

中国航油集团南方置业有限公司旧白云 机场老油库地块土壤污染 风险评估报告

土地使用权人：中国航油集团南方置业有限公司

土壤污染风险评估单位 1：广东贝源检测技术股份有限公司

土壤污染风险评估单位 2：广东工业大学

2023 年 10 月

目录

第一章	总论	5
1.1	项目背景.....	5
1.2	编制依据.....	7
1.2.1	法律法规和政策文件.....	7
1.2.2	标准规范和技术导则.....	8
1.2.3	地块相关资料.....	9
1.3	评估目的与原则.....	10
1.3.1	评估目的.....	10
1.3.2	评估原则.....	10
1.4	调查范围.....	11
1.5	技术路线和 workflow.....	12
第二章	地块概况	13
2.1	调查地块地理位置.....	13
2.2	场地水文地质调查情况.....	13
2.2.1	区域地层特征.....	13
2.2.2	区域构造特征.....	14
2.2.3	区域水文特征.....	17
2.3	调查地块历史沿革.....	18
2.4	调查地块企业基本情况.....	19
2.4.1	一期工程时期（1965年-1996年）.....	19
2.4.2	二期工程时期（1996年-2016年）.....	20
2.5	调查地块使用现状.....	20
2.6	调查地块未来规划.....	22
2.7	地块周边土地使用情况.....	22
2.8	周边环境敏感目标.....	23
第三章	回顾性评价	24

3.1	第一阶段污染识别回顾.....	24
3.1.1	调查地块重点关注区域.....	24
3.1.2	调查地块特征污染物识别.....	25
3.1.3	污染识别结论.....	25
3.2	初步采样调查回顾.....	26
3.2.1	污染物风险筛选值.....	26
3.2.2	初步采样调查结果.....	26
3.2.3	土壤环境初步调查分析与结论.....	28
3.2.4	地下水环境初步调查分析与结论.....	31
3.3	详细采样调查回顾.....	31
3.3.1	第一次加密调查.....	31
3.3.2	第二次加密调查.....	35
3.3.3	详细调查结论.....	37
3.4	地块土壤污染状况调查总体结论.....	38
3.4.1	地块土壤调查监测整体情况.....	38
3.4.2	地块土壤调查检测结果整体评价.....	39
第四章	地块污染特征.....	40
4.1	地块地质与土质参数.....	40
4.1.1	调查地块地层分层情况.....	40
4.1.2	土工试验.....	43
4.2	水文地质条件.....	44
4.3	地块污染成因分析.....	45
4.3.1	从地块土壤对照样品上分析.....	45
4.3.2	从地块内砷最大值分布上分析.....	47
4.3.3	从地块内底层超筛选值情况上分析.....	49
4.3.4	从地块内各土层超筛比例上分析.....	51
4.3.5	从地块区域地质构造上分析.....	52
4.3.6	从地块内土壤砷超筛选值空间分布上分析.....	53
4.4	地块内调查采样检测结果兜边兜底情况说明.....	55

4.4.1	地块内兜边情况说明	55
4.4.2	地块内兜底情况说明	56
4.5	小结	57
第五章	第二类用地风险评估	58
5.1	评估方法	58
5.2	危害识别	61
5.2.1	污染源分析	61
5.2.2	土地利用规划及敏感受体	62
5.2.3	关注污染物的筛选	62
5.2.4	地块概念模型	63
5.3	暴露评估	63
5.3.1	暴露情景与暴露途径	63
5.3.2	第二类用地暴露评估模型	64
5.3.3	暴露参数的选择	67
5.3.4	土壤暴露量计算	70
5.4	毒性评估	71
5.4.1	污染物的健康效应	71
5.4.2	关注污染物的毒性和理化参数	72
5.4.3	致癌毒性判定	72
5.5	风险表征	72
5.5.1	风险表征技术要求	72
5.5.2	致癌风险和非致癌危害商的计算方法	73
5.5.3	风险评估软件的介绍	75
5.5.4	关注污染物的风险表征结果	75
5.6	不确定性分析	76
5.6.1	不确定因素	76
5.6.2	暴露风险贡献率分析	77
5.6.3	敏感性分析	78
5.7	土壤风险控制值计算	80

5.7.1	土壤风险控制值的计算过程.....	80
5.7.2	风险评估推导的土壤风险控制值.....	83
5.7.3	修复/管控目标值的选择.....	83
第六章	地块修复/管控范围及土方量.....	84
6.1	调查地块土壤超过修复目标值状况评估.....	84
6.2	土壤污染面积及土方量计算.....	85
6.2.1	土壤修复/管控范围的确定原则.....	85
6.2.2	调查地块土壤修复/管控范围和土方量.....	86
6.2.3	调查地块 0-8.0m 土壤总修复/管控范围和土方量.....	88
6.3	超一类用地污染土壤的监管范围及措施.....	90
第七章	结论与建议.....	91
7.1	地块风险评估结论.....	91
7.2	建议.....	92

第一章 总论

1.1 项目背景

旧白云机场老油库地块位于白云山西麓，1965 年建成投产使用，土地使用权人为中国航空油料集团公司，使用权面积 51277.77m²。

老油库地块一期工程（1965 年~1996 年）主要有 10 个 500m³ 地上覆土立式油罐及相应的输油工艺管线、消防系统等，用于白云机场航空煤油的储运工作。1996 年，老油库进行广州白云机场供油系统改造二期扩建工程。内容包括：拆除白云山老储油库原有 10 个 500m³ 覆土立式油罐及相应的管线、消防设施等，在不征地的原则上，新建 2 个 20000m³ 立式拱顶下锥底油罐、3 个 3000m³ 立式拱顶下锥底油罐、配套的相应的工艺管线、油泵房、配电房、污水处理站、固定消防及通风、防雷、自动化仪表控制等设备设施和相配套的土建设施。2004 年，旧白云机场搬迁，同年，老油库因业务转移原因，油罐、管线及相关配套设备设施停用闲置。2016 年 5 月，老油库的油罐及管线等设施均被拆除，仅保留配电房和业务办公楼。

根据《中国航空油料集团公司关于无偿划转广州土地使用权等资产的批复》（中国航油发[2016]40 号），中国航空油料集团公司于 2016 年 1 月 25 日将广州市白云区新广从路中国航空油料中南公司白云山新储油库 2 号（以下简称“老油库地块”）资产无偿划转给中国航油集团南方置业有限公司使用及开发。中国航油集团南方置业有限公司和海南蓝天航空油料有限公司均为中国航空油料集团公司下属公司。

2016 年 5 月，中国航油集团南方置业有限公司和广州市土地开发中心签订了《收回国有土地使用权补偿协议（三旧改造方式）》（穗土合字[2016]0061 号），广州市土地开发中心对老油库地块进行收储征收。

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）、《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行动计划实施方案》（粤府〔2016〕145 号）、《广东省环境保护厅关于印发广东省土壤环境保护和综合治

理方案的通知》（粤环〔2014〕22号）和《广州市土壤环境保护和综合治理方案》（穗环〔2014〕28号）、《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31号）、《广东省土壤污染防治2020年工作方案》、《广州市生态环境局关于支持企业复工复产强化土壤污染状况调查报告评审服务的通知》等相关文件规定与要求，从事过有色金属矿采选、有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革、医药制造、铅酸蓄电池制造、废旧电子拆解、危险废物处理处置和危险化学品生产、储存、使用等行业生产经营活动，以及从事过火力发电、燃气生产和供应、垃圾填埋场、垃圾焚烧厂和污泥处理处置等活动的用地，拟收回、已收回土地使用权的，以及用途拟变更为商业用地的地块，必须开展环境和风险评估工作。因老油库地块从事过危险化学品（航空煤油）储存，现拟收回土地使用权，故需要开展场地环境调查，确定场地的污染状况，减少土地再开发利用过程中可能带来的环境问题，确保人体安全。

受中国航油集团南方置业有限公司委托，广东贝源检测技术股份有限公司（以下简称“我公司”）和广东工业大学对旧白云机场老油库地块开展地块土壤污染状况调查工作，对地块土壤与地下水进行采样检测，以确定地块污染的状况，为地块环境管理和下一步工作提供依据。

在初步调查和详细调查结果基础上，我公司于2021年4月对老油库地块开展风险评估工作，并在风险评估结果的基础上，编写《中国航油集团南方置业有限公司旧白云机场老油库地块土壤污染风险评估报告》，该项目于2021年6月10日通过专家评审，并在2021年8月13日拿到广州市生态环境局关于中国航油集团南方置业有限公司旧白云机场老油库地块土壤污染状况调查和风险评估报告评审意见的函，现由于项目未来规划发生变化，由原来的社会停车场用地（S42）转变为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），用地类型均属于GB36600-2018规定第二类用地。因此，2023年9月，受中国航油集团南方置业有限公司委托，我公司与广东工业大学项目组结合最新规划修改了《中国航油集团南方置业有限公司旧白云机场老油库地块土壤污染风险评估报告》，重新上报管理部门。

1.2 编制依据

1.2.1 法律法规和政策文件

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015年1月1日);
- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2018年8月31日);
- (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018年12月);
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法》(2018年1月1日修正实施);
- (5) 《土壤污染防治行动计划》(国发〔2016〕31号);
- (6) 《建设项目环境保护管理条例》(2017年10月1日实施)
- (7) 《污染地块土壤环境管理办法(试行)》(2017年7月1日施行);
- (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号文);
- (9) 《关于保障工业企业地块再开发利用环境安全的通知》(环发[2012]140号);
- (10) 《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);
- (11) 《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);
- (12) 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(原国家环保总局环办〔2004〕47号);
- (13) 《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);
- (14) 《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);
- (15) 《广东省人民政府关于印发广东省土壤污染防治行动计划实施方案的通知》(粤府〔2016〕145号);
- (16) 《广东省环境保护厅关于报送<广东省工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染工作实施方案>的函》(粤环函〔2014〕1290号);
- (17) 《广东省土壤污染防治2020年工作方案》;
- (18) 《广州市人民政府关于印发广州市土壤污染防治行动计划工作方案的通知》

- (穗府〔2017〕13号)；
- (19) 《广州市环境保护局关于印发广州市土壤污染治理与修复规划(2017-2020)的通知》(穗环〔2017〕187号)；
- (20) 《广州市环境保护局办公室关于加强污染地块治理修复工程验收监测工作的通知》(穗环办〔2015〕193号)；
- (21) 《广州市环境保护局办公室关于印发广州市工业企业地块环境调查、治理修复及效果评估技术要点的通知》(穗环办〔2018〕173号)；
- (22) 《关于印发广州市污染地块再开发利用环境管理实施方案(试行)的通知》(穗环〔2018〕26号)；
- (23) 《广州市环境保护局关于印发广州市土壤污染防治2018年工作方案的的通知》穗环〔2018〕181号。

1.2.2 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/风险管控术语》(HJ682-2019)；
- (2) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019)；
- (3) 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019)；
- (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》(HJ25.4-2019)；
- (6) 《建设用地土壤污染防治 第1部分：污染状况调查技术规范》(DB4401/T 102.1-2020)；
- (7) 《建设用地土壤污染防治 第3部分：土壤重金属监测质量保证与质量控制技术规范》(DB4401/T 102.3-2020)；
- (8) 《建设用地土壤污染防治 第4部分：土壤挥发性有机物监测质量保证与质量控制技术规范》(DB4401/T 102.4-2020)；
- (9) 《建设用地土壤污染防治 第7部分：土壤污染风险评估技术规范》(DB4401/T 102.7-2023)；
- (10) 《污染地块风险管控与土壤修复/风险管控效果评估技术导则(试行)》(HJ25.5-2018)；

- (11) 《工业企业污染场地调查与修复/风险管控管理技术指南》（试行）（2014年11月）；
- (12) 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》(试行)(GB36600-2018)；
- (13) 《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）；
- (14) 《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72号)；
- (15) 《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）》（2020年11月）；
- (16) 《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》（穗环办〔2018〕173号）；
- (17) 《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166-2004）；
- (18) 《环境检测分析方法标准制定技术导则》（HJ/T168-2010）；
- (19) 《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）；
- (20) 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2009）；
- (21) 《土工试验方法标准》（GB/T50123-1999）。

1.2.3 地块相关资料

- (1) 《中国航油集团南方置业有限公司旧白云机场老油库地块土壤污染状况初步调查报告》（送审稿）；
- (2) 《中国航油集团南方置业有限公司旧白云机场老油库地块土壤污染状况详细调查报告》（送审稿）；
- (3) 《白云机场老油库改建工程岩土工程勘察报告》（1993年）；
- (4) 《广州白云机场供油技改工程依据性文件》；
- (5) 《关于白云机场供油系统扩改工程项目的请示》（穗管局计[1991]020号）；
- (6) 《关于广州白云机场储油库增容工程可行性研究报告的批复》（中航油发[1992]73号）；
- (7) 《关于上报广州白云机场供油系统改造工程初步设计及预算的报告》（中航油[1993]72号）；

- (8) 《关于民航广州白云机场供油系统改造一期工程可行性研究报告的批复》
(国经贸[1993]304号);
- (9) 《白云机场供油系统改扩工程环境影响报告书》;
- (10) 《划转至中国航油南方置业有限公司资产清单》;
- (11) 《白云机场供油系统、业务油库的改扩建项目申报报告表》;
- (12) 《白云机场供油系统改扩工程业务油库污水处理站竣工资料》;
- (13) 《广州市国土资源和规划委员会关于中国航空油料集团公司土地收储方案的请示》(穗国土规划报[2016]98 号);
- (14) 《收回国有土地使用权补偿协议(三旧改造方式)》(穗土合字[2016]0061号)。

1.3 评估目的与原则

1.3.1 评估目的

本次评估依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019),并适当参考国内外相关风险评价方法,通过危害识别、暴露评估、风险表征和修复目标值确定等环节定量评估地块土壤对未来使用人群造成的健康风险,根据地块规划利用功能制定污染风险控制值,为地块后期修复治理的实施及投资估算提供支撑,为保证人民身体健康提供科学依据。

1.3.2 评估原则

(1) 以相关的法律、法规和标准为尺度,严格贯彻我国地块污染调查、评估与修复的相关规定和要求;

(2) 基于人体健康保护的原则、针对地块土壤及地下水污染的具体性质和环境特征编制风险评估报告;

(3) 采用国家规定的健康风险评估技术方法,编制科学严谨的评估报告。

1.4 调查范围

本次调查范围为中国航油集团南方置业有限公司旧白云机场老油库地块，位于广州市白云山西麓，使用权面积 51277.77m²。地块边界主要控制点坐标见**错误!未找到引用源。**，调查地块红线范围见**错误!未找到引用源。**。

1.5 技术路线和 workflow

按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），调查地块风险评估工作程序包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和风险控制值的计算。污染地块土壤健康风险评估程序如**错误!未找到引用源。**所示。

第二章 地块概况

2.1 调查地块地理位置

项目地块所在地位于广州市白云区大金钟路白云山西麓，地块使用权面积 51277.77m²。该地块南面和东面均为白云山风景区，北接军事油库地块，西临白云山大道、住宅区以及临街商铺，地块中心位置地理坐标：北纬（N）23.171715°，东经（E）113.271842°。调查地块地理位置如错误!未找到引用源。和错误!未找到引用源。所示。

2.2 场地水文地质调查情况

2.2.1 区域地层特征

白云区位于粤中低山与珠江三角洲平原的过渡地带，白云区地势北部与东北部高，西部和南部低。白云区的地质发展和地貌变化深受褶皱和深大断裂的控制，主要断裂带有两条，广从断裂带和瘦狗岭断裂带，前者是北东向断裂带，后者是东西方向的深断裂带。大致以广从断裂带和瘦狗岭断裂带为界，广从断裂带以东，瘦狗岭断裂带以北，是白云山——萝岗低山丘陵地区，中有山间冲积平原点缀，如南岗河冲积而成的萝岗洞，金坑河冲积而成的穗丰、兴丰两个小盆地，良田坑冲积而成的白米洞，凤尾坑冲积而成的九佛洞等。广从断裂以西，主要是流溪河冲积平原和珠江三角洲平原。北部及东北部以低山为主，谷深，坡陡，基岩是坚硬的、块状的变质岩和花岗岩。

在低山的边缘地带，如新广从公路东侧、旧广从公路大源以南两侧，展布着一系列丘陵，其基岩是抗风化力较弱的中粗粒花岗岩，故山顶浑圆，山坡平缓。

在丘陵区的南部边缘，沿瘦狗岭断裂走向是一片带状的台地，区境内西起王圣堂，依次是走马岗、桂花岗，接天河区境的横枝岗、瘦狗岭、下元岗，一直延伸到区境萝岗的火村、刘村。白云山西麓，是丘陵与山前平原相接地带，并展布着一系列北东向的山前洼地和台地，与冲积平原相间，组成了流溪河波状平原。

白云区内山脉属九连山余脉，从东北向南及向西南延伸，形成区境东北和东部大片丘陵山地，其中帽峰山主峰莲花峰海拔 534.9 米，是全区最高峰，山上遍植松、杉、竹和杂树，树木郁葱，植被茂密。此外，全区有多座海拔 300 米以上的山岭，如白云山主

峰摩星岭海拔 372.3 米，杨大岭海拔 349 米，武台山海拔 336 米，寻岭海拔 313.3 米，葫芦山海拔 331 米，洞旗峰海拔 314 米。

白云区的地质状况，主要包括地层、岩浆岩，变质岩、地质构造变等 4 个方面。白云区出露的地层比较齐全，从晚古生界的震旦系至新生界的第四系，除寒武系、奥陶系与志留系缺失外，其余均有出露，主要包括元古界的震旦系、古生界的泥盆系、石炭系二迭系，中生界的三迭系、侏罗系、白垩系，新生界的第三系和第四系。白云区的侵入岩主要是燕山期形成的，最主要的侵入岩体有萝岗岩体和九佛岩体。萝岗岩体是在燕山第二期（中侏罗世）侵入，以中酸性侵入岩的二长花岗岩为主，中粒颗粒。而九佛岩体这是在燕山第三期（晚侏罗世）侵入的，以酸性侵入岩的黑云母花岗岩为主白云区出露的变质岩主要有混合岩和混合花岗岩。前者是以全麻状混合岩为主，而后者主要是片麻状混合花网石。

调查地块处于白云山西麓，结合区域地质图、初调和详调钻孔所打出的岩芯情况以及场地地勘报告可知，覆盖层为第四系人工填土层（ Q^{ml} ）、冲洪积土层（ Q^{al+pl} ）、坡残积土层（ Q^{dl+el} ），下伏基岩为侏罗系下统金鸡组（ J_{1j} ）石英砂岩、细砂岩夹泥质粉砂岩、泥岩、炭质泥岩、页岩（详见区域水文地质图）。

广州断裂沿白云大道附近通过，走向为 NE—SW。

2.2.2 区域构造特征

老油库地块背靠白云山，位于白云山西南角山脚处。其西侧与南侧发育两处深大断裂，一条为北东向广州—从化断裂，一条为东西向三元里—瘦狗岭断裂。

1、三元里—瘦狗岭断裂

三元里—瘦狗岭断裂又称广州—罗浮山断裂。为近东西走向的活动性断裂，西起三元里，向东经瘦狗岭、黄埔区、南岗沉降区，形成白垩纪红层低台地和第四纪组成的三角洲平原。断裂至今还在活动，特别在广从断裂和文冲断裂交界处，常诱发小地震，但没造成过灾害。

瘦狗岭断裂带是控制广州地区地质构造格架的一条骨干性构造带，向西与广三（广州三水）断裂带相连，是区域上近东西向的三水—广州—罗浮山断裂带的重要组成部分。瘦狗岭断裂带西起白云山南麓，大致呈 SE90~100 走向，经瘦狗岭、五山、吉山至东部的横沙新村，后被北西向的文冲断裂右旋错移至黄埔庙头，然后大致呈 SEE100 走向继续延

伸至新塘以东。断裂带切割了震旦系、加里东期混合岩、燕山期花岗岩和上白垩统老第三系红层。沿断裂带大量发育了浅层次脆性变形造成的碎裂岩系列，如硅化碎裂岩、断层角砾岩外，还发育了深层次高压塑性变质变形的糜棱岩等。

瘦狗岭断裂是广州断陷盆地与白云山罗岗断隆的分界线，断裂以北为白云山罗岗断隆，分布燕山期中粗粒花岗岩和震旦系变质岩；断裂以南为广州断陷盆地，沉积巨厚层白垩系红色碎屑岩；发育平缓宽阔的皱褶。区域构造格局主要形成于燕山-海西运动期，总的构造线方向为北东向和北西向，特点是北东向断裂规模宏大、东西向断裂再次复活，沿断裂有大面积的岩浆侵入。不同时期构造运动形成的几组断裂，北东及北东东向(广从断裂)、北西至北北西向(文冲断裂、化龙断裂)和东西向至北西西向(瘦狗岭断裂、广三断裂) 是主要的控震断裂，震源应力场与现代地壳构造应力场主压应力轴 的优势方向(北西西-南东东)基本一致。晚第三纪以来新构造运动特征主要表现为断块间的差异升降运动。

构造岩以硅化岩为主，其次为硅化构造角砾岩和硅化碎裂岩，构造岩带宽一般十至几十米；构造岩中硅化石英具有波状消光，无定向排列，多呈自形完整晶体，显示以张性应力为主的特征，属张性正断层。断层物质热释光测年研究表明，最近一次强烈活动发生在距今 $3.2 \pm 0.23 \text{ Ma}$ ；形变测量和断层气异常测量结果证实，瘦狗岭断裂现今仍有一定程度的活动，下(北)盘上升，上(南)盘下降，相对升降速率为 0.19 mm/a 。

据研究，罗岗断隆燕山早期系列花岗岩测年结果为 $203.4 \text{ Ma} \pm 10.4 \text{ Ma}$ ，断裂下盘震旦纪变质岩具有低角度的构造片理及破劈理，说明侏罗纪之前具有韧性特征的瘦狗岭断裂已经形成；白垩纪期间，断裂以陡倾角的张性正断层活动为主，产生强烈的硅化作用而形成硅化构造岩；白垩纪晚期至第三纪，沿断裂大面积的岩浆侵入，引起东西向瘦狗岭断裂再次复活，加剧了断裂的张性活动，先后形成广州、麻冲和东莞断陷盆地，控制白垩纪至第四纪的沉积。

前人已开展研究的瘦狗岭断裂主断裂带多处构造岩热释光测年结果分别为 $22.4 \text{ Ma} \pm 1.5 \text{ Ma}$ 、 $11.8 \text{ Ma} \pm 0.7 \text{ Ma}$ 、 $7.65 \text{ Ma} \pm 0.5 \text{ Ma}$ 、 $3.2 \text{ Ma} \pm 0.2 \text{ Ma}$ ，说明瘦狗岭断裂近期的强烈活动发生在中更新世中期至晚更新世期间，活动形式具有多期性、间断性和地段性的特征；主要的活动部位分布在三元里和庙头一带，是瘦狗岭断裂与广从断裂、文冲断裂和南岗断裂的交汇区域，均远离本场地大于约 2000 m 。最近一次强烈活动发生

在距今 $3.2\text{M a} \pm 0.23\text{M a}$,表明自晚更新世晚期至全新世,瘦狗岭断裂处于相对稳定或微弱的活动状态中。

破碎带中,岩石明显受挤压而破碎,破碎带分布广、带宽,构造岩广泛发育,不同应力状态下所形成的构造岩互相迭置、复合,并具明显的分带性。本断裂带构造岩岩性十分复杂,发育齐全,表现有一定的垂直分带性和水平分带性。断裂带中间硅化岩、角砾状、碎裂状硅化岩,往上下(两侧)分别为碎裂岩、断层泥、压碎岩、角砾岩、糜棱岩、糜棱岩化花岗岩、片理化混合花岗岩。但发育不均匀,有缺失一带或多带。

根据钻孔岩芯观察结合镜下薄片鉴定,构造岩石原岩多为花岗岩类,主要由碎块、碎斑成分及基质(碎基)成分组成,具碎裂结构及碎斑结构,眼球纹理结构构造,局部可见硅化交代他形结构、硅化重结晶结构。其中,碎块成分,主要呈棱角状,粒度较大,碎块角砾多以钾长石斑晶成分或长石石英集合体的花岗岩碎块成分为主,碎块的粒度一般与碎斑粒度呈连续不等粒状过渡;碎斑成分主要有石英、钾长石、斜长石;碎基矿物成分主要有微粒石英、斜长石、绢云母、云母片、绿泥石、粘土矿物及霏细状粉碎物、硅化石英等,常呈条带状分布于碎斑边缘,具霏细状碎粉结构,蚀变重结晶结构。显微结构中碎斑及基质具有明显的成分及结构分带性。

2、广州—从化断裂

广州—从化断裂带,位于恩平—新丰断裂构造带的中带,往南西经从化、高广州、高明、鹤城、开平、恩平而达阳江沿海岛屿,全长 450m,西南段撒开,东北段收敛作舒缓波状延伸,断面主要倾向北西,倾角 $40\sim 60^\circ$;平行伴生的次级断裂发育,为东南沿海地区一条重要的北东至北北东向深大断裂。

广从断裂带是由多条大体平行的断裂组成的断裂带,总体走向北东,北部偏东,南部偏北,断面陡立且倾向变化不定,但以倾向北西为主。中北部断裂出露较好,广州以南多被第四系覆盖。断裂带主断裂的破碎带宽度一般为十几米,个别地段则达上百米,构造岩以碎裂岩为主早期的构造岩通常有较强烈的硅化现象。

广从断裂最有可能是形成于印支运动,其后几经不同方式和不同力学性质的活动。燕山早期以左旋压扭性为主,白垩纪发生了第一次伸张松弛—挤压逆冲活动,新生代早期(古近纪)发生第二次的伸张松弛—挤压活动,中新世起,断裂处于相对稳定阶段,这一状态一直延至中更新世或晚更新世早期。

断裂历史活动性研究以及现今活动性探测结果都表明，广佛地区是广从断裂活动最为活跃的地段。

2.2.3 区域水文特征

白云区所处区域局部水系发育，境内河流属珠江水系。因受地势影响，河流多从东北流向西南。从东流向西或从北流向南，分别流入珠江、白坭河、流溪河，也有少量经天河区流入东江。根据区域水文资料，珠江径流年内分配不均匀，汛期为4~9月，流量占全年径流量的80%~85%，最大月径流量一般出现在5月份或6月份。珠江广州河道为感潮河流，潮汐类型为不规则半日潮，每日基本上有二涨二落，往复流十分明显，当天潮差一般为1.20~2.50m。历年最高潮位7.62m，百年一遇潮位7.79m。最低潮位3.64m，多年平均潮位7.02m（1950-1990年），年平均潮差1.50m，广州河道除遇较大洪水外，基本受潮流控制，即使在汛期，潮流影响仍很显著。

白云区拥有较丰富的地下水，包括浅层地下水、深层地下水与温泉、矿泉水，按赋存方式分为第四系土层孔隙水，碳酸盐岩类裂隙岩溶水。其中第四系海陆交互相沉积砂层、冲积-洪积砂层为主要含水层，主要为潜水，局部为承压水。第四系空隙潜水主要赋存在第四系砂层中，其补给主要靠大气降水和珠江水，砂层水排泄主要表现为大气蒸发及珠江退潮时向江河排泄。基岩裂隙水发育与强风化~中等风化带中，主要由远处侧向补给以及在基岩裂隙水水位下降时由第四系砂层越流补给，石灰岩岩溶裂隙水主要靠第四系孔隙水的越流补给和大气降水补给，排泄主要是地下径流的方式排入临近的沟谷、河流和湖泊。

多年平均地下水平面为-2.55m。深层地下水多蕴藏于深层喀斯特地层。地下水位的变化与地下水的赋存、补给及排泄关系密切，受季节和江河潮汐的影响明显，每年5~10月为雨季，大气降雨充沛，水位明显上升，而在冬季因降水减少，地下水位随之下降，水位年变化幅度位2.5~3.0m。区域水文地质图见**错误!未找到引用源。**。

2.3 调查地块历史沿革

调查地块主要使用历史分为五个阶段：农林用地初始阶段（~1965年）、一期工程油库阶段（1965年~1996年）、二期工程油库阶段（1996年~2004年）、闲置阶段（2004年~2016年）、拆除后现状（2016年~至今）。老油库历史沿革如下：

①农林用地初始阶段（~1965年）：1965年前调查地块为农林用地，主要为白云山原始山林植物生长，地块内南侧局部约1000m²为农田种植。

②一期工程油库阶段（1965年~1996年）：1965年~1981年，老油库地块作为空军部队用地，建设成油库储存航空煤油，主要有10个500m³的立式地上覆土罐、配套的地下输油管道（埋深1~2米）以及建有的配套设施或建筑（消防水池、旧消防泵房、旧装卸台、油泵房以及相关办公楼等）；

③二期工程油库阶段（1996年~2004年）：1981年地块划归到民航局管辖，1992年地块权属中国航空油料集团公司，期间继续沿用油库原设施，即1965年~1996年为油库一期工程时期；1996年中国航空油料集团公司对老油库进行二期改造扩容，拆除了原立式地上覆土罐及其配套管线。改造扩容期间，对地块构筑物布置进行重新规划，通过开挖、回填以及平整，回填土均来自地块两侧边坡土壤，形成三个不同高程的平台阶层，平台间高程落差最大可达12.4m。其中，地势最高的平台为油罐区，中间平台为污油罐、污水处理站区域，最低平台为装卸台区域以及绿化区域等。开挖平整区域为调查地块一期工程的储罐位置、地块两侧山体以及东侧山体，整体开挖高度约为2m-7m。回填平整区域为地块中间地势较低处以及消防水池，最终形成油罐区平台以及中间平台，回填深度约为0.2m-11m，回填土方均来自前期开挖土方，回填平整完后铺设水泥硬化层。二期工程新建2个20000m³的立式储罐、3个各3000m³的立式储罐油罐以及其配套的地上架空管线，建有防渗和围堰等措施，新建相应的油泵房、供电、供水、固定消防及通风、防雷、自动化仪表控制等设备设施和相配套的土建设施。二期工程设施自1996年建成，持续使用至2004年；

④闲置阶段（2004年~2016年）：2004年~2016年因旧白云机场搬迁，老油库停用并闲置，设施保留；2016年，老油库地块拆除了储罐区储罐及其配套管线、污水处理站、装卸台、油泵区、消防设施等设施，地块由土储单位收储；

⑤拆除后现状（2016年~至今）：2016年地块内设施拆除至今，地块闲置，仅租赁给第三方公司作为驾校训练场、普通快递物流分拣中转站等，地块内已无危险化学品储存和转运。

综上所述，广州市白云区旧白云机场老油库地块自1965年建成投产以来至2016年拆除，一直用于白云机场航空煤油的储运工作、不涉及不涉及油品生产及制造。

2.4 调查地块企业基本情况

老油库地块的平面布置历史沿革情况较复杂，按历史时期可分为一期工程时期和二期改造工程时期，具体如下。

2.4.1 一期工程时期（1965年-1996年）

根据收集到的资料和访谈资料，老油库地块1965年建成投产使用，调查地块不涉及油品生产及制造，仅作为油品储存，无生产工艺。一期工程平面布局包括油罐区、旧输油管线、旧油泵房、装卸台、旧消防水池、旧消防泵房、旧办公楼等配套设施，使用占地面积为51277.77m²。

根据对中航油集团公司的人员访谈情况，老油库地块一期工程储罐区建有10个500m³立式地上覆土储罐以及有一条输送至云霄路油库的全长8km，直径159mm的地下输油管道路线。管线地下埋深1~2米，地块内管线依次连接山上各立式覆土油罐以及旧油泵房，地块内的管线长度约为450m；该时期地块仅有一条简单的排水渠，排水沟渠底板埋深约为0.5米，油罐区上的含油污水通过隔油池处理后排放，原建筑使用情况见错误!未找到引用源。，平面布置见错误!未找到引用源。。地块一期工程管线分布情况见错误!未找到引用源。。

2.4.2 二期工程时期（1996年-2016年）

1996年旧白云机场老油库在原有基础上进行了扩容，油库扩建不涉及油品生产及制造，仍仅作为油品储存，不涉及生产工艺变更。二期工程主要包括：

（1）在不征地的原则上进行扩容，拆除储罐区原有10个500m³覆土立式油罐及相应的输油管线、油泵房、消防水池、消防设施，新增2个20000m³立式拱顶下锥底油罐、3个3000m³立式拱顶下锥底油罐、配套新建了的一条直径325mm输油管线。调查地块内的输油管线长约400m，为贴近地面的地上架空管线，连接地块内各储油罐以及油泵房。输油管线与储油罐相连关键部位的罐根阀采用进口电动DBB阀门，并在输油主管上设置全口径电液联动球阀，可有效减少煤油“跑冒滴漏”。输油管线经消防水池旁区域后转为地下埋管，地下管线长度为50m，管线埋深为1~2m；

（2）拆除了三座原有建筑改建为绿化用地，对原一期工程装卸台改造后继续使用，拆除了旧油泵房，新建了二期油泵房以及相应配套设施；

（3）二期工程还新建污水处理站、过滤器房、消防水池和泵房等配套设施；过滤器房旁与输油管线转角间新建有一11m³小型地下真空储罐，埋深为0.5m；地块内还新建了连接消防水池和泵房通向油罐区铺设的消防管线、收集分离过滤污水和洗罐污水的含油污水管线（与输油管线并列，为地上管线）以及雨、污水排水渠；储罐区围堰内采用阀门控制雨污分流，含油污水通过阀门控制依靠重力流入污水站处理，处理达标后排放，排水沟渠底板埋深约为0.5~1.0m；此外在油库东南侧入库大门前新建业务用房以及总变配电房。

2004年，旧白云机场搬迁，老油库因业务转移，地块内油罐、管线及相关配套设施停用闲置，2016年拆除地块内的油管、管线及配套设施设施。原建筑使用情况见**错误!未找到引用源。**，平面布置见**错误!未找到引用源。**，调查地块管线分布见**错误!未找到引用源。**至**错误!未找到引用源。**。

2.5 调查地块使用现状

项目组在现场踏勘期间对调查地块内的建筑、地面、管线以及周边环境进行了详细调查，调查地块在调查期间的基本状况如下：

(1) 调查地块内原有储罐及其配套管线、油品装卸台、污水处理站、油泵房、消防泵房、消防水池、污油罐、污水处理站及过滤器房等设施均已拆除；行政管理区办公楼、总变配电房等其他配套设施保留；老油库地块整体分为 3 个阶梯平台，最高落差达 12m 以上。地块内四周有一条沿着山体边坡雨水排水渠，山体边坡设有挡土墙。地块红线位于现有区域的上方边坡上，高度差约为 6 米；

(2) 根据现场踏勘可知，老油库地块原储罐区、原污水处理站区域现为驾校训练场地以及停放训练车辆，现场未见有进行训练车辆的维修现象；原消防泵房及绿化区域现为广州白云出租车公司办公楼和停车场地；原油品装卸台区域现为普通快递物流分拣中转站或设置为新能源汽车充电桩；原办公大楼现为闲置状态，其东侧总配电房现仍在 使用，其连接一条西北向地理的 10 万伏高压电缆，为整个场地进行供电配电；地块南 侧建有一生活用公共厕所，供地块内人员使用；地块西部区域可见多处电动汽车充电桩 和换电站；

(3) 根据现场踏勘确认，老油库地块地面现均为新铺设的水泥硬化层，硬化层平 均厚度大于 10cm，最上层台阶铺设了沥青与水泥层。混凝土路面基本保持完好，仅原 装卸台区域水泥路面存在有破碎混凝土块，其他区域未发现明显开裂、下沉的现象；现 场未发现与贮存油品相关的污染痕迹和油味、未发现异常气味、异常植物、表面析出及 其它可识别的环境状况，未发现污染痕迹或存在残留污染物的污染热点区域；场内污水 管网未出现堵塞等现象，雨水污水均可以顺畅排出场外，未见有污水淤积现象。调查地 块现场踏勘照片见**错误!未找到引用源。**。

2.6 调查地块未来规划

调查地块规划为公园绿地（G1）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），规划情况 见**错误!未找到引用源。**~2，根据广州市规划和自然资源局白云区分局对公园绿地的回 复函，公园绿地不包括社区公园和儿童公园（图 2.6-3），属于《土壤环境质量 建设用 地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第二类用地。

2.7 地块周边土地使用情况

老油库地块三面环山，周边土地利用情况除白云山风景名胜保护区之外，有住宅用 地、商业用地以及军事用地等，详细如下：北侧为军事油库用地（军事禁区）；西侧为 白云大道南、大金钟路、汽修店以及居民区，居民区如万科峰境、天健云山府、盈翠华 庭和景泰社区等；东侧、南侧为白云山风景区。

2.8 相周边环境敏感目标

调查地块周边 1000m 范围内所识别出敏感目标有商业住宅区、风景名胜区等：南、北、东三面均为白云山景区，属于白云山风景名胜区保护范围，调查地块西侧为商业住宅区、医院以及学校，地块周边的各环境敏感保护目标具体分布详见**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**

第三章 回顾性评价

3.1 第一阶段污染识别回顾

3.1.1 调查地块重点关注区域

根据调查地块的土地利用历史、平面布置、生产工艺、原辅材料、产排污情况、储罐以及管道的分布情况等分析。老油库地块在调查期间的基本状况如下：

(1) 调查地块自 1965 年建成油库投产以来至 2016 年拆除，一直用于白云机场航空煤油的储运工作、不涉及油品生产及制造；

(2) 地块一期工程时期建有 10 个 500m³ 地上覆土立式油罐以及配套的地下输油管线，输油管线依次连接山上各立式覆土油罐以及旧油泵房、装卸台。建有旧消防水池、旧消防泵房、旧隔油池等配套设施；

(3) 地块二期工程时期拆除了一期时期的 10 个 500m³ 储罐、输油管线、油泵房、消防泵房、消防水池、隔油池、旧办公楼和值班室建筑等设施，新建了 2 个 20000m³ 立式拱顶下锥底油罐、3 个 3000m³ 立式拱顶下锥底油罐、配套的地上架空输管线、油泵房以及配套设施。保留了原有装卸台进行改造，新建污水处理站、污油罐、过滤器房及卧式储罐、消防水池和消防泵房等配套设施，在油库东南侧入库大门前新建业务用房办公楼以及总变配电房；

(4) 2016 年，仅保留了二期办公楼、总变配电房，拆除了油罐及其他所有配套设施，对路面重新进行铺设水泥硬化层，地块东部平台铺设了沥青；目前老油库原油罐区、消防水池和原污水处理站区域外租作为驾校训练场地使用。原消防泵房拆除及周边绿化等经平整后外租给广州白云出租汽车集团办公区和停车场使用。

根据调查地块的土地利用情况、产排污情况及管道分布情况，老油库地块关注的重点区域为一二期储罐区区域、一二期油泵房区域、一二期装卸台区域、一二期消防泵房区域、一二期输油管线、一二期北侧区域（军事油库侧）、二期过滤器房区域、二期污油罐区域、二期总变配电站区域和二期污水处理站区域等区域，详见下**错误!未找到引用源。**，分布情况如**错误!未找到引用源。**至**错误!未找到引用源。**所示。

3.1.2 调查地块特征污染物识别

本地块历史上所储存的燃油油品均为执行国家标准 GB 6537-2006 的航空煤油，其潜在污染物均来自油品中的各主要成分，包括 C₁₀-C₁₆ 的烷烃类有机物，含少量芳香烃、不饱和烃、环烷烃和萘系烃等如 2-甲基萘、苯、甲苯、萘、二甲苯、三甲苯、丁苯、丙苯。油品成分识别中的 C₁₀-C₁₆ 烷烃类可用总体指标石油烃（C₁₀-C₄₀）来评价。地块储存的航空煤油涉及到无灰型抗静电剂添加剂，查阅文献资料知其主要成分为各高分子化合物、甲苯和萘。由于本地块历史跨度大，一期工程作为军事油库时部分历史资料缺失，地块现状多为汽车活动，不排除其历史上在局部范围内进行过燃烧煤油、有机高分子化合物等活动，该类有机物不完全燃烧时可能产生的多环芳烃类污染。为避免遗漏识别潜在污染物，故增加指标因子石油烃（C₆-C₉）、多环芳烃类；此外，本地块内自 1996 年建设有变电设备，多氯联苯类的禁止使用是从 20 世纪 90 年代开始的，保守起见，增加多氯联苯作为特征污染物。

综上所述，本地块识别出的潜在特征污染物为石油烃（C₆-C₉）、石油烃（C₁₀-C₄₀）、2-甲基萘、萘、甲苯、苯、二甲苯、三甲苯、丁苯、丙苯、多环芳烃、多氯联苯等。本次识别将各污染物类的主要单一污染物或异构体均补充作为潜在的特征污染物进行调查，如多氯联苯类（18 项）、多环芳烃类（荧蒽、芘、菲、芴、蒽、蒽烯和蒽等）、三甲苯的两种异构体（1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯）、丙苯的两种异构体（正丙苯、异丙苯）、丁基苯（正丁基苯、仲丁基苯、叔丁基苯）等，地块主要污染识别结论见**错误!未找到引用源。**。

3.1.3 污染识别结论

通过调查地块相关资料收集分析和审阅、现场踏勘及人员访谈，对地块及其周边进行了详细的主要生产活动与环境状况分析调查，地块第一阶段污染识别阶段的初步地块污染概念模型总结见**错误!未找到引用源。**。

3.2 初步采样调查回顾

3.2.1 污染物风险筛选值

一、土壤风险筛选评价标准

本调查地块土壤筛选值选择的原则如下：

(1) 优先采用《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600-2018)中对应污染物的筛选值。本项目地块规划用途为公园绿地(G1, 不含社区公园和儿童公园)、军事用地(H41)、防护绿地(G2), 属于 GB36600-2018 标准中的第二类用地, 老油库地块执行 GB36600-2018 标准中第二类用地筛选值。

(2) 在标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)未列出部分污染物, 采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)进行推导计算筛选值。

(3) 如评价区域的背景值高于通过上述方式选取的筛选值, 则优先考虑土壤背景值作为筛选值。

综上所述, 本地块的土壤风险筛选评价标准选择如下**错误!未找到引用源。:**

二、地下水风险筛选值

根据《广东省地下水功能区划》和《关于同意广东省地下水功能区划的复函》(粤办函(2009)459号), 该地块位于珠江三角洲广州白云分散式开发利用区, 地下水水质现状为III类水质, 地下水功能保护区目标水质类别为III类。

调查地块内检测指标优先参照《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中III类标准进行评价。未在《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中的部分指标, 可按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)推荐值推导计算污染物风险筛选值, 参数选用导则默认参数。地下水风险筛选值详见下**错误!未找到引用源。。**

3.2.2 初步采样调查结果

3.2.2.1 采样点位布设情况

调查地块初步调查阶段共布设 46 个土壤监测点位(1S1~1S34、2S1~2S12), 共采集 251 件土壤样品(不包含现场平行样), 其中点位 1S01~1S34 单点钻孔最大深度为

8.0m，2S1~2S12 单点钻孔最大深度为 14.0m。在地块外周边无人活动影响或影响较少区域布设 3 个土壤对照点位，共采集 7 件土壤样品（不含现场平行）。

初调阶段共建 6 个地下水监测井（1L2、1L3、1L4、1L6、1L7、1L8），共采集 6 组地下水样品用于调查地下水水质，地下水监测井井深为 5.5~7.5m。

初步调查土壤和地下水采样布点图见**错误!未找到引用源。**。

3.2.2.2 初步调查检测项目

一、土壤检测项目

初步调查阶段土壤检测项目为《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中的 45 项必测项目以及第一阶段调查确定的未在 45 项中的特征污染物项目，共计 63 项指标，具体如下：

①常规项（2 项）：pH、干物质；

②重金属（7 项）：砷、镉、六价铬、铜、铅、汞、镍；

③石油烃（2 项）：石油烃（C₆-C₉）、石油烃（C₁₀-C₄₀）；

④挥发性有机物（34 项）：氯甲烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、二氯甲烷、反式-1,2-二氯乙烯、1,1-二氯乙烷、顺式-1,2-二氯乙烯、氯仿、1,1,1-三氯乙烷、四氯化碳、苯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,2-二氯丙烷、甲苯、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、氯苯、1,1,1,2-四氯乙烷、乙苯、间,对-二甲苯、邻-二甲苯、苯乙烯、异丙苯、1,1,2,2-四氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷、正丙苯、1,3,5-三甲基苯、叔丁基苯、1,2,4-三甲基苯、仲丁基苯、1,4-二氯苯、正丁基苯、1,2-二氯苯；

⑤半挥发性有机物（20 项）：苯胺、2-氯苯酚、硝基苯、萘、2-甲基萘、萘烯、萘、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并（a）蒽、蒽、蒽、苯并（b）荧蒽、苯并（k）荧蒽、苯并（a）芘、茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽、苯并[ghi]芘；

⑥多氯联苯 PCBs (18 项), 变电站位置: 3,4,4',5-四氯联苯(PCB81)、3,3',4,4'-四氯联苯(PCB77)、2',3,4,4',5-五氯联苯(PCB123)、2,3',4,4',5-五氯联苯(PCB118)、2,3,4,4',5-五氯联苯 (PCB114)、2,3,3',4,4'-五氯联苯 (PCB105)、3,3',4,4',5-五氯联苯(PCB126)、2,3',4,4',5,5'-六氯联苯(PCB167)、2,3,3',4,4',5-六氯联苯 (PCB156)、2,3,3',4,4',5'-六氯联苯 (PCB157)、3,3',4,4',5,5'-六氯联苯(PCB169)、2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯(PCB189)、2,4,4'-三氯联苯 (PCB28)、2,2',5,5'-四氯联苯 (PCB52)、2,2',4,5,5'-五氯联苯(PCB101)、2,2',3,4,4',5'-六氯联苯 (PCB138)、2,2',4,4',5,5'-六氯联苯 (PCB153)、2,2',3,4,4',5,5'-七氯联苯(PCB180)。

二、地下水检测项目

检测指标包括:

pH、浊度、重金属 6 项 (砷、镉、镍、铅、总汞、六价铬)、乙苯、苯乙烯、特征污染物挥发性石油烃 (C₆-C₉)、可萃取性石油烃 (C₁₀-C₄₀)、苯、甲苯、间,对-二甲苯、邻二甲苯、1,2,4-三甲基苯、1,3,5-三甲基苯、仲丁基苯、叔丁基苯、正丁基苯、异丙苯、正丙苯、2-甲基萘、萘、多环芳烃类 (苯并(a)蒽、苯并(k)荧蒽、蒽、二苯并(a,h)蒽、茚并(1,2,3-cd)芘、芘、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并(g,h,i)芘、芘稀、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽)、多氯联苯 (18 项), 共计 58 项监测指标。

3.2.3 土壤环境初步调查分析与结论

初步调查期间,调查地块内共布设 46 个土壤监测点位和地块外布设 3 个背景点位,共采集的地块内 251 个土壤样品和 7 个土壤背景样品,通过分析本次初步调查采集的地块内土壤样品以及背景对照点土壤样品的检测数据,可得出如下结论:

①本次调查共采集 3 个土壤背景背景点,共 7 个土壤对照样品,土壤背景点样品砷检出范围为 81.3~97.3 mg/kg, 检出平均值为 91.2mg/kg, 均超过第二类用地土壤风险筛选值 60mg/kg, 表明调查地块外未受人为扰动的土壤重金属砷存在超筛选值现象,与白云区主要自然土壤亚热带赤红壤特性相近,土壤砷的背景值较高;

②地块内一期工程时期有一条山沟小溪,该区域内有未超筛点位 1S19、1S22、1S23、1S25 位于地块西部区域 (原山沟沟谷)、点位 1S2、1S5、2S3、2S5、2S10、2S12 位于地块东部区域 (原山沟沟谷), 其采集的土壤样品均未超筛选值,土壤特性多为冲洪积土 (Q^{al+pl}), 多含河流冲击沉积物沉积;土壤砷超筛点位为 1S1、1S3、1S4、1S6、1S7、

1S8、1S9、1S10、1S11、1S12、1S13、1S14、1S15、1S16、1S17、1S18、1S20、1S21、1S26、1S27、1S28、1S29、2S2、2S4、2S6、2S7、2S8、2S11，共 28 个，占地块内土壤点位总数的 60.87%。超筛点位主要集中在地块原山沟两侧山体边坡区域或填土层较厚的中间区域（原山沟沟谷）；

③地块内有 251 个土壤样品**砷**检出，其中有 77 个土壤样品**砷**超过了《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第二类用地筛选值 60mg/kg 限值，超筛范围为 61~375mg/kg，超筛倍数为 0.02~5.25，超筛深度在 0~8.0m；

④根据地块初步调查采样结果以及土壤岩芯情况，对地块内超筛选值样的土层类型与其**砷**超筛选值成因进行分析，可知地块内填土（ Q^{ml} ）、坡残积土（ Q^{dl+el} ）采集的样品超筛选值比例大，且相较于冲洪积土（ Q^{al+pl} ）采集的样品**砷**浓度高；地块内土壤**砷**超筛选值点位分布与老油库地块建筑布局、储罐及管线位置、构筑物等位置无直接明显关系。从地块内土壤性质上分析，土壤**砷**超筛点位主要集中在地块原山沟两侧山体以及原沟谷区域。地块中间区域（原山沟沟谷），填土层普遍较厚，且填土（ Q^{ml} ）采集的土壤样品**砷**浓度普遍较高，填土均来自地块内原山沟两侧边坡土、地块内其他区域挖方和原有一期时期建筑砖瓦。下层为冲洪积土（ Q^{al+pl} ），该层土壤**砷**浓度普遍不超筛选值；地块两侧（原山沟两侧边坡），其填土层厚度相对中间沟谷填土层厚度较小，下层土多为坡残积土（ Q^{dl+el} ），该区域超筛点位土壤**砷**填土（ Q^{ml} ）及坡残积土（ Q^{dl+el} ）普遍存在超筛情况。根据人员访谈以及地块一期工程时期地形图显示，地块填土（ Q^{ml} ）均来源于地块山沟两侧边坡开挖土壤、地块内其他区域挖方和原有一期时期建筑砖瓦，且地块所在区域土壤类型主要为赤红壤，故推测调查地块内**砷**超筛选值（60mg/kg）与地质因素**砷**背景值高有关；

⑤调查地块除**砷**外其他重金属和有机物检测项目中，共检出 5 项重金属和 32 项有机物。重金属检出项目分别为镉、铜、总汞、铅、镍；有机物检出项目分别为氯乙烯、二氯甲烷、顺式-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯丙烷、苯、甲苯、乙苯、间,对-二甲苯、邻-二甲苯、苯乙烯、异丙苯、正丙苯、1,3,5-三甲基苯、叔丁基苯、1,2,4-三甲基苯、仲丁基苯、正丁基苯、萘、2-甲基萘、芴、菲、荧蒽、芘、苯并（a）蒽、蒽、苯并（b）荧蒽、苯并（k）荧蒽、苯并（a）芘、茚并[1,2,3-cd]芘、苯并[g,h,i]芘、石油烃（ $C_{10}-C_{40}$ ），以上检出指标结果均未超过《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)相应的第二类用地土壤风险筛选值,整体上与调查地块污染识别结果相一致;

⑥老油库地块土壤点位 1S15 表层土壤镍和 2S8 表层土壤石油烃(C₁₀-C₄₀)均超过 GB36600 第一类用地筛选值;但未超第二类用地筛选值情况。因调查地块未来规划为第二类用地公园绿地(G1,不含社区公园和儿童公园)、军事用地(H41)、防护绿地(G2),土壤镍和石油烃(C₁₀-C₄₀)无需进入详细调查,但在调查地块后续修复和建筑施工过程中,需对上述点位污染区域土壤去向进行相应管控,避免外运到第一类用地区域,污染其他区域土壤;

⑦调查地块历史上 1965 年前一直为农林用地,未进行工业生产。地块自 1965 年后一直作为航空煤油油库,未进行其他涉及炼油等相关的生产活动。调查地块土壤中重金属砷检出值超过第二类用地筛选值 60mg/kg,其原因可能是调查地块所在区域主要土壤类型为赤红壤,天然背景值较高。本次初步调查完成后,建议对砷超第二类用地筛选值区域进行土壤污染状况详细调查与风险评估工作,进一步摸清污染情况。

3.2.4 地下水环境初步调查分析与结论

初步调查采集检测的6个地下水样品中,仅pH值、浊度、总汞、镍、砷、铅、2-甲基萘、挥发性石油烃(C₆-C₉)、可萃取性石油烃(C₁₀-C₄₀)9项指标存在不同程度检出。其中仅浊度超过了《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中III类水质标准限值。地下水浊度(NTU)较高,主要原因可能是区域地块地下水资源丰富,同时地块内土层岩性以粘粒、粉粒居多;地块处于坡脚拐折处,水力坡度较大,滤料难以阻拦住土壤粘粒和粉粒,且地下水采样期是在枯水期(11月12日),降雨量较少,颗粒物难以沉降,滤料无法过滤完全导致地下水浊度偏高。该地块内地下水受历史生产经营活动影响较小,未受到地块特征污染物重金属、挥发性有机物及半挥发性有机物污染,地下水环境质量总体良好。

根据踏勘调查情况,调查地块周边水源均来源于市政自来水管网,且调查地块地下水不作为公共用水水源,未来规划不涉及地下水的开发利用。地块内地下水超筛选值项目浑浊度为感官性状及一般化学指标,且在广州市地下水环境浑浊度出现超筛选值的情况较为常见,符合广州市地下水水质特点,对人体健康的风险在可接受范围内,故无需进行调查地块地下水污染状况详细调查与风险评估工作。

3.3 详细采样调查回顾

为更精确地划定超筛选值范围,确定调查地块内土壤砷的污染范围,2020年11月~2021年3月,结合初步调查结果对地块进行加密布点和采样。详细调查分为两次进行,详细情况如下。

3.3.1 第一次加密调查

3.3.1.1 第一次加密布点

一、采样点布设情况

结合初步调查采样结果,初步调查砷超筛点位包括1S1、1S3、1S4、1S6、1S7、1S8、1S9、1S10、1S11、1S12、1S13、1S14、1S15、1S16、1S17、1S18、1S20、1S21、1S26、

1S27、1S28、1S29、2S2、2S4、2S6、2S7、2S8、2S11，共 28 个土壤砷超筛点位，其中 1S29 点位为超筛孤立点位，因此把这 28 个点位周边区域作为详细调查中关注区域。

本次详细调查第一次加密布点以初调超筛选值点位为中心，超筛选值区域范围内按照 20m×20m 网格范围进行加密布点，以满足每个土壤采样单样面积不超过 400m²；孤立点位 1S29 周围四个方向先按 20m×20m 网格布点后，在继续加密至 10m×10m 布点，以满足孤立点位加密布点要求（除 1S29 北侧为军事禁区围墙以及建筑，不能拆除，无法进行加密布点）。

因此详调第一次采样在调查地块内共布设 74 个土壤监测点位（编号为 1X），合计采集 649 个样品。第一次详调点位分布图见**错误!未找到引用源。**。

第一次加密采样深度为 4m~18m，其中，表层土壤 0.5m 以内采样一个土壤样品，0.5m~6m 范围内的土壤采样间隔为 1m，6m 以下土壤采样间隔为 2m。

二、检测项目

详调第一次加密调查检测项目为初步调查中超筛选值的土壤污染物砷，以进一步确定土壤砷污染程度和污染边界，分析砷超筛成因。除了检测初调阶段超筛选值物质，还检测了样品 pH 值、干物质等基本理化性质指标。

3.3.1.2 第一次加密采样总结

第一次加密采样结果统计表见**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**，按照《建设用地土壤污染风险筛选值和管制值》（GB36600-2018）第二类用地标准筛选值进行评价。

根据地块土壤详细调查检测报告分析得出，详调第一次加密采集的土壤样品中，污染物砷仍存在超第二类风险筛选值现象，且普遍分布在地块内。其中超筛点位为 1X1-1、1X3-7、1X3-8、1X4-9、1X4-10、1X4-12、1X6-13、1X6-15、1X6-16、1X7-19、1X7-20、1X8-21、1X9-22、1X9-23、1X10-24、1X10-25、1X10-26、1X10-27、1X11-28、1X11-29、1X12-30、1X12-31、1X12-32、1X12-33、1X13-34、1X13-35、1X14-36、1X14-37、1X15-38、1X15-40、1X15-41、1X16-43、1X16-44、1X16-45、1X17-46、1X17-48、1X17-49、1X18-50、1X18-52、1X18-53、1X20-54、1X20-56、1X20-57、1X21-58、1X21-59、1X21-60、1X21-61、1X26-64、1X26-65、1X28-69、1X28-70、1X28-71 和 1X28-72 共 53 个点位中采集的 290 个土壤样品重金属砷超第二类用地筛选值 60mg/kg，垂向上超筛深

度在 0~18.0m 范围内，超筛点位分布图见**错误!未找到引用源。**。超筛点位中砷浓度最大的点位为 1X21-60，检出浓度为 3140mg/kg，超筛倍数为 51.33 倍，对应的采样深度在 4.0m~5.0m。

(1) 兜底情况

本次详细调查中，调查地块内 53 个土壤超筛点位中有 19 个土壤点位未完成兜底，其中，1X7-19、1X10-26、1X10-27、1X16-44、1X16-45、1X18-52、1X18-53、1X21-58、1X21-59、1X21-60、1X21-61 和 1X28-72，共计 12 个点位已钻至强风化砂岩或炭质泥岩。上述点位已经按照相关的技术规范要求钻至风化层无需继续钻进，可终孔。因砷超筛主要为区域地质情况导致土壤中砷背景含量较高，因此本次调查对其余未钻至风化层且未兜底点位（1X3-8、1X7-20、1X10-24、1X10-25、1X13-34、1X16-43 和 1X28-69）不再补充调查兜底。

(2) 兜边情况

调查地块内的边界点位存在超筛有 1X1-1、1X3-7、1X3-8、1X4-9、1X4-10、1X7-19、1X9-23、1X10-24、1X10-25、1X12-32、1X12-33、1X13-34、1X14-37、1X15-38、1X16-44、1X16-45、1X17-46、1X18-52、1X18-53、1X20-54、1X20-56、1X21-58、1X21-60、1X21-61、1X26-64、1X26-65、1X28-69、1X28-70、1X28-71 和 1X28-72 共 30 个点位在详细调查中作为污染边界点位土壤样品仍存在重金属砷超第二类用地筛选值现象。其中点位 1X3-7、1X3-8、1X7-19、1X9-23、1X10-24、1X10-25、1X12-32、1X12-33、1X13-34、1X14-37、1X15-38、1X16-44、1X16-45、1X18-52、1X18-53、1X21-61 和 1X28-72 均位于地块最边缘靠近红线区域，在山坡边缘建有挡土墙，由于地块自身原因，不具备继续加密采样条件，无法继续加密布点，故上述点位均以地块红线划分作为污染区域边界；点位 1X28-69 西北面为固定式充电桩和换电站，地下铺设 10 万伏高压电缆，无法进行加密布点，在确定该区域污染范围时，以最靠近该点位的清洁点位作为其污染边界。

综上，调查地块内 53 个土壤超筛点位中有 12 个土壤点位 1X1-1、1X4-9、1X4-10、1X17-46、1X20-54、1X20-56、1X21-58、1X21-60、1X26-64、1X26-65 和 1X28-71 周边具有继续加密采样条件，故需进行详调补充调查进行 20m×20m 加密布点采样，确定该区域的污染边界。

3.3.2 第二次加密调查

3.3.2.1 第二次加密布点

第二次加密布点应结合调查地块详细调查第一次加密监测结果分析,对地块未实现污染兜边的区域进行详细补充调查第二次加密布点。

第二次加密布点在未确定超筛边界的外围至红线区域按 20m×20m 的采样密度进行二次加密采样。根据详细调查第一次加密布点检测由于地块沿着山体边设有排水渠和挡土墙,故对地块南侧以及北侧无法进行第二次加密布点,故对 1X1-1、1X4-9、1X4-10、1X17-46、1X20-54、1X20-56、1X21-58、1X21-60、1X26-64、1X26-65、1X28-70 和 1X28-71 点位外围进行加密布点,同时考虑初调点位 2S8 的砷污染兜边情况,共增加布设 22 个点位(编号 2X),分布见**错误!未找到引用源。**。与此同时,在距地块南侧约 40m 白云山风景保护区设置 3 个表层土壤对照点,在距离地块东侧约 40m 白云山保护区设置 2 个表层土壤对照点,在距离地块北侧 40m、80m 和 120m 各设置 1 个表层土壤对照点,合计 8 个土壤对照点,分布见**错误!未找到引用源。**,调查区域砷本底值情况用来验证初调砷超筛成因分析。检测项目为 pH、干物质和砷。

因目标地块用地规划为第二类用地,且地块内历史上未从事过砷相关的生产经营活动,无砷污染途径和污染源(地块仅作为油库贮存),目标地块砷超过筛选值为地质等非人为因素导致,同时地块未来规划中不涉及地下水的开发利用,根据广州市地标《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)要求的重点行业用地采样深度在 5.0-8.0m 范围,故详调第二次加密调查钻探深度设置为 8m,实际具体钻探深度根据地块现场实际情况为准。本次详细调查第二次采样的土壤样品按照详细调查采样方式进行采集,表层土壤 0.5m 以内采样一个土壤样品,0.5m~6m 范围内的土壤采样间隔为 1m,6m 以下土壤采样间隔为 2m,且均采集混合样。

3.3.2.2 第二次加密采样总结

本次详调第二次加密调查设置了 8 个土壤背景点,采集了 8 个表层土壤样品,由其检测结果分析可知,砷的背景值含量范围在 11.3~300mg/kg,有 3 个土壤背景点样品超第二类筛选值,结果统计表见**错误!未找到引用源。**。

第二次加密调查根据第一次加密检测结果和初步调查补充调查结果进行第二次加密监测，按照 20m×20m 在地块内共布设了 22 个土壤点位（不含 8 个土壤对照监测点位），共采集了 166 件土壤样品（不含平行样），由其检测结果分析可知，砷的含量范围为 0.90~446mg/kg，平均值为 49.20mg/kg，共 38 件样品超筛选值，超筛率为 22.89%。结果统计表见**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**，检测结果见附件 4，按照土壤风险评价筛选值进行评价。

根据第二次加密调查采集的土壤样品检测结果，超筛点位为 2X4-5、2X21-11、2X28-15、2X28-16 和 2X28-18、2X1-19 和 2X1-20 共 7 个点位中的 38 个土壤样品重金属砷超第二类用地筛选值，超筛倍数在 0.08~6.43 范围，最大超筛深度为 8.0m。部分点位最底层土壤样品仍存在超筛选值情况，详调补充点位基本实现将详细调查中边界超筛点位进行兜边，确定最终的地块污染区域边界，详细情况如下。

原储油罐围堰东北侧区域内的超筛点位 2X4-5 和 2X1-19、污水处理站及南侧道路区域 2X21-11、总变配电房周边道路区域 2X28-15 和 2X28-16，以上三个区域共 5 个点位在详调补充调查中采集的最底层样品存在砷超筛情况，采样深度为 6.0~8.0m。由于调查地块内因地质因素造成砷普遍偏高，根据该区域的钻孔岩芯照以及地质分析，现有采样深度（已出现原状土）均已满足要求，无需继续向下钻探进行兜底，即以最深超筛深度 8.0m 作为垂向方向上最深污染深度。

第二次加密调查点位 2X1-1、2X1-2、2X4-3、2X4-4、2X20-6、2X20-7、2X20-8、2X20-9、2X21-10、2X26-12、2X26-13、2X26-14、2X1-21、2X28-22 和 2X28-23 已实现对地块污染边界的兜边问题。而详调补充调查超筛点位 2X4-5、2X28-18 无法作为详调补充调查边界点位，由于上述 2 个点位周边已无法进行向红线附近加密布点采样，不具备采样条件，故分别以地块红线及详调补充点位 2X4-4、2X28-22 垂直于地块红线的连线作为其最终的污染边界；详调补充调查超筛点位 2X1-20 不作为边界点位，无需进一步加密布点；详调补充调查超筛点位 2X21-11、2X28-15、2X28-16 共 3 个位于地块内的污染连片区域以及地块南侧边缘，已无法继续加密布点，故以地块红线及详调点位 1X27-68 和详调补充点位 2X21-10 作为其污染边界。

综上，本次详调补充调查后，已确定地块砷污染范围边界。

3.3.3 详细调查结论

本项目详细调查阶段两次加密布点，布设了 96 个土壤详调点位和 8 个土壤背景点，共采集了 815 件土壤样品（不含平行样）和 8 件土壤背景点样品（不含平行样）。根据初步调查所揭示的污染物超筛选值深度和现场快筛结果，本次详细调查采样深度为 5.0~18.0m。

本次详调设置的 8 个土壤背景点，其中有 3 个土壤背景点采集的表层样品超第二类筛选值，其中土壤砷最大检出浓度为 300mg/kg，超筛倍数为 4 倍。

详调阶段中，共有 60 个土壤点位采集的 328 个土壤样品砷超第二类用地筛选值 60mg/kg，超筛倍数在 0~51.33 范围，超筛深度在 0~18.0m 范围之间。部分超筛点位钻探至基岩仍出现土壤砷超筛选值，主要集中在调查地块的南北两侧靠近山体区域，从位置上看与地块原一期二期的油罐布置无明显重合，如 1X7-19、1X10-27、1X16-43、1X16-44、1X16-45、1X18-50、1X18-52、1X18-53 等。调查地块历史上未进行过与砷有关的生产经营活动，砷也不是地块的特征污染物，没有砷污染途径和污染源（地块仅作为航空煤油储存油库），地块出现了砷超过第二类用地筛选值的情况，为非人为的地质因素造成的土壤砷普遍超筛。在地块规划为二类用地的前提下，根据该区域的钻孔岩芯照以及地质分析，现有调查深度足以判断地块内污染情况。同时详细调查钻探深度为 5.0~18.0m（均已出现原土）已满足广州市《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）要求的重点行业用地采样深度在 5.0-8.0m 范围要求，无需继续向下钻探进行兜底。

本次详调已实现对调查地块土壤砷污染范围边界的确定。从详调点位位置上看，地块南北两侧超筛点位已无法继续加密布点，故结合地块红线范围与地块土壤调查清洁点位划分本地块内污染区域的污染边界。

3.4 地块土壤污染状况调查总体结论

3.4.1 地块土壤调查监测整体情况

本次调查地块土壤污染状况调查包括初步调查、详细调查，于 2020 年 9 月~2021 年 3 月实施，专家评审会后于 2021 年 6 月 18 日进行了初调加深补充采样监测。地块内共布设 142 个土壤监测点位（不包括背景对照点位），共采集 1066 个土壤样品（不包含现场平行样），具体采样点布设统计情况如下见**错误!未找到引用源。**所示。

初步采样调查在地块内共设置 46 个土壤点位，共采集 251 件土壤样品（不包含现场平行样）；地块外设置土壤背景点为 3 个，共采集 7 件土壤背景点样品（不包含现场平行样）。土壤监测项目包括：土壤监测项目包括：pH、干物质、重金属（7 项）、石油烃（2 项）、挥发性有机物（34 项）、半挥发性有机物（20 项）、多氯联苯 PCBs（18 项）；初步采样调查共设置 6 个地下水井，共采集 6 组地下水样品（不包含现场平行

样），地下水检测项目包括：pH、干物质、重金属（6项）、石油烃（2项）、挥发性有机物（13项）、半挥发性有机物（17项）、PCBs（18项）。

详细采样调查分为2次加密采样，第一次加密共设置74个土壤点位，采集649件土壤样品（不包含现场平行样）；第二次加密地块内共设置22个土壤点位，采集166件土壤样品（不包含现场平行样），同时还设置了8个土壤背景点，采集8件土壤背景点样品（不包含现场平行样）。详细调查土壤监测项目包括：pH、干物质、砷。

3.4.2 地块土壤调查检测结果整体评价

结合调查地块初步调查、详细调查两个阶段的土壤调查结果显示，送检土壤样品中，有88个土壤监测点位共405个土壤样品中砷含量超过《建设用地土壤污染风险筛选值和管制值》(GB36600-2018)第二类用地筛选值，超筛样品数占采集总数比例为37.99%，超筛选值倍数范围为0~51.33倍。其中初步调查共28个点位合计77件土壤样品超第二类用地标准筛选值，详细调查共60个点位合计328件土壤样品超第二类用地标准筛选值。单一污染物砷在整个地块土壤内普遍超筛，超筛倍数较大区域集中在地块中部回填区域以及地块两侧靠近山体区域。根据项目历史沿革，项目又未从事过与砷有关的工业生产活动，砷超筛原因可能与区域地质情况相关；土壤背景点位中，有6个点位共10件土壤样品重金属砷超筛选值，超筛样品占采集总数比例为66.67%，超筛选值倍数范围为0.4~4.0倍。进一步说明调查地块内土壤砷超筛是由于区域地质因素造成的。

综上，调查地块前期现场调查工作初步调查、详细调查已确定地块土壤污染范围边界和污染深度，满足后续开展的风险评估所需的条件。

第四章 地块污染特征

4.1 地块地质与土质参数

4.1.1 调查地块地层分层情况

本次调查地块位于白云山西麓的山沟中，两侧高，中间低，属于残丘地貌特征，所在区域土壤主要为赤红壤，由砂页岩发育而成。

本次调查地块具有调查范围较大、地势变化大，局部区域地层结构存在差异的特点。结合调查地块的初步调查、详细调查采样的钻孔揭露岩心情况以及调查地块《老油库改建工程地质勘察报告》（1993年、省化工设计院）分析，对地块内岩土发育特征进行了概述，将地块自然地面以下最大钻探深度（18.0m）范围内的地层地块自上而下分别为填土层（ Q^{ml} ）、冲洪积层（ Q^{al+pl} ）、残坡积层（ Q^{el+dl} ）及侏罗系下统金鸡组（ J_{1j} ）基岩。根据地块内钻孔揭露岩心情况，地块内岩土发育特征如下，详细调查地质剖面图见**错误!未找到引用源。**。至**错误!未找到引用源。**：

1、填土层（ Q^{ml} ）

素填土或杂填土，位于场地表层，厚度 0.2~11.0m，多填于地块中部原山沟。填土均来自地块内原山沟两侧边坡土，偶见砖块、填砾、建渣，为一期工程时期建筑瓦砾。填土多为粉质粘土质，局部含风化岩粒，主要自于地块两侧山壁。土的结构不紧密，由人工堆填而成，松散~可塑，由于地块过进行了平整目前形成 3 道阶梯，阶梯边缘处填土较厚。

杂填土：灰白、砖红色、灰黄、灰黑、较松散、稍湿，包含杂填土、人工回填土，主要为碎石、水泥碎块、碎渣夹杂填砂、粘土等，上表层 10~20cm 为砣，在初调和详调中揭露厚度为 0.2~11.0m，平均厚度为 2.3m，该层在初调、详调中各土孔普遍有揭露。

素填土：砖红色、黄褐、灰黑、密实、稍湿、可塑、稍压实，包含素填土、人工回填土，以细沙、粉质粘土为主，内含少许砂，该层在初调、详调中较少揭露，在初调和详调中揭露厚度为 1.0~5.5m，平均厚度 2.0m。

2、冲洪积层（ Q^{al+pl} ）

多见于地块中部原山沟河谷区域。多为粉质粘土质，颜色较杂，土质不均，局部很粘，或夹 10-15cm 的细砂透镜体，该层厚度不均。上部主要以砂土或砂土夹淤泥质土、淤泥质砂，在初调和详调中揭露厚度为 0.4~8.4m，平均厚度为 3.6m。下部以粉质粘土为主，局部呈淤泥质土状，在初调和详调中揭露厚度为 0.6~12.9m，平均厚度为 4.6m。

砂土（中砂、细砂和粗砂）：灰色-深灰色、黄色-黄褐色，主要为细沙、粉沙，局部含粘粒，为河流冲积物沉积形成。该层在初调中和详调中揭露厚度为 0.8~6.8m，平均厚度为 3.2m。

淤泥质粘土：黄褐色、深灰色，成分多为粘土矿物，饱和、流塑、沾滑性较好，包含腐植质，黑色腐殖层，富含有机质等，该层普遍分布，在初调和详调中揭露厚度为 0.4~8.4m，平均厚度 4.1m。

淤泥质砂土：深灰色-灰黄色、黑色，淤泥中含沙不均或含夹腐木，部分沙土松软，饱和，软塑，该层分布较少，在初调中揭露厚度为 0.7~4.0m，平均厚度 3.0m。

粉质粘土：黄-黄褐色、棕-棕红色、灰黑色，湿，可塑，该层普遍分布，在初调和详调中揭露厚度为 0.6~12.9m，平均厚度 4.5m。

3、残坡积层（Q^{el+dl}）

多见于地块原山沟两侧山壁区域，多为砂质粘土，为残坡积物，其下为残积土层或基岩风化层。

砂质粘土：灰黄-黄褐色、灰白、棕红色为主，中密、湿，硬塑，由侏罗系下统金鸡组粉砂岩、泥质粉砂岩、泥页岩风化残留而成。土中含岩粒，保留原岩的残余结构，部分呈半土半岩状，伴有粉砂质泥岩强风化层。总体呈硬塑~坚硬状，砂岩风化残积层多呈破碎状，岩心不完整。该土层在地块内分布普遍，在初调和详调中揭露厚度为 0.2-12.0m，平均厚度 3.9m。

4、基岩-侏罗系下统金鸡组（J_{1j}）

地块内基岩为下伏基岩为侏罗系下统金鸡组（J_{1j}），以细粒石英砂岩、粗粒石英砂岩为主，局部有细砂岩夹泥质粉砂岩、炭质页岩。按风化程度可分为强风化岩带、中风化岩带。本次详细调查多个钻孔揭露至基岩，砂岩为主、局部发育炭质泥页岩，岩石裂隙发育、不完整，岩心破碎，多发育方解石脉，脉体多垂直层理面发育，但不规则，岩心多呈碎块状、厚饼状，少量呈短柱状。泥质胶结，粉状结构，岩质不均，部分外露裂成碎粒、岩质稍硬。

强风化砂岩：多位于残积土之下，黄色、红棕色、灰色、灰黑色，岩石破碎，手捏易碎，部分呈半岩半土状且岩质较硬，岩芯多为碎屑状、片状、块状。该层部分土孔出现，地块初调和详调中揭露厚度为 0.3-4.0m，平均厚度 1.4m；地勘报告中揭露厚度为 1.5~17.0m，平均厚度约为 9.9m。

中风化砂岩：褐红色、灰色、灰黑色，块状岩质坚硬，真实厚度不详。

4.1.2 土工试验

为获取调查地块的地块特征参数，为风险评估提供数据支撑，以模拟污染物在环境介质中的迁移过程，在开展详细调查的过程中，同时在重点关注区域采集不同代表位置点位不同深度层次的原状土土壤样品进行土工样品测试，获取典型地层的相关土工参数，如有机质、渗透系数、密度、饱和度、含水率、土壤容重、孔隙比、孔隙率、土壤粒径分布、塑限、塑性指数、液性指数等物理参数，从而为地块风险评估提供参数。土工参数测定方法依据《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）中的相关规定进行，参考《岩土工程勘察规范》（GB50021-2009）采集土工样品。

本次土工试验根据详细调查土壤岩芯情况，选取点位 1X9-23、1X15-41 和 1X16-43 共 3 个作为土工试验点位，共采集土工样品 11 个。采样土工样土层类型主要包括冲洪积层（ Q^{al+pl} ）和残坡积层（ Q^{el+dl} ）样品，并送往专业土工实验检测中心——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），进行土壤指标分析测试，具体报告见附件。

（1）常规物理性质参数

本次项目调查土工样品的物理性质常规指标，主要包括：天然含水率、湿密度、干密度、土粒比重、饱和度、孔隙比、孔隙率、液限、塑限、塑性指数、液性指数、压缩系数、压缩模量、颗粒粒径组成百分比、有机质、渗透系数等。各主要土层的常规物理性质参数统计结果见**错误!未找到引用源。**。

（2）土壤颗粒组成百分比各土层土壤颗粒组成百分比见下**错误!未找到引用源。**，主要组成为中细砂粒。

4.2 水文地质条件

根据调查地块第二阶段初步调查、详细调查钻孔地下水位观测，项目区域内地下水的补给、径流、排泄条件与地形、地貌、地层岩性、地质构造关系密切，并在相互作用下形成水力联系，按不同地下水类型将补给、径流、排泄条件叙述如下：

调查地块地下水类型为两类，上部第四系松散岩类孔隙水，下部为侏罗系层状基岩裂隙水。本地块内土层岩性复杂，松散岩类孔隙水主要赋存于第四系冲洪积（ Q^{al+pl} ）沉积层的中细砂、粗砂及砾砂层中，上部为潜水，下部为承压水，水量贫乏。地块下伏层状基岩裂隙水主要赋存于强风化岩、中风化岩裂隙中，为脉状承压水，水量贫乏。

基岩裂隙水的埋深和厚度不稳定，水量贫乏，为微承压水，故本地块内关注的地下水主要为浅层孔隙水。浅层孔隙水赋存于填土层中，埋藏较浅，富水性一般，根据上述地层结构可知，弱透水层（粉质粘土层大部分揭露）不完全连续，属于上层滞水。浅层地下水主要接受大气降水和地表水的渗透补给，季节性水位变化明显，含水层无明显界限，埋深和厚度不稳定。该关注含水层丰水期有一定流动性，枯水期流动性较差。浅层地下水在不同时期水位变化明显，富水性一般，含水层无明显界限，埋深和厚度不稳定，尤其是在枯水期水量较少。

根据调查调查期间，钻孔初见地下水水位在 12.0m~29.6m 范围。地块内地下水来源主要接受大气降水的入渗补给，因地块位于白云山山沟下的三面地势较高，故大气降水多汇集于此，顺坡运移，径流途径短，水力坡度、径流速度自分水岭至沟谷逐渐变小和减缓。在沟谷地带，地下水常以泉或散流形式排出地表。即分水岭是地下水补给区、坡体地段是地下水径流区、沟谷山麓是地下水排泄区。地下水表现出明显的就近补给、就近排泄的特点。

根据调查期间监测地下水水位情况可知，该地块所在区域地下水流向为东流向西，地下水最终流入地块西侧增埗河并汇入珠江。

地块及其周边地下水未开采利用，生产、生活用水均为市政供水管网供给。

调查期间地下水流向示意图见**错误!未找到引用源。**。

4.3 地块污染成因分析

4.3.1 从地块土壤对照样品上分析

初步调查中，项目组在地块周边 500m 内的山体设置了 3 个土壤背景点，2 个表层样品，1 个坡面样品，合计采集了 7 个土壤背景样品。

为更清楚了解地块所在区域砷土壤背景值，验证初步调查砷超筛选值原因，在详调第二次土壤加密检测中，在地块周边山体 120m 内增设 8 个土壤背景点，采集表层土壤样品。初步调查和详细调查中，采集土壤背景样品检测结果统计表具体见**错误!未找到引用源。**。

初步调查和详细调查共检测了 11 个点位，共计 15 个土壤样品，检出率为 100%，检测范围为 11.3mg/kg~300mg/kg，共计 10 个样品检测值超过二类用地的土壤筛选值，超筛选值比例为 66.67%，最大超筛选值倍数为 4 倍。

根据调查地块所在区域土壤类型主要为赤红壤。通过查阅文献可知，在无人为源干扰的情况下，土壤中的重金属元素主要来源于岩石风化。因此，成土母岩中元素中的组成及含量就决定了土壤中重金属元素的组成特征，通过不同成土母岩（质）发育而来的土壤中砷的平均含量与某些母岩的原始含量进行对比后可以发现，砷更趋向于在土壤中富集。温鹏翀等人通过采用富集因子法分析了表层土壤中砷含量状况，其研究结果得出黄壤中砷含量最高，接下来依次是赤红壤，水稻土和风砂土。进一步的分析结果表明不同成土母质类型下表层土壤中砷含量具有显著性差异。通过将不同母质母岩的表层土壤砷含量与深层土壤砷含量分布特征进行对比后发现，两者砷含量顺序基本一致，表明成土母质是影响表层土壤砷含量的重要因素之一。表层土壤砷含量不仅受到母质母岩的影响，而且与母质母岩的理化性质有关，抗风化能力越弱、粒度组成越细、有机质含量越高、土壤成熟度越高，越有利于砷的富集。

根据地块所在区域地质特征，其下伏基岩为侏罗系下统金鸡组（J_{1j}）石英砂岩、细砂岩夹泥质粉砂岩等基岩类型。地块位于白云山附近，地块内粘土丰富，粒度较细，有利于砷的吸附和积累，且砂岩基岩抗风化能力弱，导致地块所在区域土壤砷本底值普遍偏高。

综上，地块周边未受影响的土壤背景点超标表明地块所在区域土壤砷本底值偏高，可进一步推断土壤砷浓度普遍偏高与区域地质形成有关。

4.3.2 从地块内砷最大值分布上分析

为便于分析砷超筛情况，项目组对各超筛点位中砷的最大浓度进行了统计，统计结果见错误!未找到引用源。、分布情况见错误!未找到引用源。、错误!未找到引用源。、错误!未找到引用源。。

根据以往经验，由人为因素引起的污染分布情况与污染源分布会存在明显关联。而老油库地块内土壤砷超过筛选值（60mg/kg）的点位分布广泛，大面积出现在地块，地块内土壤砷超筛选值点位分布与老油库地块建筑布局、一期和二期储罐及输油管线位置、构筑物等位置分布无明显直接关系。回顾第一阶段污染物识别明确的特征污染物：石油烃（C₆-C₉）、石油烃（C₁₀-C₄₀）（癸烷、十一烷、十二烷、十三烷、十四烷、正十五烷、1-十六烯等）、2-甲基萘、萘、甲苯、苯、二甲苯、三甲苯、丁苯、丙苯、多环芳烃类、多氯联苯类，砷并非地块的识别出的特征污染物。地块历史上一直作为航空煤油储存油库，不涉及油品生产及制造等其他相关活动。从航空煤油成分以及其防静电添加剂成分上来看，均不涉及砷及其化合物。因此，综上推断地块内土壤砷超筛并非由于油库贮存造成的。

为了进一步探究地块土壤砷污染原因，我们对超筛点位砷最大值所在土层的土壤岩性进行了统计（见错误!未找到引用源。和错误!未找到引用源。）。超筛点位土壤砷最大浓度最常出现在粉质粘土中，出现频率为 51.14%；其次为杂填土，出现频率约为 29.55%；其余出现在砂质粘土、淤泥质粘土、强风化砂岩和素填土的频率分别为 14.77%、3.41%、1.14%和 5.68%。总体而言，出现在原状土（非填土）中的频率约为 69.32%。超筛点位土壤砷最大浓度土层分布情况见错误!未找到引用源。。

根据人员访谈以及地块一期工程时期 1978 年地形图资料，1978 年地块红线南北两侧仍为山体结构，老油库地块红线范围内的未平整的山体结构高程在 30.2~43.1，地块中间峡谷整体高程为 21.5~37.1m，而现在地块两侧削平，整体地势形成三个地势不同的台阶，高程依次约为 16.9~20、23.5~25.3、29.8~30.4。根据地块历史沿革，地块填土（Q^{ml}）均来源于地块内山沟两侧边坡开挖土壤和原有地块内挖方土，即地块内填土均来自地块内的挖土，这说明地块内杂填土与原土的砷含量应具有同源性。

地块内超筛点位土壤砷最大浓度在砂质粘土层，涉及点位为 1X21-60，最大浓度为 $3.14 \times 10^3 \text{mg/kg}$ ，该点位从表层土（0-0.5m）至强风化砂岩全部超标，最大超标位置落在砂质粘土层。该点位位于地块两侧（原为山体）。

此外，当地块内超筛点位土壤砷最大浓度出现在填土层（ Q^m ）时，对应的超标点位主要分布地块中间区域（原山沟沟谷）和地块两侧区域（原山沟两侧边坡），且两者区域内超筛点位土壤砷最大浓度无明显差别；超筛点位土壤砷最大浓度在坡残积土（ Q^{dl+el} ）主要分布在地块两侧区域（原山沟两侧边坡）和地块中间区域（原山沟沟谷）。从超筛点位土壤砷最大浓度在垂向方向上来看，地块中间区域（原山沟沟谷）坡残积土（ Q^{dl+el} ）一般位于冲洪积土层（ Q^{al+pl} ）之下，且砷最大浓度深度相对两侧区域（原山沟两侧边坡）深度较大。

从超筛点位土壤砷最大浓度在水平上来看，两者区域内超筛点位土壤砷最大浓度有明显差别，两侧区域（原山沟两侧边坡）砷最大浓度普遍比中间区域（原山沟沟谷）砷最大浓度要大得多。进一步论证地块内的土壤砷超筛选值与地块地层分布因素有着较明显关系。

综上，可以认为，地块内砷超筛选值是由于地块区域地质因素造成的。

4.3.3 从地块内底层超筛选值情况上分析

初步调查和详细调查实验室检测结果显示部分点位最底层砷仍超过第二类用地筛选值，详细情况见下**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**、分布情况见**错误!未找到引用源。**至**错误!未找到引用源。**。

本次土壤污染状况调查钻探最深处可达 18m，仅详调中部分点位钻探至基岩，地块内基岩为侏罗系下统金鸡组（J_{1j}），如点位 1X7-19、1X9-23、1X10-26、1X10-27、1X16-43、1X16-44、1X16-45、1X18-50、1X18-52、1X18-53、1X21-58、1X21-59、1X21-60、1X21-61、1X28-72、2X28-18，共计 16 个点位钻至强风化砂岩或炭质泥岩进行终孔，钻探深度在 8~18m，其中有 13 个点位未兜底，仅点位 1X9-23、1X18-50、2X28-18 底层未超筛；点位 1X3-8、1X10-24、1X10-25、1X13-34 钻至风化残积土层，钻探深度在 15.5~16m，由于地块区域处于 2 个大型断裂带交汇区，基岩内发育大量节理、裂隙，风化产物极易破碎。本次土壤调查，所有点位底层仍然超过筛选值的底层土壤岩性主要有粉质粘土、砂质粘土、强风化砂岩、风化层，整体分布集中在调查地块的南北两侧靠近山体区域（原山沟两侧边坡），底层超筛选值点位位置与原一期二期的油罐布置并无明显重合之处。

为了进一步探究污染成因，项目组将底层仍然超筛选值的点位与 1978 年的地形图重叠（见**错误!未找到引用源。**），这些底层超筛选值的点位多数为地块原山沟两侧山体区域的点位，与一期储罐等构筑物分布无明显相关性。

根据地块初步调查砷超筛成因分析，基本确定地块砷超筛的原因为地质等非人为因素造成的砷背景含量较高，调查地块历史上未进行过与砷有关的生产经营活动，没有砷污染途径和污染源，且砷并不是地块的特征污染物，为非人为的地质因素造成的土壤砷普遍超筛。在地块规划为二类用地的前提下，现有调查深度为 5.0~18.0m，足以判断地块内污染情况，且已包括后续开发中可能扰动或对人体健康危害的土层，故在本次详细调查阶段对钻孔最底层仍超筛的点位或未钻至风化层且未兜底的点位无需继续钻探至无超筛选值深度。

因无需继续向下钻探至基岩或风化层进行兜底，且土壤砷超筛并非本地块历史活动造成的，本次调查底层深度划分保守考虑将采用广州市标准《建设用地土壤污染防治 第 1 部分：污染状况调查技术规范》（DB4401/T 102.1-2020）要求的重点行业用地采样深

度在 5.0-8.0m 范围的最深深度 8m 作为接下来风险评估底层划分，无需调查至无超筛选值深度或基岩。

4.3.4 从地块内各土层超筛比例上分析

本地块土壤调查钻探深度最深为 18m，根据初调和详调分析结果，各深度样品总数及超筛样品数统计见**错误!未找到引用源。**。整个调查地块内，采样深度 0~18m 的样品土壤砷均有超筛选值情况，且存在采样深度越大，土壤砷超筛占比越大的情况。采样深度在 1~10m 范围内的，超筛样品占相应采样深度样品总数基本在 36.07% 左右；采样深度在 10~18m 范围内的，超筛样品占到该采样深度样品总数 74.07%，根据其在地块内的分布情况（见**错误!未找到引用源。**），明显分布于地块两侧区域（原地块山沟边坡），基本上与底层超筛点位相一致。

由此，可进一步认为地块内砷超筛选值是由于地块区域地质等自然因素造成的。

根据地块初步调查和详细调查采样结果以及土壤岩芯情况，对地块内超筛选值样的土层类型与其砷超筛选值成因进行分析，可知地块内填土（ Q^{ml} ）、坡残积土（ Q^{dl+el} ）采集的样品超筛选值比例大，且相较于冲洪积土（ Q^{al+pl} ）采集的样品砷浓度高。

由**错误!未找到引用源。**可知，砷超筛选值的土壤岩心主要分为填土（ Q^{ml} ）、冲洪积层（ Q^{al+pl} ）、残坡积层（ Q^{el+dl} ）、基岩-侏罗系下统鸡冠组（ J_{lj} ），其中以杂填土、粉质粘土和砂质粘土和强风化土为主。岩性为粉砂、细砂等砂土的样品砷超筛频率仅为 2.94%，可能是因为此类土层渗透系数较大，含水率较高，沉积及累积性差，不易于污染物吸附和累积。而岩性表现为粉质粘土、强风化砂岩超筛选值频率超过 50%，分别为 59.20% 和 92.31%，表明地块原土超筛选值频率较高，地块内砷超筛选值可能与区域地质情况存在相关性。

从地块内土壤性质上分析，土壤砷超筛点位主要集中地块原山沟两侧山体以及原沟谷区域。地块中间区域（原山沟沟谷），填土层普遍较厚，且填土（ Q^{ml} ）采集的土壤样品砷浓度普遍较高。根据地块历史沿革，地块位于白云山西麓的山沟中，地块原山沟经回填平整后形成现状三个阶梯平台，沟谷区域填土（ Q^{ml} ）均来自地块内山沟两侧边坡开挖土壤和原有地块内挖方土，因此地块中间区域以及东部区域回填土厚度较大。下层为冲洪积土（ Q^{al+pl} ），该层土壤砷浓度普遍不超筛选值；地块两侧（原山沟两侧边坡），其填土层厚度相对中间沟谷填土层厚度较小，下层土多为坡残积土（ Q^{dl+el} ），该区域超筛点位土壤砷填土（ Q^{ml} ）及坡残积土（ Q^{dl+el} ）普遍存在超筛情况。

地块所在区域土壤类型主要为赤红壤，砷本底值普遍偏高。根据地块初调和详调中揭露的原土层，土壤质地多为粉质粘土，其下多为粘化紧实的实心土层，土壤质地粘重，粘粒聚集作用明显，土壤颗粒吸收性较强，地块内原土层土壤砷富集，导致土壤砷普遍超筛选值。可推断调查地块内砷超筛选值（60mg/kg）与地质因素造成的砷本底值高有关。

综上所述，根据目标地块强风化砂岩砷超筛选值情况，进一步说明调查地块内砷超筛应该是由区域地质等非人为因素造成的。

调查地块初步调查阶段和详调阶段土壤砷在整个地块内分布普遍超筛，地块内强风化砂岩超筛选值高达 92.31%，砂岩属沉积岩，地块内基岩砷含量较高，导致由地块内基岩风化而来的坡残积土（Qdl+el）砷含量超筛。土壤砷超过筛选值倍数最大的点位为 1X21-60，其岩心图见**错误!未找到引用源。**，该点位从表层土填土（Q^{ml}）至强风化砂岩基岩，土壤砷检测结果都超过了第二类筛选值。该点位 3m 后为原土，该点位检测结果进一步说明了砷检测值较高可能与区域地质背景情况有关。

4.3.5 从地块区域地质构造上分析

老油库地块位于白云山西侧的一条山沟中，两边高，中间低，属于残丘地貌，1996 年，在进行二期建设过程中，通过削平老油库地块南北两侧的山体结构，对地块整体进行重新布局和规划，经开挖和平整，改变了其原有地形地貌，形成了现有的台阶式的地形地貌。

根据地块的工程勘察报告和实际进场揭露情况，地块内土层的相变大，厚薄不一，因为地处山沟位置，出现在同一深度内往往见到不同的土类型，或者同一状态同一土类型分布在不同的标高位置。基岩为侏罗纪下统金鸡组底层，实际进场土壤揭露基岩主要见有强风化砂岩（多为灰黄色），致密，细粒砂质结构，岩心内发育较多裂隙；根据地块的工程勘察报告，其可见基岩类型为细粒石英砂岩（红褐色）及粗粒石英砂岩（灰色、灰白）、局部见炭质页岩，地块内存在不同风化程度的基岩：强风化岩及中风化岩。

调查地块所在区域白云山麓有着较丰富的有色金属矿产，而砷在自然界中主要以硫化物的形式存在，砷的主要矿物有硫砷铁矿、辉砷钴矿、臭葱石、红砷镍矿、雄黄和雌黄等。

根据区域地层特征和区域结构特征分析，项目地块北侧白云山脉为燕山期岩浆岩，

白云山脉西侧地层为侏罗系下统金鸡组砂岩、侏罗纪砂岩、泥页岩，该地区曾经是地壳活动相对活跃的地带，地块西侧白云大道附近为另一条断裂带。项目所在区域内存在2条断裂带。上述地质构造条件，有利于该区域形成岩浆热液型的有色金属矿床，同时伴生了富含高砷化合物，导致地块所在区域砷的本底值普遍较高。

综上所述，地块砷污染来源一方面是地块区域本底值高，另一方面为地块经历过回填平整，项目填土来自地块两侧开挖出来的山体土壤，带入了含高背景值砷的土壤，导致整体也因为填土带入高背景值的土，从而导致地块大面积超筛。

调查地块内砷污染来源概念图见下**错误!未找到引用源。**。

4.3.6 从地块内土壤砷超筛选值空间分布上分析

从地块的勘探的现场土壤岩性和《中航油料公司 广州公司老油库改建工程地质勘察报告》（1993年、省化工设计院）报告，调查地块位于白云山西侧的一条山沟上，地块内曾发育有一条小溪。因地块曾为军事禁区，未能收集到更多相关的地形图资料和卫星图资料，我们结合地块内地层情况，绘制了小溪的大概可能走向和相关的范围，见**错误!未找到引用源。**。

溪流在发育和存续过程中，土壤更倾向于发育成冲洪积土层（ Q^{al+pl} ），而白云山上土壤则更倾向于发育成残积层（ Q^{dl+cl} ）。

根据以往经验，由人为因素引起的污染分布情况与污染源分布会存在明显关联（水平和垂向），而地块内土壤砷超筛选值点位的分布和超筛选值土层深度与地块所在区域地质和地块原有地形（山沟小溪）有则明显的关系。

从水平方向上分析，老油库地块内土壤砷超过筛选值（60mg/kg）的点位分布广泛，大面积出现在地块，地块内土壤砷超筛选值点位分布与老油库地块建筑布局、一期和二期储罐及输油管线位置、构筑物等位置分布无明显直接关系。地块历史上一直作为航空煤油储存油库，不涉及油品生产及制造等其他相关活动。

为了更好的了解地块砷污染空间分布，我们对超筛点位砷最大值所在土层的土壤岩性进行了统计（见**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**）。超筛点位土壤砷最大浓度最常出现在粉质粘土中，出现频率为51.14%；其次为杂填土，出现频率约为29.55%；其余出现在砂质粘土、淤泥质粘土、强风化砂岩和素填土的频率分别为14.77%、3.41%、1.14%和5.68%。总体而言，出现在原状土（非填土）中的频率约为69.32%。超

筛点位土壤砷最大浓度土层分布情况见。简而言之，土壤砷污染程度与土壤岩性呈现出一定的相关性，即，在淤泥质土或细砂、粉砂等冲洪积土层（ Q^{al+pl} ）土壤砷更不容易表现出超过筛选值的特征，而在杂填土、砂质粘土、粉质粘土和强风化基岩等坡残积层（ Q^{dl+cl} ）中更容易表现出超过筛选值的特征。

此外，从超筛点位土壤砷最大浓度在水平上来看（如**错误!未找到引用源。**所示），在原发育过溪流区域（山沟山谷处）内超筛点位土壤砷最大浓度普遍小于两侧区域（原山沟两侧边坡）砷最大浓度。

为了解垂向上的分布情况，我们回顾 4.2.5.2 小结中关于第一次加密兜底结果，第一次加密调查中底层超筛的点位包括 1X3-8、1X7-19、1X7-20、1X10-24、1X10-25、1X10-26、1X10-27、1X13-34、1X16-43、1X16-44、1X16-45、1X18-52、1X18-53、1X21-58、1X21-59、1X21-60、1X21-61、1X28-69 和 1X28-72 共 19 个点位，上述点位最底层采样深度在 8.0~18.0m 之间，其中，1X7-19、1X10-26、1X10-27、1X16-44、1X16-45、1X18-52、1X18-53、1X21-58、1X21-59、1X21-60、1X21-61 和 1X28-72，共计 12 个点位已钻至强风化砂岩或炭质泥岩，最底层土壤样品砷仍超过第二类用地筛选值。这 12 个点位已经按照相关的技术规范要求钻至风化层无需继续钻进，可终孔。所示，12 个点钻到风化岩的土壤普遍分布于地块原山沟两侧边坡。实际上，在第一次加密调查中未实现兜底的 19 个点位均出现在原山沟两侧边坡。

为了进一步分析砷污染空间分布，我们将第一次加密未实现兜底的 19 个点位土壤岩性进行了统计，这 19 个未实现兜底的点位岩性没有表现为淤泥质土和细砂、粉砂等冲洪积土层（ Q^{al+pl} ）土壤。即在第一次加密调查中，但凡出现淤泥质土或细砂、粉砂等冲洪积土层（ Q^{al+pl} ）土壤的点位均可实现兜底。如前所述，溪流在发育和存续过程中，土壤更倾向于发育成冲洪积土层（ Q^{al+pl} ），而白云山上土壤则更倾向于发育成残积层（ Q^{dl+cl} ）。我们可以认为，在第一次加密调查中，地块内曾经发育过溪流的位置，更倾向于在冲洪积土层（ Q^{al+pl} ）中可能实现土壤砷的兜底，而在地块内原山沟两侧的边坡处，因地质成因缘故，更难实现兜底，表现为在第一次加密调查中 12 个钻至风化岩的点位极易出现从表层到下层均出现土壤砷超过筛选值。

4.4 地块内调查采样检测结果兜边兜底情况说明

4.4.1 地块内兜边情况说明

调查地块位于白云山西麓山沟处，三面环山，地块东侧、南侧、北侧均设有挡土墙，挡土墙下方为地块排水渠，挡土墙上方为地块围墙，即地块红线范围。结合地块现场可进入条件，主要为地块南侧区域围墙距离地块最近路面较远，北侧围墙靠近军事油库区域距地块路面距离较近，地块围墙平均距地块内最近路面约有 8m，局部区域距离可达 20m 左右。

根据调查地块现场可进入，结合初步调查、详细调查两次加密采样的检测结果分析可知，地块内边界点存在污染物砷超筛情况，如 2S2、2S4、1X3-7、1X3-8、1X7-19、1X9-23、1X10-24、1X10-25、1X12-32、1X12-33、1X13-34、1X14-37、1X15-38、1X16-44、1X16-45、1X17-46、1X18-52、1X18-53、1X21-60、1X21-61、1X28-71、1X28-72、2X4-5、2X21-11、2X28-16 和 2X28-18，共 26 个边界点位，分布情况详见**错误!未找到引用源。**。上述 26 个点位均位于地块边界，已是靠近地块红线最近的且具有钻探条件的位置。由于在地块周边设有有挡土墙，已不具备继续往外加密布点的条件，故上述边界点位均以地块红线作为划分污染区域兜边范围；点位 1X28-69、1X28-70 两个点位西北面为固定式充电桩和换电站，地下铺设 10 万伏高压电缆，不具备在确保安全的情况下进行加密布点的条件，在确定该区域污染边界时，以最靠近上述两个点位的清洁点位如 1S32、1X27-67、1X27-68、2X28-23 作为其污染边界兜边点位。

地块南侧现状照片见**错误!未找到引用源。**、北侧现状照片见**错误!未找到引用源。**、地埋高压电缆区域照片见**错误!未找到引用源。**。

4.4.2 地块内兜底情况说明

结合调查地块初步调查、详细调查两次加密采样检测结果分析可知，地块第二类用地区域内，存在未兜底的土壤超筛点位共 35 个，其中初调有 11 个未兜底的土壤超筛点位，详调第一次加密采样有 19 个未兜底的土壤超筛点位，详调第二次加密采样有 5 个未兜底的土壤超筛点位。本次土壤调查，所有未兜底且底层超过筛选值的点位其底层土壤岩性主要有粉质粘土、砂质粘土、强风化砂岩、风化层等。

本次土壤污染状况调查钻探最深处可达 18m，仅详调中部分点位钻探至基岩，地块内基岩为侏罗系下统金鸡组（J_{1j}），其中未兜底超筛点位中钻探至基岩的点位有 1X7-19、1X10-26、1X10-27、1X16-43、1X16-44、1X16-45、1X18-52、1X18-53、1X21-58、1X21-59、1X21-60、1X21-61、1X28-72，共计 13 个点位钻至强风化砂岩终孔，钻探深度在 8~18m；有 4 个点位钻至风化残积土层，由于地块区域处于 2 个大型断裂带交汇区，基岩内发育大量节理、裂隙，风化产物极易破碎，难以继续往下钻探，因而进行终孔，如点位 1X3-8、1X10-24、1X10-25、1X13-34，钻探深度在 10~16m；点位 1S29 为初调孤立点位，在底层深度 7.2-7.5m 出现土壤砷超筛情况。详调中在其周边按照 20m×20m 加密布设了 4 个点位以及按照 10m×10m 继续加密布设了 3 个点位，钻探深度均为 10m，加密的 7 个点位均未出现超筛情况，因此无需继续向下钻探。

根据地块初步调查和详细调查土壤砷超筛成因分析，基本确定地块砷超筛的原因为地质等非人为因素造成的砷背景含量较高，调查地块历史上未进行过与砷有关的生产经营活动，没有砷污染途径和污染源，且砷并不是地块的特征污染物，在地块规划为二类用地的前提下，现有调查深度为 5.0~18.0m，足以判断地块内污染情况，且已包括后续开发中可能扰动或对人体健康危害的土层，故在本地块现场调查阶段对钻孔最底层仍超筛的点位或未钻至风化层且未兜底的点位无需继续向下钻探进行兜底。

因无需继续向下钻探至基岩或风化层进行兜底，且土壤砷超筛并非本地块历史活动造成的，本次调查底层深度划分保守考虑将采用广州市标准《建设用地土壤污染防治 第 1 部分：污染状况调查技术规范》（DB4401/T 102.1-2020）要求的重点行业用地采样深度在 5.0-8.0m 范围的最深深度 8m 作为接下来风险评估底层划分，无需调查至无超筛选值深度或基岩。

未兜底的土壤超筛点位详细情况见**错误!未找到引用源。**，点位分布情况见**错误!未找到引用源。**，初调和详调中部分未兜底超筛点位岩芯照片见**错误!未找到引用源。**、**错误!未找到引用源。**、**错误!未找到引用源。**。

4.5 小结

调查地块历史上未进行过与砷有关的生产经营活动，经污染物识别砷并不是地块特征污染物，没有砷污染途径和污染源，在地块规划为二类用地的前提下，现有调查深度足以判断地块内污染情况。地块出现了砷超过第二类用地筛选值的情况，根据初步调查和详细调查，分别从区域地质特征、土壤背景点砷背景值、地块内土壤砷水平分布和垂向分布、底层超筛点位分布、土壤砷超筛点位最大浓度分布情况、地块内土壤砷超筛土层特征情况以及底层超筛与基岩揭露情况多方面分析，可得出调查地块土壤砷超第二类用地筛选值成因是由于区域地层地质因素造成。

综上，调查地块前期现场调查工作满足后续开展的风险评估所需的条件。

第五章 第二类用地风险评估

人体健康风险评估是环境风险评价的重要内容。本次风险评估依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）规定的方法和相关要求，在老油库地块土壤污染状况初步调查和详细调查基础上实施，通过一定的方法或使用模型来估计某一暴露剂量的化学或物理因子对人体健康造成损害的可能性及损害的性质和程度大小。根据规划利用类型对调查地块进行第二类用地进行风险评估，对地块后续利用提供指导依据。

5.1 评估方法

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023），环境风险评估工作内容包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和土壤风险控制值计算。各部分内容如下，具体风险评估流程见图 5.1-1 所示。

（1）危害识别：根据调查地块环境调查获取的资料，结合地块土地的规划利用方式，确定污染地块的关注污染物、地块内污染物的空间分布和可能的敏感受体，建立地块暴露模型。

（2）暴露评估：在危害识别的工作基础上，分析地块土壤中关注污染物进入并危害敏感受体的情景，确定地块内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，确定与地块污染状况、土壤性质、地下水特征、敏感人群和关注污染物性质等相关的模型参数值，计算敏感人群摄入来自土壤和地下水的污染物所对应的土壤和地下水的暴露量。

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

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

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

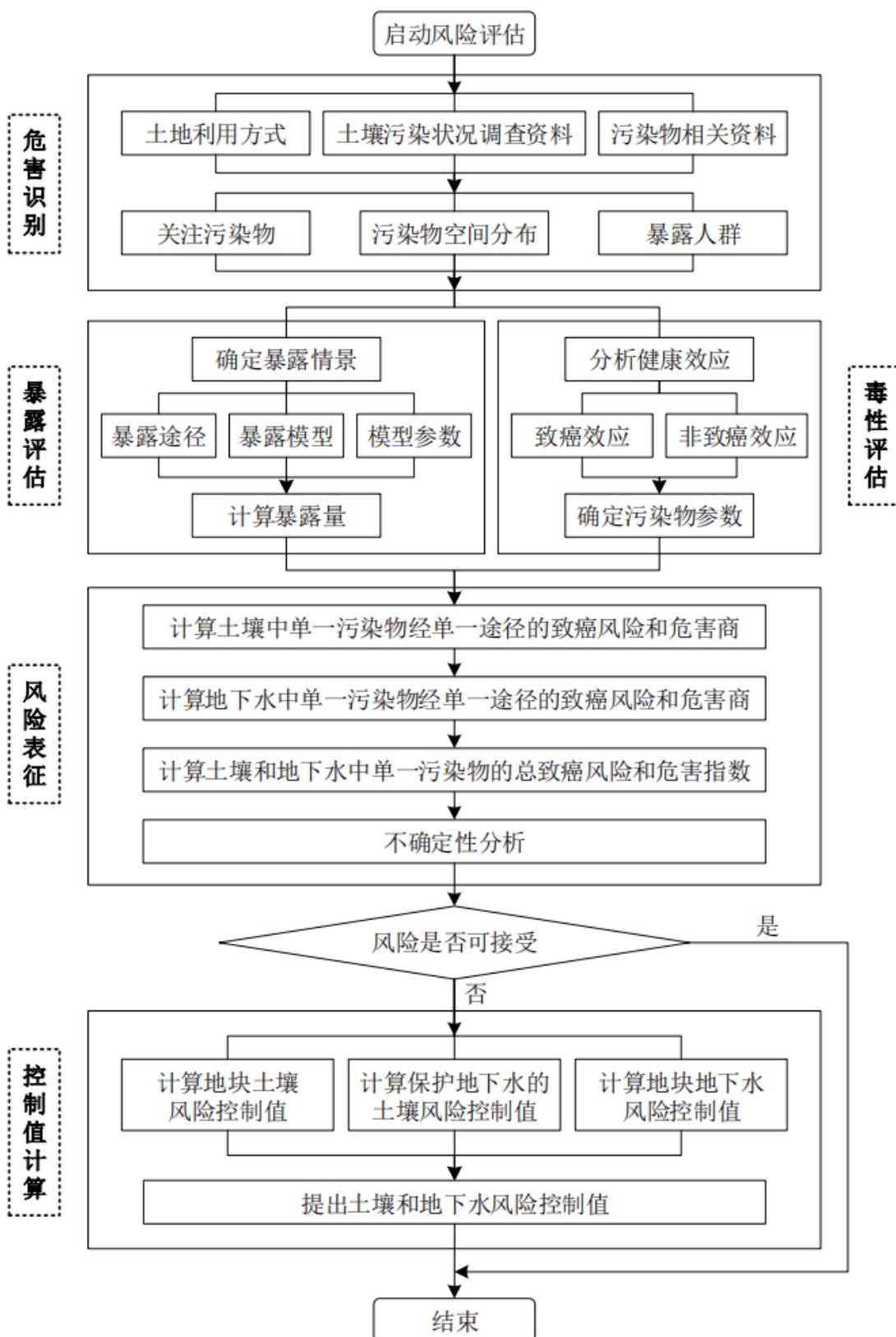


图 5.1-1 风险评估程序

5.2 危害识别

收集土壤污染状况调查阶段获得的相关资料和数据，掌握地块土壤中关注污染物的浓度分布，明确规划土地利用方式，分析可能的敏感受体。按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）对地块进行污染识别，获得以下数据：

①较为详尽的调查地块相关资料信息，如调查地块土地使用权及用途变更情况、与污染相关的人为活动、调查地块（及邻近地区）平面分布图、地表及地下设备设施和构筑物的分布等信息；

②调查地块土壤等环境样品中污染物的浓度数据，尤其重要的是不同深度土壤污染物浓度等；

③具有代表性的调查地块土壤样品的理化性质分析数据，如土壤 pH 值、容重、有机碳含量、含水率、密度质地、孔隙比、渗透系数等；

④调查地块（所在地）气候、水文、地质特征信息和数据，如地表年平均风速等；

⑤调查地块及周边地块土地利用方式、人群及建筑物等相关信息。

5.2.1 污染源分析

调查地块历史上仅作为航空煤油储存油库，土壤砷（非特征污染物）超第二类用地筛选值是由于地质非人为因素造成的，非地块上人为活动引起的污染，同时，根据广州市地标《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）要求的重点行业用地采样深度在 5.0m-8.0m 范围，本项目在现场采样调查阶段调查深度为 5.0m-18.0m，基本可判断地块污染情况。地块未来规划为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2）。

调查地块中的污染源为土壤中的关注污染物。考虑到地块不同地层深度污染土壤理化性质和污染迁移途径不同，本项目地块特征按埋深将污染土壤分为表层土和下层土进行分析。

根据项目地块特点，调查地块内路面基本上均铺设了 20cm 厚度以上的硬化层，部分区域在硬化层上铺设的沥青路面，硬化层以下的土壤在一般情况下无法暴露出来。根

据地块未来规划第二类用地情况和《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023），本项目将采用导则中第二类用地推荐值 0.5m 作为调查地块表层土壤厚度。

由于调查地块未来规划为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），不涉及地下停车场建设，地块内路面大部分铺设了硬化层，后期开发建设不会对地块内土壤进行开挖或扰动。保守考虑，采用本项目调查阶段土壤砷最大超筛深度作为调查地块下层土参数，即下层土壤埋深为 0.5m，下层土壤厚度为 17.5m。

5.2.2 土地利用规划及敏感受体

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023），调查地块未来规划为第二类用地方式。因此，本次风险评估按第二类用地进行风险评估。在第二类用地情景下，未来地块的敏感暴露人群为成人。

5.2.3 关注污染物的筛选

（1）土壤中的关注污染物

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《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）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023），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。污染物筛选对象为所有检出污染物，如检出污染物的浓度超过选定的筛选值则污染物需进一步进行风险评估。

本报告将超过第二类用地土壤污染风险筛选值的污染物列为调查地块的关注污染物。

根据调查地块内土壤污染状况初步调查、详细调查结果，仅污染物**砷**超过第二类用地筛选值，故污染物**砷**为调查地块的关注污染物，需进行健康风险评估。以本次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。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）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023），表层土壤和下层土壤污染物浓度均应选择最大值进行计算。地块土壤关注污染物的最终暴露点情况详见**错误!未找到引用源。**。

（2）地下水中的关注污染物

调查地块初步调查阶段共采集 6 个地下水样品，分析 pH、浊度、无机物、挥发性有机物、半挥发性有机物、石油烃、多氯联苯，共检出污染物 7 种，包括总汞、镍、砷、铅、2-甲基萘、石油烃（C₁₀-C₄₀）和石油烃（C₆-C₉），共计 4 项重金属，分别为总汞、镍、砷和铅；无挥发性有机物；共计 1 项半挥发性有机物 2-甲基萘；2 项其他污染物石油烃（C₁₀-C₄₀）和石油烃（C₆-C₉）。

上述地下水中检出的污染物浓度均未超过本地块的地下水筛选值，故本地块风险评估不考虑地下水中关注污染物。

5.2.4 地块概念模型

地块概念模型是地块内污染源、污染暴露途径和污染受体的一个信息集合体，通常用简化图形来表达。在未来用地规划类型情景下，根据地块地层结构、水文地质信息、土壤中污染物的分布特征及迁移转换过程，构建了**砷**超筛选值区域的概念模型图，如**错误!未找到引用源。**所示。

5.3 暴露评估

5.3.1 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》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土

壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023），调查地块暴露情景为第二类用地类型。

调查地块内未来将作为公园绿地(G1, 不含社区公园和儿童公园)、军事用地(H41)、防护绿地(G2)，不涉及地下停车场建设，地块内路面大部分铺设了硬化层，后期开发建设不会对地块内土壤进行开挖或扰动。依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023），基于保守起见，本项目采用导则中第二类用地推荐值 0.5m 作为地块表层土壤厚度，即本地块所有区域内以 0~0.5m 土壤作为表层土壤，0.5m 以下作为下层土壤，进行风险评价。

根据本地块关注污染物的特征，本次健康风险评估途径主要考虑：

（1）本次调查地块风险评估关注污染物为土壤砷，由于砷不具有挥发性，故不考虑气态污染暴露途径；

（2）表层土壤污染源可通过经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物等途径而暴露给敏感受体；

（3）下层土壤无表层的暴露途径，且土壤中砷不具有挥发性，故本次评估项目不考虑来自下层土壤的暴露途径。

地块暴露途径反映了污染源→迁移暴露途径→受体间的联系，地块暴露情景和暴露途径见下**错误!未找到引用源。**。

5.3.2 第二类用地暴露评估模型

对于单一污染物的致癌效应，第二类用地方式下经口摄入土壤途径的土壤暴露量计算公式采用《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）附录 B 中公式计算；对于单一污染物的非致癌效应，第二类用地方式下经口摄入土壤途径的土壤暴露量计算公式依旧采用《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。

第二类用地方式下其他皮肤接触土壤途径和吸入土壤颗粒物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

第二类用地方式下，人群可因经口摄入土壤而暴露于污染土壤。对于污染物的致癌效应，计算该途径对应土壤暴露量的推荐模型见 DB4401/T 102.7-2023 附录 B 公式(B.2)。

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害，经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用公式 (B.2) 计算：

$$OISER_{ca} = \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \dots\dots (B.2)$$

公式 (B.2) 中：

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

$OSIR_a$ ：成人每日摄入土壤量，mg · d⁻¹；推荐值见附录 C 表 C.1；

ED_a ：成人暴露期，a；推荐值见附录 C 表 C.1；

EF_a ：成人暴露频率，d · a⁻¹；推荐值见附录 C 表 C.1；

BW_a ：成人体重，kg，推荐值见附录 C 表 C.1；

ABS_o ：经口摄入吸收效率因子，无量纲；推荐值见附录 C 表 C.1；

AT_{ca} ：致癌效应平均时间，d；推荐值见附录 C 表 C.1。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害，经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用《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 (A.22) 计算：

$$OISER_{nc} = \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \dots\dots (A.22)$$

公式 (A.22) 中：

$OSIR_a$ 、 ED_a 、 EF_a 、 ABS_o 和 BW_a 的参数含义见公式 (A.21)；

$OISER_{nc}$ ：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。

(2) 皮肤接触土壤途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害。皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式 (A.23) 计算：

$$DCSER_{ca} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \dots\dots (A.23)$$

公式 (A.23) 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_a : 成人暴露皮肤表面积, cm^2 ;

$SSAR_a$: 成人皮肤表面土壤粘附系数, $mg\ cm^{-2}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;

ABS_d : 皮肤接触吸收效率因子, 无量纲; 取值见附录 B 表 B.1;

E_v : 每日皮肤接触事件频率, $次 \cdot d^{-1}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;

公式中 AT_{ca} 、 ED_a 、 EF_a 和 BW_a 的参数含义见公式 (A.21);

SAE_a 的参数值采用附录 A 中公式 (A.5), 如下式计算:

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

公式 (A.5) 中:

BW_a 的参数含义见公式 (A.21);

H_a : 成人平均身高, cm ; 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。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在成人期的暴露危害, 皮肤接触土壤途径对应的土壤暴露量采用公式 (A.24) 计算:

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \dots\dots (A.24)$$

公式 (A.24) 中:

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

SAE_a 、 $SSAR_a$ 、 E_v 和 ABS_d 的参数含义见公式 (A.23), AT_{nc} 的参数含义见公式 (A.22),

BW_a 、 ED_a 和 EF_a 的参数含义见公式 (A.21)。

(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.25) 计算:

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFl_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \dots\dots (A.25)$$

公式 (A.25) 中:

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

PM_{10} : 空气中可吸入浮颗粒物含量, $mg\ m^{-3}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;

$DAIR_a$: 成人每日空气呼吸量, $m^3 \cdot d^{-1}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;

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

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

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

EFI_a : 成人的室内暴露频率, $d a^{-1}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;

EFO_a : 成人的室外暴露频率, $d a^{-1}$; 推荐值见附录 G 表 G.1;

ED_a 、 BW_a 和 AT_{ca} 的参数含义见公式 (A.21)。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在成人期的暴露危害, 吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式 (A.26) 计算:

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \dots\dots (A.26)$$

公式 (A.26) 中:

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

PM_{10} 、 $DAIR_a$ 、 $PIAF$ 、 f_{spo} 、 f_{spi} 、 EFI_a 、和 EFO_a 的参数含义见公式 (A.25), AT_{nc} 的参数含义见公式 (A.22), ED_a 和 BW_a 的参数含义见公式 (A.21)。

5.3.3 暴露参数的选择

本评估项目中地块、土壤参数主要通过土工试验以及地块环境调查实测获得, 暴露参数应根据《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)》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分: 土壤污染风险评估技术规范》(DB4401/T 102.7-2023) 优先采用地块所在的区域性参数, 缺乏本区域数值, 可参考选用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 中的推荐值。成人平均体重、成人平均身高和致癌效应平均时间选用了 DB4401/T 102.7-2023 附录 C 的推荐参数, 其他参数来源于 HJ25.3-2019 导则推荐值。污染区参数、土壤参数、建筑物参数和暴露参数见表 5.3-2~5。

(1) 人体暴露参数

此类暴露参数常为社会学统计数据, **错误!未找到引用源。**列举了本次风险评估所用的人体暴露参数。

(2) 地块土壤参数

主要以调查实测数据为主。不同岩性的土壤均采样并进行土工试验测试(土工试验报告详见附件), 本报告中采用各岩性土层样品送检后的平均值进行计算。

列举了本次风险评估所用的调查地块参数。根据《建设用地土壤污染风险评估技

术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023），土壤有机质含量、土壤容重、土壤含水率、土壤颗粒密度、非饱和层厚度、污染源宽度等采用了 DB4401/T 102.7-2023 中地块的实测数据，空气中可吸入颗粒物含量和混合区大气流速风速选用了 DB4401/T 102.7-2023 附录 C 的推荐参数，其他参数则来源于 HJ25.3-2019 中的推荐值。

（3）构筑物参数

调查地块风险评估构筑物参数采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）推荐值，如

(4) 污染区参数

调查地块风险评估构筑物参数采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）推荐值，详细见错误!未找到引用源。所示。

地块未来规划为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），不涉及地下停车场建设，地块内路面大部分铺设了硬化层，后期开发建设不会对地块内土壤进行开挖或扰动。保守起见，地块内污染区参数表层污染土壤层厚度、下层污染土壤层埋深、下层污染土壤层厚度，将采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）中第二类用地推荐值以及地块内土壤砷最大超筛深度上进行评估。即：

表层土壤层厚度：根据地块特点，调查地块内路面基本上均铺设了 20cm 厚度以上的硬化层，部分区域在硬化层上铺设的沥青路面，硬化层以下的土壤在一般情况下无法暴露出来，且土壤砷不具有挥发性。根据地块未来规划第二类用地情况下，本项目将采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）中第二类用地推荐值 0.5m 作为调查地块表层土壤厚度。

下层土壤层埋深：根据表层土壤厚度为 0.5m，故下层土壤层埋深为 0.5m。

下层土壤层厚度：根据地块未来规划第二类用地情况下，本项目将采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）中第二类用地推荐值 100cm 作为调查地块表层土壤厚度。

所示。

(4) 污染区参数

调查地块风险评估构筑物参数采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）推荐值，详细见**错误!未找到引用源。**所示。

地块未来规划为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），不涉及地下停车场建设，地块内路面大部分铺设了硬化层，后期开发建设不会对地块内土壤进行开挖或扰动。保守起见，地块内污染区参数表层污染土壤层厚度、下层污染土壤层埋深、下层污染土壤层厚度，将采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）中第二类用地推荐值以及地块内土壤砷最大超筛深度上进行评估。即：

表层土壤层厚度：根据地块特点，调查地块内路面基本上均铺设了 20cm 厚度以上的硬化层，部分区域在硬化层上铺设的沥青路面，硬化层以下的土壤在一般情况下无法暴露出来，且土壤砷不具有挥发性。根据地块未来规划第二类用地情况下，本项目将采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）中第二类用地推荐值 0.5m 作为调查地块表层土壤厚度。

下层土壤层埋深：根据表层土壤厚度为 0.5m，故下层土壤层埋深为 0.5m。

下层土壤层厚度：根据地块未来规划第二类用地情况下，本项目将采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）中第二类用地推荐值 100cm 作为调查地块表层土壤厚度。

5.3.4 土壤暴露量计算

基于调查地块第二类用地性质规划，通过以上暴露评估模型和参数的计算，得到各个暴露途径的暴露量，可知地块关键暴露途径为经口摄入土壤颗粒物。计算结果如下**错误!未找到引用源。**。

5.4 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。

5.4.1 污染物的健康效应

建设用地风险评估是评估受体长期暴露于污染环境下的长期健康风险，因此常用污染物的慢性毒性效应来衡量地块风险水平。一般认为慢性毒性效应分为非致癌效应和致癌效应两大类。

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，当暴露剂量小于该阈值时，不认为会对人体健康造成可查的危害。目前国内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（ RfD_o ）、皮肤接触参考剂量（ RfD_d ）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。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：

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；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。

②采用经口摄入致癌斜率因子（ SF_o ）、皮肤接触致癌斜率因子（ SF_d ）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。

5.4.2 关注污染物的毒性和理化参数

本评估报告中关注污染物的理化、毒理性参数见错误!未找到引用源。。

5.4.3 致癌毒性判定

对于进入健康风险评估的关注污染物, 首先查阅毒性描述, 其次对这些污染物的致癌性进行判定, 由此确定该场地污染物的致癌毒性因子 (致癌斜率 SF 或单位风险因子 URF) 与非致癌毒性因子 (参考剂量 RFD 或参与浓度 RFC)。

本评估报告依照国际癌症研究署 ($IARC$) 和美国环保署 $IRIS$ 的研究成果进行关注污染物致癌毒性判定。首选国际癌症研究署的致癌性分类, 然后参考美国环保署的致癌性分类。

因此, 根据上述对比, 调查地块关注污染物砷兼具致癌性和非致癌性, 本报告将评估其致癌风险和非致癌风险。

5.5 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中单一污染物经单一途径的致癌风险和危害商, 计算单一污染物的总致癌风险和危害指数, 进行不确定性分析。

5.5.1 风险表征技术要求

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。

根据所测定的污染物种类是否具有相关风险评价参数的原则, 本项目设置了砷在不同暴露途径下的致癌风险 (CR) 及非致癌危害商 (HQ)。根据《建设用地土壤污染风

险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）规定，将人体可接受致癌性风险值设置为 10^{-6} ，非致癌危害商值设置为 1，以评估关注污染物的健康风险是否超筛选值。

5.5.2 致癌风险和非致癌危害商的计算方法

本项目风险评估过程中，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 公式计算各关注污染物的健康风险，具体公式如下所述。

C.1 土壤中单一污染物的致癌风险

（1）经口摄入土壤途径的致癌风险采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）公式附录 C 计算。

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

公式（C.1）中：

CR_{ois} ：经口摄入土壤途径的致癌风险，无量纲；

C_{sur} ：表层土壤中污染物浓度， $mg\ kg^{-1}$ ；

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

SF_o ：污染物经口摄入途径致癌斜率因子。

（2）皮肤接触土壤途径的致癌风险采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 C 计算。

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

公式（C.2）中：

CR_{dcs} ：皮肤接触土壤途径的致癌风险，无量纲；

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

SF_d ：污染物皮肤接触摄入途径下的致癌斜率因子；

公式（C.2）中， C_{sur} 的参数含义见公式（C.1）。

（3）吸入土壤颗粒物途径的致癌风险采用公式《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 C 计算。

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

公式（C.3）中：

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;

SF_i : 污染物呼吸暴露途径下的致癌斜率因子;

公式 (C.3) 中, C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1)。

(4) 土壤中单一污染物经所有暴露途径的致癌风险采用公式 (C.4) 计算。

$$CR_n = CR_{ois} + CR_{dcs} + CR_{pis} \quad \dots\dots (C.4)$$

公式 (C.4) 中:

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

CR_{ois} 、 CR_{dcs} 和 CR_{pis} 的参数含义分别见公式 (C.1)、公式 (C.2)、公式 (C.3)。

C.2 土壤中单一污染物的非致癌危害商

(1) 经口摄入土壤途径的危害商采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 公式附录 C 计算。

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_o \times SAF} \quad \dots\dots (C.5)$$

公式 (C.5) 中:

HQ_{ois} : 经口摄入土壤途径的危害商, 无量纲;

SAF : 暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲;

RfD_o : 污染物经口摄入条件下非致癌参考剂量;

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

C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1)。

(2) 皮肤接触土壤途径的危害商, 采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 公式附录 C 计算。

$$HQ_{dcs} = \frac{DCSER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d \times SAF} \quad \dots\dots (C.6)$$

公式 (C.6) 中:

HQ_{dcs} : 皮肤接触土壤途径的危害商, 无量纲;

RfD_d : 污染物皮肤接触途径下非致癌参考剂量;

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

SAF 的参数含义见公式 (C.5), C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1)。

(3) 吸入土壤颗粒物途径的危害商, 采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 公式附录 C 计算。

$$HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \dots\dots (C.7)$$

公式 (C.7) 中:

HQ_{pis} : 吸入土壤颗粒物途径的危害商, 无量纲。

RfD_i : 污染物呼吸暴露途径下非致癌参考剂量;

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

SAF 的参数含义见公式 (C.5), C_{sur} 的参数含义见公式 (C.1)。

(4) 土壤中单一污染物经所有暴露途径的危害指数采用公式 (C.8) 计算。

$$HI_n = HQ_{ois} + HQ_{dcs} + HQ_{pis} \quad \dots\dots (C.8)$$

公式 (C.8) 中:

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

HQ_{ois} 、 HQ_{dcs} 、 HQ_{pi} 的参数含义分别见公式 (C.5)、公式 (C.6)、公式 (C.7)。

5.5.3 风险评估软件的介绍

本次风险评估所使用的工具是由浙江大学环境健康研究所和环境保护部南京环境科学研究所于 2023 年 5 月 21 日发布污染场地风险评估电子表格, 软件《污染场地风险评估电子表格》可以计算不同污染场地的风险控制值和筛选值, 为污染场地筛选和修复提供指导。本软件适用于污染场地人体健康风险评估和污染场地筛选值的查询和土壤和地下水风险控制值的确定, 但不适用于放射性物质、致病性生物污染以及农用地土壤污染的风险评估。

5.5.4 关注污染物的风险表征结果

基于下表调查地块未来规划作为第二类用地的人体健康风险评估结果表明, 调查地块土壤中能够对人体健康造成风险的污染物为砷, 地块人体健康风险按照采用调查地块内土壤的污染物浓度最大值来计算风险。根据地块中超筛选值污染物砷的各土层最大浓度值下, 地块健康风险计算结果如下**错误!未找到引用源。**所示。

评估结果表明, 基于调查地块为第二类用地非敏感地块方式情况下, 地块土壤中关注污染物砷的致癌风险为 2.30×10^{-4} , 其致癌风险超过人体可接受风险水平 1.0×10^{-6} ;

地块土壤关注污染物砷得危害商为 3.85，其危害商值超过人体可接受水平设置值 1，其中关键风险的暴露途径均为经口摄入土壤颗粒物。因此，调查地块土壤中砷对使用人群存在健康风险，需根据地块实际情况进行进一步分析，采取必要的风险管控手段。

5.6 不确定性分析

5.6.1 不确定因素

地块健康风险评估是一个系统的工作，需要环境学、化学、地质学、毒理学、统计学等多学科的融合，受基础科学发展水平、实践及资料限制，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、选用评估模型的适用性、模型的参数条件与实际条件的差异、模型参数的确定以及检测统计数据等的代表性等。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。由于调查地块土壤环境的复杂性，风险评估环境的复杂性，本项目风险评估的不确定性主要体现在以下几个方面：

（1）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。

（2）污染物迁移过程的不确定性：本项目的风险评估模型中的污染物迁移过程来源于风险评估技术导则，但模型的拟合程度与场地的实际情况（如水文地质情况、地层结构等）拟合情况如何，还无从验证，其评价过程与评价结果仍存在一些不确定性因素。

（3）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》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）的基本要求计算。虽然风险评估的计算模型是基于理论原理建立，且长期以来被广泛应用于实际污染地块的风险管理决策，但必须认识到几乎没有一个数学模型可以完全准确地描述污染物迁移和暴露的全过程。随着技术的发展，暴露计算和风险计算的方法可能会发生改变。

（4）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、土壤透性系数和土壤颗粒密度等为地块实测数据外，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，其他参数选用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤

污染风险评估技术规范》(DB4401/T 102.7-2023)中的推荐值以及广州市地方参数。由于我国对于风险评估的基础研究相对匮乏,且广州市地区的部分参数(如成人身高、体重、气象、暴露等参数)和国家导则、标准或广东省审查要点、地方标准推荐值也存在一定的差异性,因此模型根据国家导则推荐值计算调查地块的风险或危害商可能与调查地块的实际情况有所差异。

(5) 污染物毒理参数的适用性: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于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》的规范性目录,部分参数可能会随着数据的更新而发生改变,其毒理学参数大多采用美国环保局综合风险信息数据库(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,其对我国风险评价的适用性值得商榷。

(6) 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》(HJ25.3-2019)所推荐的默认值,和地块所在地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。

(7) 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,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。

地块健康风险评估技术仍是一门发展中的科学,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,将为计算结果带来极大不确定性,导致本次风险评估结果不适用于变化后的情况。

5.6.2 暴露风险贡献率分析

根据上文对使用阶段不同用地类型下对不同暴露途径的健康风险分析,将计算不同用地类型暴露情景下主要污染物的暴露途径的风险贡献率进行计算与整理,并分析各污染因子的主次要暴露途径。

单一污染物经不同暴露途径的致癌风险和非致癌风险贡献率率，分别采用以下公式计算：

$$PCR_i = \frac{CR_i}{CR_n} \times 100\%$$

$$PHQ_i = \frac{HQ_i}{HI_n} \times 100\%$$

公式中：

CR_i ：单一污染物经第 i 种暴露途径的致癌风险，无量纲；

PCR_i ：单一污染物经第 i 种暴露途径致癌风险贡献率，无量纲；

HQ_i ：单一污染物经第 i 种暴露途径的危害商，无量纲。

PHQ_i ：单一污染物经第 i 种暴露途径非致癌风险贡献率，无量纲。

公式中， CR_n 的参数含义见公式 (C.7)、 HI_n 的参数含义见公式 (C.14) 或 (C.22)。

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。因此对调查地块土壤风险超筛选值的单一污染物各暴露途径的贡献率进行了计算，暴露风险贡献率结果如下**错误!未找到引用源。**所示。

调查地块内，可知地块关键暴露途径为经口摄入土壤颗粒物，致癌风险贡献率和非致癌风险贡献率，分别达到 81.32% 和 65.96%。

5.6.3 敏感性分析

单一暴露途径风险贡献率超过 20% 时，应对人群相关参数和该途径相关的参数进行敏感性分析。敏感性分析是一种动态不确定性分析，是项目评估中不可或缺的组成部分，它用以分析项目风险对各不确定性因素的敏感程度，据此判断项目承担风险的能力。由上**错误!未找到引用源。**可知经口摄入土壤颗粒物途径致癌风险贡献率为 81.32%，经口摄入土壤颗粒物途径和吸入土壤颗粒物途径的非致癌贡献率分别为 65.96%、22.06%。因此，选取经口摄入颗粒物途径和吸入土壤颗粒物途径计算中用到的相关参数进行参数敏感性分析。

模型参数 (P) 的敏感性比例，可采用以下公式计算：

$$SR = \frac{\frac{X_2 - X_1}{X_1}}{\frac{P_2 - P_1}{P_1}}$$

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。

本次评估敏感性分析采用单因素变量分析法，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。因此选取人群相关参数(平均体重、暴露期、暴露频率)和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、空气中可吸入颗粒物含量)作为本次敏感性分析单因素变量，分别改变模型中上述参数数值，计算土壤砷的风险水平，通过对比参数变化前后的风险水平，分析各参数的敏感性。

本评估报告进行敏感性分析时，将兼顾考虑参数的实际取值范围，进行小范围或大范围参数值变化分析。不同途径风险值计算过程中采用的参数见表，表中参数可能的取值情况主要参照一些权威机构公布的数值、国家导则或其它地方导则的取值，对于没有或鲜有报道的参数则统一按 10% 的变幅进行取值，详细见**错误!未找到引用源。**。

经单因素变量计算结果可知，在同一污染因子情况下，各参数的变化将表现不同的敏感性。从上**错误!未找到引用源。**可看出，在第二类用地情景下，对砷致癌风险计算结果影响较大的参数首先是成人暴露期，其次是成人暴露频率，，第三是成人体重；对非致癌风险计算结果影响较大的参数首先是成人暴露期，其次是非致癌效应平均时间，第三是成人暴露频率。

综上，通过本次地块评估模型参数敏感性分析，基于地块为第二类用地的情况下，对调查地块内土壤非挥发性污染物砷在风险评估时，需特别关注暴露参数主要为人群相关参数和暴露途径相关的参数。

5.7 土壤风险控制值计算

调查地块中的污染物修复目标值的推导将依据上述已建立的地块暴露概念模型，在调查地块环境全过程调查评估的基础上，分析地块土壤理化特征和水文地质特征，确认地块未来用地方式和活动人群，按照我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点（试行）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）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关注污染物基于致癌效应和非致癌效应的风险控制值。土壤污染物风险控制值的计算步骤如下：

- （1）根据风险评估结果，确定对人体健康具有潜在危害的污染物种类；
- （2）确定目标风险水平和危害商；
- （3）整理收集污染物理化参数及毒理学参数；
- （4）根据土地利用类型和受体特征确定暴露参数；
- （5）根据场地特征确定场地参数；
- （6）选择模型或公式计算污染物修复目标值。

5.7.1 土壤风险控制值的计算过程

本项目风险评估采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）计算关注污染物的土壤风险控制值，具体公式如下所述。

E.1 基于致癌效应的土壤风险控制值

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

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

公式 (E.1) 中：

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

ACR ：可接受致癌风险，无量纲；取值为 10^{-6} ；

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

SF_o ：污染物经口摄入途径致癌斜率因子。

(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。

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

公式 (E.2) 中：

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

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

SF_d ：污染物皮肤接触摄入途径下的致癌斜率因子；

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。

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

公式 (E.3) 中：

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

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

SF_i ：污染物呼吸暴露途径下的致癌斜率因子；

ACR 的参数含义见公式 (E.1)。

(4) 基于 3 种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值，采用下式计算。

$$RCVS_n = RCVS_{ois} + RCVS_{dcs} + RCVS_{pis} \quad \dots\dots (E.4)$$

公式 (E.4) 中：

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

$RCVS_{ois}$ 的参数含义见公式 (E.1), $RCVS_{dcs}$ 的参数含义见公式 (E.2), $RCVS_{pis}$ 的参数含义见公式 (E.3)。

E.2 基于非致癌风险的土壤风险控制值

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

$$HCVS_{ois} = \frac{RfD_o \times SAF \times AHQ}{OISER_{nc}} \quad \dots\dots (E.5)$$

公式 (E.5) 中:

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

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

AHQ : 可接受危害商, 无量纲; 取值为 1;

RfD_o : 污染物经口摄入条件下非致癌参考剂量;

SAF : 暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲。

(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 公式计算。

$$HCVS_{dcs} = \frac{RfD_d \times SAF \times AHQ}{DCSER_{nc}} \quad \dots\dots (E.6)$$

公式 (E.6) 中:

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

RfD_d : 污染物皮肤接触途径下非致癌参考剂量;

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

SAF 和 AHQ 的参数含义见公式 (E.5)。

(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 公式计算。

$$HCVS_{pis} = \frac{RfD_i \times SAF \times AHQ}{PISER_{nc}} \quad \dots\dots (E.7)$$

公式 (E.7) 中:

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

RfD_i : 污染物呼吸暴露途径下非致癌参考剂量;

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

SAF 和 AHQ 的参数含义见公式 (E.5)。

(4) 基于 3 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 公式计算。

$$HCVS_n = HCVS_{ois} + HCVS_{dcs} + HCVS_{pis} \quad \dots\dots (E.8)$$

公式 (E.8) 中:

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

$HCVS_{ois}$ 的参数含义见公式 (E.5), $HCVS_{dcs}$ 的参数含义见公式 (E.6), $HCVS_{pis}$ 的参数含义见公式 (E.7)。

5.7.2 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) 和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分: 土壤污染风险评估技术规范》(DB4401/T 102.7-2023) 土壤风险控制值计算方法, 得出了污染物可接受的致癌风险为 10^{-6} 水平下的土壤风险控制值, 可接受的非致癌风险水平即目标危害商为 1。调查地块未来的规划情况为第二类用地(公园绿地(G1, 不含社区公园和儿童公园)、军事用地(H41)、防护绿地(G2)), 基于第二类用地情形下, 人体健康的土壤风险控制值具体如下**错误!未找到引用源。**。

5.7.3 修复/管控目标值的选择

为对地块风险进行管理, 根据导则要求确定关注污染物的修复目标值时, 应综合考虑风险控制值、区域背景值、地块背景值或本底值、现行的环境质量标准或风险筛选值等, 结合地块及其所在区域的实际情况进行选择, 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. 依据《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)》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分: 土壤污染风险评估技术规范》(DB4401/T 102.7-2023) 土壤风险管控与修复目标值确定的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的, 则采用筛选值作为修复目标值; 修复目标值应小于《建设用地土壤污染风险筛选值和管制值》(GB36600-2018) 风险管控值。

如调查地块所在区域的背景值高于筛选值和风险控制值，则选取背景值作为修复目标值。报告中应明确土壤类型。

因此，调查地块规划第二类用地情景下土壤中单一污染物砷的土壤风险控制值为1.49mg/kg，小于 GB36600-2018 中的第二类用地筛选值 60mg/kg，本地块的修复目标值应选择 GB36600-2018 中第二类用地筛选值作为修复目标值。如下**错误!未找到引用源。**所示。

第六章 地块修复/管控范围及土方量

6.1 调查地块土壤超过修复目标值状况评估

根据老油库地块未来规划情况，调查地块未来规划为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），因此，按照《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600-2018）的规定，本次风险评估工作对老油库地块整体区域均按第二类用地修复目标值进行评价。

根据调查地块初步调查阶段和详细调查阶段所采集的样品数据与修复目标值比对应后，老油库地块土壤中污染物砷有不同程度的超筛选值。共有 88 个土壤监测点位中的 405 个土壤样品中含量超过砷第二类修复目标值 60 mg/kg。

根据老油库地块第二类用地区域内污染物分布情况，将污染区域分为中部污水处理站平台、东部储罐区平台、地块南北两侧道路区域和变电站区域，具体超筛选值情况见**错误!未找到引用源。**。土壤中超过修复目标值的污染物详细点位分布见下**错误!未找到引用源。**。

6.2 土壤污染面积及土方量计算

6.2.1 土壤修复/管控范围的确定原则

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）》和《建设用地土壤污染防治 第 7 部分：土壤污染风险评估技术规范》（DB4401/T 102.7-2023）的要求，结合地块实际情况，确定修复范围划定原则：

（1）污染物浓度大于或等于修复目标值的污染土壤需要进行修复；

（2）水平方向上，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，因此土壤污染范围的确定采用不超筛选值点位连线法；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；

（3）在垂直方向上，修复范围根据不同深度的污染程度分别划定，确定土壤的修复深度时，以超筛选值点位采样深度所代表的土壤层次深度范围为修复对象，当采样深度跨越 2 个土壤深度范围时，则其跨越的 2 个土壤深度均作为需修复对象；

（4）由于调查地块未来规划为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），不涉及地下停车场建设，地块内路面大部分铺设了硬化层，后期开发建设不会对地块内土壤进行开挖或扰动。本项目现有调查深度 5.0-18.0m，可判断污染情况，且已包括后续开发中可能扰动或对人体健康危害的土层。因此，本项目在分层划定土壤超筛选值范围时，出于保守考虑，结合详细调查实际情况，只划定 8m 以内的超筛选值范围。8m 内底部超过修复目标值的孔位，在划定超筛选范围时，将按照点位底部深度至最大钻孔深度 8m 均为超修复目标值情况考虑；

（5）8m 深度以下仍然超过修复目标值的孔位，不再单独分层划定超修复/管控范围，另外整体作图。

综上，根据各超筛选值点位污染深度的不同，将调查地块土壤污染范围共分十层，分别是第一层（0-0.5m）、第二层（0.5-1.0m）、第三层（1.0-2.0m）、第四层（2.0-3.0m）、第五层（3.0-4.0m）、第六层（4.0-5.0m）、第七层（5.0-6.0m）、第八层（6.0-7.0m）、第九层（7.0-8.0m）以及第十层（8.0m 以下），本次主要划定 0-8.0m 的污染范围情况。

6.2.2 调查地块土壤修复/管控范围和土方量

6.2.2.1 第一层（0-0.5 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第一层 0-0.5m 以内的修复/管控范围主要包括：A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9 共 9 个区域，污染物为砷。该层各分区修复范围情况如下，详细见错误!未找到引用源。，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第一层（0-0.5m）修复/管控总面积为 13062.98m²，修复/管控土方量为 6531.49m³。

6.2.2.2 第二层（0.5-1.0 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第二层 0.5-1.0m 以内的修复/管控范围主要包括：B1、B2、B3、B4、B5、B6 共 6 个区域，污染物为砷。该层各分区修复范/管控围情况如下，详细见错误!未找到引用源。，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第二层（0.5-1.0m）修复/管控总面积为 19137.44m²，修复/管控土方量为 9568.72m³。

6.2.2.3 第三层（1.0-2.0 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第三层 1.0-2.0m 以内的修复范围主要包括：C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C8 共 8 个区域，污染物为砷。该层各分区修复/管控范围情况如下，详细见错误!未找到引用源。，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第三层（1.0-2.0m）修复/管控总面积为 25558.56m²，修复/管控土方量为 25558.56m³。

6.2.2.4 第四层（2.0-3.0 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第四层 2.0-3.0m 以内的修复/管控范围主要包括：D1、D2、D3 共 3 个区域，污染物为砷。该层各分区修复/管控范围情况如下，详细见错误!未找到引用源。，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第四层（2.0-3.0m）修复/管控总面积为 24055.27m²，修复/管控土方量为 24055.27m³。

6.2.2.5 第五层（3.0-4.0 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第五层 3.0-4.0m 以内的修复范围主要包括：E1、E2、E3、E4、E5、E6、E7 共 7 个区域，污染物为砷。该层各分区修复范围情况如下，详细见错误!未找到引用源。，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第五层（3.0-4.0m）修复/管控总面积为 27230.19m²，修复/管控土方量为 27230.19m³。

6.2.2.6 第六层（4.0-5.0 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第六层 4.0-5.0m 以内的修复/管控范围主要包括：F1、F2、F3、F4、F5、F6 共 6 个区域，污染物为砷。该层各分区修复/管控范围情况如下，详细见错误!未找到引用源。，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第六层（4.0-5.0m）修复/管控总面积为 24158.40m²，修复/管控土方量为 24158.40m³。

6.2.2.7 第七层（5.0-6.0 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第七层 5.0-6.0m 以内的修复范围主要包括：G1、G2、G3、G4 共 4 个区域，污染物为砷。该层各分区修复范围情况如下，详细见错误!未找到引用源。，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第七层（5.0-6.0m）修复/管控总面积为 22507.73m²，修复土方量为 22507.73m³。

6.2.2.8 第八层（6.0-7.0 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第八层 6.0-7.0m 以内的修复范围主要包括：H1、H2、H3、H4 共 4 个区域，污染物为砷。该层各分区修复/管控范围情况如下，详细见错误!未找到引用源。，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第八层（6.0-7.0m）修复/管控总面积为 19937.21m²，修复/管控土方量为 19937.21m³。

6.2.2.9 第九层（7.0-8.0 m）的土壤修复/管控范围及土方量

调查地块第二类用地第九层 7.0-8.0m 以内的修复/管控范围主要包括：J1、J2、J3、J4、J5 共 5 个区域，污染物为砷。该层各分区修复/管控范围情况如下，详细见综上，老油库地块第二类用地深度在 0-8.0m 范围内各分层单一重金属砷污染总修复面积为 195808.70m²，0-8.0m 污染修复投影面积为 34214.92 m²，0-8.0m 污染总修复，超筛选值范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第九层（7.0-8.0m）修复/管控总面积为 20160.92m²，修复/管控土方量为 20160.92m³。

6.2.2.10 深度在 8.0m 以下大致超筛选值范围图

调查地块历史上未进行过与砷有关的生产经营活动，经污染物识别砷并不是地块特征污染物，没有砷污染途径和污染源，在地块规划为二类用地的前提下，现有调查深度足以判断地块内污染情况。地块出现了砷超过第二类用地筛选值的情况，其成因是由于非人为因素区域地层地质因素造成。报告明确了 0-8 米深度的土壤砷超标范围，该深度已包括后续开发中可能扰动或对人体健康危害的土层，无需调查至无超筛选值深度或基岩。但 8 米深度以下的土壤砷超标准范围尚不确定，因此本次调查无法准确的划定 8m 以下超标范围。报告仅根据现有调查结果，粗略统计了调查地块第二类用地 8.0m 以下土壤砷超筛大致范围主要包括：K1、K2、K3、K4、K5、K6，共 6 个区域，污染物为砷。该层各分区情况如下，主要拐点坐标详细见错误!未找到引用源。，超筛范围图见错误!未找到引用源。所示。

地块内第二类用地第十层（8.0m 以下）土壤砷超修复目标值范围总面积为 14804.17m²。

6.2.3 调查地块 0-8.0m 土壤总修复/管控范围和土方量

调查地块第二类用地的整体修复/管控范围主要包括：Q1、Q2、Q3、Q4、Q5 共 5 个区域，污染物为砷，各分区修复/管控范围情况如下。

综上，老油库地块第二类用地深度在 0-8.0m 范围内各分层单一重金属砷污染总修复面积为 195808.70m²，0-8.0m 污染修复投影面积为 34214.92 m²，0-8.0m 污染总修复

土方量预估为 179708.49m³；地块内 8.0m 以下超修复目标值面积为 14804.17 m²，深度为 8.0-18.0m。故本地块深度 0-8.0m 的修复范围及修复土方量见如下**错误!未找到引用源。**。整体修复范围拐点坐标详细见**错误!未找到引用源。**，整体修复范围图见**错误!未找到引用源。**所示。

6.3 超一类用地污染土壤的监管范围及措施

老油库地块未来规划用途为第二类用地（公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2）），对于地块中超过第二类修复目标值的土壤要进行修复。根据调查地块初步调查结果，考虑到地块内污染物（除砷外）第二类用地筛选值标准要宽于第一类用地，可能使未超过第二类用地筛选值的土壤样品超过第一类用地筛选值标准，如下**错误!未找到引用源。**所示，第二类用地中存在 2 个点位超相应的第一类用地筛选值未超第二类用地筛选值的情况，存在这种情况的超筛指标为：镍、石油烃（C₁₀-C₄₀）共 2 项指标。上述超筛选值污染物分布在地块中部的储罐区区域、污水处理站污油罐区域。

调查地块中需要对超第一类用地筛选值但未超第二类用地筛选值点位进行土壤去向监管，这类土壤范围如**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**所示。

Z1 区域：本区域超第一类用地筛选值未超第二类用地筛选值的点位为 2S8，污染物为石油烃（C₁₀-C₄₀），结合地块区域未来规划以及现场条件，以周边石油烃（C₁₀-C₄₀）未超第一类用地筛选值的初调点位确定其区域监管范围，管理面积为 1778.29m²，需管理深度为 0-2.1m。

Z2 区域：本区域超第一类用地筛选值未超第二类用地筛选值的点位为 1S15，污染物为重金属镍，结合地块区域未来规划以及现场条件，由于该区域北侧为地块边界，边界附近无控制点，因此北侧区域以垂直于边界以及地块红线拐点进行确认，其余周边重金属镍未超第一类用地筛选值的初调点位确定其区域监管范围，管理面积为 903.75m²，需管理深度为 0-1.3m。

老油库地块储罐区及污水处理站污油罐区域风险监管总面积为 2682.04m²，最大管理深度范围为 0-2.1m。

上述点位区域在后续的修复和建筑施工时，要做好相应的土壤去向管理措施，避免外运到第一类用地区域中。

第七章 结论与建议

7.1 地块风险评估结论

根据调查地块未来规划，地块规划为第二类用地公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2）。按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的规定，整个地块均属于第二类用地方式，对调查地块以第二类用地进行评价，对地块内关注污染物进行人体健康风险评估。结果显示：

（1）基于调查地块第二类用地方式下，地块土壤砷（非地块特征污染物）超出了我国设定致癌风险值可接受水平 10^{-6} 或非致癌危害商值小于 1 的水平，对未来用地方式下使用人群存在健康隐患。

（2）土壤超过修复/管控目标值状况

将调查地块初步调查、详细调查阶段采集的土壤样品检测数据与修复/管控目标值比对后，整个地块规划为第二类用地的土壤受到不同程度的砷污染。砷在地块内共有 88 个土壤点位采集的 405 个土壤样品中含量超过第二类用地修复/管控目标值 60mg/kg。上述超筛选值点位主要分布在地块中部平台、东部平台、总变配电站区域以及南北两侧靠近山坡区域。

（3）地块 0-8.0m 的土壤污染修复/管控范围和土方量

老油库地块后续开发为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），在第二类用地 0-8.0m 内各分层单一污染物砷总修复/管控面积为 195808.70m²，0-8.0m 污染修复/管控投影面积为 34214.92m²，修复/管控深度在 0~8m，0-8.0m 内总修复/管控土方量为 179708.49m³。

（4）第二类用地污染土壤的风险管控范围

老油库地块第二类用地方式下，对于超过第二类用地修复目标值的土壤要进行修复或管控，使其达到第二类用地的要求；考虑到第二类用地筛选值宽于第一类用地筛选值，存在超过一类筛选值未超过二类筛选值的土壤，应对这类土壤做好去向管理措施，禁止外运至一类用地区域中。

经计算老油库地块储罐区及污水处理站污油罐区域土壤去向管理总面积为2682.04m²，最大管控深度范围为0-2.1m。因此，上述点位区域在后续的修复和建筑施工时，要做好相应的土壤去向管理措施，避免外运到第一类用地区域中。

(5)本地块部分钻孔揭示中风化层砷含量超标，最深钻孔18米深度风化层砷含量仍然超标，推测地块土壤砷超标原因为区域地质因素引起。报告明确了0-8米深度的土壤砷超标范围，但8米深度以下的土壤砷超标准确范围尚不确定。因此，基于本项目调查及风评结论，地块8m以下土壤在未确定土壤砷超标准确范围情况下应不可进行相应的开发工程。若在未来的地块环境管理与再开发利用过程中，如涉及8米深度以下土壤开挖，则需要重新开展地块土壤污染调查以及风险评估工作。

7.2 建议

(1)老油库地块中土壤污染物中砷存在不同程度超筛选值，并对人体存在健康风险，建议采取有效的管控措施，结合场地的规划用途，对超筛选值土壤进行修复管控工作，降低健康风险，保障人体健康。

(2)经计算老油库地块存在超过一类筛选值未超过二类筛选值的土壤，该部分土壤需做好去向管理措施。调查地块未来规划为公园绿地（G1，不含社区公园和儿童公园）、军事用地（H41）、防护绿地（G2），后续开发不进行土方开挖等施工工作，不会对地块污染土进行扰动。因此做好相应的土壤开发管理，避免开挖。如确需外运，应做好土壤去向管理措施，避免将这部分土壤外运至第一类用地区域。

(3)调查地块由于地质因素造成的砷污染，且砷浓度较高普遍集中在靠近山体区域，而山体挡土墙区域下面的土壤不会被扰动。从地块规划类型和降低工程成本的原则出发，因此建议采用硬化阻隔等工程措施隔断土壤颗粒物暴露途径，防止污染扩散。在施工过程中，应加强作业的健康防护和作业区的消防防护，保证施工安全。

(4)在本次调查工作完成后至该地块场地环境修复方案经环保部门备案前，场地责任单位应对待修复区域进行必要的管理和保护，避免待修复区域受到扰动，影响下一步环境修复工作。具体保护措施为：对污染区域进行围蔽，并在污染区域边界悬挂明显标识，避免污染区域在无任何环保措施下进行开挖及扰动活动，确保下一步修复工作的顺利开展和环境安全。

(5) 建议在老油库地块后续开发、建设前及过程中，在地块风险评估的基础上，根据需要安装、完善和加强水平阻隔措施，阻断土壤中污染物砷迁移、扩散的路径。例如安装 HDPE 膜阻隔层、完善地块内地面水泥硬化、封堵现有硬化地面裂缝等。

(6) 本地块部分钻孔揭示中风化层砷含量超标，最深钻孔 18 米深度风化层砷含量仍然超标，推测地块土壤砷超标原因为区域地质因素引起。报告明确了 0-8 米深度的土壤砷超标范围，但 8 米深度以下的土壤砷超标准确范围尚不确定，因此，在未来的地块环境管理与再开发利用过程中，如涉及 8 米深度以下土壤开挖，则需要重新开展地块土壤污染调查以及风险评估工作。

(7) 在土地使用权人发生变更时，应做好移交土壤污染防治责任的工作，将地块环境状况和管理责任充分告知未来的业主，并做好污染区域相关资料交接。