



[内部资料. 注意保存]

# 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

生态环境部南京环境科学研究所

二〇二〇年五月

## 保密声明

项目委托方和受托方为该项目技术资料、图件、数据等资料的责任方，双方均负有保密义务；未经双方许可，不向第三方提供本报告的相关技术资料与数据。

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

二〇二〇年五月

## 服务承诺声明

本项工作的开展以国家相关技术标准及国内外通行技术规范为指导，以现场实际情况、委托方提供的相关资料、数据、图件等为基础，经过专业分析与判断编制工作方案。根据确定的工作方案组织开展现场勘查、采样、数据分析及风险评估等工作；咨询服务结论的完整性与准确性受资料完整度、数据可靠度以及合同约定的工作范围、工作时间、工作经费等客观条件制约。

本单位承诺按照工作方案要求，尽职尽责、规范工作、真实记录、并充分利用专业经验和科学知识提供专业咨询。同时，本单位强调由于咨询工作受上述多种客观条件的制约，并无法满足超出合同范围的调查评估要求。

本报告不适用于环境污染事故鉴定、污染责任界定等法律用途。

本项目承担单位对该咨询项目技术相关内容有最终解释权。

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

二〇二〇年五月

<p>中华人民共和国 事业单位法人证书 (副本)</p> <p>统一社会信用代码 121000004660002727</p> <p>gjsy.gov.cn</p> <p>有效期 自2018年12月20日 至2023年12月20日</p>	<p>名称 生态环境部南京环境科学研究所</p> <p>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 化学品污染防治技术研究 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</p> <p>业务范围</p> <p>住所 江苏省南京市玄武区蒋王庙街8号</p> <p>负责人 赵克强</p> <p>经费来源 财政补助收入、事业收入</p> <p>开办资金 ¥6848万元</p> <p>举办单位 生态环境部</p> <p>登记管理机关</p>
---	---

仅用于报告编制使用

生态环境部 事业单位登记管理局 证书专用章

国家事业单位登记管理局监制

# 目 录

1 项目背景.....	1
2 概述.....	3
2.1 编制目的.....	3
2.2 风险评估范围.....	3
2.3 编制依据.....	4
2.3.1 相关法律、法规、政策.....	4
2.3.2 相关标准.....	4
2.3.3 相关技术导则、规范.....	4
2.3.4 参考的国外标准、指南.....	5
2.3.5 其他文件.....	5
2.4 前期工作汇总.....	6
2.4.1 2015-2017 年间调查和修复情况汇总 .....	6
2.4.2 我单位实施的前期调查情况汇总.....	9
2.5 风险评估程序.....	9
3 地块概况.....	12
3.1 区域环境概况.....	12
3.1.1 地理位置.....	12
3.1.2 地形地质条件.....	13
3.1.3 水文.....	13
3.1.4 气象、气候.....	14
3.1.5 自然资源.....	15
3.1.6 区域环境质量.....	15
3.2 地块用地规划.....	16
4 土壤污染状况调查.....	18
4.1 第一阶段土壤污染状况调查.....	18
4.1.1 企业生产情况.....	18
4.1.2 地块及周边现状.....	31
4.1.3 第一阶段土壤污染状况调查结论.....	38
4.2 第二阶段土壤污染状况调查.....	39
4.2.1 地块水文地质调查.....	39
4.2.2 初步采样调查.....	43
4.2.3 详细采样调查.....	69
4.3 第三阶段土壤污染状况调查.....	77
4.4 土壤污染状况调查结论.....	77
4.4.1 调查结论.....	77
4.4.2 超标点位和深度.....	78
4.4.3 超标范围.....	79
5 人体健康风险评估.....	83
5.1 危害识别.....	83
5.1.1 环境危害识别.....	83
5.1.2 地块规划与敏感受体.....	83

5.1.2 关注污染物筛选.....	84
5.2 暴露评估.....	85
5.2.1 暴露途径.....	85
5.2.2 暴露评估计算模型.....	86
5.2.3 评估模型参数.....	88
5.3 毒性评估.....	91
5.3.1 毒性评估参数.....	91
5.3.2 主要污染物的毒性特征.....	95
5.4 风险表征.....	95
5.4.1 致癌风险和危害商.....	95
5.4.2 风险贡献率和参数敏感性分析.....	97
5.5 风险控制值的确定.....	99
5.5.1 风险控制值计算.....	100
5.5.2 超风险点位和深度.....	100
5.7 小结.....	102
6 修复目标和修复范围.....	104
6.1 土壤建议修复目标值.....	104
6.2 土壤污染建议修复区块.....	104
6.3 修复深度和修复方量.....	107
7 修复技术建议.....	113
8 结论与建议.....	122
8.1 结论.....	124
8.2 建议.....	124
8.3 相关性分析.....	125
8.4 不确定性分析.....	125
附件 1 调查报告专家评审意见.....	127
附件 2 调查报告修改专家复核意见.....	128
附件 3 水文地质勘察报告.....	129

## 1 项目背景

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，本项目在退城进园前需做进一步调查评估。

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。工作内容包括但不限于：第一阶段土壤污染状况调查，第二阶段土壤污染状况调查，第三阶段土壤污染状况调查，采样分析，出具土壤和地下水污染状况初步调查、详细调查与风险评估评估报告，调查评估报告的完善修改，通过专家评审论证。

为切实保障地块环境安全，落实相关法律、法规对该地块的要求，2019 年 10 月，生态环境部南京环境科学研究所对该地块开展了土壤污染状况调查工作，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》并于 2020 年 4 月 20 日通过了专家评审。根据调查结果，该地块土壤中的 1,2,3-三氯

丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽最大浓度均超过了《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中的第一类用地标准。根据《污染地块土壤环境管理办法（试行）》要求，本地块需开展进一步的风险评估工作。



## 2 概述

### 2.1 编制目的

污染地块修复前的土壤污染调查评估，主要是为后期污染土壤修复服务。在土壤污染状况调查阶段，通过对相关资料的收集分析和采样监测数据的分析等方法，确定地块污染土壤的主要关注污染物、污染浓度水平、各污染物的分布区域及范围。

风险评估阶段，在土壤污染状况调查的基础上，分析地块土壤和地下水中污染物对人群的主要暴露途径，评估污染物对人体健康的致癌风险或危害水平，并提出基于保护人体健康的关注污染物风险控制目标值。

### 2.2 风险评估范围

本次的风险评估范围和调查范围一致，见图 2.2-1 所示，其中黄色边界内为本次风险评估区域，面积约 169680m<sup>2</sup>。



图 2.2-1 山东晋煤明升达化工有限公司退役场地风险评估范围

## 2.3 编制依据

### 2.3.1 相关法律、法规、政策

- 《中华人民共和国环境保护法》，2015；
- 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2018；
- 《土壤污染防治行动计划》，2016；
- 《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》（国办发[2013]7号）；
- 《污染场地土壤环境管理办法（试行）》环境保护部令第42号，2017；

### 2.3.2 相关标准

- 《危险废物鉴别标准 通则》（GB 5085.7-2019）；
- 《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）；
- 《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）
- 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB  
36600-2018）。

### 2.3.3 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《地下水环境状况调查评价工作指南》等 4 项技术文件的通知，环办土壤[2019]770 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）。

### 2.3.4 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。

### 2.3.5 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。
- 《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。

## 2.4 前期工作总结

### 2.4.1 2015-2017 年间调查和修复情况汇总

#### 一、2015 年山东省环境保护科学研究设计院开展的调查情况

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。

#### 二、2017 年山东华泽环保工程有限公司开展的修复情况

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 2.4-1）。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，则采用异位挖掘土壤后堆垒，异位热脱附设备处理后收集含有机物蒸汽的空气，通过活性炭罐吸收后外排的技术。最终处理过的土壤全部进行回填。

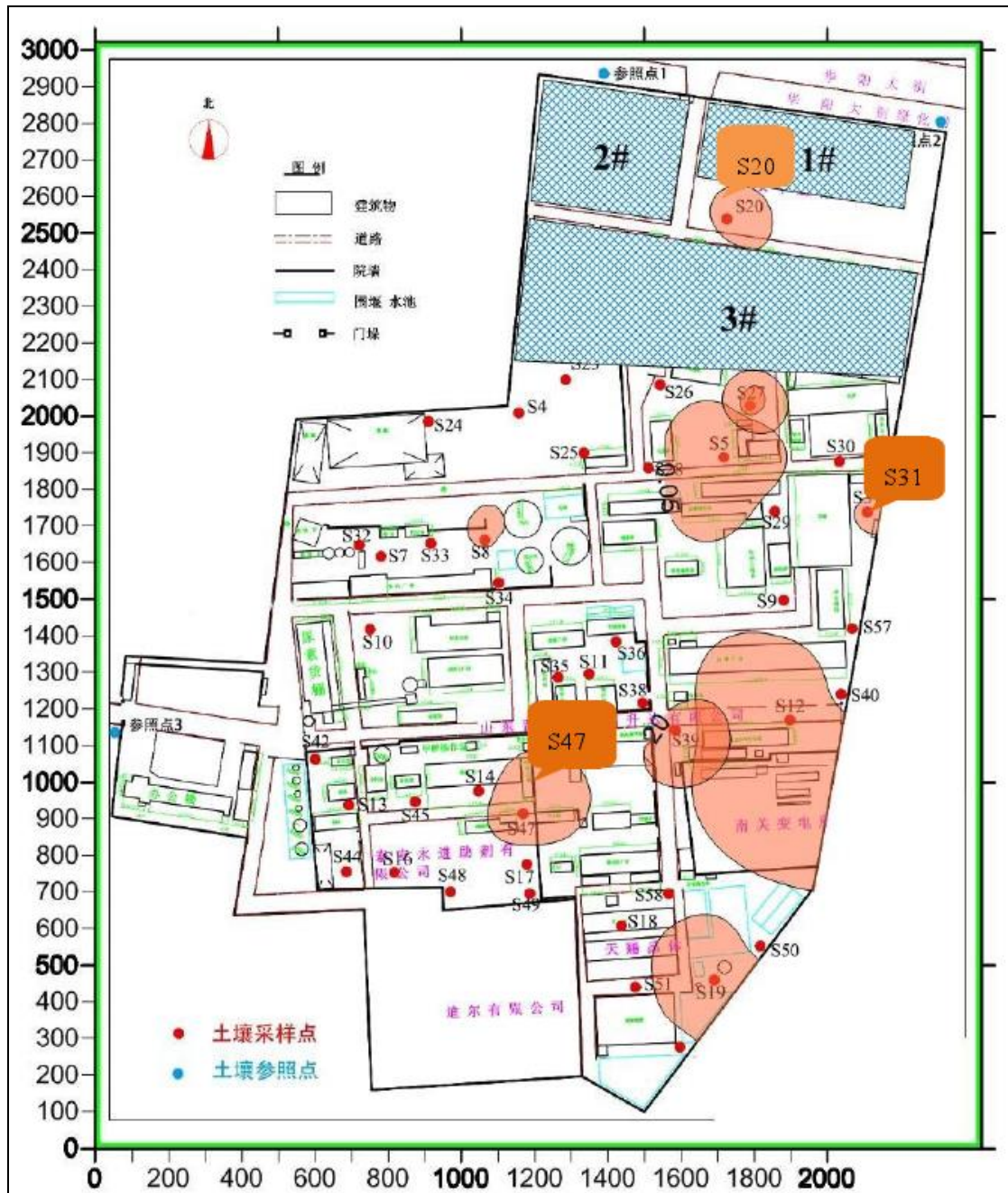


图 2.4-1 施工区域图（图中 S20、S31、S47 区域）

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。

## 2.4.2 我单位实施的前期调查情况汇总

2019年10月，我单位对该地块开展了土壤和地下水污染状况调查，此次调查报告已于2020年4月通过由泰安市生态环境局组织的专家评审。根据调查结果，土壤中的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《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。根据《土壤污染防治法》、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》要求，本地块应针对土壤开展进一步的风险评估工作。

## 2.5 风险评估程序

风险评估按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）实施。根据导则要求，地块风险评估按照危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征以及土壤和地下水风险控制值计算几个方面开展。

### （1）危害识别

根据土壤污染状况调查阶段获取的相关资料和数据，掌握地块土壤和地下水中关注污染物的浓度分布，明确规划土地利用方式，分析可能的敏感受体，如儿童、成人、地下水体等。根据土壤污染状况调查和监测结果，将对人群等敏感受体具有潜在风险需要进行风险评估的污染物，确定为关注污染物。

### （2）暴露评估

在危害识别的工作基础上，分析地块关注污染物进入并危害敏感受体的情景，确定地块污染物对敏感人群的暴露途径，确定污染物在环境介质中的迁移模型和敏感人群的暴露模型，确定与地块污染状况、土壤性质、地下水特征、敏感人群和关注污染物性质等相关的模型参数值，计算敏感人群摄入来自土壤和地下水的污染物所对应的土壤和地下水的暴露量。

### （3）毒性评估

在危害识别的工作基础上，分析关注污染物对人体健康的危害效应，包括致癌效应和非致癌效应，确定与关注污染物相关的毒性参数。包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和单位致癌因子等。

### （4）风险表征

在暴露评估和毒性评估的基础上，采用风险评估模型计算土壤和地下水中单

一污染物经单一途径的致癌风险和危害商，计算单一污染物的总致癌风险和危害指数，进行不确定性分析。

#### (5) 土壤和地下水风险控制值计算

在风险表征的基础上，判断计算得到的风险值是否超过可接受风险水平。如污染地块风险评估结果未超过可接受风险水平，则结束风险评估工作；如污染地块风险评估结果超过可接受风险水平，则计算土壤、地下水中关注污染物的风险控制值；如调查结果表明，土壤中关注污染物可迁移进入地下水，则计算保护地下水的土壤风险控制值；根据计算结果，提出关注污染物的土壤和地下水风险控制值。风险评估工作流程与技术路线如下图 2.4-1 所示。



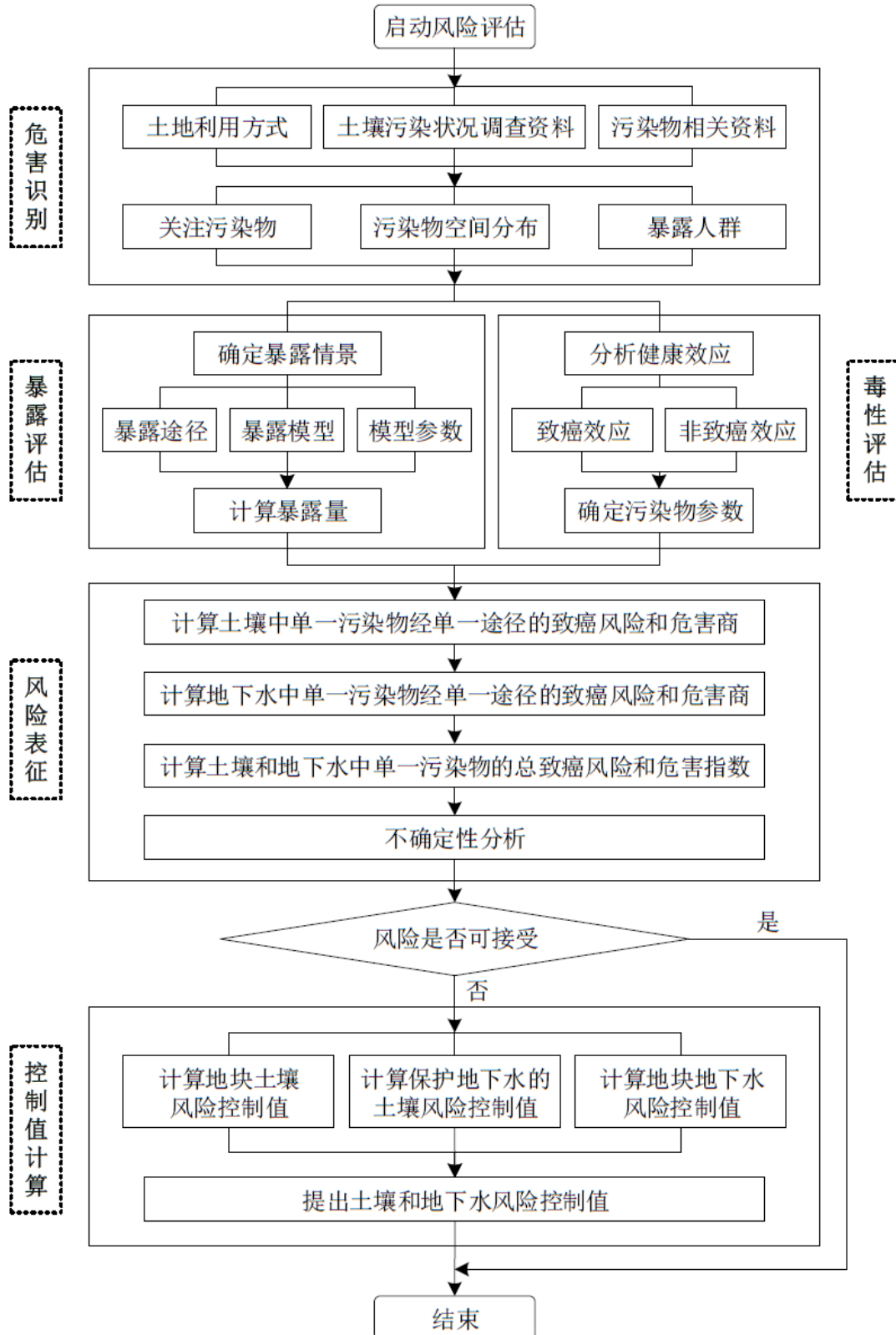


图 2.4-1 风险评估技术路线

### 3 地块概况

#### 3.1 区域环境概况

##### 3.1.1 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  $1125\text{km}^2$ 。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  $27\text{km}$ ，北至肥城  $52\text{km}$ ，东至新泰  $108\text{km}$ ，西至汶上  $32\text{km}$ 。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  $169680\text{m}^2$ ，位于宁阳县城区南部约  $2\text{km}$  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 3.1-1。

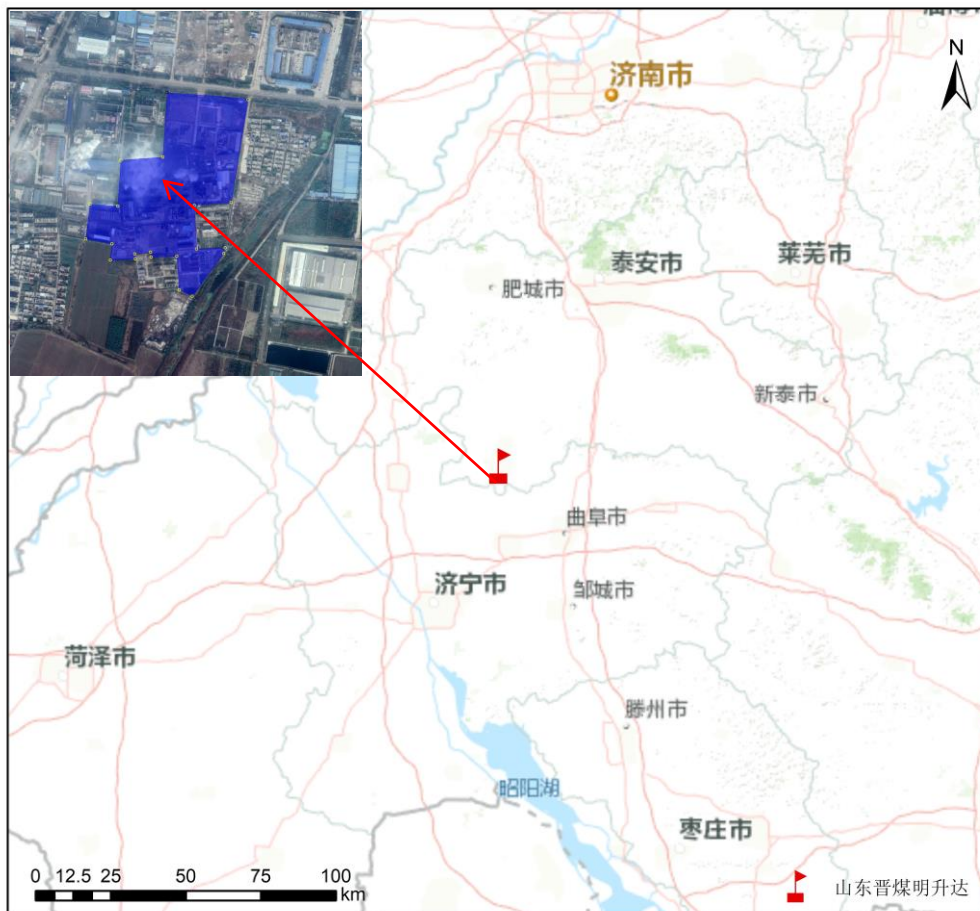


图 3.1-1 山东晋煤明升达化工有限公司退役地块地理位置图

### 3.1.2 地形地质条件

宁阳县境内地形复杂，地貌多样，受峰山断裂的影响，形成了西北部冲积平原和东南部低山丘陵，山丘、平原大体各半。该县地势东高西低，中部突起。东部南高北低，西部北高南低。东部风仙山为最高点，海拔 608m，西部最低点是胡茂南洼，海拔 46m，高差为 562m。主要地貌类型有低山、丘陵、平原和水面。其中平原占总面积的 48.1%，丘陵占 38.7%，山区占 12.3%，水面占 0.9%。

根据地貌成因及形态特征，本地区地貌形态分为：构造剥蚀岩溶丘陵、剥蚀堆积准平原、山间河谷冲积平原。

构造剥蚀岩溶丘陵分布在本区南端张家庄以西，海拔 150-237.6m，山顶浑圆，山坡南陡北缓，呈单面山形态，坡角 8-22 度；

剥蚀堆积准平原分布在西磁窑以东，张家庄以北和大磨庄以西等地，海拔 110-150m，相对高差 20m 左右，地形起伏平缓，坡角 3 度左右；

山间河谷冲积平原分布于歇息铺以北、东太平以东、西磁窑以西，向北至汶河两岸，海拔 94-110 米。

晋煤明升达老厂区临近城区，地形地貌类型较简单，地形平坦，坡降 3% 左右。

### 3.1.3 水文

宁阳县城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。

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 100m<sup>3</sup>/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  $1000\text{m}^3/\text{d}$ ；华丰一东庄、磁窑镇以南一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  $1000\sim 5000\text{m}^3/\text{d}$ ，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  $100\text{m}^3/\text{d}$ ，局部构造发育段可达  $500\text{m}^3/\text{d}$  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  $8\text{m}$ ，单井涌水量大于  $100\text{m}^3/\text{d}$ ，水位埋深大于  $4\text{m}$ ，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  $3\sim 4\text{m}$ ，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  $3\text{m}$  左右，地下水由东南向西北运动，排泄于大汶河内。

#### ③宁阳县以南至泗店镇、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。地下水水位埋深一般在  $5\sim 11\text{m}$  之间，水位变幅  $1\text{m}$  左右。单井涌水量  $500\sim 1000\text{m}^3/\text{d}$ 。含水层富水性由东部乡饮乡向西部泗店镇逐渐增强。本项目涉及的晋煤明升达老厂区即位于此处。

## 3.1.4 气象、气候

宁阳县属温暖带半湿润季风性气候，一年四季分明，春季干燥多风，回暖迅速，光照充足，辐射强；夏季炎热多雨气温高，湿度大，气压低，雨量集中；秋季天高气爽，气温下降快，辐射减弱；冬季寒冷干燥，雨雪稀少。

宁阳县多年平均气温  $13.4^\circ\text{C}$ ，极端最高气温  $41.3^\circ\text{C}$ (1992年7月2日)，极端

最低气温-19.0℃(1981年1月27日);最热月份为6月份,最高为31.7℃;最冷月份为1月份,最低为-6.7℃。

宁阳县多年平均降水量633.0mm(资料年代1956-1992年),年际变化大,丰枯悬殊,少水年多于丰水年,最大年降雨量为1409.4mm(1964年),小年降雨量为381.4mm(1986年)。夏季降水量占年降水量的67%,强度大,秋季降水量占降水量的13%,冬季占年降水量的9.8%,春季占年降水量的11%,可见降水分配不均匀,不稳定,常与农作物的需水存在着矛盾。

宁阳县春季、夏季多东南风,5月底至6月初有短时间的西南风,秋、冬两季东南风和北风较多。常年东南风频率最大,年平均风速2.7m/s,大风多出现在春夏两季。

### 3.1.5 自然资源

宁阳县境内初步探明的金属和非金属矿藏有30多种,主要有煤、铁、金、石英石、钾长石、水晶石、云田、铝土、硅石、石膏、花岗岩、石灰岩、硫磺、陶土、耐火土、砂子等。其中优质煤储量达5亿吨以上,花岗岩储量5000万立方米以上,钾长石储量860万吨以上。

### 3.1.6 区域环境质量

#### (1) 环境空气质量状况

根据2018年宁阳县空气质量情况统计,SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>年均浓度为22μg/m<sup>3</sup>、32μg/m<sup>3</sup>、97μg/m<sup>3</sup>、50μg/m<sup>3</sup>,CO 24小时平均第95百分位数为2.4mg/m<sup>3</sup>,O<sub>3</sub>日最大8小时平均第90百分位数为220μg/m<sup>3</sup>,SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、CO均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准限值,PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>不能满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)。

#### (2) 地表水环境质量状况

地表水监测位于地块附近的宁阳沟,环境质量功能区属IV类区,区域地表水满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)IV类标准。

项目所在地地下水水质较好,基本满足《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)III类标准。

#### (3) 地下水环境质量状况

地下水水质较好，基本满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III类标准。

#### （4）土壤环境质量概况

暂未收集到官方发布的泰安市或宁阳县土壤环境质量概况资料。但根据2017年山东省发布的全省土壤环境质量状况：全省土壤环境质量状况总体良好，12种无机污染物达标率在96.8%以上，多氯联苯及石油烃达标率为100%，六六六、滴滴涕和多环芳烃总量达标率分别为99.8%、94%和99.1%。

#### （5）声学环境质量状况

参照《声环境功能区划分技术规范》（GB/T15190—2014），该区域处于2类区，执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2类标准。

区域噪声本底值昼间和夜间均符合国家《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2类标准，声环境质量较好。

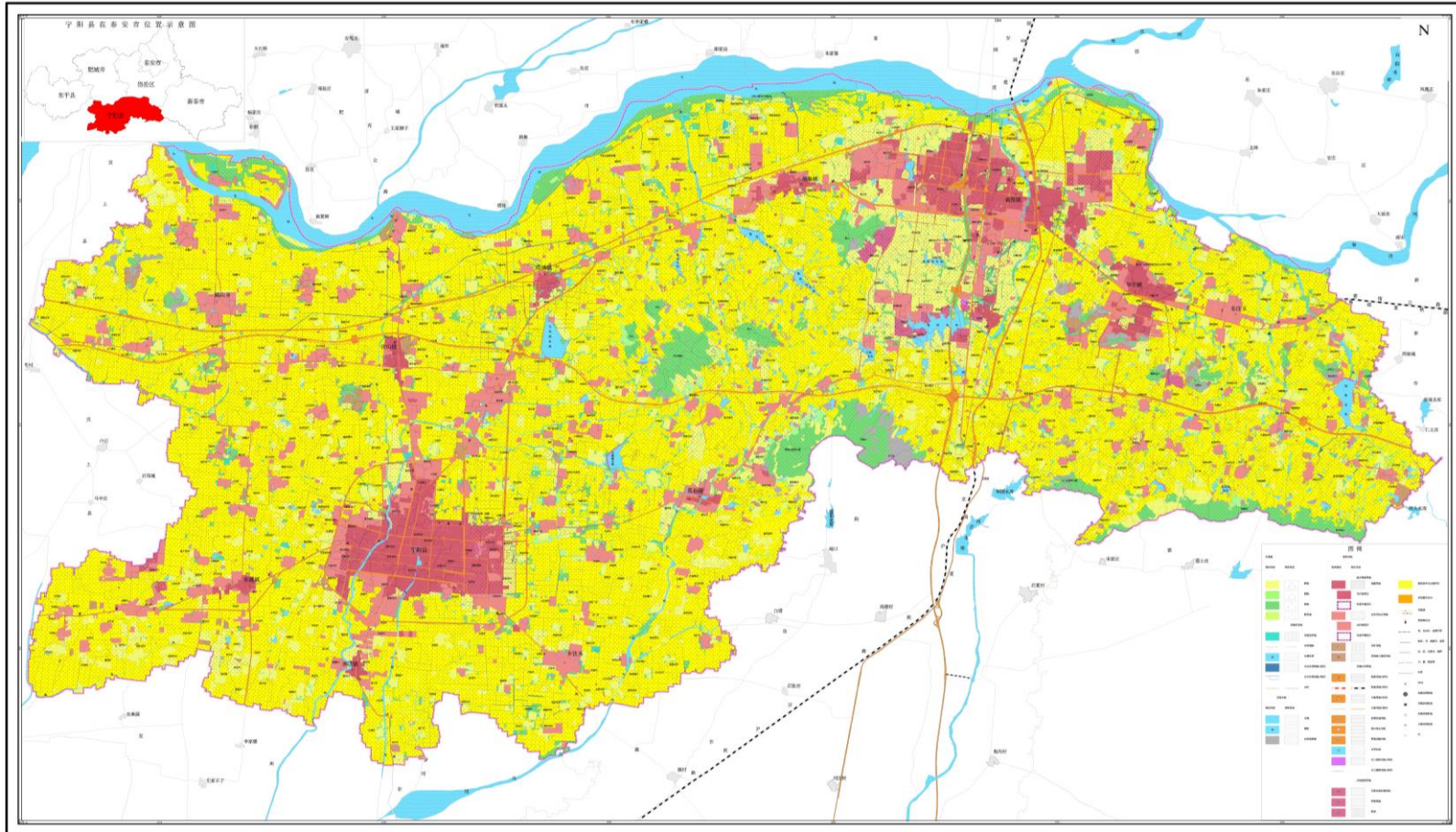
#### （6）生态环境状况

本地区气候属暖温带半湿润大陆性季风气候，气温和降水对温带作物提供优越的环境，形成比较好的陆地农田生态系统，是一个比较稳定的生态系统。

### 3.2 地块用地规划

目前泰安市宁阳县尚未正式发布该地块的用地规划文件，但根据人员访谈情况，并参考宁阳县总体规划图（2006-2020）（见图3.2-1），该地块未来规划为商住用地。保守起见，将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。

宁阳县土地利用总体规划图



宁阳县人民政府 编制  
二〇一七年六月

1: 50 000

宁阳县国土资源局 制图

图 3.2-1 宁阳县土地利用总体规划（2006-2020 年）

## 4 土壤污染状况调查

根据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1-2019)、《建设用地土壤环境调查评估技术指南》(公告 2017 年第 72 号), 土壤污染状况调查分三个阶段开展, 分别为第一阶段土壤污染状况调查、第二阶段土壤污染状况调查、第三阶段土壤污染状况调查。

### 4.1 第一阶段土壤污染状况调查

第一阶段土壤污染状况调查是以资料收集、现场踏勘和人员访谈为主的污染识别阶段, 现将主要内容介绍如下:

#### 4.1.1 企业生产情况

##### 4.1.1.1 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作框架协议, 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 4.1-1。其中, 在 2015 年开展调查和评估后, 该厂仍有生产, 具体生产情况如下:

2015 年 10 月因尿素市场价格下滑, 尿素车间永久停产, 人员分流。

2018 年 8 月因设备装置老化, 部分设备失修, 为确保生产安全, 合成氨系统减量生产, 符合控制在 80% 以内。

2019 年 3 月 27 日全厂停产, 停产期间妥善处置了装置内的所有物料, 对整个装置进行了清洗置换, 清洗置换废水经过终端水处理设施处理后全部达标排放。

目前, 所有生产装置和厂房全部拆除完成。

表 4.1-1 明升达公司发展历程 (1968 年~2018 年)

时间	发展阶段	主要事件
----	------	------





图 4.4-1 土壤超筛选值点位图

#### 4.4.3 超标范围

本地块超标范围的划定原则：将超筛选值点位四周最近的不超标点位连线形成多边形，作为超标区域。本地块共有 10 个点位即 A05、A08、A13、A14、A25、A27、B01、D08、H01、H04 存在土壤样品超筛选值，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超标区域。

根据以上原则，划定的本地块超标区域如图 4.4-2 所示。

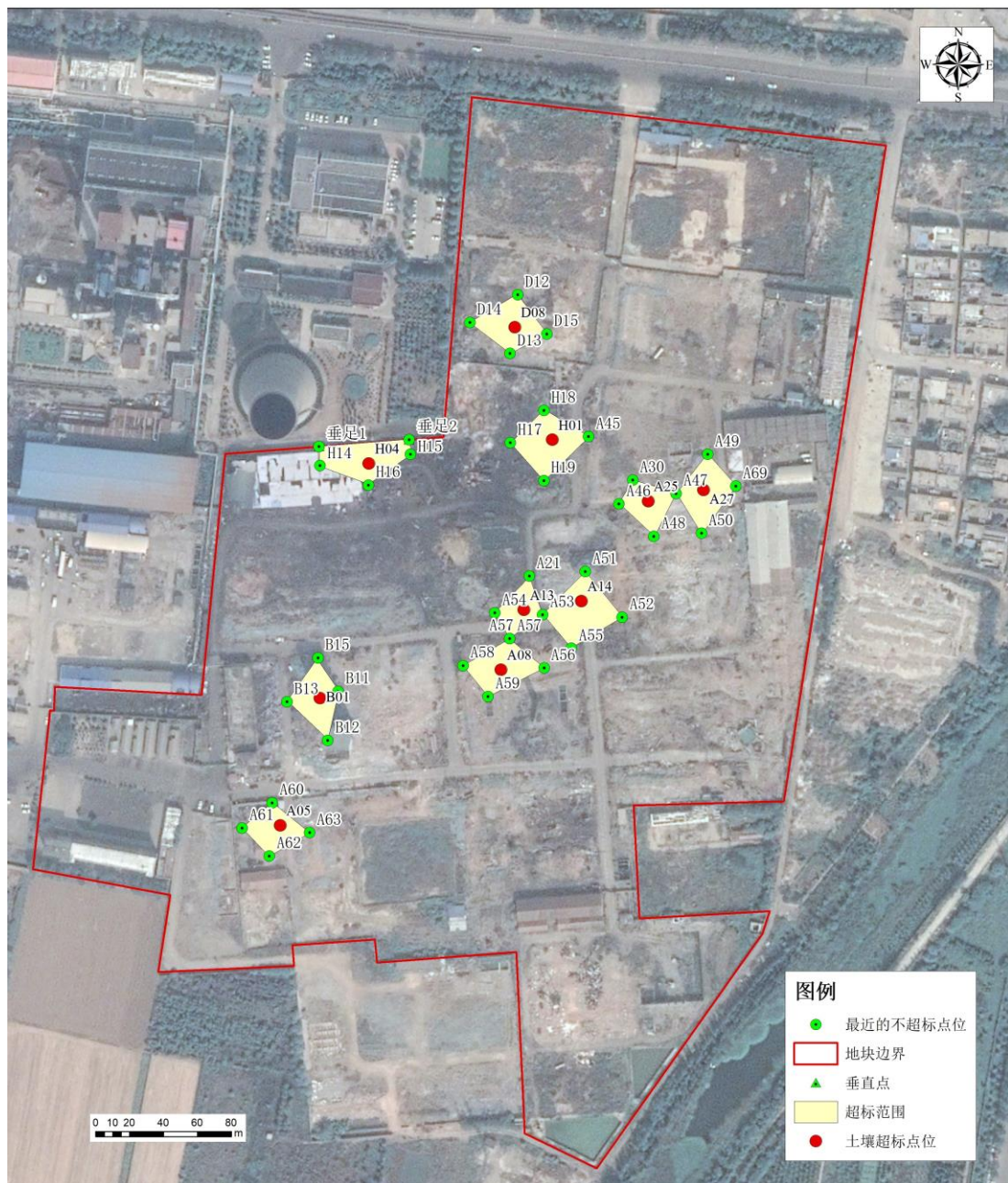


图 4.4-2 地块超标范围

#### 4.4.4 本次调查对比前期已修复区域分析

当前，由山东华泽环保工程有限公司承担的土壤修复施工仅开展了一期工程，涉及污染物为砷和苯，施工区域只有 3 个，为 S20、S31、S47，结合本次调查布设的所有采样点位来看，本次调查的点位布设包含了前期的已修复区域（详见图 4.4-3），但分析发现此次超标区块已不涵盖已修复的 S20、S31、S47 区域（详见图 4.4-4）。



图 4.4-3 调查所有点位布设情况和前期已修复范围

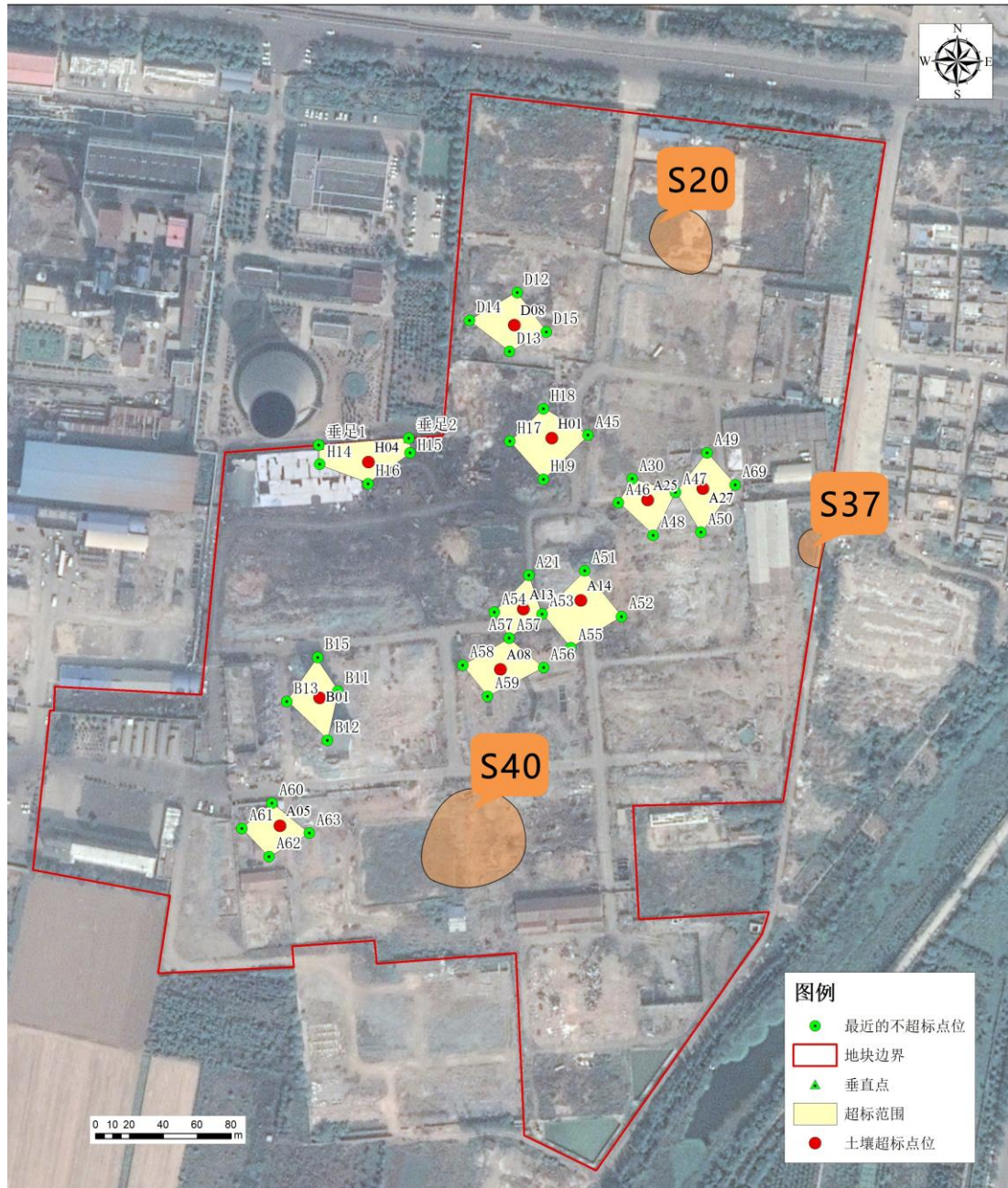


图 4.4-4 调查超标区域和前期已修复范围

## 5 人体健康风险评估

本项目风险评估基于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)进行。地块定量风险评估程序是一个多层次定性与定量的评估体系,也是一个概念模型与描述污染物运移的分析模型及暴露模型的综合体系。本项目针对茂源化工地块土壤及地下水中超过相关环境质量标准或筛选值的污染物进行风险评估。根据地块污染源特征、水文地质条件等实际情况,构建地块概念模型,应用污染地块风险评估电子表格软件计算不同暴露途径下土壤及地下水污染物的风险控制值与风险和危害商,并对地块的土壤与地下水中的污染物进行风险表征;结合我国的土壤质量标准值,确定最终的修复目标值,筛选出超过修复目标值的污染物,分析其污染分布与超标范围,估算土壤的修复土方量。

根据前期调查结果,本地块应针对土壤开展进一步的风险评估工作。地下水则不需开展进一步的详细调查和风险评估。

### 5.1 危害识别

#### 5.1.1 环境危害识别

通过对地块开展的现场调查、样品检测分析,表明该地块土壤受到了一定程度的污染,地块污染对人体、生态环境等保护对象会产生不同程度的危害和风险。

该地块土壤中检测出较高浓度挥发性有机物如1,2,3-三氯丙烷,半挥发性有机污染物比如多环芳烃类污染物,会对人体健康产生直接的危害,引起急性反应,如刺激呼吸道、眼睛、皮肤等。此外,长期暴露会引起一些慢性的危害,如致癌、致畸、致突变危害等。

#### 5.1.2 地块规划与敏感受体

《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)(以下简称“《导则》”)规定了2类典型用地方式下的暴露情景,即以住宅用地为代表的“第一类用地”(简称“第一类用地”)和以工业用地为代表的“第二类用地”(简称“第二类用地”)的暴露情景。

(1) 第一类用地方式下,儿童和成人均可能会长时间暴露于地块污染而产生

生健康危害。对于致癌效应，考虑人群的终生暴露危害，一般根据儿童期和成人期的暴露来评估污染物的终生致癌风险；对于非致癌效应，儿童体重较轻、暴露量较高，一般根据儿童期暴露来评估污染物的非致癌危害效应。第一类用地方式包括 GB 50137 城市建设用地中规定的居住用地（R）、公共管理与公共服务用地中的中小学用地（A33）、医疗卫生用地（A5）和社会福利设施用地（A6）、以及公园绿地（G1）中的社区公园或儿童公园用地等。

（2）第二类用地方式下，成人的暴露期长、暴露频率高，一般根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌效应。第二类用地包括 GB50137 规定的城市建设用地中的工业用地（M）、物流仓储用地（W）、商业服务业设施用地（B）、道路与交通设施用地（S）、公用设施用地（U）等、公共管理与公共服务用地（A）（A33、A5、A6 除外），以及绿地与广场用地（G）（G1 中的社区公园或儿童公园用地除外）等。

（3）其他：根据《导则》6.1.4 规定“除本标准 6.1.2 和 6.1.3 以外的建设用地，应分析特定地块人群暴露的可能性、暴露频率和暴露周期等情况，参照第一类用地或第二类用地情景进行评估或构建适合于特定地块的暴露情景进行评估。

目前泰安市宁阳县尚未正式发布该地块的用地规划文件，但根据对相关单位的人员访谈情况，该地块未来规划为商住用地。因此本次地块人体健康风险评估以第一类用地方式进行评估。

根据第一阶段调查，本地块位于宁阳县城内，周边存在大量住宅小区、商业区、村庄、学校等。在第一类用地方式下，儿童和成人均可能会长时间暴露于地块污染而产生健康危害。

### 5.1.2 关注污染物筛选

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；

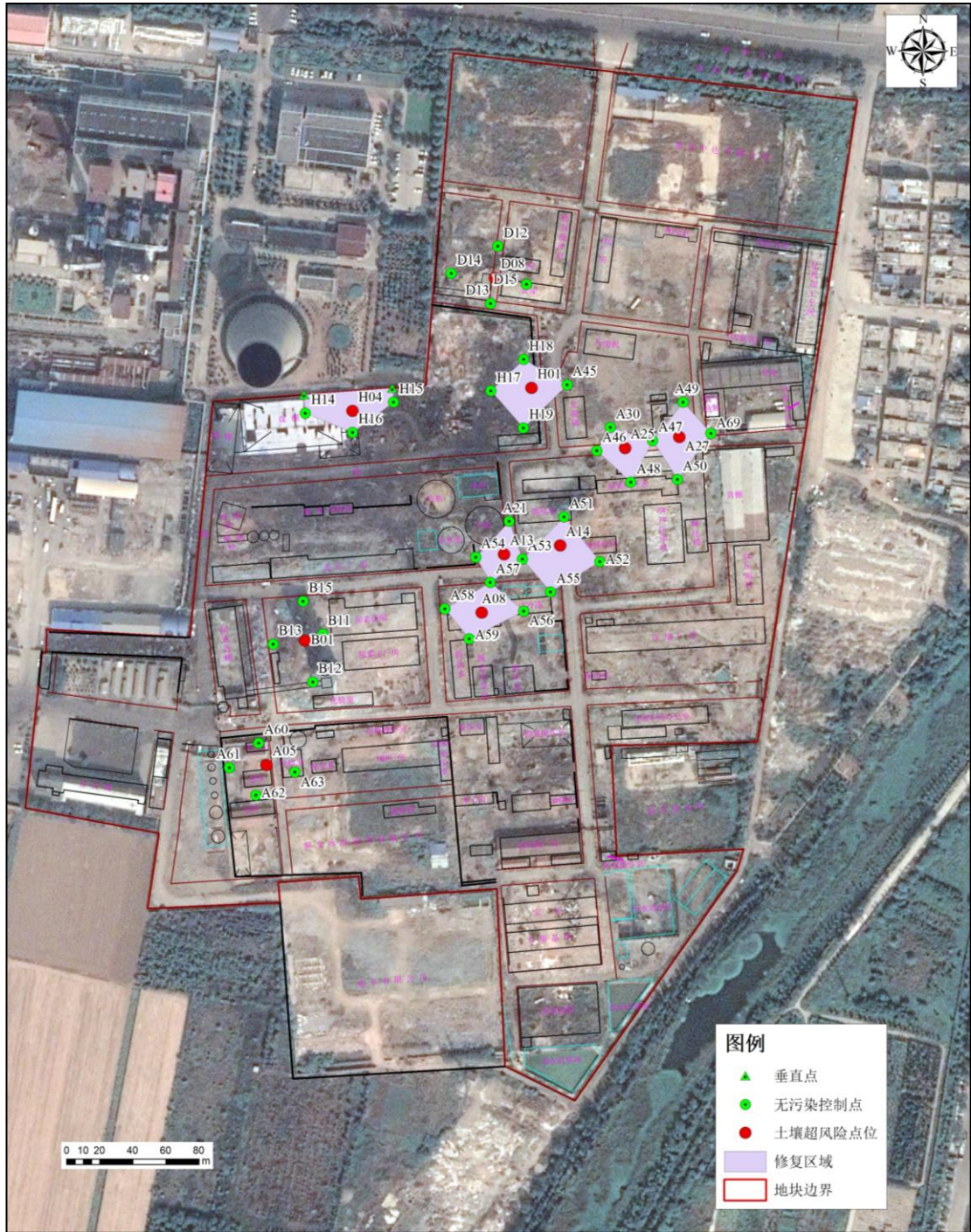


图 6.3-1 本地块修复区域（修复深度 0-1.0m）

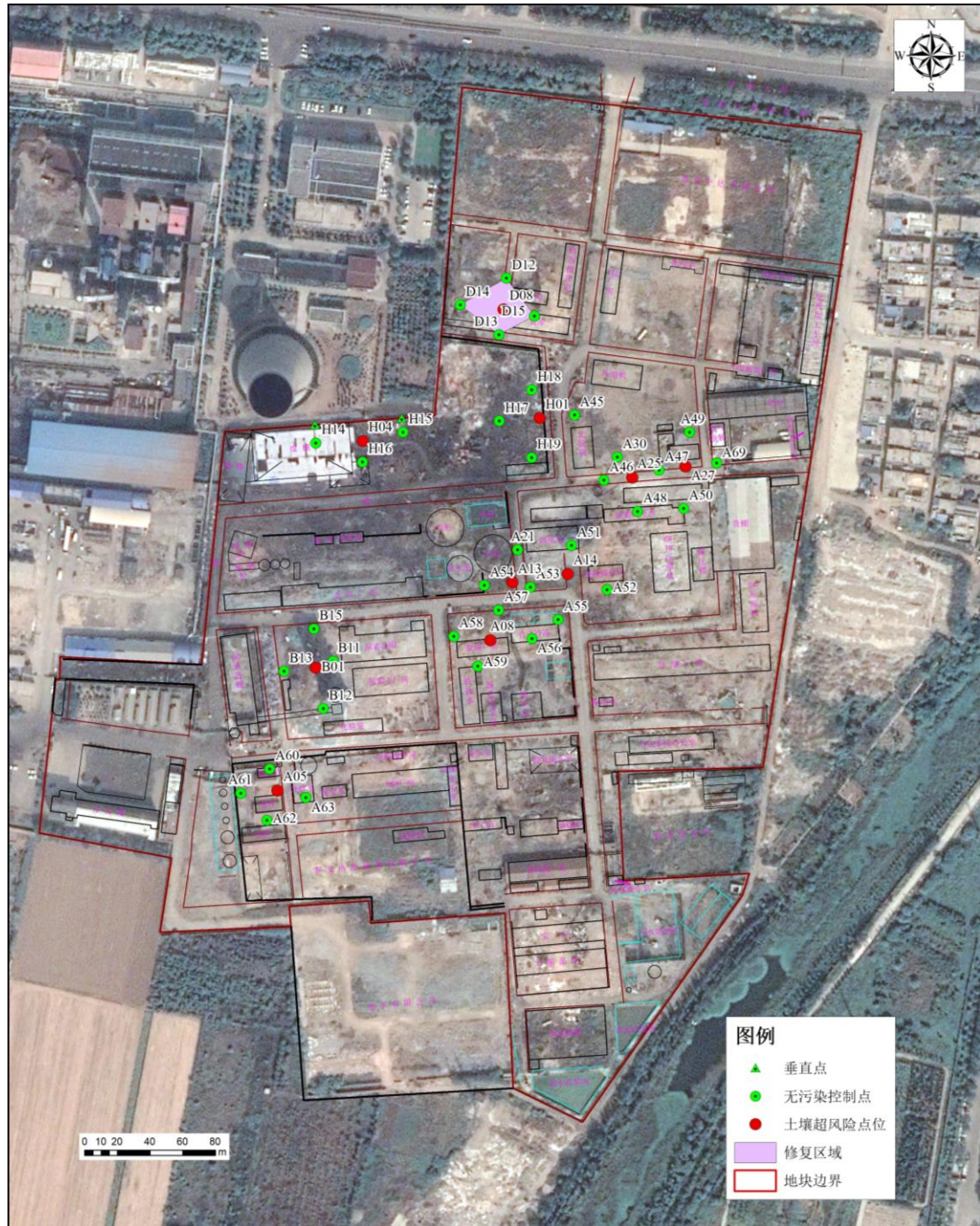


图 6.3-2 本地块修复区域（修复深度 0.5-2.5m）



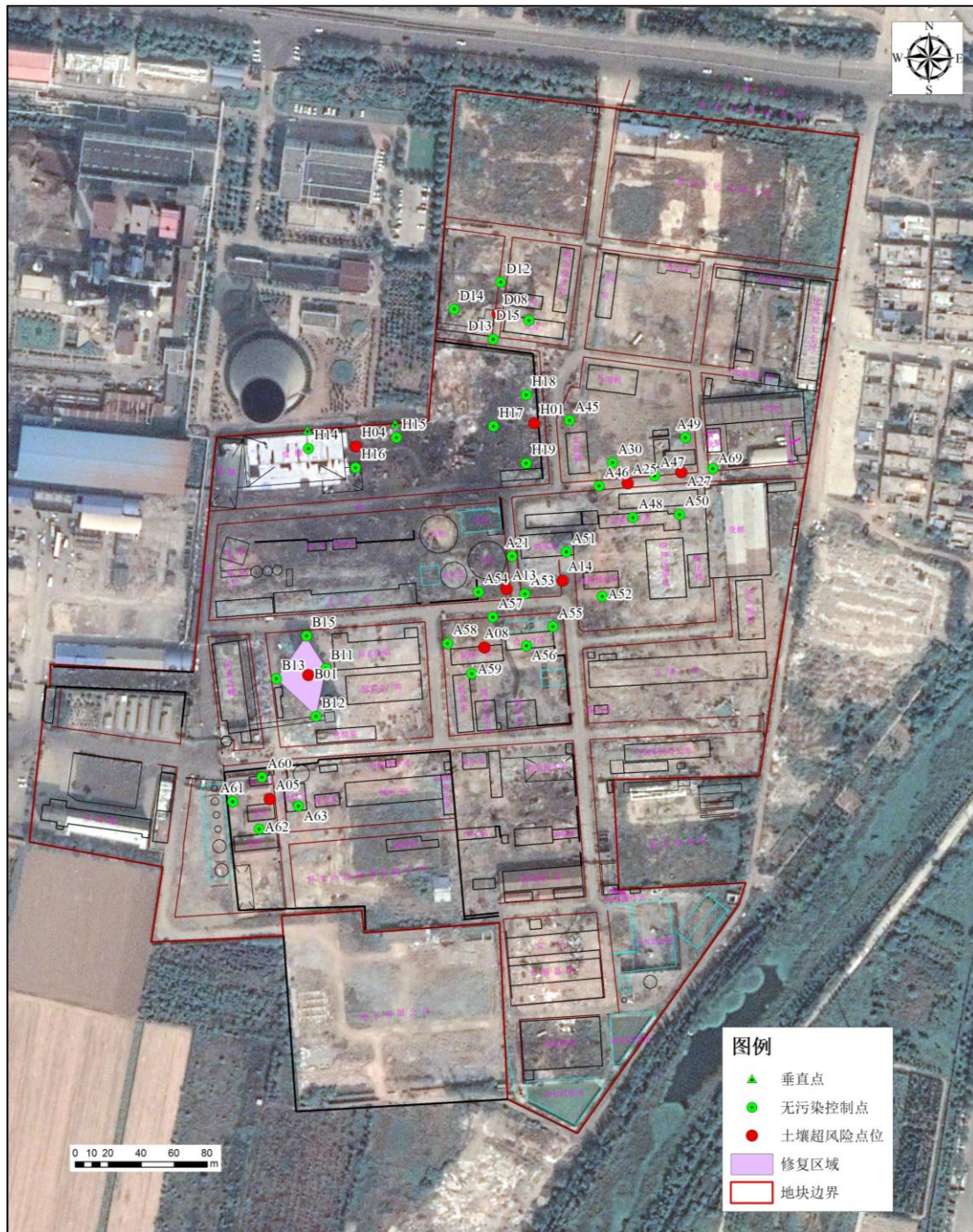


图 6.3-3 本地块修复区域（修复深度 2.5-7.5m）

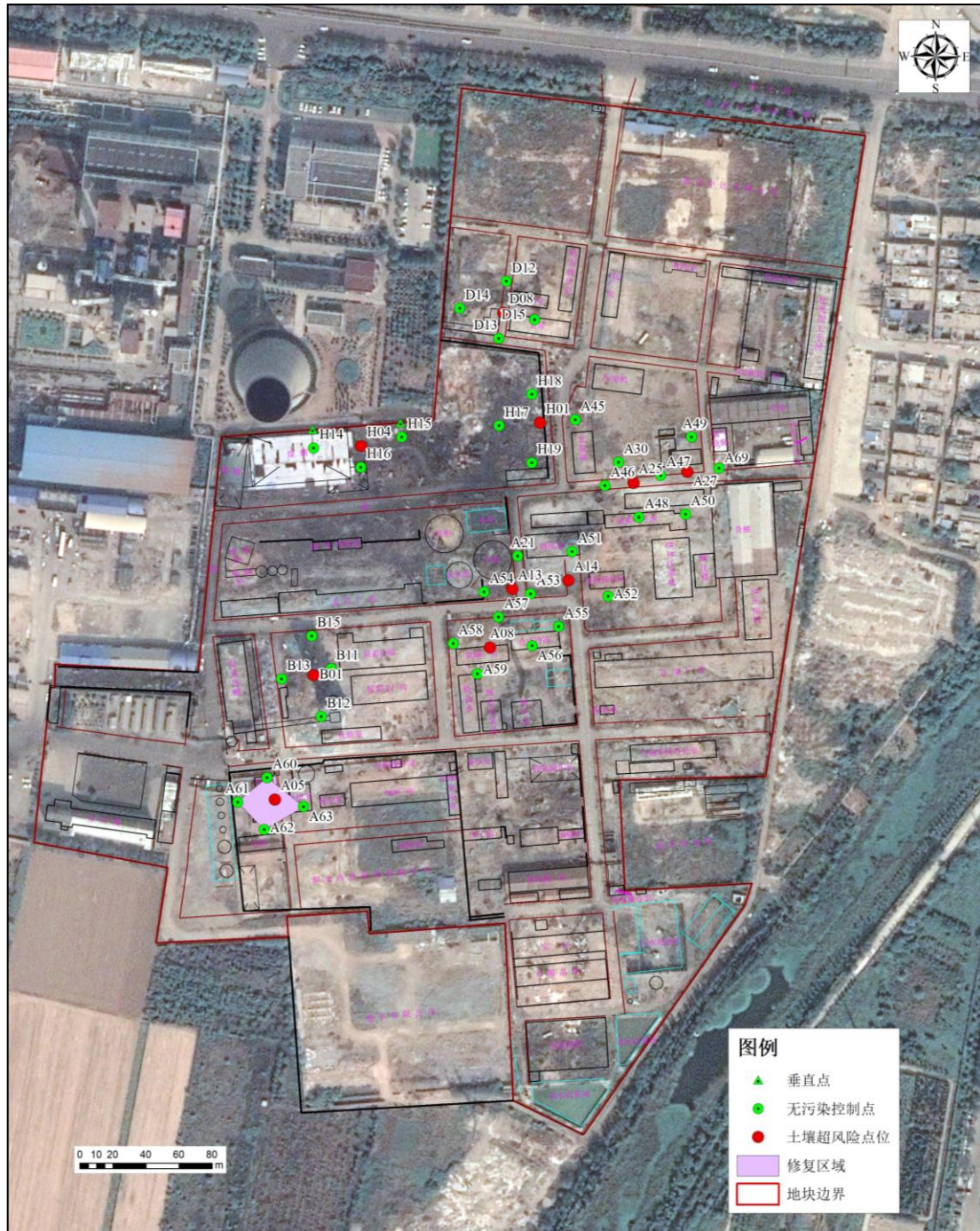


图 6.3-4 本地块修复区域（修复深度 4.5-7.5m）

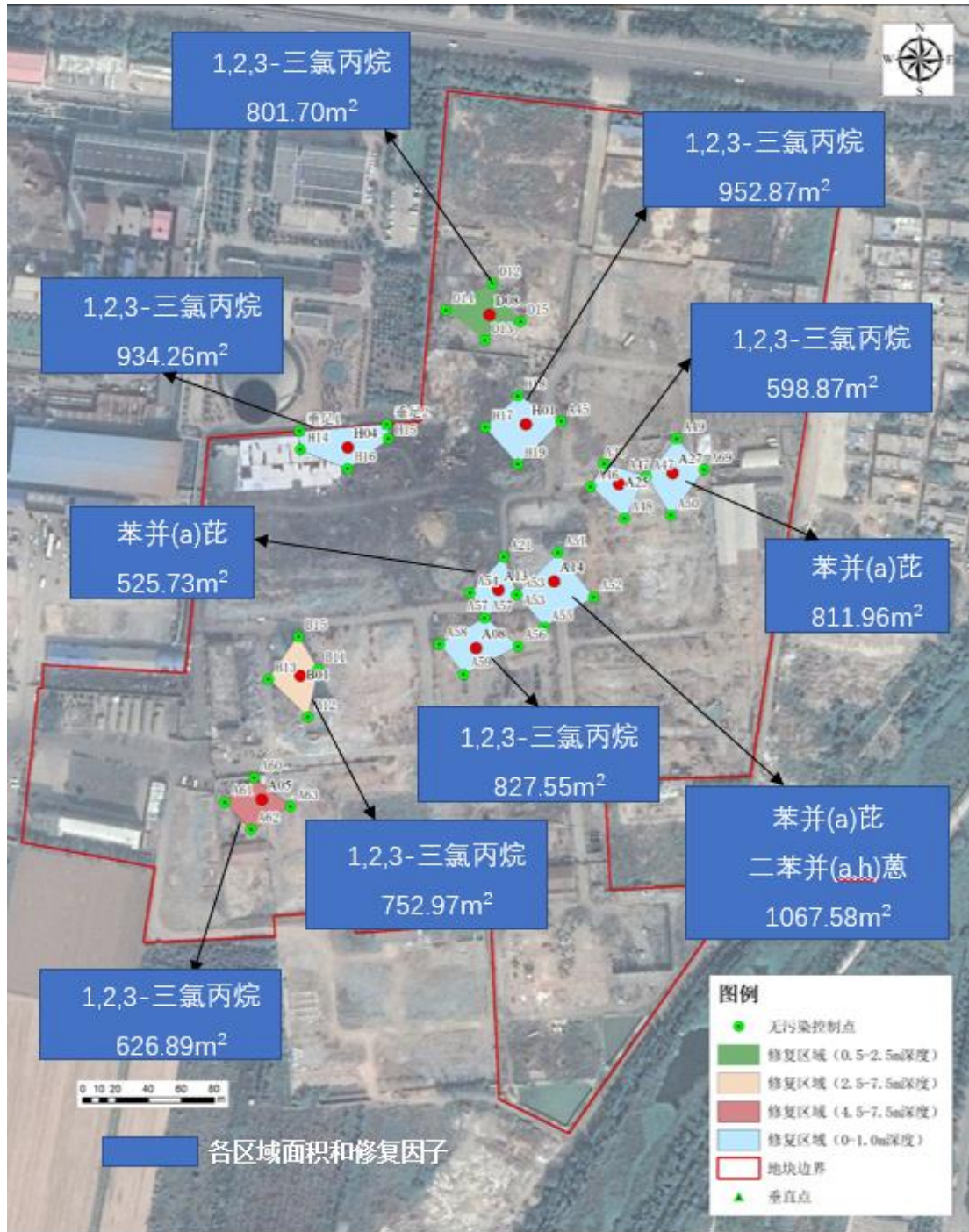


图 6.3-5 各修复区域修复深度、修复面积、修复因子统计图

## 7 修复技术建议

根据风险评估结果，地块部分区域土壤存在污染，其中 1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽的含量超过了基于健康风险制定的地块修复目标值，可能对未来土地上的居民产生健康风险，建议对已知风险超标的土壤尽快进行修

复治理。

## 7.1 常见修复技术

常见的有机物污染土壤的修复技术有：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、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。

### 二、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。

# 三、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 的场地。

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，气相流通过程及流动速率，以及污染物在流通过程上的位置分布。系统的设计基于气相流通过程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，在国内多个场地也已得到应用。

#### (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。

#### (4) 适用条件

土壤理化特性（有机质、湿度和土壤空气渗透性等）对土壤气体抽提修复技术的处理效果有较大影响。地下水水位太高（地下 1~2m）会降低土壤气体抽提的效果。排出的气体需要进行进一步的处理。黏土、腐殖质含量较高或本身极其干燥的土壤，由于其本身对挥发性有机物的吸附性很强，采用原位土壤气体抽提技术时，污染物的去除效率很低。可用来处理挥发性有机污染物和某些燃料。可处理的污染土壤应具有质地均一、渗透能力强、孔隙度大、湿度小和地下水水位较深的特点。低渗透性的土壤难以采用该技术进行修复处理。

### 四、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。

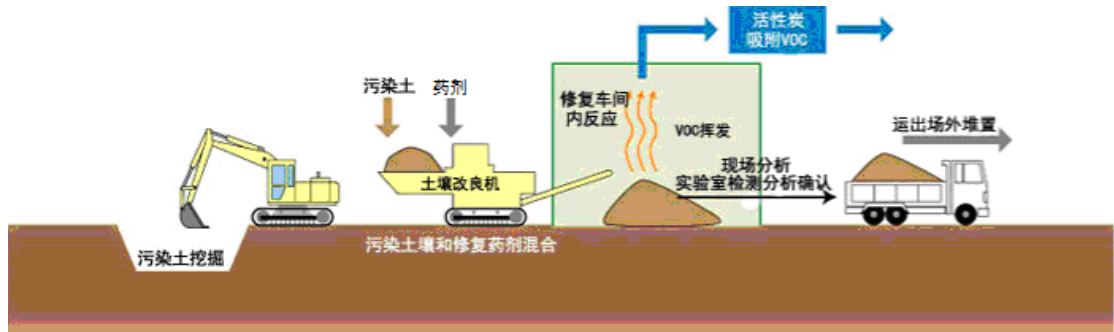


图 7-1 常温解吸处理污染土壤工艺示意图

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，在国内多个场地已得到应用。

## （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。

## 五、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/m<sup>3</sup>。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。

## 六、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。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。

## 七、化学还原技术

### (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。

### (4) 适用情况

该技术所需的工程周期一般在几天至几个月不等，具体因待处理污染区域的面积、氧化还原剂的输送速率、修复目标值及地下含水层的特性等因素而定。可能限制本方法适用性和有效性的因素包括：可能出现不完全氧化，或中间形式的污染物，取决于污染物和所使用的氧化剂。处理时，应减少介质中的油和油脂，以优化处理效率。对 PCBs、农药类、多环芳烃（PAH）等有较好的处理效果。对于高浓度的污染物，本处理方法不够经济有效，因为需要大量氧化剂。该技术也可用于非卤代挥发性有机物、半挥发性有机物及燃油类碳氢化合物的处理，但其处理效率相对较低。

## 八、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场地修复。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。

## 九、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场地 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、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。

## 7.2 修复技术筛选

### 7.2.1 修复技术筛选原则

修复技术的选择上需要确保污染场地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。

### 7.2.2 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 7.2-1 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。

表 7.2-1 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 <sub>3</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>3</sub>	-14.7	156.2	3.1	34.5	1.75E+03
苯并(a)芘	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	177-180	495	2.4	7.35E-10	1.62E-03
二苯并(a,h)蒽	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	262-265	524	2.78 E-12	1.70E-6	2.49E-03

### 7.2.3 修复技术建议

围绕修复技术筛选原则，根据以上对各修复技术的分析，结合污染物理化性质，在去除具有明显不适用因素的修复技术后（详见表 7.2-2），初步筛选出 3 种修复技术：热脱附、水泥窑共处置以及焚烧，以上 3 种技术对于本地块土壤中的污染物去除均具有较好的效果，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。

表 7.2-2 修复技术初步筛选

序号	修复技术	不适用因素
1	常温解吸	该地块土质密实，污染物中的多环芳烃类挥发性较差，在常温条件下解吸效果不高。
2	气相抽提	土壤理化特性（有机质、湿度和土壤空气渗透性等）对土壤气体抽提修复技术的处理效果有较大影响，该地块土壤渗透性差，且污染物中的多环芳烃类不易挥发。
3	淋洗	该地块土壤中的粘土含量较高，污染物不易洗脱。
4	化学氧化/环原	土壤中所含有机污染物降解耗时较长，而该地块在短期内需投入利用，对于修复时长有较高的要求。
5	微生物修复	微生物消耗污染物的速度很慢，导致修复时间很长，因此这种技术不适用于需短期投入利用的地块。
6	填埋	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。



## 8 结论与建议

### 8.1 结论

该地块土壤中最终确定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。地下水中不含风险评估关注污染物。经风险评估得出结论：本地块土壤中有3种有机污染物（1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽）的风险不可接受。

综合风险评估计算得出的超风险污染物控制值、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土壤超风险污染物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。本次风险评估计算得出修复区域总面积为7900.38m<sup>2</sup>，修复土方量共计12967.74m<sup>3</sup>。

### 8.2 建议

(1) 根据本地块土壤及地下水污染调查与风险评估工作结果，结合场地土地利用规划，加快制定场地风险管控与修复技术方案，确定修复目标、修复时限、修复模式、修复技术并估算修复费用。本报告初步筛选出3种修复技术：热脱附、水泥窑共处置以及焚烧，以上3种技术对于本地块土壤中的污染物去除均具有较好的效果，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。

(2) 该场地原企业生产历史较长，厂区搬迁后场地变化较大，调查采样点位网格密度有限，给场地土壤及地下水污染状况调查与评估工作带来了不确定性因素，建议在该地块后期开发建设施工过程中，还需要时刻关注和防范现场突发情况。

(3) 本地块地下水中的部分感官性状及一般化学指标：硝酸盐、氨氮、总硬度、耗氧量、溶解性总固体、浊度、肉眼可见物等指标超过了《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类水标准，因此对于该地块地下水应加强管理，不得直接作为饮用水使用。

(4) 在未来居住情景下, 建议提高室内空气交换率应不小于 30 次/d, 避免产生换气死角, 降低室内氨气浓度。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:  $20 \text{ mg/m}^3$  (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, 避免影响场地内人员及场地外居民。

(5) 本地块有部分区域存在地表储水池, 仍有储水情况存在, 因多年的生产导致该部分水体污染风险较高, 因此建议在修复过程中将地表储水, 地下少量渗水, 生活废水等收集处置, 达标后排放。

### 8.3 相关性分析

分析土壤超风险物质 1,2,3-三氯丙烷、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽与地块生产历史的相关性。分析该厂曾有橡胶防老剂生产历史, 而 1,2,3-三氯丙烷可作为氯化橡胶的溶剂使用; 苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽属于多环芳烃类物质, 超筛选值点位所在区域为氨合成区, 该区域主要生产活动是以煤为原料合成氨, 采用工艺流程包括固定层间歇法造气、湿式氧化法脱硫、中低变换、碳丙法脱除二氧化碳、铜洗精炼, 在此过程中会产生多环芳烃类物质。因此, 1,2,3-三氯丙烷, 苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽的来源可追溯。

### 8.4 不确定性分析

该项目开展的污染地块人体健康风险评估过程中考虑了土地利用方式、土地受体活动方式(暴露情景)等。基本上比较全面、准确定量的评估了规划后地块污染对人体健康的风险, 筛选出了在本次调查基础上需要优先关注的污染物, 并计算出了这些优先关注污染物的风险水平。

受基础科学发展水平、实践及资料限制, 风险评估计算的不确定性主要来源于评估模型的适用性、模型的设定条件与实际条件的差异、模型参数的确定

等，因此评估结果也存在一定的不确定性。不确定性主要来源于以下几个方面：

(1) 计算模型的不确定性：风险评估按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)的基本要求计算，虽然风险评估的计算模型是基于理论原理建立，且长期以来被广泛应用于实际污染地块的风险管理决策，但必须认识到几乎没有一个数学模型可以完全准确地描述污染物迁移和暴露的全过程。随着技术的发展，暴露计算和风险计算的方法可能会发生改变。

(2) 地块参数和暴露参数的不确定性：本项目的土壤特征参数选择地块实测数据，人体暴露参数、建筑物参数选择《导则》中的默认保守参数。由于我国对于风险评估的基础研究相对匮乏，且山东地区的参数(如气象、暴露等参数)和与国家导则中推荐的默认参数也存在一定的差异性，因此模型根据国家导则计算本地块的风险或危害商可能与本地块的实际情况有所差异。另外，人群活动方式决定着人群的暴露频次、暴露周期、暴露量等主要参数，本次评估中人群活动方式信息按照导则通用参数进行推测，由此也对最终评估结果也会产生一定的不确定性。

(3) 食物链暴露：土壤中污染物通过食物链对人体也会产生很大的危害，但本次评估中主要针对的是土壤污染物直接接触、进入人体的情况，这些假设的基础是规划后片区内不在种植水稻、蔬菜或进行生物养殖，这种情况存在，则也会导致评估结果存在一定的不确定性。

(4) 土壤性质和地下情况复杂：该厂生产历史久远，前期资料缺失严重，可能有地下设施、构筑物等无法探查，以及可能由于历史原因有填埋现象但无记录，综合来看该地块地下状况复杂性高，且土壤属于非均一性物质，因此会导致调查评估结果的不确定性。