

广州东方红印刷厂地块土壤污染 风险评估报告简本

土地使用权人：广州市土地开发中心

代业主管理单位：广州环投控股有限公司

土壤污染状况调查单位：广州华清环境监测有限公司

编制日期：2022 年 04 月

摘 要

一、地块基本情况

地块名称：广州东方红印刷厂地块

占地面积：48012.42m²。

地理位置：广州市海珠区工业大道 313 号，中心经度为 113.264167°，中心纬度为 23.079972°

土地使用权人：广州市土地开发中心

代业主管理单位：广州环投控股有限公司

未来规划：未确定

土壤污染风险评估单位：广州华清环境监测有限公司

二、初步调查结果

根据《广州东方红印刷厂地块土壤污染状况初步调查报告》，调查地块开发后主要经历了 1939 年~2009 年广州东方红印刷厂、广州照相制版厂、广州电化铝厂（烫金工艺）、广州市东方红印刷公司东方过光合作社、广州东信印铁制罐有限公司、广州市东方红印刷公司综合劳动服务部加工厂等生产企业和广州油墨厂经营部（仓库）、2010~2019 年东方红创意园等 2 个使用阶段，涉及工业生产活动的阶段为 1939~2009 年，其他阶段无明显污染源。企业生产时期生产工艺主要包括印刷、制版、显影、烫印、印铁制罐、烘干、粘盒、清洗等，重点关注区域包括生产车间（制版车间、印刷车间、胶印车间、油墨仓库、电化铝车间等）、变电站（电房）、锅炉房、储油区、固废存放处、雨污管网旁等，需关注的污染物包括重金属（铅、锰、钴、锌、汞、锡、铜、镉、银、六价铬、砷）、苯系物、丙酮、石油烃（C₁₀-C₄₀）、多环芳烃、酚类、甲醛、多氯联苯、邻苯二甲酸酯类、氟化物、二氯甲烷、四氯乙烯、三氯乙烯。

第二阶段土壤污染状况初步调查土壤采样时间为 2021 年 08 月 09 日至 8 月 20 日，共布设土壤监测点位 43 个（包括两个对照点），采样深度为 3-8m，共采集土壤样品 219 组，检测项目包括基本理化性质 pH、水分、土壤基本项 45 项和其他特征污染物，其他特征污染物包括锌、钴、锰、银、锡、石油烃（C₁₀-C₄₀）、2,4-二硝基甲苯、邻苯二甲酸酯类（6 项）、多氯联苯（总量）、甲醛、多环芳烃（8

项)、酚类(10项)、丙酮和氟化物。**地下水采样**时间为2021年08月25日~08月26日,共布设地下水监测井8口,井深为8m,采集地下水样品8组,检测项目包括常规指标pH、浊度、重金属及无机物砷、汞、镉、铬(六价)、铅、铜、镍、锌、钴、锰、银、锡、氟化物、苯系物(11项)、氯代烃(3项)、酚类(12项)、邻苯二甲酸酯类(6项)、多氯联苯(总量)、多环芳烃(16项)、可萃取性石油烃(C10-C40)、甲醛、丙酮。**S17'补充采样**时间为2022年03月16日,共采集5个土壤样品,监测项目有锌、钴、锰、2,4,5-三氯酚、2,4,6-三氯酚、2,4-二氯酚、2,4-二硝基酚、2,4-二甲基苯酚、2,4-二硝基甲苯、2-甲基苯酚、4-甲基苯酚、4-硝基苯酚、五氯苯酚、苯酚、丙酮。**异常点排查土壤采样**时间为2021年11月~2021年12月,共布设土壤监测点位20个,采样深度为4~8m,共采集土壤样品109组,检测项目为甲醛和钴。**S24 甲醛异常点排查补充采样**时间为2022年03月16日,共采集了土壤样品33个,监测项目为甲醛。

根据样品检测分析结果:

(一)地块内土壤样品中:S5号点土壤钴、铅、铬(六价)超标、S6和S7号点土壤铅超标、S8土壤铅和铬(六价)超标、S24土壤甲醛超标、S33土壤铅和铬(六价)超标。其中,铅最大超标倍数为13.05,超标样品最大采样深度为3.9m;铬(六价)最大超标倍数为59.67,超标样品最大采样深度为2.3m;钴最大超标倍数为0.65,超标样品最大采样深度为0.5m;甲醛最大超标倍数为0.18,超标样品最大采样深度为2.0m。其余土壤样品的检测结果均低于相应的污染风险筛选值。

(二)地块内地下水样品中:出现超标的项目包括锰、钴、4-硝基苯酚和甲醛,最大超标倍数分别为0.73、11.2、0.23和0.77。

(三)S17'补充采样样品中:锌、钴、锰、2,4,6-三氯酚、2,4-二硝基酚有检出,其余指标均未检出,检出样品的含量均未超过相应筛选值。

(四)异常点排查结果

根据样品检测分析结果,所有点位的钴和甲醛均未超过筛选值,S5的钴和S24的甲醛符合广州市地方标准《建设用地土壤污染防治 第一部分:污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020)异常点排查条件,对于本地块不具代表性,可予以排除。

三、详细调查阶段

土壤污染状况**详细调查**采样时间为 2021 年 11 月 3~26 日，共布设土壤监测点位 62 个，采样深度为 4-8m，采集土壤样品 327 组，检测项目为铅、六价铬、钴、锰、甲醛、4-硝基苯酚；详细调查期间共布设地下水监测井 3 个，采集地下水样品 3 组，检测项目为 pH、浑浊度、钴、锰、甲醛、4-硝基苯酚。**详细调查补充采样**调查采样时间为 2021 年 12 月 17~18，共布设土壤监测点位 12 个，采样深度为 5~10m，采集土壤样品 60 组，检测项目为铅和六价铬。

根据样品检测分析结果，详细采样阶段 7 个监测点位 13 个土壤样品中的六价铬超标，超标倍数范围为 0.2~792.33，超标样品最大采样深度为 5m；详细采样阶段 9 个监测点位 17 个土壤样品中的六价铬超标，超标倍数范围为 0.03~23.575，超标样品最大采样深度为 5m。详细调查补充采样阶段，所有土壤样品的铅和六价铬均未超标。

根据上述调查结果，地块土壤超标范围总占地面积共计 8168.56m²，超标土方量共计 8168.56m³。其中，单一污染物铅超标面积 4547.91m²，超标土方量共 4547.91m³；单一污染物六价铬超标面积 1147.06m²，超标土方量共 1147.06m³；复合污染物铅和六价铬超标面积 2473.59m²，超标土方量共 2473.59m³。

地下水详细调查阶段，布设了 3 个地下水点位，地下水 XW1~XW3 的钴、锰、4-硝基苯酚、甲醛均未超标。

根据上述调查结果，地块地下水超标范围面积为 25132.91 m²，地块内上层滞水层厚度为 2.62~4.92m，平均厚度为 3.77m。

四、风险评估阶段

根据地块未来用地规划和建设规划，基于敏感用地方式和未来建设规划情景，铅污染物使用儿童（IEUBK）血铅模型进行风险评估，其他污染物使用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》（粤环办[2020]67 号）和《建设用地土壤污染防治 第 1 部分：污染状况调查技术规范》（DB 4401/T 102.1-2020）等风险评价模型和相关要求进行风险评估，结果如下：

（1）基于第一类用地性质的危害识别

根据《广州市土地开发中心关于广州东方红印刷厂地块评价标准的说明》，

因项目地块暂未确定规划用途。根据风险评估保守性原则，本报告按照敏感用地类型对地块进行风险评估。本次风险评估关注土壤关注污染物为铅和六价铬，地下水关注污染物为钴、锰、甲醛和 4-硝基苯酚。

在计算各关注污染物的暴露浓度时，基于保守考虑以超筛污染物浓度最大值作为暴露点浓度进行风险评估。

(2) 暴露情景和暴露途径

本地块拟暂未确定规划用途，根据保守性原则，本报告按照第一类用地进行风险评估。土壤中的铅和六价铬为非气态污染物，在不采取风险管控措施前提下，存在经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物等暴露途径。地块所在区域已供应自来水，不使用地下水作为饮用水或日常洗澡、游泳或清洗等，地下水中超筛选值污染物钴和锰为非气态污染物，因此地下水污染物钴和锰无暴露途径；甲醛和 4-硝基苯酚，存在吸入室外空气中来自地下水的气态污染物和吸入室内空气来自地下水的气态污染物两种暴露途径。

(3) 风险表征结果

对于土壤六价铬和铅，采用地块内浓度最大值作为暴露浓度进行风险表征，土壤污染物六价铬的致癌风险大于可接受水平 10^{-6} ，非致癌危害商大于可接受水平 1，土壤污染物铅最大浓度大于土壤铅含量临界值，上述污染物对使用人群存在健康风险。

对于地下水污染物钴、锰、甲醛和 4-硝基苯酚，在不饮用地下水的情况下，钴和锰无暴露途径，对使用人群的健康风险可以接受；甲醛和 4-硝基苯酚的风险评估结果在健康风险可接受范围内。

五、风险评估结论

基于敏感用地方式，结合地块未来开发建设规划，对地块超筛选值污染物进行风险评估，对使用人群存在健康风险的土壤污染物有六价铬和铅。根据确定的土壤修复目标值，经初步估算，地块重金属污染土壤修复范围总占地面积共计 8168.56m^2 ，需修复土方量共计 8168.56m^3 。其中，单一污染物**铅**土壤修复 4547.91m^2 ，修复土方量共 4547.91m^3 ；单一污染物**六价铬**土壤修复面积 1147.06m^2 ，修复土方量共 1147.06m^3 ；复合污染物**铅和六价铬**土壤修复面积 2473.59m^2 ，修复土方量共 2473.59m^3 。

目 录

摘 要.....	1
目 录.....	I
第一章 项目概况.....	1
1.1 项目背景.....	1
1.2 工作依据.....	3
1.2.1 法律法规和部门规章.....	3
1.2.2 地方法规.....	3
1.2.3 标准、技术导则及规范.....	4
1.2.4 其他文件.....	5
1.3 风险评估目的.....	6
1.4 风险评估范围.....	6
1.5 技术路线.....	6
第二章 地块概况.....	8
2.1 调查区域环境.....	8
2.1.1 地理位置.....	8
2.1.2 自区域环境与社会概况.....	8
2.1.3 区域地质与水文地质概况.....	11
2.2 调查地块概况.....	15
2.2.1 地块历史沿革.....	15
2.2.2 地块土地利用现状.....	16
2.2.3 地块地质与水文地质.....	16
2.2.4 地块未来规划.....	17
2.2.5 地块相邻地块现状.....	18
2.2.6 周边敏感目标.....	18
第三章 土壤污染状况调查工作回顾与结论.....	18
3.1 第一阶段调查-污染识别.....	18
3.2 初步采样调查情况.....	20

3.2.1	污染风险筛选值.....	20
3.2.2	地下水环境调查.....	23
3.2.3	异常点排查采样调查.....	24
3.2.4	初步调查超标情况汇总.....	26
3.3	详细调查情况.....	27
3.3.1	详细采样调查.....	27
3.3.2	详细补充采样调查.....	29
3.4	污染成因分析.....	30
3.4.1	土壤超筛选值成因.....	30
3.4.2	地下水超筛选值成因.....	30
3.5	地块土工试验结果.....	31
3.6	调查结果及调查结论.....	32
3.6.1	调查结果.....	32
3.6.2	调查结论.....	33
第四章	风险评估.....	34
4.1	评估内容.....	34
4.2	风险评估的情景.....	36
4.2.1	未来用地规划.....	36
4.2.2	地块概念模型.....	36
4.3	危害识别.....	36
4.3.1	关注污染物.....	36
4.3.2	暴露浓度的确定.....	37
4.4	暴露评价.....	38
4.4.1	暴露情况与暴露途径.....	38
4.4.2	除铅以外暴露评估模型.....	39
4.4.3	铅的暴露评估方法和模型.....	44
4.4.4	模型参数的选择.....	46
4.5	毒性评价.....	46
4.6	风险表征.....	47

4.6.1	风险表征技术要求.....	47
4.6.2	风险表征.....	47
4.7	不确定性分析.....	52
4.7.1	不确定因素.....	52
4.7.2	暴露风险贡献率分析.....	53
4.7.3	参数敏感性分析.....	54
4.8	小结.....	55
第五章	修复目标与修复范围.....	56
5.1	修复目标值的确定.....	56
5.1.1	风险控制值.....	56
5.1.2	修复目标值.....	59
5.2	修复范围及土方量估算（基于第一类用地性质）.....	59
5.2.1	土壤修复范围的确定原则.....	59
5.2.2	土壤修复范围和土方量估算.....	60
第六章	结论与建议.....	62
6.1	地块风险评估结论.....	62
6.2	建议.....	63

第一章 项目概况

1.1 项目背景

广州东方红印刷厂地块位于广州市海珠区工业大道 313 号；根据广州市土地开发中心提供的建设用地红线图，调查地块总面积为 48012 m²，地块中心经纬度为东经 113.264167°，北纬 23.079972°。地块的土地使用权人是广州市土地开发中心调查。地块西侧紧邻工业大道中，北侧为火地晋商务园以及南方医科大学珠江医院，东侧为居民区，南侧为地铁 11 号线在建施工场。

根据《广州东方红印刷厂地块土壤污染状况初步调查报告》，调查单位通过资料搜集和人员访谈了解到地块 1939 年前为和尚岗及农田用地，农作物主要为水稻；1939 年地块用途变更为工业用地，逐步建成厂房和仓库，本时段地块内企业包括广州市人民印刷厂二厂、四厂、五厂等，主要经营纸质品印刷；1968 年，广州市印刷三厂和十八厂入驻地块，并于 1969 年与二、四、五厂合并更名为东方红印刷公司。1976 年，广州市东方红印刷公司成立广州照相制版厂并于地块内从事印刷板材生产，公司运营至 1996 年后关闭；1982 年，东方红印刷公司成立光合作社，生产不干胶印刷品；1983 年东方红印刷公司合并广州电化铝厂，在地块内进行烫印生产活动；1994 年东方红印刷公司成立综合劳动部加工场，从事印刷和啤烫业务；1996 年广州东方红合资成立东信印铁制罐有限公司，主要生产和经营印铁制罐活动；2007 年起，广州油墨厂于地块内从事油墨和涂料销售，并于 2010 年与广州市东方红印刷公司一同搬离本地块；2010 年~2019 年，地块内打造了东方红创意园，作为商用办公；创意园搬离地块至今，地块内除东南角一栋建筑物外，其余建筑物已经拆除。

根据《广州市土地开发中心关于广州东方红印刷厂地块评价标准的说明》，因项目地块暂未确定规划用途。根据生态环境部、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）、《国务院办公厅关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》（国办发〔2013〕7 号）、《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）、《广东省土壤污染防治行动计划实施方案》（粤府〔2016〕145 号）等相关文件规定，自 2017 年起，对拟收回土地使用权的重

点行业企业用地，重点垃圾填埋场、垃圾焚烧厂和污泥处理处置设施等公用设施用地，以及用途拟变更为居住和商业、学校、医疗、养老机构等公共设施的重点行业企业和公用设施用地，由土地使用权人负责开展土壤环境状况调查评估。未进行场地环境调查及风险评估的，未明确治理修复责任主体的，禁止进行土地流转。根据《中华人民共和国土壤污染防治法》（2018年8月），用途变更为住宅、公共管理与公共服务用地的，变更前应当按照规定进行土壤污染状况调查，以利于下一步开展必要的场地风险防控、环境管理工作和环境保护主管部门的监督工作。

受土地使用权人广州市土地开发中心的委托，广州华清环境监测有限公司承担了本地块的土壤污染状况初步调查工作。2021年06月，项目组对调查地块开展了现场踏勘、资料收集、人员访谈、初步调查样品采集与检测分析等工作，在此基础上，编制完成了《广州东方红印刷厂地块土壤污染风险评估报告》，供环保管理部门审查。

根据广州华清环境监测有限公司编制的《广州东方红印刷厂地块土壤污染状况初步调查报告》，土壤点位 S5 样品的铅、铬（六价）、点位 S6 和 S7 样品的铅、点位 S8 样品的铅和铬（六价）、点位 S33 样品的铅和铬（六价）均超过第一类用地筛选值。地下水点位 W2 样品锰和 4-硝基苯酚、点位 W3 样品的 4-硝基苯酚和甲醛、点位 W8 样品的锰和钴均超过地下水筛选值。为此，土发中心于 2021 年 11 月委托广州华清环境监测有限公司（以下简称“我司”）开展本地块土壤污染状况详细调查工作，并编制了《广州东方红印刷厂地块土壤污染风险评估报告》。

1.2 工作依据

1.2.1 法律法规和部门规章

- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019年1月1日实施);
- (3) 《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);
- (4) 《近期土壤环境保护和综合治理工作安排》(国办发〔2013〕7号);
- (5) 《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);
- (6) 《土壤污染防治行动计划》(国发〔2016〕31号);
- (7) 《污染地块土壤环境管理办法(试行)》(2016年,环境保护部令第42号);
- (8) 《国家环境保护“十三五”环境与健康工作规划》(环科技〔2017〕30号);
- (9) 《关于加强重金属污染防治工作的指导意见》(国办发〔2009〕61号);
- (10) 《重金属污染综合整治实施方案》(2009年12月);
- (11) 《关于印发<全国地下水污染防治规划(2011-2020年)>的通知》(环发〔2011〕128号)。

1.2.2 地方法规

- (1) 《关于进一步加强建设用地土壤环境联动监管的通知》(粤环发〔2021〕2号);
- (2) 《广州市人民政府关于印发广州市申请使用建设用地规则的通知》(穗府〔2015〕15号);
- (3) 《广州市环境保护局关于印发广州市土壤环境保护和综合治理方案的通知》(穗环〔2014〕128号);
- (4) 《广州市环境保护局关于印发广州市土壤污染防治2018年工作方案的 通知》(穗环〔2018〕181号);
- (5) 《广东省土壤污染防治行动计划实施方案》(粤府〔2016〕145号);

- (6)《广州市人民政府办公厅关于土地节约集约利用的实施意见》(穗府办〔2014〕12号);
- (7)《广州市土地开发中心关于加快开展土地污染环境调查、污染风险评估和土地污染修复工作的函》(穗土开函〔2015〕115号);
- (8)《广州市环境保护第十三个五年规划》(穗府办〔2016〕26号);
- (9)《广州市土壤污染防治行动计划工作方案》(穗府〔2017〕13号);
- (10)《广州市环境保护局关于加强工业企业场地再开发利用环境管理的通知》(穗环〔2017〕185号);
- (11)《关于印发广州市污染地块再开发利用环境管理实施方案(试行)的通知》(穗环〔2018〕26号);
- (12)广东省实施《中华人民共和国土壤污染防治法》办法(2018年11月29日广东省第十三届人民代表大会常务委员会第七次会议通过);
- (13)《广东省生态环境厅关于印发广东省2019年土壤污染防治工作方案的通知》(粤环发〔2019〕4号,广东省生态环境厅,2019年6月13日);
- (14)《广州市生态环境局关于支持企业复工复产强化土壤污染状况调查报告评审服务的通知》(2020年3月5日)。

1.2.3 标准、技术导则及规范

- (1)《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018);
- (2)《地下水环境质量标准》(GB/T14848-2017);
- (3)《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019);
- (4)《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019);
- (5)《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019);
- (6)《建设用地土壤污染防治 第1部分:污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020);
- (7)《建设用地土壤污染防治 第3部分:土壤重金属监测质量保证与质量控制技术规范》(DB4401/T 102.3-2020);
- (8)《建设用地土壤污染防治 第4部分:土壤挥发性有机物监测质量保证

与质量控制技术规范》(DB4401/T 102.4-2020)

- (9)《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004);
- (10)《地下水环境监测技术规范》(HJ 164-2020);
- (11)《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ1019-2019);
- (12)《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009年版);
- (13)《关于印发<地下水环境状况调查评价工作指南>等4项技术文件的通知》(环办土壤函〔2019〕770号);
- (14)《工业企业场地地块环境调查评估与修复工作指南(试行)》(2014年11月);
- (15)《广州市环境保护局办公室关于印发广州市工业企业场地地块环境调查、治理修复及效果评估技术要点的通知》(穗环办〔2018〕173号);
- (16)《建设用地土壤环境调查评估技术指南》(原环境保护部2017年第72号);
- (17)《重点行业企业用地调查质量保证与质量控制技术规定(试行)》;
- (18)《城市用地分类与规划建设用地标准》(GB50137-2011);
- (19)《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》(粤环办〔2020〕67号);
- (20)《广州市生态环境局办公室关于做好再开发利用地块土壤污染状况调查和治理修复效果评估质量监督工作的通知》(穗环办〔2020〕62号);
- (21)《关于印发<建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控及修复效果评估报告评审指南>的通知》(环办土壤〔2019〕63号);
- (22)《建设用地土壤污染防治 第5部分:土壤半挥发性有机物监测质量保证与质量控制技术规范》(DB4401/T 102.5-2021)。

1.2.4 其他文件

- (1)《广州东方红印刷厂地块土壤污染状况初步调查报告》;
- (2)《广州东方红印刷厂地块土壤污染状况详细调查报告》。

1.3 风险评估目的

为避免目标地块内超筛选值的污染物对未来地块内及周边活动人员身体健康造成影响，本报告通过危害识别、暴露评估、毒性评估和风险表征等工作估算本地块土壤和地下水超筛选值污染物对人体健康造成损害的可能性及损害的性质和程度大小，确定基于未来规划用途下的场地环境风险水平，以利于必要的地块土壤修复工作及管理部门的监督工作，为后期地块开发利用决策提供依据。

1.4 风险评估范围

本次土壤污染风险评估的工作范围为广州东方红印刷厂地块红线边界线内的全部区域；根据广州市土地开发中心提供的建设用地红线图，调查地块总面积为 48012.42 m²。

1.5 技术路线

按照《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019）、《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估文件技术要点》（2018）和《工业企业污染场地调查与修复管理技术指南》（试行）等技术导则和规范的要求，并结合国内主要污染地块环境调查相关经验和本地块的实际情况，开展地块土壤污染状况详细调查工作，技术路线见下图。

（1）危害识别根据土壤污染状况调查获取的资料，结合场地土地的规划利用方式，确定污染场地关注污染物、地块内污染物的空间分布和可能的敏感受体。

（2）暴露评估在危害识别的工作基础上，确定相关暴露途径、迁移模型和敏感人群的暴露模型，确定地块污染状况、土壤性质、地下水特征、敏感人群和关注污染物性质等相关的模型参数值，计算敏感人群摄入来自土壤和地下水的污染物所对应的暴露量。

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

（4）风险表征在暴露评估和毒性评估的工作基础上，采用风险评估模型计

算致癌风险和危害商，进行不确定性分析。

(5) 风险控制值计算在风险表征的工作基础上，确定修复目标，修复范围及修复量，提出修复建议。

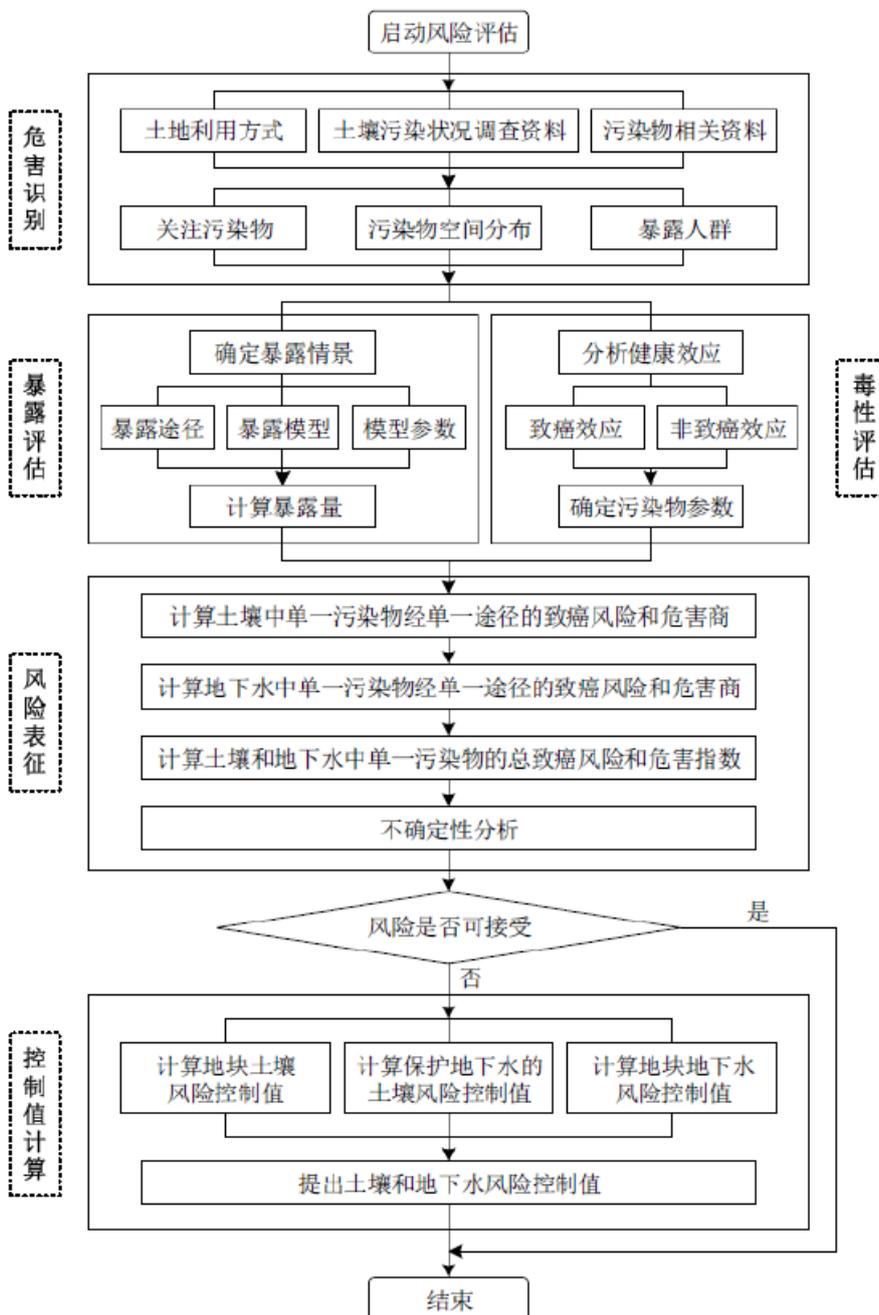


图 1.5-1 地块风险评估程序与内容

第二章 地块概况

2.1 调查区域环境

2.1.1 地理位置

广州市是广东省省会，广东省政治、经济、科技、教育和文化的中心。广州市地处中国大陆南方，广东省的中南部，珠江三角洲的北缘，接近珠江流域下游入海口。其范围是东经 $112^{\circ} 57' \sim 114^{\circ} 3'$ ，北纬 $22^{\circ} 26' \sim 23^{\circ} 56'$ ，东连惠州市博罗、龙门两县，西邻佛山市的三水、南海和顺德区，北靠清远市的市区和佛冈县及韶关市的新丰县，南接东莞市和中山市，隔海与香港、澳门特别行政区相望。

海珠区位于广州市区南部，北部与荔湾、越秀、天河区隔江相邻，东部、西部、南部分别与黄埔、荔湾（原芳村）、番禺区相望。区域的主体为海珠岛（河南岛），此外还有官洲岛和丫髻沙岛。海珠区位于东经 $113^{\circ} 14' \sim 113^{\circ} 23'$ ，北纬 $23^{\circ} 3' \sim 23^{\circ} 16'$ 之间，四面为珠江广州河段前、后航道环绕。区域包括海珠岛（河南岛）、东南面的官洲品和南面的了餐沙岛。占总面积 $2/3$ 属珠江三角洲冲积平原，其余 $1/3$ 为低丘、台地。平原主要分布在东部和东南部地区，区内河网密布，主要水系有西北部的海珠涌（马涌）、东北部的新洲涌、南部的赤沙洛 3 个水网系统。

调查地块位于广州市海珠区工业大道 313 号，调查地块西侧紧邻工业大道中，北侧为火地晋商务园以及南方医科大学珠江医院，东侧为居民区，南侧为地铁 11 号线在建施工场。地块中心经纬度 $113.264167^{\circ} \text{ E}$ 、 $23.079972^{\circ} \text{ N}$ 。

2.1.2 自区域环境与社会概况

2.1.2.1 气候和气象

海珠区属于南亚热带季风气候区，夏季较热，冬季温暖，热量充沛。低温、阴雨天气集中在 1~2 月，年平均气温 21.8°C ，7 月份平均温度 28.4°C ，绝对最低温度 0°C ，最高温度 38.7°C ，年平均降水量 1700 毫米，4~9 月占全年降水量 80.4%，4~6 月雷雨为主，7~9 月份台风较多，年平均相对湿度 78.5%。全年主导风为北

风，春季以东南风及北风为主，夏季以东南风为主，秋季以北风、东风为主，冬季以西北风居多。静风频率 29.3%，年平均风速 1.9 米/秒，日照 1825 小时，年太阳总辐射量 4570 兆·焦耳/平方米。平均年径流深 800 毫米，年平均蒸发量 1650 毫米。年平均雾日 6 天，轻雾 208 天。

2.1.2.2 地形地貌

海珠区内的地貌类型可划分为残丘、台地、平原 3 种类型，以三角洲平原为主。此外还有海蚀遗迹及天然磷石等微地貌形态。

火山岩残丘：分布于海珠岛中部旧凤凰一五凤村一带，主要由凤凰岗、漱珠岗、葫芦岗三个孤立分隔的火山岩残丘组成。地面出露面积仅 0.39 平方公里，高度小于 25 米。构成残丘的火山岩为酸性流纹斑岩、英安斑岩和火山角砾岩。火山喷发时代为距今 7000 多万年前的早白垩纪晚期，因喷发物数量小，风化剥蚀时间长，已成为 40 米台地一部分，更新世后，台地上升，再被蚀成丘陵状，故形成很低矮孤立的残丘。

台地：由白垩系红色碎屑岩和震旦系变质岩经更新世长期侵蚀剥蚀而成的准平原面，在更新世至全新世上升后，形成红岩台地，主要分布于海珠岛北部，从西往东成列展布，西起沙园、南石头，东至石榴岗、赤沙一带，在岛的东部零星散布在琶洲、黄埔村等地。变质岩台地分布于海珠岛东南部和官洲岛一带。台地的地势一般起伏不大，但往往成带成片分布。

平原：海珠区除残丘、台地外，均为珠江三角洲河、海冲积成的三角洲平原，特别在海珠岛的南部和东部最为发育，海拔多在 5 米以下，地势低平，海湖可达，河涌众多，为典型的平原水网地带，易为洪水泛滥，常需堤围保护。平原的沉积物质细小，以灰黑色淤泥和粉砂质淤泥为主，下部和中部常出现粉砂至中细砂层，含耗壳、蚶、蛤、有孔虫、抱球虫、咸水硅藻等海相生物化石，也含有蚬、淡水硅藻、腐木等河口淡水生物化石。沉积层的厚度一般由台地向珠江河床轴部增大，在台地边缘一般仅 4~9m，而在珠江干流和后航道沿岸则增大至 12~18m，为良好农耕和果树等作物区。

2.1.2.3 区域土壤和植被

海珠区地带性土壤为赤红壤，母质为砂页岩，形成砂页岩赤红壤。主要分布于赤岗、凤凰岗、石榴岗等低丘陵上，由于大部分已经人工耕作，土壤性质已发

生变化，一部分成为菜园果园，一部分成为城市建筑用地。平原区域的土壤为三角洲沉积土，经长期人工耕作，土壤熟化程度高，地势较高的成为果园、菜地，其次为菜田，地势低洼者为菜塘。区内的森林植被主要是分布在村落附近台地上的杂木和人工栽种的马尾松林、小叶桉林、台湾相思林、竹林和一些被称作“风水林”的树木。

2.1.2.4 地块树木情况

根据《广州市城市树木保护管理规定（试行）》（穗林业园林规字〔2022〕1号），为了后续地块内树木保护工作顺利开展，项目组对地块内树木进行了现场测量以及 RTK 定位，主要对指胸径二十厘米到八十厘米之间的树木（D）和胸径八十厘米以上的树木（G）。经济发展概况

2019 年，海珠区生产总值达到 1935.12 亿元，按可比价格计算，同比（下同）增长 7.6%，高于全国（6.1%）、省（6.2%）、市（6.8%），增速位于广州市第四。其中，第一产业增加值 1.54 亿元，增长 10.7%；第二产业增加值 397.27 亿元，增长 10.1%；第三产业增加值 1536.31 亿元，增长 6.9%。三次产业结构优化为 0.1:20.5:79.4，现代服务业增加值占 GDP 比重为 53.2%，经济密度达 21.41 亿元/平方公里，人均 GDP 达 11.32 万元。

2020 年，海珠区地区生产总值达到 2086.93 亿元，同比增长 2.8%

2.1.2.5 教育与文化

2019 年，海珠区高考高优线上线率增幅 21.73%，中考总体水平连续两年保持领先。新开办五中附属初级中学，新增优质初中学位 1200 个，转制新办 18 所公办幼儿园（园区），新增公办幼儿园学位 4866 个，新增义务教育标准化学校、广州市示范性普通高中各 1 所，完成 4 个校园“微改造”和 2 个校园改扩建工程，全面完成 4913 间教室及功能场室的照明设备深化改造。

2.1.3 区域地质与水文地质概况

2.1.3.1 区域地质构造

根据《海珠区志 1840-1990》，海珠区的区域地质情况如下：

(1) 地层

海珠区内出露的地层有第四系(Q)，白垩系(K)和震旦系(Z)。其中以第四系分布最广，约占全区面积的 2/3。

①震旦系 (Z)

零星出露于辖区东南部的仑头、官洲和土华的低丘上，为 40 米台地的蚀余部分。岩石均经区域变质和混合岩化作用，岩性以灰黑至浅灰色的条带--条纹状混合岩为主。由于其岩性较坚硬，露头较好的山冈，多辟为石场采石，石料主要作建筑材料使用。

②白垩系(K)

地层主体呈东西走向，分布海珠岛北部，遍布于沙园、同福路、江南大道、小港、康乐、赤岗、七星岗和赤沙、琶洲、黄埔村等地。地貌上为连续不断的台地和低丘(标高 20~45 米不等)，呈带状分布，一般称为“红层”表面多有红土层发育。按其时代新老和岩性特点，可划分为上下二个统。区内只出露下白统的上部(称白鹤洞组)和上白垩统(下部称三水组，上部称大朗山组)。

三水组产恐龙蛋、孢粉、介形虫、轮藻等化石，为区内白垩系重要化石产出层位，20 世纪 70 年代中期，在沙园和同福中路市场门口附近路段及防空洞红层中，挖到恐龙蛋碎片。以前广州地区的红层被认为是新生代早第三纪时的沉积，恐龙蛋化石的发现足以证明其为中生代晚白垩纪沉积。

白垩系皆为红色岩层，不仅地表出露较多，而且区内的基底岩石绝大部分由此系岩层组成。虽然辖区地表为第四系砂、砾、粘土所广泛覆盖，但其下面即为白垩系红层。由于此红岩裂隙较少、稳固性较好，可作为工程建筑的基础持力层，桩基稳固，故高层建筑及大工程的桩基以打到红层及其风化壳为佳，其中以砾岩、砂砾岩和砂岩更佳。古时的村落、寺庙、有名的园林宅第均构筑于红岩山丘及台地上，或依附其旁。一些红岩山冈由于海水、河水和雨水的侵蚀、冲刷，以及强烈的风化剥蚀，形成了裸露的小崖及陡峭的崖壁，故留有“七星岗古海蚀崖”遗迹、“赤岗塔瓶穴群”、“七星岗北坡鳞石”及“琶洲砾柱”等自然景观，这些地

方均为区内有科学价值的自然风景资源和科学研究资源。

③第四系(Q)

区内第四系分布最广，按成因可划分为残坡积型和沉积型两大类

a.残坡积型。

1)残积层，分布于区内的低丘及 40 米和 20 米台地上，主要为白垩纪红层的风化残积物。外表呈较鲜艳的红色岩性主要为粘土、亚粘土、亚砂土等。厚度变化大，最厚可达 51.2 米，形成时代从晚第三纪开始至晚更新世。

2)坡积层。主要沿低丘坡麓及台地边缘分布，厚薄不一，从几米至十余米不等，岩性主要为红黄、黄白等杂色粘土、亚粘土组成，常含砾石，具粗糙层理，为坡积作用形成。质地较残积层疏松，年代亦较新，多为上更新世产物，部分为全新世。

b.沉积型。

沉积型第四系在区内分布很广，特别是南部和东部，构成平原水网地带，为区内主要的农田地区。据钻孔及地表一些露头剖面资料，海珠区发现最早的第四系沉积物 C14 年代测定为距今约 1.43 万年，属晚更新世晚期，此后一直至现代均有第四系沉积物堆积，根据其形成环境又可分出河流冲积相、河海交互三角洲相及海积相沉积。

(2) 火山岩

区内有一处古火山遗迹，在中山大学以南旧凤凰至五凤村一带，由呈两列展布的 3 个高约 20~25 米的火山岩丘组成。位于西北边一列的称凤岗，位于东南边一列的称漱珠岗和葫芦岗，两列火山岩丘之间为五凤村所在的低洼地。组成这些小丘的火山岩皆为早白垩世晚期火山喷发的产物，岩性主要为次英安斑岩、流纹斑岩及火山角砾岩，地质界统称为漱珠岗火山岩系。说明 7000 多万年前，在此地曾经发生过强烈的火山爆发，火山爆出的碎块和喷出的岩浆，曾经穿过白垩纪红层，涌出地面铺盖当地，后来经过长期的风化剥蚀，以及以后的上白垩统红层也被蚀去，所以现在仅剩在火山喷出地区，成为三个小山头出露。

漱珠岗上有纯阳观，为海珠区重要的寺观古迹之一。该道观之所以选建于此，皆因漱珠岗古松怪石甚多，所以有此美景，是因为它由火山集块岩、火山角砾岩和流纹凝灰岩组成所致，这几种岩石抵御风化能力不一，火山集块岩、角砾岩往

往较硬，较硬的岩石不易风化而成块体突出，再加上岩石裂隙发育，沿裂隙容易风化并使岩石剥离分开，故形成嶙峋巨石，似堆鲁起来，实则为按节理侵蚀分离所致。

漱珠岗是海珠区，也是广州市区留存的古火山遗迹，且有很重要的科学价值

(3) 地质构造

海珠区在区域构造位置上处于三水断陷盆地的东端，主体构造为东西向，其次为北西向，由白垩系地层构成的宽缓型褶皱和燕山期、喜山期形成的断裂所组合而成。

①褶皱构造

由于区内地层缺失较多，加上第四系广泛覆盖，因而除藏山构造阶段的褶皱保存较好外，其余各构造阶段的褶皱在区内难以寻觅。主要有：

珠江向斜和海珠向斜。由白垩系地层组成，褶皱轴线接近东西向。轴部大约在大基头至前进路一线，由三水组上段岩层组成；两翼由三水组下段岩层组成。

②断裂构造

断裂被第四系所盖，绝大部分均深埋地下，仅在基岩裸露的山丘或台地才有所显示。以三组走向的断裂最发育，一为近东西向，二为北西或北西西向，三为北东向。

a.广三断裂。

北西西—东西走向，只出露其东段。从西侧的白鹅潭—五凤村—石榴岗，向东可能与仑头北山断裂相接，再向东延伸至长洲岛，横贯全区约 19 公里。除在沙园至五凤村一带地表有出露外，其余绝大部分被第四系所覆盖，为一隐伏断裂。该断裂在五凤村以东呈东西向，往西侧折为北西西向，断面倾向南，倾角 $40^{\circ} \sim 55^{\circ}$ ，属正断层。

b.北山断层。

见于区内东部仑头北山北麓，断层出露长约 600 米，东西两边隐伏在海相冲积平原之下，总体走向东西，使震旦系与白垩系地层呈断层接触。断层南盘出露震旦系混合岩，北盘出露晚白垩系三水组紫红色砾岩。该组砾岩在新层处倾角变陡，达 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，由断层泥、断层角砾岩组成的断层破碎带宽约 20 米。

c.仑头断层。

见于仑头村西约 54 米高的孤丘上，断层出露长约 300 米，走向近东西，断层南盘为震旦系混合岩，北盘为下白垩统地层，断面北倾，属正断层性质，断层线岸较明显。

d. 石榴岗断层。

该断裂组由番禺的北亭向北西经石榴岗，然后越过珠江至天河附近。在区内石榴岗至七星岗一带山冈出露，其余为第四系覆盖。断层走向, 贾 $340^{\circ} \sim 350^{\circ}$ ，倾向不明。

在仑头北山西侧还有一隐伏的北西向断层，可延长至珠江北岸的沙河，称之为沙河断层。在纺织路一带也有一隐伏的北西西向断层，称为海珠断层。在东南部的官洲岛上也有一条北东向断层，称官洲断层。由于这些断层均隐伏在第四系覆盖物和建筑物之下，地面无明显迹象，只在占孔中发现断裂破碎现象及航片上有线性构造的显示。隐伏断裂较多，而这些隐伏的断裂破碎带易透水，往往形成不稳定的岩块土体，故在地面工程建设时应予以注意。

根据区域地质资料，调查地块西侧紧邻工业大道中，北侧为火地晋商务园以及南方医科大学珠江医院，东侧为居民区，南侧为地铁 11 号线在建施工场地。地块距地块北侧的广三断层约 1300m，该断裂对地块有一定影响。

2.1.3.2 区域水文地质

根据综合水文地质图广州幅 F-49-[12]可知（**错误!未找到引用源。**），目标地块区域出露地层单一，整体位于白垩系（K2）地层中。

白垩系上统为砖红色砂砾岩、含砾粗砂岩、细砂岩、粉砂岩及泥岩夹石膏，含裂隙水，富水性贫乏至中等，单井涌水量 56-451 吨/日，属 Cl-Na.Ca 型水，矿化度 2.99-13.38 克/升。

地下水流向:海珠区地下水流向以帽峰山分水岭和大岭项—罗岗金峰—老虎岩顶—马头山分水岭为界可分为三个区：西南区地下水总体流向由 N 向 S，注入珠江主水道；东南区地下水总体流向由 NW 流向 SE，注入东江；东北区地下水总体流向先由 NW 流向 E，再转南流向 ES，最后注入东江。

2.2 调查地块概况

2.2.1 地块历史沿革

根据前期资料收集、人员访谈、现场踏勘成果，了解到调查地块历史沿革：

① 1939年前，广州市东方红印刷厂地块为和尚岗和农田；

② 1939年为包括广州市人民印刷厂二厂、四、五厂等各小厂在地块内生产，各厂生产工艺一致，均在地块内生产。

③ 50年代，印刷二厂、四、五厂工艺设备发生变动，手摆式印刷机换为半自动印刷机，二、四、五厂手摆印刷车间均改为自动印刷车间。

④ 1968年11月-1969年，地块外的广州市印刷三厂和广州市印刷十八厂（三厂和十八厂的工艺均为石印工艺）进驻到调查地块内建设厂房进行生产。1969年，三厂和十八厂同地块内的原印刷二、四、五厂合并，更名为广州市东方红印刷公司。

⑤ 1976年，广州市东方红印刷公司成立广州照相制版厂，在地块北侧建设厂房进行生产，产品为印刷板材。此外在地块北侧还新建一个配电房。

⑥ 1982年，广州市东方红印刷公司成立广州市东方红印刷公司东方过光合作社，生产不干胶印刷品，在二厂手摆印刷车间西南侧新增构筑物：1个化学品仓。

⑦ 1983年广州电化铝厂被广州市东方红印刷公司合并，电化铝厂进驻到地块南部宿舍楼西侧新建了1个电化铝车间和1个仓库进行生产。

⑧ 1994年6月，广州市东方红印刷公司成立广州市东方红印刷公司综合劳动服务部加工场。

⑨ 1996年广州照相制版厂停产搬离地块，同年广州市东方红印刷公司与香港越秀包装实业有限公司集资创立东信印铁制罐有限公司，使用原照相制版厂车间进行印铁制罐生产。

⑩ 2007年，广州油墨厂经营部进驻到地块内，租用一个厂房用作仓库，主营销售油墨、涂料、油墨辅助剂

⑪ 2010年，广州市东方红印刷公司等所有企业搬离调查地块。

- ⑫ 2010年-2019年，该地块改造成东方红创意园出租，商用办公。
- ⑬ 2019年，除地块东南角一栋建筑物还没拆除，其余建筑物均已拆除。

2.2.2 地块土地利用现状

根据现场踏勘调查和航拍图，目标地块已经于2018年开始回收为国有，并陆续拆除建筑，目前地块只剩下东南部有一栋空置建筑物，其余建筑物均已拆除现为空地。

2.2.3 地块地质与水文地质

2.2.3.1 地块地层情况

据钻孔资料，结合各类岩土体的工程地质特点和形成年代，可以将区内岩土体划分为人工填土层、冲积层和侏罗系岩层三个工程地质岩组。根据钻探揭露，场区第四系(Q)堆积物较发育，按成因类型可划分为表土层(Q^{ml})、冲积层(Q^{al})等；基岩为侏罗系下统长埔组沉积岩(J_{1c})泥质粉砂岩。地块内地层特征自上而下分述如下：

(1) 素填土：

颜色以褐色为主，次为棕色、黄色等；密实度以松散为主；湿度基本为稍湿；主要由粘性土回填形成，次为砂粒，土质分布不均匀，无气味，无明显污染痕迹；该层普遍分布，埋深厚度0~4.60m，平均厚度为2.23m。

(2) 黏土层

粉质黏土：

颜色以棕褐色为主，次为棕红色；可塑性基本为可塑；主要由粉粘粒组成，含有少量砂粒，稍有光泽，遇水易软化，局部含有砾石，无气味，无明显污染痕迹；该层普遍分布，埋深厚度为0.60~8.00m，平均厚度为4.92m。

(3) 沉积岩

泥质粉砂岩：

颜色以棕红色为主，次为棕褐色、灰色等，岩芯呈土状、半岩半土状、土夹岩状，手捏易碎，组织结构大部分破坏，矿物成份以显著变化，遇水易软化、崩

解，岩体基本质量等级为V类，无气味，无明显污染痕迹；该层较少分布。

综上所述，地块土层结构主要包括人工填土层、粉质黏土层。其中，素填土介于0~460cm之间，粉质黏土介于600~800cm之间。

2.2.3.2 地块水层分布情况

根据详细调查选取的S16-1、S16-2、S16-3、S33-1、S33-2、XS7、Y24-3和Y5-1共8个点位的土工试验结果表2.2-2显示，地块内0~8m深度揭露的地层主要为素填土和粉质粘土。各地层的垂向渗透系数分别为：素填土层 $8.84E-06\sim 7.28E-05$ cm/s，粉质黏土层 $3.22E-06\sim 9.18E-06$ 。

从各地层的渗透系数可以看出，粉质黏土层的渗透系数最小，垂直方向渗透系数达到了 10^{-6} cm/s级别，渗透系数较小，可作为相对隔水层。根据地块内地层岩性显示，由粉质黏土组成的相对隔水层在地块内呈连续状分布。

综上，粉质黏土作为相对隔水层无论是从厚度还是渗透性能的角度，都可证明其有较好的防护性能，可阻止的上层滞水中的污染物迁移至第一层含水层。

2.2.3.3 地块水文地质

调查地块内无地表水体，本次调查在地块内共布设8口地下水监测井，地下水稳定水位埋深为0.46~3.37m，稳定水位高程为3.95~6.79m，赋存于填土层中，靠大气降水和周边地表水补给，排泄条件较好，通过地表渗流，其次为向上的大气蒸发。地下水pH值（无量纲）范围在6.45~7.11之间，可见地块内地下水为中性水。

根据现场钻探的浅层潜水层水位测量数据，地下水大致从东北流向西南。

2.2.4 地块未来规划

根据《广州市土地开发中心关于广州东方红印刷厂地块评价标准的说明》，因项目地块暂未确定规划用途，为推进地块开发利用并兼顾土壤污染调查工作，本项目地块按照《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中的第一类用地进行评价。

2.2.5 地块相邻地块现状

该调查地块西侧为工业大道中路，并毗邻居民生活区，小学等；北侧为火地晋商务园和南方医科大学珠江医院，东侧为泉塘社区居民区，南侧为华新广场以及地铁 11 号线（燕岗站）在建施工场地。

2.2.6 周边敏感目标

地块周边 500m 范围内的敏感的目标主要有医院和居民区。地块东侧、南侧、西侧均为居民区楼房，北侧为居民区、商务园办公楼以及医院。

第三章 土壤污染状况调查工作回顾与结论

3.1 第一阶段调查-污染识别

项目组于 2021 年 6 月~8 月对调查地块进行了第一阶段调查。所获得的资料包括地块责任单位提供的和项目组通过多个途径收集的关于地块及其周边的信息、历史运营、平面布置、生产状况、主要产品、原辅材料，以及相关国土证明、规划证明、环评报告、环评批复及验收报告，历史地形图和卫星图等。调查期间，项目组对现场进行了多次踏勘，对地块内情况及周边环境进行详细的调查和记录，同时，对广州市生态环境局海珠分局、广州市土地开发中心、原厂退休员工以及周边居民进行了面对面访谈，进一步了解调查地块及周边环境的情况。

（1）地块历史沿革

根据第一阶段调查结果，调查地块使用历史较久。地块历史沿革如下：

- ① 1939 年前，广州市东方红印刷厂地块为和尚岗和农田；
- ② 1939 年为包括广州市人民印刷厂二厂、四、五厂等各小厂在地块内生产，各厂生产工艺一致，均在地块内生产。
- ③ 50 年代，印刷二厂、四、五厂工艺设备发生变动，手摆式印刷机换为半自动印刷机，二、四、五厂手摆印刷车间均改为自动印刷车间。
- ④ 1968 年 11 月-1969 年，地块外的广州市印刷三厂和广州市印刷十八厂（三厂和十八厂的工艺均为石印工艺）进驻到调查地块内建设厂房进行生产。

1969年，三厂和十八厂同地块内的原印刷二、四、五厂合并，更名为广州市东方红印刷公司。

⑤ 1976年，广州市东方红印刷公司成立广州照相制版厂，在地块北侧建设厂房进行生产，产品为印刷板材。此外在地块北侧还新建一个配电房。

⑥ 1982年，广州市东方红印刷公司成立广州市东方红印刷公司东方过光合作社成立，生产不干胶印刷品，在二厂手摆印刷车间西南侧新增构筑物：1个化学品仓。

⑦ 1983年广州电化铝厂被广州市东方红印刷公司合并，电化铝厂进驻到地块南部宿舍楼西侧新建了1个电化铝车间和1个仓库进行生产。

⑧ 1994年6月，广州市东方红印刷公司成立广州市东方红印刷公司综合劳动服务部加工场。

⑨ 1996年广州照相制版厂停产搬离地块，同年广州市东方红印刷公司与香港越秀包装实业有限公司集资创立东信印铁制罐有限公司，使用原照相制版厂车间进行印铁制罐生产。

⑩ 2007年，广州油墨厂经营部进驻到地块内，主营销售油墨、涂料、油墨辅助剂。

⑪ 2010年，广州市东方红印刷公司等所有企业搬离调查地块。

⑫ 2010年-2019年，该地块改造成东方红创意园出租，商用办公。

⑬ 2019年，除地块东南角一栋建筑物还没拆除，其余建筑物均已拆除。

（2）相邻地块历史沿革

①地块西边1961年之前为居民区；1961-1999年，地块西南边新增市建四公司（用于工程队宿舍使用）以及西北边新增广州市刀剪厂；2000年-2015年，地块西北边的广州刀剪厂关闭生产，开始闲置；2016年后重新建设规划，现为广钢泰颐南庭养护院。地块西南边2015年-2018年，新增广州市佳悦汽车服务有限公司，2018至今新增勋福来(广州)汽车维修有限公司。

②地块北边1981年之前为水塘和绿植，1981年珠江医院迁到地块北边，至今主要为珠江医院的家属楼、单干楼、住院楼。

③地块东北边1978年之前为农田、居民楼，1978-1999年新增塑料九厂（广州市环球塑料制品厂）和广州雄鹰糖果厂，1999-2008年塑料九厂（广州市环球

塑料制品厂)、广州雄鹰糖果厂搬迁并新增万宝电器工业公司,2008年万宝电器工业公司搬迁,作为精英创意园至今,主要为商用办公为主的公司。

④地块东南边 1970 年之前为农田和小山丘,1970-2000 年新增广州第七橡胶厂(又名广州市星球轮胎厂),2000 年至 2013 年为服装布料仓库、办公室,2014 年至今由地铁征用建设 11 号地铁线路。

⑤地块西南边一直作为商业区、居民区和医院等,无生产企业

(3) 污染识别结果

根据污染识别情况,地块内潜在污染主要关注污染物为铅、锰、钴、锌、汞、锡、铜、镉、银、六价铬、砷、苯系物、丙酮、石油烃(C₁₀-C₄₀)、多环芳烃、酚类、甲醛、多氯联苯、邻苯二甲酸酯类、氟化物、氯化物。

地块周边潜在主要关注特征污染物为氟化物、石油烃(C₁₀-C₄₀)、重金属(六价铬、锌、砷、汞、铅、锡)、邻苯二甲酸酯类、多氯联苯、多环芳烃以及苯系物。

因此本项目重点关注的污染物为重金属(铅、锰、钴、锌、汞、锡、铜、镉、银、六价铬、砷)、苯系物、丙酮、石油烃(C₁₀-C₄₀)、多环芳烃、酚类、甲醛、多氯联苯、邻苯二甲酸酯类、氟化物、氯化物。

3.2 初步采样调查情况

3.2.1 污染风险筛选值

(1) 土壤污染风险筛选值

由于本调查地块未来规划暂未确定,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)的 5.3.1 节规定“规划用途不明确的,适用表 1 和表 2 中第一类用地的筛选值和管制值”,因此本项目地块按照《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中的第一类用地进行评价。

土壤中重金属及无机物、挥发性有机物、半挥发性有机物、石油烃(C₁₀-C₄₀)、酚类、多氯联苯、邻苯二甲酸酯类、多环芳烃优先选用《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)第一类用地的土壤筛选值。

由于调查地块土壤类型为赤红壤，因此砷参考《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600—2018）附录表 A.1 中砷在赤红壤中的背景值。标准中没有的指标依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的计算方法和模型，参数选用导则默认参数，计算风险筛选值地下水污染风险筛选值

根据广东省水利厅《广东省地下水功能区划》（粤水资源〔2009〕19号），调查地块所在区域的浅层地下水划定为“珠江三角洲广州海珠至南沙不宜开采区”，本调查地块地下水筛选值主要采用《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中IV类标准，甲醛参考《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006），以上两个标准中没有的指标依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的计算方法和模型，参数选用导则默认参数，计算风险筛选值。土壤环境调查

（1）布点采样

考虑到地块历史生产时间比较长，地块保守考虑将整个地块作为重点区域，同时布点时考虑在生产厂房（制版车间、印刷车间、胶印车间、油墨仓库、电化铝车间等）、变电站（电房）、锅炉房、储油区、固废存放处、雨污管网旁等污染可能性较大的位置加密布点。调查地块共布设了 41 个土壤监测点位，布点密度为 1171.02 m²/个，符合相关导则的要求。同时，选取调查地块外未直接受到工业污染源污染、土地受干扰较小的东北边 129m 村子旁的绿植区和西边 689m 的庄头公园绿植区各布设了 1 个对照点位，合计布设 2 个土壤对照点。监测项目包括土壤 pH 值、《土壤环境质量标准 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）表 1 基本项 45 项和其他特征污染物锌、钴、铍、钡、镉、锑、氟化物、氰化物、苯酚、石油烃（C₁₀-C₄₀）、多氯联苯等。由于点位 S17 的检测项目缺漏，并且土壤样品超过了有效期，不能进行加测。因此项目组于 2022 年 03 月 16 日在 S17 旁 0.5m 处，在与 S17 采样层次相同的情况下，对缺漏项目进行补充采样检测工作。

（2）土壤样品分析结果

初步调查工作包含土壤点位 43 个（包含对照点 2 个），共采集土壤样品 220 个（含对照点样品 2 个）；存在超筛选值的污染物有重金属铬（六价）、钴、铅、甲醛 4 项指标；超筛选值点位共 6 个，检测分析结果见表 3.2-3~4，超筛选值点

位分布见图 3.2-1。

钴含量范围为 ND~33mg/kg，平均值为 6.27mg/kg，S5 点位 0-0.5m 的样品检测浓度为 33 mg/kg，超过一类用地筛选值或风险控制值 20mg/kg，其余所有样品未超筛选值；

铅含量范围为 ND~869mg/kg，平均值为 56.35mg/kg，S5 点位 0-0.5m 的样品检测浓度为 5620 mg/kg，S6 点位 0-0.5m 的样品检测浓度为 869 mg/kg，S7 点位 3.4-3.9m 的样品检测浓度为 842 mg/kg，S8 点位 0-0.5m、1.0-1.5m 和 2.7-3.2m 的样品检测浓度分别为 1020、597 和 470mg/kg，S16 点位 0-0.5m 和 1.0-1.5m 的样品检测浓度分别为 818 和 680 mg/kg，S33 点位 1.8-2.3m 的样品检测浓度为 643mg/kg，超过一类用地筛选值或风险控制值 400mg/kg，其余所有样品未超筛选值；

铬(六价)含量范围为 ND~182mg/kg，平均值为 0.90mg/kg，S5 点位 0-0.5m、S8 点位 1.0-1.5m、S33 点位 1.7-2.2m 的土壤样品检测浓度为 182、3.20、3.90mg/kg，超过一类用地筛选值或风险控制值 3.0mg/kg，其余所有样品未超筛选值；

甲醛含量范围为 0.08~18.8mg/kg，平均值为 0.771mg/kg。其中 S24 点位深度为 1.8m 的土壤样品检测浓度为 18.8 mg/kg，超过风险控制值 16.5 mg/kg。

由于点位 S17 的检测项目缺漏,并且土壤样品超过了有效期,不能进行加测。因此项目组于 2022 年 03 月 16 日在 S17 旁 0.5m 处,在与 S17 采样层次相同的情况下,对缺漏项目进行补充采样检测工作。

本次补充采样监测项目主要有锌、钴、锰、2,4,5-三氯酚、2,4,6-三氯酚、2,4-二氯酚、2,4-二硝基酚、2,4-二甲基苯酚、2,4-二硝基甲苯、2-甲基苯酚、4-甲基苯酚、4-硝基苯酚、五氯苯酚、苯酚、丙酮。

补测点位中各检出项目含量均低于本报告所选取的土壤污染风险筛选值。

3.2.2 地下水环境调查

(1) 采样方案

初步采样调查阶段在地块内共布设地下水监测井 8 口,共采集地下水样品 8 个。监测项目为特征污染物,包括 2 项常规指标(pH 值、浑浊度)、12 重金属(砷、汞、镉、铬(六价)、铅、铜、镍、锌、钴、锰、银、锡;)11 项苯系物(苯酚、萘、苯并(a)蒽、蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-c,d)芘、二苯并(a,h)蒽、石油烃(C₁₀-C₄₀)、多氯联苯)。邻苯二甲酸酯类:多氯联苯(总量);甲醛;丙酮;氟化物;多环芳烃(16 项)等。

(2) 地下水样品分析结果

地下水 pH 值(无量纲)范围在 6.45~7.11 之间,可见地块内地下水为中性水。地下水样品中检出 4 项无机物和有机物,共有 3 个地下水监测井样品出现污染物超筛选值现象,超筛选值指标包括钴、锰、4-硝基苯酚和甲醛共 4 项。检测结果统计见表 3.2-5,超筛点位分布见图 3.2-1。

4-硝基苯酚(mg/L)含量范围为 ND~0.0336mg/L,平均值为 0.0117mg/L,其中 W2 地下水样品 4-硝基苯酚的含量为 0.032 mg/L, W3 地下水样品 4-硝基苯酚的含量为 0.0336 mg/L, W2 和 W3 均超过 4-硝基苯酚地下水筛选值 0.03 mg/L,超标倍数分别为 1.07 和 1.12 倍;

钴(mg/L)含量范围为 0.00126~1.22mg/L,平均值为 0.17715625mg/L,其中 W8 地下水样品钴的含量为 1.22 mg/L,超过钴地下水筛选值 0.1 mg/L,超标倍数分别为 12.2 倍;

锰(mg/L)含量范围为 0.234~2.6mg/L,平均值为 1.118625mg/L,其中 W2 地下

水样品锰的含量为 2.6 mg/L, W8 地下水样品锰的含量为 1.8 mg/L, W2 和 W8 均超过锰地下水筛选值 1.5 mg/L, 超标倍数分别为 1.73 和 1.2 倍;

甲醛(mg/L)含量范围为 ND~1.59mg/L,平均值为 0.49125mg/L, W3 地下水样品甲醛的含量为 12.5 mg/L, 超过甲醛地下水筛选值 0.9 mg/L, 超标倍数分别为 1.77 倍。

3.2.3 异常点排查采样调查

因为 S5 的钴和 S24 的甲醛属于孤立点位, 并且满足《建设用地土壤污染防治 第 1 部分: 污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020) 中异常点位排查启动的要求, 因此进行异常点排查工作。

(1) 布点采样

依据《广州市环境保护局办公室关于印发广州市工业企业场地环境调查、治理修复及效果评估技术要点的通知》、《建设用地土壤污染防治 第 1 部分: 污染状况调查技术规范》等技术文件要求, 异常点确认及排查布点如下:

1) 以异常点 S5 和 S24 为中心, 周围划分 20 m×20 m 网格布点。

2) 在异常点 S5 和 S24 附近 0.5 米及四个垂直轴向上 5 m 范围内分别布设 5 个采样点位。

根据上述布点要求, 点位 S5 异常指标钴排查采集 44 个样品, 点位 S24 异常指标甲醛排查采集 65 个样品, 共采集 109 个土壤样品。

由于 S24 甲醛异常点排查现场采样时, 部分点位未能采到 S24 甲醛超标位置, 因此在 S24 异常点排查点 (Y24-1~Y24-13) 原点旁 0.5m 处进行了异常点排查补充采样工作, 补充采样时间为 2022 年 3 月 16 日。

(2) 检测结果

在 S5 点位周边加密布点了 7 个点位 (Y5-1~Y5-7), 共检测了 44 个样品, 检出浓度均不超标。

在 S24 点位周边加密布点了 13 个点位 (Y24-1~Y24-13), 共检测了 65 个样品, 检出浓度均不超标。

由于 S24 甲醛异常点排查现场采样时, 部分点位未能采到 S24 甲醛超标位

置，因此进行了 S24 异常点排查补充采样工作，共检测了 33 个样品，检出浓度均不超标。

（3）异常点排查结论

根据样品检测分析结果，所有点位的钴和甲醛均未超过筛选值，S5 的钴和 S24 的甲醛符合广州市地方标准《建设用地土壤污染防治 第一部分：污染状况调查技术规范》（DB4401/T 102.1-2020）异常点排查条件，对于本地块不具代表性，可予以排除。

3.2.4 初步调查超标情况汇总

初步调查工作包含土壤点位 43 个（包含对照点 2 个），共采集土壤样品 220 个（含对照点样品 2 个）；地下水监测井点位 8 个，共采集地下水样品 8 个。

土壤污染物优先采用《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》（GB36600-2018）第一类用地筛选值作为评价标准，地下水污染物优先采用《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类标准作为评价标准，对于上述标准中没有对应筛选值的污染物优先采用国家风险评估模型推的污染风险筛选值作为评价标准。

初步调查结果表明，土壤样品中超标污染物包括铬（六价）、铅 2 项指标；地下水样品中超标污染物包括钴、锰、4-硝基酚和甲醛 4 项指标。

3.3 详细调查情况

3.3.1 详细采样调查

(1) 布点方案

为确定超筛选值区域范围和深度，于2021年11月~2021年12月进行详细采样调查，按连片污染区域加密至每 400 m^2 ($20\text{ m}\times 20\text{ m}$)不少于1个、孤立的超标点位加密至每 100 m^2 ($10\text{ m}\times 10\text{ m}$)不少于1个的原则，共布设土壤采样点位45个，单点调查深度为3~8m，采集土壤样品267个，检测项目为初步调查出现超筛选值的铅、六价铬。

根据初步调查结果，地下水超标点位为W2(S6)、W3(S41)和W8(S35)，地下水超标指标为钴、锰、甲醛和4-硝基苯酚，由于地下水超标点位的土壤样品检测结果未超标，且所有土壤样品检测结果中锰和4-硝基苯酚等2项污染物未超标，为进一步确认地下水超标点位周边土壤环境质量状况，本次调查在地下水超标点位周边按每 400 m^2 ($20\text{ m}\times 20\text{ m}$)布设1个采样点的密度布点，共布设14个土壤采样点，检测项目为初步调查地下水超标指标为钴、锰、甲醛和4-硝基苯酚，共采集89个土壤样品。

根据初步采样调查结果，地下水中监测指标锰、钴、4-硝基苯酚和甲醛出现超标现象。根据《广东省建设用地调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》，污染区域加密布设点位数应满足每 6400 m^2 不少于1个的要求，按照 80×80 网格共布设XW1、XW2和XW3三个地下水监测点位。检测指标包括pH、浑浊度、钴、锰、甲醛、4-硝基苯酚。

(2) 详细调查阶段样品分析结果

①详细调查土壤检测结果：详细调查地块内共设置了土壤监测点69个，共采集土壤样品327个（不含现场平行样），监测项目包括土壤pH值、水分、铅、六价铬、钴、锰、甲醛、4-硝基苯酚。监测分析结果见表3.3-1。

铅的含量范围为ND~9830 mg/kg，平均值为188.72 mg/kg，超筛选值点位为9个，超筛样品17个，样品超筛比例为5.2%，最大超筛倍数为24.58，最大超筛深度为5m，最大超筛点位为X33-1-3；

六价铬的含量范围为ND~2380 mg/kg，平均值为16.88 mg/kg，超筛选值点

位为 7 个，超筛样品 13 个，超筛选值比例为 5.15%，最大超筛倍数为 793.33，最大超筛深度为 5m，最大超筛点位为 X33-1-3；

钴的含量范围为 ND~19 mg/kg，平均值为 7.37 mg/kg，超筛选值点位 0 个，超筛选值比例为 0%；

锰含量范围为 16.3~2140 mg/kg，平均值为 293.38 mg/kg，超筛选值点位 0 个，超筛选值比例为 0%；

甲醛的含量范围为 ND~1.6 mg/kg，平均值为 0.22 mg/kg，超筛选值点位 0 个，超筛选值比例为 0%；

4-硝基苯酚所有样品均未检出。

②详细调查地下水检测结果：详细调查地块内共设置了地下水监测点 3 个，共采集地下水样品 3 个（不含现场平行样），监测项目包括土壤 pH 值、水分、钴、锰、甲醛、4-硝基苯酚。监测分析结果见表 3.3-2。

地下水详细调查采样检测结果显示，地下水 XW1~XW3 的钴、锰、4-硝基苯酚、甲醛均未超过筛选值。

3.3.2 详细补充采样调查

(1) 布点采样

为进一步确定超筛选值区域范围和深度，于 2021 年 12 月 17~18 日进行第一次补充采样调查，本阶段详细调查补充采样阶段采用系统布点法加密布设采样点，以污染点位为中心，密度为每 100 m²（10 m×10 m 网格）布设 1 个采样点。综上，本阶段调查共布设 12 个采样点位，采集土壤样品 60 个，监测指标为铅和六价铬。

(2) 土壤样品分析结果

根据第一次补充采样调查结果，2 项监测指标均被检出，超筛选值污染物为铅、六价铬。分析统计结果见下表 3.3-2 和图 3.3-1.

铅的监测土壤样品 12 个，含量范围为 13~183 mg/kg，平均值为 54 mg/kg，所有点位检出值均未超过筛选值；

六价铬的监测土壤样品 60 个，所有点位均未检出。

3.4 污染成因分析

3.4.1 土壤超筛选值成因

点位 S5 样品的铅和铬（六价）、S6 样品的铅和 S7 样品的铅含量超标，其中 S5 铅和铬（六价）的超标深度均为 0-0.5 m；S6 铅 6 的超标深度为 0-0.5 m；S7 铅的超标深度均为 3.4-3.9 m。详调期间在上述点位周边加密布点，存在点位 XW3、X5-1、X5-4、Y5-2、Y5-3 也超标，根据地块平面布置图，点位 S5、S6 和 S7 布设在下游管道旁，可能因雨污水管道破损，导致废水泄露从而污染土壤。点位 S8 样品铅和铬（六价）含量超标，其中 S8 铅超标深度分别为 0-0.5 m、1.0-1.5 m 和 2.7-3.2 m；铬（六价）的超标深度均为 1.0-1.5 m。详调期间在其周边加密布点，存在点位 X8-2 也存在超标，根据地块平面布置图，点位 S8 布设在电化铝厂的烫印车间，电化铝厂的烫印车间生产过程中油墨的跑冒滴漏可能导致土壤污染。点位 S16 土壤铅含量超标，其中铅超标深度为 0-0.5 m、和 1.0-1.5 m。详调期间在其周边加密布点，采集的所有土壤样品均未超标，根据地块平面布置图，点位 S16 布设于危废车间，危废中的废油墨等在储存过程中油墨的跑冒滴漏可能导致土壤污染。点位 S33 样品铅和铬（六价）含量超标，其中 S33 铅超标深度为 1.8-2.3 m；铬（六价）的超标深度均为 1.8-2.3 m。详调期间在其周边加密布点，存在点位 XW33-1、XW33-2、XW33-3、XW33-4、XW33-6、XW33-9 也存在超标，根据地块平面布置图，点位 S33 土壤铅和铬（六价）超标的原因可能是点位 S33 左侧的有雨污水管道经过，可能是管道泄漏造成的。

3.4.2 地下水超筛选值成因

W2 地下水样品中的锰和 4-硝基苯酚、W3 地下水样品中的 4-硝基苯酚和甲醛以及 W8 地下水样品中的锰和钴均超标，详调期间在其周边 20x20m 网格加密布设土壤点和按照 80x80m 网格布设地下水，采集的所有土壤和地下水样品均未超标。根据地块平面布置图，地下水点位 W2 布设在下游的雨污管网旁，点位周边雨污水管道可能发生破损，导致上游管线（涉及石印、印刷、电化铝等工艺）的废水泄露造成地下水污染；点位 W3 布设在印铁和显影车间，印铁和显影车间生产活动中油墨和涂料跑冒滴漏可能导致地下水污染；点位 W8 布设在历史危废

暂存区，由于历史危废储存管理制度不够完善，危废在存放过程中，废油墨等危废可能存在跑冒滴漏并通过地面缝隙下渗，造成地下水污染。

3.5 地块土工试验结果

详细采样调查期间，别从点位 S16-1、S16-2、S16-3、S33-1、S33-2、XS7、Y24-3、Y5-1 共 8 个点位采集了工试验样品土工试验分析结果见表 3.5-1。根据土工试验结果，地块内含水率范围为 15.0~34.5%，土粒比重为 2.70~2.72，湿密度范围为 1.87~2.08 g/cm³，干密度范围为 1.39~1.81g/cm³，孔隙比范围为 0.49~0.96，渗透系数范围为 3.22E-0.6 ~9.18E-0.6cm/s，有机质含量范围为 0.27~0.83%。

3.6 调查结果及调查结论

3.6.1 调查结果

在调查地块土壤污染状况初步调查报告基础上,结合本报告详细采样调查和补充采样调查结果,对调查地块土壤污染状况调查总体情况进行分析。

3.6.1.1 土壤调查结果

初步调查检出样品的中,S5号点土壤钴、铅、铬(六价)超标、S6和S7号点土壤铅超标、S8土壤铅和铬(六价)超标、S24土壤甲醛超标、S33土壤铅和铬(六价)超标。其余土壤样品的检测结果均低于相应的污染风险筛选值。

经异常点排查,S5的钴和S24的甲醛符合广州市地方标准《建设用地土壤污染防治 第一部分:污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020)异常点排查条件,对于本地块不具代表性,可予以排除。

详细调查检测结果中,铅的超标点位为9个,超标样品17个,样品超标比例为5.2%,最大超标倍数为23.58,最大超标深度为5m,最大超标点位为X33-1-3;六价铬超标点位为7个,超标样品13个,超标比例为5.15%,最大超标倍数为792.33,最大超标深度为5m,最大超标点位为X33-1-3;其余土壤样品的检测结果均低于相应的污染风险筛选值。

3.6.1.2 地下水调查结果

(1) 检测结果

地下水详细调查阶段按照80x80网格布点,共布设3个地下水监测点。检测指标包括pH、浑浊度、钴、锰、甲醛、4-硝基苯酚,所有检测结果均未超过筛选值。

(2) 超标范围

根据初步调查地下水点位监测结果,点位W2样品锰和4-硝基苯酚、点位W3样品的4-硝基苯酚和甲醛、点位W8样品的锰和钴均超过第一类用地地下水筛选值。根据初步调查及详细调查点位分布及超标点位分布情况,根据未超标点位及红线边界划定地块内地下水污染范围,污染范围面积为25132.91 m²,地块内上层滞水层厚度为2.62~4.92m,平均厚度为3.77m,地下水污染范围详见下图。

(3) 地下水兜底情况

初步调查和详细调查阶段地块内建设的水井监测的为第一层含水层的地下水，初步调查监测结果表明上层滞水层存在超标情况。为确定下层相对隔水层的防护性能，本次主要从以下几个点进行分析说明：

(1) 厚度：根据地块内地层岩性显示，由粉质黏土组成的相对隔水层在地块内呈连续状分布，根据 W2、W3 和 W8 的钻孔揭露，粉质粘土层在 W2、W3 和 W8 点位处的厚度分别为 5m、3.6m 和 6.6m，三个点的平均厚度为 5.06m，结合整个地块粉质黏土的厚度分布为 0.60~8.00m，平均厚度为 4.92m，表明地块内相对隔水层的厚度较大，可以起到较好的防护作用。

(2) 渗透系数：本地块土工试验报告显示，粉质黏土垂直方向渗透系数达到了 10^{-6} cm/s 级别，渗透系数较小，可作为相对隔水层来阻挡上层滞水中的污染物迁移至第一层含水层。

(3) 土壤监测结果：详细调查阶段，在超标水井周围按照 20x20 网格进行土壤加密布点，监测指标为地下水超标指标，土壤监测结果显示，地下水超标周围土壤中的锰、钴、甲醛、4-硝基苯酚均未超标，可以认为地下水中的污染物没有对其周边的土壤造成影响。

综上，粉质黏土作为相对隔水层无论是从厚度还是渗透性能的角度，都可证明其有较好的防护性能，可阻止的上层滞水中的污染物迁移至第一层含水层。

结合初步调查阶段和详细调查阶段地下水稳定水位埋深为 0.46 ~ 6.0m，平均水位埋深为 2.62 m，可以认为地块内上层滞水层厚度为 2.62~4.92m，平均厚度为 3.77m。

3.6.2 调查结论

土壤污染状况调查完成后，须根据地块未来规划对调查地块开展风险评估，关注污染物为超标污染物。其中，须关注的土壤污染物包括铅、六价铬等 2 项，初步估算地块内土壤超标范围总占地面积共计 8168.56m²；须关注的地下水污染物包括钴、锰、4-硝基苯酚和甲醛等 4 项。

第四章 风险评估

人体健康风险评估是环境风险评价的重要内容。健康风险评估是在收集和整理毒理学资料、流行病学资料、环境监测资料及暴露情况等资料的基础上,通过一定的方法或使用模型来估计某一暴露剂量的化学或物理因子对人体健康造成损害的可能性及损害的性质和程度大小。本项目在广州东方红印刷厂地块土壤污染状况调查结果的基础上,依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》(粤环办[2020]67号)和《建设用地土壤污染防治 第1部分:污染状况调查技术规范》(DB 4401/T 102.1-2020)等风险评价模型和相关要求进行风险评估。

4.1 评估内容

污染地块的健康风险评估主要采用剂量-效应模型,对受体通过各种暴露途径摄入场地不同污染介质中污染物导致的健康效应进行定量表征。根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019),地块风险评估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计算。风险评估流程见图1.5-1。

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

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

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

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

(5) 土壤风险控制值计算：在风险表征的工作基础上，判断计算得到的风险值是否超过可接受风险水平。如污染场地风险评估结果未超过可接受风险，则结束风险评估工作；如污染场地风险评估结果超过可接受风险水平，则计算关注污染物基于致癌风险的修复限值和基于非致癌风险的修复限值；如暴露情景分析表明，污染场地土壤中的关注污染物可淋溶进入地下水，影响地下水环境质量，则计算保护地下水的土壤修复限值。

风险评估方法可分为定性和定量评估。原则上，场地环境评价应采用定量风险评估方法，但在下列情况，可考虑只进行定性评价：①风险评价人员认为定性的风险评价足以说明问题；②受费用与时间限制；③缺乏污染物的毒性资料；④其他原因无法计量的风险。本报告采用定量风险评价方法。

场地定量风险评估程序是一个多层次定性定量的评估体系，也是一个概念模型与描述污染物运移的分析模型及暴露模型的综合体系。本报告针对超过土壤和地下水筛选值的污染物进行风险评估。在敏感用地情景下，敏感受体为住宅区内的成人和儿童，根据场地污染源特征、水文地质条件等实际情况，构建场地概念模型，除铅以外污染物依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的计算方法和模型，参数选用广东省参数和导则默认参数计算不同暴露途径下土壤污染物的风险控制值与风险及危害商；铅污染物应用儿童（IEUBK）血铅模型计算地块土壤铅含量临界值，并对场地土壤中污染物进行风险表征。在此基础上，结合我国土壤质量标准值、广东省土壤中重金属的背景值、《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）等，确定修复目标值。

4.2 风险评估的情景

4.2.1 未来用地规划

根据《广州市土地开发中心关于广州东方红印刷厂地块评价标准的说明》，因项目地块暂未确定规划用途。根据风险评估保守性原则，本报告按照敏感用地类型对地块进行风险评估。

敏感用地方式下，敏感人群主要是场地内居住的居民，儿童和成人均可能会长时间暴露于场地污染而产生健康危害，敏感受体包括儿童和成人。

4.2.2 地块概念模型

场地概念模型是污染场地上污染源、污染运移路径（暴露途径）和污染受体的一个信息集合体，通常用简化图形来表达。模型包含了通过场地调查所获得的关于场地的所有已知信息，通常包括场地历史、场地地质与水文地质条件、土壤类型和结构、污染类型、污染释放机理、污染范围和深度、污染运移路径以及污染受体等信息。

在第一类用地情景（敏感用地）下，根据场地地层结构、水文地质信息、土壤和地下水中污染物的分布特征及迁移转换过程，构建本地块的概念模型图，主要的受体为在本地块居住的成人和儿童。重金属铅和六价铬为非气态污染物，在不采取风险管控措施前提下，存在经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物等暴露途径。

4.3 危害识别

4.3.1 关注污染物

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），关注污染物是根据地块污染特征、相关标准规范要求和地块利益相关方意见，确定需要进行调查和风险评估的污染物。

土壤污染风险评价工作中一般认为污染物浓度低于风险筛选值，污染物危害可忽略，无需进行修复管理；污染物浓度高于风险筛选值时可能具有潜在污染危

害,但是否有实际污染危害,则需要进一步风险评估来确定。污染物筛选对象为所有检出污染物,如检出污染物的浓度超过选定的筛选值则污染物需进一步进行风险评估。

本报告将超过广州东方红印刷厂地块土壤、地下水环境风险评价筛选值中所列标准的污染物列为本场地的关注污染物筛选对象。

4.3.1.1 土壤关注污染物

根据现场采样调查结果,本次评估的土壤关注污染物为地块内土壤超风险筛选值的污染物包括铅和六价铬。超风险筛选值的点位情况和需要启动风险评估的土壤关注污染物如下表所示,各点位所在区域为本地块的关注区域。

4.3.1.2 地下水关注污染物

根据现场采样调查结果,共3个点位样品出现超筛选值现象,污染物包括钴、锰、甲醛和4-硝基苯酚共4项。

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019),地下水暴露途径主要包括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以及饮用地下水。因调查地块所在区域不属于地下水饮用水源补给径流区和保护区,且所在区域均已供应市政自来水,不使用地下水作为日常用水,所以不存在饮用地下水暴露途径。地块在后续开发建设过程中,开挖可能会导致地下水暴露在地表,施工人员有可能有皮肤接触,但该接触为短暂性的皮肤接触,本次风险评估不予考虑。故本地块地下水仅存在吸入室外空气中来自地下水的气态污染物和吸入室内空气中来自地下水的气态污染物两种暴露途径。地下水重金属锰和钴为非气态污染物,不存在吸入室外空气中来自地下水的气态污染物和吸入室内空气中来自地下水的气态污染物暴露途径,因此,未形成完整的暴露风险链条,可不启动健康风险评估。因此,本地块需关注的地下水污染物为甲醛和4-硝基苯酚。

4.3.2 暴露浓度的确定

《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)提出,某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。根据《广东省建设用地土壤污染状况调查、

风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》（粤环办[2020]67号）要求，对土壤及地下水监测数据进行统计分析时，采用最大浓度作为暴露点浓度进行风险分析。因此，本项目在计算各关注污染物的暴露浓度时，基于保守考虑，以超筛范围内污染物浓度最大值作为暴露点浓度进行风险评估。

4.4 暴露评价

暴露评估是在危害识别的基础上，分析地块内关注污染物迁移和危害敏感受体的可能性，确定地块土壤和地下水污染物的主要暴露途径和暴露评估模型，确定评估模型参数取值，计算敏感人群对土壤和地下水中污染物的暴露量的过程。

4.4.1 暴露情况与暴露途径

暴露情景是指特定土地利用方式下，场地污染物经由不同暴露路径迁移和到达受体人群的情况。由于地块规划未明确，按照风险评估保守性原则，根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），依据不同土地利用方式下人群的活动模式，本报告将按照以住宅用地为代表的第二类用地类型对本地块进行风险评估。

居住用地方式下，人群可因不慎经口摄入污染土壤而暴露于污染物，可因皮肤接触污染土壤而暴露于污染物，也可因吸入室内和室外空气中的来自土壤的颗粒物暴露于污染物，如场地内污染物具有挥发性，人群还可因吸入室内和室外空气中来自土壤的气态污染物而产生健康危害。第二类用地方式下，儿童和成人均可能会长时间暴露于地块污染物而产生健康危害。对于致癌效应，健康危害无阈值浓度，考虑人群的终身暴露危害，一般根据儿童和成人期的暴露来评估污染物的终身致癌风险；对于非致癌效应，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。

暴露途径是场地土壤、地下水中污染物经一定的方式迁移达到并进入敏感受体的过程。本项目按照一类用地类型进行风险评估，需考虑土壤、地下水作为污染源时对敏感受体产生的风险和危害。本地块除铅外的污染物暴露途径见下表。其中，土壤中的铅和六价铬为非气态污染物，在不采取风险管控措施前提下，存

在经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物等暴露途径。地块所在区域已供应自来水，不使用地下水作为饮用水或日常洗澡、游泳或清洗等，地下水中超筛选值污染物钴和锰为非气态污染物，因此地下水污染物钴和锰无暴露途径；甲醛和 4-硝基苯酚，存在吸入室外空气中来自地下水的气态污染物和吸入室内空气中来自地下水的气态污染物两种暴露途径。

对于铅，由于当前和接受的污染水平是受体在所有暴露途径下血液中铅浓度大于 $10 \mu\text{g/dL}$ 的概率不大于 5%，因此在评价区域暴露受体铅暴露途径的分析过程中应考虑除铅污染土壤介质暴露途径外的其他主要暴露途径。

4.4.2 除铅以外暴露评估模型

第一类用地方式下各种暴露途径的土壤暴露量计算公式如下：

(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示 4.4-1 计算。

$$OSIER_{ca} = \frac{\left(\frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c}{BW_c} + \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a}{BW_a} \right) \times ABS_o}{AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad (\text{公式 4.4-1})$$

OSIER_{ca} : 经口摄入土壤暴露量（致癌效应）， $\text{kg 土壤} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1}$ ；

OSIR_c : 儿童每日摄入土壤量， $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ；

OSIR_a : 成人每日摄入土壤量， $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ；

ED_c : 儿童暴露期，a；

ED_a : 成人暴露期，a；

EF_c : 儿童暴露频率， $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ ；

EF_a : 成人暴露频率， $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ ；

BW_c : 儿童体重，kg；

BW_a : 成人体重，kg；

ABS_o : 经口摄入吸收效率因子，无量纲；

AT_{ca} : 致癌效应平均时间，d

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害。经口摄

入土壤途径土壤暴露量采用公式 4.4-2 计算。

$$OISER_{nc} = \frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c \times ABS_o}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad (\text{公式 4.4-2})$$

OISERnc : 经口摄入土壤暴露量 (非致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

ATnc : 非致癌效应平均时间, d。

(2) 皮肤接触土壤途径

对于单一污染物的致癌效应, 考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害。皮肤接触土壤途径土壤暴露量采用公式 4.4-3 计算。

$$DCSER_{ca} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad (\text{公式 4.4-3})$$

DCSERca : 皮肤接触途径的土壤暴露量(致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹

SAEc : 儿童暴露皮肤表面积, cm²;

SAEa : 成人暴露皮肤表面积, cm²;

SSARc : 儿童皮肤表面土壤粘附系数, cm·cm⁻²;

SSARa : 成人皮肤表面土壤粘附系数, cm·cm⁻²;

ABSd : 皮肤接触吸收效率因子, 无量纲;

Ev : 每日皮肤接触事件频率, 次·d⁻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危害。皮肤接触土壤途径对应的土壤暴露量采用公式 4.4-4 计算。

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad (\text{公式 4.4-4})$$

DCSERca : 皮肤接触途径的土壤暴露量(致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹

(3) 吸入土壤颗粒物途径

对于单一污染物的致癌效应, 考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害。吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式 4.4-5 计算。

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

(公式 4.4-5)

PISER_{ca} : 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

PM₁₀ : 空气中可吸入浮颗粒物含量, mg·m⁻³;

DAIR_a : 成人每日空气呼吸量, m³·d⁻¹;

DAIR_c : 儿童每日空气呼吸量, m³·d⁻¹;

PIAF : 吸入土壤颗粒物在体内滞留比例, 无量纲;

fspi : 室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例, 无量纲;

fspo : 室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例, 无量纲;

EFl_a : 成人的室内暴露频率, d·a⁻¹;

EFl_c : 儿童的室内暴露频率, d·a⁻¹;

EFO_a : 成人的室外暴露频率, d·a⁻¹;

EFO_c : 儿童的室外暴露频率, d·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危害。吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式 4.4-6 计算。

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

(公式 4.4-6)

PISER_{nc}: 吸入土壤颗粒物的土壤暴露量(非致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应, 考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害, 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量, 采用公式 4.4-7 计算。

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

(公式 4.4-7)

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 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

VF_{suroa} : 表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子, kg·cm⁻³。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在儿童期暴露受到的危害, 吸入

室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式 4.4-8 计算。

$$IOVER_{nc1} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (\text{公式 4.4-8})$$

IOVERnc1：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（非致癌效应），kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

（5）吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式 4.4-9 计算。

$$IOVER_{ca2} = VF_{suboa} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (\text{公式 4.4-9})$$

IOVERca2：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 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

VFsuboa：下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子，kg·cm⁻³。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式 4.4-10 计算。

IOVERnc2：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 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

（6）吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径对应的地下水暴露量，采用公式 4.4-11 计算。

$$IOVER_{ca3} = VF_{gwoa} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (\text{公式 4.4-11})$$

IOVERca3：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；

VF_{gwoa}：地下水中污染物扩散进入室外空气的挥发因子，L·cm⁻³。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径对应的地下水暴露量，采用公式 4.4-12 计算。

$$IOVER_{nc3} = VF_{gwoa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (\text{公式 4.4-12})$$

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），L 地下水·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

(7) 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式 4.4-13 计算。

$$IIVER_{ca1} = VF_{subia} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (\text{公式 4.4-12})$$

IIVER_{ca1}：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（致癌效应），kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

VF_{subia}：下层土壤中污染物扩散进入室内空气的挥发因子，kg·cm⁻³。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害，吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式 4.4-14 计算。

$$IIVER_{nc1} = VF_{subia} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (\text{公式 4.4-14})$$

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 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

(8) 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径

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

公式 4.4-15 计算。

$$IIVER_{ca2} = VF_{gwia} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (\text{公式 4.4-15})$$

$IIVER_{ca2}$: 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的土壤暴露量 (致癌效应), L 地下水·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

VF_{gwia} : 地下水中污染物扩散进入室内空气的挥发因子, L·cm⁻³。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在儿童期暴露受到的危害, 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径对应的地下水暴露量, 采用公式 4.4-16 计算。

$$IIVER_{nc2} = VF_{gwia} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (\text{公式 4.4-16})$$

$IIVER_{nc2}$: 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), L 地下水·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

4.4.3 铅的暴露评估方法和模型

由于铅对儿童认知能力和神经系统的强烈毒性, 人们认为不存在允许铅暴露量最低限值的安全水平, 因此在对铅污染的毒性评价时不再采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 中的方法。国际上广泛使用 IEUBK 模型和成人血铅模 97 型(ALM)推导出居住用地和商业/工业用地土壤铅环境基准值, 进而对污染场地进行健康风险评估。由于本场地规划为第一类用地, 因此本报告采用美国环保署 (USEPA) 开发的儿童 (IEUBK) 血铅模型评价第一类用地类型下的健康风险水平。

IEUBK 模型主要用于预测学龄前儿童 (0-7 岁) 环境铅暴露后血铅浓度水平, 包括 4 个子模块 (暴露模块、吸收模块、生物动力学模块和概率分布模块), 采用机制模型与统计相结合的方法, 将不同途经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类型近似几何正态分布, 根据收集到的儿童环境铅暴露信息预测儿童群体的血铅水平几何均值, 进一步估算儿童群体血铅水平超过某一临界浓度 (10μg/dL) 的概率。

IEUBK 模型中铅的来源包括土壤、室内外灰尘、饮用水、空气和饮食等。

由于进入人体呼吸和肠胃系统的铅只有一部分最终进入血液循环系统产生毒性。IEUBK 模型假设从不同环境介质进入人体的铅，其生物有效性不同，且不同的铅摄入水平，其吸收效率也有差异。

(1) 暴露模块

IEUBK 采用吸收速率 (IN) 模型描述儿童对环境介质中铅的吸收。

$$IN_{soil, outdoor} = C_{soil} \times WF_{soil} \times IR_{soil+dust} \quad (1)$$

$$IN_{dust} = C_{dust, resid} \times (1 - WF_{soil}) \times IR_{soil+dust} \quad (2)$$

$$IN_{air} = C_{air} \times VR \quad (3)$$

$$IN_{water} = C_{water} \times IR_{water} \quad (4)$$

式中：

$IN_{soil, outdoor}$ 、 IN_{dust} 、 IN_{air} 、 IN_{water} 分别表示儿童对室外土壤、灰尘、空气和饮水中的吸收速率，单位 $\mu\text{g}/\text{d}$ ； C_{soil} 、 $C_{dust, resid}$ 、 C_{air} 、 C_{water} 分别表示土壤、居住地灰尘、空气和饮水中铅的含量，单位 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； $IR_{soil+dust}$ 、 IR_{water} 分别表示儿童对土壤及灰尘、饮水每日摄入量，单位 mg/d 、 L/d ； VR 表示儿童每日空气吸入量，单位 m^3/d 。

(2) 吸收模块

模拟了铅吸收（呼吸道或消化道）后转移到血浆的过程。不同途径摄入铅的可吸收效果不同，IEUBK 模型中假设来自土壤及灰尘、饮食、饮水、空气中铅的可吸收率分别为 30%、40%~50%、60%、20%~45%。

$$UP_{poten} = ABS_{diet} \times IN_{diet} + ABS_{dust} \times IN_{dust} + ABS_{soil} \times IN_{soil} + ABS_{air} \times IN_{air} + ABS_{other} \times IN_{other} \quad (5)$$

UP_{poten} —进入儿童体内具有潜在被吸收可能的铅总量。

ABS_{diet} 、 ABS_{dust} 、 ABS_{soil} 、 ABS_{air} 、 ABS_{other} 分别为儿童对膳食、灰尘、土壤、空气、饮水中铅的吸收率。 IN_{diet} 、 IN_{other} 分别为儿童通过膳食和除膳食、土壤、灰尘、空气、饮水摄入铅的速率。

根据儿童体内铅的浓度水平不同可将其对铅的吸收过程分为被动吸收和主动吸收过程。

$$UP_{passive} = PAF \times UP_{poten} \quad (6)$$

$$UP_{active} = (1 - PAF) \times UP_{poten} / (1 + UP_{poten} / SAT_{uptake}) \quad (7)$$

式中：

PAF—表示被动吸收占铅吸收总量的比例；

SAT_{uptake}—表示主动吸收过程达到最大值半数时的 UP_{poten} 值。

（3）生物动力学模块

IEUBK 模型生物动力学部分反应进入循环的铅离子一段时间后在体内进行生物转运过程。生物动力学模块将铅的总摄入量转化为达到细胞外液的铅的量。转运系数被用来模拟在人体各房室之间运转过程。IEUBK 模型的生物动力学模块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各器官的铅含量尤其是血铅浓度变化联系起来。

（4）差异性

由于儿童自身行为、家庭习惯以及个体类型的差异，在不同环境铅浓度条件下，儿童群体血铅浓度有较大的变异性，IEUBK 模型采用几何标准偏差（GSD）描述这种差异。

4.4.4 模型参数的选择

（1）除铅以外暴露参数的选择

本报告风险评估的暴露参数中，土壤性质等地块特征参数主要通过水文地质调查、土工试验等方式获取实测数据，平均体重、平均身高等区域性参数参考《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》表 3-3 推荐值，缺乏地块特征参数值和区域性参数值的，参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的默认值。

（2）血铅模型参数选择

IEUBK 模型输入参数主要包括空气、饮食、饮用水、土壤和灰尘中的铅含量，另外包括孕妇血铅含量，儿童群体血铅含量分布的几何标准偏差等。本报告参考《中国人群暴露参数书册》中的暴露参数和 EPA 的经验参数对儿童含量的居住用地土壤铅环境基准值的推导。

4.5 毒性评价

毒性评估的工作内容包括分析地块关注污染物的健康效应（致癌和非致癌效

应)，确定污染物的毒性参数，用于最终风险的计算。

本地块土壤关注污染物为铅和六价铬。根据现有研究，六价铬对人体同时存在致癌和非致癌效应。

本地块地下水关注污染物为甲醛和 4-硝基苯酚。根据现有研究，甲醛对人体同时存在致癌和非致癌效应，4-硝基苯酚对人体存在非致癌效应。

本报告污染物的物化毒理参数主要参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)，HJ25.3 未规定的，参考国内地方风险评估技术导则推荐的参数值，HJ25.3 和地方风险评估技术导则均未规定的，可引用国际权威机构发布的具有较高认可度的参数值，并说明数据来源及选择依据。

4.6 风险表征

4.6.1 风险表征技术要求

根据场地每个采样点样品中关注污染物的检测数据，采用表层和下层土壤或地下水中检测数据的最大值计算污染物的致癌风险(CR)及非致癌危害商(HQ)，作为确定地块污染范围的重要依据。根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)和《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》(粤环办[2020]67号)，计算得到的土壤/地下水中单一污染物的致癌风险超过 10^{-6} 或非致癌危害商值超过 1 的采样点/地块，应划定为风险不可接受的污染区域/地块。

4.6.2 风险表征

4.6.2.1 除铅以外致癌风险和非致癌危害商的计算方法

C.1 土壤中单一污染物的致癌风险

(1) 经口摄入土壤途径的致癌风险采用公式 4.6-1 计算。

$$CR_{ois} = OISERca \times C_{sur} \times SFo \quad (\text{公式 4.6-1})$$

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， $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；

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

(2) 皮肤接触土壤途径的致癌风险采用公式 4.6-2 计算。

$$CR_{dcs} = DCSE_{Rca} \times C_{sur} \times SF_d \quad (\text{公式 4.6-2})$$

CR_{dcs} : 皮肤接触土壤途径的致癌风险, 无量纲。

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

(3) 吸入土壤颗粒物途径的致癌风险采用公式 4.6-3 计算。

$$CR_{pis} = PISE_{Rca} \times C_{sur} \times SF_i \quad (\text{公式 4.6-3})$$

CR_{pis} : 吸入土壤颗粒物途径的致癌风险, 无量纲。

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

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的致癌风险采用公式 4.6-4 计算。

$$CR_{iov1} = IOVER_{ca1} \times C_{sur} \times SF_i \quad (\text{公式 4.6-4})$$

CR_{iov1} : 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。

(5) 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险采用公式 4.6-5 计算。

$$CR_{iov2} = IOVER_{ca2} \times C_{sub} \times SF_i \quad (\text{公式 4.6-5})$$

CR_{iov2} : 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, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(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采用公式 4.6-6 计算。

$$CR_{iiv1} = IIVER_{ca1} \times C_{sub} \times SF_i \quad (\text{公式 4.6-6})$$

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。

(7) 土壤中单一污染物经所有暴露途径的致癌风险采用公式 4.6-7 计算。

$$CR_n = CR_{ois} + CR_{dcs} + CR_{pis} + CR_{iov1} + CR_{iov2} + CR_{iiv1} \quad (\text{公式 4.6-7})$$

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

C.2 土壤中单一污染物的非致癌危害商

(1) 经口摄入土壤途径的危害商采用公式 4.6-8 计算。

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_o \times SAF} \quad (\text{公式 4.6-8})$$

HQ_{ois} : 经口摄入土壤途径的危害商, 无量纲;

SAF : 暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲。

RfD_o : 经口摄入参考剂量, $\text{mg 污染物} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{体重} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

(2) 皮肤接触土壤途径的危害商采用公式 4.6-9 计算。

$$HQ_{dcs} = \frac{DCSER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d \times SAF} \quad (\text{公式 4.6-9})$$

HQ_{dcs} : 皮肤接触土壤途径的危害商, 无量纲。

(3) 吸入土壤颗粒物途径的危害商采用公式 4.6-10 计算。

$$HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad (\text{公式 4.6-10})$$

HQ_{pis} : 吸入土壤颗粒物途径的危害商, 无量纲;

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

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的危害商采用公式 4.6-11 计算。

$$HQ_{iov1} = \frac{IOVER_{nc1} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad (\text{公式 4.6-11})$$

HQ_{iov1} : 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的危害商, 无量纲。

(5) 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害商采用公式 4.6-12 计算。

$$HQ_{iov2} = \frac{IOVER_{nc2} \times C_{sub}}{RfD_i \times SAF} \quad (\text{公式 4.6-12})$$

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。

(6) 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害商采用公式 4.6-13 计算。

$$HQ_{iiv1} = \frac{IIVER_{nc1} \times C_{sub}}{RfD_i \times SAF} \quad (\text{公式 4.6-13})$$

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。

(7) 土壤中单一污染物经所有暴露途径的危害指数采用公式 4.6-14 计算。

$$HI_n = HQ_{ois} + HQ_{dcs} + HQ_{pis} + HQ_{iov1} + HQ_{iov2} + HQ_{iiv1} \quad (\text{公式 4.6-14})$$

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。

C.3 地下水中单一污染物致癌风险

(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采用公式 4.6-15 计算。

$$CR_{iov3} = IOVER_{ca3} \times C_{gw} \times SFi \quad (\text{公式 4.6-15})$$

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;

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

(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采用公式 4.6-16 计算。

$$CR_{iiv2} = IIVER_{ca2} \times C_{gw} \times SFi \quad (\text{公式 4.6-16})$$

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。

(3) 地下水中单一污染物经所有暴露途径的致癌风险采用公式 4.6-17 计算。

$$CR_n = CR_{iov3} + CR_{iiv2} \quad (\text{公式 4.6-17})$$

CR_n : 地下水中单一污染物经(第 n 种)所有暴露途径的致癌风险, 无量纲。

C.4 地下水中单一污染物的非致癌危害商

(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采用公式 4.6-18 计算。

$$HQ_{iov3} = \frac{IOVER_{nc3} \times C_{gw}}{RfD_i \times WAF} \quad (\text{公式 4.6-18})$$

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；

WAF ：暴露于地下水的参考剂量分配比例，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采用公式 4.6-19 计算。

$$HQ_{iiv2} = \frac{IIVER_{nc2} \times C_{gw}}{RfD_i \times WAF} \quad (\text{公式 4.6-19})$$

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；

(3) 地下水中单一污染物经所有暴露途径的危害指数采用公式 4.6-20 计算。

$$HI_n = HQ_{iov3} + HQ_{iiv2} \quad (\text{公式 4.6-20})$$

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

4.6.2.2 铅的风险标准

铅的风险计算模型采用美国环保局开发的儿童 (IEUBK) 血铅模型，对于铅的风险计算，本次评估主要采用美国环保局依据儿童血铅模型开发的用于计算暴露受体血铅含量及超过 $10\mu\text{g/L}$ 限值概率的 IEUBK。具体的模型介绍见 4.4.3 小节。

4.6.2.3 风险表征结果

(1) 土壤六价铬的风险表征结果

基于敏感用地方式情景下，以超筛范围内浓度最大值作为暴露浓度进行风险表征，本地块土壤中六价铬污染物健康风险表征结果如表 4.6-1、表 4.6-2 所示。

在范围内，土壤污染物六价铬的致癌风险大于可接受水平 10^{-6} ，非致癌危害商大于可接受水平 1。因此，本地块超筛范围内土壤六价铬污染物对未来场地作为敏感用地情景下人群健康风险不可接受，需根据地块实际情况进一步分析，确定修复目标值，采取必要的风险管理手段。

(2) 土壤铅的风险表征结果

由 IEUBK 模型的计算结果可知，当血铅含量超过 $10\mu\text{g/dL}$ 的概率为 5%时，土壤铅含量临界值为 289.42mg/kg ，地块内土壤铅最大浓度为 9830mg/kg ，因此，该区域土壤铅污染对未来场地作为敏感用地情景下人群健康风险不可接受，需采取必要的风险管理手段。

(3) 地下水 4-硝基苯酚和甲醛的风险表征结果

根据现场采样调查结果,本地块地下水中甲醛的最大值分别为 1.59mg/L,本报告根据相关毒性参数计算其致癌风险和非致癌危害商。由表 4.6-3 可知,地下水中甲醛致癌风险为 2.47E-09,小于可接受水平 10^{-6} ,非致癌危害商为 2.01E-04,小于可接受水平 1,因此甲醛风险水平在可接受范围内,可不进行下一步修复工作。由于 4-硝基苯酚无呼吸吸入单位致癌因子和呼吸吸入参考浓度,因此 4-硝基苯酚无致癌风险和非致癌危害商,风险水平在可接受范围内,可不进行下一步修复工作。

4.7 不确定性分析

4.7.1 不确定因素

污染地块风险评估过程中的不确定性假设情景、参数定值、评估模型的偏差等密切相关。不确定性可以定量地采用测定参数变化对评估结果的影响程度来表示。不确定性(缺乏关于准确值的了解,例如特定的暴露估计)分析必须与多样性(不同个体的不同暴露水平)相区别。在风险评估中强调不确定分析的原因主要包括:(1)各种来源的信息不确定;(2)必须决定是否应花费更多的人力、物力和时间,去寻找进一步的数据和信息降低不确定性;(3)不确定性分析是杜绝偏见的手段;(4)不确定性分析将有助于决策者最终提高决策质量。由于土壤环境的复杂性,风险评价环境的复杂性,本次风险评估中也存在较大的不确定性因素,这些不确定因素会对评价结果造成较大的影响。该不确定性因素包括数据本身的变异性(variability),采用模型的或参数的不确定性(uncertainty),主要包括:

(1)所选取模型的合理和适用性。国内并未发布重金属铅风险评估的模型,本次评估采用美国环保局 IEUBK 模型,该模型对本地块铅污染风险评估的适用性有待考究,仅用于参考。

(2)场地参数和暴露参数的不确定性。除土壤容重、土壤含水率、土壤颗粒密度和有机质含量、地下水埋深和污染层厚度等参数采用实测数据,及空气中可吸入颗粒物含量采用广州市市区域性参数,其他参数均来自《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》(粤环办[2020]67号)和《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)所推荐

的默认值。一方面，由于本地块所在区域广州市的参数（如气象、暴露等参数）与国家导则、广东省标准中推荐的参数可能存在一定的差异性，因此模型根据国家标准、导则部分参数计算本地块的风险或危害商与本地块的实际情况可能有所差异。

（3）污染物毒理参数的不确定性。目前我国还没有完善的污染物毒理学参数，本地块关注污染物的相关毒性参数以及物理性参数主要参照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）推荐值及美国联邦环保局发布的区域筛选值（Regional Screening Levels）、美国联邦环保局综合风险信息数据库（USEPA Intergrated Risk Information System）数据库最新发布数据，国外机构或政府所发布的毒性参数对我国风险评价的适用性值得商榷。

（4）受体参数的针对性。本地块风险评估所用的受体参数均来自《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》（粤环办[2020]67号）和我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）所推荐的默认值，与本地块所在区域广州市的实际受体情况可能存在一定的差异，因此要更准确的评价某一场地的风险，还需要实地调研当地暴露人群的有关情况。

（5）暴露情景假设的不确定性。本地块风险评估是基于目前开发建设规划情景下进行，不开挖区和深层不开挖重金属污染物不存在表面直接接触途径，地下水污染物不存在饮用地下水途径，若未来地块规划发生改变，污染物的暴露途径、暴露量等可能与本次风险评估存在差异，本次风险表征结果可能会不适用。

（6）污染物自然衰减的不确定性。本地块风险评估未考虑土壤中污染物在人体暴露周期内的自然衰减，由此可能造成风险评估结果与实际情况具有一定差异性。

4.7.2 暴露风险贡献率分析

本项目中土壤关注污染物包括重金属六价铬，地下水关注污染物为有机物甲醛，不同类型的污染物暴露风险贡献率不同。

对于土壤污染物六价铬的暴露途径中，致癌风险和非致癌危害商均来自经口摄入表层土壤途径，贡献率达80%以上。其中，口摄入土壤颗粒物和吸入土

壤颗粒物两种途径的致癌风险贡献率分别为 82.33%和 17.63%；口摄入土壤颗粒物和吸入土壤颗粒物两种途径的非致癌危害商贡献率分别为 88.55%和 11.45%。

地下水污染物甲醛的暴露途径中，吸入室外空气中来自地下水的气态污染物和吸入室内空气中来自地下水的气态污染物两种途径的致癌风险和非致癌危害贡献率分别为 64.16%和 35.84%，致癌风险和非致癌危害主要来自吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途。

4.7.3 参数敏感性分析

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)要求，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。由表 4.7-1~2 可知，本次风险评估中致癌风险贡献率超过 20%的暴露途径涉及经口摄入表层土壤途径、吸入表层土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物和吸入室内空气中来自地下水的气态污染物等 4 种，非致癌危害贡献率超过 20%的暴露途径涉及经口摄入表层土壤途径、吸入表层土壤颗粒物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物和吸入室内空气中来自地下水的气态污染物等 4 种，结合地块具体实际，选取对风险计算结果影响较大的参数（如人群相关参数、与暴露途径相关参数等），具体参数及其取值变化详见表 4.7-3。采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录 D (D.3)，通过单因素控制变量法进行敏感性分析，获得参数敏感性比例 (SR)，即模型参数值的变化（由 P1 变化到 P2）与致癌风险或危害商（从 X1 变化到 X2）发生变化的比值。

对土壤六价铬致癌风险，在风险贡献大于 20%的暴露途径下，人群参数平均体重对健康风险评估的敏感性最大，其次是与暴露途径相关的参数；其中，经口摄入土壤途径参数中经口摄入吸收因子对六价铬致癌风险的敏感性较大。对于地下水甲醛致癌风险，在风险贡献大于 20%的暴露途径下，人群参数儿童室内暴露频率（呼吸吸入）对健康风险评估的敏感性最大，其次与暴露途径相关的参数；其中暴露途径相关参数中土壤容重对甲醛致癌风险的敏感性较大。

对于土壤六价铬非致癌危害，人群参数暴露期对六价铬非致癌危害的敏感性最大。对于地下水氟化物的非致癌危害，人群参数儿童室内暴露频率（呼吸吸入）

对健康风险评估的敏感性最大，其次与暴露途径相关的参数；其中暴露途径相关参数中土壤容重对甲醛致癌风险的敏感性较大。

综上，在本次风险评估中，人群相关参数体重或暴露期对土壤六价铬风险计算的敏感性最大，而对地下水甲醛风险计算的敏感性最大的参数为人群相关参数儿童室内暴露频率（呼吸吸入）。

4.8 小结

根据地块未来用地规划和开发建设规划情况，本报告基于敏感用地方式对调查地块进行了风险评估，结果如下：

（1）对于土壤重金属污染物六价铬和铅，浅层开挖土壤中，采用地块内浓度最大值作为暴露浓度进行风险表征，六价铬的致癌风险和非致癌危害超过可接受水平，铅最大浓度大于土壤铅含量临界值，上述污染物对使用人群存在健康风险。

（2）对于地下水污染物甲醛、4-硝基苯酚、钴和锰，在不饮用地下水的情况下，甲醛和4-硝基苯酚的风险评估结果在健康风险可接受范围内，钴和锰无暴露途径，风险可接受。

因此，对人群存在健康风险的土壤污染物包括六价铬和铅，而地下水污染物均不存在人体健康风险。土壤污染物需根据地块实际情况进一步分析，确定修复目标值，采取必要的风险管理手段。

第五章 修复目标与修复范围

5.1 修复目标值的确定

目前国家对于污染地块没有统一的土壤污染修复目标值，修复目标值的确定需根据国家导则和技术指南的相关规定进行选择。

《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）规定，修复目标值确定的依据为：分析比较按照 HJ25.3 计算的土壤、地下水风险控制值和场所在区域土壤、地下水中目标污染物的背景含量和国家有关准规定限值，合理提出土壤、地下水目标污染物的修复目标值。

《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》规定：初步修复目标值，是根据场地可接受污染水平、场地背景值或本底值、经济技术条件和修复方式（修复和工程控制）、当地社会经济发展水平等因素综合确定的、场地土壤和地下水中的污染物修复后需要达到的限值。我国为发展中国家，经济和土壤、地下水修复技术水平相对欧美国家较落后。因此，在提出场地修复目标时，应综合考虑实际修复技术的可达性及当地经济的承受水平等因素，参考风险控制值及可接受风险水平，合理确定场地建议修复目标值。

污染地块最终修复目标的确定，还应综合考虑修复后土壤的最终去向和使用方式、修复技术的选择、修复时间、修复成本以及法律法规、社会经济等因素。

根据以上规定，确定修复目标值时应综合考虑风险控制值、区域背景值、地块背景值或本底值、标准规定值等，结合场地及其所在区域的实际情况进行选择。

5.1.1 风险控制值

土壤和地下水风险控制值是确定污染地块土壤和地下水修复目标值的主要参考值。对于存在不可接受致癌风险或非致癌风险的关注污染物，本报告按照我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》（粤环办[2020]67号）和《广州市地方标准 建设用地土壤污染防治第1部分：污染状况调查技术规范》（DB4401/T 102.1-2020）的要求，依据上述已建立的场地暴露概念模型，采用优化后的模型参数来推导保护人体健康的土壤、地下水风险控制值。

5.1.1.1 风险控制值计算过程

E.1 基于致癌效应的土壤风险控制值

(1) 基于经口摄入土壤途径致癌效应的土壤风险控制值, 采用公示 5.1-1 计算。

$$RCVS_{ois} = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_o} \quad (\text{公示 5.1-1})$$

(2) 基于皮肤接触土壤途径致癌效应的土壤风险控制值, 采用公示 5.1-2 计算。

$$RCVS_{dcs} = \frac{ACR}{DCSER_{ca} \times SF_d} \quad (\text{公示 5.1-2})$$

(3) 基于吸入土壤颗粒物途径致癌效应的土壤风险控制值, 采用公示 5.1-3 计算。

$$RCVS_{pis} = \frac{ACR}{PISER_{ca} \times SF_i} \quad (\text{公示 5.1-3})$$

(4) 基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, 采用公示 5.1-4 计算。

$$RCVS_{iov1} = \frac{ACR}{IOVER_{ca1} \times SF_i} \quad (\text{公示 5.1-4})$$

(5) 基于吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, 采用公示 5.1-5 计算。

$$RCVS_{iov2} = \frac{ACR}{IOVER_{ca2} \times SF_i} \quad (\text{公示 5.1-5})$$

(6) 基于吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, 采用公示 5.1-6 计算。

$$RCVS_{iiv} = \frac{ACR}{IIVER_{ca1} \times SF_i} \quad (\text{公示 5.1-6})$$

(7) 基于 6 种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值, 采用公示 5.1-7 计算。

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

(公示 5.1-7)

E.2 基于非致癌风险的土壤风险控制值

(1) 基于经口摄入土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公示 5.1-8 计算。

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

(公示 5.1-8)

(2) 基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公示 5.1-9 计算。

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

(公示 5.1-9)

(3) 基于吸入土壤颗粒物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公示 5.1-10 计算。

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

(公示 5.1-10)

(4) 基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公示 5.1-11 计算。

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

(公示 5.1-11)

(5) 基于吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公示 5.1-12 计算。

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

(公示 5.1-12)

(6) 基于吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用公示 5.1-13 计算。

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

(公示 5.1-13)

(7) 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，采用公示 5.1-14 计算。

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

(公示 5.1-14)

5.1.1.2 风险评估推导的风险控制值

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)中土壤风险控制值计算方法,得出了在污染物可接受非致癌风险水平即目标危害商为1、可接受致癌风险为 10^{-6} 水平下的土壤风险控制值,取最小值作为土壤风险控制值。

5.1.2 修复目标值

根据《建设用地土壤修复技术导则》(HJ25.4-2019)、《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》、《广州市地方标准 建设用地土壤污染防治第1部分:污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020)及本地块实际情况,本地块土壤和地下水修复/管控目标值的确定将遵循以下原则:

(1) 以采用本地块相关参数计算得出的场地土壤风险控制值和地下水风险控制值计算结果为主要依据;

(2) 综合考虑风险控制值、风险筛选值、风险管制值、区域背景值等,如风险控制值低于筛选值,则采用筛选值作为修复/管控目标值,修复/管控目标值应小于GB36600风险管制值。如调查地块所在区域的背景值高于筛选值和风险控制值,则选取背景值作为修复/管控目标值。

5.2 修复范围及土方量估算(基于第一类用地性质)

5.2.1 土壤修复范围的确定原则

污染场地修复是指通过物理、化学、生物的方法,消除或降低场地污染物对环境及人体带来的风险至可接受的风险水平范围之内的过程。

依据国家政策和导则,结合本地块实际情况,确定修复范围划定原则:

(1) 地块土壤修复的目标是保障人体健康，使得地块环境中的污染物的风险水平降低到可接受的水平。因此对于污染土壤，污染物浓度大于或等于修复目标值的污染土壤需要进行修复。

(2) 本地块污染区域土壤采样点分布密集，考虑到土壤本身的不均质性等特性，土壤有机污染物采用无污染点位连线法，直接以污染物点位周边非超目标值点位作为修复边界，并结合地下水流向及场区平面布局判断、估测出修复范围；土壤重金属污染物结合开发建设开挖深度和各层污染物超目标值范围，以超目标值分层范围中建设开发需要开挖的部分作为修复范围。

(3) 在垂直方向上，确定土壤的修复深度时，以超目标值点位所在层次为修复对象，或者至按地块未来建设规划开挖深度；其中，上层存在一定超目标值情况时，以地表作为修复上边缘；当污染土壤存在变层时，分别考虑不同层次间污染分布情况确定。

(4) 若超修复目标值点位靠近调查范围边界，则以垂直于边界进行范围确定。

5.2.2 土壤修复范围和土方量估算

由于在地块详细调查期间采样深度分层原则为 0-1.0m 深度以内，每 0.5m 采集一个样品，1.0-6.0m 深度以内每 1.0m 采集一个样品，考虑修复工程技术的可行性，本次土壤修复深度的划定以 1m 为间隔来划定不同深度的污染土壤范围与修复量。平面范围则通过将超标点位周边最近未超标点连线，以确认各层需要修复的范围，若连线区域超出地块红线范围，则以地块红线为修复边界，并连线到未超标点与红线的垂足。

根据上述调查结果，调查地块修复范围总占地面积共计 8168.56m²，修复土方量共计 8168.56m³。其中，单一污染物铅修复面积 4547.91m²，修复土方量共 4547.91m³；单一污染物六价铬修复面积 1147.06m²，修复土方量共 1147.06m³；复合污染物铅和六价铬修复面积 2473.59m²，修复土方量共 2473.59m³。

第一层（0-1.0m）土壤重金属污染土壤修复面积共 3382.55m²，修复土方量共 3382.55m³。其中，单一污染物铅修复面积 2367.59m²，修复土方量共 2367.59m³；单一污染物六价铬修复面积 402.26m²，修复土方量共 402.26m³；复合污染物铅

和六价铬修复面积 2769.85m²，修复土方量共 2769.85m³。

第二层（1.0-2.0m）土壤重金属污染土壤修复面积共 1796.29m²，修复土方量共 1796.29m³。其中，单一污染物铅修复面积 573m²，修复土方量共 573m³；单一污染物六价铬修复面积 191.67m²，修复土方量共 191.67m³；复合污染物铅和六价铬修复面积 1031.62m²，修复土方量共 1031.62m³。

第三层（2.0-3.0m）土壤重金属污染土壤修复面积共 1491.33m²，修复土方量共 1491.33m³。其中，单一污染物铅修复面积 586.6m²，修复土方量共 586.6m³；单一污染物六价铬修复面积 924.98m²，修复土方量共 924.98m³；复合污染物铅和六价铬修复面积 566.35m²，修复土方量共 566.35m³。

第四层（3.0-4.0m）土壤重金属污染土壤修复面积共 1283.64m²，修复土方量共 1283.64m³。其中，单一污染物铅修复面积 1020.72m²，修复土方量共 1020.72m³；单一污染物六价铬修复面积 214.75m²，修复土方量共 214.75m³；复合污染物铅和六价铬修复面积 48.17m²，修复土方量共 48.17m³。

第五层（4.0-5.0m）土壤重金属污染土壤修复面积共 214.75m²，修复土方量共 214.75m³。其中，复合污染物铅和六价铬修复面积 214.75m²，修复土方量共 214.75m³。

第六章 结论与建议

6.1 地块风险评估结论

(1) 风险评估情况

基于敏感用地方式,结合地块来开发建设规划,对地块污染物进行风险评估,风险评估结果如下:

土壤污染物六价铬和铅的风险表征结果均超过可接受风险水平,对使用人群存在健康风险,需根据地块实际情况进一步分析,确定修复目标值,采取必要的风险。

基于敏感用地方式,在不饮用地下水情况下,地块地下水甲醛和4-硝基苯酚的风险评估结果在可接受范围内,重金属钴和锰无暴露途径,风险可接受。

(2) 地块修复范围和土方量

根据确定的土壤修复目标值,经初步估算,地块重金属污染土壤修复范围总占地面积共计 8168.56m^2 ,修复土方量共计 8168.56m^3 。其中,单一污染物铅修复面积 4547.91m^2 ,修复土方量共 4547.91m^3 ;单一污染物六价铬修复面积 1147.06m^2 ,修复土方量共 1147.06m^3 ;复合污染物铅和六价铬修复面积 2473.59m^2 ,修复土方量共 2473.59m^3 。

6.2 建议

本次调查和风险评估完成后，调查地块需开展环境修复/风险管控。在本次调查工作完成后至该地块土壤污染修复方案经环保部门备案前，地块责任单位应对修复区域和风险管控区域进行必要的管理和保护，避免受到扰动而影响下一步环境修复工作。建议具体保护措施为：

（1）对土壤超标区域进行围蔽，在边界悬挂明显标志，在地块土壤污染状况调查报告和风险评估报告通过相关主管部门备案之前，禁止外来堆土，禁止任何单位和人员开挖、取土等扰动该区域的行为，确保后续必要的修复工作的顺利开展。

（2）对于重金属污染土壤，应根据目前开发建设规划的土方平衡方案进行调配，并实施全场表面阻隔措施，切实切断重金属污染物的暴露途径。

（3）地下水污染物钴、锰、甲醛和 4-硝基苯酚不同程度超出地下水风险评价筛选值，建议不对场地内的地下水进行开采利用，也不将其作为饮用水源使用。此外，本地块地下水埋深较浅，若地块内涉及开挖等可能扰动地下水的情况，须重点关注地块开挖过程中产生的基坑水，基坑水经处理达到相应纳管标准及排放标准严者后排入污水市政管网或外委至具有相应处理能力的污水处理单位处理。

（4）由于地块内种植的树木较多，需要根据《广州市城市树木保护管理规定（试行）》（穗林业园林规字〔2022〕1 号）要求，做好树木迁移或原地保护。

（5）本地块风险评估结论是基于目前开发建设方案下开展，在地块后续开发建设过程中，土地使用权人应按照目前规划设计方案进行建设。若规划、设计等关键风险评估相关要素发生重大变更，土地使用权人须重新进行风险评估工作。