

兴和北路以东，齐寿路以北地块  
(原煤制气厂除一、二期以外剩余第二  
部分重油区地块)  
修复技术方案

(备案稿)

委托单位：南京城建土地整理开发有限公司

报告编制单位：江苏润环环境科技有限公司

二〇二三年六月

## 摘 要

兴和北路以东、齐寿路以北地块（原煤制气厂除一、二期以外剩余第二部分重油区地块）位于南京市栖霞区，西至兴和北路（规划道路），南至齐寿路（规划道路），东至万寿路（规划道路），北至原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块第一部分）一标段 T-2 修复区。地块规划用途为 A33b 中学用地，属于 GB36600 中的第一类用地。

2021 年 12 月，地块土壤污染状况调查报告通过市局评审。地块土壤和地下水存在超标，属于污染地块；2023 年 3 月，地块风险评估报告通过省厅评审。

拟采用原位化学氧化+水泥窑协同处置修复技术。关注区采用水泥窑协同处置的方式，在开挖过程中基坑废水进行收集处置；采用原位化学氧化修复技术对土壤进行修复。

## 目 录

摘 要.....	II
1 总论.....	6
1.1 任务由来.....	6
1.2 编制依据.....	6
1.2.1 法律法规及政策文件.....	6
1.2.2 技术导则、标准及规范.....	7
1.2.3 其他相关技术文件.....	8
1.3 编制内容.....	9
2 地块问题识别.....	11
2.1 所在区域概况.....	11
2.1.1 地理位置.....	11
2.1.2 地形地貌.....	11
2.1.3 水文地质.....	11
2.1.4 气候气象.....	12
2.2 地块基本信息.....	13
2.2.1 地块平面布局.....	13
2.2.2 地块历史变迁.....	16
2.2.3 历史生产概况.....	17
2.2.4 地块未来规划.....	19
2.3 地块环境特征.....	19
2.3.1 地块内环境状况.....	19
2.3.2 地块周边环境现状.....	20
2.3.3 地块周边环境敏感目标.....	26
2.4 地块污染特征.....	28
2.4.1 地块土壤污染特征.....	28
2.4.2 地块地下水污染特征.....	错误!未定义书签。
2.5 地块污染风险.....	29
2.5.1 地块土壤污染风险.....	29
2.5.2 地块地下水污染风险.....	错误!未定义书签。
3 地块修复模式.....	29
3.1 地块修复总体思路.....	29

3.2 地块修复范围 .....	错误!未定义书签。
3.3 地块修复目标 .....	30
4 地块修复技术筛选 .....	31
4.1 土壤修复技术简述 .....	31
4.1.1 原位化学氧化技术.....	31
4.1.2 水泥窑协同处置技术.....	32
4.1.3 生物修复技术.....	36
4.1.4 原位热脱附技术.....	37
4.2 修复技术筛选 .....	39
4.3 土壤修复技术可行性评估 .....	43
4.3.1 原位化学氧化技术可行性评估.....	43
4.3.2 水泥窑协同处置技术可行性评估.....	47
5 修复方案设计 .....	49
5.1 备选方案一 .....	49
5.1.1 技术路线 .....	49
5.1.2 工程内容 .....	49
5.1.3 费用估算 .....	错误!未定义书签。
5.1.4 修复周期 .....	50
5.2 备选方案二 .....	50
5.2.1 技术路线 .....	50
5.2.2 工程内容 .....	错误!未定义书签。
5.2.3 费用估算 .....	错误!未定义书签。
5.2.4 修复周期 .....	51
5.3 修复技术工艺参数 .....	52
5.3.1 原位化学氧化工艺参数.....	52
5.3.2 水泥窑协同处置工艺参数.....	54
6 修复方案比选.....	59
6.1 比选指标 .....	59
6.2 比选结果 .....	错误!未定义书签。
7 环境管理计划.....	60
7.1 修复工程监理 .....	60
7.1.1 修复工程监理.....	60

7.1.2 修复环境监理.....	62
<b>7.2 二次污染防治 .....</b>	<b>66</b>
7.2.1 大气二次污染防治措施.....	67
7.2.2 废水二次污染防治措施.....	67
7.2.3 噪声防治措施.....	68
7.2.4 固废二次污染防治措施.....	69
7.2.5 环境监测计划.....	70
<b>7.3 修复效果评估监测 .....</b>	<b>73</b>
7.3.1 效果评估流程.....	73
7.3.2 效果评估节点和范围.....	74
7.3.3 采样点位布设.....	77
<b>7.4 环境应急方案 .....</b>	<b>78</b>
<b>8 成本效益分析.....</b>	<b>81</b>
<b>8.1 修复费用 .....</b>	<b>错误!未定义书签。</b>
<b>8.2 环境效益、经济效益、社会效益 .....</b>	<b>81</b>
8.2.1 环境效益 .....	81
8.2.2 经济效益 .....	81
8.2.3 社会效益 .....	81
<b>9 结论.....</b>	<b>83</b>
<b>9.1 可行性研究结论 .....</b>	<b>83</b>
<b>9.2 问题和建议 .....</b>	<b>83</b>
<b>10 附件.....</b>	<b>84</b>
<b>10.1 附件 1 土壤污染状况调查和风险评估初审意见评审会议资料.....</b>	<b>84</b>
<b>10.2 附件 2 风险评估报告评审会议资料 .....</b>	<b>84</b>
<b>10.3 附件 3 修复技术方案评审会议资料 .....</b>	<b>84</b>

# 1 总论

## 1.1 任务由来

修复地块位于南京市栖霞区迈皋桥街道合作村 100 号，西至兴和北路（规划道路），南至齐寿路（规划道路），东至万寿路（规划道路），北至原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块第一部分）一标段 T-2 修复区。调查面积约 50930.58m<sup>2</sup>。1985 年 7 月 18 日，南京市煤气总公司开工建设，调查地块为南京煤气总公司重油制气厂的干法脱硫、燃气储罐、压送机房和终冷洗苯等工段所处区域。2000 年原南京市煤气总公司关闭，关闭后对厂区设备进行了处置。2007 年地块内干法脱硫工段和终冷洗苯工段已完成拆除，地块内的燃气储罐和压送机房未拆除。2010 年地块内中部建成 LNG 释放站；压送机房、LNG 释放站和燃气储罐已于 2017 年拆除完成，2018 年地块经过整理后作为空地。

2021 年 5 月江苏润环环境科技有限公司受南京城建土地整理开发有限公司委托，对煤制气重油地块开展了土壤污染状况调查和风险评估；调查结果显示：基于第一类用地方式下，土壤关注污染物苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯、萘、苯并[b]荧蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽和苯并[a]蒽的致癌风险高于设定的致癌风险可接受水平 10<sup>-6</sup>，对暴露人群的健康风险不可接受。地下水关注污染物石油烃和挥发酚的非致癌风险低于设定的非致癌风险可接受水平 1，对暴露人群的健康风险可接受。土壤污染物为苯并[b]荧蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽、苯、萘和苯并[a]蒽，修复土壤共分为 6 层，分别为 0-1m、1-2m、2-3m、3-3.5m、3.5-4m 和 6-10m，共计地块修复总面积约 5395.76m<sup>2</sup>，分层修复总面积为 15512.692m<sup>2</sup>，土壤修复方量为 15272.953m<sup>3</sup>，关注区清除方量为 1652.02m<sup>3</sup>，总修复方量为 17031.31m<sup>3</sup>。

该地块未来用地类型为 A33b 中学用地，为减少土地再开发利用过程中可能带来的新的环境问题，确保未来建设地块和土地开发利用中的人体健康以及环境质量安全，需要对场地内污染土壤进行合理有效的修复。

## 1.2 编制依据

### 1.2.1 法律法规及政策文件

1. 《中华人民共和国环境保护法》（2015年1月1日）；
2. 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019年1月1日）
3. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年9月1日）；
4. 《中华人民共和国水污染防治法》（2018年1月1日）；
5. 《中华人民共和国土地管理法》（2020年1月1日）；
6. 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（2017年1月1日）；
7. 《土壤污染防治行动计划》（2016年5月28日）；
8. 《关于保障工业企业地块再开发利用环境安全的通知》（环发[2012]140号）；
9. 《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）；
10. 《关于加强工业企业关停、搬迁及原址地块再开发利用过程中污染防治工作的通知》（环发[2014]66号）；
11. 《工矿用地土壤环境管理办法（试行）》（环保部[2018]3号令）；
12. 《工业企业地块污染环境调查评估与修复工作指南（试行）》（环发[2014]78号）；
13. 《江苏省固体废物污染环境防治条例》（2010年1月1日，2017年6月3日修正）；
14. 《关于加强我省工业企业地块再开发利用环境安全管理工作的通知》（苏环办[2013]157号）；
15. 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环保部第42号令，自2017年7月1日起施行）；
16. 《江苏省土壤污染防治条例》（2022年9月1日实施）；
17. 《南京市土壤污染防治行动计划》（宁政发〔2017〕67号）；
18. 《省政府办公厅关于印发江苏省深入打好净土保卫战实施方案的通知》苏政办发〔2022〕78号。

### 1.2.2 技术导则、标准及规范

1. 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）；
2. 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；

3. 《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）；
4. 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2-2019）；
5. 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ25.5-2018）；
6. 《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）；
7. 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）；
8. 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；
9. 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
10. 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
11. 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）；
12. 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
13. 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
14. 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
15. 《危险废物鉴别标准 通则》（GB 5085.7-2019）；
16. 《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166-2004）；
17. 《地下水环境监测技术规范》（HJ 164-2020）；
18. 《危险废物鉴别技术规范》（HJ 298-2019）；
19. 《工业企业地块环境调查评估与修复工作指南（试行）》（环境保护部公告，2014 年第 78 号）；
20. 《地下水污染健康风险评估工作指南》（2019 年 9 月）；
21. 《地下水污染修复（防控）工作指南》（2019 年 9 月）。

### 1.2.3 其他相关技术文件

1. 《兴和北路以东，齐寿路以北地块（原煤制气厂除一、二期以外剩余第二部分重油区地块）土壤污染状况调查报告》及专家咨询意见（江苏润环环境科技有限公司，2021 年 12 月）
2. 《兴和北路以东，齐寿路以北地块（原煤制气厂除一、二期以外剩余第二部分重油区地块）土壤污染风险评估报告》及专家咨询意见（江苏润环环境科技有限公司，2023 年 3 月）
3. 《原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块第二部分）重油区地块详

细调查与风险评估项目水文地质勘察报告》

4. 《原煤制气厂（除一、二期以外剩余地块）第二部分场地初步调查与风险评估岩土工程勘察报告》

5. 《原煤制气厂（除一、二期以外剩余地块）第二部分场地初步调查与风险评估报告》及专家咨询意见（江苏润环环境科技有限公司，2018年12月）

### 1.3 编制内容

本次主要针对原煤制气厂重油区地块污染土壤，从科学性、安全性、规范性、可行性、经济性等方面开展修复技术方案的编制。主要包括以下几部分内容：

修复范围及修复目标的确定；

针对该地块污染特性，制定特定的修复策略及模式、筛选修复技术；

针对修复技术方案，核算修复工程量，开展投资估算；

充分分析各技术环节在实施过程中可能产生的环境二次污染问题，提出环境管理计划；分析可能出现的突发事件，提出相应的应急预案建议；

针对修复目标及方式，提出修复效果评估基本方案；

对项目实施后的社会效益、环境效益、经济效益进行阐述。

本方案在对企业基本信息、地质情况、前期调查结果、风险评估结论等资料进行整合及综合分析的基础上，结合污染地块的环境特征和修复工程的特点进行修复技术筛选，最终确定修复技术路线并编制本修复技术方案。

地块土壤及地下水修复方案编制分为以下三个阶段：

#### （1）选择修复模式

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

#### （2）筛选修复技术

根据污染地块的具体情况，按照确定的修复模式，筛选实用的修复技术，对修复技术应用案例进行分析，从适用条件、修复效果、成本和环境安全性等方面进行评估。

#### （3）制定修复方案

根据确定的修复技术，制定修复技术路线，确定修复技术的工艺参数，估

算修复的工程量，提出初步修复方案。从主要技术指标、修复工程费用以及二次污染防治措施等方面进行方案可行性比选，确定经济、实用和可行的修复方案。

具体如图 1.3-1 所示。

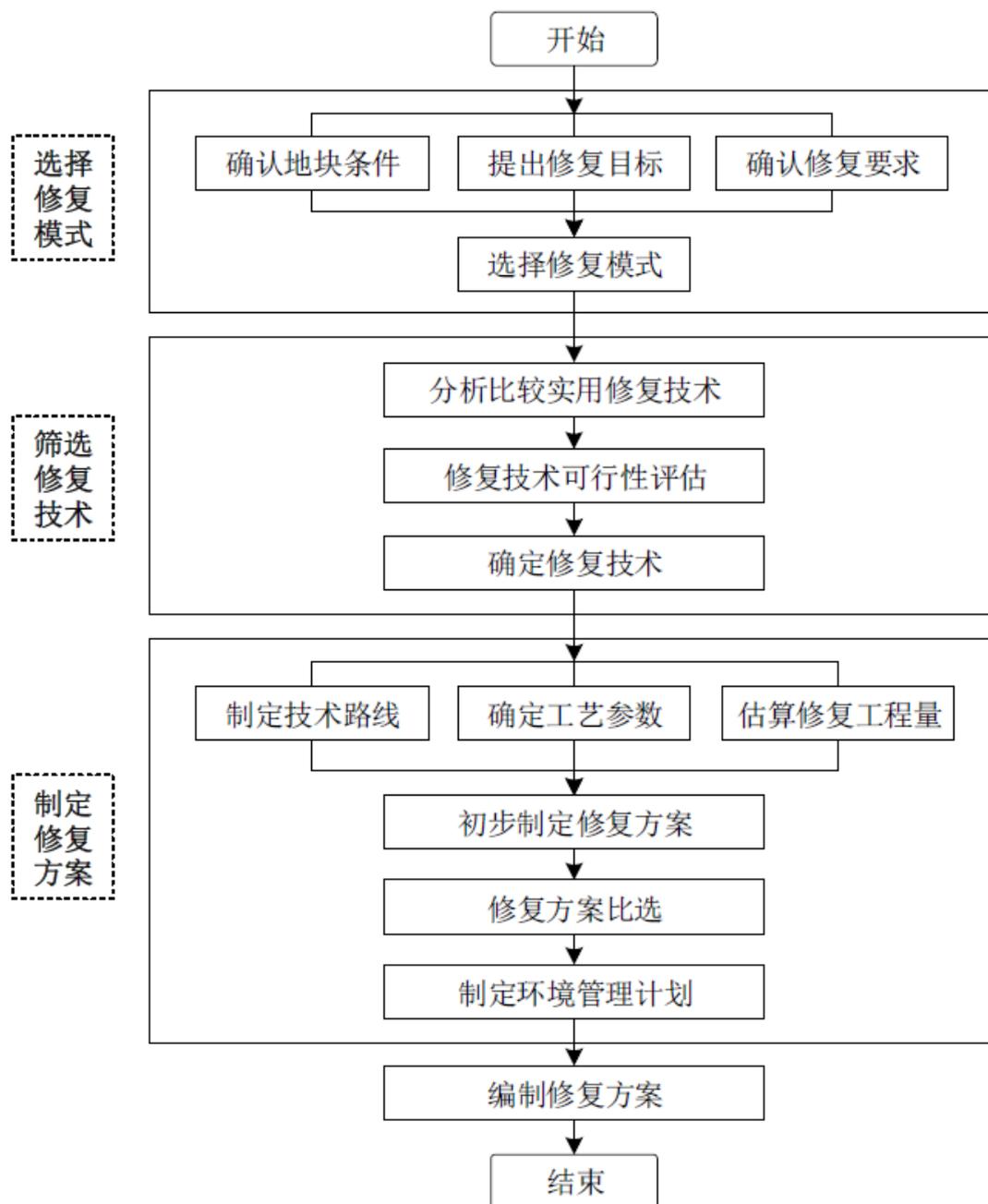


图 1.3-1 地块修复方案编制工作程序

## 2 地块问题识别

### 2.1 所在区域概况

#### 2.1.1 地理位置

地块位于南京市栖霞区迈皋桥街道合作村 100 号，地块中心经纬度为 32.11333N, 118.83686E，地块占地面积约 50930.58m<sup>2</sup>。西至兴和北路（规划道路），南至齐寿路（规划道路），东至万寿路（规划道路），北至原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块第一部分）一标段 T-2 修复区。

原煤制气厂地块分为一期、二期、三期和四期地块，其中一期地块已建成嘉誉山小区和幼儿园；二期地块已完成修复效果评估工作；三期地块土壤和地下水修复工程已完成，并通过效果评估，目前为待开发空地。本次调查范围为四期地块，具体范围如下图所示。



图 2.1-1 地块地理位置图

#### 2.1.2 地形地貌

地形：地块内部现状地面较为平坦，标高约在 35.0~36.0m。

地势：相对于四周，地块内地势较高，其中往西地形标高较为接近，往东、北、南三侧地势逐渐降低，东、北方向坡度稍大。

地貌：地块所处地貌类型为宁镇扬丘陵岗地~平原区的岗地地貌。

#### 2.1.3 水文地质

初步调查阶段，我单位委托江苏建科岩土工程勘察设计有限公司进行了水文地质勘察，并出具了《原煤制气厂（除一、二期以外剩余地块）第二部分场地初步调查与风险评估岩土工程勘察报告》。水文地质勘察点位、水文地质试验点和引用监测井、采样点的编号、类型、标高详见图 4.1-1 初步调查勘探点平面布置图。勘探点的孔口标高、坐标、地层描述详见图 4.1-3。

本次调查期间，我单位委托南京大学建筑规划设计研究院有限公司进行了水文地质勘察，并出具了《原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块第二部分）重油区地块详细调查与风险评估项目水文地质勘察报告》。根据现场地层条件，水文地质现场试验采用试坑双环注水试验和钻孔降水头注水试验，其中①-3 层杂填土进行了 2 组试坑双环注水试验，②层粉质黏土、③层粉质黏土各 1 组进行了 2 组钻孔降水头注水试验。水文地质勘察点位图见图 4.1-2。水文地质试验点和引用监测井、采样点的编号、类型、标高详见图 4.1-1 勘探点平面布置图。勘探点的孔口标高、坐标、地层描述详见图 4.1-4 钻孔柱状图。

#### 各土层渗透系数及渗透性评价

根据室内土工试验和现场试验结果，地块内各土层的水文地质参数渗透系数及渗透性评价如下表所示。

表 2.1-7 各土层渗透系数及渗透性评价一览表

层号	土名	渗透系数 (cm/s)			透水性评价	
		室内试验值平均值		现场试验值		
		Kv	Kh			
①-3	杂填土	/	/	$2.99 \times 10^{-3}$ $3.91 \times 10^{-2}$	$3.91 \times 10^{-2}$	强透水~中等透水
①-4	素填土	$9.88 \times 10^{-6}$	$8.17 \times 10^{-6}$	/	$3.0 \times 10^{-5}$	弱透水
②	粉质黏土	$2.92 \times 10^{-6}$	$3.75 \times 10^{-6}$	$1.74 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$	微透水
③	粉质黏土	$5.86 \times 10^{-7}$	$1.08 \times 10^{-6}$	$1.57 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-6}$	微透水~不透水

#### 2.1.4 气候气象

调查地块位于南京市栖霞区，其主要气候气象条件如下表所示。

表 2.1-8 南京市主要气候气象条件

项目		数量及单位
气温	年平均气温	15.4°C
	历年平均最低气温	11.4°C

项目		数量及单位
	历年平均最高气温	20.3°C
	极端最高气温	43.0°C
	极端最低气温	-14.0°C
湿度	年平均相对湿度	77%
	年平均绝对湿度	15.6Hpa
降水	年平均降水量	1041.7mm
	年最小降水量	684.2mm
	年最大降水量	1561mm
	一日最大降水量	198.5mm
积雪	最大积雪深度	51cm
气压	年最高绝对气压	1046.9mb
	年最低绝对气压	981.1mb
	年平均气压	1015.5mb
风速	年平均风速	2.8m/s
	30年一遇10分钟最大平均风速	25.2m/s
风向	主导风向	冬季:东北风夏季:东南风
	静风频率	22%

## 2.2 地块基本信息

### 2.2.1 地块平面布局

调查地块属于工业企业用地，地块为原南京煤气总公司重油制气厂的干法脱硫、燃气储罐、压送机房和终冷洗苯等工段所处区域，根据业主提供的资料，地块的企业平面布置图见图 2.2-1。

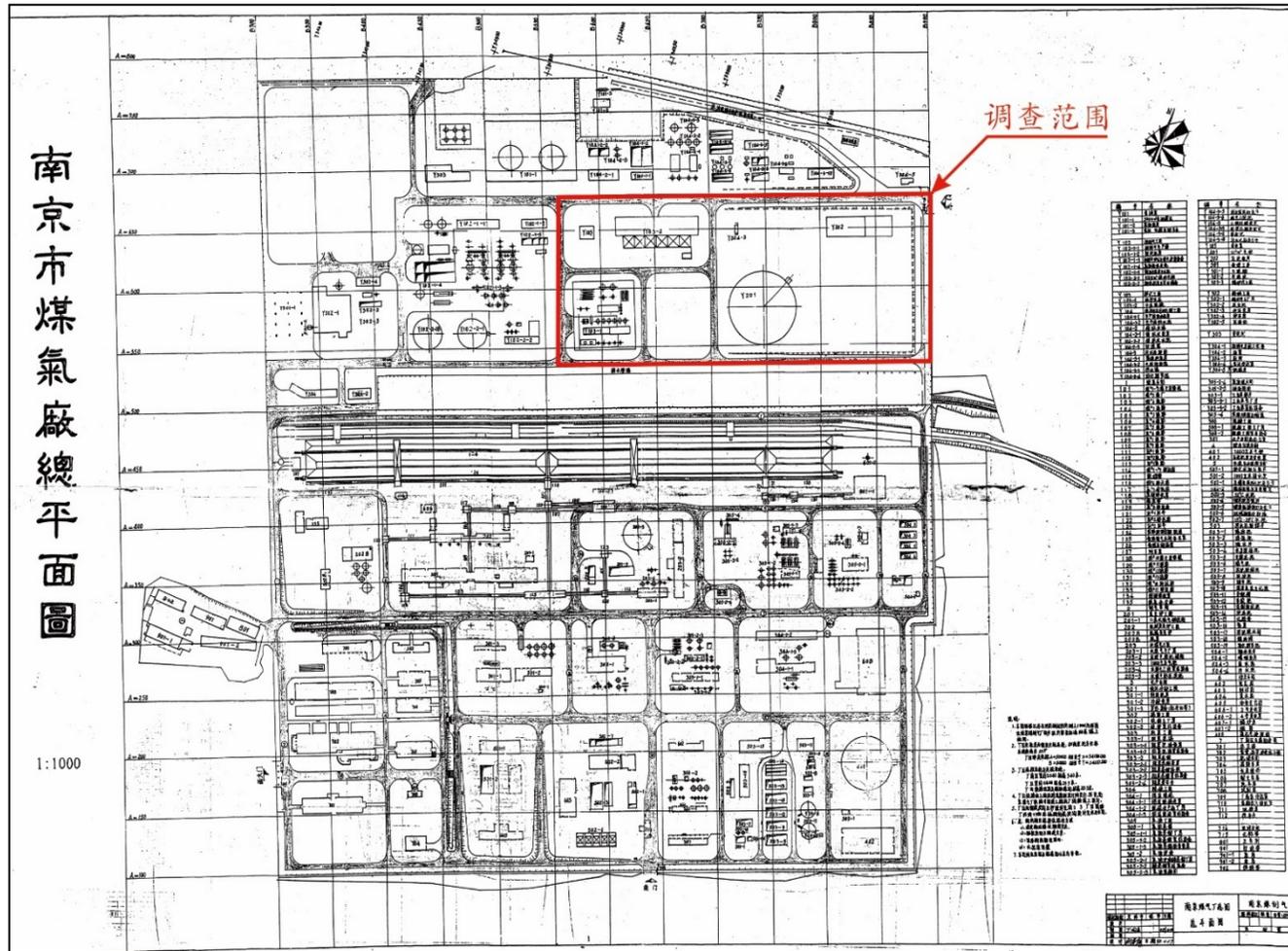


图 2.2-1 南京煤制气总厂平面布置图



图 2.2-2 调查地块工矿企业平面布置图（2005 年谷歌卫星影像底图）

## 2.2.2 地块历史变迁

通过人员访谈、资料收集及现场踏勘，可知原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块第二部分）的重油区地块历史变迁情况：调查地块历史沿革如表 2.2-1 所示。收集到的 Google earth 历史影像图和地块航拍影像如表 2.2-2。

表 2.2-1 地块历史沿革一览表

序号	时间节点	使用功能	用地说明	地块归属单位	资料来源
1	2019 年-至今	地块内中部为北京建工煤制气修复工程项目部，项目部东侧为员工宿舍；宿舍南侧为原煤制气厂燃气储罐基础，堆放有管材、钢材和洒水车等杂物；地块北部为工程材料暂存处，存放管材和配电箱等杂物地块东北角为原煤制气压送机房机务室，目前空置；其他区域为空地。	项目部、宿舍和空地。	南京市城市建设投资控股（集团）有限责任公司	业主、环保管理人员访谈记录，历史影像图、现场踏勘。
2	2010-2018 年	2010 年调查地块内中部区域建成调压站。燃气储罐、调压站及压送机房均于 2017 年拆除完成，2018 年地块经过整理后一直作为空地。	调压站、燃气储罐、压送机房、空地	南京市城市建设投资控股（集团）有限责任公司	业主、环保管理人员访谈记录，历史影像图。
3	2007 年~2009 年	地块内干法脱硫工段和终冷洗苯工段已完成拆除，地块内的燃气储罐和压送机房未拆除。	部分区域为拆除空地，其他区域有燃气储罐和压送机房。	南京市煤气总公司	业主、环保管理人员访谈记录，历史影像图。
4	1985 年-2007 年	调查地块为南京煤气总公司重油制气厂的干法脱硫、燃气储罐、压送机房和终冷洗苯等工段所处区域	属于工业企业用地。	南京市煤气总公司	业主、环保管理人员访谈记录，历史影像图，收集到的资料。
5	1985 年以前	荒山、荒地	荒山、荒地	/	原企业员工-宋延人员访谈

## 2.2.3 历史生产概况

根据业主提供的资料，地块内涉及生产的工段为终冷洗苯和干法脱硫，具体生产工艺流程如下：

终冷洗苯：通过制气工段来之 30~40℃油制气，经间接式终冷气与 18℃低温水换热，冷却至 25℃以下的煤气出终冷器，经旋流板捕雾器脱水后进入洗苯塔。煤气在洗苯塔进入，经中部用含苯轻柴油喷洒后进入上部，再经轻柴油作定时定量喷洒后，煤气从洗苯塔顶部出来，通过旋流板捕雾器去干法脱硫。终冷器在冷却煤气的同时，有少量的冷凝液和苯冷凝下来，为避免部分苯附着于终冷器内的水管壁上，故采用制气工段来之轻质焦油进行喷洒，于是冷凝液和苯随轻质焦油一起进入贮槽，经多次循环后的轻质焦油定期送回制气工段机械化澄清槽。轻柴油由槽车运送，经洗苯塔多次洗苯之后含苯轻柴油再用槽车运出。

水煤气 6万米<sup>3</sup>/日（仅脱硫）

②工段组成  
由终冷洗苯、干法脱硫二部份组成。

③煤气净化质量标准

- 苯 < 25 毫克/标米<sup>3</sup>（冬季）  
< 50 毫克/标米<sup>3</sup>（夏季）
- 硫化氢 < 20 毫克/标米<sup>3</sup>

\* 因城市煤气输气点绝对压力为 0.2 Mpa .

(2)流程特点

- ①采用间接式横管终冷器，可提高换热效率，避免大量污水外排而污染环境，又有利于脱除煤气中的苯。
- ②洗苯塔采用直筒轻柴油吸苯，为考虑比表面积大，又利于清扫，故采用金属鲍尔环填料塔。
- ③在油库未建成前，轻柴油之进、出均在就地解决，为予计在短期内有完善净化系统的可能，故地下槽只设一台。
- ④为压缩基建投资，脱硫方法拟采用工艺成熟、脱硫剂来源方便的干式氧化铁脱硫，脱硫时也可脱除部分 NO<sub>x</sub>，以利于排送机操作。脱硫剂采用高炉脱硫剂。

**2. 终冷洗苯**

(1)工艺流程

从制气工段来之 30~40℃油制气，经间接式横管终冷器与 18℃低温水换热，冷却至 25℃以下的煤气出终冷器，又经旋流板捕雾器脱水后进入洗苯塔。

煤气在洗苯塔下部进入，经中部用含苯轻柴油喷洒后进入上部，再经轻柴油作定时定量喷洒后，煤气从洗苯塔顶部出来，通过旋流板捕雾器去干法脱硫。终冷器在冷却煤气的同时，有少量的冷凝液和苯冷凝下来，为避免部分苯附着于终冷器内的水管壁上，故采用制气工段来之轻质焦油进行喷洒，于是冷凝液和苯随轻质焦油一起进入贮槽，经多次循环后的轻质焦油定期送回制气工段机械化澄清槽。轻柴油由槽车送来，经洗苯塔多次洗苯后之含苯轻柴油再用槽车送出。

(2)主要操作指标

终冷器后煤气温度	≤ 25℃
洗苯塔后含苯量	< 25 毫克/标米 <sup>3</sup> （冬季） < 50 毫克/标米 <sup>3</sup> （夏季）
含苯轻柴油苯含量	6%
终冷器阻力	< 1500 pa（150 毫米水柱）
洗苯塔阻力	< 1000 pa（100 毫米水柱）

(3)主要设备选择

①终冷器

油煤气量	2.4 万米 <sup>3</sup> /日
煤气入口温度	30~40℃
煤气出口温度	≤ 25℃
冷却水入口温度	18℃
选用 F = 642 米 <sup>2</sup> 横管冷却器一台	

②洗苯塔

图 2.1-3 终冷洗苯工艺流程

干法脱硫：油煤气、水煤气经三通阀进入脱硫箱后自上而下的与箱内三层脱硫剂接触，脱硫后的煤气经三通阀进入另一脱硫箱或出脱硫工序。脱硫操作时，可视硫化氢含量大小和脱硫工况，决定二并三停或三并二停操作。脱硫剂采用高效脱硫剂，由汽车运至现场后，经门式起重机的电葫芦，利用爪斗吊入脱硫箱内，

出箱时废脱硫剂由脱硫箱底卸料管排出，视脱硫剂状况，决定再场内再生后重复利用或作废料送出厂外。为调节进箱煤气温度、湿度和煤气中含氧量，在每箱煤气进口管上设置蒸汽掺混管和空气管。

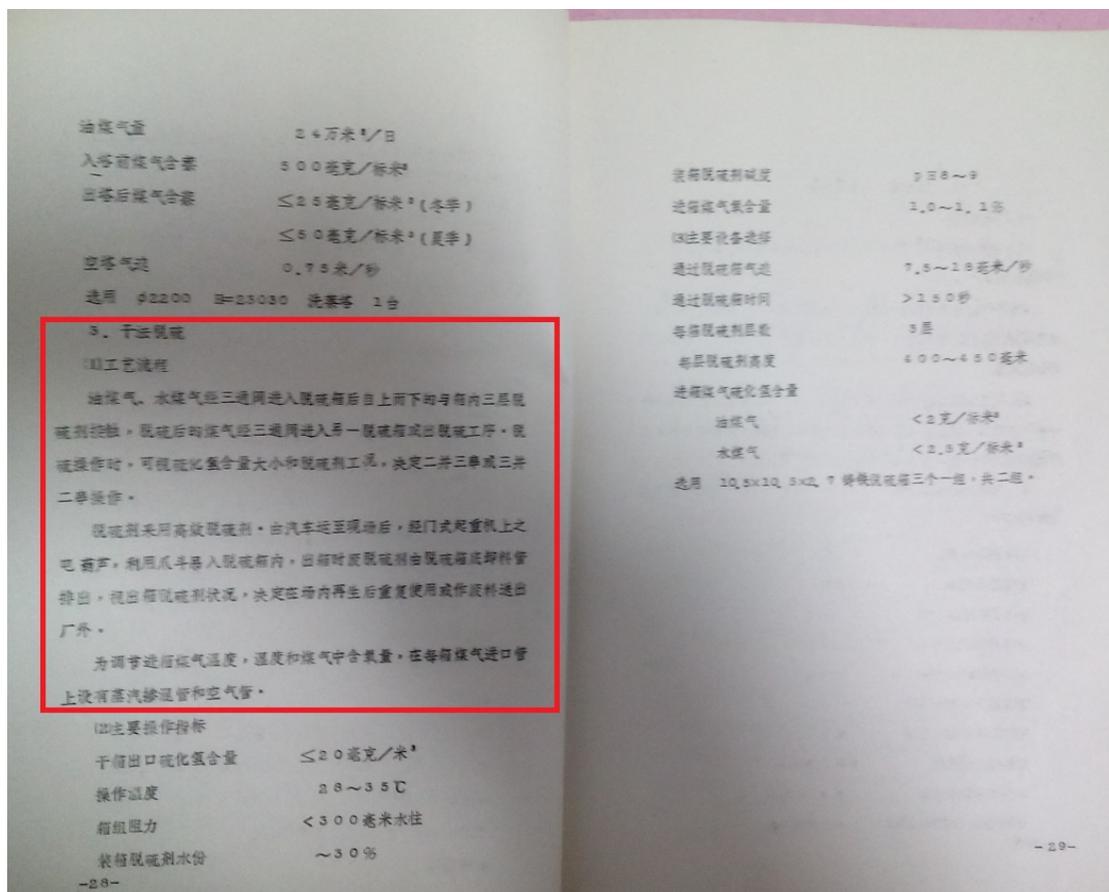


图 2.1-4 干法脱硫工艺流程

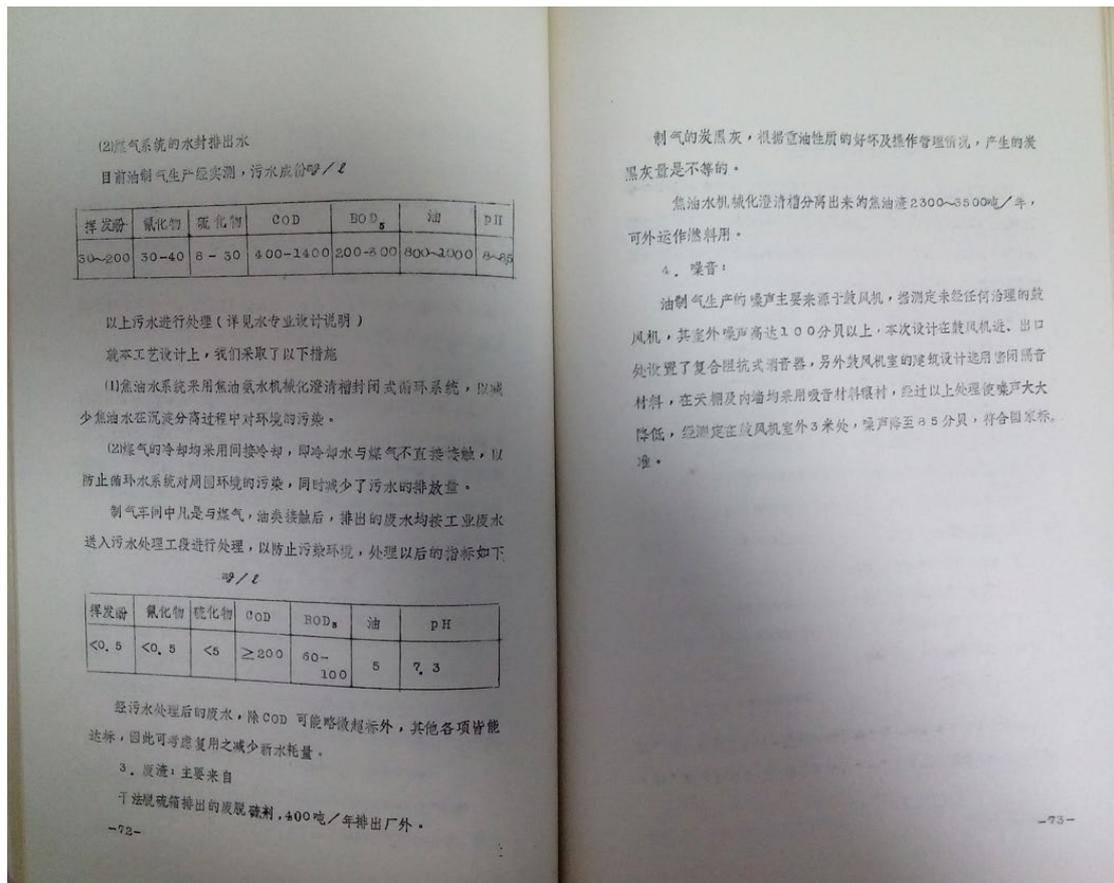


图 2.1-5 污水处理工段实测的污水成分

## 2.2.4 地块未来规划

根据委托方提供的《丁家庄单元（Mcb050）控制性详细规划》（调整后）规划单元图则（2020年5月技术深化版）及《南京市规划资源局规划编制专题例会2020年第27次会议纪要》[2020]第122号第十条，地块规划为A33b（初中用地），面积约50930.58m<sup>2</sup>，属于GB36600-2018中规定的第一类用地。图2.1-7所示。

## 2.3 地块环境特征

### 2.3.1 地块内环境状况

调查地块中部为北京建工煤制气修复工程项目部，项目部东侧为员工宿舍，宿舍南侧为原煤制气燃气储罐基础，堆放有管材、钢材和洒水车等杂物，地块北部为修复工程材料暂存处，存放管材、配电箱等；地块西南角为原修复工程水处理待排放水暂存池，现已拆除；地块东北角为原煤制气压送机房的机务室，现已空置。



图 2.3-1 调查地块平面布置图（航拍底图 2021.07.19）

### 2.3.2 地块周边环境现状

调查地块周边为原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块第一部分）土壤及地下水修复工程一标段，地块西侧和北侧为修复工程的原位化学氧化区域、原位热脱附区域；西北侧为修复工程尾水尾气设备区；东侧为原位化学氧化区；地块南侧为原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块第一部分）土壤及地下水修复工程二标段，目前修复工程主体工程已完工，正在开展土壤和地下水效果评估。



图 2.3-2 地块周边概况（2021 年谷歌历史影像底图）

表 2.3-1 地块周边概况

拍摄位置	概况描述	周边照片（航拍摄于 2021.06）
	<p>地块南侧为大地益源（修复工程二标段）修复工程区域，主要采用原位化学氧化，原位热脱附等修复技术，目前完成修复并已移出名录。</p>	

拍摄位置	概况描述	周边照片（航拍摄于 2021.06）
	<p>地块东侧为原修复工程一标段原位化学氧化区域，目前完成修复并已移出名录</p>	

拍摄位置	概况描述	周边照片（航拍摄于 2021.06）
	<p>地块西侧为原修复工程原位热脱附和原位化学氧化区，西北侧为修复工程尾水尾气设备区。</p>	<p>周边照片（航拍摄于 2021.06）</p> 

拍摄位置	概况描述	周边照片（航拍摄于 2021.06）
	<p>地块北侧为原修复工程原位热脱附、原位化学氧化区和修复工程尾水尾气处理区。</p>	

拍摄位置	概况描述	周边照片（航拍摄于 2021.06）
	<p>地块北侧为修复工程原位热脱附、原位化学氧化区和修复工程尾水尾气处理区；西侧为修复工程一标段原位热脱附和原位化学氧化区，东侧为修复工程一标段原位化学氧化区域，目前完成修复并已移出名录。南侧为大地益源（修复工程二标段）修复工程区域，主要采用原位化学氧化，原位热脱附等修复技术，目前完成修复并已移出名录。</p>	

### 2.3.3 地块周边环境敏感目标

经现场踏勘可知，调查地块周边环境敏感点较多，主要为住宅小区和学校等。本地块周边 500m 范围内主要敏感目标如表 2.4-1 和图 2.4-1 所示。

表 2.3-2 本地块周边主要敏感目标统计表

序号	方位	类别	最小距离(m)	敏感目标名称
1	西	住宅	213	嘉誉山三期
2	西	住宅	303	壹城东区
3	西	住宅	462	兴卫山庄
4	西南	幼儿园	126	迈皋桥幼教集团
5	西南	住宅	267	嘉誉山一期、二期
6	南	住宅	498	兴贤佳园-近贤苑西区
7	南	住宅	459	兴贤佳园-近贤苑东区
8	南	住宅	482	兴都花园 86 号
9	东南	住宅	84	兴都花园 85 号
10	东	住宅	116	风来园
11	北	住宅	219	金山花苑
12	东	住宅	121	燕春路 76 号院



图 2.3-3 地块周边环境敏感点示意图

## 2.4 地块污染特征

### 2.4.1 地块土壤污染特征

调查地块 2018 年 3 月评审通过的《原煤制气厂地块（除一、二期以外剩余地块）第二部分场地环境初步调查报告》：本地块内有 6 个点位共 10 个土壤样品中存在污染物超过评价标准。超标污染物为苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽、C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub>，其中，S4 号点位 1.0m 样品萘和苯并[a]芘含量超过第一类用地管制值。超标区域分别为压送机房东南侧、地块西南侧树林，煤气管道附近、地块西南侧树林中、原干法脱硫工段东侧和西侧和原终冷洗苯工段东侧。

## 2.5 地块污染风险

### 2.5.1 地块土壤污染风险

(1) 基于第一类用地方式下，土壤关注污染物苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯、萘、蒽并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽和苯并[a]蒽的致癌风险高于设定的致癌风险可接受水平  $10^{-6}$ ，对暴露人群的健康风险不可接受。地下水关注污染物石油烃和挥发酚的非致癌风险低于设定的非致癌风险可接受水平 1，对暴露人群的健康风险可接受。

(2) 土壤关注污染物为苯并[b]荧蒽、苯并[a]芘、蒽并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽、苯、萘和苯并[a]蒽，风险控制值分别为 5.48mg/kg、0.548mg/kg、5.49 mg/kg、0.549 mg/kg、1.21 mg/kg、3.72 mg/kg 和 5.46 mg/kg。

(3) 根据风险评估结果，土壤超风险点位共计 15 个，超风险污染物为苯并[b]荧蒽、苯并[a]芘、蒽并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽、苯、萘和苯并[a]蒽，修复目标值分别为 5.5mg/kg、0.55mg/kg、5.5 mg/kg、0.55 mg/kg、1mg/kg、25 mg/kg 和 5.5mg/kg；地块修复总面积约 5395.76m<sup>2</sup>，地块修复土壤共分为 6 层，分别为 0-1m、1-2m、2-3m、3-3.5m、3.5-4m 和 6-10m，分层污染总面积为 15512.692m<sup>2</sup>，修复土壤总方量为 m<sup>3</sup>。

## 3 地块修复模式

### 3.1 地块修复总体思路

通常情况下，污染地块污染源削减修复技术模式主要包括三种：原位处理、原地异位处理、异地处理或修复。

#### 1、原位处理：

原位处理是指对地块内污染土壤不进行挖掘或清理，采用化学或生物方法对污染土壤中有机污染物进行处理，或采用物理方法对污染区域进行隔离工程处理。修复工程基本在地块范围内完成，污染土壤在修复过程中以及修复结束后都不离开地块，可有效避免污染土壤转移处理可能造成的二次污染。

#### 2、原地异位处理：

原地异位处理：是指将地块污染土壤进行清理，在地块范围内对土壤中污染

物进行处理后，并在地块内资源化利用。修复工程基本在地块范围内完成，污染土壤在修复过程中以及修复结束后都不离开地块，可有效避免污染土壤转移处理可能造成的二次污染。

### 3、异地处理或修复：

异地处理或修复是指将地块内污染土壤进行挖掘清理后，运至地块外的专门场所处理修复。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、修复的全过程进行严格监督，对管理上的要求较高。

表 3.1-1 三种修复技术模式的影响因素分析

因素	原位处理	原地异位处理	异地处理处置
地块清理时间	—	较短	较短
地块清理风险	较低	较高	较高
运输成本	—	低	高
运输过程风险	—	低	高
堆置成本	—	低	高
堆置过程风险	—	低	高
土壤修复成本	较低	高	较高
土壤修复时间	较长	较短	短
地下水治理成本	较高	较低	较低
地下水治理时间	较长	较短	较短
工程实施风险	较大	较小	较小
工程成本	较低	高	中
工程实施时间	长	较短	较短

## 3.2 地块修复目标

本地块土壤修复目标值基于风险控制值和一类用地筛选值选取，当风险控制值大于筛选值，修复目标值选取为风险控制值；当风险控制值小于筛选值，修复目标值选取为筛选值。根据上述原则确定的污染土壤修复目标值如表 3.3-1 所示。

表 3.3-1 土壤修复目标值（mg/kg）

污染物名称	修复目标值
	5.5
	0.55
	5.5
	0.55
	1
	25
	5.5
	826

## 4 地块修复技术筛选

### 4.1 土壤修复技术简述

修复技术筛选是针对确认的污染物类型和污染物特性，并结合比选的原则，依据修复技术类型和具体技术工艺，从技术的修复效果、可实施性以及管理部门的接受性、成本等角度进行考虑，筛选出潜在可行的修复技术。

根据《兴和北路以东，齐寿路以北地块（原煤制气厂除一、二期以外剩余第二部分重油区地块）土壤污染风险评估报告》，地块超过修复目标值的污染物为，适合的修复技术有以下几种：

#### 4.1.1 原位化学氧化技术

##### ① 技术介绍

化学氧化修复技术主要是通过向土壤中注入化学氧化剂与污染物产生氧化反应，使污染物降解或转化为低毒产物的修复技术。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。处理周期与污染物初始浓度、修复药剂与目标污染物反应机理有关。化学氧化技术可以分为异位化学氧化和原位化学氧化。

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

该技术不用对污染土壤进行挖掘，对土壤扰动较小，处理深度可达到地表下数十米。工程操作简单，处理速度相对较快，从几周到数月不等。对于渗透性很差土壤（如渗透系数为  $1E-7$  cm/s 及以下）处理效果较逊色，需要其他方法辅助完成；该技术需要根据场地的土壤性质、地质水文情况进行药剂选择，压力范围控制、流速以及布点密度的合理确定，对设计要求较高。

影响原位化学氧化修复效果的因素主要包括影响半径和氧化药剂的用量。

##### ② 影响半径

原位化学氧化修复技术药剂注射的有效影响半径是指药剂经过加压注射后，保持一定的有效浓度所能到达的最远距离。有效浓度一般指该位置的药剂浓度达到初始浓度（注射浓度）的 50%。由于注射药剂剂量、注射浓度以及验收标准等因

素各不相同，在实际施工过程中，影响半径指药剂注射后地下水中污染物浓度能够达到的验收标准的最远距离。有效影响半径主要受土壤性质（含水层介质）的影响，最主要的因素是含水层介质的渗透性能，即渗透系数。根据渗透系数，可以估算出有效影响半径，设计各注射点的分布，注射压力以及注射频率。

### ③ 氧化药剂的用量

药剂的用量与污染物的消耗量、土壤天然需氧量以及药剂自然衰减量有关。污染物消耗量与污染物的种类和浓度有关，根据调查结果计算得知，土壤天然需氧量与土壤中有机质含量、药剂种类和药剂停留时间有关。药剂自然衰减量是指天然条件下药剂本身的分解量。土壤天然需氧量和药剂自然衰减量可以根据经验或根据前期室内试验确定，污染物消耗量可根据污染物浓度和修复目标值确定。药剂的注入体积可以根据注射影响的土壤体积和土壤孔隙度等参数确定。依据药剂的用量和体积可以计算得到需要配置药剂的浓度。原位化学氧化适用于处理不易开挖的有机污染地块，通过向土壤或地下水的污染区域注入氧化剂，通过氧化作用使土壤或地下水中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。原位化学氧化系统由药剂制备/储存系统、药剂注入井（孔）、药剂注入系统（注入和搅拌）、监测系统等组成。其中，药剂注入系统包括药剂储存罐、药剂注入泵、药剂混合设备、药剂流量计、压力表等组成；药剂通过注入井注入到污染区，注入井的数量和深度根据污染区的大小和污染程度进行设计；在注入井的周边及污染区的外围还应设计监测井，对污染区的污染物及药剂的分布和运移进行修复过程中及修复后的效果监测。采用原位化学氧化可以通过设置抽水井，促进地下水循环以增强混合，有助于快速处理污染范围较大的区域。影响原位化学氧化技术修复效果的关键技术参数包括：药剂投加量、污染物类型和质量、土壤均一性、土壤渗透性、地下水位、pH 和缓冲容量、地下基础设施等。

## 4.1.2 水泥窑协同处置技术

### ① 技术介绍

适用于有机污染土壤（农药、PAHs、VOCs）和重金属污染土壤，列入《污染场地修复技术目录（第一批）》。水泥窑焚烧技术目前主要应用于现有的先进工艺技术装备的新型干法水泥生产线，其技术原理是将污染土壤按一定比例添加到水泥生料中，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，将污染废物作为水泥生料的一小部分制成水泥，在生产水泥熟料的同时，焚烧处理废弃物，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。利用水泥窑处理污染土壤，先要对成分进行化验分析，确定是否适宜利用水泥窑焚烧处置。若适宜焚烧处置，需结合水泥生产的要求，确定单位时间的焚烧量，进入水泥窑内进行煅烧。污染土壤从窑尾烟室通过上料系统进入水泥回转窑，窑内气相温度最高可达 1800°C，物料温度约为 1450°C，气体在大于 800°C 下停留时间长达 20s 以上。

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

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

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

#### （1）破碎预均化

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

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

#### （2）生料制备

电动机通过减速装置带动磨盘转动，固体废物及其余物料通过锁风喂料装置经下料溜子落到磨盘中央，在离心力的作用下被甩向磨盘边缘交受到磨辊的碾压粉磨，粉碎后的物料从磨盘的边缘溢出，被来自喷嘴高速向上的热气流带起烘干，根据气流速度的不同，部分物料被气流带到高效选粉机内，粗粉经分离后返回到

磨盘上，重新粉磨；细粉则随气流出磨，在系统收尘装置中收集下来，即为产品。没有被热气流带起的粗颗粒物料，溢出磨盘后被外循环的斗式提升机喂入选粉机，粗颗粒落回磨盘，再次挤压粉磨。

### （3）生料均化

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

### （4）预热分解

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

### （5）熟料烧成

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

在回转窑中碳酸盐进一步的迅速分解并发生一系列的固相反应，生成水泥熟料中的 AC3、AFC4、SC2 等矿物。随着物料温度升高近 1300°C 时，AC3、AFC4、SC2 等矿物会变成液相，溶解于液相中的 SC2 和 CaO 进行反应生成大量 SC3（熟料）。熟料烧成后，温度开始降低。最后由水泥熟料冷却机将回转窑卸出的高温熟料冷却到下游输送、贮存库和水泥磨所能承受的温度，同时回收高温熟料的显热，提高系统的热效率和熟料质量。

### （6）水泥粉磨

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

体凝结、硬化要求。

### ②应用情况

水泥窑是发达国家焚烧处理危险废物、城市生活垃圾和污染土壤的重要设施，得到了广泛的认可和应用。发达国家利用水泥窑处置废物和城市生活垃圾已经有30多年的历史，积累了丰富的经验。

### ③优缺点

水泥窑协同修复污染土壤的单价约 800~1000 元/m<sup>3</sup>（来源于《污染地块修复技术名录（第一批）》（环发[2014]75号）），可用于重金属污染土壤和挥发性较差的有机物污染土壤修复，其优点是修复量较大，成本较低；缺点是修复前需对水泥窑进料和排放系统进行改造，且水泥窑共修复污染土壤必须得到环保主管部门的审批。

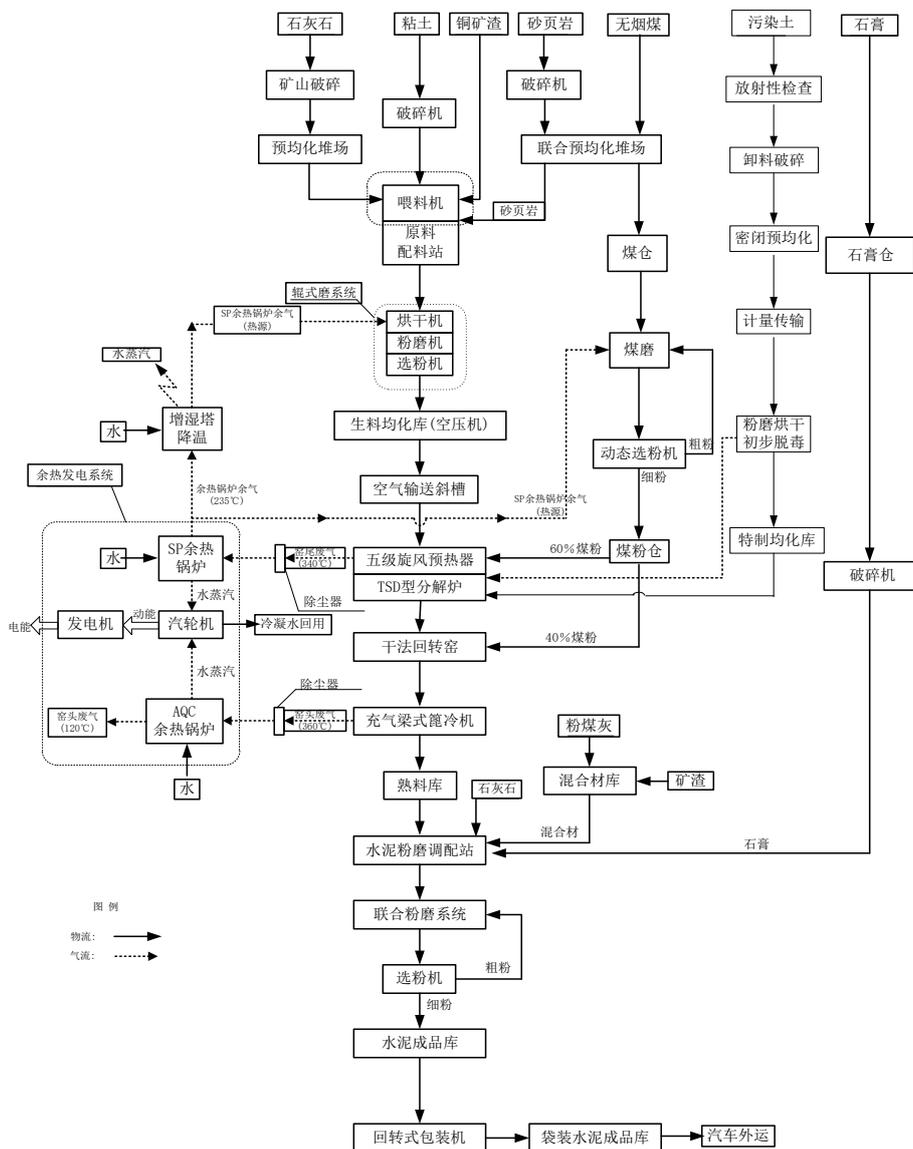


图 4.1-1 水泥窑协同处置施工流程

### 4.1.3 生物修复技术

#### 1、技术原理：

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并降解土壤中的污染物。

#### 2、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、防雨覆盖系统等。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、二氧化碳和氧气的在线监测。

主要设备包括抽气风机、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，土壤气监测头，氧气、二氧化碳、水分、温度在线监测仪器等。

适用的介质:污染土壤、油泥。

可处理的污染物类型:石油烃等易生物降解的有机污染物。应用限制条件:不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤的修复，黏土类污势壤修复效果较差。

技术应用基础和前期准备:在利用生物堆技术进行修复前，应进行可行性测试，对适用性和效果进行评估并获取相关修复工程设计参数。测试参数包括:壤中污染物初浓度、污染物生物降解系数(或呼吸速率);土著微生物数量;土壤含水率、营养物质量、渗透系数、重金属含量等。

#### 3、工艺流程：

对挖掘后的污染土壤进行适当预处理(例如调整土壤中碳、氮、磷、钾的配比，土壤含水率、土壤孔隙度、土壤颗粒均匀性等)。

在堆场依次铺设防渗材料、砾石导气层、抽气管网(与抽气动力机械连接)，形成生物堆堆体基础。将预处理后的土壤堆置于其上，形成堆体。在堆体顶部铺

设水分、营养配管网(与堆外的调配系统连接)以及进气口,采用防雨膜进行覆盖。

开启抽气系统,使新鲜空气通过顶部进气口进入堆内,并维持堆内土壤中氧气含量一定浓度水平。定期监测土壤中氧气、营养物质、水分含量并根据监测结果进行适当调节确保微生物处于最佳的生长环境,促进微生物对污染物的降解。定期采集堆内土壤样品了解污染物的去除速率。

#### 4.1.4 原位热脱附技术

##### ① 技术介绍

热脱附是用直接或间接的热交换,加热土壤中有机污染物到足够高的温度,使其蒸发并与土壤相分离的过程,挥发出的污染物被收集或直接焚烧裂解。热脱附技术用于挥发、半挥发性及难挥发有机污染物(如石油烃、农药、多氯联苯等)污染土壤的处理。随着工程项目的广泛应用,热脱附逐渐发展为原位脱附(包括热气、热蒸汽等)和异位热脱附(移动式热脱附设备、回转窑热脱附设备、微波法等)。

异位热脱附适用于具备开挖土方条件的地块。异位热脱附系统根据加热传递方式不同主要分为直接接触热脱附和间接接触热脱附。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、冷却降温等环节去除尾气中的污染物。直接热脱附的典型工艺流程如图 4.1-1 所示。间接热脱附也由进料系统、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,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。直接热脱附的典型工艺流程如图 4.1-2 所示。直接热脱附设备的处理能力较大,间接热脱附的处理能力相对较小。



蒸汽加热技术可处理含有地下水的污染地块，适用于中、高渗透系数土壤的条件，渗透系数范围建议在  $5 \times 10^{-3} \sim 1 \text{cm/s}$  之间。电阻加热技术是以一个核心电极为中心，周围建立一组电极阵，这样所有电极与核心电极形成电流，利用土壤作为天然的导体，靠土壤电阻产生热量，进行热脱附处理。一般情况下，电阻加热的方式适用于所有地质条件。处理区域地下水流速不得超过  $0.3048 \text{m/day}$  ( $1 \text{ft/day}$ )，否则会对加热效果产生较大影响。电阻加热可以使整个现场不同岩性的土壤同时均匀加热。更加适用于不清楚精准污染物分布信息，但了解污染程度和污染边界的地块。

### ②应用情况

热脱附技术在上个世纪 70 年代逐渐成熟，并被西方发达国家广泛采用，据统计到 2006 年，欧美等发达国家在 300 多个工程中成功运用此项技术，USEPA 在超级基金污染土壤修复中，有约 60 个项目采用此技术。此项技术已经非常成熟。

### ③优缺点

异位热脱附技术修复污染土壤的单价约  $600 \sim 2000$  元/ $\text{m}^3$ （来源于《污染地块修复技术名录（第一批）》（环发[2014]75 号），假定土壤容重为  $2 \text{g/cm}^3$ ），原位热脱附技术修复污染土壤的单价约  $1500 \sim 2000$  元/ $\text{m}^3$ ，其优点是修复速度快，修复量较大，适用于大部分有机物污染土壤，并适合处理汞污染土壤；缺点是设备投资大，修复成本高。

## 4.2 修复技术筛选

土壤修复技术的筛选与污染物、地块特征情况、修复成本、修复过程对环境的影响、修复时间、技术可获得性等各种因素相关。在修复技术的筛选方面应主要考虑以下问题：

(1) 地块适用性原则：应针对地块污染物特性和污染特征、水文地质条件、未来用地规划等重要因素，因地制宜选择修复技术。具体应根据本地块土壤中污染物的种类（石油烃、苯系物和多环芳烃）、分布深度（最深至 10m）、后期规划（中学用地）、不同的风险程度等实际情况进行选择。

(2) 技术可靠性原则：为保证地块修复工作的顺利完成，修复技术应尽可能绿色可持续，不应单纯追求技术的先进性，避免采用处于研究初期的修复技术。

此外，国内外有多种修复技术，有些技术已经成熟，有些还在研究阶段。为了保证该地块修复顺利完成，本方案计划采用成熟可靠的修复技术，避免采用不成熟的修复技术。

（3）时间合理性原则：为尽快完成污染地块的修复工作，实现土地的再开发利用，同等条件下，应尽量选择修复周期短的修复技术。

（4）费用合理性原则：为确保地块修复工作的开展，在满足修复目标可达、技术可行的前提下，应尽量选择经济可行的修复技术，降低修复费用。

（5）减少环境影响：做好修复工程实施过程中的各项环境保护措施，如防尘，防噪声，防二次污染等，将修复对周围的影响降到最低。

（6）结果达标原则：必须满足今后的土地规划标准，确保环境安全及工人健康。基于以上筛选原则，对多种技术分析比较，针对不同污染、不同规划用途的土壤提出修复技术科学优化整合的污染土壤修复方案。

表 4.2-2 常用的修复技术比选

序号	名称	适用性	局限性	应用参考因素			结论
				成熟性	时间条件	资金水平	
1	水泥窑协同处置技术	适用于污染土壤，可处理有机污染物及重金属。不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤，由于水泥生产对进料中氯、硫等元素的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土壤的添加量。地块周边（煤制气二期和三期）部分区域采用的修复技术。	不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤，由于水泥生产对进料中氯、硫等元素的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土壤的添加量。	技术成熟/ 周边地块有应用	较短	中等	建议采用
2	原位化学氧化技术	适用于污染土壤和地下水。其中，化学氧化可处理石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物；化学还原可处理重金属类（如六价铬）和氯代有机物等。地块周边（煤制气二期和三期）部分区域采用的修复技术	需要维持反应后的污染介质理化条件。受腐殖酸含量、还原性金属含量、土壤渗透性、pH 值变化影响较大。	技术成熟/ 地块周边有应用	较短	中等	建议采用
3	生物修复技术	对于易生物降解的有机物(如石油烃、低分子烷烃等)，生物堆技术的降解效果较好。	对于持久性有机污染物、高环多环芳烃等难以生物降解的有机污染物污染土壤，生物堆术的处理效果有限。土壤中污染物的初始浓度过高会抑制微生物生长，并降低处理效果，因此需要采用清土或低浓度污染土对其进行稀释。如土壤中石油烃含量高于 50000mg/kg 时，应对其进行释。	技术较成熟/ 国内有应用	长	较低	不建议采用

序号	名称	适用性	局限性	应用参考因素			结论
				成熟性	时间条件	资金水平	
4	热脱附技术	适用于小范围内的粘质的多种重金属污染土壤和可溶性有机物污染土壤的修复，对现有景观和建筑的影响较小，污染土壤本身的结构不会遭到破坏，处理过程中不需要引入新的物质，原位异位均可使用。	易造成二次污染，且因为其处理的污染物多为 VOCs 及 SVOCs 等有气味的有机物，处理过程中周边易受异味影响。处理效率亦与燃烧效率相关。若土壤具备易燃易爆的危险特性则不适用于该方法。	技术较成熟/周边地块有应用	长	较高	不建议采用

### 4.3 土壤修复技术可行性评估

本地块超过修复目标值的污染物为苯、萘、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽。基于超标污染物为苯系物和多环芳烃，结合目前已有的土壤修复技术进行阐述，分析各种技术的优缺点及可行性。同时，也针对场地上可能存在的一些遗留建筑物垃圾、危险废弃物等的处理处置提供建议，为修复方案的制定和实施提供支持。

修复技术的筛选与污染物、地块特征情况、修复成本、修复过程对环境的影响、修复时间、技术可获得性等各种因素相关。在修复技术的筛选方面应主要考虑以下问题：

(1) 针对地块内污染物特征：由于污染地块中，各区域污染浓度不同，因此需要结合污染浓度选择合适的地块清理方法。

(2) 修复技术成熟可靠：目前，国内外有多种污染地块清理技术，有些技术已经成熟，有些还在研究阶段。为了保证该地块清理顺利完成，本方案设计采用成熟可靠的地块修复技术，避免采用不成熟的地块修复技术。

(3) 修复时间合理：为尽快完成该地块修复工作，降低地块污染土壤修复过程中的潜在环境风险，在选择修复技术时，同等条件下，选择地块修复时间短的技术。

(4) 费用经济合理：本方案将结合地块中的污染物特性，选择几种经济可行的地块清理技术，既满足修复要求，又尽量控制清理费用。

(5) 减少对周边环境的影响：在修复施工过程中，控制二次污染，减少污染土壤的转移，减少废气、废水、扬尘、噪声等排放，将对周边居民、环境的影响尽量减小。

(6) 修复效果好：修复最终目标是地块满足今后的土地规划标准，确保环境安全及居民健康。

对于具体污染场地，污染土壤修复技术的确定需要考虑场地污染状况、规划用地方式、修复技术成熟度、修复周期及修复成本等因素。

#### 4.3.1 原位化学氧化技术可行性评估

地块周边修复情况概述：

煤制气二期地块初步调查开展于 2013 年，详细调查和风险评估工作开展于

2014年，根据调查结果，二期为污染地块，超标污染物类型为多环芳烃、石油烃、苯系物。土壤和地下水超标污染物人体健康风险不可接受，需对地块进行修复，修复目标污染物为多环芳烃（PAHs）、石油烃（TPH）、苯系物（BTEX），修复技术为原位化学氧化+水泥窑协同处置。修复工程于2015年开始修复；采用的修复技术为原位化学氧化+水泥窑协同处置；完成的修复工程量63144.3 m<sup>3</sup>。2017年12月通过修复工程竣工验收；

2017年4月三期地块详细调查与风险评估完成；结论为污染土壤和地下水超标污染物人体健康风险不可接受，需对地块进行修复，修复目标污染物为苯系物、多环芳烃、亚硝胺类、卤代脂肪烃、石油烃（TPH）、重金属（砷、铅）；2018年12月开始修复，采用的修复技术为原位化学氧化+水泥窑协同处置+原位化学氧化；修复工程分2个标段进行，一标段土壤修复工程量为72714m<sup>3</sup>，地下水处理工程量6678m<sup>3</sup>；二标段土壤修复工程量79318m<sup>3</sup>，地下水处理工程量41735m<sup>3</sup>。于2022年8月移出名录。具体如下表所示。

表 4.3-1 各期地块的污染状况调查、风险评估及修复活动开展情况概述

地块名称	调查开始时间	是否为污染地块/超标污染物类型	风评结果	修复活动概述	地块现状
一期	/	否	/	/	已建成嘉誉山小区和幼儿园
二期	初步调查 2013年；详细调查 2014年	是/超标污染物类型为多环芳烃、石油烃（TPH）、苯系物	2014年场地详细调查、风险评估及污染修复技术方案比选完成；结论为土壤和地下水超标污染物人体健康风险不可接受，需对地块土壤和地下水进行修复，修复目标污染物为多环芳烃（PAHs）、石油烃（TPH）、苯系物（BTEX），修复技术为原位化学氧化+水泥窑协同处置	2015年开始修复；采用的修复技术为原位化学氧化+水泥窑协同处置；完成的修复工程量 63144.3 m <sup>3</sup> 。2017年12月通过修复工程竣工验收。	待开发空地
三期	初步调查 2015年；详细调查 2017年	是/超标污染物为重金属（砷、镍、铅）苯系物、多环芳烃、亚硝胺类、卤代脂肪烃、石油烃（TPH）	2017年4月三期地块详细调查与风险评估完成；结论为污染土壤和地下水超标污染物人体健康风险不可接受，需对地块土壤和地下水进行修复，修复目标污染物为苯系物、多环芳烃、亚硝胺类、卤代脂肪烃、石油烃（TPH）、重金属（砷、铅）	2018年12月开始修复，采用的修复技术为原位化学氧化+水泥窑协同处置+原位化学氧化；修复工程分2个标段进行，一标段土壤修复工程量为72714m <sup>3</sup> ，地下水处理工程量为6678m <sup>3</sup> ；二标段土壤修复工程量为79318m <sup>3</sup> ，地下水处理工程量为41735m <sup>3</sup> 。于2022年8月移出名录	待开发空地
四期	初步调查 2018年	是/6个点位13个土壤样品超超标，超标污染物为多环芳烃和石油烃（C <sub>10</sub> ~C <sub>14</sub> ）	2021年12月详细调查工作结束，结论为地块土壤中苯系物、石油烃（C <sub>10</sub> ~C <sub>40</sub> ）和多环芳烃超标属于污染地块，2023年5月地块风评工作结束，结论为土壤超标污染物人体健康风险不可接受，需对土壤进行修复；地块修复总面积约5395.76m <sup>2</sup> ，修复土壤总方量为17031.31m <sup>3</sup> ，修复目标污染物为多环芳烃、苯系物和石油烃。	/	现状空地

重油地块修复目标污染物为苯系物、多环芳烃和石油烃，前期地块的修复因子包含本地块的修复因子，且本地块在历史上为煤制气厂终端产品工段，污染程度相对周边地块较轻，污染物浓度相对较低。

临近地块周边即煤制气二期和三期地块采用的修复技术主要有：原位化学氧化、水泥窑协同处置和原位热脱附，其中原位热脱附修复技术主要在重污染区域开展，本地块的污染浓度相对三期较低，采用原位化学氧化修复技术与煤制气其它地块对比，其主要修复技术基本一致，方法科学，具备可操作性。原位化学氧化技术在国内发展较快，已有较多的工程应用，地块周边采用的修复技术主要有：原位化学氧化、水泥窑协同处置和原位热脱附，其中原位化学氧化修复技术在周边地块修复面积最多，并且周边使用化学氧化技术均以移出修复名录，因此采用原位化学氧化修复技术具备可操作性。

表 4.3-2 周边地块应用的修复技术统计表

周边地块名称	修复技术
煤制气二期	原位化学氧化
煤制气除一二期外剩余地块一标段	原位化学氧化处理+水泥窑协同处置+原位热脱附
煤制气除一二期外剩余地块二标段	原位化学氧化处理+水泥窑协同处置+原位热脱附



图 4.3-1 地块在煤制气厂的位置图（航拍底图 摄于 2018 年 9 月）

### 4.3.2 水泥窑协同处置技术可行性评估

在《国家危险废弃物名录 2021》中规定，实施土壤污染风险管控、修复活动中，属于危险废物的污染的土壤在运输过程中，修复施工单位制定转运计划，依法提前报所在地和接收地的设区市级以上生态环境部门，不按危险废物进行运输；在处置过程中满足《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB30485）和《水泥窑处置固体废物环境保护技术规范》（HJ662）要求进入水泥窑协同处置，处置过程不按危险废物管理。

表 4.3-3 国内水泥窑协同处置技术应用案例

序号	地块名称	工期 (天)	修复规模	目标污染物
1	江苏省盐城市某公司	180	污染土壤 5240m <sup>3</sup>	砷、镉、铅、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒎、石油烃 (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )
2	江苏南京铁路货运厂	360	污染土壤 44165m <sup>3</sup>	氟化物、钒、苯并[a]蒎、苯并[a]芘

近几年，我国水泥行业利用水泥窑协同处置废弃物有了积极的尝试，并取得

了显著的成果，已逐步建立了一套协同处置的技术体系，水泥窑焚烧温度高，焚烧时间长，处置的彻底性有保障，无二次处理需求，接纳能力大，被公认为是处理过程最安全、处理结果最彻底的技术。相关工程实施技术已相对成熟在本场地采用水泥窑协同处置技术具备现实可操作性。

综上，水泥窑协同处置技术应用于本地块污染土壤的修复具有较好可行性。

## 5 修复方案设计

### 5.1 备选方案一

#### 5.1.1 技术路线

- 1.对修复深度为 0-1m、1-2m、2-3m、3-3.5m、3.5-4m 和 6-10m 的修复区域采用原位化学氧化技术；
- 2.对关注区采用水泥窑协同处置修复技术。

图 5.1-1 备选方案一技术路线图

#### 5.1.2 工程内容

### 5.1.3 修复周期

根据修复方案一技术工艺路线和相关参数，对其进行工程量估算，按施工阶段不同分为施工准备阶段、修复实施阶段、自检验收阶段和完工退场和效果评估阶段，修复周期大约需要 180 天，不同施工阶段的相关工作内容如下：

#### （1）施工准备阶段

主要工作内容包括：场地平整、测量放线、水电接入、施工围挡建设、项目部建设、水处理设施安装调试、处置大棚建设等；本阶段预计需花费 20 天。

#### （2）修复实施阶段

主要工作内容包括：污染土壤清挖及短驳、浅层搅拌施工、高压旋喷施工、污染土壤预处理、基坑降水、废水处理、污染土壤外运、水泥窑协同处置、土壤检测、周边环境监测等；本阶段预计需花费 100 天。

#### （3）自检验收阶段

对开挖清运后基坑侧壁及底部、养护后的原位化学氧化区、废水废气处置及水泥熟料等进行自检，确保每一工程环节的质量和修复效果。各项工程环节完成后，对该污染场地的修复效果进行自验收，以确保工程最终的竣工验收顺利完成；本阶段预计花费 21 天；

#### （4）完工退场和效果评估阶段

主要工作内容包括：人员、材料和机械清退，效果评估取样检测；本阶段预计花费 40 天。

## 5.2 备选方案二

### 5.2.1 技术路线

污染土壤修复技术路线二：

1.对修复深度 0~1m、1~2m、2~3m、3~3.5m、3.5~4m 和关注区采用水泥窑协同处置修复技术；

2.对修复深度 6~10m 采用原位化学氧化技术。

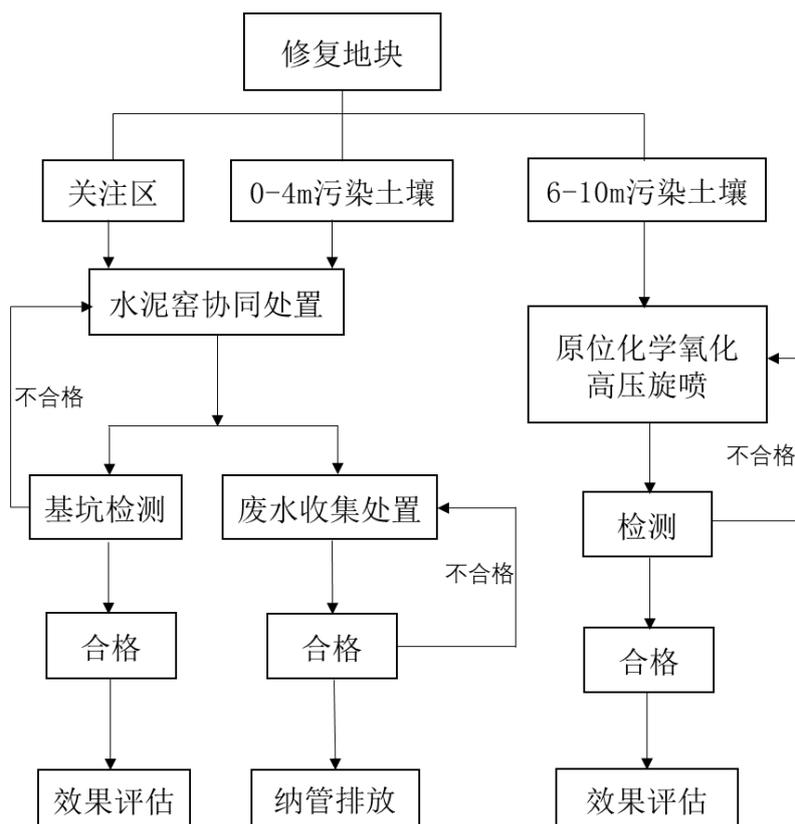


图 5.2-1 备选方案二技术路线图

### 5.2.2 修复周期

根据方案二技术工艺路线和相关参数，对其进行工程量估算，按施工阶段不同分为施工准备阶段、修复实施阶段、自检验收阶段和完工退场和效果评估阶段，修复周期大约需要 220 天，不同施工阶段的相关工作内容如下：

#### (1) 施工准备阶段

主要工作内容包括：场地平整、测量放线、水电接入、施工围挡建设、洗车台建设、项目部建设、水处理设施安装调试、处置大棚建设等；本阶段预计需花费 20 天。

#### (2) 修复实施阶段

主要工作内容包括：污染土壤清挖及短驳、高压旋喷施工、污染土壤预处理、基坑降水、废水处理、污染土壤外运、水泥窑协同处置、土壤检测、周边环境监测等；本阶段预计花费 120 天

#### (3) 自检验收阶段

对开挖清运后基坑侧壁及底部、原位化学氧化区域、废水废气处置及水泥熟料等进行自检，确保每一工程环节的质量和修复效果。各项工程环节完成后，对

该污染场地的修复效果进行自检验收，以确保工程最终的竣工验收顺利完成；本阶段预计花费 21 天。

#### （4）完工退场阶段

主要工作内容包括：人员、材料、机械清退和修复效果评估；本阶段预计花费 40 天。

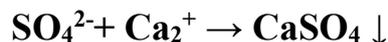
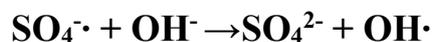
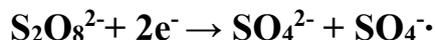
### 5.3 修复技术工艺参数

本技术工艺参数主要参照地块周边（煤制气三期一标段地块）的修复技术工艺参数，为推荐使用的技术参数。为使修复效果达到最佳，在后期施工方案过程中可根据地块实际情况和工程中标单位情况调整工艺参数。

#### 5.3.1 原位化学氧化工艺参数

根据本地块周边修复工程经验，本次原位化学氧化拟采用液体氢氧化钠（32%）的碱性药剂对过硫酸钠进行活化，将活化的过硫酸盐作为氧化药剂，用于去除土壤中的有机污染物；过硫酸钠用量（t）与修复土方量比为 1%~3%；过硫酸钠用量与液体氢氧化钠（32%）的用量比为 1:1。

过硫酸钠在水中电离产生过硫酸根离子  $S_2O_8^{2-}$ ，其标准氧化还原电位为  $E_0 = +2.01 V$ （相对于标准氢电极），接近于臭氧（ $E_0 = +2.07 V$ ），其分子中含有过氧基-O-O-，是一类氧化性较强的氧化剂。在催化条件下， $S_2O_8^{2-}$ 可活化分解为 $\cdot SO_4^-$ ， $\cdot SO_4^-$ 中含有一个孤对电子，其标准氧化还原电位  $E_0 = +2.60 V$ ，远高于  $S_2O_8^{2-}$ （ $E_0 = +2.01 V$ ），接近于羟基自由基（ $E_0 = +2.80 V$ ），从而对有机污染物有很强的降解能力。



加碱活化促使硫酸根自由基和羟基自由基的生成，提高了对有机物的降解能力；调节了土壤 pH 值，防止硫酸根与氢离子结合形成硫酸，从而避免土壤酸化等二次污染问题；可加入钙离子与硫酸根生成硫酸钙微溶沉淀，进一步控制游离的硫酸根含量。

原位化学氧化高压旋喷的技术参数主要包括药剂投加比、布孔密度及注射机

械施工参数。

### （1）药剂投加比

本项目液体氢氧化钠（32%）的碱性药剂对过硫酸钠进行活化，使药剂更充分地氧化、降解土壤中的有机污染物。根据周边地块修复项目经验，并结合本地土壤中苯系物和多环芳烃类污染物的浓度，拟定药剂投加比为1~3%。

### （2）布孔（方式、密度）

本项目原位化学氧化工艺采用三角形布点法，考虑修复场地主要以透水性较差的粉质粘土为主，根据投标人类似工程经验，药剂扩散半径设为0.5m。注射孔位置沿地下水水流方向成排布置，孔距为0.8m，每排之间间距为0.7m，施工前还可通过生产性试验进一步优化参数；以保证注射药剂覆盖所有修复区域。

表 5.3-1 原位化学氧化高压旋喷布孔参数

孔距 (m)	排距 (m)	扩散半径 (m)	布孔密度 (个/100m <sup>2</sup> )	布孔依据
0.8	0.7	0.5	65	土层以透水性较差的粉质黏土为主

### （3）反应（养护）时间

根据煤制气和小南化等大型项目工程经验，采用活化过硫酸盐药剂修复有机物污染土壤反应时间约为1~2个月。

### （4）主要机械设备/设施配置

原位化学氧化修复施工工艺主要使用以下主要机械设备：

表 5.3-2 原位化学氧化修复工艺所需主要设备参数一览表

设备/设施名称	功能或作用	处理能力或作业能力	单位	备注
引孔钻机 XP-60 型	原位注入点引孔	40 个孔/d	套	配备螺杆式空压机、空气锤，单孔 4 m 计
高压旋喷设备 (XP-30 型)	药剂原位注入	作业能力为 12~15 个注入点/d	组套	配套高压注浆泵设备、螺杆式空压机以及配药系统
浅层搅拌设备	原位搅拌	200~300 m <sup>3</sup> /d	套	挖机+强力搅拌头
氧化药剂配药站	高压注射配药	3 m <sup>3</sup>	套	自制

### （5）施工技术参数

表 5.3-3 原位化学氧化高压旋喷机械施工技术参数

施工参数	技术要求	备注或说明
注射压力	20~30 Mpa	根据地层调整，施工至地表附近降低压力，保证施工
气泵压力	0.3~0.8 Mpa	——
提升速度	5~30 cm/min	根据药剂投加比调整

施工参数	技术要求	备注或说明
注浆速度	15~200 L/min	根据药剂投加比及配置浓度调整
钻孔偏差	小于 5 cm	由于障碍物钻孔偏离较大幅度，需详细记录
垂直度	不大于 1.5%	肉眼观察不得倾斜，特别是深度区域施工（0-12 m） 保证垂直度的要求

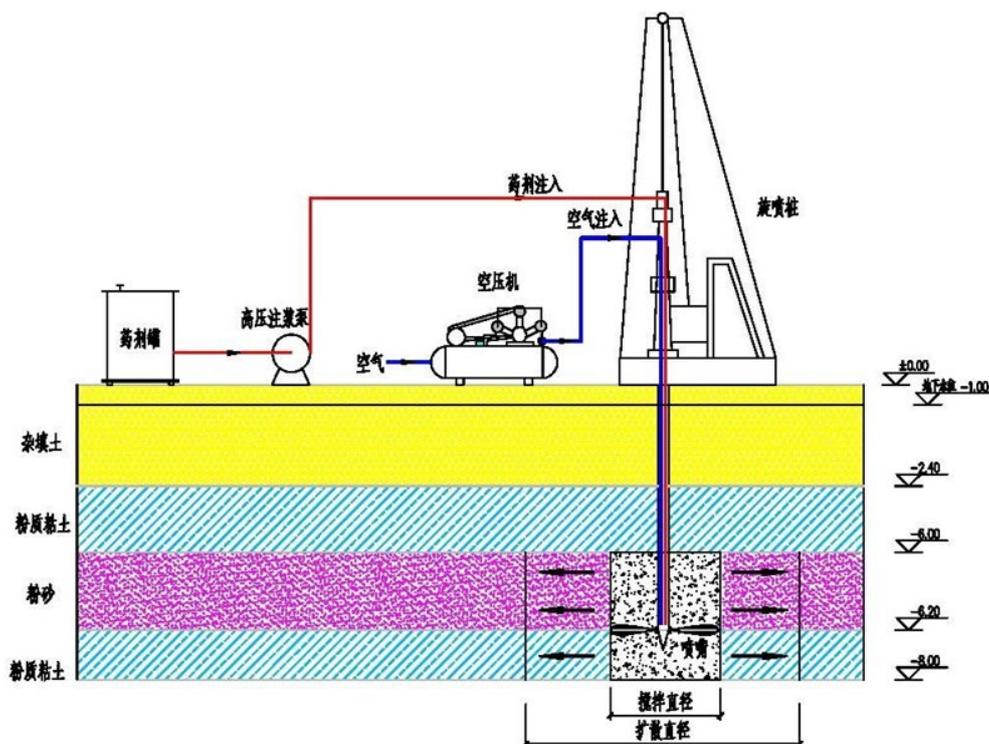


图 5.3-1 土壤原位化学氧化（高压旋喷）工艺示意图



注药、搅拌

养护

图 5.3-2 原位化学氧化浅层搅拌施工实例图

## 5.3.2 水泥窑协同处置工艺参数

### 5.3.2.1 水泥窑处置设施的要求

根据《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》（HJ 662-2013），满足以下条件的水泥窑可用于协同处置固体废物：

- 一、窑型为新型干法水泥窑；

二、对于改造利用原有设施协同处置固体废物的水泥窑，在改造之前原有设施应连续两年达到《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915-2013）的要求。

用于协同处置固体废物的水泥窑应具备以下功能：

（1）采用窑磨一体机模式；

（2）配备在线监测设备，保证运行工况的稳定；包括窑头烟气温度、压力；窑表面温度；窑尾烟气温度、压力、O<sub>2</sub>浓度；分解炉或最低一级旋风筒出口烟气温度、压力、O<sub>2</sub>浓度；顶级旋风筒出口烟气温度、压力、O<sub>2</sub>、CO浓度；

（3）水泥窑及窑尾余热利用系统采用高效不带除尘器作为烟气除尘设施，保证排放烟气中颗粒物浓度满足《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485-2013）的要求。水泥窑及窑尾余热利用系统排气筒配备粉尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>浓度在线监测设备，连续监测装置需满足固定污染源《污染源烟气排放连续监测系统技术要求及检测方法》（HJT 76-2007）的要求，并于当地监控中心联网，保证污染物排放达标。

（4）配备窑灰返窑装置，将除尘器等烟气处理装置收集的窑灰返回送往生料入窑系统。

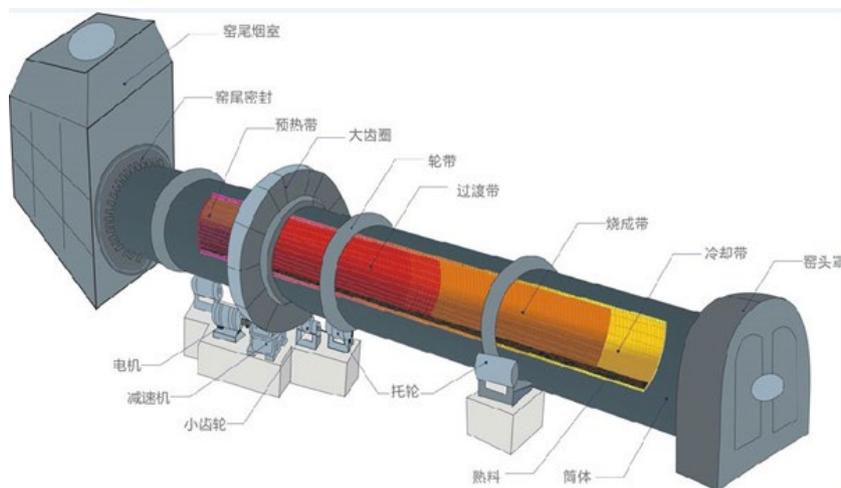


图 5.3-3 新型干法水泥窑结构示意图

### 5.3.2.2 污染土壤水泥窑投加位置

根据以往成功经验，污染土壤适宜从生料磨投加。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和，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 °C，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 20 m 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 °C，物料温度达 1450 °C，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、煤粉搅合；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。

回转窑焚烧空间大，斜度小，旋转速度低，以 100~240 r/h 的速度旋转，焚烧空间很大，不仅可以处理大量的废料，而且可以维持均匀、稳定的焚烧状态。具体投加位置已实际发生为准。

表 5.3-4 水泥窑协同处置固体废物的投加位置

序号	投加位置	适用于投加的废物特性
1	主燃烧器	液态或易于气力输送的小粒径固体废物；含 POPs 物质或高毒、难降解有机物质的废物；热值高、含水率低的有机废液
2	窑门罩	不适于在窑头主燃烧器投加的液体废物，如各种低热值液态废物；易于气力输送的小粒径固体废物。
3	分解炉	所有废物
4	窑尾烟室	受物理特性限制无法从窑头投加的高毒、难降解有机物；不可燃，有机质含量低。
5	生料磨	二噁英含量小于 10ng I-TEQ/kg，其他特征有机物含量<常规水泥生料中相应的有机物含量和氰化物（CN-含量<0.01 mg/kg）的固体废物（强制条款）

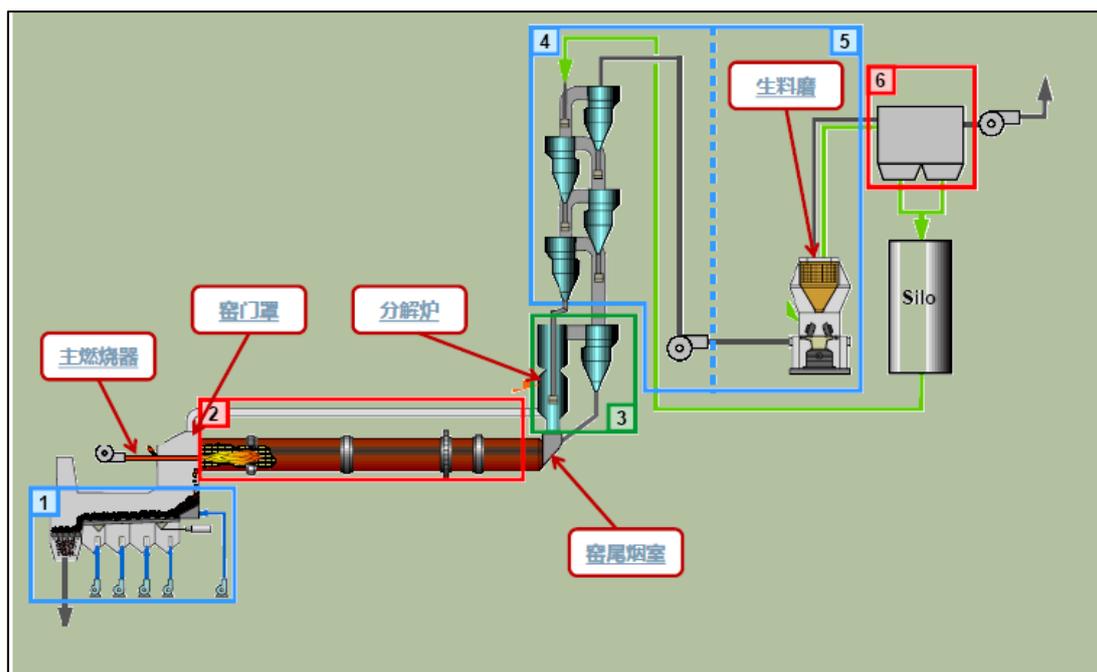


图 5.3-5 水泥窑协同处置投加位置示意图

### 5.3.2.3 处置效果影响因素

影响水泥窑协同处置效果的关键技术参数包括：污染土壤中碱性物质含量、重金属污染物的初始浓度、氯元素和氟元素含量、硫元素含量、污染土壤添加量、污染土壤含水率等。

(1) 污染土壤中碱性物质含量：污染土壤提供了硅质原料，但由于污染土壤中  $K_2O$ 、 $Na_2O$  含量高，会使水泥生产过程中中间产品及最终产品的碱当量高，影响水泥品质，因此，在开始水泥窑协同处置前，应根据污染土壤中的  $K_2O$ 、 $Na_2O$  含量确定污染土壤的添加量。

(2) 重金属污染物初始浓度：入窑配料中重金属污染物的浓度应满足《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》（HJ662-2013）的要求。

表 5.3-5 入窑物料中重金属最大允许投加量

重金属	单位	最大允许投加量
重金属的单位熟料投加量	铊+镉+铅+15×砷 (Tl+Cd+Pb+15×As)	mg/Kg-cli 230
重金属的单位水泥投加量	砷 (As)	mg/Kg-cem 4280
	铅 (Pb)	1590

(3) 污染土壤中的氯元素和氟元素含量：应根据水泥回转窑工艺特点，控制随物料入窑的氯和氟投加量，以保证水泥回转窑的正常生产和产品质量符合国家标准，入窑物料中氟元素含量不应大于 0.5%，氯元素含量不应大于 0.04%。

(4) 污染土壤中硫元素含量：水泥窑协同处置过程中，应控制污染土壤中的硫元素含量，配料后的物料中硫化物硫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 3000 mg/kg。

水泥窑协同处置固体废物的主要影响因素及控制办法见下表：

表 5.3-6 水泥窑协同处置固体废物的影响因素及控制办法

序号	因素	影响	控制方法
1	Cl、F	影响熟料烧成和熟料质量 易造成窑内结皮	控制 F 和 Cl 的投加速率 入窑原燃料（包括常规原燃料和废物）中 F 元素含量的一般≤0.5% 入窑原燃料（包括常规原燃料和废物）中 Cl 元素含量的一般≤0.04% 采用旁路放风
2	S	从高温区投加的全硫和从配料系统投加的硫酸盐易造成窑内结皮	控制硫酸盐的投加和生成量，即控制从高温区投入的全硫以及从配料系统投加的硫酸盐硫的投加速率≤3g/kg-cl。 采用旁路放风
3	废物投加位置和设施	不同的加料点具有不同的固相停留时间和温度分布，直接影响熟料的烧成过程；水泥窑在负压下运行，加料装置漏风将影响窑内温度分布。	针对不同的废物特性选择合适的投加位置：粉状或小颗粒废物尽可能喷入窑内距离窑头更远的距离，大块状废物不能从窑头加入。 进料口应配制保持气密性的装置
4	废物热值、含水率	废物热值和水分投加速率直接影响窑内温度分布	通过废物配伍调节废物热值 通过烘干或控制废物投加速率控制水分进窑速率

#### 5.3.2.4 环境保护目标

根据《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485-2013），利用水泥窑处置固体废物时，水泥窑及窑尾余热利用系统排气筒中大气污染物中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物和氨的排放按照《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915-2013）中的限值要求。同时，水泥窑及窑尾余热利用系统排气筒总有机碳（TOC）因协同处置固体废物增加的浓度不应超过 10 mg/m<sup>3</sup>。

《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ 662-2013)等文件要求，用于协同处置固体废物的水泥窑应符合城市总体发展规划，水泥窑协同处置之前，应对相关工艺设备进行环境影响评价，论证可行性，水泥企业应制定处置方案，进行试烧，并对烟气中污染物排放情况进行监测，满足相关限值要求方可进行协同处置。水泥窑协同处置过程应进行全过程监管。

## 6 修复方案比选

### 6.1 比选指标

方案的比选需要建立比选指标体系，必须充分考虑技术、经济、环境、社会等层面的诸多因素。

#### （1）技术指标

可操作性：修复技术的可靠性；管理人员经验的丰富程度；必要的设备和资源的可获得性；异位修复过程中污染介质的贮存、运输、安全处置方面的可操作性；以及与场地再利用方式或后续建设工程匹配性相关的可操作性指标，包括修复后场地的建设方案及其时间要求、土方平衡方面的可操作性等。

污染物去除效率：目标污染物的有效去除数量。

修复时间：达到修复目标/指标所需要的时间。

#### （2）经济指标

基本建设费用：包括直接费用和间接费用。其中直接费用包括原材料、设备、设施费用等；间接费用包括工程设计、许可、启动、意外事故费用等间接投资。

运行费用：人员工资、培训、防护等费用；水电费；采样、检测费用；剩余物处置费用；维修和应急等费用；以及保险、税务、执照等费用。

后期费用：日常管理、周期性监测等后期费用。

#### （3）环境指标

残余风险：剩余污染物或二次产物的类型、数量、特征、风险，以及风险处理处置的难度和不确定性。

长期效果：修复工程达到修复目标后的污染物毒性、迁移性或数量的减少程度；预期环境影响（占地、气味、外观等）是否达到了长期保护环境健康的目标；是否存在潜在的其他污染问题；需要修复后长期管理的类型和程度；长期操作和维护可能面临的困难；技术更新的潜在需要性。

#### （4）社会指标

管理可接受程度：区域适宜性；与现行法律法规、相关标准和规范的符合性；需要与政府部门配合的必要性。

公众可接受程度：施工期对周围居民可能造成的影响（气味、噪声等）。

## 7 环境管理计划

### 7.1 修复工程监理

修复工程监理包括工程和环境监理。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、有关工程建设的法律、法规和工程建设监理合同及其它工程建设合同，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。

环境监理是受污染场地责任主体委托，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贯彻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。

通过环境监理，确保各项环境保护工程的质量、工期、生态恢复、污染治理达到规定标准，土壤修复达到目标值，满足国家环境保护法律、法规的要求；按合同规定的监理职责、权限和监理工作管理程序，将监理过程中发生的未按规定要求实施或质量不能满足要求的事件及时反馈，并提出处理措施，按规定程序审批、整改或变更；协助地方环保行政主管部门的执法检查，为处理环保纠纷事件提供科学、详实的依据；参加修复工程竣工验收。

#### 7.1.1 修复工程监理

工程监理的对象主要是修复工程本身及与工程质量、进度、投资等相关的事项。

工程监理工作内容包括“三控制、二管理、一协调”，即质量、进度、投资控制；合同管理和信息收集、分类、处理、反馈的管理；对业主、修复施工单位等各方之间的协调组织。

##### (1) 确定项目总监理工程师，成立项目监理机构

监理单位应根据工程的规模、性质、业主对监理的要求，委派称职的人员担任项目总监理工程师，总监理工程师是一个建设工程监理工作的总负责人，他对内向监理单位负责，对外向业主负责。

监理机构的人员构成是监理投标书中的重要内容，是业主在评标过程中认可

的，总监理工程师在组建项目监理机构时，应根据监理大纲内容和签订的委托监理合同内容组建，并在监理规划和具体实施计划执行中进行及时的调整。

## （2）编制建设工程监理规划

建设工程监理规划是开展工程监理活动的纲领性文件。

## （3）规范化开展监理工作

监理工作的规范化体现在：

1) 工作的时序性：这是指监理的各项工作都应按一定的逻辑顺序先后展开。

2) 职责分工的严密性：工程监理工作是由不同专业、不同层次的专家群体共同来完成的，他们之间严密的职责分工是协调进行监理工作的前提和实现监理目标的重要保证。

3) 工作目标的确切性：在职责分工的基础上，每一项监理工作的具体目标都应是确定的，完成的时间也应有时限规定，从而能通过报表资料对监理工作及其效果进行检查和考核。

## （4）对施工过程进行监理，对施工报审工程材料进行审核

施工准备阶段：进行资料审核（技术方案、施工组织设计、进场准备工作报审资料等），开工报告审核并提交建设单位，经建设单位确认签署开工令；

项目实施阶段：依据实施方案，对边界放线测绘进行确认核实，测绘应由具备相应资质的第三方机构完成，同时结合施工进度，对修复工程量进行核实；对施工单位提交的各项报审材料进行审核确认；定期组织召开工程进度监理例会；

## （5）参与验收，签署建设工程监理意见

建设工程施工完成以后，监理单位应在正式验交前组织竣工预验收，包括资料审核等，在预验收中发现的问题，应及时与施工单位沟通，提出整改要求。监理单位应参加业主组织的工程竣工验收，签署监理单位意见。

## （6）向业主提交建设工程监理档案资料

建设工程监理工作完成后，监理单位向业主提交的监理档案资料应在委托监理合同文件中约定。如在合同中没有作出明确规定，监理单位一般应提交：设计变更、工程变更资料，监理指令性文件，各种签证资料等档案资料。

## （7）监理工作总结

监理工作完成后，项目监理机构应及时从两方面进行监理工作总结。其一，是向业主提交的监理工作总结，其主要内容包括：委托监理合同履行情况概述，

监理任务或监理目标完成情况的评价。其二，是向监理单位提交的监理工作总结，其主要内容包括：

1) 监理工作的经验，可以是采用某种监理技术、方法的经验，也可以是采用某种经济措施、组织措施的经验，以及委托监理合同执行方面的经验或如何处理好与业主、承包单位关系的经验等；

2) 监理工作中存在的问题及改进的建议。

### 7.1.2 修复环境监理

环境监理的对象主要是工程中的环境保护措施、风险防范措施以及受工程影响的外部环境保护等相关的事项。

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。

环境监理工作内容包括但不限于：

(1) 根据工程进度编制环境监理工作方案、环境监理总结报告等文本；

(2) 修复主体工程监理，包括确认工程开工、核查治理与修复区域的现场放样工作、核查土壤分类暂存情况、监督治理与修复后土壤处置过程及去向、监督修复工程中污染介质的运输过程、工程施工现场作业对周边环境和居民影响的控制措施、处理污染土壤场所的资质和能力监督，污染土壤治理、暂存、转运过程中的风险防范措施的监管、修复效果现场质控监督及各类监理报审材料审核确认等；

(3) 过程环境监测，主要包括修复工程实施过程中排放的废水、废气、噪声，评价工程实施过程中污染物的排放和周边环境质量是否符合相关标准和规范的要求；

(4) 参加治理与修复效果评估工作，协助地块责任单位进行污染地块治理与修复效果评估工作，提供环境监理总结报告、环境监理日志、监理会议纪要、监理报审材料、环境监测记录、环境整改记录等工程实施过程中关于二次污染防治措施落实情况及污染土壤处置情况的相关资料。

环境监理工作技术流程如下：

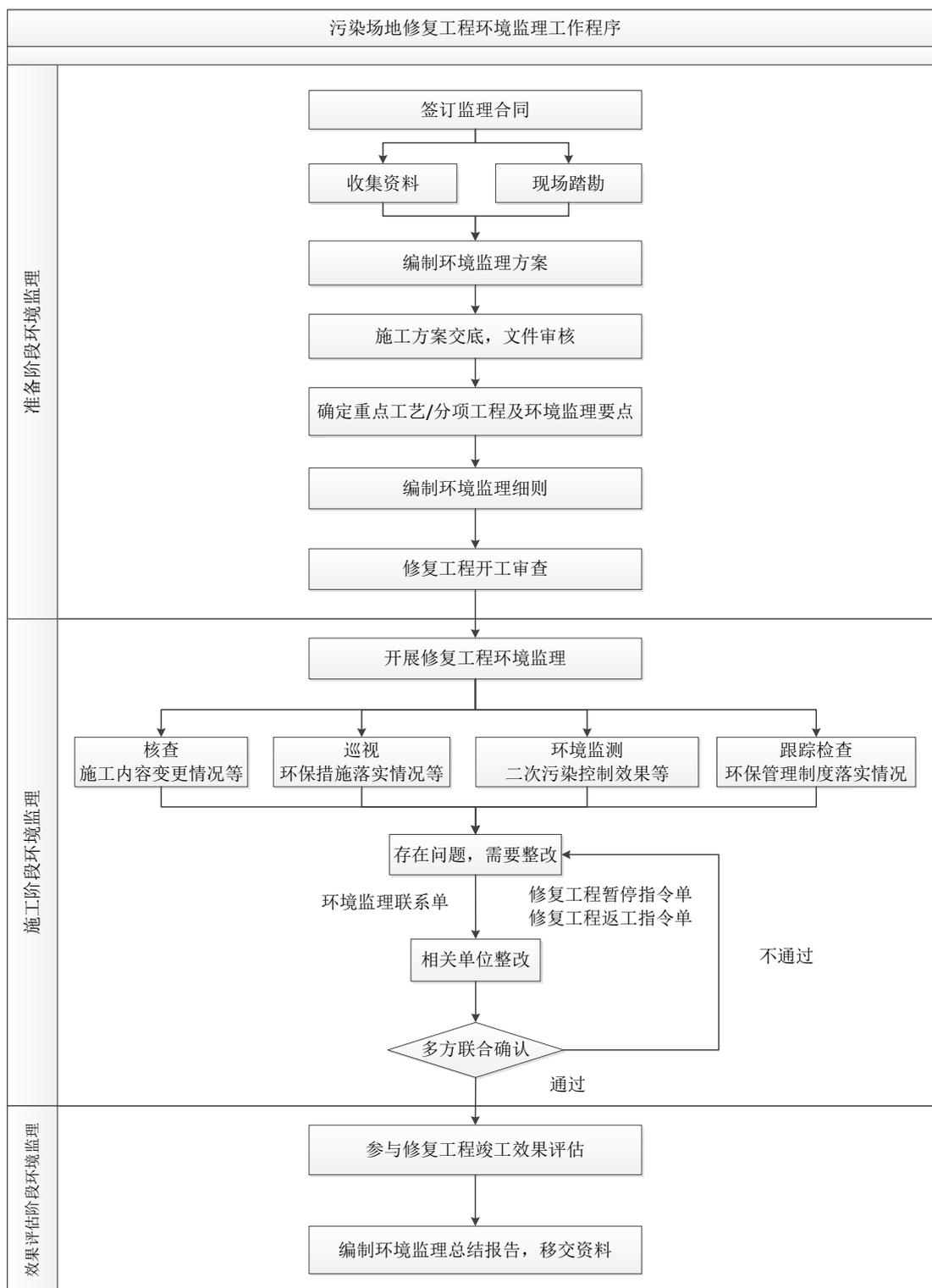


图 7.1-1 环境监理工作流程

环境监理工作要点：

(1) 项目准备阶段

1) 收集资料

准备阶段应收集的资料主要包括：污染地块土壤污染状况调查报告、土壤污染风险评估报告、修复方案、施工方案、相关环评等技术文件及备案材料；污染

地块、环境保护、环境监理等相关法律法规和技术规范；相关招标文件、合同等。

## 2) 现场踏勘

环境监理相关人员应赴现场踏勘，调查场地环境基本情况，结合土壤污染状况调查、风险评估与修复方案了解场地修复工程重点及场地施工条件，调查修复工程周边敏感环境要素。

## 3) 编制环境监理方案

环境监理机构应依据环境保护相关法律法规、修复方案和施工方案等技术资料，结合修复工程实际情况，基于可行性和可操作性，编制环境监理方案。

环境监理方案应明确环境监理机构的工作目标，确定具体的环境监理工作范围、工作程序、工作内容、工作方法、工作制度和成果提交方式等内容。

环境监理方案应由总环境监理工程师主持、环境监理工程师参与编制，经环境监理单位技术负责人审核批准，在召开第一次工地会议前报送建设单位，并抄送修复施工单位、工程监理单位。

## 4) 参加建设单位牵头组织的修复工程施工方案交底

环境监理机构应参加施工方案交底会，了解施工方案及其整改情况，明确具体工序或标段的环境保护目标，并介绍环境监理机构及人员职责分工、监理工作的目标、范围、内容、工作程序和方法等。

## 5) 文件审核

应重点审核以下信息，提出反馈意见及合理建议：

- ①资料的完整性及与国家相关法律法规、标准规范的相符性；
- ②施工方案的相符性，主要包括修复边界确认、修复工艺、修复设备仪器、产排污节点、污染物的最终处置方法和去向、污染土壤运输、处置的合规性；
- ③污染地块与环境敏感区的位置关系，涉及环境敏感区的施工方案、环境保护措施是否合理。

## 6) 建立相关管理体系和制度

主要工作包括：

- ①应建立环境监理会议等制度，协调解决修复工程实施过程中可能产生的问题；
- ②应监督建设单位建立完整的修复工程管理体系，包含开工许可、停工/复工、问题整改、修复效果自检和工程变更许可等；

③应监督建设单位针对修复工程产生的废水、废气、噪声、固废等建立相应的环保管理制度和污染防治措施操作规程；监督管理建设单位落实各类环保手续的办理工作。

④应针对进场的施工单位开展宣贯工作，监督施工单位建立完善有效的环保责任体系，明确分工、责任到人。

#### 7) 编制环境监理细则

在环境监理方案的基础上，应根据修复工程特点，基于可操作性原则，编制重点工艺或分项工程环境监理实施细则，进一步明确环境监理具体工作内容和工作方法、明确环境监理对问题的处理方式、建立环境监理工作制度及操作细则。实施细则经总环境监理工程师批准后方可实施。环境监理实施细则应根据修复工程实施过程中的实际情况进行补充、修改和完善。

### (2) 项目实施阶段

#### 1) 临设建设环节环境监理要点如下

- ①对定位放线情况进行审核；
- ②现场临时设施建设过程进行环境监理及工作审核；
- ③核查施工单位提交的其他报审材料（施工单位、检测单位、测绘单位资质材料，设备、材料进场情况报审等）。

#### 2) 开挖环节环境监理要点如下：

- ①根据修复方案和施工方案核实确认污染土壤及其他土壤开挖范围；
- ②监督地块内污染土壤及其他清洁土壤开挖及分区域堆置情况，严禁发生交叉污染；
- ③检查二次污染防治措施落实情况，开展相关监测，重点关注开挖施工过程中开挖区域周边大气监测和噪声监测，以及废水收集和处理；

④结合施工进度，在实施单位报审开挖自检合格资料基础上，阶段性在开挖区域边界采样检测，评估开挖是否达到边界；监测点位布置可参照 HJ 25.2 和 HJ 25.5 中相关布点要求；审核达到修复目标后，提请效果评估单位开展阶段性验收。

#### 3) 土壤运输环节环境监理要点如下：

- ①对不同去向土壤情况进行核查，审核确认污染土及清洁土区分外运处置；
- ②核查土壤转移路线和去向是否合规，其中对污染土壤转移路线及接收证明材料与清洁土壤去向分别进行核实确认；

- ③对实施单位提交的报审材料经审核，并视情况进行样品抽检；
  - ④监督二次污染防治措施落实情况，核查污染土壤运输过程中的封闭措施。
- 4) 土壤暂存及预处理环节环境监理要点如下：

①应检查暂存及预处理设施建设是否符合环保相关要求，重点核查三防（防扬散、防流失、防渗漏）和密闭措施等是否到位，功能区划分是否合理，相关防止交叉污染措施是否到位；

②应开展暂存场所和预处理设施周边大气环境监测，监测布点方式参照 HJ25.2 相关要求。

5) 其他环节环境监理要点如下：

- ①核查修复工艺、设备设施、材料、药剂等与施工方案相符性；
- ②跟踪监督修复方案的实施情况，包括修复流程、主要环节、工艺参数等；
- ③开展项目全过程二次污染防治监督及监测，重点关注环保大棚密闭情况、尾气收集处理情况以及产生的废水、固废等收集处理情况，并在修复工程周边环境敏感点、地块边界等位置设置大气环境监测点；

④修复区域边界进行严格监督管理，宜在周边区域设置采样点，避免修复工程对周边环境产生影响；

⑤跟踪监督施工单位自测过程，必要时可开展采样分析，初步核实修复效果。

(6) 各类环境监理报告编制：

- ①定期环境监理报告（周、月）；
- ②专题环境监理报告；
- ③阶段性环境监理报告。

### (3) 效果评估阶段

#### 1) 材料整理

对项目准备阶段、项目实施阶段过程中各项材料进行整理，包括：巡视旁站记录、质控监测报告、环境监测报告、施工过程各类记录文件（日志、周报、月报、专题报告、阶段性报告）、环境监理会议纪要、各类报审材料。

#### 2) 报告编制及提交

编制并提交环境监理总结报告，协助配合建设单位开展修复效果评估工作。

## 7.2 二次污染防治

## 7.2.1 大气二次污染防治措施

本项目的废气及粉尘可能来自基坑开挖、土壤短驳、暂存及处置过程产生的扬尘、机械设备排放尾气等。

### （1）土壤清挖、修复过程产生的废气

土壤清挖及修复过程的废气主要为污染土壤清挖及处置过程产生的扬尘及机械设备废气，为防止扬尘及废气对周边环境造成影响，在清挖过程要控制清挖面积、及时洒水降尘、喷洒气味抑制剂、及时苫布覆盖等措施，防止对周边环境造成影响。

### （2）粉尘二次污染防治措施

对于可能产生扬尘的区域，挖掘周边区域、运输道路及车辆周转区域，安排专人洒水，抑制扬尘的产生；清扫洒落的土壤时，适量洒水、减少扬尘。如洒水已经不能满足对扬尘的控制，可以采用移动式喷淋除尘设备对扬尘进行控制，利用水雾包裹灰尘借助重力除尘。车辆及挖掘机在经过干燥地表时，控制车速；土壤装卸过程中，尽量减缓车速、降低落差；挖掘机开挖表层干燥土壤时，避免铲斗来回刨土，减少扬尘。遇到大风天气时应停止挖掘作业并覆盖挖掘面，防止造成扬尘。

对施工现场的车辆做好清洗工作。在作业区出口处设置洗车台，对施工和自卸车辆轮胎以及其他部位沾染的污染土壤及时进行清扫和清洗，减少污染土壤的被动转移；按时维护现场施工机械和车辆，保证施工工程机械和自卸车辆尾气的达标排放。

## 7.2.2 废水二次污染防治措施

施工期间产生的废水主要包括废水处理系统中废水、基坑涌水、建筑垃圾冲洗废水、车辆清洗水及施工人员生活污水。对于废水采取“雨污分流、一水多用、节约用水、综合治理”的原则进行处理。

（1）及时处理施工现场生产和生活过程中产生的废水。及时将基坑内积水统一收集后进行检测，如检测不达标需进入一体化水处理设备进行处置，达标后则纳管排放。

（2）采取严格的措施收集基坑水和雨水，防止由于废水的排放和渗流对地下水产生影响；对施工过程中产生的生产生活废水，争取做到减量化和循环利用，

经处理后可用于洒水降尘。

(2) 污染土壤堆放区尽量远离地表水和地下水位较浅的区域，同时必须做好防渗、防雨措施，避免雨水淋滤进入土壤及地下水，引发二次污染；严格控制作业范围，避免施工过程中夹带的污染土壤在雨水天气时对水体造成污染。

(3) 大雨天气不宜进行施工和运输工作，准备好防雨的各种材料；合理利用基坑周边排水沟，将雨水进行有效倒排，避免接触污染土壤；及时将基坑内积水抽出，保证基坑内处于无水的状态下。每天收看、收听天气预报，时刻掌握天气变化，并按照工程需要和天气变化情况做好材料储备工作，正常情况下，工地应备足 3~7 天施工所需材料。

(4) 挖掘前进行降水，防止对地下水产生污染。在有条件的情况下对挖掘剖面采取防水措施。

(5) 施工期间，基坑降水、堆放渗水、车辆清洗废水、含污染物冲洗废水和径流、生活废水等都抽入场地废水处理设施，处理达标后纳管排放。

(6) 污染土壤堆放区应采取地面防渗措施，设置污染土壤水收集系统；采取防雨手段（搭棚或覆盖），减少进入污染土堆的雨水量。

(7) 其他防范措施。定期检查维护施工机械，防止出现施工机械漏油情况；在地表水敏感部位设置水质监测点，定期对水质进行监测，及时发现问题并妥善处理；废水处理工艺全面考虑水质、水量和处理时间，制定适宜的废水处理技术，保证废水达标排放。

### 7.2.3 噪声防治措施

施工期间噪声主要来自施工过程中机械设备的使用、运输车辆的行驶和施工人员作业等。为尽量避免现场施工噪音对周边居民造成的影响，施工期厂界噪声值需满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)规定的限值要求。为有效控制噪声的影响，首选加工精度高、产生噪声低的设备；对于某些设备运行时振动产生的噪声，需考虑设备基础的隔振、减振，另外还可采取设消音器、隔声罩、隔音室等措施降低噪音的影响。噪声二次污染防治措施具体如下：

(1) 每天的 22:00 至次日凌晨 6:00 间禁止产生高噪音的施工作业，确需夜间施工的需严格按照有关规定的要求进行，确保不会对周围居民正常休息造成影响。

(2) 在施工过程中必须采取有效的降噪措施，并加强施工组织管理，将施工噪声控制在限值以内。

(3) 合理布设施工现场，尽量将作业机械布置在远离附近敏感点的区域。

(4) 运输车辆进出口尽量避开居民敏感点，慢速行车且严禁鸣笛。

(5) 施工所用高噪音设施设备、运输车辆等采取安装隔声装置及消声器的措施来降低噪声。施工人员应及时维修、管理高噪声器具设备，使设备处于低噪声运行状态。

(6) 土壤进场装卸过程中必须做到轻卸、轻放。

(7) 进一步研究和改进施工工艺，尽量选用产生噪音和振动较小施工方法。

(8) 施工区内不得使用高音喇叭，行驶过程适当降低速度的方式进行控制。

(9) 做好施工环境监理

环境监理在厂界四周及重点声环境敏感点处设置监控点，监测场界声环境达标排放情况和重点声环境敏感点声环境质量达标情况，如发现超标情况，则责令修复实施单位采取相关整改措施确保达标。

#### 7.2.4 固废二次污染防治措施

本项目施工产生的固体废物主要有建渣、使用完的药剂包装、失效的个人防护装备、废弃施工材料、生活垃圾及施工结束后临时建筑拆除产生的废弃物及一般生活废物等。针对施工过程中产生的固体废弃物，采取如下二次污染防治措施：

(1) 对可能产生二次污染的物品，如使用完的药剂包装、失效个人防护装备、废弃施工材料等，要单独存放，对放置的容器加盖并进行统一处置。

(2) 放置废弃物的容器要有特别的标识，以防止该废弃物的泄漏和与其他废弃物相混淆。综合利用资源，对固体废物尽量实行回收和合理利用。。

(3) 施工过程中的建筑垃圾经清洗后储存于指定区域；施工现场设固定的垃圾存放区域并及时清运，防止污染环境；清洗的废水经统一收集后由现场水处理设备进行集中处理。

(4) 土壤运输过程中由于车辆颠簸可能会导致污染土壤的遗撒，车辆进出口建设洗车台，运输污染土壤前后均要对车身和车轮进行冲洗，防止污染土壤随车带出场区；车辆运输过程中的噪声及鸣笛声可能对周围居民生活产生影响。因此，土壤运输过程中应采取以下二次污染防治措施：

1) 对污染土壤运输车辆的行驶路线进行合理规划，优化各施工点位至土壤贮存处的路线，制定固定的土壤运输路线图；对行经道路进行加固，严格限制挖掘机和自卸车辆的活动范围，防止将污染土壤带入其它区域；由于载土车辆载重较大，长期碾压路面容易导致路面凹陷，发现路面凹凸不平必须及时对损坏路面进行整修和加固。

2) 运输污染土壤的车辆每次运载土壤量不得超过车载的 4/5，为防止路途颠簸污染土遗撒，对运输车辆顶部铺盖帆布，押运人员在运输过程中，定时检查土壤覆盖物的完整性。若发现运输过程中有污染土的遗撒，立即组织人员清理，将散落的污染土集清理收集至处置地点或贮存地点。

3) 土壤挖掘地点和贮存地点门口均设洗车池，冲洗槽两端内向倾斜，沉淀池收集的废水进入水处理设备，沉淀的泥沙和污染土运送至处置地点。

## 7.2.5 环境监测计划

### 7.2.5.1 大气污染监测

本地块污染土壤的修复过程应对大气污染排放及其环境影响进行监测，主要包括场界无组织排放的监测、修复过程有组织大气环境影响监测两个部分。

#### (1) 布点方案

无组织排放：根据地块所在区域、测范围大小、污染物的空间分布特征、气象因素和周边敏感点情况，在地块周边设置监测点，采样点距离地面 1.5~2 m。

有组织排放：监测点布设在废气排放口。

#### (2) 采样频率

在施工前：空气采样监测 1 次。

施工过程中：结合修复进度，每月至少监测 1 次。

施工完成后：空气采样监测 1 次

#### (3) 监测指标及评价标准

地块涉及的目标污染物包括多环芳烃和苯系物，在施工过程中，目标污染物主要暴露途径是随土壤颗粒或大气接触人体。因此，地块修复过程中，应重点关注大气扬尘污染和相关目标污染物。

本地块大气环境监测因子为：至少需包括非甲烷总烃、颗粒物、苯、苯系物、苯并[a]芘。

根据环保要求，地块大气环境中污染物排放限值要求按照江苏省地方标准《大气污染物综合排放标准》（DB 32/4041-2021）对应限值执行，具体如下表所示：

表 7.2-1 大气环境有组织废气监测指标

序号	监测指标	最高允许排放浓度 mg/m <sup>3</sup>	最高允许排放速率 kg/h
1	颗粒物	20	1
2	非甲烷总烃	60	3
3	苯	1	0.1
4	苯系物	25	1.6
5	苯并[a]芘	0.0003	0.000009

表 7.2-2 大气环境无组织废气监测指标

序号	监测指标	最高允许排放浓度 mg/m <sup>3</sup>
1	颗粒物	0.5
2	非甲烷总烃	4
3	苯	0.1
4	苯系物	0.4
5	苯并[a]芘	0.000008

#### (4) 采样方法

处理前空气采样方法严格按照《空气和废气监测分析方法》（第四版）和《环境空气质量手工监测技术规范》的采样方法，选用专用大气采样器进行采样分析。

#### 7.2.5.2 水污染监测

本场地废水主要来源于生活污水、基坑降水、初期雨水、建渣和车辆冲洗废水等。

##### (1) 布点采样

对修复工程施工和运行期产生的工业废水和生活污水经污水处理站处理达标后纳管排放。在此期间对污水来源、排放量、水质指标及处理设施的建设过程、沉淀池的定期清理和处理效果等进行检查、监督，并根据水质监测结果，检查工业废水和生活污水是否达到了排放标准要求。本项目中分别在修复施工废水排放口和生活污水排放口布设采样点。

##### (2) 采样频次

污水处理设备投入运行时监测 1 次，以后坚持按批次进行，直到工程结束。

##### (3) 样品采集

样品的采集方法参考污水监测技术规范（HJ 91.1-2019）。

##### (4) 检测分析

具体监测方法和标准参考污水监测技术规范（HJ 91.1-2019）。

### （5）评价标准

废水处理需执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的三级标准和 GB/T31962-2015 表一中的 A 级标准。应至少包括表 7.2-3 中的指标。具体数据要求如下：

表 7.2-3 废水监测指标限值

序号	指标	单位	标准限值	来源
1	化学需氧量（COD）	mg/L	500	GB8978-1996.表二中的三级标准
2	pH 值	/	6~9	
3	悬浮物（SS）	mg/L	400	
4	氨氮（以 N 计）	mg/L	45	
5	总磷（以 P 计）	mg/L	8	
6	总氮（以 N 计）	mg/L	70	GB/T31962-2015 表一中的 A 级标准
7	动植物油	mg/L	100	GB8978-1996.表二中的三级标准
8	石油类	mg/L	30	
9	挥发酚	mg/L	2	
10	硫化物	mg/L	2	
11	苯并[a]芘	mg/L	0.00003	GB8978-1996.表一第一类污染物
12	苯系物	mg/L	2.5	GB/T31962-2015 表一中的 A 级标准
13	硫酸盐	mg/L	400	
14	硫化物	mg/L	1	

#### 7.2.5.3 噪声监测

##### （1）布点采样

噪声污染源的监测布点方法按照《建筑施工场界噪声测量方法》（GB 12524）执行。根据被测建筑施工场地的建筑作业方位和活动形式，确定噪声敏感建筑或区域的方位，并在建筑施工场地边界线上选择离敏感建筑物或区域最近的点作为测点。

##### （2）监测频次

施工期间，测量连续 20min 的等效声级，夜间同时间测量最大声级。白天测量选在 8:00~12:00 时或 14:00~18:00 时，夜间选在 22:00~6:00 时。每两天采样监测 1 次。

##### （3）测量条件

测量条件应该符合《建筑施工场界噪声测量方法》（GB12524）中规定条件。测量仪器为积分声级计，其性能至少应符合 GB 3785《声级计的电、声性能及测试方法》中对 III 型仪器的要求。

#### (4) 测量方法

按照《建筑施工场界噪声测量方法》（GB 12524）执行。白天以 20min 的等效 A 声级表征该点的昼间噪声值，夜间以 8h 的平均等效 A 声级表征该点夜间噪声值。

#### (5) 评价标准

按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-90）。

表 7.2-4 环境噪声排放标准

昼间 dB (A)	夜间 dB (A)
70	55

### 7.3 修复效果评估监测

#### 7.3.1 效果评估流程

本地块的修复效果评估程序如图 7.3-1 所示。

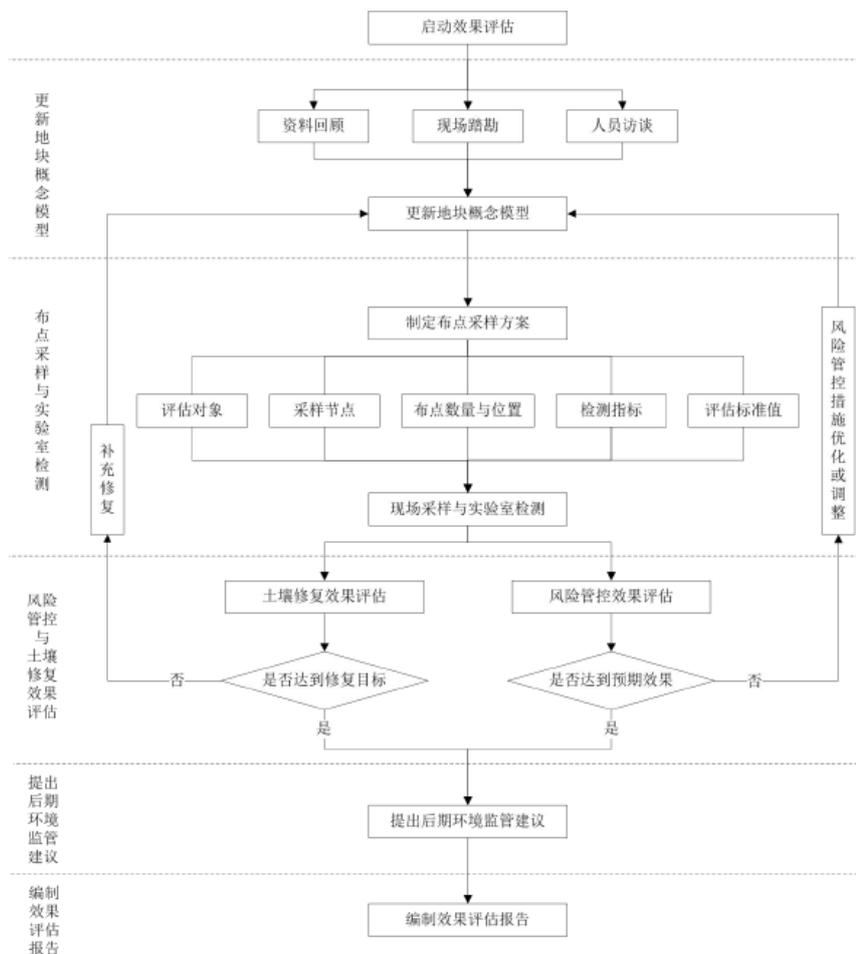


图 7.3-1 污染地块土壤修复效果评估工作程序

### 7.3.2 效果评估节点和范围

本方案拟推选修复技术路线一（以下简称“方案一”）作为本场地的修复治理方案。

#### （1）关注区的基坑坑底和侧壁

关注区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）原位修复后的土壤

原位修复后的土壤应在修复完成后进行采样。

#### （3）潜在二次污染区域

潜在二次污染区域包括：污染土壤暂存区、污染土壤运输路线、修复设施所在区、固体废物或危险废物堆存区、运输车辆临时道路、废水暂存区、修复过程中的污染物迁移涉及的区域、其他可能的二次污染区域。潜在二次污染区域土壤应在此区域开发使用之前进行采用。

#### （4）化学氧化修复后的地下水

为避免对化学氧化修复施工对该区域的地下水造成影响，需对化学氧化区域的地下水进行监测。

#### （5）化学氧化的二次产物

结合施工进度，需对化学氧化修复过程中的二次产物进行监测，监测指标参照三期地块一标段效果评估过程中的二次产物全扫结果，具体如下：

在一标段效果评估阶段，共采集 27 个化学氧化区块，送检 30 个样品进行全扫。根据全扫检出结果，共检出 39 种物质。有毒性物质 23 种，其中包含该地块特征污染物 13 种；无毒性物质 7 种；9 种物质查不到毒性信息。筛选疑似化学氧化二次产物定量检测因子的原则为：1.相似度高；2.检出率高；3.有毒性；4.分析检出因子结构式，有为二次产物的可能性。

重点关注检出的且有毒性的 10 种物质： $C_9H_{14}O$ （异佛尔酮）、 $C_6H_6ClN$ （4-氯苯胺）、 $C_8H_8O$ （苯乙酮）、 $C_{16}H_{22}O_4$ （邻苯二甲酸二异丁酯）、 $C_{16}H_{22}O_4$ （邻苯二甲酸二丁酯）、 $C_{20}H_{12}$ （苯并（e）芘）、 $CH_3ClO_2S$ （甲基磺酰氯）、 $C_6H_{14}$ （正己烷）、 $C_5H_{10}O_2$ （乙酸丙酯）。

检出因子汇总表详见表 7.3-1。

表 7.3-1 三期二标段化学氧化二次产物检出情况汇总表

序号	名称	CAS 号	送样个数 (个)	检出个数 (个)	检出率 (%)	相似度最大值 (%)	相似度最小值 (%)	毒性信息	备注
1	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O (异佛尔酮)	78-59-1	15	4	26.7%	96	84	中毒	
2	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ClN (4-氯苯胺)	106-47-8	15	2	13.3%	87	84	高毒	
3	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O (苯乙酮)	98-86-2	15	1	6.7%	96	/	中毒	
4	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub> (邻苯二甲酸二异丁酯)	84-69-5	15	11	73%	95	90	低毒	
5	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub> (邻苯二甲酸二丁酯)	84-74-2	15	10	66.7%	98	95	中毒	
6	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> (苯并(e)芘)	192-97-2	15	1	6.7%	77	/	有毒	五个环
7	CH <sub>3</sub> ClO <sub>2</sub> S (甲基磺酰氯)	124-63-0-	15	1	6.7%	80	/	有毒	
8	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (正己烷)	110-54-3	15	1	6.7%	88	/	低毒	
9	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> (乙酸丙酯)	109-60-4	15	1	6.7%	80	/	低毒	
10	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> (蒽烯)	208-96-8	15	3	20%	91	86	有毒	目标污染物
11	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> (菲)	1985/1/8	15	4	26.7%	90	77	有毒	目标污染物
12	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> (荧蒹)	206-44-0	15	8	53.3%	96	78	有毒	目标污染物
13	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> (芘)	129-00-0	15	8	53.3%	94	85	有毒	目标污染物
14	C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub> (邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯)	117-81-7	15	10	66.7%	96	90	有毒	目标污染物
15	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> (苯并(a)芘)	50-32-8	15	2	13.3%	89	81	有毒	目标污染物
16	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub> (茚并(1,2,3-cd)芘)	193-39-5	15	3	20%	95	80	有毒	目标污染物
17	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub> (苯并(g,h,i)芘)	191-24-2	15	1	6.7%	95	/	有毒	目标污染物
18	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> (苯并(a)蒹)	56-55-3	15	2	13.3%	95	89	有毒	目标污染物
19	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> (蒗)	218-01-9	15	2	13.3%	93	88	有毒	目标污染物
20	C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub> (邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯)	27554-26-3	15	2	13.3%	93	93	中毒	目标污染物
21	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> (蒹)	120-12-7	15	1	6.7%	95	/	中毒	目标污染物
22	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> (苯并(b)荧蒹)	205-99-2	15	1	6.7%	96	/	有毒	目标污染物

序号	名称	CAS号	送样个数(个)	检出个数(个)	检出率(%)	相似度最大值(%)	相似度最小值(%)	毒性信息	备注
23	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> (苯并(k)荧蒹)	207-08-9	15	1	6.7%	96	/	有毒	目标污染物
24	C <sub>18</sub> H <sub>35</sub> NO (油酸酰胺)	301-02-0	15	11	73.3%	93	85	无毒	/
25	正构烷烃或同分异构体	-	15	9	60%	96	70	无毒	/
26	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> (硬脂酸)	1957/11/4	15	6	40%	92	81	无毒	/
27	C <sub>22</sub> H <sub>43</sub> NO (芥酸酰胺)	112-84-5	15	3	20%	91	90	无毒	/
28	C <sub>30</sub> H <sub>50</sub> O (木栓酮)	559-74-0	15	2	13.3%	89	87	无毒	/
29	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub> (二十烷酸) 或同分异构体	506-30-9	15	1	6.7%	91	/	无毒	/
30	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> (十五烷酸)	1002-84-2	15	1	6.7%	88	/	无毒	/
31	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O (2,6-二甲基-2,5-庚二烯-4-酮)	504-20-1	15	3	20%	96	93	查不到毒性信息	/
32	C <sub>38</sub> H <sub>68</sub> O <sub>8</sub> (抗坏血酸二棕榈酸酯)	28474-90-0	15	2	13.3%	91	91	查不到毒性信息	/
33	C <sub>26</sub> H <sub>52</sub> O <sub>2</sub> (十二酸十四酯)	22412-97-1	15	1	6.7%	90	/	查不到毒性信息	/
34	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (N,N'-双(2,6-二甲基-亚硝基庚-2-烯-4-酮))	66737-12-0	15	1	6.7%	95	/	查不到毒性信息	/
35	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O (甲基环己烯酮)	1193-18-6	15	1	6.7%	97	/	查不到毒性信息	/
36	C <sub>9</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>3</sub> (2,6-二乙基-6-硝基-2-半抗原-4-酮)	73583-56-9	15	3	20%	89	89	查不到毒性信息	/
37	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> (丙烯酸异冰片酯)	5888-33-5	15	1	6.7%	83	/	有危害性 具体毒性未知	/
38	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub> O (正葵醚)	2456-28-2	15	1	6.7%	88	/	查不到毒性信息	/

序号	名称	CAS号	送样个数(个)	检出个数(个)	检出率(%)	相似度最大值(%)	相似度最小值(%)	毒性信息	备注
39	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> (2,4-二甲基戊烷)	108-08-7	15	1	6.7%	83	/	查不到毒性信息	/

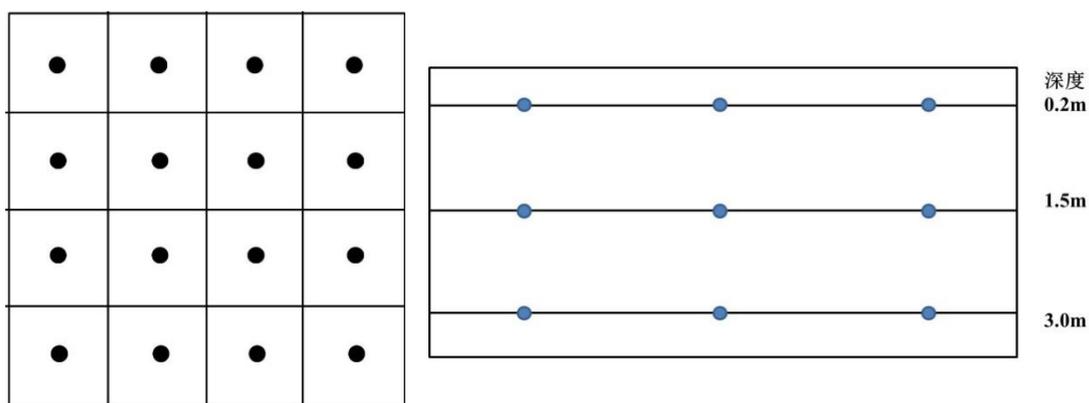
### 7.3.3 采样点位布设

#### (1) 关注区的土壤基坑

基坑底部和侧壁推荐最少采样点数量如表 7.3-2。基坑底部采用系统布点法，基坑侧壁采用等距离布点法，布点位置参加图 7.3-3。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，在污染物易富集位置设置采样点，各层采样点之间垂向距离不大于 3m，具体根据实际情况确定。基坑坑底和侧壁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。

表 7.3-2 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
≥ 12500	网格大小不超过 40m×40m	采样点间隔不超过 40m



基坑底部—系统布点法

基坑侧壁—等距离布点法

图 7.3-2 基坑底部和侧壁布点示意图

#### (2) 原位修复后的土壤

原位修复后的土壤水平方向上采用系统布点法，垂直方向上采样深度应不小于调查评估确定的污染深度以及修复可能造成污染物迁移的深度，根据土层性质

设置采样点，原则上垂向采样点之间距离不大于 3m，具体根据实际情况确定。应结合地块污染分布、土壤性质、修复设施设置等，在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区、修复范围边界处等位置增设采样点，相应监测化学氧化修复区域的地下水及二次产物。

### （3）土壤修复二次污染区域

潜在二次污染区域土壤原则上根据修复设施设置、潜在二次污染来源等资料判断布点，也可采用系统布点法设置采样点，采样点布设原则参照省厅下发的 1085 号文之相关规定。

### （4）全场地效果评估取样

根据省厅下发的 1085 号文之相关规定，应对全场地进行效果评估取样。根据本地块修复方式，应关注化学氧化区域的地下水及二次产物、修复过程中的潜在二次污染区、非修复区、修复边界及污染物浓度较高的区域。

## 7.4 环境应急方案

本项目中可能出现的风险有：燃料泄露、火灾、触电、基坑坍塌、人员中毒等。如发生土突发环境事件应及时上报环境主管部门，及时采取相应措施。

### （1）火灾防范及应急措施

在修复场地的关键区域及涉及重要电器设施的位置布设一定数量的灭火器，定期检查并保证其使用的有效性，以备发生意外火灾事故。

如果现场发生火灾，当火势较小时，施工人员应立即就近使用灭火器；当火势较强时，应立即向工地其他安全地段转移，并及时拨打 119/120 通知消防部门和医疗机构，对火灾逃生中受伤的人员进行救护。当火灾发生时和扑救完毕后，应急小组要派人保护好现场，等待对事故原因及责任人的调查，同时应立即采取善后工作。此外，灾后应组织人员对作业区域的配电线路、供电设备等状况检测或试验一次。对安全隐患在作业前整改到位，全面消除隐患。损坏的电器线路和设备按临时用电方案恢复，并经验收合格。

### （2）触电事故应急措施

立即切断电源。用干燥的木棒和竹竿等绝缘工具将电线或电源断开。观察伤员情况，如果触电者心跳和呼吸微弱甚至停止，抢救者应给予胸外心脏按压和人工呼吸，在医生到来之前不要中途停止、不要放弃抢救。

### （3）坍塌事故应急措施

挖掘坑边坡出现坍塌，首先按部位抢救受伤人员，其他人员采取有效措施，随时监护边坡状况，及时清理边坡上堆放的材料，以防造成再次事故的发生。

### （4）人员中毒应急措施

由于本项目开挖土壤所含污染物可能对人体健康产生危害，因此，在工程开工前，对全体人员进行安全教育。在施工过程中加强劳动保护，所有进出现场的人员必须佩带相应防护用品，工作现场禁止吸烟、进食和饮水。工作后，彻底清洗。

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

### （5）其他应急措施

#### 1) 突发停电应急措施

现场要配备发电机，以备突发停电事故时，可以使一些必须的设备能够正常运行。

#### 2) 突发停水应急措施

施工中洒水、降尘或洗车时，为防止突发停水事故影响施工，现场要配备抽水设备，抽取处理合格的水作为施工用水，必要时现场还应停放水车。同时专业人员应立即检查原因，抢修及早恢复正常。

#### 3) 防盗应急措施

施工现场设置安全保卫小组，24小时轮流值班、巡视现场，发现紧急情况立即拨打110/119救援电话，同时组织人力尽量控制事态的发展。

#### 4) 传染病应急措施

当施工现场发生流行性强、致命性强传染病时，应尽快查出致病原因，实施有针对性的救治措施，实时启动应急预案。对患者的住处、用品和垃圾进行消毒处理，对接触过患者的所有人员进行排查，防止交叉感染。对患者的转送应由防

疫中心的专业人员实施。

为防止事态扩散，对感染者周围接触人群安排体检，及时隔离感染者住处，避免疫情的扩散。

项目根据疫情防控需要，为防治工作提供保障药品、器械和医用防护用品的物质储备。项目为员工提供部分防护用品，个人自备一些药物和防护用品。

#### （6）季节性施工应急措施

1) 雨季施工前认真组织有关人员分析雨季施工生产计划，根据雨季施工措施，雨季施工所需材料的供货途径和供货周期应明确，确保提前做好所需材料；

2) 遇到降雨天气现场停止施工，立即对挖掘区域和挖出的土壤进行覆盖防雨，土壤底部和表面的防雨布要进行搭接，使土壤受到完全包裹，保证土壤不会受到雨水浸沥。

3) 雨季施工前，对施工场地原有排水系统进行检查，必要时增设排水设施，保证水流畅通。在施工场地周围结合永久结构物加设截水沟，防止外围地表水汇入场内；

4) 雨季施工时，特别是雷暴天气，加强对供、配电设施及用电器材等的维护管理，防止因雷击，漏电等发生人员伤亡或设备损坏等事故。做好电器设备的防雨工作，各种露天电器设备必备有防雨罩。雨季前对现场配电箱、闸箱、电缆临时支架等仔细检查，需加固的及时加固，缺盖、罩、门的及时补齐，确保用电安全。

## 8 成本效益分析

### 8.1 环境效益、经济效益、社会效益

#### 8.1.1 环境效益

(1) 场地中污染物的清除，对于区域环境安全具有重要意义。场地存在污染土壤，因此对于地块及周边的环境造成负面影响。本修复项目以人体健康安全保护为出发点，通过场地污染土壤清理及修复工作的有效实施，能够避免了场地未来开发建设后对周边环境和人体的危害，保障该场地活动人群的身体健康。

(2) 该方案依据污染场地的实际状况，修复技术路线一：采用原位化学氧化的修复方式污染土壤进行修复，共计  $m^3$ ；对地下水超标但不超风险区域采用水泥窑协同处置修复技术，开挖过程中配合将废水收集处置，废水处置合格后纳管排放，土壤约  $1652.02m^3$ ；路线一修复技术与周边地块所采用的技术基本一致，该技术科学可行，能够有效修复治理污染土壤。同时，在污染场地的土方开挖和运输、原位修复治理等过程中，对可能产生的二次污染进行周密的防护措施。本项目工程整个场地修复工作不会对环境造成二次污染，避免了修复工程中的环境影响负效应。

#### 8.1.2 经济效益

场地修复治理达标后，可以进行中学用地的开发建设和使用。通过教育类用地项目的建设：1) 一方面可以直接给开发建设单位带来直接经济的收入；2) 本项目的成功运作改善当地生态环境，环境大幅度改善所带来的地价升值和当地区域优势的显现，会吸引更多的资金来此投资开发，从而促进区域经济发展；3) 本项目的实施，不仅可有效改善当地生态环境，同时将因为教育资源的补充，提升区域优势等，吸引资金，从而有效拉动当地经济的快速发展，当地居民将有更多的就业机会，收入将明显提高。

#### 8.1.3 社会效益

(1) 对所在地区文化、教育的影响

通过对技术的可行性研究，选用适合本地块的污染治理技术。先进技术的引入和实施不仅能促进地区之间的文化技术交流、科技进步，同时技术的实施需要

培训一批专业技术人才，促进当地的教育水平的提高。

### （2）项目对所在地区城市化进程的影响

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

### （3）对所在区域经济发展的影响

本项目不能带来直接的经济效益，但项目完成后，环境大幅度改善所带来的地价升值和当地区域优势的显现，会吸引更多的资金来此投资开发，从而促进区域经济发展。

### （4）对国家可持续发展战略的影响

当前，实施可持续发展战略已成为我国国民经济和社会发展的基本指导方针。实施可持续发展的一个重要途径，就是把环境保护纳入综合决策，转变传统的经济增长模式。本项目解决了当地的环境污染问题，对城市的发展，对我国可持续发展战略的实施起着非常重要的促进作用。

## 9 结论

### 9.1 可行性研究结论

根据地块的污染特征、地块水文地质条件、土地利用规划和地块未来的开发建设计划，经修复技术的初步筛选和进一步的可行性评估，通过修复技术的筛选和综合评估，结合本项目周边地块修复工程项目经验，认为，“修复技术路线一”该修复技术工程经验丰富，污染物去除率高，工期符合开发建设需求，具备可行性。

### 9.2 问题和建议

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

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

## **10 附件**

**10.1 附件 1 土壤污染状况调查和风险评估初审意见评审会议资料**

**10.2 附件 2 风险评估报告评审会议资料**

**10.3 附件 3 修复技术方案评审会议资料**