

湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程风险评估报告 (备案稿)

委托单位：湘潭市生态环境局湘潭县分局

编制单位：圣清环保股份有限公司

编制时间：二〇二〇年七月



项目名称：湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程风险评估报告

编制单位：圣清环保股份有限公司

总经理：魏东升

项目负责人：胡飞

课题组成员：

序号	姓名	职称	专业	学位	分工
1	胡飞	高级工程师	环境工程	硕士	项目负责人
2	易浩	工程师	环境科学	硕士	报告编制
3	孔辉	工程师	环境工程	硕士	现场调查
4	彭德阳	工程师	环境工程	学士	现场调查
5	胡士泉	助理工程师	环境工程	学士	现场取样

《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程污染风险评估报告》评审意见修改说明（2021年4月）

项目名称	湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程	
建设单位	湘潭市生态环境局湘潭县分局	
项目报告类型	风险评估报告	
项目承担单位	圣清环保股份有限公司	
评审专家	汤宏（组长）、陈灿、秦普丰	
专家意见	采纳情况	工作补充及报告修改
专家组评审意见修改说明		
1、评估报告格式符合国家相关规范要求。	是	已采纳
2、补充地下水不需进行风险评估的依据。	是	已修改，详见第四章第一段
3、核实暴露参数等指标的取值及其依据，核实修复目标值及修复范围。	是	已核实暴露参数取值，详见4.8、4.10.2节，修复目标值及修复范围已核实，详见5.3、5.4节
4、不确定分析中应补充说明报告中已采取的减少不确定因素影响的措施和效果，明确评估结果的可信度。	是	已修改，细化不确定分析内容详见4.10节
5、本地块监测数据不符合正态分布，应核实暴露浓度的取值方式。	是	已修改，详见4.3节
6、场调时土壤环境质量标准表1中部分因子未测，应进行相应的分析说明。	是	已补充，详见3.2节

王修改. 陈. 2021.4.16
 汤宏 秦普丰 2021.4.16

摘要

牛头化工有限公司污染土地位于湘潭县易俗河镇，属于牛头化工厂，地块占地面积约 46044 平方米，呈东、西向长条形，北靠一期地块，东北侧为易俗河镇砚井小区及桔子社区，西南侧分布有城塘，周边分布有少量菜地。地块原为湘潭市化工，1970 年后由湘潭县搬至易俗河玉兰北路 68 号，以生产立德粉为主，还生产氯化钡、镉红、镉黄等二十余种产品，生产原料主要为硫酸锌和硫化钡，在早期的生产过程中企业环保意识薄弱，管理水平滞后，污染防治措施不完善，乱倾乱堆，对土壤造成了严重的污染。该企业 2010 年宣告破产，2011 年 3 月，国务院批准《湘江流域重金属污染治理实施方案》，以解决危害群众健康的重金属污染突出问题，进一步优化涉重金属产业结构，全面治理和控制工业污染源。按工作进度，2014 年对牛头化工依法全面停产退出。现根据湘潭县易俗河城区整体规划，牛头化工有限公司污染地块属于第一类建设用地-居住用地。

为保障规划后牛头化工有限公司污染地块用地的环境安全，根据环保部、湖南省环保厅及湘潭市人民政府有关规定，甲方（湖南和清环保科技有限公司）委托圣清环保股份有限公司于 2020 年 7 月期间对牛头化工有限公司污染土地补充风险评估工作，为相关部门了解地块环境状况和合理规划未来土地利用方向提供支撑依据。我司在资料收集、现场踏勘、人员走访和环境调查等工作的基础上，结合场地调查报告得出：牛头化工有限公司污染土地共设置 25 个土壤监测点，送样 177 个土壤样品；共布设 2 个地下水监测井，送样 2 个地下水样品；并送检 1 个地表水样品。现场利用快速检测仪器测定重金属和挥发性有机物作为样品送检的依据；实验室检测的土壤指标主要为：**有机质、含水率、容重、pH、重金属铅、铬、镉、砷、汞、铜、锌、锰、六价铬、钒、铈、铊、挥发性有机物、石油烃**，地下水、地表水指标为：**pH、铅、铬、镉、砷、汞、铜、锌、锰、钒、铈**。

地块环境调查结果：调查区地层岩性比较简单，地块大部分区域自上而下分别为杂填土、粉质粘土、砂砾，杂填土呈灰褐色，上部主要为混凝土路面，底部为杂填土组成，杂填土部分结构密实、稍湿；粉质粘土呈灰黄色，具似网状结构，无摇振反应，稍湿，硬塑，干强度中等，韧性中等；砂砾呈灰褐色，砾石成份主要为石英砂岩、硅质岩等，粒径大于 2 mm 的颗粒占 34 % 左右，一般 2~20 mm，粗者大于 30 mm，级配较差，分布不均匀，孔隙为粗、中

砂及少粘粘性土充填，中密，湿至饱和。

地块浅层地下水埋深为 3.3~4.6m，均值为 3.95m，地块深层地下水埋深为 9.30~10.5m，平均地下水埋深为 9.9m。地下水主要为上层滞水及孔隙潜水，上层滞水主要赋存于杂填土中，受季节影响较大，在雨季对基础施工影响较大，旱季对基础施工影响较小；孔隙水赋存于砂砾土中，径流受砂砾层孔隙、砂砾层起伏、底层的空间条件控制，排泄形式向地块地势低洼处或溪沟排泄汇集至沟谷中，最终排泄至湘江，对深基础施工影响较大。

地块环境监测结果：地块土壤检测结果 pH 范围为 6.29~6.87，土壤基本呈酸性。地块土壤检测结果除 pH 外，污染地块内共检出 10 项指标，分别为镉、铅、锌、汞、砷、铬、铜、锰、锑。对地块内土壤样品检出的指标进行统计分析，污染地块内重金属的检出率基本都大于 50%，总体检出率较高。

地块地下水检测结果除 pH 外，污染地块内共检出 8 项指标，分别为镉、铅、锌、汞、砷、铜、锰、锑，对地块内地下水样品检出的指标进行统计分析，污染地块除 pH 外，镉、铅、锌、砷、锰、锑检出率大于 50%，总体检出率较高。

本地块内共采集 1 个地表水样品，除 pH 外，共检出重金属指标共计 8 项，根据《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III 类标准限值，各指标均未超过地表水标准限值。

地块健康风险评估结果：地块土壤中致癌污染物**镉、砷**对人体的致癌风险分别为 6.57E-05、8.58E-03，其中镉、砷对人体的致癌风险大于可接受致癌风险水平 1.0E-06，超过人体健康风险可接受水平。

地块土壤关注污染中具有非致癌风险的污染物为**镉、锌、砷、锰、锑**，土壤非致癌污染物中**镉、锌、砷、锰、锑**的非致癌风险分别为 9.14E+01、7.63E+00、2.97E+02、1.59E+01、6.63E+02，其中镉、锌、砷、锰、锑的非致癌风险均大于可接受非致癌风险水平危害商值 1，因此，**镉、锌、砷、锰、锑** 5 项指标的非致癌风险大于人体可接受水平。

地块土壤关注污染中基于 IEUBK 模型的土壤铅风险以儿童血铅为准反推土壤中铅的修复目标值。以该地块建设规划后饮用水铅达到生活饮用水标准：10 μg /dL、空气达到环境空气质量标准：1.0 μg /m³、蔬菜达到叶菜类标准：0.2mg/kg 进行风险评估，确定土壤中**铅**含量超过标准限值 539mg/kg 的区域健康风险大于人体可接受水平。

本报告不针对地下水进行污染风险评估。

本报告认为：牛头化工场区地块规划为第一类建设用地-居住用地，根据地块环境调查及风险初步评估结果，本地快存在土壤健康风险超标区域，根据国家《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发[2012]40号）第四项关于“开展被污染场地治理修复”的规定：“地方各级环境保护主管部门会同有关部门，在当地政府的领导下因地制宜组织开展被污染场地治理修复工作，对影响人居环境安全、饮用水安全等污染隐患突出的被污染场地，要优先安排治理；要督促责任人采取隔离等措施，防止被污染场地污染扩散。被污染场地治理修复完成，经监测达到环境要求后，该场地方可投入使用。被污染场地未经治理修复的，禁止再次进行开发利用，禁止开工建设与治理修复无关的任何项目。”因此，建议及时制定地块修复技术报告，指导地块修复，进而再开发利用。

目录

第一章 项目背景	1
第二章 地块概况	3
2.1 自然环境概况	3
2.1.1 气候气象.....	3
2.1.2 地质地貌.....	3
2.1.3 水文条件.....	4
2.2 地块历史沿革	5
2.2.1 地块使用历史.....	5
2.2.2 地块历史生产概况及产污环节.....	5
图 2-1 原地块构筑物平面布局图	6
图 2-2 立德粉生产工艺	8
2.3 地块调查期间现状	9
图 2-3 地块存留设备、废液、废渣现状	10
2.4 地块调查期间周边土地利用现状	10
图 2-4 地块四至关系图	11
表 2-1 地块周边主要敏感目标	11
2.5 地块利用规划	12
图 2-5 地块利用规划图	12
第三章 地块调查方案及结论分析	13
3.1 地块调查范围	13
图 1-1 地块调查范围	13
3.2 地块调查内容	13
3.3 地块采样方案	14
3.3.1 土壤样品采集.....	14
3.3.1.1 布点方案.....	14
表 3-1 地块监测点位信息	14
图 3-2 牛头化工有限公司污染地块监测布点图	15
3.3.1.2 采样深度.....	16
表 3-2 土壤样品采集信息（单位：m）	16
3.3.2 地下水样品采集.....	17
表 3-3 地块各监测井深度及水位信息	17
3.3.3 地表（积）水采集.....	17
图 3-3 地块地表积水采集位置示意图	17
3.3.4 小结.....	18
3.4 地块评价标准	18
表 3-4 土壤总量评价标准地限值（mg/kg）	18
3.5 地块环境监测结果评价	18
3.5.1 地块地质勘察结果分析.....	18
表 3-5 地块土壤理化特性	21
图 3-4 地下水浅层流向图	22
3.5.2 地块土壤检测结果分析.....	23

3.5.2.1 地块土壤重金属检测结果分析.....	23
表 3-6 土壤重金属含量统计表 (mg/kg)	23
表 3-7 牛头化工污染地块土壤监测指标检出情况统计 (单位: mg/kg)	24
表 3-8 牛头化工污染地块内土壤监测结果 (单位: mg/kg)	25
图 3-5 厂区内土壤镉浓度空间分布图 (1m) (单位:mg/kg)	34
图 3-6 厂区内土壤镉浓度空间分布图 (3m) (单位:mg/kg)	35
图 3-7 厂区内土壤镉浓度空间分布图 (5m) (单位:mg/kg)	35
图 3-8 厂区内土壤镉浓度空间分布图 (7m) (单位:mg/kg)	36
图 3-9 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (1m) (单位:mg/kg)	37
图 3-10 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (3m) (单位:mg/kg)	37
图 3-11 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (5m) (单位:mg/kg)	38
图 3-12 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (7m) (单位:mg/kg)	38
图 3-13 厂区内土壤锌浓度空间分布图 (1m) (单位:mg/kg)	39
图 3-14 厂区内土壤锌浓度空间分布图 (3m) (单位:mg/kg)	40
图 3-15 厂区内土壤锌浓度空间分布图 (5m) (单位:mg/kg)	40
图 3-16 厂区内土壤锌浓度空间分布图 (7m) (单位:mg/kg)	41
3.5.2.2 地块土壤有机指标检测结果分析.....	42
表 3-9 土壤有机指标检测结果 (mg/kg)	42
3.5.3 地块周边土壤检测结果分析.....	42
表 3-10 牛头化工厂区周边土壤检测结果 (mg/kg)	43
3.5.4 地下水检测结果分析.....	44
表 3-11 牛头化工污染地块地下水监测结果 (单位: mg/L)	45
表 3-12 牛头化工污染地块地下水监测指标检出情况统计 (单位: mg/L)	45
3.5.5 地表 (积) 水检测结果分析.....	46
表 3-13 地块地表 (积) 水检测结果 (单位: mg/L)	46
3.5.6 小结.....	47
3.6 超标土壤分布范围	48
图 3-17 厂内重金属超标分布范围 (0-2m)	49
图 3-18 厂内重金属超标分布范围 (2-4m)	50
图 3-19 厂内重金属超标分布范围 (4-6m)	50
图 3-20 厂内重金属超标分布范围 (6-7m)	51
第四章 地块土壤污染风险评估	52
4.1 污染风险评估内容和程序	52
4.1.1 评估内容.....	52
4.1.2 技术路线.....	53
图 4-1 地块风险评估程序与内容	53
4.2 污染风险评估关注污染物筛选	54
4.2.1 筛选标准.....	54
4.2.2 土壤关注污染物.....	56
表 4-1 土壤关注污染物筛选 (单位: mg/kg)	56
4.3 关注污染物暴露浓度	57
表 4-2 地块土壤关注污染物暴露浓度 (单位: mg/kg)	57

4.4 污染风险评估概念模型	57
4.4.1 土地利用类型.....	57
4.4.2 敏感受体.....	57
4.4.3 暴露途径分析.....	58
表 4-3 土壤风险评估暴露途径选择	58
4.4.4 风险评估概念模型.....	58
图 4-2 地块风险评估概念模型	59
4.5 暴露评估计算模型	59
4.6 毒性评估	62
4.6.1 毒性描述.....	62
表 4-4 关注污染物理化与毒性参数	64
4.6.2 致癌毒性判定.....	65
4.7 风险表征计算模型	65
4.7.1 单一污染物致癌风险表征的计算如下:	65
4.7.2 单一污染物危害熵的计算如下:	66
4.8 评估模型参数	67
表 4-5 第一类建设用地情境下受体暴露参数	67
表 4-6 第一类建设用地情境下土壤性质参数	69
表 4-7 第一类建设用地情境下空气特征参数	69
4.9 土壤风险表征值计算结果及评估	69
4.9.1 致癌风险评估.....	69
表 4-8 土壤关注污染物的致癌风险	69
4.9.2 非致癌风险评估.....	70
表 4-9 土壤关注污染物的非致癌风险	70
4.9.3 基于 IEUBK 模型的土壤铅风险评估模型	70
图 4-3 地块居民铅暴露概念模型	71
4.9.4 基于 IEUBK 动力学模型的土壤铅风险及控制值	72
4.10 不确定性分析	73
4.10.1 计算模型的不确定性.....	73
4.10.2 地块参数和暴露参数的不确定性.....	74
4.10.3 环境风险贡献率分析.....	74
表 4-10 地块土壤风险暴露途径贡献率 (%)	75
4.10.4 参数敏感性分析.....	76
表 4-11 重金属镉的土壤暴露参数敏感性分析	77
4.11 小结	77
第五章 修复目标值及修复范围建议	78
5.1 风险控制值计算模型	78
5.1.1 基于致癌效应的风险控制值计算模型.....	78
5.1.2 基于非致癌效应的风险控制值计算模型.....	79
5.2 风险控制值计算结果	80
表 5-1 风险控制值计算结果	81
5.3 修复目标值建议	82
表 5-2 土壤关注污染物修复目标值 (单位: mg/kg)	83
5.4 修复范围建议	83

图 5-1 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 铅超标范围	84
图 5-2 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 铅超标范围	84
图 5-3 牛头化工有限公司污染地块土壤-2~-3m 铅超标范围	85
图 5-4 牛头化工有限公司污染地块土壤-3~-4m 铅超标范围	85
图 5-5 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 铅超标范围	86
图 5-6 牛头化工有限公司污染地块土壤-5~-7m 铅超标范围	86
图 5-7 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 镉超标范围	87
图 5-8 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 镉超标范围	87
图 5-9 牛头化工有限公司污染地块土壤-2~-3m 镉超标范围	88
图 5-10 牛头化工有限公司污染地块土壤-3~-4m 镉超标范围	88
图 5-11 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 镉超标范围	89
图 5-12 牛头化工有限公司污染地块土壤-5~-6m 镉超标范围	89
图 5-13 牛头化工有限公司污染地块土壤-6~-7m 镉超标范围	90
图 5-14 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 砷超标范围	90
图 5-15 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 砷超标范围	91
图 5-16 牛头化工有限公司污染地块土壤-2~-3m 砷超标范围	91
图 5-17 牛头化工有限公司污染地块土壤-3~-4m 砷超标范围	92
图 5-18 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 砷超标范围	92
图 5-19 牛头化工有限公司污染地块土壤-5~-6m 砷超标范围	93
图 5-20 牛头化工有限公司污染地块土壤-6~-7m 砷超标范围	93
图 5-21 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 锰超标范围	94
图 5-22 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 锌超标范围	94
图 5-23 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 锌超标范围	95
图 5-24 牛头化工有限公司污染地块土壤-2~-3m 锌超标范围	95
图 5-25 牛头化工有限公司污染地块土壤-3~-4m 锌超标范围	96
图 5-26 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 锌超标范围	96
图 5-27 牛头化工有限公司污染地块土壤-5~-6m 锌超标范围	97
图 5-28 牛头化工有限公司污染地块土壤-6~-7m 锌超标范围	97
图 5-29 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 锑超标范围	98
图 5-30 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 锑超标范围	98
图 5-31 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 锑超标范围	99
表 5-3 地块土壤各土层深度污染指标修复信息	100
表 5-4 地块土壤 0~1m 超修复目标值拐点坐标	100
表 5-5 地块土壤-1~-2m 超修复目标值拐点坐标	100
表 5-6 地块土壤-2~-3m 超修复目标值拐点坐标	101
表 5-7 地块土壤-3~-4m 超修复目标值拐点坐标	102
表 5-8 地块土壤-4~-5m 超修复目标值拐点坐标	103
表 5-9 地块土壤-5~-6m 超修复目标值拐点坐标	104
表 5-10 地块土壤 0~1m 超修复目标值拐点坐标	105
图 5-32 牛头化工有限公司污染地块 0~1m 土壤综合修复区域	106
图 5-33 牛头化工有限公司污染地块-1~-2m 土壤综合修复区域	106
图 5-34 牛头化工有限公司污染地块-2~-3m 土壤综合修复区域	107
图 5-35 牛头化工有限公司污染地块-3~-4m 土壤综合修复区域	107
图 5-36 牛头化工有限公司污染地块-4~-5m 土壤综合修复区域	108

图 5-37 牛头化工有限公司污染地块-5~-6m 土壤综合修复区域108

图 5-38 牛头化工有限公司污染地块-6~-7m 土壤综合修复区域109

第六章 结论与建议	110
6.1 地块环境调查评价结论	110
6.1.1 地块地质、水文条件.....	110
6.1.2 地块污染状况.....	111
6.1.3 地块污染风险评估.....	111
6.2 建议	112
附件 1 建设用地土壤污染风险评估报告评审申请表	114
附件 2 申请人承诺书	116
附件 3 报告编制单位承诺书	117
附件 4 关于湘潭县牛头化工有限公司地块规划用地性质的说明	118
附件 5 湘潭县土地利用总体规划图（局部）	119
附件 6 湘潭市环境保护局《关于<湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程调查报告>的审查意见》	120
附件 7 湘潭市环境保护局《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程 场调报告》技术评审会专家评审意见	122
附件 8 监测报告	123
附件 9 地勘报告	123

第一章 项目背景

牛头化工有限公司污染土地位于湘潭县易俗河镇，属于牛头化工厂，地块占地面积约 46044 平方米，呈东、西向长条形，北靠一期地块，东北侧为易俗河镇砚井小区及桔子社区，西南侧分布有城塘，周边分布有少量菜地。该企业 2010 年宣告破产，现根据湘潭县易俗河城区整体规划，牛头化工有限公司污染地块属于第一类建设用地-居住用地。

牛头化工有限公司自投入生产至今已有 40 多年之久，地块原为湘潭市化工，1970 年后由湘潭县搬至易俗河玉兰北路 68 号，以生产立德粉为主，还生产氯化钡、镉红、镉黄等二十余种产品，生产原料主要为硫酸锌和硫化钡，在早期的生产过程中企业环保意识薄弱，管理水平滞后，污染防治措施不完善，乱倾乱堆，对土壤造成了严重的污染。后又因厂房内储罐、管道、反应釜等设施长期停止使用，已经出现严重的腐蚀和老化，并造成了废液的跑、冒、滴、漏。由于历史政策原因，牛头化工有限公司未对生产废气、废水、废渣治理和管理引起重视，致使该厂区内及厂区外北侧渣场土壤重金属污染严重。

2011 年 3 月，国务院批准《湘江流域重金属污染治理实施方案》，为了解决危害群众健康的重金属污染突出问题，进一步优化涉重金属产业结构，全面治理和控制工业污染源。湘潭县环境保护局按照工作进度，于 2014 年对湖南湘潭县牛头化工有限公司依法全面停产退出。

为保障规划后牛头化工有限公司污染地块用地的环境安全，根据环保部、湖南省环保厅及湘潭市人民政府的有关规定，执行《污染地块土壤环境管理办法》（环境保护部令 第 42 号），根据该办法第二条可知，疑似污染地块是指从事过有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革等行业生产经营活动，以及从事过危险废物贮存、利用、处置活动的用地；需要对疑似污染地块开展土壤环境调查、风险评估、风险管控、治理与修复及效果评估等相关活动。综上所述，需要对牛头化工有限公司污染地块进行地块土壤环境调查和风险评估系列工作。环境风险超过可接受水平的土壤要进行修复，并达到规划用地类型环境质量要求后方可利用。为了确认牛头化工有限公司污染地块是否存在环境健康风险，湘潭县环境保护局委托湖南省亿美有害物质检测有限公司于 2017 年 5 月期间对该地块开展了地块调查工作，考虑到项目已经施工完成，甲方（湖南和清环保科技有限公司）于 2020 年 7 月委托圣清环保股份有限公司对

该地块补充风险评估工作，我公司在资料收集、现场踏勘、人员走访、环境调查和场地调查结论分析等工作的基础上，编制了《湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程风险评估报告》，指导下一步的工作计划。

第二章 地块概况

2.1 自然环境概况

2.1.1 气候气象

调查区属于亚热带季风湿润气候区，四季分明，冬冷夏热，春夏多雨，秋冬干旱，无霜期长。年平均气温 17.5℃，极端最高气温 42.2℃（1953 年 8 月 15 日），极端最低气温-11.1℃（1972 年 2 月 9 日）。年平均相对湿度 81%。年降水量 1200~1450mm，年最大降水量 2081mm(1953 年)，年最小降水量 999.7mm（1968 年）；年平均降雨日 152 d，其中中雨（≥10 mm）年约 20 天，降雨多集中于 4~6 月。每年 11 月至次年 3 月为降雪期，多年平均降雪天数 12.9 d，最大积雪厚度 25 cm。年平均蒸发量 1359.1mm。

区内多年平均风速 2.4m/s，最大风速 28 m/s。常年主导风向 NNW，具有明显季风型，但在 7~8 月份主要以南南东风及南南西风为主，频率 39.1%，平均风 1.9 m/s，最大风速 20 m/s。冬季盛行偏北风，夏季盛行偏南风，春秋两季仍以偏北风居多，年大风日数多在 5-10 天之间。大风以春夏多，秋季少。多年平均降雾日为 20 d，多发生在春冬雨季，最长持续时间为 3 h，折算成满日，年平均 2.5 d。全年无霜期 345 天，年平均日照时数 1262.9 h。

2.1.2 地质地貌

调查区地层岩性比较简单，依据已施工钻孔揭露，地块地层自地面向下依次为：杂填土、粉质粘土、砂砾。各岩土层性质描述如下：

杂填土：灰褐色，上部主要为混凝土路面，底部为杂土组成，杂土部分结构较密实，稍湿。

粉质粘土：灰黄色，具似网纹状结构，无摇振反应，稍湿，硬塑，干强度中等，韧性中等。

砾砂：灰褐色，砾石成份主要为石英砂岩、硅质岩等，粒径大于 2mm 的颗粒占 34 %左右，一般 2~20 mm，粗者大于 30mm，级配较差，分布不均匀，孔隙为粗、中砂及少粘粘性土充填，中密，湿至饱和。

2.1.3 水文条件

1、地表水情况

调查区域内无地表水，调查区西南方向距地块 30 多米处有一池塘。调查区北临湘江，距湘江最近距离仅 300 米左右。湘江既是湘潭县的重要水源，也是企业的纳污水体。湘江是长江水系的主要支流，发源于广西临桂县。湘江河谷开阔，曲流发育，河床纵比降小。河面宽为 400-800m。平均水位 28.89m（1956 黄海高程系统，下同），最高水位 39.67m（1994 年 6 月 18 日），最低水位 25.42m（1996 年 10 月 6 日），最大流量 21100m³/s，最小流量 100m³/s，多年平均流量 2160m³/s，断面日平均流速 0.65m/s，最大平均流速 1.1m/s。多年平均含沙量 0.16kg/m³。丰水期为 4-7 月份，枯水期从 12 月至翌年 2 月份；河床为泥沙间有卵石，比降为 0.045%。湘潭水文站控制湘江流域面积 81638km²。湘江在湘潭市域范围内有涟水和涓水两支流汇入。

2、地下水情况

地块范围地下水主要为上层滞水及孔隙潜水两种类型。

上层滞水：主要赋存于杂填土①中，接受地表水及大气降水的补给，以蒸发、渗流的方式排泄，其水位受季节性影响较大，场区内无地表水分布，勘察期间上层滞水水量较小。上层滞水在雨季对基础施工影响较大，在旱季对基础施工影响较小。在基坑开挖之前建议在地块中施工降水浅井明沟集中抽排地下水，降低地下水位至基坑底部，排除地下水对基坑的影响。

孔隙潜水：赋存于砾砂③中，主要补给来源为上层滞水的渗透补给及同层含水层侧向迳流补给，勘察期间水量一般，其中地下水的径流受砾砂层空隙、砾砂层的起伏、底层的空间条件控制，排泄形式向地块地势低洼处或溪沟排泄汇集至沟谷中，最终排泄至湘江河中。本层地下水埋藏深度较大，对深基础施工的影响较大，在深基坑开挖之前建议在地块中采取集水井等措施抽排地下水降低地下水位至深基坑底部，排除地下水对深基坑的影响。

勘察期间观测到地下上层滞水初见水位埋深 0.50~0.80 米，初见水位标高 42.97~45.69 米；测得孔隙潜水初见水位埋深 9.30~10.50 米，初见水位标高 33.47~36.69 米；测得地下水混合稳定水位埋深为 3.30~4.60 米，混合稳定水

位标高 39.57~42.29 米。

根据该地区类似工程地块经验值，拟建地块砂砾层的渗透系数为 $4.33 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。

2.2 地块历史沿革

2.2.1 地块使用历史

本地快原为湘潭市化工，1970年后由湘潭县搬至易俗河玉兰北路68号，牛头化工占地 46044m^2 ，以生产立德粉为主，还生产氯化钡、镉红、镉黄等二十余种产品，曾为湖南省先进企业。公司生产“牛头牌”立德粉为湖南省出口免检产品，远销多个国家和地区。

由于该企业整体技术水平较落后，能源利用效率低，2010年宣告破产，其氧化锌生产线则租赁继续运行。在牛头化工生产期间，公司对废气、废水、废渣治理和管理不规范，致使该地重金属污染严重。2011年3月，国务院批准《湘江流域重金属污染治理实施方案》，以解决危害群众健康的重金属污染突出问题，进一步优化涉重金属产业结构，全面治理和控制工业污染源。按工作进度，2014年对牛头化工依法全面停产退出。

2014年牛头化工彻底停产后，厂房未拆除，部分设备未退出。现地块西侧主要为办公区及配电室；中间为立德粉生产车间，北侧为原料堆放场、堆存厂房，向南依次为硫酸锌制备车间、立德粉生产及煅烧车间；东侧主要分布有压滤车间及锅炉房、水泵房。且牛头化工厂区内还遗留有废液和固体废弃物，包括厂房地面堆渣、生产遗留废渣、牛头化工产品立德粉、红丹、镉系颜料类残留物等。

2.2.2 地块历史生产概况及产污环节

1、总体布局

地块呈长方形，原为牛头化工厂，根据厂区内建筑分布及功能类型，将厂区划分为三种功能区：第一种为与厂区内污染物有直接联系的车间生产线、原料或成品堆放区等区域，包括图中 1#、5#、6#、7#、8#、9#、10#、11#、12#、14#、16#、17#、18#、19#、20#、23#；第二种为与厂区内污染物无直接

联系的建筑物包括办公楼、办公用品仓库、配电室等，包括图中 2#、3#、4#、13#；第三种为破旧不堪的露天厂房和露天堆放场，包括图中 15#、21#、24#。主要构筑物平面布局见图 2-1。



图 2-1 原地块构筑物平面布局图

2、产品概况

地块主要进行立德粉的生产，又叫锌钡白，其化学成分为 $ZnS \cdot BaSO_4$ 。主要生产设备为还原炉、浸出器、澄清桶、板框压滤机、焙烧炉等。其中硫酸锌可通过用硫酸与氧化锌反应制得，硫化钡可通过重晶石、焦煤粉共同煅烧制得。

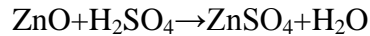
3、主要生产工艺

硫酸锌可通过用硫酸与氧化锌反应制得，硫化钡可通过重晶石、焦煤粉共同煅烧制得。主要生产工艺如下：

(1) 硫酸锌溶液的制备

用氧化锌与稀硫酸反应，在加热情况下可迅速制得粗的硫酸锌溶液。反应

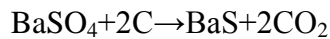
式为：



由于原料中含有铁、铜、镍、镉、以及它们的氧化物等杂质，在与硫酸反应的时候也会形成硫酸盐，如果不除去，就会降低立德粉的白度，影响其质量。除去这些杂质，通常是先在粗硫酸锌的溶液中加入某种氧化剂，例如高锰酸钾、过氧化物等，使溶液中的亚铁离子氧化，从而以三价铁离子的盐类沉淀分离除去；然后再在高温下加入适当的锌粉进一步置换，将铜、镍、锡等离子还原出来沉淀，待冷却后过滤就得到精制的硫酸锌溶液备用。钾、钠等离子的存在对立德粉是无害的，可以不加考虑。

(2) 硫化钡溶液的制备

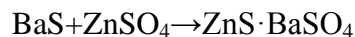
将含硫酸钡大于 95%的天然重晶石与无烟煤先粉碎至直径约 2cm 以下，两者按照质量比 3: 1 的比例均匀混合后在管式炉、转窑等设备中煅烧，在 1000 ℃ 至 1200 ℃ 下进行还原反应，反应产物是呈黑紫色的粉状物俗称“黑灰”，其反应式为：



“黑灰”中含 65%~75%BaS 还含有少量未反应的 BaSO₄、BaCO₃、BaSiO₃，以及煤粉等杂质。必须将这些杂质除去，以免产品质量不纯。方法是将黑灰立即投入水池中溶化，BaS 可溶于水而其余杂质均难溶于水，通过过滤即可除去。滤去杂质的硫化钡溶液备用。

(3) 粗立德粉的制备

将上述制备的精制硫酸锌溶液和精制硫化钡溶液在搅拌下同时往入反应槽中，控制硫酸锌含量大于 28%，pH=8~9，便沉淀出粗立德粉来，反应式为：



反应结束后将其用压滤机进行压滤，并用水洗去可溶性盐，洗液仍回收去制备硫化钡溶液。滤饼是粗立德粉，由于白度、着色力、遮盖力都很低，远达不到作为颜料的要求，还须进行煅烧。

(4) 粗立德粉的煅烧

粗立德粉必须放在焙烧炉中锻烧，锻烧温度控制在 700-750 ℃，使物料加热至暗红色时，迅速投入冷水中骤然冷却。由于剧烈冷却，使其晶形由立方晶系转变为六角晶系，改变了晶形，也就大大改善了立德粉的性质，颜色变为洁白，着色力及遮盖力也大大提高。锻烧后的立德粉经再次粉碎，达到规定的细度包装出厂。

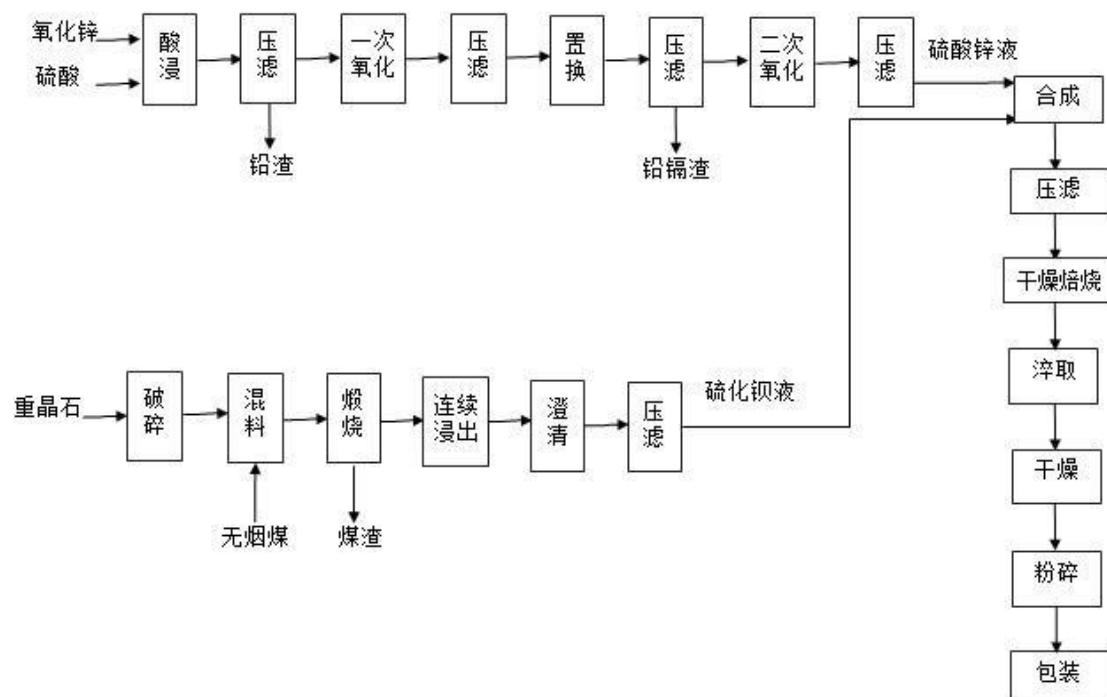


图 2-2 立德粉生产工艺

4、污染源分析

根据湘潭县牛头化工有限公司生产历史，牛头化工主要生产立德粉及镉红等无机颜料。

牛头化工生产立德粉的工艺过程中，产生多种重金属废渣，由于重金属具有较大的分散性和浸出性，废渣堆放过程中将对周边环境造成污染。此外，生产过程产生的含重金属废液，如果处理不完善，也会对环境产生污染。

立德粉生产废渣按其成份主要分为四种：钡渣、铅渣、锌镉渣及煤渣。煤渣来自锅炉和锻烧炉；钡渣来自硫化钡液制取工段；铅渣和锌镉渣分别来源于硫酸锌液制取工段的酸浸和置换后压滤工序。各种废渣的生成量均与各工序原材料的纯度和工艺条件有关。钡渣中各组分的含量因使用的原材料纯度、浸取方法、和生产工艺不同而有所差别，主要成分一般为水分、硫化钡、酸溶钡、

碳素、二氧化硅、氧化铝、硫酸钡等。铅渣中含量较高的是铅和锌，其中铅主要以 PbSO_4 存在，锌主要以 Zn 、 Fe 复合氧化物存在，此外，还有 PbS 、 ZnO 等。锌镉渣的主要成分： ZnO 30~45%； CdO 10~20%。

生产立德粉的主要原料是 ZnO 、 H_2SO_4 、重晶石和煤炭。前二者用于制取 ZnSO_4 。后二者还原锻烧制取 BaS 。精制的 ZnSO_4 溶液与 BaS 溶液经合成、压滤、焙烧、淬冷等步骤即制得立德粉。含 Cd 废渣、废水产生于精制 ZnSO_4 溶液的过程中。用 Zn 粉还原除 Cd 形成锌镉渣；漂洗作业形成含 Cd 、 Zn 、 Pb 、 Mn 等元素的废水。废水中的 Cd 主要是离子态，也可能混有微粒状单质或硫化物。 Cd 含量约为 2mg/L 。锌镉渣中的 Cd 约占 15%。最初大部分呈单质态，但在露天堆放过程中，由于生产中使用 H_2SO_4 ，使厂区经常处于弱酸性环境，在这种环境条件下长期风吹、雨淋、水浸的作用使 Cd 的化学形态发生变化，溶出量和移动性随着堆放的持续而不断增大。由此可见，违章堆放的锌镉渣是主要的污染源，夹杂这种渣粒并含有其它化学形态 Cd 的废水是另一污染源。此外，牛头化工生产镉红、镉黄等颜料过程，也会产生含镉废物。

2.3 地块调查期间现状

在采样期间至报告编制阶段对地块进行踏勘，目前牛头化工厂建筑物仍未拆除，厂房破旧不堪，建筑物地面残留有废渣，存留的设备有搅拌槽、萃取箱、储槽等，设备破旧、生锈，并且部分设备中存留有废液。地块现状见图 2-3。





图 2-3 地块存留设备、废液、废渣现状

2.4 地块调查期间周边土地利用现状

牛头化工有限公司污染地块地块北靠一期地块，北距湘江 300m，东北侧为易俗河镇砚井小区及桔子社区，西南侧分布有城塘，周边分布有少量菜地。其关系见图 2-4，周边主要敏感目标见表 2-3。



图 2-4 地块四至关系图

表 2-1 地块周边主要敏感目标

类别	敏感点	方位	距离 (m)	保护对象
地表水	城塘	西南	32	水体
	湘江	北	300	
文物(地下水)	硯井	北	200	水体
农田	农田、菜地	北	100	农田
居民	硯井社区	北	20	居民
	桔子社区	东	90	
	龙盛华府	东北	30	

2.5 地块利用规划

根据《湘潭天易示范区中长期产业发展规划（2011-2020 年）》（湘潭天易示范区管理委员会 2010 年 12 月），牛头化工有限公司污染地块规划为第一类建设用地-居住用地，见图 2-5。

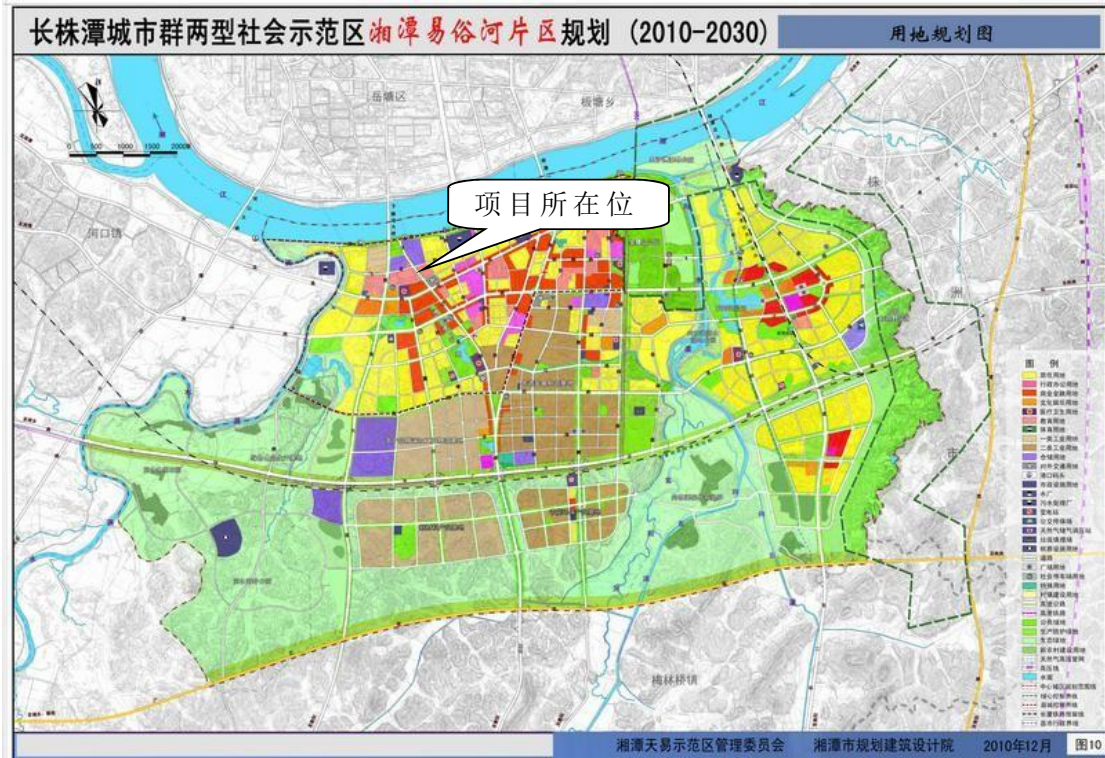


图 2-5 地块利用规划图

第三章 地块调查方案及结论分析

3.1 地块调查范围

本次评估地块隶属于湘潭县易俗河镇牛头化工厂，牛头化工有限公司污染地块占地约 46044m²，地块调查范围见图 1-1。



图 1-1 地块调查范围

3.2 地块调查内容

《建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600）已于 2018 年 8 月 1 日起正式实施，根据标准要求土壤特征污染物应监测该标准表 1 中的 45 项基础项目，而本地块的场地调查时间为 2016 年 11 月~12 月，由于历史生产布局、生产工艺（具体见 2.3.2 节）等资料涉及的特征污染物主要为镉、铅、锌，且一期已完工工程涉及的污染物主要为镉、铅、锌，因此结合搜集的资料、现场勘察及快速测定结果，确定了本地块的监测因子，具体如下所示，

土壤：有机质、含水率、容重、pH、重金属铅、铬、镉、砷、汞、铜、锌、锰、六价铬、钒、锑、铊的总量及其浸出毒性、挥发性有机物、石油烃。

地下水、地表水：pH、铅、铬、镉、砷、汞、铜、锌、锰、钒、锑。

3.3 地块采样方案

2020年7月，我公司按照国家建设用地环境调查和环境监测规范的要求，在参考2017年《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程调查报告》的基础上，进行资料收集和分析，并进行现场踏勘，牛头化工有限公司污染土地地块共设置25个土壤监测点，共采集土壤样品177个，送样172个土壤样品；布设2个地下水监测井，采集送检2个地下水样品；并送检1个地表（积水）样品。现场利用快速监测仪器测定重金属挥发性有机物和石油烃作为样品送检的依据；实验室检测指标主要为：重金属、挥发性有机物（VOCs）、石油烃。

3.3.1 土壤样品采集

3.3.1.1 布点方案

地块共布设25个土壤监测点，采集信息见表3-1，土壤监测布点方案见图3-2。

表 3-1 地块监测点位信息

点位编号	坐标		点位信息	采样类型
	东经	北纬		
A1	112°55'58.00"	27°47'16.21"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A2	112°55'59.11"	27°47'16.84"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A3	112°56'0.25"	27°47'17.53"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A4	112°56'1.14"	27°47'18.08"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A5	112°56'2.40"	27°47'18.80"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A6	112°56'2.58"	27°47'20.34"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A7	112°56'1.53"	27°47'19.70"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A8	112°56'0.49"	27°47'19.13"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A9	112°55'59.33"	27°47'18.50"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A10	112°55'58.28"	27°47'17.92"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A11	112°55'57.30"	27°47'17.28"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A12	112°56'2.39"	27°47'22.20"	牛头化工有限公司污染地块	土壤

A13	112°56'1.66"	27°47'21.32"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A14	112°56'0.02"	27°47'20.30"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A15	112°55'58.51"	27°47'19.52"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A16	112°55'57.23"	27°47'18.76"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A17	112°55'56.17"	27°47'18.16"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A18	112°56'1.03"	27°47'22.71"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A19	112°56'0.14"	27°47'21.95"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A20	112°55'59.02"	27°47'21.23"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A21	112°55'57.92"	27°47'20.65"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A22	112°55'56.74"	27°47'19.99"	牛头化工有限公司污染地块	土壤 </tr <tr> <td>A23</td> <td>112°55'55.49"</td> <td>27°47'19.32"</td> <td>牛头化工有限公司污染地块</td> <td>土壤</td> </tr> <tr> <td>A24</td> <td>112°55'58.42"</td> <td>27°47'22.60"</td> <td>牛头化工有限公司污染地块</td> <td>土壤</td> </tr> <tr> <td>A25</td> <td>112°55'59.04"</td> <td>27°47'25.02"</td> <td>牛头化工有限公司污染地块</td> <td>土壤</td> </tr>	A23	112°55'55.49"	27°47'19.32"	牛头化工有限公司污染地块	土壤	A24	112°55'58.42"	27°47'22.60"	牛头化工有限公司污染地块	土壤	A25	112°55'59.04"	27°47'25.02"	牛头化工有限公司污染地块	土壤
A23	112°55'55.49"	27°47'19.32"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A24	112°55'58.42"	27°47'22.60"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															
A25	112°55'59.04"	27°47'25.02"	牛头化工有限公司污染地块	土壤															

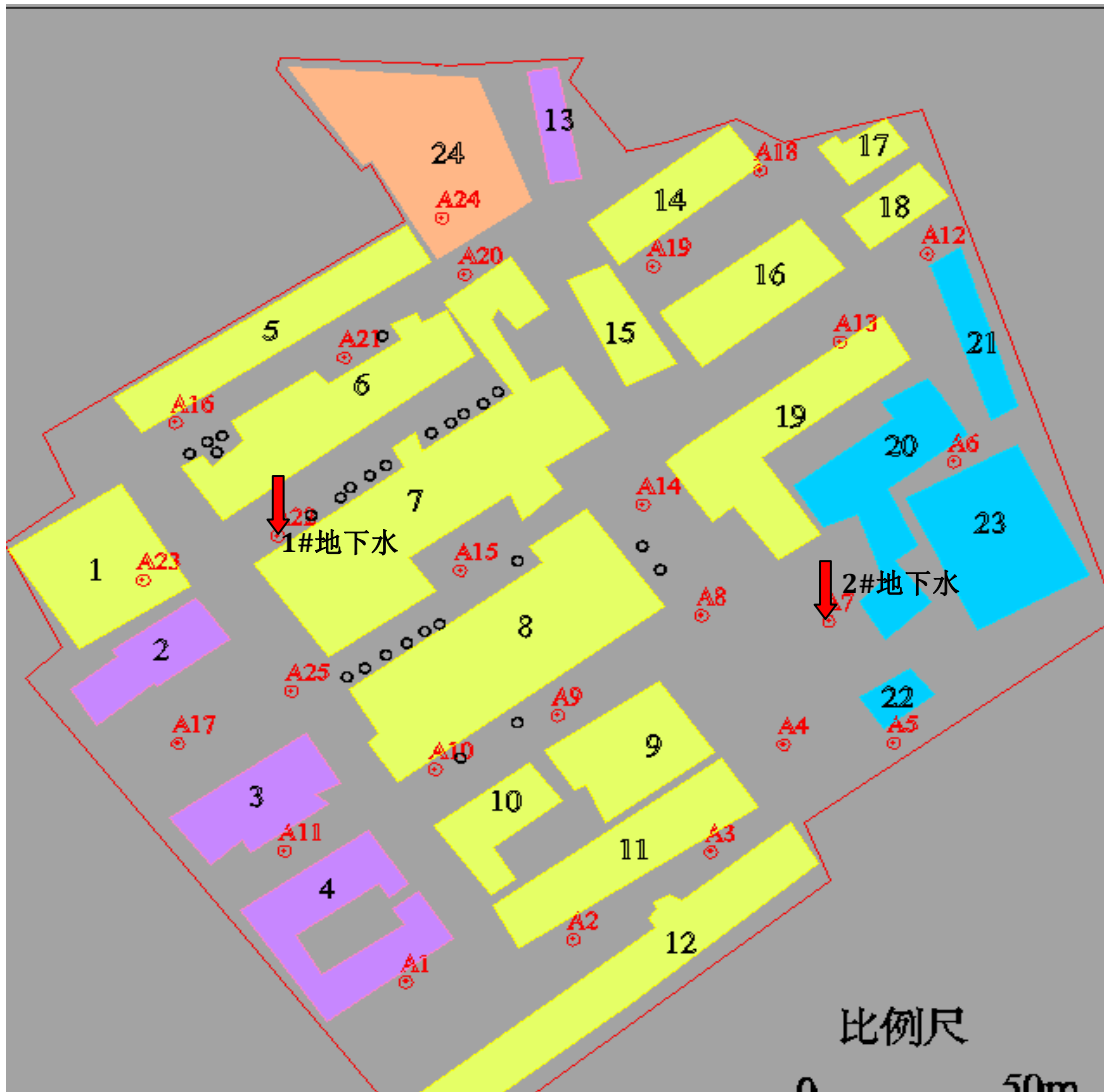


图 3-2 牛头化工有限公司污染地块监测布点图

3.3.1.2 采样深度

根据厂区平面布置，结合现场快速检测仪器 X 射线荧光分析仪（XRF）调整采样深度，采样深度 1-7m 不等。直到 XRF 测定土壤重金属不超出湖南省《重金属污染场地土壤修复标准》(DB43/T 1165-2016) 居住用地标准才能终止采样。

对厂界内污染区域每个点位分 8 层采取重金属检测土壤样品，采样深度分别为：0~50cm、50~100cm、100~200cm、200~300cm、300~400cm、400~500cm、500~600cm、600~700cm；

采样深度按照现场探勘的情况设计，并结合现场情况进行调整。采样时，先除去地面的硬化层，同时根据土壤理化性质、结合现场快速检测仪器 X 射线荧光分析仪（XRF）调整采样深度，保证样品代表性。实际采样深度根据现场土壤 XRF 测定结果而定，各监测点位的送检样品深度见表 3-2。

表 3-2 土壤样品采集信息（单位：m）

点位编号	送样深度	采样深度
A1	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A2	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A3	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A4	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A5	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A6	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A7	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A8	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A9	0~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A10	0~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0	6
A11	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A12	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A13	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A14	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A15	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A16	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0	6
A17	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A18	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A19	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A20	0~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0、4.0~5.0、6.0~7.0	7
A21	0~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0	2
A22	0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7

A23	0~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.0、6.0~7.0	7
A24	0~0.5、0.5~1.0、1.0~1.5、1.5~2.0、2.0~2.5、2.5~3.0、3.0~3.5、3.5~4.0、4.0~4.5、4.5~5.0、5.0~5.5、5.5~6.0、6.0~6.5、6.5~7.0、7.0~7.5	7.5
A25	0~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~6.00	6

3.3.2 地下水样品采集

本地块共建地下水井2个，采集2个地下水样；本地块内各监测井的埋深及水位信息见表 3-3，地下水监测布点方案见图 3-2。

表 3-3 地块各监测井深度及水位信息

序号	监测井编号	地下水埋深	水位标高
1	1#	3.3	40.26
2	2#	4.6	41.13

3.3.3 地表（积）水采集

在地块西南侧城塘布设采集地表水，共计 1 个地表水样品并送样。

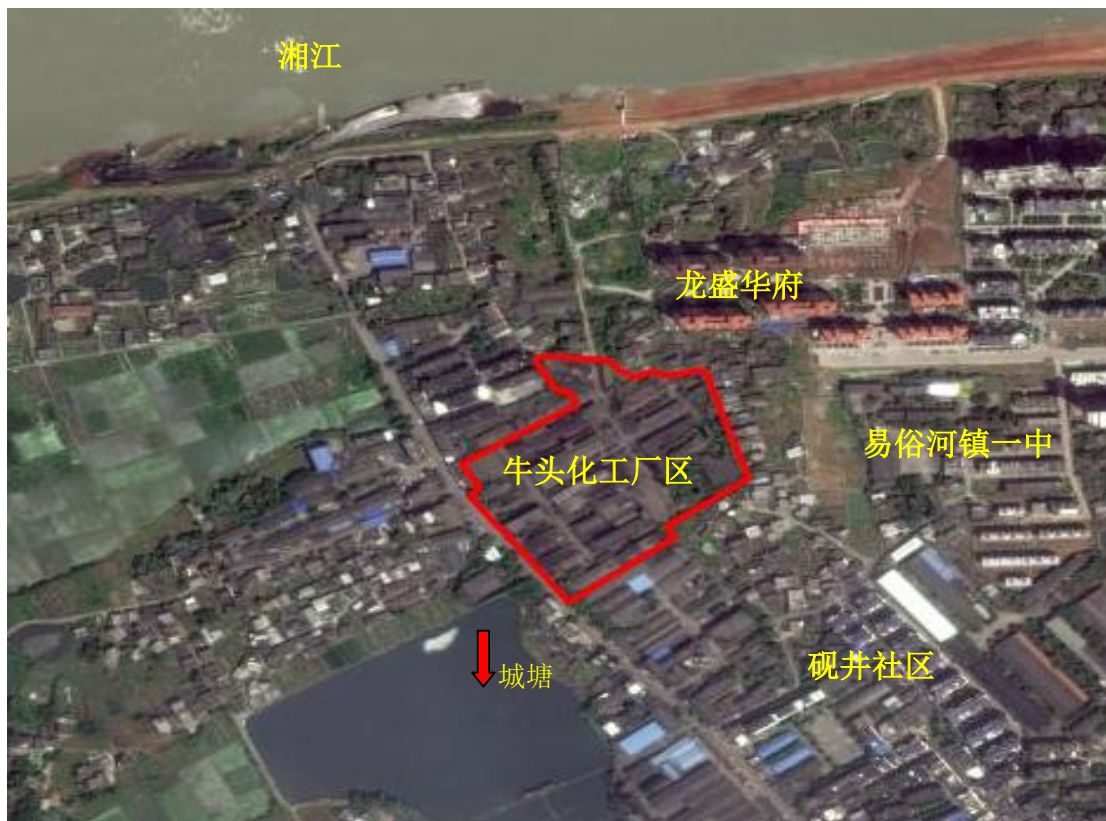


图 3-3 地块地表积水采集位置示意图

3.3.4 小结

牛头化工有限公司污染土地地块共设置 25 个土壤监测点位，共采集土壤样品 177 个，送样 172 个；共布设 2 个地下水监测井，采集送检 2 个地下水样品；并送检 1 个地表（积）水样品。现场利用快速检测仪器测定重金属和挥发性有机物作为样品送检的依据；实验室检测指标主要为重金属、挥发性有机物（VOCs）、石油烃。

3.4 地块评价标准

将检测数据与相应的环境敏感目标保护级别进行评价。根据《湘潭天易示范区中长期产业发展规划（2011-2020 年）》（湘潭天易示范区管理委员会 2010 年 12 月），调查用地未来规划为第一类建设用地-居住用地，土壤样对照湖南省《重金属污染场地土壤修复标准》（DB43/T 1165-2016）居住用地限值，其中铊参照《展览会用地土壤环境质量标准（暂行）》（HJ 350-2007）B 级标准相纸；由于厂区距湘江仅 300 m 左右，且位于湘潭市一水厂、三水厂取水口上游，且距取水口 ≤ 2 km，因此，地下水参照《地下水质量标准》（GB/T 14848-93）III 类标准，地表水参照《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III 类标准。

表 3-4 土壤总量评价标准地限值（mg/kg）

项目	pH 值	镉	铜	锌	砷	镉	铅	镍	锰	汞	铊
居住用地	6~9	30	300	500	50	7	280	50	2000	4	14

3.5 地块环境监测结果评价

3.5.1 地块地质勘察结果分析

1、地质条件

根据现场调查结果和地质勘探报告，牛头化工有限公司污染地块大部分区域自上而下分别为杂填土、粉质粘土、中砂、粉质粘土、强风化泥质粉砂岩、中风化泥质粉砂岩。各岩土层性质描述如下：

1、杂填土

杂填土呈灰褐色，局部地段上覆 0.2~0.3 米的混凝土地面，主要由废渣、建筑垃圾等回填而成，结构松散，密实度差，稍湿至湿。层厚 0.80~6.40 米，层顶标高 39.31~45.61 米，层底标高 35.16~44.16 米。在本次勘察中，此层在拟建地块内均有分布。

2、粉质粘土

粉质粘土呈黄红色、黄白色，具似网纹状结构，下部夹含灰白色高岭土团块，无摇振反应，稍湿，硬塑，干强度中等，韧性中等。层厚 1.00~8.90 米，层顶标高 35.16~44.16 米，层底标高 32.10~37.59 米。在本次勘察中，此层在拟建地块内均有分布。

3、中砂

中砂呈土黄色，成份主要为长石、石英，粒径大于 0.25mm 的颗粒超过总量的 50%，夹含大量粉细砂及少量砾石，中密状态，湿至很湿。层厚 1.60~7.40 米，层顶标高 32.10~37.59 米，层底标高 27.71~33.89 米。在本次勘察中，此层在拟建地块内均有分布。

4、粉质粘土

粉质粘土紫红色，系基岩风化残积成因，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，切面无光泽反应，稍湿-湿，硬塑。层厚 0.50~1.70 米，层顶标高 27.71~33.89 米，层底标高 26.51~33.11 米。在本次勘察中，此层在拟建地块内均有分布。

5、强风化泥质粉砂岩

强风化泥质粉砂岩呈紫红色，粉砂质结构，泥质胶结，中厚层状构造，节理裂隙发育，岩芯成块状、饼状、短柱状，裂隙面见黑色铁锰质氧化物浸染，遇水易软化崩解，属极软岩，岩体较破碎，岩体基本质量等级 V 级。揭露此层的钻孔均揭穿该层，控制层厚 3.20~4.80 米，层顶标高 26.51~33.11 米，层底标高 23.21~29.21 米。在本次勘察中，此层在拟建地块内均有分布。

6、中风化泥质粉砂岩

中风化泥质粉砂岩呈紫红色，粉砂质结构，中厚层状构造，泥质胶结，岩芯多呈长柱状，节长在 20cm-30cm 之间，多呈闭合状，裂隙面见铁锰质氧化物浸染，岩石的基本质量指标 $RQD=81\sim 89$ ，属软岩，岩体较完整，岩体基本质量等级IV级。此层在地块钻孔中均有揭露，控制层厚 3.10~5.90 米，层顶标高 23.21~29.21 米，控制层底标高 19.56~25.71 米。在本次勘察中，此层在拟建地块内均有分布。

2、土壤理化特性

为了了解土壤理化性质，对项目地块监测点位的土壤样品进行基本理化特性测定，根据监测点的土壤理化特性监测结果，土壤pH在6.29~6.87之间，均值为6.58，总体来看，土壤基本属于偏酸性土；土壤容重为1.52~1.68g/cm³，均值为1.61g/cm³；天然含水量为19.2%~25.8%，均值为22.3%；天然孔隙比为0.615~0.791，均值为0.698。

表 3-5 地块土壤理化特性

采样点位	pH (无量纲)	土壤容重 (g/cm ³)	天然含水量 ω (%)	天然孔隙比 e
最小值	6.29	1.52	19.2	0.615
最大值	6.87	1.68	25.8	0.791
平均值	6.58	1.61	22.3	0.698

3、水文条件

项目所在地北离湘江较近，约 300m，湘江具有丘陵缓坡山溪河流特性，水量充沛，年径流量大，受降水影响较大，具有较强的稀释自净能力。

本项目地块的调查结果显示，采样期间，地块浅层地下水埋深为 3.3~4.6m，均值为 3.95m，地块深层地下水埋深为 9.30~10.5m，平均地下水埋深为 9.9m。根据地块地勘资料中地下水监测井相对高程及初见水位情况，判断该地块地下水流向。数据结构分析显示，地块浅层地下水流向由西北流向东南侧；呈现由湘江向地块方向流动的趋势，流动情况受湘江影响较大。地块浅层地下水流向示意图见图 3-4。

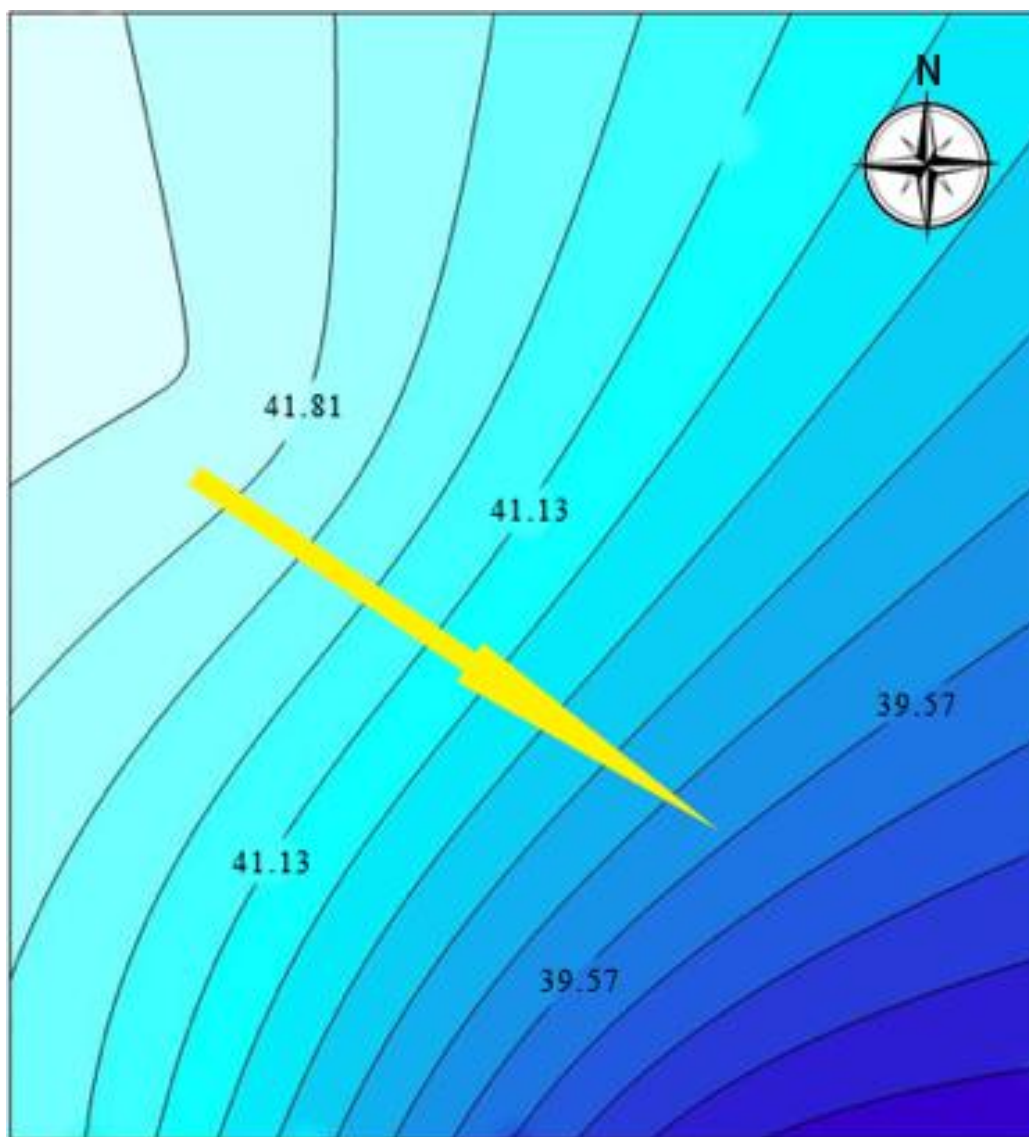


图 3-4 地下水浅层流向图

3.5.2 地块土壤检测结果分析

3.5.2.1 地块土壤重金属检测结果分析

1、土壤重金属含量

对取得的岩芯中土壤样品的重金属总量检测数据异常值与实验人员进行核实，根据情况进行复测或者经审查后进行剔除，最后对筛选后的数据进行统计计算。除铊之外的重金属参照《重金属污染场地土壤修复标准》（DB43/T 1165-2016）居住用地限值，重金属铊参照《展览会用地土壤环境质量标准（暂行）》（HJ 350-2007）B级标准限值，对牛头化工厂区内土壤重金属含量最大值、最小值及均值统计如表 3-6 所示：

表 3-6 土壤重金属含量统计表（mg/kg）

	极小值	极大值	均值	标准限值	均值超标倍数
Pb	2.90	30300	835.43	280	1.98
As	3.01	4050	92.78	50	0.86
Cd	0.20	1388	113.42	7	15.20
Hg	0.00	42	0.77	4	/
Cr	2.18	321	71.38	400	/
Mn	14.10	9296	550.04	2000	/
Cu	0.60	1130	61.66	300	/
Zn	57.50	122000	4437.55	500	7.88
Sb	0.23	13500	96.09	30	2.20
Tl	0.301	9.35	1.46	14	/

由上表可知，牛头化工厂区内土壤 Pb、As、Cd、Zn、Sb 均值分别超过《重金属污染场地土壤修复标准》（DB43/T 1165-2016）居住用地限值 1.98 倍、0.86 倍、15.20 倍、7.88 倍、2.20 倍，其余重金属指标均值均未超出《重金属污染场地土壤修复标准》（DB43/T 1165-2016）居住用地限值，铊未超出《展览会用地土壤环境质量标准（暂行）》（HJ 350-2007）B 级标准限值。

2、土壤重金属监测数据及检出情况

地块土壤检测结果见表 3-8，除 pH 外，污染地块内共检出 10 项指标。对地块内土壤样品检出的指标进行统计分析（表 3-7），污染地块内重金属的检出率基本都大于 50%，总体检出率较高。

表 3-7 牛头化工污染地块土壤监测指标检出情况统计（单位：mg/kg）

监测指标	最大值	最小值	检出率（%）
pH（无量纲）	9.98	3.59	100
总石油烃（C>16）	57.74	51.16	100
镉	1388	0.21	100
铅	9640	2.8	100
锌	4437.55	60	100
汞	42	0	83
砷	4050	3	100
铬	320	12	97
铜	756	3	98
锰	9296	20	100
铈	13500	0.3	100
铊	9.35	0.3	100

表 3-8 牛头化工污染地块内土壤监测结果（单位：mg/kg）

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A1	1	7.12	454	45.5	1.39×10 ₃	0.28	48	1.84×10 ₃	81	605	6.9	3.36
A1	2	7.25	72.8	121	15.3	0.32	104	1.34×10 ₃	39	355	1.8	0.326
A1	3	6.89	61.6	14	576	0.24	52	640	18	1.27×10 ₄	1.5	0.88
A1	4	6.93	58.8	8.5	3.17×10 ₃	0.2	48	500	15	235	1.8	0.868
A1	5	7.37	53.2	3	41.2	0.12	36	400	12	170	1.2	0.498
A1	6	6.55	64.4	4	88.2	0.12	36	400	12	110	0.6	0.462
A1	7	5.23	81.2	5.5	103	0.08	36	220	27	80	0.6	0.75
A2	1	8.02	207	32.5	55.8	0.2	52	760	78	3.94×10 ₃	1.2	1.25
A2	2	7.58	179	26.5	41.3	0.12	32	500	21	1.06×10 ₃	1.2	1.58
A2	3	5.2	112	33	40.18	0.002(L)	12	340	18	765	0.9	0.565
A2	4	7.45	300	22	46.7	0.002(L)	320	740	39	2.06×10 ₃	0.9	1.94
A2	5	6.45	56	23.5	37.6	0.002(L)	48	420	18	135	0.9	0.48
A2	6	6.22	47.6	18.5	37.2	0.24	44	380	15	145	0.6	0.52
A2	7	5.82	42	12.5	37	0.52	44	400	14.7	170	0.6	0.583
A3	1	7.83	171	25.5	833	0.12	36	360	15	1.14×10 ₃	4.2	1.11
A3	2	6.88	67.2	23	64.7	0.08	40	180	21	205	1.2	0.572
A3	3	6.62	39.2	13	37	0.002(L)	44	60	20.8	165	0.9	0.53
A3	4	6.21	53.2	20	115	0.24	24	80	18	145	0.9	0.925
A3	5	6.22	61.6	9	40.8	0.4	56	60	27	360	0.6	0.323
A3	6	6.72	50.4	20	51.7	0.28	52	80	24	135	0.6	0.948

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A3	7	6.75	33.6	15.5	56.8	0.04	40	100	23.8	70	0.3	0.433
A4	1	8.09	33.6	24.5	417	0.002(L)	40	840	23.9	195	1.5	0.754
A4	2	7.34	30.8	17.5	40.3	0.002(L)	44	660	18	180	1.2	0.541
A4	3	7.37	39.2	22.5	40.3	0.002(L)	40	540	21	135	1.2	0.862
A4	4	7.52	36.4	24.5	169	0.002(L)	44	400	20.9	135	0.9	0.766
A4	5	6.77	39.2	16	294	0.04	48	480	20.8	140	0.89	0.628
A4	6	6.98	58.8	15	275	0.002(L)	36	360	24	140	0.91	0.8
A4	7	6.84	67.2	14.5	342	0.08	5.0(L)	340	27	145	0.9	0.483
A5	1	6.03	356	46	1127	0.32	52	760	96	2.83×10 ₃	2.4	2.09
A5	2	6.74	47.6	40.5	5.46	0.84	124	840	30	680	2.1	0.744
A5	3	7.12	42	22.5	560	0.12	56	620	12	290	2.1	0.972
A5	4	7.02	53.2	25.5	84.7	0.2	52	740	36	370	1.5	0.825
A5	5	5.83	58.8	16	47.2	0.12	44	840	57	480	1.2	0.714
A5	6	5.77	58.8	15	53.9	0.08	48	680	48	345	1.8	0.712
A5	7	4.51	56	14	57	0.04	48	760	30	210	1.5	0.698
A6	1	8.53	333	25.5	51.2	0.32	36	820	27	2.01×10 ₃	29.7	1.69
A6	2	9.12	70	28.5	56	0.28	48	640	21	245	26.7	0.721
A6	3	9.28	67.2	24.5	61.3	0.12	52	460	15	240	16.2	0.775
A6	4	6.38	67.2	19	58.4	0.16	52	380	18	200	3.9	0.745
A6	5	4.56	64.4	15.5	56.2	0.16	56	260	24	120	1.5	0.586
A6	6	4.95	58.8	13	47.9	0.28	68	200	30	185	0.9	0.832
A6	7	4.77	39.2	5.5	39.2	0.24	100	180	36	245	0.9	0.812

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A7	1	8.29	448	60	68.9	0.12	48	920	168	3.58×10 ₃	19.5	2.23
A7	2	7.62	28	26	34.7	0.84	48	640	18	90	17.1	0.301
A7	3	6.76	44.8	24.5	60.2	0.08	44	120	15	60	15.6	0.665
A7	4	6.29	42	23.5	48.5	0.08	48	140	15	90	14.4	0.805
A7	5	4.8	39.2	22	37.1	0.08	48	100	15	120	13.2	0.73
A7	6	5.93	44.8	20.5	39.1	0.08	52	80	21	185	12.3	0.766
A7	7	6.28	53.2	18.5	39.4	0.2	52	74	21	250	10.8	0.791
A8	1	7.99	8.4	29	2.59	0.4	72	1.88×10 ₃	9	130	3.3	0.799
A8	2	7.32	53.2	25.5	0.21	0.002(L)	5.0(L)	200	1.0(L)	230	2.7	0.795
A8	3	6.08	11.2	22	1.75	0.44	28	160	3	170	3.3	0.851
A8	4	5.91	2.8	21.5	0.21	0.16	52	140	6	70	2.1	0.781
A8	5	6.09	8.4	20	0.28	0.6	92	220	15	90	1.8	0.719
A8	6	6.28	16.8	19.5	0.21	1.48	128	160	12	100	2.4	0.689
A8	7	6.14	14	21.5	0.7	0.56	104	180	15	95	0.9	0.784
A9	表层	5.66	9.38×10 ₃	20.5	315	0.36	40	9.30×10 ₃	96	6.75×10 ₄	108	5.76
A9	1	7.68	106	27	16.8	0.36	68	420	51	3.59×10 ₃	12	0.84
A9	2	8	5.6	18.5	23.5	0.44	112	380	21	1.21×10 ₃	3.9	0.903
A9	3	5.7	2.8	18	13.3	0.52	140	80	21	365	5.1	0.351
A9	4	4.91	8.4	27.5	5.11	0.32	160	79	24	225	2.4	0.791
A9	5	5.33	44.8	25	7.07	0.28	40	140	18	450	1.2	0.93
A9	6	5.42	16.8	23	5.53	0.08	168	80	21	175	1.5	0.818
A9	7	5.12	14	18	8.19	0.28	188	100	30	335	0.9	0.444

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A10	表层	7.18	8.43×10 ₃	28.5	420	0.68	44	2.94×10 ₃	339	6.85×10 ₄	28.2	6.72
A10	1	7.23	47.6	85	3.22	0.002(L)	96	220	27	385	5.1	0.945
A10	2	7.09	28	26	4.83	0.002(L)	104	180	24	345	3.3	0.991
A10	3	7.03	39.2	49.5	5.6	0.002(L)	104	179	21	375	0.9	0.889
A10	4	6.33	30.8	87.5	2.66	0.04	128	178	21	310	0.6	0.89
A10	5	6.88	64.4	78.5	4.27	0.12	116	160	18	245	0.3	0.867
A10	6	6.59	28	85	1.82	0.44	120	159	21	130	0.6	0.978
A11	1	8.69	75.6	22	12.9	0.52	24	1.24×10 ₃	24	605	1.5	0.499
A11	2	8.01	238	14.5	38.2	0.76	28	1.10×10 ₃	15	555	1.5	0.387
A11	3	7.13	98	25	12.8	0.002(L)	44	120	42	310	1.5	0.988
A11	4	6.62	42	20	12.1	0.002(L)	236	260	27	360	1.2	0.945
A11	5	6.76	81.2	19.5	2.8	0.08	212	40	30	155	0.6	0.809
A11	6	5.6	75.6	18.5	0.49	0.002(L)	168	20	21	85	0.9	0.924
A12	1	9.98	297	33.5	63.6	0.32	40	1.56×10 ₃	24	1.16×10 ₃	8.7	2.59
A12	2	9.52	218	30.5	48.3	0.12	36	60	15	315	7.2	0.799
A12	3	9.35	176	22.5	34.7	0.28	40	100	15	345	1.8	0.814
A12	4	5.12	134	6.5	32.4	0.002(L)	44	260	18	410	0.9	0.604
A12	5	4.67	28	20	27.1	0.04	140	60	15	75	0.9	0.946
A12	6	4.86	30.8	13.5	34.7	0.037	108	40	18	95	0.6	0.921
A12	7	4.61	30.8	12	39.6	0.041	52	60	21	150	0.3	0.621
A13	1	6.69	252	60	190	0.12	48	940	54	3.04×10 ₃	17.4	0.718
A13	2	6.88	171	81	168	0.08	52	680	42	1.63×10 ₃	14.7	0.915

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A13	3	6.72	658	32	51.1	0.16	44	460	657	930	15.6	3.99
A13	4	5.88	294	39	50.1	0.12	40	560	156	285	11.7	2
A13	5	4.75	25.2	49.5	47.8	0.24	36	120	24	95	3.6	0.618
A13	6	4.72	89.6	19.5	46.2	0.08	36	100	21	140	1.2	0.802
A13	7	5.07	78.4	18	39.6	0.08	40	240	15	240	0.9	0.571
A14	1	9.98	5.29×10 ₃	17	336	0.48	44	3.60×10 ₃	105	4.96×10 ₄	41.1	4.24
A14	2	8.2	604	23.5	51	0.36	28	140	18	800	12	2.29
A14	3	5.7	605	10.5	35	0.28	120	160	30	6.20×10 ₃	7.8	2.96
A14	4	5.42	294	21.5	60.2	0.24	12	100	15	330	13.5	1.76
A14	5	5.02	174	26	54.9	0.24	32	100	12	275	3.3	0.664
A14	6	5.53	5.40×10 ₃	23	55	0.12	36	100	15	340	2.4	5.5
A14	7	5.21	230	16.5	63.6	0.08	48	100	15	275	1.5	0.578
A15	表层	5.42	6.84×10 ₃	25.5	56.2	0.4	112	1.92×10 ₃	252	9.13×10 ₃	19.5	5.34
A15	1	7.26	456	55.5	72.8	0.32	48	980	96	2.12×10 ₃	2.7	2.09
A15	2	7.08	184	12.5	186	0.24	96	120	51	3.00×10 ₄	3	0.53
A15	3	6.15	299	11	46.4	0.2	140	180	18	885	2.1	1
A15	4	5.25	308	9.5	46.9	0.002(L)	36	120	12	355	2.1	1.46
A15	5	4.95	246	9	94.5	0.56	72	180	30	410	2.09	1.9
A15	6	4.55	176	6.5	68.3	0.04	84	140	24	275	1.2	1.34
A15	7	4.2	42	16	31.7	0.16	124	100	21	155	2.1	0.677
A16	1	6.06	98	21.5	112	0.002(L)	136	180	30	170	2.1	0.648
A16	2	6.35	512	26	503	0.12	112	280	63	2.08×10 ₄	1.5	2.55

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A16	3	6.4	86.8	35.5	7.91	0.002(L)	148	180	33	110	1.49	0.667
A16	4	6.53	5.6	22.5	6.23	0.04	76	120	6	75	1.2	0.579
A16	5	6.56	81.2	55	7.35	0.32	120	80	21	85	1.8	0.548
A16	6	6.65	106.4	64.5	4.97	0.04	200	40	30	110	1.8	0.59
A17	1	6.95	5.54×10 ₃	23	324	1.4	52	140	120	4.90×10 ₄	6.6	8.34
A17	2	6.22	165	73.5	52.4	0.96	48	141	123	1.65×10 ₃	5.4	0.832
A17	3	3.59	42	15	53.6	0.8	20	200	135	1.22×10 ₃	3.3	0.812
A17	4	3.87	109	9.5	53.6	0.4	20	160	78	635	2.1	0.435
A17	5	3.95	173	5	54.8	0.002(L)	48	200	12	310	1.2	0.867
A17	6	4.29	98	6	61.3	0.04	48	180	18	285	1.19	0.874
A17	7	4.11	207	4	72.8	0.12	44	120	66	280	0.9	0.797
A18	1	7.69	168	93.5	51.3	6.08	36	220	33	1.68×10 ₄	237	0.45
A18	2	7.88	744	65.5	93.1	2.12	68	480	63	2.48×10 ₄	23.4	3.46
A18	3	7.78	1.98×10 ₃	254	987	2.68	140	1.46×10 ₃	99	1.50×10 ₄	8.7	5.26
A18	4	5.45	1.61×10 ₃	205	170	0.4	60	1.38×10 ₃	123	6.70×10 ₃	1.8	6.3
A18	5	5.56	221	35	60.2	0.04	92	360	18	345	2.4	0.769
A18	6	5.69	156	13.5	54.3	0.037	72	540	15	260	1.2	0.949
A18	7	4.48	81.2	12.5	50.1	0.035	48	60	12	130	0.9	0.781
A19	1	9.3	1.87×10 ₃	26.5	805	0.76	5.0(L)	1.12×10 ₃	384	7.62×10 ₃	83.7	5.34
A19	2	8.22	1.85×10 ₃	22.5	67.4	0.24	40	620	111	285	25.5	0.634
A19	3	6.44	61.6	10.5	33.3	0.002(L)	48	420	24	130	12.6	0.503
A19	4	6.4	56	12.5	30.8	0.04	44	520	30	205	5.7	0.815

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A19	5	6.84	42	14.5	27	0.12	32	580	33	145	3.3	0.759
A19	6	6.2	56	27.5	29.4	0.04	40	560	36	165	3	0.985
A19	7	6.33	67.2	16	25.9	0.2	44	460	30	185	1.8	0.75
A20	表层	6.53	9.64×10 ₃	33	38.5	42	44	2.36×10 ₃	756	9.45×10 ₄	1.35×10 ₄	8.37
A20	0.5	6.55	7.17×10 ₃	2.38×10 ₃	60.9	31.1	56	1.76×10 ₃	624	1.81×10 ₄	1.19×10 ₃	5.12
A20	1	7.49	4.70×10 ₃	725	527	3.6	56	1.34×10 ₃	510	1.51×10 ₄	96.6	9.35
A20	5	4.71	666	468	42	0.002(L)	160	220	48	1.63×10 ₃	26.4	3.57
A20	7	4.54	537	329	37.5	0.04	204	240	45	1.35×10 ₃	6.3	3.42
A21	表层	6.67	3.08×10 ₃	343	31.7	0.32	44	1.26×10 ₃	138	2.86×10 ₃	38.7	6.03
A21	1	6.67	352	19.5	40.1	0.8	76	680	54	4.26×10 ₃	7.8	1.5
A21	2	4.48	78.4	31.5	41	0.64	88	460	27	2.60×10 ₃	3	0.603
A22	1	7.63	61.6	206	42.7	0.002(L)	72	360	27	8.89×10 ₃	12.6	0.838
A22	2	5.72	14	31.5	3.5	0.16	192	120	30	5.70×10 ₃	6.6	0.819
A22	3	7.54	114	26	28	0.28	180	140	30	1.39×10 ₃	2.1	0.32
A22	4	5.6	81.2	31	55.3	0.48	24	260	15	1.86×10 ₃	1.5	0.681
A22	5	4.62	53.2	28.5	48.5	0.04	36	240	33	2.05×10 ₃	1.2	0.806
A22	6	4.32	19.6	29	9.24	0.04	112	240	30	1.36×10 ₃	0.9	0.719
A22	7	4.51	53.2	23.5	9.1	0.12	96	160	30	1.28×10 ₃	0.6	0.784
A23	表层	6.15	22.4	397	1.96	0.44	52	60	18	165	10.2	0.899
A23	1	5.79	11.2	45	14.2	0.56	56	260	12	125	9	0.693
A23	2	5.74	5.6	56	20.3	0.53	64	400	9	95	5.7	0.704
A23	3	5.66	11.2	69	7.98	0.56	128	200	30	110	1.8	0.778

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A23	4	6.3	19.6	17.5	1.4	0.54	124	360	18	135	1.5	0.717
A23	5	6.84	14	15.5	10.4	0.47	96	620	15	130	1.2	0.755
A23	6	7.04	8.4	17	24.4	0.53	92	460	18	150	0.9	0.731
A23	7	7.84	28	12.5	42.9	0.56	104	459	21	160	1.2	0.803
A24	表层	6.58	3.02×10 ⁴	298	669	0.32	136	600	1.13×10 ³	1.22×10 ⁵	756	8.11
A24	0.5	6.49	618	136	1.17×10 ³	0.12	128	500	69	4.88×10 ³	17.7	0.948
A24	1	5.16	36.4	48.5	29.4	0.12	12	480	1.0(L)	1.09×10 ³	12.9	0.832
A24	1.5	5.24	2.8	54.5	26.8	0.12	5.0(L)	481	1.0(L)	730	6.3	0.946
A24	2	5.3	123	46	202	0.92	124	460	36	4.75×10 ³	3	0.844
A24	2.5	5.53	176	41.5	387	0.6	100	461	42	9.26×10 ³	2.7	0.461
A24	3	4.26	8.4	49.5	34.3	0.002(L)	32	459	3.0.	935	2.4	0.96
A24	3.5	5.58	53.2	18.5	37	0.002(L)	164	440	33	4.14×10 ³	2.7	0.736
A24	4	4.9	663	14	35.9	0.04	108	160	39	1.72×10 ³	2.7	0.903
A24	4.5	4.99	39.2	19	34.5	0.002(L)	92	320	27	1.88×10 ³	2.4	0.904
A24	5	5.26	22.4	42.5	31.2	0.002(L)	88	720	24	2.06×10 ³	3	0.879
A24	6.5	5.19	2.8	32.5	3.08	0.002(L)	5.0(L)	560	1.0(L)	1.32×10 ³	2.1	0.977
A24	7	5.53	128	47.5	32.6	0.08	60	240	21	2.25×10 ³	2.4	0.511
A24	7.5	5.42	89.6	35.5	28.6	0.002(L)	80	680	27	1.98×10 ³	1.2	0.405
A25	表层	6.34	5.60×10 ³	825	305	7.52	40	3.94×10 ³	699	1.14×10 ⁴	60	6.1
A25	1	6.52	2.04×10 ³	4.05×10 ³	102	0.24	64	780	9	590	46.8	4.49
A25	2	5.86	392	1.05×10 ³	123	0.36	56	820	12	685	24	1.78
A25	3	5.59	64.4	23	112	0.24	48	860	12	750	21.9	0.692

采样点位	采样深度 (m)	pH 值	Pb	As	Cd	Hg	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb	Tl
A25	4	5.55	67.2	40.5	135	0.32	44	900	18	845	16.8	0.528
A25	5	5.72	70	41.5	130	0.24	36	980	21	990	18.3	0.827
A25	6	5.94	1.37×10 ₃	255	205	0.32	16	1.66×10 ₃	171	3.52×10 ₃	4.5	4.16

3、土壤主要超标重金属分布情况

对主要超标因子铅、镉、锌的空间分布情况统计如下图 3-5~3-16，图中颜色从蓝到红表示重金属污染程度逐渐增大。

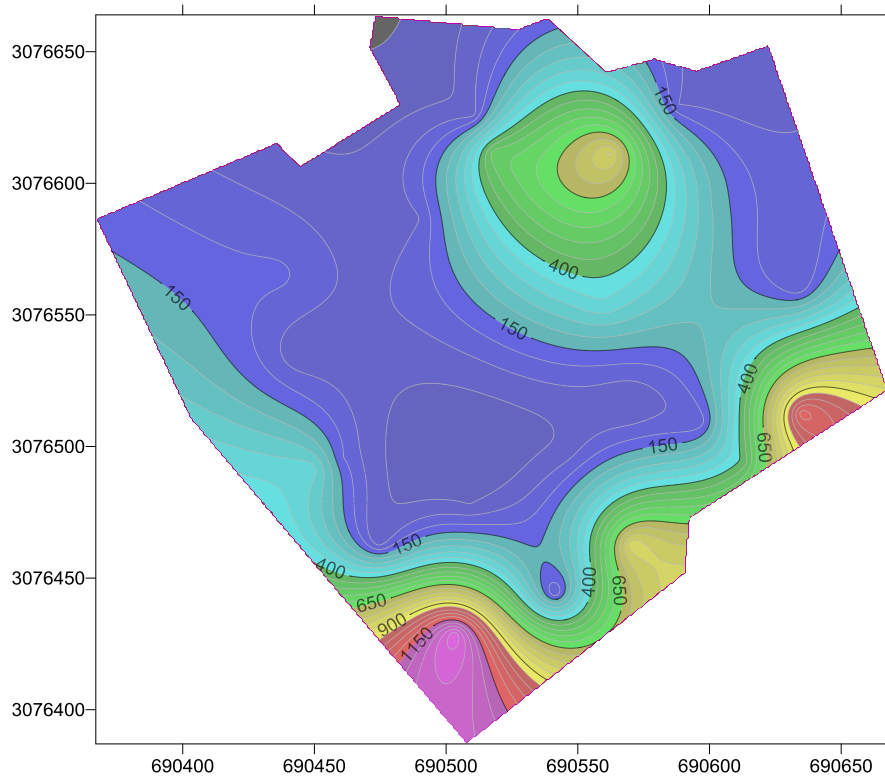


图 3-5 厂区内土壤镉浓度空间分布图 (1m) (单位:mg/kg)

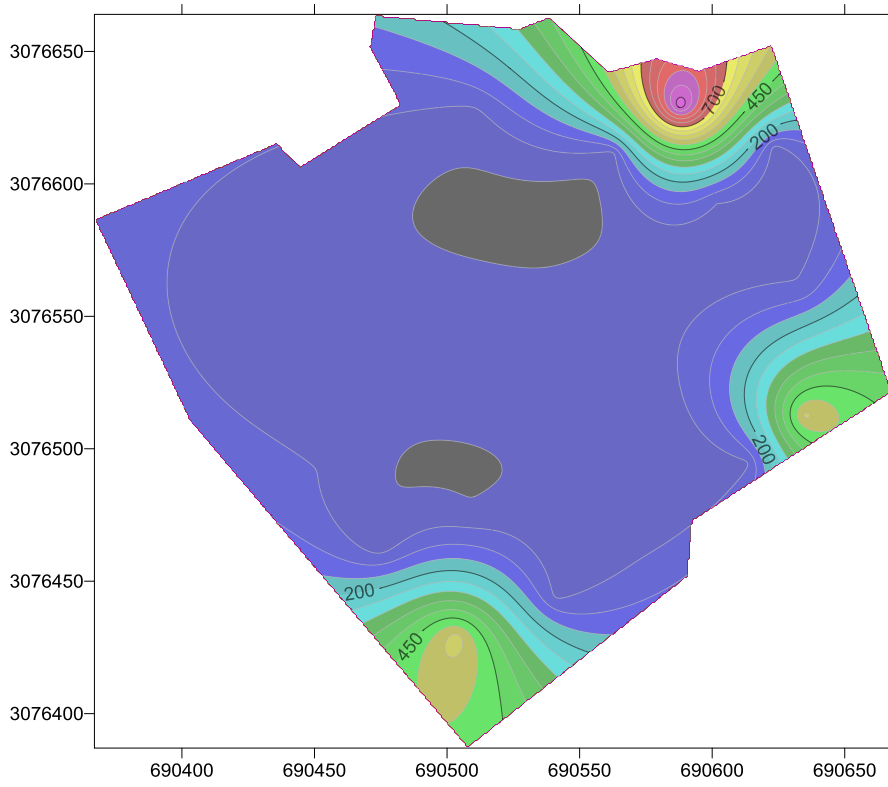


图 3-6 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (3m) (单位:mg/kg)

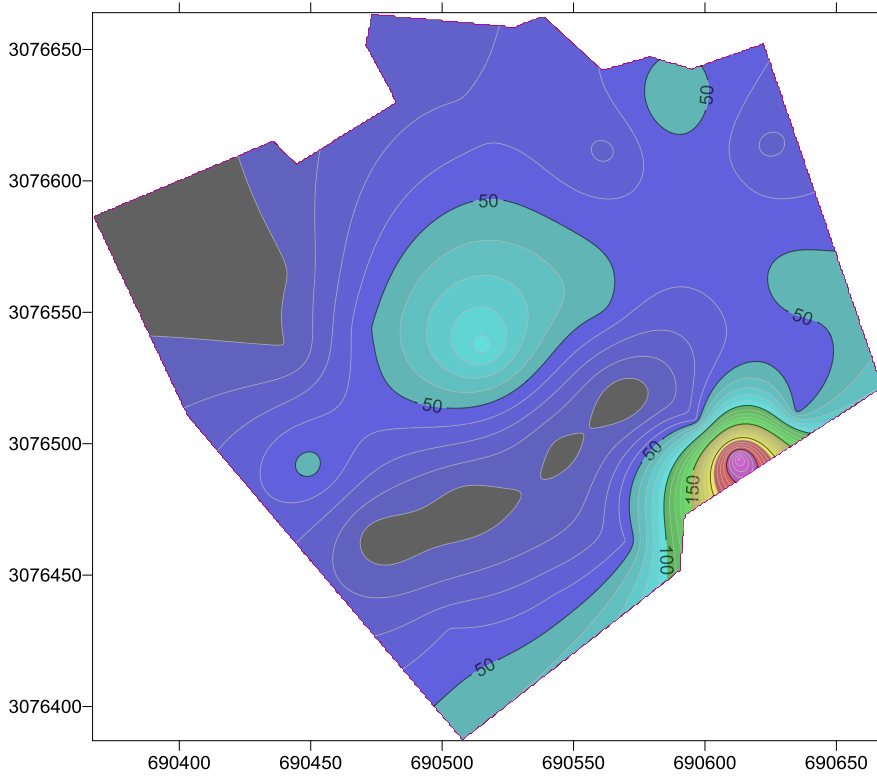


图 3-7 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (5m) (单位:mg/kg)

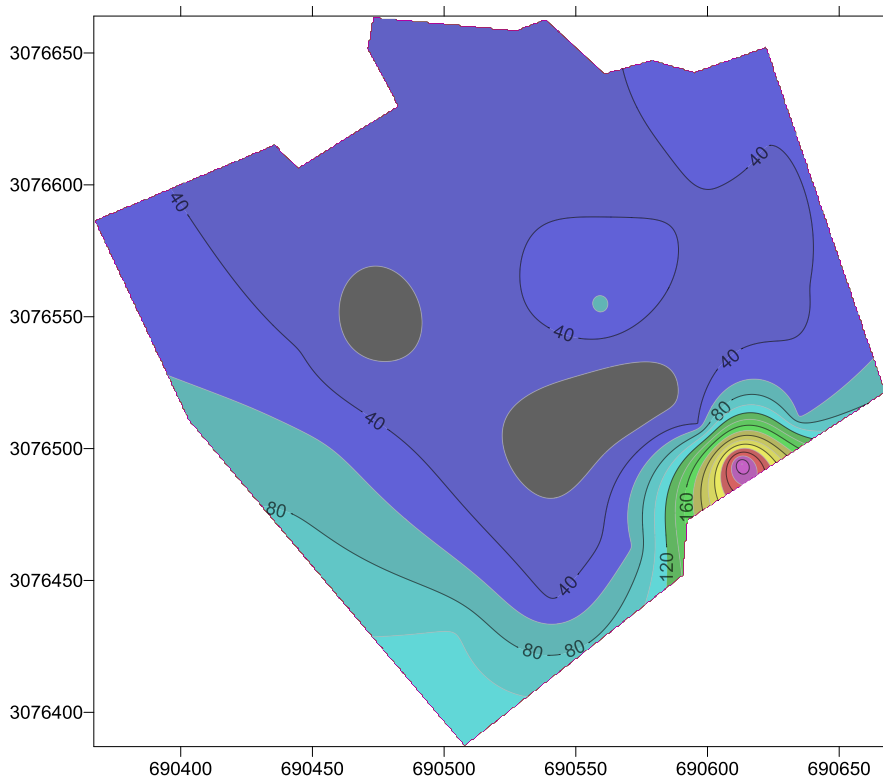


图 3-8 厂区内土壤镉浓度空间分布图（7m）（单位:mg/kg）

由厂区内不同深度土壤镉浓度空间分布图可知，镉含量在区内含量普遍较高，超出《湖南省重金属污染场地土壤修复标准》（DB43/T 1165-2016）居住用地限值（7mg/kg），污染区域主要集中在南北两侧，镉超标区域从上往下面积稍有减小，在深度为7m的位置，镉超标仍然严重。分析原因：一方面为当地土壤背景值含量较高，另外跟镉红镉黄生产过程中产生的三废有关。

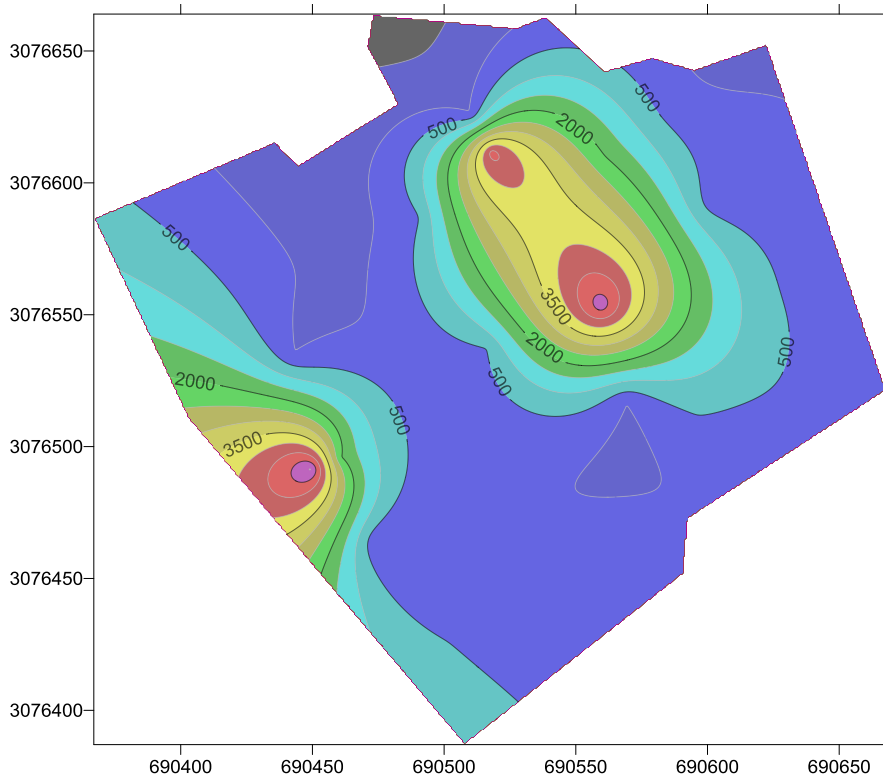


图 3-9 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (1m) (单位:mg/kg)

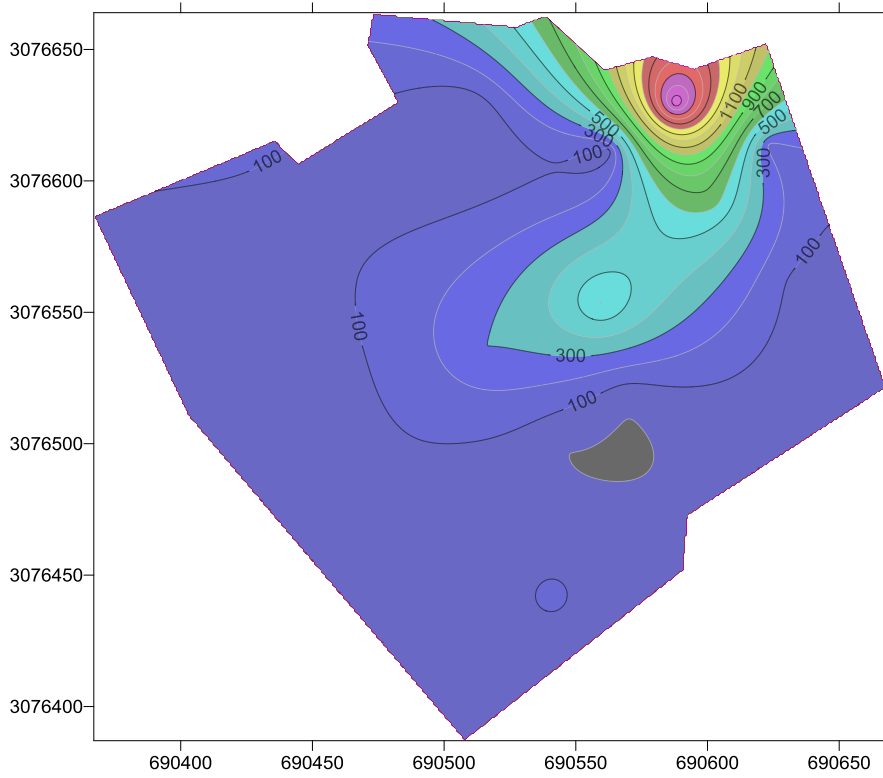


图 3-10 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (3m) (单位:mg/kg)

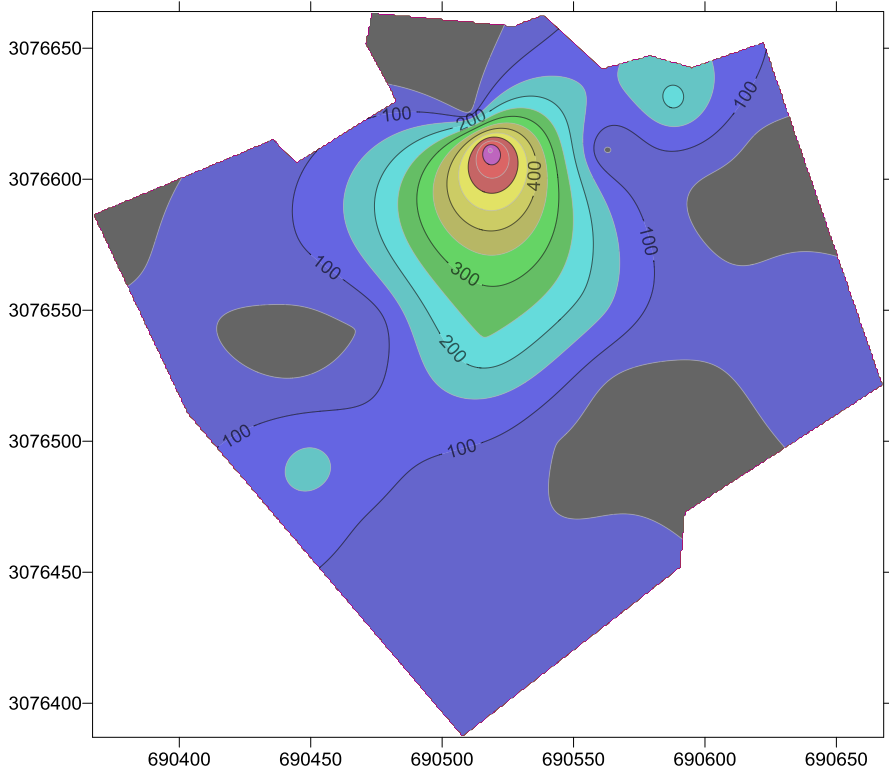


图 3-11 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (5m) (单位:mg/kg)

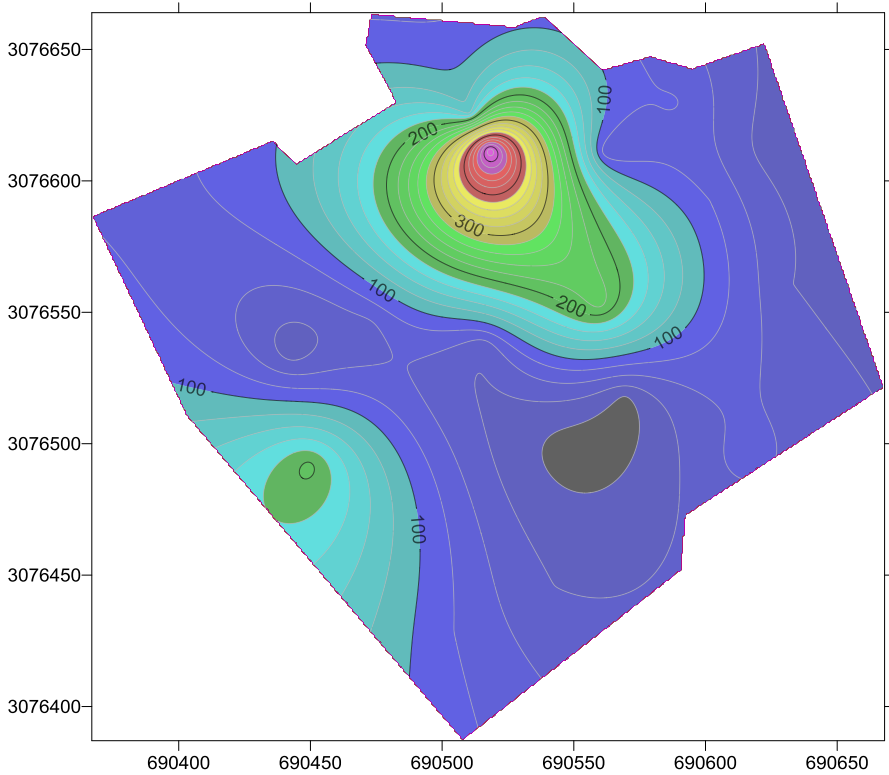


图 3-12 厂区内土壤铅浓度空间分布图 (7m) (单位:mg/kg)

由厂区内不同深度土壤铅浓度空间分布图可知，铅在西侧配电车间，中北部堆料机间、钡粉压滤车间、实验室等区域含量较高。在下层最大浓度值分布于矿石露天堆场含量在区内含量普遍较高，超出《湖南省重金属污染场地土壤修复标准》限值（280mg/L），深层土壤超标区域面积明显减小，在深度为 7m 的位置，主要为矿石堆场附近。

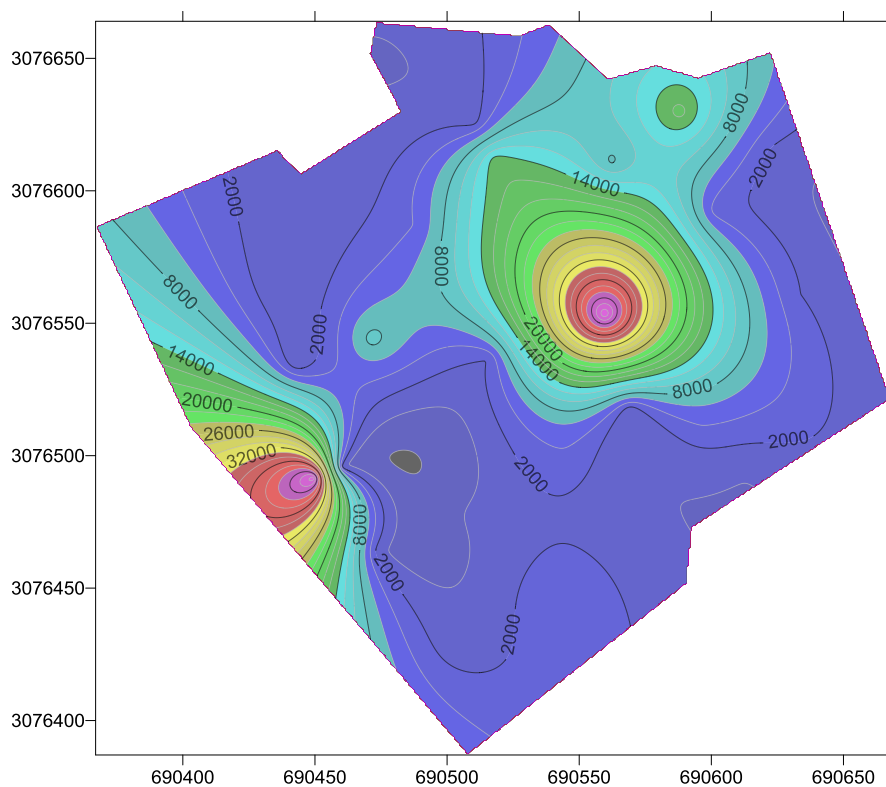


图 3-13 厂区内土壤锌浓度空间分布图（1m）（单位:mg/kg）

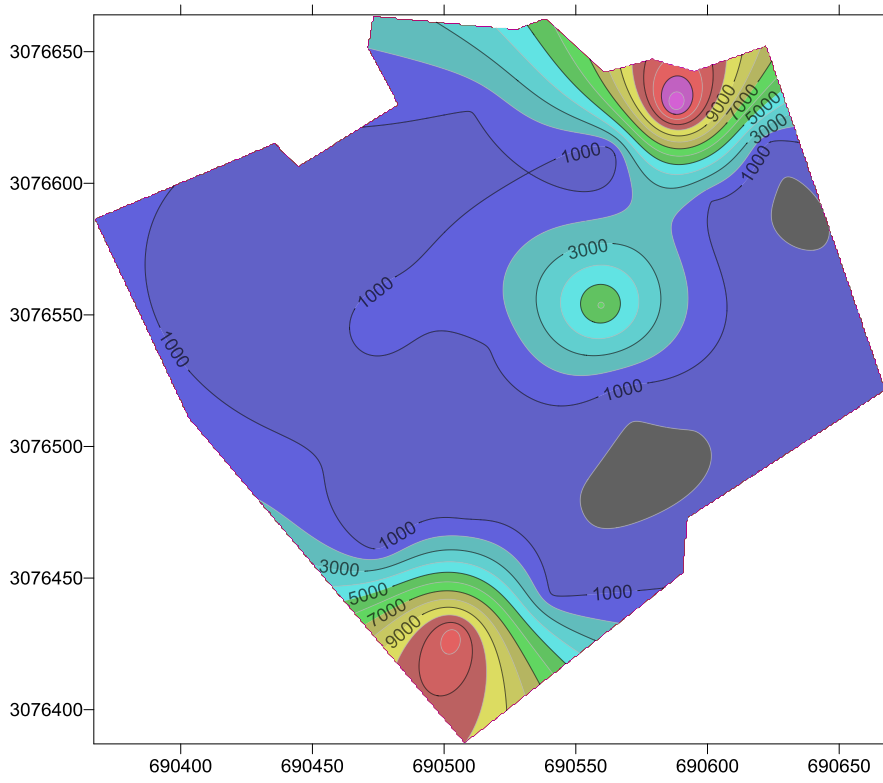


图 3-14 厂区内土壤锌浓度空间分布图 (3m) (单位:mg/kg)

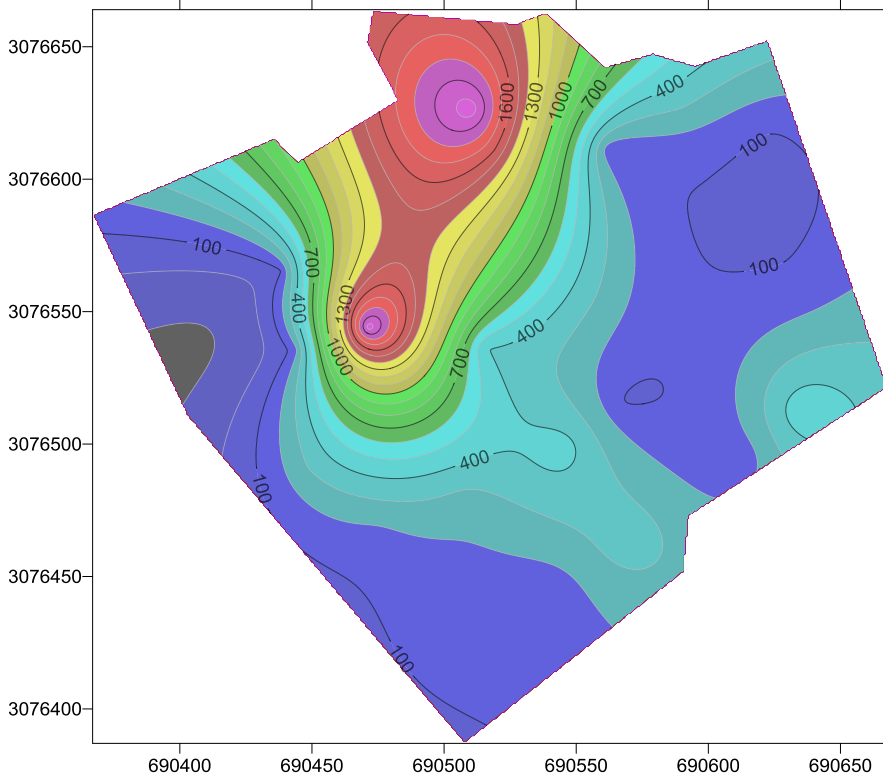


图 3-15 厂区内土壤锌浓度空间分布图 (5m) (单位:mg/kg)

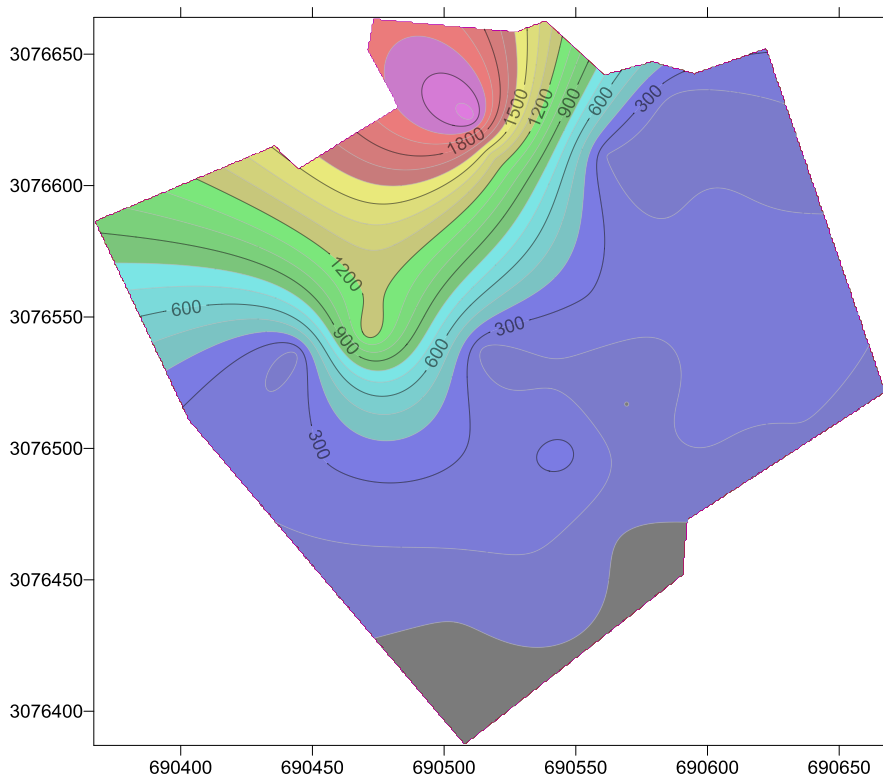


图 3-16 厂区内土壤锌浓度空间分布图（7m）（单位:mg/kg）

由厂区内不同深度土壤锌浓度空间分布图可知，锌污染区域在不同深度分布范围有所差异，在上层（1m、3m）主要集中在厂区东西侧的氧化锌原料堆放区、办公区、氧化锌窑炉实验室；下层则主要集中在北侧硫酸锌制备车间、露天堆矿区、压滤车间等范围，向下污染程度明显减小，在深度为7m的位置，除了北侧露天堆放场附近，其余区域重金属含量基本达标。分析原因：上层表层锌污染可能主要来源于大气及原料堆存，酸化区域更有利于锌向深层迁移。

总的来说，重金属污染程度在平面上存在明显分区，在厂区中部、北部硫酸锌酸化车间、压滤车间、实验室等区域土壤重金属污染程度明显高于东西侧办公区、锅炉房等区域。随着深度增加，土壤中重金属含量有明显降低趋势，土壤颗粒叫细小，质地较密，因为重金属大多是阳离子，土壤颗粒为带负电荷的粒子，土壤对金属粒子具有吸附作用。这一现象在北侧矿石露天堆放地块体现不明显的原因是，堆放场下方主要为人工素填土、渣土，质地较松散，有利于污染物的迁移扩散。

3.5.2.2 地块土壤有机指标检测结果分析

对厂区内代表性土壤样品中的挥发性有机物，石油烃指标检测结果如下表 3-9 所示：

表 3-9 土壤有机指标检测结果 (mg/kg)

指标	石油烃	挥发性有机物
表层	51.16	$5.0 \times 10^{-3}(L)$
下层	57.74	$5.0 \times 10^{-3}(L)$

《全国土壤污染状况评价技术规定》中规定了石油烃总量标准值为 500mg/kg，牛头化工土壤石油烃总量远远低于标准值。样品中未检出挥发性有机物。可见厂区内不存在有机污染，这与牛头化工生产工艺中无有机原料有关，土壤中有有机物的来源可能主要来源于燃油滴漏及燃烧过程。

3.5.3 地块周边土壤检测结果分析

为分析牛头化工污染地块的污染成因及确定污染范围，对牛头化工厂区外围进行补充监测，因除牛头化工厂厂区外围北侧外，其余外围方向均为居民区，且地面均已硬化，因此不具备在其他外围方向采样的条件。因此，仅对厂区北侧的菜地进行土壤样品的采集与检测，厂区周边土壤共检出 8 项指标，镉、铅、锌、砷、锰、锑检出率均大于 50%，总体检出率较高，距离厂区越近，土壤中重金属含量越大。对照湖南省《重金属污染场地土壤修复标准》(DB43/T 1165-2016)，厂区北侧 1#、2#土壤重金属铅、镉、锌、砷超标严重，超标倍数可达几十倍。而与厂区相隔较远(距离 500m 左右)的 3#取样点除砷超标外，其余重金属指标均未超标。检测结果如下表 3-10 所示：

表 3-10 牛头化工厂区周边土壤检测结果 (mg/kg)

	铈	铜	锌	砷	镉	铅	锰	汞
1#表层	57.1	186	/	378	183	3439	1034	2.17
1#下层	276	418	6482	1076	177	1.83×10 ⁴	1279	4.6
2#下层	17.2	85	1427	165	24.4	883	919	2.92
3#下层	4.66	49	423	81	13.4	174	759	0.259

3.5.4 地下水检测结果分析

地块地下水检测结果见表 3-11，除 pH 外，污染地块内共检出 8 项指标，对地块内地下水样品检出的指标进行统计分析（表 3-12，污染地块除 pH 外，镉、铅、锌、砷、锰、锑检出率大于 50%，总体检出率较高。地下水样品中检出的重金属有锑、锌、砷、镉、铅、锰。其中，1#水样锌、镉、锰分别超出《地下水质量标准》（GB/T 14848-93）III类标准限值的 5.5 倍、0.96 倍、50.7 倍；2#水样锌、镉、锰分别超出《地下水质量标准》（GB/T 14848-93）III类标准限值的 2.17 倍、2.87 倍、18.7 倍。

表 3-11 牛头化工污染地块地下水监测结果（单位：mg/L）

	pH 值	镉	铜	锌	砷	镉	铅	锰	汞
1#	6.59	6.54×10^{-4}	0.010(L)	6.5	0.009	0.0196	0.0396	5.17	4.00×10^{-5} (L)
2#	6.32	3.01×10^{-3}	0.010(L)	3.17	0.011	0.0387	6.37×10^{-3}	1.97	4.00×10^{-5} (L)

表 3-12 牛头化工污染地块地下水监测指标检出情况统计（单位：mg/L）

监测指标	最大值	最小值	检出率 (%)
pH (无量纲)	6.59	6.32	100
镉	0.0387	0.0196	100
铅	0.0396	6.37×10^{-3}	100
锌	6.5	3.17	100
汞	—	—	—
砷	0.01	0.01	100
铜	—	—	—
锰	5.2	2	100
镉	3.01×10^{-3}	6.54×10^{-4}	100

3.5.5 地表（积）水检测结果分析

本次地表水质量评价标准采用《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中的Ⅲ类水质标准，若Ⅲ类水质未规定指标，则采用标准中集中式饮用水地表水源地补充项目标准限值进行评价。

本地块内共采集 1 个地表水样品，除 pH 外，共检出重金属指标共计 8 项，根据《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）Ⅲ类标准限值，城塘水样中除镉、汞略微超出《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）Ⅲ类标准限值外，其余各重金属指标均低于《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）Ⅲ类标准限值，可见地表水受牛头化工的影响较小。

表 3-13 地块地表（积）水检测结果（单位：mg/L）

	镉	铜	锌	砷	镉	铅	锰	汞
城塘水样	3.02×10^{-3}	0.01 (L)	0.174	0.01	0.008	6.25×10^{-4} (L)	0.023	1.42×10^{-4}
参考标准	/	1	1	0.05	0.005	0.05	0.1	0.0001

3.5.6 小结

1、地质条件

调查区地层岩性比较简单，地块大部分区域自上而下分别为杂填土、粉质粘土、砂砾，杂填土呈灰褐色，上部主要为混凝土路面，底部为杂填土组成，杂填土部分结构密实、稍湿；粉质粘土呈灰黄色，具似网纹状结构，无摇振反应，稍湿，硬塑，干强度中等，韧性中等；砂砾呈灰褐色，砾石成份主要为石英砂岩、硅质岩等，粒径大于 2 mm 的颗粒占 34 %左右，一般 2~20 mm，粗者大于 30 mm，级配较差，分布不均匀，孔隙为粗、中砂及少砾粘性土充填，中密，湿至饱和。

2、水文条件

本项目地块的调查显示，采样期间，地块浅层地下水埋深为 3.3~4.6m，均值为 3.95m，地块深层地下水埋深为 9.30~10.5m，平均地下水埋深为 9.9m。根据地块地勘资料中地下水监测井相对高程及初见水位情况，判断该地块地下水流向。数据结构分析显示，地块浅层地下水流向由西北流向东南侧，流动情况受湘江影响较大。

3、土壤检出情况

地块土壤检测结果除 pH 外，污染地块内共检出 10 项指标，分别为镉、铅、锌、汞、砷、铬、铜、锰、锑、铊。对地块内土壤样品检出的指标进行统计分析，污染地块内重金属的检出率基本都大于 50%，总体检出率较高。牛头化工厂区内土壤 Pb、As、Cd、Zn、Sb 均值分别超过《重金属污染场地土壤修复标准》(DB43/T 1165-2016)居住用地限值 1.98 倍、0.86 倍、15.20 倍、7.88 倍、2.20 倍，其余重金属指标均值均未超出《重金属污染场地土壤修复标准》(DB43/T 1165-2016)居住用地限值，铊未超出《展览会用地土壤环境质量标准(暂行)》(HJ 350-2007) B 级标准限值。

《全国土壤污染状况评价技术规定》中规定了石油烃总量标准值为 500mg/kg，牛头化工土壤石油烃总量远远低于标准值。样品中未检出挥发性有机物。

地块周边土壤共检出 8 项指标，分别为镉、铅、锌、砷、锰、锑、铜、汞。对地块周边土壤样品检出的指标进行统计分析，污染地块内重金属的检出率基本都大于 50%，总体检出率较高。距离厂区越近，土壤中重金属含量越大。对照湖南省《重金属污染场地土壤修复标准》（DB43/T 1165-2016），厂区北侧 1#、2#土壤重金属铅、镉、锌、砷超标严重，超标倍数可达几十倍。而与厂区相隔较远（距离 500m 左右）的 3#取样点除砷超标外，其余重金属指标均未超标。

4、地下水检出情况

地块地下水检测结果除 pH 外，污染地块内共检出 8 项指标，对地块内地下水样品检出的指标进行统计分析，污染地块除 pH 外，镉、铅、锌、砷、锰、锑检出率大于 50%，总体检出率较高。地下水样品中检出的重金属有锑、锌、砷、镉、铅、锰。其中，1#水样锌、镉、锰分别超出《地下水质量标准》（GB/T 14848-93）III类标准限值的 5.5 倍、0.96 倍、50.7 倍；2#水样锌、镉、锰分别超出《地下水质量标准》（GB/T 14848-93）III类标准限值的 2.17 倍、2.87 倍、18.7 倍。

5、地表（积）水检出情况

本地块内共采集 1 个地表水样品，除 pH 外，共检出重金属指标共计 8 项，根据《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III 类标准限值，城塘水样中除镉、汞略微超出《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类标准限值外，其余各重金属指标均低于《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III类标准限值，可见地表水受牛头化工的影响较小。

3.6 超标土壤分布范围

根据地块调查结果，牛头化工厂区内土壤污染形势严峻，重金属污染因子为镉、铅、锌、铜、锰、汞、锑、铊。其中，镉、铅、锌污染尤为严重，镉浓度基本均超出湖南省《重金属污染场地土壤修复标准》（DB43/T1165-2016）居住用地限值，牛头化工地块后期规划为居住用地，建议对厂区内所有污染土壤进行清理，以后期住宅建设打桩、建设地下停车场为前提，对污染地块进行保

守治理，考虑到后期住宅建设深度不超过地面以下 7m，且下层土壤（7m 以下）污染较小不存在暴露途径，因此将地面以下 7m 至地面的土壤进行治理。重金属超标土壤分布范围具体见图 3-17 至图 3-20。

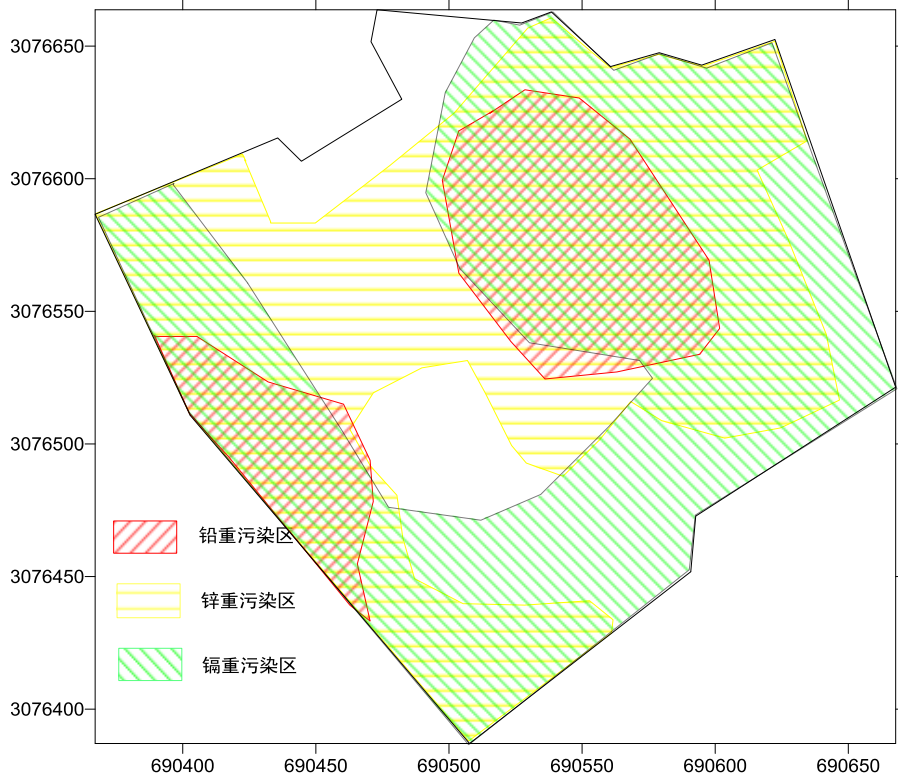


图 3-17 厂内重金属超标分布范围（0-2m）

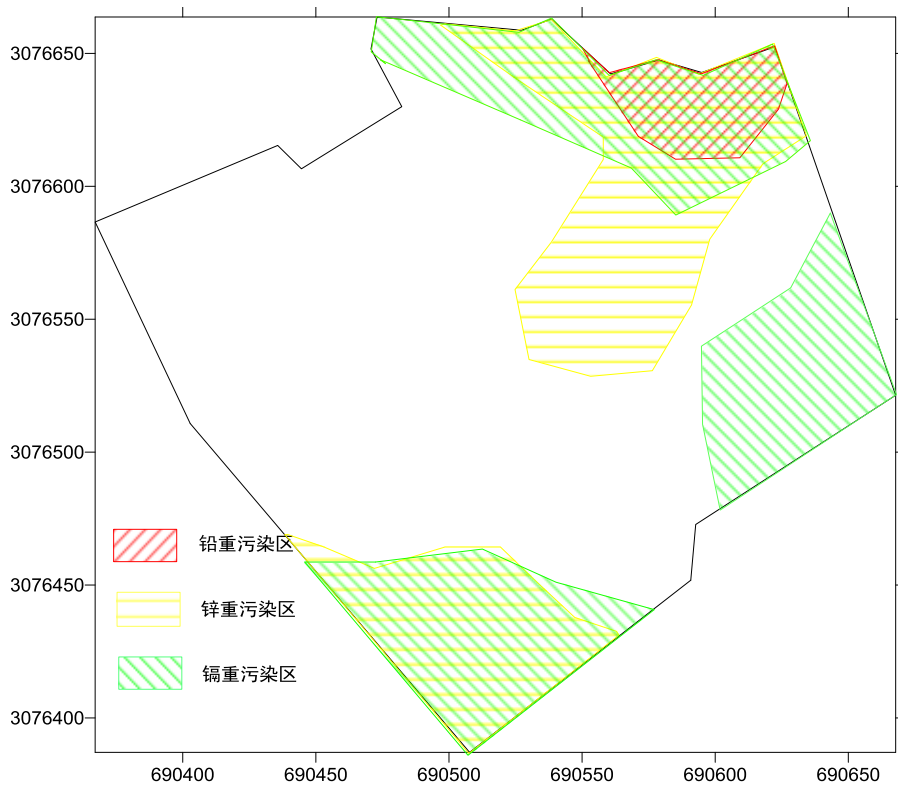


图 3-18 厂内重金属超标分布范围（2-4m）

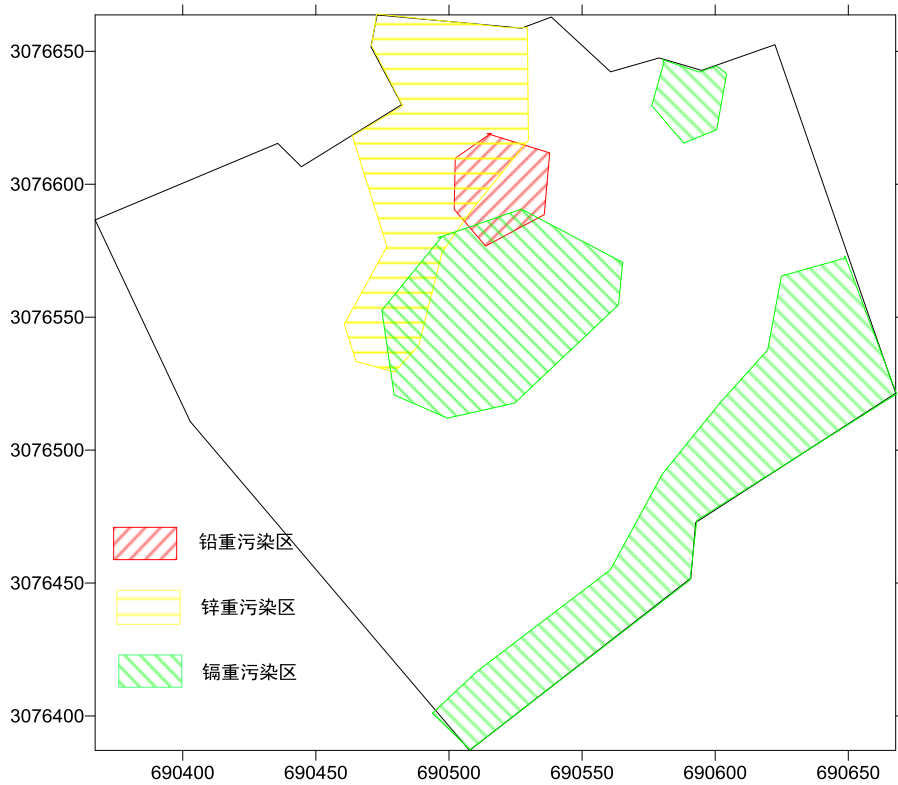


图 3-19 厂内重金属超标分布范围（4-6m）

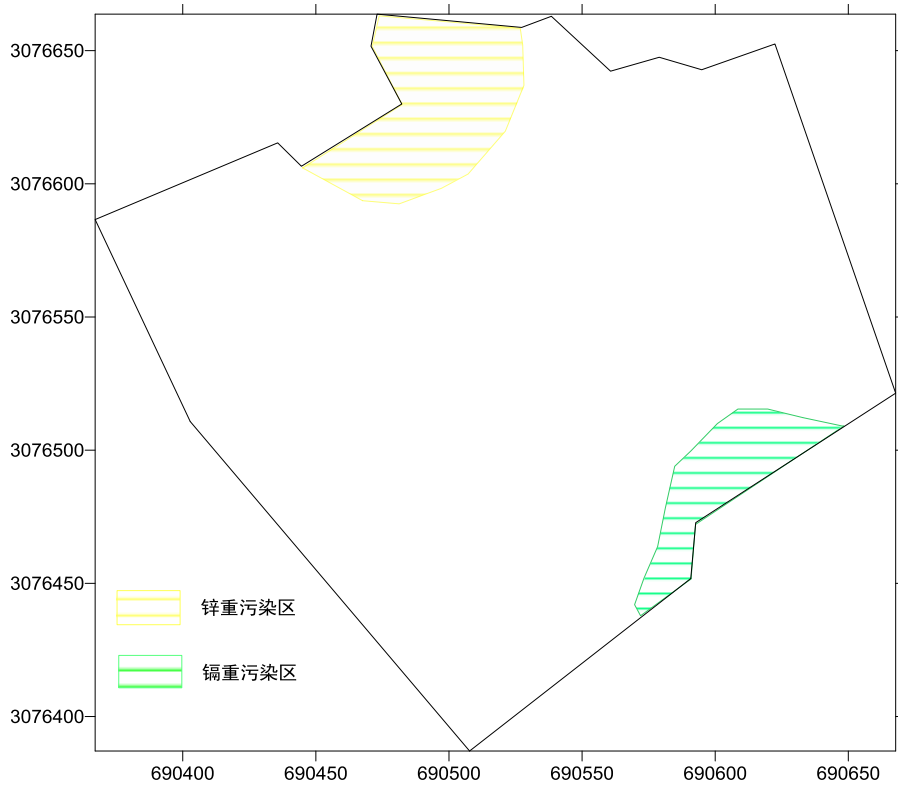


图 3-20 厂内重金属超标分布范围（6-7m）

第四章 地块土壤污染风险评估

通过该地块环境调查报告分析，确定地块土壤主要污染物为**镉、铅、锌、砷、锰、锑**，通过现场调查、周边走访及相关管理人员访谈确定，本地块不存在有机污染物，地下水不存在饮用途径，也不使用地下水，新建的区域也不会使用（饮用）地下水，因此，地下水对人体不存在直接暴露风险，且根据《建设用地土壤环境调查评估技术指南》中“即使有污染，若无暴露途径，则对潜在受体而言，就没有风险”的论述，本报告不针对地下水进行污染风险评估。

4.1 污染风险评估内容和程序

4.1.1 评估内容

根据中华人民共和国环境保护标准建设用地土壤污染风险评估技术导则（HJ 25.3-2019）等国家相关技术规范和导则，地块健康风险评估一般是指在地块环境调查的基础上，分析地块土壤和地下水中污染物对人群的主要暴露途径，评估污染物对人体健康的致癌风险或危害水平。主要工作内容包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和风险控制值确定等。本项目地块健康风险评估中涉及到的暴露评估参数、部分污染物的毒性及理化参数、地块部分特征参数、计算公式和概念模型主要参考建设用地土壤污染风险评估技术导则（HJ 25.3-2019）和原地块监测数据，部分内容参考其它相关导则、标准。

4.1.2 技术路线

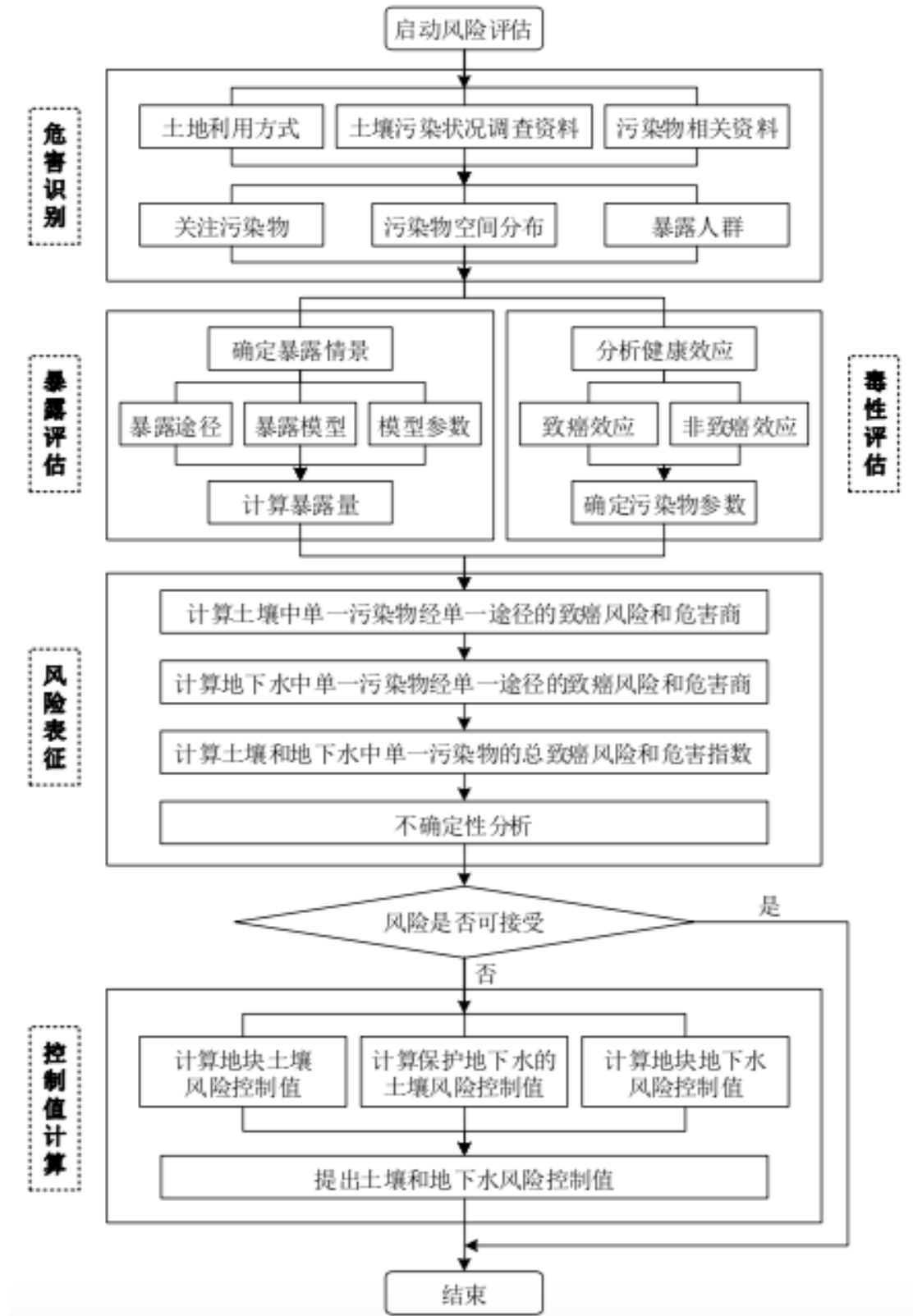


图 4-1 地块风险评估程序与内容

4.2 污染风险评估关注污染物筛选

4.2.1 筛选标准

1、《重金属污染场地土壤修复标准》(DB43/T 1165-2016)

本项目于 2017 年 5 月期间开展了场地调查工作，调查的最终目的是评估牛头化工厂区及周边环境中的关注污染物，全面分析场地的污染特征。同时通过对关注区域实施勘察、监测来进一步了解场地内关注污染物对环境的影响范围和程度，并掌握场地水文地质条件，为后期的修复目标的确定、修复方案的选择提供充分的信息。

湖南省环境保护厅于 2016 年 3 月 29 日发布了《重金属污染场地土壤修复标准》(DB43/T 1165-2016)。该标准给出了重金属污染场地居住用地土壤修复总量标准，为开展场地土壤总量评价提供了标准限值。该标准可选择的重金属污染物有 11 项，包括总铅、总砷、总镉、总汞、总铬、六价铬、总钒、总锰、总铜、总锌、总锑。考虑到本项目已经完工，治理管控、修复方案中部分污染物的修复目标参考湖南省地方标准，因此，部分污染风险评估关注污染物的筛选仍参考本标准。

2、《建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB 36600-2018)

本次风险评估的最终目的是确定场地关注污染物是否存对人体健康造成危害，同时确定后期工程的修复目标值。故本次风险评估的标准参考《建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB 36600-2018)。

国家生态环境部于 2018 年发布了《建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600-2018)，该技术导则给出了场地污染评估的筛选值和管制值，为开展场地污染风险评价的临界值，即在确定了开发场地土地利用类型的情况下，土壤污染物监测最高浓度低于启动值时，该场地不需风险评估即可直接用于该土地利用类型的再开发利用，反之就必须开展污染场地风险评估。本技术导则选择的污染物共 85 项，其中重金属和无机污染物 13 项，挥发性有机物 31 项，半挥发性有机物 21 项，其它污染物 20 项。

根据不同的土地开发用途对土壤中污染物的含量控制要求，将土地利用类型分为住宅及公共用地和商服及工业用地两类。住宅及公共用地指的是用于生

活居住的各类房屋用地及其附属设施用地，以及科教文卫、公共设施等用地。包括住宅、公寓、别墅、学校、医院、公园、绿地等，具体用地分类按照《土地利用现状分类》（GB/T 21010-2017）执行。商服及工业用地指的是用于商业、服务业和工业的土地。包括商场、超市等各类批发（零售）用地及其附属用地，宾馆、酒店等住宿餐饮用地，办公场所、金融活动等商务用地，洗车场、加油站、展览场馆等其它商服用地，以及工业生产场所、工业生产附属设施用地、物资储备所、物资中转场所等，具体用地分类按照《土地利用现状分类》（GB/T 21010-2017）执行。

湖南省场地调查与风险评价工作起步较早，项目场地调查阶段使用的土壤筛选值主要以 2016 年 3 月 29 日起发布实施的《重金属污染场地土壤修复标准》（DB43/T 1165-2016）为主；由于发展需要，2018 年我国对《土壤环境质量标准（征求意见稿）》（GB15618-2008）进行修订，并发布了《建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）。

本项目结合场地的实际情况及未来规划用途（第一类建设用地-住宅用地），综合考虑项目后期环境治理成本及公共安全，同时参考国内类似项目的经验。为严格把控调查区域污染情况，确保不遗漏任何可能存在的污染物，本报告对国内现有标准进行比选，确定本场地筛选值标准的选取值原则如下：消除场地的健康风险，通过修复使留存于场地中的土壤重金属达到第一类用地的风险管控要求。

根据《建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）中“建设用地土壤中污染物含量等于或者低于风险筛选值的，建设用地土壤污染风险一般情况下可以忽略”、“通过详细调查确定建设用地土壤中污染物含量高于风险管制值，对人体健康通常存在不可接受风险，应当采取风险管控或修复措施”，本方案确立修复目标值的原则如下：

（1）基于新标准对土壤风险评估结果，国家第一类用地标准与湖南地方标准土壤修复总量标准中的指标作比较，国家第一类用地标准中有的指标选取国家第一类用地标准中该指标的筛选值或管制值作为本项目目标污染物的修复目标值；国家第一类用地标准中没有的指标选取湖南地方标准中该指标的标准值作为本项目目标污染物的修复目标值；

（2）基于新标准的土壤风险评估结果，据场地参数导则计算值（敏感用地）大于《建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第一类用

地管制值的污染物，其修复目标值为第一类用地管制值：

(3) 基于新标准的土壤风险评估结果，据场地参数导则计算值（敏感用地）介于《建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第一类用地筛选值和管制值之间的污染物，其修复目标值为导则计算值；

(4) 基于新标准的土壤风险评估结果，据场地参数导则计算值（敏感用地）小于《建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第一类用地筛选值的污染物，其修复目标值为第一类用地筛选值。

(5) 根据《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018），土壤中砷背景值超过筛选值的，以背景值作为标准限值。具体参考《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）附录 A。

4.2.2 土壤关注污染物

根据关注污染物的筛选原则，筛选出本场地土壤关注污染物，考虑到本项目土壤监测因子的部分监测数据偏离较大，为了更有效的筛选土壤关注污染物，各监测因子采用 95% 置信上限值来判断是否为关注污染物，具体结果见表 4-1。本场地筛选出土壤关注污染物共 6 种，为镉、铅、锌、砷、锰、锑。

表 4-1 土壤关注污染物筛选（单位：mg/kg）

检测项目	95%置信上限值	国家标准		湖南地方标准	本报告拟用值	是否为关注污染物
		筛选值	管制值			
总石油烃 (C>16)	57.74	826	5000	/	826	否
镉	176.07	20	47	7	20	是
铅	1154.81	400	800	280	400	是
锌	6166.71	/	/	500	500	是
汞	1.35	8	33	4	8	否
砷	147.54	40	120	50	40	是
铬	79.01	/	/	400	400	否
铜	82.43	2000	8000	300	2000	否
锰	679.88	/	/	2000	2000	是
锑	247.24	20	40	30	20	是

注*：根据《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018），土壤中砷背景值超过筛选值的，以背景值作为标准限值，根据当地土壤性质，本报告以《土

壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）附录 A、表 A.1 水稻土、红壤、黄壤、黄棕壤对应的砷背景值 40mg/kg 作为砷的筛选值。

4.3 关注污染物暴露浓度

根据 3.6.3 节分析，评估地块土壤中污染物主要为镉、铅、锌、砷、锰、锑，其中铅采用血铅模型单独进行分析。基于保守考虑，本地块土壤污染物暴露浓度全部采用最大值，并且考虑今后开发过程中土壤的开挖，下层土壤也可能变成表层土壤，从而对人体健康产生危害。综合这些因素的存在，本报告中，采取保守算法，即使污染物的暴露浓度是深层土壤，做风险评估时会综合考虑其作为深层土壤和浅层土壤对人体健康的风险。具体暴露浓度见下表 4-2。

表 4-2 地块土壤关注污染物暴露浓度（单位：mg/kg）

序号	关注污染物	暴露浓度	备注
1	镉	3170	最大值
2	铅	30200	
3	锌	122000	
4	砷	4050	
5	锰	9300	
6	锑	13500	

注*：暴露浓度的选择只会影响风险水平的计算结果，不影响风险控制值、目标值和超修复目标值修复方量的计算结果。

4.4 污染风险评估概念模型

4.4.1 土地利用类型

《湘潭天易示范区中长期产业发展规划（2011-2020 年）》（湘潭天易示范区管理委员会 2010 年 12 月），本地快待开发建成第一类建设用地-居住用地，基于保护的目，本评估报告将以敏感用地类型对地块土壤进行人体健康风险评估。

4.4.2 敏感受体

本地块开发及后续使用过程中，可能受污染物影响的敏感受体主要为开发

建设后的居民及开发建设过程中的工人。居住用地性质下儿童和成人均可能会长时间暴露于地块污染而产生健康危害，对于致癌效应考虑人群的终生暴露危害，根据儿童和成人期的暴露来评估污染物的终生致癌风险；非致癌效应，主要考虑儿童的暴露量来计算非致癌的危害效应。对地块开发过程中建筑工人的影响，要求施工过程中须主动采取防护措施以降低和规避风险，本报告不做详细评估。

4.4.3 暴露途径分析

暴露途径指地块中污染物经一定的方式迁移到达并进入人体的过程。暴露途径土壤有 6 种。本评估报告中，表层土壤的暴露途径有经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物和吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物 4 种；下层土壤的暴露途径有吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物和吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物 2 种。具体见表 4-3。

表 4-3 土壤风险评估暴露途径选择

暴露途径	本地块污染物暴露途径	针对污染物
经口摄入表层土壤	√	镉、铅、锌、砷、锰、锑
皮肤接触表层土壤	√	镉、铅、锌、砷、锰、锑
吸入表层土壤颗粒物	√	镉、铅、锌、砷、锰、锑
吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	×	镉、铅、锌、砷、锰、锑
吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	×	镉、铅、锌、砷、锰、锑
吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	×	镉、铅、锌、砷、锰、锑

4.4.4 风险评估概念模型

根据地块敏感受体、污染物及暴露途径建立本地块的风险评估概念模型详见图 4-2。本项目风险评估过程中，涉及到的受体暴露参数、地块特征参数以及污染物相关参数主要有以下两个来源：一是本次地块调查获得的参考值；二是《建设用地土壤污染风险管控和修复 监测技术导则》（HJ 25.2-2019）中的参考值。相关参数选取优先顺序依次为本地块调查获得的数值、国家导则中的参考

值。

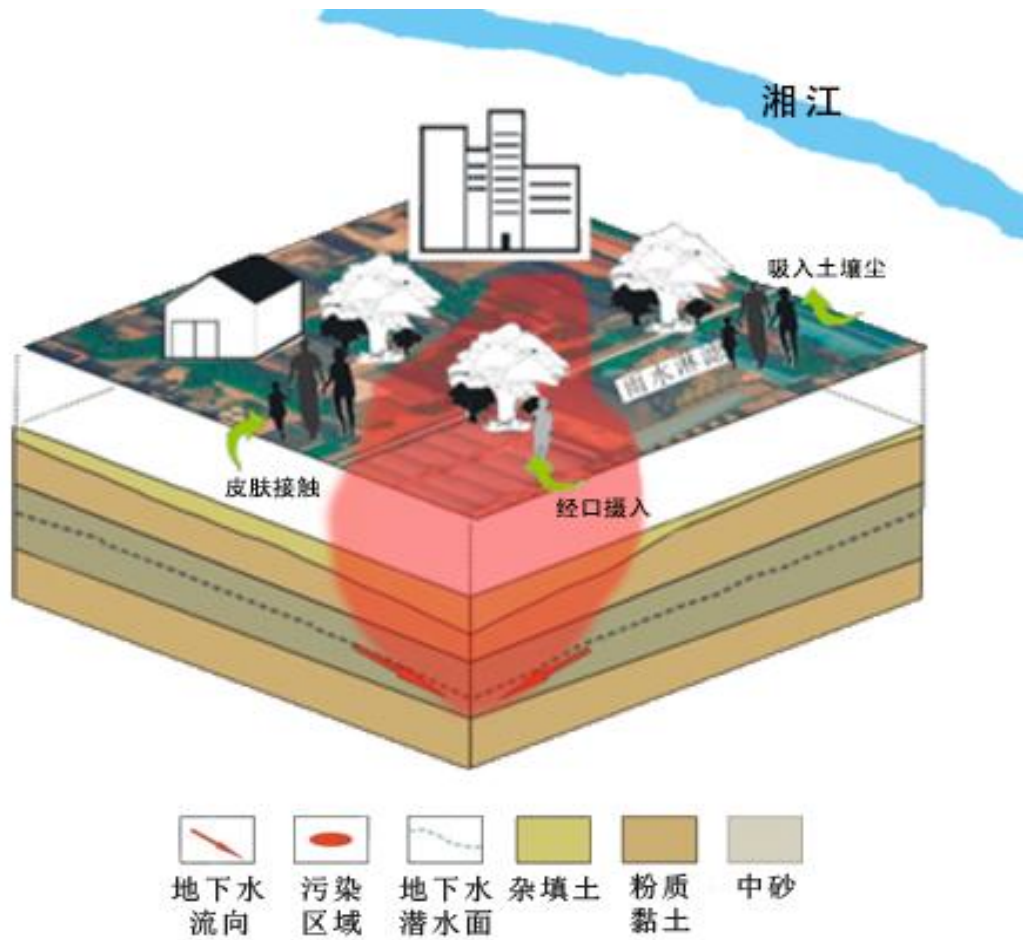


图 4-2 地块风险评估概念模型

4.5 暴露评估计算模型

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（A.1）计算：

$$OISER_{ca} = \frac{(\frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c}{BW_c} + \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a}{BW_a}) \times ABS_o}{AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots (A.1)$$

公式 (A.1) 中:

- $OISER_{ca}$ 一经口摄入土壤暴露量 (致癌效应), $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$;
- $OSIR_c$ 一儿童每日摄入土壤量, $mg \cdot d^{-1}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- $OSIR_a$ 一成人每日摄入土壤量, $mg \cdot d^{-1}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- ED_c 一儿童暴露期, a; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- ED_a 一成人暴露期, a; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- EF_c 一儿童暴露频率, $d \cdot a^{-1}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- EF_a 一成人暴露频率, $d \cdot a^{-1}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- BW_c 一儿童体重, kg, 推荐值见附录 G 表 G.1;
- BW_a 一成人体重, kg, 推荐值见附录 G 表 G.1;
- ABS_o 一经口摄入吸收效率因子, 无量纲; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- AT_{ca} 一致癌效应平均时间, d; 推荐值见附录 G 表 G.1。

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伤害, 经口摄入土壤途径的土壤暴露量采用公式 (A.2) 计算:

$$OISER_{nc} = \frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c \times ABS_o}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots\dots (A.2)$$

公式 (A.2) 中:

- $OISER_{nc}$ 一经口摄入土壤暴露量 (非致癌效应), $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$;
- AT_{nc} 一非致癌效应平均时间, d; 推荐值见附录 G 表 G.1。

公式 (A.2) 中 $OSIR_c$ 、 ED_c 、 EF_c 、 ABS_o 和 BW_c 的参数含义见公式 (A.1)。

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, 皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式 (A.3) 计算:

$$DCSER_{ca} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots (A.3)$$

公式 (A.3) 中:

- $DCSER_{ca}$ 一皮肤接触途径的土壤暴露量 (致癌效应), $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$;
- SAE_c 一儿童暴露皮肤表面积, cm^2 ;
- SAE_a 一成人暴露皮肤表面积, cm^2 ;
- $SSAR_c$ 一儿童皮肤表面土壤粘附系数, $mg \cdot cm^{-2}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- $SSAR_a$ 一成人皮肤表面土壤粘附系数, $mg \cdot cm^{-2}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;
- ABS_d 一皮肤接触吸收效率因子, 无量纲; 取值见附录 B 表 B.1;

E_V 一每日皮肤接触事件频率, 次·d⁻¹; 推荐值见附录 G 表 G.1。

公式 (A.3) 中 EF_C 、 ED_C 、 BW_C 、 AT_{ca} 、 EF_a 、 ED_a 和 BW_a 的参数含义见公式 (A.1), SAE_C 和 SAE_a 的参数值分别采用公式 (A.4) 和公式 (A.5) 计算:

$$SAE_C = 239 \times H_C^{0.417} \times BW_C^{0.517} \times SER_C \quad \dots\dots (A.4)$$

$$SAE_a = 239 \times H_a^{0.417} \times BW_a^{0.517} \times SER_a \quad \dots\dots (A.5)$$

公式 (A.4) 和公式 (A.5) 中:

H_C 一儿童平均身高, cm, 推荐值见附录 G 表 G.1;

H_a 一成人平均身高, cm; 推荐值见附录 G 表 G.1;

SER_C 一儿童暴露皮肤所占面积比, 无量纲, 推荐值见附录 G 表 G.1;

SER_a 一成人暴露皮肤所占面积比, 无量纲; 推荐值见附录 G 表 G.1。

公式 (A.4) 和公式 (A.5) 中 BW_C 和 BW_a 的参数含义见公式 (A.1)。

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伤害, 皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式 (A.6) 计算:

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_C \times SSAR_C \times EF_C \times ED_C \times E_V \times ABS_d}{BW_C \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \dots\dots (A.6)$$

公式 (A.6) 中:

$DCSER_{nc}$ 一皮肤接触的土壤暴露量 (非致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

公式 (A.6) 中 SAE_C 、 $SSAR_C$ 、 E_V 和 ABS_d 的参数含义见公式 (A.3), EF_C 、 ED_C 和 BW_C 的参数含义见公式 (A.1), AT_{nc} 的参数含义见公式 (A.2)。

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的土壤暴露量采用公式 (A.7) 计算:

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_C \times ED_C \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_C + f_{spi} \times EFI_C)}{BW_C \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \dots (A.7)$$

公式 (A.7) 中:

$PISER_{ca}$ 一吸入土壤颗粒物的土壤暴露量 (致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

PM_{10} 一空气中可吸入浮颗粒物含量, mg·m⁻³; 推荐值见附录 G 表 G.1;

$DAIR_a$ 一成人每日空气呼吸量, m³·d⁻¹; 推荐值见附录 G 表 G.1;

$DAIR_C$ 一儿童每日空气呼吸量, m³·d⁻¹; 推荐值见附录 G 表 G.1;

$PIAF$ 一吸入土壤颗粒物在体内滞留比例, 无量纲; 推荐值见附录 G 表 G.1;

f_{spi} 一室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例, 无量纲; 推荐值见附录 G 表 G.1;

f_{spo} 一室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例, 无量纲; 推荐值见附录 G 表 G.1;

EFI_a 一成人的室内暴露频率, d·a⁻¹; 推荐值见附录 G 表 G.1;

EFI_C 一儿童的室内暴露频率, d·a⁻¹; 推荐值见附录 G 表 G.1;

EFO_a 一成人的室外暴露频率, d·a⁻¹; 推荐值见附录 G 表 G.1;

EFO_C 一儿童的室外暴露频率, d·a⁻¹; 推荐值见附录 G 表 G.1。

公式 (A.7) 中 ED_C 、 BW_C 、 ED_a 、 BW_a 和 AT_{ca} 的参数含义见公式 (A.1)。

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伤害，吸入土壤颗粒物途径的土壤暴露量采用公式（A.8）计算：

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_c + f_{spi} \times EFI_c)}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \dots (A.8)$$

公式（A.8）中：

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

公式（A.8）中 PM_{10} 、 $DAIR_c$ 、 f_{spo} 、 f_{spi} 、 EFO_c 、 EFI_c 和 $PIAF$ 的参数含义见公式（A.7）， ED_c 、 BW_c 、 ED_a 、 BW_a 的参数含义见公式（A.1）， AT_{nc} 的参数含义见公式（A.2）。

4.6 毒性评估

4.6.1 毒性描述

根据地块调查结果，本地块土壤和地下水的主要污染物有镉、铅、锌、砷、锰、锑6种。以上污染物的毒性描述如下：

1、镉

毒性：慢性毒类。侵入途径：吸入、食入、皮肤接触。

2、铅

毒性：属急性或亚急性毒类。侵入途径：吸入、食入。

3、锌

毒性：属低毒类。侵入途径：食入。

4、砷

毒性：急性、生殖毒类，侵入途径：吸入、食入、皮肤接触。

5、锰

毒性：急性、神经毒类。侵入途径：吸入、食入、皮肤接触。

6、锑

毒性：急性、慢性毒类。侵入途径：食入。

根据地块环境调查结果，本地块土壤和地下水中的主要污染物有 6 种，分别是镉、铅、锌、砷、锰、锑。参考国家及省相关文件、美国环保局（EPA）、荷兰国立卫生和环境研究院和国际癌症研究署（IARC）等相关资料对本项目关注污染物致癌毒性进行判断，由于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中没有铅的相关参数，因此通过 IEUBK 模型对土壤中的铅进行风险评估，污染物的具体理化与毒性参数见表 4-4。

表 4-4 关注污染物理化与毒性参数

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	类型	分子量	水中溶解度	蒸汽压	亨利常数	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	呼吸吸 入参考 浓度	参考剂 量分配 比例	消化道 吸收因 子	皮肤吸 收效率 因子	空气中 扩散系 数	水中扩 散系数	水体最 大浓度 限值	土壤 有机 碳- 水分 配系 数	土壤-水 分配系 数	辛醇-水 分配系 数	半衰期(一阶衰减)		衰减常数(计算 值)		土壤-植 物可利 用校正 因子	传输因 子	EP A 毒 性 分 级
			N	T	MW	S	Pv	H	SF _o	IUR	RfD _o	RfC	SAF	ABS _{gi}	ABS _d	D _{air}	D _{wat}	MCL	K _{oc}	K _d	K _{ow}	HL		λ		δ	TF	
			-	-	g/mol	mg/L	mm Hg	-	1/(mg/kg/ d)	1/(mg/m ³)	mg/kg/d	mg/m ³	-	-	-	m ² /s	m ² /s	mg/L	cm ³ / g	cm ³ /g	-	饱水带 d	包气带 d	饱水带 1/d	包气带 1/d	-	g/g	-
1	镉	Cadmium	7440-43-9	无机	1.12E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	1.80E+00	1.00E-03	1.00E-05	2.00E-01	2.50E-02	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	5.00E-03	-	1.50E+01	8.49E-01	-	-	-	-	5.00E+00	5.00E-01	B1
2	锌	Zinc	7440-66-6	无机	6.54E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	3.00E-01	-	2.00E-01	1.00E+00	-	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-	1.60E+01	3.38E-01	-	-	-	-	5.00E+00	5.00E-01	D
3	砷 (无机)	Arsenic	7440-38-2	无机	7.49E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.50E+00	4.30E+00	3.00E-04	1.50E-05	2.00E-01	1.00E+00	3.00E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-02	-	2.50E+01	4.78E+00	-	-	-	-	5.00E+00	5.00E-01	A
4	锑	Antimony	7440-36-0	无机	1.22E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	4.00E-04	-	2.00E-01	1.50E-01	-	0.00E+00	0.00E+00	5.00E-03	-	4.50E+01	1.00E+00	-	-	-	-	5.00E+00	5.00E-01	NA
5	锰	Manganese (Diet)	7439-96-5	无机	5.49E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	1.40E-01	5.00E-05	2.00E-01	1.00E+00	-	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-01	-	5.01E+01	1.00E+00	7.00E+00	7.00E+00	9.90E-02	9.90E-02	5.00E+00	5.00E-01	D

4.6.2 致癌毒性判定

土壤关注污染物共 6 种，分别为镉、铅、锌、砷、锰、锑。土壤致癌污染物：镉、砷，共 2 种物质；土壤非致癌污染物：镉、锌、砷、锰、锑，共 5 种物质；基于 IEUBK 模型超过人体健康可接受水平的土壤铅，共 1 种物质。

4.7 风险表征计算模型

风险表征是在总结了暴露评估和毒性评估的工作基础上，进行污染地块人体健康风险评估的最后一步，并定量计算污染地块污染物质非致癌危害指数和致癌风险的大小，并对计算的风险结果进行解释说明及分析风险评估结果中存在的确定因素。同时风险表征是把污染地块风险评估与风险管理联系在一起的纽带，风险管理者可依据风险表征的内容结合经济技术可行性及相关法律法规等对污染地块做出合理的决策。

4.7.1 单一污染物致癌风险表征的计算如下：

1、经口摄入土壤途径的致癌风险计算公式 (C.1)：

$$CR_{ois} = OISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_o \quad \dots\dots (C.1)$$

公式 (C.1) 中：

CR_{ois} 一 经口摄入土壤途径的致癌风险，无量纲；

C_{sur} 一 表层土壤中污染物浓度， $mg \cdot kg^{-1}$ ；必须根据地块调查获得参数值。

公式 (C.1) 中， $OISER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.1)， SF_o 的参数含义见公式 (B.3)。

2、皮肤接触土壤途径的致癌风险计算公式 (C.2)：

$$CR_{dcs} = DCSE_{ca} \times C_{sur} \times SF_d \quad \dots\dots (C.2)$$

公式 (C.2) 中：

CR_{dcs} 一 皮肤接触土壤途径的致癌风险，无量纲。

公式 (C.2) 中， $DCSE_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.3)， SF_d 的参数含义见公式 (B.3)， C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1)。

3、吸入土壤颗粒物途径的致癌风险计算公式 (C.3) :

$$CR_{pis} = PISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_i \quad \dots\dots (C.3)$$

公式 (C.3) 中:

CR_{pis} 一吸入土壤颗粒物途径的致癌风险, 无量纲。

公式 (C.3) 中, $PISER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.7), C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1), SF_i 的参数含义见公式 (B.1)。

4、土壤中单一污染物经所有暴露途径的总致癌风险计算公式 (C.7) :

$$CR_n = CR_{ois} + CR_{dcs} + CR_{pis} + CR_{io1} + CR_{io2} + CR_{iv1} \quad \dots\dots (C.7)$$

4.7.2 单一污染物危害熵的计算如下:

1、经口摄入土壤途径的危害熵计算公式 (C.8) :

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_o \times SAF} \quad \dots\dots (C.8)$$

公式 (C.8) 中:

HQ_{ois} 一经口摄入土壤途径的危害商, 无量纲;

SAF 一暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲。

公式 (C.8) 中, $OISER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.2), C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1), RfD_o 的参数含义见公式 (B.4)。

2、皮肤接触土壤途径的危害熵计算公式 (C.9) :

$$HQ_{dcs} = \frac{DCSER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d \times SAF} \quad \dots\dots (C.9)$$

公式 (C.9) 中:

HQ_{dcs} 一皮肤接触土壤途径的危害商, 无量纲。

公式 (C.9) 中, $DCSER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.6), C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1), RfD_d 的参数含义见公式 (B.4), SAF 的参数含义见公式 (C.8)。

3、吸入土壤颗粒物途径的危害熵计算公式 (C.10)：

$$HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \dots\dots (C.10)$$

公式 (C.10) 中：

Hq_{pis} —吸入土壤颗粒物途径的危害商，无量纲。

公式 (C.10) 中， $PISER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.8)， C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1)， RfD_i 的参数含义见公式 (B.2)， SAF 的参数含义见公式 (C.8)。

4、土壤中单一污染物经所有暴露途径的总危害熵计算公式 (C.14)：

$$HI_n = HQ_{ois} + HQ_{dcs} + HQ_{pis} + HQ_{iov1} + HQ_{iov2} + HQ_{iiv1} \quad \dots\dots (C.14)$$

公式 (C.14) 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。

公式 (C.14) 中， HQ_{ois} 、 HQ_{dcs} 、 HQ_{pis} 、 HQ_{iov1} 、 HQ_{iov2} 和 HQ_{iiv1} 的参数含义分别见公式 (C.8)、公式 (C.9)、公式 (C.10)、公式 (C.11)、公式 (C.12) 和公式 (C.13)。

4.8 评估模型参数

本次暴露评估过程中涉及的参数主要为受体暴露参数、土壤性质参数和空气特征参数，模型中所使用的参数采用地块实测值、湖南省最新统计数据或《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)的推荐值，以上模型中参数含义及默认取值见表 4-5、表 4-6 和表 4-7 (其中部分参数采用地块实测值)。

表 4-5 第一类建设用地情境下受体暴露参数

受体暴露参数			原场	数据来源
参数名称	符号	单位	敏感用地	
成人平均体重	BW _a	kg	58.6	湖南省最新统计数据
儿童平均体重	BW _c	kg	20.45	湖南省最新统计数据
成人平均身高	H _a	cm	161.5	HJ 25.3
儿童平均身高	H _c	cm	113.15	HJ 25.3
成人暴露期	ED _a	a	24	HJ 25.3
儿童暴露期	ED _c	a	6	HJ 25.3
成人暴露频率 (经口摄入和皮肤接触)	EF _a	d/a	350	HJ 25.3

受体暴露参数			原场	数据来源
参数名称	符号	单位	敏感用地	
儿童暴露频率（经口摄入和皮肤接触）	EF _c	d/a	350	HJ 25.3
成人室内暴露频率（呼吸吸入）	EFI _a	d/a	262.5	HJ 25.3
成人室外暴露频率（呼吸吸入）	EFO _a	d/a	87.5	HJ 25.3
儿童室内暴露频率（呼吸吸入）	EFI _c	d/a	262.5	HJ 25.3
儿童室外暴露频率（呼吸吸入）	EFO _c	d/a	87.5	HJ 25.3
成人暴露皮肤所占体表面积比	SER _a	-	0.32	HJ 25.3
儿童暴露皮肤所占体表面积比	SER _c	-	0.36	HJ 25.3
成人皮肤表面土壤粘附系数	SSAR _a	mg/cm ²	0.07	HJ 25.3
儿童皮肤表面土壤粘附系数	SSAR _c	mg/cm ²	0.2	HJ 25.3
每日皮肤接触事件频率	E _v	次/d	1	HJ 25.3
成人每日摄入土壤量	OSIR _a	g/d	0.1	HJ 25.3
儿童每日摄入土壤量	OSIR _c	g/d	0.2	HJ 25.3
成人每日饮用水量	GWCR _a	mL/d	1000	HJ 25.3
儿童每日饮用水量	GWCR _c	mL/d	700	HJ 25.3
成人每日空气呼吸量	DAIR _a	m ³ /d	14.5	HJ 25.3
儿童每日空气呼吸量	DAIR _c	m ³ /d	7.5	HJ 25.3
气态污染物入侵持续时间	τ	a	30	HJ 25.3
室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	fspi	-	0.8	HJ 25.3
室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	fspo	-	0.5	HJ 25.3
吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	PIAF	-	0.75	HJ 25.3
非致癌效应平均时间	AT _{nc}	d	2190	HJ 25.3
致癌效应平均时间	AT _{ca}	d	27740	HJ 25.3
可接受致癌风险	ACR	-	1.00E-06	HJ 25.3
可接受危害商	AHQ	-	1	HJ 25.3

表 4-6 第一类建设用地情境下土壤性质参数

含义	符号	单位	取值	数据来源
土壤有机质含量	F_{om}	$g\ kg^{-1}$	49	地块实测值
土壤容重	ρ_b	$kg\ dm^{-3}$	1.61	地块实测值
土壤含水率	P_{ws}	$kg\ kg^{-1}$	0.223	地块实测值
土壤颗粒密度	ρ_s	$kg\ dm^{-3}$	2.71	地块实测值
毛细管层孔隙空气体积比	θ_{acap}	无量纲	0.038	HJ 25.3
毛细管层孔隙水体积比	θ_{wcap}	无量纲	0.342	HJ 25.3
非饱和土层土壤中总孔隙度	θ	无量纲	0.39	HJ 25.3
非饱和土层孔隙水体积比	θ_{ws}	无量纲	0.35903	地块实测值
非饱和土层孔隙空气体积比	θ_{as}	无量纲	0.03	地块实测值

表 4-7 第一类建设用地情境下空气特征参数

空气特征参数				
参数名称	符号	单位	取值	备注
空气中可吸入颗粒物含量	PM_{10}	mg/m^3	0.051	地块实测值

4.9 土壤风险表征值计算结果及评估

4.9.1 致癌风险评估

根据表 4-2 中地块土壤关注物的暴露浓度计算致癌风险结果，见表 4-8。根据风险评估的结果可知，地块土壤中致癌污染物镉、砷对人体的致癌风险分别为 $6.57E-05$ 、 $8.58E-03$ ，其中镉、砷对人体的致癌风险大于可接受致癌风险水平 $1.0E-06$ ，超过人体健康风险可接受水平。

表 4-8 土壤关注污染物的致癌风险

序号	关注污染物	经口摄入	皮肤接触	吸入土壤颗粒物	吸入室内蒸汽	吸入室外蒸汽		综合风险	是否存在风险
						表层土壤	下层土壤		
1	镉	—	—	$6.57E-05$	—	—	—	$6.57E-05$	是
2	砷	$7.64E-03$	$7.42E-04$	$2.00E-04$	—	—	—	$8.58E-03$	是

4.9.2 非致癌风险评估

敏感用地方式下，儿童和成人均可能会长时间暴露于地块污染物而产生健康危害。对于污染物的非致癌效应，健康危害有阈值浓度，儿童体重较轻，暴露量较高，一般根据儿童期暴露来评估污染物的非致癌风险。

地块土壤关注污染中具有非致癌风险的污染物为镉、锌、砷、锰、锑，计算结果见表 4-9。由表可知，土壤非致癌污染物中镉、锌、砷、锰、锑的非致癌风险分别为 $9.14E+01$ 、 $7.63E+00$ 、 $2.97E+02$ 、 $1.59E+01$ 、 $6.33E+02$ ，其中镉、锌、砷、锰、锑的非致癌风险均大于可接受非致癌风险水平危害商值 1，因此，镉、锌、砷、锰、锑 5 项指标的非致癌风险大于人体可接受水平。

表 4-9 土壤关注污染物的非致癌风险

序号	关注污染物	经口摄入	皮肤接触	吸入土壤颗粒物	吸入室内蒸汽	吸入室外蒸汽		综合风险	是否存在风险
						表层土壤	下层土壤		
1	镉	$5.95E+01$	$7.00E+00$	$2.50E+01$	—	—	—	$9.14E+01$	是
2	锌	$7.63E+00$	—	—	—	—	—	$7.63E+00$	是
3	砷	$2.53E+02$	$2.24E+01$	$2.13E+01$	—	—	—	$2.97E+02$	是
4	锰	$1.25E+00$	—	$1.47E+01$	—	—	—	$1.59E+01$	是
5	锑	$6.33E+02$	—	—	—	—	—	$6.33E+02$	是

4.9.3 基于 IEUBK 模型的土壤铅风险评估模型

土壤铅的健康风险评估采用 IEUBK 模型，以儿童为敏感受体、儿童血铅含量为评价指标评价土壤铅的风险。计算儿童体内血铅含量时，采用综合暴露吸收生物动力学模型 (IEUBK) 进行计算。IEUBK 模型主要用于预测 0~6 岁儿童环境铅暴露后血铅含量，模型包括 4 个子模块：暴露模块、吸收模块、动力学模块、概率分布模块，采用机制模型与统计相结合的方法，将不同途径和来源的环境铅暴露与儿童群体血铅水平关联起来。

模型假设儿童群体血铅的分布近似几何正态分布，根据收集的儿童环境铅暴露环境信息，预测儿童群体的血铅水平几何平均值，进一步估算儿童群体血铅水平超过所设定的临界值 $10\mu\text{g}/\text{dL}$ 的概率。

IEUBK 模型中铅的来源包括土壤、室内/外灰尘、饮用水、空气和饮食，并

设定了不同环境介质进入人体后的生物有效性，即可被吸收的比例。基于 IEUBK 模型所包括的模块，建立片区规划后受体暴露概念模型（图 4-3）。

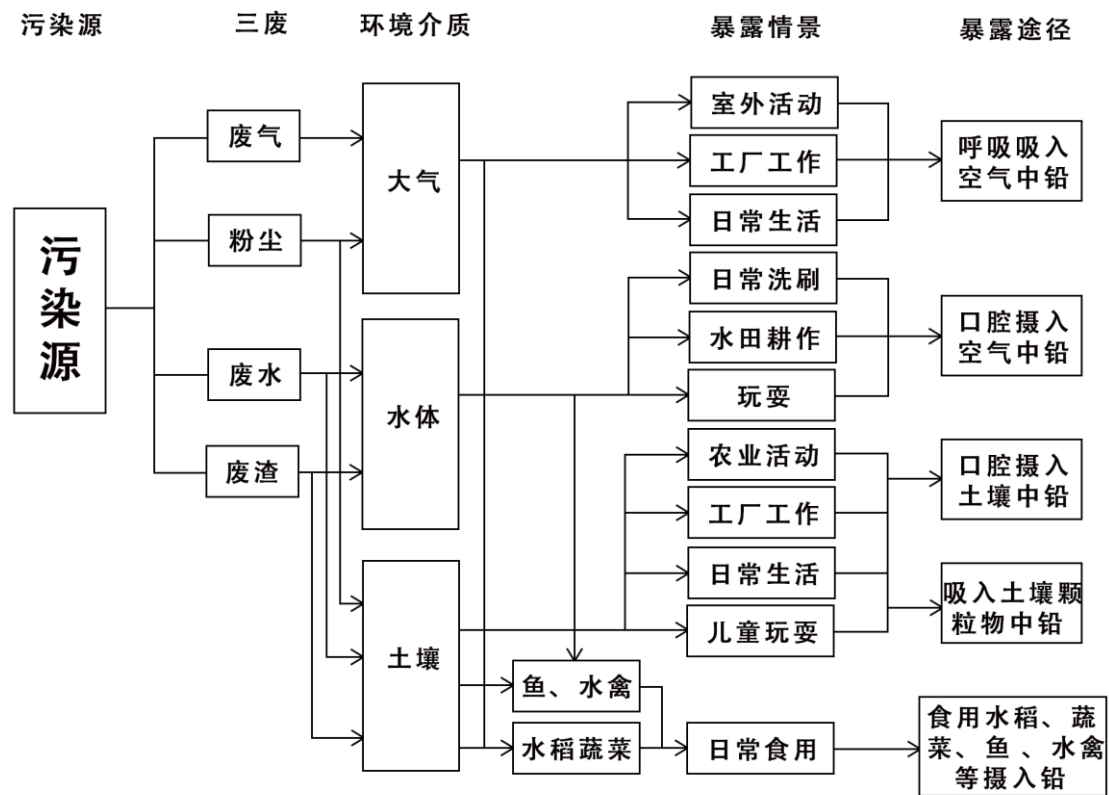


图 4-3 地块居民铅暴露概念模型

1、暴露模块

IEBUK 模型采用吸收速率（IN）描述儿童对环境介质中铅的吸收。

$$IN_{\text{soil, outdoor}} = C_{\text{soil}} \times WF_{\text{soil}} \times IR_{\text{soil} \square \text{ dust}}$$

$$IN_{\text{dust}} = C_{\text{dust, resid}} \times (1 - WF_{\text{soil}}) \times IR_{\text{soil} \square \text{ dust}}$$

$$IN_{\text{air}} = C_{\text{air}} \times VR$$

$$IN_{\text{water}} = C_{\text{water}} \times IR_{\text{water}}$$

式中： $IN_{\text{soil, outdoor}}$ 、 IN_{dust} 、 IN_{air} 、 IN_{water} 分别表示儿童对土壤、灰尘、空气和饮水中铅的吸收速率，单位为 $\mu\text{g}/\text{d}$ ；

C_{soil} 、 $C_{\text{dust, resid}}$ 、 C_{air} 、 C_{water} 分别表示土壤、居住类用地灰尘、空气、饮用水中铅的含量，单位为 mg/kg 、 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $\mu\text{g}/\text{L}$ ；

WF_{soil} 表示儿童摄入土壤总量中直接摄入土壤所占比例；

$IR_{\text{soil} \square \text{ dust}}$ 、 IR_{water} 分别表示儿童对土壤及灰尘、饮水的每日摄入量，单位为

mg/d、L/d;

VR 表示儿童每日空气吸入量，单位 m^3/d 。

本次对地块的调查主要针对土壤，IEUBK 模型中所需要的其它几种铅来源未进行调查，因此利用 IEUBK 模型进行居住类用地下土壤铅的修复目标值的计算时，其它几种来源的铅含量采用 IEUBK 模型默认参数或经文献调研可用的数据。

2、吸收模块

不同途径摄入铅的生物有效性不同，IEUBK 模型设定摄入土壤及灰尘、饮食、饮水、空气中铅的生物有效性因子分别为 30%、40~50%、60%、25~45%。据此，经摄入上述几种环境介质最终进入儿童体内可被吸收的铅总量 UP_{poten} 可表示为：

$$UP_{poten}=(ABS_{diet} \times IN_{diet})+(ABS_{dust} \times IN_{dust})+(ABS_{soil} \times IN_{soil})+(ABS_{air} \times IN_{air})$$

IEUBK 模型的生物动力学模型采用机理模型表述铅在人体内转运的生理-生化过程，将铅的吸收效率与人体器官的铅含量，尤其是血铅浓度变化关联起来。由于儿童自身行为、生活习惯及个体类型的差异，在同样的环境铅浓度条件下，儿童群体血铅浓度有较大的变异性，因此，IEUBK 模型采用几何标准差（GSD）描述这种差异。

3、血铅允许含量的设定

EPA 与疾控中心规定儿童血液中铅浓度超过 $10\mu g/dL$ （血清，下同）时会对儿童产生危害。EPA 对污染地块中血铅的风险削减目标确定为：对地块进行清理修复后保证儿童血铅浓度超过 $10\mu g/dL$ 的可能性低于 5%或更低。

4.9.4 基于 IEUBK 动力学模型的土壤铅风险及修复目标值

按照以上默认参数及设定的土壤以外的铅含量，以 0~6 岁儿童为对象，儿童血铅超过 $10\mu g/dL$ 的比例低于 5%，儿童血铅几何标准差 1.6，反推土壤中铅的修复目标值。

由于儿童血铅的环境介质影响因素是众多的，以儿童血铅为准反推土壤中铅的修复目标值时，其它介质中铅的含量影响因素很大。假设该地块建设规划

后饮用水铅达到生活饮用水标准：10 μg /dL、空气达到环境空气质量标准：1.0 μg /m³、蔬菜达到叶菜类标准：0.2mg/kg，则土壤中的铅含量应达到的标准值为 539mg/kg，因此，确定牛头化工有限公司污染地块铅的修复目标值为 539mg/kg。因此，该地块监测数据中铅浓度超过 539mg/kg 的区域存在人体健康风险。

4.10 不确定性分析

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

但场地健康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评估模型的适用性、模型的设定条件与实际条件的差异、模型参数的确定等，因此评估结果也存在一定的不确定性。不确定性主要来源于以下几个方面：

4.10.1 计算模型的不确定性

1、不确定性分析

风险评估按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的基本要求进行计算，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地块的风险管理决策，但必须认识到几乎没有一个数学模型可以完全准确地描述污染物迁移和暴露的全过程，随着科学的发展，暴露计算和风险计算的方法可能会发生改变。

2、减缓措施

本次风险评估按照环保部最新发布的《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的基本要求进行计算，是我国用于风险评估的普遍推荐模型，尽量较少因模型不一致带来的不确定性影响。

4.10.2 地块参数和暴露参数的不确定性

1、不确定性分析

本项目的人体暴露参数大部分选择《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的默认保守数据，土壤性质参数选择地块实测值。由于我国对于风险评估的基础研究相对匮乏，且湖南地区的参数（如土壤、暴露、气象等参数）与国家导则中推荐的默认参数也存在一定的差异性，因此模型根据国家导则计算本地的风险或危害熵可能与本地块的实际情况有所差异。另外，人群活动方式决定者人群的暴露频次、暴露周期、暴露量等主要参数，本次评估对人群活动方式信息按照导则适用参数进行推测，因此也对最终的评估结果产生了一定的不确定性。

2、减缓措施

本次为了减小暴露参数的不确定性，对该污染地块进行实地详细水文地质勘查，暴露参数、土壤性质参数尽量优先采用地块实测数据，减小风险评估的不确定性，具体措施如下：

- a、土壤性质的参数（如土壤容重、含水率等）来自地勘报告；
- b、PM10 来自《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程建设项目环境影响报告表》中环境空气质量现状的监测数据，取值 0.051 mg/m^3 ；
- c、成人平均体重取值为 58.6kg ，来自生态环境部编著的《中国人群暴露参数手册（成人卷）》（2013.12）湖南城乡成人体重平均值；
- d、儿童平均体重取值为 20.45kg ，来自生态环境部编著的《中国人群暴露参数手册（儿童卷）》（2016.10）湖南省儿童的体重平均值。
- e、其它参数主要参考我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的相关数值。

4.10.3 环境风险贡献率分析

1、贡献率计算模型

单一污染物经不同暴露途径致癌和非致癌风险贡献率计算公式（D.1）和公

式 (D.2)

$$PCR_i = \frac{CR_i}{CR_n} \times 100\% \quad \dots\dots (D.1)$$

$$PHQ_i = \frac{HQ_i}{HI_n} \times 100\% \quad \dots\dots (D.2)$$

公式 (D.1) 和公式 (D.2) 中:

CR_i — 单一污染物经第 i 种暴露途径的致癌风险, 无量纲;

PCR_i — 单一污染物经第 i 种暴露途径致癌风险贡献率, 无量纲;

HQ_i — 单一污染物经第 i 种暴露途径的危害商, 无量纲。

PHQ_i — 单一污染物经第 i 种暴露途径非致癌风险贡献率, 无量纲。

公式 (D.1) 中, CR_n 的参数含义见公式 (C.7); 公式 (D.2) 中, HI_n 的参数含义见公式 (C.14) 或 (C.22)。

2、贡献率分析

本地块土壤 5 种超过人体健康风险水平的优先关注污染物为镉、铅、锌、砷、锰、锑。暴露途径贡献率的计算结果见表 4-10 由表可知, 锰对地块人群最主要的土壤风险暴露途径均是吸入土壤颗粒物, 土壤风险暴露途径贡献率为 92.17%, 其次是经口摄入, 锰经口摄入途径的暴露途径贡献率为 7.83%; 镉、锌、砷、锑对地块人群最主要的土壤风险暴露途径均是经口摄入土壤途径, 土壤暴露途径贡献率分别为 65.02%、100%、89.02%、100%; 镉、砷其次分别为吸入土壤颗粒物、皮肤接触的土壤风险暴露途径, 贡献率分别为 27.33%、8.65%, 镉、砷最后剩余的贡献率分别来自皮肤接触、吸入土壤颗粒物的土壤风险暴露途径, 贡献率分别为 7.65%、2.33%, 锌、锑无其他土壤风险暴露途径。

表 4-10 地块土壤风险暴露途径贡献率 (%)

序号	指标	经口摄入	皮肤接触	吸入土壤颗粒物	吸入室外表层蒸汽	吸入室外下层蒸汽	吸入室内下层蒸汽
1	镉	65.02	7.65	27.33	—	—	—
2	锌	100	—	—	—	—	—
3	砷	89.02	8.65	2.33	—	—	—
4	锰	7.83	—	92.17	—	—	—
5	锑	100	—	—	—	—	—

4.10.4 参数敏感性分析

当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。参数敏感性可用敏感性比值表示，计算公式如下（D.3），敏感性比值越大，表示该参数对风险的影响也越大。进行模型参数敏感性分析应综合考虑参数的实际取值范围确定参数值的变化范围。

$$SR = \frac{\frac{X_2 - X_1}{X_1}}{\frac{P_2 - P_1}{P_1}} \times 100\% \quad \dots\dots (D.3)$$

公式（D.3）中：

- SR —模型参数敏感性比例，无量纲；
- P₁ —模型参数 P 变化前的数值；
- P₂ —模型参数 P 变化后的数值；
- X₁ —按 P₁ 计算的致癌风险或危害商，无量纲；
- X₂ —按 P₂ 计算的致癌风险或危害商，无量纲。

根据土壤风险表征值计算结果可知，重金属污染的风险主要来自于经口摄入和吸入土壤颗粒物两种暴露途径。根据计算公式 D.3，选择代表性重金属镉进行敏感性分析，计算结果见表 4-11。

敏感性比值越大，表示该参数对风险的影响也越大，由参数敏感性分析可知，对重金属镉风险敏感性影响由高到低依次为空气中可吸入颗粒物含量 PM₁₀、成人平均体重 BW_a、儿童平均体重 BW_c，其中空气中可吸入颗粒物含量 PM₁₀ 敏感性最高，SR 可达 0.48。

由此，本次污染风险评估过程中，暴露参数、空气特征参数采用贴合污染地块的实际参数，在敏感性较高的参数取值上（如空气中可吸入颗粒物含量 PM₁₀、成人平均体重 BW_a 等）采用权威部门发布的有关湖南省的最新统计或实测数据，减少风评模型参数带来的不确定性，采取依据如下：

- a、PM₁₀ 来自《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程建设项目环境影响报告表》中环境空气质量现状的监测数据，取值 0.051mg/m³；
- b、成人平均体重取值为 58.6kg，来自生态环境部编著的《中国人群暴露参数手册（成人卷）》（2013.12）湖南城乡成人体重平均值；
- c、儿童平均体重取值为 20.45kg，来自生态环境部编著的《中国人群暴露参数手册（儿童卷）》（2016.10）湖南省儿童的体重平均值。

其它暴露参数均取自我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》

(HJ25.3-2019) 中的推荐值。由此，本次污染风险评估是在我国当前环境下最贴合污染地块实际情况的评估结果，污染风险评估结果可信。

表 4-11 重金属镉的土壤暴露参数敏感性分析

受体暴露参数		P1	P2	X1	X2	SR (%)
参数名称	符号					
成人平均体重	BW _a	61.8	58.6	1.36E+02	1.33E+02	0.43
儿童平均体重	BW _c	19.2	20.45	1.36E+02	1.28E+02	-0.90
空气中可吸入颗粒物含量	PM ₁₀	0.119	0.051	1.36E+02	9.86E+01	0.48

4.11 小结

地块土壤中致癌污染物镉、砷对人体的致癌风险分别为 6.57E-05、8.58E-03，其中镉、砷对人体的致癌风险大于可接受致癌风险水平 1.0E-06，超过人体健康风险可接受水平。

地块土壤关注污染中具有非致癌风险的污染物为镉、锌、砷、锰、锑，土壤非致癌污染物中镉、锌、砷、锰、锑的非致癌风险分别为 9.14E+01、7.63E+00、2.97E+02、1.59E+01、6.33E+02，其中镉、锌、砷、锰、锑的非致癌风险均大于可接受非致癌风险水平危害商值 1。

地块土壤关注污染中基于 IEUBK 模型的土壤铅风险以儿童血铅为准反推土壤中铅的修复目标值，确定土壤中铅含量超过标准限值 539mg/kg 的区域为人体健康风险不可接受区域。

因此，本地块土壤中单一污染物**镉、铅、锌、砷、锰、锑**对人体健康存在风险，需修复或风险管控后方可开发利用。

第五章 修复目标值及修复范围建议

5.1 风险控制值计算模型

5.1.1 基于致癌效应的风险控制值计算模型

1、基于经口摄入土壤途径致癌效应的土壤风险控制值计算公式 (E.1)

$$RCVS_{ois} = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_o} \quad \dots\dots (E.1)$$

公式 (E.1) 中:

$RCVS_{ois}$ — 基于经口摄入途径致癌效应的土壤风险控制值, $mg \cdot kg^{-1}$;

ACR — 可接受致癌风险, 无量纲; 取值为 10^{-6} 。

公式 (E.1) 中 $OISER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.1), SF_o 的参数含义见公式 (B.3)。

2、基于皮肤接触土壤途径致癌效应的土壤风险控制值计算公式 (E.2)

$$RCVS_{dcs} = \frac{ACR}{DCSER_{ca} \times SF_d} \quad \dots\dots (E.2)$$

公式 (E.2) 中:

$RCVS_{dcs}$ — 基于皮肤接触途径致癌效应的土壤风险控制值, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.2) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1), $DCSER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.3), SF_d 的参数含义见公式 (B.3)。

3、基于吸入土壤颗粒物途径致癌效应的土壤风险控制值计算公式 (E.3)

$$RCVS_{pis} = \frac{ACR}{PISER_{ca} \times SF_i} \quad \dots\dots (E.3)$$

公式 (E.3) 中:

$RCVS_{pis}$ — 基于吸入土壤颗粒物途径致癌效应的土壤风险控制值, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.3) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1), $PISER_{ca}$ 的参数含义见公式 (A.7), SF_i 的参数含义见公式 (B.1)。

4、基于 6 种暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值计算公式 (E.7)

$$RCVS_n = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_0 + DCSE_{ca} \times SF_d + (PISER_{ca} + IOVER_{ca1} + IVOER_{ca2} + IIVER_{ca1}) \times SF_i} \dots\dots (E.7)$$

公式 (E.7) 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, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.7) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1), $OISER_{ca}$ 、 $DCSE_{ca}$ 、 $PISER_{ca}$ 、 $IOVER_{ca1}$ 、 $IOVER_{ca2}$ 和 $IIVER_{ca1}$ 的参数含义分别见公式 (A.1)、公式 (A.3)、公式 (A.7)、公式 (A.9)、公式 (A.10) 和公式 (A.15), SF_0 和 SF_d 的参数含义见公式 (B.3), SF_i 的参数含义见公式 (B.1)。

5.1.2 基于非致癌效应的风险控制值计算模型

1、基于经口摄入土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值计算公式 (E.8)

$$HCVS_{ois} = \frac{RfD_o \times SAF \times AHQ}{OISER_{nc}} \dots\dots (E.8)$$

公式 (E.8) 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, $mg \cdot kg^{-1}$;

AHQ — 可接受危害商, 无量纲; 取值为 1。

公式 (E.8) 中, RfD_o 的参数含义见公式 (B.4), $OISER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.2), SAF 的参数含义见公式 (C.8)。

2、基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值计算公式 (E.9)

$$HCVS_{dcs} = \frac{RfD_d \times SAF \times AHQ}{DCSE_{nc}} \dots\dots (E.9)$$

公式 (E.9) 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, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.9) 中, AHQ 的参数含义见公式 (E.8), $DCSE_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.6), RfD_d 的参数含义见公式 (B.4), SAF 的参数含义见公式 (C.8)。

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计算公式 (E.10)

$$HCVS_{pis} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{PISER_{nc}} \quad \dots\dots (E.10)$$

公式 (E.10) 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, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.10) 中, RfD_i 的参数含义见公式 (B.2), AHQ 的参数含义见公式 (E.8), $PISER_{nc}$ 的参数含义见公式 (A.8), SAF 的参数含义见公式 (C.8)。

4、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计算公式 (E.14)

$$HCVS_n = \frac{AHQ \times SAF}{\frac{OISER_{nc}}{RfD_o} + \frac{DCSER_{nc}}{RfD_d} + \frac{PISER_{nc} + IOVER_{nc1} + IOVER_{nc2} + IIVER_{nc1}}{RfD_i}} \quad \dots\dots (E.14)$$

公式 (E.14) 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, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.14) 中, AHQ 的参数含义见公式 (E.8), $OISER_{nc}$ 、 $DCSER_{nc}$ 、 $PISER_{nc}$ 、 $IOVER_{nc1}$ 、 $IIVER_{nc1}$ 的参数含义分别见公式 (A.2)、公式 (A.6)、公式 (A.8)、公式 (A.12) 和公式 (A.17), RfD_o 和 RfD_d 的参数含义见公式 (B.4), RfD_i 的参数含义见公式 (B.2), SAF 的参数含义见公式 (C.8)。

5.2 风险控制值计算结果

根据风险控制值的计算公式得出, 镉、铅、锌、砷、锰、锑的风险控制值分别为: 具体见表 5-1。

表 5-1 风险控制值计算结果

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	基于致癌效应的土壤筛选值							基于非致癌效应的土壤筛选值							综合筛选值
			RCVS _{ois}	RCVS _{dcs}	RCVS _{pis}	RCVS _{iiv}	RCVS _{iov1}	RCVS _{iov2}	RCVS _n	HCVS _{ois}	HCVS _{dcs}	HCVS _{pis}	HCVS _{iiv}	HCVS _{iov1}	HCVS _{iov2}	HCVS _n	SLS ^{int}
1	镉	Cadmium	-	-	4.83E+01	-	-	-	4.83E+01	5.33E+01	4.53E+02	1.27E+02	-	-	-	3.47E+01	3.47E+01
2	锌	Zinc	-	-	-	-	-	-	-	1.60E+04	-	-	-	-	-	1.60E+04	1.60E+04
3	砷 (无机)	Arsenic	5.30E-01	5.46E+00	1.26E+02	-	-	-	4.72E-01	1.60E+01	1.81E+02	1.90E+02	-	-	-	1.36E+01	4.72E-01
4	锑	Antimony	-	-	-	-	-	-	-	2.13E+01	-	-	-	-	-	2.13E+01	2.13E+01
5	锰	Manganese (Diet)	-	-	-	-	-	-	-	7.46E+03	-	6.34E+02	-	-	-	5.85E+03	5.85E+03

5.3 修复目标值建议

关注污染物的致癌风险大于 $1.0E-06$ 或危害商大于 1 时，应根据地块具体情况，分别计算单一污染物基于致癌风险的土壤修复限值、计算单一关注污染物基于非致癌风险的土壤修复限值，选择最小浓度值作为污染地块参数导则计算值。关注污染物以 IEUBK 动力学模型计算风险控制值的，以饮用水达到生活饮用水标准确定污染地块参数计算值。

风险评估过程中，存在部分关注污染物反推计算的风险控制值远小雨政策要求的筛选值，如：砷。造成这种情况的原因主要是风险评估使用的计算模型过于保守。而针对这些特殊关注污染物，在建议修复目标值时，还需综合考虑区域土壤中背景值、社会经济性、修复可行性以及国家与地方相关政策等。

关注污染物砷是比较特殊的污染物，《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）中砷的毒性参数全部采用 As_2O_3 毒性数据，现国内外使用的人体健康风险评估模型中，在人体经口腔、皮肤接触过程中对暴露途径的设定中，是假设经口腔及皮肤吸收土壤中的砷为完全吸收的最为保守的假设情景，未考虑土壤中的砷对人体的生物有效性以及土壤背景值已经超过人体健康风险可接受水平的情况。在此情景下计算的土壤中砷的风险控制值也远远小于其在土壤自然环境中的背景浓度，若要求清理修复至最保守情景下计算的、远低于区域背景值的风险控制值时，显然会存在过度修复、浪费社会资源的情况。并且按照目前的修复技术，几乎不可能通过修复技术手段使土壤中的砷含量低于反推得出的风险控制值，这与居民可在土壤砷背景值情境下正常生活的实际情况也不相符。因此，将砷的修复目标值定为土壤背景值。

若牛头化工有限公司污染土地地块采用原地异位修复技术，建议按照 3.6.1 节的筛选标准确定本地块的修复目标值。本地块中存在土壤致癌污染物镉、砷对人体的致癌风险，土壤非致癌污染物锌、锰、锑对人体的非致癌风险，以及基于 IEUBK 模型的土壤铅超过人体健康风险可接受水平。为避免过度修复，在参考 3.6.1 节的筛选标准的情况下，确定其中镉的修复目标值为 $34.7mg/kg$ 、铅的修复目标值为 $539mg/kg$ 、锌的修复目标值为 $16000mg/kg$ 、砷的修复目标值为： $0.472mg/kg$ ，锰的修复目标值为 $5850mg/kg$ ，锑的修复目标值为 $21.3mg/kg$ ，具体见表 5-2。

需要注意的是，本报告建议的修复目标值仅适用于本地块采用原地异位修

复技术，即修复后的污染土壤仍保留在地块范围内；若修复后的污染土壤转移出地块，另行处置，则需根据土壤的去向、最终处置方式、国家相关标准的规定值等，重新确定土壤的修复目标值。

表 5-2 土壤关注污染物修复目标值（单位：mg/kg）

检测项目	最大值	国家标准		地块参数计算值	修复目标值
		筛选值	管制值		
镉	3170	20	47	34.7	34.7
铅	30200	400	800	539	539
锌	122000	/	/	16000	16000
砷	4050	40	120	0.472	40
锰	9300	/	/	5850	5850
锑	13500	20	40	21.3	21.3

5.4 修复范围建议

本地块超标风险污染物有镉、铅、锌、砷、锰、锑，将修复目标值分别与本地块的监测结果进行比较，选出大于修复目标值的点位信息。根据超标点位信息及对应监测数据，结合克里金插值法模拟，确定牛头化工有限公司污染地块范围内不同污染物、不同深度超过修复目标值的区域范围，具体见图 5-1 至图 5-31。

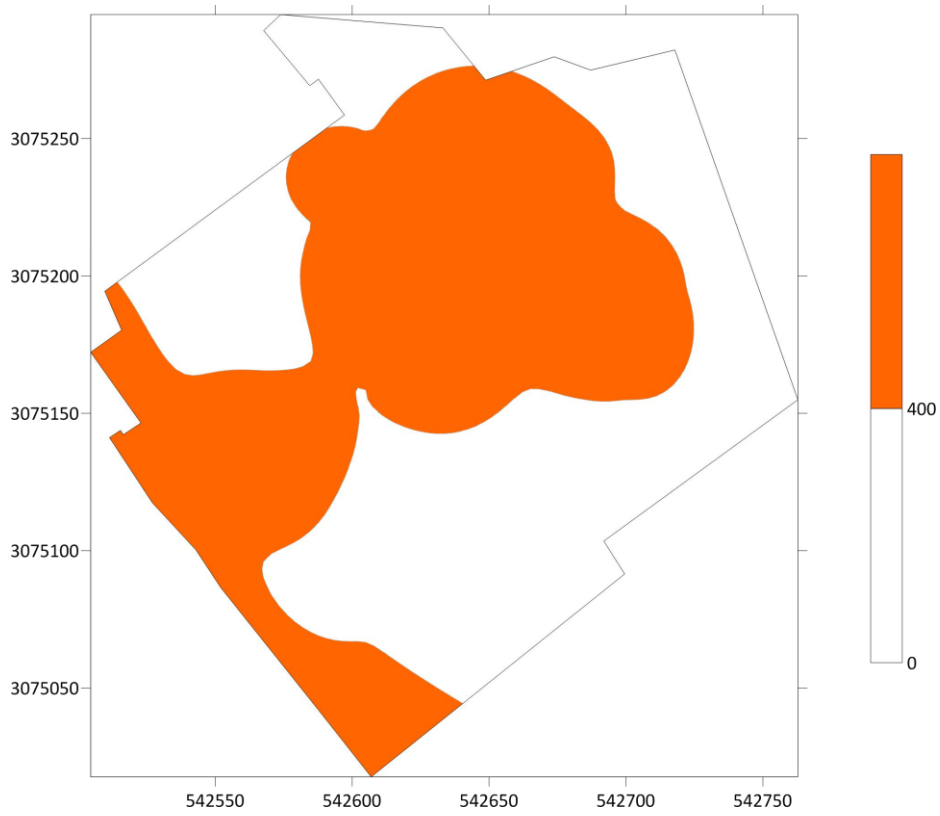


图 5-1 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 铅超标范围

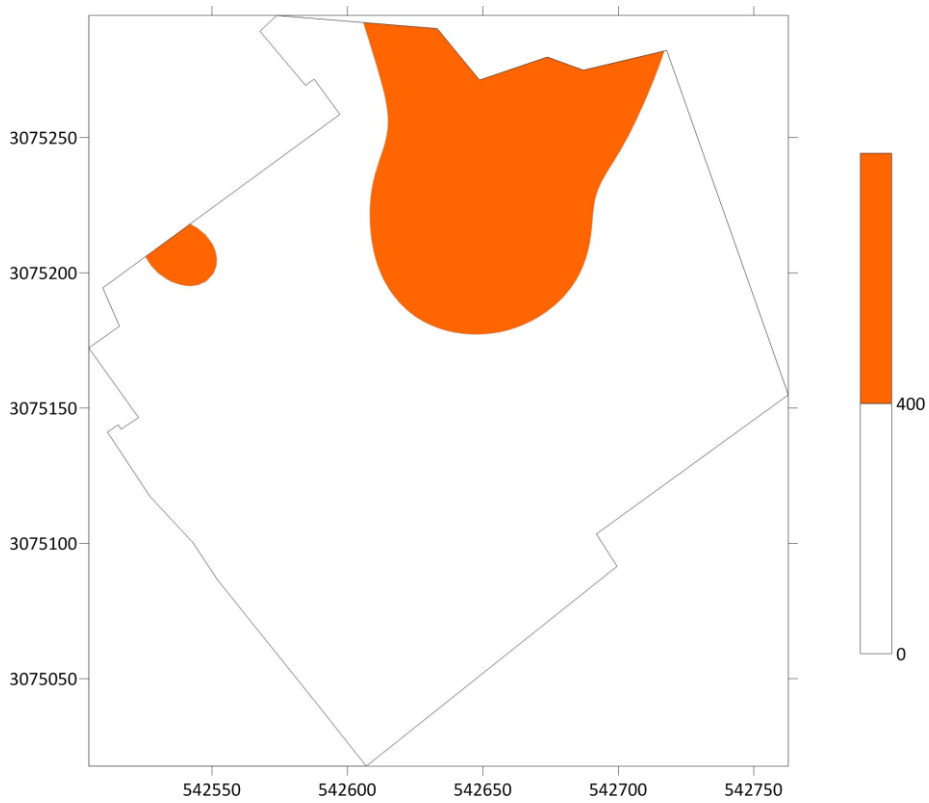


图 5-2 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 铅超标范围

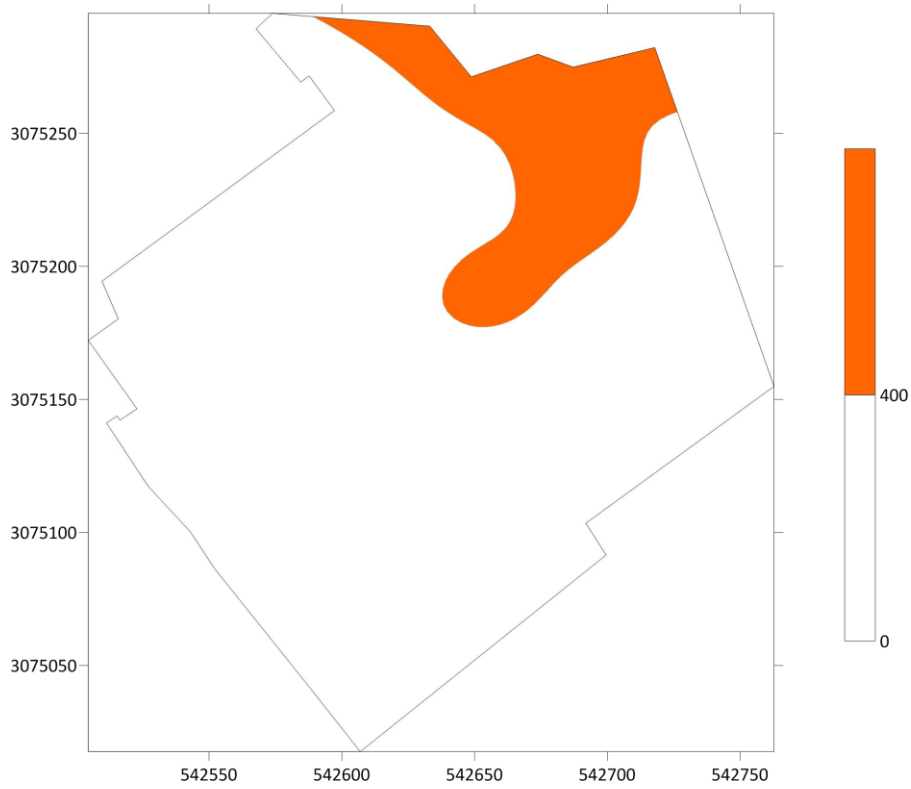


图 5-3 牛头化工有限公司污染地块土壤-2~-3m 铅超标范围

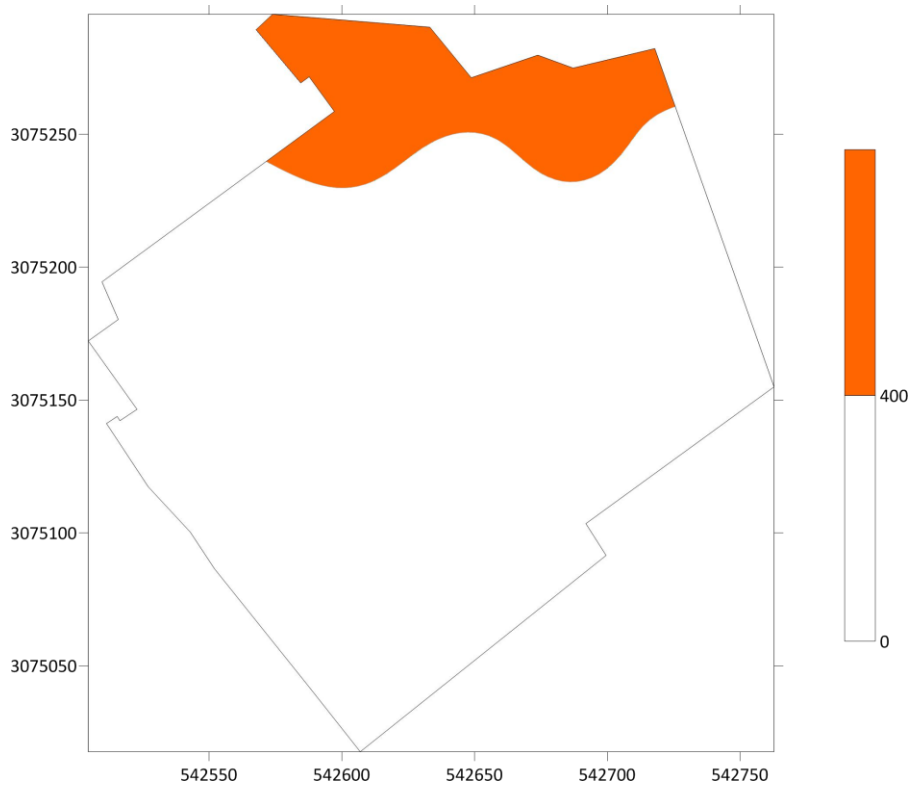


图 5-4 牛头化工有限公司污染地块土壤-3~-4m 铅超标范围

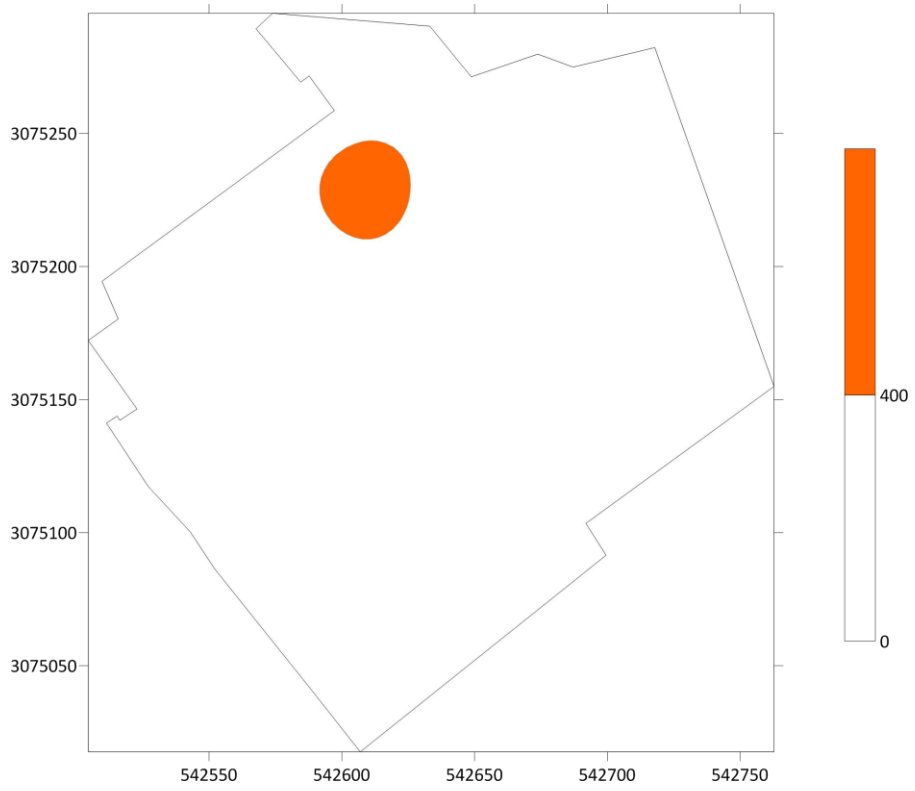


图 5-5 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 铅超标范围

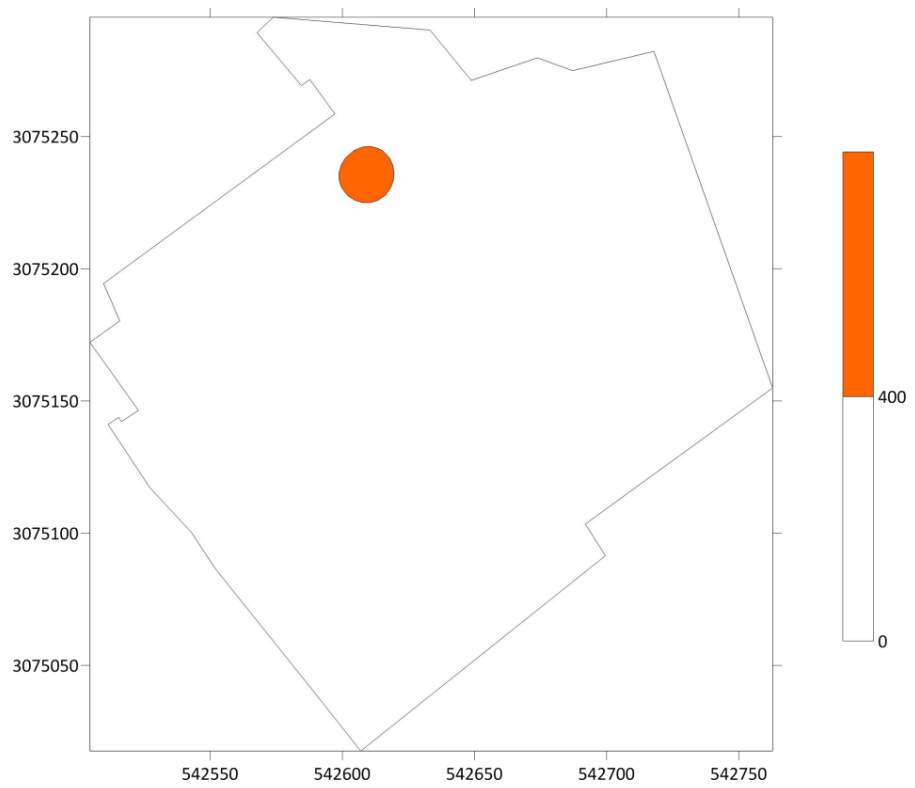


图 5-6 牛头化工有限公司污染地块土壤-5~-7m 铅超标范围

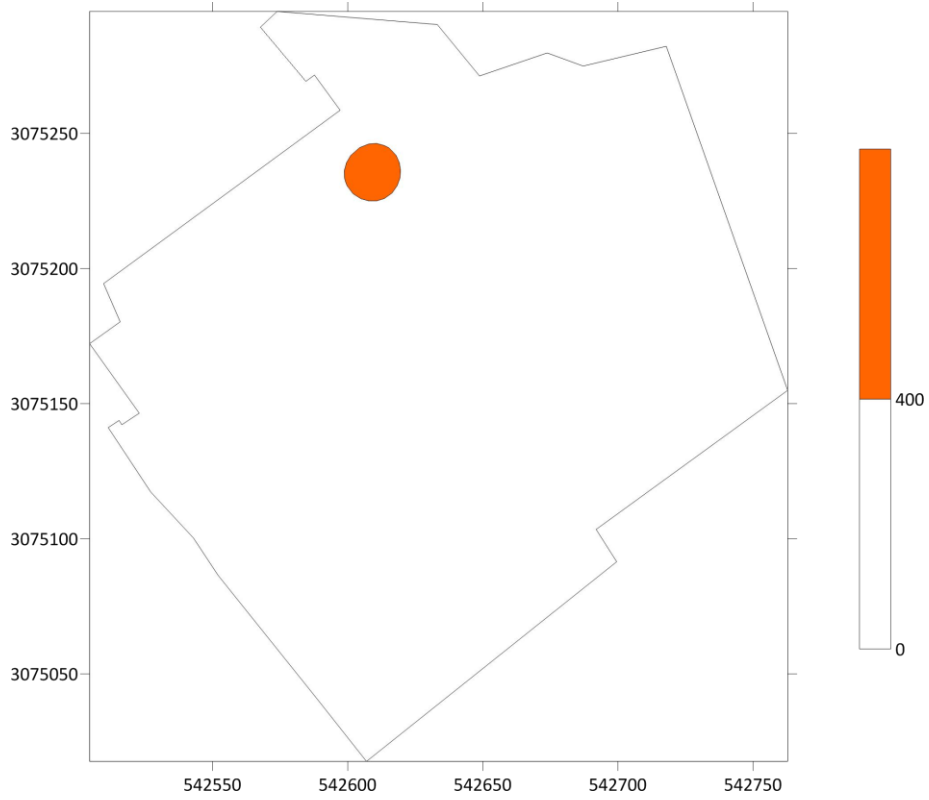


图 5-7 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~-1m 镉超标范围

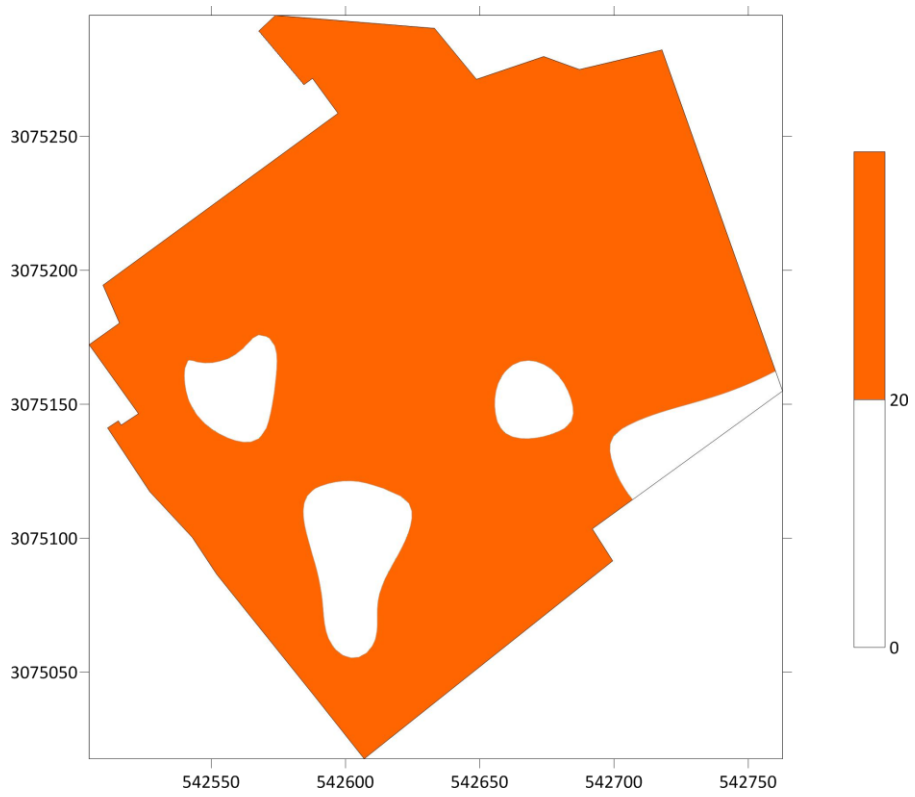


图 5-8 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 镉超标范围

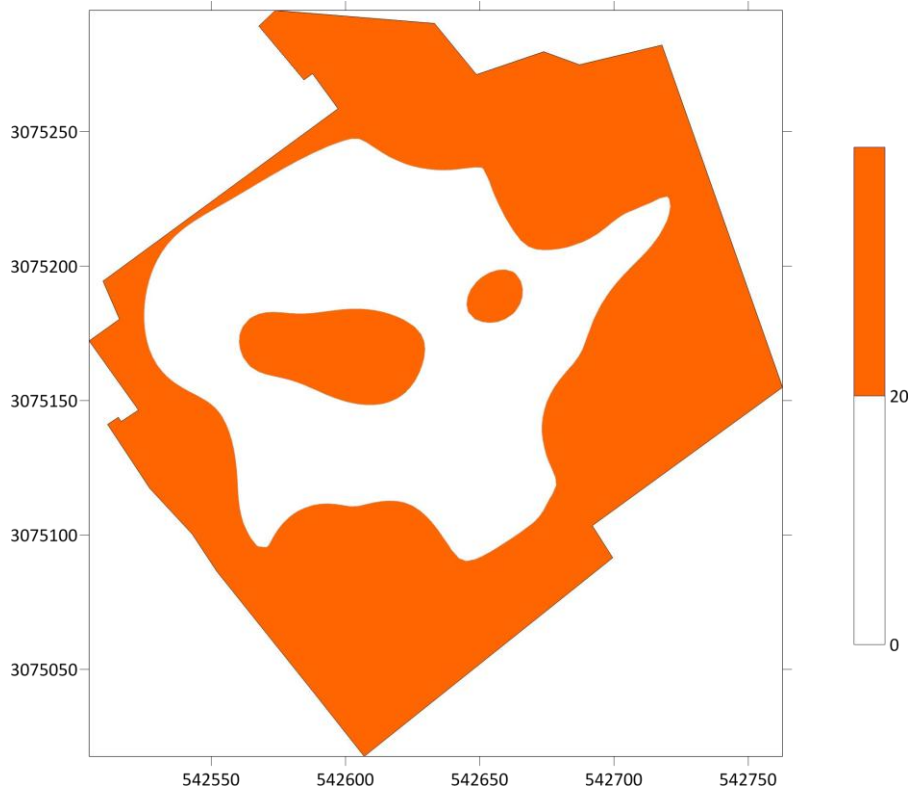


图 5-9 牛头化工有限公司污染地块土壤-2~-3m 镉超标范围

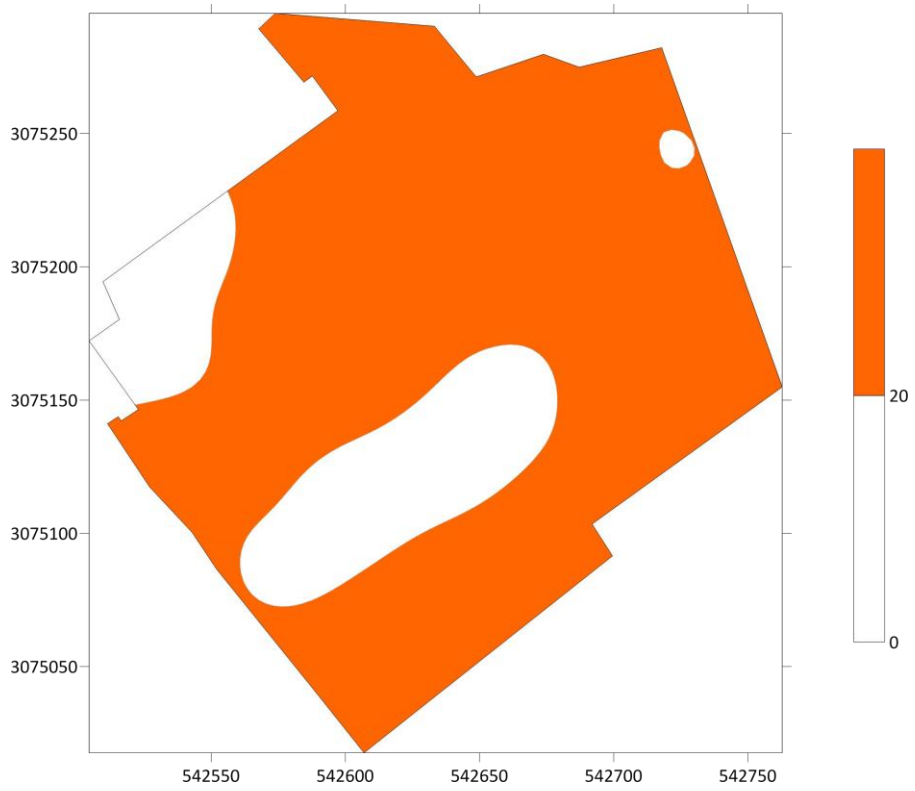


图 5-10 牛头化工有限公司污染地块土壤-3~-4m 镉超标范围

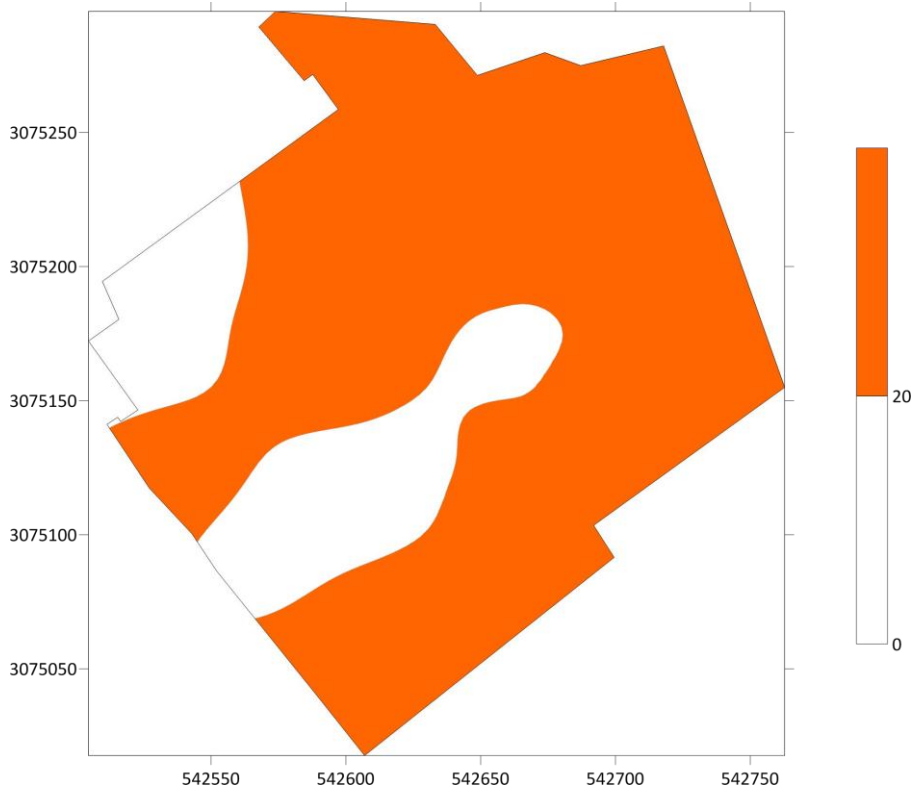


图 5-11 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 镉超标范围

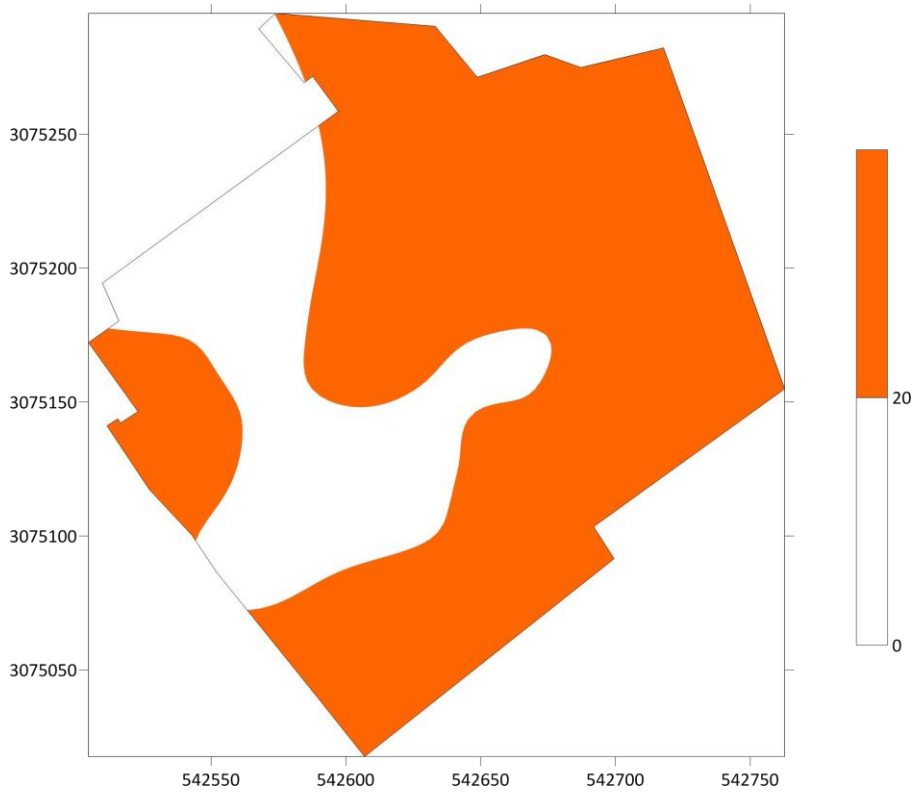


图 5-12 牛头化工有限公司污染地块土壤-5~-6m 镉超标范围

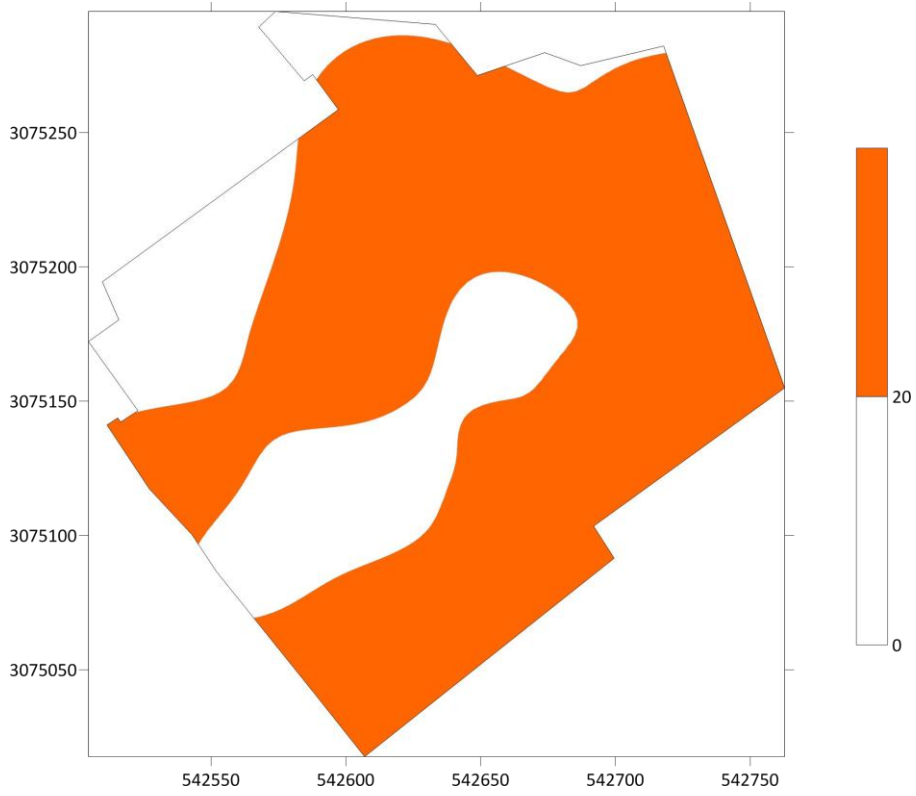


图 5-13 牛头化工有限公司污染地块土壤-6~-7m 镉超标范围

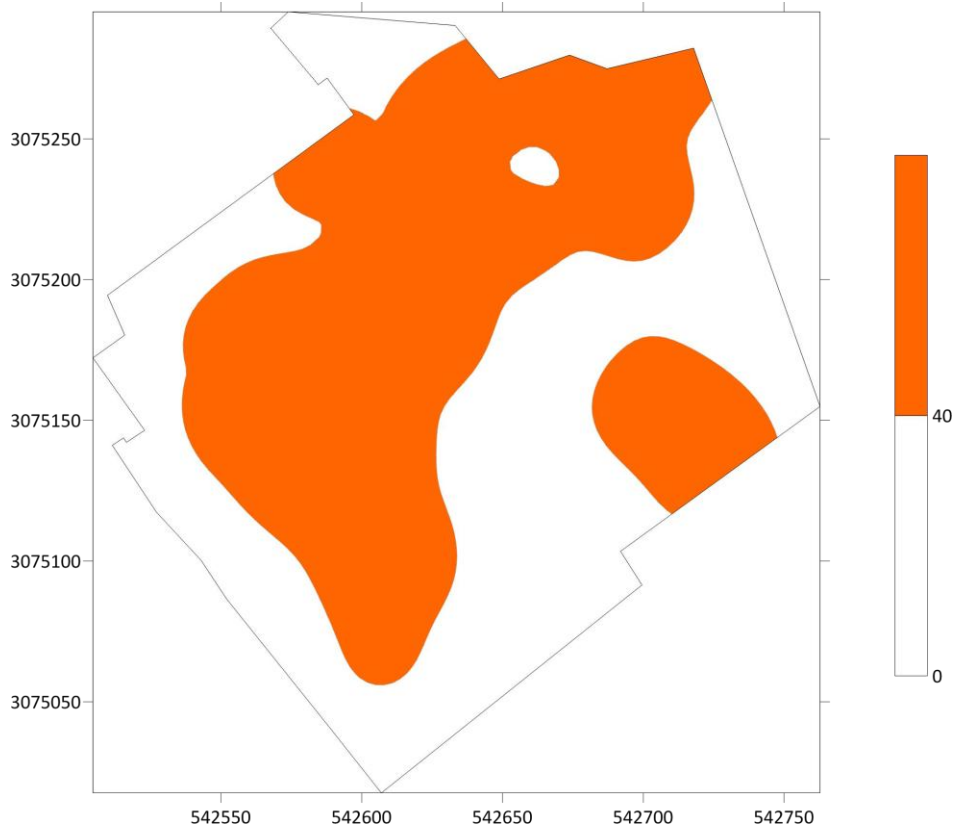


图 5-14 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~-1m 砷超标范围

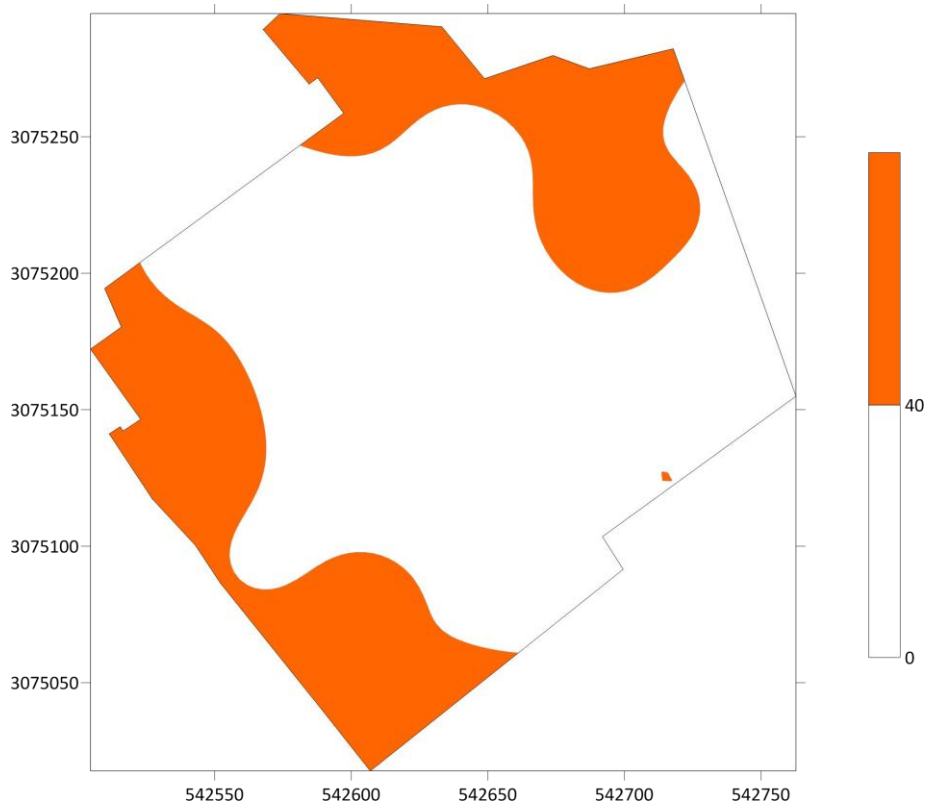


图 5-15 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 砷超标范围

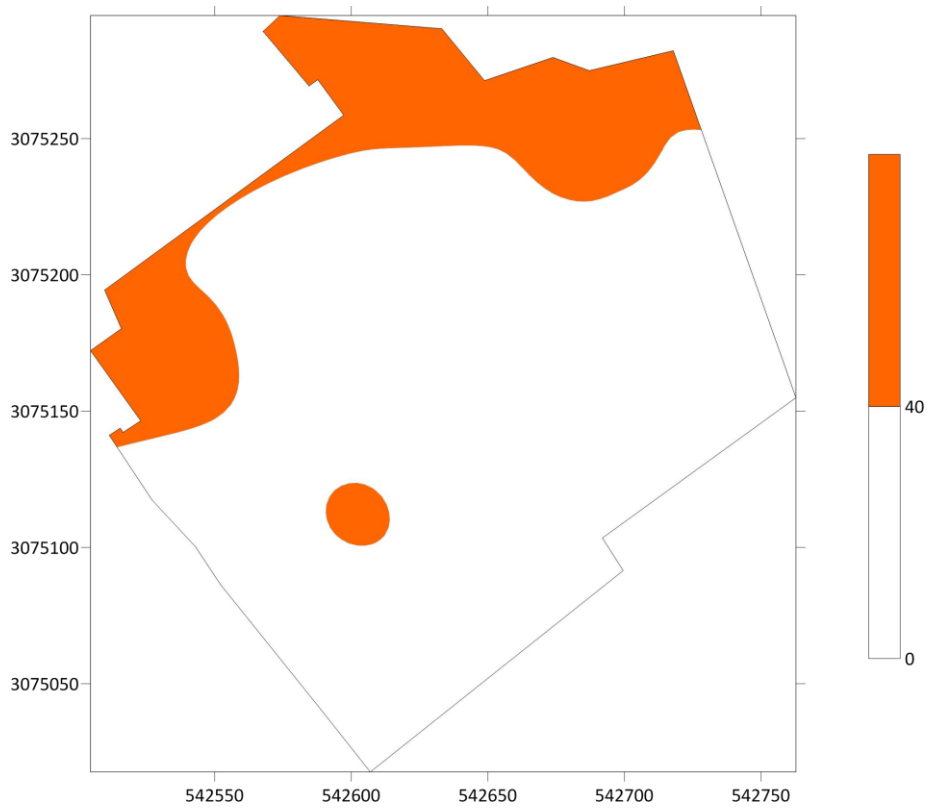


图 5-16 牛头化工有限公司污染地块土壤-2~-3m 砷超标范围

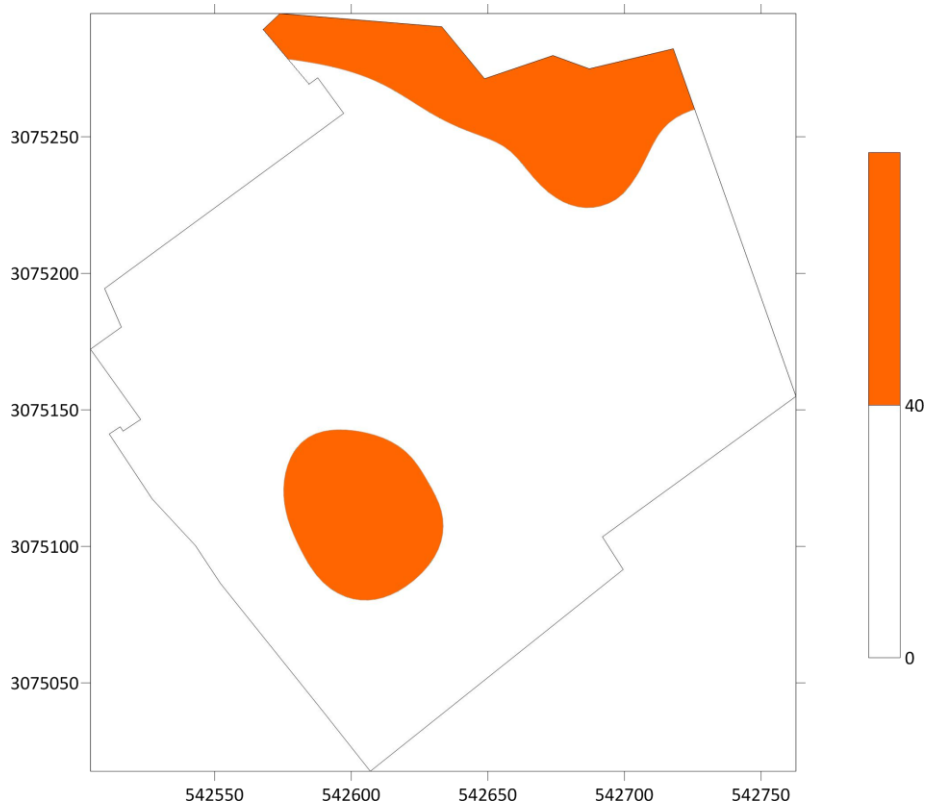


图 5-17 牛头化工有限公司污染地块土壤-3~-4m 砷超标范围

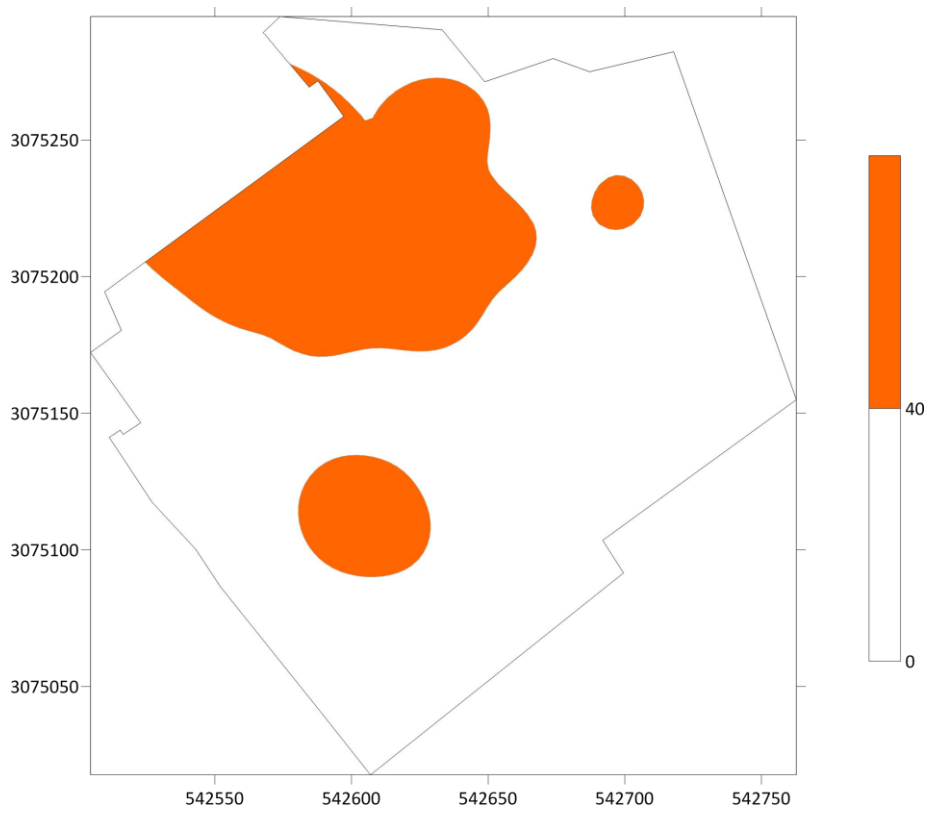


图 5-18 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 砷超标范围

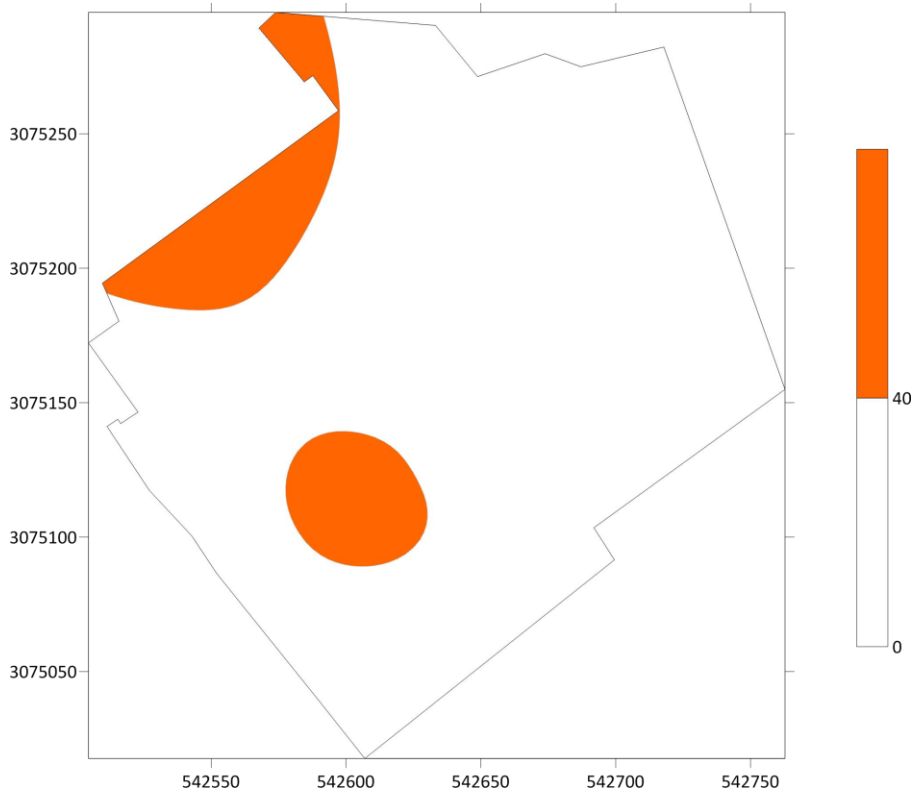


图 5-19 牛头化工有限公司污染地块土壤-5~6m 砷超标范围

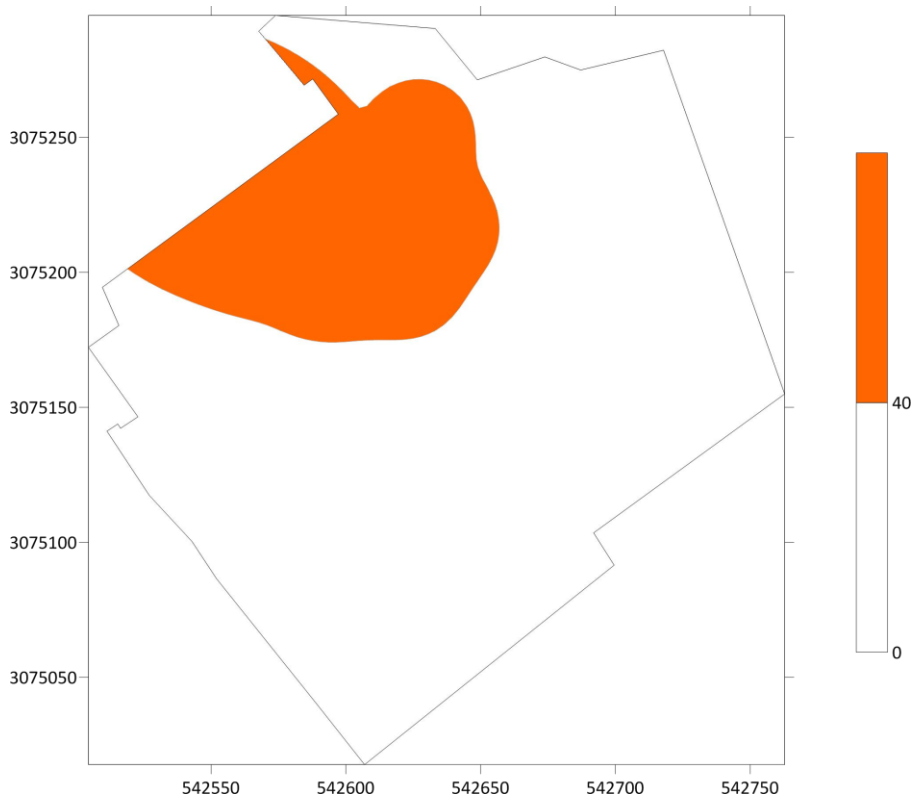


图 5-20 牛头化工有限公司污染地块土壤-6~7m 砷超标范围

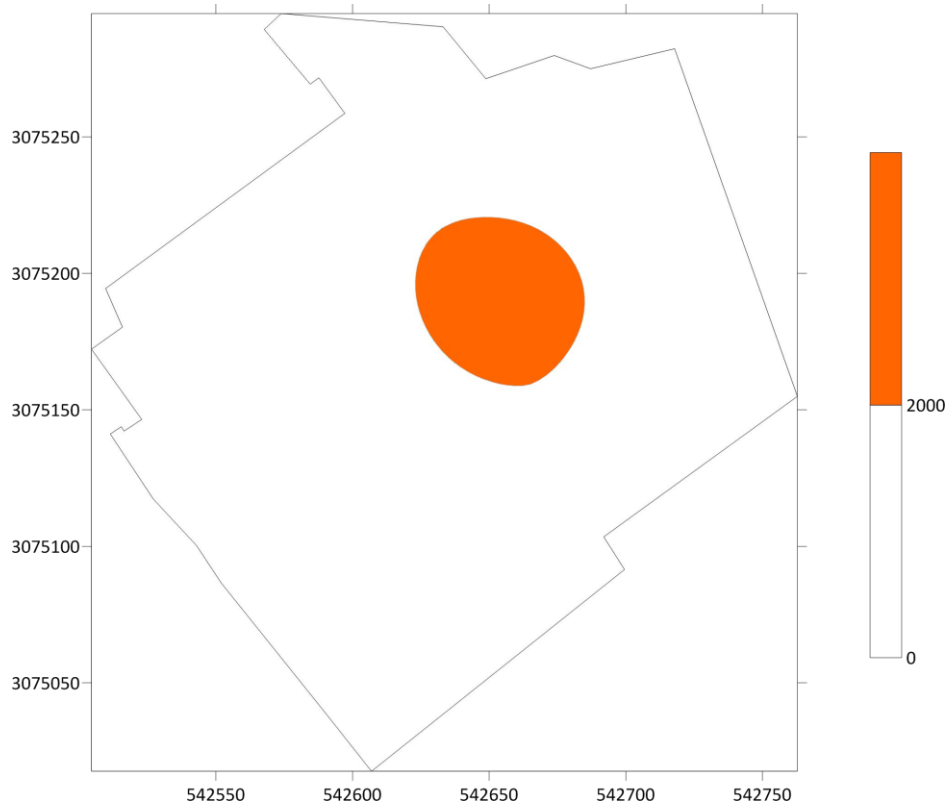


图 5-21 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 锰超标范围

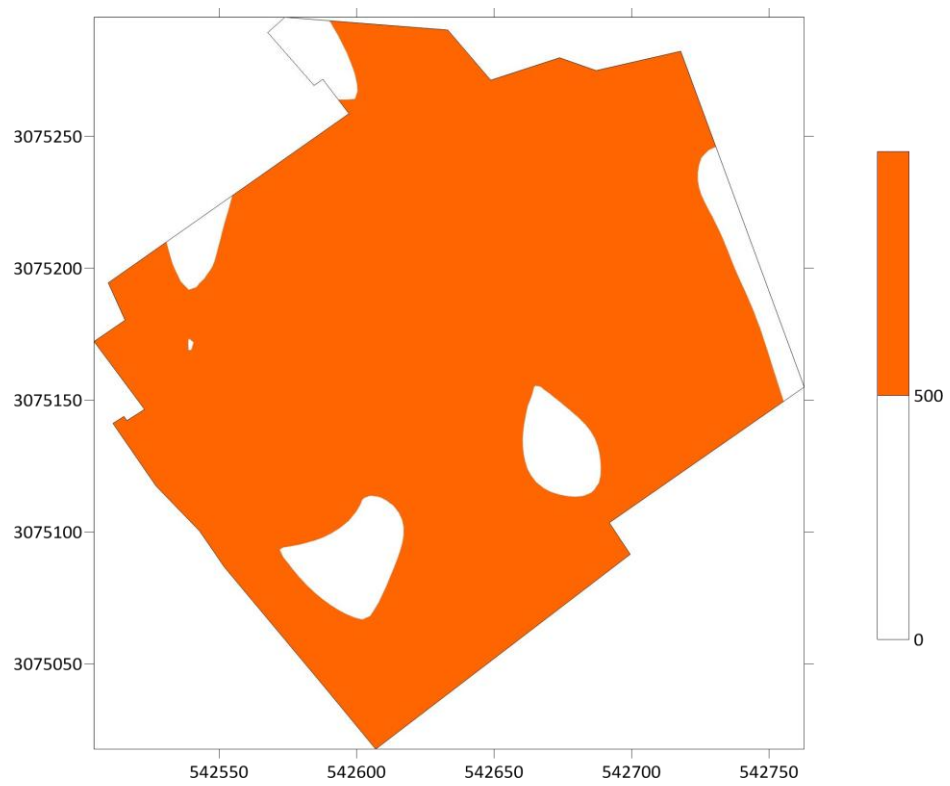


图 5-22 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 锌超标范围

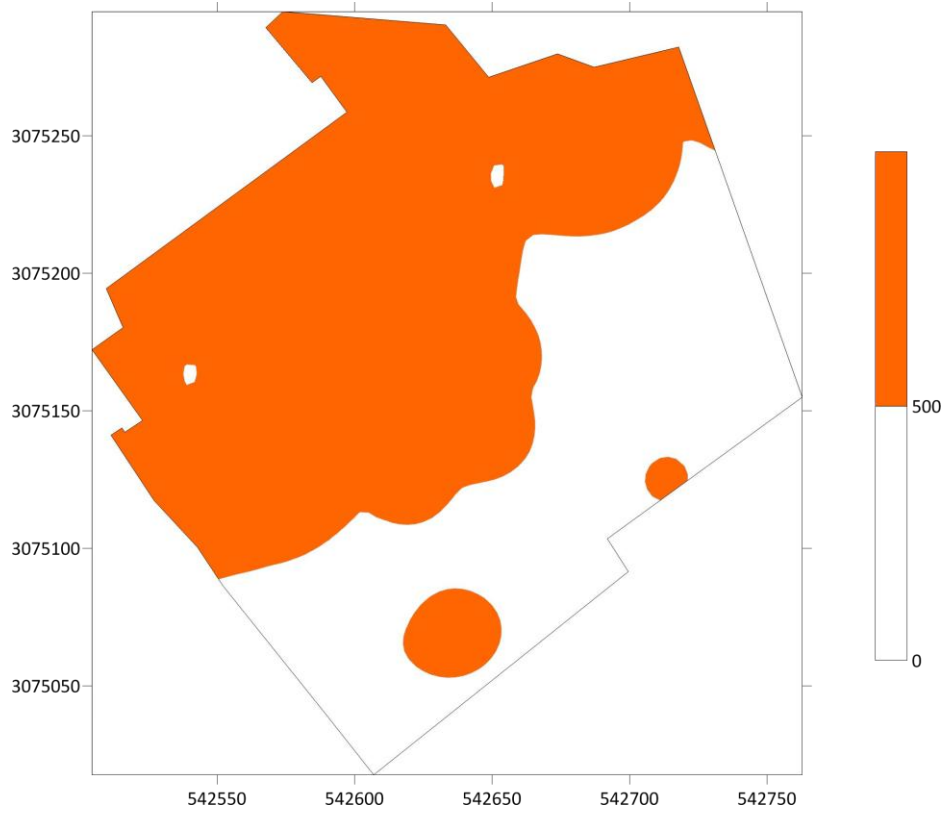


图 5-23 牛头化工有限公司污染地块土壤-1~-2m 锌超标范围

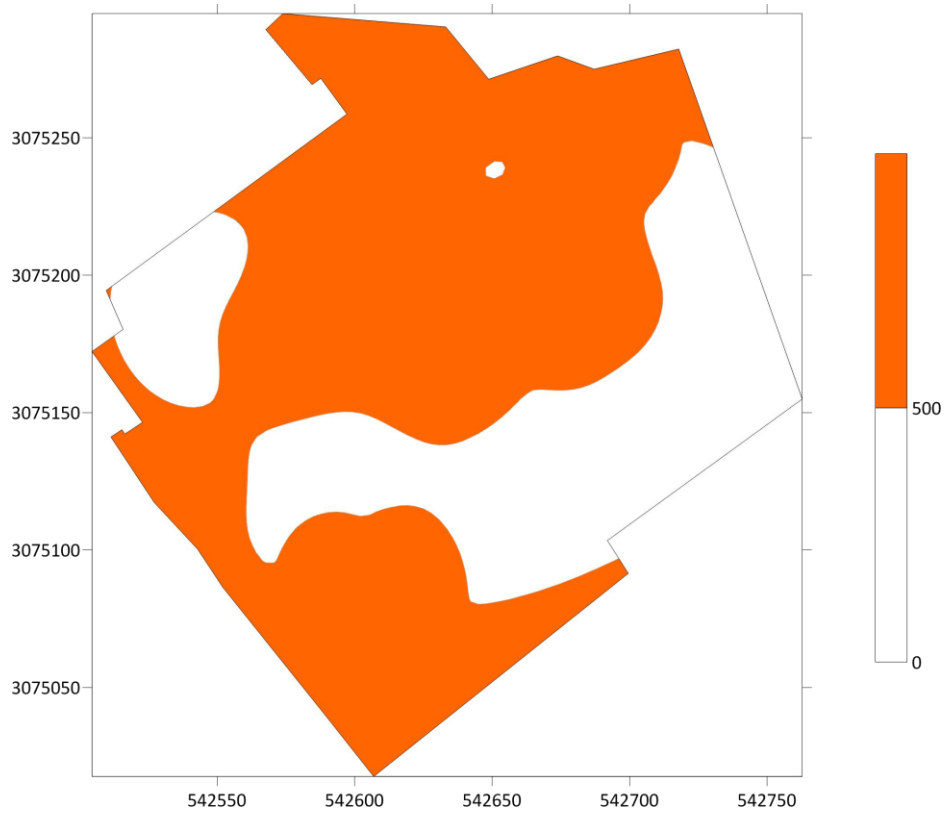


图 5-24 牛头化工有限公司污染地块土壤-2~-3m 锌超标范围

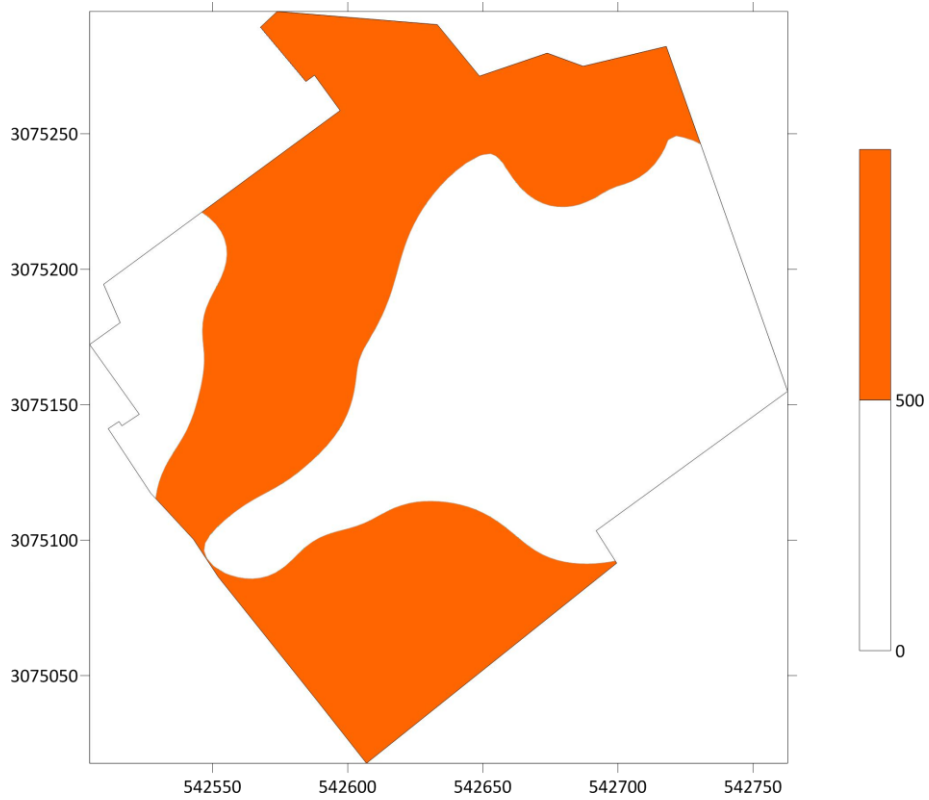


图 5-25 牛头化工有限公司污染地块土壤-3~4m 锌超标范围

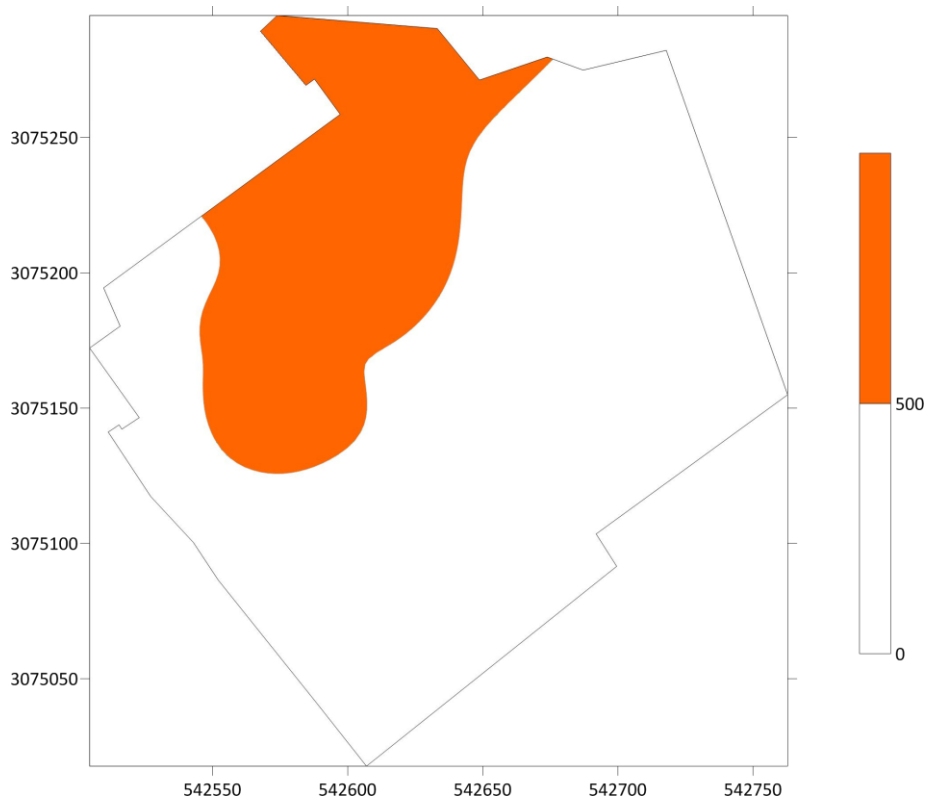


图 5-26 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~5m 锌超标范围

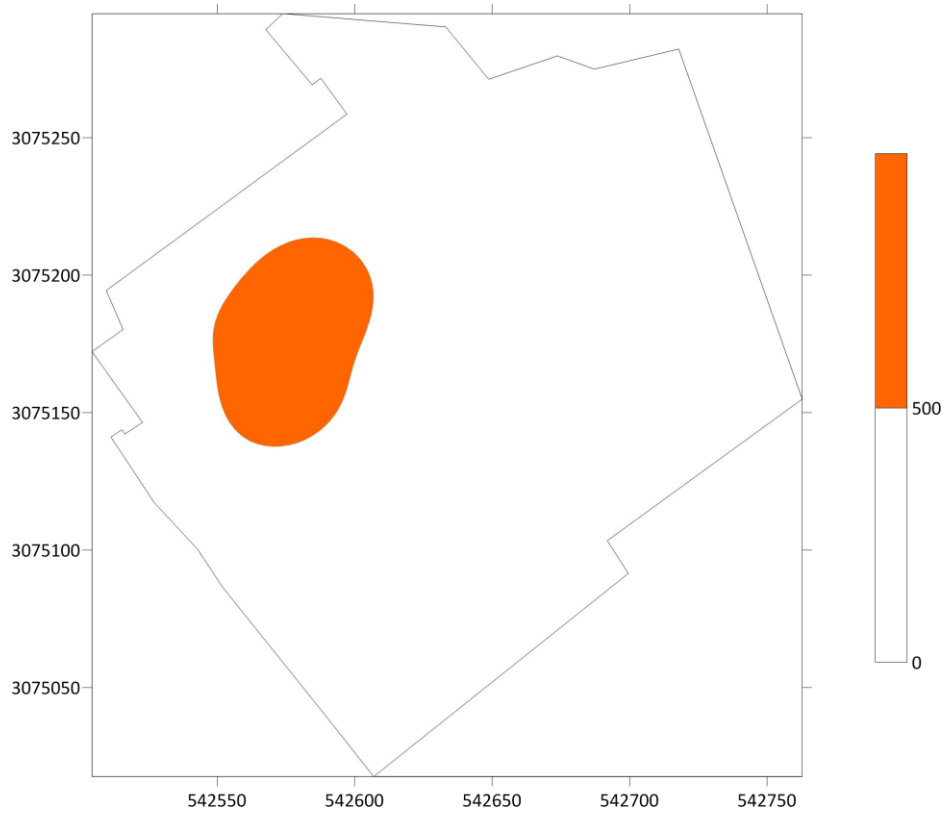


图 5-27 牛头化工有限公司污染地块土壤-5~-6m 锌超标范围

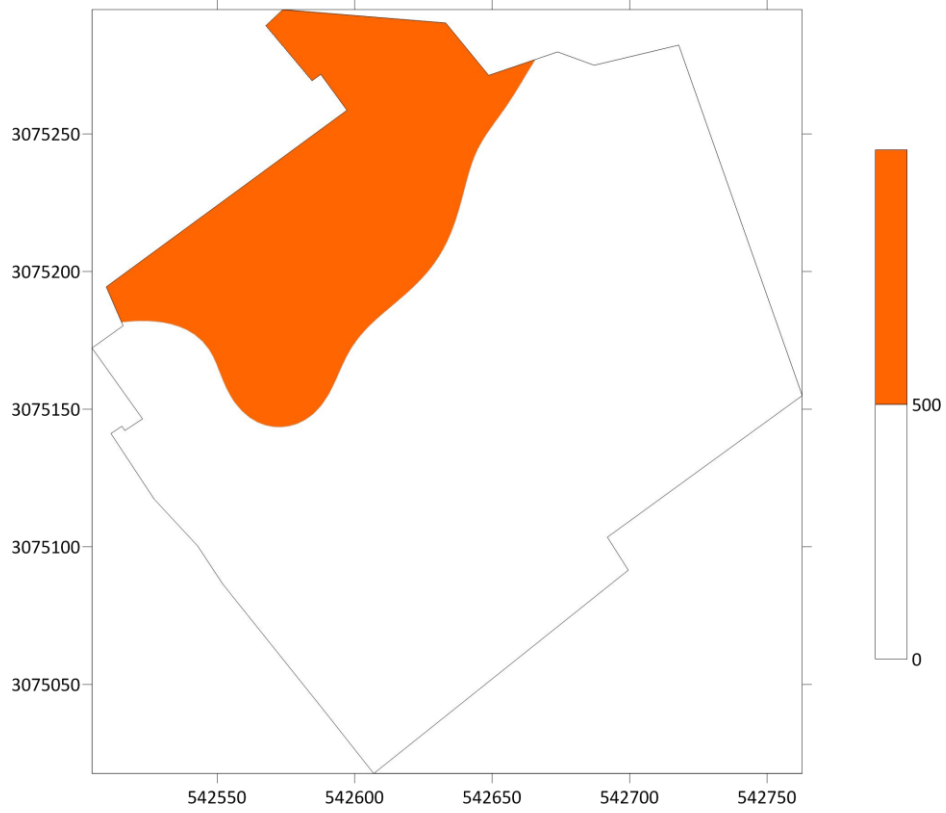


图 5-28 牛头化工有限公司污染地块土壤-6~-7m 锌超标范围

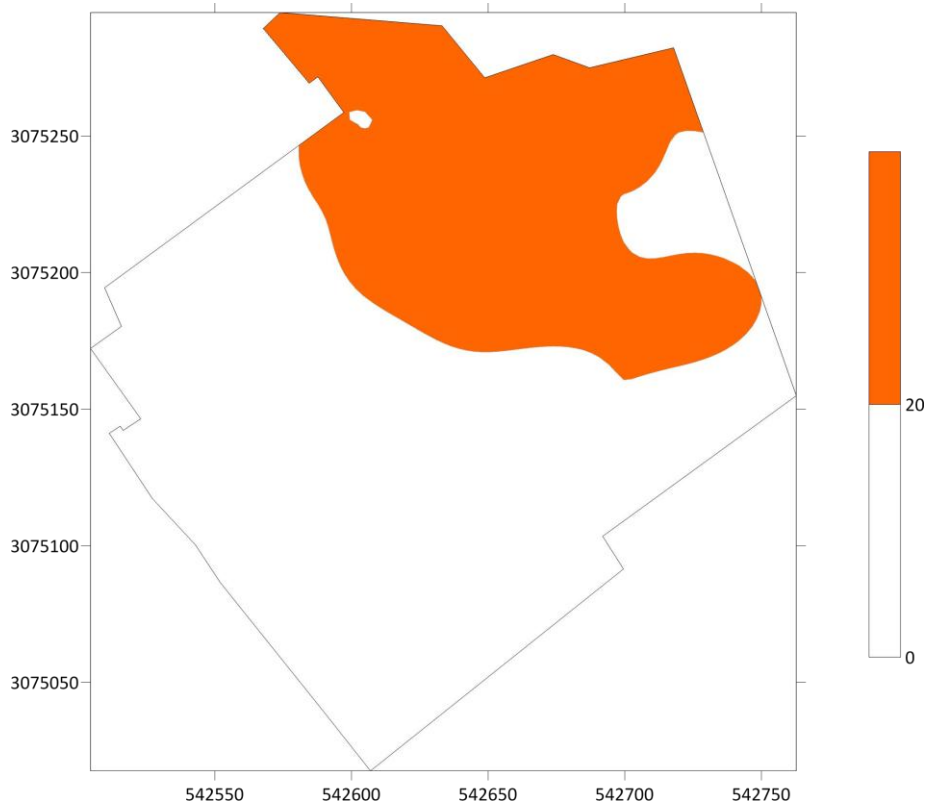


图 5-29 牛头化工有限公司污染地块土壤 0~1m 镉超标范围

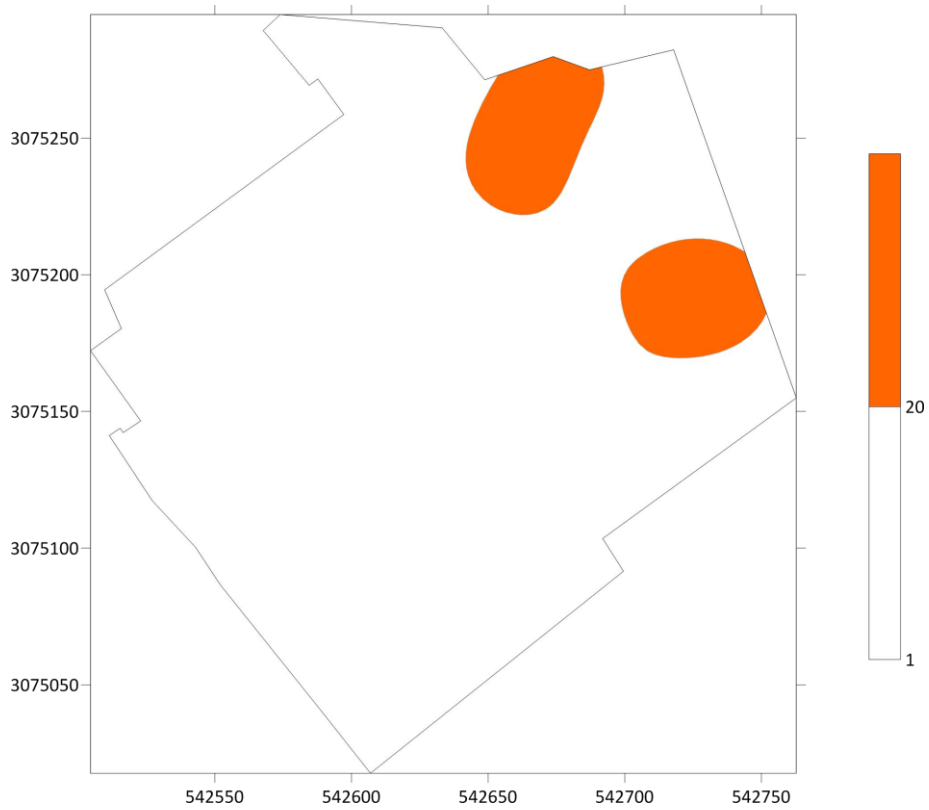


图 5-30 牛头化工有限公司污染地块土壤 1~2m 镉超标范围

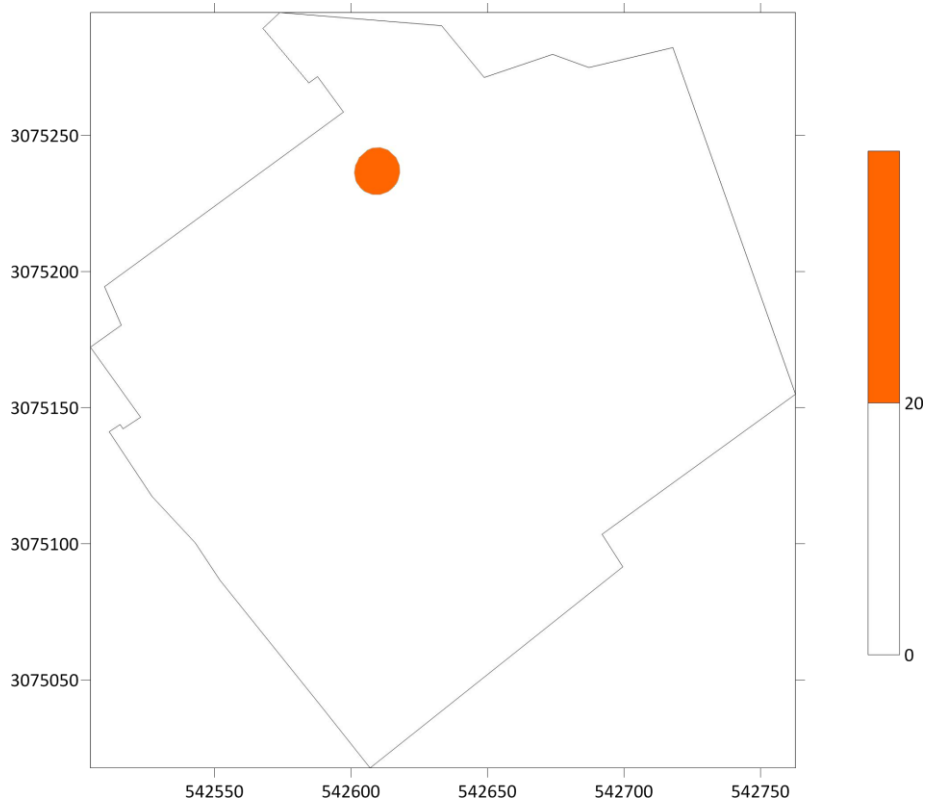


图 5-31 牛头化工有限公司污染地块土壤-4~-5m 镉超标范围

根据健康风险评估的结果，牛头化工有限公司污染土地地块修复面积约为 46044 平方米，土方量共计 251648.82m³，其中修复深度 0~-1m 的土方量为 42386.80 m³，修复深度为-1~-2m 的修复土方量为 38862.43 m³，修复深度为-2~-3m 的修复土方量为 36624.35m³，修复深度为-3~-4m 的修复土方量为 34746.16m³，修复深度为-4~-5m 的修复土方量为 33897.92m³，修复深度为-5~-6m 的修复土方量为 32904.37m³，修复深度为-6~-7m 的修复土方量为 3226.79m³。本地块综合修复土方量为 251648.82m³，具体见表 5-3，各土层超过修复目标值的拐点坐标见表 5-4~5-10，具体修复范围见图 5-32 至图 5-38。

表 5-3 地块土壤各土层深度污染指标修复信息

地块信息	修复指标	修复土层深度/m	修复土方量/m ³	累计修复土方量/m ³
牛头化工有 限公司污染 土地	镉、铅、 锌、砷、 锰、锑	0~-1	42386.8	42386.8
		-1~-2	38862.43	81249.23
		-2~-3	36624.35	117873.58
		-3~-4	34746.16	152619.74
		-4~-5	33897.92	186517.66
		-5~-6	32904.37	219422.03
		-6~-7	32226.79	251648.82
合计			251648.82	

表 5-4 地块土壤 0~-1m 超修复目标值拐点坐标

拐点编号	X	Y
1	543110.71	3075216.26
2	543116.67	3075213.50
3	543123.98	3075211.76
4	543131.17	3075211.70
5	543131.07	3075205.13
6	543130.22	3075202.66
7	543126.39	3075199.68
8	543120.61	3075196.37
9	543116.00	3075194.46
10	543115.37	3075198.17
11	543112.67	3075206.54
12	543111.27	3075212.32

表 5-5 地块土壤-1~-2m 超修复目标值拐点坐标

拐点坐标	X	Y
1	543149.45	3075227.00
2	543152.82	3075227.00
3	543157.62	3075224.67
4	543160.83	3075220.58
5	543162.40	3075216.34
6	543162.28	3075211.68
7	543159.58	3075209.49
8	543152.45	3075207.46
9	543146.74	3075207.86

拐点坐标	X	Y
10	543142.79	3075211.59
11	543142.90	3075220.78
12	543145.52	3075224.97
13	543104.29	3075196.59
14	543109.38	3075195.81
15	543117.40	3075192.93
16	543119.48	3075191.12
17	543120.58	3075187.81
18	543120.20	3075185.19
19	543117.78	3075179.29
20	543112.75	3075170.10
21	543107.85	3075172.21
22	543101.96	3075172.39
23	543096.42	3075170.90
24	543092.55	3075184.52
25	543092.12	3075189.82
26	543093.70	3075193.26
27	543098.63	3075195.94

表 5-6 地块土壤-2~-3m 超修复目标值拐点坐标

拐点坐标	X	Y
1	543157.62	3075221.91
2	543154.17	3075215.86
3	543153.19	3075211.82
4	543152.98	3075207.72
5	543154.32	3075201.89
6	543156.48	3075196.84
7	543156.53	3075194.62
8	543152.63	3075187.30
9	543135.54	3075175.95
10	543130.36	3075177.95
11	543125.87	3075187.87
12	543118.35	3075193.20
13	543112.36	3075192.97
14	543106.86	3075190.82
15	543103.60	3075190.77
16	543100.62	3075191.67
17	543096.47	3075191.69
18	543089.30	3075188.45
19	543083.25	3075179.21

拐点坐标	X	Y
20	543080.88	3075179.27
21	543076.88	3075185.83
22	543077.22	3075207.18
23	543079.02	3075210.25
24	543082.39	3075212.42
25	543087.65	3075213.97
26	543099.04	3075216.51
27	543104.24	3075216.35
28	543106.91	3075215.65
29	543120.76	3075208.92
30	543127.76	3075208.54
31	543137.43	3075213.48
32	543147.86	3075222.05
33	543070.35	3075265.30
34	543073.00	3075264.49
35	543076.28	3075260.83
36	543076.52	3075254.09
37	543074.36	3075248.19
38	543070.74	3075241.03
39	543069.44	3075236.28
40	543069.56	3075221.84
41	543067.81	3075219.11
42	543065.35	3075217.92
43	543055.29	3075225.70
44	543052.10	3075236.51
45	543053.59	3075247.38
46	543058.33	3075256.22
47	543064.19	3075261.30

表 5-7 地块土壤-3~-4m 超修复目标值拐点坐标

拐点坐标	X	Y
1	543151.84	3075233.51
2	543161.13	3075224.31
3	543153.37	3075214.47
4	543139.96	3075204.50
5	543114.40	3075172.98
6	543097.72	3075162.03
7	543083.46	3075160.86
8	543076.31	3075170.74
9	543075.48	3075176.76

拐点坐标	X	Y
10	543079.31	3075188.54
11	543093.02	3075205.46
12	543110.02	3075218.78
13	543132.78	3075232.32
14	543071.68	3075268.37
15	543077.01	3075261.22
16	543077.01	3075249.49
17	543069.83	3075234.44
18	543069.83	3075220.90
19	543064.10	3075216.42
20	543046.76	3075213.68
21	543037.62	3075230.71
22	543051.40	3075239.97
23	543043.67	3075254.76

表 5-8 地块土壤-4~-5m 超修复目标值拐点坐标

拐点坐标	X	Y
1	543144.03	3075235.46
2	543152.98	3075235.46
3	543157.72	3075225.18
4	543154.46	3075213.56
5	543141.78	3075196.44
6	543118.71	3075175.32
7	543083.98	3075159.97
8	543069.01	3075180.89
9	543075.52	3075188.67
10	543108.50	3075213.53
11	543066.15	3075265.17
12	543079.39	3075253.07
13	543074.31	3075238.29
14	543072.97	3075225.31
15	543064.30	3075216.59
16	543045.86	3075215.49
17	543037.49	3075230.74
18	543051.43	3075239.95
19	543043.61	3075254.80

表 5-9 地块土壤-5~-6m 超修复目标值拐点坐标

拐点坐标	X	Y
1	543138.65	3075232.95
2	543150.32	3075233.42
3	543158.11	3075230.82
4	543159.05	3075224.79
5	543140.32	3075204.12
6	543126.32	3075180.08
7	543103.66	3075167.63
8	543086.47	3075164.44
9	543082.12	3075162.56
10	543067.31	3075183.26
11	543082.39	3075200.12
12	543096.94	3075210.87
13	543104.66	3075200.35
14	543109.77	3075199.19
15	543113.14	3075195.48
16	543114.37	3075192.17
17	543113.76	3075187.56
18	543111.45	3075184.72
19	543108.56	3075183.24
20	543103.02	3075183.24
21	543099.01	3075186.01
22	543096.82	3075190.32
23	543097.05	3075195.04
24	543100.64	3075199.27
25	543096.78	3075286.95
26	543092.85	3075240.57
27	543070.14	3075223.80
28	543044.34	3075235.19
29	543051.56	3075239.90
30	543043.58	3075254.81
31	543059.60	3075262.33
32	543059.21	3075258.19
33	543060.00	3075253.78
34	543063.19	3075250.13
35	543066.79	3075249.96
36	543069.16	3075252.44
37	543069.74	3075254.28
38	543069.91	3075257.47
39	543068.16	3075261.17

拐点坐标	X	Y
40	543064.11	3075264.45
41	543071.54	3075267.94
42	543069.78	3075272.99
43	543085.91	3075280.50

表 5-10 地块土壤 0~-1m 超修复目标值拐点坐标

拐点坐标	X	Y
1	543141.94	3075244.04
2	543161.88	3075233.44
3	543154.52	3075218.04
4	543129.19	3075205.49
5	543118.54	3075184.08
6	543082.49	3075162.04
7	543062.86	3075189.53
8	543088.17	3075207.59
9	543110.75	3075214.20
10	543123.40	3075221.21
11	543092.03	3075284.10
12	543092.03	3075261.36
13	543076.74	3075222.04
14	543056.10	3075213.47
15	543046.31	3075214.56
16	543037.48	3075230.76
17	543051.51	3075239.92
18	543043.57	3075254.81
19	543071.56	3075267.91
20	543069.78	3075272.99
21	543085.91	3075280.50

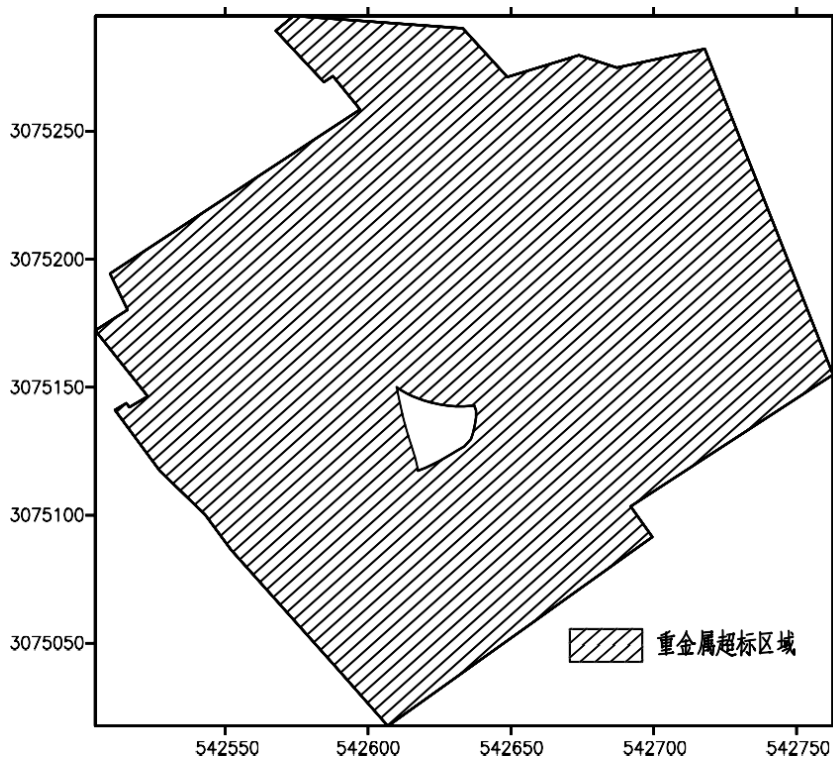


图 5-32 牛头化工有限公司污染地块 0~-1m 土壤综合修复区域

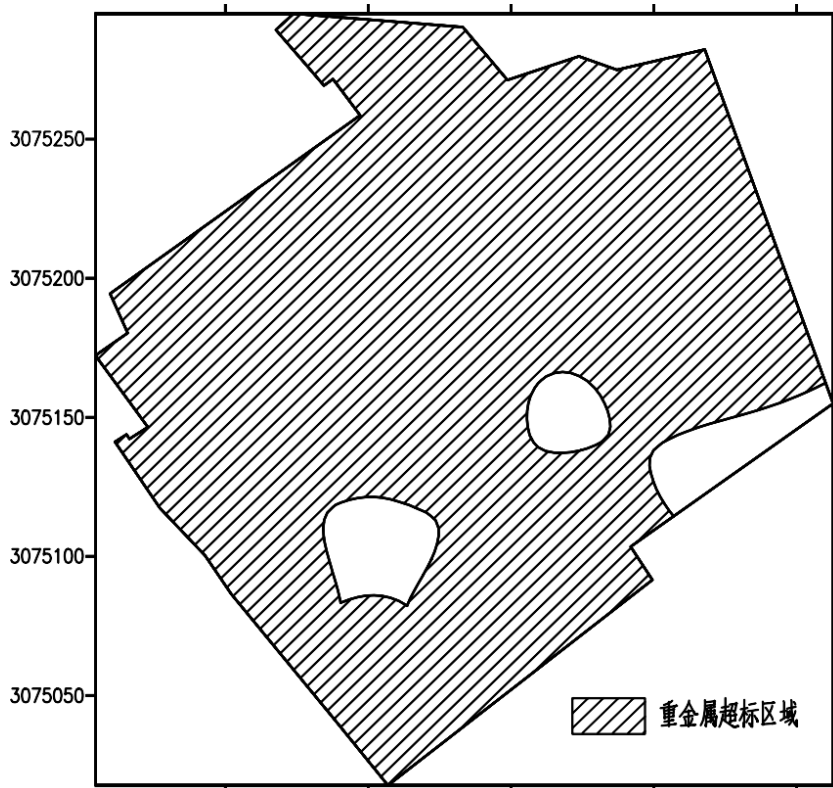


图 5-33 牛头化工有限公司污染地块 -1~-2m 土壤综合修复区域

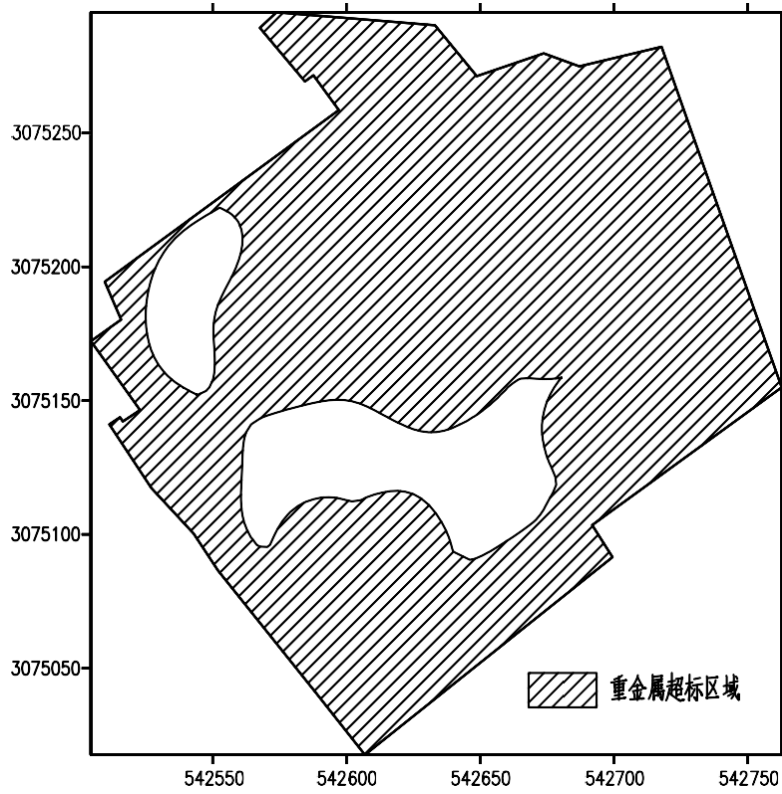


图 5-34 牛头化工有限公司污染地块-2~-3m 土壤综合修复区域

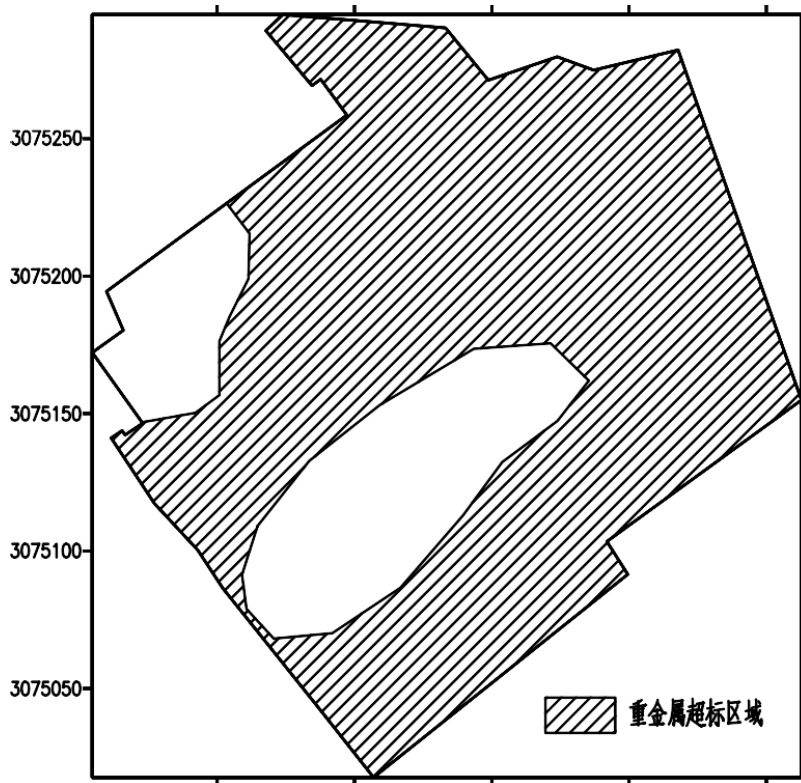


图 5-35 牛头化工有限公司污染地块-3~-4m 土壤综合修复区域

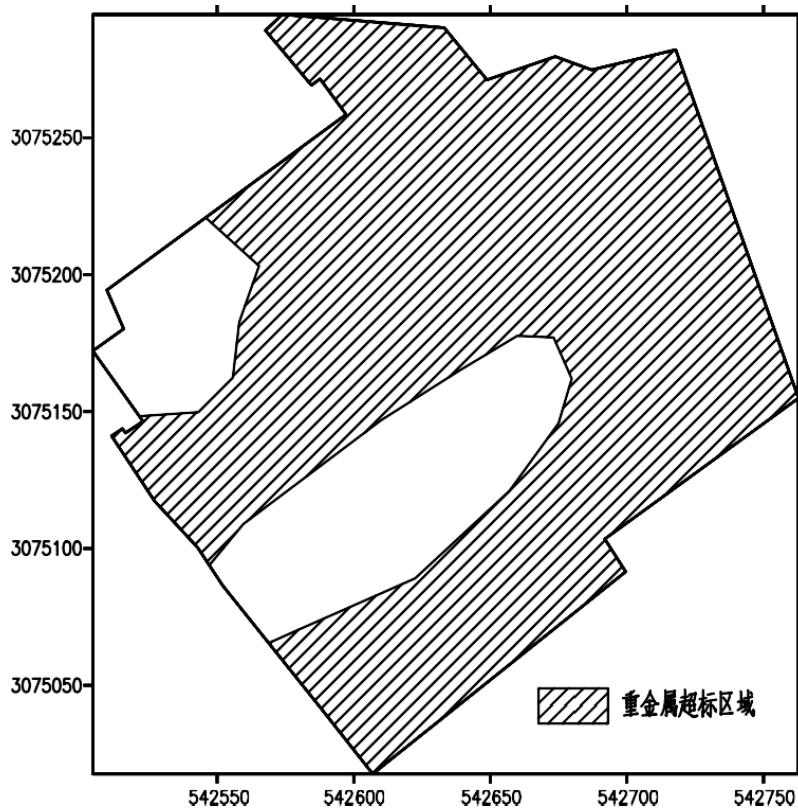


图 5-36 牛头化工有限公司污染地块-4~-5m 土壤综合修复区域

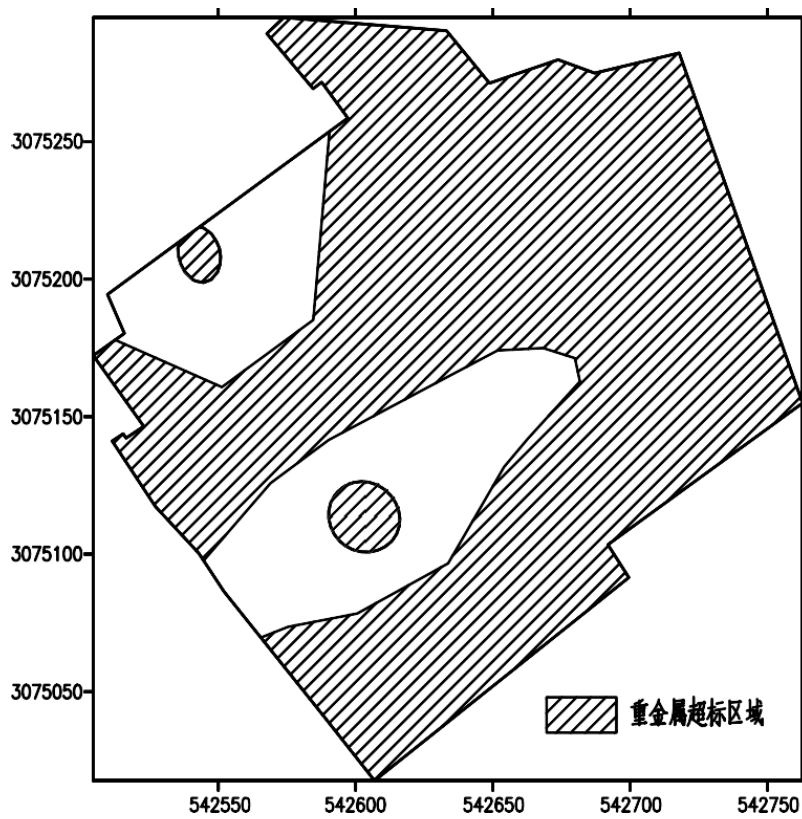


图 5-37 牛头化工有限公司污染地块-5~-6m 土壤综合修复区域

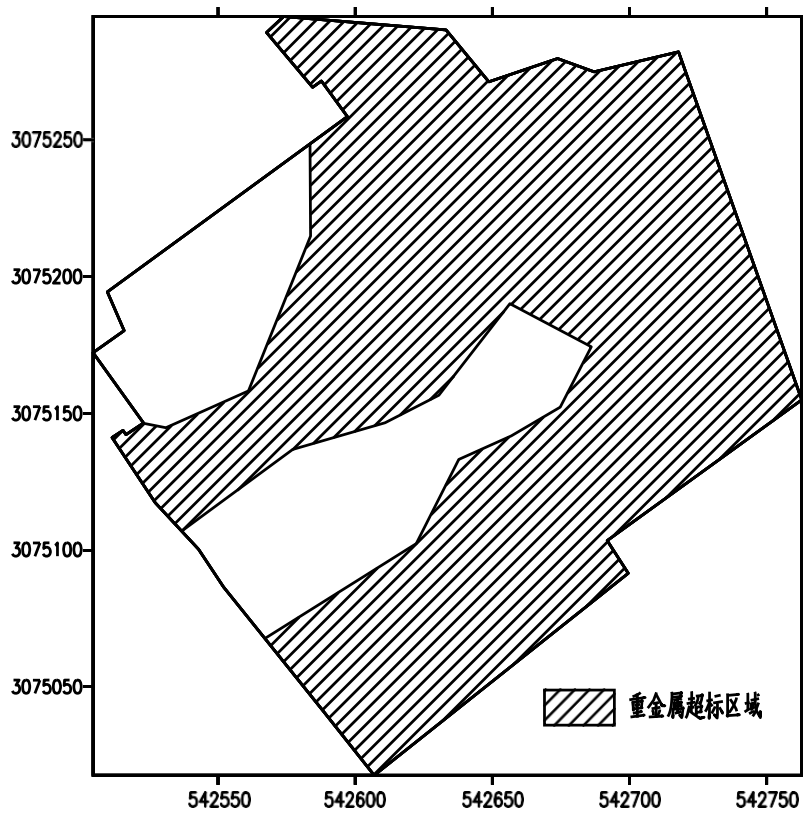


图 5-38 牛头化工有限公司污染地块-6~-7m 土壤综合修复区域

第六章 结论与建议

6.1 地块环境调查评价结论

6.1.1 地块地质、水文条件

1、地质条件

牛头化工有限公司污染地块大部分区域自上而下分别为杂填土、粉质粘土、中砂、粉质粘土、强风化泥质粉砂岩、中风化泥质粉砂岩。杂填土：呈灰褐色，局部地段上覆 0.2~0.3 米的混凝土地面，主要由废渣、建筑垃圾等回填而成，结构松散，密实度差，稍湿至湿。层厚 0.80~6.40 米。粉质粘土：呈黄红色、黄白色，具似网纹状结构，下部夹含灰白色高岭土团块，无摇振反应，稍湿，硬塑，干强度中等，韧性中等。层厚 1.00~8.90 米。中砂：呈土黄色，成份主要为长石、石英，粒径大于 0.25mm 的颗粒超过总量的 50%，夹含大量粉细砂及少量砾石，中密状态，湿至很湿。层厚 1.60~7.40 米。粉质粘土：呈紫红色，系基岩风化残积成因，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，切面无光泽反应，稍湿-湿，硬塑。层厚 0.50~1.70 米。强风化泥质粉砂岩：呈紫红色，粉砂质结构，泥质胶结，中厚层状构造，节理裂隙发育，岩芯成块状、饼状、短柱状，裂隙面见黑色铁锰质氧化物浸染，遇水易软化崩解，属极软岩，岩体较破碎，岩体基本质量等级 V 级。揭露此层的钻孔均揭穿该层，控制层厚 3.20~4.80 米。中风化泥质粉砂岩：呈紫红色，粉砂质结构，中厚层状构造，泥质胶结，岩芯多呈长柱状，节长在 20cm-30cm 之间，多呈闭合状，裂隙面见铁锰质氧化物浸染，岩石的基本质量指标 $RQD=81\sim 89$ ，属软岩，岩体较完整，岩体基本质量等级 IV 级。此层在地块钻孔中均有揭露，控制层厚 3.10~5.90 米。

2、水文条件

本项目地块的调查显示，采样期间，地块浅层地下水埋深为 3.3~4.6m，均值为 3.95m，地块深层地下水埋深为 9.30~10.5m，平均地下水埋深为 9.9m。根据地块地勘资料中地下水监测井相对高程及初见水位情况，判断该地块地下水流向。数据结构分析显示，地块浅层地下水流向由西北流向东南侧，流动情况受湘江影响较大。

6.1.2 地块污染状况

1、土壤检出情况

地块土壤检测结果除 pH 外，污染地块内共检出 10 项指标。对地块内土壤样品检出的指标进行统计分析，污染地块内重金属的检出率基本都大于 50%，总体检出率较高。

2、地下水检出情况

地块地下水检测结果除 pH 外，污染地块内共检出 8 项指标，对地块内地下水样品检出的指标进行统计分析，污染地块除 pH 外，镉、铅、锌、砷、锰、锑检出率大于 50%，总体检出率较高。

3、地表（积）水检出情况

本地块内共采集 1 个地表水样品，除 pH 外，共检出重金属指标共计 8 项，根据《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III 类标准限值，各指标均未超过地表水标准限值。

6.1.3 地块污染风险评估

地块土壤中致癌污染物镉、砷对人体的致癌风险分别为 $6.57E-05$ 、 $8.58E-03$ ，其中镉、砷对人体的致癌风险大于可接受致癌风险水平 $1.0E-06$ ，超过人体健康风险可接受水平，基于致癌效应的风险控制值为镉 48.3mg/kg 、砷 0.472mg/kg 。

地块土壤关注污染中具有非致癌风险的污染物为镉、锌、砷、锰、锑，土壤非致癌污染物中镉、锌、砷、锰、锑的非致癌风险分别为 $9.14E+01$ 、 $7.63E+00$ 、 $2.97E+02$ 、 $1.59E+01$ 、 $6.33E+02$ ，其中镉、砷、锰、锑的非致癌风险均大于可接受非致癌风险水平危害商值 1，因此，镉、锌、砷、锰、锑 5 项指标的非致癌风险大于人体可接受水平，基于非致癌效应的风险控制值为镉 34.7mg/kg 、锌 16000mg/kg 、砷 13.6mg/kg 、锰 5850mg/kg 和锑 21.3mg/kg 。

地块土壤关注污染中基于 IEUBK 模型的土壤铅风险以儿童血铅为准反推土壤中铅的修复目标值。以该地块建设规划后饮用水铅达到生活饮用水标准：

10 μ g/dL、空气达到环境空气质量标准：1.0 μ g/m³、蔬菜达到叶菜类标准：0.2mg/kg 进行风险评估，确定土壤中铅含量超过标准限值 539mg/kg 的区域健康风险大于人体可接受水平。

本地块中存在土壤致癌污染物镉、砷对人体的致癌风险，土壤非致癌污染物锌、锰、锑对人体的非致癌风险，以及基于 IEUBK 模型的土壤铅超过人体健康风险可接受水平。为避免过度修复，确定其中镉的修复目标值为 34.7mg/kg、铅的修复目标值为 539mg/kg、锌的修复目标值为 16000mg/kg、砷的修复目标值为：40mg/kg，锰的修复目标值为 5850mg/kg，锑的修复目标值为 21.3mg/kg。统计本地块镉、铅、锌、砷、锰、锑的修复方量，总修复方量为 251648.82m³。

6.2 建议

牛头化工有限公司污染地块规划为第一类建设用地-居住用地，根据地块环境调查及风险评估结果，本地块存在土壤健康风险超标区域，根据国家《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发[2012]40 号）第四项关于“开展被污染场地治理修复”的规定：“地方各级环境保护主管部门会同有关部门，在当地政府的领导下因地制宜组织开展被污染场地治理修复工作，对影响人居环境安全、饮用水安全等污染隐患突出的被污染场地，要优先安排治理；要督促责任人采取隔离等措施，防止被污染场地污染扩散。被污染场地治理修复完成，经监测达到环境要求后，该场地方可投入使用。被污染场地未经治理修复的，禁止再次进行开发利用，禁止开工建设与治理修复无关的任何项目。”因此，建议及时制定场地修复技术报告，指导场地修复，进而再开发利用。

地块风险管控及具体地块修复技术建议：（1）结合地块规划、施工进度及开发建设时序，本地块风险管控、修复方案结合开发建设方案一起编制；（2）建设的开挖层污染土壤需进行修复治理。按照“源-途径-受体”的控制方式，可将地块修复技术分为三类，污染介质治理技术、污染途径阻断技术和受体保护技术，本地块适用前两类修复技术。建议根据地块污染特征，采用合适的污染介质治理技术和修复技术治理修复污染区域，如采用固化/稳定化技术，通过添加固化剂/稳定剂，将土壤中的有毒有害物质固定起来，或者将污染物转化成化学性质不活泼的形态，阻止其在环境中的迁移和扩散过程，从而降低其危害；（3）开挖层以下污染土壤建议原位风险管控。（4）建议在地块开发过程中，通过合理设置地块功能分区，比如将污染较重的区域规划为停车场、道路等；将污染

较轻或者无污染的区域规划为住宅区、公共绿地等，从而降低地块土壤污染物对人体的健康风险。具体修复方案及技术的选定，根据修复阶段、政府环保管理政策及修复公司修复方案确定。

附件 1 建设用地土壤污染风险评估报告评审申请表

项目名称	湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程		
报告类型	<input checked="" type="checkbox"/> 土壤污染风险评估 <input type="checkbox"/> 土壤污染风险管控效果评估 <input type="checkbox"/> 土壤污染修复效果评估		
联系人	姜金洋	联系电话	15080770163
		电子邮箱	
地块类型	<input checked="" type="checkbox"/> 经土壤污染状况普查、详查、监测、现场检查等方式，表明有土壤污染风险 <input type="checkbox"/> 用途变更为住宅、公共管理、公共服务用地		
土地使用权取得时间（地方人民政府以及有关部门申请的，填写土地使用权收回时间）	年 月 日	前土地使用权人	
建设用地地点	湖南省（自治区、直辖市）湘潭地区（市、州、盟） 湘潭县（区、市、旗）易俗河乡（镇） 经度：112°55'55.49"~112°56'2.58" 纬度：27°47'16.21"~27°47'25.02"		
四至范围	北靠一期地块，北距湘江300m，东北侧距易俗河镇视井小区及桔子社区31m，西南侧距城塘32m。	占地面积(m ²)	46044
行业类别（现状为工矿用地的填写该栏）	<input type="checkbox"/> 有色金属冶炼 <input type="checkbox"/> 石油加工 <input checked="" type="checkbox"/> 化工 <input type="checkbox"/> 焦化 <input type="checkbox"/> 电镀 <input type="checkbox"/> 制革 <input type="checkbox"/> 危险废物贮存、利用、处置活动用地 <input type="checkbox"/> 其他____		
规划用途	<input type="checkbox"/> 第一类用地：包括 GB50137 规定的 <input checked="" type="checkbox"/> 居住用地 R <input type="checkbox"/> 中小学用地 A33 <input type="checkbox"/> 医疗卫生用地 A5 <input type="checkbox"/> 社会福利设施用地 A6 <input type="checkbox"/> 公园绿地 G1 中的社区公园或儿童公园用地 <input type="checkbox"/> 第二类用地：包括 GB50137 规定的 <input type="checkbox"/> 工业用地 M <input type="checkbox"/> 物流仓储用地 W <input type="checkbox"/> 商业服务业设施用地 B <input type="checkbox"/> 道路与交通设施用地 S <input type="checkbox"/> 公共设施用地 U <input type="checkbox"/> 公共管理与公共服务用地 A（A33、A5、A6 除外） <input type="checkbox"/> 绿地与广场用地 G（G1 中的社区公园或儿童公园用地除外）		
报告主要结论	场地土壤中致癌污染物镉、砷对人体的致癌风险分别为 6.57E-05、8.58E-03，其中镉、砷对人体的致癌风险大于可接受致癌风险水平 1.0E-06，超过人体健康风险可接受水平。 场地土壤关注污染中具有非致癌风险的污染物为镉、锌、砷、锰、锑，土壤非致癌污染物中镉、锌、砷、		

锰、锑的非致癌风险分别为 $9.14E+01$ 、 $7.63E+00$ 、 $2.97E+02$ 、 $1.59E+01$ 、 $6.63E+02$ ，其中镉、锌、砷、锰、锑的非致癌风险均大于可接受非致癌风险水平危害商值 1，因此，镉、锌、砷、锰、锑 5 项指标的非致癌风险大于人体可接受水平。

场地土壤关注污染中基于 IEUBK 模型的土壤铅风险以儿童血铅为准反推土壤中铅的风险控制值。以该地块建设规划后饮用水铅达到生活饮用水标准： $10\mu\text{g}/\text{dL}$ 、空气达到环境空气质量标准： $1.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、蔬菜达到叶菜类标准： $0.2\text{mg}/\text{kg}$ 进行风险评估，确定土壤中铅含量超过标准限值 $539\text{mg}/\text{kg}$ 的区域健康风险大于人体可接受水平。

地下水关注污染物的致癌风险和非致癌风险均属于人体可接受水平。

本报告认为：牛头化工场区地块规划为第一类建设用地-居住用地，根据场地环境调查及风险初步评估结果，本地块存在土壤健康风险超标区域，根据国家《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发[2012]40 号）第四项关于“开展被污染场地治理修复”的规定：“地方各级环境保护主管部门会同有关部门，在当地政府的领导下因地制宜组织开展被污染场地治理修复工作，对影响人居环境安全、饮用水安全等污染隐患突出的被污染场地，要优先安排治理；要督促责任人采取隔离等措施，防止被污染场地污染扩散。被污染场地治理修复完成，经监测达到环境要求后，该场地方可投入使用。被污染场地未经治理修复的，禁止再次进行开发利用，禁止开工建设与治理修复无关的任何项目。”因此，建议及时制定场地修复技术报告，指导场地修复，进而再开发利用。

申请（单位）人：

申请日期： 年 月 日

附件 2 申请人承诺书

本单位（或个人）郑重承诺：

我单位（或本人）对申请材料的真实性负责；为报告出具单位提供的相应资料、全部数据及内容真实有效，绝不弄虚作假。

如有违反，愿意为提供虚假资料和信息引发的一切后果承担全部法律责任。



承诺单位：（公章）





法定代表人（或申请个人）：（签名）

年 月 日

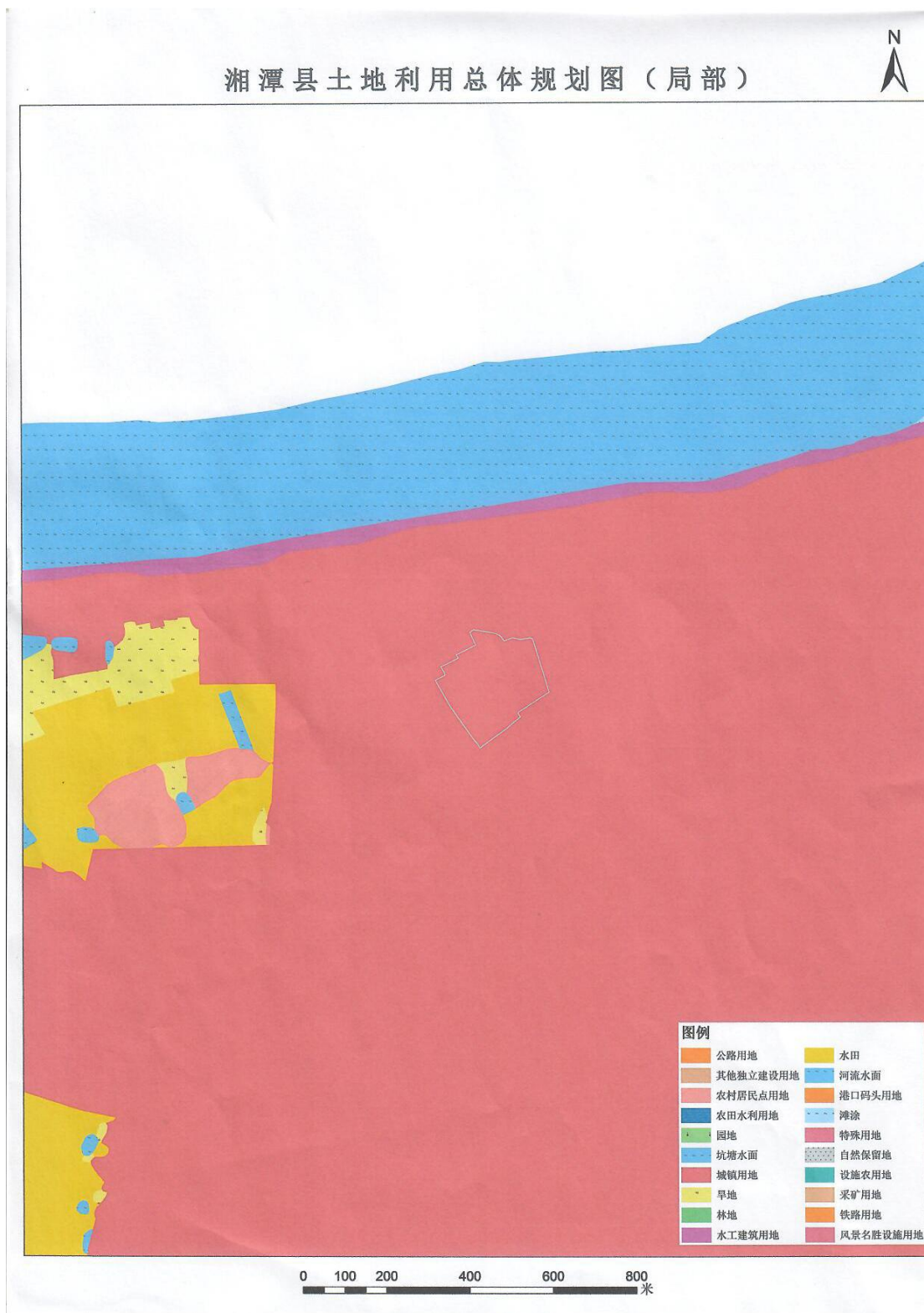
附件 3 报告编制单位承诺书

本单位郑重承诺：
我单位对《湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程风险评估报告》的真实性、准确性、完整性负责。
本报告的直接负责的主管人员是：
姓名：胡飞 身份证号：53010219810104073X 签名： 
负责篇章：四、五、六章
本报告的其他直接责任人员包括：
姓名：易浩 身份证号：430621198903120451 签名： 
负责篇章：一、二、三章
如出具虚假报告，愿意承担全部法律责任。

承诺单位：（公章） 

法定代表人：（签名）  日

附件 5 湘潭县土地利用总体规划图（局部）



附件 6 湘潭市环境保护局《关于〈湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程调查报告〉的审查意见》

湘潭市环境保护局

潭环函（2017）298 号

关于《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程调查报告》的审查意见

湖南省亿美有害物质检测有限公司：

你公司编制的《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程调查报告》（以下简称《调查报告》）及相关材料已收悉。根据《调查报告》和专家评审意见，现作如下审查意见：

一、《调查报告》所调查的湖南湘潭县牛头化工有限公司污染场地位于湘潭市湘潭县易俗河镇玉兰北路 68 号。调查报告调查范围主要包括厂区车间、厂区内存留的设备、废液废渣及道路、废渣堆放场、厂区周边坡地等，厂区面积约 46044 m²，须修复土方量约 298388m³，须处理酸性废液量约 330m³，废渣量约 71m³。

二、根据《调查报告》，湖南湘潭县牛头化工有限公司污染场地的主要污染物为铅、镉、锌等重金属，其浓度值超过相关土地利用标准要求，须对污染场地进行治理修复。

三、根据《调查报告》，土壤重金属污染物修复目标值

须满足《重金属污染场地土壤修复标准》(DB43/T 1165-2016)居住用地修复目标类型标准要求。

四、根据专家评审意见,该《调查报告》现场调查及采样布点方案可行,数据分析整理和结论合理,符合相关规范要求,可作为下一步工作开展的依据。

湘潭市环境保护局
2017年10月12日



附件 7 湘潭市环境保护局《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程 场调报告》技术评审会专家评审意见

2017 年 10 月 12 日，由湘潭市环保局在湘潭组织召开《湖南湘潭县牛头化工有限公司污染土地修复二期工程 场调报告》（以下简称调查报告）技术评审会，参会单位有调查报告编制单位：湖南省亿美有害物质检测有限公司，并邀请了 5 专家（专家名单见签到表）。

会议首先由调查单位单位简要介绍调查报告的内容，与会专家及参会代表针对调查报告进行询问与评审，专家组意见如下：

总体结论

调查报告编制基本符合《场地环境调查技术导则》的要求，场地环境污染状况调查清楚，按照专家评审意见修改完善后，可以作为下一阶段进行污染场地修复的技术方案的编制依据。

二、修改建议

1、细化污染场地原有设施、生产、排污的情况调查内容，完善建筑物拆除危险废物的种类、数量。

2、核实采用的湘潭地区土壤背景值的合法性，据此完善土壤污染相关结论。

3、细化地质勘探资料的介绍，给出地下水的水位数据。

4、给出厂区周边环境污染监测布点图。补充土壤 PH 值监测数据，完善土壤污染物浓度分布图。说明钡不进行监测的理由。

5、完善城市土地利用规划图件，明确项目位置。

专家组：罗岳平（组长）、雷鸣、贺利民、熊果、戴慧敏（执笔）

附件 8 检测报告（见分册）

附件 9 地勘报告(见分册)