原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1号地块）风险管控与修复治理工程

效果评估阶段性报告

目录

1 项目概况 1

1.1 项目背景 1

1.2 编制目的 2

1.3 编制依据 2

1.3.1 国家相关法律、法规、政策 2

1.3.2 相关标准、技术导则、技术规范 3

1.3.3 项目相关文件 4

1.3.4 工作范围 5

1.3.5 工作内容 5

1.3.6 工作程序 5

2 地块概述 7

2.1 地块基本情况 7

2.2 地块水文地质条件 7

2.2.1 场区地形地貌 7

2.2.2 场区地层岩性 8

2.2.3 含水岩组的划分 8

2.2.4 地下水类型及富水性 9

2.3 地块前期调查结果 13

2.3.1 初步调查阶段 13

2.3.2 详细调查阶段 15

2.4 地块风险评估结果 27

2.4.1 土壤风险评估结论 27

2.4.2 地下水风险评估结论 28

2.5 修复目标 29

2.5.1 土壤修复目标 29

2.5.2 地下水修复目标 30

3 修复与管控效果评估方案 32

3.1 文件审核与现场勘查 32

3.1.1 文件审核 32

3.1.2 现场勘察 32

3.2 土壤修复区域布点方案 33

3.2.1 基坑清挖效果评估 33
3.2.2 固化稳定化修复效果评估 34
3.3 场地内建筑垃圾评估 35
3.4 可能产生二次污染的区域 35
3.5 废水处理的修复效果评估 36
3.6 阻隔工程性能指标评估 36
3.7 地下水修复效果评估 37
4 修复效果评估 38
4.1 评估标准 38
4.2 结论 41

1 项目概况

1.1 项目背景

原柳州市环东金属材料有限公司地块包含多个污染地块，本项目主要针对原柳州市环东金属材料有限公司 1 号地块（后统称为“1 号地块”），该地块为柳州市环东金属材料厂地块（又名“独静路 89 号地块”）的一部分，地块面积为 49231.88 m^2（约 73.85 亩），未来规划用途为公园绿地（G1，经核实为社区公园）。

柳州市环东金属材料厂（后简称“环东金属厂”），位于广西壮族自治区柳州市城中区静兰街道静兰村独静路89号，总占地面积约12.4万m^2（约186亩）。该企业于1992年12月注册成立，1993年12月建成投产，2003年全线停产，主要以广西南丹大厂矿区的脆硫铅锑矿为原料，采用国内先进的火法除铅工艺生产锑锭、高铅锑和少量锑白，以含铅精矿加工生产电解铅，从电解铅阳极泥中回收银。经扩建和技术改造，形成年产2500吨锑、6000吨铅（或高铅锑）、20~200吨锑白、13吨银（实际产量1吨左右）的生产规模，成为柳州市最大的锑冶炼厂，分为环东金属厂本部（主要生产铅锭和锑锭）和泰峰分厂（主要生产锑锭和锑白）进行生产。2003年，环东金属厂全线停产后，地块交由柳州市环东物流有限责任公司（后简称“环东物流公司”，该公司与环东金属厂为兄弟公司）使用，土地用途为物流仓储用地。环东物流公司于2019年6月搬迁，地块土地被闲置，随后被柳州市土地交易储备中心收储，收储后命名为独静路89号地块，并按地块未来开发利用规划情况分为5个子地块，1号地块规划为公园绿地，2号地块规划为商业金融用地，3号地块规划为中、小学用地，4号地块规划为二类住宅用地和居住商业综合用地，5号地块规划为幼儿园和二类住宅用地。因此，根据《中华人民共和国土壤污染防治法》第五十九条“用途变更为住宅、公共管理与公共服务用地的，变更前应当按照规定进行土壤污染状况调查”要求，2020年2月柳州市土地交易储备中心委托广西柳环环保技术有限公司完成独静路89号五个地块的土壤污染状况初步调查工作，确定1号地块、3号地块、4号地块和5号地块土壤环境存在重金属污染，为污染地块，需开展详细调查和风险评估工作。

2020年6月，柳州市生态环境局委托南方环境有限公司对柳州市环东金属材料厂1号地块开展土壤环境详细调查、风险评估及修复实施方案编制工作。根据

该地块的场地环境调查、风险评估报告显示，该地块局部土壤及地下水需开展修复治理工作。

2021年11月8日，柳州市土地交易储备中心进行了本项目公开招投标（EPC），由香山红叶集团有限公司（以下简称“香山红叶”）中标并负责实施土壤及地下水的修复治理工程。

2022年1月18日，柳州市土地交易储备中心对修复工程效果评估工作进行了公开招投标，由我司上海康恒环境修复有限公司中标并实施。2022年3月18日，我司组织并通过了《原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1号地块）风险管控与修复治理效果评估工作计划》专家咨询会，专家咨询会意见见附件5。

2022年8月，在修复实施过程中，应政府综合开发需求，1号地块西部区域需接纳 3 号地块修复土壤，此外结合现场实际情况，柳州市土地交易储备中心和市生态环境局对原实施方案中的相关问题进行认真深度讨论，并委托香山红叶对《原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理项目实施方案（备案稿）》（以下简称《实施方案》（备案稿））中相关内容进行变更调整，调整后经市生态环境局组织有关专家对《柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理项目实施方案》（变更版）（以下简称《实施方案》（变更版））进行了评审，专家组同意实施方案变更稿通过评审，并由市生态环境局原则同意该方案变更调整（具体变更内容见变更汇总表）（函见附件6）。

我司开展环东 1 号地块修复及管控效果评估，针对现阶段已完成的土壤开挖修复及管控工作，开展阶段性效果评估并编制阶段性效果评估报告。

1.2 编制目的

审核相关文件，开展现场踏勘和人员访谈工作，根据修复工程施工情况，合理布设采样点位。根据第三方实验室样品检测结果，考察场地范围内是否存在二次污染问题，评估修复工程修复效果是否达到风险评估报告确定的修复目标。

1.3 编制依据

1.3.1 国家相关法律、法规、政策

- 《中华人民共和国环境保护法》，2015；
- 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2018；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2013；
- 《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）；
- 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》，环境保护部[2016]42 号令；
- 《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）；
- 《工业企业场地污染环境调查评估与修复工作指南（试行）》（环发[2014]78 号）
- 《关于加强工业企业场地再开发利用环境管理的通知》（合环[2015]99 号）

1.3.2 相关标准、技术导则、技术规范

- 《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）
- 《 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（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）
- 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》（环境保护部 公告 2017 年第 72 号）
- 《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）
- 《土壤环境监测技术规范》（HJT166-2004）

- 《地下水环境监测技术规范》（HJT164-2020）
- 《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》（HJ1019-2019）
- 《聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范》（SL/T231-98）
- 《土工合成材料聚乙烯土工膜》（GB/T17643-2011）
- 《土工合成材料长丝纺粘针刺非织造土工布》（GB/T17639-2008）
- 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）
- 《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB30770-2014）
- 《自治区环境保护厅关于印发广西壮族自治区土壤污染治理与修复规划（2017~2030年）的通知》桂环规范〔2018〕4号
- 《广西壮族自治区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》桂环规范〔2021〕2号

1.3.3 项目相关文件

- 《柳州市环东金属材料厂1号地块、3号地块及南面道路场地详细调查报告（备案稿）》（南方环境有限公司，2020年11月）
- 《柳州市环东金属材料厂1号地块土壤污染风险评估报告（备案稿）》（南方环境有限公司，2021年2月）
- 《原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理项目实施方案（备案稿）》（南方环境有限公司，2021年4月）
- 原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理项目施工组织设计（香山红叶集团有限公司，2022年2月）
- 《柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1号地块）风险管控与修复治理项目实施方案》（变更版）（香山红叶集团有限公司，2022年8月）
- 《柳州市生态环境局关于同意原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理项目实施方案变更调整的函》（柳州市生态环境局，2023 年 2 月）
- 《原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理项目竣工报告》（香山红叶集团有限公司，2023 年 11 月）
- 《原柳州市环东金属材料有限公司地块（1 号地块）风险管控项目环境监理总结报告》（方大国际工程咨询股份有限公司，2023 年 11 月）

- 《原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理项目工程监理报告》（珠海巨业建设监理有限公司，2023 年 11 月）

1.3.4 工作范围

根据生态环境部相关管理办法和技术导则要求，开展本项目土壤修复效果评估，以确认修复工程的实施是否达到要求。具体包括：

（1）开展处置工作记录审核评估：通过对监理方和施工方资料审核，分析施工单位是否按照要求进行修复；

（2）修复实施过程二次污染防治效果评估：通过对环境监理资料审核，分析评估修复工程实施过程中，是否落实二次污染防治措施，并达到预期效果；

（3）土壤修复效果评估：依据国内外相关标准和技术导则，对修复区域基坑及修复后土壤进行采样，评估土壤中污染物是否达标；

（4）地下水修复效果评估：对场地内修复后的地下水进行效果评估，判断地下水中污染物是否达标。

1.3.5 工作内容

基于修复工程进度开展阶段性效果评估工作，主要工作包括以下几部分：

（1）调查记录修复场地实际情况，并结合国家导则、技术规范的要求，有针对性地编制效果评估工作方案；

（2）开展修复工作记录审核，以环境监理单位及工程监理单位的工作记录及监测文件为评价依据，对施工单位、工程监理单位和环境监理单位修复实施过程的记录及监测文件进行审核；

（3）组织开展项目竣工效果评估，对修复工程的修复效果进行检测，收集并整理修复工程施工单位和监理单位的报验资料，编制该土壤修复项目效果评估报告。

1.3.6 工作程序

本次工作的效果评估程序如下图所示：

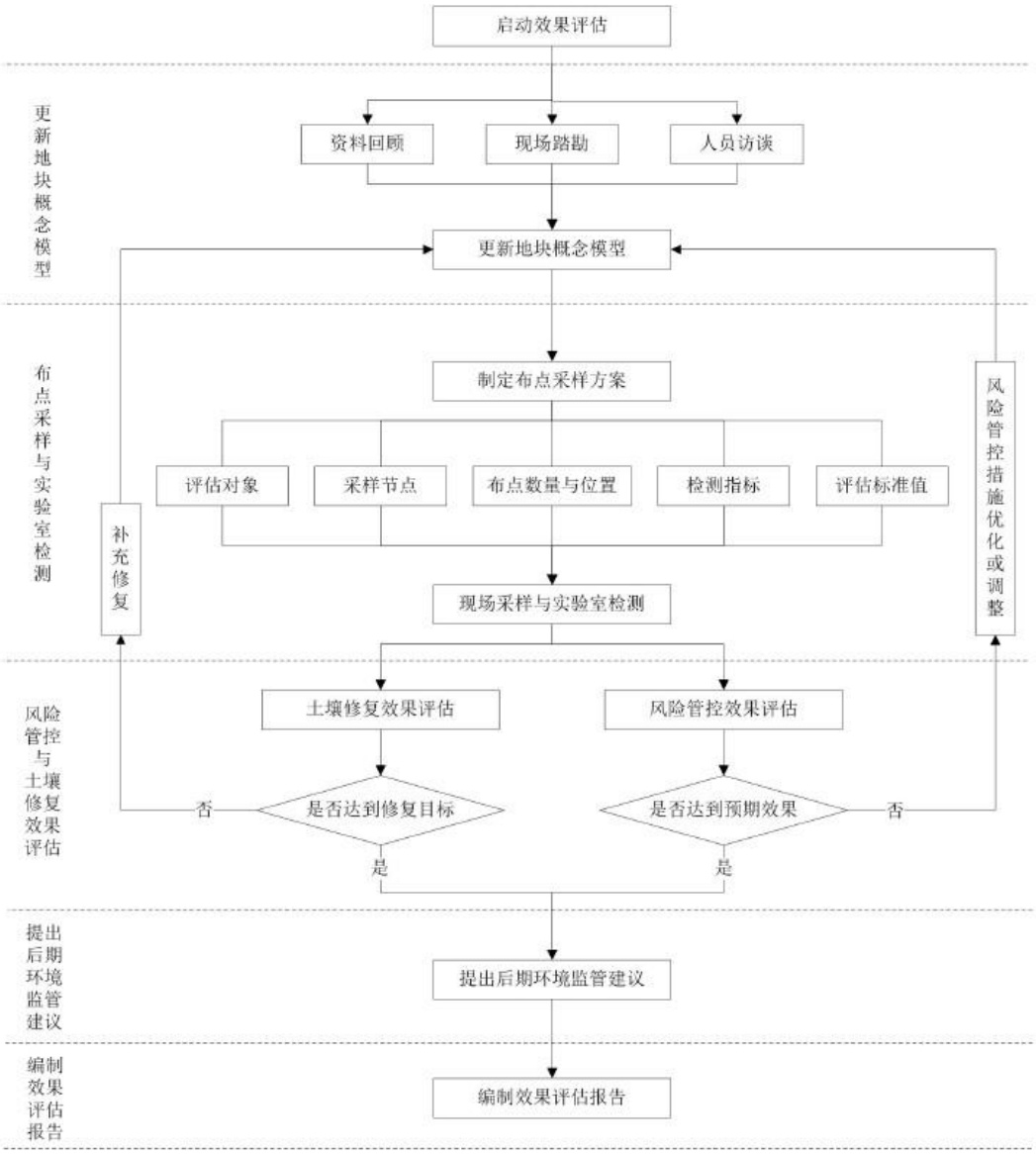

图 1.3-1 效果评估工作程序

2 地块概述

2.1 地块基本情况

本项目地块位于广西壮族自治区柳州市城中区静兰街道静兰村独静路89号，占地面积为49231.88m^2（约73.85亩），地块中心坐标为东经109.472086°，北纬24.324857°。地块距柳州市市中心6km，东距柳江约580m。地理位置如下图所示。地块西至原柳州市环东金属材料厂2号地块，北至小马鞍山及莲花山庄，东至大唐官邸售楼部和莲花山庄，南至三林新村、大唐官邸项目建设工地和原柳州市环东金属材料厂3号地块。

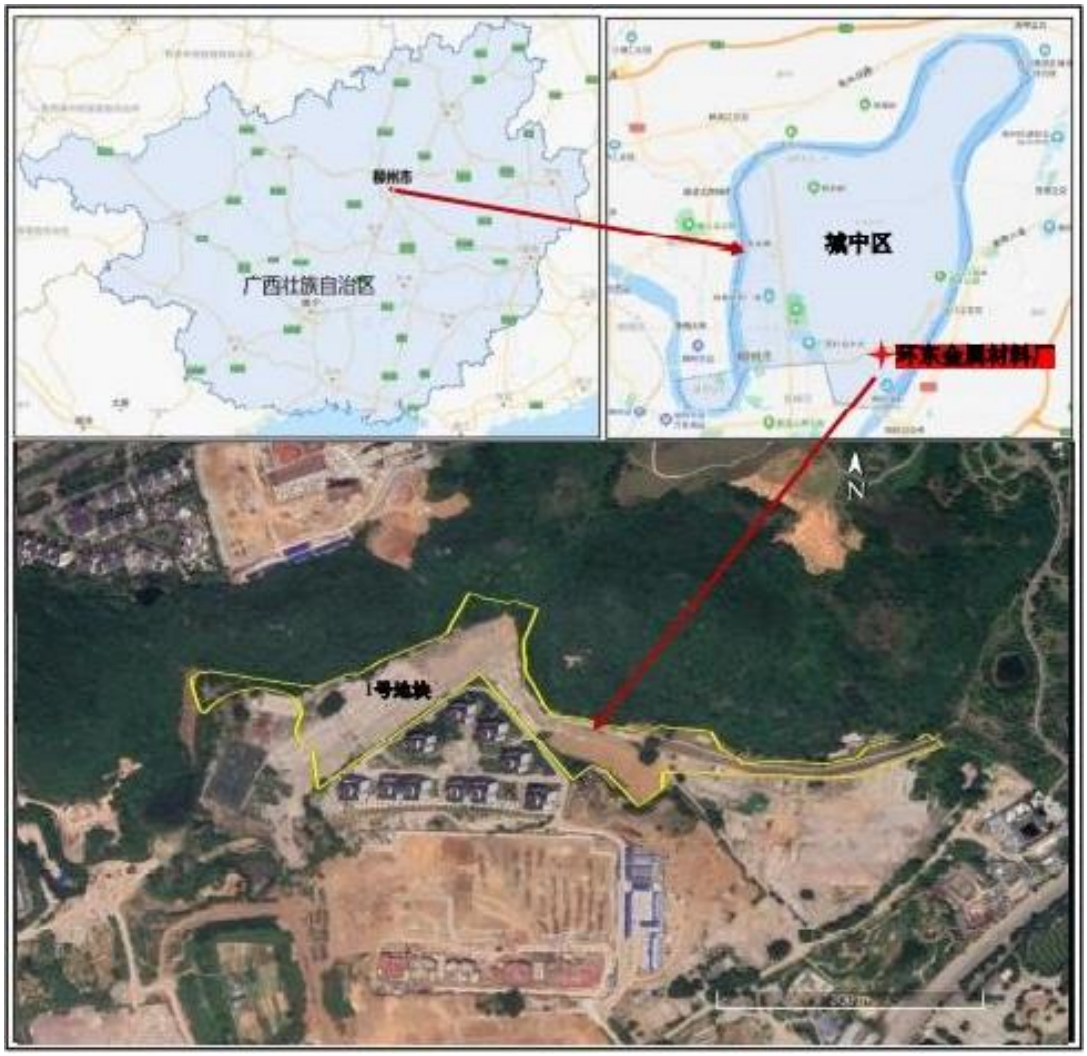

图 2.1-1 地块地理位置图

2.2 地块水文地质条件

2.2.1 场区地形地貌

地块所在区域宏观上所处地貌单元主要为岩溶峰林谷地（平原）地貌，区内谷地（平原）地面标高90～100m左右，在调查区部一带峰林标高在250～300m，高差150～200m，峰顶保留有明显的古剥蚀面，为晚期峰林剥离夷面的残余。受断层及构造裂隙控制，峰林与谷地主要呈西西向分布。在调查区的东、西两侧临近柳江河地段，地貌单元主要为河流I、II级阶地。

调查地块为柳州市独静路89号，地面标高约为85.30～93.30m，地形地势较为平坦，两侧低中间高，即1号地块西部地势较低，大多数地面有硬化，其中部狭长地带的北段地势较高，高程与相邻的三林新村地面高程基本一致，高出两侧2.0~3.0 m左右，再往东区域及3号地块、南面道路地块地势较低、平坦。

2.2.2 场区地层岩性

根据钻探揭示，本地块表层为第四系（Q_4^{ml}）杂填土，覆盖层主要为第四系冲洪积成（Q_4^{al}）的黏土，下伏基岩为石炭系上统马平组（C_2Pm）灰岩地层。各地层的工程地质特征自上而下分述如下：

①杂填土（Q_4^{ml}）：杂色，以黏性土为主，混夹有混凝土及碎石等建筑垃圾，硬质物含量大于40%，回填时间约为5～10年，属高压缩性土。该层在地块均匀揭露有揭露，揭露层厚0.20～10.70m。从现场素填土和杂填土的分布情况来看，地块内应存在多次回填的历史，不同区域存在一定的差异。

②黏土（Q_4^{al}）黄色、棕黄色、棕红色，硬塑状，粘性好、韧性高，干强度高，结构致密，夹少量铁锰结核，局部见风化岩石碎块，切面光滑，手按指纹不清，土体结构致密，分布层厚5～25m不等。

③马平组(C_2Pm)：岩性为灰白色、灰色中厚层及厚层块状石灰岩，局部夹燧石结核或白云岩，地层倾向，倾角约10～25°岩溶中等发育，分布层厚大于378m不等。在前期详细调查阶段，仅部分点位钻探揭露基岩层，地块内未发现溶洞现象。在地下水补充调查阶段，南面道路地块中段位置BS5基岩面以下1.8~3.0m深度（地面以下17.8~19.0m深度）发现软塑黏土，经现场判断该层黏土层为溶洞地层，且发现相邻5号地块内距离BS5约35.0m的监测井1已发生淤泥堵塞情况，因此判断在南面道路地块及南部5号地块相邻位置区域可能存在溶洞情况。

2.2.3 含水岩组的划分

根据钻探揭露地层岩性及其组合，含水介质特征，将场区划分为松散岩类含水岩组及碳酸盐岩含水岩组两种类型。

（1）松散岩类含水岩组

根据调查及钻孔揭露，地块内上覆第四系主要由人工堆积成因的筑填土及冲洪积成因的黏土组成，叠加层厚13.10-29.60m不等。该岩组主要靠大气降水入渗补给。上部的筑填土，结构松散，透水性较强，由于地势较高，该层土一般仅出露于表层，为强透水而不含水；而下部的黏土，土体中含有少量的砂、圆砾，结构较致密，透水性弱-中等。该土层分布厚度大，含孔隙潜水。

（2）碳酸盐岩含水岩组

分布于整个场区，下伏于第四系土层之下，层顶埋深13.10-29.60m，岩性主要由马平组(C_2Pm)灰岩组成。根据钻探显示，各钻探孔均未揭露溶洞，岩溶个体形态以溶蚀及构造裂隙为主，且多为方解石脉充填，岩体较完整，地下水赋存于岩石的构造裂隙溶孔溶隙中，但赋存空间有限。

2.2.4 地下水类型及富水性

根据地块水文地质调查结果，结合区域水文地质资料分析，地块内的地下水按其赋存条件、水理性质、水动力等特点，将地块内的地下水划分为松散岩类孔隙水及碳酸盐岩裂隙溶洞水两种类型，其中以碳酸盐岩裂隙溶洞水为主。

（1）松散岩类孔隙水

赋存于第四系松散堆积层孔隙中，其中峰林谷地溶余堆积成因的红黏土，结构致密，为基本不透水或弱透水不含水的非含水层；柳江河两岸河流阶地冲洪积成因的松散堆积层，主要由黏土、砂砾石土组成的二元结构，结构较为松散，具透水和贮水的条件，含孔隙水。根据区域水文地质统计计算资料，单井涌水量100～500m^3/d，水量中等。

据详细调查及地下水补充调查阶段对该层地下水的水位测量，发现丰水期地块内各位置均有松散岩类孔隙水的分布，水量丰富，埋深较浅，测量地下水埋深为0.52~5.32m；枯水期该层地下水埋深比丰水期低4.0~6.0m 左右，在部分区域如1号地块西部因水位下降未发现该层地下水，而1号地块中部、西部该层地下水相对较丰富，地下水埋深为6.585~11.39m。

（2）碳酸盐岩裂隙溶洞水

该类型地下水主要赋存运移于碳酸盐岩含水岩组的灰岩、白云岩、白云质灰岩及泥晶灰岩、燧石灰岩的溶蚀裂隙、溶洞中，其广泛分布于整个本地块范围内。地下水的富水性变化主要受构造、岩溶发育程度、地貌以及补给条件等因素控制。据区域水文地质资料，分布于整个地块马平组(C2Pm)灰岩，岩溶中等发育，单井涌水量345.0～1476.0m^3/d，平均值为821.24.0m^3/d，钻孔单位涌水量为0.343～1.474L/s·m，平均值为0.816L/s·m；黄龙组(C2h)白云岩、白云质灰岩岩溶中等-强发育，单井涌水量425～9325.0m^3/d，平均值为1707.26.0m^3/d，钻孔单位涌水量为0.717～3.107L/s·m，平均值为1.700L/s·m，根据《矿山水文地质工程地质勘探规范》（GB12719-91）附录C 含水层富水性分级依据，将本地块所在区域内碳酸盐岩裂隙溶洞水的富水性划分成中等及丰富两个等级。

（3）地下水补、径、排特征

①水文地质单元边界及划分

地块位于柳州市柳河曲地段内，根据前人研究成果表明：受古水文网与现代水文网的共同作用，柳江河曲地带，作为适应古水文网的标志，河曲间依然存在地表及地下分水岭，在红花水电站蓄水前，分水岭的位置已明显不对称，紧靠西部河岸带，显示现代水文网对河曲地带地表、地下水的袭夺作用。根据广西壮族自治区地质环境监测总站于2017年完成的《柳州市地下水资源与城市应急后备水源地评价报告》资料显示，在对红花水电站正常蓄水十年后进行的一次较为系统且全面的地下水位观测，结果表明原分布了柳江河曲地带西侧的地下水分水岭明显移至环大道沿线一带，从而将地块划分成东部、西部两个次级水文地质单元，本地块位于东部水文地质单元内。

②地下水补给

地块主要为碳酸盐岩地层，多为浅覆盖型的岩溶峰林谷地（平原）区，地下水类型主要为碳酸盐岩裂隙溶洞水，其次为松散岩类孔隙水。地下水的补给循环受地形地貌、地质构造、地层岩性和水文网分布的特点所控制。

A、大气降水是松散岩类孔隙水的主要补给来源，其次为地表河流的侧向入渗补给，局部地段还接受生活污废水的渗漏补给。松散岩类含水岩组主要分布于河流阶地一带，地形平缓，地层岩性为透水性较好的黏土及砂砾土组成，有利于大气降雨入渗补给地下水，补给量较大。

B、大气降水是岩溶区地下水的主要补给来源，大气降水主要通过岩溶洞穴、溶蚀裂隙缓慢的渗透补给地下水，由于地块部分地段地貌为峰林，基岩裸露于地表，溶蚀裂隙发育，有利于大气降水入渗补给地下水，补给量较大。而在谷地（平原）地段，由于上覆的第四系红黏土层透水性差、分布厚度大，且城市建设地表硬化，不利用利于大气降水入渗补给地下水，其补给量相对较弱。但地块为柳江河曲地段，地下水与地表水水力联系密切，在丰水期地下水时常接受地表河水的侧向入渗补给，补给量大。除此之外，岩溶区地下水还接受松散岩类孔隙水的垂向补给。

③地下水的径流和排泄

赋存于河流阶段的松散岩类孔隙水，接受大气降水补给后，往往就近排泄于柳江；而在地块溶余堆积的局部地段，由于上部存在人工填土或淤泥质土，往往亦会赋存少量的松散岩类孔隙水，为包气带的上层滞水，该类型地下水往往不具统一水位，在水平上无统一的排泄基准面，其径流排泄主要以垂向入渗补给岩溶地下水为主；岩溶地下水接受大气降水、地表水补给以及松散岩类孔隙水垂向入渗补给后，沿裂隙向下游径流，其排泄方式主要为裂隙流集中排泄，或以泉水的形式排泄，出露于地表。从区域水文地质图可知（图2.2-1区域水文地质图

），在天然状态下本次本地块所在水文地质单元的地下水为自西北向东南径流排泄于柳江。

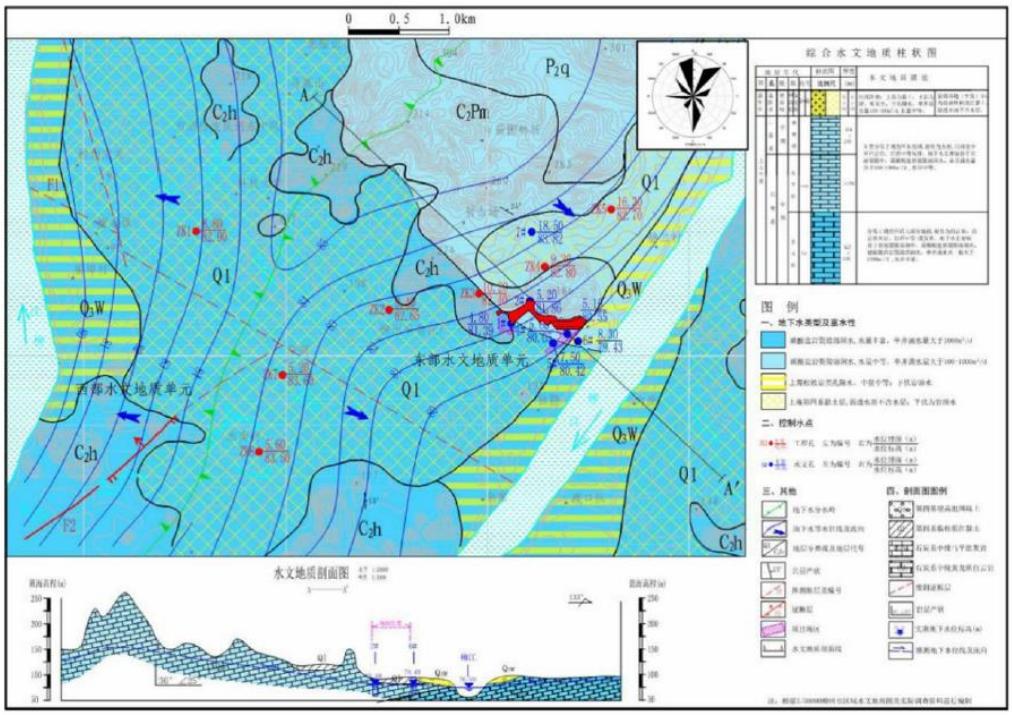

图 2.2-1 区域水文地质图

根据场地调查报告，场地内地下水总体流向为自西北向东南流，与区域水文地质图地下水流向基本一致。但因3 号地块和南面道路地块中西部低洼处存在地表积水，积水旁边SGW90 所在区域的地下水受到地表积水的持续入渗补给，导致该区域地下水水位明显高于周边区域，影响了小范围内的地下水流向。

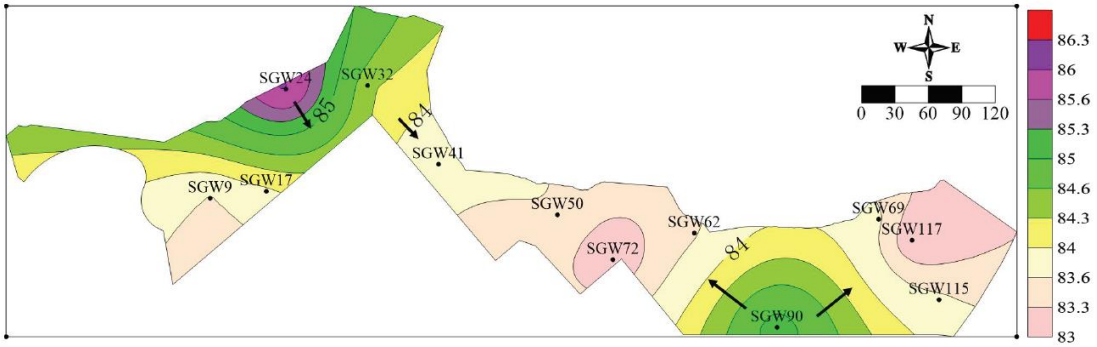

图 2.2-2 松散岩类孔隙水层地下水流向

（4）地下水动态及水质特征

1）地下水动态

地块天然条件下的地下水动态与大气降雨等气象因素关系密切，具有明显的季节性。每年5～8月处于高水位期，10月以后随着降雨减少而缓慢下降，常在2～3月出现水位低谷。根据广西壮族自治区地质环境监测总站布设于本场区下游约1.23km的JCD23号地下水观测点2015年8月至2017年8月两个水文年的地

下水位长期观测资料，JCD23观测点最低水位标高为82.52m，最高水位标高为86.02m，年水位变幅3.0～5.0m。

2）地下水水质特征

地下水的化学特征，取决于含水层的岩性和地下水循环交替的速度。本场区及附近内碳酸盐岩分布广泛，岩溶水一般为重碳酸钙型水为主，碳酸钙（CaO）成份含量约占75%，地下水水质类型主要以HCO_3^--Ca^{2+}及HCO_3^--Ca^{2+}·Mg^{2+}型为主。

2.3 地块前期调查结果

2.3.1 初步调查阶段

1号地块未来利用规划为公园绿地，初步调查阶段选用《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第二类用地（绿地与广场用地）筛选值作为评价标准。结果发现，土壤样品中有机污染物均未检出，6个土壤取样点中有3个点位（A7、A8、A12）存在重金属超标现象，分别位于烟囱、锑白车间和成品仓库，最大污染深度为锑白车间的2.0m锑超标，其余均为表层0.5m超标（如下表3.1-2所示）。采集的12个土壤样品中，有3个土壤样品的砷超过第二类用地筛选值标准（60mg/kg），超标率为25%，最大超标样品位于成品仓库的A12-0.5m，最大超标倍数为19.13倍；有2个土壤样品的锑超过第二类用地筛选值标准（180mg/kg），超标率为16.7%，最大超标样品位于锑白车间的A8-2.0m，最大超标倍数为1.28倍。其中，成品仓库的表层0.5m样品锑和砷均超标。其余各项监测因子均能满足GB36600-2018《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》第一类用地筛选值标准。此外，经与B5和B7对照点检测结果相比，发现调查地块内部分点位土壤采样点中的砷、锑因子的监测值与对照点监测值相差较大。

初步调查阶段，地下水环境质量评价以《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III 类水质标准为依据，石油类参照执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类水质标准。

结果发现，1 号地块内的 2#监测井所采集的地下水的各项监测因子均未超《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III类标准要求，石油类未超过《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类水标准。

根据以上对初步调查结果的汇总和分析，并结合详细调查阶段的要求，需要进行补充分析和纠偏，以指导详细调查工作的开展。

（1）初步调查阶段，1 号地块范围比详细调查要求的范围小，1 号地块的北部区域（红线以北）未纳入初步调查范围。

（2）初步调查阶段，1 号地块土壤样品检测结果选用《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第二类用地（绿地与广场用地）筛选值作为评价标准。但经详细调查阶段的资料搜集和核实，确定 1 号地块未来利用规划属于社区公园，应选用《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地筛选值进行评价。调整评价标准后，确定 1 号地块内 6 个土壤点位有 5 个点位出现重金属超标，分别位于烟囱、锑白车间、临时渣场和成品仓库，仅脱杂车间未出现超标情况。采集的 12 个样品中有 10 个样品超标，超标指标包括砷、镉和锑，其中 8 个样品砷超标，超标率为 83.3%，最大超标样品位于成品仓库的 A12-0.5m，最大超标倍数为 27.7 倍；1 个样品镉超标，超标率为 8.3%，超标样品为 A10-2.0m，超标倍数为 0.45 倍；9 个样品锑超标，超标率为 75%，最大超标样品位于锑白车间的 A8-2.0m，最大超标倍数为 10.5 倍。其余各项监测因子均能满足《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地筛选值标准。因此，详细调查阶段应按照调整后的分析结果进行土壤采样点位的布设。

（3）初步调查阶段，1 号地块范围内的分厂锑白车间和分厂仓库均未布设采样点位。但从《独静路 89 号五宗土地（2 号地）土壤污染状况初步调查报告》（报批稿）可知 2 号地块范围的分厂锑白车间和分厂仓库区域分别布设有土壤点位 A6 和 A4，其中 A6 位置建设地下水监测井 1#。经实验室检测发现这两个点位均未超《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第二类用地筛选值，也未超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地筛选值，且地下水也无超标现象。虽然这两个车间未发现超标，但是考虑车间面积较大，且其历史过程存在污染的可能性，详细调查阶段仍需将其作为疑似污染区域进行加密布点。

（4）初步调查阶段，柳州市友诚热浸锌厂未进行资料分析而是作为油罐区进行调查，该厂区大部分面积位于 3 号地块，布设土壤点位 A15，检测指标包

括重金属和石油烃，覆盖了柳州市友诚热浸锌厂的特征污染物，最终发现重金属砷和锑超标。

（5）对初步调查的结果进行纠偏后，确定初步调查发现多个点位的最大采样深度 2.0m 仍存在超标现象，因此详细调查阶段需加深采样深度，以确定最大污染深度。初步调查阶段，在部分重点区域未布点采样，因此详细调查阶段需在该区域进行加密布点。

2.3.2 详细调查阶段

根据《柳州市环东金属材料厂1号地块、3号地块及南面道路地块详细调查报告》，详细调查阶段详细调查阶段1号地块面积49231.88 m^2布设71个土壤点位，采样深度0.2-11.0 m，3个位于山坡或树林里的点位采集表层样品，其他钻探点位每个点位采集3~6个样品，合计采集土壤样品308个（含平行样34个）。因详细调查样品检测完成后，发现根据初步调查结果识别的非污染区域仍存在超标，且部分点位最深处样品仍存在超标，因此为确定最大污染深度和污染范围，进行补充加密、加深采样监测，最终在1号地块补充土壤点位50个，最大采样深度增加至13.0 m，补充采集土壤样品286个（含平行样27个）。合计布设土壤点位121个，采集土壤样品594个（含平行样61个）。

土壤样品主要监测指标包括：pH值、锑、铅、砷、锌、镉、砷、铜和锰。此外，筛选了181个土壤样品依据《固体废物 毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ557-2010）进行水浸试验，检测浸出液的pH值及重金属锑、铅、砷、镉、汞、锌、锰、铜浓度。后期选择2个土壤样品按照《固体废物 毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJ 299-2007）补充了酸浸试验，检测浸出液中的重金属锑、铅、砷、镉、锌、汞浓度。

根据详细调查不少于每6400 m^2一口地下水监测井的密度布设要求，1号地块布设8个浅层地下水监测井，采集8组地下水样品。监测指标包括：pH、溶解性总固体、耗氧量、硫化物、氯化物、硫酸盐、阴离子表面活性剂、氨氮、重金属（砷、镉、铅、汞、镍、铜、铬、锌、铁、锰、锑、六价铬）及可萃取总石油烃（C10-C40）。此外，在地表积水处采集1组地表积水样品，检测指标包括：硫化物、硫酸盐、氯化物、氨氮、重金属（砷、镉、铅、汞、镍、铜、铬、锌、铁、锰、锑、六价铬）及石油类。

风险评估阶段对地块所在区域深层地下水（碳酸盐岩裂隙溶洞水）开展补充调查，1号地块范围内共布设4口深层地下水监测井，采集5组深层地下水样品；此外，在3口有水的浅层地下水监测井采集了3组浅层地下水样品。检测指标包括：pH值、铜、锰、锌、锑、铅、铁、镉、砷。此外，详细调查阶段可萃取总石油烃（C10-C40）存在超标的SGW32补充检测该指标进行核实。

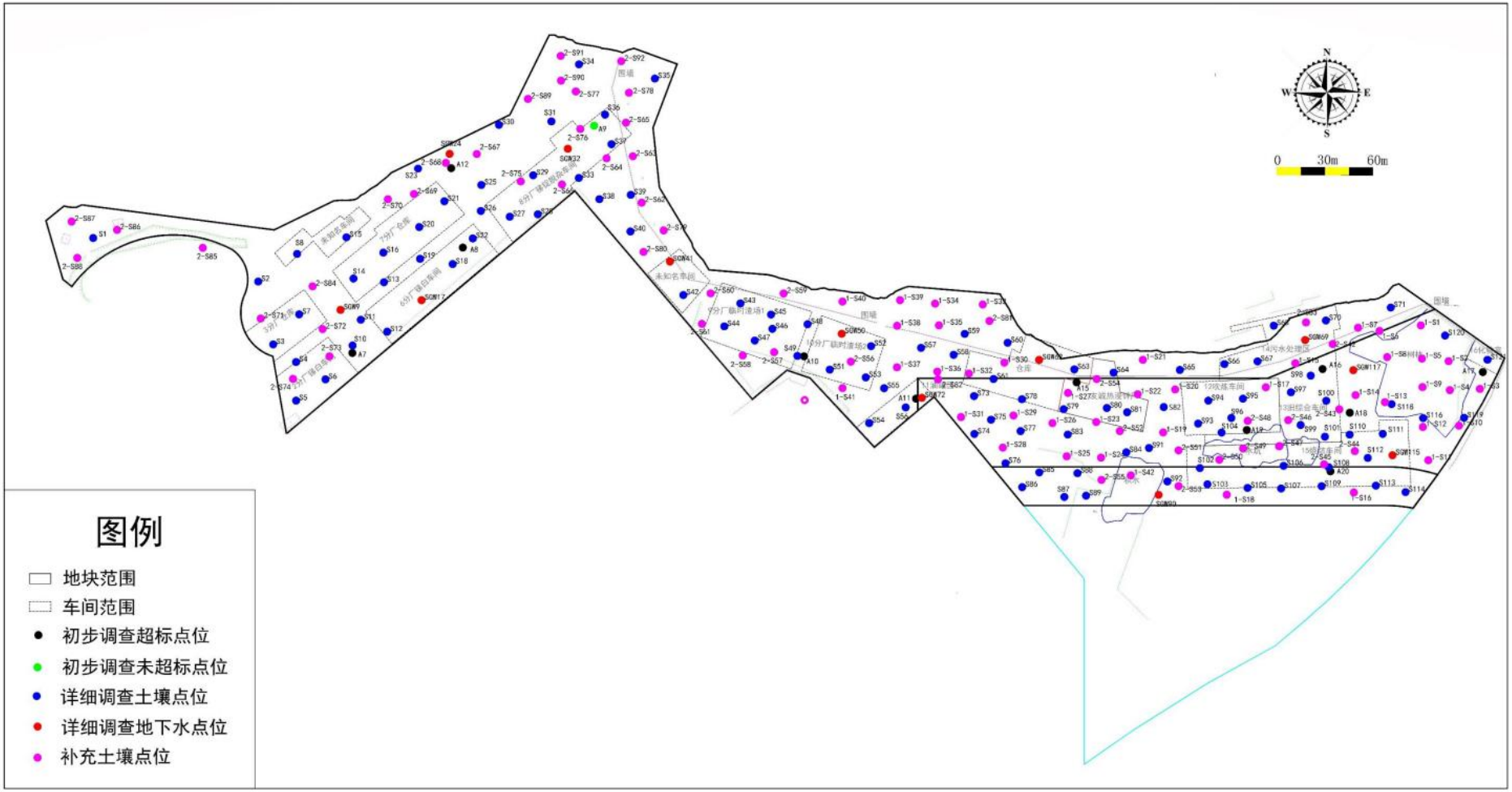

图 2.3-1 前期调查点位分布图

2.3.2.1 土壤污染状况

考虑1号地块未来规划为公园绿地（社区公园），因此其土壤样品按照《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第一类用地筛选值评价。其中，砷参照地块所在区域土壤（红壤）的背景值；锌和锰采用第一类用地情景下的风险推导值作为筛选值。

所有土壤样品的土壤pH在2.55~10.39，普遍呈中性，但存在7个样品pH值呈强酸性（＜4.5）和8个样品呈强碱性（＞9.5）的异常情况，主要分布在表层6.0m以上深度范围的回填土层。土壤中锑、砷、镉、铅、锰和锌超过第一类用地筛选值，其最大超标倍数分别为2299倍、491.5倍、201.5倍、66.25倍、9.86倍和4.97倍，最大超标深度为11.0m。此外，地块范围内存在锑、砷、镉和铅超过第一类用地管制值情况，说明地块对人体健康存在不可接受的风险，需采取风险管控或修复治理措施。

此外，土壤样品重金属总量检测完成后，对部分点位的土壤参照《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）完成锑、铅、砷、镉、汞、锌、锰、铜等重金属指标的浸出试验。发现浸出液pH值普遍呈中性，存在部分样品浸出液为强酸性（最小为3.02）和强碱性（最大为11.79），确定其不具有腐蚀性（≤2，或≥12.5）。重金属锑、砷、锰、铅、镉、锌和汞存在浸出浓度超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中III类标准值的情况，其最大超标倍数分别达到46599倍、1979倍、88.1倍、43.9倍、16.78倍和3.01倍；锑、砷、锰、锌的水浸浓度超过《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高允许排放限值（锑对比《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014）新建企业水污染物排放限值），最大超标倍数分别为775.67倍、38.6倍、3.46倍和1.00倍，说明土壤中重金属对区域地下水存在较大污染风险。

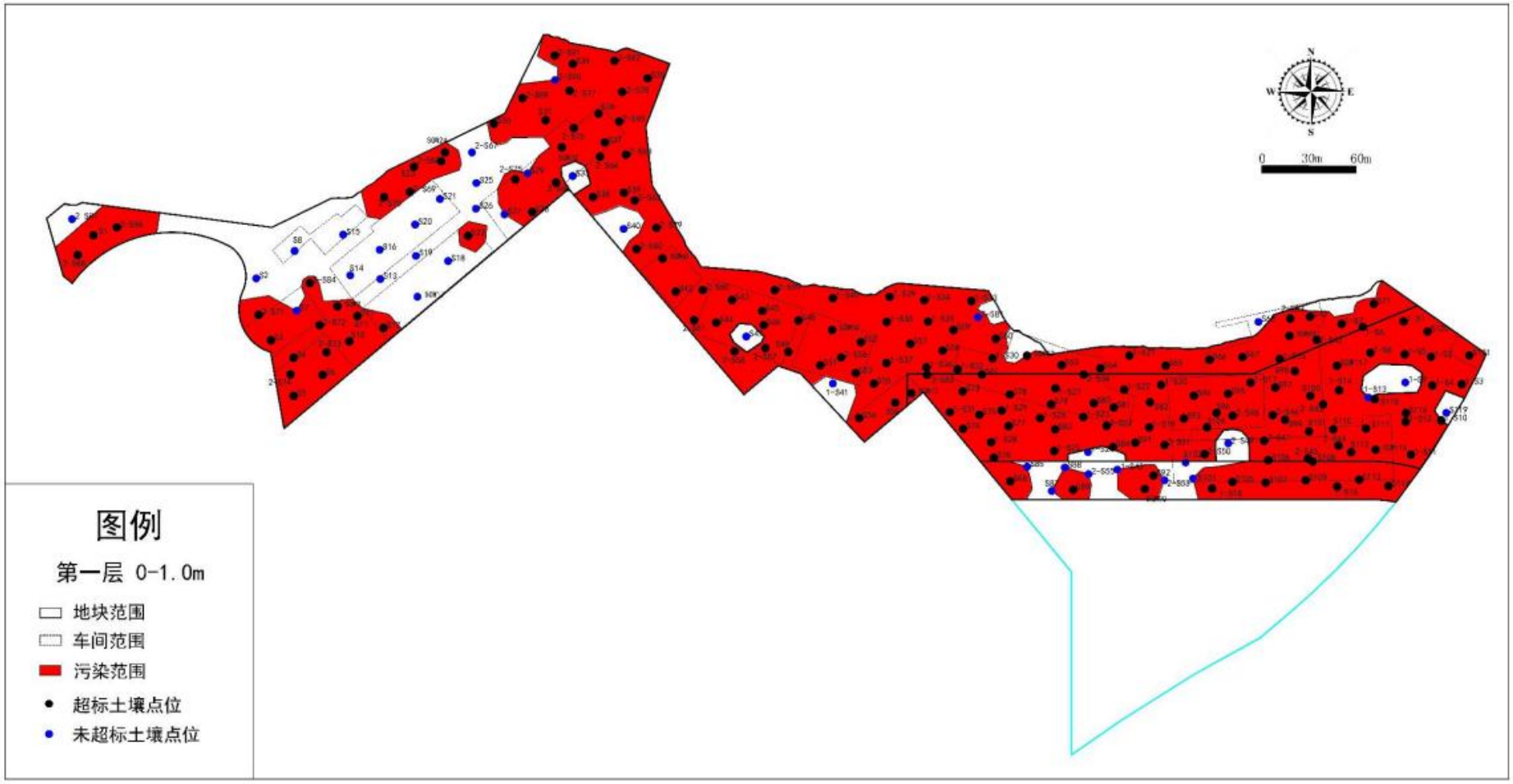

图 2.3-1 第一层（0-1.0m）土壤污染范围图

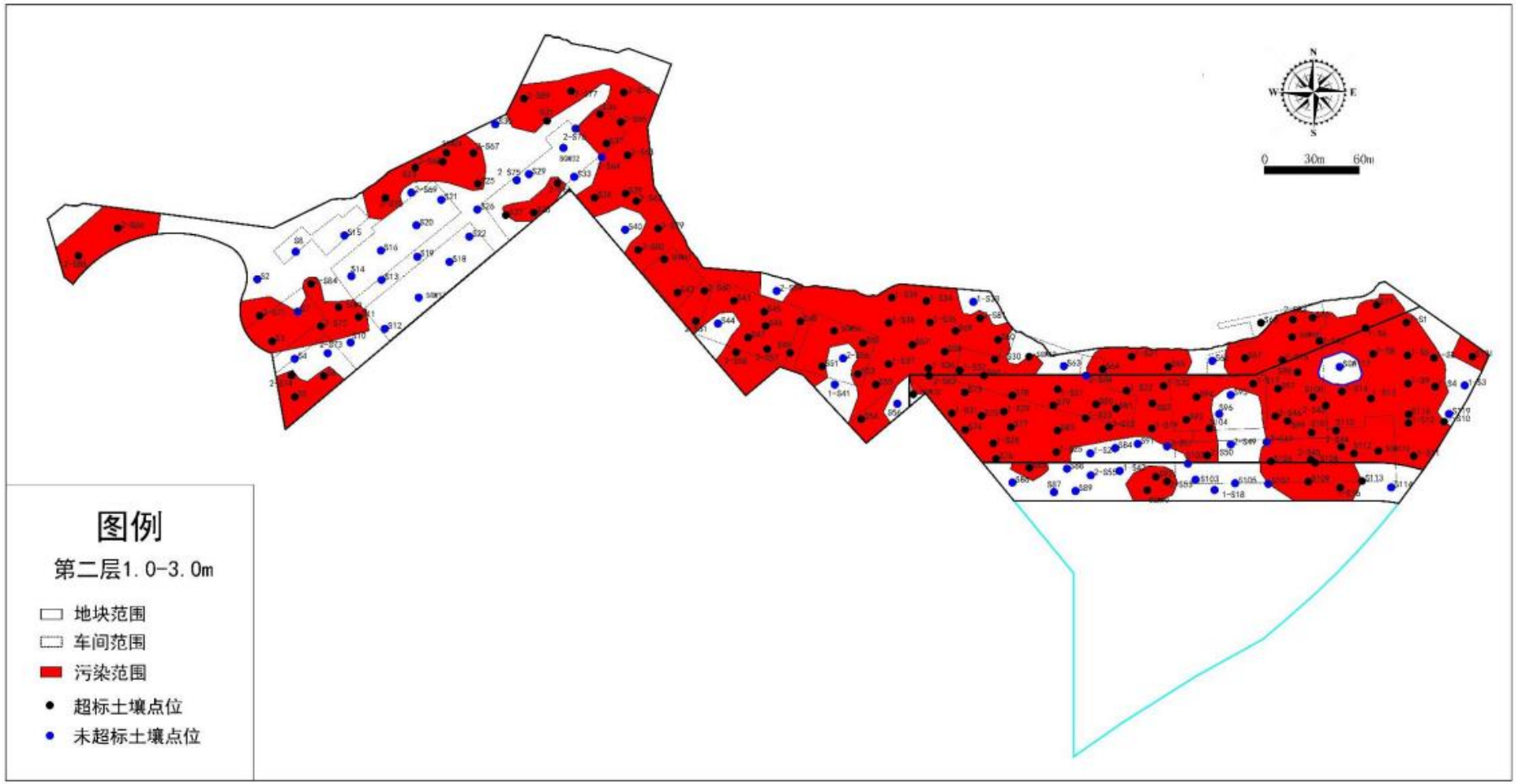

图 2.3-2 第二层（1.0-3.0m）土壤污染范围图

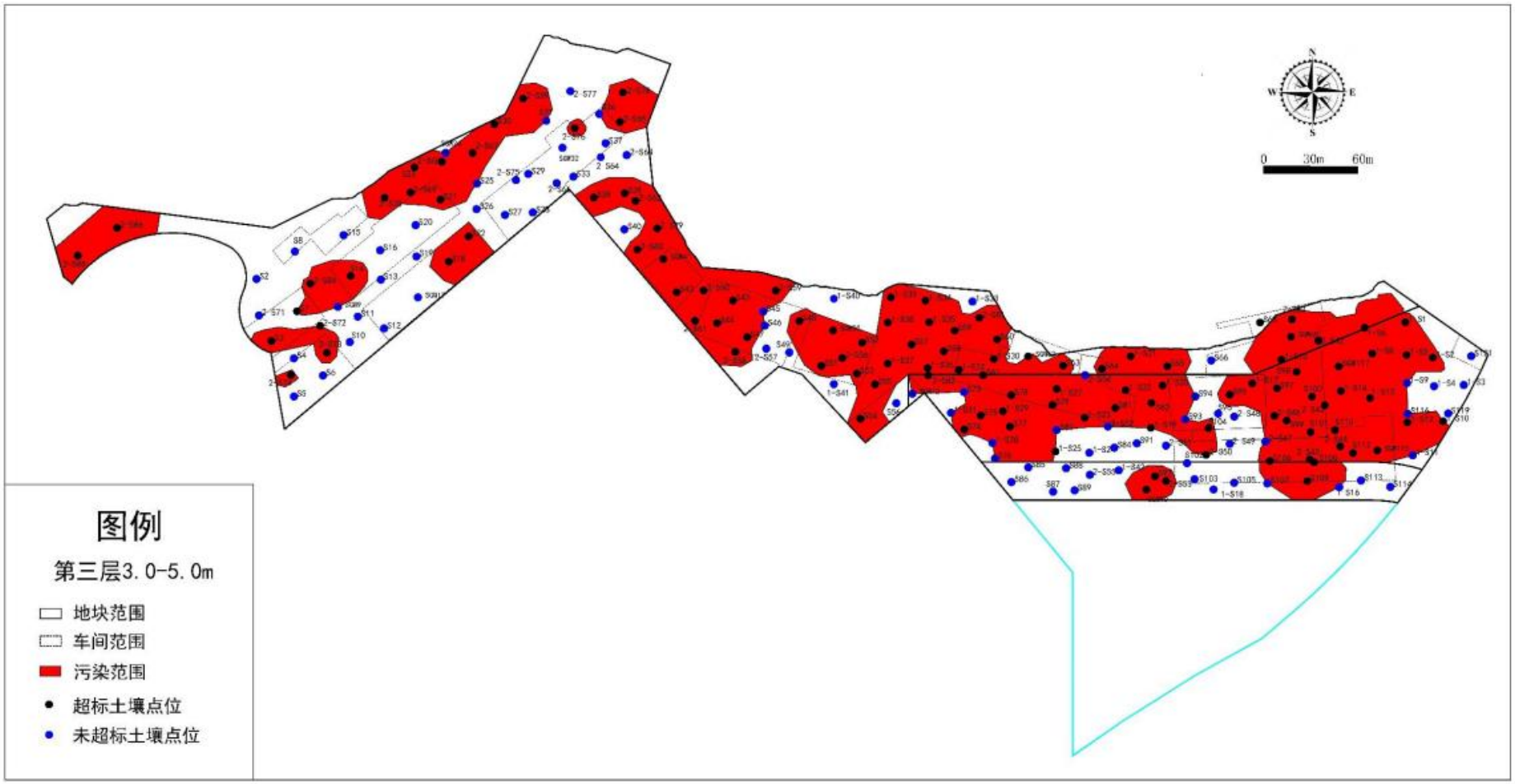

图 2.3-3 第三层（3.0-5.0m）土壤污染范围图

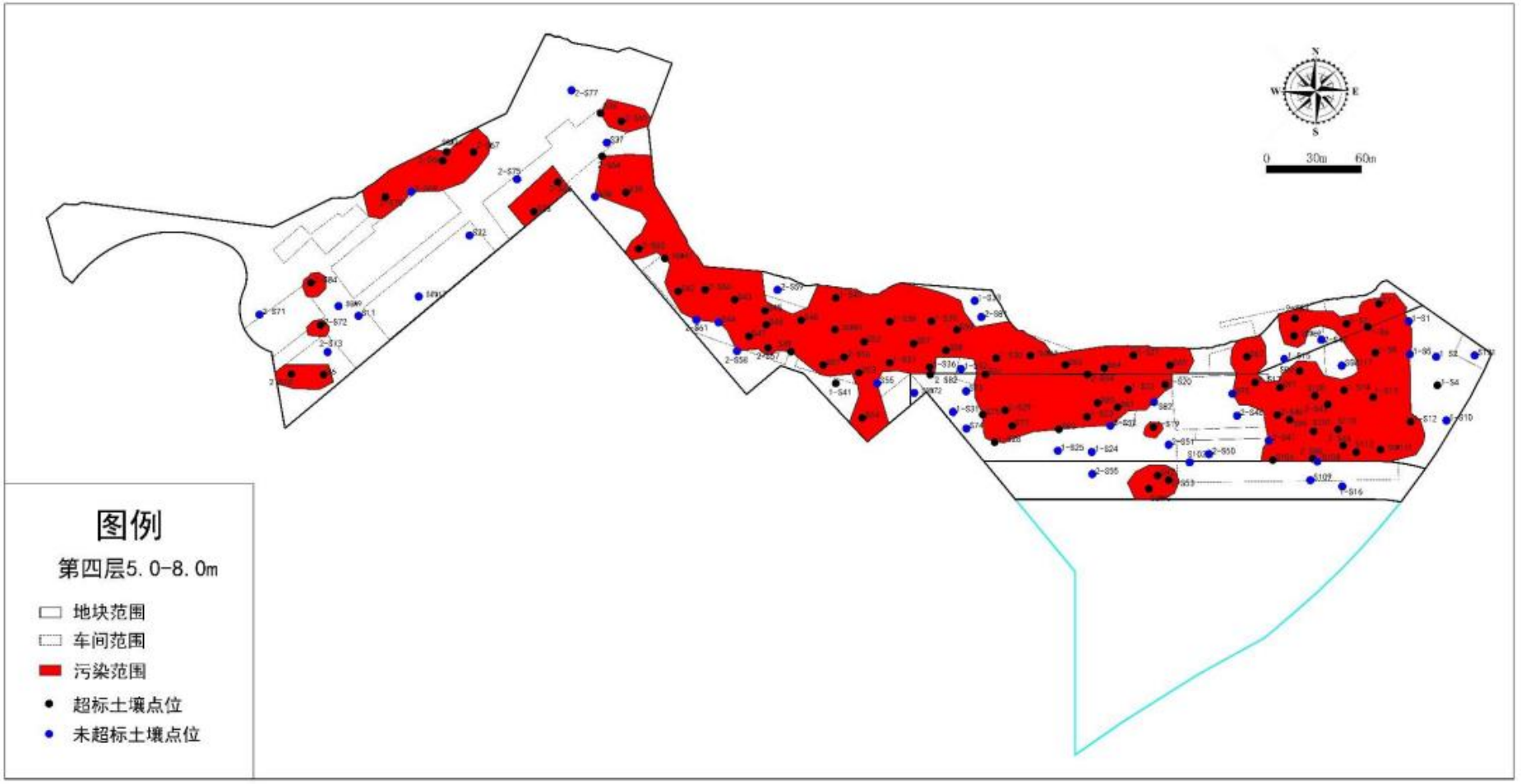

图 2.3-4 第四层（5.0-8.0m）土壤污染范围图

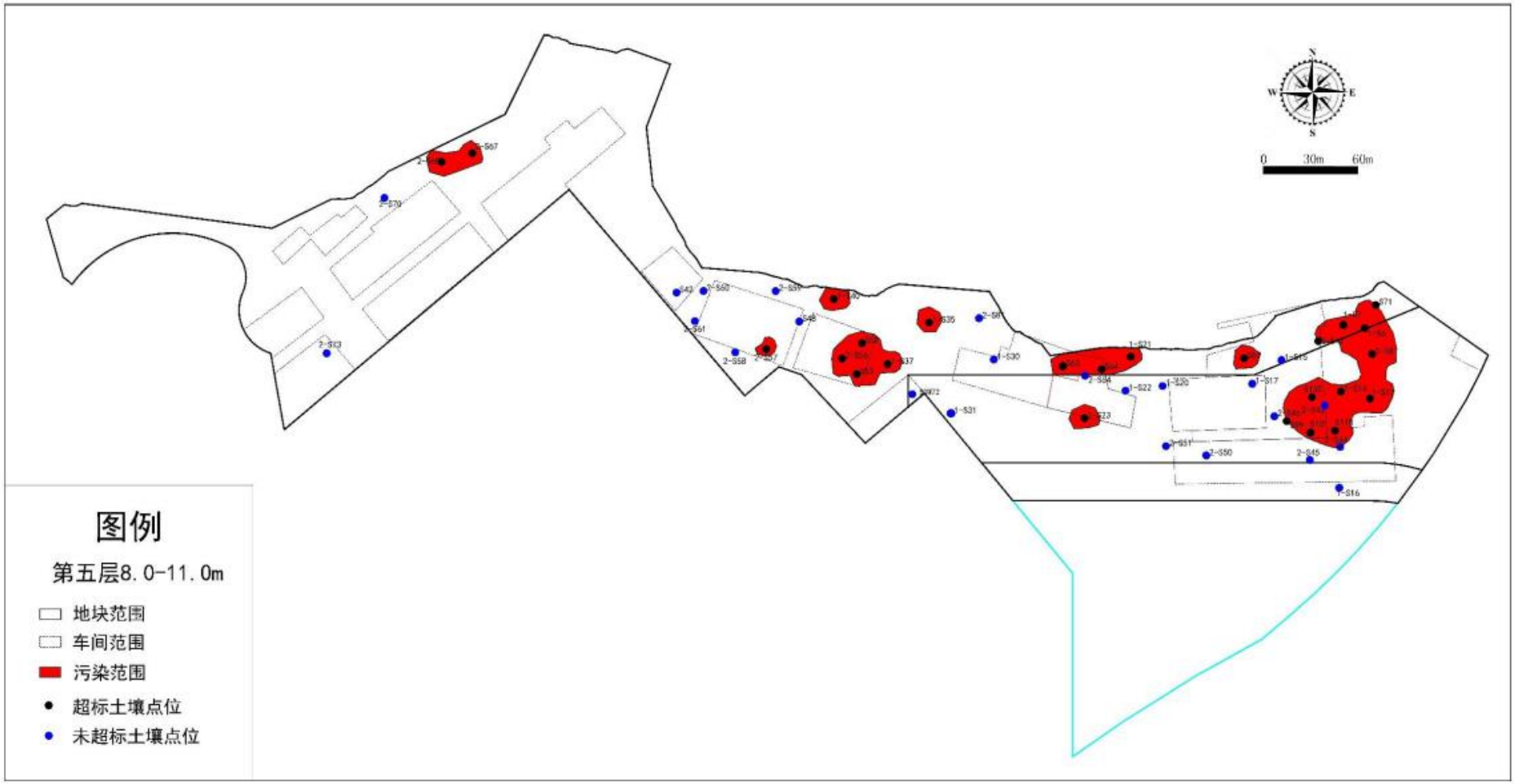

图 2.3-5 第五层（8.0-11.0m）土壤污染范围图

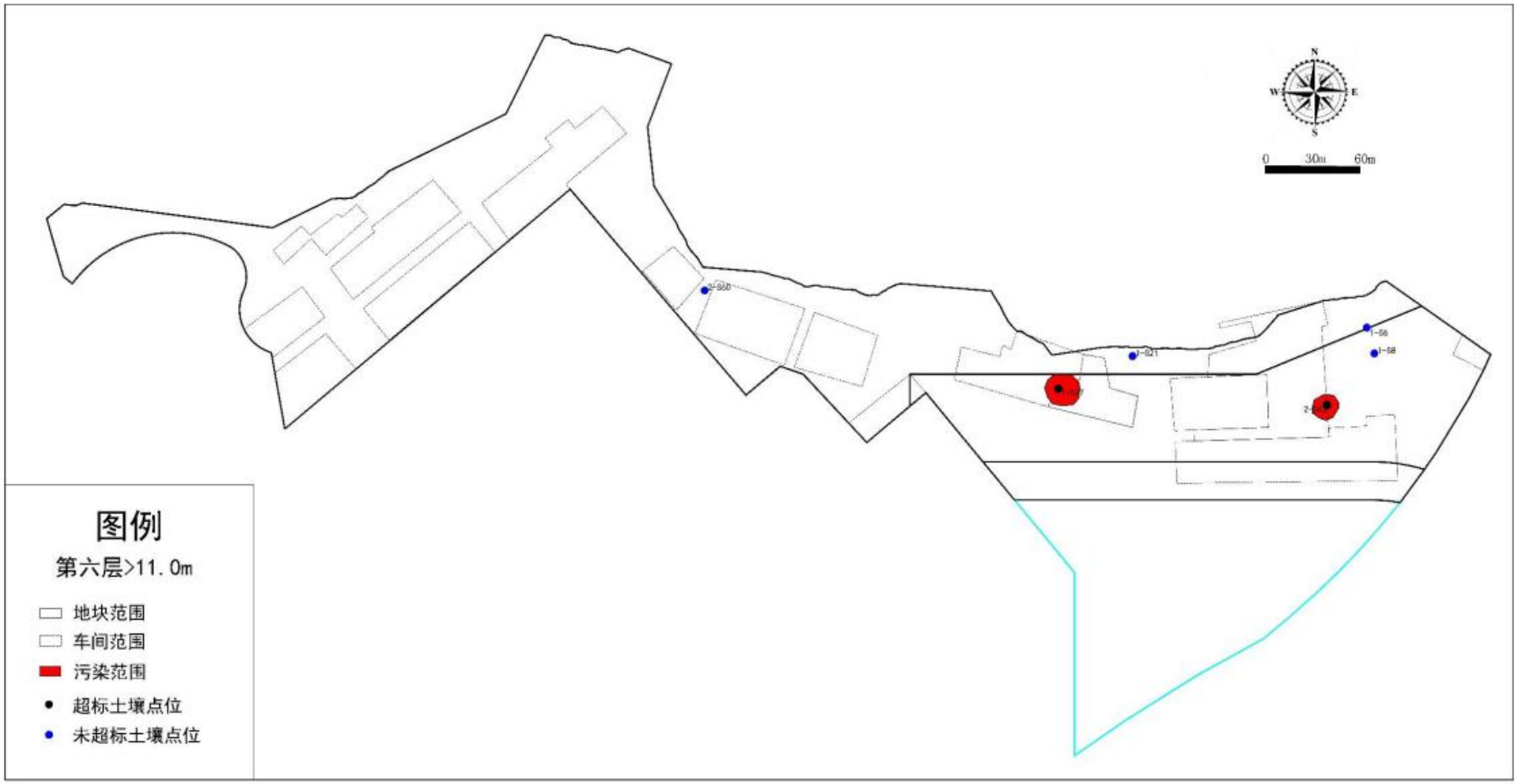

图 2.3-6 第六层（>11.0m）土壤污染范围图

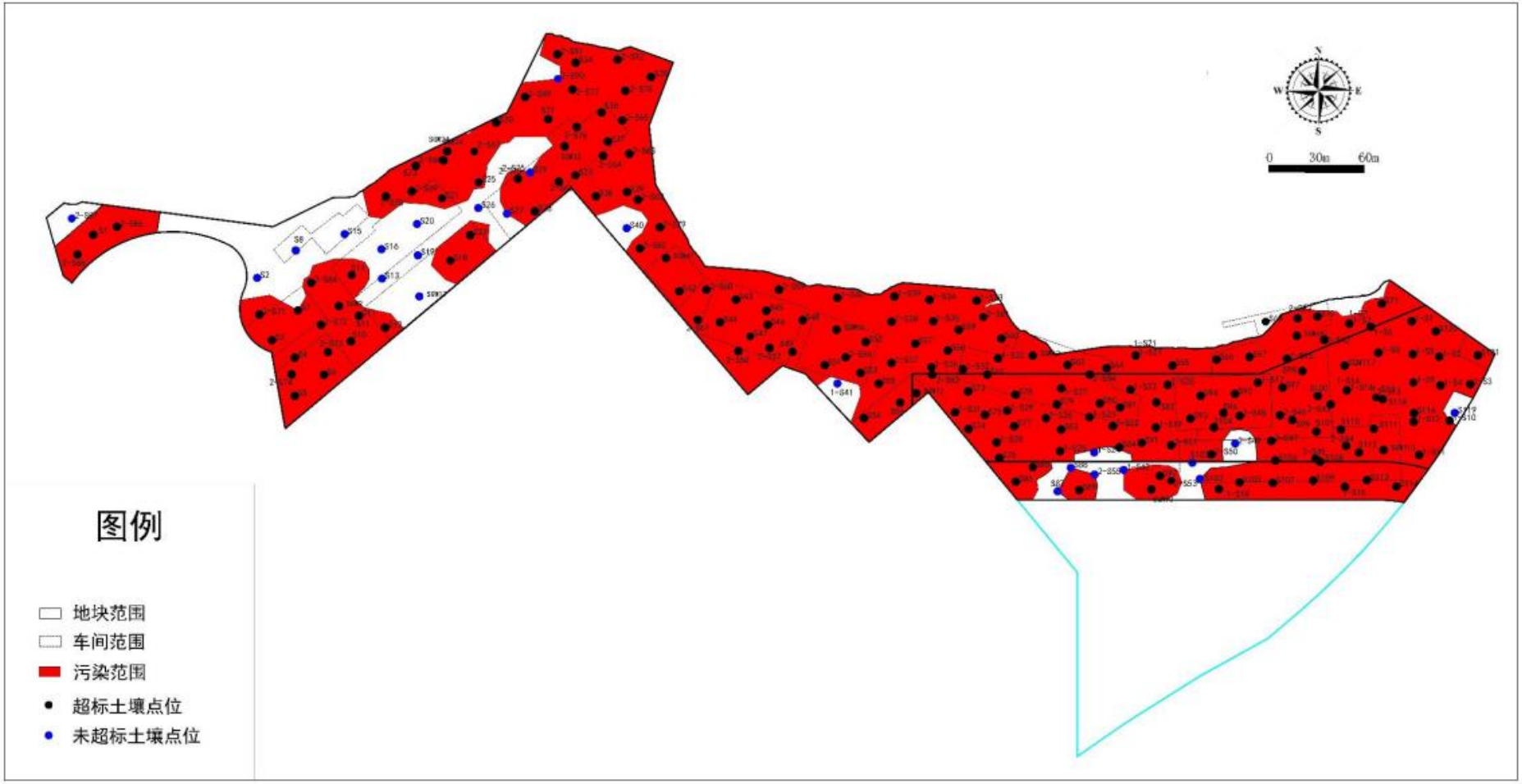

图 2.3-7 各层污染范围叠加图

2.3.2.2 地下水污染状况

详细调查阶段浅层地下水的检测结果，经对比《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III类水标准，其中总石油烃则参照《上海市建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控与修复方案编制、风险管控与修复效果评估工作的补充规定（试行）》第一类用地要求的0.6mg/L，发现浅层地下水中主要超标因子包括溶解性总固体、高锰酸盐指数、硫酸盐、氨氮、重金属锰、锌、锑、铅、镉、砷、铁和总石油烃（C10-C40）。其中，溶解性总固体、高锰酸盐指数、硫酸盐、氨氮等无机指标的最大超标倍数分别为1.52倍、1.93倍、1.15倍、2.3倍。重金属中，锑、砷、镉、铅、锰、铜、铁、锌均存在超标情况，最大超标倍数分别为2919倍、127倍、8.46倍、312倍、37.3倍、17.2倍、2.6倍，经分析确定地下水中的重金属污染主要来自监测井所在区域内土壤可溶态重金属受到降水的淋溶、下渗，也存在来自周边区域土壤中重金属受降水的淋溶、下渗并随地下水迁移扩散的影响。此外，位于1号地块分厂锑锭脱杂车间内的SGW32可萃取总石油烃（C10-C40）超标，经判断可能与车间生产装置拆除过程机械油“跑冒滴漏”造成的点状污染有关。

经2021年1月~2月（枯水期）对地块所在区域的地下水开展补充调查（见图1.2-11），确定1号地块西部区域深层地下水未受到污染，浅层地下水受到重金属锑的轻微污染，但水量很少，其中SGW32的可萃取石油烃不超标；1号地块中部区域深层地下水和浅层地下水均受到重金属锑的污染，浅层地下水枯水期的污染情况比丰水期更轻；1号地块东部区域、3号地块及南面道路地块区域的深层地下水受到锰、锑、砷的复合污染，浅层地下水枯水期的污染情况比丰水期更轻；地块下游的深层地下水监测井XS1、XS2水质较好，说明地块所在区的污染地下水基本未向下游扩散，对下游地下水及柳江地表水的污染风险较低。

2.4 地块风险评估结果

2.4.1 土壤风险评估结论

1号地块未来规划为公园绿地（G1，社区公园），属于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）中的第一类用地。经前期调查，确定地块内土壤中存在锑、镉、铅含量超过第一类用地筛选值，砷含量超过区域土壤（红壤）背景值（40mg/kg），锌、锰含量超过第一类用地情景下风险推导值的情况，最终确定1号地块内土壤中风险评估阶段需关注的土壤污染物包括：锑、镉、铅、砷、锌、锰等6种。

按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）要求，考虑本次1号地块内土壤中关注污染物为锑、镉、砷、锌、锰，均为重金属，不具有挥发性，确定其暴露途径包括经口摄入土壤、皮肤接触土壤和吸入土壤颗粒物等三种。此外，考虑重金属铅的暴露途径与模型不同于一般污染物，采用IEUBK模型和成人血铅（ALM）模型分别计算在第一类用地情境下的儿童和第二类用地情境下的成人的血铅风险。使用的评估软件为浙江大学环境健康研究所和环境保护部南京环境科学研究所开发的《污染地块风险评估电子表格》（2020 年 12月 08 日）。

（1）锑、镉、砷、锌、锰

在第一类用地情景下，以关注污染物的最大值进行风险评估。结果表明，地块内的污染土壤对人体的健康危害比较大，锑、镉、砷、锌、锰均存在单一污染物的致癌风险水平大于10^{-6}和/或非致癌风险危害商大于1的情况。其中，镉的总致癌风险为2.64E-05（大于E-06），危害商为1.22E+02（大于1）；砷的总致癌风险为4.14E-02（大于E-06），危害商为1.55E+03（大于1）；锑没有致癌风险，但其危害商为2.31E+03（大于1）；锌没有致癌风险，其危害商为5.97E+00（大于1）；锰没有致癌风险，但其危害商为7.27E+01（大于1），表明锑、镉、砷、锌、锰5种污染物均存在不可接受风险，需列为地块土壤目标污染物。

（2）血铅风险评估

对于第一类用地情景下，按照IEUBK血铅模型的要求，铅对儿童的暴露途径主要有5种：通过空气呼吸摄入、食物摄入、饮水摄入、土壤/灰尘经皮肤接触与母乳摄入。经计算，第一类用地情况下使得儿童血铅浓度超过目标血铅浓

度10 μg/dL（0.1mg/L）的概率不超过5%的室外土壤铅浓度为 398.79mg/kg，使得儿童血铅浓度超过目标血铅浓度10 μg/dL（0.1mg/L）概率不超过5% 的室内灰尘铅浓度为 289.15mg/kg。

在第二类用地情景下，通过使用成人血铅（ALM）模型评估暴露铅污染土壤的孕妇胎儿血铅含量来表征铅污染土壤的人体健康风险并用于推导铅的土壤铅环境污染风险筛选值。经计算，满足经暴露导致的孕妇胎儿体内血铅水平>10 μg/dL（0.1mg/L）的概率<5%要求的土壤铅含量为1235mg/kg。

前期调查结果表明，1号地块最大铅浓度值为26900mg/kg，铅含量高于儿童目标血铅浓度要求的室外土壤行动值（398.79 mg/kg），也超过了成人目标血铅水平浓度要求的土壤行动值（1235mg/kg），其人体健康风险水平超过了可接受范围，需将其列为地块土壤目标污染物。

综上，确定1号地块内土壤中的目标污染物为：**锑、镉、砷、锌、锰、铅。**

2.4.2 地下水风险评估结论

根据前期调查结果，详细调查阶段浅层地下水中共有12种污染物浓度超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）III类标准，包括溶解性总固体、高锰酸盐指数、硫酸盐、氨氮、重金属锰、锌、锑、铅、镉、砷、铁和总石油烃（C10-C40），其中。除石油烃（C10-C40）外，其余均属无机类指标，不属于非挥发性污染物；地下水补充调查阶段，深层地下水仅有砷和锑超标，地块下游地下水未受到污染。

因地块未来规划为公园绿地（G1），地块所在区域没有地下水功能区划要求，柳州市城市集中饮用水源地为柳江地表水（取水口位于地块上游河段），区域地下水也不存在开采饮用的可能性，且地块地下水下游（350m）处的柳江河段按《柳州市二级水功能区划图》划分为工业用开发区，地表水水质需满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的IV类标准，因此地块中检出的有毒有害物质（亚硝酸盐、硝酸盐、铜、锰、锌、锑、铅、镉、砷、总石油烃）中，仅详细调查阶段浅层地下水SGW32的总石油烃对地块活动人群有潜在风险，其余有毒有害物质因不会直接饮用或被人体直接接触不存在潜在风险。最终确定1号地块内浅层地下水的关注污染物为总石油烃。

考虑地下水中的关注污染物总石油烃，可能涉及挥发性成分，地块未来作为公园也不会涉及室内环境，且地下水不涉及饮用途径，其暴露途径仅涉及吸入室外空气中来自地下水的气态污染物一种。风险评估阶段，按《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）、《地下水污染健康风险评估工作指南》要求，**对石油烃（C10-C40）进行风险评估后，确定其不存在直接人体健康风险**。且风险评估阶段对浅层地下水SGW32进行二次采样时，石油烃（C10-C40）浓度已低于《上海市建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控与修复方案编制、风险管控与修复效果评估工作的补充规定（试行）》第一类用地要求的0.6mg/L。

2.5 修复目标

2.5.1 土壤修复目标

根据风险评估报告，基于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）确定地块土壤污染物的致癌风险可接受水平为10^{-6}、非致癌风险可接受水平为危害商1，计算得到土壤中锑、镉、砷、锌、锰的风险控制值，铅第一类用地情景下IEUBK血铅模型计算的儿童血铅浓度398.79 mg/kg作为风险控制值，对比第一类用地筛选值和管制值的情况下，最终确定土壤修复目标值，如下表所示。

表 2.5-1 土壤修复目标值表

序号	污染物	最大检出值（mg/kg）	风险控制值（mg/kg）	筛选值（mg/kg）	管制值（mg/kg）	修复目标值（mg/kg）
1	锑	46000	19.9	20	40	20
2	砷	19700	0.475	40*	120	40*
3	镉	4050	33.2	20	47	33.2
4	锌	80600	15000	/	/	15000
5	锰	27900	3840	/	/	3840
6	铅	26900	398.79	400	800	400

注：/，表示无相应筛选值或管制值；*，表示区域土壤背景值（红壤）。

此外，前期调查发现1号地块内土壤重金属的水浸浓度存在超过《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高允许排放限值（锑对比《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014）新建企业水污染物排放限值）的情况，即土壤中重金属锑、砷、锌、镉、锰存在浸出风险，且调查发现地块内浅层地下水和

深层地下水均受到重金属的严重污染，进一步证实了土壤中污染物向地下水环境扩散的风险。因此，考虑目前对重金属污染土壤较多采取风险管控措施，基于保护地下水的需求，对后期可能采取风险管控措施的污染土壤单独提出风险管控目标值，即风险管控后的土壤需参照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（试行）（25.5-2018）的要求进行采样，使用《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）完成浸出试验的重金属水浸浓度符合《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高允许排放限值，其中锑满足《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014）新建企业水污染物排放限值要求。

表 2.5-2 土壤风险管控目标值表

序号	污染物	总量最大检出值（mg/kg）	最大水浸浓度（mg/L）	风险管控目标值（mg/L）
1	锑	46000	233	0.3
2	砷	19700	19.8	0.5
3	镉	4050	0.0889	0.1
4	锌	80600	4.01	2
5	锰	27900	8.91	2
6	铅	26900	0.449	1

2.5.2 地下水修复目标

经风险评估，确定在不考虑饮用的情况下，浅层地下水中无机污染物不存在对人体健康造成风险的暴露途径，可萃取总石油烃（C10-C40）的风险水平也可接受，因此地块内地下水中污染物的人体健康风险水平可接受。

但调查发现浅层地下水中溶解性总固体、高锰酸盐指数、硫酸盐、氨氮、重金属锰、锌、锑、铅、镉、砷、铁和总石油烃（C10-C40）存在不同程度的超过《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III类标准，且土壤中锑、砷、锌、镉、锰存在浸出风险。深层地下水中仅有砷和锑超标，地块下游地下水未受到污染，尚未对柳江地表水环境造成影响。

依据《柳州市二级水功能区划图》确定地块地下水下游（约350m）的柳江地表水为工业用开发区，水质需满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的IV类标准，结合《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）水环境质量的相关

规定，兼顾地下水修复治理难度，建议本地块地下水中具有毒性的污染物的修复或管控目标满足《地下水质量标准》（GB/T 14848- 2017）IV类的相关标准。

此外，后期修复治理施工过程中产生的废水（如基坑降水、冲洗废水等）在作为修复施工回用水或排入市政管网之前，需满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高排放标准。具体见下表所示。

表 2.5-3 地下水及废水修复目标值（mg/L）

序号	污染物指标	最大检出浓度	地下水修复目标值	废水修复目标值
1	锰	3.83	1.5	2.0
2	锌	3.6	5.0	2.0
3	锑	14.6	0.01	0.3**
4	铅	3.13	0.1	1.0
5	镉	0.047	0.01	0.1
6	砷	1.28	0.05	0.5
7	铁	5.59	2.0	2.0*
8	总石油烃（C10-C40）	0.831	0.6	20

备注：*，表示参照地下水IV类标准限值；**，表示《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014）新建企业水污染物排放限值。

3 修复与管控效果评估方案

3.1 文件审核与现场勘查

3.1.1 文件审核

3.1.1.1 文件审核范围

在修复效果评估工作开展之前，收集与场地环境污染和修复相关的文件资料，主要包括：

1）场地环境调查评估及修复方案相关文件：场地环境调查评估报告书及其备案意见、场地修复方案及其备案意见、其他相关资料。

2）场地修复工程资料：修复过程的原始记录、修复实施过程的记录文件（如污染土壤清挖）、回填土运输记录、修复设施运行记录、二次污染物排放记录、修复工程竣工报告等。

3）工程及环境监理文件：工程及环境监理记录和监理报告。

4）相关图件：场地地理位置示意图、总平面布置图、修复范围图、污染修复工艺流程图、修复过程照片和影像记录等。修复效果评价（是否达到修复效果评估标准、后期管理计划评估）。

3.1.1.2 审核内容

对收集的资料进行整理和分析，并通过与现场负责人、修复实施人员、监理人员等相关人员进行访谈，明确以下内容：

1）根据场地环境调查评估报告、修复方案及相关备案文件，确定场地的目标污染物、修复范围和修复目标，作为修复效果评估依据。

2）通过审查场地修复过程监理记录和监测数据，核实修复方案和环保措施的落实情况。

3）通过审查相关运输清单，结合修复过程施工、监理日志，核实污染土壤的数量和去向。

4）通过审查相关文件和检测数据，核实基坑清挖是否到位或在修复过程中受到二次污染等；核实修复后的地下水、基坑降水等是否达标排放。

3.1.2 现场勘察

3.1.2.1 核定修复范围

根据场地环境调查评估报告中的地理坐标，结合修复过程工程监理与环境监理出具的相关报告，确定场地修复范围和深度，核实修复范围是否符合场地修复方案的要求；针对开挖区域进行基坑清挖效果评估。

3.1.2.2 识别现场遗留污染

对场地表层土壤及侧面裸露土壤状况、遗留物品等进行观察和判断，可使用便携式测试仪器进行现场测试，辅以目视、嗅觉等方法，识别现场遗留污染痕迹。

3.2 土壤修复区域布点方案

本次修复效果土壤修复效果评估布点遵循《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）及《广西壮族自治区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》的内容执行；地下水修复效果评估布点遵循《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）内容执行。采样布点方案应包括采样介质、采样区域、采样点位、采样深度、采样数量、修复效果评估项目等内容。由于该项目工期紧、场地可用空间小，综合考虑施工进度，本评估工作采用分阶段、分批次进行采样与评估，最终确保工程达到验收标准。

3.2.1 基坑清挖效果评估

（1）布点设置

根据《广西壮族自治区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》 第三章2.1.1章节的基坑清理效果评估布点要求，对该项目修复分别对东、中、西部0-2m、0-5m及0-8m污染土壤清挖效果进行评估；基坑底部采用系统布点法划分采样单元，将底部均分采样单元，每个采样单元原则上网格大小不超过20m×20m。

根据《广西壮族自治区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》第三章2.1.1章节，基坑侧壁取样根据侧壁长度确定采样数量，采用等距离布点划分横向采样单元，横向采样单元原则上不超过40 m；当

修复深度≤1m时，侧壁不进行垂向分层采样；当基坑深度＞1m时，侧壁应进行垂向分层采样，各层采样点之间垂向距离≤3m。

本项目西部开挖2m，中部开挖5m，东部开挖8m，开挖作业面差异较大，因此对项目进行分层开挖，分层设计基坑及侧壁采样计划。本项目清挖深度为1-8m，侧壁垂向分0.5m、1.5m、4m、5.5m、7.5m五层采样。

（2）采样时间节点

对于放坡开挖基坑，在基坑清理后、回填之前采样。

（3）土壤检测因子

本场地土壤需要修复的场地特征污染物：锑、砷、镉、锌、锰、铅

3.2.2 固化稳定化修复效果评估

（1）布点布置

根据《实施方案》（变更），1号地块内车间分布、地层分布及土壤重度污染主要分布在填土层和黏土层顶部的污染分布情况，将其分为西部区域、中部区域及东部区域。本次分别对西部、中部、东部表层土壤进行异位固化/稳定化修复，验收达标阻隔回填至原基坑。本单位根据《实施方案》（变更）中的修复因子对异位固化/稳定化修复并自检合格的土壤进行采样，监测修复完成后土壤中污染物浓度是否达到场地修复目标。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）及《广西壮族自治区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》，修复后土壤原则上每个采样单元(每个样品代表的土方量)不应超过500m^3。最终土壤样品采样个数以修复合格留在场地内的土壤土方量决定。

根据施工进度及场地可堆存地面积，土壤按5m堆存，约12000方监测一次，不超过2万方。施工单位修复处理完成并自检合格，经环境监理单位报验同意后向效果评估单位提出效果评估申请，同时施工方根据现场场地状况将土壤按标准建堆并压实，测出堆土尺寸。我单位采样前将土堆拉线分隔，以500m^3为一个采样单元，均匀布点（实际采样点数量，可根据实际的修复效果、土壤的均匀性等实际情况进行加密采样），在施工方及监理方见证下采用挖机配合手钻的方式进行取样，在每个采样单元土壤堆体顶层、中层、底层各采集9个子样品制成1个土壤混合样。采样后在未确认土壤修复合格前保留挖孔位置，保证点位能够

溯源。若土壤检测结果不能达到土壤修复目标值，则按土壤代表方数清挖重新修复。修复完成后重新进行采样分析。

（2）采样时间节点

异位固化/稳定化修复完成后，具体时间为施工单位修复处理完成并自检合格，经监理单位报验同意后进行。

（3）土壤检测因子

采用《固体废物 毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）进行水浸试验，测定土壤需要修复的场地特征污染物：锑、砷、镉、锌、锰、铅的浸出毒性。

3.3 场地内建筑垃圾评估

（1）布点布置

本项目污染区域清表混凝土和污染土壤筛分出的石块需要进行冲洗，冲洗后暂存，待检测合格后直接原位利用。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）（24.5-2018）中关于土壤异位修复效果评估点位的布设，每500 m^3采取1个混合样品，样品优先采集表现污染重的石块。

（2）采样时间节点

建筑垃圾清洗完成后，具体时间为施工单位修复处理完成并自检合格，经环境监理单位报验同意后进行。

（3）修复效果评估指标

采用《固体废物 毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）进行水浸试验，测定土壤需要修复的场地特征污染物：锑、砷、镉、锌、锰、铅的浸出毒性。

3.4 可能产生二次污染的区域

依据《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（试行）（24.5-2018），对本项目涉及二次污染的场地进行洁净区验证性监测。可能存在二次污染的区域有：环保大棚2880m^2，土壤暂存区3600m^2，土壤待检区4308m^2，建筑垃圾待检区1010m^2，建筑垃圾冲洗区1000m^2，备用暂存区/待检区3100m^2，药剂仓库150m^2，水处理区（包括待检区及支架水池），办公区及临时道路。

但因本项目临时用地非常有限，可能存在二次污染的区域几乎均布置在场地污染待开挖区域（非洁净区），仅建筑垃圾暂存区、土壤待检区、建筑垃圾清

洗区、待检水池、暂存支架水池等少部分布区域置在洁净区，因此仅在该部分洁净区进行二次污染土壤采样检测。采用系统采样，采样点数主要参照HJ25.5-2018中表1中的推荐数量。

（2）采样时间节点

潜在二次污染区域开发使用前进行采样，可根据工程进度对潜在二次污染区域进行分批次采样。

（3）监测频率

修复工程结束后监测1次。

（4）土壤检测因子

本场地土壤需要修复的场地特征污染物：锑、砷、镉、锌、锰、铅

3.5 废水处理的修复效果评估

该部分内容为评估对开挖区块基坑水抽出处理后在纳管排放前是否达到纳管排放标准，纳管排放检测指标选取主要通过本场地地下水特征污染物及污水处理站废水纳管协议规定的废水监测指标筛选。废水处理的修复效果可通过查验监理资料或自行检测等方式进行。

评估方式：查验施工单位自检报告及环境监理检测报告，辅以抽样检查。

修复效果评估指标：锰、锌、锑、铅、镉、砷、铁、石油类。

3.6 阻隔工程性能指标评估

原材料质量核查：施工单位购买的阻隔材料应符合相关规范和设计要求，具有相应的合格证；对购买的阻隔材料HDPE 防渗膜和土工布应分别按照《土工合成材料聚乙烯土工膜》、《长丝纺粘针刺非织造土工布》进行检验尺寸、外观质量和物理力学性能，检验合格后才能用于工程。

阻隔工程的工程验收：包括抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施连续性与完整性等，验收主要通过查验工程验收报告。

此外，阻隔回填区完后，中部及东部需进行覆土绿化，绿化面积为22264m^2，覆种植土厚度500mm厚，总共覆土11132m^3。施工单位对种植土进行土壤环境质量检测，检测指标包括45项基本指标及场地特征污染物，并经环境监理验收，

其土壤质量需满足《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）中的第一类用地要求。种植土检测报告见竣工报告附件17。

3.7 地下水修复效果评估

地下水点位按照 HJ25.6-2019 中 5.5.3 规定：地下水修复效果评估应涵盖地下水修复区域及其上下游，修复区域上游采样点不少于 1 个，修复区域内采样点不少于 3 个，修复区域下游采样点不少于 2 个。对地下水进行效果评估，可利用地块环境调查、评价和修复过程建设的监测井，但原监测井数量不应超过效果评估时监测井总数的 60%，新增监测井位置布设在需修复的地下水污染最严重的区域。

因场地修复工程实施，前期调查的地下水监测井均已破坏，因此本项目场地内新建 9 个点位的地下水，分别位于地块内上游2口监测井（M1、M2）、地块内中部1口监测井（M3）、地块内东部2口（M6、M8），地块外下游1口（M9）、地块地下水污染范围区边界与3号地块搭接处3口（M4、M5、M7）。地下水监测井布点图详见**错误!未找到引用源。**。地下水监测指标为：砷、镉、锰、铅、锑、锌、　　铁、石油烃（C10-C40）。

根据 HJ25.6-2019 第 10.3.1 章节，风险管控效果评估一般在工程设施完工 1 年内开展，污染物指标采集至少 4 个批次的样品，原则上采样频次为每季度一次。本阶段效果评估仅采集了 1 个批次的样品，以对地下水的达标情况进行预判。

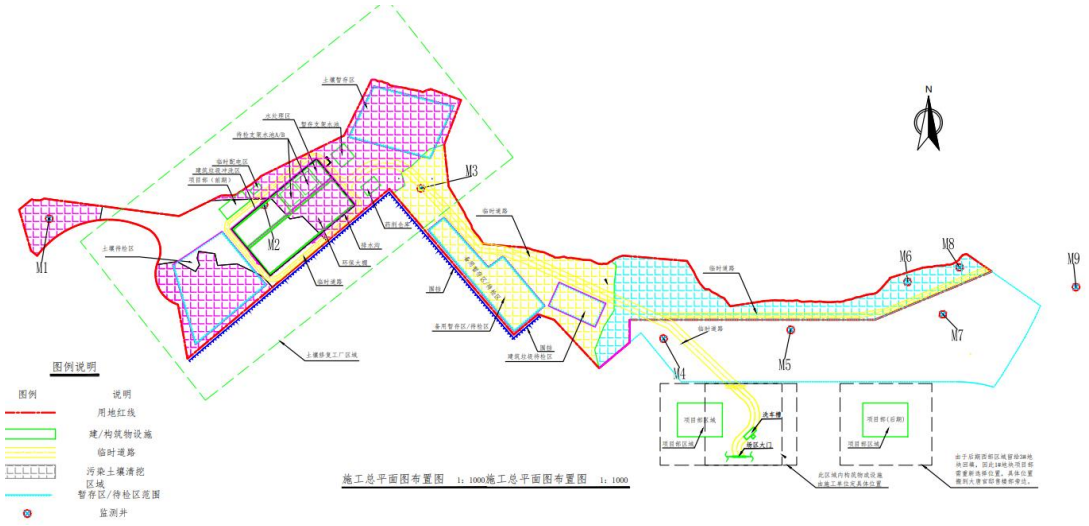

图 3.7-1 地下水监测井布点图

4 修复效果评估

4.1 评估标准

土壤修复验收包括开挖后的基坑验收、污染土壤及地下水的验收。依据《实施方案（备案稿）》，《实施方案（变更版）》、《柳州市生态环境局关于同意原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1号地块）风险管控与修复治理项目实施方案变更调整的函》，本项目经固化稳定化治理后的土壤使用《固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557 -2010）完成浸出试验的重金属水浸浓度符合《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高允许排放限值，其中锑满足《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014）新建企业水污染物排放限值要求，本项目地下水水质需满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的 IV 类标准，本项目废水处理标准需满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）最高排放要求。

（1）污染土壤清挖验收标准

根据《原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理项目实施方案（备案稿）》，本项目对表层重度污染土壤进行清理修复，以清除填土层和黏土层顶部的重度污染为目标。**基坑底部以清理到设计范围和深度为目标，也可对基坑底部采样进行监测，以供参考；基坑侧壁的清理目标以土壤风险管控与修复目标值为验收依据**。关于基本侧壁的清理目标，根据《柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1号地块）风险管控与修复治理项目实施方案》（变更版），几种特殊情况下的验收依据如下：

1） 当表层重度污染土壤的基坑壁清挖至边界红线时，无论存在污染与否，将不用再继续清挖；

2） 当表层重度污染土壤的基坑壁清挖至边界红线附近时，因现场地质问题或构筑物阻挡无法再继续清挖，1号实施单位应上报监理做好现场取证工作，再报业主和效果评估单位予以核实，清挖工作可以在此结束；此外，清挖至边界红线时，应注意留出合理的放坡坡度，防止放坡坡度太陡容易导致塌方，涉及结构安全无法清挖的放坡土壤不再作为污染土壤处理（主要是靠近小区围墙的放坡土方）。

此外根据《实施方案（变更版）》，因本项目场调报告评审、风险评估评审

和修复方案评审会于广西地标《建设用地土壤污染风险筛选值和管制值》（DB45/T 2556—2022）发布前举行并完成全部备案，为了后续管理工作，该地标仅做参考，不作为实施、验收和效果评估的依据。

表 4.1-1 污染土壤清挖目标值（mg/kg）

污染土壤清挖目标值		
序号	**污染物**	**清挖验收标准**
1	锑	20
2	砷	40*
3	镉	33.2
4	锌	15000
5	锰	3840
6	铅	400

（2）土壤修复风险管控验收标准

本项目污染土壤采取的是固化/稳定化技术风险管控技术，基于保护地下水的需求，对于采取风险管控措施的污染土壤单独提出风险管控目标值。风险管控后的土壤需参照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)》（HJ25.5-2019）的要求进行采样，使用《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）完成浸出试验的重金属水浸浓度符合《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高允许排放限值，其中锑满足《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014）新建企业水污染物排放限值要求。土壤风险管控目标值见表 4.1-2。

表 4.1-2 土壤风险管控验收标准（mg/L）

序号	污染物	风险管控目标值（浸出浓度限值）
1	锑	0.3
2	砷	0.5
3	镉	0.1
4	锌	2
5	锰	2
6	铅	1

（3）废水治理验收标准

修复治理施工过程中产生的废水（如基坑降水、冲洗废水等）在作为修复施工回用水或排入市政管网之前，需满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）最高排放标准。具体见表 4.1-3。

表 4.1-3 废水治理验收标准（mg/L）

废水治理目标值		
序号	**污染物**	**废水排放目标值（mg/L）**
1	锰	2.0
2	锌	2.0
3	锑	0.3**
4	铅	1.0
5	镉	0.1
6	砷	0.5
7	铁	2.0*
8	石油类	20

备注：*，表示参照地下水IV类标准限值；**，表示《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014）新建企业水污染物排放限值。

（4）地下水管控目标值

经风险评估，确定在不考虑饮用的情况下，浅层地下水中污染物的人体健康风险水平可接受。因此，依据《柳州市二级水功能区划图》确定地块地下水下游（约350m）的柳江地表水为工业用开发区，水质需满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的IV类标准。

根据《实施方案》（备案稿）要求，本项目地下水的风险管控以地下水IV类水标准设置管控范围。地下水风险管控的目标是以防止污染地下水向周边扩散为主；建立地下水控制系统，通过对水力条件的控制，将有效控制地下水及地下水中污染物的迁移，能有效地防止污染进一步扩散（大部分浅层地下水已通过基坑降水的方式进行了处理，后期监测到污染扩散会进行应急抽水）。本地块地下水中具有毒性的污染物的管控目标设计为满足《地下水质量标准》（GB/T 14848- 2017）IV类的相关标准。

表 4.1-4 地下水管控目标（mg/L）

序号	污染物指标	地下水管控目标值
1	锰	1.5*
2	锌	5.0*

序号	污染物指标	地下水管控目标值
3	锑	0.01**
4	铅	0.1*
5	镉	0.01*
6	砷	0.05*
7	铁	2.0*
8	总石油烃 （C10-C40）	0.6***

备注：*，表示参照地下水IV类标准限值；**，表示《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014）新建企业水污染物排放限值；***，表示《上海市建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控与修复方案编制、风险管控与修复效果评估工作的补充规定（试行）》

4.2 结论

效果评估单位对柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1号地块）风险管控与修复治理工程的土壤修复效果进行评估。对样品监测结果分析及相关报告核查后最终形成如下结论：

（1）场地内全部基坑和污染土壤修复已达到《实施方案》（变更版）的既定要求。根据本场地修复技术方案的要求，该项目场地后续规划为第一类用地。待本场地内的地下水修复效果评估完成后，评估单位方可开展终期评估；

（2）基坑清挖侧壁土壤的取样检测结果均小于土壤清挖目标值，基坑坑底清挖的深度均达到了《实施方案》（变更版）的既定要求；

（3）查阅及审阅相关竣工报告和监理报告，实际清挖土方量为 179626m^3, 较原设计增加 49010.6m^3，其中清挖出的污染土壤 140126 m^3，清挖出的建筑垃圾 39500 m^3。清挖出的污染土壤经过固化稳定化处理合格，清挖出的建筑垃圾经过清洗处理合格，经过评估合格后回填场地西部及东部阻隔回填区，进入风险管控阶段，达到了修复技术方案的既定要求；

（4）根据潜在二次污染区域表层及深层土壤的取样监测结果，修复工程尚未发现造成表层及深层土壤的二次污染问题；

（5）查阅及审阅相关竣工报告、监理报告和工程报告，阻隔工程已按照《实施方案》（变更版）要求铺设了水平阻隔防渗层和土工布，施工已达到修复技术方案的既定要求；

（6）根据竣工报告及环境监理报告，基坑抽出地下水处理水量为 18000m^3，场地基坑地下水（废水）经抽提处理后的废水全部用于施工回用水和养护用水，已完成修复技术方案的相关内容；

综上所述，原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）风险管控与修复治理工程中的污染土壤已按照预期目标完成修复，修复后污染土壤与基坑的检测结果已达到修复目标；待地下水完成达标初判期的监测后，后期开展本场地的地下水效果评估工作，当场地地下水修复效果评估完成后，可进行原柳州市环东金属材料有限公司部分地块（1 号地块）的终期效果评估工作。