梭鱼湾 20 号路新建工程

污染土修复治理技术方案

编制单位：大连理工加华环境科技有限公司

委托单位：大连市市政公用事业服务中心

编制时间：2023 年 3 月

目　录

1 总论 1
1.1 项目背景 1
1.2 梭鱼湾 20 号路概况 2
1.3 原大化地块简介 3
1.4 编制目的 6
1.5 编制依据 6
1.5.1 相关法律法规 6
1.5.2 相关标准规范 7
1.5.3 其他相关资料 8
1.6 编制原则 8
1.6.1 科学性原则 8
1.6.2 经济性原则 8
1.6.3 时效性原则 8
1.6.4 可行性原则 8
1.6.5 安全性原则 9
1.7 编制内容 9
1.8 地块范围 10
1.9 技术路线 13
2 项目问题识别 14
2.1 所在区域概况 14
2.1.1 项目位置 14
2.1.2 地形地貌 14
2.1.3 气象气候 15
2.1.4 水文地质条件 16
2.2 项目基本信息 22
2.2.1 使用历史 22
2.2.2 项目场地现状 29
2.2.3 未来规划 31
2.3 周边环境敏感目标 37
2.4 项目污染特征 38
2.4.1 原大化调查 38
2.4.2 补充调查 45
2.5 土壤污染风险 53
3 选择修复模式 54
3.1 修复总体思路 54
3.2 确认修复条件 55
3.2.1 核实相关资料 55
3.2.2 土壤理化性质 56
3.2.3 现场考察状况 56
3.2.4 补充相关技术资料 56
3.3 更新污染概念模型 56

3.4 土壤修复目标值 58
3.5 土壤修复范围 59
3.6 土壤修复工程量 63
3.6.1 1#修复区域 63
3.6.2 2#修复区域 65
3.6.3 3#修复区域 67
3.6.4 土壤修复工程量汇总 68
4 修复技术筛选 69
4.1 土壤修复技术简述 69
4.1.1 土壤淋洗技术 69
4.1.2 稳定化技术 70
4.1.3 化学氧化技术 71
4.1.4 阻隔技术 71
4.1.5 水泥窑协同处置技术 72
4.2 修复技术比选 74
4.3 修复技术可行性评估 75
4.3.1 小试试验 75
4.3.2 周边已修复情况 75
5 修复方案设计 78
5.1 修复技术路线 78
5.2 方案设计 81
5.2.1 清挖方案 81
5.2.2 运输方案 83
5.2.3 预处理方案 92
5.2.4 土壤淋洗方案 94
5.2.5 稳定化方案 98
5.2.6 化学氧化方案 100
5.2.7 原位阻隔方案 102
5.2.8 污水处理方案 103
5.3 修复工程量及费用估算 104
6 环境管理计划 106
6.1 环境管理技术要求 106
6.1.1 施工现场管理 106
6.1.2 污染土壤运输管理 107
6.1.3 药剂安全管理 110
6.1.4 施工现场监控措施 111
6.1.5 资料管理 112
6.2 修复工程监理 112
6.2.1 工作内容 112
6.2.2 工作模式 114
6.2.3 工作程序 114
6.2.4 工作方法 114
6.3 二次污染防范 117
6.3.1 大气污染防治措施 117

6.3.2 水污染防治措施 118
6.3.3 噪声污染防治措施 118
6.3.4 土壤污染防护措施 119
6.3.5 固体废物污染防护措施 121
6.3.6 异味控制措施 122
6.3.7 二次污染防治措施汇总 122
6.3.8 环境监测计划 123
6.4 修复效果评估 126
6.4.1 主要工作内容 126
6.4.2 布点方案 127
6.4.3 效果评估标准 129
6.4.4 修复效果评估及报告编制 129
6.5 环境应急方案 131
6.5.1 安全问题识别 131
6.5.2 预防措施 131
6.5.3 突发事故应急措施 132
6.5.4 安全防护设备 135
6.5.5 安全防护培训 136
6.6 后期管理要求 137
7 效益分析 138
7.1 环境效益 138
7.2 经济效益 138
7.3 社会效益 139
7.4 生态效益 139
8 结论与建议 140
8.1 结论 140
8.2 建议 141

附件

附件 1：用地预审与选址意见书（用字第 210211202300002）

附件 2：建设用地要求（用字第 210211202300002）

附件 3：可研批复（大发改审批字[2023]22 号）

附件 4：土壤补充采样检测报告

1 总论

1.1 项目背景

本项目为梭鱼湾 20 号路新建工程，建设单位为大连市市政公用事业服务中心。根据大连市城市总体规划，大连市中心城区将形成“内外两环、五横六纵”快速路网，内环由东西向的华北路、疏港路与南北向的西北路、大连湾海底隧道工程、光明路延伸工程组成；目前华北路、西北路、疏港路均已建设完成，“内环”大连湾海底隧道建设工程、光明路延伸工程正在建设中，预计 2023 年 6 月完工。大连湾海底隧道建设工程、光明路延伸工程一方面打破香炉礁“蜂腰”部位的路网瓶颈，增加核心区南北向通道容量，缓解东北路等现有南北通道的交通压力。

为了解决梭鱼湾商务区与中山区、东港商务区的区域联系，大连湾海底隧道北岸规划方案将设置进出匝道与梭鱼湾 20 号路连接。梭鱼湾 20 号路道路工程的建设，将梭鱼湾区域路网与大连湾海底隧道建设工程进出匝道连接，将发挥大连湾海底隧道北岸交通疏散的功能，解决老甘井子区、梭鱼湾商务区及其他相关联区域与中山区通过海底隧道的交通连接问题。

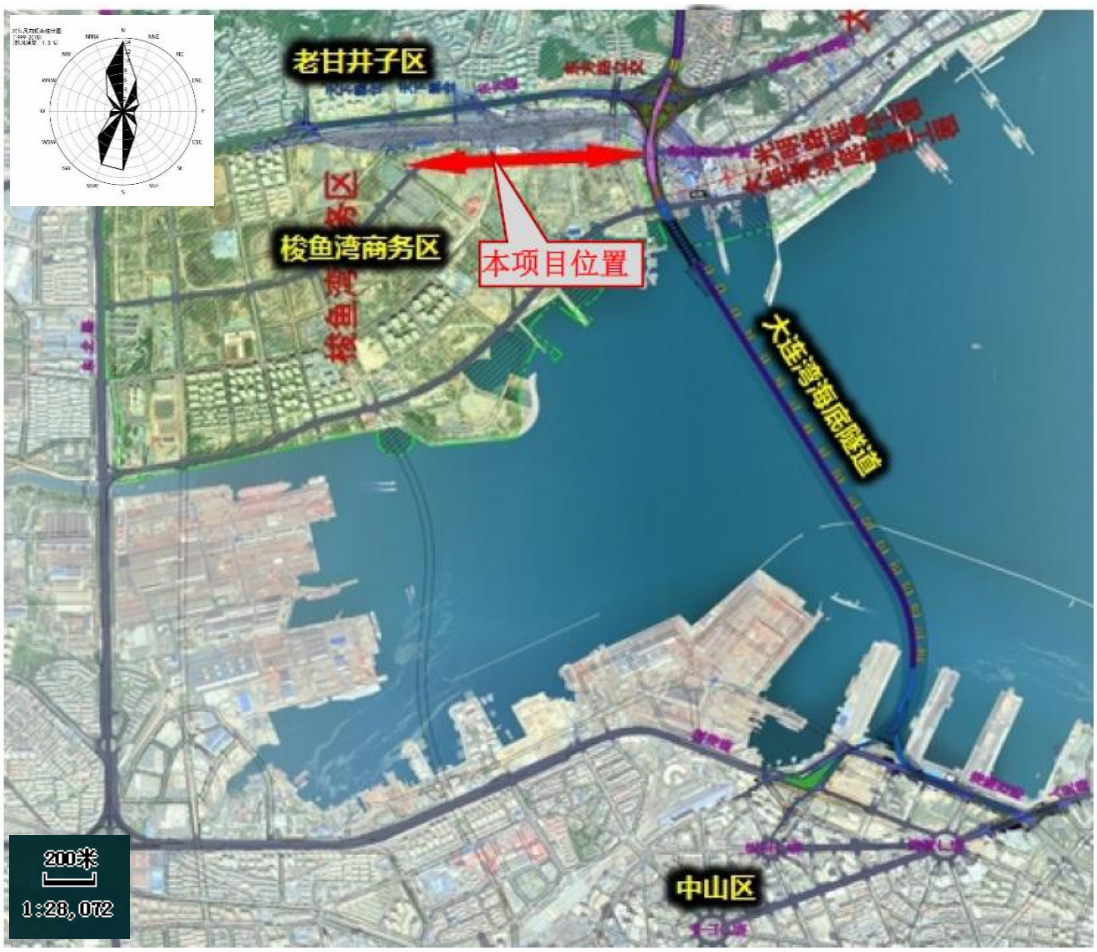

图 1-1 本项目区域位置图

1.2 梭鱼湾 20 号路概况

梭鱼湾 20 号路为大连市梭鱼湾商务区的一条城市次干路，位于现状工兴路南侧，大连湾海底隧道干坞北侧，拟作为海底隧道北岸的交通疏导道路之一。梭鱼湾 20 号路新建工程施工区域部分（面积为 42718.1m^3）位于原大化污染地块内部，需要进行修复治理。

总体方案：梭鱼湾 20 号路新建工程包括梭鱼湾 20 号路及其连接路段（包括梭鱼湾 22 号路连接路及连接路 1#、2#、3#），总长度约 2km，道路等级为城市次干路。建设内容包括道路、雨水、污水、照明、绿化、交通工程。

梭鱼湾 20 号路：设计起点为梭鱼湾 13 号路，终点为大连湾海底隧道北岸接线道路(F、G 匝道)，路线根据规划路由进行设计，K0+000~K0+536.908、K1+410.989~K1+481.908 段为整幅式断面，K0+536.908~ K1+411.00 段为分幅式断面(北半幅为现状工兴路维修，由甘井子区住房与城乡建设局组织实施，南半幅为本次梭鱼湾 20 号路新建工程范围)道路等级为城市次干路。梭鱼湾 20 号路总长度 1676.408m。

梭鱼湾 22 号路连接路：设计起点为梭鱼湾 20 号路，设计终点为梭鱼湾 15 号路，路线根据规划路由进行设计，整幅式断面，道路等级为城市主干路，设计速度为 60km/h。梭鱼湾 22 号路总长度 177.227m。

连接路 1#、2#、3#：工兴路与梭鱼湾 20 号路分幅断面处，根据规划路网，道路之间的 3 条南北向规划道路位于本次规划红线内的道路本次一并建设(新建连接路 1#、2#、3#)。连接路 1#、2#、3#北侧起点均为工兴路，南侧终点均为新建梭鱼湾 20 号路，连接路 1#车行道宽度为 15m，连接路 2#车行道宽度为 12m，连接路 3#车行道宽度为 22m。连接路 1#、2#、3#总长度 139.942m。

《梭鱼湾 20 号路新建工程项目可行性研究报告》已取得大连市发展和改革委员会的批复（大发改审批字[2023]22 号），目前为施工设计阶段。

图 1-2 梭鱼湾 20 号路建设组成情况图

1.3 原大化地块简介

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 m^2。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 m^2）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场地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场地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+土壤淋洗+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。

原《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地调查及风险评估报告》（2018 年）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，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。根据《关于对大化集团搬迁及周边改造地块风险评估报告进行重新评审的函》（大连市生态环境局，2021 年 3 月），要求大连市自然资源事务服务中心委托专业单位对大化集团搬迁及周边改造地块风险评估报告进行修正，进一步科学论证砷等污染物的修复目标值，并申请省生态环境厅重新组织评审，以便该区域能顺利开展后续的土壤修复等工作。

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部分地块重新进行风险评估，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》（2022 年）、《大化集团搬迁及周边改造项目和丰路东和美街西 ABC 区地块风险评估报告》（2022 年）、《大化集团搬迁及周边改造项目和美街东梭鱼湾路西 ABCDEF 区地块风险评估报告》（2022 年）、《大化集团搬迁及周边改造项目万景街北侧 ABCD 地块风险评估报告》（2022 年），并通过专家评审后备案。

本项目梭鱼湾 20 号路新建工程部分位于原大化污染地块内部，所在区域未重新进行风险评估。为指导污染土壤的修复工作，消除污染隐患，确保人体健康，进一步推动区域基础设施建设，**大连市市政公用事业服务中心委托大连理工加华环境科技有限公司针对梭鱼湾 20 号路新建工程位于原大化污染地块内范围（面积为 42718.1m^3）编制《梭鱼湾 20 号路新建工程污染土修复治理技术方案》**，即依据《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地调查及风险评估报告》（2018 年）以及《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地修复治理项目技术方案》（2019 年）等文件中确定的修复目标值、修复范围及修复技术方法，编制本项目实施范围内的污染土修复治理技术方案，以指导该区域后续修复工程实施工作的开展。

1.4 编制目的

为避免用地范围内残留的污染物可能对施工人员或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）提出切实可行的修复技术方案，确定不同类型污染土壤的修复技术，为污染土治理修复提供依据；

（2）使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，根据未来用地规划，给出合理的修复建议。

1.5 编制依据

1.5.1 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）《中华人民共和国噪声污染防治法》（2021 年 12 月 24 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)。

1.5.2 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）；

（25）《辽宁省生态环境厅关于印发<辽宁省污染场地风险评估筛选值（试行）>的通知》（辽环综函[2020]364 号）；

（26）《污染地块修复技术指南-固化稳定化技术（试行）》（HJ1282-2023）。

1.5.3 其他相关资料

（1）《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地调查及风险评估报告》（2018 年）；

（2）《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地修复治理项目技术方案》（2019 年）；

（3）《梭鱼湾 20 号路新建工程项目可行性研究报告》（2023 年）；

（5）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；

（6）业主提供的其他相关资料。

1.6 编制原则

1.6.1 科学性原则

采用科学的方法，综合考虑修复目标、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。

1.6.2 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，也应充分考虑区域水文地质、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。

1.6.3 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生态环境厅的验收，使得项目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。

1.6.4 可行性原则

所选择的修复技术应该成熟可靠，应在类似污染治理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，达到生态环

境厅的验收要求。

1.6.5 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土壤的扰动，避免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。

1.7 编制内容

本方案结合污染土壤的实际情况以及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，根据项目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）确定修复模式：根据污染情况和潜在环境风险，提出修复思路，确定修复范围和修复目标。

（2）修复技术筛选：根据修复范围和修复目标，对修复的可行性进行评估，筛选出最优的修复技术。

（3）修复方案设计：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。

1.9 技术路线

本项目技术路线如下图所示。

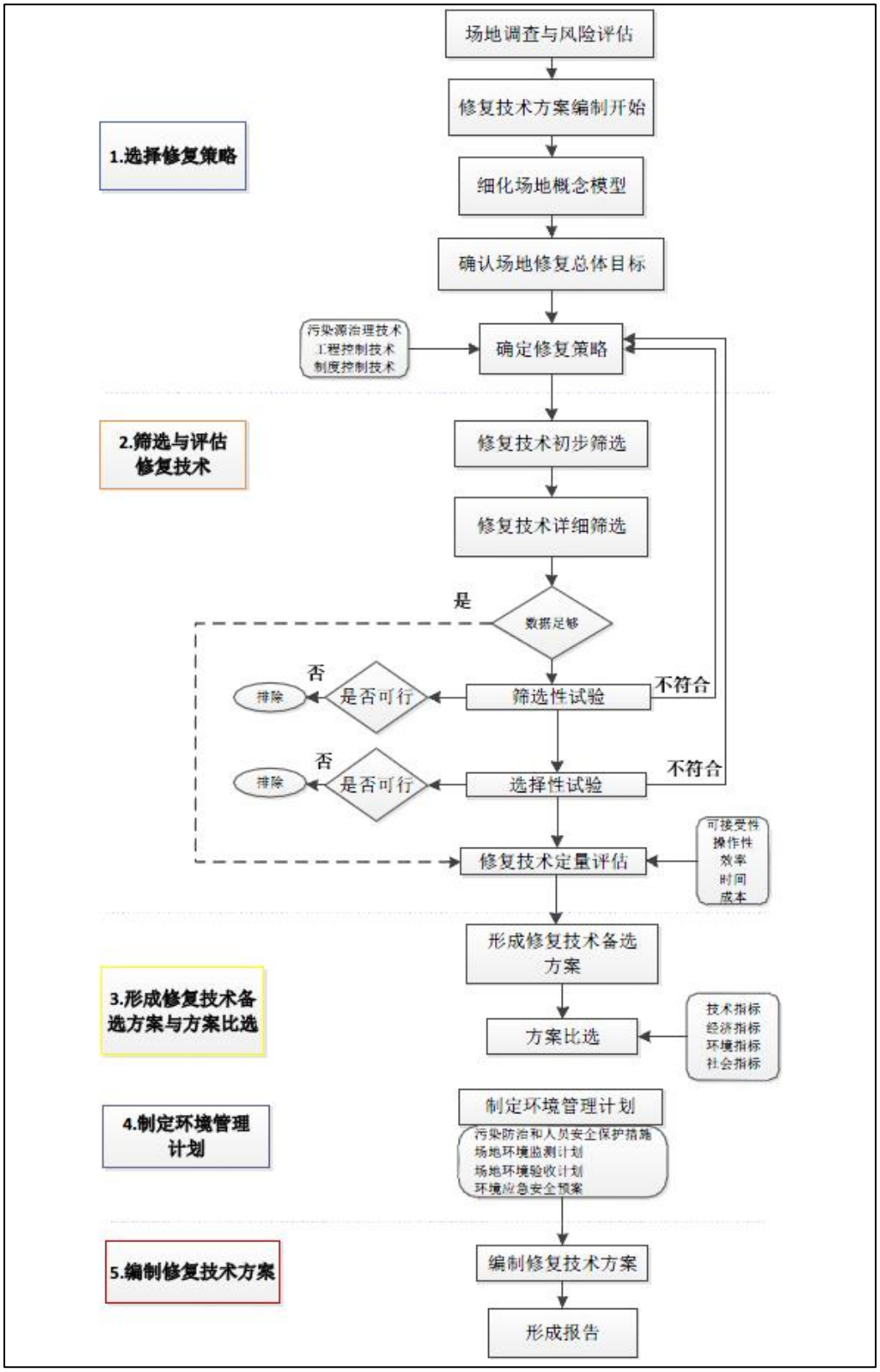

图 1-5 本项目技术路线图

2 项目问题识别

2.1 所在区域概况

2.1.1 项目位置

项目位于大连市甘井子区梭鱼湾商务区，地理位置见下图。

图 2-1 地理位置图

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，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。

2.1.3 气象气候

本项目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。

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 2001-2020 年气象数据统计分析。

表 2-1 大连气象站常规气象项目统计（2001-2020）

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
累年极端最低气温（℃）		-13.9	2016-01-23	-18.8
多年平均气压（hPa）		1005.6		
多年平均水汽压（hPa）		11.2		
多年平均相对湿度(%)		63.8		
多年平均降雨量(mm)		581.3	2011-06-26	156.7
灾害天气统计	多年平均沙暴日数(d)	0.0		
	多年平均雷暴日数(d)	13.8		
	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
多年平均风速（m/s）		3.3		
多年主导风向、风向频率(%)		N14.8%		

2.1.4 水文地质条件

本次水文地质条件资料引用自《梭鱼湾 20 号路新建工程项目可行性研究报告》(2023 年)。

⑴地形地貌

拟建工程场地属海漫滩，后经人工回填形成现有地貌。

⑵地层岩性

经钻探揭露，场地地层自上而下描述如下：

①杂填土（Q4ml）：灰黄色，松散～稍密，主要由粘性土及碎石组成，碎石粒径 2～20cm，含量约 35％～55%，局部块石粒径较大。回填时间大于 5 年，该层于场区内普遍分布。该层在地块各钻孔内均有分布，层顶标高 4.67~14.72m，层底标高 2.07~8.8m，钻孔揭露厚度 1.1~6.5m。

②含碎石粉质黏土(Q2al+pl)：褐黄色，可塑，干强度中等，韧性中等，无摇振反应，碎石含量大于 25%，粒径 2～20cm。该层仅在 ZK5 钻孔内有发现，层顶标高 6.71m，层底标高 5.51m，钻孔揭露厚度 1.2m。

③1 强风化白云岩（Zg）：黄色，结构大部分破坏，矿物成分显著变化，中厚层状构造，节理发育，岩芯呈碎块状，遇水易软化。风化程度不均匀，局部夹有中风化岩团块。该层仅在部分钻孔内有发现，层顶标高 2.24~9.95m，层底标高 1.34~9.15m，钻孔揭露厚度 0.6~1.8m。按《公路工程地质勘察规范》(JTG C20-2011)3.2 条中规定：强风化白云岩按岩体完整程度属破碎岩体；按岩石坚硬程度分类强风化白云岩为软岩。岩体基本质量等级为Ⅴ级。

③2 中风化白云岩（Zg）：灰色，隐晶质结构，节理裂隙发育，岩体较破碎，岩芯呈柱状、碎块状，岩质较硬。局部可见岩溶裂隙，宽 20～50cm，充填红黏土。该层在地块各钻孔内均有分布，层顶标高 1.34~8.8m，层底标高-5.06~2.72m，钻孔揭露厚度 5.2~8.9m。按《公路工程地质勘察规范》(JTG C20-2011)3.2 条中规定：中风化白云岩按岩体完整程度属较破碎岩体；按岩石坚硬程度分类中风化白云岩为较坚硬岩。岩体基本质量等级为Ⅳ级。

⑶地下水

本次勘察期间，仅在 ZK15 钻孔控制深度内见有地下水活动，地下水稳定水位标高 3.67m，地下水埋深 1.0m，含水层薄，分布零星，局部具上层滞水的特点。水量不大，但随季节变化很大。ZK15 位于本项目地块范围外。

梭鱼湾 20 号路新建工程项目地勘合计布设了 20 个钻孔，受场地限值，部分点位（4#、13#、14#、16#和 17#）未钻探，钻孔平面布置情况、剖面图情况分别如下图所示。

2.2 项目基本信息

2.2.1 使用历史

本项目位于原大化厂区内部，包括硝铵厂、机械厂、大化机关、机电安装公司、大化热电厂和化学品公司。

结合 2000 年以来的 Google Earth 卫星图，将场地在近十几年时间内发生的主要变化罗列如下表。场地土地利用变化情况见下图所示。

本项目地块范围内的搬迁工作于 2013 年完成，地面以空地为主，大化整体土壤污染状况调查现场采样工作于 2017 年下半年完成，根据最新的 2022 年 4 月卫星图以及现场踏勘可知，调查结束后地块范围内用地方式、地面标高等情况基本无变化。

表 2-2 场地随时间变化情况表

序号	时间范围	本项目场地具体变化
1	2000 年 3 月-2005 年 3 月	硝铵厂、机械厂、机电安装公司、大化热电厂和化学品公司，均正常生产作业
2	2005 年 3 月-2010 年 10 月	大化厂区拆迁工作逐步开展，其中硝铵厂和机械厂厂房均已拆迁完毕，大化机关、机电安装公司、大化热电厂和化学品公司部分完成拆迁。
3	2010 年 10 月-2013 年 7 月	本项目沿线大化厂区均已完成拆迁工作。
4	2013 年 7 月-2017 年 8 月	世宇通水泥拌合站建成并投入使用，为周边工程项目提供水泥产品，南侧临时施工营地建成，其他区域基本无变化。 大化整体土壤采样调查工作于 2017 年下半年完成
5	2017 年 8 月-2022 年 2 月	本项目沿线范围内用地方式、地面标高等基本无变化 海底隧道施工开始，路上干坞建成并投入使用

2.2.2 项目场地现状

根据 2022 年 4 月卫星图以及现场踏勘可知，本项目地块范围沿线现状情况如下：

东侧：位于海底隧道干坞施工区域北侧围墙外，现状以空地和荒地为主，存在一处工业遗产，为原钻石湾指挥部，工程建设中需避让保护。根据规划路由，此处工业遗产处道路分南、北幅建设，工业遗产位于道路之间绿化带内。

中部：本项目中部梭鱼湾 22 号路连接路区域，有 1 处已收储企业（世宇通水泥拌合站），属于临时占地，2023 年 2 月底已清退。

西测：本项目西侧起点与已建成的梭鱼湾 13 号路连接，以空地为主，地面较平整。

图 2-8 工业遗产（原钻石湾指挥部）

2.2.3 未来规划

本项目未来规划为梭鱼湾 20 号路，属于城市次干路，工程建设标准和工程规模如下。

（1）工程建设标准

①道路等级：梭鱼湾 20 号路为城市次干路，梭鱼湾 22 号路为城市主干路；

②设计速度：梭鱼湾 20 号路 40km/h(局部困难路段 30km/h)，梭鱼湾 22 号路 60km/h；

③道路纵坡：

梭鱼湾 20 号路最大纵坡 3.0％，最小纵坡 0.3％；

梭鱼湾 22 号路最大纵坡 1.038％，最小纵坡 1.038％；

④最小竖曲线半径：凹曲线 2000m，凸曲线 10000m；

⑤车道数：梭鱼湾 20 号路双向 4 车道，梭鱼湾 22 号路双向 6 车道；

⑥单车道宽度：混行车道 3.5m，大型车道 3.5m；

⑦道路横坡度：机动车道采用 1.5%、人行道采用 2.0%；

⑧荷载标准：BZZ-100；

⑨地震基本烈度：7 度；

（2）工程规模

①道路工程：新建车行道 24426m^2，新建人行道 7948m^2，新建明边石 3710m，新建暗边石 2499m，路基强夯 22920m^2，路基换填 7717m^3，路基填土方 44378m^3，路基挖土方 25315m^3，新建树池 388 座，新建盖板涵 1 座(47m^2)。

②雨水工程：新建Ⅱ级钢筋混凝凝土主管线(DN400)2095m，新建Ⅱ级钢筋混凝凝土主管线(DN700)250m，新建Ⅱ级钢筋混凝凝土支管线(DN300)750m，圆形雨水检查井(Φ1000)70 座，圆形雨水检查井(Φ1250)5 座，新建偏沟式双箅雨水口 150 座。

③污水工程：新建 HDPE 缠绕结构壁管(DN400)700m，新建圆形混凝土污水检查井(Φ1000)20 座。

④照明工程：路灯 8m(LED100W)81 套，路灯 12m(LED150W)1 套，路灯 12m(LED250W)12 套，电力电缆(YJV-1kV(5×25))3100m，电缆套管(热镀锌钢管 SC100)560m，照明配电柜(1.5×1×1.8m)1 座，10kV 箱式配电站(100kVA)1 座，10kV 箱式开关站(2I4D)1 座，高压进线电缆(YJV22-10kV(3×240))与电力排管(4 孔 CPVCΦ200)1000m，电力人孔井(中型直通型钢筋混凝土)20 座。

⑤绿化工程：绿化总面积 24361m^2(其中道路两侧绿化面积 6568m^2)，硬质铺装面积约 7339m^2，塑胶场地 934m^2，保护建筑占地面积 1076m^2，木质廊架 3 座，移动卫生间 5 组，景

2.3 周边环境敏感目标

本项目周边以空地和施工场地为主，周边 300m 范围内无环境敏感目标。周边 1000m 范围内敏感目标情况如下表和下图所示。

表 2-5 本项目周边敏感目标一览表

序号	敏感点名称	相对方位	最近距离（m）	常住人口（人）	用地类型
1	钻石湾三期小区	南侧	800	＞2000	居住用地
2	远洋时代海小区（在建）	南侧	750	＞2500	居住用地
3	万科金地和风明月小区	西侧	960	＞1500	居住用地
4	中国铁建青秀蓝湾小区	西侧	780	＞2500	居住用地
5	椒北社区	西侧	790	＞5000	居住用地
6	万福山庄小区	西北侧	910	＞1500	居住用地
7	天下粮仓小区	西北侧	310	＞2000	居住用地
8	港湾小学	西北侧	450	＞1000	学校用地
9	樱花园小区	西北侧	950	＞3000	居住用地
10	甘井子区甘中社区	北侧	380	＞15000	居住用地

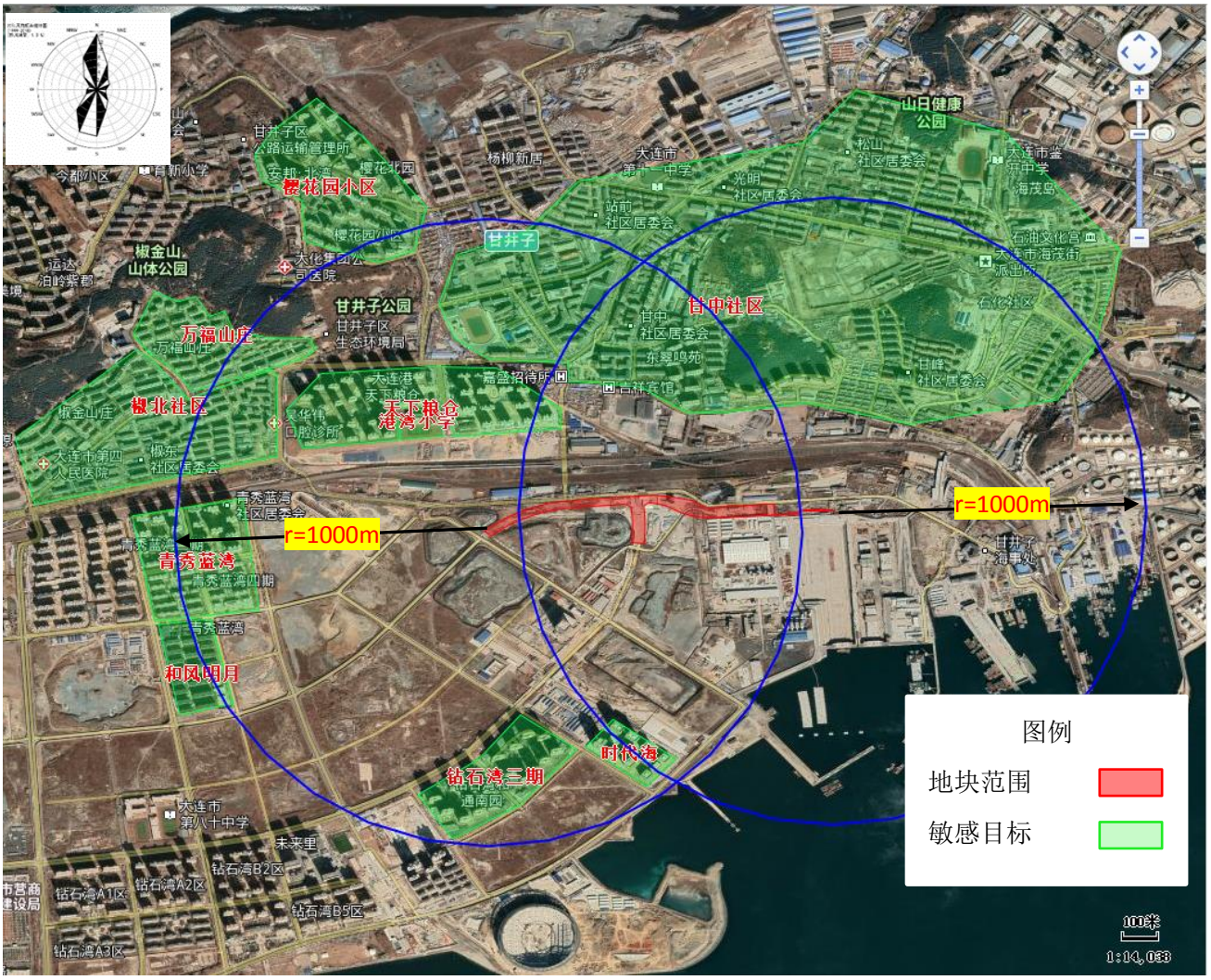

图 2-18 本项目周边敏感目标示意图

2.4 项目污染特征

2.4.1 原大化调查

（1）土壤点位情况

通过与《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地调查及风险评估报告》（2018 年）中的 976 个土壤采样点位叠图，本项目地块内土壤调查点位的数量为 20 个、样品数量为 41 个，如下表所示。根据梭鱼湾 20 号路地勘资料可知，本项目地下水水位较深，路基换填施工底标高位于地下水水位之上，因此仅统计土壤点位情况。

表 2-6 本项目地块内原大化调查土壤点位统计表

序号	钻孔编号	X	Y	Z	分区	样品数量(个)	钻孔深度（m）	原厂区
1	CS110	40164.380	4314805.850	6.758	C 区	3	4.7	硝铵厂硝氨车间
2	CS343	40190.205	4314842.705	6.552	C 区	4	4	硝铵厂硝氨车间
3	CS339	40210.345	4314840.890	6.530	C 区	6	6.3	大化机关
4	CS129	40214.824	4314855.679	6.530	C 区	3	4.5	大化机关
5	CS130	40275.612	4314871.373	6.220	C 区	2	3	机械厂
6	CS469	40333.318	4314926.010	6.053	C 区	1	1.3	机械厂
7	CS470	40421.856	4314934.093	6.387	C 区	1	1.2	其他
8	CS471	40571.602	4314931.645	8.448	C 区	2	2.2	机械厂
9	CS358	40608.095	4314927.358	8.431	C 区	1	1.4	机械厂
10	CS421	40625.764	4314949.881	8.821	C 区	1	1.3	机械厂
11	CS420	40653.962	4314899.375	8.310	C 区	3	5.5	机械厂
12	CS136	40648.530	4314854.620	6.787	C 区	1	1	机械厂
13	CS118	40640.478	4314792.604	6.777	C 区	1	1.5	机电安装公司
14	CS416	40799.749	4314932.653	9.303	C 区	1	1.4	机械厂
15	CS422	40805.960	4314912.260	7.812	C 区	2	2.5	大化热电厂
16	CS423	40855.980	4314894.750	5.837	C 区	1	1.6	大化热电厂
17	CS139	40885.870	4314873.507	4.293	C 区	1	1.6	大化热电厂
18	CS140	40937.018	4314875.365	4.311	C 区	2	2.2	大化热电厂
19	CS474	40986.977	4314909.028	4.211	C 区	2	2.7	大化热电厂
20	CS148	41047.126	4314919.967	4.143	C 区	3	3.5	大化热电厂
合计						41	-	-

（2）土壤检测结果

本项目地块内土壤调查点位的数量为 20 个、样品数量为 41 个，本项目未来规划为梭鱼湾 20 号路，属于第二类用地，因此筛选值选择 GB36600 中的二类筛选值，检测结果统计情况如下表所示。

表 2-7 本项目地块内原大化调查土壤超标污染物一览表

序号	污染物	筛选值* mg/kg	平均值 mg/kg	最大值 mg/kg	最大超标倍数	超标样品数	超标率%	样品总数
1	砷	60	13.40	75.80	0.26	2	4.88	41
2	苯并[a]芘	1.5	0.98	8.52	4.68	4	9.76	41

注：《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中第二类用地筛选值。

根据上表可知，土壤中砷和苯并[a]芘超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中第二类用地筛选值。

调查场地砷污染主要有历史生产活动导致排污沟中存在砷污染、含砷废碱渣和硫铁矿渣填海所致，这也与现场采样时有些土壤样品呈暗红色吻合。场地详细调查中发现，SVOCs 超标区域基本涵盖整个调查场地，主要污染 SVOCs 种类为多环芳烃类等。与炼焦车间历史生产过程中产生多环芳烃以及填海材料含有硫铁矿渣和碱渣等有关。

本项目地块内土壤超标点位合计为 5 个、超标样品为 6 个、超标深度 0.5m~3.5m，详细情况见下表所示。

表 2-8 本项目地块内原大化调查土壤超标点位一览表

序号	阶段	点位编号	样品深度 m	超标污染物	检出浓度 mg/kg	筛选值 mg/kg	超标倍数
1	初查	CS110	1.0	苯并[a]芘	2.11	1.5	0.41
2	初查	CS129	0.8	砷	75.8	60	0.26
3	初查	CS130	2.5	砷	66.1	60	0.10
4	详查	CS148	0.5	苯并[a]芘	2.56	1.5	0.71
5	详查	CS343	0.8	苯并[a]芘	1.94	1.5	0.29
6	详查	CS343	3.5	苯并[a]芘	8.52	1.5	4.68

从超标点位平面分布来看，CS110、CS129、CS130 和 CS343 均位于梭鱼湾 20 号路西侧起点路段，桩号 K0+031.844~K0+180；中部无超标点位；东侧仅有一个超标点位，即 CS148 点位（桩号 K0+960~K0+980 路段），超标深度为 0.5m，超标因子为苯并[a]芘。如下图所示。

（3）涉嫌污染区域

根据 2018 年调查结果，以不超标土壤点位所在桩号为界，确定本项目涉嫌污染区域如下图 2-21 所示，包括西侧涉嫌污染区域和东侧涉嫌污染区域。

2.4.2 补充调查

（1）土壤点位情况

为调查了解本项目地块内的土壤污染情况，本次修复方案进行了土壤补充采样调查，合计布设了 30 个土壤点位，样品数量为 60 个，如下表和下图所示。

参照《建设用地土壤环境调查评估技术指南》的要求："详细调查阶段，对于根据污染识别和初步调查筛选的涉嫌污染的区域，土壤采样点位数每 400m^2 不少于 1 个，其他区域每 1600m^2 不少于 1 个"。本次土壤补充采样在原大化整体调查的基础上，涉嫌污染的道路西侧和东侧区域每 400m^2、布设一个土壤点位，合计 12 个；道路中部等其他区域每 1600m^2 布设一个土壤点位，合计 18 个。

表 2-10 土壤补充调查点位统计表

钻孔编号	X	Y	样品数量(个)	钻孔深度（m）	备注
T1	41380223.0643	4315665.2982	2	2	西侧涉嫌污染区域加密布点满足 20m×20m
T2	41380237.7006	4315679.0389	2	2	
T3	41380252.7803	4315693.5775	2	2	
T4	41380268.8612	4315705.5844	2	2	
T5	41380286.4247	4315715.4245	2	2	
T6	41380304.6091	4315725.6192	2	2	
T7	41380322.3500	4315735.0161	2	2	
T8	41380340.8462	4315742.8567	2	2	
T9	41380359.6464	4315749.9122	2	2	
T10	41380406.5551	4315767.7950	2	2	中部等其他区域满足 40m×40m
T11	41380456.1492	4315775.8600	2	2	
T12	41380517.9795	4315783.5067	2	2	
T13	41380577.2596	4315788.7790	2	2	
T14	41380630.5435	4315792.7669	2	2	
T15	41380700.4935	4315794.4090	2	2	
T16	41380702.6060	4315749.3685	2	2	
T17	41380703.0803	4315699.3351	2	2	
T18	41380702.1413	4315647.2569	2	2	
T19	41380743.7265	4315798.2864	2	2	
T20	41380799.4943	4315796.3953	2	2	
T21	41380841.5199	4315784.1258	2	2	
T22	41380853.5610	4315750.8564	2	2	
T23	41380896.2949	4315745.6654	2	2	
T24	41380931.4737	4315739.5306	2	2	
T25	41380972.7307	4315741.0047	2	2	
T26	41381019.1267	4315742.2328	2	2	
T27	41381064.1161	4315744.5992	2	2	
T28	41381084.9532	4315745.5457	2	2	东侧涉嫌污染区域加密布点满足 20m×20m
T29	41381105.5181	4315746.4338	2	2	
T30	41381125.7464	4315747.1756	2	2	
合计			60	-	-

（2）土壤检测因子

本次土壤补充采样检测因子为本项目地块内原大化 2018 年调查超一类用地筛选值的特征污染物，包括锑、镉、砷、1,2-二氯丙烷、苯并[a]芘、菲、苯并(a)蒽和苯并(b)荧蒽，并增加检测因子石油烃。如下表。

表 2-11 土壤监测因子方案

项目	监测因子	依据
土壤	1.锑、镉、砷、1,2-二氯丙烷、苯并[a]芘、菲、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽 2.石油烃	1.原大化调查超一类用地筛选值因子 2.2018 年至今，可能存在污染

（3）土壤检测结果

本次补充土壤调查点位的数量为 30 个、样品数量为 60 个，本项目未来规划为梭鱼湾 20 号路，属于第二类用地，因此筛选值选择 GB36600 中的二类筛选值，检测结果统计情况如下表所示。

表 2-12 梭鱼湾 20 号路土壤补充调查结果统计表

序号	污染物	筛选值* mg/kg	平均值 mg/kg	最大值 mg/kg	最大超标倍数	最大值占标率%	样品总数
1	锑	180	1.7	9.18	/	5.1	60
2	镉	65	0.1	0.6	/	0.9	60
3	砷	60	10.0	33	/	55.0	60
4	1,2-二氯丙烷	5	/	/	/	/	60
5	菲	2724	/	/	/	/	60
6	苯并(a)蒽	15	0.1	0.1	/	1.3	60
7	苯并(b)荧蒽	1.5	0.4	0.4	/	26.7	60
8	苯并[a]芘	1.5	0.2	0.2	/	13.3	60
9	石油烃（C10-C40）	4500	72	72	/	2.5	60

注：《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中第二类用地筛选值。

根据上表可知，本次补充调查土壤中各检测因子均满足《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中第二类用地筛选值。

2.5 土壤污染风险

本项目土壤污染风险参考《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地调查及风险评估报告》（2018 年）相关内容如下。

表 2-14 原大化土壤污染风险内容

项目	情景一（全部开挖）	情景二（0~6m 开挖）
暴露情景	假设大化集团搬迁及改造后地块的调查深度范围内土壤在开发利用阶段土壤全部开挖，调查深度范围内土壤开挖过程中充分暴露。	假设大化集团搬迁及改造后地块在开发利用阶段，根据规划需要，仅需开挖地表以下 6m 范围内表层土壤，即地表以下 6m 范围内的表层土壤在开发利用阶段充分暴露，而 6m 以下的深层土壤保持原状，不需要开挖。
关注污染物	砷、苯并[a]芘等 31 种。	砷、苯并[a]芘等 31 种。
用地规划	居住用地、商业用地、道路等。	居住用地、商业用地、道路等。
敏感受体	儿童和成人。	儿童和成人。
暴露途径	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。
风险评估结论	26 种污染物超过可接受水平，对敏感受体具有健康风险，包括砷和苯并[a]芘。	22 种污染物超过可接受水平，对敏感受体具有健康风险，包括砷和苯并[a]芘。

根据原大化区域 2018 年调查结果可知，本项目地块内土壤中的砷和苯并[a]芘存在超标情况，虽然本次补充采样土壤中各因子均未超标，但保守考虑，本项目所在区域土壤具有一定的人体健康风险，需要进行修复治理。

3 选择修复模式

3.1 修复总体思路

本项目的土质特征、污染特征、业主需求分析汇总如下：

（1）污染物为多环芳烃苯并[a]芘和重金属砷，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）土壤以原位土和回填土为主，污染时间较长；

（4）地块未来将作为梭鱼湾 20 号路开发，明挖方式施工；

（5）周边敏感受体较多；

（6）线性工程，施工范围内无法提供修复空间；

（7）**施工周期短，要求 2023 年 6 月底建成通车**。

综合考虑上述因素，确定修复的总体方式如下：

（1）地块修复对象为污染土壤，修复施工周期短，采取异地方式进行治理；

（2）原位基坑施工时序：修复范围区域划定→道路挖填（污染土转运）→路面强夯→雨水、污水等管线施工（污染土转运）→原位阻隔（道路结构层施工和绿化带换填）→基坑效果评估；

（3）异地施工时序：污染土到达→分类暂存→预处理→分类处理→异位验收；

（4）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）由于施工周期短，异位治理达标土壤无法用于基坑回填，可转运至其他市政相关工程，进行资源化利用。

3.2 确认修复条件

3.2.1 核实相关资料

在编写修复技术方案前收集与本项目土壤污染及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场地调查及风险评估报告》（2018 年）；

（2）修复治理技术方案：《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地修复治理项目实施方案》（2019 年）；

（3）委托单位提供的其他资料：红线图、地形标高图、平面布置图、纵断面图等。

通过对收集的资料进行整理分析及属地生态环境部门工作人员进行访谈，具体文件审核结果清单见下表。

表 3-1 资料审核清单

范围	审核文件	审核结果
环境调查相关文件	调查报告（备案稿）	明确了主要污染物、污染浓度水平、纵向分布范围、超筛选值情况等，可以作为修复方案编制的依据。
	水文地质报告	
	备案相关文件	明确了调查报告的程序合理性。
风险评估相关文件	风险评估报告（备案稿）	明确了超过健康风险水平的污染物种类、修复目标值、修复范围
	设计文件	**已取得可研批复** **正在进行初步设计**
	备案相关文件	记录完善，符合方案要求
相关图件	地理位置图	相关图件真实准确
	修复范围图	
	地下水流场图	
	地质剖面图	

3.2.2 关注污染物理化性质

本项目主要关注污染物特性如下表所示。

表 3-2 本项目关注污染物特性分析一览表

编号	污染物名称	相对密度	挥发性	沸点℃	溶解性与稳定性
1	砷（无机）	5.778	熔点200℃	1400	不溶于水
2	苯并[a]芘	1.351	半挥发性熔点179.3℃	475	不溶于水，微溶于乙醇、甲醇，溶于苯、甲苯、二甲苯、氯仿、乙醚、丙酮等。遇明火、高热可燃。受高热分解

3.2.3 现场考察状况

3.2.3.1 场内及周边情况

本工程东西向贯穿老甘井子，位于梭鱼湾商务区北侧，大连湾海域北岸，路线距离南侧海岸线约 600m。梭鱼湾 20 号路建设范围内现状地上布置有电力架空杆线、热力杆线。工程范围内存在一处工业遗产(原钻石湾指挥部)，工程建设中需避让保护。

经现场踏勘，周边临近分布以空地、荒地为主，与梭鱼湾 22 号路连接路区域，本项目地块范围内有 1 处已收储企业（世宇通水泥拌合站），属于临时占地，目前已清退完毕。

3.2.3.2 沿线地面标高

本工程建设区场地北高东低，道路范围东部，西部地势较高，中间地势低，西侧文体街标高处约 6.2 米，地势从西向东呈缓坡状降低，标高最低处即原钻石湾指挥部门前约 4.20 米，东部大连湾海底隧道北岸处工兴路道路标高约 8.00 米。

3.2.3.3 未来规划

本项目未来规划为梭鱼湾 20 号路，属于城市次干路。位于现状工兴路南侧，大连湾海底隧道干坞北侧，拟作为海底隧道北岸的交通疏导道路之一。

3.2.4 补充相关技术资料

通过现场踏勘及现有资料核对，现有资料已经可以满足修复方案编制所需要的基础信息要求。

3.3 更新污染概念模型

污染概念模型是综合描述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，

并对周边居住、工作人群的健康产生影响的关系模型。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。建立合理的污染概念模型对于有效指导后期污染修复至关重要，污染概念模型的建立主要基于在调查过程中收集的各种信息，综合考虑水文地质情况、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，对概念模型进行了更新。

（1）关注污染物

本项目关注污染物为砷和苯并[a]芘。

（2）污染特征

调查场地砷污染主要有历史生产活动导致排污沟中存在砷污染、含砷废碱渣和硫铁矿渣填海所致，这也与现场采样时有些土壤样品呈暗红色吻合。场地详细调查中发现，SVOCs 超标区域基本涵盖整个调查场地，主要污染 SVOCs 种类为多环芳烃类等。与炼焦车间历史生产过程中产生多环芳烃以及填海材料含有硫铁矿渣和碱渣等有关。

（3）地层分布

拟建工程场地属海漫滩，后经人工回填形成现有地貌。基岩分布较浅，浅层以受扰动杂填土为主，主要由粘性土及碎石组成；少量钻孔存在含碎石粉质黏土；深层以强风化白云岩和中风化白云岩为主。

（4）未来规划及敏感受体

本项目未来规划为梭鱼湾 20 号路道路，属于二类用地，敏感受体为成人。

（5）暴露途径

未来规划为城市道路，从暴露途径来看，经原位阻隔后，污染土壤深埋在阻隔层之下，切断了人群的经口摄入、皮肤接触、吸入土壤颗粒物等暴露途径，人群的暴露途径主要为吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物。

本项目关注污染物包括重金属（砷）和 SVOCs（苯并[a]芘），不含 VOCs，因此在采取基坑清挖土壤异位治理、阻隔基坑下污染土的修复模式后，人群健康风险可接受。

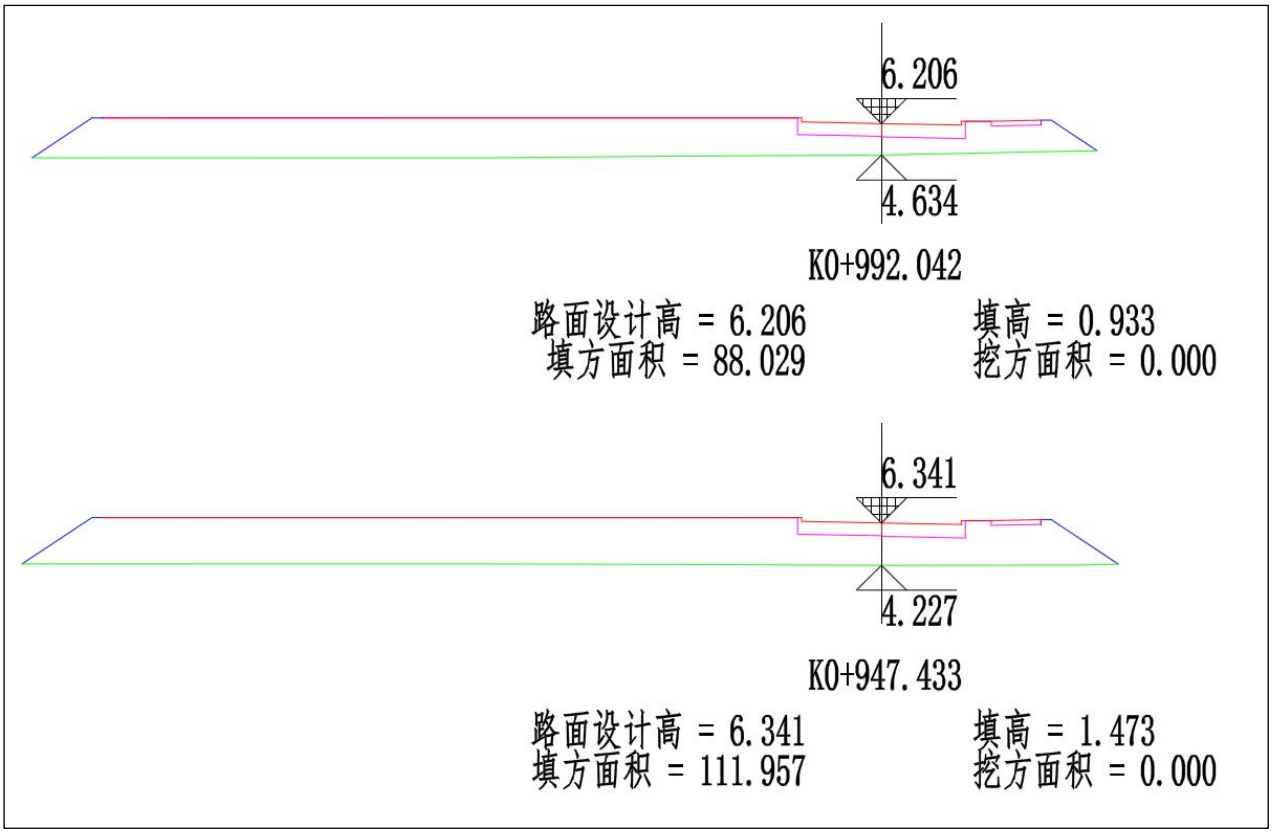

图 3-7 3#修复区域路基土方计算图

3.6.4 土壤修复工程量汇总

本项目土壤修复工程量为 9905.4m^3，其中重金属污染土壤修复方量为 4563.6m^3、SVOCs 污染土壤修复方量为 5341.8m^3。

表 3-13 本项目污染土方量统计表

序号	区域	修复面积 m^2	污染类型	修复方量 m^3
1	1#修复区域	1768.5	SVOCs	2844.3
2	2#修复区域	2480.4	重金属	4563.6
3	3#修复区域	2096.6	SVOCs	2497.5
合计		6345.5	/	9905.4

4 修复技术筛选

4.1 土壤修复技术简述

4.1.1 土壤淋洗技术

土壤淋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。

土壤淋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。

土壤淋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 壤淋洗技术应用较多，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，通过淋洗可以达到减量化要求。

土壤淋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、滚筒淋洗机等）、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。

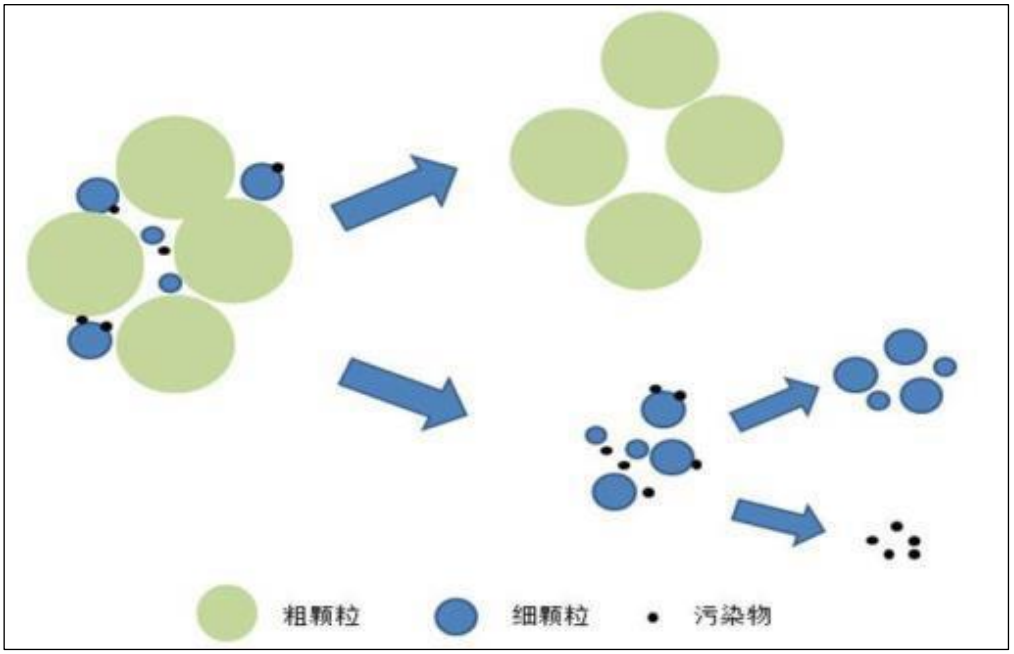

图 4-1 土壤淋洗反应机理示意图

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。

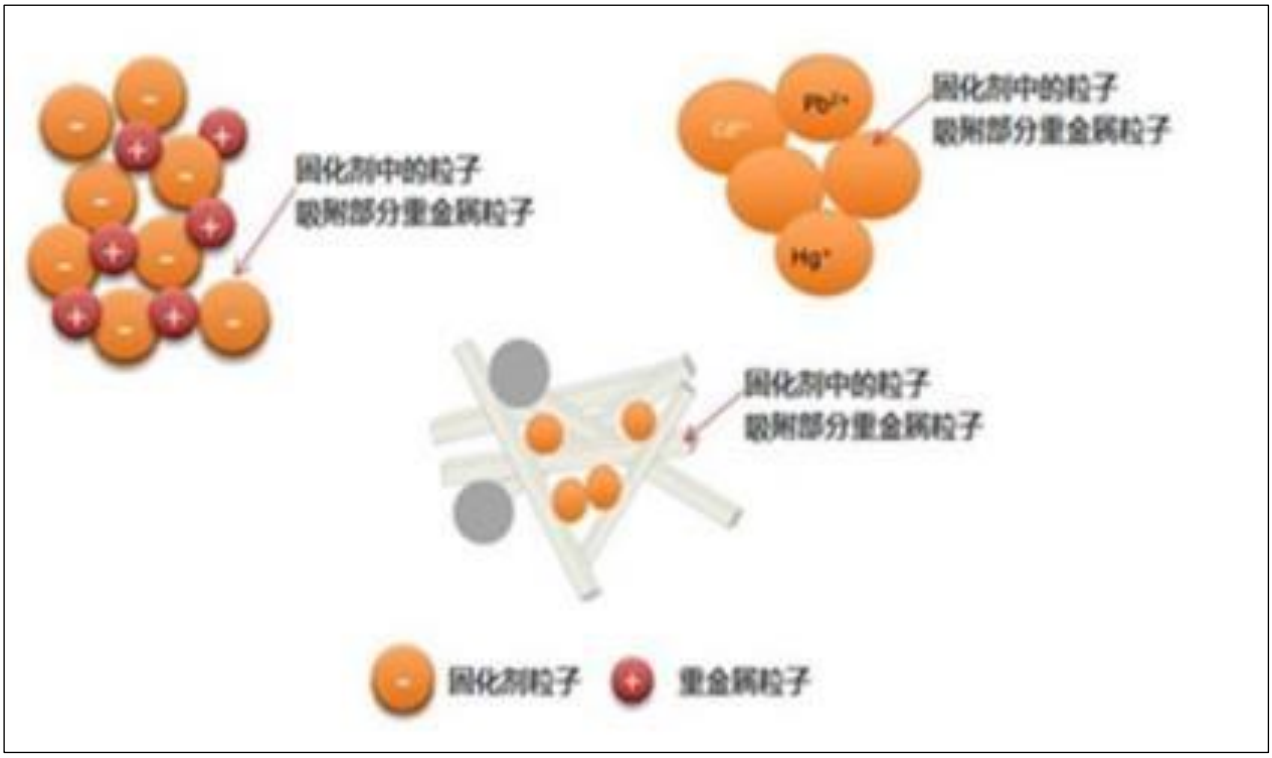

图 4-2 固化/稳定化反应机理示意图

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 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。

4.1.4 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^{-7}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。

4.1.5 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。

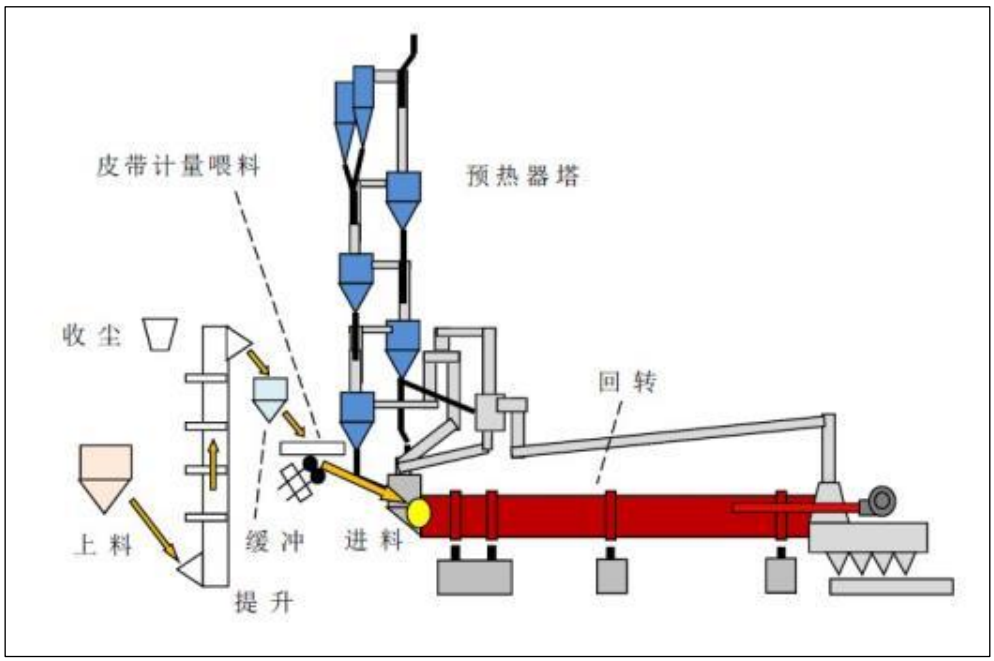

图 4-3 水泥窑协同处置流程示意图

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。

表 4-1 本项目污染土壤修复技术备选方案

项目	**方案一（推荐）**	方案二（备选）	方案三
	土壤淋洗+化学氧化+稳定化+阻隔填埋	水泥窑协同处置	化学氧化+稳定化+阻隔填埋
工艺特点	土壤淋洗技术可实现修复减量化	变成水泥产品	操作简单
方案缺点	有工艺废水产生	目前当地无符合条件的水泥窑	填埋量大
主要设备	一体化淋洗设备、混合搅拌设备	水泥窑处置设备	混合搅拌设备
法律法规符合性	符合法律法规规定	符合法律法规规定	符合法律法规规定
技术成熟度	每项技术均很成熟	技术成熟	每项技术均很成熟
当地技术获取难度程度	容易	难	容易
修复时间	中	中	中
修复成本	中	高	中
修复目标达成度	高	高	高
环境影响	该理念符合导则所提到的“显著较少污染物数量、毒性和迁移性，鼓励采用绿色、可持续的资源化修复”；稳定化+阻隔填埋修复技术是目前重金属土壤修复的常用手段，虽无法做到总量去除，但其修复时间、修复成本和环境影响均较小。	水泥窑协同处置过程中会产生窑炉尾气等二次污染，目前水泥窑尾气治理工艺成熟，对环境空气的影响可接受。	化学氧化修复后的土壤可有效的减少土壤中污染物含量，实现总量去除。稳定化修复后土壤进行阻隔填埋虽无法做到总量去除，但其修复时间、修复成本和环境影响均较小。
本项目适用性	高	中	中

根据本项目所在区域的工程条件、修复工程量及修复要求等情况，本项目污染土壤建议采用**方案一（土壤淋洗+化学氧化+稳定化+阻隔填埋）**进行修复治理。

水泥窑协同处置备选方案：水泥窑系统处置技术成熟度高，已成为国内很多城市主要的污染土壤治理方法，但大连地区水泥窑企业以接收危险废物协同处置为主，修复成本约 1500 元/m^3，远高于方案一修复成本。若本项目修复治理施工前，大连地区的水泥窑企业完成接收污染土壤协同处置技改，修复成本低于本项目修复方案，业主单位大连市市政公用事业服务中心可组织专家重新论证采用水泥窑协同处置方案，进行本项目的修复治理工作。

4.3 修复技术可行性评估

4.3.1 小试试验

本项目修复技术可行性评估小试试验方案及结果参照《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地修复治理项目技术方案》（2019 年），该方案已通过专家评审，并取得备案。

根据小试试验结果可知，土壤淋洗技术、固化稳定化技术和化学氧化技术可用于原大化污染地块区域污染土壤的修复治理，能够满足修复目标要求。

表 4-2 小试试验结果统计表

序号	修复技术	原始浓度 mg/kg	试验参数	试验结果
1	土壤淋洗	砷：17.9~2510 苯并[a]芘：0.33~20.31	水土比：2:1 淋洗液：水	污染物浓度随着土壤粒径的增大，呈现先增大后减小的趋势，主要集中在粒径<0.83mm 部分。
2	稳定化	砷：166~2510	药剂：碱性氧化物 MetaCon 投加比：1%、3%和 5%。	浸出液中的重金属浓度基本上均小于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）Ⅳ标准，仅有一个 1%稳定剂添加比的样品砷浸出浓度超过标准。
3	化学氧化	苯并[a]芘：0.55~157.07	药剂：过硫酸盐 投加比：5%、10%、15%	固体残留物中 SVOCs 类和 VOCs 类污染物浓度除 CS206-1.0m 样品外均低于修复目标。

4.3.2 周边已修复情况

本项目周边原大化污染地块范围内，自 2019 年《中华人民共和国土壤污染防治法》施行以来，已完成污染土修复治理并取得效果评估验收地块包括 A5 地块和梭鱼湾足球场地块。

大化地块内 A5 地块和梭鱼湾足球场地块目前均已完成污染土修复治理并取得效果评估验收备案，情况如下表所示。

表 4-3 已修复地块与本项目修复情况对比表

序号	项目	A5 地块	足球场	本项目
1	业主单位	大连新悦置业有限公司	大连市土地发展集团有限公司	大连市市政公用事业服务中心
2	修复单位	大连建邦环境修复有限责任公司	中节能大地（杭州）环境修复有限公司	/
3	污染类型	重金属+VOCs+SVOCs	重金属+VOCs+SVOCs	重金属+SVOCs
4	修复技术	常温解吸+淋洗+稳定化+氧化+阻隔+填埋	常温解吸+淋洗+稳定化+氧化+阻隔+填埋	淋洗+稳定化+氧化+阻隔+填埋
5	修复方案阶段	7.0 万 m^3	13.1 万 m^3	约 1.0 万 m^3

序号	项目	A5 地块	足球场	本项目
	预估修复方量			
6	实际工程修复方量	10.6 万 m^3	13.5 万 m^3	/
7	暂存区域	C6 地块	L1 和 L2	C6 地块
8	异位修复厂区	C6 地块	C6 地块	C6 地块
9	特征污染物浓度最大值	砷：818mg/kg 苯并[a]芘：61mg/kg	砷：1660mg/kg 苯并[a]芘：4.49mg/kg	砷：75.8mg/kg 苯并[a]芘：8.52mg/kg
10	修复方案变更情况	详规调整，清挖深度平均增加 0.6m、污染土方量增加 2.1 万 m^3。	细颗粒含量（粒径＜0.075mm）超过 60%部分污染土，淋洗减量化效果不明显，直接采取固话或（且）稳定化处理	①目前为初步设计阶段，施工存在变化情况； ②若细颗粒（粒径＜0.075mm）含量＞50%，可以对修复技术进行优化。
11	常温解吸	占地 2000m^2 常温解吸大棚一座，每 2 小时翻动一次，批处理时间 2-3 天，换风每小时 1 次，环境温度＞5℃。	占地 2000m^2 常温解吸大棚一座，每 2 小时翻动一次，批处理时间 2-3 天，换风每小时 1 次，环境温度＞5℃。	本项目不涉及 VOCs 污染
12	土壤淋洗	北建工自研土壤淋洗成套设备，设计最大处理能力 1000m^3/d，淋洗剂是水，水土比 5:1，洗脱时间 10-15min，洗脱次数 1 次。	山东杰瑞公司的土壤淋洗成套设备，设计最大处理能力 1500m^3/d，淋洗剂是水，水土比 5:1，洗脱时间 10-20min，洗脱次数 1 次。	可利用已建山东杰瑞和宝航公司公司的土壤淋洗成套设备各一套，总处理能力 2000 m^3/d。
13	化学氧化	氧化剂为过硫酸钠，添加量为 2%，养护 5-7 天，含水率 20%-30%	氧化剂为过硫酸钠，添加量为 2%，养护 5-7 天，含水率 20%-30%	拟选用氧化剂为过硫酸钠
14	固化稳定化	稳定化药剂选取以生石灰为主的碱性氧化物，添加量土壤干重的 3%，修复周期为淋洗后的 7 天。	稳定化药剂选取以生石灰为主的碱性氧化物，添加量土壤干重的 3%，修复周期为淋洗后的 7 天。	拟选用稳定化药剂选取以生石灰为主的碱性氧化物

通过对比，大化地块内已实施修复项目情况，得到主要结论与经验如下：

（1）**重金属、SVOCs 污染土壤，采用淋洗+稳定化+氧化+阻隔+填埋技术完全可行**；

（2）C6 地块已承接 A5 地块和足球场污染土治理工程，并取得效果评估验收，完全有能力成为本项目异地修复场区；

（3）本项目目前为初步设计阶段，若施工方案发生清挖深度变化等情况，应对修复方案进行变更，并组织专家进行论证；

（4）本项目清挖过程中，根据粒径分析报告，若存在细颗粒（粒径＜0.075mm）含量＞50%

情况，修复施工单位可以组织专家对修复技术方案进行优化论证。

（5）目前 C6 地块已建成常温解吸大棚一座，土壤淋洗设备两套，可进行异位化学氧化或固化稳定化的防渗场地约 8000m^2，本项目完全可利用既有条件。

（6）已完成治理项目特征污染物重金属砷的最大浓度分别为 818mg/kg 和 1660mgkg，远于本项目 75.8mg/kg，固化稳定化药剂选择以生石灰为主的碱性氧化物、添加量土壤干重的 3%，可以满足本项目修复治理目标；特征污染物苯并[a]芘的最大浓度分别为 61mg/kg 和 4.49mgkg，与本项目 8.52mg/kg 相近，化学氧化药剂选择过硫酸钠、添加量土壤干重的 2%，可以满足本项目修复治理目标。

5 修复方案设计

5.1 修复技术路线

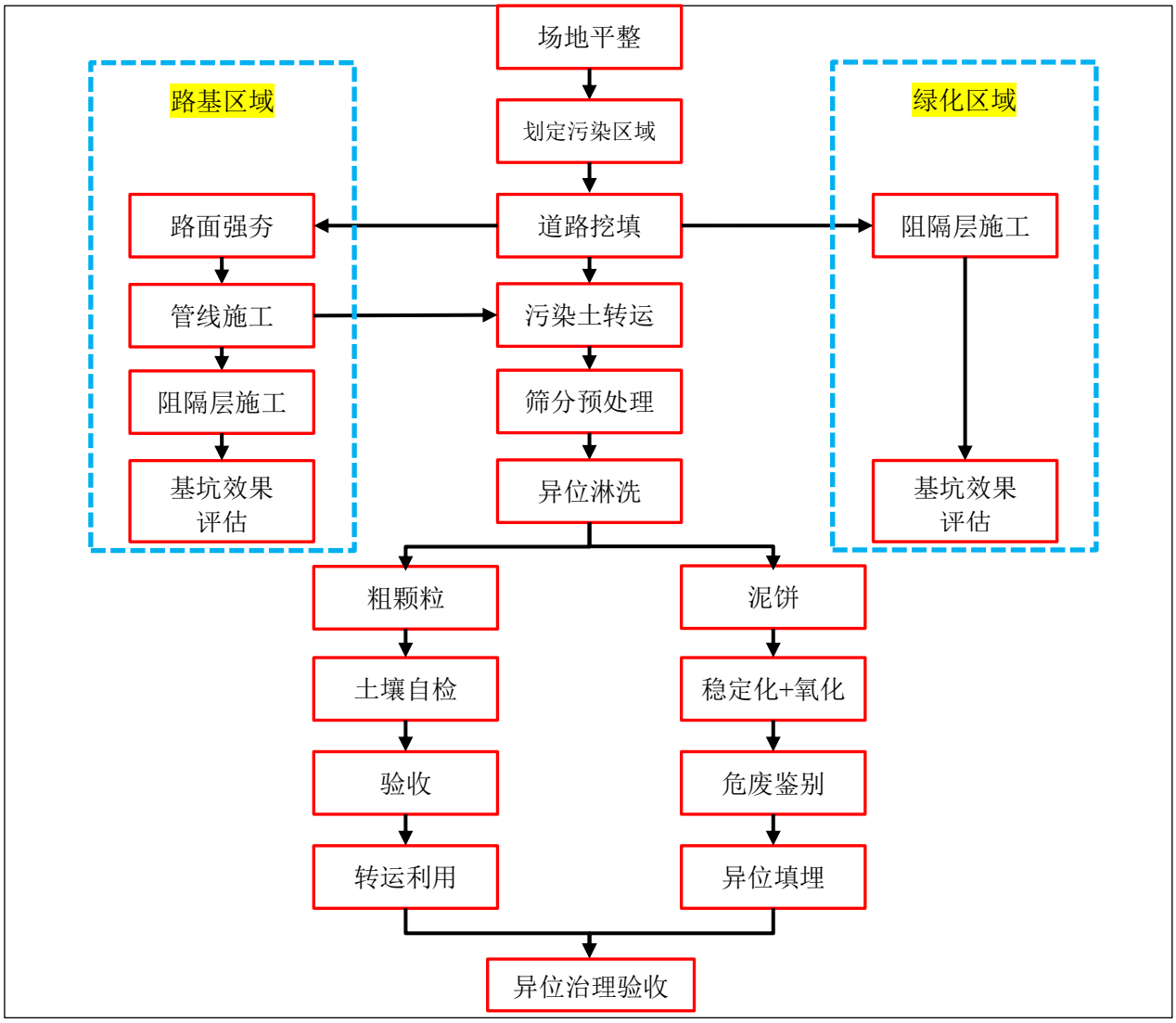

图 5-1 总体修复技术路线图

本项目修复技术路线说明：

（1）污染修复范围内挖方，全部转运至异位修复场地进行治理；

（2）由于施工期紧张，本方案异位修复场地拟设置在 C6 地块，最终场地由土壤修复治理中标单位确定；

（3）本项目路基区域拟采用路面结构层作为阻隔层，绿化带区域拟采用换填绿化土方式作为阻隔层。

5.2 方案设计

5.2.1 清挖方案

（1）挖方统计

本项目 1#和 2#修复区域以挖方路段为主，3#修复区域为填方路段，修复区域内土方平衡情况如下表和下图所示。

表 5-1 本项目修复区域土方平衡表

挖方		弃方	
类别	方量(m^3)	类别	方量(m^3)
1#区域 SVOCs 污染土壤	2844.3	达标粗颗粒土壤转运毛茔子利用	7924.3
2#区域重金属污染土壤	4563.6	泥饼 ^{a} 填埋	1981.1
3#区域 SVOCs 污染土壤	2497.5		
合计	9905.4	合计	9905.4

注 *a*：泥饼产生量按 20%考虑，具体方量按实际产生量为准。

（2）清挖原则

污染土壤的现场清挖工作应遵循以下主要原则：

1）分段、分区域土壤开挖原则；

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）清挖现场进行大气环境监控原则，以保障施工人员及周边居民的健康风险。

（3）工艺流程

合理安排土壤开挖及运输工作，避免由于开挖顺序不合理造成二次污染。工艺流程包括编制清挖范围施工图→现场放线→污染土壤清挖→基坑侧壁效果评估检测→污染土转运异位修复。

（4）清挖目标

安全目标：确保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，确保土壤清挖到位，达到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）开挖方法

现场采用反铲对基坑进行开挖。为保证正常施工，现场施工机械必须服从管理，紧密配合施工，确保土方可以及时挖出、倒运满足现场施工要求。

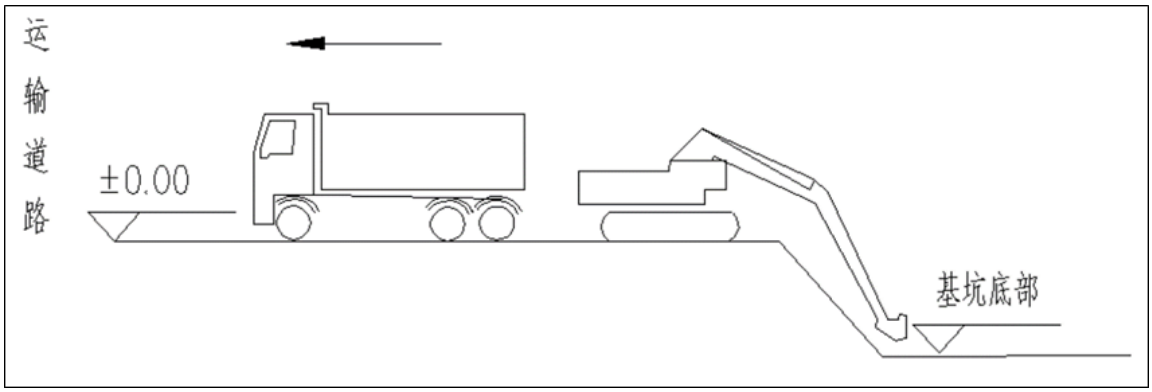

图 5-5 反铲侧向挖土法示意图

（6）设备数量

该方案共需现场清挖土壤共约 1.0 万方。推荐选用挖斗量在 2.1m^3 的 45 吨级正铲挖掘机，每台挖掘机每个台班（工作 8 小时）挖方量为 800m^3，清挖工期按 10 日历天计算，共需要至少 2 台挖掘机，才能保证工程的顺利进行。

5.2.2 运输方案

（1）运输原则

本项目土壤需进行场内和场外的运输，具体包括：土壤装载、场内运输、场外运输等环节。其运输应遵循如下原则：

1）污染土壤的运输车辆应全过程密蔽，出场应进行淋洗，减少遗撒和防止二次污染。

2）污染土壤的运输车辆进出场应填写台账，并配备专车进行现场指导与监控，确保污染土壤运输到位。

3）污染土壤运输应尽量采用单循环形式，避免车辆对车带来的延误与不便。

4）污染土壤的场外运输路线要避开人口密集区、水源保护地等敏感点。

5）污染土壤的运输时间应符合大连政府的有关规定，尽量选择在非高峰期出行，并减少运输车辆在路途上的停留时间。

（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）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，并做好施工现场周边及运输道路沿线单位和居民的配合工作，为土方外运工作的顺利进行创造有利条件。

3）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。

表 5-2 运输过程设备安排表

序号	设备名称	备注
1	挖土机	土方开挖
2	渣土专用自卸运输车	土方运输
3	铲车	清理地面
4	推土机	土壤平整
5	洒水车	现场及道路防尘
6	巡逻车	机械抢修遗洒清扫

4）人员配备

土壤运输需配备人员如下表。

表 5-3 人员配备

序号	类型	备注
1	挖掘机司机	现场挖土
2	运输车司机	污染土的运输
3	推土机司机	配合挖运卸载
4	洒水车司机	现场及道路防尘
5	巡逻车司机	机械抢修遗洒清扫
6	现场清洁人员	负责现场清扫
7	记录员	车辆进出管理
8	巡视员	负责巡逻排查

（3）工艺流程

污染土壤运输的工艺流程如下图所示。

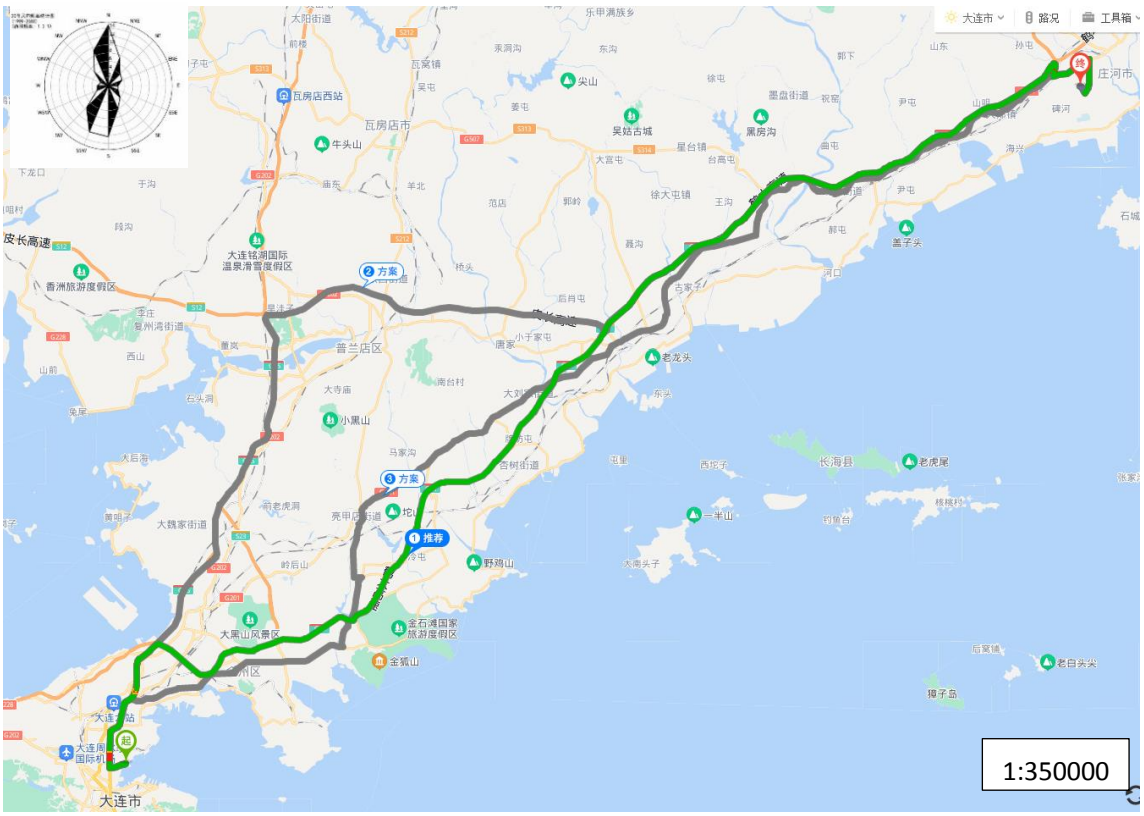

图 5-18 泥饼外运路线示意图（至英特填埋场，单程约 168.5km）

5.2.3 预处理方案

（1）工艺流程

污染土壤转运至异位修复 C6 地块，目前 C6 地块可用于污染土壤暂存场地面积约 1.5 万平，完全可容纳本项目约 1 万 m^3 污染土。进行土壤淋洗修复前，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）。

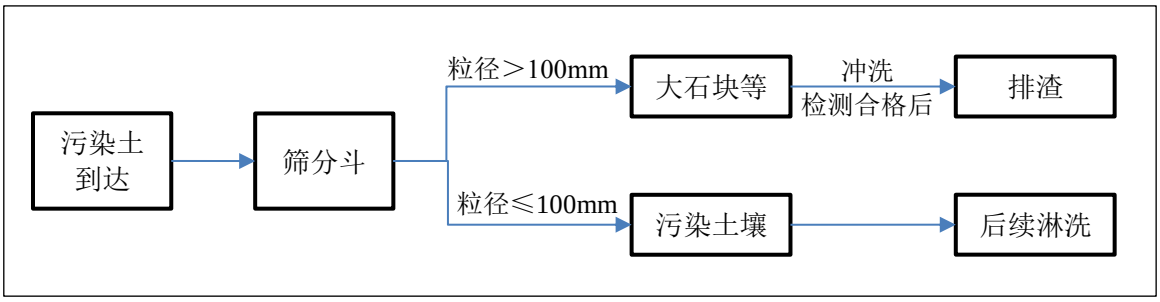

图 5-19 预处理筛分工艺流程示意图

（2）工艺设备及参数

筛分设备一般采用筛分斗，配合挖机使用。可对混合垃圾、土壤、建筑垃圾等按大小进行分类、筛选处理。筛分斗处理的尺寸可通过调整筛分板进行调节，筛分范围为 15~200mm，根

5.2.4 土壤淋洗方案

（1）工艺流程

土壤淋洗技术工艺流程如下图所示。

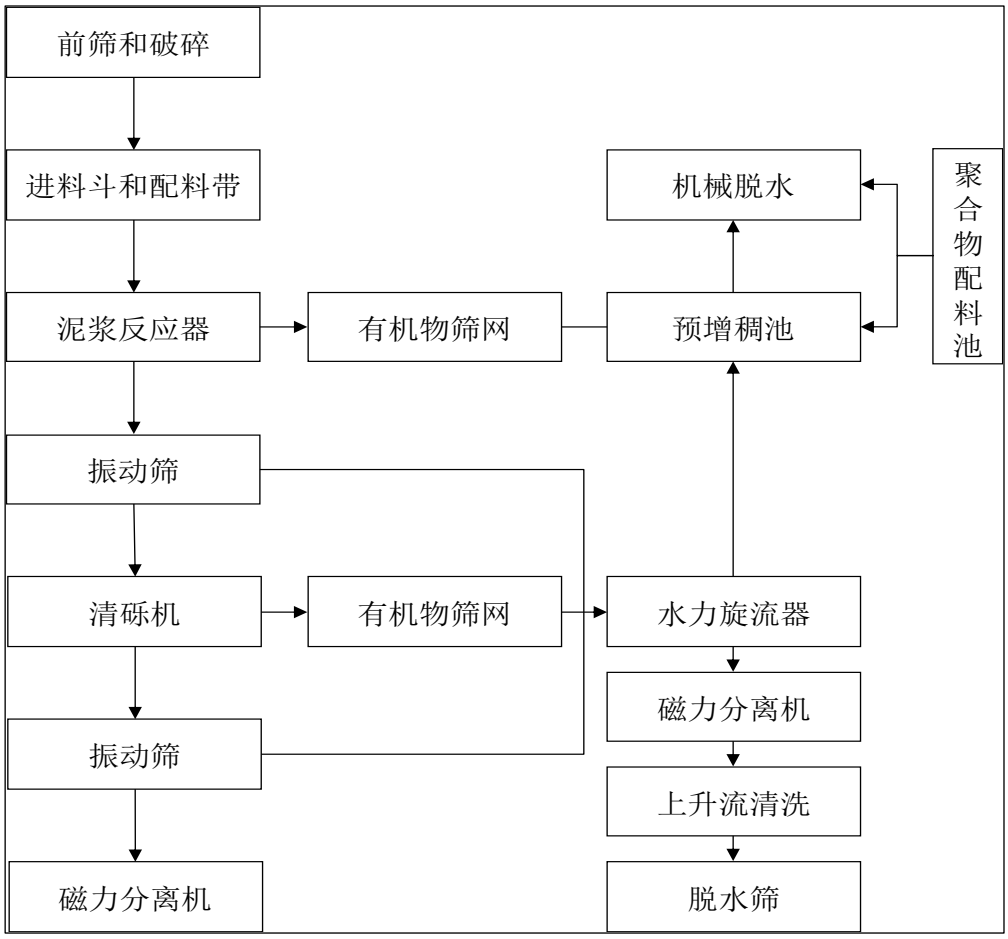

图 5-21 污染土壤淋洗修复工艺流程示意图

①前筛和破碎设备

为保证土壤淋洗过程顺利进行，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（土壤淋洗设备组成之一）将土壤淋洗并过筛。如果选择滚筒筛洗涤器，在污染土壤再次进入土壤淋洗设备之前必须将土壤中粒径大于 30mm 的粗砂和淋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淋洗设备处理量的变异性并使处理能力最优化。

（3）预计效果

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

（4）施工进度安排

本项目土壤淋洗施工包括前期准备和修复治理两个阶段，最大预计需要 50 天：

前期准备：若利用现有设备，运行前调试预估需要 5 天；若租赁场地、安装淋洗设备，预估需要 30 天。

修复治理：处理效率取 500m^3/d，本项目需要进行土壤淋洗的土方量为 9905.4m^3，则土壤淋洗时间为 20 天。

5.2.5 稳定化方案

（1）工艺流程

污染土壤经淋洗后产生的泥饼进行稳定化处理，稳定化工艺流程如下图所示。

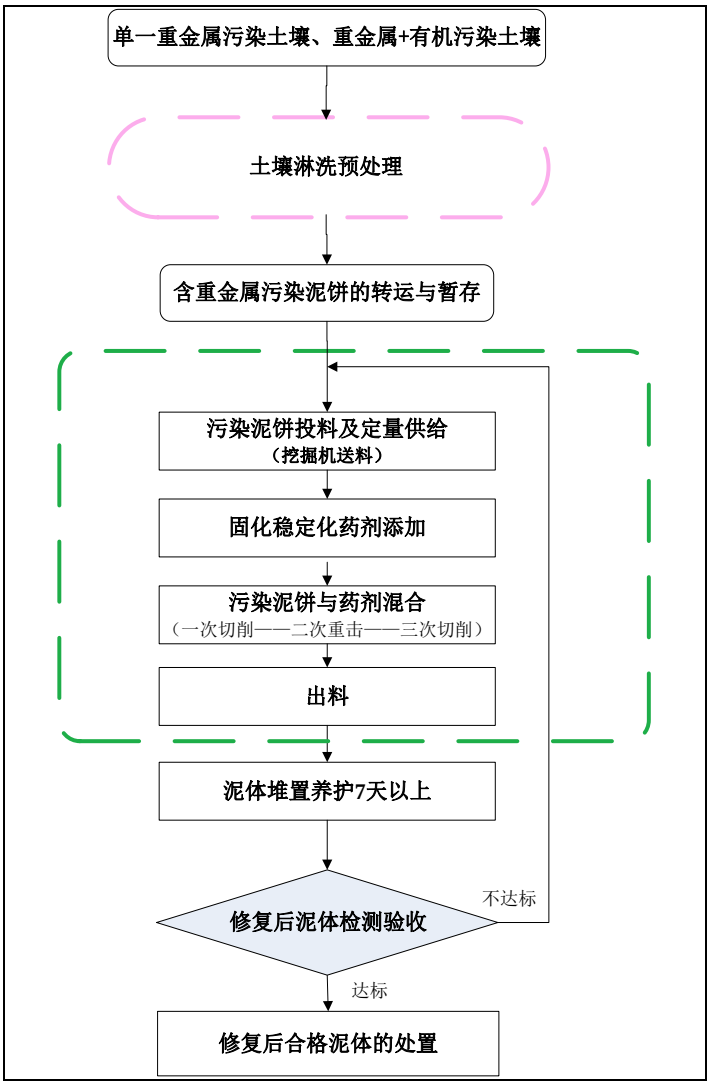

图 5-22 重金属污染土壤稳定化修复工艺流程示意图

5.2.6 化学氧化方案

（1）工艺流程

含 SVOCs 污染土壤经淋洗后产生的泥饼，需要进行化学氧化处理，化学氧化技术工艺流程如下图所示。

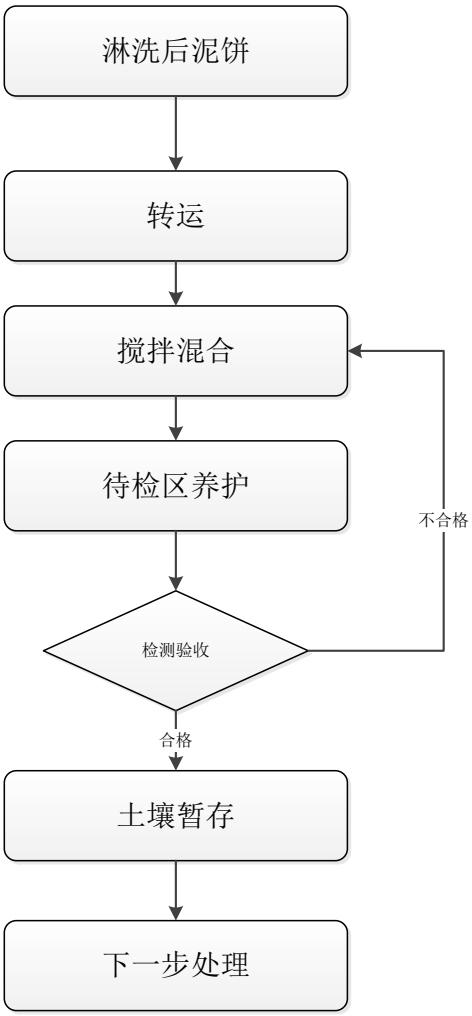

图 5-23 化学氧化修复工艺流程示意图

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：淋洗后含有 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

本项目化学氧化修复效率约为 500~1000m^3/天。

5.2.7 原位阻隔方案

（1）原位阻隔方式

本项目原位阻隔依托道路主体工程措施（路面结构层、人行步道结构层和换填绿化土），不计入修复工程量和修复费用。

（2）工艺流程

本方案原位阻隔工艺流程如下图所示。

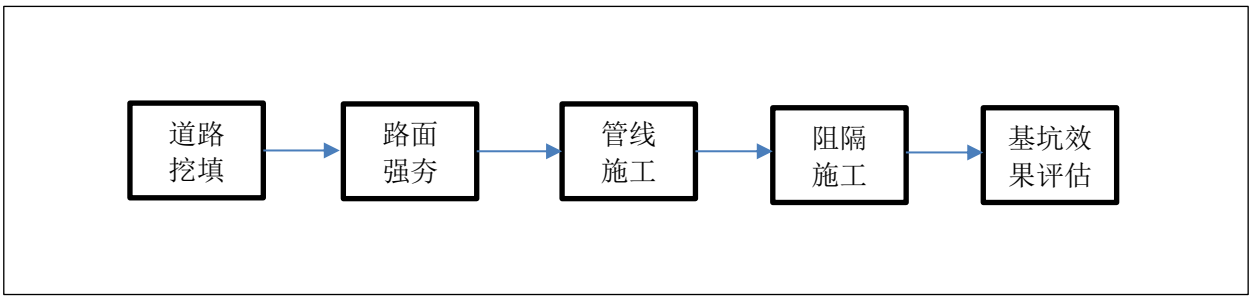

图 5-24 原位阻隔技术工艺流程

（3）原位阻隔方式

本项目原位阻隔工程量及做法如下表所示。

表 5-6 原位阻隔工程量、做法及要求

区域	面积*	做法	规格
路基区域	24462m^2	路面结构层（详见图 2-13 道路路面结构图）	路面结构总厚度 78cm，如下： 5cm 细粒式 SBS 改性沥青混凝土(AC-16C)。 浇洒粘层油(PC-3)0.5L/m^2。 8cm 中粒式沥青混凝土(AC-25C)。 浇洒透层油(PC－2)0.9L/m^2。 25cm 水泥稳定碎石(6%)。 20cm 级配碎石。 20cm 级配碎石。
人行步道	7948m^2	人行道结构层（详见图 2-14 人行道、边石结构图）	人行道结构层总厚度 26cm，如下： 抛砂砖(40×20×6cm)。 5cm 厚 1:9 水泥石屑。 15cm 水泥稳定碎石(水泥含量 4%)。 土基压实(≥92%)。
绿化区域	24361m^2	换填绿化土	绿化土厚度≮50cm

注：上表中的面积为梭鱼湾 20 号路新建工程整体工程面积。

5.2.8 污水处理方案

清挖基坑：本项目修复区域挖深为 0.037m~0.754m、绝对标高为 6.683m~7.139m，区域地下水水位绝对标高为 3.67m，施工作业面位于地下水水位线之上，不会有基坑废水产生。

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收集至土壤淋洗系统配套的污水处理设备进行处理，采用调节、混凝沉淀、石英砂过滤、活性炭吸附的处理工艺。

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。经处理达标后的废水回用于土壤淋洗系统，施工结束后排放。

本项目废水执行的排放标准为国家《污水综合排放标准》（GB8978-1996）和辽宁省《污水综合排标准》（DB 21/1627-2008）。

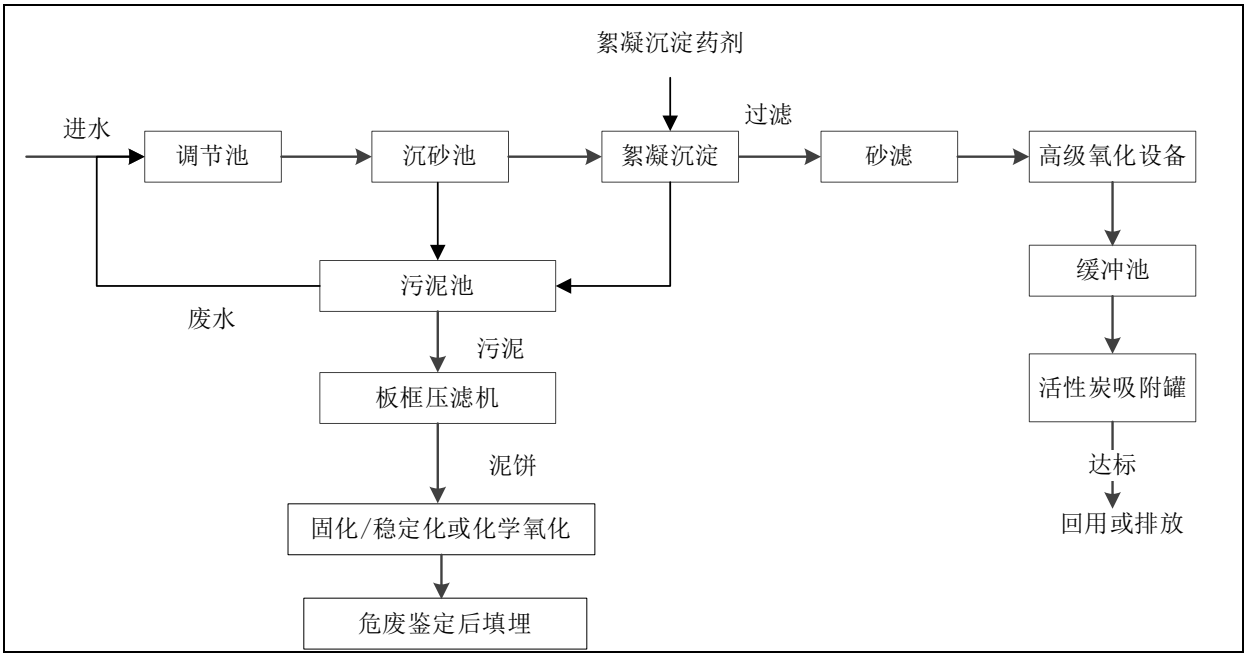

图 5-25 污水处理工艺流程图

6 环境管理计划

6.1 环境管理技术要求

6.1.1 施工现场管理

（1）现场管理

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。

图 6-1 五牌一图

（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。

6.1.2 污染土壤运输管理

本方案推荐采用异地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淋洗产生的泥饼，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，并同时报送所在地和接收地生态环境主管部门。

6.1.3 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。

表 6-4 修复药剂进场记录单（样表）

项目名称								
序号	药剂进场日期	药剂名称	包装形式	药剂进量（kg/t）	存放位置	是否属于危险化学品	经办人（签字）	备注
1								
2								
3								
4								
5								
……								
施工单位：（盖章）								
项目负责人：（签字）								

表 6-5 修复药剂使用记录单（样表）

表单编号：

项目名称								
序号	药剂使用日期	药剂使用对象	药剂名称	是否属于危险化学品	药剂使用量(kg/t)	药剂领用人（签字）		备注
1								
2								
3								
4								
5								
……								
施工单位：（盖章）								
项目负责人：（签字）								

注：药剂使用对象为污染土壤、污染地下水、其他三类。

6.1.4 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。

6.1.5 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 修复工程监理

修复工程监理是受责任主体委托，依据有关环境保护法律法规、环境调查评估备案文件、修复方案备案文件、监理合同等，对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。修复工程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。

6.2.1 工作内容

修复工程监理工作内容是监督修复工程是否满足环境保护的要求等，协调好工程与环境保护、以及业主与各方的关系。监理工作主要内容：

（1）准备阶段修复工程监理内容包括：了解具体施工程序及各阶段的环境保护目标，参与修复工程设计方案的技术审核，确定修复工程监理工作重点，协助业主监理完善的环保责任体系，建立有效的沟通方式等，并编制修复工程监理细则。

（2）修复工程施工阶段工程监理内容包括：核实修复工程是否与修复方案符合，环保设施是否落实，是否建立事故应急体系和环境管理制度；监督环境保护工程和措施，监督环保工程进度；检查和监测施工过程中产生的水、气、声、渣排放，施工影响区域应达到规定的环境质量标准；对场内运输污染土壤、污水车辆的密闭性、运输过程进行修复工程监理；对场内修复工程相关措施和废水处理进行监督管理；施工过程中基坑开挖等是否按有关建筑施工要求进行；对异位处置过程，包括存储区及处理区防渗措施的落实和监控；检查污染土储存区、处置设施的尾气排放设施和监测设施是否完备，确认各项条件是否符合环境要求；检查必要的后期管理长期监测井设置；根据施工环境影响情况，组织环境监测，行使修复工程监理监督权；向

6.2.2 工作模式

修复工程监理一般包括三种工作模式：

模式 1：包容式监理模式。工程监理完全负责修复工程监理，其优点是充分利用工程监理体制，环保工作与质量进度费用直接挂钩，执行力强；缺点是业务人员环保知识不足、针对性不强。

模式 2：独立式监理模式。工程监理与修复工程监理相互独立，呈并列关系。其优点是环保知识专业化、与环保主管部门协调能力强、环保要求把握准确；缺点是工程监理人员对工程实施相关知识情况了解不足、对施工单位的约束和指导、执行力不足。

模式 3：组合式工程监理。监理单位内设置修复环保监理部门，由环保人员担任监理工作。其优点是利于资源共享，实时跟进、较好发挥专业性；缺点是受制于工程监理，独立性难以得到保证。

由于修复工程属于环保工程，对实施监理工作人员的环境保护知识要求较高，所以无论采取何种工作模式，都应以实现修复工程监理的内容为主导，以保证修复工程按实施方案展开。

6.2.3 工作程序

修复工程监理工作主要分为三个阶段：修复工程设计阶段、修复工程施工准备阶段和修复工程施工阶段。具体工作程序见下图。

6.2.4 工作方法

修复工程监理的工作方法主要包括核查、监督、报告、咨询、宣传培训等。

1）核查

在修复工程实施之前，修复方案中的修复技术、修复地点、相关环保措施等内容可能会出现调整变化。工程监理应根据相关法规仔细审核修复方案与相关文件的符合性，对调整的内容及其可能产生的环境影响进行初步判断，并及时反馈业主，建议业主完善相关环保手续或要求修复单位对修复方案进行补充完善。

修复方案实施过程中，工程监理应审查各承包商报送的分项施工组织设计、施工工艺等涉及环境保护的内容，做好对施工方案的审核，在工程监理审核通过后方可进行相关施工工序。若因其他原因调整修复方案，工程监理应通过资料核对和现场调查的方式，全程持续调查修复项目实际的工程内容、污染防治措施等是否按照设计文件施工。

重点核查以下内容：核查修复工程与修复技术方案的变化情况，如发生重大变化，应尽快

报告包括定期报告、专题报告、阶段报告、总结报告。定期报告：根据工程进度，编制工作月报、季报等定期报告提交至建设单位，对当前阶段环保工作的重点和取得的成果、现存的主要环境保护问题、建议解决的方案、下阶段工作计划等进行及时总结。应包括以下内容：工程概况、环境保护执行情况、主体工程环保工程进展、施工营地和工程环保措施落实情况、环保事故隐患或环保事故、修复工程监理现存问题及建议。

专题报告：在项目出现方案不符、环保措施落实不到位或其他重大环保问题时，需形成修复工程监理专题报告报建设单位。修复工程施工涉及环境敏感目标时，编制专题报告，反映环保重点关注对象，提出环保要求。

阶段报告：项目完成施工后、运行之前，应就修复工程设计、施工过程中的修复工程监理工作进行总结。

总结报告：就修复过程中环保设计、实施、运行情况进行总结，反映存在的问题并提出建议，是竣工验收的必备材料。

6.3 二次污染防范

6.3.1 大气污染防治措施

施工单位应严格按照《大连市人民政府关于印发大连市大气污染防治行动计划实施方案的通知》（大政发[2014]47 号）、《大连市人民政府关于实施蓝天工程的意见》（大政发[2015]57 号）和《关于加强大气污染源环境监管工作的通告》（大连市生态环境局）等相关管理规定，加强大气污染防治，主要措施如下。

①强化扬尘污染防治责任，施工单位要在开工前制定施工现场扬尘控制措施，对施工现场实施封闭围挡、道路硬化、材料堆放遮盖、工程立面围护、建筑垃圾清运等措施。落实物料堆场抑尘控尘措施。尤其针对于道路两侧居民区实施封闭围挡加高加宽、以及道路晒水等措施，尽可能的减小施工废气对道路两侧居民的影响。

②污染土壤清挖过程中，严格控制开挖创面，减少污染物暴露的机会。

③污染土壤清挖、运输、暂存过程中，主要采取洒水降尘措施：在施工区域内每 2-4 小时洒水一次，保持道路表面清洁和湿润，大风（四级及以上）天气不进行起尘量大的工程作业，且对基坑开挖面进行苦盖。

④暂存区堆存的土方要使用篷布覆盖，减少待检土堆放扬尘。

⑤加强回填土方堆放场的管理，要制定土方表面压实、定期喷水、覆盖等措施；不需要的

6.3.6 异味控制措施

（1）如现场清挖过程中有异味产生，则在施工区域配置异味控制药剂和喷洒设备，一旦出现异味，立刻喷洒药剂，控制异味的扩散。

（2）基坑开挖时，采用小面积开挖的方式，尽量减少土壤的暴露面和暴露时间，挖掘出的污染土壤立刻装车运往土壤预处理区。运输车辆做好苫盖，减少运输过程中的异味扩散。

（3）基坑开挖结束后，如现场管道敷设施工过程中有异味产生，应立刻喷洒药剂，控制异味的扩散。

（4）基坑开挖后回填前，应用彩条布覆盖，防止异味扩散。

（5）加强现场管理，安排定期巡视，同时利用便携式 PID 测定场地环境空气中的有机污染物，确保一旦发现有异味扩散，立刻采取措施进行处理。

（6）若基坑开挖过程中有明显异味产生，或便携式 PID 测定结果偏高，应对土壤进行采样分析，要求检测因子至少包括 GB36600 的基本项目 45 项。

6.3.7 二次污染防治措施汇总

本项目二次污染防治措施汇总情况如下表所示。

表 6-6 二次污染防治措施一览表

区域	污染因子	防治措施	执行标准
基坑清挖	扬尘	洒水、防尘网、围挡、限制车辆行驶速度以及保持路面的清洁，跟踪监测。	施工及堆料场地扬尘排放标准（DB21/2642-2016）
	异味	小作业面开挖、苫盖、PID 快检设备、异味控制药剂和喷洒设备。	《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准
	车辆、机械尾气	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	
	施工废水	收集后用于洒水降尘，若排放需达标。	《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中“第一类污染物最高允许排放浓度”及辽宁省地方标准《污水综合排放标准》（DB21/1627-2008）中“排入污水处理厂的水污染物最高允许排放浓度”
	噪声	需合理安排机械设备施工，采取降噪措施，削减噪声源源强度，机械配备消声装置，保证白天与夜间场界噪声达标，现场噪声定期监测。	《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）
运输道路	扬尘	控制车速、路面清扫及洒水	施工及堆料场地扬尘排放标准（DB21/2642-2016）
	车辆噪声和尾气	规划好运输车辆的运行路线与时间，禁止鸣笛，控制车速，	《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准
异位	预处理筛分	保持土壤含水率，加强施工区域上、下风向及	施工及堆料场地扬尘排放标准

区域	污染因子	防治措施	执行标准
治理	颗粒物	敏感点处的环境监测	（DB21/2642-2016）及《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准
	暂存区扬尘	洒水、防尘网、围挡	
	噪声	需合理安排机械设备施工，采取降噪措施，削减噪声源源强度，机械配备消声装置，保证白天与夜间场界噪声达标，现场噪声定期监测。	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准
	生活污水	化粪池，环卫部门定期清运	《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中“第一类污染物最高允许排放浓度”及辽宁省地方标准《污水综合排放标准》（DB21/1627-2008）中“排入污水处理厂的水污染物最高允许排放浓度”
	渣块、机械冲洗及淋洗等施工废水	经异位修复场区污水管道收集至土壤淋洗系统配套的污水处理设备，处理达标后回用于土壤淋洗，施工结束后剩余部分需达标排放。	

6.3.8 环境监测计划

本项目异位修复场区拟设置在 C6 地块，若土壤修复治理中标单位异位修复设置在其他区域，建议按本次方案给出的环境监测原则设置异位修复场区的监测方案。

6.4 修复效果评估

6.4.1 主要工作内容

6.4.1.1 更新污染概念模型

根据风险管控与修复进度，以及掌握的项目信息对污染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。

6.4.1.2 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。

6.4.1.3 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。

6.4.1.4 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。

6.4.1.5 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。

风险管控与土壤修复效果评估工作程序见下图。

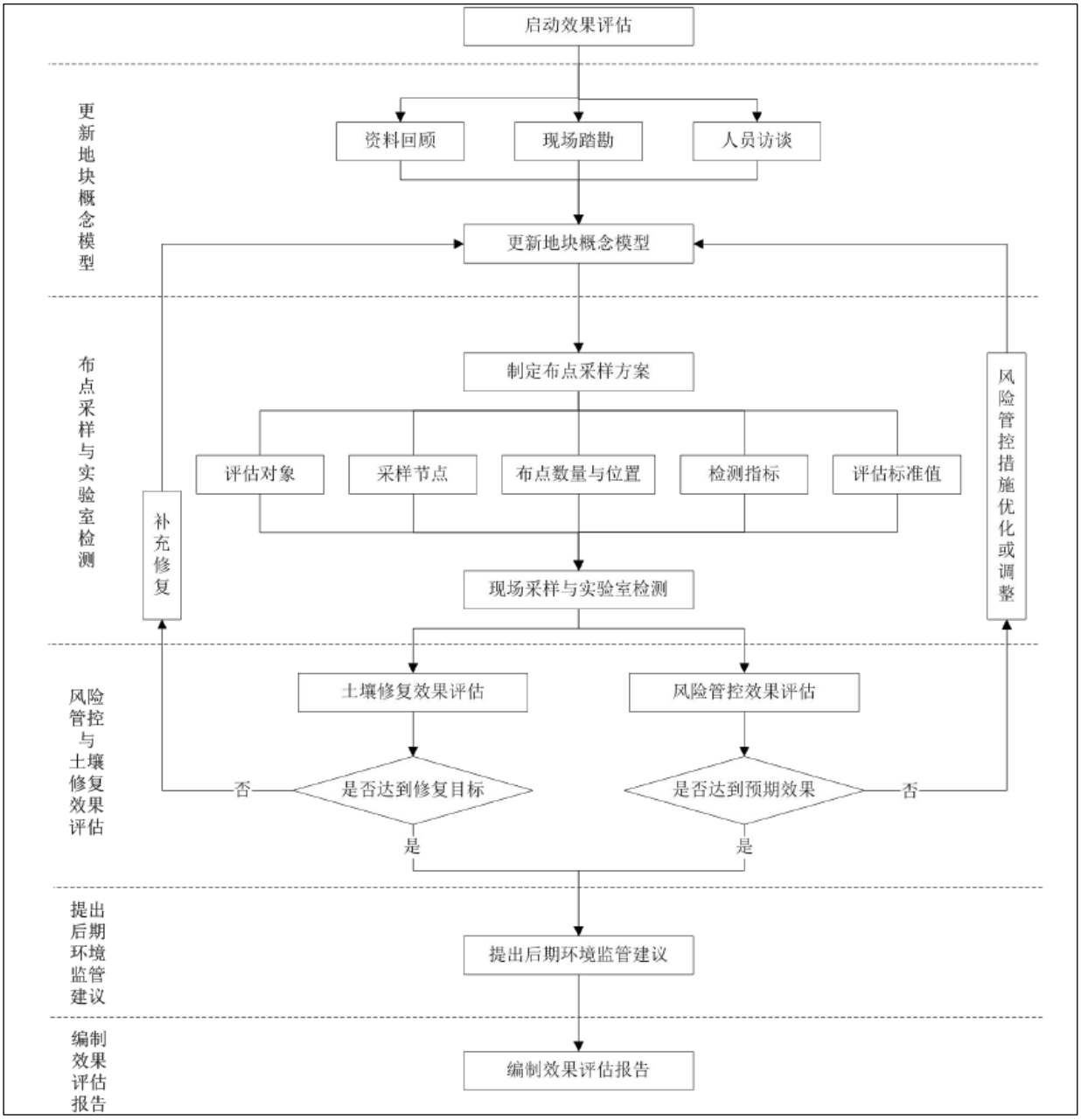

图 6-6 风险管控与土壤修复效果评估工作程序

6.4.2 布点方案

6.4.2.1 基坑土壤布点

（1）采样节点

修复区域污染土壤清挖后、其他区域土壤清挖前，需要在边界处侧壁进行采样检测，以确定污染土壤是否清挖到位。

（2）布点数量

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，则认为该项目达到修复效果。

b）若某样品的检测结果显著高于修复效果评估标准值，则认为该项目未达到修复效果。

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土治理修复工程效果，按照效果评估的程序对污染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，对后续的安全利用或风险管控提出建议。

6.5 环境应急方案

6.5.1 安全问题识别

为了预防污染修复过程中环境风险的产生，并提前做好防范措施，应针对项目施工过程中可能存在的安全问题进行分析确定修复工程实施过程中可能的安全问题。本项目施工过程中可能存在的安全问题主要有：

（1）人员健康安全问题

本项目土壤污染物涉及种类较多，施工现场极易出现扬尘及污染气体挥发，经口进入施工人员及周边人群体内，进而导致人员健康风险。

（2）环境安全问题

本项目对污染土方进行清挖、倒运、修复等施工过程中极易产生二次污染，进而对周边引起环境安全问题。

1）大气安全问题：污染土壤清挖、转运过程中可能会导致污染物挥发进入到大气中，造成大气污染；修复车间破损亦是引起污染气体泄漏的一个可能隐患。

2）土壤安全问题：清挖后污染土壤的堆放或处置不当会存在未污染土壤被污染的风险，导致土壤污染扩散。

3）水环境安全问题：若项目清挖过程出现地下涌水和雨水，进行检测，达到《污水综合排放标准》（DB21-1627-2008）后排放，若不达标则运至异位修复场区进行污水处理后回用于土壤淋洗。

4）人员安全问题：本项目治理工程量较大，设备、车辆和人员较多，存在较多环节，具有发生安全生产事故的风险。例如基坑局部坍塌、周边市政管线及地下障碍物挖掘风险事故、恶劣天气意外安全事故、人员触电等。

6.5.2 预防措施

针对本项目可能涉及的安全问题，特制定预防措施如下所述。

1）大气安全预防措施

污染土壤清挖过程中应尽量减少清挖面积，配置专用洒水车，每日定时洒水降尘；施工过程中发现有异味或现场大气监测结果异常，立刻调查原因，并对该区域喷洒气味抑制剂进而控制污染气体扩散；现场管理人员每日对修复车间进行巡视检查，发现车间破损等问题及时组织人员进行修补；车辆转运过程应做好苫盖工作。

7 效益分析

7.1 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，利用淋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。

（4）促进循环经济发展，推动生态良性循环

在土壤修复过程中，本项目提倡绿色修复技术，积极开发废弃物的再生利用。利用处理后的砂砾、石砾进行道路及基坑回填，可以最大限度的实现资源再利用，并促进循环经济发展及生态环境的良性循环。

7.2 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。

7.3 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。

7.4 生态效益

（**1**）对水土流失的影响

由于修复建设破坏表面硬化层，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。主要是通过对施工区域内的土壤清运、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

通过对污染土的修复，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 结论与建议

8.1 结论

（1）项目概况

本项目为梭鱼湾 20 号路新建工程，总长度约 2km，道路等级为城市次干路。建设内容包括道路、雨水、污水、照明、绿化、交通工程。本项目污染土治理范围为梭鱼湾 20 号路新建工程位于原大化污染地块范围内的施工范围，通过叠图确定，本项目地块面积为 42718.1m^2。

（2）修复技术路线

地块修复对象为污染土壤，修复施工周期短，采用原位污染土壤清挖后转运至异位修复场区进行治理（拟定 C6 地块），原位阻隔层采用路面结构层和换填绿化土，异位修复治理工艺包括预处理、土壤淋洗、化学氧化、固化稳定化、异位填埋等。

（3）修复目标值

根据《大化集团搬迁及周边改造项目污染场地调查及风险评估报告》（2018 年）以及本次修复方案土壤补充调查，确定土壤关注污染物为砷和苯并[a]芘，土壤修复目标值参考 GB36600 二类用地筛选值，分别为砷 60mg/kg 和苯并[a]芘 1.5mg/kg。

（4）修复范围

本项目土壤修复范围总面积为 6345.5m^2，其中单独重金属修复范围 2480.4m^2、单独 SVOCs 修复范围 3865.1m^2。

（5）修复工程量

本项目土壤修复工程量为 9905.4m^3，其中重金属污染土壤修复方量为 4563.6m^3、SVOCs 污染土壤修复方量为 5341.8m^3。各修复工艺修复工程量为：1）土壤淋洗 9905.5m^3；2）化学氧化 1068.4m^3；3）稳定化 912.7m^3；4）异位填埋 1981.1m^3；5）转运毛茔子封场利用 7924.3m^3。

（6）修复费用

根据大连及周边地区已完成修复治理工程情况，估算本项目污染土修复治理总费用为 670.9 万元。

（7）预估工期

本项目污染土修复治理工期为 2 个月。

8.2 建议

（1）实施过程中方案内容发生质性变化。由于方案编制期间，暂无施工图，在工程实施前或施工过程中，方案内容可能会发生实质性变化。如遇该种情况，则需考虑对方案变更部分进行重新论证。

（2）修复治理施工单位应根据项目特点，在施工方案中明确挖土的暂时存放和转移地点、修复处理地点，并细化硬覆盖、临设的建设措施。

（3）修复过程应采取有效的安全和环保措施，防止二次污染和污染风险。

（4）修复过程应进行跟踪检查，及时发现问题。在基坑开挖取土过程中，应随时观察、发现是否有新的污染产生。一经发现，应及时上报，并由专业人员进行处理。在开挖过程中，还需要进行严格的质量控制，确保分类开挖，开挖到位。

（5）本项目清挖过程中，根据粒径分析报告，若存在细颗粒（粒径＜0.075mm）含量＞50%情况，修复施工单位可以组织专家对修复技术方案进行优化论证。

（6）加强施工期修复治理工程的环境管理，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，并同时报送所在地和接收地生态环境主管部门。

（7）若本项目修复治理施工前，大连地区的水泥窑企业完成接收污染土壤协同处置技改，修复成本低于本项目修复方案，业主单位大连市市政公用事业服务中心可组织专家重新论证采用水泥窑协同处置方案，进行本项目的修复治理工作。