



HEPS

拱北公交综合体（运河新城单元
C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）东区块
修复技术方案
（简本）

委托单位：杭州市城市建设投资集团有限公司

编制单位：杭州市环境保护科学研究设计有限公司

二〇二〇年八月

目 录

1 总论	- 1 -
1.1 项目背景	- 1 -
1.2 编制依据	- 2 -
1.3 方案编制基本原则	- 4 -
1.4 工作范围	- 4 -
1.5 技术路线	- 5 -
2 原杭州煤气厂地块基本概况	- 7 -
2.1 地块基本信息	- 7 -
2.2 地块环境特征	- 8 -
2.3 地块经营管理现状	- 9 -
3 项目土壤修复范围	- 10 -
3.1 项目修复污染物及目标值	- 10 -
3.2 项目土壤修复范围汇总	- 10 -
4 修复模式	- 14 -
5 修复技术	- 15 -
5.1 土壤修复技术简述	- 15 -
5.2 土壤修复技术筛选	- 15 -
6 推荐修复方案	- 17 -
6.1 技术路线	- 17 -
6.2 推荐方案工艺设计	- 19 -
7 修复费用及周期	- 24 -
7.1 修复费用	- 24 -
7.2 修复周期	- 24 -
8 结论与建议	- 25 -
8.1 结论	- 25 -
8.2 建议	- 25 -

1 总论

1.1 项目背景

1.1.1 地块修复背景

拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）既原杭州煤气厂地块，位于拱康路 61 号，总占地面积约 26.86 公顷，始建于 1986 年，1991 年 8 月 26 日开始正式对外供气，2005 年 6 月 22 日正式停产。2008 年厂区内南侧部分区域移交给杭州公交集团作为临时停车场使用，北侧部分作为杭州燃气集团储气站储备天然气。2013 年 10 月整个场地移交给杭州公交集团作为停车场使用，使用至今。

原杭州煤气厂地块于 2019 年 3 月至 2019 年 12 月期间进行了详细调查与风险评估，均取得了相应的备案意见；目前该地块规划用地性质拟进行调整，原东侧规划公交兼容商业用地 C-U21/C2-01 拟调整为规划住宅 R21、规划商业商务兼容公交 B1/B2/S41、规划学校 A33 以及规划幼儿园 R22 用地（最终以规划部门批复为准），用地性质发生转变。针对用地性质调整情况，该地块已于 2020 年 6 月进行补充风评，鉴于用地性质调整正在编制报批过程中，补充风评按保守考虑全部按第一类敏感用地进行风险评估，编制完成《拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）污染场地风险评估补充报告》并取得评审意见。

该地块场地调查、风险评估等主要工作节点汇总如下：

序号	时间节点	事项
1	2011 年 4 月 6 日	《杭州煤气厂退役场地土壤专题评价报告》备案
2	2019 年 3 月 11 日	《原杭州煤气厂地块场地环境详细调查报告》通过专家评审
3	2019 年 4 月 8 日	取得“杭州市生态环境局关于将原杭州煤气厂地块列入污染地块名录的通知”
4	2019 年 8 月 30 日	《拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）污染场地风险评估报告》通过专家评审
5	2019 年 12 月 6 日	取得《风险评估报告》评审意见，该地块列入建设用地土壤污染风险管控和修复名录
6	2020 年 6 月 19 日	《拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）污染场地风险评估补充报告》通过专家评审，根据新规划用地性质（全部按第一类敏感用地）重新提出修复目标和范围
7	2020 年 7 月 7 日	取得《风险评估补充报告》评审意见

根据前期调查风险评估结论，原杭州煤气厂地块土壤和地下水存在污染，其中土壤超过人体健康风险。根据环境管理的要求，该地块土壤需要修复达标后才能进行再开发利用。

1.1.2 本方案由来

受杭州市城市建设投资集团有限公司的委托，杭州市环境保护科学研究设计有限公司在分析整理前期原杭州煤气厂调查评估资料的基础上，编制了《拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）东区块修复技术方案》。

1.2 编制依据

1.2.1 法律法规与政策

- 1、《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日期实施；
- 2、《中华人民共和国土壤污染防治法》，2019 年 1 月 1 日期实施；
- 3、《中华人民共和国水污染防治法》，2017 年；
- 4、《中华人民共和国环境噪声污染防治法》，1996 年；
- 5、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2016 年；
- 6、《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；
- 7、《污染地块土壤环境管理办法》，生态环境部[2016] 42 号令；
- 8、《浙江省土壤污染防治工作方案》，浙政发[2016]47 号；
- 9、《关于印发〈浙江省污染地块开发利用监督管理暂行办法〉的通知》，浙环发[2018]7 号；
- 10、《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；
- 11、《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》，环发[2014]66 号；
- 12、《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》，环办[2004]47 号文；
- 13、《关于开展建设项目土壤环境监测工作的通知》，浙环发[2008]8 号；
- 14、《关于开展全省污染场地排查工作的通知》，浙环办函[2012]405 号。

1.2.2 技术导则、标准和规范

- 1、《建设用地土壤环境调查评估技术指南》（环保部公告 2017 年第 72 号）；

- 2、《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》（环保部公告 2014 年第 78 号）；
- 3、《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）；
- 4、《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）；
- 5、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；
- 6、《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）；
- 7、《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、《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）；
- 9、《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）；
- 10、《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166-2004）；
- 11、《地下水环境监测规范》（HJ/T164-2004）；
- 12、《浙江省场地环境技术调查技术手册（试行）》，2012.12；
- 13、《浙江省地方标准 污染场地风险评估技术导则》（DB33/T892-2013）；
- 14、《浙江省生态环境厅关于印发建设用地土壤污染状况调查报告、风险评估报告和修复效果评估报告技术审查表的函》，2019.6.17；
- 15、《建筑施工安全技术统一规范》（GB50870-2013）。

1.2.3其他相关文件

- 1、厂区平面布置图；
- 2、《杭州煤气厂退役场地土壤专题评价报告》，2011.3；
- 3、《原杭州煤气厂地块场地环境详细调查报告》，2019.3；
- 4、《杭州市生态环境局关于将原杭州煤气厂地块列入污染地块名录的通知》，杭环函[2019]78 号，2019.4.8；
- 5、《拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）污染场地风险评估报告》，2019.11；
- 6、《浙江省生态环境厅关于拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）污染场地风险评估报告的评审意见》，2019.12.6；
- 7、《拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）污染场地风险评估补充报告》，2020.6；
- 8、《浙江省生态环境厅关于拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、

C-R21-09 地块）污染场地风险评估补充报告的评审意见》，2020.7.7；

- 9、检测报告，实朴检测技术(上海)股份有限公司；
- 10、杭州市公共交通集团有限公司提供的其它相关资料。

1.3 方案编制基本原则

场地总体修复以降低土壤中的污染物总量或隔离暴露途径目标，以保障上方居住、工作人群的健康风险可接受为宗旨，因此本修复方案遵循“科学性”、“可行性”、“安全性”原则。

（1）科学性原则

采用科学的方法，综合考虑地块修复目标、土壤修复技术的处理效果、修复时间、修复成本、修复工程的环境影响等因素，制定修复方案。

（2）可行性原则

制定的地块土壤修复方案要合理可行，要在前期工作的基础上，针对地块的污染性质、程度、范围以及对人体健康造成或生态环境造成的危害，合理选择土壤修复技术，因地制宜制定修复方案，使修复目标可达，且修复工程切实可行。

（3）安全性原则

制定地块土壤修复方案要确保地块修复工程实施安全，防止对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害和二次污染。

1.4 工作范围

根据项目由来，本次修复技术方案的工作范围为拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）东区块。具体工作范围拐点坐标如下图表所示。

根据地块特征条件、目标污染物、修复目标、修复范围和修复时间长短，选择确定地块修复总体思路。根据地块的具体情况，筛选实用的土壤修复技术，开展必要的实验室小试，或对土壤修复技术应用案例进行分析，论证修复技术的可行性。

（3）制定修复方案

根据筛选可行的修复技术，制定土壤修复技术路线，提出初步修复方案，并进行方案可行性比选；识别修复工程中潜在的二次污染源，制定针对性的二次污染防治措施及其他环境管理计划。

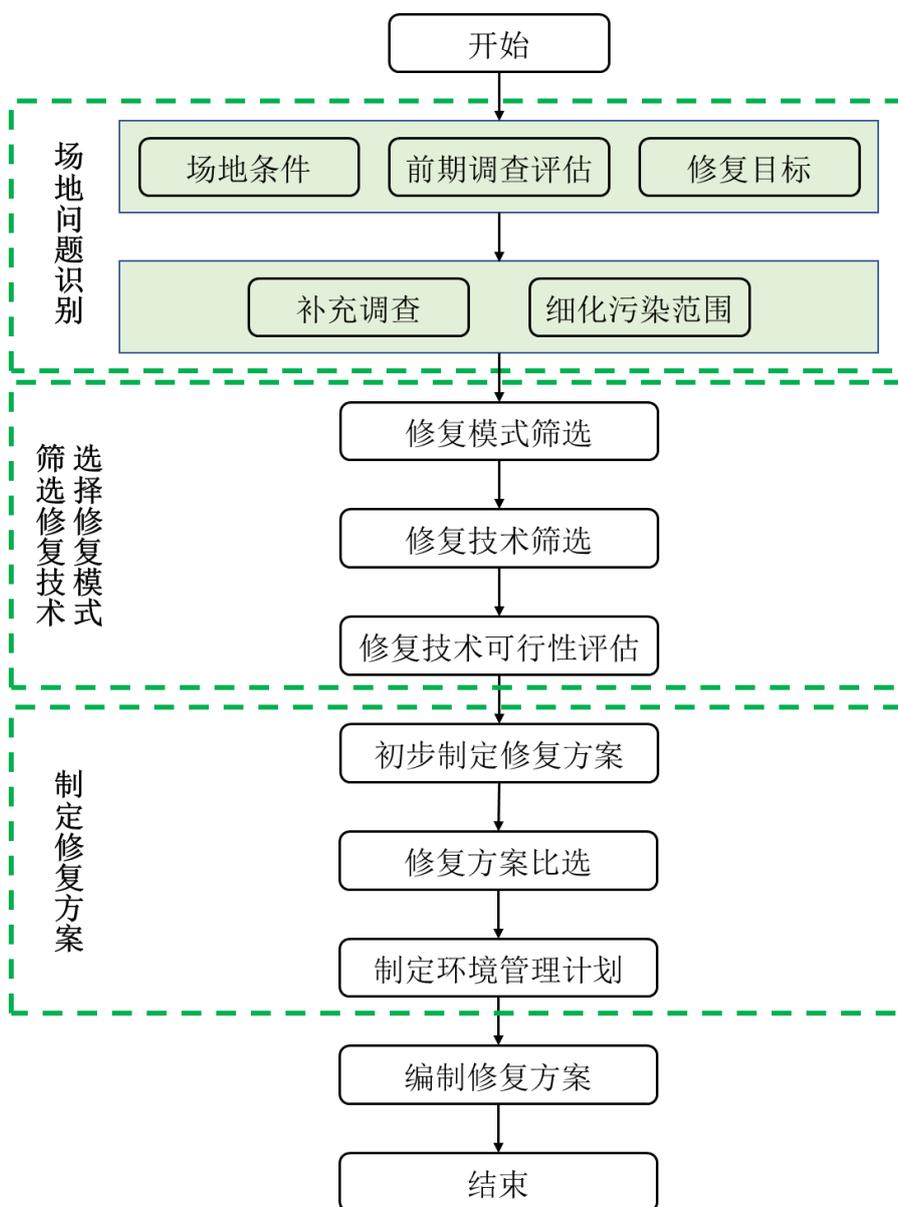


图 1.5-1 技术路线图

2原杭州煤气厂地块基本概况

2.1地块基本信息

2.1.1地块位置及周边环境

原杭州煤气厂厂区位于拱墅区拱康路 61 号，东侧紧邻拱康路，南侧为管家漾河；西侧为出让住宅用地及空地等；北侧为谢村路。

厂区地理位置见图 2.1-1。



图 2.1-1 地块地理位置图

2.1.2地块使用历史回顾

原杭州煤气厂地块现使用人为杭州市公交集团，作为公交集团拱北停车场，平面布局如**错误!未找到引用源。**所示。地块主要历史使用情况见表 2.1-1。

表 2.1-1 原杭州煤气厂地块历史使用情况一览表

序号	使用年份	场地使用人	使用情况
1	1986 年之前	农田、菜地、水塘等	/
2	1986-2005 年	杭州煤气厂	生产人工煤气，副产品包括苯系物、萘、硫磺、粗酚等。
3	2005-2013 年	1、杭州燃气集团 2、杭州公交集团	1、厂区内制气三路以北区域作为杭州燃气集团储气站，作为杭州市天然气应急保障的储备站，仅用于储备天然气，不涉及生产； 2、制气三路以南的厂区作为杭州公交集团的拱北停车场，用于公交车的停放、加油、保养维修等。
4	2013 年-至今	杭州公交集团	公交集团拱北停车场，用于公交车停放、加油加气充电、保养维修等。

2.2 地块环境特征

原杭州煤气厂退役场地现使用单位为杭州市公共交通集团有限公司，该地块原规划将作为拱北公交换乘商贸综合体进行开发，杭州市公共交通集团有限公司于 2015 年委托浙江省工程物探勘察院对场地进行了水文地质勘察，根据地勘单位编制的《拱北公交换乘商贸综合体水文地质勘察报告》。

2.2.1 场地工程地质特征

根据本次勘察揭露的地层情况，结合区域地质环境条件，对场地上部地层进行工程地质分层。在勘察深度（20.0m）范围内，按其成因、物理力学性质等将地基土分成 4 个工程地质层、7 个工程地质亚层。现自上而下分述如下：

1 杂填土（meQ）：杂色，湿，松散。主要由含角砾（碎石）粘性土等组成，局部夹砖块等建筑垃圾，土质不均匀。道路附近砟面厚度约 0.2~0.3m，下部以含粘性土碎石为主，未单独分层。停车场区表部有新进回填碎石。全场分布，层厚 1.20~4.00m。

2 粉质粘土（al-IQ₄³）：灰黄色，软塑-软可塑。切面较光滑稍有光泽，无摇晃反应，含少量铁锰质斑，中等韧性，干强度中等。局部缺失，层厚 1.90~4.50m。

3 淤泥质粘土（mQ₄²）：灰色，流塑。切面光滑无光泽，无摇晃反应，干强度中等，韧性中低，含少量腐殖质，具臭味。局部缺失，层厚 2.80~15.50m。

3 夹粘质粉土（mQ₄²）：灰色，湿，稍密。切面粗糙，摇晃反应快，韧性及干强度低，见少量云母碎屑。个别孔分布，层厚 8.2m。

4-1 粉质粘土夹粘质粉土（al-mQ₄²）：浅灰色、灰黄色，软塑-软可塑，局部因粉粒含量高而呈流塑状。稍具层理，层间夹粉土，切面粗糙，韧性中低，无摇晃反应或局部有轻微摇晃反应。局部分布，层厚 2.70~4.60m。

4-2 粘质粉土（al-mQ₄²）：灰黄色，湿，稍密-中密。切面粗糙，摇晃反应快，韧性及干强度低，见云母碎屑。局部分布，层厚 2.60~7.60m。

4-3 粉质粘土（al-IQ₃²）：灰黄色，软可塑-硬可塑。切面较光滑，无摇晃反应，含少量铁锰质斑，中等韧性。全场分布，本次勘察控制厚度 1.70~9.50m。

2.2.2 场地水文地质

场地内第四纪松散岩类孔隙潜水一般埋藏较浅，勘察期间测得稳定水位埋深

为 0.537~0.632m，相当于国家高程 2.751~2.870m。其水位动态变化受季节、大气降水及地表水位控制，年变化幅度在 1.0~2.0m。

孔隙潜水地下水动态变化具有季节性周期特征，在 5~6 月梅雨期和 7~9 月份的台风暴雨期，随着雨量的增多，潜水水位也随之回升。由于地表径流及入渗作用，水位最高值比降水量最高值滞后。枯水季节下降明显，并导致局部上层滞水消失。

根据浙江省工程物探勘察院给出的地块地下水等水位线图，地下水大致流向为从厂区东北侧流至厂区西南侧。

2.3 地块经营管理现状

前期调查评估后，至本次补充调查期间，原杭州煤气厂地块内生产经营状况未发生变化，仍作为杭州公交集团拱北停车场使用，用于公交车停放、充电、保养维修等；地块内主要功能布局也未发生变化，主要分为办公区、车辆检修区、电车停车充电区和一般公交车停车场。地块内无新增污染源和污染物。公交停车场运营期间，内部运行管理规范，地块内未发生环境污染事故。地块现状照片见图 2.3-1，总平面布置见**错误!未找到引用源。**



图 2.3-1 地块现状照片

3 项目土壤修复范围

3.1 项目修复污染物及目标值

通过前期调查以及本次补充调查，东区块的目标污染物建议修复目标值汇总如下：

表 3.1-1 地块建议修复目标值汇总

类型	污染物	建议修复目标值 (mg/kg)	备注
一类用地	镍	150	国家筛选值
	石油烃 C ₁₀ -C ₄₀	826	国家筛选值
	苯并[a]芘	0.55	国家筛选值
	苯并[a]蒽	5.5	国家筛选值
	苯并[b]荧蒽	5.5	国家筛选值
	二苯并[a,h]蒽	0.55	国家筛选值
	茚并[1,2,3-cd]芘	5.5	国家筛选值

3.2 项目土壤修复范围汇总

东区块需修复污染物共三大类：重金属镍、石油烃 C₁₀-C₄₀、5 种多环芳烃类（苯并[a]芘、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘）。东区块需修复土壤面积与土方量估算见下表，各层修复范围图见图 3.2-1~图 3.2-3。

表 3.2-1 土壤修复范围和土方量

东区块		多环芳烃	多环芳烃+ 石油烃	石油烃	镍	合计
第一层 0-1.5m	面积 (m ²)	5704	1740.6	3284.9	0	10729.5
	方量 (m ³)	8556	2610.9	4927.4	0	16094.3
第二层 1.5-4.0m	面积 (m ²)	5270.6	847.6	0	0	6118.2
	方量 (m ³)	13176.5	2119	0	0	15295.5
第三层 4.0-7.5m	面积 (m ²)	1398.1	0	0	/	1398.1
	方量 (m ³)	4893.3	0	0	/	4893.3
第三层 5.0-6.0m	面积 (m ²)	/	/	/	20	20
	方量 (m ³)	/	/	/	20	20
总方量 (m ³)		26625.8	4729.9	4927.4	20	36303.1



图 3.2-1 补充调查后东区块土壤第一层 0-1.5m 修复范围图

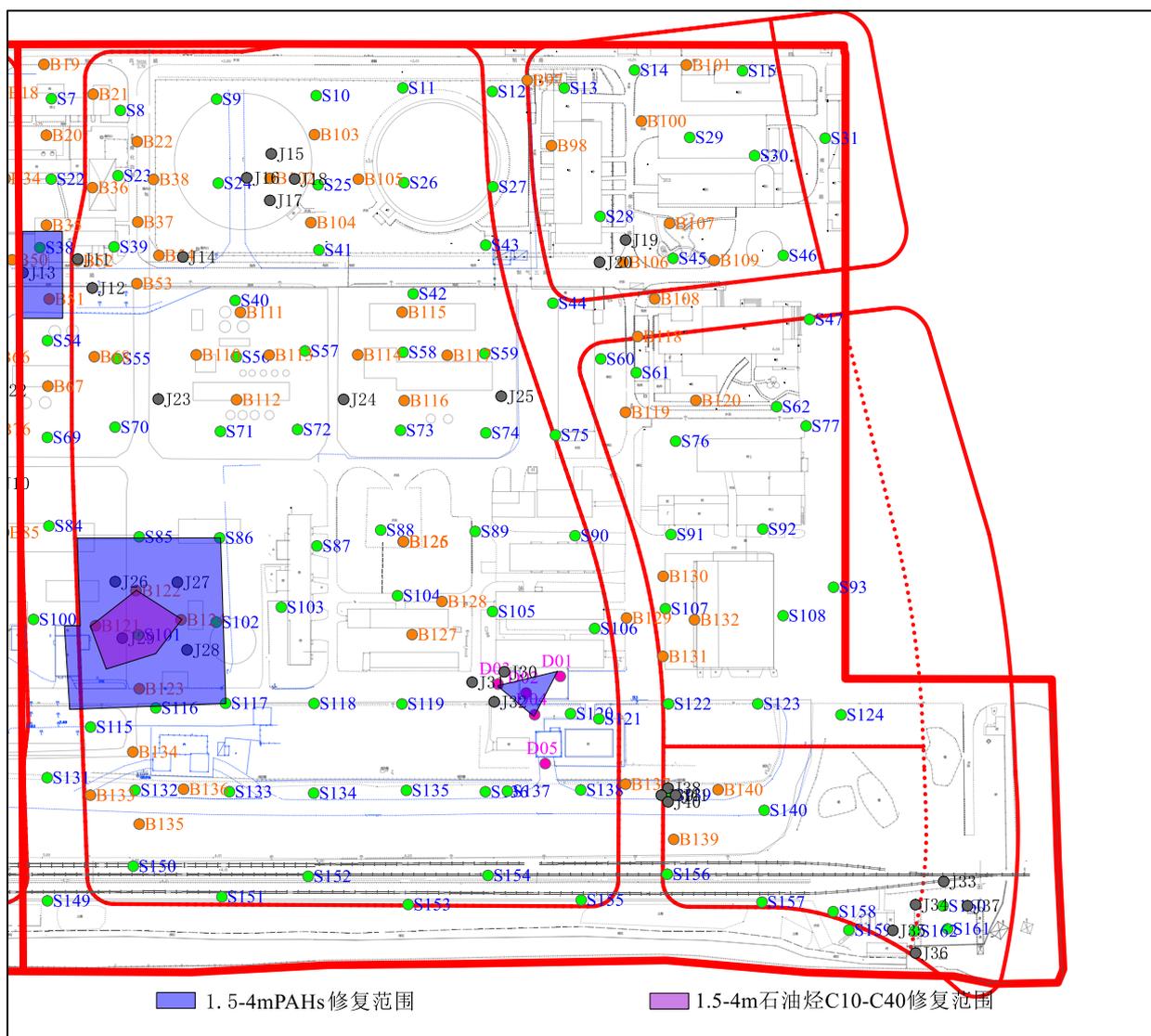


图 3.2-2 补充调查后东区块土壤第二层 1.5-4.0m 修复范围图



图 3.2-3 补充调查后项目土壤第三层 4.0-7.5m 修复范围图

4修复模式

污染场地修复模式，又称修复策略，污染地块的土壤修复总体上可以分为基于污染源削减的修复模式和基于风险管控的修复模式，前者对污染源进行清除或减量使污染物暴露人体健康风险消除或减少，后者通过切断暴露途径或减少人群暴露的形式从而实现安全利用。

本场地位于运河新城单元，是大城北开发的重要门户，地块正在进行规划调整，本场地修复要求均按第一类敏感用地要求进行修复。本项目地理位置佳、后期开发强度大、开发时间紧，因此总体上不适合风险管控的修复模式，**本项目的修复采用污染源削减的模式进行修复。**

污染源削减的修复模式中，原位修复、原地异位修复、异地修复或处置三种模式。综合考虑场地土壤污染情况、管理计划、工程进度安排、后期规划，结合场地后期建设的安全性、经济技术可行性基础上，推荐本场地土壤采用**异地修复模式**。

5 修复技术

5.1 土壤修复技术简述

土壤修复技术的种类较多，原理较为复杂，国内外最常见的土壤污染物修复方法包括物理方法、化学方法、生物方法等。本场地存在有机污染土壤及重金属污染土壤两大类污染土，其对应的修复技术如图 5.1-1 所示。

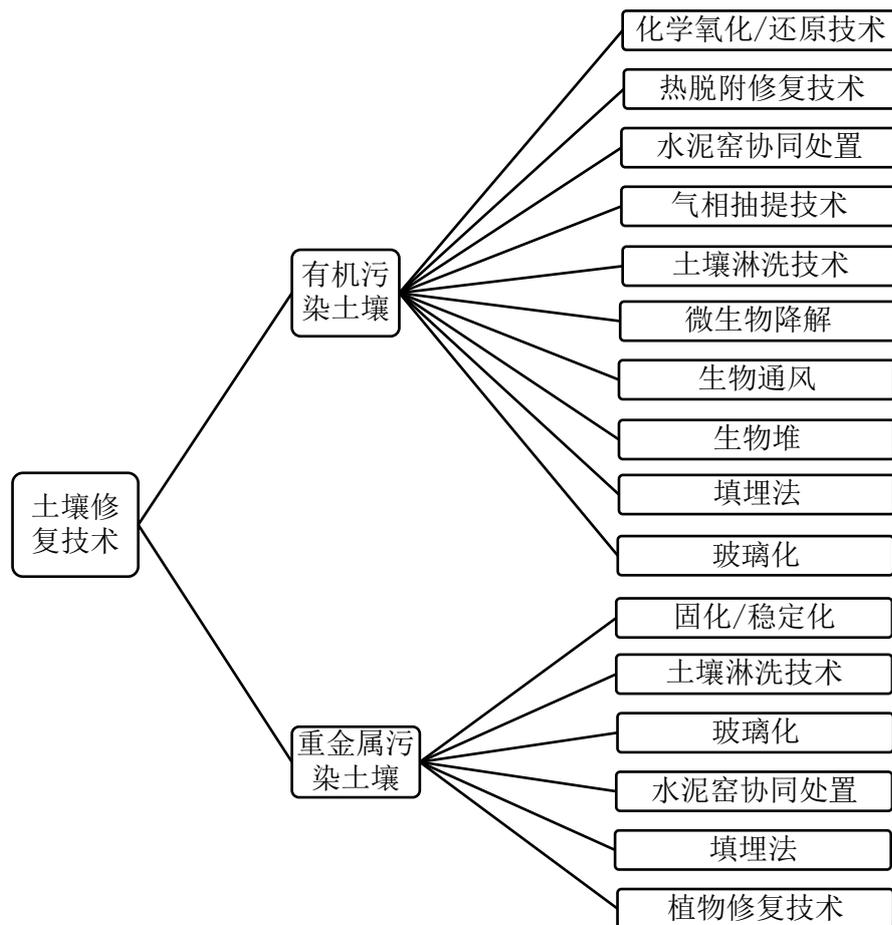


图 5.1-1 常见土壤修复技术

5.2 土壤修复技术筛选

5.2.1 有机污染土壤修复技术筛选

地块内有机污染土壤有多环芳烃单一污染土壤、石油烃单一污染土壤、多环芳烃-石油烃复合污染土壤，修复深度最深至 7.5 米，少量修复深度至 4 米，多数区块修复深度仅 1.5 米，污染区域垂向污染深度涵盖杂填土、粉质粘土，局部有淤泥质粘土。

项目有机污染包括多环芳烃和石油烃，污染程度不一，部分区块污染浓度较高（超标倍数可达百倍），部分区块污染浓度略低（超标倍数在五倍左右）。从技术适用性和局限性角度，气相抽提技术、土壤淋洗技术、微生物降解、生物通风、生物堆技术不适用于本场污染情况。另外，填埋法对后期管理要求极高，占用土地资源；玻璃化在国内应用少，对能源消耗大，经济性差。因此**建议采用热脱附修复技术、水泥窑协同处置、化学氧化技术处理本项目有机污染土。**

5.2.2 重金属污染土壤修复技术筛选

地块内重金属污染土壤为单一的镍污染土壤，仅单点超筛选值。经补充调查，根据《上海市建设用土壤污染状况调查、风险评估、风险管控与修复方案编制、风险管控与修复效果评估工作的补充规定（试行）》，该点位镍的超标具有偶发性，属于异常点位。结合补充调查数据，重金属镍的修复深度为 5~6 米，修复土方量 20 立方米。

项目区域后期开发作为第一类敏感用地，且修复工程量少，长期监管的管理费用比修复费用高，因此固化/稳定化技术和填埋法不适用；另外本项目重金属污染土非表层土壤，属于粘性土，土壤淋洗技术和植物修复技术效果受到严重制约，因此以上两种技术不适用；玻璃化在国内应用少，对能源消耗大，经济性差。因此**建议采用水泥窑协同处置处理本项目重金属污染土。**

6 推荐修复方案

6.1 技术路线

根据本项目提供的风评报告描述的关于现场污染实际情况，本项目共提出了两种优选的修复方案：方案①水泥窑协同处置修复方案、方案②水泥窑协同处置+热脱附修复方案，以上两种方案重金属污染土壤采用水泥窑协同处置，有机污染土中超高浓度污染土、表现为油泥性状的土壤，建议进行水泥窑协同处置；其余污染程度相对较轻的可根据处置设备工况负荷情况及工程进度情况，选择水泥窑或者热脱附技术进行修复。

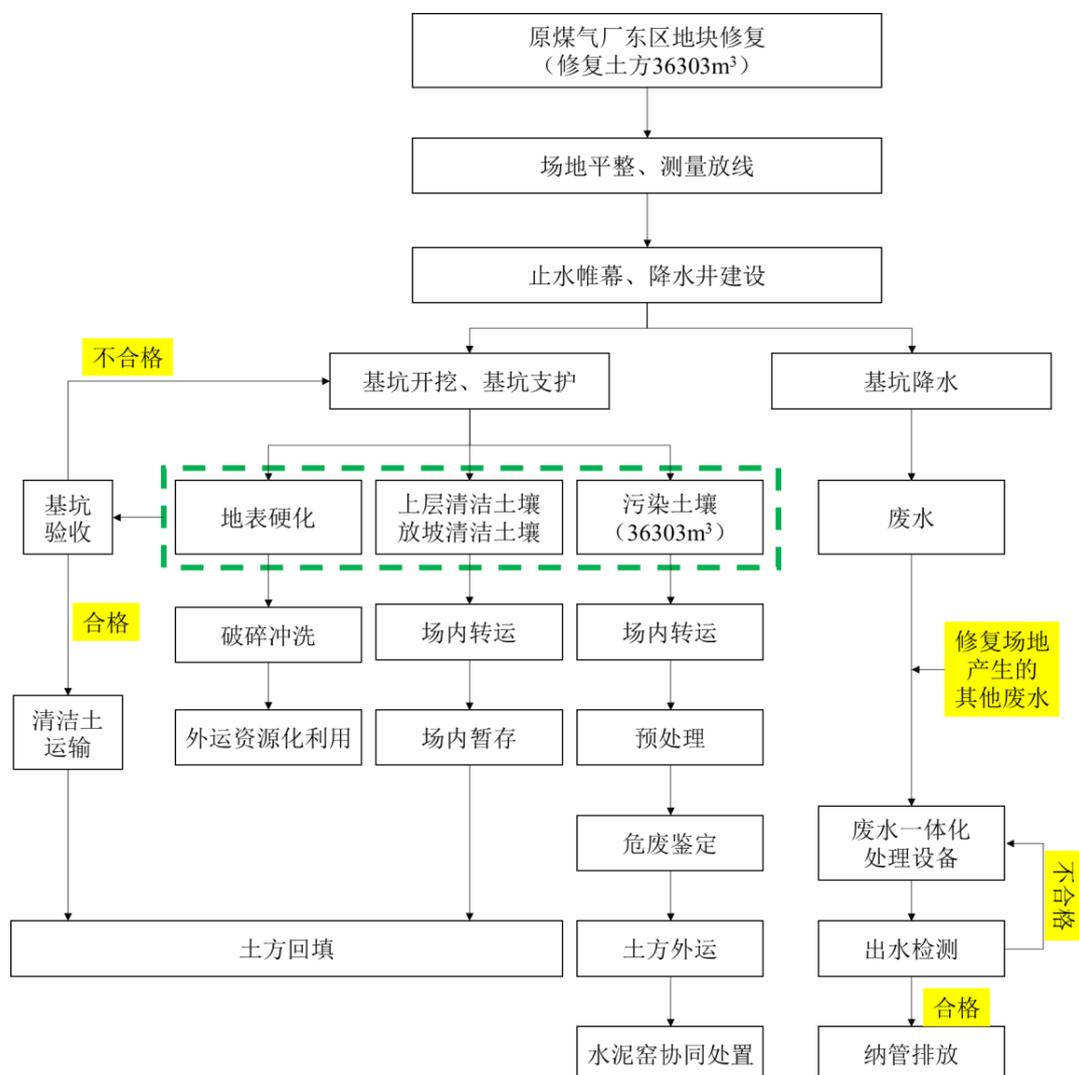


图 6.1-1 方案一技术路线图

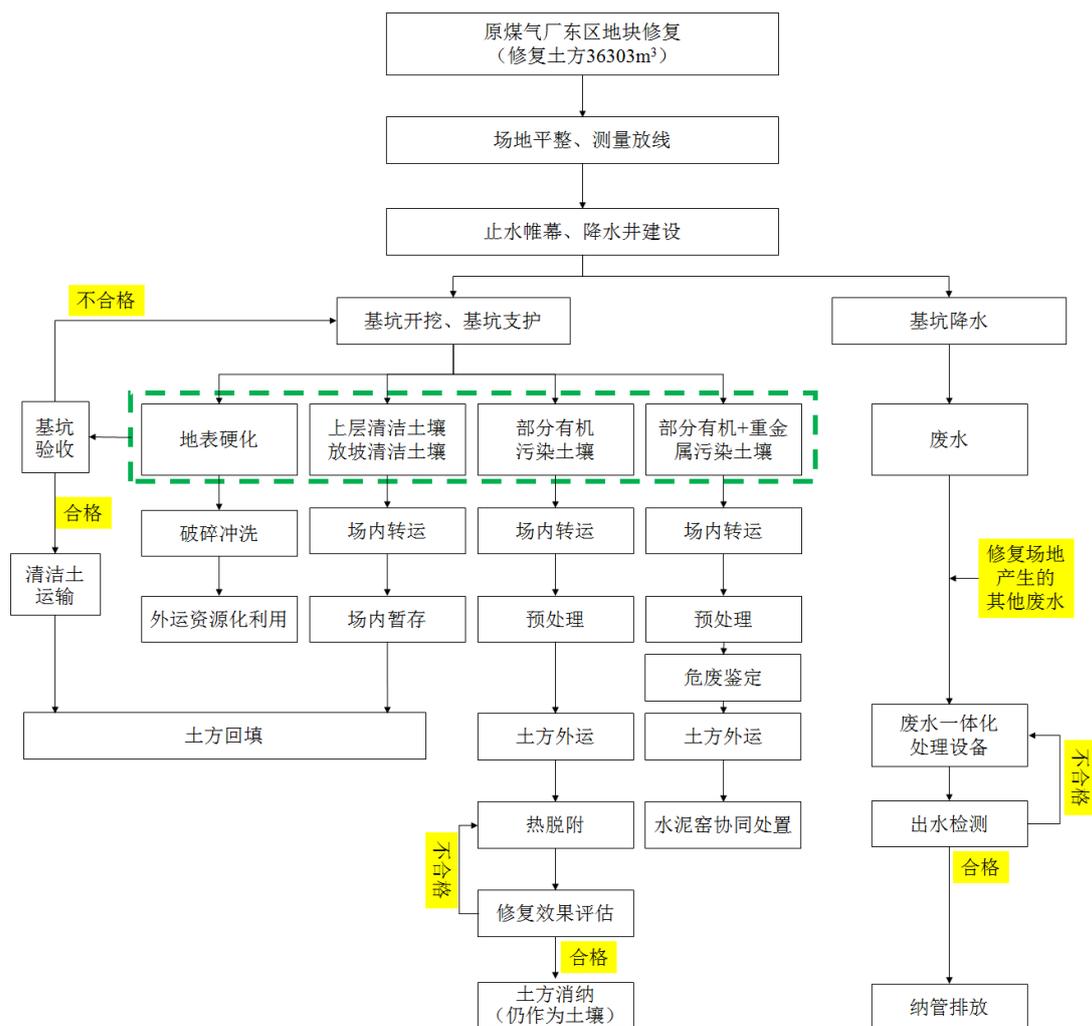


图 6.1-2 方案二技术路线图

(1) 进场后进行三通一平、止水帷幕、降水井、异地热脱附设备安装试运行等施工准备。

(2) 土方开挖，与此同时进行基坑支护、基坑降水。基坑的四类土壤和降水产生的废水需分别处理。

(3) 地表硬化：破碎冲洗后资源化利用（路基或进砂石厂）。

(4) 上层清洁土壤和放坡清洁土壤：开挖后单独转运、暂存至清洁区，待基坑验收后回填至基坑。

(5) 部分有机污染土壤和重金属污染土壤：①开挖后转运至预处理大棚；②进行筛分等预处理，去除土壤中大块渣石，针对湿度过大的土壤进行干化，节约后续水泥窑能耗；③危废鉴定。④土方外运，经鉴定不属于危险废物的，按照《中华人民共和国土壤污染防治法》要求运输，经鉴定属于危险废物的，按照《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》要求运输，注意二次污染防治；⑤水泥

窑协同处置。

(6) 部分有机污染土壤：①开挖后转运至预处理大棚；②进行筛分等预处理，去除土壤中大块渣石，针对湿度过大的土壤进行干化，节约后续热脱附能耗；③土方外运，注意二次污染防治；④异位热脱附，其中经过处理后的土壤若未达修复目标，再次回到设备中处理；⑤直至通过修复效果评估，所有土壤均达到修复目标；⑥修复后的土壤作为土壤按相关规范要求就近消纳。

(7) 基坑降水废水：抽出后进入废水一体化处理设备，处理达标后排入市政管网。

(8) 基坑开挖完成后进行基坑验收，通过验收的基坑将清洁土回填、平整。

6.2 推荐方案工艺设计

本项目共提出了两种优选的修复方案：①水泥窑协同处置修复方案、②水泥窑协同处置+热脱附修复方案，以上两种方案的共性为重金属污染土壤采用水泥窑协同处置，区别在于有机污染土壤部分或全部采用水泥窑协同处置。在比选过程提出了一个热脱附和水泥窑修复工程量的拆分方式，但根据比选结果，两种方案成本相近，技术均可性，现场可根据施工情况灵活运用两种技术；即根据市场情况，水泥厂相对空闲可以接受并处置本项目有机污染土时，采用水泥窑协同处置，异地处理区相对空闲可以接受并处理本项目有机污染土且经处理后的土壤有资源化利用的去向时，采用异地热脱附修复。其中，针对超高浓度污染土、表现为油泥性状的土壤，建议进行水泥窑协同处置。

6.2.1 土壤清挖

污染土壤开挖深度按照场地环境调查取样检测孔口标高为基准向下开挖至该区域要求的修复深度。1.5 米以内深度基坑无需考虑放坡，一次开挖到达深度；1.5 米深以上基坑需根据土质情况按规范要求放坡，并分层开挖。各区块污染种类、污染程度不尽相同，建议分开清挖、运输、存储及处理。根据场地调查及风险评估结果，本场地待修复区域分为 10 个区块，各区域土层分层划分情况如表 6.2-1 所示，各层修复范围存在叠加的情况，在进行清挖范围统计时，需考虑下层的叠加情况。部分下层污染土壤被上层非污染土覆盖，清挖时需先将上层非污染土壤清挖。

表 6.2-1 清挖工程量统计表

区域	污染介质	土层	污染类型	修复深度/m	面积/m ²			土方量/m ³		
					修复面积	清洁土开挖面积	总开挖面积	污染土方量	清洁土开挖土方量	总清挖量
A	轻度有机污染土壤	第 1 层	多环芳烃	0-1.5	948	252	1199	1422	377	1799
		第 2 层	多环芳烃	1.5-4.0	710	0	710	1774	0	1774
B		第 1 层	多环芳烃	0-1.5	195	0	195	292	0	292
C		第 1 层	多环芳烃	0-1.5	572	0	572	858	0	858
D		第 1 层	多环芳烃	0-1.5	282	0	282	423	0	423
E		第 1 层	多环芳烃	0-1.5	894	0	894	1341	0	1341
F		第 1 层	多环芳烃	0-1.5	890	0	890	1335	0	1335
G	重度有机污染土壤	第 1 层	多环芳烃、石油烃	0-1.5	3385	1787	5172	5078	2680	7758
		第 2 层	多环芳烃、石油烃	1.5-4.0	5172	0	5172	12931	0	12931
		第 3 层	多环芳烃	4.0-7.5	1398	0	1398	4894	0	4894
H		第 1 层	多环芳烃、石油烃	0-1.5	2924	0	2924	4385	0	4385
		第 2 层	多环芳烃	1.5-4.0	236	0	236	590	0	590
I	轻度有机污染土壤	第 1 层	多环芳烃	0-1.5	639	0	639	959	0	959
J	重金属污染土壤	第 1 层	/	0-1.5	0	20	20	0	30	30
		第 2 层	/	1.5-5.0	0	20	20	0	70	70
		第 3 层	镍	5.0-6.0	20	0	20	20	0	20
共计					12787	2078	12787	36302	3158	39460

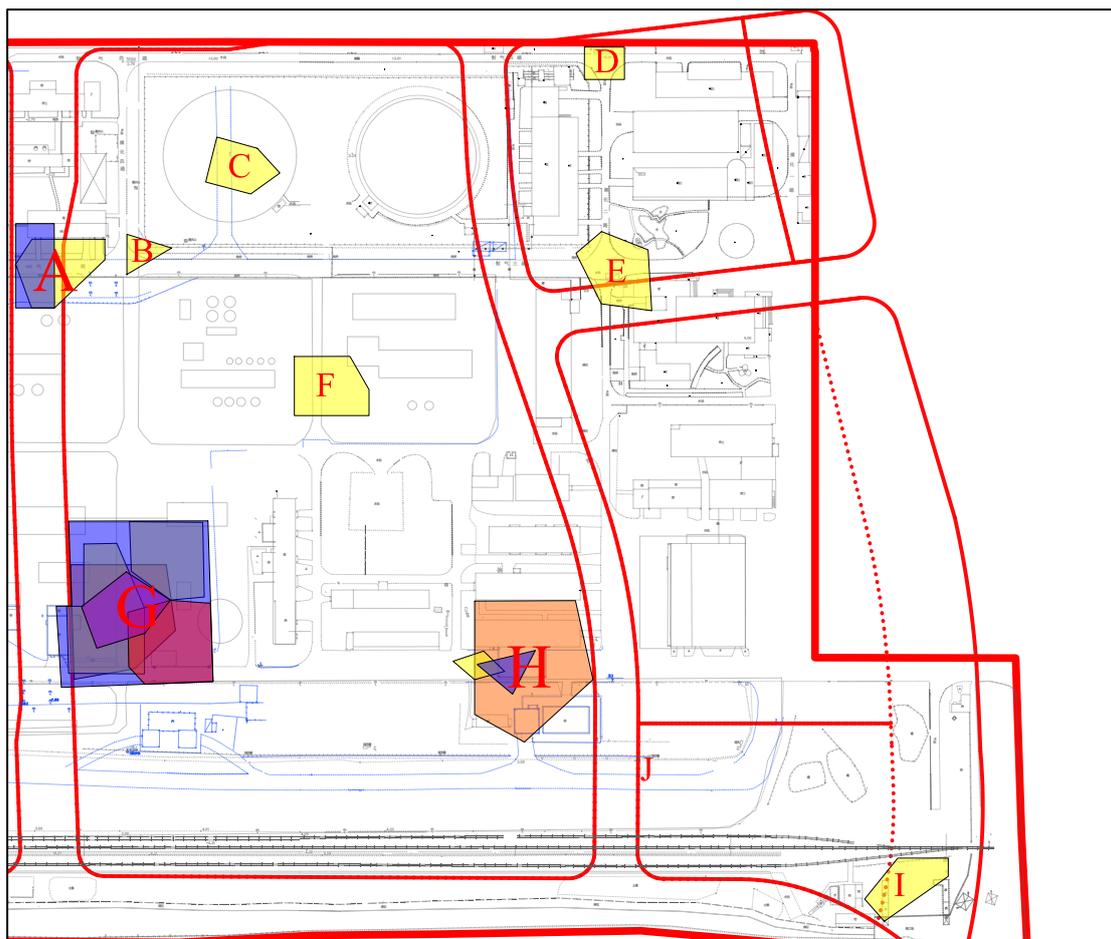


图 6.2-1 土壤修复范围图

6.2.2 水泥窑协同处置

污染土壤水泥窑协同处置是将污染土壤作为水泥生料的一小部分制成水泥，同时在制成水泥的过程中又能达到有效去除污染物的目的。该法可有效处理含多环芳烃、苯系物及总石油烃等有机污染物的土壤，它将污染土壤按一定比例添加到水泥生料中，在水泥回转窑系统中经过预处理后，污染土壤和其它生料一起进入回转窑，通过回转窑的 1200-1750℃ 高温加热，直接彻底焚毁有机污染物，土壤和其他生料煅烧后变成水泥熟料。

本项目采用“水泥窑协同处置修复方案”或“水泥窑协同处置+热脱附修复方案”，按污染土壤全部由水泥窑进行处置，总工程量为 36303m³ 污染土壤，按一般土壤容重 1.6t/m³ 计算，水泥窑最大处理工程量约为 58084.8t 污染土壤，按 3 个月工期要求，日均需处理量为 645.4t。根据市场调研情况，杭州周边水泥窑至少有 10 家公司可协同处置固废或危废，调研范围内的水泥窑全部满负荷运行，日处理量可达 2992 吨，可满足本项目的处理量需求，具有较强的可行性。

本项目污染土处理处置过程中，超高浓度污染土、表现为油泥性状的土壤建议进行水泥窑协同处置，其余污染土壤根据市场情况，水泥厂相对空闲可以接受并处置本项目有机污染土时，采用水泥窑协同处置。

6.2.3 热脱附处理

通过加热将污染物从土壤中转移至气体中，再通过气体净化实现污染物去除。污染土壤经破碎、筛分等预处理后送入污染土壤与加热介质间接接触的加热装置；通过控制污染土壤的加热温度和停留时间将目标污染物加热到沸点以上，从而使污染物气化挥发达到污染物与土壤分离目的；气化污染物进入气体处理系统去除或回收。

本项目污染土处理处置过程中，除超高浓度污染土壤、表现为油泥性状的土壤外，其余污染土壤根据市场情况，异地处理区相对空闲可以接受并处理本项目有机污染土且经处理后的土壤有资源化利用的去向时，采用异地热脱附修复。本项目污染物沸点见表 6.2-2，沸点最高的为茚并[1,2,3-cd]芘，沸点为 536℃。本方案 A、B、C、D、E、F、G、H、I 区块可以采用热脱附修复技术，按照区块进行精细化施工管理，不同区块目标污染物略有差异，对于无高沸点目标污染物的区块可适当降低热脱附设备温度，以节约能耗，见表 6.2-3，停留时间 30 分钟左右，针对高污染区块可适当增加停留时间。

表 6.2-2 目标有机污染物沸点

序号	污染物	沸点/℃	污染区块
1	石油烃 C ₁₀ -C ₄₀	<500	G、H
2	苯并[a]芘	496	A、B、C、D、E、F、G、H、I
3	苯并[a]蒽	437	G
4	苯并[b]荧蒽	481	G
5	二苯并[a,h]蒽	524	A、C、G
6	茚并[1,2,3-cd]芘	536	G

表 6.2-3 区块热脱附修复精细化管理

序号	污染区块	目标污染物	目标污染物最高沸点/℃	热脱附设备温度控制/℃
1	A	苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽	524	530
2	B	苯并[a]芘	496	500
3	C	苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽	524	530
4	D	苯并[a]芘	496	500
5	E	苯并[a]芘	496	500
6	F	苯并[a]芘	496	500

序号	污染区块	目标污染物	目标污染物最高沸点/°C	热脱附设备温度控制/°C
7	G	苯并[a]芘、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、石油烃 C ₁₀ -C ₄₀	536	540
8	H	苯并[a]芘、石油烃 C ₁₀ -C ₄₀	<500	500
9	I	苯并[a]芘	496	500

6.2.4 现场污水处理

本项目现场污水主要来源于基坑开挖过程中产生的基坑废水、土壤暂存过程产生废水、异位处置过程中可能产生的废水、施工设备清洗废水、基坑、地表可能受污染的雨水、生活污水等。本项目产生的污水都应统一收集后汇入收集池后经污水处理设施处理。

现场收集的污水通过排水沟汇入水处理站前端的泥沙沉淀池，首先沉淀掉泥沙颗粒，然后利用水泵将沉淀池内的污水抽入水处理站。水处理站先通过调节池均衡进水水质，然后通过沉淀池对污水进行絮凝沉淀，投加 PAC、PAM，去除地下水中的悬浮物；然后污水流入氧化反应池，在氧化反应池里投加双药剂进行反应，去除污水中潜在的污染物；然后处置后污水流入活性炭滤罐进行吸附，保证出水通过活性炭吸附达到排放标准。完成上述步骤后，处置后水体流经流量计计量，最终流入市政污水排入管网。

7 修复费用及周期

7.1 修复费用

拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）东区块推荐使用“水泥窑协同处置修复方案”或“水泥窑协同处置+热脱附修复方案”作为本项目的污染土壤修复方案。有机污染土中超高浓度污染土、表现为油泥性状的土壤，建议进行水泥窑协同处置；其余污染程度相对较轻的可根据处置设备工况负荷情况及工程进度情况，选择水泥窑或者热脱附技术进行修复。

根据各方案的一次性整体修复费用估算，拱北公交综合体（运河新城单元 C-U21/C2-01、C-R21-09 地块）东区块一次性整体修复费用在 6054 万元左右。

7.2 修复周期

本项目工程分为场内施工和场外施工两部分。

（1）场内施工主要包括临建施工、止水帷幕建设、基坑开挖、基坑支护、基坑降水、土壤预处理、基坑验收、基坑回填。其中临建施工与止水帷幕建设可同期开展，基坑开挖、基坑支护、基坑降水、土壤预处理可同期开展。预计需要 3 个月完成场内施工任务。

（2）场外施工主要包括土壤外运、水泥窑协同处置、热脱附处理施工。每运输一批污染土处理一批，因此制约工期的关键步骤为水泥窑协同处置能力和热脱附设备处理能力。水泥窑协同处置施工可以从土方开挖施工后开展，按中等规模设备考虑日处理量约 170~200 m³。极端情况下如果需要在 3 个月内所有污染土壤均由水泥窑完成处置工作，需要 2~3 家水泥窑协同处置单位同时消纳。热脱附处理施工可以从土方开挖施工后开展，中等偏上规模设备考虑日处理量约 250m³，极端情况下如果需要在 3 个月内所有有机污染土壤均由热脱附完成处置工作，需要 2 条热脱附生产线同时处理。

8 结论与建议

8.1 结论

根据本目前期调查和本次补充调查数据，本项目目标污染物为5种多环芳烃类（苯并[a]芘、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘）、石油烃C₁₀-C₄₀以及重金属镍，修复范围包含10个区块，工程量为36303 m³污染土，其中包含36283 m³的有机污染土壤和20m³的重金属污染土壤。

根据本场地的污染特征、场地水文地质条件、土地利用规划和场地未来的开发建设计划，经修复技术的初步筛选和进一步的可行性评估。通过修复模式的筛选和综合评估，推荐本场地土壤采用异地修复模式。

经对地块污染土壤修复适用技术的合理组合，形成了场地污染土壤修复的五套备选方案。经方案比选，推荐使用“水泥窑协同处置修复方案”或“水泥窑协同处置+热脱附修复方案”作为本项目的污染土壤修复方案。有机污染土中超高浓度污染土、表现为油泥性状的土壤，建议进行水泥窑协同处置；其余污染程度相对较轻的可根据处置设备工况负荷情况及工程进度情况，选择水泥窑或者热脱附技术进行修复。

8.2 建议

（1）前期调查与修复工程实施间隔较长时间，可能产生污染情况的变化。本方案中虽进行了补充调查，在风险评估阶段确定的污染区域边界处进一步监测污染情况，但由于土壤异质性较强，补充调查的工作量有限，仍存在一定不确定性。因此建议在场地污染土壤修复施工过程中，时刻关注和防范现场突发情况，根据现场情况实时调整污染土壤清理边界，以保证场地修复方案能够达到预期目标。

（2）建议及早实施场地污染土壤的修复，避免污染扩散。在自然作用下，土壤中的污染物会发生迁移。如风会促使污染物挥发；降雨入渗或地面径流会使污染物产生水平和垂向迁移等。如不及时进行修复，长此以往，势必会造成场地污染范围的不断扩大。因此，应尽快开展场地的修复工作。

（3）避免场地拆迁过程造成新的环境污染。对于场地内现有地上和地下建筑物的拆除，建议选择具有相关资质和经验的设施拆除单位进行施工，避免造成

新的场地污染。在场内地下管道、地基等地下构作物的清挖过程中，应尽量减少污染土壤的扰动。如确需清挖，则应将挖出的污染土壤和非污染土壤分别堆置，严禁混放。污染土壤应放置在污染区内，并采取相应的防雨、防扬、防挥发性污染物挥发等措施，防止二次污染。场内的建筑垃圾应在相关修复工作开始前清运干净。

（4）在修复施工前应及时向环保、安监等主管部门备案，施工前进一步分析、排查场地内地下暗管、储槽等的分布情况。场地应配置危险化学品、不明废液等收集储罐，在开挖过程中管道、储槽中残留的不明液体、危险废物应及时转移至备用的储罐中，不得随意丢弃。若有有毒有害气体产生，应及时启动应急预案。

（5）场地修复过程应采取有效的安全和环保措施，防止二次污染和健康风险。因地下水非饮用，经风险评估判断本项目地下水无健康风险。但基坑降水过程可能将地下水抽出，因此建议在基坑降水初期尤其注意二次污染防治，优先对土壤污染相对严重的基坑区域降水，减少地下水中污染物扩散。

（6）由于施工场地周围有居民区等环境敏感点，因此容易出现因施工造成的扰民和民扰问题。在场地修复过程中需要更加注重环境的影响监测和二次污染防治，严格执行方案中给出的扰民和民扰对策，加强同周围居民的沟通交流，妥善处理可能出现的扰民、民扰问题。

（7）在场地未来开发建设过程中，若发现疑似污染土壤或不明物质，应立即停工，并采取相应的环保措施，不得随意处置。