

广州市海珠区南边路 6 号地块 土壤污染风险评估报告

土地使用权人：广州纺联进出口有限公司

调查单位：广东贝源检测技术股份有限公司

编制时间：2021 年 10 月

报告名称：广州市海珠区南边路6号地块土壤污染风险评估报告

土地使用权人：广州纺联进出口有限公司

调查单位：广东贝源检测技术股份有限公司

项目负责人：王强华

项目组成员名单：

职责	姓名	职称（职务）	编制内容	签名
编制	鄢浩勇	助理工程师	第一、二章	
	伍宝姗	助理工程师	第三章	
	李坚	助理工程师	第四章	
	李玉冰	工程师	第五章	
	王强华	工程师	第六章	
审核	何东健	工程师	--	
审核	李丽华	工程师	--	
审定	郑小萍	高级工程师	--	

摘要

一、地块基本情况

地块名称：广州市海珠区南边路 6 号地块。

占地面积：48247m²。

地理位置：位于广州市海珠区南石头街道南边路 6 号，地块中心经纬度坐标为 E 113.253667°、N 23.080608°。

土地使用权人：广州纺联进出口有限公司。

地块土地利用现状：现状为工业用地，已停产拆除，为政府收储用地。

未来规划：参照《城市用地分类与规划建设用地标准》（GB 50137-2011）的分类标准，项目地块规划为商业设施用地（B1）、娱乐康体设施用地（B3）、公园绿地（G1）和道路用地（S1）。

土壤污染状况初步调查单位：广东贝源检测技术股份有限公司。

调查缘由：项目地块历史上从事过印染行业，其土地使用权拟收回。

二、第一阶段调查

第一阶段调查工作开展时间为 2020 年 12 月~2021 年 1 月。根据调查情况，项目地块原为农田，1956 年 7 月，广州市通过政府划拨海珠区南边路 6 号之二为工业用地，在该地块成立广州纱线漂染厂，1958 年投产，年产纱线漂染 2400t/年。1985 年广州纱线漂染厂扩建并更名为广州东方印染厂，新增厂区东部的农田（南边路 6 号之一）作为工业用地，扩建生产线，年产印染布 1000 万米/年、纱线漂染 3600t/年。1993 年 8 月广州东方印染厂引进外资成立广州南丰印染厂有限公司，利用广州东方印染厂原有的生产厂房和部分设备，产印染布 2400 万米/年、纱线漂染 1500t/年。2005 年利用原广州南丰印染厂的部分设施，在项目地块西侧（南边路 6 号之二）建立广州第一棉纺织厂，年产印染布 1015 万米/年，广州第一棉纺织厂于 2010 年 3 月关停搬迁。2013 年底，项目地块内的部分车间厂房、办公楼作为物业外租为纸业仓库、布匹仓库以及影视创作基地等。由于地块收储工作，2018 年底完成租户清退，项目地块闲置。2020 年 11 月启动项目地块内地表建构筑物设施拆除工作，项目地块现状除门卫值班室、原 1#车间（作为历史风貌建筑保留）外，其余地表建构筑物设施均已拆除。

基于资料分析、现场踏勘及人员访谈等第一阶段污染识别成果，项目地块由于涉及染料、助剂、机油、重油、燃煤等物质，项目地块内土壤污染重点关注区域包括原一棉厂印染车间、原一棉厂炼漂车间、原一棉厂染整车间、原一棉厂浆染车间、原南丰印染厂及东方印染厂印染车间、化学品仓、染化料仓、雕刻车间、油炉房、储油罐及输油管线、生产废水管道及废水处理站、锅炉房/煤堆场/煤渣场及烟气处理区、污泥堆放区、固废房及变电房，需关注的污染物包括镉、砷、六价铬、甲醛、苯酚、苯胺、偶氮苯、石油烃、多环芳烃、多氯联苯等。

项目地块北部紧邻广东省石油公司昌岗油库、广州锌片厂南厂区，东部紧邻广州冷冻机厂，可能会对地块产生潜在污染，其潜在污染物包括石油烃、氟化物、重金属（砷、镉、铜、锌、汞）、多环芳烃。

三、初步采样调查

第二阶段土壤污染状况调查初步采样时间为 2021 年 1 月~2021 年 3 月，并于 2021 年 6 月~10 月补充采样。

土壤污染状况调查初步采样在项目地块内共布设土壤监测点位 41 个，项目地块外设置 2 个土壤对照点，项目地块内采样深度为 5~8m，共采集土壤样品 212 组，检测项目包括：

- (1) 理化性质（2 项）：pH、含水率——212 组土样全测；
- (2) GB36600 表 1 基本 45 项——212 组土样全测；
- (3) 其它污染物：
 - 重金属（2 项）：锌、镉——193 组土样检测；
 - 总氟化物——200 组土样全测；
 - 挥发性有机物（VOCs）（15 项）：1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯、1,2,3-三氯苯、1,2,4-三氯苯、正丙苯、异丙苯、正丁基苯、叔丁基苯、仲丁基苯、氯乙烷、1,3-二氯丙烷、溴氯甲烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、2-氯甲苯、4-氯甲苯——193 组土样检测；
 - 氟氯烃化合物（2 项）：三氯氟甲烷、二氯二氟甲烷——27 组土样检测；
 - 甲基叔丁基醚：20 组土样检测；

- 半挥发性有机物（25项）：2,4-二硝基甲苯、2,4-二氯苯酚、2,4,6-三氯苯酚、2,4-二硝基苯酚、五氯苯酚、苯酚、2,4-二甲基苯酚、2-甲基苯酚、4-甲基苯酚、4-氯-3-甲基苯酚、2,4,5-三氯苯酚、2-甲基萘、2-氯萘、2,6-二硝基甲苯、偶氮苯、N-亚硝基二正丙胺、N-亚硝基二甲胺、2-硝基苯胺、4-硝基苯胺、4-氯苯胺、六氯苯、六氯乙烷、二（2-氯乙氧基）甲烷；六氯乙烷、六氯丁二烯——185组土样检测；
- 甲醛——155组土样检测；
- 石油烃类：石油烃（C₁₀-C₄₀）——212组土样全测，
石油烃（C₆-C₉）——39组土样检测；
- 多环芳烃（8项）：萘、芴、蒽、荧蒽、芘、苊稀、菲、和苯并[g,h,i]芘——26组土样检测；

多氯联苯类（12项）：2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯（PCB189）、2,3',4,4',5,5'-六氯联苯（PCB167）、2,3,3',4,4',5'-六氯联苯（PCB157）、2,3,3',4,4',5-六氯联苯（PCB156）、3,3',4,4',5,5'-六氯联苯（PCB169）、2',3,4,4',5-五氯联苯（PCB123）、2,3',4,4',5-五氯联苯（PCB118）、2,3,3',4,4'-五氯联苯（PCB105）、2,3,4,4',5-五氯联苯（PCB114）、3,3',4,4',5-五氯联苯（PCB126）、3,3',4,4'-四氯联苯（PCB77）、3,4,4',5-四氯联苯（PCB81）——17组土样检测。

本次土壤污染状况初步采样调查共布设地下水监测井9口，井深为5~8m，采集地下水样品9组，地下水检测指标与基本土壤一致，

具体包括如下指标：

- (1) 理化性质（2项）：pH、浊度；
- (2) GB36600表1基本45项；
- (3) 其它污染物：
 - 重金属和无机物（3项）：锌、镉、氟化物；
 - 挥发性有机物（VOCs）（15项）：1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯、1,2,3-三氯苯、1,2,4-三氯苯、正丙苯、异丙苯、正丁基苯、叔丁基苯、仲丁基苯、氯乙烷、1,3-二氯丙烷、溴氯甲烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、2-氯甲苯、4-氯甲苯；
 - 半挥发性有机物（25项）：2,4-二硝基甲苯、2,4-二氯苯酚、2,4,6-三氯苯酚、2,4-二硝基苯酚、五氯苯酚、苯酚、2,4-二甲基苯酚、2-甲基苯酚、4-甲基苯酚、

4-氯-3-甲基苯酚、2,4,5-三氯苯酚、2-甲基萘、2-氯萘、2,6-二硝基甲苯、偶氮苯、N-亚硝基二正丙胺、N-亚硝基二甲胺、2-硝基苯胺、4-硝基苯胺、4-氯苯胺、六氯苯、六氯乙烷、二(2-氯乙氧基)甲烷；六氯乙烷、六氯丁二烯；

- 甲醛；
- 石油烃（C₆-C₉）、石油烃（C₁₀-C₄₀）；
 - 多环芳烃（8项）：萘、芴、蒽、荧蒽、芘、苊稀、菲、和苯并[g,h,i]芘；
- 多氯联苯类（12项）：2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯（PCB189）、2,3',4,4',5,5'-六氯联苯（PCB167）、2,3,3',4,4',5'-六氯联苯（PCB157）、2,3,3',4,4',5-六氯联苯（PCB156）、3,3',4,4',5,5'-六氯联苯（PCB169）、2',3,4,4',5-五氯联苯（PCB123）、2,3',4,4',5-五氯联苯（PCB118）、2,3,3',4,4'-五氯联苯（PCB105）、2,3,4,4',5-五氯联苯（PCB114）、3,3',4,4',5-五氯联苯（PCB126）、3,3',4,4'-四氯联苯（PCB77）、3,4,4',5-四氯联苯（PCB81）。
- 氟氯烃化合物（2项）：三氯氟甲烷、二氯二氟甲烷；
- 可吸附性有机卤素（AOX）；
- 甲基叔丁基醚。

根据样品检测分析结果：

（一）地块内初步调查土样中 **31** 个土样中六价铬、铅、镍、镉、总氟化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、苯并（a）芘**超过相应的第一类用地筛选值。**

（二）地块初步调查地下水样品中， **4** 个地下水监测井水样中氟化物、甲醛、砷、镉、可萃取性石油烃（C₁₀-C₄₀）存在不同程度的**超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水标准**（其中甲醛的评价标准为生活饮用水卫生标准）。

四、详细采样调查

第一轮土壤详细采样时间为 2021 年 3 月 30 日~4 月 12 日，共布设土壤监测点位 38 个，最大采样深度为 6.1m，采集土壤样品 225 组，检测项目为石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、苯并（a）芘；第二轮详细采样时间为 2021 年 4 月 19 日~6 月 18 日，共布设土壤监测点位 12 个，采样深度为 4.4m，采集土壤样品 50 组，检测项目为石油烃（C₁₀-C₄₀）、苯并（a）芘；并于 2021 年 7 月~10 月先后进行

第三轮~第五轮详细采样，检测项目石油烃（C₁₀-C₄₀）、苯并（a）芘、总氟化物、六价铬、砷、锑。

详细调查期间共布设地下水监测井 19 个，采集地下水样品 18 组，检测项目为 pH 值、浊度、氟化物、甲醛、砷、锑。

（一）根据详细采样阶段土壤样品检测分析结果：1 个监测点位（2S3，成品仓）1 个土壤样品 2S3/1.3-1.4m 中的苯并（a）芘超第一类用地筛选值，超筛选值倍数为 12.3 倍，超筛选值样品采样深度为 1.3-1.4m；6 个监测点位（2S1、2S13、2S14、2S45、2S61、2S62）7 个土壤样品中的石油烃（C₁₀-C₄₀）超第一类用地筛选值，超筛选值倍数为 10.5 倍，超筛选值样品最大采样深度为 3.1-3.3m；详细调查共采集 583 个土样检测甲醛，其浓度范围为 0.05~74.7mg/kg，全部土样均有检出，40 个土样超过基于风险评估推导的第一类用地筛选值（15.9mg/kg），甲醛超第一类用地筛选值；1 个土样（2S4/1.0-1.5）总氟化物超过基于风险评估推导的第一类用地筛选值；氟化物超标点位主要集中在项目地块东北部。位于成品仓附近。

（二）综合初步调查及详细调查阶段对项目地块地下水的采样检测结果，项目地块含水层上部地下水样中氟化物、甲醛、砷、锑、可萃取性石油烃（C₁₀-C₄₀）超过相应的 IV 类水筛选值。

五、风险评估结论

（一）地块污染风险水平

基于第一类用地方式情景下，项目地块土壤关注污染物中苯并（a）芘、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、总氟化物、六价铬和锑的人体健康风险**超过**可接受水平，其中：苯并（a）芘的致癌风险风险水平为 1.36E-05（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.16（大于 1）；石油烃（C₁₀-C₄₀）的非致癌危害商为 1.17（大于 1）；甲醛的致癌风险风险水平为 4.04E-06（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.71E-01（小于 1）；总氟化物的非致癌危害商为 2.05（大于 1）；六价铬的致癌风险风险水平为 4.04E-06（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.71E-01（小于 1）；锑的致癌风险风险水平为 1.36E-05（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 2.89（大于 1）。镍的风险水平可接受，其致癌风险、非致癌危害商分别为 8.15E-07（小于 1.00E-06）、5.43E-01（小于 1）。由 IEUBK 模型的计算结果可

知，第一类用地土壤铅对人体健康产生风险的临界值（即铅土壤环境基准值）为 290mg/kg。本地块土壤铅最大暴露浓度为 527mg/kg，超过计算的第二类用地铅土壤环境基准值（290mg/kg），其人体健康风险水平不可接受。因此，项目地块土壤污染存在较大风险，超过可接受水平，需根据地块实际情况进行进一步分析，确定修复/风险管控目标值，需采取必要的风险管理手段。

不饮用情景下，项目地块地下水关注污染物甲醛、氟化物、砷、镉、石油提（C₁₀-C₄₀）对人体健康风险可接受。地下水中镉污染物非致癌危害商为 7.29E-08（小于 1）；砷污染物致癌风险为 8.50E-12（小于 1.00E-06）、非致癌危害商为 2.41E-07（小于 1）；甲醛致癌风险水平为 3.87E-10（小于 1.00E-06）、非致癌危害商为 2.50E-05（小于 1）。

（二）场地修复目标与修复范围

基于人体健康风险评估结果，建议的苯并（a）芘、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、总氟化物、六价铬、镉和铅土壤修复目标值分别为 0.55mg/kg、826mg/kg、18.5mg/kg、1940mg/kg、3mg/kg、20mg/kg、400mg/kg。

基于分层计算的污染土壤修复范围空间叠加后，项目地块污染土壤修复 13198 m²，总方量为 30886 m³，总修复深度为 0-8.5m。

目录

摘要	I
1. 项目概况	1
1.1 项目背景	1
1.2 调查目的和原则	3
1.2.1 调查目的	3
1.2.2 调查原则	3
1.3 调查范围	3
1.4 编制依据	3
1.4.1 法律法规和政策文件	3
1.4.2 标准规范和技术导则	5
1.4.3 地块相关资料	7
1.5 工作内容和技术程序	8
2. 地块概况	12
2.1 区域自然环境概况	12
2.1.1 地理位置	12
2.1.2 地形地貌	13
2.1.3 气候气象	13
2.1.4 区域地质	13
2.1.5 场地水文地质条件	16
2.1.5.1 场地地层岩性	16
2.1.5.2 场地水文地质条件	18
2.1.6 地表水特征	19
2.1.7 土壤及植被	19
2.1.8 区域地下水功能区划	22
2.2 周边环境敏感目标	22
2.3 地块现状	23
2.3.1 地块建构物现状	23
2.3.2 地块市政管道施工情况说明	23

2.4	地块历史.....	23
2.5	相邻地块现状及历史.....	26
2.5.1	相邻地块用地历史.....	26
2.5.2	相邻地块现状.....	28
2.6	地块未来土地利用规划.....	28
3.	土壤污染状况调查回顾与总结	29
3.1	地块污染识别.....	29
3.1.1	重点区域识别.....	29
3.1.2	潜在污染物分析.....	30
3.2	初步采样.....	32
3.2.1	采样点位布设.....	32
3.2.1.1	土壤采样点位布设.....	32
3.2.1.2	地下水采样点位布设.....	34
3.2.2	检测分析指标.....	35
3.2.2.1	土壤检测分析指标.....	35
3.2.2.2	地下水检测分析指标.....	37
3.2.3	初步调查结果评价.....	37
3.2.3.1	风险筛选值.....	错误!未定义书签。
3.2.3.2	项目地块外对照点土壤检测结果分析.....	错误!未定义书签。
3.2.3.3	项目地块内土壤检测结果分析.....	37
3.2.3.4	土壤现场快筛与实验室检测结果合理性分析	错误!未定义书签。
3.2.3.5	地下水检测结果分析.....	39
3.2.4	初步采样调查结论.....	错误!未定义书签。
3.3	第二阶段调查-详细采样回顾与结论	40
3.3.1	调查介质.....	40
3.3.2	采样点位布设.....	40
3.3.2.1	土壤采样点位布设.....	40
3.3.2.2	地下水采样点位布设.....	41
3.3.2.3	土工测试采样点设置.....	41
3.3.2.4	环境空气甲醛采样点布设.....	42

3.3.3	采样深度及样品数量.....	42
3.3.3.1	土壤采样深度及数量.....	42
3.3.3.2	地下水采样深度与数量.....	43
3.3.3.3	土工样采样深度设置.....	43
3.3.3.4	环境空气采样时间与频次.....	43
3.3.4	检测分析指标.....	43
3.3.4.1	土壤检测指标及检测方法.....	44
3.3.4.2	地下水检测分析方法.....	44
3.3.4.3	环境空气甲醛检测分析方法.....	47
3.3.4.4	土工测试指标.....	48
3.3.5	详细调查样品检测分析.....	48
3.3.5.1	样品理化分析.....	48
3.3.5.2	土工测试.....	48
3.3.6	检测结果分析.....	49
3.3.6.1	土壤检测结果分析.....	49
3.3.6.2	地下水检测结果分析.....	50
3.3.6.3	补充监测井地下水检测结果分析.....	52
3.3.6.4	全场监测井下层地下水水样检测结果分析.....	52
3.3.7	土工测试结果.....	53
3.3.7.1	土工测试结果.....	53
3.3.8	环境空气甲醛检测结果分析.....	53
3.4	第二阶段调查采样调查总结.....	54
3.4.1	土壤污染特征分析总结.....	54
3.4.2	土壤超筛选值污染面积及方量估算.....	56
3.4.2.1	土壤超筛范围的确定方法与原则.....	56
3.4.2.2	污染土壤超筛面积及方量.....	56
3.4.3	地下水污染特征分析.....	58
3.4.3.1	含水层上部地下水污染特征.....	58
3.4.3.2	地下水氟化物污染特征分析.....	58
3.4.3.3	地下水甲醛污染特征分析.....	58

3.4.3.4	地下水砷污染特征分析.....	58
3.4.3.5	地下水锑污染特征分析.....	59
3.4.3.6	可萃取性石油烃（C ₁₀ -C ₄₀ ）.....	59
3.4.3.7	氨氮.....	59
3.4.3.8	硫化物.....	59
3.4.4	含水层底部地下水污染特征.....	59
3.4.5	地块污染原因分析.....	60
3.4.5.1	土壤污染原因分析.....	60
3.4.5.2	地下水污染原因分析.....	64
3.4.6	第二阶段土壤污染状况详细调查结论.....	65
4.	人体健康风险评估.....	67
4.1	风险评估工作内容和程序.....	67
4.2	场地概念模型.....	69
4.2.1	场地总体情况.....	69
4.2.2	场地水文地质条件.....	69
4.2.2.1	场地地层岩性.....	69
4.2.2.2	场地水文地质条件.....	70
4.2.3	场地污染源.....	70
4.2.4	污染物迁移转化途径.....	70
4.2.5	场地概念模型.....	71
4.3	危害识别.....	72
4.3.1	地块规划及敏感受体.....	72
4.3.2	关注污染物.....	73
4.3.2.1	关注污染物的筛选.....	73
4.3.2.2	关注污染物暴露浓度计算.....	73
4.4	暴露评估.....	74
4.4.1	暴露情景与暴露途径.....	74
4.4.2	暴露评估模型.....	76
4.4.2.1	除铅以外污染物第一类用地暴露评估模型.....	76
4.4.2.2	铅的暴露评估方法和模型.....	81

4.4.2.3	地下水风险计算模型.....	84
4.4.3	暴露参数的选择.....	85
4.4.3.1	受体暴露参数.....	85
4.4.3.2	地块土壤参数.....	86
4.4.3.3	建筑物参数.....	87
4.5	毒性评估.....	88
4.5.1	污染物的健康效应.....	88
4.5.2	关注污染物的毒性和理化参数.....	89
4.6	风险表征.....	92
4.6.1	风险表征技术要求.....	92
4.6.2	除铅以外污染物致癌风险和非致癌危害的计算方法.....	92
4.6.3	铅的风险表征.....	94
4.6.4	土壤中关注污染物的风险表征结果.....	94
4.6.4.1	土壤中除铅以外污染物的风险表征结果.....	94
4.6.4.2	土壤铅的风险表征结果.....	96
4.6.5	地下水中关注污染物的风险表征结果.....	96
4.7	不确定性分析.....	97
4.7.1	不确定因素.....	97
4.7.2	暴露风险贡献率分析.....	98
4.7.2.1	土壤污染暴露风险贡献率分析.....	98
4.7.2.2	地下水污染暴露风险贡献率分析.....	100
4.7.3	风险评估计算结果的不确定性.....	101
4.8	土壤风险控制值计算.....	104
4.8.1	土壤风险控制值计算过程.....	104
4.8.1.1	基于致癌效应的土壤风险控制值.....	104
4.8.1.2	基于非致癌风险的土壤风险控制值.....	106
4.8.2	风险评估推导的土壤风险控制值.....	108
4.9	风险评估结论.....	108
5.	场地修复目标及修复范围确定.....	110
5.1	修复目标值确定原则.....	110

5.2	修复目标值确定.....	110
5.3	污染土壤修复面积及土方量计算.....	111
5.3.1	污染土壤修复范围的确定方法与原则.....	111
5.3.2	污染土壤修复面积及土方量计算.....	111
5.3.2.1	超修复目标值土样检测结果统计.....	错误!未定义书签。
5.3.2.2	土壤修复面积及土方量计算.....	错误!未定义书签。
6.	结论与建议	112
6.1	结论.....	112
6.1.1	第二阶段采样调查结论.....	112
6.1.2	人体健康风险评估结论.....	112
6.1.3	场地修复目标与修复范围.....	113
6.2	建议.....	113

1. 项目概况

1.1 项目背景

广州市海珠区南边路 6 号地块（简称“项目地块”）位于广州市海珠区南石头街道南边路 6 号，地块中心经纬度坐标为 E 113.253667°、N 23.080608°，项目地块占地面积 48247m²。项目地块历史沿革清楚：1）项目地块原为农田；2）1956 年 7 月成立广州纱线漂染厂，1958 年投产，年产纱线漂染 2400t/年；3）1985 年广州纱线漂染厂扩建并更名为广州东方印染厂，年产印染布 1000 万米/年、纱线漂染 3600t/年；4）1993 年 8 月广州东方印染厂引进外资成立广州南丰印染厂有限公司，年产印染布 2400 万米/年，纱线漂染 1500t/年；5）2005 年在项目地块西侧建立广州第一棉纺织厂，年产印染布 1015 万米/年，其中牛仔布 923.4 万米/年、装饰布 91.7 万米/年；6）广州第一棉纺织厂于 2010 年 3 月关停搬迁，此后地块闲置，2013 年底，项目地块内的部分车间厂房、办公楼作为物业外租为纸业仓库、布匹仓库以及影视创作基地等；7）由于地块收储工作，2018 年底完成租户清退，项目地块闲置。项目地块为广州市政府收储用地，本次土壤污染状况初步采样调查前，项目地块内主体建构构筑物设施已拆除（原 1 号车间除外，该建筑为广州市第三批历史建筑（编号为 GZ 03 0032））。

根据广州市海珠区土地利用相关规划，参照《城市用地分类与规划建设用地标准》（GB 50137-2011）的分类标准，项目地块规划为商业设施用地（B1）、娱乐康体设施用地（B3）、公园绿地（G1）和道路用地（S1）。

依据《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年 1 月）、《污染地块土壤环境管理办法》（部令第 42 号）、《土壤污染防治行动计划》（国发[2016]31 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）、《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》（环发[2014]66 号）、《广东省土壤污染防治 2020 年工作方案》等相关文件规定与要求，工业企业场地再开发利用前应完成场地环境调查和风险评估工作，属于污染地块的应编制治理修复方案并开展修复工作，在完成地块修复后方可全面开展再开发利用工作。

为识别目标地块是否存在可能的污染，确认目标地块是否需要详细调查及风险评估或修复，2020 年 12 月，广东贝源检测技术股份有限公司（“调查

单位”)受广州纺联进出口有限公司(“土地使用权人”)委托对项目地块进行土壤污染状况初步调查工作。根据国家和地方场地环境调查相关技术规范的要求,调查单位于2020年12月~2021年1月通过现场踏勘、资料收集与分析、人员访谈制定采样方案,2021年1月~2021年2月现场采样、样品检测和数据分析等工作,识别项目地块土壤和地下水污染状况,编制《广州市海珠区南边路6号地块土壤污染状况初步调查报告》,项目地块土壤污染状况初步调查表明:项目地块土壤中**价铬、铅、镍、镉、总氟化物、石油烃(C₁₀-C₄₀)、甲醛、苯并(a)芘**超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600-2018)相应的一类用地筛选值(其中甲醛的土壤筛选值为基于一类用地计算的风险控制值),分别超标0.4倍(六价铬)、0.3倍(铅)、0.8倍(镍)、1.8倍(镉)、1.0倍(总氟化物)、8.3倍(石油烃(C₁₀-C₄₀))、1.8倍(甲醛)、2.3倍(苯并(a)芘);地块初步调查地下水样品中,W3(纱线漂染车间)、W5(柴油罐)、W7(印染车间)、W9(废水站调节池)等**4个**地下水监测井水样中氟化物、甲醛、砷、镉、可萃取性石油烃(C₁₀-C₄₀)存在不同程度超过《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)IV类水标准(其中甲醛的评价标准为基于IV类水计算的风险控制值),项目地块内土壤及地下水污染可能存在不可接受风险,需要按照《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》、《建设用地土壤污染防治 第1部分:土壤污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1)开展人体健康风险评估工作,进一步识别项目地块土壤污染状况和人体健康风险水平,为地块开发再利用提供合理依据。

为进一步识别目标地块土壤污染状况及潜在环境风险,2021年3月,广东贝源检测技术股份有限公司受广州纺联进出口有限公司委托对项目地块进行土壤污染状况详细调查工作,根据国家和地方场地环境调查相关技术规范的要求,通过危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征等工作,识别项目地块土壤和地下水污染人体健康风险,编制《广州市海珠区南边路6号地块土壤污染状况人体健康风险评估报告》,(简称《风评报告》),广州市环境技术中心于2021年7月20日组织专家对《详风评报告》)进行评审。评审会后,土壤污染状况调查单位根据专家评审意见,对项目地块进行补充采样分析,并修改完善《风评报告》(专家评审意见及修改索引表附后),为地块下一步工作提供依据。

1.2 调查目的和原则

1.2.1 调查目的

通过对场地现状及历史用途进行调查分析，识别潜在的污染源和污染物，排查场地是否存在污染可能性。通过对场地土壤和地下水进行采样和检测分析，确定场地是否污染及污染物的种类、污染程度及污染分布情况，为后期场地开发利用决策提供依据。

1.2.2 调查原则

针对性原则：针对地块的特征，进行污染物浓度和空间分布调查，为地块管理提供依据。

规范性原则：严格按照导则相关要求，采用程序化和系统化的方式规范土壤污染状况调查过程，保证调查过程的科学性和客观性。

可操作性原则：综合考虑调查方法、时间和经费等因素，结合当前科技发展和专业技术水准，使调查过程切实可行。

1.3 调查范围

项目地块位于广州市海珠区南边路 6 号，根据《国有土地使用权收储补偿协议》（2018 年 2 月），项目地块占地面积为 48247m²。

1.4 编制依据

1.4.1 法律法规和政策文件

- 1) 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年 1 月）；
- 2) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月）；
- 3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年 4 月修订）；
- 4) 《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月）；
- 5) 《关于保障工业企业场地在开发利用环境安全的通知》（环发 [2012] 140 号）；
- 6) 《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知》（国发〔2016〕31 号）；
- 7) 《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》（中发

{2015}

12号)；

- 8) 《国务院转发环境保护部等部门关于加强重金属污染防治工作指导意见的通知》(国办发〔2009〕61号)；
- 9) 《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)；
- 10) 《国务院办公厅关于推进城区老工业区搬迁改造的指导意见》(国办发〔2014〕9号)；
- 11) 《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》(环发〔2014〕66号)；
- 12) 《污染地块土壤环境管理办法》(环保部令〔2017〕42号)；
- 13) 《工矿用地土壤环境管理办法(试行)》(生态环境部令 第3号)；
- 14) 《广东省重金属污染综合防治“十三五”规划》(粤环发〔2017〕2号)；
- 15) 《广东省土壤污染防治行动计划实施方案》(粤府〔2016〕145号)；
- 16) 《广东省人民政府关于印发水污染防治行动计划实施方案的通知》(粤〔2015〕131号)；
- 17) 《广东省实施<中华人民共和国土壤污染防治法>办法》(自2019年3月1日起施行)；
- 18) 《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)；
- 19) 《关于推进市区产业“退二进三”工作的意见》(穗府〔2008〕8号)；
- 20) 《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)；
- 21) 《广州市建设用地土壤污染风险评估、风险管控及修复效果评估报告评审工作程序(试行)》(穗环〔2021〕12号)；
- 22) 《广州市地下水污染防治工作方案》(穗环〔2020〕95号)；
- 23) 《广州市生态环境局关于强化污染地块再开发利用环境管理相关工作的通知》(广州市生态环境局, 2019年12月15日)；

- 24) 《广州历史文化名城保护条例》（2016年5月1日起施行）；
- 25) 《广州市人民政府办公厅关于印发广州市促进历史建筑合理利用实施办法的通知》（穗府办规〔2020〕3号）；
- 26) 《广州市规划和自然资源局关于公布调整广州市第三批历史建筑名单的通知》（穗规划资源字〔2020〕48号）；
- 27) 《《广州市第三批历史建筑保护利用规划图则（第一棉纺织厂旧址1号车间）》（广州市规划和自然资源局，2016）。

1.4.2 标准规范和技术导则

- 1) 《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》（HJ 682-2019）；
- 2) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）；
- 3) 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019）；
- 4) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；
- 5) 《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2019）；
- 6) 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5-2018）；
- 7) 《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）；
- 8) 《地下水环境状况调查评价工作指南》（环办土壤函[2019]770号）
- 9) 《地下水污染健康风险评估工作指南》（环办土壤函[2019]770号）；
- 10) 《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》（环办土壤〔2019〕63号）；
- 11) 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》（环境保护部公告 2017 年第 12 号）；
- 12) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 78 号）；
- 13) 《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166-2004）；
- 14) 《地下水环境监测技术规范》（HJ/T 164-2020）；
- 15) 《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T 91-2002）；
- 16) 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB

- 36600-2018)；
- 17) 《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)；
 - 18) 《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)；
 - 19) 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)；
 - 20) 《水和废水监测分析方法》(第四版)；
 - 21) 《土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集 气相色谱-质谱法》(HJ 605-2011)；
 - 22) 《土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法》(HJ 834-2017)；
 - 23) 《水质采样 样品的保存和管理技术规定》(HJ/T 493-2009)；
 - 24) 《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ 1019-2019)；
 - 25) 《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2009)；
 - 26) 《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999)；
 - 27) 《污染地块勘探技术指南》(T/CAEPI 14-2018)；
 - 28) 《关于印发重点行业企业用地调查系列技术文件的通知》(环办土壤〔2017〕67号)；
 - 29) 《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)；
 - 30) 《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)；
 - 31) 《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》(DB4401/T 102.3-2020)；
 - 32) 《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》(DB4401/T 102.4-2020)；
 - 33) 《中国土壤元素背景值》(中国环境监测总站主编，中国环境科学出版社，1990)；
 - 34) 《城市用地分类与规划建设用地标准》(GB 50137-2011)。

1.4.3 地块相关资料

- 1) 《国有土地使用权收储补偿协议》（2018年2月）；
- 2) 《关于商请协助提供部分地块现行控制性详细规划情况的复函》（广州市规划和自然资源局海珠区分局，2019年7月3日）；
- 3) 项目地块及周边区域历史卫星影像图（Google Earth，2000年、2004年~2010年、2012年~2017年、2019年）；
- 4) 项目地块及周边区域历史地形图（广州市市政规划勘测设计院，1959年、1968年、1978年、1989年、2002年、2010年）；
- 5) 《中外合资广州南丰印染厂有限公司环境影响报告表》（批复号：穗府环管影字[1993] 243号）；
- 6) 《广州广纺联集团东方印染厂生产结构性调整建设项目环境影响报告》（广州市环境保护科学研究所，2001年）；
- 7) 《关于广州广纺联集团东方印染厂生产结构性调整建设项目环境影响报告书审批的函》（穗环管影[2001] 211号）；
- 8) 《关于广州纱线漂染厂改为广州东方印染厂的批复》（穗纺[85]120号）；
- 9) 《工商企业登记事项年检报告书》（1981年、1983年、1984年、1985年）；
- 10) 《工业企业普查登记表》（1980年）；
- 11) 《关于广州东方印染厂纱线漂染车间危房改造更新设备技术改造可行性报告的批复》（穗经改[1987]202号）；
- 12) 《2400吨/日印染厂污水处理小结（化学凝聚法）（广州纱线漂染厂，1980年）；
- 13) 《关于我厂扩建印花工程污水处理部分的说明》（1982.9.20）；
- 14) 《广州锌片厂地块（不含保障性住房地块）场地环境调查和风险评估报告》（广东省环境科学研究院&暨南大学，2017年）；
- 15) 《广州锌片厂南区拆迁安置房（一期）建设项目环境影响报告表》（广州市环境保护科学研究所，2014年）；
- 16) 《广州第一橡胶厂（北厂区）地块场地风险评估报告》（北京建工环

- 境工程咨询有限责任公司，2018年）；
- 17) 《广州第一橡胶厂（北厂区）地块场地环境详细调查报告》（北京建工环境工程咨询有限责任公司，2018年）；
 - 18) 《广州市河长制办公室关于推进海珠南部环岛路污水主干管工程（沙渡路-石岗路段）建设的会议纪要》（穗河长办会纪[2021]3号）；
 - 19) 《海珠区生态城内流域河涌治理工程（一期）-南部环岛路污水主干管工程（沙渡路-石岗路段）W3~W6顶管段用地施工进度方案》（广州市市政工程维修处有限公司，2021年）；
 - 20) 其它相关资料。

1.5 工作内容和技术程序

按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》和《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》（穗环办〔2018〕173号），并结合国内主要污染场地环境调查和风险评估相关经验及地块的实际情况，开展场地环境风险评估工作，本场地风险评估的技术路线如图 1.5-1~图 1.5-2 所示。

（1）危害识别

根据场地环境调查获取的资料，结合场地土地的规划利用方式，确定污染场地的关注污染物、场地内污染物的空间分布和可能的敏感受体，建立场地暴露模型。危害识别是一个风险定性评估的过程，当定性评估能够说明风险问题，如场地不具备污染源—>暴露途径—>受体间的完整连接时，可不用实施风险的定量评估。

（2）暴露评估

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

（3）毒性评估

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

（4）风险表征

在暴露评估和毒性评估的工作基础上，采用风险评估模型计算单一污染物经单一暴露途径的风险值、单一污染物经所有暴露途径的风险值、所有污染物经所有暴露途径的风险值；进行不确定性分析，包括对关注污染物关键参数取值的敏感性分析；根据需要进行风险的空间表征。

（5）风险控制值计算

如污染场地风险评估结果未超过可接受风险水平，则结束风险评估工作；如污染场地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。

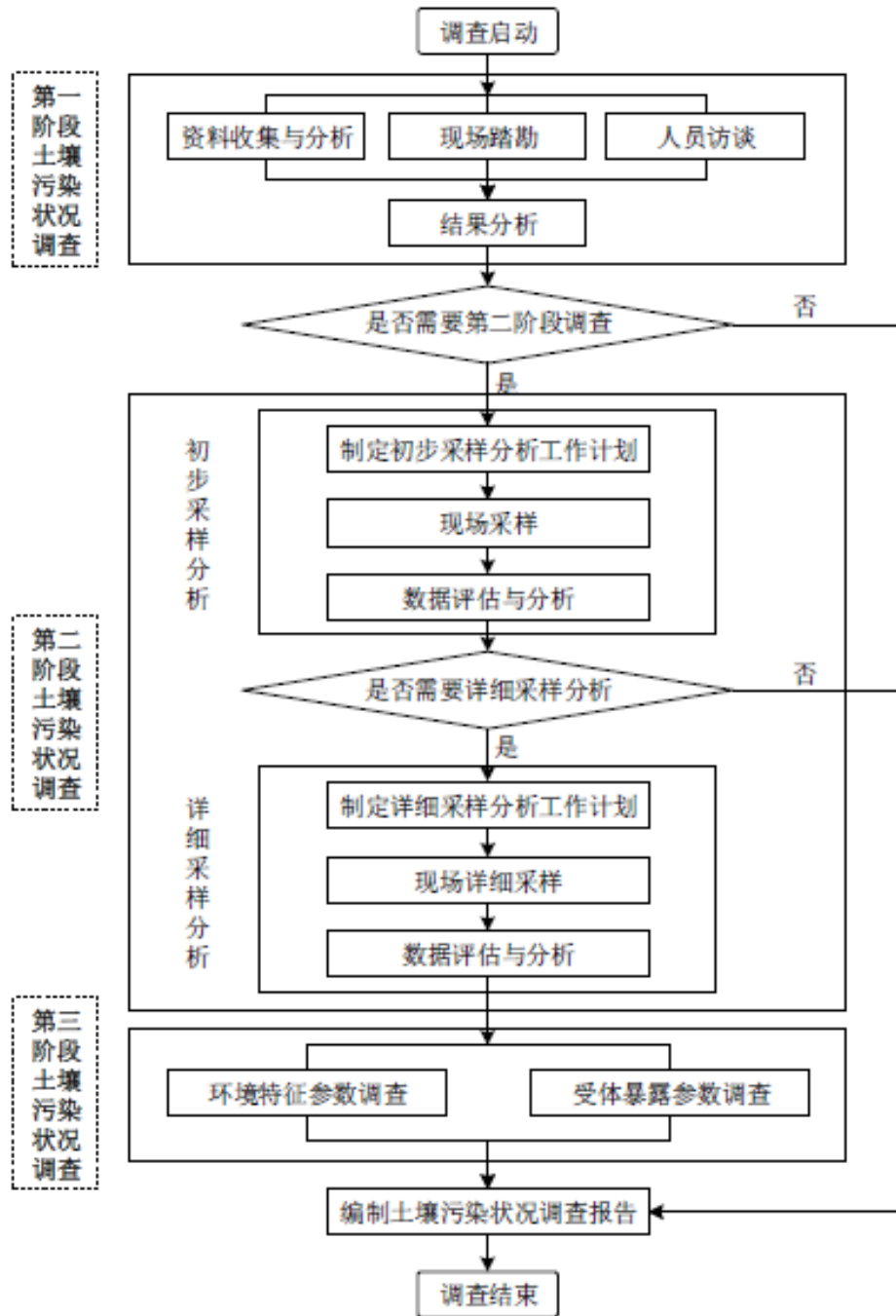


图 1.5-1 土壤污染状况调查工作流程

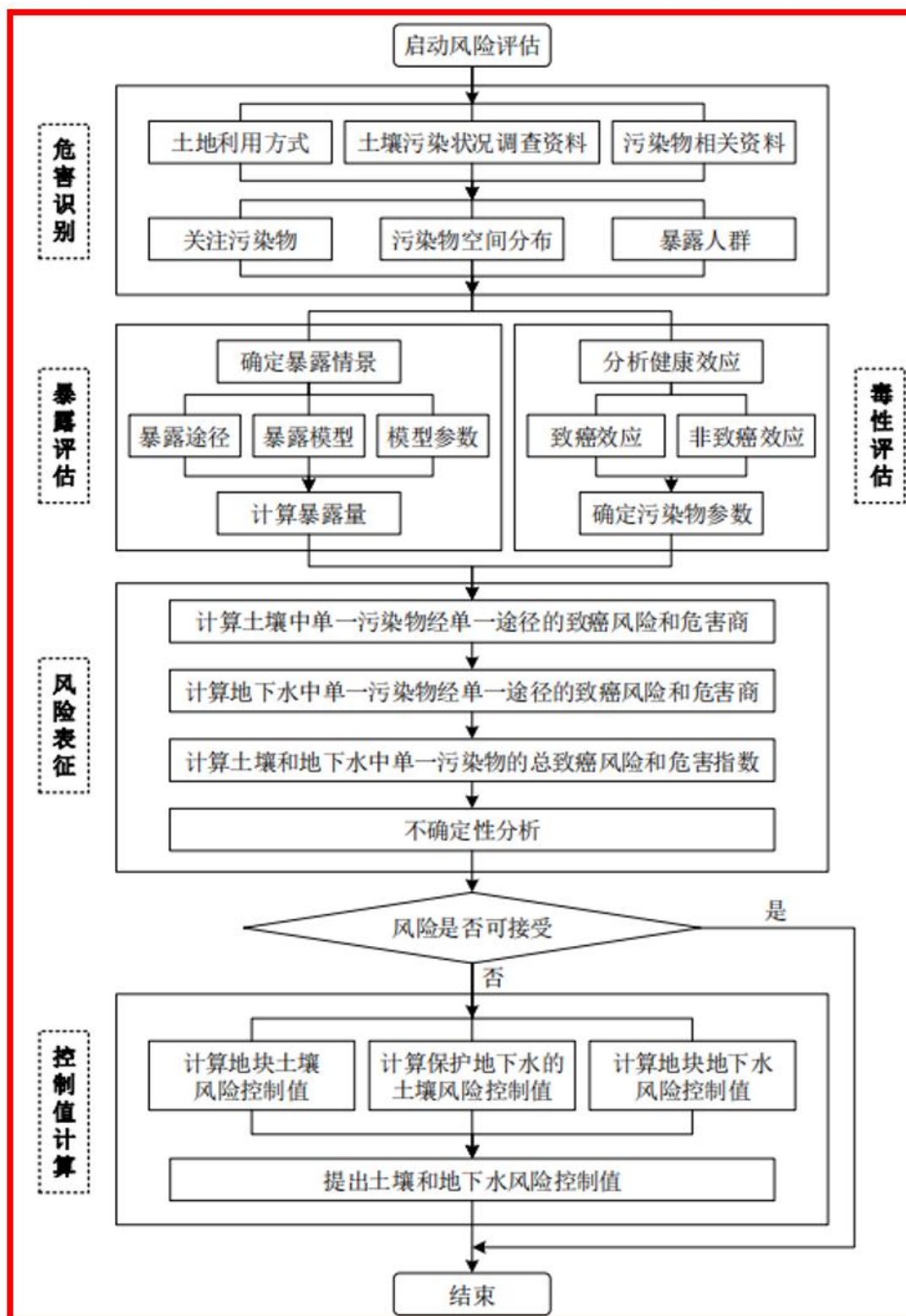


图 1.5-2 人体健康风险评估技术路线

2. 地块概况

2.1 区域自然环境概况

2.1.1 地理位置

项目地块位于广州市海珠区西侧，地址为广州市海珠区南石头街道南边路6号，地块中心经纬度坐标为 E 113.253667°、N 23.080608°。项目地块具体地理位置见错误!未找到引用源。、错误!未找到引用源。。

项目地块四至范围如下：

- 北：北侧为原中石油昌岗油库、广州锌片厂南区拆迁安置小区，再以北为昌岗西路；
- 东：东侧紧邻世联空间创业社区、南石头街道庄头社区，再以东为南边路；
- 南：南侧紧邻北降涌，再以南为南泰路、圣火足球公园；
- 西：西侧紧邻珠江航道。

2.1.2 地形地貌

海珠区地处珠江三角洲冲积平原。海珠区本岛及东南侧官洲岛和西南侧丫髻沙岛是由古珠江小海经不断沉积逐渐扩大而成的沙洲，本岛多为沉积扩展成陆地的水网低洼地，其东部和中部现仍有七星岗古海岸海蚀遗址可证明。东、北、西三面均起伏着由小丘经长期海水浸蚀而成的低缓台地。全区地势总体呈北高南低，一般地面标高在2~4米，其中以圣堂岗最高，为海拔54.3米，以南端大沙围堤内地面最低，低于正常水位1米左右。

海珠区的地质以中偏北部的紫红色砂页岩台地为主，东偏南部分布有侏罗系砂页岩，与震旦系混合花岗岩等低丘，其余皆为第四系沉积物。

全区地貌可分为低丘、台地和平原三类。低丘海拔50余米，为流纹岩系；台地有海拔20米和海拔40米两级。海珠岛周边为平原，海拔10米以下，基岩为红色砂页岩。上覆盖有冲积平原砂砾与粘土。据《广东省地震烈度区划图》，海珠区为VII级裂度。

2.1.3 气候气象

本项目位于海珠区，该区属于南亚热带季风气候区，夏季较热，冬季温暖，热量充沛。多年年平均气温21.8℃，1月最低气温0℃，8月最高气温38.7℃。年平均降水量1700~2000毫米，4~9月占全年降水量的80.4%，4~6月以雷雨为主，7~9月台风较多。年平均相对湿度72%，全年主导风为北风，春季以东南风及北风为主，夏季以东南风为主，秋季以北风、东风为主，冬季以西北风居多。年平均风速1.9米/秒，静风频率29.3%，日照1895小时，年总太阳辐射量105 kcal/m²。平均年径流深800毫米，年陆地蒸发量700毫米，年水面蒸发量1300毫米。年平均雾日6天，轻雾208天。

2.1.4 区域地质

一、地层

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

（一）震旦系

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

（二）白垩系

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

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

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

（三）第四系

区内第四系分布最广，按成因可划分为残坡积型和沉积型两大类。

（1）残坡积型。

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

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

(2) 沉积型

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

二、地质构造

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

(1)褶皱构造

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

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

(2) 断裂构造

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

1) 广三断裂。

北西西—东西走向，只出露其东段。从西侧的白鹅潭—五凤村—石榴岗，向东可能与仑头北山断裂相接，再向东延伸至长洲岛，横贯全区约 19 公里。除在沙园至五凤

村一带地表有出露外，其余绝大部分被第四系所覆盖，为一隐伏断裂。该断裂在五凤村以东呈东西向，往西侧折为北西西向，断面倾向南，倾角 $40^{\circ}\sim 55^{\circ}$ ，属正断层。

2) 北山断层。

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

3) 仑头断层。

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

4) 石榴岗断层。

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

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

2.1.5 场地水文地质条件

2.1.5.1 场地地层岩性

项目地块位于珠江旁的的河流冲积层。根据本次土壤污染状况初步调查现场地质钻探（钻探深度最深 8.0m）及土工测试结果，厂区岩性结构趋势大致相同，按照岩性特征、埋藏分布和工程特性指标等情况，项目地块从上至下可划分为填土、淤泥质砂土、淤泥质粘土、粉质粘土等 4 个土层，其地质特征详述如下：

(1) 填土

该层广泛分布在厂区内，呈杂色，含砂砾、建筑砖渣等，松散，干~潮，层厚 2.5~4.5m，层底埋深 2.5~4.5m。

(2) 淤泥质砂土

该层分布于杂填土层下，在厂区内分布广泛，呈黑褐色，稍密实，含粗砂，级配中，湿至潮，层厚 1.2~2.0m，层底埋深 2.5~4.5m。

(3) 淤泥质粘土

该层多分布于淤泥质砂土层下，局部地区该层缺失，呈灰黑色，密实，可塑，潮，层厚 1.5~1.8m，层底埋深 3.6~5.4m。

(4) 粉质粘土

该层多分布于淤泥质砂土层下，局部地区粉土层缺失，直接伏于填土层下，粉质粘土呈褐黄色，可塑，局部含粉土块，层厚 0.7~4.6m，层底埋深 4.6~8.0。

2.1.5.2 场地水文地质条件

项目地块浅层地下水主要为第四系孔隙水，水量一般，主要赋存于人工填土层下部、粉质黏土层之间，粉质粘土层为弱透水层。浅层地下水主要靠大气降水和地表水补给，排泄方式主要为径流排泄和蒸发排泄，地下水的水质与水量均受降水、径流影响较大，地下水与地表水水力联系密切。同时，项目地块处于珠江感潮河段，地下水水文地质条件受潮汐影响也较大。

初步调查监测期间，地下水埋深为 1.23~4.80m，平均埋深为 2.20m，整体来看项目地块浅层地下水自东北流向西南，即整体向西侧的珠江及南部的北降涌排泄。

2.1.6 地表水特征

海珠区由珠江前、后航道所环绕，拥有得天独厚的地理和人文环境，区内有大面积果树区，河网密布，具有南方水乡特色。珠江前航道从白鹅潭起直至黄埔港，总长为 23.2km，珠江后航道从白鹅潭起经浮标厂至黄埔港，总长为 27.8km，前航道与后航道在落马洲分出的北濠水道和三枝香水道在黄埔港附近汇合后折向东南，与东江北干流相汇后流入狮子洋再经虎门入海。

海珠区现有河涌总计 74 条，干涌总长 120km，流域总面积 94.45km²。其功能为排涝、排污、纳潮，大部分河涌还兼有灌溉功能。

海珠涌，又名马涌，位于广州市海珠区西北角，西起珠江后航道洲头咀码头附近，流经工业大道、南田路、宝岗大道、江南大道中、晓港公园和滨江东路，东出口在前航道的珠江泳场附近，现状海珠涌水流为双向流，自西向东流动为主流，河涌全长 5.9km，天然集水面积 11.1km²（实际雨水管网集水面积为 7.46km²），河宽 8~35m，平均河宽 25m，河底高程-2.5~-1.12m。

海珠区水文现象深受潮汐影响，潮波由南海经狮子洋传来，潮型属于不规则半日混合潮，潮差较小，平均潮差均在 1.4 米左右，属弱潮河口，潮差沿途变化，由东部（黄埔 1.64 米）向西部（老鸦岗）递减，这与珠江口至黄埔的潮差沿途递增恰好相反。潮位特征值按后航道广州浮标厂站所标，年最高潮 2.04 米，相应低潮位 0.16 米，年平均高潮位 0.79 米，年平均低潮位-0.56 米，年最低低潮位-1.38 米。最高高潮位与最低低潮位之差达 3.42 米。潮流在年内除汛期的 5~6 月，作用稍弱外，大部分时间为潮汐所控制。涨潮历时比落潮历时短 1 个半小时以上，黄埔站涨潮平均历时 5 时 30 分，落潮平均历时 7 时 1 分，涨落比 1.28。

2.1.7 土壤及植被

海珠区地带性土壤为赤红壤，母质为砂页岩，形成砂页岩赤红壤。主要分布于赤岗、凤凰岗、石榴岗等低丘陵上，由于大部分经过人工耕作，土壤性质已发生变化，一部分成为菜园果园，一部分已成为城市建筑用地。平原区域的土壤为三角洲沉积土，经长期人工耕作，土壤熟化程度高，地势较高的成为果园、菜地，其次为菜田，地势低洼者为菜塘。

项目地块所在区域土壤类型见**错误!未找到引用源。**，为赤红壤。赤红壤地区干湿季节交替，有利于土壤胶体的淋溶，并在一定的深度凝聚，因而土壤普遍具有明显的淀积层。该层孔壁及结构面均有明显的红棕色胶膜淀积，表现出铁铝氧化物及粘粒含量明显高于表土层（A层）及母质层（C层）。赤红壤剖面的形态特征如下：

（1）剖面层次分异明显，具有腐殖质表层（A层）、粘化层（B层）和母质层（C层）。

（2）A层湿态色调呈棕至棕红色，B层湿态色调呈棕红至红棕，C层受母质影响大，色调较复杂，从红色到黄色，但多数与母质近似，亮度及彩度均较B层高，有时尚可见红、黄、白色斑块。

（3）土壤质地多壤质粘土。A层因粘粒机械淋移或地表流失，质地稍轻。B层固粘粒淀积，质地稍粘。

（4）自然植被下表土层结构多为屑粒状和碎块状。B层块状和棱块状，在结构面和孔壁上常见铁铝氧化物胶膜淀积。微形态观察，多见弯曲短裂隙，少数孔道状孔隙，孔壁与裂隙面有较多老化扩散胶凝状粘粒胶膜淀积，消光微弱，见微弱光性定向粘粒。C层多块状和弱块状结构，一般没有或少量胶膜淀积。

（5）铁铝氧化物移动淀积较明显，其含量均以B层最高，并常见胶膜淀积，有的可见铁质软结核。局部堆积台地和坡麓地带可见各种形状的网纹层、侧向漂洗层、铁盘铁子层；其形成可能与地下水和侧渗水活动有关，并非赤红壤形成过程的特征。

（6）总孔隙量较大，微团聚性和渗透性较好。赤红壤粘粒矿物以高岭石为土，并有较多无定形铁铝氧化物的胶结，因而形成的团聚体（1-0.01毫米）达65%-89%。土体的总孔隙、通气孔隙和持水孔隙均较高，总孔隙度为40.5%-52.8%，平均47.2%。

海珠区内的森林植被主要是分布在村落附近台地上的杂木和人工栽种的马尾松林、小叶桉林、台湾相思林、竹林和一些被称作“风水林”的树木。果园主要分布在辖区东部和东南部，瑞宝、东风、土华、小洲、官洲、仑头、北山、龙潭、黄埔、琶洲、赤沙等经济联社，传统种植杨桃、荔枝、龙眼、香蕉、甜

橙、番石榴、黄皮、木瓜、菠萝、乌榄、柿、李等果树。项目地块附近植被为城市植被林，以人工栽植的细叶榕、大叶榕、垂叶榕等行道树为主。

2.1.8 区域地下水功能区划

根据《广东省地下水功能区划》（粤办函〔2009〕459号），项目地块位于珠江三角洲广州海珠至南沙不宜开采区（H074401003U01），不涉及地下水饮用水源补给径流区和保护区。

2.2 周边环境敏感目标

参照广州市《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）等技术规范要求对项目地块周边环境敏感目标进行识别，项目地块周边环境敏感目标主要为居民区、学校和医院，1000m 范围内不涉及饮用水源保护区及准保护区、基本农田保护区、自然保护区、风景名胜区等。

2.3 地块现状

2.3.1 地块建构筑物现状

项目地块现状为政府收储用地，已全部停产，本次土壤污染状况初步采样调查前，项目地块内主体建构筑物设施已拆除（原 1 号车间除外，该建筑为广州市第三批历史建筑（编号为 GZ 03 0032））。

2.3.2 地块市政管道施工情况说明

据《广州市河长制办公室关于推进海珠南部环岛路污水主干管工程（沙渡路-石岗路段）建设的会议纪要》（穗河长办会纪[2021]3号）文件，为了确保提升省考东朗断面的水质，海珠区生态城内流域河涌治理工程（一期）-南部环岛路主干管工程（沙渡路-石岗路）被列为广州市、海珠区重点建设项目。

因建设工程施工需要，施工单位（广州市市政工程维修处理有限公司）于 2021 年 5 月开始在项目地块进行管道施工，进行 W4、W5 两个工作井开挖，工作坑井施工过程中产生的土方临时堆放场地（堆土 1、堆土 2），并用防尘网覆盖。由于该污水管线路涉及北部广东裕龙置业有限公司地块施工，工期约至 2021 年 10 月份。地块内工作坑井施工过程中产生的土方临时堆放场地，拟用于地块内施工覆土加载技术需求，待施工完成后由施工单位负责原地回填临时堆放场地的土方。

经现场踏勘，堆土 1（W4 工作井施工区）土方量约 420m³，堆土 2（W5 工作井施工堆土区）土方量约 150m³。

2.4 地块历史

（1）地块历史沿革概述

项目地块历史沿革清晰，自农田开发利用建厂后可以分为 7 个阶段，简述如下：

1) 农田阶段（~1958 年）

根据项目地块所在区域 1955 年航拍图（1955 年）及人员访谈等信息，项目地块及周边临近区域原为为农田（见错误!未找到引用源。）。

2) 广州纱线漂染厂（1958 年~1985 年）阶段

1956年7月，广州市通过政府划拨海珠区南边路6号之二（地块西半部分）作为工业用地，在该地块成立广州纱线漂染厂，1958年投产，年产纱线漂染2400t/年。原广州纱线漂染厂（南边路6号之二）北侧紧邻广东省石油公司贮油所用地，东部为南边村农田，南侧隔北降涌与广州造纸厂木场相望，西侧紧邻珠江。具体见1959年~1978年项目地块及周边历史地形图（**错误!未找到引用源。**~**错误!未找到引用源。**）。

3) 广州东方印染厂（1985年~1993年）阶段

1985年原广州纱线漂染厂扩建并更名为广州东方印染厂，新增厂区东部的农田（南边路6号之一）作为工业用地，扩建生产线，年产印染布1000万米/年、纱线漂染3600t/年。扩建后，原广州东方印染厂（南边路6号之一、南边路6号之二）北侧紧邻广东省石油公司昌岗贮油所、广州锌片厂用地，东侧为广州冷冻机厂，南侧隔北降涌与广州曙光铸造厂及广州造纸厂木场相望，西侧紧邻珠江。1989年项目地块及周边历史地形图见**错误!未找到引用源。**。

4) 广州南丰印染厂（1993年~2004年）阶段

1993年8月广州东方印染厂引进外资成立广州南丰印染厂有限公司，广州东方印染厂将大部分纱线漂染设备外迁至广州市白云区，淘汰部分氧漂机、液流染色机、热定型机、卷染机、绳状洗水机、辊筒印花机、宽幅蒸化机等设备。广州南丰印染厂设在项目地块内，利用广州东方印染厂原有的生产厂房和部分设备，引进配套部分先进设备，托大印染布生产、淘汰部分纱线漂染产能，年产印染布2400万米/年、纱线漂染1500t/年。此后由于产业结构调整，原广州南丰印染厂2004年停产。2000~2004年项目地块及周边历史卫星影像及地形图见**错误!未找到引用源。**、**错误!未找到引用源。**~**错误!未找到引用源。**。

5) 广州第一棉纺织厂（2005年~2010年）阶段

2005年在拆除地块西侧为三栋厂房的基础上，在项目地块西侧（南边路6号之二）建立广州第一棉纺织厂，年产印染布1015万米/年，其中牛仔布923.4万米/年、装饰布91.7万米/年。按照《关于推进市区产业“退二进三”工作的意见》（穗府〔2008〕8号）等相关文件要求，广州第一棉纺织厂于2010年关停搬迁。2005年~2010年项目地块及周边历史卫星影像及地形图见**错误!未找到引用源。**

~错误!未找到引用源。，2005 年~2010 年，项目地块平面建构筑物布置基本保持不变。

6) 闲置及临时外租阶段（2010 年~2018 年）

广州第一棉纺织厂关停搬迁后，项目地块闲置。2013 年起，项目地块内的成品仓、印染车间厂房、办公楼作为物业外租为纸业仓库、布匹仓库以及影视创作基地等。由于地块收储工作，2018 年底完成租户清退，项目地块闲置。2010 年~2018 年项目地块及周边历史卫星影像见错误!未找到引用源。~错误!未找到引用源。。

7) 拆除平整、收储闲置阶段（2018 年~至今）

土地使用权人于 2019 年委托有资质的第三方对地块内遗留的危险废弃物进行无害化处置。2020 年 11 月项目地块启动建构筑物设施拆除工作，2021 年 3 月完成除原 1 号车间（作为历史风貌建筑保留）、门卫和值班室外，其它建构筑物设施均已拆除。

2.5 相邻地块现状及历史

2.5.1 相邻地块用地历史

参照项目地块所在区域历史地形图、历史卫星遥感影像图等资料，结合人员访谈，项目地块所在区域原为农田，自 1950 年代开始先后建设有广东省石油公司贮油所（后更名为广东省石油公司昌岗油库）、广州冷冻机厂、广州锌片厂南厂区等。

项目地块周边区域历史地形图及卫星影像图见错误!未找到引用源。~错误!未找到引用源。。

现对项目地块相邻地块用地历史梳理如下：

(1) 广东省石油公司昌岗油库

广东省石油公司昌岗油库紧邻项目地块北侧，该区域原为农田，据《广州中心城区滨水旧工业区更新研究》[D]（张弘，2019）¹等相关资料，1950 年代广东省石油公司在项目地块北侧、昌岗西路 1 号大院内建立广东省石油公司贮油所，主要贮存重油、机油、柴油及汽油，其储油罐距离项目地块北厂界约 150m，1978 年左右昌岗油库扩建储油罐区，南部油罐距离项目地块北厂界约 100m。广东省石油公司昌岗油库仅涉及油品储存，不进行油品加工生产。广东省石油公司昌岗油库于 2016 年列入广州市市级第三批历史建筑。在计划更新的名单中，昌岗油库由政府主导开发，计划建设成为广州工业博物馆。

昌岗油库共有 3 个储油管区：罐区 1 位于昌岗油库北部，包括 5 个 5000m³ 地面立式储油罐、4 个 2000 m³ 地面立式储油罐、15 个 20 m³ 架空卧式储油罐，储存油品为重油、柴油、汽油。罐区 2 位于昌岗油库北部，包括 16 个 40 m³ 地面卧式储油罐，主要储存润滑油。罐区 3 位于昌岗油库中南部，包括 15 个 500 m³ 地面立式储油罐、4 个 1000 m³ 地面立式储油罐，主要储存机油。

(2) 广州锌片厂南厂区

广州锌片厂南厂区紧邻项目地块北侧，该区域原为农田，1970 年广州锌片厂在项目地块北侧建立广州锌片厂南厂区，主要用于生产铝和铝制品。广州锌片厂南厂区紧邻项目地块北厂界。2000 年 10 月，广州锌片厂转制重组成立广州市腾业锌材有限公司。

¹ 张弘.广州中心城区滨水旧工业区更新研究 [D].广州：华南理工大学，2019

因广州市“三旧”项目改造工作推进的需要，广州市腾业锌材有限公司于 2007 年搬迁出市区。随后场地处于空置，2009 年场地内建筑物拆除后，广州锌片厂南区作为公安交警支队违法及事故车辆停车场使用。2013 年，根据广州市土地管理委员会 2013 年第四次会议决定，广州锌片厂（南区）保障性住房地块将由广州市土地开发中心自行建设安置房，用地性质由工业用地变住宅用地。2013 年该场地进行了车辆的清场工作，此后地块闲置原广州锌片厂南区土地利用历史沿革见表 2.5-1。

表 2.5-1 原广州锌片厂南区土地利用历史沿革

序号	时间	用途
1	1970 年前	农田
2	1970年~2000年	广州锌片厂（南区）厂区
3	2000年~2007年	广州市腾业锌材有限公司
4	2007年~2013 年	公安交警支队违法及事故车辆停车场
5	2013年~至今	安置房建设用地（闲置未动工）

根据《广州锌片厂地块（不含保障性住房地块）场地环境调查和风险评估报告》（广东省环境科学研究院&暨南大学，2017 年），广州锌片厂南区主要包括保卫科、综合办公楼、宿舍、仓库（机电、重油）、机修车间、铝三车间（熔铸、轧延）、铝片车间等。场地北部依次为综合办公楼、宿舍和仓库。场地中部和东部为生产车间，产品仓库位于场地东北角，重油库位于场地东南角。铝三车间（熔铸、轧延）使用柴油及重油。场地内设有锅炉房，锅炉房用煤。该调查在南区的调查范围为保障性住房地块以外的剩余区域。原广州锌片厂南厂区平面图见**错误!未找到引用源。**。

（3） 广州冷冻机厂

广州冷冻机厂位于海珠区南边路 38 号，始建于 1968 年，作为全国十大冷冻机厂之一，主要生产工业和民用业空调设备、轨道车辆空调产品。广州冷冻机厂位于项目地块东部，最近距离约 10m。2001 年 3 月，经广州市政府部门批准，原国有企业广州冷冻机厂改制为民营企业“广州冷冻机有限公司”。广州冷冻机有限公司在产品方面，新公司舍弃了原来广州冷冻机厂的工业和民用业空调设备等非轨道车辆空调产品，集中优势力量，专门从事铁路机车车辆、地铁车辆和轻轨车辆空调系统的开发和生产，在轨道车辆空调方面做精做强，成为轨道车辆空调专业化的研发和生产基地。为了满足市场发展的需要、增加企业竞争力，公司又于 2003 年 4 月进行了资产重组，并进行股份制改造，整体变更成立广州中车轨道交通装备股份有限公司，是铁道部机车、车

辆空调的定点生产厂家，地铁车辆空调系统国产化配套厂家之一。由于海珠区实施“退二进三”工作，广州中车轨道交通装备股份有限公司南边路厂区于 2009 年左右整体关停搬迁。2011 年原广州冷冻机厂（南边路 38 号）经改造后外租为商务办公，作为世联空间创业社区。

2.5.2 相邻地块现状

（1） 广东省石油公司昌岗油库

广东省石油公司昌岗油库于 2016 年列入广州市市级第三批历史建筑。在计划更新的名单中，昌岗油库由政府主导开发，计划建设成为广州工业博物馆，具体见**错误!未找到引用源。**。

（2） 广州锌片厂南厂区

目前广州锌片厂南区地块现状为安置房建设用地，大部分区域为裸露土地，小部分区域为混凝土硬化地面，地块内所有建筑均已拆除，场内仅存几排活动板房，具体见**错误!未找到引用源。**。

（3） 广州冷冻机厂

2011 年原广州冷冻机厂（南边路 38 号）经改造后外租为商务办公，现状为世联空间创业社区（**错误!未找到引用源。**）。

2.6 地块未来土地利用规划

根据《关于商请协助提供部分地块现行控制性详细规划情况的复函》（广州市规划和自然资源局海珠区分局，2019 年 7 月 3 日）、《广州市规划和自然资源局政府信息公开申请告知书》（穗规划资源公开[2021]1217 号），参照《城市用地分类与规划建设用地标准》（GB 50137-2011）的分类标准，项目地块规划为商业设施用地（B1）、娱乐康体设施用地（B3）、公园绿地（G1）和道路用地（S1）。

3. 土壤污染状况调查回顾与总结

3.1 地块污染识别

3.1.1 重点区域识别

基于资料分析、现场踏勘及人员访谈等第一阶段工作成果综合分析，项目地块历史生产可能会对土壤及地下水造成污染，潜在污染源、疑似污染区域及潜在污染物分析如下：

原一棉厂印染车间、原一棉厂炼漂车间、原一棉厂染整车间、原一棉厂浆染车间、原南丰印染厂及东方印染厂印染车间、化学品仓、染化料仓：上述区域历史上进行漂染、印染活动，涉及各种染料和助剂的暂存、使用，其“跑冒滴漏”可能渗入土壤地下水，进而导致土壤地下水污染，潜在污染物为镉、六价铬、苯胺、偶氮苯、苯酚、甲醛等。

雕刻车间：印花花筒雕刻过程中产生含六价铬废水，其跑冒滴漏可能会造成土壤地下水污染。

油炉房：导热油炉采用矿物型导热油作为高温导热介质，导热油“跑冒滴漏”的情况下，通过入渗的途径污染土壤及地下水，其潜在污染物包括石油烃。

储油罐及其输油管线：包括西北部储油罐、西南部储油罐、老发电机房储油罐、新发电机房储油罐，均为地上式储油罐。北部储油罐及南部储油罐通过架空敷设输油管向锅炉房供应燃油。发电机房储油罐均通过地上管道供应就近的发电机房用油。重油、柴油的储存、输送过程中跑冒滴漏的情况下，通过入渗的途径污染土壤及地下水，其潜在污染物为石油烃类。

生产废水管道及废水处理站：废水处理站涉及印染废水、漂染废水、雕刻废水等生产废水的收集、处理，生产废水中含有种类多样的残留染料及助剂，废水管道及池体使用时间长，“跑冒滴漏”的可能性大，废水中的污染物通过下渗的途径污染土壤及地下水，其潜在污染物包括镉、六价铬、苯胺、偶氮苯、苯酚、甲醛等。

锅炉房、煤堆场、煤渣场及烟气处理区：由于原煤及煤渣中含有重金属（砷等）、多环芳烃等，可能会渗入土壤地下水造成污染。

污泥堆放区及废水总排口：污水处理站西侧设有污泥堆放区，污泥中可能含有残留的锑、砷、铬、甲醛、苯酚、芳香胺、石油烃等潜在污染物，通过入渗污染土壤地下水。

固废房：固废房位于地块东北部，用于存放废染料及助剂包装桶、废机油等固体废物，可能会对土壤地下水造成锑、甲醛、苯酚、芳香胺、石油烃污染。

变电房：地块中部设有变电房，变压器中含有变压器油，变压器油中含有多氯联苯等物质组成，可能会渗入土壤地下水造成污染。

项目地块北部紧邻广东省石油公司昌岗油库、广州锌片厂南厂区，东部紧邻广州冷冻机厂，可能会对地块产生潜在污染，其潜在污染物包括石油烃、甲基叔丁基醚、氟化物、重金属（砷、镉、铜、锌、汞）、多环芳烃。

3.1.2 潜在污染物分析

项目地块由于涉及染料、助剂、机油、重油、燃煤等物质，可能会对土壤地下水造成锑、砷、铬、甲醛、苯酚、苯胺、偶氮苯、石油烃、多环芳烃、多氯联苯等潜在污染。

锑：锑化合物（醋酸锑或乙二醇锑）是纺织行业原材料聚酯纤维（即涤纶工业丝）生产过程中常用的催化剂，锑化合物常残留在涤纶织物面料中，并在后续的退浆、碱减量、染色等印染工序中大量释放出来，进入生产废水中，释放量与布料染色过程中所加的强碱、染料、助剂及高温环境有关。温度越高、操作时间越长，锑的释放量也越多。生产废水中的重金属锑可能会对土壤地下水造成污染。

重金属砷：燃煤中含有重金属砷，在堆放过程中受降雨径流冲刷释放，通过入渗途径可能会对土壤地下水造成污染；燃煤燃烧后产生含砷及其化合物烟尘颗粒，随大气沉降，可能会导致土壤地下水污染。

重金属铬（六价铬）：纱线漂染、布匹印染过程中使用重铬酸钾作为媒染剂，重金属六价铬进入漂染废水、印染废水中；此外，印花花筒上一般含有重金属铬保护层，在花筒蚀刻过程中容易释放出六价铬，进入生产废水中，通过入渗途径可能导致土壤地下水污染。

甲醛：项目地块历史生产过程中，所使用的树脂整理剂、固色剂、防缩剂、防腐剂等助剂可能含有甲醛，助剂中的甲醛进入生产废水中，通过入渗途径可能会对土壤地下水造成污染。

苯酚：常用于纺织原料（棉纤维）、半成品（如坯布）、成品的贮存、上浆过程的防腐剂及印花浆中做增稠剂、匀染剂等。进入生产废水中，通过入渗可能会导致土壤地下水污染。

苯胺：漂染过程中使用的直接染料、还原染料和硫化染料在高温条件下可能分解产生少量苯胺，进入生产废水中，通过入渗可能会导致土壤地下水污染。

偶氮苯：漂染过程中使用的偶氮类直接染料含有偶氮基团，在高温条件下可能分解产生少量偶氮苯，进入生产废水中，通过入渗可能会导致土壤地下水污染。

石油烃：主要来自于机油、燃料油和导热油。机器设备中的润滑油、机油等矿物油主要成分为石油烃；锅炉燃料重油的主要成分为石油烃物质；热油炉中的导热载体为矿物型导热油，矿物型导热油是以石油为原料，经过蒸馏等工艺制造而成的，其主要成分为石油烃，导热油使用温度约为 300°C。机油、重油、导热油等油品在“跑冒滴漏”情况下通过入渗可能导致土壤地下水污染，特征污染物为石油烃（C₁₀-C₄₀）。

多环芳烃：项目地块涉及多环芳烃的物质主要有燃煤、重油。燃煤燃烧后生产含多环芳烃物质（如苯并（a）芘等）的烟尘，随大气沉降可能导致土壤地下水污染；重油是原油提取汽油、柴油后的剩余重质油，主要成分为石油烃，此外还含有多环芳烃类物质，重油在存储及管道输送过程中“跑冒滴漏”情况下可能通过入渗导致土壤地下水污染。

多氯联苯：主要来自于变压器绝缘油。

2) 来自项目地块外潜在污染物识别

项目地块北部紧邻广东省石油公司昌岗油库、广州锌片厂南厂区，东部紧邻广州冷冻机厂，可能会对地块产生潜在污染，其潜在污染物包括石油烃、甲基叔丁基醚、三氯氟甲烷、二氯二氟甲烷及氟化物、重金属（砷、镉、铜、锌、汞）、多环芳烃。

石油烃：昌岗油库储存有重油、柴油、机油及汽油等物质，主要成分为石油烃；北部的广州锌片厂南厂区厂内设有重油储罐；东部的广州冷冻机厂生产空调制冷设备过程中，涉及金属材料机加工用油（如润滑油、机油等）。重油、柴油、机油等储存、

使用过程中，可能由于设备老化、事故等“跑冒滴漏”进入土壤、渗入地下水，随地表径流、地下水迁移进入项目地块，造成项目地块土壤地下水污染，潜在污染物为石油烃（C₁₀-C₄₀）、石油烃（C₆-C₉）。

甲基叔丁基醚：地块北部的昌岗油库历史上涉及汽油的储存，由于汽油中可能含有汽油添加剂甲基叔丁基醚，汽油储存过程中可能由于设备老化、事故等“跑冒滴漏”进入土壤地下水，随地表径流、地下水迁移进入项目地块，造成项目地块土壤地下水污染，潜在污染物为除石油烃外，还涉及甲基叔丁基醚。

氟化物：项目地块东部的广州冷冻机厂可能涉及含氟冷冻剂，其特征污染物为三氯氟甲烷、二氯二氟甲烷及氟化物。

重金属（砷、镉、铜、锌、汞）、多环芳烃（苯并(a)蒽、蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘和二苯并(a,h)蒽）：根据《广州锌片厂南区保障性住房地块场地环境详细调查机风险评价报告》（北京建工环境修复股份有限公司，2014年）：广州锌片厂南区保障性住房地块场地土壤中重金属（砷、镉、铜、锌、汞）、多环芳烃（苯并(a)蒽、蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘和二苯并(a,h)蒽）和石油烃总量（TPH）等污染物存在不同程度超标，污染物可能会随地表径流及地下水迁移进入项目地块，造成项目地块土壤地下水污染。

3) 潜在污染物识别

综合分析项目地块及其周边地块历史生产活动情况进行梳理表明，项目地块潜在污染物主要包括：重金属（镉、砷、铬、镉、铜、锌、汞等）、甲醛、苯酚、芳香胺类、石油烃、多环芳烃、多氯联苯、三氯氟甲烷、二氯二氟甲烷及氟化物等。

3.2 初步采样

3.2.1 采样点位布设

3.2.1.1 土壤采样点位布设

(1) 地块原土壤采样点

根据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）、《建设用地土壤污染风险管控和修复/风险管控监测技术导则》（HJ 25.2-2019）、《工业企业场地环境调查评估与修复/风险管控工作指南》（试行）、《广州市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）等相关文件，对污染识别阶段确定的每个疑似污染区域布设监测点，采用分区布点与专业判断相结合的方法布设监测点位，采样密度保证单个采样单元面积原则上不超过1600 m²，采样点具体位置需接近生产区域内的关键疑似污染点。

由于项目地块生产历史较长、重点区域分布较广，基于保守考虑，对整个项目地块采用40m×40m网格进行系统剖分，每个网格单元内布设一个采样点，局部重点区域进行加密布点，采用点位尽量考虑污染源位置。

本次初步采样在项目地块内布设41个土壤采样点。土壤采样点位重点布置在原一棉厂印染车间、原一棉厂炼漂车间、原一棉厂染整车间、原一棉厂浆染车间、原南丰印染厂及东方印染厂印染车间、化学品仓、油炉房、储油罐及输油管线、锅炉房/煤堆场/煤渣场及烟气处理区、生产废水管道及废水站等疑似污染区域，以最大限度的捕获污染物。项目地块初步调查土壤采样点位布设信息具体见**错误!未找到引用源。**、**错误!未找到引用源。**，土壤采样点位分布如**错误!未找到引用源。**。

（2）地块外土壤对照点

由于项目地块周边区域多为老工业区，受人为干扰可能性较大，因此项目地块外土壤对照点分别布置于东北2.6km的晓港公园、东7.6km的海珠国家湿地公园，具体见**错误!未找到引用源。**。

(1) 地块市政管道施工堆土采样点

本项目第一阶段调查工作开展时间为 2020 年 12 月~2021 年 1 月，初步采样时间为 2021 年 1 月~2021 年 3 月，南部环岛路主干管工程（沙渡路-石岗路）在项目地块内施工于 2021 年 5 月（下图中红色圆圈为工作井所在位置，红色线为顶管走向）。由于土体受施工扰动，基于保守考虑，本项目于 2021 年 6 月 18 日对临时堆土补充采集 3 个土样进行检测分析，采样点位布置见**错误!未找到引用源。**。其中：堆土 1 土方量约 420m³，布设 2 个采样点，每个点采集 1 个表层土样；堆土 2 土方量约 150m³，布设 1 个采样点，每个点采集 1 个表层土样。按照《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），外来堆土每 500 立方米采集不少于 1 个样品，采样密度符合要求。

地下水采样点位布设

参照《广州市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）等相关文件要求，本地块初步采样地下水监测井布设遵循下述原则：

综合考虑地下水流向、可能出现的污染情况、地块水文地质条件、水位、水力传导系数等，在地块内地下水的上游、下游、侧翼以及重点关注区域分别布设监测井；

监测井布尽量设在重点设施（如储罐、池体）的下游方向；

地下水监测点位总数不少于3个。

本次调查在项目地块内布设 9 口地下水监测井，除地块上游（W1），重点布设在原一棉厂印染车间、原一棉厂炼漂车间、原一棉厂染整车间、原一棉厂浆染车间、助剂仓、油炉房、储油罐及输油管线、生产废水管道及废水站等疑似污染区域。

地下水采样点位布设信息见**错误!未找到引用源。**，地下水监测井点位分布如**错误!未找到引用源。**。

3.2.2 检测分析指标

由于项目地块使用历史较长、生产工艺较复杂，早期资料相对较少，污染识别存在一定的不确定性，为最大限度保证地块土壤污染状况调查的合理性、准确性、可靠性，本次调查基于保守性原则筛选土壤及地下水检测指标。

3.2.2.1 土壤检测分析指标

土壤监测指标的筛选主要考虑项目地块的潜在特征污染物、《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）等相关规范要求综合确定。本项目土壤检测指标如下：

- (1) 理化性质（2项）：pH、含水率——212组土样全测；
- (2) GB36600表1基本45项——212组土样全测；
- (3) 其它污染物：
 - 重金属（2项）：锌、镉——193组土样检测；
 - 总氟化物——200组土样全测；
 - 挥发性有机物（VOCs）（15项）：1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯、1,2,3-三氯苯、1,2,4-三氯苯、正丙苯、异丙苯、正丁基苯、叔丁基苯、仲丁基苯、氯乙烷、1,3-二氯丙烷、溴氯甲烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、2-氯甲苯、4-氯甲苯——193组土样检测；
 - 氟氯烃化合物（2项）：三氯氟甲烷、二氯二氟甲烷——27组土样检测；
 - 甲基叔丁基醚：20组土样检测；
 - 半挥发性有机物（25项）：2,4-二硝基甲苯、2,4-二氯苯酚、2,4,6-三氯苯酚、2,4-二硝基苯酚、五氯苯酚、苯酚、2,4-二甲基苯酚、2-甲基苯酚、4-甲基苯酚、4-氯-3-甲基苯酚、2,4,5-三氯苯酚、2-甲基萘、2-氯萘、2,6-二硝基甲苯、偶氮苯、N-亚硝基二正丙胺、N-亚硝基二甲胺、2-硝基苯胺、4-硝基苯胺、4-氯苯胺、六氯苯、六氯乙烷、二（2-氯乙氧基）甲烷；六氯乙烷、六氯丁二烯——185组土样检测；
 - 甲醛——155组土样检测；
 - 石油烃类：石油烃（C₁₀-C₄₀）——212组土样全测，石油烃（C₆-C₉）——39组土样检测；

- 多环芳烃（8项）：萘、芴、蒽、荧蒽、芘、苉稀、菲、和苯并[g,h,i]芘——26组土样检测；
- 多氯联苯类（12项）：2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯（PCB189）、2,3,4,4',5,5'-六氯联苯（PCB167）、2,3,3',4,4',5'-六氯联苯（PCB157）、2,3,3',4,4',5-六氯联苯（PCB156）、3,3',4,4',5,5'-六氯联苯（PCB169）、2',3,4,4',5-五氯联苯（PCB123）、2,3',4,4',5-五氯联苯（PCB118）、2,3,3',4,4'-五氯联苯（PCB105）、2,3,4,4',5-五氯联苯（PCB114）、3,3',4,4',5-五氯联苯（PCB126）、3,3',4,4'-四氯联苯（PCB77）、3,4,4',5-四氯联苯（PCB81）——17组土样检测。

3.2.2.2 地下水检测分析指标

本项目地下水检测指标与土壤基本一致，但考虑到本项目属于纺织印染行业，所使用的助剂中可能涉及多种有机卤化物，参照《纺织染整工业水污染物排放标准》（GB 4287-2012），增设可吸附性有机卤素（AOX）这一指标。

3.2.3 初步调查结果评价

3.2.3.1 项目地块内土壤检测结果分析

（1）原土检测结果

31 个土样中六价铬、铅、镍、镉、总氟化物、石油烃(C₁₀-C₄₀)、甲醛、苯并(a)芘超过相应的第一类用地筛选值，分别超标 0.4 倍(六价铬)、0.3 倍(铅)、0.8 倍(镍)、1.8 倍(镉)、1.0 倍(总氟化物)、8.3 倍(石油烃(C₁₀-C₄₀))、1.8 倍(甲醛)、2.3 倍(苯并(a)芘)，其余各项指标均低于相应的第一类用地筛选值。

(2) 临时堆土补充采样检测结果

本次调查共采集 3 个堆土，根据实验室检测分析结果(错误!未找到引用源。)，临时堆土样品中 pH 值为 5.72~8.01，总氟化物、铅、铜、镍、镉、砷、汞、锌、锑、甲醛、二氯甲烷、六氯丁二烯、石油烃(C₁₀-C₄₀) 等 13 项污染物有检出，但均低于相应的第一类用地筛选值，所检测的其余各项指标均未检出。因此，南部环岛路主干管工程临时堆土污染风险很低，可以忽略。

3.2.3.2 地下水检测结果分析

本次调查地下水检测的各项指标中，pH 值、氟化物、可萃取性石油烃(C₁₀-C₄₀)、重金属 9 项(六价铬、铅、铜、镍、镉、砷、汞、锌、镉)均有检出，挥发性有机物检出 3 项(二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、邻-二甲苯)，半挥发性有机物有机物检出 5 项(苯胺、苯酚、2-甲基苯酚、4-甲基苯酚、菲)、AOX 等指标有检出，多氯联苯类物质等其余指标均未检出。

其中，4 个地下水监测井水样中氟化物、甲醛、砷、镉、可萃取性石油烃(C₁₀-C₄₀)等指标存在不同程度的**超标**，氟化物、甲醛、砷、镉、可萃取性石油烃(C₁₀-C₄₀)最大分别超标 1.7 倍、0.7 倍、2.0 倍、1.6 倍、0.02 倍，其余各项指标均低于相应的地下水污染筛选值筛选值。

3.3 第二阶段调查-详细采样回顾与结论

第一轮详细采样分析单位与初步采样阶段一致，其中钻探工作由具有勘察资质的普罗（广州）勘察服务有限公司负责，土壤及地下水样品采集、转运、检测分析由具有CMA资质的广东贝源检测技术股份有限公司负责，土工测试由国土资源部放射性矿产资源监督检测中心（广东省矿产应用研究所）负责。

于2021年3月30日~6月18日完成第一轮详细调查土壤样品采集；于2021年4月2日完成地下水监测井建井工作，于2021年4月8日~6月24日完成地下水样品采集。

3.3.1 调查介质

根据《广州市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）等相关文件，第二阶段调查详细采样介质为项目地块内土壤和地下水。

3.3.2 采样点位布设

3.3.2.1 土壤采样点位布设

详细调查应根据初步采样分析所揭示的污染物分布规律来确定采样点位，采用系统布点法加密布设。对于超筛选值区域每个土壤采样单元面积不大于400平方米；对于超筛选值的孤立点位，进一步加密至超筛选值点位10米范围内；同时，对于超筛选值的地下水监测点，四周按20m×20m网格增设土壤采样点位。此外，详细调查针对初步调查中最底层存在超标的点位进行补充采样，以确定超标点位的最大污染深度。

本项目详细采样调查共布设146个土壤采样点，采样点位信息表如**错误!未找到引用源。**所示。

本项目详细调查分多个阶段逐步推进，第一轮土壤详细采样时间为2021年3月30日~4月12日，共布设土壤监测点位38个，最大采样深度为6.1m，采集土壤样品225组，检测项目为石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、苯并（a）芘；第二轮详细采样时间为2021年4月19日~6月18日，共布设土壤监测点位12个，采样深度为4.4m，采集土壤样品50组，检测项目为石油烃（C₁₀-C₄₀）、苯并（a）芘；并于2021年7月~10月先后进行第三轮~第五轮详细采样，检测项目石油烃（C₁₀-C₄₀）、苯并（a）芘、总氟化物、六价铬、砷、镉。

3.3.2.2 地下水采样点位布设

参照广州市《建设用土壤污染防治 第1部分：污染状况调查技术规范》（DB4401/T102.1-2020）要求：确定地块地下水污染程度和污染范围时，地下水采样单元面积不大于 6400m²。

本次调查地下水监测井的布设综合考虑污超标点位置、地下水流向，在超标地下水点位的下游、侧翼以及重点关注区域分别布设监测井。详细调查增设 10 个地下水监测井，增设监测井编号为 2W1~2W10。

3.3.2.3 土工测试采样点设置

根据初步调查土壤污染状况特征，每个超标区域设置 1 个土工样采样点，土工采样点尽量临近初查超标点位，共 4 个土工样采样点，即 2S4、2S12、2S21、2S34，具体见表 3.3-1、**错误!未找到引用源。**。

表 3.3-1 南边路地块土工样品布设一览表

采样点位	样品数量（个）	采样深度（m）	目标土层
2S4	4	0~0.5, 2.0~2.5, 3.5~4.0, 4.5~5.0	填土, 淤泥质粘土, 淤泥质砂土, 粉质粘土
2S12	2	0~0.5, 1.5~2.0	填土
2S21	4	0~0.5, 2.0~2.5, 3.5~4.0, 4.5~5.0	填土, 淤泥质粘土, 淤泥质砂土, 粉质粘土
2S34	4	0~0.5, 2.0~2.5, 3.5~4.0, 4.5~5.0	填土, 淤泥质粘土, 淤泥质砂土, 粉质粘土
合计	14	/	/

3.3.2.4 环境空气甲醛采样点布设

由于地块内土壤地下水均存在较大范围超标，为充分评估土壤地下水甲醛污染对周边空气的影响，本次调查对地块内及周边环境空气进行采样检测甲醛质量状况。

根据《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）、《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ 194-2017），本次环境空气甲醛监测设4个采样深度及样品数量

3.3.2.5 土壤采样深度及数量

参照国家及广州地方导则要求，本阶段应根据初步采样分析成果有针对性地设置土壤采样深度范围，采用分层采样方法设置土壤采样深度，最大采样深度应确保未受污染。分层采样原则为：表层土壤样品采集 0 米-0.5 米，0.5 米-6 米土壤采样间隔不超过 1 米，6 米以下土壤采样间隔不超过 2 米。

详细采样分析 150 个土壤采样点（含 4 个初查封孔点位），共采集 1160 个土样，具体见**错误!未找到引用源。**。

3.3.2.6 地下水采样深度与数量

参照广州市导则要求：一般情况下地下水样品采样深度应在监测井水面 0.5 米以下。对于存在低密度非水溶性有机物（LNAPL）污染的地下水，取样位置应设置在含水层顶部；对于存在高密度非水溶性有机污染物（DNAPL）污染的地下水，取样位置应设置在含水层底部。

由于本次补充调查涉及氟化物、甲醛、砷、锑等污染物，需要采集上层水样，同时由于初查地下水中有有机氯、苯酚类等 DNAPL 检出，基于保守考虑同时采集底层水样检测 VOCs、SVOCs。

详细调查针对初查及详查 19 口监测井进行采样检测，具体采样深度、样品数量见错误!未找到引用源。。

3.3.2.7 土工样采样深度设置

土工样采样深度与数量根据土层特性确定，共采集 14 个土工样，具体数量及深度见表 3.3-2。

表 3.3-2 南边路地块土工测试采样深度及样品数量一览表

采样点位	样品数量（个）	采样深度（m）	目标土层
2S4	4	0~0.5, 2.0~2.5, 3.5~4.0, 4.5~5.0	填土, 淤泥质粘土, 淤泥质砂土, 粉质粘土
2S12	2	0~0.5, 1.5~2.0	填土
2S21	4	0~0.5, 2.0~2.5, 3.5~4.0, 4.5~5.0	填土, 淤泥质粘土, 淤泥质砂土, 粉质粘土
2S34	4	0~0.5, 2.0~2.5, 3.5~4.0, 4.5~5.0	填土, 淤泥质粘土, 淤泥质砂土, 粉质粘土
合计	14	/	/

3.3.2.8 环境空气采样时间与频次

本次调查监测环境空气甲醛小时浓度，每天采样 3 次（08:00、14:00、20:00），监测 1 天。监测期间同时进行地面风向、风速、气温、气压等气象要素观测。

3.3.3 检测分析指标

根据导则要求，详细采样阶段样品检测项目原则上根据初步采样分析阶段的超筛选值污染物选取。

3.3.3.1 土壤检测指标及检测方法

土壤检测指标苯并（a）芘、石油烃(C₁₀-C₄₀)、甲醛、重金属砷、镉、六价铬、铅、镍、总氟化物，具体见错误!未找到引用源。，土壤检测方法及其检出限与初步采样分析一致，具体见表 3.3-3。

表 3.3-3 南边路详查土壤检测方法及其检出限

检测项目	检测方法	使用仪器	检出限	
pH 值	土壤 pH 值的测定 电位法 HJ 962-2018	pH 计 FE28	——	
干物质	土壤 干物质和水分的测定重量法 HJ 613-2011	百分之一电子天平 JJ600Y	——	
总氟化物	土壤 水溶性氟化物和总氟化物的测定 离子选择电极法 HJ 873-2017	氟离子计 STAR-A214	63mg/kg	
石油烃（C ₁₀ -C ₄₀ ）	土壤和沉积物 石油烃（C ₁₀ -C ₄₀ ）的测定 气相色谱法 HJ 1021-2019	气相色谱仪 Agilent7890B	6mg/kg	
甲醛	土壤和沉积物 醛、酮类化合物的测定 高效液相色谱法 HJ 997-2018	液相色谱仪 Agilent1260	0.02mg/kg	
苯并（a）芘	土壤和沉积物 半挥发性有机化合物的测定 气相色谱-质谱法 HJ 834-2017	气相色谱-质谱联用仪 Agilent7890B-5977B	0.1mg/kg	
重金属	六价铬	土壤和沉积物 六价铬的测定 碱溶液提取-火焰原子吸收分光光度法 HJ 1082-2019	原子吸收分光光度计 AA-900F	0.5mg/kg
	铅	土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法 HJ491-2019	原子吸收分光光度计 AA-900F/AA-6880F	10mg/kg
	镍	土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法 HJ491-2019	原子吸收分光光度计 AA-900F	3mg/kg
	砷	土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法 HJ 680-2013	原子荧光光度计 BAF2000	0.01mg/kg
	镉	土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法 HJ 680-2013	原子荧光光度计 BAF2000	0.01mg/kg

3.3.3.2 地下水检测分析方法

地下水样品理化性质检测分析由具有 CMA 资质的广东贝源检测技术股份有限公司负责，具体检测方法及其检出限见表 3.3-4。

表 3.3-4 地下水样品检测分析及检出限一览表

检测项目		检测方法	使用仪器	检出限
浊度		水质 浊度的测定 浊度计法 HJ 1075-2019	浊度计 WGZ-200	0.3NTU
氟化物		水质 氟化物的测定 离子选择电极法 GB/T 7484-1987	氟离子计 STAR A214	0.05mg/L
可萃取性石油烃 (C10-C40)		水质 可萃取性石油烃 (C10-C40) 的测定 气相色谱法 HJ 894-2017	气相色谱仪 Agilent7890B	0.01mg/L
挥发性石油烃 (C6-C9)		水质 挥发性石油烃 (C6-C9) 的测定吹扫捕集/气相色谱法 HJ 893-2017	气相色谱仪 Agilent7890B、AtomxXYZ	0.02mg/L
甲醛		水质 甲醛的测定 乙酰丙酮分光光度法 HJ 601-2011	紫外可见分光光度计 UV-1800	0.05mg/L
重金属	总汞	水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定原子荧光法 HJ 694-2014	原子荧光光度计 BAF2000	0.04μg/L
	镍	水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法 HJ 700-2014	电感耦合等离子体质谱仪 Agilent7800	0.06μg/L
	铜			0.08μg/L
	锌			0.67μg/L
	砷			0.12μg/L
	镉			0.05μg/L
	锑			0.15μg/L
铅	0.09μg/L			
挥发性有机物	氯乙烯	水质 挥发性有机物的测定吹扫捕集/气相色谱-质谱法 (全扫描方式) HJ 639-2012	气相色谱质谱联用仪 Agilent7820A-5977E、Atomx15-0000-074	1.5μg/L
	1,1-二氯乙烯			1.2μg/L
	二氯甲烷			1.0μg/L
	反式-1,2-二氯乙烯			1.1μg/L
	1,1-二氯乙烷			1.2μg/L
	顺式-1,2 二氯乙烯			1.2μg/L
	溴氯甲烷			1.4μg/L
	氯仿			1.4μg/L
	1,1,1-三氯乙烷			1.4μg/L
	四氯化碳			1.5μg/L
	苯			1.4μg/L
	1,2-二氯乙烷			1.4μg/L
	三氯乙烯			1.2μg/L
	1,2-二氯丙烷			1.2μg/L
	甲苯			1.4μg/L
	1,1,2-三氯乙烷			1.5μg/L
	四氯乙烯			1.2μg/L
	1,3-二氯丙烷			1.4μg/L
	氯苯			1.0μg/L
1,1,1,2-四氯乙烷	1.5μg/L			
乙苯		气相色谱质谱联用仪	0.8μg/L	

检测项目		检测方法	使用仪器	检出限
	间,对-二甲苯	水质 挥发性有机物的测定吹扫捕集/气相色谱-质谱法 (全扫描方式) HJ 639-2012	Agilent7820A-5977E、Atomx15-0000-074	2.2µg/L
	邻-二甲苯			1.4µg/L
	苯乙烯			0.6µg/L
	异丙苯			0.7µg/L
	1,1,2,2-四氯乙烷			1.1µg/L
	1,2,3-三氯丙烷			1.2µg/L
	正丙苯			0.8µg/L
	2-氯甲苯			1.0µg/L
	1,3,5-三甲苯			0.7µg/L
	4-氯甲苯			0.9µg/L
	叔丁基苯			1.2µg/L
	1,2,4-三甲基苯			0.8µg/L
	仲丁基苯			1.0µg/L
	1,4-二氯苯			0.8µg/L
	正丁基苯			1.0µg/L
	1,2-二氯苯			0.8µg/L
	1,2-二溴-3-氯丙烷			1.0µg/L
	1,2,4-三氯苯			1.1µg/L
	1,2,3-三氯苯			1.0µg/L
	乙苯			0.8µg/L
间,对-二甲苯	水质 挥发性有机物的测定吹扫捕集/气相色谱-质谱法 (全扫描方式) HJ 639-2012	气相色谱质谱联用仪 Agilent7820A-5977E、Atomx15-0000-074	2.2µg/L	
邻-二甲苯			1.4µg/L	
苯乙烯			0.6µg/L	
异丙苯			0.7µg/L	
1,1,2,2-四氯乙烷			1.1µg/L	
1,2,3-三氯丙烷			1.2µg/L	
正丙苯			0.8µg/L	
2-氯甲苯			1.0µg/L	
1,3,5-三甲苯			0.7µg/L	
4-氯甲苯			0.9µg/L	
叔丁基苯			1.2µg/L	
1,2,4-三甲基苯			0.8µg/L	
仲丁基苯			1.0µg/L	
1,4-二氯苯			0.8µg/L	
正丁基苯			1.0µg/L	
1,2-二氯苯			0.8µg/L	
1,2-二溴-3-氯丙烷			1.0µg/L	
1,2,4-三氯苯			1.1µg/L	
1,2,3-三氯苯			1.0µg/L	
半挥发性有机物			2,6-二硝基甲苯	水质 半挥发性有机物的测定 液液萃取-气相色谱 质谱法 DB 4401/T 94-2020
	2,4-二硝基苯酚	0.2µg/L		
	萘	0.2µg/L		
	2,4-二硝基甲苯	0.1µg/L		
	苊	0.1µg/L		
	4-硝基苯胺	0.2µg/L		
	偶氮苯	0.2µg/L		
	六氯苯	0.2µg/L		

检测项目		检测方法	使用仪器	检出限
	五氯苯酚			0.2μg/L
	菲			0.1μg/L
	蒽			0.1μg/L
	荧蒽			0.1μg/L
	芘			0.1μg/L
	苯并(a)蒽			0.1μg/L
	蒾			0.1μg/L
	苯并(b)荧蒽			0.1μg/L
	苯并(k)荧蒽			0.1μg/L
	苯并(a)芘			0.1μg/L
	茚并(1,2,3-cd)芘			0.1μg/L
	二苯并(a,h)蒽			0.2μg/L
	苯并(g,h,i)芘			0.1μg/L
	2,3,4,6-四氯苯酚			水质 酚类化合物的测定 气相色谱-质谱法 HJ 744-2015
多氯联苯	3,4,4',5-四氯联苯 (PCB81)	水质 多氯联苯的测定 气相色谱-质谱法 HJ 715-2014	气相色谱质谱联用仪 Agilent7890B-5977B	2.2ng/L
	3,3',4,4'-四氯联苯 (PCB77)			2.2ng/L
	2',3,4,4',5-五氯联苯 (PCB123)			2.0ng/L
	2,3',4,4',5-五氯联苯 (PCB118)			2.1ng/L
	2,3,4,4',5-五氯联苯 (PCB114)			2.2ng/L
	2,3,3',4,4'-五氯联苯 (PCB105)			2.1ng/L
	3,3',4,4',5-五氯联苯 (PCB126)			2.2ng/L
	2,3',4,4',5,5'-六氯联苯 (PCB167)			2.2ng/L
	2,3,3',4,4',5-六氯联苯 (PCB156)			1.4ng/L
	2,3,3',4,4',6-六氯联苯 (PCB157)			2.2ng/L
	3,3',4,4',5,5'-六氯联苯 (PCB169)			2.2ng/L
	2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯 (PCB189)			2.2ng/L

3.3.3.3 环境空气甲醛检测分析方法

环境空气样品检测分析由具有 CMA 资质的广东贝源检测技术股份有限公司负责，具体检测方法及检出限见表 3.3-5。

表 3.3-5 环境空气检测分析方法一览表

检测指标	检测方法	使用仪器	方法检出限
甲醛	空气质量 甲醛的测定 乙酰丙酮分光光度法 GB/T 15516-1995	紫外可见分光光度计 UV-1800	0.5mg/m ³

3.3.3.4 土工测试指标

参照广州市《建设用土地壤污染防治 第 1 部分：污染状况调查技术规范》（DB4401/T102.1-2020）等相关要求，土工样测试指标为：粒径分布、土壤容重、土壤密度、含水率、饱和度、孔隙度、有机质含量、渗透系数（横向/纵向）。

3.3.4 详细调查样品检测分析

3.3.4.1 样品理化分析

土壤和地下水样品理化性质检测分析由具有 CMA 资质的广东贝源检测技术股份有限公司负责，具体检测方法及检出限见表 3.3-3、表 3.3-4。

3.3.4.2 土工测试

土工测试由国土资源部放射性矿产资源监督检测中心（广东省矿产应用研究所）负责，土工参数检测方法见表 3.3-6。

表 3.3-6 土工参数检测方法汇总表

序号	检测指标	检测方法	
1	天然状态 性质指标	含水率 《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）烘干法	
2		土粒比重 《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）比重瓶法	
3		湿密度 《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）环刀法	
4			干密度
5		饱和度 《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）换算法	
6			孔隙比
7			孔隙率
8	稠度指标	液限 《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）	
9		塑性指数 液塑限联合测定法	
10			
11			液性指数
12	固结指标	压缩系数 《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）标准固结法	
13		压缩模量	
14	剪切性能 指标	剪切方法 《土工试验方法标准》	
15		粘聚力 （GB/T 50123-2019）直接快剪试验	
16			内摩擦角
17	土粒组成	《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）筛分法	
18	渗透系数	《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）常水头渗透法	

3.3.5 检测结果分析

3.3.5.1 土壤检测结果分析

详查土壤检测结果表明：土壤中苯并（a）芘最大检测浓度为 7.3mg/kg，超过第一类用地筛选值；土壤中石油烃（C₁₀-C₄₀）最大检测浓度为 9480mg/kg，超过第一类用地筛选值；甲醛最大检测浓度为 35.3mg/kg，超过第一类用地筛选值；总氟化物最大检测浓度为 2700mg/kg，超过第一类用地筛选值。

详细调查采样土壤检测结果统计评价情况见**错误!未找到引用源。**。

（1）苯并（a）芘

本次详细调查共采集 80 个土样检测苯并（a）芘，其浓度范围为 ND~7.3mg/kg，其中 9 个土样有检出，2S3/1.3-1.4m 土样检测浓度最大（其值为 7.3mg/kg），1 个土样超过《土壤污染风险管控标准 建设用地土壤污染风险筛选值（试行）》（GB 36600-2018）第一类用地筛选值（0.55mg/kg）12.3 倍，其余样品均未超过第一类用地筛选值。详查苯并（a）芘土壤超标点位及样品具体见**错误!未找到引用源。**。

（2）石油烃(C₁₀-C₄₀)

本次详细调查共采集 311 个土样检测石油烃（C₁₀-C₄₀），其浓度范围为 84~9480mg/kg，7 个土样浓度超过《土壤污染风险管控标准 建设用地土壤污染风险筛选值（试行）》（GB 36600-2018）第一类用地筛选值（826mg/kg），最大检出样品 2S14/0.1-0.2m 土样检测浓度为 9480mg/kg，超过第一类用地筛选值（826mg/kg）10.4 倍。详查石油烃（C₁₀-C₄₀）土壤超标点位及样品具体见**错误!未找到引用源。**。

（3）甲醛

本次详细调查共采集 583 个土样检测甲醛，其浓度范围为 0.05~74.7mg/kg，全部土样均有检出，40 个土样超过基于风险评估推导的第一类用地筛选值（15.9mg/kg）。详查石油烃（C₁₀-C₄₀）土壤超标点位及样品具体见**错误!未找到引用源。**。

（4）总氟化物

本次详细调查共采集 174 个土样检测总氟化物，其浓度范围为 63.4~2700mg/kg，全部土样均有检出，1 个土样（2S4/1.0-1.5）超过基于风险评估推导的第一类用地筛选值（1940mg/kg）。详查总氟化物土壤超标点位及样品具体见错误!未找到引用源。。

3.3.5.2 地下水检测结果分析

本次地下水采样结果表明：场地地下水中氟化物、甲醛、砷、镉不同程度超过相应的地下水污染筛选值，具体见错误!未找到引用源。。

(1) 氟化物

本次详查地下水样品中氟化物浓度超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值。共采集 11 个地下水样品检测氟化物，全部有检出，其浓度范围为 420~4040 $\mu\text{g/L}$ ，其中 W3、W9 水样中氟化物分别为 4040 $\mu\text{g/L}$ 、2940 $\mu\text{g/L}$ ，均超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值（2000 $\mu\text{g/L}$ ），分别超标 1.02 倍、0.47 倍。其余 9 口监测井地下水样品低于《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值。

(2) 甲醛

本次详查地下水样品中甲醛浓度超过《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）限值。共采集 11 个地下水样品检测甲醛，全部有检出，其浓度范围为 3~431 $\mu\text{g/L}$ ，其中 W5、W8、W9、2W1 水样中甲醛分别为 1120 $\mu\text{g/L}$ 、1090 $\mu\text{g/L}$ 、1120 $\mu\text{g/L}$ 、1000 $\mu\text{g/L}$ ，均超过《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）限值（900 $\mu\text{g/L}$ ），分别超标 0.24 倍、0.21 倍、0.24 倍、0.11 倍。其余 7 口监测井地下水样品低于《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）限值。

(3) 砷

本次详查地下水样品中砷浓度超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值。共采集 11 个地下水样品检测砷，全部有检出，其浓度范围为 3~431 $\mu\text{g/L}$ ，其中 W5、W7、2W1 水样中砷分别为 431 $\mu\text{g/L}$ 、55.8 $\mu\text{g/L}$ 、106 $\mu\text{g/L}$ ，均超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值（50 $\mu\text{g/L}$ ），分别超标 7.62 倍、0.12 倍及 1.12 倍。其余 8 口监测井地下水样品低于《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值。

(4) 锑

本次详查地下水样品中锑浓度超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值。共采集 11 个地下水样品检测锑，其浓度范围为 ND~21.6 $\mu\text{g/L}$ ，9 个样品有检出，其中 W3 水样中锑浓度为 21.6 $\mu\text{g/L}$ ，均超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值（10 $\mu\text{g/L}$ ），超标 1.16 倍。其余 8 口监测井地下水样品低于《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值。

3.3.5.3 补充监测井地下水检测结果分析

对初查补充监测井 2W8、2W9 的水样检测结果表明，在所检测的全套指标中，pH 值、氟化物、甲醛、可萃取性石油烃（C10-C40）、镍、铜、锌、砷、镉、锑、铅、苯胺、2-甲基萘等指标有检出，但均低于 IV 类水筛选值。2W8、2W9 水样中可吸附性有机卤素（AOX）浓度有检出、低于天然水平均浓度。2 个水样浊度均超过 IV 类水筛选值。其余各项检测指标均未检出。

补充采样检测结果表明，2W8（原重油罐）、2W9（污泥堆放点）所在区域地下水质量状况良好。

3.3.5.4 全场监测井下层地下水水样检测结果分析

为充分了解项目地块地下水污染状况，本次补充调查对全场 19 口监测井采集潜水层含水层底部水样，检测分析挥发性有机物和半挥发性有机物，具体如下：

- 挥发性有机物（VOCs）（42 项）：四氯化碳、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、三氯甲烷、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，对-二甲苯、邻-二甲苯；1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯、1,2,3-三氯苯、1,2,4-三氯苯、正丙苯、异丙苯、正丁基苯、叔丁基苯、仲丁基苯、氯乙烷、1,3-二氯丙烷、溴氯甲烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、2-氯甲苯、4-氯甲苯；
- 半挥发性有机物（36 项）：硝基苯、苯胺、2-氯苯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘；2,4-二硝基甲苯、2,4-二氯苯酚、2,4,6-三氯苯酚、2,4-二硝基苯酚、五氯苯酚、苯酚、2,4-二甲基苯酚、2-甲基苯酚、4-甲基苯酚、4-氯-3-甲基苯酚、2,4,5-三氯苯酚、五氯苯酚、2-甲基萘、2-氯萘、2,6-二硝基甲苯、偶氮苯、N-亚硝基二正丙胺、N-亚硝基二甲胺、2-硝基苯胺、4-硝基苯胺、4-氯苯胺、六氯苯、六氯乙烷、二（2-氯乙氧基）甲烷、六氯丁二烯。

结果表明，在 19 口监测井水样所检测的 78 项指标中，除苯胺、萘、苯并（a）蒽、苯酚、4-甲基苯酚、2-甲基萘 6 中半挥发性有机物之外，其余有机物均未检出，具体见错误!未找到引用源。。上述 6 中物质检测的浓度均较低。

本次含水层底部水样检测结果与初查阶段含水层顶部水样检测结果一致，有机物浓度均较低，污染风险较小。

3.3.6 土工测试结果

3.3.6.1 土工测试结果

本次土壤污染状况调查在项目地块内不同区域、不同土层选取 14 个土样进行土工测试，土工测试结果见表 3.3-7。

表 3.3-7 南边路土壤样品土工测试结果统计表

检测指标		最小值	最大值	平均值
天然状态 性质指标	含水率 (%)	6.6	24	16.2
	土粒比重 (Gs)	2.71	2.72	2.72
	湿密度 (g/cm ³)	1.52	2.15	1.77
	干密度 (g/cm ³)	1.25	1.85	1.52
	饱和度	20	100	60
	孔隙比	0.469	1.163	0.818
	孔隙率 (%)	31.9	53.8	44.0
稠度指标	液限 (%)	16.2	32.1	24.2
	塑限 (%)	3.4	18.9	11.7
	塑性指数	10.5	14.2	12.6
	液性指数	0.22	0.50	0.36
固结指标	压缩系数 (MPa ⁻¹)	0.69	0.86	0.76
	压缩模量 (MPa)	2.24	6.99	3.88
渗透系数 (cm/s)	Ks	3.62E-05	5.53E-04	2.27E-04
	Kv	4.82E-05	5.32E-04	2.63E-04
有机质含量 (%)		0.53	4.85	2.45

3.3.7 环境空气甲醛检测结果分析

项目地块环境空气甲醛检测结果见表 3.3-8，调查监测期间，4 个采样点位不同时段空气样品的甲醛均未检出，说明项目地块内及周边环境空气甲醛无污染。项目地块土壤及地下水甲醛污染对环境空气影响较小。

表 3.3-8 南边路地块环境空气甲醛检测结果一览表

采样频次	甲醛检测结果 (mg/m ³)				室内空气质量标准 (mg/m ³)
	A1	A2	A3	A4	

第一频次	ND	ND	ND	ND	0.1
第二频次	ND	ND	ND	ND	
第三频次	ND	ND	ND	ND	

注：ND-未检出。

3.4 第二阶段调查采样调查总结

3.4.1 土壤污染特征分析总结

根据第二阶段初步采样及详细采样结果汇总，土壤样品所检测分析的各项指标中，苯并（a）芘、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、总氟化物、铅、六价铬、镍、锑等 8 种污染物不同程度超过第一类用地筛选值，土壤超标情况具体见**错误!未找到引用源。**~**错误!未找到引用源。**、**错误!未找到引用源。**。

（1）苯并（a）芘

第二阶段全场共采集 292 个土样检测苯并（a）芘，共 2 个土孔 2 个土样超标，最大检测浓度未 7.3mg/kg，最大超第一类用地筛选值 12.3 倍。苯并（a）芘超标点位均位于地块东北部成品仓及其临近区域。

（2）石油烃（C₁₀-C₄₀）

第二阶段全场共采集 523 个土样检测石油烃（C₁₀-C₄₀），共 14 个土孔 16 个土样超标，最大检测浓度为 9480mg/kg，最大超第一类用地筛选值 10.5 倍。石油烃（C₁₀-C₄₀）浓度高（超第二类用地筛选值）的点位主要集中在油炉房及其附近（S40、2S14），且其最大浓度均出现在表层土（0.1-0.2m），最大超第二类筛选值 1.11 倍。石油烃（C₁₀-C₄₀）浓度超第一类用地筛选值但低于第二类用地筛选值的采样点位包括 S2、S6、S9、S18、S35、S36、S37、2S13、2S45，主要集中在油炉房、油罐区以及废水处理站等区域，超筛选值土层埋深较浅，超筛选值最大深度为 2.4m，主要集中在 0~2.0m 浅层土。

（3）甲醛

第二阶段全场共采集 738 个土样检测甲醛，共 34 个土孔 54 个土样超标，最大检测浓度为 74.7mg/kg，最大超第一类用地筛选值 3.7 倍。甲醛超第一类用地筛选值未超第二类用地筛选值的点位（S7、S11、S13、S19、S28、S29、S30、S31、S34、S35、

S37、S38、2S30、2S31、2S33、2S36) 位于一棉厂印染车间内、临近原东方印染厂中间仓、生产污水管道沿线、污水处理站、原助剂仓等区域。

(4) 总氟化物

第二阶段全场共采集 386 个土样检测总氟化物，共 2 个土孔 2 个土样超标，最大检测浓度为 3890mg/kg，最大超第一类用地筛选值 1.0 倍。氟化物超标点位主要集中在项目地块东北部。位于成品仓附近，临近项目地块东厂界。

(5) 铅

第二阶段全场共采集 286 个土样检测重金属铅，共 1 个土孔 1 个土样超标，最大检测浓度为 527mg/kg，最大超第一类用地筛选值 0.3 倍。土壤铅超第一类用地筛选值点位为 S4，位于纱线漂染车间内，临近车间污水管道。

(6) 六价铬

第二阶段全场共采集 273 个土样检测六价铬，共 1 个土孔 1 个土样超标，最大检测浓度为 4.1mg/kg，最大超第一类用地筛选值 0.4 倍。土壤六价铬超第一类用地筛选值点位为 S34，位于污水处理站区域原污泥堆放场。

(7) 镍

第二阶段全场共采集 247 个土样检测重金属镍，共 1 个土孔 1 个土样超标，最大检测浓度为 266mg/kg，最大超第一类用地筛选值 0.8 倍。土壤镍超第一类用地筛选值点位为 S18，位于柴油罐区、原广州纱线漂染厂机修车间，临近项目地块北厂界。

(8) 镉

第二阶段全场共采集 268 个土样检测重金属镉，共 1 个土孔 1 个土样超标，最大检测浓度为 55.1mg/kg，最大超第一类用地筛选值 1.8 倍。土壤镉超第一类用地筛选值点位为 S9，位于纱线漂染车间内，临近车间污水管道。

3.4.2 土壤超筛选值污染面积及方量估算

3.4.2.1 土壤超筛范围的确定方法与原则

(1) 土壤污染水平范围确定

考虑详调孤立点位已经按 10 m×10 m 的高密度进行布点采样，连片污染区域按 20 m×20 m 网格进行布点采样，本地块污染区域土壤采样点分布密集，且考虑到土壤本身的不均质性等特性，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）》的要求，土壤污染水平范围的确定采用无污染点位连线法和场区平面布局判断，估测出污染物的超筛范围。

采用无污染点位连线法进行确定范围时，如果污染范围在边界附近，且边界无控制点，则以垂直于边界进行范围确定。

(2) 土壤污染垂直范围的确定

在垂直方向上，确定土壤的超筛污染深度时，以超筛选值点位所在层次为对象，其中，表层存在一定超筛选值情况时，以地表作为修复上边缘；当污染土壤存在变层时，分别考虑不同层次间污染分布情况确定。。

修复范围根据不同深度的污染程度分别划定，分层图示，明确分层污染面积和土方量。

3.4.2.2 污染土壤超筛面积及方量

土壤超筛选值垂直深度的确定以详细采样的垂向采样区间（1m）为单位划分层次，每一层次样品以周边点位同层次未超筛选值样品作为封边条件，采用外连线法划定；超筛选值平面范围的确定按照各层次叠加后的最大投影面积来划分。结合初步采样、详细采样、补充深度采样的样品检测结果，本项目垂向上将污染土壤划分为 0-0.5m、0.5-1.5m、1.5-2.5m、2.5-3.5m、3.5-4.5m、4.5-5.5m、5.5-6.5m、6.5-7.5m 共九层，分层计算土壤超筛面积及方量。

(1) 第一层（0-0.5m）土壤污染范围

第一层（0-0.5m）范围内，涉及污染物包括石油烃（C₁₀-C₄₀）、镍和甲醛，分为 5 个超筛区域，总超筛面积为 2210m²，总超筛土方量为 1105m³，超筛深度均为 0.5m。

(2) 第二层 (0.5-1.5m) 土壤超筛范围

第二层 (0.5-1.5m) 范围内, 涉及污染物包括石油烃 (C₁₀-C₄₀)、苯并 (a) 芘、总氟化物、甲醛, 分为 6 个超筛区域, 总超筛面积为 3052m², 总超筛土方量为 3052m³, 超筛深度均为 1.0m。

(3) 第三层 (1.5-2.5m) 土壤超筛范围

第三层 (1.5-2.5m) 范围内, 涉及污染物包括石油烃 (C₁₀-C₄₀)、苯并 (a) 芘、总氟化物、铅、镉、甲醛、六价铬, 分为 8 个超筛区域, 总超筛面积为 3423m², 总超筛土方量为 3423m³, 超筛深度均为 1.0m。

(4) 第四层 (2.5-3.5m) 土壤超筛范围

第四层 (2.5-3.5m) 范围内, 涉及污染物包括石油烃 (C₁₀-C₄₀) 和甲醛, 分为 7 个超筛区域, 总超筛面积为 3575m², 总超筛土方量为 3575m³, 超筛深度均为 1.0m。

(5) 第五层 (3.5-4.5m) 土壤超筛范围

第五层 (3.5-4.5m) 范围内, 涉及污染物为甲醛, 分为 6 个超筛区域, 总超筛面积为 6522m², 总超筛土方量为 6522m³, 超筛深度均为 1.0m。

(6) 第六层 (4.5-5.5m) 土壤超筛范围

第六层 (4.5-5.5m) 范围内, 涉及污染物为甲醛, 分为 4 个超筛区域, 总超筛面积为 5873m², 总超筛土方量为 5873m³, 超筛深度为 1.0m

(7) 第七层 (5.5-6.5m) 土壤超筛范围

第七层 (5.5-6.5m) 范围内, 涉及污染物为甲醛, 分为 3 个超筛区域, 总超筛面积为 4832m², 总超筛土方量为 4832m³, 超筛深度为 1.0m。

(8) 第八层 (6.5-8.5m) 土壤超筛范围

第八层 (6.5-8.5m) 范围内, 涉及污染物为甲醛, 分为 2 个超筛区域, 总超筛面积为 3328m², 总超筛土方量为 3328m³, 超筛深度为 1.0m。

(9) 项目地块超筛总面积及总方量

基于分层计算的污染土壤超筛范围空间叠加后, 项目地块污染土壤超筛总面积为 13198 m², 总方量为 30886 m³, 总超筛深度为 0-8.5m, 各层次超筛面积及方量见。具体超筛投影总平图如下所示**错误!未找到引用源。**。

3.4.3 地下水污染特征分析

3.4.3.1 含水层上部地下水污染特征

综合初步调查及详细调查阶段对项目地块地下水的采样检测结果，项目地块含水层上部地下水中，W3、W5、W7、W8、W9、2W1、2W3、2W5、2W6、2W7、2W9等11个监测井水样中氟化物、甲醛、砷、锑超过相应的IV类水筛选值，最大超标倍数分别为1.7倍（氟化物，W3）、0.0倍（可萃取性石油烃（C₁₀-C₄₀））、0.7倍（甲醛，W9）、7.6倍（砷，W5）、1.6倍（锑，W3）、101.0倍（硫化物，W9）。此外，除W2、W4、2W2、2W4、W8外，地块内14口地下水监测井氨氮全部超过IV类水标准，最大超标22.3倍；W9、2W3、2W5、2W7、2W9等5口地下水监测井硫化物超过IV类水筛选值，最大超标101.0倍。

3.4.3.2 地下水氟化物污染特征分析

全场19个地下水监测井中，W3/S9、W9/S35等2个监测井水样氟化物超IV类水筛选值，氟化物浓度分别为5340 $\mu\text{g/L}$ 、3080 $\mu\text{g/L}$ ，其中W3/S9位于原纱线漂染车间内，W9/S35位于原废水处理站调节池内。W3/S9、W9/S35的水土共点S9、S35土样中总氟化物浓度均未超过第一类用地筛选值。项目地块地下水氟化物超标范围见错误!未找到引用源。。

3.4.3.3 地下水甲醛污染特征分析

全场19个地下水监测井中，W5/S18、W8/S33、W9/S35、2W1等4个监测井水样甲醛超IV类水筛选值，甲醛超标浓度范围为1000 $\mu\text{g/L}$ ~1510 $\mu\text{g/L}$ ，其中W5/S18位于原柴油罐西南下游约1m，W8/S33位于原发电机房柴油储罐处，W9/S35位于原废水处理站调节池内，2W1位于地块南部厂区道路、临近污水管线。W9/S35的水土共点S35土样中甲醛浓度超过第一类用地筛选值。W5/S18、W8/S33的水土共点S18、S33土样中甲醛浓度均未超过第一类用地筛选值。

3.4.3.4 地下水砷污染特征分析

全场19个地下水监测井中，W5/S18、W7/S25等2个监测井水样砷超IV类水筛选值，砷浓度分别为431 $\mu\text{g/L}$ 、55.8 $\mu\text{g/L}$ ，其中W5/S18位于原柴油罐西南

下游约 1m，W7/S25 位于一棉厂印染车间内。W5/S18、W7/S25 的水土共点 S18、S25 土样中甲醛浓度均未超过第一类用地筛选值。

项目地块地下水砷超标范围见**错误!未找到引用源。**。

3.4.3.5 地下水锑污染特征分析

全场 19 个地下水监测井中，W3/S9、2W6/2S101 等 2 个监测井水样锑超 IV 类水筛选值，锑浓度分别为 26.1 $\mu\text{g/L}$ 、16.1 $\mu\text{g/L}$ ，其中 W3/S9 位于原纱线漂染车间内，2W6/2S101 位于原印染车间、W3 西南下游约 40m 处。W3/S9 的水土共点 S9 土样中锑浓度超过第一类用地筛选值。

项目地块地下水锑超标范围见**错误!未找到引用源。**。

3.4.3.6 可萃取性石油烃（C₁₀-C₄₀）

综合初步调查及详细调查阶段对项目地块地下水的采样检测结果，项目地块含水层上部地下水中，19 口地下水监测井中，W3 监测井水样中可萃取性石油烃（C₁₀-C₄₀）超过卫生饮用水标准，超标 0.02 倍。

3.4.3.7 氨氮

除 W2、W4、2W2、2W4、W8 外，地块内 14 口地下水监测井氨氮全部超过 IV 类水标准，最大超标 22.3 倍。

3.4.3.8 硫化物

项目地块 W9、2W3、2W5、2W7、2W9 等 5 口地下水监测井硫化物超过 IV 类水筛选值，最大超标 101.0 倍。

项目地块地下水硫化物超标范围见**错误!未找到引用源。**。

3.4.4 含水层底部地下水污染特征

在 19 口监测井水样所检测的 78 项指标中，除苯胺、萘、苯并（a）蒽、苯酚、4-甲基苯酚、2-甲基萘 6 中半挥发性有机物之外，其余有机物均未检出，且上述 6 中物质检测的浓度均较低。

含水层底部水样检测结果与初查阶段含水层顶部水样检测结果一致，有机物浓度均较低，污染风险较小。

3.4.5 地块污染原因分析

3.4.5.1 土壤污染原因分析

根据第二阶段采样分析，项目地块土壤中，苯并(a)芘、石油烃(C₁₀-C₄₀)、甲醛、总氟化物、铅、六价铬、镍、镉等 8 种污染物不同程度超过相应的第一类用地筛选值。

(1) 土壤苯并(a)芘污染原因分析

苯并(a)芘是一种五环多环芳香烃，化学式为 C₂₀H₁₂，化学性质稳定、难被生物降解，不溶于水，会附着在固体颗粒上。主要来源为石油化工、炼焦、煤及石油等燃料燃烧。

本项目地块土壤中 S2、2S3 等 2 个采样点 2 个土样超过 GB 36600-2018 第一类用地筛选值，超标点位均位于地块东北部成品仓(S2)及其附近(2S3)。

项目地块自 1958 投产建厂开始使用煤作燃料，此后改用重油，煤、重油等燃料产生的燃烧尾气中含苯并(a)芘，可能随大气沉降污染土壤。此外，项目地块苯并(a)芘污染深度在 0.4-3.4m，根据钻孔岩芯 S2、2S3 两个点位污染土层均杂填土，填土中可能土壤中苯并(a)芘可能本身浓度较高。

综上，项目地块土壤中苯并(a)芘污染可能原因：项目地块历史生产中煤、重油等燃料产生的燃烧尾气中含苯并(a)芘，可能随大气沉降污染土壤；填土中可能土壤中苯并(a)芘可能本身浓度较高，导致项目地块污染。



图 3.4-1 土壤超标点位 S2 钻孔岩芯照



图 3.4-2 土壤超标点位 2S3 钻孔岩芯照

(2) 土壤石油烃 (C₁₀-C₄₀) 污染原因分析

石油烃类物质一般为液态和气态，在生产、贮运、炼制加工及使用石油制品过程中，由于跑冒滴漏等原因泄漏进入土壤而导致土壤环境污染。

本次调查表明，项目地块土壤石油烃 (C₁₀-C₄₀) 高浓度点主要集中在油炉房及其附近 (S40、2S14、2S45)，且其最大浓度均出现在表层土 (0.1-0.2m)。

此外 S2、S6、S9、S18、S35、S36、S37、2S13 等石油烃（C₁₀-C₄₀）浓度超第一类用地筛选值点位，主要集中在油炉房、油罐区以及废水处理站等区域，超筛选值土层埋深较浅，超筛选值最大深度为 2.4m，主要集中在 0~2.0m 浅层土。

因此，项目地块土壤石油烃污染主要是燃油、导热油的存储、输送过程中，由于储罐、管道及阀门等跑冒滴漏所致。

(3) 土壤甲醛污染原因分析

项目地块土壤甲醛超筛选值的点位（S7、S11、S13、S19、S28、S29、S30、S31、S34、S35、S37、S38、2S30、2S31、2S33、2S36）主要集中在污水处理站、污水管道沿线及印染车间、助剂仓的等区域。

由于项目地块自 1958 投产建厂开始至 2010 年停产，长期进行纺织品漂染、印染生产加工，其所使用的树脂整理剂、固色剂、防缩剂、防腐剂等助剂可能含有甲醛，助剂中的甲醛进入生产废水中，通过入渗途径可能会对土壤地下水造成污染。

(4) 土壤总氟化物污染原因分析

本次调查土壤总氟化物超第一类用地筛选值点位为 S2，位于成品仓内，临近项目地块东厂界。

前期污染识别表明，项目地块历史生产活动中不涉及含氟类物质，氟化物不是项目地块的特征污染物。土壤总氟化物超第一类用地筛选值点位为 S2，位于成品仓内，临近项目地块东厂界，项目地块东部的广州冷冻机厂可能涉及含氟冷冻剂，其特征污染物为氟化物，可能随地表径流、地下水迁移进入项目地块，造成项目地块土壤污染。

此外，根据钻孔岩芯 S2 点位总氟化物污染土层为杂填土，可能填土中可能土壤中氟化物可能本身浓度较高。

(5) 土壤铅污染原因分析

现有研究表明，环境中的铅主要来自自然和人为两个方面，一是自然来源，指火山爆发烟尘、森林火灾烟尘等自然现象释放到环境中的铅；但构成环境污染的最大量、最经常的污染源是人为活动，包括铅及其他重金属矿的开采、冶炼、蓄电池工业、玻璃制造业、粉末冶金及相关企业产生的“三废”，燃料油、燃料煤的燃烧废气，油漆、涂料、颜料、彩釉、医药、化妆品、化学试剂及其他含铅制品的生产和使用等。

项目地块土壤铅超第一类用地筛选值点位为 S4，位于纱线漂染车间内，临近车间污水管道。可能是项目地块历史生产过程中所使用的染料和助剂中含有铅，在生产、使用过程中进入土壤。值得指出的是，第二阶段调查中 S4 属于孤立超标点位，不排除具有一定偶然性。

(6) 土壤六价铬污染原因分析

项目地块土壤六价铬超第一类用地筛选值点位为 S34，位于污水处理站区域原污泥堆放场。

铬是项目地块的特征污染物，项目地块印染生产过程中，印花花筒上一般含有重金属铬保护层，在花筒蚀刻过程中容易释放出来，进入生产废水中，废水经收集处理后在污泥中含有一定的铬，含铬污泥堆放过程中会通过淋溶方式入渗进入土壤，造成污染。

(7) 土壤镍污染原因分析

镍属于过渡金属，在地壳中的平均丰度为 75ppm，属于自然界中含量比较丰富的微量元素。土壤中镍污染主要来自于含镍矿产的开采和冶炼、电镀、机器制造及金属加工，此外石油及煤等燃料中含有微量的镍，其燃烧烟尘可随大气沉降进入土壤。

土壤镍第一类用地筛选值点位为 S18，位于柴油罐区、原广州纱线漂染厂机修车间，超标土样深度为 0-0.5m，属于表层土污染，可能是由于机修车间的金属机加工产生含镍废物废液及油罐中柴油跑冒滴漏导致。值得指出的是，第二阶段调查中 S18 属于孤立超标点位，不排除具有一定偶然性。

(8) 土壤锑污染原因分析

第二阶段全场共采集 251 个土样检测重金属锑，共 1 个土孔 1 个土样超标，最大检测浓度为 55.1mg/kg，最大超第一类用地筛选值 1.8 倍。土壤锑超第一类用地筛选值点位为 S9，位于纱线漂染车间内，临近车间污水管道。值得指出的是，S9 锑超标土孔所在的监测井 W3 地下水锑也超过相应的 IV 类水筛选值。

项目地块历史生产过程中涉及涤纶印染。锑化合物（醋酸锑或乙二醇锑）是纺织行业原材料聚酯纤维（即涤纶工业丝）生产过程中常用的催化剂，锑化合物常残留在涤纶织物面料中，并在后续的退浆、碱减量、染色等印染工序中大量释放出来，进入生产废水中，释放量与布料染色过程中所加的强碱、染料、助剂及高温环境有关。温度越高、操作时间越长，锑的释放量也越多。

因此 S9 点位重金属锑超可能是由于涤纶印染过程中锑释放至生产废水中，含生产废水中的重金属锑沿池槽、地下污水管道泄漏入渗土壤，从而导致土壤重金属锑超标。

3.4.5.2 地下水污染原因分析

(1) 地下水氟化物污染原因分析

全场 19 个地下水监测井中，W3/S9、W9/S35 等 2 个监测井水样氟化物超 IV 类水筛选值，其中 W3/S9 位于原纱线漂染车间内，W9/S35 位于原废水处理站调节池内。根据污染识别，项目地块历史生产活动中不涉及氟化物。项目地块东侧紧邻广州冷冻机厂，该厂可能涉及含氟冷冻剂，其特征污染物为氟化物，可能随地表径流、地下水迁移进入项目地块，造成项目地块土壤地下水污染。

(2) 地下水甲醛污染原因分析

全场 19 个地下水监测井中，W5/S18、W8/S33、W9/S35、2W1 等 4 个监测井水样甲醛超 IV 类水筛选值，其中 W5/S18 位于原柴油罐西南下游约 1m，W8/S33 位于原发电机房柴油储罐处，W9/S35 位于原废水处理站调节池内，2W1 位于地块南部厂区道路、临近污水管线。

由于项目地块自 1958 投产建厂开始至 2010 年停产，长期进行纺织品漂染、印染生产加工，其所使用的树脂整理剂、固色剂、防缩剂、防腐剂等助剂可能含有甲醛，助剂中的甲醛进入生产废水中，通过入渗途径可能会对土壤地下水造成污染。

(3) 地下水砷污染原因分析

全场 19 个地下水监测井中，W5/S18、W7/S25 等 2 个监测井水样砷超 IV 类水筛选值，其中 W5/S18 位于原柴油罐西南下游约 1m，W7/S25 位于一棉厂印染车间内。

污染识别表明，项目地块早期（1958 年~1980 年）大量使用燃煤。燃煤中含有重金属砷，在堆放过程中受降雨径流冲刷释放，通过入渗途径可能会对土壤地下水造成污染；燃煤燃烧后产生含砷及其化合物烟尘颗粒，随大气沉降，可能会导致土壤地下水污染。

(4) 地下水锑污染原因分析

全场 19 个地下水监测井中，W3/S9、2W6/2S101 等 2 个监测井水样镉超 IV 类水筛选值其中 W3/S9 位于原纱线漂染车间内，2W6/2S101 位于原印染车间、W3 西南下游约 40m 处。W3/S9 的水土共点 S9 土样中镉浓度超过第一类用地筛选值。

项目地块历史生产过程中涉及涤纶印染。镉化合物（醋酸镉或乙二醇镉）是纺织行业原材料聚酯纤维（即涤纶工业丝）生产过程中常用的催化剂，镉化合物常残留在涤纶织物面料中，并在后续的退浆、碱减量、染色等印染工序中大量释放出来，进入生产废水中，释放量与布料染色过程中所加的强碱、染料、助剂及高温环境有关。温度越高、操作时间越长，镉的释放量也越多。

因此地下水重金属镉超可能是由于涤纶印染过程中镉释放至生产废水中，含生产废水中的重金属镉沿池槽、地下污水管道泄漏入渗土壤，从而导致土壤重金属镉超标。

3.4.6 第二阶段土壤污染状况详细调查结论

根据详细采样阶段土壤样品检测分析结果：1 个监测点位（2S3）1 个土壤样品中的苯并（a）芘超第二类用地筛选值，超筛选值倍数为 3.87 倍，超筛选值样品最大采样深度为 1.4m；1 个监测点位（2S14）1 个土壤样品中的石油烃（C₁₀-C₄₀）超第二类用地筛选值，超筛选值倍数为 1.11 倍，超筛选值样品最大采样深度为 0.2m。

根据无污染点连线法对超筛土壤范围进行识别：土壤中苯并（a）芘超第二类用地筛选值污染面积约 1149.4m²，污染深度为 0.4~3.4m，污染土层厚度为 3.0m，土方量约 3448.1m³；土壤中石油烃（C₁₀-C₄₀）超第二类用地筛选值污染区域面积为 1159.7m²，深度为 0~1.6m，土方量约 1885.5m³；土壤中甲醛超第二类用地筛选值污染区域总面积为 1362.4m²，总土方量约 3774.6m³。

土壤中总氟化物、铅、六价铬、镍超过第一类用地筛选值未超过第二类用地筛选值，其中：S2 土样总氟化物浓度超第一类用地筛选值 1.01 倍，超筛样品深度为 2.0-2.4m；S4 土样铅浓度超过第一类用地筛选值 0.32 倍，超筛样品深度为 2.0-2.5m；S34 土样六价铬浓度超过第一类用地筛选值 0.37 倍，超筛样品深度为 1.7-2.0m；S18 土样镍浓度超过第一类用地筛选值 0.77 倍，超筛样品深度为 0-0.5m。

(二) 根据详细调查阶段地下水样品检测结果：W3、W9 水样中氟化物超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值，分别超标 1.02 倍、0.47 倍；W5、W8、W9、2W1 水样中甲醛超过《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）限值（900 $\mu\text{g/L}$ ），分别超标 0.24 倍、0.21 倍、0.24 倍、0.11 倍；W5、W7、2W1 水样中砷超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值（50 $\mu\text{g/L}$ ），分别超标 7.62 倍、0.12 倍及 1.12 倍；W3 水样中镉超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水限值（10 $\mu\text{g/L}$ ），超标 1.16 倍。

4. 人体健康风险评估

4.1 风险评估工作内容和程序

参照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），土壤污染风险评估工作内容包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和控制值计算。各部分内容如下，具体风险评估流程见图 4.1-1。

（1）危害识别：根据场地环境调查获取的资料，结合场地土地的规划利用方式，确定污染场地的关注污染物、场地内污染物的空间分布和可能的敏感受体，建立场地暴露模型。危害识别是一个风险定性评估的过程，当定性评估能够说明风险问题，如场地不具备污染源——>暴露途径——>受体间的完整连接时，可不用实施风险的定量评估。

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

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

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

（5）控制值计算：如污染场地风险评估结果未超过可接受风险水平，则结束风险评估工作；如污染场地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。

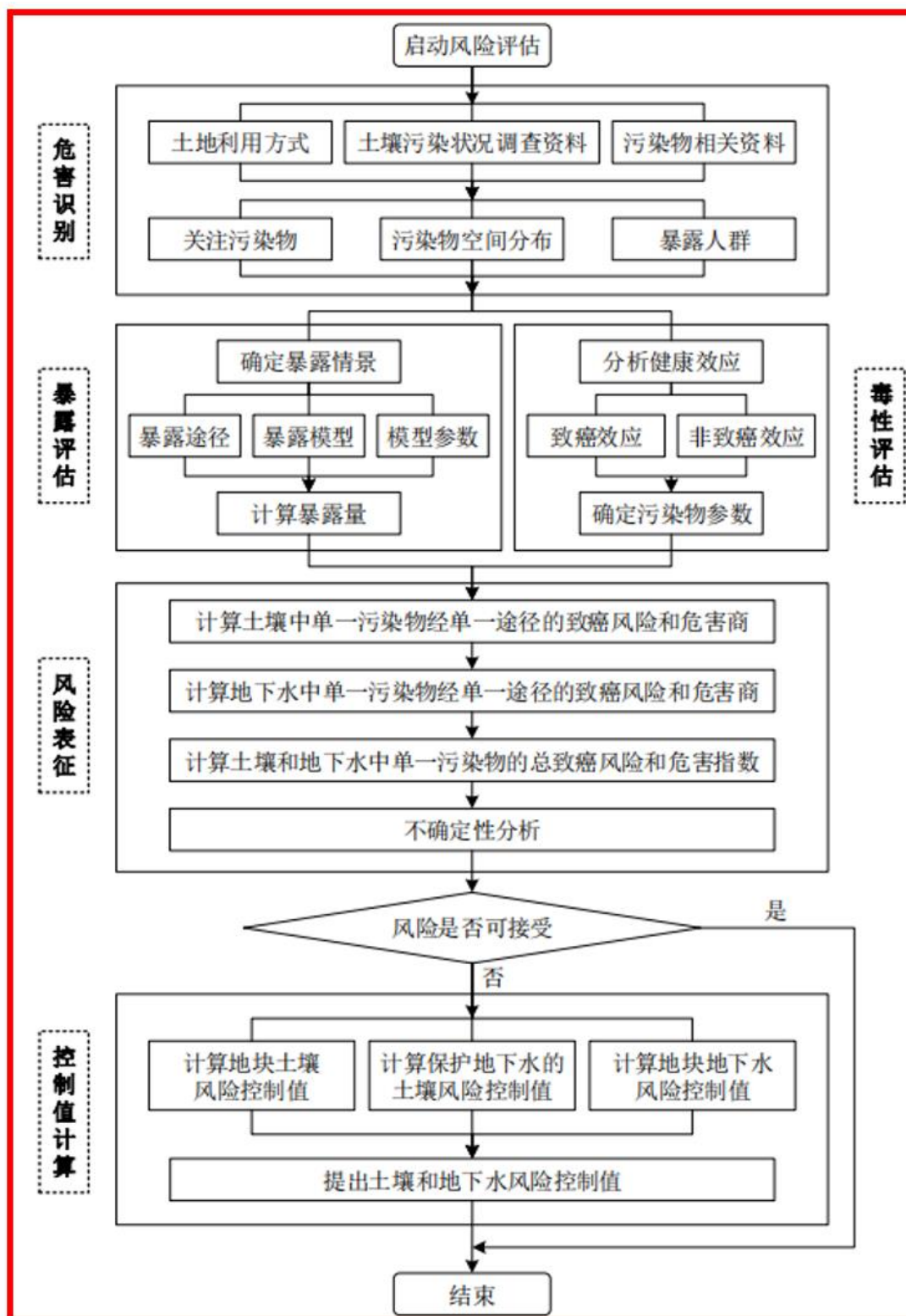


图 4.1-1 人体健康风险评估工作流程图

4.2 场地概念模型

4.2.1 场地总体情况

项目地块位于广州市海珠区南石头街道南边路 6 号，地块中心经纬度坐标为 E E 113.253667°、N 23.080608°，占地面积 48247m²。

项目地块原为农田，1956 年 7 月在该地块成立广州纱线漂染厂，1958 年投产，年产纱线漂染 2400t/年，1985 年广州纱线漂染厂扩建并更名为广州东方印染厂后，年产印染布 1000 万米/年、纱线漂染 3600t/年。1993 年 8 月广州东方印染厂引进外资成立广州南丰印染厂有限公司，年产印染布 2400 万米/年，纱线漂染 1500t/年。2005 年在项目地块西侧建立广州第一棉纺织厂，年产印染布 1015 万米/年，其中牛仔布 923.4 万米/年、装饰布 91.7 万米/年。广州第一棉纺织厂于 2010 年 3 月关停搬迁。2013 年底，项目地块内的部分车间厂房、办公楼作为物业外租为纸业仓库、布匹仓库以及影视创作基地等。由于地块收储工作，2018 年底完成租户清退，项目地块闲置。项目地块为广州市政府收储用地。

根据广州市海珠区土地利用相关规划，参照《城市用地分类与规划建设用地标准》（GB 50137-2011）的分类标准，项目地块规划为商业设施用地（B1）、娱乐康体设施用地（B3）、公园绿地（G1）和道路用地（S1）。

4.2.2 场地水文地质条件

4.2.2.1 场地地层岩性

根据本次土壤污染状况初步调查现场地质钻探（钻探深度最深 8.0m）及土工测试结果，厂区岩性结构趋势大致相同，按照岩性特征、埋藏分布和工程特性指标等情况，项目地块从上至下可划分为填土、淤泥质砂土、淤泥质粘土、粉质粘土等 4 个土层，其地质特征详述如下：

（1） 填土

该层广泛分布在厂区内，呈杂色，含砂砾、建筑砖渣等，松散，干~潮，层厚 2.5~4.5m，层底埋深 2.5~4.5m。

（2） 淤泥质砂土

该层分布于杂填土层下，在厂区内分布广泛，呈黑褐色，稍密实，含粗砂，级配中，湿至潮，层厚 1.2~2.0m，层底埋深 2.5~4.5m。

（3） 淤泥质粘土

该层多分布于淤泥质砂土层下，局部地区该层缺失，呈灰黑色，密实，可塑，潮，层厚 1.5~1.8m，层底埋深 3.6~5.4m。

(4) 粉质粘土

该层多分布于淤泥质砂土层下，局部地区粉土层缺失，直接伏于填土层下，粉质粘土呈褐黄色，可塑，局部含粉土块，层厚 0.7~4.6m，层底埋深 4.6~8.0m。

4.2.2.2 场地水文地质条件

项目地块浅层地下水主要为第四系孔隙水，水量一般，主要赋存于人工填土层下部、粉质黏土层之间，粉质粘土层为弱透水层。浅层地下水主要靠大气降水和地表水补给，排泄方式主要为径流排泄和蒸发排泄，地下水的水质与水量均受降水、径流影响较大，地下水与地表水水力联系密切。同时，项目地块处于珠江感潮河段，地下水水文地质条件受潮汐影响也较大。

根据本次土壤污染状况调查地下水监测，地下水埋深为 1.23~4.80m，平均埋深为 2.20m，整体来看项目地块浅层地下水自东北流向西南，即整体向西侧的珠江及南部的北降涌排泄。

4.2.3 场地污染源

项目地块内土壤污染重点关注区域包括原一棉厂印染车间、原一棉厂炼漂车间、原一棉厂染整车间、原一棉厂浆染车间、原南丰印染厂及东方印染厂印染车间、化学品仓、染化料仓、雕刻车间、油炉房、储油罐及输油管线、生产废水管道及废水处理站、煤堆场/煤渣场、污泥堆放区、固废房及变电房，需关注的污染物包括镉、砷、铬、甲醛、苯酚、芳香胺、石油烃、多环芳烃、多氯联苯等。

项目地块北部紧邻广东省石油公司昌岗油库、广州锌片厂南厂区，东部紧邻广州冷冻机厂，可能会对地块产生潜在污染，其潜在污染物包括石油烃、氟化物、重金属（砷、镉、铜、锌、汞）、多环芳烃。

4.2.4 污染物迁移转化途径

场地内污染物的迁移转化可能主要通过以下途径：

- 1) 非饱和层中的污染物随雨水淋溶下渗；

- 2) 淋溶出的污染物下渗至地下水水面后随地下水迁移、稀释和吸附；
- 3) 生物降解，例如多环芳烃的降解；
- 4) 污染物吸附在土壤颗粒上随风力传播；
- 5) 具有挥发性的污染物蒸汽进入室内外空气。

4.2.5 场地概念模型

项目地块现行控规用地性质为商业设施用地（B1）、娱乐康体设施用地（B3）、公园绿地（G1）和道路用地（S1），其中公园绿地（G1）暂不确定是否涉及社区公园、儿童公园等第一类用地。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）等相关要求，基于保守考虑，本报告将整个项目地块按第一类用地进行评价。在未来用地规划类型情景下，根据场地地层结构、水文地质信息、土壤和地下水中污染物的分布特征及迁移转换过程，构建了场地概念模型图，如图4.2-1所示。

（1）污染源和关注污染物

- 土壤中的六价铬、铅、镍、镉、总氟化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、苯并（a）芘等污染物。
- 地下水中的氟化物、甲醛、砷、镉等污染物。

（2）迁移和暴露途径

- 经口摄入表层受污染土壤；
- 皮肤接触表层受污染土壤；
- 呼吸吸入表层受污染土壤扩散到室内外的颗粒物；
- 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染；
- 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染；
- 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染；
- 吸入室外空气中来自地下水的气态污染；
- 吸入室内空气来自地下水的气态污染；
- 皮肤接触地下水。

(3) 潜在受体和敏感人群

项目地块现行控规用地性质为商业设施用地（B1）、娱乐康体设施用地（B3）、公园绿地（G1）和道路用地（S1），基于保守考虑，本报告将整个项目地块按第一类用地进行评价。在第一类用地方式下，未来地块的敏感暴露人群为儿童和成人。

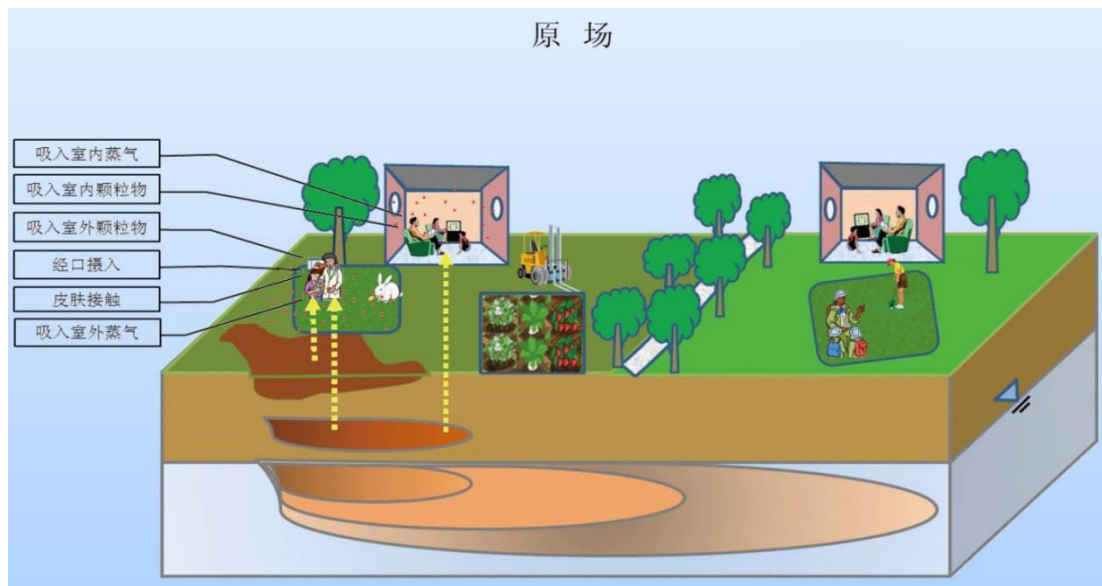


图 4.2-1 项目地块场地概念模型图

4.3 危害识别

危害识别是根据场地环境调查获取的资料，结合场地土地的规划利用方式，确定污染场地的关注污染物、场地内污染物的空间分布和可能的敏感受体，建立场地暴露模型。危害识别是一个风险定性评估的过程，当定性评估能够说明风险问题，如场地不具备污染源—>暴露途径—>受体间的完整连接时，可不用实施风险的定量评估。

4.3.1 地块规划及敏感受体

项目地块现行控规用地性质为商业设施用地（B1）、娱乐康体设施用地（B3）、公园绿地（G1）和道路用地（S1）。基于保守考虑，本报告将整个项目地块按第一类用地进行评价。在第一类用地方式下，未来地块的敏感暴露人群为儿童和成人。

4.3.2 关注污染物

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），关注污染物是根据地块污染特征和地块利益相关方意见，确定需要进行调查和风险评估的污染物。

4.3.2.1 关注污染物的筛选

本报告将超过调查地块土壤、地下水污染风险评估筛选值中所列标准的污染物列为本地块的关注污染物。

（1） 土壤

根据第二阶段土壤污染状况调查结果，地块内土壤超第一类用地风险筛选值为六价铬、铅、镍、镉、总氟化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、苯并（a）芘，超风险筛选值的污染物需要启动风险评估。

2）地下水

根据地块调查结果，地下水中氟化物、甲醛、砷、镉等指标超过风险筛选值。根据《地下水污染健康风险评估工作指南（试行）》附录 H，氟化物、甲醛、砷、镉属于有毒有害的指标，氟化物、甲醛、砷、镉作为本次风险评估的关注污染物。

4.3.2.2 关注污染物暴露浓度计算

《土壤污染状况风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)和《工业企业土壤污染状况调查评估与修复/风险管控工作指南（试行）》中要求，计算未来受体暴露浓度时，如评估区域获取的污染物浓度数据样本数大于 8 且样品浓度符合正态分布，可以将浓度平均值的 95%置信上限（UCL）作为未来受体的暴露浓度，否则，应保守考虑以最大值作为暴露浓度进行风险评估。同时，如果样本 95%置信上限统计结果大于样本的最高检出浓度，或样本数量小于 8 时，应以样本的最大值作为未来受体的暴露浓度。

以采集的土壤数据样本为基础，建立对有害物质关键浓度值的定义与计算方法对场地评估具有重要意义。其中，浓度控制上限是对有害物质实施风险监控的重要参数。一般理解为有害物质在样本中平均浓度的保守估计，最常使用的是有害物质取样样本算数平均值的 95%置信上限，对应于有害物质取样样本

算数平均值 95%的覆盖率。相比于采用 95%置信上限，直接采用关注污染物的最大值来计算相对比较保守安全。

本项目在计算各关注污染物的暴露浓度时，遵守此原则，基于保守考虑以最大值作为暴露浓度进行风险评估。

1) 土壤

由地块初步调查和详细调查点位超筛选值污染物的检测结果可知地块土壤超筛选值污染物六价铬、铅、镍、镉、总氟化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、苯并（a）芘的最大暴露浓度分布为 4.1mg/kg、527mg/kg、266mg/kg、55.1mg/kg、9480mg/kg、74.7mg/kg、7.3mg/kg。项目地块土壤关注污染物的最终暴露点情况详见下表。

2) 地下水

由地块初步调查和详细调查检测结果可知，地块地下水关注污染物甲醛、氟化物、砷、镉的最大暴露浓度分别为 1510ug/L、5340ug/L、431ug/L、26.1ug/L。项目地块地下水关注污染物的最终暴露点情况详见表 4.3-1。

表 4.3-1 超第地下水 IV 类限值地下水关注污染物暴露浓度情况表

污染物类型	污染物名称	监测点位	最大暴露浓度 (ug/L)	地下水 IV 类限值 (ug/L)	是否为关注污染物
有机物	甲醛	W9	1510	900	是
无机物	氟化物	W3	5340	2000	是
	砷	W5	431	50	是
	镉	W3	26.1	10	是

注：甲醛执行《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）；
甲醛、氟化物、镉的暴露浓度为初查检测结果。

4.4 暴露评估

4.4.1 暴露情景与暴露途径

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）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）》，调查地块暴露情景为第二类用地类型。

暴露情景：基于目标地块实际情况考虑，对地块按第二类用地进行了风险评估。按常规做法，地块开发再利用过程中地块可能进行基坑开挖，深层污染土壤通过开挖可能到达表层。

参照《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《广东省地下水功能区划》（粤办函〔2009〕459号），项目地块位于珠江三角洲广州海珠至南沙不宜开采区（H074401003U01），不涉及地下水饮用水源补给径流区和保护区，项目地块地下水未来不作为饮用水开发利用，不存在饮用地下水暴露途径。此外，地下水中砷、镉、氟化物挥发性很弱，不考虑吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物两种暴露途径。

表 4.4-1 项目地块土壤地下水污染风险暴露途径汇总表

暴露情况	污染介质	污染物	所有暴露途径	实际情况
敏感用地场景	土壤	六价铬、铅、镍、镉	土壤经口摄入	有
			皮肤接触土壤	有
			吸入土壤颗粒物	有
			吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	无
			吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	无
			吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	无
		总氟化物、石油烃、(C ₁₀ -C ₄₀)、甲醛、苯并(a)芘	土壤经口摄入	有
			皮肤接触土壤	有
			吸入土壤颗粒物	有
			吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	有
			吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	有
			吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	有
	地下水	砷、镉、氟化物	吸入室内空气中来自地下水的气态污染物	无
			吸入室外空气中来自地下水的气态污染物	无
			饮用地下水	无
		甲醛	皮肤接触地下水	有
吸入室内空气中来自地下水的气态污染物			有	
吸入室外空气中来自地下水的气态污染物			有	
		饮用地下水	无	

暴露情况	污染介质	污染物	所有暴露途径	实际情况
			皮肤接触地下水	有

4.4.2 暴露评估模型

4.4.2.1 除铅以外污染物第一类用地暴露评估模型

第一类用地方式下各种暴露途径的土壤暴露量计算公式采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 A 中公式进行计算，具体公式如下所述。

（1）经口摄入土壤途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，经口摄入土壤途径的土壤暴露量，采用公式（A1）计算：

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

公式（A.1）中：

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

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

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

ED_c —儿童暴露期， a ；

ED_a —成人暴露期， a ；

EF_c —儿童暴露频率， $d \cdot a^{-1}$ ；

EF_a —成人暴露频率， $d \cdot a^{-1}$ ；

BW_c —儿童体重， kg ；

BW_a —成人体重， kg ；

ABS_o —经口摄入吸收效率因子，无量纲；

AT_{ca} —致癌效应平均时间， d ；

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害。经口摄入土壤途径土壤暴露量，采用公式（A2）计算：

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

公式（A.2）中：

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；

AT_{nc}—非致癌效应平均时间，d。

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

（2）皮肤接触土壤途径

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

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

公式（A.3）中：

DCSER_{ca}—皮肤接触途径的土壤暴露量（致癌效应），kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；

SAE_c—儿童暴露皮肤表面积，cm²；

SAE_a—成人暴露皮肤表面积，cm²；

SSAR_c—儿童皮肤表面土壤粘附系数，mg·cm⁻²；

SSAR_a—成人皮肤表面土壤粘附系数，mg·cm⁻²；

ABS_d—皮肤接触吸收效率因子，无量纲；

E_v—每日皮肤接触时间频率，次·d⁻¹。

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

$$SAE_c = 239 \times H_c^{0.417} \times BW_c^{0.517} \times SER_c \quad (A.4)$$

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

公式（A.4）和公式（A.5）中：

H_c—儿童平均身高，cm；推荐值见附录 G 表 G.1；

H_a—成人平均身高，cm；推荐值见附录 G 表 G.1；

SER_c—儿童暴露皮肤所占面积比，无量纲；推荐值见附录 G 表 G.1；

SER_a—成人暴露皮肤所占面积比，无量纲；推荐值见附录 G 表 G.1。

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

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害。皮肤接触土壤途径对应的土壤暴露量，采用公式（A.6）计算：

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

公式（A.6）中：

DCSER_{nc}—皮肤接触的土壤暴露量（非致癌效应），kg 土壤·kg⁻¹体重·d¹。

公式（A.6）中 SAE_c、SSAR_c、E_v 和 ABS_d 的参数含义见公式（A.3），EF_c、ED_c、和 BW_c 的参数含义见公式（A.1），AT_{nc} 的参数含义见公式（A.2）。

（3）吸入土壤颗粒物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害。吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量，采用公式（A.7）计算：

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (fspo \times EFO_c + fspl \times EFI_c)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (fspo \times EFO_a + fspl \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad (A.7)$$

公式（A.7）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·d¹；

PM₁₀—空气中可吸入悬浮颗粒物含量，mg·m⁻³；

DAIR_a—成人每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；

DAIR_c—儿童每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；

PIAF —吸入土壤颗粒物在体内滞留比例，无量纲；

fspl —室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例，无量纲；

fspo —室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例，无量纲；

EFI_a—成人的室内暴露频率，d·a⁻¹；

EFI_c—儿童的室内暴露频率，d·a⁻¹；

EFO_a—成人的室外暴露频率，d·a⁻¹；

EFO_c—儿童的室外暴露频率，d·a⁻¹；

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

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害。吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量，采用公式（A.8）计算：

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

公式（A.8）中：

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

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

（4）吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径

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

$$IOVER_{ca1} = VF_{suroa} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (A.9)$$

公式（A.9）中：

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

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

公式（A.9）中， $DAIR_c$ 、 $DAIR_a$ 、 EFO_c 和 EFO_a 的参数含义见公式（A.7）， ED_c 、 BW_c 、 AT_{ca} 、 ED_a 和 BW_a 的参数含义见公式（A.1）。

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

$$IOVER_{nc1} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (A.10)$$

公式（A.10）中：

$IOVER_{nc1}$ —吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ 。

公式 (A.10) 中, VF_{suboa} 的参数含义见公式 (A.9), $DAIR_c$ 、 EFO_c 见公式 (A.7), AT_{nc} 的含义见公式 (A.2), ED_c 和 BW_c 的参数含义见公式 (A.1)。

(5) 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应, 考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害, 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量, 采用公式 (A.11) 计算:

$$IOVER_{ca2} = VF_{\text{suboa}} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (A.11)$$

公式 (A.11) 中:

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

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

公式 (A.11) 中, $DAIR_c$ 、 $DAIR_a$ 、 EFO_c 和 EFO_a 的参数含义见公式 (A.7), ED_c 、 BW_c 、 AT_{ca} 、 ED_a 和 BW_a 的参数含义见公式 (A.1)。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在儿童期暴露受到的危害, 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量, 采用公式 (A.12) 计算:

$$IOVER_{nc2} = VF_{\text{suboa}} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad (A.12)$$

公式 (A.12) 中:

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

公式 (A.12) 中 VF_{suboa} 的参数含义见公式 (A.11), $DAIR_c$ 和 EFO_c 的参数含义见公式 (A.7), AT_{nc} 的含义见公式 (A.2), ED_c 和 BW_c 的参数含义见公式 (A.1)。

(6) 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径

对于单一污染物的致癌效应, 考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害, 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量, 采用公式 (A.15) 计算:

$$IIVER_{ca1} = VF_{\text{subia}} \times \left(\frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad (A.15)$$

公式 (A.15) 中:

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

VF_{subia} —下层土壤中污染物扩散进入室内空气的挥发因子, $kg \cdot m^{-3}$; 根据附录 F 公式 (F.26) 计算。

公式 (A.15) 中 $EFOc$ 、 $EFOa$ 、 $EFlc$ 、 $EFla$ 、 $DAIRa$ 和 $DAIRc$ 的参数含义见公式 (A.7), EDc 、 BWc 、 EDa 、 BWa 、 $ATca$ 的参数含义见公式 (A.1)。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在儿童期暴露受到的危害, 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量, 采用公式 (A.16) 计算:

$$IIVER_{nc1} = VF_{subia} \times \frac{DAIRc \times EFlc \times EDc}{BWc \times ATnc} \quad (A.16)$$

公式 (A.16) 中:

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

公式 (A.16) 中, VF_{subia} 的参数含义见公式 (A.15), $DAIRc$ 、 $EFlc$ 的参数含义见公式 (A.7), $ATnc$ 的参数含义见公式 (A.2), EDc 和 BWc 的参数含义见公式 (A.1)。

4.4.2.2 铅的暴露评估方法和模型

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

IEUBK 模型主要用于预测儿童 (0-6 岁) 环境铅暴露后血铅浓度水平, 包括 4 个子模块 (暴露模块、吸收模块、生物动力学模块和概率分布模块), 采用机制模型与统计相结合的方法, 将不同途经和来源的环境铅暴露与儿童群体血铅水平关联起来。模型假设儿童群体血铅的分布类型近似几何正态分布, 根

据收集到的儿童环境铅暴露信息预测儿童群体的血铅水平几何均值，进一步估算儿童群体血铅水平超过某一临界浓度（10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ）的概率。

IEUBK 模型中铅的来源包括土壤、室内外灰尘、饮用水、空气和饮食等。由于进入人体呼吸和肠胃系统的铅只有一部分最终进入血液循环系统产生毒性。IEUBK 模型假设从不同环境介质进入人体的铅，其生物有效性不同，且不同的铅摄入水平，其吸收效率也有差异。

（1） 暴露模块

通过吸收速率（IN）模型来表述儿童在环境介质中对铅的吸收。

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

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

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

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

IN：儿童对灰尘、室外土壤、饮水和空气中铅吸收速率，单位为 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ；

C：居住地的灰尘、土壤、饮水和空气中铅含量，单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 mg/kg 、 $\mu\text{g}/\text{L}$ 、 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

WF_{soil} ：表示儿童直接摄入的土壤占总土壤和尘土摄入量的比例；

IR：分别是表示儿童对饮水、土壤及灰尘每天摄入的量，单位 L/d 、 mg/d ；

VR：儿童每天空气吸入量， m^3/d 。

（2） 吸收模块

模拟了铅吸收(呼吸道或消化道)后转移到血浆的过程。IEUBK 模型中假设来自饮食、土壤及灰尘、空气、饮水中铅可吸收率分别是为 40%~50%、30%、25%~45%、60%。

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

$$\text{被动吸收 } UP_{passive} = PAF \times UP_{poten}$$

$$\text{主动吸收 } UP_{active} = \frac{(1 - PAF) \times UP_{poten}}{1 + \frac{UP_{poten}}{SAT_{uptake}}}$$

UP_{poten}: 指被儿童吸入体内且潜在可能被吸收的铅的总量;

ABS_{media}: 指各个环境介质中来源的铅潜在可能吸收系数;

PAF: 表示被动的吸收量占整个铅吸收总量比例;

SAT_{uptake}: 表示当主动的吸收量为最大量一半时 UP_{poten} 值。

(3) 生物动力学模块

IEUBK 模型生物动力学部分反应进入循环的铅离子一段时间后在体内进行生物运转过程。生物动力学模块将铅的总摄取量转化为到细胞外液的铅的量。转运系数被用来模拟铅在人体各房室之间运转过程。利用机理模型来描述铅在体内转化的生理—生化的过程,把铅的吸收效果和人身体内各器官的含铅量特别是血铅的浓度变化联系

(4) 模型参数

IEUBK 模型输入的参数包括:

- 大气中铅的含量
- 食品中铅的含量
- 饮用水中铅的含量
- 孕妇血铅含量
- 儿童血铅浓度几何标准差 (1.38)
- 土壤以及灰尘中的铅的含量 (采用默认值)
- 各途径入体内铅的有效性 (采用默认值)
- 不同年龄段儿童每日空气吸入 (采用默认值)。

表 4.4-2 IEUBK 模型输入参数

途径	单位	不同年龄段摄入量						
		0-1 岁	1-2 岁	2-3 岁	3-4 岁	4-5 岁	5-6 岁	6-7 岁
土壤	mg/day	855	135	135	135	100	90	85
空气	m ³ /day	2	3	5	5	5	7	7
饮用水	mg/day	0.2	0.5	0.52	0.53	0.55	0.58	0.59
食品	µg Pb/day	2.26	1.96	2.13	2.04	1.95	2.05	2.22

4.4.2.3 地下水风险计算模型

地下水污染物暴露途径主要包括：吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、饮用地下水 3 种途径。本地块内地下水不饮用，因此本阶段风险评估不考虑地下水直接摄入的风险，只考虑通过呼吸摄入而导致的风险分室内和室外两种风险及通过皮肤接触地下水的暴露风险。

(1) 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径

敏感用地方式下，人群可因吸入室外空气中来自地下水的气态污染物而暴露于受污染地下水。对于单一污染物的致癌和非致癌效应，计算该途径对应地下水暴露量的推荐模型见《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附录 A 公式

(A.13) 和公式 (A.14)。

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，吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式 (A.13) 计算：

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

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害，吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式 (A.14) 计算：

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

(2) 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径

敏感用地方式下，人群吸入室内空气中来自地下水的气态污染物而暴露于受污染地下水。对于污染物的致癌和非致癌效应，计算该途径对应地下水暴露量的推荐模型见《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附录 A 公式 (A.17) 和公式 (A.18)。

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，吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式 (A.17) 计算：

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

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害，吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量，采用公式 (A.18) 计算：

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

4.4.3 暴露参数的选择

本项目中土壤和场地参数主要通过土工试验以及场地环境调查实测获得，其他部分参数选用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3）和《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》中的推荐值。

4.4.3.1 受体暴露参数

受体暴露参数常为社会学统计数据，在待评估场地内难以获得或即使通过研究也难以准确量化因子，因此，暴露参数应优先采用地块所在地的区域性参数，缺乏本地区域性参数值的，可参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中的推荐值。

本项目受体暴露参数具体见表 4.4-3。

表 4.4-3 项目地块受体暴露参数

符号	含义	单位	敏感用地	参数来源
EDa	成人暴露期	a	24	国家导则推荐值
EDc	儿童暴露期	a	6	国家导则推荐值
EFa	成人暴露频率	d·a ⁻¹	350	国家导则推荐值
EFc	儿童暴露频率	d·a ⁻¹	350	国家导则推荐值
EF1a	成人室内暴露频率	d·a ⁻¹	262.5	国家导则推荐值
EF1c	儿童室内暴露频率	d·a ⁻¹	262.5	国家导则推荐值
EFOa	成人室外暴露频率	d·a ⁻¹	87.5	国家导则推荐值
EFOc	儿童室外暴露频率	d·a ⁻¹	87.5	国家导则推荐值
BWa	成人平均体重	kg	61.3	广东导则推荐值
BWc	儿童平均体重	kg	18.4	广东导则推荐值
Ha	成人平均身高	cm	162	广东导则推荐值
Hc	儿童平均身高	cm	108.8	广东导则推荐值
DAIRa	成人每日空气呼吸量	m ³ ·d ⁻¹	14.5	国家导则推荐值
DAIRc	儿童每日空气呼吸量	m ³ ·d ⁻¹	7.5	广东导则推荐值
GWCRa	成人每日饮用水量	L·d ⁻¹	1.7	广东导则推荐值
GWCRc	儿童每日饮用水量	L·d ⁻¹	0.7	广东导则推荐值
OSIRa	成人每日摄入土壤量	mg·d ⁻¹	100	国家导则推荐值
OSIRc	儿童每日摄入土壤量	mg·d ⁻¹	200	国家导则推荐值
Ev	每日皮肤接触事件频率	次·d ⁻¹	1	国家导则推荐值
fspi	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	无量纲	0.8	国家导则推荐值
fspo	室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	无量纲	0.5	国家导则推荐值
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	国家导则推荐值

符号	含义	单位	敏感用地	参数来源
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	国家导则推荐值
SERa	成人暴露皮肤所占体表面积比	无量纲	0.32	国家导则推荐值
SERc	儿童暴露皮肤所占体表面积比	无量纲	0.36	国家导则推荐值
SSARa	成人皮肤表面土壤粘附系数	mg·cm ⁻²	0.07	国家导则推荐值
SSARc	儿童皮肤表面土壤粘附系数	mg·cm ⁻²	0.2	国家导则推荐值
PIAF	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	无量纲	0.75	国家导则推荐值
ABSo	经口摄入吸收因子	无量纲	1	国家导则推荐值
ACR	单一污染物可接受致癌风险	无量纲	0.000001	国家导则推荐值
AHQ	单一污染物可接受危害熵	无量纲	1	国家导则推荐值
ATca	致癌效应平均时间	d	27740	广东导则推荐值
ATnc	非致癌效应平均时间	d	2190	国家导则推荐值
SAF	暴露于土壤的参考剂量分配比例(VOCs)	无量纲	0.33	国家导则推荐值
WAF	暴露于地下水的参考剂量分配比例(VOCs)	无量纲	0.33	国家导则推荐值
tc	儿童次经皮肤接触的时间	h	0.5	国家导则推荐值
ta	成人次经皮肤接触的时间	h	0.5	国家导则推荐值

4.4.3.2 地块土壤参数

参照《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。

土壤性质参数中，污染土壤层厚度、污染土壤层埋深等参数均为本地块实测数据；平行于风向的土壤污染源宽度选用目标地块最大的污染区域平行于风向的最大宽度；包气带孔隙水体积比、包气带孔隙空气体积比、包气带土壤容重等参数利用土工报告的土壤容重、土壤含水率和土壤颗粒密度实测数据计算得到，包气带土壤有机碳质量分数利用有机质含量实测数据平均值得到，土壤透性系数根据土壤渗透系数实测数据平均值得到；土壤污染风险评价中毛细管层孔隙水体积比、毛细管层孔隙空气体积比和土壤地下水交界处毛细管层厚度等 3 个参数主要参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）所推荐的默认值。

本次风险评估所用的地块土壤和气象参数见**错误!未找到引用源。**。

表 4.4-4 项目地块风险评估实测参数取值原则

参数符号	参数名称	单位	取值原则
C _{sur}	表层土壤中污染物浓度	mg·kg ⁻¹ ₁	最大值
C _{sub}	下层土壤中污染物浓度	mg·kg ⁻¹ ₁	最大值
d	表层污染土壤层厚度	cm	开发建设需开挖的污染土壤厚度
LS	下层污染土壤层埋深	cm	下层不开挖污染土壤的顶板埋深
d _{sub}	下层污染土壤层厚度	cm	下层不开挖污染土壤的厚度
C _{gw}	地下水中污染物浓度	mg·L ⁻¹ ₁	最大值
L _{gw}	地下水埋深	cm	平均值
h _v	非饱和土层厚度	cm	平均值
f _{om}	土壤有机质含量	g·kg ⁻¹	平均值
ρ _b	土壤容重	kg·dm ⁻³ ₃	平均值
P _{ws}	土壤含水率	kg·kg ⁻¹ ₁	平均值
ρ _s	土壤颗粒密度	kg·dm ⁻³ ₃	平均值
A	污染源区面积	cm ²	地块挥发性污染物超筛选值区域面积总和
W	污染源区宽度	cm	地块挥发性污染物超筛选值区域与风向垂直向交界面最大长度

4.4.3.3 建筑物参数

建筑物参数和气象参数主要采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》所推荐的参数，空气中可吸入颗粒物含量 PM₁₀ 参照《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）》推荐值，如表 4.4-5 所示。

表 4.4-5 建筑物参数

符号	含义	单位	敏感用地	参数来源
θ _{crack}	地基裂隙中空气体积比	无量纲	0.26	国家导则推荐值
θ _{wcrack}	地基裂隙中水体积比	无量纲	0.12	国家导则推荐值
L _{crack}	室内地基厚度	cm	35	国家导则推荐值
L _B	室内空间体积与气态污染物入渗面积之比	cm	220	国家导则推荐值
ER	室内空气交换速率	次·d ⁻¹	12	国家导则推荐值
η	地基和墙体裂隙表面积所占面积	无量纲	0.0005	国家导则推荐值
τ	气态污染物入侵持续时间	a	30	国家导则推荐值
dP	室内室外气压差	g·cm ⁻¹ ·s ²	0	国家导则推荐值

符号	含义	单位	敏感用地	参数来源
K_v	土壤透性系数	cm^2	1.00E-08	国家导则推荐值
Z_{crack}	室内地面到地板底部厚度	cm	35	国家导则推荐值
X_{crack}	室内地板周长	cm	3400	国家导则推荐值
Ab	室内地板面积	cm^2	700000	国家导则推荐值

4.5 毒性评估

毒性评估的工作内容包括分析地块关注污染物的健康效应（致癌和非致癌效应），确定污染物的毒性参数，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，用于最终风险的计算。

4.5.1 污染物的健康效应

场地风险评估过程是评估受体长期暴露于污染源下的长期健康风险，因此常用污染物的慢性毒性效应来衡量场地风险水平。通常认为慢性毒性效应分为非致癌效应和致癌效应两大类型。

毒理学研究表明非致癌效应存在阈值，即有毒有害物质意欲对人体造成危害，必须有一个最小剂量/浓度，当暴露剂量/浓度小于该阈值时，不认为会对人体健康造成可探查到的危害。中国导则主要采用美国环保局（USEPA）的非致癌风险的参考值，分别以经口摄入参考剂量（RfDo）、皮肤接触参考剂量（RfDd）和参考浓度（RfC）作为非致癌效应食入、皮肤吸收和呼吸等三种途径的参考值。RfDd 由于在毒理学实验中难以直接获得，通常采用从 RfDo 推导的数据。对非致癌风险的量化评估指标为危害商，即暴露剂量/浓度与参考剂量/浓度的比值，当危害商小于 1 时，可认为该剂量/浓度不会导致人体健康风险。

致癌风险的特点是不存在类似于非致癌性风险的阈值，即任何剂量/浓度致癌物均有可能导致致癌风险，致癌风险体现为增加患癌风险的可能性。暴露剂量/浓度越高，增加患癌风险的可能性越大。其风险量化指标一般分两部分：一是致癌证据等级，二是致癌斜率因子，介绍如下：

（1）证据等级是对其致癌能力的可信度的分级，USEPA 将物质的致癌物质分为 A, B, C, D 和 E 五类。A 类物质为确定的人类致癌物，表示有足够的流行病学研究来证实接触剂量与致癌的因果关系；B 类为很可能的人类致癌物，包括由流行病学研究得到的人类致癌证据从“足够”到“不足”的物质，又分为 B1

和 B2 两类，其中 B1 类为有限的人类证据证明具有致癌性的物质，B2 类为动物实验证据充分而人类证据不充分或无证据的物质；C 类为可能的人类致癌物；D 类为尚不能进行人类致癌分类的组分；E 类为有对人类无致癌证据的组分。同时，USEPA 根据致癌效应，将致癌物分为有诱导基因突变可能的致癌物（Mutagen）和非诱导基因突变的致癌物。

(2) 与非致癌效应类似，USEPA 采用经口摄入致癌斜率因子（SFo）、皮肤接触致癌斜率因子（SFd）和呼吸吸入单位致癌风险（IUR）作为致癌效应食入、皮肤吸收和呼吸等三种途径致癌效应的量度。对致癌风险的量化评估指标为风险水平，即暴露剂量/浓度与致癌斜率因子/单位致癌风险因子 SF/IUR 的乘积，当风险水平小于可接受的风险水平时，可认为风险是可接受的。

4.5.2 关注污染物的毒性和理化参数

本项目关注污染物的毒理学参数和理化参数的来源为：

1) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）规范性附录 B 的赋值。

2) 由于导则中未提供石油烃参数，本次风险评估参考《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）》“三、毒性评估”章节中的编制说明，石油烃（C₁₀-C₄₀）采取相对毒性较高的芳香类（C₁₀-C₁₆）段的毒性参数代表石油烃（C₁₀-C₄₀）进行风险评估。

本项目关注污染物的理化、毒理性参数见表 4.5-1、表 4.5-2。

表 4.5-1 关注污染物的理化性质参数

理化性质				亨利常数		空气中扩散系数		水中扩散系数		土壤有机碳/土壤孔隙水分配系数		水溶解度		皮肤渗透系数
序号	中文名	英文名	CA S 编号	H'	数据来源	Da (cm ² /s)	数据来源	Dw (cm ² /s)	数据来源	Koc (cm ³ /g)	数据来源	S (mg/L)	数据来源	Kp (cm/hr)
1	苯并(a)芘	Benz o(a)p yrene	50-32-8	1.87E-04	EPI	0.0476	WATER 9	0.0000556	WATER 9	587000	EPI	0.0162	EPI	0.7
2	甲醛	Form aldehyde	50-00-0	1.38E-05	PHYS PRO P	1.67E-01	WATER 9 (U.S. EPA, 2001)	0.000174	WATER 9 (U.S. EPA, 2001)	1	EPI	4000	PHYS PRO P	0.018
3	总石油烃(C ₁₀ -C ₄₀)	TPH(C ₁₀ -C ₄₀)		1.40E-01	EPI	1.00E-01	WATER 9	1.00E-05	WATER 9	2.51E+03	-	2.50E-02	EPI	-
4	总氟化物	Fluoride	16984-48-8		-		-		-		-	1.69	EPI	-
5	锑	Anti mony	7440-36-0		-		-		-		-			0.01
6	砷	Arsenic, inorganic	7440-38-2		-		-		-		-			0.01
7	镍	Nickel	7440-02-0		-		-		-		-			0.002

注：“-”表示无参数；毒性数据参考综合风险信息系统（USEPA Integrated Risk Information System）、临时性同行审定毒性数据（The Provisional Peer Reviewed Toxicity Values）和区域筛选值（Regional Screening Levles），表格中未包含的污染物可参考以上数据库的最新更新版本获取其参数；参照广东省导则，总石油烃(C₁₀-C₄₀)取芳香烃 C₁₀-C₁₂相关参数。。

表 4.5-2 关注污染物的毒理参数

毒理性质	经口摄入致癌	呼吸吸入单位致癌因子	经口摄入参考剂量	呼吸吸入参考浓度	消化道吸收效率因子	皮肤吸收因子
------	--------	------------	----------	----------	-----------	--------

				斜率因子											
序号	中文名	英文名	CAS 编号	Sf _o (mg/ kg- d) ⁻¹	数 据 来 源	IUR(mg/ m ³) ⁻¹	数 据 来 源	RfD _o (mg/ kg-d)	数 据 来 源	RfC(mg/ m ³)	数 据 来 源	AB S _{gi} (无 量 纲)	数 据 来 源	AB S _d (无 量 纲)	数 据 来 源
1	苯并(a) 芘	Benzo(a) pyrene	50- 32-8	1	I	0.6	R S L	0.000 3	I	0.00 0002	I	1	R S L	0.1 3	R S L
2	甲醛	Formal dehyde	50- 00-0	0.02 1	C	0.013	I	0.2	I	0.01 1	T	1	-	-	-
3	总石油 烃(C ₁₀ - C ₄₀)	TPH(C ₁₀ - C ₄₀)	-	-	-	-	-	0.04	H K C	0.2	-	0.5	HI K C	0.1	H K C
4	总氟化 物	Fluorid e	1698 4- 48-8	-	-	-	-	0.04	R S L	0.01 3	R S L	1	R S L	-	-
5	锑	Antimo ny	7440 -36- 0	-	-	-	-	0.000 4	I	0.00 03	A	0.1 5	R S L	-	-
6	砷(无 机)	Arsenic , inorgan ic	7440 -38- 2	1.5	I	4.3	I	0.000 3	I	0.00 0015	R S L	1	R S L	0.0 3	R S L
7	镍	Nickel	744 0- 02-0	-	-	0.26	R S L	0.02	I	0.00 009	R S L	0.0 4	R S L	-	-

注：“-”表示无参数；参照广东省导则，总石油烃(C₁₀-C₄₀)取芳香烃 C₁₀-C₁₂相关参数。

4.6 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。

4.6.1 风险表征技术要求

风险可接受水平的确定与城市经济发展等社会因素息息相关，对于风险可接受水平的确定与城市经济发展等社会因素息息相关，对于可接受水平的确定，不同国家值存在数量级差异。国外主要国家和地区制定的致癌风险的可接受水平主要介于 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$ ，非致癌性风险可接受水平一般设置为 1。

根据地块每个采样点样品中关注污染物的检测数据，通过计算污染物的致癌风险和危害商进行风险表征。如关注污染物的检测数据呈正态分布，可根据检测数据的平均值、平均值置信区间上限值或最大值计算致癌风险(CR)及非致癌危害商(HQ)，作为确定地块污染范围的重要依据。

《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）规定，人体可接受的致癌风险值不高于 10^{-6} ，非致癌危害商值小于 1。

4.6.2 除铅以外污染物致癌风险和非致癌危害的计算方法

本报告风险评估过程中，污染物主要采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）中推荐的附录 C 公式算各关注污染物的健康风险，具体公式如下所述。

（1）经口摄入土壤途径

致癌风险： $CR_{ois} = OISER_{ca} * C_{sur} * SF_0$

危害商： $HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} * C_{sur}}{RfD_0 * SAF}$

（2）皮肤接触

致癌风险： $CR_{dcs} = DCSE_{ca} * C_{sur} * SF_d$

危害商： $HQ_{dcs} = \frac{DSE_{nc} * C_{sur}}{RfD_d * SAF}$

（3）吸入土壤颗粒

致癌风险： $CR_{pis}=PISER_{ca} * C_{sur} * SF_i$

危害商： $HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} * C_{sur}}{RfDi * SAF}$

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物

致癌风险： $CR_{ivo1}=IOVER_{ca1} * C_{sur} * SF_i$

危害商： $HQ_{iov1} = \frac{IOER_{nc1} * C_{sur}}{RfDi * SAF}$

(5) 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物

致癌风险： $CR_{ivo2}=IOVER_{ca2} * C_{sub} * SF_i$

危害商： $HQ_{iov2} = \frac{IOER_{nc2} * C_{sub}}{RfDi * SAF}$

(6) 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物

致癌风险： $CR_{iiv1}=IIVER_{ca1} * C_{sub} * SF_i$

危害商： $HQ_{iiv1} = \frac{IIER_{nc1} * C_{sub}}{RfDi * SAF}$

单一污染物所有暴露途径的总致癌风险采用公式：

$CR_n=CR_{ois}+CR_{dcs}+CR_{pis}+CR_{iov1}+CR_{iov2}+CR_{iiv1}$

单一污染物所有暴露途径的总危害指数采用公式：

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

上述公式中，

CR_{ois} —经口摄入污染土壤的致癌风险，无量纲；

C_{sur} —表层土壤中污染物浓度，mg/kg；

$OISER_{ca}$ —经口摄入土壤暴露量，kg 土壤/kg 体重/d；

CR_{dcs} —皮肤接触土壤途径的致癌风险，无量纲；

SF_d —皮肤接触致癌斜率因子，mg 污染物/kg 体重/d；

$DCSER_{ca}$ —皮肤接触途径的土壤暴露量，kg 土壤/kg 体重/d；

CR_{iov1} —吸入室外空气来自表层土壤的气态污染物致癌风险，无量纲；

SF_i —呼吸吸入致癌斜率因子，mg 污染物/kg 体重/d；

$IOVER_{ca1}$ —吸入室外空气来自表层土壤的暴露量，kg 土壤/kg 体重/d；

CR_{pis} —吸入土壤颗粒物途径的致癌风险，无量纲；

$PISER_{ca}$ —吸入土壤颗粒物的暴露量，kg 土壤/kg 体重/d；

CR_{iov2} —吸入室外空气来自下层土壤的气态污染物致癌风险，无量纲；

$IOVER_{ca2}$ —吸入室外空气来自下层土壤的暴露量，kg 土壤/kg 体重/d；

CR_{iiv1} —吸入室内下层土壤的气态污染物的致癌风险，无量纲；

C_{sub} —下层土壤中污染物浓度，mg/kg；

$IIVER_{ca1}$ —吸入室内来自下层土壤气态污染物的暴露量，kg 土壤/kg 体重/d；

4.6.3 铅的风险表征

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

4.6.4 土壤中关注污染物的风险表征结果

4.6.4.1 土壤中除铅以外污染物的风险表征结果

本地块人体健康风险按照地块开挖的情景模式，使用土壤中的污染物浓度最大值来计算风险。根据各类污染物的最大浓度值下，项目地块土壤污染健康风险计算结果如**错误!未找到引用源。**所示，不同暴露途径土壤污染风险水平见**错误!未找到引用源。**、**错误!未找到引用源。**，不同暴露途径地下水暴露量计算结果见**错误!未找到引用源。**、**错误!未找到引用源。**。

在未来作为第一类用地开挖扰动的前提下，本地块土壤关注污染物中苯并（a）芘、石油烃（ $C_{10}-C_{40}$ ）、甲醛、总氟化物、六价铬和镉的人体健康风险**超过**可接受水平，其中：苯并（a）芘的致癌风险风险水平为 $1.36E-05$ （大于 $1.00E-06$ ），非致癌危害商为 1.16（大于 1）；石油烃（ $C_{10}-C_{40}$ ）的非致癌危害商为 1.17（大于 1）；甲醛的致癌风险风险水平为 $4.04E-06$ （大于 $1.00E-06$ ），非致癌危害商为 $1.71E-01$ （小于 1）；总氟化物的非致癌危害商为 2.05（大于 1）；六价铬的致癌风险风险水平为 $4.04E-06$ （大于 $1.00E-06$ ），非致癌危害商为 $1.71E-01$ （小于 1）；镉的致癌风险风险水平为 $1.36E-$

05（大于 $1.00\text{E-}06$ ），非致癌危害商为 2.89（大于 1）。镍的风险水平可接受，其致癌风险、非致癌危害商分别为 $8.15\text{E-}07$ （小于 $1.00\text{E-}06$ ）、 $5.43\text{E-}01$ （小于 1）。

4.6.4.2 土壤铅的风险表征结果

由 IEUBK 模型的计算结果可知，第一类用地土壤铅对人体健康产生风险的临界值（即铅土壤环境基准值）为 290mg/kg。本地块土壤铅最大暴露浓度为 527mg/kg，超过计算的第二类用地铅土壤环境基准值（290mg/kg），其人体健康风险水平不可接受。

4.6.5 地下水中关注污染物的风险表征结果

根据地下水关注污染物的最大浓度值下，项目地块地下水污染健康风险计算结果如错误!未找到引用源。，不同暴露途径地下水污染风险水平见错误!未找到引用源。错误!未找到引用源。，不同暴露途径地下水暴露量计算结果见错误!未找到引用源。、错误!未找到引用源。。

风险计算结果表明，不饮用情景下，项目地块地下水中镉、砷、氟化物、甲醛污染物人体健康风险均可接受，其中：地下水中镉污染物非致癌危害商为 $7.29E-08$ （小于 1）；砷污染物致癌风险为 $8.50E-12$ （小于 $1.00E-06$ ）、非致癌危害商为 $2.41E-07$ （小于 1）；甲醛致癌风险水平为 $3.87E-10$ （小于 $1.00E-06$ ）、非致癌危害商为 $2.50E-05$ （小于 1）。

污染物理化性质及毒理效应分析表明，地下水中砷、镉、氟化物挥发性很弱，不考虑吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物两种暴露途径，由于项目地块地下水不作为饮用水开发利用，不存在饮用地下水暴露途径，因此第二类用地情景下，项目地块地下水中砷、镉、氟化物、甲醛污染物人体健康风险水平均较低，其风险可接受。

4.7 不确定性分析

4.7.1 不确定因素

污染地块风险评估过程中的不确定性主要来源于暴露情景假设、评估模型的适用性、模型参数取值等多个方面。不确定性可以定量地采用测定参数变化对评估结果的影响程度来表示。

由于土壤环境的复杂性，风险评价环境的复杂性，本报告中风险评估也存在较大的不确定性因素，这些不确定因素会对评价结果造成较大的影响。该不确定性因素包括数据本身的变异性，采用模型的或参数的不确定性，主要包括：

所收集地块调查资料的不确定性，包括历史资料、采样布点的科学性和代表性、样品检测的真实度等。

所选取模型的合理和适用性。因目前我国尚没有成熟的风险评价模型，因此大多是在国外成熟的模型基础上进行改进，其适用性还需要进一步探索。

地块参数和暴露参数的不确定性。本报告的模型数据除部分土壤性质参数土壤容重、土壤含水率、土壤有机碳质量分数、土壤透性系数和土壤颗粒密度为地块实测数据外，且实测数据的代表性，不同土层不同区域其实测结果存也存在差别，其他参数均来自我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》所推荐的默认值及《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》编制说明中相关的计算参数。由于我国对于风险评估的基础研究相对匮乏，且广州地区的参数（如成人身高、体重等暴露参数）和与国家导则、标准中推荐的参数也存在一定的差异性，因此模型根据国家导则部分参数计算本地块的风险或危害商可能与本地块的实际情况有所差异。

污染物毒理参数的适用性。目前我国还没有完善的污染物毒理学参数，我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》和《广州市工业企业地块环境调查、治理修复/风险管控及效果评估技术要点》中毒理学参数大多采用美国环保局综合风险信息系统(GRGS)、美国环保署超级基金健康风险技术支持中心提供的临时性经专家评估的毒性数据（PPRTVs）、美国毒性物质和疾病注册署（ATSDR）的最低风险水平值（MRL）、美国环保署土壤筛选导则（SSG）、

美国环保署区域筛选值数据表（RSL）、中国香港特别行政区土壤修复/风险管控目标值（HKC）等权威数据库的相关参数，其对中国风险评价的适用性值得商榷。

受体参数的针对性。受体参数均来自我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》所推荐的默认值及《土壤环境质量标准建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》编制说明中相关的参数，因此要更准确的评价某一地块的风险，还需要实地调研当地暴露人群的有关情况（如成人身高、体重等暴露参数）。

参数敏感性分析。建筑参数均来自我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》所推荐的默认值，和地块实际建筑情况存在偏差，因此要更准确的评价某一地块的风险，还需要调研未来建筑的有关情况。

本地块风险评估工作基于业主提供的相关资料及地块调查时的结果开展，若未来地块发生大的变化及污染物的衰减等，将为计算结果带来较大不确定性，导致本次风险评估结果不适用于变化后的情况。

4.7.2 暴露风险贡献率分析

对单一污染物经不同暴露途径的致癌风险和危害商贡献率进行计算，可以得知哪种暴露途径对于整体风险的影响最大，进而提出有针对性的风险控制建议。

4.7.2.1 土壤污染暴露风险贡献率分析

第一类用地土壤不同暴露途径的致癌风险贡献率见**错误!未找到引用源。**。苯并(a)芘的致癌风险途径主要为口摄入土壤颗粒物、皮肤接触土壤颗粒物，其贡献率分别为 70.76%和 28.70%。甲醛的致癌风险暴露途径主要为口摄入土壤颗粒物和吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物，其贡献率分别为 51.17%和 48.55%。六价铬的致癌风险途径主要为口摄入土壤颗粒物、皮肤接触土壤颗粒物，其贡献率分别为 82.33%和 17.67%。

第一类用地土壤不同暴露途径的非致癌风险贡献率见**错误!未找到引用源。**。苯并(a)芘的非致癌风险途径主要为口摄入土壤颗粒物、吸入土壤颗粒物和皮肤接触土壤颗粒物，其贡献率分别为 43.66%、28.23%和 15.56%。总石油烃(C₁₀-

C₄₀) 非致癌风险途径主要为皮肤接触土壤颗粒物和口摄入土壤颗粒物，其贡献率分别为 57.81%、42.19%。甲醛的非致癌风险暴露途径主要为吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物，其贡献率为 92.57%。总氟化物的非致癌风险途径主要为口摄入土壤颗粒物，其贡献率为 98.69%。锑的非致癌风险途径主要为口摄入土壤颗粒物，其贡献率为 99.43%。

4.7.2.2 地下水污染暴露风险贡献率分析

第二类用地地下水不同暴露途径的致癌风险贡献率见**错误!未找到引用源。**。重金属砷的致癌风险暴露途径主要为皮肤接触地下水，其贡献率分别为 100%。甲醛的致癌风险暴露途径主要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，其贡献率分别为 50.16%和 49.65%。

第二类用地地下水不同暴露途径的非致癌风险贡献率见**错误!未找到引用源。**。重金属锑、砷的非致癌风险暴露途径主要为皮肤接触地下水，其贡献率分别为 100%。甲醛的非致癌风险暴露途径主要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，其贡献率分别为 50.25%、49.74%。

风险贡献率分析结果与污染物理化性质及毒理效应相一致。地下水中砷、锑、氟化物挥发性很弱，吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物两种暴露途径贡献相对低，由于项目地块地下水不作为饮用水开发利用，不存在饮用地下水暴露途径。

4.7.3 风险评估计算结果的不确定性

(1) 暴露情景假设的不确定性

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

(2) 计算模型的不确定性

风险评估按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的基本要求，进行计算。虽然风险评估的计算模型是基于理论原理建立，且长期以来被广泛应用于实际污染场地的风险管理决策，但必须认识到几乎没有一个数学模型可以完全准确地描述污染物迁移和暴露的全过程。随着技术的发展，暴露计算和风险计算的方法可能会发生改变。

(3) 场地参数和暴露参数的不确定性

本项目的模型输入数据均为场地实测数据（如场地土壤理化性质参数、水文地质参数、气候参数等）或国家导则中的默认保守参数。由于我国对于风险评估的基础研究相对匮乏（如对暴露参数和建筑物参数的统计），且广州地区的参数（如气象、暴露等参数）和与国家导则中推荐的默认参数也存在一定的差异性，因此模型根据国家导则计算目标场地的风险或危害商可能与目标场地的实际情况有所差异。

(4) 场地参数和暴露参数的敏感性分析

1) 敏感性参数确定

单一暴露途径风险贡献率超过 20%时，应进行人群和与该途径相关参数的敏感性分析。根据 7.7.2 节可知苯并(a)芘、六价铬、甲醛、总石油烃、镍、总氟化物的经口摄入土壤途径贡献率超 20%，苯并(a)芘、总石油烃的皮肤接触土壤颗粒物途径贡献率超 20%，镍、苯并(a)芘的吸入土壤颗粒物途径贡献率超 20%，甲醛的吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径贡献率超 20%，需针对这些途径涉及的参数进行敏感性分析。选定需要进行敏感性分析的参数

(P) 一般应是对风险计算结果影响较大的参数，如人群相关参数（体重、暴露

期、暴露频率等)、与暴露途径相关的参数(每日摄入土壤量、皮肤表面土壤粘附系数、每日吸入空气体积、室内空间体积与蒸气入渗面积比等)。项目各情景下参数选取见下表。

表 4.7-1 各情景下敏感性参数选取

污染物	风险类型	贡献率超 20%的途径	选取敏感参数	
			人群参数	暴露途径相关参数
苯并(a)芘	致癌风险及非致癌风险	经口摄入土壤途径、皮肤接触土壤颗粒物、吸入土壤颗粒物	体重、暴露期、暴露频率、暴露皮肤面积、每日皮肤接触事件频率、可吸入浮颗粒物含量、每日空气吸入量、致癌效应平均时间	每日摄入土壤量、吸入土壤颗粒物、皮肤接触土壤颗粒物
总石油烃	非致癌风险	经口摄入土壤途径、皮肤接触土壤颗粒物	体重、暴露期、暴露频率、暴露皮肤面积、每日皮肤接触事件频率	每日摄入土壤量、吸入土壤颗粒物
甲醛	致癌风险及非致癌风险	经口摄入土壤途径、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	体重、暴露期、暴露频率、表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子、每日空气吸入量、致癌效应平均时间	每日摄入土壤量、吸入表层土壤气态污染物
总氟化物	非致癌风险	经口摄入土壤途径	体重、暴露期、暴露频率、致癌效应平均时间	每日摄入土壤量
六价铬	致癌风险	经口摄入土壤途径	体重、暴露期、暴露频率、致癌效应平均时间	每日摄入土壤量
镍	致癌风险及非致癌风险	经口摄入土壤途径、吸入土壤颗粒物	可吸入浮颗粒物含量、每日空气吸入量、体重、暴露期、暴露频率、致癌效应平均时间	每日摄入土壤量、吸入土壤颗粒物的土壤暴露量
镉	非致癌风险	经口摄入土壤途径	体重、暴露期、暴露频率、致癌效应平均时间	每日摄入土壤量

(5) 敏感性分析方法

模型参数的敏感性可用敏感性比值来表示,即模型参数值的变化(从 P_1 变化到 P_2)与致癌风险或危害商(从 X_1 变化到 X_2)发生变化的比值。计算敏感性比值的推荐模型如下:

$$SR = \frac{(X_2 - X_1)/X_1}{(P_2 - P_1)/P_1} * 100\%$$

公式中:

SR: 模型参数敏感性比例,无量纲;

- P_1 : 模型参数 P 变化前的数值;
- P_2 : 模型参数 P 变化后的数值;
- X_1 : 按 P_1 计算的致癌风险或危害商, 无量纲;
- X_2 : 按 P_2 计算的致癌风险或危害商, 无量纲。

敏感性比值 SR 越大, 表示该参数对风险的影响也越大。

P_2 值的选取相对于 P_1 统一变化了-10%。参照人群体重在导则 HJ 25.3-2019 推荐参数与导则 HJ 25.3-2014 版本的推荐值存在-8.1%~-17.2%的变动, 故 P_2 选取了一个这个范围的中间值-10%作为一个变动幅度。

(6) 敏感性分析结果

按照**错误!未找到引用源。**~**错误!未找到引用源。**选取各情景下的敏感性参数, 并计算参数敏感性比例, 计算结果汇总见下**错误!未找到引用源。**~**错误!未找到引用源。**。

根据计算结果可知, 对于致癌风险效应的变化比值, 其中儿童暴露期的参数敏感性比例最大, 表明其对风险的影响最大, 其次成人相关参数影响较小, 成人暴露期敏感性相对于成人其他相关参数影响较大。对于非致癌危害商的变化比值, 其中儿童暴露期的参数敏感性比例最大, 表明其对风险的影响最大。

(6) 污染物毒性学性质

污染物毒性学性质不同的研究机构或政府机构根据特定条件下的研究结果或统计结果提出了不同的毒性参数和理化参数，这些参数根据试验条件的不同略有差异，而且会根据毒性学的研究进展进行更新。本项目中关注污染物的物理化学特性参数和毒理学参数主要来自《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的规范性目录以及其他权威部门发布的数据，部分参数可能会随着数据的更新而发生改变。

(7) 未来场地及污污染衰减的不确定性

本场地风险评估工作基于业主提供的相关资料及场地调查时的结果开展的，若未来场地发生大的变化及污染物的衰减等，将为计算结果带来极大不确定性，导致本次计算结果不适用于变更后的情况。

4.8 土壤风险控制值计算

本项目修复/风险管控目标值的推导将依据上述已建立的地块暴露概念模型，参照我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）进行计算方法和模型参数的优化后来推导保护人体健康的土壤风险控制值。

4.8.1 土壤风险控制值计算过程

4.8.1.1 基于致癌效应的土壤风险控制值

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

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

公式（E.1）中：

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

ACR —可接受致癌风险，无量纲；取值为 10^{-6} 。

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

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

公式（E.2）中：

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

公式 (E.2) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1)。

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

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

公式 (E.3) 中:

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

在公式 (E.3) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1)。

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

$$RCVS_{iov1} = \frac{ACR}{IOVER_{ca1} \times SF_i} \quad (E.4)$$

公式 (E.4) 中:

$RCVS_{iov1}$ —基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.4) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1)。

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

$$RCVS_{iov2} = \frac{ACR}{IOVER_{ca2} \times SF_i} \quad (E.5)$$

公式 (E.5) 中:

$RCVS_{iov2}$ —基于吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.5) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1)。

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

$$RCVS_{iiv} = \frac{ACR}{IIVER_{ca1} \times SF_i} \quad (E.6)$$

公式 (E.6) 中:

$RCVS_{iiv}$ —基于吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径致癌效应的土壤风险控制值, $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.6) 中, ACR 的参数含义见公式 (E.1)。

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

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

在公式 (E.7) 中：

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

公式 (E.7) 中 ACR 的参数含义见公式 (E.1)。

4.8.1.2 基于非致癌风险的土壤风险控制值

(1) 基于经口摄入土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 附录 E 公式 (E.8) 计算。

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

公式 (E.8) 中：

$HCVS_{ois}$ —基于经口摄入土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

AHQ —可接受危害商，无量纲；取值为 1。

(2) 基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 附录 E 公式 (E.9) 计算。

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

公式 (E.9) 中：

$HCVS_{dcs}$ —基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的土壤风险控制值， $mg \cdot kg^{-1}$ 。

公式 (E.9) 中，AHQ 的参数含义见公式 (E.8)。

(3) 基于吸入土壤颗粒物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 附录 E 公式 (E.10) 计算。

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

公式 (E.10) 中：

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

AHQ 的参数含义见公式 (E.8)。

(4) 基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 E 公式（E.11）计算。

$$HCVS_{io1} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IOVER_{nc1}} \quad (E.11)$$

公式（E.11）中：

$HCVS_{io1}$ —基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值， $mg \cdot kg^{-1}$ 。

AHQ 的参数含义见公式（E.8）。

(5) 基于吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 E 公式（E.12）计算。

$$HCVS_{io2} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IOVER_{nc2}} \quad (E.12)$$

公式（E.12）中：

$HCVS_{io2}$ —基于吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值， $mg \cdot kg^{-1}$ 。

AHQ 的参数含义见（E.8）。

(6) 基于吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 E 公式（E.13）计算。

$$HCVS_{iiv} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{IIVER_{nc1}} \quad (E.13)$$

公式（E.13）中：

$HCVS_{iiv}$ —基于吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径非致癌效应的土壤风险控制值， $mg \cdot kg^{-1}$ ；

AHQ 的参数含义见公式（E.8）。

(7) 基于 6 种土壤暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 E 公式（E.14）计算。

$$HCVS_n = \frac{AHQ \times SAF}{\frac{OISER_{nc}}{RfD_0} + \frac{DCSER_{nc}}{RfD_d} + \frac{PISER_{nc} + IOVER_{nc1} + IOVER_{nc2} + IIVER_{nc1}}{RfD_i}} \quad (E.14)$$

公式（E.14）中：

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

4.8.2 风险评估推导的土壤风险控制值

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）土壤风险控制值计算方法，得出了污染物可接受的非致癌风险水平即目标危害商为 1，可接受的致癌风险为 10⁻⁶ 水平下的土壤风险控制值。风险评估推导下土壤风险控制值苯并(a)芘为 0.537mg/kg、石油烃(C₁₀-C₄₀)为 809mg/kg、甲醛为 18.5mg/kg、总氟化物为 1890mg/kg、六价铬为 1.25mg/kg、镉为 19.1mg/kg，具体见表 4.8-1 所示。

表 4.8-1 第一类用地基于人体健康的土壤风险控制值

序号	污染物名称	致癌风险控制值 (mg/kg)	非致癌风险控制值 (mg/kg)	风险控制值 (mg/kg)
1	苯并(a)芘	0.537	6.28	0.537
2	石油烃(C ₁₀ -C ₄₀)	-	809	809
3	甲醛	18.5	437	18.5
4	总氟化物	-	1890	1890
5	六价铬	1.25	127	1.25
6	镉	-	19.1	19.1

注：“-”表示不存在暴露途径或无暴露风险。

4.9 风险评估结论

基于第一类用地方式情景下，项目地块土壤关注污染物中苯并（a）芘、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、总氟化物、六价铬和镉的人体健康风险**超过**可接受水平，其中：苯并（a）芘的致癌风险水平为 1.36E-05（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.16（大于 1）；石油烃（C₁₀-C₄₀）的非致癌危害商为 1.17（大于 1）；甲醛的致癌风险水平为 4.04E-06（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.71E-01（小于 1）；总氟化物的非致癌危害商为 2.05（大于 1）；六价铬的致癌风险水平为 4.04E-06（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.71E-01（小于 1）；镉的致癌风险水平为 1.36E-05（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 2.89（大于 1）。镍的风险水平可接受，其致癌风险、非致癌危害商分别为 8.15E-07（小于 1.00E-06）、5.43E-01（小于 1）。因此，项目地块土壤污染存在较大风险，超过可接受水平，需根据地块实际情况进行进一步分析，确定修复/风险管控目标值，需采取必要的风险管理手段。

不直接饮用情景下，项目地块地下水关注污染物甲醛、氟化物、砷、锑对人体健康风险可接受。地下水中锑污染物非致癌危害商为 $7.29\text{E-}08$ （小于 1）；砷污染物致癌风险为 $8.50\text{E-}12$ （小于 $1.00\text{E-}06$ ）、非致癌危害商为 $2.41\text{E-}07$ （小于 1）；甲醛致癌风险水平为 $3.87\text{E-}10$ （小于 $1.00\text{E-}06$ ）、非致癌危害商为 $2.50\text{E-}05$ （小于 1）。

5. 场地修复目标及修复范围确定

5.1 修复目标值确定原则

为对场地风险进行管理，项目组根据导则要求制定各关注污染物的修复目标值，并划定修复范围。关于修复目标值的确定，国家导则和技术指南的相关规定如下：

1) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的规定，修复目标值确定的依据为：分析比较按照 HJ25.3 计算的土壤风险控制值和地块所在区域土壤中目标污染物的背景含量和国家有关标准中规定的限值，合理提出土壤目标污染物的修复目标值。

2) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》的规定：初步修复目标值，是根据场地可接受污染水平、场地背景值或本底值、经济技术条件和修复方式（修复和工程控制）、当地社会经济发展水平等因素综合确定的、场地土壤中的污染物修复后需要达到的限值。污染场地最终修复目标的确定，还应综合考虑修复后土壤的最终去向和使用方式、修复技术的选择、修复时间、修复成本以及法律法规、社会经济等因素。

根据导则要求和项目的实际情况，本项目土壤修复目标值的设置原则为：

1) 原则上用风险控制值作为修复目标值，风险控制值低于筛选值，则采用筛选值作为修复目标值；修复目标值应低于国家风险管制值。

2) 如当地背景值高于筛选值和风险控制值，则选取背景值作为修复目标值。

5.2 修复目标值确定

基于上述方法和原则，确定项目地块土壤污染修复目标，具体见**错误!未找到引用源。**。其中，苯并(a)芘、石油烃（C₁₀-C₄₀）、总氟化物、六价铬、镉、铅的土壤污染风险控制值低于 GB36600 第一类用地筛选值，其修复目标值采用 GB36600 第一类用地筛选值，甲醛计算的风险控制值高于高于 GB36600 第一类用地筛选值，其修复目标值采用风险控制值。

5.3 污染土壤修复面积及土方量计算

5.3.1 污染土壤修复范围的确定方法与原则

(3) 土壤污染水平范围确定

考虑详调孤立点位已经按 10 m×10 m 的高密度进行布点采样，连片污染区域按 20 m×20 m 网格进行布点采样，本地块污染区域土壤采样点分布密集，且考虑到土壤本身的不均质性等特性，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）》的要求，土壤污染水平范围的确定采用无污染点位连线法和场区平面布局判断，估测出污染物的超标范围。

采用无污染点位连线法进行确定风险管控和修复范围时，如果污染范围在边界附近，且边界无控制点，则以垂直于边界进行范围确定。

确定污染土壤修复范围图须提供拐点坐标。

(4) 土壤污染垂直范围的确定

在垂直方向上，确定土壤的修复深度时，以超筛选值点位所在层次为修复对象，其中，表层存在一定超筛选值情况时，以地表作为修复上边缘；当污染土壤存在变层时，分别考虑不同层次间污染分布情况确定。

修复范围根据不同深度的污染程度分别划定，分层图示，明确分层污染土方量。

5.3.2 污染土壤修复面积及土方量计算

基于分层计算的污染土壤修复范围空间叠加后，项目地块污染土壤修复总面积为 13198 m²，总方量为 30886 m³，总修复深度为 0-8.5m。

6. 结论与建议

6.1 结论

6.1.1 第二阶段采样调查结论

项目地块土壤和地下水污染存在不可忽略的人体健康风险，调查地块需根据地块未来规划开展风险评估，关注污染物为超筛选值污染物，其中土壤关注污染物包括石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、苯并（a）芘、总氟化物、铅、六价铬、镍、镉，地下水关注污染物包括氟化物、甲醛、砷、镉、可萃取性石油烃（C₁₀-C₄₀）。

6.1.2 人体健康风险评估结论

（一）地块污染风险水平

基于第一类用地方式情景下，项目地块土壤关注污染物中苯并（a）芘、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、总氟化物、六价铬和镉的人体健康风险**超过**可接受水平，其中：苯并（a）芘的致癌风险水平为 1.36E-05（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.16（大于 1）；石油烃（C₁₀-C₄₀）的非致癌危害商为 1.17（大于 1）；甲醛的致癌风险水平为 4.04E-06（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.71E-01（小于 1）；总氟化物的非致癌危害商为 2.05（大于 1）；六价铬的致癌风险水平为 4.04E-06（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 1.71E-01（小于 1）；镉的致癌风险水平为 1.36E-05（大于 1.00E-06），非致癌危害商为 2.89（大于 1）。镍的风险水平可接受，其致癌风险、非致癌危害商分别为 8.15E-07（小于 1.00E-06）、5.43E-01（小于 1）。由 IEUBK 模型的计算结果可知，第一类用地土壤铅对人体健康产生风险的临界值（即铅土壤环境基准值）为 290mg/kg。本地块土壤铅最大暴露浓度为 527mg/kg，超过计算的第二类用地铅土壤环境基准值（290mg/kg），其人体健康风险水平不可接受。因此，项目地块土壤污染存在较大风险，超过可接受水平，需根据地块实际情况进行进一步分析，确定修复/风险管控目标值，需采取必要的风险管理手段。

不直接饮用情景下，项目地块地下水关注污染物甲醛、氟化物、砷、镉对人体健康风险可接受。地下水中镉污染物非致癌危害商为 7.29E-08（小于 1）；砷污染物致癌风险为 8.50E-12（小于 1.00E-06）、非致癌危害商为 2.41E-07（小

于 1)；甲醛致癌风险水平为 $3.87E-10$ (小于 $1.00E-06$)、非致癌危害商为 $2.50E-05$ (小于 1)。

6.1.3 场地修复目标与修复范围

基于人体健康风险评估结果，建议的苯并(a)芘、石油烃(C₁₀-C₄₀)、甲醛、总氟化物、六价铬、镉和铅土壤修复目标值分别为 0.55mg/kg、826mg/kg、18.5mg/kg、1940mg/kg、3mg/kg、20mg/kg、400mg/kg。

基于分层计算的污染土壤修复范围空间叠加后，项目地块污染土壤修复 13198 m²，总方量为 30886 m³，总修复深度为 0-8.5m。

6.2 建议

根据本次地块环境调查和风险评估结果，该地块需开展环境修复才能进行下一步的开发利用。在本次调查工作完成后至该地块环境修复方案经环保部门备案前，地块责任单位应对修复区域进行必要的管理和保护，避免修复区域受到扰动而影响下一步环境修复工作。

土壤中目标污染物的关键风险暴露途径为经口摄入和呼吸吸入，地块正式开发建设前，应结合其关键暴露途径制定相应的风险管理措施。建议具体保护措施为：对修复区域进行围蔽，在修复区域边界悬挂明显标志，在地块修复实施方案通过相关主管部门备案之前，禁止任何单位和人员开挖、取土等扰动修复区域的行为，确保下一步修复工作的顺利开展。

修复工程实施过程中，应加强人员健康安全防护，了解本地块污染物的毒性及暴露途径，以确保工作人员健康。提高环境质量安全意识，严防实施过程中的环境二次污染问题。

项目地块内地下水中 pH 值、氟化物、甲醛、砷、镉等污染物不同程度超出《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中的 IV 类标准，建议后期开发利用过程中应禁止对场地内的地下水进行利用或作为饮用水。此外，本地块地下水埋深较浅，在修复施工、开发建设施工过程中若地块内涉及开挖等可能扰动地下水的情况，须重点关注地块开挖过程中产生的基坑水和排水，建议在开发施工过程中将场地内挖掘出的地下水处理达到相关污水排放标准后再排入周边市政污水管网，纳入城市污水处理厂进一步处理。

项目地块部分区域土壤中苯并（a）芘、石油烃（C₁₀-C₄₀）、甲醛、总氟化物、六价铬和镉不同程度超过相应的第一类用地筛选值，后续开发利用过程中应对该区域土壤进行妥善风险管控，避免外运到第一类用地区域中。

项目地块后续开发利用过程中，如果规划调整，土地利用类型涉及《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB 36600-2018)中的第一类用地，应当按照相关环保要求重新开展土壤污染状况调查工作。