



【内部资料，注意保存】

山东新华制药股份有限公司老厂区 东南角部分地块场地风险评估报告

山东省环境保护科学研究设计院有限公司

二〇二〇年六月·济南

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。

山东省环境保护科学研究设计院有限公司

二〇二〇年六月

服务承诺声明

本项工作的开展是以国家相关技术标准及国内外通行的技术规范为指导，以现场情况、委托方提供的相关资料、数据、图件等为基础，咨询服务结论的完整性与准确性受资料完整度、合同约定的工作范围、工作时间、工作经费等客观条件制约。

本单位承诺按照国家相关技术标准要求，经过专业分析与判断，尽可能做到客观的、真实的反映场地现状，鉴于土壤的隐蔽性，场地调查仍然可能存在一定的不确定性，本地块在未来开发利用中如发现异常情况，建议上报有关部门并及时采取有效的措施，保证该地块的再利用安全。

本报告不适用于环境污染事故损害鉴定、污染责任界定等法律用途。

本项目承担单位对该咨询技术报告有最终解释权。

山东省环境保护科学研究设计院有限公司

二〇二〇年六月

山东省环境保护科学研究设计院有限公司

编写及审查人员职责表

	姓名	职称	承担工作
编制审查	王宁	工程师	数据分析、软件模拟，第 3-7 章编写
	高甫威	工程师	软件计算，报告第 5 章编写
	胡文华	工程师	资料收集，第 1-2 章编写
	孙博	工程师	数据统计
	徐民民	工程师	报告审查
	李永霞	工程师	图件校对，报告审查
审核	黄莹	研究员	图件、报告审核
审定	李波	研究员	审定

联系人：王宁

联系电话：0531-66573335

目 录

1 项目概述	1
1.1 项目背景	1
1.2 工作目的	2
1.3 评估范围	3
1.4 项目主要内容	5
1.5 风险评估程序	6
1.6 编制依据	7
1.6.1 相关法律、法规、政策	7
1.6.2 相关技术导则、标准及规范	8
1.6.3 其他资料	9
2 场地概况	10
2.1 区域概况	10
2.1.1 地理位置	10
2.1.2 社会经济概况	10
2.1.3 自然资源	11
2.1.4 气象水文	12
2.1.5 地形地貌	13
2.1.6 土壤	13
2.2 场地及周边现状	13
2.2.1 场地环境现状	13
2.2.2 场地周边土地环境现状及敏感目标	15
2.2.3 场地周边企业污染源分析	15
2.3 场地利用规划	16
3 场地调查及结果回顾	18
3.1 场地污染识别	18
3.1.1 场地布局与历史	18
3.1.2 主要产品及原辅材料	24

3.1.3 产污环节分析	25
3.1.4 污染识别	28
3.2 初步调查方案及结果	29
3.2.1 初步调查布点及工作量	29
3.2.2 初步调查结论	35
3.3 详细调查方案及结果	36
3.3.1 详细调查布点及工作量	36
3.3.2 详细调查结论	43
3.4 补充调查方案及结果	44
3.4.1 补充调查布点及工作量	44
3.4.2 补充采样结果	49
4 场地污染概念模型	50
4.1 地质地貌	50
4.1.1 场地地形、地貌特征	50
4.1.2 场地地质构造	50
4.1.3 地层结构及水文地质情况	51
4.2 场地主要关注污染物	52
4.3 污染来源分析	53
4.4 污染物迁移转化	53
4.4.1 迁移转化机制	53
4.4.2 污染迁移转化	55
4.5 污染概念模型的建立	55
5 健康风险评估	57
5.1 工作依据和工作流程	57
5.2 风险计算原理及方法	60
5.2.1 土壤污染的健康风险计算	60
5.2.2 致癌风险和危害商模型	63
5.2.3 地下水蒸汽暴露途径	69
5.2.4 地下水皮肤接触途径	70

5.3 场地关注污染物	70
5.3.1 土壤关注污染物识别	70
5.3.2 地下水关注污染物识别	71
5.4 关注污染物毒性评估	71
5.4.1 致癌毒性判定	71
5.4.2 毒性描述	71
5.4.3 土地利用类型	73
5.4.4 受体暴露途径分析	74
5.5 风险评估参数	74
5.6 风险表征	77
5.6.1 土壤污染风险表征	78
5.6.2 地下水污染物风险表征	78
5.7 风险评估的不确定性分析	79
5.7.1 不确定性来源	79
5.7.2 暴露风险贡献率分析	80
5.8 模型参数敏感性分析	82
6 场地风险控制值及风险控制范围	89
6.1 基于导则的风险控制值计算	89
6.1.1 制定方法	89
6.1.2 目标风险水平	89
6.1.3 风险控制值计算结果	91
6.1.4 建议的修复目标值	92
6.2 场地修复范围	93
6.3 场地风险控制措施	104
7 修复技术建议	105
7.1 修复技术筛选原则	105
7.2 修复技术简介	105
7.3 场地建议修复技术	112
8 结论和建议	113

8.1 风险评估结论	113
8.2 场地建议的修复目标值	114
8.3 场地建议修复范围	114
8.4 建议	114

1 项目概述

1.1 项目背景

山东新华制药股份有限公司的前身可追溯到 1943 年 11 月 1 日，最开始为军区制药小组；1944 年 10 月，胶东军区卫生部正式命名此制药小组为新华制药厂，起名“新华”，喻意是建立一个人民当家作主的新中华；1948 年 10 月，新华制药厂迁至淄博市张店区，即本项目所在地。经过 70 多年的发展，“新华制药”已成为 H 股、A 股上市公司，是全球重要的解热镇痛药生产和出口基地，国内重要的心脑血管类、抗感染类、中枢神经类、生物药物等生产企业。

山东新华制药股份有限公司老厂区位于山东省淄博市张店区东一路，新村东路的南侧。老厂区包括 201-207 共 7 个车间，主要产品为化学原料药、医药制剂、化工原料、医药中间体等 300 余个品种。随着化工企业的“退城进园”，老厂区于 2002 年起陆续搬迁，现今，除 202、206 车间位于新华中街南侧仍在生产，厂区内东北部分 204 车间地块已改建成为新华公园，剩余地块内车间均已停产，车间内大部分设备已拆除，现为仓库。

企业在历史生产过程中，可能因原辅材料的跑冒滴漏、大气粉尘沉降、废水的入渗、固废的淋滤等造成土壤及地下水污染，存在危害人体健康的潜在风险。按照我国相关规定，原工业企业退役场地在变更用地方式时需开展场地调查及风险评估工作，查明和消除场地土壤及地下水中残留污染物对人体健康的潜在危害，满足后续开发使用的要求。为此，山东省环境保护科学研究设计院有限公司（以下简称“山东省环科院”）受山东新华制药股份有限公司的委托，于 2019 年 1 月对老厂区部分地块开展了场地初步调查，2019 年 8 月开展了场地详细调查，分别形成了场地初步调查报告和场地详细调查报告并通过了淄博市生态环境局组织的专家评审和备案。调查结果显示：调查范围内地块（约 206.83 亩，不包括新华公园、新华中街南侧在产 202、206 车间地块）属于污染地块，土壤中苯、1,4-二氯苯、氯仿、苯并[a]芘、砷、汞、六价铬、镍、镉、石油烃(C₁₀-C₄₀)超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）一类用地筛选值；地下水中砷、氯苯、苯、氯仿和高锰酸盐指数超过《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类水质指标限值，另

外，地下水中有检出石油类。根据场地初步调查和详细调查结果，老厂区存在土壤和地下水污染，存在潜在人体健康风险，需要开展风险评估工作。

根据山东新华制药股份有限公司对老厂区未来利用方式的规划，老厂区东南角、西北侧部分地块将分别再开发和利用，老厂区东南角部分地块（约 46.5 亩）将转变为居住用地，与其南侧旧职工宿舍共同拆迁开发为居住小区；老厂区西北侧地块（约 160.33 亩）暂时用作仓库，未来可能规划为工业公园或电商产业园。据此，老厂区东南角部分地块未来用地类型属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第一类用地”，老厂区西北侧地块未来用地类型属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第二类用地”。因此，鉴于老厂区东南角、西北侧地块启动再开发时间不同、未来用地性质不同，根据企业委托，对东南角、西北侧地块分别开展风险评估工作，分别形成东南角部分地块风险评估报告和西北侧部分地块风险评估报告。

2019 年 10 月，山东省环科院接受山东新华制药股份有限公司的委托，对老厂区东南角约 46.5 亩部分地块开展风险评估，山东省环科院在初步调查、详细调查结果的基础上，进一步刻画了本场地污染概念模型，开展了基于人体健康的风险评估，制定了修复目标值划定了修复范围，并给出了修复合理化建议，编制《山东新华制药股份有限公司老厂区东南角部分地块场地风险评估报告》。

1.2 工作目的

本项目为新华制药老厂区东南角部分地块实施风险评估活动，其工作目的主要有以下几方面：

一、贯彻国家环保政策要求，确保污染地块安全再利用。

《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年 1 月 1 日起实施）第四十五条规定，土壤污染责任人负有实施土壤污染风险管控和修复的义务。国家《污染地块土壤环境管理办法》（试行）第十七条、第二十三条和第二十七条的规定，土地使用权人应当按照国家有关环境标准和技术规范，在污染地块土壤环境详细调查的基础上开展风险评估，编制风险评估报告；经风险评估确认需要治理与修复的污染地块，土地使用权人应当开展治理与修复；污染地块未经治理与修复，或者经治理与修复未达到相关规划用地土壤环境质量要求的，有关环保部门不予批准选址涉及该污染地块的建设项目环境影响评价报告书或报告表。

滞留在土壤和地下水中的污染物，可能对生活在该地块上的人体通过口腔摄入、皮肤接触、吸入土壤颗粒、吸入挥发出的污染蒸汽等途径造成致癌和非致癌的风险，因此通过风险评估，确定场地未来用途下人体健康的风险可接受程度，确保场地安全再利用是必不可少的。

二、进一步刻画场地污染概念模型，充实场地基础资料。

建立合理的场地污染概念模型对于有效指导后期污染场地修复至关重要。场地污染概念模型的建立主要基于在场地调查过程中收集的信息，综合考虑场地的水文地质情况、场地背景、污染源、污染物的迁移转化、可能的敏感受体等，充实场地基础资料，对污染物在场地内的分布、迁移途径以及可能存在的环境风险具有重要的科学指导意义。

三、开展人体健康风险评估，明确风险控制值。

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）相关要求对场地内筛选出的土壤及地下水关注污染物进行健康风险评估计算，明确场地土壤及地下水污染对未来使用人群造成的健康风险水平。筛选出高风险的污染物，计算高风险污染物在该规划用途方式下的土壤风险控制值，划定高风险区域。

四、确定修复目标、修复范围及方量，为场地修复提供技术支撑。

根据风险评估结果，确定场地对人体健康具有潜在危害的污染物类别，对比相关标准，建议污染物修复目标值，确定污染土壤和地下水修复范围和修复方量，为场地后期污染修复及安全合理开发提供科学依据与技术支撑。

1.3 评估范围

山东新华制药股份有限公司老厂区位于山东省淄博市张店区东一路，新村东路南侧。老厂区东临东二路，南侧为洪沟路。老厂区南临淄博市第五中学，西南向 800 米为淄博火车站，厂区地理位置见示意图 1.3-1。



图 1.3-1 山东新华制药股份有限公司老厂区场地地理位置示意图

在前期场地调查阶段，根据我单位编制的山东新华制药股份有限公司老厂区部分地块场地初步、详细调查报告，场地调查的范围为老厂区部分地块（约 206.83 亩，不包括新华公园、新华中街南侧在产 202、206 车间地块）。现今，根据企业再开发利用规划，老厂区东南角、西北侧部分地块将分别再开发和利用，老厂区东南角部分地块（约 46.5 亩）将转变为居住用地，与其南侧旧职工宿舍共同拆迁开发为居住小区；老厂区西北侧地块（约 160.33 亩）暂时用作仓库，未来可能规划为工业公园或电商产业园。据此，老厂区东南角部分地块未来用地类型属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第一类用地”，老厂区西北侧地块未来用地类型属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第二类用地”。因此，鉴于老厂区东南角、西北侧地块启动再开发时间不同、未来用地性质不同，根据企业委托，对东南角、西北侧地块分别开展风险评估工作，分别形成东南角部分地块风险评估报告和西北侧部分地块风险评估报告。因此，本次风险评估范围为老厂区东南角部分地块，本报告为东南角部分地块风险评估报告。场地调查阶段边界及本次风险评估范围如图 1.3-1 所示。

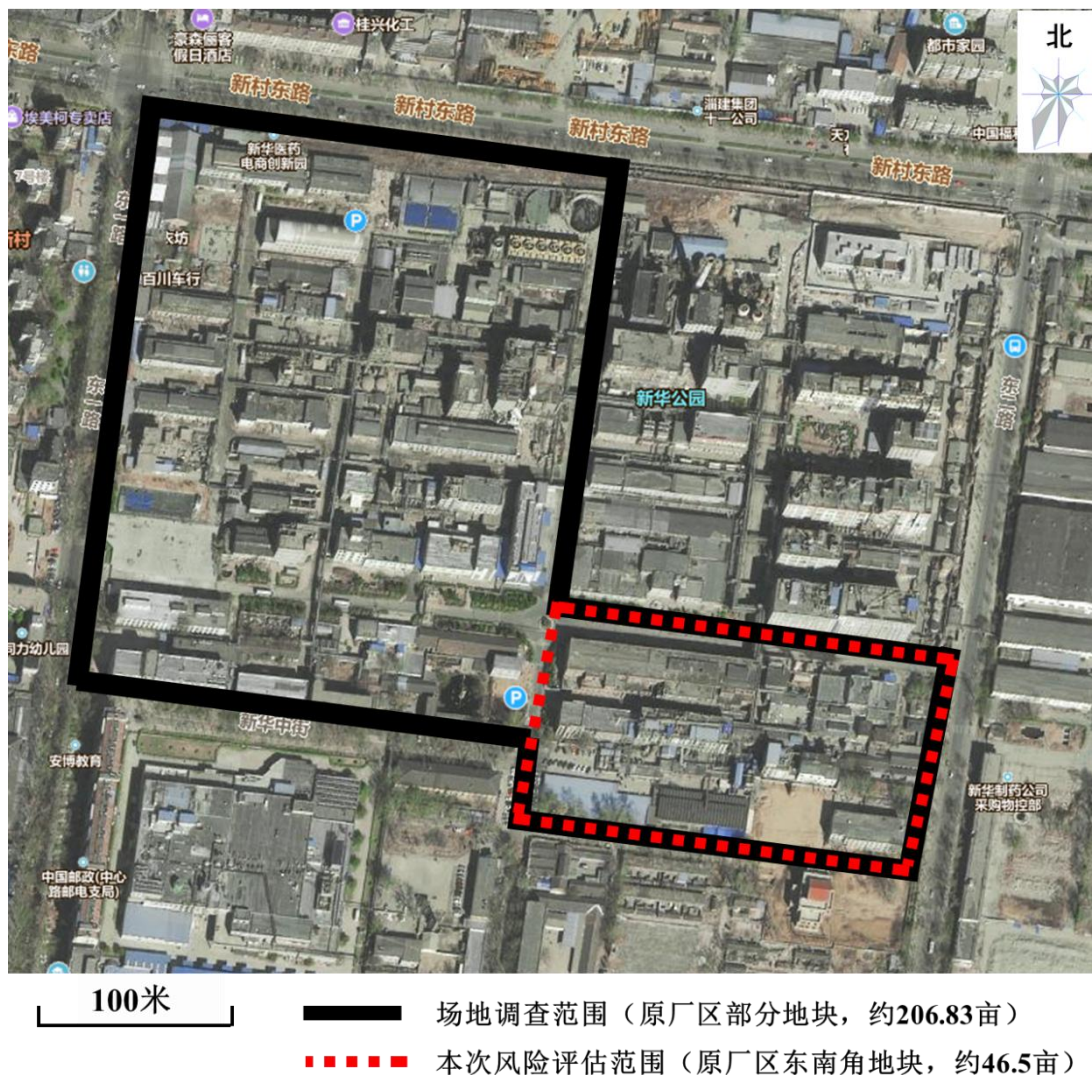


图 1.3-1 本次风险评估范围范围示意图

1.4 项目主要内容

本项目为开展老厂区东南角部分地块的风险评估工作，编制风险评估报告，根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），结合场地特征，主要污染物类型，本项目主要内容如下：

（1）构建场地污染概念模型

基于在场地调查过程中收集的信息，综合考虑场地的水文地质情况、场地背景、污染源、污染物的迁移转化、可能的敏感受体等，建立污染源-迁移途径-受体的暴露风险链条，构建场地概念模型，为风险评估计算提供基础参数。

（2）危害识别：根据场地调查阶段获取的资料，结合场地土地的规划利用

方式，确定污染场地的关注污染物、场地内污染物的空间分布和可能的敏感受体，如儿童、成人、地下水体等。

(3) 暴露评估：在危害识别的工作基础上，分析场地土壤中关注污染物进入并危害敏感受体的情景，确定场地土壤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，确定与场地污染状况、土壤性质、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的污染物所对应的土壤的暴露量。

(4) 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。确定污染浓度水平与健康反应之间的关系。

(5) 风险表征：在暴露评估和毒性评估的工作基础上，采用风险评估模型计算单一污染物经单一暴露途径的风险值、单一污染物经所有暴露途径的风险值、所有污染物经所有暴露途径的风险值；进行不确定性分析，包括对关注污染物经不同暴露途径产生健康风险的贡献率和关键参数取值的敏感性分析；根据需要进行风险的空间表征。

(6) 提出修复目标值，计算修复范围和修复方量。

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水平，明确场地是否需要进行进一步修复工作。若风险值不可接受，需开展场地修复工作，则提出场地修复目标值，划定修复范围，计算修复方量。

(8) 推荐修复治理建议。

基于场地污染概念模型，基于风险评估计算结果，根据《建设用地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2019) 选择修复模式，筛选修复技术，对修复工作给出合理化建议。

1.5 风险评估程序

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)，污染场地风险评估的主要流程见图 1.5-1 所示。

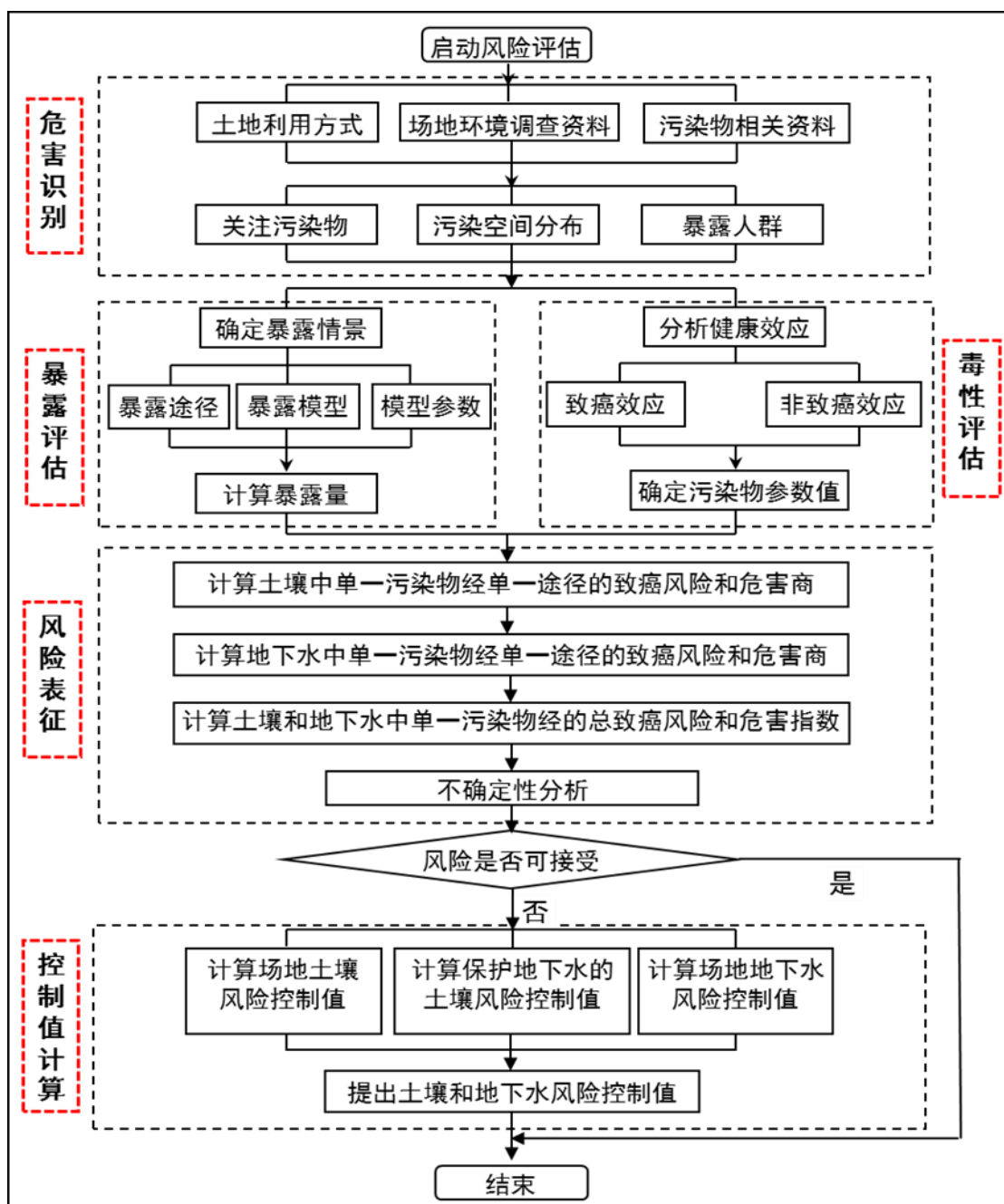


图 1.5-1 场地风险评估工作流程

1.6 编制依据

1.6.1 相关法律、法规、政策

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015年1月1日施行）；
- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019年1月1日起施行）；
- (3) 《关于加强土壤污染防治工作的意见》（环发〔2008〕48号）；

- (4) 《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]140号）；
- (5) 《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）；
- (6) 《土壤污染防治行动计划》（国发[2016]31号）；
- (7) 《污染地块土壤环境管理办法(试行)》（环境保护部令第42号）；
- (8) 《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）；
- (9) 《山东省土壤环境保护和综合治理工作方案》（鲁环发[2014]126号）；
- (10) 《山东省土壤污染防治工作方案》（鲁政发[2016]37号）；
- (11) 《山东省土壤污染治理与修复规划（2017—2020年）》；
- (12) 《山东省生态环境保护“十三五”规划》（鲁政发〔2017〕10号）。

1.6.2 相关技术导则、标准及规范

- (1) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）；
- (2) 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2-2019）；
- (3) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；
- (4) 《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）
- (5) 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5-2018）；
- (6) 《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ682-2019)；
- (7) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》；
- (8) 《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ1019-2019)；
- (9) 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》（环保部公告2017年72号）；
- (10) 《工程测量规范》（GB50026-2007）；
- (11) 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）
- (12) 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）；
- (13) 美国 EPA 区域筛选值（Regional Screening Levels, RSLs）；
- (14) 《中国土壤元素背景值》；

- (15) 《地下水质量标准》(GB14848-2017);
- (16) 《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006);
- (17) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004);
- (18) 《地下水环境监测技术规范》(HJ/T164-2004);
- (19) 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)
- (20) 其他现行的国家技术导则、标准及规范。

1.6.3 其他资料

- (1) 《新华制药厂老厂区现状平面图》，(2009年);
- (2) 《山东新华制药股份有限公司搬迁技改扩建年产 15000 吨阿司匹林项目环境影响报告书》(南京科泓环保技术有限责任公司，2008年);
- (3) 《醋酸氢化可的松工艺规程》(山东新华制药股份有限公司提供);
- (4) 《氢可工艺流程图》(山东新华制药股份有限公司提供);
- (5) 《205 车间高浓污水管路走向图》(山东新华制药股份有限公司提供);
- (6) 《安乃近产品生产工艺流程》(山东新华制药股份有限公司提供);
- (7) 《安替比林工艺流程图》(山东新华制药股份有限公司提供);
- (8) 《氨基比林工艺流程图》(山东新华制药股份有限公司提供);
- (9) 《异丙安替比林操作工艺流程 2007》(山东新华制药股份有限公司提供);
- (10) 《原料产品列表》(山东新华制药股份有限公司提供);
- (11) 《山东新华制药股份有限公司老厂区场地初步调查与风险评估项目》合同;
- (12) 《山东新华制药股份有限公司老厂区场地初步调查报告》(山东省环境保护科学研究设计院有限公司，2019年7月);
- (13) 《山东新华制药股份有限公司老厂区部分地块场地环境详细调查报告》(山东省环境保护科学研究设计院有限公司，2019年11月)。

2 场地概况

2.1 区域概况

2.1.1 地理位置

淄博市张店区位于北纬 36°4'30"-36°54'00"，东经 117°55'40"-118°12'20"，位于山东省淄博市中部，是淄博市的中心城区，是淄博市的政治、经济、文化、金融和科技中心。张店区地处鲁中，东与临淄相接，西与周村毗连，南与淄川接壤，北与桓台为邻。张店区东西最大横跨 24.5 公里，南北最大纵距 21.1 公里，总面积 244 平方公里。

新华制药股份有限公司位于山东省淄博市张店区东一路 14 号，地处张店区的中部城区，距离淄博火车站 0.79 km，北距济青高速公路 7.73 km，其地理位置示意图如图 1.3-1 所示。

2.1.2 社会经济概况

(1) 经济概况

张店位于山东省中部，东临齐国故都，南接聊斋故里，属山东半岛对外开放区、环渤海经济发展带、半岛城市群，是中国城市综合实力 50 强，全区辖有 7 个镇、6 个办事处，127 个行政村，人口总数 75 万，全区总面积 244.2 平方公里，城市化水平达 82.49%。是淄博市的中心城区，市政治、经济、文化、金融、科技和流通中心。本区工业发达，驻地有三百多家市属以上企业，大中型厂矿密集。2012 年张店区实现生产总值(GDP)723.42 亿元，按可比价格计算，比 2011 年增长 10.58%。其中：第一产业 1.39 亿元，同比降低 22%；第二产业 342.72 亿元，同比增长 10.83%；第三产业 379.32 亿元，同比增长 10.52%。

(2) 社会概况

2012 年，张店区户籍总户数 22.91 万户，户籍人口 63.53 万人。其中：非农业人口 50.28 万人，农业人口 13.25 万人。张店区是山东省重要的交通枢纽城市，距省会济南 110 公里，距济南国际机场 70 公里。胶济铁路横贯东西，张博铁路、辛泰铁路、淄东铁路纵穿南北。济青高速公路、滨莱高速公路在区内交汇。309 国道、803 省道及 16 条地方骨干道路，构成了四通八达的方形网状道路骨架，形成了高速化、网络化的现代交通格局。

2.1.3 自然资源

(1) 土地资源

张店区土地总面积为 24507.96 公顷，其中农用地 11117.73 公顷，包括耕地 8232.61 公顷，园地 456.85 公顷，林地 1520.67 公顷，其他农用地 907.6 公顷；建设用地 12782.78 公顷，包括居民点及工矿用地 11876.47 公顷，交通用地 879.30 公顷，水利设施用地 27.01 公顷；未利用地 607.45 公顷，包括未利用土地 409.99 公顷，其他土地 197.46 公顷。张店区森林覆盖率达到 28.1%，平原面积为 176.73 平方公里，占张店区土地总面积的 72.43%。

(2) 矿产资源

境内矿产资源种类多，储量丰富。截至 2008 年底，区内共发现煤、地热、铁、铜、钴、铝土、耐火粘土、石灰石、建筑用砂、砖瓦用粘土等 10 种矿产资源。其中，煤、铁矿、铝土矿、石灰石储量丰富。

(3) 水资源

张店区年地表水可利用量 420 万立方米，客水可供水量 7000 万立方米，地下水补给量 7500 万立方米，地下水资源量 7500 万立方米，地下水资源开采量 6500 万立方米。

(4) 植被

张店区为华北落叶阔叶林区，多为人工植被，区内林种资源丰富，主要用材树种有侧柏、刺槐、毛白杨、黑杨、绒毛白蜡、泡桐等；经济树种有苹果、梨、桃、葡萄、山楂等；灌木树种有白蜡、黄荆、酸枣、胡枝子等；城市园林绿化树种有法桐、垂柳、龙爪槐、雪松、紫荆、紫薇、月季等。

草本植物有禾本科、菊科、豆科、蔷薇科、蓼科、藜科、莎草科等；栽培农作物有小麦、玉米、高粱、花生、地瓜等。

(5) 森林资源

全区林业用地面积 5829 公顷，其中林地面积 5320 公顷；未成林造林地 509 公顷；农田林网面积 2114 公顷。全区林木蓄积总量 616698 立方米，全区森林覆盖率 28.1%，林木覆盖率达到 30.86%。张店区树种资源共 44 科，82 属，152 种。乡土树种有毛白杨、国枫等。引进品种主要有沙兰杨、72 杨、69 杨，I-214 杨、健杨、107 杨等。主要经济树种有苹果、葡萄等。

2.1.4 气象水文

2.1.4.1 气候条件

张店区属暖温带半湿润、半干旱季风气候区。季节变化显著，四季分明，降雨量集中，气候温和。春季少雨干旱，夏季雨量集中，冬季干旱少雨雪。年干燥度 1.3。

(1) 日照与太阳辐射

境内日照时数平均为 2553.6 小时，80% 保证率的日照时数为 2352.8 小时。年太阳总辐射量平均 122.9 千卡/平方厘米。

(2) 气温

2008 年境内平均气温 14.8℃，年平均气温最多相差 2.3℃。年内平均地面温度为 15.1℃。

(3) 降水

境内年均降水 621.8 毫米，年均总降水量为 22232.6 万立方米，时空分布差异很大。其中，区内南部丘陵地区多年平均降水量为 660 毫米左右，而西北部平原为 610 毫米，相差 50 毫米。

(4) 气压和风

境内历年平均气压为 1012.6 毫巴，变化规律是：上半年逐渐下降，至 7 月份降到最低值。下半年从 7 月份以后逐渐上升，形成对成的“V”字形变化。

境内全年的主要风向为南风 and 西南风，平均频率为 14%，年平均风速为 3 米/秒。每年平均发生大风的天数为 16.3 天。

(5) 湿度和蒸发

境内年平均绝对湿度为 11.6 克/立方米，年平均相对湿度为 64%。多年平均蒸发量为 2138.7 毫米，是多年平均降水量的 3.4 倍。全年除 7、8 月份降雨稍大于蒸发外，其他月份均小于蒸发量。

(6) 霜期

境内的初霜期多年平均出现在 10 月 20 日，终霜期平均出现在 4 月 12 日，历年平均无霜期为 190 天，绝对无霜期 145 天。

2.1.4.2 水文

水资源有地表水和地下水。张店全区地表水可利用量 420 万立方米，客水可供水量 7000 万立方米，地下水补给量 7500 万立方米，地下水资源量 7500 万立方米，地下水资源开采量 6500 万立方米。大气降水是水资源的主要补给源，年降水量一般在 600-640mm 之间。张店区内的河流有孝妇河、猪龙河、涝淄河、漫泗河等主要河流，流经区内长度分别为 17 公里、21.8 公里、30.6 公里、6.8 公里。除猪龙河外，均为过境北向河流。

2.1.5 地形地貌

张店区位于淄博向斜盆地东麓的北缘，处于低山丘陵区向黄泛平原过渡地带，地势东高西低，南高北低，较为平缓。平原面积占全区土地总面积的 72.4%。境内山丘属鲁山山脉，计有大头山 40 余座，小山峰 100 余座。东北部有一呈北东走向的山体，主峰为黑铁山，海拔高度 254 m，为张店区最高山峰。

张店区的地貌分三种类型：一、构造剥蚀残余丘陵地貌，分布于张店的东南部；二、剥蚀堆积倾斜平原地貌，分布于张店的东北部；三、堆积倾斜平原地貌，分布于张店的中西部。

2.1.6 土壤

淄博市土壤质地适中，土壤母质多为黄土洪积、冲积物。本区的土壤类型主要有褐土、砂姜黑土两大土类，分褐土性土、褐土、潮褐土和砂姜黑土 4 个亚类，共 9 个土属，28 个土种。褐土面积共 17685.6 公顷，占土壤总面积的 73.8%，姜黑土面积共 6286.1 公顷，占土壤总面积的 26.2%。

2.2 场地及周边现状

2.2.1 场地环境现状

根据场地详细调查 2 次现场踏勘情况及最近一次对山东新华制药股份有限公司老厂区开展的现场调研（2019 年 10 月 12 日），现场人员发现：

- (1) 调查区域内大部分地表以上的构筑物未拆除，场地平整；
- (2) 污水处理池、污水处理设备等均已拆除，此外，现场仍存有几座水池；
- (3) 场内西南角污水池内有积水，厂区北部污水处理设施内无积水，部分车间内、车间外有遗留的固体废物，场地内植物生长状况良好。

- (4) 现场踏勘时，风力约 4 级，未发现有刺激性气味。

调查区域内环境现状照片如图 2.2-1 所示。

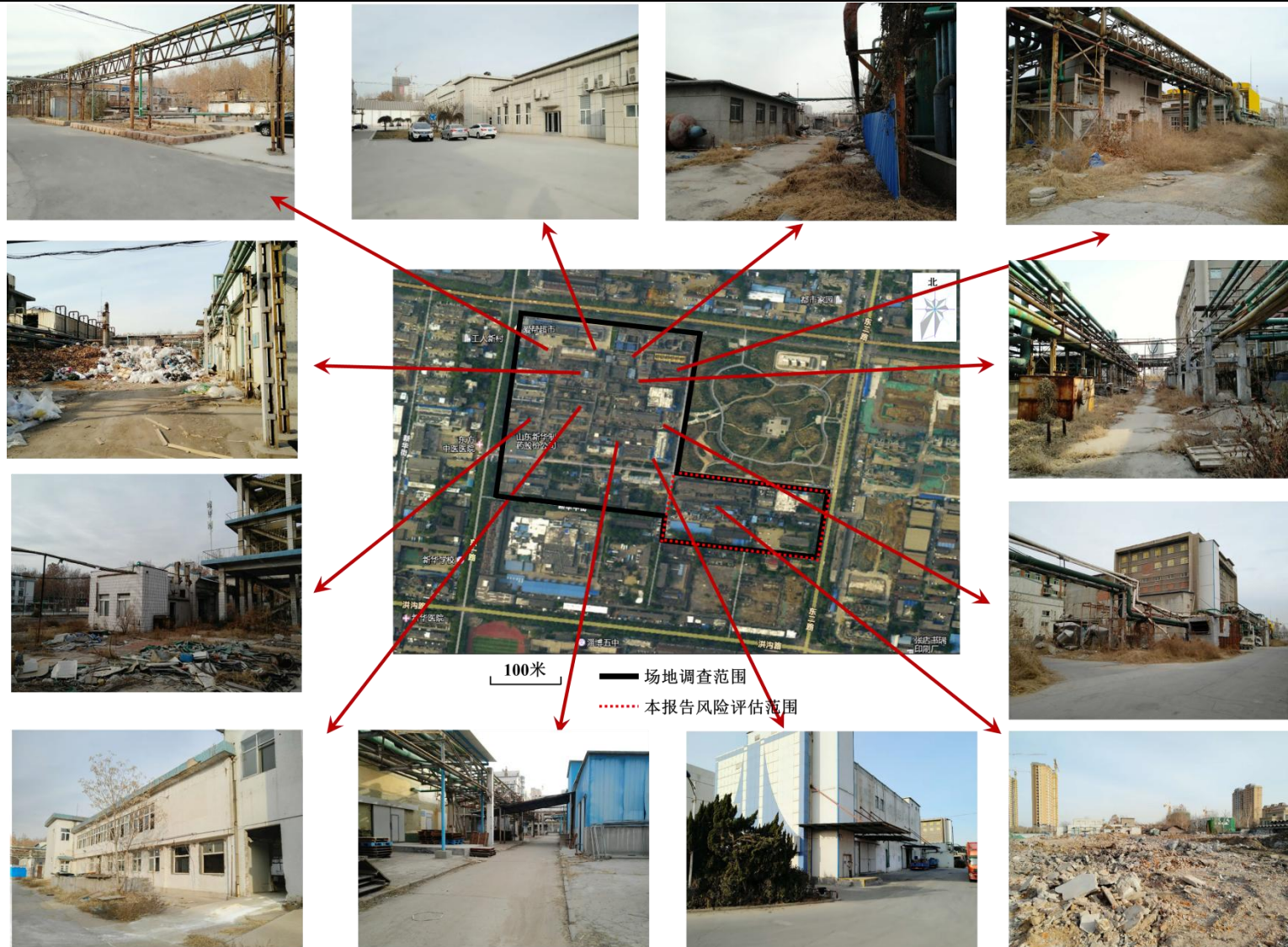


图 2.2-1 场地调查阶段山东新华制药股份有限公司老厂区现场场景

2.2.2 场地周边土地环境现状及敏感目标

新华制药股份有限公司位于山东省淄博市张店区东一路 14 号，地处张店区的中部城区，位于新村东路南侧。厂区东临东二路，南侧为洪沟路。厂区南临淄博市第五中学，西南向 800 米为淄博火车站，北距济青高速公路 7.73 km。

从厂区周边敏感目标分布和土地利用现状来看，厂区紧邻学校、市政公园，附近敏感目标较多。

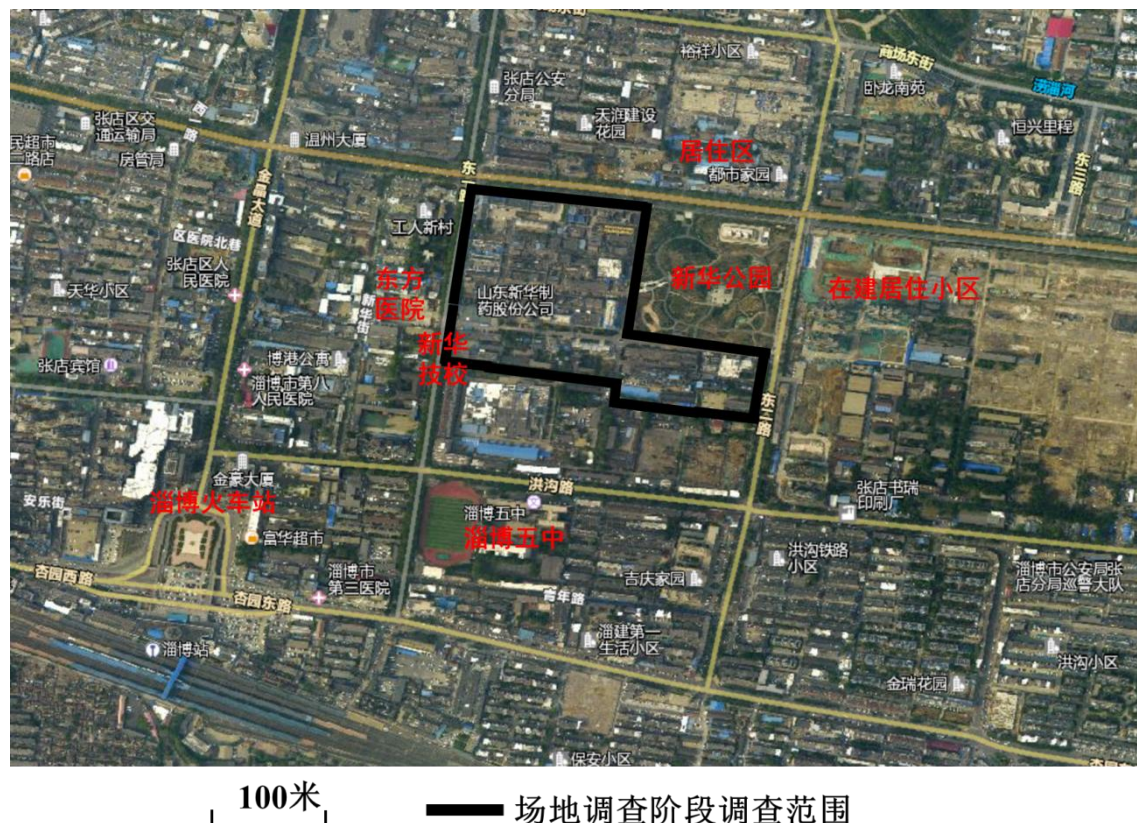


图 2.2-2 场地周边土地利用现状及周边敏感目标

2.2.3 场地周边企业污染源分析

如图 2.2-3 所示。场地东侧有两家较大的化工企业，距离调查范围东北方 300 米为，山东蓝星东大有限公司，距调查范围东边界东侧 300 米为山东大成农药股份有限公司。

山东蓝星东大有限公司隶属于中国化工集团旗下中国蓝星（集团）股份有限公司新材料板块，是山东省高新技术企业，国家火炬计划重点高新技术企业，中国聚氨酯工业协会副理事长单位和多元醇专业委员会主任单位，全国化工 500 强。山东蓝星东大有限公司位于淄博市张店区新村东路 21 号，老厂区的主要产

品主要产品为阴阳离子树脂,主要原料有苯乙烯,二乙烯苯等有机物以及酸碱。根据《蓝星东大场地初步和详细调查报告》,厂区存在土壤及地下水重金属、VOCs、SVOCs 的污染,原地块将规划为居住用地。

山东大成农药股份有限公司淄博市张店区洪沟路 25 号。主营产品为各类杀菌剂,杀虫剂,除草剂等农药和农药中间体。厂区大致可分为办公区、生产区、仓储区及污水处理区。办公区位于厂区西南方;生产区位于厂区的中部和东部。厂区中部主要布置生产敌百虫、氧乐果、甲氰菊脂等装置,厂区东部主要布置氯碱装置、敌敌畏、二氯苯等装置;仓储区主要布置在厂区北部。根据《山东大成农化(大成农药股份)有限公司土壤污染治理与修复试点示范项目场地环境调查及风险评估报告》,厂区存在土壤及地下水重金属、VOCs、SVOCs 的污染,并于 2018 年实施了修复工程,原地块将规划为居住用地。



—— 场地调查范围边界

图 2.2-3 场地周边化工企业位置示意图

2.3 场地利用规划

根据山东新华制药股份有限公司对老厂区未来利用方式的规划,老厂区东南角、西北侧部分地块将分别再开发和利用,老厂区东南角部分地块(约 46.5 亩)将转变为居住用地,与其南侧旧职工宿舍共同拆迁开发为居住小区;老厂

区西北侧地块（约 160.33 亩）暂时用作仓库，未来可能规划为工业公园或电商产业园。据此，老厂区东南角部分地块未来用地类型属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第一类用地”，老厂区西北侧地块未来用地类型属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第二类用地”。因此，鉴于老厂区东南角、西北侧地块启动再开发时间不同、未来用地性质不同，根据企业委托，对东南角、西北侧地块分别开展风险评估工作，分别形成东南角部分地块风险评估报告和西北侧部分地块风险评估报告。

本报告为东南角部分地块（约 46.5 亩）风险评估报告，其用地未来规划为居住用地，属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第一类用地”。

3 场地调查及结果回顾

在场地调查阶段，我单位受山东新华制药股份有限公司的委托，通过收集企业可研报告，环评报告等相关资料，经过现场多次勘查，开展了场地内主要产品工艺分析，主要原辅材料分析，识别了调查范围内地块内的主要污染物，并按照国家调查技术导则、建设用地调查技术指南等技术规定，通过分区布点，加密布点，补充采样等方式，使用 Geoprobe 专业场调钻机采集了场地内土壤样品（初步调查 343 个样品、详细调查 456 个样品）和地下水样品（初步调查 9 个样品、详细调查 20 个样品），根据识别污染指标的检测结果，经数据整理分析，分别于 2019 年 7 月形成了场地初步调查报告，2019 年 11 月形成了场地详细调查报告，并通过了淄博市生态环境局组织的专家评审和备案。调查结果显示：调查范围内地块（约 206.83 亩，不包括新华公园、新华中街南侧在产 202、206 车间地块）属于污染地块，土壤中苯、1,4-二氯苯、氯仿、苯并[a]芘、砷、汞、六价铬、镍、镉、石油烃(C₁₀-C₄₀)超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）一类用地筛选值；地下水中砷、氯苯、苯、氯仿和高锰酸盐指数超过《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水质指标限值，另外，地下水中有检出石油类。根据场地初步调查和详细调查结果，老厂区存在土壤和地下水污染，存在潜在人体健康风险，需要开展风险评估工作。

3.1 场地污染识别

3.1.1 场地布局与历史

山东新华制药股份有限公司前身为山东新华制药厂，始建于 1943 年 11 月，主要产品为化学原料药、医药制剂、化工原料、医药中间体等 300 余个品种。公司简介详见表 3.1-1。

表 3.1-1 山东新华制药股份有限公司企业概况

企业名称	山东新华制药股份有限公司	所属行业	医药制造
企业类型	国有企业	法人代表	张代铭
地址	山东省淄博市张店区东一路 14 号		
主要产品、生产能力	安乃近：6045 吨/年、阿司匹林 7800 吨/年、布洛芬 6000 吨/年、咖		

	啡因 4500 吨/年、氢化可的松 23 吨/年、甲氧苄啉 900 吨/年、异丙安替比林 550 吨/年、吡哌酸 384 吨/年。		
建厂日期	1943 年 11 月	投产日期	1943 年 11 月

山东新华制药股份有限公司的前身可追溯到 1943 年 11 月 1 日，时任胶东军区司令员许世友将军、参谋长贾若瑜将军从军区卫生部抽调 18 名战士在牙前县后垂柳村成立了一个制药小组，进行药品的研制和生产，即新华制药厂的前身。1944 年 10 月，胶东军区卫生部正式命名制药小组为新华制药厂。起名“新华”，喻意是新中国必将代替旧中国，建立一个人民当家作主的新中华。1948 年 10 月，随着全国解放进程的推进，经过两个月的长途行军，新华制药厂迁至淄博市张店区。经过 70 多年的发展，山东新华制药股份有限公司已成为 H 股、A 股上市公司，全球重要的解热镇痛药生产和出口基地，国内重要的心脑血管类、抗感染类、中枢神经类、生物药物等生产企业，拥有化学原料药、医药制剂、医药中间体、医药商业物流四大支柱产业，六大产业园区，总资产 54 亿元，职工 6400 余名，化学原料药年生产能力 3.8 万吨，医药中间体 50 万吨，片剂 80 亿片，小容量注射剂 8 亿支、大容量注射剂 1000 万瓶、胶囊 15 亿位。在历史发展中，新华制药曾派出大批干部和技术人员，援建了华北制药、西北第二合成制药等国家大型骨干制药，为国家医药行业培养了大批干部和技术人才。在长期的发展过程中，新华以“保护健康、造福社会”为企业使命，形成了“品质至上、科学发展”的核心价值观，致力于建设高科技的新华、国际化的新华、充满人文精神的新华。

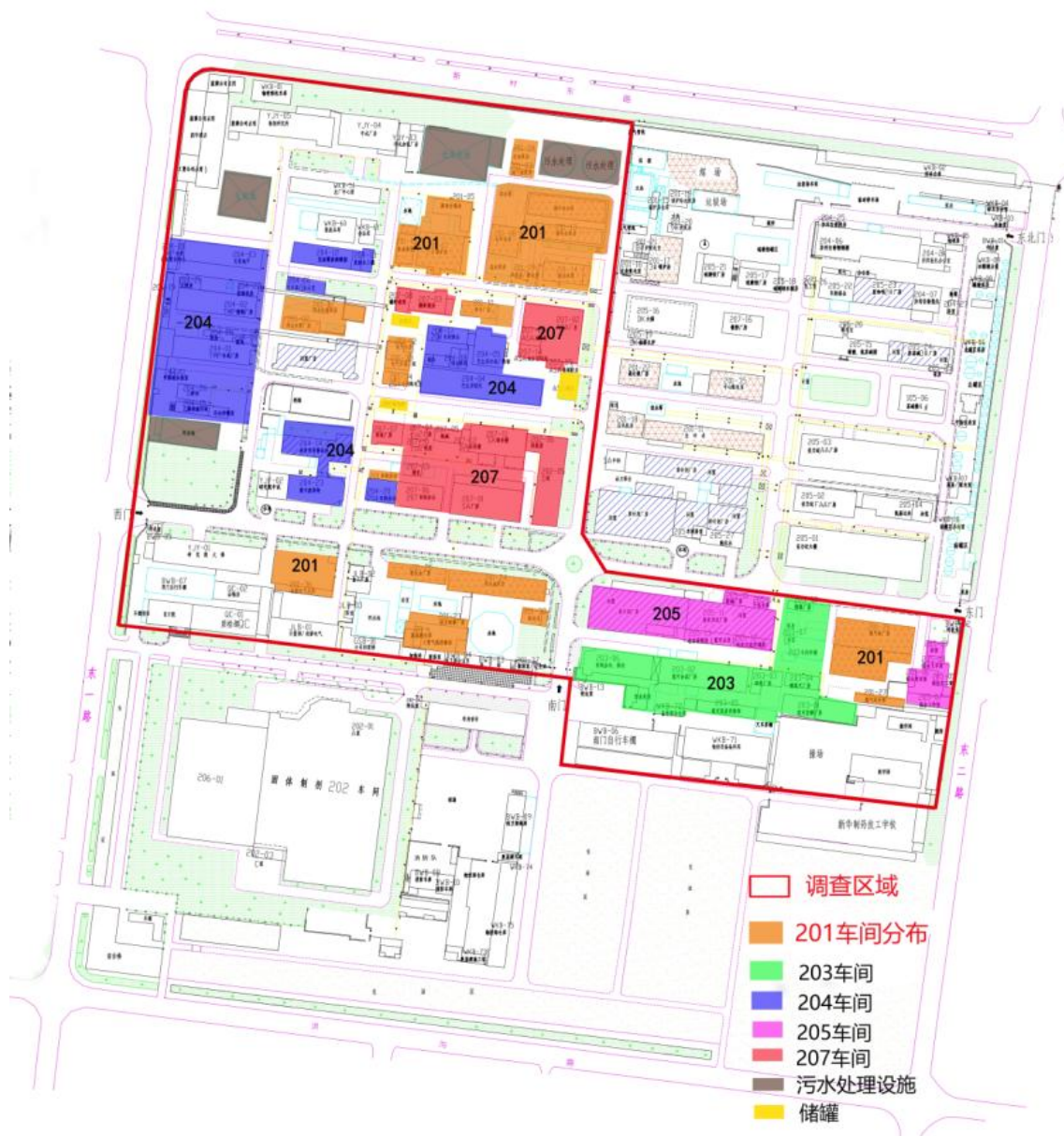
其中，207 车间（阿司匹林、水杨酸）于 2009 年搬迁至湖田工业园，原车间于 2009 年停产，203 车间安乃近、氨基比林产品于 1958 年投产，2002 年 11 月停产。老厂区所有车间均于 2010 年前停产，2019 年 10 月进场踏勘发现，现有部分车间已作为仓库，存放医药成品，大部分车间建筑物未拆除，污水处理设施已被拆除。

原企业生产车间和布局经过多次调整和重建，截止 2009 年，山东新华制药股份有限公司生产区主要包括 201-207，7 个车间。其中 201 为动力车间，其余为原料药的生产车间。企业主要功能车间如表 2.3-2。厂区平面布置图和功能分区见图 2.3-2，根据业主委托，厂区东北角已改建为新华公园，202、206 车间位于新华中街南侧在产在用，不在场地调查范围内，调查范围内功能车间分布见

图3.1-1。新华制药老厂区车间分布图见图3.1-2。厂区污水管路示意图见图3.1-3。

表 3.1-2 新华制药老厂区主要功能车间及历史

车间号	主要生产产品	建设历史描述
201 车间	动力车间（制冷厂房、配电室、机修仓库、泵房、污水处理设施等）	建设年代最久，上世纪 50 年代建成，各车间使用功能可能经多次调整。
202 车间	镇痛消炎药和心脑血管疾病用药，如阿司待因片、安乃近片、布洛芬片等。	不在本次调查范围，位于南侧 202 制剂车间，目前在产使用
203 车间	氢化可的松、醋酸泼尼松、醋酸氢化可	建成年代不详
204 车间	异丙安替比林	已于 2016 年改建为新华公园，不在本次调查范围内。
	甲氧苄啶、巴比妥、尼莫地平、克林霉素、聚卡波非钙	甲氧苄啶、巴比妥、聚卡波非钙于 2012 年搬迁至一分厂
205 车间	安乃近、氨基比林	1958 年投产。205 车间部分位于新华公园地块，不在本次调查范围内。
206 车间	制剂车间，VC 泡腾片	不在本次调查范围，位于新华中街南侧，目前在产使用
207 车间	阿司匹林、水杨酸	1961 年建成投产，2008 年停产，搬迁至湖田工业园区
备注：其中，204 车间尼莫地平、克林霉素、聚卡波非钙产品产量较少，历史生产时间较短		



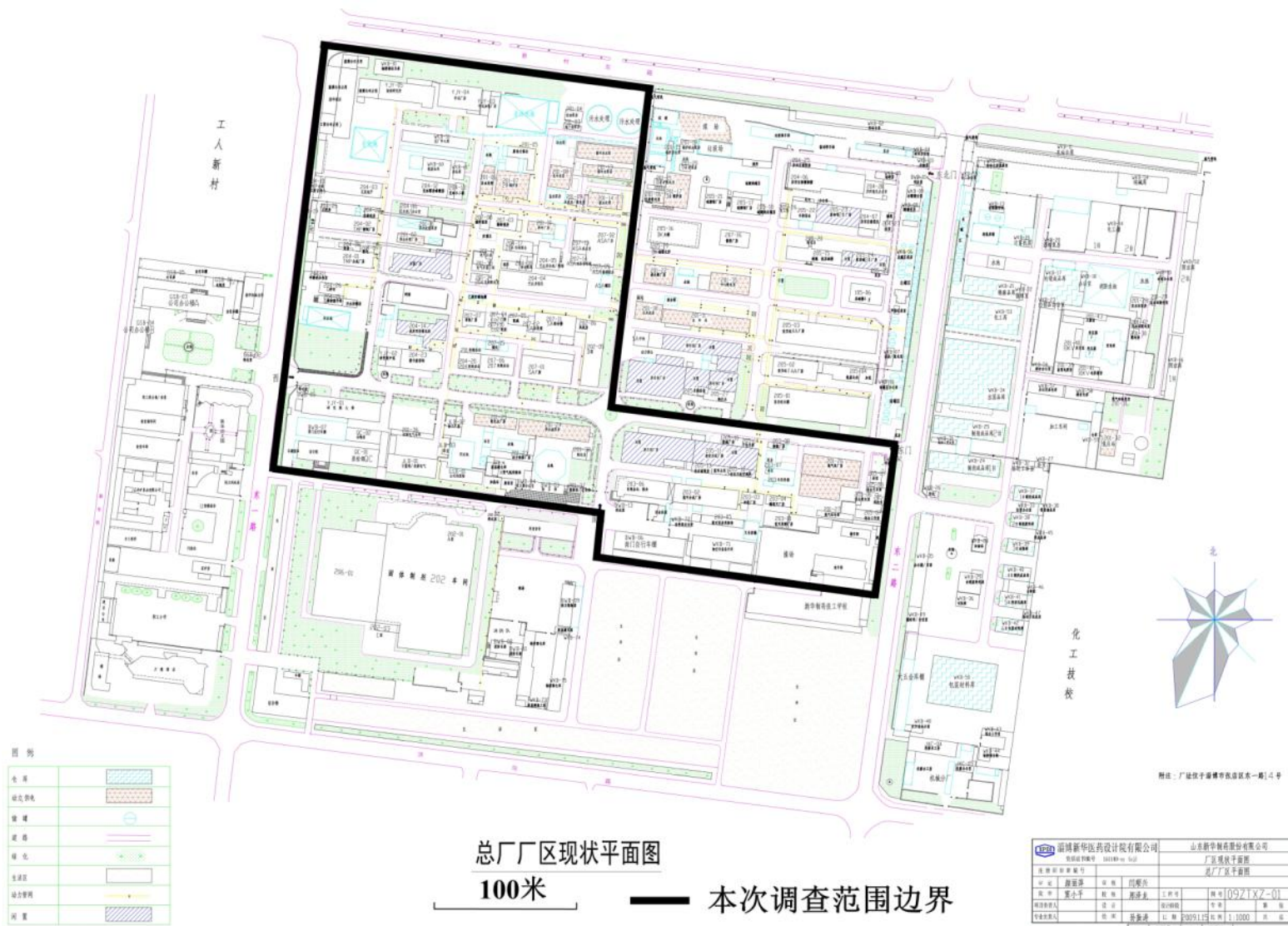


图 3.1-2 新华制药老厂区车间分布图

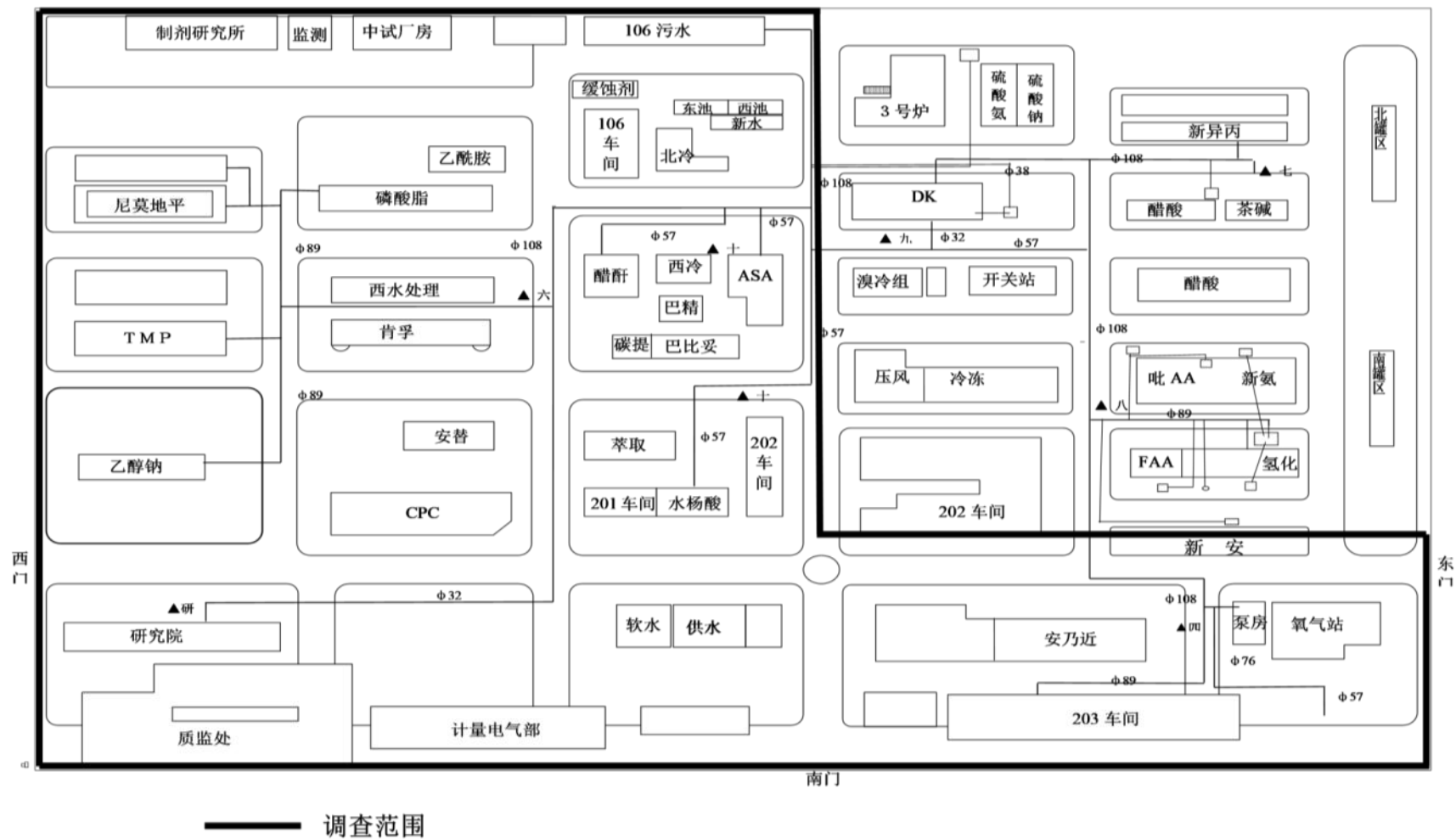


图 3.1-3 厂区污水管路示意图

3.1.2 主要产品及原辅材料

调查范围内的车间为 201 车间、203 车间、204 车间、205 车间、207 车间。由于建厂年代久远，根据业主提供资料和现场访谈，各车间历经 70 余年的变革，很多车间用途也几经调整，现对各车间生产产品进行概述。主要产品及特性见表 3.1-3。

表 3.1-3 调查区域内车间主要产品类型及其特性一览表

序号	车间号	产品名称	产品特征
1	203	氢化可的松	白色或几乎白色结晶性粉末；无臭。初无味，随后又持续的苦味；遇光易变质。不溶于水，熔点：211-214℃。
2		醋酸泼尼松	白色或几乎白色的结晶性粉末；无臭，味苦。不溶于水，微溶于乙醇、醋酸乙酯，略溶于丙酮，易溶于氯仿。
3		醋酸氢化可的松	白色结晶性粉末，无臭，味苦。呈右旋光性。微溶于乙醇、乙醚、氯仿、丙酮，不溶于水。熔点 216~222℃。
4	204	甲氧苄啶	白色或类白色结晶性粉末；无臭，味苦。本品在氯仿中略溶，在乙醇或丙酮中微溶，在水中几乎不溶；在冰醋酸中易溶。熔点 本品的熔点为 199~203℃。
5		异丙安替比林	白色或微黄色结晶性粉末；无臭，味苦。在水中难溶，在乙醇、氯仿、苯中易溶。熔点：102-105℃。
6		巴比妥	无色针状结晶或白色粉末。溶于热水、乙醇、乙醚、氯仿。在氢氧化碱溶液或碳酸碱溶液中溶解。无臭，味微苦。熔点 188-192℃。
7	205	安乃近	白色至略带微黄色的结晶或结晶性粉末；无臭，味微苦；水溶液放置后渐变黄色。本水中易溶，在乙醇中略溶，在乙醚中几乎不溶。
8		氨基比林	白色叶状结晶或结晶性粉末。无气味，味微苦。在空气中稳定，但在日光下会变质，当有水分时，易与弱氧化剂起化学反应。易溶于醇、氯仿、苯和乙醚，能溶于水。在水中的溶解度随苯甲酸钠的加入而增加。水溶液对石蕊呈弱碱性。熔点为 107-109℃。
10	207	阿司匹林	白色针状或板状结晶或粉末。无气味，微带酸味。在干燥空气中稳定，在潮湿空气中缓缓水解成水杨酸和乙酸。在乙醇中易溶，在乙醚和氯仿溶解，微溶于水，在氢氧化钠溶液或碳酸钠溶液中能溶解，但同时分解。熔点 135~140℃。

11		水杨酸	白色针状结晶或单斜棱晶，有特殊的酚酸味。在空气中稳定，但遇光渐渐改变颜色。微溶于冷水，易溶于热水，乙醇，乙醚和丙酮，溶于热苯。熔点 158~161 ℃。
----	--	-----	--

本项目的主要原料及其特性具体见表 3.1-3。

表 3.1-3 原辅材料及其特性一览表

产品名称	原料名称
氢化可的松	薯蓣皂素、醋酐、冰醋酸、乙醇、环乙烷、甲醇、氢氧化钠、过氧化氢、甲苯、环己酮、异丙醇铝、氮气、溴氢酸、醋酸铵、吡啶、Raney 镍、碘溶液、氯化钙、醋酸钾、铬酐
醋酸氢化可	氢可成品、丙酮、醋酐、醋酸、无水醋酸钠、碳酸氢钠、饮用水、乙醇、活性炭
甲氧苄啶	TMP 粗品、醋酸、纯化水、活性炭、EDTA•2Na、亚硫酸氢钠、氨水
异丙安替比林	工业乙醇、回收乙醇、镍铝合金、液体氢氧化钠、丙酮、吡啶酮、氢气、硫酸二甲酯、活性炭、纯化水
苯巴比妥	工业乙醇、活性炭、盐酸
安乃近	吡啶酮、硫酸二甲酯、甲酸、甲醛、酒精、亚硝酸钠、氢氧化钠、液氨、硫酸、活性炭、焦亚硫酸钠、回收甲醇、回收硫酸水
吡啶酮	冰醋酸、磷酸三乙酯、苯肼
氨基比林	吡啶酮、硫酸二甲酯、甲酸、甲醛、乙醇、亚硝酸钠、液碱、液氨、硫酸、纯碱、活性炭、镍铝合金、煤油、回收硫酸钠、回收甲醇、水
阿司匹林	96%醋酸、99.5%水杨酸、30%液碱
水杨酸	苯酚、氢氧化钠、二氧化碳、硫酸、活性炭、硅藻土、蜡油、甲基异丁基甲酮

3.1.3 产污环节分析

(1) 203 车间

主要产品为：氢化可的松、醋酸泼尼松、醋酸氢化可的松。

氢化可的松生产中产生的废水包含含铬废水和生活污水，铬酸氧化过程会产生含铬废水，日常生活和清洗会产生生活污水。产生的污水在污水处理池进行处理。

醋酸氢化可的松生产中产生污水：主要有粗品离心母液、粗品离心洗水、精制离心母液、生活污水。粗品离心母液（含丙酮、醋酸、少量甾体化合物）、

粗品离心洗水(含 NaAC、少量甙体化合物)、生活污水进入高浓度污水池处理。
精制离心母液(含乙醇、甙体化合物)在生产中套用。

(2) 204 车间

主要产品为甲氧苄啶、异丙安替比林、巴比妥、尼莫地平、克林霉素、聚卡波菲钙。其中尼莫地平、克林霉素、聚卡波菲钙产量较少,生产工艺基础资料不详。

甲氧苄啶生产过程中产生废水主要有:洗涤产生的废水、离心后产生的废水,回收后同一处理。废渣:过滤产生的废渣,回收后统一处理。

异丙安替比林生产废水:主要有洗涤废水、甲化岗位产生的母液和废化学药剂,废水排入高浓废水罐统一处理。废化学药剂(氢化岗位精馏高沸残液含异丙醇、丙酮,甲化岗位产生的硫酸钠、废甲醇)回收后外售或重复利用固废:主要有粗品精制产生的废碳,废碳回收后交相关方处理。

苯巴比妥生产废水:洗涤产生的废水、离心后产生的废水,回收后同一处理。废渣:过滤产生的废渣,回收后同一处理。

(3) 205 车间

主要产品有安乃近、氨基比林、吡唑酮。

安乃近生产废水:主要有水解产生的水解液、二次中和产生的 Na_2SO_4 母液、脱水产生的废水、废酒精、洗涤水、废甲醇。水解产生的水解液、废酒精和 Na_2SO_4 母液回收利用,脱水产生的废水和洗涤水回收后统一处理。废酒精、废甲醇精馏后重复利用。废气:主要有 NO_x 、 SO_2 , NO_x 去吸收塔进行吸收, SO_2 与 NH_3 和水反应后重复利用。固废:主要有过滤产生的滤渣、废活性炭、废胶体,固废均为同一回收后处理。

氨基比林废水:主要有水解产生的水解液、二次中和产生的 Na_2SO_4 母液、脱水产生的废水、废酒精、洗涤水、废甲醇、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 废母液。水解产生的水解液、废酒精和 Na_2SO_4 母液回收利用,脱水产生的废水和洗涤水回收后统一处理。废酒精、废甲醇精馏后重复利用。废气:主要有 NO_x 、 SO_2 、流化床干燥产生的废气, NO_x 、流化床干燥产生的废气去吸收塔进行吸收, SO_2 与 NH_3 和水反应后重复利用。固废:主要有过滤产生的废活性炭、废胶体,固废均为同一回收后处理。

吡唑酮废水：洗涤产生的废水和生活污水，回收后统一处理。

(4) 207 车间

207 车间主要产品为水杨酸和阿司匹林。

水杨酸生产过程产生的三废主要有：

a) 常压蒸馏冷凝后产生的有组织不凝气主要成分为水蒸气和苯酚；冷凝水为常压水主要成分为水、苯酚、苯酚钠。

b) 减压蒸馏冷凝后产生的有组织不凝气主要成分为水蒸气和苯酚；冷凝水为主要成分为水、苯酚、苯酚钠；尾气进入真空泵后产生的废气主要成分为水蒸气和苯酚。真空泵废水主要成分为水、苯酚。

c) 羧化工序中产生多余的有组织废气主要成分为 CO_2 。

d) 羧化蒸馏汽提冷凝后产生的有组织不凝气主要成分为水蒸气和苯酚，冷凝水为主要成分为水、苯酚、苯酚钠；尾气进入真空泵后产生的废气主要成分为水蒸汽、苯酚。真空泵废水主要成分为水、苯酚、苯酚钠。

e) 精制工序中产生多余的有组织废气主要成分为 CO_2 。

f) 精制过滤后产生的固废主要为活性炭、硅藻土、保险粉及杂质。

g) 离心分离工序产生的无组织废气主要成分为苯酚。产生的离心母液主要成分为水、水杨酸、水杨酸钠、苯酚、苯酚钠、硫酸、硫酸钠，杂质等，母液去萃取工序。

h) 离心洗涤产生的洗涤水主要成分为水、水杨酸、水杨酸钠、苯酚、苯酚钠、硫酸、硫酸钠，杂质等。

i) 干燥工序产生的废气主要成分为水蒸气、苯酚和水杨酸。

g) 萃取蒸馏汽提工序产生的有组织废气主要成分为苯酚。

k) 萃取分离后污水进污水处理站处理。

阿司匹林生产过程中产生的污染物主要有：

a) 大气污染物产生有组织和无组织废气醋酸、醋酐和粉尘，醋酸、醋酐等采用碱液喷淋的方式处理，粉尘经旋风除尘器及袋式除尘器后，进入碱液喷淋设施的处理方式。

b) 水污染物产生

老厂区阿司匹林生产线主要污水产生环节有生产中的母液、洗水生活污水

等及研究院、质检处、各车间分析试验产生的废液。产生的污水由污水处理站统一处理。

3.1.4 污染识别

该厂区自 1948 年建厂以来已有 70 余年的历史，根据对生产过程，生产工艺，原辅料、产品，现场踏勘及初步调查等情况了解。该场地污染包括以下几个方面：

(1)根据该厂区生产历史调研，主要产品及产污情况识别如表 2.5 -1 所示。根据场地初步调查报告结论，老厂区土壤受到有机污染物（苯、1,4-二氯苯、氯仿、苯并(a)芘）、重金属（砷、镉、汞、镍、六价铬）和石油烃 C₁₀ -C₄₀ 的复合污染；

(2) 由于土壤与地下水相互依存，长时间的生产历史过程中出现的污染最终可能汇集至地下水，对地下水造成污染，污染类型与土壤污染类型类似。

(3) 由于该厂区周边敏感点较多，重点关注厂区内地下水污染通过迁移扩散对周边敏感水体及居住区的影响。

(4) 上述污染除对土壤环境、地下水环境质量造成破坏外，若不加治理，可能会对居住于场地内及场地周边的人体健康产生风险。

表 3.1-4 主要产品及产污情况识别

车间号	主要生产产品	产污情况识别
201 车间	动力车间（泵房、冷冻房、水处理车间、锅炉房、循环水泵房，循环凉水塔、风机房、配电室、供水水泵房、软化水厂房、机修电气车间等）	油泵房：石油烃，VOCs，SVOCs 等 配电室：多氯联苯 水处理厂房：重金属，VOCs；SVOCs 机修厂房：VOCs，SVOCs，石油烃等 锅炉房：重金属，VOCs；SVOCs（多环芳烃），氰化物等。 其他车间：重金属，VOCs；SVOCs（45 项筛查）
203 车间	氢化可的松、醋酸泼尼松、醋酸氢化可的松	VOCs、SVOCs、乙醇、丙酮等
204 车间	甲氧苄啶、异丙安替比林、巴比妥、尼莫地平、克林霉素、聚卡波菲盖特	pH、镍及重金属、酯类、丙酮、VOCs、SVOCs 等
205 车间	安乃近、氨基比林、吡唑酮	甲醛、乙醇、酯类、石油烃、VOCs、SVOCs
207 车间	阿司匹林、水杨酸	酚类、苯酚类、VOCs、SVOCs

3.2 初步调查方案及结果

3.2.1 初步调查布点及工作量

3.2.1.1 场地初步调查分区

依据山东新华制药股份有限公司老厂区平面布置图及生产布局、生产历史、生产工艺情况，初步调查范围划分为核心调查区、重点调查区、一般调查区。具体分区如下表。初步调查区域分区图如图 3.2-1。

表 3.2-1 场地初步调查分区

分区	主要车间功能	生产历史	分区情况
201 车间	动力车间（水处理车间、锅炉房、配电室、机修电气车间等）	上世纪 50 年代	核心调查区
	办公区域、研发中心、车棚、绿化、动力车间（泵房、冷冻房、循环水泵房，循环凉水塔、风机房、供水水泵房、软化水厂房等）	不详	一般调查区
203 车间	氢化可的松、醋酸泼尼松、醋酸氢化可	不详	重点调查区
204 车间	甲氧苄啶、异丙安替比林、巴比妥	不详	重点调查区
205 车间	安乃近、氨基比林、吡唑酮	1958 年投产，2002 年停产。205 车间部分位于新华公园地块，不在本次调查范围内。	重点调查区
207 车间	阿司匹林、水杨酸	1961 年建成投产，2008 年停产，搬迁至湖田工业园区	重点调查区

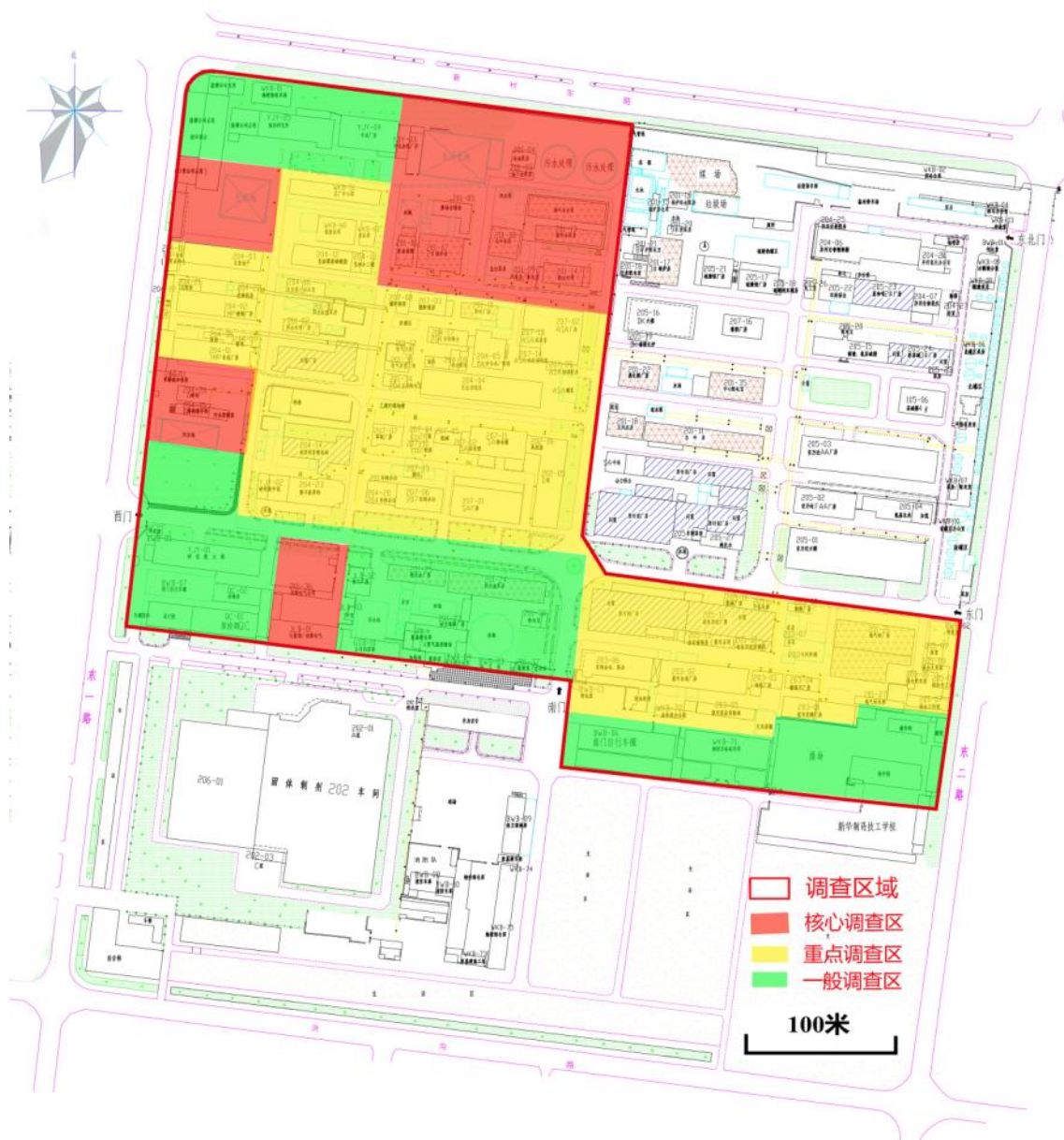


图 3.2-1 初步调查区域分区情况

3.2.1.2 初步调查布点

1、土壤采样点

①布点原则及数量

按照《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1-2014）、《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2-2014）和《建设用地土壤环境调查评估技术指南》中布点密度的要求，初步调查采用分区布点法结合专业判断法进行采样点的布设。核心调查区布点较密，约每 $40 \times 40m^2$ 一个采样点。重点调查区和一般调查区布点较疏，

约每 80×80m² 一个采样点，初步调查共布设土壤采样点位数为 53 个，采样布点见图 3.1-2 所示。

②采样深度及检测指标

初步调查土壤采样深度最大为 15 米，对以上不同深度的场地土壤分别采样。该场地内布设 53 个土壤点位，共采集土壤样品 469 份，送检样品 343 份。检测指标以《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600-2018）中表 1 所列 45 项基本项目为主，并加测表 2 中其他项目。具体检测重金属（砷、镉、六价铬、铜、铅、汞、镍）、挥发性有机污染物 VOCs（59 种）和半挥发性有机物 SVOCs（86 种）以及氰化物、多氯联苯（18 种）、石油烃（C10-C40）、甲醛、丙酮等特征污染物。

2、地下水采样点

①布点原则及数量

监测井采样点位数量及空间布设根据场地及场地周边环境特点进行设定，较全面的反映场地地下水污染空间分布、地下水流向等关键问题，初步调查共布设 11 口地下水监测井，布设点位见表 3.2-2 所示。

②采样深度及检测指标

地下水监测井与土壤采样结合设置，对井深满足渗水井管与约 2 米深的含水层接触的土壤剖面采样点，设置地下水监测井，采集地下水样品。初步调查地下水监测井的建设最大深度为原地面以下 15 米。地下水检测项目为重金属（砷 As、镉 Cd、铅 Pb、汞 Hg、镍 Ni、铜 Cu、六价铬 Cr）、挥发性有机物 VOCs（59 种）和半挥发性有机物 SVOCs（86 种）。

表 3.2-2 采样点位置信息汇总表

点位编号	点位类型	横坐标 (m)	纵坐标 (m)	高程 (m)	土壤深度 (m)	地下水井深度 (m)	位置描述
s1	土壤	4073912.734	505195.42	43.665	6	/	原中试加氯厂房，现已拆除
s2	土壤	4073908.348	505126.114	43.567	6	/	药剂研发楼前
s3	土壤	4073903.301	505107.326	43.528	6	/	西北角地下生化池北侧

s4 w1	土壤和地下水	4073907.839	505077.373	43.749	6	6	厂区西北角, 药剂研发楼前
s5 w2	土壤和地下水	4073890.812	505322.942	44.153	6	6	厂区东北角, 污水处理池南
s6	土壤	4073898.809	505285.546	44.092	6	/	污水处理池南侧
s7 w7	土壤和地下水	4073901.701	505256.274	44.104	9	9	地下油泵房西南角
s8	土壤	4073926.414	505277.518	44.759	12	/	污水处理池北侧, 废铁轨旁
s9	土壤	4073929.257	505245.675	44.789	10.5	/	北污水处理北侧
s10	土壤	4073851.525	505292.502	44.184	9	/	201-13 循环水泵房
s11	土壤	4073628.761	505304.191	44.4	6	/	原片剂厂房
s12	土壤	4073620.759	505337.622	44.388	9	/	原片剂厂房东部
s13	土壤	4073604.844	505394.51	44.453	9	/	205-11 老安乃近厂房
s14 w4	土壤和地下水	4073592.312	505430.813	45.105	12	12	205-11 老安乃近厂房东侧
s15	土壤	4073604.288	505315.619	44.453	7.5	/	203-06 办公楼保全车间
s16	土壤	4073564.113	505390.653	44.396	6	/	203-02 氢可合成厂房
s17	土壤	4073567.715	505446.365	45.232	6	/	203-02 氢可合成厂房东侧
s18 w10	土壤和地下水	4073665.643	505149.928	43.199	12	12	机修电气仓库
s19	土壤	4073688.635	505098.491	42.87	9	/	研究院中试楼北
s20	土壤	4073695.087	505159.587	43.276	9	/	204-20 车间南
s21	土壤	4073689.263	505206.829	43.445	9	/	207-06 车间南侧
s22	土壤	4073682.192	505258.677	43.747	9	/	207-01SA 厂房屋东南角
s23	土壤	4073716.192	505261.177	43.547	9	/	SA 综合楼南侧
s24	土壤	4073718.293	505214.329	43.519	9	/	SA 综合楼南侧
s25	土壤	4073726.222	505164.888	43.315	9	/	207 萃取厂房南侧
s26 w5	土壤和地下水	4073756.086	505078.489	42.967	12	12	乙醇钠厂房污水处理池北
s27	土壤	4073756.258	505043.682	42.835	9	/	乙醇钠厂房污水处理池西
s28	土壤	4073755.088	505127.934	43.255	9	/	老异丙安替比林车间北

s29	土壤	4073810.075	505099.564	43.264	9	/	TMP 合成厂房东侧
s30	土壤	4073839.442	505110.056	43.082	6	/	尼莫地平厂房东侧
s31	土壤	4073844.869	505128.424	43.384	9	/	叉车库
s32	土壤	4073907.981	505151.07	43.384	6	/	杂品库、报废品库
s33	土壤	4073803.543	505166.643	43.403	10.5	/	西水处理厂房东侧
s34	土壤	4073769.918	505156.975	43.186	9	/	料场东侧
s35	土壤和地下水	4073767.925	505196.25	43.751	12	12	巴比妥烷化车间西南角
s36	土壤	4073762.653	505229.456	43.808	9	/	巴比妥烷化车间南门
s37	土壤	4073764.815	505278.524	44.095	9	/	ASA 罐区
s38	土壤	4073757.5	505292.603	43.932	9	/	ASA 罐区北侧
s39	土壤	4073797.094	505312.585	43.989	9	/	ASA 厂房东门
s40	土壤	4073829.786	505290.194	44.005	9	/	ASA 厂房北侧
s41	土壤	4073795.226	505253.239	44.247	9	/	巴比妥合成/精制车间
s42	土壤	4073849.307	505215.039	44.661	9	/	2#锅炉房内
s43	土壤	4073845.185	505179.786	43.2	7.5	/	东水处理厂房
s44	土壤	4073879.347	505119.126	43.513	6	/	报废品库西侧
s45	土壤和地下水	4073863.78	505099.513	43.05	6	12	西北角地下生化池东南侧
s46	土壤	4073863.862	505071.775	43.15	9	/	西北角地下生化池西南侧
s47	土壤	4073790.556	505124.442	43.997	9	/	西水处理南侧仓库内
s48	土壤	4073784.948	505140.088	44.084	9	/	西水处理南侧仓库内
s49	土壤和地下水	4073655.963	505277.133	43.898	12	12	供水泵房东北侧
s50	土壤	4073772.166	505234.516	44.429	9	/	巴比妥烷化车间内
s51	土壤	4073570.927	505298.949	43.888	6	/	南门自行车车棚
s52	土壤和地下水	4073832.326	505239.175	43.804	9	12	西冷厂房北
s53	土壤和地下水	4073927.653	505266.859	44.722	15	15	老油泵房北侧

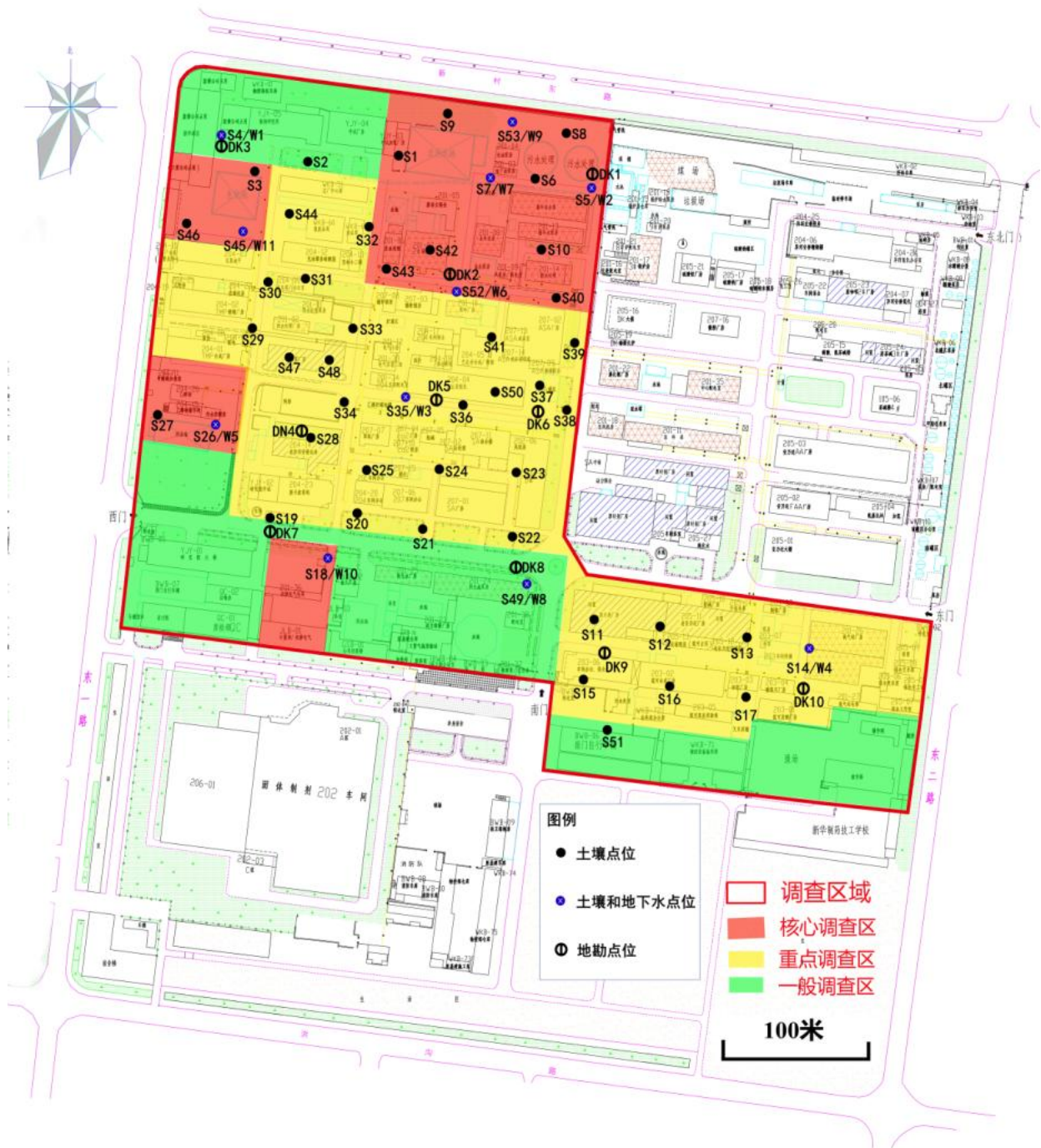


图 3.2-2 土壤、地下水、地勘钻孔点位

3.2.1.3 初步调查采样工作量

采样具体工作量统计见表 3.2-3

表 3.2-3 样品布点数量和编号

工作类型	土壤采样	地下水采样	地质勘察
布点数量	53 个	11 口	10 个
样品编号	S1-S53	W3-W11	DK1~DK10
样品数量	343	9	44
进尺数	459m	120m	110m

备注：地下水设置 11 口水井，共采集 W2~W11 共 9 个地下水样品，其中 W1、W2 号地下水井未采集到地下水。

3.2.2 初步调查结论

一、场地地层和水文地质情况

经钻探揭露，结合室内土工试验结果，在勘探深度 30 米范围内，场区地层自上而下可分为 6 层，自地表向下分述为：杂填土（Q4ml）、粉质黏土（Q3al）、粉质黏土（Q3al）、粉土（Q3^{al}）、粉质黏土（N1）、粉质黏土。

场地地下水主要为第四系孔隙潜水，第四系孔隙潜水主要含水层为第④层粉土。地下水水位埋深在 6.02~7.7 米。第四系孔隙潜水主要以大气降水补给，地面蒸发和人工开采为排泄方式。场区各层土富水程度不均匀，层间水力联系较密切，具有一定的连通性。

二、场地土壤初步调查结论

该场地内共布设 53 个土壤点位，共采集土壤样品 469 份，送检样品 343 份。共检测重金属（砷、镉、六价铬、铜、铅、汞、镍）、挥发性有机污染物 VOCs（59 种）和半挥发性有机物 SVOCs（86 种）以及氰化物、多氯联苯（18 种）、氰化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、丙酮等特征污染物。

土壤初步调查结果显示，调查范围内地块为污染地块，需要开展进一步的详细调查。结合检测分析结果，参照《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB/T36600-2018），超过一类筛选值的污染因子有砷、镉、汞、镍、六价铬、苯、1,4-二氯苯、氯仿、苯并(a)芘、石油烃 C₁₀-C₄₀。涉及超

标的点位有 S1、S4、S6、S7、S8、S9、S10、S12、S13、S19、S22、S23、S34、S38、S48，最大超标深度达 12.0 米，场地超标面积总和估算为 46931.88m²。

三、场地地下水初步调查结果

该场地共布设地下水监测井 11 口，共采集 9 份地下水样品，其中平行样 1 份。共检测重金属（砷 As、镉 Cd、铅 Pb、汞 Hg、镍 Ni、铜 Cu、六价铬）挥发性有机物 VOCs（59 种）和半挥发性有机物 SVOCs（86 种）。

结合检测分析结果，参照《地下水环境质量标准》（GB14848-2017），共检出重金属和 17 种挥发性有机物和 9 种半挥发性有机污染物。调查结果显示：W5 号地下水样品中砷的检出浓度为 86μg/L，属于 V 类地下水水质，W11 号地下水样品氯苯含量 >1000μg/L，属于 V 类地下水水质；其他 7 份地下水样品经综合评价，满足地下水环境质量标准 IV 类及以上水质。需要在详细调查阶段开展进一步的跟踪监测和评估。

3.3 详细调查方案及结果

3.3.1 详细调查布点及工作量

3.3.1.1 场地详细调查分区

依据山东新华制药股份有限公司老厂区平面布置图及生产布局、生产历史、生产工艺情况，以及初步调查现场情况，对详细调查范围划分为 A、B、C、D、E 区，场地布点分为污染区域详细调查土壤调查布点、外租地块详细调查土壤调查布点、非污染区域详细调查土壤调查布点，详细调查土壤布点示意图如图 3.3-1，详细调查地下水布点示意图如图 3.3-2。

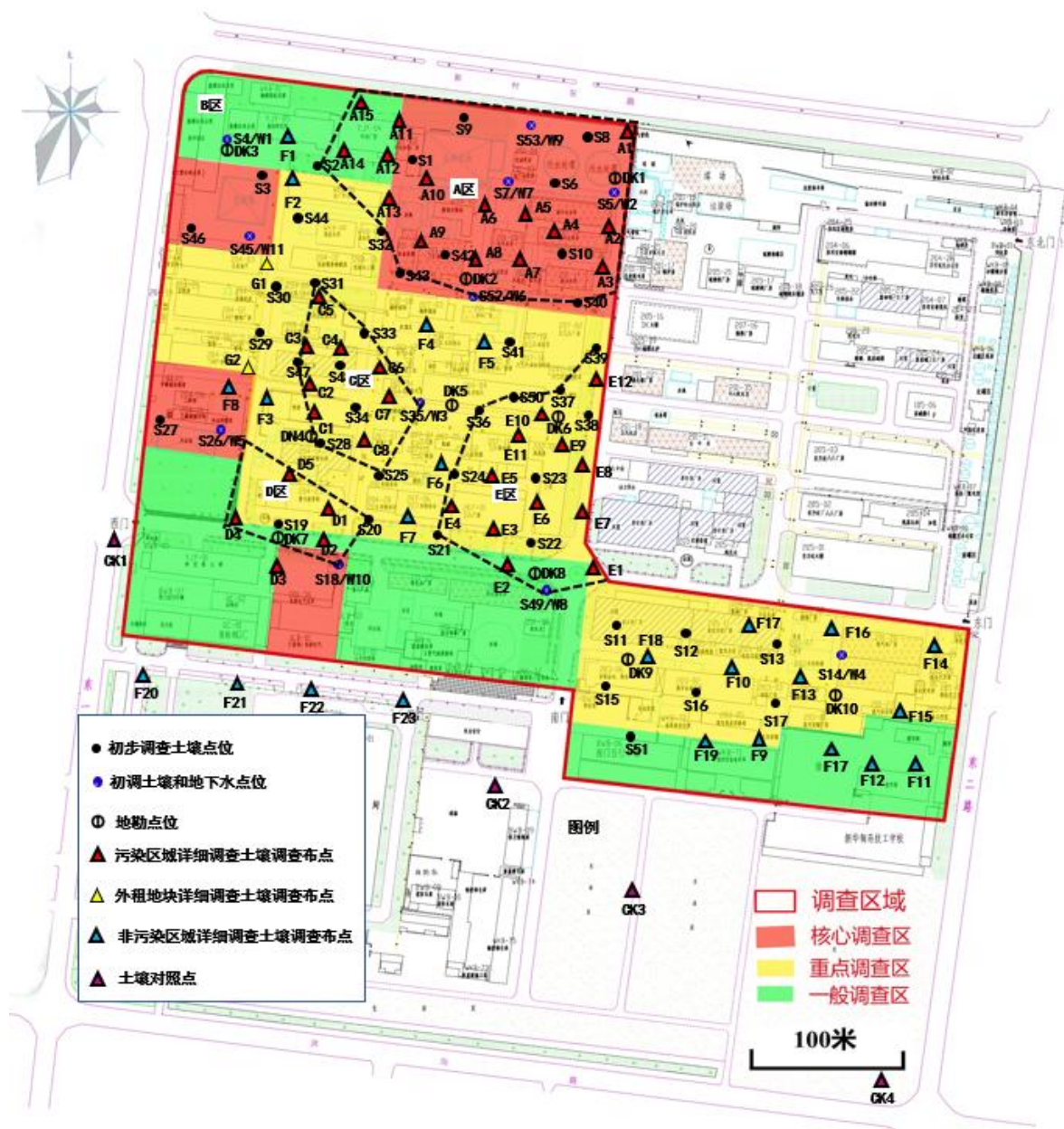


图 3.3-1 详细调查土壤布点示意图

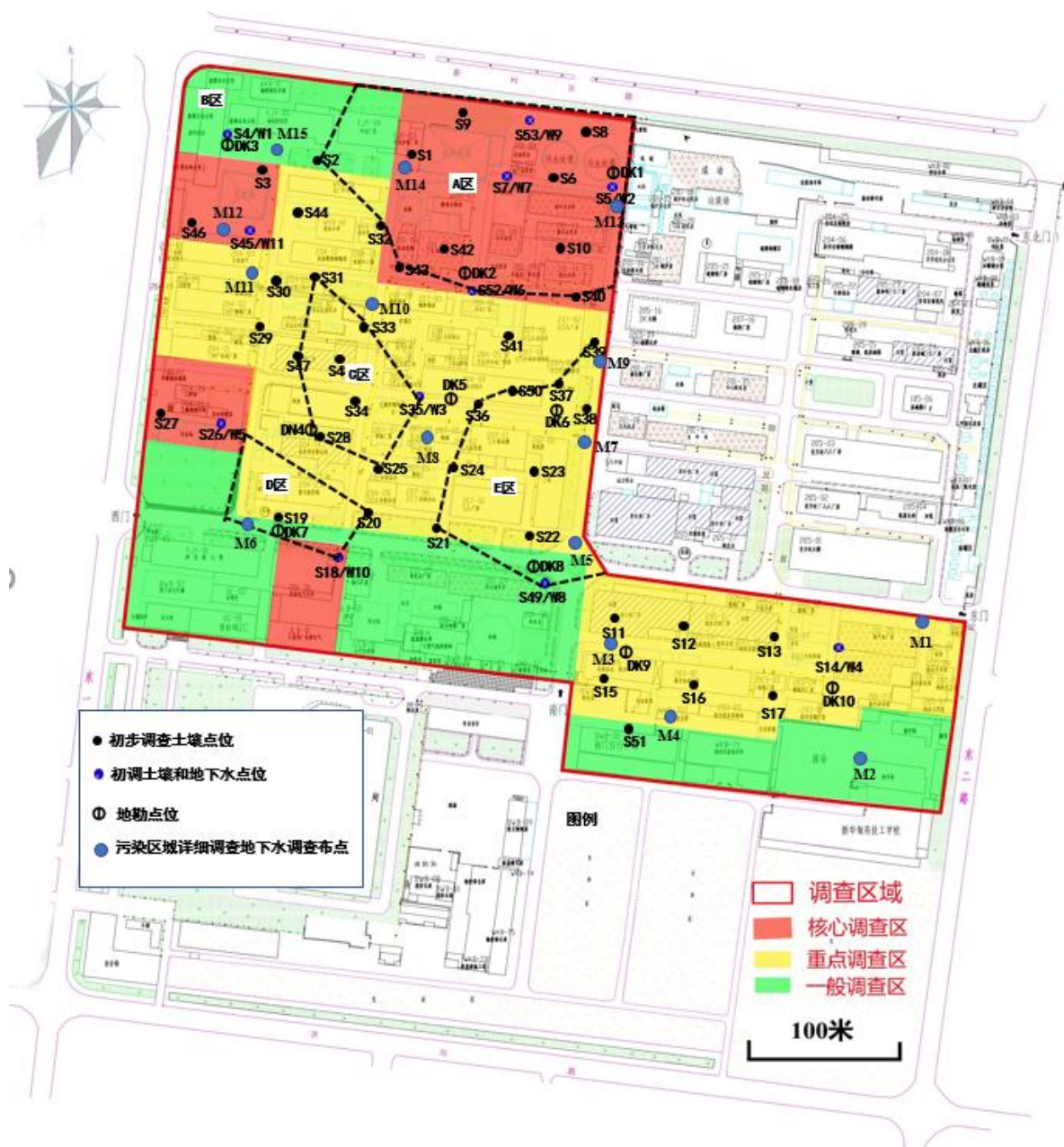


图 3.3-2 详细调查地下水布点示意图

3.3.1.2 详细调查布点

按照我国《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)、《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)和《建设用地土壤环境调查评估技术指南》中布点密度的要求, 根据初步调查确定的超标区域和超标指标, 采用分区布点法结合专业判断法进行采样点的布设。在严格按照国家及地方相关技术导则要求的基础上, 结合场地实际情况进行采样点的布设。在详细调查阶段, 对于根据污染识别和初步调查筛选的涉嫌污染区域, 土壤采样点位数每 400m² 不少于 1 个, 其他区

域每 1600m² 不少于 1 个。本次详细调查布设土壤采样点位数为 65 个，场地外
 设 4 个土壤对照点（CK1-CK4），共采集土壤样品 456 个，其中平行样 23 个。
 根据地下水采样点位数每 6400m² 不少于 1 个。结合初步调查阶段的 11 口地下
 水井，详细调查阶段布设地下水井 15 口。共采集地下水样品 20 个，其中平行
 样 2 个。土壤采样点位置信息汇总见表 5.2-3，地下水采样点位置信息汇总见表
 5.2-4。

采样点采样深度要求如下：

详细调查阶段，分别采集表层土壤、深层土壤和地下水位以下的饱和带土
 壤，用于确定污染分布范围和深度。具体采样深度可借助 PID 等现场检测仪器
 确定；土壤样品按 1 米，2 米，4 米，6 米，8 米，10 米，12 米，14 米，15 米
 的间隔取样，对照点样品 CK1 取样深度为 6 米，CK2 取样深度为 3 米，CK3
 取样深度为 6 米，CK4 取样深度为 1 米。取样现场通过 PID 筛查的方式，对土
 质有颜色、气味、数据异常的疑似污染区域加密布点，加深采样深度。

表 5.2-3 土壤采样点位置信息汇总表

点位编号	横坐标 (m)	纵坐标 (m)	高程 (m)	采样深度 (m)	位置描述
A1	505314.789	4073836.64	44.037	15	污水处理区东北侧
A2	505320.676	4073869.127	44.13	15	循环水泵房东侧
A3	505285.955	4073925.711	44.758	15	新水处理区东侧
A4	505261.611	4073926.396	44.665	15	循环水泵房
A5	505249.719	4073878.477	44.212	15	循环凉水塔西南侧
A6	505223.811	4073894.308	43.982	15	北冷冻房西北侧
A7	505266.978	4073832.136	44.136	15	盐水泵房东北侧
A8	505236.903	4073850.537	43.696	15	盐水泵房西侧
A9	505180.327	4073861.045	43.484	15	2#锅炉房西北侧
A10	505199.517	4073896.381	43.884	15	北污水池西南侧
A11	505188.938	4073926.407	43.783	15	中试加氢厂房内
A12	505182.506	4073910.694	43.666	15	中试加氢厂房南
A13	505180.406	4073883.153	43.444	15	原动力保全西侧
A14	505156.902	4073915.738	43.532	15	总厂中心库北侧

A15	505165.298	4073937.302	43.123	15	中试厂房北侧
C1	505132.132	4073755.981	43.123	12	异丙安替比林北侧
C2	505126.974	4073768.061	43.165	12	闲置厂房南侧
C3	505110.356	4073795.289	43.023	14	闲置厂房内
C4	505127.173	4073795.516	43.067	15	西水处理厂房东南侧
C5	505155.315	4073830.261	43.535	14	雨水处理泵房内
C6	505168.279	4073783.498	43.299	13.5	204 车间配电室北
C7	505155.833	4073753.803	43.088	12	乙醇贮罐池
C8	505157.425	4073742.044	43.207	12	萃取厂房西侧
D1	505149.485	4073697.438	43.139	6	聚卡波菲钙车间东南侧
D2	505142.054	4073676.911	43.271	6	聚卡波菲钙南侧
D3	505104.861	4073675.096	42.939	6	研究院大楼东侧
D4	505097.649	4073689.096	42.843	6	研究院中试西南侧
D5	505121.488	4073721.748	43.144	12	研究院中试北侧
E1	505299.802	4073652.085	43.869	6	供水泵房东侧
E2	505244.252	4073665.005	43.743	6	供水泵房内
E3	505215.698	4073687.676	43.485	6	SA 厂房东南侧
E4	505207.035	4073711.535	43.503	6	SA 厂房内
E5	505247.242	4073726.555	43.876	6	202-05D 区西侧
E6	505262.759	4073711.822	43.901	6	202-05D 区内
E7	505298.635	4073690.53	43.939	6	SA 厂房东侧
E8	505305.011	4073735.91	44.022	6	202-05D 区东北侧
E9	505276.861	4073754.415	44.172	9	风机房内
E10	505257.606	4073758.548	44.011	15	风机房北侧
E11	505224.9	4073750.829	44.005	12	SA 综合楼内
E12	505310.928	4073783.56	44.036	6	ASA 区东北侧
F1	505120.019	4073920.452	43.539	6	制剂研究所内
F2	505125.439	4073900.703	43.447	6	生化池东北侧
F3	505099.808	4073763.445	43.027	6	科场西侧

F4	505201.36	4073814.548	43.828	6	204 车间保全西北 侧
F5	505227.496	4073810.211	44.076	6	巴比妥合成/精制区 内
F6	505198.736	4073726.679	43.414	10	CO ₂ 房东南侧
F7	505184.883	4073692.481	43.577	6	207 车间办公区
F8	505085.672	4073768.172	43.031	6	污水控制室北侧
F9	505386.698	4073572.067	44.995	10	叉车库棚
F10	505386.239	4073603.634	44.641	13	回收厂房西北侧
F11	505510.576	4073537.967	45.305	12	教学楼东北侧
F12	505466.325	4073543.371	44.918	12	教学楼西北侧
F13	505431.003	4073588.789	45.303	13	氢可厂房北侧
F14	505506.787	4073617.106	44.467	12	保全 chache 库北侧
F15	505514.37	4073581.84	45.094	12	氢气站仓库内
F16	505469.499	4073635.695	44.478	13	制镍厂房东南侧
F17	505436.123	4073552.423	44.909	12	老安乃近厂房内
F18	505334.144	4073612.412	44.126	12	原片剂厂房内
F19	505342.822	4073576.526	44.598	13	物控设备备件库内
F20	505040.574	4073599.478	43.189	6	设计院南侧
F21	505085.764	4073595.883	43.278	6	质检部南侧
F22	505130.576	4073592.124	43.181	6	计量部南侧
F23	505176.195	4073588.044	43.265	6	传达室西北侧
G1	505105.43	4073840.725	43.2	6	尼莫地平厂房东侧
G2	505097.94	4073789.128	43.016	6	TMP 合成厂房
CK1	505417.902	4073381.927	44.254	6	研究院大楼西侧
CK2	505232.5	4073530.925	43.387	3	球场内
CK3	505328.739	4073479.603	43.937	6	南门自行车间南侧 生活区
CK4	505024.684	4073711.656	42.789	1	新华制药技工学校 南侧菜园

表 5.2-4 地下水采样点位置信息汇总表

点位编号	横坐标 (m)	纵坐标 (m)	高程 (m)	采样深度 (m)	位置描述
M1	505511.136	4073634.94	44.485	15	保全叉车库西北侧
M2	505459.556	4073546.234	44.962	15	教学楼西北侧
M3	505322.606	4073619.18	44.366	15	车间办公内
M4	505363.022	4073579.197	44.901	15	南门自行车库东北部
M5	505300.808	4073669.757	43.736	15	207-01SA 厂房东南角
M6	505100.71	4073691.248	43.023	15	聚卡波菲钙车间南侧
M7	505304.98	4073740.686	44.007	15	ASA 罐区东南侧
M8	505207.872	4073740.291	43.66	15	CO ₂ 房内
M9	505311.124	4073787.442	44.043	15	ASA 成品室东侧
M10	505172.696	4073812.151	43.236	15	雨水处理泵房东侧
M11	505103.185	4073838.486	43.182	15	空调机房北侧
M12	505089.849	4073864.304	43.15	15	生化池南侧
M13	505323.693	4073886.039	44.018	15	循环凉水塔东侧
M14	505197.075	4073902.359	43.817	15	中试加氢厂房南侧
M15	505124.739	4073912.874	43.449	15	制剂研究所南侧
W8	505277.133	4073655.963	43.898	12	供水泵房东北侧
W10	505149.928	4073665.643	43.199	12	机修电气仓库
W11	505099.513	4073863.78	43.05	12	西北角地下生化池东南侧

3.3.1.3 详细调查采样工作量

采样具体工作量统计见表 3.3-5

表 3.3-5 所有样品布点数量和编号

工作类型	土壤采样 (个)	对照点 (个)	地下水采样 (个)
布点数量	65	4	20
样品编号	A1-A15、C1-C8、D1-D5、 E1-E12、F1-F23、G1-G2	CK1-CK4	M1-M15、W8、W10、W11
样品数量	444	12	20
进尺数	639m	16m	225m

3.3.2 详细调查结论

一、水文地质详细调查结果

本次工作布设水文地质钻孔 15 眼，其中 2 眼同时作为水文试验孔，根据现场实际测量，场地内浅层地下水水位埋深在 3.27-6.18m 之间，场区内水位标高为 37.07-41.22m。场地内含水层岩性主要是粉土，主要含水层为第 4 层粉土。第 4 层粉土顶板埋深 7.4-11.4m，底板埋深 11.1-13.2m，场区内水位年变幅 2m 左右。

根据现场抽水试验数据，经过计算，场地 15m 以内潜水主要含水层为第四层粉土层。综合现场抽水试验，场区 15m 以内浅层潜水含水岩组渗透系数为 4.29-4.61m/d，单位涌水量 0.364-0.475L/(s.m)。工作区内浅层地下水的主要补给来源为大气降水，其次为灌溉水的回渗及河湖坑塘沟渠等地表水的渗入。主要径流方向为东南向至北西向。主要的排泄方式为蒸发与径流排泄。

二、场地土壤详细调查结果

场地详细调查阶段，共布设 65 个土壤点位，共采集土壤样品 456 份，送检样品 456 份。根据场地初步调查结论，详细调查关注污染物为重金属（砷、镉、六价铬、汞、镍）、挥发性有机污染物 VOCs（氯仿、苯、1,4-二氯苯）和半挥发性有机物 SVOCs（苯并芘）以及石油烃（C₁₀-C₄₀）特征污染物、pH。

土壤详细调查结果显示，参照《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018），场地超过一类筛选值的污染因子有砷、苯、1,4-二氯苯、氯仿、苯并(a)芘、石油烃 C₁₀-C₄₀。涉及超标的点位有 C8、C5、F9、F16、F19、

D4、E1、A3、A11，其中砷在 C8-1 处超标，浓度为 21.2 mg/kg，1，4-二氯苯在 C5-2 和 C5-4 点位处超标，浓度分别是 28.9 mg/kg 和 10.8mg/kg，苯并芘在 F9-1 处超标，浓度是 2.7mg/kg，苯在 F16-10 和 F16-12 处超标，浓度分别为 1.42 和 1.19 mg/kg，氯仿在 F19-10、D4-1.0、E1-1.0 处超标，浓度分别为 139、2.36 和 0.379 mg/kg，石油烃在 A3-1、A3-8、A11-2.0、A11-6.0、A11-8 处超标，浓度分别是 2370、1160、2080、10300、1400 mg/kg。以上超标点位需对其控制浓度开展人体健康风险评估工作以确定是否需要采取风险管控及修复措施。根据超标点位，该场地土壤的超标区域分为 1 区、2 区、3 区、4 区、5 区、6 区、7 区、8 区、9 区、10 区、11 区、12 区，对超标区域面积进行估算，各区面积分别为 6442.617m²、1067.332 m²、1530.558 m²、3268.49 m²、725.421 m²、1521.86 m²、2916.418 m²、1535.904 m²、1770.376 m²、3832.303 m²、2766.016 m²、5406.60 m²。场地超标面积总和估算为 32783.895m²。

三、场地地下水详细调查结果

详细调查阶段，该场地共布设地下水监测井 15 口，加上初步调查的 11 口地下水监测井，共采集 20 份地下水样品，其中平行样 2 份。检测指标为重金属砷 As、镉 Cd、汞 Hg、镍 Ni、六价铬、挥发性有机物氯仿、苯、1,4-二氯苯、氰化物、氟化物、高锰酸盐指数、石油类。

结合检测分析结果，参照《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017），重金属中砷的最大检出浓度为 0.0597mg/L，为 V 类水质，高锰酸盐指数的最大检出浓度为 209mg/L，为《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）V 类水质。挥发性有机物苯的最大检出浓度为 305μg/L，满足 V 类水质标准，氯仿的最大检出浓度为 836μg/L，为《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）V 类水质。在 18 个地下水样品中，石油类的最大检出浓度为 M12 样品，浓度为 0.73mg/L，在《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）中无相应标准值，需对其开展人体健康风险评估工作以确定是否需要采取风险管控及修复措施。

3.4 补充调查方案及结果

3.4.1 补充调查布点及工作量

东南角地块 F19-10 点位氯仿（139 mg/kg）浓度过高，是《土壤环境质量 建设用

地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）氯仿的第一类用地筛选值（0.3 mg/kg）的 463 倍，项目组在进行了风险评估相关试算后发现，氯仿污染范围偏大，污染范围刻画不够精确。为进一步确定地块土壤中氯仿的污染范围，我单位受山东新华制药股份有限公司委托，于 2020 年 1 月 13 日和 2020 年 5 月 15 开展了两次现场补充采样工作，第一次现场补充采样在东南角地块 F19 点位附近布设土壤采样点位 8 个，地下水点位 5 个，采集土壤样品 8 个，地下水样品 5 个，在西北地块布设土壤采样点位 4 个，采集土壤样品 4 个。检测指标为挥发性有机物氯仿。第二次现场补充采样在东南角地块布设土壤采样点位 9 个，采集土壤样品 9 个，样品采集均采用美国进口 Geoprobe 系统平台专业钻探设备（7822DT 型）。

第一次现场补充采样土壤采样深度为 10m，建井深度 15m，共采集土壤样品 12 个，地下水样品 5 个。第二次现场补充采样土壤采样深度为 2m、10m，共采集土壤样品 9 个。土壤采样信息见表 3.4.1，地下水采样信息见表 3.4-2，补充调查现场工作如图 3.4-1、3.4-2，最终土壤采样点布设图见图 3.4-3，地下水采样点布设图见图 3.4-4。

表 3.4-1 土壤采样点信息表

点位编号	X 坐标	Y 坐标	采样深度(m)	样品数量(个)
H1	505302.885	4073631.86	10	1
H2	505294.645	4073606.672	10	1
H3	505311.11	4073585.341	10	1
H4	505360.09	4073567.177	10	1
H5	505345.793	4073620.287	10	1
H6	505322.833	4073565.869	10	1
H7	505323.364	4073621.362	10	1
H8	505342.031	4073558.341	10	1
H11	505098.488	4073702.293	1.5	1
H12	505094.138	4073690.592	1.5	1
H13	505093.738	4073684.174	1.5	1
H14	505282.09	4073611.162	10	1
Q1	505319.5	4073613.47	10	1
Q2	505321.77	4073642.38	2	1
Q3	505340.16	4073644.08	2	1
Q4	505388.57	4073581.82	10	1
Q5	505400.22	4073613.83	10	1
Q6	505425.188	4073635.8	2	1
Q7	505435.482	4073623.637	2	1
Q8	505332.85	4073587.199	10	1
Q9	505375.057	4073622.96	10	1

合计	21
----	----

表 3.4-2 地下水采样点信息表

点位编号	X 坐标	Y 坐标	采样深度(m)	样品数量(个)
KW1	505302.885	4073631.86	15	1
KW3	505311.11	4073585.341	15	1
KW4	505360.09	4073567.177	15	1
KW5	505345.793	4073620.287	15	1
KW6	505322.833	4073565.869	15	1
合计				5



图 3.4-1 第一次补充调查现场工作图

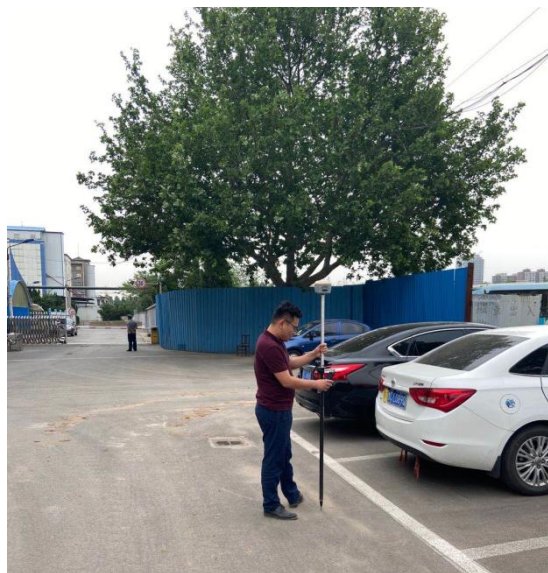


图 3.4-2 第二次补充调查现场工作图

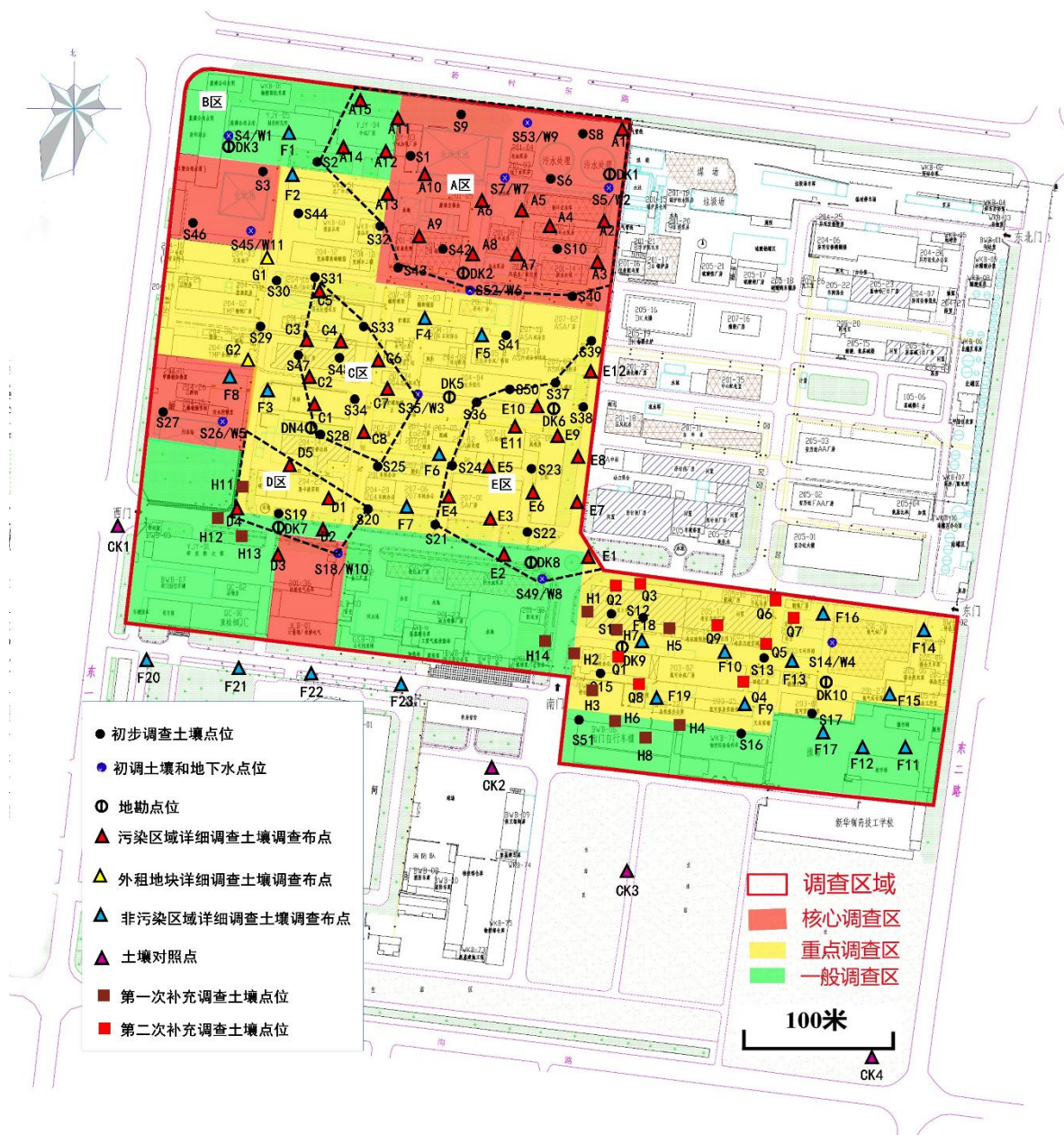


图 3.4-3 补充调查土壤采样点布设图

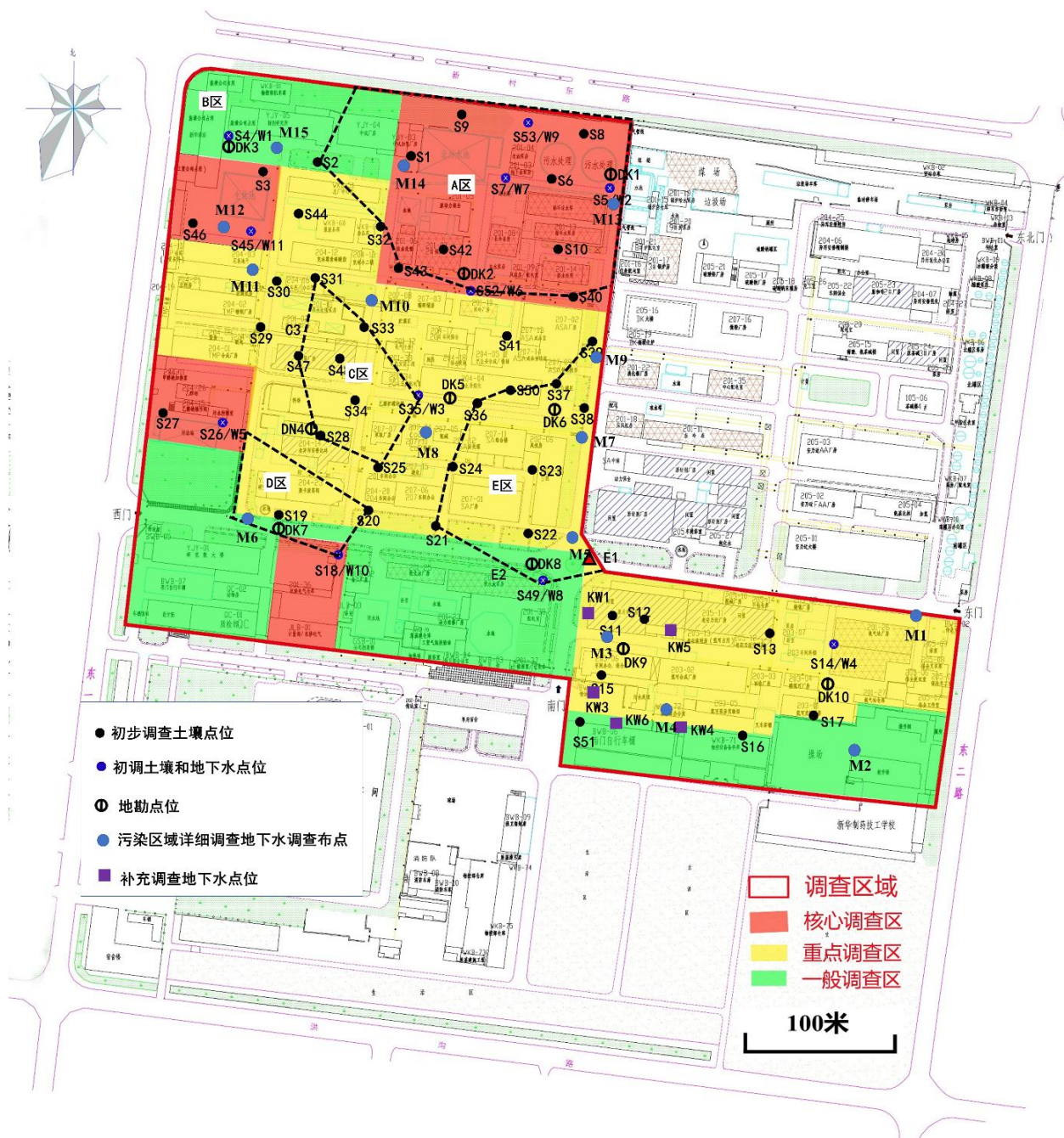


图 3.4-4 补充调查地下水采样点布设图

3.4.2 补充采样结果

第一次现场采集的 12 个土壤样品送往实验室对挥发性有机物氯仿进行化学分析。12 个土壤样品中氯仿浓度均未超出报告检出限 0.0011mg/kg。完整的实验室检测报告见附件。

地下水样品中仅在 KW4 中检测出氯仿，浓度为 8.9 μ g/L，满足《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）中为 III 类水指标限值。

第二次现场采集的 9 个土壤样品送往实验室对挥发性有机物氯仿进行化学分析。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）氯仿的第一类用地筛选值为 0.3mg/kg，其中 8 个送检土壤样品中氯仿浓度均未超出报告检出限 0.05mg/kg，涉及超标的点位是 Q8-10.0，浓度是 79.3mg/kg，完整的实验室检测报告见附件。

4 场地污染概念模型

建立合理的场地污染概念模型对后期污染场地的修复设计和施工至关重要。模型的建立主要基于在场地调查过程中的收集的信息，综合考虑场地的水文地质情况、场地背景、污染源、污染物的迁移转化、可能存在的敏感受体等，以合理描述场地污染源释放的污染物通过土壤、水和空气等环境介质，进入人体并对场地及场地周边的居住、工作人群的健康产生影响及可能存在的环境风险。

4.1 地质地貌

4.1.1 场地地形、地貌特征

张店区位于淄博向斜盆地东麓的北缘，处于低山丘陵区向黄泛平原过渡地带，地势东高西低，南高北低，较为平缓。平原面积占全区土地总面积的 72.4%。境内山丘属鲁山山脉，计有大头山 40 余座，小山峰 100 余座。东北部有一呈北东走向的山体，主峰为黑铁山，海拔高度 254 m，为张店区最高山峰。张店区的地貌分三种类型：一、构造剥蚀残余丘陵地貌，分布于张店的东南部；二、剥蚀堆积倾斜平原地貌，分布于张店的东北部；三、堆积倾斜平原地貌，分布于张店的中西部。

本场区内场地地貌整体相对平坦，属山前冲洪积倾斜平原地貌单元。

4.1.2 场地地质构造

淄博地处我国东部最大的地震带—郯庐地震带西侧，境内地质构造复杂，断裂发育，近南北向的禹王山断裂和王母山断裂、北西向的益都—无棣断裂和张店—仁河断裂、北东东向的广饶—齐河断裂以及北东—北北东向的淄河断裂和上五井断裂在境内交汇成网。

山东新华制药股份有限公司老厂区场地在区域地质构造上位于鲁西隆起与济阳拗陷区的过渡区淄博向斜盆地内，离场区较近有一条王母山断裂，走向近南北向，倾向西，为一条第四系覆盖的左旋走滑逆断裂，位于场区西侧，距离场区约 10.00km，该断裂属老断层，无活动记录，为非全新活动断裂。

据区域地质资料，场区附近无影响建筑物安全的全新断裂构造存在。

4.1.3 地层结构及水文地质情况

经钻探揭露，结合室内土工试验结果，在勘探深度 30 米范围内，场区地层自上而下可分为 6 层，自地表向下分述为：杂填土、粉质黏土、粉质黏土、粉土、粉质黏土、粉质黏土，现分述如下：

(1) 杂填土 (Q4^{ml})

杂色，稍湿，稍密，主要成分为建筑垃圾，表层 10cm~30cm 为混凝土，堆积年限大于 5 年。

场区普遍分布，厚度 0.60~2.80m，平均 1.08m；层底标高:40.15~43.31m，平均 42.47m；层底埋深:0.60~3.60m，平均 1.17m。

1-1 素填土 (Q4^{ml})

黄褐色，稍湿，稍密，主要成分为粉质黏土，局部见少量小砖块，上部见植物根系，填筑年限大于 5 年。厚度 0.80~5.20m，平均 2.32m；层底标高 38.31~42.95m，平均 40.58m；层底埋深 0.80~5.40m，平均 3.12m。

(2) 粉质黏土 (Q3^{al})

黄褐色，可塑，局部软塑，土质不均，夹粉土团粒，偶见姜石，干强度、韧性中等。场区普遍分布，厚度 2.60~5.70m，平均 4.26m；层底标高 35.21~37.62m，平均 36.72m；层底埋深 6.20~8.50m，平均 6.91m。

(3) 粉质黏土 (Q3^{al})

灰黄色~灰褐色，可塑，见少量姜石，粒径 1~3cm，含量约 10%，干强度、韧性中等。场区普遍分布，厚度 1.90~4.00m，平均 2.46m；层底标高 33.31~36.85m，平均 34.87m；层底埋深 7.40~10.40m，平均 8.87m。

(4) 粉土 (Q3^{al})

黄褐色，湿，中密，土质不均，局部黏粒含量较高，切面稍有光泽，摇震反应中等。场区普遍分布，厚度 1.20~4.40m，平均 2.94m；层底标高 30.55~33.15m，平均 31.93m；层底埋深:11.10~13.20m，平均 11.81m。

(5) 粉质黏土 (N¹)

黄褐色，可塑，土质不均，局部粉粒含量较高，偶见姜石，干强度、韧性中等。场区普遍分布，厚度:5.7~10.30m，平均 8.13m；层底标高:21.51~26.41m，平均 23.80m；层底埋深:17.30~22.10m，平均 19.94m。

(6) 粉质黏土

黄褐色，硬塑，局部可塑，土质不均，局部粉粒含量稍高，见少量姜石，干强度、韧性中等，勘探至地表下 30m 未穿透。

根据现场实际测量、水文试验，场地内浅层地下水水位埋深在 3.27-6.18m 之间，场区内水位标高为 37.07-41.22m。场地内含水层岩性主要是粉土，主要含水层为第 4 层粉土。第 4 层粉土顶板埋深 7.4-11.4m，底板埋深 11.1-13.2m，场区内水位年变幅 2m 左右。

根据现场抽水试验数据，经过计算，场地 15m 以内潜水主要含水层为第四层粉土层。综合现场抽水试验，场区 15m 以内浅层潜水含水岩组渗透系数为 4.29-4.61m/d，单位涌水量 0.364-0.475L/(s.m)。工作区内浅层地下水的主要补给来源为大气降水，其次为灌溉水的回渗及河湖坑塘沟渠等地表水的渗入。主要径流方向为东南向至北西向。主要的排泄方式为蒸发与径流排泄。

4.2 场地主要关注污染物

根据初步调查和详细调查结果，东南角部分地块未来用地规划为第一类用地（居住用地），确定需要进行风险评估的土壤中关注污染物具体如下：

VOCs：苯、氯仿；

SVOCs：苯并[a]芘；

其中土壤中苯最大检出浓度为 1.42mg/kg，是 GB36600-2018 中第一类用地筛选值 1mg/kg 的 1.42 倍；氯仿最大检出浓度为 139mg/kg，是 GB36600-2018 中第一类用地筛选值 1mg/kg 的 463 倍；苯并[a]芘最大检出浓度为 2.7mg/kg，是 GB36600-2018 中第一类用地筛选值 0.55mg/kg 的 4.9 倍；甲醛最大检出浓度为

地下水中关注污染物具体如下：

VOCs：苯、氯仿；

重金属：砷；

特征污染物：石油类。

其中地下水中苯的最大检出浓度为 305 μ g/L，氯仿的最大检出浓度为 836 μ g/L，砷的最大检出浓度为 0.0597mg/L，由于《地下水环境质量标准》（GB14848-2017）规定了地下水质量分类、指标及限值，用于地下水质量的评价，本报告在参考标准指标

限值的规定下开展了风险评估，最终修复目标值以风险评估计算分析结果确定。

4.3 污染来源分析

由于新华制药老厂区成立时间早，自 1948 年在此地块上生产至今已经有七十年的历史，早期工艺相对粗放，环保重视度不高，可能对土壤和地下水产生危害的途径主要在以下几个方面：

(1) 跑冒滴漏。东南角地块涉及车间主要为 203、205 车间的部分厂房，主要为安乃近生产车间、氢化可的松车间、发酵车间。储罐和管线的跑冒滴漏、车间废水的遗撒、暂存时的渗漏、以及误操作或生产运输等因素可能导致污染物以跑冒滴漏的形式泄漏到土壤中，进而造成土壤和地下水的污染；

(2) 原辅材料。因厂区年代久远，部分历史资料缺失，厂区车间用途可能几经变换，原辅材料的堆放和使用可能造成对周边环境污染；

(3) 动力车间锅炉房因煤的不完全燃烧可能产生苯并芘等大气和固废污染。大气沉降、废渣的淋滤等进而造成了表层土壤的类似污染；

(4) 厂房在拆除和设备搬迁过程中，可能因表面污染物或残液残渣散落和扩散造成环境污染。

4.4 污染物迁移转化

4.4.1 迁移转化机制

污染迁移是指污染物在环境中发生空间位置的移动及其所引起的污染物的富集、扩散和消失的过程。污染物在环境中迁移常伴随着形态的转化。结合场地历史及现状，该场地污染迁移途径主要包括：人为扰动、大气扩散、地表径流和地下水迁移。根据调查和前述分析，本场地土壤的污染扩散途径包括：

(1) 大气扩散：粉尘颗粒及其他地表或设备厂房表面附着物可能因扩散地表造成区域污染；

(2) 地表污染物的水平迁移：污染物可能因跑冒滴漏、遗撒、堆放等途径落地或构筑物和设备在拆迁过程中，表面污染物的散落和扩散，后随地表径流或粉尘扩散等水平的迁移，在迁移路径上污染物吸附于土壤介质中；

(3) 污染物垂直向下迁移：浅层的污染物随地表水淋溶后，发生垂直下渗，在下渗过程中在土壤介质表面或溶解于降水或以单独 NAPL 相进而影响深层的土壤及地下水；

(4) 污染物随地下水迁移：进入含水层中的污染物会随着地下水的流动同时进行水平和垂直迁移，并对土壤及地下水造成广泛污染。

结合本场地情况，污染物在土壤及地下水介质中存在迁移转化主要分为以下几种情况：

一、无机污染物（重金属）

(1) 沉淀和溶解作用：重金属污染物在一定的碱性条件下，在自然环境作用下，与硫化物等物质结合发生沉淀作用，使得重金属以固态的形式从土壤颗粒表面和水中析出；或者自然状态下呈现结合态和固态的重金属，在酸性等环境下，再次溶解到环境中，在整个迁移转换过程中随着环境、物理、化学作用发生迁移和转化；

(2) 氧化和还原作用：重金属在自然环境中会以稳定的价态存在，如三价铬和五价砷等。在污染物泄漏到土壤或地下水介质中，形成了一定的还原或者氧化条件，使得重金属形成剧毒、危害大的价态污染物。

(3) 配合作用：在水环境中，重金属可与多种无机的或者有机的配位体形成稳定的配合物或者螯合物，呈现复杂的化学形态。实际上，自然条件下重金属主要是以配合态出现，其迁移、转化及毒理学行为均与配合作用有密切关系。

(4) 吸附和解析作用：污染物在迁移过程中，由于土壤颗粒之间的粘附作用，暂时吸附在土壤表面。吸附过程会导致污染物的迁移速度降低，短期内减少地下水中污染物的浓度。吸附作用的反作用是解析作用，污染物从土壤颗粒表面脱离，再次溶解到地下水中的过程。污染物与含水层土壤的吸附力取决于土壤中有机质的含量。

二、有机污染物（挥发和半挥发物质）

(1) 吸附作用：吸附作用指地下水中的污染物在迁移过程中，由于和土壤颗粒之间的粘附作用，暂时的吸附在土壤表面的现象。这个过程会导致污染物的迁移速度降低，短期内减少地下水中污染物的浓度。

(2) 挥发作用：挥发过程指的是污染物在气相和液相之间转化的过程，由亨利定律决定，在等温等压下，某种气体在溶液中的溶解度与液相上该气体的平衡压力成正比。关注污染物中的苯系物和总石油烃、氯苯类作为轻质非水相液体，处于潜水位

表面，挥发性强，因此挥发作用是污染物的归趋形式。

(3) 水解作用：水与另一化合物反应，产生的化合物分解反应，水中氢离子加到其中的水解一部分，而羟基加到另一部分，因而得到两种或两种以上新的化合物的反应过程，是水解作用。

(4) 生物富集作用：生物富集是指生物将环境中低浓度的化学物质，通过食物链的转运和蓄积达到高浓度的能力。

(5) 生物降解作用：又称微生物降解作用、细菌降解作用，是由土壤中存在的微生物新陈代谢作用导致的对有机污染物存在降解分解作用，称作生物降解作用。

4.4.2 污染迁移转化

结合场地内关注污染物的特征和场地特点，分析场地内关注污染物迁移转化可能主要通过以下途径：

- (1) 非饱和层中的污染物吸附在土壤颗粒上随风力传播；
- (2) 非饱和层中的污染物随雨水淋溶下渗；
- (3) 构筑物和设备拆迁过程中，表面污染物的散落和扩散；
- (4) 非饱和带中残余态的污染物被淋溶以后，下渗至地下水水面后随地下水迁移、稀释和吸附；
- (5) 土壤和地下水污染物中的生物降解，如石油烃、氯苯类、在微生物新陈代谢作用下的降解；
- (6) 土壤和地下水中污染物具有挥发性的污染物，通过蒸汽随传播或者挥发入室内；
- (7) 由于水位的丰、平和枯水期的变化，土壤和地下水中的污染物随水位抬升和下降，或土壤地下水的流动，污染物在土壤颗粒地下水间互相吸附、解析和释放的动态过程。
- (8) 场地周边企业排放的污染物随着大气颗粒物沉降、地下水扩散、土壤污染物扩散等途径进一步迁移，可能对项目区土壤及地下水产生一定影响。
- (9) 污染物在地下水中的对流扩散、机械弥散现象造成地下水中污染迁移。

4.5 污染概念模型的建立

通过收集场地环境调查阶段获得的相关资料和数据，掌握场地土壤和地下水有关

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、成人和地下水水体等。并在危害识别的基础上，分析场地内关注污染物迁移和危害敏感受体的可能性，确定场地土壤和地下水污染物的主要暴露途径和暴露评估模型，从而建立场地概念评估模型。如图 4.5-1 所示。

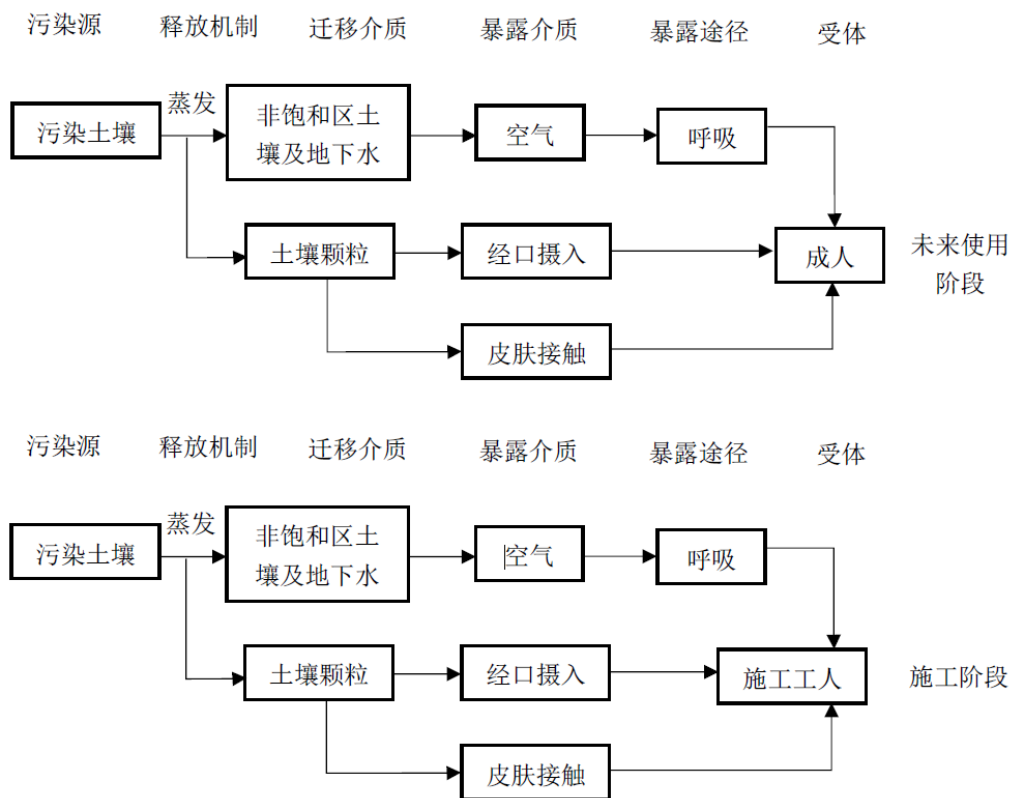


图 4.5-1 污染概念模型图

5 健康风险评估

根据场地调查结果，调查范围区域内多项污染物超出筛选值，按照我国场地风险评估的相关规定，需要进行场地风险评价，结合场地用地性质，计算场地的健康风险。

根据山东新华制药股份有限公司对老厂区未来利用方式的规划，老厂区东南角、西北侧部分地块将分别再开发和利用，老厂区东南角部分地块（约 46.5 亩）将转变为居住用地，与其南侧旧职工宿舍共同拆迁开发为居住小区；老厂区西北侧地块（约 160.33 亩）暂时用作仓库，未来可能规划为工业公园或电商产业园。据此，老厂区东南角部分地块未来用地类型属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第一类用地”，老厂区西北侧地块未来用地类型属于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的“第二类用地”。因此，鉴于老厂区东南角、西北侧地块启动再开发时间不同、未来用地性质不同，根据企业委托，对东南角、西北侧地块分别开展风险评估工作，分别形成东南角部分地块风险评估报告和西北侧部分地块风险评估报告。本章将对东南角部分地块开展风险评估计算。

5.1 工作依据和 workflows

根据我国 2019 年发布的《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），污染场地健康风险评估的主要流程见图 5.1-1，各部分主要内容如下：

（1）危害识别：根据场地环境调查获取的资料，结合场地土地的规划利用方式，确定污染场地的关注污染物、场地内污染物的空间分布和可能的敏感受体，如儿童、成人、地下水体等。

（2）暴露评估：在危害识别的工作基础上，分析场地土壤中关注污染物进入并危害敏感受体的情景，确定场地土壤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，确定与场地污染状况、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。确定污染浓度水平与健康反应之间的关系。

(4) 风险表征：在暴露评估和毒性评估的工作基础上，采用风险评估模型计算单一污染物经单一暴露途径的风险值、单一污染物经所有暴露途径的风险值、所有污染物经所有暴露途径的风险值；进行不确定性分析，包括对关注污染物经不同暴露途径产生健康风险的贡献率和关键参数取值的敏感性分析；根据需要进行风险的空间表征。

风险表征计算的风险值包括单一污染物的致癌风险值、所有关注污染物的总致癌风险值、单一污染物的危害商（非致癌风险值）和多个关注污染物的危害商（非致癌风险值）。

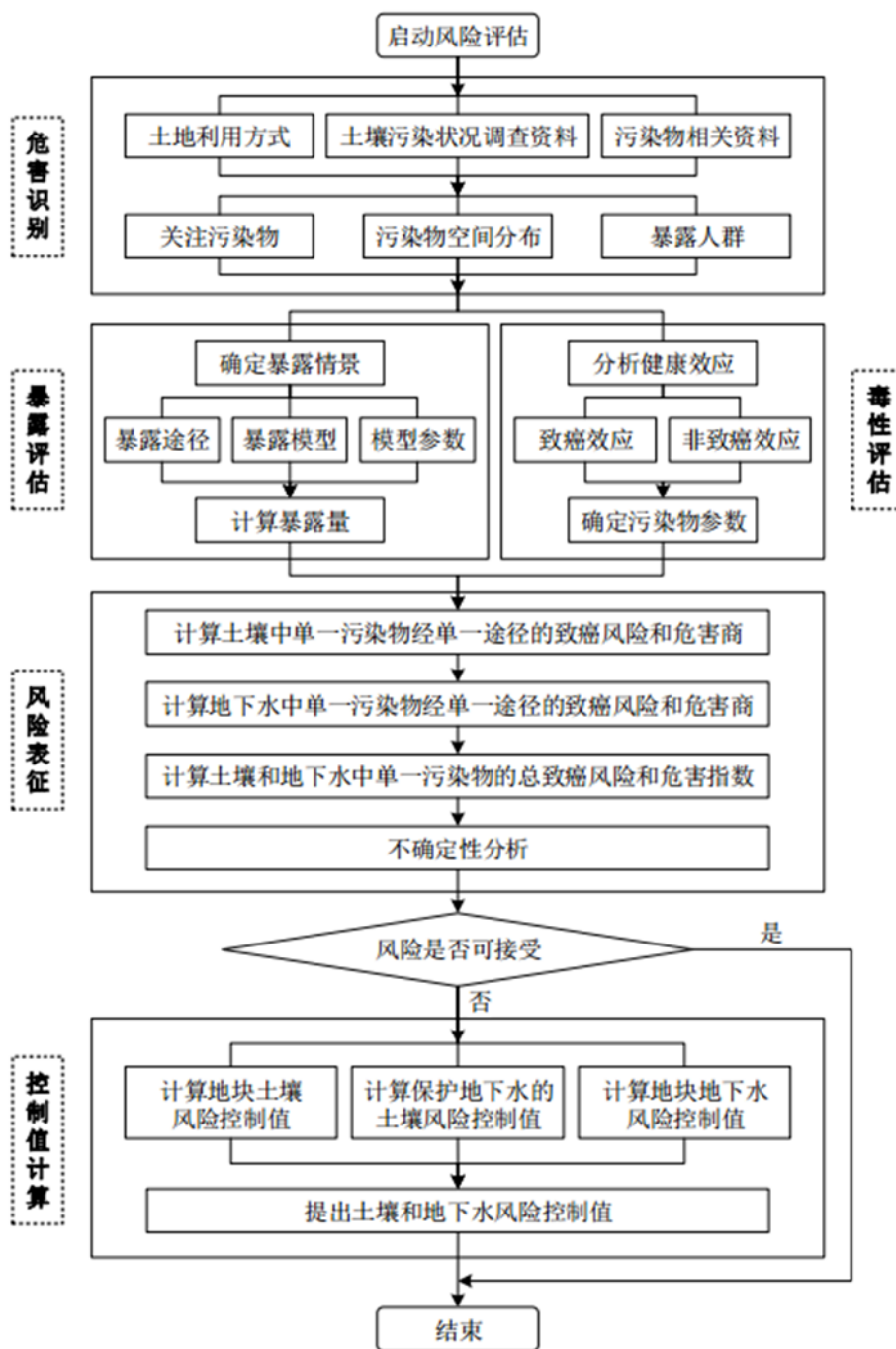


图 5.1-1 场地风险评估工作流程

风险评估方法可分定性和定量评价。原则上，场地环境评价应采用定量风险评估方法，但在下列情况，可考虑只进行定性评价：①场地评价人员认为定性的风险评估足以能够说明问题；②受费用与时间限制；③缺少污染物的毒性资料；④其他原因无法计量的风险。本报告中采用定量评价与定性评价相结合的方法。

5.2 风险计算原理及方法

本项目风险评估原理及方法主要依据我国 2019 年发布的《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)。

5.2.1 土壤污染的健康风险计算

一般有以下几种途径摄入土壤中的污染物：直接不慎摄入污染土壤；经皮肤接触污染土壤而吸收土壤中污染物；通过呼吸系统吸入土壤灰尘而吸入污染物。污染土壤中每一种致癌物质的风险可以通过经口、经皮肤、呼吸吸入等途径的摄入量与其致癌风险斜率因子的乘积相加后得出。对于场地土壤中的非致癌污染物的风险采用危害商进行表述，它是由不同途径摄入量与毒理学参考剂量的比值。当某种污染物的浓度超过这种物质的毒理学参考剂量时，可能对场地上的人群产生非致癌性的伤害。

5.2.1.1 第一类用地暴露评估模型

各暴露途径的土壤暴露量计算公式如下，公式中具体参数的含义详见《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)。

①经口摄入土壤途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，经口摄入土壤途径的土壤暴露量采用公式：

$$OISER_{ca} = \frac{\left(\frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c}{BW_c} + \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a}{BW_a} \right) \times ABS_o}{AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，经口摄入土壤途径的土壤暴露量采用公式：

$$OISER_{nc} = \frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c \times ABS_o}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

②皮肤接触土壤途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，皮肤接触土壤途径土壤暴露量采用公式：

$$DCSER_{ca} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，皮肤接触土壤途径对应的土壤暴露量采用公式：

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

③吸入土壤颗粒物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式：

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (fspo \times EFO_c + fspl \times EFI_c)}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (fspo \times EFO_a + fspl \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式：

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (fspo \times EFO_c + fspl \times EFI_c)}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

④吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式：

$$IOVER_{ca1} = VF_{suroa} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right)$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式：

$$IOVER_{nc1} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}}$$

⑤吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，

吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式：

$$IOVER_{ca2} = VF_{suboa} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right)$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式：

$$IOVER_{nc2} = VF_{suboa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}}$$

⑥吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式：

$$IOVER_{nc3} = VF_{gwoa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}}$$

⑦吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式：

$$IIVER_{ca1} = VF_{subia} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right)$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式：

$$IIVER_{nc1} = VF_{subia} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}}$$

⑧吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径对应的地下水暴露量，采用公式：

$$IIVER_{ca2} = VF_{gwia} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right)$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，吸入室

内空气中来自地下水的气态污染物途径对应的地下水暴露量，采用公式：

$$IIVER_{nc2} = VF_{gwa} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}}$$

5.2.2 致癌风险和危害商模型

场地土壤污染风险计算方法如下，公式中具体参数的含义详见《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）。

(1) 土壤中单一污染物的致癌风险

①经口摄入土壤途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{ois} = OISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_o$$

②皮肤接触土壤途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{dcs} = DCSEER_{ca} \times C_{sur} \times SF_d$$

③吸入土壤颗粒物途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{pis} = PISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_i$$

④吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{iov1} = IOVER_{ca1} \times C_{sur} \times SF_i$$

⑤吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{iov2} = IOVER_{ca2} \times C_{sub} \times SF_i$$

⑥吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{iv1} = IIVER_{ca1} \times C_{sub} \times SF_i$$

⑦土壤中单一污染物所有暴露途径的总致癌风险采用公式：

$$CR_n = CR_{ois} + CR_{dcs} + CR_{pis} + CR_{iov1} + CR_{iov2} + CR_{iv1}$$

(2) 地下水中单一污染物的致癌风险

①吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{iv2} = IIVER_{ca2} \times C_{gw} \times SF_i$$

②吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{iov3} = IOVER_{ca3} \times C_{gw} \times SF_i$$

③饮用地下水途径的致癌风险采用公式：

$$CR_{cgw} = CGWER_{ca} \times C_{gw} \times SF_o$$

地下水中单一污染物经所有暴露途径的总致癌风险计算采用公式：

$$CR_n = CR_{iov3} + CR_{iiv2} + CR_{cgw}$$

(3) 土壤中单一污染物的危害商

①经口摄入土壤途径的危害商采用公式：

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_o \times SAF}$$

②皮肤接触土壤途径的危害商采用公式：

$$HQ_{dcs} = \frac{DCSER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d \times SAF}$$

③吸入土壤颗粒物途径的危害商采用公式：

$$HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF}$$

④吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的危害商采用公式：

$$HQ_{iov1} = \frac{IOVER_{nc1} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF}$$

⑤吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害商采用公式：

$$HQ_{iov2} = \frac{IOVER_{nc2} \times C_{sub}}{RfD_i \times SAF}$$

⑥吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害商采用公式：

$$HQ_{iiv1} = \frac{IIVER_{nc1} \times C_{sub}}{RfD_i \times SAF}$$

⑦土壤中单一污染物经所有暴露途径的危害指数采用公式：

$$HI_n = HQ_{ois} + HQ_{dcs} + HQ_{pis} + HQ_{iov1} + HQ_{iov2} + HQ_{iiv1}$$

(4) 地下水中单一污染物的危害商

①吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的危害商采用公式：

$$HQ_{iiv2} = \frac{IIVER_{nc2} \times C_{gw}}{RfD_i \times SAF}$$

②吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的危害商采用公式：

$$HQ_{iov3} = \frac{IOVER_{nc3} \times C_{gw}}{RfD_i \times SAF}$$

③饮用地下水途径的危害商采用公式：

$$HQ_{cgw} = \frac{CGWER_{nc} \times C_{gw}}{RfD_o \times WAF}$$

地下水中单一污染物经所有暴露途径的危害指数计算采用公式：

$$HQ_n = HQ_{iiv2} + HQ_{iov3} + HQ_{cgw}$$

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)，单一污染物的可接受致癌风险水平为 10^{-6} ，单一污染物的可接受危害商为 1。

5.2.1.1 污染物蒸气有效扩散系数计算

$$D_{cap}^{eff} = D_a \times \frac{\theta_{acap}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{wcap}^{3.33}}{H \times \theta^2}$$

D_{cap}^{eff} ：毛细管层中污染物蒸气的有效扩散系数， cm^2/s ；

θ_{acap} ：毛细管层土壤中孔隙空气体积比，无量纲；

θ_{wcap} ：毛细管层土壤中孔隙水体积比，无量纲；

$$D_{gws}^{eff} = \frac{(h_{cap} + h_v)}{(h_{cap}/D_{cap}^{eff} + h_v/D_s^{eff})}$$

D_{gws}^{eff} ：地下水到表层土壤的有效扩散系数， cm^2/s ；

h_{cap} ：地下水土壤交界处毛细管层厚度， cm ；

h_v ：非饱和土层厚度， cm ；

$$D_s^{eff} = D_a \times \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{H \times \theta^2}$$

D_{cap}^{eff} ：土壤中污染物蒸气的有效扩散系数， cm^2/s ；

θ_{as} : 非饱和土层土壤中孔隙空气体积比, 无量纲;

θ_{ws} : 非饱和土层土壤中孔隙水体积比, 无量纲;

H: 亨利常数, 无量纲;

D_a : 空气中扩散系数, cm^2/s ;

D_w : 水中扩散系数, cm^2/s ;

$$D_{crack}^{eff} = D_a \times \frac{\theta_{acrack}^{3.33}}{\theta^2} + D_w \times \frac{\theta_{wcrack}^{3.33}}{H \times \theta^2}$$

D_{crack}^{eff} : 污染物蒸气在地基与墙体裂隙中的有效扩散系数, cm^2/s ;

θ_{acrack} : 地基与墙体裂隙中空气体积比, 无量纲;

θ_{wcrack} : 地基或墙体裂隙中水体积比, 无量纲;

5.2.1.2 土壤挥发因子计算

(1) 表层室外途径土壤挥发因子:

方法一:

$$VF_{ss} = \frac{2W\rho_s}{U_{air}\delta_{air}} \times \sqrt{\frac{D_s^{eff}H}{\pi(\theta_{as}H + \theta_{ws} + K_{oc}F_{oc}\rho_s)\tau}} \times 1000$$

VF_{ss} : 室外空气中来自表层土壤的污染物蒸气因子, kg/m^3 ;

VF_{ss} : 室外空气中来自表层土壤的污染物蒸气因子, kg/m^3 ;

方法二:

$$VF_{ss} = \frac{W\rho_s d}{U_{air}\delta_{air}\tau} \times 1000$$

方法一和方法二计算结果取较小值。

(2) 下层室外途径土壤挥发因子

$$VF_{samb} = \frac{H\rho_s}{(\theta_{as}H + \theta_{ws} + K_{oc}F_{oc}\rho_s) \times (1 + U_{air}\delta_{air}L_s)/D_s^{eff}W} \times 1000$$

VF_{samb} : 下层土壤中污染物挥发对应的室外空气中的土壤含量, kg/m^3 ;

(3) 下层室内途径土壤挥发因子

$$VF_{sesp} = \frac{\left[\frac{H\rho_s}{\theta_{as}H + \theta_{ws} + K_{oc}F_{oc}\rho_s} \right] \times \left(\frac{D_s^{eff}}{ER \times L_B} \right)}{1 + \left(\frac{D_s^{eff}}{ER \times L_B} \right) + \left(\frac{D_s^{eff}}{D_{crack}^{eff}} \times \frac{L_{crack}}{\eta} \right)} \times 1000$$

VF_{sesp} : 下层土壤中污染物挥发对应的室内空气中的土壤含量, kg/m^3 ;

(4) 颗粒物吸入途径

$$PEF = \frac{P_e W}{U_{air}\delta_{air}} \times 1000$$

PEF: 土壤尘释放因子;

d 为表层污染土壤下表面到地表距离;

L_s 为下层污染土壤上表面到地表距离;

5.2.1.3 危害商计算

(1) 经口摄入途径

$$HQ_o = \frac{ING_c \times EF_c \times ED_c \times RAF_o}{BW_c \times AT_{nc} \times 10^6} \times \frac{C_{sur}}{RfD_o}$$

HQ_o : 经口摄入污染土壤的危害商, 无量纲;

(2) 皮肤接触途径

$$HQ_d = \frac{SSA_c \times EF_c \times ED_c \times M_c \times RAF_d}{BW_c \times AT_{nc} \times 10^6} \times \frac{C_{sur}}{RfD_d}$$

HQ_d : 皮肤接触污染土壤的危害商, 无量纲;

(3) 表层室外途径

$$HQ_{ioV1} = \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \times VF_{suroa} \times \frac{C_{sur}}{RfD_i}$$

其中, $RfD_i = \frac{RfC \times DAIR_a}{BW_a}$

HQ_{ioV1} : 吸入室外空气中来自表层土壤污染物蒸气的危害商, 无量纲;

(4) 下层室外途径

$$HQ_{ioV2} = \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \times VF_{suboa} \times \frac{C_{sub}}{RfD_i}$$

HQ_{ioV2} : 吸入室外空气中来自下层土壤污染物蒸气的危害商, 无量纲;

(5) 下层室内途径

$$HQ_{iiV1} = \frac{DAIR_c \times EFi_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \times VF_{subia} \times \frac{C_{sub}}{RfD_i}$$

HQ_{iiV1} : 吸入室内空气中来自土壤污染物蒸气的危害商, 无量纲;

(6) 室外颗粒物吸入途径

$$HQ_{pis} = \frac{C_{sur}}{RfD_i} \times \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times f_{spo} \times EFO_c}{BW_c \times AT_{nc} \times 10^6}$$

CR_{pis} : 吸入室外空气中受污染土壤颗粒物的危害商, 无量纲;

5.2.1.4 致癌风险计算

(1) 经口摄入途径

$$CR_o = \frac{\left(\frac{ING_c \times EF_c \times ED_c}{BW_c} + \frac{ING_a \times EF_a \times ED_a}{BW_a} \right) \times RAF_o \times C_{sur} \times SF_o}{AT_{ca} \times 10^6}$$

CR_o : 经口摄入污染土壤的致癌风险, 无量纲;

(2) 皮肤接触途径

$$CR_d = \frac{\left(\frac{SSA_c \times EF_c \times ED_c \times M_c}{BW_c} + \frac{SSA_a \times EF_a \times ED_a \times M_a}{BW_a} \right) \times RAF_d \times C_{sur} \times SF_d}{AT_{ca} \times 10^6}$$

CR_d : 皮肤接触污染土壤的致癌风险, 无量纲;

(3) 表层室外途径

$$CR_{ioV1} = \frac{\left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a} \right) \times VF_{suroa} \times C_{sur} \times SF_i}{AT_{ca}}$$

$$\text{其中, } SF_i = \frac{URF \times BW_a}{DAIR_a}$$

SF_i : 呼吸吸入吸收致癌斜率因子, $kg \cdot d/mg$

CR_{ioV1} : 吸入室外空气中来自表层土壤污染物蒸气的致癌风险, 无量纲;

(4) 颗粒物室外吸入途径

$$CR_{pis} = \frac{\left(\frac{DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times f_{spo} \times EFO_c}{BW_c} + \frac{DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times f_{spo} \times EFO_a}{BW_a} \right) \times PM_{10}}{AT_{na} \times 10^6}$$

CR_{pis} : 吸入室外空气中受污染土壤颗粒物的致癌风险, 无量纲;

5.2.3 地下水蒸汽暴露途径

(1) 地下水途径室外挥发因子

$$VF_{gw,amb} = \frac{H}{1 + (U_{air} \delta_{air} L_{gw}) / (D_{gws}^{eff} \times W)} \times 1000$$

$VF_{gw,amb}$: 地下水中污染物挥发对应的室外空气中的地下水含量, L/m^3 ;

L_{gw} : 地下水埋深, cm ;

(2) 地下水途径室内挥发因子

$$VF_{gw,esp} = \frac{H \times [(D_{gws}^{eff} / L_{gw}) / (ER \times L_B)] \times 1000}{1 + (D_{gws}^{eff} / L_{gw}) / (ER \times L_B) + (D_{gws}^{eff} / L_{gw}) / (D_{crack}^{eff} \times \eta / L_{crack})}$$

$VF_{gw,esp}$: 地下水中污染物挥发进入的室内空气对应的地下水浓度, L/m^3 ;

(3) 地下水蒸气室外吸入途径危害商

$$HQ_{gwo} = \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \times VF_{gw,amb} \times \frac{C_{sub}}{RfD_i}$$

(4) 地下水蒸气室内吸入途径危害商

$$HQ_{gwi} = \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \times VF_{gw,esp} \times \frac{C_{sub}}{RfD_i}$$

5.2.4 地下水皮肤接触途径

(1) 地下水皮肤接触致癌风险水平

$$CR_{dgw} = \frac{K_p \times t \times SA \times EFa \times EDa \times C_{gw} \times SF}{BWa \times ATca}$$

(2) 地下水皮肤接触非致癌危害商

$$HQ_{dgw} = \frac{K_p \times t \times SA \times EFa \times EDa \times C_{gw}}{BWa \times AT_{nc} \times RfD}$$

CR_{dgw}: 地下水皮肤接触致癌风险水平;

HQ_{dgw}: 地下水皮肤接触非致癌危害商;

K_p: 皮肤渗透系数 (cm/hr);

C_{gw}: 地下水浓度 (mg/cm³);

t: 接触时间 (小时/次)

5.3 场地关注污染物

5.3.1 土壤关注污染物识别

厂区东南角地块未来规划为居住用地,根据场地调查的检测数据统计及分析确定各场地需要进行风险评估的土壤中关注污染物具体如下:

VOCs: 苯、氯仿;

SVOCs: 苯并[a]芘;

特征污染物: 甲醛。

5.3.2 地下水关注污染物识别

根据场地调查的检测数据统计及分析确定需要进行风险评估的地下水中关注污染物具体如下：

VOCs：苯、氯仿；

重金属：砷；

特征污染物：石油类。

5.4 关注污染物毒性评估

5.4.1 致癌毒性判定

依照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）进行关注污染物致癌毒性判定，场地土壤关注污染物中氯仿具有致癌性和非致癌性，苯并[a]芘仅具有致癌性。

5.4.2 毒性描述

（1）苯

由于每个人的健康状况和接触条件不同，对苯的敏感程度也不相同。苯主要通过呼吸道吸入（47-80%）、胃肠及皮肤吸收的方式进入人体。一部分苯可通过尿液排出，未排出的苯则会在肝中被氧化为环氧苯。环氧苯与它的重排产物氧杂环庚三烯存在平衡，是苯代谢过程中产生的有毒中间体。苯的代谢物进入细胞后，与细胞核中的脱氧核糖核酸（DNA）结合，会使染色体发生变化，引发癌变和癌症。

在短期接触暴露过程中，苯对中枢神经系统产生麻痹作用，引起急性中毒。重者会出现头痛、恶心、呕吐、神志模糊、知觉丧失、昏迷、抽搐等，严重者会因为中枢系统麻痹而死亡。少量苯也能使人产生睡意、头昏、心率加快、头痛、颤抖、意识混乱、神志不清等现象。摄入含苯过多的食物会导致呕吐、胃痛、头昏、失眠、抽搐、心率加快等症状，甚至死亡。吸入 20000 ppm 的苯蒸气 5-10 分钟会有致命危险。

长期接触苯会对血液造成极大伤害，引起慢性中毒。引起神经衰弱综合症。

苯可以损害骨髓，使红血球、白细胞、血小板数量减少，并使染色体畸变，从而导致白血病，甚至出现再生障碍性贫血。苯可以导致大量出血，从而抑制免疫系统的功用，使疾病有机可乘。有研究报告指出，苯在体内的潜伏期可长达 12-15 年。妇女吸入过量苯后，会导致月经不调达数月，卵巢会缩小。国际癌症研究中心（IARC）将苯确认为致癌物。

（2）氯仿

无色透明液体。有特殊气味。味甜。高折光，不燃，质重，易挥发。纯品对光敏感，遇光照会与空气中的氧作用，逐渐分解而生成剧毒的光气(碳酰氯)和氯化氢。可加入 0.6%~1%的乙醇作稳定剂。能与乙醇、苯、乙醚、石油醚、四氯化碳、二硫化碳和油类等混溶、25℃时 1ml 溶于 200ml 水。相对密度 1.4840。凝固点-63.5℃。沸点 61~62℃。折光率 1.4476。低毒，半数致死量(大鼠，经口)1194mg/kg。有麻醉性。有致癌可能性。

主要作用于中枢神经系统，具有麻醉作用，对心、肝、肾有损害。急性中毒：吸入或经皮肤吸收引起急性中毒。初期有头痛、头晕、恶心、呕吐、兴奋、皮肤湿热和粘膜刺激症状。以后呈现精神紊乱、呼吸表浅、反射消失、昏迷等，重者发生呼吸麻痹、心室纤维性颤动。同时可伴有肝、肾损害。误服中毒时，胃有烧灼感，伴恶心、呕吐、腹痛、腹泻。以后出现麻醉症状。液态可致皮炎、湿疹，甚至皮肤灼伤。慢性影响：主要引起肝脏损害，并有消化不良、乏力、头痛、失眠等症状，少数有肾损害及嗜氯仿癖。

（3）苯并[a]芘

苯并[a]芘又称苯并(α)芘，英文缩写 BaP，是一种常见的高活性间接致癌物和突变原。3, 4-苯并[a]芘释放到大气中以后，总是和大气中各种类型微粒所形成的气溶胶结合在一起，在 8 微米以下的可吸入尘粒中，吸入肺部的比率较高，经呼吸道吸入肺部，进入肺泡甚至血液，导致肺癌和心血管疾病。

（4）砷

如防护不当吸入含砷空气或摄入被砷污染的食物、饮料时，常有发生急、慢性砷中毒的可能。砷化合物可经呼吸道、皮肤和消化道吸收。

砷分布于肝、肾、肺及胃肠壁及脾脏。主要经尿和粪排出。可通过胎盘屏障损及胎儿。元素砷基本无毒。但其氧化物及砷酸盐毒性较大，三价砷毒性较五价

砷强。三氧化二砷的小鼠经口 LD50 为 42.9mg/kg;兔为 20mg/kg;猫吸入 0.04mg/L 三氧化二砷、超过 15 分钟即可发生急性中毒。砷可与细胞中含巯基的酶结合,抑制细胞氧化过程;还能麻痹血管运动中枢,使毛细血管麻痹、扩张及通透性增高。急性砷化物中毒多见于砷化物污染食品或饮水,误服或自杀。临床表现以“急性胃肠炎型”较多见。重症可出现休克,肝脏损害,甚至死于中毒性心肌损害。砷矿冶炼及三氧化二砷生产工人以及因大气、饮水长期受砷污染、或长期服用砷剂等,可发生慢性砷中毒。突出表现为皮肤色素沉着、角化过度或疣状增生,也可见白细胞减少或贫血。已公认长期接触砷化物可致皮肤癌和肺癌。急性经口中毒应及早洗胃,活性炭 30g,及氧化镁 20~40g 或蛋清水(4 只鸡蛋清加水 1 杯拌匀)有助于除去胃内残余的砷化合物。二巯基丙磺酸钠、二巯基丁二酸钠有较好的解毒效果。慢性中毒者应停止砷接触,并积极驱砷治疗。

(5) 甲醛

甲醛的主要危害表现为对皮肤粘膜的刺激作用,甲醛在室内达到一定浓度时,人就有不适感。大于 0.08mg/m³ 的甲醛浓度可引起眼红、眼痒、咽喉不适或疼痛、声音嘶哑、喷嚏、胸闷、气喘、皮炎等。新装修的房间甲醛含量较高,是众多疾病的主要诱因。

甲醛有刺激性气味,低浓度即可嗅到,人对甲醛的嗅觉阈通常是 0.06-0.07mg/m³。但有较大的个体差异性,有人可达 2.66mg/m³。长期、低浓度接触甲醛会引起头痛、头晕、乏力、感觉障碍、免疫力降低,并可出现瞌睡、记忆力减退或神经衰弱、精神抑郁;慢性中毒对呼吸系统的危害也是巨大的,长期接触甲醛可引发呼吸功能障碍和肝中毒性病变,表现为肝细胞损伤、肝辐射能异常等。

5.4.3 土地利用类型

根据相关规划,东南角部分地块未来将用做居住用地,本评估报告将针对该用地类型对场地进行风险评估。

5.4.4 受体暴露途径分析

受体处于污染环境中可能通过口腔摄入、皮肤接触及呼吸吸入三种途径受到暴露。针对本场地的受体，其暴露途径分析如下。

新华制药厂区东南角地块后续将开发为居住用地，因此未来场地的居民是主要的人类受体，其中儿童为最敏感的受体，分析未来居民的行为特征，本次评估认为其暴露途径有如下：

- 口腔意外摄入上层污染土壤（包气带）；
- 皮肤意外接触到上层污染土壤（包气带）；
- 呼吸吸入上层污染土壤（包气带）飘尘；
- 呼吸吸入来自上层和下层污染土壤（包气带及饱和带）的气态污染物；
- 呼吸吸入来自污染地下水的气态污染物。

根据上述污染源分析、污染物迁移途径分析、敏感受体分析，以及受体暴露途径分析，确定不同土地利用类型的暴露途径。场地居民人的暴露途径汇总见表 5.4-1。

表 5.4-1 受体类型及其暴露途径分析表

保护对象	暴露途径		污染介质		
			土壤		地下水
			表层土壤	下层土壤	
居民人体健康	直接暴露	口腔摄入	√	-	-
		皮肤接触	√	-	-
		呼吸摄入室内土壤颗粒	√	-	-
		呼吸摄入室外土壤颗粒	√	-	-
	间接暴露	吸入源自土壤的室外蒸汽	√	√	-
		吸入源自土壤的室内蒸汽	-	√	-
		吸入源自地下水的室内蒸汽	-	-	√
		吸入源自地下水的室外蒸汽	-	-	√

5.5 风险评估参数

暴露评估计算中涉及的场地受体暴露参数、土壤性质参数、地下水性质参数、建筑物特征参数以及空气特征参数见表 5.5-2~表 5.5-6，这些值来自场地环境调查获得的场地特征参数，以及《建设用地土壤污染风险评估技术导则》

(HJ25.3-2019)列出的通用参数值，主要包括场地特征参数、建筑物参数、暴露因子及污染物理化毒理参数等几大类。本次评价所需的场地特征参数主要来自场地的实测数值，其余参数的取值主要参考我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》。

场地未来居民的人体行为暴露参数见表 5.5-2。

表 5.5-2 人体行为暴露参数

参数名称	符号	单位	成人	儿童
平均体重	BW _a	kg	61.8	19.2
平均身高	H _a	cm	161.5	113.15
暴露期	ED _a	a	24	6
暴露频率（经口摄入和皮肤接触）	EF _a	d/a	350	350
室内暴露频率（呼吸吸入）	EF _{Ia}	d/a	262.5	262.5
室外暴露频率（呼吸吸入）	EFO _a	d/a	87.5	87.5
暴露皮肤所占体表面积比	SER _a	-	0.32	0.36
皮肤表面土壤粘附系数	SSAR _a	mg/cm ²	0.07	0.2
每日皮肤接触事件频率	E _v	次/d	1	1
每日摄入土壤量	OSIR _a	mg/d	100	200
每日空气呼吸量	DAIR _a	m ³ /d	14.5	7.5
气态污染物入侵持续时间	τ	a	30	30
室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	f _{spi}	-	0.8	0.8
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	f _{spo}	-	0.5	0.5
吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	PIAF	-	0.75	0.75
非致癌效应平均时间	AT _{nc}	d	2190	2190
致癌效应平均时间	AT _{ca}	d	27740	27740
可接受致癌风险	ACR	-	1.00E-06	1.00E-06
可接受危害商	AHQ	-	1	1

注：根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）编制说明中的参数。

场地风险评估所用的土壤性质参数如表 5.5-3 所示，其中带*的数据来自场地环境调查获得的场地特征参数，其余参数为导则默认值。

表 5.5-3 土壤性质参数

参数名称	符号	单位	取值
表层污染土壤层厚度	d	m	0.5
下层污染土壤层厚度	d_{sub}	m	1
下层污染土壤层顶部埋深	L_s	m	0.5
平行于风向的土壤污染源宽度	W_{dw}	m	45
包气带孔隙水体积比	θ_{ws}	-	0.2904*
包气带孔隙空气体积比	θ_{as}	-	0.1436*
包气带土壤容重	ρ_b	g/cm^3	1.5
包气带土壤有机碳质量分数	f_{oc}	-	0.0058*
毛细管层孔隙水体积比	θ_{wcap}	-	0.342
毛细管层孔隙空气体积比	θ_{acap}	-	0.038
土壤地下水交界处毛细管层厚度	h_{cap}	m	0.05
土壤透性系数	K_V	m^2	1.00E-12

注：* 表示根据场地调查所得的参数，选取平均值（含水率、有机质含量为实测值平均值）。

场地地下水风险评估所用参数如表 5.5-4 所示。除地下水埋深参数来自场地环境调查所获得外，其它参数参考导则默认值。

表 5.5-4 地下水含水层参数

参数名称	符号	单位	取值
地下水埋深	L_{gw}	m	6.46*
地下水混合区厚度	δ_{gw}	m	2
平行于风向的地下水污染源宽度	W	m	45

注：* 表示根据场地调查所得的参数。

场地风险评估所用建筑物参数如表 5.5-5 所示。

表 5.5-5 建筑物参数

参数名称	符号	单位	居住用地
地基裂隙中水体积比	θ_{wcrack}	-	0.12
地基裂隙中空气体积比	θ_{acrack}	-	0.26
地基和墙体裂隙表面积所占比例	η	-	0.0005
室内空间体积与气态污染物入渗面积之比	L_B	m	2.2

室内空气交换率	ER	1/d	144*
室内室外气压差	dP	Pa	0
地面到地板底部厚度	Z _{crack}	m	0.35
室内地板面积	A _b	m ²	70
室内地板周长	X _{crack}	m	34
室内地基厚度	L _{crack}	m	0.35

注：*表示根据《民用建筑设计统一标准》(GB50352-2019)所得的参数。

场地风险评估所用空气特征参数如表 5.5-6 所示。

表 5.5-6 空气特征参数

参数名称	符号	单位	取值
混合区高度	δ_{air}	m	2
混合区大气流速	U _{air}	m/s	2
空气扩散因子	Q/C	$g\ m^{-2}\ s^{-1}/kg\ m^{-3}$	79.25
空气中可吸入颗粒物含量	PM ₁₀	mg/m ³	0.119
颗粒物释放通量	P _e	$g/m^2\ s^{-1}$	6.90E-10
植被覆盖率	VC	-	0.5
7 米高处年平均空气流速	u	m/s	4.8
7 米高处年最大空气流速	u _t	m/s	11.32
风速经验公式	F _(x)	-	2.24E-01

注：根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 编制说明中的参数。

5.6 风险表征

定量风险评估过程综合了人体健康暴露评估和危害评估结果，提供人类受体的潜在风险水平。在风险表征中需要分别对致癌风险和非致癌风险进行计算表征。

致癌风险表示暴露于某种致癌性物质而导致人一生中超过正常水平的癌症发病率，通常用风险值 R 表示，其计算使用环保部《污染场地风险评估技术导则（HJ 25.3-2014）》。风险可接受水平为：单一污染物致癌风险 $\leq 10^{-6}$ 。如果单一污染物致癌风险大于 10^{-6} ，则认为评价区域的致癌风险是不可接受的，应采取风险控制措施，或进行土壤或地下水治理修复。

非致癌危害又称危害商数 (HQ)，表示由于暴露造成的长期日摄入量与参考剂量的比值，其计算使用环保部《污染场地风险评估技术导则(HJ 25.3-2014)》所列方法。风险可接受水平为：单一污染物非致癌危害 ≤ 1 。如果危害指数大于 1，则认为非致癌危害是不可接受的，应采取风险控制措施，或进行土壤或地下水治理修复。

5.6.1 土壤污染风险表征

根据暴露途径分析，该地块居住用地类型下地块居住人员通过口腔摄入、皮肤接触和呼吸吸入的暴露途径受到危害。根据保守性原则，采用土壤中关注污染物的最高浓度进行风险表征计算。

本地块场地筛选的土壤关注污染物包括苯、氯仿、苯并[a]芘。

表 5.6-1 土壤中关注污染物的致癌风险及危害商

污染物类别	最大污染物含量(mg/kg)	所在土壤点位	敏感用地	
			致癌风险	危害商
苯	1.42	F16-10	7.42E-07	6.88E-02
氯仿	139	F19-10	2.90E-04	3.04E+00
苯并[a]芘	2.7	F9-1.0	3.58E-05	-
甲醛	11.6	S13-4.0	4.29E-07	6.64E-02

注：表中粗体字表示的健康风险高于可接受的风险水平。

土壤中各关注污染物对未来居住场景下居民的健康风险见表 5.6-1。根据风险表征结果：场地土壤中氯仿、苯并[a]芘将会给场地居民带来不可接受的致癌风险。

5.6.2 地下水污染物风险表征

根据保守性原则，采用地下水中关注污染物的最高浓度进行风险表征计算，场地居民的健康风险表征如下。

场地筛选的地下水关注污染物包括：苯、氯仿、砷。

表 5.6-2 浅层地下水中关注污染物的致癌风险及危害商

污染物类别	最大污染物含量(mg/L)	所在地下水点位	敏感用地	
			致癌风险	危害商
苯	0.305	M1	4.85E-08	3.86E-03
氯仿	0.836	M4	2.26E-07	1.86E-03
砷	0.0597	M4	-	-

浅层地下水中各关注污染物对未来居住场景下居民的健康风险见表 5.6-2。根据风险表征结果：在场地居民不饮用浅层地下水的前提下，仅通过吸入空气中来自地下水中的污染物蒸汽暴露途径，场地地下水中苯、氯仿、砷不会给场地居民带来不可接受的致癌风险。地下水样品中，M4 井石油类检出浓度最大为 0.38mg/L，在《污染场地健康与环境风险评估软件（HERA 1.1 版）》中无相应参数，无法进行风险评估。

5.7 风险评估的不确定性分析

5.7.1 不确定性来源

本健康风险评估以给出数值的方式量化污染物对人体健康的风险。其中模型参数、数据差异性等因素会影响风险计算结果，因此计算所得的风险值存在一定不确定性。本次风险评估的不确定性来源主要包括：

- (1) 暴露场景不确定性：主要包括场地未来应用的不确定性；
- (2) 参数不确定性：在环境介质、采样误差、实验室分析误差和毒性参数的潜在变异性；
- (3) 模型不确定性：挥发性有机物气侵入模型中未考虑优先传输通道等。
- (4) 模型参数缺失造成的不确定性：基于现有技术条件，因评估参数缺失造成的评估不准确，无法评估的情况；

本次人体健康风险评估是基于现有数据得到的。然而，情景的假设可能导致不确定性，从而导致不完全或不准确的场地概念模型，或对场地未来土地利用的不确定。目前的场地概念模型主要基于场地调查。然而，若将来进行了更为详尽的调查，风险评估也应相应进行升级。

参数的不确定性是由模型输入参数的变异性引起的。风险评估中的参数可以根据其作用分类，如暴露评估、危害评估和风险表征。本次评估中对部分参数的假设较为保守，包括：

(1) 假设所有化学物质和暴露途径对人体健康均有影响；

(2) 使用了高度保守的毒性数据和安全因子，这些安全因子涵盖了如不同人群中的变异性等问题。

为了减少评估的不确定性，应尽可能使用场地数据，并对数据使用稳健的质量标准。由于场地信息如背景值数据等不可得，评估过程进行保守的假设，这可能导致不确定性的产生。

5.7.2 暴露风险贡献率分析

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)，计算土壤中氯仿、苯、苯并[a]芘污染物经不同暴露途径的致癌风险（或危害商）贡献率，结果见表 5.7-1。

从表 5.7-1 可知，土壤中的苯、氯仿、甲醛致癌风险的主要暴露途径为吸入下层土壤室外蒸汽，对苯、氯仿、甲醛致癌风险的贡献率分别为 57.35%、65.49%、64.78%，对苯、氯仿、甲醛非致癌风险（危害指数）的贡献率分别为 49.20%、51.52%、61.15%，苯并[a]芘致癌风险的主要暴露途径为经口摄入途径，对苯并[a]芘致癌风险的贡献率为 70.43%。

从表 5.7-2 可知，地下水中的苯、氯仿致癌风险的主要暴露途径为吸入地下水室内蒸汽，对苯、氯仿致癌风险的贡献率分别为 87.84%、87.19%。地下水中的苯、氯仿非致癌风险的主要暴露途径为吸入地下水室内蒸汽，对苯、氯仿非致癌风险的贡献率分别为 87.84%和 87.19%。

表 5.7-1 土壤中单一污染物经不同暴露途径的暴露风险贡献率

土壤中关注污染物		不同暴露途径的暴露风险贡献率 (%)						
		经口摄入	皮肤接触	吸入室内土壤 颗粒物	吸入室外土壤 颗粒物	吸入表层土 壤室外蒸汽	吸入下层土 壤室外蒸汽	吸入下层土壤 室内蒸汽
苯	致癌	13.45	-	0.03	0.01	1.43	57.35	27.73
	非致癌	25.76	-	0.02	0.00	0.83	51.52	24.80
氯仿	致癌	1.90	-	0.03	0.01	1.06	65.49	31.35
	非致癌	22.83	-	0.02	0.00	0.83	51.52	24.80
苯并[a]芘	致癌	70.43	29.28	0.19	0.04	0.06	0.00	0.00
	非致癌	-	-	-	-	-	-	-
甲醛	致癌	-	-	0.81	0.17	33.62	64.78	0.63
	非致癌	4.36	1.24	0.76	0.16	31.73	61.15	0.59
注：“-”表示此项缺省								

表 5.7-2 地下水中单一污染物经不同暴露途径的的暴露风险贡献率

地下水中关注污染物		不同暴露途径的暴露风险贡献率（%）	
		吸入地下水室外蒸汽	吸入地下水室内蒸汽
苯	致癌	1.14	98.86
	非致癌	1.14	98.86
氯仿	致癌	1.21	98.79
	非致癌	1.21	98.79
砷	致癌	-	-
	非致癌	-	-

注：“-”表示此项缺省

5.8 模型参数敏感性分析

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），单一暴露途径风险贡献率超过 20%时，应进行人群与该途径相关参数的敏感性分析。

选定需要进行敏感性分析的参数一般应是对风险计算结果影响较大的参数，如人群相关参数（体重、暴露期、暴露频率等）、与暴露途径相关的参数（每日摄入土壤量、皮肤表面土壤粘附系数、每日吸入空气体积、室内空间体积与蒸汽入渗面积比等）。模型参数的敏感性用敏感性比值表示，敏感性比值越大，表示该参数对风险的影响也越大。本次敏感性分析主要针对经口摄入途径、吸入下层土壤室外蒸汽、吸入下层土壤室内蒸汽途径的相关参数进行，同时，也对人群相关参数，包括体重、暴露期、暴露频率进行敏感性分析，土壤中苯、氯仿、苯并[a]芘、甲醛的模型参数敏感性分析结果见表 5.8-1~表 5.8-4。地下水中 2 种关注污染物的模型参数敏感性分析结果见表 5.8-5~表 5.8-6。

由表可知，对于土壤中苯、氯仿、甲醛，土壤含水率、土壤中污染物浓度、土壤颗粒密度、土壤容重对其致癌风险或危害商影响较大；对于土壤中苯并[a]芘，土壤中污染物浓度对其致癌风险影响较大。对于地下水中的苯、氯仿，地下水中污染物浓度、土壤含水率、土壤颗粒密度对其致癌风险或危害商影响较大。

经以上不确定性分析，除土壤中污染物浓度、土壤颗粒密度、土壤含水率、土壤容重可能在一定范围内影响本项目风险评估结果的判定，其余模型参数取值对风险的计算结果影响较小。

表 5.8-1 土壤中苯的敏感性分析结果

参数类别	参数名称	参数变化范围	致癌		危害商	
			风险变化范围	敏感性比值	风险变化范围	敏感性比值
受体暴露参数	成人体重	61.8~74.16	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	成人暴露周期	24~28.8	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	成人暴露频率	292~350	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	成人室内暴露频率	262.5~315	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	成人室外暴露频率	87.5~105	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	成人每日土壤摄入量	100~120	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	成人每日空气呼吸量	14.5~17.4	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	致癌效应平均时间	27740~33288	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	0.75~0.9	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.8~0.96	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.5~0.6	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000	
场地污染特征	土壤中污染物浓度	0.019~1.42	9.93E-09~7.42E-07	1.000	9.21E-04~6.88E-02	1.000
	表层污染土层厚度	0.5~1	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	下层污染土层厚度	1~2	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
土壤性质参数	土壤容重	1.5~1.6	7.42E-07~5.23E-07	-4.43	6.88E-02~5.14E-02	-3.79
	土壤含水率	0.19~0.23	7.42E-07~3.94E-07	-2.23	6.88E-02~4.11E-02	-1.91
	土壤颗粒密度	2.65~3.18	7.42E-07~4.31E-07	-2.10	6.88E-02~4.41E-02	-1.80
	土壤有机质含量	9.93~11.92	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
	土壤透性系数	1.0E-12~1.2 E-12	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000
空气特征参数	空气中可吸入颗粒物含量	0.119~0.14	7.42E-07~7.42E-07	0.000	6.88E-02~6.88E-02	0.000

注：1、以上各数据单位与 HJ25.3-2019 中相同；2、土壤表层和下层污染物浓度视为相同；3、表层污染土层厚度与下层污染土层埋深视为相同；4、土壤容重、颗粒密度、含水率改变时，非饱和带土壤总孔隙度、包气带孔隙水体积比、包气带孔隙空气体积比相应变化。

表 5.8-2 土壤中氯仿的敏感性分析结果

参数类别	参数名称	参数变化范围	致癌		危害商	
			风险变化范围	敏感性比值	风险变化范围	敏感性比值
受体暴露参数	成人体重	61.8~74.16	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	成人暴露周期	24~28.8	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	成人暴露频率	292~350	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	成人室内暴露频率	262.5~315	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	成人室外暴露频率	87.5~105	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	成人每日土壤摄入量	100~120	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	成人每日空气呼吸量	14.5~17.4	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	致癌效应平均时间	27740~33288	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	0.75~0.9	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.8~0.96	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.5~0.6	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000	
场地污染特征	土壤中污染物浓度	0.0011~139	2.29E-09~2.90E-04	1.000	2.41E-05~3.04E+00	0.998
	表层污染土层厚度	0.5~1	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	下层污染土层厚度	1~2	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
土壤性质参数	土壤容重	1.5~1.6	2.90E-04~1.90E-04	-5.17	3.04E+00~2.22E+00	-4.05
	土壤含水率	0.19~0.23	2.90E-04~1.09E-04	-2.96	3.04E+00~1.55E+00	-2.33
	土壤颗粒密度	2.65~3.18	2.90E-04~1.53E-04	-2.36	3.04E+00~1.91E+00	-1.86
	土壤有机质含量	9.93~11.92	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
	土壤透性系数	1.0E-12~1.2 E-12	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000
空气特征参数	空气中可吸入悬浮颗粒物含量	0.119~0.14	2.90E-04~2.90E-04	0.000	3.04E+00~3.04E+00	0.000

注：1、以上各数据单位与 HJ25.3-2019 中相同；2、土壤表层和下层污染物浓度视为相同；3、表层污染土层厚度与下层污染土层埋深视为相同；4、土壤容重、颗粒密度、含水率改变时，非饱和带土壤总孔隙度、包气带孔隙水体积比、包气带孔隙空气体积比相应变化。

表 5.8-3 土壤中苯并[a]芘的敏感性分析结果

参数类别	参数名称	参数变化范围	致癌		危害商	
			风险变化范围	敏感性比值	风险变化范围	敏感性比值
受体暴露参数	成人体重	61.8~74.16	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	成人暴露周期	24~28.8	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	成人暴露频率	292~350	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	成人室内暴露频率	262.5~315	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	成人室外暴露频率	87.5~105	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	成人每日土壤摄入量	100~120	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	成人每日空气呼吸量	14.5~17.4	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	致癌效应平均时间	27740~33288	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	0.75~0.9	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.8~0.96	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.5~0.6	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-	
场地污染特征	土壤中污染物浓度	0.1~2.7	1.33E-06~3.58E-05	0.997	-	-
	表层污染土层厚度	0.5~1	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	下层污染土层厚度	1~2	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
土壤性质参数	土壤容重	1.5~1.6	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	土壤含水率	0.19~0.23	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	土壤颗粒密度	2.65~3.18	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	土壤有机质含量	9.93~11.92	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
	土壤透性系数	1.0E-12~1.2 E-12	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-
空气特征参数	空气中可吸入悬浮颗粒物含量	0.119~0.14	3.58E-05~3.58E-05	0.000	-	-

注：1、以上各数据单位与 HJ25.3-2019 中相同；2、土壤表层和下层污染物浓度视为相同；3、表层污染土层厚度与下层污染土层埋深视为相同；4、土壤容重、颗粒密度、含水率改变时，非饱和带土壤总孔隙度、包气带孔隙水体积比、包气带孔隙空气体积比相应变化。

表 5.8-4 土壤中甲醛的敏感性分析结果

参数类别	参数名称	参数变化范围	致癌		危害商	
			风险变化范围	敏感性比值	风险变化范围	敏感性比值
受体暴露参数	成人体重	61.8~74.16	4.29E-07~4.54E-07	0.291	6.64E-02~7.89E-02	0.941
	成人暴露周期	24~28.8	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	成人暴露频率	292~350	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	成人室内暴露频率	262.5~315	4.29E-07~4.30E-07	0.012	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	成人室外暴露频率	87.5~105	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	成人每日土壤摄入量	100~120	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	成人每日空气呼吸量	14.5~17.4	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	致癌效应平均时间	27740~33288	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	0.75~0.9	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.8~0.96	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.5~0.6	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000	
场地污染特征	土壤中污染物浓度	1~11.6	3.70E-08~4.29E-07	0.999	5.72E-03~6.64E-02	1.000
	表层污染土层厚度	0.5~1	4.29E-07~5.11E-07	0.191	6.64E-02~7.83E-02	0.179
	下层污染土层厚度	1~2	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
土壤性质参数	土壤容重	1.5~1.6	4.29E-07~4.13E-07	-0.559	6.64E-02~6.40E-02	-0.542
	土壤含水率	0.19~0.23	4.29E-07~4.93E-07	0.709	6.64E-02~7.57E-02	0.665
	土壤颗粒密度	2.65~3.18	4.29E-07~5.11E-07	0.956	6.64E-02~7.84E-02	0.904
	土壤有机质含量	9.93~11.92	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
	土壤透性系数	1.0E-12~1.2 E-12	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000
空气特征参数	空气中可吸入悬浮颗粒物含量	0.119~0.14	4.29E-07~4.29E-07	0.000	6.64E-02~6.64E-02	0.000

注：1、以上各数据单位与 HJ25.3-2019 中相同；2、土壤表层和下层污染物浓度视为相同；3、表层污染土层厚度与下层污染土层埋深视为相同；4、土壤容重、颗粒密度、含水率改变时，非饱和带土壤总孔隙度、包气带孔隙水体积比、包气带孔隙空气体积比相应变化。

表 5.8-5 地下水中苯的敏感性分析结果

参数类别	参数名称	参数变化范围	致癌		危害商	
			风险变化范围	敏感性比值	风险变化范围	敏感性比值
受体暴露参数	成人体重	61.8~74.16	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	成人暴露周期	24~28.8	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	成人暴露频率	292~350	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	成人室内暴露频率	262.5~315	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	成人室外暴露频率	87.5~105	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	成人每日土壤摄入量	100~120	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	成人每日空气呼吸量	14.5~17.4	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	致癌效应平均时间	27740~33288	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	0.75~0.9	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.8~0.96	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.5~0.6	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000	
场地污染特征	地下水中污染物浓度	0.0014~0.305	2.22E-10~4.85E-08	1.01	1.77E-05~3.86E-03	1.000
	表层污染土层厚度	0.5~1	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	下层污染土层厚度	1~2	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
土壤性质参数	土壤容重	1.5~1.6	4.85E-08~4.78E-08	-0.216	3.86E-03~3.80E-03	-0.233
	土壤含水率	0.19~0.23	4.85E-08~3.35E-08	-1.47	3.86E-03~2.67E-03	-1.46
	土壤颗粒密度	2.65~3.18	4.85E-08~3.72E-08	-1.16	3.86E-03~2.96E-03	-1.17
	土壤有机质含量	9.93~11.92	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
	土壤透性系数	1.0E-12~1.2 E-12	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000
空气特征参数	空气中可吸入悬浮颗粒物含量	0.119~0.14	4.85E-08~4.85E-08	0.000	3.86E-03~3.86E-03	0.000

表 5.8-6 地下水中氯仿的敏感性分析结果

参数类别	参数名称	参数变化范围	致癌		危害商	
			风险变化范围	敏感性比值	风险变化范围	敏感性比值
受体暴露参数	成人体重	61.8~74.16	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	成人暴露周期	24~28.8	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	成人暴露频率	292~350	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	成人室内暴露频率	262.5~315	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	成人室外暴露频率	87.5~105	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	成人每日土壤摄入量	100~120	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	成人每日空气呼吸量	14.5~17.4	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	致癌效应平均时间	27740~33288	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	0.75~0.9	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.8~0.96	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	0.5~0.6	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000	
场地污染特征	地下水中污染物浓度	0.0014~0.836	3.78E-10~2.26E-07	1.01	3.12E-06~1.86E-03	1.01
	表层污染土层厚度	0.5~1	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	下层污染土层厚度	1~2	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
土壤性质参数	土壤容重	1.5~1.6	2.26E-07~2.22E-07	-0.265	1.86E-03~1.83E-03	-0.242
	土壤含水率	0.19~0.23	2.26E-07~1.57E-07	-1.45	1.86E-03~1.29E-03	-1.46
	土壤颗粒密度	2.65~3.18	2.26E-07~1.73E-07	-1.17	1.86E-03~1.43E-03	-1.16
	土壤有机质含量	9.93~11.92	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
	土壤透性系数	1.0E-12~1.2 E-12	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000
空气特征参数	空气中可吸入悬浮颗粒物含量	0.119~0.14	2.26E-07~2.26E-07	0.000	1.86E-03~1.86E-03	0.000

6 场地风险控制值及风险控制范围

6.1 基于导则的风险控制值计算

6.1.1 制定方法

对于场地污染土壤，本次风险评估根据环保部《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的技术要求，分别计算污染土壤的风险控制值。

利用场地水文地质及理化特征参数，依照风险控制的目标风险水平计算场地作为场地开发和使用过程中不同敏感受体基于保护人体健康的风险控制值，分别为：

- 基于致癌效应的土壤风险控制值；
- 基于非致癌效应的土壤风险控制值。

上述计算值中，取值最小者作为土壤风险控制值。

风险控制值计算过程中所采用的参数与风险评估计算过程中采用的参数一致，风险控制值参数见本报告第5章中各参数表。

6.1.2 目标风险水平

根据国家《建设用地土壤污染风险评估技术导则》的技术要求，对于超过可接受风险的关注污染物，在制定其风险控制值时设定的可接受风险水平如下：

- 单一污染物致癌风险目标水平： 10^{-6} ；
- 单一污染物非致癌危害目标水平：1。

（1）土壤风险控制值

1) 基于致癌效应的土壤风险控制值

①基于经口摄入土壤途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$RCVS_{ois} = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_o}$$

②基于皮肤接触土壤途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$RCVS_{dcs} = \frac{ACR}{DISER_{ca} \times SF_d}$$

③基于吸入土壤颗粒物途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$RCVS_{pis} = \frac{ACR}{PISER_{ca} \times SF_i}$$

④基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$RCVS_{iov1} = \frac{ACR}{IOVER_{ca1} \times SF_i}$$

⑤基于吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$RCVS_{iov2} = \frac{ACR}{IOVER_{ca2} \times SF_i}$$

⑥基于吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$RCVS_{iiv} = \frac{ACR}{IIVER_{ca1} \times SF_i}$$

基于6种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$RCVS_n = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_o + DISER_{ca} \times SF_d + (PISER_{ca} + IOVER_{ca1} + IOVER_{ca2} + IIVER_{ca1}) \times SF_i}$$

2) 基于非致癌效应的土壤风险控制值

①基于经口摄入土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$HCVS_{ois} = \frac{RfD_o \times SAF \times AHQ}{OISER_{nc}}$$

②基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$HCVS_{dcs} = \frac{RfD_d \times SAF \times AHQ}{DISER_{nc}}$$

③基于吸入土壤颗粒物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$HCVS_{pis} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{PISER_{nc}}$$

④基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$HCVS_{iov1} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IOVER_{nc1}}$$

⑤基于吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$HCVS_{iov2} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IOVER_{nc2}}$$

⑥基于吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$HCVS_{iv} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IIVER_{nc1}}$$

基于 6 种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值，采用公式：

$$HCVS_n = \frac{AHQ \times SAF}{\frac{OISER_{nc}}{RfD_o} + \frac{DCSER_{nc}}{RfD_d} + \frac{PISER_{nc} + IOVER_{nc1} + IOVER_{nc2} + IIVER_{nc1}}{RfD_i}}$$

6.1.3 风险控制值计算结果

根据第 5 章风险表征结果，对居住场景具有超过风险可接受水平的关注污染物推导风险控制值。

基于前文所述概念模型及各类参数，采用中国科学院南京土壤研究所编制的污染场地健康与环境风险评估软件（HERA 1.1 版）计算了场地土壤风险控制值。HERA 软件与环保部污染场地风险评估技术导则相匹配，是目前国内使用最为广泛的风险评估工具软件。计算得土壤中关注污染物风险控制值见表 6.1-1。

表 6.1-1 计算土壤污染物风险控制值 (mg/kg)

污染物	基于致癌风险效应的 风险控制值(mg/kg)	基于非致癌风险效应的 风险控制值(mg/kg)
氯仿	4.80E-01	4.57E+01
苯并[a]芘	7.55E-02	-

6.1.4 建议的修复目标值

根据技术导则和指南的规定，修复目标值设置的主要考虑因素为：

- (1) 按照 HJ25.3 计算的土壤风险控制值；
- (2) 现行的环境质量标准或风险筛选值；
- (3) 区域背景值、场地背景值或本底值。

对于土壤中的氯仿，按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）计算出风险控制值高于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》中第一类用地筛选值，可将该计算值作为污染物的修复目标值。

对于土壤中的苯并[a]芘，按照 HJ25.3 导则的计算出的风险控制值低于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》中第一类用地筛选值。考虑到第一类用地筛选值的制订时已考虑了国内的经济，技术条件，同时和国内外污染土壤修复质量标准进行了对比，制定了较严格的筛选值，因此，将以筛选值作为该污染物的修复目标值。基于以上原则，本项目土壤中相应污染物的修复目标如表 6.1-2 所示。

表 6.1-2 一类用地土壤中超标污染物的建议修复目标值 (mg/kg)

目标污染物	筛选值	计算风控值	通用管控值	建议修复目标值
氯仿	0.3	0.48	5	0.48
苯并[a]芘	0.55	0.0755	5.5	0.55

本项目土壤的修复目标值可以作为后续场地修复目标的依据，在制定场地修复目标时也需要结合场地的开发计划和所采用的修复技术确定最终的场地污染物修复目标。

6.2 场地修复范围

根据场地环境调查及人体健康风险评估结果，场地土壤中的氯仿、苯并[a]芘对居住居民的风险超过可接受水平。

根据建议的土壤修复目标值和土壤的监测结果，利用插值法模拟了土壤中氯仿、苯并[a]芘的建议修复范围，分别见图 6.2-1~图 6.2-8，其中土壤在 1 米处超标污染物为氯仿、苯并[a]芘，需修复面积分别约为 1459.28m²、1797.49m²；土壤在 2 米处的超标污染物是氯仿，需修复面积约为 787.06m²；土壤在 10 米处的超标污染物是氯仿，需修复面积约为 4554.44m²。

由于污染物修复面积有部分相互重合，最终建议修复范围及修复深度如图 6.2-9，修复工程量见表 6.2-1。其中土壤中氯仿在 2 米处需修复面积约为 787.06m²，建议修复深度为 1~4，理论修复土方量为 2361.18m³，由于与土壤 1 米处污染物苯并[a]芘污染重叠面积约是 40.06m²，因此应减去重叠部分土方量约 40.06m³。

表 6.2-1 土壤建议修复范围及土方量

污染物	污染深度 (m)	污染面积 (m ²)	修复面积 (m ²)	修复深度 (m)	理论修复土方量 (m ³)
氯仿	1	1459.28	1459.28	0~2	2918.56
苯并[a]芘	1	1797.49	1797.49	0~2	3594.98
氯仿	2	787.06	787.06	1~4	2361.18
氯仿	10	4554.44	4554.44	8~12	18217.76
重叠土方量					40.06
总计					27052.42

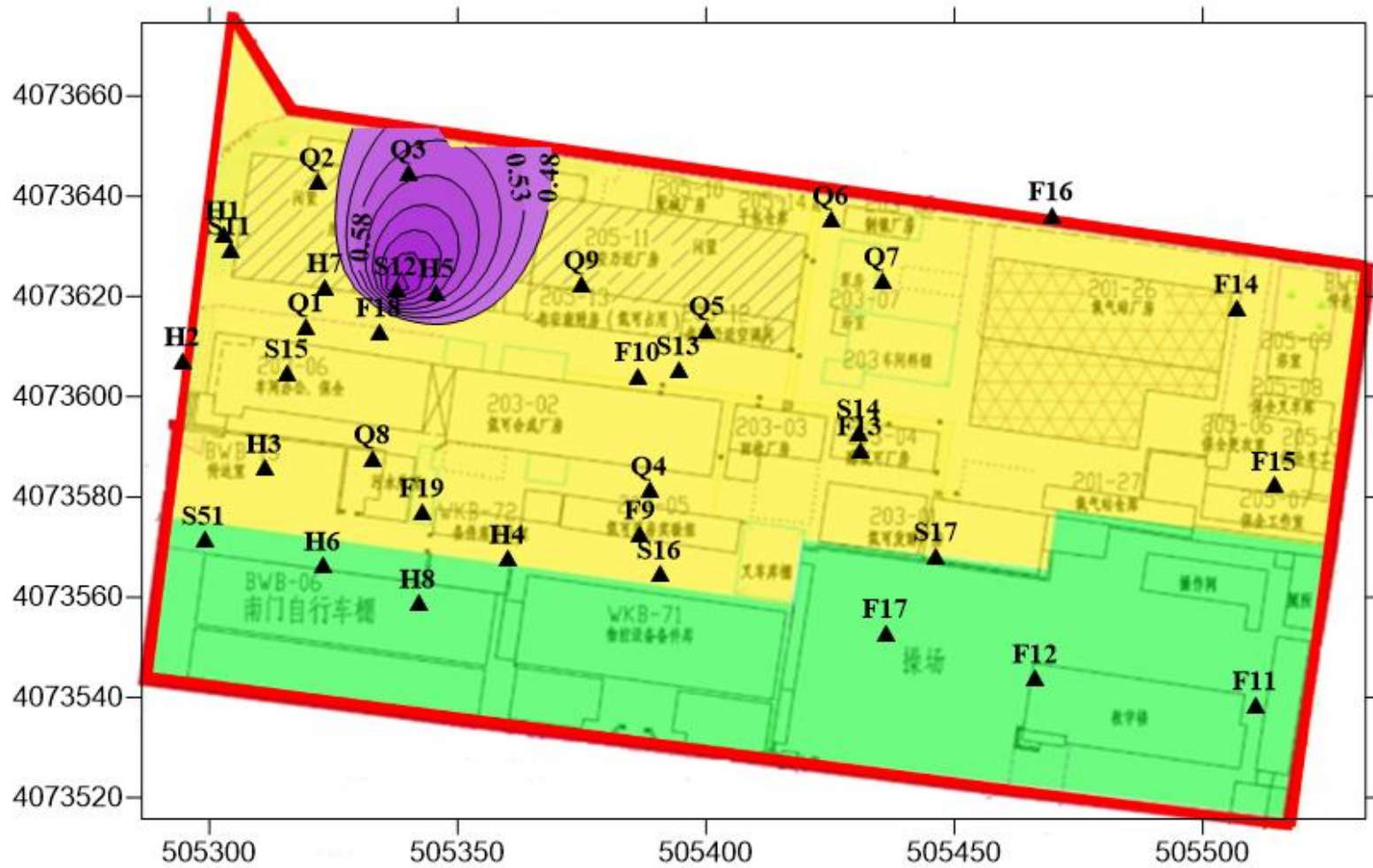


图 6.2-1 土壤中氯仿在 1 米处修复范围示意图

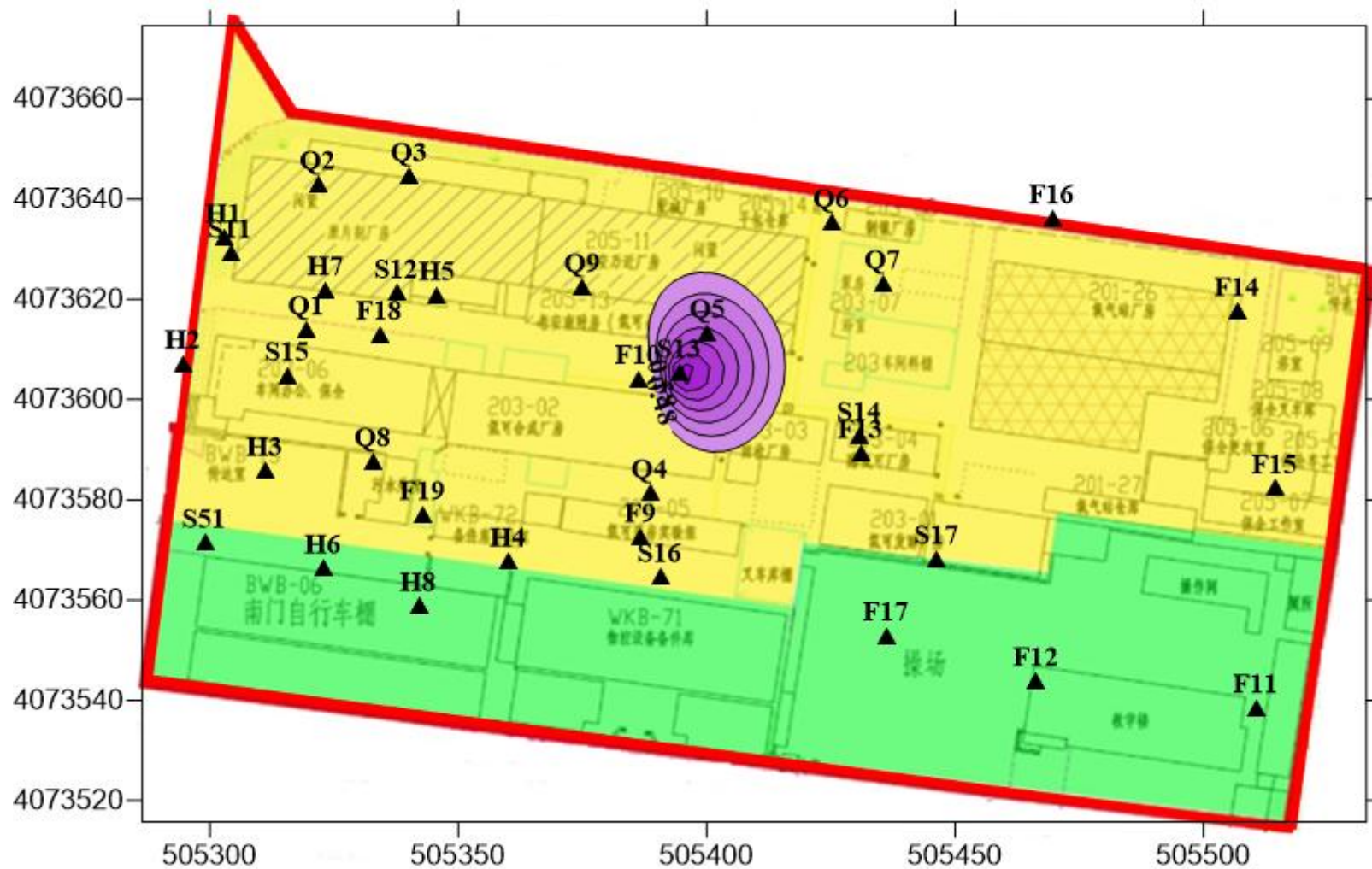


图 6.2-2 土壤中氯仿在 2 米处修复范围示意图

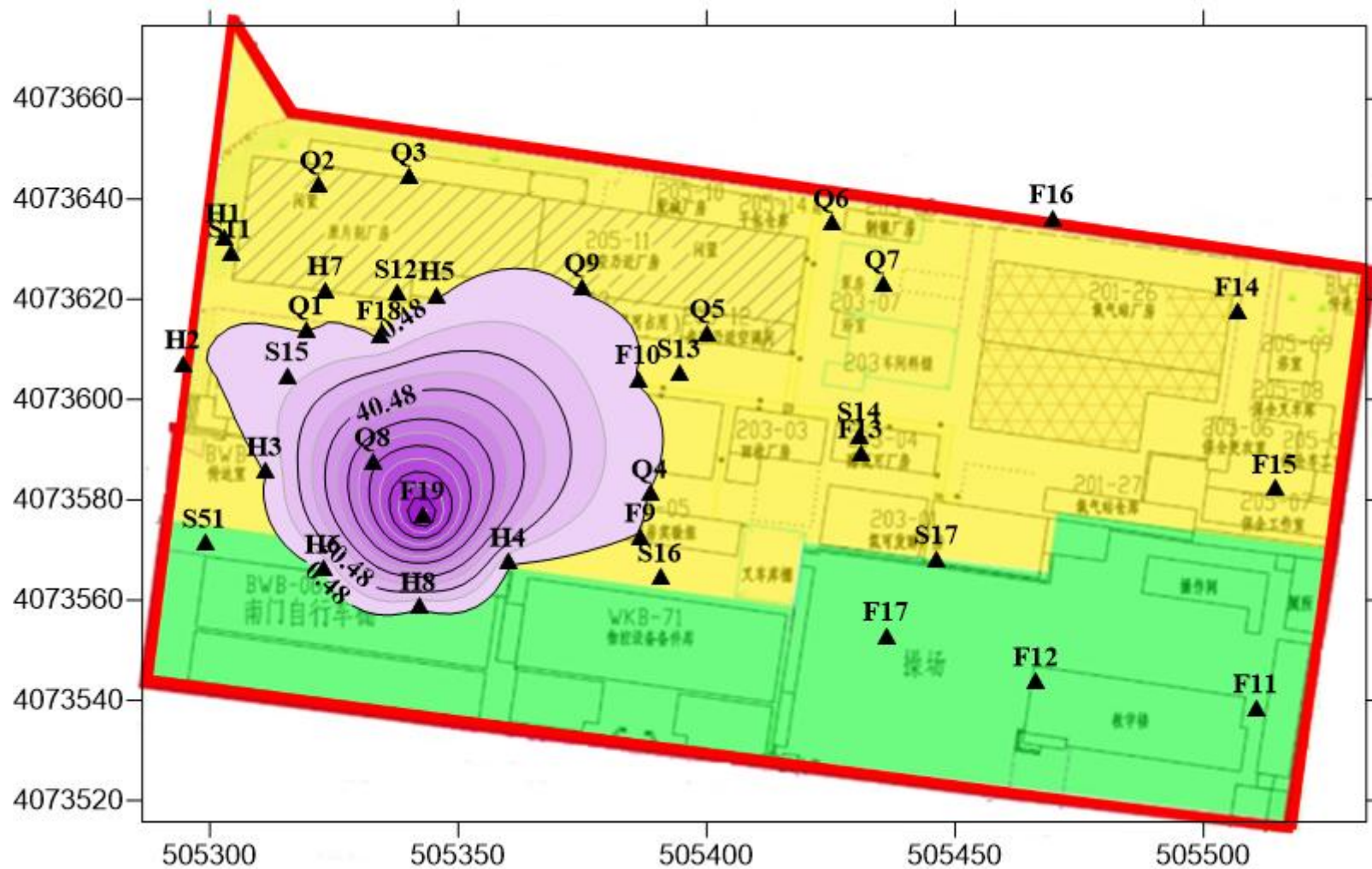


图 6.2-3 土壤中氯仿在 10 米处修复范围示意图

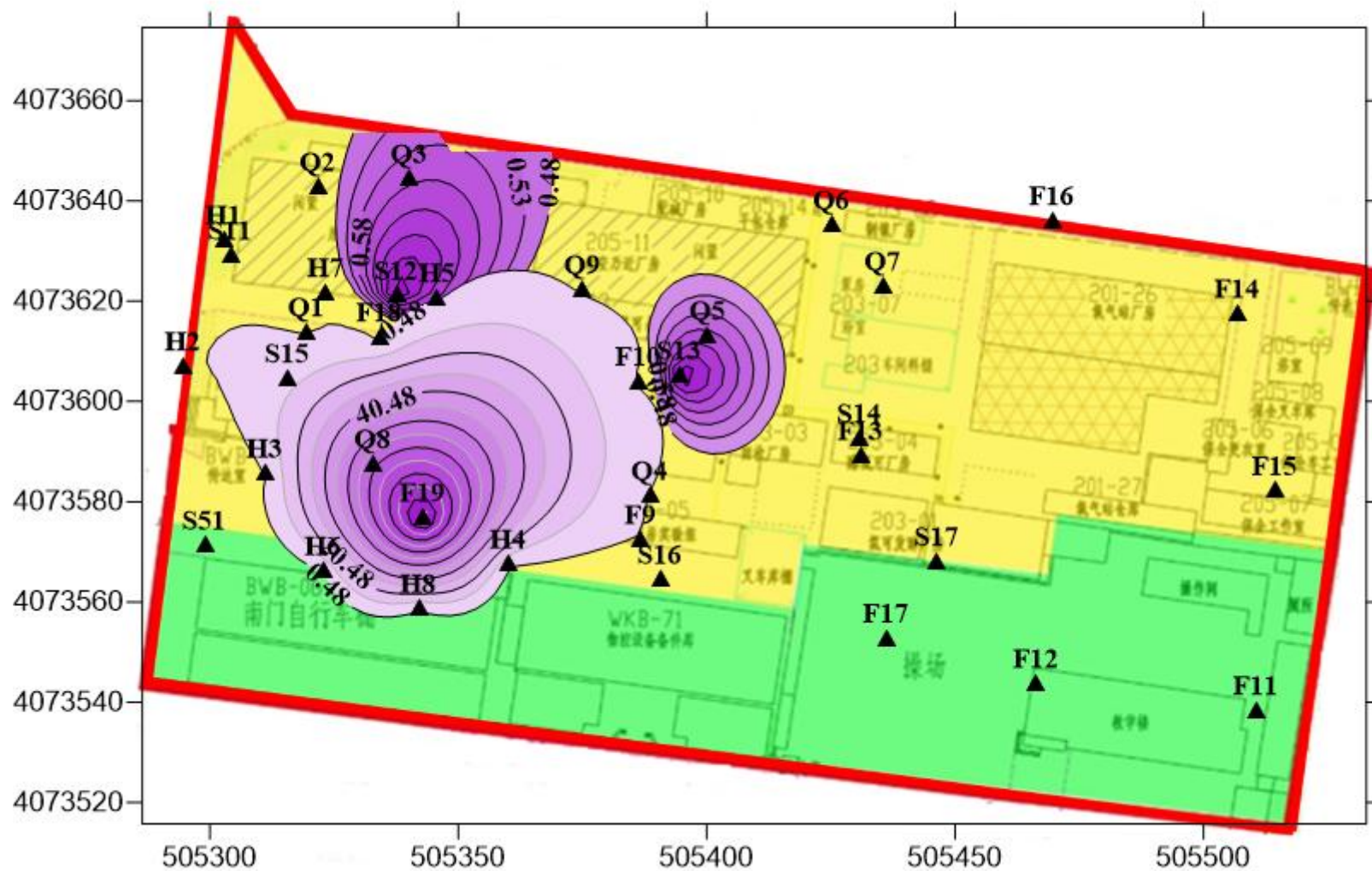


图 6.2-4 土壤中氯仿的修复范围示意图

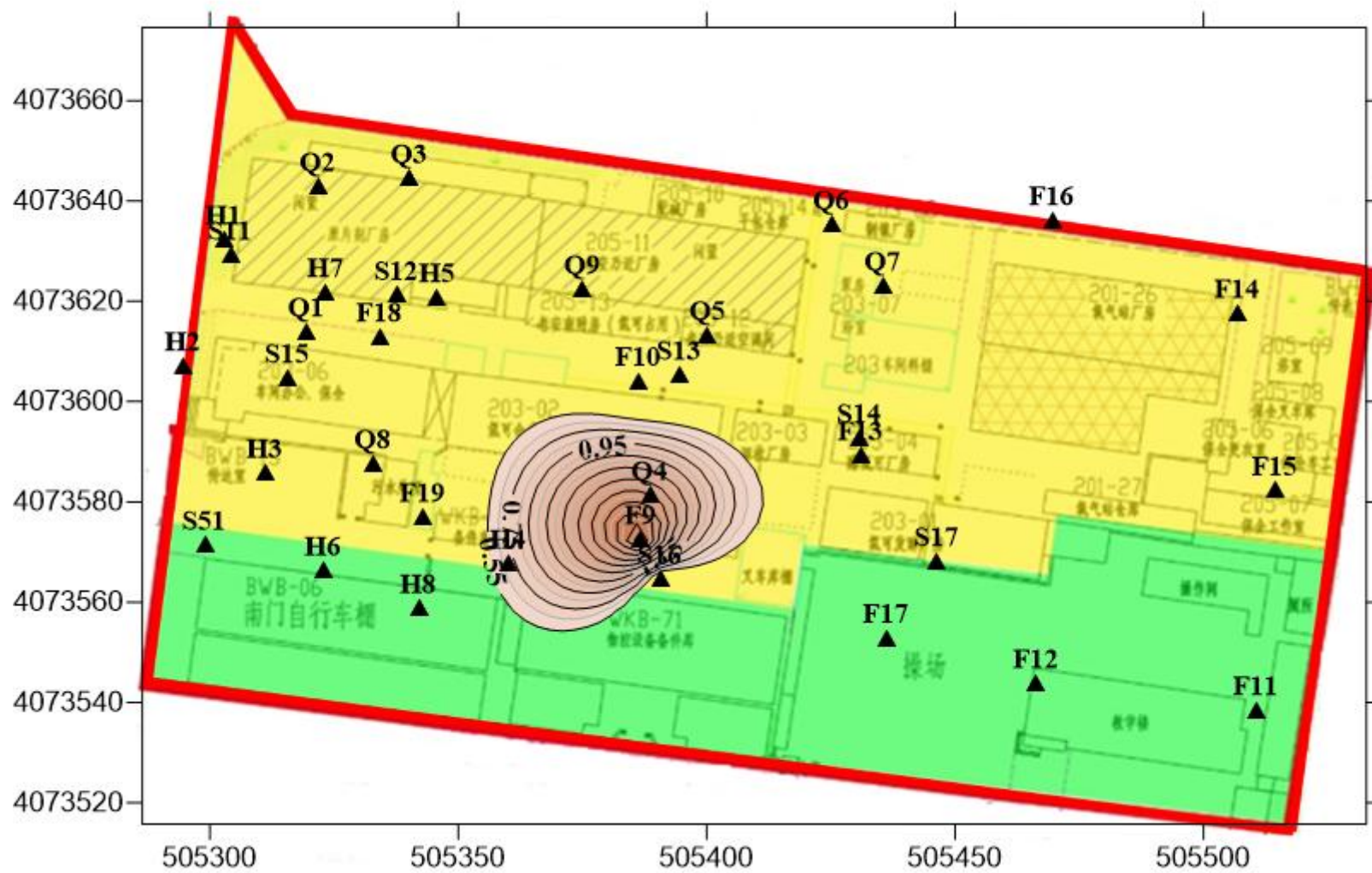


图 6.2-5 土壤中苯并[a]芘在 1 米处修复范围示意图

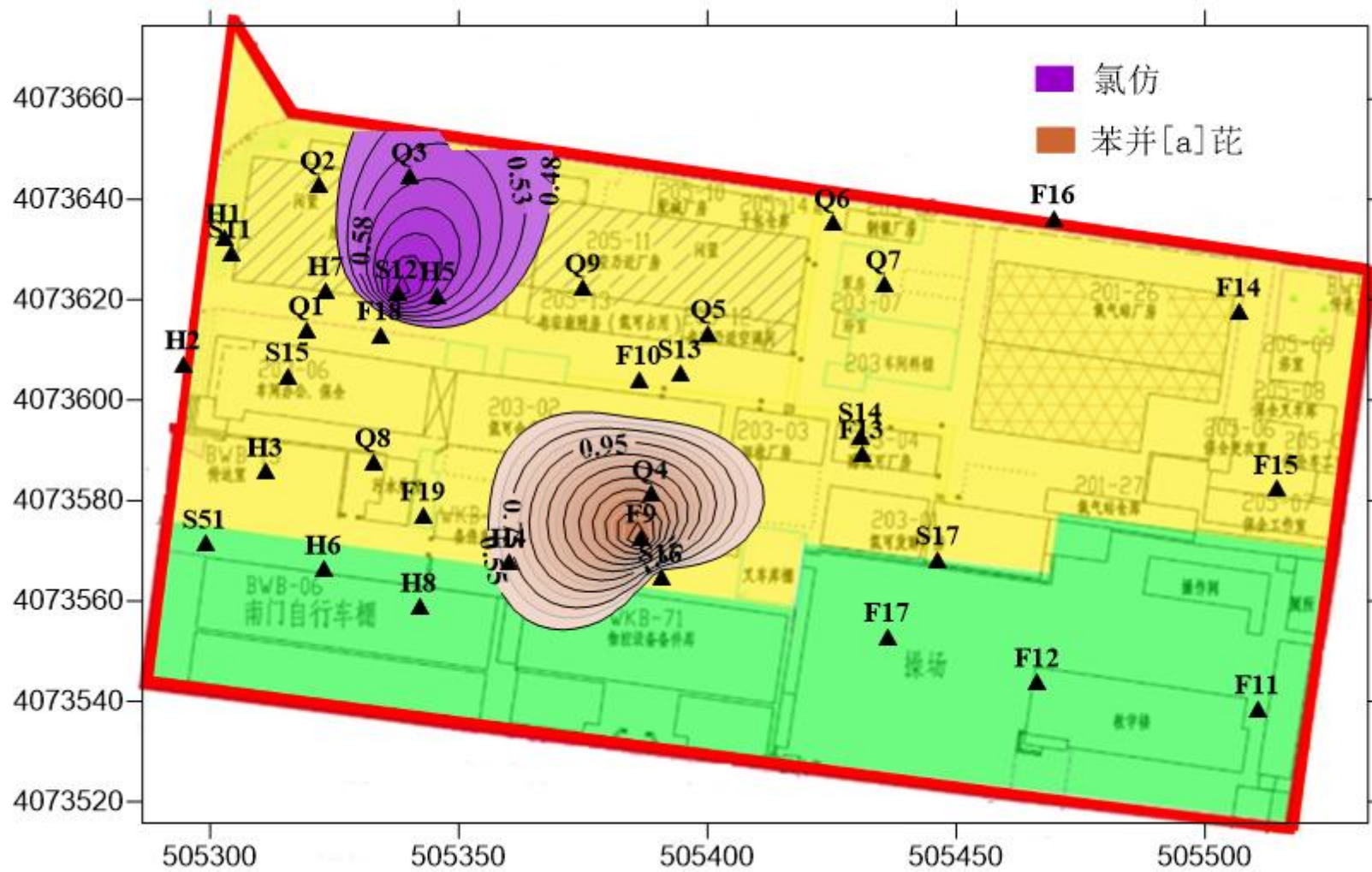


图 6.2-6 土壤中各污染物在 1 米处修复范围示意图

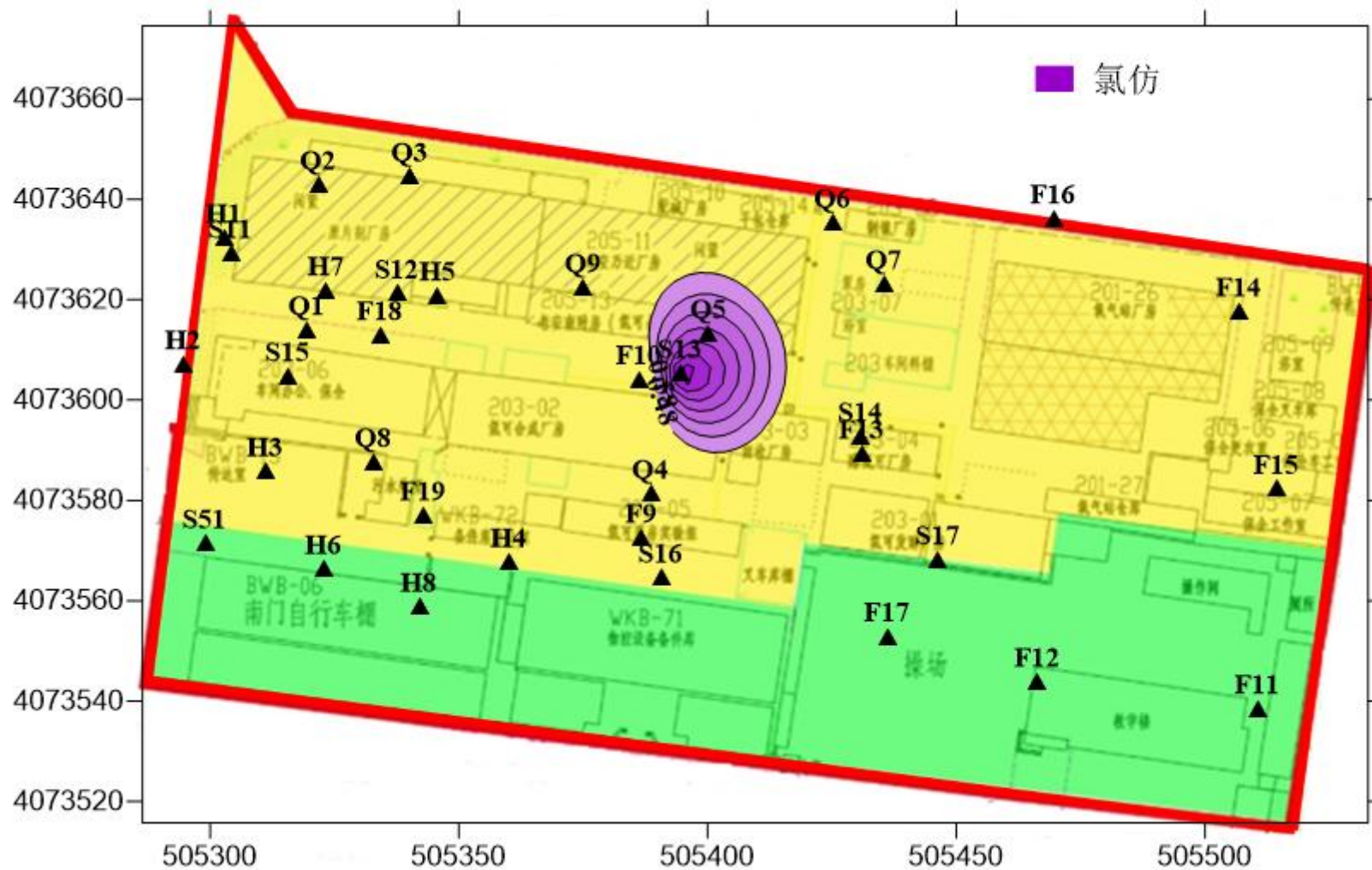


图 6.2-7 土壤中污染物在 2 米处修复范围示意图

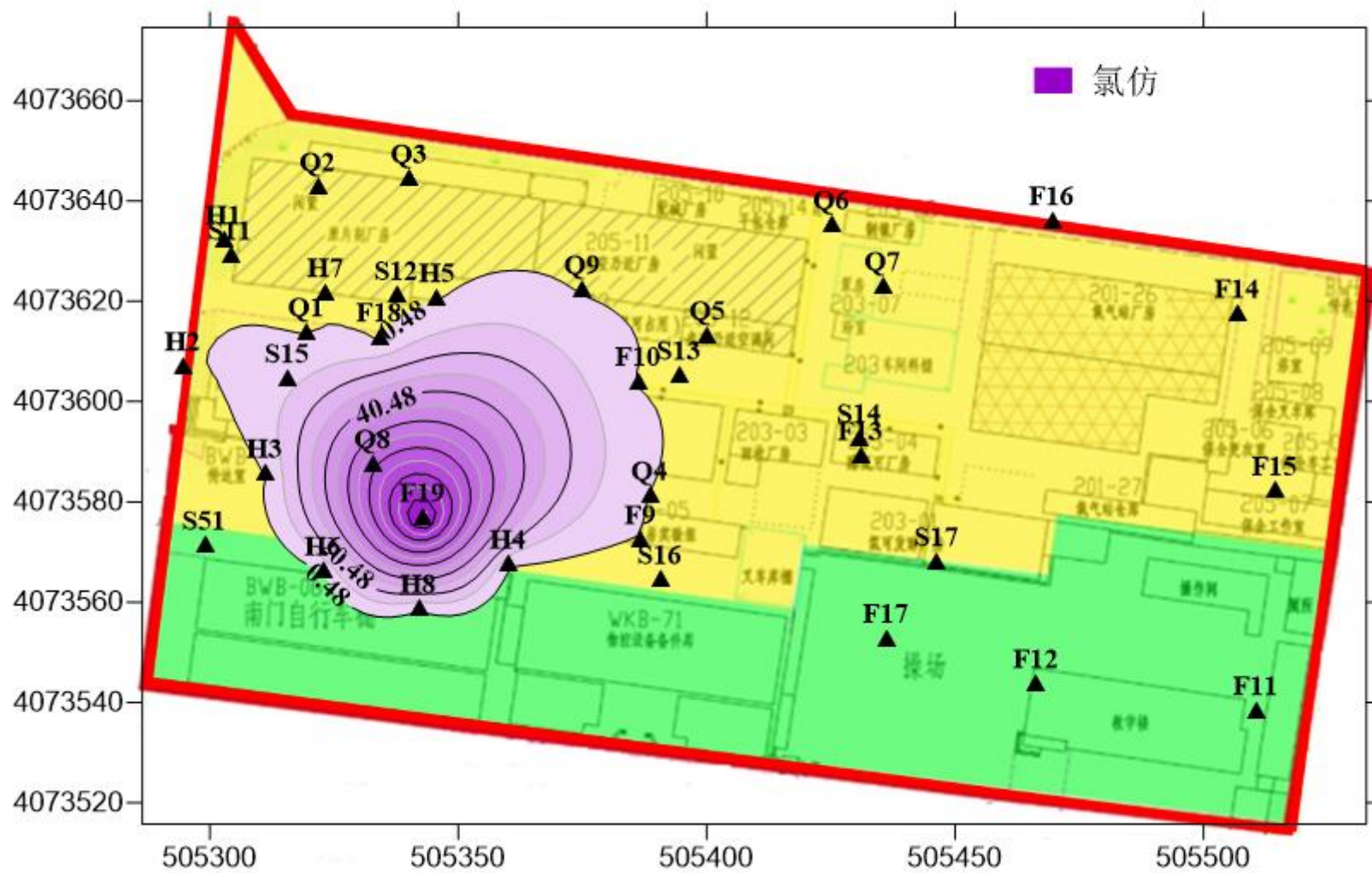


图 6.2-8 土壤中污染物在 10 米处修复范围示意图

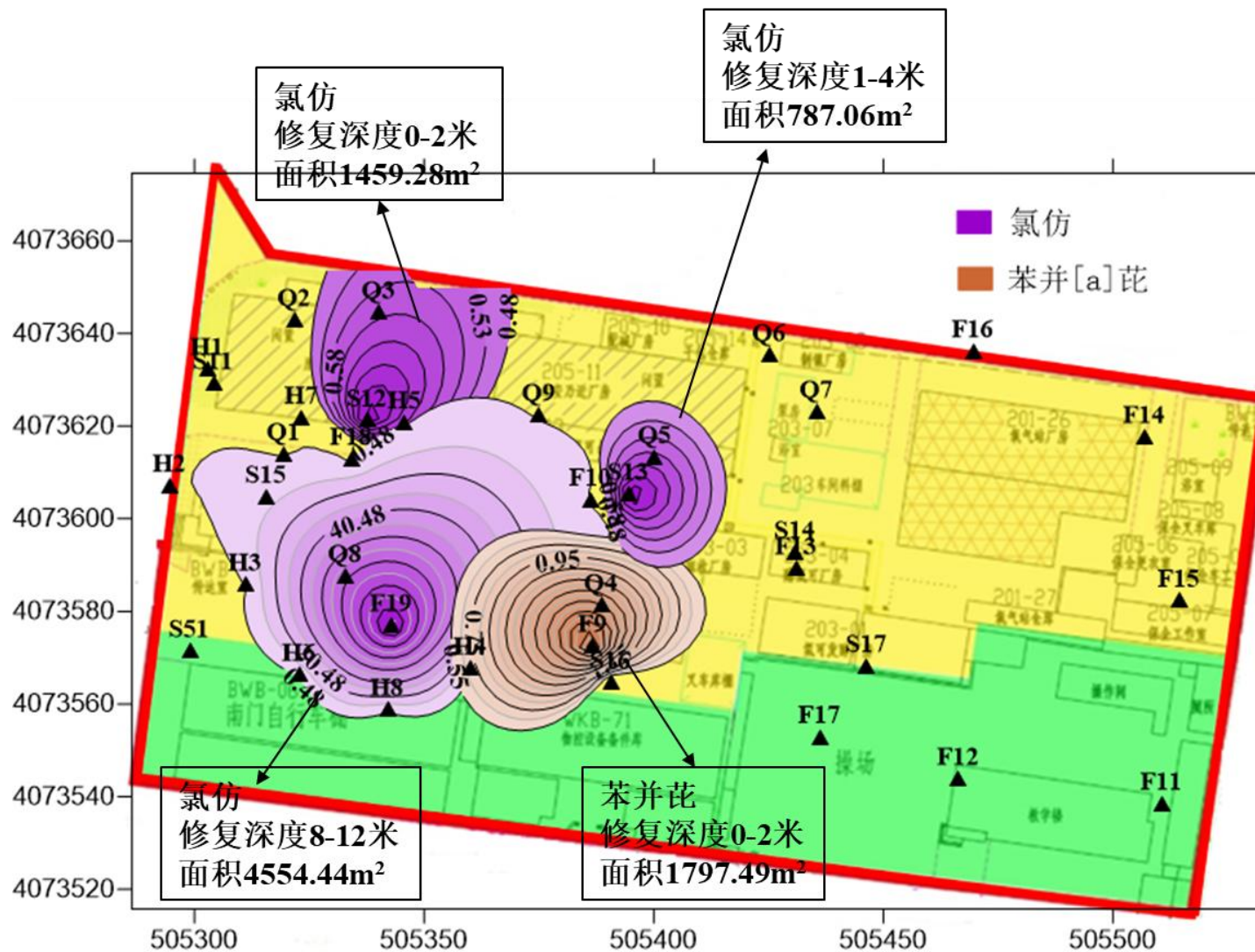


图 6.2-9 土壤修复范围示意图

6.3 场地风险控制措施

根据场地调查与风险评估，场地土壤受到氯仿、苯并[a]芘污染物污染，土壤中的氯仿、苯并[a]芘物质对未来场地居住人员的风险均超出可接受水平。因此，在场地实施修复工程之前，需要开展相应的风险控制与监测活动，防止场地污染进一步扩散和场地污染给周边人群带来风险。根据消除污染源、切断暴露途径和保护受体的原则，提出以下主要风险控制措施：

(1) 对场地中现存的固废、储罐废液、水池污水进行监测，确定污染物的种类、污染物浓度，并根据监测结果确定是否为危险废物。若为危险废物，则需要制定危险废物管理计划，进行妥善处置。对场地内的一般废物，也需要合理的分类、收集、贮存和处理，减少废物对环境的影响。在对场地储罐废液和水池污水进行处置之前，可以进行合理妥善的贮存，防止废液和污水扩散引起场地土壤污染的进一步扩散。

(2) 定期对场地内的地下水进行监测，确定地下水中污染物的浓度变化、衰减程度和迁移。

(3) 在场地修复完成之前，对场地进行必要的控制，防止闲杂人员进入场地引起污染物暴露，导致健康风险。

(4) 在场地修复阶段需要制定合理的施工安全计划，在施工过程中采取暴露防范措施，降低人体接触污染土壤和地下水的频率，减小建筑工人直接暴露风险。例如采取土堆铺盖塑料薄膜、在土堆表面洒水等措施，防止工地尘土飞扬。主动采取必要的受体防护措施，减小建筑工人直接暴露风险。例如工人在施工期间必须佩戴口罩、穿工作服、戴手套、穿防水靴，夏天避免穿短袖衣和短裤施工。

7 修复技术建议

7.1 修复技术筛选原则

污染地块处置、修复技术路线的确定，需要综合考虑地块实际状况、业主要求、开发利用规划、成本以及技术成熟度等因素，并需要对不同性质的土壤确定不同的处理方式，以达到安全、彻底和高效地修复污染地块的目标。

(1) 技术成熟性原则，目前，国内外有多种污染地块处置和修复技术，有些技术已经成熟，有些还在研究试验阶段。为了保证该地块处置、修复顺利完成，本方案设计采用成熟可靠的处置、修复技术，避免采用处于研究初期或中试阶段的技术。

(2) 时间合理性原则在保证处置、修复效果达标的前提下，为降低过程中的潜在环境风险，早日进行后续开发利用，需尽快完成该地块杂填土的修复，选择修复时间短的处置方式和修复技术。

(3) 费用经济性原则制定方案将结合地块中的污染物特性，将尽可能选择经济可行的处置方案和修复技术，既满足修复或安全处置的要求，又尽量削减不必要的费用。

(4) 过程环保性原则工程实施过程中要严格控制污染物对周围环境的影响，做好工程实施过程中的各项环境保护措施，如防尘，防噪声，防二次污染，防臭味等，将对周围居民的影响降到最低。各种污染物排放必须符合国家相关标准。

(5) 效果达标性原则地块中各目标污染物的修复结果要达到预期目标，地块修复或处理处置的最终目标必须满足今后的土地规划和开发标准，确保环境安全及居民健康。

7.2 修复技术简介

(1) 热脱附技术

通过直接或间接加热，将污染土壤加热至目标污染物的沸点以上，通过控制系统温度和物料停留时间有选择地促使污染物气化挥发，使目标污染物与土壤颗粒分离、去除。

热脱附技术按修复地点不同，可分为异位热脱附、原位热脱附。异位热脱附是通过直接或间接加热，将污染土壤加热至目标污染物的沸点以上，通过控制系统温度和物料停留时间有选择地促使污染物气化挥发，使目标污染物与土壤颗粒分离，去除。原位热脱附是利用加热棒、加热毯、加热井或将热蒸汽注入地下等方式将土壤加热，使有机污染物从土壤中析出后在地上收集处理。热脱附技术可高效去除污土壤中挥发或半挥发性有机污染物。

(2) 常温解析技术

热解吸技术是处理有机物污染土壤的物理处理技术。

将污染土壤经过初步预处理后，常温下通过专业工程设备（包括混合和筛分等）将污染土壤与修复药剂（以生石灰为主）混合，并通过车间附属通风及尾气收集和处理系统将解吸的挥发性气体去除。

(3) 水泥窑协同处置技术

水泥窑协同处置技术利用水泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性环境、无废渣排放等特点，在生产水泥熟料的同时，焚烧固化处理污染土壤。有机物污染土壤从窑尾烟气室进入水泥回转窑，窑内气相温度最高可达 1800℃，物料温度约为 1450℃，在水泥窑的高温条件下，污染土壤中的有机污染物转化为无机化合物，高温气流与高细度、高浓度、高吸附性、高均匀性分布的碱性物料（CaO、CaCO₃等）充分接触，有效地抑制酸性物质的排放，使得硫和氯等转化成无机盐类固定下来；重金属污染土壤从生料配料系统进入水泥窑，使重金属固定在水泥熟料中。该技术不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤；由于水泥生产对进料中氯、硫等元素的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土的添加量。

(4) 化学氧化技术

化学氧化修复技术，是通过向土壤中添加氧化剂的方式把土壤中的污染物氧化为低毒、易迁移的物质或者直接把污染物降解，常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧等。

化学氧化修复技术主要用于修复土壤、沉积物、地下水中难以被微生物降解利用的苯系物、含氯溶剂、多氯联苯、多环芳烃等有机污染物。该技术可应用于高度污染土壤、地下水的治理，见效快，由于可供选择的氧化剂种类多样，可灵活的应用于不同类型污染物的处理。该技术既可在污染地块原位进行，也可以采用异位方式处理，由于原位处理不用开挖土壤、成本相对较低，一般工程多采用原位处理。

(5) 多相抽提技术

多相抽提技术是通过真空提取手段，抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和浮油层到地面进行相分离及处理，以控制和修复土壤与地下水中的有机污染物。适用于易挥发、易流动的 NAPL（非水相液体）（如汽油、柴油、有机溶剂等），不宜用于渗透性差或者地下水水位变动较大的地块。

处理系统通常由多相抽提、多相分离、污染物处理三个主要部分构成。主要设备包括真空泵（水泵）、输送管道、气液分离器、NAPL/水分离器、传动泵、控制设备、气/水处理设备等。

多相抽提设备是处理系统的核心部分，其作用是同时抽取污染区域的气体和液体（包括土壤气体、地下水和 NAPL），把气态、水溶态以及非水溶性液态污染物从地下抽吸到地面上的处理系统中。多相抽提设备可以分为单泵系统和双泵系统。其中单泵系统仅由真空设备提供抽提动力，双泵系统则由真空设备和水泵共同提供抽提动力。

多相分离指对抽出物进行的气—液及液—液分离过程。分离后的气体进入气体处理单元，液体通过其他方法进行处理。油水分离可利用重力沉降原理除去浮油层，分离出含油量低的水。

污染物处理是指经过多相分离后，含有污染物的流体被分为气相、液相和有机相等形态，结合常规的环境工程处理方法进行相应的处理处置。气相中污染物的处理方法目前主要有热氧化法、催化氧化法、吸附法、浓缩法、生物过滤及膜法过滤等。污水中的污染物处理目前主要采用膜法、生化法和物化法等技术，并根据相应的排放标准选择配套的水处理设备。

本地块建议修复的目标污染物为苯、氯仿和苯并[a]芘，属于有机污染物类型，结合污染物特征、水文地质条件等，对修复技术进行技术成熟性、应用适

用性、治理周期、成本等分析，初步筛选地块土壤修复技术。针对地块有机污染物修复技术的筛选矩阵见表 7.2-1。

表 7.2-1 有机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			应用适用性	应用局限性	建议
			技术成熟性	治理周期	成本			
1	异位化学氧化	使用化学氧化试剂通过氧化反应将污染物氧化成二氧化碳和水，至少是低毒、稳定的化合物。常用的氧化剂有含催化剂的过氧化氢类物质、高锰酸钾、臭氧、过硫酸盐等。	技术成熟，国内有成熟工程应用	需要时间较短	中等	适用于多环芳烃类、苯系物和石油；有机物的处理。使用的污染物浓度水平也比较宽泛。对于有机物浓度比较高的碳水化合物土壤比较有效和经济。	需要添加化学氧化剂和催化剂。	建议采用
2	多相抽提	通过使用真空提取等手段，同时抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和非水相到地面进行相分离、处理，以控制和修复土壤与地下水有机物污染的环境修复技术。	技术成熟/国内有应用	中等	较低	适用于水溶性较好的污染物，并且渗透性较好的地质条件的修复技术。	影响处置成本的主要因素是土壤性质和污染物溶解度。	不建议采用
3	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	不建议采用

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用适用性	应用局限性	建议
			技术成熟性	治理周期	成本			
4	常温解析	将污染土壤经过初步预处理后，常温下通过专业工程设备（包括混合和筛分等）将污染土壤与修复药剂（以生石灰为主）混合，并通过车间附属通风及尾气收集和处理系统将解吸的挥发性气体去除。	技术成熟/ 国内有应用	较快	较低	适用于透气性好的土壤中各种挥发性有机物包括苯系物、卤代烃类等的处理	影响处置成本的主要因素是土壤性质和污染物挥发性。	配合采用
5	水泥窑协同处置	挖掘土壤、运输土壤到水泥厂和水泥生料一起进入回转窑，控制污染土壤的配比。	较成熟，有已经改造的水泥窑生产线	受水泥产量限制，土壤添加配比较低。	中等	适用于重金属和半挥发性、难挥发性有机物	(1) 地块内土壤含水量高，会增加成本； (2) 部分地块内有大量氯苯化合物，焚烧会产生二噁英； (3) 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。	不建议采用

7.3 场地建议修复技术

根据地块修复技术筛选原则、修复成本和环境风险，结合本地块的实际污染情况，选出适合本地块污染土壤的修复技术。最终修复技术应以修复技术方案为准。

有机污染土壤采用异位化学氧化技术修复和热强化多相抽提修复。异位化学氧化技术的原理是向有机污染土壤中添加氧化剂，通过氧化作用，使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质，具有技术成熟，修复效率高，效果较好等优点，对于深层高浓度污染土壤，采用热强化多相抽提修复技术，通过加热促进有机污染挥发和污染物由液相向气相转化，通过抽提至地表进行尾气处理的修复方式。

8 结论和建议

8.1 风险评估结论

根据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019),对新华制药总厂区东南角部分地块场地土壤中苯、氯仿、苯并[a]芘、甲醛在敏感用地方式下的健康风险进行计算,结果显示:

(1) 根据单一污染物的可接受致癌风险水平为 10^{-6} ,单一污染物的可接受危害商为 1,氯仿的最大致癌风险和非致癌风险均超过了相应的人体健康可接受风险水平,苯并[a]芘的最大致癌风险均超过了相应的人体健康可接受风险水平。因此,本项目场地内土壤中的氯仿、苯并[a]芘物质对人体健康具有潜在危害,需要采取适当措施加以控制。

(2) 不确定性分析表明,土壤中的苯、氯仿、甲醛致癌风险的主要暴露途径为吸入下层土壤室外蒸汽,对苯、氯仿、甲醛致癌风险的贡献率分别为 57.35%、65.49%、64.78%,对苯、氯仿、甲醛非致癌风险(危害指数)的贡献率分别为 49.20%、51.52%、61.15%,苯并[a]芘致癌风险的主要暴露途径为经口摄入途径,对苯并[a]芘致癌风险的贡献率为 70.43%。

地下水中的苯、氯仿致癌风险的主要暴露途径为吸入地下水室内蒸汽,对苯、氯仿致癌风险的贡献率分别为 87.84%、87.19%。地下水中的苯、氯仿非致癌风险的主要暴露途径为吸入地下水室内蒸汽,对苯、氯仿非致癌风险的贡献率分别为 87.84%、87.19%。

(3) 根据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019),充分考虑场地暴露情景、场地土壤基本理化性质,计算土壤中关注污染物的风险控制值。计算所得土壤中氯仿、苯并[a]芘的风险控制值分别为 0.48、0.0755mg/kg。对于土壤中的氯仿,按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)计算出风险控制值高于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》中第一类用地筛选值,可将该计算值作为污染物的修复目标值。对于土壤中的苯并[a]芘,按照 HJ25.3 导则的计算出的风险控制值低于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》中第一类用地筛选值。因此,将以筛选值作为该污染物的修复目标值。

8.2 场地建议的修复目标值

综合考虑了基于人体健康风险的污染物风险控制值及我国现已颁布的相关环境质量标准数值，得到该项目场地的各污染物建议修复值。

土壤中氯仿的建议修复目标值为0.48mg/kg，土壤中苯并[a]芘的建议修复目标值为0.55mg/kg。

8.3 场地建议修复范围

根据建议的土壤修复目标值和土壤的监测结果，通过插值法确定了土壤的建议修复范围。

土壤在 1 米处超标污染物为氯仿、苯并[a]芘，需修复面积分别约为 1459.28m²、1797.49m²；土壤在 2 米处的超标污染物是氯仿，需修复面积约为 787.06m²；土壤在 10 米处的超标污染物是氯仿，需修复面积约为 4554.44m²。由于污染物修复面积有部分相互重合，最终建议修复土方量 27052.42m³。

8.4 建议

经过场地环境调查以及风险评估工作，通过对数据的分析，对场地后续工作提出如下建议：

(1) 妥善处置场地的现有潜在污染源，如建筑垃圾、散落原料等，避免在后续施工过程中引起二次污染。

(2) 由于场地调查期间，建筑尚未拆除，采样点布设受到限制，建议待厂房及设备拆除移走后，在修复阶段，对于特殊位置进一步确定污染的范围。

(3) 在本场地开发阶段和未来居住使用阶段，本场地土壤中污染物会对未来场地居住人员的健康风险超过可接受水平。建议下一步针对本场地污染和水文地质特征，结合场地开发计划确定土壤修复目标值，划定修复范围，确定修复技术方案，开展场地修复工作，消除或控制人体健康风险至可接受水平。

(4) 因插值法只能提供理论上的修复范围与修复土方量，在污染物来源不明的条件下，现场实际修复情况可能与理论范围有所不同。建议在修复工程开展起见，对修复范围内的土壤进行现场筛查以及表观记录，以控制修复量。

(5) 因污染物随地下水迁移、转化、反应等，可能产生新的污染物，修复范围不一定准确，建议修复工程启动过程中，实施动态评估，加强采样检测并及时根据实际情况调整修复范围，并做全生命周期的风险评估。