

鹰鹏化工有限公司 污染场地修复计划

(生产线关闭)

产品名称：HCFC-22



中节能大地中绿（北京）环境咨询有限公司
2016年4月

目录

1	项目概述	1
1.1	项目背景.....	1
1.2	编制目的.....	2
1.3	编制依据.....	2
1.3.1	法律法规及相关政策.....	2
1.3.2	技术导则与规范.....	3
1.3.3	其他资料.....	4
1.4	编制原则.....	4
1.5	工作范围.....	5
1.6	编制内容.....	6
1.7	技术路线.....	7
2	场地概况	9
2.1	地理位置.....	9
2.2	地形地貌.....	10
2.3	地质和水文地质.....	10
2.3.1	区域地质和水文地质.....	10
2.3.2	场地地质和水文地质.....	10
2.4	周边地表水.....	11
2.5	气候和降雨.....	11
2.6	场地现状和历史.....	12
2.6.1	场地现状.....	12
2.6.2	场地历史.....	12
2.7	场地周边情况.....	13
2.8	场地未来用地规划.....	14
3	场地污染现状与风险评估	15
3.1	场地污染现状.....	15
3.1.1	场地污染特征.....	15
3.1.2	场地污染现状.....	16

3.2	场地概念模型分析.....	17
3.2.1	污染源.....	18
3.2.2	地质和水文地质.....	18
3.2.3	污染物迁移转化途径.....	19
3.2.4	潜在污染受体.....	20
3.3	场地人体健康风险评估结果.....	20
3.3.1	风险评估计算结果.....	20
3.3.2	初步修复目标计算结果.....	21
3.3.3	初步修复目标建议值.....	21
4	修复策略的选择	22
4.1	修复目标.....	22
4.2	修复范围.....	22
4.2.1	修复范围确定的原则.....	22
4.2.2	场地修复范围.....	22
4.3	修复策略.....	24
4.3.1	场地条件确定.....	24
4.3.2	确认修复要求.....	24
4.3.3	选择修复模式.....	24
5	场地修复技术筛选与评估	25
5.1	目标污染物及其性质.....	25
5.1.1	目标污染物.....	25
5.1.2	目标污染物的性质.....	25
5.2	修复技术初步筛选.....	26
5.2.1	修复技术筛选原则.....	26
5.2.2	适用的修复技术简介.....	27
5.2.3	修复技术筛选.....	30
5.3	修复技术可行性评估.....	33
5.3.1	氯代烃污染土壤修复技术可行性评估.....	33
5.3.2	修复可行技术的确定.....	35
6	修复方案比选	36
6.1	备选修复方案.....	36

6.2	修复方案比选.....	36
7	场地修复方案设计	38
7.1	场地修复方案的总体技术路线.....	38
7.2	修复技术应用情况及工程量.....	39
7.3	止水帷幕技术方案.....	39
7.3.1	工艺流程.....	39
7.3.2	止水帷幕工艺说明.....	40
7.3.3	止水帷幕工艺参数设计.....	43
7.3.4	止水帷幕工艺设备.....	43
7.3.5	止水帷幕建设时间.....	43
7.4	污染土壤原位化学氧化修复方案.....	43
7.4.1	工艺流程.....	43
7.4.2	原位化学氧化技术工艺说明.....	44
7.4.3	原位化学氧化工艺参数设计.....	45
7.4.4	原位化学氧化工艺设备.....	46
7.4.5	原位化学氧化修复时间.....	46
8	制定环境管理计划	47
8.1	编制原则.....	47
8.2	环境质量管理组织机构.....	47
8.3	环境影响分析.....	48
8.3.1	污染土壤影响.....	48
8.3.2	水环境影响.....	48
8.3.3	大气环境影响.....	48
8.3.4	噪声环境影响.....	48
8.3.5	固体废弃物环境影响.....	49
8.3.6	工程施工中产生的扬尘.....	49
8.4	修复过程中的污染防治和安全生产防护措施.....	49
8.4.1	扬尘污染控制.....	49
8.4.2	地下水和地表水污染防治.....	49
8.4.3	大气污染防治.....	50
8.4.4	噪声污染防治.....	50

8.4.5	固废污染控制.....	51
8.4.6	安全生产防护措施.....	51
8.5	场地环境监测计划.....	54
8.5.1	监测依据.....	54
8.5.2	监测原则.....	54
8.5.3	扬尘监测.....	54
8.5.4	地表水污染监测.....	55
8.5.5	大气污染监测.....	56
8.5.6	噪声污染监测.....	56
8.6	应急预案与措施.....	57
8.6.1	危险性分析.....	57
8.6.2	指挥小组.....	58
8.6.3	工作小组.....	58
8.6.4	应急程序.....	58
8.6.5	应急措施.....	60
9	场地修复过程自检和验收计划	62
9.1	场地修复过程自检计划.....	62
9.1.1	监测依据.....	62
9.1.2	监测原则.....	62
9.1.3	土壤修复过程自检.....	62
9.1.4	质量控制与过程监测.....	63
9.2	场地修复验收计划.....	63
9.2.1	验收依据.....	63
9.2.2	验收原则.....	63
9.2.3	验收标准.....	64
9.2.4	验收内容.....	64
9.2.5	验收程序.....	64
9.2.6	采样点布设.....	65
9.2.7	验收评价.....	65
10	修复进度安排与费用估算	66
10.1	修复进度安排.....	66

10.2	修复费用估算.....	66
11	结论和建议	67
11.1	结论.....	67
11.2	建议.....	68

1 项目概述

1.1 项目背景

《蒙特利尔议定书》69次执委会69/28号决议批准了中国第一阶段HCFC生产行业淘汰管理计划（HPPMP），在2013年实现HCFC生产量冻结在2009年-2010年的平均生产量（以下简称“基线产量”），并在2015年实现HCFC生产量在基线产量的基础上削减10%的淘汰目标。在多边基金执委会与中国达成的HCFC生产行业的决定中，要求中国优化实施战略，优先考虑关闭HCFC生产线的实施方式，并承诺到2030年拆除或报废约55万吨的HCFC生产能力。同时，多边基金对生产行业的政策指南中也要求关厂的项目应考虑对场地清理的环境管理要求。

世界银行作为该项目的国际执行机构，根据多边基金执委会的政策对项目实施进行监督和指导。世界银行总体上要求中国在项目实施过程中要遵守世行的环境安全政策，特别是对关厂项目有较为严格的环境管理要求。

环境保护部环境保护对外合作中心（以下简称“对外合作中心”）负责上述行业计划在中国的具体实施工作。根据对外合作中心提供的数据，中国HCFCs生产企业共有29家，36条生产线，可能涉及拆除生产线和关闭工厂的品种为HCFC-22、HCFC-142b和HCFC-22，生产企业主要分布在山东、江苏、浙江和四川几个省。

鹰鹏化工有限公司（以下简称“鹰鹏化工”）位于浙江省永康市永化路69号，公司主要产品包括主要产品有无水氟化氢(AHF)、工业氢氟酸(BHF)、HCFC-22、ODS替代品等。HCFC-22生产线总规模为25000吨/年，其中精馏之前的工艺段共用生产线，精馏工艺段分别使用15000吨/年和10000吨/年的两套精馏系统。场内建（构）筑物包括各产品生产车间、生产原料储存车间、成品灌装车间、生活办公区以及配套实施等。

为响应《蒙特利尔议定书》，鹰鹏化工HCFC-22生产线于2014年11月全部停产，2015年5月拆除，2015年6月4日在环保部外经办及永康市环保局的现

场见证下完成主要设备的破坏性销毁工作，拆除后场地用途未确定。目前企业内与 HCFC-22 相关的生产设施已拆除完毕，为进一步明确场地污染现状，中节能大地中绿（北京）环境咨询有限公司（简称“大地中绿”）受鹰鹏化工委托，负责对原 HCFC-22 生产车间、灌装车间及原料储罐区（以下简称“场地”或“调查区域”）开展场地调查工作。大地中绿于 2015 年 11 月展开并完成该场地调查现场工作，在此基础上编制了《鹰鹏化工有限公司 HCFC-22 生产线关闭项目场地调查报告》报告，调查结果显示调查区域（原 HCFC22 生产车间和原 HCFC22 灌装车间）的部分污染物超过了筛选值，需要进行风险评估，大地中绿于 2015 年 12 月对本场地调查区域开展了风险评估工作，结合工作结果编制了《鹰鹏化工有限公司 HCFC-22 生产线关闭项目风险评估报告》。

2016 年 4 月，大地中绿在前期场地调查和风险评估结果的基础上，针对本场地原 HCFC22 生产工艺车间区域（原 HCFC22 生产车间和原 HCFC22 灌装车间）的污染土壤编制修复计划。

1.2 编制目的

本次场地修复计划是在前期场地环境调查评估及修复技术论证的基础上，针对本项目关注区域（原 HCFC22 生产车间和原 HCFC22 灌装车间区域）的污染土壤，确定修复技术路线与技术方案。

本修复计划编制的工作目标为：

- （1）筛选和评估可行的本场地修复技术；
- （2）制定本场地修复技术路线；
- （3）指导下一步本场地的修复工程实施。

1.3 编制依据

1.3.1 法律法规及相关政策

- （1）《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日）
- （2）《关于加强土壤污染防治工作的意见》（环发〔2008〕48 号）

- (3) 《关于进一步加强重金属污染防治工作的指导意见》(国办发〔2009〕61号)
- (4) 《重金属污染综合防治“十二五”规划》
- (5) 《污染场地土壤环境管理暂行办法》(2009年)
- (6) 《危险化学品安全管理条例》(国务院令〔2002〕344号)
- (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2005年4月1日)
- (8) 《污染场地土壤环境管理暂行办法(征求意见稿)》(环保部)
- (9) 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办〔2004〕47号)
- (10) 《关于加强土壤污染防治工作的意见》(环发〔2008〕48号)
- (11) 《关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》(国办发〔2013〕7号)
- (12) 《关于贯彻落实<国务院办公厅关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知>的通知》(环发〔2013〕46号)

1.3.2 技术导则与规范

- (1) 《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)
- (2) 《环境空气质量标准》(GB3095-1996)
- (3) 《声环境质量标准》(GB3096-2008)
- (4) 《工程测量规范》(GB 50026-2007)
- (5) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)
- (6) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008)
- (7) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)
- (8) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996)
- (9) 《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB5085.3-2007)
- (10) 《工业企业设计卫生标准》(GBZ 1-2010)
- (11) 《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)
- (12) 《污染场地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2014)

- (13) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)
- (14) 《环境监测分析方法标准制修订技术导则》(HJ/T 168-2010)
- (15) 《水质采样样品的保存和管理技术规定》(HJ 493-2009)
- (16) 《地表水和污水检测技术规范》(HJ/T91-2002)
- (17) 《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T 783-2011)
- (18) 北京市《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011)
- (19) 《2014 年污染场地修复技术目录》(第一批)(2014.12)
- (20) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南》(试行)(2014.12)

1.3.3 其他资料

- (1) 《中国鹰鹏化工有限公司年产 10000 吨二氟一氯甲烷环境影响评价报告书》，金华市环境科学研究所，2004 年。
- (2) 《中国鹰鹏化工有限公司年产 15000 吨二氟一氯甲烷环境影响评价报告书》，金华市环境科学研究所，2004 年。
- (3) 《鹰鹏化工有限公司 HCFC-22 生产线关闭项目环境管理计划》，中节能大地中绿（北京）环境咨询有限公司，2015 年 4 月。
- (4) 《中国鹰鹏化工有限公司 HCFC-22 生产线关闭项目场地调查报告》，中节能大地中绿（北京）环境咨询有限公司，2015 年 12 月。
- (5) 《中国鹰鹏化工有限公司 HCFC-22 生产线关闭项目场地风险评估报告》，中节能大地中绿（北京）环境咨询有限公司，2015 年 12 月。

1.4 编制原则

根据现阶段场地修复计划内容与管理要求，本场地的场地修复计划编制应遵循以下原则：

- (1) 遵循国家法律、技术导则、相关规范以及各类规划；
- (2) 综合考虑污染场地修复目标、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，制定本场地修复计划；
- (3) 在前期场地环境调查及风险评估的基础上，针对污染场地的污染性质、

程度、范围以及对人体健康造成的危害，合理选择修复技术，因地制宜制定修复计划，使修复目标可达，修复工程切实可行；

- (4) 制定污染场地修复计划要确保污染场地修复工程实施安全，防止对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害和二次污染。

1.5 工作范围

本修复计划工作范围为鹰鹏化工的原 HCFC22 生产工艺车间区域（原 HCFC22 生产车间和原 HCFC22 灌装车间），位于浙江省永康市永化路 69 号鹰鹏化工有限公司内，鹰鹏化工有限公司位于东经 120°0'6"~120°0'16"，北纬 28°53'50"~28°54'1"。如图 1-1 红线所示。

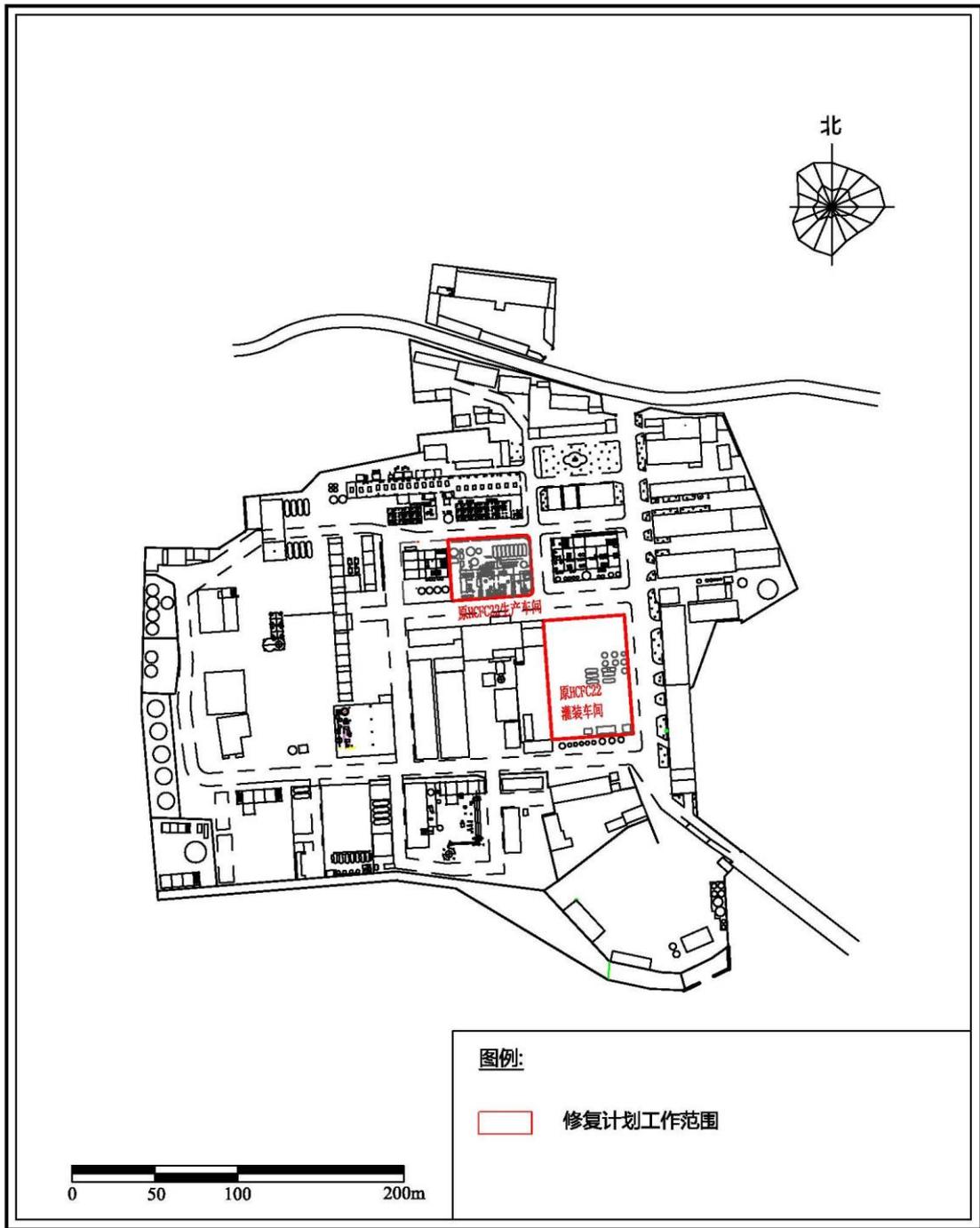


图 1-1 场地修复计划制定的工作范围图

1.6 编制内容

(1) 前期工作基础分析与汇总

对场地前期调查与风险评估工作进行分析和汇总，综合分析场地污染特征、

水文地质条件、未来规划及修复工作的环境管理要求，为后续修复工程的开展提供支撑。

(2) 修复技术筛选及可行性分析

根据污染场地的具体情况，结合场地规划用途，筛选实用的土壤修复技术，结合土壤修复技术应用案例分析，从适用条件、对本场地土壤修复效果、成本和环境安全性方面进行评估，并开展必要的技术测试，确定修复技术路线。

(3) 修复方案设计

根据修复技术筛选及可行性分析，针对不同场地污染特征及可采用的修复技术，通过时间、成本等指标综合比选，选出最优修复技术组合，并进行设计。根据确定的修复技术路线，设计修复方案，核算修复工程量，估算修复时间。

(4) 修复方案环境管理计划制定

制定修复工程中的二次污染防治、过程自检、验收、环境应急方案等内容。

1.7 技术路线

根据场地调查及风险评估结果，确认修复目标、修复范围及关注污染物，编制修复计划，方案编写的工作程序如下图 1-2 所示：

修复计划编制共分为三个阶段：

(1) 选择修复模式：在分析前期污染场地环境调查和风险评估资料的基础上，根据污染场地特征条件、目标污染物、修复目标、修复范围和修复时间长短等因素，选择确定场地修复总体思路；

(2) 筛选修复技术：根据污染场地具体情况，按照确定的修复模式，筛选使用的土壤修复技术，必要时开展实验室小试，从适用条件、对本场地修复效果、成本和环境安全性等方案进行评估；

(3) 制定修复计划：根据确定的修复技术，制定修复技术路线，确定修复技术工艺参数，估算修复工程量，提出修复技术计划。

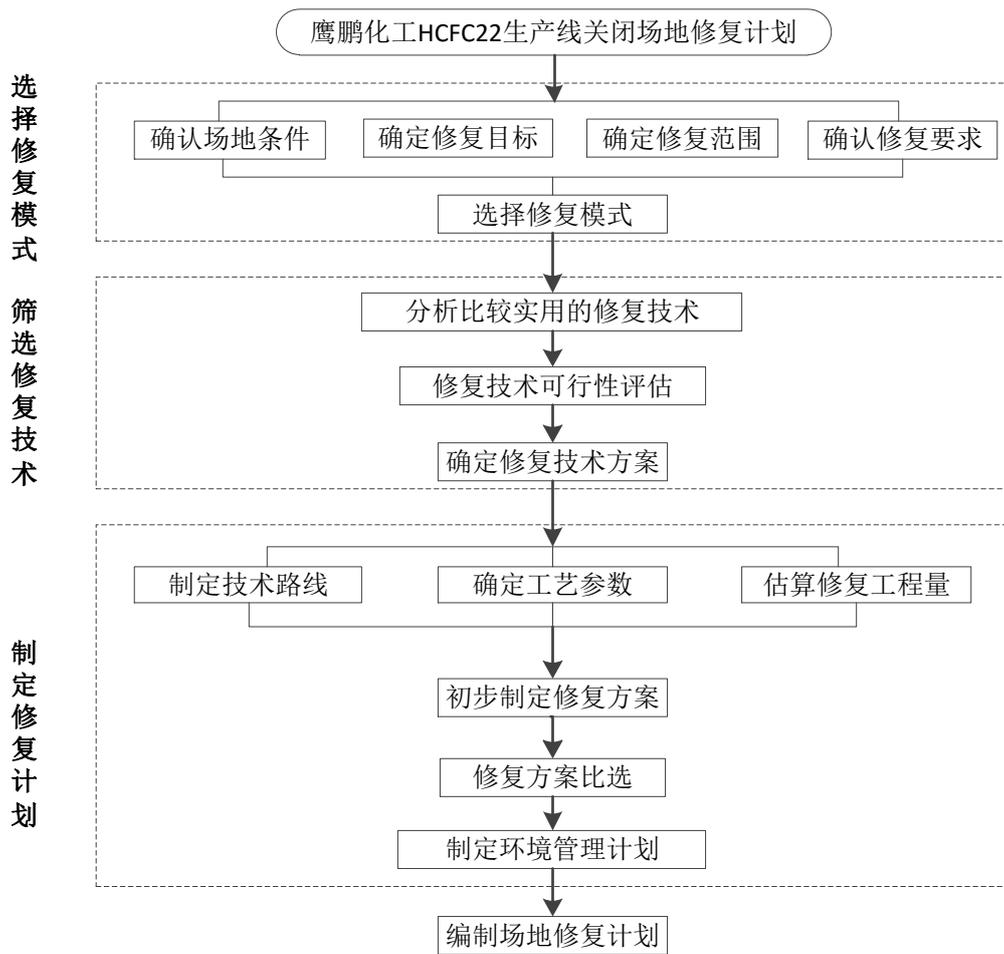


图 1-2 修复计划编制工作技术路线图

2 场地概况

鹰鹏化工是一家专门从事氟化工产品生产的企业，占地面积约 24 万 m²，公司主要生产无水氟化氢(AHF)、工业氢氟酸(BHF)、HCFC-22、ODS 替代品等。目前，场地上 HCFC-22 所有生产活动已停止，相关设备设施已拆除完毕，原有构筑物基本保持原状。

2.1 地理位置

鹰鹏化工厂位于浙江省永康市永化路 69 号，东经 120°06'~120°016"，北纬 28°53'50"~28°54'1"，距市区约 4.0 km，具体位置见图 2-1。



图 2-1 场地位置图

2.2 地形地貌

永康市地处浙中丘陵，北部和东部多山，整个地势以西北部及东南部较高，逐步向内侧倾斜，成台阶形地貌，形成以东北—西南走向的走廊式盆地。全市最高处为永康内部与缙云、磐安的分水岭—黄寮尖山，海拔 936.15 m（黄海高程）；最低处为永康江流出市境处，海拔 72 m（黄海高程）。

永康城区位于盆地的西南部，地面标高在 80~150 m，地势平坦，间有低丘。城区东南部地势较低，以河漫滩地及内侧河谷平原为主，北部、西部则为地势较高的丘陵地，平均坡度 0.1 左右。

2.3 地质和水文地质

2.3.1 区域地质和水文地质

永康市地质构造及岩性比较复杂，土壤类型多样。主要土壤类型有红壤、黄壤、岩性土、潮土和水稻土等，其中盆地中央地势较为平缓的地区主要为潜育化的水稻土；红壤主要分布在盆地内侧的缓坡台地及周缘的丘陵和低山坡麓地带；黄壤则主要分布在海拔 600 m 以上的低中山地，土质贫瘠。

2.3.2 场地地质和水文地质

2.3.2.1 地质条件

根据调查结果，调查区地层概化如下。

- (1) 水泥地面：顶板埋深 0 m，覆盖全部调查区域；
- (2) 填土：顶板埋深 0.2~0.4 m，覆盖全部调查区域；
- (3) 粉质粘土：顶板埋深 4.0 m，分布于原 HCFC-22 灌装车间；
- (4) 粘土：顶板埋深 3.5~5.0 m，未穿透，分布于原 HCFC-22 灌装车间；
- (5) 全风化基岩：顶板埋深：0.5~1.0 m，未穿透，覆盖全部调查区域。

2.3.2.2 水文地质条件

综合前期调查结果，场地调查阶段未发现浅层地下水，场地局部区域地下有滞水，主要分布于原 HCFC-22 灌装车间区域。场地原 HCFC22 生产车间区域最

大钻探深度为 3.0 m，调查深度内见基岩，未揭露地下水。

原 HCFC-22 灌装车间区域最大钻探深度为 6.0 m，调查深度内揭露到 1~2 层地下水，均为滞水。其中，一层滞水层水位埋深约为 2.7 m，另一层滞水层水位埋深约为 3.3 m，两者不是连续分布。

2.4 周边地表水

场地周边地表水主要是场地以北约 150 m 处的杨官水库及场地东南侧 500 m 处的永康江，永康江属钱塘江水系。

根据《中国鹰鹏化工有限公司年产 10000 吨二氟一氯甲烷环境影响报告书》（以下简称“环评报告”），场地生产废水及生活污水经厂内处理达标后排入永康江，污水排放执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中一级标准。

2.5 气候和降雨

永康市地处亚热带季风气候区，四季分明气温适中，光照充足，雨量充沛（主要集中于 4~10 月份，占全年降雨量 72%，无霜期长；据永康市气象站 2014 年观测，其主要气象特征如表 2-1。

表 2-1 调查场地所在区域主要气象参数汇总表

项目	单位	统计数据	项目	单位	统计数据
年平均气温	℃	18.7	无霜期	天	281
月平均最高气温	℃	29.7	年平均相对湿度	%	77
月平均最低气温	℃	7.2	年平均风速	m/s	1.35
极端最高气温	℃	37.8	年主导风向		NE、E
极端最低气温	℃	-2.7	夏季主导风向		SE
年平均降水量	mm	1737	冬季主导风向		NW
年平均蒸发量	mm	910.8	历年静风频率	%	30.05

2.6 场地现状和历史

2.6.1 场地现状

鹰鹏化工占地面积 24 万余 m²。厂区生产区域四周均有围墙阻隔，内部厂区生产区域地面全部进行了硬化。厂区地势高于周边地势，由北向南厂区与周边区域的高程差逐渐增大，约为 2 m~5 m。

HCFC-22 生产车间和灌装车间分别位于厂区中部的北侧和东侧，HCFC-22 工艺原料氯仿的储罐区位于厂区的西部。目前场地内 HCFC-22 的所有生产活动均已停止，设备设施基本已拆除完毕，原有构筑物基本保持原状。厂区地面均进行了硬化。

2.6.2 场地历史

鹰鹏化工前身是永康市化学工业总公司，1996 年与英属维尔京群岛茂业投资公司合资转制为中外合资企业，2001 年由浙江鹰鹏化工有限公司更改为现名。主要产品包括主要产品有无水氟化氢(AHF)、工业氢氟酸(BHF)、HCFC-22、ODS 替代品等，HCFC-22 生产线总规模为 25000 吨/年，其中精馏之前的工艺段共用生产线，精馏工艺段分别使用 15000 吨/年和 10000 吨/年的两套精馏系统。

根据厂内技术人员介绍，本场地于上世纪 70 年代左右用于化肥生产。自鹰鹏化工建厂至今，HCFC-22 生产及灌装车间厂址未发生变迁。

根据《鹰鹏化工有限公司 HCFC-22 生产线关闭项目环境管理计划》（以下简称“环境管理计划”），2011 年至 2013 年 HCFC-22 生产量如表 2-2 所示。2014 年 11 月底鹰鹏化工关闭并拆除了 HCFC-22 生产线。

表 2-2 鹰鹏化工 HCFC-22 年生产量（2011 年-2013 年）

年份	2011 年	2012 年	2013 年
总生产量/吨	24209	24035	20857
原料用途生产量/吨	10251	6912	7865
受控用途生产量/吨	13958	17123	12992

2.7 场地周边情况

场地周边现状情况见图 2-2 及表 2-3。



图 2-2 场地周边现状

表 2-3 场地周边现状情况汇总表

方向	环境
东侧	道路、居民区及汽车维修厂等
南侧	道路、居民区及钢材加工厂等
西侧	新达公寓等
北侧	居民区、杨官水库等

综合考虑本项目场地环境条件及相关环境风险，环境保护目标具体见表 2-4。

表 2-4 环境保护目标概况

序号	保护目标	方位	距离	备注
1	村落	周边	500 m	周边有较多村落分布，为人口稠密区域
2	永康江	东南	3 km	—
3	现场工作人员	厂区内	—	厂区管理人员
4	场地环境	厂区内	—	HCFC-22 拆除区域及周边的土壤、地下水等

2.8 场地未来用地规划

本场地计划将构筑物拆除后场地由政府收购，规划后另作它用，用地性质尚未明确。

3 场地污染现状与风险评估

3.1 场地污染现状

3.1.1 场地污染特征

根据本项目的环境管理要求，本修复计划工作范围为鹰鹏化工的原 HCFC-22 生产车间和原 HCFC22 灌装车间。根据《鹰鹏化工有限公司 HCFC-22 生产线关闭项目场地调查报告》，前期调查在原 HCFC22 生产车间和原 HCFC22 灌装车间区域布设土壤采样点 6 个，地下水采样点 2 个，检测土壤样品 15 个（含平行样），地下水样品 2 个。详见表 3-1，采样点位布设情况见图 3-1。

根据场地的特征污染物类别，土壤检测指标包括 pH、重金属、VOCs、SVOCs、总石油烃（TPH），地下水检测指标包括 pH、重金属、VOCs、SVOCs、总石油烃（TPH）、高锰酸盐指数、氯化物、总氰化物(以 CN 计)和总氟（以氟计）等。

表 3-1 场地调查现场工作量汇总统计表

序号	工作内容		前期调查
1	采样点布设	土壤采样点	6 个
2		地下水监测井	2 口
3	样品采集	土壤样品	19 个
4		地下水样品	2 个
5	样品检测	土壤样品	15 个
6		地下水样品	2 个

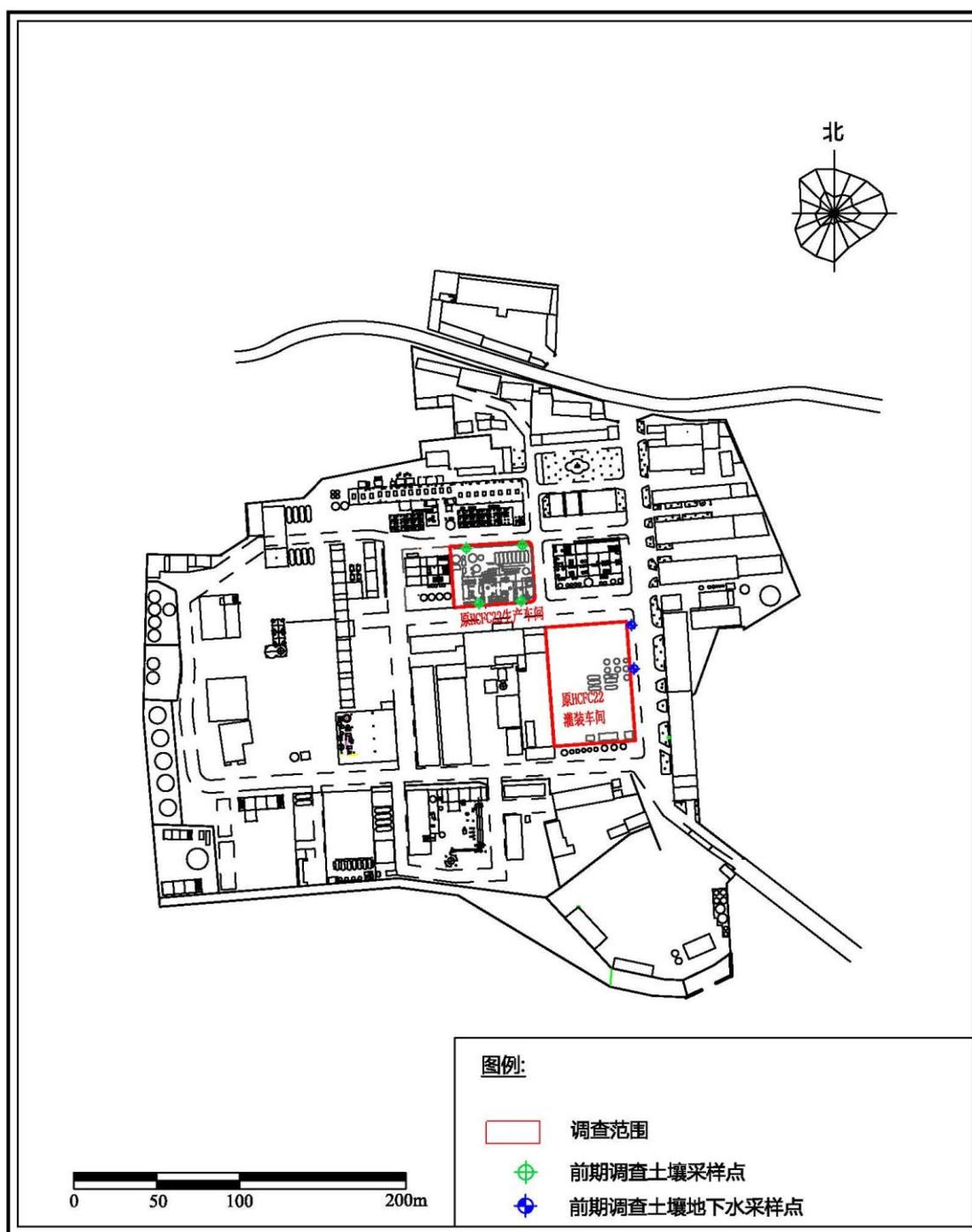


图 3-1 场地前期调查原 HCFC22 生产工艺车间区域的采样点布设图

3.1.2 场地污染现状

采用浙江省《污染场地风险评估技术导则》（DB33/T892-2013）“商服及工业用地筛选值”对检测结果进行初步筛查，见表 3-2。

根据前期调查结果分析，修复计划工作区域的土壤样品中砷、三氯甲烷（氯仿）、六氯苯浓度超过筛选值，最大检出浓度为 40.80 mg/kg、330 mg/kg 和 8.27 mg/kg，最大超过筛选值倍数分别为 1.04 倍、659 倍和 7.27 倍。

其中，砷超标点位分布在原 HCFC22 灌装车间区域 YP7 点处，六氯苯超标位于原 HCFC22 生产车间区域 YP4 点，三氯甲烷除原 HCFC22 生产车间区域 YP1 点外，其它点位均检出超标。

表 3-2 修复计划工作区域土壤中污染物超标情况

污染物	筛选值 (mg/kg)	超标样品	超标样品检出浓度 (mg/kg)
三氯甲烷 (氯仿)	0.5	YP7-4.8	40.8
		YP2-1.0	64.2
		YP2-2.5	5.17
		YP3-0.5	15.5
		YP3-3.0	8.97
		YP4-1.0	330
		YP4-2.0	132
		YP5-1.0	0.63
		YP5-6.0	1.35
		YP6-1.0	0.53
		YP6-3.5	0.58
		YP7-0.5	0.52
六氯苯	1	YP4-1.0	8.27
		YP4-2.0	2.28
砷	20	YP7-4.8	40.8

3.2 场地概念模型分析

场地概念模型是污染场地上污染源、污染运移路径和污染受体的一个信息集合体。模型包含了通过场地调查所获得的关于场地的所有已知信息，该模型是动态的，是随着调查的深入和信息的增加而不断修正的。建立合理的场地概念模型有利于辨识缺失的数据，可以降低污染场地调查和修复决策过程中的不确定性。

场地概念模型通常包括了场地历史、场地地质与水文地质条件、土壤类型和结构、污染类型、污染释放机理、污染范围和深度、污染运移路径以及污染受体等信息。

3.2.1 污染源

3.2.1.1 场地历史

鹰鹏化工前身为永康市化学工业总公司，成立时间未知。企业主营产品为无水氟化氢(AHF)、工业氢氟酸(BHF)、HCFC-22、ODS 替代品等 HCFC-22 生产线总规模为 25000 吨/年，其中精馏之前的工艺段共用生产线，精馏工艺段分别使用 15000 吨/年和 10000 吨/年的两套精馏系统。

3.2.1.2 目标污染物

经过前期场地环境调查的采样检测结果和风险评估结果，本场地土壤的关注污染物主要包括：

- (1) 重金属：砷；
- (2) SVOCs：六氯苯；
- (3) VOCs：三氯甲烷。

3.2.1.3 污染释放机理

场地土壤污染可能主要来自于以下原因：

- (1) 生产区域跑冒滴漏；
- (2) 污水管线泄漏；
- (3) 粉剂扬尘和遗撒：调查区域内存在普遍的砷污染，可能是由于利用萤石加工过程中粉剂扬尘和遗撒导致；
- (4) 降雨入渗：降雨淋滤地面后部分雨水随地表径流汇集至调查区，进而入渗至地下。

3.2.2 地质和水文地质

3.2.2.1 地质条件

根据调查结果，调查区地层概化如下。

- (1) 水泥地面：顶板埋深 0 m，覆盖全调查区域；
- (2) 填土：顶板埋深 0.2~0.4 m，覆盖全调查区域；

- (3) 粉质粘土：顶板埋深 4.0 m，分布于原 HCFC-22 灌装车间；
- (4) 粘土：顶板埋深 3.5~5.0 m，未穿透，分布于原 HCFC-22 灌装车间；
- (5) 全风化基岩：顶板埋深：0.5~1.0 m，未穿透，覆盖全调查区域。

3.2.2.2 水文地质条件

场地调查阶段未发现浅层地下水，场地局部区域地下有滞水，主要分布于原 HCFC-22 灌装车间。场地原 HCFC22 生产车间区域最大钻探深度为 3.0 m，调查深度内见基岩，未揭露地下水。

原 HCFC-22 灌装车间区域最大钻探深度为 6.0 m，调查深度内揭露到 1~2 层地下水，均为滞水。其中，一层滞水层水位埋深约为 2.7 m，另一层滞水层水位埋深约为 3.3 m，两者不是连续分布。

3.2.3 污染物迁移转化途径

根据调查和前述分析，土壤污染迁移途径可能包括以下原因：

(1) 地表土壤污染物水平迁移：污染物可能以跑冒滴漏等途径进入土壤，后随地表径流或粉尘扩散等进行水平迁移，在迁移路径上污染物吸附于土壤介质。

部分生产区域填土层污染可能是由于地表土壤污染物水平迁移导致。

(2) 污染物垂直向下迁移：进入土壤的污染物在外部降雨或自身重力垂直向下迁移，进入下层土壤和滞水；在迁移过程中吸附在土壤介质表面，又会随挥发、解吸附等途径向外释放。

部分生产区域下层污染可能是由于污染物垂直向下迁移导致。

(3) 污染物随降雨下渗、滞水的水平迁移：区域浅层滞水污染可能是由于污染物随降雨下渗、滞水的水平迁移导致；部分深层土壤样品受到一定程度影响可能是由于污染物垂直向下迁移或者随滞水垂直向下迁移导致。

3.2.4 潜在污染受体

3.2.4.1 场地利用规划

本场地计划将构筑物拆除后场地由政府收购，规划后另作它用，用地性质尚未明确。

3.2.4.2 潜在污染受体

场地周边无地表水体。根据本场地风险评估范围，考虑本场地作为工业用地的利用现状，场地潜在受体为厂内工作人员。

3.3 场地人体健康风险评估结果

根据《鹰鹏化工有限公司风险评估报告》，场地人体健康风险评估结果如下。

3.3.1 风险评估计算结果

本场地针对未来工业场地进行生产活动的工人，根据暴露评估和毒性评估结果，分别对土壤中的关注污染物进行了风险计算，选定 10^{-6} 为目标可接受致癌风险，1 为目标可接受危害商。

(1) 现状情景表层 (0~1.5 m) 土壤风险计算结果

在本场地表层 0~1.5 m 土壤中，关注污染物为六氯苯及三氯甲烷（氯仿），场地表层土壤中六氯苯的致癌风险分别为 $8.41E-06$ ，关键暴露途径为经口摄入；三氯甲烷（氯仿）的致癌风险为 $2.35E-05$ ，关键暴露途径为室外呼吸吸入土壤蒸气。六氯苯及三氯甲烷（氯仿）的致癌风险均超过了可接受水平 $1E-6$ ，非致癌危害商均未超过可接受水平 1。

(2) 现状情景下层 (1.5 m~6.0 m) 土壤风险计算结果

在本场地下层 1.5 m~6.0 m 土壤中，关注污染物为砷、六氯苯及三氯甲烷，场地下层土壤中砷缺乏呼吸吸入途径相关参数的亨利系数，无法进行风险计算；六氯苯的致癌风险为 $3.70E-06$ ，关键暴露途径分别为室内呼吸吸入；三氯甲烷（氯仿）的致癌风险为 $1.86E-02$ ，关键暴露途径分别为室内呼吸吸入，其危害商为 $4.78E+01$ ，三氯甲烷（氯仿）的致癌风险和危害商均超过了可接受水平。

综上所述，在现状情景下，调查区域的表层及下层土壤中六氯苯及三氯甲烷（氯仿）致癌风险超过可接受水平，需要进一步计算修复目标值。

3.3.2 初步修复目标计算结果

因场地未来利用规划存在不确定性，本次场地初步修复目标值计算是基于上述区域作为工业用地的现状而进行。考虑本场地关注污染物的全途径暴露，选定 10^{-6} 为目标可接受致癌风险，1为目标可接受危害商。土壤和地下水污染物的修复目标值见表 3-3。

因缺乏本场地用地的后续详细规划资料，本次修复目标计算过程未结合本场地规划，仅计算了初步修复目标，并未结合实际开发情况深入评价和讨论，仅供后续工作参考。

表 3-3 土壤和地下水污染物修复目标值

编号	介质	污染物	单位	初步修复目标计算结果	
				表层（0~1.5 m）	下层（1.5~3.0 m）
1	土壤	六氯苯	mg/kg	0.38	0.38
2		三氯甲烷	mg/kg	0.018	0.018

3.3.3 初步修复目标建议值

针对计算出的场地土壤初步修复目标值，综合场地修复技术可行性与经济性，与浙江省《污染场地风险评估技术导则》（DB33/T 892-2013）的土壤筛选值进行比对，按 10^{-6} 为目标可接受致癌风险，1为目标可接受危害商，提出本场地土壤和地下水初步修复目标建议值（见表 3-4）。

表 3-4 初步修复目标建议值

污染物	筛选值（mg/kg）	风险评估修复目标计算值（mg/kg）		修复目标（mg/kg）
		表层（0~1.5 m）	下层（1.5~3.0 m）	
六氯苯	1	0.38	0.38	1
三氯甲烷	0.5	0.018	0.018	0.5

4 修复策略的选择

4.1 修复目标

根据本场地前期调查及风险评估结论，按照土壤的目标污染物修复目标值确定的依据，针对场地关注污染物，将其根据环境风险评估得出土壤的目标污染物的计算风险控制值，同浙江省《污染场地风险评估技术导则》(DB33/T 892-2013)中土壤筛选值，综合场地修复技术可行性与经济性，确定最终修复目标值，见表4-1。

表 4-1 土壤污染物修复目标值

污染物	筛选值 (mg/kg)	风险评估修复目标计算值 (mg/kg)		修复目标 (mg/kg)
		表层 (0~1.5 m)	下层 (1.5~3.0 m)	
六氯苯	1	0.38	0.38	1
三氯甲烷	0.5	0.018	0.018	0.5

4.2 修复范围

4.2.1 修复范围确定的原则

依据国家政策与导则，结合本场地实际情况，确定场地修复范围划定原则：

(1) 场地修复的目标是保障人体健康，使得场地土壤和地下水中污染物的环境风险降低到可以接受的水平。

(2) 结合污染物特性，划分不同污染区及污染叠加区，有针对性的选取高效、经济的修复技术。

(3) 综合考虑修复工程实施的便利性，对于不利于施工作业的小面积区域，保留修复范围的整体性。

4.2.2 场地修复范围

根据前期调查、风险评估结果，以及上述修复范围确定的原则，本场地修复范围为原 HCFC22 生产车间和原 HCFC22 灌装车间。

场地土壤关注污染物包括三氯甲烷（氯仿）和六氯苯等 2 种。根据最终的修

复目标值确定污染土壤修复范围如表 4-2 和图 4-1。

表 4-2 污染土壤修复范围

对象	区域	深度 (m)	修复面积 (m ²)	修复方量 (m ³)
污染土壤	原 HCFC22 生产车间	0~3.0	1500	4500
	原 HCFC22 灌装车间	0~6.0	3200	19200

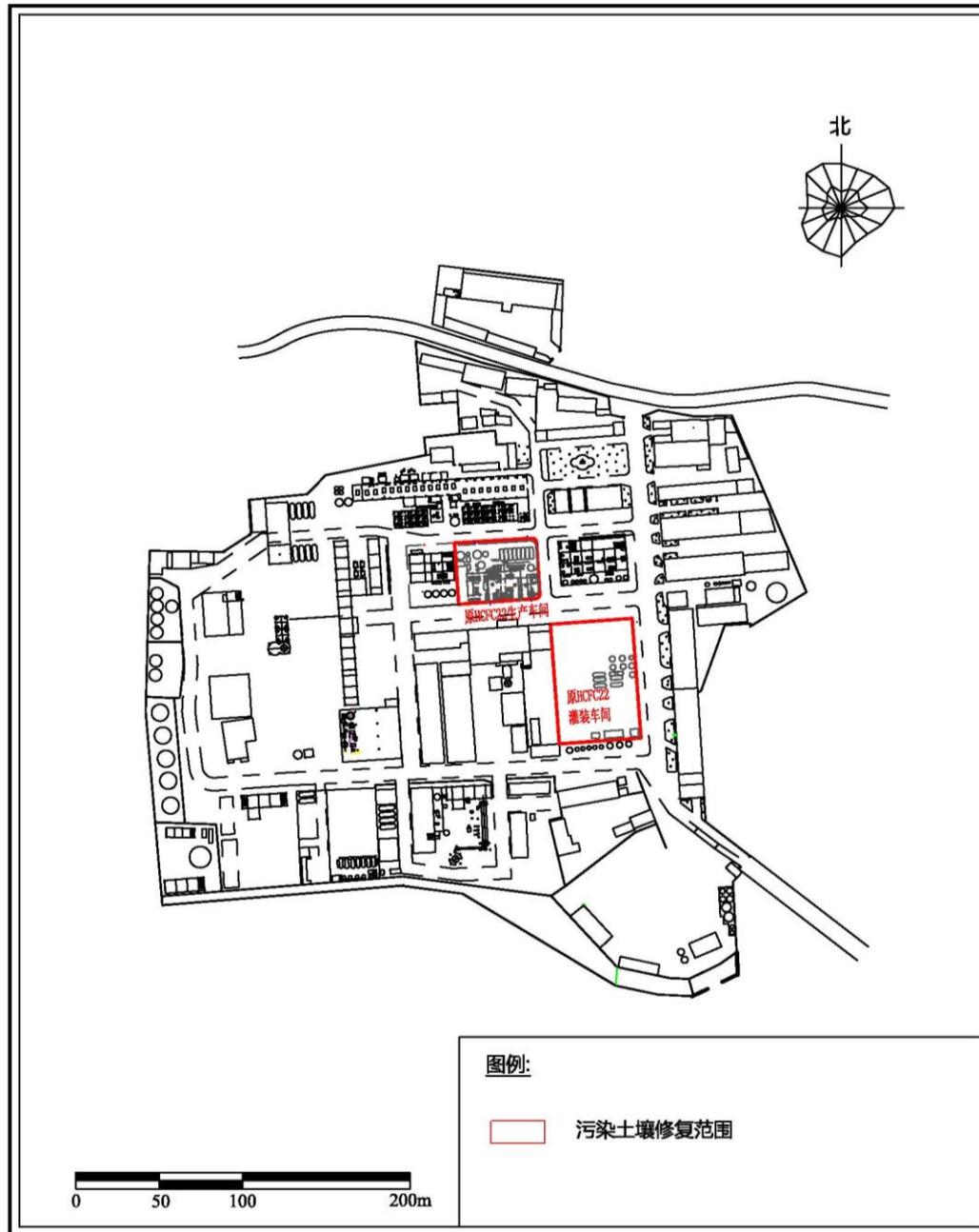


图 4-1 场地污染土壤修复范围

4.3 修复策略

4.3.1 场地条件确定

厂区生产区域四周均有围墙阻隔，内部厂区生产区域地面全部进行了硬化。厂区地势高于周边地势，由北向南厂区与周边区域的高程差逐渐增大，约为2 m~5 m。周边主要为居民区、汽车维修厂、钢材加工厂等。

原 HCFC-22 生产车间位于厂区中部的北侧，目前原 HCFC22 生产车间和灌装车间区域已停止供电。

4.3.2 确认修复要求

本次修复计划是针对 HCFC22 生产线关闭场地修复工作而制定的，因此工作范围限定于原 HCFC22 生产车间和原 HCFC22 灌装车间。

4.3.3 选择修复模式

根据本场地的场地特征条件、修复目标和修复要求，选择对周边环境影响较小、技术经济可行性较高的技术路线，确定本场地将采取原位修复为主的总体思路。

为了防止修复区域污染周边区域，同时保证污染土壤原位修复效果，采用止水帷幕作为场地修复的工程控制措施。

5 场地修复技术筛选与评估

5.1 目标污染物及其性质

5.1.1 目标污染物

经过前期场地环境调查和风险评估的结果，本场地土壤中的目标污染物主要包括：

- (1) VOCs：三氯甲烷；
- (2) SVOCs：六氯苯。

目标污染物的污染深度和对应土层情况如表 5-1 所示。

表 5-1 目标污染物污染深度和土质

序号	污染物	污染介质	地层
1	三氯甲烷	土壤	粉质粘土层
2	六氯苯	土壤	粉质粘土层

5.1.2 目标污染物的性质

5.1.2.1 三氯甲烷（氯仿）

无色透明液体，味甜，溶于醇、醚、苯，在日光、氧或湿空气中，特别是在铁的存在下，易分解生成氯化氢有光气。

对实验动物具有致癌作用，但对人类的致癌作用尚不确定，IARC 将其归类为 2B，大鼠吸入 LC_{50} 为 $47702 \text{ mg/m}^3/4\text{hr}$ ，雄大鼠经口 LD_{50} 为 908 mg/kg ，雌大鼠经口 LD_{50} 为 1117 mg/kg 或 695 mg/kg ，小鼠经口 36 mg/kg ，腹腔注射 623 mg/kg ，皮下 704 mg/kg ，可通过皮肤吸收，吸入或食入而进入人体，氯仿主要对中枢神经及心脏有损害作用，对肾脏及肝脏也有毒害。常见的症状为恶心、呕吐、食欲减退、嗜睡、头昏、定向困难、头痛、胸痛、尿痛。吸入还可引起鼻喉刺激、口干、呼吸困难等。

5.1.2.2 六氯苯

白色结晶。在高温下，在碱性溶液中能分解生成五氯酚钠盐。受高热分解产

生有毒的腐蚀性烟气。接触后引起眼刺激、烧灼感、口鼻发干、疲乏、头痛、恶心等。中毒时可影响肝脏、中枢神经系统和心血管系统。可致皮肤溃疡。常积蓄在人类多脂质的组织内，如肾上腺皮质、骨髓、皮肤及内分泌组织，并可通过胎盘和母乳传递给婴儿，在体内可以有限降解而成五氯苯，四氯苯及五氯苯酚。可以影响亚铁血红蛋白的生物合成，可以对肝、肺、肾、甲状腺、神经系统产生危害作用，具有氯代烃的毒性，大鼠经口 LD₅₀ 为 3500 mg/kg，小鼠经口为 4000 mg/kg，对人类的致癌作用，IARC 将其归类为 2B。

场地目标污染物的物理化学性质见表 5-2 所示。

表 5-2 场地目标污染物化学特性

序号	项目	三氯甲烷（氯仿）	六氯苯
1	CAS	67-66-3	118-74-1
2	密度（g/cm ³ ）	1.5	2.44
3	溶解度（mg/L）	7920	不溶于水
4	熔点（℃）	-63.5	226
5	沸点（℃）	61.3	325
6	蒸汽压（mmHg/25℃）	197	4.9×10 ⁻⁵
7	亨利常数	1.53E-01	5.41E-02
8	K _{oc}	3.98E+01	5.50E+04

5.2 修复技术初步筛选

根据本场地的具体情况，按照确定的修复模式，筛选实用的修复技术，开展必要的实验室小试，并结合国内外相关修复技术应用案例进行对比分析，从适用条件、对本场地修复效果、成本和环境安全性等方面进行评估。

5.2.1 修复技术筛选原则

修复技术的确定需要考虑到场地现状，开发计划，处置成本，以及处置技术成熟可靠等因素，需要对不同性质的土壤进行实验，确定处置工艺和参数，以达到污染场地的修复目标。

在修复技术的筛选方面必须考虑以下问题：

(1) 符合场地具体情况：针对场地地质和水文地质条件、污染物特性和污染特征以及场地未来规划等因地制宜选择修复技术。

(2) 技术成熟可靠：为保证该场地修复顺利完成，本方案设计尽可能采用成熟可靠的修复技术，避免采用处于研究初期的修复技术。

(3) 时间合理：为尽快完成该地块土壤的修复，实现土地开发利用价值，降低修复过程中的潜在环境风险，同等条件下需选择处理时间短的修复技术。

(4) 费用合理：结合场地中的污染物特性，选择经济可行的修复技术，既满足修复后的场地利用要求，又尽量降低修复费用。

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

(6) 修复结果达标：必须满足今后的土地规划标准，确保环境安全及居民健康。

基于以上筛选原则，对多种技术分析比较，针对不同污染以及不同深度的土壤提出多种修复技术科学优化整合的修复技术方案。

5.2.2 适用的修复技术简介

结合本场地的污染特征、土壤特性和选择的修复模式，从技术成熟度、所适用的目标污染物和土壤类型、修复效果、时间和成本等方面现有适用的修复技术优缺点，重点分析各个修复技术应用的适用性，见表 5-3。

表 5-3 场地目标污染物主要适用修复技术

污染介质	目标污染物	适用技术
土壤	三氯甲烷（氯仿） 六氯苯	化学氧化 化学/生物还原 气相抽提 热脱附 生物修复 原位阻隔 常温解吸

5.2.2.1 化学氧化

化学氧化是使用氧化剂，通过氧化反应将污染土壤中目标有机污染物降解为毒性较低的产物或者无害产物。根据目标污染物种类和浓度等参数，向污染土壤中加入适量的氧化剂，氧化剂作为电子接收物质，通过氧化反应从目标污染物处接收电子，促使目标污染物分解。常用的氧化剂包括：双氧水、过硫酸盐和高锰酸盐，但是氧化剂一般还需要配合活化剂使用，因此在使用氧化剂前，需要将氧化剂与活化剂按照相应比例调配混合，再与土壤混合。

根据氧化剂的投加方式可分为原位化学氧化和异位化学氧化。原位化学氧化是将液态的氧化剂，使用注射设备直接注入污染区域，单个注射区域的影响范围有污染区域的水文地质条件、药剂性质共同决定，为了防止药剂无法顺利达到预期的影响范围，单个注射区域之间一般互相重合。异位化学氧化是将污染土壤进行开挖，并在具有负压通风功能的密闭大棚中，通过机械设备的搅拌混合作用，将氧化剂与土壤进行直接接触混合，达到对污染物进行氧化的目的。具体见图 5-1。

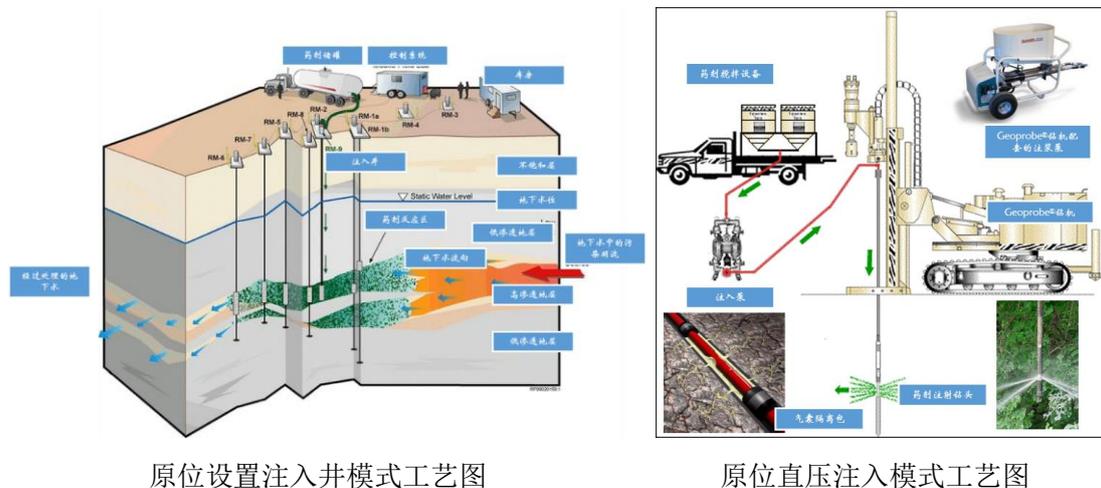


图 5-1 原位化学氧化工艺图

5.2.2.2 化学还原

化学还原（Chemical Reduction，简称 CR）技术，通过还原反应污染土壤中目标有机污染物降解为毒性较低的产物或者无害产物的修复技术。CR 技术使用还原剂，其为电子供应物质，通过还原反应向目标污染物提供电子，促使目标污染物分解。常用的还原剂主要是零价铁，也有硫化物、亚铁离子、亚硫酸盐。

氯代烃还原脱氯，必须加入大量的电子供体首先将水中的溶解氧等还原，形成厌氧环境。在厌氧还原脱氯过程中，还原性化合物提供电子，污染介质中的氯代烃等作为电子受体。

5.2.2.3 气相抽提

SVE 技术一般在污染区域设置单个或多个气体抽提井（在污染物所在深度设置井屏，设计抽提深度为地下 1 m 以下），通过引风机或真空泵等设备在抽提井中形成真空，促使污染区域中的气相 VOCs 和 SVOCs 随气流向抽提井迁移，并进一步被抽提至设置在地表的尾气净化系统，进行统一收集和处置。而原来吸附在土壤颗粒上的吸附相 VOCs 或者 SVOCs，由于原有气相物质被抽走，造成各相态平衡被打破，因此不断有吸附相的污染物转化为气相。此外，负压环境也进一步加速了其他各相的 VOCs 和 SVOCs 向气相转化的速率。净化系统一般分为活性炭吸附或者氧化焚烧两种，其适用范围主要根据单位时间内进入净化系统的 VOCs 或者 SVOCs 的浓度、种类而定。此外，考虑到土壤中的水分也会影响尾气净化系统的处置效率，因此在尾气净化系统前端一般会配置气液分离装置。

SVE 技术适用于污染物埋深在地下 1 m 以下，土层渗透性中等或以上，存在高浓度 VOCs 或者 SVOCs 污染土壤的场地。

5.2.2.4 生物修复

生物修复技术，这里主要是指利用土著或引入微生物的代谢作用将土壤和地下水中的有害有机物降解为无害无机物或其他无害物质，或是将离子态的重金属转换并固定在土壤中的过程。具体的修复机理说明如下：微生物在厌氧条件下，能将有机物降解，转化成小分子有机酸、水、氢气、甲烷、硫化物等。

5.2.2.5 热脱附

热脱附是指采用直接或间接热交换方式，将有机污染物质加热到足够高的温度，使其蒸发并从受污染介质中分离出来的过程。空气、燃烧气体或惰性气体被作为蒸发污染物质的交换介质。热脱附是将污染物从一相转化为另一相的物理分离过程，在修复过程中并不出现对有机污染物的破坏作用。通过控制热脱附系统的温度和污染土壤停留时间有选择的使污染物得以挥发，并不发生氧化、分解等

化学反应。热脱附作为一种非燃烧技术，污染物处理范围宽、设备可移动、修复后土壤可再利用，特别对多氯联苯（PCBs）这类含氯有机物，非氧化燃烧的处理方式可以避免二恶英的生成，广泛用于有机污染物污染土壤的修复。

5.2.2.6 原位阻隔

污染原位阻隔技术是一种全包裹或半包裹技术，可有效阻止场地内污染物的扩散，阻隔污染物可能的暴露途径。该技术主要采用表面密封层、垂直防渗墙和底部密封层这三种措施中的部分或全部措施，将整个污染区域包裹或半包裹起来，可以隔绝地表水、地下水进入污染区域，也可以隔绝污染物挥发进入空气或是与渗透水一起进入地下水，从而减少污染物向外扩散。

该技术可以作为单独的处置技术，根据场地具体的暴露途径，选择表面密封层、垂直防渗墙和底部密封层这三种措施中的一种或多种进行搭配，达到阻隔暴露途径的目的；该技术的实施还需配合场地后期的长期管理。它也可以作为其他修复技术的辅助技术。由于污染物质仍存留在场地上，因此对隔离区域的开发利用就有一定的限制条件，例如不适合进行需开挖或基础建设的高楼建设用地，而仅适用于绿化或低矮设施用地建设。

5.2.2.7 常温解析

挥发性有机污染土壤的常温解吸处理技术，相当于国外的土壤机械通风，实质上是一种异位 SVE 增强技术，统称为土壤通风技术。其主要原理是利用土壤中有有机污染物易挥发的特点，常温下通过专业土壤解吸机械设备（如土壤改良机和筛分斗）对污染土壤进行机械扰动，使得吸附于污染土壤颗粒里的有机污染物解吸和挥发，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去除。

5.2.3 修复技术筛选

结合该场地污染特性，根据修复实施时现场条件及修复要求（时间、费用等），筛选适用于本场地的有机污染土壤修复技术，如表 5-4 所示为本场地有机污染土壤修复技术筛选矩阵。

经过初步比选，建议采用化学氧化、化学还原和热脱附作为本场地有机物污染土壤的修复技术。其中为了防止修复区域污染周边区域，同时保证污染土壤原

位修复效果,采用止水帷幕技术作为防止本场地污染土壤修复的必选工程控制措施,同时筛选化学氧化、化学还原和热脱附等作为本场地污染物去除的修复技术。

表 5-4 有机污染土壤修复技术筛选矩阵

名称	应用参考因素					适用条件	局限性	结论
	时间	成本	技术成熟性	社会环境影响	操作与维护			
化学还原	短	一般	成熟	小	一般	修复氯代烃污染的土壤的常用技术，适用于中、低渗透性场地氯代烃污染，修复周期短，效果持久。	该场地有机物污染程度不一，需要考虑周围环境、还原剂投加量和中间产物对环境微生态的影响。	建议采用
化学氧化	短	一般	成熟	小	一般	对于高浓度、难生物降解的有机污染物。	该场地有机物污染程度不一，需要考虑周围环境、氧化剂/还原剂投加量和中间产物对环境微生态的影响。	建议采用
气相抽提	长	一般	成熟	小	一般	对挥发性污染物效果较好，对于半挥发性污染物也有一定效果。适用于非饱和土壤，土壤通气性好且土质相对均匀区域。	对不饱和土壤有效，对低渗透率土壤或层状土壤处理效果不确定，本场地部分区域深度 3.5m 以下为粘土，属低渗透系数。修复时间较长。	不建议采用
生物修复	长	低	成熟	一般	容易	微生物的代谢作用将土壤中的有害有机物降解为无害无机物或其他无害物质。设备技术成熟，施工和运行简单。	生物降解效率较低，因此需要长时间占用土地，不利于土地再利用。	不建议采用
热脱附	短	高	成熟	一般	复杂	热脱附为 VOCs/SVOCs 污染土壤通用处理技术，处置污染物浓度水平较广，配合适宜的尾气处理系统，适用于含氯有机物的处理，可有效防止二噁英的产生	高含水率土壤需采取措施降低其含水率，以降低能耗；土壤中粘粒含量过高增加热脱附处理能耗	建议采用
原位阻隔	长	低	一般	一般	复杂	适用于通过充分调查和风险评价识别主要风险途径的场地。通过风险控制技术使风险控制技术使风险降低至可接受范围。	通过阻隔控制可消除风险最高的暴露途径。需要与场地开发同步进行。不是污染消除方法。	不建议采用
常温解析	短	低	成熟	一般	容易	简单易行、便于管理，对于 VOCs 类污染土壤修复成本较低，机械扰动有利于土壤中污染物的解吸添加修复药剂，温度升高，目标污染物蒸气压升高有利于修复	高含水率土壤需采取措施降低其含水率，以利于解吸操作；粘性土的机械扰动需专门的破碎设备；需增加解析尾气的处理	不建议采用

5.3 修复技术可行性评估

本场地修复技术可行性评估方法主要为案例分析。根据本场地的特征条件和污染情况，将筛选适用修复技术开展相关工作，评估其技术可行性。

5.3.1 氯代烃污染土壤修复技术可行性评估

5.3.1.1 氯仿、六氯苯污染土壤修复技术的应用情况

对于氯仿污染土壤，化学氧化、常温解吸等技术进行修复在国内工程应用中比较广泛；对于六氯苯污染土壤，化学氧化、热脱附、水泥窑协同处置等技术进行修复在国内工程应用中比较广泛，表 5-5 例举了国内氯仿、六氯苯等挥发性有机物污染场地采用的修复技术。

表 5-5 氯仿、六氯苯国内场地修复案例

序号	项目名称	实施时间	主要污染物	修复技术
1	盐城某地污染土壤及地下水修复工程	2014 年	苯、甲苯、氯苯和 氯仿 等	化学氧化
2	江苏金坛某污染土壤与地下水修复项目	2014 年	苯、氯苯、1,2-二氯乙烷、 氯仿 、四氯化碳、一溴二氯甲烷和三氯乙烯等	化学氧化
3	常州某大型化工厂土壤修复项目	2012 年	六六六、 六氯苯 、五氯苯、二氯苯等	化学氧化
4	湖北省某染料厂污染土修复工程	2013 年	氯苯和二甲苯	常温解吸和化学氧化
5	原北京化工二厂和北京有机化工厂污染场地修复工程项目	2011 年	1,2-二氯乙烷、 氯仿 、氯乙烯等	热脱附
6	华北某化工城污染土壤修复工程	2012 年	1,2-二氯乙烷、 氯仿 、氯乙烯	常温解吸、水泥窑协同处置
7	北京某地铁线某段土壤污染修复项目	2011 年	1,2-二氯乙烷、氯乙烯和 氯仿	异位气相抽提

5.3.1.2 土壤中氯仿、六氯苯的修复机理

(1) 氯仿、六氯苯的氧化机理

对于氯仿、六氯苯的氧化过程，是利用 OH 等高能基团的强氧化性，使氯仿、

六氯苯的 C-Cl 键或 C-C 键被 C-O 键或 C=O 键取代，从而达到降解的目的。

(2) 氯仿、六氯苯热脱附机理

热脱附通过将经过预处理（包括破碎、筛分及土壤含水率调节等）的污染土壤输入回转窑，热脱附单元中的高温工况（250~550℃）可以促使土壤中的有机污染物加热到污染物沸点以上，以使有机污染物从污染土壤中挥发或分离，到达去除土壤中污染物的目的。

目标污染物三氯甲烷和六氯苯的沸点温度为 61.3℃和 325℃（见表 5-6），热脱附单元的工作温度大于三氯甲烷和六氯苯的沸点，可使其挥发并从土壤中分离。

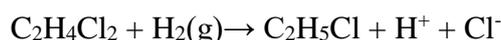
表 5-6 关注污染理化性质

序号	关注污染物	沸点（℃）	蒸汽压（mmHg/25℃）
1	三氯甲烷	61.3	197
2	六氯苯	325	4.9×10^{-5}

(3) 含氯有机物的还原脱卤机理

含氯有机物作为电子受体，主要通过两个途径进行还原脱氯：氢解反应（Hydrogenolysis）、β-消除反应（β-elimination）。

氢解反应是指化合物中的一个氯原子被氢原子置换，一般一步反应只置换一个氯原子。此外，还有一种有 H₂ 参加的直接催化氢解反应，该反应需要催化剂的存在，如 Fe₃O₄。以二氯乙烷为例：



β-消除反应是相邻碳原子上的一个氢原子和一个氯原子或者两个氯原子被脱除。



通过氢解反应和 β 消除反应，二氯乙烷逐步被还原为低氯或无氯的中间产物，然后通过加氢反应（hydrogenation），最终生成乙烯和乙烷。

5.3.1.3 土壤修复技术可行性评估结果

化学氧化、热脱附作为本场地的氯仿和六氯苯污染土壤的修复技术，从相似案例和修复原理的角度分析，具有技术可行性。而采用化学还原，需结合化学氧化处理氯代烃还原产物，才可保证关注污染物的浓度满足修复目标的要求。

5.3.2 修复可行技术的确定

在分析比较修复技术优缺点和开展技术可行性试验的基础上,从技术的成熟度、适用条件,以及对本场地土壤修复的效果、成本、时间和环境安全性等方面对备选修复技术进行综合比较,确定可行修复技术,见表 5-7。

表 5-7 本场地污染土壤修复可行技术

选择	修复对象	技术	时间	应用条件
1	氯仿、六氯苯污染土壤	原位化学氧化	约 2~6 个月	需测试不同氧化剂的修复效果
2		热脱附	约 2~3 个月	需要热脱附成套装备

6 修复方案比选

6.1 备选修复方案

根据以上分析，对本场地土壤污染修复的备选修复技术方案组合见表 6-1。

表 6-1 场地备选修复技术方案组合

方案	修复介质	区域	目标污染物	深度	面积 (m ²)	土方量 (m ³)	修复技术
方案一	污染土壤	原 HCFC22 生产车间	三氯甲烷 六氯苯	0~3.0	1500	4500	原位化学氧化
		原 HCFC22 灌装车间		0~6.0	3200	19200	原位化学氧化
方案二	污染土壤	原 HCFC22 生产车间	三氯甲烷 六氯苯	0~3.0	1500	4500	异位热脱附
		原 HCFC22 灌装车间		0~6.0	3200	19200	异位热脱附

注：修复土方量为虚方。

6.2 修复方案比选

根据前期调查、风险评估结果，结合场地污染情况和水文地质条件，充分考虑污染场地修复技术的成熟可靠性、修复成本、资源需求、安全健康环境、环境可接受性、修复时间等方面，确定适合本项目的修复工程技术。同时，基于以下封面的考虑确定本项目修复的最佳方案。

(1) 本场地处于丘陵地带，在场地历史开发过程中曾分多次填平了原山坡之间的低洼区域以平整和扩建厂区，可能回填了含关注污染物砷的土壤，导致重金属浓度超标主要集中于深层土壤。因此，针对污染土壤采用原位修复技术，不开挖修复范围的污染土壤，可避免深层土壤中重金属向环境中释放的可能性，切断暴露途径（皮肤接触、经口摄入和呼吸吸入），从而降低对人体的健康风险。

(2) 场地表层为素填土，石块等杂物少，前期调查渗透系数为 $4.75E-06 \sim 8.51E-04$ cm/s，上述条件有利于原位化学氧化技术的实施，且原位化学氧化实施简单、修复效果高，故拟采用原位化学氧化技术。

(3) 热脱附技术需要成套的热脱附装备，本场地修复范围和修复土方量相对较小，采用该技术修复场地的污染土壤，降低了热脱附技术的经济性。

综上所述，方案一是本场地的最佳方案，在后续章节中将主要对方案一进行论述。将方案二作为备选方案使用，见表 6-2。

表 6-2 场地修复工程最优方案及备选方案组合

序号	修复对象	目标污染物	最优方案 (方案一)	备选方案 (方案二)
1	污染土壤	三氯甲烷 六氯苯	原位化学氧化	异位热脱附

7 场地修复方案设计

7.1 场地修复方案的总体技术路线

根据前章节所述场地概念模型、污染物分布情况和修复目标值，结合修复模式和修复技术筛选结果，采用多种修复技术进行优化组合集成，制定本场地修复技术路线，见图 7-1。

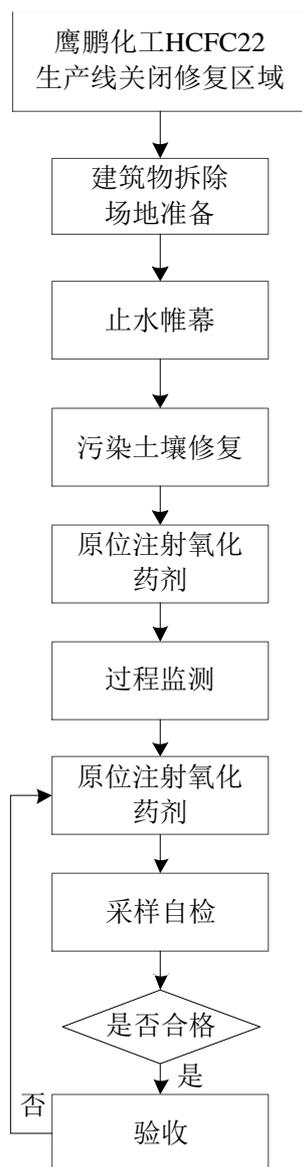


图 7-1 场地修复方案总体技术路线

7.2 修复技术应用情况及工程量

本场地各区域拟采用的工艺技术及工程量统计详见表 7-1。

表 7-1 本场地各区域拟采用的工艺技术及工程量

修复区域	目标污染物	修复技术	深度	面积 (m ²)	处理量 (m ³)
原 HCFC22 生产车间	三氯甲烷 (氯仿) 六氯苯	原位化学氧化	0~-3.0	1500	4500
原 HCFC22 灌装车间			0~-6.0	3200	19200

注：土方量为虚方。

需要说明的是，上表中给出的修复量是在以下两个假设条件下给出的：

- (1) 污染区表层均需在场建设时开挖；
- (2) 污染区范围内均需建设地下空间和/或建设地上建筑物。

根据风险评估结果，本场地下层土壤中挥发性物质三氯甲烷对人体健康风险超过可接受水平的暴露途径是吸入室内/室外污染蒸气。因此，对于不建设地上及地下构筑物的区域，该区域下层土壤仅存在吸入室外蒸气这一暴露途径，对人体健康的风险将降低，该区域下层土壤不进行挖掘，则部分关注污染物无需修复。故而，实际修复工程量将根据场地的具体开发设计进行调整。

7.3 止水帷幕技术方案

7.3.1 工艺流程

为保证修复效果，避免修复施工过程中污染区污染物扩散至非关注区域，在修复范围四周设置止水帷幕。本场地止水帷幕的墙体拟采用三轴搅拌桩进行施工，其工艺流程如图 7-4。

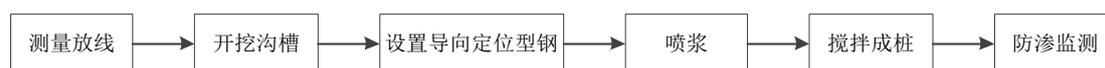


图 7-2 止水帷幕工艺流程

7.3.2 止水帷幕工艺说明

7.3.2.1 止水帷幕范围、厚度和深度

在本场地修复范围周边建立止水帷幕（见图 7-3），并设置防渗监测井。保证氧化药剂在修复区域内反应，防止其在原位注射过程中流向周边区域。

帷幕底板深度至场地的第一个相对不透水层上部，其中原 HCFC22 生产车间区域，帷幕地板平均深度为 3 m，原 HCFC22 灌装车间区域第一个相对不透水层在场区内分布不均匀，则将该区域部分止水帷幕的底板深度延伸至该区基岩层的上部（其底层最大埋深平均约 6 m），具体的延伸边长与深度将视场区各土层的渗透性和水文地质条件而定。

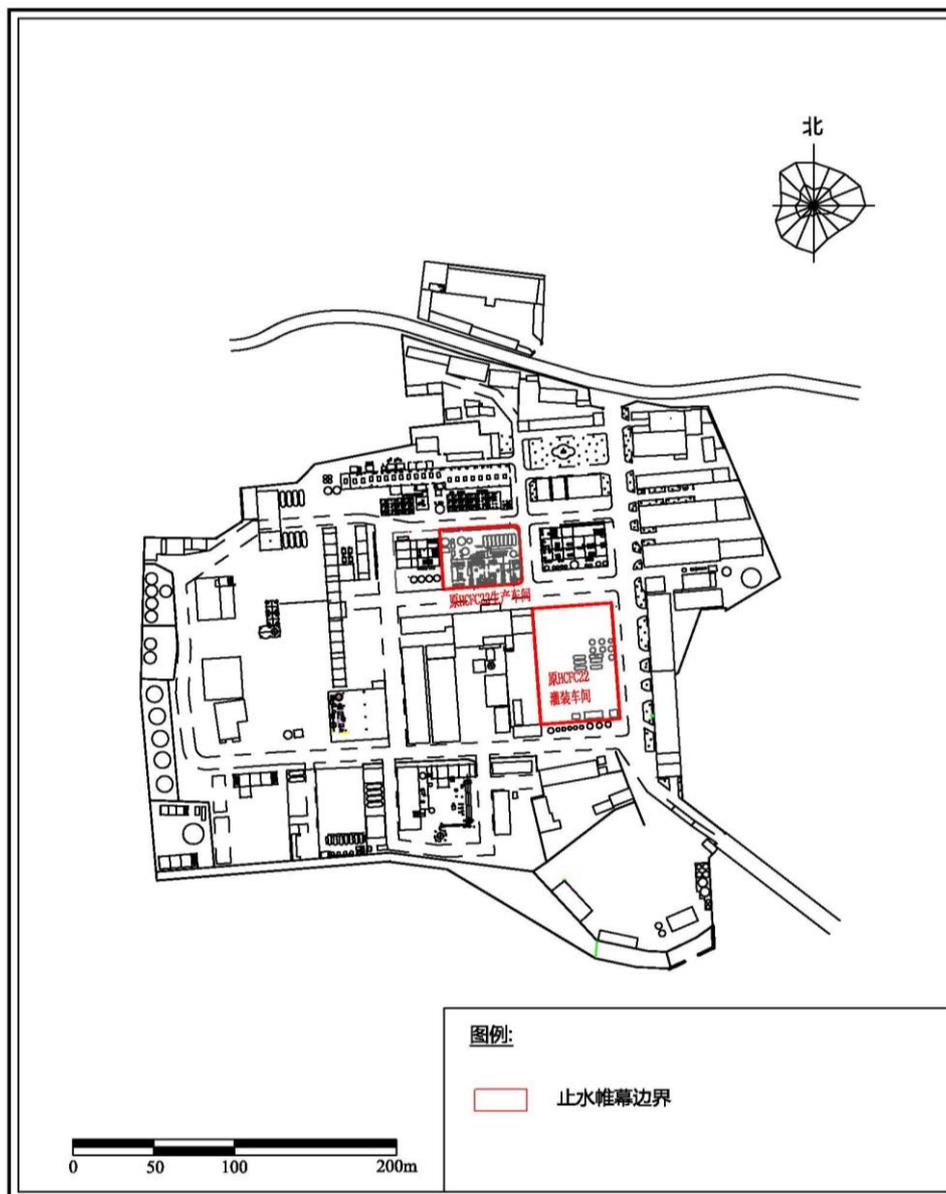


图 7-3 止水帷幕边界

7.3.2.2 止水帷幕施工工序

止水帷幕施工工序如下。

(1) 钻机就位

旋喷注浆施工的第一道工序就是将使用的钻机安置在设计桩位上，使钻杆头对准孔位的中心。同时为保证钻孔达到设计要求的垂直度，钻机就位后，必须做水平校正，使其钻杆轴线垂直对准钻孔中心位置，其偏差不应大于5cm。

(2) 插管

采用钻机钻孔、并将旋喷注浆管插入至设计要求的深度。在插管过程中，为防止泥砂堵塞喷嘴，可边射水、边插管，水压力一般不超过1MPa。如压力过高，则易将孔壁射塌。

(3) 配浆

当旋喷管插入预定深度时，应及时按设计配合比制备好水泥浆液，并按以下步骤进行操作：

① 按设计转速原地旋转旋喷管。

② 按设计旋喷方法，输入水泥浆液和空气，待泵压至设计规定值。

③ 按设计的提升速度提升旋喷管，进行由上而下的旋喷注浆作业。

④ 水泥浆液应严格过滤，并按喷嘴直径设置两道过滤装置：在制备水泥浆液搅拌罐和泥浆泵吸浆搅拌罐之间设一道过滤网，在泥浆泵吸浆管尾部设一过滤网。

(4) 旋喷作业

当旋喷管提升接近桩顶时，应从设计桩顶以下1.0m开始，慢速提升旋喷至桩顶，旋喷数秒，再向上慢速提升旋喷一段桩体1.0m。

(5) 浆液回收

旋喷施工中井口会产生大量的返浆。为提高旋喷的经济性，可考虑返浆经过筛后重复利用。旋喷作业完成后，应不间断地将冒浆回灌到桩孔内，直到桩孔内的浆液面不在下沉为止。

(6) 冲洗设备

当喷射提升到设计标高后，旋喷即告结束。施工完毕应把注浆管、注浆泵等机具设备冲洗干净，管内、机内不得残存水泥浆。通常把浆液换成水，在地面上

喷射，以便把泥浆泵、注浆管软管内的浆液全部排出。并应架起旋喷管设备，离地存放。每根桩施工完毕后，应用清水将泥浆泵和管路内的残留浆液全部喷射排出；钻具及其他设备，应用低压水冲洗干净。

(7) 移动机具

把钻机等机具设备移到新孔位上。

(8) 补救措施

在开挖时，如发现局部地下出现渗水现象，拟采取快速注浆的方式进行堵漏。

7.3.2.3 止水帷幕施工质量保障措施

为了保证止水帷幕的质量，防止帷幕漏水，需对旋喷桩孔位偏差、孔径偏差、孔垂直度误差进行控制，保证孔位偏差 ≤ 50 mm，孔垂直度 $\leq 1\%$ ，孔深 \geq 至基底以下 1.0 m，孔径偏差 ≤ 50 mm。旋喷桩设计时，加大桩间咬合尺寸，避免因以上误差造成桩间缝隙而漏水。

为了使施工质量能够满足设计要求，不但要有完善的施工质量人员保证体系，还要在具体施工过程中，严格控制好各道工序的施工质量。

(1) 旋喷前要检查高压设备及管路系统，其压力和流量必须满足设计要求。

(2) 正式施工前，各机械必须进行试运转，待各机械性能稳定、管路连接牢固密封，各运行参数符合设计要求后，方可施工。

(3) 技术员必须按照设计要求把该孔号的钻孔深度、下管深度、喷射注浆长度、搭接长度、超喷长度等参数以书面形式通知操作人员，并现场验证孔位后方可正式钻孔、喷射注浆。

(4) 每一孔号钻孔、喷射注浆结束前必须经技术员验证深度后方可终止。

(5) 钻机塔架必须安放稳定、导孔垂直度满足设计要求，导孔过程中遇到的异常现象必须准确记录，经技术人员同意可终止钻孔。

(6) 高压泥浆泵和空气的压力必须满足设计要求，当压力出现骤然下降或上升现象时，必须停机检查原因，待排除故障后再恢复工作。

(7) 空气、浆液输送管线必须密封和畅通，如出现泄漏或堵塞必须立即排除。

(8) 浆液配合比必须符合设计要求，每隔 15~20 分钟应测记一次浆液比重。冒浆利用必须均匀、稳定、不得忽多忽少。

(9) 应准确、及时、完整地做好施工记录，记录内容包括桩号、桩长、下管深度、开喷和终喷深度及起止时间，接换管深度和时间，中断喷射的时间、深度和原因。

(10) 当喷射结束后、应利用加掺 15~20%水泥的冒浆充填，直到孔口浆液不再下沉为止。

7.3.3 止水帷幕工艺参数设计

止水帷幕主要工艺参数设计见表 7-2。

表 7-2 止水帷幕主要工艺参数

序号	项目	单位	参数
1	浆液材料	—	P.S.A32.5 水泥
2	水灰比		0.8~0.9
3	周长	m	390
4	厚度	mm	400
5	深度	m	3~6
6	喷射压力	Mpa	20±2
7	摆动频率	次/分钟	60±5
8	提升速度	cm/分钟	<20±2

7.3.4 止水帷幕工艺设备

止水帷幕主要工艺设备包括旋喷钻机、高压注浆泵和搅浆桶等。

7.3.5 止水帷幕建设时间

止水帷幕墙体建立需 20 天，养护需 20 天，共计 40 天。

7.4 污染土壤原位化学氧化修复方案

7.4.1 工艺流程

针对本场地污染土壤采用原位化学氧化技术修复，其工艺流程如图 7-4。

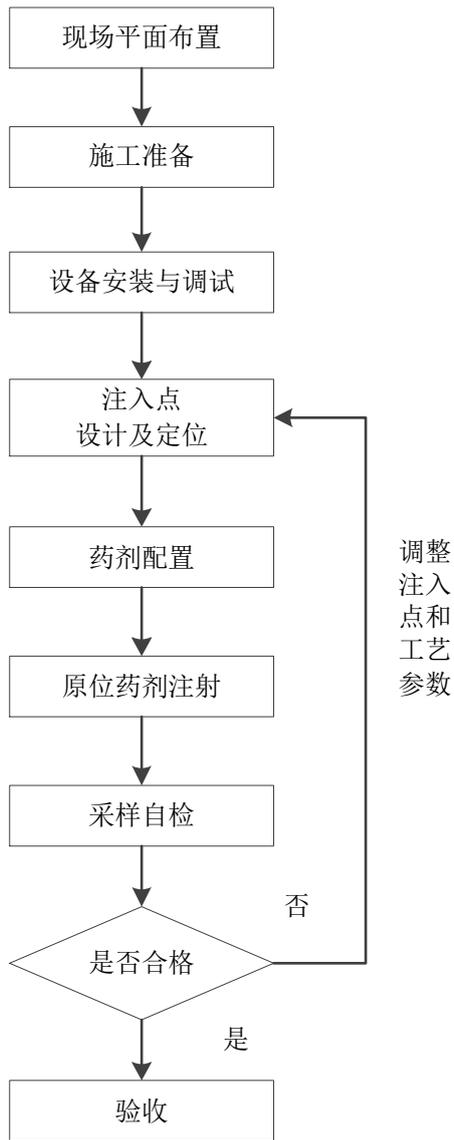


图 7-4 原位化学氧化技术工艺流程

7.4.2 原位化学氧化技术工艺说明

7.4.2.1 氧化剂的选择

常用的化学氧化药剂包括 Fenton 试剂、过氧化物 (H_2O_2 和 CaO_2)、过硫酸盐 (如 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$)、高锰酸盐 (如 KMnO_4) 和臭氧 (O_3) 等。表 7-3 是常见的化学氧化药剂及其产生的氧化基团的氧化还原电位比较。

表 7-3 常见化学氧化剂的氧化还原电位

序号	化学式	名称	标准电位(V)
1	OH·	羟基自由基	+2.8
2	SO ₄ ·	硫酸根自由基	+2.6
3	O ₃	臭氧	+2.1
4	S ₂ O ₈ ²⁻	过硫酸根	+2.1
5	H ₂ O ₂	过氧化氢	+1.8
6	MnO ₄ ⁻	高锰酸盐	+1.7

其中过硫酸盐在土壤中非常稳定，能够存在数月，通过一定的活化方式产生硫酸根自由基，其氧化还原电位（ORP）高达 2.6 V。因此，在原位氧化修复中使用广泛。过硫酸钠（Na₂S₂O₈）是最常用的过硫酸盐氧化剂，其水溶性良好，且在水溶液中稳定。

因此，本场地污染地下水修复拟选择活化过硫酸钠作为原位化学氧化药剂。

7.4.2.2 注射方式的选择

本场地修复拟选择原位注射方式进行地块污染土壤修复，设备拟采用 Geoprobe 钻机。

Geoprobe 直压注入可分为由底至上灌注法和顶端至下灌注法两种具体实施形式。其中由底至上灌注法是先以钻杆打至特定深度，回拔顶除底部抛弃式钻头后开始经由钻杆灌浆，一边回拔一边注入药剂，药剂依重力向下扩散，通常会往阻力小的方向流动。根据现场条件与方案设计，若采用 Geoprobe 直压注入拟选择由底至上灌注法的实施形式。

7.4.2.3 氧化药剂的注射量

氧化剂用量主要由两部分组成，一部分氧化剂消耗用于氧化土壤中的还原性基质，即土壤的天然需氧量，另一部分消耗用于对关注污染物的去除。采用 Geoprobe 钻机直压注入化学氧化药剂，注射次数为 3 轮。每轮氧化药剂设计平均注射量为 2~5%。

7.4.3 原位化学氧化工艺参数设计

采用 Geoprobe 钻机直压注入化学氧化药剂的注射工艺参数见表 7-4，过程采用跳孔间隔注药方式。

表 7-4 原位化学氧化注射工艺参数

序号	技术参数	单位	设计值	备注
1	注入点位间距	m	3~5	根据影响半径现场调整
2	注入深度	m	3~6	根据现场情况调整
3	注入点位	个	324	根据现场情况调整
4	注射压力	MPa	0.2~2.5	根据现场情况调整
5	注射速率	L/h	500~1500	根据现场情况调整
6	一次注射量	L/点次	500~1500	根据现场情况调整
7	日注射点位	个	9~10	根据现场情况调整

7.4.4 原位化学氧化工艺设备

原位化学氧化的主要工艺设备包括:Geoprobe 钻机、药剂混合设备、流量计、压力计等。

7.4.5 原位化学氧化修复时间

每轮原位化学氧化注射需 36 天,为保证修复效果,预计进行 3 轮药剂注射,合计 108 天。期间每轮注射前后进行采样分析,以指导下一轮原位化学氧化注射的参数,每次需 7 天,则共计 122 天。具体与场地特性和现场实施情况相关。

8 制定环境管理计划

为做好项目实施期间的环境保护工作，依照国家、环保部及浙江省有关环境保护的相关法规，结合工程实际情况，制定本环境保护管理计划。

项目实施过程中必须认真贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》和浙江省环境保护法规，严格执行地方政府的要求，做好环境保护工作，建立、健全项目实施期间环境保护体系和各项环境管理规章制度。

8.1 编制原则

为保证本工程修复效果和施工期间环境质量，修复工程实施的全过程需对所涉及区域内的土壤、空气、水和噪声环境进行监测，将检测结果与相关标准规范或施工前的环境质量进行对比评价，并采取相应管理措施。全过程的监测方案须获得监理单位、当地环保局的认可，并在现场监督下执行，委托有资质的第三方检测单位来采样与检测分析。

8.2 环境质量管理组织机构

建立健全环境质量管理组织结构，成立以项目经理为首的环境管理领导小组，全面负责并领导本项目的环境管理工作，以项目经理为环境管理第一负责人，主管工程施工全过程的环境管理与监测，技术负责人为环境管理的技术负责人，环保专员负责施工过程中的的日常环境管理与监测，组织机构见图 8-1。

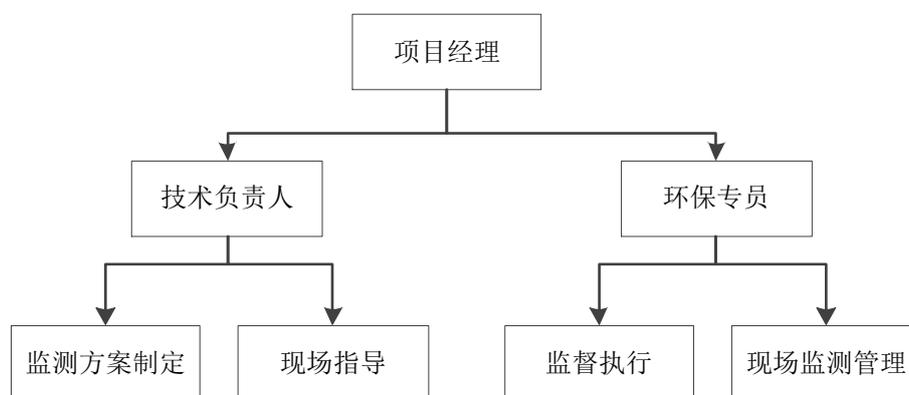


图 8-1 环境质量管理组织机构

8.3环境影响分析

8.3.1 污染土壤影响

根据本场地修复方案的工作内容及其工艺特点,场地修复过程可能造成的土壤污染主要来自于以下方面:

污染土壤的遗撒污染:在止水帷幕建设过程中,可能产生污染土壤的遗撒,污染周边土壤或道路;

8.3.2 水环境影响

根据本场地修复方案的工作内容及其工艺特点,场地的修复过程可能造成的水环境影响如下:

(1)修复过程中的废水排放,包括污染场地修复工程中的运输车辆冲洗水、污染修复区域的地面径流。其中,污染修复区域地面径流量小浓度大,洗车废水量大浓度低,均会对环境造成严重污染,应是二次污染的防治重点。

(2)工作人员的生活污水排放。

8.3.3 大气环境影响

本场地中的主要污染物为氯代烃,其中氯代烃挥发性强,易造成人员和环境的危害,因此做好修复过程各生产环节的大气二次污染防治非常重要。根据本场地修复方案的工作内容及其工艺特点,场地的修复过程可能造成的大气环境影响如下:

(1)止水帷幕建设过程土壤扰动引起的污染物无组织排放。

(2)修复过程还会产生扬尘,局部高浓度区域还会产生异味,均会对环境产生一定的影响。

8.3.4 噪声环境影响

根据本场地修复方案的工作内容及其工艺特点,场地的修复过程可能造成的噪声环境影响主要为:止水帷幕建设过程,以及原位药剂注射相关的施工机械、施工设备等产生的噪音。

8.3.5 固体废弃物环境影响

根据本场地修复方案的工作内容及其工艺特点,场地的修复过程可能造成的噪声环境影响主要为:主要包括施工中的包装材料、生活固废等一般固废和饱和活性炭等危废,分类收集并采用不同方式处置。

8.3.6 工程施工中产生的扬尘

本工程施工过程中可能产生的扬尘主要来源于止水帷幕施工、施工机械走行车道所带来的扬尘;施工材料(药剂、砂石料)的装卸、运输过程中造成扬起和洒落和处理过程中产生的扬尘以及原位土壤修复过程可能造成的扬尘等。

8.4 修复过程中的污染防治和安全生产防护措施

8.4.1 扬尘污染控制

(1) 加强处置场地的管理,要定期喷水、适当覆盖;不需要的泥土,建筑材料弃渣应及时运走,不宜长时间堆积。

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

(3) 场地周边、场地内短驳道路及车辆周转区域应勤洒水,保持表层土壤湿润,减少扬尘;

(4) 车辆驶离工地时,需对车辆轮胎、车身进行清洗,避免车辆行驶过程中,土壤掉落道路上,对清洗车辆的水进行收集处理;

(5) 严格限制运输车辆的活动范围;

(6) 清扫洒落的土壤时,适量洒水、减少扬尘。

8.4.2 地下水和地表水污染防治

(1) 原位药剂注射过程中,不得打穿隔水层,避免污染物渗入深层含水层。

(2) 处置区做好防渗、防雨措施;

(3) 任何施工产生的废水必须收集后,送至污水处理厂处理,不能直接向场地内倾倒;

(4) 在处置区周围设置导排沟和集水池,集中收集渗滤液及冲洗水进行相应处置;

(5) 防止雨水对污染土壤的直接冲洗;

(6) 合理设计导排沟和集水池走向和容量,确保施工产生废水及下雨期间的雨水不外溢;

(7) 及时设置临时性排水沟,将雨水汇集至集水池;

(8) 所有收集的污染雨水运至污水处理厂进行处置达标后排放。

8.4.3 大气污染防治

针对修复材料运输过程可能产生的大气污染环节,拟采取以下防治措施:

(1) 采用满足国家 III 阶段排放标准 (GB17691-2005) 要求的施工机械,防止施工机械产生尾气污染大气环境;

(2) 原位处理土壤时,采用小面积作业的方式,如果出现异味较重现象,则停止土壤原位修复作业,对周围空气进行除臭;

(3) 在污染严重及臭味区域,处理前,采用生物类除臭剂和吸附材料去除臭味,保证施工人员的健康与安全;

(4) 配备电动喷雾器,定时在工作区域和中试场地边界处喷洒除臭剂,防止臭味扩散;

(5) 用雨布或薄膜及时遮盖处置区中臭味严重的区域,防止异味转移到空气中。

8.4.4 噪声污染防治

(1) 加强施工管理,尽量降低施工现场噪声。

(2) 及时维修、管理高噪音的器具,使设备处于低噪声、良好的工作状态,降低噪音污染。

(3) 规范施工时间,尽量避免夜间施工,需要夜间施工的施工区域需增加相应的噪音格挡设施,避免影响到周边居民。

8.4.5 固废污染控制

场地固体废弃物包括施工中的包装材料、生活固废等一般固废和饱和活性炭等危废，分类收集并采用不同方式处置。

8.4.5.1 一般固废

(1) 施工现场设立专门的废弃物临时贮存场地存放一般固废储存区，设置安全防范措施且有醒目标志。

(2) 施工现场设置若干活动垃圾箱，派专人管理和清理。

(3) 禁止在工地焚烧残留的废物或将废物随意堆放。

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

(5) 可回收的废弃物做到再回收利用。

8.4.5.2 危险废物

(1) 施工现场设立专门的废弃物临时贮存场地存放危废，设置安全防范措施且有醒目标志。危废存放场所地面要硬化和防渗，并设置地面集液系统和事故池以收集泄漏的液体，要求要做到防晒、防雨和防渗。

(2) 危废集中存放后，委托具有资质的专业处理公司处置。

(3) 危废运输途中要防止泄漏和散落。

8.4.6 安全生产防护措施

8.4.6.1 工程防护措施

(1) 在修复场地四周修建硬质围挡，将整个施工场地与外界隔离；

(2) 用警示绳将作业区域与其他区域隔离；

(3) 工地入口要设置明显的标牌，标明工程名称、施工单位等内容；

(4) 在入口处悬挂“施工重地，闲人勿近”的标志牌；

(5) 划分施工区与办公、生活区；

(6) 作业场地内各种设备、工具等堆放在指定的区域，统一保存管理；

(7) 临时用电应按有关规定编号、施工组织设计，并建立对现场线路、设施定期检查制度，保证用电线路安全；

(8) 如需夜间施工，整个施工现场的夜间照明需达到要求，现场大门口，

挖土位置均视情况放置一定数量的照明灯及警戒灯；

(9) 掌握天气变化情况，合理安排施工进度；

(10) 合理采取措施，及时清除大雨或暴雨带来的积水；

(11) 道路运输平坦，并保持畅通；

(12) 对产生噪音、振动的施工机械，应采取有效控制措施，将噪声控制在国家现行标准内，以减轻噪声对工人和附近居民的危害；

(13) 对现场异味、扬尘进行有效控制，避免异味、扬尘扩散对周边居民造成伤害。

8.4.6.2 施工用电安全防护措施

(1) 所有临时用电由专业电工(持证上岗)负责，其他人员禁止接驳电源；

(2) 临时用电，执行三相五线制和三级漏电保护，由专职电工进行检查和维护；

(3) 所有临时线路使用五芯电缆，架设牢固，不得绑在管道或金属物上；

(4) 严禁用花线、铜芯线乱拉乱接，违者将被严厉处罚；

(5) 所有插头及插座应保持完好，电气开关不能一擎多用；

(6) 所有施工机械和电气设备不得带病运转和超负荷使用；

(7) 施工机械和电气设备必须要有可靠接地；

(8) 电焊机的外壳必须可靠接地，接地电阻不得大于 $4\ \Omega$ ，不得多台串联接地。

8.4.6.3 人员安全防护措施

(1) 进场施工人员，须经过安全培训教育，考核合格，持证上岗；

(2) 施工人员必须遵守现场纪律和国家法令、法规、规定的要求，必须服从项目经理部的综合管理；

(3) 所有进入施工现场人员配戴好安全帽，必须正确使用个人劳保用品，特殊工种持证上岗，特殊作业配戴相应的劳动安全保护用品；

(4) 施工人员作业时禁止打赤脚、穿拖鞋、硬底鞋和打赤膊施工；

(5) 施工人员不得任意拆除现场一切安全防护设施，如机械护壳、安全网、安全围栏、外架拉接点、警示信号等。如因工作需要，必须经项目负责人同意方可进行；

- (6) 施工人员工作前不许饮酒，进入施工现场不准嬉笑打闹；
- (7) 施工人员应立足本职工作，不得动用不属本职工作范围内的机电设备；
- (8) 搞好饮食卫生，防止食物中毒；
- (9) 公司为本项目现场施工人员购买意外伤害保险。

8.4.6.4 施工机具安全防护措施

(1) 机械设备应按其技术性能的要求正确使用，不得使用缺少安全装置或安全装置已失效的机械设备；

(2) 严禁拆除机械设备上的自动控制机构，力矩、限位器等安全装置和信号装置,其调试和故障的排除应由专业人员进行；

(3) 机械设备应按时进行检修、保养，当发现有漏保、失修或超载带病运转等情况应及时停止使用；

(4) 严禁对正在运行和运转中的机械进行维修、保养或调整等作业；

(5) 机械操作人员必须身体健康，并经过专业培训考核，合格后取得有关部门颁发的上岗证、操作证、特殊工种操作证后，方可独立操作；

(6) 机械作业时，操作员人员不得擅自离开工作岗位或将机械交给非机械人员操作；

(7) 严禁无关人员进入作业区和操作室，工作时，思想要集中，严禁酒后操作；

(8) 操作人员有权拒绝执行违反安全操作规程的施工命令；

(9) 机械设备使用前，施工技术人员和安全员应向机械操作人员进行施工任务及安全技术措施交底，操作人员应熟知作业环境和施工条件，听从指挥、遵守现场安全规则；

(10) 夜间作业必须设置有充足的照明；

(11) 在有碍机械安全和人身健康场所作业时，机械设备应采取相应的安全措施；

(12) 搭建临时设施时，焊机操作人员工作时必须配备适用的安全防护用品；

(13) 当使用机械设备与安全发生矛盾时，必须服从安全的要求；

(14) 当机械设备发生事故时，必须及时保护好现场，及时抢救，并立即报

告领导和有关部门听候处理。对事故应按“四不放过”的原则进行处理。

8.5 场地环境监测计划

8.5.1 监测依据

- (1) 《污染场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014);
- (2) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004);
- (3) 《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91-2002);
- (4) 《水质采样技术指导》(HJ 494-2009);
- (5) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)
- (6) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)。

8.5.2 监测原则

(1) 环境监测是土壤污染治理工程环境管理与污染防治的重要手段，应根据本项目环境管理各阶段特征，与环境调查与风险评估、治理修复、工程验收的目的和要求紧密结合。

(2) 环境监测应包括污染物排放监测及环境影响监测两项。

(3) 场地环境监测应妥善处理好环境调查监测、治理修复监测、工程验收监测的相互关系，确保监测结果的协调性、一致性和时效性。

(4) 委托具有此类污染物监测业绩且经环保主管部门认可的具有资质的环境监测机构对本项目的修复效果进行验收检验并出具书面报告，以保障修复工程顺利完成并通过环保主管部门的验收。

(5) 准确把握不同种类污染土壤修复工程的修复目标值、要求。表层滞水修复后验收应按照修复工程的施工安排实施分阶段自检与验收。

8.5.3 扬尘监测

对本项目修复工程的扬尘防治方案进行审核，对工程施工进度进行监督，对施工时段控制进行监督；对环境敏感点的扬尘进行监测，并满足相关大气标准。

8.5.3.1 监测范围

本场地污染修复区域、下风向场地边界及边界外 500 m 内的主要环境敏感点。

8.5.3.2 监测点位

扬尘环境影响主要是对环境敏感区域的颗粒物污染，重点监测环境敏感点的颗粒物是否超标。

8.5.3.3 监测方法

(1) 测量仪器：便携式实时粉尘检测仪

(2) 测量气象条件：测量应在无雨雪、无雷电天气，风速为 5m/s 以下时。

8.5.3.4 监测频次

在确定的环境敏感点每天定时监测 2 次，同时控制夜间施工时段。

8.5.3.5 评价标准

对空气中总悬浮颗粒物（TSP）、PM10、PM2.5 进行监测。按照《环境空气质量标准》（GB3095-2012）（见表 8-1）执行。

表 8-1 环境空气污染物浓度限值

监测指标	浓度限值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
TSP	300

8.5.4 地表水污染监测

8.5.4.1 监测范围

地表水包括治理过程中产生的污水、场地中由于下雨可能产生的积水。其中，治理过程中产生的污水包括对现场车辆进行清洗和清洗施工设备产生的废水。

8.5.4.2 监测点位

污水监测管理需要 2 个污水采样监测点，分布位于污水处理站的进水口和污水净化后的总排水口。

8.5.4.3 监测方法

样品采样程序和方法按《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T 91-2002）的相关要求进行。

8.5.4.4 监测频次

在本项目施工期间每周监测 1 次，直到工程结束。

8.5.4.5 评价标准

厂区污水先经过本污水处理厂处理后，按《污水排入城镇下水道水质标准 (CJ_343-2010)》要求进行监测，并满足上述标准。

8.5.5 大气污染监测

8.5.5.1 监测点位

场区周边根据《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T55-2000)中第 4 章规定，监控点最多可设 4 个，参考点设 1 个。同时根据《场地环境监测技术导则》(HJ25.2—2014)中第 6 章规定，对场区外主要环境敏感点布设采样点。综合以上，根据污染场地范围大小、污染物的空间分布特征、气象因素和场地周边情况综合考虑，场地的空气监测点共设置 6 个，分别位于场外主导风向上风向 1 个、场外主导风向下风向 1 个（场地上下风向通常位于西和东两个方向）、场地北侧 1 个、场地南侧 1 个、场地中心位置 1 个。

8.5.5.2 监测项目与频次

每月进行一次取样监测，针对厂区边界与环境敏感点进行检测，检测指标为 1,2-二溴乙烷、氯乙烯和三氯乙烯。

8.5.5.3 评价标准

本项目修复过程中的场界污染物无组织排放的标准执行北京市《大气污染物综合排放标准》(DB11/501-2007)中的相应标准。厂界臭气排放执行《恶臭污染物排放标准》(GB14554-1993)中恶臭污染物厂界标准值的二级标准。

8.5.6 噪声污染监测

本项目的噪声来源为钻井机、运输车辆、鼓风机、水泵等。在施工工程需要加强噪声的监控，采取有效措施防止噪声污染。

在修复工程施工过程中，机械作业产生的噪声需定期检测。测量时尽量选择无雨雪、无雷电天气，风速为 5 m/s 以下的气候，且选择在场地平坦、无大反射物的场地中进行监测。

8.5.6.1 监测范围

场地周边靠近敏感点区域。

8.5.6.2 监测点位

按照《建筑施工场界噪声排放标准》（GB12523-2011）中规定，测点应设在厂界外 1 m，高于围墙 0.5 m 且距离噪声敏感点最近的位置。在厂区边界靠近周边敏感点的位置布设噪声监测点 3 个。

8.5.6.3 监测方法

采用积分平均声级计测量，监测方法按照《建筑施工场界噪声排放标准》（GB12523-2011）执行。

8.5.6.4 监测频次

施工期间，测量连续 20 min 的等效声级，夜间同时测量最大声级。“昼间”是指 6:00 到 22:00 之间的时段；“夜间”是指 22:00 到次日 6:00 之间的时段。每日监测采样 2 次。

8.5.6.5 评价标准

按照施工期间的环保要求，治理过程中噪声排放控制执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准，见表 8-2。

表 8-2 建筑施工场界环境噪声排放标准

昼间 dB (A)	夜间 dB (A)
70	55

8.6 应急预案与措施

为了防止施工现场的生产安全事故发生，完善应急工作机制，在工程项目发生事故状态下，迅速有序地开展事故的应急救援工作，抢救伤员，减少事故损失，特制定本预案。

8.6.1 危险性分析

8.6.1.1 危险源情况

本次中试工程可能存在的主要危险源包括：人员伤害、二次污染防治、施工

期间降雨和群体事件四个部分，若采取原地异位固化稳定化备选方案，则还应涉运输事故部分。主要应急措施包括人员伤害、二次污染防治、施工期间降雨、运输事故和群体事件等部分。

8.6.1.2 组织体系

工程项目部应成立应急事故组织机构，负责项目执行期间发生事故的协调、指挥和抢险工作。

组织机构包括指挥小组和现场工作小组，指挥小组负责应急预案的培训和指挥；工作小组应根据应急岗位分别设置专职应急人员，具体分工如下：

8.6.2 指挥小组

项目经理是应急救援领导小组的第一负责人，担任组长，负责紧急情况处理的指挥工作。安全主管是应急救援的第二负责人，担任副组长，负责紧急情况处理的具体实施和组织工作。成员包括现场全部管理人员和施工人员。

8.6.3 工作小组

(1) 抢险员：由现场工人组成，包括施工人员、设备操作人员等，负责抢险任务的实施。

(2) 医疗救护员：负责协调、担负医疗抢救工作。

(3) 环境监测员：负责事故现场及周围环境分析的采样工作。

(4) 物资供应员：负责部门内部所需物资准备及车辆等的协调工作。

(5) 对外联络员：负责向公司汇报事故情况及协调相关工作。

8.6.4 应急程序

8.6.4.1 应急步骤

由现场项目经理决定是否需要启动应急预案，应急预案启动后，根据事故发生态势和现场进展情况，执行如下程序：

(1) 现场工作人员立即组织自救并控制现场，同时向指挥小组报告事故情况。指挥小组接到事故报告后，根据事故情况，立即派遣工作小组增援现场同时向上级领导通报事故情况。

(2) 上级部门根据事故情况，对救援工作进行相应支持和监督。

(3) 工作小组到达事故现场后，应按照规定程序进行救援。

8.6.4.2 处理程序

工作小组到达事故现场后，按照如下程序救援：

(1) 紧急疏散

发生的事故有可能对周围人员安全构成威胁时，必须在指挥小组的统一领导下，设立安全警戒线，并将与事故应急救援无关的人员进行紧急疏散。疏散方向一定要处于事故时的上风向。

(2) 人员抢救

实施抢救任务时，要坚持“以人为本”的原则，想方设法从事事故现场抢救被困人员。承担抢救任务的人员要保护好自身安全，穿戴相应安全防护装备。医疗救援人员对抢救出的被困人员，在现场要及时进行一些必要的抢救，并以最快速度送往医院进行抢救。

(3) 风险排除

执行排险抢修任务的人员，根据不同的事故情况采取不同的处置办法，在做好自我防护基础上，以最快的速度，最有效的方法及时堵漏排险，消除事故。

(4) 物资供应

抢救、排险、抢修时所需物资，必须做到有效保障，各种专用器材、交通工具、医疗器械、药品和衣物等，按照分工各负责人员必须做好充分准备，随时服从救援组的统一调度和安排。

(5) 社会支援

如工作小组能力和物资不足以清除风险时，指挥小组迅速向有关部门汇报，并要求社会支援。社会援助队伍进入抢救、排险、抢修现场时，现场救援人员负责联络、引导、告知安全注意事项并配合开展工作。

8.6.4.3 应急医院

现场附近医院及联系方式见下：

永康市第三人民医院，永康市飞凤路 18 号，电话：(0579)87264410；

8.6.4.4 信息报告

(1) 事故发生人员，应立即向组长（副组长）报告。如果是火灾事故，必

须同时打 119 向公安消防部门报警，急救拨打 120。

(2) 组长接到报警后，通知副组长、组员，立即启动应急救援系统。

(3) 根据事故类别向事故发生地政府主管部门报告。

(4) 报告应包括以下内容：事故发生时间、类别、地点和相关设施；联系人姓名和电话等。

8.6.5 应急措施

8.6.5.1 人员伤害

(1) 外伤

在清运过程中发生外伤时，迅速转移受伤人员脱离危险区，并检查伤口。伤口严重者先用备用急救设施控制伤势后，马上就医。

(2) 修复药剂腐蚀

皮肤接触：脱去被污染的衣着，用大量流动清水冲洗。

眼睛接触：立即提起眼睑，用大量流动清水或生理盐水彻底冲洗至少 15 分钟。就医。

吸入：迅速脱离现场至空气新鲜处。保持呼吸道通畅。如呼吸困难，给输氧。

如呼吸停止，立即进行人工呼吸。就医。

(3) 触电

立即切断电源。用干燥的木棒和竹竿等绝缘工具将电线或电源断开。观察伤员情况，严重者现场采取急救措施后，马上就医。

8.6.5.2 恶劣天气影响

施工过程中若遇到降雨、大风等天气情况，需要有以下防护措施：

(1) 遇到降雨天气，现场停止施工；

(2) 立即对挖掘区域和挖出的土壤进行覆盖防雨，检查排水设施，确保雨水不在基坑内聚集；

(3) 所有与污染物有直接接触的设备也要进行防雨，挖机等重型设备可以采用防雨布进行覆盖，一些小型机械转移至仓库进行存放；

(4) 大雨或暴雨时，挖掘区立即启用备用水泵抽水；

(5) 雨停后，挖掘坑内水要抽干，地面土夯实挖掘机方可进坑工作；

(6) 遇有大风天气，不得进行土方挖掘、回填、转运以及其他可能产生扬尘污染的施工，并对待处置的干燥土壤进行覆盖，防止污染扩散。

8.6.5.3 群体事件

(1) 施工过程中如场地附近发生群体事件，必须在第一时间向指挥小组和公司汇报。

(2) 公司协助处理群体事件。

(3) 停止一切施工作业，关闭大门，通知运输车辆停止进入场地。

(4) 人员安全是首要因素，现场工作人员不得卷入事件中。

(5) 如需要，向地方管理部门请求帮助。

8.6.5.4 运输事故

运输过程中出现车辆故障或事故，需立即上报应急指挥小组及相关部门，按照《交通法》、《道路管理条例》、《道路危险货物运输管理规定》等相关法规进行处理。处理方法如下：

(1) 事故发生后立即查看事故情况，设立警戒线。

(2) 如发生人员伤害应立即拨打 120 和 110，同时展开人员自救。

(3) 及时向应急指挥小组报告事故情况。

(4) 迅速收集泄露的污染土壤。

(5) 将污染土壤重新包装并及时运出事发地点。

9 场地修复过程自检和验收计划

9.1 场地修复过程自检计划

9.1.1 监测依据

- (1) 《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)
- (2) 《污染场地环境监测技术导则》(HJ25.2-2014)
- (3) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)
- (4) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)
- (5) 《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011)

9.1.2 监测原则

(1) 确保监测指标的针对性和代表性，监测分析方法的可靠性和有效性，为获得准确、可靠、有代表性的数据提供保障，并对监测数据能作出正确的结论和判断。

(2) 根据本项目环境管理各阶段特征，与环境调查、风险评估、治理修复、工程验收的目的和要求紧密结合。

(3) 自检测应妥善处理环境调查监测、治理修复监测、工程验收监测的相互关系，确保监测结果的协调性、一致性和时效性。

(4) 委托具有此类污染物监测业绩且经环保主管部门认可的具有资质的环境监测机构对本项目的修复效果进行验收检验并出具书面报告，以保障修复工程顺利完成并通过环保主管部门的验收。

(5) 准确把握不同种类污染土壤修复工程的修复目标值、要求。修复后土壤验收应按照修复工程的施工安排实施分阶段自检与验收。

9.1.3 土壤修复过程自检

结合处置工艺需要，对原位固化/稳定化处置的土壤进行采样检测，原则上每个样品代表的土壤量不超过 500 m³；可根据现场实际情况增加污染土壤预检测，以优化处置工艺；上述样品根据实际处置情况增加平行样和空白样。

固化处理后的土壤，参照《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》(HJ/T 299-2007)提取浸出液。

9.1.4 质量控制与过程监测

为确保采集、运输、贮存过程中的样品质量，本项目在现场采样过程中设定现场质量控制样品，每 20 个样品设置一个平行样。

实验室质量控制包括实验室内的质量控制（内部质量控制）和实验室间的质量控制（外部质量控制）。前者是实验室内部对分析质量进行控制的过程，后者是指由第三方或技术组织通过发放考核样品等方式对各实验室报出合格分析结果的综合能力、数据的可比性和系统误差做出评价的过程。为确保样品分析质量，本项目样品分析将选择具国际和国内双认证资质的实验室进行。为保证分析样品的准确性，除实验室已经过 CMA 认证，仪器按照规定定期校正外，在进行样品分析时还对各环节进行质量控制，随时检查和发现分析测试数据是否受控（主要通过标准曲线、精密度、准确度等）。

9.2 场地修复验收计划

本修复工程的验收内容包括现场挖掘后原场地的验收、异位修复和原位修复后土壤的验收。验收时间节点的安排需根据同时施工的区域综合考虑，协调好异位修复和原位修复两部分土壤验收的时间。

9.2.1 验收依据

- (1) 北京市《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)
- (2) 《污染场地环境监测技术导则》(HJ25.2-2014)
- (3) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)

9.2.2 验收原则

(1) 验收检测分析方法要可靠、有效，为获得准确、可靠、有代表性的数据提供保障。

(2) 土壤监测点位设置以代表场区内土壤整体修复效果为目的并遵循相关

验收标准的要求。

(3) 在污染土壤清挖及修复后土壤自检测达标后进行上报验收。

(4) 修复效果自检监测委托并经业主同意具有相应资质的第三方检测机构完成。修复效果自检合格后，上报业主及环保监管部门，进行工程验收。

9.2.3 验收标准

《场地调查与风险评估报告》基于本场地修复区域作为工业用地的现状而进行。考虑本场地关注污染物的全途径暴露，选定 10^{-6} 为目标可接受致癌风险，1 为目标可接受危害商，提出了本场地修复工程的验收标准值见表 9-1。

污染土壤修复工程验收以土壤修复目标值为依据。

表 9-1 土壤和污染物修复工程验收标准值

编号	介质	污染物名称	单位	验收标准值
1	土壤	六氯苯	mg/kg	1
2		三氯甲烷	mg/kg	0.5

9.2.4 验收内容

本场地修复验收主要包括：原 HCFC22 生产车间区域和原 HCFC22 灌装车间区域的污染土壤原位修复工程的验收工作；

9.2.5 验收程序

污染场地修复验收程序包括文件审核与现场勘察、采样布点方案制定、现场采样与实验室检测、修复效果评价、验收报告编制五个步骤，工作程序见图 9-1。

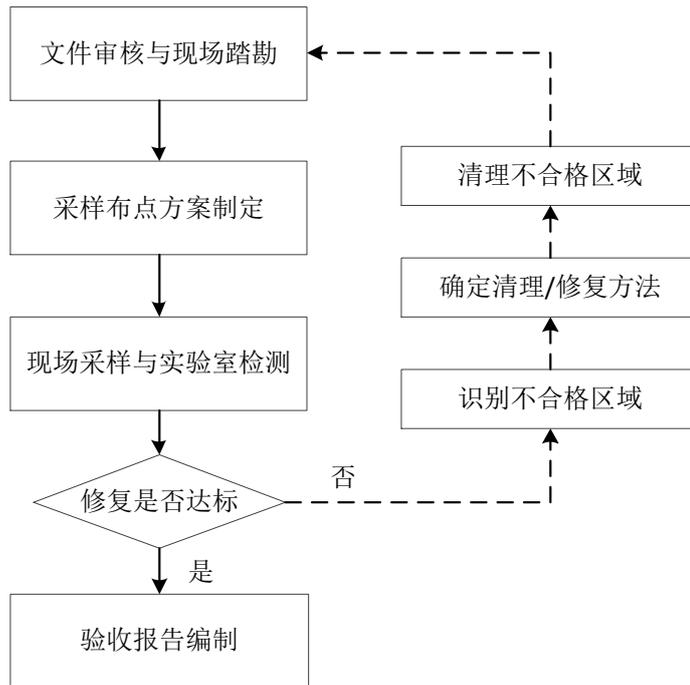


图 9-1 场地修复工程验收工作程序

9.2.6 采样点布设

原位处置土壤验收主要针对修复范围内的有机污染土壤。修复范围内钻孔分层采样，每层采样点数量不少于 6 个。采样点位置和垂向采样距离以及垂向采样层数的选择可结合场地状况确定。按照平行样采取规则，每个采样区域需加采 10% 的平行样。

监测内容:三氯甲烷和六氯苯。

9.2.7 验收评价

本工程施工采取污染物分类施工，验收根据施工进度分批次进行。因修复区域面积为 4700 m²，面积小于 10000 m²，故采用逐个对比方法进行评价，具体方法：

- (1) 当检测值低于或等于修复目标值时，达到验收标准；
- (2) 当检测值高于修复目标值时，未达到验收标准。

10 修复进度安排与费用估算

10.1 修复进度安排

整个项目场地内的施工期应包括场地施工准备、止水帷幕、表层滞水抽出-处理、深层滞水原位修复、污染土壤原位固化/稳定化，以及处置后监测、退场时间。施工工期均是在表 10-1 所示的修复量基础上设计，若修复量发生调整，施工工期也需发生相应调整。

(1) 场地准备，包括场地清理、平整、三通一平、各办公区、处置区及大棚建设等，约需 30 天；

(2) 止水帷幕：在修复区域建立止水帷幕并养护，墙体建立需 20 天，养护需 20 天，约需 40 天；

(3) 污染土壤原位修复：包括 3 轮原位药剂注射，每天注射 9~10 个点位，约需 122 天；

(4) 验收及退场：包括申请验收、验收采样及验收检测分析直至验收报告出具时间，以及验收合格后的退场工作，约需 15 天。

(5) 以上部分工作可同时进行，预计场地内施工期需时 207 天。

10.2 修复费用估算

修复工艺成本主要包括水电费、机械设备费、管理费、质控检测费、药剂费、“三废”处置费和税金等。本场地修复成本估算如下：污染土壤原位化学氧化修复技术处理成本为 900 元/m³，场地准备、止水帷幕系统等现场设施建设费用 395 万元。预计总费用 2528 万元。

11 结论和建议

本场地需要进行修复和控制包括有机污染土壤。结合本场地水文地质条件，污染物的特性和本场地的开发设计方案，本着技术达标的可行性、二次污染防治可行性和修复时间费用可行性三原则编制了本场地修复技术方案。

11.1 结论

(1) 技术筛选

通过分析本场地污染特征、场地目前情况、国内外已有案例等进行修复技术筛选，见表 11-1。

表 11-1 修复技术筛选结果

污染介质	目标污染物	适用技术
土壤	三氯甲烷（氯仿） 六氯苯	化学氧化 化学/生物还原 气相抽提 热脱附 生物修复 原位阻隔 常温解吸

(2) 修复方案时间、成本比选

综合修复工程量、时间、成本对不同修复技术组合方案进行对比，修复方案并选出最优方案及备选方案，见表 11-2。

表 11-2 场地修复工程最优方案及备选方案组合

序号	修复对象	目标污染物	最优方案 (方案一)	备选方案 (方案二)
1	污染土壤	三氯甲烷 六氯苯	原位化学氧化	异位热脱附

(3) 修复工程量

根据《场地详细调查与风险评估报告》及比选出最优修复方案组合，统计本

场地修复工程量见表 11-3。

表 11-3 场地修复工程最优方案及备选方案组合

方案	修复介质	区域	目标污染物	深度	面积 (m ²)	土方量 (m ³)	修复技术
方案一	污染土壤	原 HCFC22 生产车间	三氯甲烷 六氯苯	0~-3.0	1500	4500	原位化学氧化
		原 HCFC22 灌装车间		0~-6.0	3200	19200	原位化学氧化
方案二	污染土壤	原 HCFC22 生产车间	三氯甲烷 六氯苯	0~-3.0	1500	4500	异位热脱附
		原 HCFC22 灌装车间		0~-6.0	3200	19200	异位热脱附

(4) 验收标准

结合前期《场地详细调查与风险评估报告》结果，本项目采用多重验收与用途控制相结合的方式对污染土壤和地下水进行自检与验收，详见表 11-4。基坑底部验收以土壤修复目标值为依据。

表 11-4 场地修复验收项目表及相应标准

编号	介质	污染物名称	单位	验收标准值
1	土壤	六氯苯	mg/kg	1
2		三氯甲烷	mg/kg	0.5

(5) 修复工程周期及投资额

按照本场地的最佳方案估算本项目的工程进度和投资，结果为本场地修复工程约 207 日历天可以完成，并再次基础上估算本修复工程参考投资额度约为 2528 万元。后续需编制本项目的《场地修复工程实施方案》，可以结合其工作成果，优化参数和施工进度，进一步确定项目施工周期及投资额。

11.2 建议

经过场地调查和风险评估工作，通过以上内容的分析，对场地后续工作提出如下建议：

(1) 场地规划与修复范围问题

前期场地环境调查和风险评价范围为原 HCFC22 生产、灌装等生产工艺车间，风险评估结果是基于这些工作基础针对本场地工业用地现状而形成的。若后续场地的规划用途发生变化，需根据场地的具体规划、开发设计调整风险评估结果和修复工作量。

为了明确厂区内原生产车间和原化学品储存场所等区域是否潜在污染源，并分析其对上述工作范围内土壤和地下水造成污染的可能性，建议针对全厂区进行场地调查和风险评估工作，结合本项目工作成果，根据场地明确的未来规划提出全厂区的修复目标建议值，确定全厂区的修复范围，开展全厂区的修复工作。

(2) 开发设计与修复量问题

根据章节 6.2.1 对于修复量的表述，本场地地下水中挥发性物质三氯甲烷等对人体健康风险超过可接受水平的主要暴露途径是吸入室内污染气体，而部分关注污染物的吸入室外污染气体这一暴露途径下没有超过可接受水平，也即对于存在室内呼吸暴露途径的下层污染需要进行修复，而不存在该途径的下层污染无需修复。

因此，若本场地修复实施前，能后确定场地开发的具体设计，这将对于本场地修复量的控制有很大的影响。建议业主提前进行场地开发设计，并将该设计与修复设计相结合，有效控制修复量，达到修复经济合理性。

(3) 厂区建筑物拆除问题

厂区内的建筑物尚未完全拆除，为了核实拆迁工作是否引起场地污染范围的变化，建议拆迁工作后，修复工作前进行补充调查。

(4) 现场异常气味问题

由于本场地污染物均为挥发性和半挥发性有机物，修复工程施工过程可能导致异常气味，即使施工现场采取除臭措施，但是臭气的扩散还是防不胜防，在现场处置过程中，极可能会存在周边企业或居民向有关部门或施工项目部反映有异味的情况。因此，业主需提前做好与周边企业或居民的沟通与交流工作，并做好相关的管理工作，避免由此造成不利于工程实施的问题。