



申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域
修复方案
(备案稿)

二〇二一年四月

1总论

1.1项目背景

申花单元 GS0404-A5-12 地块位于杭州市拱墅区，总占地面积约 41015m²。根据现场踏勘，场地内目前为拆迁空地和地铁施工临时用地，历史为杭州塑料化工一厂、杭州防腐设备有限公司、祥和北星大酒店、新慈酒店及农居，其中祥和北星大酒店曾先后作为杭州毛毡厂和杭州华立仪表厂进行生产。场地内企业杭州塑料化工一厂于 2017 年委托第三方单位组织开展详细调查和风险评估；而后委托浙江桃花源环保科技有限公司实施修复工作；目前杭州塑料化工一厂作为商业商务用地开发利用已修复完成，并委托南京康地环保科技有限公司于 2019 年 3 月完成了效果评估工作。

根据《杭州市人民政府关于杭州市庆隆小河单元（GS03）、申花单元（GS04）控规局部调整暨 GS0407-04、GS0407-05 等地块选址论证报告的批复》（杭政函[2019]73 号），申花单元 GS0404-A5-12 地块规划为医疗卫生用地（第一类用地）。2020 年 4 月，杭州市拱墅区城中村改造工程指挥部（以下简称“场地责任人”）委托杭州市环境保护科学研究设计有限公司（以下简称“我单位”）编制完成《申花单元 GS0404-A5-12 地块土壤污染状况调查报告》并取得备案意见。根据该报告，申花单元 GS0404-A5-12 地块（以下简称“12 地块”）存在土壤及地下水污染。

由于地块内存在土壤和地下水污染，且地下水污染修复周期较长。为尽快实施场地的开发，场地责任人结合地下水污染范围将“12 地块”分割为申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域（以下简称“北区域”）和申花单元 GS0404-A5-12 地块南区域（以下简称“南区域”）。申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域目前为空地 and 地铁施工临时用地，历史为杭州防腐设备有限公司、祥和北星大酒店，其中祥和北星大酒店曾先后作为杭州毛毡厂和杭州华立仪表厂进行生产。北区域不涉及地下水的污染。目前《申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域土壤污染风险评估报告》已编制完成，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：

表 1.1-1 地块场地调查、风险评估等工作节点表

序号	时间节点	事项
1	2020 年 11 月 18 日	《申花单元 GS0404-A5-12 地块土壤污染状况详细调查报告》通过专家评审
2	2021 年 1 月 29 日	取得《杭州市生态环境局关于申花单元 GS0404-A5-12 地块列入污染地块名录的通知》
3	2021 年 2 月 7 日	《申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域土壤污染风险评估报告》通过专家评审
4	2021 年 3 月 10 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

根据前期调查风险评估结论，申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域土壤存在污染，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。

综合上述情况，受场地责任人委托，杭州市环境保护科学研究设计有限公司编制了《申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域修复方案》。2021 年 3 月 19 日，“场地责任人”组织召开了该报告的专家评审会，我单位根据专家意见对报告进行修改完善，最终形成《申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域修复方案》（备案稿）。

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、《国家危险废物名录（2021 年版）》，2021 年；
- 7、《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；
- 8、《污染地块土壤环境管理办法》，生态环境部[2016]42 号令；
- 9、《浙江省土壤污染防治工作方案》，浙政发[2016]47 号；
- 10、《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；
- 11、《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；
- 12、《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；

13、《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；

14、《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；

15、《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、《地下水环境监测技术规范》（HJ164-2020）；

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、《杭州市申花单元（GS04）控制性详细规划图》；

2、《杭州塑料化工一厂场地环境详细调查报告》，杭州市环境保护科学研究设计有限公司，2017.2；

3、《杭州塑料化工一厂场地补充调查与风险评估报告》，中国科学院南京土壤研究所，2017. 7；

4、《杭州塑料化工一厂污染地块治理修复工程竣工报告》，浙江桃花源环保科技有限公司，2019.3；

5、《杭州塑料化工一厂污染地块治理修复工程效果评估报告》，南京康地环保科技有限公司，2019.3；

6、《申花单元 GS0404-A5-12 地块土壤污染状况调查报告》，2020.12；

7、《关于申花单元 GS0404-A5-12 地块分割为申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域和申花单元 GS0404-A5-12 地块南区域的说明》，2020.12；

8、《杭州市生态环境局关于申花单元 GS0404-A5-12 地块列入污染地块名录的通知》，2021.1；

9、《浙江省生态环境厅关于申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域土壤污染风险评估报告的评审意见》，2021.3；

10、杭州市拱墅区城中村改造工程指挥部提供的其他资料。

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，以保障上方工作人员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

1.4.1 “12 地块” 红线调整情况

由于地块内涉及部分杭州小商品市场建筑无拆迁条件，杭州市规划和自然资源局调整申花单元 GS0404-A5-12 地块用地红线（建设用地规划意见，项目编号：8202001543），红线范围调整后新增部分区域（面积约 70m²）。调整前后的“12 地块”红线范围如下图所示。

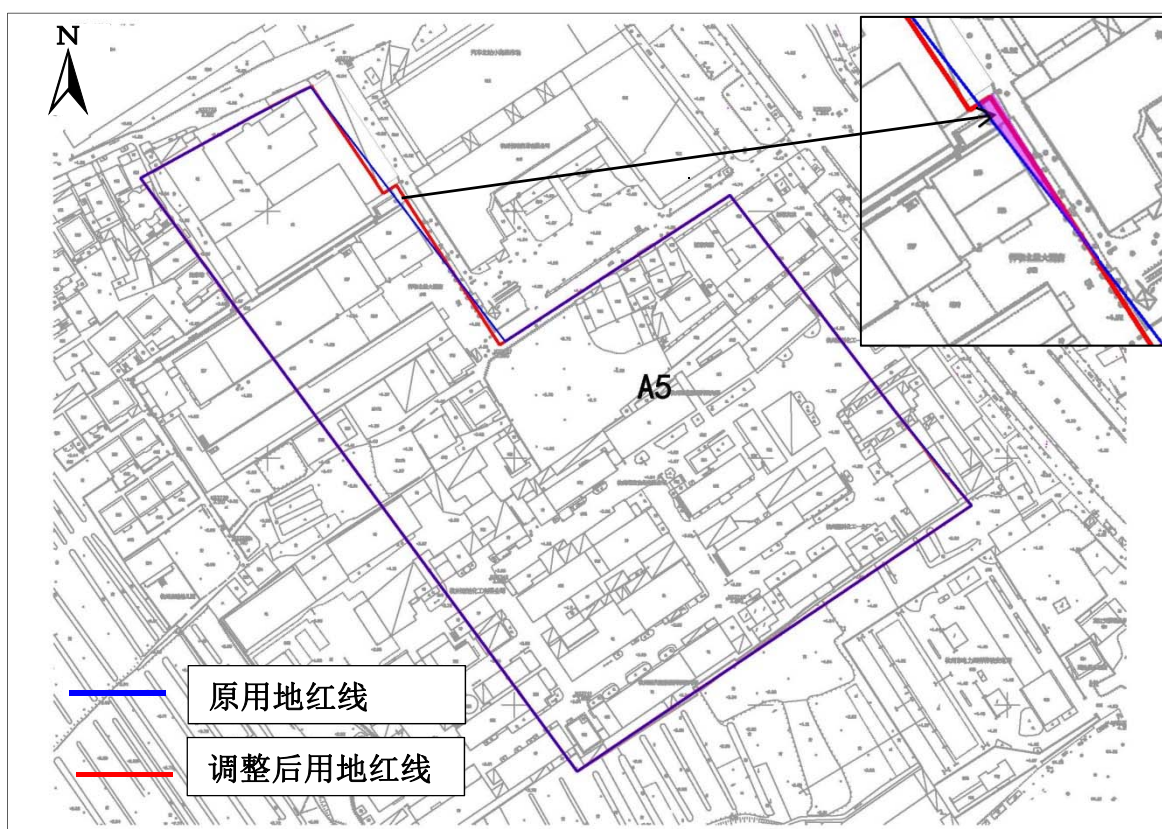


图 1-1 调整前后“12 地块”红线范围对比图

1.4.2本次修复技术方案范围

本次修复技术方案为申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域，调整后的北区域占地面积约 10367m²。具体工作范围如下图：

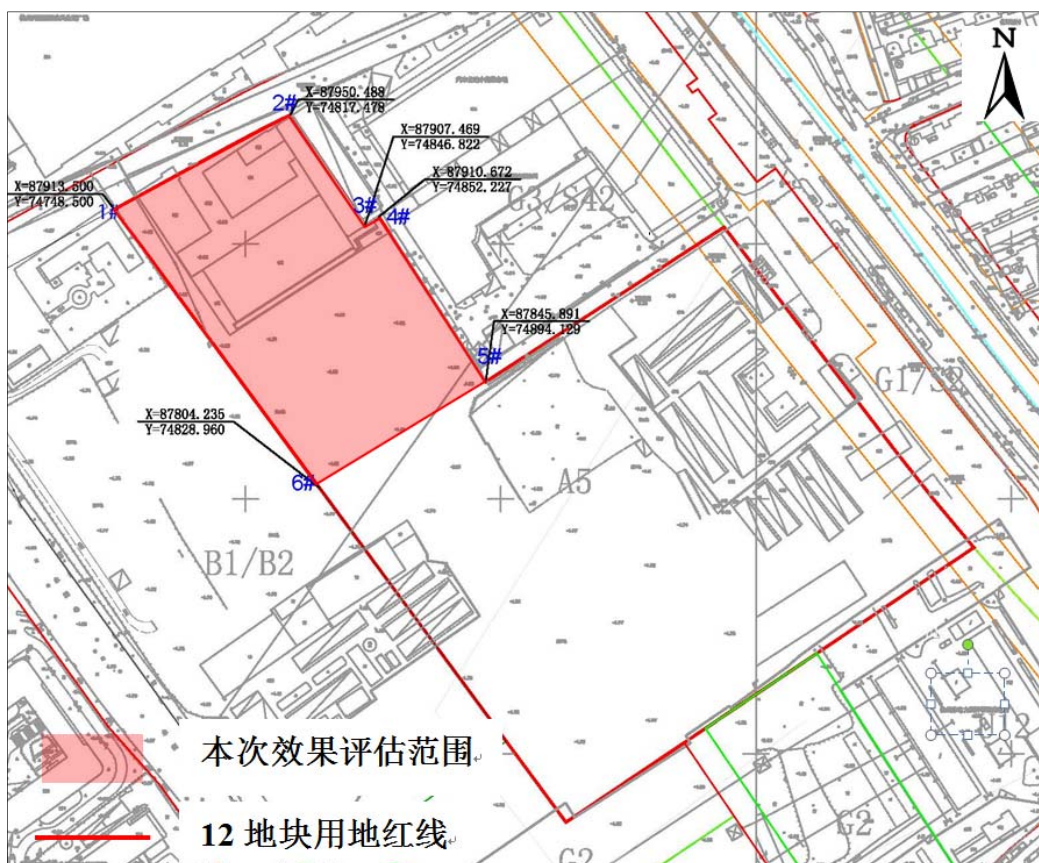


图 1-2 本次修复技术方案工作范围

工作范围拐点坐标如下：

表 1.4-1 工作范围拐点坐标

拐点编号	杭州坐标 X	杭州坐标 Y
1#	87913.500	74748.500
2#	87950.488	74817.478
3#	87907.469	74846.822
4#	87910.672	74852.227
5#	87845.891	74894.129
6#	87804.235	74828.960

1.5 技术路线

本项目修复技术方案的制订主要分三个步骤，如图 1.5-1 所示。

(1) 场地问题识别

在分析前期污染状况调查和风险评估资料的基础上，确认污染范围及修复目标值。

(2) 选择修复模式、筛选修复技术

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，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。

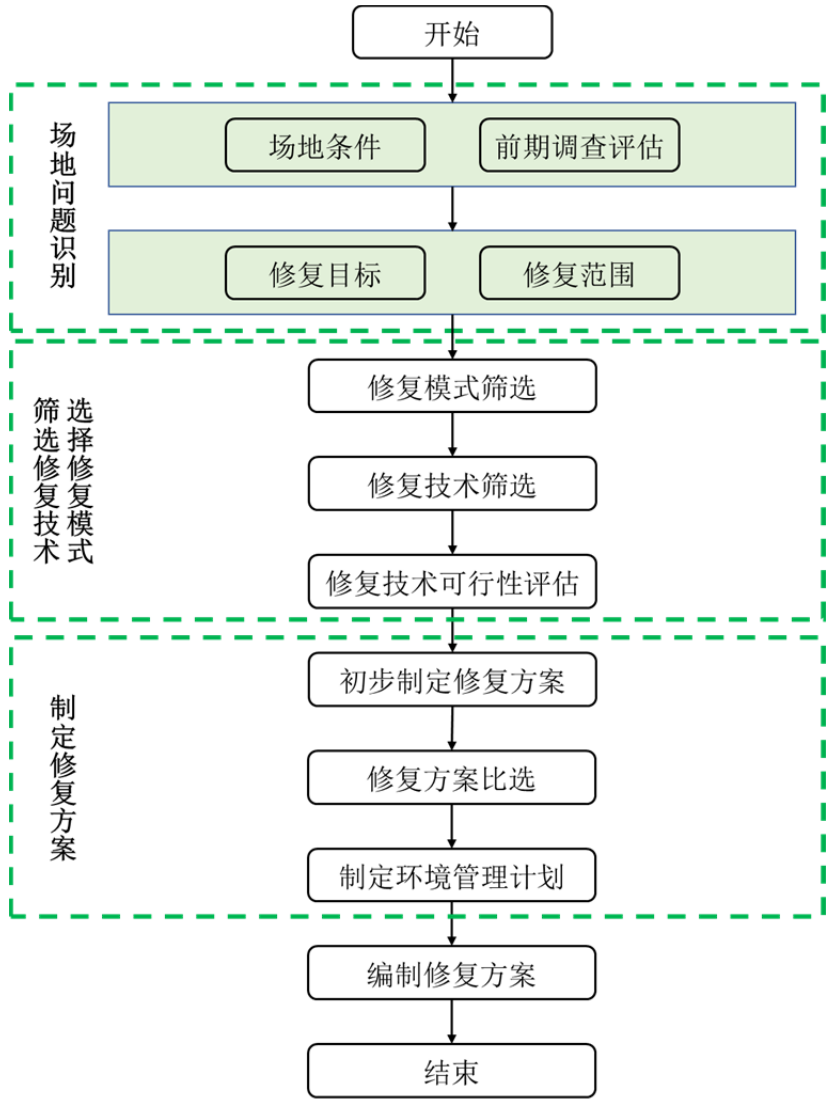


图 1.5-1 技术路线图

2申花单元 GS0404-A5-12 地块基本概况

由于前期调查评估工作是基于申花单元 GS0404-A5-12 地块,考虑其完整性,本方案引用的地块概况等基础资料为“12 地块”相关调查内容,后续的修复方案等内容仅针对本次启动场地修复的“北区域”。

2.1所在区域概况

2.1.1气象条件

杭州地处低纬度,属亚热带季风性气候,四季分明、温和湿润、雨量充沛。受西北高压和东南暖湿气流共同作用的影响,春季 3~6 月为梅雨季,气候潮湿多雨。夏季 7~9 月为台风雨季,气候火热,暴雨量大。秋季气候凉爽宜人。冬季 12 月至次年 2 月,受西北高压气流控制,气温较低,湿度较大,呈阴冷天气为多。

多年平均降雨量 1406.8 毫米,日最大降雨量 339.2 毫米,最大年降雨量 2018.2 毫米,年最小降雨量 837.6 毫米,全年平均降雨天数 155.3 天,年蒸发总量为 1355 毫米,常年相对湿度 80%。

本地块处于亚热带季风影响范围,冬季多为西北风,夏季多为东南风,常年主导风向偏东,频率 8%,最大风速出现在东北向,风速为 40.0 米/秒以上。11 月至次年 1 月间多雾,多年平均有雾日 37.7 天,年有雾日最多为 83 天,年有雾日最少为 15 天。

2.1.2水文条件

杭州市地处东南沿海的长江三角洲南翼,钱塘江下游,京杭大运河南端,城区横跨钱塘江两岸。本地块杭州市拱墅区,该区水级多、河网密度,其骨干河道有运河、余杭塘河、上塘河等,均属于运河水系;周边水体为婴儿港和西塘河。西塘河起止点为拱墅区运河口至余杭区獐山港,河道全长 16.35km。其中城市河道拱墅段途经祥符街道、和睦街道、小河街道和拱宸桥街道,北至金家渡路,南至运河口,河道全长为 4.89km,宽度为 23-53m;城市河道余杭段途经良渚街道,北至绕城,南至金家渡路,河道全长 3.8km,河道平均宽度为 20-50m。婴儿港河,位于祥符街道,起点为余杭塘河,止于北庄河。河道全长 2337 米,宽 15-20 米,水域面积 62100 平方米。

2.1.3 区域地质条件

《杭州市幅区域地质调查报告》(1:250000)资料显示,地块所在地区出露以海相、海陆相交替相沉积层。

沉积层下部为分布广泛的厚层海相层,以淤泥质亚粘土、粘土为主,流塑~软塑,灰色,质地细腻粘滑,遍布全区,局部夹粉砂透镜体,是较为特征的标志性层。

沉积层上部在地势低洼处一般以泻湖相、湖沼相沉积为主,岩性以亚粘土、粘土为主,灰褐、灰色,形成湖沼水网平原;河口地区以河口海湾相、冲海相亚砂土、粉砂为主,灰色,松散,微层理发育,形成河口冲海积平原;杭州湾沿海一线的滨海平原区,以海积、冲海积粉砂、亚砂土为主,薄层理十分发育,结构松散,灰色为主。

2.2 地块基本信息

2.2.1 地块位置及周边环境

申花单元 GS0404-A5-12 地块位于杭州市拱墅区申花单元,地块东侧为莫干山路,南侧为祥符变电站,西侧为规划商业商务用地,北侧为星月家居广场,地块周边环境概况见表 2.5-1,地块地理位置及周围环境示意图 2.2-1。

表 2.2-1 场地周边环境概况

方位	与红线距离	现状用地情况	规划情况
东侧	紧邻	空地	G1/S42 公园绿地兼容社会停车场用地
		汽车北站小商品市场	G3/S42 广场绿地兼容社会停车场用地
	约 30 m	莫干山路	莫干山路
	约 75m	化纤新村	R21 住宅用地
		和睦公寓	R21 住宅用地
	约 80m	汽车北站	S3 综合交通枢纽用地
南侧	紧邻	绿地	G2 绿化用地
	约 18m	祥符变电站	U12 供电用地
	约 110m	申花路	申花路
西侧	紧邻	空地	B1B2 商业商务用地
	约 90 m	小路	规划道路
北侧	紧邻	空地	规划道路
	约 16 m	星月家居广场	B1 商业用地
	约 170m	花园岗街	花园岗街



图 2.2-1 地块地理位置图

2.2.2 地块使用历史回顾

根据前期调查，申花单元 GS0404-A5-12 地块历史为杭州塑料化工一厂、杭州防腐设备有限公司、祥和北星大酒店、新慈酒店及农居、农田，其中祥和北星大酒店曾先后作为杭州毛毡厂和杭州华立仪表厂进行生产。地块主要为历史情况

如下：

表 2.2-2 场地内原有企业历史情况

调查区域	时间	历史使用情况
杭州塑料化工一厂	-1966 年	农田
	1966 年-2003 年	杭州塑料化工一厂
	2003-2017 年	出租给城北小商品市场作临时仓库
	2018 年 10 月-2019 年 3 月	场地土壤及地下水修复
	2019 年 3 月-至今	空地
杭州防腐设备有限公司	-1997 年	农田
	1997 年-2009 年	杭州防腐设备有限公司
	2009-2011 年	闲置
	2011-2013 年	城北商品市场仓库（食品、家居）
	2013-2018 年	旅馆
	2018 年-至今	拆迁空地
祥和北星大酒店	-90 年代初	农田
	90 年代初-95 年	杭州毛毡厂
	1995-2008 年	杭州华立仪表厂
	2008 年-2018 年	祥和北星大酒店
	2018-至今	拆迁空地
新慈宾馆	-90 年代初	农田
	90 年代初-90 年代末	盆景苑（苗木市场）
	90 年代末—2019 年	新慈宾馆
	2019-至今	空地

2.3 地块用地规划

根据《杭州市申花单元（GS04）控制性详细规划图》，本地块规划为 A5 医疗卫生用地，场地用地范围内规划情况见图 2.3-1。

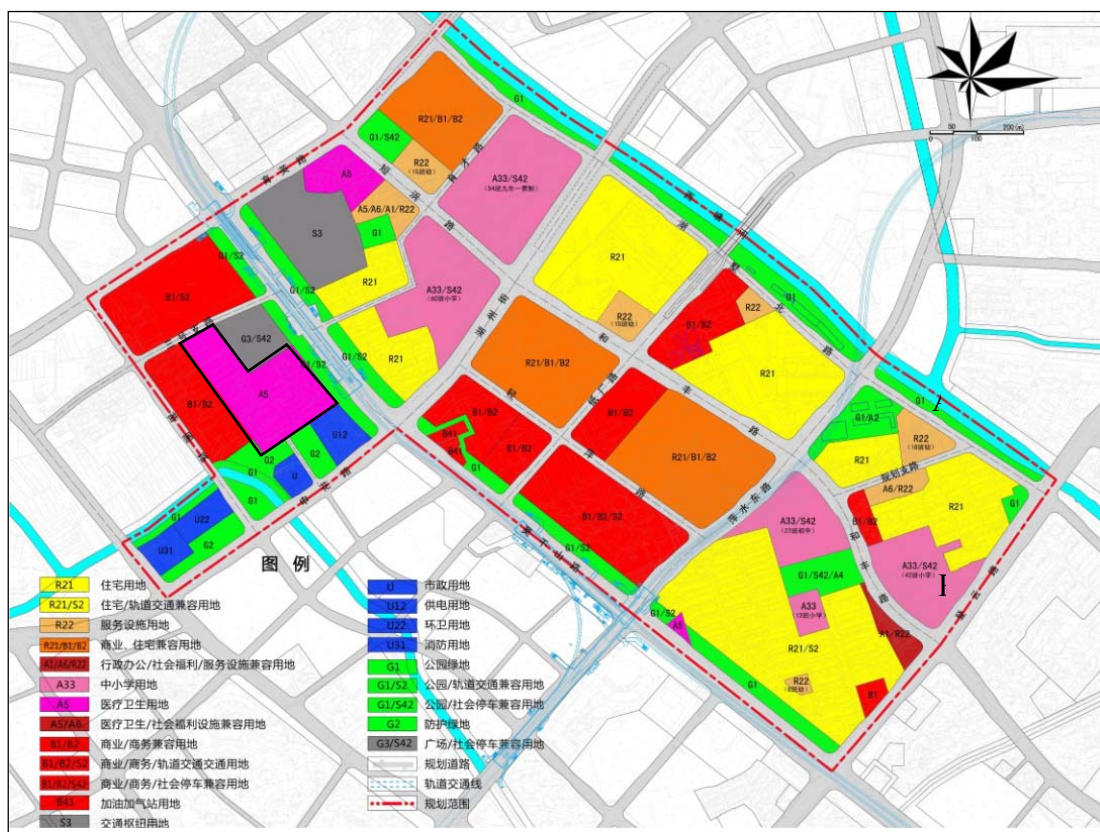


图 2.3-1 地块规划用地性质

2.4 地块环境特征

申花单元 GS0404-A5-12 地块场地内历史企业有杭州塑料化工一厂，本次调查地质及水文条件引用《杭州塑料化工一厂地块退役场地补充调查与风险评估报告》（2017.7）中对杭州塑料化工一厂地块场地水文地质状况与土壤形状的勘察结果，勘察点位见图 2.4-1。

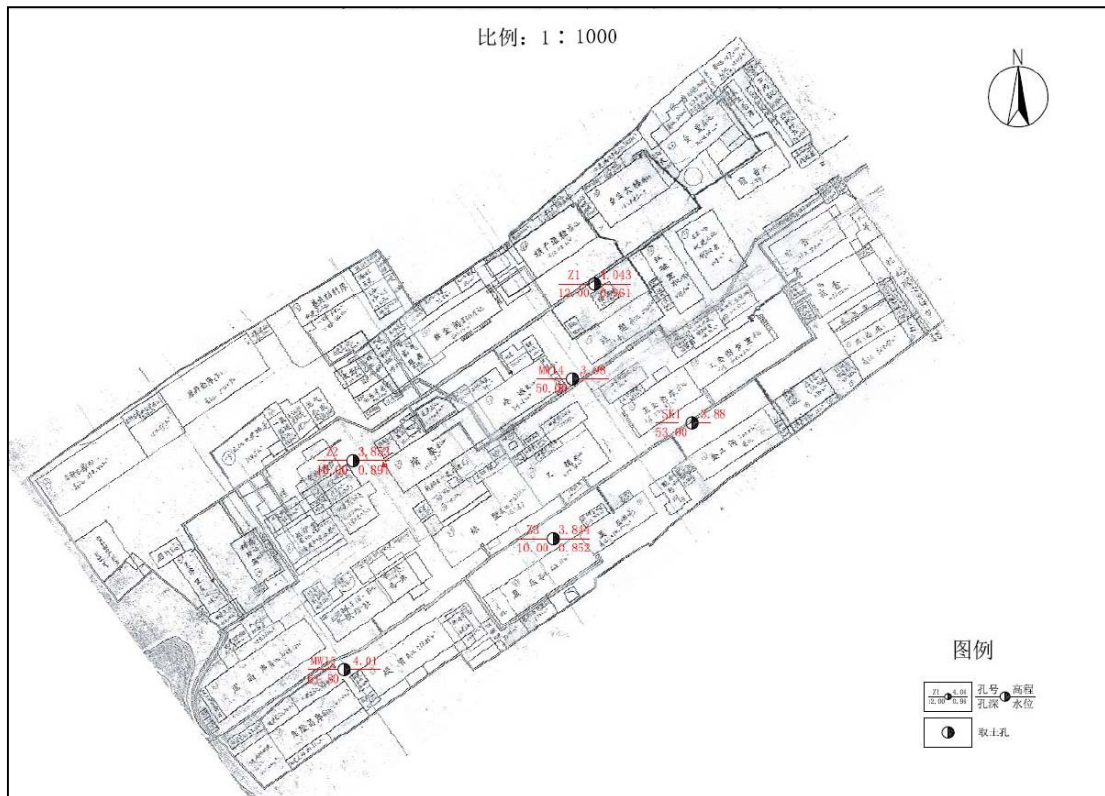


图 2.4-1 勘探点位平面布置图

2.4.1 场地地质

2.4.1.1 地形地貌

拟建场地地貌单元属于湖沼相沉积地带，地形起伏不大，较平坦，现状为空地。场地周围环境条件较简单，有市政道路和河道。

2.4.1.2 地基土的构成与分布特征

本次勘察在调查范围内共布设 6 个勘探点，其中浅层地质勘探点 3 个，深层地质勘探点 3 个，地质勘察主要采用了机械取芯钻探方法，并结合取土样进行室内土工试验等方法进行。

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（61.5 m）范围内，按其成因、物理力学性质等将地基土分成 9 个工程地质层、15 个工程地质亚层。现自上而下分述如下：

1 杂填土：杂色，稍湿，松散。主要由碎石、角砾、碎砼块（砖块）及少量粘性土组成，地表多为 10~20 cm 砼地坪。

2 粉质粘土：灰黄色，饱和，软塑-软可塑。切面较光滑，韧性及干强度中等，局部夹粉土薄层，摇震反应不明显。

3 淤泥：灰色，饱和，流塑。切面稍光滑，无摇震反应，韧性及干强度中低，含有机质斑，局部以淤泥质粘土为主，见腐殖质。

4-1 粉质粘土：灰黄色、青灰色，饱和，软可塑-硬可塑。切面较光滑，无摇震反应，韧性及干强度中等，含少量铁锰质斑。

4-2 粉质粘土：灰色，浅灰色，饱和，软塑。切面较粗糙，无摇震反应，韧性较低，局部稍具层理，夹粉土薄层。

5 淤泥质粘土：灰色，饱和，流塑。切面光滑稍有光泽，无摇震反应，含有机质及少量植物残骸，局部相变为淤泥质粉质粘土。

6-1 粉质粘土：灰黄色、青灰色，饱和，软可塑-硬可塑。切面光滑局部稍有光泽，无摇震反应，韧性及干强度中等，含铁锰质斑，下部局部粉粒含量较高。

6-2 粉砂：灰色，湿，稍密-中密。切面粗糙，粘粒含量一般小于 10%，局部相变为砂质粉土，见少量云母碎屑。

8-1 粘土：灰色，饱和，软可塑-硬可塑。切面光滑且有油脂光泽，无摇震反应，韧性高，干强度高，局部含少量有机质。

8-2 粉质粘土：灰色，饱和，软可塑-硬可塑。切面粗糙，无摇震反应，韧性中等-较低，干强度中等，含铁锰质斑点。

9-1 粉砂：灰色，湿，中密。切面粗糙，分选较好，粘粒含量一般 10%，局部夹少量细砂、中砂。

9-2 砾砂：灰色，湿，稍密-中密。粒径 $>2\text{ mm}$ 的颗粒约占总量的 25%~35%，呈次棱角状、棱角状，粘性土含量约 15~25%，其余为中细砂。局部见个别粒径 $>20\text{ mm}$ 的碎石颗粒，呈次棱角状、亚圆形，分选性较差。

10-1 全风化含砾砂岩：灰色、灰紫色，岩芯已风化呈砂土状，岩石结构已破坏，有微弱的残余结构强度，结构构造不清晰，仅可辨认，手可折断、捏碎。

10-2 强风化含砾砂岩：灰色、紫灰色，中密-密实。岩芯风化较强烈、呈碎块状，原岩结构尚可辨认、岩体较破碎，局部夹个别中等风化岩块。

10-3 中风化含砾砂岩：灰绿色、紫灰色、灰色。组织结构较完整，构造较清晰，砂质胶结，块状构造。岩芯呈短柱状、块状，局部节理裂隙较发育，局部相变为砂砾岩。岩体较完整，锤击声较沉闷，较易击碎。场地典型地勘土壤层分布见下图。土壤理化性质参数（有机碳、土壤密度、容重、土壤粒径分布、孔隙率、含水率、渗透系数等）见表 2.4-1。

工程地质剖面图 A1—A1'

比例尺：水平：1：500

垂直：1：500

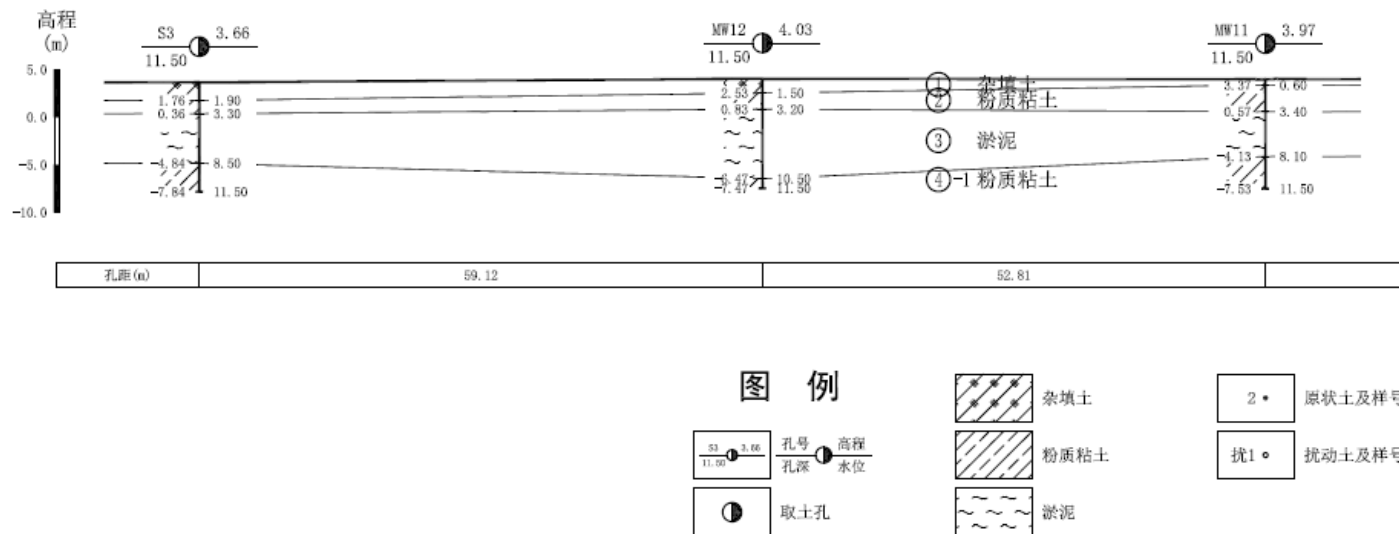


图 2.4-2 工程地质剖面图

工程地质剖面图 A2--A2'

比例尺：水平：1：500

垂直：1：500

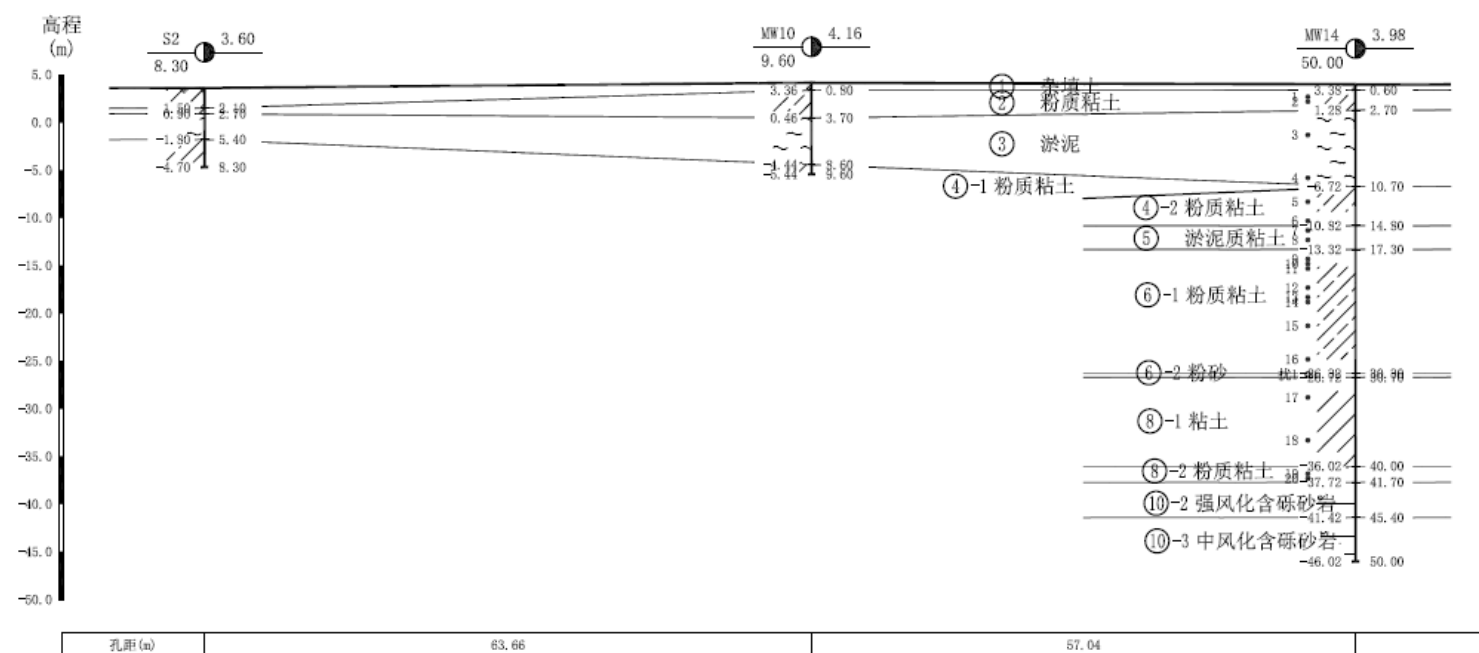


图 2.4-3 工程地质剖面图

工程地质剖面图 A3--A3'

比例尺：水平：1：600

垂直：1：500

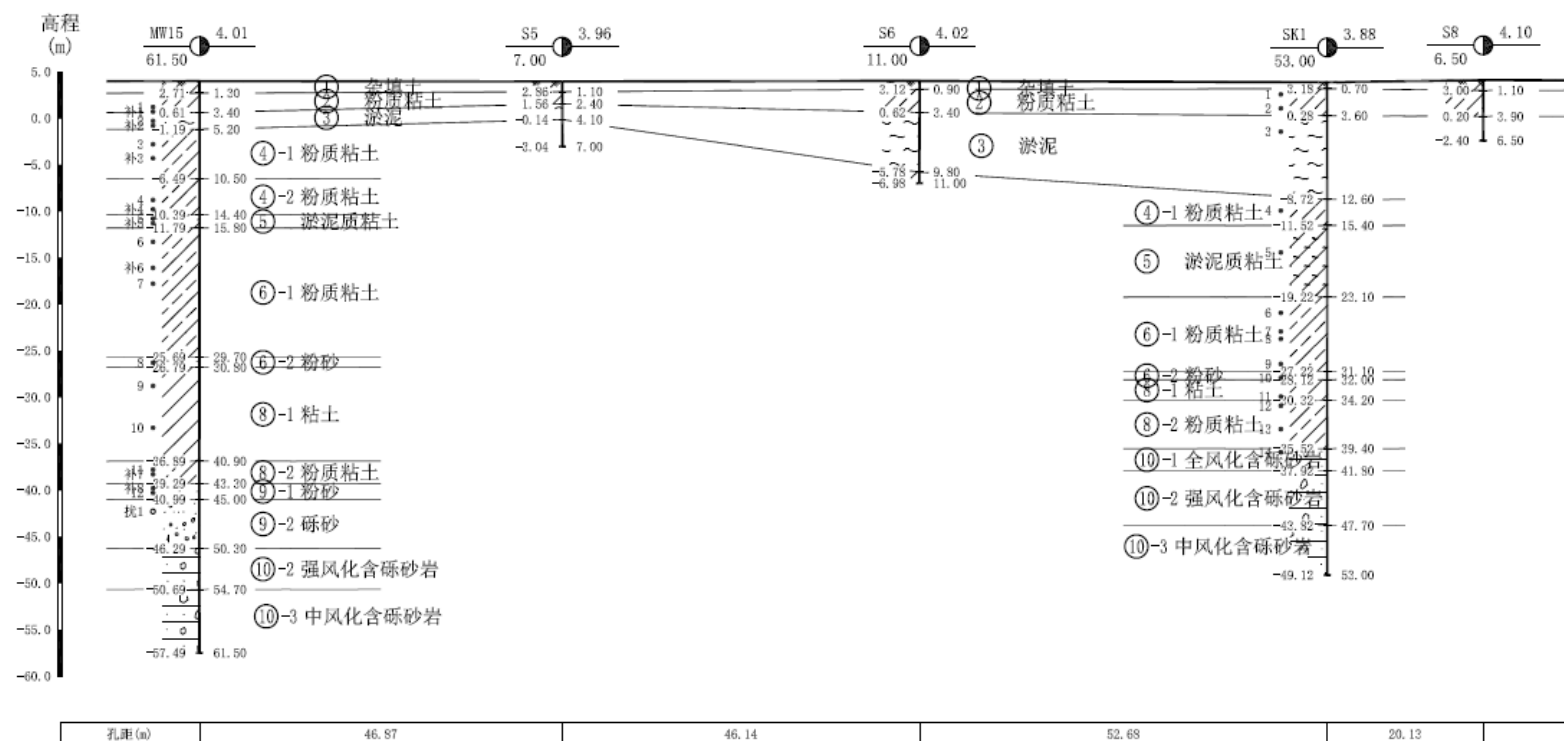


图 2.4-4 工程地质剖面图

表 2.4-1 场地土壤理化性质参数一览表

钻孔号 码	土壤类型	土样底部 深度 (m)	含水率	孔隙比	比重	天然密度	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	渗透系数 (室内)	
			ω	e	G _s	ρ	ω_L	ω_p	IP	IL	a ₁₋₂	垂直	水平
			%		/	g/cm ³	%	%				×10 ⁻⁶ cm/s	
MW15-1	粘土	2.90	40.9	1.142	2.73	1.80	44.1	25.1	19.0	0.83	0.62	5.1	6.2
补 1	淤泥	3.40	66.8	1.863	2.75	1.60	58.4	30.4	28.0	1.30	1.64		
2	淤泥	4.40	59.5	1.653	2.75	1.65	53.8	27.8	26.0	1.22	1.56	0.21	0.23
补 2	粉质粘土	4.90	34.2	0.998	2.72	1.83	38.2	21.7	16.5	0.76	0.37		
3	粉质粘土	6.90	24.4	0.730	2.71	1.95	33.1	19.7	13.4	0.35	0.25	6.3	7.0
补 3	粉质粘土	8.40	27.0	0.820	2.72	1.90	35.1	20.5	14.6	0.44	0.27		
4	粉质粘土	12.90	33.6	1.012	2.72	1.81	34.1	20.1	14.0	0.96	0.45	4.2	8.1
补 4	粉质粘土	13.90	31.2	0.880	2.72	1.90	35.6	20.7	14.9	0.70	0.33		
5	淤泥质粉粘	14.9	36.8	1.014	2.72	1.85	35.1	20.5	14.6	1.12	0.65	0.3	0.34
补 5	粉质粘土	15.4	37.0	1.006	2.72	1.86	38.1	22.6	15.5	0.92	0.45		
6	粉质粘土	17.4	26.9	0.752	2.72	1.97	35.6	20.7	14.9	0.42	0.26	4.1	5.5
7	粉质粘土	21.9	22.4	0.667	2.71	1.99	30.4	18.6	11.7	0.32	0.24		
8	粉砂	30.4	23.6	0.724	2.69	1.93					0.15	610	650
补 6	粘质粉土	20.2	23.4	0.728	2.70	1.93					0.17		
9	粉质粘土	32.9	25.4	0.759	2.72	1.94	34.9	20.4	14.5	0.34	0.26	6.8	7.4
10	粘土	37.4	30.0	0.880	2.73	1.89	40.1	22.4	17.7	0.42	0.34		
11	粉质粘土	41.9	23.5	0.708	2.71	1.96	27.2	17.1	10.1	0.63	0.32	33	41

补 7	粉质粘土	42.4	20.5	0.616	2.71	2.02	28.9	18.1	10.8	0.22	0.18		
12	粉砂	44.0	23.4	0.730	2.69	1.92					0.15	410	550
补 8	粉砂	43.9	23.6	0.680	2.69	1.98					0.15		
MW14-1	粉质粘土	1.40	28.4	0.776	2.71	1.96	31.9	19.2	12.7	0.72	0.38	4.0	4.5
2	粉质粘土	1.90	30.2	0.869	2.71	1.89	30.6	18.7	11.9	0.96	0.36		
3	淤泥	5.40	60.8	1.658	2.75	1.66	58.7	29.7	29.0	1.07	1.45	0.16	0.21
4	淤泥质粉粘土	9.90	41.2	1.201	2.72	1.74	37.9	21.6	16.3	1.20	0.69		
5	粉质粘土	12.40	34.4	1.012	2.72	1.82	36.0	20.8	15.2	0.89	0.38	3.4	5.2
6	粉质粘土	14.40	37.4	1.023	2.72	1.85	37.9	21.6	16.3	0.97	0.42		
7	淤泥质粘土	15.40	43.4	1.230	2.73	1.76	42.9	23.5	19.4	1.02	0.91	0.27	0.32
8	淤泥质粘土	16.40	42.4	1.214	2.73	1.76	42.1	23.2	18.9	1.01	0.83		
9	粘土	18.40	38.7	1.178	2.74	1.74	44.1	24.0	20.1	0.73	0.52	2.1	3.7
10	粘土	18.90	38.9	1.076	2.73	1.83	39.9	22.4	17.5	0.94	0.64		
11	粉质粘土	19.40	24.7	0.690	2.71	2.00	31.3	19.0	12.3	0.46	0.25	3.5	4.9
12	粉质粘土	21.40	26.4	0.758	2.71	1.95	31.7	19.1	12.6	0.58	0.31		
13	粉质粘土	22.40	29.6	0.891	2.71	1.86	31.2	19.0	12.2	0.87	0.39	4.5	7.6
14	粉质粘土	22.90	30.4	0.822	2.71	1.94	33.7	19.9	13.8	0.76	0.31		
15	粉质粘土	25.40	20.9	0.630	2.71	2.01	27.7	17.6	10.1	0.32	0.23	6.7	7.3
16	粉质粘土	28.90	25.0	0.702	2.71	1.99	32.4	19.4	13.0	0.42	0.25		
17	粘土	32.90	34.8	0.967	2.74	1.88	46.7	25.0	21.7	0.45	0.36	3.1	3.5
18	粘土	37.40	29.6	0.854	2.73	1.91	40.1	22.4	17.7	0.40	0.32		
19	粉质粘土	40.90	26.0	0.780	2.71	1.92	31.3	19.0	12.3	0.56	0.31	31	39
20	含砂粉质粘土	41.40	24.1	0.726	2.71	1.95	28.0	17.7	10.3	0.62	0.30		

SKI-1	粉质粘土	1.40	26.2	0.746	2.71	1.96	29.6	18.3	11.3	0.70	0.36	6.0	7.3
2	粉质粘土	2.90	35.4	1.005	2.72	1.84	36.7	21.1	15.6	0.92	0.42	1.8	2.4
3	淤泥	5.40	60.6	1.739	2.75	1.61	60.2	30.3	29.9	1.01	1.74	0.20	0.25
4	粉质粘土	13.90	26.8	0.751	2.72	1.97	35.8	20.8	15.0	0.40	0.26	3.0	3.7
5	淤泥质粘土	18.4	43.8	1.224	2.73	1.77	42.3	23.3	19.0	1.08	0.92	0.33	0.36
6	粉质粘土	24.9	24.4	0.668	2.71	2.02	31.4	19.0	12.4	0.43	0.25	6.5	8.3
7	粉质粘土	26.9	27.3	0.824	2.72	1.90	35.3	20.6	14.7	0.46	0.26	4.3	5.6
8	粉砂	27.7	25.5	0.750	2.69	1.93					0.18	530	590
9	粉质粘土	30.4	23.1	0.685	2.71	1.98	30.7	18.8	11.9	0.36	0.25	5.0	6.5
10	中砂	31.9	26.5	0.755	2.69	1.94					0.15	840	970
11	粉质粘土	33.9	25.8	0.722	2.71	1.98	33.6	19.9	13.7	0.43	0.24	6.8	7.1
12	含砂粉质粘土	34.9	28.2	0.840	2.71	1.89	29.7	18.4	11.3	0.87	0.38	/	/
13	粉质粘土	37.4	27.8	0.802	2.72	1.93	37.2	21.3	15.9	0.40	0.25	3.1	4.2
14	粉质粘土	39.9	18.8	0.562	2.71	2.06	27.9	17.8	10.1	0.10	/	7.0	7.6

2.4.2水文地质条件

根据 2017.3 水文地质勘察成果，项目场地内为第四纪地层覆盖，南侧约 0.1 km 处有无名小河，宽约 4~8 m；东南侧约 0.8 km 分布有较大河流（运河支流），宽约 30~40 m。根据地下水含水介质、赋存条件、水力特征及水理性质，结合区域水文地质资料，项目场地附近地下水主要为松散岩类孔隙潜水、松散岩类孔隙承压水、基岩裂隙水。

1、全新统孔隙潜水

主要由全新统冲海积粘性土等组成，分布于平原区表部，水位埋深 0.1~2.0 m，水位年变化幅度约 1.0~2.0 m，民井出水量一般小于 10 m³/d，水质淡。孔隙潜水接受大气降水及地表水补给，径流迟缓，地面蒸发及向河网侧向渗透是其主要排泄方式。

2、上更新统承压水

由上更新统冲积相粉砂、圆砾组成，中密-密实状，单井涌水量一般为 100~1000 m³/d，运河水系水质淡、钱塘江水系水质咸。由于上覆较厚的粘性土层，封闭性好，难以获得大气降水及地表水的垂向补给。多年动态监测资料证实，区内深部承压水缺乏现代水补给，地下水资源以储存资源为主。

3、基岩裂隙水

赋存于基岩风化裂隙及节理中，富水性不均一，连通性差，多呈线状或脉状分布，无统一地下水位。受构造、地貌、气候及岩性等因素控制，属弱含水岩组。主要接受大气降水、地表水和上部孔隙水的补给，迳流十分缓慢，地下水在侵蚀沟谷，陡坎处以泉的形式或线状渗水方式排泄。

根据钻孔揭露，本场地在基岩以上约 25 m 深度范围主要存在 1 个含水层组，描述如下：

（1）孔隙潜水含水岩组

场地内浅部孔隙潜水含水岩组可分为以下两个亚层：

I₁层：杂填土（碎石、角砾）潜水含水岩组（*meQ*）主要由 1 杂填土组成，场地地表广泛分布。由于人工回填的碎石、角砾空隙大、密实程度较低、结构较松散，致使其渗透性较强。本含水层的特点是水量较丰富、渗透性较强，地下水水位受大气降水，人工抽、排水影响变化大。

I₂层：粘性土及粉土潜水含水岩组（*al-mQ*₄₃）

主要为全新统冲海积形成的粘性土、粉土，分布于场地上部。赋存于虫孔、植物根茎孔及垂直裂隙中，含水层富水性及透水性较差。其渗透系数较小，该地下水与地表水联系密切，水位形态变化大，主要受气候因素控制。接受大气降水入渗补给，并与河塘呈互补给关系。以侧向迳流、居民生活用水及蒸发为主要排泄途径。

（2）孔隙潜水动态特征

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 0.852~0.961 m，相当于国家高程 2.962~3.082 m。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 1.0~2.0 m。孔隙潜水地下水动态变化具有季节性周期特征，在 5~6 月梅雨期份和 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。由于地表迳流及入渗作用，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。

（3）孔隙潜水流向

场地上部土层以素填土、粘性土、淤泥为主，在钻探完成 24 h 后待地下水位稳定，于钻孔内同时直接量测稳定地下水位，水位观测采用水位仪万用表电测深法。根据调查期间测量的水位资料（2017 年 6 月 10 日测量数据），本场地地下水水位在 3.21-3.52m（1985 国家高程），绘制原塑化一厂的水位标高等值线图见图 2.4-5，由图可见，原塑化一厂地下水总体自东北向西南方向流动。

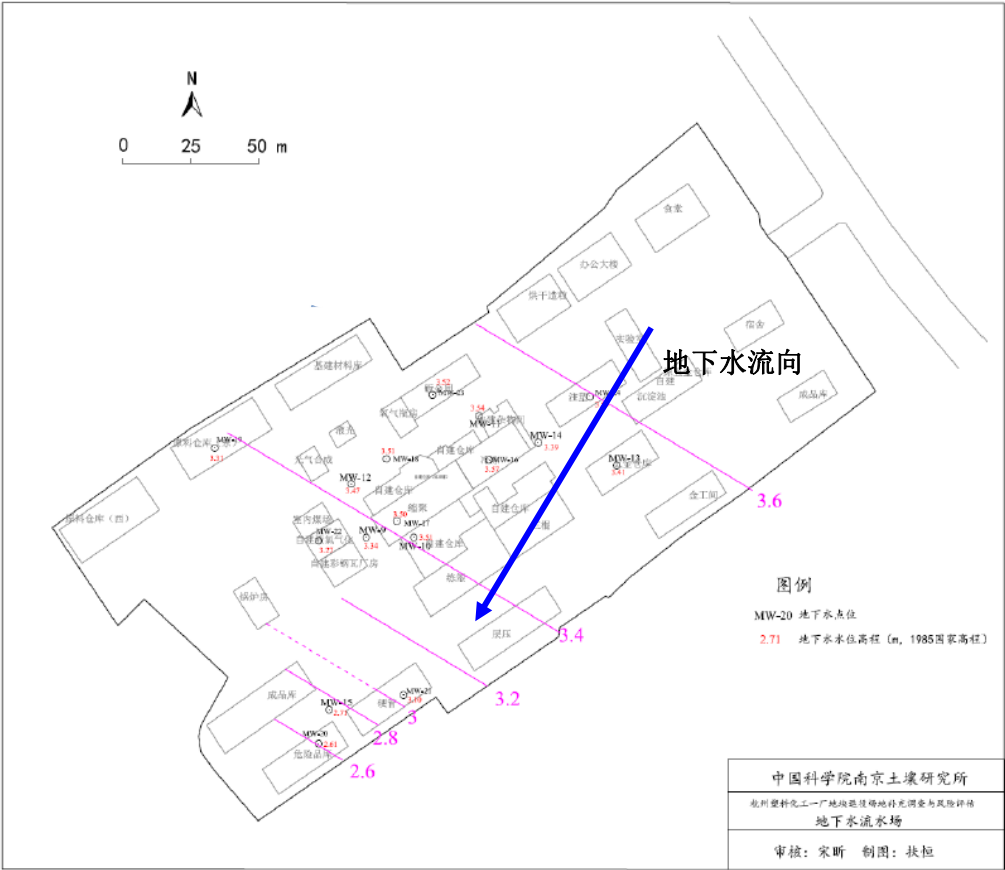


图 2.4-5 地下水流向 (2017.6.10 测量数据)

2.5地块现状

场地内主要为拆迁空地，部分区域堆放杭州地铁 10 号线施工设备和施工材料。地块内部及周边情况具体如下：

表 2.5-1 场地及周边土地现状现场踏勘情况

序号	现状	历史企业
1	空地及地铁施工材料堆放场地	杭州防腐设备有限公司
2	空地及地铁施工材料堆放场地	杭州毛毡厂、杭州华立仪表厂
3	空地、杂草地	杭州塑化一厂
4	空地、杂草地	杭州塑化一厂 9#修复基坑 (基坑尺寸 70m*30m*8m)
5	空地、杂草地	杭州塑化一厂 MW-3 修复基坑 (基坑尺寸 23m*25m*0.7m)
6	地铁施工材料堆放场地	杭州塑化一厂

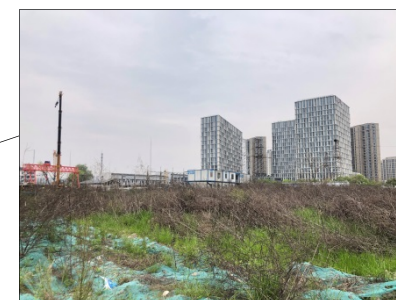
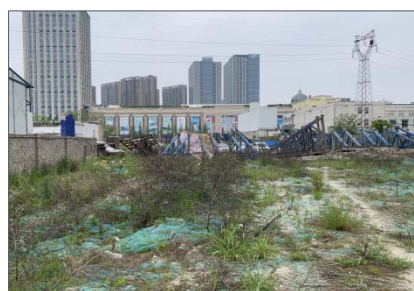


图 2.5-1 场地现场踏勘

3前期调查与风险评估概述

3.1前期调查历程

3.1.1塑化一厂前期调查历程

杭州塑料化工一厂场地于 2017 年 2 月完成了场地详细调查工作，并于 2017 年 7 月完成了杭州塑料化工一厂地块退役场地补充调查与风险评估报告。2018 年 10 月到 2019 年 1 月，浙江桃花源环保科技有限公司开展了该场地修复的施工作业，于 2019 年 3 月完成了修复及验收。根据申花单元 2015 年控规，原杭州塑料化工一厂地块用于商业商务用地及公园绿地开发，因此原塑化一厂场地调查及修复均在规划为商业商务用地基础之上进行。

3.1.1.1 《杭州塑料化工一厂场地环境详细调查报告》相关内容

塑化一厂详调阶段共布设土壤监测点位 30 个，其中厂区内 27 个，厂区外对照点 3 个；布设地下水监测点 8 个，厂区内布设 5 个，厂区外对照点 3 个，地下水点位与土壤监测点位重合；主要监测因子为 pH、镉、汞、砷、铜、铅、总铬、铬（VI）、锌、镍、总石油烃（<C16、>C16），部分点位加测特征因子 1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、甲酸、甲苯、DMF。根据检测结果，场区内土壤和地下水存在不同程度的超标情况。

3.1.1.2 《杭州塑化一厂地块退役场地补充调查与风险评估报告》情况

杭州信江科技发展有限公司于 2017 年委托中国科学院南京土壤研究所对杭州塑料化工一厂位于拱墅区莫干山路 1137 号的原厂区（该场地拟用于商业商务用地与附属绿地的开发建设）进行退役场地补充调查与风险评估。

根据风险评估，商业用地情景下，土壤 5 种关注污染种有 2 种污染物致癌风险或非致癌危害商超过了可接受水平，分别为 1,2-二氯乙烷、邻苯二甲酸二（2-乙基己基）酯。场地内 2 个点位的 1,2-二氯乙烷的致癌风险/非致癌危害商均超过了可接受水平；1 个点位的邻苯二甲酸二（2-乙基己基）酯的致癌风险及非致癌危害商均超过了可接受水平；其他指标及其他点位的致癌及非致癌风险均低于可接受水平。场地土壤的风险超过可接受区域为自建仓库（储油罐）、练塑车间和锅炉房右下点位。

地下水 16 种关注污染中有 3 种污染物致癌风险或非致癌危害商超过了可接

受水平，分别为 1,2-二氯乙烷、三氯甲烷、氯乙烯。场地内共有 3 个地下水的 1,2-二氯乙烷致癌风险非致癌危害商均超过了可接受水平，其中 1 个点位的三氯甲烷、氯乙烯致癌风险也均超过了可接受水平。其他指标及其他点位的致癌及非致癌风险均低于可接受水平。场地地下水的风险超过可接受区域为自建仓库（储油罐）、他建杂物间和塑聚车间边缘。

3.1.1.3 场地修复情况

2018 年 10 月-2019 年 1 月，浙江桃花源环保科技有限公司对场地土壤及地下水进行了修复，南京康地环保科技有限公司作为该修复工程效果评估单位对该修复项目进行了效果评估。根据《杭州塑料化工一厂污染地块治理修复工程竣工报告》及《杭州塑料化工一厂污染地块治理修复工程效果评估报告》，本场地效果评估结论如下：

（1）本次修复工程施工单位结合本场地的实际情况，按照《杭州塑料化工一厂土壤修复工程施工方案》及变更后的方案实施，完成了本场地污染土壤和地下水的清理工作。

（2）根据现场踏勘及资料审核可知，本修复工程土壤清挖范围及深度符合施工方案的要求，依据修复方案采用了放坡开挖及钢板桩支护下的直接垂直下挖的开挖方式，地下水采用抽出处理。

（3）根据修复效果评估检测单位杭州中一检测研究院股份有限公司出具的效果评估检测报告，修复后的基坑底部及侧壁土壤效果评估样品中目标污染物浓度均低于评估标准值，达到施工方案要要求；开挖过程中的非污染土中土壤效果评估样品目标污染物浓度低于评估标准值。抽出处理的地下水过程资料较齐全，监理资料合理有效；修复后的基坑积水及边坡积水均低于评估标准值。

（4）基坑回填土来源清晰合理，验证监测数据符合要求；回填后场地土壤效果评估样品和两批次（时间分别为 2019 年 1 月 3 日、2019 年 1 月 22 日）地下水效果评估样品中目标污染物浓度均低于对应的评估标准值；潜在二次污染区效果评估样品中目标污染物浓度低于对应的评估标准值。

（5）基坑回填后回填区域土壤和地下水效果评估样品目标污染物浓度均低于评估标准值；回填区域上下游方向土壤和地下水效果评估样品目标污染物浓度均低于评估标准值；潜在二次污染区和白区土壤效果评估样品目标污染物浓度均低于评估标准值。

(6) 根据环境监理单位提供的监理资料可知，施工单位在修复工程施工期间采取了有针对性的二次污染防治措施，施工过程满足施工方案中的管理要求，施工过程中未发生各类环境风险事故。

综上所述，本场地的修复工程已具备效果评估条件，可以通过杭州塑料化工一厂污染地块治理修复工程的效果评估。

3.1.2 “12 地块”前期调查历程

申花单元 GS0404-A5-12 地块先后进行了四次调查采样：

详调阶段第一次采样：采样检测以网格布点方法为主，采样时间 2020 年 9 月，总计采集 42 个土壤点位共 277 个土壤样品进行实验室分析，总计采集 17 个地下水样品进入实验室分析；

详调阶段第二次采样：在第一次检测分析的结果上，对超标疑似污染区进行加密布点、对部分原采样点位进行加深采样，同时对原采集的部分土壤样品进行补充检测，采样时间为 2020 年 10 月，总计采集 5 个土壤点位共 45 个土壤样品进行实验室分析，总计采集 13 个地下水样品进入实验室分析；

第三次详调阶段采样：进一步明确 1,2-二氯乙烷超标深度的补充调查，采样时间为 2020 年 11 月，共采集 4 个地下水样品。

第四次风险评估采样：为完善地块内土壤及地下水污染在水平及垂直方向的分布范围的补充调查，共采集 7 个土壤样品和 5 个地下水样品。

调查采样情况具体见下表，调查采样点位图见图 3.1-1 和图 3.1-2。

表 3.1-1 土壤、地下水采样点位及样品数量汇总

类别	采样次数		点位	样品数	总样品数
土壤	详调第一次采样		42	277	329
	详调第二次采样	加密	5	45	
		补测	8		
	风评补充采样	加密	2	7	
地下水	详调第一次采样	浅层水井	10	17	39
		深层水井	5		
	详调第二次采样	浅层水井	6	13	
		深层水井	6		
	详调评审会后第三次采样	深层水井	3	4	
	风评补充采样	深浅对井	5	5	

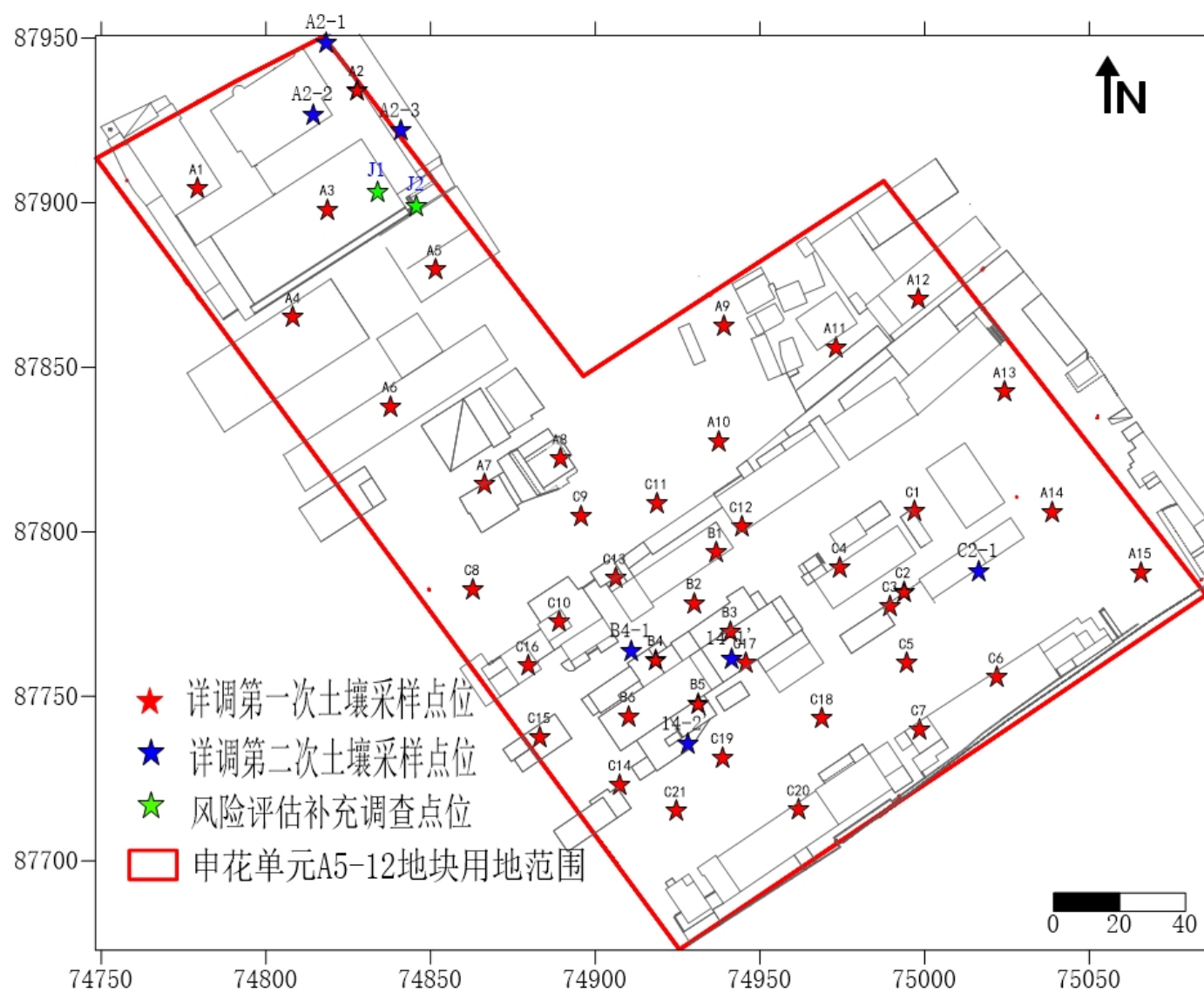


图 3.1-1 土壤调查点位图

3.1.3 “北区域”调查主要结论

根据详细调查报告及风评补充调查结果，申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域共有 2 个点位土壤石油烃 C₁₀-C₄₀ 指标超过了筛选值；地下水样品均能够满足 IV 类水质标准限值要求。土壤石油烃 C₁₀-C₄₀ 指标超标点位具体为：A2（0-0.5m）、A2-3（1-1.5m）。

表 3.1-2 地块土壤超标点位汇总表

超标点位	污染因子	超标深度	检测值 mg/kg	筛选值 mg/kg
A2	石油烃 C ₁₀ -C ₄₀	0-0.5m	2380	826
A2-3	石油烃 C ₁₀ -C ₄₀	1-1.5m	2700	

3.2 “北区域”风险评估主要结果

根据《申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域土壤污染风险评估（备案稿）》，地块风险评估主要结论如下：

3.2.1 土壤风险水平及风险控制值

①本地块关注污染物为土壤中的石油烃 $C_{10}-C_{40}$ ，根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中的模型、污染物参数以及前期调查过程中获得的地块特征参数对关注污染物进行风险评估。根据风险评估土壤中污染物石油烃 $C_{10}-C_{40}$ 不可计算致癌风险，危害商超过了可接受水平 1.0；

②地块土壤各关注污染物风险控制值：医疗卫生用地情景下石油烃 $C_{10}-C_{40}$ 826.02mg/kg。

3.2.2 修复目标

地块土壤中石油烃 $C_{10}-C_{40}$ 选用国家筛选值作为建议修复目标值：826mg/kg。

3.2.3 修复范围

根据详细调查及风评补充调查结果，石油烃超标土层主要为杂填土，深度为 0-1.5m，因此修复土壤深度为 0-1.5m。

3.2.4 土壤修复范围核定

本次修复技术方案的工作范围为申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域，由于地块内涉及部分杭州小商品市场建筑无拆迁条件，杭州市规划和自然资源局调整申花单元 GS0404-A5-12 地块用地红线（建设用地规划意见，项目编号：8202001543），红线范围调整后面积减少约 33m²。根据前期调查结果，原有调查点位及石油烃 $C_{10}-C_{40}$ 超标土壤点位均位于调整后红线范围内，红线范围外无超标土壤点位。本方案根据调整后工作范围对土壤修复范围重新进行估算，具体如下：

表 3.2-1 北区域土壤修复范围及修复方量

修复面积（m ² ）	修复深度（m）	修复厚度（m）	修复方量（m ³ ）
685	0-1.5	1.5	1028

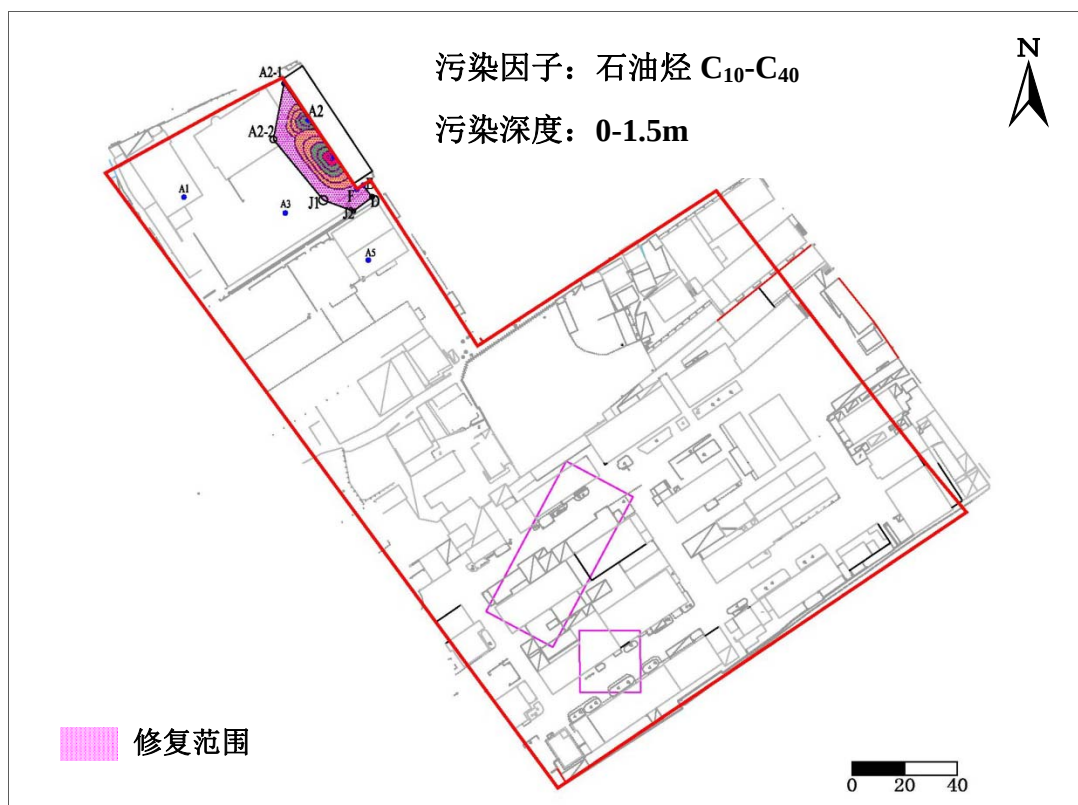


表 3.2-2 用地范围调整核准后土壤修复范围图

3.2.5 土壤修复范围拐点坐标

根据前期调查结果及“北区域调整范围”拐点坐标核对，本场地修复面积约 $685m^2$ ，修复深度 0-1.5m，修复体积约 $1028m^3$ 。修复范围拐点坐标见表 3.2-3。

表 3.2-3 修复范围拐点坐标

拐点编号	X	Y
A2-1	87948.559	74818.455
A2-2	87926.674	74814.251
J1	87902.913	74833.773
J2	87898.599	74845.583
D	87904.172	74852.863
E	87908.605	74849.397
F	87907.469	74846.822

4修复模式比选

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。

4.1污染源削减的修复模式

根据污染土壤的处置地点不同，可以将场地污染土壤的修复模式分为原位处理和异位处理。异位处理可以按照土壤修复工程是在场地内还是将污染土壤转移到场地外进行修复，可以分为现场修复（原地异位处理）和离场修复（异地处理或处置）。

4.1.1原位处理

原位处理是指对场地内污染土壤不进行挖掘或清理，采用物理、化学或生物方法对污染土壤中污染物进行处理。修复工程基本在场地范围内完成，污染土壤在修复过程中以及修复结束后都不离开场地，可有效避免污染土壤转移处理可能造成的二次污染。

4.1.2原地异位处理

原地异位处理是指将场地污染土壤进行清理，在场地范围内对土壤中污染物进行处理后，并在场地内资源化利用。修复工程基本在场地范围内完成，污染土壤在修复过程中以及修复结束后都不离开场地，可有效避免污染土壤转移处理可能造成的二次污染。

4.1.3异地处理或处置

异地处理处置是指将场地内污染土壤进行挖掘清理后，运至场地外的专门场所处理处置。与原位或原地处理相比，因涉及污染土壤的运输和处理，容易造成二次污染，必须在污染土壤转运、处理、处置的全过程进行严格监督，对管理上的要求较高。其中，修复后作不为土壤用途使用的污染土壤（异地处置），需要按照固体废物管理，进行危废鉴定。

4.2 风险管控的修复模式

基于风险管控的修复模式包括污染源阻隔、受体保护、制度控制等。

4.2.1 污染源阻隔

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。对于可能受到地下挥发性污染物蒸气入侵影响的建筑，则可采用密封阻隔、被动排气、室内通风、室内增压、底板下减压等方式阻隔污染物进入室内空气的途径。

4.2.2 受体保护

在特殊情况下，可采取措施直接对污染地块及周边居民提供防护，阻断暴露途径，减少污染物对人体健康的直接影响。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。

4.2.3 制度控制

场地土壤修复制度控制常见的形式为改变用地方式。在不改变污染场地污染物浓度的情况下，人群在受污染场地上的暴露时间越长，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，污染场地用作居住用地的风险高于用作商服用地的风险，而商服用地的风险又高于绿地、停车场、道路用地的风险。在污染场地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。

4.3修复模式比选确定

本场地位于申花单元，为集文化休闲、商业商务、综合配套和城市公园等功能为一体的生态居住区，是区级公共活动中心与商务中心。本场地位于申花单元中心，规划为医疗卫生用地（A5），围边配套商圈、住宅、学校、综合交通枢纽等，修复要求按第一类用地要求进行修复。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的主要因素比较及利弊分析见下表。

表 4.3-1 三种修复模式的影响因素分析

因素	原位处理	原地异位修复	异地修复
土壤修复时间	较长	较短	较短
工程实施风险	较大	较小	较小
地块内污染区外可利用场地需求	较小	较大	小
土壤修复成本	低	中	高
场地清理时间	-	较短	较短
场地清理风险	较低	较高	较高
对客土的需求	不需要	-	可能需要
运输成本	-	低	高
运输过程风险	-	低	高

从上表可知，土壤原位修复技术无需挖掘和运送土壤，成本低；但修复周期长；适用于污染范围较深的土壤修复。土壤异位修复技术（含原地异位和异地两种模式）需将污染土壤挖出修复，清挖相对彻底，修复周期较短；但挖掘过程需加强二次污染防控，费用相对较高；适用于污染深度较浅的土壤修复。

本项目的特点：

1、污染范围浅：地块主要污染物为石油烃，污染集中在 1.5 米以上的上层土壤，相对比较适用土壤异位修复模式。

2、地块修复工期短：根据场地的工程进度安排，该地块开发周期时间紧迫，场地后续需进一步开发，且场地的工程建设进度安排比较紧急，污染土壤的处理时间紧迫，适用异位修复模式。

3、规划用地敏感：根据场地的规划，该地块规划为医疗卫生用地（A5），用地性质比较敏感，适于选择实施风险较小、污染处理较彻底的污染土壤修复模式，比较适用土壤异位修复技术。

综合考虑场地土壤污染情况、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**原地异位修复或异地修复模式**。

5修复技术比选

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。本场地仅存在有机污染土壤，因此仅针对有机污染土壤的修复技术进行介绍，如下图所示。

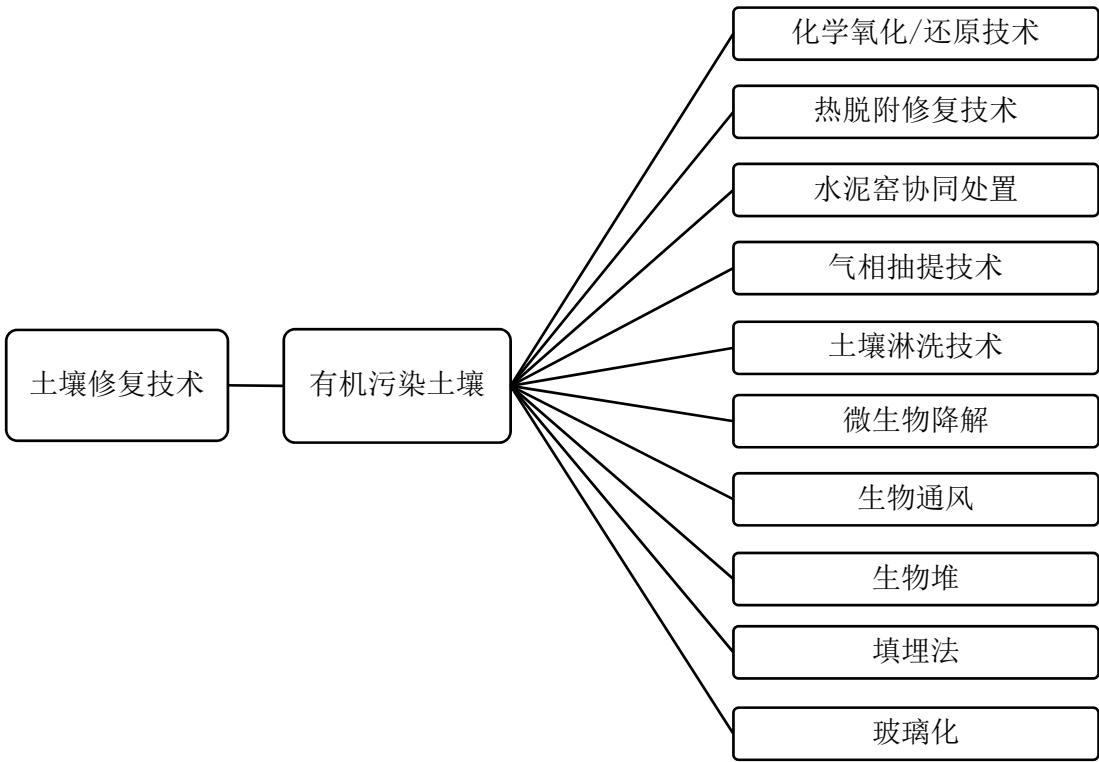


图 5.1-1 常见土壤修复技术

5.1.1化学氧化/还原技术

技术原理：

氧化还原技术是通过氧化/还原反应将有害污染物转化为更稳定、活性较低和/或惰性的无害或毒性较低的化合物。氧化还原包括将电子从一种化合物转移到另一种化合物。

技术特点：

该技术所需的工程周期一般在几天至几个月不等，具体因待处理污染区域的

面积、氧化还原剂的输送速率、修复目标值及地下含水层的特性等因素而定。可能限制本方法适用性和有效性的因素包括：可能出现不完全氧化，或中间体形式的污染物，取决于污染物和所使用的氧化剂。处理时，应减少介质中的油和油脂，以优化处理效率。

适用范围：

化学氧化适用于苯系物、卤代烃、多环芳烃和石油烃等有机污染物。化学还原适用于卤代烃类、氯代芳烃和氯代杀虫剂等有机物以及部分重金属离子，但可处理的污染物具有局限性。对于高浓度的污染物，本处理方法不够经济有效，因为需要大量氧化剂。

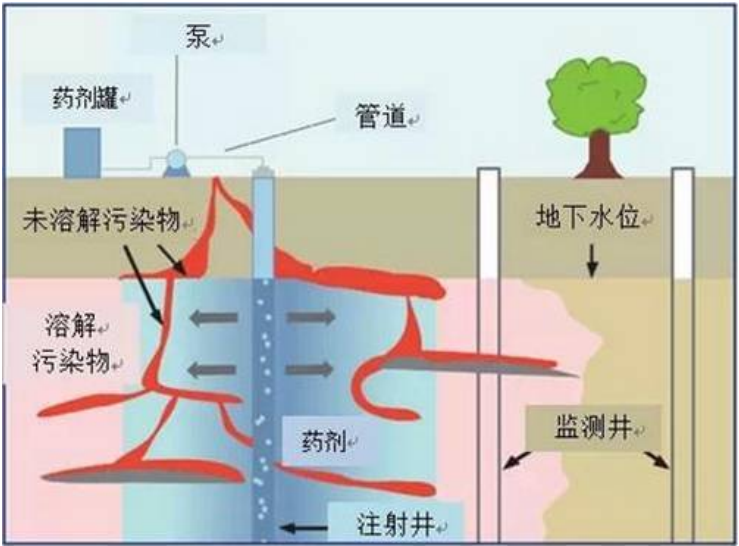


图 5.1-2 化学氧化/还原技术示意图

5.1.2热脱附修复技术

技术原理：热脱附修复技术是指通过直接或间接热交换，将污染介质及其所含的污染物加热到足够的温度，以使污染物从污染介质上得以挥发或分离的过程。

技术特点：热脱附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℃，热脱附过程中发生蒸发、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。热脱附修复技术具有工艺简单、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。热脱附修复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。

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污染物，污染物去除率可达 99.98%以上。透气性差或粘性土壤由于会在处理过程中结块而影响处理效果。该技术应用时，高粘土含量或湿度会增加处理费用，且高腐蚀性的进料会损坏处理单元。

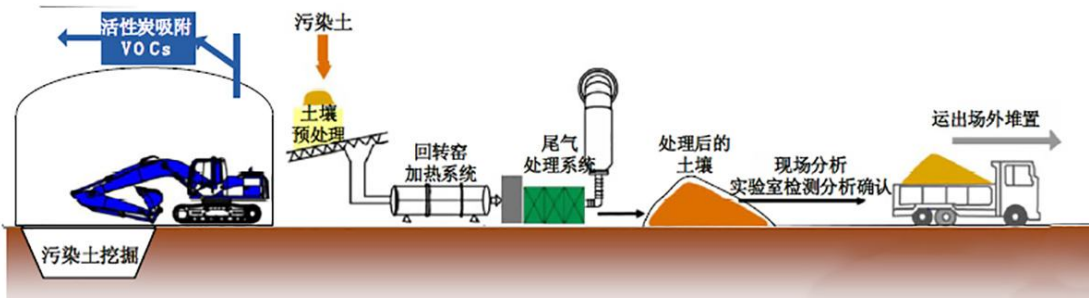


图 5.1-3 热脱附修复示意图

5.1.3 水泥窑协同处置

技术原理：水泥窑协同处置是将满足或经过预处理后满足入窑要求的土壤投入水泥窑，在进行水泥熟料生产的同时实现对污染土壤无害化处置的技术。

技术特点：水泥窑协同处置技术通常是异位修复技术，是目前国内应用较广的一类土壤修复技术。污染土壤入窑前一般需暂存在贮存设施中，贮存场需要采取防渗措施。污染土壤中含易挥发污染物的，贮存设施应采取封闭措施，并设立抽气装置，抽出气体需处理后达标排放。水泥窑协同处置的预处理工艺及设施与污染土壤的特性和入窑位置相关。污染土壤在入窑前需分析其化学组成和物理特性，其组分不应对水泥生产过程和水泥产品质量产生不利影响。该技术的实施时间属于中短期技术。

适用范围：水泥窑协同处置技术对污染物的处理范围较广，大多数有机类污染物都可以采用该技术处理，但该技术不适用于处理含爆炸物、未经拆解的废电子产品、汞、铬等污染物的土壤。重金属的含量对水泥质量影响较大，因此，处理前应对土壤中的重金属等成分进行检测，保证出产的水泥质量符合相关标准。

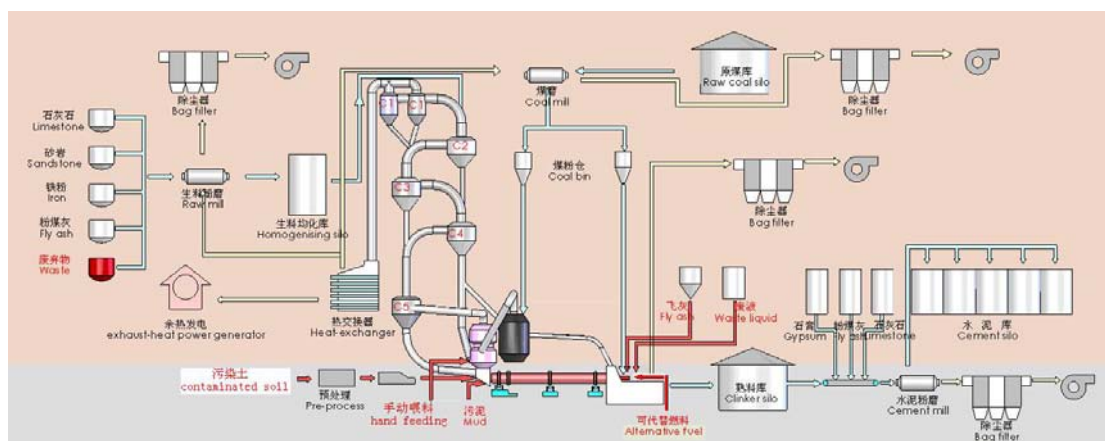


图 5.1-4 水泥窑协同处置示意图

5.1.4 气相抽提技术

技术原理：土壤气体抽提技术是通过在不饱和土壤层中布置提取井，利用真空泵产生负压驱使空气流通过污染土壤的孔隙，解吸并夹带有机污染物流向抽取井，最终在地上进行污染尾气处理，从而使污染土壤得到净化的方法。

技术特点：多数情况下，污染土壤中需要安装若干空气注射井，通过真空泵引入可调节气流。此技术可操作性强，处理污染物范围宽，可由标准设备操作，不破坏土壤结构以及对回收利用废物有潜在价值。土壤理化特性（有机质、湿度和土壤空气渗透性等）对土壤气体抽提修复技术的处理效果有较大影响。地下水位太高（地下 1~2m）会降低土壤气体抽提的效果。排出的气体需要进行进一步的处理。黏土、腐殖质含量较高或本身极其干燥的土壤，由于其本身对挥发性有机物的吸附性很强，采用原位土壤气体抽提技术时，污染物的去除效率很低。

适用范围：可用来处理挥发性有机污染物和某些燃料。可处理的污染土壤应具有质地均一、渗透能力强、孔隙度大、湿度小和地下水位较深的特点。低渗透性的土壤难以采用该技术进行修复处理。

理单元在现场进行，因此该技术所需的实施周期主要取决于处理单元的处理速率及待处理的土壤体积。该技术要求较大的处理场地。

适用范围：该技术可用来处理重金属和有机污染物，对于大粒径级别污染土壤的修复更为有效，砂砾、沙、细沙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。

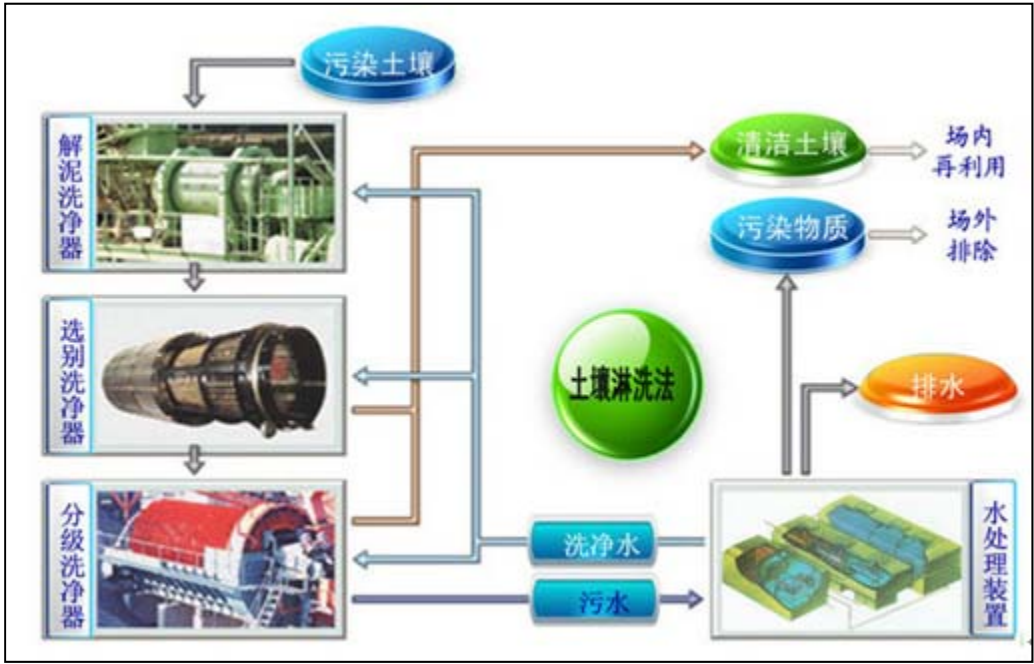


图 5.1-6 土壤淋洗修复示意图

5.1.6微生物降解

技术原理：微生物降解是利用原有或接种微生物（即真菌、细菌其它微生物）降解（代谢）土壤中污染物，并将污染物质转化为无害的末端产品的过程。可通过添加营养物、氧气和其它添加物增强生物降解的效果。

技术特点：微生物降解技术一般不破坏植物生长所需要的土壤环境，污染物的降解较为完全，具有操作简便、费用低、效果好、易于就地处理等优点。但生物修复的修复效率受污染物性质、土壤微生物生态结构、土壤性质等多种因素的影响，且对土壤中的营养等条件要求较高。如果土壤介质抑制污染物微生物，则可能无法清除目标。需要控制场地的温度、pH 值、营养元素量等使之符合微生物的生存环境条件。生物降解在低温下进程缓慢，修复时间长，通常需要几年。

适用范围：对能量的消耗较低，可以修复面积较大的污染场地。高浓度重金

属、高氯化有机物、长链碳氢化合物，可能对微生物有毒。不能降解所有进入环境的污染物，特定微生物只降解特定污染物，受各种环境因素的影响较大，污染物浓度太低不适用。低渗透土壤可能不适用。

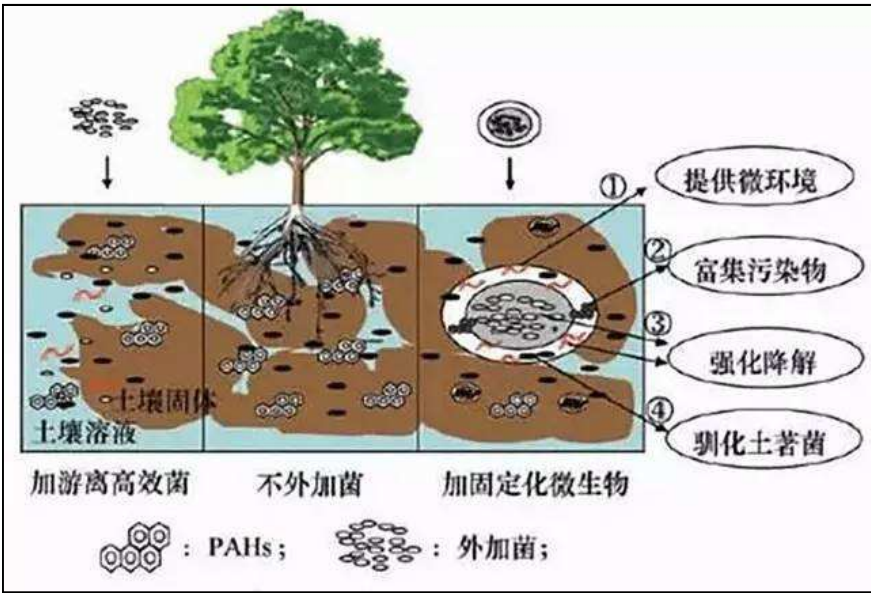


图 5.1-7 微生物降解修复示意图

5.1.7生物通风

技术原理：生物通风法是一种强迫氧化的生物降解方法，即在受污染土壤中强制通入空气，强化微生物对土壤中有机污染物进行生物降解，同时将易挥发的有机物一起抽出，然后对排出气体进行后续处理或直接排入大气中。

技术特点：一般在用通气法处理土壤前，首先应在受污染的土壤上打两口以上的井，当通入空气时先加入一定量的氮气作为降解细菌生长的氮源，以提高处理效果。与土壤气相抽提相反，生物通风使用较低的气流速度，只提供足够的氧气维持微生物的活动。氧气通过直接空气注入供给土壤中的残留污染。除了降解土壤中吸附的污染物以外，在气流缓慢的通过生物活动土壤时，挥发性化合物也得到了降解。生物通风是一项中期到长期的技术，时间从几个月到几年。

适用范围：此技术对于被石油烃、非氯化溶剂、某些杀虫剂防腐剂和其他一些有机化学品污染的土壤处理效果良好。此法常用于地下水层上部透气性较好而被挥发性有机物污染土壤的修复，也适用于结构疏松多孔的土壤，以利于微生物的生长繁殖。本技术适用处理渗透率、高含水量和高粘性的土壤。

5.1.8生物堆

技术描述：生物堆是指将污染土壤挖掘后，在具有防渗层的处置区域堆积，经过曝气，利用微生物对污染物的降解作用处理污染土壤的技术。

技术特点：该技术的特点是在堆起的土层中铺有管道，提供降解用水或营养液，并在污染土层以下设有多孔集水管，收集渗滤液。生物堆底部设有进气系统，利用真空或正压进行空气的补给。系统可以是完全封闭的，内部的气体、渗滤液和降解产物，都经过诸如活性炭吸附、特定酶的氧化或加热氧化等措施处理后才向大气排放，而且封闭系统的温度、湿度、营养物、氧气和 pH 均可调节用以增强生物的降解作用。在生物堆的顶部需覆盖薄膜，控制气体和挥发性污染物的挥发和溢出，并能加强太阳能热力作用，从而提高处理效率。生物堆是一项短期技术，一般持续几周到几个月。

适用范围：本技术适用于非卤化挥发性有机物和石油烃类污染物，也可用来处理卤化挥发和半挥发性有机物、农药等，但处理效果不一，可能对其中特定污染物更有效。

5.1.9 填埋法

技术原理：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。

技术特点：填埋法是修复技术中最常用的技术之一。在填埋的污染土壤的上方需布设阻隔层和排水层。阻隔层应是低渗透性的粘土层或者土工合成粘土层，排水层的设置可以避免地表降水入渗造成污染物的进一步扩散。通常干旱气候条件要求填埋系统简单一些，湿润气候条件可以设计比较复杂的填埋系统。填埋法的费用通常小于其它技术。

适用范围：在填埋场合适的情况下，可以用来临时存放或者最终处置各类污染土壤。该技术通常适用于地下水位之上的污染土壤。由于填埋的顶盖只能阻挡垂向水流入渗，因此需要建设垂向阻隔墙以避免水平流动导致的污染扩散。填埋场需要定期进行检查和维护，确保顶盖不被破坏。

5.1.10 玻璃化

技术原理：玻璃化是指利用等离子体、电流或其他热源在 1600~2000℃ 的

高温下熔化土壤及其污染物，使污染物在此高温下被热解或蒸发而去除，产生的水汽和热解产物收集后由尾气处理系统进行进一步处理后排放。熔化的污染土壤冷却后形成化学惰性的、非扩散的整块坚硬玻璃体，有害无机离子得到固定化。

技术特点：玻璃化是一种较为实用的短期技术，加热过程土壤和淤泥中的有机物含量要超过 5-10%（质量比）。该技术可用于破坏、去除受污染土壤、污泥、其他土质物质、废物和残骸，以实现永久破坏、去除和固定化有害和放射性污染的目的。但实施时，需要控制尾气中的有机污染物以及一些挥发性的气态污染物，且需进一步处理玻璃化后的残渣，湿度太高会影响成本。固化的物质可能会妨碍到未来土地的使用。

适用范围：可处理大部分 VOC、SVOC、PCB、二噁英等，以及大部分重金属和放射性元素。砾石含量大于 20%会对处理效率产生影响。低于地下水位的污染修复需要采取措施防止地下水反灌。

5.2 土壤修复技术筛选

5.2.1 修复技术选择的原则

土壤修复技术的筛选需要考虑多种因素，在修复技术的选择上需要确保污染场地的修复效果满足土地利用方式的要求，在技术可行、时间充足、经济允许等条件下，选择可以降低污染物毒性、迁移性和含量的较为成熟的修复技术，避免二次污染，全面保护人体健康与环境。具体选择原则如下：

（1）结合地块用地规划、地权人的开发方式、开发进度、资金情况，优先选择在技术、经济等多方面满足地块未来发展需求的修复模式。

（2）具有不同类型污染物和不同风险值的土壤区别对待，具有针对性的筛选土壤修复技术。

（3）在技术上，场地修复技术选择可以达到目标的最简化的途径或方法，而不单纯追求技术的先进性。

（4）在经济上，场地修复技术兼顾考虑目前在修复费用方面的实际承受能力和今后的经济发展，使修复技术方案短期和长期内均合适。

（5）在可行性上，修复技术的选择从我国目前的现状水平出发，充分考虑我国现有场地修复队伍的能力以及固体废弃物和污染水处置设施的可操作性。

（6）应选择绿色的修复技术，可被大多数公众接受，在修复过程中产生的

二次污染可控，造成的影响在公众的可接受范围内。

5.2.2 污染土壤修复技术筛选

地块内污染土壤为石油烃单一污染土壤，修复深度最深至 1.5 米，根据参考地勘，污染区域垂向污染深度涵盖杂填土、粉质粘土，地块后期规划为医疗卫生用地，后期开发强度大、开发时间紧。从技术成熟性、修复时间、费用、污染迁移情况、技术适用性和局限性，对可以适用于有机污染土壤的修复技术进行筛选。其定性评价结果列于下表。

表 5.2-1 有机污染土壤修复技术定性评价表

编号	技术	成熟性	修复时间	费用	污染迁移	技术适用性	技术局限性
1	化学氧化/还原技术	技术成熟、国内有应用	较快	中等	污染物转化或降解	适用于石油烃、苯系物、酚类、多环芳烃、农药等大部分有机物	超高浓度的污染难以修复至第一类筛选值水平
2	热脱附修复技术	技术成熟、国内有应用	较快	较高	污染迁移至气态，尾气处理设施需要严格把关	适用挥发性、半挥发性有机物如卤代烃类、苯系物、农药等	需采用专业的处理设备；土壤含水率会影响处理成本及效果
3	水泥窑协同处置	较成熟、国内有应用	较快	较高	污染裂解或迁移至气态，尾气处理设施需要严格把关	适用于各类复合有机污染土壤	在运输过程中需严格管理，防止造成二次污染
4	气相抽提技术	技术成熟、国内有应用	中等	较低	污染迁移至气态，尾气处理设施需要严格把关	适用于透气性良好的土壤中挥发性有机物包括苯系物、卤代烃类等的处理	不适用于半挥发性有机物的处理
5	土壤淋洗技术	技术成熟、国内有应用	较快	中等	污染迁移至淋洗液中，需处理废水或废液	适用于处理水溶性污染物、可促溶的有机物	不适用于粘粒含量过高的土壤
6	微生物降解	较成熟、国内有应用	较长	低	污染物转化或降解	适用于易降解的有机物	部分顽固污染物不容易被降解，一般具有特异性，特定微生物只降解特定污染物
7	生物通风	较成熟、国内有应用	较长	低	污染物转化或降解	适用于易降解的有机物	
8	生物堆	较成熟、国内有应用	较长	低	污染物转化或降解	适用于易降解的有机物	
9	填埋法	技术成熟	较快	低*	对库区进行封闭管理，需长期监测	适用于目前没有条件建立污染土壤的处理设施、资金短缺，但能够找到堆放地的场地	污染土壤长期堆放储存会占用大量土地和维护管理力量
10	玻璃化	技术成熟/国内未见应用报道	较快	较高	污染裂解或迁移至气态，尾气处理设施需要严格把关	很少受污染物浓度的影响，可以一次性有效摧毁所有挥发性和半挥发性有机化合物	需要大量的动力电源支撑

注：*填埋目前费用较低，但将来处理时所花的费用可能远高于目前就处理的费用。

本项目目标污染物为石油烃 $C_{10}-C_{40}$ ，污染区域垂向污染深度涵盖杂填土、粉质粘土，地块后期规划为医疗卫生用地，后期开发强度大、开发时间紧。

1、从技术成熟性角度，玻璃化在国内应用少，对能源消耗大，经济性差，技术可行性差，不推荐使用该技术；

2、从修复时间角度，微生物降解、生物通风、生物堆三种技术均采用微生物修复，耗时较长，本地块开发时间紧，不适用于本场地后期开发情况；

3、从污染迁移角度，填埋法对后期管理要求极高，占用土地资源，不适用于本场地后期开发情况；

4、从技术适用性角度，气相抽提技术适用于挥发性有机物处理，土壤淋洗技术适用于水溶性污染物处理，均不适用于本场地污染情况。

综合考虑场地土壤污染情况、后期规划、污染区土层特性，结合各修复技术的成熟性、污染迁移性、适用性、局限性，推荐本场地土壤采用**化学氧化技术、热脱附修复技术或水泥窑协同处置技术**。

5.3 土壤修复技术可行性评估

地块内污染土壤为石油烃单一污染土壤。通过土壤修复技术筛选，推荐本场地土壤采用化学氧化技术、热脱附修复技术或水泥窑协同处置技术。下面针对该修复技术的可行性进行评估。

5.3.1 化学氧化技术可行性评估

5.3.1.1 技术介绍

化学氧化处理技术具有普适性强、处理效果好，修复时间短的优势，既可应用于原位修复，受场地地面建筑影响较小，也可用于异位修复，可以和物理、微生物技术联合修复，被广泛应用于较重有机污染场地土壤修复。化学氧化修复有机污染土壤通产使用的氧化剂有通高锰酸钾 ($KMnO_4$)、芬顿试剂 (Fenton)、过氧化钙 (CaO_2)、过氧化氢 (H_2O_2)、过硫酸钠 ($Na_2S_2O_8$) 和臭氧 (O_3) 等。

其中过硫酸钠因其具有较好的稳定性、水溶性、强氧化性等优势被广泛采用。过硫酸钠经过活化可生成硫酸根自由基 $SO_4^{\cdot-}$ 和羟基自由基 $\cdot OH$ ，这些活性基团具有强氧化性，可去除大部分有机污染物。

5.3.1.2污染土壤小试分析

本次试验主要论证本项目石油烃污染土壤是否可以通过化学氧化修复技术修复达到目标值。经调查阶段检测，本地块石油烃污染点位污染深度的土壤呈碱性，因此试验选用现今修复工程中适用于碱性土壤较为常用的修复技术，即碱活化过硫酸盐氧化修复技术。

(1) 试验设计

去除土壤样品中的异物，称取约 100g 混合均匀的待试土壤样品至于 250mL 烧杯中，加入过硫酸钠氧化剂，再加入 100 mL 去离子水，测定小试体系 pH，搅拌均匀，使土壤充分湿润饱和但未呈泥浆状，继续搅拌使药剂和土壤充分混匀，药剂混合后第 1 天，间隔 3h 搅动土壤，使其接触反应完全。养护第 2 天后，间隔 6-12h 翻动搅拌。期间测定溶液中过硫酸钠含量，待过硫酸盐消耗殆尽后养护 1-2 天，土壤样品送样待测。试验同时设置空白对照组。试验组参数设置如表 5.3-1 所示，试验流程如下图所示。

表 5.3-1 化学氧化试验组参数表

样品	供试土壤	水	Na ₂ S ₂ O ₈
对照组	100 g	100 mL	0 g
碱活化过硫酸钠氧化 1 组	100 g	100 mL	2 g
碱活化过硫酸钠氧化 2 组	100 g	100 mL	3 g
碱活化过硫酸钠氧化 3 组	100 g	100 mL	4 g
碱活化过硫酸钠氧化 4 组	100 g	100 mL	5 g



图 5.3-1 化学氧化试验流程

(2) 试验结果

供试土壤石油烃 C_{10} - C_{40} 超标，其降解率随着氧化剂添加量的增加而逐渐提高，添加 4% (药剂与土壤的质量比) 的药剂可将目标污染物氧化达到修复目标。具体实验结果见图 5.3-2。

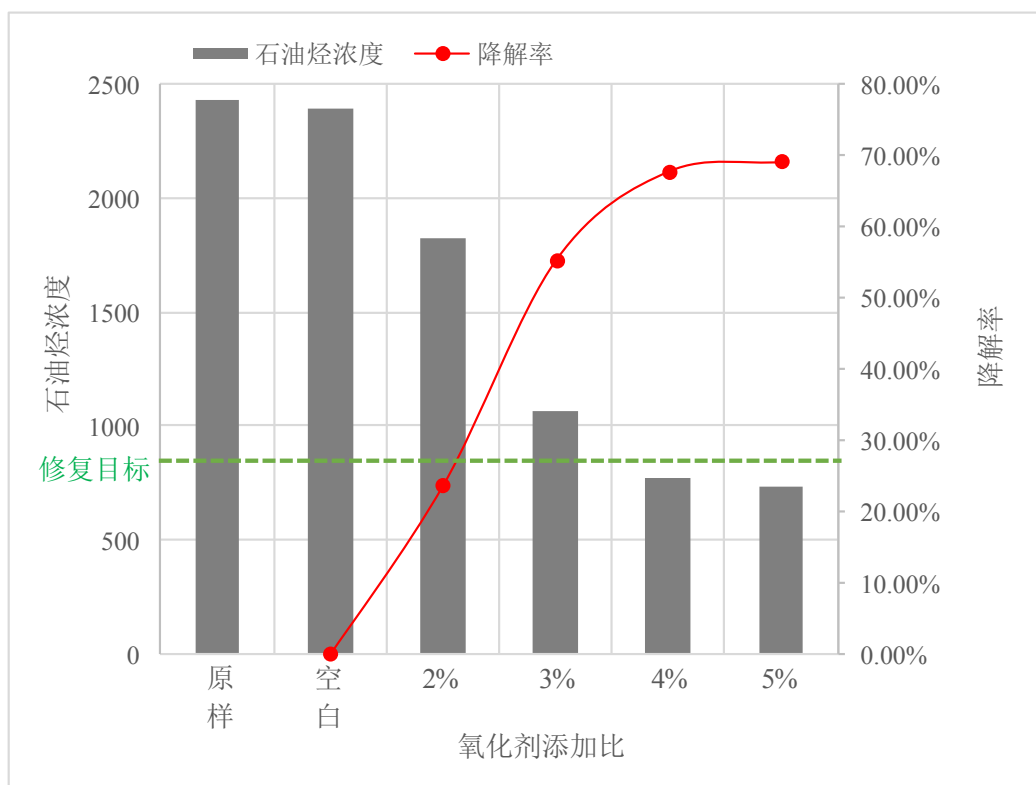


图 5.3-2 碱活化过硫酸钠对石油烃污染土壤的氧化效果

5.3.1.3 本项目化学氧化技术可行性分析

通过小试实验分析，化学氧化可以将污染土壤修复达到修复目标值。本项目的污染土壤为石油烃单一污染土壤，其石油烃污染水平与小试土壤浓度相近，由此可见，本项目污染土壤可以采用化学氧化技术进行修复。

5.3.2 热脱附修复技术可行性评估

5.3.2.1 技术介绍

热脱附技术是指在真空条件下或通入载气时，通过直接或间接热交换，将土壤中的有机污染物加热到沸点以上，以使有机污染物从污染介质上得以挥发或分离，进入气体处理系统的过程。热脱附技术具有污染物处理范围宽、设备可移动、修复后土壤可再利用等优点，广泛适用于处理土壤中挥发性/半挥发性有机物、农药、氯代化合物。

一般来说热脱附技术可以分为异位热脱附技术和原位热脱附技术两大类。原位热脱附技术特别适合重污染的土壤区域，包括高浓度、非水相的、游离的以及源头的有机污染物。目前，原位热脱附技术可用于处理的污染物主要为含氯有机物(CVOCs)，半挥发性有机物(SVOCs)，石油烃类(TPH)，多环芳烃(PAHs)，多氯联苯(PCBs)以及农药等。异位热脱附技术则用来处理一些适于开展异位环境修复的区域，将污染土壤提取出来并通过专门的热脱附系统装置处理。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常温热解吸。

5.3.2.2 案例分析

福建省邵武市某钢铁公司，该场地石油烃污染浓度达到40810mg/kg(>C16)，该污染土壤利用热脱附技术进行处理。污染土壤清挖后转运至处理车间，经筛分、破碎后通过皮带输送机送入窑体的进料斗，然后被送入回转窑。污染土壤在回转窑中被迅速加热到指定温度(350~500℃)，在窑体内土壤被均匀、稳定加热至设定温度范围内，使污染物挥发、分解；鼓风机将窑体内的挥发气体带入除尘回收系统去除气体中的颗粒物及有害气体，最终经烟囱排入大气。处理后的土壤经传输皮带，最后由下料带传送到出料口。处理车间外同时设置尾气收集装置，对车间内尾气进行处理，达到排放标准后，经排烟囱排放。TPH(>C16)类污染物超标的污染土壤，经热脱附处理后，达到了《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)第一类用地筛选值(其他项目)的要求，

污染物含量低于本场地土壤修复目标值（TPH：826mg/kg）。

5.3.2.3 本项目热脱附技术可行性分析

通过案例分析，热脱附可以将有机污染土壤修复达到修复目标值。本项目的污染土壤为石油烃单一污染土壤，其石油烃污染水平比福建省邵武市某钢铁公司石油烃污染水平轻。上述项目可通过热脱附技术修复达标，由此可见，本项目有机污染土壤可以采用热脱附技术进行修复。

5.3.3 水泥窑协同处置可行性评估

5.3.3.1 技术介绍

水泥生产是利用含碳酸钙、二氧化硅以及铁、铝氧化物的原料（包括石灰石、砂岩、粘土、铁粉、矿渣等），按照一定比例在 1400℃ 以上的高温下部分熔融，生成以硅酸钙为主的熟料，加入部分石膏和混合材料后，生产出具有水硬特性的无机材料。

硅酸盐水泥的生产一般分为三个阶段：生料制备、熟料煅烧、水泥粉磨。其中，熟料煅烧阶段在回转窑内进行，物料在 850℃~1450℃ 之间的停留时间超过 15~30 分钟；燃烧气体从回转窑低端、热端（窑头）进入，最高温度可达 1750℃，停留时间超过 4~6 秒。

5.3.3.2 案例分析

南京某煤制气厂地块土壤和地下水中存在以石油烃（C₆-C₉、C₁₀-C₁₄、C₁₅-C₂₈、C₂₉-C₃₆）、多环芳烃、苯系物为主的污染物，需要进行场地修复。该地块采用水泥窑协同处置技术修复区域面积 6754.3m²，修复工程量 2.57 万 m³。历时 8 个月完成主体施工工程，并于 2017 年完成验收工作。

5.3.3.3 本项目水泥窑协同处置技术可行性分析

水泥窑协同处置能适应多种类型的废物，适用范围广。水泥窑内温度高，热容量和热惯性大，废料在高温区的停留时间长，有害成分分解较彻底，较绿色安全。本项目的污染土壤为石油烃单一污染土壤，适当调整比例可替代部分原料，或单独做为废物进行处置。

6修复方案设计

根据详细调查及风险评估报告，地块内污染土壤为石油烃单一污染土壤。通过土壤修复模式筛选，建议采用原地异位修复或异地修复模式，通过土壤修复技术筛选，建议采用化学氧化技术、热脱附修复技术或水泥窑协同处置技术。根据土壤修复模式和技术筛选，将适用于本项目的修复方案进行组合，共得出 5 种方案：①原地异位化学氧化修复方案、②原地异位热脱附修复方案、③异地化学氧化修复方案、④异地热脱附修复方案、⑤水泥窑协同处置修复方案。

6.1方案一：原地异位化学氧化修复方案

6.1.1 技术路线

根据本项目的场地土壤污染情况、工程进度安排、后期规划，提出第一种备选的方案：原地异位化学氧化修复方案。

（1）进场后进行三通一平、测量放线等施工准备。

（2）进行基坑支护和土方开挖，其中基坑东侧壁与地块红线重合，在此区域增加垂直阻隔墙。基坑的两类土壤和修复场地产生的废水需分别处理。

（3）地表硬化：破碎冲洗后作为路基或垫层资源化利用。

（4）污染土壤：①土方开挖后进行预处理，去除土壤中的渣石；渣石经冲洗后同地表硬化一同资源化利用，冲洗废水收集后同项目其它废水一同处理；②化学氧化，将污染土壤与药剂搅拌、翻动，充分混合，养护 7 天后检测；其中经过处理后的土壤若未达修复目标，再次加药剂处理；③直至通过修复效果评估，所有土壤均达到修复目标；④修复后的土壤待基坑验收完成后回填。

（5）基坑降水废水及其它废水：抽出的基坑降水废水与修复场地产生的其它废水收集后可采取沉降、投加化学药剂等方式处理，达标后纳管排放。

（6）基坑开挖完成后进行基坑验收，通过验收的基坑待污染土壤修复合格并验收后回填、平整。

具体的修复工艺技术路线见下图。

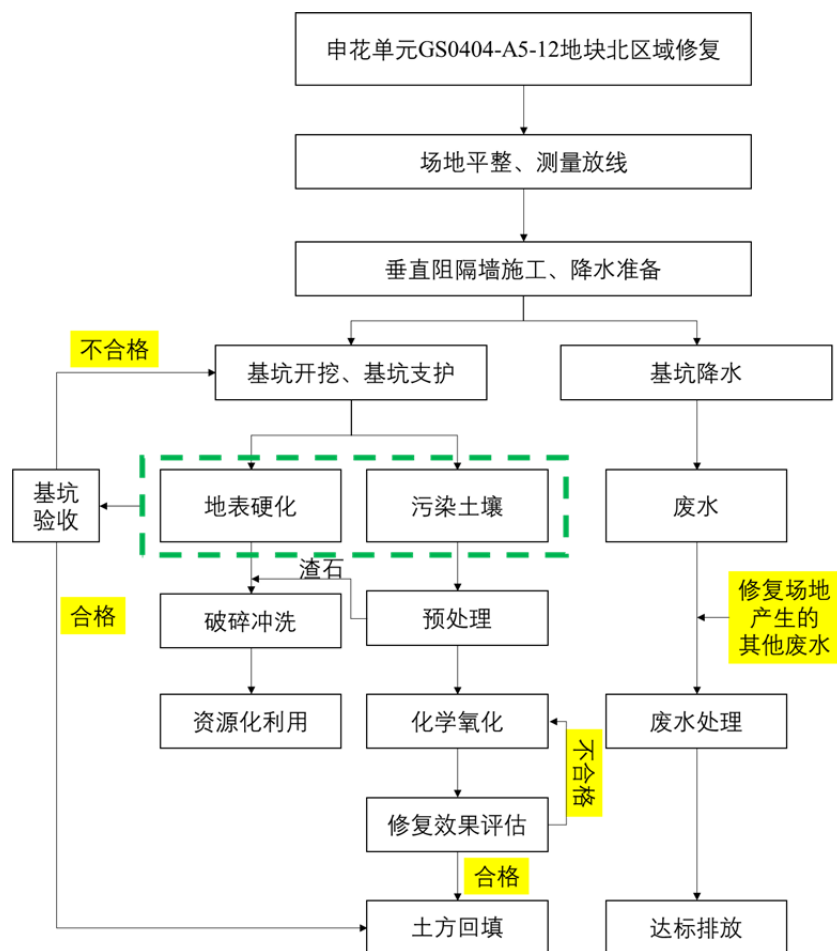


图 6.1-1 方案一技术路线图

6.1.2 关键技术参数

6.1.2.1 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。由于修复深度仅 1.5 米，无需考虑放坡，一次开挖到达深度。一般的污染土壤清挖流程如下：场地清表→定位放线→验线复核→阻隔施工→土壤清挖→土壤转运→边坡修整→基坑验收。

根据场地调查及风险评估结果，本场地待修复区域仅 1 个区块，其清挖范围如下图所示。

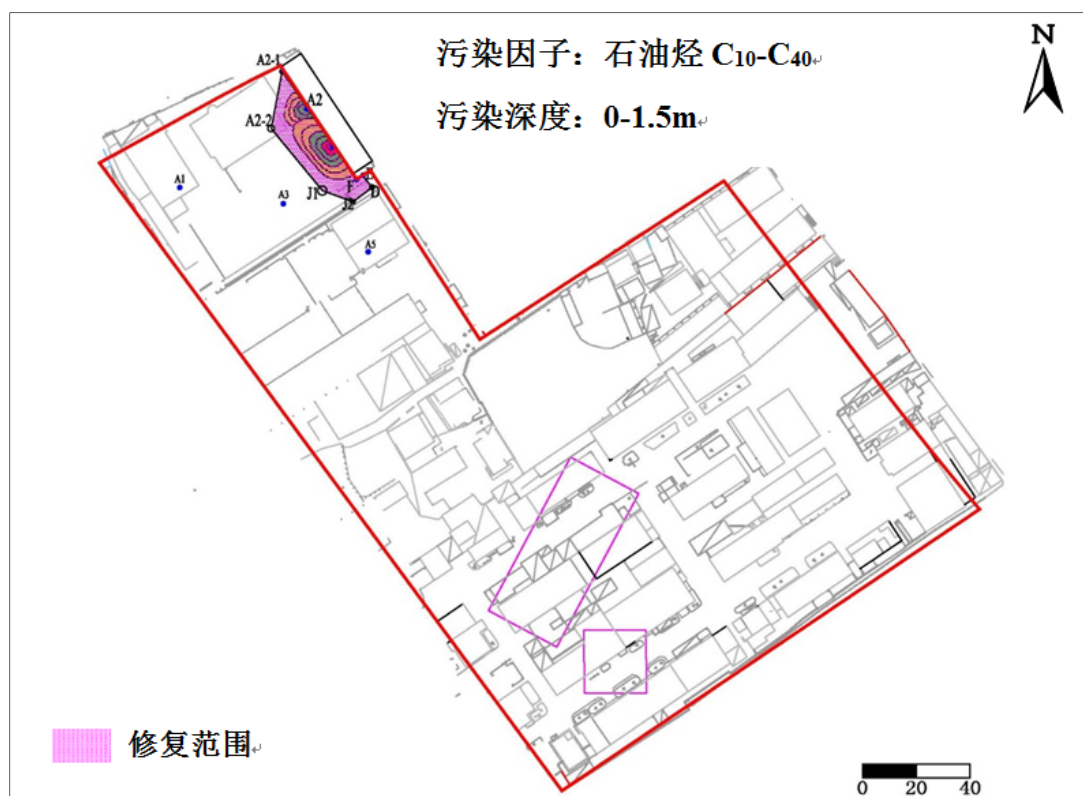


图 6.1-2 土壤修复范围图

6.1.2.2 化学氧化处理

根据本项目小试结果，推荐使用碱活化的过硫酸钠作为氧化剂。过硫酸钠具有较好的稳定性、水溶性、强氧化性等优势，经过活化可生成硫酸根自由基 $\text{SO}_4^{\cdot-}$ 和羟基自由基 $\cdot\text{OH}$ ，这些活性基团具有强氧化性，可去除大部分有机污染物。

一般的化学氧化技术工艺流程为：

- 1) 污染土壤清挖；
- 2) 将污染土壤破碎、筛分，筛除建筑垃圾及其它杂物；
- 3) 药剂喷洒；
- 4) 通过多次搅拌将修复药剂与污染土壤充分混合，使修复药剂与目标污染物充分接触；
- 5) 监测、调节污染土壤反应条件，直至自检结果显示目标污染物浓度满足修复目标要求；
- 6) 通过验收的修复土壤回填至基坑。

其中，根据小试结果，过硫酸钠的添加比例设置在 4%（药剂与土壤的质量比）左右。污染较轻的土壤需要投加的氧化剂相对较少，污染较重的土壤需要投加的氧化剂相对较多；由于土壤具有异质性，污染程度不一，因此施工过程中可

对氧化剂投加比例进行进一步优化。

6.1.3 修复成本及工期估算

初步估算备选方案一开展修复工作所需资金约为 180 万元，详见下表。

表 6.1-1 方案一修复费用估算表（单位：元）

项目名称	原地异位化学氧化			
	数量	单位	单价	合价
临建施工（含阻隔施工）	1	项	500,000	500,000
场地平整	1	项	10,000	10,000
土方开挖、场内转运 （含预处理费用）	1028	m ³	60	61,680
土方回填	1028	m ³	10	10,280
化学氧化施工	1028	m ³	690	709,320
检测费	1	项	40,000	40,000
二次污染防治	1	项	160,000	160,000
安全文明施工	1	项	50,000	50,000
规费等其他费用	1	项	100,000	100,000
税金	1	项	155,000	155,000
合计				1,796,280

本项目工程均在场内完成，可分为主体工程和其他工程两部分。

（1）主体工程包括化学氧化施工，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 400m³，处理 1028m³土约需 3 天；加药氧化后需进行养护；预计化学氧化施工需 10 天左右，如存在二次氧化的土壤，需相应延长工期。

（2）场内施工主要包括临建施工、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。其中临建施工进场后立即开展，基坑开挖、基坑支护、基坑降水、土壤预处理可同期开展。待完成化学氧化施工后完成基坑回填施工。

综上，本项目施工工期预计约 40 天。

6.2 方案二：原地异位热脱附修复方案

6.2.1 技术路线

根据本项目的场地土壤污染情况、工程进度安排、后期规划，提出第二种备选修复方案：原地异位热脱附修复方案。

- (1) 进场后进行三通一平、测量放线、热脱附设备调拨调试等施工准备。
- (2) 进行基坑支护和土方开挖，其中基坑东侧壁与地块红线重合，在此区域增加垂直阻隔墙。基坑的两类土壤和修复场地产生的废水需分别处理。
- (3) 地表硬化：破碎冲洗后作为路基或垫层资源化利用。
- (4) 污染土壤：①土方开挖后进行预处理，去除土壤中的渣石；渣石经冲洗后同地表硬化一同资源化利用，冲洗废水收集后同项目其它废水一同处理；如有湿度过大的土壤可以进行干化以节约后续热脱附能耗；②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；③直至通过修复效果评估，所有土壤均达到修复目标；④修复后的土壤待基坑验收完成后回填。
- (5) 基坑降水废水及其它废水：抽出的基坑降水废水与修复场地产生的其它废水收集后可采取沉降、投加化学药剂等方式处理，达标后纳管排放。
- (6) 基坑开挖完成后进行基坑验收，通过验收的基坑待污染土壤修复合格并验收后回填、平整。

具体的修复工艺技术路线见下图。

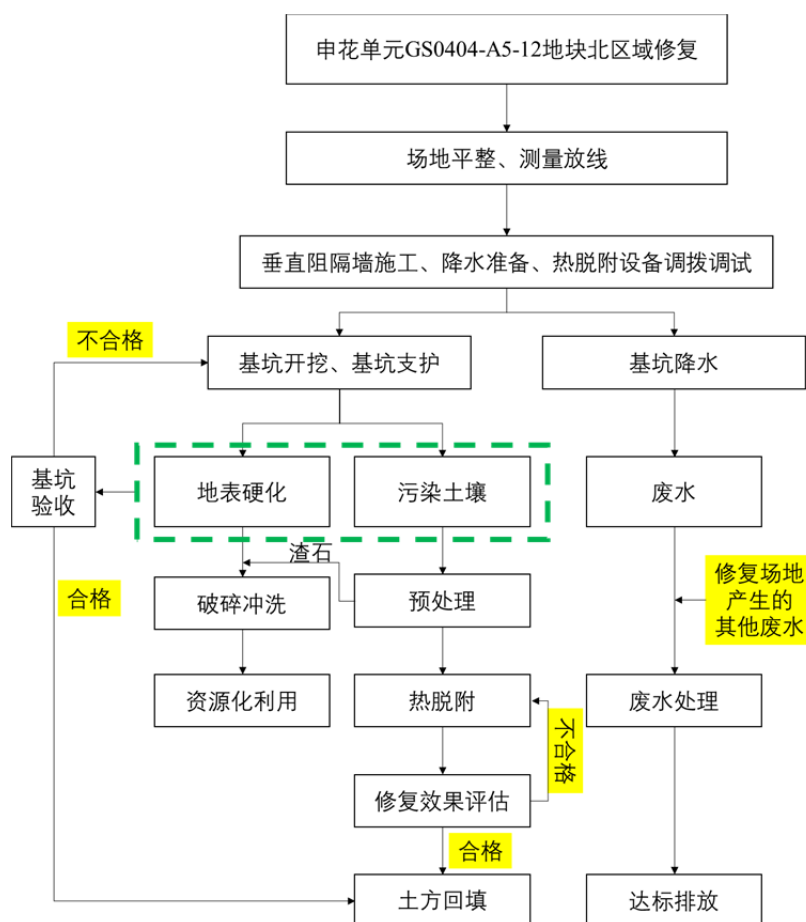


图 6.2-1 方案二技术路线图

6.2.2关键技术参数

6.2.2.1土壤清挖

土壤清挖同 6.1.2.1 章节。

6.2.2.2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。

一般的热脱附技术工艺流程为：设备安装调试→预处理与上料→回转窑加热→土壤加湿降温→处理后土壤堆放→出土→尾气处理。

其中，需根据污染物的沸点设置相应的工艺技术参数。本项目污染物为 C₁₀-C₄₀，其沸点分析见下表，因此本方案的热脱附修复技术可控制热脱附设备温度在 500℃左右，停留时间 30 分钟左右。

表 6.2-1 石油馏分沸点

馏分名称		主要成分	沸点范围/℃
轻馏分	石油气	--	<35
	汽油	C ₄ -C ₁₂	50-200
中间馏分	煤油	C ₁₀ -C ₁₆	130-250
	柴油	C ₈ -C ₂₅	180-350
重馏分	润滑油	C ₁₃ -C ₅₁	350-500
	渣油	--	>500

6.2.3修复成本及工期估算

初步估算备选方案二开展修复工作所需资金约 795 万元，详见下表。

表 6.2-2 方案二修复费用估算表（单位：元）

项目名称	原地异位热脱附			
	数量	单位	单价	合价
临建施工（含阻隔施工）	1	项	500,000	500,000
场地平整	1	项	10,000	10,000
土方开挖、场内转运 （含预处理费用）	1028	m ³	60	61,680
土方回填	1028	m ³	10	10,280
热脱附设备安装调试及配	1	项	5,000,000	5,000,000

套工程				
热脱附施工	1028	m ³	840	863,520
检测费	1	项	40,000	40,000
二次污染防治	1	项	200,000	200,000
安全文明施工	1	项	200,000	200,000
规费等其他费用	1	项	400,000	400,000
税金	1	项	664,000	664,000
合计				7,949,480

本项目工程均在场内完成，可分为主体工程和其他工程两部分。

(1) 主体工程包括热脱附施工，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，处理 1028m³ 土约需 4~5 天；如存在二次热脱附处理的土壤，需相应延长工期。

(2) 场内施工主要包括临建施工、热脱附设备调拨与调试、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（含热脱附设备调拨与调试）进场后立即开展，基坑开挖、基坑支护、基坑降水、土壤预处理可同期开展。待完成热脱附施工后完成基坑回填施工。

综上，本项目施工工期预计约 90 天。

6.3 方案三：异地化学氧化修复方案

6.3.1 技术路线

根据本项目的场地土壤污染情况、工程进度安排、后期规划，提出第三种备选修复方案：异地化学氧化修复方案。

(1) 进场后进行三通一平、测量放线等施工准备。

(2) 进行基坑支护和土方开挖，其中基坑东侧壁与地块红线重合，在此区域增加垂直阻隔墙。基坑的两类土壤和修复场地产生的废水需分别处理。

(3) 地表硬化：破碎冲洗后作为路基或垫层资源化利用。

(4) 污染土壤：①土方开挖后进行预处理，去除土壤中的渣石；渣石经冲洗后同地表硬化一同资源化利用，冲洗废水收集后同项目其它废水一同处理；②土方外运，注意二次污染防治；③化学氧化，将污染土壤与药剂搅拌、翻动，充分混合，养护 7 天后检测；其中经过处理后的土壤若未达修复目标，再次加药剂处理；④直至通过修复效果评估，所有土壤均达到修复目标；⑤修复后的土壤作为土壤按相关规范要求就近消纳。

(5) 基坑降水废水及其它废水：抽出的基坑降水废水与修复场地产生的其它废水收集后可采取沉降、投加化学药剂等方式处理，达标后纳管排放。

(6) 基坑开挖完成后进行基坑验收，通过验收的基坑可将清洁土回填、平整。

具体的修复工艺技术路线见下图。

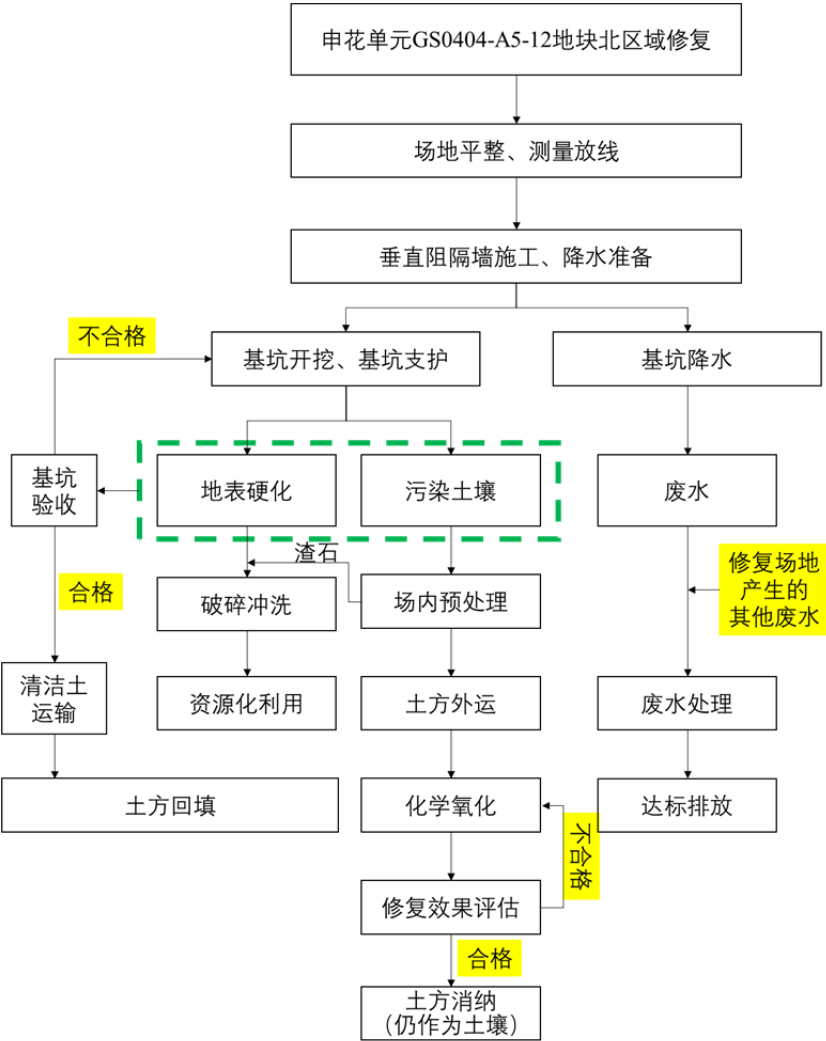


图 6.3-1 方案三技术路线图

6.3.2关键技术参数

6.3.2.1土壤清挖

土壤清挖同 6.1.2.1 章节。

6.3.2.2化学氧化处理

化学氧化处理同 6.1.2.2 章节。

6.3.3修复成本及工期估算

初步估算本项目备选方案三开展修复工作所需资金约为 191 万元，详见下表。

表 6.3-1 方案三修复费用估算表（单位：元）

项目名称	异地化学氧化			
	数量	单位	单价	合价
临建施工（含阻隔施工）	1	项	500,000	500,000
场地平整	1	项	10,000	10,000
土方开挖、场内转运 （含预处理费用）	1028	m ³	60	61,680
土方运输（暂估短途运输）	1028	m ³	30	30,840
土方回填	1028	m ³	20	20,560
异地修复中心场地租赁费（暂估）	1	项	50,000	50,000
化学氧化施工	1028	m ³	690	709,320
检测费	1	项	40,000	40,000
二次污染防治	1	项	175,000	175,000
安全文明施工	1	项	50,000	50,000
规费等其他费用	1	项	100,000	100,000
税金	1	项	165,000	165,000
合计				1,912,400

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、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。其中临建施工进场后立即开展，基坑开挖、基坑支护、基坑降水、土壤预处理可同期开展。

（2）场外施工主要包括土壤外运、化学氧化施工。每运输一批污染土处理一批，因此制约工期的关键步骤为化学氧化施工。化学氧化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 400m³，处理 1028m³ 土约需 3 天；加药氧化后需进行养护；预计化学氧化施工需 10 天左右，如存在二次氧化的土壤，需相应延长工期。

综上，本项目施工工期预计约 50 天。

6.4 方案四：异地热脱附修复方案

6.4.1 技术路线

根据本项目的场地土壤污染情况、工程进度安排、后期规划，提出第四种备选的修复方案：异地热脱附修复方案。

（1）进场后进行三通一平、测量放线等施工准备。

(2) 进行基坑支护和土方开挖，其中基坑东侧壁与地块红线重合，在此区域增加垂直阻隔墙。基坑的两类土壤和修复场地产生的废水需分别处理。

(3) 地表硬化：破碎冲洗后作为路基或垫层资源化利用。

(4) 污染土壤：①土方开挖后进行预处理，去除土壤中的渣石；渣石经冲洗后同地表硬化一同资源化利用，冲洗废水收集后同项目其它废水一同处理；；如有湿度过大的土壤可以进行干化以节约后续热脱附能耗；②土方外运，注意二次污染防控；③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；④直至通过修复效果评估，所有土壤均达到修复目标；⑤修复后的土壤作为土壤按相关规范要求就近消纳。

(5) 基坑降水废水及其它废水：抽出的基坑降水废水与修复场地产生的其它废水收集后可采取沉降、投加化学药剂等方式处理，达标后纳管排放。

(6) 基坑开挖完成后进行基坑验收，通过验收的基坑可将清洁土回填、平整。

具体的修复工艺技术路线见下图。

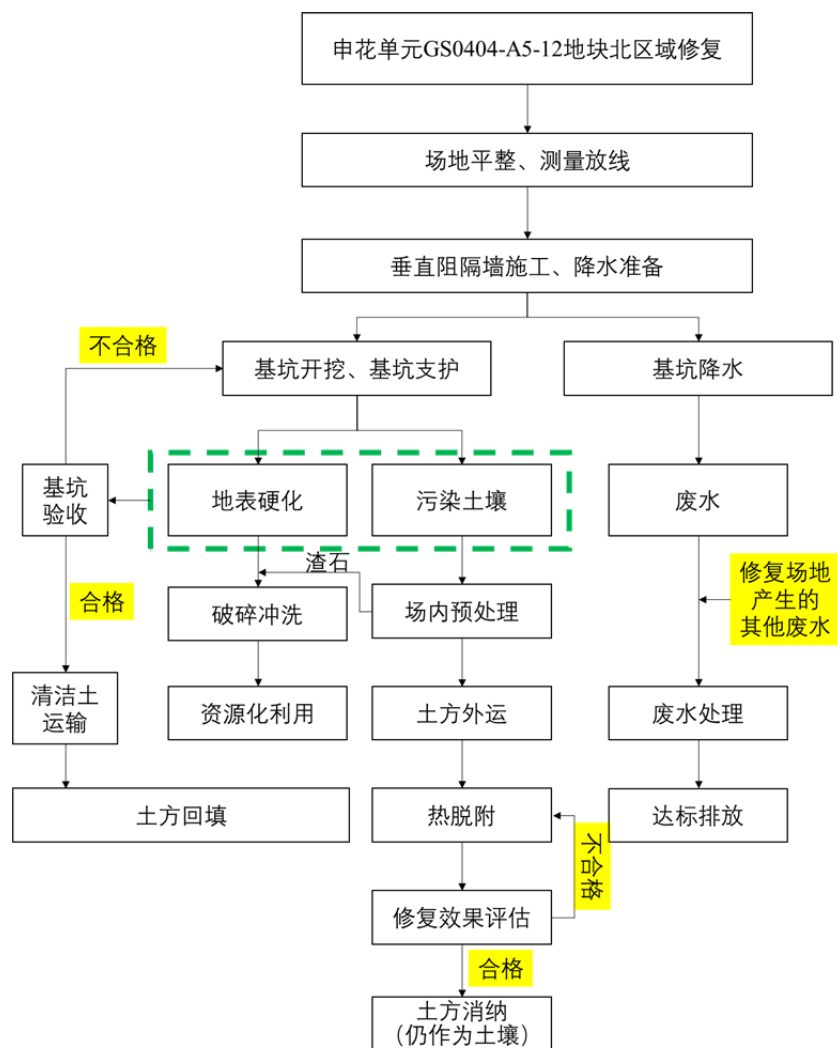


图 6.4-1 方案四技术路线图

6.4.2关键技术参数

6.4.2.1土壤清挖

土壤清挖同 6.1.2.1 章节。

6.4.2.2热脱附处理

热脱附处理同 6.2.2.2 章节。

6.4.3修复成本及工期估算

初步估算本项目备选方案四开展修复工作所需资金约为 206 万元，详见下表。

表 6.4-1 方案四修复费用估算表（单位：元）

项目名称	异地热脱附			
	数量	单位	单价	合价
临建施工（含阻隔施工）	1	项	500,000	500,000
场地平整	1	项	10,000	10,000
土方开挖、场内转运 （含预处理费用）	1028	m ³	60	61,680
土方运输（暂估短途运输）	1028	m ³	30	30,840
土方回填	1028	m ³	20	20,560
异地修复中心场地租赁费（暂估）	1	项	25,000	25,000
热脱附施工	1028	m ³	845	868,660
检测费	1	项	40,000	40,000
二次污染防治	1	项	175,000	175,000
安全文明施工	1	项	50,000	50,000
规费等其他费用	1	项	100,000	100,000
税金	1	项	179,000	179,000
合计				2,060,740

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、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。其中临建施工进场后立即开展，基坑开挖、基坑支护、基坑降水、土壤预处理可同期开展。

（2）场外施工主要包括土壤外运、热脱附施工。每运输一批污染土处理一批，因此制约工期的关键步骤为热脱附施工。热脱附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，处理 1028m³ 土约需 4~5 天；如存在二次热脱附处理的土壤，需相应延长工期。

综上，本项目施工工期预计约 45 天。

6.5 方案五：水泥窑协同处置修复方案

6.5.1 技术路线

根据本项目的场地土壤污染情况、工程进度安排、后期规划，提出第五种备选修复方案：水泥窑协同处置技术修复方案。

（1）进场后进行三通一平、测量放线等施工准备。

（2）进行基坑支护和土方开挖，其中基坑东侧壁与地块红线重合，在此区域增加垂直阻隔墙。基坑的两类土壤和修复场地产生的废水需分别处理。

(3) 地表硬化：破碎冲洗后作为路基或垫层资源化利用。

(4) 污染土壤：①土方开挖后进行预处理，去除土壤中的渣石；渣石经冲洗后同地表硬化一同资源化利用，冲洗废水收集后同项目其它废水一同处理；如有湿度过大的土壤可以进行干化以节约后续热脱附能耗；②危废鉴定；③土方外运，按照相关法律法规及技术规范要求运输，注意二次污染防治；④水泥窑协同处置。

(5) 基坑降水废水及其它废水：抽出的基坑降水废水与修复场地产生的其它废水收集后可采取沉降、投加化学药剂等方式处理，达标后纳管排放。

(6) 基坑开挖完成后进行基坑验收，通过验收的基坑可将清洁土回填、平整。

具体的修复工艺技术路线见下图。

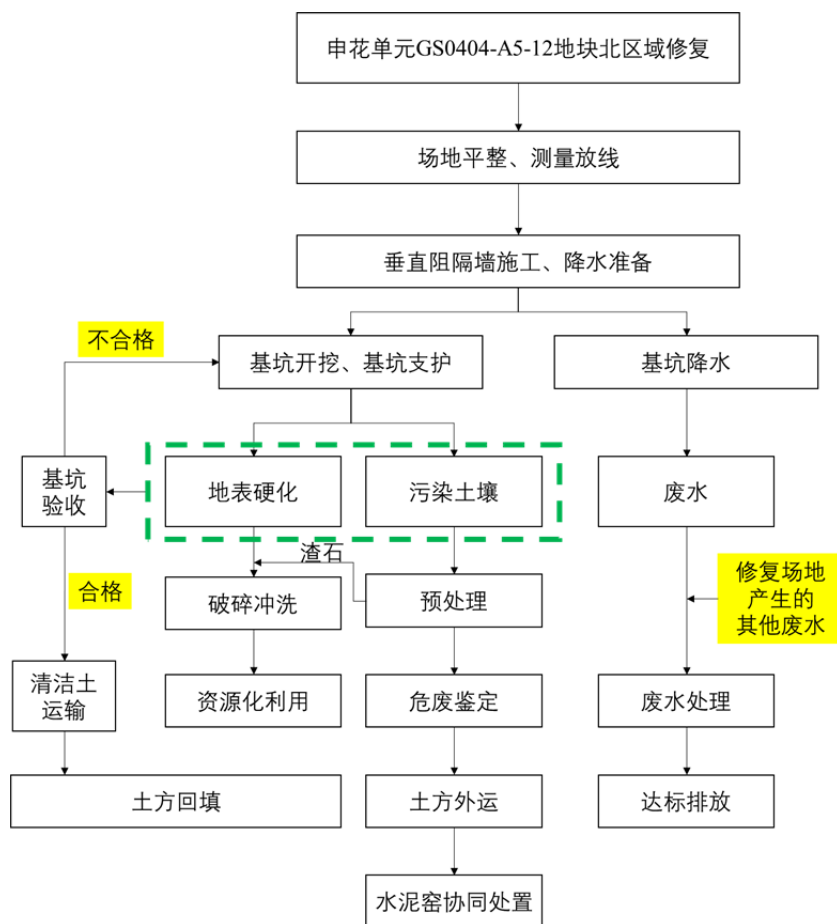


图 6.5-1 方案五技术路线图

6.5.2关键技术参数

6.5.2.1 土壤清挖

土壤清挖同 6.1.2.1 章节。

6.5.2.2 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。该法可有效处理含石油烃的有机污染物的土壤，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。

水泥窑窑尾烟尘（包括重金属等）经现有布袋除尘处理、氮氧化物经脱硝处理、二噁英经急冷作用和布袋除尘处理，窑尾废气中各类污染经处理后引至高空排放，窑头粉尘经现有静电除尘处理后引至高空排放，物料卸料、破碎、输送、投料等产生的粉尘及臭气经集收后通过布袋除器处理入窑焚烧，固废车间恶臭废气通过将车间设置成负压状态，废气经集收后进入水泥窑焚烧处理。

一般的水泥窑协同处置技术流程为：

1) 污染土接收、计量，并在土壤运输五联单上签字。其中可产生挥发性气体的有机污染土壤卸料及装车空间应采用密封的构筑物或建筑物，并应配置通风、降尘、除臭系统，同时应保持系统与车辆卸料动作联动。

2) 有机污染土壤与水泥厂常规原料、燃料和产品分开贮存。

3) 污染土壤投加，水泥窑协同处置的废物可以在生料磨、上升烟道、分解炉、窑尾、窑罩门和主燃料六处投加。由于有机类污染土在升温过程中易挥发，为保证有机类污染物经过高温焚烧分解后达标排放，避免出现由水泥窑的低温段加入，污染土壤中有机物脱附后直接排放造成烟气污染物超标的情况，建议有机污染土壤在温度 1100℃ 以上的区域投入，烟气停留时间应大于 2 秒。因此，有机污染土壤应由水泥窑的窑头、窑尾、分解炉等部位投料。但由于从水泥窑的窑头、窑尾、分解炉等部位投料，对水泥产品质量有一定的影响，故应严格控制各处的投加量。



图 6.5-2 水泥窑协同处置工艺流程图

6.5.3 修复成本及工期估算

初步估算备选方案五开展修复工作所需资金约为 251 万元，详见下表。

表 6.5-1 方案五修复费用估算表（单位：元）

项目名称	水泥窑			
	数量	单位	单价	合价
临建施工（含阻隔施工）	1	项	500,000	500,000
场地平整	1	项	10,000	10,000
土方开挖、场内转运 （含预处理费用）	1028	m ³	60	61,680
土方运输（暂估长途运输）	1028	m ³	100	102,800
土方回填	1028	m ³	20	20,560
危废鉴定	1	项	150,000	150,000
水泥窑协同处置	1028	m ³	1,000	1,028,000
检测费	1	项	40,000	40,000
二次污染防治	1	项	175,000	175,000
安全文明施工	1	项	60,000	60,000
规费等其他费用	1	项	140,000	140,000
税金	1	项	217,000	217,000
合计				2,505,040

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、危废鉴定、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。其中临建施工和危废鉴定进场后立即开展，基坑开挖、基坑支护、基坑降水、土壤预处理可同期开展。

（2）场外施工主要包括土壤外运、水泥窑协同处置。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。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 170~200m³，处理 1028 m³ 土约需 6~7 天。

综上，本项目施工工期预计约 70 天。

6.6修复方案比选

本项目共提出了五种备选的修复方案：①原地异位化学氧化修复方案、②原地异位热脱附修复方案、③异地化学氧化修复方案、④异地热脱附修复方案、⑤水泥窑协同处置修复方案。下面从技术可行性、施工可行性、经济可行性三个方面进行对比分析，详见下表。

表 6.6-1 备选方案比选表

序号	类别	项目	方案一：原地异位化学氧化	方案二：原地异位热脱附	方案三：异地化学氧化	方案四：异地热脱附	方案五：水泥窑协同处置
1	技术可行性	技术成熟度	成熟	成熟	成熟	成熟	成熟
2		修复过程二次污染问题	化学氧化添加碱活化的过硫酸钠，可能造成土壤 pH 升高，硫酸盐含量升高；二次污染问题相对居中	热脱附温度较低，污染物多数转化为气态，从废气中排出，热脱附处置设备需要具有相对完善的废气收集处理系统；二次污染问题相对较大	化学氧化添加碱活化的过硫酸钠，可能造成土壤 pH 升高，硫酸盐含量升高；二次污染问题相对居中	热脱附温度较低，污染物多数转化为气态，从废气中排出，热脱附处置设备需要具有相对完善的废气收集处理系统；二次污染问题相对较大	水泥窑温度较高，污染物多数发生裂解，且有资质处置危险废物的水泥窑一般具有相对完善的废气收集处理系统；二次污染问题相对较小
3	施工可行性	修复工期	约 40 天	约 90 天	约 50 天	约 45 天	约 70 天
4		土壤修复后消纳去向	直接原地回填，无需联系消纳去向	直接原地回填，无需联系消纳去向	1028 m ³ 土壤需异地资源化利用，需联系消纳去向	1028 m ³ 土壤需异地资源化利用，需联系消纳去向	直接转化为水泥产品，无需联系消纳去向
5		关键技术市场制约因素	国内有多家具有化学氧化设备的施工单位，制约因素相对较小	场地内无足够空间设置处理中心	杭州市已建成的异地处理中心有限，需提前联系，或者租用其他场地新建修复中心，可用场地仍需提前联系；因此该技术的市场制约因素较大	杭州市已建成的异地处理中心有限，需提前联系，或者租用其他场地新建修复中心，可用场地仍需提前联系；因此该技术的市场制约因素较大	杭州周边有多家具有污染土处置资质的水泥窑，需要对污染土壤进行危废鉴定
6	经济可行性	修复成本	180 万元	795 万元	191 万元	206 万元	251 万元
7	同类修复技术综合比选		相比于“方案三：异地化学氧化”，无需联系消纳去向，关键技术市场制约因素小，更适用于本项目	相比于“方案四：异地热脱附”，修复成本高，工期长，热脱附设备调拨、调试及配套的临建施工为主要修复成本，由于本项目工程量小，其费用远比热脱附处理费用高，造成资源的浪费，不适用于本项目	相比于“方案一：原地异位化学氧化”，需联系消纳去向，关键技术市场制约因素大，相对不适用于本项目	相比于“方案二：原地异位热脱附”，修复成本低，工期短，更适用于本项目	相比于“方案一”原地异位化学氧化和“方案四”异地化学氧化，需要对污染土壤进行危废鉴定，耗时较长。

根据上述本项目五个备选方案各项指标比较，可以得出：

(1) **技术成熟度：**五个方案均能在技术上满足场地污染土壤治理的需要，且国内均有较为成熟的工程实施案例。

(2) **修复过程二次污染问题：**水泥窑协同处置和热脱附修复技术针对有机污染土的处理原理类似，均为对污染土壤加热；水泥窑协同处置处理温度明显高于热脱附修复技术，该温度下可将有机物裂解，处理更彻底，二次污染更小。但在修复过程中做好尾气处理等二次污染防治措施，均能达到环保要求。化学氧化添加碱活化的过硫酸钠，可能造成土壤 pH 升高，硫酸盐含量升高；但本项目处理的污染土方量较小，且污染深度仅 1.5m，土壤 pH、硫酸盐含量升高对后期施工建设影响不大。因此五个方案二次污染问题在做好防治措施及合理开发的前提下，均可以接受。

(3) **修复工期：**方案一、方案三、方案四均能满足后期开发要求。方案二工期制约因素为热脱附设备调拨与调试，其周期远比热脱附处理施工时间长，所有施工工序均在场内完成，增加了修复时间。方案五工期制约因素为危废鉴定，其周期远比水泥窑协同处置时间长，增加了修复时间。

(4) **土壤修复后消纳去向：**土壤修复后，方案一、方案二直接原地回填，无需联系消纳去向；方案三、方案四需联系 1028m³ 土壤异地资源化利用的消纳去向；方案五直接转化为水泥产品，无需联系消纳去向。

(5) **关键技术市场制约因素：**方案一、方案二的污染土由调拨至场地内的修复设备处理，国内有多家具有修复设备的施工单位，制约因素相对较小。方案三、方案四的污染土壤要送往异地处理中心处理，杭州市已建成的异地处理中心有限，需提前联系，或者租用其他场地新建修复中心，可用场地仍需提前联系；因此该技术的市场制约因素较大。方案五的污染土壤由水泥窑协同处置，且该技术为工期的主要制约因素，经前期走访调查，杭州市附近具有协同处置污染土资质的水泥厂有 10 家左右，市场制约因素较小。

(6) **修复成本：**方案二热脱附设备调拨、调试及配套的临建施工为主要修复成本，由于本项目工程量小，其费用远比热脱附处理费用高，造成资源的浪费。

(7) **同类修复技术综合比选：**方案一与方案三均采用化学氧化技术，方案一相比于方案三，无需联系消纳去向，关键技术市场制约因素小，更适合于本项

目；方案二与方案四均采用热脱附技术，方案四相比于方案二，修复成本低，工期短，更适合于本项目。

综上所述，推荐使用“方案一：原地异位化学氧化修复方案”作为本项目的污染土壤修复方案，即所有污染土壤在本地块内进行化学氧化处理；“方案四：异地热脱附修复方案”为备选方案。

6.7推荐方案工艺设计

本项目推荐“方案一：原地异位化学氧化修复方案”修复本地块，并针对以上方案进行工艺设计。

6.7.1阻隔施工

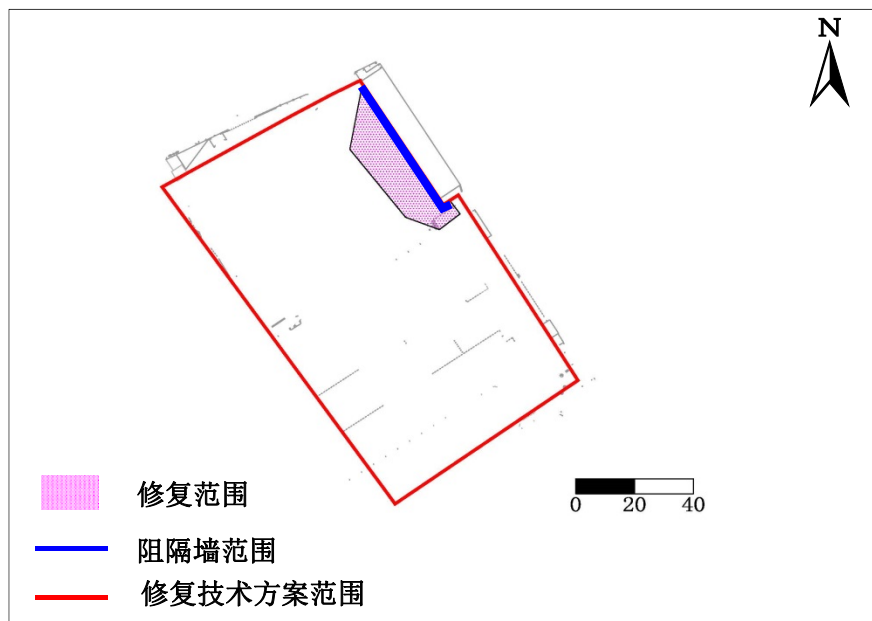
基坑东侧壁与地块红线重合，考虑到土壤污染具有一定连续性，基坑东侧紧邻土壤石油烃 $C_{10}-C_{40}$ 浓度可能超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地筛选值；根据现场踏勘本项目东侧地块红线紧邻杭州小商品市场建筑，无超挖施工条件。因此，通过敷设阻隔层控制土壤中污染物迁移扩散的途径，将污染物与周围环境隔离，从而避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移对人体和周围环境造成危害，降低并消除地块污染物对人体健康和环境风险。阻隔层采用竖向布置形式，阻断东侧可能存在的污染物向本地块土壤环境迁移扩散。

垂直阻隔技术包括土-膨润土隔离墙、水泥-膨润土隔离墙、HDPE 土工膜隔离墙、水泥帷幕灌（注）浆墙、高压喷射灌浆墙、水泥搅拌桩墙、渗透反应墙；考虑到污染区东侧地块后期再开发，该阻隔措施具有临时性，且污染深度、阻隔深度较浅，因此可采用临时性的阻隔措施，如高压喷射灌浆墙或水泥搅拌桩墙。利用机械在边钻进（或提升）边往土中喷射水泥浆液，如采用水泥搅拌桩墙需同时借助于搅拌轴旋转搅拌，使喷入土体中的水泥浆液与土体充分拌合在一起，形成抗压强度比天然土高并具整体性、水稳性的桩柱体，以达到止水防渗的目的。其中，高压喷射灌浆墙具有钻探作业难度低、效率高等优点；水泥搅拌桩墙具有造价低廉、效率高、适用性强等优点。

1、工艺设计

本项目地下阻隔墙建设采取高压旋喷工艺，桩长 3.5m，桩型直径 600mm，搭

接 200mm，桩之间相互搭接形成阻隔墙，桩孔排数为单排，阻隔墙总长不小于 54m，阻隔墙建设整体示意图如下所示：



2、一般的施工工艺流程为：

1) 施工准备：主要进行地块平整、清除地下障碍物、施工测量放样、确定施工机具设备、数量，确定施工材料等；

2) 放样、钻机设备就位：进行桩位放样，钻机就位后，应确保施工过程中不发生倾斜、移动，保证机架、钻杆、旋喷管等的垂直度，垂直度偏差不得大于 1.5%；

3) 制备水泥浆：按设计确定的配合比拌制水泥浆，待压浆前将水泥浆倒入集料斗；

4) 桩体施工：

高压喷射灌浆墙采用钻孔、下入喷射管、喷射灌浆及提升工艺：振动打桩机将带有活动桩靴的套管打入土中，然后将套管拔出一段拔出地面高度大于拟旋喷的高度然后拆除上段套管；安放钻机和慢速卷扬机用以旋转和提升喷射管；将喷射管通过钻机盘插入孔内；接通水泥浆管开动泥浆泵和旋转钻机进行喷射，达到预定数值时开始提升；继续喷射和提升直至预定的喷射高度为止；拔出喷射管和套管；

水泥搅拌桩墙采用预搅下沉、提升搅拌、重复上、下搅拌工艺：待搅拌机的冷却水循环正常后，启动搅拌机电机，放松起重机钢丝绳，使搅拌机沿导架搅拌

切土下沉；搅拌机下沉时开启注浆泵将水泥浆压入土层中，边喷边旋转；下沉到达设计深度后，开启注浆泵将水泥浆压入土中，边喷边旋转提升；提升至设计深度的顶面标高时，集料斗中的水泥浆应正好排空，为使土和水泥浆搅拌均匀，再次将搅拌机边旋转边沉入土中，至设计深度后再将搅拌机提升出地面完成一根柱状加固体，外形呈现“8”字形；

5) 清洗：向集料斗注入适量热水，开启注浆泵、清洗全部管线中的残存水泥浆，直到基本干净；如使用搅拌头，需将粘附在搅拌头上的杂物清洗干净；

6) 移位：重复上述步骤，再进行下一根桩的施工；一根接一根搭接，即成壁状加固体，几个壁状加固体连成一片，完成垂直阻隔施工。

其中，应通过室内试验确定满足工程设计指标要求的掺入比，水泥浆材料配制称量误差应控制在 1%以内。水泥浆存放时宜控制浆体温度为 5℃~40℃，当气温在 10℃以下时浆液存放不应超过 4h，气温在 10℃以上时，不应超过 3h。超过存放时间时，应作弃浆处理。阻隔屏障底部位置应位于最低季节性水位线以下，厚度一般为 0.6m~1.2m。

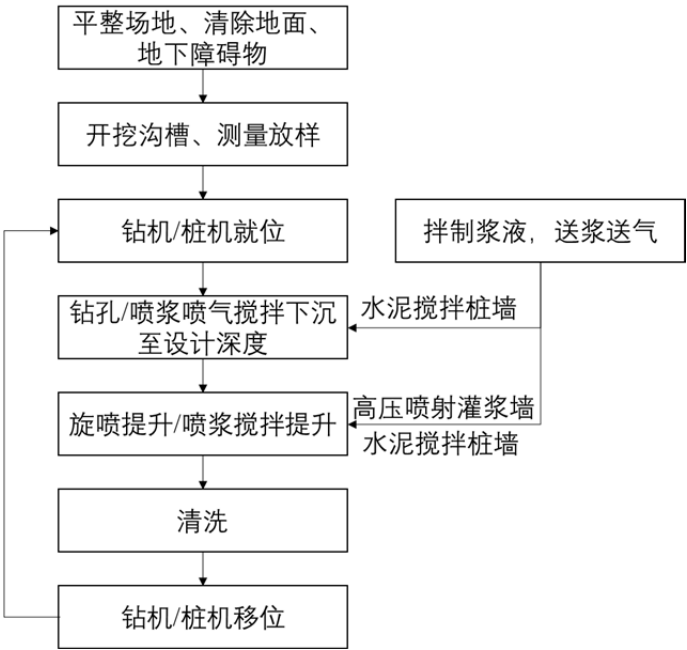


图 6.7-1 施工工艺流程图

6.7.2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。由于修复深度仅 1.5 米，无需考虑放坡，一次开挖到达

深度。根据场地调查及风险评估结果，本场地待修复区域仅 1 个区块，其清挖范围如下图所示。

1) 场地清表：挖除、清理污染场地地块表面的垃圾、废弃物、构建筑物等，并凿除部分区域表层的混凝土面层。

2) 定位放线：开挖前由测量员根据开挖平面图和测量定位图用白灰划出开挖边缘线，同时测量现状标高，与场地风险评估报告确定的孔口标高进行核对。

3) 验线复核：项目测量人员放完开挖边线后请监理工程师验线，经监理工程师认可后方可破土开挖。

4) 阻隔施工：机器就位后，按配合比制浆；待完成施工准备工作之后进行桩体施工；移位后重复操作，再进行下一根桩的施工；一根接一根搭接，即成壁状加固体；几个壁状加固体连成一片，完成垂直阻隔施工。

5) 土壤清挖：清挖过程必须严格按照挖土顺序挖土，为使得土方施工能按计划顺利实施，必须保证土方施工连续。为保证污染清理效果，实际开挖面须完全覆盖设计面，开挖深度不小于 1.5m；由于方案变动造成的多挖，必须出具监理及业主意见，方可重新放线开挖；开挖以场地风险评估报告给定的基坑拐点最低孔口标高为基准标高，按修复深度要求开挖。

6) 土壤转运

使用渣土运输车，随挖随装车，装车高度不超过车厢槽帮，并采用挖掘机进行表面平整和简单沉压后，运至相对应场地，保证污染土壤不落地，尽量减少污染土的现场堆存，避免造成二次污染。

7) 边坡修整：对基坑边坡某些不稳定、有碍进一步施工等区域进行修整，保证施工顺畅，保障施工安全。

8) 基坑验收：基坑开挖到位且边坡修理完成后，及时请工程监理进行基坑开挖工程验收；办理完成基坑工程验收后，由环境监理及委托的第三方检测机构对基坑清理效果取样检测。

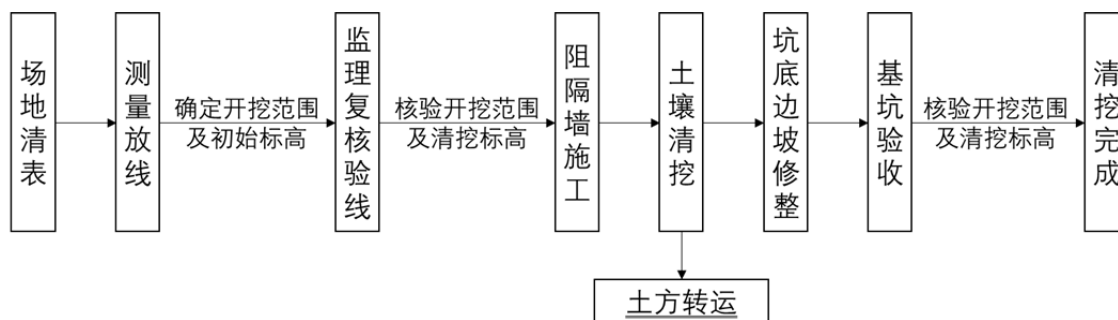


图 6.7-2 土壤清挖流程图

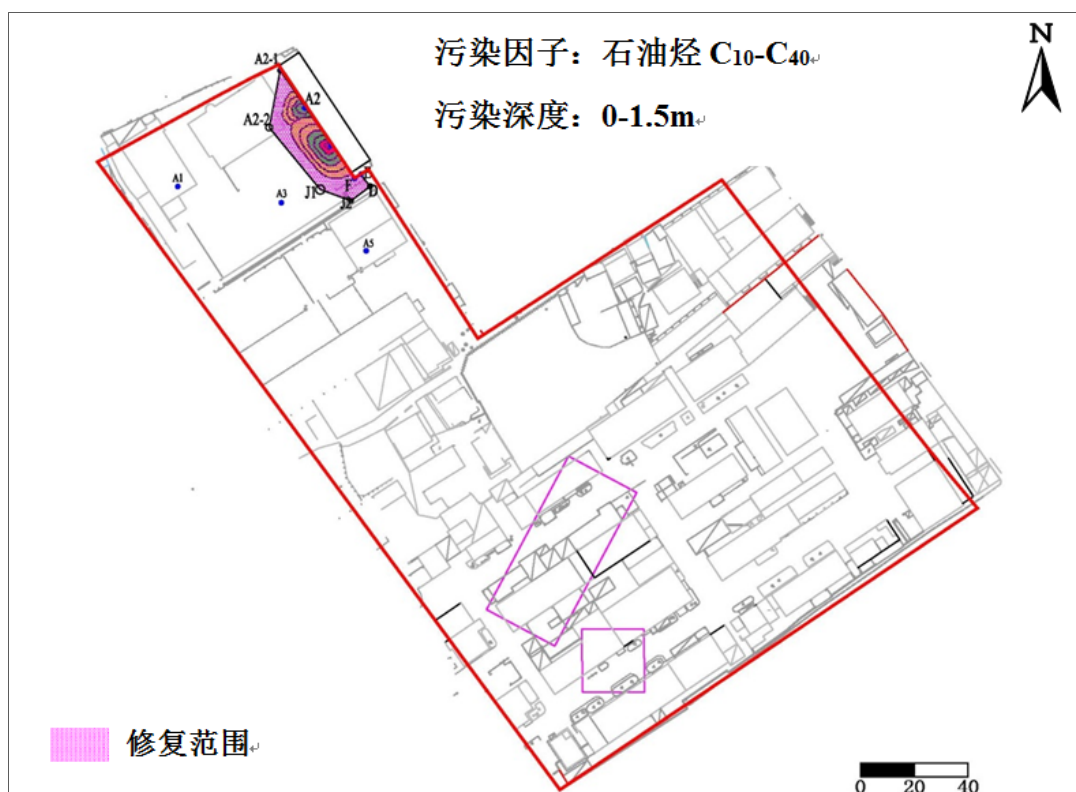


图 6.7-3 土壤修复范围图

6.7.3 化学氧化处理

根据本项目小试结果，推荐使用碱活化的过硫酸钠作为氧化剂。过硫酸钠具有较好的稳定性、水溶性、强氧化性等优势，经过活化可生成硫酸根自由基 $\text{SO}_4^{\cdot-}$ 和羟基自由基 $\cdot\text{OH}$ ，这些活性基团具有强氧化性，可去除大部分有机污染物。

一般的化学氧化技术工艺流程为：

- 1) 污染土壤清挖；
- 2) 将污染土壤破碎、筛分，筛除建筑垃圾及其它杂物；
- 3) 药剂喷洒；
- 4) 通过多次搅拌将修复药剂与污染土壤充分混合，使修复药剂与目标污染

物充分接触；

5) 监测、调节污染土壤反应条件，直至自检结果显示目标污染物浓度满足修复目标要求；

6) 通过验收的修复土壤回填至基坑。

修复系统包括土壤预处理系统、药剂混合系统和防渗系统等。其中：

1) 预处理系统。对开挖出的污染土壤进行破碎、筛分或添加土壤改良剂等。该系统设备包括破碎筛分铲斗、挖掘机、推土机等。

2) 药剂混合系统。将污染土壤与药剂进行充分混合搅拌，按照设备的搅拌混合方式，可分为两种类型：采用内搅拌设备，即设备带有搅拌混合腔体，污染土壤和药剂在设备内部混合均匀；采用外搅拌设备，即设备搅拌头外置，需要设置反应池或反应场，污染土壤和药剂在反应池或反应场内通过搅拌设备混合均匀。该系统设备包括行走式土壤改良机、浅层土壤搅拌机等。

3) 防渗系统为反应池或是具有抗渗能力的反应场，能够防止外渗，并且能够防止搅拌设备对其损坏，通常做法有两种，一种采用抗渗混凝土结构，一种是采用防渗膜结构加保护层。

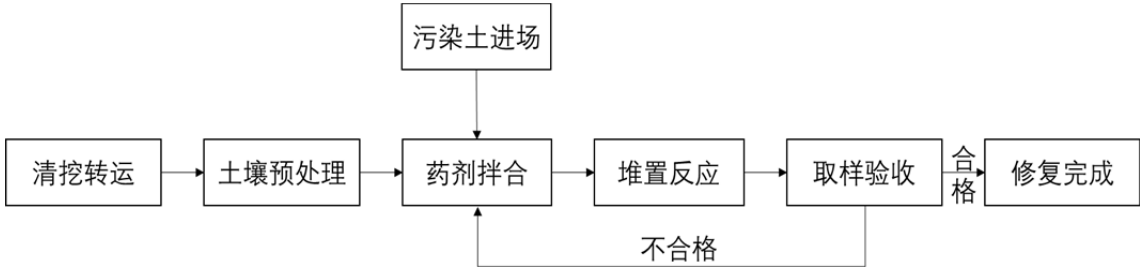


图 6.7-4 化学氧化技术工艺流程图

其中，根据小试结果，过硫酸钠的添加比例设置在 4%（药剂与土壤的质量比）左右。污染较轻的土壤需要投加的氧化剂相对较少，污染较重的土壤需要投加的氧化剂相对较多；由于土壤具有异质性，污染程度不一，因此施工过程中可对氧化剂投加比例进行进一步优化。

7环境管理计划

7.1二次污染防范

7.1.1大气污染防治措施

根据场地修复总体思路，结合本项目污染特点，项目实施过程中主要产生大气污染的工序有：土壤清挖、运输等过程。

(1) 土壤清挖过程中大气污染防治措施

污染土壤清挖过程中，采用分区分层清挖的方式，对于暴露于大气环境中污染土壤的裸露表面，采取边开挖边铺设 PE 覆盖膜的方式将已开挖面进行覆盖，控制有机污染物的挥发。每次开挖面待覆盖完成后方可进行下一部位的开挖作业。地表上 PE 膜的铺设范围应外延至清挖范围外 2m，并用负重物进行压盖。

在污染土壤清挖过程中，还可能导致粉尘产生或扩散到空气中。应加强施工场地粉尘控制，减少粉尘排放量。喷雾降尘装置降尘，定时洒水降尘，如遇 4 级以上风时停止施工作业，并做好苫盖。

(2) 土壤运输过程中大气污染防治措施

污染土壤装载汽车后油布覆盖，可防止污染土壤运输过程中的气味扩散。同时组织巡视及环保小组，配清运车进行跟车监测，实行实时监测控制，特别注意道路拐弯处及可能产生紧急停车等容易造成遗撒处。每辆车配备充足的清扫工具及铺盖材料，发现遗撒及时清理干净。自觉接受环保和城管监察部门的监督管理，一旦发现遗撒，及时组织人力清扫，并迅速冲洗干净。

污染土壤装载汽车出场前，在出入口垫湿麻布，减少车辆轮胎带土出场。同时，安排专人负责出口外道路的清洁维护，并在现场出入口设置洗车池，以免车辆出入带泥。

7.1.2废水污染防治措施

根据场地修复总体思路，项目实施过程中废水的来源主要有：基坑降水、车辆冲洗废水等。

(1) 降水排出的地下水应统一收集，污染土壤开挖过程中，基坑内产生的地下水也需要统一收集，处理达到后排放。

根据前期土壤及地下水调查结果，重金属指标汞、镉、铅、六价铬、有机物

1,1-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、苯、氯苯、三氯甲烷(氯仿)、乙苯、异丙基苯、间-二甲苯和对-二甲苯、邻-二甲苯、四氯乙烯、甲苯、反式-1,2-二氯乙烯、氯乙烯、2,4-二甲基酚、2-甲基萘、2-甲基酚、3-甲基苯酚 & 4-甲基苯酚、茚、双(2-氯乙基)醚、苯二甲酸双(2-乙基己基)、二苯呋喃、茚、萘、菲、苯酚均未检出，本地块地下水指标检出结果如下表所示。

表 7.1-1 地下水各指标检测情况

指标	单位	GW1	GW2	筛选值	是否超标	备注
砷	μg/L	1.37	3.15	≤50	否	《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) 中IV类标准
铜	μg/L	0.53	6.29	≤1500	否	
镍	μg/L	3.59	3.63	≤100	否	
顺式-1,2-二氯乙烯	μg/L	ND	3.60	≤60.0	否	
三氯乙烯	μg/L	ND	1.50	≤210	否	
石油烃 C ₁₀ -C ₄₀	mg/L	0.30	0.38	0.6	否	参照上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标中第一类用地筛选值

由检测数据可知，地下水检出值均满足《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) 中IV类标准；石油烃 C₁₀-C₄₀ 检出值超过《上海市建设用地土壤污染状况调查、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）》附件 5 中第一类用地筛选值。降水排出的地下水受污染的风险低，收集后可采取沉降、投加化学药剂等方式处理，达标后纳管排放。

(2) 为保持项目场地的清洁，场地内运行的车辆需定期清洁车轮等，其他施工设备的清洁过程也会产生废水，需要对这些施工废水统一收集。其中，洗车池废水可循环使用，但废水最终抽排至污水处理站进行处理，达到后排放。

(3) 洗车池内产生的污泥及污水处理设施中沉降的污泥，以上污泥收集后进行干化处理并合理处置。

(4) 施工过程中若遇到降雨情况，现场应立即停止施工，在挖掘区和所有与污染物直接接触的设备上应立即采取设置支架、铺设防雨布等防雨措施，在防雨布四周挖明沟，铺上防渗膜收集雨水。

7.1.3 噪声污染防治措施

施工过程中噪声产生源主要为挖掘机、运输车辆、筛分机和空气压缩机等设备运行时产生的机械设备噪声。项目场地东侧约 200m 为化纤新村、和睦公寓，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。

(1) 不同施工阶段的场界噪声应符合《建筑施工场界噪声限值》(B12523-2011)的要求,严禁夜间(22:00-次日 6:00)施工,如有特殊需要,必须到当地环境保护行政主管部门办理夜间施工相关手续。

(2) 施工现场提倡文明施工,建立健全控制人为噪声的管理制度。尽量减少人为的大声喧哗,增强全体施工人员防噪声扰民的自觉意识。严禁在钢管、机械上敲打金属的形式联系操作人员。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、场内禁止鸣笛。

(3) 购置、选用设备时尽可能选用低噪声的设备;对部分高噪声的设备,随设备购置专用的减震、消噪设施。

(4) 总平面布局中考虑到噪声源的布置,尽量远离敏感区。

7.1.4固体废物污染防治措施

本项目涉及到的固体废物主要包括以下两方面:

(1) 洗车池内产生的污泥及污水处理设施中沉降的污泥,以上污泥收集后进行干化处理并合理处置。

(2) 对施工现场的建筑垃圾设立专门的废弃物临时贮存场地,废弃物分类存放,包括并对有可能造成二次污染的废弃物单独贮存、设置安全防范措施且有醒目标识。废弃物的运输确保不遗撒、不混放,做到安全妥善处置。

7.2修复工程监测计划

为了做好项目实施过程中的污染物排放管理,针对本项目实施过程中会产生的大气污染、水污染和噪声污染编制针对性的监测方案。

7.2.1大气环境影响定期监测

本修复场地对周边大气环境影响监测主要为施工场地对周边居民区的大气环境影响。

(1) 监测点位布设

根据监测范围大小、污染物的空间分布特征、气象因素和场地周边情况综合考虑确定。场地周边主要为居民区、商务楼、河流、空地等，由于周围情况复杂，本场地范围较为规则，故在场地四周及场地内各设 1 个监测点，共计 5 个大气监测点。

（2）监测频率

监测频率如下：

施工前：空气采样监测 1 次；

施工过程中：结合施工进度，每月监测 1 次；

施工完成后：空气采样监测 1 次。

（3）检测指标和标准

大气环境监测指标包括：总悬浮颗粒物（TSP）、PM₁₀，本场地关注污染物，以及臭气浓度。其中，TSP、PM₁₀ 排放标准根据《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准执行；臭气浓度参照《中华人民共和国恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）二级标准；厂界四周监测点的非甲烷总烃参照《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 中的无组织排放标准限值。各监测指标限值如下表所示。

表 7.2-1 大气污染物排放控制限值

类型	项目	浓度限值（mg/m ³ ）
粉尘	TSP	0.3
	PM ₁₀	0.15
气态物质	臭气浓度	30（无量纲）
	非甲烷总烃	4.0

（4）日常巡检

施工期间采用光离子化检测器（PID）来实时监测半挥发性有机污染物在场区内空气中的相对浓度，并根据 PID 浓度判定所需的安全防护等级及环境安全管理措施。专人巡逻场内监测各关注点使用 PID 监测。

7.2.2 水环境影响定期监测

场地内产生的基坑积水、基坑降水及其他废水都应统一收集后汇入废水收集池中，经处理达标后，经排水管理部门同意后排入市政管网。

针对修复过程产生的废水，应按批次进行采样检测。具体监测频率，需根据

施工方案，在修复工程实施方案中进一步明确。

7.2.3噪声环境影响定期监测

本修复工程施工现场涉及使用到各种噪声较大的机械设备，如污水处理设备、大型挖机设备、污染土壤破碎设备等，为保障周边居民安静的健康生活环境，本修复工程需要对周边噪声环境影响进行监测。

监测频率为每1个月监测1次。另外，施工期间采用手持式分贝计来实时监测场区内外噪声，专人巡逻敏感目标附近，每日1次。

场界噪声应符合《建筑施工场界噪声限值》(B12523-2011)要求：昼间 70 dB，夜间 55 dB。

7.3修复工程监理

土壤修复工程监理工作涉及两个方面的监理：工程监理和环境监理。

7.3.1工程监理工作

(1) 工程监理机构应结合工程特点，遵循事前控制和主动控制原则实施工程监理，并及时准确记录监理工作实施情况；

(2) 工程开工前，总监理工程师及有关监理人员应参加由建设单位主持召开的第一次工地会议，会议纪要由项目监理机构负责整理，与会各方代表会签。

(3) 项目监理机构应定期召开监理例会，组织有关单位研究解决工程监理相关问题。项目监理机构可根据工程需要，主持或参加专题会议，解决监理工作范围内工程专项问题。监理例会、专题会议的会议纪要由项目监理机构负责整理，与会各方代表会签。

(4) 项目监理机构应建立健全协调管理制度，采用有效方式协调工程建设相关方的关系。项目监理机构与工程建设相关方之间的工作联系，除另有规定外宜采用工作联系单形式进行。

(5) 项目监理机构应审查施工单位报审的施工组织设计、专项施工方案，符合要求的，由总监理工程师签认后报建设单位。

(6) 修复工程结束后，总结修复工程监理的工作内容，编制修复工程监理报告，并向建设单位提交监理报告及相关档案文件。

7.3.2环境监理工作

(1) 收集污染地块修复工程相关的资料，进行现场踏勘，参加施工组织设计交底。核查修复工程实施方案与修复技术方案以及施工组织设计方案的相符性、配套环保设施与措施的合理性、环境管理体系和管理计划的完整性等，编制污染地块修复工程环境监理工作方案。

(2) 根据监理工作方案，核查修复工程施工情况、环保设施运行和环保措施落实情况，监督开展污染物排放及环境影响监测，监督风险控制措施落实情况。针对存在问题提出整改意见，通知修复工程施工单位，抄送建设单位。

(3) 协助建设单位和修复工程施工单位组织开展修复工程环保专项预验收，核查修复工程内容的完成情况、修复效果的达标情况、二次污染防治措施的落实、修复效果评估、修复后土壤再利用和场地后期风险管控措施等内容。

(4) 修复工程结束后，总结修复工程监理的工作内容，编制修复工程监理报告，并向建设单位提交监理报告及相关档案文件。

7.3.3监理要点

对于本项目修复工程，可以分为清挖环节、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《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2)。

(2) 修复环节

监督场地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；修复过程中对添加的药剂等可能

的二次污染进行监督和管理。对处理设施密闭情况、尾气收集处理情况等进行监理，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《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2)。

(3) 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。

7.4 修复效果评估监测

效果评估的范围为污染地块所有区域，包括需治理修复的区域及无需修复区域。效果评估的对象为评估范围内的土壤。效果评估的目标是风险评估报告里确认作为治理修复方案里的修复目标值。

根据修复方案工艺设计，东侧基坑壁建设垂直阻隔墙，将本地块土壤与相邻地块土壤阻隔开，相邻地块污染物浓度满足二类用地开发要求，因此该侧壁不开展基坑侧壁土壤采样及检测工作，其余参照国家标准《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）和地方标准《污染地块治理修复效果评估技术规范》（DB 33/T 2128-2018）要求，本项目效果评估主要包括：基坑清挖效果评估、洁净区验证评估、外来清洁土壤验证评估、阻隔工程性能验证评估。

7.4.1 基坑清挖效果评估

针对异位修复的场地，应对清挖范围基坑内部和边缘的原址土进行布点采样，采样点位于基坑底部和侧壁，以采集 0~20cm 的表层土壤样品为主，针对有挥发性有机物土壤样品的区域，采集深度不小于 0.2m（表层裸露土壤以下）。

坑底表层应采用网格布点的方法，网格的大小应根据基坑的大小和形状均匀布设，采样点的位置将依据土壤异常气味和颜色、并结合地块污染状况确定。采样数量不少于表 7.4-1 规定的数量。

基坑侧壁土壤采样布点在横向上可采用等距离布点方法，根据基坑面积或周长确定采样点数量，且不应少于表 7.4-2 规定的数量。采样点的位置应结合场地地层特征、土壤异常气味和颜色等情况进行确定。根据修复方案工艺设计，东侧基坑壁建设水泥搅拌桩，将本地块土壤与相邻地块土壤阻隔开，因此不对该区域

基坑壁修复效果进行采样验证。

当在纵向上当侧壁修复深度小于等于 1 m 时，侧壁不进行垂向分层采样。当侧壁修复深度大于 1 m 时，侧壁应进行垂向分层采样，采样的第一层为表层(0~20 cm)，其下则每隔一定距离进行分层，分层的距离不小于 1 m 且不大于 3 m。分层后采样数量=单层的采样数量（不少于下表规定的数量）×层数。

表 7.4-1 土壤清挖坑底表层采样点数量

采样区域面积 (m ²)	土壤采样点数目 (个)
S<100	3
100≤S<500	4
500≤S<1000	5
1000≤S<1500	6
1500≤S<2500	7
2500≤S<3500	9
S≥3500	不大于 20 m×20 m 网格为一个采样单元

表 7.4-2 土壤清挖侧壁采样数量

采样区域周长 (m)	采样区域面积 (m ²)	土壤采样点数目 (个)
C<100	S<100	4
100≤C<200	100≤S<1000	5
200≤C<300	1000≤S<1500	6
/	1500≤S<2500	7
300≤C<400	2500≤S<5000	8
/	5000≤S<7500	9
/	7500≤S<12500	10
C≥400	S≥12500	以 40 m 为一个采样单元

注：根据基坑周长（第一列）或面积（第二列）按照确定采样点数量，执行两者评估方式相对严格的评估办法。

7.4.2 洁净区验证评估

洁净区验证性调查将根据项目二次污染防治和修复情况进行有针对性的采样布点，重点关注污染土壤暂存区、固体废物堆放区、尾水尾气处置区、运输车辆临时道路等，原则上采用判断布点法，根据场地布设情况及现场勘查情况进行布点，在必要的情况下也可采用网格布点法。考虑到“北区域”用地范围调整后，新增区域（面积约 70m²）无调查点位，建议在效果评估阶段将该区域作为洁净区验证该区域的清洁性。

7.4.3 外来清洁土壤验证评估

如有外来清洁土壤回填至本地块是，需对外来清洁土壤进行验证评估。回填土应为洁净无异味的土壤，符合项目所在地土壤环境质量的要求。回填后，评估单位应对地块进行验证性监测，监测采样布点要求参照 HJ 25.2-2019 中 6.2.1.1 节的要求，检测项目参照 HJ 25.1-2019 中 6.1.5 节关于一般工业场地可选择的检测项目。

7.4.4 阻隔工程性能验证评估

根据修复方案工艺设计，东侧基坑壁建设垂直阻隔墙，将本地块土壤与相邻地块土壤阻隔开，因此需对该区域阻隔工程性能进行验证评估。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），工程性能指标包括抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施连续性与完整性。

针对于本项目垂直阻隔墙可采用如下方法进行质量检验：

1) 钻孔检查：检查孔孔位宜布置在墙体轴线上的相邻两孔凝结体的搭接处，每个单元工程可布置 1 个检查孔；通过所取芯样对墙体均匀性、完整性、连续性进行评价，利用芯样进行渗透系数等室内试验。

2) 围井检查：可在井内开挖进行直观检查和取样，并做注水或抽水试验；亦可在围井中心处钻孔，做注水或抽水试验。每 3~5 个单元工程宜布置一个围井；少于 3 个单元的工程，至少应布置一个围井；可对墙体均匀性、完整性、连续性进行评价，并计算出渗透系数。

3) 开挖检查：沿墙体轴线布设开挖检查点，每处开挖长度 3m~5m，检查墙体完整性和均匀性、桩体间连接质量和墙体厚度，并取样在室内进行渗透系数等试验。

4) 无损检测：必要时可利用无损检测方法对墙体连续性、完整性进行检查。在无损检测中发现异常的部位，应采用钻孔取芯法或开挖进行验证。

阻隔墙的工程性能评价主要以审查施工方采芯报告及监理旁站记录的方式来评价阻隔墙的真实有效，检查项目主要包括渗透系数、桩顶高程、桩径、搭接、桩长，其中渗透系数、桩顶高程、桩径、应满足设计要求；搭接处应满足最小有效墙厚要求；桩长要求不小于设计桩长。

7.5 劳动安全与个人防护

在工程实施过程中，需要识别和评估项目完成过程中可能遇到的潜在危险，并需要针对这些风险提出解决方案，同时做好人员安全防护工作。

7.5.1 劳动保护

（1）化学危害风险

现场活动中相关的化学危害包括：在现场活动中场地污染物的潜在暴露，例如挖掘、污染土壤处理等。还包括设备去污所使用的产品等辅助产品的危害。这些物质在日常使用中的潜在暴露途径为气体/灰尘吸入、直接接触。根据本项目工作范围确定的任务，有可能遇到的相关化学危害物质主要为石油类污染物对健康的危害。

①化学危害控制

对场地污染物的潜在暴露应采取如下控制方法：

如发现中毒现象，将病人及时送往就近医院救治，并组织人员及时排查险情，消除健康隐患。

采取扬尘控制措施，例如在邻近区域洒水降尘。

在已知的污染物浓度可能超过特定行动等级的区域采用适当的呼吸防护。

②皮肤接触和污染物吸收

可使用适当的个人防护器材和正确的清洁步骤来控制化学品的皮肤接触。当预料到会接触潜在的有害介质或原料时，应穿戴适当的个人防护器材（如防护服、手套等）。

在场地工作区域任何时间不允许吸烟、喝水（包括酒，饮料）或进食。在离开工作区域时，应该迅速洗手、洗脸。

③危险性沟通

需要在工作中操作或使用危险原料的人员必须接受培训和教育。培训应包括化学物品的安全使用说明、危险原料的操作步骤、如何阅读和获取材料安全数据表（MSDS）以及正确标示的要求。对于现场中使用的化学品，项目人员应有合适的材料安全数据表。所有在受控工作区，尤其是重污染区域内不得个人单独工作，需两人以上方可作业。

（2）物理危害风险

在项目工作中可能出现的物理危险包括：基坑临边防护、近距离接触大型设备、噪音、车辆交通以及其它可能的不良天气条件等。此外，员工必须清楚穿戴防护器材可能会限制其灵活性和视野，可能会增加其实施某些任务的难度。

①噪音

使用动力工具和原料加工设备等项目活动会产生超过一定分贝范围（85dBA）的噪音。当噪音等级超过 85dB 时，需要使用噪音降低等级至少为 2dB 的听力防护。员工或需要进入该区域的来访者需配备听力防护装置（如耳塞/耳罩）。

当正常谈话距离难以听清他人讲话时，噪音等级即为接近或超过 85dB，听力防护就是必需的。

②车辆交通和控制

可能暴露于车辆交通中的施工人员应采取以下安全措施：在施工现场一律穿戴高可见度安全背心，车辆运行路线上应规定应人车分流，必要时采用安置适当的标牌以提示路面/停车场使用者等任何其它必要的控制方法来保护公众和现场施工的员工。

③不良天气条件

项目经理应根据目前或未来天气条件来决定继续或暂停工作。如遇有雷阵雨或强风天气，应该要求暂停工作和疏散场地。此外，在任何形式的雷阵雨或强风时，不允许在高架结构上工作。

7.5.2个人防护

（1）防护器材的种类

配备个人防护器材的目的是遮蔽或隔离员工，使其免于受到施工活动中遇到的化学品和物理危险。如果任务需要，项目现场应有以下种类的个人防护器材：安全帽，防护眼镜（带永久固定的侧护板），护目镜，面罩，铁头橡胶靴，手套（腈、棉、皮、异丁橡胶、氯丁橡胶），带有机气体和颗粒物滤盒的全面防尘防毒面罩，氧气瓶，防护服（麦克斯轻便连体服 L/AMN428E），耳塞，耳罩，反光安全背心等。

（2）防护器材的使用

为了达到个人防护器材的最佳使用效果，所有使用个人防护器材的现场人员应遵守以下步骤：①当使用一次性连体工作服时，在每次休息后或每次轮班开始

前穿上一件干净的新工作服。②在使用前和使用时，检查所有衣服、手套和靴子是否存在接缝瑕疵、不均匀涂层、撕裂、无法正常工作的封口。③在使用前和使用时，检查可重复使用的工作服、手套和靴子是否存在、化学渗透的明显痕迹、膨胀、褪色、变硬、变脆、裂缝、任何刺穿的痕迹、任何磨损的痕迹。如果存在以上特征，可重复使用的手套、靴子或连体工作服也应被抛弃。在已知或怀疑存在高浓度化学品的区域工作时，不应重复使用个人防护器材。

7.6环境应急预案

为确保地块修复过程中施工人员与周边居民的安全，应制定周密的地块修复工程环境应急安全计划，内容包括安全问题识别、需要采取的预防措施、突发事故时的应急措施。各类应急准备应充分，应急物资和设备完好，做好安全防护培训。遇到紧急情况及时响应，正确救护，有效控制事态发展，防止事故扩大，努力减少事故对周边环境和相关方的影响，避免救援人员受到新的伤害，将事故损失降到最低。

7.6.1应急组织机构

(1) 事故应急体系

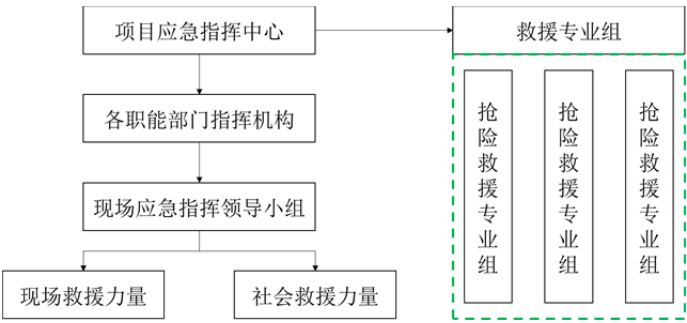


图 7.6-1 事故应急体系

(2) 救援专业组组员及职责划分相应是：

①抢险救援专业组职责：了解及跟踪安全事故急救援情况，对情况做出预测和分析，及时向上级报告。紧急时，主动参与抢救工作、包括人员组织、材料供应、机具调拨等。

②事故调查专业组：职责是参与对安全事故的调查，参加事故分析会，提出处理意见。

③善后处理专业组：职责是参与对事故受害人及其家属的安抚工作，协调解

释有关工伤保险事宜。

（三）事故应急救组织成员职责

①组长：项目经理作为组长负责对自然灾害、安全生产事故的应急抢险、排险、救援、救灾所需的一切人员、物资、通讯工具、交通工具等的全面组织、协调、指挥工作。

②副组长：协助组长工作。当组长外勤时，代替组长工作。当项目管辖范围发生自然灾害、安全生产事故后，副组长接到信号必须迅速赶赴现场，积极组织有关人员各物资参加应急抢险、排险、救援、救灾等工作，具体分工由组长临场应变而定，但必须互协调，分工合作。

③组员：组员是自然灾害、安全生产事故应急抢险、排险、救援、救灾的主要骨干成员。当项目管辖范围发生自然灾害、安全生产事故，接到信号必须迅速赶赴现场参加应急抢险、排险、救援、救灾工作。

7.6.2土壤清挖阶段应急方案

（1）安全问题识别

本阶段采用机械作业配合人员现场指导的施工方式，可能出现的异常情况是支撑防渗体系自身的破坏导致地下水涌入或者基坑坍塌、机械施工因违规操作导致的安全事故以及人员违规入场造成的损失。

（2）预防措施

施工前应完善施工组织设计和各专项施工方案，并对现场使用的机械设备及时维修，对操作工人进行安全技术交底，在危险性较大的操作面采取必要的防护措施。避免机具设备操作人员疲劳施工，保证所有上机人员得到良好的安全培训；严禁现场无关人员随意进出施工区域，避免意外伤亡事故。

（3）应急措施

如出现滑坡迹象（如裂缝、滑动等）时，暂停施工，所有人员迅速离开基坑，必要时，迅速采取处理措施，如用挖掘机在坡脚迅速回填。根据滑动迹象设置观测点，观测滑坡体平面位移和沉降变化，并做好记录。

发生运输车辆场内事故造成土壤二次污染时，采用污染区域加深清挖救治法，彻底防止二次污染。

如发生人员伤亡事件，第一发现人应及时与事故应急小组联系。接到消息后，

应急小组应立即赶到出事地点，确认其中毒症状，并应根据中毒症状及时施救。立即拨打“120”急救电话，通知专业医护人员到现场施救，并组织组织人员赶到事故发生地点，立即将抬到大门口，等救护车的到来，或直接送往就近医院，积极配合急救人员的后勤工作。同时应向应急小组成员报告，相关负责人要及时赶到现场进行处理，并向上级部门报告情况。

7.6.3土壤运输阶段应急方案

（1）安全问题识别

运输阶段可能出现车辆覆盖不严格造成遗撒及异味扩散、驾驶员违章乱弃污染土壤等。

（2）预防措施

对运输过程加强控制，选择有资质的运输服务供应商，严格按照制定的场内转运方案实施，每辆车在执行污染土壤转运作业前都必须进行严格检查，确认车辆覆盖符合要求。

（3）应急措施

运输中发生重大污染事故时（如运输车辆后厢堵开，造成大面积遗撒和驾驶员违章乱弃污染土壤），接到污染事故报告后，立即启动应急预案，由项目应急指挥部迅速调集人员和设备赶往现场救治。派专人在公路上疏导车辆，严禁其它社会车辆碾压遗撒的污染土壤。指挥人员和机械迅速清理现场，收集遗撒，并将其运往修复场进行修复。

发生驾驶员违章乱弃污染土壤时，启动应急预案，查找违章弃土车辆和遗弃地点，组织人员和设备收集被遗弃的污染土壤，将其运往修复场进行修复。无法运走时，需采用相应措施进行污染治理，防止二次污染，并报有关部门进行责任追究与处理。

7.6.4有机污染清挖现场和处理处置现场应急方案

（1）安全问题识别

本工程施工现场的有害物质主要是向空气发散的有害气体、带有目标污染物的扬尘及外来化学物质。本工程施工现场的有害物质主要是石油烃。因此主要考虑以上因子对环境和人体的影响，以防出现环境二次污染和人员中毒事故。

（2）预防措施

本场地中的污染物石油烃可通过呼吸吸入颗粒物、皮肤接触或经口摄入途径造成健康风险，因此在本场地污染修复施工中，应严格按照国家的有关规定，切实做好修复过程中二次污染防治工作和劳动安全与职业卫生，制定风险应急措施，保障人员健康与安全。

（3）应急措施

如有机污染土壤大量散发气味时，造成局部空气中污染物浓度超标，现场操作人员应暂停施工，由相关负责人组织疏散工作人员，迅速向上风向撤离现场，并由佩戴好防护用品的专业人员到现场进行苫盖、修复处理。如污染程度较重，应及时通知工程应急救援总指挥部，由指挥部调集有关资源，防止污染进一步加重，并上报有关政府主管部门。在确认现场无异常气味后，可继续施工。

气味散发严重，人员身体出现明显不适时，第一发现人应及时与事故应急小组联系。接到消息后，应急小组应立即赶到出事地点，确认其中毒症状，并根据中毒症状及时施救。立即拨打“120”急救电话，通知专业医护人员到现场施救，并组织组织人员赶到事故发生地点，立即将抬到大门口，等救护车的到来，或直接送往就近医院，积极配合急救人员的后勤工作。同时应向应急小组成员报告，相关负责人要及时赶到现场进行处理，并向上级部门报告情况。

7.6.5安全防护装备

为避免场地修复过程风险的发生，各修复单位应配备以下应急设施、装备和器材包括：

（1）内部联络或警报系统以及请求外部支援的设施：包括应急联络的电话、对讲机、传真等通信设备。

（2）信息采集和监测设备：包括应急监测的设施、设备、药剂、气象监测设备、便携式污染物监测设备（如手持式 VOC 气体检测仪，PID）等。

（3）应急辅助性设施和设备：如应急照明、应急供电系统等。

（4）安全防护用具：包括保障一般工作人员、应急救援人员的安全防护设备、器材、服装，安全警戒用围栏、警示牌等。其中，应急人员防护设备有防护服、呼吸器、防毒面具、防毒口罩、安全帽、防酸碱手套及长统靴等。

（5）应急医疗救护设备和药品：消毒用品、急救物品（创口贴、绷带、无

菌敷料、仁丹等）及常用各种小夹板、担架、止血袋、氧气袋等。

7.6.6安全防护培训

在工程确认后，对于进场施工的技术人员和施工管理人员，公司进行技术交底和培训，使所有现场管理人员掌握现场施工技术。修复施工期，建立可视化流程管理模式，上岗前对操作员工进行安全意识的教育，对操作人员进行培训交底，保证施工安全、规范。

8成本效益分析

8.1修复费用

申花单元 GS0404-A5-12 地块北区域推荐使用“原地异位化学氧化修复方案”作为本项目的污染土壤修复方案。根据第六章对本方案的一次性整体修复费用估算，修复费用在 180 万元左右，上下浮动 7%。

8.2环境效益、经济效益、社会效益

8.2.1环境效益

该项目属于环境治理项目，着重解决原历史遗留的环境污染问题，消除潜在的区域污染源，项目实施成功将有利于区域环境保护和生态环境质量的改善，环境效益显著。通过本项目的实施，有利于地下水及土壤环境保护，解决有毒有机物污染治理面临的紧迫难题。当前，环境污染对人体健康的影响无孔不入，大气、水体、土壤、蔬菜、粮食等途径均可对人体健康产生一系列的影响，污染场地由于聚集大量高浓度污染源，对人体健康的影响更为直接和持久，由此引发的人体健康关注更为敏感。有毒有机污染物在环境中具有很强的迁移性，且容易被生物富集，对环境和人体健康的威胁更大。在此背景下，开展污染场地的治理，对于改善环境质量，保护人民群众的身体健康意义重大，对保证社会经济可持续发展和生态系统良性循环具有积极作用。

8.2.2经济效益

2012 年环境保护部、工业和信息化部、国土资源部与住房和城乡建设部联合发出《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）。该通知中明确提出：被污染场地治理修复完成，经监测达到环保要求后，该场地方可投入使用。被污染场地未经治理修复的，禁止再次进行开发利用，禁止开工建设与治理修复无关的任何项目。

本项目工程将使该场地及周边的环境将有所改善，可使场地的再度开发和利用，改善区域内的投资环境，增加投资机会，对周边地区的建设和发展有着积极的影响，为当地带来经济效益。修复工程将增加一定的就业机会，拉动区域的消

费，促进地方经济繁荣。同时，大量污染土壤的最终处置产物为水泥，几乎能完全实现污染土壤的资源化利用，有一定经济效益。

8.2.3社会效益

本项目解决了杭州市土壤环境保护的一大问题，将一块位置非常优越的土地改良升值，可用于医疗卫生用地，实现了环境保护和城市化进程双丰收，对杭州市的城市化进程起到重要作用。场地修复项目的实施有利于提高民众的环保意识，是一项造福于人类的具有极大社会效益的项目。

工程建设实施过程本身是一次深刻和生动的环境保护宣传过程，通过具体的工程实施，使人们体会到环境保护的重要性和环境效益。此外，工程实施后随着生态环境的改善，人们的环保意识也将随之加强，环境保护将成为当地居民的自觉行为。

项目完成后，可以有效地提高政府和企业的威信和形象，保障区域社会安定和经济可持续发展。对维护社会稳定，促进经济发展和民族团结有积极的意义，特别在增强政府公信力和民众凝聚力方面起到极大的促进作用。而且，通过土壤污染防治的广泛宣传，不断提高人民群众生态环境意识，将有力推进全市的生态文明建设工作。

9 结论与建议

9.1 结论

根据本项目前期调查数据，本项目目标污染物为石油烃C₁₀-C₄₀，修复范围仅1个区块，工程量为1028m³污染土。

综合考虑场地土壤污染情况、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，通过修复模式的筛选和综合评估，推荐本场地土壤采用原地异位修复或异地修复模式。

综合考虑场地土壤污染情况、后期规划、污染区土层特性，结合各修复技术的成熟性、污染迁移性、适用性、局限性，推荐本场地土壤采用化学氧化技术、热脱附修复技术或水泥窑协同处置技术。

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方案。经方案比选，推荐使用推荐使用“原地异位化学氧化修复方案”作为本项目的污染土壤修复方案，“异地热脱附修复方案”作为本项目的污染土壤修复备选方案。

9.2 建议

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 通过资料分析与现场踏勘可知，本场地南侧紧邻的申花单元GS0404-A5-12地块南区域场地存在土壤和地下水污染，根据实际开发进度，本地块将先于南侧场地开发利用，南侧污染场地有可能通过地下水迁移而对本场地造成影响。建议在两个场地之间做好阻隔措施，切断本场地与南侧污染场地的水力联系。同时对该区域土壤和地下水开展二次污染监测措施，防止外部污染地下水进入场地内部影响修复施工，确保场地修复达标。

(6) 考虑到“北区域”用地范围调整后，新增区域（面积约 70m²）无调查点位，建议在效果评估阶段将该区域作为洁净区验证该区域的清洁性。

(7) 高压喷射灌浆墙或水泥搅拌桩墙为污染地块临时性阻隔，建议修复区东侧地块开发时，对污染区紧邻区域进行调查，并根据地块用地性质及调查结果，合理处理阻隔墙及修复区东侧地块内的土壤。