

深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间 土壤和地下水污染修复技术方案

(简 本)

委托单位： 深圳信隆健康产业发展股份有限公司

编制单位： 深圳市环境科学研究院

二〇一九年十二月

1 总论

1.1 项目背景

深圳信隆健康产业发展股份有限公司（以下简称信隆公司）位于宝安区松岗街道碧头第三工业区内，北距广深高速公路约 300 米，西面距东宝河河道中心约 180 米，隔河与东莞市长安相望。信隆公司前身为 1991 年成立的信隆车料（深圳）有限公司，1999 年在宝安碧头第三工业区成立占地 14.5 万平方米的松岗分厂，2003 年经中华人民共和国商务部批准成为外商投资股份有限公司，2007 年 1 月在深交所挂牌上市。信隆公司主要生产经营运动器材、康复辅助器材、自行车零部件和生产组装玩具、童车等，创造了世界知名品牌 ZOOM，产品远销欧洲、美洲、亚洲等地区。

根据《中华人民共和国土壤污染防治法》和《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环境保护部令第 42 号，2016 年），污染地块开展治理修复或风险管控前，土地使用权人应当根据土壤环境详细调查报告和风险评估报告，按照国家有关环境标准和技术规范，编制土壤与地下水污染修复技术方案，确定地块修复目标及最佳技术，并制定配套的环境管理计划，作为目标地块修复工程实施依据，支撑该地块相关环境管理决策。

1.2 编制依据

1.2.1 法律法规

- 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2018 年）；
- 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环境保护部令第 42 号，2016 年）；
- 《工矿用地土壤环境管理办法（试行）》（生态环境部令部令第 3 号，2018 年）；
- 《深圳市人民政府关于印发地下水禁采区和限采区划分方案的通知》（深府规〔2018〕16 号）；
- 《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）；
- 《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）；

- 《深圳市人民政府办公厅关于印发深圳市土壤环境保护和质量提升工作方案的通知》（深府办〔2016〕36号）；
- 《深圳市人居环境委员会关于加强深圳市“五大流域”建设项目环评审批管理的通知》（深人环〔2018〕461号）。

1.2.2 技术导则、标准及规范

（1）治理修复相关规范

- 《污染地块地下水修复与风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）；
- 《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2014）；
- 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》（2014年）；
- 《污染场地修复工程环境监理技术导则》（DB11/T 1279-2015）；
- 《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）；

（2）土壤与地下水标准

- 《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）；
- 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；
- 《按风险厘定的土地污染整治标准》（中国香港环境保护署，2007年）。

（3）相关环境标准

- 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- 《电镀水污染物排放标准》（DB 44/1597-2015）；
- 《广东省污水综合排放标准》（DB4426-2001）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- 《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《环境噪声自动监测的技术规范》（DB44T 753-2010）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）。

（4）其他技术标准

- 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2009）；
- 《地下工程防水技术规范》（GB50108-2008）；
- 《工程测量规范》（GB 50026-2007）。

1.2.3 其他文件

- 《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤环境初步调查报告》（2018 年）；
- 《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤环境详细调查报告》（2018 年）；
- 《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤污染风险评估报告》（2019 年）；
- 《信隆车料（深圳）有限公司松岗分厂环境影响报告表》（1999 年）；
- 《深圳信隆实业股份有限公司设备自动化技术改造项目环境影响报告表》（2005 年）；
- 《深圳信隆实业股份有限公司松岗分厂扩建项目环境影响报告表》（2014 年）；
- 《深圳信隆健康产业发展股份有限公司环境风险评估报告》（2016 年）；
- 《深圳信隆健康产业发展股份有限公司清洁生产审核报告》（2017 年）。

1.3 编制原则

本技术方案的编制原则主要有以下几个方面：

（1）科学性原则

基于土壤环境调查及风险评估报告与现场踏勘，依据地块修复工作指南与修复技术目录，综合考虑污染地块修复目标、土壤修复技术的处理效果、修复时间、修复成本、修复工程的环境影响等因素，选择适宜工艺技术，制定科学合理的修复方案。

（2）可行性原则

制定污染地块治理与修复方案要合理可行，要在前期调查及风险评估报告工作的基础上，针对污染地块的污染性质、程度、范围以及对人体健康或生态环境造成的危害，合理选择土壤修复技术，结合地块内及周边环境情况，因地制宜制定治理与修复方案，使修复目标可达，治理修复工程切实可行。

（3）安全性原则

制定污染地块治理与修复方案要确保污染地块治理与修复实施安全，防止对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害和二次污染。

2 地块概况与污染调查评估结果¹

2.1 地块所在区域概况

2.1.1 地块地理位置

信隆公司位于宝安区松岗街道碧头第三工业区内，中心坐标为北纬 22° 46' 42.98"，东经 113° 48' 2.00"，北距广深高速公路约 300 米，西面距东宝河河道中心约 180 米，隔河与东莞市长安相望，南面距茅洲河约 500 米。

2.1.2 区域地质情况

根据区域地质调查、现场调查相关资料显示，本次调查范围内及附近区域内地层为中生界侏罗系上统梧桐山组（J₃W_t）和白垩系官草湖组（K₁Gc）和第四系全新统桂洲组地层（Qg），由老至新简述如下：

（1）侏罗系（J）

侏罗系出落地层位于调查区域北部，是研究区出露最古老的地层，仅见侏罗系上统梧桐山组（J₃W_t）。岩性为黑云母花岗岩。

（2）白垩系（K）

根据区域地质资料，调查区及区域主要分布早白垩世侵入岩（K₁ηγ）。岩性为砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、细粗斑状二长花岗岩。厚度大于 211 m。

（3）第四系（Q）

桂洲组（Qg）主要分布在宝安区沙井、福永、松岗一带，根据沉积物和岩性组合特征，分为 3 段：横栏段、万顷沙段及灯笼沙段。

横栏段岩性为一套海进期沉积的深灰、灰黑色淤泥、粉砂质淤泥夹粉砂及粉砂质黏土薄层。淤泥较纯，含腐烂或半腐烂片状的贝壳，大小一般在 0.5~8.0 cm。底部含腐木枝叶，厚度 3.25~4.06 m。为海进期的河口-滨海相沉积。

万顷沙段岩性以深灰、浅灰、灰黄色淤泥质细砂、粉砂为主，局部夹灰黑色含贝壳砂质淤泥及淤泥质粉砂，底部含少量炭质及腐木根叶，厚度 6.5~5.63 m，

¹ 第二章的内容主要摘自《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤环境初步调查报告》（2018 年）、《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤环境详细调查报告》（2018 年）和《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤污染风险评估报告》（2019 年）。

属河流-滨海相沉积。

灯笼沙段以河口-海陆交互沉积的灰黄、褐黄色砂质黏土为主，夹深灰色粉砂质淤泥及粉砂质，含铁质物。上部以砂质黏土为主，含植物根系，下部含少量贝壳碎片及炭质物，厚度 0.5~1.6 m，属海陆交互沉积。

2.1.3 区域水文地质情况

调查范围内地下水类型为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。

(1) 第四系松散岩类孔隙水

第四系松散岩类孔隙水厚度一般为 10~15 m，富水性贫乏-中等，一般单孔涌水量 100~150 m³/d，局部砂砾层厚度大，富水性好，水化学类型以 HCO₃-Na、Cl-Na、HCO₃-Ca·Na 为主，矿化程度 23.94-859.81 mg/L，福永-西乡沿海为微咸水。

(2) 基岩裂隙水

基岩裂隙水包括两部分，一部分是赋存于裂隙含水层的官湖草组裂隙水，另一部分是赋存于侏罗系上统梧桐山组（J₃W₁）的基岩裂隙水。官湖草组裂隙水水量贫乏，地下水径流模数 0.56 l/s·km²，地下水类型为 Cl.HCO₃-Ca·Na，矿化度低；赋存于侏罗系上统梧桐山组的基岩裂隙水水量中等-丰富，地下水径流模数 6.49~11.90 l/s·km²，地下水类型以 HCO₃-Ca·Na 型为主，矿化度低为 18.39~126.56 mg/L。

2.1.4 水文资料

信隆公司所在的松岗街道属于茅洲河水系。茅洲河位于宝安区西部，系珠江口水系，主流发源于羊台山北麓，流经石岩、松岗、沙井、公明和光明畜牧场四街道一场，并在沙井民主村注入伶仃洋。茅洲河干流长 44.6 公里，流域面积 400.7 平方公里，共 10 个支流。

全街道区域有四条主要河流：西侧与东莞的界河-东宝河，北面洋涌河，中部松岗河，南侧有沙井的界河-沙井河。境内有罗田、五指耙河老虎坑三座水库，罗田水库是深圳市的重点水源保护区。

地块基本信息

2.2 地块概况

2.2.1 地块土地利用现状及规划

根据《深圳市宝安 203-01&202-13 号片区（松岗沙浦-江边地区）法定图则》，信隆公司目前的用地性质和未来用地规划均为工业用地（M1）。

2.2.2 地块周边土地利用情况

信隆公司所在的宝安碧头工业区曾经是我市西部电镀产业园，整个工业区总面积约 3 平方公里，集聚了 70 多家企业。其中，2000 年以前建厂的企业有 41 家，超过半数。

信隆公司周边主要以五金、线路板、自行车配件、电子等工业厂房为主，北面分布少量居民住宅等敏感用地。

2.2.3 企业布局及现状

信隆公司成立于 1991 年，主要生产避震前叉、车把、立管、座垫管等。2005 年，公司进行技术改革，改进部分生产工艺和设施设备。2014 年，公司进行扩建，新增玩具、童车的组装生产。

前三 CP 课车间为电镀和电泳车间，车间内原有电镀生产线 1 条，电泳漆生产线 1 条。前三 CP 课车间西侧的前三部 AN 课车间为阳极氧化车间。

2018 年 5 月 22 日，前三 CP 课车间的电镀和电泳生产线已被深圳市生态环境局责令拆除。

2.2.4 生产工艺及原辅材料

信隆公司前三 CP 课车间主要为电镀和电泳生产车间。

（1）电镀生产线的工艺流程包括：钢管下料、机加工、焊接成型、脱脂、表面调整、磷化、烘干、镀镍、铬酸钝化、烘干、检验包装、成品。

（2）电泳漆生产线的工艺流程（见错误!未找到引用源。）包括：钢管下料、机加工、焊接成型、脱脂、活化、磷化、烘干等。

（3）前三 CP 课车间西侧的前三部 AN 课车间为阳极氧化车间，生产工艺包括：钢管下料、机加工、水磨、打磨、焊接成型等。

2.2.5 废水排污情况及处理措施

根据《深圳信隆健康产业发展股份有限公司清洁生产审核报告》(2017 年),信隆公司 2016 年生产废水排放量为 90000 m³ 左右,日排放量为 300 m³/d(以 300 天计)。生产废水主要为生产过程中产生的含镍废水、含铬废水、高磷废水、高 COD 废水、酸碱综合废水。

信隆公司生产废水治理设施,设计满负荷处理能力为 1300 m³/d。污水处理后通过工业园统一的排污管道排入珠江口流域。

生产车间将生产废水分成五股,分别为含镍废水,含铬废水,高磷废水,高 COD 废水,酸碱综合废水。含镍废水、含铬废水、高磷废水、高 COD 废水和水磨废水,先独立进行预处理(其中含镍废水、含铬废水有一类污染物排放口),然后汇同酸碱综合废水进入综合池进行混合处理,其中水磨废水预处理后一半回用于水磨工序,另一半进入综合池进行混合处理。

2.3 地块水文地质特征

2.3.1 地质条件

根据现场钻探所揭露的地层信息以及土工试验结果,信隆公司前三 CP 课车间及周边区域的地层从上到下依次为:人工填土层、沉积层、基岩。

素填土: 分布于整个调查范围,有轻微臭味,颜色主要为黄色、砖红色、棕色。由黏性土、砂砾层和砂土组成,夹杂混凝土碎石块。浅黄色砂砾层,孔隙度大;砖红色砂土层,局部夹混凝土碎石块,孔隙度较大;棕色、黄色和砖红色黏性土,潮、密实。所有钻孔均揭露该层,揭露层厚范围为 0~4.0 m,平均厚度为 2.93 m。

淤泥质黏土层: 主要以黑色淤泥质黏土和灰褐色黏土为主,湿、软塑。

基岩: 主要为强风化片麻岩,深红棕色,风化程度极高,松散、手捏易碎。

2.3.2 地下水功能区划

根据《广东省功能区划》(2009 年),信隆公司位于“珠江三角洲深圳沙井福永沿海不宜开采区”(见错误!未找到引用源。。“不宜开采区”是由于地下水开采条件差或水质无法满足使用要求,现状或规划期内不具备开发利用条件或开发

利用条件较差的区域。根据《广东省功能区划》（2009 年），“不宜开采区”的地下水保护目标为基本维持现状，现状水质主要为 V 类水。信隆公司位于茅洲河流域，河流水环境功能区要求按照“水十条”和广东省要求在 2019 年达到 V 类，但受流域内工业源和生活源影响，现阶段水质为劣 V 类。

根据《深圳市人民政府关于印发地下水禁采区和限采区划分方案的通知》（深府规〔2018〕16 号），信隆公司位于“已发生或者可能发生海水入侵、岩溶塌陷等环境地质问题的区域”，属于地下水禁采区。

2.4 土壤与地下水污染状况调查

2.4.1 点位布设

信隆公司前三 CP 课车间土壤环境调查工作在 2018 年 6 月至 2018 年 11 月开展。初步调查阶段共布设 6 个土壤点位和 5 个地下水监测井，详细调查阶段共布设 20 个土壤点位和 14 个地下水监测井，钻探深度为 3.0~6.0 m。

初步调查和详细调查阶段共送检土壤重金属样品 132 个，土壤有机样品 50 个，检测指标包括石油烃、挥发性有机物、半挥发性有机物、12 种重金属和氰化物。

2.4.2 土壤污染现状

信隆公司前三 CP 课车间的土壤存在重金属污染，主要污染物为六价铬、镍和总铬，污染深度为 0.2~4.0 m，4 m 后六价铬和镍的浓度未超过 GB36600-2018 第二类用地风险筛选值标准，总铬的浓度未超过 DB11/T 811-2011 工业/商服用地的筛选值。

2.4.3 地下水污染现状

初步调查和详细调查阶段共送检地下水重金属样品 19 个，地下水有机样品 12 个，检测指标包括石油烃、挥发性有机物、半挥发性有机物、13 种重金属和氰化物。检测结果表明：前三 CP 课车间地下水主要污染物为六价铬、砷、铍、铜、镍、铅、镉、锌、石油烃、苯和氯仿。其中六价铬、砷、铍、铜、镍、铅、镉、锌、苯和氯仿浓度超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）的 IV 类水

标准；石油烃浓度超过荷兰干预值标准²。

2.5 土壤与地下水风险评估结果

2.5.1 土壤风险评估结果

土壤致癌风险超过 10^{-6} 的污染物为镍和六价铬 2 种，镍致癌风险超标点位 4 个，超标样品 8 个；六价铬致癌风险超标点位 13 个，超标样品 48 个。

土壤非致癌危害指数超过 1 的污染物为镍和六价铬 2 种，镍非致癌危害指数超标的点位 2 个，超标样品 3 个；六价铬非致癌危害指数的点位 9 个，超标样品 16 个。地下水风险评估结果

2.5.2 地下水风险评估结果

地下水苯和氯仿经多途径的总致癌风险与非致癌危害指数情况见**错误!未找到引用源。**和**错误!未找到引用源。**。地下水苯和氯仿的致癌风险低于 10^{-6} ，非致癌危害指数低于 1，表明地下水中苯和氯仿未对暴露受体构成健康风险。

采用《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)IV 类水标准对地下中的六价铬、砷、铍、铜、镍、铅、镉、锌、苯、氯仿进行环境风险评估。信隆公司前三 CP 课车间地下水六价铬、砷、铍、铜、镍、铅、镉、锌、苯、氯仿浓度超过了《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV 类水标准，存在环境风险。

² 《ANNEXES Circular on target values and intervention values for soil remediation》(2009)

3 地块治理修复策略

治理修复策略是指以风险管理为核心,将污染造成的健康和环境风险控制在可接受范围内的地块总体修复思路,包括采用污染源处理技术、切断暴露途径的工程控制技术以及限制受体暴露行为的制度控制技术 3 种修复模式中的任意一种或其组合。

3.1 治理修复策略

根据上述基本原则,按照污染物浓度分布特征和现场施工条件,划分污染源区域和污染物扩散区域。污染源区域优先采用污染源技术,清除土壤与地下水中污染物;污染物扩散区域优先采用原位污染源技术,尽可能地减少对土壤与地下水的扰动,降低污染物浓度。当原位污染源技术无法达到修复目标时,则采取工程控制技术和制度控制技术,进行风险管控。

将《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤污染风险评估报告》(2019 年)划定的风险控制范围分为 A 区(前三 CP 课车间以内的区域)、B 区(前三部 AN 课车间以内的区域)以及 C 区(信隆公司厂区外的市政道路)。

(1) A 区(前三 CP 课车间以内的区域)

A 区位于信隆公司厂区内,为前三 CP 课车间以内的区域,是污染源所在区域。现场具备相应的开挖施工条件,可优先采取异位污染源处理技术(淋洗和化学还原),清除土壤与地下水中的污染物。

(2) B 区(前三部 AN 课车间以内的区域)

B 区位于信隆公司厂区内,为前三部 AN 课车间以内的区域,是污染物迁移扩散区域。考虑到该区域土壤与地下水中污染物浓度较低,且前三部 AN 课车间现在仍在生产,现场不具备相应的开挖施工条件。因此对该区域土壤采用原位污染源处理技术(如化学还原),将土壤目标污染物浓度降低到修复目标值以下。对于 B 区内受污染的地下水,则采用异位污染源处理技术,清除地下水中的污染物。

(3) C 区(信隆公司厂区外的市政道路)

信隆公司厂区外的区域(前三 CP 课车间北侧的区域,后简称“C 区”)为污染物迁移扩散区域。该区域有市政道路和宿舍楼,地下有污水管线和光纤电缆,

地上有高压电线，现场施工作业条件较为复杂，不具备相应的开挖施工条件。因此，优先对 C 区受污染的土壤开展原位污染源处理技术（如化学还原），将土壤目标污染物浓度降低到修复目标值以下；地下水则采用异位污染源处理技术。

3.2 修复目标

3.2.1 土壤修复目标

根据《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南》（试行），土壤中目标污染物的修复目标值等同于《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤污染风险评估报告》确定的风险控制值，即六价铬 $\leq 10.8\text{mg/kg}$ ，镍 $\leq 900\text{mg/kg}$ 。

3.2.2 地下水修复目标

根据《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南》（试行），地下水的修复目标值根据地下水的最终去向来确定。对于抽出处理的地下水，若修复后排放到市政管道，应符合地表水的排放标准；若修复后回灌到本地块内，应达到本地块地下水风险控制值。

（1）A 区

地下水目标污染物的修复目标值分为地下水处理后的排放标准和土壤回填后 A 区地下水的质量标准，具体见表 3-5。

表 3-1 地下水关注污染物的修复目标

项目	污染物	单位	地下水处理后的排放标准	土壤回填后 A 区地下水的质量标准
重金属	六价铬	mg/L	$\leq 0.05^a$	≤ 0.1
	砷	mg/L	$\leq 0.1^a$	≤ 0.05
	铍	mg/L	$\leq 0.005^b$	≤ 0.06
	镍	mg/L	$\leq 1.0^b$	≤ 0.1
	铅	mg/L	$\leq 0.05^a$	≤ 0.1
	铜	mg/L	$\leq 1.0^a$	≤ 1.5
	锌	mg/L	$\leq 2.0^a$	≤ 5.0
	镉	mg/L	$\leq 0.5^d$	≤ 0.01
有机物	苯	$\mu\text{g/L}$	$\leq 500^c$	≤ 120
	氯仿	$\mu\text{g/L}$	$\leq 1000^c$	≤ 300

注：a. 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中 IV 类标准；

b. 《广东省污水综合排放标准》（DB4426-2001）表 1³的排放标准；

³ 表 1 为第一类污染物（指能在水环境或动植物体内蓄积、对人体健康产生长远不良影响的有害物质）最高允许排

c. 《广东省污水综合排放标准》(DB4426-2001) 表 4⁴ (第二时段) 中的三级排放标准;

d. GB3838-2002 和 DB4426-2001 均未涉及, 执行《工业废水中锡污染物排放标准》(DB43/350-2007)。

(2) B 区和 C 区

B 区和 C 区地下水的处理方式与 A 区相同, 即原场异位处理, 地下水的最终去向是处理后排入市政管网。B 区和 C 区地下水处理后, 其水质标准与 A 区一致。

经治理修复后, B 区地下水关注污染物的浓度限值应满足《深圳信隆健康产业发展股份有限公司前三 CP 课车间土壤污染风险评估报告》确定的地下水风险控制值, 即《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV 类标准。

C 区由于周边有大量工业企业 (主要为电镀及印制线路板企业), 该区域地下水污染物的本底浓度可能高于《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV 类标准。经修复后 C 区地下水关注污染物的浓度限值为《地下水质量标准》IV 类标准与周边区域地下水本底浓度的最大值。

治理修复项目实施过程中, 施工单位和修复效果评估单位可在周边区域布设地下水监测井, 定期监测, 确定该区域地下水关注污染物的本底浓度。

3.2.3 风险管控目标

根据 3.1 小节确定的治理修复策略, 如修复措施无法将 C 区土壤与地下水污染物浓度降低到修复目标值以下时, 则采取风险管控措施。

C 区的风险管控目标参照《污染地块地下水修复与风险管控技术导则》(HJ 25.6-2019) 的要求执行, 主要包括工程性能指标和污染物浓度指标。

(1) 工程性能指标

1) 将风险管控工程措施所采用的工程材料用量、工程施工方案完成情况作为管控工程目标;

2) 制度控制落实情况;

3) 长期监测方案和落实情况。

放浓度;

⁴ 表 4 为 2002 年 1 月 1 日起新建项目, 第二类污染物的排放标准。

（2）污染物浓度指标

污染物指标包括六价铬、砷、镍、铅、铜、锌、镉、苯、氯仿关注污染物，其浓度不得超过《地下水质量标准》IV 类标准与周边区域地下水本底浓度的最大值。

4 修复技术筛选

在污染地块修复技术方案等文件编制过程中，需要对修复技术进行筛选和评估。修复技术筛选可采用专家评估法、类比法、定性矩阵法、评分矩阵法等多种方法，一般分为两步：第一步为技术筛选阶段，第二步为技术选择阶段。

4.1 筛选原则

修复技术筛选需要考虑的因素众多，确保污染地块的修复效果满足土地利用方式和风险控制的要求，优先选择可以降低污染物毒性、迁移性和含量的成熟技术，筛选原则如下：

- （1）技术的筛选与选择要优先考虑充分保护人体健康和生态环境；
- （2）在技术上，技术筛选与选择需结合地块再开发利用规划和开发方式，选择可以达到目标的最简化的途径或方法，而不单纯追求技术的先进性；
- （3）在经济上，技术筛选与选择兼顾当前治理修复或风险管控费用的实际承受能力和未来经济的发展，使得不仅在当前，而且从较长远来看，治理修复或风险管控技术的选择都是合适的；
- （4）在可行性上，技术的筛选与选择从我国的整体现状出发，充分考虑我国污染地块修复技术以及现有污染物处置设施的水平；
- （5）在各种条件允许的情况下，尽量选择环境友好的修复技术。对污染地块中不同类型的污染物和不同风险的土壤，提倡采用区别化的技术分别对待和处理。

4.2 土壤与地下水修复技术筛选

4.2.1 土壤修复技术筛选

根据《污染场地修复技术目录：第一批》（环境保护部，2005），结合地块的污染特征，初步筛选出适合 A 区受污染土壤的修复技术，具体包括：**水泥窑焚烧、淋洗技术、化学还原技术**。对上述修复技术进行总结，包括技术简介、主要应用参考因素、优点、缺点、结论等，结合实际情况，分析该修复技术的适用性，具体如下：

（1）水泥窑焚烧

➤**可处理的污染物类型：**有机污染物及重金属。

➤**应用限制条件：**不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤；由于水泥生产对进料中氯、硫等元素的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土的添加量。

➤**技术原理：**利用水泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性环境、无废渣排放等特点，在生产水泥熟料的同时，焚烧固化处理污染土壤。有机物污染土壤从窑尾烟气室进入水泥回转窑，窑内气相温度最高可达 1800℃，物料温度约为 1450℃，在水泥窑的高温条件下，污染土壤中的有机污染物转化为无机化合物，高温气流与高细度、高浓度、高吸附性、高均匀性分布的碱性物料（CaO、CaCO₃ 等）充分接触，有效地抑制酸性物质的排放，使得硫和氯等转化成无机盐类固定下来；重金属污染土壤从生料配料系统进入水泥窑，使重金属固定在水泥熟料中。

➤**系统构成和主要设备：**水泥窑协同处置包括污染土壤贮存、预处理、投加、焚烧和尾气处理等过程。在原有的水泥生产线基础上，需要对投料口进行改造，还需要必要的投料装置、预处理设施、符合要求的贮存设施和实验室分析能力。水泥窑协同处置主要由土壤预处理系统、上料系统、水泥回转窑及配套系统、监测系统组成。

➤**关键技术参数或指标：**影响水泥窑协同处置效果的关键技术参数包括：水泥回转窑系统配置、污染土壤中碱性物质含量、重金属污染物的初始浓度、氯元素和氟元素含量、硫元素含量、污染土壤添加量。

（2）淋洗技术

➤**可处理的污染物类型：**重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物应用限制条件：不适合于土壤细粒（粘/粉粒）含量高于 25 % 的土壤；处理含挥发性有机物污染土壤时，应采取合适的气体收集处理设施。

➤**技术原理：**污染物主要集中分布于较小的土壤颗粒上，异位土壤淋洗是采用物理分离或增效洗脱等手段，通过添加水或合适的增效剂，分离重污染土壤组分或使污染物从土壤相转移到液相的技术。

➤**系统构成和主要设备：**异位土壤淋洗处理系统一般包括土壤预处理单元、物理分离单元、淋洗单元、废水处理及回用单元及挥发气体控制单元等。具体修复中可选择单独使用物理分离单元或联合使用物理分离单元和增效洗脱单元。主

要设备包括土壤预处理设备（如破碎机、筛分机等）、输送设备（皮带机或螺旋输送机）、物理筛分设备（湿法振动筛、滚筒筛、水力旋流器等）、增效淋洗设备（淋洗搅拌罐、滚筒清洗机、水平振荡器、加药配药设备等）、泥水分离及淋洗水设备（沉淀池、浓缩池、脱水筛、压滤机、离心分离机等）、废水处理系统（废水收集箱、沉淀池、物化处理系统等）、泥浆输送系统（泥浆泵、管道等）、自动控制系统。

➤**关键技术参数或指标：**影响土壤淋洗修复效果的关键技术参数包括：土壤细粒含量、污染物的性质和浓度、水土比、洗脱时间、洗脱次数、增效剂的选择、增效洗脱废水的处理及药剂回用等。

（3）化学还原技术

➤**可处理的污染物类型：**化学还原可处理重金属类（如六价铬）和氯代有机物等。化学氧化/还原可用作原位或异位修复技术。

➤**技术原理：**向污染土壤添加还原剂，通过还原作用，使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。常见的还原剂包括连二亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、硫酸亚铁、多硫化钙、二价铁、零价铁等。

➤**系统构成和主要设备：**修复系统包括土壤预处理系统、药剂混合系统和防渗系统等。其中：（1）预处理系统。对开挖出的污染土壤进行破碎、筛分或添加土壤改良剂等。该系统设备包括破碎筛分铲斗、挖掘机、推土机等。（2）药剂混合系统。将污染土壤与药剂进行充分混合搅拌。（3）防渗系统为反应池或是具有抗渗能力的反应场，能够防止外渗，并且能够防止搅拌设备对其损坏，通常做法有两种，一种采用抗渗混凝土结构，一种是采用防渗膜结构加保护层。

➤**关键技术参数：**影响还原技术修复效果的关键技术参数包括：污染物的性质、浓度、药剂投加比、土壤渗透性、土壤活性还原性物质总量或土壤氧化剂耗量（Soil Oxidant Demand, SOD）、氧化还原电位、pH 值、含水率和其它土壤地质化学条件。

4.2.2 地下水修复技术筛选

根据 3.1 小节确定的修复思路，A 区、B 区和 C 区的地下水的修复模式为原场异位。根据目前国内外地下水的修复技术（见错误!未找到引用源。），适用于 A 区、B 区和 C 区的地下水修复模式的技术为抽出处理技术（其他技术均为原位修

复)。

抽水处理技术的具体介绍如下：

➤**可处理的污染物类型：**用于处理重度污染地下水区域中多种污染物类型。
应用限制条件：治理时间长，难以将污染物彻底去除；抽出井群影响半径有限；不宜用于吸附能力较强的污染物，以及渗透性较差或存在 NAPL（非水相液体）的含水层；污染地下水抽出处理后的后续处置问题较难解决。

➤**技术原理：**根据地下水污染范围，在污染地块布设一定数量的抽水井，通过水泵和水井将污染地下水抽取上来，然后利用地面设备处理。处理后的地下水，排入地表径流回灌到地下或用于当地供水。

➤**系统构成和主要设备：**系统构成包括地下水控制系统、污染物处理系统和地下水监测系统。主要设备包括钻井设备、建井材料、抽水泵、压力表、流量计、地下水水位仪、地下水水质在线监测设备、污水处理设施等。

➤**关键技术参数或指标：**关键技术参数包括：渗透系数、含水层厚度、抽水井间距、抽水井数量、井群布局和抽提速率。（1）渗透系数：渗透系数对污染物运移影响较大，随着渗透系数加大，污染羽扩散速度加大，污染羽范围扩大，从而增加抽水时间和抽水量。（2）含水层厚度：对于潜水含水层，地面与底板之间厚度固定的情况下，抽水时间和总抽水量都是随着潜水含水层水位的增加呈线性递减的趋势。（3）抽水井位置：抽水井在污染羽上的布设可分为横向与纵向两种方式，每种方式中，抽水井的位置也不同。（4）井群布局：天然地下水使得污染羽的分布出现明显偏移，地下水水流方向被拉长，垂直地下水水流方向变扁。抽水井的最佳位置在污染源与污染羽中心之间（靠近污染源，约位于整个污染羽的三分之一处），并以该井为圆心，以不同抽水量下的影响半径为半径布设其余的抽水井。

4.3 土壤与地下水风险管控技术筛选

（1）土壤

根据 3.1 小节的策略，当污染源处理技术的处理成本较高时，可采取固化/稳定化技术，即添加重金属稳定药剂与土壤中游离态重金属进行反应使其转化成化学性质不活泼形态，降低污染物在环境中的迁移和扩散，减少其有效浸出量，达

到可控制风险水平。固化/稳定化技术的处理成本较低,但该技术原理只改变重金属形态降低其在环境中的迁移性和扩散性,而无法从源头上清除污染物。根据《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),固化/稳定化技术属于风险管控措施,其技术介绍如下:

➤**可处理的污染物类型:** 金属类、石棉、放射性物质、腐蚀性无机物、氰化物、砷化合物等无机物以及农药/除草剂、石油或多环芳烃类、多氯联苯类以及二噁英等有机化合物。

➤**应用限制条件:** 不适用于挥发性有机化合物和以污染物总量为验收目标的项目。当需要添加较多的固化/稳定剂时,对土壤的增容效应较大,会显著增加后续土壤处置费用。

➤**技术原理:** 向污染土壤中添加固化剂/稳定剂,经充分混合,使其与污染介质、污染物发生物理、化学作用,将污染土壤固封为结构完整的具有低渗透性的固化体,或将污染物转化成化学性质不活泼形态,降低污染物在环境中的迁移和扩散。

➤**系统构成和主要设备:** 主要由土壤预处理系统、固化/稳定剂添加系统、土壤与固化/稳定剂混合搅拌系统组成。其中,土壤预处理系统具体包括土壤水分调节系统、土壤杂质筛分系统、土壤破碎系统。主要设备包括土壤挖掘系统(如挖掘机等)、土壤水分调节系统(如输送泵、喷雾器、脱水机等)、土壤筛分破碎设备(如振动筛、筛分破碎斗、破碎机、土壤破碎斗、旋耕机等)、土壤与固化/稳定剂混合搅拌设备(双轴搅拌机、单轴螺旋搅拌机、链锤式搅拌机、切割锤击混合式搅拌机等)。

➤**关键技术参数或指标:**

① 固化/稳定剂的种类及添加量

固化/稳定剂的成分及添加量将显著影响土壤污染物的稳定效果,应通过试验确定固化/稳定剂的配方和添加量,并考虑一定的安全系数。目前国外应用的固化/稳定化技术药剂添加量大都低于 20 %。

② 土壤破碎程度

土壤破碎程度大有利于后续与固化/稳定剂的充分混合接触,一般要求土壤颗粒最大的尺寸不宜大于 5 cm。

③ 土壤与固化/稳定剂的混匀程度

混合程度是该技术一个关键性瓶颈指标，混合越均匀固化/稳定化效果越好。土壤与固化/稳定剂的混匀程度往往依靠现场工程师的经验判断，国内外还缺乏相关标准。

④土壤固化/稳定化处理效果评价

土壤固化/稳定化处理效果通常需要物理和化学两类评价指标：物理指标包括无侧限抗压强度、渗透系数；化学指标为浸出液浓度。

(2) 地下水

根据 3.1 小节确定的治理修复策略，如 C 区现场施工作业条件导致治理修复措施无法将土壤与地下水污染物浓度降低到修复目标值以下时，则采取风险管控。根据《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) 和《污染场地修复技术目录：第一批》(环境保护部，2005)，结合地块的污染特征，初步筛选出适合 C 区的风险管控措施包括：监测自然衰减、可渗透反应墙和阻隔技术。

由于 C 区该区域有市政道路和宿舍楼，地下有污水管线和光纤电缆，地上有高压电线，现场施工作业条件较为复杂，不具备相应的开挖施工条件。因此，C 区的风险管控方式为在 A 区设置地下水阻隔墙，对 C 区地下水进行抽水和长期监测。

4.4 修复技术的确定

经综合对比考虑，确定适用于 A 区、B 区、C 区土壤与地下水修复技术，具体见表 4-1。

表 4-1 土壤与地下水修复技术

区域	治理修复		风险管控
	土壤	地下水	
A 区	“串联”或“并行”异位淋洗、化学还原技术	抽出处理	如治理修复的成本超过业主需求，则采用固化稳定化
B 区	原位化学还原	抽出处理	-
C 区	原位化学还原	抽出处理	如无法完成修复目标，则风险管控，采用抽出处理和长期监测

5 A 区土壤与地下水修复方案设计

5.1 总体技术路线

- (1) 施工前准备，包括前三 CP 课车间拆除、污染边界界定、现场分区
- (2) 设置地下水竖向阻隔和基坑支护
- (3) 地下水治理修复
- (4) 土方开挖
- (5) 土壤治理修复
- (6) 清洁土壤回填

5.2 施工前准备

5.2.1 厂房拆除

根据《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31号）的要求，前三 CP 课车间拆除前业主单位需要按照《企业拆除活动污染防治技术规定》（试行），组织编制《企业拆除活动污染防治方案》和《拆除活动环境应急预案》。

5.2.2 污染区域界定

以确定的开挖边界作为放线标准，采用全站仪和水准仪，完成需开挖区域边角点坐标、高程的测定和定点控制，然后由业主方和监理单位对放线结果进行核查确认。所有标识定点资料都应附上相应《定点记录表》，测量完成后需经监理工程师复核并签字认可。开挖结束后在污染区域的边缘取点监测，如发现仍存在污染，则应开挖直至彻底清除污染为止。

5.2.3 现场分区

在污染区域界定基础上，施工单位与业主方协调在厂区内划分治理修复区域和办公管理区域。治理修复区域和办公管理区域需用警示绳或彩钢板隔开，所有车辆机械设备进出治理修复区必须经过洗车池清洗。

5.3 地下水阻隔与基坑支护

A 区基坑支护及开挖属于危险性较大的分部分项工程，施工单位应编制基坑

专项施工方案，按照国家相关技术规范要求组织专家论证。

5.3.2.1 基坑降排水要求

在土体基坑边坡上设置泻水孔，基坑底部设置挡水墙，用以汇集坡体渗水和坑外流入基坑的水，并设置集水井予以抽排。在坡顶上口线外设置挡水墙和防护栏，挡水墙外根据场地地形设置好地表水的排放通道。

5.3.2.2 沉降观测要求

由于基坑开挖至 4.5 m，在治理修复过程中应通过加强周边地块的沉降观测等措施，确保周边建筑物、构筑物、道路及管线等不出现异常情况。施工单位应按照规范、设计要求，编制沉降观测方案。在施工期间对影响范围内进行地表沉降观测，并通过沉降监测的信息反馈，及时调整基坑支护的施工参数或掌握施工中支护的力学动态及稳定程度，以便调整施工程度，确保施工安全和支护结构的稳定。

5.4 地下水修复方案

地下水的治理修复采用抽出处理技术。抽出处理技术主要根据地下水污染范围，在污染场地布设一定数量的抽水井，通过水泵和水井将污染地下水抽取上来，然后利用地面设备处理。处理后的地下水，排入市政管网。该技术通过不断抽取污染地下水，使污染羽的范围和污染程度逐渐减小，并使含水层介质中的污染物通过向水中转化而得到清除。

5.5 土壤修复方案设计

5.5.6.1 土壤修复目标值

六价铬的修复目标值为 10.8 mg/kg，镍的修复目标值为 900 mg/kg。

5.5.6.2 修复土方量

六价铬和镍复合污染区域和六价铬浓度 ≥ 1000 mg/kg 的区域采用淋洗+化学还原，处理的土方量为 1732 m³。六价铬浓度 < 1000 mg/kg 的区域，采用化学还原，处理的土方量为 5632.5 m³。

6 B 区土壤与地下水修复方案设计

6.1 总体技术路线

根据 3.1 小节确定的治理修复策略以及 4.4 小节确定的修复技术。

6.2 土壤修复方案设计

6.2.1 技术路线

还原药剂的注射方式采用多点注射，具体为在地层中建立扩散井，通过井壁上的孔向周围土壤注射配置好的还原剂，达到药剂与土壤的充分混合，并与土壤/地下水中的污染物进行反应，污染物被化学分解（还原）成为毒性更小的产物或无毒的产物。

（1）勘定修复范围、施工准备

通过放线测量勘定，在现场采用定点后钉桩等手段标明场地调查评估后确定的污染土壤修复区域，表层混凝土破碎后，确定建井位置，测量井深。

（2）原位建井注射

在地层中建设注射井，通过井壁上的孔向周围土壤注射配置好的还原剂，达到药剂与土壤的充分混合，并与土壤/地下水进行反应。单个注射井有效半径为 4-5 m，加药量为污染土方量的 1-5 %，持续注射 20 天左右。

（3）运行维护和监测

原位化学氧化还原技术的运行维护工作较为简单，主要包括注入系统和监测系统的维护。监测主要有过程监测和修复效果监测。修复过程监测通常是在修复过程中对注入井进行监测，主要参数有压力、温度和药剂浓度等。

（4）清洗

完成注射后，对各机械设备进行清洗，避免污染物带出厂区。

6.2.2 系统构成和主要设备

原位氧化还原技术是由药剂制备/贮存系统、注入井、注入系统、监测系统等组成。其中，药剂注入系统主要包括存储装置、注入装置、混合设备、流量控制装置、压力控制器等；药剂的注入深度、注入量与污染程度直接相关；在注入井

的周围需设立监测井，以实现对污染物及药剂分布的监测和修复后土壤的检测。

6.2.3 关键参数

在实际应用前，需通过实验室明确药剂种类和添加量，通过中试进一步确定和优化。通过小试实验，判断修复效果是否达到要求，探索并明确药剂投加比、时间、pH 变化、氧化还原电位变化、含水率控制等重要参数。在此基础上开展中试实验，评估大型工程的可靠性和可行性，针对施工过程及结果做详细记录。可通过反应传质模型、场地概念模型等工具对设计进行指导。开展设计时，需着重考虑注入井的分布、药剂注入量、监测井布设等，同时考虑工人的培训、药剂管理和安全操作等。

6.2.4 土壤修复目标

B 区土壤修复目标值与 3.3.1 小节一致，六价铬的修复目标值为 10.8 mg/kg。

7 C 区土壤与地下水修复方案设计

7.1 总体技术路线

根据 3.1 小节确定的治理修复策略，C 区受污染的土壤开展原位化学还原，尽可能减少对地面的扰动，降低污染物浓度。地下水则采用抽出处理技术，处理达标后排入市政管网。如现场施工作业条件导致治理修复措施无法将土壤与地下水污染物浓度降低到修复目标值以下时，则采取工程控制技术和制度控制技术，对 C 区定期抽水和长期监测，防止土壤与地下水中污染物进一步迁移扩散。

7.2 土壤修复方案设计

土壤修复方案参照 6.2 小节。

7.3 地下水修复方案设计

地下水修复方案参照 5.4 小节。

7.4 C 区风险管控方案设计

7.4.1 地下水抽出

参照 5.4 小节，结合 C 区周边环境地质调查成果，分析和计算地下水抽出井布置位置、数量、抽出水量等关键参数。

7.4.2 废水处理

参照 5.4.5 小节。

7.4.3 制度控制

1. 通过公告的方式提供有关地块的使用历史、土壤和地下水污染状况、风险管控工程概况、风险管控的措施等相关信息，帮助公众了解污染地块的具体情况。
2. 设立风险标识牌和定期发布监测公告。

8 环境管理计划

8.1 污染防治和人员安全保护措施

8.1.1 土壤污染防治

(1) 对已经开挖但没有进行处理的土壤，使用塑料布、苫布进行覆盖，或进行表面洒水等处理，防止雨水冲刷或扬尘污染。施工现场堆放的污染土壤不超过五天。

(2) 先用性能良好、车厢封闭较好、证件齐全的车辆，严格按照指定路线行驶；土方装车不能超过车槽帮，与上侧距离要大于 50 mm，上侧覆盖苫布，与上扣盖形成双重密闭，车槽后部铺设彩条布进行防护，防止渣土自车身缝隙处落下，确保道路无遗洒。

(3) 在污染区出口处置洗车设施（洗车池、集水沟、沉淀池、水枪），运输车辆每次出场前将车轮及车身残存的土冲洗干净后方可离场。洗车设施主要包含洗车平台、四周集水沟、三级沉淀池。在第三级沉淀池内设一台抽水泵，将池内的水不定时的抽入洗车池内，以便洗车池内水更换和循环利用。车辆冲洗段的污水最终送往污水处理设施进行处置合格后再进行排放。

8.1.2 地下水（污水）污染防治

污水治理采用归集处理的策略，对各基坑、处置场、待检区等产生污水的设施与场所设置相应集水坑，散布的集水坑最终泵抽至容量较大的收集池内，统一进入信隆公司污水处理站集中处理。

(1) 对基坑渗水和积水，统一收集后，在场地内进行前期污水处理后，进入直排口，绝不擅自将未处理的基坑水直接排入就近河道，造成地表水和地下水环境污染。

(2) 处置污染土壤过程中产生废水工艺场所设置完善污水沟、收集池等污水收集处理设施。污水经处理合格后可排入直排口。

(3) 现场准备便携式多参数水质分析仪、对地表水的情况进行监控，保证满足排放标准。

污染土壤修复过程中基坑降水或积水、处置场所污水、冲洗车污水工序产生

废水都进入企业污水处理站收集处理。

8.1.3 大气污染防治

污染土壤清挖、运输、处置、修复的整个过程中需要对空气环境进行管理，其目的是确保施工过程中工作人员的健康安全，并防止施工过程对周边空气环境造成二次污染。

开挖过程中容易产生扬尘对场地内和下风向的空气质量造成影响。土壤清挖施工机械在操作时慢转、轻摇，尽可能防治起尘。如开挖作业面出现扬尘时，可采用洒水车在基坑周边进行洒水作业，控制扬尘。若作业面出现大面积重扬尘情况，洒水和铺盖苫布已经不能满足需求时，采用移动式喷雾除尘设备对扬尘进行控制。遇到4级以上大风天气，应停止土方清挖作业，并对暴露土壤进行苫盖。在施工现场内将土方运输车辆装土后压实铺好苫布，将运输车外表清扫干净后再运出工地大门，防止扬尘产生。

8.1.4 噪声污染防治

厂区北边靠近市政马路，除了要求在现场进行安全和文明施工之外，在厂区边界的北面设置1台噪声监测仪，按《声环境质量标准》（GB3096-2008）要求现场施工期噪音控制在昼间70分贝，夜间施工控制在55分贝。

（1）连续作业时，采取降噪措施，做好周围群众工作，对人为的施工噪音有降噪措施和管理制度，并进行监控。

（2）合理布设施工现场，尽可能将淋洗、还原和固化稳定化设备设置在室内。

（3）合理调配作业时间。由于厂区北面分布有大量居民房，施工时间需要24小时连续作业，节假日开工时间适当调整。

（4）及时维修、管理高噪音的器具，使设备处于低噪声、良好的工作状态，降低噪音污染。

8.1.5 人员安全保护措施

对现场作业人员开展相关重金属危害安全教育培训。在污染开挖区、土壤淋洗、化学还原、稳定化作业区，操作人员需要配备个人劳保用品，如工作服、安全鞋、安全帽、护目镜、丁腈手套、耳罩、安全背心等。

8.2环境监测计划

8.2.1 监测目的与对象

环境监理是受污染地块责任主体委托，依据有关环境保护法律法规、土壤环境调查评估备案文件、地块土壤与地下水修复方案备案文件、环境监理合同等，对地块修复过程实施专业化的环境保护咨询和技术服务，协助和指导建设单位全面落实修复过程中的各项环保措施，以实现修复过程中对环境最低程度的破坏、最大限度的保护。

环境监理的对象主要是工程中的环境保护措施、风险防范措施以及受工程影响的外部环境保护等相关的事项，其工作内容是监督修复工程是否满足环境保护的要求等，协调好工程与环境保护、以及业主与各方的关系。

8.2.2 工作程序与内容

环境监理工作主要分为三个阶段：修复工程设计阶段、修复工程施工准备阶段和修复工程施工阶段。

（1）修复工程设计阶段

设计阶段环境监理内容包括：收集场地调查评估、场地污染修复方案、修复工程施工设计、施工组织方案等基础资料，对修复工程中的环保措施和环保设施设计文件进行审核，关注修复工程的施工位置和异位修复外运土壤去向，审核修复过程中水、大气、噪声、固体废物等二次污染处理措施的全面性和处理设施的合理性，必要的后期管理措施的考虑。

（2）修复工程施工准备阶段

施工准备阶段环境监理内容包括：了解具体施工程序及各阶段的环境保护目标，参与修复工程设计方案的技术审核，确定环境监理工作重点，协助业主监理完善的环保责任体系，建立有效的沟通方式等，并编制修复环境监理细则。

（3）修复工程施工阶段

修复工程施工阶段环境监理内容包括：

核实修复工程是否与修复实施方案符合，环保设施是否落实，是否建立事故应急体系和环境管理制度；监督环境保护工程和措施，监督环保工程进度；检查和监测施工过程中产生的水、气、声、渣排放，施工影响区域应达到规定的环境

质量标准；对场内运输污染土壤、污水车辆的密闭性、运输过程进行环境监理；对场内修复工程相关措施、抽提装置和废水处理进行监督管理；施工过程中基坑开挖和支护等是否按有关建筑施工要求进行；对异位处置过程，包括储存库及处理现场地面防渗措施的落实和监控；检查污染土储存场地、处置设施的尾气排放设施和监测设施是否完备，确认各项条件是否符合环境要求；检查必要的后期管理长期监测井设置；根据施工环境影响情况，组织环境监测，行使环境监理监督权；向施工单位发出环境监理工作指示，并检查环境监理指令的执行情况；协助建设单位处理环境突发事故及环境重大隐患；编写环境监理月报、半年报、年报和专项报告。

8.2.3 监测计划

(1) 监测目的和类型

土壤修复本身即是保护环境的一项重要措施，但在修复过程中，也会对地块周围环境产生一定的影响，为保证修复过程及修复完成后地块内外环境质量满足相关规范及标准要求，需对地块内及周边环境加以控制管理。

为保证本项目污染土修复过程中不产生二次污染及确保环境安全和人员身体健康，修复工程施工的全过程需对所涉及区域内的空气和噪声环境进行监测，然后将检测结果与相关标准规范或施工前的环境质量进行对比评价，并采取相应管理措施。全过程的监测方案须获得监理单位、当地有权部门（机构）的认可。

➤**水环境监测：**对修复工程施工和运行期产生的工业废水和生活污水的来源、排放量、水质指标及处理设施的建设过程、沉淀池的定期清理和处理效果等进行检查、监督，并根据水质监测结果，检查工业废水和生活污水是否达到了排放标准要求。

➤**大气环境监测：**对修复过程中涉及的污染土壤清挖、施工过程中污染物无组织排放空气样品的采集、分析及质量评价，污染土壤修复设施（车间）污染物排放尾气样品的采集、分析及污染物排放评价。

➤**噪音环境监测：**监督检查工程施工和修复过程中的主要噪声源的名称、数量、运行状况；检查修复工程周边区域内声环境敏感目标的功能、规模、与工程的相对位置关系及受影响的人数；检查项目采取的降噪措施和实际降噪效果，并

附图表或照片加以说明针对施工过程中的噪音检测。

(2) 水监测方案

①采样点布设

废水收集后由企业污水处理站进行处置,根据《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002)在废水排放口设置采样点,包括车间处理设施排放口和企业总排放口。

②监测指标和标准

废水评价标准依据《广东省污水综合排放标准》(DB4426-2001)。

③监测进度安排

参照《广东省污染地块治理与修复环境监理技术指南(征求意见稿)》(如施工期间国家或广东省发布相关技术文件,则按照最新的技术规范开展),至少在治理与修复工程实施前、实施过程中、治理与修复完成后各监测1次。

样品监测和采样分析方法按《环境监测技术规范》及《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002)的相关要求进行。对采集的每一个水样,做好记录,并在采样瓶上贴好标签,低温保存运送至实验室进行分析。

(3) 大气监测方案

为确定施工现场及周边空气中污染物的起始含量与污染状况,并为施工结束后的地块及周边空气环境质量验收提供对比验证背景,施工前需对地块内和地块外上下风向空气介质中污染物浓度进行监测。此外,为判断污染物在厂区内部和厂区外空气介质中的扩散量和残留量是否符合相关的国家和国际安全标准,确保施工现场工人短期接触的职业健康安全而周边社区居民健康安全,需对整个施工过程中空气里的污染物进行监测。

①采样点布设

大气环境监测内容一般包括污染土壤清挖、污染土壤运输过程、暂存、治理与修复工程实施过程中污染物无组织排放空气样品和污染土壤治理与修复设施(车间)污染物排放尾气样品。

一般根据地块内污染土壤治理与修复工程功能区域规划及工程进度,依照《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T55-2000)中相关规定,分别在地块边界及有代表性的环境敏感点设置大气监测点。

无组织排放大气污染物的采集根据《大气污染物综合排放标准》(GB16297-

1996) 执行, 采用连续监测 1 小时采集 1 个样品的的方法。

②监测指标及标准

评价标准参照《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996) 和《大气污染物排放标准》(DB44 27-2001) 执行。

③监测进度安排

参照《广东省污染地块治理与修复环境监理技术指南(征求意见稿)》(如施工期间国家或广东省发布相关技术文件, 则按照最新的技术规范开展), 至少在在治理与修复工程实施前、实施过程中、治理与修复完成后各监测 1 次, 施工期原则上应至少每月一次。

(4) 噪音监测方案

在施工过程中, 建筑施工场界环境噪声需定期进行监测。测量时尽量选择无雨和风速为 5 m/s 以下的气候, 且选在地块平坦、无大反射物地块中进行监测。

噪声监测要求如下:

①监测点的确定

根据《环境噪声自动监测技术规范》(DB44T 753-2010), 声环境监测点应布设于地块治理与修复区域边界及地块外周边环境敏感点, 每个 500 米范围内有代表性环境敏感点至少 1 个监测点位。

按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 规定, 根据施工地块周围噪声敏感建筑物位置和声源位置的布局, 测点设在对噪声敏感建筑物影响较大, 且距离较近位置。一般设在施工场界外 1 m, 高度 1.2 m 以上的位置。若场界处筑有围墙, 则距施工场界外 1 m, 高于围墙 0.5 m 处, 且位于施工噪声影响的声照射区域。

采用积分声级计采样, 采样时间间隔不大于 1 s。白天以 20 min 的等效 A 声级表征该点的昼间噪声值, 夜间以 8 h 的平均等效 A 声级表征该点夜间噪声值。测量时间分为白天和夜间两部分。白天测量选在 8:00-12:00 时或 14:00-18:00 时, 夜间选在 22:00-5:00 时。

②监测频率

参照《广东省污染地块治理与修复环境监理技术指南(征求意见稿)》(如施工期间国家或广东省发布相关技术文件, 则按照最新的技术规范开展), 监测频次至少在治理与修复工程实施前、实施过程中、治理与修复完成后各监测 1 次。

③监测指标和标准

噪声标准按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的环境噪声限值（见表 8-1）。

表 8-1 建筑施工场界噪声限值

昼间（单位：dB（A））	夜间（单位：dB（A））
70	55

注：夜间噪声最大声级超过限值的幅度不得高于 15 dB(A)。

8.2.4 环境监理重要文件资料编制

环境监理报告主要包括环境监理方案、环境监理细则、环境监理定期报告、环境监理总结报告。

8.3治理修复验收计划

8.3.1 验收程序

（1）验收流程

验收工作主要是针对本项目治理修复而进行的工作，验收包括以下流程：

A.验收准备：完成治理修复后，施工方委托监测单位对土壤与地下水进行自检，将自检结果报监理单位审核；经监理单位审核后，施工单位向业主提出验收申请，由业主方做好验收相关准备工作。

B.业主委托专业机构：业主方委托专业机构开展治理修复验收。

C.土壤修复验收：业主组织相关单位参加治理修复验收会议。

D.地下水长期监测：由专业机构对地下水进行长期监测，监测时间为 2 年。

E.地下水修复与风险管控验收：业主组织相关单位参加地下水修复验收会议。

F.工程结算与备案：办理工程决算，验收结果送生态环境及自然资源部门备案。

（2）验收工作程序

施工方和业主方应按照《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）和《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）分别开展土壤与地下水自检和验收工作。工作程序包括：文件审核、现场勘查、确定验收对象和标准、采样布点方案、现场采样与送检、修复效果评估、验收报告编制六个工作步骤。

(1) 土壤验收标准

土壤治理修复验收标准参照 3.4.1.1 小节。

(2) 地下水验收标准

地下水治理修复验收标准参照 3.4.1.2 和 3.4.2 小节。

8.3.2 土壤与地下水修复效果评估

8.3.2.1 土壤治理修复效果评估

(1) 土壤修复效果评估布点

①基坑采样

对 A 区清挖范围基坑内部和边缘的原址土进行采样，采样点位于基坑底部和侧壁，以采集土壤样品以表层样为主（0~20 cm），在有必要时也可采集深层样品。若基坑侧壁采用基础围护，则宜在基坑清理同时进行基坑侧壁采样，或于基础围护实施后在围护设施外边缘采样。

②异位修复土壤布点

A 区异位修复后的土壤应在修复完成后、再利用之前采样。按照堆体模式进行异位修复的土壤，宜在堆体拆除之前进行采样。异位修复后的土壤堆体，可根据修复进度进行批次采样。原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 500 m³。

③原位修复土壤布点

B 区和 C 区原位修复后的土壤应在修复完成后进行采样。原位修复的土壤可按照修复进度、修复设施设置等情况分区采样。

原位修复后的土壤水平方向上采用系统布点法，采样数量按照错误!未找到引用源。执行。

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（4.0 m）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 3 m，具体根据现场实际情况确定。

(2) 现场检测与实验室检测

基坑土壤的检测指标和异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六价铬和镍。

实验室检测参照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

(3) 土壤修复效果评估方法

可采用逐一对比和统计分析的方法进行土壤修复效果评估。

当样品数量小于 8 个时，应将样品检测值与修复效果评估标准值逐个对比：

- a) 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；
- b) 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。

当样品数量大于等于 8 个时，可采用统计分析方法进行修复效果评估。一般采用样品均值的 95 %置信上限与修复效果评估标准进行比较，下述条件全部符合方可认为地块达到修复效果：

- a) 样品均值的 95 %置信上限小于等于修复效果评估标准值；
- b) 样品浓度最大值不超过修复效果评估标准值的 2 倍。

若采用逐个对比方法，当同一污染物平行样数量大于等于 4 组时，可结合 t 检验分析采样和检测过程中的误差，确定检测值与修复效果评估标准的差异：

- a) 若各样品的检测值显著低于修复效果评估标准值或与修复效果评估标准不显著，则认为地块达到修复效果；
- b) 若某样品的检测结果显著高于修复效果评估标准值，则认为地块未达到修复效果。

8.3.2.2 地下水治理修复效果评估

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。

(1) 评估范围

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。

(2) 采样持续时间和频次

修复效果评估阶段应至少采集 8 个批次样品，采样持续时间至少为 1 年。原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。

(3) 布点数量与位置

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。

(4) 检测指标

修复后地下水的检测指标为修复技术方案中确定的关注污染物，包括六价铬、

砷、铍、铜、镍、铅、锑、锌、苯、氯仿。

（5）地下水修复效果达标判断

原则上每口监测井中的检测指标均持续稳定达标，方可认为地下水达到修复效果。也可采用趋势分析进行持续稳定达标判断，具体见《污染地块地下水修复与风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）。

8.3.3 风险管控修复效果评估

如 C 区开展风险管控，则根据《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019），风险管控效果评估一般在工程设施完工 1 年内开展。

C 区风险管控验收标准包括材料用量与施工审核、地下水阻隔性能测试、地下水浓度监测、制度控制落实情况、监测计划和落实情况。若工程性能指标和污染物指标均到达评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可对风险管控措施继续开展运行与维护。

8.3.3.1 材料用量与施工审核

1. 通过审查相关运输清单和接收函件，审核材料用量和使用计划是否与方案一致。
2. 通过审查地块风险管控过程监理记录和监测数据，核实材料的用量、施工进度和施工方法落实情况。

8.3.3.2 地下水阻隔性能测试

地下水阻隔管控效果（针对 A 区设置的地下水阻隔墙）可按照错误!未找到引用源。进行性能测试。

8.3.3.3 地下水采样

（1）采样频次

风险管控效果评估一般在工程设施完工 1 年内开展。

污染物指标应至少采集 4 个批次的样品，原则上采样频次为每季度 1 次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。

（2）布点数量与位置

地下水监测井设置需要结合风险管控措施的布置，在风险管控范围上游、内部、下游以及可能涉及的二次污染区域设置监测点。

C 区风险管控地下水的监测井的设置可以利用 A 区和 B 区地下水治理修复验收阶段设置的地下水监测井。

(3) 检测指标

地下水的检测指标为修复技术方案中确定的关注污染物，包括六价铬、砷、铍、铜、镍、铅、镉、锌、苯、氯仿。

(4) 风险管控效果评估标准

C 区地下水中关注污染物（六价铬、砷、镍、铅、总铬、铜、锌、镉、苯、氯仿）浓度不得超过《地下水质量标准》IV 类标准与周边区域地下水本底浓度的最大值。

8.3.3.4 制度控制的落实情况

包括设置隔离并设立风险标识牌和定期发布监测公告等内容。

8.4 长期监测计划

根据《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）规定，存在下列情景的，应提出后期环境监理建议：

- 对于修复后土壤中污染物浓度未达到 GB36600 第一类用地筛选值的地块；
- 实施风险管控的地块。

长期环境监测一般通过设置地下水监测井进行周期性采样和检测，为保证地块污染治理修复效果，可利用验收评估阶段设置的地下水进行长期监测，监测周期为通过治理修复效果评估后 10 年，监测频率为每年 1 次。