

青岛地铁 5 号线镇平路维保中心二期污
染场地土壤修复工程（工程总承包）
A 地块

修复方案

编制单位：青岛图维生态环境工程有限公司
江苏大地益源环境修复有限公司
杰瑞环境治理有限公司
中国市政工程中南设计研究总院有限公司

二〇二三年八月

目录

1. 总论.....	1
1.1 项目背景.....	1
1.2 工作程序.....	2
1.3 编制依据.....	3
1.3.1 法律法规及政策.....	3
1.3.2 标准规范.....	4
1.3.3 其他相关文件.....	7
1.4 编制内容.....	7
2. 地块问题识别.....	9
2.1 地块地理位置.....	9
2.2 本项目地块与焦化厂位置关系.....	9
2.3 区域概况.....	10
2.3.1 地形地貌.....	10
2.3.2 气候气象.....	11
2.3.3 水文条件.....	12
2.3.4 地质条件.....	14
2.4 地块历史与现状.....	20
2.4.1 地块历史.....	20
2.4.2 地块及周边现状.....	21
2.5 地块未来利用规划.....	21
2.6 地块周边环境敏感目标.....	21
2.7 地块水文地质条件.....	22
2.7.1 地形地貌.....	22
2.7.2 岩土层分布.....	22
2.7.3 水文地质条件.....	24
2.8 风险评估结果.....	26
2.8.1 一类用地范围内土壤风险评估结果.....	26

2.8.2	二类用地范围内土壤风险评估结果	27
2.8.3	地下水调查及风险评估结果	27
2.8.4	地下水迁移扩散风险分析	29
2.9	地块污染土壤危险特性鉴别情况	30
2.9.1	鉴别过程简介	30
2.9.2	鉴别结论	32
3.	地块修复模式	34
3.1	地块修复目标	34
3.2	地块修复范围及工程量	34
3.2.1	地块修复范围划定原则	34
3.2.2 A	地块修复范围	34
3.2.3 A	地块修复方量	35
3.2.4 A	地块污染范围拐点坐标	35
3.2.5	超标地下水监管	35
3.3	修复模式的确定	36
3.3.1	场地污染情况	37
3.3.2	修复模式介绍	40
3.3.3	修复模式确定	40
4.	修复技术筛选	42
4.1	修复技术筛选原则	42
4.2	重金属污染土壤修复技术筛选	42
4.2.1	修复技术介绍	43
4.2.2	修复技术筛选	47
4.3	有机污染土壤修复技术筛选	48
4.3.1	修复技术介绍	48
4.3.2	修复技术筛选	53
4.4	复合污染土壤修复技术筛选	54
4.5	废水处置修复技术筛选	54
4.5.1	修复技术介绍	54

4.5.2 修复技术筛选	55
4.6 土壤修复技术可行性评估	57
4.6.1 异位热脱附技术可行性评估	57
4.6.2 砖瓦窑协同处置技术可行性评估	58
4.6.3 水泥窑协同处置技术可行性评估	61
4.6.4 安全阻隔填埋技术可行性评估	62
4.7 筛选结论	63
5. 修复方案设计	65
5.1 修复技术路线	65
5.2 施工临时设施设计方案	66
5.2.1 临时设施建设	66
5.3 支护及止水帷幕设计	71
5.3.1 总体设计思路	71
5.3.2 构造要求	73
5.3.3 各单元设计	73
5.4 基坑降排水设计	76
5.5 土方开挖及场内短驳	77
5.5.1 污染土壤开挖范围	77
5.5.2 土方开挖方案	77
5.5.3 土方开挖顺序	77
5.5.4 土方场内短驳	78
5.6 污染土壤筛分预处理及建筑垃圾处置方案设计	78
5.6.1 污染土壤筛分预处理	78
5.6.2 建筑垃圾处置方案	79
5.7 污染土壤外运方案设计	80
5.7.1 污染土壤外运类型及方量	80
5.7.2 土壤外运方式的选择	80
5.7.3 土壤外运许可	80
5.7.4 外运过程控制	80
6. 环境管理计划	81

6.1 修复工程监理.....	81
6.1.1 环境监理主要任务	81
6.1.2 环境监理起止时间	81
6.1.3 环境监理人员职责	81
6.1.4 环境监理工作制度	82
6.1.5 环境监理工作方法	84
6.1.6 环境监理工作范围	85
6.1.7 环境监理工作内容	85
6.2 二次污染防治措施.....	86
6.2.1 二次污染源分析	86
6.2.2 施工现场及异地热脱附处置场地二次污染防治措施	88
6.2.3 运输过程二次污染防治措施	94
6.2.4 砖瓦窑协同处置过程二次污染防治措施	97
6.2.5 水泥窑协同处置过程二次污染防治措施	102
6.2.6 安全阻隔填埋过程二次污染防治措施	104
6.3 应急方案.....	111
6.3.1 应急组织机构	111
6.3.2 应急准备工作流程	111
6.3.3 应急响应机制	111
6.3.4 应急演练	118
7. 施工平面布置	119
7.1 施工现场平面布置.....	119
7.1.1 主要布置依据	119
7.1.2 施工现场及周边现状分析	119
7.1.3 施工现场水电接入条件分析	120
7.1.4 施工现场总平面布置	120
8. 效益分析	121
8.1 环境效益.....	121

8.2 经济效益.....	121
8.3 社会效益.....	121
9. 结论和建议	123
9.1 结论.....	123
9.2 建议.....	123

1.总论

1.1 项目背景

青岛地铁5号线镇平路维保中心二期项目A地块（以下简称“本项目地块”）位于青岛市市北区青岛能源泰能热电有限公司焦化厂用地范围内，地块面积约140079m²。该地块于1987年建成焦化厂一期并投产，建设规模为外供煤气14万m³/a；主要建设有化产车间、水煤气发生炉、水煤气站、一期污水处理站、辅助车间、湿式煤气储罐、液化气站、办公楼、食堂、浴室等建筑物。一期工程1997年停产后，一期工程建设的直立炉、煤焦车间、化产车间均拆除改造，拆除后一期工程用地大部分区域由泰能热电厂使用，二期工程的水煤气车间、湿式煤气储罐位于调查地块内。焦化厂区于2013年10月底全部停产，2016年建筑物拆除。地块规划为SF1101-109交通场站用地、商住用地及公共管理与公共服务设施混合用地和SF1101-110防护绿地、SF1101-111防护绿地。原生产行业类别为“煤制合成气生产C2522”和“煤气生产和供应业C4513”，属于化工企业；根据《污染地块土壤环境管理办法（试行）》第二条，地块属于“疑似污染地块”。

2022年青岛地铁集团有限公司委托青岛市勘察测绘研究院对调查地块开展土壤污染状况调查工作。调查工作结论显示，地块部分土壤样品污染物超过《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，地下水部分特征污染物超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中IV类标准限值要求；青岛地铁5号线镇平路维保中心二期项目A地块属污染地块。调查报告2022年已通过专家评审会。

2022年青岛地铁集团有限公司委托青岛市勘察测绘研究院对A地块开展土壤污染风险评估工作。风险评估结果显示，一类用地范围

内土壤关注污染物砷、六价铬、汞、镉、钴、钡、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氯乙烯、苯、氯苯、六氯苯、2 甲基-4,6-二硝基酚、五氯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘、 α -六六六人体健康风险均不可接受；基于血铅的土壤铅健康风险评估结果显示该地块土壤中铅的风险不可接受；二类用地范围内土壤关注污染物六价铬人体健康风险可接受，砷、汞、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氯苯、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘人体健康风险不可接受；地下水关注污染物包氰化物、挥发酚、石油烃（C₁₀-C₄₀）、苯、氯苯、苯乙烯、萘、二苯并[a,h]蒽，人体健康风险均可接受，无需计算风险控制值，无需开展修复工作。风险评估报告 2022 年已通过专家评审会。

2023 年 7 月，青岛地铁集团有限公司委托青岛妙益丰信息咨询有限公司对“青岛地铁 5 号线镇平路维保中心二期污染场地土壤修复工程（工程总承包）”采用公开招标的方式组织招标，青岛图维生态环境工程有限公司、江苏大地益源环境修复有限公司、杰瑞环境治理有限公司和中国市政工程中南设计研究总院有限公司联合体中标，并根据招标文件、风险评估报告等资料编制了本修复方案。

1.2 工作程序

本项目地块土壤修复方案编制的工作程序如图 1.2-1 所示。

（1）选择修复模式

在分析前期污染土壤污染状况调查和风险评估资料的基础上，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。

（2）筛选修复技术

根据地块的具体情况，按照确定的修复模式，筛选实用的土壤修

复技术，开展必要的实验室小试和现场中试，或对土壤修复技术应用案例进行分析，从适用条件、对本地块土壤修复效果、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，制定土壤修复技术路线，确定土壤修复技术的工艺参数，估算地块土壤修复的工程量，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。

1.3 编制依据

本方案严格按照国家及地方法律法规、政策文件、标准规范等文件进行设计。

1.3.1 法律法规及政策

表 1.3-1 相关的法律法规、政策文件

序号	名称	实施时间/文件号
法律法规		
1	《中华人民共和国环境保护法》	2015 年 1 月 1 日
2	《中华人民共和国环境影响评价法》	2018 年 12 月 29 日
3	《中华人民共和国土壤污染防治法》	2019 年 1 月 1 日
4	《中华人民共和国水污染防治法》	2017 年 6 月 27 日
5	《中华人民共和国大气污染防治法》	2018 年 10 月 26 日
6	《中华人民共和国噪声污染防治法》	2022 年 6 月 5 日
7	《中华人民共和国固体废物环境污染防治法》	2020 年 9 月 1 日
8	《中华人民共和国安全生产法》	2014 年 12 月 1 日
9	《中华人民共和国清洁生产促进法》	2012 年 7 月 1 日
10	《中华人民共和国消防法》	2021 年 4 月 29 日
11	《污染地块土壤环境管理办法（试行）》	2017 年 7 月 1 日
12	《突发环境事件应急管理办法》	2015 年 6 月 5 日

序号	名称	实施时间/文件号
13	《国家危险废物名录》	2021年1月1日
14	《建设项目环境保护管理条例》	2017年10月1日
15	《建筑工程安全生产管理条例》	2004年2月1日
16	《危险化学品安全管理条例》	2013年12月7日
17	《废弃危险化学品污染环境防治办法》	2005年10月1日
18	《建设工程施工现场管理规定》	建设部令第15号
19	《建设工程质量管理条例》	国务院令第279号
20	《环境保护公众参与管理办法》	环保部令第35号
政策文件		
21	《国家突发环境事件应急预案》	国办函[2014]119号
22	《关于加强环境保护重点工作的意见》	国发[2011]35号
23	《关于加强土壤污染防治工作的意见》	环发[2008]48号
24	《关于坚决遏制固体废物非法转移和倾倒进一步加强危险废物全过程监管的通知》	环办土壤函[2018]266号
25	《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全通知》	环发[2012]140号
26	《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
27	《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
28	《土壤污染防治行动计划》	2016年5月28日
29	《山东省土壤污染防治工作方案》	鲁政发[2016]37号
30	《山东省土壤环境保护和综合治理工作方案》	鲁环发[2014]126号
31	《关于加强建设用地土壤污染风险管控和修复管理工作的通知》	鲁环发[2020]4号
32	《关于做好山东省建设用地污染地块再开发利用管理工作的通知》	鲁环发[2019]129号
33	《青岛市土壤污染防治工作方案》	青政发[2017]22号
34	《青岛市土壤环境保护和综合治理工作方案》	青环发[2015]58号
35	《关于加强建设用地污染地块再开发利用管理工作的通知》	青自然资规字[2020]29号
36	关于印发《青岛市建设用地土壤污染风险管控和修复工作指引》的通知	青环发[2020]49号

1.3.2 标准规范

表 1.3-2 相关的标准、导则及规范

序号	名称	标准号
国家标准、规范		
1	《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》	GB36600-2018
2	《地表水环境质量标准》	GB3838-2002
4	《污水综合排放标准》	GB8978-1996
5	《环境空气质量标准》	GB3095-2012
6	《大气污染物综合排放标准》	GB16297-1996
7	《声环境质量标准》	GB3096-2008
8	《建筑施工场界环境噪声排放标准》	GB12523-2011
9	《固体废物鉴别标准通则》	GB34330-2017
10	《危险废物鉴别标准通则》	GB5085.7-2019
11	《危险货物包装标志》	GB191-2009
12	《危险货物运输包装通用技术条件》	GB12463-2009
13	《危险废物贮存污染控制标准》	GB18597-2001
14	《常用危险化学品贮存通则》	GB15603-1995
15	《工业炉窑大气污染物排放标准》	GB9078-1996
16	《烧结多孔砖和多孔砌块》	GB13544-2011
17	《水泥窑协同处置固体废物技术规范》	GB30760-2014
18	《轻集料及其实验方法》	GB/T17431.1-2010
19	《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》	GBZ2.1-2019
20	《建设工程施工现场供用电安全规范》	GB50194-2014
21	《建筑工程施工质量验收统一标准》	GB50300-2013
22	《工程测量规范》	GB50026-2007
23	《建设工程项目管理规范》	GB/T50326-2017
24	《建筑施工安全技术统一规范》	GB50870-2013
25	《建设工程施工现场消防安全技术规范》	GB50720-2011
26	《建筑设计防火规范（2018 年版）》	GB50016-2014
27	《城镇燃气设计规范》	GB50028-2006

序号	名称	标准号
28	《建筑灭火器配置设计规范》	GB50140-2005
29	《建筑地基基础设计规范》	GB50007-2011
30	《建筑地基工程施工质量验收标准》	GB50202-2018
31	《混凝土质量控制标准》	GB50164-2011
32	《混凝土强度检验评定标准》	GB50107-2010
33	《无损检测金属管道熔化焊环向对接接头射线照相检测方法》	GB/T12605-2008
34	《工业企业设计卫生标准》	GBZ1-2010
35	《个体防护装备选用规范》	GB/T11651-2008
36	《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》	GB17691-2005
37	《挥发性有机物无组织排放控制标准》	GB37882-2019
38	《水泥窑协同处置固体废物技术规范》	GB30760-2014
39	《生活垃圾填埋场污染控制标准》	GB16889-2008
40	《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》	GB18599-2020
行业地方标准、导则及规范		
41	《建设用地土壤污染状况调查技术导则》	HJ25.1-2019
42	《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》	HJ25.2-2019
43	《建设用地土壤污染风险评估技术导则》	HJ25.3-2019
44	《建设用地土壤修复技术导则》	HJ25.4-2019
45	《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》	HJ25.5-2018
46	《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》	HJ682-2019
47	《污染土壤修复工程技术规范异位热脱附》	HJ1164-2021
48	《环境监测分析方法标准制修订技术导则》	HJ168-2010
49	《土壤环境监测技术规范》	HJ/T166-2014
50	《污水监测技术规范》	HJ91.1-2019
51	《地表水环境质量监测技术规范》	HJ91.2-2022
52	《危险废物鉴别技术规范》	HJ298-2019
53	《建筑垃圾处理技术规范》	CJJ134-2017

序号	名称	标准号
54	《施工现场临时用电安全技术规范》	JGJ46-2005
55	《城镇燃气输配工程施工及验收规范》	CJJ33-2005
56	《建筑施工现场环境与卫生标准》	JGJ146-2013
57	《建筑桩基技术规范》	JGJ94-2008
58	《建筑基坑支护技术规程》	JGJ120-2012
59	《建筑与市政降水工程技术规范》	JGJ/T111-98
60	《水文水井地质钻探规程》	DZ/T0148-2014
61	《建筑施工安全检查标准》	JGJ59-2011
62	《防治城市扬尘污染技术规范》	HJ/T393-2007
63	《环境空气质量手工监测技术规范》	HJ/T194-2017
64	《空气和废气监测分析方法》（第四版）	2007年
65	《大气污染物无组织排放监测技术导则》	HJ/T55-2000
66	《固定污染源排放烟气连续监测系统技术要求及检测方法》	HJ/T76-2007
67	《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》	HJ1019-2019
68	《汽车运输、装卸危险货物作业规程》	JT618-2004
69	《区域性大气污染物综合排放标准》	DB37/2376-2019
70	《挥发性有机物排放标准 第7部分：其他行业》	DB37/2810.7-2019

1.3.3 其他相关文件

表 1.3-3 其他相关文件

序号	名称	时间
1	《青岛地铁5号线镇平路维保中心二期项目A地块土壤污染状况调查报告》	2022年9月
2	《青岛地铁5号线镇平路维保中心二期项目A地块土壤污染风险评估报告》	2022年12月
3	《青岛地铁5号线镇平路维保中心二期污染场地土壤修复工程（工程总承包）招标文件》	2023年7月
4	《青岛地铁5号线镇平路维保中心二期土壤修复工程工程量清单》	2023年7月
5	《青岛地铁5号线镇平路维保中心二期项目土壤治理工程控制价》	2023年7月

1.4 编制内容

本项目技术方案的编制内容如表 1.4-1 所示。

表 1.4-1 编制内容

序号	名称	编制内容
1	总论	介绍项目背景及编制依据。
2	地块问题识别	从地块生产历史、地块周边环境目标、用地规划、地块水文地质条件、地块污染分布特征等方面进行分析，识别地块问题。
3	地块修复模式	在分析前期污染土壤状况调查和风险评估资料的基础上，根据地块特征条件、目标污染物、修复目标、修复范围和修复工期等因素，选择确定地块修复模式。
4	修复技术筛选	遵循异地修复模式，对本场地污染类型适用修复技术进行充分比选，综合考虑技术可行性、经济性、可靠性、工期等因素，经过比选确定了可采用的修复技术，确定本项目所采用的修复技术路线。
5	修复方案设计	对选定的修复技术路线展开修复方案设计，描述了各修复技术的应用规模，对有机污染土壤、重金属污染土壤、复合污染土壤的修复工艺流程、工艺参数等进行了详细设计，并对废水和废气处理进行了设计。
6	环境管理计划	对本项目施工过程中的工程与环境监理工作进行了设计，保证项目施工规范有序；针对二次污染防治、场地环境监测和修复验收制定了切实可行的计划，确保修复达标且施工过程不对周边居民及环境造成二次污染；制定了人员安全保护措施和环境应急安全预案，为施工安全、环境安全和社会稳定提供保障。
7	工程进度计划与保证措施	制定了详细的工程进度计划。
8	效益分析	对本项目成功实施的环境、经济和社会效益进行分析。
9	结论和建议	概括总结方案结论，并提出相应的建议。

2.地块问题识别

2.1 地块地理位置

青岛地铁 5 号线镇平路维保中心二期项目 A 地块位于青岛市市北区镇平一路 2 号，面积约 140079m²，地块四至范围分别为：东至镇平一路，南至镇平路，西至维保中心一期建设用地，北至供热用地（青岛能源泰能热电有限公司）。



图 2.1-1 地块地理位置及地块范围

2.2 本项目地块与焦化厂位置关系

泰能焦化厂搬迁出让地块拆分为李村河污水处理厂四期扩建地块、市政用地（绿地、道路）、燃机项目地块、泰能热电厂区地块、公共交通场站用地兼容商住混合用地（S4/RBA）开发地块，其中公共交通场站用地兼容商住混合用地（S4/RBA）开发地块分两期进行建设，分别为混合商住用地一期和混合商住用地二期。本项目地块属于“青土储收字[2016]16 号”中 P3 地块“青房地权市字第 229723 号”，

总面积约 140079m²。地铁 5 号线维保中心用地分为两期：一期用地为混合地块 1，包含焦化厂二期部分用地、海晶化工制砖厂和三氯化铁厂；二期用地分为 A、B、C 三个地块，A 地块为本次修复地块，B 地块位于 A 地块北侧、占用泰能热电厂未拆迁区域，C 地块位于 A 地块东侧、为镇平一路及以东区域，本项目地块（二期 A 地块）与焦化厂地块位置关系见下图。



图 2.2-1 本项目地块与焦化厂位置关系及地块划分图

2.3 区域概况

2.3.1 地形地貌

青岛为海滨丘陵城市，地势东高西低，南北两侧隆起，中间低凹。其中山地约占全市总面积的 15.5%、丘陵占 25.1%、平原占 37.7%、洼地占 21.7%。全市海岸分为岬湾相间的山基岩岸、山地港湾泥质粉砂岸及基岩砂砾质海岸等 3 种基本类型。浅海海底则有水下浅滩、现代水下三角洲及海冲蚀平原等。

青岛所处大地构造位置为新华夏隆起带次级构造单元—胶南隆

起区东北缘和胶莱凹陷区中南部。区内缺失整个古生界地层及部分中生界地层，但白垩纪青山组火山岩层发育充分，在本市出露十分广泛。岩浆岩以元古代胶南期月季山式片麻状花岗岩及中生代燕山晚期的艾山式花岗闪长岩和崂山式花岗岩为主。市区全部坐落于该类花岗岩之上，建筑地基条件优良。本区构造以断裂构造为主，自第三纪以来，区内以整体性较稳定的断块隆起为主，上升幅度一般不大。

本次修复地块位于青岛市北区。市北区所处大地构造位置为新华夏隆起带次级构造单元一胶南隆起区东北缘和胶莱凹陷区中南部，以断裂构造为主。区内缺失整个古生界地层，但白垩系青山组火山岩层发育充分，出露广泛。岩浆岩以元古代胶南期月季式片麻状花岗岩及中生代燕山晚期的艾山式花岗闪长岩和崂山式花岗岩为主。地势起伏不平，东高西低，南北趋向平缓，西部临海，海岸线长 5.83 公里。区内有坛顶山、双山、孤山、大山、泰能东山、泰能东南山、嘉定山、北岭山等 8 个山头，皆为南北走向。最高峰是北岭山，海拔 116.32 米；其次是嘉定山，海拔 110.4 米。该区域内主要有三个土类，棕壤主要分布在原东部村庄，盐土主要分布在西部海岸，本项目地块位于市北区最西部，紧邻胶州湾，区域土类为盐土。

2.3.2 气候气象

青岛地处北温带季风区域，属温带季风型大陆性气候；市区由于受海洋环境的直接影响和调节作用，受来自洋面上的东南季风及海流、水团的影响，故又具有鲜明的海洋性气候特点，空气湿润、雨量充沛、温度适中、四季分明。春季气温回升缓慢，较内陆迟 1 个月左右；夏季湿热多雨，但无酷暑，秋季天高气爽，降水少、蒸发强；冬季风大温低，持续时间较长。

市北区地处青岛市中南部，受青岛市优良气候环境的影响，区境

空气湿润、降水适中、雨热同季，属温带季风气候区，冬半年（11月至翌年4月）处于中纬度西风带东亚大槽控制之下，受冷空气和气旋活动的频繁侵袭常有大风降温天气出现；夏半年（5~10月）为北太平洋副热带高压的势力范围，4~7月南方的暖湿气流常导致本区海雾连绵，7~9月为本区雨季，降水量占全年的一半以上。主要气候气象特征如下表所示：

表 2.3-1 主要气候气象特征

序号	项目		数量及单位
1	气压	平均气压	1014.0hPa
		平均最低气压	1001.1hPa
		平均最高气压	1023.4hPa
2	气温	多年平均气温	13.2℃
		极端最高气温	38.9℃
		极端最低气温	-10.9℃
3	风速	平均风速	5.2m/s
		累年最大风速	32.0m/s
		极大风速	35.6m/s
4	风向	主导风向	南南东风
5	降水量	年平均降水量	585.2mm
		年最大降水量	1253.4mm
		月最大降水量	125.7mm
		月最小降水量	8.9mm
6	湿度	年平均相对湿度	71%
7	日照	年日照时数	2481h
		日照百分率	56%
8	蒸发量	年蒸发量	1357.3mm

2.3.3 水文条件

2.3.3.1 降水、径流、潮汐

青岛受海洋气候影响，气候温和，雨量集中，河网发达，全市河网密度 $0.28\text{km}/\text{km}^2$ ，河流水系的发育和分布明显受地形、地貌的影响，其水文动态变化随季节起伏很大，多为独立入海的季节性山溪性小河。

青岛市区河流主要分三片入海。其一，胶州湾东岸河流，西入胶州湾；其二，黄海北岸河流，南入黄海；其三，黄岛区河流，东入胶州湾。各河均为季节性河流，市北区几条大河集中在胶州湾东岸，海泊河、李村河、张村河、楼山河、白沙河等是青岛市区的主要河流水系。

2.3.3.2 地表水

本项目地块北向隔镇平一路约 100m 为李村河，李村河干流发源于崂山石门山，流域包括市北区、李沧区部分区域，在曲戈庄与张村河汇流，干流全长 20 千米，是市区重要的过城河，源头至入海口属于景观娱乐用水区。李村河入海口南岸（地块西向约 400m）为李村河污水处理厂，污水管网配套较为完善，李村河河道胜利桥以下河段污染较严重，多项监测指标超过地表水 V 类标准，但是随着李村河沿岸的不断治理，李村河中下游 308 国道、曲戈庄桥、入海口 3 个断面的污染程度同比均有所减轻。

本项目地块西向约 1600m 为胶州湾，胶州湾内海域潮流属于规则半日潮流，运行形式以往复流为主，每日有两高两低，最高潮位 3.92m（黄海高程），最低潮位-1.95m，平均高潮位 2.47m，平均低潮位-0.30m，平均潮差 2.78m，最高潮差 4.61m。最大潮流方向平行于海岸。涨潮流速大于落潮流速，平均涨潮流速为 72cm/s，涨潮历时 5 小时 40 分钟，平均落潮流速为 60cm/s，落潮历时 6 小时 46 分钟。

李村河全长 17km，流域总面积 52.30km^2 ，是青岛市区最大的水系，也是市区主要的防洪排涝河道，水清沟河、郑州路河、大村庄河

等共九条支流汇集于此。李村河上游综合治理工程位于李沧区东部，自青银高速公路至毕家上流水库止，全长约 9.8km；其中李村河主河道全长约 7.5km，主要支流金水河长约 2.3km。整个李村河上游流经郑庄、侯家庄、王家下河、李家上流等 17 个社区，上游综合治理工程项目总占地约 2355 亩，其中现状水域约 750 亩，其余约 1605 亩。为了贯彻落实市委、市政府“拥湾发展、环湾保护”战略，切实做好李村河流域污染治理及环境景观治理，李沧区政府于 2009 年正式启动李村河上游综合治理一期工程。工程建设主要包括拆迁、征地、截污、防洪、道路、桥梁、涵洞、管线综合、环境景观及亮化等，该项目已于 2010 年底前完成全线建设。

李村河是一条典型的间歇式河流，暴雨季节河道水位暴涨，平时则河床中水量较少。作为青岛市重要的泄洪通道，为保证其泄洪功能，平时河床大部分地区无蓄水，野草丛生，且部分土地裸露，只在中部地区设置有滚水坝，形成较宽阔的水面。河床由于长时间无水，因此除了现有四个滚水坝，另有多条过水公路，行人和车辆可以自由通行，本项目地块所在区域靠近李村河入海口。

2.3.4地质条件

2.3.4.1 地质发展简史及区域地质构造

青岛地质构造背景简单，体现区域华夏式构造体系特点，东西向板块挤压形成的以北东、东西向为主要构造形迹的构造体系为主，褶皱构造不发育，断裂构造比较发育，但一般规模不大，级次不高。

青岛市所处大地构造位置为华北地台，“青岛—海阳”断块凸起的 V 级构造单元的南部。自太古代~元古代以来一直处在一个长期、缓慢、稳定的上升隆起状态，缺失华北型地层沉积。自中生代燕山晚期以来，区域性构造活动强烈，发生大规模、区域性酸性岩浆侵入，形

成稳固的花岗岩岩基。随后受华夏式构造体系影响，形成 NE 向为主的压扭性断裂构造。其后，酸性~中基性岩浆沿岩基内薄弱面入侵，形成煌斑岩、花岗斑岩等浅成相岩脉，与花岗岩岩基组成复合岩体。它们之间虽然岩性不同，但属于同源异相的岩浆岩类硬质岩石，是坚硬稳固的地质体。在漫长的地壳抬升、风化、剥蚀、夷平作用的反复改造下，使燕山晚期稳固的花岗岩体，以基底形式分布于地表或地下一定深度内，并在长期风化作用下形成了一定厚度的风化带，其上沉积了厚度不一的第四纪松散堆积物。

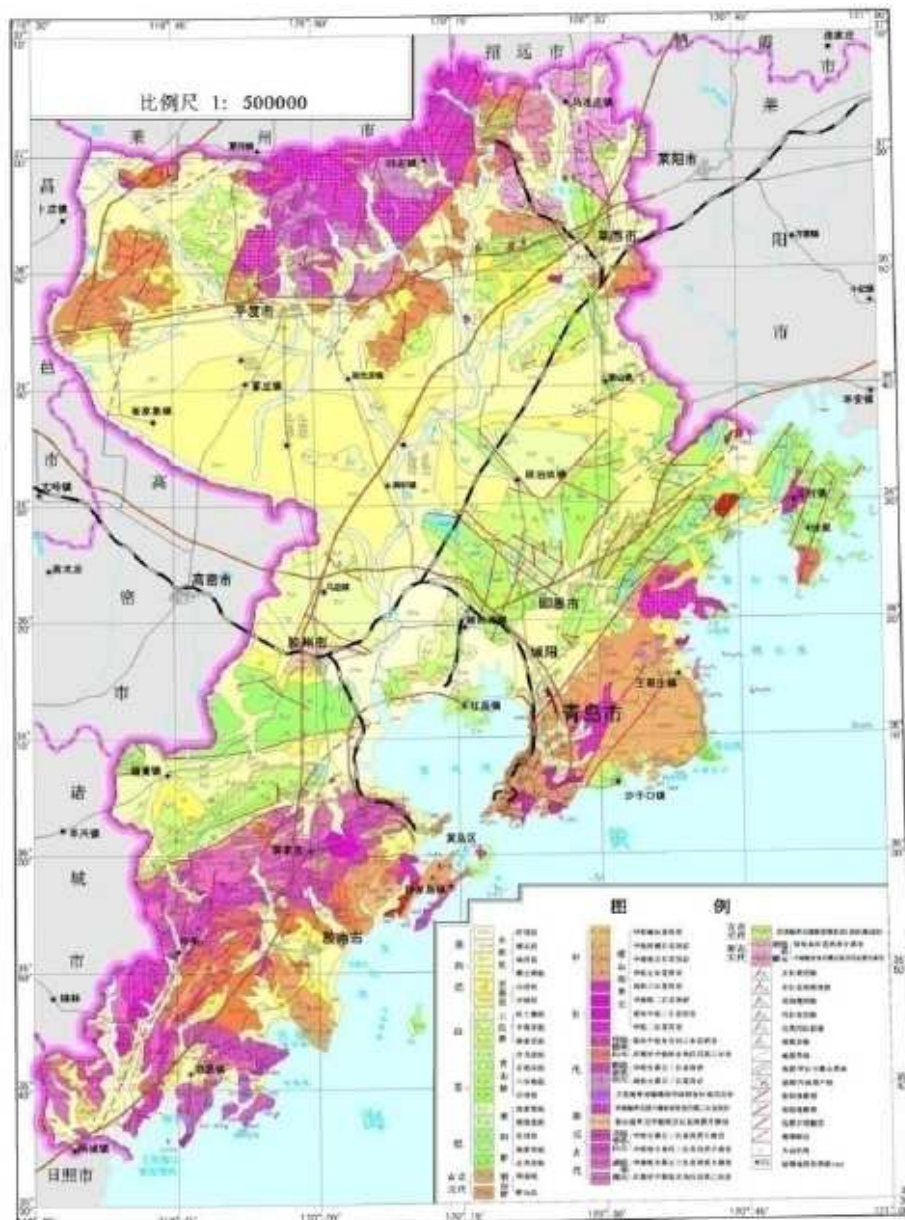


图 2.3-1 青岛市地质构造图

区域上较大的地质构造有：胶州断裂、郭城~即墨断裂、朱吴~店集大断裂中的沧口断裂。

(1) 胶州断裂（压扭性断裂）：该断裂自安丘县南部，经胶州至马戈庄一带，呈东西走向，全长约 75km，倾角 75°左右，断裂带上盘为青山群地层（KQ），下盘为王氏群（KW）地层。在区域上该断裂属纬向构造体系，为 V 级构造单元边界。

(2) 郭城~即墨断裂（张扭性断裂）：该断裂自海阳县郭城至即墨市南部，全长 130km。断裂带走向 40°~50°，倾向南东，倾角 70°~80°。绝大部分被第四系覆盖，断裂带下盘为青山群火山岩系，上盘为王氏群（KW）及青山群（KQ）地层。断裂破碎带宽几十米至几百米，在区域上属华夏构造体系，属张扭性断裂。

(3) 沧口断裂（压扭性断裂）：该断裂由北部铁骑后一带进入区内，往南西经夏庄、丹山至沧口进入胶州湾，可能再至灵山卫东进入黄海。该断裂控制了白垩纪的火山喷发和沉积作用，以及崂山地区燕山晚期花岗岩的侵入活动，并将该岩体断错，上盘为王氏群（KW）及青山群（KQ）地层，下盘为燕山晚期花岗岩。根据区域地质资料及历史地震活动情况综合前人的研究成果，该断裂基本不影响区域的稳定性。本项目地块距离该断裂带最近约 350 米，位于沧口断裂东侧。其位置关系如下图所示。

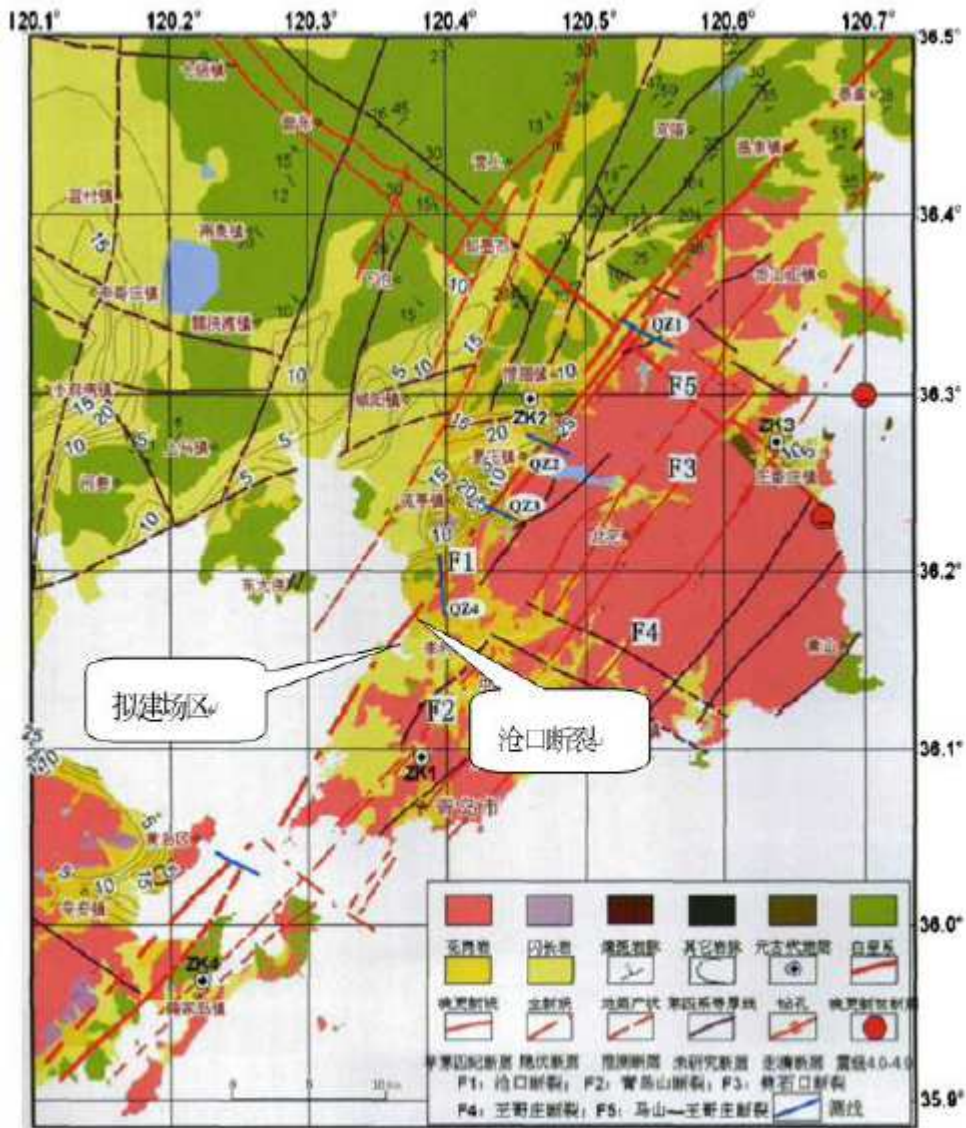


图 2.3-2 沧口断裂与本项目地块空间位置图

2.3.4.2 水文地质条件

青岛地区地貌类型主要为构造~剥蚀残区、山麓斜坡堆积区及河流侵蚀堆积区，地下水类型主要为第四系孔隙水及基岩裂隙水，第四系孔隙水又分为上层滞水、潜水和承压水。

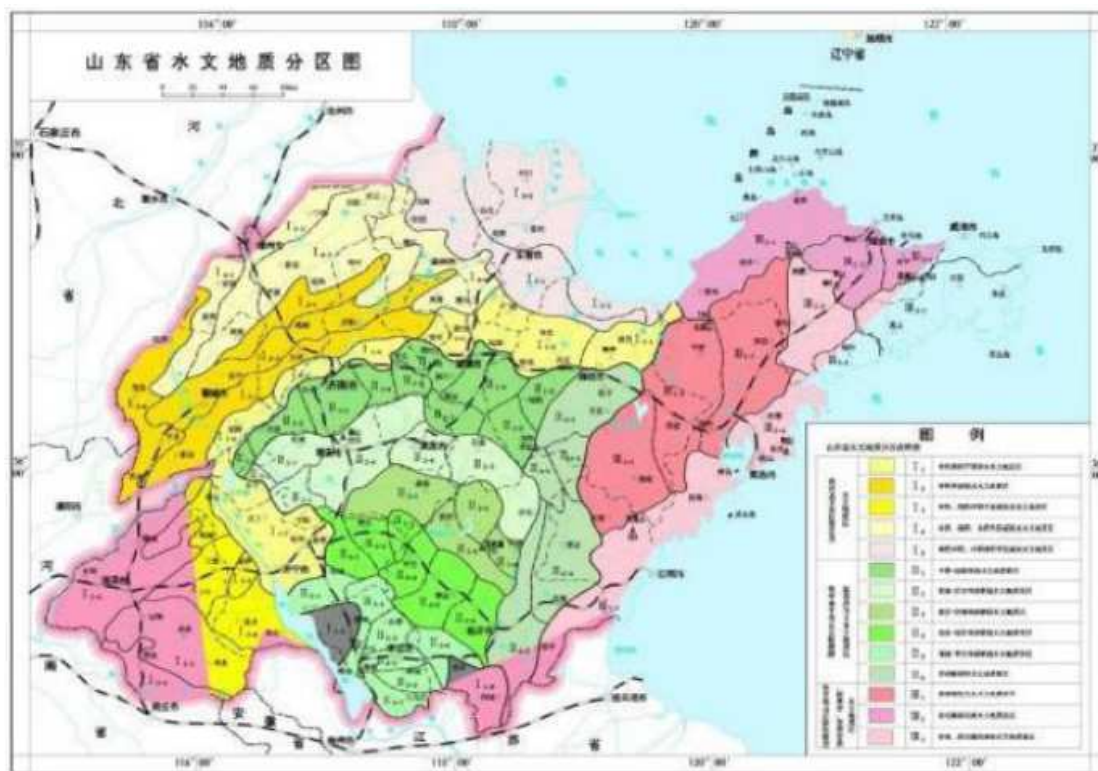


图 2.3-3 山东省水文地质分区图

青岛地区地貌类型主要为构造~剥蚀残区、山麓斜坡堆积区及河流侵蚀堆积区，地下水类型主要为第四系孔隙水及基岩裂隙水，第四系孔隙水又分为上层滞水、潜水和承压水。

(1) 区域地下水类型

1) 第四系孔隙水

①上层滞水

主要接受大气降水、地表水、污水等地下管线的垂直渗漏补给。不同地段含水层的渗透系数相差很大，补给方式和补给量悬殊较大，形成上层滞水分布不均匀，水位不连续、高低变化很大的特点。含水层主要为人工填土层和浅部粉土、砂土层。

②潜水

以侧向径流补给为主，并接受大气降水、上层滞水的垂直渗透补给，以地下径流和向下越流补给承压水的方式排泄。

③承压水

含水层主要为砂类土、碎石类土地层，其中夹有若干层黏性土隔水层。排泄方式主要为人工开采，受地下水开采的控制，承压水的径流方向指向区域性地下水位降落漏斗中心方向。由于地下水的开采导致承压水水头的降低，当低于含水层顶板时成为层间水。

2) 基岩裂隙水

①风化裂隙水

主要赋存于基岩强风化~中等风化带岩石呈砂土状、砂状、角砾状，风化裂隙发育，呈似层状分布与地形相对低洼地带。地下水主要接受大气降水及补给区的补给，以地下径流的形式，缓慢排泄。由于构造裂隙发育的不均一，其富水性也有一定差异，风化裂隙水水量较小，富水性贫，涌水量受季节性影响较大。

②构造裂隙水

主要赋存于断层两侧的构造影响带、花岗斑岩、煌斑岩等后期侵入的脉状岩脉挤压裂隙密集带中，呈脉状、带状产出，无统一水面，具有一定的承压性。

(2) 区域地下水动态

地下水的动态是地下水补给量和排泄量随时间动态均衡的反映。当地下水的补给量大于排泄量时，地下水位上升；反之，当地下水的补给量小于排泄量时，地下水位就下降。各层地下水的动态各有其特点。

1) 第四系孔隙水

上层滞水的动态随季节、大气降水及地表水的补给变化而变化。

潜水的动态与大气降水关系密切。每年7至9月份为大气降水的丰水期，地下水位自7月份开始上升，9至10月份达到当年最高水

位，随后逐渐下降，至次年的 6 月份达到当年的最低水位。一般情况下，潜水与承压水具有密切的水力联系，当承压水头降低时，越流补给量增大，潜水水位也随之下降。

承压水的动态比潜水稍有滞后，当年最高水位出现在 9~11 月，最低水位出现在 6~7 月，年变幅约为 1~2m。

2) 基岩裂隙水

基岩裂隙水的动态与第四系孔隙水密切相关，主要接受大气降水和上部第四系孔隙水的下渗补给，总体受季节性变化较明显，丰水期水位上升，枯水期水位下降。

2.3.4.3 土壤类型

青岛市市北区区内土壤有 3 种类型，即棕壤性土、褐土性土和盐化土，以棕壤性土为主。这 3 类土壤在区内分布不同，棕壤性土主要分布于山地丘陵和山前缓坡地，褐土性土主要分布于山地的剥蚀残丘上部，盐化土则分布于沿海地带。本项目地块所在区域土壤为棕壤土。

2.4 地块历史与现状

2.4.1 地块历史

通过资料收集、现场踏勘和人员访谈，并结合卫星影像图，综合分析得知本项目地块的使用历史及变迁。

本项目地块为围填海形成，在 20 世纪 80 年代之前为胶州湾，尚未形成陆域，80 年代至 90 年代进行围填海，90 年代初围填海完成，并在 80~90 年代建设了泰能焦化厂，本项目地块所在区域大部分为焦化厂一期用地，于 1987 年建成投产至 1997 年二期工程建成后逐步停产。1997 年至 2013 年本项目地块由焦化厂二期和热电厂作为配套及办公区使用。本项目地块仅建设过泰能一家企业，分为焦化厂和热电厂，未曾建设过其他企业。2013 年 10 月焦化部分全部停产，2016 年

地块内建筑物拆除后地块闲置，2020 年地块中北部作为其他区域的污染土修复区域，对本项目地块中北部进行了地块平整。根据地块规划，地块未来地下开发为“青岛市地铁 5 号线镇平路车辆段”，地上建设商业及住宅项目。

2.4.2 地块及周边现状

A 地块内建筑物已拆除，部分残留硬化地坪，地表零星堆置着建筑垃圾。地块西侧放置着维保中心一期工程临建集装箱。A 地块北侧紧邻青岛能源泰能热电有限公司现状用，北向隔镇平一路为李村河。南侧紧邻镇平路，隔镇平路向南依次为铁路线、唐河路、万科未来城居民区和龙湖春江郦城 1 期居民区。西侧为维保中心一期建设用地、即原泰能焦化厂一期用地，隔维保中心一期建设用地为李村河污水处理厂，西北向为待建的燃机项目。

2.5 地块未来利用规划

根据《青岛市市北区滨海新区北片区控制性详细规划》（青政字 2018[48]号），本项目地块未来规划为 SF1101-109 交通场站用地、商住用地及公共管理与公共服务设施混合用地和 SF1101-110 防护绿地、SF1101-111 防护绿地。

地铁 5 号线镇平路车辆段已取得“建设用地预审与选址意见书（用字第 370200202200019 号）”，选址意见书附图范围地下为地铁 5 号线车辆段，地上为商住用地及公共管理与公共服务设施混合用地，即一类用地范围。

2.6 地块周边环境敏感目标

本项目地块位于市北区，周边 1km 范围内分布有众多居民区、学校、医院、河流等环境敏感目标，后续施工过程中需加强环境监测与二次污染防控。

地块周边 1km 范围内的环境敏感目标一览表见表 2.6-1，环境敏感目标分布见图 2.6-1。

2.7 地块水文地质条件

2.7.1 地形地貌

地形：该区域整体较平缓。现钻孔孔口地面标高 3.53~6.40m；

地貌：地块地貌成因形态类型属滨海浅滩，后经人工改造。

2.7.2 岩土层分布

2.7.2.1 岩土层分布

根据地块岩土工程勘察结果，本项目地块上覆地层主要由第四系全新统人工填土（ Q_{4ml} ）、第四系全新统海相沉积层（ Q_{4m} ）、第四系全新统海相沼泽化层（ Q_{4mh} ）、第四系全新统统洪冲积层（ Q_{4al+pl} ）组成。岩性主要为杂填土、粗砂、含淤泥中粗砂、淤泥质粉质粘土、粉质粘土、粗砂等；下浮基岩为白垩系青山群八亩地组沉积岩（ K_{1b} ）和燕山晚期侵入岩，岩性分别为角砾岩和花岗岩。

地块内杂填土层广泛分布，回填成分以黏性土、砂、淤泥、碎砖块、碎石、混凝土块等组成，局部含有块石、块径 30~100cm，均匀性差，软硬不均。该层回填年限约 2~10 年。其中在地块内部有混凝土硬化路面，路面以下为厚度为 40cm 左右的压实填土层。该层在地块内广泛分布，揭露层厚：3.00~9.00m，层底标高：-3.24~1.29m。

杂填土层以下为粗砂，粗砂呈褐色、黄褐色，饱和，松散~稍密，主要成分为长石、石英质砂，含量大于 95%，次棱角状~亚圆状，分选性较好，颗粒级配差，砂质较纯，局部夹杂少量中风化花岗岩质角砾、碎石；该层在个别孔位缺失，揭露层厚：0~5.3m，层底标高 -6.75~-0.85m。

含淤泥中粗砂呈灰黑色，饱和，松散，主要成分为长石、石英质

砂，含量约 70%，亚圆状~次棱角状，分选性较好，颗粒级配差；砂质不纯，混约 30%淤泥，有腥臭味，局部夹杂中风化花岗岩质角砾、碎石。该层在部分孔位缺失，揭露层厚：0~3.4m，层底标高-6.81~-2.65m。

淤泥质粉质粘土灰黑色~灰色，流塑~软塑，具有高压缩性；颗粒细腻，手感均匀，稍有粘滞力~粘滞力强，干强度一般，含有机质、贝壳碎屑及腐烂植物体，有机质含量约 1~3%，局部有异味；含粉细中砂约 10~20%，局部含粗砂约 20~30%，个别钻孔见有中粗或中细砂透镜体，表层一般呈流塑状，向下强度、塑性渐高。该层地块在个别点位缺失，揭露层厚：0~5.3m，层底标高-6.81~-2.99m。

粉质粘土黄褐色、灰褐色，可塑状，局部呈软塑状，土质均匀，干强度中等，韧性中等，切面光滑，有光泽，该层弱含水，透水性微弱。本次钻探未钻透该层。地块钻孔柱状图、地质剖面见下图。

2.7.2.2 土工试验

土工样品的采集：土工采样点设计目的在于采集不同代表位置和土层或选定土层的原状土样，获取典型地层的相关土工参数，如含水率、土粒比重、密度、孔隙比、粒径分布与液塑限等，从而为地块风险评估提供参数。参照《岩土工程勘察规范》（GB50021-2009）采集土工样品，土工参数测定方法依据《土工试验方法标准》（GB/T 50123-1999）中的相关规定进行。土工采样点位置及土工试验样品采样深度根据实际情况选定，尽量平均分布于调查区域，并保证样品代表性。

2.7.3 水文地质条件

（1）地下水类型

前期勘察结果显示，本项目地块范围内揭露地下水，地块位于滨海滩涂地貌单元，第四系发育。勘察期间处于丰水期，地块赋存地下水。地下水类型主要为第四系孔隙潜水及承压水，第四系孔隙潜水主要赋存于第①层杂填土、第②层粗砂、第④层含淤泥粗砂中；第四系承压水主要赋存于第⑨层中粗砂中，大气降水、河流侧向补给为主要补给来源。

（2）地下水水文

勘察期间钻孔地下水混合水稳定水位埋深 0.65~3.45m，水位标高 1.59~3.63m，观测时间为 2022 年 7 月。根据长期水文观测资料分析青岛地区历年水位最大变幅 2.0m，根据地块历史最高地下水位约 4.5m，近 3~5 年最高地下水位约 4.0m；地下水流向为自西南向东北。

（3）水文观测、抽水试验及地层渗透性

① 分层观测

为查明粉质黏土以下的承压水含水层（主要为第⑨层中粗砂）的

承压性，前期调查期间，在地块范围内均匀选取 3 个钻孔进行分层水位观测。

通过实验，测得 3 个钻孔的承压水水位标高-0.83~1.08m，承压水头 4.60~5.40m，平均水头 5.24m。

②连续水位观测

为查明地下水与海水的水力联系，前期勘察沿地下水径流方向选取 2 个钻孔，进行连续水位观测，连续观测 16 小时，观测时间间隔 2 小时。观测结果显示水位基本不随时间变化，说明地块地下水与海水水力联系不明显。

③抽水试验

根据抽水孔的试验成果，采用承压水完整井计算模型，计算公式如下：

$$k = \frac{0.366Q}{mS} \lg \frac{R}{r} \quad R = 10S\sqrt{k}$$

k——渗透系数 (m/d)；s——降深 (m)；

m——承压水含水层厚度 (m)；Q——单井涌水量 (m³/d)

r——抽水井半径 (m)；R——影响半径 (m)。

相关参数及计算结果如下：

结合《李村河污水处理厂改造提标及四期扩建工程勘察报告》(K2018-98)潜水层抽水试验结果，建议第⑥层以上潜水含水层的平均渗透系数按 1~5m/d 考虑；建议第⑨层中粗砂渗透系数按 11m/d 考虑；第⑥层、第⑦层渗透系数按 0.001~0.02m/d 考虑。

(4) 地下水的补、迳、排条件

由于地块临近李村河，丰水期地下水的主要补给来源为大气降水的垂直入渗补给，主要以补给河流、蒸发和向下越流的方式排泄。枯水期地下水的主要补给来源为大气降水垂直入渗补给和河流的侧向

迳流补给，主要以蒸发和向下越流的方式排泄。

(5) 地下水流向

本项目地块地下水的总体流向为自西南向东北，见下图。

2.8 风险评估结果

2.8.1 一类用地范围内土壤风险评估结果

一类用地范围内土壤风险评估关注污染物包括：砷、六价铬、铅、汞、镉、钴、钡、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氯乙烯、苯、氯苯、六氯苯、2-甲基-4,6-二硝基酚、五氯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘、 α -六六六。

一类用地范围土壤人体健康风险评估按照第一类用地方式下的6种土壤污染物暴露途径进行评估：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物。经计算，一类用地范围内土壤关注污染物砷、六价铬、汞、镉、钴、钡、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氯乙烯、苯、氯苯、六氯苯、2-甲基-4,6-二硝基酚、五氯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘、 α -六六六人体健康风险均不可接受；基于血铅的土壤铅健康风险评估结果显示该地块土壤中铅的风险不可接受。

一类用地范围内土壤关注污染物风险控制值确定如下：砷 20mg/kg、六价铬 6.35mg/kg、铅 400mg/kg、汞 8mg/kg、镉 20mg/kg、钴 20mg/kg、钡 10000mg/kg、氯乙烯 0.22mg/kg、苯 1.73mg/kg、氯苯 157mg/kg、六氯苯 0.48mg/kg、2-甲基-4,6-二硝基酚 3.1mg/kg、五氯酚 1.1mg/kg、 α -六六六 0.09mg/kg、苯并[a]蒽 5.7mg/kg、苯并[a]芘 0.57mg/kg、苯并[b]荧蒽 5.7mg/kg、二苯并[a,h]蒽 0.57mg/kg、茚并

[1,2,3-cd]芘 5.7mg/kg、萘 52mg/kg、石油烃（C₁₀-C₄₀）853mg/kg。

2.8.2 二类用地范围内土壤风险评估结果

二类用地范围内土壤风险评估关注污染物包括：砷、六价铬、汞、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氯苯、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘。

二类用地范围土壤人体健康风险评估按照第二类用地方式下的6种土壤污染物暴露途径进行评估：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物。经计算，二类用地范围内土壤关注污染物六价铬人体健康风险可接受，砷、汞、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氯苯、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘人体健康风险不可接受。

二类用地范围内土壤关注污染物风险控制值确定如下：砷 60mg/kg、汞 39mg/kg、石油烃（C₁₀-C₄₀）4500mg/kg、氯苯 538mg/kg、苯并[a]芘 1.5mg/kg、苯并[b]荧蒽 15mg/kg、二苯并[a,h]蒽 1.5mg/kg、茚并[1,2,3-cd]芘 15mg/kg。

2.8.3 地下水调查及风险评估结果

（1）重金属砷、汞、镉、钡、钴、钒等调查地块特征污染物及周边地块特征污染物有检出，均满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准；

（2）氰化物：8个地下水样品、即约30%地下水井中氰化物有检出；其中1口地下水井（SW03）超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准，超标率为4%，SW03位于湿式煤气储罐西侧；

（3）挥发酚：5个地下水样品、即约19%地下水井中挥发酚有

检出；其中 4 口下水井中挥发酚超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV 类水质标准，超标率为 15%，最大检出浓度为 0.878mg/L（W2-07），位于化产车间办公室附近；

（4）挥发性有机物：苯、氯苯、苯乙烯超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV 类水质标准；苯：3 个地下水样品、即约 11% 地下水井中苯有检出；其中 1 口下水井中苯超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV 类水质标准，超标率为 4%，最大检出浓度为 237ug/L（W03），位于煤场附近；氯苯：7 个地下水样品、即约 26% 地下水井中氯苯有检出；其中 2 口下水井中氯苯超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV 类水质标准，超标率为 7.4%，最大检出浓度为 686ug/L（SW2），位于机修车间附近；苯乙烯：1 个地下水样品、即约 4% 地下水井中苯乙烯有检出，且超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV 类水质标准，最大检出浓度为 83.7ug/L（W03），位于煤场附近；

（5）多环芳烃：萘、二苯并[a,h]蒽超出相关标准萘：1 个地下水样品、即约 4% 地下水井中萘有检出，且超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV 类水质标准，最大检出浓度为 4024ug/L（W03），位于煤渣场附近；二苯并[a,h]蒽：1 个地下水样品、即约 4% 地下水井中二苯并[a,h]蒽有检出，且超出《上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标》第一类用地筛选值标准，最大检出浓度为 0.695ug/L（W2-15），位于湿式煤气罐所在区域；

（6）石油烃（C10-C40）：18 个地下水样品、即约 67% 地下水井中石油类有检出；其中 9 口地下水井数据超出《上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标》第一类用地筛选值标准，超标率为 33%，最大检出浓度为 22.4mg/L（W03），位于煤场附近。

根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019),考虑到本项目地块未来规划中,地下水不作为饮用水源,因此不存在地下水直接摄入暴露的风险,考虑吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、皮肤接触地下水3种暴露途径产生的风险。地块地下水关注污染物包括氰化物、挥发酚、石油烃(C₁₀-C₄₀)、苯、氯苯、苯乙烯、萘、二苯并[a,h]蒽,人体健康风险均可接受,无需计算风险控制值,无需开展修复工作。

2.8.4地下水迁移扩散风险分析

地下水中多项常规因子包括总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、锰、铝、耗氧量、氨氮、硫化物、钠等超过IV类标准限值,多项特征因子氰化物、挥发酚、石油烃(C₁₀-C₄₀)、苯、氯苯、苯乙烯、萘、二苯并[a,h]蒽等在个别地下水监测点中超过IV类标准限值,通过地下水风险评估结果可知,地块内地下水污染人体健康风险均可接受,不需要对地下水进行修复。

地块临近李村河及胶州湾,北侧隔路约100m为李村河(景观娱乐用水),西侧约1600m为胶州湾,地块所属地貌类型为滨海滩涂,地层由上至下依次为人工堆积层和第四纪沉积层2大类,地下水主要为第四系松散岩类孔隙水。根据地块内前期开展的钻孔地下水水位与胶州湾海水水位的连续观测水位数据可知,地块地下水水位基本不随海潮涨落变化,表明地块地下水与海水水力联系不明显。地块内地下水流向同西侧混合地块1、李村河污水处理厂四期扩建地块及西北侧燃机项目地块水文地质调查结果一致,地下水总体流向为自西南向东北。基于地块水文地质条件分析,地块地下水可能向下游李村河(景观娱乐用水)扩散,后期地块污染土壤修复后,污染源得以消除,可降低地下水中污染物浓度。为加快修复工程进度防止地下水迁移,本

项目地块需结合地铁开挖及修复工程在四周建设止水帷幕，止水帷幕可防止地下水向李村河扩散，同时相对减少修复基坑的涌水量。

2.9 地块污染土壤危险特性鉴别情况

2.9.1 鉴别过程简介

本次鉴别对象为青岛地铁 5 号线镇平路维保中心二期 A 地块需外运修复污染土壤。根据《风评报告》，需外运修复的污染土壤方量约 186462m³，其中有机污染土壤方量约 63942m³，重金属污染土壤方量约 112846m³，复合污染土壤方量约 9674m³。

2023 年 5 月 3 日，受业主委托，青岛斯坦德衡立环境技术研究院有限公司组织召开了《青岛地铁 5 号线镇平路维保中心二期 A 地块土壤污染修复工程污染土壤危险特性鉴别方案》线上技术论证会，专家组认为鉴别方案编制符合国家危险废物鉴别相关标准和技术规范要求，技术路线可行，确定的检测指标和采样方案基本合理。经修改完善后，可作为青岛市地铁 5 号线镇平路维保中心二期 A 地块需外运修复的 186462m³ 污染土壤后续鉴别工作依据。

2023 年 5 月 5 日~10 日，青岛斯坦德衡立环境技术研究院有限公司按照鉴别方案现场开展采样工作，开展样品采集与检测分析工作。根据《青岛地铁 5 号线镇平路维保中心二期 A 地块土壤污染修复工程污染土壤危险特性鉴别方案》，本次鉴别的污染土壤不具有易燃性，分别对各斑块污染土壤的腐蚀性、反应性、浸出毒性、毒物性质含量、急性毒性进行鉴别。

根据《危险废物鉴别技术规范》（HJ298-2019）和《工业固体废物采样制样技术规范》（HJ/T20-1998）等标准的相关要求，按照《危险废物鉴别标准通则》（GB5085.7-2019）规定的工作程序开展危险特性鉴别。根据地块污染物浓度分布特点和地块内地层分布，将地块划分为 8

个土层：0-1m、1-3m、3-5m、5-7m、7-9m、9-11m、11-13m、13-15m。
采用“泰森多边形”，得到地块内污染物浓度分布，然后对超标区域进行划定，共分得到 140 个需要外运修复斑块区域，其中一类用地涉及 130 个斑块，二类用地涉及 10 个斑块。具体点位布设信息见表 2.9-1，采样布点示意图见图 2.9-1~2.9-8。

2.9.2 鉴别结论

本次鉴别对象为青岛市地铁 5 号线镇平路维保中心二期 A 地块需外运修复污染土壤。根据《风评报告》，需外运修复的土壤修复土方量约 186462m³，最大污染深度 15m。

场地调查阶段将 A 地块在纵向上分成 8 个土层，每层围绕场地调查超标点位以“泰森多边形”划分污染斑块，合计 140 个斑块，本鉴别对 140 个斑块的代表样品进行采样分析，并依据《危险废物鉴别标准》(GB 5085.1~6-2007)、《危险废物鉴别标准通则》(GB 5085.7-2019)、《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)等相关标准规范，对鉴别对象进行危险特性鉴别，形成如下结论：

(1)依据 GB/T 15555.12-1995 方法对 140 个污染土壤样品进行浸出液制备，经测定，浸出液 pH 检测结果在 7.12~11.73 之间，均未超过《危险废物鉴别标准腐蚀性鉴别》(GB 5085.1-2007)的标准限值要求，据此判定本次鉴别污染土壤均不具有腐蚀性危险特性。

(2)根据 ATE 值计算结果，本次鉴别污染土壤的经口急性毒性估算值为 1506mg/kg，大于《危险废物鉴别标准急性毒性》(GB 5085.2-2007)规定的经口急性毒性限值(LD50≤200mg/kg)，因此，本次鉴别污染土壤不具有经口急性毒性；同时大于《危险废物鉴别标准急性毒性》(GB 5085.2-2007)中规定的限值(经皮肤接触：LD50≤1000mg/kg)，因此，本次鉴别污染土壤不具有经皮急性毒性；本次鉴别对象是处于地块内原位的污染土壤，不会存在形成蒸汽、烟雾或粉尘可能，不存在通过颗粒进入空气、吸入人体的可能，因此可排除通过蒸汽、烟雾或粉尘吸入造成的危险特性。据此可判定本次鉴别污染土壤均不具有急性毒性危险特性。

(3)结合污染物识别结论以前期调查数据对本次鉴别污染土壤

中与浸出毒性相关的污染物进行分析，筛选出浸出毒性检测因子。根据所采集 140 个污染土壤样品的浸出毒性检测结果，数值均未超过《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》（GB 5085.3-2007）表 1 中标准限值要求，因此，可判断本次鉴别污染土壤均不具有浸出毒性危险特性。

（4）本次鉴别污染土壤为原状土，主要成分为无机矿物，经测定，所采集的 140 个污染土壤样品含水率在 3.4%~37.5%，另根据前期调查地块内的土工样检测结果，地块内污染土壤有机质含量介于 1~3%之间，有机质含量较低，不具有易燃的性质，并且在前期调查钻探取样期间未发生因摩擦或自发性燃烧而起火情况，土壤性质稳定，不存在“在标准温度和压力（25℃，101.3kPa）下因摩擦或自发性燃烧而起火，经点燃后能剧烈而持续地燃烧并产生危害的固体废物”的可能性。据此可判定本次鉴别污染土壤均不具有易燃性危险特性。

3.地块修复模式

3.1 地块修复目标

《根据青岛地铁 5 号线镇平路维保中心二期项目 A 地块土壤污染风险评估报告》，本地块修复目标值确定原则：原则上用风险控制值作为修复目标值，计算得到的风险控制值低于筛选值，则采用筛选值作为修复目标值；修复目标值应低于国家风险管制值。土壤中污染因子的具体修复目标值见下表。

3.2 地块修复范围及工程量

3.2.1 地块修复范围划定原则

(1) 地块修复的目标是保障人体健康，使得地块土壤中污染物的环境风险降低到可以接受的水平。

(2) 土壤调查表层土采样深度一般为 0.5m 左右、0.5m 以下采样间隔一般不超过 2m；下层土壤超标的点位均进行深度上的补充采样，直至最大深度土壤满足一类用地筛选值要求，检测结果表明地块 14m 以下的土壤样品均满足一类用地筛选值。本次结合土壤样品采样间隔并便于工程施工及工程量计算，将地块划分为 8 个污染土层：0~1m、1~3m、3~5m、5~7m、7~9m、9~11m、11~13m、13~15m。

(3) 地块污染土壤修复方量计算以地块土壤污染调查阶段原地块作为起始零点进行计算，不包括地面上堆积的建筑垃圾。

3.2.2 A 地块修复范围

本地块划分为 8 个污染土层：0~1m、1~3m、3~5m、5~7m、7~9m、9~11m、11~13m、13~15m。

经计算，地块初步修复范围约 61929m²，其中一类用地范围内约 54470m²，二类用地范围内约 7459m²。修复面积自上而下逐步减少，最深至 15m；修复深度主要集中在 0~7m。各层修复范围图分别见图

3.2-1~图 3.2-9。

3.2.3 A 地块修复方量

本地块污染土壤修复总方量约 186462m^3 ，其中有机物污染土壤修复方量约 63942m^3 ，重金属污染土壤修复方量约 112846m^3 ，复合污染土壤修复方量约 9674m^3 。污染土壤修复方量统计见表 3.2-2。

一类用地范围内修复土方量约 175169m^3 ，其中有机物污染土壤修复方量约 56657m^3 ，重金属污染土壤修复方量约 108838m^3 ，复合污染土壤修复方量约 9674m^3 。一类用地范围污染土壤修复因子及方量明细见表 3.2-3。

二类用地范围内修复土方量约 11293m^3 ，其中有机物污染土壤修复方量约 7285m^3 ，重金属污染土壤修复方量约 4008m^3 。二类用地范围污染土壤修复因子及方量明细见表 3.2-4。

3.2.4 A 地块污染范围拐点坐标

地块污染范围的拐点坐标如下图所示：

3.2.5 超标地下水监管

3.2.5.1 地下水监管范围

由风险评估确定的地下水监管目标确定调查地块地下水监管范围，地下水具体监管范围见下表，不同地下水特征污染物指标监管范围及综合管控范围如下图所示。

3.2.5.2 地下水监管措施

(1) 地块修复前禁止随意排放和利用调查范围内的地下水。

(2) 地块地下水流向上游海晶化工 E、F 污染地块已修复完成正在进行修复效果评估，东风化工污染地块修复工程即将结束；地块西侧的混合地块 1（泰能焦化厂二期用地、海晶制砖厂和三氯化铁厂及西北侧燃机项目地块（泰能焦化厂二期用地）均为污染地块，北侧

100m 为李村河（景观娱乐用水），结合地铁工程开挖和防水要求，地铁 5 号线车辆段用地四周未来均建设止水帷幕（地块为其中的一部分），防止地下水迁移。由于地铁 5 号线车辆段用地中的二期 B 地块正在作为供暖用地使用、C 地块正在调查、镇平一路道路正常使用中、一期地块已建设止水帷幕，地铁 5 号线车辆段整个用地范围的止水帷幕需分期进行；为加快修复工程进度防止地下水迁移，调查地块结合地铁开挖及修复工程在四周建设止水帷幕，设计条件与地铁 5 号线车辆段整个用地范围的止水帷幕相结合；止水帷幕可防止地下水向李村河扩散，同时相对减少修复基坑的涌水量。

（3）地下水存在挥发酚、石油烃（C10-C40）等有机物污染物污染，考虑地下水迁移性，后期修复工程土壤开挖等因素可能导致地下水暴露形成基坑积水。土壤修复期间为防止地块内污水直接外排产生二次污染，对基坑开挖产生的基坑涌水即地块内的地下水进行收集并抽出处理。抽出的地下水污染物浓度如果满足《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级标准，可过市政污水管道直接排入李村河污水处理厂；污染物浓度如果不满足标准要求，则采取“中和沉淀+氧化/还原+过滤+吸附”等污水处理工艺处理，处理后达到《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级标准后通过市政污水管道排入李村河污水处理厂。地块修复期间地下水抽出处理方式参照《污染地下水抽出-处理技术指南（试行）》进行，具体由修复方案落实。

（4）开发建设过程中及建设完成后应禁止以饮用、灌溉等形式利用区域内地下水，以免改变地下水的暴露途径；若外排和利用地下水需进行水质检测，确保达标排放和利用。

3.3 修复模式的确定

3.3.1 场地污染情况

3.3.1.1 第一类用地土壤检测结果

(一) 土壤点位及样品情况:

第一类用地范围内共布设土壤采样点 158 个, 采样深度 8~14m, 采集土壤样品 1069 个。经检测分析, 挥发性有机物 1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷及有机氯农药类 β -六六六、 γ -六六六均低于检出限, 其他污染物均有检出。

(二) 检出污染物情况如下:

(1) pH: 调查地块土壤 pH 检测值范围 3.75~11.62; 其中有 4 个样品 pH 值低于 5, 7 个样品 pH 值高于 11。

(2) 重金属: 调查地块内重金属砷、镉、六价铬、铜、铅、汞、镍、锑、钴、钒、钡均有检出; 其中砷、六价铬、铅、汞、锑、钴超出 GB36600-2018 中第一类用地筛选值要求, 钡超出 10000mg/kg (风险管控计算值及地块西南向东风化工修复目标值均为 10000mg/kg) 要求。砷超标率约 4% (43 个样品超标), 六价铬超标率约 0.56% (6 个样品超标), 铅超标率约 0.19% (2 个样品超标), 汞超标率约 0.28% (3 个样品超标), 锑有 1 个样品超标, 钴超标率约 1.4% (15 个样品超标), 钡超标率约 2% (22 个样品超标)。

(3) 氰化物: 调查地块内氰化物检出范围 0.04~1.09mg/kg, 检出率约 5%, 均满足 GB36600-2018 中第一类用地筛选值要求。

(4) 石油烃 (C10-C40): 调查地块内石油烃 (C10-C40) 检出范围 6~1.06 $\times 10^4$ mg/kg, 检出率约 87%, 超标率约 1% (11 个样品超标)。

(5) 二硫化碳: 调查地块内二硫化碳检出范围 0.0011~22.5mg/kg, 检出率约 22%, 均满足推导的第一类用地风险控制值 (92mg/kg) 要

求。

(6)挥发性有机物:除 1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷低于检出限外,其他挥发性有机物均检出;检出污染物除氯乙烯外,其他检出项均满足 GB36600-2018 中第一类用地筛选值要求;氯乙烯检出范围 0.0083~1.25mg/kg,检出率约 2%,超标率约 0.28% (3 个样品超标)。

(7)苯系物和氯代烃类:苯、甲苯、乙苯、间二甲苯+对二甲苯、邻二甲苯、氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、六氯苯均有检出;除苯、氯苯、六氯苯外,其他检出项均满足 GB36600-2018 中第一类用地筛选值要求;苯检出范围 0.0019~2.43mg/kg,检出率约 13%,超标率约 0.19% (2 个样品超标);氯苯检出范围 0.0012~225mg/kg,检出率约 34%,超标率约 0.65%(7 个样品超标);六氯苯检出范围 0.3~0.9mg/kg,2 个样品检出,其中 1 个样品超标。

(8)硝基苯和苯胺:调查地块内硝基苯检出范围 0.09~0.95mg/kg,5 个样品检出、检出率 0.46%;苯胺检出范围 0.1~1.7mg/kg,10 个样品检出、检出率约 1%;硝基苯和苯胺检出结果均满足 GB36600-2018 表 1 中第一类用地筛选值。

(9)酚类化合物(21 项):调查地块内 21 项酚类化合物均有检出;2-氯酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚、2,4-二硝基酚均满足 GB36600-2018 中第一类用地筛选值要求,五氯酚检出范围 0.11~1.38mg/kg、检出率约 2.81%,1 个样品超出 GB36600-2018 中第一类用地筛选值要求;苯酚、2-甲基酚、3-甲基苯酚&4-甲基苯酚、2-硝基酚、2,4-二甲基酚、2,6-二氯酚、4-氯-3-甲基酚、2,4,5-三氯酚、4-硝基酚、2,3,4,6-四氯酚、2,3,4,5-四氯酚/2,3,5,6-四氯酚、地乐酚、2-环己基-4,6-二硝基酚均满足推导的一类用地风险控制值;2-甲基

-4,6-二硝基酚检出范围 0.1~6mg/kg、2 个样品不满足推导的一类用地风险控制值。

(10) 多环芳烃 (16 项): 调查地块内 16 项多环芳烃均有检出, 苯并[k]荧蒽、蒽满足 GB36600-2018 表 1 中第一类用地筛选值; 萘、芘、苊、菲、葱、荧葱、芘、苯并[g,h,i]芘满足推导的一类用地风险控制值。苯并[a]葱、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]葱、茚并[1,2,3-cd]芘、萘不满足 GB36600-2018 一类用地筛选值要求, 检出率分别为 12%、13%、14%、4.4%、7.7%、7.9%, 样品超标个数分别为 8 个、41 个、12 个、17 个、5 个、4 个, 超标率分别为 0.74%、3.9%、1.12%、1.58%、0.46%、0.37%。

(11) 六六六: 调查地块内检测 α 、 β 、 γ 三种形态的六六六, 仅一个样品中 α -六六六检出, 其他均低于检出限; 检出样品 (TNY62-9.0m) α -六六六检出值为 0.21mg/kg, 不满足 GB36600-2018 一类用地筛选值要求。

3.3.1.2 第二类用地土壤污染状况

(1) 土壤点位及样品情况

第二类用地范围共布设土壤采样点位 26 个，深度 9~13m，采集土壤样品 165 个。

(2) 样品检出情况

经检测分析：挥发性有机物四氯化碳、氯仿、氯甲烷、二氯甲烷、1,2-二氯丙烷、1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、三氯乙烯、1,2,3-三氯丙烷，苯系物中苯乙烯、六氯苯，酚类化合物 2-硝基苯酚，有机氯农药六六六（ α 、 β 、 γ ）均低于检出限；pH 检出范围 7.39~11.53，其中 2 个样品 pH 值高于 11（TNY06-2.0m 处 pH 值 11.12、TNY82-2.0m 处 pH 值 11.53）；其他污染物均有检出。

(3) 超标污染物情况

鉴于本次调查样品量较大，本次将超标污染物统计情况列于下表，其他检测值具体见检测报告。

3.3.2 修复模式介绍

污染场地修复工程可考虑的基本修复模式主要包括三种：原位处理、原地异位处理、异地处理或处置。三种模式介绍如下：

对三种修复模式从时间、成本、修复效果等方面进行了综合的分析与比较，如下表所示。

3.3.3 修复模式确定

本地块规划包括一类用地和二类用地，污染土壤修复总方量约 186462m³，其中有机物污染土壤修复方量约 63942m³，重金属污染土壤修复方量约 112846m³，复合污染土壤修复方量约 9674m³。

其中一类用地范围内修复土方量约 175169m³，其中有机物污染土壤修复方量约 56657m³，重金属污染土壤修复方量约 108838m³，

复合污染土壤修复方量约 9674m³。

其中二类用地范围内修复土方量约 11293m³，其中有机物污染土壤修复方量约 7285m³，重金属污染土壤修复方量约 4008m³。

其中污染土壤主要集中在一类用地区域。考虑到后续大部分区域需要开挖建设，且大部分污染土壤主要集中在 7m 以上，再结合污染种类特征、修复工期、修复成本及现场二次污染防治需要，建议采用经济、快速高效的异地处理处置模式，即污染土壤现场筛分预处理后，根据污染类型外运至异地修复或处置。

4.修复技术筛选

4.1 修复技术筛选原则

污染土壤修复技术的比选需要考虑场地污染特征、场地水文地质情况、处置技术的可行性、成熟可靠性、时间性、经济性以及污染防治等因素。必要时，需要对不同类型的土壤进行实验，确定处置工艺和参数，以达到污染土壤修复目标。

污染土壤修复技术的比选主要考虑的因素：

(1) 多种修复技术综合使用。由于本项目污染土壤的污染类型、程度不同，必须结合实际情况选择合适的修复技术和方法，以达到污染场地修复目的。

(2) 修复技术的可行性、成熟可靠性。目前，国内外污染场地修复技术众多，为了保证本项目污染土壤修复工程顺利完成，应选择技术可行、成熟可靠的修复技术，避免采用处于尚未工程化应用乃至实验室阶段的修复技术。

(3) 修复时间合理。本项目需要在较短时间内完成场地修复，进行土地再利用。为尽快完成污染土壤修复工作，降低再利用过程中的环境风险，在选择污染土壤修复技术时，同等条件下，选择时间短的修复技术。

(4) 修复费用经济合理。结合场地中的污染物特性，选择经济合理的修复技术，在达到修复目标的前提下，尽量控制土壤修复费用。

(5) 减少对周边居民和环境影响。污染土壤修复过程中要严格控制对周围居民和环境的影响，做好工程实施过程中的各项环境保护措施，防止二次污染，将施工对周围居民和环境的影响降至最低。

4.2 重金属污染土壤修复技术筛选

本项目地块土壤中重金属污染物包括汞、铅、汞、镉、钴、钡、

六价铬等。针对上述重金属污染物，目前国内常用的异位修复技术包括固化/稳定化、土壤淋洗、水泥窑协同处置、砖瓦窑协同处置、安全阻隔填埋等。

4.2.1 修复技术介绍

4.2.1.1 异位固化/稳定化技术

(1) 技术原理

固化/稳定化技术包括固化技术和稳定化技术，固化技术是将污染的土壤与固化剂按照一定比例混合，熟化形成渗透性很差的固体混合物，使污染物被包裹起来，处于相对稳定状态，重金属和放射性物质污染土壤的无害化处理常用该方法。稳定化技术是指将稳定化试剂与污染物发生络合、螯合等化学反应，将污染物转化为不易溶解、迁移能力或毒性更小形态来实现其无害化，降低其对生态系统危害的风险。

实际应用中，往往将固化技术和稳定化技术结合起来以便达到更好的效果。固化/稳定化技术处理生成的产物可以制砖，用于建筑、铺路等，也可以就地回填。

(2) 技术特点

国外采用固化/稳定化技术修复重金属染场地的工程应用案例很多，该技术也是美国超级基金修复场地最常用的五种处理方法之一，自 1982 年以来，采用该技术已经修复 160 多处场地。国内也有采用固化/稳定化技术作为重金属污染土壤的修复技术。

(3) 适用范围

固化/稳定化技术的成本和运行费用较低，适用性较强，原位异位均可使用。该技术主要应用于处理重金属污染的土壤，不适合含挥发性污染物土壤的处理，对于半挥发性有机物和农药杀虫剂等污染物

的处理效果有限。固化/稳定化技术只是将污染物固定在混合体内，而非去除，土壤内污染物总量未得到削减。因此，固化/稳定化处理后的土壤应结合其最终归宿，制定相应的验收方法和标准，如浸出检验等。

4.2.1.2 异位土壤淋洗技术

(1) 技术原理

土壤淋洗是指借助能够促进土壤环境中污染物溶解或迁移作用的溶剂，通过将溶剂与污染土壤混合，然后再把包含有污染物的液体从土壤中抽提出来，进行分离处理的技术。原位土壤淋洗一般是指将冲洗液由注射井注入或渗透至土壤污染区域，携带污染物质到达地下水后用泵抽取污染的地下水，并于地面上去除污染物的过程。异位淋洗技术需要将污染土壤挖掘出来，用水或淋洗剂溶液清洗土壤、去除污染物，再对含有污染物的清洗废水或废液进行处理，洁净土可以回填或运到其他地点回用。

(2) 应用情况

土壤淋洗技术在发达国家已有 30 年的成熟使用经验，可用于处置多种污染土壤，如果污染土壤的物理性质符合要求，还可以处置复合污染的土壤。

(3) 适用范围

土壤淋洗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。如果土壤中的粘土含量超过 25%，则不建议采用此技术。此外，淋洗技术可能产生大量的洗土废水，必须配备相应的洗脱液处理及回用设备。

4.2.1.3 水泥窑协同处置技术

（1）技术原理

水泥的生产过程是利用含碳酸钙、二氧化硅以及铁、铝氧化物等原料（主要为石灰石和粘土）经破碎后，按一定比例配合、磨细并调配为成分合适、质量均匀的生料，在 1400°C 以上的水泥窑内煅烧至部分熔融，生成具有水硬特性的以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料，再加入适量石膏、混合材料、添加剂共同磨细成为水泥产品。从水泥生产的过程看，水泥生产的原料以钙、硅化合物为主，同时需要少量的铁、铝元素，允许少量的其他杂质（非活性物质）存在。

水泥窑协同处置技术是指将满足或经过预处置后满足入窑要求的固体废物投入水泥窑，在进行水泥熟料生产的同时实现废物的无害化处置的过程。固体废物作为水泥组分直接进入到了水泥熟料产品中，实现资源化同时做到污染物的彻底去除。

（2）技术特点

水泥窑协同处置污染土壤是目前国内应用较为广泛的方式。焚烧过程需要对废物焚烧后的飞灰和烟道气进行检测，防止二噁英等毒性更大的物质的产生，并需满足相关标准。

（3）适用范围

水泥窑协同处置可用来处理大量高浓度的 POPs 污染物以及半挥发性有机污染物等。对污染物处理彻底，清除率可达 99.99%。如果进行水泥窑协同处置，需要对污染土壤进行分选，并对其中的重金属等成分进行检测，保证生产的水泥质量符合相关标准。

4.2.1.4 砖瓦窑协同处置技术

（1）技术原理

普通粘土砖的主要原料为粉质或砂质粘土，其主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 和结晶水，由于地质生成条件的不同，可能还含

有少量的碱金属和碱土金属氧化物等。粘土砖的生产工艺主要包括取土、炼泥、制坯、干燥、焙烧等。焙烧是制砖工艺的关键环节。一般是将焙烧温度控制在 900~1300°C 之间,使砖坯烧至部分熔融而烧结。砖窑烧结技术,从宏观层面上是指在高温的条件下(不高于熔点),生坯固体颗粒的相互键联,晶粒长大,空隙和晶界渐趋减少,通过物质的传递,其总体积收缩,密度增加,最后成为具有某种显微结构的致密多晶烧结体技术;微观层面上是指固态中分子(或原子)间存在相互吸引,通过加热使质点获得足够的能量进行迁移,使粉末体产生颗粒黏结,产生强度并导致致密化和再结晶的过程。

砖瓦窑协同处置污染土壤技术是将满足或经过预处置后满足入窑要求的固体废物投入隧道窑,在进行砖瓦成品生产的同时实现废物无害化处置的过程。处置时将污染土壤以一定比例添加到制砖原料中,通过高温烧结与固化,使土壤中的污染物(有机物或重金属)分解或熔融到砖瓦产品中,在实现资源化利用的同时可以确保污染物彻底去除或固定。

(2) 技术特点

该技术在国内的应用越来越广泛,已经有一些成功应用案例。

(3) 适用范围

制砖生产连续化,周期短,处理量与产量大;可以解决修复后重金属污染土壤最终消纳难、管理复杂等问题,对重金属类土壤修复是一种良好的资源化利用方式。同时,制砖处置也具有一定的局限性,制砖处置对原料具有一定的要求,若场地污染土壤含有较多大粒径建筑垃圾石块,需经过预处理,达到砖厂接收条件,另外制砖焙烧环节,可能产生二次污染,需对尾气进行相关的环境管理。

4.2.1.5 安全阻隔填埋技术

（1）技术原理

安全阻隔填埋是将污染土壤或经过治理后的土壤置于异位建设的防渗阻隔区域内，封存结束后，进行封闭处理，或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径，使污染土壤与四周环境隔离，避免污染物与人体接触和随土壤水迁移进而对人体和周围环境造成危害。

（2）技术特点

填埋技术成熟，国内已有应用案例。填埋技术处理速度快，需要时间主要取决于挖掘和填埋的速度。处置费用相对较低，但污染物未被处理，只是转移位置，存在二次污染的风险，挥发性污染物难以密闭填埋。

（3）适用范围

适用于重金属、难挥发性有机污染物污染土壤的处置。不宜用于污染物水溶性强或渗透率高的污染土壤，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区。

4.2.2 修复技术筛选

从技术成熟度、修复周期、修复成本、适用性及局限性分析等方面综合考虑，对修复技术进行比选（见表 4.2-1），针对本项目地块大体量的重金属污染土壤，可考虑采用砖瓦窑协同处置技术、水泥窑协同处置技术、安全阻隔填埋技术。

4.3 有机污染土壤修复技术筛选

本项目地块土壤中有有机污染物复杂多样,包括苯、氯苯、六氯苯、多环芳烃、 α -六六六、石油烃(C₁₀-C₄₀)等。针对上述有机污染物,目前国内常用的异位修复技术包括异位气相抽提、异位化学氧化、异位生物堆、异位热脱附、水泥窑协同处置、安全阻隔填埋等。

4.3.1 修复技术介绍

4.3.1.1 异位气相抽提技术

(1) 技术原理

异位土壤气相抽提技术是通过在污染土壤堆体中布置提取管,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管,最终进行污染尾气处理,从而使污染土壤得到净化的方法。通过降低土壤孔隙的蒸汽压(大于0.5mmHg),把土壤中的污染物转化为蒸气形式而加以去除的技术,是利用物理方法去除不饱和土壤中挥发性有机组分(VOCs)污染的一种修复技术。

(2) 技术特点

多数情况下,污染土壤中需要安装若干空气注射管,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。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,采用土壤气体抽提技术时,污染物的去除效率很低。

(3) 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、湿度小等特点。低渗透性的

土壤难以采用该技术进行修复处理。

4.3.1.2 异位化学氧化技术

(1) 技术原理

化学氧化技术是指向污染土壤/地下水添加氧化剂，通过氧化作用，使土壤/地下水中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐、臭氧等。异位化学氧化修复是将污染土壤开挖转运至异位进行修复。

(2) 技术特点

在美国、加拿大和西北欧，化学氧化工艺已经被用于数千个有毒废弃场地，美国环保署（EPA）资料显示，最近的现场修复案例中化学氧化技术占了 33%，成为目前发展最迅速的污染土壤修复技术之一。

(3) 适用范围

化学氧化技术可处理的污染物类型包括石油烃、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。不适用于重金属污染土壤的修复，对于吸附性强、水溶性差的有机污染物应考虑必要的增溶、脱附方式。

4.3.1.3 异位生物堆技术

(1) 技术原理

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

(2) 技术特点

生物堆主要由土壤堆体、抽气系统、营养水分调配系统、渗滤液收集处理系统以及在线监测系统组成。其中，土壤堆体系统具体包括污染土壤堆、堆体基础防渗系统、渗滤液收集系统、堆体底部抽气管

网系统、堆内土壤气监测系统、营养水分添加管网、顶部进气系统、防雨覆盖系统。抽气系统包括抽气风机及其进气口管路上游的气水分离和过滤系统、风机变频调节系统、废气处理系统、电控系统、故障报警系统。营养水分调配系统主要包括固体营养盐溶解搅拌系统、流量控制系统、营养水分投加泵及设置在堆体顶部的营养水分添加管网。渗滤液收集系统包括收集管网及处理装置。在线监测系统主要包括土壤含水率、温度、二氧化碳和氧气在线监测系统。

影响生物堆技术修复效果的关键技术参数包括：污染物的生物可降解性、污染物的初始浓度、土壤通气性、土壤营养物质含量、土著微生物数量、土壤含水率、土壤温度和 pH、运行过程中堆体内氧气含量以及土壤中重金属含量。

（3）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。

4.3.1.4 异位热脱附技术

（1）技术原理

异位热脱附技术是通过直接或间接加热，将污染土壤加热至目标污染物的沸点以上，通过控制系统温度和物料停留时间有选择地促使污染物气化挥发，使目标污染物与土壤颗粒分离，去除。

1) 直接热脱附由进料系统、脱附系统和尾气处理系统组成。进料系统：通过筛分、脱水、破碎、磁选等预处理，将污染土壤从车间运送到脱附系统中。脱附系统：污染土壤进入热转窑后，与热转窑燃烧器产生的火焰直接接触，被均匀加热至目标污染物气化的温度以上，达到污染物与土壤分离的目的。尾气处理系统：富集气化污染物的尾

气通过旋风除尘、焚烧、冷却降温、布袋除尘、碱液淋洗等环节去除尾气中的污染物。

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

(2) 技术特点

作为一种物理修复方法，土壤热脱附具有工艺原理简单、高效、操作灵活、安全稳定、处理迅速、对土壤理化性质影响小、恢复周期短等显著优点，从发明之初即被广泛应用于处理挥发性和半挥发性有机污染物的土壤和地块，如石油类芳香烃、多环芳烃等有机污染物，比较适合城市中心的受污染土壤或地块的快速修复，可以满足此类地块快速商业再开发的实际需求。另外，热脱附修复技术对于处理一些突发性的有机污染环境事故，如由于意外泄露、倾倒而发生的突发性土壤污染事故的应急修复也将是一种不可替代的选用技术方案。该技术是发达国家修复有机污染土壤的重要技术之一。2014年9月9号，发改委、工信部、科技部、财政部和环保部五部委发布的《重大环保技术装备与产品产业化工程实施方案的通知》(发改委环资[2014]2064号)中明确提出关键技术研发重点，其中针对土壤修复提出大力发展热脱附技术。可见热脱附技术也是我国污染土壤修复的发展主流技术之一。

(3) 适用范围

热脱附技术可处理的污染物类型包括挥发及半挥发性有机污染

物（如石油烃、农药、多环芳烃、多氯联苯）和汞。

4.3.1.5 水泥窑协同处置技术

（1）技术原理

水泥的生产过程是利用含碳酸钙、二氧化硅以及铁、铝氧化物等原料（主要为石灰石和粘土）经破碎后，按一定比例配合、磨细并调配为成分合适、质量均匀的生料，在 1400°C 以上的水泥窑内煅烧至部分熔融，生成具有水硬特性的以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料，再加入适量石膏、混合材料、添加剂共同磨细成为水泥产品。从水泥生产的过程看，水泥生产的原料以钙、硅化合物为主，同时需要少量的铁、铝元素，允许少量的其他杂质（非活性物质）存在。

水泥窑协同处置技术是指将满足或经过预处置后满足入窑要求的固体废物投入水泥窑，在进行水泥熟料生产的同时实现废物的无害化处置的过程。固体废物作为水泥组分直接进入到了水泥熟料产品中，实现资源化同时做到污染物的彻底去除。

（2）技术特点

水泥窑协同处置污染土壤是目前国内应用较为广泛的方式。焚烧过程需要对废物焚烧后的飞灰和烟道气进行检测，防止二噁英等毒性更大的物质的产生，并需满足相关标准。

（3）适用范围

水泥窑协同处置可用来处理大量高浓度的 POPs 污染物以及半挥发性有机污染物等。对污染物处理彻底，清除率可达 99.99%。如果进行水泥窑协同处置，需要对污染土壤进行分选，并对其中的重金属等成分进行检测，保证生产的水泥质量符合相关标准。

4.3.1.6 安全阻隔填埋技术

（1）技术原理

安全阻隔填埋是将污染土壤或经过治理后的土壤置于异位建设的防渗阻隔区域内，封存结束后，进行封闭处理，或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径，使污染土壤与四周环境隔离，避免污染物与人体接触和随土壤水迁移进而对人体和周围环境造成危害。

（2）技术特点

填埋技术成熟，国内已有应用案例。填埋技术处理速度快，需要时间主要取决于挖掘和填埋的速度。处置费用相对较低，但污染物未被处理，只是转移位置，存在二次污染的风险，挥发性污染物难以密闭填埋。

（3）适用范围

适用于重金属、难挥发性有机污染物污染土壤的处置。不宜用于污染物水溶性强或渗透率高的污染土壤，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区。

4.3.2 修复技术筛选

从技术成熟度、修复周期、修复成本、适用性及局限性分析等方面综合考虑，同时结合本项目修复周期短、工程量大的特点，对修复技术进行比选（见表 4.3-1），筛选结果显示，针对本地块有机污染土壤可考虑采用的修复技术包括异位热脱附技术、水泥窑协同处置技术和安全阻隔填埋技术。

4.4 复合污染土壤修复技术筛选

复合污染土壤中重金属修复技术筛选见 4.2 节内容，复合污染土壤中有有机物修复技术筛选见 4.3 节内容。经对比筛选，同时结合本项目修复周期短、工程量大的特点，复合污染土壤可选择水泥窑协同处置技术、安全填埋处置技术。

4.5 废水处置修复技术筛选

4.5.1 修复技术介绍

4.5.1.1 抽出处理技术

该技术根据地下水污染范围，在污染场地布设一定数量的抽水井，通过水泵和水井将污染了的地下水抽取上来，然后利用地面净化设备进行地下水污染治理。通过不断地抽取污染地下水，使污染晕的范围和污染程度逐渐减小，并使含水介质中的污染物通过向水中转化而得到清除。同时，在抽取过程中，水井水位下降，在水井周围形成地下水降落漏斗，使周围地下水不断流向水井，减少了污染扩散。最后根据污染场地的实际情况，对处理过的地下水进行排放，可以排入地表径流、回灌到地下或用于当地供水等。

4.5.1.2 原位化学氧化技术

原位化学氧化技术通过控制氧化剂的释放形式，可以使这些地球化学变化或其他感官指标的变化对直接处理区以外地方的影响减至最小。由于注入井数量有限和水力传导系数分布的问题，通过水相注入系统控制氧化剂的用量非常困难。无论是采用渗透格栅还是水相注入，都要对含水层的性质、地球化学变化的可逆性（如溶解作用、解析作用、pH 值变化）、污染物的分布和通量进行详细的评价，以设计出有效的原位处理系统。主要的氧化剂有二氧化氯、双氧水及 Fenton 试剂、高锰酸钾和臭氧。污染物不同可采用不同的氧化剂。

4.5.1.3 原位生物修复技术

原位生物修复技术是利用生物的新陈代谢活动来吸收和降解污染场内地下水环境中有毒有害化合物使其成为无毒物质的工程修复技术。原位生物修复技术多在土壤饱水带中利用本土或外来人工驯化的微生物实行原位降解。由于地下水环境的特殊运动性，原位生物修复技术是参考场地水文地质系统、溶质运移模型、生物降解动力学方程、生物降解速率方程以及本地微生物种类和营养成分的地下水污染物修复技术。技术实施方法主要包含：生物注射法，有机粘土法，抽提和回注地下水相结合法。

4.5.1.4 原位空气注入修复技术

空气注入技术是在气相抽提基础上发展而来的，通过在含水层注入空气使地下水中的污染物汽化，同时增加地下水氧气浓度，加速饱和带、非饱和带中的微生物降解作用。汽化后的污染物进入包气带，可利用抽气装置抽取后处理，因此也称生物曝气技术。

4.5.1.5 可渗透反应墙技术

可渗透反应墙技术是一种基于场地地下水流动特性的原位修复技术。该技术在污染源的下游开挖沟槽，安置连续或非连续的特殊渗透性材料制作的反应墙，并在其中填入反应媒介，根据不同的媒介与流经的地下水中的污染物可发生物理（吸附/稀释/阻挡）、化学（氧化还原/分解反应）或生物化学（生物降解）等反应，使地下水中的污染物得以阻截、固定或降解。

4.5.2 修复技术筛选

4.5.2.1 地下水污染因子超标情况

根据调查报告，调查地块内地下水 pH 在 7.1~8.6，地下水中常规污染物色度、嗅和味、浊度、肉眼可见物、总硬度、溶解性总固体、

硫酸盐、氯化物、锰、铝、耗氧量、氨氮、硫化物、钠、氟化物、碘化物、总大肠菌群、菌落总数等不满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准。

特征污染因子中，氰化物、挥发酚、石油烃（C10-C40）、苯、氯苯、苯乙烯、萘、二苯并[a,h]蒽不满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准。

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），考虑到调查地块未来规划中，地下水不作为饮用水源，因此不存在地下水直接摄入暴露的风险，考虑吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、皮肤接触地下水3种暴露途径产生的风险。本次地下水风险评估采用调查时地下水污染物最大检出浓度进行风险计算。调查地块地下水关注污染物包氰化物、挥发酚、石油烃（C10-C40）、苯、氯苯、苯乙烯、萘、二苯并[a,h]蒽，人体健康风险均可接受，无需计算风险控制值，无需开展修复工作。

综上，本项目施工现场废水来源主要有基坑废水、基坑涌水、车辆冲洗废水、建筑垃圾冲洗废水、雨水等，需要处置达标后纳管排放。

4.5.2.2 废水处置修复技术筛选

废水处置的技术筛选如下表所示，通过比选，本场地的废水采用抽出治理的方式。具体为：基坑土壤开挖前设置降水井对场地进行地下水抽提，抽提的地下水通过管道输送至水处理区进行处置，处置达标后纳管排放；基坑废水、基坑涌水通过集水明排抽提至水处理区进行处置，处置达标后纳管排放；车辆冲洗废水、建筑垃圾冲洗废水循环使用，并且定期更换，废水抽提至水处理区进行处置，处置达标后纳管排放。

4.6 土壤修复技术可行性评估

4.6.1 异位热脱附技术可行性评估

4.6.1.1 国内外应用情况

(1) 国外应用情况

热脱附技术最早由美国军方开发用于修复化学氧化法难以治理的化学品仓库等污染场地。近年来，欧美各国在重度有机物污染场地的治理工作中发觉传统的修复技术难以胜任，且因为需要多次重复注射药剂而使得治理费用非常昂贵，从而纷纷采用热脱附技术，使得这一技术在欧美等国家得到了广泛应用。

热脱附技术在国外始于七十年代，广泛应用于工程实践，技术较为成熟。在 1982~2004 年期间，约有 70 个美国超级基金项目采用异位热脱附作为主要的修复技术。部分国外应用案例信息见下表。

(2) 国内应用情况

异位热脱附技术在国内已有一定量的工程应用案例，该技术能成功去除重度污染有机物，其去除率可达到 99.9%以上，并能适用于任何土壤（包括黏土）。

4.6.1.2 本施工单位类似工程案例

本施工单位已将该技术成功应用于多个污染场地，现对某些典型案例进行介绍。

4.6.1.2.1 案例一

在本项目中，采用异位热脱附设备，异位热脱附处置方量为 25462.74m³，异位热脱附的处置能力约为 5t/h，异位热脱附工艺的修复施工工期为 200 天。该项目已顺利通过竣工验收并备案。

4.6.1.2.2 案例二

在本项目中，采用异位直接热脱附设备，修复方量为 28287m³，异位热脱附时间为 100 日历天，设备处置能力为 20t/h，最高可达 25t/h。该项目已顺利通过竣工验收并备案。

4.6.1.2.3 案例三

在本项目中，采用异位直接热脱附设备，修复方量为 49606.78m³，设备处置能力为 20t/h，最高可达 25t/h。该项目已顺利通过竣工验收并备案。

4.6.2 砖瓦窑协同处置技术可行性评估

4.6.2.1 国内应用情况

目前砖瓦窑协同技术已在我国广泛的用于粉煤灰、煤矸石、炉渣、高炉矿渣、钢渣、特种冶金渣、电石渣等各类工业废渣的综合利用中。污泥的砖瓦窑协同处置在 2011 年持续走热，已发展的较为成熟，并出台了相关的标准规范。通过对污泥无害化加工处理以后，污泥就可以作为原料被烧结砖瓦厂加以利用，用于生产市场需要的烧结墙体材料，甚至生产清水砖等高档材料。

污染土壤中含有的有机污染物经过隧道窑高温加热后彻底分解消失，重金属在高温条件下熔融，改变了原有的形态，与其他原料融合在一起烧制成砖瓦，固定在其中，丧失了原有的环境风险。

目前，污染土壤砖瓦窑协同处置（高温焙烧）主要在浙江地区应用，其次是山东地区。最早应用时间为 2017 年，处置的污染物包括多种重金属及有机物。据不完全统计，已有 11 个项目通过效果评估，2 个项目正处于施工阶段。具体项目信息详见表 4.6-5。

表 4.6-5 中砖瓦窑协同处置案例涉及的重金属污染因子（铜、锌、铅、镉、钡、钴、汞、砷、镍、六价铬），囊括了与本项目涉及的重金属污染因子（砷、六价铬、铅、汞、镉、钴）。钡因此，采用砖瓦

窑协同处置本项目重金属污染土壤在技术和施工上是完全可行的。

4.6.2.2 本施工单位类似工程案例

本施工单位采用砖瓦窑协同处置技术已成功完成数个修复项目，对项目的实施和运行都有成功的经验。现对某些典型案例进行介绍。

4.6.2.2.1 案例一

本项目于2018年共外运1785m³重金属污染土壤至砖瓦厂进行协同处置。砖瓦厂在规定工期内完成了所有污染土壤的处置，生产的成品空心砖经验收检测全部达标，浸出值均符合GB14848地下水IV类标准，且砖瓦厂二次污染评估全部达标。该项目已顺利通过了竣工验收评审会。

成品空心砖经验收检测全部达标，浸出值均符合GB14848地下水IV类标准。施工过程中的二次污染防治措施到位，环境监测数据均达标。证明材料如下：

4.6.2.2.2 案例二

本项目于 2019 年 8 月~2019 年 10 月共外运 5718m³ 重金属污染土壤至砖瓦厂进行协同处置。砖瓦厂在规定工期内完成了所有污染土壤的处置，采用《固体废物浸出毒性浸出方法硫酸硝酸法》（HJ/T299-2007），对生产的成品空心砖验收检测，浸出值均符合 GB14848 地下水IV类标准，全部达标。且砖瓦厂二次污染评估全部达标。该项目已顺利通过了竣工验收评审会。

为了确保制成的产品中重金属的浸出含量达标，采用《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJ/T299-2007），对制成的砖块做毒性浸出，结果全部达标。施工过程中的二次污染防治措施到位，环境监测数据均达标。证明材料如下：

4.6.2.2.3 案例三

本项目共转移 47466m³ 污染土壤至砖瓦厂进行协同处置，该项目已顺利通过了竣工验收评审会。

4.6.3 水泥窑协同处置技术可行性评估

水泥窑协同处置技术是一种比较成熟的处理固体废物的常用技术，国内外已有广泛研究和应用。水泥窑协同处置固体废物具有焚烧温度高，停留时间长，焚烧状态稳定等特点。

4.6.3.1 国内应用情况

在国内，采用水泥窑协同处置技术处置危险废物和污染土壤因其处置量较大，成本较低等特点，已有一些地区经过设备改造和技术论证，尝试处理污染土壤或污泥，取得了较为丰富的经验。

根据相关部门统计，国内现有水泥窑 1700 余条，符合危废处置选址条件等影响规定的约 300 条，目前已取证项目 60 个，处置能力约 368 万吨/年，仅 2020 年公示审批的采样水泥窑协同处置项目就多达 37 个。

水泥窑协同处置技术的优势在于处理高浓度的污染物时比较彻底，且处理效果彻底。该技术无论在国外还是在国内都得到了广泛和成功的应用，因此对于本场地水泥窑协同处置技术是具有可行性的技术。

4.6.3.2 本施工单位类似工程案例

本施工单位在国内共成功完成水泥窑协同处置施工项目十余个，拥有丰富的工程施工经验，现对某些典型案例进行介绍。

4.6.3.2.1 案例一

该项目已通过专家评审，完成验收及备案。施工现场如下图所示。

4.6.3.2.2 案例二

该项目污染土壤已全部运至水泥窑协同处置，并通过专家评审验收。水泥窑协同处置施工过程如下：

4.6.3.2.3 案例三

该项目已通过专家评审验收并备案。施工过程如下：

4.6.4 安全阻隔填埋技术可行性评估

安全阻隔填埋是将污染土壤或经过治理后的土壤置于异位建设的防渗阻隔区域内。该阻隔区是由高密度聚乙烯膜（HDPE）等防渗阻隔材料组成的防渗阻隔填埋场，可以使污染土壤与四周环境隔离，防止污染土壤中的污染物随降水或地下水迁移，污染周边环境，影响人体健康。该技术虽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。

安全阻隔填埋技术的优势在于适用于重金属、有机物及重金属有机物复合等多种污染类型土壤，且处理周期较短。该技术已经相对比较成熟，无论在国外还是在国内都得到了成功的应用，因此对于本场地安全阻隔填埋技术是具有可行性的技术。

4.6.4.1 国外应用情况

污染土壤阻隔填埋技术早在 20 世纪 80 年代初期就已经开始应用，该技术在国外已经应用 30 多年，已成功用于近千个工程，技术已经相对比较成熟，国外部分案例信息表如下。

4.6.4.2 国内应用情况

我国对该技术的最早应用是在 2007 年，以阻隔填埋方式处置重金属污染土壤；2010 年，某工程采用 HDPE 膜作为主要阻隔材料，阻挡污染物随地下水的水平迁移，将污染物以及污染土壤与外界环境隔绝，杜绝污染扩散，保护周围土壤和地下水。

国内某案例应用情况：某水源地对重金属污染土壤进行综合治理，以异位土壤阻隔填埋方法治理土壤中重金属污染。工程规模：17 万 m³ 污染土壤，主要污染物：Cr、Pb、Cd、As、Cu、Zn、Hg、Ni。由于该工期较短为 5 个月，修复标准严格，为此对高风险污染土壤经清挖处置后，采取土壤阻隔填埋技术。

主要施工流程为：污染土壤清挖→污染土壤预处理→土壤阻隔填埋场建设→土壤分层填埋压实→土壤填埋完毕封场。

4.7 筛选结论

本章 4.2 节重金属污染土壤修复技术筛选矩阵结果显示，重金属污染土壤修复可考虑的技术包括砖瓦窑协同处置技术、水泥窑协同处置技术和安全阻隔填埋技术。本章 4.3 节有机污染土壤修复技术筛选矩阵结果显示，有机污染土壤修复可选择的技术为异位热脱附技术、水泥窑协同处置技术和安全阻隔填埋技术。复合污染土壤可选择的技术包括水泥窑协同处置技术和安全阻隔填埋技术。

经调研，项目周边区域水泥窑协同处置单位、砖瓦窑协同处置单位、填埋场的接收处置能力及热脱附设备的处置能力如下表所示。

本项目的污染土壤处置方量大、修复工期紧张，污染物类型包括重金属、挥发性有机物、非挥发性有机物和石油烃，土壤总体污染程度均衡，经过危废鉴定为一般工业固废。通过本单位调研，上述表中各处置单位的处置设备及处置能力均能够保障本项目的土壤处置工期要求，因此本着在短时间内将污染土壤彻底处置完毕的原则，施工时将不同类型的污染土壤按需求分别运输至上述所列的砖瓦厂、水泥厂和填埋场进行处置。

通过技术比选和处置终端的能力，确定：

- (1) 重金属污染土壤采用砖瓦窑协同处置技术、水泥

窑协同处置技术及安全阻隔填埋技术；

（2）复合污染土壤采用水泥窑协同处置技术及安全阻隔填埋技术；

（3）砖瓦厂多采用隧道窑进行烧结制砖，本项目有机污染土壤中含挥发性有机物，为避免挥发性有机物在砖瓦窑协同处置的过程中可能挥发溢出，造成二次污染，因此有机污染土壤不采用砖瓦窑协同处置技术。

综上，有机污染土壤采用异地热脱附技术、水泥窑协同处置技术及安全阻隔填埋技术。

5.修复方案设计

5.1 修复技术路线

本项目地块污染物情况复杂，按照污染类型可分为三大类：重金属污染土壤、有机污染土壤、有机+重金属复合污染土壤。综合考虑本地块周边环境条件、污染特征、工期费用等因素，按照不同污染类型确定的修复技术路线 5.1-1。

根据生态环境部相关要求，进行水泥窑协同处置、填埋、生产砖、瓦等建筑材料的土壤需首先进行危险废物鉴别。鉴别出的危险废物需委托具有专业处置资质的单位进行处置，一般固体废物遵守《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的相关要求进行处置。

需要说明的是，本项目 A 地块污染土壤已进行危废鉴定，经鉴定为一般固废，无需再进行危废鉴定。

5.2 施工临时设施设计方案

5.2.1 临时设施建设

施工现场和异地热脱附处置场地均需进行临时设施建设。其中施工现场临时设施主要包括围挡、道路、排水管线、办公生活区、洗车台、地磅、智能监控系统及预处理密闭大棚等。异地热脱附处置场地临时设施主要包括围挡、道路、排水管线、办公生活区、洗车台、地磅、智能监控系统、预处理密闭大棚及出料大棚等。

5.2.1.1 围挡施工

(1) 本工程围挡设计高度为 2000mm，立柱高度 2000mm，立柱间距 3000mm。

(2) 依据施工平面图对临时围挡进行测设定位。

(3) 根据深化图纸及现场测量尺寸，计算出需要制作立柱与板块的数量。在按照深化图的要求下料，焊接立柱及板块龙骨。用竖杆 L50 镀锌角钢与横杆 L50 镀锌角钢焊接成桁架立柱。板块龙骨采用 50mm×50mm×3mm 镀锌方管焊接，横向骨架间距为 900mm，纵向骨架间距为 1000mm。表面 0.5mm 厚镀锌铁皮用铆钉连接到方管龙骨上制成板块。

(4) 根据围挡位置定位线和立柱数量的要求。对立柱基础进行定点。立柱基础采用明挖基坑无支护形式。基坑规格为大于 600mm×600mm 埋深大于 600mm 基坑底部夯实。立面处理平整。立柱间距为轴线到轴线 3 米。浇筑 C20 混凝土基础，浇筑过程中严格按照技术交底施工。浇筑完毕后，安装立柱。

(5) 待基础砼达到一定强度后，进行板块安装。根据立柱的外伸高度，均匀分隔，焊接三根连系梁，连系梁采用 50mm×50mm×3mm 镀锌方管。全部焊接完毕后，对焊接情况进行验收，合格后进行板块

安装。利用 L30 角钢做角码，将板块所有的竖龙骨与连系梁焊接牢固，依次安装每个板块。

5.2.1.2 道路铺设

本项目施工便道结构层为 30cm 道渣和上覆 20cm 混凝土，路宽 6m。道渣铺设前按预先设计的位置将原地面整平，并用不小于 15T 光轮压路机原地碾压，碾压结束后，直接铺设 30cm 砖渣，砖渣采用挖掘机整平，并对较大块的砖渣进行破碎。铺设完成后再使用 20T 震动压路机碾压，在此基础上铺设 20cm 厚 C30 混凝土路面。

5.2.1.3 排水管线建设

(1) 废水收集管线、处置后废水排水管线

废水收集管线及处置后废水排水管线均采用 $\phi 75$ PVC 管，地下走管，管渠采用砖砌石，C20 混凝土抹面，截面宽度 20cm，高 15cm，埋置深度 15cm，上覆土后硬化。在各废水收集单元设置带有止回阀的进水接口。

(2) 雨水管线

雨水收集管线采用砖砌，混凝土抹面，宽 50cm，高 30cm，地面做钢筋地漏，钢筋间距 3cm，沿排水方向 1%找坡。

5.2.1.4 办公生活区建设

(1) 总体布局

施工现场的办公区各设置 2 栋 2 层彩钢板活动房，设有办公室、会议室、实验室、宿舍、食堂、淋浴室等，板房开间 4m，进深 5m，每层 5 间，走廊宽 1m，底层为砼环氧地坪，二层浇筑混凝土地板，办公室前方按规定设置“七牌一图”。办公生活区地面采用 C30 混凝土硬化，厚度 150mm，向施工道路方向 0.5%找坡，以便于雨水外排。

(2) 彩钢板房安装

- 1) 活动板房为彩钢聚苯活动板房;
- 2) 结构形式为装配式纵向插板结构;
- 3) 窗为双玻推拉铝合金或塑钢窗, 玻璃厚度 5mm, 窗框颜色为银灰;
- 4) 墙体、顶板为 5cm 厚夹心彩钢板;
- 5) 彩钢板厚度不小于 0.035cm;
- 6) 彩钢板墙板下皮标高为-0.060;
- 7) 整体抗风等级为 10 级;
- 8) 所有板房外表(外墙、屋顶)、室内钢结构外露部分为蓝色;内墙、吊顶均为白色。

5.2.1.5 洗车台建设

(1) 洗车台施工工艺参数

根据现场条件, 在施工现场大门出口车道上各设置洗车台一处, 共两套, 单套埋深 0.5m, 长 8m, 宽 4m, 占地面积 32m²。

在异地热脱附处置场地大门出口车道上各设置洗车台一处, 埋深 0.5m, 长 10m, 宽 3m, 占地面积 30m²。

(2) 施工流程

5.2.1.6 地磅施工

根据现场条件, 在施工现场及异地热脱附处置场地大门进出口行车道上各设置地磅一处, 用于计量场外建筑垃圾运输及场内土壤运输。

(1) 地磅工艺参数

在施工现场场地大门进出口行车道上均设置地磅(地上式), 用于计量运输车辆的载土重量。共两套, 单套地磅长 18m, 宽 3m, 占地面积 54m²。

在异地热脱附处置场地大门进出口行车道上均设置地磅(地上

式)，用于计量运输车辆的载土重量。地磅长 10m，宽 3m，占地面积 30m²。

(2) 施工工艺

地上式地磅安装工艺为：施工放线→垫层铺设→钢筋绑扎→混凝土浇筑→基础养护→地磅电气安装。

①结合现场实际情况，选择最佳的地磅安装位置，并依照地磅基础示意图进行地磅的基础施工。地磅基础垫层采用 C10 砼浇筑，上层基础和两侧坡道采用 C25 砼浇筑，砼内部安装两层 Φ28 钢筋网片（每层钢筋间排距 25cm）。

②基础养护期满后，吊装地磅，并安装电气系统。

③为保持地磅基础的防排水，在地磅两侧修建浆砌石排水明沟，保证地磅底部和传感器处于干燥的环境中。

5.2.1.7 智能监控安装

5.2.1.7.1 智能监控系统

施工现场建立无线网络视频监控系统，以方便施工管理和保证施工现场安全。连接方式如图所示。

该监控系统包括前端监控点和后端监控中心。前端监控点为监控摄像机，需要无线网桥连接，后端监控中心为计算机服务器。

5.2.1.7.2 施工要求

本节主要叙述监控点的安装方式，墙面安装方式、室外立杆安装方式、沿墙安装方式以及涉及到的室内布线部分。

(1) 墙面安装

施工现场绝大多数监控点都是安装在室内顶部墙壁、室外墙角等处。在此部分涉及到的设备有摄像机、摄像机支架、编码器设备箱、云台解码器、电源箱等设备。箱体设备采用膨胀螺栓的固定方式。

（2）室外立杆安装

室外立杆的监控点，涉及到的设备有摄像机、电源、避雷针等。每个监控杆安装之前都在监控点的位置制作长 400mm×宽 400mm×深 1000mm 混凝土基础，并在基础上做监控杆的预埋件长 1100mm×宽 250mm×厚 5mm，待混凝土强度达到固定指标后，将监控杆固定在预埋件上。

（3）布线工程

依据规范规定，电源在沿墙、围栏、立杆部分采用地下直埋敷设。

报警信号线传输的内容属于开关量，不走任何信号传输协议，因此可以与强电共用一条管路，不存在干扰问题。

（4）安全防护

①铁塔、砖塔担负着极其重要的作用，摄像机，云台、微波天线，风力发电机等重要设备均位于塔之上，因此做好雷电防护工作。

②塔上设备处于雷击防护区内，保护角度<30度。避雷针的引下线采用 40×4 热镀锌扁钢作为防雷引下线。

③线缆穿钢管或镀锌金属屏蔽软管进行保护，钢管或金属软管两端可靠接地，同时线缆的屏蔽层在两端与汇流排连接。

④联合接地的要求：接地阻值小于等于 1 欧。

⑤直击雷防护接地与雷电感应防护接地、工作接地、保护接地与联合地网的引接点距离应不小于 10m。

⑥雷电感应防护接地与工作接地、保护接地与联合地网的引接点距离应不小于 5m。

⑦当地网的接地电阻值达不到要求时，应扩大地网的面积（宽度和深度）、换土法和采用降阻剂。环形接地装置由水平接地体和垂直接地体组成，水平接地体周边为封闭式，可辐射式延伸接地体，延伸

接地体的长度宜限制在 10-30m 以内。

5.2.1.8 密闭大棚建设

本项目施工现场和异地热脱附处置场地将共建设 3 座密闭大棚：

上述密闭大棚设计荷载为：

(1) 恒载：自重按实际取值，由计算机自动加荷载，膜材自重为： $900\text{g}/\text{m}^2$ ；

(2) 风荷载： $0.4\text{KN}/\text{m}^2$ ；

(3) 膜设计的预张力：膜的预张力为 $2\text{KN}/\text{m}$ ；

(4) 雪荷载： $0.3\text{KN}/\text{m}^2$ 。

大棚结构示意图如下所示。

5.2.1.8.1 规格和材质要求

本项目密闭大棚选用材料的规格和材质要求如下表所示。

5.3 支护及止水帷幕设计

鉴于本地块调查阶段的地下水监测数据，地块范围内地下水多项水质指标超过《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV 类标准，为加快修复工程进度防止地下水迁移，本项目地块结合地铁开挖及修复工程在四周建设止水帷幕，止水帷幕可防止地下水向李村河扩散，同时相对减少修复基坑的涌水量。

止水帷幕建设形式结合地块边界环境条件及水文地质条件进行专项设计。另外，此设计为初步设计，后续应当委托具有资质的单位对止水帷幕和基坑支护方案进行专项设计，并组织专家评审。

5.3.1 总体设计思路

(1) 根据环境条件、开挖深度、地质条件，A 地块止水帷幕及支护设计共 8 个单元，主要形式为三轴水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、SMW 型钢搅拌桩、钻孔灌注桩。

(2) 本项目支护主要针对地块周边临近止水帷幕的污染土开挖区域，地块内部污染土开挖应根据现场检测污染物的具体分布情况按1:1.5自然放坡开挖，深度超过5m坡面应设置钢筋网喷射混凝土面层。垂直支护单元严禁随意超挖，若根据污染土修复的施工检测情况，需要超挖，应明确超挖的深度和范围，及时联系相关单位。

1) 支护体系：采用坡率法、SMW工法、桩锚支护体系。

2) 止水帷幕：止水帷幕主要采用三轴搅拌桩、高压旋喷桩。场地南侧西段因杂填土碎石、块石含量较高，局部需穿过场地内暗渠，场地西侧受地下既有锚杆影响，采用高压旋喷桩，场地北侧局部与现状热力管道交叉帷幕采用高压旋喷桩，局部与灌注桩联合止水的单元帷幕采用高压旋喷桩，其他位置采用三轴搅拌桩。

止水帷幕及支护施工范围如下所示。

场区总体分为5个施工区域：施工区域①（黑色），进行灌注桩、旋喷桩施工；施工区域②（红色），进行三轴搅拌桩、SMW工法桩施工；施工区域③（绿色），进行三轴搅拌桩、SMW工法桩施工；施工区域④（橙色），进行三轴搅拌桩、SMW工法桩施工；施工区域⑤（蓝色），进行三轴搅拌桩、SMW工法桩施工。

施工顺序：临建及标识牌施工→临时道路施工→临电、临水施工→三轴搅拌桩、型钢施工→灌注桩、旋喷桩施工→冠梁施工→土方分层开挖→锚索、腰梁分层施工→坡底排水沟施工→土方分层回填→锚索、腰梁分层拆除→型钢拔出→场平验收完成。

(4) 降、排水体系：基坑内部设置减压降水井，降低承压水头。坡顶进行地面硬化并设置挡水台阶防止地表水排入基坑，基坑底部沿周边设置排水沟与集水井进行集水明排。

(5) 污染土开挖形成的坑待污染土处理完成后，后期拟建车库

基底标高以下部分，应及时采用无污染土分层碾压回填。

5.3.2 构造要求

5.3.2.1 混凝土保护层

- (1) 灌注桩主筋的混凝土保护层厚度 50mm。
- (2) 梁的钢筋混凝土保护层厚度 30mm。
- (3) 喷射混凝土面层不小于 20mm。

5.3.2.2 钢筋的锚固和连接

(1) 除特殊注明外，受拉钢筋的锚固长度不小于 $35d$ (d 为钢筋直径)，受压钢筋的锚固长度不小于 $25d$ 。

(2) 钢筋连接可采用机械连接或焊接，当 $d \geq 25\text{mm}$ 时宜采用机械连接。钢筋接头位置应选择在受力相对较小处并相互错开， $35d$ 范围内的接头面积百分率不大于 50%。机械连接时钢筋接驳器应符合《钢筋机械连接技术规程》，性能等级为 I 级。搭接焊时采用双面焊，焊缝长度不小于 $5d$ ，焊缝有效厚度不小于 $0.3d$ ，焊缝宽度不小于 $0.8d$ 。

5.3.2.3 钢结构的连接

(1) 型钢宜采用整材。当需要分段焊接时，应采用坡口满焊，型钢接头位置应选择在受力相对较小处并相互错开，错开距离不宜小于 1m。除特殊注明外，焊缝高度不小于 10mm。

(2) 主要受力构件的型钢焊缝质量等级为二级，次要受力构件的型钢焊缝质量等级为三级。焊缝质量应符合《钢结构焊接规范》。

5.3.3 各单元设计

5.3.3.1 单元 1 设计

单元 1 主要采用钻孔灌注桩、高压旋喷桩及锚杆进行止水支护，详细参数如下所示：

5.3.3.2 单元 2 设计

单元 2 主要采用 SMW 型钢水泥土搅拌桩及锚杆进行止水支护，
设计参数如下：

5.3.3.3 单元 3 设计

单元 3 主要采用 SMW 型钢水泥土搅拌桩及锚杆进行止水支护。

5.3.3.4 单元 4 设计

单元 4 主要采用 SMW 型钢水泥土搅拌桩及锚杆进行止水支护。

5.3.3.5 单元 5 设计

单元 5 设计主要采用 SMW 型钢水泥土搅拌桩进行止水支护。

5.3.3.6 单元 6 设计

单元 6 设计主要采用 SMW 型钢水泥土搅拌桩及锚杆进行止水支护。

5.3.3.7 单元 7 设计

单元 7 设计主要采用 SMW 型钢水泥土搅拌桩进行止水支护。

5.3.3.8 单元 8 设计

单元 8 设计主要采用 SMW 型钢水泥土搅拌桩及锚杆进行止水支护。

5.3.3.9 止水帷幕剖面图

本项目采用的双排止水帷幕剖面图如下图所示。

5.4 基坑降排水设计

根据项目勘察结果，勘察期间钻孔地下水混合水稳定水位埋深 0.65~3.45m，水位标高 1.59~3.63m，观测时间为 2022 年 7 月。根据长期水文观测资料分析青岛地区历年水位最大变幅 2.0m，根据地块历史最高地下水位约 4.5m，近 3~5 年最高地下水位约 4.0m；地下水流向为自西南向东北。

考虑项目土质特点及水文地质条件，本项目采用管井进行降水，井点布置根据要求和地块未来建设情况进行定位布置，降水井点间隔约 50m，本地块共布置降水井 54 口，管径 400mm，设计井深比所在污染区块开挖最深深度多 0.5m(若部分区域岩面较浅，则提前终孔)。

本项目降水井点位布设图和降水井构造详图如下所示。

5.5 土方开挖及场内短驳

5.5.1 污染土壤开挖范围

A 地块有机物污染土壤修复方量约 44759.40m³，重金属及复合污染土壤修复方量约 85764.00m³，建筑垃圾冲洗、外运处置方量 55938.60m³，方量总计 186462m³。详见第 3.2 节内容。

5.5.2 土方开挖方案

本项目 A 地块污染土方量约为 186462m³，B、C 地块经估算需修复污染土方量约为 212290.15m³，共计 398752.15m³。A 地块开挖进度约为 73 天，拟投入挖掘机 5 台，自卸车 10 辆，平均每天土方开挖量约为 2555m³/d。B、C 地块开挖进度约为 120 天，拟投入挖掘机 4 台，自卸车 8 辆，平均每天土方开挖量约为 1770m³/d。

土方开挖的总体原则：其开挖的顺序方法必须与设计要求一致，并遵循先撑后挖、分层分段、严禁超挖的原则。开挖技术措施包括：

- (1) 基坑开挖时应特别注意基坑侧壁安全。
- (2) 开挖时按设计要求施工。
- (3) 开挖过程中，加强观察和监测工作，以便发现安全隐患，通过监测反馈及时调整施工方案，利用监测资料进行信息化动态施工。
- (4) 在基坑开挖过程中发现新的污染时，及时报驻地监理、业主确认并做好记录。
- (5) 严格控制基底的开挖标高，避免超挖。
- (6) 夜间施工时有足够的照明，同时加强开挖现场的管理，设专人指挥挖掘机作业。

5.5.3 土方开挖顺序

在完成基坑支护及降水后进行土方开挖，开挖前确定挖掘区块顺序，原则上设计 15m×15m 的挖掘网格，网格面积控制在 225m²。根

据场地内临时道路和密闭大棚的位置，A 地块整体的开挖方向由西向东，开挖后统一短驳至预处理区进行预处理。

现场挖掘过程中，必须由 3-4 名专业环境工程师跟踪监控挖掘过程，旁站观察每一格挖出土壤的颗粒分布、污染状况等，辅助以 GPS、快速检测仪器，判断挖掘的准确位置、污染类别、污染程度，确保污染土壤被彻底清除。

5.5.4 土方场内短驳

本项目土方场内短驳包括施工现场场内短驳和异地热脱附处置场地场内短驳两部分。

(1) 施工现场场内短驳：A 地块施工现场需场内短驳的污染土壤方量约 186462m³。

(2) 异地热脱附处置场地场内短驳：异地热脱附处置场地需场内短驳的污染土壤方量以实际为准。

成立专门土方外运领导班组，组长为项目经理，各区设置区长，下设冲洗组，保洁组，协调组，检查组，指挥组，各组互相监督，互相协调，统一由项目经理指挥。

5.6 污染土壤筛分预处理及建筑垃圾处置方案设计

5.6.1 污染土壤筛分预处理

根据前期调查、地质勘察以及本地块西侧的一期处置项目实施情况可知，本项目地块填海前为漫滩，经填海造地形成人工填土层，大部分区域填土层大于 5m，其中的建筑垃圾较多（约占总量的 30%）。因此，挖掘出的污染土壤需短驳至场地密闭大棚内进行筛分预处理，分离出的建筑垃圾通过高压水冲洗达标后外运资源化利用，污染土壤则根据不同污染类别进行分类处置。

大棚具有完备的通风系统和气体处理系统，通风频率根据污染物

浓度调整。废气处理系统采用布袋除尘+活性炭吸附的工艺，废气处理达标后排放。

在土壤预处理过程中，大棚内的所有施工人员必须穿戴全套防护工具，大棚内的所有机械操作人员、指挥人员、维护人员等，在大棚内的停留时间不得超过 2 小时。

5.6.2 建筑垃圾处置方案

通过 ALLU 筛分斗筛分出的建筑垃圾粒径最大为 50mm，根据前期施工经验和地质勘察结果，粒径 $\geq 50\text{mm}$ 的建筑垃圾处置方量为 55938.6m^3 （约占总量的 30%）。

针对污染土壤中筛分出的建筑垃圾，采用挖机将需清洗的大粒径进行翻转，通过高压洗车机对其进行冲洗。有机污染土壤和复合污染土壤筛分出的建筑垃圾在密闭大棚内进行冲洗，重金属污染土壤筛分出的建筑垃圾在密闭大棚外的建筑垃圾冲洗区进行冲洗。施工流程如下图所示：

（1）高压冲洗区建设：高压冲洗区域铺设 C30 抗渗混凝土(P6)，15cm 厚的硬化地坪，浇筑前在地面铺设 HDPE 膜作为防渗层。并在高压冲洗区四周建设废水排水沟与收集池，收集的冲洗废水。废水泵入现场废水处理设备处理。

（2）检测验收：筛分后的大粒径冲洗后按每 500m^3 采集 1 个样品进行自检分析，采用《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJ/T299-2007）进行浸出测试，冲洗后建筑垃圾浸出浓度满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类标准。自检达标后方可通知效果评估单位进行采样分析。

对于自检不合格的土壤应当重新冲洗，辅助破碎等方式，减小建筑垃圾的粒径，提高冲洗效果。

(3) 达标后资源化利用：效果评估单位提供的检测报告中各项关注污染物均达标后，方可外运，最终作为建筑骨料、道路路基进行资源化利用。

5.7 污染土壤外运方案设计

5.7.1 污染土壤外运类型及方量

本项目有机污染土壤外运方量为 44759.40m³，其中外运至异地热脱附处置场地的土壤方量为 15625 m³；外运至水泥厂的土壤方量为 25000 m³；外运至填埋场的土壤方量为 4134.4 m³。

5.7.2 土壤外运方式的选择

本项目污染土壤外运前已经过筛分及预处理，土壤中不含建筑垃圾、质地均匀、含水率较低，运输过程中渗滤滴漏的风险很低，且筛分预处理过程已尽可能去除其中的挥发性有机物，异味风险较低，为方便装车，并减少过程中产生的二次污染，选择采用散装密闭车辆陆运运输、火车陆路运输。

5.7.3 土壤外运许可

根据《土壤污染防治法》（第四十一条）修复施工单位转运污染土壤的，应当制定转运计划，将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等，提前报所在地和接收地生态环境主管部门。

因此，在本项目污染土壤外运施工前，项目部将外运路线以及外运车辆信息，提前报至土壤运出地、热脱附处理场地、砖瓦厂、水泥厂、填埋场所在生态环境局，获得许可或备案后，按要求进行外运。

5.7.4 外运过程控制

将预处理后的土壤装车，运输采用全封闭的自卸运输车，全部实行帆布软加盖密闭运输，并在车辆底部和侧壁铺设防渗膜，运输过程

GPS 全天候监控。待车辆行驶至场内车辆冲洗区，将轮胎及车表面清洗后，车辆出场并行驶至砖瓦厂、热脱附处理场地、水泥厂、填埋场。

到达砖瓦厂、热脱附处理场地、水泥厂或填埋场后，消纳处置单位填写接收联单，由运输车将污染土壤运至仓库等待处理或进入填埋场填埋。

6.环境管理计划

6.1 修复工程监理

6.1.1 环境监理主要任务

环境监理主要针对场地修复过程中会出现或可能出现的二次污染环境问题进行评估与监控，协助各方提出预防出现二次污染的控制措施。此外，对施工设计中的环保相关内容进行审核，监督实施过程中环保设备、措施的落实情况。

6.1.2 环境监理起止时间

场地治理环境监理起止时间：从修复技术方案编写阶段至修复验收结束后。

6.1.3 环境监理人员职责

(1) 环境监理总监

- 1) 确定环境监理机构人员及其岗位职责；
- 2) 根据修复工程进展及环境监理工作情况调配环境监理人员，检查环境监理人员工作；
- 3) 对修复工程现场开展不定期巡查；
- 4) 主持签发环境监理机构的相关文件和指令；
- 5) 审核施工单位提交的施工组织设计或工程方案、进度计划等文件；
- 6) 审核签署施工单位提交的环保相关工作的申请；

- 7) 组织编写并签发环境监理相关报告;
- 8) 主持整理修复工程的环境监理资料。

(2) 环境监理工程师

- 1) 在环境监理总监的领导下, 执行具体环境监理任务;
- 2) 按照修复工程方案, 对修复过程实施监理, 对各关键工序进行检查和监督, 做好工作记录;
- 3) 审查施工单位提交的涉及修复工程的计划、方案、申请, 并向环境监理总监报告;
- 4) 定期向环境监理总监提交环境监理实施情况报告, 对重大问题及时向环境监理总监汇报和请示;
- 5) 根据环境监理工作实施情况组织做好环境监理日志;
- 6) 负责环境监理资料的收集、汇总及整理, 参与编写环境监理报告。

(3) 监理员

- 1) 在环境监理工程师的指导下开展现场环境监理工作;
- 2) 检查施工单位投入修复工程的人力、材料、主要设备及其使用运行情况, 并做好检查记录;
- 3) 复核从施工现场直接获取修复工程计量的有关数据并签署原始凭证;
- 4) 对施工单位的修复工程工艺过程或施工工序进行检查和记录;
- 5) 担任旁站工作, 发现问题及时指出并向环境监理工程师报告;
- 6) 做好有关环境监理记录。

6.1.4 环境监理工作制度

本场地修复工程的环境监理应采用以下工作制度:

- (1) 工作记录制度: 环境监理记录是修复工程信息汇总的重要

渠道，是项目环境监理机构作出决定的重要基础性资料。其内容主要包括环境监理日志、现场巡视和旁站记录、会议记录以及监测记录等，记录形式包括文字、数据、图表和影像等。

（2）文件审核制度：是环境监理单位对施工单位编制的与污染场地修复相关的工程措施和工程设施的组织设计进行审核的规定。施工单位编制的施工组织设计和施工措施计划等，均应经环境监理单位审核。

（3）报告制度：环境监理单位应结合会议制度和工作记录制度实施环境监理报告制度。环境监理报告包括定期报告、专题报告和阶段报告。

（4）函件往来制度：环境监理工程师在施工现场检查过程中发现的问题，应通过下发环境监理通知单等形式，通知施工单位采取纠正或处理措施。环境监理工程师对施工方某些方面的规定或要求，必须通过书面形式通知。情况紧急需口头通知时，随后必须以书面函件形式予以确认。建设单位及施工方对施工现场问题处理结果的答复以及其他方面的问题，应致函给环境监理机构。

（5）会议制度：包括第一次环境监理工地会议、工程例会、专题会议、现场协调会等。环境总监理工程师或环境监理工程师可根据修复工程情况不定期召开不同层次的施工现场协调会。会议对具体施工活动进行协调和落实，对发现的问题及时予以纠正。

（6）人员培训制度：开展环境监理现场培训工作，制度化地实施建设单位管理人员和工程施工单位人员污染场地修复相关培训工作。

（7）质量保证制度：为保证和控制环境监理的工作质量，环境监理应严格按照国家及地方有关规定开展工作。环境监理从业人员应

按规定持证上岗。环境监理应严格按照监理方案及实施细则进行，并对工程期间发生的各种情况进行详细记录。执行环境监理相关报告内部多级审核制度。

6.1.5 环境监理工作方法

本场地修复工程的环境监理应采用以下工作方法：

（1）核查：依照相关管理文件和技术文件，在修复工程各个阶段对修复工程的实施及二次污染措施的落实情况进行核实和检查。

（2）巡视：对修复工程施工现场进行的定期或不定期的检查活动。

（3）旁站：对修复工程的关键部位或关键工序的施工质量进行的监督活动。

（4）会议：定期或不定期召开环境监理会议，包括环境监理例会、专题会议和现场协调会等。会议由环境总监理工程师或由其授权的环境监理工程师主持，各参与单位派人参加。

（5）检测：为掌握日常施工造成的二次污染情况，环境监理单位通过便携式环境监测仪器进行现场环境检测，辅助环境监理工作。较复杂的环境检测内容可建议建设单位另行委托有资质的单位开展。

（6）培训：对修复工程实施单位及其管理和施工人员进行污染场地修复工程专业知识及技能培训。

（7）记录：包括环境监理日志、环境监理巡视记录和环境监理旁站记录。

（8）文件：采用环境监理联系单、环境监理整改通知单、环境监理停工通知单以及环境问题返工或复工指令单等文件形式进行主体工程实施情况和二次污染控制措施落实情况的管理。

（9）跟踪检查：对其发出文件的执行情况进行检查落实，监督

施工单位严格执行的过程。

(10) 报告：包括环境监理定期报告、专题报告、阶段报告和环
境监理总结报告。报告应报送建设单位。

6.1.6 环境监理工作范围

本场地修复工程的环境监理工作范围包括以下内容：

工程现场施工过程、土壤运输过程、热脱附处置场地内施工过程、
砖瓦厂/水泥厂/填埋场运行期间二次污染防治、现场废水和废气排放
前的监测。

6.1.7 环境监理工作内容

(1) 施工组织阶段监理内容

施工组织阶段环境监理内容包括：了解具体施工程序及各阶段的
环境保护目标，从环境监理方面对应急处置技术方案提出审核。根据
场地修复技术方案，确定环境监理工作重点，针对修复技术方案中可
能存在的环境污染问题和预防对策提出修改意见，编制场地修复环境
监理方案。

(2) 施工阶段监理内容和要点

- 1) 核查现场防尘雾炮与气味抑制剂配置情况；
- 2) 核查现场每日洒水情况；
- 3) 核查现场土壤修复过程中扬尘与异味扩散情况，一旦出现严
重浮尘或者较大范围的异味扩散，及时要求施工单位采取措施；
- 4) 核查现场施工机械是否漏油情况；
- 5) 核查气味抑制剂和喷洒设备是否按照要求配置；
- 6) 核查是否定期监测大气无组织排放；
- 7) 针对监理过程中出现的问题，签发监理通知单；定期召开监
理会议，通报监理过程中出现的问题，提出整改意见，检查整改结果；

每天填写监理记录，在各相关方签字后存档；监理工作结束后，编写监理报告。

6.2 二次污染防治措施

6.2.1 二次污染源分析

本项目污染土壤采用异地异位热脱附、砖瓦窑协同处置、水泥窑协同处置、安全阻隔填埋等单一或组合工艺进行修复。土壤污染修复之前在地块四周设置止水帷幕并永久保留，设置止水帷幕后将完全阻隔本地块与周边地下水的联系。按施工工艺和修复对象，将整个修复工程分解为以下几个分部分项工程：

- (1) 施工准备；
- (2) 镇平路站结建地连墙工程施工（仅 A 地块）；
- (3) 止水帷幕及基坑支护施工；
- (4) 止水帷幕退让区污染土壤处置；
- (5) 基坑降排水施工；
- (6) 土方开挖；
- (7) 土方短驳；
- (8) 污染土壤筛分预处理；
- (9) 建筑垃圾冲洗及外运资源化利用；
- (10) 污染土壤外运；
- (11) 有机污染土壤异地热脱附施工；
- (12) 重金属污染土壤砖瓦窑协同处置施工；
- (13) 污染土壤水泥窑协同处置施工；
- (14) 污染土壤安全阻隔填埋施工；
- (15) 废水处理施工；
- (16) 废气处理施工。

本项目二次污染来源主要集中在以上 17 个分部分项工程中，所产生的二次污染种类包括：废水、废气、噪声、固体废弃物、危险废弃物、土壤二次污染等，具体来源分析见下表。

6.2.2 施工现场及异地热脱附处置场地二次污染防治措施

6.2.2.1 废水污染防治措施

本项目施工过程中排放的废水主要有基坑废水、基坑涌水、车辆冲洗废水、建筑垃圾冲洗废水、雨水等。生活废水收集后排入市政污水管网，最终接管至污水处理厂集中处理。基坑废水、基坑涌水、车辆冲洗废水、建筑垃圾冲洗废水统一收集经废水处理系统处理达标后纳管排放。

(1) 现场废水处理站采用“调节+芬顿氧化+中和沉淀+袋式过滤+活性炭过滤”工艺联合进行废水处理，达标后纳管排放。

(2) 所有由污染区域进入非污染区域的设备、机具（如挖掘机、运输车辆、个人防护设备等）清洗产生的清洗废水，经收集后进入场地废水处理设施，处理达到接管标准后，排入污水管网。

(3) 对场地清表过程中的大块建筑垃圾进行冲洗，冲洗废水进入废水处理设施处理达标后方可外排。

(4) 异地热脱附处置场地产生的洗车废水经循环利用，最终由槽罐车运送至现场水处理系统中，处理达标方可排放。

(5) 必须防止污染土壤受到雨水冲刷，并对地表径流进行有效控制，具体方法如下：

1) 现场交通道路和材料堆放场地统一规划排水沟，合理设计导排水沟和集水池走向和容量，确保受污染雨水不外溢。

2) 平时注意经常巡查，必需保证排水通道的畅通及排水设备的完好。

3) 所有收集的污染雨水均转移至场地废水处理设施，处理达标后纳管排放。

(6) 施工人员产生的生活污水，收集后接入市政污水管网，进

入相应污水处理厂处理，最终达标排放。

6.2.2.2 废气污染控制措施

6.2.2.2.1 密闭大棚废气防治措施

(1) 本项目土壤中的超标污染物主要为重金属和有机物。重金属为砷、六价铬、铅、汞、镉、钴、钡。有机物为苯、氯代烃、多环芳烃、石油烃等。因此污染土壤暂存、预处理及热脱附出料过程中可能存在扬尘、异味风险，需在密闭大棚内开展。密闭大棚均需保持通风换气，以利于污染物的挥发和扩散，并收集至废气处理系统进行净化处理。

(3) 密闭大棚尾气处理管道安装完成后，对管道气密性及时进行检测。漏气处做好标记，及时修补，防止气体外逸。

(4) 排气筒排放口距离地面的垂直高度为 15m。每月由具有资质的第三方实验室开展 1 次监测，确保尾气达标排放。

(5) 大棚内的所有施工人员必须穿戴全套防护工具，且在大棚内的停留时间不得超过 2 小时。如果棚内出现异味较重的现象，则应一边喷洒气味抑制剂，一边缓慢作业。

6.2.2.2.2 其它异味防治措施

(1) 及时覆盖

本项目污染土的裸露开挖面用 HDPE 膜或防雨布覆盖。

(2) 施工过程中的喷雾降尘

采用移动式环保除尘风送式喷雾设备定期喷淋对扬尘进行控制，进而抑制异味的扩散。该技术是使水形成喷雾，在预设的压力和速度下将水雾喷入空气中，水珠颗粒与灰尘接触并包裹住灰尘，灰尘受重力作用落地。

该喷雾机可左右各 90°旋转，变换角度速度快，射程远，雾粒细

小，覆盖面积大。

（3）密闭储水和水处理设施

为了防止水体中的异味在废水储存和处理过程中发生扩散，本项目拟采用全封闭式废水处理设施，该废水处理设施的每一级废水处理单元也都采用防腐材质。各设备之间通过泵和管道相连接，保证处理过程中的废水不会暴露在空气中，阻断了异味向外界空气扩散的途径。

（4）实时监测

场内环境监测工作人员携带便携式光电离子化检测器（PID）定时对空气质量进行监测，如果PID读数偏高或有异味产生时立即采取措施。

6.2.2.3 扬尘防治措施

为控制施工过程中的扬尘，防止潜在的扬尘污染，本方案主要采取以下环保措施：

（1）场地内施工便道、仓储、办公等地面进行混凝土硬化，以减少扬尘。

（2）车辆及挖掘机经过干燥地表时，控制车速、减少扬尘。

（3）挖掘机开挖表层干燥土壤时，尽量一次性挖一斗，避免铲斗来回刨土。

（4）开挖期间，应采取边开挖边覆盖的措施，所有未进行施工的作业面均采用防尘网进行覆盖，阻断扬尘。开挖时再撤离防尘网，开挖一停止，则再次覆盖。

（5）挖掘场地周边、车辆周转区域应勤洒水，保持表层土壤湿润，减少扬尘。

（6）若出现大风天气，则及时对作业面和暴露的污染土进行适当覆盖，减少扬尘及二次污染。

(7) 对产生粉尘源的设备和场所进行改造，采取密封、隔离措施。

(8) 密闭大棚具有完备的通风系统和气体处理系统，土壤筛分在大棚内进行。

(9) 采用移动式喷淋除尘设备定期喷淋对扬尘进行控制，进而抑制异味的扩散。该技术是使水形成喷雾，在预设的压力和速度下将水雾喷入空气中，水珠颗粒与灰尘接触并包裹住灰尘，灰尘受重力作用落地。

(10) 运土卡车及修复材料运输车应按规定配置防撒落装备，装载不宜过满，保证运输过程中不散落；运输车辆加蓬盖，且离开装、卸场地前应先冲洗干净，减少车轮、底盘等携带的泥土散落路面。

(11) 为防止施工现场开挖和运输过程产生扬尘，特配备雾炮机进行喷雾降尘。施工现场配备洒水车对运输路面连续洒水，防止路面扬尘。根据扬尘程度和运输频次调整喷洒次数。

(12) 异地修复场地内施工便道、仓库、办公等地面进行混凝土硬化，以减少扬尘。

(13) 对清挖完的基坑、临时堆放的土壤、建筑垃圾进行表面覆盖，防止大风产生扬尘。

(14) 密切关注国家气象局天气预报，提前做好施工进展安排，遇4级以上风时停止施工，现场停止施工作业。

6.2.2.4 噪声防治措施

施工场地内的噪声主要分为机械噪声、施工作业噪声和施工车辆噪声。机械噪声主要由施工机械所造成，如挖土机械、打桩机械、混凝土搅拌机、空压机、风机等，多为点声源；施工作业噪声主要指一些零星的敲打声、装卸车辆的撞击声、吆喝声、拆装模板的撞击声等，

多为瞬间噪声；施工车辆的噪声属于交通噪声。

(1) 尽量选用低噪声的机械设备或带隔声、消声的机械设备，对强噪声设备，以隔音棚或隔音罩封闭、遮挡，实现降噪。

(2) 用噪声声级计进行现场噪声即时监测，尤其是挖掘机周边，严格限制噪声的产生，使噪声污染限制在最小程度，确保工地场界外噪声符合相关标准。

(3) 加强施工管理，尽量降低施工噪声，如合理安排强噪声施工机械的工作频次，合理调配车辆来往行车密度，做好劳动保护工作，为强噪声源施工机械操作人员配备必要的防护耳塞或耳罩等。

(4) 做好施工机械的维护和保养，有效降低机械设备运转的噪声强度，避免异常噪音的产生。

(5) 合理安排施工作业时间。按《建筑施工场界环境噪声排放标准》加强施工管理，限制作业时间，在满足进度要求的情况下，一般不考虑夜间作业。如特殊情况，在夜间（22 时到次日 6 时）需要连续作业施工时，须在施工前 4 日报当地环境保护行政主管部门批准，并公告附近居民。

(6) 施工场地的施工车辆出入地点应尽量远离敏感点，车辆出入现场时应低速、禁鸣。

(7) 为确保有序施工，并降低对工程所在地居民生活影响，施工机械及运输车辆行走路线需统一安排，减少施工道路上的交通流量。

(8) 合理布局，噪声大的设备尽量布置在远离居民区的地方。如发现有超标现象，及时采取隔音降噪措施或停止作业，最大限度减小可能对周围环境敏感点的影响。

6.2.2.5 土壤二次污染防治措施

(1) 所有由污染区域进入非污染区域的设备、机具均需清洗，

包括挖掘机、运输车辆和个人防护设备等。

在地面设置清洗池及沉淀池，设备停留在清洗平台上，冲洗的水流入清洗沉淀池内，池内的水进入废水处理设施处置，处置后再次回用以减少清洗用水的使用量。

(2) 土壤装卸时尽量做到减缓速度和降低落差，减少人为污染扩散。

(3) 运输前注意覆盖好车辆上装载的污染土壤，防止土壤飞扬。

(4) 严格限制挖掘机和运输车辆的活动范围，防止将污染土壤带出污染区域。

(5) 每天作业结束，清理作业过程直接接触土壤的器具，并统一收集到指定区域存放。

(6) 挖掘时尽量减少对地下水的扰动，防止污染土壤对地下水的污染。

6.2.2.6 固体废物管理防治措施

场地固体废弃物包括施工中的包装材料、生活垃圾等一般固废和废弃防护用品（如防护服、防护口罩等）、水处理污泥等危险废物，分别采用不同处理途径。

6.2.2.6.1 一般固体废物

(1) 设立专门的废弃物临时贮存场地存放一般固体废物，设置安全防范措施且有醒目标志。

(2) 设置若干活动垃圾箱，派专人管理和清理。

(3) 废弃物的运输确保不遗撒、不混放、送到政府批准的单位或场所进行处理、消纳。

(4) 可回收的废弃物做到再回收利用。

6.2.2.6.2 危险废物

本项目废水处理使用过的活性炭、产生的污泥、盛装化学药品的容器、废气处理使用过的活性炭等均为危险废弃物，需要将其运至有资质的危废处置单位进行处置。在危废储存、转移及运输过程中，应做好以下二次污染防治措施：

(1) 设立专门的危废临时贮存场地存放废弃防护用品，设置安全防范措施且有醒目标志，并由专人管理。危废存放场所地面要硬化和防渗，要求要做到防晒、防雨和防渗。

(2) 管理人员定期检查危险废物储存容器是否有泄漏，如发现应及时采取措施更换。

(3) 危险废物集中存放后，委托具有资质的专业处理公司处置。

(4) 危险废物运输途中要防止泄漏和散落。

6.2.3 运输过程二次污染防治措施

6.2.3.1 运输过程的大气污染防治措施

(1) 对运输道路采取定时洒水的方式降尘，如遇大风等天气导致扬尘浓度过大时，适当增加洒水频次。密切关注国家气象局天气预报，提前做好施工进度安排，遇4级以上风时停止施工，现场停止施工作业，并做好苫盖。

(2) 本工程污染土壤装车前对车辆底部及四周进行防渗膜铺设，且车辆顶部有覆盖措施，必要时在顶部喷水，使防护措施更加严密。

有机污染土壤装车外运二次污染风险高，除了装车前对车辆底部及四周进行防渗膜铺设，再设置一层HDPE防渗膜将污染土壤全部包裹，顶部密封后在车辆顶部覆盖篷布，保证污染土壤运输过程中全程密封。

(3) 选用环保型运输车辆，并选用质量较好的燃油；加强对运输车辆的维修和保养。车辆安装有GPS定位系统，每辆车安排一位

环保专员跟车运输，一旦出现土壤遗洒造成污染气味扩散，立即采取运输过程突发情况的相应应急预案。

(4) 应采取边装车边覆盖的措施，所有未进行施工的作业面均采用密目网进行覆盖，阻断扬尘及异味。开挖时再撤离密目网，一旦停止，则再次覆盖。

(5) 根据工期进度计划测算每日工作面积，合理控制每日工作面。保证装车区域面积 $\leq 400\text{m}^2$ 。

(6) 在场地内运输过程中，由于土壤的扰动出现异味时，喷射长效隔气泡沫抑制剂，产生的长效、且具有粘合力的泡沫隔层可以达到迅速控制灰尘、气味的目的。

(7) 现场作业人员使用 PID 定期监测大气中的 VOCs 污染物，一旦出现异常值，需进行局部临时覆盖，并使用气味抑制剂降低大气中 VOCs 浓度。

6.2.3.2 运输过程的噪声污染防治措施

(1) 运输路线避开噪声敏感建筑物集中区域，车辆限速行驶；行驶的机动车辆，必须保持技术性能良好，部件紧固，无刹车尖叫声；必须安装完整有效的排气消声器。行车噪声要符合国家规定的机动车允许噪声标准。

(2) 在噪声敏感建筑物集中区域内，设置或者解除机动车辆防盗报警装置，不得产生噪声。机动车辆防盗报警器以鸣响方式报警后，使用者应当及时处理，避免长时间鸣响干扰周围生活环境。

(3) 将《夜间作业许可证》及施工计划如实公告附近居民，并按照《夜间作业许可证》规定的作业时间、作业内容、作业方式等要求进行施工。

6.2.3.3 运输过程的遗撒防范措施

(1) 对污染土壤场内运输路线进行合理规划，优化污染土壤挖掘区域至密闭大棚的运输路线，对行经道路进行加固。若发现路面凹凸不平，必须及时对路面进行整修。

(2) 严格限制挖掘机和自卸车在修复场地的活动范围，防止将污染土壤带至场内清洁区域。

(3) 为防止污染土壤遗撒，产生二次污染，在污染土壤外运过程中必须注意防护，运输车辆底部铺设 2 层防渗薄膜。

(4) 污染土壤装车前对车辆底部及四周进行防渗膜铺设，且车辆顶部有覆盖措施，一方面防止零散土壤颗粒的撒落，另一方面，可以防止异味、扬尘与雨水冲刷。

(5) 运输过程中，押运人员应定期检查污染土壤覆盖物的完整性，若发现运输途中有污染土壤的遗撒，应立即组织人员清理。

(6) 固废运输车每次出场前需对车身和轮胎进行冲洗，防止污染物带出场。收集的冲洗废水经沉淀后，上清液经废水处理设施处理达标后排入城市污水管网。

(7) 在运输途中运输车辆平稳运输，一般情况下禁止快速行驶与突然快速启动或制动。

(8) 防止运输车辆颠簸及污染土壤散落；如发现运输过程污染土壤散落，应组织人员清理与收集，防止污染土壤的二次污染。

(9) 运输的污染土壤必须倾倒在指定地点，不得因为任何原因将土方随意弃置在非指定场所。

(10) 污染土壤运输至指定地点后，应听从现场人员的统一指挥，将土方倾倒在指定地点，不得随意停靠倾倒，确保现场井然有序。

6.2.3.4 运输过程的其他防护措施

(1) 组织成立污染土壤外运管理小组，做到管理工作横到边、

纵到底，责任落实到人，防止污染土壤外运污染环境。

(2) 污染土壤运输路线避开运输敏感路段，较少对周边居民的影响。

(3) 负责运输的车辆是专用的，负责驾驶污染土壤运送车辆的司机将经过专业的培训以增强其防护意识，减少遗撒及相关事故，以保证运输的安全。

(4) 污染土壤装卸制定严格的计划，操作人员经培训，考试合格后才可上岗。

(5) 制定严密的运输事故防范措施及应急预案，在第一时间将事故影响降至最低。

6.2.4 砖瓦窑协同处置过程二次污染防治措施

6.2.4.1 废水污染防治措施

砖瓦厂洒水/喷雾抑尘用水部分蒸发损耗，部分随原料进入产品；洗车台清洗废水经沉淀处理后回用；原料搅拌用水全部进入物料（后续工序损耗）；臭氧发生器冷却用水循环利用，不外排；脱硫用水部分蒸发损耗，部分随脱硫石膏带出；湿式电除尘用水部分蒸发损耗，定期排放部分用于原料搅拌用水，项目无生产废水排放。

6.2.4.2 废气污染防治措施

砖瓦窑协同处置期间产生的废气主要包括原料卸料、上料产生的扬尘，原料投料、破碎、筛分、混料过程产生的含尘废气，石灰料仓粉尘，干燥、焙烧烟气，以及道路扬尘。

(1) 有组织排放废气

1) 原料投料、破碎、筛分、混料废气收集处理措施

①污染土壤预处理车间：该车间设于厂房内，污染土壤投料、破碎、筛分在封闭预处理车间内进行（设自动喷雾装置），各工位均单

独密闭、设置集气口装置，以上各工序产生的含尘废气均经各工位集气口收集后，进入1套布袋除尘器处理，尾气通过1支15m高排气筒排放。

②破碎车间：其他物料投料、破碎、筛分以及混料工序在封闭破碎车间内进行（车间设自动喷雾装置），各工位均单独密闭、设置集气口装置，以上各工序产生的含尘废气均经各工位集气口收集后，进入1套布袋除尘器处理，尾气通过1支15m高排气筒排放。

颗粒物有组织排放浓度《山东省区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376-2013）中表2“重点控制区”的限值要求（ $10\text{mg}/\text{m}^3$ ），排放速率满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表2中二级标准要求（15m排气筒， $3.5\text{kg}/\text{h}$ ）。

2) 干燥、焙烧烟气收集处理措施

隧道窑正常运行过程中，以全内燃为主，不需外投燃料，焙烧烟气余热用于湿坯干燥，干燥尾气引入烟气处理系统。

废气收集处理措施：隧道窑焙烧烟气余热经冷却前段设置的侧吸集气口收集，由送热风机（根据烟气温度适当混入新风）送至干燥室顶部各送风口；干燥尾气经干燥室侧吸集气口收集后进入1套烟气处理系统（臭氧脱硝+双碱法湿式脱硫+湿式电除尘）处理，尾气通过30m高排气筒排放。

颗粒物、 SO_2 、 NO_x 排放浓度满足《山东省建材工业大气污染物综合排放标准》（DB37/2373-2018）表2“重点控制区”的限值要求（颗粒物： $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 SO_2 ： $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、 NO_x ： $100\text{mg}/\text{m}^3$ 、氟化物： $3\text{mg}/\text{m}^3$ ）；颗粒物有组织排放速率满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表2中二级排放标准（30m排气筒， $23\text{kg}/\text{h}$ ）。

(2) 无组织排放废气

项目产生的无组织排放废气主要为原料卸料、上料粉尘、石灰料仓粉尘及道路扬尘。

1) 原料卸料、上料粉尘

各贮存库为封闭式，地面均硬化，车辆进出及时关闭库门，其余时间保持库门关闭状态，仓库内基本处于静风条件；均设有自动喷雾装置，定时喷雾抑尘，且在卸料、上料时保持附近喷雾装置开启。

2) 石灰料仓粉尘

料仓进料、卸料产生的颗粒物经料仓顶端自带的脉冲式滤筒除尘器处理后，于顶部呼吸孔排放。

3) 道路扬尘

厂区道路全部硬化，保持运输道路的平整，并配备清扫设施、洒水车，定期洒水抑尘，道路每天清扫不得少于2次，洒水不得少于4次；恶劣天气加大清扫、洒水频率；进厂运输车辆须覆盖严实，粉状物料均密闭运送；厂区设置洗车台，对车辆底盘、车轮和车身周围冲洗干净后方可上路，洗车台两侧设挡板，洗车污水经沉淀后循环使用；控制运送车辆行驶速度。采取以上措施，项目裸露地面的风力扬尘产生量较小，对项目周边大气环境和环境敏感点影响较小。

在污染土壤协同处置过程中，全程在线监测空气质量，中控室屏幕实时在线显示监测数据。

6.2.4.3 噪声污染防治措施

砖瓦窑生产期间对各设备进行减振、隔声；对风机、管道设置消声装置；定期对产噪设备进行保养、维修，确保其正常运转。

项目各厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中2类标准要求。

6.2.4.4 固废污染防治措施

项目生产过程中产生的固体废弃物主要分为一般固废、危险固废和生活垃圾。

(1) 一般固废

①磁选产生的金属杂质集中存放，定期由物资回收单位回收利用；

②挤出成型、切条切坯工序产生的废坯料，检验产生的废砖，经收集后全部回用于生产；

③原料制备工序降落在地面的粉尘及布袋除尘器收尘，原料投料、破碎、筛分、混料工序粉尘，以及未被集气口收集、沉降在车间地面的粉尘经收集后全部回用于生产；

④脱硫石膏经收集后外售于相关单位综合利用。

(2) 危险固废

氢氧化钠废包装袋，机械设备运行及维修过程中产生的废机油和废机油桶属于危险废物，委托有资质的第三方单位进行处理。

(3) 生活垃圾

生活垃圾均统一存放于带盖的垃圾箱内，定期外运至城市垃圾场处理。

6.2.4.5 空气质量监测措施

监测项目为：VOCs、氯化氢、苯、氯乙烯、氯苯类、非甲烷总烃、苯并[a]芘、铅、汞、砷、六价铬、二噁英、臭气浓度。

铅、汞、砷、六价铬浓度需满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中的二级标准要求；TVOC、氯化氢浓度需满足《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)附录 D 中的浓度限值要求；二噁英浓度需满足环发[2008]82 号规定标准要求；本年均浓度标准(0.6pgTEQ/m³)；臭气浓度需《恶臭污染排放标准》(GB14554-93)二级标准。苯、氯乙烯、氯苯类、非甲烷总烃、苯并[a]芘需满足《大

气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)表2中无组织排放监控浓度限值。

6.2.4.6 运营期间废气监测措施

(1) 有组织排放废气监测:

①颗粒物、SO₂、NO_x、氟化物的有组织排放浓度执行《山东省建材工业大气污染物综合排放标准》(DB37/2373-2018)表2“重点控制区”限值要求(颗粒物:10mg/m³、SO₂:50mg/m³、NO_x:100mg/m³、氟化物:3mg/m³);颗粒物有组织排放速率执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)表2中二级排放标准(15m排气筒,3.5kg/h;30m排气筒,23kg/h);

②HCl、汞及其化合物、镉、铅、砷及其化合物参照执行《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)表1相应标准;

③臭气浓度执行《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)表2中限值要求(30m排气筒,10500(无量纲))。

(2) 无组织排放废气监测:

颗粒物无组织排放监控点浓度执行《山东省建材工业大气污染物排放标准》(DB37/2373-2018)表3中限值要求(1.0mg/m³)。

根据《固体废物再生利用污染防治技术导则》(HJ1091-2020)中的规定,固体废物再生利用企业应定期对固体废物再生利用产品进行采样监测,监测频次应满足以下要求:

当首次再生利用除危险废物外的某种固体废物时,针对再生利用产品中的特征污染物监测频次不低于每周3次;连续二周监测结果均不超出环境风险评价结果时,在该废物来源及投加量稳定的前提下,频次可减为每月1次;连续三个月监测结果均不超出环境风险评价结果时,频次可减为每年1次;若在此期间监测结果出现异常或固体废

物来源发生变化或再生利用中断超过半年以上，则监测频次重新调整为不低于每周 3 次，依次重复。

6.2.5 水泥窑协同处置过程二次污染防治措施

6.2.5.1 扬尘处理措施

污染土壤自动化全封闭仓库内的扬尘主要来自土壤的转运、破碎、筛分等环节。

(1) 根据工艺要求，污染土壤的进料含水率控制在一定范围内，当污染土含水率较低时，设计采用处理后的渗滤液调节土壤水分，一方面满足工艺要求，另一方面起到防尘作用。

(2) 污染土壤的转运、破碎、筛分等环节均在全封闭操作空间内完成，因此可以有效避免扬尘的蔓延。

6.2.5.2 渗滤液收集处理措施

(1) 污染土壤自动化全封闭仓库外四周建立集水沟，使雨水得到有效收集，防止雨水入渗到堆放区域，产生二次污染。

(2) 污染土壤自动化全封闭仓库防渗设计：

污染土壤自动化全封闭仓库配备相应的渗滤液收集系统、渗漏探测系统和地面双层防渗。地面应是倾斜的以便于渗滤液排入集水沟或者其他收集装置，防止污染土壤浸出液滞留在土壤中。渗漏探测系统必须安装在地板下，用以探测地板的防渗效果。

(3) 所选水泥厂仓库的防渗均满足《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2020) 及其相关内容。现列举其主要的防渗方式：

1) 地面为密实混凝土防腐防渗地面（基础 HDPE 防渗土工膜满铺、交圈），首层内墙面、柱面贴瓷砖，二层内墙面、柱面为混合砂浆抹灰刷内墙涂料、外墙装饰为铝合金幕墙。抗渗混凝土的抗渗等级

不宜小于 P6，其厚度不宜小于 150mm。汽车装卸及检修作业区地面宜采用抗渗钢筋（钢纤维）混凝土，其厚度不宜小于 200mm。抗渗混凝土地面设置缩缝和变形缝，接缝处等细部构造做防渗处理。

2) 地面防渗：地面从上至下依次为：180mm 厚 C30/P6 抗渗混凝土面层，内配 $\Phi 12@200$ 双向钢筋；80mm 厚级配碎石调平层；250mm 厚手摆片石基层；素土夯实。

3) 周边防渗：内墙面四周 200mm 高 1.5mm 厚水泥基渗透结晶型防水涂料。

4) 排水沟防渗：C30/P6 混凝土，内壁刷 1.5mm 厚水泥基渗透结晶型防水涂料。

5) 渗滤液由污染土壤渗出，经土工布过滤后沿 HDPE 土工膜层流入渗液收集沟，经渗液收集管道排入场外调节池内，最后由专用潜水泵抽入污水运送车运走，然后利用窑的喷油点系统把收集液体喷入窑内处理，做到渗滤液的安全彻底处理。

6.2.5.3 废气收集和治理措施

污染土壤在烘干、破碎、筛分等预处理环节可能会产生粉尘或重金属粉尘颗粒，因此预处理设施应具备良好的密闭性，保证与操作人员隔离。本工程采用的污染土壤全封闭贮存仓库内设有负压、引风系统，通过在整个密闭贮存仓库内形成微负压防止粉尘的扩散，经引风机收集后通过管道引至袋式除尘器除尘，除尘后可作为水泥窑送风，利用水泥窑高温将有重金属颗粒熔融固定，从而达到治理废气的目的。

在预处理过程中，有如下注意事项：

(1) 堆放、预处理仓库通气管道连接好，启动风机，逐个检查各管路接头以及焊缝处是否漏气，并检查风机运行是否正常，包括是否有异常声响，风机震动是否正常等。

(2) 施工中风机的开启关闭方法需制定详细的操作规范，并指定人员负责操作，所指定的操作人员需经过全面的操作培训，合格后方可上岗操作。

(3) 堆放、预处置仓库内堆土和挖土时注意人员安全，挖掘机启动时人员应退出到挖机臂旋转半径以外，人工操作时挖机应停止操作。

6.2.5.4 尾气收集和治理措施

(1) 自仓库到窑尾烟室采用皮带运输并进行全封闭，做到零抛洒外漏。

(2) 水泥窑配备袋式除尘器，保证排放烟气粉尘浓度满足《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)以及《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)表2二级标准。水泥窑配备窑灰返窑装置，将除尘器等烟气处理装置收集的窑灰返回生料入窑系统。

(3) 水泥窑烟气监测：按照《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》(GB/T16157-1996)的要求在水泥窑排气筒设计永久采样孔。烟气中的颗粒物、NO_x、SO₂和HCl执行在线监测，并与当地监测中心联网；烟气排放连续监测装置经县级以上人民政府环境保护行政主管部门验收后，在有效期内其监测数据为有效数据；以12小时平均值作为连续监测达标考核的依据。烟气中重金属、HF、TOC和二噁英(PCDD/PCDF)将进行定期监测，监督性监测频次以及采样和分析要求按《固定源废气监测技术规范》(HJ/T397-2007)的有关规定执行。

6.2.6 安全阻隔填埋过程二次污染防治措施

6.2.6.1 填埋场填埋气体处理措施

固废填埋场填埋气体是甲烷含量很高的可燃气体，由于本项目选择的填埋场为一般工业固废填埋场，填埋过程中产生填埋气相对较少，利用价值较低，因此该未考虑填埋气体的收集利用。

由于受地形条件的限制，填埋场库区的范围内，在填埋场运行期间，作业不断进行，固废堆积体表面不断升高，因此无法实现对导气井导出的气体进行集中收集。填埋场封场后当用便携式气体分析仪和甲烷浓度报警器监测出甲烷含量达到危险浓度以后，在气体排放口设置自动监测系统和阻火器及燃烧装置，将气体进行燃烧，将产生气体转换成二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和其他气体，以免填埋气体直接大量排放到空气中污染环境。

6.2.6.2 其他大气污染防治措施及对策

6.2.6.2.1 恶臭

恶臭气体是填埋场的主要污染物，主要产生于填埋库区微生物厌氧分解产生的填埋气体以及集液井。恶臭气体主要有氨（ NH_3 ）、硫化氢（ H_2S ）等，以上气体成分虽然为微量气体，所占比重很少，但对环境带来的负面影响却不容忽视。

恶臭污染控制采用物理法和生物法相结合的方式，可取得较好的处理效果。场区优先选择物理方法，即填埋库区做到及时中间覆盖，填一层覆盖一层，减少固废裸露面积；其后采用生物方法，对填埋堆体喷洒生物除臭剂或植物除臭剂。

对于集液井产生的恶臭，可将集液井设计为封闭式，周围设置绿化。

6.2.6.2.2 粉尘

覆土及运输车运输工序产生的粉尘、作业区及道路扬尘与气象条件有关，干燥时节，有较强风力时，扬尘较大。采取的抑尘措施为常

用的洒水作业，倾倒的固废重复碾压、及时覆盖、厂区四周设置抑尘网等多重措施控制粉尘的产生。同时在填埋场周围种植绿化隔离带，也可控制粉尘扩散。

6.2.6.3 废水污染治理措施

固废填埋场排放的废水水质成分复杂，污染物浓度较高，若不进行处理直接排放，将会对周围环境造成较大的危害，必须对废水进行有效的收集。选择经济合理的治理工艺进行治理，实施达标排放和总量控制排放。填埋场产生的渗滤液收集至集液池，然后经厂内现有污水处理系统处理达标后用密闭罐车运到高密市第二污水处理厂。

污水处理站设计规模为 40m³/d，污水处理站工艺流程为污水-格栅-气浮-酸化池-厌氧池-缺氧池-生物接触氧化池-沉淀池-消毒池-出水。本项目气浮主要是去除悬浮物 SS，去除效率约为 30%以上，酸化池主要是将 COD 转化为 BOD，增加生物性，COD 去除效率 10%以上，厌氧池主要是去除 BOD 和 COD，去除效率 40%以上，缺氧池主要为进行反硝化，去除总氮，去除率 40%以上，生物接触氧化池主要是去除氨氮和 COD，去除效率 10%以上。

6.2.6.4 噪声污染治理措施

6.2.6.4.1 填埋场总体防噪设计

(1) 选址的防噪考虑

固废填埋场的场址选择在满足其他基本选址条件的基础上，就尽量考虑选择人口密度小、远离居民区，以降低噪声对周围环境的影响。场址距离最近的居民区约 420m，可以有效地防治工程噪声对居民中正常生活的影响。

(2) 总平面防噪布置

在总平面布置中考虑防噪设计，合理规划固废场区内外的运输路

线，车辆进出的主干道尽量远离生产辅助建筑，避免交通噪声的影响。

(3)从治理噪声源入手，选用符合噪声限值要求的低噪声设备，根据整套系统的设备和管道连接情况，建立隔声的主控制房和工作人员休息室。在噪声较大的车间的顶棚或墙壁上适当铺设吸声材料或悬挂吸声体。

6.2.6.4.2 填埋场主要噪声源的降噪控制

(1) 水泵噪声控制

水泵噪声主要是泵体和电机产生的以中频为主的机械和电磁噪声。噪声随水泵扬程和叶轮转速的增高而增高。主要控制措施是安装隔声罩，并在泵体与基础之间设置减振器。

(2) 流动源噪声控制

针对固废运输车经过敏感点时容易产生的超标也应采取适当的控制措施。车辆噪声包括排气噪声、发动机噪声、轮胎噪声和喇叭噪声。音频以低、中频为主，所以为降低噪声，使噪声值达标，除合理安排运输车辆运输时间和路线计划之外，还应采取以下措施降低主要噪声源强：在购置填埋作业机械时，优先选用低噪声设备；在填埋作业面周围种植绿色植物，对噪声起到一定遮挡作用；日常生产过程中，加强对填埋机械设备的维修保养，避免设备由于不正常运转产生的噪声；夜间禁止填埋。

6.2.6.5 防渗措施

(1) 防渗方式

防渗设计采用人工水平防渗方式，满足《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18559-2001）中的Ⅱ类常规定的自然防渗的相关要求。

(2) 防渗结构

填埋库区的防渗系统为单层人工合成材料防渗衬层，场底防渗系统由上至下依次构成见下表。

边坡防渗系统从上至下依次构成见下表。

6.2.6.6 防洪防雨水措施

(1) 在填埋过程中，分区填埋，本工程在每个填埋分区渗滤液导排管干管均设有阀门，发生降雨时，通过关闭相应分区的阀门，可在尚未使用填埋分区最低点处设置柴油泵，将未被污染的雨水用水泵提升至填埋场环库排水明沟排出场外，以实现雨污分流。

(2) 对分区填埋完毕的区域，若条件允许可采用粘土进行临时覆盖，并形成一致的排水坡度坡向低洼处，低洼处设置临时集水坑，产生雨水通过排水坡度有序的排至临时集水坑，通过临时集水坑内设置临时泵排出场外，不能及时覆土的作业面，采用 1.0mm 厚的土工膜临时覆盖，以减小雨水渗透系数，减少雨水的下渗，确保表层的雨水不再转化为渗滤液。

(3) 填埋完毕后，进行最终覆土，将表面径流迅速集中排放，减少渗透量，并设置永久性的排水沟，达到减少固废渗滤液流量的目的。本项目场区雨水根据地形、地貌，通过环场排水沟就近排出场外。在固废填埋过程中或填埋终场以后，排水沟能够拦截汇水流域坡面及填埋堆体坡面降雨的表面径流。

(4) 项目填埋场周边设雨水排水沟，做到清污分流，减少渗滤液的产出量，实现雨污分流。

6.2.6.7 生态恢复措施及临时堆场防止水土流失措施

对填埋场须进行生态恢复，生态恢复主要为种树种草，对废渣填埋区而言，在废渣填埋覆土后，再进行绿化方式进行生态恢复。绿化采用土地表面撒播草籽后植树的方法。

植被选择的原则：

- (1) 以本地植被为主；
- (2) 抗尘、滞尘能力强，降噪效果好的植被；
- (3) 速生植被与慢长树种结合，慢长树种宜整株带土球种植；
- (4) 针叶与阔叶相结合，以阔叶为主；
- (5) 落叶与常绿结合，以常绿为主。

临时堆场堆放的覆土应堆放在较为平坦的区域，避免降雨的冲刷；堆场应采取边坡防护，且应压实待用，并应用防尘网进行覆盖，防止水土流失。

对于渗滤液排水沟的敷设，在开挖过程中，应将表层耕植土和深层土分开放置，回填时应有序回填，使耕植土位于表面，最大限度地保持地表原貌，避免水土流失。

6.2.6.8 火灾防治措施

基于固废填埋场的性质，可能出现的几种灾害是：地震、泥石流、洪水、边坡稳定、填埋堆体稳定、污水外溢等。

项目采取了相应的设计构造措施，具体如下：

(1) 建筑物的抗震，尤其是挡渣坝，除按照规范进行必要的抗震验算外，也从构造措施上提高了其相应的抗震能力。如采用直线的坝轴线。

(2) 对库区清底后形成的新的人工边坡的坡比，进行明确的设计规定，确保边坡稳定。

(3) 场区内设置永久性排水沟，减少雨水的汇集，也减小了对边坡的冲刷。

(4) 利用堆体内设置的导气井导排渗滤液，尽快排除堆体内的水份，降低堆体的含水率，保证堆体的稳定。

(5) 填埋作业中及封场后，导气系统将厌氧填埋产生的甲烷等危险气体进行有组织的导排，以防止爆炸、燃烧等灾害发生。

(6) 场地铺设防渗膜，防止了填埋产生的污水对地下水造成污染。

(7) 每日填埋后及时覆盖，防止蚊蝇滋生和飘浮物随风飘散。

(8) 填埋场达到使用年限后，及时封场绿化，防止雨水入渗。

6.2.6.9 封场后环保措施

(1) 根据《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2020)中规定，本填埋场封场覆盖层由两部分构成：压实粘土阻隔层、覆盖土层。本填埋场封场覆盖层设计 50cm 压实粘土作为阻隔层；20cm 耕植土作为覆盖层，压实粘土防渗系数 $K \leq 10^{-7} \text{cm/s}$ ，主要作用是减少降雨进入填埋堆体，便于填埋场生态的恢复，力求使填埋场封场后和周围环境融为一体。耕植土（植被层）是固废填埋最终的生态恢复层，它能美化周边环境，防止雨水冲蚀土壤，利于径流的收集及导排。封场后填埋场的生态环境建设不但能改善场地环境、恢复土地利用价值、创造新的生态景观，而且对固废填埋场本身的安全与稳定性也具有重要意义。根据本固废填埋场的地理位置、交通、地形等自然情况，填埋场的最终覆土区域应及时分期进行绿化，选用常绿灌木和种植草皮，提高植被覆盖率。另外，固废填埋场封场后土地使用必须符合填埋场封场后土地使用规定。

(2) 填埋场封场覆盖后，雨水下渗量急剧减少，固废渗滤液产出量将逐步减少甚至接近没有，渗滤液处理系统是填埋场工程中重要组成部分，是防止渗滤液污染水体环境不可少的环保措施，它的工作一般要延续到正式封场后的 10~20 年。废水排入集液井，经污水处理系统处理达标后再由罐车外运至高密市第二污水处理厂。

(3)工程服务期满后应留置后期管理机构,进行填埋场的维护,继续渗滤液处理,废气导排处理和卫生防疫等工作,直至填埋场固废彻底分解,不再产生渗滤液,排出废气为止,确保工程封场后不致继续产生污染物,对环境造成后续不利影响。

6.3 应急方案

6.3.1 应急组织机构

(1) 应急组织机构图

为确保劳动安全及场地修复工作如期进行,本项目建立以项目经理为组长的紧急情况处置领导小组,技术负责人、项目安全工程师和质量工程师为副组长,并形成由公司总部、社会机构、项目相关职能部门等共同参与的紧急情况处置组织体系。事故应急组织机构图见下图。

6.3.2 应急准备工作流程

根据工程的特点及施工工艺的实际情况,认真的组织项目部人员对危险源和环境因素的识别和评价,特制定项目发生紧急情况或事故的应急措施,开展应急知识教育和应急演练,提高现场操作人员应急能力,减少突发事件造成的损害和不良环境影响。其应急准备和响应工作程序见下图:

6.3.3 应急响应机制

(1) 应急响应分级

按安全事故灾难的可控性、严重程度和影响范围,应急响应级别原则上分为I、II、III级。当达到本预案应急分级响应条件时,事故单位应按照应急响应程序,启动相应响应程序,开展应急行动,并根据事故等级及时上报。

(2) 启动条件

- 1) 发生符合国家和行业有关规定需启动应急预案的事故。
- 2) 现场工作人员认为需要上报并启动应急预案的较严重事故。
- 3) 运输过程中发生污染土壤泄漏及交通事故。

(3) 报告制度

应急程序启动后，根据事故发展态势和现场救援进展情况，执行如下应急响应程序：

1) 事故发生后，押运员及驾驶员立即组织自救，同时向指挥小组报告事故情况。

2) 指挥小组接到事故报告后，根据事故情况，立即派遣工作小组增援现场，同时向领导小组通报事故情况。

3) 现场应急指挥小组在向联营体领导小组汇报情况的同时，必须向省项目办如实汇报。

4) 领导小组根据事故情况，对救援工作进行相应支持和监督。

(4) 处理程序

工作小组到达事故现场后，按照如下程序救援：

(5) 应急结束

1) 应急结束条件

事故现场得以控制，环境符合有关标准，导致二次、衍生事故隐患消除后，经指挥小组确认和批准，现场应急处置工作结束，应急救援队伍撤离现场。

2) 结果评估

领导小组相关机构对事故处理结果进行监督评估。

3) 事故分析

指挥小组应组织评审应急预案事实情况，填写事故分析报告（见下表），经项目经理签字确认后报公司安全和环境主管部门，由公司

主管部门报局安全与环境部。召集有关人员分析事故的原因，按局体系文件中《纠正和预防措施程序》的有关规定制定和实施纠正措施，并跟踪验证。

6.3.3.1 人员中毒

由于本项目开挖土壤所含污染物对人体健康危害很大，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。

如果发生人员中毒事故，将按照以下程序进行应急：

（1）中毒人员救援

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。

其中，施工现场就近医院的地址见表 6.4-5，异地热脱附处置场地就近医院的地址见表 6.4-6。

（2）安全警戒

中毒事件发生后封锁现场，只准应急救援人员、车辆进入，其余人员、车辆必须经突发事件应急处置领导小组批准后方可进入，对无关人员劝其离开，禁止围观，直至中毒人员安全送至医院救治、现场取证结束及现场中毒区域防护工作完成后，经突发事件应急处置领导

小组批准后解除。

（3）信息记录

对事故现场情况进行拍照记录，记录救援情况、中毒人员、现场指挥领导，事故后的现场情况。询问值班人员事故发生的原因和过程。及时将信息报给突发事件应急处置领导小组组长。

（4）信息报送

根据现场中毒人员情况进行信息报送，1小时内由突发事件应急处置领导小组组长报告建设单位领导，并根据事故调查结果编写信息并及时上报。

6.3.3.2 灼伤和烫伤

灼伤和烫伤的急救措施见下表。

6.3.3.3 触电

本修复工程部分机械设备以电力作为动力，用电量且用电线路复杂，易造成触电事故。本方案已作出相应的预防措施，但万一发生触电事故，要采取以下措施。

6.3.3.4 机械伤人

机械伤人事故发生后，现场人员应立即向值班人员（项目经理）汇报事故时间、地点、方位、受伤人员情况。应急领导小组根据情况启动预案，组织人员设备进行抢救行动。施工场地的机械伤害事故，会造成不同程度损伤，以至死亡。根据施工作业地点、机械类型等因素，伤害类型多为挤、压、绞、缠、切等引起的外伤。

6.3.3.5 基坑坍塌

基坑坍塌的应急措施如下表所示。

6.3.3.6 消防火灾

消防火灾的具体应急措施如下表所示。

6.3.3.7 燃气泄漏

6.3.3.8 陆路运输

事故发生后，事故现场工作人员须对现场进行分析，对受伤群众进行施救并拨打 120 急救电话，并向事故发生地交警部门、保险公司、所属单位报告；事故单位在接到报告后，组织现场救援和散落的污染土壤的清理、重新装运，指挥新的运输车辆装载运输。

6.3.3.9 废水处理事故

(1) 发现事故后当班人员应立即向领导小组组长汇报，并随时保持联系。排查事故主要原因。

(2) 设备发生故障后，应立即使用备用设备，没有备用设备的，生产应组织设备维修人员，根据废水处理站设备的实际运行情况，即使做好设备维修及更新配件工作。确保损坏的废水处理设备能在 2 小时内修复，并恢复正常运行，同时损坏期间的废水进入循环水池或者备用水池，不得对外排放。

(3) 当废水处理站因电力突然中断、设备管件更换或其他原因，造成废水处理站暂时不能正常运行时，且储存量达到 90%时，通知生产部门停止生产；紧急情况切断进水水源、关闭调节池出口等。

(4) 由于暴雨造成水量过大的异常情况时首先将废水放入生产车间的循环水池，当水量过大时，应放入应急池，时候应加班或者延长时间即使处理达标排放。

6.3.3.10 扬尘、异味和噪声扰民

收到扰民申诉后，应做好居民的接待工作，认真听取居民诉求，向其询问扰民污染物类型、性状，并对场地内产污工段进行判别，并向其作出解释和安抚。具体的急救措施如下。

6.3.3.10.1 潜埋的储罐、管线、废水暗沟化学品或废水泄漏

(1) 施工过程中发现有潜埋的储罐、管线、暗沟立即向项目经理和监理汇报。

(2) 当发现污染泄漏的，项目经理组织专业力量对储罐、管线、暗沟走向、深度、范围进行全面调查，并对治理范围内的此类构筑物进行安全清运。

(3) 当施工时发现储罐、管线、废水暗沟有化学品或废水泄漏，应确定其性质再行处置。

(4) 若泄漏物质为液体，且泄漏量较小，先对污染的土壤清理，再将破坏位置隔离，待导流措施到位再对储存设施内的其它废液排出，并对此构筑物清理出场。

(5) 当泄漏量较大，使用挖机在泄漏口处开挖临时水池，并铺设 HDPE 膜，先将废液导流至临时水池，再用抽水泵引入污染处理站。事后须对污染土壤进行合理处置。

6.3.3.10.2 社会群体性事件

预防和处置本工程实施过程中存在的各种矛盾纠纷及不稳定因素引发的群体性事件，遵循“预防为主”的方针，坚持“以人为本”的原则，坚持“教育疏导、防止矛盾激化和扩大”的原则，对群体性事件及其苗头要及时、果断采取措施，坚决制止违法行为，尽快平息事态。力争做到发现的早、化解的了、控制的住、处置的好，切实把问题解决在萌芽状态、解决在内部，努力维护大局。

(1) 工作要求

①本工程项目部负责组织排查、调解可能引发群体性事件的矛盾纠纷。

②组织调动应急资源做好群体性事件的先期处置工作。

③宣传普及有关法律、法规、政策，引导群众以理性方式表达诉求，通过合法途径反映和解决问题。

（2）检查和报告

①项目部认真执行当地政府及有关部门关于加强突发事件信息报送工作的有关规定，强化值班制度、落实监测人员，完善监测网络，收集可能造成重大群体性事件的信息，采取积极应急措施。对群体性事件、突发事件做到早发现、早报告、早处置；

②发生群体性事件后，项目部相关责任领导应在事件发生后向业主及当地相关部门报告事件主要情况，包括时间、地点、事由、经过、影响范围、动态趋势、已采取的处置措施、现场指挥员的联系方法等，可先口头报告，随后及时提供书面情况报告，并根据事态发展和处置情况及时书面续报动态信息。

（3）处置程序和方法

①一旦发生群体性事件，工地首先应立即停工，项目经理和相关部门负责人应在接到报告后 30 分钟内赶到现场，成立现场指挥部，协助公安等部门开展警戒、控制现场、疏散救护等基础处置工作；收集现场动态信息，分别向县人民政府应急管理办公室等有关部门报告。

②在处置群体性事件现场，项目经理及有关负责人员要面对面地做群众的工作，认真听取群众的意见，准确判断群体性事件的性质和发展趋势，掌控局面，把握尺度，讲究策略和方法，采取措施，尽快平息事态。对群众提出的要求，符合法律法规和政策规定的，要当场表明解决问题的态度；无法当场明确表态解决的，要责成相关人员限期研究解决；对确因决策失误或工作不力而侵害群众利益的，要如实向群众讲明情况，公开承认失误，尽快予以纠正；对群众提出的不合理要求，要讲清道理，耐心细致地做好说服教育工作。

③群体性事件现场事态平息后，有关责任人对现场处置时向群众承诺解决的问题，必须尽快解决到位，不得搞虚假承诺或者久拖不决。要坚决避免违背承诺、失信于民，重新引发群体性事件的现象发生。

④对于群体性事件中违反相关规定的人员，由公司研究决定予以相应的处罚；触犯法律法规的，由相关执法部门依法进行处罚。

6.3.4 应急演练

(1) 演练时间和次数及内容

适时进行环境污染事故应急预案的演练活动，检测应急预案的可行性和有效性，使应急预案得到不断的完善和提高。进入现场后，定期模拟演练应急事件的处理情况，根据实际作业情况，找出不足和存在问题，及时进行修订。

(2) 演练前施工人员的培训

正式演练前，对现场所有作业人员进行相关知识的培训，内容如下：

(3) 演练后应做好记录。

7.施工平面布置

7.1 施工现场平面布置

7.1.1 主要布置依据

(1) 机械布置原则：以最大限度满足施工，遵循“多固定、少活动、用方便、退及时”的布置原则，尽量消除现场通道的压堵，确保其最大限度、最长时间的畅通。

(2) 现场办公区设置原则：搭设临时办公板房。

(3) 材料库布置原则：将量大、体积大、重量大的材料存置于施工现场库房，以便现场随时调拨出库使用；工具类、生活类、用量少周期短的材料存置于现场材料仓库。

(4) 施工现场的临水、临电接口由甲方提供，然后根据现场总体布置分别接引到位。

(5) 施工现场便道布置：现场便道必须以充分利用现有道路为前提，在此前提条件下，必须修建便道的地方进行延伸或有目的的定点扩支。

(6) 项目运行中产生的固体废物、危险废物按照规范包装摆放，并分别做好标识，注明危险废物名称。

7.1.2 施工现场及周边现状分析

A 地块内建筑物已拆除，部分残留硬化地坪，地表零星堆置着建筑垃圾。地块西侧放置着维保中心一期工程临建集装箱。A 地块北侧紧邻青岛能源泰能热电有限公司现状用，北向隔镇平一路为李村河。南侧紧邻镇平路，隔镇平路向南依次为铁路线、唐河路、万科未来城居民区和龙湖春江郦城 1 期居民区。西侧为维保中心一期建设用地、即原泰能焦化厂一期用地，隔维保中心一期建设用地为李村河污水处理厂，西北向为待建的燃机项目。

7.1.3 施工现场水电接入条件分析

根据现场踏勘可知，在地块北侧有临水临电接口，满足项目施工用水用电需求。

7.1.4 施工现场总平面布置

施工现场的管理与文明施工是安全生产的重要组成部分，本施工单位具有丰富的大型修复项目施工经验，有能力加强现场管理，保证施工井然有序。总平面布置要有利于生产管理和污染控制，满足施工需要。

(1) 施工区域与生活区域分开，生活设施齐全，具有办公室、食堂、厕所且具备通风、防暑、防火、卫生等基本条件，施工场所的场貌整齐、美观。

(2) 施工现场设立明显的防火标志，建立防火制度，按规定在相应的场所配备足够的消防器材及防火用品，由专人负责，安全标志及宣传牌明显、醒目。

(3) 临时设施搭设统一，规划整齐，施工现场的半成品、材料堆放、机械设备、照明线路按规定堆放或架设。

根据施工工艺、现场条件，A地块施工现场平面布置主要划分为办公生活区、密闭大棚区、建渣冲洗区、废气处理区、废水处理区、机械停放区、仓储区、危废暂存区、洗车区等功能区。各区之间留有充分的施工距离及安全卫生防护距离。各区之间通过道路连接，保证人、材、机的高效率调度，亦便于施工管理。各区面积如下表所示。

8.效益分析

8.1 环境效益

通过本次土壤修复工程的实施，将场地调查发现的污染土壤中污染物修复至修复目标值以下，从而避免了场地未来按照规划用途进行使用时发生人体健康风险，达到保护环境，保障人体健康的目的。

8.2 经济效益

本项目地块未来规划为 SF1101-109 交通场站用地、商住用地及公共管理与公共服务设施混合用地和 SF1101-110 防护绿地、SF1101-111 防护绿地，包括《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地和第二类用地方式，通过拆迁和转变原工业用地的使用性质，可以大幅度提高该地块的利用效率和商业利用价值。但土地的商业价值，除了取决于该地块在城市规划中的区位和土地使用性质外，还与地块本身的物理化学属性有很大关系。本项目有效排除了地块本身存在的环境、地质、水文风险，没有改变土壤性质，降低了商业开发的成本和风险，使土地本身得到充分增值。因此，良好的修复效果，必定能提升该地块整体商业价值。土地的商业价值提升，就意味着作为税收主体的政府、作为建设主体的开发商、作为房屋产权拥有者的最终消费者，均能够从土地的价值增值中获益。

8.3 社会效益

污染场地不仅导致污染物对人身健康和环境安全的影响，还产生了一系列社会、经济、政治问题，包括土地闲置、低效利用、房地产贬值、城市税收减少、人口迁移、社区衰落、社会分化等，对区域或城市产生巨大的影响。

本项目的成功实施，可产生多方面的社会效益：

1) 对我国工业城市加快重污染产业的搬迁转产、产业结构调整 and 升级, 以及城市空间布局的优化, 具有重要意义, 有利于加快我国城市化发展和生态文明建设。

2) 该项目的有效实施, 可有效解决环境保护与经济发展的矛盾关系, 既能够解除民众对环境的关注和忧虑, 降低环保部门的管理风险, 同时能够解决土地开发企业的后顾之忧。

3) 该项目的有效实施, 有利于改善该地块及周边的生态环境, 优化居民生活环境, 促进社会和谐发展。

9.结论和建议

9.1 结论

(1) 用地规划：根据《青岛市市北区滨海新区北片区控制性详细规划》（青政字 2018[48]号），本项目地块未来规划为 SF1101-109 交通场站用地、商住用地及公共管理与公共服务设施混合用地和 SF1101-110 防护绿地、SF1101-111 防护绿地。包括《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地和第二类用地方式。

(2) 土壤关注污染物：砷、六价铬、铅、汞、镉、钡、氯乙烯、苯、氯苯、六氯苯、2-甲基-4,6-二硝基酚、五氯酚、 α -六六六、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘、石油烃（C₁₀-C₄₀）。

(3) 修复目标：本地块原则上用风险控制值作为修复目标值，计算得到的风险控制值低于筛选值，则采用筛选值作为修复目标值；修复目标值应低于国家风险管制值。

9.2 建议

(1) 加强地块管理

地块相关责任单位应在地块内做好标识并设置标识牌，加强看管，防止无关人员进入，地块内禁止从事与土壤修复无关的活动，不得随意扰动地块内土壤。

(2) 加强地块开发施工过程中的环境管理与人员防护

在进行施工前，要进行具有针对性的安全环保培训，特别是防治化学品和污染土壤毒害的培训，确保施工安全进行。施工之前要制定包括运输在内的安全环保方案，为施工提供指导并要求施工人员遵照执行。

（3）注意修复过程中的质量控制

在地块开挖取土过程中，需要观察是否有在调查阶段没有发现的污染，例如地下埋藏物和明显特殊气味的地方，一经发现需要相关人员及时处理，并调整修复范围。