

山东晋煤明升达化工有限公司退役场地

土壤修复方案

(评审稿)

生态环境部南京环境科学研究所

二〇二〇年八月



保 密 声 明

项目委托方和受托方对本项目技术资料、图件、数据等均负有保密义务；未经双方许可，不得向第三方提供本报告的相关技术内容及数据。

生态环境部南京环境科学研究所

土壤污染防治研究中心

国家环境保护土壤环境管理与污染控制重点实验室

二〇二〇年八月



服务承诺声明

本项目承担单位遵守国家相关环境标准和技术规范，参照国外通行技术方法，以现场实际条件、委托方提供的相关资料、数据、图件等为基础，采用科学方法、专业分析与判断，确保相关技术报告的真实性、准确性、完整性。

本项目承担单位承诺按照合同约定、工作方案要求，提供专业化、高质量、高效率的技术咨询服务。但同时声明，本咨询服务受资料信息、调查时间、经费等多种客观条件的制约，并无法满足超出合同范围的服务要求。

本报告未经双方约定，不能用于环境污染事故鉴定、污染责任界定等法律用途。

本项目承担单位对本技术报告内容有最终解释权。

生态环境部南京环境科学研究所

土壤污染防治研究中心

国家环境保护土壤环境管理与污染控制重点实验室

二〇二〇年八月

项 目 名 称：山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤修复方案

编 制 单 位：生态环境部南京环境科学研究所

法 人 代 表：赵克强 所长 研究员

项 目 负 责 人：徐 建 副研究员

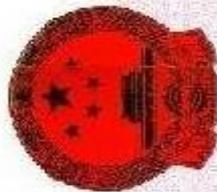
编制人员责任表

姓名	职称	专业	负责部分	签名
徐建	副研究员	环境科学	项目负责人和方案内审	徐建
刘国强	助理研究员	环境工程	4、5、6、8 章节	刘国强
栗丰	助理研究员	水文地质	1、2 章节	栗丰
甘信宏	助理研究员	环境科学	3、7 章节	甘信宏

附：单位法人证书和工程咨询甲级证书

中华人民共和国 事业单位法人证书 (副本)	
名称	生态环境部南京环境科学研究所
宗旨和	开展环境科学技术研究,促进环境保护事业发展。 生态环境研究 自然保护研究 生物多样性保护工 程技术研究 农村环境研究 生态环境政策研究 环境工 程技术研究 化学污染防治技术研究 生物安全 技术研究 环境影响评价 进口废物环境风险评估 有机食品认证 环境管理体系认证
业务范围	
住所	江苏省南京市玄武区蒋王庙街8号
法定代表人	赵克强
经费来源	财政补助收入、事业收入
开办资金	¥6848万元
举办单位	生态环境部
登记管理机关	
 gjsy.gov.cn	
有效期至2018年12月20日 至2023年12月20日	
	

国家事业单位登记管理局监制



工程咨询单位资格证书

单位名称: 环境保护部南京环境科学研究所 资格等级: 甲级

专 业
生态建设和环境工程

服务范围

规划咨询、编制项目建议书、编制项目可行性研究报告、项目中请报告、资金申请报告、评估咨询

以上各专业技术涵盖了本专业相应时段节能减排和环境治理内容, 取得编制项目可行性研究报告、项目节能报告资格利益, 具备编制固定资产投资节能评估文件的能力, 具备对固定资产投资节能评估文件之行评审的能力。

证书编号: 工咨甲 21120070005

证书有效期: 至 2017 年 08 月 14 日



2012 年 08 月 15 日

中华人民共和国国家发展和改革委员会

山东晋煤明升达化工有限公司退役场地 土壤修复方案专家评审意见

2020年8月30日，山东晋煤明升达化工有限公司组织召开了《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤修复方案》（以下简称“方案”）评审会。会议邀请了3位专家组成专家组（名单附后）。与会人员踏勘了现场并听取了方案汇报，经质询和讨论形成如下意见：

一、方案编制和工作程序符合相关规范要求，内容较全面，提出的土壤修复技术路线合理。

二、意见及建议：

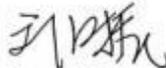
1. 核实完善编制依据；补充修复方案编制单位资质证书、水文地质图作为附件；
2. 补充一期修复工程简要说明及经验借鉴；补充原装置生产工艺及产污环节图；完善退役地块现状说明；
3. 完善技术方案对比说明；补充小试数据，说明筛选出的技术方案的可行性；核实修复目标值；
4. 完善使用药剂及投用比例、处理能力、处理时间、处理条件说明；核实处置工艺中设置密闭大棚的必要性；
5. 补充使用药剂的理化性质及储存措施；

6. 完善选用技术方案的二次污染防治措施及环境应急安全计划说明，完善修复效果监测方案；

7. 明确修复方案结论。

2020年8月10日

山东晋煤明升达化工有限公司退役场地
土壤修复方案评审专家组签字表

姓 名	单 位	职 称	签 字
曹晓群	山东第一医科大学	教 授	
徐玉新	山东农业大学	副教授	
刘汉振	山东华阳农药化工集团	高 工	

《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤修复技术方案》

专家评审意见修改说明

2020年8月30日，山东晋煤明升达化工有限公司组织召开了《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤修复技术方案》（以下简称“方案”）评审会。

会议专家组同意“方案”通过，提出5条修改完善意见，现已按专家意见对评估报告进行了修改完善，完善说明如下：

1. 核实完善编制依据；补充完善修复方案编制单位资质证书，水文地质图作为附件。

已在1.2.1章节进一步补充和完善了补充了相关法律、法规、政策方面的编制依据；已在编制责任表下方补充了单位法人证书和工程咨询甲级证书；已在2.3.1章节补充了地块的地下水流场图、工程地质剖面图和钻孔柱状图。

2. 补充完善一期修复工程简要说明及经验借鉴；补充原装置生产工艺及产污环节图；完善退役地块现状说明。

已在方案中增加了“2.4 一期修复工程情况”章节；该厂生产工艺见2.1.4章节，并补充了2.1.5章节，识别各生产设施及产污情况；在2.2.1章节补充了地块现状说明。

3. 完善技术方案对比说明；补充小试数据，说明筛选出的技术方案的可行性；核实修复目标值。

已在5.2.3章节完善技术方案对比，参照《工业企业场地环境调查评估和修复工作指南（试行）》修复技术综合评估评分工具表进行评分，进一步开展对比分析；已在5.3.2章节补充小试数据，进一步说明该技术可行性；修复目标值是根据风险评估计算得出的超风险污染物控制值、《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB3660-2018）第一类用地下中污染物的筛选值和管制值以及土壤中污染物的饱和浓度来确定。

4. 完善使用药剂及投用比例、处理能力、处理时间、处理条件说明；核实处置工艺中密封大棚的必要性。

已在5.3.2章节补充了山东晋煤明升达化工有限公司提供的小试数据及根据小试情况初步确定的的投加比例、处理能力、处理时间、处理条件建议；为防止开挖和处理过程导致土壤挥发性有机物、半挥发性有机物的扩散，本次修复过程

中应采取相应措施进行尾气控制或处理，密封大棚为建议办法之一，其他办法包括气味抑制剂喷洒、膜覆盖以及分层逐步开挖等等。

5.补充使用药剂的理化性质及存储措施。

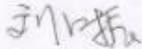
已在6.1.2章节补充了建议药剂的理化性质和存储措施建议。

6.完善选用技术方案的二次污染防治措施及环境应急安全计划说明，完善修复效果监测方案。

已完善7.2章节的二次污染防治措施和7.4章节的环境应急安全计划。完善了7.3章节修复效果评估内容，详细的修复效果评估方案后期由修复效果评估单位编制。

7.明确修复方案结论

已在结论部分明确修复方案结论，根据可行性评估，该技术对本地块的修复能够有较好的效果。

专家组复核： 

2020年8月13日

目 录

1 总论.....	8
1.1 项目概况.....	8
1.2 编制依据.....	9
1.2.1 相关法律、法规、政策.....	9
1.2.2 相关标准.....	10
1.2.3 相关技术导则、规范.....	10
1.2.4 参考的国外标准、指南.....	11
1.2.5 其他文件.....	11
1.3 编制原则.....	12
1.4 编制内容.....	12
2 地块概况.....	1
2.1 企业及地块历史信息.....	1
2.1.1 地理位置.....	1
2.1.2 企业基本信息.....	2
2.1.3 主要产品及原辅料.....	4
2.1.4 生产工艺.....	5
2.1.5 区域设施识别及污染因素分析.....	12
2.2 地块及周边现状.....	13
2.2.1 地块现状.....	13
2.2.2 地块周边环境现状.....	15
2.2.3 地块所在区域规划用地方式.....	18
2.3 地块水文地质概况.....	18
2.3.1 地质条件.....	18
2.3.2 水文地质条件.....	24
2.3.3 地下水的补、径、排条件.....	25
2.4 一期修复工程情况.....	25
2.4.1 前期调查和风险评估情况.....	25
2.4.2 一期修复工程情况和经验.....	26
3 调查与风险评估结果.....	28
3.1 初步采样调查结果.....	28
3.1.1 土壤污染.....	28
3.1.2 地下水污染.....	30
3.1.3 初步采样结论.....	32
3.2 详细调查结果.....	32
3.3 人体健康风险评估结果.....	33
3.3.1 关注污染物与风险控制值.....	33
3.3.2 超风险点位和深度.....	34
3.4 修复目标和修复范围.....	36
3.4.1 土壤建议修复目标值.....	36
3.4.2 土壤污染建议修复范围.....	37
3.4.3 修复深度和修复方量.....	40
4 修复模式选择.....	46

4.1	总体思路.....	46
4.2	修复模式选择.....	47
4.2.1	地块特征分析.....	47
4.2.2	污染地块修复模式.....	47
5	修复技术筛选.....	49
5.1	土壤修复技术简介.....	49
5.2	土壤修复技术选择.....	56
5.2.1	土壤修复技术选择原则.....	56
5.2.2	污染物性质.....	57
5.2.3	修复技术确定.....	58
5.3	修复技术可行性评估.....	63
5.3.1	异位化学氧化技术可行性评估.....	63
5.3.2	小试情况.....	63
5.3.3	可行性分析.....	64
6	修复方案设计.....	65
6.1	化学氧化修复方案设计.....	65
6.1.1	修复方案技术路线.....	65
6.1.2	修复技术工艺参数.....	65
6.2	投资估算.....	69
6.3	修复进度安排.....	71
7	环境管理计划.....	73
7.1	修复工程监理.....	73
7.1.1	环境监理.....	73
7.1.2	工程监理.....	76
7.2	二次污染防范.....	77
7.2.1	工程实施过程中环境影响分析.....	77
7.2.2	环境保护措施.....	77
7.3	修复效果评估.....	80
7.3.1	评估内容.....	80
7.3.2	评估程序.....	80
7.3.3	评估目标及标准.....	80
7.3.4	评估方法.....	81
7.3.5	后期监管建议.....	82
7.4	环境应急预案.....	82
7.4.1	总则.....	82
7.4.2	适用范围.....	82
7.4.3	应急组织机构、人员和职责.....	83
7.4.4	应急流程.....	83
7.4.5	危险事故分析.....	83
7.4.6	应急措施.....	83
7.4.7	个人防护.....	85
7.4.8	应急装备.....	86
7.5	公众参与社会维稳.....	86
7.6	疫情期间安全防护.....	87

8 成本效益分析.....	88
8.1 修复费用.....	88
8.2 环境效益.....	88
8.3 社会效益.....	88
8.4 经济效益.....	89
9 结论与建议.....	90
9.1 结论.....	90
9.2 建议.....	90
附件一 山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染状况调查报告专家意见	
91	
附件二 山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染风险评估报告专家意见	
94	

山东晋煤明升达化工有限公司退役场地 土壤修复方案

1 总论

1.1 项目概况

山东晋煤明升达化工有限公司成立于 2009 年，注册资金 2000 万元。公司地处鲁中地区-宁阳县八仙桥项目聚集区。公司前身为宁阳县化肥厂，始建于 1968 年。企业历经由氨水厂改碳酸氢铵、尿素“四改六”、“六改十”等一系列的技术改造和技术革新，现已由 3000 吨/年的小化肥厂发展成为集化学肥料、化工原料、橡胶助剂等三大系列产品为一体的综合型化工企业。主导产品有合成氨、尿素、甲醇、碳酸氢铵、食品级二氧化碳、橡胶助剂等，形成了 12 万吨/年氨醇、18 万吨/年尿素、2 万吨/年碳酸氢铵、4 万吨/年精甲醇的规模。

2015 年，晋煤明升达为改善生产工艺，扩大生产能力，另设一新厂区。老厂区将在两年内逐步搬迁拆除。原生产地块将用作商住用地开发。为明确该地块污染状况，评估污染区域的潜在危害，宁阳县晋煤明升达化工有限公司委托山东省环境保护科学研究院开展该地块的土壤污染状况调查与评估工作，并编制污染场地土壤修复可行性研究报告。按照现行技术导则标准，分析了山东省环科院编制的《山东晋煤明升达退城进园土壤污染调查报告》和《山东晋煤明升达退城进园土壤污染风险评估报告》两个报告后，发现需考虑以下 2 个问题：①2015 年开展调查时，各项污染物的调查评估标准严于 2018 年发布的《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)；②该厂自 2015 年调查后，至 2019 年仍有生产，前期的调查的污染情况可能有变化。基于以上原因，本地块在退城进园前需做进一步调查评估。

为保障地块环境安全，落实相关法律、法规对该地块的要求，2019 年 10 月，受山东晋煤明升达化工有限公司委托，生态环境部南京环境科学研究所（原环境保护部南京环境科学研究所）作为调查单位，对整个地块开展土壤及地下水污染调查评估工作，编制了《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染状况调查报告》、《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染风险评估报告》，并分别于 2020 年 4 月 20 日和 2020 年 7 月 1 日通过了专家评审。

根据调查和风险评估结果，该地块土壤中的 1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽风险不可接受，其修复目标值分别为 0.05 mg/kg、0.55 mg/kg、0.55 mg/kg。修复区块的划分从保守出发，将超风险点位四周最近的非污染点位连线形成多边形，作为建议的修复区域，计算得出修复区域总面积为 7900.38m²。修复层厚按照超风险污染层深度分别向上和向下至无风险层位厚度计算，修复土方量为修复区块面积与修复层厚的乘积，计算出本地块共计需修复土方量 12967.74m³。

本报告主要针对该地块的污染特征，修复目标、方量及范围，提出建议修复模式，根据提出的修复目标污染物种类，筛选提出建议的修复技术，最终核算修复所需的成本，为地块修复施工方案的编制及修复工程的开展提供依据和技术支撑。

1.2 编制依据

1.2.1 相关法律、法规、政策

- 《中华人民共和国环境保护法》（2015年1月1日）；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年4月29日修订）；
- 《中华人民共和国水污染防治法》（2018年8月1日实施）；
- 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019年1月1日实施）；
- 《土壤污染防治行动计划》（国发[2016]31号）；
- 《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）；
- 《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》（环发[2014]66号）；
- 《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发[2012]40号）；
- 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环保部令第42号）；
- 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》（环发[2004]47号）；
- 环境保护部关于贯彻落实《国务院办公厅关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》的通知（环发[2013]46号）；
- 《山东省土壤污染防治条例》（2020年1月1日起施行）；

- 《关于做好山东省建设用地污染地块再开发利用管理工作的通知》（鲁环发〔2019〕129号）；

1.2.2 相关标准

- 《危险废物鉴别标准 通则》（GB 5085.7-2007）；
- 《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2009）；
- 《固体废弃物鉴别标准 通则》（GB 34330-2017）；
- 《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）；
- 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 3660-2018）；
- 《污水排入城镇下水道水质标准》GB-T 31962-2015；
- 《大气污染物综合排放标准》GB 16297-1996；
- 《环境空气质量标准》GB 3095-2012；
- 《恶臭污染物排放标准》GB 14554-1993；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523-2011。

1.2.3 相关技术导则、规范

- 《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》（HJ 682-2019）
- 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）；
- 《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）；
- 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）；
- 《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2019）；
- 《水质采样技术指导》（HJ 494-2009）；
- 《水质样品的保存和管理技术规定》（HJ 493-2009）；
- 《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166-2004）；
- 《地下水环境监测技术规范》（HJ/T164-2004）；
- 《地下水污染地质调查评价规范》（DD2008-01）；
- 《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T91-2002）；
- 《水文地质钻探规程》（DZ-T0148-1994）；
- 《卫星定位城市测量技术规范》（CJJ/T73-2010）；

- 《工业企业地块环境调查评估与修复工作指南（试行）》（环保部 2014 年 78 号公告）；
- 生态环境部关于印发重点行业企业用地调查系列技术文件的通知，环办土壤[2017]67 号；
- 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》（环保部 2017 年 72 号公告）。

1.2.4 参考的国外标准、指南

参考美国材料与测试协会（ASTM）标准指南等一些国外相关标准、指南，主要如下：

- ASTM E1527-00: Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process;
- ASTM E1903-97: Guide for Environmental Site Assessments:Phase II Environmental Site Assessment Process;
- ASTM D1452-00: Practice for Soil Investigation and Sampling by Auger Borings;
- ASTM D5092-02: Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells。

1.2.5 其他文件

- 《山东晋煤明升达退城进园土壤污染治理与修复实施方案》，山东省环境保护科学研究设计院，2015.06；
- 《山东晋煤明升达退城进园土壤污染调查报告》，山东省环境保护科学研究设计院，2015.12；
- 《山东晋煤明升达退城进园土壤污染风险评估报告》，山东省环境保护科学研究设计院，2015.12；
- 《山东晋煤明升达退城进园土壤污染治理与修复可行性研究》，山东省环境保护科学研究设计院，2015.12；
- 《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地水文地质勘察报告》，2019.11
- 《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染状况调查报告》，2020.04。

➤ 《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染风险评估报告》，2020.06。

➤ 《宁阳县飞达化工有限公司宿舍楼岩土工程勘察报告》；

➤ 本单位在方案编制中查阅的其他相关资料。

1.3 编制原则

本方案的制定遵循“科学性、可行性、安全性”的总体原则。

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

可行性原则：制定的地块土壤修复方案要合理可行，要在前期工作的基础上，针对地块的污染性质、

安全性原则：制定地块土壤修复方案要确保地块修复工程实施安全，防止对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害和二次污染。

1.4 编制内容

本报告在《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染状况调查报告》、《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染风险评估报告》的结论基础上，进行修复模式的确定、修复技术的筛选；针对修复模式的确定、修复技术的筛选，综合考虑经济、技术、社会等各方面因素，综合评价各修复模式、修复技术的优劣，筛选出最适合相关地块修复工程的模式和技术，编制最终修复方案。修复方案编制的工作程序如图 1.4-1 所示。污染地块土壤修复方案编制分为以下三个阶段：

（1）选择修复模式

在分析前期污染土壤污染状况调查和风险评估资料的基础上，根据地块特征条件、目标污染物、修复目标、修复范围和修复时间长短，选择确定地块修复总体思路。

（2）筛选修复技术

根据地块的具体情况，按照确定的修复模式，筛选实用的土壤修复技术，开展必要的实验室小试和现场中试，或对土壤修复技术应用案例进行分析，从适用条件、对本地块土壤修复效果、成本和环境安全性等方面进行评估。

（3）制定修复方案

根据确定的修复技术，制定土壤修复技术路线，确定土壤修复技术的工艺参数，估算地块土壤修复的工程量，提出初步修复方案。从主要技术指标、修复工程费用以及二次污染防治措施等方面进行方案可行性比选，确定经济、实用和可行的修复方案。

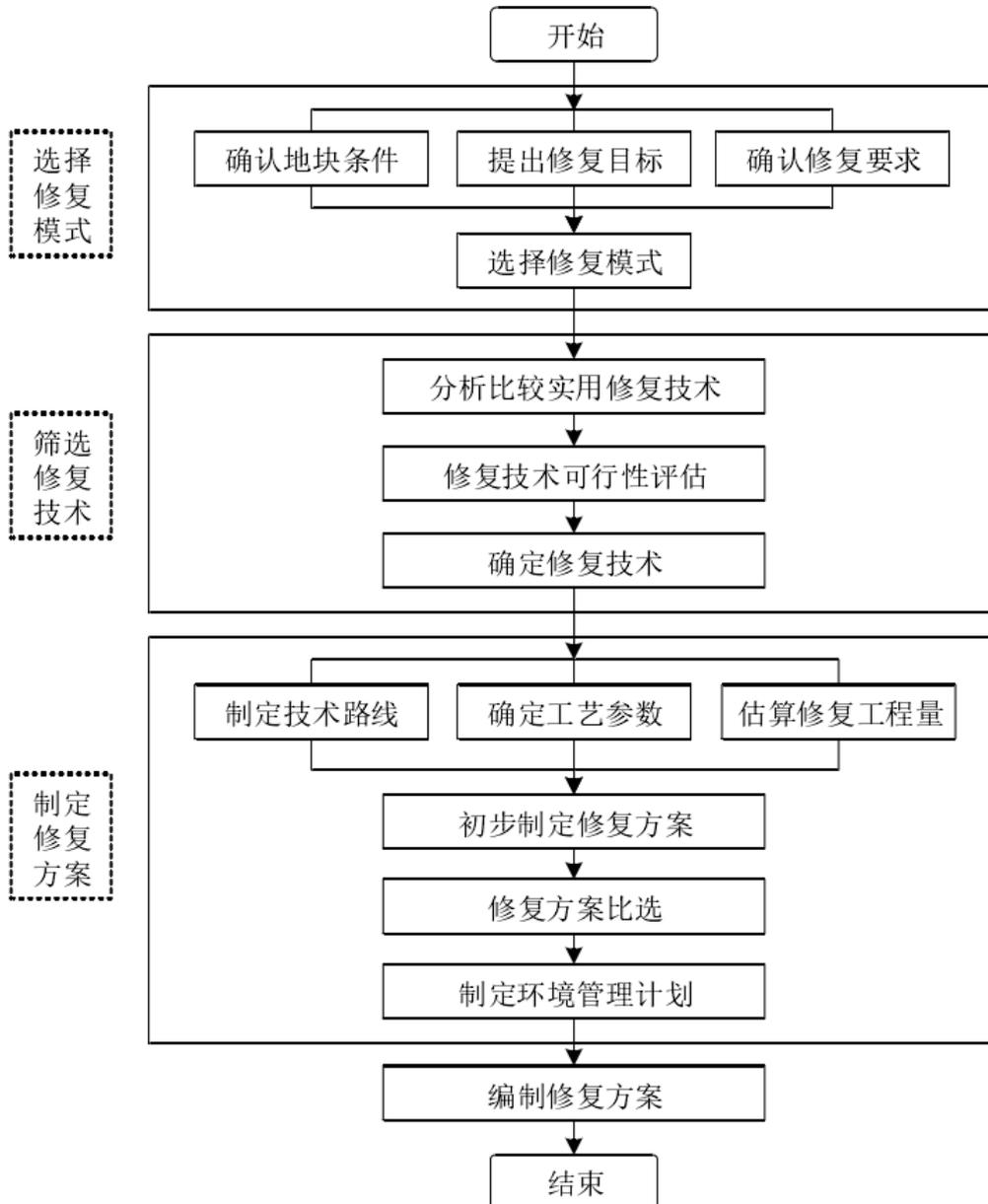


图 1.4-1 地块修复方案工作程序

2 地块概况

2.1 企业及地块历史信息

2.1.1 地理位置

宁阳县位于山东省的中南部，地理位置处于东经 $116^{\circ} 36' - 117^{\circ} 18'$ ，北纬 $35^{\circ} 40' - 35^{\circ} 57'$ 之间，总面积 1125km^2 。宁阳位于泰安市西南，属泰安市辖区，北端以大汶河主流为界，隔河与泰安市郊区，肥城市相望，东与新泰市、泗水县相邻，南与曲阜市、兖州市接壤，西邻汶上县，县城区位于县境西南部，南距兖州 27km ，北至肥城 52km ，东至新泰 108km ，西至汶上 32km 。宁阳县交通便利，公路铁路四通八达，京沪铁路纵贯南北，磁莱铁路横穿东部；京福高速公路、104 和 333 省道贯通城区。厂区调查区域占地面积约为 169680m^2 ，位于宁阳县城区南部约 2km 处，厂区所在区域交通便利，紧临 104 省道，地理位置较为优越。地块具体地理位置见图 2.1-1。

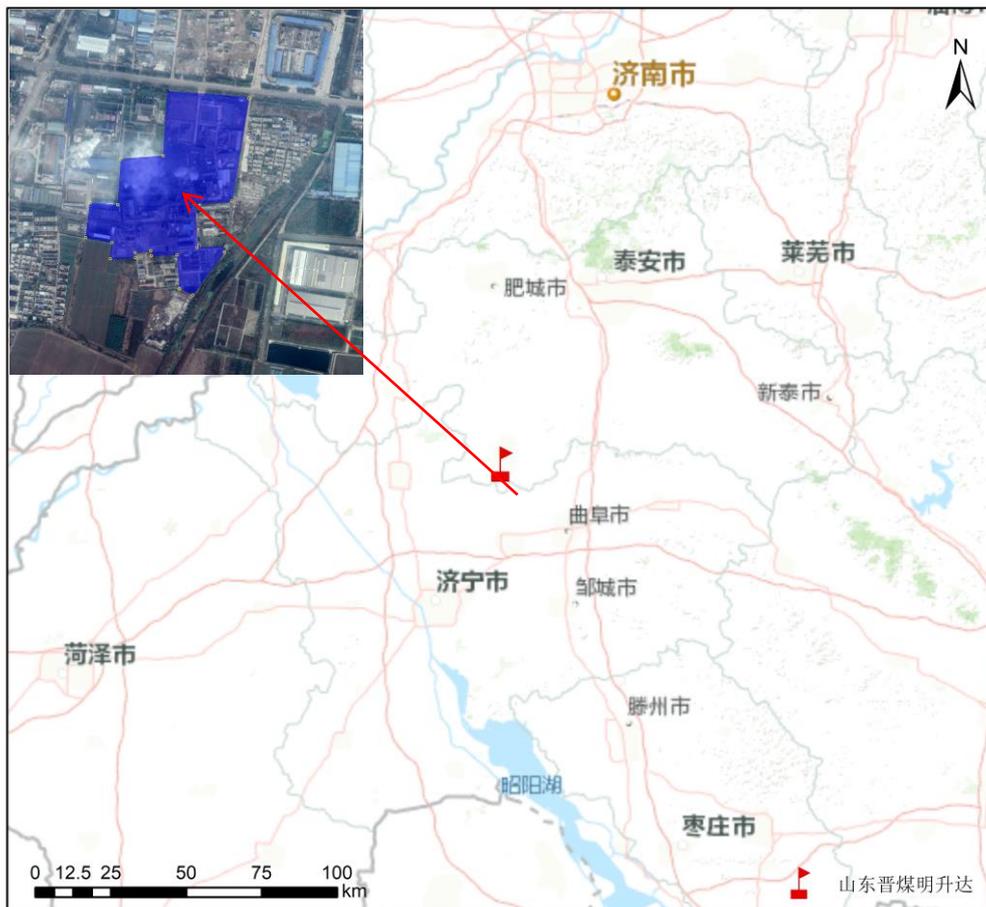


图 2.1-1 山东晋煤明升达化工有限公司退役场地地理位置图

2.1.2 企业基本信息

山东晋煤明升达化工有限公司前身为宁阳县化肥厂，始建于 1968 年，1997 年 12 月改为公司制企业，更名为“山东省宁阳县飞达化工有限公司”；2000 年率先在泰安市进行了以“双置换”（国有资本、职工身份）为核心的产权制度改革；2002 年 3 月更名为“山东飞达化工科技有限公司”；2009 年 5 月，与山东晋煤明水化工集团有限公司签订战略合资合作协议，实施了强强联合，并更名为“山东晋煤明升达化工有限公司”。

山东晋煤明升达化工有限公司发展历程详见表 2.1-1。

表 2.1-1 明升达公司发展历程（1968 年~2018 年）

时间	发展阶段	主要事件
1968 年~1997 年	宁阳县化肥厂	1968 年成立宁阳县化肥厂，先后开展氨水厂、碳酸氢铵、尿素等化肥生产。
1997 年~2002 年	山东省宁阳县飞达化工有限公司	2000 年率先在泰安市进行了以“双置换”（国有资本、职工身份）为核心的产权制度改革
2002 年~2009 年	山东飞达化工科技有限公司	“四改六”、“六改十”等一系列的技术改造和技术革新
2009 年~2015 年	山东晋煤明升达化工有限公司	与山东晋煤明水化工集团有限公司签订战略合资合作协议，公司更名。
2015 年~2018 年	山东晋煤明升达化工有限公司	晋煤明升达为改善生产工艺，扩大生产能力，另设一新厂区，老厂区逐步搬迁拆除

目前工厂已停产，地块内正在拆除，除造粒塔、烟囱及办公楼等个别房屋建筑未拆外，其余均已拆除。在拆除之前现场踏勘时发现现场存在一定的跑冒滴漏问题。拆除前以及基本拆除的现场状况分别见图 2.1-2、2.1-3。



图 2.1-2 未拆除前现场情况



图 2.1-3 基本拆除后现场情况

2.1.3 主要产品及原辅料

晋煤明升达公司是一家集合化学肥料、化工原料、橡胶助剂等三大系列产品为一体的综合型化工企业。主导产品有合成氨、尿素、甲醇、碳酸氢铵、食品级二氧化碳、橡胶助剂等。其产品和主要原辅材料见表 2.1-2，理化性质见表 2.1-3。

表 2.1-2 产品及主要原辅材料清单

产品	化学式	主要生产原料
氨	NH ₃	无烟煤、蒸汽、碳酸丙烯酯
尿素	NH ₂ CONH ₂	氨、二氧化碳
橡胶防老剂 4020 (N-(1,3-二甲基丁基)-N'-苯基-对苯二胺)	C ₁₈ H ₂₄ N ₂	对氨基苯酚、甲基异丁基酮、甲酸、苯胺
橡胶防老剂 RD (2, 2, 4-三甲基-1, 2-二氢化喹啉聚合体)	C ₁₂ H ₁₇ N	苯胺、丙酮、甲苯、盐酸
宝石晶体	α-Al ₂ O ₃	氧化铝

表 2.1-3 产品理化性质表

产品	理化性质
氨	<p>氨对人体的眼、鼻、喉等有刺激作用，吸入大量氨能造成短时间鼻塞，并造成窒息感，眼部接触易造成流泪。</p> <p>氨的密度为 0.771g/L（标准状况下），在常压下冷却至-33.34℃或在常温下加压至 700KPa 至 800KPa，气态氨就液化成无色液体，氨极易溶于水，在常温、常压下，1 体积水能溶解约 700 体积的氨。</p> <p>有毒、有腐蚀性、易燃、预热易爆炸。</p>
尿素	<p>性状：无色或白色针状或棒状结晶体，工业或农业品为白色略带微红色固体颗粒，无臭无味。含氮量约为 46.67%。</p> <p>沸点：196.6℃/760mmHg。</p> <p>折射率：n₂₀/D 1.40。</p> <p>闪点：72.7℃。</p> <p>密度：1.335。</p> <p>熔点：132.7℃。</p> <p>水溶性：1080 g/L (20℃)。</p> <p>溶解性：溶于水、甲醇、甲醛、乙醇、液氨和醇 [1]，微溶于乙醚、氯仿、苯。弱碱性。</p> <p>可与酸作用生成盐。有水解作用。在高温下可进行缩合反应，生成缩二脲、缩三脲和三聚氰酸。加热至 160℃分解，产生氨气同时变为异氰酸。尿素在酸、碱、酶作用下（酸、碱需加热）能水解生成氨和二氧化碳。</p> <p>对热不稳定，加热至 150~160℃将脱氨成缩二脲，若迅速加热将脱氨而三聚成六元环化合物三聚氰酸，与乙酰氯或乙酸酐作用可生成乙酰脲与二乙酰脲，在乙醇钠作用下与丙二酸二乙酯反应生成丙二酰脲，在</p>

产品	理化性质
	氨水等碱性催化剂作用下能与甲醛反应缩聚成脲醛树脂，与水合肼作用生成氨基脲。
橡胶防老剂 4020 (N-(1,3-二甲基丁基)-N'-苯基-对苯二胺)	白色粉末，暴露在空气中氧化成褐色固体。除具有良好的抗氧效能外，还有抗臭氧、抗曲挠龟裂和抑制铜、锰等有害金属的作用。密度 0.986-1.00g/cm ³ ，熔点 52°C。温度超过 35-40°C 时会慢慢结块。溶于苯、丙酮、乙酸乙酯、二氯乙烷、甲苯，不溶于水。小白鼠口服 LD ₅₀ 为 2500mg/kg
橡胶防老剂 RD (2, 2, 4-三甲基-1, 2-二氢化喹啉聚合体)	淡黄色至琥珀色粉末或薄片，无毒。密度 1.08，熔点 72-94°C，沸点 >315°C，水溶性 <0.1g/100 mL at 23°C。不溶于水，溶于苯、氯仿、丙酮及二硫化碳，微溶于石油烃。
宝石晶体	常因含有不同的杂质而呈现不同的颜色，刚玉一般呈带蓝或带黄的灰色，有玻璃或金刚光泽，密度在 3.9-4.1g/cm ³ ，硬度 8.8，仅次于金刚石和碳化硅，能耐高温。

2.1.4 生产工艺

本次调查地块涉及的主要生产工艺如下：

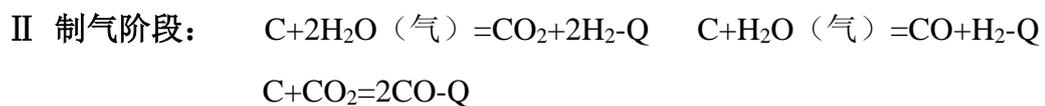
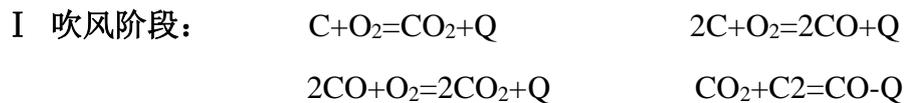
1、合成氨工艺

本工程合成氨装置是以无烟煤为原料，采用固定层间歇法造气、湿式氧化法脱硫、中低变换、碳丙法脱除二氧化碳、铜洗精炼工艺流程制得精制气生产合成氨。

主要工艺组成部分为造气工段、脱硫工段、压缩工段、变换-变脱工段、脱碳工段、甲醇合成工段、铜洗工段、氨合成工段。

(1) 造气工段

造气工段为合成氨系统的龙头工序，其主要任务是为后工序提供合格的半水煤气。本工程造气工段采用固定床间歇法制备半水煤气。主要阶段化学反应式如下：



从造气鼓风机来的空气和锅炉来的自产蒸汽交替送入煤气发生炉内，在一定

的高温条件下和原料煤中的碳发生反应生成含有 CO、CO₂、H₂、N₂ 以及 CH₄ 等成份的半水煤气。半水煤气出煤气炉进入集尘器，初步除尘后进入废热锅炉，部分吹风去吹风回收岗位。经废热锅炉换热后的半水煤气进入洗气塔，经洗涤粉尘和进一步降温后送入气柜。从洗气系统排出的造气废水经凉水塔曝气闭路循环装置处理后重新回到造气工段洗气系统循环使用。

该工段主要有造气炉气化渣，洗气塔废水，造气吹风产生。

(2) 脱硫工段

主要原理为：以碱性溶液吸收酸性气体同时选择适当的氧化催化剂，将溶液中被吸收的硫化氢氧化成单质硫，使脱硫富液得到再生，并副产硫磺。还原态的氧化催化剂由空气氧化成氧化态循环使用。

由气柜来的半水煤气，经过洗气塔降温至 35—40℃ 进入静电除焦塔，去除半水煤气中的尘粒和煤焦油等杂质，由罗茨风机增压后送入两脱硫塔底部，与贫液逆向接触。脱除硫化氢后的半水煤气从脱硫塔顶部出来，经净氨塔洗去气体中夹带的氨后，再经静电除焦油塔进一步去除煤焦油等杂质后，去压缩工段。

吸收了硫化氢的富液由再生泵打入氧化再生槽的喷射器，与喷射器吸入的空气进行氧化反应，氧化反应后的溶液在再生槽内进行硫泡沫浮选继续氧化再生，并浮选出硫泡沫。再生后的贫液经液位调节器流入贫液槽，再由脱硫泵加压经脱硫液冷却器打入脱硫塔循环使用。硫泡沫溢流进泡沫槽，再加入熔硫釜经加热熔融后精制，制成硫锭，分离后的残液经过残液槽沉淀后，打入贫液槽循环使用。年回收硫磺量约为 407 吨。

该工段主要有静电除尘产生的煤焦油。

(3) 压缩工段

脱硫后的半水煤气经总管一入水分，一入大阀，一段水分离器进入一段气缸，压缩后经一段排气缓冲器、一段冷排、一段油水分离器。部分气体经 1 回 1 阀回到一段进口重复压缩；部分气体继续经二段吸气缓冲器，进入二段气缸，压缩后经二段出口缓冲器、二段油水分离器，再经 2 回 1 阀回到一段气缸进口重复压缩，三段气缸内残余变换气只在本段循环，排出的气体经三出缓冲器、三段冷排、三段油水分离器，经 3 回 3 阀回到三段出口；四段与五段气缸也残余一部分气体，四段出口排出的气体经四段出口缓冲器、四段水冷排、四段油水分离器，五段吸

气缓冲器，进入五段气缸。压缩后经五段出口缓冲器、五段冷排，到达五段油水分离器，经 5 回 4 阀回 4 入管，又回到 4 段进口重复压缩，六段气缸内残余气压缩后经六段出口缓冲器、六段冷排、六段油水分离器经 6 回 6 阀回 6 段进口重复压缩。该工段主要有废水产生。

(4) 变换、变脱工段

主要工作原理为：借助催化剂的作用，在一定温度下，半水煤气中一氧化碳与水蒸汽反应生成二氧化碳和氢气。

主要反应原理： $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{Q}$

由压缩二段来的 0.8MPa 的半水煤气，由饱和塔下部进入，与上部喷淋下来的热水逆流接触。加热后的半水煤气从饱和塔顶部出来，切线方向进入混合器（蒸汽与半水煤气混合的气水分离器），进一步与蒸汽混合加热，从混合器顶部出来，去热交换器管内与管间走的变换气进一步换热后，由中变炉顶部进入，通过三段触煤层，在中变触媒的催化作用下，半水煤气和水蒸汽进行反应，反应后的中温变换气，从中温变换炉下部出来，进入蒸汽加热器，加热蒸汽，然后进入热交换器的管间用以加热半水煤气。

换热后的中变气经过 I 调温水加热器，由第一低变炉上部进入，在低变触媒的作用下，进一步变换成低变气，从底部出来经二调温水加热器进入 2#低变炉，从下部出来进入水加热管内与管间的热水逆流换热后，进入热水塔的下部，后进入软水予热器。然后通过一、二冷却塔，变换气温度降至 35℃左右，进入变脱工段。

来自变换的变换气经变脱塔脱去硫化物后去压缩机三段入口。

该工段主要有变换废水，中变炉废催化剂，低变炉废催化剂产生。

(5) 脱碳工段

本工段工作原理为：碳酸丙烯酯脱除变换气中的二氧化碳是一个物理溶解过程。在同样的压力、温度下，二氧化碳、硫化氢等酸性气体在碳酸丙烯酯中的溶解度比氢、氮气在碳酸丙烯酯中的溶解度大得多。另外，二氧化碳在碳酸丙烯酯中的溶解度是随压力的升高和温度的降低而增加的，所以，在较高的压力下，碳酸丙烯酯吸收了变换气中的二氧化碳等酸性气体，在较低压力下二氧化碳气体能从碳酸丙烯酯溶液中解析出来，使碳酸丙烯酯再生，重新恢复吸收二氧化碳等酸

性气体的能力。

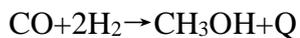
由压缩工段来的变脱气经变换气冷却器冷却温度后，从脱碳塔底部进入，变脱气中的二氧化碳被由塔顶淋降下来的碳丙液吸收后变成净化气，经分离器分离冷却水后，直接进入压缩机四入。吸收了二氧化碳后的碳丙液成为富液，富液从脱碳塔底部利用系统自身压力进入闪蒸槽顶部，闪蒸出来的闪蒸气经洗涤净化后被送往碳化（或闪蒸气提氢工段）利用。闪蒸后的碳丙液，由闪蒸槽底部先后进入再生塔上段的常解和真解部分，在常解和真解塔中解吸出来的二氧化碳经二氧化碳洗涤塔洗涤后被送往二氧化碳压缩。碳丙液从真解塔经液封进入再生塔下部的气提段后变成贫液，碳丙贫液从气提段底部依靠液体静压力流回循环槽，循环槽中的碳丙贫液经脱碳泵被送往脱碳塔顶部，实现了碳丙液的全封闭再生循环利用。

（6）甲醇合成及精制工段

a 甲醇合成工段

联醇生产是在一定的压力下，采用铜基催化剂，串联在合成氨工艺之中，用合成氨原料气中一氧化碳、二氧化碳、氢气合成甲醇。

来自压缩六段的氮氢气（13MPa、35℃）和来自循环机的气体混合后先经过油分除去氮氢气中夹带的油水杂质，油分出口气体分为两路，一路从顶部进入甲醇合成塔，另一路由底部进入合成塔，气体自上而下流经管内催化剂床层进行甲醇合成反应，甲醇合成气在催化剂的作用下发生如下反应：



反应气由甲醇合成塔底部出来，经入塔气预热器与入塔气换热，再进甲醇水冷器冷却至 40℃左右进入甲醇分离器将液体甲醇分离出来，气体从醇分顶部出来进入醇洗塔将气体中夹带的甲醇除去，出来后分为两路，一路去铜洗工段，另一路去循环机提压后和来自压缩的氮氢气混合后进入油水分离器，如此循环下去。

该工段有甲醇合成油水分离器废水和甲醇合成废催化剂产生。

b 甲醇精制工段

来自粗醇储槽的粗甲醇经预塔进料泵提压进入粗醇预热器加热后，分两路进

入预精馏塔内，在此将轻馏分脱除，出来后经主塔进料泵加压后分两路进入主精馏塔在此脱除水等重组分。精甲醇经甲醇冷却器冷却后去精醇储槽。

轻馏分从预塔冷凝器上采出后，进入预塔液封槽，在此被吸收后进入淡甲醇储槽。

重组分从主精馏塔底部出来进入残液贮槽。

该工段主要有精馏塔底重组分产生。

(7) 铜洗工段

由压缩六段送来的原料气进入油水分离器后，从铜塔的底部进入塔内和上部来的铜液逆流接触，将气体中的 CO、CO₂、O₂、H₂S 等吸收掉，从塔的上部经雾沫分离器后出铜塔进入铜分，分离气体中所夹带的铜液后，精炼气回压缩机七段，继续加压后送入氨合成工段。

a 高压部分

由压缩六段送来的原料气（或原料气来自甲醇合成）进入油水分离器后，从铜塔的底部进入塔内和上部来的铜液逆流接触，将气体中的 CO、CO₂、O₂、H₂S 等吸收掉，从塔的上部经雾沫分离器后出铜塔进入铜分，进一步分离气体中所夹带的铜液后，精炼气回压缩机七段，继续加压送入氨合成工段。

b 铜液部分

铜液经铜泵加压后送入铜塔内，由上而下与气体逆流接触，从塔的底部出来，经减压后进入回流塔，回收大部分热量和氨。铜液从下部进入铜液换热器管内，换热完后的铜液进入还原器。而后进入热水加热器，提高铜液温度后进入上加热器，进一步提高铜液温度后，进入再生器。根据总铜的高低，进入化铜桶，然后进入铜液换热器换热后，进入沉降器，把铜液中的杂质和沉淀物除去，进入水冷却器，然后进入氨冷器，继续降低温度在 21℃左右，经铜泵进口缓冲器后进入铜泵，如此循环使用。

c 再生气部分

从回流塔出来的再生气经气液分离后，依次进入高位吸氨器、氨水循环槽，由槽内出来进入净氨塔，出净氨塔的再生气送入脱硫风机入口回收利用。

该工段主要有铜洗废水产生。

(8) 氨合成工段

氨的合成反应是一个可逆的放热反应，由一分子氮与三分子氢结合生成两分子的氨。反应方程式为： $3\text{H}_2+\text{N}_2=2\text{NH}_3+Q$

由压缩送来的压力在 26MPa 左右的精炼氢氮气体（30-50℃），由压进阀控制首先进入小氨冷器降温（0-10℃），进入新鲜气油水分离器，除去油、水等杂质，气体出来与来自冷交的气体混合后，一起进入循环气氨冷器，冷却至-2~-5℃，气体出来后进入氨分离器将液氨分离出来，液氨去液氨球罐；气体出来后进入冷交与管间热气体换热后，经循环机提压后，进入循环气油分，除去油、水杂质，出来后经主阀控制，气体分为两路，一路约 65%经冷副阀控制，从顶部一入进入合成塔内外筒环隙，气体沿塔内外筒环隙向下，降低了塔壁温度，由下部一出出塔（50~80℃），和另一路气体混合进入热交换器换热，升温后，气体分为四路，一路从底部二入进入合成塔，经塔内下部换热器加热后，沿中心管自下而上，出中心管转向到上催化剂层，在此发生反应（温度升高，氨含量升高），进入菱形混合气，出热交换器的另外三路气体分别经 1#、2#、3#热副阀控制由塔顶进入，经导气管，由上而下经过冷管束，在此冷却管外热气体，本身温度升高，转向由下而上经升气管到达菱形混合器。和来自上催化剂层的反应气体混合后，向下进入下部催化剂层发生反应后，从下部三通出口出塔（250~350℃），进入废热锅炉副产蒸汽（1.25MPa），降温后出来进入热交换器换热管内，与管外换热进一步提高二进温度，换热降温后的气体出热交（50~85℃），进入水冷器进一步降温（30~40℃），出水冷器后进入冷交换器换热管管间，进行一次分离，分离出部分液氨后，气体出冷交和来自新鲜气油水分离器的补充气混合后，进入循环气氨冷器进一步降温至-2~-5℃，然后进入氨分离器进行二次分离，气体出氨冷器后从底部进入冷交换器，与管间气体换热后，从顶部出来进入循环机提压。如此循环。

塔后放空气体从出水冷器去冷交换器的管线上引出，气体先进入放空气氨冷器降温后，再进入放空气氨分将气体中的液氨分离出来，气体经氨洗塔洗涤去气体中的氨后，去提氢岗位处理。

分离出来的液氨经放氨阀减压、控制，送入氨库。

该工段主要由氨合成废催化剂和液氨储罐驰放气产生。

2、尿素生产工艺

本工程采用水溶液全循环法生产尿素，具体反应方程式如下：



由净化送来的二氧化碳气与液氨分别加压后送入尿素合成塔，同时从一段吸收塔来的氨基甲酸铵溶液经泵加压后进入尿素合成塔，出尿素合成塔的尿素熔融物经减压，进入分解系统，经两段分解、两段回收，尿液被提浓后去蒸发系统，氨基甲酸铵被分解，回收形成一甲液。从分解系统来的尿液进入蒸发系统在真空下加热，最终尿液被浓缩到 99.5% (W) 以上，经尿液熔融泵加压送至尿素造粒塔顶的旋转造粒喷头进行造粒。

该装置的稀碳铵液进入尿素深度水解系统，经回收氨和 CO_2 后再送入终端水处理站统一处理。

该工段主要有尿素合成尾气、尿素造粒塔尾气和尿素解析残液产生。

3、橡胶防老剂工艺

橡胶防老剂 4020，为 N-(1,3-二甲基丁基)-N'-苯基对苯二胺的商品代号，简称为 4020，属于对苯二胺类防老剂，它广泛用于飞机、汽车、自行车轮胎，用于电缆工业、防水工程等橡胶制品中，有其特别优异的防护性能。合成工艺是以对氨基苯酚、甲基异丁基酮、甲酸、苯胺为原料，在常压下经 3 步反应而成。

工业化过程所用的主要原料有对氨基苯酚，工业品，纯度不小于 95%；甲酸，二级工业品，纯度不小于 88%；甲基异丁基酮、苯胺、氢氧化钠均为一级工业品，纯度 99.5%；二甲苯，一级工业品，纯度 99.2%；白土，工业品。

橡胶防老剂 RD，为 2, 2, 4-三甲基-1, 2-二氢化喹啉聚合体的商品代号。工业上以苯胺和丙酮为原料，甲苯为脱水剂，盐酸为催化剂，于温度 130-140℃ 下缩聚，经中和水洗、常压蒸馏、减压蒸馏、切片、包装即得成品。

4、宝石加工工艺

氧化铝经过氢氧焰高温燃烧，制造宝石晶体，即人造刚玉。

5、复混肥生产工艺

含氮量 35% 和 45% 复合肥，采用机械复混工艺生产。

6、煤场的堆煤及使用途径

西北侧煤场煤堆主要是山西优质无烟块煤，是合成氨生产的原料煤，通过煤

气发生炉制作半水煤气。

南侧煤堆主要是一般烟煤，主要用于锅炉燃料煤。

7、原泰安中达生产历史

泰安中达有限公司成立于 2005 年，是整合山东晋煤明升达化工有限公司（原山东飞达化工科技有限公司）碳酸氢铵、复合肥、精甲醇、食品级二氧化碳生产装置，新组建的全资子公司。碳酸氢铵生产历史已有 30 多年，精甲醇和复合肥生产历史已有 20 年，食品级二氧化碳自 2005 年开始生产至今。该公司已于 2016 年注销。

2.1.5 区域设施识别及污染因素分析

本企业主要生产氨、尿素、复混肥和橡胶防老剂等，属于基础化学原料及专用化学品制造业，根据收集到的资料，结合现场踏勘、当地人员走访等方式，识别地块可能产生污染区域和设施，分析地块污染见下表 3.3-4。

表 3.3-4 区域设施及污染因素识别

区域名称	设施名称	功能	主要特征污染物
氨合成区	造气车间	生产水煤气	多环芳烃类、石油烃、砷和汞等重金属、硫化物、苯酚、氰化物
	脱硫车间	水煤气脱硫	多环芳烃类、石油烃、砷和汞等重金属、硫化物、苯酚、氰化物
	压缩车间	脱硫水煤气冷排、油水分离	多环芳烃类、石油烃
	变换、变脱车间	生成CO ₂ 和H ₂	铝、铁等金属（催化剂）
	脱碳车间	除变换气中 CO ₂	硫化物、碳酸丙烯酯
	甲醇车间	合成甲醇	铜、石油烃、甲醇
	铜洗车间	精炼气体	铜、石油烃
	氨合成车间	合成氨	氨氮
尿素生产区	生产尿素颗粒	氨氮	
复混肥生产区	复混肥加工	氨氮	
橡胶防老剂区	生产橡胶防老剂	对氨基苯酚、甲基异丁基酮、甲酸、苯胺、二甲苯、丙酮、甲苯、盐酸等	
中达公司	生产碳酸氢铵、复合肥、精甲醇、CO ₂ 等	氨氮、硫化物、石油烃、甲醇	
污水处理区	处理厂区污水	氨氮、硫化物、石油烃、甲醇、多环芳烃类	

区域名称	设施名称	功能	主要特征污染物
煤场区		提供水煤气原料与锅炉燃料	砷和汞等重金属、硫化物、多环芳烃类
机修车间区		加工简单机械配件、堆放杂物	重金属
仓库区		统一存放购买化工原辅料	石油烃和有机物

2.2 地块及周边现状

2.2.1 地块现状

2019年10月，我单位组织人员对地块进行现场踏勘时，地块现场情况见图2.2-1。

(1) 厂区内已基本完成建筑设施拆迁工作，除造粒塔、烟囱及办公楼等个别房屋建筑以及少量水池、污水池未拆外，其余均已拆除；

(2) 厂区地面遗留大量建筑和设备拆除产生的砖石建筑垃圾以及废旧钢铁，挖掘机和载重车正加紧开展地面废弃物的破碎和运输工作；

(3) 原煤场区地面仍残留大量煤渣，部分区域（含原土壤修复区）长有大量杂草；

(4) 雨水收集池存水量较大且暂未拆除，原污水处理区留有处理池拆除后的深坑，深度约5m；

(5) 厂区内的氨合成区裸露沟渠中含有少量废水，具有轻微刺鼻气味；

目前，该地块已全部完成拆除工作，生产设备和建筑垃圾均已清运完成，地块目前处于空置状态，地表长有植被。如图2.2-2所示。

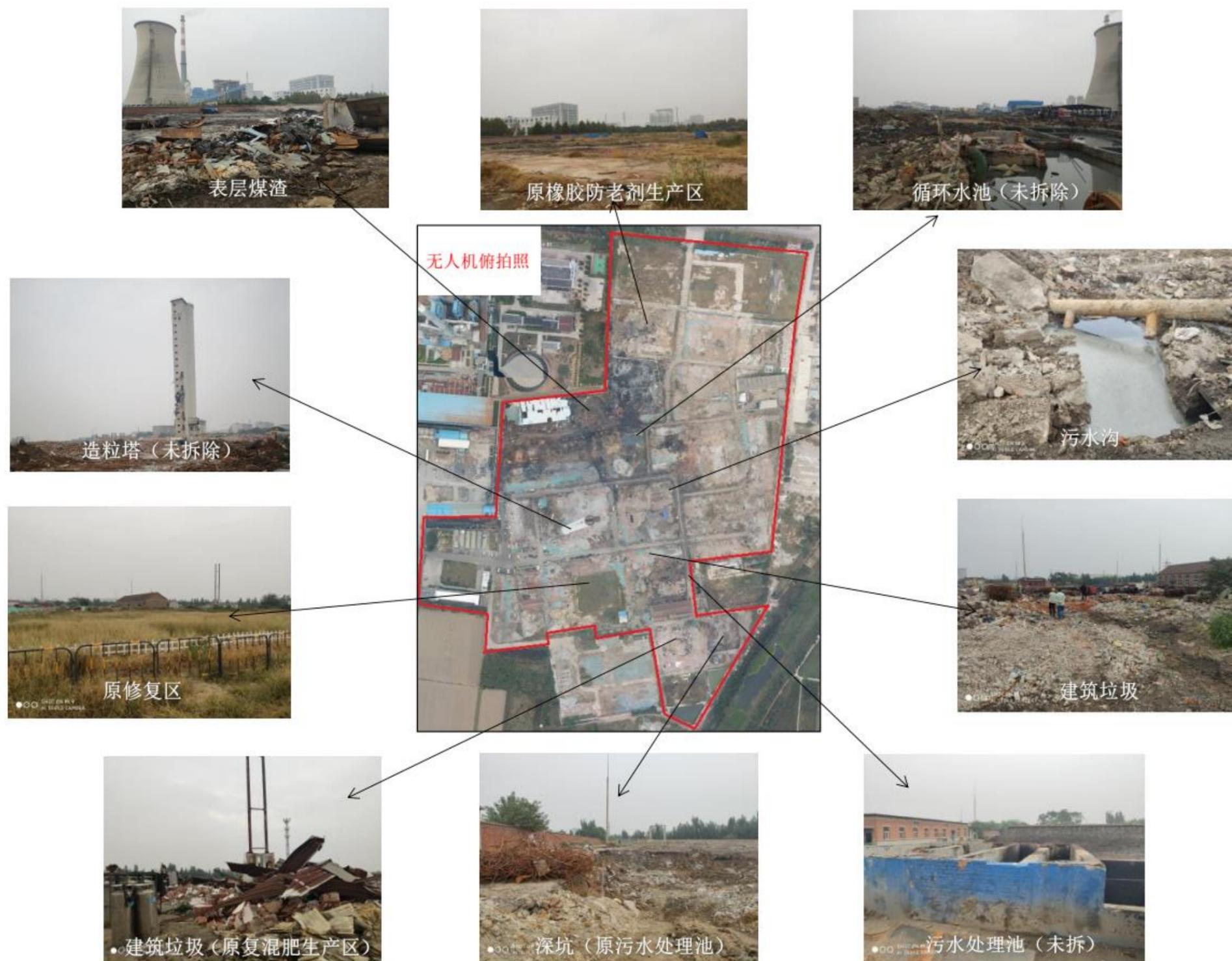


图 2.2-1 地块现状 (2019 年 10 月)



图 2.2-2 地块现状图（2020 年 8 月）

2.2.2 地块周边环境现状

该地块北侧紧邻华阳大街，街对面地块暂未开发（规划为学校），西北侧为小商业；东北侧是金阳商贸城；南侧紧靠有宁阳迪尔化工厂以及农田和村庄；西侧为金明热电厂和惠尔集团皮革厂，西南侧是家属区以及村庄，南部为农田和村庄；厂区东侧为周公台村，厂区内收集的雨水以及污水处理站处理后的污水均排入西南侧紧靠的宁阳沟，该河水流向为自东北流向西南。地块周边情况统计见表 2.2-1，周边河流道路等情况见图 2.2-3，地块周边用地情况见图 2.2-4。

表 2.2-1 地块周边环境状况

方位	与地块最近距离	用地现状	特性描述
东	紧邻	周公台村	村民居住区域
	紧邻	宁阳沟	雨污排水口，流向东北至西南
南	紧邻	农田和村庄	
	紧邻	宁阳迪尔化工厂	
西	紧邻	金明热电厂	火力发电厂
	200m	惠尔集团皮革厂	
	紧邻	家属区以及村庄	偏西南侧
	100m	商业	
北	紧邻	华阳大街	
	50m	空地（规划为学校）	
东北	80m	金阳商贸城	商业



图 2.2-3 地块周边河流与道路



图 2.2-4 地块周边环境现状

2.2.3 地块所在区域规划用地方式

该地块未来规划为商住用地，详见图 2.2-4（不动产权证书）。因此该地块以第一类用地方式来开展污染调查和风险评估工作。

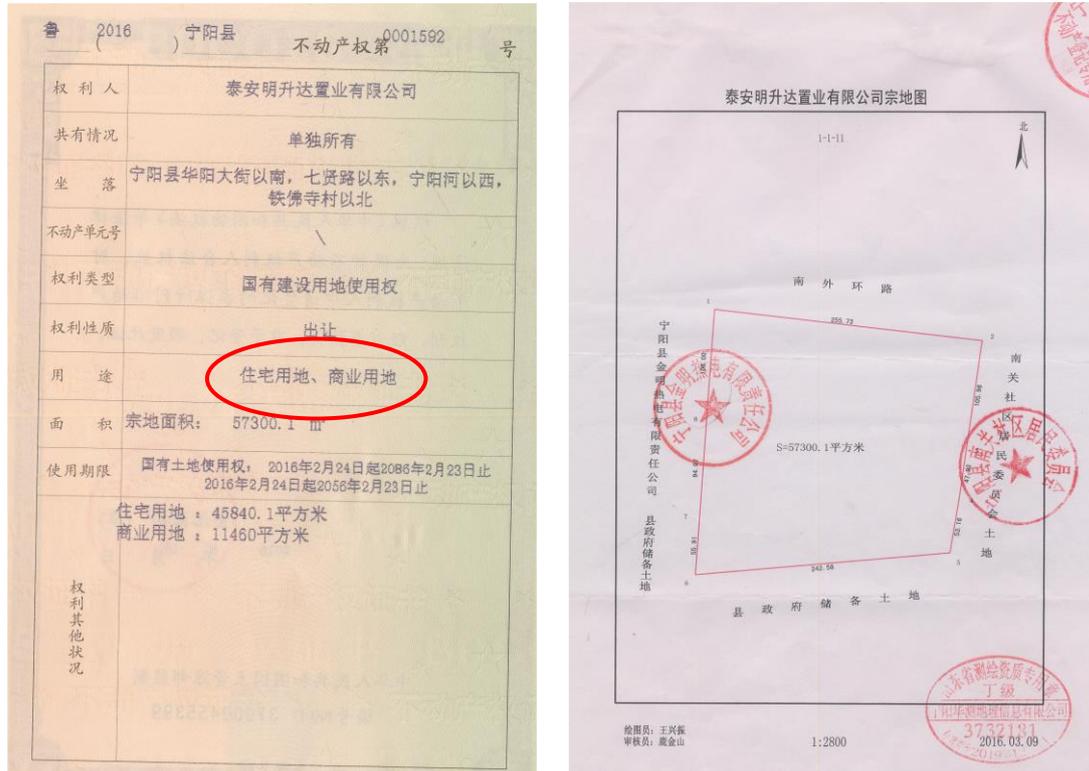


图 2.2-4 地块不动产权证书（土地证）

2.3 地块水文地质概况

2.3.1 地质条件

宁阳县城区位于宁阳北部的山前冲、洪积的交错平原区，以河相沉积地层为主，上部多为粘土，砂土互层，下部为卵砾石层。地下水的补给主要通过大气降水、地表水入渗、河道侧向补给，水库渗透及农田灌溉回归等，其中大气降水为城区地下水的主要补给来源。地下水流向为由东北向西南（地块地下水流向见图 2.3-1）。



图 2.3-1 地下水等水位线图

根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2016, 2016 年版)及《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地水文地质勘察报告》(2019.11), 本区所属范围为第四系河湖相沉积地层, 最大勘探深度 (25.0m) 范围内, 本区地层分为五层, 从上至下岩性分述如下:

人工填土层 (Q^{ml}): 总厚度为 0.7~1.6m 不等, 主要由杂填土、素填土组成。素填土在该区域大部分分布, 颜色呈灰褐色, 以粉质粘土为主, 厚度在 0.7m 左右, 局部厚度达 1m 左右; 杂填土, 杂色, 在局部小范围分布。人工填土结构松

散，力学强度低，固结性差，未经人工处理不能作为天然地基。

粉质粘土 (Q_{43}^{al+dl}): 呈黄褐色，可塑，土质部均，切面光滑，含零星钙化物，在场地大部范围分布。

粉质粘土 (Q_{43}^{al+dl}): 呈灰褐色，可塑，土质不均，切面光滑，含氧化物。在场地大部范围分布。

中砂 (Q_{43}^{al+dl}): 呈黄褐色，密实，饱和，主要矿物成分为长石、石英为主，含零星砾石，在场地内有连续分布。

⑤粉质粘土 (Q_4^{3al+dl}): 呈黄褐色，可塑，土质不均，含氧化物及钙化物。在场地分布连续且稳定。

工程地质剖面图和钻孔柱状图见图 2.3-2、2.3-3。

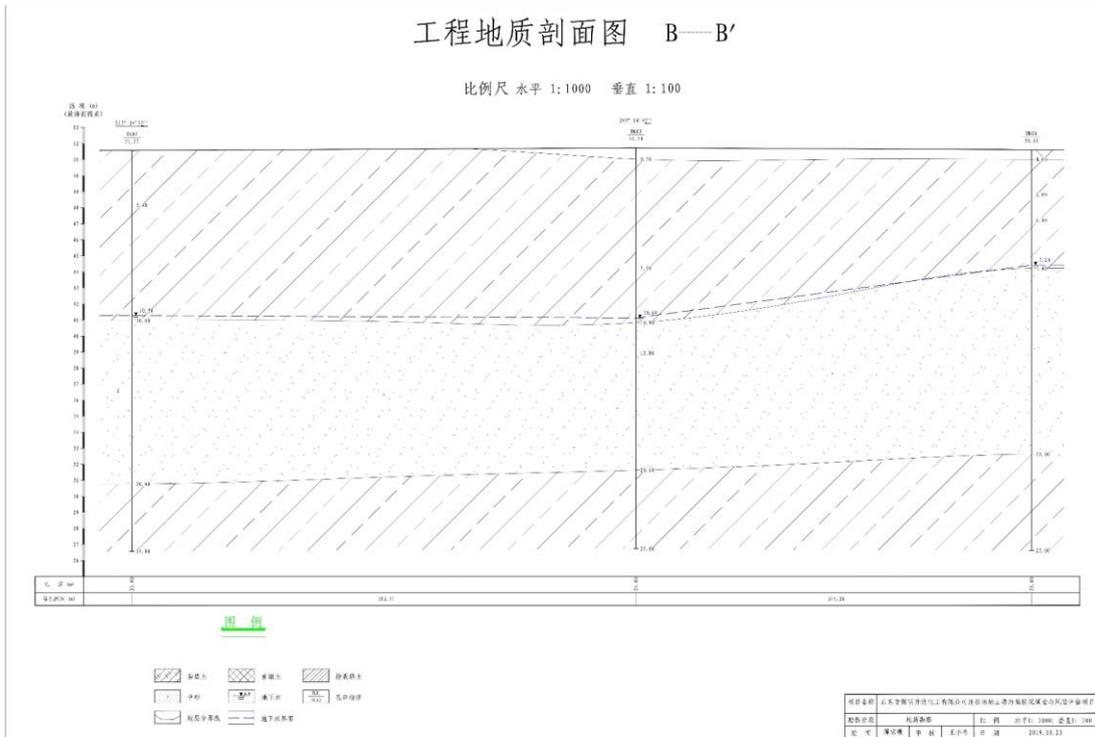
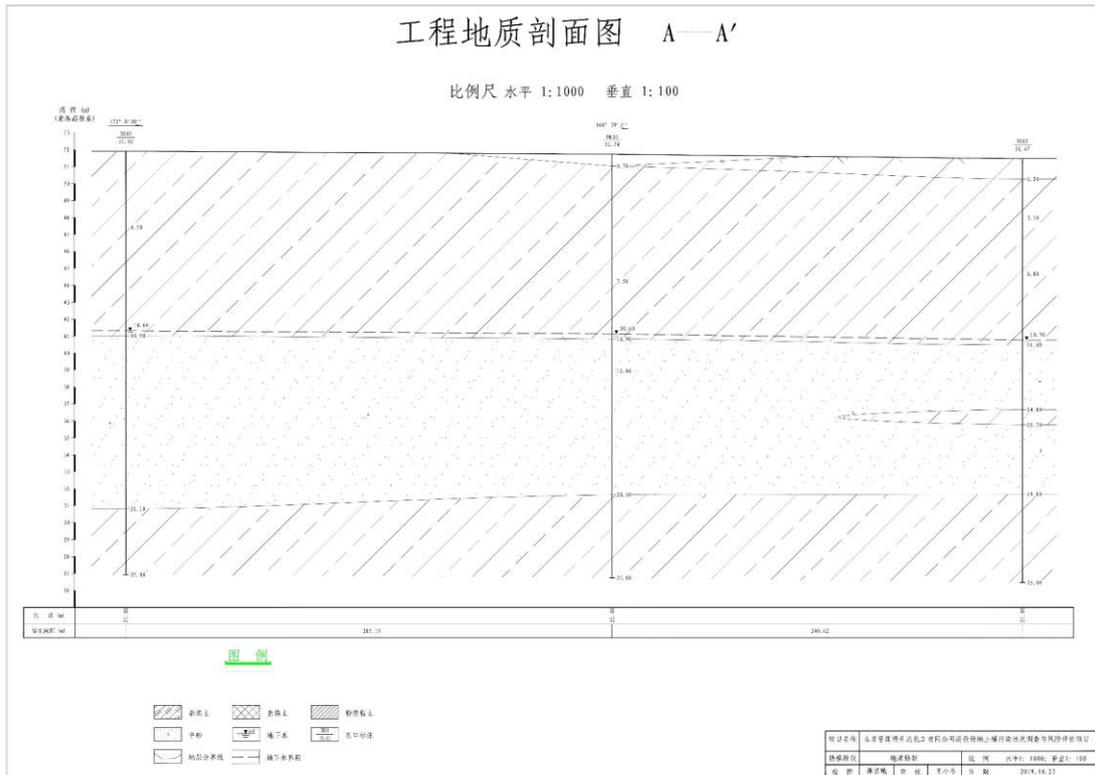


图 2.3-2 工程地质剖面图

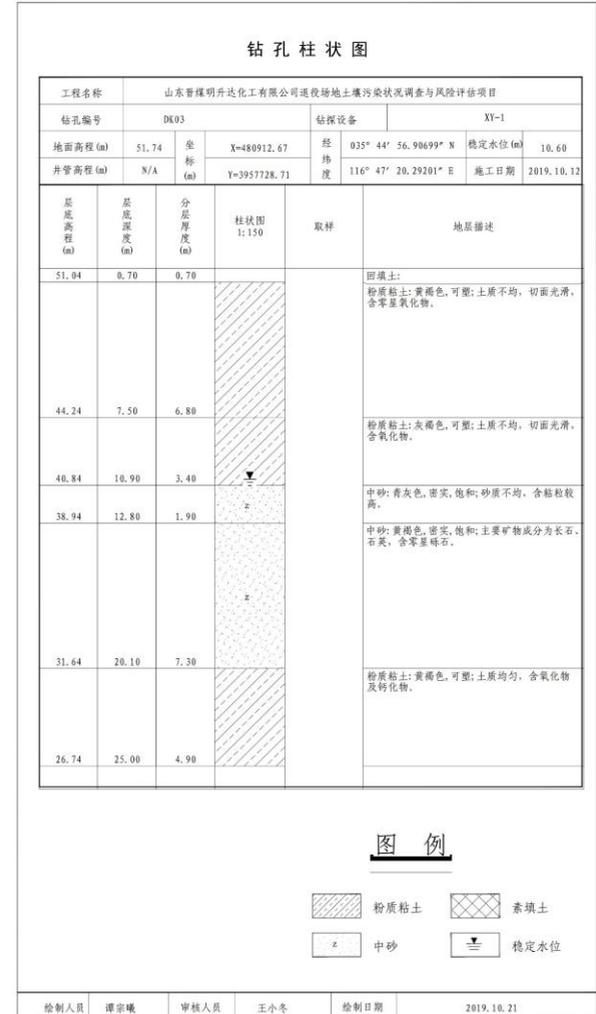
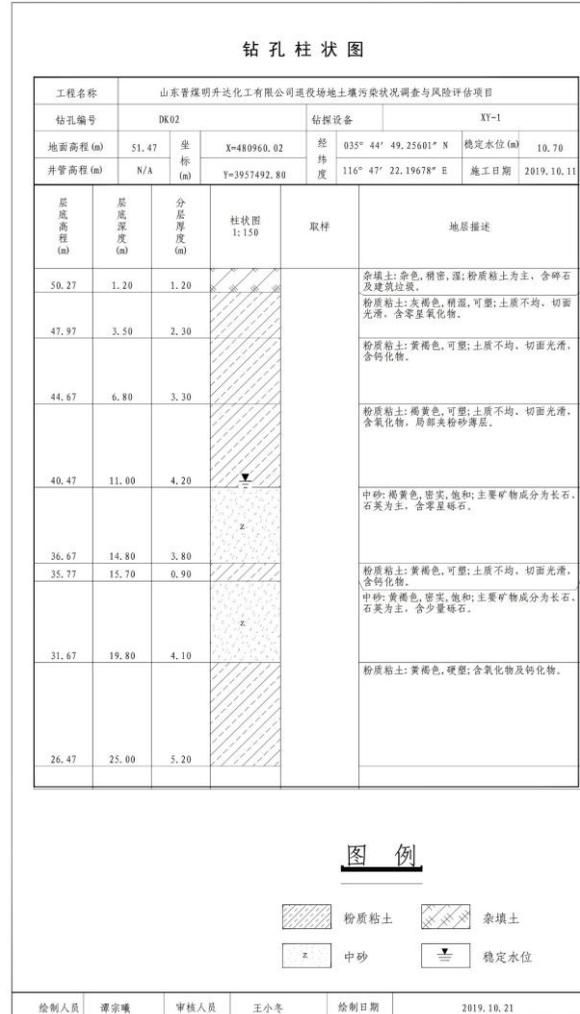
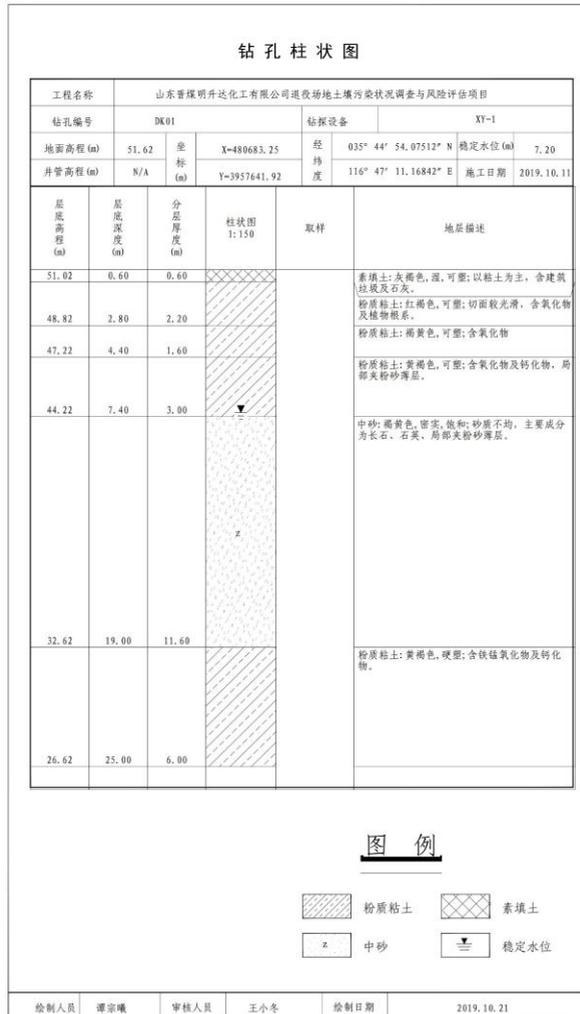


图 2.3-3 (a) 地块钻孔柱状图

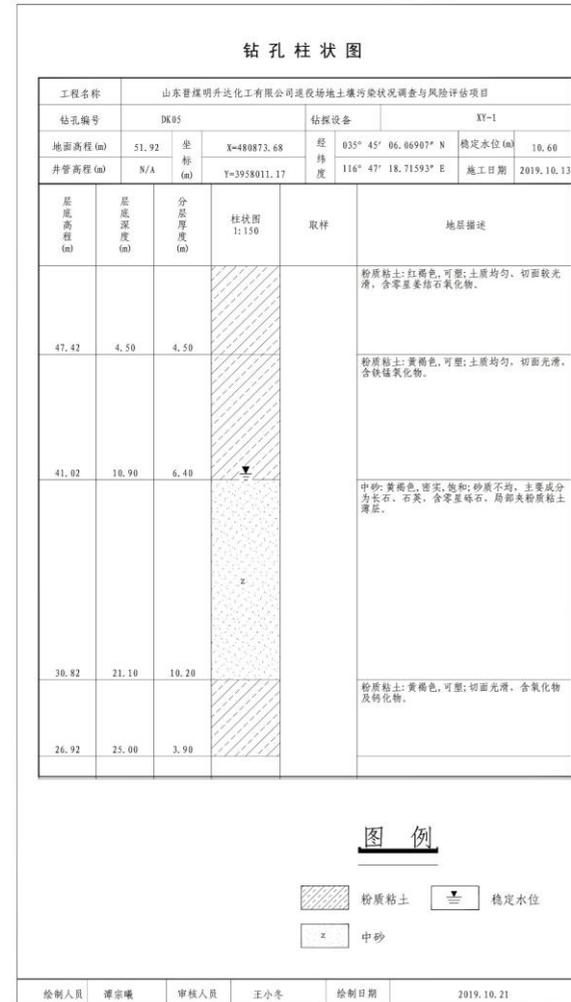
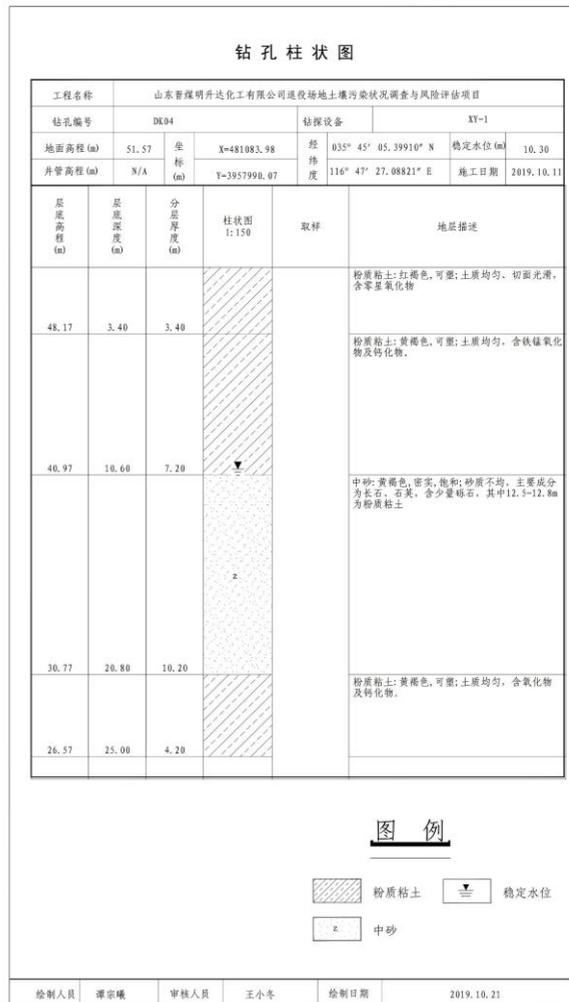


图 2.3-3 (b) 地块钻孔柱状图

2.3.2 水文地质条件

宁阳县地下水类型可分为基岩裂隙水、碳酸盐岩夹碎屑岩类岩溶裂隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水和松散岩类孔隙水。

(1) 基岩裂隙水

广泛分布于宁阳县中部及中南部，赋存于岩浆岩、变质岩、太古界泰山群和第三系砾岩、泥岩风化裂隙之中，富水性差，单井涌水量一般小于 100m³/d，水质较好。主要接受大气降水入渗及农田灌溉回渗补给，人工开采及山前径流排泄为其主要排泄方式。

(2) 碳酸盐岩夹碎屑岩类岩溶裂隙水

鹤山西部地区岩溶发育，富水性好，单井涌水量一般大于 1000m³/d；华丰—东庄、磁窑镇以南—东山阴地区岩溶发育，地下水连通性好，富水性强，单井涌水量 1000~5000m³/d，水质优良。大气降水入渗及区外岩溶水径流是其主要补给来源；由东南、南向北和东北方向径流；人工开采、矿坑排水及顶托排泄于第四系孔隙水为主要排泄方式。

(3) 碎屑岩类孔隙裂隙水

主要分布在华丰镇东北部及蒋集镇、伏山镇、宁阳镇和东疏镇的中部，主要由石炭系、二迭系和下第三系组成。地下水赋存于细砂岩、粘土岩、及砾岩的裂隙孔隙中，因裂隙、孔隙不发育，单井涌水量小于 100m³/d，局部构造发育段可达 500m³/d 以上。

(4) 松散岩类孔隙水

①本区西北部鹤山乡、伏山镇冲积平原区

表层岩性为黄土状砂质粘土、粘质砂土，含水层岩性为中粗砂夹卵砾石，厚约 8m，单井涌水量大于 100m³/d，水位埋深大于 4m，地下水由北向南运动。

②大汶河南岸磁窑—罡城镇冲洪积平原区

该区松散岩类含水层较薄，厚 3~4m，河谷地带岩性为中粗砂夹卵砾石，山前地带为黄土状砂质粘土、粘质砂土夹砾石碎石，地下水埋深 3m 左右，地下水由东南向西北运动，排泄于大汶河内。

③宁阳县以南至酒店镇、乡饮乡山前冲积平原区

含水层岩性主要为中粗砂、中细砂，属松散岩类孔隙水。地下水水位埋深一

一般在 5~11 米之间，水位变幅 1 米左右。单井涌水量 500~1000m³/d。含水层富水性由东部乡饮乡向西部泗店镇逐渐增强。

2.3.3 地下水的补、径、排条件

根据水位统测知其稳定水位埋深为 6.29-8.16m，稳定水位标高为 43.75-45.04m。场地内地下水的补给来源主要为大气降水入渗补给，大气降水通过渗透性相对较好的人工填土层垂直入渗补给地下水，其排泄方式主要为径流排泄，其次为蒸发。

2.4 一期修复工程情况

2.4.1 前期调查和风险评估情况

2015 年 12 月，山东省环境保护科学研究设计院对该地块开展了调查和评估工作，编制了《山东晋煤明升达退城进园土壤污染调查报告》、《山东晋煤明升达退城进园土壤污染风险评估报告》，结论如下：

(1) 场地采集的土壤样品检出污染物共 28 种，包括 9 种无机元素、11 种挥发性有机污染物、8 种半挥发性有机污染物。

(2) 场地内 219 个土壤样品中镉的含量在 0.022~0.33mg/kg 之间，铬的含量在 29.4~93.5mg/kg 之间，汞的含量在 0.003~0.27mg/kg 之间，铅的含量在 15.9~56.1mg/kg 之间，砷的含量 1.68~28.8mg/kg 之间，铜的含量在 6.41~69.7mg/kg 之间，锌的含量在 21.6~149mg/kg 之间，镍的含量在 9.28~51.3mg/kg 之间，六价铬未检出。八种重金属在调查场地均有所积累。

(3) 对土壤中的镉、砷、镍、苯胺、苯、乙苯、萘、1,2-二溴-3-氯丙烷、正丙苯、正丁苯、对异丙基甲苯等物质在敏感用地方式下的健康风险进行计算(仅用最大浓度)，镉、镍的致癌风险和非致癌风险均在人体可接受的风险水平之内，正-丙苯、对-异丙基甲苯无致癌风险，正-丙苯、对-异丙基甲苯的非致癌风险在人体可接受的风险水平之内。砷、苯、萘、1,2-二溴-3-氯丙烷的致癌风险和非致癌风险均超过人体可接受的风险水平，而苯胺的致癌风险可接受，非致癌风险超过人体可接受风险水平，乙苯的非致癌风险可接受，而致癌风险超过人体可接受的风险水平。无机污染物砷的风险主要来自于经口摄入，苯、萘和 1,2-二溴-3-氯丙烷的风险主要贡献途径则是室内蒸汽的吸入。

3.4.2 一期修复工程情况和经验

根据山东省环境保护科学研究设计院编制的《山东晋煤明升达退城进园土壤污染风险评估报告》、《山东晋煤明升达退城进园土壤污染治理与修复可行性研究报告》，该地块需修复的污染物为：砷、苯、萘、1,2-二溴-3-氯丙烷、乙苯、苯胺，修复目标值分别为：20 mg/kg、0.2 mg/kg、0.05 mg/kg、0.05 mg/kg、0.05 mg/kg、2.32 mg/kg。砷污染总土方量约为 5602 方，有机污染总土方量约为 66195 方。

目前，土壤修复施工已完成一期工程，由山东华泽环保工程有限公司承担，一期工程修复涉及污染物为砷和苯，施工时间为 2017 年 4 月-2017 年 10 月，施工区域为 S20、S31、S47（区域详见图 3.6-1）。开挖土方量约 38509 立方米，修复砷污染土壤土方量 5959 立方米，苯污染土方量 32550 立方米，针对砷污染的土壤，采用原地异位挖掘土壤与药剂（包括氧化剂、螯合剂和缓冲剂）搅拌混匀，将砷固定在土壤中的方案；针对苯污染，则采用异位化学氧化技术。最终处理过的土壤全部进行回填。

一期工程建设的的工作区域和办公区域可直接应用于本次修复，降低成本，提高施工效率。由于本次目标污染物 1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽与一期工程其修复目标污染物有所类似，因此一期工程其采用的固化稳定化技术、化学氧化技术对本次修复有借鉴意义。

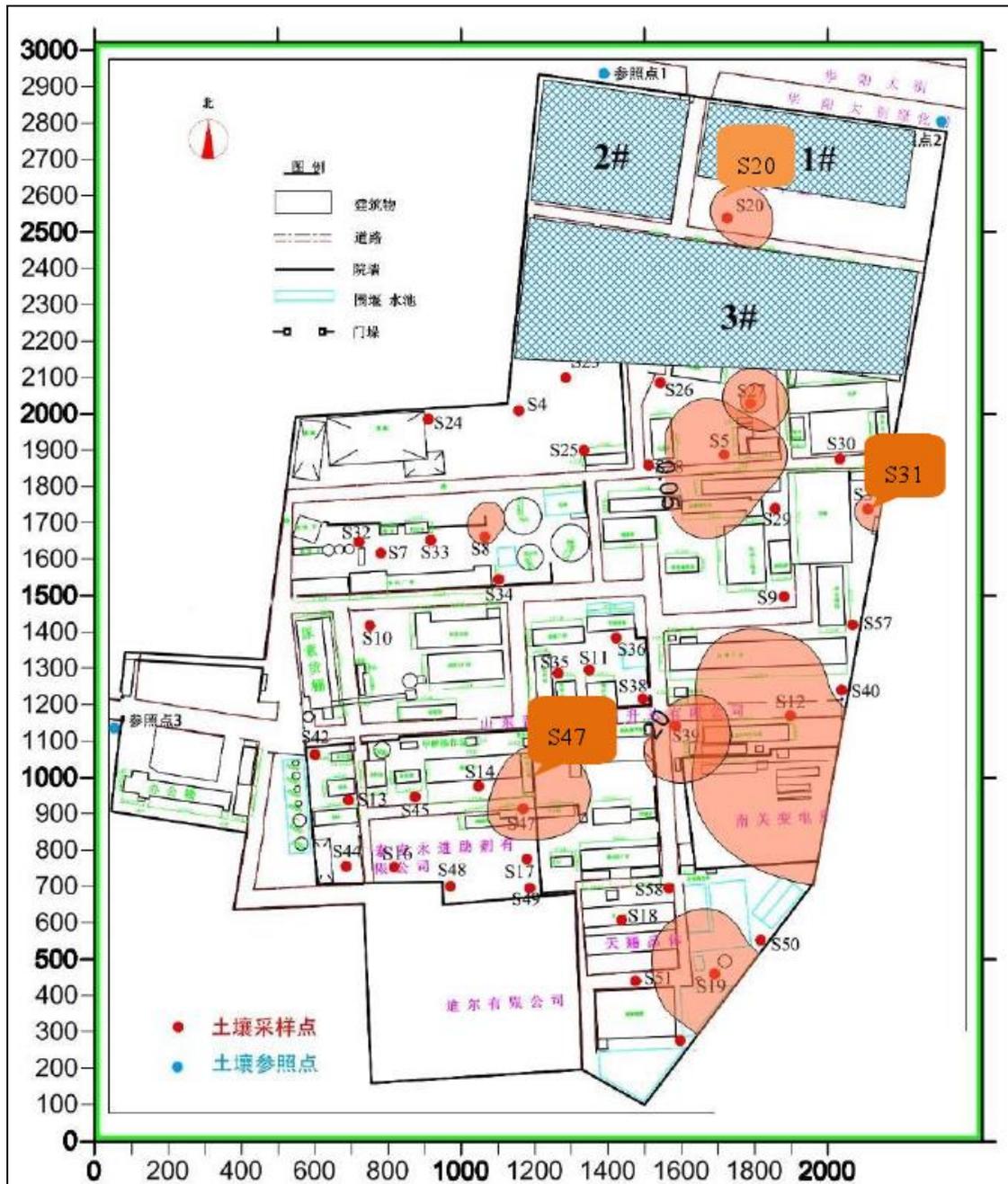


图 3.4-1 施工区域图（图中 S20、S31、S47 区域）

经第三方上海实朴检测技术服务有限公司对基坑壁、坑底、修复后的土壤取样检测，修复的土壤都达到了预期的合格目标，在修复过程中噪声、废水、废气、固废均未造成环境危害，环境监理单位（山东汇力环保科技有限公司）认为山东晋煤明升达退城进园土壤污染治理与修复一期工程以达到竣工验收要求。

修复验收检测中，修复目标污染物砷最高浓度为 9.86mg/kg，苯小于检出限（0.05 mg/kg），均不超过目前《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 3660-2018）中的第一类标准。

3 调查与风险评估结果

3.1 初步采样调查结果

3.1.1 土壤污染

初步调查共布设土壤采样点位 119 个,含 2 个对照点位。采集样品总数为 680 个,筛选后送检样品 399 个(另有平行样品 40 个),送检率 58.68%,检测项目为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600—2018)中要求的基本 45 项,以及该场地特征污染物石油烃、氨氮。土壤中有机物共检出 21 种,包括 1,2-二氯乙烷、氯仿、苯、甲苯、四氯乙烯、乙苯、间&对二甲苯、邻-二甲苯、苯乙烯、1,2,3-三氯丙烷、硝基苯、苯胺、苯并(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、蒽、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、萘、总石油烃等。土壤中 7 项重金属除六价铬外均有检出。土壤中氨氮共送检 129 个土壤样品,检出 117 个土壤样品,检出率为 90.70%。氨氮最大检出浓度为 218.00mg/kg。

检出情况见表 3.1-1、表 3.1-2 以及表 3.1-3。

表 3.1-1 土壤样品有机物检出情况统计

序号	污染物	检出数/样品数	检出率	最大值(mg/kg)	最大值样品
1	1,2-二氯乙烷	1/439	0.23%	0.0219	A43 (10.2-10.5m)
2	氯仿	22/439	5.01%	0.0532	A43 (5.7-6.0m)
3	苯	6/439	1.37%	0.7000	A43 (10.2-10.5m)
4	甲苯	5/439	1.14%	0.5580	A43 (5.7-6.0m)
5	四氯乙烯	4/439	0.91%	0.0171	A43 (5.7-6.0m)
6	乙苯	2/439	0.46%	0.5780	A43 (5.7-6.0m)
7	间&对二甲苯	4/439	0.91%	0.5510	A43 (5.7-6.0m)
8	邻-二甲苯	4/439	0.91%	0.2340	A43 (5.7-6.0m)
9	苯乙烯	1/439	0.23%	0.0335	H04 (0.3-0.5m)
10	1,2,3-三氯丙烷	27/439	6.15%	0.1450	H04 (0.3-0.5m)
11	硝基苯	8/439	1.82%	1.3300	A43 (0.7-1.0m)
12	苯胺	29/439	6.61%	12.3000	A43 (0.2-0.5m)
13	苯并(a)蒽	54/439	12.30%	4.0000	A14 (0.2-0.5m)

序号	污染物	检出数/ 样品数	检出率	最大值 (mg/kg)	最大值样品
14	苯并(a)芘	43/439	9.79%	7.8000	A14 (0.2-0.5m)
15	苯并(b)荧蒽	43/439	9.79%	1.4000	A27 (0.2-0.5m)
16	苯并(k)荧蒽	35/439	7.97%	0.9000	A27 (0.2-0.5m)
17	蒽	46/439	10.48%	4.2000	A14 (0.2-0.5m)
18	茚并(1,2,3-cd)芘	18/439	4.10%	1.0000	A27 (0.2-0.5m)
19	二苯并(a,h)蒽	8/439	1.82%	1.5000	A14 (0.2-0.5m)
20	萘	7/439	1.59%	1.8500	A25 (0.2-0.5m)
21	总石油烃	28/48	58.33%	35.0000	F06 (0.2-0.5m)

表 3.1-2 土壤重金属检出情况统计

序号	名称	检出率	最大值 (mg/kg)	最大值样品
1	铜	100%	757.00	B08 (5.8-6.0m)
2	铅	100%	217.00	F06 (0.2-0.5m)
3	镍	100%	57.00	E08 (0.2-0.5m)
4	镉	100%	0.94	D03 (11.7-12.0m)
5	汞	100%	6.19	A19 (0.2-0.5m)
6	砷	100%	19.60	B06 (5.7-6.0m)、A38 (5.7-6.0m)
7	六价铬	0	0	/

表 3.1-3 土壤中氨氮检出情况统计

污染物	最小值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	最大值	标准差	检出个数	样品个数	检出率
氨氮	0.11	55.01	218.00	50.09	117	129	90.70%

根据对比《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中的第一类用地筛选值及管制值，土壤中 1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽最大浓度均超过了标准中对应的筛选值。

由于土壤中氨氮没有对应的筛选值标准，因此针对氨氮直接开展专项风险评估工作计算其限值，经计算，土壤样品中氨氮浓度未超过基于人体健康风险、室内空气标准以及嗅阈值的风险评估限值。

检出污染物筛选情况见表 3.1-4。

表 3.1-4 土壤检出污染物筛选情况统计

序号	污染物名称	最大浓度 (mg/kg)	筛选值 (mg/kg)	是否超筛选值
1	1,2-二氯乙烷	0.0219	0.52	否
2	氯仿	0.0532	0.3	否

序号	污染物名称	最大浓度 (mg/kg)	筛选值 (mg/kg)	是否超筛选值
3	苯	0.7000	1	否
4	甲苯	0.5580	1200	否
5	四氯乙烯	0.0171	11	否
6	乙苯	0.5780	7.2	否
7	间&对二甲苯	0.5510	163	否
8	邻-二甲苯	0.2340	222	否
9	苯乙烯	0.0335	1290	否
10	1,2,3-三氯丙烷	0.1450	0.05	是
11	硝基苯	1.3300	34	否
12	苯胺	12.3000	92	否
13	苯并(a)蒽	4.0000	5.5	否
14	苯并(a)芘	7.8000	0.55	是
15	苯并(b)荧蒽	1.4000	5.5	否
16	苯并(k)荧蒽	0.9000	55	否
17	蒽	4.2000	490	否
18	茚并(1,2,3-cd)芘	1.0000	5.5	否
19	二苯并(a,h)蒽	1.5000	0.55	是
20	萘	1.8500	25	否
21	总石油烃	35.0000	826	否
22	铜	757.00	2000	否
23	铅	217.00	400	否
24	镍	57.00	150	否
25	镉	0.94	20	否
26	汞	6.19	8	否
27	砷	19.60	20	否
28	六价铬	0	3.0	否
29	氨氮	218	3410	否

注：氨氮筛选值来源于氨氮专项风评计算的限值

3.1.2 地下水污染

本次初步调查共采集地下水样品个数 24 个（含 2 个对照样和 3 个平行样），检测有机污染物、重金属污染物、地下水质量常规指标等共计 126 项。参照《地

下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中的IV类标准以及《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)判断地块内地下水污染情况。

地下水中的有毒有害指标锰超过了《地下水质量标准》(GB/T 14848)中的IV类标准,考虑到本地块地下水不作为饮用水源,且地下水中锰无暴露途径,因此对地下水中锰不作进一步要求。

地下水质量常规指标中的氨氮、总硬度、耗氧量、溶解性总固体、浊度、肉眼可见物、硝酸盐等指标超过了《地下水质量标准》(GB/T 14848)中的IV类水标准。另外,氨氮浓度不超过基于人体健康风险、室内空气标准以及嗅阈值的风险评估地下水浓度限值。

地下水各指标筛选情况见表 3.1-5。

表 3.1-5 地下水各检出指标筛选情况

序号	指标	单位	范围	标准	是否超标	筛选标准
1	pH 值	——	6.39-8.17	5.5-9.0	否	GB/T 14848-2017
2	硝酸盐	mg/L	573	30	是	GB/T 14848-2017
3	硫酸盐	mg/L	261	350	否	GB/T 14848-2017
4	氯化物	mg/L	208	350	否	GB/T 14848-2017
5	氟化物	mg/L	1.86	2.0	否	GB/T 14848-2017
6	氨氮	mg/L	43.5	1.50	是	GB/T 14848-2017
7	亚硝酸盐 (以 N 计)	mg/L	0.792	4.80	否	GB/T 14848-2017
8	锰	mg/L	1.75	1.50	是	GB/T 14848-2017
9	铁	mg/L	1.50	2.0	否	GB/T 14848-2017
10	钠	mg/L	78.3	400	否	GB/T 14848-2017
11	总硬度	mg/L	2260	650	是	GB/T 14848-2017
12	耗氧量	mg/L	92.5	10.0	是	GB/T 14848-2017
13	溶解性总固体	mg/L	2560	2000	是	GB/T 14848-2017
14	阴离子表面活性剂	mg/L	0.278	0.3	否	GB/T 14848-2017
15	色度	度	5	25	否	GB/T 14848-2017
16	浊度	NTU	200	10	是	GB/T 14848-2017
17	肉眼可见物	——	有	无	是	GB/T 14848-2017
18	硒	mg/L	0.0014	0.1	否	GB/T 14848-2017
19	铝	mg/L	0.225	0.50	否	GB/T 14848-2017

序号	指标	单位	范围	标准	是否超标	筛选标准
20	铜	mg/L	0.04	1.5	否	GB/T 14848-2017
21	镍	mg/L	0.015	0.1	否	GB/T 14848-2017
22	汞	mg/L	0.00033	0.002	否	GB/T 14848-2017
23	砷	mg/L	0.0006	0.05	否	GB/T 14848-2017
24	石油烃	mg/L	0.14	0.3	否	GB5749-2006

3.1.3 初步采样结论

根据初步采样调查结果，土壤中 1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽最大浓度均超过了标准中对应的筛选值，根据《污染地块土壤环境管理办法（试行）》要求，本地块应开展土壤环境详细调查和风险评估。地下水则不需开展进一步的详细调查和风险评估工作。

3.2 详细调查结果

详查共布设土壤采样点位 45 个。采集样品总数为 259 个，筛选后送检样品 170 个（另含平行样品 17 个），送检率 65.64%。检测有机污染物共 38 项。检出物质有 4 种，包括二氯甲烷、顺式-1,2-二氯乙烯、氯仿、苯，检出率均较低。

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）中的第一类用地筛选值标准进行筛选，所有污染物均未超过筛选值。

有机污染物检出和筛选总体情况见表 3.2-1。

表 3.2-1 土壤样品有机物检测结果统计和筛选情况

序号	污染物	检出数/样品数	检出率	最大值 (mg/kg)	筛选值 (mg/kg)	是否超标
1	二氯甲烷	4/187	2.14%	0.133	94	否
2	顺式-1,2-二氯乙烯	1/187	0.53%	0.0089	66	否
3	氯仿	3/187	1.60%	0.0546	0.3	否
4	苯	1/187	0.53%	0.04	1	否

本次检测重金属铜、铅、镍、镉、汞、砷、六价铬共计 7 项，除六价铬外均有检出，检出率均为 100%。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）中的第一类用地筛选值标准进行筛选，所有污染物均未超过筛选值。

重金属检出和筛选总体情况见表 3.2-2。

表 3.2-2 土壤样品重金属检测结果统计和筛选情况

序号	污染物	检出数/ 样品数	检出率	最大值 (mg/kg)	筛选值 (mg/kg)	是否超标
1	砷	187/187	100%	13.5	20	否
2	汞	187/187	100%	4.07	8	否
3	铜	187/187	100%	396	2000	否
4	铅	187/187	100%	73.3	400	否
5	镍	187/187	100%	45	150	否
6	镉	187/187	100%	2.48	20	否

本次调查土壤中氨氮共送检 187 个土壤样品，检出 165 个土壤样品，检出率为 88.24%。氨氮最大值出现在 H14(煤场区域)点位的 0.5m 深度，为 249.00mg/kg，不超过氨氮专项风评的计算限值。

3.3 人体健康风险评估结果

3.3.1 关注污染物与风险控制值

本次健康风险评估关注污染物的筛选原则如下：

1、土壤污染物对照《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险筛选标准(试行)》(GB36600-2018) 第一类用地筛选值，超过筛选值的污染物指标列为风险评估关注污染物；

2、土壤中的氨氮对比专项风险评估计算的限值，超过限值则列为关注污染物；

3、根据《地下水污染健康风险评估工作指南》(生态环境部，2019 年 9 月)要求，首先应判断地下水检出指标是否属于有毒有害物质(参见《地下水污染健康风险评估工作指南》附录 H)。该地块地下水污染羽不涉及地下水饮用水源(在用、备用、应急、规划水源)补给径流区和保护区，地下水有毒有害物质指标应参照《地下水质量标准》(GB/T 14848)中的 IV 类标准，以及《生活饮用水卫生标准》(GB 5749)进行对比，超过以上标准的或标准中未列出的有毒有害物质指标但检出的，则列为风险评估关注污染物。

根据以上原则，结合本次初步采样分析、详细采样分析情况，本地块最终确定的土壤中的风险评估关注污染物有三个：1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并

(a,h)蒽。详见表 3.3-1。

表 3.3-1 土壤中的风险评估关注污染物统计

序号	污染物	CAS
土壤风险评估关注污染物		
1	1,2,3-三氯丙烷	96184
2	苯并(a)芘	50328
3	二苯并(a,h)蒽	53703

根据建立的暴露概念模型及确定的暴露途径和模型参数,在第一类用地方式下,针对土壤筛选确定的风险评估关注污染物,分别计算其检出最大浓度对人体健康产生的致癌风险和非致癌危害商,从而确定场地内是否存在高风险污染物,计算结果见表3.3-2。

表 3.3-2 第一类用地方式下土壤关注污染物健康风险评估结果

序号	污染物名称	CAS	最大浓度 (mg/kg)	致癌风险	非致癌危害商	是否作为超风险污染物
1	1,2,3-三氯丙烷	96184	0.145	5.56E-06	5.63E-02	是
2	苯并(a)芘	50328	7.80	1.43E-05	1.72	是
3	二苯并(a,h)蒽	53703	1.50	2.74E-06	/	是

根据《导则》中建议的可接受风险水平,对单一污染物以 $1.0E-06$ 为可接受致癌风险水平;对于非致癌风险,单一污染物以 1 为可接受风险水平。可知,在该用地方式下,土壤中污染物超过了可接受的风险水平。

根据风险控制值计算模型计算上述超风险污染物的控制值见表 3.3-3 所示。

表 3.3-3 超风险污染物控制值计算

序号	污染物名称	CAS	控制值 (mg/kg)
1	1,2,3-三氯丙烷	96184	0.026
2	苯并(a)芘	50328	0.546
3	二苯并(a,h)蒽	53703	0.547

3.3.2 超风险点位和深度

根据风险评估结论,场地内土壤超风险物质包括 **1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽** 3 种,涉及的点位有 A05、A08、A13、A14、A25、A27、B01、D08、H01、H04。其中,A08、A13、A14、A25、A27、H01、H04 点位的超风险位置集中在浅层区域(0.5m),其余点位的超风险位置在 1.0m-6.0m 不等。

1,2,3-三氯丙烷超风险点位包括：A05、A08、A25、B01、D08、H01、H04；
 苯并(a)芘超风险点位包括：A13、A14、A27；二苯并(a,h)蒽超风险点位：A14。

超风险点位、层位以及相应超风险污染物详见表 3.3-4 所示。超风险点位分布图见图 3.3-1。

1,2,3-三氯丙烷的超标点位和深度分别是 A05 (5.7-6.0m)、A08 (0.2-0.5m)、A25 (0.2-0.5m)、B01 (4.3-4.5m、5.8-6.0m)、D08 (0.7-1.0m)、H01 (0.2-0.5m)、H04 (0.3-0.5m)，分布于氨合成区、尿素生产区、橡胶防老剂生产区和煤场。苯并(a)芘的超标点位和深度分别是 A13 (0.2-0.5m)、A14 (0.2-0.5m)、A27 (0.2-0.5m)，均位于氨合成区。二苯并(a,h)蒽的超标点位和深度是 A14 (0.2-0.5m)，位于氨合成区。

表 3.3-4 场地土壤超风险情况统计表

超筛因子		1,2,3-三氯丙烷	苯并(a)芘	二苯并(a,h)蒽
控制值		0.026 (mg/kg)	0.546 (mg/kg)	0.547 (mg/kg)
点位 (深度)				
A05	A05 (5.7-6.0m)	0.0600	/	/
A08	A08 (0.2-0.5m)	0.0721	/	/
A13	A13 (0.2-0.5m)	/	1.00	/
A14	A14 (0.2-0.5m)	/	7.80	1.50
A25	A25 (0.2-0.5m)	0.0695	/	/
A27	A27 (0.2-0.5m)	/	1.10	/
B01	B01 (4.3-4.5m)	0.0727	/	/
	B01 (5.8-6.0m)	0.0627	/	/
D08	D08 (0.7-1.0m)	0.0575	/	/
H01	H01 (0.2-0.5m)	0.0774	/	/
H04	H04 (0.3-0.5m)	0.1450	/	/



图 3.3-1 土壤超风险点位分布情况

3.4 修复目标和修复范围

3.4.1 土壤建议修复目标值

综合风险评估计算得出的超风险污染物控制值、《土壤环境质量 建设用地上

壤污染风险管控标准（试行）》（GB 3660-2018）第一类用地下中污染物的筛选值和管制值以及土壤中污染物的饱和浓度确定该地块中污染物的修复目标值。经对比（见表 3.4-1），建议该地块土壤中修复目标污染物 1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽的修复目标值分别为 0.05 mg/kg、0.55 mg/kg、0.55 mg/kg。

表 3.4-1 修复目标值的确定

序号	污染物名称	控制值 (mg/kg)	筛选值 (mg/kg)	管制值 (mg/kg)	土壤中饱和浓度 (mg/kg)	建议修复目标值 (mg/kg)
1	1,2,3-三氯丙烷	0.026	0.05	0.5	1577.99	0.05
2	苯并(a)芘	0.546	0.55	5.5	5.56	0.55
3	二苯并(a,h)蒽	0.547	0.55	5.5	27.84	0.55

3.4.2 土壤污染建议修复范围

本地块超风险点位分布较为分散，考虑到泰森多边形方法划分的边界污染存在一定的不确定性，此次修复区块的划分从保守出发，将超风险点位四周最近的非污染点位连线形成多边形，作为建议的修复区域。本地块需修复点位包括：A05、A08、A13、A14、A25、A27、B01、D08、H01、H04，各区块编号以各超风险点位编号计。其中，H04 由于北侧靠近厂界围墙缺少一个控制点，因此将 H14、H15 点向厂界作垂直线，以此圈定的范围作为修复区域。按照以上划分方法划分修复区块见图 3.4-1 所示，统计各修复区块拐点坐标见表 3.4-2 所示，计算各修复区块面积见表 3.4-3。经统计，修复区域总面积为 7900.38m²。

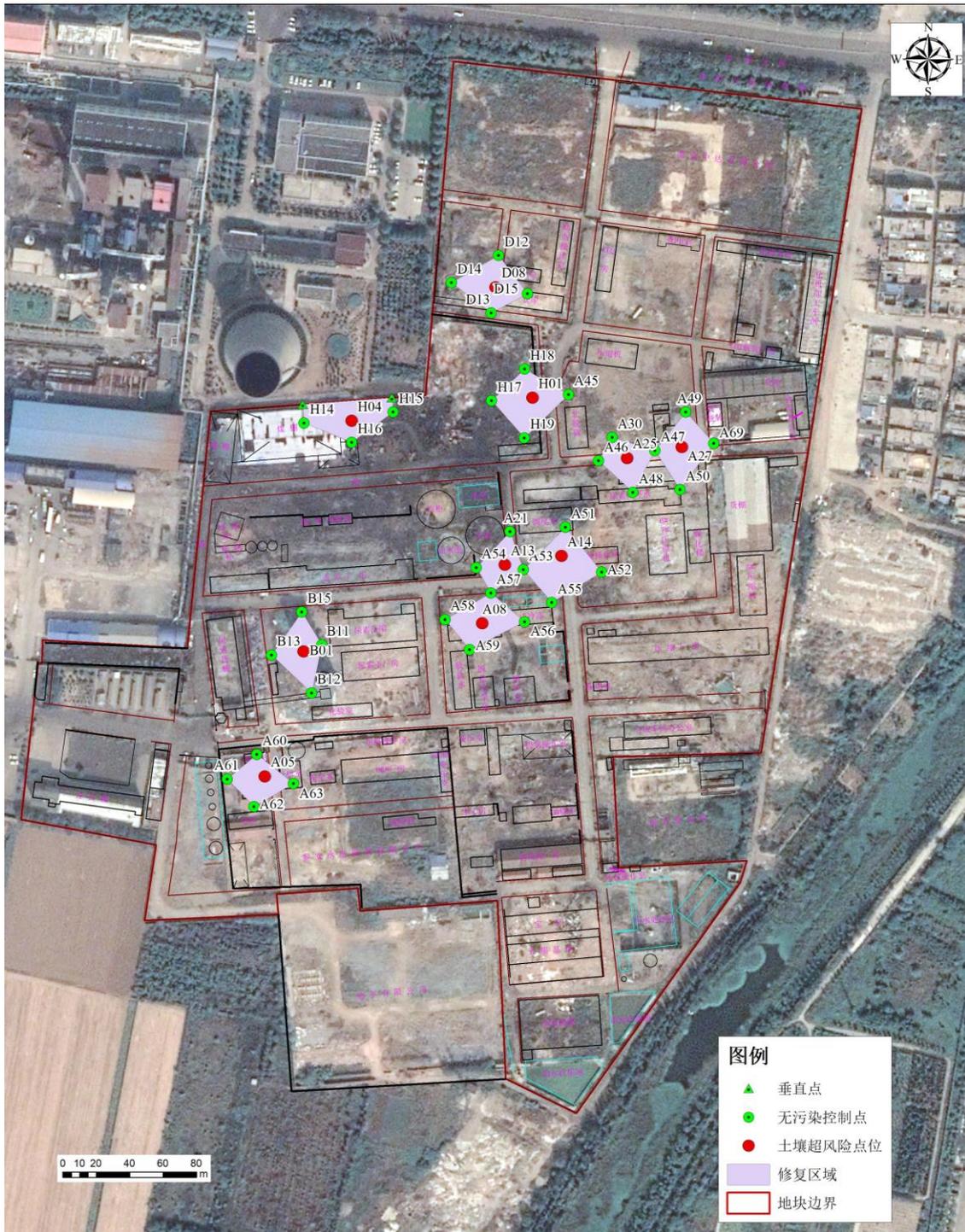


图 3.4-1 修复区域示意图

表 3.4-2 各修复区块拐点坐标

修复区域编号	拐点	X 坐标	Y 坐标
A05	A60	3957637.239	480754.1516
	A61	3957622.369	480736.4575
	A62	3957605.769	480752.4416
	A63	3957619.576	480776.1469

修复区域编号	拐点	X 坐标	Y 坐标
A08	A56	3957717.011	480914.5018
	A57	3957734.425	480894.2073
	A58	3957718.417	480866.7186
	A59	3957700.161	480881.4953
A13	A21	3957771.24	480905.7277
	A53	3957748.411	480913.6396
	A54	3957749.609	480885.4545
	A57	3957734.425	480894.2073
A14	A51	3957773.931	480938.8559
	A52	3957746.981	480960.4914
	A53	3957748.411	480913.6396
	A55	3957728.609	480930.6439
A25	A30	3957828.059	480966.7557
	A46	3957813.941	480958.6176
	A47	3957820.123	480992.3649
	A48	3957794.849	480979.2099
A27	A47	3957820.123	480992.3649
	A49	3957843.269	481010.915
	A50	3957796.643	481007.3421
	A69	3957824.446	481027.5252
B01	B11	3957703.154	480793.0007
	B12	3957674.141	480786.9138
	B13	3957697.02	480762.8834
	B15	3957722.961	480781.1099
D08	D12	3957937.63	480898.8662
	D13	3957902.956	480894.3497
	D14	3957921.229	480870.6947
	D15	3957914.503	480916.0611
H01	H17	3957850.164	480894.6289
	H18	3957869.191	480914.3878
	H19	3957827.786	480914.3049
	A45	3957853.826	480940.6635
H04	H14	3957836.713	480782.4009

修复区域编号	拐点	X 坐标	Y 坐标
	H15	3957843.324	480835.7472
	H16	3957825.129	480810.9834
	垂足 1	3957847.85658	480781.682728
	垂足 2	3957851.94	480834.997435

表 3.4-3 各修复区块面积统计表

序号	修复区域编号	面积 (m ²)
1	A05	626.89
2	A08	827.55
3	A13	525.73
4	A14	1067.58
5	A25	598.87
6	A27	811.96
7	B01	752.97
8	D08	801.70
9	H01	952.87
10	H04	934.26
总计		7900.38

注：各区域编号以各超风险点位编号计

3.4.3 修复深度和修复方量

该场地修复深度和修复方量根据以下原则确定：

- (1) 修复区块的面积为上一节中方法划定的区块面积；
- (2) 建议修复层厚按照超风险污染层深度分别向上和向下至无风险层位厚度计算，例如：D08 点位的风险层位是 0.7-1.0m，向上至 0.5m 深度无风险，向下至 2.5m 深度无风险，则 D08 区域的修复深度范围确定为 0.5-2.5m，修复层厚为 2.0m；
- (3) 修复土方量为修复区块面积与修复层厚的乘积。

根据以上原则，计算出各修复区块应修复的深度、层厚以及修复方量见表 3.4-4 所示。本地块共计需修复土方量 12967.74m³。

表 3.4-4 污染土壤修复量统计表

区块编号	修复深度范围 (m)	修复层厚 (m)	修复面积 (m ²)	修复量 (m ³)

A08、A13、A14、A25、A27、H01、H04	0-1.0m	1	5718.82	5718.82
D08	0.5-2.5	2	801.70	1603.40
B01	2.5-7.5	5	752.97	3764.85
A05	4.5-7.5	3	626.89	1880.67
总计				12967.74

按修复深度划分区块，具体见图 3.4-2、图 3.4-3、图 3.4-4、图 3.4-5。统计各修复区域的修复深度、修复面积、修复污染因子信息见图 3.4-6。

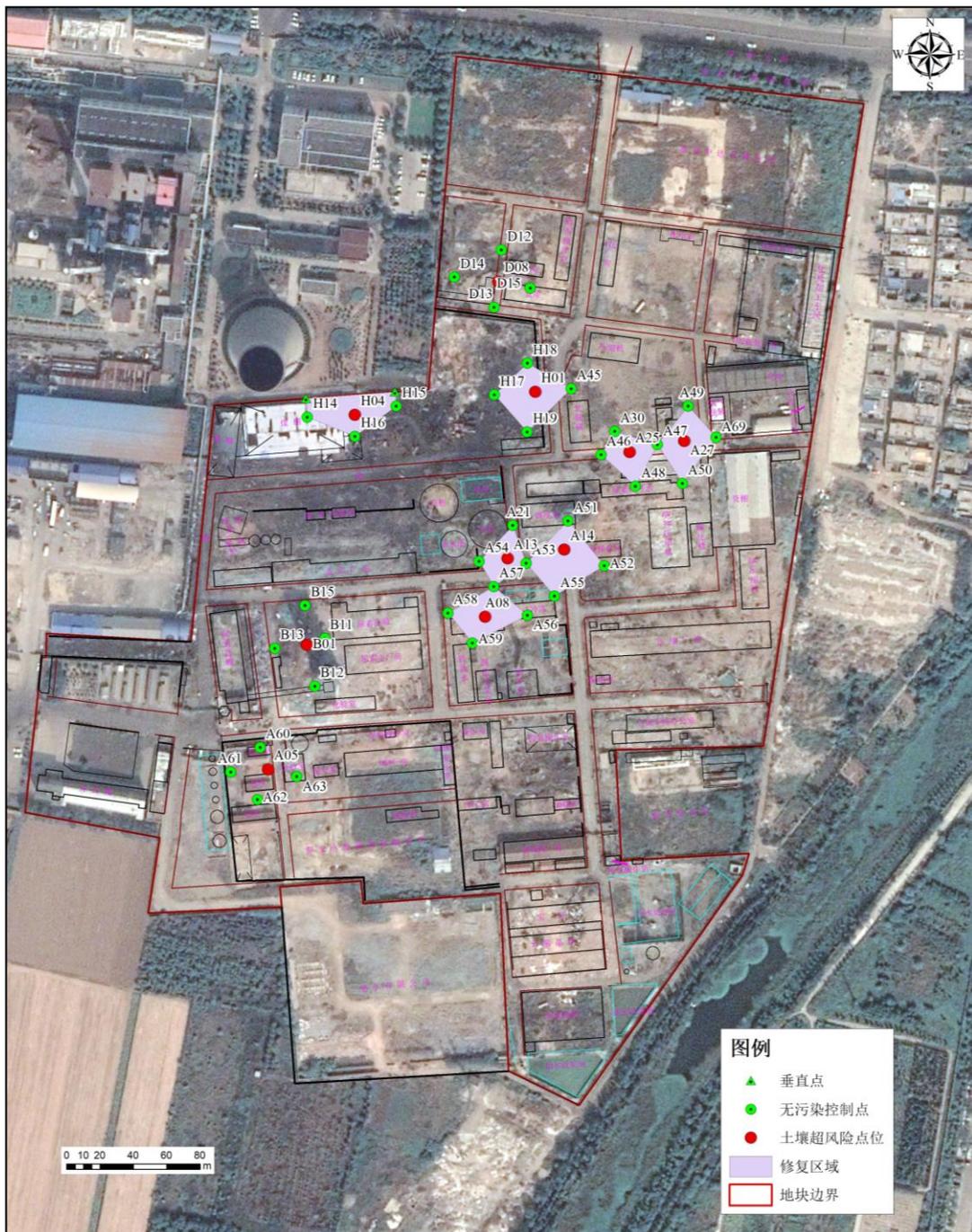


图 3.4-2 本地块修复区域（修复深度 0-1.0m）

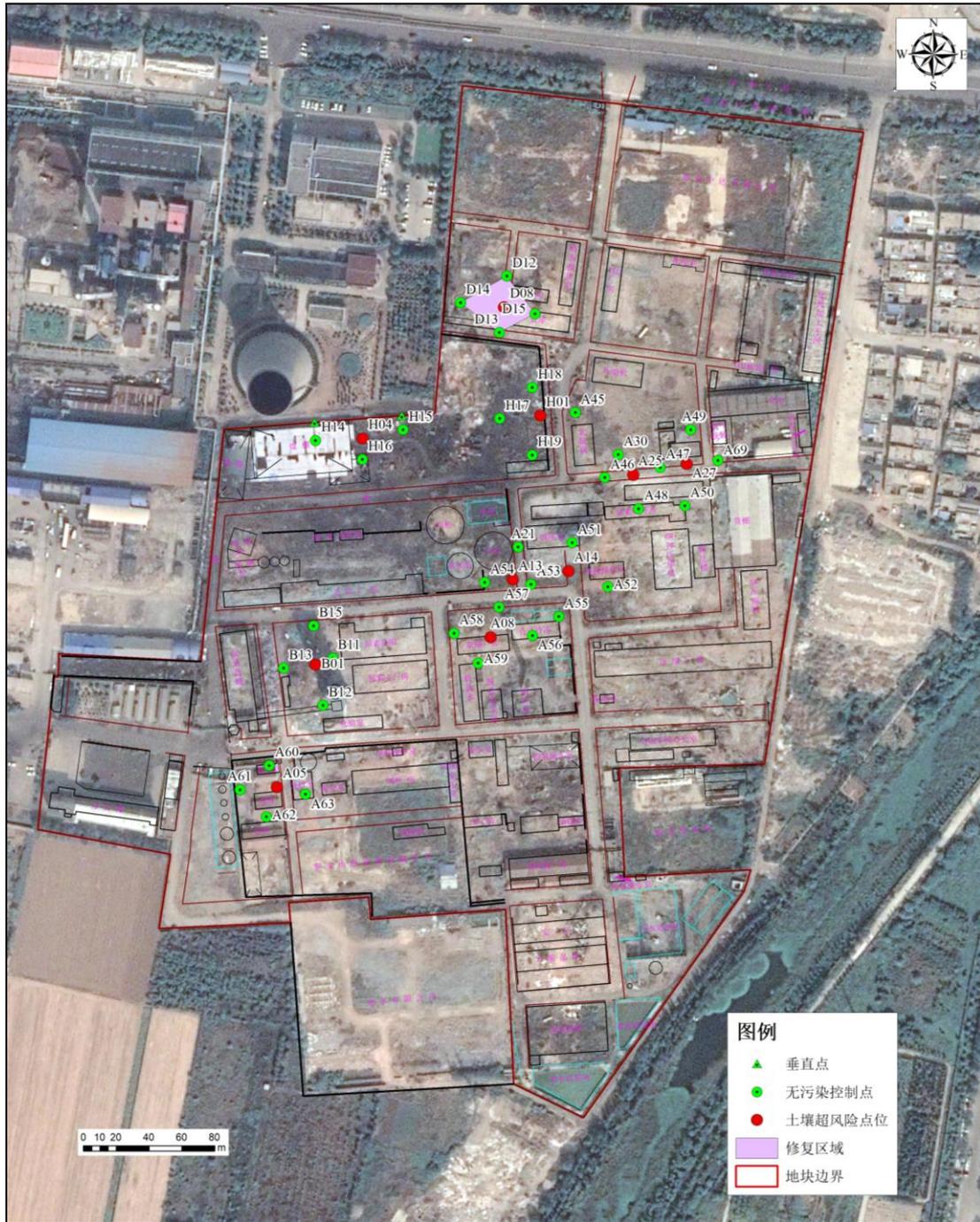


图 3.4-3 本地块修复区域（修复深度 0.5-2.5m）

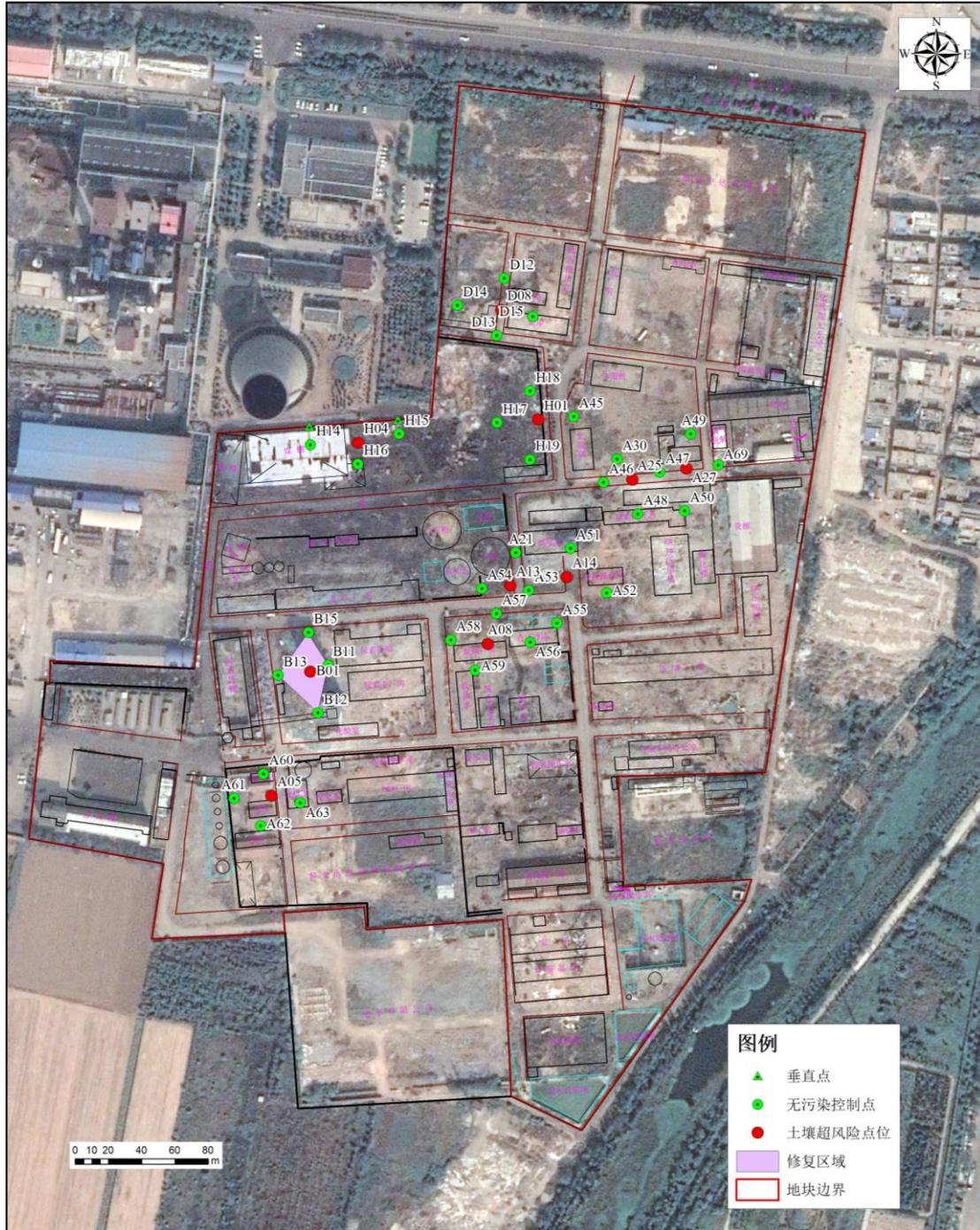


图 3.4-4 本地块修复区域（修复深度 2.5-7.5m）

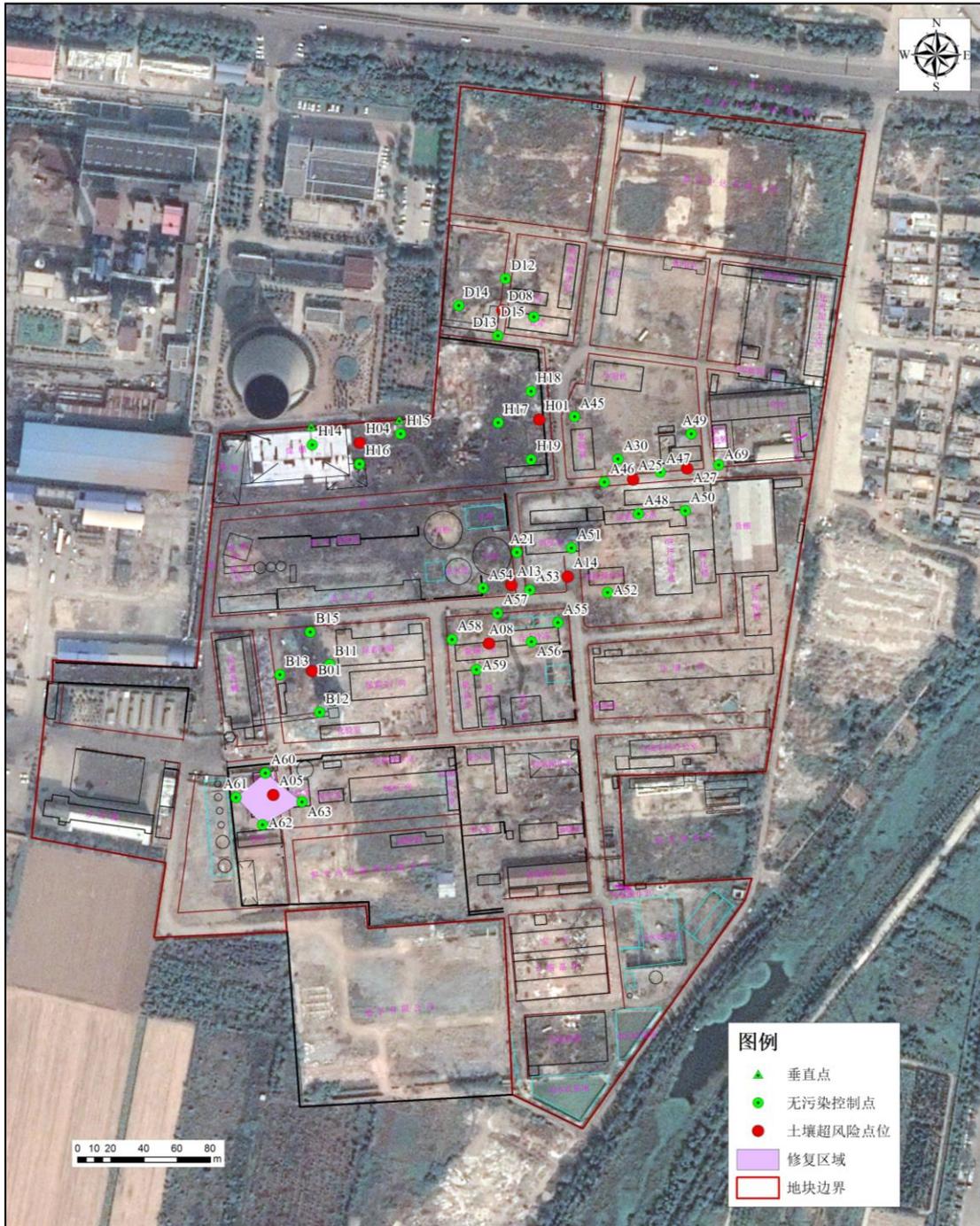


图 3.4-5 本地块修复区域（修复深度 4.5-7.5m）

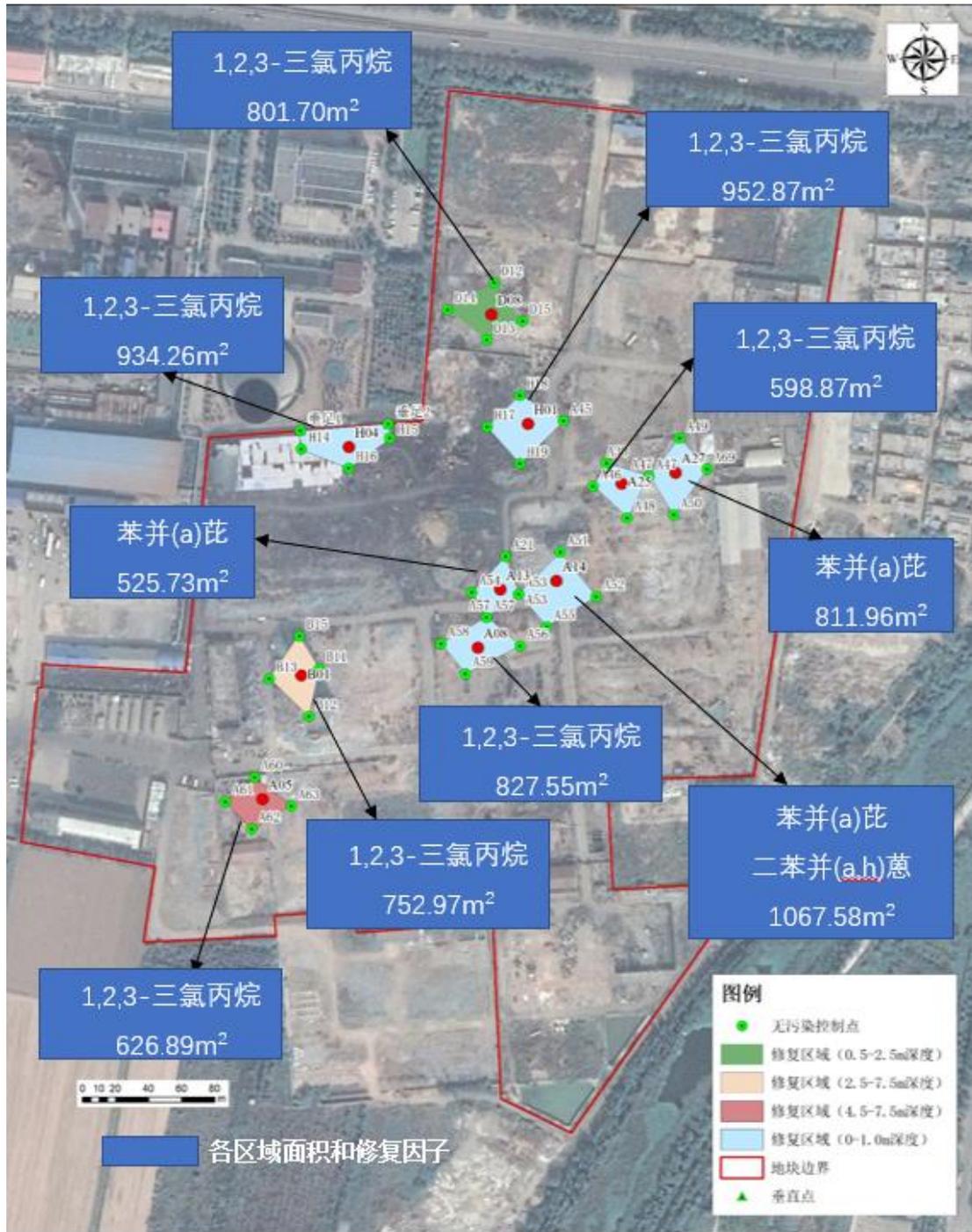


图 3.4-6 各修复区域修复深度、修复面积、修复因子统计图

4 修复模式选择

4.1 总体思路

根据《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（2016）要求，污染地块土地使用权人应当根据风险评估结果，并结合污染地块相关开发利用计划，有针对性地实施风险管控。对暂不开发利用的污染地块，实施以防止污染扩散为目的的风险管控。对拟开发利用为居住用地和商业、学校、医疗、养老机构等公共设施用地的污染地块，实施以安全利用为目的的风险管控。

对拟开发利用为居住用地和商业、学校、医疗、养老机构等公共设施用地的污染地块，经风险评估确认需要治理与修复的，土地使用权人应当开展治理与修复。场地风险管控与修复总体思路示意图见 4.1-1。

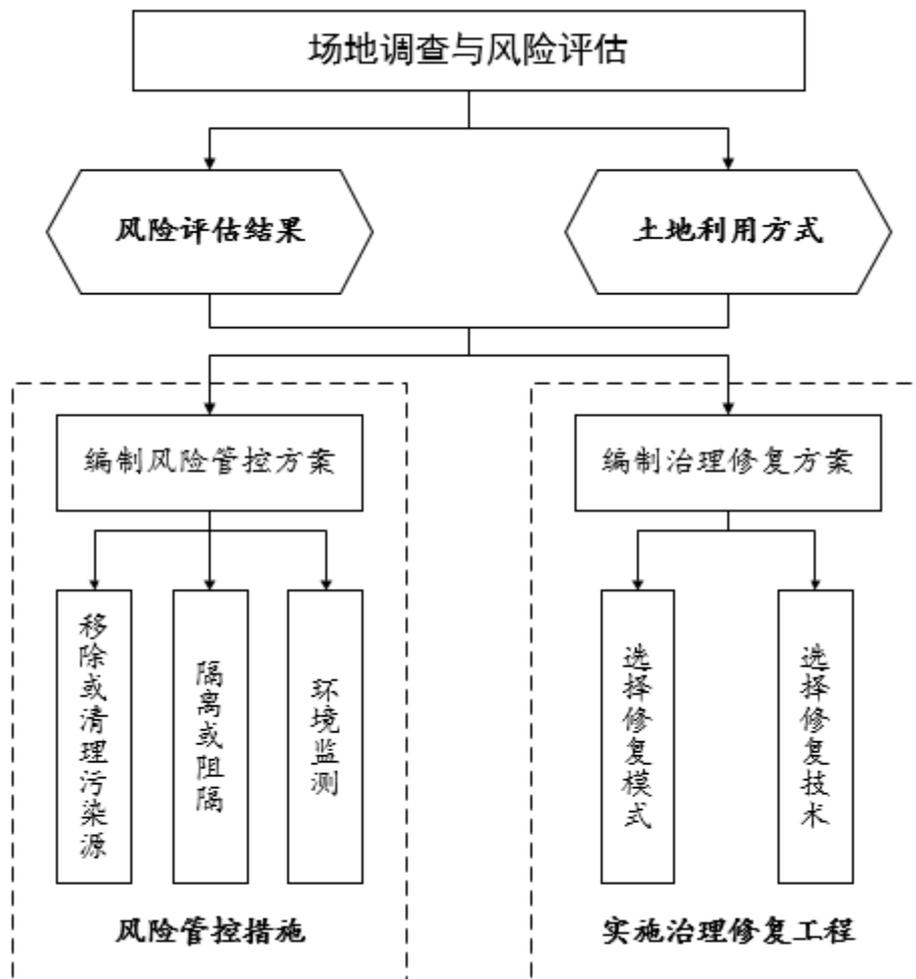


图 4.1-1 场地风险管控与修复总体思路示意图

4.2 修复模式选择

4.2.1 地块特征分析

结合场地调查与风险评估结果以及本地块未来规划用地特征：

(1) 根据调查与风险评估结论，本地块土壤中存在超风险污染物：1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽，应开展风险管控或修复措施；

(2) 该地块未来规划用地方式为商住用地，开发利用过程对地块的变化和扰动较大，不利于长期监测和管控；

(3) 根据调查和风险评估结论，本地块需修复污染土方量总计 12967.74m³，修复量较少，位于浅层的污染土壤比例较高，总体施工难度不高。

根据以上特点，认为该地块不适宜开展风险管控，应实施治理与修复工程，在短时间内消除该地块的污染风险。

根据土壤环境详细调查报告、风险评估报告等，按照国家有关环境标准和技术规范，编制污染地块治理与修复工程方案，包括治理与修复范围和目标、技术路线和工艺参数、二次污染防治措施等内容。

4.2.2 污染地块修复模式

污染地块基本修复模式主要包括：原地修复、异地修复、异地处置以及自然修复、污染阻隔、居民防护和制度控制等管理管控办法。

本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。

一、原位处理

原位处理是指对地块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中有机污染物进行处理，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，可有效避免污染土壤转移处理可能造成的二次污染。

二、原地异位处理

原地异位处理是指将地块污染土壤进行清理，在地块范围内对土壤中污染物进行处理后，并在地块内资源化利用。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，可有效避免污染土壤转移处理可

能造成的二次污染。

三、异地处理或处置

异地处理处置是指将地块内污染土壤进行挖掘清理后，运至地块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。

表 4.2-1 三种修复模式的影响因素分析

因素	原位处理	原地异位处理	异地修复或处置
地块清理时间	较短	较短	较短
地块清理风险	较低	较高	较高
对客土的需求	不需要	可能需要	可能需要
运输成本	低	中	高
运输过程风险	低	中	高
堆置成本	低	中	高
堆置过程风险	低	中	高
土壤修复成本	低	中	高或较高
土壤修复时间	较长	较短	较短
工程实施风险	较大	较小	较小
工程成本	低	中	高

将以上几种修复模式从修复时间、风险、成本等各方面进行了综合的比较与分析。考虑处理成本、施工过程中的风险、对周边情况环境的影响及对地块所在区域配套设施条件（如填埋场、焚烧炉等）的需求，同时结合地块修复区域污染物分布特征，在地块需短时间投入开发利用的前提下，建议采取原地异位修复的模式对该地块进行修复。

5 修复技术筛选

结合地块污染特征、土壤特性和选择的修复模式，从技术成熟度、适合的目标污染物和土壤类型、修复的效果、时间和成本等方面分析比较现有的土壤修复技术优缺点，重点分析各修复技术工程应用的实用性。可以采用列表描述修复技术原理、适用条件、主要技术指标、经济指标和技术应用的优缺点等方面进行比较分析，也可以采用权重打分的方法。通过比较分析，提出 1 种或多种备选修复技术进行下一步可行性评估。

5.1 土壤修复技术简介

常见的有机物污染土壤的修复技术有：固化/稳定化、热脱附、水泥窑共处置、土壤气相抽提、生物修复、化学氧化、化学还原、土壤淋洗、填埋、焚烧等。

一、稳定化/固化技术

(1) 技术介绍

稳定化/固化技术最早用于危险废物的处置，在污染地块修复方面主要用于受重金属污染的土壤。稳定化/固化技术包含了两个概念。稳定化是利用磷酸盐、硫化物和碳酸盐等作为污染物稳定化处理的反应剂，将有害化学物质转化成毒性较低或迁移性较低的物质，使其不具有危害性或移动性。例如重金属污染土壤与石灰混合，石灰与重金属反应形成金属氢氧化物沉淀，不易移出土壤。

固化是指利用水泥一类的物质与土壤相混合将污染物包被起来，使之呈颗粒状或大块状存在，进而使污染物处于相对稳定的状态。固化程序包含将污染土壤与固化剂(如水泥)混合，以使土壤硬化的过程，混合物干燥后形成硬块，可以在原地或转移到其它地点进行最终处置。固化程序可避免固化物中的化学物质流散到周围环境中，来自雨水或其他水源的水，在流经地下环境中的固化物时，不会带走或溶解其固化物中的有害物质。

(2) 应用情况

国外采用稳定化/固化技术修复被汞和砷污染地块的工程应用案例很多，该技术也是美国超级基金修复地块最常用的五种处理方法之一，自 1982 年以来，采用该技术已经修复 160 多处地块。国内也有采用稳定化/固化技术作为重金属污染土壤的修复技术。

(3) 优缺点

稳定化/固化技术的优点是技术成熟可靠，操作简单、安全，排放少，处置成本较低，约 300~500 元/吨。缺点是该技术只是将污染物固定在混合体内，而非去除，土壤内污染物总量未得到削减。因此，稳定化固化处理后的土壤应结合其最终归宿，制定相应的验收方法和标准，如浸出检验等。处理后的土壤由于材料性质的改变，通常不易再作为普通土壤使用，需进行填埋处置，或采取与其性质相符的资源化利用途径。

二、热脱附技术

(1) 技术介绍

热脱附是用直接或间接的热交换，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的过程。热脱附器中的热量传递媒介为空气、燃烧气、惰性气体，热脱附系统是加热使土壤中有机污染物从固相变成气相的物理过程。热脱附系统根据加热传递方式不同可以分为直接接触(燃烧)和间接接触(燃烧)热脱附；根据进料方式不同又可分为连续进料和间歇进料热脱附；根据热脱附系统的处置温度范围不同又可分为高温和低温热脱附。根据处理和修复对象的性能不同，所采用的热脱附系统也具有很大的不同，但总的来说所有热脱附系统，其工艺基本包括两个过程：一是加热污染物料，蒸发易挥发的污染物；二是有效处理尾气，阻止污染物的排放(气、水、固)。

(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，有约 60 个项目采用此技术。此项技术已经非常成熟。

(3) 优缺点

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，并适合处理汞污染土壤；缺点是设备投资大，处置成本高。

三、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

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。

四、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中导入空气，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地块的修复。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水位上涨，必须利用水泵控制地下水水位，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 的地块。

异位气相抽提系统必须根据土壤污染情况进行设计和安装，决定其系统设计的三个主要方面是：污染物的组成和特征，气相流通路径及流动速率，以及污染物在流通路径上的位置分布。系统的设计基于气相流通路径与污染区域交叉点的相互作用过程，其运行应当以提高污染物的去除效率及减少费用为原则。抽提体系是 SVE 设计的源，抽提体系的选择常见方法有：竖井、壕沟或水平井。

(2) 应用情况

SVE 技术修复污染地块是一种成熟可靠的技术，一段时期内美国大约 40% 的污染地块采用该技术进行修复，在国内多个地块也已得到应用。

(3) 优缺点

SVE 技术处置成本相对较低，约 300~800 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。异位 SVE 技术处置污染土壤操作灵活，处置量大，由于是挖掘后在地面上处置，因此异位气相抽提不必考虑地下水的影响，但需实施严格的环境管理措施，防止堆土造成的相关二次污染。

五、常温解吸技术

(1) 技术介绍

常温解吸技术是将污染土壤从污染区域挖掘后运输至密闭解吸车间，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。

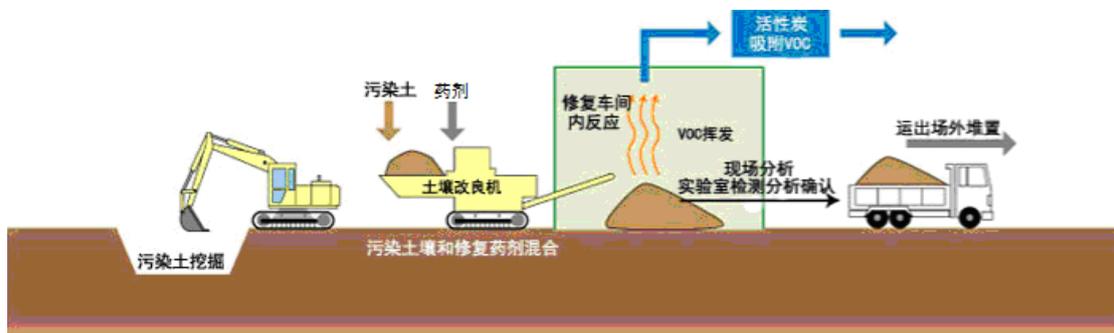


图 5.1-1 常温解吸处理污染土壤工艺示意图

挥发性有机污染土壤的常温解吸处理技术属于异位 SVE 增强技术，其实质为化学反应放热增强的土壤通风技术。其主要原理是利用土壤中有机污染物易挥发的特点，常温下通过专业土壤处理机械设备（如土壤改良机和筛分斗）对污染

土壤进行机械扰动，必要时添加一定比例的修复药剂增加土壤的温度，同时增加土壤的空隙度，使得吸附于污染土壤颗粒里的有机污染物解吸和挥发，并最终通过密闭车间配备的通风管路及尾气处理系统得以去除。

对于常温解吸技术来说，污染物的沸点和蒸气压是两个非常重要的参数。挥发性有机污染物（VOCs）常温下的蒸气压远大于 10mmHg（1.33Kpa）。若污染物的沸点较低、蒸汽压较高，则为常温解吸修复提供了可能。

在常温下采用专业常温解吸设备（如土壤改良机等混合设备）添加一定比例的修复添加剂（考虑土壤含水率高及粘粒含量高），与污染土壤充分混合后堆置于堆置反应区，在解吸车间内作业和污染土堆置过程中始终开启通风及尾气处理系统。向污染土壤中添加一定比例的修复添加剂，其目的是：一方面通过脱去土壤中一部分水分，使得土壤颗粒分散性能改善，有利于污染物从土壤颗粒表面解吸；另一方面，修复添加剂的加入提高了土壤的温度，因此土壤中所含有机污染物的蒸气压得到了提高，增加土壤中 VOCs 的解吸速率，促进了挥发性污染物在常温下的挥发。

（2）应用情况

常温解吸是一种成熟可靠的技术，在国内多个地块已得到应用。

（3）优缺点

常温解吸技术处置成本相对较低，约 300~800 元/吨，影响处置成本的主要因素是土壤性质、含水率和污染物挥发性等。实施过程需采取严格的环境管理措施，防止挥发性气体造成的相关二次污染。

六、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

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。此外,淋洗技术可能产生大量的洗土废水,必须配备相应的淋洗液处理及回用设备。

七、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土壤中注入化学氧化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。化学氧化可以以原位注入、原位搅拌、异位混合等多种方式进行。

(2) 应用情况

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,是一种广谱的污染物处理方式,在国内外运用极广。

(3) 优缺点

原位化学氧化修复技术可用于多种污染地块的修复,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。化学氧化处理后可能改变土壤有机质、铁离子、硫酸根离子含量等指标,对修复后土壤的利用可能会造成影响。

八、化学还原技术

(1) 技术介绍

化学还原修复技术主要是通过向土壤中注入零价铁等物质在地下创造出低还原性条件,促进氯代有机物的还原脱氯降解。

(2) 应用情况

该技术成熟,在国内已有应用,主要用来修复卤代烃类、氯代芳烃等污染物污染的土壤。

(3) 优缺点

化学还原修复技术,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。但该方法不具备广谱性,只适合处理部分卤代污染物。

九、微生物修复技术

(1) 技术介绍

微生物对污染土壤的修复是以其对污染物的降解和转化为基础的。微生物修复污染的土壤必须具备 2 个方面的条件：一是土壤中存在多种多样的微生物，这些微生物能够适应变化了的环境，具有或产生酶，具备代谢功能，能够转化或降解土壤中难降解的有机化合物，或能够转化或固定土壤中的重金属；二是进入土壤的有机化合物大部分具有可生物降解性，即在微生物的作用下由大分子化合物转变为简单小分子化合物的可能性，或使进入土壤的重金属具有微生物转化或固定的可能性。只有具备了上述条件，微生物修复才有实现的可能。具体修复机理根据修复对象分为有机污染和重金属污染的土壤。

(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非常广泛，该技术非常适用于大面积的污染地块修复。近年来在美国修复市场占有率的比例在 10% 左右，在国内也有一定的应用。

(3) 优缺点

微生物修复技术是成本较低廉的修复技术之一，但微生物种类的选择和培养过程比较复杂，不同的微生物只适用于分解不同的污染物。生物反应必须控制反应条件，对技术实施的要求较高。因为微生物消耗污染物的速度很慢，导致修复时间很长，因此这种技术适用于对土地修复时间没有严格限制的工程。此外，微生物制剂的环境安全性也是应关注的问题。

十、焚烧技术

(1) 焚烧技术介绍

焚烧是利用高温、热氧化作用通过燃烧来处理危险废物的一种技术，是一种剧烈的氧化反应，常伴有光与热的现象，是一项可以显著减少废物的体积、降低废物毒性或危害的处理工艺。焚烧可以有效破坏废物的有害成分，达到减容减量的效果，还可以回收热量用于供热或发电。焚烧产生的气体是二氧化碳、水蒸汽和灰分。

(2) 技术应用情况

焚烧是处置有机氯物质最常用的成熟技术，美国超级基金在 1982-2005 间，

处置杀虫剂和除草剂污染土壤的项目共 103 个，采用焚烧技术修复的地块 36 个（占 35%），是使用次数最多的技术。

（3）优缺点比较

焚烧技术处理速度快，效果好，但处置费用较高，约2000~3000元/吨，同时需要进行排放控制。对重金属污染土壤一般不宜采用。

十一、填埋技术

（1）技术介绍

填埋技术是指将污染土壤挖掘运输到填埋场进行安全填埋。

（2）技术应用情况

填埋技术成熟，国内已有应用实例。

（3）优缺点比较

填埋技术处理速度快，需要时间主要取决于挖掘和填埋的速度。适用于难挥发性的有机污染和重金属污染的土壤。处置费用相对较低，但污染物未被处理，只是转移位置，存在二次污染的风险，挥发性污染物难以密闭填埋。

5.2 土壤修复技术选择

5.2.1 土壤修复技术选择原则

修复技术的选择上需要确保污染地块的修复效果满足土地利用方式的要求，在技术可行、时间充足、经济允许等条件下，选择可以降低污染物毒性、迁移性和含量的较为成熟的修复技术，避免二次污染，全面保护人体健康与环境。具体选择原则如下：

（1）针对地块内污染物特征：由于污染地块中，各区域污染物浓度不同，因此需要结合污染物浓度选择合适的地块清理方法。

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

（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) 减少对周边环境的影响：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。

5.2.2 污染物性质

本项目地块土壤中修复目标污染物理化性质参数见下表所示，目标污染物以挥发性有机污染物和半挥发性有机物污染为主，沸点介于 156.2℃~524℃，25℃条件下的饱和蒸气压介于：2.78E-12 至 2.4Pa 之间。

1,2,3-三氯丙烷是无色有强刺激性液体，微溶于水，溶于油类。密度 1.3889g/cm³。熔点-14.7℃。沸点 156.2℃。折射率 1.4582。闪点 73.3℃（闭杯），82.2℃（开杯）。自燃温度 304.4℃。微溶于水。能与乙醇、乙醚等混溶。有毒，狗经口半致死量 LD50 为 200mg/kg。该物质具有麻醉作用。急性接触时，有较强的呼吸道及局部刺激作用。经皮吸收亦可引起中毒。该品可燃，有毒，具刺激性。

苯并(a)芘是一种五环多环芳香烃类，结晶为黄色固体。性质稳定，不溶于水，微溶于乙醇、甲醇，溶于苯、甲苯、二甲苯、氯仿、乙醚、丙酮等。该物质对眼睛、皮肤有刺激作用。是致癌物、致畸原及诱变剂，是多环芳烃中毒性最大的一种强烈致癌物。

二苯并(a,h)蒽是一种无色结晶粉末，可燃，密度 1.28 g/cm³。溶于石油醚、丙酮、乙酸、苯、甲苯、二甲苯和油类，微溶于乙醇和乙醚，不溶于水。该物质对水生生物有极高毒性，在水生环境中造成长期影响，可沿食物链产生生物蓄积，有致癌作用。

表 5.2-1 土壤污染物性质

污染物	化学式	熔点(°C)	沸点(°C)	饱和蒸气压 (Pa, 25°C)	亨利常数	溶解度 (mg/L)
1,2,3-三氯丙烷	C ₃ H ₅ Cl ₃	-14.7	156.2	3.1	34.5	1.75E+03
苯并(a)芘	C ₂₀ H ₁₂	177-180	495	2.4	7.35E-10	1.62E-03

二苯并(a,h)蒽	C ₂₂ H ₁₄	262-265	524	2.78 E-12	1.70E-6	2.49E-03
-----------	---------------------------------	---------	-----	-----------	---------	----------

5.2.3 修复技术确定

对本地块土壤修复技术筛选矩阵见表 5.2-2，根据以上筛选原则和污染物性质，结合该地块需短时间投入再利用的紧迫性以及工程投入的经济性，另外考虑到地块所在区域周边无具备水泥窑协同处置能力的水泥窑，经比选最终以异位化学氧化技术作为本地块的推荐修复技术，水泥窑协同处置和热脱附技术作为备选技术。

根据筛选表以及备选修复技术分析，将几种备用技术进行评估，参照《工业企业场地环境调查评估和修复工作指南（试行）》修复技术综合评估评分工具表进行评分，确定了化学氧化技术为最合适本场地的修复技术。见表 5.2-3。

评分标准：

①可接受性：修复技术与污染场地目前（或未来规划）的使用功能、社会接受程度以及其他需要接受的标准之间的相互兼容性。

4-完全可接受；3-可接受；2-勉强可接受；1-局部可接受

②操作性：修复技术的可操作性、场地设施影响以及技术是否在同类场地应用过。

4-操作性强；3-可操作；2-勉强可操作；1-局部可操作

③效率：修复技术在类似场地的修复效率高低。

4-非常高效；3-高效；2-般有效；1-效率很低

④修复时间：所预期的修复时间。

4-短；3-中等；2-长；1-非常长

⑤修复成本：所预期的总成本。

4-低；3-中等；2-高；1-非常高

表 5.2-2 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	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
土壤修复技术								
1	固化/稳定化	通过向土壤中添加混凝土等黏结剂固定土壤中的污染物,防止其在环境中的进一步迁移、扩散。	技术成熟/国内有应用	需要时间较短。	中等	对于重金属等无机污染物质污染的土壤比较合适;不适用于挥发性有机物污染土壤的修复。	(1)不适用于挥发性有机污染物的处理。 (2)缺乏相应验收标准。 (3)处理后的土壤通常丧失其生态作用,需考虑接纳场所	不采用
2	热脱附	加热土壤中有机污染物(或汞)到较高温度,使其挥发,与土壤相分离,再对挥发出的气态污染物进行处理。	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,经改造后也可处理汞污染土壤。	(1)土壤含水率会影响处理成本及效果 (2)需要专门处理设备 (3)成本投入高	备选
3	水泥窑处置	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	对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;地块附近需由具备水泥窑协同处置能力的机构	备选
4	气相抽提	通过布置在污染土壤内的专用管道,向土壤内引入气流,促使挥发性或半挥发性有机物进入空气流,进而使污染物脱离土壤,然后在地面进行尾气处理。	技术成熟/国内有应用	中等	较低	适用于透气性好的土壤中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。	不采用
5	常温解吸	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	技术成熟/国内有	较快	较低	适用于透气性好的土壤中各种挥发性	影响处置成本的主要因素是土壤性质和污染物挥发	不采用

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	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
		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。	应用			有机物包括苯系物、卤代烃类等的处理	性。	
6	土壤淋洗	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。	技术成熟/国内有应用	较快	中等	适用于处理水溶性污染物、可促溶的有机物。	不适用于粘粒含量过高的土壤；需配备淋洗液处理回用设施。	不采用
7	化学氧化	通过向土壤中注入化学氧化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。化学氧化可以以原位注入、原位搅拌、异位混合等多种方式进行。	技术成熟/国内有应用	根据土壤及污染物具体情况	中等	对于高浓度苯系物、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，但是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 (3)需注意氧化产物的环境风险	建议
8	化学还原	利用零价铁等物质创造出强还原性条件，促进氯代有机物的还原脱氯降解。	技术成熟/国内有应用	需要时间较长	中等	适用于卤代烃类、氯代芳烃和氯代杀虫剂等有机物以及部分重金属离子。	可处理的污染物具有局限性	不采用
9	生物修复	通过向土壤中添加营养物或接种微生物菌种等，利用微生物降解土壤中的有机污染物。	较成熟/国内有应用	时间长	低	适用于易降解的有机物如 BTEX 等有机污染	处理时间长，部分顽固污染物不容易被降解。	不采用
10	焚烧	利用高温、热氧化作用通过燃烧来处理污染物。焚烧可以有效破坏废物的有害成分，达到减容减量的效果，焚烧产生的气体是二氧化碳、水蒸汽和灰分。	技术成熟	需要时间较短	高	适用于处置有机物污染土壤	不能去除重金属。对废气排放需要进行控制	不采用

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	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
11	填埋	将污染土壤挖掘运输到填埋场填埋	技术成熟	需要时间 取决与挖掘和填埋速度，一般较快	中等	技术简单	(1)需大面积填埋场； (2)污染物未被处理，只是转移位置，存在二次污染风险； (3)挥发性污染物难以密闭填埋；	不采用

5.2-3 备选修复技术评估

技术名称	可接受性		操作性		效率		修复时间		修复成本		总分	结果
	描述	评分	描述	评分	描述	评分	描述	评分	描述	评分		
热脱附技术	完全可接受	4	操作性强	4	非常高效	4	短	4	非常高	1	17	/
水泥窑协同处置技术	完全可接受	4	勉强可操作	2	非常高效	4	短	4	高	2	16	/
化学氧化技术	完全可接受	4	操作性强	4	高效	3	中等	3	低	4	18	最佳

5.3 修复技术可行性评估

本次推荐的化学氧化技术在国内外均有大量应用案例，成熟度和实施可行性均较高。

5.3.1 异位化学氧化技术可行性评估

化学氧化技术在国外已形成较完善的技术体系，应用广泛。据美国超级基金统计，2005~2011 年应用原位化学氧化技术的案例约占修复工程案例总数的 21%，异位技术约占 6%。近年来，化学氧化技术在国内发展也较为迅速。根据 2008-2012 年我国土壤修复项目的统计调查，约有 6% 的案例采用该技术。表 5.3-1 为国内外开展的成功案例。

表 5.3-1 国内外应用成功案例

序号	项目名称	地点	污染类型	污染物质	工程量 (m ³)	修复效果
1	南京某地块污染土壤和地下水修复工程	江苏省南京市	有机	苯、二甲苯、1,2-二氯丙烷、1,2-二氯乙烷	8372	验收合格
2	无锡某地块污染土壤修复工程	江苏省无锡市	有机	多环芳烃	7500	验收合格
3	南京浦口某商业广场	江苏省南京市	有机	苯、苯胺、硝基苯	17000	验收合格
4	大冶市化肥厂	江苏省黄石市	有机、重金属	重金属+多环芳烃+苯系物	25693	验收合格
5	美国马里兰赛车场	美国马里兰州	有机	苯系物、甲基萘	662	验收合格
6	美国明尼苏达木材制造厂	美国明尼苏达州	有机	五氯苯酚	656	验收合格

5.3.2 小试情况

2020 年 8 月，山东晋煤明升达化工有限公司委托山东华泽环保工程有限公司开展了小试研究。在地块内相应污染区域和深度共采集了 8 个土壤样品（污染物浓度见表 5.3-2 所示），各污染物初始浓度均超过了修复目标值。

表 5.3-2 小试样品污染物初始浓度 (mg/kg)

样品编号	检出限	D0810	D0820	D0830	D0840	A1410	A1420	A1430	A1440
1,2,3-三氯丙烷	0.0012	0.0625	0.0587	0.0596	0.0625	-	-	-	-
苯并(a)芘	0.1	-	-	-	-	7.91	7.62	6.91	6.53
二苯并(a,h)蒽	0.1	-	-	-	-	1.64	1.53	1.31	1.26

根据第三方提供的小试报告。此次小试按照按照 1/100 的比例加入过硫酸钠，按照 1/1000 的比例加入生石灰，反应时间为 240 小时送检；按照 1/150 的比例加入过硫酸钠，按照 1/1000 的比例加入生石灰，反应时间为 336 小时送检；按照 1/200 的比例加入过硫酸钠，按照 1/1000 的比例加入生石灰，反应时间为 336 小时送检；以上方法均可使土壤中污染物浓度达到修复目标。

按照 1/100 的比例添加药剂，虽达到修复要求，但 PH 呈酸性，会造成加药太多的后果，按照 1/200 的比例加药，其 PH 呈碱性，虽然检测结果也达到要求，但对于污染浓度高的有机物污染此比例有可能达不到修复要求，按照 1/150 的比例加药，检测结果和 PH 正常，所以小试结论确定在修复加药过程中按照 1/150 的比例来添加药剂反应时长 336 个小时。

因此，根据小试结果，初步建议使用药剂为过硫酸钠及氧化钙。过硫酸钠投加比 1/150，氧化钙投加比 1/1000，反应时长约 336 个小时。施工过程中，可根据实际情况调整。

5.3.3 可行性分析

技术可行性分析：经对本地块污染情况进行分析，针对污染特征选择合理的修复模式和修复技术，国内外均有相关的成功案例。小试结果表明化学氧化技术初步可行。技术理论和实际应用均较为成熟，可实现对污染土壤的修复或处置。

条件可行性分析：山东晋煤明升达化工有限公司地块前期开展的修复工程在该厂北部已完成了基本设施建设，包括水电铺设、实施区域的平整和硬化等，从实施条件上为本次修复工作打下了基础。

成本效益分析：相对其他技术，化学氧化技术实施经济性较高，因此资金支持较为充分。

6 修复方案设计

6.1 化学氧化修复方案设计

6.1.1 修复方案技术路线

异位化学氧化技术修复技术流程大致由以下几个部分组成，修复方案技术路线见图 6.1-1。

- (1) 测量放线后将污染土壤挖掘运输至处理区域；
- (2) 将污染土壤破碎、筛分，筛除建筑垃圾及其它杂物；
- (3) 利用专业设备进行药剂喷洒和混合；
- (4) 通过多次搅拌将修复药剂与污染土壤充分混合，使修复药剂与目标污染物充分接触；
- (5) 监测、调节污染土壤反应条件，直至自检结果显示目标污染物浓度满足修复目标要求；
- (6) 通过效果评估的修复土壤回填。

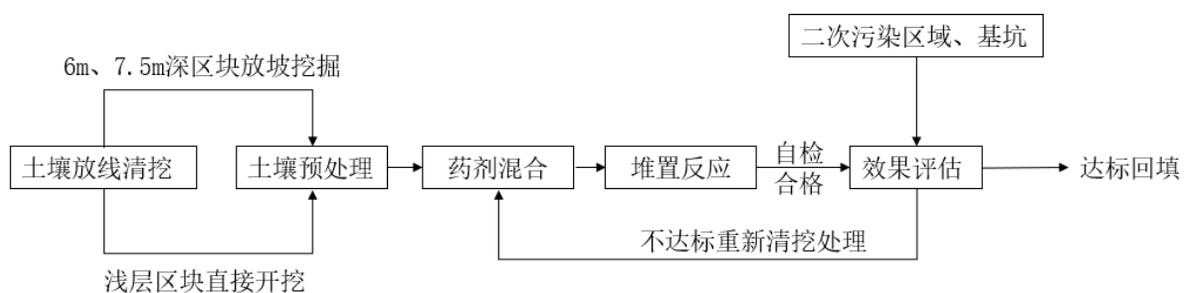


图 6.1-1 修复技术路线图

6.1.2 修复技术工艺参数

一、技术应用基础和前期准备

针对该地块进行化学氧化小试实验测试，判断修复效果是否能达到修复目标要求，并探索药剂投加比、反应时间、氧化还原电位变化、pH 变化、含水率控制等，作为技术应用可行性判断的依据。小试实验参数指导中试扩大化试验，根据试验现象确定大规模实施的可行性，并记录工程参数，指导工程实施。

目前根据山东晋煤明升达化工有限公司提供的小试数据，初步将氧化剂确定为过硫酸钠及其催化剂氧化钙。过硫酸钠投加比 1/150，氧化钙投加比 1/1000，反应时长约 336 个小时。药剂理化性质和存储防护措施见表 6.1-1 及 6.1-2。

表 6.1-1 氧化钙理化性质和存储防护措施

标识	英文名: calcium oxide;	分子式: CaO	分子量: 56.08
	CAS 号: 1305-78-8	UN 编号: 1910	危险货物编号: 82501
理化性质	外观与性状: 白色无定形粉末		
	熔点 (°C): 2580°C; 沸点: 2850°C; 饱和蒸气压(kPa):		
	相对密度 (水=1): 3.35		
	主要用途	用于建筑, 并用于制造电石、液碱、漂白粉和石膏。实验室用于氨气的干燥和醇的脱水等。	
溶解性	不溶于醇, 溶于酸、甘油。		
燃烧爆炸危险性	燃烧性: 不燃	建规火险分级:	闪点 (°C):
	引燃温度 (°C):	爆炸下限 (V%):	爆炸上限 (V%):

	危险特性	与酸类物质能发生剧烈反应。具有较强的腐蚀性。		
	分解产物			
	稳定性	稳定性：稳定	聚合危害：不能出现	
	禁忌物	水、酸类、易燃或可燃物。		
	灭火方法	采用干粉、二氧化碳、干砂灭火。		
	侵入途径	吸入、食入、经皮吸收。		
	急救措施	皮肤接触：立即脱去污染的衣着，先用植物油或矿物油清洗。用大量流动清水冲洗。就医。 眼睛接触：提起眼睑，用流动清水或生理盐水冲洗。就医。 吸入：迅速脱离现场至空气新鲜处。保持呼吸道通畅。如呼吸困难，给输氧。如呼吸停止，立即进行人工呼吸。就医。 食入：用水漱口，给饮牛奶或蛋清。就医。		
	毒性			
健康危害	本品属强碱，有刺激和腐蚀作用。对呼吸道有强烈刺激性，吸入本品粉尘可致化学性肺炎。对眼和皮肤有强烈刺激性，可致灼伤。口服刺激和灼伤消化道。长期接触本品可致手掌皮肤角化、皸裂、指甲变形（匙甲）。			
包装与储运	危险性类别	第 8.2 类 碱性腐蚀品	危险货物包装标志：腐蚀品	
	储运注意事项	储存于阴凉、通风的库房。库内湿度最好不大于 85%。包装必须完整密封，防止吸潮。应与易（可）燃物、酸类等分开存放，切忌混储。储区应备有合适的材料收容泄漏物。		
防护措施	呼吸系统防护：可能接触其粉尘时，建议佩戴自吸过滤式防尘口罩。 眼睛防护：必要时，戴化学安全防护眼镜。 身体防护：穿防酸碱工作服。 手防护：戴橡胶手套。 其他防护：工作场所禁止吸烟、进食和饮水，饭前要洗手。工作完毕，淋浴更衣。注意个人清洁卫生。			
泄漏处置	隔离泄漏污染区，限制出入。建议应急处理人员戴防尘面具（全面罩），穿防酸碱工作服。不要直接接触泄漏物。小量泄漏：避免扬尘，用洁净的铲子收集于干燥、洁净、有盖的容器中。大量泄漏：喷雾状水控制粉尘，保护人员。			

表 6.1-2 过硫酸钠理化性质和存储防护措施

标识	中文名：过硫酸钠；高硫酸钠；过二硫酸钠	危险货物编号：51504				
	英文名：Sodium persulphate；Sodium persulfate	UN 编号：1505				
	分子式：Na ₂ S ₂ O ₈	分子量：238.13	CAS 号：7775-27-1			
理化性质	外观与性状	白色晶状粉末，无臭。				
	熔点（℃）	/	相对密度（水=1）	2.4		
	沸点（℃）	/	饱和蒸气压（kPa）	/		
	溶解性	溶于水。				
毒性及健康危害	侵入途径	吸入、食入、经皮吸收				
	毒性	LD ₅₀ : 226mg/kg(小鼠腹腔)。				
	健康危害	本品对眼、上呼吸道和皮肤有刺激性。某些敏感个体接触本品后，可能发生皮疹和（或）哮喘。				
燃烧爆炸危险性	燃烧性	助燃	燃烧分解物	氧化硫。		
	闪点（℃）	/	爆炸上限%（v%）：	/		
	自燃温度（℃）	/	爆炸下限%（v%）：	/		
	危险特性	无机氧化剂。与有机物、还原剂、易燃物如硫、磷等接触或混合时有引起燃烧爆炸的危险。急剧加热时可发生爆炸。				
	建规火险分级	乙	稳定性	稳定	聚合危害	不聚合
	禁忌物	强还原剂、活性金属粉末、强碱、醇类、水、硫、磷。				
	灭火方法	采用雾状水、泡沫、砂土灭火。				
急救措施	①皮肤接触：脱去污染的衣着，用大量流动清水冲洗。②眼睛接触：提起眼睑，用流动清水或生理盐水冲洗。就医。③吸入：迅速脱离现场至空气新鲜处。保持呼吸道通畅。如呼吸困难，给输氧。如呼吸停止，立即进行人工呼吸。就医。④食入：饮足量温水，催吐。就医。					
泄漏处	隔离泄漏污染区，限制出入。建议应急处理人员戴防尘面具（全面罩），穿防毒服。不要直接接触泄漏物。勿使泄漏物与有机物、还原剂、易燃物接触。小量泄漏：将地面洒上苏打灰，收集于干燥、洁净、有盖的容器中。也可以用大量水冲洗，洗水稀释后放入废水系					

置	统。大量泄漏：用塑料布、帆布覆盖。然后收集回收或运至废物处理场所处置。
储运注意事项	①储存注意事项：储存于阴凉、干燥、通风良好的库房。远离火种、热源。库温不超过 30℃，相对湿度不超过 80%。包装密封。应与还原剂、活性金属粉末、碱类、醇类等分开存放，切忌混储。储区应备有合适的材料收容泄漏物。 ②运输注意事项：铁路运输时应严格按照铁道部《危险货物运输规则》中的危险货物配装表进行配装。运输时单独装运，运输过程中要确保容器不泄漏、不倒塌、不坠落、不损坏。运输时运输车辆应配备相应品种和数量的消防器材。严禁与酸类、易燃物、有机物、还原剂、自燃物品、遇湿易燃物品等并车混运。运输时车速不宜过快，不得强行超车。运输车辆装卸前后，均应彻底清扫、洗净，严禁混入有机物、易燃物等杂质。

二、关键技术参数

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

(1) 土壤活性物质总量：氧化反应中，向污染土壤中投加氧化药剂，除考虑土壤中还原性污染物浓度外，还应兼顾土壤活性还原性物质总量的本底值，将能消耗氧化药剂的所有还原性物质质量加和后计算氧化药剂投加量。

(2) 药剂投加比：根据修复药剂与目标污染物反应的化学反应方程式计算理论药剂投加比，并根据实验结果予以校正。

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

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

表 6.1-1 化学氧化技术工艺参数及技术要求

技术名称	原地异位化学氧化修复技术		
技术分类	原地异位/化学氧化		
修复介质	有机污染土壤		
目标污染物	1,2,3-三氯丙烷	苯并(a)芘	二苯并(a,h)蒽
修复目标 (mg/kg)	0.05	0.55	0.55
技术要求	(1) 设备配置要求：需配套土壤试剂混合搅拌设备。		
	(2) 设备处理能力要求：建议设备处理能力为 15-20m ³ /h。		
	(3) 在投加药剂前，应根据药剂特性调节土壤 pH。		
	(4) 含水率宜控制在土壤饱和持水能力的 90% 以上。		
	(5) 设置合理的堆置反应时间，使土壤与化学试剂充分接触反应达到修复效果。		
	(6) 污染土壤修复质量要求：按照本方案最终确定的有机污染物修复目标执行。		
	(7) 尾气排放要求：执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）表 2 中 II 级标准和《恶臭污染物排放标准》（GB 14554-1993）等相关大气环境排放标准。		
	(8) 检测要求：对修复后土壤进行取样检测，采样数量按照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》中要求采样，并对大气做好监测。		

三、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。部分修复设备和设施见图 6.1-2。

(1) 预处理系统。对开挖出的污染土壤进行破碎、筛分或添加土壤改良剂等。该系统设备包括破碎筛分铲斗、挖掘机、推土机等。

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

(3) 防渗系统为反应池或是具有抗渗能力的反应场，能够防止外渗，并且能够防止搅拌设备对其损坏，通常做法有两种，一种采用抗渗混凝土结构，一种是采用防渗膜结构加保护层。



筛分破碎铲斗

土壤修复翻抛机

图 6.1-2 专业设备和设施

四、运行维护和监测

异位化学氧化反应进行过程中，应监测污染物浓度变化，判断反应效果。通过监测残余药剂含量、中间产物、氧化还原电位、pH 及含水率等参数，根据数据变化规律判断反应条件并及时加以调节，保证反应效果，直至修复完成。异位化学氧化技术所需要的工程维护工作较少，如采用碱激活过硫酸盐氧化时需要监测并维持一定的 pH 值。使用氧化剂时要根据氧化剂的性质，按照规定进行存储和使用，避免出现危险。

6.2 投资估算

各修复方法单价依据生态环境部发布的《2014 年污染场地修复技术目录（第一批）》（公告 2014 年 第 75 号）文件。

异位化学氧化的处置成本约 500-1500 元/m³，本次估算取中间值 1000 元/ m³，本地块需修复土壤方量 12967.74 m³，异位化学氧化处置成本约 1296.78 万元。考虑其他费用：基础建设、土方工程、监理和效果评估等。修复费用总计约 1680.34 万元。详见表 6.2-1。

表 6.2-1 修复工程施工费用估算表

序号	项目名称	分部	工程量	单位	单价 (元)	价格 (万元)	备注
1	土壤处理费	化学氧化	12967.74	m ³	1000	1296.77	单价依据生态环境部发布的《2014 年污染场地修复技术目录 (第一批)》(公告 2014 年 第 75 号) 文件
2	自检费	土壤	200	份	1000	20.00	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		水	100	份	1000	10.00	
		大气	400	份	1200	48.00	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		小计				78.00	
3	基础设施	临时建筑	2000	m ²	500	100.00	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		尾气控制	2000	m ²	300	60.00	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		小计				160.00	
4	土方工程	平整场地	7900.38	m ²	15	11.85	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		土方清挖	12967.74	m ³	6	7.78	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		土方回填	12967.74	m ³	20	25.94	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		小计				45.57	
5	修复效果评估	检测费	200	份	1000	20.00	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		取样和报告编制	1	项	100000	10.00	表中工程量为初步估算, 可根据实际情况调整; 单价参考市场价格
		小计				30.00	
6	其他	气味抑制装置租赁	1	台	100000	10.00	单价参考市场价格
		工程监理费	1	项	250000	25.00	监理费用为估算费用, 可根据实际情况调整
		环境监理费	1	项	250000	25.00	监理费用为估算费用, 可根据实际情况调整
		环境影响评价	1	项	100000	10.00	监理费用为估算费用, 可根据实际情况调整
		小计				70.00	
总计						1680.34	不含税金

6.3 修复进度安排

根据以上对项目内容及工作量的总结和分析，该项目环境影响评价 10 天，开展前期建设和放线开挖以及转运时间为 30 天。异位处置时长为 30 天。加上效果评估等后期工作预估修复项目总工期约 90 天。多项工作可穿插、同步同期开展实施，总体进度安排建议见表 6.3-1 所示。

表 6.3-1 施工进度安排建议表 (天)

任务名称	时间 (天)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
地块修复治理项目	90									
一、环境影响评价	10									
二、施工准备	20									
污染区域定位放线	1									
临时水电铺设	2									
施工便道建设	2									
防渗设施和尾气控制设施建设	10									
临时设施建设	2									
设备安装调试	3									
三、地块清表及放坡清挖	10									
地表清理	5									
土方清挖	5									
四、土壤修复	30									
化学氧化	30									
五、修复效果评估和竣工撤场	20									
土壤修复效果评估	15									
竣工撤场	5									

7 环境管理计划

7.1 修复工程监理

7.1.1 环境监理

一、环境监理工作范围

修复工程的环境监理主要是监测与评估修复过程中对周围环境的影响，主要是污染土壤异位化学氧化修复过程对周围环境的监测与评估。依据有关环境保护法律法规、技术规范 and 合同等，协助和指导建设单位全面落实修复工程施工过程中的环境保护措施、风险防范措施以及受工程影响的外部环境保护等相关事项，并开展专业化环境保护咨询和技术服务。

污染地块修复工程环境监理工作包括准备阶段环境监理、施工阶段环境监理和效果评估阶段环境监理。

二、环境监理工作程序

环境监理的工作程序包括：

1、准备阶段环境监理

收集各类相关报告、法律法规、技术规范、合同等文件通过审查相关记录文件和现场踏勘核实场地污染修复方案的实施情况，核实的内容包括污染场地修复范围、修复方式、污染土壤的最终处置、修复过程中的污染防治措施及效果等。编制环境监理方案。

2 施工阶段环境监理

本地块施工阶段环境监理主要注意四个环节：

(1) 开挖环节环境监理

- a) 应根据修复方案和施工方案核实确认污染土壤开挖范围；
- b) 应监督“三废”处置及去向；
- c) 应检查二次污染防治措施落实情况，宜开展相关监测，重点关注开挖施工过程中开挖区域周边、尾气排放口大气监测和噪声监测；

d) 宜在开挖区域边界采样检测，评估开挖是否达到边界。监测点位布置可参照 HJ 25.2 和 HJ 25.5 中相关布点要求。

(2) 土壤运输环节环境监理

- a) 应核查土壤转移路线是否合规；
- b) 监督二次污染防治措施落实情况，应核查污染土壤运输过程中的封闭措施。

(3) 土壤暂存及预处理环节

a) 应检查暂存及预处理设施建设是否符合环保相关要求，重点核查三防（防扬散、防流失、防渗漏）和密闭措施等是否到位。；

b) 应开展暂存场所和预处理设施周边大气环境监测，监测布点方式参照 HJ25.2 相关要求。

(4) 土壤修复环节环境监理要点如下：

- a) 应核查修复工艺、设备设施、材料、药剂等与施工方案相符性；
- b) 应检查修复药剂质量和数量是否符合修复方案和施工方案要求，例如添加的种类、顺序、比例和方式等；
- c) 应跟踪监督修复方案的实施情况，包括修复流程、主要环节、工艺参数等；
- d) 应开展二次污染防治监测，重点关注有机污染土壤修复过程中的尾气控制情况以及产生的废水、固废等收集处理情况，并在修复工程周边环境敏感点、地块边界等位置设置大气环境监测点；
- e) 关注中间产物的产生情况，必要时可针对中间产物进行监督监测；
- f) 对修复区域边界进行严格监督管理，宜在周边区域设置采样点，避免修复工程对周边土壤和地下水产生影响；
- g) 应跟踪监督施工单位自测过程，必要时可开展采样分析，初步核实修复效果。

(5) 土壤回填环节环境监理要点如下：

- a) 应核实回填基坑底部和侧壁是否达标；
- b) 应核查回填方式和回填土壤质量是否符合施工方案和土地利用规划等要求；
- b) 应开展二次污染防治监测，重点关注回填过程大气监测。

3、效果评估阶段环境监理

环境监理机构应协助建设单位开展修复工程效果评估工作，并提供环境监理总结报告等相关资料。

三、监理项目及标准

表 7.1-1 监理项目及标准

监测介质	监测项目	执行标准
环境空气	颗粒物、PM2.5、1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、臭气浓度等	《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中无组织排放标准,《环境空气质量标准》(GB 3095-2012),《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-1993)等相关大气环境排放标准
废气	1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、臭气浓度等	《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中有组织排放标准,《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-1993)等相关大气环境排放标准
噪声	噪声	《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)等
废水	1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽	《污水排入城镇下水道水质标准》(GB-T 31962-2015)

四、环境监测方案

环境监测主要是针对施工过程中可能带来的二次污染情况进行有效监控，监测和评价施工过程中污染物的排放是否达到有关规定。本项目中包括大气环境监测、水污染排放监测、噪声污染源监测。

1、大气环境监测

大气环境监测内容包括污染土壤清挖转运环节、异位化学氧化修复实施环节和污染物无组织排放空气样品的采集、分析及质量评价。

(1) 布点采样

一般根据场区污染土壤修复作业功能区域规划及修复作业进度，依照《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T 55)中相关规定，分别在场地疑似污染区域

中心、当时下风向的场地边界及边界外 500 m 的环境敏感点设置大气监测点，监测点位距离地面 1.5~2.0 m，同时在污染场地的上风向设置对照检测点位。

(2) 样品采集

无组织排放大气污染物的采集根据《大气污染物综合排放标准》(GB 16297) 执行，采用连续监测 1 小时采集 1 个样品的的方法。采样频次参照《环境监理工作制度(试行)》(环监[1996]888 号) 中第 3 条款现场环境监理规定“对重点污染源及其污染防治设施的现场监理每月不少于 1 次；对建设项目、限期治理项目现场监测每月不少于 1 次，污染场地修复现场监测频次按每月 1 次执行”。根据本项目污染特点及周边敏感点分布，建议在施工前：空气采样监测 1 次；施工过程：每两周监测 1 次；修复工程完成后监测 1 次。

(3) 监测指标和评价标准

施工期间，治理区域边界处无组织排放废气执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996) 无组织浓度监控限制，《环境空气质量标准》((GB 3095-2012)) 和《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93) 排放标准。此外，如出现异味较大，控制措施无明显效果的，应及时要求施工方停止施工，并报告建设单位，重新制定异味控制方案，必要时应要求施工单位组织专家评审会讨论研究。

2、噪声污染源监测

(1) 布点采样

噪声污染源的监测布点方法按照《建筑施工场界噪声测量方法》(GB 12524) 执行。根据被测施工场地的建筑作业方位和活动形式，确定噪声敏感建筑或区域的方位，并在建筑施工场地边界线上选择离敏感建筑物或区域最近的点作为测点。

(2) 测量条件

测量条件应该符合《建筑施工场界噪声测量方法》(GB 12524) 中规定条件。测量仪器为积分声级计，其性能至少应符合 GB 3785 《声级计的电、声性能及测试方法》中对 III 型仪器的要求。

(3) 测量方法与频次

按照《建筑施工场界噪声测量方法》(GB 12524) 执行。白天以 20min 的等效 A 声级表征该点的昼间噪声值，夜间以 8h 的平均等效 A 声级表征该点夜间噪声值。测量时间分为白天和夜间两个时间段。白天测量选在 8:00~12:00 时或 14:00~18:00 时，夜间选在 22:00~6:00 时。每两周采样监测 1 次。

(4) 评价标准

按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)。

表 7.1-2 环境噪声排放标准

昼间 dB (A)	夜间 dB (A)
70	55

3、水污染排放监测

(1) 布点采样

修复工程施工期间产生的废水（包括基坑挖掘产生废水、处理过程废水、施工区道路、车辆及工具清洗废水等）和生活污水经过管网收集、处理达标后纳管排放。为检查工业废水和生活污水是否达到了排放标准要求，在水处理设施的进出口分别设置采样点进行监测。

（2）样品采集及频次

样品的采集方法参考地表水和污染监测技术规范（HJ/T 91）。建议每两周采集一次。

（3）检测分析

具体监测方法和标准参考地表水和污水监测技术规范(HJ/T 91-2002)。

（4）评价标准

废水处理需执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB-T 31962-2015）。

4、废气排放监测

本次修复过程中若根据实际情况设置了有废气处理设施，则需开展排放监测。

（1）采样范围

本场地污染修复废气处理设施区域。

（2）采样程序和方法依据

根据《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）执行的相关要求进行废气排放检测。

（3）采样点位

在处理区域尾气控制设施位置设置 1 个采样点。

（4）采样频次

根据《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中规定，若设置有排气筒等设施的情况下，排气筒废气采样以连续 1 小时的采样获取平均值，或在 1 小时以内，以等时间间隔采集 4 个样品，并计算平均值。

根据《固定源废气监测技术规范》，一般污染源的监督性监测每年不少于 1 次，如被国家或地方环境保护行政主管部门列为年度重点监管的排污单位，每年监督性监测不少于 4 次。结合本工程实际情况，废气排放监测频次确定为每两周 1 次。

（5）检测指标

本工程废气采用有组织排放，排放处理标准需满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中有组织排放监控浓度限值规定，其中臭气浓度执行《恶臭污染物排放标准》（GB 14554-93）。

7.1.2 工程监理

1、场地工程监理内容

建设项目的工程监理主要目的在于确保施工安全、质量、投资和工期等满足业主要求。但是对于修复项目，工程监理的内容主要是包括 3 部分：

（1）对工程安全进行监理；

- (2) 对建设工程部分的质量和投资进行监理，如土方开挖、土方运输和回填等；
- (3) 对施工进度进行监理。

2、工程监理工作程序

工程监理的工作程序包括：

(1) 准备工作

通过审查相关文件和现场踏勘，核实的工作内容包括，按工程建设进度、分专业编制工程建设监理实施细则等。

(2) 施工过程监理

按照监理细则进行建设工程部分的监理，其中包括进度控制、质量控制、造价控制、安全控制、合同管理、协调工程参建方的关系。

(3) 参加竣工验收

参与工程效果评估和竣工验收，签署建设监理意见。建设监理工作完成后，向甲方提交工程建设监理档案资料。

7.2 二次污染防治

7.2.1 工程实施过程中环境影响分析

污染土壤修复过程中产生的环境影响包括：

- (1) 地上废弃物（包括建筑垃圾）清理时对土壤和地下水造成的二次污染；
- (2) 对污染土壤进行挖掘清理以及运输时产生的挥发性、半挥发性有机物和粉尘，场地中产生的挥发性和半挥发性有机物如多环芳烃等，具有刺激性气味，且具有致癌效应，如不进行有效控制，对周围居民的日常生活和身体健康产生严重的危害；
- (3) 清洁土壤的挖掘和运输产生的粉尘；
- (4) 对污染土壤进行挖掘清理时，挖掘区渗出的含污染物的废水；
- (5) 堆放污染土壤时扩散到空气中的挥发性有机物和粉尘；
- (6) 堆放污染土壤时渗出的含污染物的土壤水；
- (7) 降雨冲淋污染土壤造成的含污染物径流；
- (8) 修复过程中，修复设施产生的废气和危险废物；
- (9) 挖掘机械和运输车辆的噪声和废气，挖掘机和运输车辆的噪声和废气是暂时的，只在工程施工期间产生；
- (10) 开挖时可能存在氨挥发，产生刺激性气味，对施工人员产生影响。

7.2.2 环境保护措施

1、水污染控制

- (1) 施工期间，基坑渗水、土壤处理产生废水、堆放渗水、车辆清洗废水、含污染物冲洗废水和径流、生活废水等都统一收集，检测达标后纳管排放；
- (2) 采取防雨手段（搭棚或覆盖），减少进入污染土堆的雨量。

2、扬尘和废气污染控制

(1) 挖掘过程

a) 施工单位必须选用符合国家卫生防护标准的施工机械设备和运输工具，采用专业设备比如雾炮控制扬尘（图 7.2-1），确保其废气排放符合国家有关标准；



图 7.2-1 雾炮降尘

b) 在对污染区域进行挖掘时，应注意按具体污染程度安排挖掘进度。避免重度污染土壤大量暴露在空气中散发恶臭和异味；

c) 对挖掘产生臭味，采取的环保措施包括：

①采用生物类除臭剂彻底去除臭味，保证施工人员的健康与安全；

②挖掘土壤时，如果出现异味较重现象，则停止挖掘作业，对周围空气进行除臭，然后，一边缓慢挖土，一边喷洒气味抑制药剂（图 7.2-2）；

③用雨布及时遮盖临时堆场的土堆，抑制异味转移到空气。

(2) 暂存和修复过程

a) 对存在异味的污染土壤，在暂存和处理过程均需控制尾气逸散，控制办法包括建设密闭大棚及其尾气处理设施、喷洒气味抑制药剂、膜覆盖等等，可根据实际情况自行选用；

b) 运输垃圾、渣土、砂石的车辆必须取得“运输车辆准运证”，实行密闭式运输；

c) 尽可能将会产生大气污染的工序放在大气污染敏感点的下风向，为实现有效防止排放的达标废气气味对周边居民的产生感官影响，废气治理装置和排气筒的位置与周边商住区的距离不得小于 20 米，排气筒高度原则上不得高于 15 米。



图 7.2-2 气味抑制剂喷洒

3、固废污染控制

(1) 尽可能地少在土壤未受到污染的地面上进行有关治理施工的活动，尽可能地缩小治理工作活动的范围；

(2) 应避免在大风季节以及暴雨季节进行清挖施工作业；

(3) 对地上废弃物（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。

(4) 施工现场设立专门的废弃物临时储存场地，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。

(5) 施工现场设置专门垃圾箱派专人管理和清理。

(6) 修复治理过程中产生的危险废物按相关规定处置。

(7) 污染土壤及固体废物的暂存场所要有防止飞扬、泄露、渗漏等措施，例如建设封闭空间、覆盖、铺设防渗层；

(8) 废水废气治理产生的固废，经判别属于危险废物，要按照《固体废物污染环境防治法》等相关的管理要求进行最终处置。

4、噪声污染控制

污染土壤修复工作中，产生噪声的环保措施：

(1) 高噪声设备布局远离居民区，运输线路尽量远离居民区，

(2) 加强施工管理，尽量降低施工现场噪声。

(3) 规范施工时间，尽量减少夜间施工，需要夜间施工应及时报批，采取有效措施避免扰民。

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

(5) 负压抽气泵和尾气处理设备的安装位置与周边已经存在和即将入住居民区的距离不少于 200 米。

7.3 修复效果评估

应委托第三方机构对该地块的土壤及地下水修复效果进行评估，其工作内容及程序，应按照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》及《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》等相关技术导则开展。修复效果评估方案应由修复效果评估单位编制。

7.3.1 评估内容

修复效果评估主要包括 3 部分内容：

- (1) 清挖后的遗留基坑效果评估；
- (2) 异位化学氧化修复处理后的土壤效果评估；
- (3) 修复过程中潜在的二次污染区域效果评估。

7.3.2 评估程序

依照《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）要求，本地块效果评估程序依次为更新地块概念模型、布点与采样、效果评估、提出后期环境监管建议及编制效果评估报告五个阶段，现场评估工作程序如下：

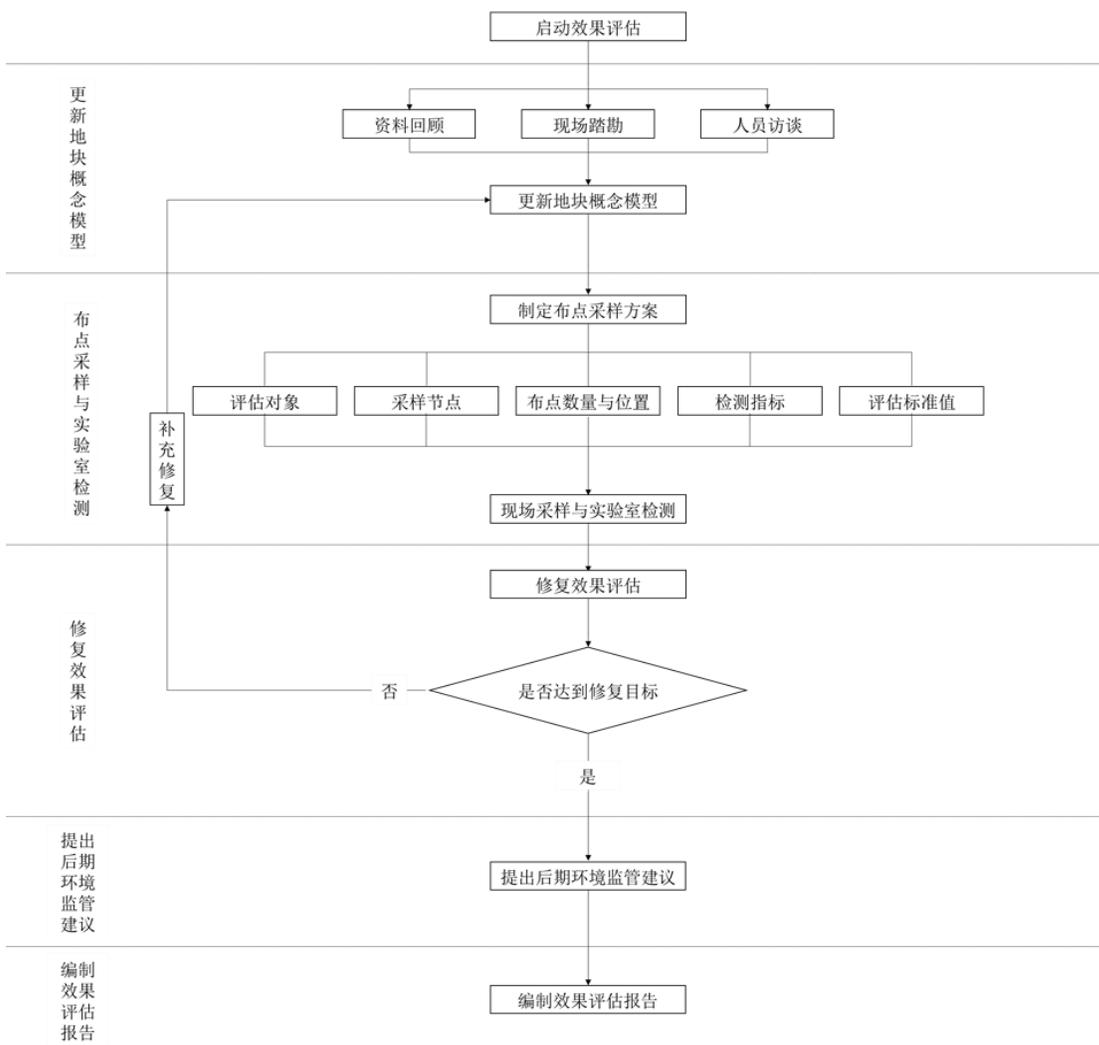


图 7.3-1 修复效果评估程序

7.3.3 评估目标及标准

由业主委托第三方单位对本项目修复效果进行评估。具体评估内容按照通过专

家评审确认的评估方案实行。

(1) 基坑清挖效果评估标准

基坑土壤评估标准值为地块调查评估、修复方案或实施方案中确定的修复目标值；检测指标为修复目标污染物。详见表 7.3-2。

表 7.3-2 土壤修复目标值 (mg/kg)

序号	污染物名称	修复目标值 (mg/kg)
1	1,2,3-三氯丙烷	0.05
2	苯并(a)芘	0.55
3	二苯并(a,h)蒽	0.55

(2) 异位修复后土壤效果评估标准

根据《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）要求，化学氧化修复后的土壤效果效果检测指标，除修复目标污染物的之外，还应包括化学氧化产生的二次污染物。化学氧化修复的潜在二次污染物的评估标准值参照 GB 36600 中一类用地筛选值执行，或根据暴露情景进行风险评估确定其评估标准值，风险评估可参照 HJ 25.3 执行。具体二次污染物的种类和效果评估标准，应由后期效果评估单位进一步确定。

(3) 潜在二次污染区域土壤效果评估标准

潜在二次污染区域土壤样品检测目标及评估标准与异位修复后土壤一致。

7.3.4 评估方法

(1) 基坑效果评估

基坑清理效果评估对象为地块修复方案中确定的基坑。污染土壤清理后遗留的基坑底部与侧壁，应在基坑清理之后、回填之前进行采样。若基坑侧壁采用基础围护，则宜在基坑清理同时进行基坑侧壁采样，或于基础围护实施后在围护设施外边缘采样，可根据工程进度对基坑进行分批次采样。

基坑底部和侧壁推荐最少采样点数量见表 7.3-3。当基坑深度大于 1m 时，侧壁应进行垂向分层采样，应考虑地块土层性质与污染垂向分布特征，在污染物易富集位置设置采样点，各层采样点之间垂向距离不大于 3m，具体根据实际情况确定。基坑坑底和侧壁的样品以去除杂质后的土壤表层样为主（0~20cm），不排除深层采样。

表 7.3-3 基坑底部和侧壁推荐最少采样点数量

面积 (m ²)	采样点数量 (个)	边界采样点数量 (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

(2) 异位修复后土壤效果评估

异位修复后土壤效果评估的对象为异位修复后的土壤堆体。修复后土壤原则上每个采样单元（每个样品代表的土方量）不应超过 500m^3 ；也可根据修复后土壤中污染物浓度分布特征参数计算修复差变系数，根据不同差变系数查询计算对应的推荐采样数量。

修复后土壤一般采用系统布点法设置采样点，同时应考虑修复效果空间差异，在修复效果薄弱区增设采样点。重金属和半挥发性有机物可在采样单元内采集混合样，采样方法参照 HJ25.2 执行。修复后土壤堆体的高度应便于修复效果评估采样工作的开展。

（3）潜在二次污染区域土壤效果评估

潜在二次污染区域土壤原则上根据修复设施设置、潜在二次污染来源等资料判断布点，也可采用系统布点法设置采样点，采样点数量参照导则中表 1 采样点数量。

潜在二次污染区域包括：污染土壤暂存区、修复设施所在区、固体废物或危险废物堆存区、运输车辆临时道路、土壤或地下水待检区、废水暂存处理区、修复过程中污染物迁移涉及的区域、其他可能的二次污染区域。

7.3.5 后期监管建议

根据导则要求，若修复后土壤中污染物浓度未达到 GB 36600 第一类用地筛选值，则应开展后期环境监管，原则上后期环境监管直至地块土壤中污染物浓度达到 GB 36600 第一类用地筛选值、地下水中污染物浓度达到 GB/T 14848 中地下水使用功能对应标准值为止。

后期环境监管的方式一般包括长期环境监测与制度控制，前者针对风险管控地块。本地块若修复后土壤中污染物浓度未达到 GB 36600 第一类用地筛选值，则需开展制度控制。

制度控制包括限制地块使用方式、限制地下水利用方式、通知和公告地块潜在风险、制定限制进入或使用条例等方式，多种制度控制方式可同时使用。

7.4 环境应急预案

7.4.1 总则

根据《中华人民共和国安全生产法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的要求，为确保安全生产及施工人员的生命安全，防止可能发生的紧急情况继续扩大，并尽可能地排除险情，减少事故造成的人员伤亡、财产损失和对环境产生的不利影响。同时，为了能在事故发生后，使承担事故救援的人员和队伍分工明确，应急救援工作有条不紊的迅速展开，及时控制危险源，抢救受伤人员，指挥群众防护和疏散，特制定本应急预案。

7.4.2 适用范围

本应急预案适用于本项目修复过程中意外突发环境污染事故以及对附近居民、公众有健康和安全影响的环境污染事故。

7.4.3 应急组织机构、人员和职责

- (1) 组织制订环境事故应急总体原则，对该场地修复方案实施过程中的应急准备工作提出指导性意见；
- (2) 发生重大事故时，由相关部门发布和解除应急开始及终止的命令，发布信息及信息，实施救援行动；
- (3) 负责人员资源配置、应急队伍的调动；
- (4) 直接对招标人和有关政府管理部门负责；
- (5) 监督、检查安全生产、环境保护、应急准备工作的落实情况。

7.4.4 应急流程

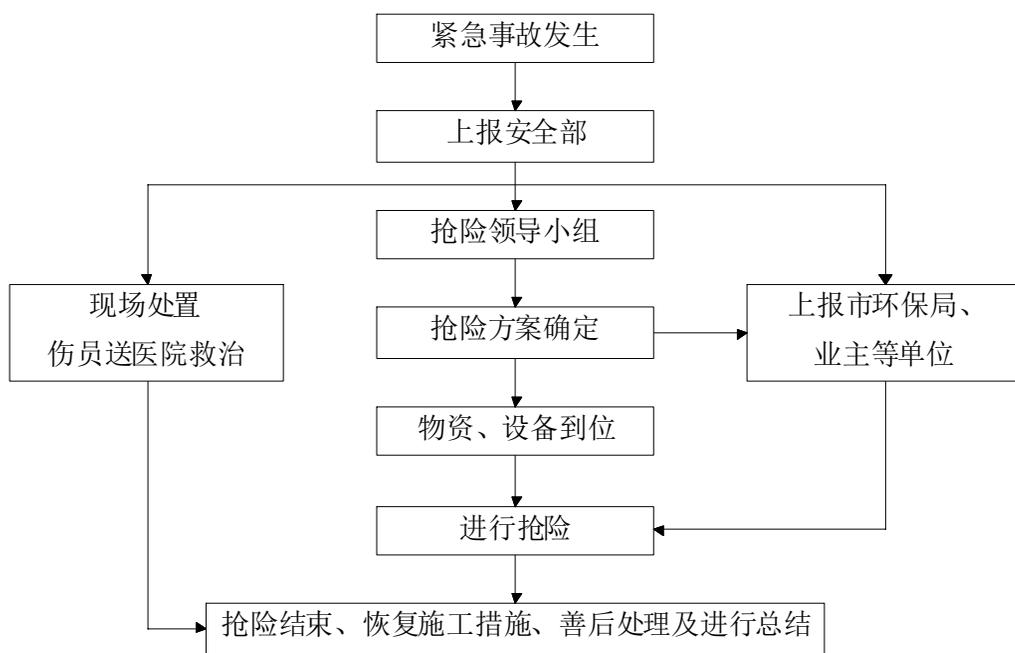


图 7.4-1 应急流程图

7.4.5 危险事故分析

根据本项目的特点，主要可能存在的危险事故为修复施工过程中，燃料泄露、火灾、触电、基坑坍塌、人员中毒、易燃易爆等。

7.4.6 应急措施

一、火灾防范及应急措施

在修复场地的关键区域及涉及重要电器设施的位置布设一定数量的灭火器，定期检查并保证其使用的有效性，以备发生意外火灾事故。

若现场发生火灾，当火势较小时，施工人员应立即就近使用灭火器；当火势较强时，应立即向工地其他安全地段转移，并及时拨打 119/120 通知消防部门和医疗机构，对火灾逃生中受伤的人员进行救护。当火灾发生时和扑救完毕后，应急小组要派人保护好现场，等待对事故原因及责任人的调查，同时应立即采取善后工作。此外，灾后应组织人员对作业区域的配电线路、供电设备等状况检测或试验一次。对安全隐患在作业前整改到位，全面消除隐患。损坏的电器线路和设备按临时用电

方案恢复，并经验收合格。

二、触电事故应急措施

立即切断电源。用干燥的木棒和竹竿等绝缘工具将电线或电源断开。观察伤员情况，如果触电者心跳和呼吸微弱甚至停止，抢救者应给予胸外心脏按压和人工呼吸，在医生到来之前不要中途停止、不要放弃抢救。

三、坍塌事故应急措施

挖掘坑边坡出现坍塌，首先按部位抢救受伤人员，其他人员采取有效措施，随时监护边坡状况，及时清理边坡上堆放的材料，以防造成再次事故的发生。

四、人员中毒应急措施

由于本项目开挖土壤所含污染物可能对人体健康产生危害，因此，在工程开工前，对全体人员进行安全教育。在施工过程中加强劳动保护，所有进出现场的人员必须佩戴相应防护用品，工作现场禁止吸烟、进食和饮水。工作后，彻底清洗。

现场中毒事件发生后，应立即联系医疗等部门，禁止盲目施救，并确认事故地点。根据实际中毒情况，轻度中毒人员应立即带离现场，到空气新鲜的地方，解开衣领、腰带，取出口、鼻内可能有的分泌物，使中毒者仰卧并头部后仰，保持呼吸畅通，注意身体的保暖，并送入医院进行相关的治疗；对中毒严重者，如出现呼吸停止或心跳停止，应立即按常规医疗手段进行心肺脑复苏。如呼吸急促、脉搏细弱，应进行人工呼吸（有条件的可使用呼吸器），给予吸氧，并及时送往医院救治。

针对本项目所在厂区北门，距离最近的医院（宁阳县第一人民医院）约 600m，步行时间约 5-10 分钟，路线见下图：



图 7.4-2 人员急救最近医院交通路线图

五、其他应急措施

1、突发停电应急措施

现场要配备发电机，以备突发停电事故时，可以使一些必须的设备能够正常运行。

2、突发停水应急措施

施工中洒水、降尘或洗车时，为防止突发停水事故影响施工，现场要配备抽水设备，抽取处理合格的水作为施工用水，必要时现场还应停放水车。同时专业人员应立即检查原因，抢修及早恢复正常。

3、防盗应急措施

施工现场设置安全保卫小组，24小时轮流值班、巡视现场，发现紧急情况立即拨打110/119救援电话，同时组织人力尽量控制事态的发展。

4、传染病应急措施

当施工现场发生流行性强、致命性强传染病时，应尽快查出致病原因，实施有针对性的救治措施，实时启动应急预案。对患者的住处、用品和垃圾进行消毒处理，对接触过患者的所有人员进行排查，防止交叉感染。对患者的转送应由防疫中心的专业人员实施。

为防止事态扩散，对感染者周围接触人群安排体检，及时隔离感染者住处，避免疫情的扩散。

项目根据疫情防控需要，为防治工作提供保障药品、器械和医用防护用品的物质储备。项目为员工提供部分防护用品，个人自备一些药物和防护用品。

7.4.7 个人防护

一、防护等级

配备个人防护器材的目的是遮蔽或隔离员工，使其免于受到污染物危害。

现场应有以下种类的个人防护器材：安全帽，防护眼镜（带永久固定的侧护板），护目镜，面罩，铁头橡胶靴，手套（腈、棉、皮、异丁橡胶、氯丁橡胶），带有机气体和颗粒物滤盒的全面防尘防毒面罩，氧气瓶，防护服（麦克斯轻便连体服L/AMN428E）等。

二、防护器材使用原则

为了达到个人防护器材的最佳使用效果，所有使用个人防护器材的现场人员应遵守以下步骤：①当使用一次性连体工作服时，在每次休息后或每次轮班开始前穿上一件干净的新工作服。②在使用前和使用时，检查所有衣服、手套和靴子是否存在接缝瑕疵、不均匀涂层、撕裂、无法正常工作的封口。③在使用前和使用时，检查可重复使用的工作服、手套和靴子是否存在、化学渗透的明显痕迹、膨胀、褪色、变硬、变脆、裂缝、任何刺穿的痕迹、任何磨损的痕迹。

如果存在以上特征，可重复使用的手套、靴子或连体工作服也应被抛弃。在已知或怀疑存在高浓度化学品的区域工作时，不应重复使用个人防护器材。

三、有机污染区作业的个人安全防护

由于风险评估结果表明场地中的污染物质会对人体健康造成危害，且场地部分区域具有刺激气味，建议施工人员在有机污染区域作业时，佩戴半面式防尘面具，阻止人员直接吸入带有污染物的土壤颗粒或异味导致身体不适。在污染区密闭处置车间内作业的人员为直接接触人员，必须严格按照表 7.4-1 中要求佩戴的个人防护用品。

表 7.4-1 个人防护用品建议表

序号	防护用品	说明	直接接触人员	非直接接触人员
1	防毒面具	3M®752 硅质半面具或等效产品	☑	
2	高效滤尘盒	3M®793 或等效产品与 752 配套	☑	
3	护目镜	防化学护目镜，可防水、防雾气	☑	☑
4	折叠式防尘口罩	3M®91A 或等效产品		☑
5	工作服	长袖、长裤，具有短时间防水功能	☑	☑
6	劳保手套	丁腈涂层，手背无涂层，可透气	☑	☑
7	劳保鞋	铁头，大底、双密度 PU，防穿刺	☑	☑
8	防水靴	能防护常见化学品	☑	☑

在滤盒被穿透前或至少每天更换滤盒。当员工感到吸入阻力开始增加或化学指示特性开始穿透时，也应更换滤盒。

呼吸器和其它非一次性器材应被彻底清洁后置于洁净的存储区域。至少每天清洁一次呼吸器。将面罩拆卸下来，扔掉滤盒，将所有其它部件置于清洗液中。在浸泡适当的时间后，取出部件再放入自来水中。

面罩可自然风干，然后置于无菌袋内，存放于洁净区域。

7.4.8 应急装备

为避免场地生产过程风险的发生，各企业应配备以下应急设施、装备和器材，包括：

内部联络或警报系统以及请求外部支援的设施，包括应急联络的电话、对讲机、传真等通信设备。还包括信息采集和监测设备。

包括应急监测的设施、设备、药剂、气象监测设备、便携式污染物监测设备（如手持式 VOC 气体检测仪，PID）等。

包括应急辅助性设施和设备。如应急照明、应急供电系统等安全防护用具。包括保障一般工作人员、应急救援人员的安全防护设备、器材、服装，安全警戒用围栏、警示牌等。应急人员防护设备有：防护服、呼吸器、防毒面具、防毒口罩、安全帽、长统靴等。包括应急医疗救护设备和药品。

7.5 公众参与社会维稳

公众参与即在场地修复作业前及场地修复作业过程中，现场施工人员和技术人员配合业主、利益相关方、周边居民及相关人员之间工作的协调、配合及参与。同时配合对当地相关部门及人员关于场地修复知识的宣传，并配合制定相应的宣传计划。

公众参与的目的在于通过公众宣传，使当地相关政府人员及周边居民对场地修复有充分的、全面的认识。即认识到污染土壤对环境的危害性，并能理性的对待其危害性。通过合理充分的公众宣传及协调沟通工作，消除当地相关政府人员及周边居民对场地修复工作的恐慌与骚乱，并得到他们的支持与配合，使本次场地修复作业能安全、顺利的进行。

在施工工地现场入口显眼处，安放施工告示牌，告示牌主要有：项目概况牌、文明安全施工牌、应急措施告示牌、施工组织牌。其中项目概况牌简要介绍该工程的来由及意义；文明施工牌规定了在施工过程中的工作纪律及安全事项；应急措施告示牌主要内容是在施工过程中出现的意外情况的解决方法及措施；施工组织牌内容为工程项目的管理组织框架，并明确各岗位的工作分工。

7.6 疫情期间安全防护

- 1、对工作人员充分做好宣传工作，对预防常识等进行宣传，同时教育大家要正确对待，提高自身的预防意识。
- 2、施工现场设置专职卫生员对人员进行定期测温、登记。核对人员情况，每天不得少于两次，一旦发现有发热、乏力、干咳等症状或体温异常者，立即报告属地社区、街道，并协助其到就近的医疗机构发热门诊就诊。
- 3、配备足够的防疫物资，如口罩、消毒液等。
- 4、除工作需要外，避免去人口密集、通风差的区域，要注意休息，保证有充足的睡眠。

8 成本效益分析

8.1 修复费用

根据第 6 章内容，异位化学氧化的处置成本约 500-1500 元/m³，本次估算取中间值 1000 元/ m³，本地块需修复土壤方量 12967.74 m³，异位化学氧化处置成本约 1296.78 万元。考虑其他费用：基础建设、土方工程、监理和效果评估等。修复费用总计约 1680.34 万元。

8.2 环境效益

该项目属于环境治理项目，着重解决本地块环境污染问题，消除潜在的区域污染源，项目实施成功将有利于区域环境保护和生态环境质量的改善，环境效益显著。

通过本项目的实施，有利于土壤环境保护，解决有毒有机物污染治理面临的紧迫难题。当前，环境污染对人体健康的影响无孔不入，大气、水体、土壤、蔬菜、粮食等途径均可对人体健康产生一系列的影响，污染场地由于聚集大量高浓度污染源，对人体健康的影响更为直接和持久，且此类用地大多作为较敏感的住宅类用地或开展工商业活动的场所，与人的接触更为频繁和持久，由此引发的人体健康关注更为敏感。有毒有机污染物在环境中具有很强的迁移性，且容易被生物富集，对环境和人体健康的威胁更大。在此背景下，开展污染场地的治理，对于改善环境质量，保护人民群众的身体健康意义重大，对保证社会经济可持续发展和生态系统良性循环具有积极作用，同时减轻了当地企业用地污染。本项目实施以后，地块将按照利用规划建设商住区。

8.3 社会效益

该项目顺利实施完成后，将对社会产生如下影响：

（1）项目对所在地区文化、教育的影响

通过对技术的可行性研究，选用适合本项目的污染治理技术。先进技术的引入和实施不仅能促进地区之间的文化技术交流，促进地区科技进步，同时技术的实施需要培训一批专业技术人才，促进当地的科技水平的提高。

（2）项目对所在地区城市化进程的影响

推进城市化进程是我国今后发展的一个必然趋势，全面加快推进城市化是我国全面建设小康社会的重要载体，也是各级党委和政府执政为民的具体体现。推进城市化进程，要把城市化规划与整个经济社会发展规划、用地规划、环保规划等重要规划协调好，注意经济与社会、环境统筹科学地发展，通过市场化运作，作好土地经营和增值，加大城市基础设施建设市场化运作力度。本项目解决了泰安市宁阳县环境保护的一大难题，将一块位置非常优越的土地改良升值，实现环境保护和城市化进程双丰收，对城市化进程起到重要作用。

场地修复项目的实施有利于提高民众的环保意识，是一项造福于人类的具有极大社会效益的项目。

①项目对所在地居民收入的影响

本项目的成功运作不仅可有效改善当地生态环境，同时将因为地价升值，提升区域优势等，吸引资金，从而有效拉动当地经济的快速发展，当地居民将有更多的就业机会，收入将有所提高。

②项目对所在地区居民生活水平和生活质量的影响居民收入的增加是改善居民生活水平的主要方面，同时环境质量的提高，生态环境的改善，将给当地居民创造一个清新干净的居住空间，让人们身体健康、安居乐业，从而进一步提高居民的生活质量。

③项目对所在地区居民就业的影响

该项目的建设和运营需要不少人力，能暂时解决部分居民的就业问题。本项目运营期短，对居民就业问题的影响作用不明显，运营后地区发展而带动居民就业或就地自我经营等作用会更显著。

④项目对所在地区不同利益群体的影响

本项目属于环境治理工程，应该说受益的是全市市民，从长远来说全社会人民以及子孙万代均受益不穷。

⑤项目对所在地区弱势群体的影响

妇女、儿童、残疾人员属于弱势群体，是环境污染最容易受影响的群体。项目规划住宅，居民包括一些弱势群体，可显著改善生活条件。

(3) 对国家可持续发展战略的影响

当前，实施可持续发展战略已成为我国国民经济和社会发展的基本指导方针。实施可持续发展的一个重要途径，就是把环境保护纳入综合决策，转变传统的经济增长模式。本项目解决了环境污染问题，对当地的发展，对我国可持续发展战略的实施起着非常重要的促进作用。

项目建设期间可增加人员就业机会，修复完成后，根据场地的不同规划用途又给当地社会带来不同程度的就业机会。

8.4 经济效益

地块将开发为商业住宅楼，本地块的修复是住宅楼可安全使用的保障。在对地块进行持续生态恢复的同时，将建设周边配套的服务行业，增加就业，也将产生一定的经济效益。

9 结论与建议

9.1 结论

根据本地块调查与风险评估的结论，按照我国相关法律、法规、标准、规范等文件的要求，以“消除污染，恢复环境”为出发点，遵循“安全性、规范性、可行性、经济性”的原则，并结合当地的实际情况，编制了该地块土壤修复方案。通过组织实施，能够有效消除该场地污染土壤的环境风险，确保该场地土地的安全使用，满足相应用地功能的土壤环境要求。

本报告主要结论如下：

- (1) 根据风险评估结果，本地块需修复污染物包括 1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)蒽、二苯并(a,h)蒽，其修复目标值分别为 0.05 mg/kg、0.55 mg/kg、0.55 mg/kg。
- (2) 地块风险管控与修复区域面积为 7900.38m²，需修复土方量 12967.74m³。
- (3) 本地块土壤修复方案经比选后建议选用异位化学氧化技术作为本地块的推荐修复技术。根据可行性评估，采用该技术开展本地块的修复能够达到较好的效果。经初步测算，该地块修复费用总计约 1680.34 万元，工期时长约 90 天。
- (4) 本地块的修复施工过程中应做好环境监理、工程监理、二次污染防治、修复效果评估、环境应急等相关工作。

9.2 建议

- (1) 该地块原企业生产历史较长，情况复杂。在开展正式调查时已进行了拆迁，给地块调查工作带来了不确定性因素，建议在地块污染土壤清理施工过程中，还需要时刻关注和防范现场突发情况。
- (2) 建议在修复工程实施过程中，根据现场情况实时调整污染土壤清理边界，以保证地块修复方案能够达到预期目标。
- (3) 由于地块距离居民区较近，建议在地块施工过程中密切注意噪声、空气污染情况，防止因措施不到位对周边生态环境及居民区环境造成影响。
- (4) 对拟采用的化学氧化修复技术，建议开展小试试验，以进一步确定相关具体技术参数。
- (5) 对该地块实施修复工程前，应进行必要的环境影响评价。
- (6) 根据国家相关要求，完成效果评估后，应制定具体后期管理方案，并采取长期监测和制度控制等后期管理措施。

附件一 山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染状况调查报告专家意见

《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染状况调查报告》

专家评审意见

2020年4月20日，泰安市生态环境局会同市自然资源和规划局主持召开了《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染状况调查报告》(以下简称“报告”)评审会。参加会议的有泰安市生态环境局宁阳分局、宁阳县自然资源和规划局、山东晋煤明升达化工有限公司(业主单位)、生态环境部南京环境科学研究所(报告编制单位)、江苏京诚检测技术有限公司(检测单位)。会议邀请了3位专家组成专家组(名单附后)。与会人员经现场踏勘并听取了报告编制单位的汇报，经质询和讨论形成如下意见:

一、总体评价

1、报告编制和工作程序符合相关技术导则和指南的要求，技术路线合理、内容较全面、结论总体可信，经修改完善后可作为开展后续工作的依据。

2、报告修改完善经专家认可后通过评审。

二、建议:

1.进一步完善特征污染物分析，核实有关特征污染物监测因子的设置和检测结果;

2.完善现状监测质控报告;

3.细化完善数据统计分析、评价、结果与讨论;

4.结合实际氨释放情况完善土壤中氨氮的暴露情景和筛选值计算。

专家组:

黄芸
黄煜毅
黄煜

2020年4月20日

《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地 土壤污染状况调查报告》复核意见

经复核，报告基本完成了评审意见的修改要求，同意通过评审。
注意数据评价小结与结论与增加检测内容的对应。

黄莹
2020. 4. 11

《山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染状况调查报告》
评审论证会专家签到表

会议时间：
会议地点：

序号	姓名	职务/职称	工作单位	签字
1	黄芸	研究员	山东省环科院	黄芸
2	黄煜	副教授	山东大学	黄煜
3	黄捷	高工	山东省济南环境检测中心	黄捷
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

附件二 山东晋煤明升达化工有限公司退役场地土壤污染风险评估报告专家意见

《山东晋煤明升达化工有限公司退役地块土壤污染风险评估报告》

专家评审意见

2020年7月1日，山东省生态环境厅会同省自然资源厅主持召开了《山东晋煤明升达化工有限公司退役地块土壤污染风险评估报告》（以下简称“报告”）评审会（视频会议）。泰安市生态环境局、自然资源和规划局，泰安市生态环境局宁阳分局，山东晋煤明升达化工有限公司等单位代表参加会议。会议邀请了5位专家组成专家组（名单附后）。会议听取了报告编制单位生态环境部南京环境科学研究所的汇报，经质询和讨论形成如下意见：

一、总体评价

1. 报告编制和工作程序符合相关技术导则和指南的要求，技术路线合理、内容较全面、结论总体可信，经修改完善后可作为开展后续工作的依据；

2. 报告评审通过但需修改。

二、主要意见与建议

1. 补充完善地块前期调查、风险评估与修复工程的资料，完善有关附件；
2. 进一步核实土壤和地下水中污染物筛选值的计算；
3. 建议对地下水中氨氮进行风险评估；
4. 优化修复方案及后期环境管理建议。

专家组签字：



2020年7月1日

《山东晋煤明升达化工有限公司退役地块土壤污染风险评估报告》专家评审意见修改说明

2020年7月1日，山东省生态环境厅会同省自然资源厅主持召开了《山东晋煤明升达化工有限公司退役地块土壤污染风险评估报告》（以下简称“报告”）评审会（视频会议）。

会议专家组同意“报告”通过，提出4条修改完善意见，现已按专家意见对评估报告进行了修改完善，完善说明如下：

1. 补充完善地块前期调查、风险评估与修复工程的资料，完善有关附件。

已在2.4.1章节细化和完善前期调查和风险评估以及修复工程开展情况的内容。补充了本报告的附件3水文地质勘察报告。

2. 进一步核实土壤和地下水中污染物筛选值的计算。

已进一步核实和计算土壤和地下水中污染物的筛选值结果，与前期调查报告结果一致。筛选值计算原则：GB36600-2018第一类用地筛选值未包含的土壤污染物筛选值，使用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中规定的默认参数推导计算。参照《地下水污染健康风险评估工作指南》，地下水风险评估程序中首先判断检出指标是否属于有毒有害物质。地下水有毒有害物质指标首先参照《地下水质量标准》（GB/T 14848）中的IV类标准，没有的则参照《生活饮用水卫生标准》（GB 5749）进行对比，以上标准中未列出的污染物则直接作为关注污染物进入下一步风险评估。氨氮则从人体健康风险、室内空气标准、嗅阈值等三个方面计算出综合筛选值。

3. 建议对地下水中氨氮进行风险评估。

在前期的《山东晋煤明升达化工有限公司退役地块土壤污染状况调查报告》中，已开展人体健康风险评估，并结合室内空气标准、嗅阈值两方面计算出了地下水中氨氮的综合风险筛选值，地下水中氨氮浓度未超过该筛选值。详见报告的2.4.2.4章节。

4. 优化修复方案及后期环境管理建议。

回复：已优化修复方案部分，详见章节7，完善细化了已有的修复方法，并补充了新的修复方法及其优缺点介绍，并通过对比初步筛选出了适用修复技术，建议后期开展修复方案设计时，充分考虑客观条件、经济性、实用性等因素，进

行进一步的筛选比较。

已在报告结论和建议部分章节 8.2 增加地块后期施工过程中对氨氮的针对性防护环境管理建议：为防止氨氮随地下水进入地下室，未来房地产开发地下室需达到《地下室防水技术规范》（GB 50108-2008）中一级防水标准。地块开发建设过程中，基坑坑底的阻隔材料渗透系数应不小于 10^{-7} cm/s。在地块施工过程中，可采取控制污染区开挖面积，优化开挖计划，必要时在开挖过程中实施气味抑制措施，控制施工现场的氨气浓度。施工过程中氨气限值执行《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ2.1-2007）规定氨的职业接触限值：20 mg/m³（8h 加权平均容许浓度）。同时，注意对施工人员个人防护，加强监测，避免影响地块内人员及地块外居民。

专家组复核签字：



 2020年7月15日

《山东晋煤明升达化工有限公司退役地块土壤污染风险评估报告》
视频评审会专家名单

姓名	职务/职称	工作单位	联系电话	签名
张克峰	教授、博士生导师	山东建筑大学	13553195176	张克峰
刘华峰	高级工程师	山东省地质调查院	13805419592	刘华峰
黄理辉	教授	山东大学	13808933450	黄理辉
任丽	高级工程师	香山红叶建设有限公司	15589989906	任丽
申中华	高级工程师	中国冶金地质总局山东正元地质资源勘查有限公司	15854125823	申中华