

中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块
土壤污染修复项目

效果评估报告
(公示版)

委托单位：中山市中垣物业拓展有限公司

效果评估单位：生态环境部华南环境科学研究所

广州浩瀚海洋科技有限公司

2026 年 09 月

摘要

➤ 项目名称：中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块土壤污染修复效果评估

➤ 委托单位：中山市中垣物业拓展有限公司

➤ 调查单位：中山市环境保护技术中心

➤ 第 1 次和第 2 次风险评估单位：中山市环境保护技术中心

➤ 第 3 次风险评估单位：中山市环境保护科学研究所有限公司、广东省环境科学研究院

➤ 异味调查单位：生态环境部环境规划院

➤ 第一阶段和补充修复阶段施工单位：北京建工环境修复股份有限公司（以下简称“北建工”）

➤ 第二阶段施工单位：中山公用工程有限公司、广东广业禹航环境科技有限公司（以下简称“中山公用/广业禹航”）

➤ 第三阶段施工单位：中山翠亨市政工程有限公司（以下简称“翠亨市政”）

➤ 第一阶段及补充修复阶段工程监理：深圳锦洲工程管理有限公司

➤ 第二阶段工程监理：东信工程管理有限公司

➤ 第三阶段工程监理：广东律诚工程咨询有限公司

➤ 环境监理：广东省环境科学研究院

➤ 修复效果评估单位：生态环境部华南环境科学研究所、广州浩瀚海洋科技有限公司

➤ 未来规划：公园绿地（G1，不涉及 G1 类中的社区公园和儿童公园用地）和城市道路用地（S1）

➤ 各阶段施工主要情况：

第一阶段施工：施工工期为 2021.09.02—2022.08.20；土壤污染面积为 24553.63 m²，污染土壤方量为 178041.75 m³，土壤最大污染深度为 19.9 m。地下水污染面积为 17278.02 m²，地下水最大污染深度为 14 m；土壤中污染因子共 12 种，分别是铅、汞、苯、甲苯、乙苯、1，2-二氯苯、1，4-二氯苯、1，2-二氯乙烷、二氯甲烷、氯仿、一溴二氯甲烷、总石油烃，地下水中的目标污染物共 6 种，分别是苯、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、氯仿、四氯化碳、总石油烃；采用修

复工艺为：原位热脱附、原位化学氧化、淋洗、水泥窑协同处置、常温解吸。

第二阶段施工：主要施工工期为 2023.05.11—2023.10.09，修复方量为 36398.00m³，修复面积为 9809m²，修复的污染因子为：汞、石油烃（C₁₀-C₄₀）、乙苯、1,2-二氯乙烷、氯仿、1,4-二氯苯、1,2-二氯苯、苯；采用原位化学氧化、水泥窑协同处置、淋洗工艺。

补充修复阶段施工：施工工期为 2025.06.01—2025.06.30，该阶段主要关注污染因子为：苯、甲苯、乙苯、1, 2-二氯苯、1, 4-二氯苯、1, 2-二氯乙烷、二氯甲烷、氯仿、一溴二氯甲烷、石油烃（C₁₀-C₄₀），涉及土壤污染面积为 6864.82 m²，污染土壤方量为 26882.30 m³，土壤最大污染深度为 13.0 m；采用原位化学氧化技术。

第三阶段施工：施工工期为 2026.04.22-2026.07.31，涉及异味治理管控面积共 24930.57m²，采用水平阻隔工艺。

效果评估情况：

（1）已完成阶段性效果评估情况：

1）第一阶段效果评估（针对第一阶段涉及基坑）：2023 年 4 月，针对第一阶段施工形成基坑（JK1~JK9）进行专家评审验收，涉及污染土壤总计为 18968.68m³，含重金属单一污染土壤 6720.29m³、重金属有机复合污染土壤 10849.99m³、有机单一污染土壤 1398.40m³。

2）第二阶段效果评估（针对第二阶段涉及基坑）：2025 年 8 月，针对第二阶段施工产生基坑（JK10）进行专家评审验收，涉及污染土方量总计 7489.12m³，含重金属单一污染土壤 4964.66m³、重金属有机复合污染土壤 2477.98m³、有机单一污染土壤 46.48m³。

（2）第三阶段效果评估（本阶段效果评估内容）

包含第一阶段、第二阶段施工中的未验收区域，涉及有机单一污染土壤 151583.95m³，地下水修复 17278.02m²；第三阶段异味治理修复效果验收 24036.05m²及各阶段施工过程涉及潜在二次污染区土壤。主要验收采样情况为：

针对单一有机污染土壤：共涉及两次验收采样，第 1 次为 2025 年 8 月针对异味调查发现超标开展的验收采样，布设 68 个点位，采集样品 316 件，检出结果表明受检样品已满足风评修复目标要求；第 2 次为 2026 年 1 月针对第二版风

评（2022 年版）划定的暂未完成验收的全部污染土壤，总计布点 201 个、采集样品 983 件，检出结果表明受检样品已满足风评修复目标要求。

针对修复地下水：2023 年 10 月—2024 年 9 月达标初判期，布点 16 组合计 38 口监测井，按 1-2 个月间距采集 8 批次地下水样，8 个批次采样数据均低于修复目标值，不同时期地块地下水流场整体趋于稳定；2024 年 12 月—2026 年 4 月，修复效果评估期，共布设 22 组合计 64 口监测井，按 1-3 个月间距采集 9 批次样品，各批次数据显示修复后地下水质总体较稳定，嗅和味处于等级 1～等级 3。目标污染物满足风评目标要求，表明污染地下水修复效果合格。

针对第三阶段异味治理：

1) 工程性能评估。结合施工过程资料及相关检测报告，土工布、HDPE 土工膜等主要材料性能合格；HDPE 膜焊接电火花完整性检测合格，未检出泄漏破损点；粘土回填压实度满足设计不小于 87% 控制指标。各道工序合格，整体工程性能满足设计要求。

2) 水平阻隔客土。2026 年 6 月 6 日采集水平阻隔用客土 27 件，各样品受检指标均满足 GB36600 一类用地筛选值标准。

3) 土壤气。2026 年 5 月、2026 年 9 月，于异味治理区施工前后各进行 1 次土壤气采样，检测结果表明施工前后共计 10 件土壤气样品检出浓度均低于评估标准限值，且施工后检出浓度总体低于施工前。

4) 环境空气。2026 年 5 月-2026 年 8 月，对五、六七地块整体环境空气质量进行采样监测，施工前、中、后期各开展 1 次，3 次环境空气采样共计 19 个空气样品检测结果均满足评价标准。

5) 嗅辨评估。2026 年 5 月-2026 年 9 月，对五、六七地块整体进行嗅辨评估，施工前、中期各开展 1 次，施工后开展 2 次，4 次嗅辨共计 46 个嗅辨点评估结果表明臭气强度最高等级从第 1 次采样的 2 级已降至第 4 次采样的 0 级，异味治理效果较明显。

针对潜在二次污染区：2026 年 5 月 9 日—2026 年 5 月 13 日，2026 年 8 月 24 日—2026 年 8 月 25 日，共布设 45 个表层点位采集 45 件样品，均满足风评目标要求。

1. 概况

1.1. 项目背景

本项目场地为中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块，地块面积约为 51339.3 m²，位于濠江西路以北，中山市东区蝴蝶桥社区体育公园以南，起湾道西侧，长江北路东侧。本地块原始所属企业为凯中公司，1993 年至 2019 年在该地块的部分区域从事农药、日用化学品、气雾剂等产品的生产经营活动。该企业在长期生产过程中造成地块内土壤和地下水的严重污染，在土地未来开发利用过程中将对居住人群产生健康风险。

（1）场地调查和第 1 次风险评估

2019 年 5 月，中山市中垣物业拓展有限公司委托中山市环境保护技术中心对本地块开展环境调查和风险评估工作。2021 年 3 月，中山市环境保护技术中心完成场地调查工作，《中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块土壤污染状况调查报告》经专家评审后于 2021 年 3 月 25 日完成备案工作。在此工作基础上，风险评估单位针对本地块开展风险评估工作，《中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块风险评估报告》（以下简称“《风险评估报告》（2021 年版）”）经报告经专家评审后于 2021 年 8 月完成了省级主管部门备案工作。

（2）第一阶段施工

2021 年 5 月，中山市中垣物业拓展有限公司委托确定由北京建工环境修复股份有限公司（以下简称“北京建工”）开展第一阶段施工工作，土壤污染方量共计 148732.39 m³，地下水污染面积为 17278.02 m²。北京建工于 2021 年 9 月完成《修复方案》的专家评审和备案工作，采用的修复技术分别是原位化学氧化、原位热脱附、常温解吸、淋洗、水泥窑协同处置技术。2022 年 8 月，北京建工完成全部第一阶段施工工作。

（3）第 2 次风险评估

2022 年 1 月，由于目标地块原土壤污染风险评估报告中确定的相关风险参数发生变化。按照相关要求，该地块重新提交的《中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块土壤污染风险评估报告》（以下简称“《风险评估报告》（2022 年版）”）经专家评审后，并于同年 4 月 20 日完成省级备案。

(4) 第一阶段效果评估验收采样（仅针对第一阶段基坑工程）

2022.07—2023.03，生态环境部华南环境科学研究所和广州浩瀚海洋科技有限公司对第一阶段施工中所涉及的基坑开展效果评估工作，采样验收对象主要基坑底部和侧壁（JK1—JK9）、待回填土壤、水泥窑协同处置土壤等。检测结果表明基坑工程中涉及的污染土壤修复达到风评及修复方案要求。

(5) 第一阶段效果评估专家评审会（仅针对第一阶段基坑工程）

2023 年 4 月 23 日，广东省固体废物和化学品环境中心组织召开第一阶段修复效果评估专家评审会，评审对象主要是基坑（JK1—JK9）、基坑污染土修复情况、待回填土壤。专家评审结论为：效果评估报告内容基本全面，修复效果达到土壤污染《风险评估报告》等文件确定的修复目标，基坑清挖效果达标，待回填土可以回填至基坑。

(6) 第二阶段施工

根据《风险评估报告》（2021 年版）和《风险评估报告》（2022 年版）对比得知，本地块新增污染土壤方量为 38742.40 m³。2023 年 3 月，建设单位委托中山公用工程有限公司与广东广业禹航环境科技有限公司采用淋洗、水泥窑协同处置技术、原位化学氧化技术开展施工修复，并于 2023 年 9 月完成第二阶段修复工作。

(7) 地下水达标初判

本项目地下水污染面积共计 17278.02 m²，地下水修复技术为原位化学氧化和原位热脱附。2023 年 10 月，第一阶段施工单位开始对本地块修复后的地下水开展达标初判工作。第一阶段施工单位共建设 38 口地下水监测井开展地下水监测工作，共计开展 8 个批次的监测，共计持续 1 年。在达标初判阶段，地下水中污染物浓度均低于修复目标值，因此判断地下水达到修复目标。

(8) 地下水修复效果评估

2024 年 12 月，效果评估单位开始对完成达标初判后的地下水开展修复效果评估监测工作，共布设 64 口地下水监测井开展 9 个批次的监测，监测时间持续至 2026 年 4 月。在地下水修复效果评估阶段，每口监测井中的检测指标均持续稳定达标，地下水达到修复效果。

(9) 异味调查

2024 年 10 月，为推动项目的整体进展和异味修复工作，建设单位委托生态环境部环境规划院对本地块开展土壤异味调查。生态环境部环境规划院编制的《异味调查报告》于 2025 年 3 月通过了专家评审及复核等工作。

《异味调查报告》表明：（1）本地块仍存在一定的健康风险，超标点位及范围主要位于前期《风险评估报告》确定的土壤修复区域边缘，污染面积为 6864.82 m²，污染方量为 26882.30 m³。（2）本地块存在异味问题，异味超标面积为 11139.99 m²，总方量为 29259.81 m³。

（10）补充修复施工

2025 年 5 月，针对《异味调查报告》中具有健康风险的污染土壤量为 26882.30 m³，为防止污染的扩散迁移，建设单位委托北京建工开展补充修复施工，北京建工采用原位化学氧化技术开展修复，并于 2025 年 6 月完成补充修复施工工作。

（11）第二阶段效果评估验收采样（仅针对第二阶段基坑工程）

2023 年 7 月，对第二阶段施工中所涉及的基坑开展效果评估验收采样工作，采样验收对象主要基坑底部和侧壁（JK10）、待回填土壤、水泥窑协同处置土壤等。2025 年 7 月，效果评估单位针对基坑工程开展补充采样工作。检测结果表明基坑工程中涉及的污染土壤修复达到风评及修复方案要求。

（12）第二阶段效果评估专家评审会（仅针对第二阶段基坑工程）

2025 年 8 月 27 日，广东省固体废物和化学品环境中心组织召开第一阶段修复效果评估专家评审会，评审对象主要是基坑（JK10）、基坑污染土的修复情况、待回填土壤。专家评审结论为：效果评估报告内容基本全面，修复效果基本达到土壤污染《风险评估报告》等文件确定的修复目标，基坑清挖效果达标，待回填土可以回填至基坑。

（13）未来规划变更

本地块前期规划用途涉及居住用地（R）、商业服务业设施用地（B）、公园绿地（G，不涉及 G1 中的社区公园和儿童公园用地）和城市道路用地（S1），涵盖《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）规定的第一类和第二类用地。2025 年 11 月 20 日，中山市人民政府已将地块规划调整为公园绿地（G，不涉及 G1 中的社区公园和儿童公园用地）和城市道路用地（S1）。地块所属用地类型全部变更为《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管

控标准》（GB36600）规定的第二类用地。

（14）第 3 次风险评估

根据《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）的第三条、第三款相关要求，本地块应当重新申请对风险评估报告进行评审。

2025 年 10 月，建设单位委托中山市环境保护科学研究院有限公司、广东省环境科学研究院开展第 3 次风险评估工作。2026 年 3 月 4 日，风险评估单位编制的《中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块补充土壤污染风险评估报告（基于规划调整和异味调查结果）》（以下简称“《补充风险评估报告》”）经专家评审及复核后完成省级主管部门备案工作。值得注意的是，《补充风险评估报告》是《风险评估报告》（2022 年版）的补充。

（15）第三阶段施工

鉴于本地块土壤中 1,2-二氯苯、氯仿和甲苯的浓度均超过异味物质控制值，为确保地块环境安全与未来开发使用的可持续性，建设单位计划开展第三阶段施工，水平阻隔区域划分为覆膜覆土区和覆土区，面积分别为 13101.51m²和 11829.06 m²。

2026 年 3 月，建设单位委托中山翠亨市政工程有限公司开展第三阶段施工工作。2026 年 4 月，施工单位编制《土壤异味治理修复方案》经过专家评审后完成备案工作。施工单位采用水平阻隔技术开展施工，施工并于 2026 年 7 月完成施工工作。

（16）第三阶段效果评估验收采样

2026 年 1 月—2026 年 9 月，效果评估单位对本地块第一、二阶段施工未验收的修复污染土壤、第三阶段异味治理施工及潜在二次污染区开展效果评估验收采样工作，检测结果表明本地块修复及治理效果满足风评修复目标要求。

1.1. 项目基本情况

（1）初调、详调情况

调查单位于 2019 年 5 月启动第一阶段调查工作，2019 年 11 月启动第二阶段土壤污染状况初步调查，2020 年 4 月启动土壤污染状况详细调查，调查结果显示目标地块的土壤样品中共有 12 项指标的检测浓度超过对应的筛选值或管控

值，分别为铅、汞、苯、甲苯、乙苯、一溴二氯甲烷、氯仿、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、1,4-二氯苯、1,2-二氯苯和石油烃（C₁₀-C₄₀），其中 1,2-二氯苯和甲苯的检测浓度超过其管制值。

地下水中共有 15 项指标的检测浓度超过对应的筛选值，分别为苯、甲苯、乙苯、二甲苯、一溴二氯甲烷、四氯化碳、氯苯、氯仿、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、1,2,3-三氯丙烷、1,2-二氯苯、1,1,2,2-四氯乙烷和总石油烃。

（2）第一次风险评估结果

第一版风评于 2021 年完成备案。该版风评显示：

第一类用地内土壤主要污染物主要为苯、1,4-二氯苯、1,2-二氯乙烷、氯仿、总石油烃、1,2-二氯苯、汞、二氯甲烷、甲苯和铅，超过修复目标值的合计土方量为 97971.16m³；地下水主要修复污染物主要为苯、1,2-二氯乙烷、氯仿和二氯甲烷，地下水需要修复的污染面积为 11996.06m²，最大污染深度为 14m。

第二类用地内土壤主要污染物主要为氯仿、总石油烃、1,2-二氯苯、汞、甲苯和铅，超过修复目标值的合计土方量为 50761.23m³；地下水主要污染物为氯仿和四氯化碳，地下水需要修复的污染面积为 5294.29m²，最大污染深度为 14m。

（3）第二次风险评估结果

2022 年 4 月，因风评参数调整致修复目标及修复范围出现变更，风评单位重新编制相应风评报告及备案。同时，新版风评补充了非水有机相液体识别及恶臭物质调查评估内容。

新版风险评估结果显示：一类用地土壤新增一溴二氯甲烷、乙苯指标，地下水新增石油烃、四氯化碳指标；二类用地土壤新增 1,2-二氯乙烷指标、地下水新增 1,2-二氯乙烷指标，各污染物修复目标值总体趋严。

污染土壤方量为 178041.75m³（相比原方案增加 29309.36m³），污染地下水方量为 36890.30m³（因拐点坐标正常误差，导致相比原方案减少 26.32m³）。

（3）异味调查评估结果（2025 年 3 月）

本地块第一阶段和第二阶段调查共布设 109 个土壤点位，采集 1314 个土壤样品，布设 35 个地下水点位，采集 68 个地下水样品，布设 26 个土壤气点位，采集 28 个土壤气样品，布设 32 个环境空气点位，采集 34 个环境空气样品。根据检测结果统计分析：

1) 异味污染状况：土壤中甲苯、1,2-二氯苯、氯仿等 3 项指标浓度超过了异味控制限值（分别为：183.88mg/kg、151.74mg/kg、155.72mg/kg），超标点位及范围主要位于前期《风险评估报告》确定的土壤修复区域，超标总面积为 11139.99m²，总方量为 29259.81m³。土壤气中氯仿超出嗅阈值，超标点位 4 个，主要位于前期《风险评估报告》确定的土壤修复区域。环境空气中臭气浓度、氨、甲苯等 3 项指标浓度大于《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）排放限值或嗅阈值，超标点位 7 个，主要位于前期《风险评估报告》确定的土壤修复区域。

2) 环境风险状况：在规划为一类用地的区域，土壤中石油烃（C₁₀-C₄₀）、苯、1,2-二氯苯等 3 项指标浓度超出前期《风险评估报告》确定的修复目标值（分别为 1076.12mg/kg、1.77mg/kg、560mg/kg），氯苯浓度超过了《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中的一类用地筛选值（68mg/kg）；在规划为二类用地的区域，土壤中 1,2-二氯乙烷、1,2-二氯苯、氯仿等 3 项指标浓度超出前期《风险评估报告》确定的修复目标值（分别为 5mg/kg、560mg/kg、1.79mg/kg）；超标点位及范围主要位于前期《风险评估报告》确定的土壤修复区域，超标总面积为 7384.55m²，总污染方量为 26882.30 m³。

（4）补充土壤污染风险评估报告（2026 年 2 月，基于规划调整和异味调查结果）

1. 根据前期异味调查结果，土壤关注污染物为氯仿、1,2-二氯乙烷、苯、氯苯、1,2-二氯苯；地下水关注污染物为甲苯、氯苯、1,2-二氯苯。根据风险表征结果，在公园绿地（G1）和城市道路用地（S1）以及该区域地下水不饮用等条件下，目标地块土壤中 1,2-二氯乙烷、氯仿风险不可接受，苯、1,2-二氯苯、氯苯风险可接受。本地块土壤中 1,2-二氯苯指标最大浓度均超过第二类用地管制值，根据《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）规定，建设用地土壤中污染物含量高于风险管制值，应当采取风险管控或修复措施。地下水关注污染物甲苯、氯苯、1,2-二氯苯风险可接受。

2. 为维护项目在不同阶段风险评估结果的延续性与逻辑一致性，并遵循修复过程中保守、审慎以及各项措施有效衔接的原则，经综合论证，本次补充风险

评估决定继续采用已备案风险评估报告中确定的各污染物修复目标值,对于本次补充风险表征结果显示风险可接受的污染物仍沿用已备案风险评估报告中对应的修复目标值进行修复。土壤中氯仿、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯苯、苯、氯苯的修复目标值分别为 1.79 mg/kg、5mg/kg、560 mg/kg、1.77mg/kg、270mg/kg; 深度为 0.3—12.9m, 总投影面积约为 4955.29 m², 土方量约为 23496.32 m³。鉴于目标地块存在异味风险,为避免开挖过程中异味物质扩散及二次污染,建议本地块污染土壤优先采用原位修复方式。考虑到修复区域存在土壤超异味物质控制值的情况,需要先进行修复,确保修复后土壤污染物浓度低于上述修复目标值,后按照异味物质控制管理建议进行下一步管理。

3. 根据异味调查结果以及本次补充风险评估分析,地块新增超一不超二土壤后期环境管理指标为 1,2 二氯乙烷、氯仿、石油烃(C10-C40)、乙苯、氯苯、1,4-二氯苯 6 项,管理深度为 0-12.9 m,总投影面积约为 10371.01 m²,土方量约为 15468.98 m³;超二不超修土壤后期环境管理指标为 1,2 二氯乙烷、氯仿,管理深度为 2.8—6.0m,总投影面积约为 701.91 m²,土方量约为 2246.08 m³。

4. 根据异味调查结果以及本次补充风险评估分析,地块新增地下水后期环境管理范围指标为甲苯、氯苯、1,2-二氯苯,总面积约为 25371.19m²。

本次补充风险评估土壤异味控制目标值沿用修复后地块开展《异味调查报告》确定的控制值。本地块超土壤异味物质控制值指标甲苯、1,2-二氯苯、氯仿,深度为 0.3—12.9m,土壤异味物质控制范围总投影面积约为 10426.51 m²,土方量约为 27655.51m³。

根据异味物质控制值的计算方法,并结合拟采用的治理工艺:若采取工程阻隔控制方式,则需对土壤气和室外空气进行效果评估。其中,土壤气中异味物质的控制目标分别为:甲苯: 0.403 mg/m³、1,2-二氯苯: 0.131 mg/m³、氯仿: 0.544mg/m³;室外空气中异味物质的控制目标分别为:甲苯: 0.403 mg/m³、1,2-二氯苯: 0.131 mg/m³、氯仿: 0.356mg/m³。

5. 根据异味调查结果,对地下水超筛选值指标(氯苯、甲苯及 1,2-二氯苯)进行地下水污染迁移模拟评估,在 10 年模拟期内,分析结果表明,三类污染物均未对敏感点石岐河及红线外居民区构成显著环境风险。具体而言,所有污染物均未运移至石岐河;甲苯未迁移出地块红线;而氯苯与 1,2-二氯苯则分别在第 3

年与第 5.5 年运抵红线附近（氯苯向南侧红线（邻近居民区）迁移，1,2-二氯苯向西北侧红线（邻近石岐河）迁移）。尽管二者均存在向界外迁移的可能性，但其模拟浓度始终低于《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV类标准限值。为持续掌握地下水环境动态，防范潜在迁移风险，建议在地块移出相关风险名录后，于受影响的红线外围南侧居民区及西北侧石岐河邻近区域布设地下水长期监测井，并制定相应监测计划，重点跟踪氯苯与 1,2-二氯苯的浓度变化趋势。

1.2. 项目总体实施情况

（1）第一阶段施工（北建工实施）

2021 年 9 月，北京建工开展第一阶段施工工作，土壤污染方量共计 148732.39 m³，地下水污染面积为 17278.02 m²。北京建工于 2021 年 9 月完成《修复方案》的专家评审和备案工作，采用的修复技术分别是原位化学氧化、原位热脱附、常温解吸、淋洗、水泥窑协同处置技术。2022 年 8 月，北京建工完成全部第一阶段施工工作。

（2）第二阶段修复施工（中山公用/广业禹航实施）

根据《风险评估报告》（2021 年版）和《风险评估报告》（2022 年版）对比得知，本地块新增污染土壤方量为 38305.76 m³。2023 年 3 月，建设单委托中山公用工程有限公司与广东广业禹航环境科技有限公司采用淋洗、水泥窑协同处置技术、原位化学氧化技术开展施工修复，并于 2023 年 10 月完成第二阶段修复工作。

（3）补充修复施工（北建工实施）。针对异味调查发现超标区域开展补充修复

2025 年 5 月，针对《异味调查报告》中具有健康风险的污染土壤量为 26882.30 m³，为防止污染的扩散迁移，建设单位委托北京建工开展补充修复施工，北京建工采用原位化学氧化技术开展修复，并于 2025 年 6 月完成补充修复施工工作。

（4）第三阶段施工（翠亨市政实施）

鉴于本地块土壤中 1,2-二氯苯、氯仿和甲苯的浓度均超过异味物质控制值，为确保地块环境安全与未来开发使用的可持续性，建设单位计划开展第三阶段施工，土壤异味物质控制范围面积为 10426.51m²。

2026 年 3 月，翠亨市政开展第三阶段施工工作。2026 年 4 月，施工单位编

制《土壤异味治理修复方案》经过专家评审后完成备案工作。施工单位采用水平阻隔技术开展施工，施工并于 2026 年 7 月完成施工工作。

1.3. 效果评估总体开展情况

1.3.1. 效果评估工作范围

1.3.1.1. 第二版风评划定污染区

根据第二版风评报告（2022 年版）确定的土壤污染区域，风评划定的污染单元共计 79 个，其中 A 区分为 11 层、B 区分为 7 层。其编号为 A1-1、A1-2、A1-3、A1-4、A1-5、A1-6、A1-7、A1-8、A1-9、A1-10、A1-11、A1-12、A1-13、A1-14、A1-15、A2-1、A2-2、A2-3、A2-4、A2-5、A2-6、A2-7、A2-8、A2-9、A2-10、A2-11、A3-1、A3-2、A3-4、A4-1、A4-2、A4-3、A5-1、A5-2、A5-3、A6-1、A6-2、A6-3、A6-4、A7-1、A7-2、A7-3、A7-4、A8-1、A8-2、A8-3、A8-4、A9-1、A9-2、A9-3、A9-4、A10-1、A10-2、A11-1、A11-2、B1-1、B1-2、B1-3、B1-4、B1-5、B1-6、B1-7、B2-1、B2-2、B3-1、B3-2、B3-3、B4-1、B4-2、B5-1、B5-2、B5-3、B6-1、B6-2、B7-1。

污染土方量总计为 178041.75m³，其中重金属污染土方量约为 11684.95m³；有机物污染土方量约为 153028.83m³；重金属和有机物的复合污染土方量约为 13327.97m³。

此外，还涉及地下水修复面积 17278.02m²，修复方量 36890.3m³。

1.3.1.2. 第三版风评划定治理区

根据地块《补充风险评估报告》结果，本地块超土壤异味物质控制值指标为甲苯、1,2-二氯苯、氯仿，深度为 0.3-12.9m，土壤异味物质控制范围总投影面积约为 10426.51m²。根据地块异味治理修复方案，覆土或覆膜覆土阻隔区合计 24036.05m²。

1.3.2. 已开展效果评估情况

1.3.2.1. 第一阶段效果评估

本阶段效果评估已于 2023 年 4 月通过专家评审，该阶段评估范围包括风评报告划定的 A1-4、A1-11、A2-10、A2-6、A2-11、A2-7、A1-15、A1-3、A2-9、A1-2、A1-12、A1-14、B1-3、B1-4、B1-5、B1-6、B1-7 等共计 17 个单元，相应基坑编号为 JK1~JK9。该阶段涉及污染土壤总计为 18968.68m³。其中重金属单一污染土壤 6720.29m³、重金属有机复合污染土壤 10849.99m³、有机单一污染土壤 1398.4m³。各单元均涉及土方开挖，基坑成坑深度为 2 或 4.5m，评审通过后已完成基坑回填。

该阶段效果评估总体情况：

（1）基坑清挖

修复施工单位依据设计方案分层清挖后，经监理单位测量放线复核和自检合格后申请效果评估监测。效果评估监测单位分别于 2022 年 7 月 6 日~7 月 7 日对 JK1、7 月 7 日对 JK2、7 月 8 日对 JK3/4、7 月 13 日对 JK6、7 月 14 日对 JK9、7 月 14 日~7 月 15 日对 JK7/8（0-2.0m）、8 月 7 日~8 月 8 日对 JK7/8（0-4.5m）、10 月 29 日对 JK5 进行第一次采样。因部分基坑检出超标，于 8 月 16 日对扩挖后的 JK1、JK2、JK3/4、JK6、JK7/8（0-2.0m）进行第二次采样，共采集 182 个土壤样品（不包含现场平行样），其中基坑侧壁 147 个样品，基坑底部 35 个样品；于 2023 年 3 月 2~3 月 3 日对 JK2、JK3~4、JK9 进行污染指标加测补充采样，共采集 7 个坑底样、16 个侧壁样。

监测和评估结果表明，本项目阶段性效果评估基坑坑底及侧壁中目标污染物含量均低于修复目标值，表明该基坑内的污染土壤和基坑侧壁均已达到《风评报告》和《修复方案》确定的修复目标值，且根据现场采样土壤记录表和现场踏勘发现，清挖完成后的基坑土壤性状无颜色异常和气味异常等感官反应的环境风险影响，可满足下一阶段施工要求。

（2）异位修复后土壤

本部分样品包括 A 区待回填土、B 区待回填土、常温解吸待回填土、筛上物（渣石）堆体、清洁土 1~2 号堆体。效果评估监测单位分别于 7 月 31 日对 B

区回填土堆体、8月4日对清洁土1号堆体、8月5日对常温解吸待回填土、8月10日对筛上物（渣石）堆体、10月30日对A区待回填土、10月31日对清洁土2号堆体进行第一次采样，共采集64个样品。其中于A区待回填土堆体采集22个土样、B区回填土堆体采集15个样品、常温解吸待回填土堆体采集6个样品、清洁土1号堆体采集6个样品、筛上物（渣石）堆体采集5个样品、清洁土2号堆体采集10个样品。

监测和评估结果表明，本项目阶段性效果评估异位修复后土壤均已达到《风评报告》和《修复方案》确定的修复目标值，且根据现场采样土壤记录表和现场踏勘发现，修复后土壤无颜色异常和气味异常等感官反应的环境风险影响，可满足下一阶段施工要求。

（3）污染土壤水泥窑协同处置产品

本项目采取水泥窑协同处置技术的土壤主要来自于基坑JK1—JK8中污染土壤经淋洗后形成的污染土壤，共计4519.60 m³，经过17天全部完成妥善处置。根据《水泥窑协同处置固体废物技术规范》（GB30760—2014）相关要求，对水泥熟料中污染物总量和浸出含量进行检测，检测结果表明水泥熟料中污染物含量和浸出含量均符合相关要求。此外，对生产的水泥质量进行抽检，结果表明水泥试块的烧矢量、氯离子、3天抗折强度和3天抗压强度等指标均能满足生产使用的要求。

综上，本项目阶段性效果评估基坑坑底及侧壁、异位修复后土壤均已达到《风评报告》和《修复方案》确定的修复目标值，结合对水泥窑协同处置相关资料的审核，表明基坑污染土的修复达到风评及修复方案要求，可满足下一阶段基坑回填要求。

1.3.2.2. 第二阶段效果评估

该阶段效果评估已于2025年8月通过专家评审，评估对象为A1-13、A1-1、A2-8、A2-5（部分）风评单元，相应基坑编号为JK10，涉及污染土方量总计7489.12m³，其中涉及开挖污染土方量为7442.64m³（含重金属-有机复合污染土壤2477.98m³、重金属单一污染土壤4964.66m³）、非开挖污染土方量为46.48m³（对应有机单一污染土壤），最大开挖深度为4.5m。

表 1.3-1 第二阶段效果评估验收区域

风评单元	施工编号	修复面积 (m ²)	修复深度 (m)	污染土方量 (m ³)	污染类型	备注
A1-13	6-5/6-7	1238.99	0-2	2477.98	汞、石油烃、 乙苯复合污染	
A1-1	6-12/6-13	1515.18	0-2	3030.36	汞重金属污染	
A2-8	6-13	773.72	2-4.5	1934.30	汞重金属污染	
A2-5	6-5	232.39	2-2.2	46.48	石油烃有机污 染	部分 单元
合计		2754.17	/	7489.12	/	

备注：1) 本次仅验收风评划定的部分 A2-5 区；2) 修复面积指水平投影面积，A2-8 完全重合于 A1-1 区底部。

该阶段效果评估总体情况：

（1）原位修复

修复施工单位依据设计方案开展原位化学氧化修复施工，经监理单位测量放线复核和自检合格后申请效果评估监测。效果评估监测单位于 2023 年 7 月 8 日、2025 年 7 月 15 日对本阶段验收涉及原位修复区及可能影响周边区进行采样，依据规范要求共布点 23 个、采集样品 61 件。

监测和评估结果表明，本项目阶段性效果评估基坑范围内涉及原位修复后土壤目标污染物均低于修复目标值，表明该修复区有机污染已达到《风评报告》和《修复方案》确定的修复目标值，可满足下一阶段施工要求。

（2）基坑清挖

修复施工单位依据设计方案清挖后，经监理单位测量放线复核和自检合格后申请效果评估监测。效果评估监测单位于 2023 年 9 月 1 日对基坑进行第一次采样，因部分坑底及侧部检出超标，于 2023 年 10 月 17 日对扩挖后的坑底、侧壁进行第二次采样。共采集 78 个土壤样品，其中第一次采集 58 个样品（坑底 14 个样，侧壁 44 个样），第二次采集 20 个样品（4 个坑底样，16 个侧壁样）。

监测和评估结果表明，经二次扩挖后，本阶段性效果评估基坑坑底及侧壁中目标污染物含量均低于修复目标值，表明该基坑内的污染土壤和基坑侧壁均已达到《风评报告》和《修复方案》确定的修复目标值，且根据现场采样土壤记录表和现场踏勘发现，清挖完成后的基坑土壤颜色、气味等感官性状环境风险较低，可满足下一阶段施工要求。

（3）清挖后土壤堆体

本部分样品包括异位淋洗修复后土壤、开挖过程产生的疑似污染土及冲洗筛上物。效果评估监测单位于 2023 年 9 月 1 日对淋洗修复后土壤堆体进行第一次采样，共采集 14 个样品，各样品汞指标全部超标；于 2023 年 10 月 17 日对经二次淋洗修复后的土壤进行二次采样，采集样品 16 件；同时分别对开挖过程产生的疑似污染土及冲洗筛上物各采集样品 2 件、8 件。

监测和评估结果表明，本阶段性效果评估淋洗修复后土壤已达到《风评报告》和《修复方案》确定的修复目标值，开挖过程产生的疑似污染土及筛上物未超标，且根据现场采样土壤记录表和现场踏勘发现，涉及土壤堆体颜色和气味等感官性

状环境风险较低，可满足下一阶段施工要求。

（4）污染土壤水泥窑协同处置产品

本项目第一次淋洗减量后，经板框压滤的泥饼由阳春海创环保科技有限公司负责接收并处置。阳春海螺水泥有限责任公司自 2023 年 9 月 18 日至 2023 年 9 月 28 日，共计接收、处置完成 2047.81 吨污染土。

根据《水泥窑协同处置固体废物技术规范》（GB30760—2014）相关要求，对水泥熟料中污染物总量和浸出含量进行检测，检测结果表明水泥熟料中污染物含量和浸出含量均符合相关要求。

综上，本阶段性效果评估基坑坑底、侧壁及底部原位修复后土壤、异位淋洗修复后土壤、开挖过程产生的疑似污染土及筛上物均已达到《风评报告》和《修复方案》确定的修复目标值，结合对水泥窑协同处置相关资料的审核，表明基坑污染土的修复达到风评及修复方案要求，可满足下一阶段基坑回填要求。

1.3.2.3.第三阶段（本阶段）效果评估

对比风评报告划定污染范围，第一、二阶段效果评估已涵盖地块内全部的重金属单一污染土壤（共计 11684.95m³）、重金属-有机复合污染土壤（共计 13327.97m³），已涵盖部分有机单元污染土壤（1444.88m³）。

待验收范围包括有机单一污染土壤 151583.95m³、地下水修复 17278.02m²、异味治理修复效果及相应潜在二次污染区，均置于本阶段验收。

表 1.3-2 本项目各阶段效果评估工作一览

验收对象	总体规模	单位	第一阶段验收	第二阶段验收	合计已完成验收	本阶段验收	合计验收
重金属单一污染土壤	11684.95	m ³	6720.29	4964.66	11684.95	/	11684.95
重金属有机复合污染土壤	13327.97	m ³	10849.99	2477.98	13327.97	/	13327.97
有机单一污染土壤	153028.83	m ³	1398.4	46.48	1444.88	151583.95	153028.83
地下水修复	17278.02	m ²	0	0	0	17278.02	17278.02
潜在二次污染区	/	/	/	/	/	本次验收	/
异味治理修复	24036.05	m ²	/	/	/	24036.05	24036.05

1.4. 编制目的

本地块历经多次风评及修复施工，截至 2026 年 7 月 31 日，现场已完成污染土壤全部修复、治理施工活动，区域内相关可能污染活动均已停止。《中华人民共和国土壤污染防治法》明确要求：“土壤污染责任人应当另行委托有关单位对风险管控效果、修复效果进行评估，并将效果评估报告报地方人民政府生态环境主管部门备案”，《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环保部令第 42 号）明确规定：“治理与修复工程完工后，土地使用权人应当委托第三方机构按照国家相关环境标准和技术规范，开展治理与修复效果评估，编制治理与修复效果评估报告”等。基于此，中山市中垣物业拓展有限公司特委托我方开展该地块修复效果评估工作。

针对历次修复、治理区域，效果评估单位已委托检测单位先后于对本项目已完成修复、治理区域及潜在二次污染区域进行了效果评估采样，整体监测结果表明已完成修复区域均达到修复目标要求，异味治理效果较显著，潜在二次污染区域未受明显污染影响。结合相关资料审核结果，说明本次效果评估对象中污染土壤、地下水修复效果及异味治理已达到风险评估和修复方案要求，潜在二次污染区域未受明显污染影响，具备开展整体效果评估的条件。因此，特申请对本地块效果评估内容即《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块土壤污染修复项目效果评估报告》开展效果评估评审工作。

1.5. 编制内容

本次效果评估对象为六七地块污染土及地下水修复、异味治理情况及潜在二次污染区域土壤受污染情况。包括与之相关的实施方案、工程实施内容、监理复核见证、质量管理及控制等内容。

2. 工作依据和程序

2.1. 法律法规与政策要求

- 《中华人民共和国生态环境法典》（2026 年 8 月）；
- 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月）；
- 《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月）；

- 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018 年 10 月）；
- 《中华人民共和国土地管理法》（2020 年 1 月）；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年 9 月）；
- 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年 1 月）；
- 《中华人民共和国突发事件应对法》（2007 年 11 月）；
- 《国家突发环境事件应急预案》（国办函〔2014〕119 号）；
- 《国家危险废物名录》（2021 年版）；
- 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年 10 月）；
- 《土壤污染防治行动计划》（2016 年 5 月）；
- 《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）；
- 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环保部令第 42 号，2017 年 7 月）；
- 《广东省土壤污染防治行动计划实施方案》（粤府〔2016〕145 号）；
- 《中山市人民政府关于印发中山市土壤污染防治工作方案的通知》（中府〔2017〕54 号）；
- 《中山市污染地块环境管理试点工作方案》（中环〔2018〕258 号）。

2.2. 技术导则、标准及规范

- 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；
- 广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）；
- 广东省地方标准《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）；
- 《土壤环境监测技术规范》（HJ 166-2026）；

- 《地下水环境监测技术规范》（HJ T164-2020）；
- 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）；
- 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）；
- 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2-2019）；
- 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；
- 《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）；
- 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ25.5-2018）；
- 《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）；
- 《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附》（HJ 1165—2021）；
- 《恶臭污染物排放标准》（GB14554-1993）；
- 《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T 55-2000）；
- 《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》（HJ 1019-2019）；
- 《污水排入城镇下水道水质标准》（CJ343-2010）；
- 《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（修订版）》；
- 《广东省建设用地土壤污染修复现场环境信息公开与标识指南（试行）》（粤环办〔2020〕66号）；
- 《广东省建设用地土壤污染修复工程环境监理技术指南（试行）》（粤环办〔2020〕75号）；
- 关于印发《建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控及修复效果评估报告评审指南》的通知（环办土壤〔2019〕63号）；
- 《建设用地土壤污染修复效果评估监测质量控制技术规范》（DB44/T 2417-2023）；
- 《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）。

2.3. 其他资料

- 《中山市东区起湾北道142号之六七地块土壤污染状况调查报告》；
- 《中山市东区起湾北道142号之六七地块土壤污染风险评估报告》（2021

年、2022 年版）；

- 《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块土壤污染修复项目修复方案》（2021 年、2022 年版）；

- 《关于中山市东区起湾北道 142 号之五至七地块土壤污染风险评估修复目标变化的说明》（中山市环境保护技术中心，2022 年 4 月）；

- 《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块土壤异味调查报告》（生态环境部环境规划院，2025 年 3 月）；

- 《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块补充土壤污染风险评估报告（基于规划调整和异味调查结果）》（中山市环境保护科学研究所有限公司、广东省环境科学研究院，2026 年 2 月）；

- 《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块土壤异味治理修复方案》（中山翠亨市政工程有限公司，2026 年 4 月）

- 《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块土壤污染修复项目施工总结报告（第一阶段与补充修复阶段）》（北京建工环境修复股份有限公司，2026 年 8 月）；

- 《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块土壤污染修复项目施工总结报告》（第二阶段）（中山公用工程有限公司、广东广业禹航环境科技有限公司，2026 年 8 月）；

- 《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块土壤污染修复项目施工总结报告》（第三阶段）（中山翠亨市政工程有限公司，2026 年 8 月）；

- 《中山市东区起湾北道 142 号之六七地块土壤污染修复项目环境监理总结报告》（广东省环境科学研究院，2026 年 8 月）。

2.4. 工作程序与技术路线

2.4.1. 基本原则

污染地块风险管控与土壤修复效果评估应对土壤是否达到修复目标、风险管控是否达到规定要求、地块风险是否达到可接受水平等情况进行科学、系统地评估，提出后期环境监管建议，为污染地块管理提供科学依据。

2.4.2. 工作内容

污染地块风险管控与土壤修复效果评估的工作内容包括：更新地块概念模型、布点采样与实验室检测、风险管控与修复效果评估、提出后期环境监管建议、编制效果评估报告。

2.4.3. 工作程序

结合《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ 25.5-2018）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）等文件要求，确定本地块污染土壤及地下水修复效果评估工作流程。

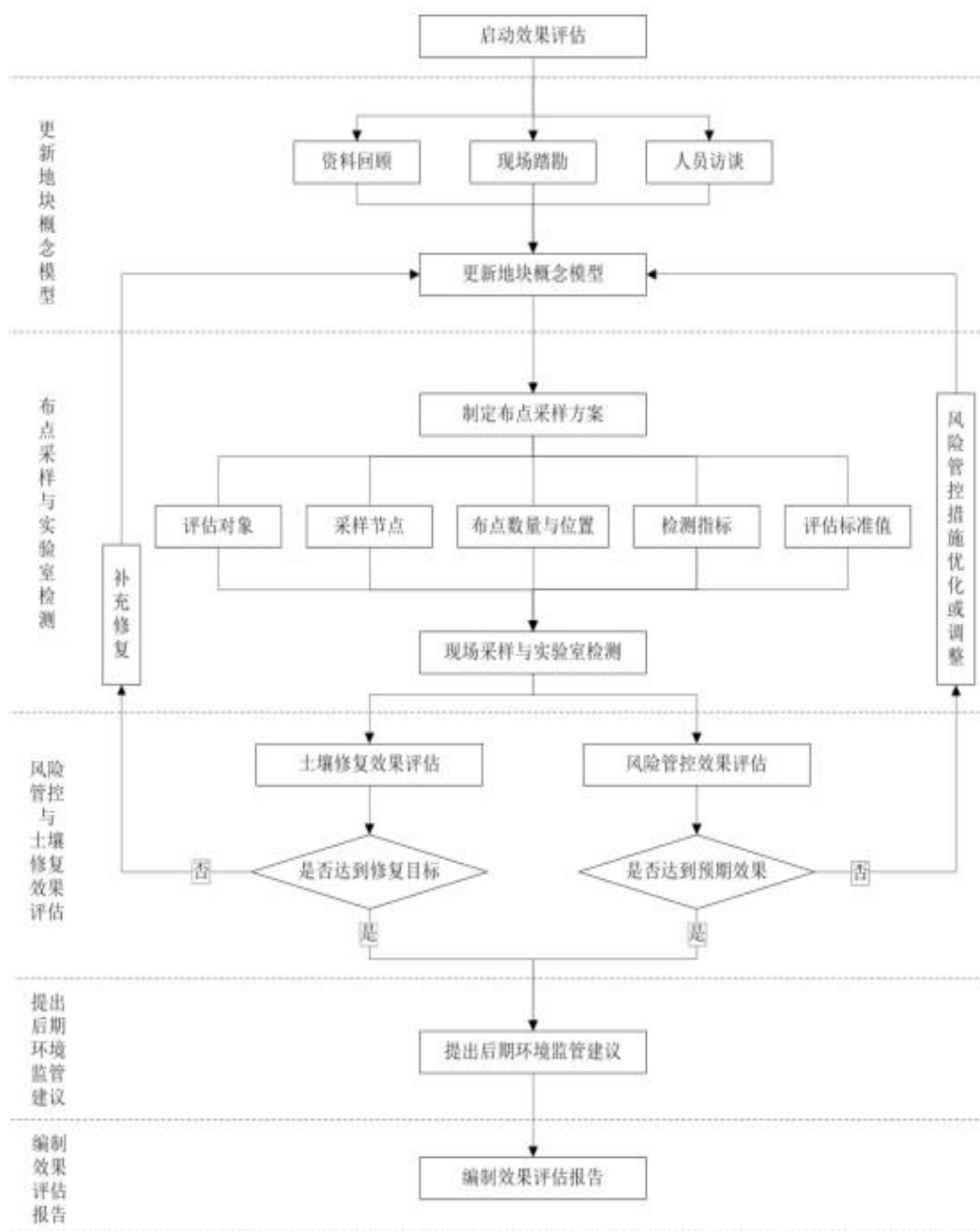


图 2.4-1 污染地块风险管控与土壤修复效果评估工作流程

2.4.3.1. 更新地块概念模型

应根据风险管控与修复进度，以及掌握的地块信息对地块概念模型进行实时更新，为制定效果评估布点方案提供依据。

➤ 总体要求

效果评估机构应收集地块风险管控与修复相关资料，开展现场踏勘工作，并通过与地块责任人、施工负责人、监理人员等进行沟通和访谈，了解地块调查评

估结论、风险管控与修复工程实施情况、环境保护措施落实情况等，掌握地块地质与水文地质条件、污染物空间分布、污染土壤去向、风险管控与修复设施设置、风险管控与修复过程监测数据等关键信息，更新地块概念模型。

➤资料回顾

在效果评估工作开展之前，应收集污染地块风险管控与修复相关资料。

资料清单主要包括地块环境调查报告、风险评估报告、风险管控与修复方案、工程实施方案、工程设计资料、施工组织设计资料、工程环境影响评价及其批复、施工与运行过程中监测数据、监理报告和相关资料、工程竣工报告、实施方案变更协议、运输与接收的协议和记录、施工管理文件等。

资料回顾要点主要包括风险管控与修复工程概况和环保措施落实情况。

风险管控与修复工程概况回顾主要通过风险管控与修复方案、实施方案，以及风险管控与修复过程中的其他文件，了解修复范围、修复目标、修复工程设计、修复工程施工、修复起始时间、运输记录、运行监测数据等，了解风险管控与修复工程实施的具体情况。

环保措施落实情况回顾主要通过对风险管控与修复过程中二次污染防治相关数据、资料和报告的梳理，分析风险管控与修复工程可能造成的土壤和地下水二次污染情况等。

➤现场踏勘

应开展现场踏勘工作，了解污染地块风险管控与修复工程情况、环境保护措施落实情况，包括修复设施运行情况、修复工程施工进度、基坑清理情况、污染土暂存和外运情况、地块内临时道路使用情况、修复施工管理情况等。

调查人员可通过照片、视频、录音、文字等方式，记录现场踏勘情况。

➤人员访谈

应开展人员访谈工作，对地块风险管控与修复工程情况、环境保护措施落实情况进行全面了解。

访谈对象包括地块责任单位、地块调查单位、地块修复方案编制单位、监理单位、修复施工单位等单位的参与人员。

➤更新地块概念模型

在资料回顾、现场踏勘、人员访谈的基础上，掌握地块风险管控与修复工程

情况，结合地块地质与水文地质条件、污染物空间分布、修复技术特点、修复设施布局等，对地块概念模型进行更新，完善地块风险管控与修复实施后的概念模型。

地块概念模型一般包括下列信息：

a) 地块风险管控与修复概况：修复起始时间、修复范围、修复目标、修复设施设计参数、修复过程运行监测数据、技术调整和运行优化、修复过程中废水和废气排放数据、药剂添加量等情况；

b) 关注污染物情况：目标污染物原始浓度、运行过程中的浓度变化、潜在二次污染物和中间产物产生情况、土壤异位修复地块污染源清挖和运输情况、修复技术去除率、污染物空间分布特征的变化，以及潜在二次污染区域等情况；

c) 地质与水文地质情况：关注地块地质与水文地质条件，以及修复设施运行前后地质和水文地质条件的变化、土壤理化性质变化等，运行过程是否存在优先流路径等；

d) 潜在受体与周边环境情况：结合地块规划用途和建筑结构设计资料，分析修复工程结束后污染介质与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径等。

地块概念模型可用文字、图、表等方式表达，作为确定效果评估范围、采样节点、布点位置等的依据。

地块概念模型涉及信息及其作用见下表。

表 2.4-1 地块概念模型涉及信息及其作用

地块概念模型涉及信息	在修复效果评估中的作用
地理位置	了解背景情况
地块历史	了解背景情况
地块调查评估活动	了解背景情况
地块土层分布	确定采样深度
水位变化情况	采样点设置
地块地质与水文地质情况	采样点设置
污染物分布情况	了解地块污染情况
目标污染物、修复目标	明确评估指标和标准
土壤修复范围	明确评估对象和范围
地下水污染羽	明确评估对象和范围
修复方式及工艺	制定效果评估方案
修复实施方案有无变更及变更情况	制定效果评估方案
施工周期与进度	制定效果评估采样节点
异位修复基坑清理范围与深度	采样点设置

地块概念模型涉及信息	在修复效果评估中的作用
异位修复基坑放坡方式、基坑护壁方式	采样点设置
修复后土壤土方量及最终去向	采样点设置、采样节点
修复设施平面布置	采样节点
修复系统运行监测计划及已有数据	采样点设置、采样节点
目标污染物浓度变化情况	采样点设置、采样节点
地块内监测井位置及建井结构	判断是否可供效果评估采样使用
二次污染排放记录及监测报告	辅助资料
地块修复实施涉及的单位和机构	辅助资料

2.4.3.2. 布点采样与实验室检测方案

布点方案包括效果评估的对象和范围、采样节点、采样周期和频次、布点数量和位置、检测指标等内容，并说明上述内容确定的依据。原则上应在风险管控与修复实施方案编制阶段编制效果评估初步布点方案，并在地块风险管控与修复效果评估工作开展之前，根据更新后的概念模型进行完善和更新。

根据布点方案，制定采样计划，确定检测指标和实验室分析方法，开展现场采样与实验室检测，明确现场和实验室质量保证与质量控制要求。

2.4.3.3. 风险管控与土壤修复效果评估

根据检测结果，评估土壤修复是否达到修复目标或可接受水平，评估风险管控是否达到规定要求。

对于土壤修复效果，可采用逐一对比和统计分析的方法进行评估，若达到修复效果，则根据情况提出后期环境监管建议并编制修复效果评估报告，若未达到修复效果，则应开展补充修复。

对于风险管控效果，若工程性能指标和污染物指标均达到评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可继续开展运行与维护；若工程性能指标或污染物指标未达到评估标准，则判断风险管控未达到预期效果，须对风险管控措施进行优化或调整。

2.4.3.4. 提出后期环境监管建议

根据风险管控与修复工程实施情况与效果评估结论，提出后期环境监管建议。

2.4.3.5.编制效果评估报告

汇总前述工作内容，编制效果评估报告，报告应包括风险管控与修复工程概况、环境保护措施落实情况、效果评估布点与采样、检测结果分析、效果评估结论及后期环境监管建议等内容。

3. 修复效果评估布点采样方案

布点方案包括效果评估的对象和范围、采样节点、采样周期和频次、布点数量和位置、检测指标等内容，并说明上述内容确定的依据。原则上应在风险管控与修复实施方案编制阶段编制效果评估初步布点方案，并在地块风险管控与修复效果评估工作开展之前，根据更新后的概念模型进行完善和更新。

根据布点方案，制定采样计划，确定检测指标和实验室分析方法，开展现场采样与实验室检测，明确现场和实验室质量保证与质量控制要求。

本项目修复效果评估参照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（试行）（HJ25.5-2018）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2-2019）、《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（修订版）》、《建设用地土壤污染修复效果评估监测质量控制技术规范》（DB44/T 2417-2023）执行。

根据风评报告、修复方案及已开展工作，本项目待评估对象包括：

- 1、异味调查发现超标区补充修复专项验收（均为原位修复）；
- 2、非基坑开挖修复区的污染土壤总体验收（均为原位修复，含轻度有机污染土壤修复范围 V1-V11、重度有机污染土壤修复范围 R1-R3）；
- 3、异味污染控制区的土壤气及环境空气；
- 4、修复地下水；
- 5、场内受前期施工影响的二次污染区；

3.1. 异味调查超标区补充修复专项验收

3.1.1. 评估对象和范围

根据异味调查结果及修复方案确定本次评估对象和范围，评估对象为 A1-A3、B1-B4 区域，总计面积 6864.82m²，涉及方量 26882.30m³，均采用原位化学氧化修复工艺。

3.1.2. 采样节点

于 2025 年 8 月 8 日-8 月 14 日期间开展现场采样。

北建工于 2025 年 6 月 15 日完成相应修复施工工作。

3.1.3. 布点位置和数量

根据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）、《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（修订版）》、《建设用地土壤污染修复效果评估监测质量控制技术规范》（DB44/T 2417-2023）等文件要求结合地块实际，确定地块布点位置和数量。

参考异味调查纵向取样深度设置，纵向取样深度间距不大于 2m；为捕捉高压旋喷修复施工过程带来的二次污染，在修复区两端各作扩展层取样，同时设表层采样层。现场实际取样时，按不大于 0.5m 间距进行 PID 快筛，结合快筛情况及现场感官增加采样数量。

总计布设 68 个点位，采集样品 316 件。

表 3.1-1 六七布点数量一览

序号	区域	面积/m ²	污染深度/m	规范要求最少数 量/个		实际布点数量/个		数量/个
				内部	边界	内部	边界	
1	A1	1342.02	1—2.5	3	5	5	6	11
2	A2	776.75	1.8—13	3	5	5	5	10
3	A3	410.61	0—0.5	3	5	3	5	8

序号	区域	面积/m ²	污染深度 /m	规范要求最少数量/个		实际布点数量/个		数量/个
				内部	边界	内部	边界	
4	B1	1072.07	1.8—3.8	4	6	4	6	10
5	B2	952.87	0.3—2.8	3	5	3	5	8
6	B3	1479.64	2.8—13	4	6	6	6	12
7	B4	830.86	0.8—2.8	3	5	4	5	9
总计				23	37	30	38	68

3.1.4. 监测指标

根据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018），原位修复后土壤的检测指标为修复方案中确定的目标污染物，化学氧化/还原修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据修复方案中的可行性分析结果确定。

根据我方前期于地块内选取的 2 个代表性样品进行的有机污染物全扫结果，本项目化学氧化修复区在修复后未明显产生有毒有害的二次污染物，因此监测指标主要参照修复方案确定。

根据《异味调查报告》结果及修复方案，一类用地关注污染物为石油烃（C10-C40）、苯、1,2-二氯苯、氯苯；二类用地关注污染物为 1,2-二氯乙烷、1,2-二氯苯、氯仿。考虑到化学氧化药剂涉及碱性物质，增加 pH 值指标。

因此一类用地监测项目为 pH 值、石油烃（C10-C40）、苯、1,2-二氯苯、氯苯；二类用地监测项目为：pH 值、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯苯、氯仿。

3.1.5. 评估标准

执行异味调查报告确定的修复目标值。

表 3.1-2 六七地块修复评估标准

序号	用地类型	污染物	修复目标值（mg/kg）
1	一类用地	石油烃（C10-C40）	1076.12
2		1,2-二氯苯	560
3		苯	1.77
4		氯苯	68.0*
5	二类用地	1,2-二氯乙烷	5.0
6		1,2-二氯苯	560
7		氯仿	1.79

3.2. 原位修复区总体验收

3.2.1. 采样节点

本次采样日期为 2026 年 1 月 12 日-1 月 28 日。

3.2.2. 布点位置和数量

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）》，水平（顶部和底部）采样单元面积按基坑底部采样点布点方法确定，修复范围边界采样单元长度按基坑侧壁采样布点方法确定。垂直方向上采样深度应不小于调查评估确定的污染深度以及修复可能造成的污染物迁移的深度，根据土层性质设置采样点，原则上垂向采样点之间距离不大于 3 m。具体根据实际情况确定，应结合地块污染分布、土壤性质、修复设施设置等，在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区、修复范围边界处等位置增设采样点。

《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）规定：原位修复后的土壤水平方向上采用系统布点法，推荐采样数量参照表 1。原位修复后的土壤垂直方向上采样深度应不小于调查评估确定的污染深度以及修复可能造成污染物迁移的深度，根据土层性质设置采样点，原则上垂向采样点之间距离不大于 3m，具体根据实际情况确定。应结合地块污染分布、土壤性质、修复设施设置等，在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区、修复范围边界处等位置增设采样点。

根据《建设用地土壤污染修复效果评估监测质量控制技术规范》（DB44/T 2417-2023），采样点位布设、采样点数量和采样位置应符合 HJ 25.2、HJ 25.5 的要求。进行原位修复边界监测时，应根据地块大小和污染强度将修复范围四周等分成段，每段最大长度不应超过 40 m，采样方法参照 HJ 25.2 执行。

3.2.2.1.A 区（对应第二版风评中的一类用地）

该区域本次评估范围最大污染投影面积为 11592m²，涉及 11 层。

风评第一层（0-2m），该层涉及 A1-5、A1-6、A1-7、A1-8、A1-9 区域。其中：

A1-5 面积为 282.94m^2 ，周长 68.0m ，参照 HJ25.5 表 1 要求，内部需至少划分 3 个采样单元，边界需划分 5 个采样段落。实际在内部等面积布设 3 个采样单元，边界等距离划分 5 个采样单元。平均 $94.3\text{m}^2/\text{采样单元}$ 、 $13.6\text{m}/\text{采样段落}$ ，各采样单元、采样段落均系统布点一个。

A1-6 面积为 357.53m^2 ，周长 131.2m ，参照 HJ25.5 表 1 要求，在内部等面积布设 3 个采样单元，边界等距离划分 5 个采样单元。平均 $119.2\text{m}^2/\text{采样单元}$ 、 $26.2\text{m}/\text{采样段落}$ ，各采样单元、采样段落均系统布点一个。

A1-7 面积为 1579.56m^2 ，周长 257.2m ，参照 HJ25.5 表 1 要求，结合形状限制，一个采样单元面积为 188.1m^2 ，另外 4 个采样单元面积均为 347.9m^2 ，边界等距离划分 7 个采样单元，平均 $36.7\text{m}/\text{采样段落}$ ，考虑到修复工艺分区情况，在各采样单元系统布点一个基础上，增设采样点 2 个。

A1-8 面积为 3857.99m^2 ，周长 406.1m ，参照 HJ25.5 表 1 要求，实际在内部等面积布设 6 个采样单元，边界等距离划分 11 个采样单元，平均 $643.0\text{m}^2/\text{采样单元}$ 、 $36.9\text{m}/\text{采样段落}$ ，在各采样单元均系统布点一个基础上，在高浓度污染物聚集区附近增设点位 1 个。

A1-9 面积为 414.24m^2 ，周长 115.6m ，参照 HJ25.5 表 1 要求，实际在内部等面积布设 3 个采样单元，边界等距离划分 5 个采样单元。平均 $138.1\text{m}^2/\text{采样单元}$ 、 $23.1\text{m}/\text{采样段落}$ ，各采样单元、采样段落均系统布点一个。

风评第二层（2-4.5m），该层涉及 A2-1、A2-2、A2-3、A2-4 区域。其中：

A2-1 面积为 2592.05m^2 ，周长 208.3m ，参照 HJ25.5 表 1 要求，在内部等面积布设 6 个采样单元，边界等距离划分 8 个采样单元，平均 $432.0\text{m}^2/\text{采样单元}$ 、 $26.0\text{m}/\text{采样段落}$ ，各采样单元、采样段落均系统布点一个，考虑到修复工艺分区情况，在各采样单元系统布点一个基础上，增设采样点 5 个。

A2-2 面积为 4989.12m^2 ，周长 397.5m ，参照 HJ25.5 表 1 要求，在内部等面积布设 7 个采样单元，边界等距离划分 12 个采样单元，平均 $712.7\text{m}^2/\text{采样单元}$ 、 $33.1\text{m}/\text{采样段落}$ ，各采样单元、采样段落均系统布点一个，在高浓度污染点附近增设采样点 1 个。

A2-3 面积为 282.94m^2 ，周长 68m ，参照 HJ25.5 表 1 要求，在内部等面积布设 3 个采样单元，边界等距离划分 5 个采样单元，平均 $94.3\text{m}^2/\text{采样单元}$ 、 $13.6\text{m}/$

采样段落，各采样单元、采样段落均系统布点一个。

A2-4 面积为 957.93m²，周长 140.5m，参照 HJ25.5 表 1 要求，在内部等面积布设 3 个采样单元，边界等距离划分 5 个采样单元，平均 319.3m²/采样单元、28.1m/采样段落，各采样单元、采样段落均系统布点一个。

各层具体布点信息详见表 5.2-2 A 区布点数据。

按规范内部总计需布设 160 个采样单元、边界需布设 247 个采样段落，实际内部布设采样单元 163 个，边界布设采样段落 254 个，在每个采样单元、采样段落系统布点基础上，考虑工艺分区布点代表性及修复效果薄弱区，增设采样点 15 个，同时在修复区外布设周边扩散点 3 个。即内部总计布点 178 个、边界布点 254 个、周边扩散点 3 个。因部分点位位置重叠，实际钻孔 142 个。

在纵向采样深度设置上，一是满足采样间距不大于 3m 的要求；二是结合前期调查超标深度及现场 PID 快筛、观察情况确定具体采样深度；三是为捕捉可能的纵向污染迁移，针对评价层存在非污染相邻层的情况，设置了相应的扩展层取样；四是考虑高压旋喷修复过程存在地下污染喷出地表而对周边带来二次污染可能，因此多个区域增设了表层样。

最终合计完成点位钻探 142 个，采集样品 671 件。

3.2.2.2.B 区（对应第二版风评中的二类用地）

该区域本次评估范围最大污染投影面积为 6206.2m²，涉及 7 层。

风评第一层（0-2m）涉及 B1-1、B1-2 两个单元，其中：

B1-1 面积为 1727.1m²，周长 173.2m，参照 HJ25.5 表 1 要求，内部需至少划分 5 个采样单元，边界需划分 7 个采样段落。实际在内部等面积布设 5 个采样单元，边界等距离划分 7 个采样单元。平均 345.4m²/采样单元、24.7m/采样段落，各采样单元、采样段落均系统布点一个。

B1-2 面积为 2241.8m²，周长 228.9m，参照 HJ25.5 表 1 要求，内部需至少划分 5 个采样单元，边界需划分 7 个采样段落。实际在内部等面积布设 5 个采样单元，边界等距离划分 7 个采样单元。平均 448.4m²/采样单元、32.7m/采样段落，考虑各工艺分区情况，在各采样单元、采样段落系统布点一个基础上，增加 3 个点位。

风评第二层（2-4.5m）涉及 B2-1、B2-2 两个单元，其中

B2-1 面积为 732.0m²，周长 109.5m，参照 HJ25.5 表 1 要求，内部需至少划分 3 个采样单元，边界需划分 5 个采样段落。实际在内部等面积布设 3 个采样单元，边界等距离划分 5 个采样单元。平均 146.4m²/采样单元、15.6m/采样段落，各采样单元、采样段落均系统布点一个。

B2-2 面积为 1264.0m²，周长 148.1m，参照 HJ25.5 表 1 要求，内部需至少划分 5 个采样单元，边界需划分 7 个采样段落。实际在内部等面积布设 5 个采样单元，边界等距离划分 7 个采样单元。平均 252.8m²/采样单元、21.2m/采样段落，各采样单元、采样段落均系统布点一个。

按规范内部总计需布设 54 个采样单元、边界需布设 84 个采样段落，实际内部布设采样单元 54 个，边界布设采样段落 84 个，在每个采样单元、采样段落系统布点基础上，考虑工艺分区布点代表性及修复效果薄弱区，增设采样点 4 个。即内部总计布点 58 个、边界布点 84 个；考虑到高压旋喷施工过程可能对周边非污染区带来的横向污染迁移，于修复区周边约 1m 范围布设外扩点 4 个。因部分点位位置重叠，实际钻孔 59 个。

在纵向采样深度设置上，一是满足采样间距不大于 3m 的要求；二是结合前期调查超标深度及现场 PID 快筛、观察情况确定具体采样深度；三是为捕捉可能的纵向污染迁移，针对评价层存在非污染相邻层的情况，设置了相应的扩展层取样；四是考虑高压旋喷修复过程存在地下污染喷出地表而对周边带来二次污染可能，因此多个区域增设了表层样。

最终完成点位钻探 59 个，采集样品 312 件。

合计钻孔 201 个，采集样品 983 件。

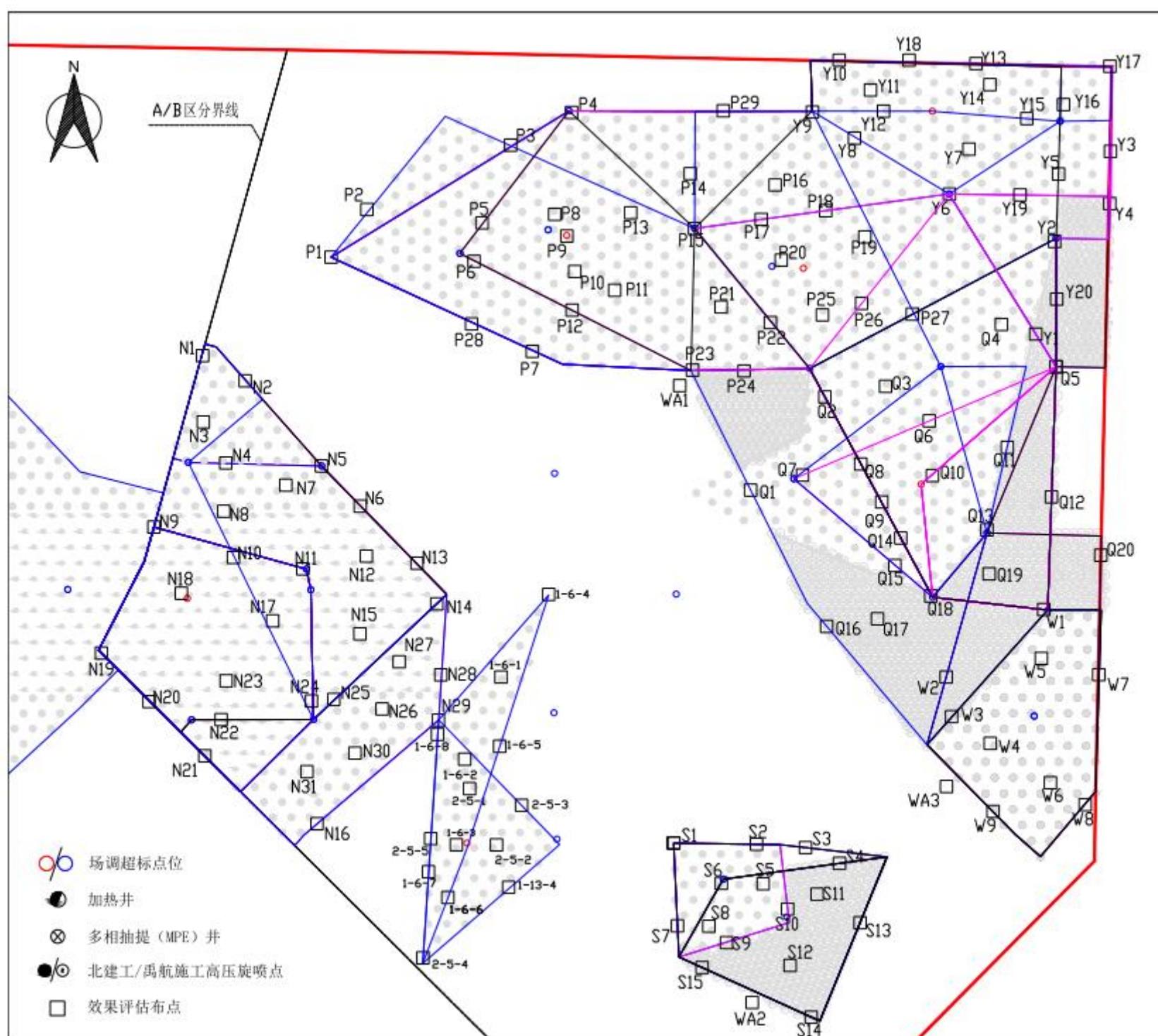


图 3.2-1 A 区总体布点情况

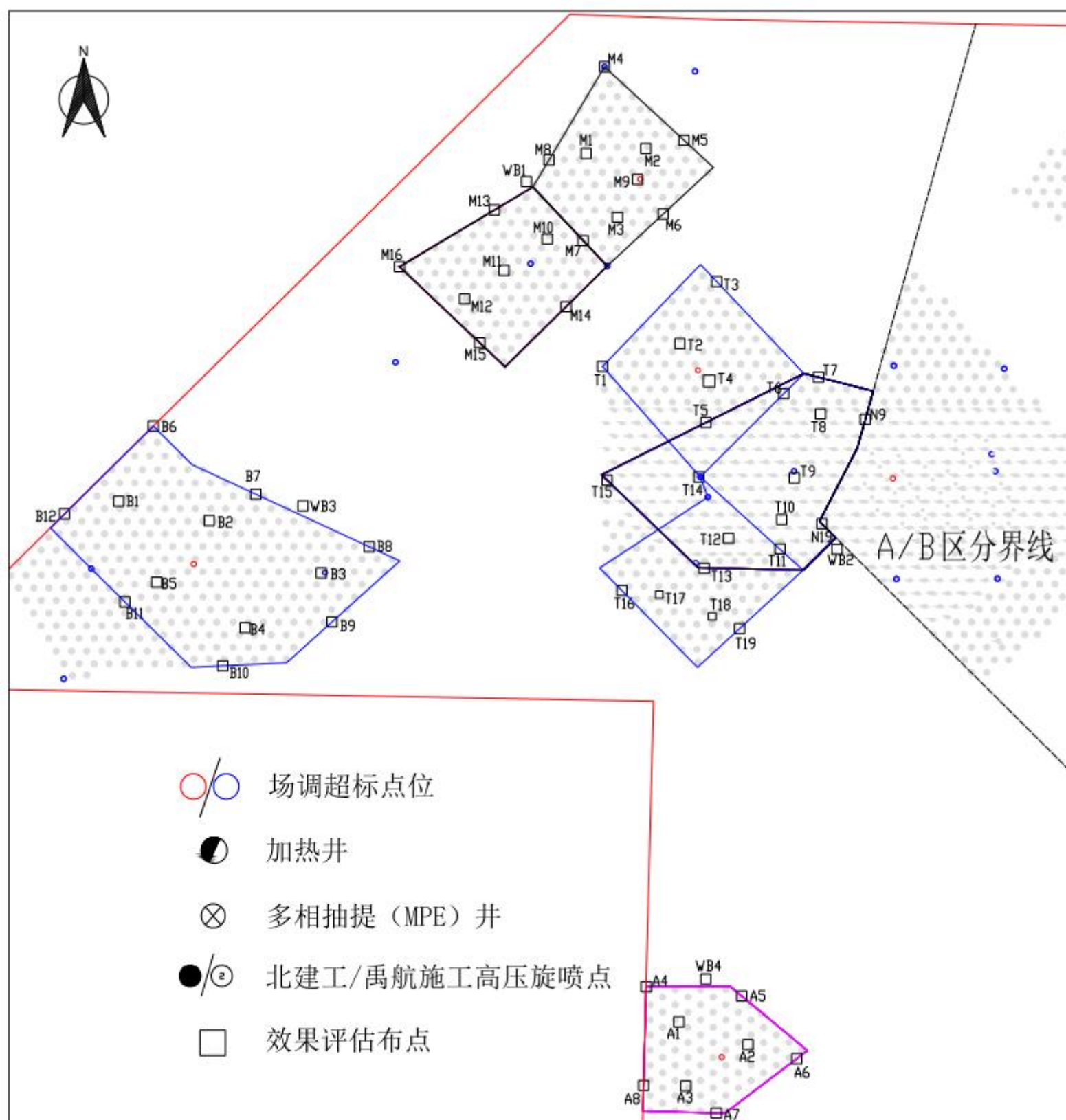


图 3.2-2 B 区总体布点情况

3.2.3. 检测指标

根据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018），原位修复后土壤的检测指标为修复方案中确定的目标污染物。化学氧化/还原修复、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据修复方案中的可行性分析结果确定。

为保障本次验收采样监测针对性及科学性，在确定具体点位监测项目时主要作如下考虑：

1）根据采样点位总体分布情况确定若干监测分区，相应监测分区基础监测项目根据第二版风评报告确定，同时加上异味控制指标；位于监测分区交界附近点位的监测项目需涵盖相邻各分区关注污染物；

2）为评估污染地下水对土壤影响，相应监测分区与地下水修复区重叠的，每个采样点位选取一个水位以下土壤样品涵盖地下水所有监测项目；

3）我方前期在六七地块内选取了两个代表性样品进行有机污染物全扫，未发现明显有毒有害物质，暂不考虑其他二次污染产物。因原位化学氧化过程使用到碱性物质，对原位化学氧化修复区内所有点位随机选取一个样品监测 pH 值项目。

3.2.4. 评价标准

执行五、六七地块 2022 年备案版风险评估报告确定的修复目标值；未涵盖的从严执行相应用地筛选值标准。

表 3.2-2 评价标准

序号	污染物名称	单位	一类用地	二类用地
1	氯仿	mg/kg	0.43	1.79
2	苯	mg/kg	1.77	4*
3	甲苯	mg/kg	1173	1173
4	乙苯	mg/kg	12.92	28*
5	1,4-二氯苯	mg/kg	9.27	20*
6	1,2-二氯苯	mg/kg	560	560
7	1,2-二氯乙烷	mg/kg	0.95	5
8	二氯甲烷	mg/kg	130.1	616*
9	一溴二氯甲烷	mg/kg	0.56	1.2*
10	石油烃 (C10-C40)	mg/kg	1076.12	6606.99
11	四氯化碳	mg/kg	0.9*	2.8*

备注：*执行相应用地 GB36600 筛选值标准；

3.3. 异味治理水平阻隔客土采样

3.3.1. 采样节点

2026 年 6 月 6 日开展现场采样。

3.3.2. 布点位置和数量

内源、外源土壤污染隐患，无任何可能引发土壤污染的情形。

客土源土质总体均一性较好，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（修订版）》初调布点思路，每个采样单元面积不超过 1600m²，当集中堆存面积≤5000m²，土壤采样点位数不少于 3 个；当集中堆存面积>5000 m²，土壤采样点位数不少于 6 个。

结合土源堆存情况及进场取土方便性，划定两个集中取土区，总体采用系统布点法布设采样点，取土一区面积约 4000m²，布点 4 个，采样深度 6-10m；取土二区面积约 2000m²，布点 3 个，采样深度为 4m 米，总计可取土约 24000m³。通过挖机开槽对裸露剖面进行取土，斜面纵向采样间距不大于 2m，总计采集 27 个样品，平均 1 个样/889m³。

3.3.3. 检测指标及评价标准

本项目所选取客土为天然净土，地块周边无外源污染源带来的污染风险，土源地块不存在内源、外源土壤污染隐患，无任何可能引发土壤污染的情形，因此以常规检测指标为主，具体为 GB36600 中 45 项+pH 值+石油烃（C10-C40）+锌。评价标准执行 GB 36600-2018 对应的一类用地筛选值标准，锌执行深圳地标 DB4403/T 67—2020 对应的一类用地筛选值标准。

3.4. 异味治理修复效果评估布点采样

针对异味治理修复效果评估，国内目前暂未有统一规范标准及方法。

本项目参考类似案例及相关规范，拟通过土壤气、环境空气及嗅辨等方式评估异味治理修复效果。

3.4.1. 土壤气

由于国家层面没有土壤气相关布点规范，参照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ25.5-2018）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）、北京市《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》（DB11/T1278-2015）等相关规定及结合实际确定监测点位位置和数量。

作为异味治理施工后对比，重点关注异味治理施工区域内，采用系统布点结合专业判断法进行布点；兼顾前期异味调查结果显示污染较重区域的点位布设，单个施工区整体布点密度不大于 80*80m。

3.4.2. 环境空气及嗅辨评估

（1）环境空气

参考《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T 55-2000），大气环境监测点应充分设置在厂区风险管控边界范围内及地块常年主导风向的上下游，满足风险防范和监控的要求。

考虑到环境空气的流动性，将五、六七地块整体统筹考虑进行布点，于厂界常年主导风向的上下游布点 1 个，于场内各阻隔区各布点 1 个，于非阻隔区布点一个。具体点位布设时，可根据现场人为嗅觉选择异味较重区域进行布点采样，各区域异味无明显差异时则采用系统布点。

（2）嗅辨评估

采用系统布点及结合专业判断法进行布设。参考江苏省地标《恶臭污染物现场嗅辨技术规范》（DB32/T 4869-2024），在每个环境空气监测点开展嗅辨评估的基础上，通过实地踏勘、现场感官等方式增加对异味较明显区域的嗅辨评估，采用步行方式，嗅到异味即为到达嗅辨点位，可在此周边进行现场嗅辨。

3.4.2.1. 监测指标

(1) 土壤气：1,2-二氯苯、氯仿、甲苯。

(2) 环境空气：甲苯、1,2-二氯苯、氯仿、2,4-二氯苯酚、臭气浓度及嗅辨评估。

3.4.2.2. 评价标准

根据《中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块土壤异味治理修复方案》（2025 年 4 月）及结合《中山市东区起湾北道 142 号之六、七地块土壤异味调查报告》确定各监测项目的评估标准；嗅辨评估则用于评估异味治理前后效果，暂不做具体等级要求。

表 5.6-1 土壤气和环境空气评估标准

序号	监测项目	单位	评估标准	
			土壤气	环境空气
1	氯仿	mg/m ³	0.544	0.356
2	1,2-二氯苯	mg/m ³	0.131	0.131
3	甲苯	mg/m ³	0.403	0.403
4	臭气浓度	无量纲	/	20 ^(a)

备注：（a）本地块位于环境空气质量标准二类区，臭气浓度根据《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）选择表 1 中新建改建二级的臭气浓度 20（无量纲）作为评价标准；

3.5. 地下水修复效果评估

3.5.1. 达标初判

3.5.1.1. 达标初判目标

本地块地下水重点关注污染物主要为苯、氯仿、四氯化碳、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷和总石油烃。鉴于本地块规划已进行变更中山市人民政府于 2025 年 11 月 20 日已将地块规划调整为公园绿地（G，不涉及 G1 中的社区公园和儿童公园用地）和城市道路用地（S1）。地块所属用地类型全部变更为《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600）规定的第二类用地。鉴于本项目的敏感性，仍使用一类用地地下水修复目标值作为达标初判目标。

表 3.5-1 地下水修复目标值

序号	污染物	修复目标值（mg/L）	
		A 区地下水（一类用地）	B 区地下水（二类用地）
1	苯	0.671	/
2	1,2-二氯乙烷	0.808	3.35
3	二氯甲烷	377	/
4	氯仿	0.362	1.54
5	四氯化碳	0.398	1.72
6	总石油烃	188	/

3.5.1.2. 监测项目

考虑到土壤中污染物可能迁移扩散至地下水中，监测指标涵盖地下水修复施工目标污染物苯、氯仿、四氯化碳、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷及土壤修复施工目标污染物。

（1）目标污染物：苯、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、氯仿、四氯化碳（A 区和 B 区地下水中的所有目标污染物）。

（2）特征指标：pH、温度、电导率、总硬度、氧化还原电位、溶解氧、硫酸根。

（3）土壤中所有的目标污染物：汞、铅、苯、甲苯、乙苯、1,4-二氯苯、1,2-二氯苯、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、氯仿、一溴二氯甲烷、总石油烃。

3.5.1.3. 监测频次

本项目地下水达标初判阶段，至少需要连续 4 个批次的季度监测数据，故验收时间为 1 年，初步定于 2023 年 10 月-2024 年 9 月。期间共采集 8 个批次样品，两批次之间间隔在 1~2 个月，采样周期涵盖地下水丰、平、枯水期。

3.5.1.4. 布点采样方案

（1）遵循原则

本项目对地下水修复施工完成后，根据《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）对监测井进行布设，原则上需要布设对照井、内部监测井和控制井三种类型监测井。对照井设置在污染羽地下水流向上游，反映区域地下水质量，原则上对照井至少设置 1 个。内部监测井设置在污染羽内部，反映修复过程中污染羽浓度变化情况，内部监测井可结合污染羽分布情况，按三角形或四边形布设，内部监测井至少设置 3~4 个，原则上内部监测井设置网格不宜大于 80m×80m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，监测井设置网格不宜大 40m×40m。控制井设置在地下水污染羽边界的位置，设置在污染羽的上游、下游以及垂直于地下水径流方向的污染羽两侧的边界位置，控制井至少设置 4 个，可根据修复工程特点合理调整。

当含水层厚度大于 6m 时，原则上应分层进行采样，可采用多层监测，根据污染物特征、含水层结构等进行合理调整。对于低密度非水溶性有机物污染，监测点应设置在含水层顶部；对于高密度非水溶性有机物污染，监测点应设置在含水层底部和隔水层顶部。

（2）监测井布设

本地块地下水污染范围 17278.02 m²，总体按不大于 80m×80m 布设监测点位，针对污染物浓度高的区域加密布点，于修复范围内部布设 6 组地下水监测井，于修复评估区域上下游各设置 2 组地下水监测井。考虑到土壤修复过程很可能造成污染迁移，于修复范围外部布设相应控制井 5 组，即总共布设 16 组 38 口地下水监测井。为更好监测各分层地下水水质，地下水监测井采用组井方式建设，滤管开筛位置详见下表。

3.5.1.5. 监测结果

本项目地下水污染面积共计 17278.02 m²，地下水修复技术为原位化学氧化和原位热脱附。2023 年 10 月，第一阶段施工单位开始对本地块修复后的地下水开展达标初判工作。第一阶段施工单位共建设 38 口地下水监测井开展地下水监测工作，共计开展 8 个批次的监测，共计持续 1 年。在达标初判阶段，地下水中污染物浓度均低于修复目标值，不同时期地块地下水流场整体趋于稳定，总体呈西北-东南流向，因此判断地下水达到修复目标，可进入效果评估阶段。

3.5.2. 效果评估阶段

3.5.2.1. 评估范围

根据 HJ25.6，地下水修复效果评估范围应包括地下水修复范围的上游、内部和下游，以及修复可能涉及的二次污染区域。

3.5.2.2. 采样节点

规范要求：需初步判断地下水中污染物浓度稳定达标且地下水流场达到稳定状态时，方可进入地下水修复效果评估阶段。原则上采用修复工程运行阶段监测数据进行修复达标初判，至少需要连续 4 个批次的季度监测数据进行修复达标初判，采样周期应涵盖地下水丰、平、枯水期。

本项目自 2023 年 10 月进入达标初判，至 2024 年 10 月共采集 8 个批次样品，两批次之间间隔在 1~2 个月，采样周期涵盖地下水丰、平、枯水期。8 个批次采样数据均低于修复目标值，不同时期地块地下水流场整体趋于稳定，总体呈西北-东南流向，满足地下水中污染物浓度稳定达标、地下水流场达到稳定状态要求，具备进入地下水修复效果评估阶段条件。

因此于 2024 年 12 月进入效果评估阶段，至 2026 年 4 月共开展 9 批次采样，两批次之间间隔在 1~3 个月。

3.5.2.3. 布点位置和数量

● 规范要求

（1）根据 HJ25.6，原则上修复效果评估范围上游应至少设置 1 个监测点，内部应至少设置 3 个监测点，下游应至少设置 2 个监测点。

（2）原则上修复效果评估范围内部采样网格不宜大于 80 m×80 m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，采样网格不宜大于 40 m×40 m。

（3）地下水采样点应优先设置在修复设施运行薄弱区、地质与水文地质条件不利区域等。

（4）可充分利用地块环境调查、工程运行阶段设置的监测井，现有监测井应符合地下水修复效果评估采样条件，根据 HJ25.2，对地下水进行修复效果评

估监测，可利用地块土壤污染状况调查、土壤污染风险评估和修复过程建设的监测井，但原监测井数量不应超过修复效果评估时监测井总数的 60%，新增监测井位置布设在地下水污染最严重区域。

●布点数量

(1) 本场区地下水流向受涨落潮影响，朝潮时地下水流向为自西北向东南流、退潮时段整体地下水流向为自东南向西北流，按规范要求在上、下游从严各设置 2 个监测点，总计 4 个点；为监测地下水修复实施对周边可能带来的二次污染影响，于修复区侧面布点 3 个。

(2) 本地块地下水修复范围为 17278.02m^2 ，其中划定存在非水溶性有机物区域为 2338.8m^2 。按采样网格不大于 $80\text{ m}\times 80\text{ m}$ 计，内部需至少 3 个监测点；按采样网格不大于 $40\text{ m}\times 40\text{ m}$ 计，内部需至少 11 个监测点，实际在内部布点 15 个，满足采样密度要求。

(3) 地下水修复工艺涉及原位化学氧化、原位热脱附工艺。原位化学氧化区高压旋喷注入点设计采用梅花形（正三角形）方式布点，各注入点之间的理论相交区域为相应修复设施运行薄弱区；原位热脱附工艺区加热井、抽提井也是采用梅花形（正三角形）方式布点，相邻加热井围成三角区域的中心温度最低，即“冷点”，是相应修复设施运行薄弱区。

另根据场调及风评报告，本地块第一类用地范围内超修复目标值点共计 10 个（含 4 个组井），第二类用地范围内超修复目标值点共计 6 个（含 3 个组井），超标点即为最可能的高浓度污染区。

效果评估布点优先设置在前述修复设施运行薄弱区、高浓度污染区。

综合前期调查表明地下水污染浓度分布、达标初判监测及地块实际修复情况，本次总体布点 22 个监测点，采用组井设计，其中新建监测井 9 组（32 口），利旧 13 组（32 口），利旧比例 50%；满足不超过监测井总数 60%的要求。

其中上下游 4 个点，修复区周边 3 个点，内部 15 个点。15 个地下水修复区内部监测点中，有 4 个点同步处于非水溶性有机物区域（面积 2338.8m^2 ）、热脱附修复区域（面积 3102.94m^2 ）内；其余 11 个点处于原位氧化修复区内（面积 14175.08m^2 ）或工艺交界处。

●取样位置设计

综合 HJ25.2、HJ25.6、《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（修订版）》（2024 年 10 月）要求，地下水监测位置的确定应根据监测目的、所处含水层类型及其埋深和相对厚度来确定监测井的深度，且不穿透浅层地下水底板。地下水监测目的层与其他含水层之间要有良好止水性。

一般情况下采样深度应在监测井水面下 0.5 m 以下。地下水采样时非必要不应穿透第一层含水层的隔水底板，避免污染下层含水层；确有必要穿透隔水底板的，应做好相应的防范措施，避免污染第二层及以下含水层。

当含水层厚度大于 6 m 时，原则上应分层进行采样，可采用多层监测，根据污染物特征、含水层结构等进行合理调整。针对不同含水层设置监测井时应分层止水。

对于存在低密度非水溶性有机物污染物（比重小于水、与水不相溶的有机相，如汽油、柴油、煤油等），采样深度应在含水层顶部；对于存在高密度非水溶性有机污染物（比重大于水、与水不相溶的有机相，如三氯乙烯、四氯乙烯、四氯化碳等含氯有机溶剂、煤焦油等），采样深度应在含水层底部和不透水层顶部。

基于上述条件，结合拟布设点位具体情况，总体建井原则为：

1) 根据风评报告，本项目地下水最大污染深度为 14m，因此需将 14m 以上范围内地下水均纳入监测，其中最顶部监测位置可位于初见水位以上 30cm。

2) 采用组井方式，分层止水，且单口井的开筛长度不超过 6m。

3) 针对土壤修复深度大于 14m 区域，为捕捉土壤修复施工对地下水可能造成的二次污染及污染向下迁移情况，可在确保不穿透隔水层底板的情况下适当将 14m 至土壤修复深度范围纳入监测；针对隔水底板较浅的区域，建井深度将适当减少。

4) 部分区域在调查阶段发现存在 DNAPL 的情况。为捕捉 DNAPL 可能污染，需设置相应 DNAPL 监测井，该监测井需进入残积层（隔水层）以下约 1m。

3.5.2.4. 监测项目及评价标准

根据 HJ25.6，修复后地下水的检测指标为修复技术方案中确定的目标污染物。化学氧化、化学还原、微生物修复后地下水的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据修复技术方案中的可行性分析结果和地下水修复工程运行监测结果确定。必要时可增加地下水常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

本项目修复技术方案中确定的地下水修复目标污染物为苯、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、氯仿、四氯化碳、石油烃（C10-C40）；修复技术方案中未明确可能的二次污染物，结合我方前期全扫结果，未发现较大危害的二次污染物；前期地下水修复工程运行监测结果显示仅氯仿个别月份偏高，其他地下水、土壤关注污染物均低于目标值；鉴于本项目涉及过硫酸盐氧化，增加常规指标 pH 值、硫酸盐，考虑到地块涉及异味问题，增加臭度指标。

结合土壤关注污染物情况，确定总的监测指标为：pH 值、硫酸盐、苯、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、氯仿、四氯化碳、石油烃（C10-C40）、臭度、铅、汞、甲苯、乙苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、一溴二氯甲烷。后续根据检出情况酌情对部分指标进行了优化，具体详见检出结果章节内容。

鉴于地下水强流动性，污染指标评价标准从严执行风评报告中对应一类用地修复目标值，未涵盖的执行地下水IV类评价标准及风评推导值。

表 3.5-2 地下水效果评估评价标准

序号	污染物名称	第一类用地修复目标（mg/L）	第二类用地修复目标（mg/L）
1	1,2-二氯乙烷	0.808	3.35
2	苯	0.671	0.671*
3	二氯甲烷	377	377*
4	石油烃（C10-C40）	188	188*
5	四氯化碳	0.398	1.72
6	氯仿	0.362	1.54
7	铅	0.10*	
8	汞	0.002*	
9	甲苯	1.4*	
10	乙苯	0.6*	
11	1,2-二氯苯	2.0*	
12	1,4-二氯苯	0.6*	

序号	污染物名称	第一类用地修复目标 (mg/L)	第二类用地修复目标 (mg/L)
13	一溴二氯甲烷	2.11×10 ⁻³ **	

备注：1）*执行《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV标准；2）**执行《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）计算的一类用地风险控制值。

3.6. 潜在二次污染区

3.6.1. 评估范围

根据各阶段修复方案及现场踏勘情况，六七地块内潜在二次污染区域主要有预处理车间、土壤及筛上物暂存区、淋洗区、热脱附尾气处置区、仓库、运输道路等，评估上述区域受施工活动的污染影响。

3.6.2. 布点位置和数量

根据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018），潜在二次污染区域土壤原则上根据修复设施设置、潜在二次污染来源等资料判断布点，也可采用系统布点法设置采样点，采样点数量参照表1。采集样品以去除杂质后的土壤表层样为主（0~20cm），不排除深层采样。

根据《建设用地土壤污染修复效果评估监测质量控制技术规范》（DB44/T 2417-2023），采样点位布设及采样点数量应符合 HJ 25.5 的要求，依据修复工程的实际情况，结合修复设施设置、潜在二次污染来源等资料确定采样位置与深度，潜在二次污染区域以采集去除杂质后的表层（0~20）cm 土壤样品为主，不排除深层采样，具体视实际情况而定。

地面已做硬底化或防渗处理的区域，应在每个采样单元采集不少于 1 个去除硬化层后的表层（0~20）cm 土壤样品，采样点应位于有明显污染痕迹、裂缝或凹陷、采样单元中央。

无硬底化或防渗地面、运输道路、车辆临时道路等区域，应在每个采样单元采集 9 个表层（0~20）cm 土壤样品制成混合样；采集挥发性有机物土壤样品时，不应采集混合样，在采样单元内采集 1 个去除杂质后的表层 20 cm 以下土壤样品，采样点原则上位于有明显污染痕迹区域或采样单元中央。

3.6.3. 检测指标

修复方案中确定的目标污染物：六七地块土壤、地下水全部关注污染物为：氯仿、石油烃、1,2-二氯苯、1,2-二氯乙烷、二氯甲烷、一溴二氯甲烷、乙苯、1,4-二氯苯、甲苯、苯、四氯化碳、铅、汞。

相邻区域影响：考虑部分设施共用于五地块，同时诸多区域存在相邻情况，涵盖五地块全部关注污染物，增加氯乙烯指标。

二次污染物：因原位化学氧化过程使用到碱性物质，增加 pH 值指标；另我方前期在六七地块内选取了两个代表性样品进行有机污染物全扫，未发现明显有毒有害物质，暂不考虑其他二次污染产物。

总的监测指标为：pH 值、乙苯、氯乙烯、1,2-二氯乙烷、氯仿、1,4-二氯苯、1,2-二氯苯、苯、石油烃、二氯甲烷、一溴二氯甲烷、甲苯、四氯化碳、铅、汞。

3.6.4. 评价标准

根据点位位置执行第二版风险评估报告确定的一、二类用地修复目标值，未涵盖的从严执行相应用地筛选值标准。

表 3.6-1 关注污染物评价标准 (mg/kg)

序号	污染物名称	评价标准	
		一类用地	二类用地
1	氯仿	0.43	1.79
2	苯	1.77	4*
3	甲苯	1173	1173
4	乙苯	12.92	28*
5	1,4-二氯苯	9.27	20*
6	1,2-二氯苯	560	560
7	1,2-二氯乙烷	0.95	5
8	二氯甲烷	130.1	616*
9	一溴二氯甲烷	0.56	1.2*
10	石油烃 (C10-C40)	1076.12	6606.99
11	四氯化碳	0.9*	2.8*
12	铅	400	800
13	汞	8	38
14	氯乙烯	0.12*	0.76

备注：*执行相应用地筛选值标准；

4. 效果评估结果

根据确定的修复目标，采用逐个对比法进行评估，即将样品检测值与修复效果评估标准值逐个对比：1）若样品检测值低于或等于修复效果评估标准值，则认为达到修复效果；2）若样品检测值高于修复效果评估标准值，则认为未达到修复效果。

4.1. 补充修复专项验收采样结果

受检的 316 件样品中：pH 值 7.03~11.03，均值 8.31；1,2-二氯苯 ND~756μg/kg；
119 件样品中，石油烃 9~654mg/kg，均值 73.72mg/kg，苯 ND~48.2μg/kg，
氯苯 ND~103μg/kg；
197 件样品中，氯仿 ND~81.6μg/kg、1,2-二氯乙烷 ND~3.7μg/kg。

表 4.1-1 检出结果统计

序号	检测指标	数量	检出范围	单位	检出数	检出率 (%)	标准限值	
							一类用地	二类用地
1	pH 值	316	7.03~11.03	无量纲	/	/	/	/
2	氯仿	197	ND~81.6	μg/kg	30	15.23%	/	1790
3	1,2-二氯乙烷	197	ND~3.7	μg/kg	2	1.02%	/	5000
4	1,2-二氯苯	316	ND~756	μg/kg	156	49.37%	560000	560000
5	石油烃 (C10-C40)	119	9~654	mg/kg	119	100.00%	1076.12	6606.99
6	苯	119	ND~48.2	μg/kg	14	11.76%	1770	4000
7	氯苯	119	ND~103	μg/kg	38	31.93%	68000	270000

4.2. 总体原位修复区修复效果评估

203 个 pH 值样品中，5.68~10.53，均值 8.20；
 471 个二氯甲烷样品中，ND~96.1 $\mu\text{g/kg}$ ，均合格；
 977 个氯仿样品中，ND~62.8 $\mu\text{g/kg}$ ，均合格；
 165 个四氯化碳样品中，均未检出；
 365 个苯样品中，ND~340 $\mu\text{g/kg}$ ，均合格；
 562 个 1,2-二氯乙烷样品中，ND~3.8 $\mu\text{g/kg}$ ，均合格；
 403 个一溴二氯甲烷样品均未检出，均合格；
 977 个甲苯样品，ND~2230 $\mu\text{g/kg}$ ，均合格；
 418 个乙苯样品，ND~216 $\mu\text{g/kg}$ ，均合格；
 216 个 1,4-二氯苯样品，ND~102 $\mu\text{g/kg}$ ，均合格；
 977 个 1,2-二氯苯样品，ND~1350 $\mu\text{g/kg}$ ，均合格；
 630 个石油烃样品，ND~547，均值 40.2 mg/kg ，均合格。

表 4.2-1 检出结果统计

序号	检测指标	数量	检出范围	单位	检出数	检出率 (%)	评估标准	
							一类用地	二类用地
1	pH 值	203	5.68~10.53	无量纲	/	/	/	/
2	二氯甲烷	471	ND~96.1	$\mu\text{g/kg}$	80	16.99%	130100	616000
3	氯仿	977	ND~62.8	$\mu\text{g/kg}$	68	6.96%	430	1790
4	四氯化碳	165	ND	$\mu\text{g/kg}$	0	0.00%	900	2800
5	苯	365	ND~340	$\mu\text{g/kg}$	11	3.01%	1770	4000
6	1,2-二氯乙烷	562	ND~3.8	$\mu\text{g/kg}$	2	0.36%	950	5000
7	一溴二氯甲烷	403	ND	$\mu\text{g/kg}$	0	0.00%	560	1200
8	甲苯	977	ND~2230	$\mu\text{g/kg}$	178	18.22%	1173000	1173000
9	乙苯	418	ND~216	$\mu\text{g/kg}$	21	5.02%	12920	28000
10	1,4-二氯苯	216	ND~102	$\mu\text{g/kg}$	94	43.52%	9270	20000
11	1,2-二氯苯	977	ND~1350	$\mu\text{g/kg}$	208	21.29%	560000	560000
12	石油烃 (C10-C40)	630	ND~547	mg/kg	629	99.84%	1076.12	6606.99

4.3. 水平阻隔客土检出情况

27 个样品中，pH 值 4.54~7.93，均值 5.65；铜 14.3~37.7，均值 24.58mg/kg；镍 11.0~27.0，均值 17.37mg/kg；锌 46~101，均值 74.41mg/kg；铅 30.0~71.0，均值 44.37mg/kg；镉 0.06~0.28，均值 0.12mg/kg；砷 3.48~18.40，均值 7.59mg/kg；总汞 0.014~0.090，均值 0.054mg/kg；石油烃 7.0~44.0，均值 15.9mg/kg；六价铬及其他受检指标均未检出。因此，各样品受检指标均符合评价标准。

表 4.3-1 检出数据统计

序号	检测项目	评价标准	单位	检测结果	
				检出范围	检出均值
1	pH	/	无量纲	4.54~7.93	5.65
2	铜	2000	mg/kg	14.3~37.7	24.6
3	镍	150	mg/kg	11~27	17.37
4	锌	10000	mg/kg	46~101	74.4
5	铅	400	mg/kg	30~71	44.37
6	镉	20	mg/kg	0.06~0.28	0.12
7	总砷	60	mg/kg	3.48~18.4	7.59
8	总汞	8	mg/kg	0.014~0.09	0.05
9	石油烃 (C10-C40)	826	mg/kg	7~44	15.85

注：上表仅列出检出指标。

4.4. 异味治理效果评估

4.4.1. 工程性能评估

结合施工过程资料及相关检测报告，土工布、HDPE 土工膜等主要材料性能合格；HDPE 膜焊接电火花完整性检测合格，未检出泄漏破损点；粘土回填压实度满足设计不小于 87% 控制指标。各道工序合格，整体工程性能满足设计要求。

4.4.2. 环境空气及嗅辨

2026 年 5 月 24 日，在覆膜覆土阻隔前开展环境空气采样及嗅辨评估，布设的 7 个环境空气样品均低于评估标准限值，11 个嗅辨评估点位中，出现 1 个臭气强度 2 级点位、2 个 1 级点位，其他均为 0 级。

2026 年 7 月 13 日，在五地块施工完成后、六七地块部分区域未覆膜前开展环境空气采样及嗅辨评估，5 个环境空气样品均满足评价标准；11 个嗅辨点位中，出现 1 个臭气强度 2 级点位、4 个 1 级点位，其余点位为 0 级。

2026 年 8 月 10 日-11 日，在五、六七地块均施工完后开展环境空气采样及嗅辨评估，布设的 7 个环境空气样品均低于评估标准限值，12 个嗅辨评估点位中，出现 4 个 1 级臭气强度点位，其余点位为 0 级。

4.5. 地下水修复效果评估

汇总 9 批次检出情况，主要关注污染物均满足评价标准，具体为：

576 个样品中，pH 值 6~9，均值 7.13；色度 ND~200，均值 37.9；臭和味：等级 1~等级 3；硫酸盐 0.18~1680mg/L，均值 261.8mg/L；石油烃 ND~6.32mg/L，均值 0.44mg/L；二氯甲烷 ND~43.9μg/L；氯仿 ND~197μg/L；四氯化碳 ND~3μg/L；1,2-二氯乙烷 ND~7μg/L；苯 ND~15.8μg/L；

256 件样品中，2,4-二氯苯酚均未检出。

128 件样品中，汞、铅均未检出；一溴二氯甲烷 ND~1.6μg/L；1,4-二氯苯 ND~2.8μg/L；1,2-二氯苯 ND~191μg/L；乙苯 ND~2.2μg/L；甲苯 ND~10.6μg/L。

各批次数据显示修复后地下水水质总体较稳定，但依然具有较明显的臭和味。

表 4.5-1 地下水检出情况汇总

序号	检测指标	数量	检出范围	单位	检出数	检出率（%）	标准限值
----	------	----	------	----	-----	--------	------

序号	检测指标	数量	检出范围	单位	检出数	检出率(%)	标准限值
1	pH 值	576	6~9	无量纲	/	/	/
2	色度	576	ND~200	度	573	99.48%	/
3	臭和味	576	等级 1~等级 3	等级 ^d	/	/	/
4	硫酸盐	576	0.18~1680mg/L	mg/L	576	100.00%	350
5	石油烃	576	ND~6.32mg/L	mg/L	574	99.65%	188
6	二氯甲烷	576	ND~43.9μg/L	μg/L	16	2.78%	377000
7	氯仿	576	ND~197μg/L	μg/L	51	8.85%	362
8	四氯化碳	576	ND~3μg/L	μg/L	4	0.69%	398
9	1,2-二氯乙烷	576	ND~7μg/L	μg/L	12	2.08%	808
10	苯	576	ND~15.8μg/L	μg/L	33	5.73%	671
11	2,4-二氯苯酚	256	ND	μg/L	0	0.00%	93 ^c
12	汞	128	ND	mg/L	0	0.00%	0.002 ^a
13	铅	128	ND	mg/L	0	0.00%	0.1 ^a
14	一溴二氯甲烷	128	ND~1.6	μg/L	4	3.13%	2.11 ^b
15	1,4-二氯苯	128	ND~2.8	μg/L	4	3.13%	600 ^a
16	1,2-二氯苯	128	ND~191	μg/L	52	40.63%	2000 ^a
17	甲苯	128	ND~10.6	μg/L	2	1.56%	1400
18	乙苯	128	ND~2.2	μg/L	1	0.78%	600

备注：

^a根据《地下水质量标准》（GB/T14848-2017 IV类）；

^b根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）计算的一类用地风险控制值；

^c根据地表水环境质量标准（GB3838-2002）中集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值。

^d：等级 1：臭和味微弱，一般饮用者难观察，但臭、味敏感者可以发觉；等级 2：臭和味弱，一般饮用者刚能察觉；等级 3：臭和味明显，已能明显察觉。

4.6. 潜在二次污染区效果评估

根据修复方案及现场实际施工情况,地块涉及潜在二次污染区域主要包括洗车区、开挖产生土壤及筛上物堆存区、淋洗区、热脱附尾气处置区、运输道路、危废仓库等。本次效果评估共涉及 2 次采样,第 1 次采样布点 22 个、第 2 次采样布点 23 个,每个点均采集 0~20cm 表层样,样品总计 45 个。

45 个土壤样品中, pH 值 6.07~10.0, 均值 8.29; 总汞 0.026~22.8mg/kg, 均值 4.29mg/kg; 铅 30~134mg/kg, 均值 70.5mg/kg; 石油烃(C₁₀~C₄₀) 23~409mg/kg; 苯未检出; 甲苯 ND~30.6μg/kg; 乙苯 ND~81.5μg/kg; 氯乙烯 ND~74μg/kg; 二氯甲烷未检出; 四氯化碳未检出; 1,2-二氯乙烷 ND~3.5μg/kg; 1,4-二氯苯 ND~130μg/kg; 1,2-二氯苯 ND~49400μg/kg; 氯仿 ND~23.8μg/kg; 一溴二氯甲烷 ND~1.2μg/kg。

对比评价标准,汞出现 8 个样品超一类不超二类用地标准,无超二类用地修复目标值样品;因该 8 个点位均位于 B 区,执行二类用地评价标准,因此仍符合修复目标要求。

4.7. 修复效果评估小结

4.7.1. 已开展效果评估情况

本项目先后于 2023 年 4 月、2025 年 8 月开展第一、二阶段效果评估，合计完成验收重金属单一污染土壤 11684.95m³、重金属有机复合污染土壤 13327.97m³、有机单一污染土壤 1444.88m³；对比第二版、第三版风评划定污染区，剩余有机单一污染土壤 151583.95m³、污染地下水 17278.02m²、异味治理管控 24036.05m²待效果评估，前述未验收区域及各阶段施工过程涉及潜在二次污染区全部纳入本阶段验收。

4.7.2. 本阶段效果评估情况

本次修复效果评估范围为风评报告中确定的地块全部土壤污染区域及异味治理区，监测内容包括：1) 污染土壤原位修复、地下水修复效果；2) 异味治理水平阻隔涉及外来客土；3) 地块土壤气及环境空气；4) 地块潜在二次污染区域土壤，各内容监测结果如下：

(1) 异味调查发现超标区补充修复专项验收

2025 年 8 月 4 日-8 月 14 日布设 68 个点位，采集样品 316 件，受检的指标已满足风评目标要求，满足补充修复效果合格；

(2) 原位修复总体效果评估

共布设 201 个点位，采集 983 件样品，受检的指标已满足风评目标要求，表明污染土壤原位修复效果合格。

(3) 地下水修复效果评估

共布设 22 组 64 口地下水监测井，按 1-3 个月频次采集 9 批次、共计 576 件地下水样，主要关注污染物已满足风评目标要求，表明污染地下水修复效果合格。

(4) 异味治理效果评估

1) 异味治理水平阻隔外来客土

2026 年 6 月 6 日采集客土 27 件，各样品受检指标均满足 GB36600 一类用地筛选值标准。

2) 水平阻隔工程性能评估

结合施工过程资料及相关检测报告，土工布、HDPE 土工膜等主要材料性能合格；HDPE 膜焊接电火花完整性检测合格，未检出泄漏破损点；粘土回填压实度满足设计不小于 87%控制指标。各道工序合格，整体工程性能满足设计要求。

3) 地块土壤气及环境空气

土壤气：2026 年 5 月、2026 年 9 月，于异味治理区施工前后布设土壤气 10 口，施工前采样 1 次、施工后采样 2 次，检测结果表明施工前后土壤气检出浓度均低于评估标准限值，且施工后检出浓度总体低于施工前。

环境空气：2026 年 5 月-2026 年 9 月，对五、六七地块整体环境空气质量进行采样监测，施工前、中、后期各开展 1 次，3 次环境空气采样共计 19 个空气样品检测结果均满足评价标准。

嗅辨评估：2026 年 5 月-2026 年 9 月，对五、六七地块整体进行嗅辨评估，施工前、中期各开展 1 次，施工后开展 2 次，4 次嗅辨共计 46 个嗅辨点评估结果表明臭气强度最高等级从第 1 次采样的 2 级已降至第 4 次采样的 0 级，异味治理效果较明显。

(3) 地块潜在二次污染区域土壤

2026 年 5 月 9 日—2026 年 5 月 13 日，2026 年 8 月 24 日—2026 年 8 月 25 日，共布设 45 个表层点位采集 45 件样品，检出结果显示各受检指标均满足相应用地类型修复目标值要求。

综上，本项目污染范围内的目标污染物全部修复达标，修复效果满足风评要求的修复目标值要求；修复施工活动未对周边潜在二次污染区带来明显污染影响；异味治理效果较显著，土壤气、环境空气检出结果均满足补充污染风评目标值要求，土壤气、环境空气受检指标达到异味治理要求。

5. 结论和建议

5.1. 效果评估结论

5.1.1. 文件评估结论

经文件审核，修复、治理工程前期的地块调查风险评估报告，土壤修复、治理方案均按环境保护管理要求完成备案手续，修复、治理工程各相关技术资料与附件齐全基本完整、内容总体详实。

5.1.2. 修复工程环保措施落实结论

通过对修复或治理过程施工记录、污水处理记录、监理记录和监测数据等的审核，确定修复或治理方案中的环保措施已基本得到落实，环境保护设施与措施基本上符合修复治理方案、环境监理方案等备案文件的要求。

5.1.3. 修复过程污染防治效果评估结论

经现场踏勘及对修复过程施工记录、监理记录和监测数据等的审核，现场二次污染防治措施已按修复方案要求落实，且环境监理单位对修复工程实施过程中产生的污（废）水、废气、噪声、地下水等可能产生的二次污染及环境影响的因素进行监测，通过二次污染防治检测数据的审核，明确施工过程中各类污染物达标排放，各类固体废物利用或处置符合修复方案的要求。总体来说修复治理工程未对地块及周边环境造成明显污染。

5.1.4. 土壤修复效果评估结论

（1）污染土壤原位修复效果评估

2025 年 8 月 8 日-2025 年 8 月 14 日对异味调查发现超标区补充修复后的原位修复区土壤进行采样，共布置 68 个采样点位，采集样品 316 件（不含平行样，下同）；于 2023 年 7 月 8 日、2026 年 1 月 12 日-2026 年 1 月 28 日对原位修复区总体进行采样，共布置 201 个采样点位，采集样品 983 件。检测结果显示污染土壤修复效果已达到风评目标。

（2）地块异味治理效果

1) 水平阻隔工程性能评估

结合施工过程资料及相关检测报告，土工布、HDPE 土工膜等主要材料性能合格；HDPE 膜焊接电火花完整性检测合格，未检出泄漏破损点；粘土回填压实度满足设计不小于 87% 控制指标。各道工序合格，整体工程性能满足设计要求。

2) 水平阻隔客土

2026 年 6 月 6 日采集客土 27 件，各样品受检指标均满足 GB36600 一类用地筛选值标准。

3) 土壤气及环境空气

2026 年 5 月-9 月，对异味治理前后土壤气、环境空气进行采样及嗅辨评估，结果显示，土壤气、环境空气检出结果均满足补充污染风评目标值要求，臭气强度最高等级从第 1 次嗅辨的 2 级降至第 4 次采样的 0 级。

(3) 修复地下水效果评估

共布设 22 组 64 口地下水监测井，2024 年 12 月-2026 年 4 月期间按 1-3 个月频次采集 9 批次、共计 576 件地下水样，主要关注污染物已满足风评目标要求，表明污染地下水修复效果合格。

(4) 潜在二次污染区域效果评估

2026 年 5 月、2026 年 8 月先后布设 22 个和 23 个采样点位，采集 45 个表层样，检出结果显示各受检指标均满足修复目标值要求。

结合前期于 2023 年 4 月、2025 年 8 月已开展第一、二阶段效果评估情况，可判定本地块风评划定污染区已全部修复合格，异味治理效果较明显，达到风评目标要求。

5.1.5. 修复效果评估结论

本地块效果评估通过文件审核、现场勘查、现场采样和检测分析等，对地块土壤污染的治理修复效果，以及修复过程二次污染防治效果等进行调查，修复工作符合相关要求。修复范围与修复工程量测量评估为合格，修复或治理工程完成了《风评报告》及《修复方案》划定污染区域的修复或治理。检测结果显示，地块内污染土壤目标污染物浓度均已低于相应的修复目标值、异味治理效果达到补充污染风评目标要求。因此，可判断本项目修复治理工程完成预期目标，该地块可以作为公园绿地（G1，不涉及 G1 类中的社区公园和儿童公园用地）和城市

道路用地（S1），可申请移出建设用地土壤污染风险管控和修复名录。

5.2. 建议

1、全面落实阻隔工程成品保护措施，清晰划定阻隔防护区域边界，设立醒目警示标识，严禁各类施工机械进场碾压、尖锐物料堆放及穿刺破坏防渗膜。同步规范绿化种植设计，场区绿化优先选用浅根系植被，严禁栽植深根乔木及穿透力强的植物，有效防范植物根系生长穿透防渗膜，杜绝阻隔体系破损失效，保障场地阻隔系统完整性与稳定性。

2、受土壤空间高度异质性、气象条件差异、采样监测操作、嗅辨人员嗅觉灵敏度个体差异等多重因素影响，致采样监测结果存在一定不确定性，建议严格落实全场区有效管控，禁止擅自对下部土壤进行开挖扰动；结合后期规划及开发需求，加快对场内暂未覆膜或覆土区进行阻隔，补齐工程防护短板，进一步降低其他区域污染扩散风险。

3、在场区主要出入口、异味重点管控区域、人员通行密集区域设置固定公示标牌，清晰公示场地污染治理背景、修复及阻隔工程实施情况、日常管控要求、禁止行为及应急注意事项。畅通群众及现场人员异味问题反馈、投诉上报渠道，建立问题台账，实现异味隐患及时发现、快速处置、闭环管理。

4、建立场地后期常态化跟踪监测机制，尤其需关注环境空气及嗅辨评估情况，工程完工初期适当加密监测频次，工程完工初期适当加密监测频次，精准掌握场地环境质量动态变化。后期可根据监测数据情况酌情优化监测频次与持续监测时长。严格执行监测数据上报制度，一旦发现监测数据异常、指标波动超标等问题，第一时间排查原因并及时上报主管部门，防范环境风险隐患。

5、开展场区日常常态化巡查养护，重点排查覆土沉降、雨水冲刷、外力破坏造成的覆土开裂、膜布裸露、土体破损等问题，发现隐患立即开展修复整改，确保防护体系持续完好。严格执行场地管控禁令，未经专业技术论证及生态环境主管部门审批同意，任何单位及个人严禁擅自开展场区土壤开挖扰动、土方清运、地下水抽取取用等违规作业，从源头规避二次污染及场地结构破坏风险。

6、全面梳理完善土壤修复工程、异味阻隔工程相关施工资料、检测报告、验收资料、运维管理制度等全套档案材料，做到资料完整、数据详实、台账规范，实行长期存档管理，并按要求报送至相关主管部门备案。严格落实工程资料及后

期运维管理要求的交接工作，明确各方管护责任，确保场地长效管控工作无缝衔接、持续落地。