编制单位: 大连理工加华环境科技有限公司

委托单位: 大连市血液中心

编制时间: \_\_\_\_\_\_2022年4月\_\_\_\_\_\_

# 目 录

1	总说	仑		1
	1.1	任务	5由来	1
	1.2	编制	川目的	2
	1.3	编制	依据	2
		1.3.1	相关法律法规	2
		1.3.2	相关标准规范	3
		1.3.3	其他相关资料	4
	1.4	编制	原则	4
		1.4.1	科学性原则	4
		1.4.2	经济性原则	5
		1.4.3	时效性原则	5
		1.4.4	可行性原则	5
		1.4.5	安全性原则	5
	1.5	编制	内容	5
	1.6	编制	范围	6
		1.6.1	工作区域	6
		1.6.2	工作内容	7
	1.7	技术	、路线	7
2	地均	央问题识	₹別	9
	2.1	所在	E区域概况	9
		2.1.1	地块位置	9
		2.1.2	地形地貌	9
		2.1.3	气象气候	10
		2.1.4	水文地质条件	11
	2.2	地块	是基本信息	13
		2.2.1	使用历史	13
		2.2.2	地块现状	14
		2.2.3	地块未来规划	14
	2.3	地块	२环境特征	15
	2.4	地块	· 污染特征	15
		2.4.1	本项目地块土壤污染情况	15
		2.4.2	本项目地块周边地下水污染情况	15
		2.4.3	废渣污染现状	16
	2.5	本项	5目地块污染风险	17
		2.5.1	土壤污染风险	17
		2.5.2	Pb 健康风险评估结果	17
		2.5.3	土壤修复目标值	18
		2.5.4	地下水污染风险	18
		2.5.5	原位风险管控	19
3	选择	¥修复模	三式	20
	3.1	地块	- 修复总体思路	20

	3.2	确认	.地块条件	21
		3.2.1	核实地块相关资料	21
		3.2.2	地块土壤理化性质	21
		3.2.3	现场考察地块状况	21
		3.2.4	补充相关技术资料	22
	3.3	更新	f地块概念模型	22
	3.4	地块	1修复目标	24
		3.4.1	土壤修复目标值	24
		3.4.2	基坑废水修复目标值	24
		3.4.3	土壤修复工程量	24
		3.4.4	基坑废水修复工程量	25
4	修复	夏技术筛	选	26
	4.1	土壤	[修复技术简述	26
		4.1.1	土壤清洗技术	26
		4.1.2	稳定化技术	26
		4.1.3	阻隔技术	27
		4.1.4	常温解吸技术	28
		4.1.5	化学氧化技术	28
		4.1.6	热脱附技术	29
		4.1.7	水泥窑协同处置技术	30
		4.1.8	生物堆技术	30
		4.1.9	土壤植物修复技术	31
	4.2	修复	[技术比选	31
5	修复	夏方案设	tt	32
	5.1	设计	-思路	32
	5.2	方案	5介绍	32
		5.2.1	技术线路	32
		5.2.2	边界支护及降排水方案	32
		5.2.3	污水处理方案	33
		5.2.4	污染土清挖方案	
		5.2.5	污染土运输方案	34
		5.2.6	污染土处置方案	35
		5.2.7	修复工程量估算	41
		5.2.8	修复后各组分的最终去向	41
6	环境	管理计	-划	43
	6.1	修复	工程监理	43
	6.2	环境	管理技术要求	43
		6.2.1	施工现场管理	43
		6.2.2	污染土壤运输管理	44
		6.2.3	药剂安全管理	
		6.2.4	施工现场监控措施	
		6.2.5	资料管理	
		6.2.6	施工单位监测方案	
	63	— y/k	污染防范	46

	6.3.1	大气二次污染防治措施	. 46
	6.3.2	污水二次污染防治措施	. 47
	6.3.3	地下水二次污染防治措施	. 48
	6.3.4	噪声二次污染防治措施	. 49
	6.3.5	土壤二次污染防护措施	. 50
	6.3.6	固体废物二次污染防护措施	. 51
6.4	环境出	<b>运测计划</b>	. 51
6.5	效果设	平估监测	. 52
	6.5.1	主要工作内容	. 52
	6.5.2	文件整理与现场踏勘	. 53
	6.5.3	验收指标及标准	. 53
	6.5.4	修复效果评估及报告编制	. 54
成本	效益分析		
7.1			
7.2			
7.3			
7.4			
7.5			
	成本 7.1 7.2 7.3 7.4 7.5	6.3.2 6.3.3 6.3.4 6.3.5 6.3.6 6.3.6 6.4 环境出 6.5.1 6.5.2 6.5.3 6.5.4 成本效益分析 7.1 修复萝 7.2 环境效 7.3 经济交 7.4 社会交 7.5 生态交	6.3.2 污水二次污染防治措施 6.3.3 地下水二次污染防治措施 6.3.4 噪声二次污染防治措施 6.3.5 土壤二次污染防护措施 6.3.6 固体废物二次污染防护措施 6.4 环境监测计划 6.5 效果评估监测 6.5.1 主要工作内容 6.5.2 文件整理与现场踏勘 6.5.3 验收指标及标准 6.5.4 修复效果评估及报告编制 成本效益分析 7.1 修复费用估算 7.2 环境效益 7.3 经济效益 7.4 社会效益

# 1 总论

# 1.1 任务由来

本项目为新建大连市血液中心项目污染地块修复治理,选址位于原大连化工集团有限责任公司厂区内部,占地面积为8203.8m²,治理完成后,该地块将建设为大连市血液中心。大连市血液中心业务快速增长,现有条件已难以满足业务增长的需求,急需新建以确保各项血液工作的顺利实施,提高血站服务能力,本项目的建设是落实国家相关政策、规划要求,提高血站服务能力,保障血液供应的必要措施。

大连化工集团有限责任公司(简称"大化集团")位于大连市甘井子区,始建于 1933 年,地块搬迁总面积为 335 万 m²。大化集团是一家大型集团化企业,由 8 个全资子公司、3 个控股公司及 17 个参股公司组成,主要下属企业包括大连化工集团有限责任公司合成氨厂、大化集团大连化工股份有限公司、大连化工集团有限责任公司硝铵厂、大化集团大连博尔化工有限公司和大连油漆厂等。2008 年,大化集团与政府相关部门签订补偿协议后实施了搬迁工作,后续规划为梭鱼湾商务区。

2017年10月轻工业环境保护研究所(地块调查单位)接受大连市城市建设投资集团有限公司委托,对原大化集团所处地块部分区域(实际调查面积251.47万m²)进行较为全面的地块调查工作,分初步和详细两个调查阶段,共布设976个土壤采样点位,地下水监测点90个,土工采样点24个,固废浸出样品采样点29个,海洋沉积物采样点8个。2018年6月编制完成《大化集团搬迁及周边改造项目污染地块调查及风险评估报告》,并通过专家评审后备案。地块调查和风险评估结果表明,地块土壤和地下水中存在一定程度的重金属和有机物污染,需开展进一步的修复治理工作。

2018年11月,中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司接受大连市土地储备中心委托,编制完成《大化集团搬迁及周边改造项目污染地块修复治理项目技术方案》,并通过专家评审后备案。修复治理技术方案给出的结论和建议包括:确定大化地块污染土壤修复采用"常温解吸+土壤清洗+稳定化+化学氧化+原位阻隔"的多技术联合的处置方式;基坑开挖以下污染土壤采用原位阻隔的方式;碱渣及其混合物和粉煤灰等废渣采用异位填埋方式;建议不对本地块地下水开展修复治理,需进行相应的制度控制措施,严格限制地下水用途,另外需对地块地下水开展长期监测,以判断地块地下水水质变化情况,如发现异常,及时采取有针对的措施,同时在土壤修复过程中,对基坑废水需开展相应的治理工作,达标后排放;地块的修复实施方案应与地块后期的建设方案和施工计划紧密结合,如有变化,应及时调整。

由于原《大化集团搬迁及周边改造项目污染地块调查及风险评估报告》基于全场区一类用地规划下进行,且砷的修复目标值定为 80mg/kg,均高于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)的第一类用地 20mg/kg 筛选值和第二类用地 60mg/kg 筛选值。

2021 年 7 月,大连市自然资源局委托中国科学院沈阳应用生态研究所对大化搬迁地块中的西南部地块进行风险评估,编制完成《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》,并通过专家评审后备案。本项目新建大连市血液中心项目地块位于西南部地块中的 A 地块范围之内,如下图所示。

为指导污染土壤的修复工作,消除污染隐患,确保人体健康,进一步推动地块的再开发利用进程,大连市血液中心委托大连理工加华环境科技有限公司编制《新建大连市血液中心项目污染地块修复治理技术方案》,即依据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》、《大化集团搬迁及周边改造项目污染地块修复治理项目技术方案》等文件中确定的修复目标值、修复范围、修复方量及修复方法,编制本项目范围内的污染土壤修复技术方案,以指导该区域后续修复工程实施工作的开展。

# 1.2 编制目的

为避免用地范围内残留的污染物可能对未来地块内及周边活动人员身体健康造成影响,针对污染物进行后续的治理工作,展开本次修复技术方案编制工作。主要目的为:

- (1)提出切实可行的地块修复技术方案,确定不同类型污染土壤的修复技术,为地块治理修复提供依据;
- (2) 使该地块暴露人群的健康风险在可接受的水平,满足后期规划用地要求,恢复地块使用功能;
  - (3) 使污染土壤得到有效治理或处置, 防止污染扩散;
- (4)结合目前资料汇总和现场调查的结果,根据未来地块开发用途,给出合理的修复建议。

# 1.3 编制依据

# 1.3.1 相关法律法规

(1)《中华人民共和国环境保护法》(2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订,2015年1月1日起施行);

- (2)《中华人民共和国水污染防治法》(十二届全国人大常委会第二十八次会议修订,2018年1月1日起施行);
- (3)《中华人民共和国土壤污染防治法》(2018 年 8 月 31 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第五次会议通过,2019 年 1 月 1 日起施行);
- (4)《中华人民共和国土地管理法》(2019 年 8 月 26 日修正,自 2020 年 1 月 1 日起施行):
  - (5)《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020年4月29日修订);
  - (6)《中华人民共和国环境噪声污染防治法》(2018年12月29日修订);
  - (7)《中华人民共和国大气污染防治法》(2018年10月26日修订并实施);
  - (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) 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;
- (10)《污染地块土壤环境管理办法(试行)》(环境保护部令第 42 号, 2017 年 7 月 1 日 起施行):
- (11)《工矿用地土壤环境管理办法(试行)》(生态环境部令第3号,2018年8月1日起施行);
  - (12)《辽宁省建设用地土壤污染风险管控和修复管理办法(试行)》(辽环发[2019]21号)
- (13)关于印发《大连市建设用地土壤污染风险管控和修复管理实施细则》(大环发[2020]45号)。

## 1.3.2 相关标准规范

- (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管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019);
- (3)《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019);
- (4)《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,2014年11月30日):
  - (5)《建设用地土壤修复技术导则》(HJ25.4-2019);
  - (6)《建设用地土壤环境调查评估技术指南》(环境保护部公告 2017 年第 72 号);
  - (7)《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020);
  - (8)《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)》(HJ25.5-2018);

- (9)《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》(GB5085.3-2007);
- (10)《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004);
- (11)《地下水环境监测技术规范》(HJ164-2020);
- (12)《环境影响评价技术导则地下水环境》(HJ610-2016);
- (13)《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ682-2019);
- (14)《地下水质量标准》(GBT14848-2017):
- (15)《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ662-2013):
- (16)《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011):
- (17)《辽宁省地方标准污水综合排放标准》(DB21/1627-2008);
- (18)《污水综合排放标准》(GB8978-1996);
- (19)《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996);
- (20)《2020年国家先进污染防治技术目录(固体废物和土壤污染防治领域)》;
- (21) 《污染地块修复技术目录(第一批)》(环境部 2014年75号);
- (22) 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018):
- (23) 《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019):
- (24)《国家危险废物名录(2021年版)》(部令第15号,自2021年1月1日起施行)。

#### 1.3.3 其他相关资料

- (1)《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》及其附件(2021.12):
- (2)《大化集团搬迁及周边改造项目污染地块修复治理项目技术方案》及其附件(2019.07);
- (3) 设计单位提供的地块红线、现状标高、设计标高等;
- (4) 委托单位与大连理工加华环境科技有限公司签订的技术合同;
- (5) 业主提供的其他相关资料。

## 1.4 编制原则

#### 1.4.1 科学性原则

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

# 1.4.2 经济性原则

在满足安全、可行、省时的原则下,所制定土壤修复成本应尽可能合理。因此,应尽可能 选择修复成本相对较低的技术,同时,尽可能原地修复,尽量避免污染土壤的长距离运输、存 储和二次处置成本。但是,成本估算过程中,也应充分考虑地块水文地质、污染物分布的不均 一性以及污染调查阶段遗留的不确定性等因素,充分估算相应方案的实施成本。

# 1.4.3 时效性原则

为确保土地后续使用不受影响,其能够接受的修复时间往往较短。因此,在满足安全、技术可行原则的前提下,所制定的方案应确保污染土壤在较短的时间内得到有效的修复并通过环保局的验收,使得地块的再开发工作尽早得以开展。因此,选择高效的修复技术,有机协调修复工序与开发建设工序,最大限度的缩短修复时间。

# 1.4.4 可行性原则

所选择的修复技术应该成熟可靠,应在类似污染地块修复中得到成功应用,以保证对策实施后应能够使得污染物浓度达到修复目标值的要求,符合国内环境质量各类标准,达到环境保护局的验收要求。

# 1.4.5 安全性原则

土壤修复方案必须保证其实施过程中现场技术人员、施工人员等的身体健康及人身安全不受影响。对策实施过程中应尽量减少对地块的扰动,避免地块土壤和地下水中污染物迁移、扩散,避免地下水与土壤转移、贮存、处置过程中二次污染的发生。土壤修复方案编制过程中应对可能产生的远期环境隐患进行安全预测和提供防治措施。

# 1.5 编制内容

本方案结合地块污染土壤的实际情况以及地块调查和风险评估结果,以"消除污染、确保 安全与健康"为出发点,遵循"安全性、规范性、先进性、彻底性"的总体原则,根据地块的实际 情况因地制宜选择最优的技术路线,使修复目标可达,修复工程切实可行。

本方案主要包括以下几点内容:

- (1)确定地块修复模式:根据地块污染情况和潜在环境风险,提出修复思路,确定地块修复范围和修复目标。
  - (2) 修复技术筛选:根据地块修复范围和修复目标,对修复的可行性进行评估,筛选出

最优的地块修复技术。

- (3) 修复方案设计和比选:提出备选方案的技术路线和主要工艺参数,并比较提出优选方案。
- (4) 环境管理计划:主要包括了修复过程中的人员防护措施、二次污染防范、验收监测方案以及应急预案等管理措施,确保工程安全顺利竣工。

# 1.6 编制范围

# 1.6.1 工作区域

本次技术方案涉及地块工作区域如图 1-2 所示,本次修复范围面积为 8203.8m<sup>2</sup>。

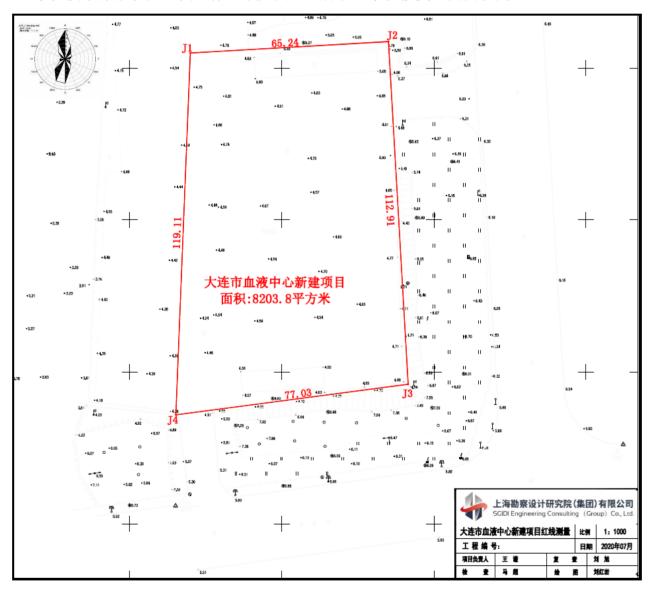


图 1-1 本项目工作区域示意图

# 1.6.2 工作内容

依据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》(2021.12)中确定的污染范围和污染程度,通过叠图确定本项目的污染范围和污染土方量。

参考《大化集团搬迁及周边改造项目污染地块修复治理项目技术方案》(2019.07),按照本项目具体设计方案,开展修复策略选择、修复方案比选等工作,确定最佳修复技术方案。

# 1.7 技术路线

本项目技术路线如下图所示。

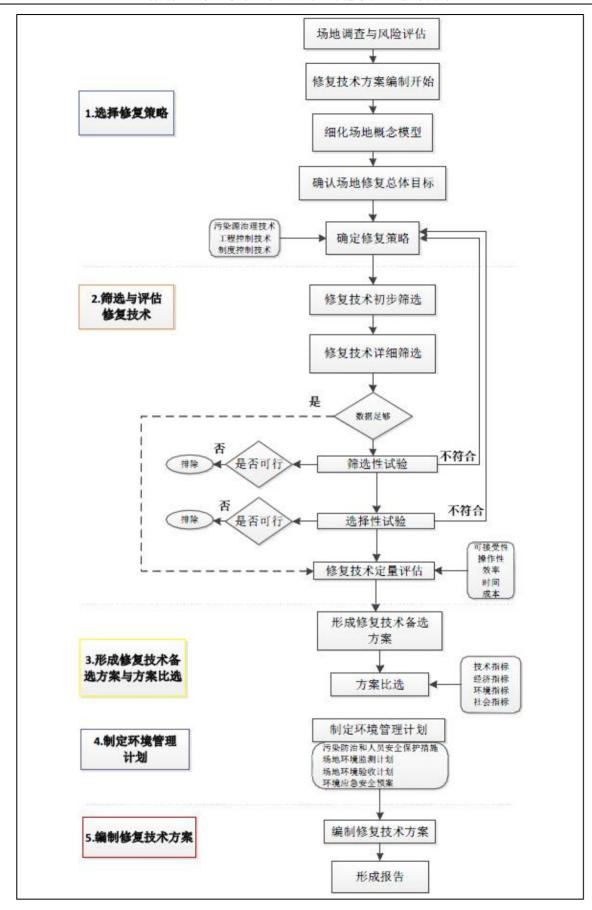


图 1-2 本项目技术路线图

# 2 地块问题识别

# 2.1 所在区域概况

# 2.1.1 地块位置

项目地块位于原大连化工集团有限公司厂区西北侧、东北快速路东侧,地块地理位置见下图。



图 2-1 地块地理位置图 (1:75000)

## 2.1.2 地形地貌

大连市区位于辽东半岛南端,滨临黄海、毗连陆地。大连为千山脉南延的丘陵区,由于长期受地质构造、风化剥蚀及水流侵蚀堆积等内外营力的作用形成了不同地貌单元,地形复杂多变。区内主要有丘陵、山前准平原、山间谷地、河谷及海岸等地貌单元。丘陵分布于市区的南部及北部地区,主要受构造剥蚀作用形成。山前准平原分布于市区中部开阔地带,系城建重点分布区,主要受剥蚀堆积及侵蚀堆积作用形成。山间谷地分布于市区的西部周水子机场一带,南北界于丘陵山地之间,受山前断裂控制,由侵蚀及堆积作用形成河谷,区内有马栏河及凌水河,分布于市区的西部及西南部,由侵蚀堆积作用形成。海岸(本项目地块属于此类),大连海岸属侵蚀港湾基岩岸,建有良好的深水不冻港和码头。由于建港等需要,后期人工填海分布范围较大。

大化集团原厂区位于大连湾北侧海岸线,所在区域属于海积阶地和人工海岸带地貌,地块南侧靠海区域的填海材料主要是白色碱渣、硫铁矿渣、热电厂灰烬及建筑垃圾等。

本项目地块地貌类型为构造剥蚀丘陵,拟建建筑地块经过人工整平而成,地势平坦,地面标高最大值 5.05m,最小值 4.40m,相对高差 0.65m。

# 2.1.3 气象气候

本项目地块所在区域处于北半球中纬度地带,一年中承受太阳辐射变化较大。大气环流以西风带和副热带为主。夏季偏南风,冬季偏北风,并受黄海、渤海影响,属于暖湿带湿润半湿润大陆性季风气候,并且具有明显的海洋性气候特征。气候特点:四季分明,气候温和,夏无酷暑,冬无严寒,降水集中,季风明显。大连市地处北半球中纬度地带(北纬38°左右),属于温带大陆性季风气候。由于三面环海,因此又具有明显的海洋性气候特点。

#### 2.1.3.1 气象概况

项目采用的是大连气象站(54662)资料,气象站位于辽宁省大连市,地理坐标为东经 121.64 度, 北纬 38.91 度,海拔高度 91.5 米。气象站始建于 1951 年,1951 年正式进行气象观测。以下资料根据 1999-2018 年气象数据统计分析。

统计项目		*统计值	极值出现时间	**极值
多年平均气温(℃)		11.6		
累年极端最高气温(℃)		33.6	2015-07-14	36.6
累生	<b>平极端最低气温(℃)</b>	-13.9	2016-01-23	-18.8
多	5年平均气压(hPa)	1005.6		
多年平均水汽压(hPa)		11.2		
多年平均相对湿度(%)		63.8		
	另年平均降雨量(mm)	581.3	2011-06-26	156.7
	多年平均沙暴日数(d)	0.0		
灾害天气统	多年平均雷暴日数(d)	13.8		
计	多年平均冰雹日数(d)	0.3		
	多年平均大风日数(d)	13.0		
多年实测极大风速(m/s)、相应风向		23.3	2013-03-09	30.4NNE
	5年平均风速(m/s)	3.3		
多年主导风向、风向频率(%)		N14.8%		

表 2-1 大连气象站常规气象项目统计(1999-2018)

## 2.1.4 水文地质条件

## (1)地层岩性

根据初勘可知,拟建地块在 28.60m 深度范围内的地基土属第四纪全新世( $Q_4$ )杂填土、上更新世( $Q_3$ )碎石、震旦系甘井子组( $Z_g$ )石灰岩。按其沉积年代、成因类型及其物理力学性质的差异,根据工程建设规范《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009 年版)相关条文可划分为 6 个主要层次,根据钻孔资料,地块地层由上至下依次为: 素填土、杂填土、碎石、全风化石灰岩、强风化石灰岩、中风化石灰岩。

拟建地块地层分布主要有以下特点:

①-1 素填土  $(Q_4^{ml})$ : 黄褐色, 松散, 局部稍密, 主要由碎石组成, 母岩成分为页岩、石英岩等, 一般粒径 20-100mm, 含量约 70-90%, 充填物为砂土和粘性土, 回填时间 5-10 年。

层厚 1.00~7.80 米, 层底深度 1.00~7.80 米, 层底标高 4.40~5.05 米, 该层在地块分布连续。

①-2 杂填土  $(Q_4^{ml})$ : 灰色,松散,手捻具砂感,主要为附近工厂排放的粉煤灰,局部含少量杂质。

层厚 2.50~7.70 米, 层底深度 8.70~12.60 米, 层底标高-3.15~3.40 米, 该层在地块分布连续。

②碎石(Q<sub>3</sub><sup>al+pl</sup>): 黄褐色,稍湿,中密,碎石以石英岩为主,含量 50~60%,粒径一般为 20~50mm,由粘性土胶结,地块仅在 ZK01, ZK07 号钻孔见有揭露。

层厚 1.30~1.90m, 层底高程-4.30~-4.05m, 层底埋深 10.0~10.70m。

③-1 全风化石灰岩(Zg): 黄褐色,节理裂隙极发育,结构构造不清晰,岩芯呈土状,地块在 ZK01, ZK08, ZK09 号钻孔见有揭露.

层厚 0.90~7.30m, 层底高程 16.24~22.57m, 层底埋深 7.50~13.20m。

③-2 强风化石灰岩(Zg): 灰褐色, 化学结构, 层状构造, 节理裂隙很发育, 岩芯多呈碎块状, 岩体破碎, 属软岩, 岩体基本质量等级 V 级, 地块大部分钻孔均有揭露。

层厚 0.80~11.60m,层底高程-12.55~-5.55m,层底埋深 11.00~22.90m。

- ③-3 中风化石灰岩 (Zg)): 灰褐色, 化学结构, 层状构造, 节理裂隙发育, 岩芯多呈块状、短柱状、长柱状, 岩体较完整, 属较软岩-较硬岩, 岩体基本质量等级IV级, 地块大部分有揭露, 层顶高程-17.85~-5.20m, 最大揭露厚度 5.40m。
  - ④溶洞:全填充状态,充填物主要为粘性土,粘土呈红褐色,湿,软塑,洞高 5.10 米。

#### (2)地下水

#### ①地下水类型及赋存条件

大化原厂区地下水包括第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类隐伏岩溶水两种类型。其中第四系松散岩类孔隙水地下水位埋藏较浅,地下水埋深在1.55m~4.65mm,平均埋深3m,主要含水层为杂填土和强风化白云质灰岩。根据前期在项目区钻孔揭示的土层,本项目赋存于杂填土下部的地下水类型为潜水,属第四系松散土层中的孔隙水,水量差异较大。赋存于强风化白云岩灰质岩中的地下水微具有承压性,为基岩裂隙水,本地块基岩节理裂隙发育,透水性强。

根据现场钻探揭示的土层和连续的水位观测情况,紧邻海岸带的监测井水位波动稍大,其余区域地下水位短期内受潮汐的影响不大。地块中含水层杂填土成分复杂,主要成分为碎石、建筑垃圾、疑似碱渣、粉煤灰等,其中杂填土的透水性强,疑似碱渣的透水性弱,粉煤灰的透水性弱。地块在回填时碱渣及粉煤灰的分布不均,厚度不一,导致地块各地区的渗透性差异较大。地下水位的变化受季节影响较大。

#### ②地下水的补给与排泄

本项目区内地下水补给来源较复杂,大化原厂区地下水主要接受大气降水、地块西南侧的 周水子河和海水侧向入渗补给。经过短距离的地下径流,最终流向大连海港。本区地下水排泄 方式主要为向海排泄以及人工抽取地下水,地下潜水埋藏较浅地段,有蒸发排泄。

本项目在初勘期间所有钻孔在勘察范围内见有地下水,但地下水往往呈带状、沿构造裂隙 分布,同时根据相邻地块建筑经验,中风化岩石渗透系数较小,岩石裂隙水存有滞后性。

本项目所在区域水文地质情况如下图所示。

#### (3)潮汐及水位

#### ①潮位基准面

本项目所在梭鱼湾潮位基准面采用大连筑港零点为起算面,大连筑港零点与其它基准面的 关系如下图。

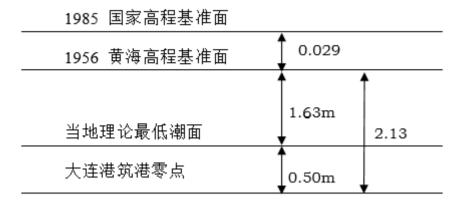


图 2-2 基准面换算关系

# ②潮位特征值

本区域的潮汐属正规的半日潮,大连港大港区多年验潮资料统计分析可得到潮位特征值如下:

多年最高潮位: 5.0m (1939年8月31日);

多年最低潮位: -0.66m (1970年12月13日);

多年最高潮位平均值: 4.35m;

多年最低潮位平均值: -0.26m;

多年平均潮差: 2.08m;

多年最大潮差: 3.93m;

多年最小潮差: 0.89m:

平均海平面: 2.15m:

涨潮历时: 6h04min:

落潮历时: 6h46min。

通过换算可知本项目所在梭鱼湾南岸区域,多年最高潮位 1985 国家高程为 2.841m (5.0m-0.029m-2.13m)。

# 2.2 地块基本信息

# 2.2.1 使用历史

大连化工集团有限责任公司早在 1933 年即建厂,解放前已有联碱生产工艺。上世纪 80 年代以前,主要产品包括联碱纯碱、硝酸钠、亚硝钠、浓硫酸、浓硝酸和硝酸铵。西部海域原是纯碱生产碱渣的排放地,从建厂到排渣工程建成投入使用,已经排放近 60 年,碱渣分布相当广泛。

2000年~2006年,位于油漆厂内部,企业正常生产。

2006年底,各车间开始拆除;至 2009年底拆除基本完成。

2009年~2012年,区域内建成临时施工营地,2017年底拆除。

2019年底开始建设成为市政公交停车场。

本项目位于原大化油漆厂内部,结合 2000 年以来的 Google Earth 卫星图,将地块在近二十年时间内发生的主要变化罗列如下表。地块土地利用变化情况见下图所示。

序 本项目修复范围内地块 时间范围 大化地块整体变化 号 具体变化 位于油漆厂内部,各建筑保持 原厂区布局相对完整, 基本没有变 1 2000年3月-2006年9月 完整。 化 建构筑物开始拆除,至 2009年 2 2006年9月-2009年4月 厂区拆除工作启动 底基本完成 拆除工作结束, 部分区域开发, 小 建成临时施工营地 3 2009年4月-2012年3月 区建筑完成 原厂区平整工作完成,新增部分区 4 2012年3月-2017年8月 临时施工营地开始拆除 域开发, 小区建筑完成 区域内居住小区开发建设 空地 5 2017年8月-2019年12月 部分区域开发工作完成, 钻石湾小 6 2019年12月-至今 学建成。场内大部分道路建成并投 市政公交车停车场 入使用

表 2-2 地块随时间变化情况表

# 2.2.2 地块现状

红线范围内为公交集团停车场, 南侧和北侧分别有一间办公室。

## 2.2.3 地块未来规划

根据《大连市甘井子区椒金山片区4单元规划方案》,本项目范围内用地性质主要为"道路与交通设施用地",见下图。

本项目污染土治理完成后,将建成大连市血液中心新建项目,属于医疗卫生用地,目前项目建议书已编制完成并取得批复(大发改审批字[2021]67号),其他相关调规程序正在进行。

# 2.3 地块环境特征

本次修复地块周边分布以居民住宅、行政服务中心和空地为主,本项目周边 500m 范围内 敏感目标情况如下表和下图所示。

序号	敏感点名称	相对地块方位	最近距离 (m)	常住人口	用地类型
1	甘井子区恒远小学和 大连市第八十中学	东侧	330	>2000	学校用地
2	钻石湾小区	东南侧	120	>3500	居住用地
3	大连市市民综合服务 中心	南侧	215	>1000	服务用地

表 2-3 本项目地块周边敏感目标一览表

# 2.4地块污染特征

# 2.4.1 本项目地块土壤污染情况

本项目位于大化西南部地块中的 A 地块范围内,根据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》通过叠图可知,2017年修复范围内土壤监测点位数量为 4 个、土壤样品数量为 18 个。

本项目场地范围内超标污染物包括 3 类,合计 12 种污染物:无机指标 1 项,氨氮;重金属 3 项,铬、铅、砷;SVOCs8 项,菲、苯并(a)蒽、7,12-二甲基苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并[a]芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、苯并(g,h,i)芘。

从污染范围来看,重金属砷的超标率和超标倍数均最高,超标率达到了 83.33%、最大超标倍数为 58.5 倍;其次为铬和铅,超标率均为 20.83%。

从污染程度来看,7,12-二甲基苯并(a)蒽超标倍数最大,为890.30倍,但仅有一个点位超标;其次为苯并[a]芘,最大超标倍数为57.64倍。

# 2.4.2 本项目地块周边地下水污染情况

#### (1) 2017 年调查结果

根据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》,本项目地块范围内无地下水监测井,周边地下水上游、下游及侧方位距离较近的地下水监测井合计 4 口,分别为 MW02、MW04、MW52 和 MW53。地块地下水中共 3 种物质存在不同程度的超标,分别为 pH、氨氮和重金属砷。

#### (2) 2022 年补充调查

本次修复方案,为了解周边地下水的污染情况,补充调查了周边3个现有地下水监测井,详细情况如下表所示。根据监测结果可知,本项目周边地下水关注污染物中仅有氨氮超标。

#### (3) 变化情况

根据 2017 年和 2022 年区域地下水监测结果可知,特征污染因子的变化情况如下:

pH: 2017 年~2022 年, 区域 pH 值下降明显, 2022 年监测结果为 6.9~7.3, 均达标:

氨氮: 2017年~2022年,区域氨氮基本无变化,均远超地下水类Ⅳ标准;

砷: 2017 年~2022 年,区域地下水中的重金属砷浓度下降明显,2022 年仅一个点位有检出,结果为0.003mg/L,满足地下水类IV标准0.05mg/L 要求。

因此,在原大钢和大化搬迁后,本项目所在区域的地下水水质情况在逐步好转,除氨氮指标外,pH 值和砷的指标均满足地下水类IV标准限值要求。

大化地块地下水水位由北向南水位逐渐降低,由西向东逐渐降低。地下水汇聚于地块中部 区域。整个地块地下水最终流向海洋。大流量的淡水地下水由远处,经由基岩节理裂隙发育良好的石灰岩层汇入地块。地块西侧的河沟水在受到海水水位影响的情况下,间接影响了地块西侧的局部地下水动态,地块东侧填土层较少,基岩层较高,少量地下水补充。地块南侧小部分区域由海水占据主导影响地位。

本项目地块位于海水影响锋面之外、河水影响锋面之内,主要通过降水补给和河水补给。 地块地下水中共两大类污染物存在超标的情况,分别为无机指标(pH、氨氮)和重金属(砷)。

# 2.4.3 废渣污染现状

#### (1)分布现状

大化地块内诸多地块为历史废渣填海活动形成,如原坤达铸铁公司及周边区域、地块西南填海区域、东南部填海区域等。填海废渣成分主要为硫铁矿渣、碱渣、粉煤灰等。疑似废渣在雨水或地下水的淋溶作用下,可能含有的重金属等污染物可能从中浸出进入地下水,进而污染环境和危害人体健康。

根据《大连市血液中心新建项目岩土工程勘察报告》可知,本项目红线范围内 9 个钻探点位均发现了废渣,以灰褐色的粉煤灰为主,初见深度为现状地面下 1.0m~7.8m(平均初见深度5.7m);厚度为 2.5m~7.7m,平均厚度 4.5m;初见高程为-3.15m~3.4m,初见高程平均值为-1.0m。

本项目仅在 ZK07 点位废渣的初见深度为 1.0m、初见标高为 3.4m, 其余部分(含地下室建筑主体部分)废渣的初见深度>5m、初见高程>-0.75m, 另根据主体设计底板下标高 0.95m (最大清挖高程), 因此本项目清挖过程不会产生废渣。

#### (2)废渣性质判断

为了初步判断地块废渣的性质,调查报告选取了典型样品进行浸出毒性测试,对废渣样品中的重金属(10种,Cr、Ni、Cd、Pb、Zn、Cu、Se、Hg、As、Sb)和pH值进行了检测。检测结果表明地块内填埋的废渣初步判断为不具有浸出毒性的固体废物。

# 2.5本项目地块污染风险

本项目地块污染风险评价内容主要引用《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》相关结论。

## 2.5.1 土壤污染风险

#### 2.5.1.1 暴露情景假设

根据未来规划可知,本项目属于医疗用地(一类用地),因此按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)规定,应用一类用地情景进行风险评估。受体包括儿童和成人。本项目未来规划为血液中心,需要建设一层地下停车场或地下室,符合情景一"表层 0-2.5m 土壤直接利用或清挖"和情景三"0~2.5m 土壤清挖后,2.5m 以下阻隔管控后施工"。暴露情景如下表所示。

#### 2.5.1.2 风险表征结果

#### (1)情景一

表层 (0~2.5m) 土壤直接利用或清挖时,土壤中 10 种污染物产生人体健康风险,其中砷、苯并(a) 蒽、苯并(a) 芘、苯并(b) 荧蒽、二苯并(a,h) 蒽和茚并(1,2,3-cd) 芘共 6 种污染物会产生致癌风险,砷、苯并(a) 芘 2 种污染物会产生非致癌风险。致癌风险最高的是砷,其次是苯并(a) 芘。

#### (2)情景三

0~2.5m 基坑清挖后,经过水平阻隔,没有污染物会对人体健康产生风险。

考虑开发过程中对周边环境和人群的健康影响及存在一定的安全风险,后续在开发利用时,需要采取一定的治理措施,保护人体健康。

#### 2.5.2 Pb 健康风险评估结果

《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》表明,重金属 Pb 的暴露途径与模型不同于一般污染物,其风险评估采用单独的评价方式—血铅(blood lead)浓度评价方式。

由于一类用地为敏感区,根据IEUBK模型计算结果表明,地块土壤Pb含量≤331mg/kg时,

可满足经 5 种暴露途径导致的儿童体内血铅水平>10μg/dL(0.1mg/L)的概率<5%的要求。因此,当地块用作住宅及公共用地(普通住宅、公寓、别墅等;幼儿园、学校;医院;养老院;游乐场、公园等)时,采纳血铅评价值 331mg/kg 为该地块修复行动和目标值,即:当土壤 Pb 含量>331mg/kg 时必须进行修复治理,使土壤 Pb 含量<331mg/kg。反之,如果土壤 Pb 含量<331mg/kg,则说明 Pb 对儿童无健康风险,不必进行土壤修复。

本项目地块最大铅浓度高于该修复行动值(331mg/kg),健康风险水平超过了可接受范围, 且结合建设用地筛选值为 400mg/kg,则需根据地块实际情况分析确定修复目标值,采取必要的风险管理手段。

# 2.5.3 土壤修复目标值

一类用地地块调查区内第层至第 5 层土壤中超过可接受风险水平的污染物 7 种,包括重金属 1 种(砷)、SVOCs 6 种(苯并(a)蒽、7,12-二甲基苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽)。

根据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》一类用地地块情景一建议修复目标值如下表所示。

编号	污染物*	筛选值	风险控制值	修复目标值
1	铅	400	331	400
2	砷	40	0.457	40
3	苯并(a)蒽	5.5	5.48	5.5
4	苯并(b)荧蒽	5.5	5.48	5.5
5	苯并(a)芘	0.55	0.548	0.55
6	茚并(1,2,3-cd)芘	5.5	5.49	5.5
7	二苯并(a,h)蒽	0.55	0.549	0.55
8	7,12-二甲基苯并(a)蒽	0.00046	0.00221	0.00221

表 2-4 一类用地地块建议修复目标值(单位: mg/kg)

注: 仅给出本项目所在 A 地块涉及关注污染物。

## 2.5.4 地下水污染风险

根据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》,地下水关注污染物分别为复氮、重金属砷、锑和1,2,4-三甲苯。

由表可知,进行风险评估的地下水污染物中,在没有经口摄入途径下,均不存在致癌风险和非致癌危害,对人体的健康的风险可忽略。地下水中砷虽然在不饮用地下水的情况下,不存在致癌风险和非致癌危害,但地下水中砷为地块的特征污染物,在地下水中检出率达 100%,

其污染主要由于地块内回填的硫铁矿渣引起,建议对地下水中的地块典型污染物砷开展修复治理工作,采用相关筛选标准作为地下水修复的目标值,同时采取相关的风险管控措施。

## 2.5.5 原位风险管控

对于深层未开挖的污染土壤,采取阻隔管控的方式,可通过采用物理阻隔或化学阻隔的方式,阻隔层的渗透系数建议≤10<sup>-7</sup>cm/s,防止残留土壤污染物的进一步扩散,阻断污染物与人体的暴露途径。由于该场地砷污染严重,应重点进行考虑。

- ①除表层硬覆盖以外,表层 30 c 裸露土或绿化土砷浓度须≤20 mg/kg;
- ②场地内土壤砷浸出浓度须 $\leq$ 0.1 mg/L(按照地表水环境 IV 类执行); 若土壤砷浓度 $\leq$ 180 mg/kg, 浸出采用水平振荡法(HJ 557-2010), 否则浸出采用醋酸缓冲溶液法(HJ/T 300-2007);
- ③根据土壤砷浓度,采取差异化的管控措施。①对于砷含量 40~120 mg/kg 的区域采用黏土进行阻隔管控,粘土层不低于 20 cm;如果地下水砷浓度超过 III 类标准,水平粘土层应加入稳定化药剂,如果风险较大应考虑设置垂直阻隔墙;②砷含量在 120~180 mg/kg 的区域采用黏土+两布一膜或黏土+混凝土进行阻隔管控;③砷含量在 180~240 mg/kg 的区域采用两布一膜+水平防渗层进行阻隔管控,水平防渗层中稳定化材料的用量,应与管控土体中浸出砷总量对应,厚度不低于 20 cm。④土壤砷>240 mg/kg,根据试验结果,另行设计处置方案。
- ④对于该地块内一类用地(含二类用地参照一类标准的地块)与二类用地清挖深度保持一致,相邻处建议设立垂直阻隔层,并且在土壤清挖时,一类与二类用地清挖的土壤要分别堆放,不能混合。
- ⑤对于不开发建设的已建成绿化用地等区域, 若未来不进行施工建设, 则建议采取表层 30 cm 清净土等阻隔的利用方式, 或进行地表硬覆盖, 因为已建成绿地平面已高于地下水水位, 地下水不会对上层清洁土产生影响。除表层硬覆盖以外, 表层 30 cm 裸露土或绿化土砷浓度须 ≤20 mg/kg; 对仍会开发建设的绿化用地,则参照其他二类用地区域,进行 2.5 m 清挖后阻隔管控。

# 3 选择修复模式

# 3.1 地块修复总体思路

本项目地块的土质特征、污染特征、业主需求分析汇总如下:

- (1) 地块污染物为多环芳烃、重金属及其复合污染, 地块整体异味不严重;
- (2) 地下水无经口摄入途径, 不存在致癌风险和非致癌危害, 对人体健康的风险可忽略;
- (3) 地块土壤以原位土和回填土为主,污染时间较长;
- (4) 地块未来将作为新建大连市血液中心项目开发;
- (5) 地块周边敏感受体较多;
- (6) 土壤污染范围广, 地块内无法提供修复空间;
- (7) 本项目地块经过人工整平而成,地势平坦,地面标高最大值 5.05m,最小值 4.40m,相对高差 0.65m。高程系统为 1985 国家高程基准。

综合考虑上述因素,确定地块修复的总体方式如下:

- (1) 地块修复对象为污染土壤,采用异位异地修复;原位污染地块施工时序:地块平整(钢板房拆除)→污染区域标定→建筑主体桩基础施工→基坑清挖+三轴搅拌桩支护+基坑降排水→原位阻隔→粗颗粒土壤回填→基坑验收;异位修复地块施工时序:污染土到达→分类存放→预处理→分类处理→达标后粗颗粒转运回填→泥饼外运填埋→验收;
- (2)根据目前施工设计,主体建筑(含地下室部分)设计底板下标高为 0.95m,其他区域(道路、地上停车位、绿化带等)设计地面标高 6.6-6.9m,因此本项目仅主体建筑部分需要修复,深度 3.45-3.95m,其他区域依托现有 300mm 沥青混凝土路面作为阻隔层后回填治理达标的粗颗粒土壤,平均厚度 2m;
- (3)由于地块污染种类多,污染情况复杂,需分类存放治理情况较多,修复过程中会占用大量暂存区和待检区用地,在选择修复技术时,应尽可能考虑综合因素进行修复技术的选择;
- (4)土壤分类分层清挖,针对不同类别污染物采用具有针对性的修复技术,地块内未污染土壤和修复验收合格后土壤优先进行基坑回填,修复技术应优先采用可显著减少污染物数量、毒性和迁移性的工艺,对于仍存在安全风险的土壤应妥善处理,防止对环境造成二次污染;
- (5) 本地块修复合格后的粗颗粒土壤(粒径大于 75μm),可用于基坑回填。本地块处理 后泥饼外运至大连市一般工业固体废物填埋处置。
- (6)本项目污染土清挖过程中,经鉴别确定属于粉煤灰、碱渣等一般工业固体废物的部分,可直接运送至大连市一般工业固体废物填埋处置。

# 3.2 确认地块条件

# 3.2.1 核实地块相关资料

在编写修复技术方案前收集与本地块环境污染及地块修复相关的资料文件,主要包括:

- (1)土壤污染状况调查及风险评估报告:《大化集团搬迁及周边改造项目污染地块调查及风险评估报告》(2018.6)、《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》(2021.12);
  - (2)修复治理技术方案:《大化集团搬迁及周边改造项目污染地块修复治理项目实施方案》(2018 11):
- (3)委托单位提供的调查地块其他资料:本项目修复范围图、红线图、地形图、地形标高图、平面布置图。

## 3.2.2 地块土壤理化性质

(1) 粒径分布

本次修复方案,针对地块内素填土选取了4个代表性点位土样,进行了岩石土质试验报告(详见附件)。

根据上表可知,本项目素填土中的细颗粒(粒径<0.075mm)平均含量约为 3.48%,**本次 修复方案细颗粒泥饼的产生量保守估计为 10%**。

(2) 污染特性

根据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》,地块部分污染物特性如下所示。

# 3.2.3 现场考察地块状况

#### 3.2.3.1 场内情况

目前地块内为大连公交总站,地面全部为硬覆盖,地面较为平整,南侧和北侧各有一处钢板房,修复施工开始前需要拆除。

#### 3.2.3.2 地块周边敏感受体

经现场踏勘,本次修复地块周边分布以居民住宅、行政服务中心和空地为主,东侧为恒远 小学和第八十中学、东南侧为钻石湾小区、南侧为大连市市民综合服务中心。

#### 3.2.3.3 地块地形高程

本项目地块高程变化情况如下表和下图所示。

现场测绘可知,本项目地块范围内,如下(标高均为1985国家高程基准标高):

现状标高: 地面标高最大值 5.05m, 最小值 4.40m, 相对高差 0.65m。本项目现状地面标高低于周边已建成城市道路平均标高约 2m。

#### 3.2.3.4 未来规划

本项目规划为新建大连市血液中心项目,规划用地面积为 8203.8m²,规划平面图和剖面图情况如下图所示,主体建筑各层平面布置情况见附图。

根据设计图可知,本项目地下室部分室内底板标高为1.4m,其他室外区域标高为6.6~6.9m。

## 3.2.4 补充相关技术资料

通过现场踏勘及现有资料核对,需要补充以下资料:

(1) 土壤监测点位

通过叠图,本项目红线范围内监测点位数量仅为 4 个,约 2000m<sup>2</sup>一个点位,为合理确定污染范围,需要进行补充采样监测。

已补充8个土壤监测点位,详见报告3.4.3章节。

#### (2) 土壤粒径分布

根据调查可知,本项目地块红线范围内缺少土壤粒径分布情况,为合理确定后期修复工程量和费用,需要进行岩石土质试验报告。

已补充调查 4 个点位具有代表性的土壤样品土工试验,详见报告 3.2.2 章节。

#### (3) 地下水监测

《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》中使用的地下水数据为 2017 年监测结果,为了调查本项目及周边地下水质量现状,需要补充调查。

已补充调查本项目周边 3 个现有地下水监测井,详细情况见报告 2.4.2 章节。

# 3.3 更新地块概念模型

地块概念模型是综合描述地块污染源释放的污染物通过土壤、水、空气等环境介质进入人体,并对地块周边及地块未来居住、工作人群的健康产生影响的关系模型。地块概念模型包括污染源、污染物的迁移途径、人体接触污染的介质和方式等,一般随着调查和评估的深入逐步完善和细化。建立合理的地块污染概念模型对于有效指导后期污染地块修复至关重要,地块污

染概念模型的建立主要基于在地块调查过程中收集的各种信息,综合考虑地块的水文地质情况、地块背景、污染源、污染物的迁移转化、可能存在的敏感受体等,以合理解释污染物在地块内的分布、迁移途径以及可能存在的环境风险。

概念模型需在修复治理的不同阶段,结合阶段特点,进行实时更新,以便于后续相关工作的开展。根据地形特征及地层结构,结合本项目未来用地规划,对地块概念模型进行了更新。

#### (1) 关注污染物

本项目地块关注污染物共 12 种,主要为重金属(3 种)和 SVOCs(8 种),另外还包括一些无机检测指标(1 种)。

重金属污染物主要为砷污染,部分地区存在少量的铅、铬的污染;SVOCs污染物为菲、苯并(a)蒽、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、苯并(g,h,i)菲;无机污染物为氨氮。

#### (2) 污染特征

调查区东部工业企业密集,生产工艺较多,原辅料及产品复杂,区域内重金属污染最为严重,最大超标达到 50 倍以上,且分布最为广泛,几乎区域内大部分区域均存在污染。随着深度的增加,污染范围有所减少;区域有机物污染倍数相对较小,最大在 3 倍左右,但超标率较高,随着深度的增加,范围有所减少;区域土壤多呈复合污染为主。主要是由于早期生产过程中,跑冒滴漏造成的。

#### (3) 地层分布

本项目所在的 A 地块基岩分布较深,浅层以受扰动杂填土为主,含灰岩、板岩、石英岩碎块及粘性土、建筑垃圾等,并存在少量疑似碱渣、矿渣等。

#### (4) 未来规划及敏感受体

本项目地块未来规划为新建大连市血液中心项目,敏感受体为成人和儿童。规划区域东侧规划为住宅或商业综合体,周边人群密集,敏感受体较多。

#### (5) 暴露途径

从暴露途径来看,该区域的暴露途径较多,经口摄入、皮肤接触、吸入土壤颗粒物、吸入 室内外蒸汽等暴露途径均存在,因为进行修复技术方案确定时,需考虑全暴露途径,以最大限 度保护敏感受体健康。

# 3.4地块修复目标

# 3.4.1 土壤修复目标值

本项目基坑清挖目标值和异位治理目标值依据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》。

# 3.4.2 基坑废水修复目标值

根据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》,在不饮用地下水的情况 下各超标因子都不存在致癌风险和非致癌危害,对人体的健康风险可忽略。但基坑废水应进行 抽出治理,满足下表要求后纳管排放。

## 3.4.3 土壤修复工程量

#### 3.4.3.1 补充调查

根据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》,本项目红线范围内的监测点位数量为4个,点位数量较少,为合理确定修复范围,本次修复方案补充土壤监测点位8个。

本次补充监测超标污染物包括重金属砷、铅和苯并(a)芘,超标率和超标倍数最大的均为重金属砷,与原 2017 年调查结果相符。

本项目第一层(0-2.5m)、第二层(2.5-6m)和第三层(6m以下)重金属和SVOCs点位超标情况如下图所示。

第一层(0-2.5m) 重金属:超标点位包括原 2017 年调查的 AS002、AS016 和 AS208,以及补充调查的 6#点位,合计 4 个点位超标,超标率 33.3%,整体超标不严重。

第二层(2.5-6m)重金属:超标点位包括原 2017 年调查的 AS002、AS016 和 AS208,以及补充调查的 1#、3#、5#和 6#点位,合计 8 个点位超标,超标率 66.7%,检出浓度和超标率均高于第一层。

第三层 (6m 以下) 重金属:超标点位包括原 2017 年调查的 AS002、AS016 和 AS208,以及补充调查的 1#、4#、6#、7#和 8#点位,合计 9 个点位超标,超标率 75%,检出浓度和超标率均高于第二层。

第一层 (0-2.5m) SVOCs: 超标点位包括原 2017 年调查的 AS016 和 AS208,以及补充调查的 5#和 6#点位,合计 4 个点位超标,超标率 33.3%。

第二层(2.5-6m) SVOCs: 超标点位仅包括原 2017 年调查的 AS016 和 AS208,补充调查 8 个点位均不超标,合计 2 个点位超标,超标率 16.7%,检出浓度和超标率均低于第一层。

第三层(6m以下)SVOCs:包括原2017年调查的4个点位,以及补充调查的8个点位,均不超标。

因此,本项目地块重金属的污染情况从表层越往深层污染越严重,SVOCs 污染情况相反,表层污染最重,越深层污染情况较少。

#### 3.4.3.2 修复范围

本项目第一层需要进行土壤修复的区域面积为 4560.5m², 第二层需要进行土壤修复的区域面积为 4560.5m²。

#### 3.4.3.3 土壤修复方量

根据《大化集团搬迁及周边改造项目西南部地块风险评估报告》以及补充采样监测结果,按照本项目修复范围及修复深度,使用 ArcGIS 软件进行叠图,确定本项目修复方量。

本项目需要修复的总土方量为 22563m³, 其中重金属污染修复土方量 1399m³, SVOCs 污染修复土方量 4832m³, 重金属+SVOCs 修复土方量 16332m³。

# 3.4.4 基坑废水修复工程量

本项目初勘的时间为 2020 年 12 月,属于枯水期,根据初勘结果(详见图 2-9 初勘探点平面布置图),本项目红线范围内地下水水位标高为 0.25m~0.95m,平均标高 0.52m。本项目基坑最大清挖至标高 0.95m,与地下水平均水位标高相差约 0.43m,因此建议基坑清挖施工尽量在枯水期进行。

根据勘察设计单位提供地勘资料预估,本项目施工期基坑废水量为 2500m³,通过盲沟和 疏干井收集后监测,若达标则纳管排放,若超标外运异位修复厂区达标处理后回用或排放。

# 4 修复技术筛选

# 4.1 土壤修复技术简述

# 4.1.1 土壤清洗技术

土壤清洗技术采用物理分离或增效洗脱等手段,通过添加水或合适的增效剂,分离重污染土壤组分或使污染物从土壤相转移到液相,并有效地减少污染土壤的处理量,实现减量化。洗脱系统废水应处理去除污染物后回用或达标排放。

土壤清洗技术适用于污染土壤。可处理重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物。不宜用于土壤细粒(粘/粉粒)含量过高的土壤。

土壤清洗修复技术是一种有效并且切实可行的土壤污染修复技术,是当前国外应用较多的主要或辅助土壤修复方法。当前国外,尤其是日本、欧盟及美国土壤清洗技术应用较多,且设备先进、自动化程度高。该技术对水溶性重金属的去除效率很高,可快速修复污染土壤,对于低污染土壤,通过清洗可以达到减量化要求。

土壤清洗处理系统一般包括预处理单元、物理分离单元、洗脱单元、废水处理及回用单元等。主要设备包括土壤预处理设备(如破碎机等)、输送设备(皮带机)、物理筛分设备(湿法振动筛、滚筒筛等)、增效洗脱设备(洗脱搅拌罐、滚筒清洗机等)、泥水分离及脱水设备(沉淀池、浓缩池、脱水筛、压滤机、离心分离机等)、废水处理系统(废水收集箱、沉淀池、物化处理系统等)、泥浆输送系统(泥浆泵、管道等)、自动控制系统。

# 4.1.2 稳定化技术

稳定化技术是以包覆、压缩污染物,使污染物毒性溶出及流动性降至最低,并将其包裹在固化体中,此过程亦称密封,其中固化剂与污染物间通常不发生反应,而仅是机械性的拌合作用。稳定化是指利用化学剂与污染物混合或反应,将污染物的毒性、溶解性及流动性降至最低,使污染物有害成分稳定或降低其危害性的处理方法,主要有吸附、离子交换及沉淀等三种方法。固化与稳定化通常同时使用进行污染土壤治理。

该技术已被广泛应用并证实能够有效地降低多种污染物的迁移性,可处理的污染物质包括重金属、特定放射性废料、部分有机污染物等。固化/稳定化污染土壤大致可区分为异位固化处理与原位固化处理,前者是经由挖掘设备移除污染土壤后,依一般固化程序处理;后者则不经挖掘程序,直接在现场进行稳定化。

使用固定/稳定化技术修复有机物污染土壤,修复药剂对有机物的水解、氧化、还原和成盐

作用机理是修复成功的关键,所以修复药剂的选择至关重要,通常需要向水泥基中加入有机黏合剂,同时要注意避免污染物对修复材料可能会造成的损害,选择不当很有可能增大污染土壤的处理体积,增大修复成本。此外,此修复过程虽然限制了土壤中污染物的扩散,但未从根本上消除土壤中的污染物,修复后土壤仍存在一定的健康风险,需限制土壤的再利用,并进行长期监测。

# 4.1.3 阻隔技术

阻隔技术适用于重金属、有机物及重金属有机物复合污染土壤。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。该技术的原理是将污染土壤或经过治理后的土壤置于防渗阻隔填埋场内,或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径,使污染土壤与四周环境隔离,避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害。按其实施方式,可以分为原位阻隔覆盖和异位阻隔填埋。

原位阻隔覆盖是将污染区域通过在四周建设阻隔层,并在污染区域顶部覆盖隔离层,将污染区域四周及顶部完全与周围隔离,避免污染物与人体接触和随地下水向四周迁移。也可以根据地块实际情况结合风险评估结果,选择只在地块四周建设阻隔层或只在顶部建设覆盖层。原位阻隔技术是一种常用的工程控制措施,阻隔是安装于污染介质周围的地下沟渠、地墙或地膜所组成的阻隔系统,有时亦与地表生态覆盖系统相结合。阻隔系统把污染介质或污染物隔离起来,防止污染物横向或侧向迁移、扩散;阻隔系统的适用环境,主要考虑阻隔系统材质与污染物之间的化学兼容性。由于阻隔处理成本较高,一般作为长期或永久性设施,并定时对阻隔效果进行监测。

异位阻隔填埋是将污染土壤或经过治理后的土壤阻隔填埋在由高密度聚乙烯膜(HDPE)等防渗阻隔材料组成的防渗阻隔填埋场里,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。根据污染程度与污染土壤的不同情况,该技术可以与其他修复技术联合使用。对于高风险污染土壤可以联合稳定化技术使用后,对污染土壤进行填埋;对于低风险污染土壤可直接填埋在阻隔防渗的填埋场内或原位阻隔覆盖。该技术一方面可以隔绝土壤中污染物向周边环境迁移,另一方面可使其污染物在阻隔区域内自然降解。

影响异位土壤阻隔填埋技术修复效果的关键技术参数包括:防渗阻隔填埋场的防渗阻隔效果及填埋的抗压强度、污染土壤的浸出浓度、土壤含水率等。

- 1) 阻隔防渗效果:该阻隔防渗填埋场通常是由压实粘土层、钠基膨润土垫层(GCL)和HDPE 膜组成,该阻隔防渗填埋场的防渗阻隔系数要小于 10<sup>-7</sup>cm/s。
- 2) 抗压强度:对于高风险污染土壤,需经稳定化后处置。为了能安全贮存,固化体必须达到一定的抗压强度,否则会出现破碎,增加暴露表面积和污染性,一般在 0.1-0.5MPa 即可。
- 3)浸出浓度: 高风险污染土壤经稳定化处置后浸出浓度要小于相应《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》(GB5085.3)中浓度规定限制。

# 4.1.4 常温解吸技术

常温解吸技术,其原理是利用土壤中有机污染物易挥发的特点,常温下通过机械设备(如翻抛机、土壤改良机和筛分机等)对污染土壤进行强制扰动,必要时向污染土壤中均匀混入常温解吸用剂,以达到增加土壤的孔隙度,使吸附于污染土壤颗粒内的挥发性有机物解吸和挥发,并最终通过密闭车间配备的通风管路及尾气处理系统得以收集去除,常温解吸修复 VOCs 污染土壤示意图如下图所示。

# 4.1.5 化学氧化技术

化学氧化技术包括原位化学氧化和异位化学氧化技术。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,其氧化处理后残留的少量污染物更容易被微生物降解,与其他技术相比成本低,处理速度更快。该方法的原理是通过氧化剂与污染土壤充分混合接触,把土壤中的有机污染物氧化为无害的或毒性更小的物质。另外,其氧化处理后残留的少量污染物更容易被微生物降解,与其他技术相比成本低,处理速度更快。

但是化学氧化技术也有其不足之处: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;氧化剂与非均质性土壤的混合程度、土壤含水率等均可影响氧化剂的迁移反应;部分氧化剂(如过氧化氢)需要特定的土壤 pH 条件下才能发挥最佳的氧化效果;部分氧化剂(如过氧化氢和臭氧)速度快而存在时间短;在使用强氧化剂时存在一定的健康和风险问题(带来废气释放等);部分氧化剂氧化产生的副产物会降低土壤的渗透性。

采用合适的氧化剂是本技术的关键,可以使氧化剂与土壤中污染物接触达到较好的处理效果;另外,该技术可配合其他修复技术如土壤蒸汽提取(SVE)可处理产生的废气,减少健康和风险问题,避免化学氧化的一些缺陷,达到较好的处理效果。同时,化学氧化处理的整个过

程中需要全过程监测,通过注射井或提取井可用于监测地下污染物的变化和氧化剂的变化,监测观察是否有地下污染物的反弹,了解有机污染物被氧化的程度判断氧化剂的氧化效果。根据监测结果来判断是否需要进一步的添加氧化剂,最终更彻底,更经济的降解地下的污染物。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。

# 4.1.6 热脱附技术

热脱附技术主要适用于搬迁、废弃的工业企业,尤其是石化、能源、冶金等重污染型企业造成的土壤污染,该类污染土壤具有隐蔽性、累积性、滞后性的特点,其中往往含有大量多环芳烃(PAHs)、石油烃(TPH)、多氯联苯(PCBs)等污染物。这类受到污染的土壤对人体健康及工农业有着极大的危害,并且很难靠自净化作用来消除污染,需要借助一些专业技术方法进行治理修复。热脱附是目前国内有机污染地块治理的主流技术之一。

热脱附技术又称为热解吸技术,可处理的污染物类型: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。不适用于无机物污染土壤(汞除外),也不适用于腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤。其原理是通过加热的方式将受有机物污染的土壤加热至有机物沸点以上,使吸附于土壤中的有机物挥发形成气态物质,最后通过燃烧分解气体中的有机物质。从目前世界各国对该技术的应用情况及其应用效果来看,热脱附技术基本胜任土壤中挥发性和半挥发性的有机化合物的处理,修复效果较好,适用的污染物浓度范围也比较宽泛,几乎涵盖各种污染浓度。该技术还同时适用于处理土壤中的多种不同沸点有机污染物的处理。

该技术有 2 个单元组成,第一单元为加热单元,该单元的主要功能是加热土壤使其升温,将土壤中的有机物挥发形成气态物质;第二单元为气态污染物处理单元。该单元气态污染物的处理方式可依有机物性质、浓度及经济性等因素选择冷凝、吸附或燃烧等方式。用燃烧方式处理含氯气态污染物会产生酸性气体,该气体可通过清洗塔用碱液洗除,并通过烟气"急冷",可有效避免二噁英的产生,最终达标排放。

土壤热脱附是一个物理的热分离过程,影响其修复效果因素包括污染物特性(包括沸点和蒸汽压等)和浓度,以及土壤的质地、可塑性等物理指标。其中,污染物沸点和蒸汽压是采用该项技术非常重要指标之一,有机污染物沸点在100℃以内,易于挥发,且不含氯元素,可避免温度过高导致含氯有机物转化为二噁英的危险。此外,土壤的质地、可塑性、水分含量、颗粒大小分布、热容量等物理性质对该技术的应用也非常重要。

# 4.1.7 水泥窑协同处置技术

该技术是将污染土壤在高温段投入回转窑,通过与其他物料混合形成物理封闭或发生化学 反应提高污染物质的稳定性,从而达到降低污染介质中污染物活性的目的。该技术主要利用水 泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性气氛、无废渣排放等特点, 在生产水泥熟料的同时,焚烧处理废弃物,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。

目前该技术主要采用新型干法水泥生产工艺。熟料烧成系统采用双系列五级旋风预热器预分解工艺,气流与料流整体呈逆向运行;系统热工制度稳定,全过程负压操作,安全可靠;生料经窑尾塔架顶部喂入预热器,经过四级旋风筒与上升的高温气流逐级换热后进入分解炉,在炉内窑尾高速喷腾而上的近 1000℃的气流与三次风管高速水平对向喷入的 850~950℃的两股气流和煤粉交汇混和,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℃, 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 米处)进行充分的液相反应, 在此, 由三通道燃烧器喷入煤粉剧烈燃烧, 提供充足热量, 气体温度高达 1750℃, 物料温度达 1450℃, 保证了分解后物料反应完全, 煅烧为优质的水泥熟料。

冷却机后段鼓入的气体经换热后直接排入布袋收尘器,经过除尘器排向大气;前段的一部分高温气体由三次风管送入分解炉,大部分高温气体则进入窑内,为窑内物料反应、煤粉燃烧提供充分的氧气,这部分气体在窑内通过时间有 6~8 秒,由窑尾经竖烟道喷入分解炉,与三次风、物料、煤粉搅合;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。但对于汞含量超过《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ 662-2013)要求0.23mg/kg的污染土壤,不能采用水泥窑协同处置。

# 4.1.8 生物堆技术

生物堆处理技术是对污染土壤堆体采取人工强化措施,促进土壤中具备污染物降解能力的土著微生物或外源微生物的生长,降解土壤中的污染物。主要适用于石油烃等易生物降解的有机物的处理,不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤的修复,粘土类污染土壤修复效果较差。

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

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

# 4.1.9 土壤植物修复技术

土壤植物修复技术是利用植物进行提取、根际滤除、挥发和固定等方式移除、转变和破坏土壤中的污染物质,使污染土壤恢复其正常功能。目前国内外对植物修复技术的研究和推广应用多数侧重于重金属元素,因此狭义的植物修复技术主要指利用植物清除污染土壤中的重金属。主要适用于重金属(如砷、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、铬、汞等),以及特定的有机污染物(如石油烃、五氯酚、多环芳烃等),不适用于未找到修复植物的重金属,也不适用于如六六六、滴滴涕等污染土壤修复;植物生长受气候、土壤等条件影响,本技术不适用于污染物浓度过高或土壤理化性质严重破坏不适合修复植物生长的土壤。

# 4.2 修复技术比选

结合项目前期调查及风险评估结果,采用修复技术对比方式对修复技术进行筛选,筛选出合适的修复技术。

# 5 修复方案设计

## 5.1 设计思路

根据可行性评估结果,可用于本项目的土壤修复技术包括土壤清洗(减量化)、化学氧化、阻隔填埋、稳定化修复,现将以上几种技术进行组合,以期寻求最为经济、有效、环保的技术。此外,桩施工过程中会产生一定量的桩芯污染土,此部分桩芯污染土同清挖污染土修复工艺一致。

## 5.2 方案介绍

为开展本地块污染土壤修复方案的比选,本项目需要对各比选修复方案进行初步设计,并以此为依据估算各备选方案的修复成本和进度。

## 5.2.1 技术线路

本项目土壤污染物主要为 SVOC、重金属及其复合污染,本方案设计土壤清洗修复,清洗修复出料粗颗粒组分(砾石和砂砾)验收合格后回填,细颗粒泥饼根据所含污染物类型不同进行深度处理:含有重金属的泥饼进行稳定化修复处理;含有 SVOC 的泥饼进行化学氧化修复处理,修复完成验收合格后,统一进入填埋场进行填埋处理。

# 5.2.2 边界支护及降排水方案

#### (1) 基坑概况

拟建基坑位于大连市甘井子区钻石湾区域,万鼎路北侧、和丰路西侧,项目为地下一层, 基坑底边长约 312m, 坑深 3.55-4.05m。基坑工程安全等级为二级。

## (2) 地下水情况

大化原厂区地下水包括第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类隐伏岩溶水两种类型。其中第四系松散岩类孔隙水地下水位埋藏较浅,地下水埋深在1.55m~4.65mm,平均埋深3m,主要含水层为杂填土和强风化白云质灰岩。地下水位的变化受季节影响较大。

### (3) 支护结构形式

基坑采用支护桩+旋喷桩+挂网喷射混凝土的形式, 坑内设置被动区加固(水泥土搅拌桩)。

#### (4) 降排水方案

采用支护桩与旋喷桩咬合形成封闭止水帷幕,坑底四周设置排水盲沟及疏干井的方式,疏

干井间距为25m。

### (5) 基坑开挖施工顺序

测量放线→支护桩顶以上部分土方开挖机喷锚支护→搅拌桩施工→支护桩施工(含疏干井施工)→旋喷桩施工→冠梁施工→坑内土方开挖机桩间土喷锚施工→盲沟施工。

## 5.2.3 污水处理方案

原位基坑:本项目要求尽量在枯水期进行基坑清挖施工,基坑涌水、基坑汇水和机械清洗废水通过现场布设的污水管道进行收集,经检测达标,通过市政管网排入地块南侧污水处理厂;经检测超标,收集的污水外运至异位修复厂区污水处理站进行处理,经处理达标后回用于洒水降尘、土壤清洗等,剩余部分排放至污水处理厂。

异位修复区: 异位修复区产生的渣块、机械冲洗及淋洗等施工废水通过现场布设的污水管道收集至修复单位自建的污水处理站进行处理,污水处理站采用调节、混凝沉淀、石英砂过滤、活性炭吸附的处理工艺,设计总处理规模为 180m³/h,即 4320m³/d,采用化学沉淀法可完成重金属处理过程中的混凝、絮凝、沉淀和澄清过程,其原理是通过化学反应使废水中呈溶解状态的重金属转变为不溶于水的重金属化合物,然后通过沉淀等方法使沉淀物从水溶液中去除。

## 5.2.4 污染土清挖方案

#### (1) 清挖方量

根据前期风险评估报告数据、地表现状高程及工程设计最大清挖深度,确定本项目地块清挖土壤方量为22563m³,全部为污染土。

#### (2) 清挖原则

地块污染土壤的现场清挖工作应遵循以下主要原则:

- 1) 分层、分区、分污染物类型的污染土壤开挖原则;
- 2) 边清挖边覆盖的原则,在保证工期的前提下,尽量缩小开挖作业面;
- 3)清挖现场实时进行大气环境监控原则,以保障地块内施工人员及周边居民的健康风险。

### (3) 工艺流程

根据地块现场污染土分布情况,结合工程现场施工条件具备情况,按照污染物不同种类,分层、分区进行开挖,合理安排污染土开挖及运输工作,避免由于开挖顺序不合理造成二次污染。污染土壤开挖深度按照现状标高为基准向下开挖至该区域要求的清挖深度。有机污染区及重金属因处理方式不相同,需要分开清挖、运输、存储及处理。

## (4) 现场放线

为确定污染土壤的清挖范围,应进行现场的定位测量。

污染土壤现场定位包括平面位置的定位以及立面标高的定位。

平面位置定位:每层污染土壤清挖之前需进行精确的拐点定位,主要以勘察设计部门提供的标准点做为定位数据,向本地块内部区域测设控制桩点,以控制桩点形成虚拟控制网,再以该控制网为依据精确定位污染土壤分布范围各拐点。

立面标高定位:污染土壤立面定位是指在开挖施工过程中对各层标高进行的实时监控定位, 在污染土壤开挖过程中利用水准仪实时测量开挖深度,防止出现开挖不到位或超挖等现象。

## (5) 土壤清挖

安全目标:确保污染土壤开挖过程的人员安全和环境安全,防止产生污染转移和二次污染,不发生无安全事故。

质量目标:在清挖效果方面,确保污染土壤清挖到位,达到地块土壤修复目标值的要求; 在工程施工方面,达到国家工程相关的技术规范要求。

工期目标: 在项目确定的工期内完成,尽量争取提前完成。

环保目标: 杜绝二次污染,减少环境影响。

## 5.2.5 污染土运输方案

### (1)运输原则

根据本地块污染土壤修复技术路线,本地块清挖后的污染土壤为异地异位修复(异位修复地块建议为大化厂区内),运输距离较短(约 3km);需要远距离外运的为稳定化产物泥饼,外运至填埋场进行阻隔填埋处理。因此,本地块清挖后的污染土壤需进行场内和场外的运输,具体包括:污染土壤装载、场内运输、场外运输等环节。

#### (2) 运输准备

#### 1) 组织准备

项目部由项目负责人牵头成立污染土壤运输领导小组,全面领导土壤运输的施工指挥工作,建立完善的运输监督制度,及时做好运输记录及交接班工作。

## 2) 现场准备

基坑入口设置冲洗池和沉淀池,车轮冲洗水循环利用,当冲洗池移动或工程完毕时,需检测车轮冲洗水的水质情况,复合市政污水排放水质可以通过水车等方式排入市政污水管网,如不具备相应条件可以考虑投加化学药剂氧化等手段及措施,保证整个过程的车轮冲洗水达标处

置。

土方车辆冲洗后方能进入市政道路,场内道路做好地面硬化。开完前完成坡顶护栏及临时排水沟的砌筑,基坑地块安装照明灯,做好夜间赶工的照明准备工作。施工过程中随时进行测量,保证开挖线尺寸与标高。

## 3) 协调准备

提前办好渣土受纳许可证,核查运输车、挖掘机及操作司机的有关证件,保证各项手续齐全完善。做好施工协调配合发作,积极与市道路及交通主管部门协调,并做好地块周边及运输 道路沿线单位和居民的配合工作,为土方外定工作的顺利进行创造有利条件。

#### 4) 机械设备配备

根据施工进度计划安排,结合土方外运距离及现场施工实际情况,计划配备挖掘机、渣土专用自卸运输车、洒水车等,并做好相应的管理部门的登记及备案工作。

### (3) 自卸车数量

用挖土机挖土时,土方的运输一般用自卸汽车与之配合。自卸汽车的载重量 N1,应与挖土机的斗容量保持一定的关系,一般宜为每斗土重的 3~5 倍。

推荐选用载重量在 15m³ 的以上的自卸卡车,与挖掘机同步进行,按场内往返 6km, 25km/h 车速共需要至少 4 台自卸卡车进行配合,才能保证工程的顺利进行。

#### (4) 运输方案

修复施工单位转运污染土壤,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。

根据大连市生态环境局 2021 年 5 月 26 日发布的大连市一般工业固体废物填埋处置设施 名单(https://www.dl.gov.cn/art/2021/5/26/art\_2351\_640201.html)可知,目前大连市一般工业固 体废物填埋处置设施合计为 9 家,总处置能力为 407 万立方米,对其中 4 家一般工业固体废物 填埋处置设施进行了统计,详见下表。泥饼最终的去向,由修复治理施工中标单位确定。

本项目填埋量预估为 0.2 万方, 表中给出的四个一般工业固体废物填埋场最小现状处置能力为 15 万方, 可以满足本项目的需求。

# 5.2.6 污染土处置方案

## (1) 预处理筛分

进行土壤清洗修复前,需要对污染土壤进行筛分处置,去除土壤中的大石块及杂物(粒径 >100mm)。

## (2) 土壤清洗

## 1) 工艺流程

## ①前筛和破碎设备

为保证土壤清洗过程顺利进行,先将污染土壤中粒径在 30-50mm 大小的块状颗粒通过前筛和破碎设备处理。或者,用滚筒筛洗涤器(土壤清洗设备组成之一)将土壤清洗并过筛。如果选择滚筒筛洗涤器,在污染土壤再次进入土壤清洗设备之前必须将土壤中粒径大于 30mm 的粗砂和清洗后的过筛土壤破碎处理。

#### ②进料斗和配料带

过筛处理后的土壤将通过轮式装载机被运输到进料斗。一套集成的配料传输带系统可将污染土壤从进料斗运输到后续处理装置,该装置可通过自动反馈传输带称重系统信息,自动预留空间以接收进料斗出来的污染土。通过这种方式可减小土壤清洗设备处理量的变异性并使处理能力最优化。

#### ③泥浆反应器

从配料传输机卸下的污染土进入粘土/砾石清洗器。在清洗机中加入工艺用水后形成泥浆混合物从而可有效分离粗颗粒和细颗粒土壤组分。在泥浆混合过程中,溢出的水中含有悬浮的粘土颗粒,以底流的形式离开清洗器。通过筛分可将溢流物中较粗的悬浮颗粒物分离,这些分离的粗悬浮颗粒物多为有机质或塑料制品,然后再进行脱水作用。另一方面,较粗和较重的颗粒组分(砾石和砂子)从粘土/砾石清洗机中分离出来后进入初级振动筛。

### ④初级振筛机

初级振筛机用于将粘土颗粒和砂子等组分从粘土/砾石清洗器中流出的粗粒组分中分离。压力水可提高筛分过程的效率并且将细砂冲出筛网。

### ⑤洗砾机(清砾机)

经过初级冲洗和筛滤过程,原污染土中的砾石部分进入洗砾机,从而彻底、完全与轻质组分分离,包括有机质、木屑、塑料和漂浮颗粒物。这些砾石颗粒作为底流的一部分离开洗砾机,经过筛网过筛后进入次级振筛机。

#### ⑥次级振筛机

次级振筛机用于脱去砾石组分的水分,并且将最后残余的细砂颗粒冲出。在这个过程中仍然使用压力水以提高次级振筛效率。

## ⑦初级磁选机

污染土中的磁性颗粒,包括含铁和矿渣部分,可通过磁选机去除,磁选机可安装在砾石传输带系统内部或上面。矿渣颗粒中通常含有重金属,其中较小的重金属组分如钉子、螺丝可优先从可二次使用土壤中去除。

## ⑧水力旋流器

离开洗砾机和振筛机的下溢物中含有泥浆化的砂子和粘土颗粒,这部分下溢物被泵入水力 旋流器中后,其中的砂子可与泥浆体分离并以旋流器底流的形式离开系统。同时,含有泥浆体 和细粘质土颗粒的溢流物会进入泥沙收集罐进行脱水。

#### ⑨次级磁选机

离开水力旋流器后的砂子组分,通过磁力分离机可从砂子中回收较小的含铁颗粒和矿渣颗粒。

#### ⑩分级机

砂子离开磁选机后,利用分级机/逆流清洗机可从中回收较小的有机物组分和较轻的颗粒。 在这个过程中,含有小颗粒有机组分和轻质粘土的流体进入最后一级泥浆收集罐,砂子则从分级机底部进入脱水筛进行脱水。

## (11)脱水筛

筛分并冲洗过的砂子通过脱水筛进行脱水。离开脱水筛时,干燥的砂子比例的大小取决于颗粒粒径分级情况,通常在 75-85%之间。将砂子囤积后,将会排出更多的水分,此时砂子中干燥组分的比例很容易达到 90%以上。

### (12)预增稠池

所有残存的泥浆含有较细的粘土颗粒,这些泥浆组分储存在泥浆收集罐中。离开泥浆收集罐后,泥浆进入预增稠罐进行土壤和聚合物(PAM等)混合。在预增稠过程中,较小的土壤颗粒物在聚合物作用下而聚集,并在增稠罐底部沉淀,接下来这部分沉淀的细颗粒沉积物被运送进入增稠罐中部,上清液通过堰溢流系统离开增稠罐,这部分水可作为工艺用水用于二次利用。

#### 13)机械脱水

先前沉淀污泥被泵入带式压滤机进行机械脱水。经过一个排水区域后,利用 2 个单独的可渗透带可将水分从沉淀污泥中挤出。挤出的水再次进入预增稠罐或工艺用水罐用于二次利用或冲洗水。

## 2) 工艺设备与参数

影响土壤洗脱修复效果的关键技术参数包括:土壤细粒含量、污染物的性质和浓度、水土

比、洗脱时间、洗脱次数、废水的处理及回用等。

#### ▶ 土壤细粒含量

土壤细粒的百分含量是决定土壤洗脱修复效果和成本的关键因素。通常异位土壤洗脱处理适用于土壤粗颗粒含量较高,一般大于50%的土壤。

## > 污染物性质和浓度

污染物的水溶性和迁移性直接影响土壤洗脱特别是增效洗脱修复的效果。污染物浓度也是 影响修复效果和成本的重要因素。本项目土壤清洗的污染物主要为重金属砷和铅,均为水溶性 差的污染物,适合采用土壤清洗修复技术。

#### > 水土比

采用旋流器分级时,一般控制给料的土壤浓度在 10%左右; 机械筛分根据土壤机械组成情况及筛分效率选择合适的水土比,一般为 3:1 到 5:1。增效洗脱单元的水土比根据可行性实验和中试的结果来设置,一般水土比为 3:1 至 20:1 之间。

#### ▶ 洗脱时间

物理分离的物料停留时间根据分级效果及处理设备的容量来确定;一般时间为 2 分钟到 20 分钟,延长洗脱时间有利于污染物去除,但同时也会增加处理成本,因此应根据现场运行情况选择合适的洗脱时间。

#### ▶ 洗脱次数

当一次分级或增效洗脱不能达到既定土壤修复目标时,可采用多级连续洗脱或循环洗脱。 本项目根据小试处理结果,清洗后的砂砾均低于修复目标,因此仅需要洗脱一次即可,具体情况可根据现场实际情况进行调整。

### ▶ 清洗液类型

本项目采用水作为清洗液。

#### ▶ 清洗液的回用

本项目采用清水和处理达标后的施工废水作为清洗液,循环使用,定期补充。土壤清洗施工结束后,对剩余清洗液进行检测,若满足排入城市污水处理厂相关标准,则通过市政管网排入项目梭鱼湾污水处理厂处理;若超标,则通过污水处理系统处理达标后排入污水处理厂处理。

### 3) 预计效果

粗颗粒土壤中砷、铅、苯并(a)芘等 8 种目标污染物的总量浓度达到本项目的修复目标值要求。

- (3) 稳定化
- 1) 工艺流程
- 2) 工艺设备及参数
- ▶ 工艺设备

本项目药剂投加方式为机械投加,如挖掘机或土壤改良机。

## ▶ 脱水稳定剂的种类及添加量

本项目经土壤清洗后,泥饼污染浓度和含水率均较高,需要对泥饼进行脱水稳定,稳定化药剂选取以生石灰为主的碱性氧化物,目前国外应用的稳定化技术药剂添加量大都低于 20%,根据小试结果,本项目清洗后的泥饼不属于危险废物,可直接填埋,稳定化药剂的添加一方面可以进一步降低浸出浓度,一方面对泥饼进行脱水稳定处理,因此添加量暂定为 3%,具体添加量以工程实际为准。

### ▶ 土壤破碎程度

土壤破碎程度大有利于后续与稳定剂的充分混合接触,一般要求土壤颗粒最大的尺寸不宜 大于 5cm。由于本项目稳定化的目标为土壤清洗后的泥饼,泥饼的粒径较小,故无需特殊考虑 稳定化对象的粒径。

### ▶ 药剂类型

本项目小试试验采用的稳定化药剂以碱性氧化物为主、同时含有 Ca、Si、Al 等成分的复合稳定化药剂。其主要修复原理是利用 Mg、Ca、Si、Al 等与目标金属污染物发生凝硬反应,降低土壤中重金属污染物的迁移和浸出能力。

## 土壤与稳定剂的混匀程度

混合程度是该技术一个关键性瓶颈指标,混合越均匀稳定化效果越好。土壤与稳定剂的混匀程度往往依靠现场工程师的经验判断,以土壤和药剂充分混合为目的。

#### 3) 预计效果

处理后的泥饼需要同时满足《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)和《一般工业固体 废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)相关要求。

- (4) 化学氧化
- 1) 工艺流程

化学氧化修复工作主要包括泥饼转运、药剂混合系统和防渗系统等。

①泥饼转运:清洗后含有 SVOC 的泥饼转运至化学氧化修复区。

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

③防渗系统:主要为采用外搅拌设备时设置的反应池或是具有抗渗能力的反应场,能够防止污染物外渗,并且能够防止搅拌设备对其损坏,通常做法有两种,一种采用抗渗混凝土结构,一种是采用防渗膜结构加保护层。

#### 2) 设备及参数

影响异位化学氧化/还原技术修复效果的关键技术参数包括:污染物的性质、浓度、药剂投加比、土壤渗透性、土壤活性还原性物质总量或土壤氧化剂耗量(SoilOxidantDemand,SOD)、氧化还原电位、pH、含水率和其它土壤地质化学条件。

## ▶ 氧化药剂

石油烃氧化药剂种类较多,包括双氧水、芬顿试剂、高锰酸钾、过硫酸盐等,出于安全环保方便的角度考虑,本项目选择过硫酸钠作为化学氧化药剂。

#### ▶ 药剂投加比

根据前期小试实验结果,本项目化学氧化药剂综合投加比为 2%。实际投加量根据工程监测结果调整。本项目药剂投加方式为机械投加,如挖掘机或土壤改良机。

### ▶ 氧化还原电位

对于异位化学还原修复,氧化还原电位一般在-100mV以下,并可通过补充投加药剂、改变土壤含水率、改变土壤与空气接触面积等方式进行调节。

#### **≻** pH

根据土壤初始 pH 条件和药剂特性,有针对性的调节土壤 pH,一般 pH 范围 4.0~9.0。常用的调节方法如加入硫酸亚铁、硫磺粉、熟石灰、草木灰及缓冲盐类等。

#### 含水率

对于异位化学氧化/还原反应,土壤含水率宜控制在土壤饱和持水能力的90%以上。

### ▶ 养护

堆置养护期间定期采样检测土壤含水率,并根据情况及时补充水分,维持待检土壤含水率恒定在30%以上。

## 3) 预计效果

处理后的泥饼需要同时满足《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)和《一般工业固体 废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)相关要求。

## (5) 原位阻隔

本项目红线范围内,包括含地下室清挖基坑区域和其他区域,全部需要进行原位阻隔,面积合计为 8203.8m²,其中采样 200mm 抗渗混凝土垫层面积约 4600m²,其他部分依托现有300mm 沥青混凝土路面。

#### (6) 疑似废渣

前期地块调查报告及地勘资料表明,地块下层存在疑似废渣,含地下室清挖区域废渣的初见深度>5m、初见高程>-0.75m,另根据主体设计底板下标高 0.95m (最大清挖高程),因此本项目清挖过程不会产生废渣。若现场清挖过程中发现疑似废渣,按照《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)经鉴别不属于危险废物,推荐运送至大连市一般固废填埋场进行填埋处置。

#### (7) 桩芯土

由于本项目地块下层土壤仍存在污染,因此桩施工过程产生的桩芯土仍含有污染土壤。由于桩施工过程产生的桩芯土为多个土层混合土壤,无法根据污染类别进行分层分类收集,因此本项目地块产生的桩芯土按最不利情况重金属+SVOCs 复合污染土壤进行处置。

# 5.2.7 修复工程量估算

本方案污染土壤修复治理方量共计 2.3 万 m³, 采用土壤清洗、稳定化修复、化学氧化、填埋等修复技术。根据地块土壤粒径检测结果分析,本项目地块清洗后产生泥饼量按清洗量的 10%估算(具体方量按照实际计算)。各修复工艺修复工程量为: (1)土壤清洗约 2.3 万 m³; (2)化学氧化约 0.2 万 m³; (3)稳定化约 0.2 万 m³; (4)异位填埋 0.2 万 m³; (5)原位阻隔面积 0.5 万 m²; (6)基坑废水处理 2500m³。

# 5.2.8 修复后各组分的最终去向

根据修复工程进度情况,对修复后土壤的处置思路如下。

#### (1) 清洗后泥饼外运填埋

由于本项目对于重金属类污染土壤主要采取土壤清洗和稳定化两种修复工艺进行修复处理,对于 SVOC 类污染土壤主要采用土壤清洗和化学氧化修复工艺,洗脱产生的泥饼经稳定化和化学氧化工艺修复后污染物依然存在土壤中,如回填设计不合理或后期开发扰动,可能导

## 新建大连市血液中心项目污染地块修复治理技术方案

致污染土壤通过扬尘和雨水冲刷等方式对人体和环境产生二次风险。针对该部分土壤按规定要求外运至一般工业固废填埋场进行填埋处置。

## (2) 清洗后大粒径干净渣块资源化

经筛分冲洗工艺处理合格的粗颗粒土壤(粒径大于 75μm)回填。

## (3) 基坑废水

基坑涌水、基坑汇水和机械清洗废水通过现场布设的污水管道进行收集,经检测达标,通过市政管网排入地块南侧污水处理厂;经检测超标,收集的污水由吸污车运至异位修复厂区的污水处理站进行处理,经处理达标后回用于土壤清洗,剩余部分排放至污水处理厂。

# 6 环境管理计划

## 6.1 修复工程监理

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

# 6.2 环境管理技术要求

## 6.2.1 施工现场管理

## (1) 地块管理

修复施工单位应在施工现场边界设置围挡,保持施工现场干净整洁,保证主要通道畅通。 出入门一侧围挡外应设置"风险管控和修复施工信息公告牌",出入门内侧设置"五牌一图":工程概况牌、管理人员名单及监督电话牌、消防安全制度牌、安全生产制度牌、文明和环保制度牌,以及施工现场平面图。施工信息需列出修复工程项目概况及施工过程环境影响保护措施。

### (2) 材料管理

施工现场各种工具、材料的堆放应按照总平面布置图指示的位置堆放。各种工具、材料应当按照品种、规格堆放,并设明显标牌,各种材料物品需要堆放整齐。仓库内严禁烟火、严禁放置可燃杂物,严禁禁忌化学品同库贮存。仓库内按规范配备足够的消防器材。

### (3) 临边防护

修复施工单位应在基坑、水池、地上设备等所有临边区域设置安全围挡,并设置警示牌。操作通道、平台、楼梯等需要使用防滑材料安装制作。具体可参照《建筑施工安全检查标准》(JGJ59)及《建筑深基坑工程施工安全技术规范》(JGJ311)执行。

### (4) 机械防护

修复施工单位应制定并执行施工机械安全防护规定。机械设备启动前、关闭后,应对设备进行机械防护安全检查,保证设备安全可靠。运行期间,应做好设备运行情况的巡检工作。每台设备中所有存在不安全隐患的旋转或移动部件均需要有完整可靠的安全防护装置。非专职设备操作人员不得擅自操作机械设备。

## (5) 用电防护

修复施工单位应设置电气安全警示牌。非专职人员不得擅自操作电气设备。电气系统和电器设备维修时需要挂牌上锁。专职人员维修设备需穿戴绝缘手套和绝缘鞋。专职人员每日巡检配电箱、开关箱等电气设备,确保所有电气设备正常运行。具体参照《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ 46)要求执行。

## (6) 人员管理

修复施工相关作业人员进入现场前需进行安全教育,施工作业前需进行安全技术交底,特殊工种工人须持证上岗。外来人员需在现场管理人员陪同下进入现场。进入现场应佩戴安全帽、手套、穿硬底劳保鞋等,并根据不同工种按要求穿戴不同的劳保用品。应定期对职工进行职业健康教育,加强防范意识。

## 6.2.2 污染土壤运输管理

本方案推荐采用异地异位方式进行土壤修复治理工作,外运污染土壤部分主要为土壤清洗 产生的泥饼,经危废鉴定满足要求后,送往一般工业固体填埋场填埋处置,施工单位应做好以 下工作。

## (1) 确定泥饼接收点

泥饼外运应选择合法的接收点或接收单位。施工单位应在施工前与土壤接收点或接收单位 订立书面协议或合同,明确土壤处置及再利用期间的相关权利和责任。

#### (2) 制定转运方案

制定污染土壤转运方案,将土壤运输时间、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(大连市生态环境局甘井子分局)和接收地生态环境主管部门。

#### (3) 污染土壤运输车辆

污染土壤外运应委托具备建筑垃圾运输许可证的单位。土壤运输应使用密闭式运输车辆, 土壤上层适量喷水降尘,并用苫布等材料严密覆盖,防止运输途中污染土壤的泄漏和遗撒。

#### (4) 建立污染土壤转运台账

涉及土壤挖掘及运输的,施工单位应建立污染土壤转运台账,记录土壤清挖与运输日期、方量等信息。污染土壤移出单位、运输单位和接收单位应填写污染土壤转运联单,并同时报送 所在地大连市生态环境局甘井子分局和接收地生态环境主管部门。

#### (5) 其他要求

本项目泥饼外运填埋处置,施工单位应委托具有固体废物危险特性鉴定能力和资质的专业

机构开展鉴定工作。外运污染土壤属于危险废物的,施工单位应依法进行处置,并做好与危险 废物环境监管的衔接。

## 6.2.3 药剂安全管理

施工期间,施工单位应做好修复药剂的存放、使用和管理工作。

## (1) 药剂存放管理

施工单位应在施工现场设置专用仓库存放修复药剂,仓库必须干燥、通风、防雨、防晒、防火、防泄漏。原则上鼓励化学品类修复药剂随用随进,不在现场储存。现场如需存储危险化学品,则需按照危险化学品的相关管理办法进行储存和管理。

### (2) 药剂使用安全

施工单位应在施工前对员工进行化学品的物质安全数据表(MSDS)、危险物质辨认、正确搬运及使用等方面的培训。

在药剂配置或使用过程中,应关注其危险性、禁配物料,落实相应劳防措施,如工人穿戴必要的个人防护用品;在危险化学品作业场所的出入口、反应容器等醒目位置设置安全警示标志。

现场使用平板车或斗车运输药剂时严禁超载,材料放置均匀防止侧翻,包装完整封闭防止 遗撒。

### (3) 药剂使用台账

施工单位应建立药剂使用台账,记录药剂的进场和使用情况,在药剂领用当天记录药剂品名、领用人、领用时间、领用数量等信息。

修复药剂如涉及危险化学品,还应建立危险化学品安全管理制度,并在药剂使用台账中记录危险化学品名的使用情况。

## 6.2.4 施工现场监控措施

施工单位可通过视频监控、在线监测等方式,实时掌握修复治理工程现场的施工状况信息、关键工况信息、环境监测信息,保障修复治理项目施工的顺利开展。施工单位应在施工前期准备期间,做好监控设备信号接入相关信息平台的准备工作。

修复施工单位、监理单位、效果评估单位应根据各自工作范围,拍摄修复治理施工全过程的现场照片和视频,记录重要活动的现场情况。

修复施工单位应根据工程特点,在施工现场的关键位置安装摄像头。摄像视频信息需覆盖

到如下关键位置, 摄像头数量可根据施工工地现场情况确定。

- 1) 施工现场全景:覆盖整个施工现场,提供全景情况概览;
- 2) 施工现场出入口位置:可记录车辆及人员进出情况:
- 3) 土壤挖掘区域:记录现场土壤挖掘、回填等施工过程;
- 4) 土壤暂存区:记录现场土壤的暂存情况;
- 5) 土壤修复施工区:视频信息能反馈施工装备的关键部件/关键工艺环节,摄像头具体位置根据选用的修复装备特性而定;
  - 6)药剂存放区:记录现场修复药剂材料的进出库情况、存放情况及配制使用情况。

## 6.2.5 资料管理

#### (1) 文档资料管理

修复项目施工单位、监理单位、效果评估单位应做好污染地块土壤修复治理工程的纸质材料和电子文档留存工作。原始记录内容应填写完整,应有记录人和审核人的签名,不允许随意更改。分类整理原始记录,按照统一资料记录格式汇编成电子文件。

## (2) 资料保存要求

修复项目施工单位、监理单位、效果评估单位应做好纸质材料和电子文档的保存工作。纸质材料和电子文档保存时间不低于3年。

## 6.2.6 施工单位监测方案

施工单位在基坑清挖及修复治理的过程中,应配合效果评估单位加强修复效果的监测,可分批次进行,推荐采取的监测方案详见本报告"6.4环境监测"章节。

# 6.3 二次污染防范

# 6.3.1 大气二次污染防治措施

### (1) 降尘措施

项目施工过程中应重点加强防尘措施,采取有效的降尘措施,如增加洒水频次等,减少施工扬尘对周围环境的影响。施工过程为有效控制扬尘,施工单位应根据实际情况按需洒水。进行大面积土方开挖前,采用机动车洒水的方式,如图所示,减少施工过程中的无组织扬尘。

由于清挖区域距离居民区较近,因此清挖施工过程中,应尽量控制开挖面积,清挖施工结束的区域应及时对地块地面进行苫盖。4级以上大风天气下,根据现场情况建议停止清挖施工,

并对现场地块进行苫盖。

在同样的路面条件下,车速越快,扬尘量越大:在同样的车速情况下,路面越脏,扬尘量越大。因此,限制车辆行驶速度以及保持路面的清洁是减少汽车扬尘的有效手段。

为有效抑制扬尘,现场土方、工程渣土表面应苫盖防尘网,如下图所示。

## (2) 运输和施工机械尾气

本工程施工过程用到的运输及施工机械主要包括挖掘机、装载机、压实机、运输车等,它们以柴油为燃料,会产生一定量废气。燃油机械尾气排放口低,属低矮点源无序排放。本工程施工高峰期使用的燃油机械约4台,这些施工机械设备尾气排放较为分散且属于间歇排放,其污染程度相对较轻,施工区域地形开阔,有利于施工车辆尾气的迅速扩散。施工结束后影响随即消失,因此运输和施工机械尾气排放对周围环境空气质量影响不大。但在施工过程中,仍然要求施工单位必须使用污染物排放符合国家标准的运输车和施工机械设备,加强车辆和设备的保养,使其处于良好的工作状态。

## (3) 预处理筛分废气

本项目污染地块开挖过程及异位土壤破碎筛分过程颗粒物废气排放为短时排放,加强施工区域上、下风向及敏感点处的环境监测。

# 6.3.2 污水二次污染防治措施

为防止雨季施工雨水冲刷基坑边坡,坑外雨水沿边坡流入坑底,在场区周边布设截水沟。 在雨季施工时,坑底会聚集雨水,该积水会含有大量污染物,在坑底距坡脚处挖出宽为 1m, 深为 0.5m 的集水沟,沟内排水坡度为 5%,根据基坑实际情况确定一到两个集水井。

要在运输车辆出口处选择一个区域,作为洗车场,对施工机械和运输车辆进行清洗,每辆参与运输的车辆出场前必须将车轮及车身残存的土冲洗干净后方可离场,防止车辆将污染土壤带出,造成二次污染。洗车场设施应包括洗车平台、泵以及管道等,四周设排水沟,洗车废水通过管道排到污水处理设施内处理后再进行回用。

异位修复区产生的渣块、机械冲洗及淋洗等施工废水通过现场布设的污水管道收集至修复 单位自建的污水处理站进行处理,经处理达标后满足回用标准的用于土壤淋洗,剩余部分满足 排放标准后可根据现场实际情况排放至大连污水处理厂。

基坑降排水、车辆冲洗废水等施工产生的废水,严禁直接排入项目西侧的排水沟,必须经 收集处理达标后,排入市政管网。

固体废物临时暂存场的污染土壤应进行地面硬化,并进行重点防渗处理。污染土壤修复期

间应在修复区四周设置醒目的警示标识,并由专人进行管理,加强日常巡视,发现意外情况及时解决,防止在污染土壤修复过程中发生安全事故造成二次污染。

## 6.3.3 地下水二次污染防治措施

## (1) 危废暂存间和一般固废暂存区

本项目固体废物主要为生活垃圾、砾石、砂砾、泥饼、药剂废包装物、污泥、废薄膜等。 本项目产生的固体废物均能够得到妥善处置,去向合理。本项目产生的危险废物在外运处置前 暂存在拟建危废暂存间内。危废暂存间内按要求配备符合标准的容器,设置危险废物识别标志, 地面进行防渗处理。各危险废物在暂存区内分类存放,原则上委托有资质单位及时转移处置。

危废暂存间容量能够满足本项目危险废物的暂存要求。建设单位加强管理,危险废物贮存场所严格执行《危险废物贮存污染物控制标准》(GB18597-2001)和《危险废物收集贮存运输技术规范》(HJ2025-2012)的相关规定。本项目危险废物从产生点由工人使用推车或铲车运送到危废暂存间,运送过程中危险废物均妥善包装,密封在铁桶、塑料袋或塑料桶内,且运输过程严格执行《危险废物收集贮存运输技术规范》(HJ2025-2012)的相关规定,因此产生散落、泄漏的可能性很小;如果万一发生散落或泄漏,可以确保及时进行收集。

一般固废暂存区满足《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)的防渗技术要求,危废暂存间满足《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)的防渗技术要求。防渗设计后,建设项目的主要地下水污染源能得到有效防护,因此,从源头上得到控制。建设单位对本项目产生的危险废物从收集、贮存、运输、利用、处置各环节进行全过程的监管,各环节应严格执行《危险废物收集、贮存、运输技术规范》(HJ2025-2012)的相关要求。危险废物暂存过程中应满足《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及修改单中的相关规定。由于一般固废暂存区和危废暂存间在可能产生泄漏的区域进行防渗处理,即使有少量的污染物泄漏或渗漏,也很难通过防渗层渗入包气带。

#### (2) 污水处理设施

异位修复区产生的渣块、机械冲洗及淋洗等施工废水通过现场布设的污水管道收集至修复单位自建的污水处理站进行处理,经处理达标后满足回用标准的用于土壤淋洗,剩余部分满足排放标准后可根据现场实际情况排放至大连污水处理厂。

## (3) 土壤异位修复区域

土壤修复区域,如土壤清洗区、暂存区等,地面均采用 20cm 厚 C25 混凝土硬化。在做到相应的规范化设计、防渗要求和施工情况下,难以对地下水产生明显影响。

## (4) 污染土壤清挖

污染土壤采用机械(挖掘机)清除为主、人工清除为辅的方法。本项目的治理根据施工条件、清除要求和污染土壤清除量,在施工前合理安排机械设备和人员数量,并做好各方面的准备工作。

## (5) 污染土壤转运

本工程开挖土壤均需运至异位修复区进行修复,污染土壤经开挖后运至土壤暂存防渗区进行暂存。本项目开挖区域污染土壤经开挖后,根据污染物种类,分别转运至对应土壤暂存区域进行暂存。各开挖区域挖运路线和主干道相连接,车辆进出车间流向统一,使整个地块运输路线始终保持畅通。

### (6) 重点防渗区

根据污染地块所处的水文地质条件,为了最大限度的避免土壤修复对地下水环境产生的二次污染,对修复区、养护区、土方暂存区、污水处理设施、洗车场、管道要进行重点防渗处理。

#### (7) 监测和管理

为了掌握本工程周围地下水环境质量状况和地下水体中污染物的动态变化,应建立地下水监控体系,包括建立完善的监测制度、配备先进的检测仪器和设备,科学、合理设置地下水污染监控井,对上、下游进行对比监测,以便及时准确地反馈工程建设区域地下水水质状况,为防止本工程对地下水的事故污染采取相应的措施提供重要的依据。同时可定期委托有资质单位对地下水中的 COD、氨氮、石油类、SS、重金属等物质进行监测,从而掌握地下水中 COD、氨氮、石油类、SS、重金属等物质进行监测,从而掌握地下水中 COD、氨氮、石油类、SS、重金属等物质的变化情况。应有专门的工作人员,负责本项目地下水跟踪监测报告统计工作及日常环保管理工作。

# 6.3.4 噪声二次污染防治措施

#### (1) 人为噪声的控制

污染场区施工现场提倡文明施工,建立健全控制人为噪声的管理制度。由于清挖区离居民区较近,现场施工过程中尽量减少人为的大声喧哗,增强全体施工人员防噪声扰民的自觉意识。严禁在钢管、机械上敲打金属形式联系操作人员。施工过程中各类材料搬运及安装,要求做到轻拿轻放,严禁抛掷或从汽车上一次性下料,减少噪声的产生。控制施工车辆产生的噪音,强化车辆管理、进出场、厂内禁止鸣笛。

#### (2) 强噪声作业时间的控制

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

## 案后方可施工。

## (3) 强噪声机械的降噪措施

所选施工机械应符合环保标准,操作人员需经过环保教育。尽量选用低噪声或备有消声降噪声设备的施工机械。动力、机械设备的使用过程中,应加强日常管理及维修保养工作,避免异常噪音的产生。

## (4) 加强施工现场的噪声监测

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

## 6.3.5 土壤二次污染防护措施

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

## (1) 地块清理管理

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

### (2) 挖掘与装载管理

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

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

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

#### (3) 运输管理

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

#### (4) 临时贮存管理

污染土壤应分类分批次进行清挖、转运、堆存,待检区,临时堆放区、暂存区地面做防渗 处理。

## 6.3.6 固体废物二次污染防护措施

原辅材料包装物和废薄膜属于一般固废,外售给废品回收公司;污水处理站污泥经鉴别后外运填埋场填埋处理;生活垃圾定点收集、市政统一清运。固体废物具体防治措施如下:

- (1) 在清挖不同深度污染土时应进行必要的现场甄别,每一类污染土壤清挖时既要确保属于该类别的污染土壤全部挖净,同时又要避免污染较重的土壤混入污染较轻的土壤以及避免不同污染类型土壤的混合,造成较重污染土壤的土方量增加,导致后续处理成本增加。
- (2)临时暂存区应设置不同污染类型的土壤暂存区域,避免不同污染类别土壤的混合,增加处理成本或者造成土壤的二次污染。污染土壤暂存场区地面做好防渗处理,土方应做好苫盖处理,在大风天气施工,要注意临时堆体的大风防护,风力过大,可能会对堆体造成一定影响和破坏,同时,携带污染物的扬尘很容易随风扩散,可能对厂区外居民的人体健康和生活工作环境造成危害。防止大风、雨水等不利天气条件对环境造成二次污染,以及对污染土壤的不利影响。
- (3)在污染土壤的清挖、运输出场前应对清挖和运输人员进行相关培训,在清挖、运输过程中,应建立相应的管理制度,由专人负责监督、记录清挖和运输进度情况,做到清挖量和运输量都有据可查。制定详细的清挖、运输管理要求和技术要求,严格按照清挖、运输的计划进行,加强过程管理,避免清挖工程对环境产生不利影响。
  - (4)设置危险废物暂存间,应防风、防雨、防渗漏,对危险废物分类存放。
- (5)施工工人产生的生活垃圾应交环卫部门统一清运进行无害化处理,以避免对周围环境造成影响。

本项目产生的固体废物均能够得到妥善处置,去向合理。本项目产生的危险废物在外运处 置前暂存在拟建危废暂存间内。危废暂存间内按要求配备符合标准的容器,设置危险废物识别 标志,地面进行防渗处理。各危险废物在暂存区内分类存放,原则上委托有资质单位及时转移 处置。

# 6.4 环境监测计划

本项目异位修复厂区拟设置在 C6 地块,本次方案分别给出原位基坑开挖区和异位修复区环境监测情况。

若后期土壤修复中标单位异位修复厂区设置在其他区域,建议按本次方案给出的环境监测原则设置异位修复厂区的监测方案。

大气监测点位中的上、下风向厂界及下风向敏感点处, 应根据监测时的风向确定。

## 6.5 效果评估监测

## 6.5.1 主要工作内容

## 6.5.1.1 更新地块概念模型

根据风险管控与修复进度,以及掌握的地块信息对地块概念模型进行实时更新,为制定效果评估布点方案提供依据。

#### 6.5.1.2 布点采样与实验室检测

布点方案包括效果评估的对象和范围、采样节点、采样周期和频次、布点数量和位置、检测指标等内容,并说明上述内容确定的依据。原则上应在风险管控与修复实施方案编制阶段编制效果评估初步布点方案,并在地块风险管控与修复效果评估工作开展之前,根据更新后的概念模型进行完善和更新。

根据布点方案,制定采样计划,确定检测指标和实验室分析方法,开展现场来样与实验室检测,明确现场和实验室质量保证与质量控制要求。

## 6.5.1.3 风险管控与土壤修复效果评估

根据检测结果,评估土壤修复是否达到修复目标或可接受水平,评估风险管控是否达到规定要求。

对于土壤修复效果,可采用逐对比和统计分析的方法进行评估,若达到修复效果,则根据情况提出后期环境监管建议并编制修复效果评估报告,若未达到修复效果,则应开展补充修复。

对于风险管控效果,若工程性能指标和污染物指标均达到评估标准,则判断风险管控达到 预期效果,可继续开展运行与维护;若工程性能指标或污染物指标未达到评估标准,则判断风 险管控未达到预期效果,须对风险管控措施进行优化或调整。

#### 6.5.1.4 提出后期环境监管建议

根据风险管控与修复工程实施情况与效果评估结论,提出后期环境监管建议。

#### 6.5.1.5 编制效果评估报告

汇总前述工作内容,编制效果评估报告,报告应包括风险管控与修复工程概况、环境保护措施、落实情况、效果评估布点与采样、检测结果分析、效果评估结论及后期环境监管建议等

内容。

污染地块风险管控与土壤修复效果评估工作程序见下图。

## 6.5.2 文件整理与现场踏勘

## 6.5.2.1 文件整理

- (1) 在效果评估工作开展之前,应收集污染地块风险管控与修复相关资料。
- (2)资料清单主要包括地块环境调查报告、风险评估报告、风险管控与修复方案、工程实施方案、工程设计资料、施工组织设计资料、工程环境影响评价及其批复、施工与运行过程中监测数据、监理报告和相关资料、工程竣工报告、实施方案变更协议、运输与接收的协议和记录、施工管理文件等。

## 6.5.2.2 文件整理要点

- (1) 文件整理要点主要包括风险管控与修复工程概况和环保措施落实情况。
- (2)风险管控与修复工程概况资料整理主要通过风险管控与修复方案、实施方案、以及风险管控与修复过程中的其他文件,了解修复范围、修复目标、修复工程设计、修复工程施工、修复起始时间、运输记录、运行监测数据等,了解风险管控与修复工程实施的具体情况。
- (3) 环保措施落实情况整理主要通过对风险管控与修复过程中二次污染防治相关数据、 资料和报告的梳理,分析风险管控与修复工程可能造成的土壤二次污染情况等。

### 6.5.2.3 现场踏勘

- (1)应开展现场踏勘工作,了解污染地块风险管控与修复工程情况、环境保护措施落实情况,包括修复设施运行情况、修复工程施工进度、基坑清理情况、污染土暂存和外运情况、地块内临时道路使用情况、修复施工管理情况等。
  - (2)调查人员可通过照片、视频、录音、文字等方式,记录现场踏勘情况。

## 6.5.3 验收指标及标准

#### 6.5.3.1 验收指标

## 6.5.3.2 验收标准

根据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)》要求,本项目修复施工结束后每 500m³土壤采集一个土壤样品进行检测验收,另外为确保检测效果合理性,每 20 个样品采集 1 个平行样品。

## 6.5.4 修复效果评估及报告编制

样品采集和检测后,应分析检测数据,根据污染地块是否达到验收评估标准,判定是否达到修复目标要求。按照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)》(HJ25.5-2018),可选择逐一对比法和统计分析的方法进行土壤修复效果评估。

当样品数<8个时,应将样品检测值与修复效果评估标准逐个对比;

- a) 若样品检测值低于或等于修复效果评估标准,则认为达到修复效果。
- b) 若样品检测值高于修复效果评估标准值,则认为未达到修复效果。

当样品数≥8 个是,可采用统计分析方法进行修复效果评估。一般采用样品均值的 95%置信上限与修复效果评估标准值进行比较,下列条件全部符合方可认为地块达到修复效果。

- a)样品均值的95%置信上限小于等于修复效果评估标准值;
- b) 样品浓度最大值不超过修复效果评估值的 2 倍。

若采用逐个对比法,当同一污染物平行数量≥4组时,可结合t检验分析采样和检测过程中的误差,确定检测值与修复效果评估标准值的差异。

- a)若个样品检测值显著低于修复效果评估标准值或者与修复效果评估标准值差异不显著, 则认为该地块达到修复效果。
  - b) 若某样品的检测结果显著高于修复效果评估标准值,则认为地块未达到修复效果。

原则上统计分析方法应在单个基坑活单个修复范围内分别进行。对于低于报告限的数据,可用报告限数值进行统计分析。

效果评估报告应当全面真实地反应污染地块治理修复工程效果,按照效果评估的程序对污染地块治理修复工程是否达到目标给出结论,并根据效果评估的结果,对该地块后续的安全利用或风险管控提出建议。

# 7 成本效益分析

## 7.1 修复费用估算

本项目污染土壤拟采用土壤清洗+稳定化+化学氧化+原位阻隔+异位填埋修复技术,根据大连及周边地区已完成修复地块费用情况,估算本项目污染土修复治理总费用为2332.8万元,其中工程建设费2116.0万元、其他费105.8万元和预备费111.1万元。

## 7.2 环境效益

## (1) 降低污染物水平,有效防治土壤污染

目前的土壤修复技术大部分仍然采用"亡羊补牢"的线性思路,基本上都是事后处理,但很多情况下无法根治环境问题。本项目修复目标主要是将污染土壤进行清挖后,专项进行异位处理,利用清洗等手段将污染土方量"减量化"并将污染物浓缩后转移至泥饼中统一进行修复,清挖后进行阻隔处理的同时,避免对土壤造成二次污染,最大限度减少污染物增量。

## (2) 恢复土地生态经济功能, 提高土地利用率

随着工农业、城市化进程的加快发展,用地需求不断增加,土地资源变得非常稀缺,同时还面临着土壤污染不断扩大的威胁。因此,本项目对土壤污染的修复有利于保护土地资源、恢复土地生态经济功能、提高土地利用率。

### (3) 改善土壤环境质量,保障居民生命安全

由于污染物能够在土壤中累积,居民通过接触土壤会对人体健康造成不利影响。建设用地中污染物挥发、下渗到地下水等也会对居民身体健康造成危害。因此,本项目对土壤污染修复的开展有利于保障居民的身体健康与安全。

## 7.3 经济效益

随着土壤污染防止政策的不断落地,土壤修复产业发展持续升温。中国的土壤修复产业目前处于早期发展阶段,修复项目具有资金需求量大、投资回报周期长等特点目前土壤修复项目资金主要来自政府(财政部专门设立了土壤污染防治专项资金),融资渠道单一,仅靠政府支持无法满足土壤修复项目资金的需求,对社会融资有着迫切的需求。

本项目直观来看不能立即带来大量直接的经济效益,但项目对污染土壤处理完成后,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 促进项目区域的经济业务提升乃至长远的快速经济发展。 另外,项目完工后,生态环境得到进一步提高,百姓安居乐业,同时也进一步的改善项目 区域内的投资环境,增加投资机会,为区域经济社会的健康发展提供保障,使经济效益与社会 效益达到最大化。此外,该项目建成后有利于构建和谐社会,促进社会经济的可持续发展,为 国内生产总值添砖加瓦。

## 7.4 社会效益

土壤污染的治理不光要看环境效益与经济效益,更要注重社会效益。土壤修复是重大的环境保护和民生工程,已被纳入国家环境治理体系。土壤修复项目的实施能够有效控制土壤污染、改善周围的环境质量,保障人体健康,显著提升环境效益与经济效益,从而提升社会效益。

土壤作为陆地生态系统重要组成部分,是人类和动植物居住生存不可替代的环境因子,也是食品安全与人体健康的基本保障,在保护环境和维持生态平衡重具有重要作用。随着工农业生产的发展和乡村的城市化改革,污染土壤的面积正在不断扩大。为了实现土壤的可持续利用,保障人类获得充足且安全的食品以及生态环境,迫切需要经济、高效、可行的土壤修修复项目。

随着科学发展观的深入贯彻落实,国家对环境保护工作越来越重视,对水、大气、土地的污染等监控力度日益加大."十二五"规划中,节能环保已被列为七大战略性新兴产业之首,其中土壤修复被纳入环保产业的重点发展之列,国家将财政、税收、金融等方面提供政策支持,同时地方政府土壤污染防治意识增强,根据环境管理和土壤污染防治的需要,分别制定了相关配套措施。

土壤修复是一件利国利民的大事,希望全社会为建设"蓝天常在、青山常在、绿水常在"的美丽中国共同奋斗。

# 7.5 生态效益

#### (1) 对水土流失的影响

由于修复建设破坏地块表面硬化层,部分引起水土流失,主要发生在项目施工期。工程施工过程采取防护措施,水土流失到施工后期将基本稳定。主要是通过对施工地块内的土壤清运、基坑塌方及其他地质病害的调查,分析由于修复施工引起地质类别、地形、地貌等现状的变化对区域水土流失的影响,并提出治理措施或对策建议。

#### (2) 对水环境的影响

通过对地块的修复,改善周边地面水环境,促进周边水体功能的完善,保护河流的水体质量,改善地块周边生活服务区、居民区及其他区域的环境治理,改善生态环境的协调性。

# 8 结论

本工作通过项目基础资料收集(项目背景、所在区域环境状况、前期方案等)、现场踏勘、 技术比选、可行性评估等工作,在与业主方充分沟通的基础上,基本确定了修复要求,比选出 适合本项目的修复技术方案。结论如下:

- (1) 本次修复工程修复范围为 8203.8m<sup>2</sup>, 修复污染土壤共计 22563m<sup>3</sup>。
- (2)本方案在分析地块污染物特征、污染状况、地质及水文地质条件、总体修复目标的基础上,进行污染地块概念模型分析,针对本修复项目污染土壤确定采取异地修复+风险管控+后期管理的方式。
- (3)通过对土壤修复技术筛选,对各种修复技术进行评估,确定适合本项目可行技术为 土壤清洗、化学氧化、稳定化、原位阻隔、异位填埋。具体修复工艺如下所述:
- 1)单独重金属污染土壤的修复:采用"土壤清洗+稳定化+阻隔填埋"方式进行修复,修复土方量为1399m<sup>3</sup>:
- 2) 单独 SVOCs 污染土壤的修复: 采用"土壤清洗+化学氧化+阻隔填埋"方式进行修复,修复土方量为 4832m<sup>3</sup>;
- 3)"重金属+SVOCs"污染土壤的修复:采用"土壤清洗+化学氧化+稳定化+阻隔填埋"方式进行修复,修复土方量为 16332m³;
- 4) 基坑底部原位阻隔方式为 200mm 抗渗混凝土垫层,基坑侧部阻隔方式为止水帷幕;混 凝土垫层和止水帷幕可直接用于血液中心新建工程建设,属于工程建设费用前置于污染土治理;
- 5)建议不对本地块地下水开展修复治理。需进行相应的制度控制措施,严格限制地下水 用途。同时在土壤修复过程中,对基坑废水需开展相应的治理工作,预估废水量 2500m³, 达 标后纳管排放。
  - (4) 经估算,本项目污染土壤修复费用总计约为 2332.8 万元。
  - (5) 本项目施工工期目标预计为120天。