

广州市土地开发中心广州 市钛白粉厂地块土壤污染 状况风险评估报告

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： 广西博世科环保科技股份有限公司
广西博测检测技术服务有限公司

编制时间： 二〇二一年五月

项目名称：广州市土地开发中心广州市钛白粉厂地块土壤污染状况调查、风险评估、修复技术方案和修复工程预算编制项目

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

编制单位：广西博世科环保科技股份有限公司（现场调查、报告编制）

广西博测检测技术服务有限公司（检测数据、采样记录审核）

检测单位：广东实朴检测服务有限公司、广东省地质实验测试中心

水文地质勘查单位：广州再勇钻探咨询服务有限公司

项目参与人员：

姓名	专业	职务/职称	主要职责	签名
林宏飞	环境保护工程	正高级工程师	项目负责人	
张荣海	环境工程	工程师	现场调查/报告 编写/制图	
王健	资源环境与城乡规划管理	工程师	现场调查/报告 编写/制图	
陆艳仙	生态学	工程师	现场调查/报告 编写/制图	
黎旭	地下水科学与工程	助理工程师	现场调查/报告 编写/制图	
王伟宇	环境科学	工程师	现场调查/报告 编写/制图	
黄艳娇	环境工程	工程师	报告编写/制图	
刘本发	分析化学	高级工程师	校核	
陈水生	环境工程	工程师	审核	
冯宪敏	环境工程	工程师	审核	
张德明	环境工程	正高级工程师	审核	
杜建嘉	化学工程与技术	高级工程师	审定	

目录

摘要.....	1
第一章 总论.....	4
1.1 项目背景.....	4
1.2 工作依据.....	5
1.2.1 法律法规.....	5
1.2.2 地方法规.....	5
1.2.3 相关规定和政策.....	6
1.2.4 技术导则、标准及规范.....	7
1.2.5 其他参考资料.....	8
1.3 编制目的.....	9
1.4 编制原则.....	10
1.5 评估范围.....	10
1.6 工作内容.....	11
1.7 技术路线.....	12
第二章 地块概况.....	14
2.1 地理位置.....	14
2.2 地块区域环境与社会概况.....	16
2.2.1 地形地貌.....	16
2.2.2 土壤与自然资源.....	16
2.2.3 气候气象.....	19
2.2.4 行政区划与人口.....	20
2.2.5 经济发展概况.....	21
2.3 区域地质与水文地质概况.....	23
2.4 地块现状.....	28
2.5 地块土地利用历史.....	29
2.6 地块未来规划.....	31
2.7 地块敏感目标.....	32

第三章 项目第一阶段调查回顾	33
3.1 第一阶段土壤污染状况调查分析与总结.....	33
第四章 第二阶段污染状况调查回顾	35
4.1 初步调查.....	35
4.1.1 布点方案.....	35
4.1.2 样品测试分析.....	51
4.1.3 污染评价标准.....	52
4.1.4 初步调查结论.....	56
4.2 详细调查.....	58
4.2.1 布点方案.....	58
4.2.2 样品测试分析.....	63
4.2.3 污染评价标准.....	64
4.2.4 地质与水文地质调查结果.....	64
4.2.5 土壤检测数据分析.....	66
4.2.6 地下水调查结果与分析.....	67
4.3 第二阶段污染状况调查结论.....	68
4.3.1 土壤调查结论.....	68
4.3.2 地下水调查结论.....	68
第五章 污染地块风险评估	69
5.1 风险评估工作程序及内容.....	69
5.2 危害识别.....	69
5.2.1 关注污染物.....	69
5.2.2 地块污染概念模型.....	73
5.2.3 敏感受体.....	75
5.3 暴露评估.....	76
5.3.1 暴露情景.....	76
5.3.2 暴露途径.....	77
5.3.3 暴露评估模型.....	79

5.3.4	受体暴露参数	85
5.3.5	地块特征参数	86
5.3.6	暴露量计算结果	87
5.4	毒性评估	89
5.4.1	关注污染物毒性性质	89
5.4.2	污染物毒性效应分析	91
5.4.3	关注污染物毒性参数	92
5.5	风险表征	94
5.5.1	风险表征模型	94
5.5.2	人体可接受风险水平	98
5.5.3	暴露浓度确定	98
5.5.4	风险表征计算方法	100
5.5.5	风险表征结果	101
5.5.6	风险评估不确定分析	104
5.6	风险控制值计算方法	109
5.6.1	计算步骤与方法	109
5.6.2	风险控制值计算所需参数	113
5.6.3	风险控制值计算结果	114
第六章	地块修复目标值确定	115
6.1	地块修复目标值确定	115
6.2	修复范围及方量确定	116
6.2.1	地块修复范围及修复量确定原则	116
6.2.2	地块修复范围及修复量确定方法	116
6.2.3	土壤修复范围与方量	117
第七章	结论和建议	119
7.1	地块调查概况	119
7.2	地块土壤风险评估结论	119
7.3	修复目标值和修复工程量	119

7.4	地块修复建议.....	119
7.5	地块环境管理建议.....	119
7.6	不确定性分析.....	120

摘要

一、地块基本情况

地块名称：广州市钛白粉厂地块。

占地面积：35493.02m²

地理位置：广州市钛白粉厂地块位于广州市天河区5号线三溪地铁站南侧

未来规划：根据《广东省城市控制性详细规划管理条例》(2014修正)和《金融城东区控制性详细规划》(穗府函[2019]139号)，地块所在地规划为商务设施用地(B2)、公园绿地(G1)，即GB36600中“第二类用地”，拟建设为广州国际金融城。

地块历史生产情况：广州市钛白粉厂于1968年入住，主要利用钛铁矿等为原料生产钛白粉；1988年红心化工厂入驻广州市钛白粉厂并利用其钛三车间生产三氧化钨。2006年地块内生产单位(广州市钛白粉厂、广州市红心化工厂)停产拆除，拆除过程中后处理系统四氯化钛储罐管道泄漏，泄漏口喷射出微黄色液体，并在泄漏点周围产生大量白色烟雾，在各部门的共同努力下，泄漏事故于23时20分成功处理完毕；2007年-2018年该地块用作富林国际家居建材博览中心、富林木材城使用；2019年，地块内建筑物基本拆除，城投建筑废弃物处置(广州)有限公司进入场地，进行建筑砂石废料处置利用，地块内主要堆放砂石；2019年5月，该地块广州市土地开发中心收储，2020年底城投建筑废弃物处置(广州)有限公司撤出地块，地块至今闲置。

二、地块调查结论

(1) 初步采样调查

初步调查共布设土壤监测点位37个，采样深度为5-12m，共采集土壤样品198个，检测因子包括pH、含水率、GB 36600-2018表1的45项、总铬、锌、钛、锰、钨、钼、钒、锡、氯离子、氟化物、石油烃(C10-C40)及变压器处点位加测多氯联苯；初调布设6个地下水监测井，采集6个地下水样品，检测因子包括pH、GB 36600-2018表1的45项、总铬、锌、钛、锰、钨、钼、钒、锡、氟化物(氯离子)、氟化物、硫酸根(离子)、氨氮及靠近变压器处的地下水点位

加测多氯联苯。

初步调查地块内土壤出现砷、汞、锰、钨超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600-2018)中所规定的二类用地的筛选值,砷、汞、锰、钨最大超标倍数分别为 1.07、1.07、0.03、2.60 倍。地块土壤有机物指标均未超过二类用地筛选值。

初步调查地块内地下水出现 7 个指标含量超过了《地下水质量标准》(GB14848-2017)的地下水IV类水质的相关限值,出现超标的有 pH 值、氟化物、氯化物、氨氮、硫酸盐、锰和钨,除了 pH,其他指标最大超标倍数依次为 0.25、1.77、16.47、7.11、2.45 和 42.50 倍。

初步调查结果表明,广州市钛白粉厂地块属于污染地块,土壤和地下水环境质量不符合未来用地规划对土壤和地下水环境质量的要求,为了了解地块污染程度并划定污染范围,需要按照规定开展下一步的详细调查和风险评估工作。

(2) 详细调查

详细调查共布设土壤监测点位 25 个,采样深度为 4-8m,共采集 117 组(不含平行样和对照点),检测因子包括 pH、含水率、总氟化物重金属(砷、汞、钨、锰);详调增加布设地下水监测井 4 口,加初调 6 口地下水监测井,共采集地下水样品 10 组,检测因子包括 pH 值、氟化物、氯化物、氨氮、硫酸盐、锰、钨及 GB36600 表 1 中的 45 项。

本次初步调查与详细调查共采集 62 个点位的 315 份土壤样品。根据检测结果,超标污染物为砷、汞、锰和钨。

本次调查共在地块内布设了 10 个地下水采样点,地下水埋深为 0.49~2.55m,共采集 10 份地下水样品。根据检测结果,出现 pH 值、氟化物、氯化物、硫酸盐、锰、砷和钨 7 个指标出现超标。

调查表明该地块为污染地块,需根据地块未来规划开展风险评估。

三、风险评估结果

地块土壤中关注污染物为砷、锰、钨和汞,风险表征结果显示,土壤中关注污染物砷、锰、钨和汞的风险不可接受,需对地块土壤中的关注污染物砷、锰、钨和汞采取风险管控或修复措施。

本次地下水关注污染物为氟化物、砷、锰、钨，因该地块所在区域及周边不饮用地下水，根据《广东省生态环境厅关于转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》（2020年3月26日），地下水暴露途径为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，而地下水关注污染物氟化物、砷、锰、钨不存在气态污染形态，则无需考虑地下水中挥发物通过室内和室外蒸气暴露途径对人群造成的风险。则地下水不存在暴露途径对受体产生健康风险，本次不对地下水进行风险评估。

四、地块修复目标与方量

调查地块修复目标值为：砷 60 mg/kg、锰 16600mg/kg、汞 67.5mg/kg、钨 447mg/kg，土壤污染修复方量合计 7553.80m³。

五、地块修复建议

根据风险评估结果可知，本项目地块内土壤主要关注污染物为砷、锰、钨、汞。考虑到本地块砷、汞污染程度较轻，且地块亟待开发利用的情况，综合资金成本和时间成本等因素，针对地块内含重金属砷、锰、钨、汞污染土壤建议采取开挖并转运至水泥厂进行水泥窑协同处置，或转运至土壤污染处置中心进行修复或风险管控。

第一章 总论

1.1 项目背景

广州市钛白粉厂地块位于广州市天河区 5 号线三溪地铁站南侧，地块中心经纬度为东经 113°24'53.21"，北纬 23°6'4.96"，地块面积为 35493.02m²，调查地块为西至 AEC 汽车城和富林家居建材市场（现修建珠光·金融城壹号）、北至黄埔大道东、东至原广东鱼珠国际木材市场（现修建保利鱼珠港）、南至珠江。

根据调查资料，本地块 1968 年之前为农田，1968 年起为广州市钛白粉厂使用，主要产品为钛白粉；1988 年 12 月，广州市红心化工厂从先烈中路区庄搬迁到现钛白粉厂地块内，利用钛白粉厂内部分厂房生产三氧化钨。两家公司运营至 2006 年。2007 年-2018 年该地块用作富林国际家居建材博览中心、富林木材城使用。2019 年，地块内建筑物基本拆除，城投建筑废弃物处置(广州)有限公司进入地块内，进行建筑砂石废料处置利用。2019 年 5 月，该地块由广州市土地开发中心收储，2020 年底城投建筑废弃物处置(广州)有限公司撤出地块，地块至今闲置。

根据《广东省城市控制性详细规划管理条例》(2014 修正)和《金融城东区控制性详细规划》(穗府函[2019]139 号)，地块所在地规划为商务设施用地 (B2)、公园绿地 (G1)，即 GB36600 中的“第二类用地”，拟建设为广州国际金融城。

根据《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019 年 1 月 1 日实施)、《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)、《广州市生态环境局关于印发广州市建设用地土壤污染状况调查报告评审工作程序(试行)的通知》(穗环〔2020〕50 号)、《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)等文件的相关要求，为了地块的再开发利用，需要对疑似污染地块开展地块调查工作，以便于明确下一步的地块风险管控和有关部门的监督工作。

受代业主管理单位广州环投控股有限公司委托，广西博世科环保科技股份有限公司、广西博测检测技术服务有限公司(以下简称我方)开展了广州市钛白粉

厂地块第一阶段和第二阶段土壤污染状况调查。调查结果表明，地块土壤中出现砷、汞、锰、钨以及IV类地下水出现 pH、氨氮、硫酸盐、氟化物、氯化物、锰、钨超标现象，地块存在较大的人体健康风险隐患，应开展地块健康风险评估对人体的危害。

本报告根据国家相关标准规范及导则，依据环境监测方案及样品分析检测报告，对样品数据进行分析，筛选地块关注污染物，确定相关污染物的污染程度、分布和可能来源；根据地块未来用途计算人体健康风险评估，确定地块风险是否可接受；提出地块土壤清理/修复目标值和地下水修复/风险控制目标值，初步确定修复范围和工作量。

1.2 工作依据

1.2.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国土地管理法》(2020年1月1日起施行)；
- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019年1月1日起施行)；
- (3) 《中华人民共和国水污染防治法》(2018年1月1日起施行)；
- (4) 《污染场地土壤环境管理暂行办法(试行)》(2017年7月1日起施行)；
- (5) 《中华人民共和国水法》(2016年7月2日修订；中华人民共和国主席令第74号，2002年10月1日起施行)；
- (6) 《中华人民共和国环境保护法》(2015年1月1日起施行)；
- (7) 《中华人民共和国水土保持法》(2010年12月25日修订)；
- (8) 《中华人民共和国水污染防治法实施细则》(2000年3月20日施行)。

1.2.2 地方法规

- (1) 《广东省生态环境厅关于转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》(2020年3月26日)；
- (2) 《关于印发广州市建设用地土壤污染状况调查报告评审工作程序

(试行)的通知》(穗环〔2020〕50号);

(3) 《广州市生态环境局办公室关于印发广州市建设用地土壤污染修复现场环保检查要点的通知》(穗环办〔2020〕40号);

(4) 《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)。

(5) 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);

(6) 《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》(穗环办〔2018〕173号);

(7) 《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);

(8) 《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);

(9) 《广州市环境保护第十三个五年规划》(穗府办〔2016〕26号);

(10) 《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)

(11) 《广东省环境保护厅关于印发广东省土壤环境保护和综合治理方案的通知》(粤环〔2014〕22号);

1.2.3 相关规定和政策

(1) 《土壤污染防治行动计划》(2016年5月28日起实施);

(2) 《国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知》(国发〔2016〕65号);

(3) 《水污染防治行动计划》(2015年4月2日起实施);

(4) 《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,2013年1月23日发布);

(5) 《关于贯彻落实<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>的通知》(环发〔2013〕46号);

(6) 《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)

(7) 《全国土壤污染状况评价技术规定》(环发〔2008〕39号,2008年5月19日印发);

(8) 《关于加强土壤污染防治工作的意见》(环发〔2008〕48号,2008年6月6日发布);

1.2.4 技术导则、标准及规范

(1) 《地下水环境监测技术规范》(HJ/T164-2020);

(2) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1-2019);

(3) 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019);

(4) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019);

(5) 《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ 682-2019);

(6) 《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ 1019-2019)

(7) 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》(2018年1月1日起施行);

(8) 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018);

(9) 《地下水质量标准》(GB/T14848-2017);

(10) 《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);

(11) 《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);

(12) 《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);

(13) 《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》(2017年7月1日起实施);

(14) 《重点行业企业用地调查质量保证与质量控制技术规范(试行)》(环办土壤函〔2017〕1896号);

- (15) 《重点行业企业用地调查样品采集保存和流转技术规定(试行)》(环办土壤〔2017〕67号);
- (16) 《土壤质量 土壤样品长期短期保存指南》(GB/T 32722-2016);
- (17) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》(环保部公告2014年第78号);
- (18) 《城市用地分类与规划建设用地标准》(GB50137-2011);
- (19) 《水质采样样品的保存和管理技术规定》(HJ 493-2009);
- (20) 《岩土工程勘察规范》(GB50021-2009);
- (21) 《工程测量规范》(GB50026-2007);
- (22) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004);
- (23) 其他现行的国家相关规范、规程。

1.2.5 其他参考资料

- (1) 《金融城东区控制性详细规划》(穗府函[2019]139号);
- (2) 《广东省人民政府关于印发广东省水污染防治行动计划实施方案的通知》(2016年);
- (3) 《广东省地下水功能区划》(2009年);
- (4) 《关于广州钛白粉厂发生四氯化钛泄漏突发环境事件的有关情况汇报》(穗天环[2006]19号)
- (5) 《广州钛白粉厂四氯化钛泄漏突发事故监测基本情况》(2006年)
- (6) 《广州钛白粉厂迁厂扩建2000吨/年钛白粉车间设计任务书》(1973年);
- (7) 《关于广州钛白粉厂三废合理综合利用上硫酸锰车间的批复》(1983年);
- (8) 《1982关于广州钛白粉厂与红心化工厂联营实施方案的汇报》(1982年);
- (9) 《关于转发省“对于广州钛白粉厂迁建钛白粉车间设计任务书批复”的通知》(1974);

- (10) 《关于广州钛白粉厂增加“三废”治理等项目的批复》(1982);
- (11) 《广州钛白粉厂—广州红心化工厂联营协议书》(1982);
- (12) 《关于广州钛白粉厂引进技术和设备年产 4000 吨钛白粉可行性报告的批复》(1986);
- (13) 《广州钛白厂 4000 吨年金红石型钛白粉引进技改项目初步设计的批复》(1987);
- (14) 《广州市钛白粉厂 1992 年环境影响报告表》(1992);
- (15) 《广州市钛白粉厂 1992 年竣工验收报告》(1992)。
- (16) 《广州市土地开发中心广州市钛白粉厂地块土壤污染状况初步调查报告》;
- (17) 《广州市土地开发中心广州市钛白粉厂地块土壤污染状况详细调查报告》。

1.3 编制目的

随着我国产业结构调整深入推进，大量工业企业关停并转、破产或搬迁，腾出的工业企业地块作为城市建设用地被再次开发利用。因此，为保护生态环境和人民群众身心健康，落实科学发展观，促进社会和谐发展，根据国家生态环境部《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办〔2004〕47号)、《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)以及《中华人民共和国环境保护法》的要求，调查摸清广州市钛白粉厂地块的土壤、地下水污染状况，评估地块未来用途下对地块敏感受体的风险可接受程度，提出地块需要修复的污染物种类、修复范围和修复方量，对地块后续开发利用必不可少。本次地块风险评估工作的目的如下：

(1) 根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)、《广东省生态环境厅关于转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》(2020年3月26日)等相关要求对筛选出的关注污染物进行风险评估计算，明确地块土壤与地下水污染对未来使用人群造成的健康风险水平。

(2)根据风险评估结果,确定对地块对人体健康具有潜在危害的污染物类别,建议污染物修复目标值,确定污染土壤和地下水修复范围和修复方量,为后期地块管理提供依据。

1.4 编制原则

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019),风险评估遵循以下基本原则:

(1) 合理性原则

采用国际通用的健康风险评估技术方法,确保评估环节的科学性、合理性和可操作性。

(2) 合规性原则

以相关的法律、法规和标准为标尺,严格贯彻国家和地方风险评估相关规定和要求。

(3) 可靠性原则

充分考虑污染地块风险管理的实际需求,重点解决污染场地修复及再开发利用过程中亟待解决的关键问题,尽全力保证评估结果的可靠性。

(4) 保守性原则

地块地下环境通常较为复杂,在尚不十分明确的情况下,优先选择较为保守的参数和模型,确保评估结果的严谨性,进而更好地保障环境质量和人民群众的环境安全。

1.5 评估范围

本次地块调查范围为原广州市钛白粉厂地块,广州市钛白粉厂地块位于广州市天河区5号线三溪地铁站南侧,西至AEC汽车城和富林家居建材市场(现修建珠光·金融城壹号)、北至黄埔大道东、东至原广东鱼珠国际木材市场(现修建保利鱼珠港)、南至临江大道,地块面积为35493.02平方米。

1.6 工作内容

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，以及土壤和地下水风险控制值的计算。

本项目风险评估工作的目的是通过危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征，以及土壤和地下水风险控制值的计算等工作内容，明确地块污染现状在地块未来规划下，对未来使用人群的健康风险，确定修复目标值和修复范围，指导合理规划土地用途，为后续相关工作的开展提供依据。

(1) 危害识别：收集地块环境调查阶段获得的相关资料和数据，掌握地块土壤和地下水中关注污染物的浓度分布，明确规划土地利用方式，分析可能的敏感受体，如儿童、成人、地下水体等。

(2) 暴露评估：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。

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

(4) 风险表征：在暴露评估和毒性评估的基础上，采用风险评估模型计算土壤和地下水中单一污染物经单一途径的致癌风险和危害商，计算单一污染物的总致癌风险和危害指数，进行不确定性分析。

(5) 土壤和地下水风险控制值的计算：在风险表征的基础上，判断计算得到的风险值是否超过可接受风险水平。如地块风险评估结果未超过可接受风险水平，则结束风险评估工作；如地块风险评估结果超过可接受风险水平，则计算土壤、地下水中关注污染物的风险控制值；如调查结果表明，土壤中关注污染物可迁移进入地下水，则计算保护地下水的土壤风险控制值；根据计算结果，提出关注污染物的土壤和地下水风险控制值。

(6) 地块风险评估报告编制及评审：结合样品分析检测结果和未来土地利用规划，对地块土壤和地下水进行风险评价，确定地块土壤及地下水是否会在土

地使用性质变更后，对受体存在风险，如存在风险，通过风险评估确定最终的修复目标值和修复方量，编制完成地块风险评估报告并协助组织专家评审及报批等后续工作。

1.7 技术路线

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)，展开本地块风险评估工作，土壤风险评估流程如图 1.7-1 所示。

第二章 地块概况

2.1 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°57'~114°3'，北纬 22°26'~23°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，与香港、澳门特别行政区隔海相望。

珠江口岛屿众多，水道密布，有虎门、蕉门、洪奇门等水道出海，使广州成为中国远洋航运的优良海港和珠江流域的进出口岸。广州又是京广、广深、广茂、广梅汕和贵广、南广、武广、广深港铁路的交汇点和华南民用航空交通中心，与全国各地的联系极为密切。因此，广州有中国“南大门”之称。

地块所在天河区地理坐标东经 113°15'55"~113°26'30"，北纬 23°6'0"~23°14'45"。区域范围：东到吉山狮山、前进深涌一带，与黄埔区相连；南到珠江，与海珠区隔江相望；西到广州大道与越秀区相接；北到筲箕窝，与白云区相邻。

广州市钛白粉厂地块位于广州市天河区黄埔大道东路，地块中心经纬度为东经 113°24'53.21"，北纬 23°6'4.96"，地块面积为 35493.02 平方米，调查范围为西至 AEC 汽车城和富林家居建材市场（现修建珠光·金融城壹号）、北至黄埔大道东、东至原广东鱼珠国际木材市场（现修建保利鱼珠港）、南至珠江。调查地块原土地使用权人为广州市钛白粉厂，现土地使用权人为广州市土地开发中心。

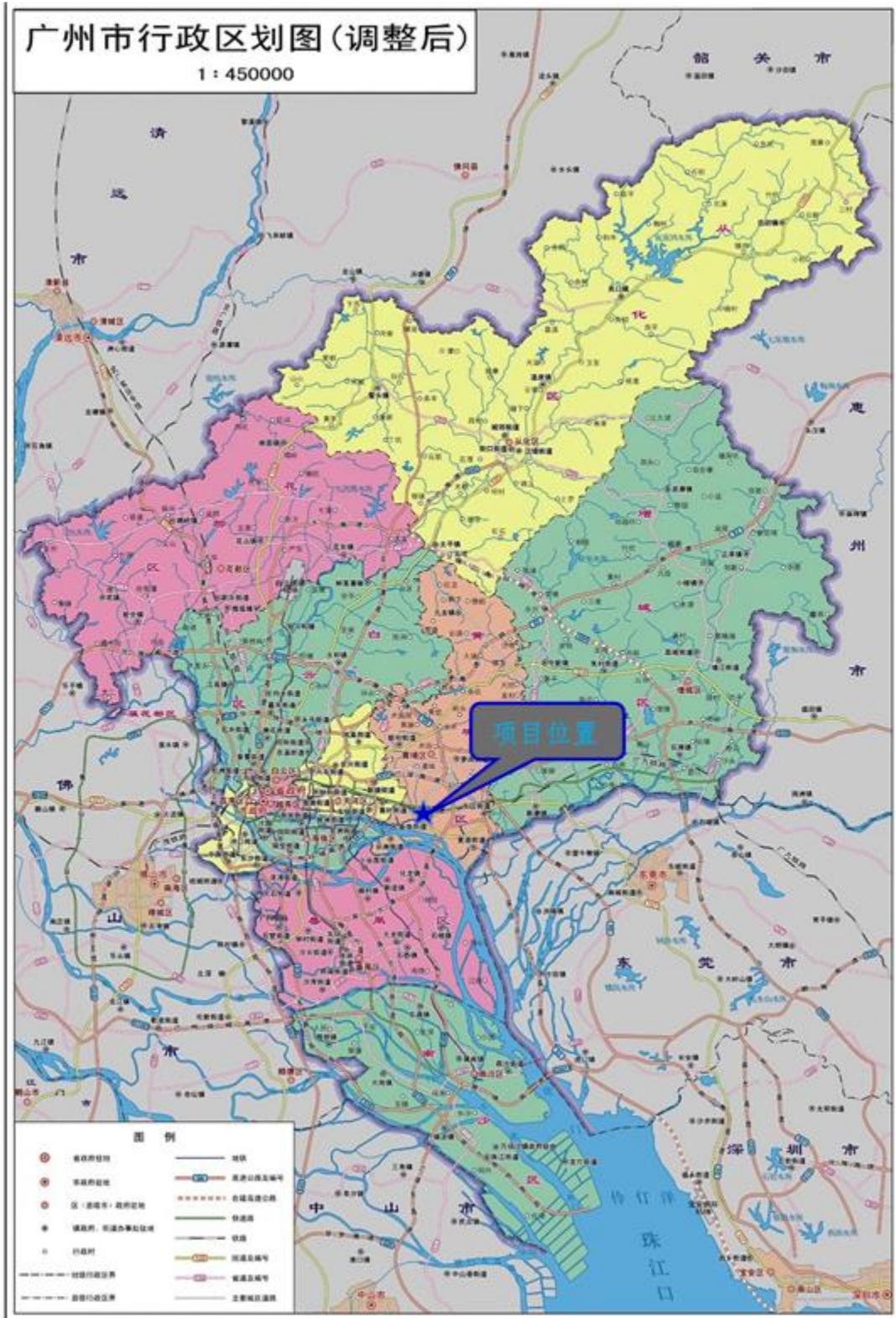


图 2.1-1 地块地理位置图

2.2 地块区域环境与社会概况

2.2.1 地形地貌

天河区总体地势由北向南倾斜，形成低山丘陵、台地、冲积平原三级地台。其中，丘陵 28.41 平方公里，占 20.72%；台地 21.85 平方公里，占 15.94%；平原（包括冲积平原、宽谷、盆地）86.84 平方公里，占 63.34%。

天河区依地势可分为三个区域：北部是以火成岩为主构成的低山丘陵区，海拔 222~400 米；中部是以变质岩为主构成的台地区，海拔 30~50 米；南部是由沉积岩构成的冲积平原区，海拔 1.5~2 米。

中部台地区地质较为复杂。元岗天河客运站至石牌华南师范大学地下有花岗岩残积土层，遇水极易软化崩解。五山地下有孤石群，硬度非常高。瘦狗岭地下断裂带有急流地下水。

北部低山大体以筲箕窝水库为中心分东西两面排列，并以此为天河区与黄埔区、白云区分界。全区最高处为大和嶂（391 米），位于北部，山脊分界处南北分别为天河区渔沙坦村与白云区太和镇。以大和嶂为基点往东与萝岗区的分界主要有杓麻山（388 米）、凤凰山（373.3 米）、石狮顶（304 米）等海拔 261~388 米的 11 个山头，往西与白云区分界主要有洞旗峰（312 米）等海拔 147~312 米的 9 个山头。筲箕窝水库以南有火炉山（322 米）。北部中央低处形成筲箕窝、龙洞和华南植物园等水库、宽谷和盆地。中部台地从东到西分布有吉山台地和五山台地。五山台地中有突出的瘦狗岭（131 米）。

南部冲积平原分布在广深铁路以南，前进、车陂、员村、石牌、猎德一带，有七涌一湖。七涌从东到西依次为深涌、车陂涌、棠下涌、程界涌、潭村涌、猎德涌、沙河涌，七涌均由北向南流入珠江，一湖是天河公园中心湖，南临珠江，江岸线 11 公里。

2.2.2 土壤与自然资源

根据《天河区土地利用状况及可持续利用对策》一文中描述（彭皎凤，陈章

和,陈雷,等.天河区土地利用状况及可持续利用对策[J].生态科学,2000,019(001):74-77.)天河区地处亚热带,气候温和,土地肥沃,雨量充沛,南部属珠江三角洲潮区。地势由北向南倾斜,北部为低山丘陵区,一般海拔100-400m,中部为台地区,海拔在40-100m之间;南部沿珠江地势低平,为冲积平原区,海拔在8-18m之间。主要地貌类型有低山、丘陵、谷地、平原、台地和河流冲积平原。主要土壤类型有花岗岩发育而成的赤红壤,冲积沉积物发育而成的菜园土,调查地块所在区域地带性土壤为赤红壤。

2.2.2.1 土地资源

1991~2000年,天河区由于迅速城市化,耕地平均以每年1000多亩的速度锐减。从24907亩减至11291亩,减少了13616亩,减少54.66%。2004年除东北部外,靠近广州市老城区的地方已无耕地。

2000年,天河区的山林面积按所有权属镇村部分约有3.7万亩,加上省市单位的林地,共计约有5万多亩。主要分布在北部、西北、东北和中部低山丘陵区。1991年后,由于城市化,森林覆盖面积从1990年的26.2%减到2000年的23%。1991~2000年,天河区重视建设村镇公园,植物覆盖面积逐步增加。2000年,天河区建成区面积7230公顷,绿地面积2007公顷,绿地率达27.76%,人均公共绿地20.92平方米。

至2005年,天河区尚有地形坡度大于25度难于利用的低山丘陵土地42平方公里,主要集中在辖区东北部。

根据《浅谈广州市天河区岩土分布及工程特性》(龚经平.浅谈广州市天河区岩土分布及工程特性[J].广东建材,2017(10).)提到,天河区的岩土类型较为简单,基岩分布受瘦狗岭断层控制。瘦狗岭断层北缘隆起带基岩为燕山三期、四期花岗岩(γ_5^2 、 γ_5^3),局部为震旦系(Z)混合岩、片麻岩。出露的相应土层为花岗岩残积土(杂色砂质(砾质)粘性土),如燕塘、天河客运站、植物园、龙洞、柯木朗、高唐、大观路北等地段;区内瘦狗岭断层以南为白垩系(K_1 、 K_2)砾砂岩、粉砂岩、砾岩、泥岩,出露的相应土层为砾砂岩残积土(棕红色粉质粘土、碎石土),如员村、冼村、棠下村、华景新城、珠江新城、广州金融城等地段。区内

还零星分布有的第四系冲洪积层（粉质粘土、砂土）及软土层（淤泥），第四系冲洪积层主要分布在古地貌如山前洼地、丘间谷地，如龙洞、沙河等地段有分布。区内软土主要分布于珠江北岸，如珠江新城、广州金融城一带，但其厚度较薄。

2.2.2.2 水资源

天河区地表水资源有沙河涌、猎德涌、员村涌、潭村涌、程界涌、棠下涌、车陂涌、深涌等 8 条主要河涌，各条排水河涌自北向南流入珠江广州河段，总长 69.43 公里。另外还有近 20 条支涌、小涌，共长 16 公里。此外，天河区位于珠江北岸，有江岸线 11 公里；有耙齿沥水库、龙洞水库、新塘水库和麓湖、天河公园中心湖等。

天河区地下水主要集中在区东北部，其中 1991 年前已开发的有珠村矿泉水、龙眼洞矿泉水、凤凰山矿泉水。珠村矿泉水水源位于东圃镇珠村东北约 0.5 公里。1998 年 6 月，通过国家部级鉴定为含锌矿泉水，水量为 144~207 立方米/天。龙眼洞矿泉水水源位于沙河镇龙眼洞村洞旗峰南坡山腰，水量为 82~156 立方米/天，水温 22.5℃。1991 年 5 月，洞旗峰矿泉水厂投资 100 万元开发生产“洞旗峰牌”矿泉水。凤凰山矿泉水源位于沙河镇渔沙坦乡以北凤凰山。1990 年，建有凤凰山矿泉水厂，生产“凤凰山牌”矿泉水。以上三处水源至 2000 年仍在生产矿泉水。1997 年起，柯木塱村长寿村地下纯净水得到大量开发。1996 年 11 月，发现从龙眼洞到太和帽峰山一带约 200 平方公里的地下有大量水源，水质为偏硅型，低钠、低矿化度，口感好，日开采量可达 9099 立方米。此外，从天河北路到瘦狗岭一带地下有温泉水源，水温达 36℃，有丰富的偏硅酸、氟、铁等微量元素，有一定的医疗作用。至 2000 年，尚未开发的还有位于沙河禺东西路军体院一带的矿泉水源。

此外，珠村、吉山、新塘、渔沙坦一带丘陵台地还有一些百年井泉。

2.2.2.3 矿物资源

天河区境内主要有高岭土、钽、钨、河沙、岩石等矿物资源。

高岭土：俗称瓷土，白色，质软有滑感，具有吸水、可塑、耐火等特征，是

重要的陶瓷原料和耐火材料。高岭土分布在瘦狗岭西南面，60年代起建有广州建筑陶瓷厂。

铋、钨：分布于龙眼洞南社水冲岭、白虎窿、深窿、大窝、崩岗等处。1956年国家在此开办有色金属矿物采矿场，开采矿石。60年代初关闭。

铝：分布于马坑园村东侧，表土层一米以下的土壤是一种黑白混合泥，因其含铝量高达23~38%，被称为铝质泥。储量不详。1972年开采，加工成泥粉，出售给车陂水厂和郊区铝厂，至1986年数量已超过15000吨。水厂用于沉淀水中的杂质；铝厂则用于制造硫酸铝。1986年因开采成本过高而停产。

河沙：1991年前，尚有沙河涌等河涌上游的河沙可采用为建筑材料。后来由于环境污染，河水变浊，可利用的河沙逐渐减少。至2000年已无河沙可采。

岩石：岩石资源以花岗石为主，主要分布在北部的岑村火炉山和龙眼洞的洞旗峰一带。早在建国初的1951年，火炉山就有东升石矿场开始采石。至1991年，火炉山下有市东升石矿场、凌塘、新塘等石材场，洞旗峰下主要有市派安石矿场和龙眼洞石场，还有元岗、长湓等石材场，大小共44个石场。1993年11月，广东技术最先进、规模最大的广州天河龙洞派安采石场正式投产，采区面积13万平方米，总投资0.98亿港元，年产量100万立方米。1995年后，为保护生态环境，各石场陆续关闭。2000年派安采石场被广州市政府关闭。至2000年，尚余凤凰山、背坪、新世界等21个石场。

2.2.3 气候气象

天河区，位于北回归线以南，属亚热带海洋性季风气候区，气候温暖湿润，雨量充沛。亚热带季风气候显著，同时受低纬度海洋湿润气流的调节，日照充足，热量丰富，长夏无冬，雨量充沛，干湿季明显，暖湿气流盛行，气候高温多雨。受季风环流所控制，冬季处于极地大陆高压的东南缘，常吹偏北风，且恰在冷暖气团交替地带，气象要素变化大；夏季受副热带高压及南海低压槽的影响，常吹偏南风，因而摆脱了回归干燥带及信风带的影响，而表现出季风气候的特色。但热带气旋、暴雨、洪涝、干旱、寒潮和低温阴雨也常出现。

本地区年平均气温21.8℃，一月最低气温0℃，8月最高气温38.7℃，日照

时间长，年日照时数高达 1862 小时，2~4 月份日照时数较短，7~10 月份日照时数最多。同时，本地区雨量充沛，年降雨量大都在 1700 毫米左右，降雨量多集中在 4~9 月，占全年 81%左右，年均相对湿度为 77%。广州季风变化明显，全年风向多为北风，频率为 21.3%，多出现在 9 月~翌年 3 月，其次为东南风和东风，风频率为 13.9%，主要出现在 4~8 月，常年平均风速 1.9m/s，静风频率为 33%，夏秋间常有台风侵扰，风速达 28m/s，绝对最大风速可达 33.7m/s。

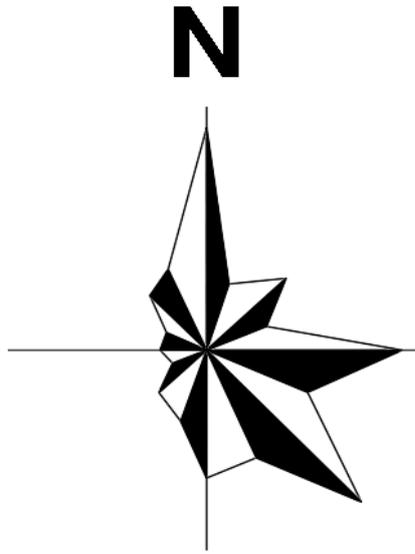


图 2.2-1 广州市风向玫瑰图

2.2.4 行政区划与人口

截至 2018 年 10 月，天河区下辖 21 个街道：沙河街道（1950 年 7 月成立，以行文批准为准，下同）、五山街道（1950 年成立）、员村街道（1960 年 7 月成立）、车陂街道（1981 年 5 月成立）、石牌街道（1987 年 3 月成立）、天河南街道（1992 年 10 月 9 日成立）、林和街道（1995 年 8 月 11 日成立）、沙东街道（1995 年 8 月 11 日成立）、兴华街道（1995 年 8 月 11 日成立）、棠下街道（1997 年 11 月 18 日成立）、天园街道（1999 年 9 月 30 日成立）、冼村街道（1999 年 12 月 29 日成立）、猎德街道（1999 年 12 月 29 日成立）、元岗街道（1999 年 12 月 29 日成立）、黄村街道（1999 年 12 月 29 日成立）、龙洞街道（2002 年 12 月成立）、长兴街道（2002 年 12 月成立）、凤凰街道（2002 年 12 月成立）、前进街道（2002

年12月成立)、珠吉街道(2002年12月成立)、新塘街道(2002年12月成立)。天河区人民政府驻天园街道天府路1号。

建国初期,天河地区(沙河和东圃地区)人口为37000人,以后迅速增加,1953年71729人,1964年159149人,1982年229276人,1990年430153人。2000年11月1日第五次全国人口普查时,全区总人口达到1109320人。

截至2019年末,户籍人口96.57万人,增长2.8%;常住人口178.85万人,增长2.4%。户籍人口出生数为1.44万人,出生率14.65%,死亡率3.42%,自然增长率11.24%,符合政策生育率95.72%。

2.2.5 经济发展概况

2019年,天河区地区生产总值(GDP)5047.39亿元,比上年(下同)增长8%,总量连续13年全市第一。三次产业比例为0.02:7.94:92.04。其中,第一产业增加值1.18亿元,增长20.3%;第二产业增加值400.72亿元,增长10.2%;第三产业增加值4645.48亿元,增长7.7%。现代服务业实现增加值3666.39亿元,增长8.4%,占GDP比重达72.6%。四大主导产业实现增加值2784.16亿元,增长8.7%,占GDP比重达55.2%。其中,金融业实现增加值988.29亿元,增长8.2%,占GDP比重达19.6%;新一代信息技术实现增加值753.63亿元,增长11.9%,占GDP比重达14.9%;现代商贸业实现增加值738.8亿元,增长4.5%,占GDP比重达14.6%;商务服务业实现增加值303.44亿元,增长12.5%,占GDP比重达6%。人均GDP28.56万元,增长6.7%。

(1) 第一产业

2019年,天河区第一产业增加值1.18亿元,增长20.3%。

(2) 第二产业

2019年,天河区第二产业增加值400.72亿元,增长10.2%

工业:2019年,实现规模以上工业总产值863.71亿元,增长12.9%。工业产品销售衔接良好,产销率达99.7%。从登记注册类型来看,国有企业完成工业总产值2亿元,增长21.6%,股份制企业完成工业总产值790.37亿元,增长13.8%,外商及港澳台投资企业完成工业总产值71.34亿元,增长3.7%。分行业

来看，制造业完成工业总产值 209.29 亿元，增长 7.3%；电力、燃气及水的生产和供应业完成工业总产值 654.41 亿元，增长 14.9%。

建筑业：2019 年，完成建筑业总产值 1239.4 亿元，增长 10.9%；其中，省外完成产值 386.37 亿元，增长 15.3%；省内完成产值 853.03 亿元，增长 9%。按构成分，建筑工程产值 1145.14 亿元，增长 11.1%；安装工程产值 56.79 亿元，增长 11%；其他建筑业产值 37.47 亿元，增长 3.8%。完成建筑竣工产值 479.91 亿元，增长 46.3%。完成建筑施工面积 9276.67 万平方米，增长 13.7%；其中，本年新开工房屋施工面积 1248.97 万平方米，下降 15%。全年新签合同额 1428.24 亿元，增长 10.4%。

（3）第三产业

2019 年，天河区第三产业增加值 4645.48 亿元，增长 7.7%。

国内商贸：2019 年，天河区实现社会消费品零售总额 1924 亿元，增长 4.3%，占全市的 19.3%。其中批发和零售业零售额增长 3.9%；住宿和餐饮业零售额增长 8.2%。主要商品中，限额以上粮油食品类、金银珠宝类、通讯器材类、新能源汽车类商品零售额分别增长 14.8%、28.9%、37.4%、70.9%。网上零售保持较快增长，限额以上批发和零售业通过公共网络实现的商品零售额增长 19.2%。

对外经济：2019 年，天河外贸进出口总值 585.3 亿元，下降 5.6%。其中，出口 249.9 亿元，下降 8.4%；进口 335.4 亿元，下降 3.3%。新业态跨境电商进出口 1.98 亿元，下降 76.5%；市场采购出口 31.21 亿元，下降 50.1%。服务外包全口径执行额 34.78 亿美元，增长 11%，离岸执行额 11.89 亿美元，增长 16.1%。

增合同利用外资 27.38 亿美元，下降 25.1%；实际利用外资 6.26 亿美元，增长 72.4%。新设项目 736 个，其中，新设及资合同外资超千万美元项目 41 个。新接洽入库项目 177 个，落地项目 36 个。

房地产业：2019 年，天河区房屋施工面积 1246.55 万平方米，增长 14.5%；房屋竣工面积 444.53 万平方米，增长 7.9 倍。商品房销售面积 80.54 万平方米，下降 17%，其中，现房销售面积 31.14 万平方米，增长 58%；期房销售面积为 49.41 万平方米，下降 36.1%。

营利性服务业：2019 年，天河区实现营业收入合计 2154.11 亿元，增长 12.5%。

其中，互联网、软件和信息技术服务业完成营业收入 1601.71 亿元，增长 13.1%；其他营利性服务业完成营业收入 552.41 亿元，增长 10.8%。其他营利性服务业中，租赁和商务服务业营业收入 491.51 亿元，增长 11.3%；居民服务、修理和其他服务业营业收入 11.38 亿元，下降 9.6%；文化、体育和娱乐业营业收入 49.51 亿元，增长 11.8%。

2.3 区域地质与水文地质概况

根据《浅谈广州市天河区岩土分布及工程特性》（龚经平）提到，天河区的岩土类型较为简单，基岩分布受瘦狗岭断层控制。瘦狗岭断层北缘隆起带基岩为燕山三期、四期花岗岩（ γ_5^2 、 γ_5^3 ），局部为震旦系（Z）混合岩、片麻岩。出露的相应土层为花岗岩残积土（杂色砂质（砾质）粘性土），如燕塘、天河客运站、植物园、龙洞、柯木朗、高唐、大观路北等地段；区内瘦狗岭断层以南为白垩系（ K_1 、 K_2 ）砾砂岩、粉砂岩、砾岩、泥岩，出露的相应土层为砾砂岩残积土（棕红色粉质粘土、碎石土），如员村、冼村、棠下村、华景新城、珠江新城、广州金融城等地段。区内还零星分布有的第四系冲洪积层（粉质粘土、砂土）及软土层（淤泥），第四系冲洪积层主要分布在古地貌如山前洼地、丘间谷地，如龙洞、沙河等地段有分布。区内软土主要分布于珠江北岸，如珠江新城、广州金融城一带，但其厚度较薄。

根据综合水文地质图广州幅 F-49-[12]可知（图 2.3-1），目标地块区域出露地层单一，整体位于白垩系（ K_2 ）地层中，地块北面分布为第四系（ Q_4 ）地层。

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。

第四系全新统为海相、河流相及海河混合相沉积，含水层为砂砾、中粗砂、细粉砂及粘土质砂；粘土、淤泥为隔水层。含孔隙潜水和承压水、富水性缺乏至中等，局部丰富，单井涌水量 20~805 吨/日，局部 1648 吨/日，属 HCO_3 -Na.Ca 和 Cl-Na（Ca）型水，矿化度 0.08-21.73 克/升。

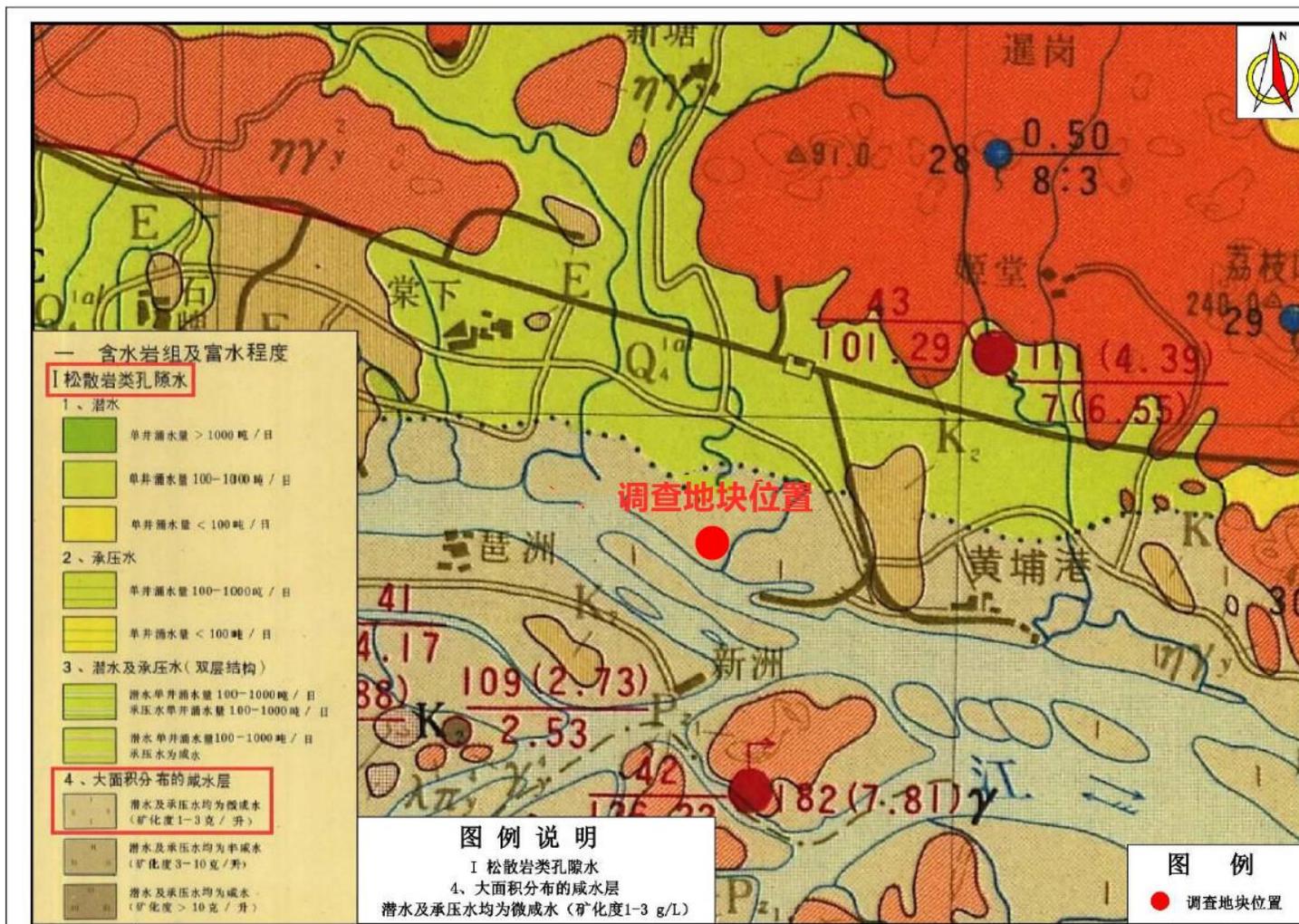


图 2.3-1 调查地块水文地质图

(1) 地下水

天河区地下水资源丰富。在龙眼洞、渔沙坦、柯木朗土一带分布有优质地下水资源。珠村矿泉水水源，位于东圃镇珠村东北约 0.5 公里。1998 年 6 月，通过国家部级鉴定为含锌矿泉水，水量为 144~207 立方米/天。龙眼洞矿泉水水源，位于沙河镇龙眼洞村洞旗峰南坡山腰，水量为 82~156 立方米/天。凤凰山矿泉水源，位于沙河镇渔沙坦乡以北凤凰山。

根据《广东省地下水功能区划》(2009) 中浅层地下水功能区划图划分(图 2.3-2)，目标地块位于珠江三角洲广州海珠至南沙不宜开采区。不宜开采区指由于地下水开采条件差或水质无法满足使用要求，现状或规划期内不具备开发利用条件或开发利用条件较差的区域。保护目标为基本维持地下水现状。根据 2016 年中国地质科学院水文地质环境地质研究所编制完成的广州市浅层地下水质量状况图，项目所在位置浅层地下水不宜作为饮用水源。

根据《广东省浅层地下水功能区划成果表(按地级行政区统计)》，该区地下水类型为孔隙水，现状水质类别为 V 类，地下水功能区水质类别保护目标为 V 类，执行《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) V 类水质标准。

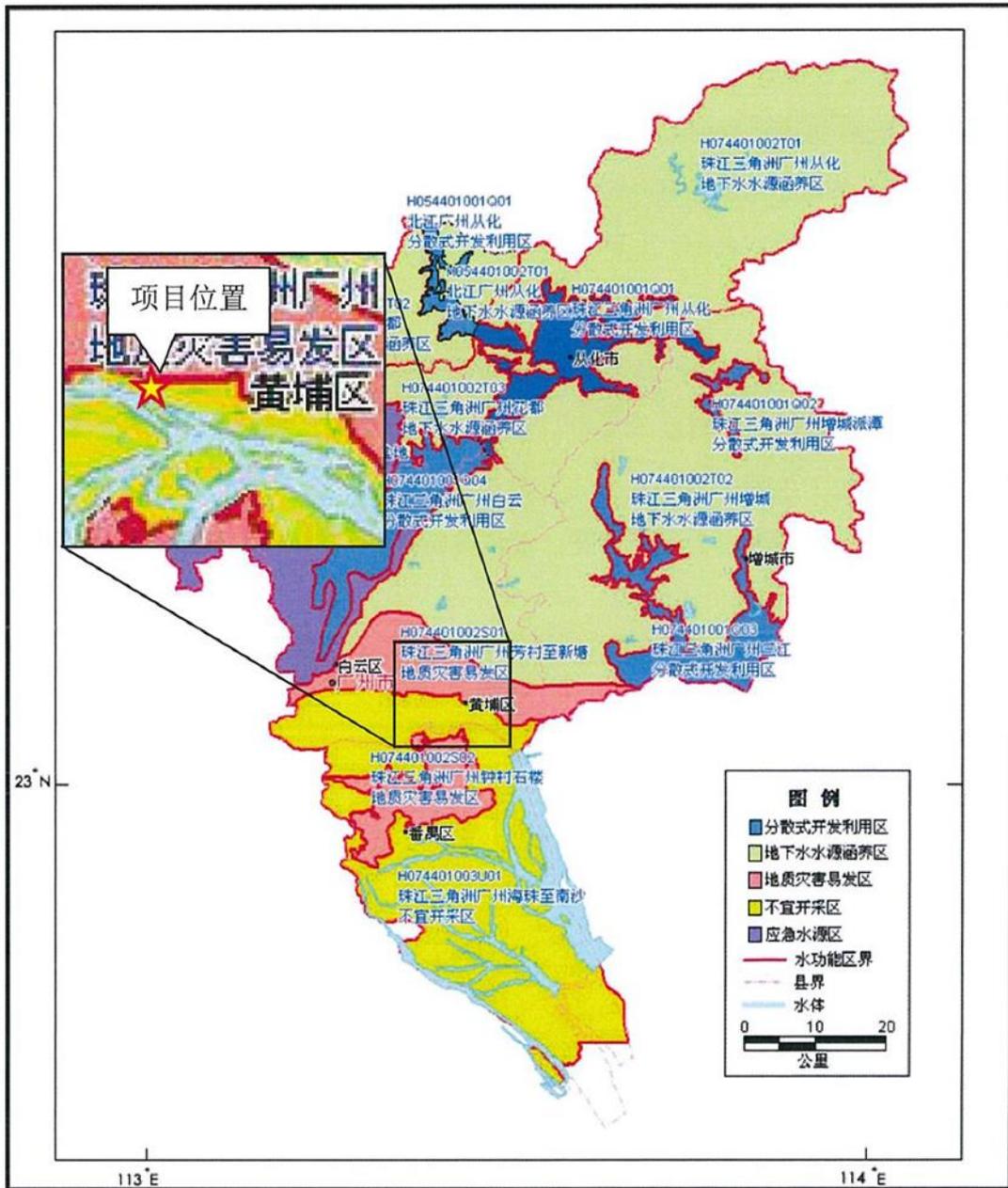


图 2.3-2 项目所在地地下水功能区划

广州市浅层地下水质量状况图



图 2.3-3 广州市浅层地下水质量状况图

(2) 地表水

广州市地处南方丰水区，境内河流水系发达，大小河流(涌)众多，水域面积广阔，集雨面积在 100 平方公里以上的河流共有 22 条，老八区主要河涌有 231 条、总长 913 公里，不仅构成独特的岭南水乡文化特色，也对改善城市景观、维持城市生态环境的稳定起到突出的作用。

广州市水资源的主要特点是本地水资源较少，过境水资源相对丰富。全市水域面积 7.44 万公顷，占全市土地面积的 10%，主要河流有北江、东江北干流及

增江、流溪河、白坭河、珠江广州河段、市桥水道、沙湾水道等，北江、东江流经广州市汇合珠江入海，本地平均水资源总量 79.79 亿立方米。以本地水资源量计，每平方公里有 106.01 万立方米，人均 1139 立方米，是全国人均水资源占有量的二分之一。过境客水资源量 1860.24 亿立方米，是本地水资源总量的 23 倍。客水资源主要集中在南部网河区 and 增城市，其中由西江、北江分流进入广州市区的客水资源量达 1591.5 亿立方米，由东江分流进入东江北干流的客水资源量为 142.03 亿立方米，增江上游来水量 28.28 亿立方米。南部河网区处于潮汐影响区域，径流量大，潮流作用也很强。珠江的虎门、蕉门、洪奇沥三大口门在广州市南部入伶仃洋出南海，年涨潮量 2710 亿立方米，年落潮量 4088 亿立方米，与三大口门的年径流量 1377 亿立方米比较，每年潮流可带来大量的水量，部分是可以被利用的淡水资源。

天河区地表水资源有沙河涌、猎德涌、员村涌、潭村涌、程界涌、棠下涌、车陂涌、深涌等 8 条主要河涌，总长 69.43 公里。另外还有近 20 条支涌、小涌，共长 16 公里。此外，天河区位于珠江北岸，有江岸线 11 公里；有耙齿沥水库、龙洞水库、新塘水库和麓湖、天河公园中心湖等，地块东边为深涌主涌，南边为珠江。

2.4 地块现状

根据现场踏勘、卫星影像、航拍影像，广州市钛白粉厂地块在 2006 年已经对地块设备进行拆除，在富林木材交易市场关闭后，2019 年后地块内建筑物基本拆除，调查地块自 2019 年以来由城投建筑废弃物处置(广州)有限公司作为广州市城市建筑废弃物循环利用金融城项目临时堆放砂石和再生骨料使用，地块目前已完成清表工作，地块内堆放物品已基本清除，城投建筑废弃物处置(广州)有限公司在地块中生产时仅对地面遗留建筑垃圾进行清表工作，未对地块内水泥硬化面进行破坏扰动和填土。生产主要使用金融城区域建筑垃圾进行破碎再生骨料。

2.5 地块土地利用历史

通过谷歌影像图，地形图、企业历史资料和走访了解，地块历史变化过程如下：

依据地块 1958 年、1963 年地形图并结合地块 1973 年《关于上报“广州钛白粉厂迁扩建钛白粉车间设计任务书”的报告》

1968 年以前，广州市钛白粉厂地块为农田。

1968 年~1970 年为建设期，1970 年该地块投产，主要为钛白粉后处理车间，对原中山八路厂区的半成品进行再加工。

1970 年~2006 年，为钛白粉厂生产运营期，钛白粉厂主要生产搪瓷、电焊条级钛白粉、锐钛型钛白粉、金红石型钛白粉和副产品硫酸锰、硫酸亚铁；

1973 年开始将旧厂区的钛白粉生产的前工序逐步搬迁到现地块内；

依据 1983 年《关于广州钛白粉厂三废合理综合利用上硫酸锰车间的批复》：为处理生产废酸该厂于 1983 年开始新建硫酸锰车间；

依据 2000 年出版的《广州市志》，红心化工厂于 1988 年 12 月从先烈中路区庄搬迁到现钛白粉厂地块内，主要产品为三氧化钨。

2006 年地块内生产单位(广州市钛白粉厂、广州市红心化工厂)停产拆除。

2007 年~2018 年该地块用作富林国际家居建材博览中心、富林木材城使用。

2019 年，地块内建筑物基本拆除，城投建筑废弃物处置(广州)有限公司进入场地，进行建筑砂石废料处置利用，地块内主要堆放砂石与再生骨料。

2019 年 5 月，该地块广州市土地开发中心收储。

2020 年底城投建筑废弃物处置(广州)有限公司撤出地块，地块至今闲置。

表 2.5-1 地块历史利用情况

序号	起(年)	止(年)	地块用途	地块使用权人
1	-	1968	农田	-
2	1968	1970	广州市钛白粉厂	广州市钛白粉厂
3	1970	1988	广州市钛白粉厂	
4	1988	2006	广州市钛白粉厂、红心化工厂	
5	2006	2007	闲置	

序号	起（年）	止（年）	地块用途	地块使用权人
6	2007	2018	富林国际家居建材博览中心及富林木材城	广州市土地开发中心
7	2019	2020	城投建筑废弃物处置(广州)有限公司	
8	2020	至今	闲置	

2.6 地块未来规划

根据《广东省城市控制性详细规划管理条例》(2014 修正)和《金融城东区控制性详细规划》(穗府函[2019]139 号), 地块所在地规划为商务设施用地 (B2)、公园绿地 (G1), 为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准 (试行)》(GB36600-2018) 中规定的第二类用地。

2.7 地块敏感目标

根据现场情况，查明地块 1000m 范围内敏感目标，如可能受污染物影响的居民区、学校以及重要公共场所等。

表 2.7-1 敏感点信息示意表

类型	名称	方位	相对距离/米
地表水体	珠江	S	200
地表水体	深涌主涌	E	50
农田	农田	S	580
商业	中石油加油站	NW	243
商业	美林 MLIVE 天地	N	210
商业	居然之家购物广场	NE	360
商业	保利鱼珠港（在建）	E	300
住宅	石溪社区	NW	700
住宅	珠光·金融城壹号（在建）	WN	330
住宅	美林湖畔	N	667
教育	广州第十八中学	N	440

第三章 项目第一阶段调查回顾

3.1 第一阶段土壤污染状况调查分析与总结

根据第一阶段调查结果可知，调查地块历史沿革比较清楚。广州市钛白粉厂地块始建于1968年，1970年投产，开始主要是作为旧厂区的成品车间和后处理车间使用。1973年开始对该地块进行改扩建，主要在原有的转窑车间、研磨车间、后处理车间、水处理车间的基础上，增加酸解工序、提环工序、冷冻工序、水解工序、水洗工序、煅烧工序，钛白品种有搪瓷级钛白粉、陶瓷级钛白粉、锐钛型颜料级钛白粉、金红石型钛白粉；1991-1992年进行国内首次4000t/a硫酸法金红石钛白关键技术与装备引进技改工程，主要对金红石型钛白粉生产进行技改。期间广州市红心化工厂在1988年12月从先烈中路区庄搬迁到广州市钛白粉厂内生产三氧化钨，产量约1000t/a。

2006年地块内生产单位(广州市钛白粉厂、广州市红心化工厂)停产拆除;2007年-2018年该地块用作富林国际家居建材博览中心、富林木材城使用；2019年，地块内建筑物基本拆除，城投建筑废弃物处置(广州)有限公司进入场地，进行建筑砂石废料处置利用，地块内主要堆放砂石；2019年5月，该地块广州市土地开发中心收储。根据现场沟通记录显示，城投建筑废弃物处置(广州)有限公司现基本完成场地的清理工作，并撤场。

广西博世科环保科技股份有限公司项目组在第一阶段调查中通过资料收集和审阅、现场踏勘、人员访谈等方式对调查地块及其周边进行了详细了解和污染识别并结合重点行业特征污染物进行分析，主要结论如下：

(1) 红心化工厂主要产污环节为：磨矿、过筛过程中的粉尘；存放使用液氨、盐酸过程中产生的挥发气体；工艺废渣中的碱渣和除钼渣；洗涤产生的废酸，重金属废水。重点关注特征污染物为钨、钼、砷、汞、氯化物、铜、锡、钒、镍、铅、锌、钛、锰、铬、硫酸根。

(2) 广州市钛白粉厂硫酸法生产钛白粉污染源较多，主要产污环节如下：

废气污染源主要有两个：一是酸解过程中有组织、间断排放出大量的含酸尾气，主要污染物是二氧化硫和酸雾；二是煅烧尾部连续排出的煅烧尾气；三是磨矿工艺的重金属粉尘。主要污染物为硫酸雾、二氧化硫和三氧化硫和少量钛白粉。

废水污染源主要是水洗酸性废水、煅烧工序产生的酸性废水，各工序的冲洗废水等，其中含有游离硫酸、硫酸亚铁、偏钛酸和其它金属离子硫酸盐等。

废渣来源于酸解沉降后的残渣，主要成分是未分解的钛铁矿、金红石、锆英石、脉石、泥砂、硫酸亚铁、游离硫酸和部分可溶性钛。

还需要关注 2006 年四氯化钛泄露事故可能造成的钛污染和氯污染和地块拆卸时期可能造成变压器油泄漏导致的多氯联苯影响。

需重点关注特征污染物：铜、砷、铅、汞、锌、钛、锰、氯化物、硫酸根、锡、多氯联苯、铬、钒、碲、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并 [1,2,3-c,d]芘、氟化物。

(3) 富林国际博览中心（富林木材城）时期主要产污环节切割设备碎屑的撒落和切割设备或运输车辆用油的泄露，木材贮存中可能防腐剂被雨水淋溶导致 CCA 防腐剂等渗入地块土壤内。重点关注特征污染物：石油烃（C₁₀~C₄₀）、铜、砷、铬。

(4) 城投建筑废弃物处置(广州)有限公司主要产污环节：设备用油时产生的泄露。主要考虑特征污染物为：石油烃（C₁₀~C₄₀）。

(5) 调查地块外周边区域中本项目地块可能产生影响的企业和河流为地块外西侧的原人民制革厂、地块外东侧鱼珠木材市场、钰嘉加油站、深涌，潜在主要关注特征污染物为石油烃（C₁₀~C₄₀）、锌、铬、六价铬、砷、苯、甲苯、乙苯、邻二甲苯，间,对-二甲苯、汞、镉、镍、铅、铜。

地块南部区域原硫酸锰车间该主要产污环节为过滤环节产生的锰渣，废硫酸使用传输过程中的跑冒滴漏造成的废酸污染，溶锰、干燥工序可能产生的粉尘。特征污染物：锰和废酸。

钛矿石贮存、酸碱贮存和传输中可能产生的跑冒滴漏，特征污染物：砷、铅、锌、钛、锰、铬、钒、硫酸根。

(6) 根据现场踏勘情况，未发现地块化工生产时期遗留储罐、底泥和固废，且地块在 2019-2020 年短暂作为建筑废弃物再生工程使用，对地块污染可能性较低，故无需对地块内遗留固体废物进行取样。

(7) 由于地块内无地表水体和残留废水，依据《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）中要求，地块内的过境

水体一般不作为调查工作重点，故无需对地块周边地表水进行调查。

(8) 该地块潜在污染，污染物详见下表，需进行第二阶段的初步采样分析调查，第二阶段调查工作应主要关注土壤和地下水样品的采集，着重关注废水处理排放区域和四氯化钛事故泄露区域。

表 3.1-1 调查地块潜在污染区域及潜在污染物识别结果

位置	企业	特征污染物
地块内	广州市钛白粉厂	砷、铅、汞、锌、钛、铜、锰、氯化物、硫酸根、氨氮、锡、多氯联苯、铬、钒、萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘、氟化物
	广州市红心化工厂	钨、砷、钼、铜、锡、铅、钛、镉、镍、氯化物
	城投建筑废弃物处置(广州)有限公司	石油烃(C ₁₀ ~C ₄₀)
	富林国际博览中心(富林木材城)	石油烃(C ₁₀ ~C ₄₀)、铜、砷、铬
地块外	广州市人民制革厂	铬、六价铬、锌、石油烃(C ₁₀ ~C ₄₀)、苯、甲苯、乙苯、汞、镉、镍、锌、铅
	鱼珠木材市场	砷、石油烃(C ₁₀ ~C ₄₀)、镉、铬、
	钰嘉加油站	石油烃(C ₁₀ ~C ₄₀)、苯、甲苯、乙苯、邻二甲苯，间,对-二甲苯，铅
	钛白粉厂南部地块	钨、砷、钼、铜、锡、铅、钛、镉、镍、硫酸根
	深涌	石油烃(C ₁₀ ~C ₄₀)、苯、甲苯、乙苯、汞、铜、镉、镍、锌、铅、铬、砷

第四章 第二阶段污染状况调查回顾

4.1 初步调查

4.1.1 布点方案

4.1.1.1 土壤采样方案

(1) 土壤监测点位的确定:

广州市钛白粉厂地块初步调查土壤点位采用系统布点法和专业判断法进行

布设，首先根据专业判断尽量在能抓住污染源的功能区中布设点位，再根据系统布点法验证地块中是否满足 40m*40m 的布点密度。该调查地块历史上存在的重点企业为广州市钛白粉厂、广州市红心化工厂，2006 年两个重点企业停产拆除以后，地块长期作为富林国际家居建材博览中心及富林木材城使用。广州市钛白粉厂企业生产规模大，鼎盛时期达 12000t/a 钛白粉，但地块面积小，厂区空间极大化被利用，生产车间紧密，生产工序多且杂（涉及十几道工序，见生产工艺），调查地块布满生产车间等重点区域。此外，2006 年广州市钛白粉厂地块停产拆除过程中曾发生过四氯化钛（四氯化钛是 TiO_2 后处理工艺所用的表面处理剂）泄漏事故。因此，调查地块不排除在历史过程中污染物随历史生产活动、地表径流迁移的情况，故将地块重点生产区域作为重点调查区域，并经第一阶段土壤污染调查深入了解后，对历史上发生过污染事故的区域进行适当点位加密。

本次调查地块面积为 35493.02m²，采用专业判断法在最有可能抓获污染物的位置布设点位，再结合系统布点法对布设的土壤点位进行检验，检验是否满足每个工作单元的面积不高于 1600m² 中至少布设 1 个采样点。经核查，调查地块每个潜在污染区满足至少有 1 个采样点，并在潜在污染物易汇集的污水管网出口处加设 1 个点位，在可能发生变压器油泄漏而产生潜在污染物多氯联苯的变压器处加设 1 个点位；由于该地块曾发生过四氯化钛泄露事故，根据地块资料及实地访谈确定当初泄露位置位于厂区内的新金红石型钛白粉后处理车间南外墙管道（后处理车间），对后处理车间进行加密布点，布设 4 个 20m*20m 的加密点位。此外，根据历史管线图，对原管线位置及管线排口补充布设 5 个采样点位。

初步调查阶段共计 37 个土壤点位，平均采样密度为 959.27m²/个，小于且满足《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》（2018 年 11 月）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》（DB4401T 102.1-2020）中每 1600 m² 一个孔布点密度要求。

表 4.1-1 地块环境初步调查土壤采样点坐标

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
T1	439549.114	2556065.700	3.814	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：河边钛铁仓库 1973-1996 年：空地 1970-1973 年：空地	原钛白粉厂河边钛铁仓库内	原料钛铁矿长期堆存，原矿中的潜在污染物可能随地面裂缝往下迁移	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬
T2	439505.296	2556103.588	3.597	2019-2020 年：城投发电设备房 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：钛一车间 1973-1996 年：钛一车间 1970-1973 年：钛一车间	钛一车间内	钛一车间原料的堆放、转移、生产过程发生遗撒、跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、石油烃 (C10~C40)、氯化物
T3	439454.706	2556124.244	4.200	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：干燥脱水区 1973-1996 年：干燥脱水区 1970-1973 年：干燥脱水区	干燥脱水区内	红心化工厂三氧化钨干燥脱水过程产生大量的水蒸气及粉尘，该过程可能跑冒滴漏及粉尘沉降后产生污染	钛、钒、砷、铅、锌、镍、铬、钨、钼、铜、锡、镉、氯化物、氟化物
T4	439425.467	2556137.973	4.165	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：工业纯三氧化钨车间 1988-1996 年：工业纯三氧化钨车间 1970-1988 年：钛三车间	原钛白粉厂钛三车间，后改造成工业三氧化钨车间内	工业纯三氧化钨车间生产三氧化钨以及钛三车间生产钛白粉时期，生产过程原辅材料的堆放、转移、生产可能发生遗撒，磨矿、过筛产生粉尘，固废碱渣和除钼渣及生产废水的跑冒滴漏，可能造成潜在污染物可能随土壤及地下水往下迁移	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、钨、钼、铜、锡、镉、氯化物、氟化物

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
T5	439379.273	2556174.533	3.736	2019-2020年：空地 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：硫酸锰浓缩结晶干燥车间 1973-1996年：空地 1970-1973年：空地	原钛白粉厂硫酸锰浓缩结晶干燥车间内	利用生产钛白粉产生的废酸，与锰矿溶解生产硫酸锰并提纯干燥的生产过程，该过程可能产生废水等跑冒滴漏造成污染	钛、锰、硫酸
T6	439416.070	2556163.480	3.608	2019-2020年：城投车辆通道 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：办公楼 1973-1996年：空地 1970-1973年：空地	红心化工厂办公楼区靠近三氧化钨生产车间	红心化工厂三氧化钨生产过程产生的粉尘可能通过大气沉降污染周围区域	钨、钼、砷、锌、铅、铜、锡、钛、镉、镍、氟化物
T7	439456.867	2556154.654	3.529	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：红心化工厂仓库 1973-1996年：空地 1970-1973年：空地	原红心化工厂仓库中心	原料等长期堆放可能产生潜在污染物往下迁移的情况	钨、钼、砷、锌、铅、铜、锡、钛、镉、镍
T8	439488.688	2556131.220	3.603	2019-2020年：城投车辆通道 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：尾气处理 1973-1996年：尾气处理 1970-1973年：尾气处理	原钛白粉厂尾气处理处	废酸尾气的中和处理过程可能发生跑冒滴漏；燃料的堆放及燃料燃烧过程可能产生烟气沉降	砷、多环芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘）、酸
T9	439506.922	2556134.140	3.517	2019-2020年：城投建筑废料破碎机 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：冷却水池 1973-1996年：空地	原钛白粉厂冷却水池中心	露天冷却水池冷却过程跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氟化物、石油烃（C10~C40）、多环芳烃（萘、蒽、

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
				1970-1973 年：空地			苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘
T10	439546.189	2556105.387	4.040	2019-2020 年：建筑骨料堆放区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：酸解沉降楼 1973-1996 年：酸碱综合楼 1970-1973 年：空地	原钛白粉厂酸碱综合楼后改造成酸解沉降楼处	钛铁矿粉与硫酸在预混罐预混后进入酸解罐，通入蒸汽引发反应，采用空气搅拌，然后进行熟化，未反应的高钛渣和钛铁矿逐步转化为硫酸盐，随后从酸解来的黑钛液进入沉降池内，加入絮凝剂，在沉降过程中，除去全部悬浮的固体粒子，完成酸解沉降过程。该过程钛白粉的堆放、运输、转移及生产过程产生跑冒滴漏产生污染	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸
T11	439564.578	2556143.481	4.225	2019-2020 年：建筑骨料堆放区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：冷冻浓缩车间 1973-1996 年：冷冻浓缩车间 1970-1973 年：空地	冷冻浓缩车间内靠近下游方向	黑钛液冷冻浓缩过程可能产生跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸
T12	439518.753	2556157.865	3.503	2019-2020 年：喷雾降尘设备 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：锅炉房 2 1973-1996 年：废酸浓缩 1970-1973 年：空地	废酸浓缩处理后改造成锅炉房中心	锅炉房燃料堆放及燃烧过程可能产生潜在污染物砷、苯并芘等；废酸浓缩过程产生跑冒滴漏	酸、砷、多环芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
							蒽、茚并 [1,2,3-c,d] 芘)
T13	439488.091	2556190.452	3.409	2019-2020 年：待处理堆存区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：锅炉房 1973-1996 年：空地 1970-1973 年：	原钛白粉厂锅炉房靠近煤场处	锅炉房燃料堆放及燃烧过程可能产生污染	砷、多环芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并 [1,2,3-c,d] 芘)
T14	439453.620	2556187.857	3.251	2019-2020 年：待处理堆存区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：煤场 1973-1996 年：空地 1970-1973 年：空地	原钛白粉厂煤场内	煤露天堆放，潜在污染物可能随雨水等下渗或迁移	砷、铅、锌、锰
T15	439419.036	2556213.442	3.656	2019-2020 年：城投前置分拣区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：钛石膏车间 1973-1996 年：空地 1970-1973 年：空地	钛石膏车间中心	固废的堆放、运输、转移过程产生遗撒、跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、锌、镍、铬、氯化物、酸
T16	439469.501	2556223.888	3.776	2019-2020 年：空地 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：空地 1973-1996 年：空地 1970-1973 年：空地	原钛白粉厂空地、地下水上游方向、靠近调查边界处	疑似矿渣炉渣堆放区域，可能污染周围的土壤和地下水	钛、钒、砷、铅、锌、镍、铬、锰、氯化物、酸
T17	439494.937	2556211.761	3.749	2019-2020 年：空地 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：道路 1973-1996 年：空地	原钛白粉厂空地、地下水上游方向、靠近调查边界处	汽车运货过程可能产生原料等遗撒情况	钛、钒、砷、铅、锌、镍、铬、氯化物、酸

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
				1970-1973 年：空地			
T18	439584.298	2556189.089	4.208	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：水解水洗车间 1973-1996 年：搪瓷级水解水洗 1970-1973 年：空地	水解水洗车间、污水处理站下游方向	除去钛白中的杂质过程，该过程解离出来的杂质铁和其它杂质保留在母液（废酸中），产品偏钛酸在控制条件下沉淀，该过程可能产生跑冒滴漏，潜在污染物向下或往外迁移	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸
T19	439581.035	2556210.301	4.324	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：污水处理站 1973-1996 年：搪瓷级水解水洗 1970-1973 年：空地	水解水洗处，后改造成污水处理站靠近污水排放口处	搪瓷级水解水洗过程产生跑冒滴漏；污水处理站为地块内污水的汇集处，即为潜在污染物汇集处。	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃（C10~C40）、多环芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘）
T20	439603.234	2556226.916	4.091	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：旧后处理车间、转窑楼 1973-1996 年：水处理区 1970-1973 年：水处理区	水处理靠近排污管道处、后改造成后处理车间及转窑楼	转窑煅烧为偏钛酸在高温煅烧过程中，水分被蒸发，被吸附的硫酸根以二氧化硫等气体逸出，煅烧、转窑、风磨过程产生大量粉尘，经沉降并随土壤或雨水等往下迁移；废水往水处理区转移过程产生跑冒滴漏。	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃（C10~C40）、多环芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽）

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
							蒽、茚并 [1,2,3-c,d] 芘)
T21	439610.983	2556197.204	3.989	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：污水排放口 1973-1996 年：污水排放口 1970-1973 年：污水排放口	污水总排放口处	地块潜在污染物可能随雨水等往外迁移并在此汇集	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃 (C10~C40)、多环芳烃 (萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并 [1,2,3-c,d] 芘)
T22	439620.990	2556248.880	3.952	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：旧后处理车间、转窑楼 1973-1996 年：金红石后处理车间 1970-1973 年：金红石后处理车间	旧后处理车间、地下水下游方向	钛白的处理、转窑、风磨过程可能产生遗撒，并随土壤或雨水等往四周迁移，该车间面积较大，车间上下游布设采样点位抓住污染的可能性较高	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃 (C10~C40)、多环芳烃 (萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并 [1,2,3-c,d] 芘)
T23	439640.336	2556297.815	4.087	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：后处理车间、四氯化钛泄漏下游东南方向	后处理车间、四氯化钛泄漏下游方向加密点位	后处理包括超微粉碎、浮选、表面处理并以烧碱中和，用离子交换水洗涤除去可溶性盐；后处理车间半成品的长期堆放	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃 (C10~C40)、

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
				1973-1996年：锅炉 1970-1973年：锅炉		及跑冒滴漏其潜在污染物下渗，四氯化钛泄漏可能向周边迁移，以及潜在污染物随雨水等汇集至此处	多环芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘）
T24	439617.271	2556304.409	4.161	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：后处理车间、四氯化钛泄漏西南方向 1973-1996年：机修 1970-1973年：机修	后处理车间、四氯化钛泄漏上游方向加密点位	后处理车间半成品的长期堆放及跑冒滴漏其潜在污染物下渗，四氯化钛泄漏可能向周边迁移	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃（C10~C40）
T25	439632.884	2556314.797	4.083	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：后处理车间、四氯化钛泄漏中心 1973-1996年：道路 1970-1973年：空地	后处理车间、四氯化钛泄漏中心	后处理车间半成品的长期堆放及跑冒滴漏其潜在污染物下渗，四氯化钛泄漏可能往下或往周边迁移	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸
T26	439626.298	2556332.013	4.043	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：后处理车间、四氯化钛泄漏西北方向 1973-1996年：仓库 1970-1973年：仓库	后处理车间、四氯化钛泄漏上游方向加密点位	后处理车间半成品的长期堆放及跑冒滴漏其潜在污染物下渗，四氯化钛泄漏可能向周边迁移	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸
T27	439651.974	2556321.920	4.044	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区	后处理车间、四氯化钛泄漏下游方向	后处理车间半成品的长期堆放及跑冒滴漏其潜在污染物下	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
				1996-2006年：后处理车间、四氯化钛泄漏下游东北方向 1973-1996年：道路 1970-1973年：道路		渗，四氯化钛泄漏可能向周边迁移	
T28	439651.614	2556347.058	4.055	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：科研楼 1973-1996年：球场 1970-1973年：球场	科研楼、地下水下游方向	潜在污染物可能随着试验样品的转移污染科研楼区域	钛、砷、钒、铅、锌、锰
T29	439658.873	2556384.446	3.990	2019-2020年：城投办公区 2006-2019年：空地 1996-2006年：钛白粉厂厂房 1973-1996年：宿舍 1970-1973年：宿舍	原钛白粉厂厂房、地下水上游方向、靠近调查边界处	生产过程可能产生跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃（C10~C40）
T30	439515.378	2556114.980	3.636	2019-2020年：城投喷雾降尘设备 2006-2019年：道路 1996-2006年：道路 1973-1996年：配电房 1970-1973年：配电房	变压器处、冷却水池下游方向	老式变压器可能存在变压器油泄漏产生潜在污染物多氯联苯	多氯联苯
T31	439554.923	2556182.361	4.023	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：废水汇集口 1973-1996年：颜料级水解水洗 1970-1973年：废水汇集口	废水汇集口处	颜料级水解水洗过程产生跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、钨、钼、铜、锡、镉、酸、氯化物、氟化物
T32	439589.820	2556255.391	4.120	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区	旧后处理车间、转窑楼，	使用回转窑煅烧钛白粉半成品，该过程产生大量的灰尘及二氧化硫等气体	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、多环芳烃（萘、

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
				1996-2006年：旧后处理车间、转窑楼 1973-1996年：转窑 1970-1973年：转窑	地下水上游方向		蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘
T41	439538.561	2556122.764	3.996	2019-2020年：城投作业区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：污水排入口、酸解沉降楼 1973-1996年：污水排入口、酸碱综合楼 1970-1973年：污水排入口	酸解沉降楼污水汇入口	钛铁矿粉与硫酸在预混罐预混后进入酸解罐，通入蒸汽引发反应，采用空气搅拌，然后进行熟化，未反应的高钛渣和钛铁矿逐步转化为硫酸盐，随后从酸解来的黑钛液进入沉降池内，加入絮凝剂，在沉降过程中，除去全部悬浮的固体粒子，完成酸解沉降过程。该过程钛白粉的堆放、运输、转移及生产过程产生跑冒滴漏产生污染	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸
T42	439574.054	2556113.711	3.967	2019-2020年：建筑骨料堆放区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：冷冻浓缩车间 1973-1996年：冷冻浓缩车间 1970-1973年：空地	冷冻浓缩车间内靠近污水汇入口	黑钛液冷冻浓缩过程可能产生跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸
T43	439642.322	2556279.181	3.862	2019-2020年：建筑骨料堆放区 2006-2019年：家具建材存放区 1996-2006年：冷冻浓缩车间 1973-1996年：冷冻浓缩车间 1970-1973年：空地	冷冻浓缩车间内地下水下游方向	黑钛液冷冻浓缩过程可能产生跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸

点位名称	X (m)	Y (m)	高程	点位历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
T44	439678.847	2556360.716	3.905	2019-2020 年：城投作业区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：后处理车间、四氯化钛泄漏下游东南方向 1973-1996 年：锅炉 1970-1973 年：锅炉	后处理车间、四氯化钛泄漏下游方向	后处理包括超微粉碎、浮选、表面处理并以烧碱中和，用离子交换水洗涤除去可溶性盐；后处理车间半成品的长期堆放及跑冒滴漏其潜在污染物下渗，四氯化钛泄漏可能向周边迁移，以及潜在污染物随雨水等汇集至此处	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃（C10~C40）、多环芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘）
T45	439544.375	2556140.515	3.770	2019-2020 年：道路 2006-2019 年：道路 1996-2006 年：绿化带 1973-1996 年：道路 1970-1973 年：道路	道路或绿化带等非生产车间	地块生产时期潜在污染物可随运行的车辆及人为活动污染道路	钛、砷、钒、铅、锌、锰

注:投影坐标系为国家 2000 坐标系

表 4.1-2 点位布设依据

点位	布点方法	布点依据
T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7、T8、T9、T10、T11、T12、T13、T14、T15、T16、T17、T18、T19、T20、T21、T22、T25、T28、T29、T30、T31、T32、T41、T42、T43、T44、T45	专业判断法	针对历史上的生产区，管线排口等重点区域进行布点
T23、T24、T26、T27	网格布点法	针对历史上发生过四氯化钛泄露区域进行 20m*20m 的网格布点

(2) 土壤采样深度

根据《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》(穗环办〔2018〕173号)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)、《建设用地土壤污染防治 第1部分:污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020)等相关技术文件对采样深度的要求,本次土壤采样原则如下:

①表层土壤:在0~0.5m采集和送检1个样品。地面存在硬化层(如混凝土、沥青、石材、面砖)不作为表层土壤,计量采样深度时扣除地表硬化层厚度。

②下层土壤:至少采集和送检1个土壤样品。水位线附近采集1个样品,其他样品可根据判断布点法采集,现场采用XRF以0.5m的间隔进行快筛,选择快筛数值相对较高的土层进行采集,建议下层土壤垂向采样间隔不超过2m。

③不同性质土壤:至少采集一个土壤样品,同一性质土层厚度较大或出现明显污染痕迹时,根据实际情况在该层位增加垂向采样数量。同一土层采用现场快速监测设备筛选相关污染物浓度最高点进行采样。

④饱和带土壤:至少采集和送检1个土壤样品。如饱和带土壤存在明显污染痕迹,适当增加送检样品,以确定饱和带土壤的污染厚度。

本次调查土壤钻孔采样深度为8~12m,土壤剖面分层采样,每个钻孔采集5~6个样品进行实验室分析,初步调查共采集198个土壤样品(不含对照点和平行样)。

(3) 土壤对照点

为获取调查区域当地土壤原始状态的点位,对比判别地块内土壤污染程度,对地块周围采集土壤对照点。参考《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)、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》(DB4401T 102.1-2020)中要求,并考虑到广州市钛白粉厂厂周边区域为工业、商业、居民区密集区域,因此在地块东北方向800米的山坡和东北方向2300米的沙井岗各分别布设一个土壤环境对照点,采集表层土样,共计采集2个土壤环境对照样品,对照点样品均为棕色土壤。

4.1.1.2 地下水采样方案

本次初步调查阶段，在重点疑似污染区域以及上下游方向按照三角形或四边形设置 6 个地下水采样点位。

表 4.1-3 地块环境初步调查地下水采样点坐标

点位名称	X (m)	Y (m)	地下水埋深 (m)	历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
W1 (T1)	2556065.700	439549.114	2.34	2019-2020 年：建筑骨料堆放区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：河边钛铁仓库 1973-1996 年：空地 1970-1973 年：空地	原钛白粉厂河边钛铁仓库内	原料钛铁矿长期堆存，原矿中的潜在污染物可能随地面裂缝往下迁移、该点疑似位于地块的下游方向，可作为地下水下游方向对照点	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬
W2 (T4)	2556137.973	439425.467	1.79	2019-2020 年：待处理堆存区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：工业纯三氧化钨车间 1988-1996 年：工业纯三氧化钨车间 1970-1988 年：钛三车间	原钛白粉厂钛三车间，后改造成工业三氧化钨车间内	工业纯三氧化钨车间生产三氧化钨以及钛三车间生产钛白粉时期，生产过程原辅材料的堆放、转移、生产可能发生遗撒，磨矿、过筛产生粉尘，固废碱渣和除钼渣及生产废水的跑冒滴漏，可能造成潜在污染物可能随土壤及地下水往下迁移	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、钨、钼、铜、锡、镉、氯化物、氟化物
W3 (T9)	2556134.140	439506.922	1.06	2019-2020 年：建筑废料破碎机 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：冷却水池 1973-1996 年：空地	原钛白粉厂冷却水池中心	露天冷却水池冷却过程跑冒滴漏	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、石油烃 (C10~C40)、多环

点位名称	X (m)	Y (m)	地下水埋深 (m)	历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
				1970-1973 年：空地			芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘）
W4 (T16)	2556223.888	439469.501	0.9	2019-2020 年：空地 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：空地 1973-1996 年：空地 1970-1973 年：空地	原钛白粉厂空地、地下水上游方向、靠近调查边界处	防遗漏点，生产过程中产生的粉尘通过大气沉降可能污染周围的土壤和地下水，此点位位于地块非重点区域，地下水上游方向，其土壤及地下水相对于其他区域受到污染的可能性较小，作为地下水上游方向对照点	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸
W5 (T19)	2556210.301	439581.035	2.55	2019-2020 年：城投待发展区 2006-2019 年：家具建材存放区 1996-2006 年：污水处理站 1973-1996 年：搪瓷级水解水洗 1970-1973 年：空地	水解水洗处，后改造成污水处理站靠近污水排放口处	搪瓷级水解水洗过程产生跑冒滴漏；污水处理站为地块内污水的汇集处，即为潜在污染物汇集处。	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油烃（C10~C40）、多环芳烃（萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘）
W6 (T23)	2556297.815	439640.336	2.18	2019-2020 年：城投待发展区 2006-2019 年：家具建材存放区	后处理车间、四氯化钛泄漏	后处理包括超微粉碎、浮选、表面处理并以烧碱中和，用离子交换水洗清除	钛、钒、砷、铅、汞、锌、镍、铬、氯化物、酸、石油

点位名称	X (m)	Y (m)	地下水埋深 (m)	历史功能区	点位位置	点位布设依据	潜在污染物
				1996-2006 年：后处理车间、四氯化钛泄漏下游东南方向 1973-1996 年：锅炉 1970-1973 年：锅炉	下游方向加密点位	去可溶性盐；后处理车间半成品的长期堆放及跑冒滴漏其潜在污染物下渗，四氯化钛泄漏可能向周边迁移，以及潜在污染物随雨水等汇集至此处；四氯化钛泄漏处土壤及地下水被污染的可能性较大。	烃 (C10~C40)、多环芳烃 (萘、蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-c,d]芘)

注:投影坐标系为国家 2000 坐标系。

4.1.1.3 采集工作量统计

表 4.1-4 采样工作量

采样类型	位置	采样点数量	样品数量	平行样(5%)	检测样品数
土壤	地块内	37 (钻孔)	198	16	214
	地块外	2 (对照点)	2	1	3
	合计				217
地下水	地块内	6	6	1	7
	合计				7

4.1.2 样品测试分析

4.1.2.1 土壤检测项目

根据保守性原则，本次初步调查样品的检测指标根据现场踏勘、资料分析及《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）等标准及地块实际情况确定。红心化工厂在 1988 年 12 月从先烈中路区庄搬迁到广州市钛白粉厂内利用钛三车间使用“三氧化钨常温溶剂萃取工艺”生产三氧化钨，则红心化工厂区域潜在污染物包括其生产过程的潜在污染物及钛白粉厂的潜在污染物，因此初步调查阶段土壤监测指标包括 GB36600 中的 45 项必测+地块特征污染物，变压器处的点位 T30 增加检测可能因变压器油泄漏产生的多氯联苯污染。具体检测项目如下：

◆ 理化性质：pH、含水率

◆ 基本项（45 项）：

1) 重金属及无机物（7 项）：铅、镉、砷、汞、铜、镍、六价铬

2) VOCs（27 项）：四氯化碳、氯仿、氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯丙烷、1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、四氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、三氯乙烯、1,2,3-三氯丙烷、氯乙烯、苯、氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、乙苯、苯乙烯、甲苯、间二甲苯+对二甲苯、邻二甲苯；

3) SVOCs（11 项）：硝基苯、2-氯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘、苯胺。

◆ 附加项：

1) 重金属和无机物：总铬、锌、钛、锰、钨、钼、钒、锡、氯化物（氯离子）、氟化物；

2) 石油烃类：石油烃（C₁₀-C₄₀）；

◆ 变压器处点位附加项：

1)多氯联苯。

4.1.2.2 地下水检测项目

根据《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》（2017年7月1日起实施），本次调查地下水监测指标为必测项目 pH（现场及实验室均需检测）、浑浊度、重金属（As、Cd、Hg、Pb、Ni）、六价铬，以及《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中的有机污染物+地块特征污染物，具体检测指标如下：

◆ 现场测定指标：

水温、pH 值、电导率、浑浊度、溶解氧、氧化还原电位、色、嗅和味；

◆ 实验室测定指标：

1) pH 值、铅、镉、砷、汞、铜、镍、六价铬；

2) 总铬、锌、钛、锰、钨、钼、钒、锡、氯化物（氯离子）、氟化物、硫酸根（离子）、氨氮；

3) 石油烃（C₁₀-C₄₀）；

4) VOCs (27 项)：四氯化碳、氯仿、氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯丙烷、1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、四氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、三氯乙烯、1,2,3-三氯丙烷、氯乙烯、苯、氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、乙苯、苯乙烯、甲苯、间二甲苯+对二甲苯、邻二甲苯；

5) SVOCs (11 项)：硝基苯、2-氯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘、苯胺。

6) 多氯联苯。

4.1.3 污染评价标准

4.1.3.1 土壤评价标准

根据《广东省城市控制性详细规划管理条例》(2014 修正)和《金融城东区控制性详细规划》(穗府函[2019]139 号), 地块所在地规划为商务设施用地 (B2)、公园绿地 (G1), 拟建设为广州国际金融城。因此, 公园绿地 (G1) 和商务设施用地 (B2) 中的土壤将按照《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018) 中二类用地的筛选值、管制值等对污染物超标情况进行评价, 未列入上述标准的指标根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 计算风险控制值作为评价筛选值。

表 4.1-5 建设用地土壤污染风险筛选值和管制值

单位: mg/kg

污染物	二类用地/非敏感用地	
	筛选值	管制值
*总氟化物	17000	
铜	18000	36000
*铬	3740	
镍	900	2000
*锌	1.34×10 ⁵	
铅	800	2500
镉	65	172
砷	60	140
汞	38	82
*钼	2240	
钒	752	1500
*锰	16600	
六价铬	5.7	78
苯	4	40
甲苯	1200	1200
乙苯	28	280
间,对-二甲苯	570	570
苯乙烯	1290	1290
邻二甲苯	640	640
1,2-二氯丙烷	5	47
氯甲烷	37	120
氯乙烯	0.43	4.3
1,1-二氯乙烯	66	200
二氯甲烷	616	2000
反式-1,2-二氯乙烯	54	163
1,1-二氯乙烷	9	100

污染物	二类用地/非敏感用地	
	筛选值	管制值
顺式-1,2-二氯乙烯	596	2000
1,1,1-三氯乙烷	840	840
四氯化碳	2.8	36
1,2-二氯乙烷	5	21
三氯乙烯	2.8	20
1,1,2-三氯乙烷	2.8	15
四氯乙烯	53	183
1,1,1,2-四氯乙烷	10	100
1,1,2,2-四氯乙烷	6.8	50
1,2,3-三氯丙烷	0.5	5
氯苯	270	1000
1,4-二氯苯	20	200
1,2-二氯苯	560	560
氯仿	0.9	10
石油烃 (C ₁₀ ~C ₄₀)	4500	9000
2-氯苯酚	2256	4500
萘	70	700
苯并(a)蒽	15	151
蒽	1293	12900
苯并(b)荧蒽	15	151
苯并(k)荧蒽	151	1500
苯并(a)芘	1.5	15
茚并(1,2,3-cd)芘	15	151
二苯并(a,h)蒽	1.5	15
硝基苯	76	760
苯胺	260	663
多氯联苯	0.38	3.8
3,4,4',5'-四氯联苯	0.0001	0.001
3,3',4,4',5,5'-六氯联苯	0.0004	0.004
*钨	447	
*锡	2.68 × 10 ⁵	
*钛	7.43 × 10 ⁵	

注：*指根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)计算风险控制值作为评价筛选值；**砷选择GB36600中背景值作为标准。

4.1.3.2 地下水评价标准

根据《广东省浅层地下水功能区划成果表(按地级行政区统计)》，该区地下水类型为孔隙水，现状水质类别为V类，地下水功能区水质类别保护目标为V类，但根据《建设用土壤污染防治 第1部分：污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020)中的要求，地下水污染羽不涉及地下水饮用水源(在用、

备用、应急、规划水源) 补给径流区和保护区, 采用 GB/T14848—2017 中的IV类标准。所以本次地下水执行《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV类水质标准, 未列入上述标准的指标根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 计算风险控制值作为评价筛选值。

表 4.1-6 地下水环境质量标准限值

污染物	IV类水标准
pH	5.5~6.5/8.5~9.0
氟化物 (mg/L)	≤2.0
氯化物 (mg/L)	≤350
氨氮 (mg/L)	≤1.50
六价铬 (mg/L)	≤0.10
硫酸盐 (mg/L)	≤350
铜 (mg/L)	≤1.50
锰 (mg/L)	≤1.50
*铬 (mg/L)	≤39.5
镍 (mg/L)	≤0.10
锌 (mg/L)	≤5.00
铅 (mg/L)	≤0.10
镉 (mg/L)	≤0.01
砷 (mg/L)	≤0.05
*锡 (mg/L)	≤15.8
钼 (mg/L)	≤0.15
*钒 (mg/L)	≤0.237
*钛 (mg/L)	≤132
汞 (mg/L)	≤0.002
*钨 (μg/L)	≤26.3
*石油烃 (C ₁₀ ~C ₄₀) (mg/L)	≤1.05
1,2-二氯乙烷	
萘 (μg/L)	≤600
*蒽 (μg/L)	≤161
*苯并(a)蒽 (μg/L)	≤1.61
苯并(b)荧蒽 (μg/L)	≤8.0
*苯并(k)荧蒽 (μg/L)	≤16.1
苯并(a)芘 (μg/L)	≤0.50
*二苯并(a,h)蒽 (μg/L)	≤0.161
*茚并(1,2,3-cd)芘 (μg/L)	≤1.61
多氯联苯	
2,2',3,3',4,4',5,5'-八氯联苯 (PCB-194)	≤10.0
2,2',3,3',4,4',5,5',6-九氯联苯 (PCB-206)	

注: *指根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 计算风险控制值作为评价筛选值

4.1.4 初步调查结论

4.1.4.1 土壤调查结论

(1) 土壤总体状况

1、土壤环境对照点样品检测结果无明显异常，可作为当地土壤环境中各元素的背景值。

2、本次调查，地块内共采集 37 个土壤点位的 198 份土壤样品，检测指标包含重金属有机物等汞 73 项，根据调查结果显示，地块内主要超标污染物有砷、汞、锰和钨。

3、根据《广东土种志》的土壤酸性分级，地块内土壤主要为碱性，占 30.82%，多数分布于表层土壤中，其次是酸性，占 29.80%。

(2) 无机物污染状况

根据检测结果，地块内土壤部分重金属指标超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600-2018)中所规定的二类用地的筛选值。其中，砷有 1 个样品超标，超标率 0.51%，最大超标倍数为 1.07；汞有 1 个样品超标，超标率 0.51%，最大超标倍数为 1.07；锰有 1 个样品超标，超标率 0.51%，最大超标倍数为 0.03；钨有 4 个样品超标，超标率 2.02%，最大超标倍数为 2.60。

(3) 有机物污染状况

地块土壤共检出 14 项有机物指标，均未超过二类用地筛选值。

(4) 土壤调查总结

1、地块内土壤重金属超标，有机物未出现超标情况且检出较低，地块为重金属污染不存在有机污染。

2、超标区域集中在工业纯三氧化钨车间、原露天煤场、锅炉房、原料仓库及原酸解沉降楼区域，推测造成地块内土壤重金属污染的原因可能是原料、煤炭的使用和地块土壤原场地内推平填埋。

4.1.4.2 地下水调查结论

1、根据现场钻探结果，地下水埋深为 0.9~2.55m，地下水流向为由西北向东南。

2、根据送检的 6 份地下水样品检测结果，地块内地下水检出指标有 20 项，

地块内地下水共有 7 个指标含量超过了《地下水质量标准》(GB14848-2017) 的地下水IV类水质的相关限值, 出现超标: pH 值、氟化物、氯化物、氨氮、硫酸盐、锰和钨。

3、结合超标污染物点位图和历史生产资料, 造成地下水超标的原因可能是原辅、中间产物、产品和固废的跑冒滴漏使污染物下渗进而污染到地下水, 污染物随地下水迁移污染。

综上, 本地块污染来自于地块历史上的工业生产活动, 土壤环境初步调查阶段 6 个样品超过二类用地筛选值, 超标污染物为砷、汞、锰和钨。地下水初步调查 6 个点位均未达到《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV类标准限值。因此, **该地块为污染地块**, 需进行详细调查。

4.2 详细调查

4.2.1 布点方案

4.2.1.1 土壤采样方案

(1) 土壤监测点位的确定：

根据初步采样监测结果显示，地块存在污染物砷、汞、钨、锰超过 GB36600 等国家和地方相关标准，超标深度最大为 2.0m，则该地块可能存在环境风险，须进行详细调查。本阶段采用系统布点法按照 20m*20m 加密布设点位。

表 4.2-1 初步调查超标点位

编号	采样深度 (cm)	超标项目
T4-2	170-200	钨
T6-1	20-50	钨
T10-1	20-50	汞
T14-2	120-150	锰
T16-1	0-50	砷、钨
T30-2	120-150	钨

表 4.2-2 地块环境详细调查土壤采样点坐标

序号	点位名称	X (m)	Y (m)	点位布设依据	超标最大深度 (cm)
1	X1	439409.063	2556234.478	初调采集的 6 个地下水样品出现不同程度的超标现象，本地块地下水流向为自西向东，详调阶段在地下水上游方向增加布设地下水采样点，以此来查找地下水超标是否与地块有关	/
2	X2	439467.150	2556234.190	初调 T16 出现砷、钨超标现象	50
3	X3	439482.687	2556222.050	初调 T16 出现砷、钨超标现象	50
4	X4	439456.291	2556211.326	初调 T14、T16 出现砷、锰、钨超标现象	150
5	X5	439474.448	2556203.472	初调 T16 出现砷、钨超标现象	50
6	X6	439433.751	2556196.737	初调 T14 出现锰超标现象	150
7	X7	439467.247	2556185.326	初调 T14 出现锰超标现象	150
8	X8	439422.660	2556182.456	初调 T6 出现钨超标现象	50
9	X9	439440.169	2556174.114	初调 T14 出现锰超标现象	150
10	X10	439458.543	2556166.061	初调 T14 出现锰超标现象	150
11	X11	439396.478	2556171.702	初调 T6 出现钨超标现象	50
12	X12	439433.405	2556156.157	初调 T4、T6 出现钨超标现象	200
13	X13	439411.151	2556150.471	初调 T4、T6 出现钨超标现象	200
14	X14	439444.045	2556129.892	初调 T4 出现钨超标现象	200
15	X15	439507.011	2556125.136	初调 T30 出现钨超标现象	150
16	X16	439560.655	2556100.428	初调 T10 出现汞超标现象	50

序号	点位名称	X (m)	Y (m)	点位布设依据	超标最大深度 (cm)
17	X17	439522.491	2556092.051	初调 T30 出现钨超标现象	150
18	X18	439535.234	2556090.590	初调 T10 出现汞超标现象	50
19	X19	439553.021	2556083.889	初调 T10 出现汞超标现象	50
20	X20	439527.970	2556073.584	初调 T10 出现汞超筛选值标现象	50
21	X21	439554.038	2556060.253	初调 T10 出现汞超标现象	50
22	X22	439600.986	2556190.225	了解废水排放口区域是否有泄露情况	-
23	X23	439583.084	2556201.205	了解废水排放口区域是否有泄露情况	-
24	X24	439590.698	2556219.519	了解废水排放口区域是否有泄露情况	-
25	X25	439609.820	2556212.645	了解废水排放口区域是否有泄露情况	-

(2) 土壤采样深度

土壤分层采样原则严格按照建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)、《建设用地土壤污染防治 第 1 部分：污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020)、《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》(穗环办(2018)173 号)、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)的相关要求,表层土壤样品采集 0~0.5m, 0.5~6m 土壤采样间隔不超过 1m, 6m 以下土壤采样间隔不超过 2m。根据初调监测结果显示,超标最大深度为 2.0m, 则详调点位钻探深度拟为 4m, 每个钻孔拟采集 4 个样品;根据初步调查超筛结果有针对性的设置土壤采样深度范围,采样深度至初调采样监测确定的最大未超标筛选值深度,详细调查阶段共采集 117 个样品,不包括平行样。

4.2.1.2 地下水采样方案

初步调查阶段布设 6 口地下水监测井,采集的 6 个地下水样品中出现氨氮、硫酸盐、氟化物、氯化物、锰、钨等不同程度的超标现象,因此本次详细调查阶段,在初步调查阶段的基础上增设 4 个地下水监测井,采集 10 个地下水样品,布点依据详见表 4.2-3。

表 4.2-3 地块环境详细调查地下水采样点坐标

点位名称	X (m)	Y (m)	点位布设依据
X1/S1	439409.063	2556234.478	初调采集的 6 个地下水样品出现氨氮、锰、钨等不同程度的超标现象，本地块地下水流向为自西向东，详调阶段在地下水上游方向增加布设地下水采样点
X5/S2	439474.448	2556203.472	初调采集的 T16/W4 地下水样品检测出的污染物超标倍数较大，在 T16/W4 周围的下游方向布设地下水点位，对比查找污染的原因
X17/S3	439522.491	2556092.051	污水汇入口即为生产车间中潜在污染物的汇集处，详调阶段在污水汇入口、地下水下游方向布设一个地下水点位
X22/S4	439600.986	2556190.225	排污口为潜在污染物汇集处，详调阶段在排污管口布设一个地下水点位
W1/T1	439549.114	2556065.700	原料钛铁矿长期堆存，原矿中的潜在污染物可能随地面裂缝往下迁移；该点位位于地块的下游方向，可作为地下水下游方向对照点
W2/T4	439425.467	2556137.973	工业纯三氧化钨车间生产三氧化钨以及钛三车间生产钛白粉时期，生产过程原辅材料的堆放、转移、生产可能发生遗撒，磨矿、过筛产生粉尘，固废碱渣和除钼渣及生产废水的跑冒滴漏，可能造成潜在污染物可能随土壤及地下水往下迁移
W3/T9	439506.922	2556134.140	露天冷却水池冷却过程跑冒滴漏
W4/T16	439469.501	2556223.888	防遗漏点，生产过程中产生的粉尘通过大气沉降可能污染周围的土壤和地下水，此点位位于地块非重点区域，地下水上游方向，其土壤及地下水相对其他区域受到污染的可能性较小，作为地下水上游方向对照点
W5/T19	439581.035	2556210.301	搪瓷级水解水洗过程产生跑冒滴漏；污水处理站为地块内污水的汇集处，即为潜在污染物汇集处。
W6/T23	439640.336	2556297.815	后处理包括超微粉碎、浮选、表面处理并以烧碱中和，用离子交换水洗涤除去可溶性盐；后处理车间半成品的长期堆放及跑冒滴漏其潜在污染物下渗，四氯化钛泄漏可能向周边迁移，以及潜在污染物随雨水等汇集至此处；四氯化钛泄漏处土壤及地下水被污染的可能性较大。

4.2.1.3 采集工作量统计

表 4.2-4 采样工作量

阶段	采样类型	采样点数量	样品数量	平行样(5%)	检测样品数
初调阶段	土壤	37 (钻孔)	198	16	214
	地下水	6	6	1	7
详调阶段	土壤	25 (钻孔)	117	13	130
	地下水	10	10	2	12
	土工样	6	18	/	18

4.2.2 样品测试分析

4.2.2.1 土壤检测项目

根据初步调查监测结果显示，初步调查土壤样品出现砷、汞、钨、锰超过 GB36600 等国家和地方相关标准，结合初步调查监测的理化性质，则详细调查具体监测项目如下：

- ◆ 理化性质：pH、含水率
- ◆ 无机物：砷、汞、钨、锰、总氟化物

4.2.2.2 地下水检测项目

初步调查共在地块内布设了 6 个地下水采样点，共采集 7 份地下水样品（含 1 份平行样），根据检测报告显示初步调查阶段出现 pH 值、氟化物、氯化物、氨氮、硫酸盐、锰、钨超标现象，本次补充调查部采集地下水样，详细调查结合初步调查阶段监测的常规指标及初步调查土壤超标情况，详细调查阶段具体监测指标如下：

- ◆ 现场测定指标：水温、pH 值、电导率、浑浊度、溶解氧、氧化还原电位、色、嗅和味；
- ◆ 实验室测定指标：pH 值、氟化物、氯化物、氨氮、硫酸盐、锰、钨及 GB36600 中的 45 项。
 - ◆ 1) pH 值、铅、镉、砷、汞、铜、镍、六价铬；
 - ◆ 2) 氟化物、氯化物、氨氮、硫酸盐、锰、钨；
 - ◆ 3) VOCs (27 项)：四氯化碳、氯仿、氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-

二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯丙烷、1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、四氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、三氯乙烯、1,2,3-三氯丙烷、氯乙烯、苯、氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、乙苯、苯乙烯、甲苯、间二甲苯+对二甲苯、邻二甲苯；

◆ 4) SVOCs (11 项): 硝基苯、2-氯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘、苯胺。

4.2.3 污染评价标准

4.2.3.1 土壤评价标准

土壤评价标准及方法与初步调查阶段相一致，详见章节 4.1.3.1。

4.2.3.2 地下水评价标准

地下水评价标准及方法与初步调查阶段相一致，详见章节 4.1.3.2。

4.2.4 地质与水文地质调查结果

4.2.4.1 地层分布

根据地块勘察的钻孔资料，广州市钛白粉厂地块全场为水泥硬化面，水泥硬化面下覆盖填土，且填土层厚度不同区域有一定的差异，填土层下覆为淤泥质土、粉质粘土及中粗砂。地块浅部土层总体分布状况如下：

人工填土 (Q₄^{ml})

①素填土：层厚 1.00~4.00m，平均厚度 2.46m，层顶标高 3.25~4.32m，本层全部 37 个钻孔均有分布。素填土为杂色，由粉质粘土、中粗砂、砼块及碎石等堆填而成，稍湿，结构松散。

冲积层 (Q₄^{al})

②₁淤泥质土：层厚 0.40~3.50m，平均厚度 1.21m，层顶埋深 1.50~6.00m，层顶标高-1.96~2.52m，本层共 32 个钻孔均有分布。为深灰、灰黑色，饱和，流塑，含少量有机质及粉细砂。

②₂粉质粘土：层厚 1.00~9.00m，平均厚度 3.64m，层顶埋深 1.00~7.00m，层顶标高-3.34~3.32m，本层全部 37 个钻孔均有分布。为棕红、黄棕、灰黄、浅

灰白色，呈花斑状，湿，可塑，粘性较好，局部含少量粉细砂。

②₃ 中粗砂：层厚 0.80~2.50m，平均厚度 1.40m，层顶埋深 2.00~5.50m，层顶标高-1.38~2.12m，本层共 7 个钻孔有钻遇。为灰、灰黄色，饱和，松散，级配一般，成份为石英砂，磨圆较差，呈次棱角状。

根据现场钻探揭露，地块内土层构造主要有素填土层，淤泥质土层、粉质粘土层及中粗砂层。

4.2.4.2 土工实验结果

本次工作按照相关要求，针对粉质黏土，淤泥质粘土采集原状样送土工实验室分析物理性质常规指标，试验指标主要包括：含水率、土壤颗粒密度、有机质、土壤容重和渗透系数等。

表 4.2-5 土工实验结果

类别	含水率	土壤颗粒密度	渗透系数	有机质	土壤容重
单位	kg·kg ⁻¹	kg·dm ⁻³	cm/s	g·kg ⁻¹	kg·dm ⁻³
平均值	0.225	2.70	2.4E-04	14.4	1.55

4.2.4.3 地下水概况

场区内各钻孔所遇地下水为第四系孔隙水，素填土为上层滞水，属于中等透水性层；中粗砂层为场地主要含水层，属于中等~强透水性层，在场地呈透镜体状分布，故第四系孔隙含水层其分布范围内有一定涌水量。地下水位的变化与地下水的赋存、补给及排泄关系密切，排泄以大气蒸发或向低洼处进行排泄，年变化幅度 1.00~3.00m。勘察期间监测井概况见下表，详调测得地下水稳定水位埋深为 0.49~2.55。

4.2.5 土壤检测数据分析

4.2.5.1 地块土壤污染总体状况

(1) pH 值

本次详细调查共在地块内布设 25 个土壤采样点,共采集 130 份土壤样品(其中 13 份平行样),检测指标包含 pH、总氟化物、砷、汞、钨、锰共 6 项。

结合初步调查检测结果,本地块的所有样品的 pH 变化范围为 2.76~11.2,平均值为 6.944,最大值位于 X5 的 0.5m 处,最小值位于 T11 的 5.5m 出。将地块调查结果进行统计,按照《广东土种志》将土壤划分为酸性、微酸性、中性、微碱性和碱性,本地块土壤主要为碱性,占 34.29%,其次是酸性,占 32.70%。

结合对照点土壤的 pH 值及 pH 分布情况,对照点土壤呈现酸性微酸性,地块 2m 深度内土壤主要呈现碱性微碱性,下层土壤呈现酸性微酸性,说明地块土壤可能受到人为活动影响,表层土壤成碱性是因为原四氯化钛泄漏事故中对地块使用大量石灰进行应急处理导致,下层土壤呈现酸性微酸性主要是由于地块历史上长期使用硫酸作为生产原料,在生产过程中的跑冒滴漏和未妥善回收处理导致。

(2) 无机污染物

本次详细调查关注无机物指标有总氟化物、砷、汞、锰、钨共 5 项。结合初步调查、详细调查检测结果,广州市钛白粉厂地块主要超标污染物有砷、汞、锰和钨。

(3) 有机污染物

初步调查阶段共检出 14 种有机物,均未超过二类用地筛选值,因此本次详细调查阶段未加测有机物指标。

4.2.5.2 土壤污染平面分布状况

本地块调查阶段共布设 62 个土壤采样点,其中初步调查阶段 37 个,本次详细调查共 25 个土壤采样点,其中有 11 个点位出现超标,分别为 T4、T6、T10、T16、T30、T43、X2、X3、X11、X12、X13,其中砷超标点位为 T16 和 X2,汞超标点位为 T10,锰超标点位为 T14 和 X2,钨超标点位为 T4、T6、T16、T30、T43、X2、X3、X11、X12、X13。

4.2.5.3 土壤污染垂向分布状况

下图为各个超标污染物垂向分布图。根据污染物垂向分布图，地块内污染主要出现在浅层土壤，砷超标深度为 T16 的 0~0.5m 和 X2 的 1.7~2m 处，汞超标深度为 T10 的 0.2~0.5m 处，锰超标深度为 T14 的 1.2~1.5m 和 X2 的 1.7~2m 处，钨超标深度 T4 的 1.7~2.0m、T6 的 0.2~0.5m、T16 的 0~0.5m，T30 的 1.2~1.5m，处。X2 的 0.2~2m，X3 的 0.2~2 m、X11 的 1.5~1.8 m、X12 的 1.3~1.5 m、X13 的 1.2~3.4 m 处。

4.2.6 地下水调查结果与分析

本次调查共在地块内布设了 10 个地下水采样点，地下水埋深为 0.49~2.55m，共采集 10 份地下水样品。根据检测报告，共有 7 个指标出现超标：pH 值、氟化物、氯化物、硫酸盐、锰、砷和钨。

4.3 第二阶段污染状况调查结论

4.3.1 土壤调查结论

(1) 土壤总体状况

- 1、本次调查结果显示，地块内主要超标污染物有砷、汞、锰和钨。
- 2、根据《广东土种志》的土壤酸性分级，本地块土壤主要为碱性，占 34.29%，其次是酸性，占 32.7%。

(2) 土壤污染状况

- 1、本次调查共采集 62 个点位的 315 份土壤样品。根据检测结果，超标污染物为砷、汞、锰和钨。
- 2、土壤共检出 14 项有机物指标，均未超过二类用地筛选值。

(3) 土壤调查总结

- 1、地块内土壤重金属超标，有机物未出现超标情况且检出较低，地块为重金属污染不存在有机污染。
- 2、超标区域集中在工业纯三氧化钨车间、原露天煤场、锅炉房、原料仓库及原酸解沉降楼、冷却水池，推测造成地块内土壤重金属污染的原因主要是广州市钛白粉厂和内部的广州市红心化工厂生产活动造成的影响。

4.3.2 地下水调查结论

根据现场钻探结果，地下水埋深为 0.49~2.55m，地下水流向为由西北向东南。

- 2、本次调查共在地块内布设了 10 个地下水采样点，地下水埋深为 0.49~2.55m，共采集 10 份地下水样品。根据检测报告，共有 7 个指标出现超标：pH 值、氟化物、氯化物、硫酸盐、锰、砷和钨。

- 3、结合超标污染物点位图和历史生产资料，造成地下水超标的原因可能是原辅、中间产物、产品和固废的跑冒滴漏使污染物下渗进而污染到地下水，污染物随地下水迁移污染。

综上所述，第二阶段场地环境调查结果表明场地土壤和地下水存在不同程度的超过风险筛选值，需启动建设用地健康风险评估。其中对于广州市地下水而言，氨氮、氯化物和硫酸盐污染物均属于生活污水类监测指标，因此这三类常规监测指标将不作为地块关注污染物参与下一阶段的建设用地健康风险评估。

第五章 污染地块风险评估

5.1 风险评估工作程序及内容

地块风险评估工作程序包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和确定修复目标值。本次地块土壤风险评估程如章节 1.7 的图 1.7-1 所示。

5.2 危害识别

根据地块环境调查获取的资料，并结合地块土地的规划利用类型，明确污染地块的关注污染物、地块内污染物的浓度及空间分布和可能的敏感受体。

5.2.1 关注污染物

5.2.1.1 土壤关注污染物识别

根据初步调查和详细调查结果，依据地块未来规划，并依照《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)的第二类用地筛选值，筛选出地块土壤关注污染物为砷、镉、汞和钨，需要进入下一步风险计算环节。

表 5.2-1 地块土壤关注污染物筛选表

单位：mg/kg

序号	污染物类别	检测含量范围	第二类用地筛选值 (GB36600-2018)	是否关注污 染物
1	砷	0.44~124	60	是
2	镉	0.01~4.96	65	否
3	六价铬	ND	5.7	否
4	铜	4~1650	18000	否
5	铅	22~98.8	800	否
6	汞	0.009~78.7	38	是
7	镍	4~178	900	否
8	四氯化碳	ND	2.8	否
9	氯仿	ND	0.9	否
10	氯甲烷	ND	37	否

序号	污染物类别	检测含量范围	第二类用地筛选值 (GB36600-2018)	是否关注污 染物
11	1,1-二氯乙烷	ND	9	否
12	1,2-二氯乙烷	ND~0.0034	5	否
13	1,1-二氯乙烯	ND	66	否
14	顺-1,2-二氯乙烯	ND	596	否
15	反-1,2-二氯乙烯	ND	54	否
16	二氯甲烷	ND	616	否
17	1,2-二氯丙烷	ND	5	否
18	1,1,1,2-四氯乙烷	ND	10	否
19	1,1,2,2-四氯乙烷	ND	6.8	否
20	四氯乙烯	ND	53	否
21	1,1,1-三氯乙烷	ND	840	否
22	1,1,2-三氯乙烷	ND	2.8	否
23	三氯乙烯	ND	2.8	否
24	1,2,3-三氯丙烷	ND	0.5	否
25	氯乙烯	ND	0.43	否
26	苯	ND~0.0063	4	否
27	氯苯	ND	270	否
28	1,2-二氯苯	ND~0.0043	560	否
29	1,4-二氯苯	ND~0.0038	20	否
30	乙苯	ND~0.0205	28	否
31	苯乙烯	ND	1290	否
32	甲苯	ND~0.138	1200	否
33	间二甲苯+对二甲苯	ND~0.0616	570	否
34	邻二甲苯	ND~0.034	640	否
35	硝基苯	ND	76	否
36	苯胺	ND	260	否
37	2-氯酚	ND	2256	否

序号	污染物类别	检测含量范围	第二类用地筛选值 (GB36600-2018)	是否关注污 染物
38	苯并[a]蒽	ND~0.2	15	否
39	苯并[a]芘	ND~0.3	1.5	否
40	苯并[b]荧蒽	ND	15	否
41	苯并[k]荧蒽	ND	151	否
42	蒽	ND	1293	否
43	二苯并[a, h]蒽	ND	1.5	否
44	茚并[1,2,3-cd]芘	ND~0.1	15	否
45	萘	ND~0.24	70	否
46	石油烃 (C ₁₀ ~C ₄₀)	9~3990	4500	否
47	*铬	7~321	3740	否
48	*锌	17~7700	134000	否
49	*钼	0.08~27.4	2240	否
50	*钒	5.4~362	752	否
51	*锰	25.9~21900	16600	是
52	*钨	0.3~2893	447	是
53	*锡	1.54~51.2	268000	否
54	*钛	417~69700	743000	否
55	*总氟化物	77~11100	17000	否
56	氯离子	3.47~530	/	否

注：*指根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)计算风险控制值作为评价筛选值；**砷选择GB36600中的背景值作为标准。

5.2.1.2 地下水关注污染物识别

根据《广东省浅层地下水功能区划成果表(按地级行政区统计)》，该区地下水类型为孔隙水，现状水质类别为V类，地下水功能区水质类别保护目标为V类，根据《建设用土壤污染防治 第1部分：污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020)中的要求，地下水污染羽不涉及地下水饮用水源(在用、备用、应急、规划水源)补给径流区和保护区，采用GB/T14848—2017中的IV类标准。所

以本次地下水执行《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV类水质标准, 未列入上述标准的指标根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 计算风险控制值作为评价筛选值。本次出地下水关注污染物为氟化物、砷、锰、钨, 选表详见表 5.2-2。

因该地块所在区域及周边不饮用地下水, 根据《广东省生态环境厅关于转发建设用土壤污染状况调查、风险评估、风险管控及修复效果评估报告评审指南的通知》(2020年3月26日), 地下水暴露途径为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, 而地下水关注污染物氟化物、砷、锰、钨, 这些污染物不存在气态污染形态, 则无需考虑地下水中挥发物通过室内和室外蒸气暴露途径对人群造成的风险。综上, 地下水不存在暴露途径对受体产生健康风险, 本次不对地下水进行风险评估。

表 5.2-2 地下水关注污染物筛选表

序号	指标	检测范围	《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) IV 标准	是否关注污染物
1	pH	3.23~7.07	5.5~6.5/8.5~9.0	否
2	氟化物 (mg/L)	0.14~4.45	≤2.0	是
3	氯化物 (mg/L)	22~970	≤350	否
4	氨氮 (mg/L)	1.7~642	≤1.50	否
5	六价铬 (mg/L)	ND	≤0.10	否
6	硫酸盐 (mg/L)	152~2840	≤350	否
7	铜 (mg/L)	5.5~38.6	≤1.50	否
8	锰 (mg/L)	126~8370	≤1.50	是
9	*铬 (mg/L)	0.11~4.05	≤39.5	否
10	镍 (mg/L)	1.31~96.6	≤0.10	否
11	锌 (mg/L)	ND~0.24	≤5.00	否
12	铅 (mg/L)	0.18~13.4	≤0.10	否
13	镉 (mg/L)	ND~0.41	≤0.01	否
14	砷 (mg/L)	ND~71.9	≤0.05	是
15	*锡 (mg/L)	ND	≤15.8	否
16	钼 (mg/L)	0.11~17.4	≤0.15	否
17	*钒 (mg/L)	0.13~30.5	≤0.237	否
18	*钛 (mg/L)	ND~4.44	≤132	否
19	汞 (mg/L)	ND	≤0.002	否
20	*钨 (μg/L)	ND~1144	≤26.3	是

序号	指标	检测范围	《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) IV 标准	是否关注污染物
21	*石油烃 (C ₁₀ ~C ₄₀) (mg/L)	0.04~0.28	≤1.05	否
22	1,2-二氯乙烷	ND~1.8	/	否
23	萘 (μg/L)	ND	≤600	否
24	*蒽 (μg/L)	ND	≤161	否
25	*苯并(a)蒽 (μg/L)	ND	≤1.61	否
26	苯并(b)荧蒽 (μg/L)	ND	≤8.0	否
27	*苯并(k)荧蒽 (μg/L)	ND	≤16.1	否
28	苯并(a)芘 (μg/L)	ND	≤0.50	否
29	*二苯并(a,h)蒽 (μg/L)	ND	≤0.161	否
30	*茚并(1,2,3-cd)芘 (μg/L)	ND	≤1.61	否
31	多氯联苯	ND	≤10.0	否

注：*指根据《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 计算风险控制值作为评价筛选值。

5.2.2 地块污染概念模型

根据地块内平面布置图可知，地块面积小，生产工序较多，生产车间遍布调查地块，水处理区位于地块中部，冷却水池位于地块的南部，煤场位于地块的西侧，仓库位于地块南侧，办公楼位于地块北侧。通过资料收集和现场踏勘，并在分析地块历史生产产品、原辅材料、生产工艺的基础上，判定地块污染的可能途径主要有：

(1) 生产过程中原辅料及固体废物堆存期间的泄漏、使用过程中的遗洒、渗漏、尘沉降等；

(2) 厂房、设备等在拆迁过程中可能导致原本在车间、硬化地面或沟槽内的污染物进入土壤环境；

(3) 地块 2006 年进行钛白粉厂设备拆除，拆除过程中发生四氯化钛泄漏事故，易造成污染物进入土壤和地下水环境造成污染；另外，地块拆除过程中对地块原有环境扰动大，可能造成污染物的大范围迁移扩散。

(4) 煤堆场污染物渗漏扩散或清理不彻底造成周边环境污染。

地块污染概念模型见图 5.2-1。

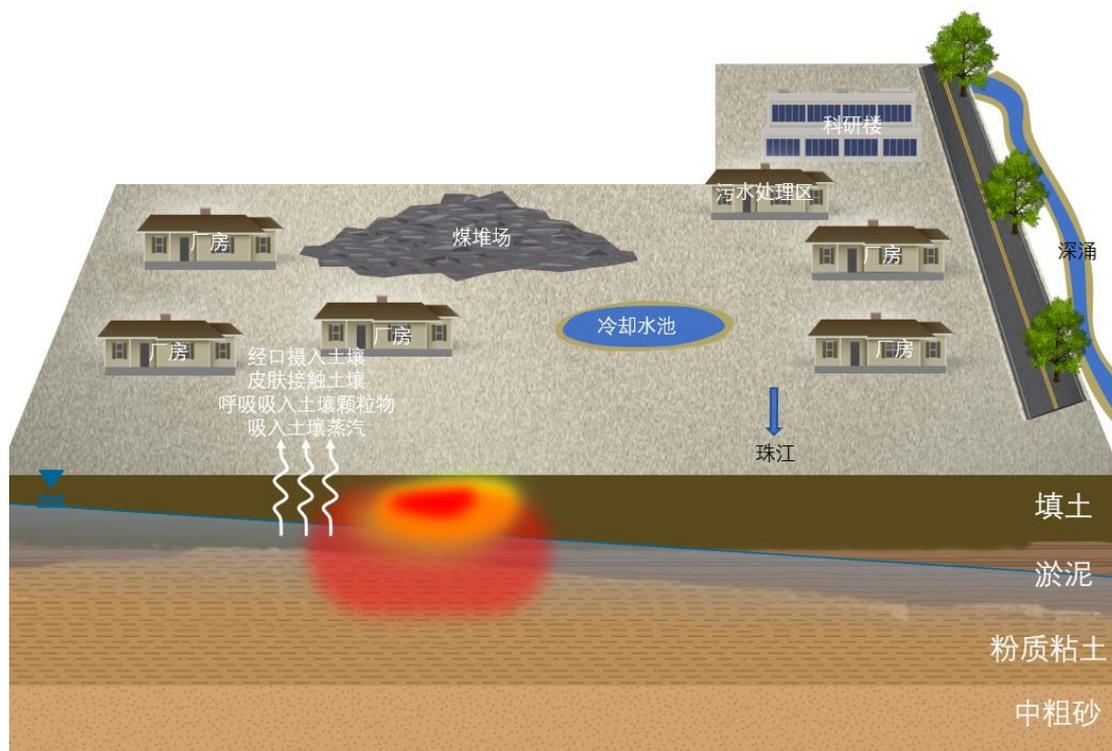


图 5.2-1 地块污染概念模型

5.2.2.1 污染来源分析

根据土壤污染状况调查结果，地块内污染源主要为红心化工厂及钛白粉厂生产时期废气废水废渣不妥善处理造成的土壤及地下水的污染：

(1) 红心化工厂：磨矿、过筛过程中的粉尘；存放使用液氨、盐酸过程中产生的挥发气体；工艺废渣中的碱渣和除钼渣；洗涤产生的废酸，重金属废水。

(2) 广州市钛白粉厂：

废气：一是酸解过程中有组织、间断排放出大量的含酸尾气，主要污染物是二氧化硫和酸雾；二是煅烧尾部连续排出的煅烧尾气；三是磨矿工艺的重金属粉尘。

废水：水洗酸性废水、煅烧工序产生的酸性废水，各工序的冲洗废水等，其中含有游离硫酸、硫酸亚铁、偏钛酸和其它金属离子硫酸盐等。

废渣：一是酸解沉降后的残渣，主要成分是未分解的钛铁矿、金红石、锆英石、脉石、泥砂、硫酸亚铁、游离硫酸和部分可溶性钛；二是煤场中煤矿的堆存。

其他：2006年四氯化钛泄露事故及地块拆卸时期可能造成的污染。

本地块土壤关注污染物为砷、锰、汞和钨，土壤关注污染物主要集中在红心化工厂、酸解沉降楼、煤场及其附近、钛铁仓库、冷冻浓缩车间和污水排放口。

地下水的关注污染物为氟化物、砷、锰、钨，地下水关注污染物主要集中在污水处理站、钛铁仓库及地下水下游方向、红心化工厂、煤场。

5.2.2.2 污染物迁移机制

污染物迁移是指污染物在环境中发生空间位置的移动及其所引起的污染物的富集、扩散和消失的过程。结合场地历史及现状，场地内污染物可能通过以下几种污染扩散途径进行迁移，其污染扩散途径包括为：

(1) 大气扩散：风吹日晒引起的粉尘及其他地表附着物的扩散会对更广的地表区域造成污染；

(2) 地表污染物水平迁移：污染物可能通过跑冒滴漏、遗撒、堆放等途径落地或者构筑物和设备拆迁过程中，表面污染物的散落和扩散，后随地表径流或粉尘扩散等进行水平的迁移，在迁移路径上污染物吸附于土壤介质；

(3) 污染物垂直向下迁移：浅层的污染物随地表水淋溶后，以离子形态下渗，在下渗过程中吸附在土壤介质表面或溶解于降水进而影响通过途径的土壤及地下水。

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

根据水文地质资料和前述分析，地块地势平坦，地块东侧为深涌南侧为珠江，地块地下水为第四系孔隙水，素填土为上层滞水，属于中等透水层，中粗砂层为场地主要含水层，属于中等~强透水层，在场地呈透镜体状分布，故第四系孔隙含水层其分布范围内有一定涌水量。地块易受到外部环境的影响，季节性较明显。补给来源主要是大气降水和地表水下渗补给，以径流的形式向下游排泄。浅层地下水流向可能会受降雨与周边地表水体的影响，特别是东侧的深涌及南侧的珠江的影响较大，地下水流向深涌及珠江中，大致从西侧向东侧及东南侧流。因此污染物由地下水迁移也受降雨与周边地表影响，但是主要是从西侧向东侧及东南侧迁移扩散。

本地块地下土壤和地下水污染可能源于污染物的下渗作用，结合土壤超标点位和地块生产时期平面布置图，土壤及地下水污染物可能来自原矿、煤矿、中间产物和三氧化钨的长期堆存及生产废水的跑冒滴漏造成。

5.2.3 敏感受体

根据《广东省城市控制性详细规划管理条例》(2014 修正)和《金融城东区控制性详细规划》(穗府函[2019]139 号),地块所在地规划为商务设施用地(B2)、公园绿地(G1),即本地块按照《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中规定的第二类用地进行评价,故本地块采用第二类用地暴露情景进行风险评估。根据本地块未来的使用情况,可分为三个阶段,即地块现有利用阶段、地块修复阶段和地块开发阶段。

(1) 地块现有利用及地块修复阶段

因该地块现处于空旷的状态,周边为正修建的金融城,在这两个阶段,项目管理人员与建筑拆除及修复施工人员将是主要的污染受体,主要受体为成人。土壤暴露途径包括经口摄入、皮肤接触、吸入空气中土壤颗粒物、吸入室外空气中气态污染物等途径。

(2) 地块开发利用阶段

根据《广东省城市控制性详细规划管理条例》(2014 修正)和《金融城东区控制性详细规划》(穗府函[2019]139 号),地块所在地规划为商务设施用地(B2)、公园绿地(G1),为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中规定的第二类用地。因此,在未来使用阶段,该地块主要受体为成人。本地块所在区域不涉及饮用地下水的情况,则无饮用地下水途径。因此土壤暴露途径包括经口摄入、皮肤接触、吸入空气中土壤颗粒物、吸入室外空气中气态污染物、吸入室内空气中气态污染物途径等途径。

5.3 暴露评估

5.3.1 暴露情景

暴露情景是指特定土地利用方式下,地块污染物经由不同途径迁移和到达受体人群的情况。根据不同土地利用方式下人群的活动模式,主要有 2 类典型用地方式下的暴露情景,即以住宅用地为代表的第二类用地(简称“第二类用地”)和以工业用地为代表的第二类用地(简称“第二类用地”)的暴露情景。暴露情景主要根据三个方面的因素进行确定。三个方面的因素包括:

- 1、地块内污染源的相关信息,包括关注污染物的浓度、毒性及理化性质等;
- 2、污染的迁移模式及地块的特征信息,包括污染物通过空气、水体及土壤

迁移的可能性，地块的土地利用方式，地块内土壤及地下水的特征信息等；

3、地块内敏感人群的相关信息，包括敏感人群组成、地块内的活动时间及频率等。

当地块面积较大、地块内污染物分布不均匀、地块内曾经有明显区块划分等情况时，应根据实际情况按照不同的暴露情景对地块各区域分别进行暴露评估。在确定暴露情景后，根据暴露情景的三个因素，确定该暴露情景下存在的所有暴露途径，并对地块进行暴露评估。

本项目地块未来规划为为商务设施用地（B2）及公园绿地（G1），属于第二类用地的暴露情景，依据《建设用地土壤污染状况调查风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），第二类用地方式下，成人的暴露期长、暴露频率高，一般根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌效应。敏感人群不包含儿童。

5.3.2 暴露途径

本地块未来作为商务设施用地（B2）和公园绿地（G1），即为 GB36600 中规定的第二类用地，本地块土壤关注污染物主要为砷、汞、锰、钨。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）》，在风险评估阶段对地块污染土壤的具体再利用方式或分层再利用方式尚不明确，原下层土壤开挖后有可能会变成表层土壤，或开挖过程会与表层土壤发生混合的情况，原则上不进行分层，整体按照表层土进行评价。

根据《建设用地土壤污染状况调查风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《地下水污染健康风险评估工作指南》（2019年9月）及《广东省生态环境厅关于转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》（2020年3月26日）可知：

（1）土壤

土壤关注污染物砷、锰、钨不具有挥发性，暴露途径为经口摄入土壤、皮肤接触土壤和吸入土壤颗粒物 3 种。土壤关注污染物汞具有挥发性，其作为表层和下层土壤考虑风险，暴露途径为经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物和吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物 6 种。

（3）地下水

地下水的关注污染物为氟化物、砷、锰、钨。因该地块所在区域及周边不饮用地下水，根据《广东省生态环境厅关于转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》（2020年3月26日），地下水暴露途径为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，而地下水关注污染物氟化物、砷、锰、钨，这些污染物不存在气态污染形态，则无需考虑地下水中挥发物通过室内和室外蒸气暴露途径对人群造成的风险。综上，地下水不存在暴露途径对受体产生健康风险，本次不对地下水进行风险评估。地块污染物暴露途径详见表 5.3-1。

表 5.3-1 地块暴露途径

污染物	污染源	经口摄入土壤	皮肤接触土壤	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的污染物
砷	土壤	√	√	√			
锰	土壤	√	√	√			
钨	土壤	√	√	√			
汞	土壤	√	√	√	√	√	√

根据地块污染源、污染物迁移途径、敏感受体（成人）以及暴露途径分析，建立本地块的“污染源-途径-受体”概念模型，示意图见图 5.3-1。

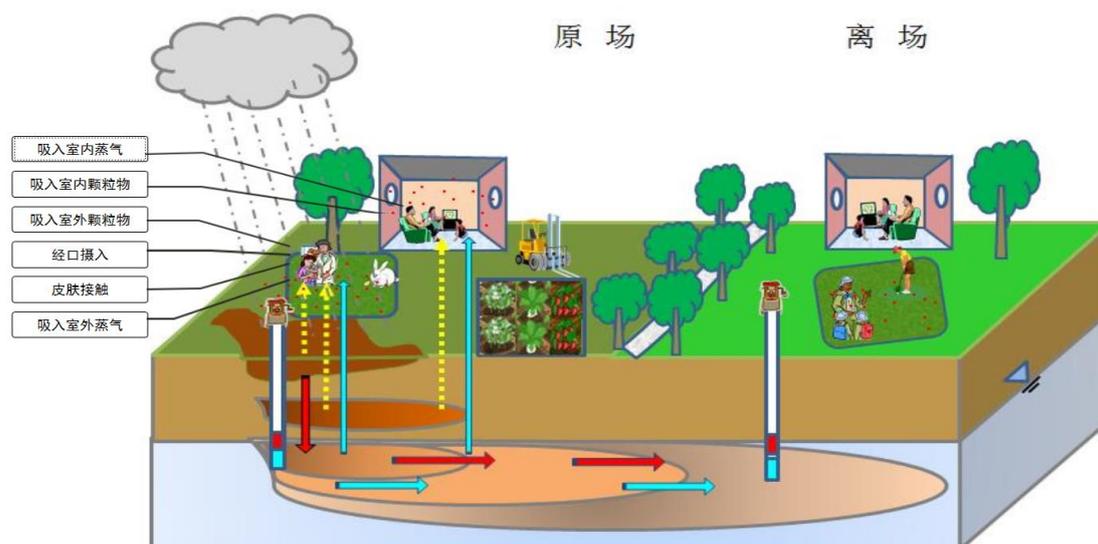


图 5.3-1 地块暴露概念模型示意图

注：图中黄色箭头表示污染物蒸汽、土壤颗粒汽迁移方向，红色箭头表示污染物的迁移方向，蓝色箭头表示地下水的迁移方向。

5.3.3 暴露评估模型

本地块未来利用规划为第二类用地，地块的暴露评估模型按照第二类用地计算暴露量，根据《建设用地土壤污染状况调查风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)，评估模型如下：

(1) 经口摄入土壤途径计算

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害，经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用如下公式计算：

$$OISER_{ca} = \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \text{公式 5.3-1}$$

公式中：

$OISER_{ca}$ 一经口摄入土壤暴露量（致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

$OSIR_a$ 一成人每日摄入土壤量， $mg \cdot d^{-1}$ ；

ED_a 一成人暴露期， a ：推荐值见（HJ25.3-2019）附录 G 表 G.1；

EF_a 一成人暴露频率， $d \cdot a^{-1}$ ；

BW_a 一成人体重， kg ，推荐值见（HJ25.3-2019）附录 G 表 G.1；

ABS_o 一经口摄入吸收效率因子，无量纲；

AT_{ca} 一致癌效应平均时间， d 。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期暴露受到的危害，经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用如下公式计算：

$$OISER_{nc} = \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \text{公式 5.3-2}$$

公式中：

$OISER_{nc}$ 一经口摄入土壤暴露量（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

$OSIR_a$ 一成人每日摄入土壤量， $mg \cdot d^{-1}$ ；推荐值见附录 G 表 G.1；

AT_{nc} 一非致癌效应平均时间， d ；推荐值见附录 G 表 G.1；

EF_a 一成人暴露频率， $d \cdot a^{-1}$ ；

ED_a 一成人暴露期， a ：推荐值见（HJ25.3-2019）附录 G 表 G.1；

BW_a —成人体重, kg, 推荐值见 (HJ25.3-2019) 附录 G 表 G.1;

ABS_o —经口摄入吸收效率因子, 无量纲。

(2) 皮肤接触土壤途径计算

对于单一污染物的致癌效应, 考虑人群在成人期暴露的终生危害, 皮肤接触土壤途径对应的土壤暴露量采用如下公式计算:

$$DCSER_{ca} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \text{公式 5.3-3}$$

公式中:

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

SAE_a —成人暴露皮肤表面积, cm^2 ;

$SSAR_a$ —成人皮肤表面土壤粘附系数, $mg \cdot cm^{-2}$;

ABS_d —皮肤接触吸收效率因子, 无量纲; 推荐值见 (HJ25.3-2019) 附录 B 表 B.1;

E_v —每日皮肤接触事件频率, d^{-1} ;

EF_a —成人暴露频率, $d \cdot a^{-1}$;

ED_a —成人暴露期, a: 推荐值见 (HJ25.3-2019) 附录 G 表 G.1;

BW_a —成人体重, kg, 推荐值见 (HJ25.3-2019) 附录 G 表 G.1;

AT_{ca} —致癌效应平均时间, d。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在成人期暴露受到的危害, 皮肤接触土壤途径对应的土壤暴露量采用如下公式计算:

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \text{公式 5.3-4}$$

公式中:

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

SAE_a —成人暴露皮肤表面积, cm^2 ;

$SSAR_a$ —成人皮肤表面土壤粘附系数, $mg \cdot cm^{-2}$;

ABS_d —皮肤接触吸收效率因子, 无量纲; 推荐值见 (HJ25.3-2019) 附录 B 表 B.1;

E_v —每日皮肤接触事件频率，次·d⁻¹；

EF_a —成人暴露频率，d·a⁻¹；

ED_a —成人暴露期，a：推荐值见（HJ25.3-2019）附录 G 表 G.1；

BW_a —成人体重，kg，推荐值见（HJ25.3-2019）附录 G 表 G.1；

AT_{nc} —非致癌效应平均时间，d。

（3）吸入土壤颗粒物途径计算

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害，吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量，采用如下公式计算：

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \text{公式 5.3-5}$$

公式中：

$PISER_{ca}$ —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；

PM_{10} —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；

$PIAF$ —吸入土壤颗粒物在体内滞留比例，无量纲；

f_{spi} —室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例，无量纲；

f_{spo} —室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例，无量纲；

EFI_a —成人的室内暴露频率，d·a⁻¹；

EFO_a —成人的室外暴露频率，d·a⁻¹；

ED_a —成人暴露期，a；

BW_a —成人体重，kg，

AT_{ca} —致癌效应平均时间，d。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期暴露危害，吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用如下公式计算：

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \text{公式 5.3-6}$$

公式中：

$PISER_{nc}$ —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；

PM₁₀—空气中可吸入浮颗粒物含量, mg·m³;

DAIR_a—成人每日空气呼吸量, m³·d⁻¹;

PIAF—吸入土壤颗粒物在体内滞留比例, 无量纲;

f_{spi}—室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例, 无量纲;

f_{spo}—室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例, 无量纲;

EF_{ia}—成人的室内暴露频率, d·a⁻¹;

EFO_a—成人的室外暴露频率, d·a⁻¹;

ED_a—成人暴露期, a;

BW_a—成人体重, kg;

AT_{nc}—非致癌效应平均时间, d。

(4) 吸入室外空气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, 考虑人群在成人期暴露的终生危害, 吸入室外空气来自表层土壤气态污染物对应的土壤暴露量, 采用如下计算公式计算:

$$IOVER_{cal} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \quad \text{公式 5.3-7}$$

式中:

IOVER_{cal}—吸入室外空气来自表层土壤的气态污染物途径暴露量(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·m⁻³

DAIR_a—成人每日空气呼吸量, m³·d⁻¹;

EFO_a—成人的室外暴露频率, d·a⁻¹;

ED_a—成人暴露期, a;

BW_a—成人体重, kg;

AT_{ca}—致癌效应平均时间, d;

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在成年期的暴露危害, 吸入室外空气来自表层土壤气态污染物对应的土壤暴露量, 采用如下计算公式计算:

$$IOVER_{ncl} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}} \quad \text{公式 5.3-8}$$

公式中:

IOVER_{ncl}—吸入室外空气来自表层土壤的气态污染物途径暴露量(非致癌效

应), $\text{kg 土壤}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$;

VF_{surao} —表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

$DAIR_a$ —成人每日空气呼吸量, $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$;

EFO_a —成人的室外暴露频率, $\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$;

ED_a —成人暴露期, a ;

BW_a —成人体重, kg ;

AT_{nc} —非致癌效应平均时间, d ;

(5) 吸入室外空气重来自下层土壤的气态污染物途径

对单一污染物的致癌效应, 考虑人群在成人期暴露的终生危害, 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计算式如下:

$$IOVER_{\text{ca}2} = VF_{\text{suboa}} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{\text{ca}}} \quad \text{公式 5.3-9}$$

公式中:

$IOVER_{\text{ca}2}$ —吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径暴露量 (致癌效应), $\text{kg 土壤}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$;

VF_{suboa} —下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

$DAIR_a$ —成人每日空气呼吸量, $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$;

EFO_a —成人的室外暴露频率, $\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$;

ED_a —成人暴露期, a ;

BW_a —成人体重, kg ;

AT_{ca} —致癌效应平均时间, d ;

对单一污染物的致癌效应, 考虑人群在成人期暴露的终生危害, 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计算式如下:

$$IVOER_{\text{nc}2} = VF_{\text{suboa}} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{\text{nc}}} \quad \text{公式 5.3-10}$$

公式中:

$IVOER_{\text{nc}2}$ —吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径暴露量 (非致癌效应), $\text{kg 土壤}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$;

VF_{suboa} —下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

$DAIR_a$ —成人每日空气呼吸量, $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$;

EFO_a —成人的室外暴露频率, $d \cdot a^{-1}$;

ED_a —成人暴露期, a ;

BW_a —成人体重, kg ;

AT_{nc} —非致癌效应平均时间, d ;

(6) 吸入室内空气重来自下层土壤的气态污染物途径

对单一污染物的致癌效应, 考虑人群在成人期暴露的终生危害, 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计算式如下:

$$IOVER_{ca1} = VF_{subia} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \quad \text{公式 5.3-11}$$

公式中:

$IOVER_{ca1}$ —吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径暴露量(致癌效应), $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$;

VF_{subia} —下层土壤中污染物扩散进入室内空气的挥发因子, $kg \cdot m^{-3}$;

$DAIR_a$ —成人每日空气呼吸量, $m^3 \cdot d^{-1}$;

EFO_a —成人的室外暴露频率, $d \cdot a^{-1}$;

ED_a —成人暴露期, a ;

BW_a —成人体重, kg ;

AT_{ca} —致癌效应平均时间, d ;

对单一污染物的致癌效应, 考虑人群在成人期暴露的终生危害, 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计算式如下:

$$IOVER_{nc1} = VF_{subia} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}} \quad \text{公式 5.3-12}$$

公式中:

$IOVER_{nc1}$ —吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径暴露量(非致癌效应), $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$;

VF_{sua} —下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子, $kg \cdot m^{-3}$;

$DAIR_a$ —成人每日空气呼吸量, $m^3 \cdot d^{-1}$;

EFO_a —成人的室外暴露频率, $d \cdot a^{-1}$;

ED_a —成人暴露期, a ;

BW_a —成人体重, kg ;

AT_{nc}—非致癌效应平均时间，d；

5.3.4 受体暴露参数

项目地块的敏感受体主要为在此处活动的成人及儿童，计算人体健康风险时使用的受体暴露参数主要来源于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）及《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）》，详见表 5.3-2。

表 5.3-2 受体暴露参数表

符号	含义	单位	二类用地
EDa	成人暴露期	a	25
EFa	成人暴露频率	d·a ⁻¹	250
EF _{1a}	成人室内暴露频率	d·a ⁻¹	187.5
EF _{0a}	成人室外暴露频率	d·a ⁻¹	62.5
*BW _a	成人平均体重	kg	61.3
*H _a	成人平均身高	cm	162
DAIR _a	成人每日空气呼吸量	m ³ ·d ⁻¹	14.5
*GWCR _a	成人每日饮用水量	L·d ⁻¹	1.7
OSIR _a	成人每日摄入土壤量	mg·d ⁻¹	100
Ev	每日皮肤接触事件频率	次·d ⁻¹	1
fspi	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	无量纲	0.8
fspo	室外空气中来自土壤的颗粒物比例	无量纲	0.5
SAF	暴露于土壤的参考剂量分配比例(SVOCs 和重金属)	无量纲	0.5
WAF	暴露于地下水的参考剂量分配比例(SVOCs 和重金属)	无量纲	0.5
SER _a	成人暴露皮肤所占体表面积比	无量纲	0.18
SSAR _a	成人皮肤表面土壤粘附系数	mg·cm ⁻²	0.2
PIAF	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	无量纲	0.75
ABSo	经口摄入吸收因子	无量纲	1
ACR	单一污染物可接受致癌风险	无量纲	0.000001
AHQ	单一污染物可接受危害熵	无量纲	1
*AT _{ca}	致癌效应平均时间	d	27920
AT _{nc}	非致癌效应平均时间	d	9125
SAF	暴露于土壤的参考剂量分配比例(VOCs)	无量纲	0.33
WAF	暴露于地下水的参考剂量分配比例(VOCs)	无量纲	0.33

注：*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）》

5.3.5 地块特征参数

地块主要特征参数是利用地块实测数据，如相关数据缺失，则参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的推荐值。地块特征参数详见表 5.3-3。

表 5.3-3 地块特征参数表

符号	含义	单位	取值	数据来源
d	表层污染土壤层厚度	cm	/	实测
L _s	下层污染土壤层埋深	cm	/	实测
d _{sub}	下层污染土壤层厚度	cm	/	实测
A	污染源区面积	cm ²	1.6×10 ⁷	HJ25.3-2019
L _{gw}	地下水埋深	cm	165	实测取平均值
符号	含义	单位	取值	来源
f _{om}	土壤有机质含量	g·kg ⁻¹	14.4	实测取平均值
ρ _b	土壤容重	kg·dm ⁻³	1.55	实测实测取平均值
P _{ws}	土壤含水率	kg·kg ⁻¹	0.23	实测实测取平均值
ρ _s	土壤颗粒密度	kg·dm ⁻³	2.70	实测实测取平均值
PM ₁₀	空气中可吸入颗粒物含量	mg·m ⁻³	0.05	省技术要点
U _{air}	混合区大气流速风速	cm·s ⁻¹	220	省技术要点
δ _{air}	混合区高度	cm	200	HJ25.3-2019
W	污染源区宽度	cm	4000	HJ25.3-2019
h _{cap}	土壤地下水交界处毛管层厚度	cm	5	HJ25.3-2019
h _v	非饱和土层厚度	cm	246	实测取平均值
θ _{acap}	毛细管层孔隙空气体积比	无量纲	0.038	HJ25.3-2019
θ _{wcap}	毛细管层孔隙水体积比	无量纲	0.342	HJ25.3-2019
U _{gw}	地下水达西（Darcy）速率	cm·a ⁻¹	2500	HJ25.3-2019
δ _{gw}	地下水混合区厚度	cm	200	HJ25.3-2019
I	土壤中水的入渗速率	cm·a ⁻¹	30	HJ25.3-2019
符号	含义	单位	取值	来源

θ_{crack}	地基裂隙中空气体积比	无量纲	0.26	HJ25.3-2019
$\theta_{\text{water crack}}$	地基裂隙中水体积比	无量纲	0.12	HJ25.3-2019
L_{crack}	室内地基厚度	cm	35	HJ25.3-2019
L_B	室内空间体积与气态污染物入渗面积之比	cm	300	HJ25.3-2019
ER	室内空气交换速率	次·d ⁻¹	20	HJ25.3-2019
η	地基和墙体裂隙表面积所占面积	无量纲	0.0005	HJ25.3-2019
τ	气态污染物入侵持续时间	a	25	HJ25.3-2019
dP	室内室外气压差	$\frac{\text{g} \cdot \text{cm}^{-1}}{\text{s}^2}$	0	HJ25.3-2019
K_v	土壤透性系数	cm ²	4.44E-06	HJ25.3-2019
Z_{crack}	室内地面到地板底部厚度	cm	35	HJ25.3-2019
X_{crack}	室内地板周长	cm	3400	HJ25.3-2019
Ab	室内地板面积	cm ²	700000	HJ25.3-2019

5.3.6 暴露量计算结果

根据暴露评估模型及相关参数，计算出本地块土壤关注污染物各暴露途径的暴露量分别见表 5.3-4。

表 5.3-4 该地块土壤污染物暴露量计算结果

污染物	经口摄入土壤途径	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物
致癌						
砷	3.65E-07	6.60E-08	1.44E-09	-	-	-
锰	3.65E-07	-	1.44E-09	-	-	-
钨	3.65E-07	-	1.44E-09	-	-	-
汞	3.65E-07	-	1.44E-09	2.55E-08		
非致癌						
砷	1.12E-06	2.02E-07	4.40E-09	-	-	-
锰	1.12E-06	-	4.40E-09	-	-	-
钨	1.12E-06	-	4.40E-09	-	-	-

污染物	经口摄入土壤途径	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物
汞	1.12E-06	-	4.40E-09	7.81E-08		

5.4 毒性评估

在危害识别的工作基础上，分析关注污染物对人体健康的危害效应。根据关注污染物毒理学性质的不同将分别考虑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。

5.4.1 关注污染物毒性性质

本地块规划用地为公园绿地（G1）和商务设施用地（B2），地块土壤关注污染物为砷、锰、钨和汞，关注污染物的毒性性质详见表 5.4-1。

表 5.4-1 关注污染物毒性性质

序号	污染物	毒性性质
1	砷	<p>砷属于类金属，一般在自然界中以氧化物、氯化物或者硫化物的无机化合物形式存在。砷还能用于合成有机化合物，例如甲基砷酸，二甲基砷酸等。砷的主要价态有：-3，0，+3 及+5 价，自然界中的砷大部分以+3 或者+5 价的无机化合物形式存在。无机砷化合物在土壤中的迁移能力，受土壤 pH 值，氧化还原电位，生化反应，以及其与土壤颗粒之间的吸附作用影响。砷易于吸附在粘土物质，有机质，以及铁、铝、锰的氢氧化物沉淀上。</p> <p>砷属于剧毒物质，虽各种砷化物的毒性有所不同，如研究表明亚砷酸盐（As[III]）的毒性强于砷酸盐（As[V]），但差异并不明显，只有砷化氢的毒性远高于其他的无机砷化物。据研究，成人直接摄入无机砷化物的致死剂量为 1~3 mg/kg。</p> <p>致癌性：国际癌症研究署（IARC）提供的化学物质致癌效应分类清单（2019 年）中，砷属于 Group1 类，即对人类的致癌性证据充足。</p> <p>无机砷化物可以通过呼吸、直接摄入和皮肤接触三种主要途径进入人体。呼吸摄入会引发肺癌、呼吸道炎症、皮肤炎症及神经系统紊乱等病状。皮肤接触一般会引发局部皮肤炎症及湿疹。直接摄入会引起皮肤角质化（特别是手掌与脚掌），同时还会引起末梢血管病变，如发绀病，坏疽等。直接摄入还会引发心血管疾病，急性或者慢性砷中毒还会造成肠胃炎，引发恶心，呕吐，腹泻等症状。此外，急性中毒还会导致大脑供能障碍，例如意识错乱，产生幻觉，记忆模糊及情绪不稳定等，长期慢性中毒还会导致末梢神经病变，在手足部产生针刺感。</p>

序号	污染物	毒性性质
2	锰	<p>锰是一种脆而硬的银灰色金属。其化学活性与铁近似，暴露于空气后表面即被氧化。。锰的化合物超过 60 余种，其中以二氧化锰最稳定。长期密切接触锰化合物而又缺乏防护，可引起慢性锰中毒，职业环境中，接触锰的机会会有锰矿石开采、运输加工、冶炼，电焊条的制造和使用，干电池生产和染料工业中的部分岗位作业。</p> <p>锰主要以烟尘形式经呼吸道吸收，以离子 (Mn^{3+}) 状态贮存于肝、胰、肾、脑等器官细胞中。当细胞内锰浓度超过一定限度时，损伤细胞线粒、耗竭、多巴胺，阻止能量代谢，引起中毒。职业环境中锰中毒主要为慢性中毒，多发于从事锰铁冶炼，电焊条制造和使用的作业工人。</p> <p>引起发病的锰的空气浓度在 1—173mg/m³ 之间，发病工龄一般为 5-10 年。患者主要表现为神经毒性的症状和体征：嗜睡、对周围事物缺乏兴趣、精神萎靡、注意力涣散、记忆力减退、四肢麻木、疼痛、小腿肌痉挛，随着病情发展，症状加重。实验室检查可见粪锰、尿锰增加，脑电图异常。</p>
3	钨	<p>钨是一种银白色金属，钨熔点高，蒸气压很低，蒸发速度也较小，对熔融碱金属和蒸气有良好的耐蚀性能。钨的化学性质很稳定，常温时不跟空气和水反应，不加热时，任何浓度的盐酸、硫酸、硝酸、氢氟酸以及王水对钨都不起作用，当温度升至 80°-100°C 时，上述各种酸中，除氢氟酸外，其它的酸对钨发生微弱作用。常温下，钨可以迅速溶解于氢氟酸和浓硝酸的混合酸中，但在碱溶液中不起作用，钨只有在 1000°C 以上才出现氧化物挥发和液相氧化物。钨是一种分布较广泛的元素，几乎遍见于各类岩石中，但含量较低。钨在地壳中的含量为 0.001%，在花岗岩中含量平均为 1.5×10^{-6}。</p> <p>有试验表明，金属钨粒的溶解会对环境产生负面影响，包括土壤酸化、对植物、土壤微生物和无脊椎动物产生直接或间接的毒性。生理学研究表明在老鼠肠系膜动脉中，钨丝表面氧化作用使 Ca^{2+} 和乙酰胆碱引发的松弛反应。由于钨类物质和水体化学性质的复杂性，至今还未能确定哪类钨类物质造成这些毒性影响。</p>
4	汞	<p>汞是银白色液态金属，在常温下可挥发，洒落可形成小水珠。汞侵入途径为吸入、食入、经皮吸收。短期内大量吸入汞蒸气后引起急性中毒，病人有头痛、头晕、乏力、多梦、睡眠障碍、易激动、手指震颤、发热等全身症状，并有明显口腔炎表现。可有食欲不振、恶心、腹痛、腹泻等。部分患者皮肤出现红色斑丘疹。呼吸道刺激症状有咳嗽、咳痰、胸痛、胸闷等，严重者可发生化学性肺炎，可引起肾脏损伤。口服可溶性汞盐引起急性腐蚀性胃肠炎，严重者发生昏迷、休克、急性肾功能衰竭。慢性中</p>

序号	污染物	毒性性质
		毒最早出现头痛、头晕、乏力、记忆减退等神经衰弱综合征，并购有口腔炎，严重者可有明显的性格改变，汞毒性震颤及四肢共济失调等中毒脑病表现，可伴有肾脏损害。

5.4.2 污染物毒性效应分析

5.4.2.1 非致癌物质毒性效应

对于非致癌物质，假定其高浓度条件下都会产生不良的健康效应；然而，当剂量非常低时，不存在或观察不到典型的不良效应。因此，定性化学物质的非致癌效应时，关键参数是阈值剂量。阈值指在此剂量下不良的效应开始出现。低于阈值剂量被认为是安全的，而高于阈值剂量可能会导致不良的健康效应。

非致癌效应毒性参数包括呼吸吸入参考浓度（RfC）、呼吸吸入参考剂量（RfDi）、经口摄入参考剂量（RfDo）和皮肤接触参考剂量（RfDd）。污染物非致癌效应毒性参数 RfDo 和 RfDd 推荐值见表 5.4-2。

呼吸吸入参考剂量（RfDi），根据表 5.4-2 中的呼吸吸入参考浓度（RfC）外推计算得到。皮肤接触参考剂量（RfDd），根据表 5.4-2 中的经口摄入参考剂量（RfDo）外推计算获得。

呼吸吸入参考剂量（RfDi）和参考剂量（RfDd）的计算过程分别如下：

$$RfDi = \frac{RfC \cdot DAIR_a}{BW_a} \quad \text{公式 5.4-1}$$

$$RfDd = RfDo \cdot ABS_{gi} \quad \text{公式 5.4-2}$$

公式中：

RfDo—经口摄入参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

RfDd—皮肤接触参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

ABS_{gi}—消化道吸收效率因子，无量纲。

RfDi—呼吸吸入参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

RfC—呼吸吸入参考浓度，mg·m⁻³；

DAIR_a—成人每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；

BW_a—成人体重，kg。

5.4.2.2 致癌物质毒性效应

致癌效应毒性参数包括呼吸吸入单位致癌因子（IMR）、呼吸吸入致癌斜率因子（SF_i）、经口摄入致癌斜率因子（SF_o）和皮肤接触致癌斜率因子（SF_d）。污染物的致癌效应毒性参数 SF_o 和 IMR 的推荐值见表 5.4-2。

呼吸吸入致癌斜率因子（SF_i），根据表 5.4-2 中的呼吸吸入单位致癌因子（IMR）外推计算获得；皮肤接触致癌斜率系数（SF_d），根据表 5.4-2 中的经口摄入致癌斜率系数（SF_o）外推计算获得。用于外推获得 SF_i 和 SF_d 的推荐模式分别如下：

$$SF_i = \frac{IUR \cdot BW_a}{DAIR_a} \quad \text{公式 5.4-3}$$

$$SF_d = \frac{SF_o}{ABS_{gi}} \quad \text{公式 5.4-4}$$

公式中：

SF_i—呼吸吸入致癌斜率因子，(mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹；

IMR—呼吸吸入单位致癌因子，m³·mg⁻¹；

DAIR_a—成人每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；

BW_a—成人体重，kg。

SF_d—皮肤接触致癌斜率因子，(mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹；

SF_o—经口摄入致癌斜率因子，(mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹；

ABS_{gi}—消化道吸收效率因子，无量纲。

5.4.3 关注污染物毒性参数

根据《建设用地土壤污染状况调查风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），地块关注污染物的毒性参数见表 5.4-2。

表 5.4-2 污染物的毒性参数

污染物	经口摄入致癌斜率因子 SF ₀	数据来源	呼吸吸入单位致癌因子 IMR	数据来源	经口摄入参考剂量 RfD ₀	数据来源	呼吸吸入参考浓度 RfC	数据来源	消化道吸收因子 ABS _{gi}	数据来源	皮肤吸收因子 ABS _d	数据来源
	(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹) ⁻¹		m ³ ·mg ⁻¹		mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹		mg·m ⁻³		无量纲		无量纲	
砷	1.50E+00	I	4.30E+00	I	3.00E-04	I	1.50E-05	RSL	1	RSL	0.03	RSL
锰	-	-	-	-	1.4E-01	I	8.4E-04	T	1	RSLs	-	-
钨	-	-	-	-	1.0E-03	T	-	-	1	-	-	-
汞	-	-	-	-	3.0E-04	I	3.0E-04	RSL	0.07	RSL	-	-

注：I 代表数据来自“美国环保局综合风险信息系统 (MSEPA)”，P 代表数据来自美国环保局“临时性同行审定毒性数据”，RSL 代表数据来自美国环保局“区域筛选值总表”污染物毒性数据（2018 年 5 月发布）。

表 5.4-3 关注污染物的理化性质参数

污染物	亨利常数 H'	数据来源	空气中扩散系数 Da	数据来源	水中扩散系数 Dw	数据来源	土壤-有机碳分配系数 Koc	数据来源	水中溶解度 S	数据来源
	(无量纲)		cm ² /s		cm ² /s		cm ³ /g		mg/L	
砷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
锰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
钨	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
汞	3.52E-01	EPI	3.07E-02	WATER9	6.3E-06	WATER9	52	Kd(cm ³ /g)	69000	PHYSPROP

注：“EPI”代表美国环保局“化学品性质参数估算工具包”数据；“WATER9”代表美国环保局“废水处理模型”数据。

5.5 风险表征

在暴露评估和毒性评估的工作基础上,采用风险评估模型计算单一污染物经单一暴露途径的风险值、单一污染物经所有暴露途径的风险值、所有污染物经所有暴露途径的风险值。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指数(非致癌风险值)。

5.5.1 风险表征模型

5.5.1.1 土壤中单一污染物的致癌效应

(1) 经口摄入土壤中单一污染物的致癌效应

$$CR_{ois} = OIS_{ca} \times C_{sur} \times SF_o \quad \text{公式 5.5-1}$$

公式中:

CR_{ois} —经口摄入土壤致癌效应,无量纲;

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

SF_o —经口摄入吸收致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(2) 皮肤接触土壤中单一污染物的致癌效应

$$CR_{dcs} = DCSE_{ca} \times C_{sur} \times SF_d \quad \text{公式 5.5-2}$$

公式中:

CR_{dcs} —皮肤接触土壤的致癌效应,无量纲;

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

SF_d —皮肤接触吸收致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(3) 吸入受污染土壤颗粒物中单一污染物的致癌效应

$$CR_{pis} = PISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_i \quad \text{公式 5.5-3}$$

公式中:

CR_{pis} —吸入受污染土壤颗粒无的致癌效应,无量纲

C_{sur} ——表层土壤中污染物浓度，mg/kg;

SF_i ——呼吸吸入吸收致癌斜率因子，(mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤单一污染物蒸汽的致癌效应

$$CR_{iov1} = IOVER_{ca1} \times C_{sur} \times SF_i \quad \text{公式 5.5-4}$$

公式中:

CR_{iov1} ——吸入室外空气中来自表层土壤污染物蒸汽的致癌效应，无量纲;

$IOVER_{ca1}$ ——吸入室外空气来自表层土壤的气态污染物途径暴露量 (致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

C_{sur} ——表层土壤中污染物浓度，mg/kg;

SF_i ——呼吸吸入吸收致癌斜率因子，(mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(5) 吸入室外空气中来自下层土壤单一污染物蒸汽的致癌效应

$$CR_{iov2} = IOVER_{ca2} \times C_{sub} \times SF_i \quad \text{公式 5.5-5}$$

公式中:

CR_{iov2} ——吸入室外空气中来自下层土壤污染物蒸汽的致癌效应，无量纲;

$IOVER_{ca2}$ ——吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径暴露量 (致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

C_{SMR} ——下层土壤中污染物浓度，mg/kg;

SF_i ——呼吸吸入吸收致癌斜率因子，(mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(6) 吸入室内空气来自下层土壤单一污染物蒸汽的致癌效应

$$CR_{iiv2} = IIVER_{ca1} \times C_{sub} \times SF_i \quad \text{公式 5.5-6}$$

公式中:

CR_{iiv2} ——吸入室内空气来自下层土壤污染物蒸汽的致癌效应，无量纲;

$IIVER_{ca1}$ ——吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径暴露量(致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

C_{sub} ——下层土壤中污染物浓度，mg/kg;

SF_i ——呼吸吸入吸收致癌斜率因子，(mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(7) 地块土壤中单一污染物经所有暴露途径的总致癌效应

$$CR_i = \sum CR_n \quad \text{公式 5.5-7}$$

公式中， CR_i 为第 i 种污染物所有暴露途径的致癌效应，无量纲； CR_n 为单一暴露途径的致癌效应。

5.5.1.2 土壤中单一污染物非致癌效应

(1) 经口摄入土壤中单一污染物的非致癌效应

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_o \times SAF} \quad \text{公式 5.5-8}$$

公式中：

HQ_{ois} 一经口摄入土壤途径的非致癌效应；

$OISER_{nc}$ 一经口摄入土壤暴露量（非致癌效应）， $\text{kg 土壤} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1}$ ；

RfD_o 一呼吸吸入参考浓度， $(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$ ；

C_{sur} 一表层土壤中污染物浓度， mg/kg ；

SAF 一暴露于土壤的参考剂量分配系数。

(2) 皮肤接触污染土壤中单一污染物的非致癌效应

$$HQ_{dcs} = \frac{DCSER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d \times SAF} \quad \text{公式 5.5-9}$$

公式中：

HQ_{dcs} —皮肤接触土壤途径的非致癌效应；

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

RfD_d —皮肤接触参考剂量， $(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$ ；

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度， mg/kg ；

SAF —暴露于土壤的参考剂量分配系数。

(3) 吸入污染土壤颗粒物中单一污染物的非致癌效应

$$HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{公式 5.5-10}$$

公式中：

HQ_{pis} —经吸入土壤颗粒物途径的非致癌效应；

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

1;

RfD_i—呼吸吸入参考剂量, (mg/m³)⁻¹;

C_{sur}—表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数。

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤单一污染物蒸汽的非致癌效应

$$HQ_{io1} = \frac{IOVER_{nc1} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{公式 5.5-11}$$

公式中:

HQ_{io1}——吸入室外空气中单一污染物蒸汽的非致癌效应, 无量纲;

IOVER_{nc1}—吸入室外空气来自表层土壤的气态污染物途径暴露量(非致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

C_{sur}—表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

RfD_i—呼吸吸入参考剂量, (mg/m³)⁻¹;

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数;

(5) 吸入室外空气中来自下层土壤单一污染物蒸汽的致癌效应

$$HQ_{io2} = \frac{IIVER_{nc2} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{公式 5.5-12}$$

公式中:

HQ_{io2}——吸入室外空气中来自下层土壤污染物蒸汽的非致癌效应, 无量纲;

IOVER_{nc2}—吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径暴露量(非致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

C_{sur}——下层土壤中污染物浓度, mg/kg;

RfD_i—呼吸吸入参考剂量, (mg/m³)⁻¹;

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数

(6) 吸入室内空气来自下层土壤单一污染物蒸汽的致癌效应

$$HQ_{iiv2} = \frac{IIVER_{nc1} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{公式 5.5-13}$$

公式中:

HQ_{iiv2}——吸入室内空气中来自下层土壤污染物蒸汽的非致癌效应, 无量纲;

IIVER_{nc1}—吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径暴露量(非致癌效

应), $\text{kg 土壤} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1}$;

C_{sub} ——下层土壤中污染物浓度, mg/kg ;

RfD_i ——呼吸吸入参考剂量, $(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$;

SAF ——暴露于土壤的参考剂量分配系数

(7) 单一污染物所有途径的非致癌效应

$$HQ_i = \sum HQ_n \quad \text{公式 5.5-14}$$

公式中, HQ_i 为第 i 种污染物所有暴露途径的非致癌效应, 无量纲; HQ_n 为单一暴露途径的非致癌效应。

5.5.2 人体可接受风险水平

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019) 中的规定, 单一污染物的可接受致癌风险水平为 10^{-6} , 可接受危害商为 1。即当风险表征得到的地块污染物的致癌风险和危害商, 可作为确定地块污染范围的重要依据。计算得到单一污染物的致癌风险值大于 10^{-6} 或危害商大于 1 的采样点, 其代表的场地区域应划定为风险不可接受的污染区域, 该区域对人体具有危害, 需采取进一步的管理措施。

5.5.3 暴露浓度确定

(1) 土壤污染物暴露浓度

本地块土壤关注污染物为砷、锰、钨和汞。根据《广东省生态环境厅关于转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》(2020 年 3 月 26 日), 风险表征应根据每个采样点样品中关注污染物的检测数据, 选择表层和下层土壤中检测数据的最大值计算污染物的致癌风险和危害商。因此本次选择对应土层中污染物检出浓度的最大值作为暴露点浓度值来进行风险评估, 本次对超过评价标准的最大浓度值进行风险评估。

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)》, 在风险评估阶段对地块污染土壤的具体再利用方式或分层再利用方式尚不明确, 原下层土壤开挖后有可能会变成表层土壤, 或开挖过程会与表层土壤发生混合的情况, 原则上不进行分层, 整体按照表层土进行评价。因此本

地块表层污染土壤厚度取污染物超标最大深度，下层污染埋深及下层污染土壤厚度为 0。

表 5.5-1 该地块关注污染物最大浓度

污染物	评价标准	最大浓度
砷	60	124
锰	16600	21900
钨	447	2893
汞	38	78.7

表 5.5-2 土壤风险评估暴露浓度统计

单位：厚度、埋深 m，污染物含量 mg/kg

污染物	表层污染土壤厚度	下层污染埋深	下层污染土壤厚度	表层污染物含量	下层污染物含量*	备注
砷	2	0	0	124	60	砷超标最大深度为 2m
钨	3.4	0	0	2893	447	钨超标最大深度为 3.4m
汞	0.5	0	0	78.7	38	汞超标最大深度为 0.5m
锰	2	0	0	21900	16600	锰超标最大深度为 2m

注：*根据保守性原则，本次风险评估中，因地块不分层，污染土壤整体按表层土进行评价，则下层土壤各关注污染物浓度均低于评价标准，则下层土壤污染物含量设为评价标准的浓度。

5.5.4 风险表征计算方法

本次风险评估使用浙江大学环境健康研究所和环境保护部南京环境科学研究所开发的《污染场地风险评估电子表格》进行风险表征的计算。该软件依据的标准是《建设用地土壤污染状况调查风险评估技术导则》(HJ25.3-2019), 基于国家标准参数和评估模型, 且各参数也是根据标准的更新而实时更新的。使用该软件时, 需先分析污染地块的种类和污染物类型, 根据污染物类型及其暴露途径, 在软件中选择相应暴露途径, 然后输入相应的暴露浓度和参数, 并执行计算。

本次使用《污染场地风险评估电子表格》评估时, 首先选择需要评估污染物, 以下以砷为例: 选择 2-砷(无机), 进入第二层次风险评估; 填入相关参数, 参数主要采用 HJ25.3-2019 推荐二类用地的参数, 实测的参数则进行相应修改, 具体输入的参数详见表 5.3-2 和表 5.3-3; 勾选相应的暴露途径(砷为经口摄入土壤、皮肤接触土壤和吸入土壤颗粒物); 在污染物浓度参数下填入表层浓度(如果具有挥发性污染物是作为下层的挥发性污染物还应输入下层浓度), 输出结果。见图 5.5-1。



图 5.5-1 第二层次评估界面（以第 1 层砷为例）

5.5.5 风险表征结果

通过计算得到地块中土壤关注污染物砷、锰、钨、汞的致癌风险和非致癌风险见表 5.5-3 和表 5.5-4。

根据计算结果，该地块土壤污染物致癌与非致癌风险计算结果如下：

(1) 砷：致癌风险为 $8.35E-05$ ，大于可接受致癌风险水平 10^{-6} ，超过了人体可接受水平；非致癌风险为 $1.40E+00$ ，高于可接受非致癌危害商 1，超过了人体可接受水平，即砷的致癌风险及非致癌风险均超过人体可接受水平。

(2) 钨：非致癌风险为 $6.46E+00$ ，高于可接受非致癌危害商 1，超过了人

体可接受水平。

(3) 汞：非致癌风险为 $1.17E+00$ ，高于可接受非致癌危害商 1，超过了人体可接受水平。

(4) 锰：非致癌风险为 $1.32E+00$ ，高于可接受非致癌危害商 1，超过了人体可接受水平。

综上，本地块土壤的砷、锰、钨、汞风险不可接受。

表 5.5-3 土壤风险表征结果-致癌风险

污染物	经口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	单一污染物总致癌风险
砷	6.79E-05	1.23E-05	3.25E-06	-	-	-	8.35E-05
钨	-	-	-	-	-	-	-
汞	-	-	-	-	-	-	-
锰	-	-	-	-	-	-	-

表 5.5-4 土壤风险表征结果-非致癌风险

污染物	经口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	单一污染物总非致癌危害商
砷	9.24E-01	1.67E-01	3.08E-01	-	-	-	1.40E+00
钨	6.46E+00	-	-	-	-	-	6.46E+00
汞	8.88E-01	-	1.48E-02	2.62E-01	-	-	1.17E+00
锰	3.50E-01	-	9.71E-01	-	-	-	1.32E+00

5.5.6 风险评估不确定分析

5.5.6.1 参数和模型的不确定性

本报告风险评估的不确定主要包括暴露情景参数的不确定性、毒性参数的不确定性和模型及其参数的不确定性。

(1) 暴露情景参数

暴露情景参数的选择直接影响暴露剂量的大小,较大程度上影响着风险的高低。本次评估中主要暴露情景参数包括暴露人群体重、暴露期、土壤摄入量等。计算时这些参数均来自《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)的推荐值。然而,对于个体的实际暴露剂量因人而异。体重越轻、暴露期越短、土壤摄入量越大,则暴露剂量越大,而实际面临的风险水平就越高,反之亦然。

(2) 毒性效应参数

本报告在进行健康风险评估计算时采用的毒性效应参数主要源自美国环保IRIS毒性数据库、美国环保局“临时性同行审定毒性数据库”以及美国环保署第3、6、9区域筛选值提供的污染物毒性效应参数。

目前常用的毒性效应参数主要基于动物实验的结果,而化学物质对于不同动物以及人类的毒性效应存在差异,在从动物无可见有害水平或者观察到损害作用的最低剂量推算至针对人类的摄入量参考剂量(RfD)时引入了不确定性因子(MF)和修正因子(MF)。MF和MF的取值也存在一定的不确定性,导致其推导得出的针对人类的毒性效应参数也存在不确定性。

(3) 气态污染物扩散模型

挥发性有机物或半挥发性有机物从地下土壤或地下水中迁移扩散至空气中,它在空气中的浓度直接影响暴露受体通过呼吸暴露途径的风险值。主要影响计算结果的参数包括气态污染物挥发因子VF和气态污染物扩散因子DF。VF和DF的计算过程涉及的参数较多,主要包括地块土壤特征参数、室外空气扩散条件参数、室内空气扩散条件参数、建筑物特性等等。

土壤特征性参数主要采用本地块的实际测量值进行计算,以减少不确定性。而室外空气扩散条件参数、室内空气扩散条件参数、建筑物特性等参数主要《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)的推荐值。然而,导则中的推荐值与实际情况可能存在一定差异,空气扩散条件越好、建筑物与地下气态污

染物之间的隔离条件越好，暴露的风险水平就越小，反之亦然。

5.5.6.2 暴露风险贡献率分析

贡献率分析是指单一污染物经不同暴露途径的致癌风险和危害商贡献率，贡献率越大，表示特定暴露途径或特定污染物对于总风险值或危害指数的影响越大。单一暴露途径风险贡献率超过 20%时，应进行受体参数和与该暴露途径相关参数的敏感性分析。包括敏感参数确定、敏感性分析方法和敏感性比例计算等内容。计算公式如下：

$$PCR_i = \frac{CR_i}{CR_n} \times 100\% \quad \text{公式 5.5-15}$$

$$PHQ_i = \frac{HQ_i}{HI_n} \times 100\% \quad \text{公式 5.5-16}$$

公式中：

PCR_i （或 PHQ_i ）为单一污染物经第 i 中暴露途径致癌风险（或非致癌危害商）贡献率，无量纲；

CR_i （或 HQ_i ）为单一污染物经第 i 种暴露途径的致癌风险（或非致癌危害商），无量纲；

CR_n （ HI_n ）为单一污染物的致癌风险（或非致癌危害商），无量纲。

本地块土壤关注污染物为砷、锰、钨、汞，经暴露风险贡献分析发现：土壤砷致癌暴露风险贡献率大于 20%的暴露途径为经口摄入土壤颗粒物，非致癌暴露贡献率大于 20%的暴露途径为经口摄入土壤颗粒物和吸入土壤颗粒物；钨的暴露风险贡献率大于 20%的暴露途径为经口摄入土壤颗粒，其贡献率达 100%；锰非致癌暴露贡献率大于 20%的暴露途径为经口摄入土壤颗粒物和吸入土壤颗粒物；汞暴露风险贡献率大于 20%的暴露途径为经口摄入土壤颗粒物。综上，本地块关注污染物暴露风险贡献率超过 20%的暴露途径为经口摄入土壤颗粒物和吸入土壤颗粒物，表明这两种暴露途径对本地块污染土壤的风险评估结果影响较大。

表 5.5-5 土壤关注污染物致癌暴露风险贡献率分析表

污染物	经口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	合计
砷	81.39%	14.72%	3.89%	-	-	-	100.00%
钨	-	-	-	-	-	-	
汞	-	-	-	-	-	-	
锰	-	-	-	-	-	-	

表 5.5-6 土壤关注污染物非致癌暴露风险贡献率分析表

污染物	经口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	吸入土壤颗粒物	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	合计
砷	66.04%	11.94%	22.01%	-	-	-	100.00%
钨	100.00%	-	-	-	-	-	100.00%
汞	76.21%	-	1.27%	22.52%			100.00%
锰	26.47%	-	73.53%	-	-	-	100.00%

5.5.6.3 暴露参数敏感性分析

根据章节 5.5.6.2 分析，本次风险评估结果中，本地块关注污染物暴露风险贡献率超过 20%的暴露途径为经口摄入土壤颗粒物、吸入土壤颗粒物及吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物，因此还需对相关暴露参数的敏感性进行分析。

选定需要进行敏感性分析的参数应为对风险计算结果影响较大的参数，参数包括人群相关参数（体重、暴露期、暴露频率等）、暴露途径相关的参数（每日

摄入土壤量、暴露皮肤表面积、皮肤表面土壤粘附系数、每日吸入空气体积等)。敏感性分析选择风险贡献率超过 20%的暴露途径, 进行人群相关参数和与该途径相关的参数的敏感性分析。采用敏感性比例表征模型参数敏感性, 即参数取值变动对模型计算风险值的影响程度。参数的敏感性比例越大, 表示风险变化程度越大, 该参数对风险计算的影响也越大。模型参数的敏感性可用模型参数值的变化 ($\pm 10\%$) 与致癌风险或非致癌危害商发生变化的比值来表示。

相关参数敏感性比例计算公式见如下:

$$SR = \frac{\frac{X_2 - X_1}{X_1}}{\frac{P_2 - P_1}{P_1}} \times 100\% \quad \text{公式 5.5-17}$$

式中:

SR 为模型参数敏感性比例, 无量纲;

P1 为模型参数 P 变化前的数值, 无量纲;

P2 为模型参数 P 变化后的数值, 无量纲;

X1 为按 P1 计算的致癌风险或非致癌危害商, 无量纲;

X2 为按 P2 计算的致癌风险或非致癌危害商, 无量纲;

当 P2 增加时, 计算结果取正, 反之取负。

各暴露途径受参数影响的敏感性变化趋势基本相同。根据风险评估和风险暴露途径贡献率的分析结果, 本次选择对汞主要暴露途径即经口摄入土壤颗粒物进行模型参数敏感性分析。分别改变模型中每日空气呼吸量或每日摄入土壤量、暴露频率、暴露期、体重的数值, 计算污染因子的风险水平, 通过对比参数改变前后的风险水平, 分析各参数在不同污染因子模型计算敏感性。本次将对上述参数分别按照 $\pm 10\%$ 变化进行输入。当参数发生变化时, 参数敏感性变化比例大于 0 则认为风险增加, 暴露风险将向不利方向移动, 反之向有利方向移动。具体参数敏感性分析结果见表 5.5-7。

经口摄入土壤颗粒物暴露途径下选定的四类参数对风险的影响依次为: 成人平均体重 \geq 成人暴露期, 成人每日空气呼吸量及成人室内暴露频率对风险无影响。成人暴露期参数增加时, 风险增加; 成人平均体重参数增加时, 风险减少, 暴露风险向有利方向移动。

表 5.5-7 暴露参数敏感性分析表

样品信息	暴露途径	原计算结果	参数	参数输入值				新计算结果				
				HJ 25.3-2019 推荐值	单位	10%	-10%	10%	敏感性比例	-10%	敏感性比例	
土壤汞 (上层 78.7mg/kg , 下层 38mg/kg)	经口摄入 土壤颗粒	致癌 风险	-	成人每日空气呼吸量	14.5	m ³ ·d ⁻¹	15.95	13.05	-	0.00%	-	0.00%
			-	成人室内暴露频率	187.5	d/a	206.25	168.75	-	0.00%	-	0.00%
			-	成人暴露期	25	a	27.5	22.5	-	0.00%	-	0.00%
			-	*成人平均体重	61.3	kg	67.43	55.17	-	0.00%	-	0.00%
	非致 癌危 害商	8.88E-01	成人每日空气呼吸量	14.5	m ³ ·d ⁻¹	15.95	13.05	8.88E-01	0.00%	8.88E-01	0.00%	
		8.88E-01	成人室内暴露频率	187.5	d/a	206.25	168.75	8.88E-01	0.00%	8.88E-01	0.00%	
		8.88E-01	成人暴露期	25	a	27.5	22.5	9.77E-01	+100%	7.99E-01	-100%	
		8.88E-01	*成人平均体重	61.3	kg	67.43	55.17	8.07E-01	-91.2%	9.87E-01	+111%	

注：*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）》。

5.6 风险控制值计算方法

5.6.1 计算步骤与方法

通过风险表征，当污染场地风险评估结果未超过可接受风险时，则结束进一步风险评估工作；当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风险控制值及基于危害商的风险控制值。

污染场地修复建议目标值，应根据上述基于致癌风险的土壤风险控制值、基于危害商的土壤风险控制值以及场地的实际情况和用途确定。

场地风险控制值的计算包括：计算单一关注污染物经单一和所有暴露途径致癌风险所推导的土壤风险控制值，计算单一关注污染物经单一暴露途径的危害商和基于所有暴露途径的危害商所推导的土壤风险控制值。

本地块风险表征结果显示，土壤砷、锰、钨、汞的风险超过可接受水平，故计算土壤砷、锰、钨、汞的风险控制值。

5.6.1.1 基于致癌效应计算的土壤风险控制值

(1) 基于经口摄入土壤途径致癌效应的土壤风险控制值

$$RCVS_{ois} = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_o} \quad \text{公式 5.6-1}$$

公式中：

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

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

ACR —可接受致癌效应，无量纲，取值为 10^{-6} ；

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

(2) 基于皮肤接触土壤途径致癌效应的土壤风险控制值

$$RCVS_{dcs} = \frac{ACR}{DCSER_{ca} \times SF_d} \quad \text{公式 5.6-2}$$

公式中：

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

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

ACR —可接受致癌效应，无量纲，取值为 10^{-6} ；

SF_d—皮肤接触致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(3) 基于吸入土壤颗粒物途径致癌效应的土壤风险控制值

$$RCVS_{pis} = \frac{ACR}{PISER_{ca} \times SF_i} \quad \text{公式 5.6-3}$$

公式中:

RCVS_{pis}—基于皮肤接触途径致癌效应的土壤风险控制值, mg·kg⁻¹;

PISER_{ca}—皮肤接触土壤暴露量 (致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

ACR—可接受致癌效应, 无量纲, 取值为 10⁻⁶;

SF_i—呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(4) 基于吸入室外空气中表层土壤气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值

$$RCVS_{iov1} = \frac{ACR}{IOVER_{ca1} \times SF_i} \quad \text{公式 5.6-4}$$

公式中:

RCVS_{iov1}——基于吸入室外空气中来自表层土壤气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, mg/kg;

IOVER_{ca1}—吸入室外空气来自表层土壤的气态污染物途径 (致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

ACR—可接受致癌效应, 无量纲, 取值为 10⁻⁶;

SF_i—呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(5) 基于吸入室外空气中来自下层土壤气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值

$$RCVS_{iov2} = \frac{ACR}{IOVER_{ca2} \times SF_i} \quad \text{公式 5.6-5}$$

公式中:

RCVS_{iov2}——基于吸入室外空气中来自下层土壤气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, mg/kg;

IOVER_{ca2}—吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径 (致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

ACR—可接受致癌效应, 无量纲, 取值为 10⁻⁶;

SF_i—呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(6) 基于吸入室内空气中来自下层土壤气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值

$$RCVS_{iiv1} = \frac{ACR}{IIVER_{ca1} \times SF_i} \quad \text{公式 5.6-6}$$

公式中:

RCVS_{iiv1}——基于吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, mg/kg;

IIVER_{ca1}—吸入内外空气来自下层土壤的气态污染物途径(致癌效应), kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹;

ACR—可接受致癌效应, 无量纲, 取值为 10⁻⁶;

SF_i—呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹)⁻¹。

(7) 基于所有暴露途径总致癌效应的土壤风险控制值

$$RCVS_n = \frac{ACR}{\begin{matrix} OISER_{ca} \times SF_o + DCSE_{ca} \times SF_d + \\ PISER_{ca} \times SF_i + IOVER_{ca1} \times SF_i + \\ IOVER_{ca2} \times SF_i + IIVER_{ca1} \times SF_i \end{matrix}} \quad \begin{matrix} \text{公式} \\ 5.6-7 \end{matrix}$$

公式中:

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

5.6.1.2 基于非致癌风险计算的土壤风险控制值

(1) 基于经口摄入土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值

$$HCVS_{ois} = \frac{RfD_o \times SAF \times AHQ}{OISER_{nc}} \quad \text{公式 5.6-8}$$

公式中:

HCVS_{ois}—基于经口摄入途径非致癌效应的土壤风险控制值, mg·kg⁻¹;

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

AHQ—可接受危害商, 无量纲, 取值为 1;

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, mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

(2) 基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值

$$HCVS_{dcs} = \frac{RfD_d \times SAF \times AHQ}{DCSER_{nc}} \quad \text{公式 5.6-9}$$

公式中：

HCVS_{dcs}—基于皮肤接触途径非致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹；

DCSER_{nc}—皮肤接触土壤暴露量（非致癌效应），kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

AHQ—可接受危害商，无量纲，取值为 1；

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲；

RfD_d—皮肤接触参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

(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

$$HCVS_{pis} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{PISER_{nc}} \quad \text{公式 5.6-10}$$

公式中：

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

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

AHQ—可接受危害商，无量纲，取值为 1；

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲；

RfD_i—吸入土壤颗粒物参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

(4) 基于吸入室外空气中表层土壤气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值

$$HCVS_{iovl} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IOVER_{nc1}} \quad \text{公式 5.6-11}$$

公式中：

HCVS_{pis}—基于吸入室外空气中表层土壤气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，mg·kg⁻¹；

IOVER_{nc1}—吸入室外空气来自表层土壤的气态污染物途径（非致癌效应），kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

AHQ—可接受危害商，无量纲，取值为 1；

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲；

RfD_i—吸入土壤颗粒物参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

(5) 基于吸入室外空气中下层土壤气态污染物途径非致癌效应的土壤风险

控制值

$$HCVS_{iov2} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IOVER_{nc1}} \quad \text{公式 5.6-12}$$

公式中：

$HCVS_{pis}$ —基于吸入室外空气中下层土壤气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

$IOVER_{nc2}$ —吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

AHQ —可接受危害商，无量纲，取值为 1；

SAF —暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲；

RfD_i —吸入土壤颗粒物参考剂量， $mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ 。

(6) 基于吸入室内空气下层土壤气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值

$$HCVS_{iiv} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IIVER_{nc1}} \quad \text{公式 5.6-13}$$

公式中：

$HCVS_{iiv}$ —基于吸入土壤颗粒物途径非致癌效应的土壤风险控制值， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

$IIVER_{nc1}$ —吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物途径（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

AHQ —可接受危害商，无量纲，取值为 1；

SAF —暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲；

RfD_i —吸入土壤颗粒物参考剂量， $mg \text{ 污染物} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ 。

(7) 基于所有暴露途径总非致癌效应的土壤风险控制值

$$HCVS_n = \frac{SAF \times AHQ}{\frac{OISER_{nc}}{RfD_0} + \frac{DCSER_{nc}}{RfD_d} + \frac{PISER_{nc} + IOVER_{nc1} + IOVER_{nc2} + IIVER_{nc1}}{RfD_i}} \quad \text{公式 5.6-14}$$

公式中：

$HCVS_n$ —单一污染物（第 n 种）基于 6 种土壤暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值， $mg \cdot kg^{-1}$ 。

5.6.2 风险控制值计算所需参数

土壤修复目标值计算过程涉及到污染物参数和地块特征参数。污染物参数包括污染物理化参数和毒理学参数，地块特征参数包括土壤参数、建筑物参数等，参考章节 5.3.4 及 5.3.5。

5.6.3 风险控制值计算结果

本地块土壤修复污染物风险控制值计算采用第二类用地的风险评估方法进行。按照我国风险评估技术要求，本项目对于同时具有致癌和非致癌效应污染物，其风险控制值计算结果取基于可接受致癌风险和非致癌危害商的风控值的最小值。

风险评估显示，地块中土壤中砷、锰、钨、汞 4 种污染物的风险超过了人体可接受风险水平，需要进一步计算风险控制值。土壤风险控制值计算结果见下表。

从便于修复实施和验收的角度出发，土壤修复时，各层土壤选用统一的修复标准，并结合标准筛选值及成熟修复地块经验，确定修复目标值。

表 5.6-1 土壤中污染物的风险控制值结果

单位 mg/kg

污染物	砷	锰	钨	汞
风险控制值	1.49	16600	447	67.5

第六章 地块修复目标值确定

6.1 地块修复目标值确定

目前，我国对于土壤环境质量评价的标准或规范主要有《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）以及其他的地方标准，《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）于2018年8月1日实施，是国内目前为止唯一一个全国性的建设用地土壤标准，根据其编制说明，该标准中筛选值和管制值的计算和选用均采用目前符合国情的参数，因此在全国范围内具有较强的适用性；本地块修复目标值主要是由计算出风险控制值和《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）筛选值对比，并充分考虑项目地块对照点土壤环境质量现状情况制定。

根据风险控制值计算结果，土壤砷（As）、锰（Mn）、钨（W）、汞（Hg）的风险控制计算值分别为 1.49、16600、447、67.5mg/kg，砷的风险控制值远小于《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中的筛选值（60mg/kg），如果选用风险控制计算值作为修复目标值，则可能造成过度修复，故不选择风险控制值作为修复目标，选择筛选值作为修复目标值。汞的风险控制值大于《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中的筛选值（38mg/kg）而小于管制值（82 mg/kg），则选择风险控制值作为修复目标值。关注污染物钨、锰在《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中未有筛选值作为对比，则采用风险控制值作为修复目标值。

表 6.1-1 土壤修复目标比选表

单位：mg/kg

污染物	GB 36600-2018 二类用地筛选值	GB 36600-2018 二类用地管制值	HJ 25.3-2019 计算的风险控制值	最终修复目标值
砷	60	140	1.49	60
锰	/	/	16600	16600
钨	/	/	447	447
汞	38	82	67.5	67.5

6.2 修复范围及方量确定

6.2.1 地块修复范围及修复量确定原则

根据《建设用地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2019)中相关技术要求,确定以下地块修复范围划定的原则:

(1) 地块内的土壤以其修复目标值为基础进行污染边界划分;

(2) 根据地块土壤类型及污染程度来对地块土壤进行分层,同时考虑到土壤中污染物的纵向分布不均匀的特殊性,以及钻孔和采样深度,对土壤进行科学合理的分层,进一步确定污染范围及边界;

(3) 土壤清理体积是以地块原地面或钻孔的起始零点作为计算起始地面,不包括地块上现场调查后重新堆积的砖、石、灰、渣和水泥等建筑垃圾。土方量按层分别计算,考虑到修复工程的可操作性,在对深层污染土壤进行取土或修复时,不可避免地涉及到对浅层土壤的扰动,但不同层次土壤在空间上相重叠的部分若只在深层有污染而浅层不污染,则浅层部分只需取土,无需修复,将总取土量和除这一部分的土方量后即得到需要处理的污染土方量。

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

6.2.2 地块修复范围及修复量确定方法

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)的要求,采用无污染点位连线法进行确定风险管控和修复范围。如果污染范围在边界附近,且边界无控制点,则以垂直与边界进行范围确定。修复范围根据不同深度的污染程度分别划定,确定修复范围并提供拐点坐标、分层图示,明确分层污染土方量,同时修复范围在总图上确定。

本项目地块土壤污染面积及土方量估算采用的方法为:以污染物超标点位为中心,将其最近的未超标点位连线起来确定水平方向的污染范围,即最大污染面积;同时,将超标点位所在概化分层的土层作为垂直方向的污染范围,得到污染土方量。

(1) 无污染点位连线法

在超标点位附近进行了 20m×20m 网格的加密布点，经检测确定无污染点位后，将相关点位连线，划定出风险管控或修复范围。无污染点位连线法示意图如下。

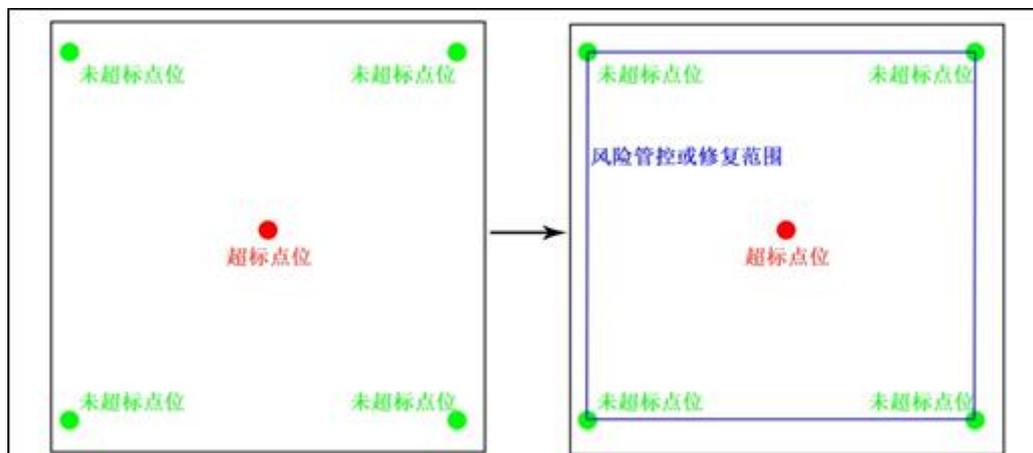


图 6.2-1 无污染点位连线法示意图

(2) 岩土概化分层

本报告在地块土壤污染迁移状况的基础上，将土壤性质均匀及水文和地质条件相近的土层归为相同层。根据钻孔情况，本地块自上而下可分为素填土、淤泥、粉质粘土、中粗砂等地层，将地块土层概化为 6 个土层，污染层数为第 1 层~第 4 层。

第 1 层 (0-0.5m): 主要为素填土，干而结构松散；

第 2 层 (0.5-1.5m): 主要为素填土，灰色，有中粗砂及少量碎石等堆填而成，稍湿，结构松散；

第 3 层 (1.5-2.5m): 主要为杂填土，初见水位所在层次，潮，可塑；

第 4 层 (2.5-3.5m): 主要为淤泥质土，深灰色，饱和，流塑，含少量有机质及粉细砂，上部与杂填土下部与粉质粘土交界；

第 5 层 (3.5-5.5m): 主要为粉质粘土，棕红、回、浅灰色，呈花斑状，湿，可塑，粘性较好，切面光滑；

第 6 层 (5.5-8m): 主要为中粗砂。

6.2.3 土壤修复范围与方量

根据风险表征结果显示，本地块土壤的砷、锰、钨、汞风险不可接受，需进行修复。

6.2.3.1 修复范围

第 1 层砷钨修复面积为 892.96m²，汞修复面积为 569.39m²，钨修复面积为 680.01m²，合计修复面积 2142.36m²。

第 2 层钨修复面积 3211.20m²（353.10m²+698.70m²+2159.40m²），锰修复面积为 715.21m²，合计修复面积 3926.41m²。

第 3 层钨锰砷修复面积 364.89m²，钨修复面积为 1605.10m²，合计修复面积 1969.99m²。

第 4 层钨修复面积为 586.22m²。地块土壤污染物叠加修复面积为 5280.30m²。

6.2.3.2 土壤修复方量

基于上文的计算结果，采用“面积×厚度=方量”的公式，计算该层的污染土方量。土壤污染土方量合计 7553.80m³。各层污染土方量详见表 6.2-1。

表 6.2-1 地块土壤污染面积及方量

分层	污染类型	面积 m ²	厚度 m	方量 m ³
第 1 层 (0~0.5m)	砷、钨、 汞	2142.36	0.5	1071.18
第 2 层 (0.5~1.5m)	钨、锰	3926.41	1	3926.41
第 3 层 (1.5~2.5m)	砷、钨、 锰	1969.99	1	1969.99
第 4 层 (2.5-3.5m)	钨	586.22	1	586.22
第 1~4 层叠加	砷、锰、 钨、汞	5280.30	/	/
修复方量合计				7553.80

第七章 结论和建议

7.1 地块调查概况

广州市钛白粉厂地块位于广州市天河区黄埔大道东路，地块中心经纬度为东经 113°24'53.21"，北纬 23°6'4.96"，地块面积为 35493.02 平方米。

调查结果显示，广州市钛白粉厂地块出现砷、锰、钨、汞超标现象，不能满足后续开发利用的要求，后续需要对本地块进行风险评估，以确定本地块的污染情况对人体健康的风险。

7.2 地块土壤风险评估结论

该地块土壤关注污染物砷、锰、钨和汞。风险表征结果显示，地块土壤中砷、锰、钨、汞的风险均不可接受，需要对地块中的砷、锰、钨、汞采取修复措施。

7.3 修复目标值和修复工程量

该地块修复目标值为：砷 60 mg/kg、锰 16600mg/kg、汞 67.5mg/kg、钨 447mg/kg，土壤污染修复土方量合计 7553.80m³。

7.4 地块修复建议

根据风险评估结果可知，本项目地块内土壤主要关注污染物为砷、锰、钨、汞。考虑到本地块砷、汞污染程度较轻，且地块亟待开发利用的情况，综合资金成本和时间成本等因素，本地块修复建议如下：

针对地块内含重金属砷、锰、钨、汞污染土壤采取开挖并转运至水泥厂进行水泥窑协同处置，或转运至土壤污染处置中心进行修复或风险管控。

7.5 地块环境管理建议

(1) 在未来开发利用期间，应防止外部污染源输入地块，或地块内的污染物外流造成污染。

(2) 制定修复过程汇总的环境监测方案和二次污染防治方案，包括水、气、声、固体废物以及土壤等。

(3) 本地块为污染地块，在相关修复等工作完成前，严禁进行进一步开发。

7.6 不确定性分析

风险评估过程受各种因素的影响，比如数据来源、模型概化、物化与生化过程中的识别程度等，均可能导致结果的不确定性。综合各种因素考虑，本次地块风险评价的不确定性主要源于暴露评价、毒性评价、模型及其参数等的不确定性。

(1) 暴露情景参数：本次评估中主要暴露情景参数包括暴露人群体重、暴露期、土壤摄入量等。计算时这些参数均《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)的推荐值。然而，对于个体的实际暴露剂量因人而异。

(2) 毒性效应参数：目前常用的毒性效应参数主要基于动物实验的结果，而化学物质对于不同动物以及人类的毒性效应存在差异，在从动物无可见有害水平或者观察到损害作用的最低剂量推算至针对人类的摄入量参考剂量(RfD)时引入了不确定性因子(MF)和修正因子(MF)。MF和MF的取值也存在一定的不确定性，导致其推导得出的针对人类的毒性效应参数也存在不确定性。

(3) 气态污染物扩散模型：挥发性有机物或半挥发性有机物从地下土壤或地下水中迁移扩散至空气中，它在空气中的浓度直接影响暴露受体通过呼吸暴露途径的风险值。主要影响计算结果的参数包括气态污染物挥发因子VF和气态污染物扩散因子DF。VF和DF的计算过程涉及的参数较多，主要包括地块土壤特征参数、室外空气扩散条件参数、室内空气扩散条件参数、建筑物特性等等。

土壤特征性参数主要采用本地块的实际测量值进行计算，以减少不确定性。室外空气扩散条件参数、室内空气扩散条件参数、建筑物特性等参数主要采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)的推荐值。然而，导则中的推荐值与实际情况可能存在一定差异。