

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块污染土壤及地下水修复技术方案

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地 块污染土壤及地下水修复技术方案

编制单位：江苏港峰环境科技有限公司

委托单位：江苏腾龙生物药业有限公司

2025年1月

目 录

1 总论	1
1.1 任务由来	1
1.2 编制依据	2
1.2.1 法律、法规及文件	2
1.2.2 技术导则、标准及规范	2
1.2.3 其他相关文件	3
1.3 编制原则	3
1.4 编制内容和程序	4
2 地块问题识别	6
2.1 所在区域概况	6
2.1.1 区域位置	6
2.1.2 气候气象	6
2.1.3 地形地貌	6
2.1.4 水资源	6
2.2 地块基本信息	7
2.2.1 地理位置及红线范围	7
2.2.2 地块用地历史	9
2.2.3 地块现状	9
2.2.4 地块历史生产情况	11
2.2.5 国土空间规划	17
2.3 地块环境特征	17
2.3.1 周边敏感目标	17
2.3.2 地块水文地质条件	17
2.3.3 周边水体环境功能规划	24
2.4 地块污染特征	24
2.4.1 污染识别	24
2.4.2 初步调查及结论	24
2.4.3 详细调查及结论	29

2.4.4 风评阶段补充采样及结论	43
2.4.5 地块土壤及地下水污染状况总结	48
2.5 地块污染风险	58
3 地块修复模式	60
3.1 确认地块条件	60
3.2 地块修复目标	60
3.3 地块修复范围	61
3.3.1 土壤修复范围	61
3.3.2 地下水修复范围	74
3.4 地块修复模式确定	78
4 修复技术筛选	80
4.1 土壤和地下水目标污染物特性	80
4.2 土壤和地下水修复技术介绍	86
4.2.1 土壤污染修复技术介绍	86
4.2.2 地下水修复技术介绍	89
4.3 修复技术筛选	94
4.3.1 修复技术筛选原则	94
4.3.2 土壤修复技术筛选	95
4.3.3 地下水修复技术筛选	98
4.4 修复技术可行性评估	101
4.4.1 原位化学氧化技术可行性评估	101
4.4.2 地下水抽出处理技术可行性评估	103
4.4.3 异位化学氧化技术可行性评估	104
4.5 推荐采用的修复技术单价	105
5 修复方案设计	106
5.1 修复技术路线	106
5.2 修复技术工艺参数	107
5.2.1 原位化学氧化修复技术工艺参数	107
5.2.2 堆场土壤异位化学氧化修复技术设计	118
5.2.3 地下水抽出处理技术设计	121

5.2.4 地下水回灌技术	126
5.2.5 阻隔技术设计	127
5.3 施工总平面初步布设	131
5.4 修复工程量估算	133
5.5 修复进度计划	134
6 环境管理计划与监测方案	135
6.1 修复工程环境监理	135
6.1.1 基本原则	135
6.1.2 工作程序	135
6.1.3 工作内容	137
6.1.4 工作要点	138
6.1.5 工作方法	139
6.1.6 工作制度	141
6.1.7 监理报告和资料移交	144
6.2 二次污染防治	145
6.2.1 大气污染防治措施	145
6.2.2 废水污染防治措施	146
6.2.3 土壤污染防治措施	146
6.2.4 噪声污染防治措施	146
6.2.5 固体废物防治措施	147
6.3 环境监测计划	149
6.3.1 环境监测目的和类型	149
6.3.2 大气环境监测	149
6.3.3 噪声环境监测	150
6.3.4 废水监测	150
6.3.5 修复自检计划	151
7 修复效果评估监测方案	152
7.1 验收程序	152
7.2 文件审核与现场勘察	152
7.3 确定验收内容	153

7.4 效果评估监测方案	154
7.4.1 止水帷幕阻隔墙渗透性验收	154
7.4.2 堆场区域土壤修复效果评估方案	154
7.4.3 土壤原位修复效果评估方案	154
7.4.4 地下水修复效果评估方案	156
7.4.5 二次污染土壤监测方案	159
7.4.6 排入市政管网前进行的废水监测	159
7.4.7 效果评估监测汇总	160
7.5 验收质量保障措施	160
7.5.1 样品采集质量控制	160
7.5.2 实验室检测质量控制	161
8 成本效益分析	162
8.1 修复费用估算	162
8.2 效益分析	163
9 结论与建议	164
9.1 结论	164
9.2 建议	164
10 评审意见及修改说明	165
10.1 专家评审意见	165
10.2 评审意见修改说明	168

1 总论

1.1 任务由来

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块位于盐城市大丰区西团镇，南白线和山海路交汇，占地面积约5.9万平方米。公司于1990年12月开始投产，于2009年6月在该地块上停产并搬迁，现阶段该地块处于闲置状态。该地块在产期间主要的产品有乐果、稻丰散及氟乐灵等，主要原辅材料有二氯乙烷、苯、甲苯、甲醇、乙醇、煤油、二甲苯、甲基对硫磷、辛硫磷等。根据收集到的资料，地块规划用途为工业用地。

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块符合《土壤污染防治法》第59条第一款的规定：“对土壤污染状况普查、详查和监测、现场检查表明有土壤污染风险的建设用地地块，地方人民政府生态环境主管部门应当要求土地使用权人按照规定进行土壤污染状况调查。”

2019年江苏腾龙生物药业有限公司（以下简称“腾龙生物”）委托江苏大地益源环境修复有限公司（以下简称“调查单位”）开展在土壤污染状况调查工作。编制的《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤污染状况调查报告》于2019年11月27日通过盐城市生态环境局组织的专家评审。

2020年腾龙生物委托调查单位开展了调查地块的风险评估工作。编制的《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤污染风险评估报告》于2020年12月31日通过盐城市生态环境局组织的专家评审。

土壤污染状况调查和风险评估结果表明：在未来二类用地条件下，调查地块土壤中苯、甲苯、乙苯的风险水平超过了人体可接受风险水平，需采取风险管控或修复措施；基于对人体的健康保护，地下水中苯、甲苯、乙苯、二甲苯(总量)、1,2-二氯丙烷、氯苯、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、1,2-二氯丙烷和氯苯同样采取风险管控或修复措施；遵循在风险可控的前提下，同时考虑修复工程的经济性和可行性确定土壤中的甲苯的风险控制值确定为1200mg/kg；基于对人体健康的保护，地下水中超标的污染物选择《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中的IV类标准作为风险控制值；利用surfer12对土壤和地下水中各污染物污染范围进行模拟。利用克里金插值法，通过将污染物浓度值或插值结果同修复目标值进行比较，初步确定修复范围。通过模拟和计算，地块内土壤修复深度

为0~7.5m，修复总方量为7314.75m³；地下水修复总面积为22068.2m²，修复深度为1.0~14.45m，修复方量预估为71533m³。

为保证污染地块的安全利用，指导地块污染修复实施，腾龙生物委托江苏港峰环境科技有限公司（以下简称“本单位”）承担《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤和地下水修复技术方案》编制工作。本单位根据国家和地方相关技术要求和土壤污染状况调查与风险评估结论，提出建议的修复模式，核算土壤修复方量，并根据风险评估中确定的修复目标污染物种类，筛选出建议的修复技术，为后续地块修复工程的实施提供依据和技术支撑。

1.2 编制依据

1.2.1 法律、法规及文件

- 1、《中华人民共和国环境保护法》（2015年1月1日起实施）；
- 2、《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019年1月1日起实施）；
- 3、《中华人民共和国水污染防治法》（2018年1月1日起实施）；
- 4、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年9月1日执行）；
- 5、《中华人民共和国大气污染防治法》（2018年10月26日修订）；
- 6、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（生态环境部〔2016〕42号令）；
- 7、《中华人民共和国噪声污染防治法》（2022年6月5日起实施）。

1.2.2 技术导则、标准及规范

- 1、《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（2018年）；
- 2、《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；
- 3、《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- 4、《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）；
- 5、《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 6、《大气污染综合排放标准》（GB16297-1996）；
- 7、《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 8、《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 9、《恶臭污染物排放标准》（GB14554-1993）
- 10、《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）；
- 11、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2-2019）；

- 12、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；
- 13、《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）；
- 14、《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ25.5-2018）；
- 15、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）；
- 16、《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166-2004）；
- 17、《地下水环境监测技术规范》（HJ/T164-2020）；
- 18、《地下水污染地质调查评价规范》（DD2008-01）；
- 19、《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ/T194-2005）；
- 20、《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》（2014年11月）；
- 21、《建筑施工安全技术统一规范》（GB50870-2013）；
- 22、《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ2026—2013）；
- 23、《工业企业挥发性有机物排放控制标准》（DB12/524-2014）；
- 24、《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》（HJ1019—2019）
- 25、《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）。

1.2.3 其他相关文件

- 1、《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤污染状况风险评估报告》江苏大地益源环境修复有限公司，2021年7月；

1.3 编制原则

1、统筹性原则

综合运用制度控制和工程控制措施，统筹兼顾土壤、地表水、地下水、环境空气等，统筹土壤及地下水修复，防范污染物扩散对周边人体健康和生态受体产生影响。

2、规范性原则

根据法律法规和系列技术标准有关要求，采用程序化、系统化方式规范修复过程，保证地块修复过程的科学性和客观性。

3、科学性原则

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

4、可行性原则

对现有主要修复技术的成熟度、经济适用性、预期效果等进行比较分析，使修复方案切实可行。

5、安全性原则

污染地块修复技术方案制定、工程设计及施工，应确保工程实施安全，防止对施工人员、周边人群健康和生态受体产生危害和二次污染。

6、经济性原则

在保证污染地块修复效果的前提下，尽量选择适合的造价低的措施或施工材料。

1.4 编制内容和程序

按照《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）和《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》（2014年），本项目污染场地修复方案编制主要内容包括：（1）场地污染土壤和地下水修复技术筛选；（2）场地污染土壤和地下水修复方案比选；（3）修复方案设计；（4）修复工程环境管理计划；（5）修复工程量、修复成本的核算。修复技术方案编制程序如图1.4-1所示。

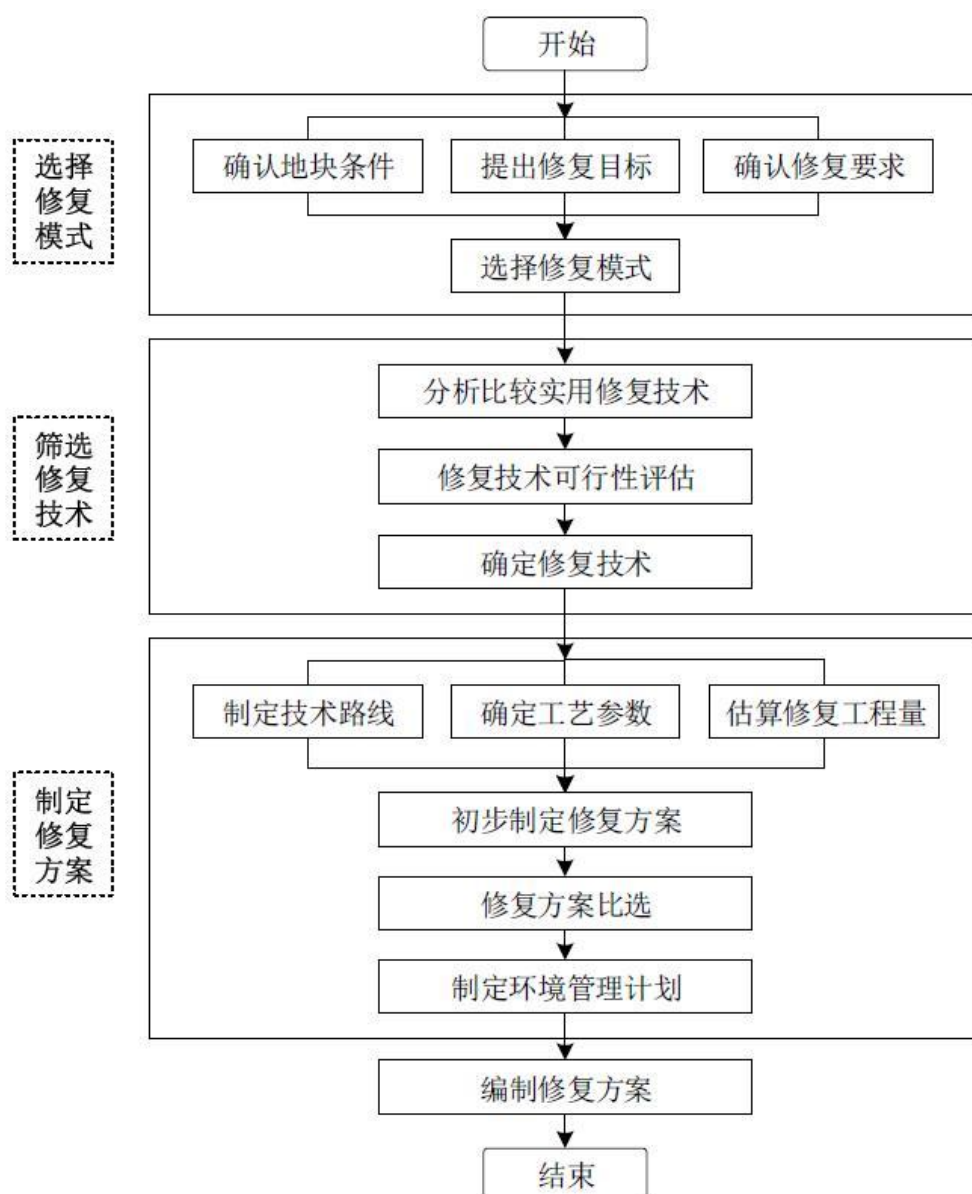


图1.4-1 土壤修复方案编制程序

2 地块问题识别

2.1 所在区域概况

2.1.1 区域位置

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块位于盐城市大丰区西团镇。大丰区位于江苏省东部，盐城市东南，介于北纬 $32^{\circ}56'$ ~ $33^{\circ}36'$ 、东经 $120^{\circ}13'$ ~ $120^{\circ}56'$ 之间，海岸线长112千米。北与盐城市亭湖区交界，南与东台市接壤，西与兴化市毗邻，东濒黄海，总面积3008平方千米。

2.1.2 气候气象

大丰地处北亚热带气候向暖温带气候的过渡地带，其气候特点具有明显的过渡性、海洋性和季风性，光热水条件优越。夏季受海洋季风的影响，多东南风，雨量充沛，雨热同季；春秋两季处于交替时期，形成干、湿、冷、暖多变气候年平均气温 14.1°C ，无霜期213天，常年降水量1042.2毫米，日照2238.9小时。大丰区风玫瑰见下图2.1-3所示。

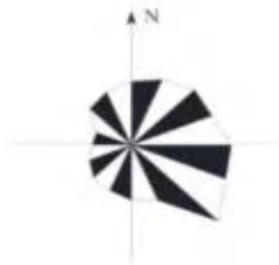


图2.1-3 大丰区风玫瑰图

2.1.3 地形地貌

大丰区是淤积平原，地形南宽北窄，呈不规则的三角形，似葫芦。地面真高1.9~4.5米，高低相差2.6米。除沿海滩涂外，全区地势东高(2.8~3.5米)西低(2.4~2.8米)，南高(3.3~4.5米)北低(1.8~2.2米)。中部老斗龙港两侧为槽形洼地，宽3~6公里，自西南向东北纵贯全市，地面真高一般在2.2~2.8米之间。东南部川东港以南地区为高亢地，地面真高在3.5~4.5米之间。

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块内地势较为平坦，海拔高度为3.2~4.2m(黄海高程)。

2.1.4 水资源

大丰市地处黄河之滨，里下河水域下游，为滨海平原地带，区内松散岩类孔隙水可采资源为1995万 t/a ，是该市居民生活、工农业生产的重要水源之一。大丰

市在地质构造上属苏北拗陷的大丰凹陷，新生代地层发育，在400m以浅的松散岩类中有五个层水层组，为冲积沉降平原型孔隙含水层。

大丰区境内河流分为里下河和垦区两个水系，较大河流有40余条。里下河水系为水网圩区，河网密度大，流域面积118.44平方公里，为里下河区泄洪通道。

大丰区常年自然降水量约1067毫米，丰水年有2000多毫米，欠水年有500毫米左右。区境内有川东港河、疆界河、王港河、四卯酉河、斗龙港河、南直河、西潮河、大丰干河等入海水道，平均地面年径流量5.1亿立方米，客水过境量约25亿立方米。地下淡水资源丰富，根据实凿眼井观察，深160米左右的可供人畜饮用淡水日涌量约200立方米，深400米左右的热淡水（水温约27℃）时涌量约60立方米。

2.2 地块基本信息

2.2.1 地理位置及红线范围

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块位于盐城市大丰区西团镇，南白线和山海路交汇，占地面积约5.9万m²。地块南侧为原大丰市飞虹机械铸造厂，北侧为一卯酉河，西侧为五十里河，东侧紧邻南白线，道路另一侧为居民区。地块地理位置如图2.2-1所示，地块范围及边界拐点（红线范围内）如图2.2-2所示。地块拐点信息如表2.2-1所示。



图2.2-1 地块地理位置图



图2.2-2 地块范围及边界拐点（红线范围内）

表2.2-1 地块边界拐点坐标（大地2000 坐标系）

拐点编号	X	Y
D1	3666213.493	539269.831
D2	3666199.621	539059.956
D3	3666066.375	539053.706
D4	3665993.463	539048.105
D5	3665928.964	539043.495
D6	3665931.291	539053.558
D7	3665929.291	539053.558
D8	3665936.137	539153.372
D9	3665934.137	539153.372
D10	3665940.337	539264.391

2.2.2 地块用地历史

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区于1990年12月在该地块上开始建厂并投产，于2009年6月在该地块上停产并搬迁。根据人员访谈了解，该地块在建厂前为荒地。由可查询到的历史卫星图（2014~2024年）可知，该地块近些年来地面上的构筑物未发生明显改变。地块历史卫星影像如图2.2-4所示。



图2.2-3 地块历史卫星影像图

2.2.3 地块现状

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块在产期间包括合成车间、复配车间、包装车间、硫化车间、成品库等生产单元，以及还包括办公楼、职工宿舍、

食堂等生产配套设施。现阶段，除了办公楼还在使用外，其余设施已停产或部分拆除。地块现状情况见下图2.2-4所示。





图2.2-4 地块现状情况图

2.2.4 地块历史生产情况

2.2.4.1 生产工艺

在产期间该厂区主要以生产乐果、稻丰散、氟乐灵、溴素等产品。生产过程使用的原辅材料主要是氯气、氨、丙酮、一甲胺（40%）、二氯乙烷、苯、甲苯、甲醇、乙醇、二正丙胺、煤油、二甲苯、环己酮、五硫化二磷、甲基对硫磷、辛硫磷等。

表2.2-2 各生产车间生产情况

序号	车间名称	投产时间	停产时间	主要原料	产品名称
1	乐果1号车间	1991	2009	五硫化二磷、甲醇、碳酸氢氨、氢氧化钠	硫化物、硫化物钠盐、硫化碱
2	乐果2号车间	1991	2009	氯乙酸、甲醇、纯碱、	氯乙酸甲酯、硫磷酯
3	乐果3号车间	1991	2009	一甲胺、盐酸、甲苯	乐果
4	乐果4号车间	1991	2009	一甲胺、盐酸、甲苯	乐果
5	稻丰散车间	2002	2009	苯乙酸、乙醇、溴、三氯化磷、甲苯、苯、碳酸氢氨、二氯乙酸	溴化钠、氢溴酸、稻丰散
6	氟乐灵车间	2003	2008	二正丙胺、液碱、二硝物、盐酸、甲苯	氟乐灵
7	噻磺隆车间	1998	2000	巯基乙酸、甲醇、氯气、丙烯腈、DMF、盐酸、冰醋酸、二氧化硫、二氯乙烷、氨气	噻磺隆
8	复配车间	2000	2009	乐果、稻丰散、甲苯、乙醇、灭多威、乙草胺、氟乐灵、	/

表2.2-3 主要原料年使用量和主要产品年生产量

序号	原料名称	年使用量(吨)	序号	产品名称	年生产量(吨)
1	五硫化二磷	1240	1	乐果	2000
2	甲醇	740	2	稻丰散	300
3	碳酸氢氨	882	3	氟乐灵	1000
4	氢氧化钠	698			
5	氯乙酸	1100			
6	一甲胺	900			
7	甲苯	120			
8	盐酸	54			
9	溴	180			
10	三氯化磷	250			
11	苯乙酸	150			
12	纯苯	24			
13	氯气	159			
14	甘氨酸	1800			
15	多聚甲醛	1350			

(1) 乐果生产工艺

①硫化

将一定量的五硫化二磷和少量的甲醇加入反应釜内，在搅拌下滴加甲醇，保持硫化反应温度不大于58℃，滴加完毕后，保温反应2~2.5小时（温度：55~58℃），生成二硫代磷酸二甲酯（部分用于稻丰散合成）。硫化过程中产生的硫化氢气体经液碱吸收后，蒸发浓缩、干燥制取硫化钠。

②成盐

将一定量的碳酸氢铵和水加入反应釜中，必要时加煤油消泡。在搅拌下滴加上述二硫代磷酸二甲酯，保持常温反应。反应结束后，过滤、静置、分层，得二硫代磷酸二甲酯铵盐。

③酯化

将定量甲醇加入酯化釜内，再投入定量氯乙酸，搅拌、升温，保持温度在105℃~115℃，常压，进行酯化反应，反应完毕后，静置、分去水层，向油层中加入纯碱，进行中和，静置、分去水层，得氯乙酸甲酯。

④缩合

将上述铵盐和氯乙酸甲酯分别加入缩合釜中，升温，保持反应温度在55℃~58℃，进行缩合反应。生成物经水洗、脱氯乙酸甲酯（温度：110~115℃，真空度：0.095MPa），得二甲氧基二硫代磷酸甲酯。

⑤胺化

将二甲氧基二硫代磷酸甲酯加入胺化釜，冷却至-8℃左右，开始滴加20%一甲胺溶液，控制胺化温度在-10~4℃。反应结束后，加入甲苯萃取，并用盐酸调节PH至5-6，升温至25~30℃，静置分层。水层经甲苯萃取后，蒸馏（温度：95~105℃，常压）回收淡甲醇，油层合并后，经水洗、过滤（去除杂质）后，其中一部分直接经蒸馏，脱去其中部分甲苯后，收接100~105℃的馏分，得乐果苯油；另一部分经冷却、离心过滤、结晶（温度：-2℃~2℃）、干燥，制取乐果原粉；滤液经蒸发脱溶，回收甲苯。

（2）稻丰散生产工艺

①酰化

向酰化釜中加入定量的苯乙酸和1,2-二氯乙烷，冷却并搅拌下，控制滴加温度在60~70℃，将三氯氧磷缓慢滴入酰化釜中，滴加时间约0.5小时，滴加完毕后，保温进行酰化反应（温度：92~95℃，时间：3小时），保温完毕后，冷却至86~90℃，制得苯乙酰氯。

②溴化

控制温度在86~90℃，向苯乙酰氯中滴加溴素（滴加时间：3小时左右），滴加完毕后，保持上述温度溴化2.5小时，保温结束后，冷却至60℃左右，制得 α -溴代苯乙酰氯粗品，溴化过程中产生的尾气，经水吸收生成氢溴酸。

③水解

向水解釜中加入溴化物，再滴加水，保持反应温度58~62℃，微负压，进行水解反应。滴加完毕后，搅拌自然降温1小时，静置分层，水层去溴回收车间，油层经水洗、分层脱溶（温度：85~90℃，真空度：0.095MPa），回收二氯乙烷，得 α -溴代苯乙酸。水解过程中产生的尾气，经水吸收生成盐酸。

④成盐

将定量的二硫代磷酸二甲酯、混苯（苯与甲苯的摩尔比为1:1）和碳酸氢钠加入反应釜，控制温度不大于80℃，缓慢滴加水（滴加时间不小于1小时），进行成盐反应，滴加完毕后继续搅拌反应30分钟，静置分层，上层溶剂去回收混苯（

温度：80℃左右、真空度：0.095MPa左右），下层二硫代磷酸二甲酯钠盐入计量槽。

⑤缩合

将水解物 α -溴代苯乙酸加入缩合釜中，再加入定量苯、二硫代磷酸二甲酯钠盐，缓慢升温，当温度升至52~55℃时，保温5小时，保温完毕，降温至室温，静置分层，水层去溴回收车间，油层经水洗、分层后得缩合液。

⑥酯化

将定量乙醇、溶剂苯、催化剂对甲苯磺酸加入酯化釜中，再加入计量的上述缩合物，升温，保持酯化温度70-75℃，进行酯化反应（时间：8小时左右、常压）。反应结束后，经水洗、碱洗（碳酸氢钠）、脱溶（温度：不大于90℃，真空度：0.098MPa左右），回收淡苯，得成品稻丰散。废水排入污水系统。

（3）氟乐灵生产工艺

①胺化

向胺化釜中加入水，搅拌并升温至50~70℃，投入3, 5-二硝基-4-氯-三氟甲苯，然后同时滴加液碱和正二丙胺（温度：50~95℃），进行胺化反应，滴加完毕后，在85~95℃保温反应不少于20分钟，然后静置0.5~1小时，分去水层，得粗品氟乐灵。

②精制

向精制釜中加入粗品氟乐灵，搅拌并经盐酸中和（温度：80~95℃）、水洗（温度：80~95℃），搅拌、静置，分去上层废水，下层物料分至脱水釜，脱水（温度：90℃左右，真空度：0.059MPa）20分钟，得氟乐灵原油。向氟乐灵原油（温度 $\geq$ 80℃）中加入二甲苯，搅拌并冷却，制得氟乐灵苯油。

（4）乳油复酯生产工艺

①乐果乳油[含量 $\geq$ 40%]

向配料釜中加入计量好的苯、甲醇、乳化剂、乐果原油，搅拌1小时，待物料均匀后，称重定量包装即得成品。

②盖德乳油[含三唑磷20%]

向配料釜中加入计量好的苯、乳化剂、稻丰散及三唑磷原药，搅拌0.5~1小时，待物料均匀后，称重定量包装即得成品。

③丰农螟克乳油[含杀螟硫磷19.8%]

向配料釜中加入计量好的甲苯、乳化剂、杀螟硫磷及阿维菌素原药，搅拌0.5~1小时，待物料均匀后，称重定量包装即得成品。

④马灭乳油[含水量马拉硫磷20%]

向配料釜中加入计量好的苯、乳化剂、马拉硫磷及灭多威原药，搅拌0.5~1小时，待物料均匀后，称重定量包装即得成品。

⑤蚜青灵乳油[含乐果22.8%]

向配料釜中加入计量好的苯、甲醇、乳化剂、乐果及氰戊菊酯原药，搅拌0.5~1小时，待物料均匀后，称重定量包装即得成品。

⑥多虫灵乳油[含辛硫磷16%]

向配料釜中加入计量好的苯、甲醇、环己酮、乳化剂、氰戊菊酯及辛硫磷原药，搅拌0.5~1小时，待物料均匀后，称重定量包装即得成品。

⑦三嗪液态农药（即杀乳油[含辛硫磷16%]）

向配料釜中加入计量好的甲苯、甲醇、乳化剂、灭多威及辛硫磷原药，搅拌0.5~1小时，待物料均匀后，称重定量包装即得成品。

⑧敌杀净II乳剂[含甲基对硫磷20%]

向配料釜中加入计量好的甲苯、丙酮、乳化剂、敌百虫及甲基对硫磷原药，搅拌0.5~1小时，待物料均匀后，称重定量包装即得成品。

（5）粉剂复酯生产工艺

①螟杀净粉剂[含乐果50%]

向混合机中加入计量好的助剂、白炭黑、乐果及杀虫单原药，混合1小时后放料粉碎，粉碎时间4~5小时，粉碎结束后，再混合1小时，取样分析合格后，定量包装即为产品。

②千安粉剂[含三唑酮5%]

向混合机中加入计量好的助剂、高岭土、多菌灵及三唑酮原药，混合1小时后放料粉碎，粉碎时间4~5小时，粉碎结束后，再混合1小时，取样分析合格后，定量包装即为产品。

2.2.4.2 三废情况

1、废水

该厂区的工业废水主要来源于乐果、稻丰散、氟乐灵等产品的生产过程。在生产期间，乐果废水年产生量约为26000吨，乙草胺废水年产生量约为600吨，稻丰

散废水年产生量约为12000吨，噻磺隆废水年产生量约为2600吨。另外，生活污水、地面冲洗水、初期雨水、锅炉排污水/除尘废水、生化配水、水冲泵废水以及废气治理废水也是厂区废水的组成部分。冲洗废水年产生量约为28000吨，生活污水年产生量约为9000吨，锅炉排污水/除尘废水年产生量约为18000吨，生化配水年产生量约为82000吨。根据废水的不同种类，进行针对性处理。对于工业废水一般采用蒸发析盐预处理，蒸汽冷凝后进入厂区污水处理站集中处理；对于地面冲洗水和初期雨水，收集至厂区污水处理站集中处理；锅炉排污水/除尘废水和生化配水进入废水生化处理单元进行处理。厂区废水主要处理工艺为：预处理（混凝、沉淀）→厌氧→调节池→缺氧池→生物接触氧化→二沉池→尾水排放，经处理达标后，尾水最终排入厂区北侧的一卵酉河。

2、废气

该厂区生产过程中所排放的废气主要来源于乐果、乙草胺、稻丰散、噻磺隆等产品的生产过程。乐果生产过程中产生的废气所含的污染物主要为硫化氢（270.7吨/年）和甲醇（10.53吨/年）；乙草胺生产过程中产生的废气所含的污染物主要为二甲苯（1.25吨/年）；稻丰散生产过程中产生的废气所含的污染物主要为溴化氢（556.4吨/年）、溴素（5.6吨/年）、氯化氢（233吨/年）、乙醇（6.8吨/年）、二氯乙烷（12.45吨/年）、甲苯（51吨/年）、二甲苯（0.18吨/年）；噻磺隆生产过程中产生的废气所含的污染物主要为氯气（7.728吨/年）、二氧化硫（19.98吨/年）、DMF（6.4吨/年）、二氯乙烷（1.5吨/年）、二甲苯（1.2吨/年）。另外，锅炉废气也是厂区废气的来源之一，主要污染物为二氧化硫（76.68吨/年）和烟尘（150.4吨/年）。针对硫化氢和二氧化硫，采用碱吸收的方式进行处理；针对溴化氢、溴素、氯化氢采用二级水吸收的方式进行处理；针对甲苯和二氯乙烷采用活性炭吸附法处理；针对氯气，采用石灰石吸收；针对锅炉产生的二氧化硫和烟尘，采用旋风水膜脱硫除尘和高效脱硫消烟水膜除尘。对于甲醇、二甲苯、乙醇、DMF、二氯乙烷以及小部分的甲苯早期厂区采用了无组织排放，后经过环保整改，采用了25m排气筒集中排空。

3、固废

该厂区生产过程中产生的固废主要包括：乐果甲基硫化物残渣（14.5吨/年，HW11），乐果甲基硫化物铵盐残渣（33吨/年，HW11），乐果硫磷脂高沸物（81.25吨/年，HW11），稻丰散蒸馏残渣（433.62吨/年，HW11），污水处理产生的

废盐（180吨/年，HW35），废活性炭（28.2吨/年，HW06），废水处理污泥（395吨/年）；以上这些固废，企业早期采用厂区原有的焚烧炉进行焚烧处理，后经环保整改，交由具有危废处置资质的单位集中处理。另外，厂区产生的固废种类还有煤渣/粉煤灰（2226.5吨/年）和生活垃圾（24.3吨/年），煤渣/粉煤灰外售用于铺路或制砖，生活垃圾由环卫部门统一处置。

2.2.5 国土空间规划

根据土地规划，该地块未来仍作为工业用地使用。根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），工业用地属于第二类用地。

2.3 地块环境特征

2.3.1 周边敏感目标

根据地块现状，地块周边无水源地保护区及自然保护区，地块边界500m范围内的环境敏感点主要有居民区和农田。周边500m范围内环境敏感目标分布情况见下图2.3-1所示。



图2.3-1 地块周边500m范围内环境敏感目标分布图

2.3.2 地块水文地质条件

1、土层结构

此次调查场地位于扬子地台区东部，基岩由中元古界海州群及张八岭群区域变质岩系组成，中生代地层发育较齐全，上第三系地层也有分布，第四系以海相、三角洲相为主。大地构造位置处于我国大陆东部华北准地台和扬子准地台的衔接部位。属于新华厦系第二隆起带与淮阳山字型东翼反射弧及秦岭东西向复杂构造带的复合地带，地质构造复杂。区内主要构造体系有东西向构造、山字型构造、新华厦系构造等。场地附近地区无大的断裂。根据区域地质资料，晚近期均未发现活动迹象，场地区域地质稳定较好。

此次引用调查地块紧邻的江苏宝齐莱钢品科技有限公司的《江苏宝齐莱钢品科技有限公司1、2#生产厂房及门卫岩土工程勘察报告》，勘察区域如图2.3-2所示，勘探点位分布如图2.3-3所示，工程地质剖面如图2.3-4所示。



图2.3-2 引用的地勘报告勘察区域所在位置

根据引用的地勘资料显示，勘察深度范围内，地基土自上而下分为9层，各土层的工程地质特征分述如下：

①层素填土：杂色，结构松散，湿~很湿，主要成分为黏质粉土，上部含大量植物根茎，土质不均匀。场区普遍分布，厚度：0.40~1.00m，平均0.58m；层底标高：1.57~2.77m，平均2.13m；层底埋深：0.40~1.00m，平均0.58m。

②层黏质粉土：灰黄色，稍密，很湿，夹少量软塑状黏性土薄层或团块，具层理，土质欠均匀。场区普遍分布，厚度：0.70~1.60m，平均1.09m；层底标高：0.44~1.90m，平均1.04m；层底埋深：1.10~2.20m，平均1.66m。

③层淤泥质粉质黏土：灰黄~灰色，流塑，饱和，具微层理，土质不均匀。场区普遍分布，厚度：1.50~3.40m，平均2.54m；层底标高：-2.21~-0.48m，平均-1.49m；层底埋深：3.10~4.90m，平均4.19m。

④层砂质粉土：灰色，稍密，很湿，夹少量流塑状粘性土条带及云母碎屑，土质欠均匀。场区局部缺失，厚度：0.00~2.50m，平均1.56m；层底标高：-3.60~-1.98m，平均-3.05m；层底埋深：4.60~6.20m，平均5.73m。

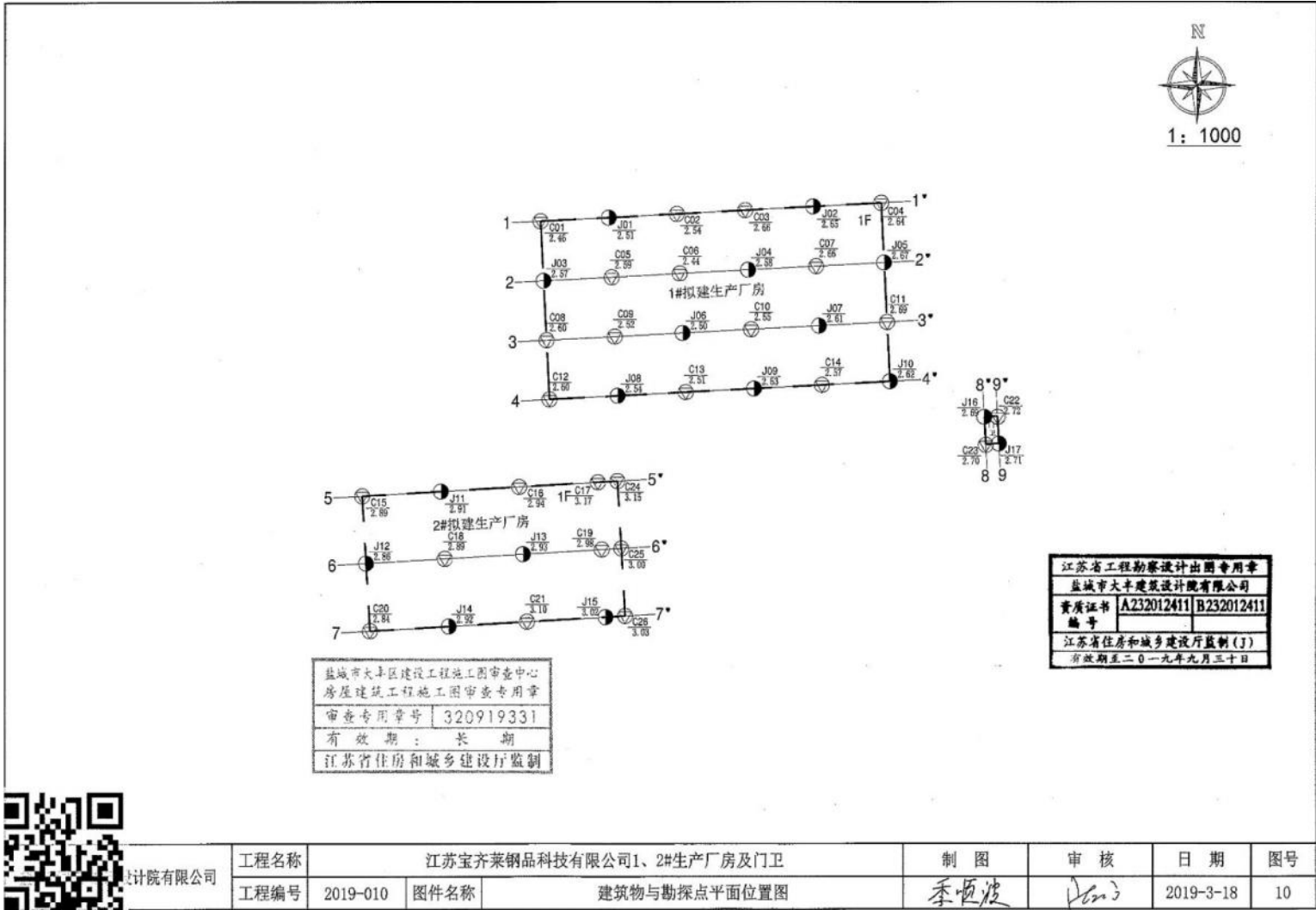
⑤层淤泥质粉质黏土：灰色，流塑，饱和，不均匀夹少量粉土薄层(单层厚度2~5mm)，具微层理，土质不均匀。场区普遍分布，厚度：4.90~8.30m，平均5.89m；层底标高：-9.54~-8.03m，平均-8.71m；层底埋深：10.70~12.20m，平均11.41m。

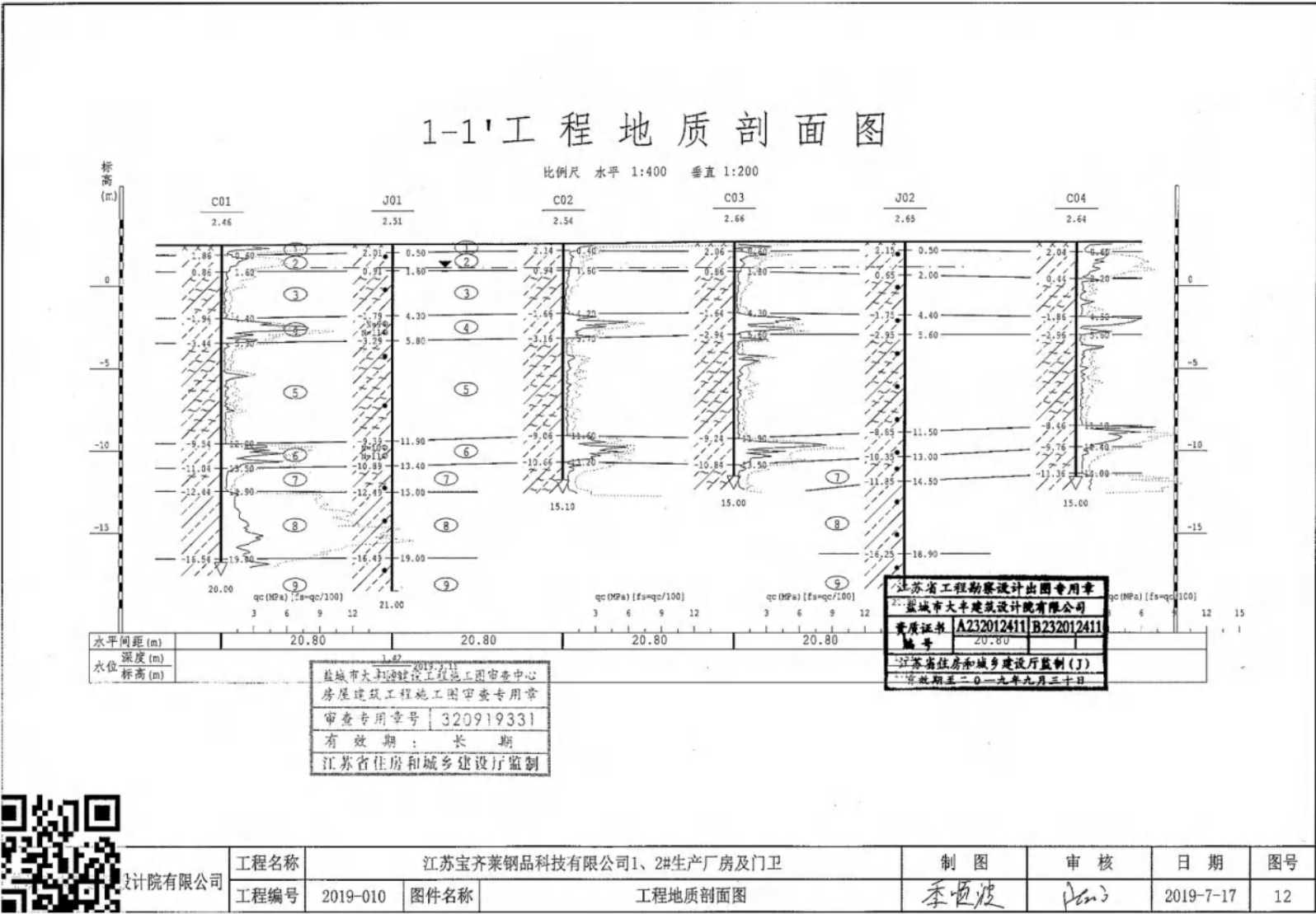
⑥层砂质粉土：灰色，稍密，很湿，夹少量流塑状粘性土条带及云母碎屑，土质欠均匀。场区普遍分布，厚度：1.30~2.30m，平均1.82m；层底标高：-11.78~-9.63m，平均-10.52m；层底埋深：12.30~14.50m，平均13.23m。

⑦层淤泥质粉质黏土：灰色，流塑，饱和，不均匀夹少量粉土薄层(单层厚度2~5mm)，具微层理，土质不均匀。场区普遍分布，厚度：0.90~1.70m，平均1.25m；层底标高：-13.18~-10.90m，平均-11.73m；层底埋深：13.80~15.90m,平均14.45m。

⑧层粉质黏土：灰色，可塑，饱和，含少量铁锰质氧化物，土质欠均匀。场区普遍分布，厚度：2.20~4.90m，平均4.00m；层底标高：-16.54~-15.37m，平均-15.80m；层底埋深：18.10~19.00m，平均18.52m。

⑨层黏质粉土：灰色，稍~中密，很湿，夹少量中密状粉砂团块，具层理，土质不均匀，该层未穿透。





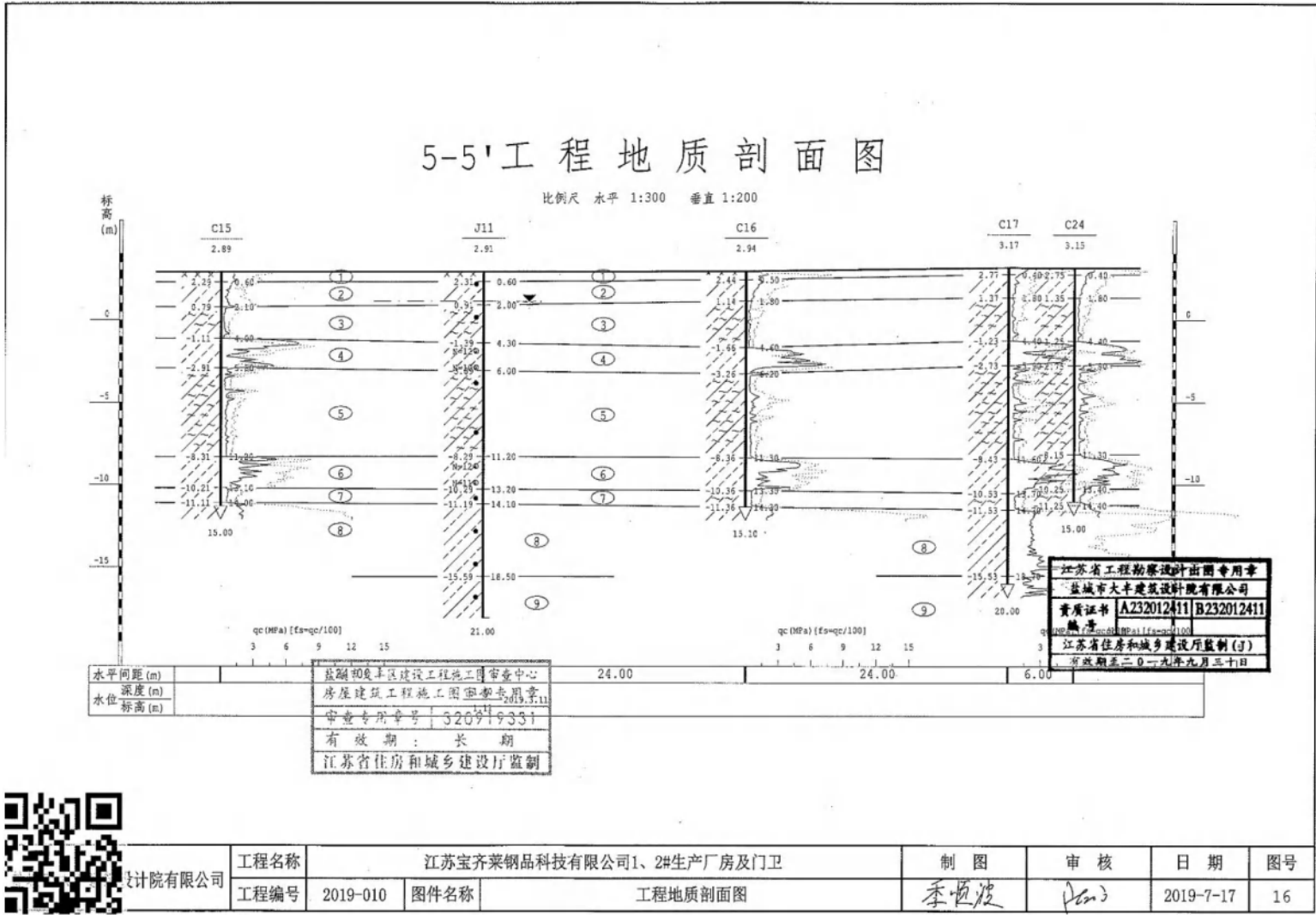


图2.3-4 工程地质剖面图

2、地下水埋藏条件及流向

根据地勘资料和现场实际钻探情况，调查地块勘察揭示的地下水类型为孔隙潜水。孔隙潜水主要赋存于第8层以上土层中（第7层为淤泥质粉质黏土：厚度：0.90~1.70m，平均1.25m；层底标高：-13.18~-10.90m，平均-11.73m；层底埋深：13.80~15.90m,平均14.45m），其补给来源主要为大气降水及地表水，水位呈季节性变化影响，以自然蒸发和侧向径流为主要排泄方式，地下水年变化幅度为1.0m左右。承压水赋存于第9层土中（黏质粉土：灰色，稍~中密，很湿，夹少量中密状粉砂团块，具层理，土质不均匀），其补给来源主要是同一含水层的侧向补给，其排泄方式主要为侧向径流。

根据现场勘察结果，初见地下水埋深为0.8~1.3m。根据丰水期和枯水期的水位测量，该地块地下水流向总体方向为自东南向西北方向见下图2.3-5所示。



图2.3-5 地块内地下水流向

2.3.3 周边水体环境功能规划

地块西侧紧邻五十里河，北侧紧邻一卯西河，五十里河无地表水环境功能区划，一卯西河的地表水环境功能区划为农业用水，水质目标为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的 IV 类标准。

2.4 地块污染特征

2.4.1 污染识别

原江苏腾龙生物药业有限公司（西团厂区）自1990年至2009年在该地块生产期间，一直主要从事有机磷农药的生产和销售。主要的产品有乐果、稻丰散、氟乐灵等，使用的主要原辅材料有二氯乙烷、苯、甲苯、甲醇、乙醇、二正丙胺、二甲苯、环己酮、五硫化二磷、甲基对硫磷、辛硫磷等。同时，通过以上生产工艺和产污分析，甲苯、二甲苯、二氯乙烷等污染物既作为生产的主要原料出现，又存在于生产过程中的三废中。调查地块在使用机械生产农药时，机械设备会使用到机油或润滑油，若存在跑冒滴漏，可能会对土壤环境造成石油烃类的污染。

因此，通过以上分析，调查地块内以苯系物、二氯乙烷、有机磷农药、石油烃等作为地块的特征因子。调查地块周边曾经存在过的大丰市飞虹机械铸造厂，可能会给调查地块带来重金属和石油烃的污染。

结合调查地块内和地块外的环境影响分析，地块的特征污染物为重金属、苯系物、二氯乙烷、有机磷农药、石油烃等。

2.4.2 初步调查及结论

1、采样布点

初步采样过程中地块内共布设了29个土壤采样点和6个地下水监测井，土壤样品最大采样深度为6.0m，地下水监测井建井深度为6.0m。初步采样阶段共送检土壤样品96份，地下水样品6份，送检样品由江苏实朴检测服务有限公司承担检测。此次调查过程中，项目组根据地下水流向和周边地块的受扰动情况，在调查地块外共布设2个土壤采样点和1个地下水对照点。初步调查点位布设和对照点位置分别如图2.4.2-1和图2.4.2-2所示。



图2.4.2-1 初步调查点位布设



图2.4.2-2 对照位置图

2、检测指标

土壤样品检测指标包括：VOCs、SVOCs、有机磷农药、重金属（砷、镉、铜、铅、汞、镍、六价铬）、石油烃（ $C_{10}\sim C_{40}$ ）。

地下水样品检测指标包括：VOCs、SVOCs、有机磷农药、重金属（砷、镉、铜、铅、汞、镍、六价铬）、石油烃（ $C_{10}\sim C_{40}$ ）。

3、检测结果

（1）土壤污染检测结果

经实验室检测分析，测试重金属的样品中，铜、铅、镍、镉、汞、砷有检出，六价铬未检出；VOCs中苯、甲苯、乙苯、间和对-二甲苯、苯乙烯、邻二甲苯、1,3,5-三甲苯、1,2-顺式-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、氯苯在部分土壤样品中有检出，SVOCs中苯酚和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯在部分土壤样品有检出，土壤样品中有机磷农药未检出，石油烃（ $C_{10}\sim C_{40}$ ）在增测的部分样品中有检

出。通过与评价标准比较可知，S31点位土壤样品中的苯超标，初步采样土壤超标情况统计如表2.4.2-1所示，初步采样土壤超标点位分布如图2.4.2-3所示。

表2.4.2-1 初步采样土壤检测数据超标情况统计

污染物名称	筛选值 (mg/kg)	筛选值出处	超标点位	样品采样深度(m)	检出值 (mg/kg)	超标倍数
苯	4	GB36600-2018	S31	4.3-4.5	8.55	1.1



图2.4.2-3 初步采样土壤超标点位图

(2) 地下水污染检测结果

经过对地下水样品的检测分析，对VOCs的检测中，在部分样品中检测出了苯、甲苯、乙苯、二甲苯（总量）、苯乙烯、1,3,5-三甲苯、1,2,4-三甲苯、1,2-二氯丙烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,1-二氯乙烷、1,2-顺式-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯和氯苯。对SVOCs的检测中，在部分样品中检测出了苯酚。在对有机磷农药的检测中，在部分样品中检测出了乐果。对于在部分中增测的石油烃（C10~C40），并未检出。地下水中超标的污染物为苯、甲苯、乙苯、二甲苯（总量）、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,2-顺式-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷和四氯乙烯。初步采样地下水检测数据超标统计如表2.4.2-2所示，超标点位如图2.4.2-4所示。

表 2.4.2-2 初步采样地下水检测数据超标统计(μg/L)

污染物名称	评价标准	检出点位	检出值	超标倍数
苯	120	GW2	2420	19.2
		GW6	17100	141.5
甲苯	1400	GW6	3060	1.2
乙苯	600	GW6	4710	6.9
二甲苯（总量）	1000	GW6	8490	7.5
氯乙烯	90	GW2	1000	10.1
1,1-二氯乙烯	60	GW2	97.6	0.6
1,2-顺式-二氯乙烯	60	GW2	95	0.6
1,2-二氯乙烷	40	GW2	1090	26.3
三氯乙烯	210	GW2	409	0.9
1,1,2-三氯乙烷	60	GW2	981	15.4
四氯乙烯	300	GW2	1780	4.9



图2.4.2-4 初步采样地下水超标点位图

2.4.3 详细调查及结论

1、采样布点

为确定地块土壤和地下水污染范围以及污染边界，在初步采样调查分析结果的基础上，结合现场实际状况，对调查地块开展了详细采样。

(1) 对于在初步采样阶段（除煤场/堆场外区域）调查出的土壤（点位S31）和地下水超标点位（点位GW2 和GW6），在其周边进行加密布点。土壤超标点位S31周围加密布设点位为：S31a、S31b、S31c 和S31d。地下水超标点位GW2附近加密布点，布设点位为GW2a、GW2b和GW2c；GW6附近加密布设点位为



2、检测指标

由于在初步采样阶段，土壤和地下水超标的检测指标均属于挥发性有机物（VOCs），因此在除煤场（堆场）外区域的详细采样所采集的土壤和地下水样品对其进行VOCs检测，由江苏实朴检测服务有限公司承担检测。

根据《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）的指导意见，为了对煤场（堆场）区域的土壤污染状况更加全面的筛查，此区域的检测指标为（含基本项目45项）：重金属（砷、镉、铜、铅、汞、镍、六价铬）、挥发性有机物（VOCs）、半挥发性有机物（SVOCs）以及有机磷农药，由江苏康达检测技术股份有限公司承担检测。

3、检测结果

（1）详细采样（除煤场/堆场外区域）土壤检测数据统计

经实验室检测分析，测试的VOCs中苯、甲苯、乙苯、间和对-二甲苯、邻二甲苯、1,3,5-三甲苯和1,2,4-三甲苯在部分土壤样品中有检出。通过与评价标准对比分析可知，S31d点位的4.5m处土壤样品中的苯超标，超标情况如表2.4.3-1所示，超标点位分布如图2.4.3-3所示。

表 2.4.3-1 详细采样（除煤场/堆场外区域）阶段土壤检测数据超标情况统计

污染物名称	筛选值 (mg/kg)	筛选值出处	超标点位	样品采样深度(m)	检出值 (mg/kg)	超标倍数
苯	4	GB36600-2018	S31d	4.3-4.5	6.04	0.5



图2.4.3-3 详细采样（除煤场/堆场外区域）中土壤超标点位图

(2) 煤场（堆场）区域调查中土壤检测数据统计

经实验室检测分析，测试重金属的样品中，铜、铅、镍、镉、汞、砷、六价铬均有检出；VOCs中苯、甲苯、乙苯、间和对-二甲苯、邻二甲苯、1,3,5-三甲苯、1,2,4-三甲苯、1,2-顺式-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯和氯苯在部分土壤样品中有检出；SVOCs中苯酚、萘、2-二甲基萘、菲、荧蒽、芘、苯并[a]蒽、蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽和苯并[a]芘在部分土壤样品有检出；有机

磷农药中的稻丰散在部分样品中有检出。经过与相应评价标准对比可知，此次所有土壤点位均存在超标样品，如图2.4.3-4所示。



图2.4.3-4 煤场（堆场）区域调查中土壤超标点位

（3）详细采样调查（除煤场/堆场外区域）中地下水检测数据统计

对于除煤场（堆场）外区域的详细采样调查共送检地下水样品8份，检出污染物11种，分别为苯、甲苯、乙苯、二甲苯（总量）、1,3,5-三甲苯、1,2,4-三甲苯、氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、氯苯，其中超标污染物为苯，统计情况如表2.4.3-2所示，超标点位分布如图2.4.3-5所示。

表2.4.3-2 详细调查（除煤场/堆场外区域）中地下水超标污染物浓度(μg/L)

污染物名称	评价标准	超标点位	检出值	超标倍数
苯	120	GW2c	162	0.4
		GW6b	124	0.03
		GW6c	127	0.06
		GW6d	195	0.6



图2.4.3-5 详细采样调查（除煤场/堆场外区域）地下水超标点位图

(4) 煤场(堆场)区域地下水检测数据统计

对于煤场（堆场）区域的调查共送检地下水样品2份，检出污染物21种，分别为铜、铅、镍、汞、六价铬、苯、甲苯、乙苯、二甲苯（总量）、1,3,5-三甲苯、1,2,4-三甲苯、1,1-二氯乙烷、1,2-顺式-二氯乙烯、氯仿、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、氯苯、萘，超标的污染物为苯、甲苯、乙苯、二甲苯（总量）、1,2-顺式-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯，超标情况统计如表2.4.3-3所示，超标点位分布图如2.4.3-6所示。

表2.4.3-3 煤场（堆场）区域调查中地下水超标污染物浓度(μg/L)

污染物名称	评价标准	超标点位	检出值	超标倍数
苯	120	TLD-GW2	5390	43.9
		TLD-GW3	3960	32
甲苯	1400	TLD-GW2	5570	3
		TLD-GW3	3580	1.6
乙苯	600	TLD-GW2	653	0.1
		TLD-GW3	10100	15.8
二甲苯（总量）	1000	TLD-GW2	1700	0.7
		TLD-GW3	32490	31.5
1,2-顺式-二氯乙烯	60	TLD-GW3	309	4.2
1,2-二氯乙烷	40	TLD-GW3	169	3.2
三氯乙烯	210	TLD-GW3	348	0.7



图2.4.3-6 煤场（堆场）区域地下水超标点位图

4、煤场（堆场）区域土壤污染范围的确定

由以上结果可知，煤场（堆场）区域在土壤最大采样深度6.0m（以场地地表开始计算）处，部分点位仍然存在污染超标的情况。按照《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019）中的要求，需要对6.0m处仍然超标的土壤点位进行加深取样。另外，由于TLD-S1、TLD-S2和TLD-S3均存在土壤中污染物超标的情况，结合初步采样调查和已开展的详细采样调查检测结果情况，为进一步确定污染范围，需要对煤场（堆场）北侧边界处进行土壤点位布设及样品采集。同时，此次项目组对点位S31的土壤污染深度进行确定。

结合已获得的调查结果，对点位S31、TLD-S2 和TLD-S3 进行土壤加深采样，在煤场（堆场）北侧边界处布设点位TLD-S6。采用分层取样，采样深度通过现场观察和快速检测仪器进行判断。补充采样点位如图2.4.3-7所示。



图2.4.3-7 煤场（堆场）区域补充采样点位图

由于该地块土壤中只存在VOCs 超标的情况，因此此次采集的土壤样品检测项目为VOCs。此次共采集土壤样品19个，全部送检到江苏康达检测技术股份有限公司进行检测。

经过检测分析，此次土壤样品检测指标VOCs 中苯、甲苯、乙苯、间和对-二甲苯以及邻-二甲苯有检出。各检出污染物通过于相应评价标准比较可知，此次对于煤场（堆场）区域土壤污染深度及范围确定的过程中，无污染超标的土壤样品。

5、西侧生产车间补充采样

项目组依据专家意见对调查地块内西侧的乐果硫化车间、氟乐灵（乐果复配）车间、乐果合成车间等车间的中心区域以及其他部分区域进行了补充采样调查。

结合已有的调查结果和地块车间的使用情况，此次共布设土壤点位8个，采集土壤样品65个。根据土层分布情况和现场快筛结果，共送检土壤样品33个，点位分布如图2.4.3-8所示。

根据调查地块已掌握的超标情况，同时结合此次补充采样点位所在区域的生产情况，此次采集的土壤样品基本检测项目为VOCs和pH，部分土壤样品增测有机磷农药以及氟化物。送检的样品由江苏康达检测技术股份有限公司承担检测。

经过检测分析，此次土壤样品中苯、甲苯、乙苯、间和对-二甲苯、邻-二甲苯以及氟化物有检出，有机磷农药未检出。此次土壤样品种pH的检测结果为7.72~10.13。各检出污染物通过于相应评价标准比较可知，部分土壤样品中苯、甲苯、乙苯超标，苯最大超标倍数为4.4倍，甲苯最大超标倍数为0.2倍，乙苯最大超标倍数为6.4倍。超标点位位于乐果合成车间和氟乐灵（乐果复配）车间所在区域，超标点位分布如图2.4.3-9所示。

40



图2.4.3-9 西侧生产车间补充采样土壤超标点位图

6、西侧生产车间补充采样超标区域土壤污染范围确定

由上节检测分析结果可知，氟乐灵（乐果复配）车间和乐果合成车间所在区域的补充采样调查过程中土壤样品存在超标的情况。为确定超标土壤点位超标深度及范围，项目组再次进行了补充采样加密调查。

结合已有的调查结果，此次共布设土壤点位8个，采集并送检土壤样品55个。另外，为了确定氟乐灵（乐果复配）车间和乐果合成车间所在区域地下水是否存

在污染，结合已有的地下水监测井位置，此次布设了2口地下水监测井，送检土壤样品2份，采样点位分布如图2.4.3-10所示。



图2.4.3-10 西侧生产车间补充采样加密土壤和地下水点位图

根据调查地块已掌握的超标情况，此次采集的土壤和地下水样品检测项目为苯、甲苯、乙苯以及pH。送检的样品由江苏康达检测技术股份有限公司承担检测。

(1) 土壤检测结果分析

经过检测分析，此次土壤样品中苯、甲苯、乙苯有检出。此次土壤样品pH的检测结果为7.9~10.73。各检出污染物通过于相应评价标准比较可知，部分土壤样品中苯和乙苯超标，苯最大超标倍数为3.25倍，乙苯最大超标倍数为9倍。

(2) 地下水检测结果分析

此次布设了2口地下水监测井，送检地下水样品2份，检测的苯、甲苯、乙苯在2份样品中均有检出，且均有超标的情况，超标点位如图2.4.3-11所示。



图2.4.3-11 西侧生产车间补充采样加密土壤及地下水超标点位图

2.4.4 风评阶段补充采样及结论

根据对地块调查阶段的结果分析以及结合地块的情况，项目组对污水处理区域及其他部分区域的土壤和地下水进行了风险评估补充采样，并对地块内的地表水及周边河流进行了地表水或底泥样品的采集。

结合已有的调查结果和污水处理设施的分布情况，此次补充采样地块内共布设土壤点位14个，采集土壤样品107个。根据土层分布情况和现场快筛结果，共送检土壤样品69个，采样点位如图2.4.4-1所示。



图2.4.4-1 风险评估补充采样土壤采样点位图



根据地块内水池和地块周边河流的分布情况，此次补充采样在地块内及周边河流共布设地表水采样点10个和底泥采样点7个，采集地表水样品10个和底泥样品7个，并全部送检，采样点位如图2.4.4-3所示。

图2.4.4-3 风险评估补充采样底泥和地表水采样点位图

(1) 土壤检测结果分析

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块污染土壤及地下水修复技术方案



图2.4.4-4 风险评估补充采样土壤超标点位图

(2) 地下水检测结果分析

经过检测分析，此次地块内送检地下水样品4份，检出污染物10种，包括1,2-二氯乙烷、1,2-二氯乙烯、1,2-二氯丙烷、四氯乙烯、苯、氯苯、乙苯、甲苯以



根据实验室的检测结果，此次送检的底泥和地表水污染物均未检出。

根据地块风险评估报告结论，对土壤污染状况调查和风险评估补充采样检测结果汇总分析，地块内共布设土壤点位68个(地块内66个，地块外对照点2个)，采集土壤样品388个，送检样品313个；共布设地下水监测井23个(地块内22个，地块

外对照点1个), 采集并送检地下水样品23个; 地块内外共布设地表水采样点10个, 底泥采样点7个, 采集并送检地表水样品10个, 底泥样品7个。地块内土壤及地下水全部采样点位图见下图2.4.5-1所示, 底泥和地表水采样点位图见下图2.4.5-2所示。

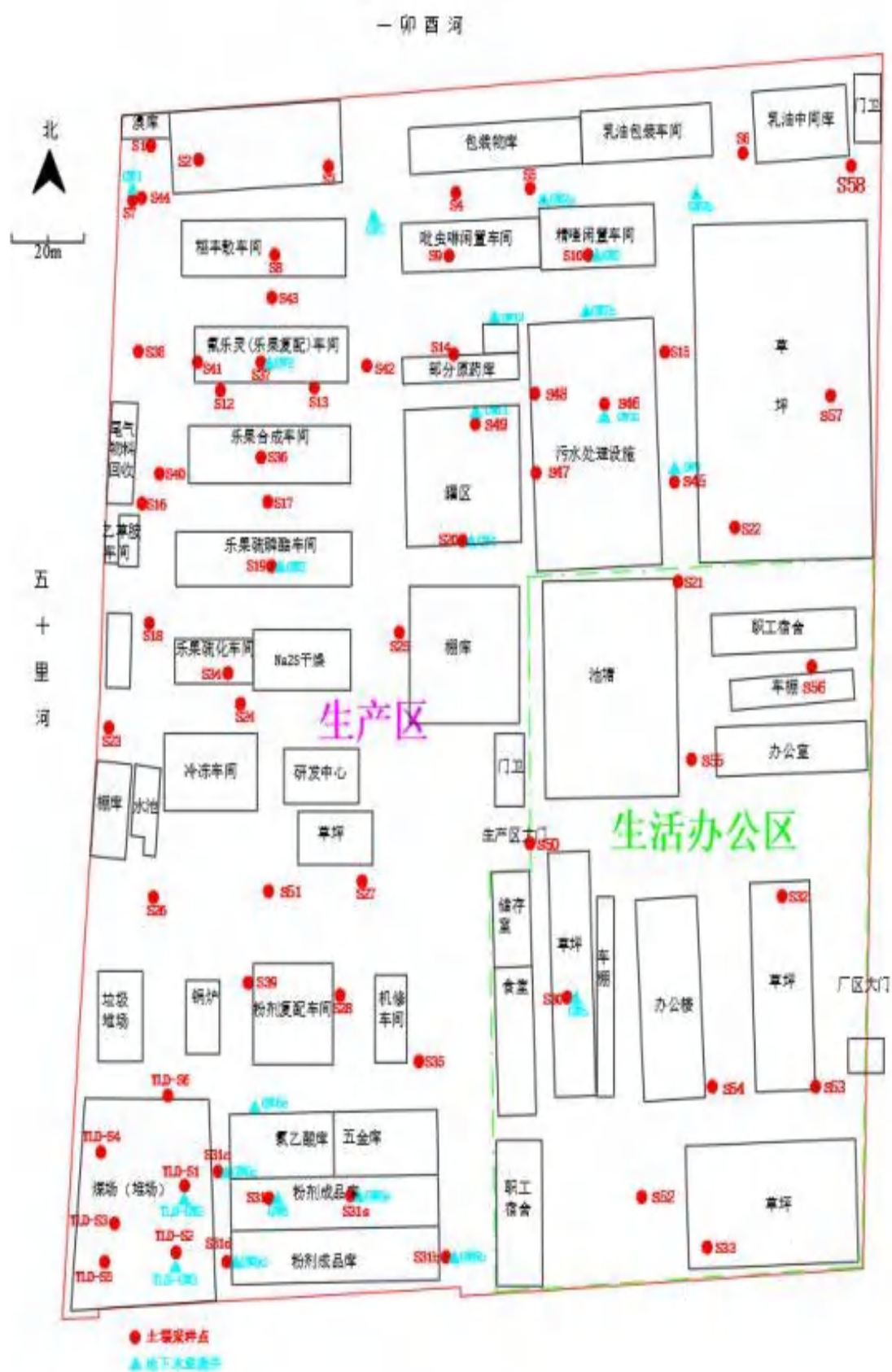


图2.4.5-1 地块内土壤及地下水全部采样点位图

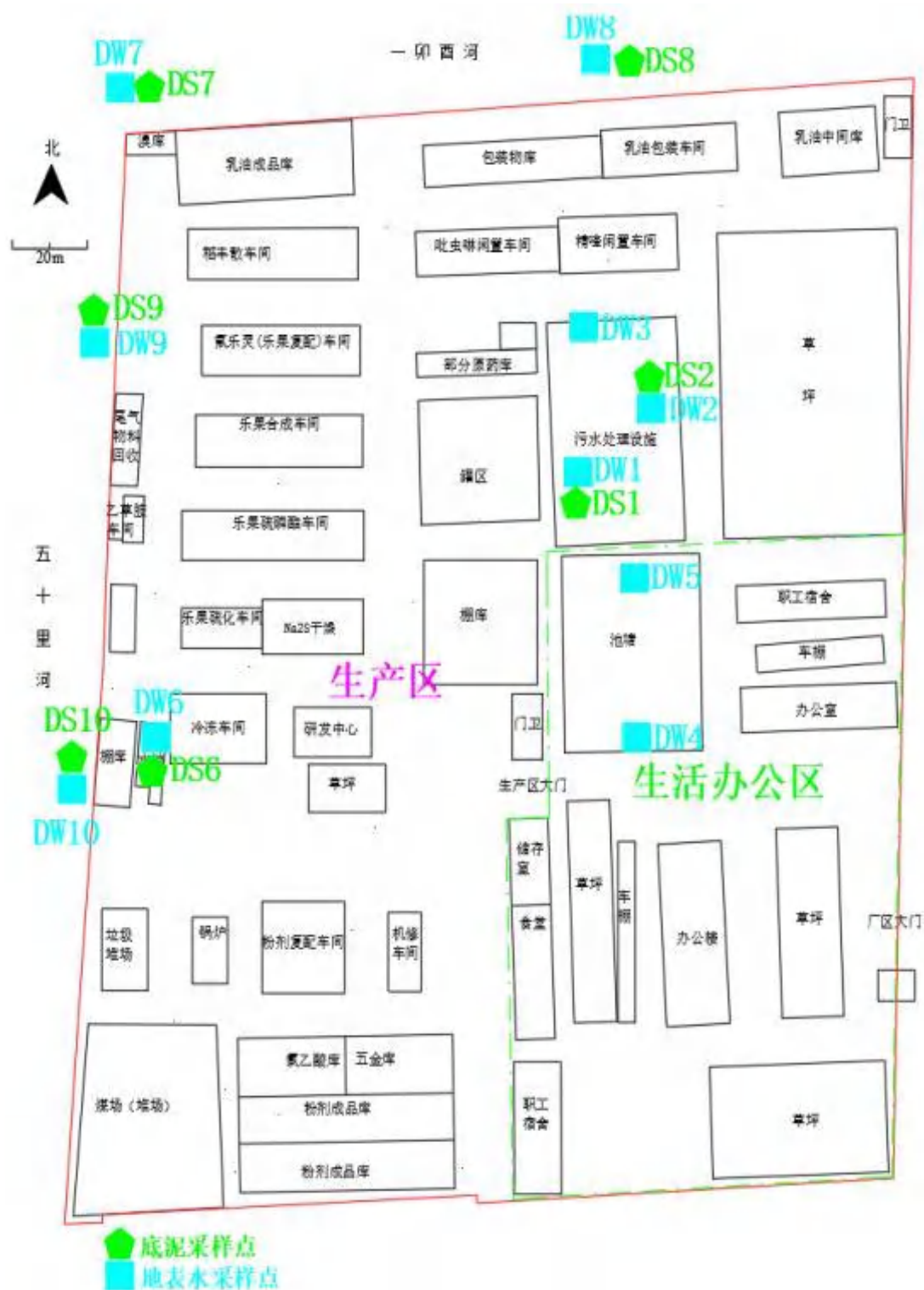


图2.4.5-2 底泥和地表水采样点位图

参考《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）(GB36600-2018)》中的第二类土壤污染物的环境风险评价筛选值等评价标准，地块内土壤超标的污染物为苯、甲苯、乙苯。

参考《地下水质量标准(GB/T14848-2017)》中的IV类水质等评价标准,地块内地下水超标的污染物有:苯、甲苯、乙苯、二甲苯(总量)、1,2-二氯丙烷、氯苯、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷和四氯乙烯。

土壤中苯最大超标4.4倍、甲苯最大超标0.2倍、乙苯最大超标9倍;地下水中苯最大超标609.2倍、甲苯最大超标202.5倍、乙苯最大超标30.2倍、二甲苯(总量)最大超标31.5倍、氯乙烯最大超标10.1倍、1,1-二氯乙烯最大超标0.6倍、顺-1,2-二氯乙烯最大超标4.2倍、1,2-二氯乙烷最大超标26.3倍、三氯乙烯最大超标0.9倍、1,1,2-三氯乙烷最大超标15.4倍、四氯乙烯最大超标4.9倍,1,2-二氯丙烷最大超标0.5倍,氯苯最大超标0.7倍。

土壤中超标的区域主要是粉剂成品库、煤场(堆场)区域、氟乐灵(乐果复配)车间、乐果合成车间以及污水处理区。地下水超标区域主要是粉剂成品库、煤场(堆场)区域、精喹闲置车间、氟乐灵(乐果复配)车间以及污水处理区等区域。土壤和地下水全部超标点位图见下图2.4.5-3所示,土壤污染超标情况统计表见下表2.4.5-1所示,地下水污染超标情况统计表见下表2.4.5-2所示。

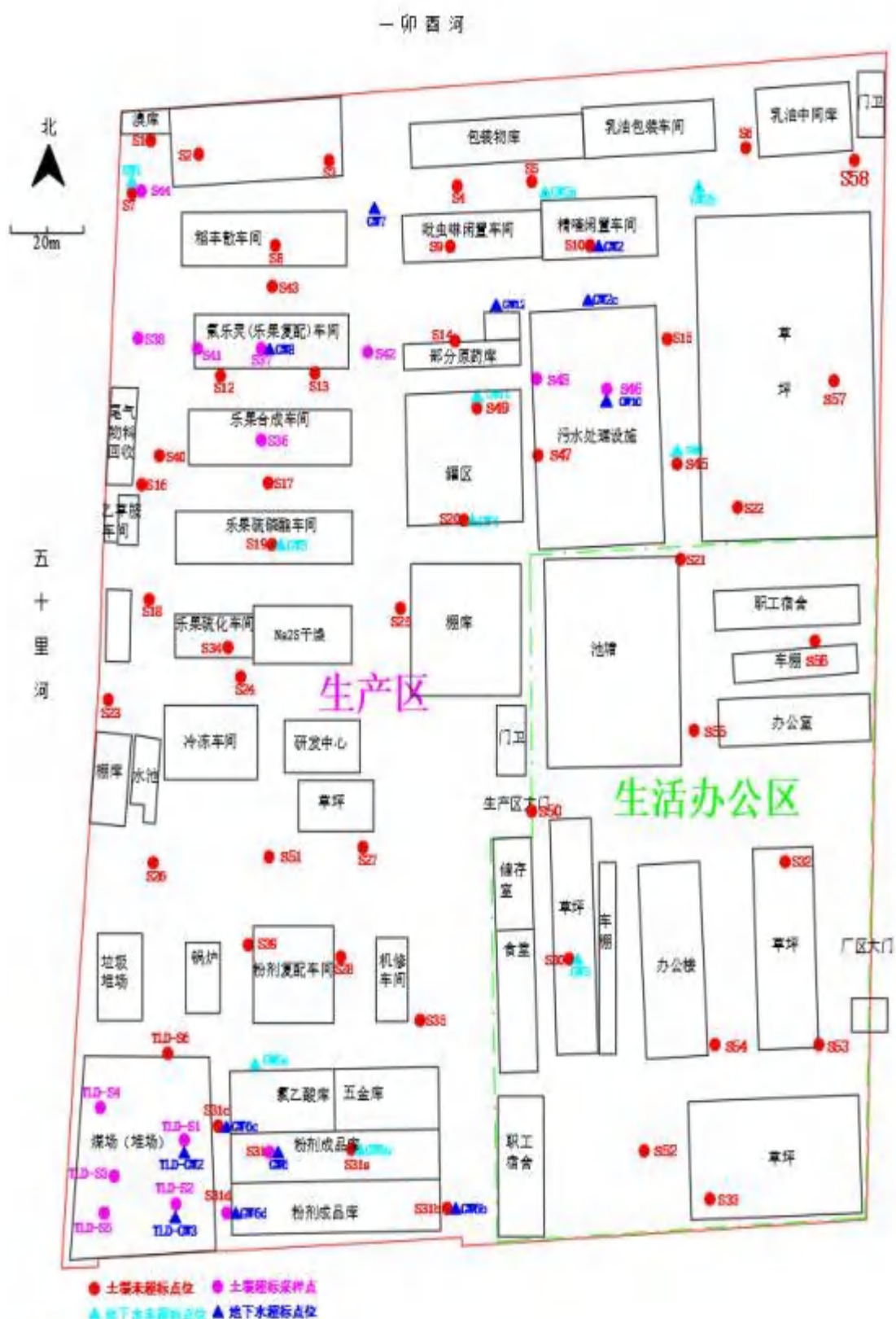


图2.4.5-3 地块内土壤及地下水全部超标点位图

表2.4.5-1 土壤污染超标情况统计表

污染物名称	筛选值(mg/kg)	筛选值出处	超标点位	样品采样深度(m)	检出值(mg/kg)	超标倍数
苯	4	GB36600-2018	S31	4.3-4.5	8.55	1.1
			S31d	4.3-4.5	6.04	0.5
			TLD-S2	5.8-6.0	4.53	0.1
			TLD-S3	5.8-6.0	10.1	1.5
			TLD-S4	1.3- 1.5	12.3	2.1
				2.8-3.0	9.28	1.3
			TLD-S5	1.3- 1.5	4.59	0.1
			S36	0.3-0.5	9.48	1.4
			S37	0.3-0.5	21.7	4.4
				0.8- 1.0	14	2.5
				1.3- 1.5	5.81	0.5
				2.3-2.5	4.78	0.2
				2.8-3.0	8.19	1.0
			S44	1.3- 1.5	7.47	0.9
				1.8-2.0	7.86	1.0
				2.3-2.5	5.95	0.5
				3.8-4.0	12.2	2.1
				4.8-5.0	17	3.3
			S46	2.3-2.5	8.07	1.0
			S48	3.8-4.0	6.13	0.53
甲苯	1200	GB36600-2018	S36	0.3-0.5	1430	0.2

污染物名称	筛选值(mg/kg)	筛选值出处	超标点位	样品采样深度(m)	检出值(mg/kg)	超标倍数
乙苯	28	GB36600-208	TLD-S1	2.8-3.0	34.1	0.2
			TLD-S2	1.8-2.0	33.1	0.2
				2.8-3.0	29.4	0.1
			TLD-S3	1.3- 1.5	47.3	0.7
				5.8-6.0	125	3.5
			TLD-S4	1.3- 1.5	161	4.8
				2.8-3.0	151	4.4
			TLD-S5	1.3- 1.5	202	6.2
				2.8-3.0	157	4.6
			S37	0.3-0.5	127	3.5
				0.8- 1.0	205	6.3
				1.3- 1.5	36.41	0.3
			S38	0.8- 1.0	173	5.2
				1.3- 1.5	207	6.4
				1.8-2.0	39.4	0.4
				2.3-2.5	35.78	0.3
				2.8-3.0	280	9
				3.8-4.0	80.5	1.9
			S41	0.8- 1.0	36.2	0.3
				1.3- 1.5	36.5	0.3
			S42	0.3-0.5	31.7	0.1
				0.8- 1.0	82.2	1.9
			S44	0.3-0.5	54.3	0.9
				0.8- 1.0	90.7	2.2
				1.3- 1.5	29.7	0.1
				1.8-2.0	53.7	0.9

表2.4.5-2 地下水污染超标情况统计表

污染物名称	评价标准 (μg/L)	评价标准出处	超标点位	检出值(μg/L)	超标倍数
苯	120	GB/T14848-2017	GW2	2420	19.2
			GW2c	162	0.4
			GW6	17100	141.5
			GW6b	124	0.03
			GW6c	127	0.06
			GW6d	195	0.6
			TLD-GW2	5390	43.9
			TLD-GW3	3960	32
			GW7	4840	39.3
			GW8	36200	300.7
			GW10	5740	46.8
			GW12	73100	609.2
甲苯	1400	GB/T14848-2017	GW6	3060	1.2
			TLD-GW2	5570	3
			TLD-GW3	3580	1.6
			GW8	69500	48.6
			GW10	13100	8.4
			GW12	285000	202.5
乙苯	600	GB/T14848-2017	GW6	4710	6.9
			TLD-GW2	653	0.1
			TLD-GW3	10100	15.8
			GW7	1900	2.2
			GW8	18700	30.2

			GW10	5770	8.6
			GW12	10900	18.2
污染物名称	评价标准 (μg/L)	评价标准出处	超标点位	检出值(μg/L)	超标倍数
二甲苯	1000	GB/T14848-2017	GW6	8490	7.5
			TLD-GW2	1700	0.7
			TLD-GW3	32490	31.5
			GW10	2230	1.2
			GW12	3700	2.7
1,1-二氯乙烯	60	GB/T14848-2017	GW2	97.6	0.6
氯乙烯	90	GB/T14848-2017	GW2	1000	10.1
1,2-顺式-二氯乙烯	60	GB/T14848-2017	GW2	95	0.6
			TLD-GW3	309	4.2
1,2-二氯乙烷	40	GB/T14848-2017	GW2	1090	26.3
			TLD-GW3	169	3.2
三氯乙烯	210	GB/T14848-2017	GW2	409	0.9
			TLD-GW3	348	0.7
1,1,2-三氯乙烷	60	GB/T14848-2017	GW2	981	15.4
四氯乙烯	300	GB/T14848-2017	GW2	1780	4.9
1,2-二氯丙烷	60	GB/T14848-2017	GW10	91.8	0.5
氯苯	600	GB/T14848-2017	GW12	1010	0.7

2.5 地块污染风险

根据地块风险评估报告结论，本地块土壤和地下水检测结果，地块内土壤中超标的污染物为苯、甲苯、乙苯，地下水中超标的污染物为苯、甲苯、乙苯、二甲苯(总量)、1,2-二氯丙烷、氯苯、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷和四氯乙烯。经过计算，土壤和地下水中污染物的致癌风险和危害商计算结果如下表2.5-1所示。

表2.5-1 土壤和地下水中超标污染物致癌风险和危害商计算结果

土壤			
污染物	最大值(mg/kg)	致癌风险	危害商
苯	21.7	3.06E-06	1.21E-01
甲苯	1430	-	8.70E-02
乙苯	280	5.15E-06	2.42E-02
地下水			
污染物	最大值(μg/L)	致癌风险	危害商
苯	73100	2.28E-05	8.99E-01
甲苯	69500	-	5.25E-03
乙苯	18700	1.98E-06	7.31E-03
二甲苯	32490	-	1.09E-01
1,1-二氯乙烯	97.6	-	7.45E-04
氯乙烯	1000	9.56E-07	2.00E-02
1,2-顺式-二氯乙烯	309	-	1.44E-03
1,2-二氯乙烷	1090	2.77E-07	1.40E-02
三氯乙烯	409	8.90E-08	1.00E-01
1,1,2-三氯乙烷	981	8.80E-08	2.53E-01
四氯乙烯	1780	3.16E-08	2.80E-02
1,2-二氯丙烷	91.8	6.17E-08	3.84E-03
氯苯	1010	-	3.63E-03

由上表可知，该地块土壤中的苯和乙苯的致癌风险均超过了 10^{-6} ，说明这两种物质风险水平超过了人体可接受风险水平，需采取风险管控或修复措施。另外，甲苯的最大浓度(1430mg/kg)超过了《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中的第二类用地管制值(1200mg/kg)，因此，同样需采取风险管控或修复措施。

该地块地下水中苯和乙苯的致癌风险均超过了 10^{-6} ，说明这2种物质风险水平超过了人体可接受风险水平，需采取风险管控或修复措施。另外，考虑地块周边环境敏感点较多，地块西侧和北侧各紧邻河流，且一卵西河的地表水环境功能区

划为农业用水，因此地块内地下水中其余超标的污染物同样考虑采取风险管控或修复措施。

3 地块修复模式

3.1 确认地块条件

1、依据前期土壤污染状况调查和风险评估资料可知，调查地块土壤中苯、甲苯、乙苯；地下水中苯、甲苯、乙苯、二甲苯（总量）、1,2-二氯丙烷、氯苯、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷和四氯乙烯需要开展风险管控措施，主要为挥发性有机物污染物。

2、根据现场实际勘查情况及与业主要求，地块内地面构筑物基本不拆除，保持现有地块原貌。因此，在土壤和地下水的修复范围内的地面上仍有建筑物。

3、地块内的地下水修复范围22068.2m²，其中水土复合修复面积2472.5m²，且存在部分地下水监测点位的污染比较严重。

4、地块内土壤和地下水污染范围在西侧厂区边界，为防止污染物扩散和迁移到厂区外，针对此种情况，建议采取有效合理的阻隔措施。

5、在修复达标的原则下，合理控制修复成本，尽快实施土壤修复工程；尽在320日历天内完成修复，达到地下水达标初判期。

3.2 地块修复目标

根据《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤污染状况风险评估报告》结论，本地块最终确定的土壤和地下水污染物风险控制值作为地块内土壤和地下水的修复目标值。土壤和地下水修复目标值见下表3.2-1所示和表3.2-2所示。

表3.2-1 土壤修复目标值(单位: mg/kg)

污染物名称	修复目标值	出处
苯	7.1	风险评估计算
甲苯	1200	GB36600-2018二类筛选值
乙苯	54.4	风险评估计算

表3.2-2 地下水修复目标值(单位: µg/L)

污染物名称	修复目标值	出处
苯	120	GB/T14848-2017 IV类
甲苯	1400	GB/T14848-2017 IV类
乙苯	600	GB/T14848-2017 IV类
二甲苯	1000	GB/T14848-2017 IV类
1,1-二氯乙烯	60	GB/T14848-2017 IV类
氯乙烯	90	GB/T14848-2017 IV类
1,2-顺式-二氯乙烯	60	GB/T14848-2017 IV类
1,2-二氯乙烷	40	GB/T14848-2017 IV类

污染物名称	修复目标值	出处
三氯乙烯	210	GB/T14848-2017 IV类
1,1,2-三氯乙烷	60	GB/T14848-2017 IV类
四氯乙烯	300	GB/T14848-2017 IV类
1,2-二氯丙烷	60	GB/T14848-2017 IV类
氯苯	600	GB/T14848-2017 IV类

3.3 地块修复范围

3.3.1 土壤修复范围

3.3.1.1 土壤中污染物超过风险控制值情况

根据《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤污染状况风险评估报告》结论，地块内土壤污染物超过风险控制值情况如表3.3.1-1所示。

表3.3.1-1 土壤中污染物超过风险控制值情况统计

污染物名称	风险控制值 (mg/kg)	超标点位	样品采样深度 (m)	检出值 (mg/kg)	超标倍数
苯	7.1	S31	4.3-4.5	8.55	0.2
		TLD-S3	5.8-6.0	10.1	0.4
		TLD-S4	1.3-1.5	12.3	0.7
			2.8-3.0	9.28	0.3
		S36	0.3-0.5	9.48	0.3
			0.3-0.5	21.7	2.1
		S37	0.8-1.0	14	1.0
			2.8-3.0	8.19	0.2
			1.3-1.5	7.47	0.1
		S44	1.8-2.0	7.86	0.1
			3.8-4.0	12.2	0.7
			4.8-5.0	17	1.4
甲苯	1200	S46	2.3-2.5	8.07	0.1
		S36	0.3-0.5	1430	0.2
乙苯	54.4	TLD-S3	5.8-6.0	125	1.3
		TLD-S4	1.3-1.5	161	2.0
			2.8-3.0	151	1.8
		TLD-S5	1.3-1.5	202	2.7
			2.8-3.0	157	1.9
		S37	0.3-0.5	127	1.3
			0.8-1.0	205	2.8
		S38	0.8-1.0	173	2.2
			1.3-1.5	207	2.8
			2.8-3.0	280	4.1

污染物名称	风险控制值 (mg/kg)	超标点位	样品采样深度 (m)	检出值 (mg/kg)	超标倍数
			3.8-4.0	80.5	0.5
		S42	0.8-1.0	82.2	0.5
		S44	0.8-1.0	90.7	0.7

3.3.1.2 土壤分层修复范围

在对各种目标污染物在不同土壤深度的修复范围进行模拟后，项目组对各个土壤深度中不同污染物修复范围进行了复合叠加，对修复范围进行了绘制，并对修复范围拐点坐标进行了提取（为方便后期修复工程实施，对叠加的复合污染范围曲线进行了取直处理，形成的不规则多边形包含模拟出的修复范围）。

1、土壤0-0.5m深度修复范围

土壤0-0.5m深度修复面积为609m²，如图3.3.1-1所示，拐点坐标如表3.3.1-2所示。

表3.3.1-2 土壤深度0~0.5m复合修复范围面积和拐点坐标

修复区域	面积（m ² ）	拐点编号	X	Y
A-0-0.5m	609	A-0-0.5m-1	3666155.5748	539092.5380
		A-0-0.5m-2	3666155.1580	539106.9669
		A-0-0.5m-3	3666144.6543	539111.3039
		A-0-0.5m-4	3666120.3959	539103.0469
		A-0-0.5m-5	3666120.7293	539092.7882
		A-0-0.5m-6	3666141.4032	539089.8690
		A-0-0.5m-7	3666149.9895	539086.6162

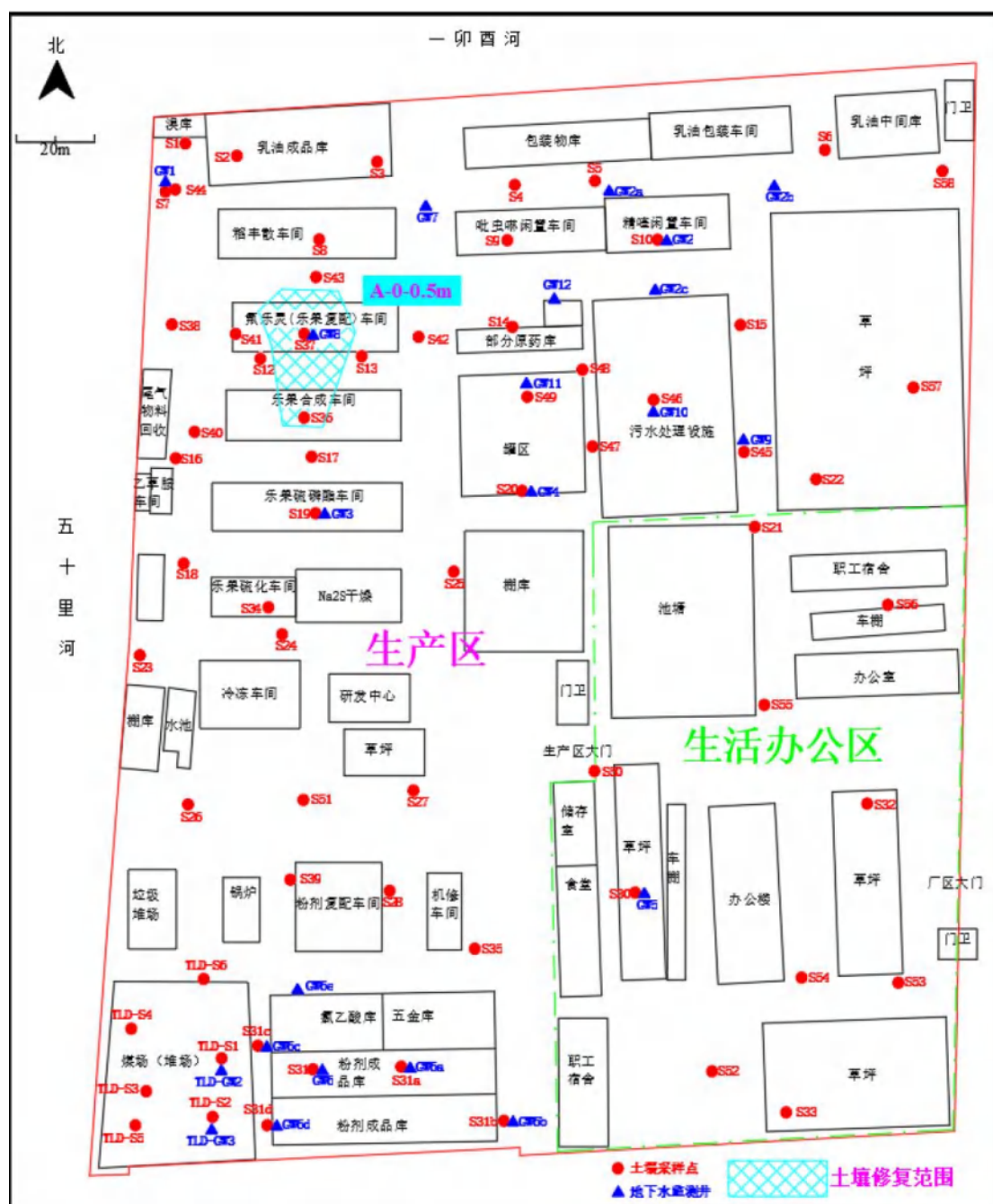


图3.3.1-1 土壤深度0~0.5m复合修复范围

2、土壤0.5-1.0m深度修复范围

土壤0.5-1.0m深度修复范围分为A-0.5-1.0m和B-0.5-1.0m范围，修复面积分别为1736.6m²和180.6m²，总面积为1917.2m²，如图3.3.1-2所示，拐点坐标如表3.3.1-3所示。

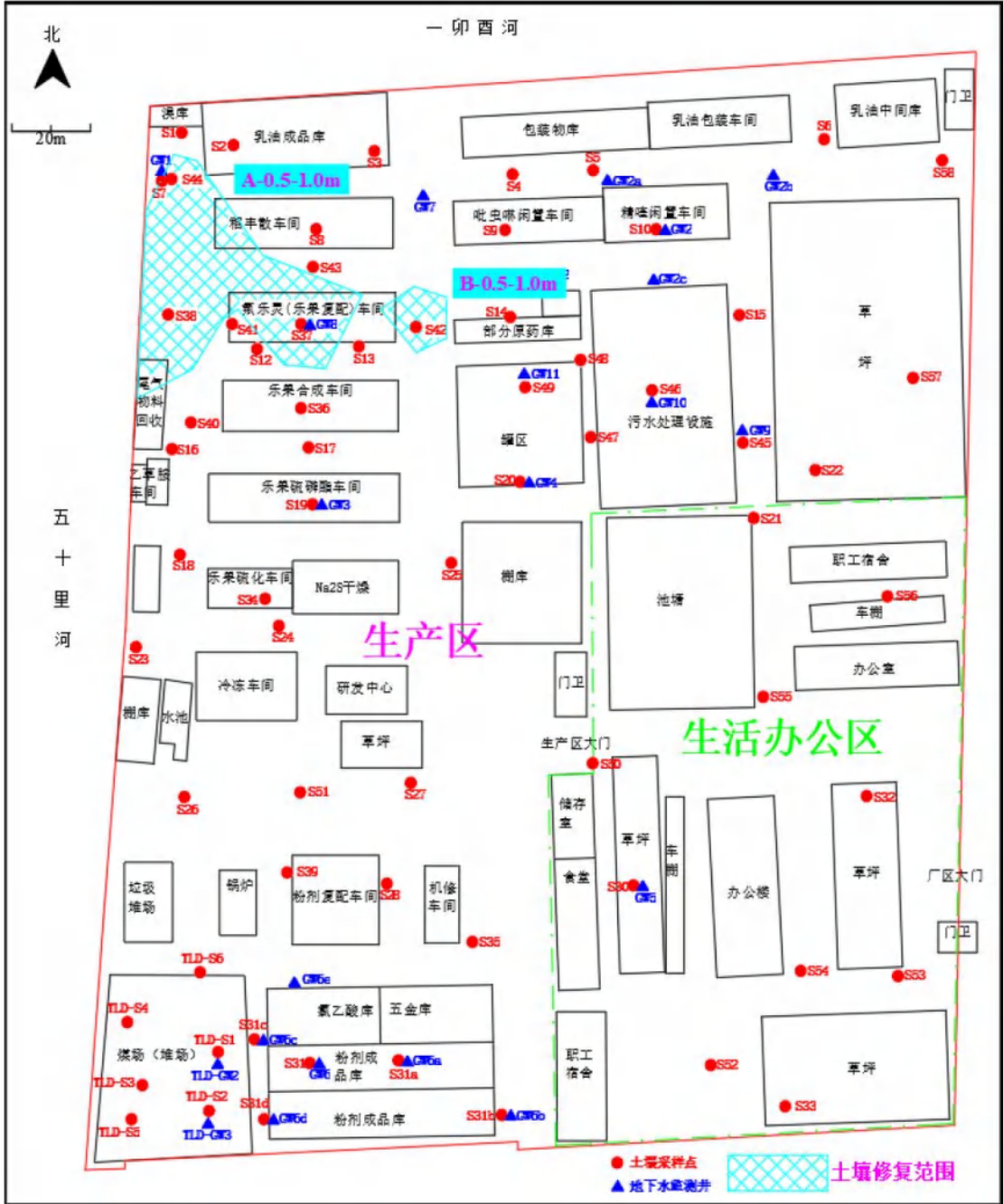


图3.3.1-2 土壤深度0.5-1.0m复合修复范围

表3.3.1-3 土壤深度0.5~1.0m复合修复范围面积和拐点坐标

修复区域	面积（m ² ）	拐点编号	X	Y
A-0.5-1.0m	1736.6	A-0.5-1.0m-1	3666173.3072	539059.0152
		A-0.5-1.0m-2	3666187.3247	539065.9909
		A-0.5-1.0m-3	3666185.7028	539071.8534
		A-0.5-1.0m-4	3666161.7414	539088.4988
		A-0.5-1.0m-5	3666151.6310	539113.8395
		A-0.5-1.0m-6	3666132.7967	539104.4699
		A-0.5-1.0m-7	3666133.8430	539093.8964
		A-0.5-1.0m-8	3666147.9164	539082.2760

修复区域	面积 (m ²)	拐点编号	X	Y
		A-0.5-1.0m-9	3666145.3529	539078.4025
		A-0.5-1.0m-10	3666132.6920	539070.6557
		A-0.5-1.0m-11	3666125.2528	539056.6195
B-0.5-1.0m	180.6	B-0.5-1.0m-1	3666153.6959	539126.9381
		B-0.5-1.0m-2	3666151.0211	539135.2343
		B-0.5-1.0m-3	3666140.5893	539135.2343
		B-0.5-1.0m-4	3666136.9783	539127.6072
		B-0.5-1.0m-5	3666147.9451	539118.5083

3、土壤1.0-1.5m深度修复范围

土壤0.5-1.0m深度修复范围分为A-1.0-1.5m和B-1.0-1.5m范围，修复面积分别为20.5m²和998.1m²，总面积为1018.7m²，如图3.3.1-3所示，拐点坐标如表3.3.1-4所示。

表3.3.1-4 土壤深度1.0~1.5m复合修复范围各区域面积和拐点坐标

修复区域	面积 (m ²)	拐点编号	X	Y
A-1.0-1.5m	20.5	A-1.0-1.5m-1	3666184.5550	539065.7736
		A-1.0-1.5m-2	3666184.6079	539069.5348
		A-1.0-1.5m-3	3666179.2073	539069.4289
		A-1.0-1.5m-4	3666179.2602	539065.5088
B-1.0-1.5m	998.1	B-1.0-1.5m-1	3666173.4046	539059.0075
		B-1.0-1.5m-2	3666172.4858	539073.1533
		B-1.0-1.5m-3	3666164.6511	539081.9806
		B-1.0-1.5m-4	3666155.6996	539084.5347
		B-1.0-1.5m-5	3666131.7012	539074.1264
		B-1.0-1.5m-6	3666120.7528	539056.1950

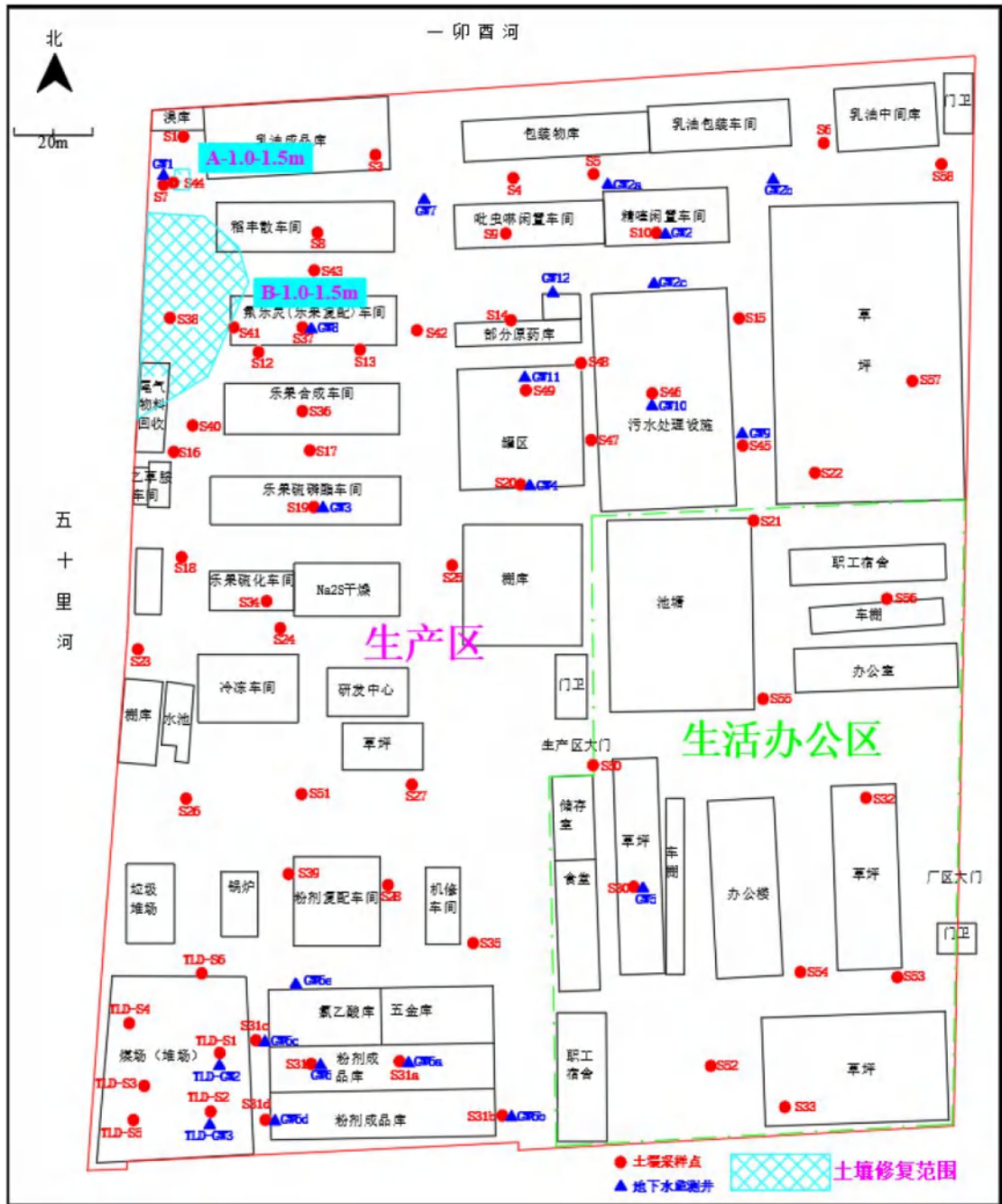


图3.3.1-3 土壤深度1.0~1.5m 复合修复范围

4、土壤1.5-2.0m深度修复范围

土壤1.5-2.0m深度修复范围为A-1.5-2.0m范围，修复面积为41.8m²，如图3.3.1-4所示，拐点坐标如表3.3.1-5所示。



图3.3.1-4 土壤深度1.5~2.0m复合修复范围

表3.3.1-5 土壤深度1.5-2.0m复合修复范围各区域面积和拐点坐标

修复区域	面积（m2）	拐点编号	X	Y
A-1.5-2.0m	41.8	A-1.5-2.0m-1	3666185.2046	539064.5691
		A-1.5-2.0m-2	3666185.2046	539071.1981
		A-1.5-2.0m-3	3666178.8995	539071.1981
		A-1.5-2.0m-4	3666178.8995	539064.5691

5、土壤2.0-2.5m深度修复范围

土壤2.0-2.5m深度修复范围为A-2.0-2.5m范围，修复面积为41.9m²，如图3.3.1-5所示，拐点坐标如表3.3.1-6所示。

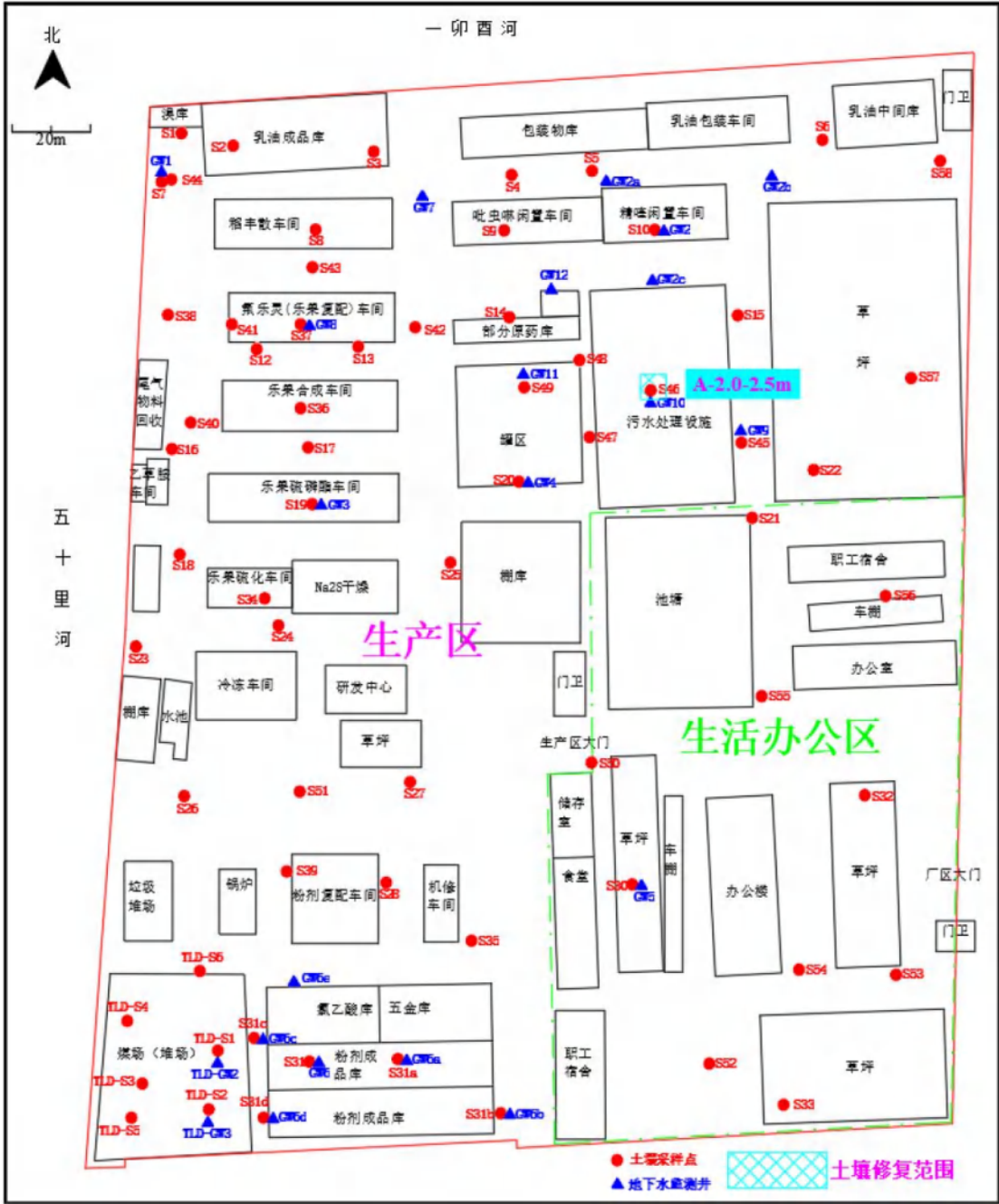


图3.3.1-5 土壤深度2.0~2.5m复合修复范围

表3.3.1-6 土壤深度2.0-2.5m复合修复范围各区域面积和拐点坐标

修复区域	面积（m2）	拐点编号	X	Y
A-2.0~2.5m	41.9	A-2.0~2.5m-1	3666131.3897	539184.8596
		A-2.0~2.5m-2	3666131.3897	539191.4115
		A-2.0~2.5m-3	3666125.0022	539191.4115
		A-2.0~2.5m-4	3666125.0022	539184.8596

6、土壤2.5-3.5m深度修复范围



表3.3.1-7 土壤深度2.5-3.5m复合修复范围各区域面积和拐点坐标

修复区域	面积 (m ²)	拐点编号	X	Y
A-2.5-3.5m	1007.6	A-2.5-3.5m-1	3666175.0811	539058.8635
		A-2.5-3.5m-2	3666170.2729	539076.0924
		A-2.5-3.5m-3	3666158.8425	539082.6080
		A-2.5-3.5m-4	3666131.4777	539075.2714
		A-2.5-3.5m-5	3666116.7934	539056.0117
B-2.5-3.5m	45.4	B-2.5-3.5m-1	3666148.3072	539095.5240
		B-2.5-3.5m-2	3666148.3072	539102.5415
		B-2.5-3.5m-3	3666141.8434	539102.5415
		B-2.5-3.5m-4	3666141.8434	539095.5240

7、土壤3.5-4.5m深度修复范围

土壤3.5-4.5m深度修复范围分为A-3.5-4.5m、B-3.5-4.5m和C-3.5-4.5m范围，修复面积分别为89.4m²、196 m²和93.8m²，总面积为379.2m²，如图3.3.1-7所示，拐点坐标如表3.3.1-8所示。

表3.3.1-8 土壤深度3.4-4.5m复合修复范围各区域面积和拐点坐标

修复区域	面积 (m ²)	拐点编号	X	Y
A-3.5-4.5m	89.4	A-3.5-4.5m-1	3666186.7414	539064.5968
		A-3.5-4.5m-2	3666186.7414	539073.3414
		A-3.5-4.5m-3	3666176.5154	539073.3414
		A-3.5-4.5m-4	3666176.5154	539064.5968
B-3.5-4.5m	196	B-3.5-4.5m-1	3666158.0710	539058.1031
		B-3.5-4.5m-2	3666157.5582	539066.1075
		B-3.5-4.5m-3	3666149.7628	539069.9046
		B-3.5-4.5m-4	3666140.3606	539067.2364
		B-3.5-4.5m-5	3666138.4230	539057.0420
C-3.5-4.5m	93.8	C-3.5-4.5m-1	3665959.3893	539096.7396
		C-3.5-4.5m-2	3665959.3893	539104.8999
		C-3.5-4.5m-3	3665947.9005	539104.8999
		C-3.5-4.5m-4	3665947.9005	539096.7396

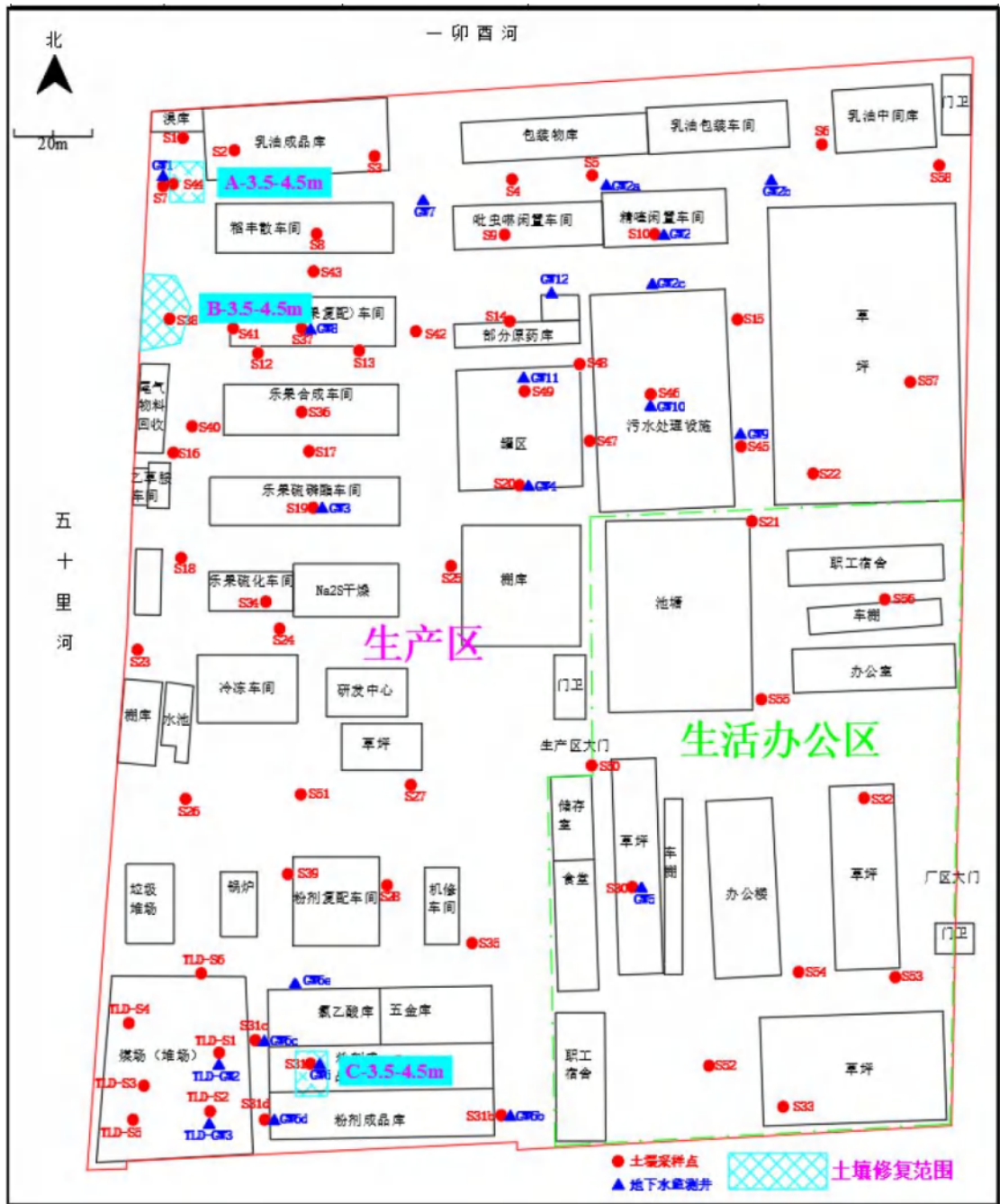


图3.3.1-7 土壤深度3.5-4.5m复合修复范围

8、土壤4.5-5.5m深度修复范围

土壤4.5-5.5m深度修复范围为A-4.5-5.5m，修复面积为241.9m²，如图3.3.1-8所示，拐点坐标如表3.3.1-9所示。

表3.3.1-9 土壤深度4.5-5.5m复合修复范围各区域面积和拐点坐标

修复区域	面积（m2）	拐点编号	X	Y
A-4.5-5.5m	241.9	A-4.5-5.5m-1	3666177.2764	539081.6346
		A-4.5-5.5m-2	3666168.8546	539070.0254
		A-4.5-5.5m-3	3666182.5057	539060.1223
		A-4.5-5.5m-4	3666190.9275	539071.7315

图3.3.1-8 土壤深度4.5-5.5m复合修复范围

土壤4.5-5.5m深度修复范围为A-5.5-7.5m，修复面积为913.2 m²，如图3.3.1-9所示，拐点坐标如表3.3.1-10所示。

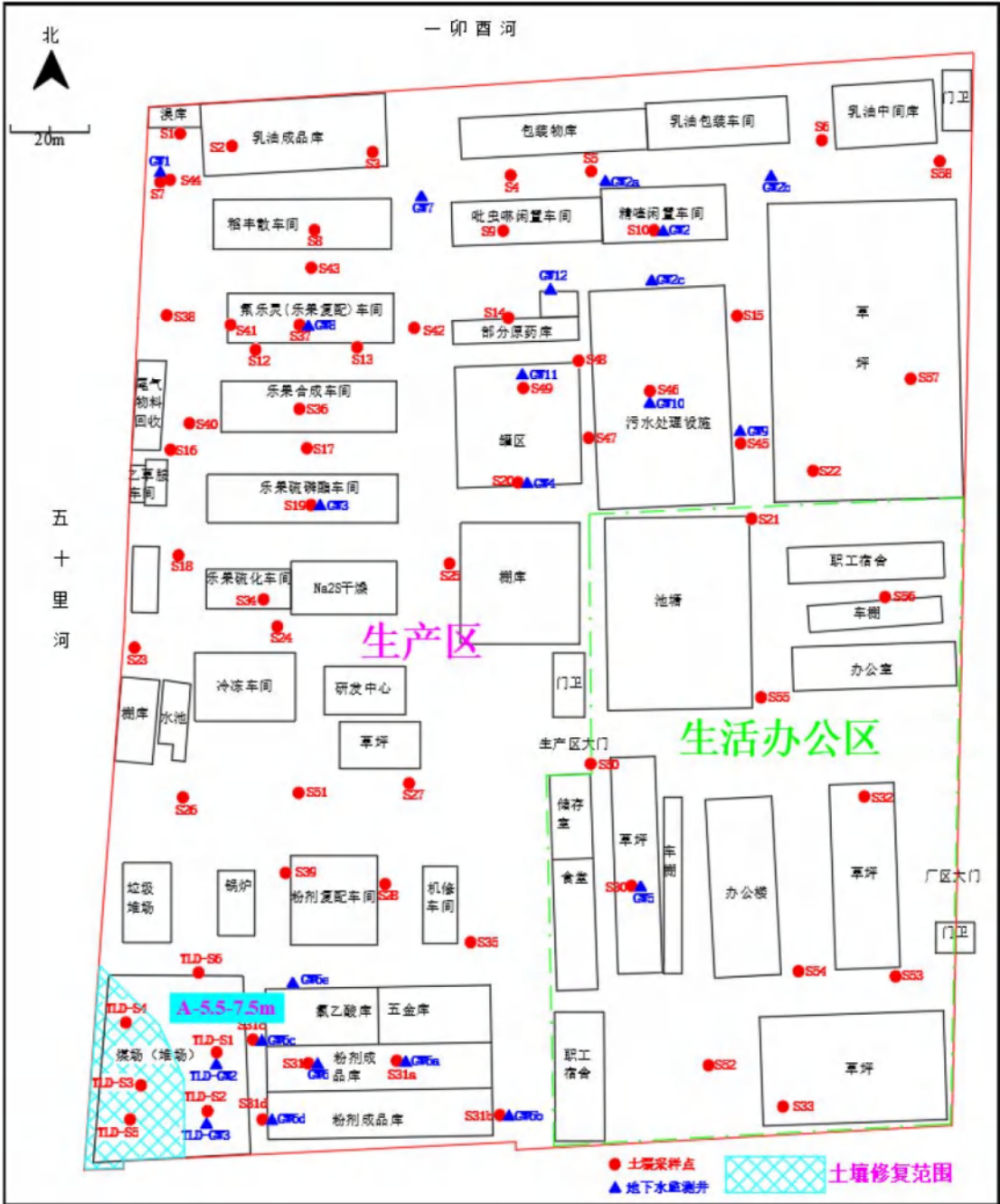


图3.3.1-9 土壤深度5.5-7.5m复合修复范围

表3.3.1-10 土壤深度5.5-7.5m复合修复范围各区域面积和拐点坐标

修复区域	面积（m ² ）	拐点编号	X	Y
A-5.5-7.5m	913.2	A-5.5-7.5m-1	3665980.9568	539047.4844
		A-5.5-7.5m-2	3665965.9732	539062.5388
		A-5.5-7.5m-3	3665952.2687	539068.8416
		A-5.5-7.5m-4	3665932.3023	539069.0490
		A-5.5-7.5m-5	3665931.4717	539053.3923
		A-5.5-7.5m-6	3665929.4614	539053.3923
		A-5.5-7.5m-7	3665929.2452	539043.6597

10、堆场土壤修复方量

对于堆场区域的堆土，根据对土壤中超过风险控制值情况的统计可以看出，堆土上所采集的全部样品（土壤点位TLD-S4和TLD-S5）污染物含量均超过了风险控制值。从保守估计的角度，堆土的土壤（约2000m³）需要全部进行修复。

3.3.1.3 土壤修复范围统计

参照土壤复合污染模拟范围，地块内土壤修复方量匡算结果如表3.3.1-11所示。

表3.3.1-11 土壤修复方量匡算结果

深度（m）	面积（m ² ）	土方量(m ³)
0~0.5	609	304.5
0.5~1.0	1917.2	958.6
1.0~1.5	1018.6	509.3
1.5~2.0	41.8	20.9
2.0~2.5	41.9	20.95
2.5~3.5	1053	1053
3.5~4.5	379.2	379.2
4.5~5.5	241.9	241.9
5.5~7.5	913.2	1826.4
堆场区域的堆土		2000
总计土方量(m ³)		7314.75

3.3.2 地下水修复范围

3.3.2.1 地下中污染物超过风险控制值情况

根据《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤污染状况风险评估报告》结论，地块内地下水污染物超过风险控制值情况如表3.3.2-1所示。

表3.3.2-1 地下水中污染物超过风险控制值情况统计（单位：μg/L）

污染物名称	风险控制值	超标点位	检出值	超标倍数
苯	120	GW2	2420	9.2
		GW2c	162	0.4
		GW6	17100	141.5
		GW6b	124	0.03
		GW6c	127	0.06
		GW6d	195	0.6
		TLD-GW2	5390	43.9
		TLD-GW3	3960	32
		GW7	4840	39.3
		GW8	36200	300.7
		GW10	5740	46.8
		GW12	73100	609.2
甲苯	1400	GW6	3060	1.2

污染物名称	风险控制值	超标点位	检出值	超标倍数
		TLD-GW2	5570	3
		TLD-GW3	3580	1.6
		GW8	69500	48.6
		GW10	13100	8.4
		GW12	285000	202.5
乙苯	600	GW6	4710	6.9
		TLD-GW2	653	0.1
		TLD-GW3	10100	15.8
		GW7	1900	2.2
		GW8	18700	30.2
		GW10	5770	8.6
		GW12	10900	18.2
二甲苯	1000	GW6	8490	7.5
		TLD-GW2	1700	0.7
		TLD-GW3	32490	31.5
		GW10	2230	1.2
		GW12	3700	1.2
1,1-二氯乙烯	60	GW2	97.6	0.6
氯乙烯	90	GW2	1000	10.1
1,2-顺式-二氯乙烯	60	GW2	95	0.6
		TLD-GW3	309	4.2
1,2-二氯乙烷	40	GW2	1090	26.3
		TLD-GW3	169	3.2
三氯乙烯	210	GW2	409	0.9
		TLD-GW3	348	0.7
1,1,2-三氯乙烷	60	GW2	981	15.4
四氯乙烯	300	GW2	1780	4.9
1,2-二氯丙烷	60	GW10	91.8	0.5
氯苯	600	GW12	1010	0.7

3.3.2.2 地下水修复范围

根据地下水污染物检测数据，利用surfer12对地下水中各修复目标污染物修复范围进行模拟。利用克里金插值法，通过将污染物浓度值或插值结果同修复目标值进行比较，初步确定修复边界。

在对地下水中各个修复目标污染物的修复范围进行模拟后，对各种目标污染物的修复范围进行了复合叠加，对修复范围进行了绘制，并对修复范围拐点坐标进行了提取（为方便后期修复工程实施，对叠加的复合污染范围曲线进行了取直

处理，形成的不规则多边形包含模拟出的修复范围）。根据各修复范围的叠加，地块内地下水修复范围总面积为22068.2m²，其中水土复合修复面积2472.5m²。污染地下水修复范围区域分为A区域和B区域，其中A区域面积为16467.5m²，B区域面积为5600.7m²，地块内地下水修复范围总面积为22068.2m²，地下水修复范围如图3.3.2-1所示。地下水复合修复范围各区域面积和拐点坐标如表3.2.2-2所示。

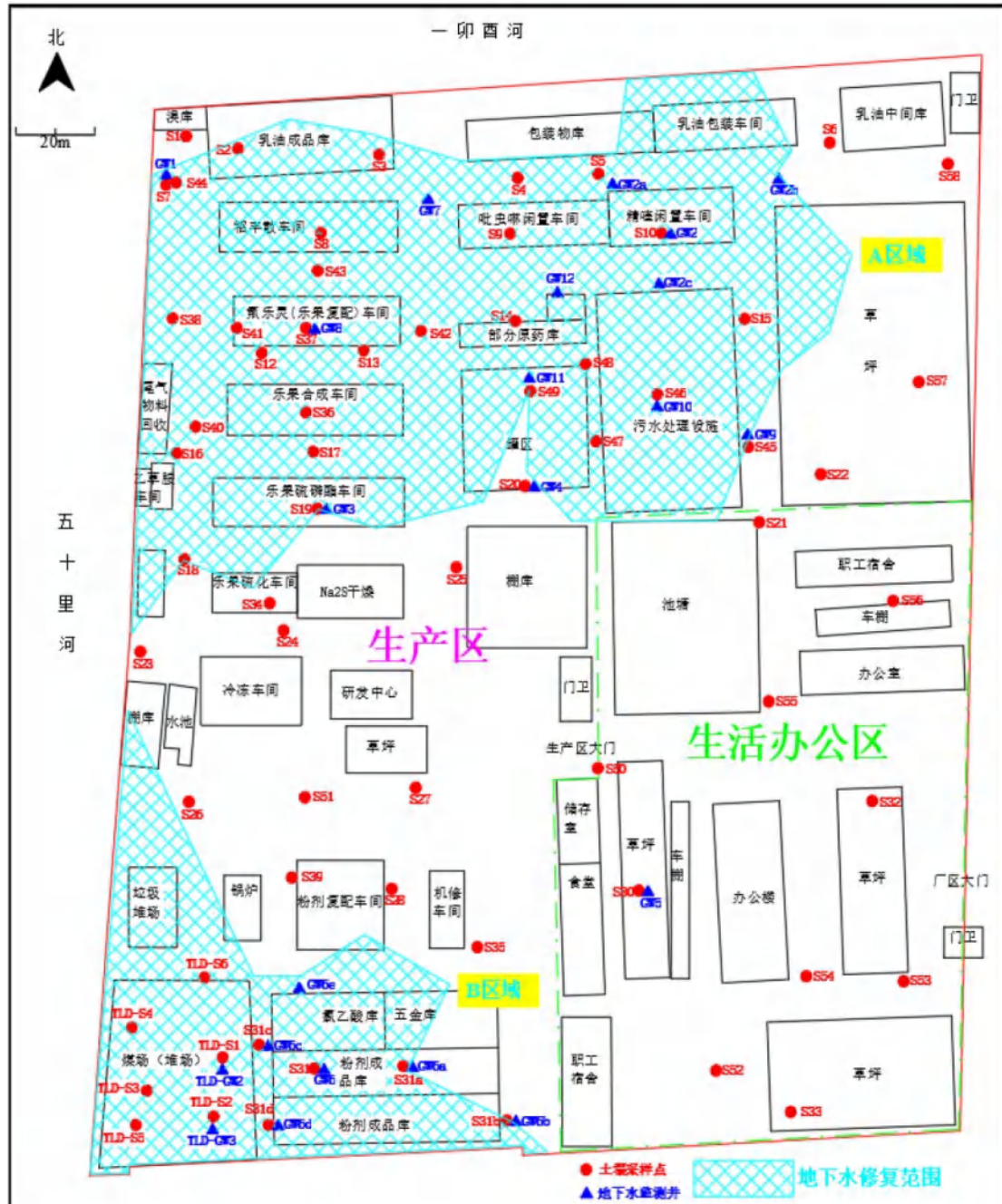


图 3.3.2-1 地下水复合修复范围

表3.3.2-2 地下水复合修复范围各区域面积和拐点坐标

修复区域	面积 (m ²)	拐点编号	X	Y
A 区域	16467.5	A-1	3666183.0017	539059.3903
		A-2	3666197.1353	539094.0543
		A-3	3666193.4675	539114.4240
		A-4	3666186.5799	539137.6680
		A-5	3666188.6359	539177.2650
		A-6	3666207.2531	539179.8470
		A-7	3666209.1681	539211.8802
		A-8	3666189.1023	539221.5630
		A-9	3666183.5535	539217.7544
		A-10	3666162.9069	539236.8170
		A-11	3666143.0863	539231.0332
		A-12	3666133.5889	539219.0524
		A-13	3666118.4760	539211.5631
		A-14	3666095.1867	539202.4742
		A-15	3666095.1867	539165.7882
		A-16	3666107.7398	539154.3858
		A-17	3666128.3863	539155.0468
		A-18	3666100.1419	539143.3139
		A-19	3666093.3699	539116.2124
		A-20	3666098.1599	539101.5050
		A-21	3666078.1740	539084.9798
		A-22	3666085.1113	539067.2977
		A-23	3666066.7718	539054.1993
B区域	5600.7	B-1	3666046.9768	539053.1678
		B-2	3665979.5426	539085.0669
		B-3	3665979.5426	539096.7814
		B-4	3665990.0805	539113.1818
		B-5	3665977.5353	539134.7701
		B-6	3665955.6230	539124.0596
		B-7	3665942.3874	539151.1829
		B-8	3665934.9956	539159.5959
		B-9	3665934.7987	539153.8845
		B-10	3665936.6360	539153.6876
		B-11	3665931.7649	539053.2914
		B-12	3665929.5246	539053.1595
		B-13	3665929.3929	539043.6666

场地水文地质条件，潜水位位于稳定水位至地下13.80~15.90m,平均14.45m，稳定水位平均1.0m，地下水修复深度设定为1.0~14.45m。土壤平均含水率为0.241，因此地下水修复方量预估为 $13.45 \times 22068.2 \times 0.241 = 71533\text{m}^3$ 。

3.4 地块修复模式确定

污染地块修复工程可考虑的基本修复模式主要包括三种：原位处理、原地异位处理、异地处理或处置。

1、原位处理

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

2、原地异位

原地异位处理是指将场地污染土壤进行清理，在场地范围内对土壤进行处理后，并在场地内资源化利用。修复工程基本在场地范围内完成，污染土壤在修复过程中以及修复结束后都不离开场地，可有效避免染污转移处理可能造成的二次污染。

3、异地处理

异地处理处置是指将场地内污染土壤进行挖掘清理，运至场地外的专门场所处理处置。与原位或原地处理相比，因涉及污染土壤的运输和处理，容易造成二次污染，必须在污染土壤转运、处理、处置的全过程进行严格监督，对管理上的要求较高。

本地块土壤和地下水主要污染物为挥发性有机物，污染深度较深，污染方量大。土壤和地下水修复工期较短，修复区域地面内的构筑物不进行拆除。综合考虑业主实际需求、资金问题、环境管理要求、时间成本、对周边情况环境影响等因素，本地块土壤修复建议选择原位处理模式（堆场区域土壤采用原地异位的修复模式）。地块土壤修复模式筛选情况见表3.4-1。

表3.4-1 土壤修复模式的影响因素分析

因素	修复模式		
	原位处理	原地异位	异地处理处置
场地清理时间	-	较短	较短
场地清理风险	较低	较高	较高
对客土的要求	不需要	-	可能需要
运输费用	无	低	较高
运输过程风险	无	低	较高
堆置费用	无	低	较高
堆置过程风险	-	低	较高
费用	较高	较低	较低
修复时间	较长	较短	较短
工程实施风险	较大	较小	较小
工程实施时间	较长	较短	短

4 修复技术筛选

4.1 土壤和地下水目标污染物特性

土壤中污染物为苯、甲苯、乙苯；地下水中为苯、甲苯、乙苯、二甲苯（总量）、1,2-二氯丙烷、氯苯、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷和四氯乙烯。目标污染物主要为挥发性有机物，且均对人体存在较高的健康危害，目标污染物污染特性如表4.1-1所示。

表4.1-1 土壤和地下水污染物特性

序号	污染物	危险性质	污染物理化性质
1	苯	健康危害: 高浓度苯对中枢神经系统有麻醉作用,引起急性中毒;长期接触苯对造血系统有损害,引起慢性中毒。 急性中毒:轻者有头痛、头晕、恶心、呕吐、轻度兴奋、步态蹒跚等酒醉状态;严重者发生昏迷、抽搐、血压下降,以致呼吸和循环衰竭。 慢性中毒:主要表现有神经衰弱综合征;造血系统改变:白细胞、血小板减少,重者出现再生障碍性贫血;少数病例在慢性中毒后可发生白血病(以急性粒细胞性为多见)。皮肤损害有脱脂、干燥、皲裂、皮炎。可致月经量增多与经期延长。 环境危害 对环境有危害,对水体可造成污染	无色具有芳香气味的液体。易挥发,易燃,有毒。密度(20/4℃)0.879g/cm³,熔点5.5℃,沸点80.1℃。 不溶于水,溶于乙醇、乙醚、氯仿、二硫化碳、冰醋酸、丙酮等有机溶剂。
2	甲苯	健康危害:对皮肤、粘膜有刺激性,对中枢神经系统有麻醉作用。 急性中毒:短时间内吸入较高浓度该品可出现眼及上呼吸道明显的刺激症状、眼结膜及咽部充血、头晕、头痛、恶心、呕吐、胸闷、四肢无力、步态蹒跚、意识模糊。重症者可有躁动、抽搐、昏迷。 慢性中毒:长期接触可发生神经衰弱综合征,肝肿大,女工月经异常等。皮肤干燥、皲裂、皮炎。 环境危害:对环境有严重危害,对空气、水环境及水源可造成污染。 燃爆危险:该品易燃,具刺激性。	外观与性状:无色透明液体,有类似苯的芳香气味。熔点(℃):-94.9。相对密度(水=1):0.87。沸点(℃):110.6。相对蒸气密度(空气=1):3.14。分子式:C₇H₈。分子量:92.14。饱和蒸气压(kPa):4.89(30℃) 溶解性:不溶于水,可混溶于苯、醇、醚等多数有机溶剂。

3	乙苯	健康危害: 本品对皮肤、粘膜有较强刺激性, 高浓度有麻醉作用。 急性中毒:轻度中毒有头晕、头痛、恶心、呕吐、步态蹒跚、轻度意识障碍及眼和上呼吸道刺激症状。重者发生昏迷、抽搐、血压下降及呼吸循环衰竭。可有肝损害。直接吸入本品液体可致化学性肺炎和肺水肿。 慢性影响:眼及上呼吸道刺激症状、神经衰弱综合征。皮肤出现粘糙、皴裂、脱皮。 急性毒性:LD50:3500 mg/kg(大鼠经口);5 g/kg(兔经皮)。 亚急性和慢性毒性:动物慢性毒性表现为肝肾及睾丸轻度损害。 环境危害 该物质对环境有危害, 由于其挥发性比较大, 在地表水体中的乙苯主要迁移过程是挥发和在空气中的光解,故生物富集量不多。	外观与性状: 无色液体, 有芳香气味; 熔点(°C): -94.9; 沸点(°C): 136.2 相对密度(水=1): 0.87; 相对蒸气密度(空气=1): 3.66; 饱和蒸气压(kPa): 1.33(25.9°C) 溶解性: 不溶于水, 可混溶于乙醇、醚等多数有机溶剂。分子结构数据乙苯由于苯环上连有乙基, 故使苯环活化, 比苯更容易发生化学反应。乙苯可以被硝化, 也能被磺化。和高锰酸钾反应, 产生苯甲酸。
4	二甲苯	健康危害: 对皮肤、粘膜有刺激作用, 对中枢神经系统有麻醉作用; 长期作用可影响肝、肾功能。 急性中毒: 病人有咳嗽、流涕、结膜充血等重症者有幻觉、谵妄、神志不清等, 有的有癔病样发作。 慢性中毒: 病人有神经衰弱综合征的表现, 女工有月经异常, 工人常发生皮肤干燥、皴裂、皮炎。	密度: 0.879g/cm³; 熔点: -26~-23°C; 沸点: 143-145°C; 饱和蒸气压: 1.33kPa (32°C); 外观: 无色透明液体溶解性: 不溶于水, 可混溶于乙醇、乙醚、氯仿等多数有机溶剂
5	1,2-二氯丙烷	对人体健康的危害: 1,2-二氯丙烷对中枢神经系统有抑制作用, 可使皮肤干燥、脱屑和皴裂, 对粘膜有刺激作用。长期接触或摄入后, 可能会导致肝、肾和心肌脂肪性变1。 环境污染: 1,2-二氯丙烷可能对土壤和地下水造成污染。它是一个挥发性有机化合物, 容易渗入地下水, 且不容易生物降解, 因此可能在环境中长时间存在, 对生态系统产生不利影响	1. 性状: 无色液体, 有氯仿的气味; 2. 沸点 (°C): 95~963; 熔点 (°C): -100; 相对密度 (g/mL, 20°C): 1.156; 相对蒸汽密度 (g/mL, 空气=1): 3.9; 蒸气压 (kPa, 20°C): 5.33; 溶解性: 不溶于水, 能与乙醇、乙醚、苯、四氯化碳等大多数有机溶剂混溶。能溶解油脂、蜡、橡胶、树脂及多种染料。20°C时在水中的溶解度为0.26%。

6	氯苯	健康危害: 对中枢神经系统有抑制和麻醉作用;对皮肤和粘膜有刺激性。 急性中毒: 接触高浓度可引起麻醉症状, 甚至昏迷。脱离现场, 积极救治后, 可较快恢复, 但数日内仍有头痛、头晕、无力、食欲减退等症状。液体对皮肤有轻度刺激性, 但反复接触, 则起红斑或有轻度表浅性坏死。 慢性中毒: 常有眼痛、流泪、结膜充血;早期有头痛、失眠、记忆力减退等神经衰弱症状;重者引起中毒性肝炎, 个别可发生肾脏损害。 环境危害: 对环境有严重危害, 对水体、土壤和大气可造成污染。 燃爆危险:该品易燃, 具刺激性。	外观与性状:无色透明液体, 具有苦杏仁味; 熔点(°C):-45.2; 相对密度(水=1):1.10; 沸点(°C):132.2; 相对蒸气密度(空气=1):3.9; 饱和蒸气压(kPa):1.33(20°C); 溶解性:不溶于水, 溶于乙醇、乙醚、氯仿、<u>二硫化碳</u>、苯等多数有机溶剂。
7	1,1-二氯乙烯	健康危害: 主要影响中枢神经系统, 并有眼及上呼吸道刺激症状。急性中毒:短间接接触低浓度, 眼及咽喉部烧灼感;浓度增高, 有眩晕、恶心、呕吐甚至酩酊状;吸入高浓度还可致死。可致角膜损伤及皮肤灼伤。 慢性影响:长期接触, 除粘膜刺激症状外, 常伴有神经衰弱综合征。 环境危害: 1,1-二氯乙烯对水生生物有毒性, 可能导致水生生态系统中的生物多样性下降。长期暴露于高浓度的1,1-二氯乙烯可能对鱼类和其他水生生物产生慢性毒性效应; 大气污染 1,1-二氯乙烯在空气中可以形成光化学烟雾, 对大气质量产生负面影响。此外, 它还可能与其他污染物发生反应, 生成二次污染物; 1,1-二氯乙烯可以通过工业废水、泄漏或不当处置进入土壤, 对土壤微生物和植物产生毒性作用。长期积累可能导致土壤质量下降, 影响农作物生长。 燃爆危险: 该品极度易燃, 具强刺激性。	外观与性状:无色液体, 带有不愉快气味; 熔点(°C):-122.6; 沸点(°C):31.6; 相对密度(水=1):1.21; 相对蒸气密度(空气=1):3.4; 饱和蒸气压(kPa):65.98(20°C) 溶解性:不溶于水。 主要用途:用作辅聚剂、粘合剂和用于有机合成。

9	氯乙烯	氯乙烯在环境中能参与光化学烟雾反应,由于其挥发性强,在大气中易被光解,也可被生物降解和化学降解,即能被特异的菌丛所破坏,亦能被空气中的氧所氧化成苯甲醚、甲醛及少量苯乙醇。	熔点(°C): -159.8; 沸点(°C): -13.4; 相对密度(水=1): 0.91; 相对蒸气密度(空气=1): 2.15; 饱和蒸气压(kPa): 346.53(25°C)。
10	顺-1,2-二氯乙烯	毒性 顺-1,2-二氯乙烯具有中等毒性。接触或吸入高浓度的顺-1,2-二氯乙烯可引起眼刺激、呼吸道刺激、头痛、恶心、胸闷等症状。 2.吸入: 如果吸入顺-1,2-二氯乙烯的粉尘、蒸汽或气体,应立即移至新鲜空气中,保持呼吸道通畅。如症状持续,应立即就医。 3.眼部接触: 如果接触到顺-1,2-二氯乙烯,应立即用大量清水冲洗眼睛至少15分钟,并及时就医。 4.皮肤接触: 如果皮肤接触到顺-1,2-二氯乙烯,应立即用大量肥皂和水冲洗受影响的区域。如出现红肿、疼痛或其他异常情况,应就医检查。 环境影响 顺-1,2-二氯乙烯在水中不易溶解,但会在大气中蒸发。过量的排放和泄漏可能对环境造成污染,可能危害水生生物和土壤。	熔点: -80 C(lit.)沸点: 60 C(lit.) 密度: 1.284 g/mL at 25 C(lit.) 折射率: n₂₀/D 1.449(lit.) 闪点: 43 F
11	1,2-二氯乙烷	对眼睛及呼吸道有刺激作用;吸入可引起肺水肿;抑制中枢神经系统、刺激胃肠道和引起肝、肾和肾上腺损害。 急性中毒:其表现有二种类型,一为头痛、恶心、兴奋、激动,严重者很快发生中枢神经系统抑制而死亡;另一类型以胃肠道症状为主,呕吐、腹痛、腹泻,严重者可发生肝坏死和肾病变。 慢性影响:长期低浓度接触引起神经衰弱综合征和消化道症状。可致皮肤脱屑或皮炎。 环境危害:该物质对大气臭氧层破坏力极强。 燃爆危险:该品易燃,高毒,为可疑致癌物,具刺激性。	无色或浅黄色透明油状液体,具有类似氯仿的气味,味甜。溶于约120倍的水,与乙醇、氯仿、乙醚混溶。能溶解油和脂类、润滑脂、石蜡。 熔点 :-35 °C 二氯乙烷沸点 :83 °C(lit.) 密度 :1.256 g/mL at 25 °C(lit.) 蒸气密度:3.4 (20 °C, vs air) 蒸气压:87 mm Hg (25 °C) 水溶解性 :8.7 g/L (20 °C)

12	三氯乙烯	健康危害:该品主要对中枢神经系统有麻醉作用。亦可引起肝、肾、心脏、三叉神经损害。 急性中毒:短小时内接触(吸入、经皮或口服)大量该品可引起急性中毒。吸入极高浓度可迅速昏迷。吸入高浓度后可有眼和上呼吸道刺激症状。接触数小时后出现头痛、头晕、酩酊感、嗜睡等,重者发生谵妄、抽搐、昏迷、呼吸麻痹、循环衰竭。可出现以三叉神经损害为主的颅神经损害,心脏损害主要为心律失常。可有肝肾损害。口服消化道症状明显,肝肾损害突出。 慢性中毒:尚有争议。出现头痛、头晕、乏力、睡眠障碍、胃肠功能紊乱、周围神经炎、心肌损害、三叉神经麻痹和肝损害。可致皮肤损害。 环境危害:对环境有严重危害,对水体和大气可造成污染。 燃爆危险:该品可燃,有毒,具刺激性。	外观与性状:无色透明液体,有似氯仿的气味。 熔点(°C):-87.1 相对密度(水=1):1.46 沸点(°C):87.1 相对蒸气密度(空气=1):4.53 分子式:C₂HCl₃ 分子量:131.39 饱和蒸气压(kPa):13.33(32°C) 溶解性:不溶于水,溶于乙醇、乙醚,可混溶于多数有机溶剂。
13	1,1,2-三氯乙烷	健康危害:急性中毒主要损害中枢神经系统。轻者表现为头痛、眩晕、步态蹒跚、共济失调、嗜睡等;重者可出现抽搐,甚至昏迷。可引起心律不产。对皮肤有轻度脱脂和刺激作用。 环境危害: 燃爆危险:本品可燃,有毒,具刺激性。	熔点:-37°; C沸点:110-115°; C(lit.)密度:1.435g/mL at 25°C(lit.); 蒸气压:30.3at 25°C; 水溶解性:4g/L(20°C)。
14	四氯乙烯	健康危害:该品有刺激和麻醉作用。吸入急性中毒者有上呼吸道刺激症状、流泪、流涎。随之出现头晕、头痛、恶心、运动失调及酒醉样症状。口服后出现头晕、头痛、倦睡、恶心、呕吐、腹痛、视力模糊、四肢麻木,甚至出现兴奋不安、抽搐乃至昏迷,可致死。慢性影响:有乏力、眩晕、恶心、酩酊感等。可有肝损害。皮肤反复接触,可致皮炎和湿疹。 燃爆危险:该品可燃,有毒,具刺激性。	外观与性状:无色液体,有氯仿样气味。 熔点(°C): -22.2 相对密度(水=1): 1.63 沸点(°C): 121.2 相对蒸气密度(空气=1): 5.83 饱和蒸气压(kPa): 2.11(20°C) 燃烧热(kJ/mol): 679.3 临界温度(°C): 347.1 临界压力(MPa): 9.74 溶解性:不溶于水,可混溶于乙醇、乙醚等多数有机溶剂。

4.2 土壤和地下水修复技术介绍

4.2.1 土壤污染修复技术介绍

依据前期土壤污染状况调查和风险评估资料可知，调查地块土壤中苯、甲苯、乙苯；地下水中苯、甲苯、乙苯、二甲苯（总量）、1,2-二氯丙烷、氯苯、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷和四氯乙烯需要开展风险管控措施，主要为挥发性有机物污染物。常见的适用于土壤挥发性有机物修复的技术主要有：热脱附技术、水泥窑协同处置技术、气相抽提技术、化学淋洗技术、化学氧化技术、热解吸技术等，常见技术简介如下：

4.2.1.1 热脱附技术

1、技术介绍

热脱附技术是指通过直接或间接热交换，将污染介质及其所含的有机污染物加热到足够的温度（150~540℃），使有机污染物从污染介质挥发或分离的过程，按温度可分成低温热处理技术（土壤温度为150~315℃）和高温热处理技术（土壤温度为315~540℃）。热处理修复技术适用于处理土壤中挥发性有机物、半挥发性有机物、农药、高沸点氯代化合物，不适用于处理土壤中重金属、腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂等，污染物去除率可达99.98%以上。

2、应用情况

热脱附技术在上个世纪70年代逐渐成熟，并被西方发达国家广泛采用，据统计到2006年，欧美等发达国家在300多个工程中成功运用此项技术，USEPA在超级基金污染土壤修复中，有59个点采用此技术。此项技术已经非常成熟。

3、优缺点对比

热脱附技术处置污染土壤的单价约1000~1200元/吨，其优点是处置速度快，处置量较大，适用于大部分有机物污染土壤；缺点是设备投资大，处置成本高。

4.2.1.2 水泥窑共处置技术

1、技术介绍

水泥的生产过程是以石灰质原料、粘土质原料与少量校正原料经破碎后，按一定比例配合、磨细并调配为成分合适、质量均匀的生料，在水泥窑内煅烧至部分熔融所得到的以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料的过程。

将污染土壤与水泥生料共处置，经过回转窑高温煅烧，可以将有机污染物完全分解，达到无害化处置。受水泥生产的工艺限制，普通水泥窑必须经过设备改

造方可共处置污染土壤，使尾气排放指标达到环保标准。同时作为水泥生产的附加功能，要求对土壤性质进行分析，合理配料，不能对水泥生产和产品质量带来不利影响。

2、应用情况

因水泥窑具有处置量较大，成本较低等优势，国内有些城市已经采用水泥窑共处置技术处置危险废物、市政污泥和城市垃圾，个别水泥窑企业经过设备改造和技术论证，尝试处理污染土壤或污泥，取得一些经验。这些经验对于制定我国危险废物与工业废物水泥窑共处置规范具有一定的启发和借鉴意义。但是，目前水泥窑共处置在国内还存在不少的问题：如：利用水泥窑共处置的污染控制和监督管理的规范化，水泥窑共处置的相关规范还没有出台等。

3、优缺点对比

水泥窑共处置污染土壤的单价约800~1200元/吨，其优点是处置量较大，成本较低；缺点是不适用于沸点低的有机物污染土壤，土壤矿物成分必须满足水泥制造的要求，处置前需对水泥窑进料和排放系统进行改造，且水泥窑共处置污染土壤必须得到环保部门的审批。

4.2.1.3 气相抽提技术

1、技术介绍

土壤气相抽提(SVE)也称“土壤通风”或“真空抽提”，可用于土壤原位或异位修复。因其对挥发性有机物污染土壤及地下水的治理的有效性和广泛性，使之逐渐发展成为一种标准有效的环境修复技术。气相抽提技术是指通过布置在不饱和土壤层中的提取井向土壤导入空气，气流经过土壤时污染物质随空气进入真空井，气流经过后，土壤得到修复。

气相抽提技术主要用于挥发性有机污染场地的修复。土壤理化特性对此技术的应用效果影响很大，主要影响因素包括土壤密度、孔隙度、土壤湿度、温度、污染物种类和地下水水位等。该技术在利用真空提取时会引起地下水位上涨，必须利用水泵控制地下水位，防止地下水流动造成污染物的扩散。因此常规的原位气相抽提更适用于污染深度不超过1.5m的场地。

2、应用情况

SVE技术修复污染场地是一种成熟可靠的技术，一段时期内美国大约40%的污染场地采用该技术进行修复。

3、优缺点对比

SVE技术处置成本相对较低,约350~450元/吨,影响处置成本的主要因素是土壤性质、污染物挥发性和地下水位等。但必须在现场长期布设抽提管道,因此不适用于工期紧张的项目。

4.2.1.4 化学淋洗技术

1、技术介绍

土壤淋洗修复技术,是利用淋洗液去除土壤污染物的过程,通过水力学方式机械地悬浮或搅动土壤颗粒,使污染物与土壤颗粒分离。土壤清洗干净后,再处理含有污染物的废水或废液。如果大部分污染物被吸附于某一土壤粒级,并且这一粒级只占全部土壤体积的一小部分,那么可以只处理这部分土壤。

2、应用情况

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

3、优缺点对比

土壤淋洗技术处置污染土壤处置量大,适用于多种污染土壤,处置成本适中,约1000~1500元/m³,影响处置成本的主要因素是土壤物理性质,如果土壤中的粘土含量超过25%,则不建议采用此技术。

4.2.1.5 化学氧化修复技术

1、技术介绍

化学氧化修复技术,是通过向土壤中添加氧化剂的方式把土壤中的污染物氧化为低毒、易迁移的物质或者直接把污染物降解,常用的氧化剂主要有高锰酸盐(Na/KMnO₄)、过硫酸盐(Na₂S₂O₈等)、臭氧(O₃)、双氧水(H₂O₂)、二氧化氯、Fenton试剂(H₂O₂和Fe²⁺)、类Fenton试剂(H₂O₂和Fe₃₊)等。化学氧化修复技术主要用于修复土壤、沉积物、地下水中难以被微生物降解利用的苯系物(苯、甲苯、二甲苯等)、含氯溶剂、多氯联苯、多环芳烃等有机污染物。

该技术可应用于高度污染土壤、地下水的治理,见效快,由于可供选择的氧化剂种类多样,可灵活的应用于不同类型污染物的处理。该技术既可在污染地块原位进行,也可以采用异位方式处理。

2、应用情况

在发达国家，原位化学氧化修复技术主要用来修复被油类、有机溶剂、多环芳烃、农药等污染物污染的土壤。

3、优缺点对比

原位化学氧化修复技术可用于多种污染场地的修复，处置成本适中，约800~1200元/吨，影响处置效果的主要因素是土壤性质，污染物成分。

4.2.1.6 热解析技术

热解吸技术和常温热解析技术都是处理有机物污染土壤的物理处理技术。热解吸技术是在特定的设备中加热，把有机污染物从固相土壤中转移到气相并使其挥发出来，气相污染物再通过燃烧或冷凝吸附的方式处理，达标后排放。热解吸技术处理的污染物范围广，包括低沸点物质、高沸点物质如农药、多环芳烃等。

常温热解析技术通常是在车间中将土壤堆成条垛状，利用机械进行翻抛，在翻抛过程中，土壤中的挥发性有机污染物类如苯、萘、氯代烃等物质转移到气相，再通过活性炭吸附，达标后排放。

两种技术的主要区别在于温度的差异，热解吸技术需要使用热源对污染土加热，温度通常高于100℃低于600℃；常温解吸技术通常只要求室温或比室温稍高。热解吸和常温解吸技术对于污染物浓度也有一定要求，热解吸技术适于处理高浓度、难挥发的有机污染物，常温解吸技术适合处理低浓度、易挥发的有机污染物。

两种技术应用时多采用异位处理方式，但热解吸技术也可以使用原位处理，即利用加热棒、加热毯、加热井或将热蒸汽注入地下等方式将土壤加热，从而使有机污染物从土壤中析出后在地上收集处理。

该技术发展成熟，处理时间短，费用较低，可操作性强，已广泛应用于多个项目。

4.2.2 地下水修复技术介绍

常见的适用于地下水挥发性有机物修复技术有：地下水抽出处理技术、原位微生物修复技术、地下水原位曝气技术、化学氧化技术、渗透反应墙技术、多相抽提技术、原位热处理技术等，常见技术简介如下。

4.2.2.1 原位化学氧化技术

1、技术介绍

化学氧化修复技术主要是通过向含水层中注入化学氧化药剂，与污染物产生氧化反应，使污染物降解或转化为低毒产物的修复技术。用于地下水修复的化学氧化一般采用药剂原位入注的方式实施。

2、应用情况

在发达国家，原位化学氧化修复技术属于成熟常用的修复技术，主要用来修复被油类、有机溶剂、多环芳烃、农药等污染物污染的含水层土壤与地下水。原位化学氧化的常用药剂包括芬顿试剂、活化过硫酸钠、高锰酸钾以及臭氧。进行化学氧化修复需首先确定场地地下水中的污染物种类是否能够被氧化，其次需关注场地土壤类型及渗透性，注入的氧化药剂应能够扩散覆盖一定范围。

3、优缺点对比

原位化学氧化修复技术可用于多种污染场地的修复，可同时对多种污染物进行处理，成本适中。其缺点在于无法确保对目标污染物能够氧化彻底，可能会产生毒性更大的中间产物；适用于处理低浓度地下水污染。

4.2.2.2 原位微生物修复技术

1、技术介绍

微生物对有机物污染地下水的修复是以微生物对有机污染物的降解和转化为基础的。通常情况下，地下水微生物修复的关键是激发对污染物具有降解能力的微生物的活性，并在修复周期内保持其活性。地下水的微生物修复通常采用原位修复的形式，直接向地下环境中注入生物反应所需要的物质，一般包括电子受体（例如氧、硝酸盐等）、能量供体（碳源）以及营养物质（氮、磷）。在进行微生物还原修复时则需注入电子供体，如乳糖等。原位微生物修复技术是监控自然衰减技术中污染物得以消除、降解的重要因素之一。

2、应用情况

微生物修复技术在污染土壤和地下水的修复领域使用较广泛，该技术非常适用于大面积的污染场地修复。适用于土壤更为均质的场地地下水，非均质介质中难以覆盖整个污染区，在上世纪90年代后期开始应用，近年来在美国修复市场占有率的比例在10%左右。

3、优缺点对比

微生物修复技术是较经济的修复技术之一。依靠微生物分解污染物，速度通常较慢，因此导致修复时间较长。此外，由于生物反应的复杂性，控制地下环境中适合微生物反应的环境条件也需要专业化的管理。

4.2.2.3 渗透反应墙技术

1、技术介绍

渗透式反应屏障技术是一种被动式的地下水修复技术，其主要手段是在地下水过流断面上构筑含有活性反应填料的可渗透的反应屏障。地下水中的污染物在流经渗透式反应屏障时，与反应屏障中的活性填料发生吸附、反应等作用，最终从地下水中被去除。最常见的活性反应填料为零价铁粉，主要用于处理地下水中的氯代有机溶剂或重金属。

2、应用情况

该技术成熟，在国外已有较多应用，主要用来修复地下水中卤代烃、重金属等污染物。

3、优缺点对比

该技术构筑的反应屏障一旦建成后，所需的维护较少，因此修复成本较低。由于反应屏障需要从地表开始进行设置，因此该技术适用于地下水水位较高，且地下水污染羽距离地面较近的情况。本技术是一种控制污染物随地下水迁移的有效手段，但不能实现对污染源的针对性削减，完成修复所需要的时间往往较长。

4.2.2.4 地下水曝气技术

1、技术介绍

原位曝气过程可定义为在一定压力条件下，将一定体积的压缩空气注入含水层中，通过吹脱、挥发、溶解、吸附-解吸和生物降解等作用将污染物去除。在相对可渗透的条件下，当饱水带中同时存在挥发性有机污染物和可被好养生物降解的有机污染物，或存在上述一种污染物时，可以应用原位曝气法对被污染水体进行修复治理。该技术被认为是去除饱和土壤和地下水中可挥发有机化合物的最有效方法，目前备受关注，全美很多地方都采用了该技术来进行地下水的修复，并取得了很好的效果，该技术有良好的应用前景。

2、应用情况

上世纪80年代中期开始应用，90年底迅速发展。在1982年-1999年美国地下水污染“超级基金”治理项目总站51%，通常与土壤气体抽提技术联用，处理效率较高，处理时间需要数月至数年。

3、优缺点对比

对修复场地干扰小、设备简单安装方便；修复效率高、治理时间短，运行和维护成本较低。对于非挥发性污染物不适用，不适合在地渗透率或高粘土含量的地区使用；不能应用于承压含水层污染的治理；控制不当可能会导致地下水中污染羽迁移扩散；曝气产生的污染物蒸汽收集较难，容易溢出至地表对地表环境空气造成二次污染。

4.2.2.5 地下水抽出处理技术

1、技术介绍

抽提处理技术（Pump and treat）是最为常用的地下水修复技术之一。受污染的地下水经一系列的抽水井抽提到地面，再通过处理设施、设备将地下水中的污染物进行去除，达到规定的排放标准后排入相应的管网或水体，或直接回注到地下环境中。抽提处理技术是由地下水抽提设施设备和地下水处理设施设备组成的。抽提设施设备主要为按照设计要求所构建的抽提井、水泵及相关测量、控制系统。地下水处理设施设备则可根据地下水中的污染物情况进行选择设计，常见的地下水处理设施设备包括吹脱塔、活性炭吸附塔等。

2、应用情况

抽提处理技术在世界范围内应用广泛，是最常用的地下水修复技术之一，也是使用得最早的地下水修复技术。此项技术原理简单，已经非常成熟。适用于渗透性较好的含水层，修复周期较长，对修复区干扰大，可能导致地下水资源的浪费；同时若不清除污染源、杜绝向地下水中新增污染物，会导致抽水修复时间周期变长、停止抽水时拖尾和反弹现象严重；另一方面，对地下水中的非水相液体也难以清除干净。

此种技术在上世界80年代开始应用，属于应用最广泛、成熟度最高的技术之一，目前已经大幅度下降，主要作为控制地下水污染羽的水力控制手段。

3、优缺点对比

抽提处理的优点是技术简单，并且可与工程降水结合，适用于大部分地下水的污染羽处理；但在含水层中存在难溶性有机物污染源时，单独进行抽提处理效果不理想。

另一方面，地下水污染数量大、深度深的情况下，需抽出处理的水量极大，对地上临时污水处理能力要求高，抽出量大时会导致地下水位线下降，对周边建筑物的稳定性造成潜在影响；存在挥发性污染物、刺激性异味较强的地下水抽出处理的过程中对异味控制要求较高。

4.2.2.6 多相抽提技术

1、技术介绍

多相抽提技术是通过真空提取手段，抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和浮油层到地面进行相分离及处理，以控制和修复土壤与地下水中的有机污染物，实施场地修复的技术手段。与传统的土壤修复技术相比，MPE是一种对环境友好的土壤和地下修复技术，它具有修复效率高、影响面积大、适宜高浓度污染土壤修复等优点。MPE技术是一种原位修复技术，对地面环境的扰动较小，适用于加油站、石化企业、化工企业等多种类型的污染场地，尤其适用与被非水相液态污染物（NAPL，Non-aqueous Phase Liquid）污染的土壤与地下水的修复。MPE技术的别称较多，在不同的应用场景下也被称为“双相抽提”、“生物抽吸”等，但其原理及系统构造基本相同。

2、应用情况

该技术成熟，在国外应用广泛，在国内已有应用，主要用来修复易挥发、易流动的NAPL（如汽油、柴油、有机溶剂）等污染物污染的土壤和地下水。

3、优缺点

MPE系统与传统处理技术相比，处理污染物的范围更大，能处理多种形态的污染物，抽提技术运行的同时可以伴随好氧生物降解反应，修复效率大大提高，真空负压的运用也缩短了修复工期。与此同时，由于MPE系统的独特性，需要配套的设备和对场地水文地质条件的特殊要求，以及修复工程大规模开展前的场地预测试。

4.2.2.7 原位热处理技术

1、技术介绍

蒸汽注入技术是通过向地下注入热蒸汽，以达到大幅提升理区内地下水及土壤温度的目的，促进挥发性有机污染物的解吸和挥发，或增加NAPL的迁移性（通过降低其粘度）以便收集。该技术设备及运行成本高、能耗高，对系统施工及运行专业化程度要求高。

2、应用情况

蒸汽注入技术最早于20世纪80年代开始在荷兰和美国发展；电极加热技术与1996年首次被商业应用，目前应用逐渐增多。通常与土壤气体抽提、抽出处理技术或多相抽提技术联用。

3、优缺点对比

该技术处理效率高，但费用也较高，同时由于采用原位加热，地下水中的挥发性污染物极易挥发扩散至地表，对地表空气造成二次污染。对于某些挥发性较弱的污染物，也有可能由于温度的增加导致其挥发性增强，导致污染物在环境介质间的迁移更为容易，容易导致难以控制的二次污染问题。

4.3 修复技术筛选

4.3.1 修复技术筛选原则

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

（1）针对场地内污染物特征：由于污染场地中，各区域污染浓度不同，因此需要结合污染浓度选择合适的场地清理方法。

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

（3）修复时间合理：为尽快完成该场地污染土壤修复工作，降低场地污染土壤修复过程中的潜在环境风险，在选择修复技术时，同等条件下，选择场地修复时间短的技术。

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

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

（6）场地修复效果好：污染场地修复的最终目标是场地满足今后的土地规划标准，确保环境安全及居民健康。

4.3.2 土壤修复技术筛选

针对该场地土壤污染特点，推荐该场地采用的修复技术为：原位化学氧化和异位化学氧化。土壤修复技术筛选矩阵见表4.3-1。

表4.3-1 污染土壤修复技术筛选矩阵

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用的适应性	应用的局限性	建议
			成熟性	时间条件	资金水平			
1	热脱附	加热土壤中有机污染物到足够高的温度，使其蒸发并与土壤相分离，再对蒸发出来的污染物进行处理。	技术成熟/ 国内有应用	和处理量 相关，相 对较快	较高	适用与多种挥发性、半挥发性有机物如卤代烃类、苯系物、农药等。	(1)土壤含水率会影响处理成本及效果 (2)需要对土壤进行开挖和采用专门处理设备	不建议采用
2	水泥窑协调处置	挖掘土壤、运输土壤到水泥厂，和水泥生料一起进入回转窑，控制污染土壤的配比。	较成熟， 有已经改造的水泥窑生产线	受水泥产量限制，土壤添加配比较低。	中等	适用于重金属和半挥发性、难挥发性有机物	(1)场地内土壤含水量高，会增加成本； (2)部分场地内有大量氯苯化合物，焚烧会产生二噁英 (3)挥发性有机物污染土壤，在挖掘、长距离运输、储存过程中容易造成二次污染	不建议采用
3	气相抽提	通过强制新鲜空气流经污染区域，然后将污染物从不饱和区土壤中解吸下来，并引流到地面，然后在地面进行尾气处理。	技术成熟/ 国内有应用	需要较长时间，一般要数年以上	低	适用于各种挥发性有机物包括苯系物、卤代烃类等等	(1)对土壤含水量高、地下水位浅的场地不适用； (2)对土壤渗透性低的场地，不适用	不建议采用
4	化学淋洗	通过扩散井/渠，将含有助溶剂的水溶液在上游导入被污染的地层中，使污染物从土壤中分离出来，形成迁移态的化合物，在下游通过收集井/渠收集和抽取水和污染物溶液，在地表对抽取的水和污染物溶液进行处理。	技术成熟/ 国内未见应用报道	需要时间较长，1-3年	中等	适用于处理水溶性污染物，可促溶的有机物。	不适用于低渗透性污染场地的处理；需要开挖和预处理；	不建议采用

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用的适应性	应用的局限性	建议
			成熟性	时间条件	资金水平			
5	原地异位化学氧化	原地异位化学氧化：向预处理后的土壤中加入氧化剂，利用氧化剂氧化土壤中的有机污染物，使其成为无害的二氧化碳和水等无机物。	技术成熟/ 国内有应用	根据土壤及污染物具体情况	中等	对高浓度苯系物、卤代烃和多环芳烃等有机污染物比较有效和经济。	(1)氧化剂的氧化能力强，但使用不当会带来安全隐患； (2)渗透率低的土壤如粘土，会降低修复效果	建议采用 (仅针对堆场区域污染土壤)
6	原位化学氧化	向土壤注入化学氧化剂，通过氧化剂与土壤中的污染物的接触，把土壤中的有机污染物氧化为无害的或毒性更小的物质	技术成熟/ 国内有应用	药剂注入时间较短，效果观测时间长。	中等	对于VOCs和SVOCs污染物均可通过采用不同氧化剂进行修复：通过采用不同注入工艺比较适用于土壤渗透性好的土壤。	修复效果需长期监测，有时需重新注入药剂。	建议采用
7	热解析	将污染土壤经过初步预处理后，常温下通过专业工程设备（包括混合和筛分等）将污染土壤与修复药剂（以生石灰为主）混合，并通过车间附属通风及尾气收集和处理系统将解吸的挥发性气体去除。	技术成熟/ 国内有应用	较快	较低	适用于透气性好的土壤中各种挥发性有机物包括苯系物、卤代烃类等的处理	影响处置成本的主要因素是土壤性质和污染物挥发性； 需要对土壤进行开挖、预处理	不建议采用

4.3.3 地下水修复技术筛选

根据上述筛选评估修复技术的几方面原则，对国内外现有常用、较成熟的地下水修复技术从优缺点、修复效率、修复时间、修复成本、环境风险等各方面进行比较，结合该场地地下水污染特点，综合分析比较各种技术的适用性，见表4.3-2。针对该场地地下水污染特点，推荐该场地采用的修复技术为：抽出处理技术、原位化学氧化\还原修复技术。

表4.3-2常见地下水污染修复技术对比表

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用适用性	应用局限性	建议
			技术成熟性	治理周期	成本			
1	抽出处理	将受污染地下水抽提至地面，在满足纳管要求的情况下，排入污水管道，进入污水处理厂进行处理。	技术成熟/国内常用	通常较快	中等	可能需要进行预处理以满足纳管要求	需有满足接纳条件	建议采用
2	原位生物修复技术	以原位注入的方式向地下环境注入碳源、营养物、电子供体等物质，促进土著微生物对污染物的降解	技术较成熟/国内应用少	反应相对较慢	低	污染物易被生物降解，且存在可降解污染物的土著微生物	生物反应时间通常较长，系统环境条件的控制较复杂	不建议选用
3	地下水曝气修复技术	在受污染地下水的原位将压缩空气鼓入受污染的含水层，污染物从地下水中被空气吹脱出的污染物会进入包气带，并经包气带上设置的气体抽取系统收集气相污染物，然后再进行处理后排放。	国外广泛应用，国内已有工程应用	周期较短，需要数月到数年	中	适用于苯系物和卤代烃等污染物的修复，适用于具有较大厚度和深度的含水层	不适于非挥发性的污染物；可能导致地下水中污染扩散；气体可能会迁移和释放到地表，造成二次污染	不建议选用
4	原位化学氧化	直接将氧化剂注入到受污染的含水层，氧化分解污染物	技术成熟/国内有应用	取决于含水层渗透性和污染物成分	中	适用于多种有机污染物，可用于污染源区修复	氧化剂配方须进行可行性试验验证，以确保氧化可以达到效果。有机质含量高的含水层易消耗氧化剂。	建议采用
5	多相抽提	通过使用真空提取等手段，同时抽取地下污染区域的土壤气体、地下水 and 非水相到地面进行相分离、处理，以控制和修复土壤地下水中有有机物污染。	技术成熟/国内有应用	中等	一般	适用于水溶性较好的污染物，并且渗透性较好的地质条件的修复技术	影响处置成本的主要因素是土壤性质和污染物溶解度。	不建议选用

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用适用性	应用局限性	建议
			技术成熟性	治理周期	成本			
6	热处理技术	利用热能将污染物从地下水去除，将污染地下水加热至非常高的温度，促使污染物和地下水转化为气态，部分化学物质在加热过程就被破坏了，修复区域设置抽提井对污染地下水及其蒸汽混合物收集并抽提至地表进行处理	国外已广泛应用，国内已有工程应用	周期较短，需要数月到数年	高	适用于低渗透的孔隙和裂隙含水层	设备及运行成本较高，施工及运行专业化程度要求高	不建议选用
7	渗透性反应墙技术	在地下水过流断面上构筑含有活性反应填料的可渗透的反应屏障。地下水中的污染物在流经渗透式反应屏障时，与反应屏障中的活性填料发生吸附、反应等作用，最终从地下水中被去除。最常见的活性反应填料为零价铁粉，主要用于处理地下水中的氯代有机溶剂或重金属。	成熟	较长	低	因此该技术适用于地下水水位较高，且地下水污染羽距离地面较近的情况。	本技术是一种控制污染物随地下水迁移的有效手段，但不能实现对污染源头的针对性削减，完成修复所需要的时间往往较长。	不建议采用

4.4 修复技术可行性评估

4.4.1 原位化学氧化技术可行性评估

该技术处理周期与污染物特性，污染土壤及地下水的埋深和分布范围极为相关。使用该技术清理污染源区的速度相对较快，通常需要3-24月的时间。修复地下水污染羽流区域通常需要更长的时间。

其处理成本与特征污染物、渗透系数、药剂注入影响半径、修复目标和工程规模等因素相关，主要包括注入井/监测井的建造费用、药剂费用、样品检测费用以及其他配套费用。美国使用该技术修复地下水处理成本约为 123 美元 /m³。

4.4.1.1 国外应用案例

原位化学氧化技术是美国超级基金中推荐的一种常用处置技术，在国外有机污染场地的治理工程中应用较多。常用来修复被油类、有机溶剂、多氯联苯以及非水相氯化物（如三氯乙烯）等污染物污染的土壤，既可以单独使用，也可与其他修复技术联用。应用案例见下表4.4-1所示。

表4.4-1 国外采用化学氧化技术修复有机污染土壤的案例场地

序号	项目名称	主要污染物	修复效果
1	伦敦奥运会主场馆修复项目	三氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、多环芳烃（PAHs）和砷	修复达标
2	Carus 公司承接化学氧化修复项目	TCE、DCE	修复达标
3	燃油配送点遗留场地土壤修复项目（伊利昂，纽约）	多环芳烃（PAHs）、氯苯	修复达标
4	木柴加工厂遗留场地土壤修复（索诺玛，加利福尼亚）	PCP、CPAH	修复达标

4.4.1.2 国内应用案例

原位化学氧化技术近 10 年来国内发展较快，已有较多的研究和现场实例。应用案例见下表4.4-2 所示。

表4.4-2 采用土壤氧化技术修复污染土壤的案例

序号	项目 名称	采用工艺	修复药剂	目标污染物	规模	修复效果
1	某化工有限公司退役场地修复工程	注入井+ 抽提循环	芬顿	对氯甲苯、1,2-二氯乙 烷、邻甲苯胺	污染土壤：24983m ³ ；污染地 下水：6200m ² ，最深约21m	与本项目相似的污染物 1,2-二氯乙烷修复前最大浓度为 8.49mg/kg，修复目标值为 1.7mg/kg，项目污染物去除率>95%
2	某煤气化工厂退役场地修复工程	高压旋喷	过硫酸盐	苯、间&对-二甲苯、1,2,4-三甲基苯、萘、苯并(a)芘、TPH	污染土壤 18.9 万 m ³	与本项目相似的污染物苯修复前最大浓度为 565mg/kg，修复目标值为 3.15mg/kg，项目污染物去除率>99%
3	某高科技股份有限公司哈氟分厂退役场地修复工程	注入井+ 抽提循环	芬顿	三氯乙烯、氯仿	土壤异位处置量 2.7 万 m ³ ，土壤 和地下水原位处 置面积 5000m ²	与本项目相似的污染物三氯乙烯的平均浓度从初始约 7.98mg/kg 降低到 0.36mg/kg，氯仿的平均浓度从初始约 3.37mg/kg 降低到 0.08mg/kg，去除率>95%
4	某油制气厂项目土壤修复项目	注入井	碱活化过 硫酸盐	苯、甲苯、萘、苯并(a)芘、苯并(a)蒽等多环芳烃、总石油烃（C6-C16）	污染土壤：92147m ³ ；地下 水：24671.25m ³	与本项目相似的污染物苯的初始平均浓度 20.4mg/kg，修复目标为 3.64mg/kg，去除率>82%
5	某有机化工污染场地修复工程	注入井	过硫酸盐	苯、氯苯、1,4-二氯苯、1,3-二硝基苯、苯胺等	-	平均去除率为 93%
6	某化工厂修复项目	直压注射	过硫酸盐	2-甲基苯酚、3&4-甲基 苯酚、2,4-二甲基苯酚	污染面积 1289m ²	去除率 64.7%~99%

除以上工程案例外，国内部分中小试结果同样证明原位化学氧化对于本项目污染物处置具备较好应用效果。

4.4.1.3 场地应用可行性分析

结合国内外案例说明原位化学氧化技术对处理土壤中的有机污染物适用性较普遍，综合场地污染土壤和地下水点位污染程度、深度和污染因子以及现场厂房未拆除的实际施工情况考虑，场地内污染土壤深度0.5m~7.5m不等，土壤中苯最大超标4.4倍、甲苯最大超标0.2倍、乙苯最大超标9倍，且点位相对较集中，采用原位化学氧化技术，通过打井注药的方式，需投入大量氧化剂参与反应，以确保修复达标。

4.4.2 地下水抽出处理技术可行性评估

总体来说，该技术运行维护相对简单，运行过程中仅需对水泵、抽提井、管道阀门进行相应维护。污水处理系统的运行维护需根据不同污染物进行相应调整。

抽出处理系统投入运行后，就应开展实时监测，以判断系统运转是否满足既定治理目标，确保系统运行长期有效。借助于水位监测和水质检测，对系统运行做出相应调整。

其处理成本与工程规模等因素相关，美国处理成本约为15-215美元/m³。

4.4.2.1 国外应用情况

该技术在国外已经形成了较完善的技术体系，应用广泛。据美国环保署统计，1982—2008年期间，在美国超级基金计划完成的地下水修复工程中，涉及抽出处理和其他技术组合的项目798个。应用案例见下表4.4-3所示。

表4.4-3 抽出处理修复地下水技术应用案例

序号	场地名称	目标污染物	规模	费用
1	Hamptonbug, NY	挥发性有机化合物和多环芳烃类	83000 吨	约 300万美元
2	intertidal marsh along San Francisco Bay	挥发性有机化合物	12.6英亩（约合50990.39m ² ），峰值处理量为700万加仑（26497.88 m ³ ）废液每年	2500万美元
3	Acid Brook Delta and Pompton Lake	三氯乙烯和四氯乙烯	200000吨污染土壤和沉积物	

4.4.2.2 国内应用情况

抽出处理技术适用范围广，是地下水污染治理主要技术之一。该技术在国内外已有工程应用。

4.4.2.3 场地应用可行性分析

结合国内外案例说明抽出处理技术对处理污染地下水中的挥发性有机污染物适用性较普遍，综合场地污染地下水点位污染程度、深度和污染因子以及现场厂房未拆除的实际施工情况考虑，场地内污染地下水深度在1m~14.5m，地下水中苯最大超标609.2倍、甲苯最大超标202.5倍、乙苯最大超标30.2倍、二甲苯(总量)最大超标31.5倍、氯乙烯最大超标10.1倍、1,1-二氯乙烯最大超标0.6倍、顺-1,2-二氯乙烯最大超标4.2倍、1,2-二氯乙烷最大超标26.3倍、三氯乙烯最大超标0.9倍、1,1,2-三氯乙烷最大超标15.4倍、四氯乙烯最大超标4.9倍，1,2-二氯丙烷最大超标0.5倍，氯苯最大超标0.7倍。

污染地下水点位相对较分散，地块内超标点位较低的污染地下水，通过建井和抽提的方式，采用抽出处理技术，经芬顿设备处理后，以确保修复达标。

地块内超标严重点位采用原位化学氧化，通过打井注药的方式，使用大量氧化剂参与反应，降低污染浓度，并结合抽出处理技术，两种修复治理技术并用，以确保修复达标。

4.4.3 异位化学氧化技术可行性评估

异位化学氧化技术反应周期短、修复可靠，在国外已形成了较完善的技术体系。2011年之后在国内发展也较快，目前在国内污染场地修复中的应用越来越广泛。

异位化学氧化技术的处理周期与污染物初始浓度、修复药剂与目标污染物反应机理有关。一般化学氧化修复的周期较短，一般可以在数周到数月内完成。处理成本，在国外约为200~660美元/m³；在国内，一般介于500~1500元/m³之间。

4.4.3.1 国外应用情况

异位氧化处理技术反应周期短、修复效果可靠，在国外已经形成了较完善的技术体系，应用广泛。应用案例见下表4.4-4所示。

表4.4-4 异位化学氧化技术国外应用案例

序号	场地名称	修复药剂	目标污染物	规模
1	美国明尼苏达州某木材制造厂	芬顿试剂和活化过硫酸盐	五氯苯酚	656吨
2	韩国光州某军事基地燃料存储区	过氧化氢	石油烃	930m ³

序号	场地名称	修复药剂	目标污染物	规模
3	美国马里兰州某赛车场地	某 K 药剂	苯系物、甲基萘	662m ³
4	加拿大亚伯达某废弃管道场地	过氧化氢	苯系物	8800m ³
5	美国阿拉巴马州某场地	某 D 药剂（强还原性铁矿物质+缓释碳源）	毒杀芬，滴滴涕，DDD和 DDE	4500吨
6	美国犹他州图埃勒县军方油库	某 D 药剂（强还原性铁矿物质+缓释碳源）	三硝基甲苯，环三亚甲基三硝胺	7645m ³

4.4.3.2 国内应用情况

该技术在国内发展较快，2011 年之后开始在一些工程项目上应用。目前异位化学氧化技术在国内污染场地修复中的应用越来越广泛。

4.4.3.3 场地应用可行性分析

本项目堆土区域的土壤点位TLD-S4和TLD-S5两个点位超标倍数较低，采用异位化学氧化技术可处理土壤中甲苯、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。通过筛分预处理，喷洒氧化剂和均匀翻拌等工艺，可处理污染土壤中甲苯、乙苯、二甲苯等有机类型污染物，以确保修复效果。

4.5 推荐采用的修复技术单价

针对上述筛选提出的建议采用的修复技术，根据目前国内已经开展的采用相同修复技术的案例、参考我国环境保护部2014年颁布的第一批污染场地修复技术名录，调研汇总推荐采用修复技术的技术单价，综合考虑后推荐单价见下表4.5-1所示。为下一步施工工程费用的核算提供依据。

表4.5-1 推荐修复技术参考价格汇总

修复技术	单价(元/m ³)	技术目录参考价格
原位化学氧化	600	850元/m ³
异位化学氧化	500	500-1500元/m ³
地下水抽出处理	115	105-1505元/m ³
阻隔技术	700	500~800 元/m ³

5 修复方案设计

5.1 修复技术路线

基于污染土壤和地下水特征，建议本地块土壤和地下水修复采用原位/异位化学氧化、地下水抽出处理工艺，具体处理工艺内容如下：

- 1、对于0-7.5米深度的污染土，采用原位注射化学氧化的技术进行修复；
- 2、对于现场堆场区域约2000m³污染土，采用异位化学氧化进行处理；
- 3、对于-1米至-14.45米地下水污染，采用抽出处理技术进行修复，超标严重点位污染地下水采用原位氧化注药方式进行强化修复效果。
- 4、在地块地下水修复区下游，西侧边界设置止水帷幕防止污染地下水进入五十里河，也防止地下水抽出处理过程中过多的河水涌入污染范围。此外地下水抽出处理可以控制地下水水位保持较低的水平，防止污染地下水向外扩散。在地下水修复区域的上下游设置地下水水位监测井，以控制地下水污染不向外扩散。
- 5、在修复过程中，地下水抽处理的出水可以用于原位注射药剂的配置和回灌，以节约用水和减少向外排放的方量。

本地块原位注射/异位化学氧化、地下水抽出处理工艺技术路线如下图5.1-1所示。

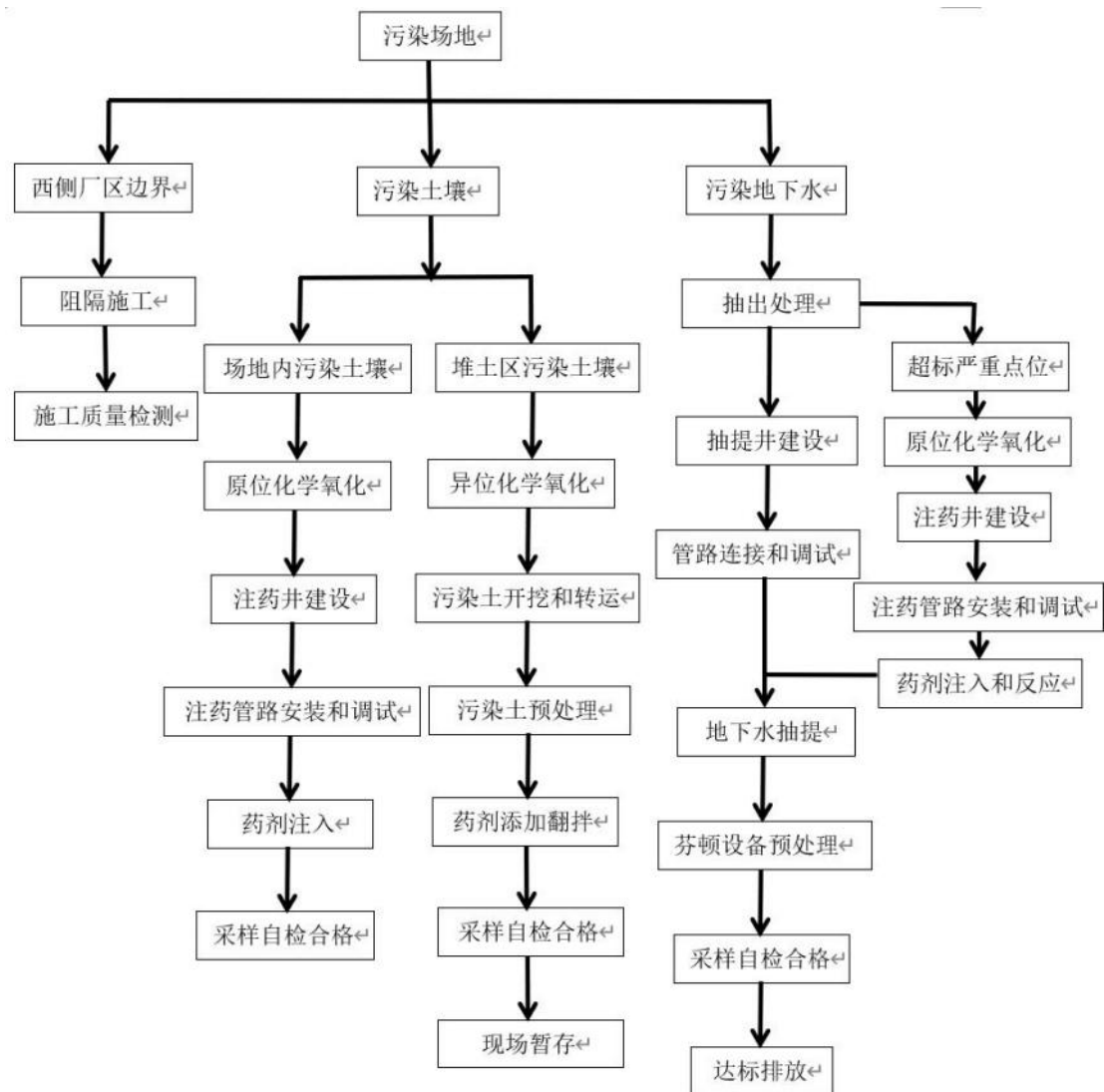


图5.1-1 原位/异位、抽出处理修复方案技术路线

5.2 修复技术工艺参数

5.2.1 原位化学氧化修复技术工艺参数

5.2.1.1 技术原理

原位化学氧化在污染土壤全区域设置注入井，设置深度依据污染调查结果要求的修复深度确定。通过药剂自动配置系统进行氧化药剂的配置，注入井则通过管道与注入设备相连，利用药剂注入系统将氧化药剂进行原位注入，每口井的注入量和注入次数根据土壤修复效果进行原位注入工艺参数的调整，直至修复完成。土壤原位化学氧化工艺示意图见下图5.2.1-1所示。

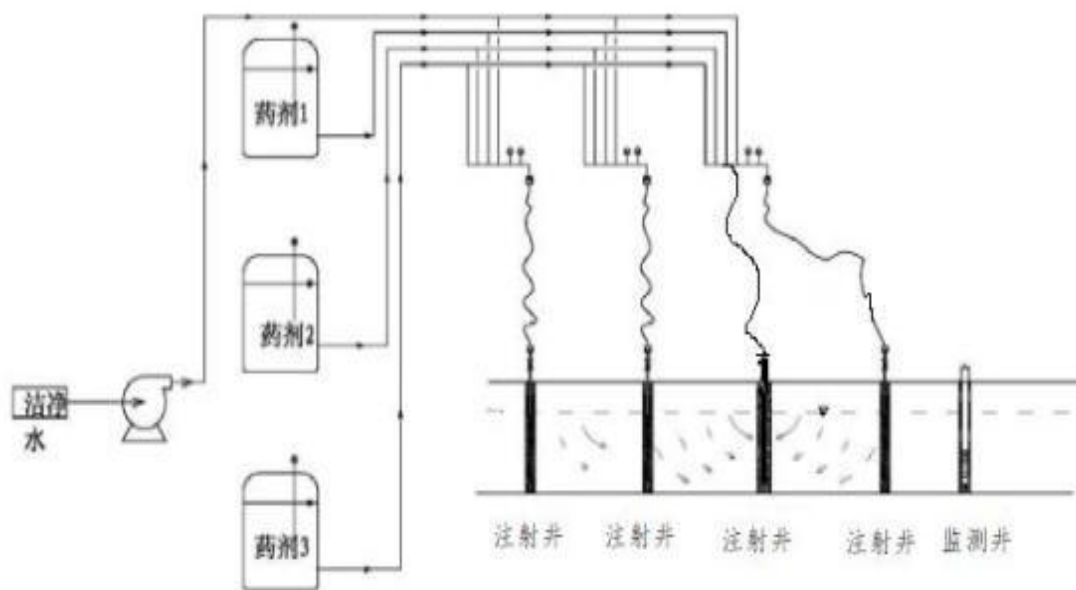


图5.2.1-1 土壤原位化学氧化工艺示意图

通过向土壤的污染区域注入氧化剂或还原剂，通过氧化或还原作用，使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。

常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧。常见的还原剂包括硫化氢、连二亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、硫酸亚铁、多硫化钙、零价铁等。

5.2.1.2 原位注射系统的设计

根据土壤修复区域，采用原位化学氧化技术，注入井按照3m井间距布设，部分浅层污染土0-0.5米和0.5-1米区域，辅以水平注药管形成原位注射系统。原位注射分区见下图5.2.1-2所示，原位注射点位布设见下表5.2.1-1所示。

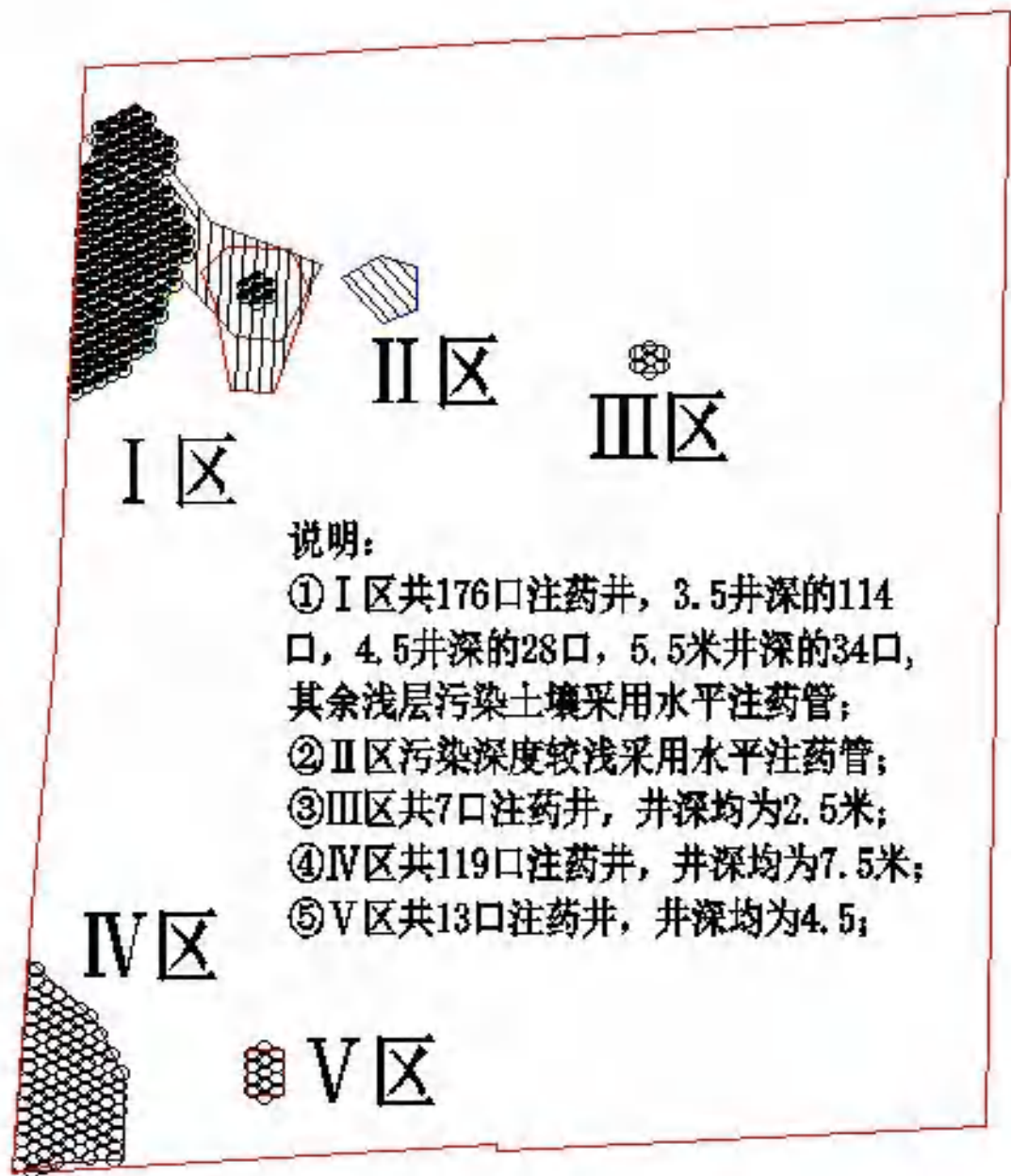


图5.2.1-2 原位注射分区
表5.2.1-1原位注射点位布设

序号	治理修复区	水平注药长度（m）	注射井数量（个）	注射井深度（m）
1	I区	309	114	3.5
			28	4.5
			34	5.5
2	II区	68	/	/
3	III区	/	7	2.5
4	IV区	/	119	7.5
5	V区	/	13	4.5

5.2.1.3 工艺流程

原位化学氧化工艺流程如下图5.2.1-3 所示。

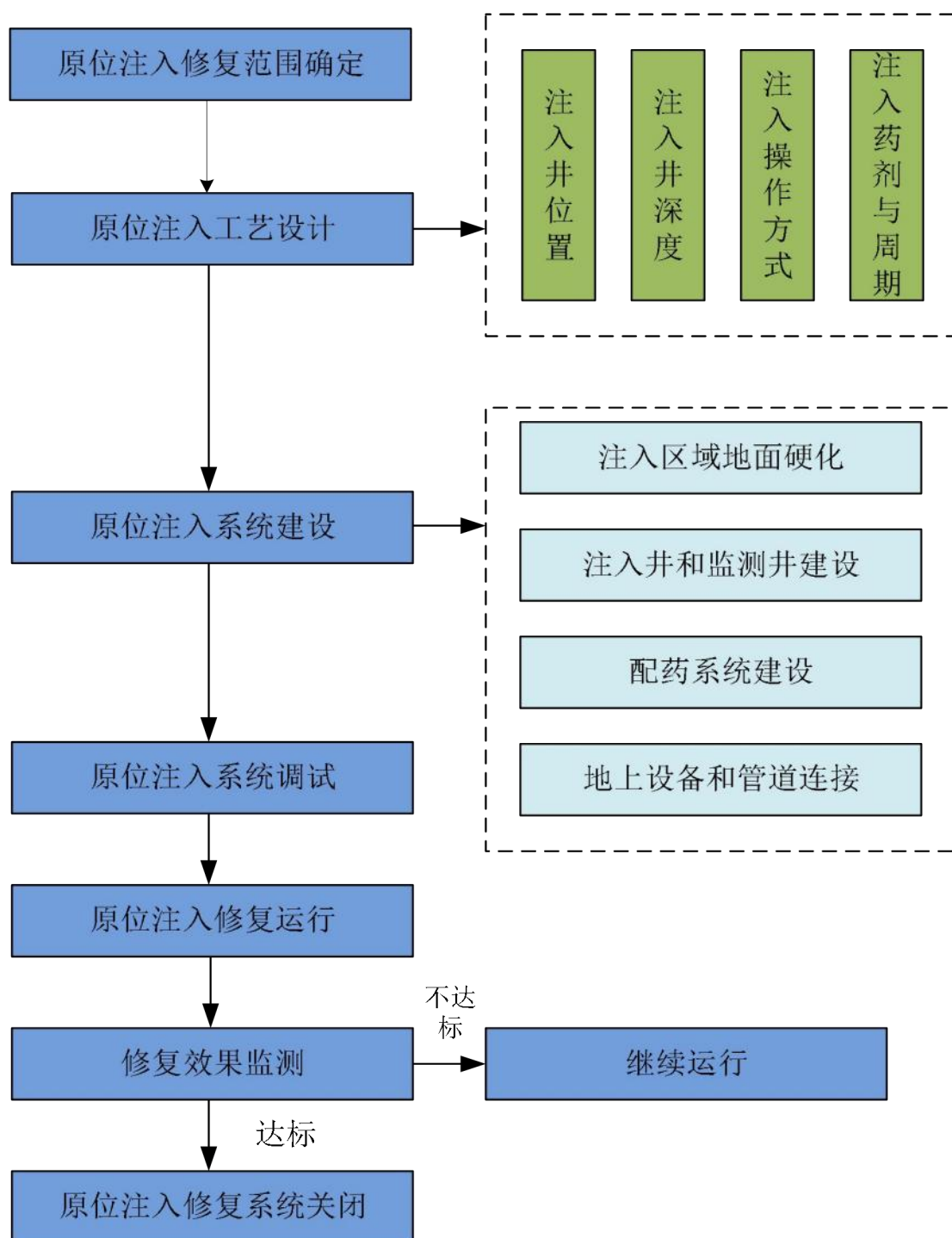


图5.2.1-3 地下水原位化学氧化修复工艺流程

1、注入系统建设

本项目原位注药井采用直径为50UPVC注入管，按照I区、II区、III区和IV区、V区污染区块共设置2个区域，配套2套注入系统、注入泵分区域氧化处置。

注药井采用 $\phi 50$ UPVC管，管身开筛包密目网，采用 $\phi 110$ 牙轮钻开孔，钻孔完成后下管，管壁与孔壁之间的空隙用粗砂和瓜子片的砂石混合料填充密实，管口

50公分深度至地面采用自拌细石混凝土密封，确保注入的药剂不会沿管壁及周围扰动的土壤反渗到地面。注药井施工见下图5.2.1-4所示。



图5.2.1-4 注药井施工

2、注入系统连接

根据分区设计，将注入井与药剂输送管道、压力计、流量计等进行连接，所有输送管道、阀门连接好后，要进行漏水检测，发现有漏水现象要重新拧紧螺栓，至不漏水为止。

注药管主管采用抗腐蚀的UPVC材质，直径为 $\phi 50\text{mm}$ ，支管为 $\phi 25\text{mm}$ 抗腐蚀UPVC管，每口注药井安装球阀单独控制流量，每一路设置气动隔膜泵和压力表控制注药压力，防止压力过大引起药剂反渗。注药系统连接见下图5.2.1-5所示。



图5.2.1-5 注药系统连接

3、注入系统调试

现场进行所有设备性能的整体联动试验，确保设备符合设计要求；注入清水过程中注意观察地面管道，确保管线连接处密封无漏水。按设计流量、压力注入清水，确定设计压力、流量可以满足施工需求，进一步优化工艺参数；试运行同时，监测地下水监测井水位、pH、ORP等相关指标，根据监测参数，优化工艺参数。根据调试结果，进一步优化整个系统连接与设计，并确定注入量、注入压力及在不同流量、压力下的影响半径，进一步优化工艺参数。

4、药剂注入

依据前期实验确定的药剂对污染物的降解效果，选择适用的药剂。再结合中试试验，确定注入浓度、注入量和注入速率，实时监测药剂注入过程中的真空度和压力变化。药剂注入前需要通过药剂搅拌系统进行充分混合。

在注药过程中现场安排专人对管道及压力进行实时调节，保证在现场条件允许的情况下压力最大，扩散半径也最大，同时避免超压引起的药剂反渗。

5、反应与监测

进行污染土壤和地下水原位化学氧化还原的修复过程监测以及修复后的监测。主要包括对污染物浓度、pH、氧化还原电位等参数进行监测，若污染物浓度出现反弹，可能需要进行补充注入。

6、原位化学氧化主体设备细分如下：

- (1) 注药隔膜泵：对各点加药的输送泵。
- (2) 药品传输隔膜泵：用于将所需加注的要从搅拌桶传输到加药筒中。
- (3) 压力表：用于观察各加药点实际压力。
- (4) 控制阀门：用于调节各加药点压力及流量。
- (5) 流量计：用于显示各加药点的实际流量。
- (6) 储气罐：用于储存气体并稳定提供隔膜泵所需的动力。
- (7) 空压机：用于给储气罐提供气体。
- (8) 电控柜：整套系统的控制板面。
- (9) 安全洗眼器：用于药品不慎溅出后的清洗。

原位化学氧化技术工艺流程见下图5.2.1-6所示。

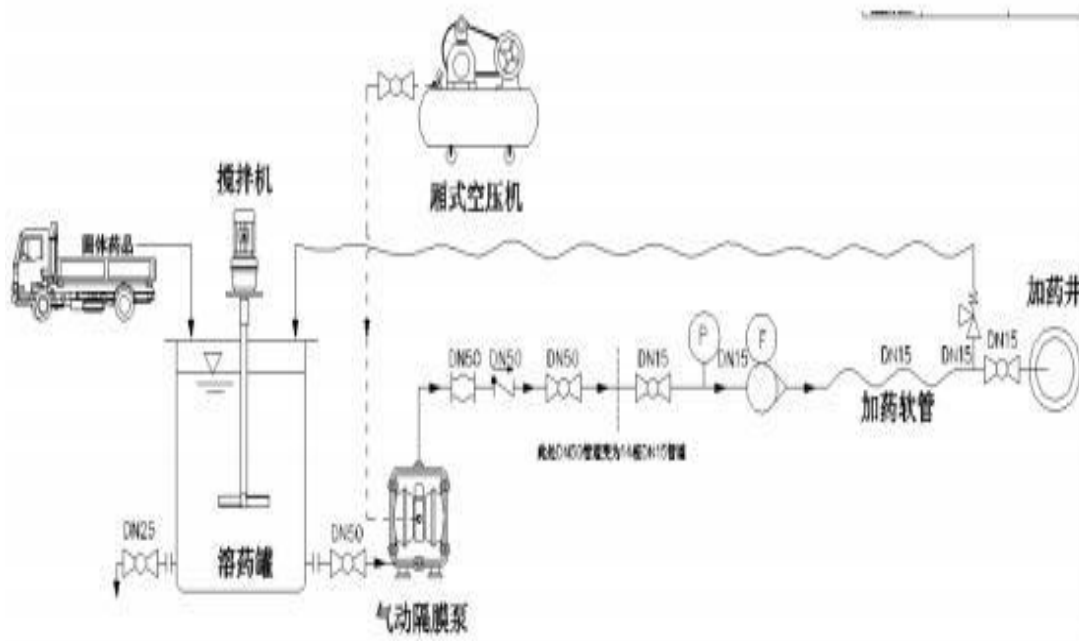


图5.2.1-6 原位化学氧化技术工艺流程

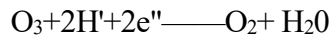
5.2.1.4 药剂选择

化学氧化技术修复效果受工程选用的化学氧化剂的影响。目前用于化学氧化的药剂主要有臭氧、芬顿试剂、高锰酸盐和过硫酸盐。下面对这四种药剂在化学氧化中的应用和针对本地块关注污染物的氧化可行性作简要分析。

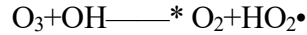
1、臭氧

臭氧早期主要在城市污水处理中应用，近些年来在化学氧化技术中也有所应用。臭氧在水中的溶解度是氧气的12倍，它可迅速溶于水并与污染物反应，且臭

氧能生成自由基与污染物发生化学反应，比通过臭氧本身进行氧化更快。臭氧本身氧化及生成自由基的化学反应方程式分别如下：



臭氧产生自由基起始的化学反应式如下：

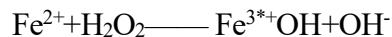


臭氧的强氧化性不仅可以氧化大分子及多环类有机污染物，也可氧化分解柴油、汽油、大部分含氯溶剂等。臭氧自身分解产生的氧气可被土壤和含水层中的微生物利用。

与其它氧化剂不同，臭氧是气体，通常需要将其与空气混合后注入土壤和地下水。臭氧在土壤中能持续一到两天。臭氧处理的有效性受到了它从气相向液相转化能力的限制；同时考虑到非目标污染物氧化过程的额外消耗，相比其它氧化剂，臭氧往往需要更长的治理时间。臭氧氧化时，若采取直接鼓气注入方法，需要对蒸气采取控制和收集。此外，如果土壤或地下水中存在溴化物，容易生成溴酸根，造成二次污染。

2、芬顿试剂

芬顿试剂是过氧化氢和二价铁溶液的混合物，是目前用于土壤和地下水修复的氧化性最强的氧化剂。二价铁作为催化剂，催化羟基自由基的产生。以下是芬顿试剂作用的反应方程式：



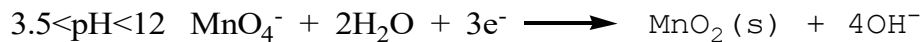
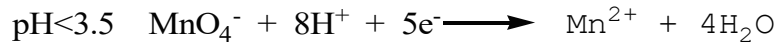
芬顿试剂过氧化物浓度为30%左右，在使用时稀释成5%~15%的溶液。使用芬顿试剂时，污染物通过直接的化学反应或羟基自由基被降解，这些反应使得污染物得到快速、有效的降解，但不特别限于某一污染物，即土壤中能被芬顿试剂氧化的物质都将被其氧化。因此，芬顿试剂能够氧化种类广泛的有机化合物。由于反应快速，注入土壤之后，氧化剂的稳定性持续不到一天。

典型的芬顿试剂中，二价铁以硫酸亚铁溶液的形式添加。故使用前必须用强酸酸化土壤，使土壤 pH 在3~5之间，以便保持二价铁以离子形式存在。酸化后的土壤增加了重金属迁移的风险。

当前使用较多的为改性芬顿试剂，改性芬顿试剂是在芬顿试剂中加入络合剂，络合剂能够维持二价铁的存在，不需要对土壤进行酸化，此时土壤 pH 为7~10 时仍可以适用。使用时不必对土壤进行酸化，也防止了重金属迁移的风险。使用的络合剂包括 EDTA（乙二胺四乙酸）和柠檬酸盐等。

3、高锰酸盐

高锰酸盐是一种温和的氧化剂。与臭氧和芬顿试剂等氧化剂相比，其降解反应非常特殊，对氯代烯烃分子结构中的碳双键有特殊的亲和力，而且在土壤中的稳定性高，能够维持反应数周，持续分解污染物。高锰酸盐作用的反应方程式如下：



化学氧化工艺中，最普通的高锰酸盐是高锰酸钾和高锰酸钠。高锰酸钠的优点能够以溶液的方式提供，而高锰酸钾的价格更便宜些，但是只有固体产品。使用高锰酸盐需考虑二氧化锰固体沉淀可能引起的土壤孔隙的阻塞，且由于高锰酸盐溶液为深紫色，观感也应列入评价其适用性的范围内。此外，高锰酸盐不适于处理苯，多氯苯等有机物。

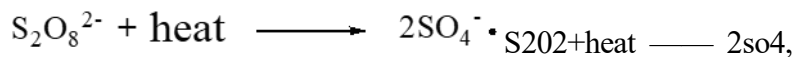
4、过硫酸盐

过硫酸盐有两种应用方法：非活性与活性。非活性过硫酸盐是一种温和的氧化剂，不用于土壤和地下水的修复。然而，活性的过硫酸盐氧化强度几乎等同于臭氧/过氧化物和芬顿试剂。活性意味着化学氧化反应被催化，形成羟基自由基和硫酸根。

土壤中的过硫酸盐非常稳定，能存在数月，具体取决于土地和污染的情况。此外，活化的过硫酸盐氧化性强，可用于分解大多数污染物。

过硫酸盐可以通过四种方式实现活化：

①加热：通过加热过硫酸盐溶液，对过硫酸盐进行活化，反应方程式如下：



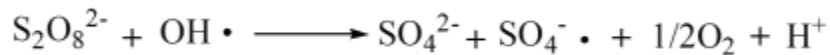
在一定温度范围内，温度越高，活性越强。然而，温度的升高不仅增加了氧化剂的活性，同时也增加了副反应的反应速率。与其它活化方式相比，由于副反应的消耗，加热活化可能引起氧化剂用量的增加。加热活化方法的最大限制因素是成本，除了与气相抽提等加热提取技术联用之外，加热活化在实际中很少有应用。

②添加催化剂：催化剂以二价铁最为广泛应用。二价铁催化过硫酸盐溶液能够生成过硫酸根自由基，过硫酸根自由基能够氧化目标污染物或进一步生成其它自由基，见以下反应式：



二价铁作为活化剂有其一定的限制性，为避免二价铁或三价铁生成氢氧化亚铁或氢氧化铁而失去活性，土壤或地下水含水层需保持 $\text{pH} < 3$ 的酸性环境或使用EDTA（乙二胺四乙酸）、柠檬酸盐、磷酸钠等螯合剂。螯合剂的使用需考虑到螯合剂的添加给土壤环境可能带来的危害。

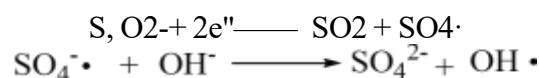
③过氧化氢活化：将双氧水与过硫酸盐溶液一同注射加入土壤或地下水含水层。与土壤或地下水含水层介质接触后双氧水立即发生放热分解反应。此过程中释放出的热量对过硫酸盐起到了加热活化的效果。除此之外，过氧化氢分解过程中产生的羟基自由基也能够活化过硫酸盐，使其生成过硫酸根自由基，如下：



过氧化氢活化过硫酸盐的其它活化机制尚不明确。但是由于过氧化氢反应速率过快，抑制了其在土壤中的有效迁移，但双氧水和过硫酸钠均具有较强的氧化性，可减少药剂的添加量。

④加碱活化：在高 pH 条件下($\text{pH} > 11$)，过硫酸盐能够被活化并生产硫酸根自由基。严格来说这不是一种催化效应，而是由于硫酸根自由基形成的化学反应本身就需要碱性条件

加碱活化促使硫酸根自由基和羟基自由基的生成，从而传导一系列自由基反应，其过程如下：



而且，在强碱条件下，仅仅是碱水解就可以分解一些有机污染物，在没有任何自由基作用的条件下，高浓度的氢氧根离子可以分解一些有机污染物。在应用过程中，需要注意的是为确保 pH 环境达到要求，需结合实际情况重复加碱。而且强碱作为危险化学物质，在操作上容易造成安全方面的事故。不同氧化剂氧化能力比较见下表5.2.1-2所示。

表5.2.1-2 不同氧化剂氧化能力比较

氧化剂类型	标准氧化电势 (V)	相对强度 (氯=1)
羟基自由基 ($\text{OH}^\cdot$)	2.8	2.0
硫酸根自由基 ($\text{SO}_4^{\cdot-}$)	2.5	1.8
臭氧	2.1	1.5
过硫酸钠	2.0	1.5
过氧化氢	1.8	1.3
高锰酸盐 (Na/K)	1.7	1.2
氯	1.4	1.0
氧气	1.2	0.9
超氧化离子 ($\text{O}_2^{\cdot-}$)	-2.4	-1.8

从上表可以看出，过氧化氢、过硫酸钠、芬顿实际和高锰酸钾等药剂均具有较强的氧化效果。但考虑到过氧化氢的反应过快，持续性较低，药剂需要办理危化品手续；芬顿氧化需要调节土壤和地下水的pH，且修复后含铁量较高；高锰酸钾修复完后会大幅增加土壤和地下水含盐量以及改变颜色，本项目选择碱活化过硫酸钠原位氧化修复药剂。碱活化过硫酸钠原位氧化修复具有较多成熟的案例，如下：

(1) 某污染场地土壤中主要有机污染物有乙苯、1,2-二氯乙烷、二苯并(a,h)蒽和茚并(1,2,3-cd)芘，地下水中污染物主要有氯仿及1,2-二氯乙烷。针对该场地的污染情况，经技术比选和可行性研究，修复工程采用碱活化过硫酸盐作为地下水1-5m污染土壤原位化学氧化修复药剂，采用高压旋喷注入模式，活化过硫酸钠试剂摩尔比($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8:\text{NaOH}$)=1:2，换算成质量比(99%过硫酸钠：32%液碱)约0.96；采用芬顿试剂作为表层0-1m污染土壤化学氧化修复药剂，采用原为搅拌模式实施，亚铁盐与双氧水的配比为摩尔比($\text{Fe}^{2+}:\text{H}_2\text{O}_2$)=1:3,换算成质量比(9%七水合硫酸亚铁：30%液碱)约0.82。

(2) 美国马顿前天然气工厂原位化学氧化修复项目目标污染物：煤焦油、苯系物、TPH修复技术：原位化学氧化(碱活化过硫酸盐)示范目标：土壤和地下水中苯等有机物污染物减少90%以上，达到修复目标。处理效果：XDD公司于2009年和Ameren签订修复协议后，开展原位化学氧化的小试和中试试验，然后依据试验结果，在项目地开展全面修复工作。修复药剂采用碱活化过硫酸盐，氧化剂的注入方法采用永久性注入井和一次性直推注入法相结合，场地分为西区 and 东区，共注入约46200磅过硫酸盐药剂。修复后的监测结果表明，污染物处理浓度

达到修复目标。修复后，西区的TPH达到标准值要求（2500mg/kg），东区地下水中苯浓度从30000-40000 $\mu\text{g/L}$ 降至600 $\mu\text{g/L}$ ，处理效率高于98%。

5.2.1.5 参数设置

综合前述，本项目的原位注射氧化法参数如下表5.2.1-3所示。

表5.2.1-3 原位注射氧化法参数

项目	参数
药剂种类	碱活化过硫酸钠
加药量	1~3%（以过硫酸钠计）
加药速率	0.1-0.5 m^3/d
注射压力	0.2-2 MPa
影响半径	1.73m
注射井间距（条状布置）	3m

5.2.2 堆场土壤异位化学氧化修复技术设计

5.2.2.1 技术原理

向污染土壤添加氧化剂或还原剂，通过氧化或还原作用，使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧。系统构成和主要设备：修复系统包括土壤预处理系统、药剂混合系统和防渗系统等。

5.2.2.2 工艺流程

堆场区域污染土壤异位化学氧化工艺过程主要包括污染土壤清挖运输、污染土壤预处理、污染土壤异位化学氧化处理、堆置养护以及修复车间内尾气收集和处理过程，具体工艺流程图如下图5.2.2-1所示。修复实施时的作业步骤如下文所述：

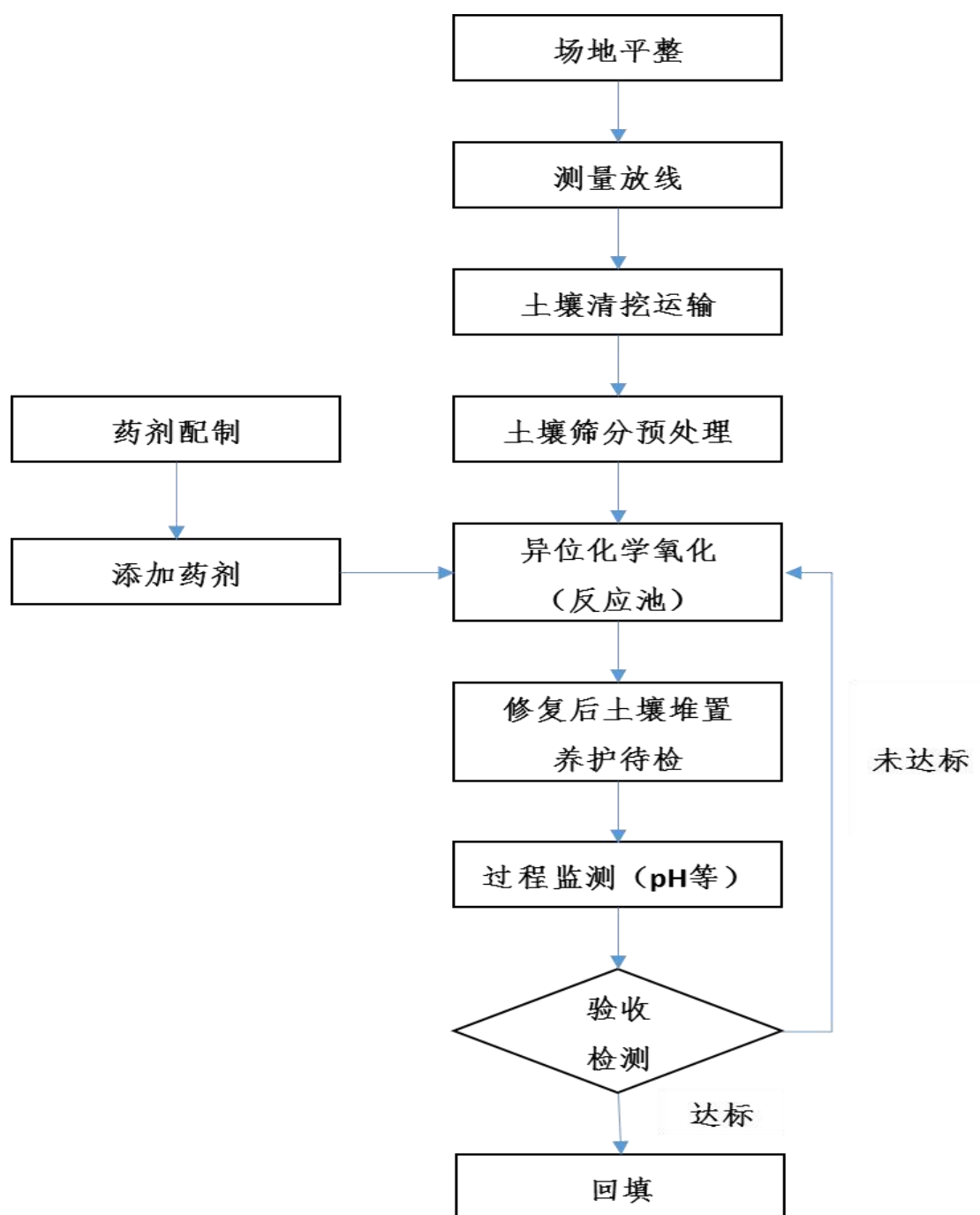


图5.2.2-1 原地异位化学氧化工艺流程示意图

(1) 污染土壤清挖运输

测量确定场地内单独的污染土壤修复范围，将污染土壤挖出。将污染土壤密闭运输至大棚内，严禁超挖、超载，清挖过程注意安全防护。清挖施工间歇期间，采用喷洒VOCs挥发抑制剂产品形成泡沫阻隔层的方式处理，抑制土壤中挥发性有机污染物向周围大气环境扩散，造成大气污染。

(2) 筛分预处理

在修复车间内，使用筛分破碎斗进一步筛分破碎，筛出杂物装车转运至渣土冲洗场地处理，经筛分破碎后污染土壤转运至氧化反应区域。

（3）化学氧化处理

选择的修复药剂为过氧化氢，其中双氧水添加量1%~3%（具体掺量根据现场来调整）。采用挖机、ALLU斗及翻抛机保证药剂与土壤充分混合反应。修复过程在车间内进行。

（4）堆置养护

修复处理后的土壤，由运输车辆统一运至指定待检区域进行堆置养护。待养护土壤按批次堆置成长条土垛，用苫布覆盖进行养护，并定期用洒水车进行喷洒降尘作业。堆置期间定期采样检测土壤含水率、pH及修复药剂残留量，及时补充水分和调节 pH，维持待检土壤含水率和酸碱度稳定。

（5）尾气收集处理

修复全过程需要开启通风及尾气处理系统。对整个车间空间内的空气进行通风换气，以去除从土壤中的挥发性有机污染物,收集的污染粉尘返回进行氧化修复，而气态污染物那么通过活性炭吸附系统得以去除。

5.2.2.3 工艺设备及参数

1、修复车间

根据处理需要，本工程可利用现有车间作为修复车间（用于异位化学氧化处理工艺），车间面积结合土壤修复方量和场地实际情况确定；车间两侧各配置1套尾气处理系统，设百叶窗进风口，风口连接尾气处理系统，使车间整体处于密封状态。

2、专业设备

（1）解析车间主要修复设备有 ALLU翻抛机、筛分破碎机、装载机、挖掘机等，采取各种措施，保证设备长期、平安、稳定的运行。

（2）对于ALLU翻抛机这样重要的修复设备，定期做点检、维护等工作，发现潜在问题及时提出，寻找适宜的解决方法，保证不影响生产方案。

3、通风、尾气处理及参数

1、污染土壤在修复过程中需要进行通风换气，以利于污染物的挥发和扩散，并收集至尾气处理系统进行净化处理。修复车间通风参数设计如下：

（1）换气次数：不低于2次/小时；

(2) 换风量：根据修复车间的空间体积和换风次数计算。

2、污染土壤在修复车间内的修复过程会释放出大量含有污染物的废气。因此通风置换出的废气不可直接排放入大气，需进行处理达标后再排放。修复车间内通过强制通风抽出的废气，在引风机负压作用下进入尾气处理系统进行处理。

3、修复车间产生的尾气经收集系统收集后，进入除尘系统，经除尘处理后的废气，进入活性炭吸附系统，最后经风机排入烟囱，最终进入大气。经过尾气处理系统达标后排放到大气中的尾气，不会对周边环境造成二次污染问题。

5.2.3 地下水抽出处理技术设计

5.2.3.1 重污染点位原位注射区设计

考虑地下水抽出后部分污染物吸附在土壤上，造成重新补给的地下水二次污染。本方案设计在地下水抽出后对重污染区进行二次注药强化修复效果。地下水重污染区主要集中在GW2、GW6、GW7、GW8、GW10、GW12、TLD-GW2、TLD-GW3。在各重污染点位及四个方向3米处分别设置1口注射井，深度为14.5米，共需布设40个注射井。重污染点位及超标情况见下表5.2.3-1所示，地下水超标严重点位区域见下图5.2.3-2所示。

表5.2.3-1 重污染点位及超标情况 (ug/L)

污染物	评价标准	评价标准出处	超标点位	检出值	超标倍数
苯	120	GB/T14848-2017	GW2	2420	19.2
			GW6	17100	141.5
			TLD-GW2	5390	43.9
			TLD-GW3	3960	32
			GW7	4840	39.3
			GW8	36200	300.7
			GW10	5740	46.8
			GW12	73100	609.2
甲苯	1400		GW8	69500	48.6
			GW12	285000	202.5
乙苯	600		TLD-GW3	10100	15.8
			GW8	18700	30.2
			GW12	10900	18.2
二甲苯	1000		TLD-GW3	32490	31.5
氯乙烯	90		GW2	1000	10.1
1,2-二氯乙烷	40		GW2	1090	26.3
1,1,2-三氯乙烷	60		GW2	981	15.4



图5.2.3-2 地下水超标严重点位区域

5.2.3.2 地下水抽出工艺设计

本地块地下水污染面积共22068.2m²，设计采用φ300HDPE双壁波纹管成井，井深23米（最大降水深度14.5米），间距22.5米，单井有效集水半径13.31米，共50口管井，呈三角形梅花状布置，单口井日抽水量≥7m³。管井降水示意图详见下图5.2.3-3所示。管井平面布置图详见下图5.2.3-4所示。

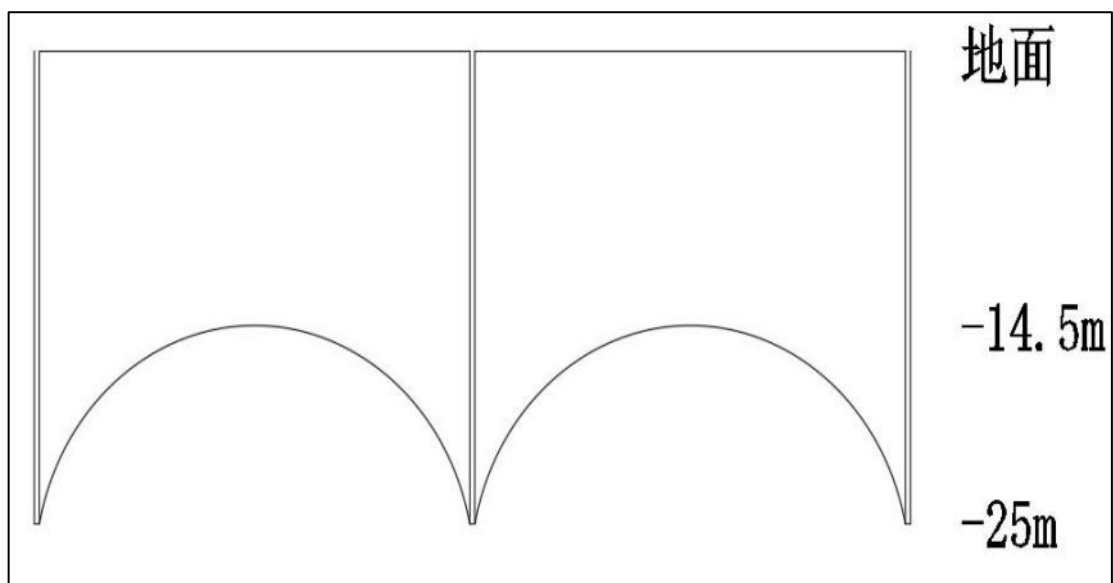


图5.2.3-3 管井降水示意图

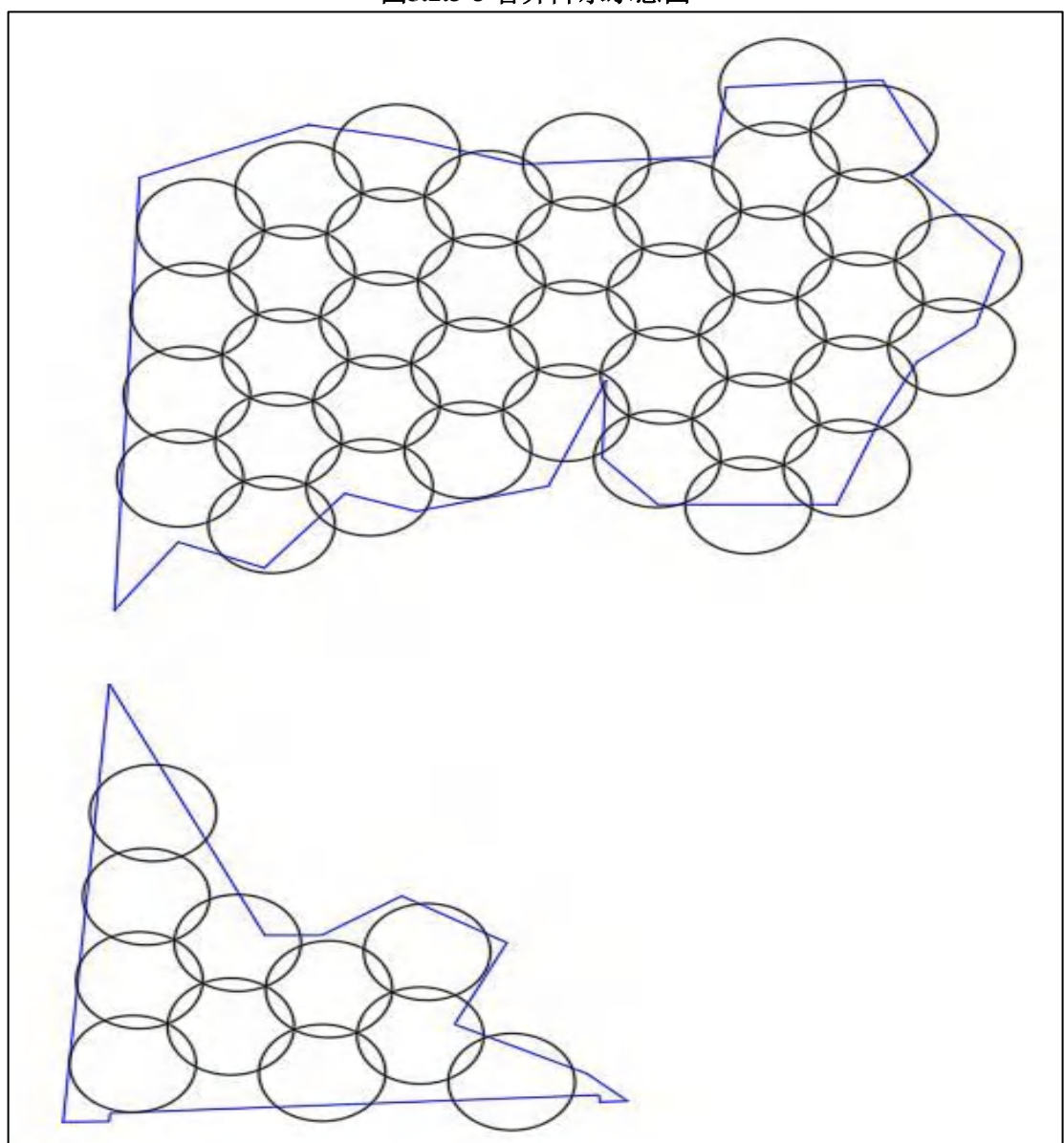


图5.2.3-4 管井平面布置图

5.2.3.3 地下水处理工艺设计

将抽出的地下水泵至污水处理站进行处理，达标后纳管排放，污水处理工艺流程见下图5.2.3-5所示。

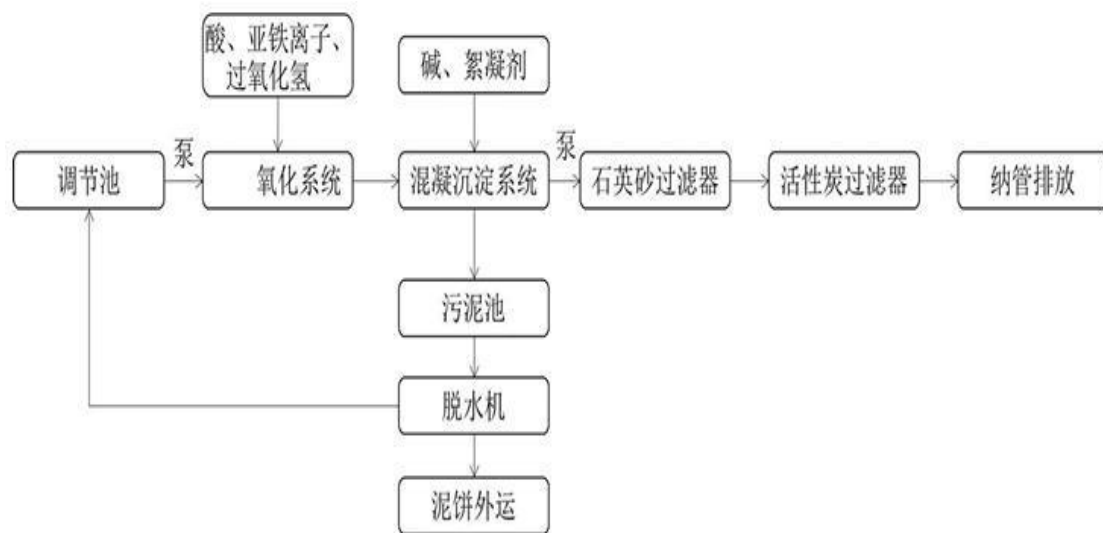


图5.2.3-5 地下水处理工艺流程图

污水处理整个工艺流程的重要环节，主要由调节池、氧化系统、混凝沉淀系统、过滤器系统、中间水池、深度净化器、清水池和污泥处理系统工艺组成。其中氧化系统根据场地实际情况进行合理调整，本方案中拟推荐选用芬顿设备。各处理单元作用如下：

（1）调节池

由于污水来水不均匀，水质、水量有波动性，因此只有足够的调节容量才能达到调节水质水量的效果。

（2）氧化系统

地下水中所有的超标污染物均为挥发性有机物，本方案拟选用芬顿试剂，地下水经过芬顿系统处理后，可将特征污染物（苯、甲苯、乙苯、二甲苯、1,2-二氯丙烷、氯苯、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、1,2-二氯丙烷和氯苯）氧化降解。水力停留时间约60min。

（3）混凝沉淀单元

经过氧化系统后的地下水进入混凝沉淀单元，首先调节PH至5-6，然后加入絮凝剂PAM，通过混凝后的污水在沉淀池内进行沉淀，实现泥水分离，出水一般

较清澈，污泥沉淀至泥斗内，定期外排，上清液通过缓冲水池用泵提升至过滤器系统。水力停留时间约为2h。

（4）过滤器系统

过滤系统主要由活性炭过滤器及石英砂过滤器组成，通过过滤系统进行精细过滤和吸附，将水中粒径为 $5\mu\text{m}$ 以上的悬浮物进行拦截，保证出水达标排放；经两级过滤之后，出水排入暂存池，检测后达标排放。

（5）污泥池

混凝沉淀池污泥定期排入污泥池进行浓缩；污泥池上清液排入调节水池继续处理，底部污泥进入脱水机进行脱水，脱掉的水回流至调节水池，脱水后的污泥外运委托有资质的单位进行处置。

地下水抽出处理后的废水中的特征污染物达到《污水排入城镇下水道水质标准》（GB T31962-2015）的B级标准后排放到管网，其中废水中1,2-二氯丙烷、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷和1,2-二氯丙烷排放标准参考《地下水环境质量》（GB/T 14848-2017）中IV类水标准限值，如表5.2.3-6所示。

表5.2.3-6 废水排放标准

序号	目标污染物		排放标准（mg/L）
1	pH		6.5~9.5
2	COD		500
3	总铁		10
4	苯系物	苯	2.5
5		甲苯	
6		乙苯	
7		二甲苯	
8		氯苯	
9	1,2-二氯丙烷		0.06
10	1,1-二氯乙烯		0.06
11	氯乙烯		0.09
12	顺-1,2-二氯乙烯		0.06
13	1,2-二氯乙烷		0.04
14	三氯乙烯		1
15	1,1,2-三氯乙烷		0.06
16	四氯乙烯		0.5
17	1,2-二氯丙烷		0.06
18	硫酸盐		600

5.2.4 地下水回灌技术

回灌技术的基本原理是将经过处理的地下水通过回灌井重新注入地下含水层。这种方法不仅可以处理地下水污染，还能加快地下水的循环。回灌过程中，处理后的地下水通过回灌井注入地下，替代原有的污染地下水，从而逐步清除污染。

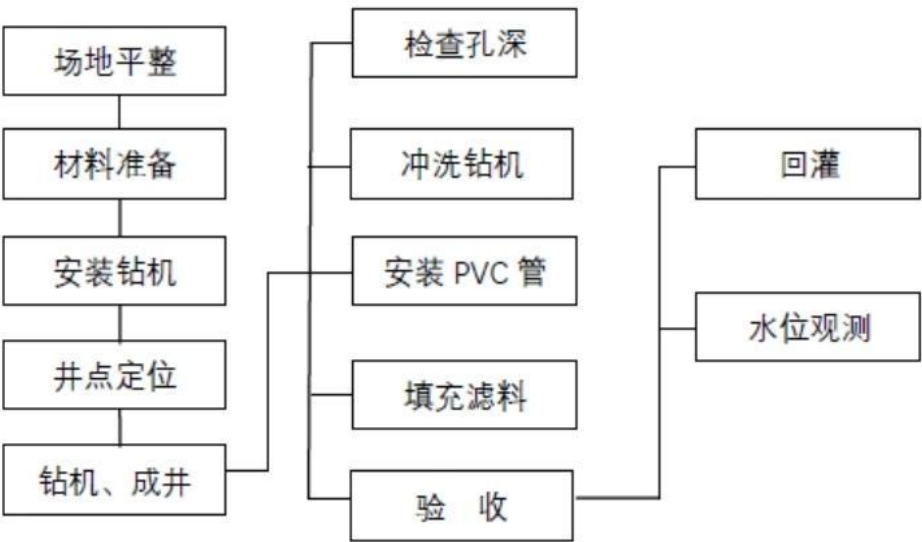


图5.2.4-1 回灌井施工工艺流程

1、施工准备

(1) 回灌井位置的地质情况、坐标定位、尺寸均经过检查，并办完隐检手续。

(2) 施工现场做好“三通一平”，满足设备进、出场，配齐各种施工辅助设备。

(3) 施工过程中用的机械设备、材料、配电箱等已准备充分并且随时可以投入使用。

2、回灌井钻孔

本项目采用一台百米地质钻进行回灌井的钻孔，在钻孔过程中钻头应垂直钻进，垂直度控制在1%内，钻孔孔径400mm，钻孔深度以进入坑底15m。

3、UPVC 管安装

本项目回灌井管采用A200的硬质UPVC管，安装井管前，先在底部抛填1000mm厚的5-13mm石子滤料，井管上端口应高出地面至少1000mm，严禁强行将井管压入井孔。为了防止井管的孔眼被土砂堵塞，在孔眼四周外包2层尼龙纱网并且用A2铁丝握紧。

4、回填石料

在回填石料时井管必须居中，滤料采用5-13mm石子滤料，用铁锹均匀对称的抛撒在井管四周，填料填至地面，回灌井范围采用粘土封堵密实。

5、洗井

填料完成后采用循环水洗井，井内的沉渣厚度不得超过20cm。

6、回灌

对清洗好井管的回灌井，验收合格后，对回灌井进行封闭，把井管最上端用UPVC管堵盖封住，待需回灌时打开堵盖进行回灌。本项目经处理合格后的地下水，定期进行回灌工作。

7、定期回扬

为预防和处理管井堵塞，主要采用回扬的方法，回扬是在回灌井中开泵抽排水中堵塞物。每口回灌井回扬次数和回扬持续时间主要由含水层颗粒大小和渗透性而定。在岩

溶裂隙含水层进行管井回灌，长期不回扬，回灌能力仍能维持；对细颗粒含水层，回扬尤为重要，回扬时间宜为1个星期一次。

5.2.5 阻隔技术设计

5.2.5.1 阻隔施工范围

根据现场实际勘查情况，结合土壤和地下水污染深度和范围，宜在西侧厂区边界，采取高压旋喷桩阻隔措施，防止污染物的迁移和扩散。高压旋喷阻隔全长120米，桩径600mm，桩间距500mm，桩深18m。高压旋喷阻隔施工范围见下图5.2.5-1所示。



图5.2.5-1 高压旋喷阻隔施工范围

5.2.5.2 技术原理

高压旋喷是高压喷射注浆法的一种，是将带有特殊喷嘴的注浆管插入设计的土层深度，然后将水泥浆以高压流的形式从喷嘴内射出，冲击切削土体。土体在高压喷射流的强大动力等作用下，发生强度破坏，土颗粒从土层中剥落下来，与水泥浆搅拌形成混合浆液。一部分细颗粒随混合浆液冒出地面，其余土粒在射流的冲击力、离心力和重力等力的作用下，按一定的浆土比例和质量大小，有规划地重新排列。这样从下向上不断地喷射注浆，混合浆液凝固后，在土层中形成具有一定强度的固结体，并且固结体呈圆柱体。

5.2.5.3 工艺流程

高压旋喷止水帷幕施工工艺流程及要点如图5.2.5-2所示。



图5.2.5-2 高压旋喷施工工艺流程

(1) 测量放样

首先清理、整平场地，然后依据布桩图，使用全站仪对施工桩位进行标记。

(2) 钻机就位

将钻机安放在设计孔位上，使钻头对准孔位中心，纵横向偏差不得大于20mm。为保证钻孔达到规范要求的垂直度偏差1%以内，钻机就位后，必须作水平校正，使钻杆轴线垂直对准孔位，并固定好桩机。

(3) 钻孔插管

钻孔插管是将喷管插入地层预定的深度。在钻孔插管过程中，为防止泥沙堵塞喷嘴，可边射水、边插管，水压力一般不超过1MPa，若压力过高，则易将孔壁射塌。

(4) 旋喷管插入

旋喷管插入预定深度后，自下而上进行喷射作业，成桩过程中严格按试桩工艺参数控制。施工过程中值班技术人员注意时刻检查浆液初凝时间（正常时水灰比1:1初凝时间为2小时左右）、注浆流量、压力、旋挖提升速度等参数是否符合设计要求，并随时做好记录。当浆液初凝时间超过2小时应及时停止使用该水泥浆液。

(5) 冲洗器具

喷射作业完成后，应吧注浆管等机具设备冲洗干净，管内，机内不得残存水泥浆。冲洗方法是浆液换成水，在地面上喷射，以便把泥浆泵、注浆管和软管内的浆液全部排除。

(6) 移动机具

把钻机等机具设备移动新孔位就位。

5.2.5.4 施工工艺要点

(1) 旋喷前须检查高压设备和管路系统，其压力和流量表必须满足设计要求。下管前必须检查注浆管路是否畅通，接头密封是否良好。

(2) 在插管过程中，为防止泥沙堵塞喷嘴，可边射水边插管，水压一般不超过1MPa。

(3) 当喷管插入预定深度后，由下而上进行喷射作业，喷射注浆时要注意，待估算水泥浆的前锋已流入喷头后（一般2-4秒）方可开始提升注浆管。值班人员必须时刻注意检查浆液初凝时间，注浆流量等技术参数，控制转速、提速。拆卸钻杆继续喷射时，保持钻杆有0.3m的搭接长度，不得使喷射固结体脱节。深层旋喷时，先喷浆后旋转和提速，以防注浆管扭断。

(4) 重复喷射：在不改变喷射技术参数的条件下，对同一孔位做重复喷射，既能增加土体破坏的有效长度，从而加大固结体的直径或长度和提高固结体强度，复喷时全部喷浆，复喷的次数愈多，固结体直径加长的效果愈好。

(5) 施工时，加强前台与后场供浆配合密切，后场停止供应时，应及时通知前台，防止断桩和缺浆。再次供浆时，喷头需插入到停浆点0.5m以下，待恢复供浆时再提升。如停止时间超过3小时，需将输浆管卸下进行清洗。

(6) 所用水泥浆，水灰比不得随意更改，要保证水泥质量，水泥要过筛，其细度应在标准上的筛余量不大于15%，禁止使用受潮，过期的水泥。

(7) 喷射注浆孔与高压泵距离不能过长，防止高压软管过长，沿程压力损失增大，造成实际喷射压力降低。

(8) 为保证桩头的施工质量，旋转提杆至标高以下1m喷射提升时，采用慢速，控制在10cm/s以内。

(9) 喷射结束后，若发现浆面下降应立即在喷射孔内进行静压充填，直至浆液面不再下流为止。

5.2.5.5 工艺参数

结合现场实际情况，本项目采用高压旋喷进行水泥土阻隔墙的施工，全长120米，桩径600mm，桩间距500mm，桩深18m，总计2160延米。

为保证施工质量应严格遵守高压旋喷桩的要求，固化剂选用稳定性好的PO42.5的水泥，并按1:1的比例配置成水泥浆液。水泥浆通过高压旋喷设备与原状土壤形成具有一定稳定性和抗渗性的阻隔桩，桩深之间搭接100mm，使阻隔桩形成阻隔墙，从而起到阻隔地下污染水的作用。高压旋喷搭接示意图见图5.2.5-3所示。

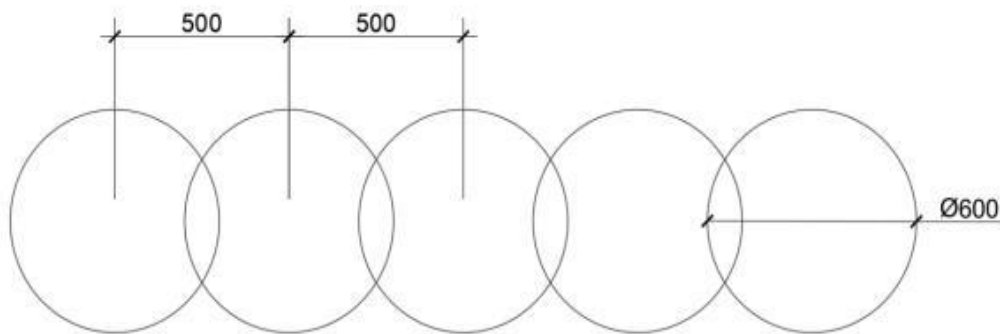


图5.5.5-3 高压旋喷搭接示意图

施工完成以及必要的养护期结束后，委托具有资质的第三方检测机构对水泥土阻隔墙进行检测，检测项目有渗透系数和7d无侧限抗压强度，检测合格指标为：

①渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ；②7d无侧限抗压强度不小于0.5MPa。

5.3 施工总平面初步布设

结合地块实际及周边环境特征情况，综合考虑地块修复工程需要，本地块修复工程用地范围内建议设置办公生活区、药剂存储区、原位化学氧化设备区、仓库、水处理设备区、废水暂存区等，地块修复工程用地范围总计约 3200m²。施工平面布置如图5.3-1所示。

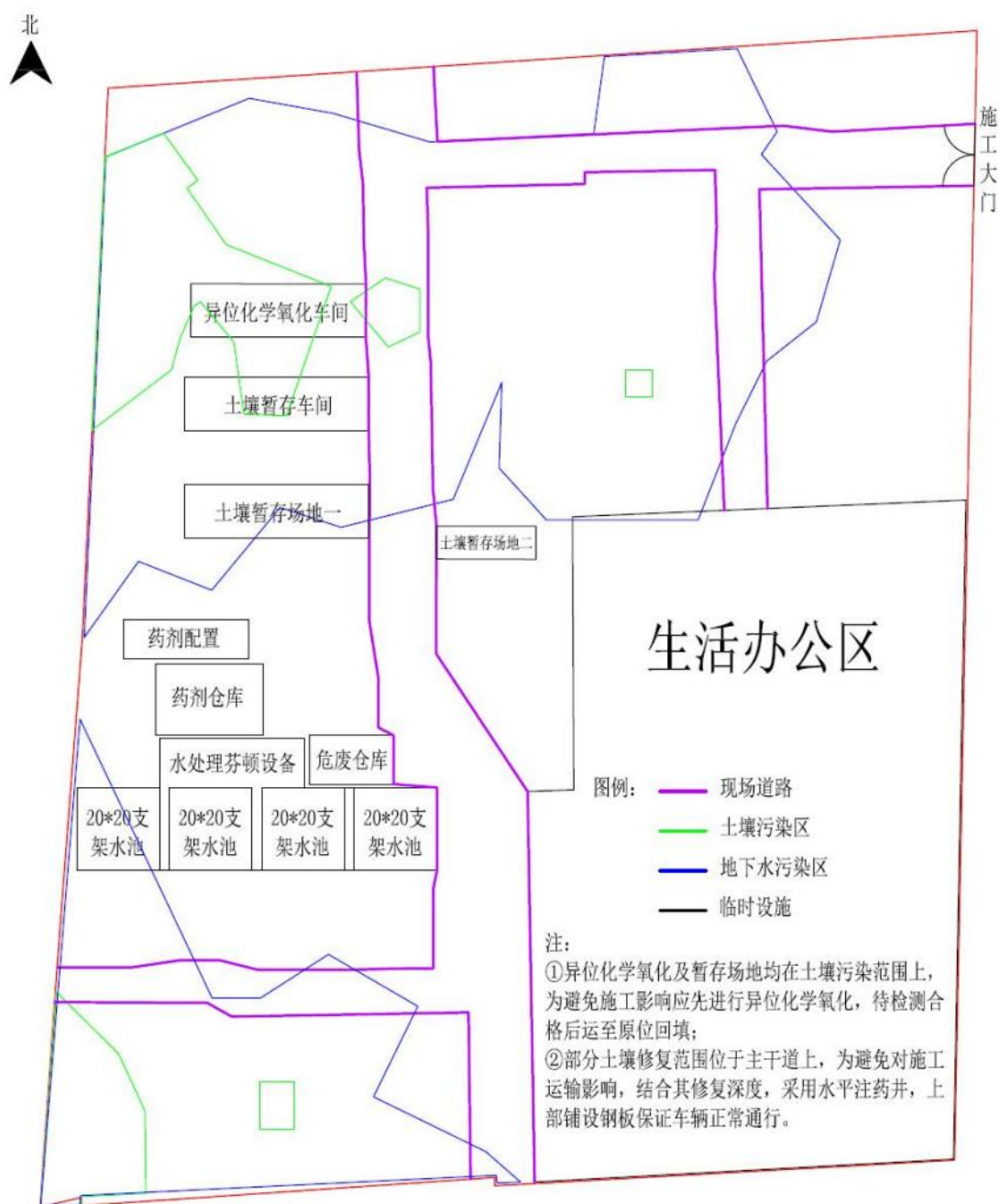


图5.3-1 施工总平面布置图

5.4 修复工程量估算

根据土壤修复技术方案设计，地块内土壤修复方量匡算结果如下表5.4-1所示。

表5.4-1 土壤修复方量匡算结果

修复技术	深度(m)	面积(m ²)	土方量(m ³)
原位化学氧化	0~0.5	609	304.5
	0.5~1.0	1917.2	958.6
	1.0~1.5	1018.6	509.3
	1.5~2.0	41.8	20.9
	2.0~2.5	41.9	20.95
	2.5~3.5	1053	1053
	3.5~4.5	379.2	379.2
	4.5~5.5	241.9	241.9
	5.5~7.5	913.2	1826.4
异位化学氧化	堆场区域的堆土		2000
总计土方量(m ³)			7314.75

根据地下水修复技术方案设计，地块内地下水修复方量匡算结果如下表5.4-2所示。

表5.4-2 地下水修复方量匡算结果

修复技术	区域		周长 (m)	深度 (m)	面积 (m ²)	体积 (m ³)
抽出处理	地下水	A	639.92	1-14.45	16467.46	53378.45
		B	434.33	1-14.45	5600.73	18154.49
	合计		1074.25		13647.6	71532.94

根据现场勘查情况，地块内西侧厂区边界阻隔施工工程量匡算结果如下表5.4-3所示。

表5.4-3 阻隔工程量匡算结果

修复技术	长度 (m)	深度 (m)	体积 (m ³)
高压旋喷阻隔	120	18	1220

6 环境管理计划与监测方案

6.1 修复工程环境监理

6.1.1 基本原则

污染地块修复工程环境监理单位受建设单位委托，依据相关法律法规、污染地块前期已批复及通过专家评审的相关文件，在公平公正的基础上，协助建设单位对污染地块修复工程施工单位的修复施工全过程开展环保监督指导工作。环境监理单位在环境监理过程中应遵守以下原则：

1、全面性原则

环境监理工作应对修复工程全过程开展全面监理，工作内容包括环保设施监理、二次污染防治监理、生态保护措施监理和环境管理监理等内容。

2、适时性原则

受污染地块修复施工过程中各种因素影响，导致实施方案、施工时序、施工设计发生变更时，应适时调整环境监理相关工作内容。

3、公正性原则

环境监理单位以保护生态环境为原则，客观、公正地开展污染地块修复工程环境监理相关工作。

6.1.2 工作程序

污染地块修复工程环境监理工作程序包括：施工准备阶段环境监理、工程实施阶段环境监理、竣工验收阶段环境监理和编制环境监理工作报告。其工作程序如下图6.1-1所示。

各阶段主要工作包括：

1、接受建设单位委托后，环境监理单位应组建项目监理机构，收集污染地块修复工程相关的资料，进行现场踏勘，参加施工组织设计交底。核查修复工程实施方案与修复技术方案以及施工组织设计方案的相符性、配套环保设施与措施的合理性、环境管理体系和管理计划的完整性等，编制污染地块修复工程环境监理工作方案。

2、根据环境监理工作方案，环境监理单位开展污染地块修复工程环境监理工作，核查修复工程施工情况、环保设施运行和环保措施落实情况，监督开展污

染物排放及环境影响监测，监督风险控制措施落实情况。针对存在问题提出整改意见，通知修复工程施工单位，抄送建设单位。

3、协助建设单位和修复工程施工单位组织开展修复工程环保专项预验收，核查修复工程内容的完成情况、修复效果的达标情况、二次污染防治措施的落实、修复效果评估、修复后土壤再利用和场地后期风险管控措施等内容。

4、修复工程结束后，环境监理单位总结修复工程环境监理的工作内容，编制修复工程环境监理报告，并向建设单位提交环境监理报告及相关档案文件。

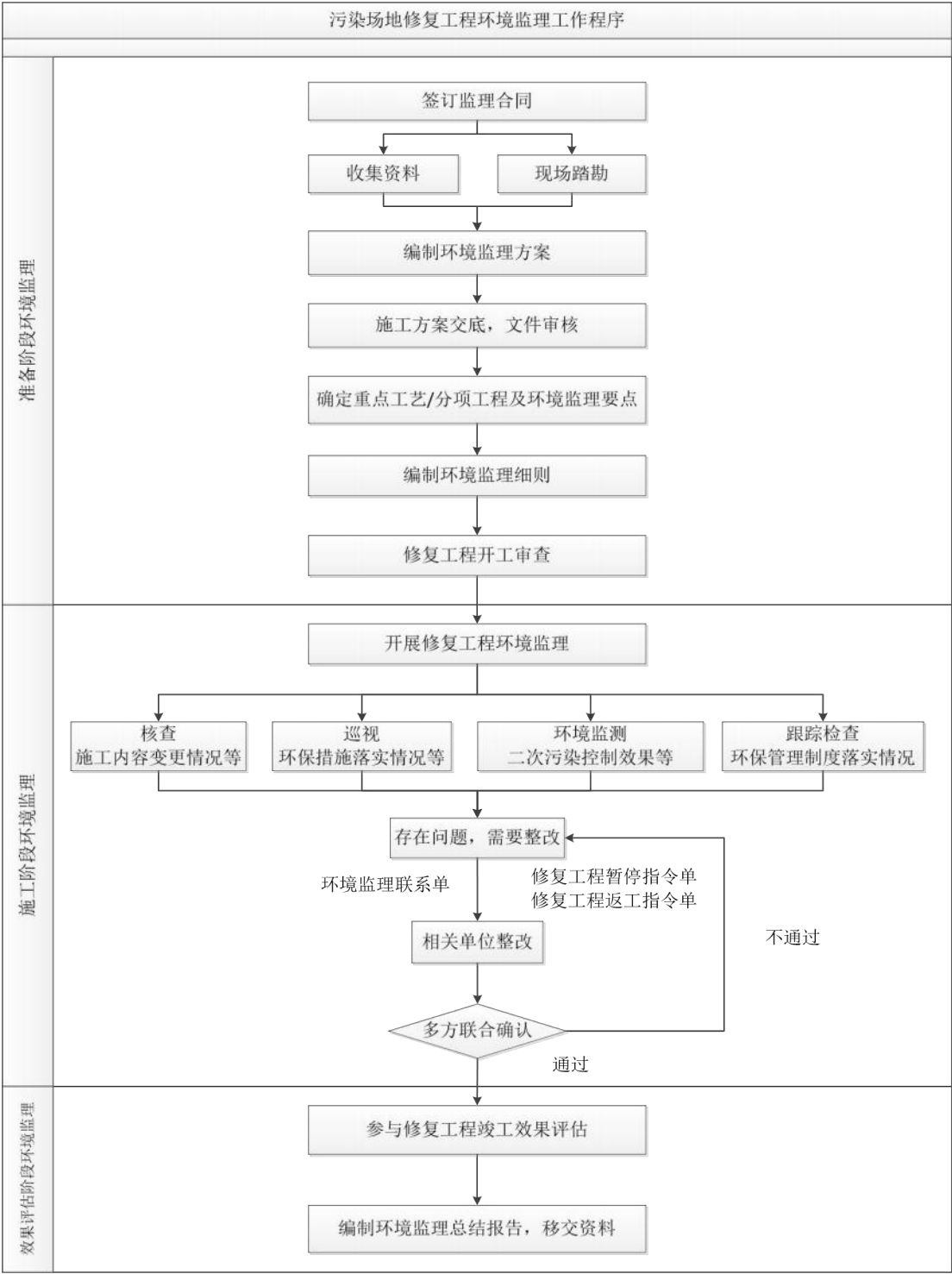


图6.1-1 修复工程环境监理工作程序

6.1.3 工作内容

环境监理的工作内容是监督修复工程是否满足环境保护等要求，并协调好工程与环境保护、以及建设单位与各方的关系。环境监理主要包括修复工程设计阶段环境监理、修复工程施工准备阶段环境监理和修复工程施工阶段环境监理，各阶段工作内容包括：

1、修复工程设计阶段

设计阶段环境监理内容包括：收集场地调查评估、场地污染修复方案、修复工程施工设计、施工组织方案等基础资料，对修复工程中的环保措施和环保设施设计文件进行审核，关注修复工程的施工位置、施工深度、药剂使用情况，审核修复过程中水、大气、噪声、固体废物等二次污染处理措施的全面性和处理设施的合理性，必要的后期管理措施的考虑。

2、修复工程施工准备阶段

施工准备阶段环境监理内容包括：了解具体施工程序及各阶段的环境保护目标，参与修复工程设计方案的技术审核，确定环境监理工作重点，协助建设单位监理完善的环保责任体系，建立有效的沟通方式等，并编制场地修复环境监理细则。

3、修复工程施工阶段

修复工程施工阶段环境监理内容包括：核实修复工程是否与修复实施方案符合，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、固废排放，施工影响区域应达到规定的环境质量标准；对原位化学氧化、地下水修复处理全过程进行环境监理；对场内修复工程相关废气处理、废水处理进行监督管理；检查污染场地各项条件是否符合环境要求；根据施工环境影响情况，组织环境监测，行使环境监理监督权；向施工单位发出环境监理工作指示，并检查环境监理指令的执行情况；协助建设单位处理环境突发事故及环境重大隐患等，编写环境监理专项报告。

4、验收阶段

修复工程完成后，在上述工作的基础上编制污染场地修复工程环境监理总结报告，参加工程验收现场检查会议，并参加修复工程验收工作。

6.1.4 工作要点

根据本场地污染物的特征及修复工程的工艺和特点，场地修复工程环境监理的工作要点如下表6.1-2所示。

表6.1-2 环境监理工作要点

监理内容		监理要点
修复过程施工内容	原位化学氧化修复	修复边界的确定
		修复工艺、药剂、用量、注入方式等核查
	地下水抽出处理	修复边界的确定
		抽出地下水及废水处置情况
修复过程二次污染防治	废气处置	现场定期洒水、施工围挡喷雾抑尘
	废水处理	设备清洗废水的收集处理情况
	危险废物	污水处理设施产生的污泥处置情况
		尾气处理设备产生的废活性炭处置情况
修复效果评估	样品采集	采样点的位置、采样方法
		样品数量、样品保存与流转情况等监控

6.1.5 工作方法

本场地修复工程的环境监理应采用以下工作方法：

1、核查

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

2、巡视

项目监理机构对修复工程施工现场进行的定期或不定期的检查活动。按照环境监理工作方案，明确具体项目的巡视方法、要求和内容。安排环境监理员实施巡视，做好巡视工作记录，编写环境监理日志。环境监理员巡视过程中发现异常问题时及时上报环境监理工程师，由环境监理工程师签发整改通知单，修复工程施工单位应按要求整改。

3、旁站

项目监理机构对修复工程的关键施工工序和施工过程开展全过程跟班监督的活动。重点检查施工现场的污染防治措施、环保设施是否按照要求落实到位等情况。旁站工作过程中，环境监理员应做好旁站记录，定期整理相关材料并上报建设单位。

4、会议

项目监理机构定期或不定期召开的环境监理会议，包括环境监理交底会、例会、专题会议和现场协调会。会议由总环境监理工程师或由其授权的环境监理工程师主持，修复工程相关单位派人员参加。

5、监测

为掌握日常施工造成的二次污染情况，环境监理单位可采用便携式环境监测仪器进行现场环境监测，辅助环境监理工作。较复杂的环境监测内容可通过建设单位另行委托有资质的单位开展。

6、培训

项目监理机构针对实施建设单位管理人员和修复工程施工单位人员进行的污染地块修复工程环节保护相关专业知识和技能培训。

7、记录

对环境监理工作开展过程中现场实际情况的记录，包括环境监理日志、环境监理巡视记录和环境监理旁站记录。

8、文件

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

9、跟踪检查

项目监理机构对其发出文件的执行情况进行检查落实，监督修复工程施工单位严格执行的过程。

10、变更

凡修复工程变更涉及性质、规模、地点、采用的生产工艺和布局，或者污染防治、防止生态破坏措施发生相关变动的行为，项目监理机构应出具建议意见，建设单位应协调各相关单位的意见后，签署相关变更文件。

（1）修复工程施工过程中发生项目相关变动后，导致污染物排放总量增加、或对环境的影响向不利方面变化的，总环境监理工程师应签发环境监理停工通知单，及时向生态环境行政主管部门报告，并告知修复工程施工单位办理相应的停工手续。

（2）修复工程施工过程中发生项目相关变动以外情况的，总环境监理工程师应书面报告建设单位，并要求修复工程施工单位进行变更说明（或）更正。

（3）修复工程施工过程中发生环境保护措施或设施、环境风险防范措施等方面优于环境影响评价文件及其批复文件要求的变化行为，环境监理单位应将变化情况在环境监理报告中予以说明。

11、暂停

在发生下列情况之一时，应由总环境监理工程师签发环境监理停工通知单，要求修复工程施工单位暂时停工，并及时报告建设单位。

(1) 修复工程项目的规模、主要设备装备、应配套建设的环境污染防治设施、环境风险防范设施、污染物达标排放等不符合环境影响评价文件和生态环境行政主管部门的批复意见。

(2) 施工单位在施工过程造成了施工区及环境影响区的环境污染、生态破坏且未及时处理。

(3) 施工单位未按照批准的施工组织设计或方法施工，可能造成环境污染。

12、复工

在收到修复工程施工单位的复工申请后，项目监理机构应核查整改完成情况，确定具备复工条件后，签发环境监理复工指令单，明确复工范围并监督施工单位执行。

13、报告

报告包括环境监理定期报告、专题报告、阶段报告和环境监理报告。在发生下列情况之一时，环境监理单位应及时报告建设单位和当地生态环境管理部门。

(1) 因修复工程施工单位施工活动导致当地环境污染引发环境纠纷的。

(2) 环境监理单位下达环境监理停工通知单后，施工单位拒不执行仍继续施工，造成施工期环境污染和生态破坏的。

(3) 修复工程施工过程中存在其他违反环境保护法律法规要求的。

6.1.6 工作制度

本场地修复工程的环境监理应采用以下工作制度：

1、工作记录制度

环境监理记录是修复工程信息汇总的重要渠道，是项目监理机构做出决定的重要基础性资料。其内容主要包括环境监理日志、现场巡视和旁站记录、会议记录以及监测记录等，记录形式包括文字、数据、图表和影像等。

(1) 环境监理日志

环境监理人员应针对每日的修复工程概况进行记录，并形成环境监理日志。环境监理人员应逐项认真填写，重点记录现场施工状况、二次污染控制状况、往来信息、环境事故、存在问题及相应处理措施等工作情况。

(2) 现场巡视和旁站记录

环境监理应记录巡视和旁站检查的情况，包括施工现场状况、二次污染控制状况、发现的问题、发出的环境监理指令和建议等。

（3）会议记录

会议记录应重点记录参会单位和人员、讨论和研究的问题、协商一致的意见及其它相关要求等。

（4）监测记录

环境监理人员应对修复过程开展监督性监测和二次污染控制监测进行详细记录，包括采样、监测、监测结果和分析记录等。

2、文件核查制度

项目监理机构对修复工程施工单位编制的与污染地块修复相关的工程措施和工程设施的组织设计进行核查的规定。

3、报告制度

环境监理单位应结合工作记录制度实施环境监理报告制度。报告包括环境监理定期报告、专题报告、阶段报告和环境监理报告。报告应提交建设单位。

（1）定期报告

环境监理单位应根据修复工程进度，按实际情况编写环境监理工作月报、季报或年报等定期报告。定期报告应主要包括以下内容：

①主要工程内容及其进展情况。

②文相关环境保护要求。

③环境监理工作目标和内容。

④工程内容和环保措施落实情况（工程实施内容核查结果、环保设置运行和环保措施的落实情况、污染物排放和环境影响的监测结果、风险管理及风险控制措施的落实情况等）。

⑥存在的主要问题及处理情况。

⑦工作建议。

（2）专题报告

当发生突发性环境污染事故时，环境监理单位应根据实际情况编制专题报告，报告应包括事故发生的原因、影响范围和程度以及应急处理措施及结果，提出整改意见。

（3）阶段报告

环境监理阶段报告应对已经完成的修复工作进行总结，反映修复工程中存在的问题并提出建议。环境监理单位应根据下列修复工程节点编制环境监理阶段报告。

- ①污染地块修复工程涉及到多地块时，单独地块完成修复工作时。
- ②污染地块修复工程采用连续性技术组合时，单独一项修复技术实施完毕时。
- ③修复工程其他重要节点。

4、函件往来制度

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

5、会议制度

（1）交底会

①环境监理单位组织建设单位和修复工程施工单位召开环境监理交底会，会议参加人员包括环境管理部门、建设单位和施工单位负责人及相关人员，项目监理机构的环境监理人员应全部参加。

②建设单位或代表就其实施修复工程期间的工程管理职能机构、职责范围及主要成员名单进行说明，对施工期管理的重要事项进行说明。

③总环境监理工程师介绍修复工程环境监理工作计划，就环境监理组织机构、人员、工作职责和环境监理程序进行说明。

④施工单位对本单位施工期管理机构、人员、职责进行说明；介绍主体修复工程计划和二次污染控制措施等施工期管理计划，并对所存在的问题与建议等进行说明。

（2）例会

在修复工程施工过程中，总环境监理工程师应定期主持召开修复工程环境监理例会，并由环境监理单位负责起草会议纪要，经与会各方代表会签。

环境监理例会应包括以下工作内容：

①检查上次例会议定施工事项的落实情况，分析未完事项原因；制定后续工作计划。

②检查分析主体修复工程质量和二次污染控制情况，针对存在的问题提出改进措施。

③解决需要协调的有关事项及其他有关事宜。

（3）专题会议

总环境监理工程师或环境监理工程师应结合修复工程进展情况及时组织专题会议，如环境污染事故专题会议、月工作计划总结会、二次污染控制专项会议等。

（4）现场协调会

总环境监理工程师或环境监理工程师可根据修复工程情况不定期召开不同层次的施工现场协调会。会议对具体施工活动进行协调和落实，对发现的问题及时予以纠正。

6、人员培训制度

针对项目建设单位管理人员和修复工程施工单位人员开展污染地块修复环境监理现场培训工作。

7、质量保证制度

为保证和控制环境监理的工作质量，环境监理单位应严格按照国家及地方有关规定开展工作。环境监理人员应按规定持证上岗。项目监理机构应严格按照环境监理工作方案进行，并对工程期间发生的各种情况进行详细记录。环境监理相关报告应执行内部多级核查制度。

8、应急报告及处理制度

应急报告与处理制度是环境监理单位在现场发生环境紧急事件应采取的报告和处理的规定。项目监理机构应针对环境监理范围内可能出现的环境风险，制定环境紧急事件报告和处理措施应急预案。应急预案中应明确需要及时报告项目建设单位以及环境保护、公安、卫生等行政主管部门的事项，并应明确需要采取的应急措施。

9、档案管理制度

项目监理机构应结合工程实际情况建立环保信息管理体系，制定文件管理制度，对文件分类、归档等方面予以规定，对环保信息进行及时梳理和分析，指导和规范现场工作。

6.1.7 监理报告和资料移交

场地修复完成后，总结修复工程环境监理的工作内容，编制修复工程环境监理报告，并向建设单位提交环境监理报告及相关档案文件。报告应全面总结修复工程在每个具体施工阶段的环境监理成果，反映修复工程施工期环保设施建设及运行情况、环保达标排放情况等。

6.2 二次污染防范

6.2.1 大气污染防治措施

在地表清理，污染土壤清挖，注射井、抽提井和回灌井建井，药剂注射，地下水抽提和废水处理施工过程中将产生粉尘、机械尾气和挥发性有机废气。本方案推荐采取以下大气污染防治措施：

1、定时洒水降尘

对施工区域做合理规划，对施工现场定时洒水的方式降尘，加强设备清洗，避免携带污染土壤。如遇大风等天气导致扬尘浓度过大时，适当增加洒水频次。

2、规范施工减少扬尘

施工过程中，各施工机械需平稳操作，采取轻挖、慢转、轻放、清边清底准备，装车适量的原则进行施工，减少扬尘的产生。

3、苫盖抑尘

对于已完成施工或短时间内动土的区域，应及时采用苫布进行遮盖，防止扬尘的产生。

4、机械尾气

为防止施工机械产生尾气污染大气环境，工程施工时必须全部使用满足国家相应排放标准要求的施工机械，降低尾气排放对环境带来的影响。

加强对施工车辆的检修和维护，严禁使用超期服役和尾气超标的车辆。

尽可能使用耗油低，排气小的施工车辆，选用优质燃油，减少机械和车辆的有害废气排放。

5、挥发性气体污染防治

（1）采用尾气收集装置收集并处置异位处置污染土壤时产生的有机废气；

（2）建井过程中及时对产生的废土和废水进行收集和处理，废土与堆场污染土壤一并进行处置，废水收集至污水处理站处理或收集池暂存；

（3）注射井和抽提井建完后对修复区地面进行防渗处理，防止修复期间的废水横流。

(4) 此若施工过程有明显的异味，应采取相应的抑制措施，如喷洒气味抑制剂、消味剂、遮盖等同时应加强对厂界无组织挥发性有机物的监测，确保厂界达标，避免挥发性气体逸散影响周边环境。

6.2.2 废水污染防治措施

修复过程中产生的废水主要为设备冲洗废水、钻机打孔翻浆、施工区初期雨水和车辆清洗废水。本方案推荐采取以下废水污染防治措施：

1、各类钻井过程产生的洗井、抽水试验产生的废水和设备、车辆清洗废水应及时有效地进行收集，最后进入废水处理设备进行处理，达标后排放。

2、需要对施工队伍日常生活产生的污水，以及受雨季的影响，施工期间污染区域铺设防渗措施（雨布、水泥等），对污染区周边排水沟收集到的雨水、以及场地内积水潭内的积水等统一处理，

3、场地内建设场内雨水收集系统以及场外截排沟，做到雨污分流。

4、建设废水处理系统，对抽提出的地下水和收集到的废水进行有效处理，达标后的废水可部分循环利用，其余均纳管排放。。

6.2.3 土壤污染防治措施

为了防止污染土壤修复及临时堆放过程中处置不当造成的二次污染，本项目修复过程中还应采取下述措施：

1、药剂存储器、配药区铺设满足一般防渗区要求的HDPE防渗膜，防止药剂渗漏造成二次污染。

2、机械检修时，底部垫厚塑料布隔绝地面并用容器接装油料，防止油料污染。

3、修复处置过程应有专职环境保护管理人员，其职责是指导和管理工程现场污染土壤修复，避免修复过程产生二次污染。

4、合理规划污染土壤和钻井产生废气的转运路线，并及时对转运过程路线上遗洒的污染土壤进行收集。

5、废水处理区采用地面硬化，设置废水收集沟和收集池等方式防止突发渗透等紧急情况。

6.2.4 噪声污染防治措施

施工过程中噪声产生源主要为钻机、挖掘机和环保设备等运行时产生的机械设备噪声。项目场地临近居民区，施工时需要合理安排机械设备施工采取低噪声设备、设置施工围挡等降噪措施，降低施工噪声对外环境的影响。

1、施工现场提倡文明施工，建立健全控制人为噪声的管理制度。尽量减少人为的大声喧哗，增强全体施工人员防噪声扰民的自觉意识。

2、严禁在钢管、机械上敲打金属形式联系操作人员。施工过程中各类材料搬运及安装，要求做到轻拿轻放，严禁抛掷或从汽车上一次性下料，减少噪声的产生。

3、选用设备时尽可能选用低噪声的设备，做好及时维修、养护，使其处于良好运行状态。对于噪音比较大的设备安装时同时安装消音设备或者设施（消音器、减震、隔音屏等），降低设备噪音。

4、减少设备运行时间，特别是夜间的使用频率。严禁夜间(22:00-次日6:00)施工，如有特殊需要，必须到当地生态环境主管部门办理夜间施工相关手续并对周边居民进行告示，事先做好周边居民的工作，并采取有效的降噪措施。

5、禁止车辆在场界内鸣笛，车辆噪声可采取适当减速和保持车辆良好状态的方法进行控制。

6、总平面布局中考虑到噪声源的布置，尽量远离敏感区。

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

6.2.5 固体废物防治措施

1、对地表清理产生的废弃物（包括建筑垃圾）进行清理时，应采取分类处理处置的方法。对未受污染的废弃物，可按照一般废弃物进行处理处置。对受到污染的废弃物和建筑垃圾，应区别对待，妥善处理，严防产生二次污染。

2、施工现场设立专门的废弃物临时储存地块，废弃物分类存放，分生活垃圾存放区、一般固废储存区和危险废物储存区，对有可能造成二次污染的废弃物必须单独储存在危险废物储存区，设置安全防范措施并有醒目标志。

3、施工现场设置专门垃圾箱派专人管理和清理。

4、修复治理过程中产生的危险废物按相关规定处置。

本项目产生的固体废物产生量总计41吨，其中废物类别为HW49,废物代码为772-006-49，产生量为37吨、废物类别为HW49,废物代码为900-039-49，产生量为4吨。拟采取的处置措施及去向应按《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的规定向当地生态环境主管部门申报，填报危险废物转移联单制度（其流程如下图6.2-1所示），按要求对本项目产生的固体废物特别是危险废物进行全过程严格管理和安全处置。

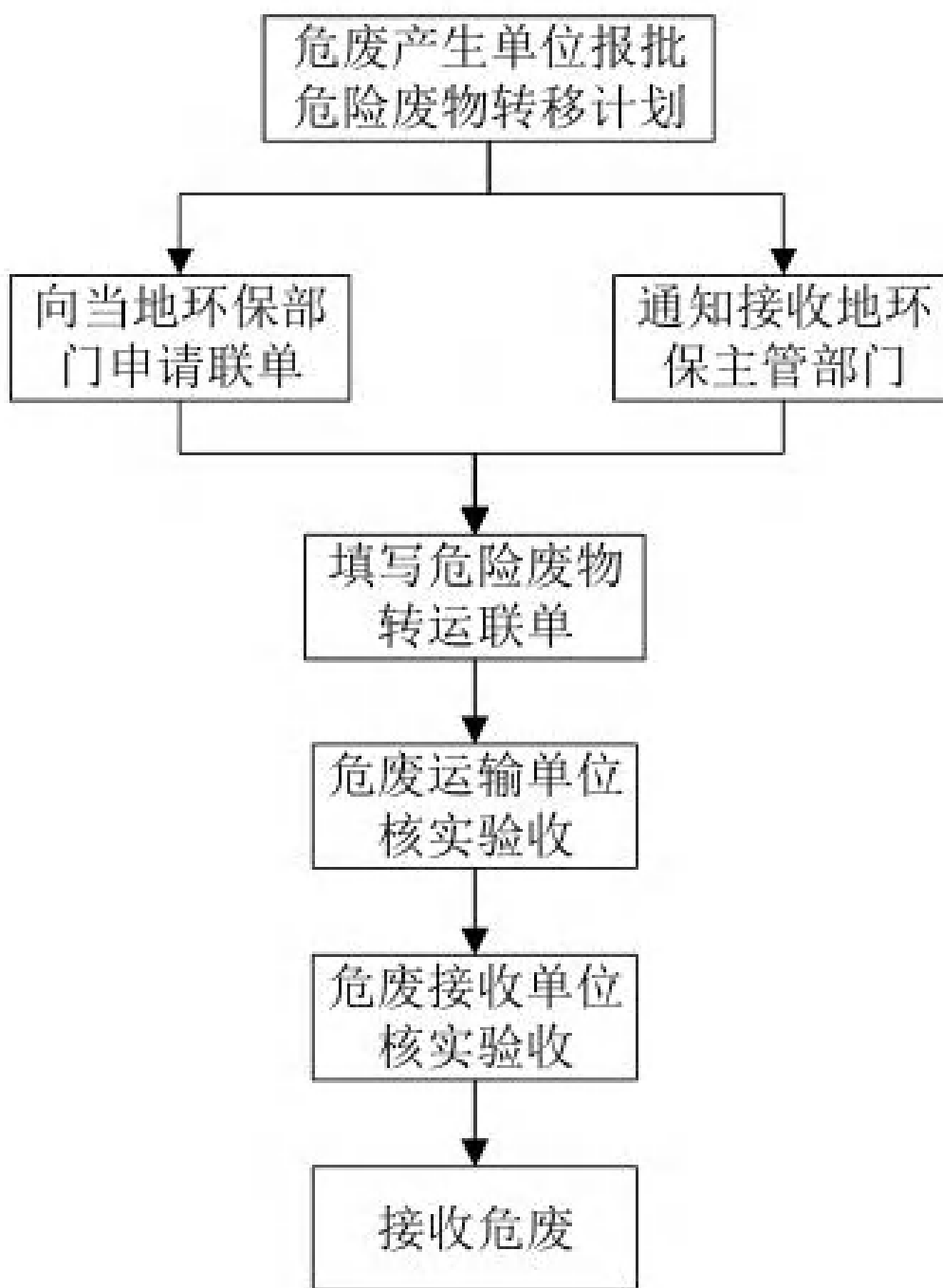


图6.2-1 危废转移联单流程

6.3 环境监测计划

6.3.1 环境监测目的和类型

1、监测目的

场地环境监测的目的是对修复施工过程进行全过程的质量监督和评估，按照既定修复目标，对各修复区块修复质量进行监督，及时发现施工过程中出现的修复质量问题及可能发生的二次环境污染问题，协助各方提出解决方案，与各方一起确保修复工程保质保量的完工。

2、监测类型

本次环境监测的类型主要有：有组织和无组织大气排放监测、噪声监测、废水监测和修复自检。

6.3.2 大气环境监测

大气环境监测内容包括污染打井环节、修复施工环节中污染物无组织排放到空气的样品采集、分析及质量评价。污染地下水修复设施（车间）污染物排放尾气样品的采集、分析及污染物排放评价，包括有组织和无组织大气排放监测。

1、无组织大气排放监测

（1）布点方案

在施工场地周界设置4个点位、施工期间下风向距离最近的敏感点布设1个大气监测点位。

（2）监测时间、频次

定期+不定期监测相结合方式，定期监测为在施工前进行空气采样监测1次，施工过程中结合修复过程进度，每季度监测1次，自修复工程开始计。不定期监测为修复过程中，如遇到明显异味扩散现象，应及时临时补测，确保场地环境空气质量达标。

（3）监测项目

非甲烷总烃、苯、甲苯、二甲苯、苯系物、氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯和颗粒物。

（4）评价方法

非甲烷总烃、苯、甲苯、二甲苯、苯系物、氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯和颗粒物对照《江苏省大气污染物综合排放标准》DB32(4041)-2021中的单位边界大气污染物排放监控浓度限值。

2、有组织大气排放监测

(1) 布点方案

在废气处置单元排放口设置1个大气监测点位。

(2) 监测频次

异位化学氧化施工期较短，在实施时开展一次监测。

(3) 监测项目

非甲烷总烃、苯、甲苯、二甲苯、苯系物、氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯和颗粒物。

(4) 评价方法

非甲烷总烃、苯、甲苯、二甲苯、苯系物、氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯和颗粒物对照《江苏省大气污染物综合排放标准》DB32(4041)-2021中的大气污染物有组织排放标准限值。

6.3.3 噪声环境监测

1、采样点位

施工区四周共布设4个监测点位。

2、监测项目

昼间 L_{Aeq} (若夜间有进行施工应同期监测夜间 L_{Aeq})。

3、监测频次

每季度采样监测1次，自修复工程实施起计。

4、评价方法

白天不超过70dB，夜间不超过55dB，夜间噪声最大声级超过限值的幅度不得高于15B(A)。

6.3.4 废水监测

1、采样点位

污水处理设施出水口。

2、监测项目

污水处理设施出水口的监测项目为pH、COD、总铁、苯系物、1,2-二氯丙烷、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯和1,2-二氯丙烷。

3、监测频次

污水处理设施试运行两批次；每次排入市政管网前进行1次监测，预计监测20次。因此，废水监测预计总批次为22次。

4、评价方法

废水中的特征污染物达到《污水排入城镇下水道水质标准》（GB T31962-2015）的B级标准后排放到管网，其中废水中1,2-二氯丙烷、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷和1,2-二氯丙烷排放标准参考《地下水环境质量》（GB/T 14848-2017）中IV类水标准限值，详见表5.2.4所示。

6.3.5 修复自检计划

根据修复工艺，本项目需要开展的修复自检包括：堆场区域污染土壤异位化学氧化后自检，原位化学氧化修复后的土壤自检，地下水修复后自和排入市政管网前进行的废水监测验收。修复自检可参照第7.4节进行，统计情况如表6.3.5-1所示。

表6.3.5-1 修复自检计划

序号	监测环节	监测介质	监测频次	样品数量 (个)	监测项目
1	堆场区域土壤修复效果评估	土壤	1	5	土壤及地下水修复目标污染物
2	土壤原位修复效果评估	土壤	1	69	土壤及地下水修复目标污染物
3	地下水修复效果评估	地下水	1	16	地下水修复目标污染物、硫酸盐、pH、钠
4	排入市政管网前进行的废水监测	废水	2	2	pH、COD、总铁、硫酸盐、苯系物、1,2-二氯丙烷、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯和1,2-二氯丙烷

7 修复效果评估监测方案

7.1 验收程序

污染场地修复质量自验收工作由项目技术负责人主持，项目部制定自验收方案，由现场技术负责人具体实施。自验收工作包括文件审核、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、质量检测报告编制等。本地块的修复效果验收程序如下图7.1-1所示。

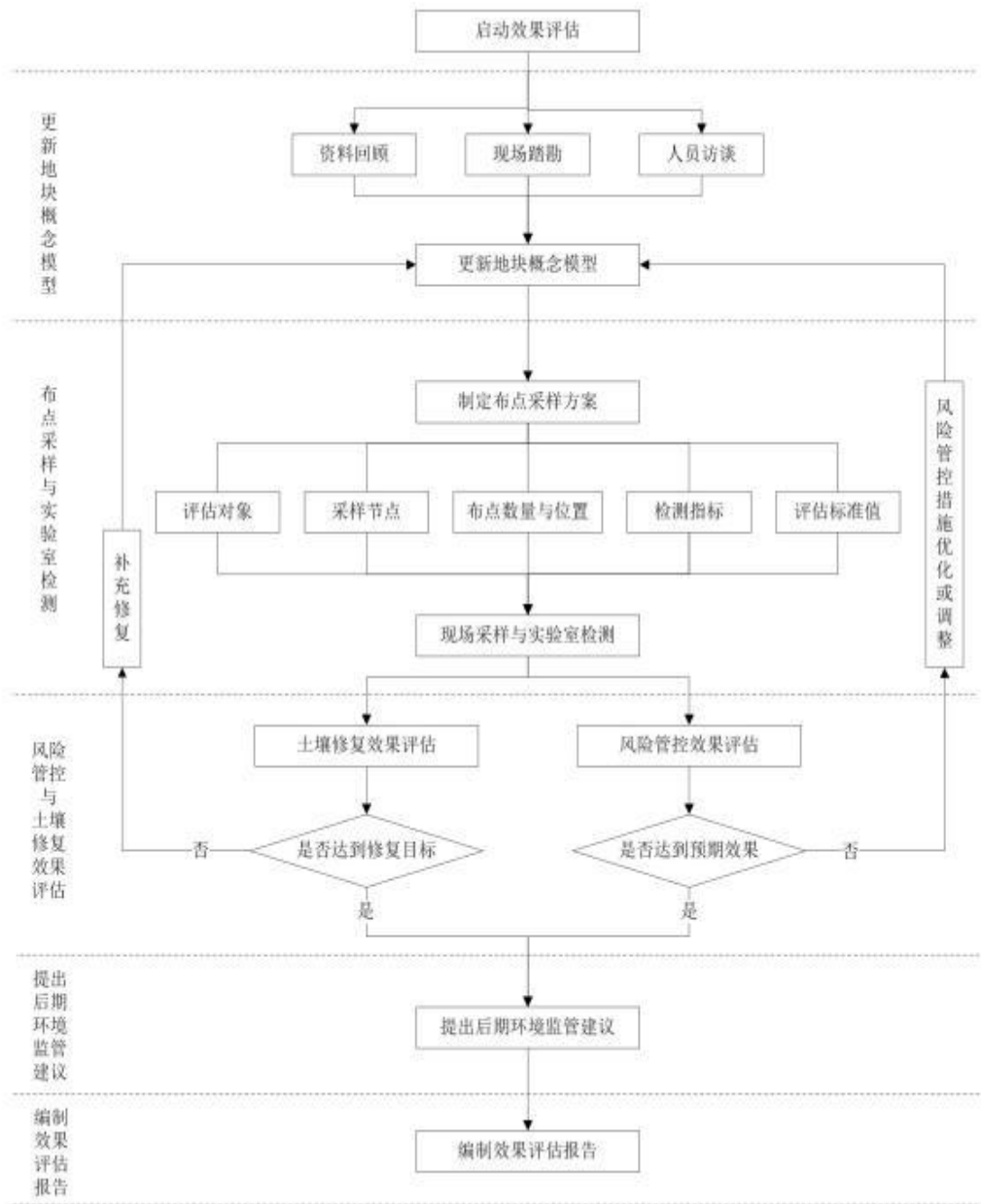


图7.1-1 污染场地修复效果验收工作程序

7.2 文件审核与现场勘察

1、文件审核

（1）审核资料范围

在质量检测工作开展之前，应收集与场地环境污染和修复相关的资料，主要包括：

①场地环境调查评估及修复方案相关文件：场地环境调查及风险评估评估报告书及其备案意见、场地修复方案及其备案意见、其他相关资料。

②场地修复工程资料：修复过程的原始记录、修复实施过程的记录文件、药剂使用台账、修复设施运行记录等。

③工程及环境监理文件：工程及环境监理记录和监理报告。

④其它文件：环境管理组织机构、相关合同协议等。

⑤相关图件：场地地理位置示意图、总平面布置图、修复范围图、污染修复工艺流程图、修复过程照片和影像记录等。

（2）审核内容

对收集的资料进行整理和分析，并通过与现场负责人、修复实施人员、监理人员等相关人员进行访谈，明确以下内容：

①根据场地环境调查评估报告、修复方案及相关行政文件，确定场地的目标污染物、修复范围和修复目标，作为验收依据。

②通过审查场地修复过程监理记录和监测数据，核实修复方案和环保措施的落实情况。

③通过审查相关文件和检测数据，核实修复完成后的土壤的数量和质量。

2、现场踏勘

现场勘察是验收的重要工作程序之一，污染场地修复验收现场勘察主要包括核定修复范围和识别现场遗留污染痕迹。

（1）核定修复范围

根据场地环境调查评估报告中的钉桩资料或地理坐标等，结合修复过程工程监理与环境监理出具的相关报告，确定场地修复范围和深度，核实修复范围是否符合场地修复方案的要求。

（2）识别现场遗留污染

对场地污染区域表面进行观察和判断，可使用便携式测试仪器进行现场测试，辅以目视、嗅觉等方法，识别现场是否产生污染痕迹。

7.3 确定验收内容

验收对象为原位修复后的土壤和地下水。验收指标为场地修复的目标污染物，检测标准为修复目标值。自检合格后方可进行验收。

本方案采用原位注射化学氧化技术修复污染土壤，地下水抽出处理辅以原位注射化学氧化技术修复污染地下水，异位化学氧化技术修复堆场区域污染土壤，因此验收的主要内容包括：

- 1、止水帷幕阻隔墙渗透性验收；
- 2、堆场区域污染土壤异位化学氧化后自检合格后的土壤验收；
- 3、原位化学氧化修复后自检合格的土壤验收；
- 4、地下水抽出处理自检合格的地下水验收，达到达标初判期要求；
- 5、修复过程中二次污染区域自检合格的土壤验收；
- 6、排入市政管网前进行的废水监测验收。

7.4 效果评估监测方案

7.4.1 止水帷幕阻隔墙渗透性验收

1、采样布点

止水帷幕阻隔墙渗透性验收按照桩数的1%设置抽检比例。因此，本项目需要在南北阻隔墙各分别设置2个渗透性试验检测点。

2、检测项目

渗透系数和7d无侧限抗压强度

3、检测合格指标为

- (1) 渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ； (2) 7d无侧限抗压强度不小于0.5MPa。

7.4.2 堆场区域土壤修复效果评估方案

本场地堆场区域土壤约2000m³，在建井过程中将产生大约100 m³的废土。在土壤在修复完成之后，采用系统布点法进行采样，每500m³采集一个样品，每个修复批次至少采集1个样品，验收采样采集5个土壤样品，设1个现场平行样品。土壤样品检测指标为土壤及地下水修复目标污染物，详见3.2节所述。

7.4.3 土壤原位修复效果评估方案

1、采样节点

- (1) 原位修复后的土壤应在修复完成后进行采样。
- (2) 原位修复的土壤可按照修复进度、修复设施设置等情况分区域采样

2、布点数量与位置

(1) 原位修复后的土壤水平方向上采用系统布点法，推荐采样数量参照表 1，如图7.4.3-1所示。

基坑面积 m ²	坑底采样点数量 个	侧壁采样点数量 个
x<100	2	4
100≤x<1000	3	5
1000≤x<1500	4	6
1500≤x<2500	5	7
2500≤x<5000	6	8
5000≤x<7500	7	9
7500≤x<12500	8	10
x>12500	网格大小不超过 40m×40m	采样点间隔不超过 40m

图7.4.3-1 原位修复后土壤水平方向上采样布点数量要求

(2) 原位修复后的土壤垂直方向上采样深度应不小于调查评估确定的污染深度以及修复可能造成污染物迁移的深度，根据土层性质设置采样点，原则上垂向采样点之间距离不大于 3m，具体根据实际情况确定。

(3) 应结合地块污染分布、土壤性质、修复设施设置等，在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区、修复范围边界处等位置增设采样点。

因此，通过统计原位化学氧化修复后土壤效果评估采样数量统计如下表7.4.3-1所示。

表7.4.3-1 原位化学氧化后土壤效果评估采样数量统计单位（个）

修复区域	面积（m ² ）	水平采用方向采样点位数	垂直方向采样数量	小计	取样套管进尺（m）
A-0-0.5m	609	3	1	3	0
A-0.5-1.0m	1736.6	5	1	5	7.5
B-0.5-1.0m	180.6	3	1	3	4.5
A-1.0-1.5m	20.5	2	1	3	3
B-1.0-1.5m	998.1	3	1	3	4.5
A-1.5-2.0m	41.8	2	1	2	6
A-2.0~2.5m	41.9	2	1	2	6
A-2.5-3.5m	1007.6	4	2	8	18
B-2.5-3.5m	45.4	2	2	4	8
A-3.5-4.5m	89.4	2	2	4	9
B-3.5-4.5m	196	3	2	6	13.5
C-3.5-4.5m	93.8	2	2	4	9
A-4.5-5.5m	241.9	3	2	6	18
A-5.5-7.5m	913.2	3	3	9	22.5
合计		39		62	129.5

3、检测指标

土壤样品检测指标为土壤及地下水修复目标污染物，详见3.2节所述。

7.4.4 地下水修复效果评估方案

1、评估范围

地下水修复效果评估范围应包括地下水修复范围的上游、内部和下游，以及修复可能涉及的二次污染区域。

2、采样节点

(1) 需初步判断地下水中污染物浓度稳定达标且地下水流场达到稳定状态时，方可进入地下水修复效果评估阶段。地下水修复效果评估采样节点见图7.4.4-1所示。

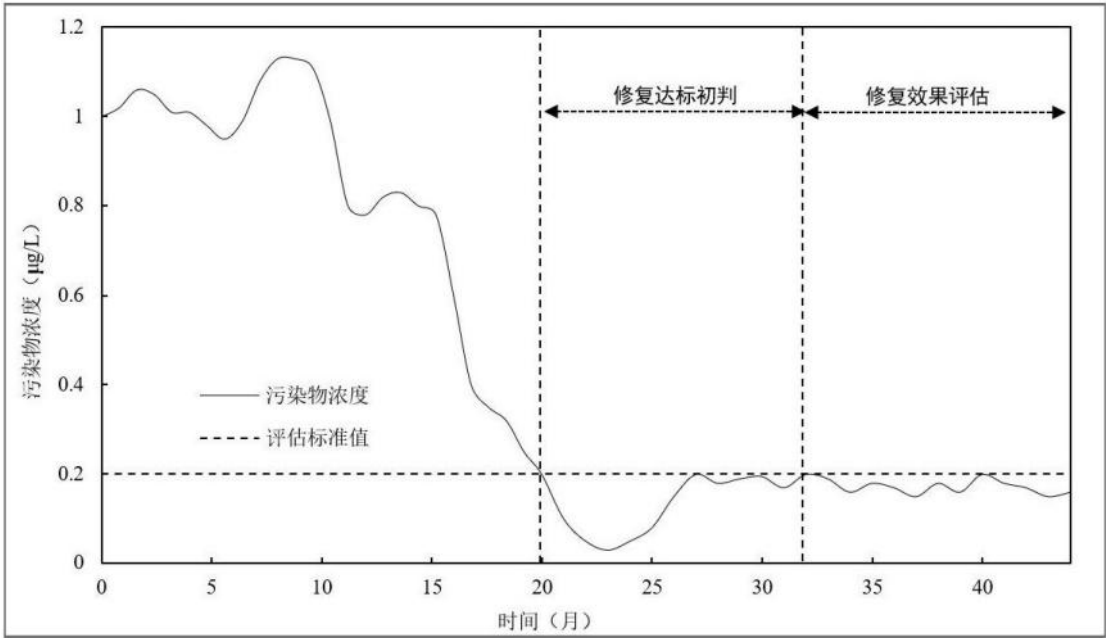


图7.4.4-1 地下水修复效果评估采样节点示意图

(2) 原则上采用修复工程运行阶段监测数据进行修复达标初判，至少需要连续4个批次的季度监测数据。若地下水中污染物浓度均未检出或低于修复目标值，则初步判断达到修复目标；若部分浓度高于修复目标值，可采用均值检验或趋势检验方法进行修复达标初判，当均值的置信上限(upper confidence limit，简称UCL)低于修复目标值、浓度稳定或持续降低时，则初步判断达到修复目标。均值检验和趋势检验案例参见附录 D。

(3) 若修复过程未改变地下水流场，则地下水水位、流量、季节变化等与修复开展前应基本相同；若修复过程改变了地下水流场，则需要达到新的稳定状态，地下水流场受周边影响较大等情况除外。

3、采样持续时间和频次

(1) 地下水修复效果评估采样频次应根据地块地质与水文地质条件、地下水修复方式确定，如水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等。

(2) 修复效果评估阶段应至少采集8个批次的样品，采样持续时间至少为1年。

(3) 原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于1个月。对于地下水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。

4、布点数量与位置

(1) 原则上修复效果评估范围上游应至少设置1个监测点，内部应至少设置3个监测点，下游应至少设置2个监测点。

(2) 原则上修复效果评估范围内部采样网格不宜大于80m×80m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，采样网格不宜大于40m×40m。

(3) 地下水采样点应优先设置在修复设施运行薄弱区、地质与水文地质条件不利区域等。

(4) 可充分利用地块环境调查、工程运行阶段设置的监测井，现有监测井应符合地下水修复效果评估采样条件。

本项目地下水修复区域包括A区和B区，面积为别为16467.5m²和5600.7m²，因此，在B区的5个重污染点位设置地下水监测井，并增加2个地下水监测井；在A区的3个重污染点位设置地下水监测井，并增加1个地下水监测井；在地块上游设置2个地下水监测井；下游设置3个地下水监测井。共16口监测井，地下水监测井深度15米。

5、检测指标

(1) 修复后地下水的检测指标为修复技术方案中确定的目标污染物。

(2) 化学氧化、化学还原、微生物修复后地下水的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据修复技术方案中的可行性分析结果和地下水修复工程运行监测结果确定。

(3) 必要时可增加地下水常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

考虑到选用的地下水修复工艺、药剂和目标污染物，本项目地下水修复达标初判和效果评估监测指标及标准值如表7.4.4-1所示。

表7.4.4-1 修复达标初判和效果评估检测指标和评价标准

污染物名称	修复目标值	出处
苯	120	GB/T14848-2017 IV类
甲苯	1400	GB/T14848-2017 IV类
乙苯	600	GB/T14848-2017 IV类
二甲苯	1000	GB/T14848-2017 IV类
1,1-二氯乙烯	60	GB/T14848-2017 IV类
氯乙烯	90	GB/T14848-2017 IV类
1,2-顺式-二氯乙烯	60	GB/T14848-2017 IV类
1,2-二氯乙烷	40	GB/T14848-2017 IV类
三氯乙烯	210	GB/T14848-2017 IV类
1,1,2-三氯乙烷	60	GB/T14848-2017 IV类
四氯乙烯	300	GB/T14848-2017 IV类
1,2-二氯丙烷	60	GB/T14848-2017 IV类
氯苯	600	GB/T14848-2017 IV类
硫酸盐	350	GB/T14848-2017 IV类
pH	$5.5 \leq \text{pH} < 6.5$ $8.5 < \text{pH} \leq 9.0$	GB/T14848-2017 IV类
钠	400	GB/T14848-2017 IV类

6、地下水修复效果达标判断

(1) 原则上每口监测井中的检测指标均持续稳定达标，方可认为地下水达到修复效果若未达到修复效果，应对未达标区域开展补充修复。

(2) 可采用趋势分析进行持续稳定达标判断:

- ①地下水中污染物浓度呈现稳态或者下降趋势，可判断地下水达到修复效果。
- ②地下水中污染物浓度呈现上升趋势，则判断地下水未达到修复效果。

(3) 在 95%的置信水平下，趋势线斜率显著大于 0，说明地下水污染物浓度呈现上升趋势；若趋势线斜率显著小于0，说明地下水污染物浓度呈现下降趋势；若趋势线斜率与0没有显著差异，说明地下水污染物浓度呈现稳态。趋势检验案例参见附录D。

(4) 同时满足下列条件的情况下，可判断地下水修复达到极限:

- ①地块概念模型清晰，污染羽及其周边监测井可充分反映地下水修复实施情况和客观评估修复效果。
- ②至少有1年的月度监测数据显示地下水中污染物浓度超过修复目标且保持稳定或无下降趋势。

③通过概念模型和监测数据可说明现有修复技术继续实施不能达到预期目标的主要原因。

④现有修复工程设计合理，并在实施过程中得到有效的操作和足够的维护；

⑤进一步可行性研究表明不存在适用于本地块的其他修复技术。

7.4.5 二次污染土壤监测方案

根据土壤和地下水修复工艺及平面布置，修复施工过程中可能产生二次污染的区域主要为设备区和运输路线，预计面积为5000平米。按照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ25.5-2018）中相关规定设置二次污染土壤验收采样方案。

1、采样节点

在完成修复施工，自检合格后对设备区开展土壤采样；在污染土壤运输结束后开展该区域的土壤采样。

2、布点数量和位置

按照导则要求，在二次污染区采用系统布点法至少采集6个土壤样品，设置10%的平行样。

3、检测指标

采集的土壤样品检测指标为土壤及地下水修复目标污染物。

4、评价方法

采用逐点法与本场地土壤中污染物修复目标值进行比较。若小于修复目标浓度，则说明没有产生土壤二次污染；若大于修复目标浓度，则说明产生了土壤二次污染，需要对其进行修复，直到土壤中污染物的浓度均小于修复目标值为止。

7.4.6 排入市政管网前进行的废水监测

1、采样点位

污水处理设施出水口。

2、监测项目

污水处理设施出水口的监测项目为pH、COD、总铁、硫酸盐、苯系物、1,2-二氯丙烷、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯和1,2-二氯丙烷。

3、监测频次

每次排入市政管网前进行1次监测，预计监测10次。

4、评价方法

废水中的特征污染物达到《污水排入城镇下水道水质标准》（GB T31962-2015）的B级标准后排放到管网，其中废水中1,2-二氯丙烷、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷和1,2-二氯丙烷排放标准参考《地下水环境质量》（GB/T 14848-2017）中IV类水标准限值，详见表5.2.4所示。

7.4.7 效果评估监测汇总

根据上述可知，本项目效果评估监测汇总如表7.4.7-1所示。

表7.4.7-1 效果评估监测汇总

序号	监测环节	监测介质	监测频次	样品数量 (个)	监测项目
1	止水帷幕阻隔墙	水泥搅拌桩	1	6	(1) 渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$; (2) 7d 无侧限抗压强度 $\leq 0.5 \text{MPa}$ 。
2	堆场区域土壤修复效果评估	土壤	1	5	土壤及地下水修复目标污染物
3	土壤原位修复效果评估	土壤	1	69	土壤及地下水修复目标污染物
4	地下水修复效果评估	地下水	16	256	地下水修复目标污染物、硫酸盐、pH、钠
5	二次污染土壤监测	土壤	1	6	土壤及地下水修复目标污染物
6	排入市政管网前进行的废水监测	废水	20	20	pH、COD、总铁、苯系物、1,2-二氯丙烷、1,1-二氯乙烯、氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯和1,2-二氯丙烷

7.5 验收质量保障措施

7.5.1 样品采集质量控制

检测单位专业人员在现场采样时，应填写相应样品的采集记录，对采样点信息、样品信息进行详细记录和描述，记录现场的快速检测数据。在样品的采集、保存、运输、交接等过程应建立完整的管理程序。为避免采样设备及外部环境条件等因素对样品产生影响，应注重现场采样过程中的质量保证和质量控制。

1、为防止采样过程中的交叉污染。钻机采样过程中，在第一个钻孔开钻前要进行设备清洗；进行连续多次钻孔的钻探设备应进行清洗；同一钻机在不同深度采样时，应对钻探设备、取样装置进行清洗；与土壤接触的其他采样工具重复利用时也应清洗。土壤样品采集遵循“少扰动，勿混动，勤记录”的原则。

2、土壤样品的采集和保存参照HJ/T166执行。含VOCs土壤样品采用放入甲醇的棕色玻璃瓶封装，然后将具PTFE垫的瓶盖旋紧；使用色谱纯或相同级别的甲醇；甲醇的体积至少10mL，确保土壤样品必须完全浸入甲醇，注意称量加入甲醇后和贴标签的样品瓶，并标注在标签上；冷藏，可保存时间7天。

4、地下水样品采集时视场地特征采用贝勒管采样，根据污染物特征选择方法，含VOCs样品选择被动采样。地下水样品保存、容器的洗涤和采样体积严格参照HJ/T164附录A及HJ493-2009表1推荐执行。

5、样品装运前核对：采样结束后现场逐项检查，如采样记录表、样品标签等，如有缺项、漏项和错误处，应及时补齐和修正后方可装运。

6、样品运输：样品运输过程中严防损失、混淆或沾污，并在样品低温（4℃）暗处冷藏条件下尽快送至实验室分析测试。

7、样品交接：样品送到实验室后，采样人员和实验室样品管理员双方同时清点核实样品。样品管理员接样后及时与分析人员进行交接，双方核实清点样品，核对无误后分析人员再进行样品制备与分析测试。

7.5.2 实验室检测质量控制

1、实验室从接样到出数据报告的整个过程严格执行《检测和校准实验室认可准则》（CNAL-CL01:2018）、《检验检测机构通用要求》（RB/T214-2017）、《检测和校准实验室能力的通用要求》（ISO/IEC17025:2017）等体系和计量认证体系要求。

2、实验室分析时设实验室空白、平行样、基质加标。要求分析结果中平行盲样的相对标准偏差均在要求的范围内，实验室加标和基质加标的平行样品均在要求的相对百分偏差内。

3、样品的保留时间、保留温度等实验室内部质量保证/控制措施均符合规定的要求。

4、检测数据的真实性、可靠性是调查评估的基础。实验室应当保存所有样品检测的原始数据（包括电子数据）以备检查，原则上至少保存20年。

8 成本效益分析

8.1 修复费用估算

以上根据建议的修复模式及修复技术时的技术路线及主体修复工程费用。修复工程的具体实施产生的费用除了需要考虑采用的修复技术产生的主体工程费用外，需考虑相应的配套设施费、监理、验收、效果评估等各项费用。根据我国目前开展修复工程的基本情况，除主体工程费用外需考虑的其他各项费用包括：

1、辅助工程费用

不超过主体工程费用的8%，包括：“三通一平”，项目部搭建，修复设备器械仓库、药品仓库搭建，安全文明施工措施费、二次污染防控措施费等；

2、监理费用

工程监理费用为主体工程费用、辅助工程费用之和的2%；；环境监理费用为主体工程费用、辅助工程费用之和的3%；

3、验收费用

第三方验收（技术咨询，样品检测分析）费用为主体工程费用、辅助工程费用之和的6%；

4、修复工程效果评估费

为主体工程费用、辅助工程费用之和的2%（主体工程费用、辅助工程费用之和）；

5、规费及税金

主体工程费用和（1）-（4）费用之和的9%。

根据以上所需费用项目，施工所需工程费用估算汇总见表8-1。

表8-1施工费用汇总表（单位：万元）

原位、异位和抽出处理联合修复						
序号	项目	分项	单位	工程量	单价	估算总价 (万元)
1	主体工程费用	阻隔施工	m ³	1220	700	85.4
		异位化学氧化	m ³	2000	500	100
		原位化学氧化	m ³	5314.75	600	318.89
		地下水抽出处理	m ³	71533	115	822.63
2	辅助工程费用	三通一平、安全文明施工措施费、二次污染防治防控措施费等	项	1	106.08	106.15
3	监理费用	工程监理、环境监理	项	1	71.65	71.65
4	验收费用	样品检测分析	项	1	85.98	85.98
5	效果评估费用	完工验收	项	1	28.66	28.66
6	规费税金	取9%	项	1	145.73	145.74
7	合计					1765.1

8.2 效益分析

本项目针对原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤和地下水治理修复，能够有效消除污染物对周边人体健康和环境的危害，恢复土地使用功能，维护社会安定，具有显著的环境、经济和社会效益。

（1）环境效益

通过实施场地治理修复工程，可有效提升土壤、地下水环境质量，改善场地及周边区域居民生产、生活环境，切实保障区域生态环境安全。

（2）经济效益

该地块土壤、地下水污染问题已严重影响该地块土地再开发利用进程。治理修复工程的实施，能有效保障该地块按照既定规划进行开发利用，实现土地本身的经济价值，进一步促进周边区域经济社会发展。

（3）社会效益

本项目的成功实施，可产生多方面的社会效益。首先，在一定程度上解决了城市土地资源紧缺的问题，可实现合理利用土地，优化城市布局的基本目的。其次，保质保量完成场地治理修复工程可满足后续开发利用要求，消除上部工作人群的人体健康风险。

9 结论与建议

9.1 结论

根据专家论证通过的《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤污染状况风险评估报告》，考虑场地水文地质条件、污染物及污染程度、治理修复时间、成本等多方面因素，经综合比选，本方案设计污染土壤修复治理推荐使用原位化学氧化修复技术，污染地下水修复治理推荐使用抽出处理技术（在超标严重的区域辅以原位注射），堆场区域的污染土推荐使用异位化学氧化技术，西侧厂区边界采用高压旋喷阻隔施工技术。地块内土壤修复深度为0~7.5m，修复总方量为7314.75m³；地下水修复总面积为22068.2m³，修复深度为1.0~14.45m，修复方量预估为71533m³；高压旋喷阻隔施工方量为1220m³。

9.2 建议

1、在自然作用下，土壤和地下水中的污染物会发生迁移，降雨入渗或地面径流会使污染物产生水平和垂向迁移等，如不及时进行修复，可能会造成场地污染范围的不断扩大。因此，建议尽早实施场地污染土壤和地下水的修复，避免污染扩散。

2、在场地进行修复施工前，施工单位应制定详细的实施方案，切实做好土壤和地下水修复过程中风险防范工作，制定风险应急措施，降低环境突发事件和施工安全事故的概率，同时确保在土壤和地下水修复施工过程中遇到突发事件时能够及时应对，保障人员健康与安全。

3、场地周围环境敏感点众多，修复施工易造成扰民问题。建议施工过程注重环境的影响监测和二次污染防治，加强同周围居民的沟通交流，妥善处理可能出现的扰民问题。

4、实际施工过程中若发现遗留的危险废弃物未进行处理，应及时通知业主及相关单位，启动应急监测及应急处置程序，避免污染物扩散。

10 评审意见及修改说明

10.1 专家评审意见

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区土壤及地下水修复工程技术方案评审会签到表

会议地点：盐城市大丰区西团镇腾龙集团

序号	单位	姓名	联系电话	备注
1	江苏港峰环境	侯红茹	17312967276	
2	江苏港峰环境科技有限公司	陈平	15952910201	
3	江苏腾龙生物药业有限公司	王立军	1365585553	
4	江苏腾龙生物药业有限公司	陈刚	13912523789	
5	南京农业大学	占新华	13813806733	
6	南京市环境科学研究所	胡新	13815880983	
7	中国科学院南京土壤研究所	钱林波	18705189629	
8	江苏港峰环境科技有限公司	周雨	13656108416	
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				

时间：2024年12月4日

原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤及地下水修复工程技术方案
评审会专家名单

姓名	单位	职称/职务	签名	联系方式
胡韬	南京市燕子矶新城开发建设管理中心	正高级工程师	胡韬	13815880183
占新华	南京农业大学	教授	占新华	13813806733
钱林波	中国科学院南京土壤研究所	副研究员	钱林波	18705189629

《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块污染土壤及地下水修复工程技术方案》专家评审意见

2024年12月4日，江苏腾龙生物药业有限公司（业主单位）在盐城市大丰区西团镇主持召开了《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块污染土壤及地下水修复工程技术方案》（以下简称“方案”）评审会。会议邀请了3位专家（名单附后）组成专家组。与会人员踏勘了现场，并听取了业主单位关于项目情况的介绍和江苏港峰环境科技有限公司（编制单位）对方案主要内容的汇报，经质询和讨论，形成如下评审意见：

一、方案编制符合国家相关法律法规及技术导则的要求，内容较全面，技术路线合理，方案总体可行，具有可操作性，经修改完善后可作为开展下一步工作的依据。

二、建议

1. 进一步梳理地块前期资料，核实修复范围和方量，明确修复工程目标、标准；
2. 结合场地特征和污染因子属性，优化工艺比选和技术参数设计；
3. 根据市场行情，完善项目工程成本估算。

专家组：

胡杨 占新华 郭红

2024年12月4日

10.2 评审意见修改说明

《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块污染土壤及地下水修复工程技术方案》专家评审意见及修改说明

1.进一步梳理地块前期资料，核实修复范围和方量，明确修复工程目标、标准；

(1) 在第1.1节（P1-2）中对地块的用地历史、调查和风险评估过程及结论；在第2.2节-2.5节（P7-59）进一步梳理了地块前期资料，包括地块用地和生产历史、现状用途、水文地质条件，土壤污染状况调查过程及结果，风险评估结论等。

(2) 在第3.2节（P60-61）根据《原江苏腾龙生物药业有限公司西团厂区地块土壤污染状况风险评估报告》结论明确了本项目的土壤和地下水修复目标值和标准。

(3) 在第3.3节（P61-78）在明确土壤和地下水修复目标值的基础上核实了土壤和地下水的修复范围和方量。

2.结合场地特征和污染因子属性，优化工艺比选和技术参数设计；

在第4章（P78-105）根据场地特征和污染因子属性，优化了工艺比选和技术参数设计。

3.根据市场行情，完善项目工程成本估算。

在第8章（P162-163），根据市场行情，完善了项目成本估算。

专家确认：



日期：

