

项目名称：临湘市原农药厂土壤污染治理项目风险评估报告

项目类别：土壤污染修复项目

委托单位：岳阳市生态环境局临湘分局

完成时间：2021 年 2 月 19 日

临湘市原农药厂土壤污染治理项目 风险评估报告



公司地址：湖南省长沙雨花区黄谷路国际企业中心北区 9 栋 4 楼/5 楼

电话：0731-58222783

传真：0731-58222783

手机：13687399599

邮箱：8138307@qq.com



统一社会信用代码
91430111MA4QWKA51T

营业执照



扫描二维码登录“国家企业信用信息公示系统”了解更多登记、备案、许可、监管信息。

名称 中石生态环境科技有限公司

注册资本 伍仟万元整

类型 有限责任公司(自然人独资)

成立日期 2019年10月29日

法定代表人 廖响中

临湘市原农药厂土壤污染治理项目风险评估报告

营业期限 2019年10月29日至 2069年10月28日

经营范围 环境仪的研发；石漠化生态经济型研发与治理；沙漠生态经济型研发与治理；重金属污染防治；农田修复；环境卫生管理；环保技术推广服务；水处理技术工程应用；环保行业信息服务及数据分析处理服务；环境仪的销售；环境在线监测设备的销售与运营；环境技术咨询服务；环境与生态监测；水污染治理；大气污染治理；固体废物治理；危险废物治理；放射性废物治理；土壤污染治理与修复服务；噪声与振动控制服务；垃圾无害化、资源化处理；矿山生态经济型修复研发与治理；环保设备设计、开发。（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动）

住所 长沙市雨花区环保中路188号四期9栋402号



登记机关

2019年10月29日

项目名称：临湘市原农药厂土壤污染治理项目风险评估报告

主管单位：岳阳市生态环境局临湘分局

编制单位：中石生态环境科技有限公司

法人代表：廖响中

项目负责人：曹烨（注册环评工程师、高级工程师）

服务团队：廖和平（高级工程师、副教授）

萧做平（高级工程师、副教授）

彭 晖（注册环评工程师、博士、律师）

杨娟（注册环评工程师、工程师）

陈 龙（注册环评工程师、工程师）

核定：曹烨

审查：王剑光

校核：任金晶

编写：熊威

目录

1 摘要	1
1.1 项目概况	1
1.2 地块基本信息	2
1.3 初步调查结论	2
1.4 详细调查结论	3
1.5 污染风险筛选概况	4
1.6 修复范围及修复工程量	4
1.7 修复技术推荐	4
1.8 总结论	4
2 概述	5
2.1 评估范围	5
2.2 评估目的和原则	8
2.3 编制依据	8
2.4 评估方法及技术路线	10
3 污染场地概况	13
3.1 区域环境状况	13
3.2 敏感目标	14
3.3 地块使用现状和历史	15
3.4 相邻地块的使用现状和历史使用情况	24
3.5 地块利用规划	25
4 初步调查情况	29
4.1 污染识别结论	29
4.2 初步采样及分析结果	30
4.3 风险筛选结果	34
4.4 结论及建议	35
5 地质及水文地质调查结果	37
5.1 土层分布条件	37

5.2 地下水分布条件.....	38
5.3 实验室与现场试验成果.....	40
6 详细调查情况.....	43
6.1 详细调查方案.....	43
6.2 检测结果及分析.....	48
6.3 详细调查结果分析.....	53
6.4 建议.....	54
7 地块风险评估.....	55
7.1 危害识别.....	55
7.2 暴露评估.....	65
7.3 毒性评估.....	74
7.4 风险表征.....	78
7.5 不确定性分析.....	89
7.6 地块风险评估结论.....	90
8 治理和修复建议.....	93
8.1 修复目标值确定.....	93
8.2 修复范围及工程量.....	99
8.3 修复技术建议.....	104
8.4 再开发利用过程中的建议.....	112
附图附件.....	115
一、场地权属相关证明.....	115
二、场地环境调查专家评审意见.....	118
三、土壤污染状况调查报告（见分册）.....	120
四、检测报告（见分册）.....	120
五、地勘报告（见分册）.....	120

专家组综合评审意见

项目名称	临湘市原农药厂土壤污染风险评估报告
<p>2021年1月15日,受湖南省生态环境厅和湖南省自然资源厅委托,湖南省生态环境事务中心在长沙组织召开了《临湘市原农药厂土壤污染风险评估报告》(以下简称“风险评估报告”)专家评审会。参加会议的有湖南省生态环境厅、湖南省自然资源厅、岳阳市生态环境局、岳阳市自然资源和规划局、岳阳市生态环境局临湘分局、临湘市自然资源局、业主单位临湘市人民政府、编制单位中石生态环境科技有限公司等单位代表。会议邀请了5位专家组成专家组(名单附后)。会前与会专家和领导进行了现场查勘,会上专家和与会代表听取了编制单位的汇报,查阅了相关材料,经充分质询与讨论,形成如下评审意见:</p> <p>(一)项目概况</p> <p>临湘市原农药厂位于临湘市西北部江南镇,于上世纪70年代开始生产,最早期主营油脂化工,主要产品为六六六、油棉皂。80年代开始生产农药,主要生产杀虫双、杀虫单;90年代开始扩大农药和化工生产,其产品包括烧碱、甲胺磷、敌敌畏、敌百虫、杀虫双、杀螟丹等;2000年生产水性油墨及印刷复写纸。临湘市原农药厂于2008年3月关停,2012年将生产设备拆除。</p> <p>根据相关规划文件,本地块位于临湘市陆城港区,属于现状建设用地,后续规划为绿地。为保证土地安全开发和利用,2020年3月,岳阳市生态环境局临湘分局委托湖南衡润科技有限公司进行了临湘市原农药厂地块土壤污染状况调查工作,为进一步明确本地块土壤及地下水的污染现状,本次风险评估过程中,岳阳市生态环境局临湘分局委托中石生态环境科技有限公司对地块按照风险评估要求进行补充调查。</p> <p>(二)风险评估结果</p> <p>按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3—2019)要求,开展了地块污染识别、污染状况分析,包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征、风险评估不确定性分析等在内的场地风险评估,开展了土壤污染风险评估工作,确定了目标污染物砷、α-六六六、β-六六六、γ-六六六的总致癌风险和非致癌风险控制值。本次风险评估确</p>	

定地块中砷、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六污染风险不可接受。在此基础上提出土壤修复目标值：砷、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六的目标值分别为 60mg/kg、0.388mg/kg、1.18mg/kg、1.94mg/kg。

(三) 评审结论

风险评估报告格式符合国家相关导则和规范要求，风险评估程序和方法合理；地块土壤污染状况调查及报告基本满足风险评估和国家相关标准规范要求；项目地块土壤污染风险不可接受，需要实施治理修复或风险管控。风险评估报告通过评审，经修改完善后可作为纳入建设用地风险管控和修复名录的依据。

(四) 修改意见

- 1、进一步细化场调结论，核实场内废水塘、场外沉淀池水体与建筑垃圾执行标准；
- 2、进一步明确地块规划用途，完善和细化地块边界范围；
- 3、完善水文地质调查结论，补充地下水不纳入风评的说明；
- 4、进一步细化和核实风险评估中危害识别、暴露途径参数选取的合理性，核实污染物暴露浓度取值及依据；
- 5、进一步核实污染扩散边界及测算，核实修复范围及土方量；
- 6、完善附件、附图。

专家组：万大娟（组长）、李卫红、陈跃辉、高华、张伏中（执笔）

万大娟

李卫红

2021年1月15日

陈跃辉

高华

张伏中

专家意见修改说明

1、进一步细化场调结论，核实场内废水塘、场外沉淀池水体与建筑垃圾执行标准；

修改说明：细化场调结论，核实场内废水塘、场外沉淀池水体与建筑垃圾执行标准，详见 6.3.2 水体和底泥调查结果分析、6.3.3 固废污染情况调查结果分析（P51-53）。

2、进一步明确地块规划用途，完善和细化地块边界范围；

修改说明：已明确地块规划用途，完善和细化地块边界范围，详见 2.1 评估范围（P5-P7）。

3、完善水文地质调查结论，补充地下水不纳入风评的说明；

修改说明：已完善水文地质调查结论，地下水与地表水相关水力联系，详见 5.2 地下水分布条件（P36-37），已补充地下水风评的说明，详见 7.4 风险表征（P76-86）。

4、进一步细化和核实风险评估中危害识别、暴露途径参数选取的合理性，核实污染物暴露浓度取值及依据；

修改说明：进一步细化和核实风险评估中危害识别、暴露途径参数选取的合理性，详见 7.1.1 关注污染物的判定（P54-55）、7.2.2 暴露途径分析（P64-65），核实污染物暴露浓度取值及依据，基于保守原则，采取最大值作为风险表征所使用的对应层污染物暴露浓度，详见 7.1.1 关注污染物的判定（P54-56）

5、进一步核实污染扩散边界及测算，核实修复范围及土方量；

修改说明：进一步核实污染扩散边界及测算，核实修复范围及土方量，详见 8.2 修复范围及工程量（P98-102）。

6、完善附件、附图。

修改说明：已完善附件、附图，详见附图附件（P113-117）。

1 摘要

1.1 项目概况

临湘市原农药厂位于临湘市西北部江南镇，主营化学农药、原药制造和油墨等化工产品的制造。临湘市原农药厂于上世纪 70 年代开始生产，最早期主营油脂化工，主要产品为六六六、油棉皂。80 年代开始生产农药，主要生产杀虫双、杀虫单；90 年代开始扩大农药和化工生产，其产品包括烧碱、甲胺磷、敌敌畏、敌百虫、杀虫双、杀螟丹等；2000 年生产水性油墨及印刷复写纸。临湘市原农药厂于 2008 年 3 月关停，2012 年将生产设备拆除。

据国家环境保护部、国土资源部等四部委《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）、《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）等相关文件要求，为保证土地安全开发和利用，岳阳市生态环境局临湘分局委托湖南衡润科技有限公司承担了临湘市原农药厂场地环境调查工作。2020 年 3 月，衡润公司进行了场地污染第一阶段的调查工作。在资料收集与分析、相关人员访谈、现场踏勘的基础上，认为该场地生产区域存在较大的污染风险，应进行第二阶段场地环境调查。

2020 年 4 月-6 月，针对第一阶段调查结果，制定监测方案，对场地土壤、地表水以及地下水进行了初步调查；根据初步调查结果，2020 年 6 月-8 月，对场地土壤按 40×40m 系统布点法进行了加密监测，同时补充了场地地表水，地下水以及农药生产车间与仓库地表、墙壁以及地沟沉积物的采样分析。2020 年 8 月-10 月，对场地土壤按 40×40m 系统布点法对六六六进行了补充监测，同时补充了场地地下水中六六六的采样分析。2020 年 11 月，《临湘市原农药厂土壤污染治理项目场地环境调查报告》通过了专家审查。

2020 年 12 月，岳阳市生态环境局临湘分局委托本公司针对临湘市原农药厂的土壤污染状况，依据国家及地方相关标准要求，开展场地土壤风险评估，结合场地未来用地规划，基于人体健康风险计算场地土壤修复目标建议值，以求科学指导环境修复与环境管理工作的开展，保护周边人群健康，满足场地未来利用方式。

1.2 地块基本信息

该地块位于临湘市陆城港区，现状为建设用地，规划为绿地，场区东侧为长江，北侧现状为林地和一些散落民居，南侧为绿地与水田。

1.3 初步调查结论

经 2020 年 4 月-2020 年 5 月，对场地现场踏勘第一阶段环境调查结果，调查场地 历史沿革清楚。对场地主要生产区域建构筑物的分布、生产区域地面的防渗情况、地下管网的分布情况、场地的污染痕迹等现状进行现场确认。现场踏勘结果如下：

(1) 场地内历史生产企业主要有临湘市原农药厂、临湘市同力矿业有限公司、湖南汀兰生物科技有限公司。场区东侧为菴湖社区，和北侧有未拆迁的零散居民楼。

(2) 建构筑物：场地内大部分地上生产设施基本拆除完毕；部分建构筑物已拆除，遗留氯碱生产车间、农药生产车间与原料仓库，以及部分辅助用房；构筑物包括废水处理池等，场地地表以下土壤未见扰动，地表堆放有少量建筑垃圾。

(3) 地面硬化：原氯碱生产区域与生活区域全部硬化，其他区域未硬化。

(4) 地下管网：遗留循环冷却水管。

(5) 污染痕迹：第一次踏勘期间，原氯碱车间现有遗留一地坑，露出遗留暗管，地坑积水散发出较为明显的刺激性气味，其他区域未见明显污染痕迹；农药生产车间地表遗留不明白色固废。

(6) 通过对场地企业生产原料、产品及各类污染物排放的调查分析，场地内潜在污染物为 As、Mn 等重金属和六六六、苯、敌敌畏、二氯乙烷、氰化钠、苯、三氯乙醛、氯丙烯、杀虫双、杀虫单、敌百虫、三氯乙醛等有机物。

根据第二阶段初步调查结果分析显示，本项目场地污染情况如下：

(1) 31 个土壤样品中，4 个场外对照土样 52 项指标均未超过第二类用地筛选值；27 个场内土壤采样点中 2 个点位砷总量超过第二类用地筛选值，超标点位为 11-2 (0.5-2m)、12-2 (2-6m)，其他点位与检测项目均未超标。

(2) 废水塘底泥中砷、铅、镉总量超第二类用地筛选值，其他未超标。

(3) 场内地表水共检测 26 项，场内废水塘与场外沉淀池水体重金属砷含量超《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 表 1 第一类污染物最高允许排放浓度限值，其他未

超标。

(4)场内地下水共检测 22 项,其中场内地下水主要是砷超《地下水环境质量标准》(GB/T14848-2017) IV 类标准,其他未超标;场外地下水水质未超标。

本项目场地现状为建设用地,规划为绿地,属于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中第二类用地。地块土壤环境质量不符合地块未来规划用途的使用要求。

1.4 详细调查结论

场地环境详细调查时间为 2020 年 5 月-2020 年 8 月。

(1) 土壤污染情况

详细调查阶段设置了 29 个重金属和无机物采样点位共 117 个样品,对比建设用地土壤总量评价标准筛选值,场地 12-2 点位超标深度为 2-6m,新增砷总量超标点位为 10-4 (0-0.5m)、15-12 (0-0.5m),污染范围包括原料仓库、杀虫剂生产车间,污染方量约 705m³,最大污染深度 6m。

详细调查阶段设置了 41 个土壤有机物采样点位共 137 个样品,其中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、氯苯、苯并(a)蒽、蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(ah)蒽、苯胺、滴滴涕等 13 种有机物有检测出,其他有机物未检测出。对比建设用地土壤总量评价标准筛选值,土壤中有机物均未超标。

补充监测场地土壤 39 个采样点位共 195 个样品,六六六检测结果对比建设用地土壤总量评价标准筛选值发现,土壤中六六六含量存在超标情况,污染深度为 0-8m, 8m 以下不超标。

(2) 地下水污染情况

详细调查阶段补充地下水 2 个采样点位,连续监测 3 天,共 6 个样品,共检测 20 项。经分析地下水中主要是砷超《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-2017) IV类,其他未超标。地下水中六六六(总量)、 γ -六六六基本未检出,不超《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-2017) IV类标准值。

(3) 水体和底泥污染情况

本项目场地地表水 7 个采样点位,连续监测 3 天,共 21 个样品,共检测 23 项。经分析废水塘与调节池,以及开挖基坑废水中砷超《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)

表 1 第一类污染物最高允许排放浓度限值，其他未超标；16-2 水池 pH 值呈强碱性；原磅房水池铅含量稍微超标。13 号地块水池底泥属于第 II 类一般工业固废，根据地形测量，水池面积为 8634m²，地勘测量底泥均深 1.1m，超标底泥量约 9497.4m³。

1.5 污染风险筛选概况

地块现状为建设用地，属于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第二类用地。暴露受体为成人，主要考虑成人接受的致癌风险和非致癌风险。暴露途径包括经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物。

使用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中的暴露评估、风险表征等模型对 4 种土壤关注污染物（砷、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六）和 1 种地下水关注污染物（砷）进行了风险评估，结果表明：地块土壤中砷、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六共计 4 种污染物，需进行修复治理。

1.6 修复范围及修复工程量

根据风险评估确定场地修复的目标污染物和修复目标值，分层分污染物类型进行统计，故本项目垂直投影面积为 26029.02 平方米，总污染方量约 105049.92 立方米。

1.7 修复技术推荐

针对临湘市原农药厂中的污染土壤，建议采用热脱附技术/就地管控技术对污染土壤进行处理。

1.8 总结论

地块现状为建设用地，规划为绿地，属于《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）中第二类用地。地块土壤和地下水环境质量不符合地块未来规划用途的使用要求，需进行修复治理。土壤超筛选值污染物中砷、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六共计 4 种污染物，需进行修复治理。初步确定总污染方量约 105049.92 立方米。

2 概述

2.1 评估范围

临湘市原农药厂位于临湘市江南镇菴湖社区，东靠云溪区陆城镇，西靠长江大堤，依据《岳阳市城市规划区绿道系统规划（2018-2035）》，确定本项目调查面积约 7.34 万 m²，合 110.08 亩，现状为建设用地，规划为绿地，红线拐点见图 2.1-1，拐点坐标见表 2.1-1，经纬度使用 CGCS2000 坐标系。

表 2.1-1 地块红线拐点坐标一览表

拐点编号	X	Y	高程(m)
1	3275747.047	430978.261	31.922
2	3275643.295	431050.006	31.431
3	3275548.429	431203.610	31.775
4	3275715.428	431282.782	32.552
5	3275773.316	431316.723	36.246
6	3275843.351	431310.818	34.703
7	3275861.955	431284.946	34.533
8	3275861.511	431210.118	33.187
9	3275850.378	431239.182	33.841
10	3275841.558	431210.118	33.806
11	3275850.693	431180.596	33.356
12	3275909.548	431115.967	36.589
13	3275835.920	431017.803	36.246
14	3275822.343	431008.739	34.703
15	3275766.030	430994.569	34.325

临湘市自然资源局

关于临湘市原农药厂场地规划利用说明

岳阳市生态环境临湘分局：

你局 2021 年 1 月 20 日“关于申请出具临湘市原农药厂场地规划利用的函”已收悉。我市原农药厂位于江南镇菹湖社区，属于陆城港区，中心坐标为 E: 113.289358350, N: 29.597862731，占地面积 7.34 万 m²。本地块现状为建设用地，根据《岳阳市城市规划区绿道系统规划（2018—2035）》，该地块将规划为绿地（G），场地范围拐点坐标见附图。





图 2-1 地块范围图

2.2 评估目的和原则

为保护生态环境和人民群众身心健康，落实科学发展观，促进社会和谐发展，以及相关法律法规和政策要求，调查清楚临湘市原农药厂地块土壤和地下水污染状况，评估场地未来用途下对场地敏感受体的风险可接受程度，提出场地需要修复的污染物种类和修复范围，修复方量，对场地后续开发利用必不可少。

对场地进行土壤和地下水等环境质量现状开展地块风险评估时，需满足国家《建设用地土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）等相关技术导则的要求。根据土壤和地下水调查结果开展风险评估，有助于明确场地污染现状以及对未来使用人群的健康风险，确定修复目标值和修复范围，指导合理规划土地用途。

综上，本次地块风险评估工作的目的如下：

（1）根据《建设用地土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）相关要求对筛选出的关注污染物进行健康风险评估计算，明确地块土壤与地下水污染对未来使用人群造成的健康风险水平。

（2）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，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，为后期场地管理提供依据。

2.3 编制依据

2.3.1 法律法规及相关政策

- （1）《中华人民共和国环境保护法》（2015 年）；
- （2）《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年）；
- （3）《中华人民共和国大气污染防治法》（2016 年）；
- （4）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2016 年）；
- （5）《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》（环办[2004]47 号）；
- （6）《国家环境保护标准“十三五”发展规划》（环科技[2017]49 号）；
- （7）《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环境保护部、工业和信息化部、国土资源部、住房和城乡建设部 2012 年 11 月 26 日）；

(8) 《国务院办公厅关于印发近期土壤环境保护和综合治理工程安排的通知》(国办发[2013]7号)；

(9) 《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)；

(10) 《土壤污染防治行动计划》(国发[2016]31号)。

2.3.2 标准规范

- (1) 《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ 682-2019)；
- (2) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1-2019)；
- (3) 《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)；
- (4) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)；
- (5) 《建设用地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2019)；
- (6) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》；
- (7) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)；
- (8) 《地下水环境监测技术规范》(HJ/T 164-2004)；
- (9) 《地下水环境状况调查评价工作指南(试行)》；
- (10) 《地下水污染健康风险评估工作指南(试行)》；
- (11) 《地下水污染模拟预测评估工作指南(试行)》；
- (12) 《地下水监测井建井规范》(DZ/T0270-2014)；
- (13) 《地表水和污水检测技术规范》(HJ/T91-2002)；
- (14) 《水文水井地质钻探规程》(DZ/T0148-2014)；
- (15) 《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ 1019-2019)；
- (16) 《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)；
- (17) 《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)；
- (18) 《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)；
- (19) 《2019 年美国环保署通用筛选值》(工业用地)；
- (20) 《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)。

2.3.3 其他资料

- (1) 《临湘市原农药厂土壤污染治理项目场地环境调查报告》；
- (2) 《临湘市原农药厂土壤污染治理项目岩土工程勘察报告》；
- (3) 《岳阳市城市规划区绿道系统规划（2018-2035）》；
- (4) 现场调研勘察资料等。

2.4 评估方法及技术路线

2.4.1 风险评估流程

为了确定污染场地人体健康风险评估和污染地块土壤风险控制值，根据《建设用地土壤风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)要求，地块风险评估按照危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和风险控制值计算五个步骤展开，各步的工作内容概述如下：

(1) 危害识别：根据土壤污染状况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、地块内污染物的空间分布和可能的敏感受体，建立场地暴露模型。危害识别是一个风险定性评估的过程，当定性评估能够说明风险问题，如场地不具备污染源→暴露途径→受体间的完整连接时，可不用实施风险的定量评估。

(2) 暴露评估：暴露评估是一个定量评估的过程。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，确定场地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。

(4) 风险表征：在暴露评估的定量结果和毒性评估中确定的污染物毒性学参数，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。

(5) 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风险控制值。

（6）地块风险评估报告编制及评审：结合样品分析检测结果和未来土地利用规划，对地块土壤和地下水进行风险评估，确定地块土壤及地下水是否会在土地使用性质变更后，对受体存在风险，如存在风险，通过风险评估确定最终的修复目标值和修复方量，编制完成地块风险评估报告并协助组织专家评审及报批等后续工作。

根据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）、《建设用地土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）等相关要求，同时结合前期初步调查的结果，制定本项目技术路线。

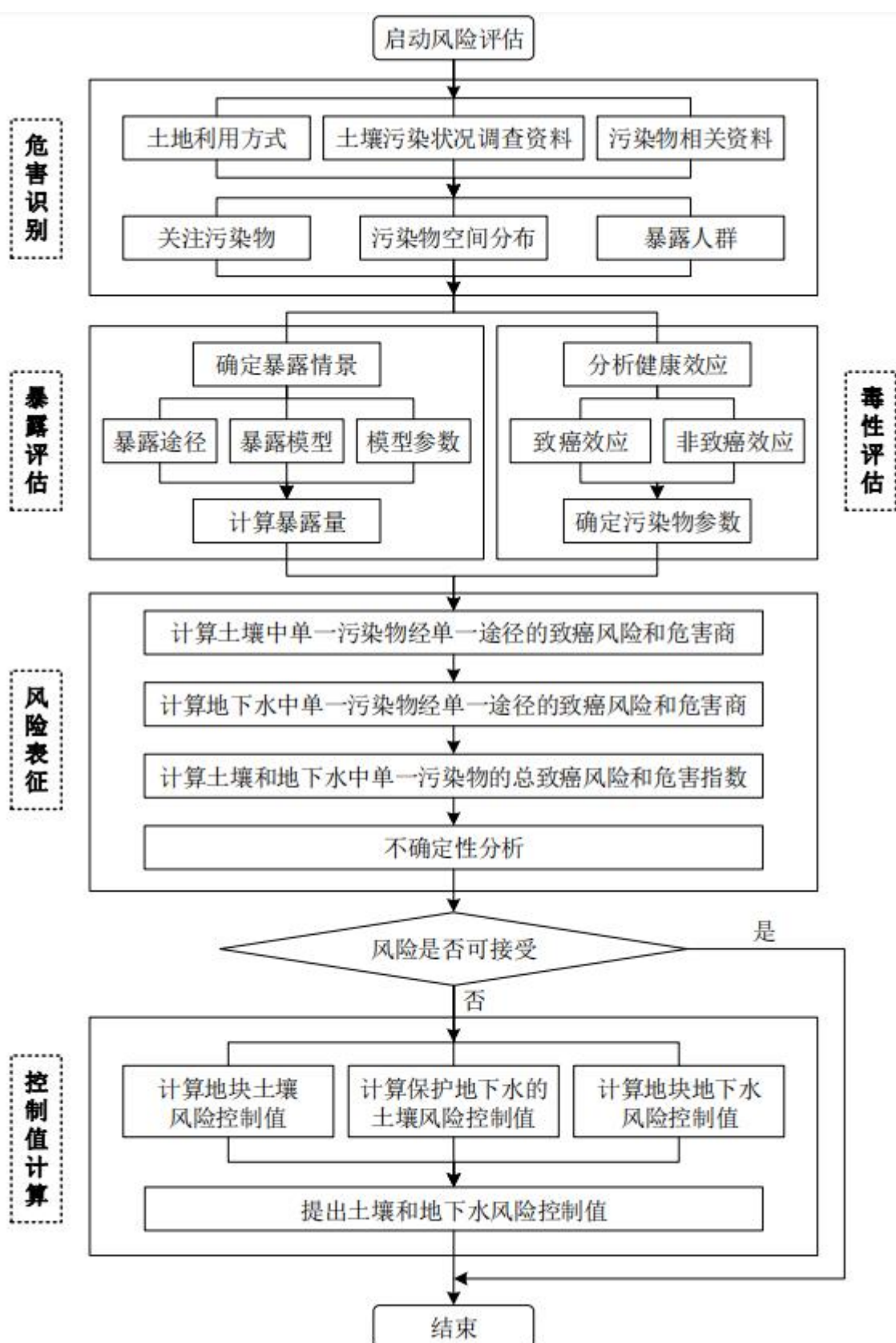


图 2-3 污染地块风险评估程序与内容

3 污染场地概况

3.1 区域环境状况

(1) 自然环境概况

临湘市境地处湖南省东北角，东经 113°15′~113°45′、北纬 29°10′~29°52′。市域西北滨长江水道与湖北省监利、洪湖隔江相望；东南依幕阜山与本省岳阳县和湖北省通城、崇阳、赤壁毗连；东、西、北三面嵌入湖北省境，是湘鄂两省交界之地，扼控由湘进鄂、由鄂入湘的咽喉，自古以来就是兵家必争之地，素有“湘北门户”之称。

临湘市水系发达，湖泊星罗棋布，因滨湘水与长江会合之处而得名，素称“湘北门户”。长江流经市境西北边沿，全长 32.7km。境内河流众多，桃林河、坦渡河、源潭河蜿蜒北注长江。临湘市地处洞庭水系，洞庭湖是长江中游最重要的调蓄湖泊，湖泊面积 2691km²，总容积 170 亿 m³，分为东、西、南洞庭湖。黄盖湖也属于洞庭水系，位于湘鄂交界处，全流域面积 1552.8km²，西、南岸近三分之二区域属湖南岳阳临湘市管辖，是湖南省第二大内湖。

临湘市处在东亚季风气候区中，气候带上具有中亚热带向北亚热带过渡性质，属湿润的大陆性季风气候。其主要特征：温暖湿润，四季分明，季节性强；热量丰富，严寒期短、无霜期长，春温多变，盛夏酷热；雨水充沛，雨季明显，降水集中；湖陆风盛行，洞庭秋月明；湖区气候均一，山地气候悬殊年平均气温 16.4℃，无霜期 259 天，日照率 41%，降水量 1469.1mm。

地下矿藏 30 余种，萤石储量居全国之首；白云矿总储量超过 3 亿 t，年产量 200 多万 t，是钢铁工业、玻璃工业、电子工业不可缺少的原材料；钾长石、石灰石、高岭土、水晶、云母蕴藏丰富，品味极高，由省地勘局探明的特大型钨矿—儒溪虎形山，仅探明的钨储量就在 21 万 t 以上，潜在经济价值达 1000 多亿元。

(2) 社会环境概况

2019 年年末全市总人口 542968 人，比上年增加 619 人，其中城镇人口 197818 人，农业人口 345150 人，户籍人口城镇化率 36.43%，比上年提升 7.95 个百分点。全市常住人口 51.61 万人，其中城镇人口 28.68 万人，农业人口 22.93 万人。

2019 年全市地区生产总值 299.3 亿元，比上年增长 8%。其中，第一产业增加值 33.28

亿元，增长 2.7%；第二产业增加值 134.14 亿元，增长 9.0%；第三产业增加值 131.89 亿元，增长 8.1%。全市三次产业结构比为 11.1:44.8:44.1。全年一般公共预算收入 11.79 亿元，同比增长 17.7%；一般公共预算地方收入 6.39 亿元，同比增长 17.7%。

3.2 敏感目标

根临湘市原农药厂北临长江，东南侧为临湘市江南镇茼湖社区，再远处为云溪区陆城镇，相对位置与距离详见表 3.2-1，图 3.2-1。

表 3.2-1 项目敏感目标一览表

序号	敏感目标	方位	方位距离	描述
1	长江	北	西侧边界外 300m	地表水Ⅲ类
2	茼湖社区	东南	紧靠生产区东侧	约 100 户居民
3	陆城镇政区	东南	东侧边界外 400m	约 800 户居民



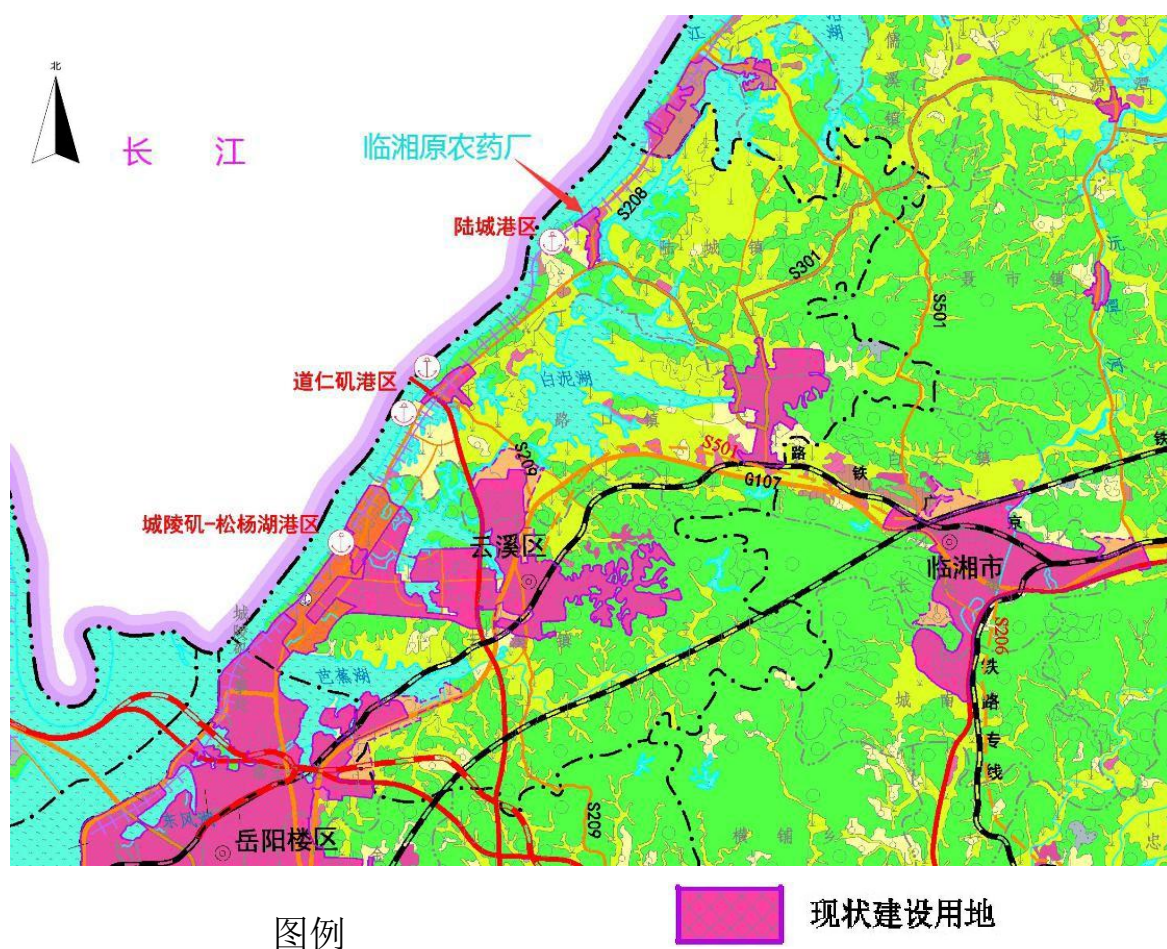
3.3 地块使用现状和历史

3.3.1 地块现状

目前，临湘市原农药厂场地地表部分区域建筑物已经拆除，尚遗留部分历史生产活动的机器设备与厂房，现已停止生产。根据《岳阳市城市规划区绿道系统规划（2018-2035）》，本项目位于陆城港区，现状为建设用地。



图 3-3 临湘市原农药厂现状航拍平面图



调查范围北部现状主要包括临湘市同力矿业有限公司租用原氯碱生产区域遗留的生产厂房，以及循环冷却水池（纳污后成废水塘），现状航拍图情况如下



西侧现状航拍图



生产区现状航拍图



图 3-4 调查范围东测苑湖社区现状航拍图



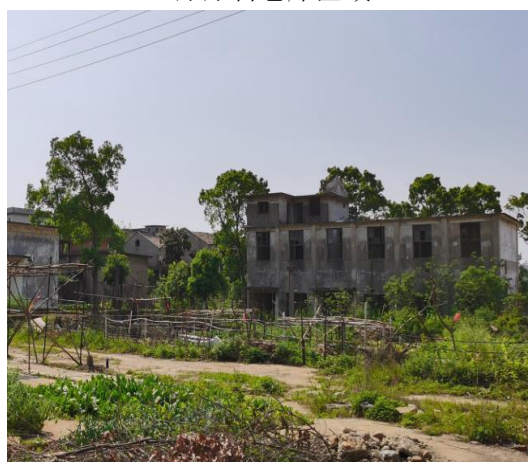
原杀虫单生产厂房



原原料仓库区域



原包装车间区域



绿化区



原氯碱仓库



同力矿业遗留生产车间

图 3-5 场地现状照片

3.3.2 地块历史

农药厂于 20 世纪 70 年代开始生产，最早期有段时间生产过六六六，后被禁止生产；此期间也生产过油棉皂；20 世纪 80 年代开始生产农药，主要生产杀虫双、杀虫

单；20 世纪 90 年代开始扩大农药和化工生产，其产品包括烧碱、甲胺磷、敌敌畏、敌百虫、杀螟丹等；2000 年开始生产水性油墨及印刷复写纸，以及硫酸锌；2008 年 3 月，临湘市原农药厂关停；2008 年 6 月-9 月，临湘市原农药厂被占用进行土法炼钢；2012 年，临湘市原农药厂相关生产设备被拆除。2011 年 5 月，临湘市同力矿业有限公司租用临湘市原农药厂氯碱生产区域，占地约 20 亩，主要以中国石化催化剂有限公司长岭分公司生产过程中产生的滤渣为原料，主要生产工艺为滤渣水洗磨浆、过滤、烘干的物理过程。因环境污染问题两次被周边居民投诉到中央环保督察组。被湖南临湘工业园区管理委员会责令立即停止生产，彻底拆除搬出原场地内的所有机械设备，并将所有的工业废料滤渣全部清空外运作无害化处理。2018 年，湖南汀兰生物科技有限公司租用氯碱生产区域仓库进行生物饲料添加剂分装，现已停产。

表 3-2 临湘市原农药厂各区域历史使用情况

序号	区域	功能	时间
1	办公生活区	职工办公，住宿等	20 世纪 70 年代--至今
2	值班区	门卫，生产调度等	
3	农药生产区	生产敌敌畏、杀螟丹原粉	1999 年 1000t/a 杀螟丹原粉 670t/a 敌敌畏
4	制冷区	制冷	
5	配电室	车间配电	
6	锅炉房	提供蒸汽	
7	其他	荒地，卫生间	
8	水性油墨生产区	水性油墨及印刷复写纸	2000 年开始生产
9	绿化区	绿地	
10	原料仓库	生产六六六、二甲胺、氯丙烯	
11	包装车间	生产六六六	20 世纪 70 年代
		杀虫单、杀虫双等包装	20 世纪 80 年代
		土法炼钢	2008 年 6 月-9 月
12	成品仓库	生产六六六，杀虫单、杀虫双等成品仓库	20 世纪 70-80 年代
		土法炼钢	2008 年 6 月-9 月
13	硫酸锌生产车间	生产硫酸锌	2000-2008

序号	区域	功能	时间
14	废水塘	生产循环冷却水，后纳污， 曾应急 处理过	
15	杀虫 剂 生 产区	生产车间 杀虫双、杀虫单、甲胺磷、 敌百虫	1985年1000t/a杀虫单原粉 1990年1000t/a甲胺磷
16	液氯生产 车间	生产液氯	1990年1000t/a敌百虫
17	配电室	配电	
18	电解车间	电解氯化钠生产氯气	2011 年被同力矿业租用， 已闲置
19	氯碱 生产 区	配电室 车间配电	已废弃
20	管理区	办公管理	已拆除
21	原料仓库	储存氯化钠	2018 年被汀兰生物科技 有限公司租用



图 3-6 临湘市原农药厂功能分区图



图 3-7 2002-2010 年临湘农药厂历史影像



图 3-8 2011-2017 年临湘农药厂历史影像

3.4 相邻地块的使用现状和历史使用情况

场区东侧为长江，北侧现状为林地和一些散落民居，南侧为绿地与水田，场景如下图所示。



场地北侧现状



场地北侧民居现状



场地南侧现状

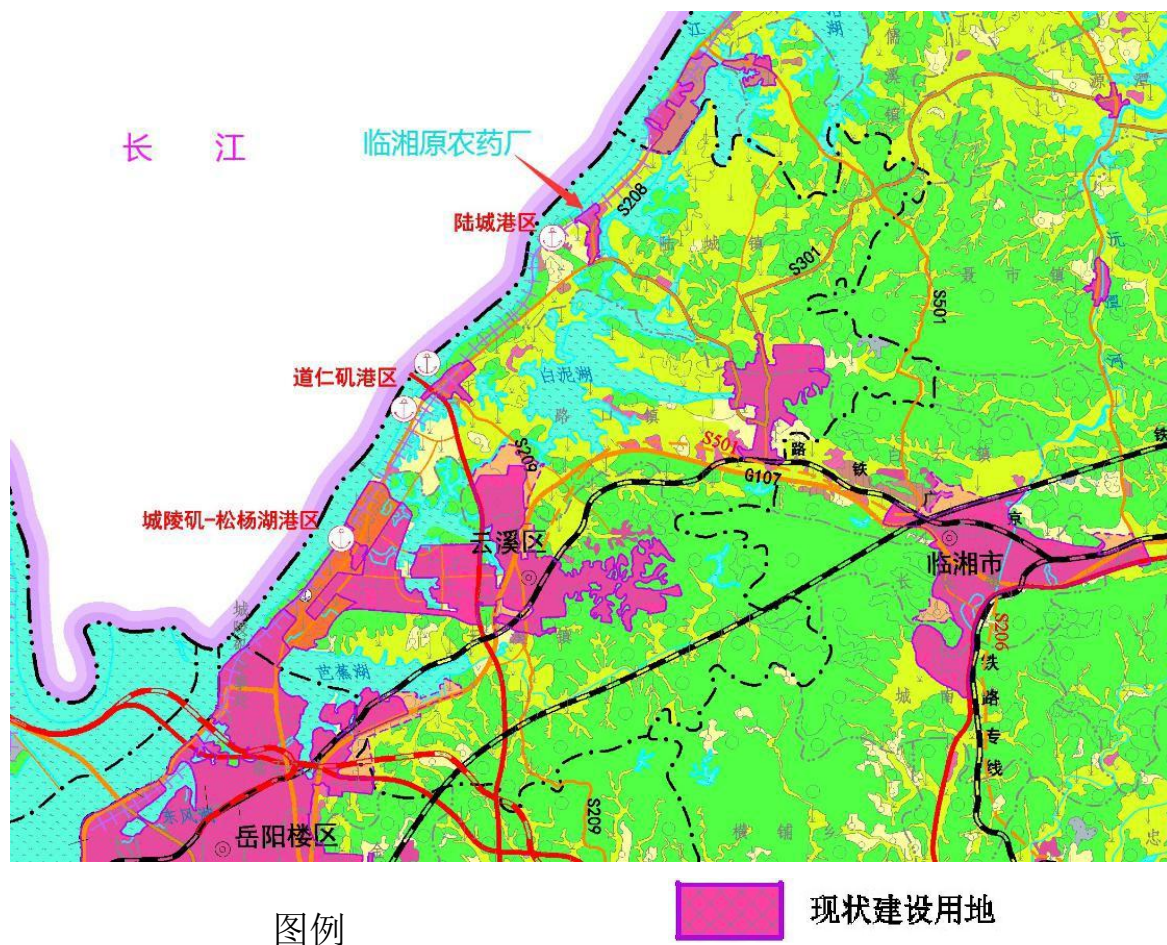


场地东测菴湖社区现状

图 3-9 场地周边现状照片

3.5 地块利用规划

根据岳阳市城市规划图，本项目位于陆城港区，该地块靠近长江，现状为建设用地，规划为绿地，属于《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）中第二类用地。



临湘市自然资源局

关于临湘市原农药厂场地规划利用说明

岳阳市生态环境临湘分局：

你局 2021 年 1 月 20 日“关于申请出具临湘市原农药厂场地规划利用的函”已收悉。我市原农药厂位于江南镇菰湖社区，属于陆城港区，中心坐标为 E: 113.289358350, N: 29.597862731，占地面积 7.34 万 m²。本地块现状为建设用地，根据《岳阳市城市规划区绿道系统规划（2018—2035）》，该地块将规划为绿地（G），场地范围拐点坐标见附图。



表 3.5-1 地块红线拐点坐标一览表

拐点	X	Y	高程(m)
1	3275747.047	430978.261	31.922
2	3275643.295	431050.006	31.431
3	3275548.429	431203.610	31.775
4	3275715.428	431282.782	32.552
5	3275773.316	431316.723	36.246
6	3275843.351	431310.818	34.703
7	3275861.955	431284.946	34.533
8	3275861.511	431210.118	33.187
9	3275850.378	431239.182	33.841
10	3275841.558	431210.118	33.806
11	3275850.693	431180.596	33.356
12	3275909.548	431115.967	36.589
13	3275835.920	431017.803	36.246
14	3275822.343	431008.739	34.703
15	3275766.030	430994.569	34.325



4 初步调查情况

4.1 污染识别结论

本地块需检测的污染物种类及具体污染物如下表所示。

(1) 土壤检测项目

表 4-1 土壤检测项目

检测类别	指标数	检测因子
重金属和无机物	8	砷、镉、铬（六价）、铜、铅、汞、镍、氰化物
挥发性有机物	27	四氯化碳、氯仿、氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯丙烷、1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、四氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、三氯乙烯、1,2,3-三氯丙烷、氯乙烯、苯、氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、乙苯、苯乙烯、甲苯、间-二甲苯+对-二甲苯、邻-二甲苯
半挥发性有机物	14	硝基苯、苯胺、2-氯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚、2,4-二硝基酚
有机农药类	3	滴滴涕、敌敌畏、六氯苯
合计	52	-

(2) 地下水检测项目

表 4-2 地下水检测项目

检测类别	指标数	检测因子
常规检测项目	18	地下水水位、pH 值、总硬度、溶解性总固体、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、挥发性酚、总氰化物、高锰酸盐指数、氟化物、砷、汞、镉、六价铬、铁、锰、总大肠菌群
特征污染因子	5	色、嗅和味、浑浊度、滴滴涕、敌敌畏
合计	23	-

(3) 地表水检测项目

表 4-3 地表水检测项目

检测类别	指标数	检测因子
常规检测项目	24	水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、BOD5、氨氮、总氮、

检测类别	指标数	检测因子
特征污染因子	3	总磷、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、铬（六价）、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物和粪大肠菌群
合计	27	滴滴涕、敌敌畏、敌百虫
		-

4.2 初步采样及分析结果

4.2.1 初步调查方案

本节内容引自场调报告“4.1 工作计划”，主要内容如下：

（1）采样点布设

1) 土壤和底泥点位布设方案

根据水平布点原则，在初步采样阶段，在调查范围内共设置 31 个土壤采样点，其中生产区设置土壤采样点 26 个，生活区 1 个，场外 4 个。

采样深度：根据本场地的土层分布及其岩性，因本场地第 3 大为强风化板岩，第 4 大为中风化板岩，具有较强的污染阻隔能力，因此本项目初步确定钻孔采样深度为 6m，按 0-0.5m、0.5-2m、2-4m、4-6m 分层取样，至岩层为止，采样深度扣除地表非土壤硬化层厚度。



图 4-1 初步调查采样点布设图

2) 地下水点位布设方案

(1) 水平布点：根据区域地下水流向，初步调查阶段共设置 2 个地下水采样点，其中在调查范围内地下水上游设置 1 个地下水对照点，在生产区地下水下游设置 1 个地下水采样点。

(2) 采样深度：采样深度应在监测井水面下 0.5m 以下。对于低密度非水溶性有机物污染监测点位应设置在含水层顶部，对于高密度非水溶性有机污染物监测点位应设置在含水层底部和不透水层顶部。

3) 地表水点位布设方案

(1) 水平布点：本项目调查范围内主要地表水为废水塘与长江大堤外沉淀池，水域面积约 0.9 万 m²。初步调查阶段共设置 3 个地表水采样点，其中废水塘设置 2 个，沉淀池设置 1 个。

(2) 采样深度：在水塘中心设置 1 条采样垂线，当水深大于 0.5m 时，应在水面下 0.5m 深度处采样；水深小于 0.5m 时，在水深的 1/2 处采样。

4) 底泥采样布点方案

在初步调查阶段，共设置 3 个底泥采样点，其中废水塘设置 2 个，长江大堤外沉淀池设置 1 个。

4.2.2 实验室检测分析项目

同“4.1 污染识别结论”中检测项目。

4.2.3 初步采样分析结果

(1) 重金属和无机物

根据初步调查检测结果显示，本项目场地土壤 31 个采样点位共 124 个样品，重金属和无机物中砷、汞、铜、镍、铅、镉有检测出，六价铬、氰化物未检测出。对比建设用地土壤总量评价标准筛选值，土壤中汞、铜、镍、铅、镉未超标，仅砷超标，其中超标点位为 11-2 (0.5-2m)、12-2 (2-6m) 存在超标。

(2) 有机物

根据初步调查检测结果显示，本项目场地土壤 33 个采样点位共 116 个样品，其中甲苯、间&对-二甲苯、顺-1,2-二氯乙烯、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、氯

苯、氯仿、萘、苯并(a)蒽、蒈、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(a)芘、p,p'-滴滴涕等 15 种有机物有检测出，其他 29 项有机物未检测出。对比建设用地土壤总量评价标准筛选值，土壤中有机物均未超标。

（3）地表水

场内地表水共检测 26 项，场内废水塘与场外沉淀池水体重金属砷含量超《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）表 1 第一类污染物最高允许排放浓度限值，其他未超标。

（4）地下水

场内地下水共检测 22 项，其中场内地下水主要是砷超《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类标准，其他未超标；场外地下水水质未超标。

4.3 风险筛选结果

4.3.1 土壤筛选结果

表 4-4 初步调查土壤污染物筛选结果列表

超筛选值点位	超筛选值检测项目	超筛选值深度
11-2	砷	0.5-2m
12-2	砷	2-6m



图 4-2 初步调查土壤超标点位平面位置图

4.3.2 地下水筛选结果

本地块初步调查地下水样品中存在超出风险筛选标准值的污染物，主要为砷超过风险筛选标准值。

表 4-15 地下水筛选结果汇总表（单位为 mg/L，pH 无量纲）

污染物	量纲	筛选值	场内 D1
砷	无量纲	0.05	0.13

4.3.3 地表水筛选结果

本场地废水水质评价执行《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）表 1 第一类污染物最高允许排放浓度标准。

表 4-16 地表水筛选结果汇总表

污染物	量纲	筛选值	13-1 废水塘	13-2 废水塘	16-1 场外沉淀池
砷	mg/L	0.5	1.81	2.05	1.75

4.3.4 筛选结论

本地块土壤、地下水、地表水样品中污染物砷含量超过风险筛选标准值。

4.4 结论及建议

4.4.1 结论

临湘市原农药厂地块为污染地块，土壤和地下水存在污染，土壤污染物包括砷等。废水塘底泥中砷、铅、镉总量超第二类用地筛选值。临湘市原农药厂北临长江，场内废水塘与场外沉淀池水体重金属砷含量超《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）表 1 第一类污染物最高允许排放浓度限值，场内地下水主要是砷超《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类标准。

地块未来规划用途为绿地，地块土壤环境质量不符合地块未来规划用途的使用要求。

4.4.2 建议

- （1）临湘市原农药厂地块为污染地块，需开展土壤环境质量详细调查工作。
- （2）本次调查过程中，地块内大部分建（构）筑物和设施尚未拆除。在后续地块内建（构）筑物和设施拆除过程中，业主需按照《企业拆除活动污染防治技术规定》的要求在拆除活动开展前组织编制《企业拆除活动污染防治方案》、《企业拆除活动应急

预案》，在拆除活动中严格落实污染防治措施，并在拆除活动结束后组织编制《企业拆除活动污染防治工作总结》。并留存好拆除活动过程中的环境资料、监测资料。

5 地质及水文地质调查结果

本节内容引自岩土工程勘察报告，主要内容如下：

5.1 土层分布条件

场地岩土自上而下描述如下：

第（1）层：水：拟建场地内池塘、水池中的水。水深 0.60~4.80 米，层顶标高 31.32~31.32m。该层分布于场地内池塘、水池中。

第（2）层：杂填土(Q_4^{ml})，褐黑色、杂色，主要由粘性土混建筑垃圾组成，局部夹有生活垃圾，回填时间约 1~3 年，密实程度不均匀，结构松散，稍湿，未完成自重固结。层厚 0.50~6.00 米，层顶标高 26.11~35.72m。该层分布于场地大部分区域范围内。

第（3）层：淤泥(Q^h)，黑褐色，流塑状态，主要由腐殖质构成，闻有腐臭味。层厚 0.30~1.20 米，层顶标高 26.51~30.71m。该层分布于小部分场地内，仅在 ZK13-3,ZK13-4,ZK13-5,ZK16-4 中揭露该层。

第（4）层：粉质黏土(Q_4^{sl})，黄褐色，主要成分为黏性土，稍有光泽，无摇振反应，湿，干强度及韧性中等，压缩性中等偏高，呈可塑状态。层厚 2.60~3.20 米，层顶标高 25.41~30.41m。该层分布于小部分场地内，仅在 ZK13-3,ZK13-4,ZK13-5,ZK16-4 中揭露该层。

第（5）层：粉质黏土(Q_4^{el})，褐黄、褐红色，主要由板岩风化残积而成，局部夹强风化碎块。稍有光滑，无摇震反应，干强度及韧性中等，硬塑-坚硬。层厚 0.70~6.00 米，层顶标高 23.11~36.70m。该层分布于大部分场地内。

第（6）层：强风化板岩(Pt)，褐黄色、褐红色，主要矿物成分为石英、云母、绿泥石及粘土矿物等。变余结构，板状构造。节理裂隙发育，采芯率低，岩芯呈碎块、片状，少量呈土状，局部含少量中风化碎块，岩块用手可折断，冲击钻进困难，合金钻具易钻进，岩体极破碎，属极软岩，岩体基本质量等级为 V 级，岩石质量指标 RQD 值 < 20。该层未完全揭穿，揭露层厚 0.40~17.10 米，揭露层顶标高 18.91~35.12m。该层分布于大部分场地内。

第（7）层：中风化板岩(Pt)，紫红色、青灰色，主要矿物成分为石英、云母、绿泥石及粘土矿物等。变余结构，板状构造。节理裂隙较发育，岩体较破碎，回转钻可钻进，岩芯呈短柱状及块状，有少量褐红色氧化铁和灰白色石英质网络状

细脉贯穿，岩性坚硬，岩块手折不断，敲击声脆。属软岩，岩体较破碎，岩体基本质量等级为V级，岩石质量指标 RQD 约 60~70。该层未揭穿，最大揭露层厚为 8.70 米，揭露层顶标高为 7.54m。该层仅在钻孔 TK-1、TK-2、TK-3 中揭露。

5.2 地下水分布条件

勘察期间场地仅于大部分钻孔中遇有地下水。根据地下水的埋藏条件、迳流条件、补给来源及地层的富水程度、储水介质，工程区内地下水类型主要为赋存于杂填土与粉质黏土中的上层滞水。勘察期间实测稳定水位埋深范围为 1.30~3.90m，相当于高程范围为 28.44m~31.16m；实测初见水位埋深范围为 0.90~3.00m，相当于高程范围为 29.34m~31.56m。

场地内地下水主要为上层滞水，上层滞水补给来源主要是接受地表水、大气降水下渗补给，水量较小，上层滞水向场地水塘及长江排泄，向长江进行侧向径流。场地内水塘水与长江有一定的水力联系，主要受大气降水补给，向长江侧向渗流。据区域资料，地下水位年变化幅度约 2m，地下水总体由东北、东南向西北、西南方向长江渗流。

勘察表明，勘察期场区地下水水力坡降平缓，场区及周边无明显的地下分水岭，场地地下水等水位线图见图 3.6-1，地下水总体由东北、东南向西北、西南方向渗流。

5.3 实验室与现场试验成果

各土层常规物理性质参数见表。

表 5.3-1 各土层常规物理性质参数列表

岩土名称	统计指标	含水量W	天 然 密 度 ρ	比重GS	孔隙比e	液性指数 IL	塑性指数 IP	压缩系数 al-2	压缩模量 Es	抗剪强度 (固结快剪)		有机质含量 Wu
										内摩擦角 (ϕ)	内聚力(C)	
		%	g/cm3				%	MPa-1	MPa	°	kPa	
杂填土①	统计组数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	最小值	25.0	1.85	2.66	0.812	0.15	11.9	0.68	2.45	9.1	8	4.000
	最大值	27.9	1.86	2.70	0.839	0.46	14.1	0.74	2.70	11.0	12	5.000
	平均值	26.0	1.85	2.68	0.822	0.27	13.2	0.71	2.58	10.3	10	4.667
	标准差	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	变异系数	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	修正系数	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	标准值	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
粉质黏土 ④	统计组数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	最小值	20.7	1.97	2.75	0.668	0.10	11.3	0.18	8.94	20.2	36	3.000
	最大值	22.3	1.99	2.76	0.713	0.17	15.4	0.19	9.27	21.8	40	4.000

	平均值	21.8	1.98	2.75	0.693	0.14	13.7	0.19	9.07	21.1	38	3.333
	标准差	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	变异系数	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	修正系数	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	标准值	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5.3-2 各岩土层工程特性指标建议值

岩土名称	地基承载力 特征值 f_{ak} (kPa)	压缩 模量	黏聚力C标准 值	内摩擦角 φ 标 准值	重度 γ (kN/m ³)	渗透系数K (cm/s)
杂填土①	未完成自重固结		10	8	18.5	5.0×10^{-4}
淤泥②	50	2.5	6	10	17.0	1.2×10^{-6}
粉质黏土③	160	6.7	22.9	16.8	19.2	4.0×10^{-7}
粉质黏土④	220	9.0	35	20	19.8	4.0×10^{-7}
强风化板岩⑤	350	$50^{(E0)}$	40	20	21.0	3.0×10^{-4}
中风化板岩⑥	1000	$200^{(E0)}$	100	28	23.0	3.0×10^{-5}

注：1) 表中主要持力层的天然地基承载力特征值 f_{ak} 建议采用静载荷试验进行复核； 2) 当基础置于不同地层上或同一建筑物采用不同类型的桩基时，须考虑不均匀沉降对拟建建筑的影响；

表 5.3-3 场地等效剪切波速计算表

岩土名称	各岩土层 平均厚度 (m)	平均 剪切波速 (m/s)	场地土 类型	等效 剪切波速 (m/s)	覆盖层 厚度 (m)	场地 类别	特征 周期
杂填土①	3.10	130	软弱土	193.33	12.18	II类	0.35s
淤泥②	0.93	80	软弱土				
粉质黏土③	2.92	200	中软土				
粉质黏土⑤	3.49	290	中硬土				
强风化板岩③	1.74	450	岩石				
中风化板岩③	/	/	岩石				

注：1) 现状区内地面标高为26.11-36.70m；2) 上表中等效剪切波速覆盖层自±0.00开始计算；3) 计算深度d₀，取覆盖层厚度与20m两者的较小值，取d₀=12.18。

6 详细调查情况

6.1 详细调查方案

6.1.1 采样方案

(1) 采样点布设

1) 土壤采样点布设

表 6.1-1 详细调查土壤点位布设情况表

序号	功能	土壤	底泥	地表水	地下水	固废
1	门卫	1	-	-	-	-
2	农药生产区	-	-	-	-	-
3	原料仓库区	2	-	-	-	-
4	配电室	-	-	-	-	-
5	锅炉房	1	-	-	-	-
6	生活区	-	-	-	-	-
7	其他区	3	-	-	-	-
8	水性油墨生产区	-	-	-	1	-
9	绿化区	-	-	-	-	-
10	产品仓库区	2	-	-	-	2
11	包装区	-	2	2	-	-
12	包装车间	6	-	-	-	-
13	废水塘区	-	3	3	-	-
14	杀虫剂生产区	4	-	-	-	3
15	硬化厂房区	9	2	2	1	-
	合计	28	7	7	2	5

采样深度：根据初步调查结果与场地的土层分布及其岩性，对补充采样点 采

样深度为 8m，按 0-0.5m、0.5-2m、2-4m、4-6m 分层取样，至岩层为止，采样深度 扣除地表非土壤硬化层厚度。同时对 12-2 点位进行加深采样监测，至污染未超标为止。



图 6.1-1 详调土壤点位布设图

2) 地下水采样点布设

水平布点：在生产区新增 2 个地下水监测井，和初步调查地下水监测井形成三角。

采样深度：采样深度应在监测井水面下 0.5m 以下。对于低密度非水溶性有机物污染监测点位应设置在含水层顶部，对于高密度非水溶性有机污染物监测点位应设置在含水层底部和不透水层顶部。

3) 地表水采样点布设

水平布点：对场区现有 4 处水池新增地表水采样点，同时对废水塘增加 3 个采样点，形成 2 条采样垂线。

采样深度：在水塘中心设置 1 条采样垂线，当水深大于 0.5m 时，应在水面下 0.5m 深度处采样；水深小于 0.5m 时，在水深的 1/2 处采样。

4) 固废采样布点方案

对农药生产车间、原料仓库等地面遗留固废，室内水沟沉积物以及墙皮取样共设 5 个点，采 11 个样。

5) 底泥采样布点

对厂区及场外收集池内水池中底泥进行采样，共设 7 个点，采集 7 个样。

6.1.2 检测项目

(1) 土壤检测项目

表 6.1-2 土壤检测项目

序号	项目	基本项目（21 项）	其他项目（2项）
1	重金属和无机物	1 项：As	-
2	挥发性有机物	11 项：苯、甲苯、间&对-二甲苯、苯乙烯、邻-二甲苯，顺-1,2-二氯乙烯、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、氯苯、氯仿	-
3	半挥发性有机物	9 项：萘、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘，苯胺	-
4	有机农药类	-	滴滴涕、六六六

(2) 地下水检测项目

表 6.1-3 地下水检测项目

项目	必测项目	选测项目
检测 指标	地下水中的水位、pH 值、总硬度、溶解性总固 体、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、挥发性酚、总氰化物、高锰 酸盐指数、氟化物、砷、汞、镉、六价铬、铁、锰、总大肠菌群	色、嗅和味、浑浊度、 滴滴涕、敌敌畏

(3) 地表水检测项目

表 6.1-4 土壤检测项目

项目	必测项目	选测项目
检测 指标	水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、BOD5、氨氮、 总氮、总磷、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、铬（六价）、铅、 氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物和粪大肠菌 群	滴滴涕、敌敌畏、敌 百虫

(4) 固废与底泥检测项目

1) 酸浸检测指标

按《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJ/T 299-2007）对车间固废与底泥进行制样，对下表中的检测项目进行分析检测。

表 6.1-5 酸浸检测指标一览表

序号	项目	基本项目（19 项）	其他项目（1 项）
1	重金属和无机物	pH、总砷、总镉、总铬、六价铬、总铅、总汞、总 镍、总锌、总铜以及氰化物的含量	-
2	挥发性有机物	苯、甲苯、二甲苯、氯苯、三氯乙烯、四氯乙烯	-
3	半挥发性有机物	苯并[a]芘	滴滴涕

2) 水浸分析检测方案

按《固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）进行对废渣与底泥进行制样，对下表中的检测项目进行分析检测。

表 6.1-6 水浸检测指标一览表

序号	项目	基本项目（21 项）	其他项目（0 项）
1	重金属和无机物	pH、总砷、总镉、总铬、六价铬、总铅、总汞、总镍、总锰、总锌、总铜以及总氰化物的含量。	-
2	挥发性有机物	三氯乙烯、四氯乙烯、苯、甲苯、邻-二甲苯、对-二甲苯、间-二甲苯、氯苯。	-
3	半挥发性有机物	苯并[a]芘	-

6.2 检测结果及分析

6.2.1 土壤检测结果分析

详细调查阶段土壤样品污染物检出及超标统计如下：

（1）重金属和无机物

本项目场地土壤29个采样点位共117个样品，其中12-2 点位砷总量 18.2mg/kg，其他28 个点位0-6m 检测结果统计如下：

表 6.2-1 详调阶段土壤中砷检测结果统计表

项目	深度（m）			
	0-0.5	0.5-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0
最小值（mg/kg）	2.80	4.30	2.40	2.40
最大值（mg/kg）	62.00	24.20	76.80	68.60
平均值（mg/kg）	17.81	14.36	16.73	16.26
超标数	2	0	1	1
超标筛选率	1.00%	0.00%	0.50%	0.50%
最大超标倍数	0.03	0	0.28	0.14
筛选标准值 mg/kg	60			

场地土壤 29 个采样点位共 117 个样品，其中 12-2 点位砷总量为 18.2mg/kg。场地 12-2 点位加深未超筛选值，故超标深度为 2-6m，新增砷总量超标点位为 10-4（0-0.5m）、

15-12 (0-0.5m)。

(2) 有机物

场地土壤 41 个采样点位共 137 个样品, 其中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、氯苯、苯并(a)蒽、蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k) 荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(ah)蒽、苯胺、滴滴涕等 13 种有机物有检测出, 其他有机物未检测出。

补充监测场地土壤 39 个采样点位共 195 个样品中六六六, 检测结果对比筛选值发现, 污染深度为 0-8m, 8m 以下不超标。

表 6.2-2 0-0.5m 土壤中六六六含量分析统计表

项目	α -六六六	β -六六六	γ -六六六
最小值 mg/kg	0	0	0
最大值 mg/kg	0.954	8.437	1.183
超筛选值数	9	5	0
超筛选值率	23.08%	12.82%	0.00%
最大超标倍数	2.18	8.17	0.00
标准筛选值mg/kg	0.3	0.92	1.9
超管制值数	0	0	0
超管制值率	0.00%	0.00%	0.00%
标准管制值mg/kg	3	9.2	19

(2) 0.5-2.0m 土壤中六六六含量超标情况

表 6.2-3 0.5-2.0m 土壤中六六六含量分析统计表

项目	α -六六六	β -六六六	γ -六六六
最小值 mg/kg	0	0	0
最大值 mg/kg	77.291	558.472	53.887

项目	α -六六六	β -六六六	γ -六六六
超筛选值数	8	8	1
超筛选值率	20.51%	20.51%	2.56%
最大超标倍数	256.64	606.03	0.00
标准筛选值 mg/kg	0.3	0.92	1.9
超管制值数	3	2	1
超管制值率	7.69%	5.13%	2.56%
标准管制值 mg/kg	3	9.2	19

(3) 2.0-4.0m 土壤中六六六含量超标情况

表 6.2-4 2.0-4.0m 土壤中六六六含量分析统计表

项目	α -六六六	β -六六六	γ -六六六
最小值 mg/kg	0	0	0
最大值 mg/kg	21.159	83.109	1.916
超筛选值数	9	9	1
超筛选值率	23.08%	23.08%	2.56%
最大超标倍数	69.53	89.34	0.00
标准筛选值 mg/kg	0.3	0.92	1.9
超管制值数	2	1	1
超管制值率	5.13%	2.56%	2.56%
标准管制值 mg/kg	3	9.2	19

(4) 4.0-6.0m 土壤中六六六含量超标情况

表 6.2-5 4.0-6.0m 土壤中六六六含量分析统计表

项目	α -六六六	β -六六六	γ -六六六
最小值 mg/kg	0	0	0

最大值 mg/kg	9.954	87.801	1.002
超筛选值数	9	7	0
超筛选值率	23.08%	17.95%	0.00%
最大超标倍数	32.18	94.44	0.00
标准筛选值 mg/kg	0.3	0.92	1.9
超管制值数	1	1	0
超管制值率	2.56%	2.56%	0.00%
标准管制值 mg/kg	3	9.2	19

(5) 6.0-8.0m 土壤中六六六含量超标情况

表 6.2-6 6.0-8.0m 土壤中六六六含量分析统计表

项目	α -六六六	β -六六六	γ -六六六
最小值 mg/kg	0	0	0
最大值 mg/kg	0.468	2.658	0.506
超筛选值数	2	1	0
超筛选值率	5.13%	2.56%	0.00%
最大超标倍数	0.56	1.89	0.00
标准筛选值 mg/kg	0.3	0.92	1.9
超管制值数	0	0	0
超管制值率	0.00%	0.00%	0.00%
标准管制值 mg/kg	3	9.2	19

6.2.2 地下水检测数据分析

根据详细调查检测结果显示,本项目场地详细调查阶段补充地下水 2 个采样点位,连续监测 3 天,共 6 个样品,共检测 20 项。经分析地下水中主要是砷超《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-2017) IV类,其他未超标。

本项目补充监测场地地下水 4 个采样点位,连续监测 3 天,共 12 个样品,共检测 2 项位共 4 个样品。经分析地下水中六六六(总量)、 γ -六六六基本未检出,不超

《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类标准值。

6.2.3 地表水调查结果

根据详细调查检测结果显示，本项目场地地表水 7 个采样点位，连续监测 3 天，共 21 个样品，共检测 23 项。临湘市原农药厂北临长江，经分析废水塘与调节池，以及开挖基坑废水中砷超《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）表 1 第一类污染物最高允许排放浓度限值，其他未超标；16-2 水池 pH 值呈强碱性；原磅房水池铅含量稍微超标。

6.2.4 底泥调查结果

本项目场地详细调查阶段补充底泥 7 个采样点位，包括场内四个水池 4 个样品，以及废水塘 3 个样品。

1、底泥酸浸检测结果

底泥酸浸共检测 19 项，其中铬、锰、镍、铅、砷、锌有检测出，其他检测项目未检出，所有检测项目均未超过《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》（GB 5085.3-2007），故底泥不属于危险废物。

2、底泥水浸检测结果

底泥水浸共检测 21 项，其中铬、锰、镍、铅、砷、锌有检测出，其他检测项目未检出，具体检测结果详见表 5.4-9。结果对比表 5.4-2 显示，13 号地块水池 1#、2# 与 3#点位砷含量超过《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高允许排放浓度，最大超标倍数为 1.544 倍，故 13 号地块水池底泥属于 II 类一般工业固废。

6.2.5 固废调查结果

根据《危险废物鉴别技术规范》（HJ 298-2019）对车间墙皮与车间地坪采样的固废样品按《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJT 299-2007）进行分析，对比《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》（GB 5085.3-2007）对结果进行评价，鉴定固废的浸出毒性。固废样品按《固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）进行分析，对比《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）对结果进行评价，鉴定一般工业固废的属性。

本项目场地详细调查阶段补充固废 5 个采样点位，共 11 个样品。所有检测项目均未超过《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》（GB 5085.3-2007），故 14 号地块 1#、

2#、3#，10 号地块 1#、2#的地表废渣以及地沟沉积物不属于危险废物。除 10 号地块 2#地面废渣水浸中锰含量超过《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高允许排放浓度，其他均不超标。故 14 号地块 1#、2#、3#，10 号地块 1#、2#的地表废渣以及地沟沉积物属于 I 类一般工业固废。

6.3 详细调查结果分析

6.3.1 土壤调查结果分析

详细调查阶段设置了 29 个重金属和无机物采样点位共 117 个样品，对比建设用地土壤总量评价标准筛选值，场地 12-2 点位超标深度为 2-6m，新增砷总量超标点位为 10-4（0-0.5m）、15-12（0-0.5m）。土壤污染范围包括原料仓库、杀虫剂生产车间，污染方量约 705m³，最大污染深度 6m。

详细调查阶段设置了 41 个土壤有机物采样点位共 137 个样品，其中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、氯苯、苯并(a)蒽、蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k) 荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(ah)蒽、苯胺、滴滴涕等 13 种有机物有检测出，其他有机物未检测出。对比建设用地土壤总量评价标准筛选值，土壤中有机物均未超标。

补充监测场地土壤 39 个采样点位共 195 个样品，六六六检测结果对比筛选值发现，污染深度为 0-8m，8m 以下不超标。

6.3.2 水体和底泥调查结果分析

场地地表水 7 个采样点位，连续监测 3 天，共 21 个样品，共检测 23 项。经分析废水塘与调节池，以及开挖基坑废水中砷超《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）表 1 第一类污染物最高允许排放浓度限值，其他未超标；16-2 水池 pH 值呈强碱性；原磅房水池铅含量稍微超标。13 号地块水池底泥属于第 II 类一般工业固废，根据地形测量，水池面积为 8634m²，地勘测量底泥均深 1.1m，超标底泥量约 9497.4m³。

通过初步调查与详细调查两个阶段，场内共设置 3 个地下水监测井，场外地下水上游设置 1 个地下水对照点。经分析，场外 D2 监测点未超标；场内地下水中 D1、D3 主要是砷超《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类标准，D4 未超标；地下水有机物含量未超标。

根据前期场地生产情况分析，场区地下水污染原因可能是场区废水塘含砷废水渗

透进入下游地下水监测井 D1、D3 所致。

6.3.3 固废污染情况调查结果分析

根据第一阶段现场踏勘情况，详细调查阶段对生产车间，以及原料与成品仓库的墙皮，以及地表遗留废渣与地沟沉积物采样进行了酸浸与水浸检测，结果显示：地表遗留废渣与地沟沉积物等固废酸浸检测未超标，不属于危险废物；水浸也未超标；建筑物拆除后属于建筑垃圾。

6.4 建议

(1)场区土壤中六六六含量远超《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）中第二类用地筛选值，超标范围广，超标深度深，应尽快进行治理，防止危害周边居民。场内废水塘积水中砷含量远超《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）表 1 第一类污染物最高允许排放浓度限值，底泥中砷总量超过《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）中第二类用地筛选值，且水浸检测砷含量超过《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）一级标准，对地下水与长江存在持续污染，故须尽快进行安全处理处置。临湘市原农药厂地块为污染地块，需开展风险评估工作。

(2)场区地下水污染原因可能是场区废水塘含砷废水渗透进入下游地下水监测井 D1、D3 所致，上层滞水与地表水存在一定的水力联系，在后续实施过程中应做好二次污染防治措施。

(2)本次调查过程中，地块内部分建（构）筑物尚未拆除。在后续地块内建（构）筑物拆除过程中，业主需按照《企业拆除活动污染防治技术规定》的要求在拆除活动开展前组织编制《企业拆除活动污染防治方案》、《企业拆除活动应急预案》，在拆除活动中严格落实污染防治措施，并在拆除活动结束后组织编制《企业拆除活动污染防治工作总结》。并留存好拆除活动过程中的环境资料、监测资料。

7 地块风险评估

7.1 危害识别

7.1.1 关注污染物的判定

通过对场地企业生产原料、产品及各类污染物排放的调查分析,场地内潜在污染物为As等重金属和六六六、敌敌畏、苯等有机物。根据调查采样检测结果,确定地块土壤中超筛选值污染物作为风险评估阶段土壤关注污染物,包括:砷和六六六(α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六)。

表 7-1 场地可能污染情况分析表

序号	区域名称	污染物
1	农药生产区	六六六、敌敌畏、二氯乙烷、氰化钠、苯、三氯乙醛
2	水性油墨生产区	废弃包装物、废弃离子交换树脂、饱和活性炭
3	原料仓库	六六六、二甲胺、氯丙烯
4	包装车间	六六六、杀虫单、杀虫双、砷渣
5	成品仓库	六六六、杀虫单、杀虫双、砷渣
6	硫酸锌生产车间	氧化锌、铜铅渣与铁锰渣
7	废水塘	受废渣污染的底泥、废水
8	杀虫剂生产区生产车间	六六六、杀虫双、杀虫单、甲胺磷、敌百虫、三氯乙醛
9	同力矿业工艺车间	滤渣

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的要求，“如某一地块内关注污染物的检测数据呈正态分布，可根据检测数据的平均值、平均值置信区间上限值或最大值计算致癌风险和危害商”。通过 ProUCL 对地块关注污染物检测数据分析，地块关注污染物均不服从正态分布、对数正态分布、Gamma 分布，基于保守原则，采取最大值作为风险表征所使用的对应层污染物暴露浓度。

表 7-2 土壤关注污染物浓度参数

项目	表层土壤污染物浓度（mg/kg）	下层土壤污染物浓度（mg/kg）	地下水浓度（mg/L）
砷	62	70.84	0.38
α -六六六	0.50	5.61	
β -六六六	4.67	39.00	
γ -六六六	0.14	27.90	



图 7-3 土壤关注污染物浓度参数选取

7.1.2 污染源分析

根据潜在污染功能区的用途，场地污染可能迁移途径包括以下：

(1) 化学品储存区渗漏：如贮运仓库、液碱成品库(液氢储罐等可能长期储藏过程存在化学品泄漏，导致土壤受到污染。

(2) 生产车间跑冒滴漏：氯碱厂存在跑冒滴漏现象造成土壤和地下水受到污染。

(3) 污水管线泄漏：场地生产过程产生的污水经污水管网排向场内污水厂污水管网可能存在泄漏导致地下水和土壤受到污染。

(4) 运输管线泄漏：历史上主要用于产品运输，运输过程中存在遗撒或泄漏造成土壤和地下水受到污染。

(5) 降雨淋滤地面后部分雨水随地表径流汇集至场地，进而入渗至地下。

(6) 同力矿业生产过程中初期雨水没有收集进入污水处理系统，而是夹带少量滤渣通过涵管直接排入到了原临湘市农药厂的沉降池中；生产原材料部分露天堆放，刮风时产生了扬尘，对周边环境有一定的影响。



图 7-2 砷污染水平分布图

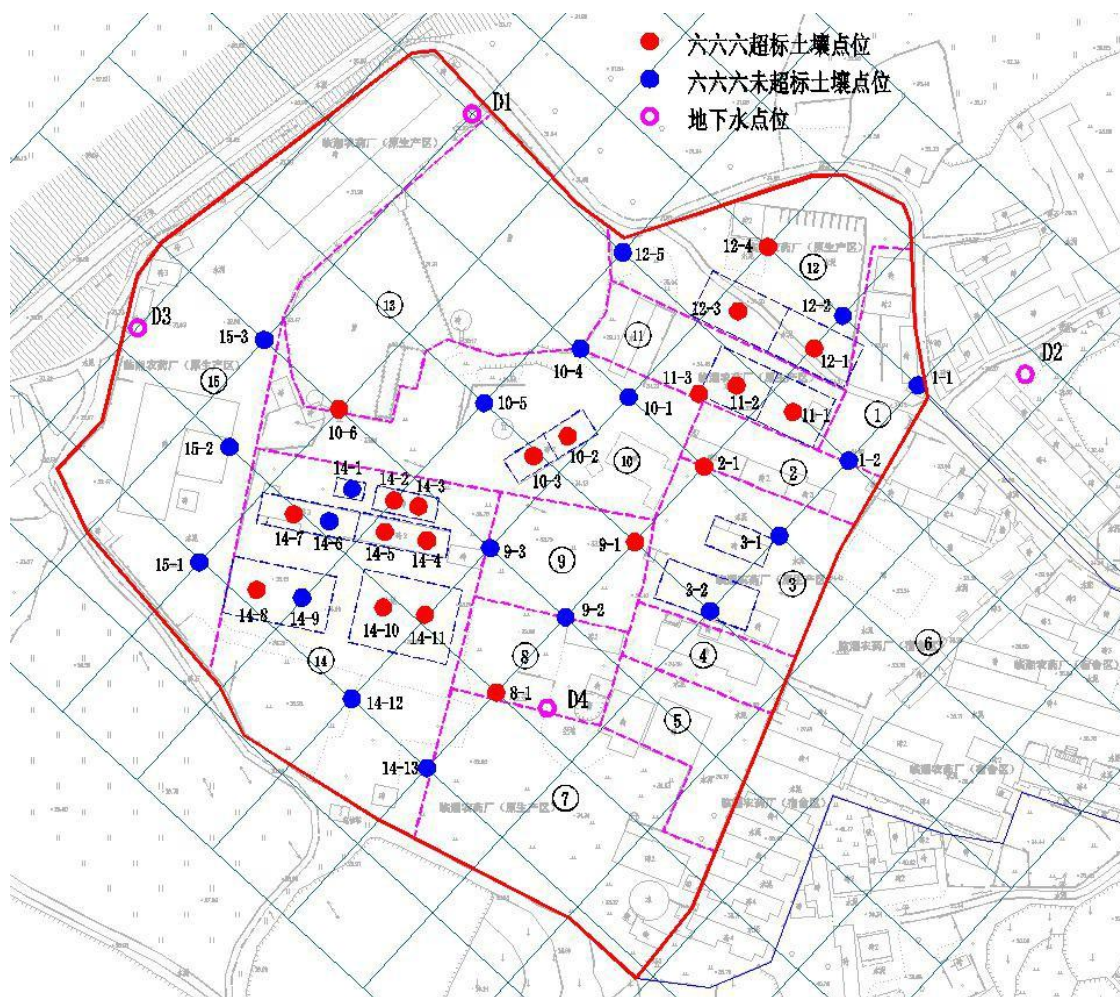


图 7-3 六六六污染水平分布图

本项目两次土壤调查结果统计表明，砷总量含量超筛选值点位率为 6.78%，且最大含量为 77.7mg/kg。根据场地使用历史分析，砷污染来源可能是在 11-2、12-4 区域进行土法炼钢的含砷原料所致、10-4 与 15-12 仅表层超标，可能是砷类农药生产过程中的跑冒滴漏所致。样点位六六六总量超标率约为 50%，最大点位为 12-1， γ -六六六含量为 558.472mg/kg，超标 606.03 倍。根据 GIS 模拟发现，六六六主要超标区域为 10-12、14 号区域。由于场地生产活动历史久远，现已无相关文献资料溯源。在场调详细阶段通过走访原农药厂工作人员，得知在 70 年代初，临湘市农药厂建厂之前，厂区曾短暂生产过六六六粉，后被禁止生产。故结合场地使用历史知情人访谈与现场检测情况，推测场地六六六污染成因可能是该区域曾生产六六六粉，由于生产工艺与管理方式粗放，在场地内散落了部分六六六粉成品，再加上后期长江洪涝导则场地积淤以及厂房建设土

方挖填等情况，导致部分成品被掩埋于地下，以致土壤 8m 深处仍存在超筛选值情况。

场区地下水污染原因可能是场区废水塘含砷废水渗透进入下游地下水监测井 D1、D3 所致，实施水塘治理后将清除污染源。

7.1.3 受体分析

地块规划类型为建设用地，根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）规定，地块规划利用方式属于以工业用地为代表的第二类用地。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。在场地开发及后续使用过程中，可能受污染物影响的敏感受体有该开发时的建筑工人和以后在该地块的工作人员，主要是成人。

7.1.4 污染地块概念模型

根据本地块关注污染物的类型与特性、水文地质条件、污染物在场地土壤中的迁移行为与路径、人体对污染物的暴露途径与暴露方式等初步建立污染地块概念模型。

（1）主要污染源及污染物

主要污染源包括原料仓库、包装车间、成品仓库和生产车间，主要污染物为砷、六六六，详见“7.1.1 关注污染物的判定”小节。

（2）地质及水文地质

拟建场地位于岳阳市临湘区临湘农药厂内，交通便利；其原始地貌单元属于丘陵地貌，勘察期间，场地已大部分整平，场地测得标高于 26.11m~36.70m 之间。

场地岩土自上而下描述如下：

第（1）层：水：拟建场地内池塘、水池中的水。水深 0.60~4.80 米，层顶标高 31.32~31.32m。该层分布于场地内池塘、水池中。

第（2）层：杂填土(Q₄^{ml})，褐黑色、杂色，主要由粘性土混建筑垃圾组成，局部夹有生活垃圾，回填时间约 1~3 年，密实程度不均匀，结构松散，稍湿，未完成自重固结。层厚 0.50~6.00 米，层顶标高 26.11~35.72m。该层分布于场地大部分区域范围内。

第（3）层：淤泥(Q^h)，黑褐色，流塑状态，主要由腐殖质构成，闻有腐臭味。层厚 0.30~1.20 米，层顶标高 26.51~30.71m。该层分布于小部分场地内，仅在

ZK13-3,ZK13-4,ZK13-5,ZK16-4 中揭露该层。

第(4)层:粉质黏土(Q_4^{sl}),黄褐色,主要成分为黏性土,稍有光泽,无摇振反应,湿,干强度及韧性中等,压缩性中等偏高,呈可塑状态。层厚 2.60~3.20 米,层顶标高 25.41~30.41m。该层分布于小部分场地内,仅在 ZK13-3,ZK13-4,ZK13-5,ZK16-4 中揭露该层。

第(5)层:粉质黏土(Q_4^{cl}),褐黄、褐红色,主要由板岩风化残积而成,局部夹强风化碎块。稍有光滑,无摇震反应,干强度及韧性中等,硬塑-坚硬。层厚 0.70~6.00 米,层顶标高 23.11~36.70m。该层分布于大部分场地内。

第(6)层:强风化板岩(Pt),褐黄色、褐红色,主要矿物成分为石英、云母、绿泥石及粘土矿物等。变余结构,板状构造。节理裂隙发育,采芯率低,岩芯呈碎块、片状,少量呈土状,局部含少量中风化碎块,岩块用手可折断,冲击钻进困难,合金钻具易钻进,岩体极破碎,属极软岩,岩体基本质量等级为 V 级,岩石质量指标 RQD 值<20。该层未完全揭穿,揭露层厚 0.40~17.10 米,揭露层顶标高 18.91~35.12m。该层分布于大部分场地内。

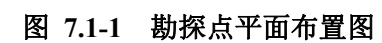
第(7)层:中风化板岩(Pt),紫红色、青灰色,主要矿物成分为石英、云母、绿泥石及粘土矿物等。变余结构,板状构造。节理裂隙较发育,岩体较破碎,回转钻可钻进,岩芯呈短柱状及块状,有少量褐红色氧化铁和灰白色石英质网络状细脉贯穿,岩性坚硬,岩块手折不断,敲击声脆。属软岩,岩体较破碎,岩体基本质量等级为 V 级,岩石质量指标 RQD 约 60~70。该层未揭穿,最大揭露层厚为 8.70 米,揭露层顶标高为 7.54m。该层仅在钻孔 TK-1、TK-2、TK-3 中揭露。

地下水分布及赋存条件:

勘察期间场地仅于大部分钻孔中遇有地下水。根据地下水的埋藏条件、迳流条件、补给来源及地层的富水程度、储水介质,工程区内地下水类型主要为赋存于杂填土与粉质黏土中的上层滞水。勘察期间实测稳定水位埋深范围为 1.30~3.90m,相当于高程范围为 28.44m~31.16m;实测初见水位埋深范围为 0.90~3.00m,相当于高程范围为 29.34m~31.56m。

上层滞水补给来源主要是接受区域地下水的侧向补给，及地表水、大气降水下渗补给，水量较小，水向场地内水塘排泄，据区域资料，地下水位年变化幅度约 2m。

勘察表明，勘察期场区地下水位均处于杂填土与粉质黏中，水力坡降平缓，场区及周边无明显的地下分水岭，场地地下水等水位线图见图 3.6-1，地下水总体由东北、东南向西北、西南方向渗流。



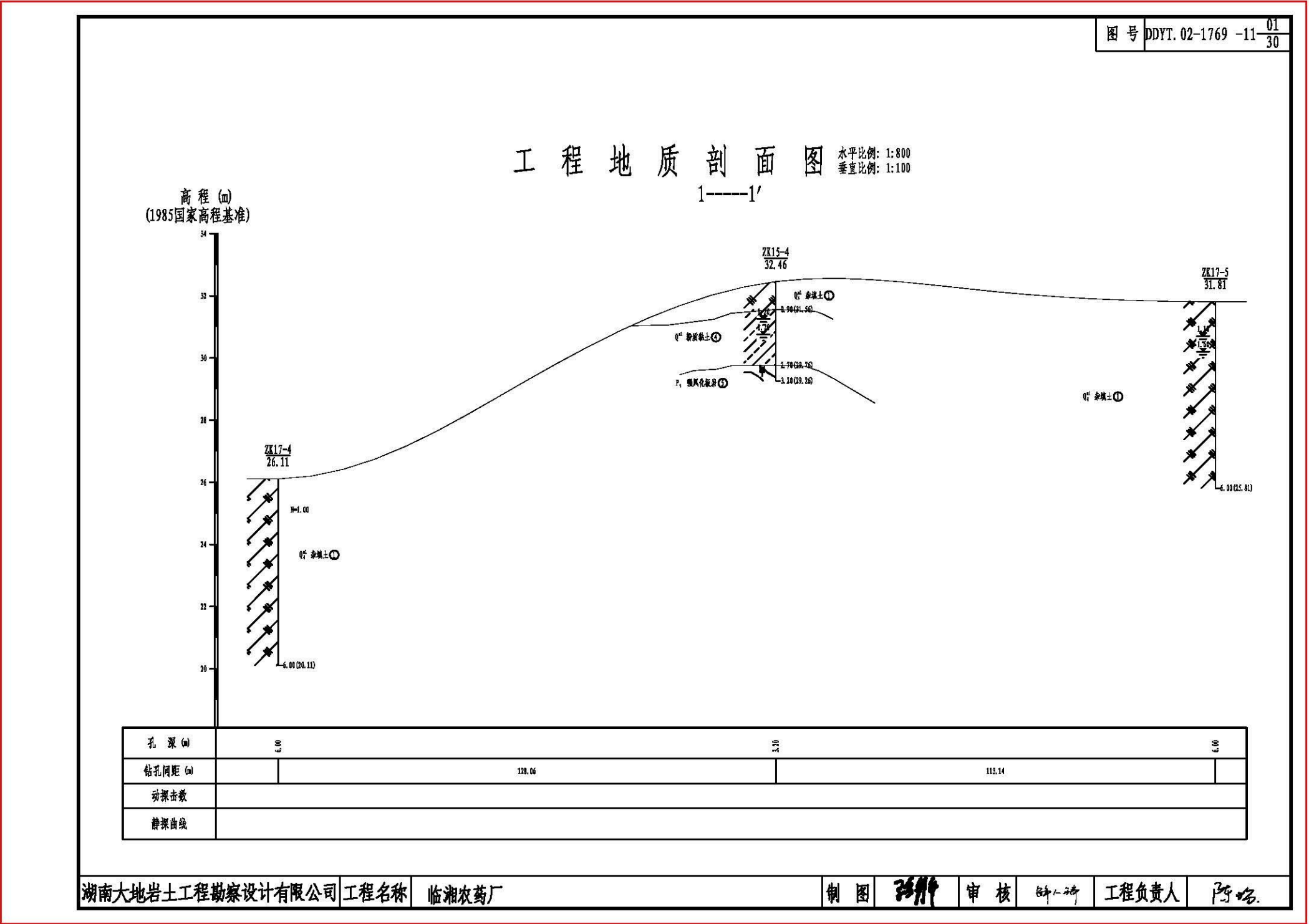


图 7.1-2 水文地质剖面图 (1-1')

7.2.1 地块未来用地规划

地块规划类型为绿地，根据建设用地土壤风险评估技术指南（HJ 25.3）的分类方式，本地块土壤污染物暴露情景属于绿地与广场用地为代表的第二类用地（简称“第二类用地”）的暴露情景。

7.2.2 暴露途径分析

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），本地块摄入土壤中的污染物途径包括以下 4 种：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物。

表 7.2-1 污染源、受体和暴露途径分析

污染源	受体分类	暴露途径
污染土壤	成人	经口摄入
		皮肤接触
		吸入室外颗粒物
		吸入室外蒸汽

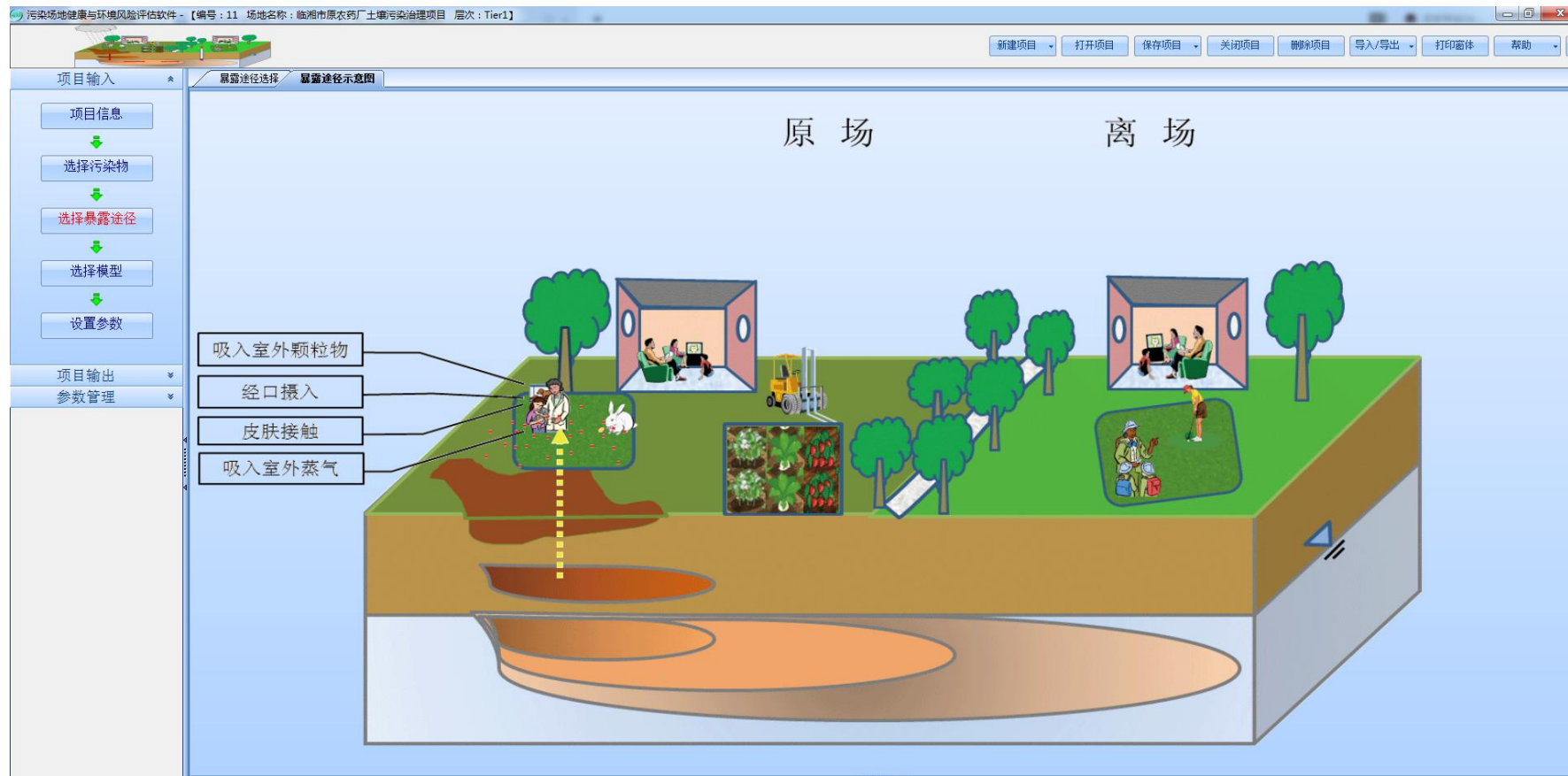


图 7.2-3 暴露途径选择示意图

7.2.3 暴露量的计算

(1) 经口摄入土壤途径

第二类用地方式下，人群可因经口摄入土壤而暴露于污染土壤。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算该途径对应土壤暴露量的推荐模型见下列公式。

$$OISER_{ca} = \frac{OISER_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

$$OISER_{nc} = \frac{OISER_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

(2) 皮肤接触土壤途径

第二类用地方式下，人群可因皮肤直接接触而暴露于污染土壤。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算该途径对应土壤暴露量的推荐模型见下列公式。

$$DCSER_{ca} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

(3) 吸入土壤颗粒物途径

第二类用地方式下，人群可因吸入空气中来自土壤的颗粒物而暴露于污染土壤。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算该途径对应土壤暴露量的推荐模型见下列公式。

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径

第二类用地方式下，人群可因吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物而暴露于污染土壤。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算该途径对应土壤暴露量的推荐模型见下列公式。

$$IOVER_{caI} = VF_{I/O} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}}$$

$$IOVER_{nc1} = VF_{soil} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}}$$

(5) 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径

第二类用地方式下, 人群可因吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物而暴露于污染土壤。对于污染物的致癌和非致癌效应, 计算该途径对应土壤暴露量的推荐模型见下列公式。

$$IOVER_{ca2} = VF_{soil} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}}$$

$$IOVER_{nc2} = VF_{soil} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}}$$

(6) 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径

第二类用地方式下, 人群可因吸入室外空气中来自地下水的气态污染物而暴露于污染地下水。对于污染物的致癌和非致癌效应, 计算该途径对应地下水暴露量的推荐模型见下列公式。

$$IOVER_{ca3} = VF_{gw} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}}$$

$$IOVER_{nc3} = VF_{gw} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}}$$

(7) 饮用地下水途径

第二类用地方式下, 人群可因饮用地下水而暴露于地下水污染物。对于单一污染物的致癌效应, 考虑人群在成人期暴露的终生危害, 饮用地下水途径对应的地下水暴露量:

$$CGWER_{ca} = \frac{GWCR_a \times EF_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}}$$

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在成人期的暴露危害, 饮用地下水途径对应的地下水暴露量:

$$CGWER_{nc} = \frac{GWCR_a \times EF_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}}$$

为确保人体健康, 本场地作为非敏感性用地分析, 致癌效应考虑人群的终生暴露危

害，根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌风险。受体主要暴露参数的取值数据源于《建设用地土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附录 G。

表 7.2-1 受体暴露参数

参数名称	符号	单位	第二类用地
成人平均体重	BW _a	kg	61.8
成人平均身高	H _a	cm	161.5
成人暴露期	ED _a	a	25
成人暴露频率（经口摄入和皮肤接触）	EF _a	d/a	250
成人室内暴露频率（呼吸吸入）	EF _{Ia}	d/a	187.5
成人室外暴露频率（呼吸吸入）	EFO _a	d/a	62.5
成人暴露皮肤所占体表面积比	SER _a	-	0.18
成人皮肤表面土壤粘附系数	SSAR _a	mg/cm ²	0.2
每日皮肤接触事件频率	E _v	次/d	1
成人每日摄入土壤量	OSIR _a	g/d	0.1
成人每日空气呼吸量	DAIR _a	m ³ /d	14.5
气态污染物入侵持续时间	τ	s	7.88E+08
室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	fspi	-	0.8
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	fspo	-	0.5
吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	PIAF	-	0.75
非致癌效应平均时间	AT _{nc}	d	9125
致癌效应平均时间	AT _{ca}	d	27740
可接受致癌风险	ACR	-	1.00E-06
可接受危害商	AHQ	-	1



图 7.2-5 受体暴露参数选择

土壤及水文地质条件参数等直接影响风险评估结果。土壤性质参数包括：土壤质地、含水率（%）、土壤容重（ g/cm^3 ）、孔隙度、有机质含量（%）、垂直渗透系数（ cm/d ）等。水文地质参数包括：水力梯度、水力传导系数（ cm/s ）、pH、毛细带厚度（m）等。

表 7.2-2 土壤性质参数

参数名称	符号	单位	取值	取值依据
表层污染土壤层厚度	d	m	0.5	实测
下层污染土壤层厚度	d_{sub}	m	7	实测
下层污染土壤层顶部埋深	L_s	m	0.5	实测
污染土壤层厚度	L_1	m	8	实测
污染土壤层顶部至地下水面的距离	L_2	m	2.6	实测
平行于风向的土壤污染源宽度	W_{dw}	m	110	实测
平行于地下水流向的土壤污染源宽度	W_{gw}	m	45	实测
包气带孔隙水体积比	θ_{ws}	-	0.414	实测
包气带孔隙空气体积比	θ_{as}	-	0.079	实测
包气带土壤容重	ρ_b	g/cm^3	1.5	实测
包气带土壤有机碳质量分数	f_{oc}	-	0.013	引用
土壤中水的入渗速率	I	m/a	0.3	(1)
毛细管层孔隙水体积比	θ_{wcap}	-	0.342	(1)
毛细管层孔隙空气体积比	θ_{acap}	-	0.038	(1)
土壤地下水交界处毛细管层厚度	h_{cap}	m	0.05	(1)
土壤透性系数	K_v	m^2	4.00E-07	(1)

注：(1)来源于《建设用土地土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附录 G。

表 7.2-3 地下水性质参数

参数名称	符号	单位	第二类用地	取值依据
地下水埋深	L_{gw}	m	2.6	实测
地下水混合区厚度	δ_{gw}	m	1.9	实测
平行于风向的地下水污染源宽度	W	m	45	实测
含水层水力传导系数	K	m/d	6.85	HERA
水力梯度	i	-	0.01	HERA
含水层土壤容重	ρ_b^a	g/cm^3	1.7	HERA
含水层有机碳质量分数	f_{oc}^a	-	0.01	HERA

表 7.2-4 建筑物特征参数

参数名称	符号	单位	第二类用地	取值依据
地基裂隙中水体积比	θ_{wcrack}	-	0.12	HERA
地基裂隙中空气体积比	θ_{acrack}	-	0.26	HERA
地基和墙体裂隙表面积所占比例	η	-	0.0005	HERA
室内空间体积与气态污染物入渗面积之比	L_B	m	3	HERA
室内空气交换率	ER	1/s	2.31E-04	HERA

室内室外气压差	dP	Pa	0	HERA
地面到地板底部厚度	Z _{crack}	m	0.35	HERA
室内地板面积	A _b	m ²	70	HERA
室内地板周长	X _{crack}	m	34	HERA
室内地基厚度	L _{crack}	m	0.35	HERA
土壤颗粒物载入因子	DL	g/m ³	1.00E-04	HERA

注：(1)来源于《建设用土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附录 G。

表 7.2-5 空气特征参数

参数名称	符号	单位	第二类用地	取值依据
混合区高度	δ_{air}	m	2	HERA
混合区大气流速	U _{air}	m/s	2	HERA
空气扩散因子	Q/C	g·m ⁻² ·s ⁻¹ /kg·m ⁻³	79.25	HERA
空气中可吸入颗粒物含量	PM ₁₀	mg/m ³	0.119	HERA
颗粒物释放通量	P _e	g/m ² ·s ⁻¹	6.90E-10	HERA
植被覆盖率	VC	-	0.5	HERA
7米高处年平均空气流速	u	m/s	4.8	HERA
7米高处年最大空气流速	u _t	m/s	11.32	HERA
风速经验公式	F _(x)	-	0.224	HERA

根据《建设用土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附录 A 第二类用地暴露评估模型计算关注污染物在对应暴露途径的暴露量。

表 7.2-6 土壤暴露量计算结果（单位：kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹）

序号	中文名	口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入室外空气中 来自表层土壤的 气态污染物	合计
	致癌风险				
1	2-砷（无机）	3.39*10 ⁻⁵	6.15*10 ⁻⁶	2.85*10 ⁻¹⁰	4.23*10 ⁻⁵
2	77- α -六六六	1.16*10 ⁻⁶	6.99*10 ⁻⁷	9.68*10 ⁻¹³	1.93*10 ⁻⁶
3	78- β -六六六	3.06*10 ⁻⁶	1.85*10 ⁻⁶	2.64*10 ⁻¹²	5.04*10 ⁻⁶
4	79- γ -六六六	9.34*10 ⁻⁸	4.52*10 ⁻⁸	7.76*10 ⁻¹⁴	1.70*10 ⁻⁷
	土壤总致癌风险				4.94*10 ⁻⁵
	非致癌风险				
1	2-砷（无机）	1.15	2.08*10 ⁻¹	6.71*10 ⁻⁵	1.88
2	77- α -六六六	3.48*10 ⁻⁴	2.11*10 ⁻⁴		5.59*10 ⁻⁴
3	78- β -六六六	-	-	-	-
4	79- γ -六六六	2.63*10 ⁻³	1.27*10 ⁻³	-	3.90*10 ⁻³
	土壤非致癌危害指数				1.89

7.3 毒性评估

毒性评估的工作内容是在危害识别的基础上,分析关注污染物对人体健康的危害效应,包括致癌和非致癌效应,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。

7.3.1 污染物毒性效应

表 7.3-1 关注污染物性质和毒性一览表

CAS号	名称	毒性	致癌性	对人体健康影响
7440-38-2	砷（无机）	致癌物	1	轻度：血管舒张、水肿、低血压、心律失常等；急性：腹痛、腹泻、消化道出血；对心血管、胃肠道、肾脏、皮肤等均产生影响，大量进食会引致急性中毒，长期过量摄入会损害皮肤以及慢性肝脏病变。
319-84-6 319-85-7	α -六六六 β -六六六	致癌物	2B	对神经系统主要表现为头痛、头晕、多汗、无力、震颤、上下肢呈癫痫状抽搐、站立不稳、运动失调、意识迟钝甚至昏迷，并可因呼吸中枢抑制而呼吸衰竭。对消化系统造成流涎、恶心、呕吐、上腹不适疼痛而腹泻等症状。呼吸及循环系统可以造成咽、喉、鼻粘膜充血，喉部有异物感，吐出泡沫痰、带血丝、呼吸困难，肺部有水，血压下降，心律不齐、心动过速甚至心室颤动。对皮肤刺激使皮肤潮红、产生丘疹、水疱、皮炎。甚至糜烂。对眼部产生流泪，剧烈疼痛。大剂量的六六六会伤害中枢神经系统和某些实质脏器。
58-89-9	γ -六六六			蒸气对眼及呼吸道黏膜有刺激作用，2,4-二甲酚能经皮肤吸收。具刺激作用，高浓度致溶血性贫血及肝、肾损害

7.3.2 污染物相关参数

(1) 致癌效应毒性参数

致癌效应毒性参数包括呼吸吸入单位致癌因子（IUR）、呼吸吸入致癌斜率因子（SF_i）、经口摄入致癌斜率因子（SF_o）和皮肤接触致癌斜率因子（SF_d）。

1) 呼吸吸入致癌斜率因子外推模型公式

呼吸吸入致癌斜率因子（SF_i）的计算过程如下：

$$SF_i = \frac{IUR \cdot BW_a}{DAIR_a}$$

式中，

SF_i—呼吸吸入致癌斜率因子，(mg污染物·kg⁻¹体重·d⁻¹)⁻¹；

IUR—呼吸吸入单位致癌因子，m³·mg⁻¹；

DAIR_a—成人每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；

BW_a—成人体重，kg。

2) 皮肤接触致癌斜率因子和参考剂量外推模型公式

皮肤接触致癌斜率系数（SF_d）的计算过程如下：

$$SF_d = \frac{SF_o}{ABS_{gi}}$$

式中，

SF_d—皮肤接触致癌斜率因子，(mg污染物·kg⁻¹体重·d⁻¹)⁻¹；

SF_o—经口摄入致癌斜率因子，(mg污染物·kg⁻¹体重·d⁻¹)⁻¹；

ABS_{gi}—消化道吸收效率因子，无量纲。

表 7.3-2 致癌效应毒性参数

关注污染物	CAS编号	类型	经口摄入致癌斜率因子	呼吸吸入单位致癌风险	经口摄入参考剂量	皮肤吸收因子
	N	T	SF ₀	IUR	RfDo	ABSd
	-	-	mg污染物·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹) ⁻¹	1/(mg/m ³)	(mg/kg-d)	无量纲
砷（无机）	7440-38-2	无机	1.5	0.15	0.0003	0.03
α-六六六	319-84-6	有机	6.3	1.8	0.008	0.04
β-六六六	319-85-7	有机	1.8	0.53	-	0.04
γ-六六六	58-89-9	有机	1.1	0.31	0.0003	0.04

注：（1）来源于《建设用地土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附录B，（2）来源于美国环保局“区域筛选值（Regional Screening Levels）总表”污染物毒性数据（2019年11月发布），（3）来源于污染场地健康与环境风险评估表格。

(2) 非致癌效应毒性参数

非致癌效应毒性参数包括呼吸吸入参考浓度 (RfC)、呼吸吸入参考剂量 (RfDi)、经口摄入参考剂量 (RfDo) 和皮肤接触参考剂量 (RfDd)。

1) 呼吸吸入参考剂量外推模型公式

呼吸吸入参考剂量 (RfDi) 的计算过程，分别如下：

$$RfDi = \frac{RfC \cdot DAIRa}{BW_a}$$

式中，

RfDi—呼吸吸入参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

RfC—呼吸吸入参考浓度，mg·m⁻³；

DAIRa—成人每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；

BW_a—成人体重，kg。

2) 皮肤接触参考剂量外推模型公式

皮肤接触参考剂量(RfDd)的计算过程，分别如下：

$$RfDd = RfDo \cdot ABS_{gi}$$

式中，

RfDo—经口摄入参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

RfDd—皮肤接触参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

(3) 污染物的理化性质参数

风险评估所需的污染物理化性质参数包括无量纲亨利常数 (H')、空气中扩散系数 (Da)、水中扩散系数 (Dw)、土壤-有机碳分配系数 (Koc)、水中溶解度 (S)。

(4) 污染物其他相关参数

其他相关参数包括消化道吸收因子 (ABS_{gi})、皮肤吸收因子 (ABS_d) 和经口摄入吸收因子 (ABS_o)。

7.4 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。

7.4.1 土壤单一污染物致癌风险

关注污染物的风险值由暴露评估得到的污染物长期平均暴露剂量/浓度和毒性评估中确定的污染物毒性参数计算得出。

(1) 经口摄入土壤途径的致癌风险：

致癌风险：

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

式中，

CR_{ois} —经口摄入土壤途径的致癌风险，无量纲；

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

SF_o —经口摄入致癌斜率因子， $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$ ；

(2) 皮肤接触土壤途径的致癌风险：

致癌风险：

$$CR_{dcs} = DCSE_{ca} \cdot C_{sur} \cdot SF_d$$

式中，

CR_{dcs} —皮肤接触土壤途径的致癌风险，无量纲。

$DCSE_{ca}$ —皮肤接触途径的土壤暴露量（致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

SF_d —皮肤接触致癌斜率因子， $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$ ；

(3) 吸入土壤颗粒物途径的致癌风险：

致癌风险：

$$CR_{gis} = PISER_{ca} \cdot C_{sur} \cdot SF_i$$

式中，

CR_{gis} —吸入土壤颗粒物途径的致癌风险，无量纲；

$PISER_{ca}$ —吸入土壤颗粒物的土壤暴露量（致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

SF_i —呼吸吸入致癌斜率因子， $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$ ；

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤气态污染物途径的致癌风险:

致癌风险:

$$CR_{ior1} = IOVER_{ca1} \cdot C_{sur} \cdot SF_i$$

式中,

CR_{ior1} —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, 无量纲;

$IOVER_{ca1}$ —吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量(致癌效应), $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$;

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度, $mg \cdot kg^{-1}$;

SF_i —呼吸吸入致癌斜率因子, $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$;

(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:

致癌风险:

$$CR_{ior2} = IOVER_{ca2} \times C_{sub} \times SF_i$$

式中,

CR_{ior2} —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, 无量纲;

C_{sub} —下层土壤中污染物浓度, $mg \cdot kg^{-1}$; 必须根据场地调查获得参数值。

$IOVER_{ca2}$ —吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量(致癌效应), $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$;

SF_i —呼吸吸入致癌斜率因子, $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$ 。

(6) 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险:

致癌风险:

$$CR_{iiv1} = IIVER_{ca1} \times C_{sub} \times SF_i$$

式中,

CR_{iiv1} —吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险, 无量纲;

$IIVER_{ca1}$ —吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量(致癌效应), $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$;

SF_i —呼吸吸入致癌斜率因子, $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$;

(7) 土壤中单一污染物经所有暴露途径的总致癌风险及非致癌风险:

式中， CR_n —土壤中单一污染物（第 n 种）经所有暴露途径的总致癌风险，无量纲。



关注污染物的风险值由暴露评估得到的污染物长期平均暴露剂量/浓度和毒性评估中确定的污染物毒性参数计算得出。

$$THQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \cdot C_{sur}}{RfD_o \cdot SAF}$$
 C_{sur} —表层土壤中污染物浓度, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;

OISER_{nc}—经口摄入土壤暴露量（非致癌效应），kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

RfD₀—经口摄入参考剂量, mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

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

81

HQ_{dcs} —皮肤接触土壤途径的危害商，无量纲；

SAF —暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

$DCSER_{nc}$ —皮肤接触的土壤暴露量（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

RfD_d —皮肤接触致癌斜率因子， $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$ 。

(3) 吸入土壤颗粒物途径的危害商：

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

式中，

HQ_{pis} —吸入土壤颗粒物途径的危害商，无量纲；

$PISER_{nc}$ —吸入土壤颗粒物的土壤暴露量（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

RfD_i —呼吸吸入参考剂量， $mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ 。

SAF —暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤气态污染物途径的危害商：

$$HQ_{ior1} = \frac{OISER_{nc1} \cdot C_{sur}}{RfD_i \cdot SAF}$$

(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：

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

式中，

C_{sub} —下层土壤中污染物浓度， $mg \cdot kg^{-1}$ ；必须根据场地调查获得参数值。

HQ_{iov2} —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，无量纲；

$IOVER_{nc2}$ —吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

RfD_i —呼吸吸入参考剂量， $mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

SAF —暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

(6) 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径的危害商：

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

式中，

HQ_{iiv1} —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，无量纲；

$IIVER_{nc1}$ —吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

RfD_i —呼吸吸入参考剂量， $mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ 。

C_{sub} —下层土壤中污染物浓度， $mg \cdot kg^{-1}$ ；必须根据场地调查获得参数值。

SAF —暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

（7）土壤中单一污染物经所有暴露途径的危害商：

$$HI_n = HQ_{ois} + HQ_{dcs} + HQ_{gis} + HQ_{ior1} + HQ_{ior2} + HQ_{iir1}$$

式中，

HI_n —土壤中单一污染物（第 n 种）经所有暴露途径的危害指数，无量纲。

序号	污染物名称	污染物CAS号	土壤浓度 (mg/kg)	暴露量 (kg/kg·d)	参考剂量 (mg/kg·d)	危害商 (HQ)	危害指数 (HI)
1	苯	71-43-2	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.00E+00	1.00E+00
2	氯苯	70-11-2	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.00E+00	1.00E+00
3	乙苯	100-10-5	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.00E+00	1.00E+00
4	二甲苯	106-42-3	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.00E+00	1.00E+00

土壤污染物危害商计算结果

7.4.3 地下水中单一污染物致癌风险

针对第二类用地，《建设用地土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中共列出了3种主要地下水污染物暴露途径，吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物和饮用地下水。地下水中每一种致癌物质的风险可以通过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。地下水中的非

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。

(1) 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

致癌风险：

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

式中，

CR_{iov3} —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，无量纲；

$IOVER_{ca3}$ —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（致癌效应）， L 地下水· kg^{-1} 体重· d^{-1} ；

C_{gw} —地下水中污染物浓度， $mg \cdot L^{-1}$ ；

SF_i —呼吸吸入致癌斜率因子， $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$ ；

(2) 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

致癌风险：

$$CR_{iiv2} = IIVER_{ca2} \times C_{gw} \times SF_i$$

式中，

CR_{iiv2} —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，无量纲；

$IIVER_{ca2}$ —吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量（致癌效应）， kg 地下水· kg^{-1} 体重· d^{-1} ；

SF_i —呼吸吸入致癌斜率因子， $(mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1})^{-1}$ ；

C_{gw} —地下水中污染物浓度， $mg \cdot L^{-1}$ ；

(3) 饮用地下水途径的致癌风险

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

式中，

CR_{cgw} —饮用地下水途径的致癌风险，无量纲。

$CGWER_{ca}$ —饮用受影响地下水对应的地下水的暴露量（致癌效应）， L 地下水· kg^{-1} ·体重· d^{-1} ；

C_{gw} —地下水中污染物浓度， $mg \cdot L^{-1}$ ；必须根据地块调查获得参数值。

SFo 一经口摄入致癌斜率因子, $(\text{mg 污染物} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1})^{-1}$;

(4) 地下水中单一污染物经所有暴露途径的总致癌风险

致癌风险:

$$CR_n = CR_{iov3} + CR_{liv2} + CR_{cgw}$$

式中,

CR_n —地下水中单一污染物(第 n 种)经所有暴露途径的总致癌风险, 无量纲;

序号	污染物(中文)	污染物(英文)	浓度	暴露量	致癌斜率因子	致癌风险
1	砷(As)	As	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
2	镉(Cd)	Cd	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3	铬(六价)(Cr6+)	Cr6+	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	汞(Hg)	Hg	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
5	铅(Pb)	Pb	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	铜(Cu)	Cu	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
7	锌(Zn)	Zn	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
8	锰(Mn)	Mn	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
9	镍(Ni)	Ni	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
10	钴(Co)	Co	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
11	钒(V)	V	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
12	钼(Mo)	Mo	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
13	铀(U)	U	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
14	钍(Th)	Th	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
15	镭(Ra)	Ra	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
16	钋(Po)	Po	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
17	铋(Bi)	Bi	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
18	钨(W)	W	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
19	铼(Re)	Re	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
20	锇(Os)	Os	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
21	铱(Ir)	Ir	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
22	铂(Pt)	Pt	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
23	金(Au)	Au	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
24	银(Ag)	Ag	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
25	汞(Hg)	Hg	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
26	镉(Cd)	Cd	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
27	砷(As)	As	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
28	铬(六价)(Cr6+)	Cr6+	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
29	铜(Cu)	Cu	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
30	镍(Ni)	Ni	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
31	钒(V)	V	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
32	钼(Mo)	Mo	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
33	铀(U)	U	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
34	钍(Th)	Th	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
35	镭(Ra)	Ra	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
36	钋(Po)	Po	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
37	铋(Bi)	Bi	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
38	钨(W)	W	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
39	铼(Re)	Re	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
40	锇(Os)	Os	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
41	铱(Ir)	Ir	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
42	铂(Pt)	Pt	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
43	金(Au)	Au	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
44	银(Ag)	Ag	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
45	汞(Hg)	Hg	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
46	镉(Cd)	Cd	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
47	砷(As)	As	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
48	铬(六价)(Cr6+)	Cr6+	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
49	铜(Cu)	Cu	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
50	镍(Ni)	Ni	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
51	钒(V)	V	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
52	钼(Mo)	Mo	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
53	铀(U)	U	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
54	钍(Th)	Th	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
55	镭(Ra)	Ra	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
56	钋(Po)	Po	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
57	铋(Bi)	Bi	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
58	钨(W)	W	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
59	铼(Re)	Re	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
60	锇(Os)	Os	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
61	铱(Ir)	Ir	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
62	铂(Pt)	Pt	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
63	金(Au)	Au	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
64	银(Ag)	Ag	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
65	汞(Hg)	Hg	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
66	镉(Cd)	Cd	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
67	砷(As)	As	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
68	铬(六价)(Cr6+)	Cr6+	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
69	铜(Cu)	Cu	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
70	镍(Ni)	Ni	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
71	钒(V)	V	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
72	钼(Mo)	Mo	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
73	铀(U)	U	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
74	钍(Th)	Th	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
75	镭(Ra)	Ra	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
76	钋(Po)	Po	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
77	铋(Bi)	Bi	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
78	钨(W)	W	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
79	铼(Re)	Re	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
80	锇(Os)	Os	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
81	铱(Ir)	Ir	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
82	铂(Pt)	Pt	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
83	金(Au)	Au	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
84	银(Ag)	Ag	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
85	汞(Hg)	Hg	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
86	镉(Cd)	Cd	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
87	砷(As)	As	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
88	铬(六价)(Cr6+)	Cr6+	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
89	铜(Cu)	Cu	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
90	镍(Ni)	Ni	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
91	钒(V)	V	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
92	钼(Mo)	Mo	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
93	铀(U)	U	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
94	钍(Th)	Th	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
95	镭(Ra)	Ra	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
96	钋(Po)	Po	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
97	铋(Bi)	Bi	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
98	钨(W)	W	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
99	铼(Re)	Re	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
100	锇(Os)	Os	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

地下水中单一污染物致癌风险

7.4.4 地下水单一污染物危害商

(1) 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的危害商:

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

式中,

C_{gw} —地下水中污染物浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;

HQ_{iov3} —吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的危害商, 无量纲;

$IOVER_{nc3}$ —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(非致癌效应), $\text{L 地下水} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1}$;

RfD_i —呼吸吸入参考剂量, $\text{mg 污染物} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

(2) 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的危害商:

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

式中,

HQ_{iiv2}—吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的危害商，无量纲；

IIVER_{nc2}—吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量（非致癌效应），kg 地下水·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

RfD_i—呼吸吸入参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

C_{gw}—地下水中污染物浓度，mg·L⁻¹；

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

(2) 饮用地下水途径的危害商

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

式中,

HQ_{cgw} —饮用地下水途径的危害商，无量纲。

CGWER_{ca} —饮用受影响地下水对应的地下水的暴露量（非致癌效应），L 地下水·kg⁻¹·体重·d⁻¹；

C_{gw} —地下水中污染物浓度，mg·L⁻¹；必须根据地块调查获得参数值；

RfD_o —经口摄入参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

WAF —暴露于地下水的参考剂量分配比例，无量纲。

(4) 地下水中单一污染物经所有暴露途径的总危害商:

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

式中,

HI_n—地下水中单一污染物（第 n 种）经所有暴露途径的危害指数，无量纲。

地下水污染物非致癌危害

编号	污染物（中文）	污染物（英文）	原场				离场			
			HQ _{gw} ^{ov}	HQ _{gw} ^{iv}	HQ _{gw} ^{tox}	HI _{gw} ^{sa}	HQ _{gw} ^{mg-ov}	HQ _{gw} ^{mg-iv}	HQ _{gw} ^{mg-tox}	HI _{gw} ^{off}
1	砷（无机）	Arsenic			7.02E+01	7.02E+01				
2	α-六六六	Hexachloro cyclohexane, α- (α-HCH)			0.00E+00	0.00E+00				
3	β-六六六	Hexachloro cyclohexane, β- (β-HCH)			-	-				
4	δ-六六六	Hexachlorocyclohexane, delta (delta-BHC)			0.00E+00	0.00E+00				

地下水中单一污染物危害商

7.4.5 土壤和地下水风险表征结果

(1) 土壤风险表征结果

通过 HERA1.1 软件进行风险评估，在第二类用地情境下，地块土壤中砷、六六六在土壤中经所有暴露途径的总致癌风险大于 10^{-6} ，在土壤中经所有暴露途径的危害商大于 1，共计 4 种关注污染物在土壤中经所有暴露途径的总致癌风险大于 10^{-6} 或危害商大于 1，其余污染物在土壤中经所有暴露途径的总致癌风险小于 10^{-6} 且危害商小于 1。

(2) 地下水风险表征结果

单一地下水污染物经所有暴露途径致癌风险大于 10^{-6} 的包括：砷。

表 7-16 关注污染物风险贡献率结果列表（单位%）

序号	中文名	英文名	CAS编号	口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物
1	2-砷（无机）	Arsenic, inorganic	7440-38-2	80.14	14.53	5.33	0.00
2	77- α -六六六	Hexachloro cyclohexane, - (-HCH)	319-84-6	59.75	36.12	0.40	0.00
3	78- β -六六六	Hexachloro cyclohexane, - (-HCH)	319-85-7	60.79	36.75	0.41	0.00
4	79- γ -六六六	Hexachloro cyclohexane, - (-HCH, Lindane)	58-89-9	55.08	26.64	0.36	0.00
1	2-砷（无机）	Arsenic, inorganic	7440-38-2	60.79	11.02	28.19	
2	77- α -六六六	Hexachloro cyclohexane, - (-HCH)	319-84-6	62.32	37.68	-	-
3	78- β -六六六	Hexachloro cyclohexane, - (-HCH)	319-85-7	-	-	-	-
4	79- γ -六六六	Hexachloro cyclohexane, - (-HCH, Lindane)	58-89-9	67.40	32.60	-	-

注：“-”表示该种污染物在该种暴露途径下无对应致癌风险或危害商。

7.5 不确定性分析

7.5.1 初步和详细调查不确定分析

临湘市原农药厂土壤环境初步调查和详细调查是依据相关技术导则、指南和大纲要求，针对本地块实际状况，应用科学原理和专业判断，基于有限的地块资料、数据、工作时间以及目前可以获得的调查事实而做出的专业判断。存在如下限制性因素，可能对调查结果产生影响：

（1）土壤本身的异质性

土壤本身存在一定的不均一性，且不同于水和空气，土壤污染物浓度在空间上变异性较大，即使是间距很小的点位其污染含量也可能差别很大。因此，在有限的采样点位，对地块土壤污染状况的表述会有一定的不确定性。

（2）地下水的季节性

本地块浅层地下水赋存形式以上层滞水为主，水量和分布具有季节性，对于地下水分布区域的判定存在一定不确定性。

上述原因均增加了地块调查的技术难度和不确定性。同时，污染物在自然因素作用下，将持续发生迁移和转化，也可能改变场地中污染的空间分布。因此，本报告是针对本阶段现场调查状况来展开分析和提出建议的，具有时效性特征，调查后地块受到的人为扰动可能会影响本报告的结果和结论。

7.5.2 风险评估不确定性分析

地块风险评估是一个系统的工作，需要环境学、化学、地质学、毒理学、统计学等多学科的融合，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选用模型的适用性、模型的设定条件与实际条件的差异、模型参数的确定以及检测统计数据的相关性。

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》（HJ 25.3-2019）的基本要求，采用 HERA1.1 进行计算。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场地的风险管理决策，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。

场地参数和暴露参数的不确定性：地块内部分区域土壤存在较大的人为扰动现象，这些人为扰动对场地土层结构、土壤性质参数及污染边界的确定造成了较大的影响，风险评估结果的精确度也将受到一定的影响。地块风险评估所使用的部分建筑物参数为经验值，与特定场地的实际建筑物参数有一定的出入，这可能会对评估结果的精确性造成一定的影响。因此模型根据国家导则计算本场地的风险或危害商可能与本场地的实际情况有所差异。据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），单一暴露途径风险贡献率超过 20%时，应进行人群和与该途径相关参数的敏感性分析。

污染物毒性学性质：不同的研究机构或政府机构根据特定条件下的研究结果或统计结果提出了不同的毒性参数和理化参数，这些参数根据试验条件的不同略有差异，而且会根据毒性学的研究进展进行更新。由于我国目前对于污染物基础毒性数据的不足，本次风险评估过程中使用的污染物毒理学参数如经口摄入参考剂量、经口摄入致癌斜率因子、呼吸吸入参考浓度等计算参数，均参考和借鉴美国环保局资料，这些来自国外的毒理学参数应用于我国人群，进行风险表征是可行的，但是风险评估结果的精确度受到一定的影响。

风险评估的结果是基于对应场地概念模型中的暴露情景，当实际的暴露情形发生时，本次风险评估的结果并不能保证污染源的风险可接受性，例如土壤异食癖人群等。因此，在使用本次风险评估的结果时应注意风险评估中的暴露情景。

综上，地块风险评估技术仍是一门发展中的科学，其评估过程与评估结果仍存在一些不确定性的因素。

7.6 地块风险评估结论

对 4 种土壤关注污染物（砷、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六）和 1 种地下水关注污染物（砷）进行了风险评估，结果表明：地块土壤中砷、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六共计 4 种污染物，致癌风险分别为 4.23×10^{-5} 、 1.93×10^{-6} 、 5.04×10^{-6} 、 1.70×10^{-7} ，土壤总致癌风险 4.94×10^{-5} ，地块土壤中砷非致癌风险为 1.88，土壤非致癌危害指数为 1.89，需进行修复治理。

表 7.6-1 关注土壤污染物致癌风险和非致癌风险结果列表

序号	中文名	口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入室外空气中 来自表层土壤的 气态污染物	合计
	致癌风险				
1	2-砷（无机）	3.39×10^{-5}	6.15×10^{-6}	2.85×10^{-10}	4.23×10^{-5}
2	77- α -六六六	1.16×10^{-6}	6.99×10^{-7}	9.68×10^{-13}	1.93×10^{-6}
3	78- β -六六六	3.06×10^{-6}	1.85×10^{-6}	2.64×10^{-12}	5.04×10^{-6}
4	79- γ -六六六	9.34×10^{-8}	4.52×10^{-8}	7.76×10^{-14}	1.70×10^{-7}
	土壤总致癌风险				4.94×10^{-5}
	非致癌风险				
1	2-砷（无机）	1.15	2.08×10^{-1}	6.71×10^{-5}	1.88
2	77- α -六六六	3.48×10^{-4}	2.11×10^{-4}		5.59×10^{-4}
3	78- β -六六六	-	-	-	-
4	79- γ -六六六	2.63×10^{-3}	1.27×10^{-3}	-	3.90×10^{-3}
	土壤非致癌危害指数				1.89

表 7.6-2 关注地下水污染物致癌风险和非致癌风险结果列表

序号	中文名	致癌风险	非致癌风险
1	2-砷（无机）	2.08×10^{-3}	70.2
2	77- α -六六六	0.00	0.00
3	78- β -六六六	0.00	-
4	79- γ -六六六	0.00	0.00
	总和	2.08×10^{-3}	70.2

8 治理和修复建议

8.1 修复目标值确定

应将基于风险评估模型计算出的致癌和非致癌风险的风险控制值的最小值作为土壤修复目标值的主要参考值。但实际上，依据风险评估的理论和国内外修复目标确定常规方法，修复目标值的最终确定还需结合场地实际情况，综合考虑我国及当地土壤背景值，经济水平和修复技术水平可达性，从而提出经济合理、科学可行的修复目标值。

8.1.1 风险控制值的计算过程

场地污染物修复目标值的计算方法与步骤如下：

- (1) 选择模型方法计算污染物风险控制值；
- (2) 确定可接受致癌风险和危害商；
- (3) 根据风险评估结果，确定对人体健康具有潜在危害的污染物种类；
- (4) 整理收集污染物理化参数及毒理学参数；
- (5) 根据土地利用类型和受体特征确定暴露参数；
- (6) 根据场地特征确定场地参数，如土壤参数、地下水参数、建筑物参数等。

本项目污染物风险控制值的计算采用《建设用地土壤风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中的方法。

由于地块及周边地块不作为地下水饮用水源，不考虑基于保护地下水目的的土壤风险控制值。

场地风险评估工作中规定对健康风险大于目标风险的污染物进行修复管理。目标风险是影响修复目标最重要的因素。本项目计算风险控制值依据我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）：计算基于致癌效应的土壤风险控制值时，采用的单一污染物可接受致癌风险为 10^{-6} ；计算基于非致癌效应的土壤风险控制值时，采用的单一污染物可接受危害商为 1。

(1) 基于致癌效应的土壤风险控制值

对于单一污染物，计算基于经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物暴露途径致癌效应的土壤风险控制值。基于

经口摄入土壤途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式计算：

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

公式中：RCVS_{ois} 一基于经口摄入途径致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹；ACR 一可接受致癌风险，无量纲；取值为 10⁻⁶。

基于皮肤接触土壤途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式计算：

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

公式中：RCVS_{dcs} 一基于皮肤接触途径致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹。

基于吸入土壤颗粒物途径致癌效应的土壤风险控制值，采用公式计算：

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

公式中：RCVS_{pis} 一基于吸入土壤颗粒物途径致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹。

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，采用公式计算：

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

公式中：RCVS_{iovl} 一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，mg·kg⁻¹。

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，采用公式计算：

$$RCVS_{io2} = \frac{ACR}{IOVER_{ca2} \times SF_i}$$

公式中：RCVS_{io2} 一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，mg·kg⁻¹。

基于吸入室内空气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，根据公式计算：

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

公式中：RCVS_{iiv}—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，mg·kg⁻¹。

基于 6 种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值，采用公式计算：

$$RCVS_n = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_0 + DCSE_{ca} \times SF_d + (PISER_{ca} + IOVER_{ca1} + IVOER_{ca2} + HVER_{ca1}) \times SF_i}$$

公式中：RCVS_n—单一污染物（第 n 种）基于 6 种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹。

（2）基于非致癌效应的土壤风险控制值

对于单一污染物，计算基于经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物暴露途径非致癌效应的土壤风险控制值。

基于经口摄入土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式计算：

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

公式中：HCVS_{ois}—基于经口摄入土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹；AHQ—可接受危害商，无量纲；取值为 1。

基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式计算：

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

公式中：HCVS_{dcs}—基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹。

基于吸入土壤颗粒物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式计算：

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

公式中：HCVS_{pis}—基于吸入土壤颗粒物途径非致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹。

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，采用公式计算：

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

公式中：HCVS_{iov1}—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，mg·kg⁻¹。

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，采用公式计算：

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

HCVS_{iov2}—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，mg·kg⁻¹。

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，采用公式计算：

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

公式中：HCVS_{iiv}—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，mg·kg⁻¹；

基于 6 种土壤暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值，采用公式计算：

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

公式中：HCVS_n—单一污染物（第 n 种）基于 6 种土壤暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹。

（3）基于致癌效应的地下水风险控制值对于单一污染物，计算基于吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、饮用地下水暴露途径致癌效应的地下水风险控制值。

基于吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径致癌效应的地下水风险控制值，采用公式计算：

$$RCVG_{iov} = \frac{ACR}{IOVER_{ca3} \times SF_i}$$

公式中：RCVG_{iov}—基于吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径致癌效应的地下水风险控制值，mg·L⁻¹。

基于吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径致癌效应的地下水风险控制值，根据公式计算：

$$RCVG_{iiv} = \frac{ACR}{IIVER_{ca2} \times SF_i}$$

公式中：RCVG_{iiv}—基于吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径致癌效应的地下水风险控制值，mg·L⁻¹。

基于3种地下水暴露途径综合致癌效应的地下水风险控制值，采用公式计算：RCVG_n—单一污染物（第n种）基于3种地下水暴露途径综合致癌效应的地下水风险控制值，mg·L⁻¹。

$$RCVG_n = \frac{ACR}{(IOVER_{ca3} + IIVER_{ca2}) \times SF_i + CGWER_{ca} \times SF_o}$$

（4）基于非致癌效应的地下水风险控制值

对于单一污染物，计算基于吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、饮用地下水暴露途径非致癌效应的地下水风险控制值。

基于吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径非致癌效应的地下水风险控制值，采用公式计算：

$$HCVG_{ioiv} = \frac{RfD_i \times WAF \times AHQ}{IOVER_{nc3}}$$

公式中：HCVG_{ioiv}—基于吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径非致癌效应的地下水风险控制值，mg·L⁻¹。

基于吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径非致癌效应的地下水风险控制值，采用公式计算：

$$HCVG_{iiv} = \frac{RfD_i \times WAF \times AHQ}{IIVER_{nc2}}$$

公式中：

$HCVG_{iiv}$ —基于吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径非致癌效应的地下水风险控制值， $mg \cdot L^{-1}$ 。

基于饮用地下水途径非致癌效应的地下水风险控制值，根据公式计算：

$$HCVG_{cgw} = \frac{RfD_o \times WAF \times AHQ}{CGWER_{nc}}$$

公式中：

$HCVG_{cgw}$ —基于饮用地下水途径非致癌效应的地下水风险控制值， $mg \cdot L^{-1}$ 。

基于3种地下水暴露途径综合非致癌效应的地下水风险控制值，采用公式计算：

$$HCVG_n = \frac{AHQ \times WAF}{\frac{IOVER_{nc3} + IIVER_{nc2}}{RfD_i} + \frac{CGWER_{nc}}{RfD_o}}$$

公式中： $HCVG_n$ —单一污染物（第n种）基于3种地下水暴露途径综合非致癌效应的地下水风险控制值， $mg \cdot L^{-1}$ 。

（5）分析确定土壤和地下水风险控制值

比较上述计算得到的基于致癌效应和基于非致癌效应的土壤风险控制值，以及基于致癌效应和基于非致癌风险的地下水风险控制值，选择较小值作为地块的风险控制值。

表 8.1-1 地块的风险控制值确定

类型	污染物	基于致癌效应的 风险控制值	基于非致癌效应 的风险控制值	地块的风险控制 值
土壤	砷	1.54	68.3	1.54
	α -六六六	0.344	2910	0.344
	β -六六六	1.20	-	1.20
	γ -六六六	1.97	109	1.97

8.1.2 场地修复污染物确定

根据风险评估报告评估表明，二类用地方式下，土壤中砷、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六致癌风险水平大于 10^{-6} ，存在不可接受风险，需进行修复。

8.1.3 修复目标值确定

依据风险评估的理论和国内外修复目标确定常规方法，修复目标值的最终确定需结合场地实际情况，综合考虑通过风险评估模型计算的风险控制值、我国及当地土壤背景

值、初步调查和详细调查阶段所使用的筛选值、经济水平和修复技术水平可达性，从而提出经济合理、科学可行的修复目标值。为了避免过度修复，也为了使整个土壤环境调查及风险评估过程逻辑连贯，计算的风险控制值与筛选值相近时，优先取最大值作为修复目标。

依据场地规划，规划为绿地。确定本项目土壤总量砷修复目标值为 60mg/kg， α -六六六总量修复目标值为 0.344mg/kg， β -六六六总量修复目标值为 1.20mg/kg、 γ -六六六总量修复目标值为 1.97mg/kg。

表 8.1-2 土壤修复目标值比较及确定（单位：mg/kg）

序号	污染物种类	HERA1.1计算的风险控制值	筛选值	管制值	目标值
1	砷	1.54	60	140	60
2	α -六六六	0.344	0.3	3	0.344
3	β -六六六	1.20	0.92	9.2	1.20
4	γ -六六六	1.97	1.9	19	1.97

8.2 修复范围及工程量

8.2.1 修复范围

（1）土壤修复范围

本项目地块场地的修复标准采用本报告中确定的修复目标值，修复范围的确定也以此目标值为基础进行边界划分和土方量的计算。

针对土壤中不同的污染物先分别划定单一污染物的修复范围，然后再进行叠加合并，得出综合考虑各种污染物后的每一层需要修复的范围。

进行边界划分时，利用 Surfer 软件采用克里金（Kriging）插值法和实际检测结果修正相结合的方法进行划定。克里金(Kriging)插值法，又称空间自协方差最佳插值法，它是以南非矿业工程师 D. G. Krige 的名字命名的一种最优内插法。克里金法广泛地应用于地下水模拟、土壤制图等领域，是一种很有用的地质统计格网化方法。首先，依据各采样点坐标和污染物检测浓度进行插值，初步确定修复/管控范围；其次，结合检测结果进行修正，即依据超标样品点和不超标样品点来判断修复边界，根据实际污染及场地特征等情况，结合专业判断的方式确定最终的范围。当确定修复/管控范围后，修复/管控方量即为修复/管控范围内的面积与修复/管控深度的乘积。

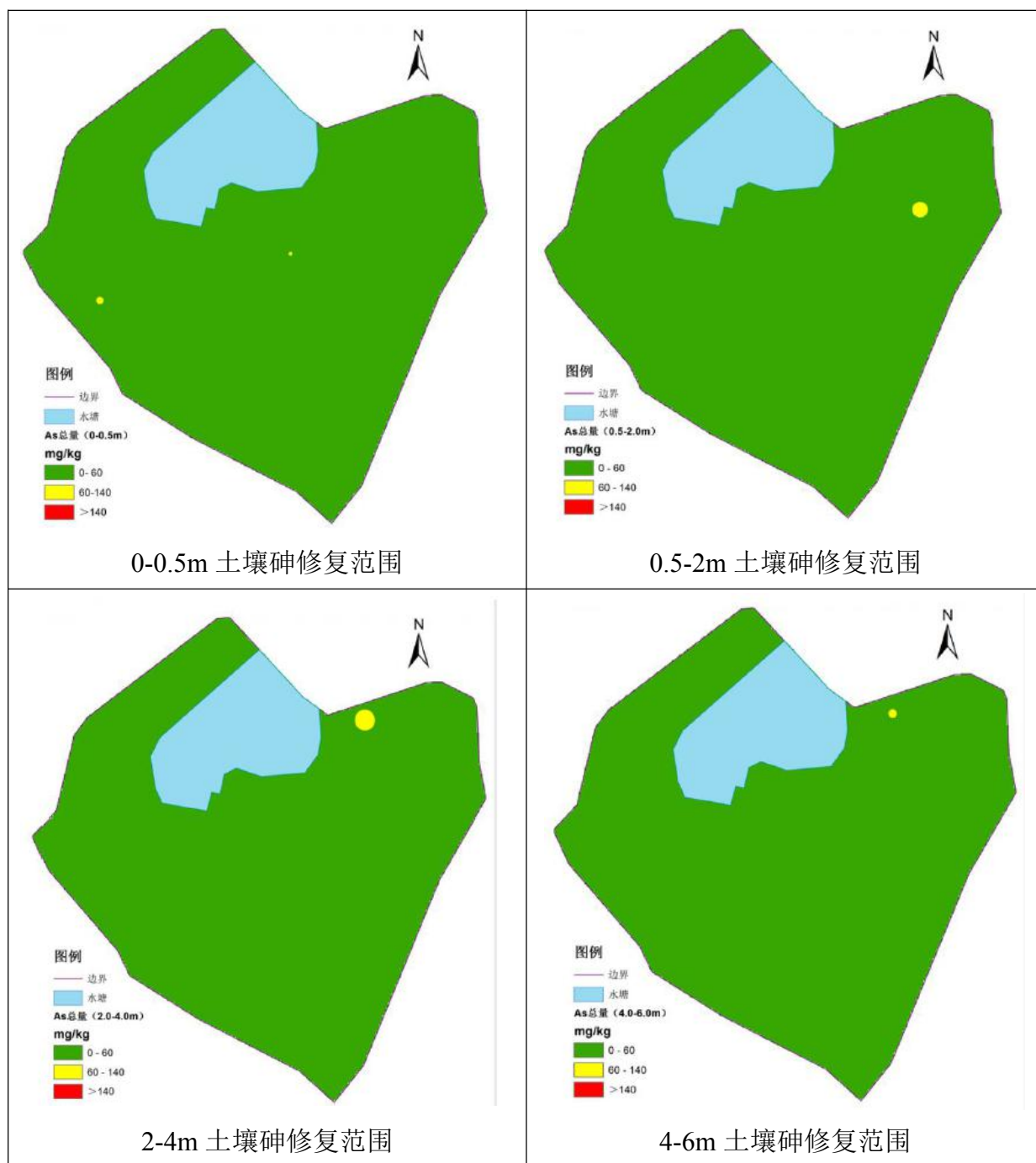
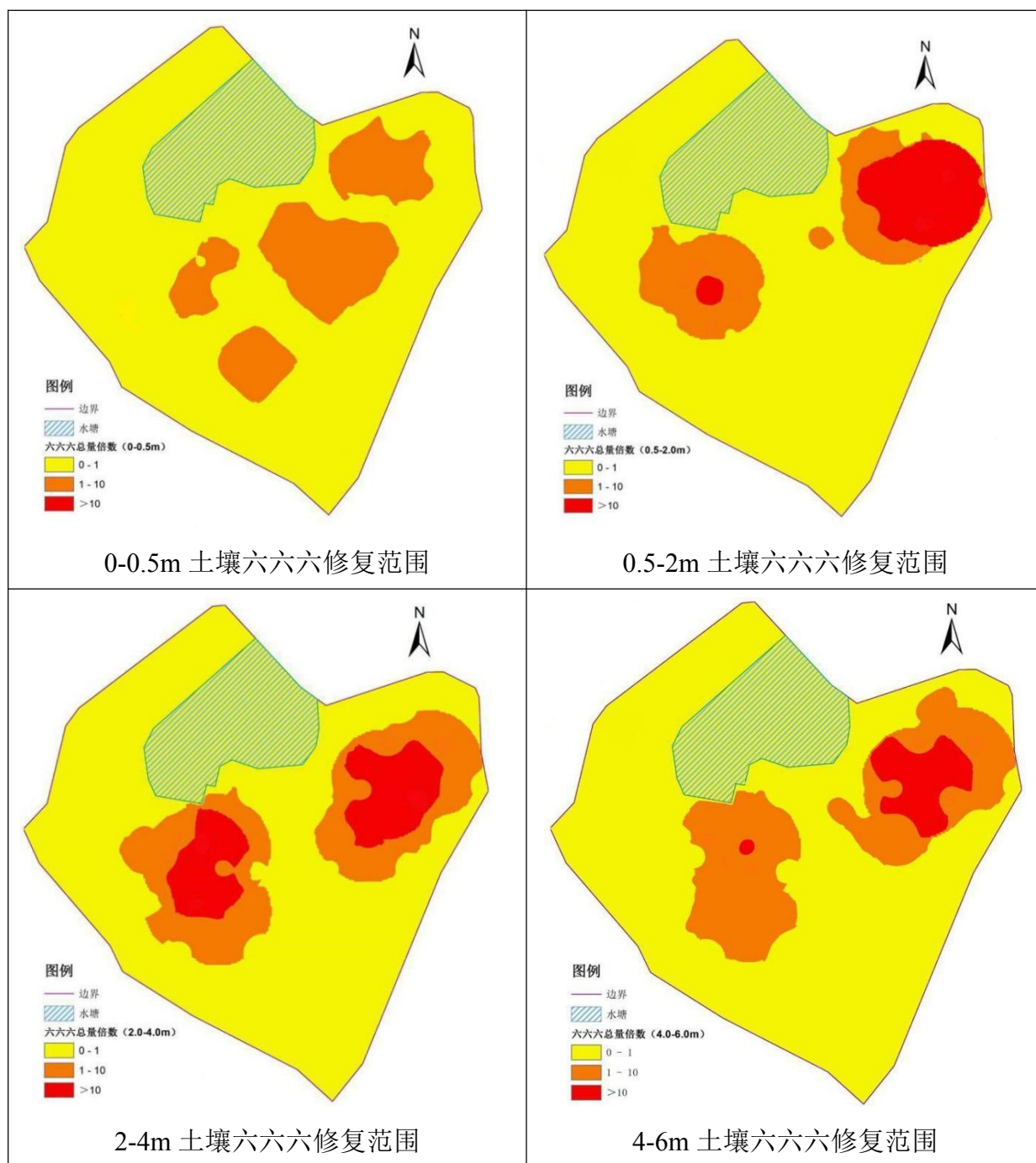


图 8.2-1 0-6m 砷修复范围



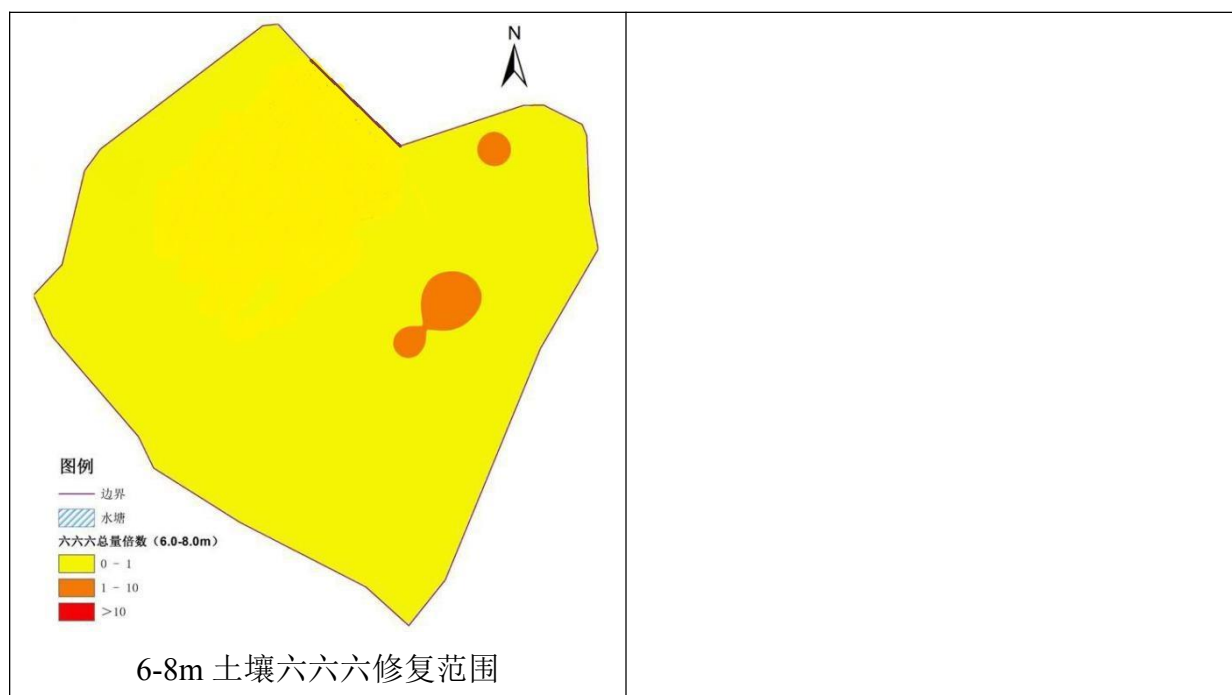


图 8.2-2 0-8m 六六六修复范围

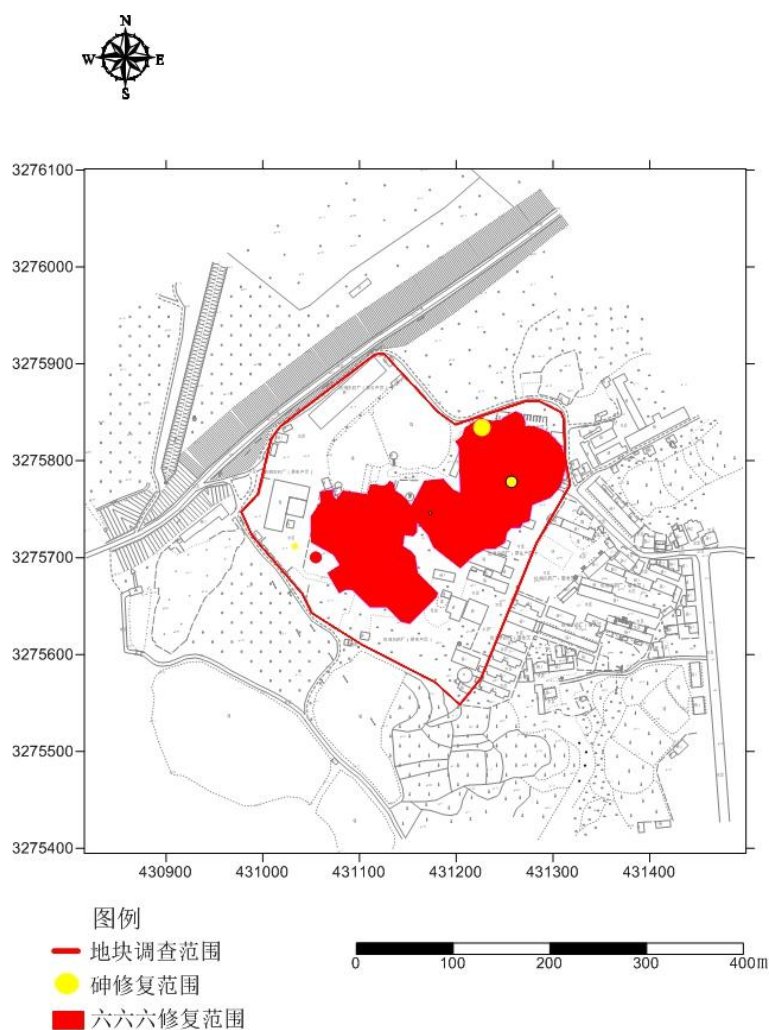


图 8.2-3 各层修复、管控土壤投影叠加后范围

8.2.2 修复量估算

根据风险评估确定场地修复的目标污染物和修复目标值，分层分污染物类型进行统计，初步确定场地垂直投影面积为 26029.02 平方米，土壤总污染方量约 105049.92 立方米。

表 8.2-1 污染面积和方量统计

序号	深度	超标面积（m ² ）	超标方量（m ³ ）
1	0-0.5m	13072.28	6536.14
2	0.5-2m	14906.24	22359.36
3	2-4m	19224.54	38449.08
4	4-6m	17181.87	34363.74

序号	深度	超标面积 (m ²)	超标方量 (m ³)
5	6-8m	1670.80	3341.60
	合计	26029.02 (垂直投影最大面积)	105049.92

8.3 修复技术建议

8.3.1 制定修复方案的原则

污染场地修复是指通过物理、化学甚至生物的转化过程，将场地中的高浓度污染物消除、降解或移出，使得地块土壤中的污染物浓度符合标准要求，环境风险降低到可以接受的水平。根据我国目前现有的关于污染场地修复的有关政策《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2019），确定以下制定场地修复技术方案的原则。场地修复方案的分析和建议将综合考虑以下原则，力求达到最优化。

（1）场地修复技术方案的目标是保障人的健康，使得地块土壤中污染物的环境风险降低到可以接受的水平。地块地下水修复目标需兼顾保护人体健康及地下水安全，使地下水中污染物的环境风险降低到可以接受的水平，且浓度低于地下水标准的相应要求。

（2）将具有不同类型污染物和不同风险值的土壤区别对待，分别处置。

（3）在技术上，场地修复技术方案选择可以达到目标的最简化的途径或方法，而不单纯追求技术的先进性。

（4）在经济上，场地修复技术方案兼顾考虑目前在修复费用方面的实际承受能力和今后的经济发展前景，使得不仅在目前，而且从较长远来看，修复技术方案都是合适的。

（5）在可行性上，修复技术方案从我国和岳阳市目前的工程实施水平出发，充分考虑岳阳市现有场地修复队伍的能力和现有的固体污染物处置设施。

（6）在可操作性上，建议提出的修复技术方案应该在目前的政策、政府管理体制、经济机制、技术水平等客观条件下是可行的。

8.3.2 修复技术比选

（1）备选技术概述

1) 土壤修复备选技术

根据本项目调查及风险评估结果，本场场地的主要土壤污染物为石油烃、挥发性有机物与半挥发性有机物。针对该些种类污染物，多种修复技术已在国际上有所应用，例如适用于重金属污染土壤修复的固化/稳定化技术、焚烧技术、土壤淋洗技术、玻璃化技术等；适用于持久性有机物污染土壤处理的热解吸技术、药剂处理技术、焚烧技术等；适用于挥发性有机物污染土壤处理的热解吸技术、土壤气相抽提及焚烧技术等。

固化/稳定化技术

采用固化剂对污染土壤进行处理，与污染土壤发生物理化学反应。通过降低土壤渗透性，通过与污染物发生络合、沉淀、氧化还原反应等方式降低污染物的迁移能力，改变污染物赋存形态，最终达到降低污染土壤环境风险的目的。

固化/稳定化技术是目前重金属污染土壤修复国际范围内应用最广泛的技术之一，其优势在于相对简单的工程化设备及工艺，较快的修复速度，相对较低的成本，同时适用于原位异位修复等。但该方法不适合于挥发性有机物污染土壤的修复。

化学氧化技术

原理：通过向地下水的污染区域注入氧化剂，通过氧化作用，使地下水中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐、臭氧和芬顿等。

适用性：适用于受石油烃、苯系物、酚类、甲基叔丁基醚、氯代烃、多环芳烃、农药等污染的地下水。

土壤淋洗技术

土壤淋洗技术包括物理、化学及物理化学集成处理等方式，可以同时去除土壤中的重金属和多环芳烃污染物。其中，物理淋洗过程中将污染土壤按照其粒径分开（分为砂土、粉土及粘土等组分），将污染土壤颗粒表面松散吸附的污染物去除，使微粒污染物从土壤分离出来，一般使用水作为淋洗液；化学淋洗是使用化学淋洗液将污染物从土壤颗粒表面通过酸解、螯合、络合或离子交换等方式提取出来的过程。被清洗后的土壤经检测合格后可以回收利用。淋洗土壤的溶液需要收集起来进行无害化处理，处理后的水可以回用于淋洗，处理后的残渣可以填埋。

污染物通常主要被土壤内小粒径颗粒吸附，所以土壤淋洗技术对于大粒径级别污染土壤修复更为有效，砂砾、粗砂、细砂以及类似土质中的污染物更容易被清洗出来，而

粘土中的污染物则较难清洗。

土壤气相抽提技术

土壤气相抽提（Soil Vapor Extraction, SVE）修复技术，也称“土壤通风”或“真空抽提”。该技术是一种通过强制新鲜空气流经污染区域，将挥发性有机物（VOCs）从不饱和和区域土壤中解吸后随空气流送至地面处理的土壤原位修复技术。

到目前为止，原位 SVE 在国外已有上千例工程应用实例报道。SVE 系统利用一系列抽提井和注射井来控制土壤中空气迁移，工程应用中根据污染源性质及现场状况可确定抽提装置的数目、尺寸、形状及分布，并对抽气流量及真空度等操作条件加以控制。大量实践表明，SVE 适用于绝大多数 VOCs 在非粘质土壤中的污染治理。

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。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壤的添加量。

原位加热技术

异位修复技术以其修复周期短，不影响原位置土地开发，且处理过程中的条件容易控制而在我国广受欢迎，但由于异位修复涉及挖土和运土，存在异味等问题，使得原位修复技术在近来越来越显示出旺盛的生命力。原位加热修复技术按热量来源方式分类有蒸汽注入，燃气加热，电阻加热、电加热等。

生物通风技术

通过向土壤中供给空气或氧气，依靠微生物的好氧活动，促进污染物降解;同时利用土壤中的压力梯度促使挥发性有机物及降解产物流向抽气井，被抽提去除。可通过注入热空气、营养液、外源高效降解菌剂的方法对污染物去除效果进行强化。

适用性：适用于非饱和带污染土壤，可处理挥发性、半挥发性有机物。不适合于重

金属、难降解有机物污染土壤的修复，不宜用于粘土等渗透系数较小的污染土壤修复。

阻隔填埋技术

土壤阻隔填埋（Soil Barrier and Landfill）适用于重金属、有机物及重金属有机物复合污染土壤。不宜用于污染物水溶性强或渗透率高的污染土壤，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区。

将污染土壤或经过治理后的土壤置于防渗阻隔填埋场内，或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径，使污染土壤与四周环境隔离，避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害。按其实施方式，可以分为原位阻隔覆盖和异位阻隔填埋。

2) 地下水修复备选技术

抽出处理技术

技术原理：根据地下水污染范围，在污染场地布设一定数量的抽水井，通过水泵和水井将污染地下水抽取上来，然后利用地面设备处理。处理后的地下水，排入地表径流回灌到地下或用于当地供水。

适用范围：适用于短时期污染地下水的应急控制，不宜作为场地污染治理的长期手段；可处理多种污染物，但不宜用于吸附能力较强的污染物，及渗透性较差或存在 NAPL（非水相液体）的含水层。

其处理成本与工程规模等因素相关，美国处理成本约为 15-215 美元/m³。优点：简单易行、应用广泛、应用较早、成熟度高。缺点：①不能现场就地修复，对非水溶性的液体几乎不能抽出；②污染源不封闭，停止泵抽后会反弹，持续时间长；③抽出积水处理系统运行需持续的能量供给，定期监测、维护、耗资高；④抽提和回灌对修复区地下水干扰大。

微生物修复技术

技术原理：指利用地下水中土著微生物或人工筛选培养的高效降解菌株，在原地下水环境中来生物降解水中污染物。目前，原位生物修复技术已被普遍认为是最具有发展潜力的地下水绿色修复技术，主要是因为该技术与物理、化学方法相比，有着以下一系列的优点：①同其它原位修复技术相同，修复过程在现场进行，降低了工程造价以及减少了人体直接接触污染物的机会，对环境扰动小；②生物修复可使有机物被降解矿化

为二氧化碳和水，从根本上消除了污染物，解除了对环境和人类的危害风险，修复过程无二次污染；③该技术可与其它地下水污染修复技术相结合，可处理复杂的、高强度的污染；④修复过程易于维护和管理，费用低，仅为传统物理、化学修复的 30%~50%。

植物修复技术

技术原理：直接利用植物把受污染地下水中的污染物（重金属、有机物等）移除、分解或围堵的过程。目前普遍认为利用植物修复的方法，来清除受重金属污染的土地，是一种较便宜且方便的作法。

优点：花费低，适应性广，无二次污染物；缺点：修复周期长，对于深层污染的修复有困难，由于气候及地质等因素使得植物的生长受到限制，存在污染物通过“植物-动物”的食物链进入自然界的可能。

地下水曝气技术

技术原理：在一定压力条件下，将一定体积的压缩空气注入含水层中，通过吹脱、挥发、溶解、吸附-解吸和生物降解等作用将污染物去除。在相对可渗透的条件下，当饱水带中同时存在挥发性有机污染物和可被好养生物降解的有机污染物，或存在上述一种污染物时，可以应用原位曝气法对被污染水体进行修复治理。曝气方式主要分为连续和脉冲曝气两种类型，连续曝气过程地下水中气流分布相对稳定，脉冲曝气方式包含相态重分配过程，这在一定程度上有利于污染物的去除。

适用性：可用于挥发性、半挥发性、可生物降解的不挥发性有机物造成地下水和饱和土壤污染的地方，也可应用于脱水作用（在残留受污土壤中的气体提取）不可行的地方，包括高含水层以及厚的玷污带。

可渗透反应墙技术

可渗透反应墙技术在目前的地下水污染修复中被广泛研究和应用。所谓可渗透反应墙，即在污染地下水流向的垂直方向人工构筑一堵“墙”，根据地下水污染特点，在该“墙”体内安装有污染物吸附剂、氧化/还原剂、螯/络合剂、污染物高效降解菌以及微生物生长所需营养、释氧剂等，并且该“墙”应具有较大的渗透性（至少大于含水层），当污染的地下水流经此“墙”时，污染物或被吸附剂截留固定在吸附填料上，或被氧化剂氧化分解，或被还原剂还原以降低污染风险，或与螯/络合剂反应，污染物（主要是重金属）以螯/络合物稳定形态存在以降低污染危害，或被微生物降解，生成无毒无危害的二氧

化碳和水。

双/多相抽提技术

原理：通过真空提取手段，抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和浮油等到地面进行相分离及处理。

适用性：适用于污染土壤和地下水，可处理易挥发、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场地。

电动修复技术

利用土壤中的电极在污染土壤两端加上低压直流电场，在直流电的作用下，水溶的或者吸附在土壤颗粒表层的污染物根据各自所带电荷的不同而向不同的电极方向运动，使污染物富集再集中得到集中处理或分离。

监测自然衰减技术

技术原理：是利用污染场地天然存在的自然衰减作用使污染物浓度和总量减小，在合理的时间范围内达到污染修复目标的一种地下水污染修复方法。相较于其它修复技术，监控自然衰减技术所需时间较长，需要数年或更长时间。主要成本为场地监测井群建立、环境监测和场地管理费用。根据国外经验，若场地预期监测期程长，监测计划规模大，过程中无法避免采取应变措施，甚至因为监控自然衰减法失败，造成污染物扩散，需重新采取积极性的修复措施等，种种因素均可能造成总整治经费变化很大。

（2）技术比选

初始筛选条件主要包括：

- 1) 修复技术是否能有针对性地处理关注污染物；
- 2) 修复效果的好坏；
- 3) 修复技术否是成熟；
- 4) 成本/效益是否合理；
- 5) 能否和其它修复技术集成；
- 6) 修复技术是否容易获得；
- 7) 修复时间是否允许；
- 8) 修复过程是否对环境和安全产生不利影响；
- 9) 是否需要第三方监测；

10) 是否符合各利益攸关方的要求;

11) 是否满足法律法规的要求等。

为了进一步确定修复技术,根据修复技术筛选条件结合本项目实际情况作以下分析,具体见下表。

表 8.1-4 有机污染土壤修复技术比选

序号	技术名称	修复技术是否容易获得	成熟性	二次污染风险	修复周期	工程投资	修复效果
1	固化/稳定化技术	不易	少量工程应用	高	长	高	差
2	化学氧化技术	容易	较多工程应用	低	短	中	较好
3	土壤淋洗技术	不易	已有工程应用	高	中	较高	一般
4	气相抽提技术	不易	少量工程应用	高	长	中	一般
5	热脱附技术	容易	较多工程应用	低	中	中	较好
6	焚烧	容易	少量工程应用	中	短	高	好
7	水泥窑协同处置技术	容易	较多工程应用	高	长	较高	好
8	原位加热技术	不易	中试阶段	高	长	较高	一般
9	生物通风技术	不易	中试阶段	高	长	较低	一般
10	阻隔填埋技术	容易	较多工程应用	高	短	中	一般

综合考虑技术成熟性、二次污染风险、修复周期、工程投资、修复效果,初步选定化学氧化技术、热脱附技术作为重点比选对象,以下进一步从工程投资单价等角度进行比较。

表 8.1-5 重点有机污染土壤备选技术比选表

序号	技术名称	修复周期	工程投资单价估算	优势	劣势
1	化学氧化技术	视具体工艺涉及规模而定,需综合考虑大棚规模、养护时间、铲斗数量等因素。	1100-1500元/立方米	工艺灵活、大棚可根据处理量加大、设备成本低	养护周期长,对于重污染土壤加药量大,药剂成本可能很高
2	热脱附技术	视具体工艺涉及规模而定,需综合考虑热脱附装置的规格、天然气用量、处理温度、预处理	1050-1450元/立方米	处理效果好,土壤经过简单前处理即可土壤燃烧炉	设备投入、运营成本高、设备故障将导致停工

序 号	技术 名称	修复周期 理规模等	工程投资单 价估算	优势 处理	劣势
--------	----------	------------------	--------------	--------------	----

8.3.3 修复技术建议

修复技术方案需特别注意结合目标场地的建设规划和修复后土地的利用方式,充分考虑场地周边的社区环境和敏感人群。

(1) 确保施工安全

确保污染土壤的清挖、运输、修复和回填等各个环节的人员和环境安全,防止产生污染转移和二次污染,最大程度降低施工过程对环境的长期污染隐患。

(2) 修复污染土壤

解决土壤污染问题,达到修复目标要求,不留环境与安全隐患,保证场地长期使用的安全性。

(3) 修复工程合规

修复工程各项工作均应遵循国家和地方相关法律法规、标准及环保部门批复要求等。同时,加强安全生产管理,切实提高工程项目施工现场安全生产、文明施工的管理水平,最大限度地减少安全伤亡事故,保证施工生产活动的顺利进行,保证工期进度,实现既定的经济目标和社会效益,实现业主与企业的双赢。

(4) 合理组织分区、分步修复与验收回填

采用原地异位修复工艺处理污染土壤,需处理土方量较大,需合理组织分区,分步实施清挖、修复和回填。

(5) 优先选择成本低的修复技术

如果某种污染介质存在几种同时满足以上 4 个条件的修复技术,将优先选择修复成本相对较低的技术。

1、土壤修复技术建议

以上土壤修复技术针对本项目各有其优势和缺点,将有机污染土壤修复方法做了横向的比较,其中各个方法的技术成熟度,修复周期与工程量等都有了较为直观的概述。针对临湘市原农药厂中的污染土壤,建议采用热脱附技术对污染土壤中的有机物进行处理。为了提高热脱附的效果,土壤先进行筛分、破碎、降低含水率、化学氧化等预处理,

初步降低污染物浓度，污染土壤预处理后进行热脱附处理。同时，需做好项目实施过程中的二次污染防控工作。

根据项目地块土壤污染物分布及现场条件拟对临湘市原农药厂污染土壤进行处置，修复深度为 0.5-6m，在设计土壤修复治理方案过程中，建议综合考虑污染物的分布特征和污染物的性质，将修复技术与场地特征有机结合起来。

（1）备选技术一：土壤热脱附修复技术

本项目中主要对厂区内六六六污染土壤进行修复治理，该层以粘土层占主要部分，局部分布有残留建筑基础，均匀性差。这种土质状况不适合原位注入修复技术和土壤淋洗修复技术，建议对有机污染土壤选用原地异位热脱附方案较为经济合理。

（2）备选技术二：原地风险管控

鉴于本项目场地修复后为绿地，建议对污染土壤采用就地风险管控。

2、底泥处理建议

底泥中污染物为砷，建议对底泥脱水后进行稳定化固化处理，原位回填。

3、地表水处理建议

废水塘积水中污染物为砷，建议与施工期废水一起处置。

8.4 再开发利用过程中的建议

8.4.1 污染防控措施

厂区在后期拆除过程中要做好二次污染防范措施，防止现有污染物遗落而影响地块内其他无污染土壤，造成二次污染及补充调查由厂区拆除方承担相应责任。

加强对场地施工过程的监控，环保主管部门参与并监督场地业主对场地的开发施工，定期到场地指导和巡视施工现场，在修复完成后方可进行场地再开发。在将来的土地利用开发过程中，开发企业应建立完善的环境污染管理机构 and 制度，确定专人负责场地开发过程中环境污染保护工作。

对于在构筑物拆除过程中及残留废弃物的处置需要注意：对于废水：拆除活动应充分利用原有雨污分流、废水收集及处理系统，对拆除现场及拆除过程中产生的各类废水（含清洗废水）、污水、积水收集处理，禁止随意排放。没有收集处理系统或原有收集处理系统不可用的，应采取临时收集处理措施。物料放空、拆解、清洗、临时堆放等区

域，应设置适当的防雨、防渗、拦挡等隔离措施，必要时设置围堰，防止废水外溢或渗漏。对现场遗留的污水、废水以及拆除过程产生的废水等，应当制定后续处理方案。

对于固体废物：拆除活动中应尽量减少固体废物的产生。对遗留的固体废物，以及拆除活动产生的建筑垃圾、第Ⅰ类一般工业固体废物、第Ⅱ类一般工业固体废物、危险废物需要现场暂存的，应当分类贮存，贮存区域应当采取必要的防渗漏（如水泥硬化）等措施，并分别制定后续处理或利用处置方案。

对于遗留物料、残留污染物：识别和登记拟拆除生产设施设备、构筑物 and 污染治理设施中遗留物料、残留污染物，妥善收集并明确后续处理或利用方案，防治泄露、随意堆放、处置等污染土壤。

1、土壤污染防治措施

为有效控制场地污染土壤修复过程中的二次污染，减少环境影响，本场地污染土壤的修复过程应采取有效的环境保护措施。

严格确定污染土壤及未污染土壤的清理边界，保证清理土壤质量，将清理出的原有未污染土壤运至未污染土壤堆放场，尽量减少污染土壤的临时存放，严禁堆放于非污染区，防止土壤之间交叉污染，且定时采取洒水等措施控制未污染土壤堆放区的扬尘。严格限制清挖机械的活动范围，防止将污染土壤带离污染区域。

在污染土壤处置与暂存过程中，堆放场周边应设置排水和集水设施，底部应设防渗层，顶部应加盖防雨/防尘膜，减少雨水冲刷、污染物下渗和扬尘。

污染土壤运输过程中，采用吨包袋装土，并使用加装封闭设施的车辆运输，防止运输过程中造成的土壤掉落污染和大气污染。

将修复后自检达标的土壤与污染土壤隔离处置，将达标土壤放置于修复后土壤堆放场，并覆塑料膜防止修复后达标的土壤和污染土壤之间交叉污染，且定时采取洒水等措施控制达标土壤堆放区的扬尘。密切关注国家气象台天气预报，遇到中雨或大雨天气，提前 12 小时用塑料膜覆盖修复后土壤堆放场，并在堆放区挖设衬有敷设布的导水沟，将堆放区域雨水经导水沟进行收集。

2、地下水环境的安全管理与保护措施

为确保地下水安全，主要采取建井检测的措施加以预防。即在开工初期，根据第三方验收单位对地下水检测的布点设计进行地下水检测井的建设。建井完成以后依据地下

水调查和监测技术规范，在开工初期对场区地下水情况做一次施工前污染背景调查，以确定现有地下水污染状况和污染范围。同时，施工过程中，定期对场区布设的地下水监测井进行定点采样检测，采样周期以第三方验收单位的二期验收方案为准，并对周期检测数据进行对比分析，从而对施工过程中地下水质量状况进行评价，进而对施工过程对场区乃至周边地下水的影响情况进行评判。如施工过程中地下水水质状况稳定，或水质状况变化不大，则延续检测工作直至工程结束；如实施过程中，地下水水质状况出现较大波动，或水质状况变差，则立即停工查找原因，并紧急启动应急预案，通过井点降水、简易阻隔、疏通导流沟渠以及调整生产工艺工况参数等措施手段消除影响的加剧，待地下水水质恢复至前期背景水平后，再进行施工作业，并在原有检测周期的基础上进行对半加密检测，以确保施工过程的万无一失。

在地下水监测时，需对地下水的常规指标以及地块内目标污染物进行监测。修复工作完成以后，对场区各地下水监测井统一进行采样检测，完成最终的地下水环保验收，该部分工作由第三方验收单位负责实施。

为了降低污染土壤在雨水淋溶作用对地下水污染的影响，在基坑四周设置排洪沟，收集废水经处理达标后排入排水沟。或者施工过程中，在下雨前，在基坑上部布置遮雨装置，同时周边布置排洪沟，阻止污染雨水流入基坑中。

污土堆置区要做好防渗，防止污土在堆放过程中对无污染区域造成污染。

8.4.2 拆除活动建议

应根据《企业拆除污染防治技术规定》的要求，业主应在修复工程实施之前组织专业第三方对地块内建（构）筑物进行拆除，拆除之前应组织编制《企业拆除活动污染防治技术方案》、《企业拆除活动应急预案》并在实施过程中严格落实方案中的污染防治措施，在拆除活动完成后应组织编制《企业拆除活动工作总结》，并保存好拆除活动中及完成后的环境资料。在拆除活动结束后，业主应组织专业第三方对地块内进行补充采样和调查。

附图附件

一、场地权属相关证明

临湘市自然资源局

关于临湘市原农药厂土壤污染治理项目 用地规划选址意见

岳阳市生态环境局临湘分局：

你单位《关于临湘市原农药厂土壤污染治理项目选址意见的报告》
已收悉，初步选址于临湘市原农药厂内。

工程具体建设内容为：

- （1）场地清理：对现有废弃构筑物拆除，外协处置。
- （2）土壤修复工程：对厂区内砷污染的重金属及有机物超标的土壤进行治理。
- （3）污泥处置工程：对池塘中重金属污泥进行清淤、脱水、固化/稳定化处理后，安全填埋处置。
- （4）生态恢复：项目主体工程完工后，将场地作为第二类用地的绿地，及时进行生态恢复。

原则上同意该项目的前期规划选址意见，本意见仅适用于项目前期开展申报工作适用，后期请依法依规、按程序报批、再用地。

临湘市自然资源局

2020年8月19日



江南镇人民政府

关于临湘市原农药厂地块权属的 证 明

临湘市原农药厂位于江南镇菀湖社区，中心坐标为
E: 113. 289358350, N: 29. 597862731, 占地面积 7.34 万平方米，
自 2008 年 3 月倒闭以后本地块属于江南镇人民政府所有。
特此证明！

2020 年 10 月 28 日



临湘市自然资源局

关于临湘市原农药厂场地规划利用说明

岳阳市生态环境临湘分局：

你局 2021 年 1 月 20 日“关于申请出具临湘市原农药厂场地规划利用的函”已收悉。我市原农药厂位于江南镇菹湖社区，属于陆城港区，中心坐标为 E: 113.289358350, N: 29.597862731，占地面积 7.34 万 m²。本地块现状为建设用地，根据《岳阳市城市规划区绿道系统规划（2018—2035）》，该地块将规划为绿地（G），场地范围拐点坐标见附图。



二、场地环境调查专家评审意见

关于临湘市原农药厂场地环境调查报告 专家评审意见答复

2020年8月,由岳阳市生态环境局会同岳阳市自然资源和规划局在岳阳市组织专家对《临湘市原农药厂场地环境调查报告》(以下简称“调查报告”)进行了评审。项目组根据各位专家对《调查报告》的评审意见进行了修改,并答复如下:

1、完善地块历史沿革,明确地块用地规划及权属。

答复:已完善地块历史沿革,详见P11第3.3.1节;并明确地块用地规划及权属,详见附件2、3。

2、补充地块边界拐点和采样点坐标。

答复:已补充地块边界拐点和采样点坐标,详见P3。

3、补充水文地质资料,明确地下水流向。

答复:已补充水文地质资料,并明确地下水流向,详见P37第3.6节。

4、补充地块挥发性有机物及农药特征污染物检测。

答复:已补充地块挥发性有机物及农药特征污染物检测,根据场地历史沿革,曾在19世纪70年代生产过六六六,故对历史生产区域进行了补充监测,分两次进行布点采样,查明了污染范围,具体监测过程与结果详见P103-110第5.5节。

5、补充底泥酸浸与水浸检测,分析其属性。

答复:已补充底泥底泥酸浸与水浸检测,据调查底泥不属于卫星废物,属于II类一般工业固废,检测结果分析详见P97-98第5.4.2.4节。

6、加强地块超标污染物来源分析,补充超标污染物浓度水平与空间分布图,估算污染土壤方量。

答复:经多次走访场地历史知情人员,已加强地块超标污染物来源分析,详见附件

1. 已补充土壤中污染物浓度水平、空间分布图与方量，其中砷超标浓度水平、空间分布图与污染土壤方量详见 P91-92 第 5.4.2.1 节，六六六超标浓度水平、空间分布图与污染土壤方量详见 P104-110 第 5.5.2 节。

已按意见修改完善。

湖南衡润科技有限公司

2020年 11 月 27 日

万群 戴慧欣

罗林 何书云

万群

三、土壤污染状况调查报告（见分册）

四、检测报告（见分册）

五、地勘报告（见分册）