

原高福五金有限公司及周边地块

土壤污染风险评估报告

(公示简本)

委托单位：南京市高淳区土地储备中心（公章）

委托单位法人代表：_____（签章）

编制单位：江苏中晟环境修复有限公司（公章）

编制单位法人代表：_____（签章）

二〇二三年九月

摘要

1、项目背景

原高福五金有限公司及周边地块位于南京市高淳区淳溪街道，东至大丰河支流、南至芜太路、西至太安路、北至现状荒地，总面积约 15271.11 平方米。根据资料收集及人员访谈了解，调查地块历史曾入驻企业为南京高福五金有限公司（以下简称“高福五金”），该企业建于 1986 年，主要从事五金工具的设计、制造和金属表面处理（电镀）。根据政策要求，该企业于 2013 年停产，并于 2019 年进行建（构）筑物拆除工作。调查地块内东侧区域规划为 R2 二类住宅用地，地块西侧部分区域规划为 G1 街旁绿地。根据现场踏勘，地块内现状为荒地。

2、地块调查实施情况

调查地块现场采样工作于 2021 年 12 月启动，至 2022 年 6 月完成先后四次样品采集监测工作。2022 年 8 月，在风险评估阶段，对地块内 A31 四周布设加密采样点，用于细化框定该点位区域的污染土壤范围。调查期间开展了现场踏勘、人员访谈、水文地质勘查、土壤采集、地下水建井工作、样品检测分析及报告编制工作。调查期间共布设 120 个土壤采样点（S1-S12、N1-N3、T1-T25、C1-C3、A1-A32、Z1-Z33、ZS1-ZS8、DZE、DZS、DZW、DZN），13 口地下水监测井（GW1-GW7、NW1、NW2、DZGW、CW1-CW3）、12 个地质勘探孔（J1-J12）。

送检土壤样品检测因子主要包括 GB36600-2018 基本 45 项目、重金属锌、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氟化物及氰化物；送检地下水样品

下水样品 13 份，检测因子主要包括 GB36600-2018 基本 45 项目、重金属锌、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氯化物、氟化物及氰化物。

3、地块调查结果

（1）地块地质状况

根据野外钻孔揭露及原位测试资料，结合土工试验资料。本次勘探所达深度范围内的地层分布情况如下：

2 层素填土：主要由粉质粘土组成，含少量的植物根茎及碎砖碎石等建筑垃圾，结构松散，属近期堆填土，部分钻孔上部为 0.3 米左右的杂填土。该层在场地内普遍分布，厚度 0.50-2.00 米，平均层厚 1.17 米，层底标高 5.54-8.68 米，层底平均标高 7.14 米，层底埋深 0.50-2.60 米，平均层底埋深 1.81；

3 层粉质粘土：岩性主要为可-硬塑状褐灰色-棕红色粉质粘土，结构紧密，属第四纪晚更新世后期（Q₃）冲湖堆积物，含较多的铁锰质结核及团块状高岭土，局部高岭土含量高。勘察范围内所有钻孔均有揭露，场区普遍分布，厚度 4.10-10.00 米，平均层厚 7.44 米，层底标高-2.06-3.74 米，平均层底标高-0.20 米，层底埋深 5.20-11.20 米，平均层底埋深 9.11 米；

浅部孔隙潜水主要赋存于 2 层素填土以及 3 层粉质粘土层，大气降水为浅部孔隙潜水的主要补给来源；浅部孔隙潜水的排泄主要为蒸发、层间径流以及枯水期入渗地表水，其中蒸发是最主要的排泄方式。施工期间，地下水补给河水。潜水水位年变幅约 1.0 米。

（2）土壤污染状况调查

土壤样品检测结果：

土壤检测因子主要为：pH 值、重金属砷、镉、铜、铅、汞、镍、六价铬及锌、VOCs、SVOCs、石油烃（C₁₀-C₄₀）、氟化物及氰化物。

根据检测报告显示，受检样品中重金属砷、铜、铅、汞、镉均有检出，但未超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第一类用地筛选值（以下简称“第一类用地筛选值”）；

受检样品中半挥发性有机物仅 1 个样品中蒽有检出，且检出值远低于第一类用地筛选值；

受检样品中氰化物有检出，但未超过第一类用地筛选值；

受检样品中石油烃（C₁₀-C₄₀）有检出，但未超过第一类用地筛选值；

受检样品中锌、氟化物有检出，但未超过尧一骏博士和环保部南京环境科学研究所陈樯等研究员开发的《污染场地风险评估电子表格》（2022 年 5 月 31 日更新）计算出第一类用地土壤筛选值；

本次调查地块内第一类用地区域送检的 482 个土壤样品重金属镍均检出，其中 30 个土壤样品检测值超过第一类用地筛选值；第一类用地区域 52 个土壤样品六价铬检出，其中 18 个土壤样品检测值超过第一类用地筛选值；

第二类用地区域送检的 104 个土壤样品重金属镍均检出，均未超过第二类用地筛选值；第二类用地区域 17 个土壤样品六价铬检出，其中 8 个土壤样品检测值超过第二类用地筛选值。

调查地块重金属镍最深污染深度为 1.5m (S6-3、N1-3、T14-3、A19-3、A20-3)；六价铬最深污染深度为 2m (A23-4)。土壤样品重金属镍最大超标倍数为 7 倍(S12-2)；六价铬最大超标倍数为 34.79 倍 (T2-1)。

地下水样品检测结果：

地下水检测因子主要为：pH 值、重金属砷、镉、铜、铅、汞、镍、六价铬及锌、VOCs、SVOCs、石油烃 (C₁₀-C₄₀)、氯化物、氟化物及氰化物。

检测结果表明：样品中无机物砷、镉、铜、铅、镍、锌、氟化物有检出，检测结果满足《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) IV 类水要求，六价铬均未检出；送检的样品中挥发性有机物及半挥发性有机物均未检出；送检的 6 个地下水样品中有 2 个地下水样品氯化物超《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) IV 类水要求；送检的样品中石油烃 (C₁₀-C₄₀) 有检出，检出值未超过《上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标》(沪环土【2020】62 号) 中第一类用地筛选值。

4、人体健康风险评估结果

本地块关注污染物为重金属镍及六价铬，污染深度至 2.0 m；本次根据儿童期和成人期的暴露来评估污染物的终生致癌风险，根据儿童期暴露来评估污染物的非致癌危害效应；潜在的土壤污染物暴露途径主要包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物共 3 种土壤污染物暴露途径。经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒

物共 3 种土壤污染物暴露途径。经计算，第一类用地镍及六价铬的致癌风险为 2.50×10^{-6} 、 1.35×10^{-5} ，均大于 1.0×10^{-6} ，致癌风险不可接受；镍及六价铬的非致癌危害商为 1.23、0.124，镍的非致癌危害商大于 1，非致癌风险不可接受。第二类用地六价铬的致癌风险为 2.84×10^{-5} ，大于 1.0×10^{-6} ，致癌风险不可接受，镍的致癌风险为 3.44×10^{-7} ，小于 1.0×10^{-6} ，致癌风险可接受；六价铬及镍的非致癌危害商为 0.128 及 0.101，六价铬及镍的非致癌危害商小于 1，非致癌风险可接受。总体评估，地块内污染土壤风险不可接受。

为满足后期规划二类居住用地土壤环境质量标准，本地块内统一土壤修复目标值，即重金属镍风险控制建议值为 150mg/kg；六价铬风险控制建议值为 3mg/kg，修复范围分四层（0-0.5m，0.5-1.0m，1.0-1.5m，1.5-2.0m）。第一层（0-0.5m）修复土方量为 1466.00m³；第二层（0.5-1.0m）修复土方量为 955.00m³；第三层（1.0-1.5m）修复土方量为 403.00m³；第四层（1.5-2.0m）修复土方量为 120.50m³。地块总修复土方量为 2944.50m³。

目录

1 项目概述	1
1.1 项目背景	1
1.2 风险评估内容	1
1.3 风险评估范围	2
1.4 调查依据	2
1.4.1 法律法规	2
1.4.2 技术规范	3
1.4.3 其它文件	4
1.5 风险评估工作程序	5
2 地块概况	6
2.1 区域环境概况	6
2.1.1 地理位置	6
2.1.2 地形地貌	6
2.1.3 地质条件	7
2.1.4 水文地质概况	7
2.1.5 气象水文	8
2.2 地块现状与历史	8
2.2.1 地块历史情况	8
2.2.2 地块现状情况	8
2.2.3 地块用地规划	8
2.3 地块周边环境敏感目标	9

2.4 相邻地块现状与历史	9
3 土壤污染状况调查	10
3.1 水文地质情况	10
3.1.1 土层分布情况	10
3.1.2 含水层分布及其特征	10
3.1.3 土工试验数据	10
3.2 土壤污染状况调查结果	13
3.2.1 污染识别情况	13
3.2.2 土壤污染调查情况	13
3.2.3 污染物检出及分布情况	17
3.3 环境风险识别	18
4 风险评估	19
4.1 危害识别	19
4.1.1 地块规划与敏感受体	19
4.1.2 关注污染物筛选	19
4.2 暴露评估	20
4.2.1 暴露情景分析	20
4.2.2 暴露途径分析	20
4.2.3 场地概念模型	23
4.2.4 模型参数选择	24
4.3 毒性评估	24
4.4 风险表征	24

4.4.1	风险计算工具	24
4.4.2	致癌风险和危害商	24
4.5	风险控制值的确定	25
4.6	不确定性分析	25
4.6.1	不确定性来源分析	25
4.6.2	暴露途径贡献率分析	26
5	修复目标与修复范围	26
5.1	修复目标值	26
5.2	修复范围及工程量	26
5.3	修复技术建议	27
5.3.1	修复技术选择原则	27
5.3.2	土壤修复总体思路	27
5.3.3	推荐修复技术	28
6	结论与建议	30
6.1	风险评估结论	30
6.2	风险评估建议	31

1 项目概述

1.1 项目背景

原高福五金有限公司及周边地块位于南京市高淳区淳溪街道，历史曾入驻企业为南京高福五金有限公司（以下简称“高福五金”），总占地面积约 15271.11 平方米，其中历史工业用地面积约 9445.11 平方米，农用地面积约 5826.00 平方米。高福五金建于 1986 年，主要从事五金工具的设计、制造和金属表面处理（电镀）。根据政策要求，该企业于 2013 年停产，并于 2019 年进行建（构）筑物拆除工作。

根据地块所属区域《南京市高淳区城北商务区（NJGCb030）控制性详细规划》及南京市高淳区土地储备中心出具关于本地块的情况说明（详见附件一），地块东侧部分区域规划为 R2 二类居住用地，面积约 13881.13 平方米，西侧部分区域规划为 G1 街旁绿地，面积约 1389.98 平方米。

根据调查结果，本地块土壤中部分点位重金属镍及六价铬超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）规定的第一类建设用地土壤污染风险筛选值，需进行进一步的土壤污染风险评估工作。

1.2 风险评估内容

本地块的风险评估，是在土壤及地下水污染状况调查的基础上，分析地块土壤和地下水中污染物对人群的主要暴露途径，评估污染物对人体健康的致癌风险或危害水平，并提出基于保护人体健康的修复

目标。

1.3 风险评估范围

本次风险评估范围与调查范围一致，四至范围：东至大丰河支流、南至芜太路、西至太安路、北至现状荒地，总面积约 15271.11 平方米。

1.4 调查依据

1.4.1 法律法规

(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014 年 4 月 24 日修订通过，2015 年 1 月 1 日起施行；

(2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2018 年 8 月 31 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第五次会议通过，2019 年 1 月 1 日起施行；

(3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 4 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议修订，2020 年 9 月 1 日起施行；

(4) 《中华人民共和国水污染防治法》，2017 年 6 月 27 日第十二届全国人民修订，2018 年 1 月 1 日起施行；

(5) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2015 年 8 月 29 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第十六次会议第二次修订，自 2016 年 1 月 1 日起施行；

(6) 《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 1 日起施行；

（7）《土壤污染防治行动计划》（国发〔2015〕17 号），2016 年 5 月 28 日起实施；

（8）《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）；

（9）《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）；

（10）《工矿用地土壤环境管理办法（试行）》（生态环境部令第 3 号），2018 年 8 月 1 日起施行；

（11）《中共中央、国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》（中发〔2018〕17 号）；

（12）《省政府关于印发江苏省土壤污染防治工作方案的通知》（苏政发〔2016〕169 号）；

（13）《关于加强我省工业企业场地再开发利用环境安全管理工作工作的通知》（苏环办〔2013〕157 号）。

1.4.2 技术规范

（1）《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019），2019 年 12 月 5 日实施；

（2）《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019），2019 年 12 月 5 日实施；

（3）《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）；

（4）《建设用地土壤污染风险修复技术导则》（HJ 25.4-2019）；

(5) 《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ 682-2019), 2019 年 12 月 5 日起实施;

(6) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南》(试行), 公告 2014 年第 78 号;

(7) 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018), 2018 年 8 月 1 日;

(8) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004), 2004 年 12 月 9 日起实施;

(9) 《地下水环境监测技术规范》(HJ T 164-2020), 2021 年 3 月 1 日起实施;

(10) 《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ 1019-2019), 2019 年 9 月 1 日;

(11) 《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017), 2018 年 5 月 1 日;

(12) 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》(公告 2017 年第 72 号), 2017 年 12 月 15 日。

1.4.3 其它文件

(1) 《原高福五金有限公司及周边地块土壤污染状况调查报告》, 2022 年 7 月;

(2) 《原高福五金有限公司及周边农用地地块土壤污染状况调查报告水文地质勘察报告》, 2022 年 5 月;

(3) 原南京高福五金有限公司土地证及房产证;

(4) 原南京高福五金地块调查记录表；

(5) 原南京高福五金关于搬迁企业污染源信息调查表（平面布置图、原辅材料及工艺流程等）；

(6) 环境监测现场检查（勘验）记录表；

(7) 房屋征收补偿协议。

1.5 风险评估工作程序

风险评估按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）实施。根据导则要求，地块风险评估按照危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和风险控制值计算五个步骤展开。

2 地块概况

2.1 区域环境概况

2.1.1 地理位置

调查地块位于南京市高淳区淳溪街道，东至大丰河支流、南至芜太路、西至太安路、北至现状荒地，总占地面积约 15271.11 平方米。

2.1.2 地形地貌

高淳区在大地构造单元上属于南京凹陷的边缘地带，漂高褶皱隆起带背斜一翼自北而南斜穿区境，有大面积的黄土岗地分布，在流水切割下，岗地破碎，形成区境东部丘陵起伏，岗、沟交错的特点。按地貌成因和形态特征，可划分为下列三大类型。

2.1.2.1 构造剥蚀低山丘陵区（I）

主要分布在高淳区的中部和东部，受各期构造运动及新构造运动的控制，长期经受剥蚀作用，主要的地貌形态有低山、丘陵和残丘，根据物质组成，可分为沉积岩和火山岩组成类，海拔高度一般小于 100 米，走向不明显，线性延展性差，主要为茅山和天目山余脉，有荆山、大山、遮军山、小茅山、大游山、金山、大花山、九龙山、马鞍山、秀山等，其中大游山最高，海拔 189 米。

2.1.2.2 剥蚀堆积地貌（II）

分布在低山丘陵周围的坡麓地带，地面标高一般在 15-30 米，地表以第四系下蜀组黄土为主，属于低山丘陵向平原过渡的低丘、岗地、缓坡、阶地等地貌类型，高度不大，坡度较小，一般小于 3°，内部冲

沟发育，且多呈树枝状分叉。

2.1.2.3 冲湖积平原（III）

分布在高淳区的北部、西部,海拔高程一般在 4-8 米,地势低平,河湖密布，为第四系全新统组成的冲、湖积平原，岩性主要为粘土、亚粘土。

2.1.3 地质条件

2.1.3.1 基岩地质

本次钻探揭露的基岩地层为白垩纪浦口组（K_{2p}）砂质泥岩。

2.1.3.2 第四纪地层

根据钻探资料显示,本次工作范围内主要为上更新统下蜀组(Q₃)硬塑状粉质粘土。第四系厚度埋深一般在 20m 以浅。

2.1.4 水文地质概况

根据本次勘查目的,结合原有场地的可能污染深度,本次主要研究松散岩类潜水含水层组。

2.1.4.1 水文地质特征

根据区域水文地质资料,本次工作范围内的地下水水化学类型为 HCO₃—Ca 与 HCO₃—Ca·Na 型,矿化度 0.3—0.6 克/升。

2.1.4.2 补给、径流、排泄条件

本区地处亚热带湿润气候带,雨量充沛、地势平坦,大气降水和地表水入渗是其主要补给途径。潜水的排泄方式主要有蒸发、枯水期泄入地表水体以及越流补给,其中蒸发是主要的排泄方式。

2.1.5 气象水文

高淳区属北亚热带南部季风气候区，四季分明，寒暑显著，降水丰沛，日照充足，无霜期长。高淳区境内以东坝为界，分属水阳江、青弋江和太湖两个水系。主要的湖泊有固城湖、石白湖两大天然淡水湖，主要河流有胥河、漆桥河、官溪河、水阳江，主要水库有龙墩水库、九龙山水库和苗圃水库。

2.2 地块现状与历史

2.2.1 地块历史情况

根据天地图及 Google Earth 历史影像图，结合现场踏勘及人员访谈结果综合得知调查地块历史变迁情况见表 2.2-1。

表 2.2-1 地块历史用途变迁情况一览表

序号	可追溯的时间	地块描述
1	1986 年之前	农用地（太安村）
2	1986 年-2013 年	南京高福五金有限公司（五金电镀）及农用地（青菜、芝麻等农作物及樟树、冬青等苗木）
3	2014 年-2018 年	南京高淳大市场商户租赁南京高福五金有限公司厂房用于仓储；农用地
4	2019 年至今	地块经收储后开展拆迁工作，现状为荒地

2.2.2 地块现状情况

调查地块内于 2019 年开展拆迁工作，建构筑物现状仅地块内南侧九龙园艺苗木大棚，建构筑物尚未完全拆除。

2.2.3 地块用地规划

根据地块所属区域《南京市高淳区城北商务区（NJGCb030）控制性详细规划》及南京市高淳区土地储备中心出具关于本地块的情况说明（详见附件一），调查地块东侧部分区域规划为 R2 二类居住用

地，面积约 13881.13 平方米，西侧部分区域规划为 G1 街旁绿地，面积约 1389.98 平方米。

2.3 地块周边环境敏感目标

根据现场实际踏勘，现状地块周边以居民区、学校及医院为主。

2.4 相邻地块现状与历史

经现场踏勘及人员访谈了解，地块周边污染源主要为调查地块北侧原南京红宝丽集团股份有限公司及东侧汽车商贸城的历史运营期间的工业三废，周边企业调查地块环境造成污染的可能性较小。

3 土壤污染状况调查

3.1 水文地质情况

本次勘探共完成 12 个地质勘探孔，勘探孔编号分别为 J1-J12，钻探深度以揭露强风化层顶板埋深为准，完成钻探进尺 122.0 m。共采集原状土样 45 件，原状土样在现场进行了封蜡保存，勘探结束后送国土资源部南京矿产资源监督检测中心进行土样物化性质以及水平、垂向渗透性测试。

3.1.1 土层分布情况

依据地质钻探所揭示的地层结构和岩性特征，场区内第四纪地层近地表浅部普遍堆积有一层厚 0.50-2.60m 的填土层，其中上部为杂填土，主要成分为碎砖碎石等建筑垃圾，结构极为松散；下部填土主要为素填土，主要成分由粉质粘土组成，含少量的植物根茎等，结构较松散，为近期填积物。填土层在整个场区内普遍分布。

3.1.2 含水层分布及其特征

拟建场地在勘察深度范围内地下水类型主要为孔隙潜水。依据地质钻探所揭示的地层结构和岩性特征，本场区勘察深度范围内潜水含水层主要为 2 层素填土以及 3 层粉质粘土层。

3.1.3 土工试验数据

本调查地块各层土工试验参数统计如下表所示：

表 3.1-2 土工试验成果一览表

层号	野外土样编号	取样深度 m	含水率	比重	重度	干重度	孔隙比	液限	塑限	塑性指数	液性指数	土样分类	剪切试验			压缩试验		渗透系数	
			W	G _s	γ	γ _d	e _s	W _L	W _p	I _p	I _L		试验方法	粘聚力 c	内摩擦角 φ	压缩系数 a ₁₋₂	压缩模量 E _s	垂直 K _v	水平 K _H
%	-	kN/m ³	-	%	%	-	-	kPa	度	MPa ⁻¹	MPa	cm/s							
2	J3-1	0.80	30.2	2.72	18.0	13.8	0.935	33.3	19.7	13.6	0.77	粉质粘土	q	14.8	7.4	0.64	3.02	7.88E-07	9.02E-07
2	J4-1	0.80	30.5	2.72	18.1	13.9	0.919	31.8	19.2	12.6	0.90	粉质粘土	q	20.3	10.9	0.42	4.57	7.86E-07	9.01E-07
2	J5-1	1.70	28.3	2.72	18.9	14.7	0.808	31.0	18.7	12.3	0.78	粉质粘土	q	22.8	12.1	0.46	3.93	7.84E-07	8.98E-07
2	J6-1	0.60	34.9	2.72	18.1	13.4	0.983	33.0	19.6	13.4	1.14	粉质粘土	q	14.3	7.2	0.66	3.01	8.35E-07	9.49E-07
2	J7-1	0.50	23.2	2.72	18.1	14.7	0.811	32.4	19.2	13.2	0.30	粉质粘土	q	22.1	11.0	0.46	3.94	7.29E-07	8.44E-07
2	J8-1	0.60	28.6	2.72	18.2	14.2	0.881	30.9	18.6	12.3	0.81	粉质粘土	q	23.7	11.9	0.36	5.22	8.01E-07	9.15E-07
2	J9-1	2.00	33.8	2.72	17.6	13.2	1.033	32.3	19.2	13.1	1.11	淤泥质粉质粘土	q	14.1	7.1	0.69	2.95	8.26E-07	9.41E-07
2	J10-1	2.10	55.0	2.72	16.4	10.6	1.525	43.1	23.9	19.2	1.62	淤泥	q	5.4	3.1	1.28	1.97	8.53E-07	9.67E-07
2	J11-1	0.10	26.9	2.72	18.2	14.3	0.856	31.4	19.1	12.3	0.63	粉质粘土	q	28.1	12.8	0.29	6.40	7.45E-07	8.59E-07
2	J12-1	1.80	34.0	2.72	17.3	12.9	1.071	32.6	19.2	13.4	1.10	淤泥质粉质粘土	q	13.0	6.5	0.78	2.66	8.71E-07	9.85E-07
2	最小值		23.2	2.72	17.30	12.91	0.808	30.9	18.6	12.3	0.30		q	5.4	3.1			7.29E-07	8.44E-07
2	最大值		34.9	2.72	18.90	14.73	1.071	33.3	19.7	13.6	1.62		q	28.1	12.8			8.71E-07	9.85E-07
2	数据个数		9	10	9	9	9	9	9	9	10			10	10			10	10
2	平均值		30.0	2.72	18.06	13.90	0.922	32.1	19.2	12.9	0.92		q	17.9	9.0			8.02E-07	9.16E-07
2	变异系数		0.13	0.00	0.02	0.05	0.10	0.03	0.02	0.04	0.39			0.37	0.35			0.06	0.05
2	标准值		32.4		17.78	13.49	0.980				1.13		q	13.9	7.1				
3	J1-1	2.50	24.2	2.72	19.2	15.5	0.724	32.1	19.0	13.1	0.40	粉质粘土	q	37.3	13.7	0.27	6.38	7.28E-07	8.43E-07
3	J1-2	3.60	28.9	2.72	18.6	14.4	0.845	44.8	25.2	19.6	0.19	粘土	q	60.0	16.0	0.17	10.85	7.65E-08	8.82E-08
3	J1-3	4.50	21.9	2.72	19.3	15.8	0.683	31.1	18.4	12.7	0.28	粉质粘土	q	46.8	14.7	0.20	8.42	7.79E-07	8.94E-07
3	J2-1	1.20	28.1	2.72	19.2	15.0	0.778	30.8	18.2	12.6	0.79	粉质粘土	q	24.1	12.1	0.37	4.80	7.96E-07	9.09E-07
3	J2-2	3.10	25.3	2.72	18.2	14.5	0.832	32.2	19.1	13.1	0.47	粉质粘土	q	35.2	13.1	0.27	6.79	7.45E-07	8.61E-07
3	J2-3	5.70	27.9	2.72	18.5	14.5	0.841	37.1	21.7	15.4	0.40	粉质粘土	q	36.7	13.5	0.26	7.08	4.83E-07	5.99E-07
3	J3-2	2.80	24.2	2.72	19.7	15.9	0.681	36.0	20.1	15.9	0.26	粉质粘土	q	45.7	14.6	0.21	8.00	4.13E-07	5.29E-07
3	J3-3	4.80	27.1	2.72	19.0	14.9	0.782	44.4	24.8	19.6	0.12	粘土	q	79.8	17.8	0.15	11.88	7.07E-08	8.24E-08
3	J3-4	5.80	22.5	2.72	19.2	15.7	0.700	31.2	18.8	12.4	0.30	粉质粘土	q	43.5	14.2	0.24	7.08	7.51E-07	8.65E-07
3	J4-2	3.00	23.1	2.72	19.2	15.6	0.708	32.8	19.3	13.5	0.28	粉质粘土	q	43.0	14.4	0.28	6.10	6.75E-07	7.89E-07
3	J4-3	4.80	22.2	2.72	19.1	15.6	0.705	32.6	19.4	13.2	0.21	粉质粘土	q	56.6	15.5	0.18	9.47	7.66E-07	8.81E-07
3	J5-2	3.70	29.1	2.72	18.7	14.5	0.838	34.7	19.9	14.8	0.62	粉质粘土	q	29.1	12.8	0.28	6.57	5.93E-07	7.07E-07
3	J5-3	8.70	18.1	2.72	19.9	16.9	0.582	29.6	17.4	12.2	0.06	粉质粘土	q	70.9	17.5	0.19	8.33	7.72E-07	8.87E-07
3	J6-2	3.60	28.4	2.72	19.2	15.0	0.782	31.5	18.3	13.2	0.77	粉质粘土	q	24.1	12.3	0.32	5.57	7.59E-07	8.74E-07
3	J6-3	5.20	20.9	2.72	20.2	16.7	0.596	34.5	19.9	14.6	0.07	粉质粘土	q	67.9	18.4	0.18	8.87	5.57E-07	6.72E-07

层号	野外土样编号	取样深度	含水率 W	比重 G _s	重度 γ	干重度 γ _d	孔隙比 e ₀	液限 W _L	塑限 W _P	塑性指数 I _P	液性指数 I _L	土样分类	剪切试验			压缩试验		渗透系数	
													试验方法	粘聚力 c	内摩擦角 φ	压缩系数 a ₁₋₂	压缩模量 E _s	垂直	水平
																		K _v	K _H
3	J6-4	7.60	23.5	2.72	19.4	15.7	0.697	32.4	19.2	13.2	0.33	粉质粘土	q	42.2	14.3	0.27	6.28	6.40E-07	7.63E-07
3	J7-2	2.20	22.9	2.72	19.2	15.6	0.706	35.3	20.0	15.3	0.19	粉质粘土	q	57.3	15.8	0.18	9.48	4.51E-07	5.67E-07
3	J7-3	3.40	23.2	2.72	19.1	15.5	0.718	32.6	19.3	13.3	0.29	粉质粘土	q	43.0	14.4	0.25	6.87	7.06E-07	8.11E-07
3	J7-4	5.00	22.1	2.72	19.3	15.8	0.686	38.5	21.7	16.8	0.02	粉质粘土	q	78.2	19.7	0.11	15.33	2.05E-07	7.12E-07
3	J7-5	7.00	23.7	2.72	19.9	16.1	0.657	36.2	20.4	15.8	0.21	粉质粘土	q	54.4	15.6	0.18	9.21	3.18E-07	4.33E-07
3	J7-6	8.80	27.4	2.72	18.8	14.8	0.805	43.0	23.9	19.1	0.18	粘土	q	71.5	15.7	0.17	10.62	7.15E-08	8.23E-08
3	J8-2	3.00	20.2	2.72	19.5	16.2	0.643	36.7	20.0	16.7	0.01	粉质粘土	q	80.5	19.5	0.19	8.65	4.12E-07	5.28E-07
3	J8-3	5.80	29.6	2.72	18.6	14.4	0.855	49.6	28.4	21.2	0.06	粘土	q	87.8	18.6	0.12	15.46	7.03E-08	8.19E-08
3	J8-4	7.80	25.8	2.72	18.8	14.9	0.782	31.6	19.1	12.5	0.54	粉质粘土	q	31.4	13.3	0.28	6.36	7.37E-07	8.51E-07
3	J9-2	3.70	20.9	2.72	19.8	16.4	0.628	36.7	20.2	16.5	0.04	粉质粘土	q	77.4	19.3	0.14	11.63	3.99E-07	5.16E-07
3	J9-3	6.00	24.9	2.72	18.4	14.7	0.807	35.9	20.1	15.8	0.30	粉质粘土	q	42.2	14.1	0.24	7.53	4.78E-07	5.93E-07
3	J9-4	8.00	29.6	2.72	18.3	14.1	0.885	33.3	19.6	13.7	0.73	粉质粘土	q	26.3	12.5	0.29	6.50	6.46E-07	7.61E-07
3	J10-2	3.50	23.6	2.72	19.4	15.7	0.698	33.9	19.6	14.3	0.28	粉质粘土	q	44.0	14.4	0.22	7.72	6.14E-07	7.28E-07
3	J10-3	7.50	34.3	2.72	18.2	13.6	0.964	34.0	9.8	24.2	1.01	粘土	q	15.0	7.5	0.51	3.85	7.83E-07	8.98E-07
3	J11-2	3.80	26.6	2.72	18.6	14.7	0.812	30.8	18.5	12.3	0.66	粉质粘土	q	27.5	12.6	0.38	4.77	7.74E-07	8.89E-07
3	J11-3	7.80	27.9	2.72	19.1	14.9	0.784	45.5	25.6	19.9	0.12	粘土	q	82.1	17.7	0.14	12.74	7.18E-08	8.35E-08
3	J11-4	8.70	22.9	2.72	19.3	15.7	0.697	30.7	18.3	12.4	0.37	粉质粘土	q	40.5	14.0	0.23	7.38	7.69E-07	8.84E-07
3	J12-2	2.60	25.0	2.72	18.8	15.0	0.771	32.2	19.0	13.2	0.45	粉质粘土	q	37.0	13.4	0.28	6.32	6.78E-07	7.93E-07
3	J12-3	6.00	29.3	2.72	18.6	14.4	0.851	48.2	27.0	21.2	0.11	粘土	q	78.5	18.0	0.15	12.34	7.09E-08	8.26E-08
3	J12-4	9.80	19.6	2.72	19.9	16.6	0.603	29.7	17.5	12.2	0.17	粉质粘土	q	66.5	16.5	0.20	8.01	7.48E-07	8.63E-07
3	最小值		18.1	2.72	18.20	13.55	0.582	29.6	17.4	12.2	0.01		q	15.0	12.1			7.03E-08	8.19E-08
3	最大值		34.3	2.72	20.20	16.85	0.964	49.6	28.4	21.2	1.01		q	87.8	19.7			7.96E-07	9.09E-07
3	数据个数		35	35	35	35	35	35	34	34	35			35	34			35	35
3	平均值		25.0	2.72	19.09	15.29	0.746	35.5	20.5	15.0	0.32		q	51.0	15.3			5.32E-07	6.40E-07
3	变异系数		0.14	0.00	0.03	0.05	0.12	0.15	0.13	0.18	0.77			0.40	0.15			0.49	0.45
3	标准值		26.0		18.94	15.06	0.773				0.39		q	45.1	14.6				

3.2 土壤污染状况调查结果

3.2.1 污染识别情况

对调查地块污染因子识别做出判断见表 3.2-3。

表 3.2-3 调查地块污染识别结果

序号	关注区域	潜在污染因子	识别原因	迁移途径
1	电镀车间	铜、镍、锌、六价铬、氰化物、 烷烃类及石油烃（C ₁₀ -C ₄₀ ）	污水、槽渣产生	污水渗漏
2	污水处理站	铜、镍、锌、六价铬、氰化物、 氟化物、氯化物、烷烃类及石 油烃（C ₁₀ -C ₄₀ ）	污水处理、污泥 堆积	废水渗漏、污泥处理不 规范渗透
3	锅炉房	铜、铅、镍、多环芳烃类	煤炭燃烧	煤炭燃烧粉尘堆积
4	氰化钠仓库	氰化物	长期储存	防渗不规范，土壤渗漏
5	危废暂存间	铜、镍、锌、六价铬、氰化物、 烷烃类及石油烃（C ₁₀ -C ₄₀ ）	槽渣、污泥堆积	防渗不规范，土壤渗漏
6	河道淤泥堆 放区	铜、镍、锌、六价铬、氰化物、 烷烃类及石油烃（C ₁₀ -C ₄₀ ）	河底淤泥常年富 集	淤泥中污染物经液体迁 移至土壤中

3.2.2 土壤污染调查情况

3.2.2.1 调查阶段初步采样情况

调查阶段地块内初步采样共布设 15 个土壤采样点（S1-S12、N1-N3），6 个地下水监测井（GW1-GW4、NW1-NW2）；调查地块外对照点布设 4 个土壤采样点（DZE、DZW、DZS、DZN），1 个地下水监测井（DZGW）。

调查地块内共设置 15 个土壤监测点位（其中一类用地 13 个，二类用地 2 个），共送检 68 个土壤样品（其中一类用地 60 个，二类用地 8 个）；调查地块外共设置 4 个土壤对照点，共送检 7 个土壤样品，用作地块内点位参考对照值。

第一类用地区域送检样品重金属镍均检出，其中 10 个土壤样品

镍含量超第一类用地筛选值；送检样品六价铬有检出，其中 6 个样品六价铬含量超第一类用地筛选值；第二类用地区域送检样品六价铬有检出，其中 1 个样品六价铬含量超第二类用地筛选值。

送检的 6 个地下水样品中有 2 个地下水样品氯化物超《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水要求。

综上，根据相关技术导则，调查地块须开展详细采样工作。

3.2.2.2 调查阶段详细采样情况

调查阶段详细采样于调查地块内共布设 25 个土壤采样点（T1-T25）、2 个地下水监测井（GW 6、GW7）；地块外北侧布设 3 个土壤采样点（C1-C3）3 个地下水监测井（CW1- CW3）。共送检 168 个土壤样品（其中一类用地 150 个，二类用地 18 个）。

第一类用地区域送检样品 3 个土壤样品镍含量超第一类用地筛选值；送检样品六价铬 1 个样品六价铬含量超第一类用地筛选值；第二类用地区域送检样品重金属镍均未超过第二类用地筛选值，2 个样品六价铬含量超第二类用地筛选值。

详细调查共设置 5 口地下水环境监测井（GW5、GW6、CW1、CW2、CW3），共采集 5 个地下水样品。送检样品均检测了重金属六价铬、铜、镍、锌。检测结果表明：样品中镍、锌有检出，满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV 类水要求，六价铬、铜均未检出。

综上，根据相关技术导则，调查地块确定为污染地块。根据调查阶段初步调查及详细调查数据分析结果，为精确调查地块污染范围，进行补充采样工作。

3.2.2.3 调查阶段补充采样情况

第一次补充调查采样阶段地块内共布设 32 个土壤采样点（A1-A32）；5 个堆土采样点。共送检 192 个土壤样品（其中第一类用地区域送检 138 个土壤样品，第二类用地区域送检 54 个土壤样品），送检样品均检测 pH 值、镍及六价铬。

检测结果表明：受检样品中重金属镍均检出，六价铬部分检出。其中一类用地区域送检的 138 个土壤样品中 13 个土壤样品重金属镍检测值超过第一类用地筛选值，8 个土壤样品六价铬检测值超过第一类用地筛选值；其中二类用地区域送检的 54 个土壤样品重金属镍检测值均未超过第二类用地筛选值，5 个土壤样品六价铬检测值超过第二类用地筛选值。

综上，根据相关技术导则，调查地块确定为污染地块。为详细掌握调查地块内的污染范围，须启动第二次补充采样监测工作。

3.2.2.4 第二次补充采样情况

第二轮补充采样阶段共设置 33 个土壤监测点位、1 个地下水监测井，共送检 158 个土壤样品（其中第一类用地区域送检 134 个土壤样品，第一类用地区域送检 24 个土壤样品），送检样品均检测 pH 值、镍及六价铬。

调查地块土壤中部分样品重金属镍及六价铬检出值超过《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。

3.2.2.5 评估阶段补充采样情况

3.2.2.5.1 调查地块外地表水及底泥

综合分析地块内污染物分布及地下水流向，为验证地块外东侧大

丰河支流环境质量，对大丰河支流地表水及底泥进行采样分析。

3.2.2.5.2 风险评估阶段土壤检测

风险评估采样阶段于 2022 年 8 月 11 日进场布设 8 个土壤采样点位，共采集 48 个土壤样品并送实验室检测。

3.2.2.5.3 污染物检出情况

（一）地表水检测结果

送检的 3 个样品均检测了重金属砷、镉、六价铬、铜、铅、汞、镍、锌、氰化物、挥发性有机物、半挥发性有机物及石油烃（C₁₀-C₄₀）。检测结果表明：样品中砷、镉、铜、铅、镍、锌、汞有检出，满足《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV类水要求；六价铬、氰化物、挥发性有机物及半挥发性有机物均未检出；受检样品中石油烃（C₁₀-C₄₀）有检出，检出值未超过《上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标》（沪环土【2020】62 号）中第一类用地筛选值。

（二）底泥检测结果

送检 3 个底泥样品均检测了重金属砷、镉、六价铬、铜、铅、汞、镍、锌、氰化物、挥发性有机物、半挥发性有机物及石油烃（C₁₀-C₄₀）。

检测结果表明：第一类用地区域受检样品中重金属砷、铜、铅、汞、镉、镍均有检出，但未超过 GB 36600-2018 第一类用地筛选值；重金属锌有检出，但未超过尧一骏博士和环保部南京环境科学研究所陈樯等研究员开发的《污染场地风险评估电子表格》(2022 年 5 月 31 日更新)计算出第一类用地土壤筛选值；氰化物、六价铬、挥发性有机物及半挥发性有机物均未检出；受检样品中石油烃（C₁₀-C₄₀）均检出，其中 DB1 检测值超过第一类用地筛选值但未超出第二类用地筛

选值，DB2 及 DB3 未超出第一类用地筛选值。

（三）土壤污染物检出情况

风险评估采样阶段共送检 48 个土壤样品送检样品均检测 pH 值及六价铬。

检测结果表明：受检样品中重金属镍均检出，六价铬部分检出。第一类用地区域送检的 48 个土壤样品，6 个土壤样品六价铬检出，其中 2 个土壤样品检测值超过第一类用地筛选值。

3.2.2.5.4 结果评价与分析

本次监测共送检 3 个地表水、3 个底泥样品及 48 个土壤样品，其中地表水样品满足《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）IV 类水质要求；位于大丰河支流上游 DN1 底泥样品石油烃（C₁₀-C₄₀）含量超过《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。送检的 48 个土壤样品中有 6 个六价铬样品检出，其中 2 个土壤样品检测值超过第一类用地筛选值。

3.2.3 污染物检出及分布情况

3.2.3.1 土壤污染物检出及分布情况

本次调查地块内第一类用地区域送检的 482 个土壤样品重金属镍均检出，其中 30 个土壤样品检测值超过第一类用地筛选值；第一类用地区域 52 个土壤样品六价铬检出，其中 18 个土壤样品检测值超过第一类用地筛选值；第二类用地区域送检了 104 个土壤样品检测重金属镍，均有检出，其中 7 个样品超过第一类用地筛选值；第二类用地区域送检了 152 个土壤样品检测重金属六价铬，23 个土壤样品六价铬有检出，其中 15 个土壤样品检测值超过第一类用地筛选值。

3.2.3.2 地下水污染物分布与范围

地下水环境质量调查结果：各项检测因子（除石油烃（C₁₀-C₄₀）及氯化物）的检出含量均满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类水要求；石油烃（C₁₀-C₄₀）检出值未超过《上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标》（沪环土【2020】62号）中第一类用地筛选值；氯化物检出含量超出《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类水要求。

3.3 环境风险识别

通过对地块开展的现场调查、样品检测分析，表明本地块土壤受到了不同程度的污染，地块污染对人体等保护对象会产生不同程度的危害和风险。

（一）地块规划

调查地块东侧部分区域规划为 R2 二类居住用地(属第一类用地)，西侧部分区域规划为 G1 街旁绿地（属第二类用地）。

（二）风险分析

本地块土壤中检测出较高浓度金属类污染物，会对人体健康产生直接的危害，引起急性反应，如刺激呼吸道、眼睛、皮肤、神经系统等，大量吸入会导致头晕、头疼、胃胀等急性效应。此外，长期暴露会引起一些慢性的危害，如致癌危害等。

4 风险评估

据前述本地块第二阶段调查初步采样、详细采样及补充采样的调查结果,地块内部分土壤点位中重金属镍、六价铬超过了相关筛选值。依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)相关规定,需要开展风险评估工作。

4.1 危害识别

4.1.1 地块规划与敏感受体

根据地块所属区域《南京市高淳区城北商务区(NJGCb030)控制性详细规划》及南京市高淳区土地储备中心出具关于本地块的情况说明,调查地块东侧部分区域规划为R2二类居住用地(属第一类用地),西侧部分区域规划为G1街旁绿地(属第二类用地)。

在第一类用地方式下,儿童和成人均可能会长时间暴露于地块污染而对其产生健康危害。对于致癌效应,考虑人群的终生暴露危害,一般根据儿童期和成人期的暴露来评估污染物的终生致癌风险;对于非致癌效应,儿童体重较轻、暴露量较高,一般根据儿童期暴露来评估污染物的非致癌危害效应。

在第二类用地方式下,成人的暴露期长、暴露频率高,一般根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌效应。

4.1.2 关注污染物筛选

根据污染地块调查结果和污染概念模型分析,本次风险评估范围主要针对地块内污染土壤。根据本地块用地规划类型,本地块规划为

第一类用地及第二类用地，现将地块内土壤超过第一类用地及对应第二类用地筛选标准的污染物列为关注污染物，本地块土壤关注污染物共 2 种，为重金属镍及六价铬。

根据土壤污染状况调查阶段检测数据，地下水中污染物仅氯化物超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类限值。调查地块开发后，地块内地下水不作为饮用水使用，无相关暴露途径，故本次调查地块地下水氯化物不纳入后续风险评估。

4.2 暴露评估

4.2.1 暴露情景分析

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），依据不同土地利用方式下人群的活动模式，规定了居住用地暴露情景下对应的用地方式和敏感人群见表 4.2-1。本次风险评估报告针对本地块暴露情景进行评价。

表 4.2-1 人群对污染场地内关注污染物的暴露情景

暴露情景	敏感人群
第一类用地	致癌效应：儿童、成人 非致癌效应：儿童
第二类用地	致癌效应：成人 非致癌效应：成人

4.2.2 暴露途径分析

暴露途径是地块土壤和地下水中污染物经一定的方式迁移到达并进入敏感受体的过程。本地块关注污染物为重金属，地块内成人及儿童潜在的土壤污染物暴露途径主要包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物共 3 种土壤污染物暴露途径。

4.2.2.1 第一类用地暴露评估模型

（一）经口摄入土壤途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终身危害。经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用公式（A.1）计算。

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

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期暴露受到的危害。经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用公式（A.2）计算：

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

（二）皮肤接触土壤途径

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

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

SAE_c和 SAE_a的参数值分别采用公式（A.4）和公式（A.5）计算：

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

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

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

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

(三) 吸入土壤颗粒物途径

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

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

$$+ \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (fspo \times EFO_a + fspl \times EFl_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

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

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (fspo \times EFO_c + fspl \times EFl_c)}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \dots (A.8)$$

4.2.2.2 第二类用地暴露评估模型

(一) 经口摄入土壤途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害。经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用公式 (A.21) 计算。

$$OISER_{ca} = \frac{OISER_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \dots\dots (A.21)$$

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

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

(二) 皮肤接触土壤途径

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

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

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

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

(三) 吸入土壤颗粒物途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害。吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式 (A.25) 计算：

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

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

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

4.2.3 场地概念模型

本地块污染介质为土壤，土壤污染深度达 2.0 m，关注污染物为重金属镍及六价铬，污染物主要通过土壤为载体接触或进入人体。

4.2.4 模型参数选择

模型中所使用的参数采用地块实测值或《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的推荐值。在本次风险评估中的所用到的参数主要包括暴露参数、地块特征参数（土壤和地下水参数）、建筑物参数以及污染物理化毒理参数以及地块气象参数等。

4.3 毒性评估

本次调查地块中土壤污染物中重金属镍为 2B 类致癌污染物。2B 类致癌污染物：对人可能致癌，此类污染物对人致癌性证据有限，对实验动物致癌性证据并不充分；或对人类致癌性证据不足，对实验动物致癌性证据充分。

4.4 风险表征

本次调查地块风险控制值的计算选取的目标风险水平为：单一污染物致癌风险 10^{-6} ，非致癌危害商 1。

4.4.1 风险计算工具

本地块关注污染物为重金属镍及六价铬。根据我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）进行计算方法和模型参数的优化，采用浙江大学环境健康研究所尧一骏博士和环保部南京环境科学研究所陈樯等研究人员合作开发的《污染场地风险评估电子表格》（2022 年 5 月 31 日更新）来推导保护人体健康的土壤风险控制值。

4.4.2 致癌风险和危害商

第一类用地镍及六价铬的致癌风险为 2.50×10^{-6} 、 1.35×10^{-5} ，均大

于 1.0×10^{-6} ，致癌风险不可接受；镍及六价铬的非致癌危害商分别为 1.23、0.124，镍的非致癌危害商大于 1，非致癌风险不可接受。总体评估，地块内第一类用地污染土壤风险不可接受。

第二类用地镍及六价铬的致癌风险分别为 3.44×10^{-7} 、 2.84×10^{-5} ，六价铬的致癌风险大于 1.0×10^{-6} ，致癌风险不可接受；镍及六价铬的非致癌危害商分别为 0.101、0.128，非致癌危害商均小于 1，非致癌风险可接受。总体评估，地块内第二类用地污染土壤风险不可接受。

综上计算结果了解，地块内第一类用地及第二类用地风险水平均不可接受。

4.5 风险控制值的确定

具体结果如表 4.5-1 及表 4.5-2 所示。

表 4.5-1 基于风险评估的第一类用地土壤风险控制值

序号	污染物	致癌风险控制值	非致癌风险控制值	风险控制值
1	镍	282mg/kg	572 mg/kg	282 mg/kg
2	六价铬	2.13 mg/kg	233 mg/kg	2.13 mg/kg

表 4.5-2 基于风险评估的第二类用地土壤风险控制值

序号	污染物	致癌风险控制值	非致癌风险控制值	风险控制值
1	镍	724mg/kg	2470 mg/kg	724 mg/kg
2	六价铬	7.18mg/kg	1590 mg/kg	7.18 mg/kg

4.6 不确定性分析

4.6.1 不确定性来源分析

造成污染场地风险评估结果不确定性的主要来源，主要包括暴露情景假设、评估模型的适用性、模型参数取值等。开展评价结果不确定性影响因素分析，对污染场地的风险管理，降低场地污染物所带来的健康风险具有重要意义。

4.6.2 暴露途径贡献率分析

对于土壤中大部分的污染物而言，经口摄入土壤及吸入土壤颗粒物是主要的暴露途径。

5 修复目标与修复范围

5.1 修复目标值

调查地块内规划为街旁绿地区域（第二类用地）存在重金属超第二类用地筛选值情况，由于与规划为二类居住用地（第一类用地）毗邻，考虑在后期开发建设过程中土壤扰动可能会使第二类用地的土壤迁至东侧第一类用地区域，建议在后期修复过程中将规划为街旁绿地区域（第二类用地）修复目标值按照第一类用地土壤污染建议修复目标值进行评价。

表 5.1-1 调查地块土壤污染建议修复目标值 单位：mg/kg

污染物	计算修复目标值 (土壤风险控制值)		第一类用地		第二类用地		建议修复 目标值
	第一类用地	第二类用地	筛选值	管控值	筛选值	管控值	
镍	282	724	150	600	900	2000	150
六价铬	2.13	7.18	3	30	5.7	78	3

5.2 修复范围及工程量

调查地块的土壤关注污染物超过修复目标的区域定为风险控制修复范围。超标范围采用污染点位周边临近土壤样品未超标点位连线法确定。污染土壤修复工程量详见表 5.2-1。

表 5.2-1 污染土壤修复工程量一览表（含镍及六价铬相同区）

关注污染物	污染土壤 修复区	修复深度 (米)	修复层厚 (米)	修复面积 (平方米)	修复工程量 (立方米)
六价铬、镍	第 1 层	0.0-0.5	0.5	2932	1466.00
	第 2 层	0.5-1.0	0.5	1910	955.00
	第 3 层	1.0-1.5	0.5	806	403.00
	第 4 层	1.5-2.0	0.5	241	120.50
合计					2944.50

5.3 修复技术建议

基于土壤和地下水样品检测及未来敏感用地条件下的人体健康风险分析，确定原高福五金地块内部分区域土壤存在污染，其中重金属镍及六价铬含量超过了基于健康风险制定的地块修复目标值，可能对未来土地上的成人及儿童产生健康风险，建议对已知风险超标的土壤尽快进行修复治理。

5.3.1 修复技术选择原则

地块修复策略是指以风险管理为核心，将污染造成的健康和生态风险控制在可接受范围内的场地总体修复思路，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。

5.3.2 土壤修复总体思路

从总体上将优先采用永久性处理修复，即显著地减少污染物数量、毒性和迁移性，在适当的条件下有限度地采用安全处置的修复方法；综合平衡考虑修复时间、修复成本、地块利用等因素，尽量降低修复成本；选用的修复方法要确保在修复过程中将二次污染降低到最低程度，确保不对环境和周围民众产生不可接受的负面影响。根据以上要

求与总体思路，该场地的修复将从满足场地尽快再开发利用为优先条件，考虑采用异地修复技术的原则，尽量选择在人工干预下、有较快修复速度的永久性处理修复方法；以节能、减排、降低成本为优先条件，在可能的条件下尽量考虑能耗低、成本小的方法；以防止二次污染和减少对居民的影响为优先条件，在可能的条件下着重考虑绿色修复的方法。

5.3.3 推荐修复技术

根据国内外的研究现状及实践经验，重金属污染土壤的治理修复主要有以下三种思路：（1）将重金属固定在土壤基质中，其机制是通过物理化学手段改变重金属的存在形态，将重金属钝化在土壤介质中，以降低其溶解性、迁移性、生物有效性；（2）将重金属从污染土壤中分离去除，其机制是通过物理化学手段增强土壤中重金属的溶解性及迁移性，再借助一定的设备或手段将重金属分离进行异位处置；（3）将重金属污染土壤与外界环境隔断，其机制是通过修筑一定的阻隔设施，将重金属污染土壤与周边环境断开，从而限制其迁移活动以降低环境风险。本地块土壤目标污染物为重金属镍及六价铬。

第一种思路主要包括固化/稳定化技术（风险管控措施）、工业炉窑协同处置技术等，第二种思路主要包括淋洗技术，第三种思路包括阻隔技术、填埋技术等。

5.3.3.1 水泥窑协同处置技术

水泥窑协同处置技术是在水泥的生产过程中，将污染土壤作为替代燃料或原料，通过高温焚烧及烧结，在水泥熟料矿物化过程中，实

现重金属的物理包容、化学吸附、晶格固化等目的的废物处置手段。

5.3.3.2 土壤淋洗技术

淋洗修复是利用特殊的淋洗液把土壤固相中的重金属转移到土壤液相中，再回收处理含有重金属的废水的土壤修复技术。该技术的关键问题是寻找一种既能提取目标重金属又对土壤基质破坏较小的淋洗剂。土壤淋洗修复技术又可以分为原位（**in-site**）和异位（**ex-site**）两种形式。

5.3.3.3 土壤洗脱技术

土壤洗脱是指将污染土壤挖掘出来后，与水或化学试剂混合，通过物理化学作用将土壤中的污染物转移到液相中，并对含污染物的液相介质进行处理处置，从而获得洁净土壤的技术。土壤洗脱通常为异位修复技术。

综合考虑，建议采用水泥窑协同处置技术处置本地块污染土壤。

6 结论与建议

6.1 风险评估结论

本地块后期规划为 R2 二类居住用地（属第一类用地）及 G1 街坊绿地（属第二类用地），敏感受体为成人及儿童，潜在的土壤污染物暴露途径主要包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物共 3 种土壤污染物暴露途径。经计算，第一类用地镍及六价铬的致癌风险为 2.50×10^{-6} 、 1.35×10^{-5} ，均大于 1.0×10^{-6} ，致癌风险不可接受；镍及六价铬的非致癌危害商为 1.2、0.124，镍的非致癌危害商大于 1，非致癌风险不可接受。第二类用地六价铬的致癌风险为 2.84×10^{-5} ，大于 1.0×10^{-6} ，致癌风险不可接受，镍的致癌风险为 3.44×10^{-7} ，小于 1.0×10^{-6} ，致癌风险可接受；六价铬及镍的非致癌危害商为 0.128 及 0.101，六价铬及镍的非致癌危害商小于 1，非致癌风险可接受。总体评估，地块内污染土壤风险不可接受。

为满足后期规划二类居住用地土壤环境质量标准，本地块内统一土壤修复目标值，即重金属镍风险控制建议值为 150mg/kg；六价铬风险控制建议值为 3mg/kg，修复范围分四层（0-0.5m，0.5-1.0m，1.0-1.5m，1.5-2.0m）。第一层（0-0.5m）修复土方量为 1466.00m³；第二层（0.5-1.0m）修复土方量为 955.00m³；第三层（1.0-1.5m）修复土方量为 403.00m³；第四层（1.5-2.0m）修复土方量为 120.50m³。地块总修复土方量为 2944.50m³。

6.2 风险评估建议

1、进行处置、修复工作并在之前保护场地不被扰动：尽快进行修复，避免场地扰动。在自然过程作用下，土壤中的污染物会发生迁移和转化。如降雨和地下水流动会使污染物发生迁移和转化等。特别是雨季降雨量大，易造成污染物进一步转移到地下水，造成场地地下水污染的加剧。此外，尽快实施修复有利于控制污染物的扩散，减少和控制被污染土壤的分布范围，降低修复成本。

2、地块内存在外来堆土，建议后期地块在处置、修复过程中将检验合格后的外来堆土外运至渣土处置场所进行妥善处理。

3、地块处置、修复过程中要注重质量控制：在地块开挖取土过程中，需要观察是否有在调查阶段中没有被发现的污染，例如地下埋藏物和有明显特殊气味的地方，一经发现，需要相关专业人员及时处理，并调整修复范围。另外，在修复过程中需要进行质量控制，确保修复到位。

4、在地块进行修复工作过程中，若基坑内存在地下水渗出或其他原因导致的积水，须提前做好防治措施，避免污染随积水产生迁移。