合同条款、技术规范、施工图纸和管理程序施工, 通过旁站、巡视、质检、试验和整体验收等手段, 全面监督、检查和控制工程质量;
- 8) 审查承包人测试、质检人员的资质;
- 9) 审批承包人拟用于本工程的原材料、成套设备的品质以及工艺试验和标准试验;
- 10) 审查承包人拟用于工程的机构装备的性能与数量;
- 11) 审查承包人实施本工程的施工方案及主要方法或工艺;
- 12) 审查分包合同和分包人的资质;
- 13) 审查外购成品或半成品的规格和质量;
- 14) 审查承包人提交的总体施工进度计划, 检查和监督承包人实施进度计划, 核批承包人的修正计划;
- 15) 签发中间交工证书;
- 16) 发布停工令;
- 17) 对修复工程进行准确的计量;
- 18) 审核和签发中间支付申请;
- 19) 发布变更令;
- 20) 编制监理月报、年报, 做好监理日记和监理工作总结;
- 21) 审核交工证书;
- 22) 督促、检查承包人按工程管理部门和业主要求编制竣工文件;
- 23) 编制监理方面的竣工文件;
- 24) 审核最终支付证书;
- 25) 执行施工合同文件中赋予监理工程师的其他有关权利、责任和义务。

### 7.1.3.2环境监理程序及内容

环境控制监测将通过空气、水环境、固体废物环境、声环境四个方面展开, 监测过程主要以日常巡检为主, 并结合第三方检测机构采样检测, 共同完成, 确保环境监测工作的科学性、全面性、准确性。

环境监理工作内容是监督修复工程是否满足环境保护的要求等, 协调好工程与环境保护以及业主与各方的关系。具体的环境监理工作内容包括:

### （1）修复工程设计阶段

设计阶段环境监理内容包括：收集地块调查评估、地块污染修复方案、修复工程施工设计、施工组织方案等基础资料，对修复工程中的环保措施和环保设施设计文件进行审核，关注修复工程的施工位置和异位修复土壤去向，审核修复过程中水、大气、噪声、固体废物等二次污染处理措施的全面性和处理设施的合理性，考虑必要的后期管理措施。

### （2）修复工程施工准备阶段

施工准备阶段环境监理内容包括：了解具体施工程序及各阶段的环境保护目标，参与修复工程设计方案的技术审核，确定环境监理工作重点，协助业主监督完善的环保责任体系，建立有效的沟通方式等并编制地块修复环境监理细则。

### （3）修复工程施工阶段

修复工程施工阶段环境监理内容包括：

核实修复工程是否与修复实施方案符合，环保设施是否落实，是否建立事故应急体系和环境管理制度；监督环境保护工程和措施，监督环保工程进度；检查和监测施工过程中产生的水、气、声、固废排放，施工影响区域应达到规定的环境质量标准；对场内运输污染土壤、污水车辆的密闭性、运输过程进行环境监理；对场内修复工程相关措施（如止水帷幕与施工降水措施等）、抽提装置进行监督管理；施工过程中基坑开挖和支护等是否按有关建筑施工要求进行；对异位处置过程包括储存库及处理现地块面防渗措施的落实和监控；检查污染土储存地块、处置设施的尾气排放设施和监测设施是否完备，确认各项条件是否符合环境要求；检查必要的后期管理长期监测井设置；根据施工环境影响情况，组织环境监测，行使环境监理监督权；向施工单位发出环境监理工作指示并检查环境监理指令的执行情况；协助建设单位处理环境突发事故及环境重大隐患；编写环境监理月报、半年报、年报和专项报告。

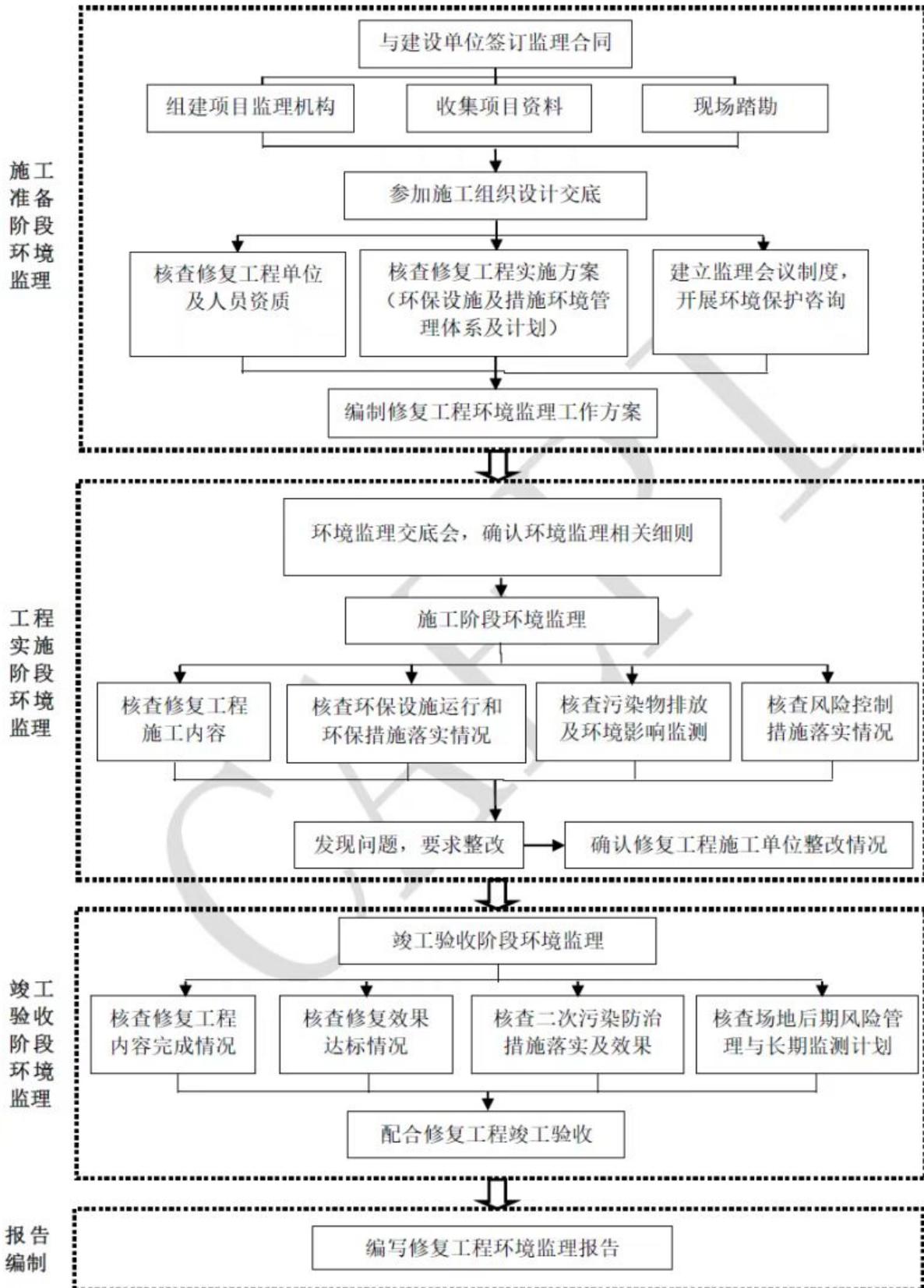


图7.1-1 污染地块修复环境监理工作程序

#### 7.1.4 监理工作制度

#### 7.1.4.1 工程监理工作制度

##### (1) 总监理工程师负责制

工程项目实行总监理工程师负责制，全权代表监理单位履行委托的监理合同内容，承担合同中规定的监理单位的责任和任务，总监对外向业主负责，对内向监理单位负责，确保监理合同的全面履行。

##### (2) 监理的报表制度

督促施工单位做好逐日、周、月的工程报告，工程报告应包括投资、进度、质量、安全和文明施工情况。监理单位每月向业主提交建设监理月报、监理报告应包括投资、进度、质量、安全和文明施工情况。

##### (3) 工程开工申请制度

施工单位在各项开工准备工作完成以后填报工程开报审表，驻地监理工程师对准备情况进行逐项检查审核，签署是否同意开工的意见报总监批准，总监在与业主取得一致意见后下达是否开工的指令。

##### (4) 工地现场例会制度

工地每周或不定期召开一次工地例会，由业主、施工、监理参加，例会的主要内容是检查上一次例会讨论的工作完成情况，解决工地现场出现的有关问题，协调各方关系，安排下步工作，例会由监理方主持召开并形成会议纪要。

##### (5) 施工图会审制度

该会审制度是减少图纸错误、提高设计质量的重要手段，也是保证施工顺利进行的有效措施。对于分批分阶段提供的设计图纸还需分次组织会审。正式会审前，施工方应组织内部预审，将预审内容交监理方汇总，形成统一意见。会审纪要由监理记录、整理，并经与会各方签认盖章。

##### (6) 施工组织设计和施工方案报审制度

施工单位在工程开工前必须向监理提交施工组织设计，并且在每个分部工程、主要分项工程和重要部位施工时，以及在采用新材料、新工艺组织施工时，都应报审施工方案。若施工组织设计和施工方案未经监理工程师审查同意，施工单位不得擅自开始施工。监理工程师将重点审查以下几个方面：

- 1) 施工方案是否经济合理、技术可行，并是否有助于降低工程造价；
- 2) 工程进度计划是否满足合同要求，工序之间的逻辑关系是否准确，各阶段的完

成时间是否符合业主要求；

- 3) 所选施工顺序、方法及确保工程质量的技术措施是否科学合理且实际可行；
- 4) 工程质量是否达到工程承包合同、设计图纸、技术标准和施工规范的要求；
- 5) 施工方法是否存在潜在的工程质量风险；
- 6) 开工前的各项准备工作是否周密、可行；
- 7) 是否有充分的安全保证措施。

#### (7) 工程变更签证制度

施工方提出的设计变更要取得监理工程师同意签字后才向业主提出相关变更需求，监理侧重对工程质量、进度、投资是否有不利影响进行审查，及时向业主反映。

#### (8) 工程款支付签审制度

施工单位按合同上报月度工程量及月度工程款，经监理工程师审查核定后签发付款凭证，并经业主审定后由业主支付。监理工程师应认真核实月进度款的工程量和单价，对修改设计和合同外项目更应重点审核。

#### (9) 工程质量事故处理制度

如施工单位出现重大质量事故，监理工程师应督促承包商按国家有关规定以最快的方式向上级有关部门报告，并及时呈报书面报告。承包商必须严格保护事故现场，采取有效措施抢救人员、防止事故扩大。

### 7.1.4.2 环境监理工作制度

### 7.1.5 监理工作方法

环境监理单位应建立一系列工作制度以保证环境监理工作规范有序地进行。常用的工作制度包括以下九项：

#### (1) 工作记录制度

环境监理记录是信息汇总的重要来源，是环境监理人员做出行为判断的重要基础资料。环境监理人员应根据场地修复、环境监理工作情况做出工作记录，重点描述对项目现场环境保护工作的检查监督情况，描述当时发现的主要环境问题，问题发生的责任单位，分析产生问题的主要原因，提出对问题的处理意见。工作记录主要包括监理日志、现场巡视和旁站记录、会议记录、气象及灾害记录、工程建设大事记录、监测记录等。

#### (2) 文件审核制度

文件审核制度是指环境监理单位对项目承建单位编制的,与场地修复工程相关的环境保护措施和环境保护设施的施工组织设计,进行审核的规定。施工单位编制的施工组织设计和施工措施计划中的环境保护措施、环境保护设施的施工计划等,均须经环境监理单位审核。环境监理单位对上述文件的审核意见,是场地修复工程监管单位批准上述文件的重要参考之一。

### (3) 报告制度

环境监理报告是项目建设中环境保护工作的一项重要内容,监理报告制度是环境监理单位对现场环境监理情况定期报告的规定,包括环境监理月报、季报、半年报、环境监理专题报告、设计阶段和施工阶段环境监理报告、环境监理总报告。

### (4) 函件来往制度

环境监理人员在现场检查过程中发现的环境问题,应通过下发环境监理通知单形式,通知修复工程实施单位需要采取的纠正或处理措施;对修复工程实施单位某些方面的规定或要求,必须通过书面形式通知。情况紧急需口头通知时,随后必须以书面函件形式予以确认。同样,修复工程实施单位对环境问题处理结果的答复以及其他方面的问题,也应致函环境监理人员。

### (5) 会议制度

会议制度是指环境监理单位确定的必须参加或组织的各种会议的规定。环境监理机构应建立环境保护会议制度,在会议期间,施工单位对近一段时间的环境保护工作进行回顾性总结,环境监理人员对该阶段环境保护工作进行全面评议,肯定工作中的成绩,提出存在的问题及整改要求。每次会议都要形成会议纪要,如有重大事故发生,可随时召开会议。

### (6) 应急报告及处理制度

应急报告与处理制度是环境监理单位在现场发生环境紧急事件应采取的报告和处理的的规定。环境监理单位针对环境监理范围内可能出现的环境风险,制定环境紧急事件报告和处理措施应急预案。应急预案中应明确需要及时报告项目建设单位以及环境保护、公安、卫生等行政主管部门的事项,并应明确需要采取的应急措施。

### (7) 人员培训和宣传教育制度

对相关现场人员进行培训和宣传教育,统一环保认识、提高环保意识。

### (8) 档案管理制度

环境监理应结合工程实际建立环保信息管理体系,制定文件管理制度,对文件分类、

归档等方面予以规定，对环保信息进行及时梳理和分析，指导和规范现场工作。

#### （9）质量保证制度

为保证和控制环境监理的工作质量，环境监理应严格按照国家与地方有关规定开展工作，环境监理应严格按照监理方案和实施细则进行。

### 7.1.5.1 工程监理工作方法

#### （1）土壤开挖阶段监理

1) 检查开挖范围和开挖深度是否符合要求。土壤挖掘深度达到调查报告中反映的污染深度后，监理单位需先进行自验，自验合格后由效果评估单位进行取样检测，监测达标后，可停止往下挖掘。监测机构需出具合法的检测报告，并保留土壤样品以备复查，否则应继续挖掘直到达到要求。

2) 检查开挖位置是否处于《调查报告》反映的污染区域。

#### （2）污染土壤堆置环节监理

在原则上，临时堆放挖掘出的污染土壤的位置需要采取防渗措施，并且要设置排水沟，以防止堆放区域表层土壤发生二次污染。在装载污染土壤之后，应及时覆盖防护毯，这不仅可以防止污染物的扩散，还可以避免污染土壤的散落。

#### （3）土壤运输过程监理

主要内容涵盖多个方面，包括运输时间、车牌号、运输土方的净重以及到达目的地的净重。同时，检查运输车辆上的土壤是否有完好的苫盖保护，设计的运输路线上是否设置了警示标识，以及运输过程是否严格按照设计路线执行。此外，还需记录是否制定了应急预案等流程细节。

### 7.1.5.2 环境监理工作方法

环境监理的工作方法主要包括核查、监督、报告、咨询、宣传培训等。

#### （1）核查

在修复工程实施之前，修复方案中的修复技术、修复地点、相关环保措施等内容可能会出现调整变化。环境监理应根据相关法规仔细审核修复方案与相关文件的符合性，对调整的内容及其可能产生的环境影响进行初步判断，并及时反馈业主，建议业主完善相关环保手续或要求修复单位对修复方案进行补充完善。

修复方案实施过程中，环境监理应审查各承包商报送的分项施工组织设计、施工工

艺等涉及环境保护的内容，做好对施工方案的审核，在环境监理审核通过后方可进行相关施工工序。若因其他原因调整修复方案，环境监理应通过资料核对和现场调查的方式，全程持续调查修复项目实际的工程内容、污染防治措施等是否按照设计文件施工。

重点核查以下内容：核查修复工程与修复技术方案的变化情况，如发生重大变化，应尽快督促业主履行相关手续。重点关注修复工程与相关敏感区位置关系的变化、施工方案的变化可能带来的对环境敏感区影响的变化。重点关注针对环境敏感区采取的环保措施等是否落实到修复方案及实施过程中。

## （2）巡视

修复环境监理单位在及时与修复工程实施单位沟通的前提下，按照一定频次对项目现场开展巡视检查，掌握修复工程实际情况和进度，对修复工程方案符合性、环保达标等方面现场查找问题、提出建议，并做好现场巡视记录。

## （3）旁站

在关键工程开始前到场旁站，重点检查要求的污染防治措施和生态保护措施是否落实到位、环保设备是否按照设计要求进行施工及安装等，在关键工序和环保设备安装结束后方可离开，离开前应检查评估施工可能造成的污染是否控制在既定目标内。在旁站过程中，环境监理单位应做好定时记录，并将评估结果整理上报建设单位。

## （4）跟踪检查

在巡视和旁站过程中发现的问题，环境监理开具联系单建议修复工程实施单位进行整改，在相关环保问题的整改完成后，环境监理应对相应问题的整改情况进行跟踪检查。

## （5）环境监测

为掌握修复工程实施情况及日常施工造成的环境污染情况，环境监理单位通过便携式环境监测仪器进行简单的现场环境监测，辅助环境监理工作；复杂的环境监测内容可以建议修复工程实施单位另行委托有资质的单位开展。

（6）环境监理会议环境监理工作会议主要包括第一次环境监理工作会议、环境监理例会、环境监理专题会议等形式。其中环境监理例会应在开工后的施工期间内定期举行，一般每月召开一次，具体时间间隔根据工程实际情况由环境监理技术负责人确定，在会议上承包商需提交环保工作月报，定期汇报当月环保工作情况。

## （7）信息反馈

环境监理人员现场巡视检查发现施工引起的环境污染问题时，应立即通知施工单位的现场负责人员纠正和整改。一般性或操作性的问题，采取口头通知形式。口头通知无

效或有污染隐患时，监理人员应将情况报告环境监理总技术负责人，环境监理总技术负责人签发《环境监理整改通知单》，要求施工单位限期整改，并同时抄送建设单位。整改完成后，由环境监理会同建设单位、工程监理单位对整改结果是否满足要求进行检查。对于一般性问题，环境监理单位下发环境监理业务联系单。

(8) 记录和报告记录包括现场记录和事后总结记录。现场记录包括环境监理人员日常填写的监理日志、现场巡视和旁站记录等；事后总结记录包括环境监理会议记录、主体工程施工大事记录、环保污染事故记录等。

报告包括定期报告、专题报告、阶段报告、总结报告。定期报告：根据工程进度，编制工作月报、季报、年报等定期报告提交至建设单位，对当前阶段环保工作的重点和取得的成果、现存的主要环境保护问题、建议解决的方案、下阶段工作计划等进行及时总结。应包括以下内容：工程概况、环境保护执行情况、主体工程环保工程进展、施工营地和工程环保措施落实情况、环保事故隐患或环保事故、环境监理现存问题及建议。

专题报告：在项目出现方案不符、环保措施落实不到位或其他重大环保问题时，需形成环境监理专题报告报建设单位。工程施工涉及环境敏感目标时，编制专题报告，反映环保重点关注对象，提出环保要求。

阶段报告：项目完成施工后、运行之前，应就修复工程设计、施工过程中的环境监理工作进行总结。

总结报告：就修复过程中环保设计、实施、运行情况总结，反映存在的问题并提出建议，是竣工验收的必备材料。

## 7.1.6 监理要点

### 7.1.6.1 修复工程主体环境监理要点

土壤修复工程，可以分为清挖环节、运输/暂存环节、修复环节、回填/外运环节环境监理，具体如下：

1) 清挖环节可在污染区域边界、侧壁、坑底采样，根据检测数据确定清挖是否达到边界，以避免修复验收阶段发现问题后再次返工，监测点布置可参照异位修复验收技术要求布点；严格控制开挖过程中有机物气味扩散，采取喷洒气味抑制剂等措施避免污染土壤对周边环境产生影响，并在清挖区域周边设置大气监测点进行监测；监督污染土壤外运过程中的封闭措施，避免遗撒等情况产生；监督清挖后土壤堆放地面的防渗情况，

对于具有异味的有机物污染物，应检查存储设施密闭情况，并在存储设施周边进行布点监测，监测布点方式具体见《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019)。

2) 运输/暂存环节监督运输车辆按照指定路线转移至处理区域，核查运输车次和运输量，监督污染土壤运输过程中的封闭措施，避免遗撒等情况产生。跟踪检查暂存地块或暂存大棚的构建过程，监督清挖后土壤堆放地面的防渗情况，对于具有异味的有机物污染物，应检查存储设施密闭情况。

### 3) 修复环节

重金属土壤修复：监督地块地面防渗设施和措施；监督修复工程是否按照实施方案技术参数实施；对修复后土壤进行采样，初步确定修复效果，监督修复后土壤的堆存以备验收，可根据修复工程批次处理量进行采样检测；修复过程中对设备运行等可能的二次污染进行监督和管理。

有机污染与复合污染土壤修复：包括上述重金属土壤修复监理要点，并需要对处理设施密闭情况、尾气收集处理情况进行监理，在修复工程周边及场界设置大气环境监测点，周边环境影响监测布点方式具体见《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019)。

4) 回填/外运环节对修复后土壤的回填过程进行监督管理，监督回填土壤是否根据土地利用规划合理回填。

表7.1-1 污染土壤修复工程环境监理要点

修复模式	环境监理关键环节	主体修复工程环境监理要点	二次污染控制环境监理要点
异位修复	挖掘环节	1.区域放样结果； 2.施工安全措施及安全标志； 3.放样范围关键点保护措施； 4.必要的基坑降水过程； 5.挖掘后基坑形状、尺寸和方量； 6. 乙苯污染区域密闭开挖。	1.产生的粉尘及其控制和处理； 2.产生的有机污染气体和气味及其控制和处理； 3.产生的废水及其控制和处理； 4.产生的噪声及其控制和处理； 5.产生的固废尤其是危险废物及其控制和处置。
	短驳或运输环节	1.监督车辆按指定路线转移至处理区域； 2.运输车次和运输量。	运输车辆的密封性，严禁跑冒滴漏。
	土壤暂存	1.暂存场或暂存库的构建过程；	1.暂存场或暂存库构建环保材料(如HDPE

环节	2.污染土壤的分类堆放情况。	膜、土工布等)数量和质量； 2.环保材料使用情况。
土壤修复环节	1.土壤预处理(如筛分、破碎等)过程； 2.修复工程辅助构筑物(如密封2大棚)的构建； 3.修复设备和仪器运行使用情况； 4.修复技术工艺实施情况，包括流程、主要环节和工艺参数等。 5.监督修复工程是否按照实施方案技术参数实施； 6.对修复后土壤进行采样，初步确定修复效果，监督修复后土壤的堆存以备验收。	1.修复区域地面防渗设施和措施； 2.设备使用或清洗过程的交叉污染情况； 3.产生的粉尘及其控制； 4.监督处理设施密闭情况、尾气收集处理情况等； 5.产生的有机污染气体和气味及其控制； 6.产生的废水及其控制； 7.二次污染监测点位布设和现场采样过程。
修复后土壤回填或外运环节	1.土壤回填位置； 2.监督修复后土壤的回填过程； 3.土壤外运地点和处置方式； 4.监督回填土壤是否根据土地利用规划合理回填。	外运车辆的密封性，严禁跑冒滴漏。

### 7.1.7环境监理重要文件资料的编制

环境监理报告主要包括环境监理方案、环境监理细则、环境监理定期报告、环境监理总结报告。

## 7.2修复工程环境影响监测方案

环境检测方案主要针对项目主要施工过程中地块内污染土壤的开挖、运输、修复后土壤暂存等过程，此外还包括基坑开挖过程中基坑支护、降水等。项目周边有敏感点，污染土方在开挖、运输、堆存、处置和修复治理过程中必定会对周边环境和居民造成环境影响。因此需要对开挖地块、转运途中和处置地块周边环境进行严密监测保障施工安全和周边环境不受污染影响。

### 7.2.1大气环境监测

#### 7.2.1.1无组织排放监测点位布设

根据《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T55-2000)中第4章以及《建设用

地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)的相关规定,结合本项目污染区域的分布和后期修复施工单位实际开挖作业安排,分别在地块场界上、下风向结合敏感区方位设置大气采样点,以便更好的监控项目作业对场界和敏感点大气环境的影响。



图7.2-1 大气监测点位布设图

表7.2-1 大气监测点位

编号	方位	点位说明	备注
G1	北	金谷国际	小区
G2	西北	城北中学	学校
G3	西北	东海国际	小区
G4	西南	敦厚村	村庄
G5	南	合盈家园	小区
G6	东	保利时代天铂	小区

## (2) 监测项目和评价标准

本项目修复过程中的场界监测项目为颗粒物、汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯、非甲烷总烃,无组织排放的标准执行《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)中第二时段的相应标准,若标准中未提及的则执行《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2020);场界臭气排放执行《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993)中恶臭污染物场界标准值的二级标准。项目周边敏感点环境空气功能区为二类,执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中的二级浓度限值标准。具体废气无组织排放监测项目与监测浓度限

值见下表。

表7.2-2 组织排放监测项目与监测浓度限值

区域	监测项	浓度限值	单位	参考标准
场界	颗粒物	1.0	mg/m <sup>3</sup>	《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)
	汞	0.0012	mg/m <sup>3</sup>	
	砷	0.010	mg/m <sup>3</sup>	
	非甲烷总烃	5.0	mg/m <sup>3</sup>	
	乙苯	—	—	—
	钨			
	钼			
	铜	2.0	mg/m <sup>3</sup>	《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2020)
	锑	2.0	mg/m <sup>3</sup>	
	臭气	20	无量纲	《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993)
敏感点	PM10	150(24h平均)	μg/m <sup>3</sup>	《环境空气质量标准》(GB3095-2012)
	非甲烷总烃	5.0	mg/m <sup>3</sup>	
	乙苯			

(3) 监测频次

针对项目所布设的大气监测点，施工前进行1次背景值的监测，施工阶段每月进行2次取样监测（根据项目需求可酌情增加监测频次），施工完成后进行一次监测。

表7.2-3 监测频次统计

指标	监测时间	监测频次
颗粒物、重金属、非甲烷总烃、PM10、乙苯	修复施工前期	施工前采样监测背景值，大气采样监测 1 次
	修复施工阶段	每月取样监测2次
	修复施工完成	大气采样监测1次

7.2.1.2固定源排放监测

(1) 监测点位布设

按照《固定源废气监测技术规范》(HJ/T 397-2007)等的要求，采样位置应优先选择在垂直管段，避开烟道弯头和断面急剧变化的部位，距弯头、阀门、变径管下游方向不小于6倍直径，距上述部件上游方向不小于3倍直径处，本项目烟囱为圆形管道，按照圆形断面的布点要求布设采样点。

表7.2-4 大气监测点位

监测点位	监测对象
X1	热脱附尾气烟囱15m高度
X2	预处理大棚尾气烟囱15m高度
X3	密闭开挖大棚尾气烟囱15m高度

### (2) 监测项目和评价标准

本项目施工现场固定源排放的废气中，颗粒物、汞、砷等指标执行《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001) 第二时段二级排放速率限值；二噁英、铜、镉排放执行《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2020)。具体固定源排放监测项目和排放标准见下表：

**表7.2-5 固定源排放监测项目和排放标准**

监测项目	浓度限值	参考标准
颗粒物	最高允许排放浓度：120mg/m <sup>3</sup> 最高允许排放速率：2.9kg/h	《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)
汞	最高允许排放浓度：0.010mg/m <sup>3</sup> 最高允许排放速率：1.3×10 <sup>-3</sup> kg/h	
砷	最高允许排放浓度：1.5mg/m <sup>3</sup> 最高允许排放速率：0.013×10 <sup>-3</sup> kg/h	
非甲烷总烃	最高允许排放浓度：120mg/m <sup>3</sup> 最高允许排放速率：8.4kg/h	
二噁英	0.5ngTEQ/Nm <sup>3</sup>	《危险废物焚烧污染控制标准》 (GB18484-2020)
铜	2.0 mg/m <sup>3</sup>	
镉	2.0 mg/m <sup>3</sup>	
乙苯	—	—
钨		
钼		

### (3) 监测频次

针对固定源监测点位，修复期间按照修复方案中提出的目标污染物进行现场相关修复设施尾气排放口处的取样自检测。常规指标颗粒物、非甲烷总烃以每月进行2次监测；非常规指标二噁英在热脱附设备完成调试后，对热脱附尾气进行1次监测；对污染物汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯每月进行2次监测。

具体检测指标和监测频次如下表所示。

**表7.2-6 固定源监测指标**

指标类别	监测指标	监测频次
常规指标	颗粒物、非甲烷总烃	每月2次
非常规指标	二噁英	热脱附设备调试完成后监测一次
污染物	汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯	每月2次

## 7.2.2水环境监测

### (1) 监测点布设

为确保施工过程中对周围水体环境不产生污染，需对包括基坑积水、污染土壤暂存地块表径流废水及工艺废水，处理达标后进行回用或者纳管排放。根据佛山市水环境管理相关政策，在污水处理设施出水口设置污水采样监测点。

### (2) 监测指标和评价标准

其检测标准为本项目污水处理后的水质拟采用《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）城市绿化、道路清扫、消防和建筑施工用水的标准、《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中IV类水标准和集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值以及根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）计算得出的筛选值。

表7.2-7 废水监测项目与标准

检测指标	标准限值（mg/L）	评价标准
pH	6.0-9.0	《城市污水再生利用城市杂用水水质》 （GB/T18920-2020）建筑施工用水的标准
色度	30	
浊度	10	
溶解性总固体	1000	
汞	0.001	《地表水环境质量标准》（GB3838-2002） IV类水标准
砷	0.1	
铜	1.0	
乙苯	0.3	《地表水环境质量标准》（GB3838-2002） 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值
镉	0.005	
钼	0.07	
石油烃（C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> ）	0.548	《建设用地土壤污染风险评估技术导则》 （HJ25.3-2019）筛选值
钨	0.0137	

### (3) 监测频次

针对项目所布设的土壤监测点，施工前进行1次背景值的监测，施工阶段每月进行1次取样监测（根据项目需求可酌情增加监测频次），施工完成后进行一次监测。

## 7.2.3 声环境监测

### (1) 监测点布设

项目施工过程中产生的噪声会影响到周边敏感区，包括居民区、教学区，所以需要到场区内外噪声进行监测，以达到早发现早解决的目的。测量时尽量选择无雨、无雪、风力6级以下的气候，且选在地块平坦、无大反射物地块中进行监测。

噪声的监测方法按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》。噪声监测围绕场界四周选择离敏感区域最近4个采样点，此外，还需要地块周边选择2~3处敏感点布设采样点。每个采样点位置设在高度1.2m以上的噪声敏感处。



图7.2-2 噪声监测点位布设图

表7.2-8 噪声监测点位

编号	方位	点位说明	备注
N1	北	场界	/
N2	西	场界	/
N3	南	场界	/
N4	东	场界	/
N5	西南	佛山市朝阳幼儿园（禅城区）	学校
N6	西南	佛山照明集团大厦	办公场所

### (2) 监测项目和标准

采用积分平均声级计测量，以20min的等效A声级表征该点的噪声值。监测方法按照《建筑施工场界噪声排放标准》（GB12523-2011）执行。各个测点的测量结果应单独

评价，最大声级直接评价。通过和下表的限值比较，小于限值的场界监测点就没有对周边环境产生噪声污染；大于噪声限值的监测点要及时查找噪声来源，并且尽快降低噪声分贝，迅速解决施工噪声问题。

**表7.2-9 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB (A)**

昼间 dB (A)	夜间 dB (A)
70	55

根据《佛山市人民政府关于印发佛山市声环境功能区划分方案的通知》(佛 府函(2015) 72号)的划分，项目周边敏感点所在地区属于声环境2类功能区，适用《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的2类功能区限值。

**表7.2-10 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB (A)**

声功能区类别	时段	
	昼间	夜间
2类	60	50

### (3) 监测频次

白天测量选在8:00~12:00或14:00~18:00，夜间选在22:00~6:00。地块内污染土开挖运输与修复施工期间每天采样测定。

## 7.3二次污染防范

本项目污染物需关注有汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯和石油烃(C10-C40)。修复治理过程中若不采取防范措施加以控制和管理，则会造成二次污染，从而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污染风险防范工作尤为重要。

本项目在场地修复治理实施的全过程中，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、水和噪声环境进行环境污染风险防范控制与管理。

### 7.3.1环境保护标准

(1) 生活污水排放执行《广东省地方标准水污染物排放限值》(DB44/26-2001) 第二时段三级标准；

(2) 废水回用执行《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)，对于其中没有的指标，则选用《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中IV类水标准、集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值或《建设用地土壤污染风险评估技术导

则》(HJ25.3-2019)推导出来的地下水IV类水筛选值;

(3) 大气排放执行《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)中第二时段的相应标准;

(4) 根据《佛山市声环境功能区划分方案》(佛府函[2015]72号),本工程佛山市区段位于佛山市2类声环境功能区,评价标准采用《声环境质量标准》(GB3096-2008)。

### 7.3.2 二次污染防治组织措施

#### 1、组建污染防治责任小组

以项目经理为核心建立污染防治责任小组,由施工负责人统筹负责现场施工生产过程中的污染防治任务,由技术负责人统筹负责修复过程中污染防治任务,再到各个基层负责人。

#### 2、建立环境保护例会制度

利用每周例会机会召开一次“施工现场环境保护”会,总结前一阶段的施工现场环境保护管理情况,布置下一阶段的施工现场环境保护管理工作。

#### 3、建立并执行施工现场环境保护管理检查制度

每月组织一次由各施工班组长和施工现场环境保护管理负责人参加的组检查,根据检查情况按《施工现场环境保护管理检查记录表》评比打分,对检查中所发现的问题,开出《隐患问题通知单》,各施工班组在收到《隐患问题通知单》后应根据具体情况定时间、定人、定措施予以解决,项目经理部有关人员监督落实解决情况。

#### 4、建立环境保护安全检查制度

根据ISO 14001标准第4.4.6条款的规定,我们已建立并实施了一套针对施工现场环境保护的管理检查体系。该体系要求我们每周至少进行一次环境保护及安全检查,该检查需由环境保护管理的负责人主持。对于在检查中发现的问题,我们将基于问题的具体性质,制定明确的解决时限、责任人和改进措施。此外,施工项目的环境保护专员将根据相关规定,负责验证整改措施的实施情况。

#### 5、实行环境监测管理制度

(1) 根据业主及相关部门的要求,建立并完善环境监测管理制度,以确保修复效果达到预期,同时保证过程中产生的污染物符合标准排放。

(2) 工艺工程师根据相关要求和项目的特点,制定详细的监测计划,并严格按照计划中的规定执行,以保障环境监测工作的顺利进行。

(3) 环境监测岗位的工作人员应采用标准化的采样方法。项目部需要定期组织针对环境监测人员的培训，并确保只有经过培训并合格的人员才能上岗。

(4) 环境监测人员需依照监测计划定期进行环境监测，并详细记录监测数据。监测数据应被及时汇总，并整理成监测报告提交给项目技术负责人。同时，监测过程中遇到的技术问题应定期总结、反馈，并及时解决。

(5) 按照环境监测设备的运维要求，系统维护人员需定期对监测设备进行检查和维护，以确保设备的正常和稳定运行。

#### 6、建立环境保护管理资料存档制度

为确保项目顺利实施，各个方面的资料记录工作至关重要。因此，建立并完善施工现场环境保护管理的资料记录体系成为了项目管理中的一个关键环节。这包括：记录环保施工活动，确保所有环境保护措施都有详细的文档记录；制定环境保护施工相关的教育、培训及考核计划，并对应地准备和保存必要的记录和资料；在施工现场日志中明确记录环境保护管理的具体施工内容及实施的保护措施；通过这样的管理制度，我们可以保障施工现场的环境保护措施得到有效执行，并确保整个施工过程符合环保标准。

### 7.3.3水环境二次污染防治措施

#### 7.3.3.1污（废）水来源分析

根据水环境影响的分析，在污染场地修复施工期间，可能导致水环境二次污染的主要因素包括：污染土壤挖掘过程中产生的生产废水和施工人员生活污水。具体而言，生产废水主要来源于基坑的涌水、筛分后物质的清洗废水、热脱附处理过程中的喷淋冷凝水，以及施工车辆的清洗废水。

##### 1) 筛上物清洗废水

筛上物是指在污染土壤清挖过程中筛分出的渣块，这些通常包括硬化地面碎片、建筑废料和石块等。由于这些渣块与污染土壤长期密切接触，并且其表面通常附着有污染物，所以在施工中需要对筛上物进行彻底的清洗。清洗的目标是去除表面的污染土，直到筛上物的表面变得干净且没有残留土壤。

本场地基坑污染面积约20752.88m<sup>2</sup>，总计污染土约32736.12m<sup>3</sup>。根据本地块的《场调报告》和现场踏勘情况，硬化地面破碎形成的筛上物（建渣量）为5582.5m<sup>3</sup>，洗石量与用水量按1: 0.5计算，总计2791.25m<sup>3</sup>洗石用水，废水产生量按照用水量的80%计算，

则洗石废水产生量为2233m<sup>3</sup>。

### 3) 车辆清洗废水

施工现场工程车辆、机械设备、运输车辆较多，在车辆的总出入口设置洗车区，所有清洗车辆产生的废水收集集中处理，检测合格后外运处理。

本项目一天渣土运输车次按10车次计，冲洗水按100L/辆·次，车辆冲洗用水量为1m<sup>3</sup>/d，废水产生量按照用水量80%计算，则洗车废水为0.8m<sup>3</sup>/d，污染土开挖与转运工期为170天，洗车废水量共136m<sup>3</sup>。

### 4) 基坑防雨

根据禅城区气象台历年统计资料，该地区全年降雨量充沛，降雨集中在4~9月份。因此，在施工过程中，需要采取措施防止雨季降水造成基坑积水，避免雨水进入基坑或与污染土壤接触。

### 5) 热脱附设备喷淋冷凝水

汞污染土热脱附后通过冷凝塔、淋洗塔会产生含汞废水，建议在热脱附废气处理装置处加装汞废水处理装置，通过酸洗条件、加硫化钠、硅藻土等发生化学反应，通过PAC、PAM形成絮凝沉淀，将絮凝沉淀物泵入浓缩沉淀池形成上清液和含汞泥浆，上清液循环使用，四联池底部的含汞泥浆泵入压滤机进行压滤，压滤后产生的泥饼统称为富汞渣，压滤后的富含汞的滤液进入浓缩沉淀池沉淀，而浓缩沉淀池中的含汞浓缩泥浆则经过板框压滤机进行固液分离，固液分离出来的滤液中含有汞液，该滤液进入斜板沉淀池进行分离，由于汞液的密度远大于水的密度，斜板沉淀池的上清液将是清水，下层的富含汞的液体经收集后资源化处置。沉淀池、污泥浓缩池、斜板沉淀池的上清液进入石英砂过滤系统进行处置后回用。富汞泥饼、废弃活性炭经收集暂存后，送入具有资质的单位进行资源化处置。

## 7.3.3.2污（废）水治理

为了应对施工现场的雨水管理问题，需要采用一系列技术措施和相关设备进行雨水控制。具体措施如下：

1) 在基坑外围设置防水堤和排水沟，以防止雨水流入基坑中，从而有效防止污染物随雨水扩散。

2) 根据天气条件和现场情况，在基坑的清挖区域部署防雨布或高密度聚乙烯(HDPE)膜等密闭防渗材料，避免雨水直接与污染土壤接触。

3) 如果雨水仍然进入基坑, 应该在基坑底部整平并建设排水沟, 并在基坑内部设置一个或多个集水坑, 以便于收集和引导雨水。

4) 利用HDPE膜或防雨布作为引水布, 有序地将雨水导入到基坑内的集水坑中。

5) 在覆盖了防渗材料的集水坑中放置水泵设备, 以便将集水坑中的雨水抽出并远离基坑, 保持基坑干燥, 防止污染物的扩散。

通过上述措施, 可以有效地管理雨水, 减少因雨水造成的二次污染风险。

厂区废水污染物需关注有汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯和石油烃(C10-C40), 废水经过统一收集至一体化污水处理设备, 设备总处理能力建议为100m<sup>3</sup>/h, 污水处理采用“调节池+混凝沉淀+芬顿氧化+石英砂过滤+活性炭吸附”工艺, 其中重金属废水采用混凝沉淀, 石油烃和乙苯废水采用芬顿氧化+混凝沉淀处理。本项目施工过程中产生的废水经处理达标后用于场内回用。场内回用用水处理后满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)、《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)或《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)。

### 7.3.4 大气二次污染防治措施

#### 7.3.4.1 大气污染源分析

施工过程中主要在以下环节产生废气、粉尘及异味:

(1) 清挖现场阶段, 可挥发性有机物和重金属可能分别通过挥发和扬尘进入大气。

(2) 污染土壤从清挖点运输到暂存或修复区的过程中, 存在有机物挥发和重金属扬尘的风险。

(3) 在污染土壤的暂存、预处理及修复阶段, 也可能发生有机物挥发和扬尘问题。

(4) 此外, 机械设备运行产生的尾气和厂区内部的扬尘也是污染源之一。

表7.2-11 修复过程可能产生的气态污染

序号	产生环节	污染产生途径	示意图
1	污染土清挖	有机物挥发 扬尘	

2	污染土运输	有机物挥发 扬尘	
3	污染土暂存	有机物挥发 扬尘	
4	污染土预处理	有机物挥发 扬尘	
5	污染土修复	有机物挥发 扬尘	
6	其它	机械设备尾气 厂区扬尘	

### 7.3.4.2 大气污染防治措施

#### 1、污染土壤清挖施工中二次污染防治措施

(1) 为了有效减少施工中的粉尘和有机污染物的扩散，应采取以下措施：加强挖掘工程的管理，合理安排挖掘作业的时间表，尽可能缩小开挖面积，以减少粉尘的生成；

对于清挖出的有机污染土和重金属污染土的基坑，应分别使用HDPE膜和防雨布进行覆盖，以防止粉尘扬起和有机污染物的挥发。

(2)在污染土壤开挖过程中，应使用高压微雾喷雾装置对作业现场进行降尘处理。



图7.3-1 强雾化水汽喷射装置

(3)在污染土壤开挖施工时，应采用分层清挖的方法，并限制每次开挖的面积不超过100平方米。开挖时应进行覆盖作业，使用1mm厚的HDPE膜覆盖已经开挖的土壤表面，并确保膜的覆盖范围延伸到清挖区域之外的2米，这样做是为了防止和控制有害气体及扬尘的散发。

(4)在修复污染土壤的施工过程中，如果检测到挥发性气体产生异味，应立即对裸露的土壤开挖面喷洒臭味抑制剂。这一措施旨在通过泡沫液膜将污染物封闭起来，从而迅速减少空气中污染物的浓度，并降低刺激性有害气体的排放。

(5)针对乙苯污染土壤开挖搭建负压大棚，对逸散的乙苯气体进行收集处置。为防止挥发性有机气体扩散造成污染，在密闭大棚中进行开挖，大棚配套尾气处理系统，引风机不断抽出棚内空气进行处理后排放，总体上使棚内气压微小于棚外，形成棚内空气不主动外泄的微负压环境，控制产生空气中的二次污染，废气经收集后由布袋除尘器及活性炭吸附装置处理达标后经15m高烟囱排放。

## 2、场内污染土运输施工过程中二次污染防治措施

(1)确保运输计划的严格执行，合理调度车辆，采取防泄漏措施并使用密闭车厢，场内车速控制在20公里/小时以内，以实现全程密闭、安全的运输。



图7.3-2 密闭运输车

(2) 在运输过程中，以控制车速为基础，通过定期洒水降尘来有效减少运输车辆产生的粉尘污染。应使用水泵和阀门调节洒水的频次和量，尤其在大风等天气条件下，适时增加洒水次数来控制扬尘。如有必要，可配合使用洒水车。同时，要密切关注国家气象局的天气预报，根据天气状况提前安排施工进度，遇有强台风等恶劣天气时暂停施工，并确保现场施工区域得到妥善苫盖。



图7.3-3 道路两侧喷淋管

### 3、土壤暂存过程中二次污染防治措施

土壤暂存过程主要为现场清洁土暂存、筛上物暂存、热脱附修复后土壤暂存和疑似

污染土暂存，暂存过程可能导致大气扬尘污染，针对项目实施过程中的土壤暂存过程，主要采取以下二次污染防治措施。

(1) 清洁土暂存过程，为了防治扬尘污染大气，现场不定期洒水，保证土堆的表层含水率，覆盖防尘网，避免土堆扬尘。

(2) 筛上物暂存区采用硬化地面，并铺设防渗布，以防止污染渗漏，并在土壤上层覆盖防尘网，以防止扬尘产生。



图7.3-4 覆盖防尘网

(3) 热脱附修复后土壤暂存在修复后土壤暂存区，地面硬化并覆盖防雨布。

(4) 对于污染层上方0.5m清洁土当作疑似污染土处理，疑似污染土暂存区采用C30混凝硬化，周边设置排水沟。

#### 4、污染土预处理过程中的二次污染防治措施

污染土预处理过程主要包括土壤的筛分、预处理等过程，拟采用以下二次污染防治措施：

(1) 在封闭的大棚内进行土壤预处理，以阻止有机气体的释放。对大棚进行抽风换气处理，并对排气筒废气处理后排放。尾气处理系统采用脉冲式布袋除尘器除尘+活性炭吸附装置处理系统工艺，尾气设备处理能力需达到每小时大棚内完成2倍体积换风的能力，最后尾气经15m高排气筒达标排放。

(2) 在土壤筛分过程中，为了防止扬尘，将采用喷水降尘的方法，以预防二次扬尘污染。

#### 5、污染土修复过程中的二次污染防治措施

修复过程中，二次污染的主要来源为：异位热脱附进出料大棚气体逸散，异位热脱附过程中的尾气。本项目拟采用以下措施防治二次污染。

异位热脱附修复过程二次污染防治有：

①异位热脱附配备进出料密闭大棚，防止有害气体逸散，并配备有尾气收集及处理装置。

②制定异位热脱附设备操作手册，严格按规程操作，密闭性热脱附设备。

③含汞尾气采用三级降温（喷淋）冷凝+活性炭吸附组合技术净化处理，含汞污染土的废气经过除尘后通过管道进入尾气处理单元，经急冷洗涤塔使高温热脱附气体温度降至80℃以下，再经填料洗涤塔使热脱附气体温度降至60℃以下，最后经冷凝盘管降温至5℃以下。该方法可使尾气汞的去除率达到99.99%以上。处理尾气产生的含汞废水采用“混凝+沉淀+过滤+冷却”组合工艺净化处理，废水净化后循环使用，废水中的单质汞经浓缩提纯后进行回收，其余汞富集在水处理泥饼中，统一收集后进行最终处置。热脱附气体中的绝大部分的汞冷凝下来随洗涤废水进入到工艺水处理单元，剩余热脱附气体经载硫脱汞活性炭吸附罐处置后达标排放。

④处理有机污染土的尾气处理方式尾气二次燃烧。气体燃烧净化方式的气体燃烧温度高达800-1200℃，在足够的停留时间下，能够对进入燃烧器的颗粒态和气态污染物进行彻底的焚毁去除，降解为二氧化碳和水蒸气，确保尾气中的各种有机污染物的达标处理。

## 6、其他二次污染防治措施

①制定运输计划并严格执行，合理使用车辆，采用防泄漏措施和密封车厢，严禁超载，遵守交通规则，保证安全运输。

②在施工现场周围建筑防护围墙，运输车辆运输通道经常清扫，进出场地的车辆应限制车速，减少车辆通过时带起扬尘。

③加强挖掘运输管理，提高开挖和清运速度，合理装卸，规范操作，缩小粉尘影响范围。

④加强防尘的监控管理，在施工期间对场内道路、车辆定期喷洒自来水抑制扬尘，并派专人监督执行。

⑤对容易起尘的细料和松散材料，特别是分选后的泥土应予以防尘网苫盖或适当的洒水喷湿防尘。

⑥所有运输车辆必须安装尾气净化器，使用符合国家标准的燃料，严禁使用劣质燃

料。

⑦所有机动车辆都定期在市环境保护行政管理部门依法委托具有相应资质的机构进行排气污染检测，并取得了环保检验合格标志。

⑧对易挥发物品（如汽油等）的存放位置要安全可靠、密闭，使用时尽量缩短容器开启时间，确保储、运不挥发、不泄露。

⑨石灰和其他易飞扬物、细颗粒散体材料等应该安排在库内存放或严密遮盖，运输时要防止遗洒、飞扬，卸运时采取码放措施，减少污染。

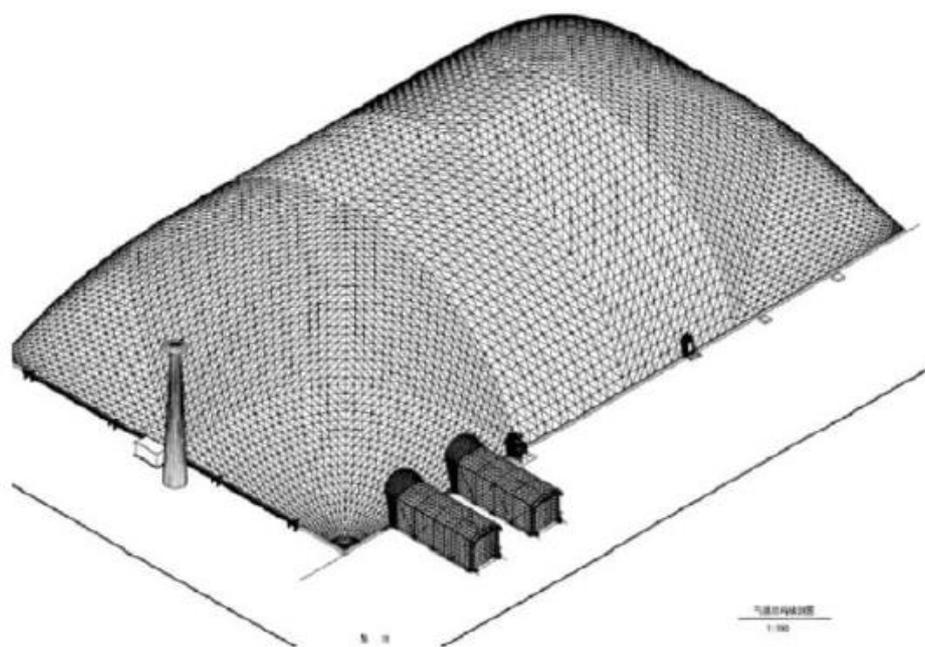


图7.3-5 负压密闭大棚示意图

### 7.3.5 噪声环境二次污染防治措施

#### 7.3.5.1 噪声来源分析

施工过程中噪声产生源主要为挖掘机、运输车辆、筛分机等设备运行时产生的机械设备噪声。项目场地临近居民区，因此施工时需合理安排机械设备施工，采取降噪措施削减噪声源源强度，机械配备消声装置，保证白天与夜间场界噪声达标，现场噪声定期监测。本项目以机械噪声和风机噪声控制为重点，从施工现场的各个方面进行噪声的安全管理。

#### 7.3.5.2 噪声污染防治措施

##### (1) 人为噪声的控制

施工现场提倡文明施工，建立健全人为噪声的管理制度，增强全体施工人员防噪声扰民的自觉意识。严禁以在钢管、机械上敲打金属形式联系操作人员。施工过程中各类材料搬运及安装，要求做到轻拿轻放，严禁抛掷或从汽车上一次性下料，减少噪声的产生。控制施工车辆产生的噪音，强化车辆管理，进出场、厂内禁止鸣笛。

#### (2) 强噪声作业时间的控制

夜间需要作业的，应尽量采取降噪措施，事先做好周围群众的工作，报有关主管部门备案后方可施工。

#### (3) 强噪声机械的降噪措施

所选施工机械应符合环保标准，操作人员需经过环保教育。尽量选用低噪声或备有消声降噪设备的施工机械。动力、机械设备的使用过程中，应加强日常管理及维修保养工作，避免异常噪音的产生。对于噪音比较大的设备安装时同时安装消音设备或者设施（消音器、减震、隔音屏等），降低设备噪音。除了必要的设备外，夜间停止施工时，设备应停止运行。

#### (4) 加强施工现场的噪声监测

加强施工现场环境噪声的长期监测，采取专人管理的原则，做好现场施工噪声测量记录，凡超过《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准的，要及时对施工现场噪声超标的有关因素进行调整，达到施工噪声不扰民的目的。

### 7.3.6 固废污染防治措施

#### 7.3.6.1 固体废物产生途径

本项目可能产生的固体废物途径为：场地平整、建设时遗留的石块、垃圾等杂物，建筑垃圾，热脱附修复过程中产生的粉尘，生活垃圾以及场地内污染处理产生的污泥等。

#### 7.3.6.2 固体废物污染二次污染防治措施

(1) 本项目设有专职人员负责卫生打扫及垃圾收集工作。他们全面负责废弃物的存放、收集与处理，并监督整个施工现场的废弃物处理流程，发现有不合规操作及时纠正。

(2) 有害及有毒废弃物必须单独存放，应使用专用的密封容器或符合防止二次污染要求的专门场所。

(3) 考虑到施工现场的具体条件，在工地设置临时垃圾站，集中堆放废弃物和垃

圾。运输过程中必须确保废弃物不泄露、不散落、不混合。

(4) 废弃物外运应选择持有合法运输资质的单位。外运车辆需严密覆盖废弃物，确保运输过程中无遗漏、无遗洒。生活垃圾和建筑垃圾应分别运输。

(5) 废弃物堆放场地应根据现场情况进行全封闭处理。

(6) 对可回收废弃物进行回收利用。同时，在施工生产中应加强管理，尽量减少废弃物的产生，特别是减少危险废弃物的产生。

(7) 对于可回收废弃物，应进行分类处理，并通过回收利用转换为资源（例如，废纸和废报纸换取再生纸），既处理了废弃物，又实现了资源的有效利用。

(8) 废气处理产生的危险废弃物，如废活性炭、废灯管等，应收集后交由具备处理资质的单位处置。

本项目可能产生的固体废物途径为：场地平整、建设时遗留的石块、垃圾等杂物，建筑垃圾，热脱附修复过程中产生的粉尘，生活垃圾以及场地内污染处理产生的污泥等。

### 7.3.7 土壤环境二次污染防治措施

#### 7.3.7.1 土壤污染来源分析

在污染土壤的挖掘过程中，如果将污染土壤堆放在未受污染的土壤上，可能会导致交叉污染。在运输污染土壤时，若不实施相应的防护措施，污染土可能散落到修复区之外的其他区域。渣土堆放区和土壤暂存区被用于污染土壤的临时堆放和处理，如果这些区域的底部未进行防渗处理，那么降雨或渗滤液可能会使污染物向下渗透或向周围未污染的土壤扩散。在土壤挖掘或堆存过程中，必须控制挖掘速度，以防止土壤扬尘和污染物的扩散。此外，进出污染区的车辆和施工机械可能会带出污染土壤，从而引起二次污染。

#### 7.3.7.2 土壤二次污染防治措施

以“预防为主，防治结合”的原则为指导，从施工的各个环节切实做好污染土壤的二次污染防治工作。

##### (1) 场地清理管理

场地清理时，清理的建筑垃圾如砖石块带有污染土壤，建筑垃圾的转移与堆放可能会造成二次污染。为避免或减少有建筑垃圾造成的污染面，明显带污染土壤的建筑垃圾应先进行清洗处理，再转移到现场指定位置堆放。

## （2）清挖设备污染防治措施

在土壤清挖阶段，易造成清挖挖土机采取轻挖，慢转、轻放、清边清底准确、装车适量的原则，进行施工。

①轻挖：即挖土机铲斗不宜挖掘过满，以免扬尘和转动时将污染土甩出造成其他土壤污染；

②慢转：即挖土机在转动时，应放慢速度，过快会将铲斗内污染土甩向无污染土壤，造成二次污染；

③轻放：因本次污染基本为表层土，含水量低容易扬尘，因此轻放可减少粉尘污染；

④清边、清底准确：沿线清边，保证放坡系数，清底准确不超挖、漏挖，是确保本次污染土清挖不遗留的关键；

⑤装车量适度：装车超量时，污染土突出大厢，容易产生运输途中遗撒，造成二次污染，装车量过小时造成机械浪费，因此本工程要求装车适量。

## （3）挖掘与装载管理

本项目污染土壤挖掘时，如需临时堆放，原则上堆在附近的污染土壤之上，如堆放在附近的干净土壤上，则需铺设防渗膜，并做引水沟，做好防渗措施后方可挖掘堆放。

原则上，污染土现挖现装，装载时禁止超载。污染土壤装载后油布覆盖，即防止气味扩散，也可防止污染土壤散落。

运输车辆需进行转运标识牌管理，避免运错、存错现象的发生以致污染土壤的治理不达标现象的发生。

## （4）运输管理

为防止机械行驶与车辆运输过程可能会造成污染土壤的二次污染问题，机械行驶与污染土壤运输的安全管理设计如下：

①施工组织设计现场统一的指定的机械行驶、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。

②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，车辆行驶速度不能超过15km/h，一般情况下禁止快速行驶与突然快速启动或制动。

③运输车辆进行转运标识牌管理，根据污染土壤转运标识牌的标识把污染土壤运输至相应的临时暂存区。

④运输便道管理应有专人负责，运输便道易发生凹陷情况，应及时组织用砂石填充压实，防止运输车辆颠簸及污染土壤散落；如发现运输过程污染土壤散落，应组织人员

清理与收集，防止污染土壤的二次污染；另外，运输便道易扬尘，故便道应注意洒水，防止扬尘污染。

#### （5）临时贮存管理

采用异位间接热脱附修复的污染土壤挖掘运输至热脱附区的暂存车间堆放。临时堆放区、暂存区地面做防渗处理，铺设水泥地面硬化。

#### （6）修复与回填管理

修复管理需按技术要求严格执行，确保修复效率，固化/稳定化、异位间接热脱附修复后的土壤出土至相应的待检区堆放。修复后待检区的土壤需经过检测报告证明修复合格后才能运输至地下室侧壁或道路路基回填。

#### （7）防扬尘污染防治措施

施工现场周边保持清洁，垃圾、渣土要及时清运，施工土方要覆盖，工地出入口设置冲洗设备，运输车辆出现场要将车轮和槽帮冲洗干净，严禁凌空抛撒垃圾、渣土，明挖施工要合理分段、存留时间，严格防止泥土流失到附近道路，清挖现场到施工场地的道路安排专人进行清扫和水洗。

确保清运场地和修复场地湿度适度，不产生扬尘，控制运输车辆速度和场内车辆数量，根据情况随时洒水。控制一次性开挖面积，集中施工，精选设备，随时喷水降尘，预防大面积扬尘污染；对每个已经清挖完部位经自检合格后，立即用密目网进行覆盖，减少扬尘源。遇4级以上风时停止施工，现场内所有设备静止。安排人员对现场巡察，发现有扬尘产生时，立即调动高压水车，进行喷水降尘。

## 7.4修复效果评估

### 7.4.1效果评估依据

- （1）《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166-2004）；
- （2）《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）；
- （3）《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2-2019）；
- （4）《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；
- （5）《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》（粤环办（2020）67号）；
- （6）《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ25.5-2018）；

(7) 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2001)。

#### 7.4.2 效果评估原则

(1) 确保评估指标的针对性和代表性,检测分析方法的可靠性和有效性,为获得准确、可靠、有代表性的数据提供保障,并对检测数据做出正确的结论和判断。

(2) 本项目污染特征要与土壤污染状况调查、风险评估、治理修复、工程验收的目的和要求紧密结合。

(3) 效果评估应妥善处理好土壤污染状况调查监测、治理修复监测、工程验收监测的相互关系,确保评估结果的协调性、一致性和时效性。

(4) 准确把握不同种类污染土壤修复工程的修复目标值、要求。修复后土壤验收应按照修复工程的施工安排实施分阶段评估。

#### 7.4.3 自验收内容

本项目修复效果评估遵循《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》(粤环办(2020)67号),修复效果评估主要包括以下内容:

(1) 对清挖完成的基坑进行效果评估

污染区域的土壤按照《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤污染风险评估报告(备案稿)》确定的边界及深度清挖完成后,对基坑各层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。当确认坑槽清挖完成并检测合格验收通过后,申请第三方验收。

(2) 对修复完成的土壤进行效果评估

经修复处理后的土壤转运至待检车间按类堆放,对修复后土壤堆体划分网格、采样送检,检测合格的土壤验收通过后,申请第三方验收,检测不合格的土壤返回修复处理工序进行再次处理。

效果评估过程中,如发现未达到治理修复目标的土壤,则应在二次治理修复后再次进行验收检测。

#### 7.4.4 效果评估流程

本地块需效果评估污染土壤为需异位热脱附的汞、石油烃、多环芳烃及含以上污染

物的复合污染土，污染土壤经热脱附修复处理完成后，分批次运输至土壤待验区（部分修复完成后堆存在出料棚中）有序的堆存，并盖好等待验收。检测时，将待验区的土壤分批次取样进行检测，评估是否达到修复目标值，检测合格则堆放至修复后土壤暂存区；检测不合格则将不合格区域土壤运回至热脱附进行二次修复，直至检测合格。具体流程如下：

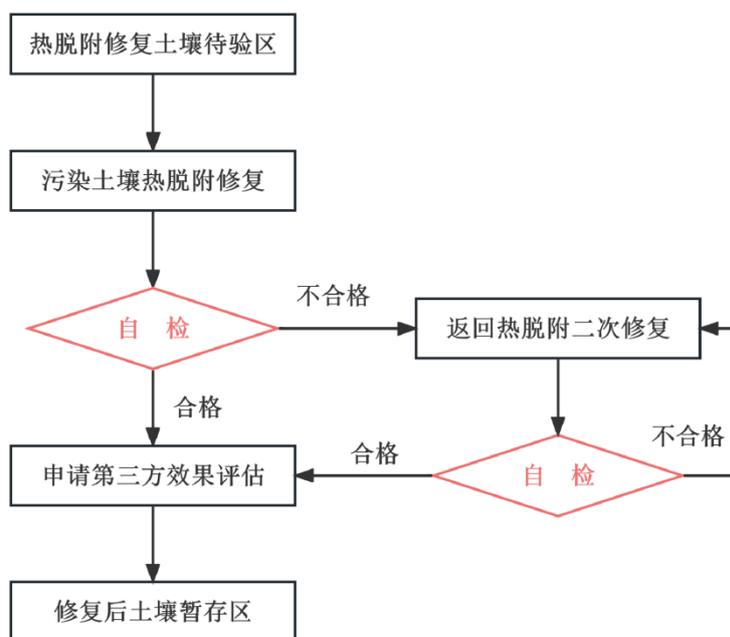


图7.4-1 异位热脱附修复土修复效果评估流程

### 7.4.5 自验收项目和评价标准

根据《佛山照明禅城总部厂区北区地块土壤污染风险评估报告（备案稿）》中相关评价结果，本次汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯和石油烃（C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>）处置项目的目标如下。

表7.4-1 地块土壤修复目标值（单位：mg/kg）

序号	污染物	第一类用地		
		计算风险控制值	筛选值	修复目标值
1	汞	5.18	8	8
2	镉	19.2	20	20
3	砷	0.455	40	60
4	铜	1920	2000	2000
5	钨	48	50.1	50.1

6	钨	240	250	250
7	乙苯	7.45	7.2	7.45
8	石油烃(C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )	809	826	826

评估过程中,如果发现基坑有未达到修复标准的区域,应继续进行清挖,直至达到修复标准。

#### 7.4.6 污染土壤异位修复效果评估方案

##### (1) 采样频次

本项目采取分批次方式对修复后土壤进行检测,若验收合格,则将土壤放置修复后土壤暂存区;若检测结果显示未达修复目标值,则需再次修复,直至验收指标达标为止。

##### (2) 采样点布置

根据《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)和《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》(粤环办〔2020〕67号)(2020年11月实施)的要求,修复后土壤原则上每个采样单元(每个样品代表的土方量)不应超过500m<sup>3</sup>,也可根据修复后土壤中污染物浓度分布特征参数计算修复差变系数,根据不同差变系数查询计算对应的推荐采样数量(见下表),差变系数计算方法见HJ25.5附录B。对于按批次处理的修复技术,在符合前述要求的同时,每批次至少采集1个样品。对于按照堆体模式处理的修复技术,若在堆体拆除前采样,在符合前述要求的同时,应结合堆体大小设置采样点,推荐数量参见下表。

修复后土壤一般采用系统布点法设置采样点;同时应考虑修复效果空间差异,在修复效果薄弱区增设采样点。重金属和半挥发性有机物可在采样单元内采集混合样,采样方法参照HJ25.2执行。

表7.4-2 修复后土壤最少采样点数量

差变系数	采样单元大小 m <sup>3</sup>
0.05~0.20	100
0.20~0.40	300
0.40~0.60	500
0.60~0.80	800
0.80~1.00	1000

表7.4-3 堆体模式修复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

### (3) 采样方法

按照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019)和《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》的相关要求,进行修复后土壤样品的采集:

采用挖掘方式进行,采用锹、铲及竹片等简单的工具。表层土采用手工或螺旋钻采样。手工采样先用铁锹和不锈钢铲子等工具将地表物质去除,并挖掘到指定深度,然后用木铲进行样本采集;螺旋钻采样先钻孔达到所需深度后,获得一定高度的土柱,然后用竹片或刀片去除土柱外围的土壤,获取土芯作为土壤样。

## 7.4.7 基坑清理效果评估方案

### (1) 评估对象

基坑清理效果对象为地块修复方案中确定的基坑。

### (2) 采样节点

1) 污染土壤清理后遗留的基坑底部与侧壁,应在基坑清理之后、回填之前进行采样。

2) 若基坑侧壁采用基础围护,则宜在基坑清理的同时进行基坑侧壁采样,或于基础围护实施后在围护设施外边缘采样。

3) 可根据工程进度对基坑进行分批次采样。

### (3) 布点数量与位置

1) 基坑底部和侧壁推荐最少采样点数量如下表。

2) 基坑底部采用系统布设法,基坑侧壁采样等距离布设法,布点位置如下图。

3) 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,在污染物极易富集位置设置采样点,各层采样点之间垂向距离不应大于3m,具体根据实际情况确定。

4) 基坑坑底和侧壁的样品以去除杂质后的土壤表层样为主(0~20cm), 不排除深层采样。

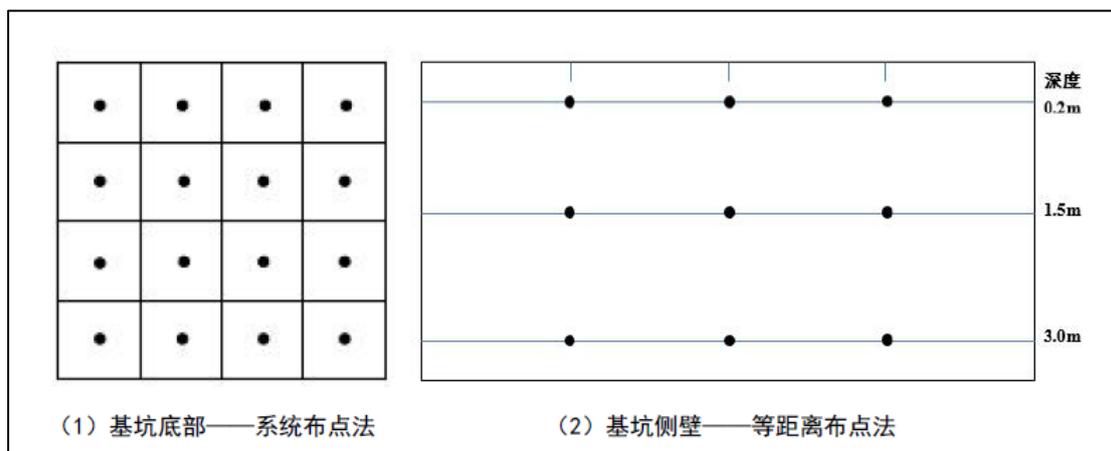


图7.4-2 基坑底部与侧壁布点示意图

表7.4-4 基坑底部和侧壁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	侧壁采样点数量 个
x<100	2	4
100≤x<1000	3	5
1000≤x<1500	4	6
1500≤x<2500	5	7
2500≤x<5000	6	8
5000≤x<7500	7	9
7500≤x<12500	8	10
x>12500	网格大小不超过 40m×40m	采样点间隔不超过 40m

## 7.5环境应急方案

### 7.5.1编制目的

规范安全生产事故灾难的应急管理和应急响应程序, 及时有效实施应急救援工作, 最大程度地减少人员伤亡和财产损失, 维护人民群众的生命安全和社会稳定。

### 7.5.2适用范围

适用于本项目施工现场、运输以及处置现场可能发生的火灾、爆炸、污染物抛洒或泄漏、重大工伤事故、疫情以及特殊紧急情况的处理。

### 7.5.3健康与安全管理

在施工中贯彻“安全第一，预防为主”的方针，严格贯彻执行国家和当地政府、行业的有关法令和规章制度，本项目的安全生产目标为杜绝伤亡事故。

坚持“管生产必须管安全”的原则，建立以项目经理为第一安全负责人的分级负责的安全保证体系，组织落实，严格安全生产责任制，施工现场配备专职、兼职安全员。对安全生产进行目标管理，层层落实，责任到人。基层安全管理成立以班组为基本单位，各班组组长为成员，施工员为组长的“安全管理小组”，贯彻“安全第一，预防为主”的方针，落实安全生产法规，消除隐患，保障安全，做到“防患于未然”。

### 7.5.3.1 人员安全培训

项目经理部全体人员开工前进行安全培训教育，安全教育和培训工作贯穿始终、全过程覆盖，以提高操作者的安全意识和自我保护能力。对所有进场人员进行三级安全教育，变换工种时应重新进行教育。做好分部（工种）安全技术交底，交底内容明确，并签字存档。在事故多发期及上级部门下达指令时，进行针对性教育，并采取多样化的培训教育形式。特别要抓好对民工和外包工人的培训教育，经考试合格后上岗。无证或未经培训人员严禁上岗操作，严格执行安全生产“六大纪律”。

### 7.5.3.2 安全防护设备

现场施工人员应依相关规定穿着适当的防护装备。本项目在开挖与处理期间应为C级装备。C级为在空气污染浓度大于容许值，但经过过滤罐后可符合标准。C级个人防护的主要装备为安全帽、连身式防护衣、防毒口罩、双层手套、鞋套、橡胶雨鞋或工作安全鞋等。

## 7.5.4 环境应急预案

### 7.5.4.1 场地环境风险分析

根据本工程的特点，分析识别出污染场地治理过程中的风险控制点：人员安全健康事故风险、污染土壤治理过程中环境事故风险和污染场地现场安全事故风险。依据风险控制点判断分析人员安全健康事故风险、污染土壤治理过程中环境事故风险为主要风险，污染场地现场安全事故风险为次要风险。

#### （1）人员安全健康事故风险

土壤污染物质主要为重金属和有机物，污染土壤开挖、暂存、运输等全过程中，均

有大量的工作人员直接或间接接触污染土壤，含重金属粉尘和半挥发性有机物被施工人员吸入，将会存在人员中毒的风险。

### （2）污染土壤治理过程中环境事故风险

土壤交叉污染风险：场地内污染土壤的堆放或处置不当会存在未污染土壤与污染土；在外运途中可能出现污染土壤洒落等情况，造成土壤或水体二次污染事故，或在运输途中发生交通事故，产生环境风险。

设备及污水处理管道的跑、冒、滴、漏现象产生的环境风险：污水处理设备运营期的设备管线由于断裂、破损、老化等情况，可能造成污水的跑、冒、滴、漏导致周围环境受到污染，造成环境风险事故。

### （3）污染场地治理过程中安全生产事故

本污染场地治理工期紧，涉及到的设备、车辆和人员较多，存在较多环节，具有发生安全生产事故的风险。例如基坑局部坍塌、周边市政管线及地下障碍物挖掘风险事故和恶劣天气意外安全事故等。

## 7.5.4.2生产设施风险识别

污染土壤预处理：停电、操作原因等使得无法达到预处理效果。预处理车间防渗层发生破裂，导致渗滤液经裂缝下渗进而污染地下水环境、土壤环境。发生火灾等事故情况下产生的消防废水污染地表水环境。

因此，本项目的风险类型主要为有毒有害物质放散（泄漏）造成的环境影响，预处理车间渗滤液下渗污染地下水环境。

## 7.5.5应急准备

根据实际情况，应急物资设备分两部分准备，一部分储备在施工现场，一部分从场外相关单位获得援助。储备在施工现场的应急物资设备为应急救援专用常备物资，非特殊情况，不得动用，并定期检查，随时补充。场外相关单位的援助应急物资设备为非专用物资，要经常与相关方保持联系，确认物资设备的现状，确保能随时调配，必要时，与多家相关方建立联系。

场内要配备的应急物资和设备主要有：

（1）常用药品：消毒用品、急救物品（创可贴、绷带、无菌敷料、仁丹等）及常用各种小夹板、止血带等。

(2) 抢险工具：铁锹、撬棍、千斤顶、麻绳、气割工具、加压泵、消防斧灭火桶、小型金属切割机、电工常用工具等。

(3) 应急器材：架管、扣件、木枋、架板、草袋、砂石、水泥、安全帽、安全带、应急灯、发电机、对讲机、电焊机、水泵、灭火器、消火栓、消防水带、消防水池。应急器材位于施工区域的10m之内，并始终留在场地内。

相关单位援助的应急物资和设备主要有：挖掘机、推土机、自卸汽车、平板货车、液压汽车吊、发电机、机动翻斗车、救护车、消防车等。

项目配备一定的检测设备并保持设备的有效状态，确保在紧急情况发生时，能够实施监测，为抢险工作提供科学数据，以便根据现场情况发展事态，及时调整抢险计划，防止在抢险过程中产生新的伤害和损失。

此外，在地下水风险管控过程中，为防止出现场地外地下水砷、锰、钼和钨超标的情况，应加大监测频率，在发现水质超标时，及时采用抽出处理技术进行应急处理。

## 7.5.6 应急程序

本项目应急程序分为：接警与通知、指挥与控制、抢险与救护、警戒与治安、后勤与保障、人群疏散与安置、监测、信息沟通几个步骤。

### 1、接警与通知

如发生事故隐患先兆时，发现者立即大声呼叫，或通过对讲机通知施工人员停止作业，视具体情况，采取初步措施，并报告项目经理。如遇基坑坍塌、施工人员中毒等事故发生时，发现者立即大声呼叫，现场人员紧急逃避。在现场的项目管理人员要立即用对讲机（电话）向项目经理汇报险情。项目经理立即召集各组成员，立即进入各自岗位。

### 2、指挥与控制

项目应急救援组到达出事地点，了解初步情况，分头进行工作。项目经理进行现场全面指挥与控制，项目副经理协助指挥后勤保障组、现场医疗组；项目技术负责人协助指挥技术支持组、现场抢险组。

### 3、抢险与救护

命令工地值班电工负责切断有危险的低压电气线路的电源。如在夜间,接通必要的照明灯光。技术支持组、现场抢险组一起查明险情，确定是否还有危险源。如是否还有污染气体泄漏、基坑是否还有继续倒塌的危险等;人员伤亡情况;商定抢救方案后,项目经理向建设单位领导请示汇报批准,然后组织实施。现场抢险组在排除继续倒塌、触电

或中毒等危险的情况下，现场医疗组立即救护伤员，边联系救护车，边及时进行止血包扎，用担架将伤员抬到车上送往医院。

#### 4、警戒与治安

后勤保障组负责把出事地点附近的作业人员疏散到安全地带，并进行警戒，不准闲人靠近，对外注意礼貌用语。在事故现场周围建立警戒区域实施交通管制，维护现场治安秩序。后勤保障组迅速调集供应应急物资设备和防护装备，保持通讯畅通，并对现场进行拍照、录像。

#### 5、人群疏散与安置

后勤保障组服从指挥人员的疏导要求进行疏散，做到不惊慌失措，勿混乱、拥挤，减少人员伤亡。妥善安置被疏散人群，并进行心理安抚。

#### 6、监测

技术支持组及时对事故及周边情况进行连续监测，并报告监测结果。

#### 7、信息沟通

项目经理负责及时与工地周边相关方进行沟通，及时发布事故抢险进程和其他事宜。事故发生应急处理流程图见下图。

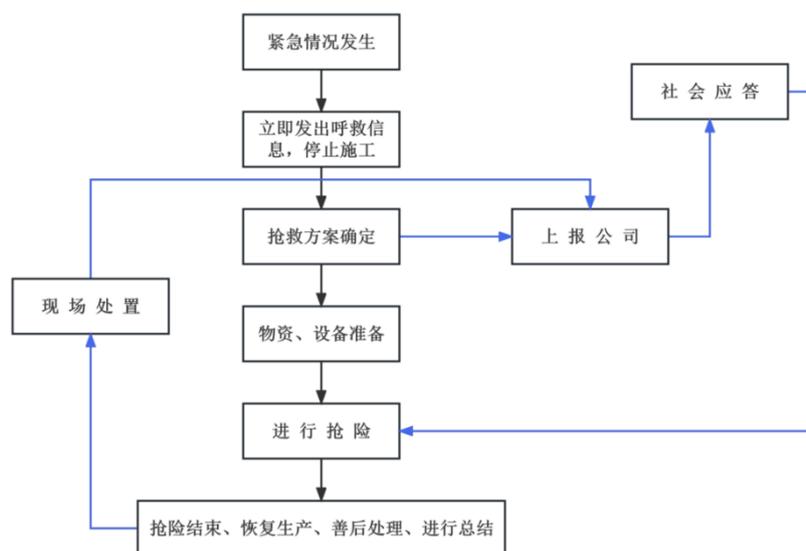


图7.5-1 事故应急处理流程图

## 第8章 成本效益分析

### 8.1 修复费用

根据上述针对本地块提出的修复技术路线，综合地块现状，地块修复工程包括以下内容：

#### (1) 清表及三通一平

在对地块进行清理的过程中，对地表的残留建筑物、构筑物、建筑材料、硬化地面、渣垫层等建筑垃圾，应视其污染程度分类处理处置。对未受污染的地表堆土，应清理至他处堆放。对未受污染的地面废弃物，可视为普通建筑垃圾处理处置。对受污染的地面废弃物，应在去除污染物后，再按普通建筑垃圾进行处理处置。污染物的去除方式可根据当地情况灵活选择，清洗产生的废水需集中进行处理。此外，项目在正式施工以前，施工现场应达到水通、电通、道路通和场地平整等条件。

#### (2) 修复设备安装及暂存场所建设

在现场组织进行临时修复设施的建设。现场分为热脱附区、预处理大棚、污染土暂存区、清洁土暂存区、疑似污染土暂存区、密闭开挖大棚、筛上物冲洗区、筛上物暂存区，热脱附区域设置污染土的临时存储、修复施工及修复后土壤待检现场。其他配套设施还包括办公区、药剂库、洗车池、地磅、废水处理站、危废车间。

#### (3) 污染土壤修复

1) 不含汞和有机污染土直接送往水泥窑协同处置；

2) 针对石油烃、汞、乙苯单独污染土壤，选择异位热脱附技术处理；

3) 针对汞+除汞外其他重金属、汞以外其他重金属+乙苯、汞以外其他重金属+石油烃形式的复合污染土壤，先采用异位热脱附的方式去除汞和有机物，待检测合格后再送往水泥窑进行协同处置。

#### (4) 土壤清理运输

采用异位修复模式时，需开挖不同土层，将污染土壤清理、运送至指定的修复场所。

(5) 环保措施：对修复工程实施过程中防范二次污染等的环保措施。

除以上费用，还需考虑修复施工方案和总结报告费、工程和环境监理费、效果评估费及一定比例的不可预见费用及税费。其中，污染土壤成本因修复模式和修复技术的不同差异较大，原地异位热脱附技术处理费用为1000元/m<sup>3</sup>，水泥窑协同处置费用为1200元/m<sup>3</sup>。

本项目修复工程估算费用为7298.86万，监理费用为229.6万元，效果评估费用为273.59万元。

## 8.2环境效益

本地块受到了不同程度的污染，通过本技术修复方案，可以达到土地安全利用的目的，并且不产生二次污染。通过对土地资源和环境的处置和保护，创造更加有益于人类生存的环境。消除了区域土壤与地下水的污染隐患，维护了地下水生态安全。通过本项目的安全处置，环境风险消除，土地恢复原有的价值和生产力，地块环境质量提高，周边大气更加宜人，周围居民的幸福感和获得感将会增加，处置后的地块将会带来巨大的环境效益。

## 8.3经济效益

污染地块修复的经济效益间接反映在土地价格和房产增加上。在很多情况下，修复活动对于恢复房地产价值有积极作用，从欧美国家的经验以及近期国内的修复地块情况来看，一些区位条件好的污染地块完全可以创造巨大商机。土壤修复完成后可以恢复其使用价值，能正常开发带来源源不断的土地资源效益。

修复完成后可以恢复其使用价值，能正常开发带来源源不断的土地资源效益。根据相关规定，企业地块土地类型转变，必须进行相关的调查、风险评估，确定无风险的情况下，才能变更土地类型，进行土地再开发。目标地块修复后进行土地类型变更，其市场价值不可估量。从经济上看，本地块位于佛山禅城区，周边基础设施完善，各项配套都很成熟，修复后具有极大的经济价值。

## 8.4社会效益

污染土壤的治理已经成为经济社会可持续发展的一个重大战略问题，通过本项目的处置，恢复土壤生产力可使其目标地块发挥最大的价值，合理保护土地资源，缓和局部人地矛盾，增加新的就业机会，缓解社会矛盾，拓展了城市发展空间，促进了区域经济发展。

通过本项目的处置，环境安全风险消除，周围居民投诉和抱怨将会减少，可为建设和谐社区做出不可估量的贡献。

## 第9章 结论

### 9.1 可行性研究结论

根据地块前期土壤污染状况调查的结论，地块规划范围内土壤汞、镉、铜、砷、钨、钼、乙苯和石油烃（C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>）的人群健康风险不可接受。根据地块污染土壤修复范围确定原则和方法，本地块修复投影面积为20752.88m<sup>2</sup>，修复总土方量为32736.12m<sup>3</sup>，修复深度为8m。地下水的钼、钨、锰和砷超标，该地块所在区域为地下水禁采区，地下水不开发利用，且超标污染物不具有挥发特性，因此不考虑地下水修复。

按照我国相关法律、法规、标准、规范等文件的要求，并结合当地的实际情况，编制了本地块修复技术方案。通过组织实施，能够有效控制该地块超标土壤对未来居民的健康风险，确保该地块土地安全开发利用，满足相应用地功能的土壤环境要求。本报告主要结论如下：

（2）经技术比选，针对乙苯、石油烃、汞单独污染土壤可选择异位热脱附技术处理；针对汞+除汞外其他重金属、汞以外其他重金属+乙苯、汞以外其他重金属+石油烃形式的复合污染土壤，可先采用异位热脱附的方式去除汞、乙苯和石油烃，待检测合格后再送往水泥窑进行协同处置。

（2）地块治理修复工程费用估算为7298.86万，监理费用为229.6万元，效果评估费用为273.59万元，计划工期约为382天。具体工作量与费用以后续进一步勘察确定的实施方案为准。

### 9.2 问题和建议

（1）本项目地块地下水埋深较浅，在地块污染土壤开挖过程中应时刻关注开挖后基坑稳定性以及二次污染等情况，防范现场突发情况的发生。

（2）地块修复过程应采取有效的安全和环保措施，防止二次污染和污染风险。本地块土壤中的污染物含有重金属和有机物，在污染土壤的清挖、运输、暂存、修复过程中会产生扬尘，影响周边环境，产生健康风险。为此，在地块修复施工前，应制定详尽的二次污染防治计划和风险防范预案，并对相关人员进行必要的安全和环保培训，持证上岗；施工中应严格参照执行，减少意外环境污染事故和污染风险的发生，确保工程的顺利实施。