

# 天津市河北区 609 电缆厂地块 污染场地风险评估报告（主要内容）

委托单位：天津市河北区土地整理中心

编制单位：天津市浩瀚环境工程有限公司

2020 年 1 月

# 摘 要

天津市河北区 609 电缆厂地块位于天津市河北区，东至天泰路，北至第二纺纱厂，西至北运河，南至现状围墙，占地面积为 71542.72 平方米。项目调查区域为天津市 609 电缆有限公司（原天津电子线缆公司）原厂区，创建于 1943 年，现隶属天津市中环电子集团有限公司。厂区内设有基础材料（线芯）、特种电缆、通用电缆、耐高温电缆、混料车间等生产车间，并建有库房、锅炉房（1 台 10t/h 燃煤锅炉）及办公、生活等辅助设施。公司产品主要有光缆、射频电缆、通讯电缆、程控电缆、综合电缆、高温线缆、安装线及电线电缆等，生产工艺主要包括拉线、绞制、挤塑、包覆等四个环节。2014 年开始由于河北区发展规划需要，公司开始陆续迁至建于天津经济技术开发区逸仙科学工业园的新厂区，2018 年完成搬迁。根据规划，该地块未来的用地性质为二类居住用地。

2018 年 5 月，天津市河北区土地整理中心委托天津市浩瀚环境工程有限公司开展天津市河北区 609 电缆厂地块场地环境调查工作。场地环境初步调查和详细调查阶段，共布设土壤采样点 68 个，检测重金属样品 287 个、VOC 样品 250 个、SVOC 样品 271 个、TPH 样品 131 个、氰化物样品 56 个、氟化物样品 45 个、PCB 样品 5 个；共采集 15 口地下水监测井的样品，并对样品中的重金属类、VOC、SVOC、TPH、常规指标等污染物指标进行了分析。

场地环境初步调查和详细调查结果表明：土壤中检出重金属类、挥发性有机物类（VOC）、半挥发性有机物类（SVOCs）、总石油烃类（TPH）、无机类污染物共 38 种，超过本场地土壤风险筛选标准的污染物共 4 种，分别为铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物；超标污染物主要分布在电镀车间、温室、场地边界和锅炉房区域。

场地土壤和地下水风险评估阶段，选取场地土壤中关注污染物（铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物浓度的最大值，地下水中关注污染物顺-1,2-二氯乙烯浓度的最大值进行风险评估。本场地居住用地利用方式下，场地区域范围内土壤污染物的致癌风险水平大于  $10^{-6}$  或危害商大于 1，地下水污染物非致癌危害商小于 1。土壤第二层中共 2 种污染物存在致癌风险，分别为砷和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯，致癌风险水平分别为  $5.82E-05$  和  $1.43E-06$ ；共 3 种污染物

存在非致癌风险，分别为铜、砷和氰化物，危害指数分别为 9.39E+00、2.25E+00 和 2.03E+00。表明本场地土壤第二层污染物对暴露人群产生不良或有害健康效应的风险水平不可接受。

根据本场地风险评估结果，以致癌风险  $10^{-6}$  或非致癌危害熵 1 为可接受风险水平，对场地土壤污染物的健康风险超过可接受风险水平的污染物计算风险控制值。经风险计算，土壤第二层中污染物铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物的风险控制值均小于本场地土壤污染风险筛选值。确定场地土壤第二层中污染物铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物的修复目标值分别为 2000mg/kg、20mg/kg、42mg/kg 和 22mg/kg。

经污染物浓度的插值计算，本场地土壤铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物的修复面积分别为 510.10 平方米、157.35 平方米、235.32 平方米和 166.78 平方米；修复量分别为 1020.20 立方米、629.40 立方米、941.28 立方米和 667.12 立方米；总修复面积为 1069.55 平方米，总修复量为 3258 立方米。

# 1. 概述

## 1.1 项目概况

### 1.1.1 项目背景和由来

天津市河北区 609 电缆厂地块位于天津市河北区，东至天泰路，北至第二纺纱厂，西至北运河，南至现状围墙，占地面积为 71542.72 平方米。项目调查区域为天津市 609 电缆有限公司（原天津电子线缆公司）原厂区，该企业为国有大型企业，创建于 1943 年，现隶属天津市中环电子集团有限公司，从五十年代研制生产我国第一根射频线缆开始至 1995 年通过国际质量体系模式标准 ISO9001 认证，经过数十年发展，公司是全国最大的电子线缆和光缆专业化生产企业之一。有数十个产品分获国家发明奖、科技进步奖、科技成果奖等；2014 年开始由于河北区发展规划需要，公司开始陆续迁至建于天津经济技术开发区逸仙科学工业园的新厂区，2018 年完成搬迁。根据规划，该地块未来的用地性质为二类居住用地。

国家环境保护总局 2004 年 6 月发布的《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》（环办[2004]47 号），所有产生危险废物的工业企业、实验室和生产经营危险废物的单位，改变原土地使用性质时，必须对原址土壤进行污染监测分析和评估，并根据评估报告确定土壤是否需要修复。2012 年，环保部、工业和信息化部、国土资源部、住房和城乡建设部联合发布了《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 号文件）。环境保护部 2014 年发布了《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），要求工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中应委托专业机构开展关停搬迁工业企业原址场地的环境调查和风险评估工作。

《土壤污染防治行动计划》（2016 年 5 月 28 日起实施）、《污染地块土壤环境管理办法》（环保部令第 42 号）（2017 年 7 月 1 日起实施）和《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年 1 月 1 日起实施）等相关法律法规中明确规定：“对

拟收回土地使用权的有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革等行业企业用地，以及用途拟变更为居住和商业、学校、医疗、养老机构等公共设施的上述企业用地，由土地使用权人负责开展土壤环境状况调查评估”；为确保上述法规在天津市的顺利实施，天津市环保局结合 2017 年 6 月 30 日环保部、国土资源部、住房城乡建设部印发的《关于部署应用全国污染地块土壤环境管理信息系统的通知》（环办土壤〔2017〕55 号），发布了《市环保局 市国土房管局 市规划局 市工业和信息化委关于印发污染地块再开发利用管理工作程序的通知》（津环保土〔2018〕82 号）。

根据以上文件的要求，2018 年 5 月，天津市河北区土地整理中心委托天津市浩瀚环境工程有限公司开展天津市河北区 609 电缆厂地块场地环境调查工作。我单位接受委托后，组织技术人员对项目地块及其周围环境进行了实地勘查、监测和相关资料的收集、核实与分析工作，在此基础上，按照《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》（HJ 25.2-2019）及《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）所规定的原则、方法、内容及要求，开展了本场地的调查及评估工作，编制完成了《天津市河北区 609 电缆厂地块场地环境初步调查报告》及《天津市河北区 609 电缆厂地块土壤污染状况详细调查报告》，并分别于 2019 年 4 月 26 日及 2019 年 10 月 26 日通过了专家评审（专家意见详见附件）。根据调查结果，2019 年 11 月天津市浩瀚环境工程有限公司开展了本场地的风险评估工作，并编制完成了场地风险评估报告。

### 1.1.2 土地利用未来规划

根据河北区土地整理中心提供的场地规划，天津市河北区 609 电缆厂地块所在区域土地规划为“二类居住用地”。

## 1.2 评估范围

天津市河北区 609 电缆厂地块位于天津市河北区，东至天泰路，北至第二纺纱厂，西至北运河，南至现状围墙。占地面积为 71542.72 平方米。本次场地总的评估范围见图 1-2，评估范围拐点坐标见表 1-1。

表 1-1 项目评估范围拐点坐标

拐点编号	X	Y
1	98099.0702	305235.9180
2	98221.0528	305000.7684
3	98040.4487	304902.3824
4	98060.9548	304858.6529
5	98028.0834	304810.3071
6	97908.4114	305043.4865
7	98032.7670	305109.1887
8	97996.4987	305182.7439

### 1.3 评估目的

电镀行业为重污染行业。长期以来，企业的生产过程及其污染物的排放可能会对场地环境带来一定影响，造成土壤和地下水的污染，危害居民的身体健康。因此，本次风险评估调查的目的旨在对天津市河北区 609 电缆厂地块场地进行污染状况调查的基础上，判断场地土壤和地下水污染物对暴露人群产生不良或有害健康效应的风险水平，并确定场地修复目标值、修复范围、修复方量。具体目的如下：

(1) 根据场地土壤和地下水污染调查结果，对场地土壤和地下水中超标污染物进行风险评估，确定场地中主要的污染物种类，计算风险控制值，确定修复目标值、修复范围、修复量；

(2) 为有关部门了解场地环境现状、规划未来土地利用方面提供决策依据，避免场地内遗留污染物造成环境污染和经济损失，保障人民身体健康。

### 1.4 评估依据

#### 1.4.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015.1.1)
- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019 年 1 月 1 日实施)
- (3) 《天津市土壤污染防治条例》(2020 年 1 月 1 日实施)
- (4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年 6 月 21 日修订)

- (5) 《土壤污染防治行动计划》(国发〔2016〕31号)
- (6) 《污染地块土壤环境管理办法》(环保部令第42号)(2017年7月1日实施)
- (7) 《中华人民共和国水污染防治法》(2017.6.27)
- (8) 《中华人民共和国大气污染防治法》(2015.8.29)
- (9) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2016.11.7)
- (10) 《危险化学品安全管理条例》(2013.12.4)
- (11) 《国家危险废物名录》(2016版)

#### 1.4.2 政策与规定

- (1) 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(国家环境保护总局,环办〔2004〕47号)
- (2) 《关于土壤污染防治工作的意见》(环发〔2008〕48号)
- (3) 《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)
- (4) 《关于推进城区老工业区搬迁改造的指导意见》(国办发〔2014〕9号)
- (5) 《污染地块土壤环境管理办法》(环保部第42号令)
- (6) 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作中的通知》(环办〔2004〕47号)
- (7) 《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》(国发〔2011〕35号)
- (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) 《近期土壤环境保护和综合治理工作安排》(国办发〔2013〕7号)
- (10) 《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)
- (11) 《市环保局关于场地环境调查与风险评估土壤风险筛选适用标准问题的通知》(津环保办秘函〔2014〕49号)。
- (12) 《关于部署应用全国污染地块土壤环境管理信息系统的通知》(环办土壤〔2017〕55号)

(13) 《市环保局 市国土房管局 市规划局 市工业和信息化委关于印发污染地块再开发利用管理工作程序的通知》(津环保土〔2018〕82号)

### 1.4.3 技术导则及标准

- (1) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019)
- (2) 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019)
- (3) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)
- (4) 《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)
- (5) 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》(公告 2017 年第 72 号)
- (6) 《地下水环境监测技术规范》(HJ/T164-2004)
- (7) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004)
- (8) 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600-2018)
- (9) 《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)
- (10) 《污染场地术语》(HJ 682-2019)
- (11) 《岩土工程勘察规范》(GB50021-2017)
- (12) 《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)
- (13) 《供水水文地质钻探与管井施工操作规程》(CJJ/T13-2013)

### 1.4.4 其它资料

- (1) 《六 0 九电缆厂环评报告书》
- (2) 《天津市河北区 609 电缆厂地块场地环境初步调查报告》
- (3) 《天津市河北区 609 电缆厂地块土壤污染状况详细调查报告》

## 1.5 基本原则

本场地的污染调查与风险评估将遵循以下基本原则：

- (1) 针对性原则：针对场地的特征和潜在污染物特性，进行污染物浓度和空间分布调查，为场地的环境管理提供依据。
- (2) 规范性原则：采用程序化和系统化的方式规范场地环境调查过程，保

证调查过程的科学性和客观性。

(3) 可操作性原则：综合考虑调查方法、时间和经费等因素，结合当前科技发展和专业技术水平，使调查过程切实可行。

## 1.6 工作方案

### 1.6.1 评估方法和工作内容

污染场地健康的风险评估主要采用剂量-效应模型，对受体通过各种暴露途径摄入场地不同污染介质中污染物导致的健康效应进行定量表征。其中，对于致癌污染物，主要定量计算受体因摄入评估场地污染介质中各种致癌性污染物而导致其致癌风险的增加量。对于非致癌性污染物，主要定量计算受体因摄入评估场地污染介质中各种非致癌性污染物而导致的危险熵。

风险评估方法可分定性和定量评价两种。原则上，场地环境评价应采用定量风险评估方法，但在下列情况可考虑只进行定性评价：①场地评价人员认为定性的风险评价足以能够说明问题；②受费用与时间限制；③缺少污染物的毒性资料；④其他原因无法计量的风险。本研究将采用定量风险评价的方法。

在确定风险时应考虑未来土地利用方向。一般来说，未来土地利用可以有三个方向：①工业与商贸用地；②农业用地；③居住用地。根据本场地的用地规划，本风险评估将按照居住用地类型进行评价。

### 1.6.2 工作程序

根据国家相关导则，污染场地健康风险的评估主要包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征以及控制值计算五个工作内容。本场地风险评估工作程序详见图 1-3。

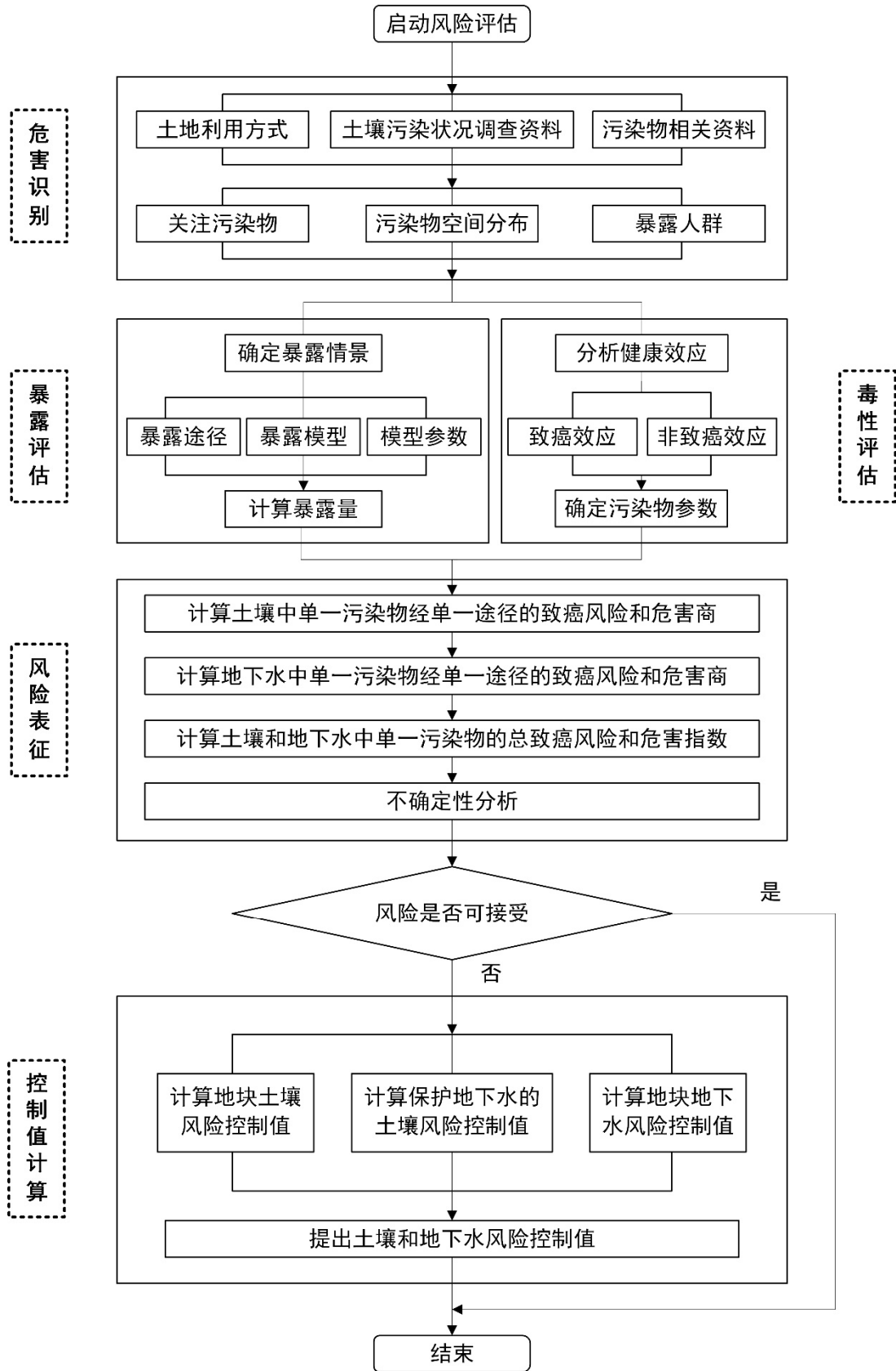


图 1-1 场地风险评估技术路线图

## 2. 初步和详细调查概况

### 2.1 地块污染物种类

#### 2.1.1 采样方案

##### (1) 土壤采样方案

在初步调查阶段，场地内土壤采样点的布设主要采用判断布点+网格布点的方式。根据场地污染识别结果，选择疑似污染区，重点包括生产装置、原辅材料库、污水管网沿线、变电站、冷却塔、锅炉房、油库等，以及非疑似污染区进行布点，每个土壤采样点的采样层次和采样深度则根据场地周边土壤分布资料及现场勘探实际情况，按场地土壤自然分层特性及现场监测结果分 3 层进行采集。各采样点采样位置详见图 2-1。

##### (2) 地下水采样方案

在初步采样阶段，根据场地地下水流向、地下水位及与污染产生位置的相对关系，结合车间生产、事故、三废治理与排放等实际情况进行设定地下水监测井，详细采样阶段在场地初步调查地下水超标点位下游布设 1 个地下水采样点位。场地环境初步调查和详细阶段。

## 2.1.2 样品检测

### (1) 土壤样品

- 重金属：共 9 种，包括铜、六价铬、镍、铅、镉、砷、汞、银、锡。
- 有机物：VOC 类污染物（52 种），SVOC 类污染物（92 种），总石油烃、多氯联苯。
- 其他：干重、pH 值、氰化物、氟化物。

### (2) 地下水样品

- 重金属：共 9 种，包括铜、六价铬、镍、铅、镉、砷、银、汞、锡。
- 有机物：VOC 类污染物（52 种），SVOC 类污染物（92 种）。
- 其他：pH 值、总溶解固体、耗氧量、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮、六价铬、氰化物、氟化物、石油烃等。

## 2.1.3 检测结果

### (1) 土壤样品

本项目场地初步调查和详细调查阶段共布设土壤采样点 68 个，检测重金属样品 287 个（详细调查 26 个），VOC 样品 250 个，SVOC 样品 271 个（详细调查 12 个），TPH 样品 131 个，氰化物样品 56 个（详细调查 6 个），氟化物样品 45 个，PCB 样品 5 个。

初步采样和详细采样土壤中检出重金属类、挥发性有机物类（VOC）、半挥发性有机物类（SVOC）、总石油烃类（TPH）、无机类污染物质共 38 种。土壤样品检测的 9 种重金属污染物均有检出，包括铜、镍、银、铅、镉、砷、汞、锡和六价铬；检测的 VOC 污染物中，有 7 种污染物检出，分别为苯、甲苯、乙苯、间&对-二甲苯、邻-二甲苯、1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯；检测的 SVOC 污染物中，有 19 种污染物检出，分别为萘、2-甲基萘、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并(a)蒽、蒎、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、苯并(g,h,i)芘、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、硝基苯、2,6-二硝基甲苯和二(2-氯异丙基)醚；以及检出石油烃（C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>）和 2 种场地特征

性污染物，为氰化物和氟化物。

## (2) 地下水样品

本项目场地初步调查和详细调查阶段，共采集 15 口地下水监测井的样品，并对样品中的重金属类、VOC、SVOC、TPH、常规指标等污染物指标进行了分析。

初步采样和详细采样地下水中检出污染物 16 种。地下水样品检测 9 种重金属污染物当中，有 4 种污染物检出，分别为铜、镍、铅和砷；检测的 VOC 污染物中，有 5 种污染物检出，分别为异丙基苯、1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯、反-1,2-二氯乙烯和顺-1,2-二氯乙烯；以及检出石油烃（C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>）和 6 种常规污染物指标，包括溶解性总固体、氟化物、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮和耗氧量；SVOC 污染物均未检出。

### 2.1.4 风险筛选标准

#### (1) 土壤筛选值

该场地规划开发为居住用地，属于《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中的“第一类用地”类型，采用《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）“第一类用地”标准对检测结果进行分析、评价。《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》中没有的指标依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）相关参数进行推导。

#### (2) 地下水筛选值

采用《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中的IV类标准作为本次场地调查的地下水筛选标准，详见表 2-2。对于其中没有的指标选取美国 EPA 地下水质量标准中的非直接接触质量标准与荷兰地下水质量标准（Soil Remediation Circular 2013）。

### 2.1.5 风险筛选结果

#### (1) 土壤污染物

初步采样和详细采样阶段，土壤检出污染物超过本场地土壤风险筛选标准的污染物共 4 种，其中无机类污染物 1 种、为氰化物，重金属污染物 2 种、为铜和砷，半挥发性有机污染物 1 种、为邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯。

土壤中的挥发性有机物、石油烃(C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>)均未超过相应土壤风险筛选标准。

## (2) 地下水污染物

初步采样和详细采样阶段，地下水检出污染物超过本场地地下水风险筛选标准的污染物共 3 种，包括挥发性有机物 1 种、为顺-1,2-二氯乙烯，常规监测污染物 2 种，为氨氮和溶解性总固体。

地下水中重金属、半挥发性有机物、石油烃(C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>)均未超过相应地下水风险筛选标准。

## 2.2 地块污染物空间分布状况及其范围

### 2.2.1 土壤污染物

场地初步调查和详细调查阶段，土壤中污染物超标点位分布情况见图 2-3，超标污染物浓度的分层分布情况见图 2-4 至图 2-7。

土壤中各类污染物的分布情况如下：

#### (1) 重金属类

本次土壤样品检测的 9 种重金属污染物均有检出，与本场地土壤筛选值相比，有 2 种污染物超标，分别为铜和砷。

#### (2) 挥发性有机污染物类 (VOC)

在本次检测的 VOC 污染物中，有 7 种污染物检出，分别为苯、甲苯、乙苯、间&对-二甲苯、邻-二甲苯、1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯。与本场地土壤筛选值相比，土壤中的挥发性有机物均未超标。

说明本场地土壤不存在不可接受的挥发性有机物污染风险。

#### (3) 半挥发性有机污染物类 (SVOC)

本次检测了包括多环芳烃类 (PAHs)、酞酸酯类等半挥发类有机污染物，其

中有 19 种 SVOC 污染物检出。与本场地土壤筛选值相比，邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯超标，其他半挥发性有机污染物均未超标。

#### (4) 总石油烃类 (TPH)

石油烃 (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>) 部分检出，但均未超过本场地筛选值标准，说明场地土壤中不存在不可接受的总石油烃类污染。

#### (5) 其他特征性污染物

本次调查还对土壤中与本场地生产有关的 2 种污染物进行了监测，分别为氰化物和氟化物。监测结果表明，2 种污染物均有检出，其中氰化物存在超标现象。场地土壤中的氟化物未超过本场地筛选值标准。

### 2.2.2 地下水污染物

场地初步调查和详细调查阶段，地下水 VOC 类超标污染物超标点位分布情况见图 2-8，VOC 类超标污染物浓度的分布情况见图 2-9。

地下水中各类污染物的具体分布情况如下：

#### (1) 重金属类

在检测的 9 种重金属污染物当中，有 4 种污染物检出，但均未超过本场地地下水的筛选值。

说明本场地地下水中不存在不可接受的重金属污染。

#### (2) 挥发性有机污染物类 (VOC)

在所监测的挥发性污染物当中，有 5 种污染物检出，其中顺-1,2-二氯乙烯在 GW3 号点位（电镀铜车间）的检测结果超过本场地地下水的筛选值 1.58 倍，通过插值计算超标面积约为 3747.85 平方米，含水层的平均厚度约为 13.39 米；其余污染物均未超标。

#### (3) 半挥发性有机污染物类 (SVOC)

在所监测的半挥发性有机污染物当中，所有污染物均未检出，说明本场地地下水不存在不可接受的半挥发性有机物污染。

#### (4) 其他特征性污染物

包括总石油烃（C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>）、氰化物、氟化物等 3 种场地特征性污染物。

与本场地地下水筛选值相比，3 种污染物浓度均远低于本场地筛选值或未检出，说明本场地地下水中不存在不可接受的石油烃、氰化物和氟化物污染。

#### (5) 地下水常规监测污染物：

场地地下水常规监测污染物溶解性总固体和氨氮 2 个指标超过了国家地下水质量标准（GBT14848-2017）中 IV 类水体标准。氨氮在 GW8 号点位（温室）和 GW9 号点位（场地边界）超标，浓度范围为 0.258~4.83mg/L，最大超标倍数分别为 2.22 倍。溶解性总固体在 GW12 号点位（锅炉房）超标，浓度范围为 578~2270mg/L，最大超标倍数为 0.135 倍。

## 2.3 地块污染物含量数据

### (1) 土壤污染情况

本场地初步采样和详细采样土壤中检出重金属类、挥发性有机物类（VOC）、半挥发性有机物类（SVOCs）、总石油烃类（TPH）、无机类污染物质共 38 种，超过本场地土壤风险筛选标准的污染物共 4 种，分别为铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物；

### (2) 地下水污染情况

本场地初步采样和详细采地下水中检出污染物共 16 种，其中有 3 种污染物超过了本场地地下水的风险筛选标准，分别为顺-1,2-二氯乙烯、氨氮和溶解性总固体；

## 2.4 结论及建议

### (1) 结论

本项目场地初步调查和详细调查共钻探 68 个土壤采样点，15 口地下水检测井，符合《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019)和《建设用地土壤环境调查评估技术指南》【2017】72 号相关文件的要求，对于污染识别和初步调查筛选的涉嫌污染的区域，土壤采样点位数每 400 m<sup>2</sup>不少于 1 个，其他区域每 1600 m<sup>2</sup>不少于 1 个。地下水采样点位数每 6400 m<sup>2</sup>不少于 1 个。

调查阶段共检测重金属样品 287 个，VOC 样品 250 个，SVOC 样品 271 个，TPH 样品 131 个，氰化物样品 56 个，氟化物样品 45 个，PCB 样品 5 个，地下水样品 17 组；对样品中的重金属类、VOC 类、SVOC 类、总石油烃类、常规指标等污染物指标进行了分析，符合《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600-2018)的检测要求。

本场地初步调查和详细调查结果表明，土壤中共有 4 种污染物浓度超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600-2018)第一类用地土壤污染风险筛选值，分别为铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物。

本场地初步调查和详细调查结果表明，地下水中共有 3 种污染物浓度超过了本场地地下水风险筛选值(《地下水质量标准》IV 类限值)，分别为顺-1,2-二氯乙烯、氨氮和溶解性总固体；

### (2) 建议

1) 本场地土地规划为“二类居住用地”，本次调查依据该规划用途进行分析评价，如其用地规划发生改变，则需要重新进行调查评估。

2) 本场地初步调查和详细调查结果表明，场地局部区域存在土壤及地下水污染，需开展污染场地人体健康风险评估工作，以确定场地污染物对暴露人群产生不良或有害健康效应的风险水平。

## 3. 危害识别

### 3.1 关注污染物的判定

#### (1) 土壤关注污染物

依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)要求,需要对本场地土壤中的超标污染物进行风险评估。根据本场地土壤污染调查结果,本场地土壤中共有 4 种污染物浓度超过本场地土壤污染风险筛选值,分别为铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物。

#### (2) 地下水关注污染物

基于保守原则,本场地地下水风险评估,将选取地下水中顺-1,2-二氯乙烯浓度的最大值作为地下水中污染物浓度进行评估。

### 3.2 受体分析

根据规划,该地块未来的用地性质为“二类居住用地”,属于《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》中的“第一类用地”类型,场地的暴露情景主要为居住人群和公园休闲人群的生活过程暴露。

## 4. 暴露评估

### 4.1 场地未来利用规划

根据河北区土地整理中心提供的场地规划,天津市河北区 609 电缆厂地块所在区域土地规划为“二类居住用地”。

### 4.2 暴露途径分析

基于保守原则,本场地在进行风险评估时可将场地污染物超标的第二层(约 2.0~4.0m)土壤视为表层土壤,第三层(约 4.0~14.0m)土壤视为下层土壤。土壤污染物暴露途径包括经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物共 6 种。地下水污染物暴露途径包括吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物共 2 种。

### 4.3 暴露量的计算

#### 4.3.1 暴露量的计算方法

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019),本场地按照“第一类用地”利用方式下,场地污染物经由不同暴露路径迁移和到达受体人群的土壤和地下水暴露量计算模型如下:

##### (1) 单一污染物土壤暴露量的计算方法

##### ● 经口摄入土壤途径

针对单一污染物的致癌效应,考虑人群在儿童期和成年期暴露的终生危害,经口摄入土壤途径的土壤暴露量采用公式(1)计算。

$$OISER_{ca} = \frac{\left( \frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c}{BW_c} + \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a}{BW_a} \right) \times ABS_0}{AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \text{式(1)}$$

式中:

OISER<sub>ca</sub>: 经口摄入土壤暴露量(致癌效应), kg 土壤·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>;

OSIRc: 儿童每日摄入土壤量, mg/d;

OSIRa: 成人每日摄入土壤量, mg/d;

EDc: 儿童暴露期, a;

EDa: 成人暴露期, a;

EFc: 儿童暴露频率, d/a;

EFa: 成人暴露频率, d/a;

BWc: 儿童体重, kg;

BWa: 成人体重, kg;

ABS<sub>0</sub>: 经口摄入吸收效率因子, 无量纲;

AT<sub>ca</sub>: 致癌效应平均时间, d。

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

$$OISER_{nc} = \frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c \times ABS_0}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \text{式 (2)}$$

式中:

OISER<sub>nc</sub>: 经口摄入土壤暴露量 (非致癌效应), kg (土壤)/kg<sup>-1</sup>(体重)·d<sup>-1</sup>;

AT<sub>nc</sub>: 非致癌效应平均时间, d;

OSIR<sub>c</sub>、ED<sub>c</sub>、EF<sub>c</sub>、ABS<sub>0</sub> 和 BW<sub>c</sub> 的参数含义同式 (1)

#### ● 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。

皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式 (3) 计算:

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

式中:

DCSER<sub>ca</sub>: 皮肤接触途径的土壤暴露量 (致癌效应), kg (土壤)/kg<sup>-1</sup>(体重)·d<sup>-1</sup>

SAEc: 儿童暴露皮肤表面积, cm<sup>2</sup>

SAEa: 成人暴露皮肤表面积, cm<sup>2</sup>

SSAR<sub>c</sub>: 儿童皮肤表面土壤粘附系数, mg/cm<sup>2</sup>

SSARa: 成人皮肤表面土壤粘附系数,  $\text{mg}/\text{cm}^2$

Ev: 每日皮肤接触事件频率, 次/d

ABSd: 皮肤接触吸收效率因子, 无量纲

式中, EFc、EDc、BWc、ATca、EFa、EDa 和 BWa 的参数含义同式 (1),  
SAEc 和 SAEa 的参数值采用公式 (4) 和公式 (5) 计算:

$$SAE_c = 239 \times H_c^{0.417} \times BW_c^{0.517} \times SER_c$$

式 (4)

$$SAE_a = 239 \times H_a^{0.417} \times BW_a^{0.517} \times SER_a$$

式 (5)

式中:

Hc: 为儿童人平均身高, cm;

Ha: 为成人人平均身高, cm;

SERc: 儿童暴露皮肤所占面积比, 无量纲;

SERa: 成人暴露皮肤所占面积比, 无量纲;

BWc 和 BWa 的参数含义见公式 (1)。

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

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

式 (6)

式中:

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

SAEc、SSARc、Ev 和 ABSd 的参数含义同式 (3), EFc、EDc 和 BWc 的参数见公式 (1), ATnc 的参数含义同式 (2)。

### ● 吸入土壤颗粒物

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, 吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式 (7) 计算:

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (f_{spo} \times EF_{0c} + f_{spi} \times EF_{Ic})}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} +$$

$$\frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EF_{0a} + f_{spi} \times EF_{Ia})}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

式 (7)

式中：

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

$PM_{10}$ ：空气中可吸入浮颗粒物含量， $mg/m^3$

$DAIR_a$ ：成人每日空气呼吸量， $m^3/d$

$DAIR_c$ ：儿童每日空气呼吸量， $m^3/d$

$PIAF$ ：吸入土壤颗粒物在体内滞留比例，无量纲

$fspi$ ：室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例，无量纲

$fspo$ ：室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例，无量纲

$EFI_a$ ：成人的室内暴露频率， $d/a$

$EFI_c$ ：儿童的室内暴露频率， $d/a$

$EFO_a$ ：成人的室外暴露频率， $d/a$

$EFO_c$ ：儿童的室外暴露频率， $d/a$

$ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$  和  $AT_{ca}$  的参数含义同式（1）。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害，吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式（8）计算：

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (fspo \times EFO_c + fspi \times EFI_c)}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

式（8）

式中：

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

式中  $PM_{10}$ 、 $DAIR_c$ 、 $fspo$ 、 $fspi$ 、 $EFO_c$ 、 $EFI_c$  和  $PIAF$  的参数含义同式（7）； $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$  的参数含义见公式（1）， $AT_{nc}$  的参数含义同式（2）。

#### ● 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径

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生危害，吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，用公式（9）计算：

$$IOVER_{cal} = VF_{suroa} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad \text{式 (9)}$$

式中:

$IOVER_{cal}$ : 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量 (致癌效应),  $\text{kg}(\text{土壤})/\text{kg}^{-1}(\text{体重}) \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$VF_{suroa}$ : 表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 计算方法如式 (10) ~ 式 (12):

$$VF_{suroa1} = \frac{\rho_b}{DF_{oa}} \times \sqrt{\frac{4 \times D_s^{eff} \times H'}{\pi \times \tau \times 31536000 \times K_{sw} \times \rho_b}} \times 10^3 \quad \text{式 (10)}$$

$$VF_{suroa2} = \frac{d \times \rho_b}{DF_{oa} \times \tau \times 31536000} \times 10^3 \quad \text{式 (11)}$$

$$VF_{suroa} = \text{MIN}(VF_{suroa1}, VF_{suroa2}) \quad \text{式 (12)}$$

式 (10)、式 (11) 和公式 (12) 中,

$VF_{suroa1}$ : 表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子 (算法一),  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$VF_{suroa2}$ : 表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子 (算法二),  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$VF_{suroa}$ : 表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子 (算法一和算法二中的较小值),  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\tau$ : 气态污染物入侵持续时间, a;

$d$ : 表层污染土壤层厚度, cm;

31536000: 时间单位转换系数, 31536000 s/a;

$D_{effs}$ : 土壤中气态污染物的有效扩散系数,  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;

$H'$ : 无量纲亨利常数;

$\rho_b$ : 土壤容重,  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ;

$K_{sw}$ : 土壤-水中污染物分配系数,  $\text{cm}^3/\text{g}$ ;

$DF_{oa}$ : 室外空气中气态污染物扩散因子,  $(\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})/(\text{g}/\text{cm}^3)$ ;

$DAIR_c$ 、 $DAIR_a$ 、 $EFO_c$  和  $EFO_a$  的参数含义同式 (7),  $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$ 、 $AT_{ca}$  的参数含义见式 (1)。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在儿童期的暴露危害, 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量, 采用公式 (13) 计算:

$$IOVER_{nc1} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad \text{式 (13)}$$

式中:

$IOVER_{nc1}$ : 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量 (非致癌效应),  $\text{kg}(\text{土壤})/\text{kg}^{-1}(\text{体重}) \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$VF_{suroa}$  的参数含义见公式 (12),  $DAIR_c$  和  $EFO_c$  的参数含义见公式 (7),  $AT_{nc}$  的参数含义见公式 (2),  $BW_c$  和  $ED_c$  的参数含义见公式 (1)。

### ● 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径

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生危害, 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量, 用公式 (14)

计算:

$$IOVER_{ca2} = VF_{suboa} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad \text{式 (14)}$$

式中:

$IOVER_{ca2}$ : 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量 (致癌效应),  $\text{kg}(\text{土壤})/\text{kg}^{-1}(\text{体重}) \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$VF_{suboa}$ : 下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 计算方法如式 (15) ~ 式 (17):

$$VF_{suboa1} = \frac{1}{\left(1 + \frac{DF_{oa} \times L_s}{D_s^{eff}}\right) \times \frac{K_{sw}}{H}} \times 10^3 \quad \text{式 (15)}$$

如下层污染土壤厚度已知, 污染物进入室外空气的挥发因子采用式 (16) 计算:

$$VF_{suboa2} = \frac{d_s \times \rho_b}{DF_{oa} \times \tau \times 31536000} \times 10^3 \quad \text{式 (16)}$$

$$VF_{suboa} = \text{MIN} (VF_{suboa1}, VF_{suboa2}) \quad \text{式 (17)}$$

式中:

$VF_{suboa1}$ : 下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子 (算法一),  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$VF_{suboa2}$ : 下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子 (算法二),  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

VFsuboa: 下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子（算法一和算法二中的较小值），kg/m<sup>3</sup>；

Ls: 下层污染土壤上表面到地表的距离，cm，须根据场地调查获得参数值；

ds: 下层污染土壤厚度，cm；

D<sup>eff</sup>s: 土壤中气态污染物的有效扩散系数，cm<sup>2</sup>/s；

H': 无量纲亨利常数，cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>；

ρb: 土壤容重，kg/dm<sup>3</sup>；

Ksw: 土壤-水中污染物分配系数，cm<sup>3</sup>/g；

DFoa: 室外空气中气态污染物扩散因子，(g·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)/(g·cm<sup>-3</sup>)；

τ: 气态污染物入侵持续时间，a。

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在儿童期的暴露危害，吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，采用公式（18）计算：

$$IOVER_{nc2} = VF_{suboa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad \text{式（18）}$$

式中：

IOVERnc2: 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（非致癌效应），kg（土壤）/kg<sup>-1</sup>(体重)·d<sup>-1</sup>；

VFsuboa 的参数含义见公式（12），DAIRc 和 EFOc 的参数含义见公式（7），ATnc 的参数含义见公式（2），BWc 和 EDc 的参数含义见公式（1）。

#### ● 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径

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生危害，吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量，用公式（19）计算：

$$IIVER_{ca1} = VF_{subia} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad \text{式（19）}$$

式中：

IIVERca1: 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（致癌效应），kg（土壤）/kg<sup>-1</sup>(体重)·d<sup>-1</sup>；

$VF_{subia}$ : 下层土壤中污染物扩散进入室内空气的挥发因子,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$EFO_c$ 、 $EFO_a$ 、 $EFI_c$ 、 $EFI_a$ 、 $DAIR_c$  和  $DAIR_a$  的参数含义见式 (7),  $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$  和  $AT_{ca}$  的参数含义见式 (1)。

对于单一污染物的非致癌效应, 考虑人群在儿童期的暴露危害, 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量, 采用公式 (20) 计算:

$$IIVER_{nc1} = VF_{subia} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad \text{式 (20)}$$

式中:

$IIVER_{nc1}$ : 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量 (非致癌效应),  $\text{kg}(\text{土壤})/\text{kg}^{-1}(\text{体重}) \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$VF_{subia}$  的参数含义见公式 (19),  $DAIR_c$  和  $EFI_c$  的参数含义见公式 (7),  $AT_{nc}$  的参数含义见公式 (2),  $BW_c$  和  $ED_c$  的参数含义见公式 (1)。

## (2) 单一污染物地下水暴露量的计算方法

### ● 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径

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生危害, 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量, 采用式 (35) 计算:

$$IOVER_{ca3} = VF_{gwoa} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad \text{式 (35)}$$

式中:

$IOVER_{ca3}$ : 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量 (致癌效应),  $\text{L 地下水} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ 体重} \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$VF_{gwoa}$ : 地下水中污染物扩散进入室外空气的挥发因子,  $\text{L} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

$DAIR_c$ 、 $DAIR_a$ 、 $EFO_c$  和  $EFO_a$  参数含义见式 (7),  $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$ 、 $AT_{ca}$  的参数含义见式 (1)。

对于单一污染物的非致癌性, 考虑人群在儿童期暴露收到的危害, 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量, 采用公式 (36) 计算:

$$IOVER_{nc3} = VF_{gwoa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad \text{式 (36)}$$

式中:

**IOVERnc3:** 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量 (非致癌效应), L 地下水·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>;

**VFgwoa** 参数含义见式 (35), **DAIRc** 和 **EFOc** 参数含义见式 (7), **ATnc** 参数含义见式 (2), **BWc** 和 **EDc** 的参数含义见式 (1)。

### ● 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径

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生危害, 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量, 采用式 (37) 计算:

$$IIVER_{ca2} = VF_{gwia} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad \text{式 (37)}$$

式中:

**IIVERca2:** 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量 (致癌效应), L 地下水·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>;

**VFgwia:** 地下水中污染物扩散进入室内空气的挥发因子, L·m<sup>-3</sup>;

**EFOc**、**EFOa**、**EFIc**、**EFIa**、**DAIRc** 和 **DAIRa** 的参数含义见式 (7), **EDc**、**BWc**、**EDa**、**BWa**、**ATca** 的参数含义见式 (1)。

对于单一污染物的非致癌性, 考虑人群在儿童期暴露受到的危害, 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量, 采用公式 (38) 计算:

$$IIVER_{nc2} = VF_{gwia} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad \text{式 (38)}$$

式中:

**IIVERnc2:** 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量 (非致癌效应), L 地下水·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>;

**VFgwia** 参数含义见式 (37), **DAIRc** 和 **EFIc** 参数含义见式 (7), **ATnc** 参数

含义见式 (2), BWc 和 EDc 的参数含义见式 (1)。

#### 4.3.2 风险评估模型参数

风险评估模型参数主要根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)的原理和推荐值来确定,场地特征参数主要根据场地环境实测数据定值。

## 5. 毒性评估

场地土壤和地下水种超标污染物的毒性参数和理化性质参数基本采用《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)的毒性参数和理化性质参数。根据 EPA 的划分标准,将污染物分为致癌和非致癌物质,因此相应的将其毒理学参数划分为两类,致癌物用致癌斜率因子 (Slope Factors, SFs) 和单位风险因子 (Unit Risk Factors, URFs) 表示,非致癌物用参考剂量 (Reference Doses, RfDs) 和参考浓度 (Reference Concentrations, RfCs) 表示。参考剂量是指在人的生命周期中人体经暴露而不会产生明显的毒性效应日暴露剂量,单位是  $\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{d}$ 。参考浓度指在人的生命周期中经持续的吸入暴露而不会产生明显的毒性效应浓度,单位是  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。致癌斜率因子和单位风险因子是基于低剂量外推的方法得到的量度结果,单位是 $(\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ 和 $(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$ 。

表 5-1 场地土壤及地下水中超标污染物的理化性质参数

序号	污染物名称	水中溶解度		亨利常数		空气中扩散系数		水中扩散系数		土壤有机碳-水分配系数	
		S		H		D <sub>air</sub>		D <sub>wat</sub>		K <sub>oc</sub>	
		mg/L	来源	-	来源	m <sup>2</sup> /s	来源	m <sup>2</sup> /s	来源	cm <sup>3</sup> /g	来源
1	铜	0.00E+00	TX12	0.00E+00	TX12	0.00E+00	TX12	0.00E+00	TX12	-	-
2	砷(无机)	0.00E+00	TX12	0.00E+00	TX12	0.00E+00	TX12	0.00E+00	TX12	-	-
3	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	2.70E-01	EPI	1.10E-05	EPI	1.73E-06	WATER9	4.18E-10	WATER9	1.20E+05	EPI
4	氰化物	1.00E+06	EPI	5.44E-03	EPI	2.11E-05	WATER9	2.46E-09	WATER9	-	-
5	顺-1,2-二氯乙烯	6.41E+03	EPI	1.67E-01	EPI	8.84E-06	WATER9	1.13E-09	WATER9	3.96E+01	EPI

注:(1)数据来源于“建设用土壤污染风险评估技术导则”(HJ25.3-2019)中参数推荐值;(2)“EPI”代表数据来自“美国环保署“化学品性质参数估算工具包”(Estimation Program Interface Suite)”;(3)“WATER9”代表数据来自“美国环保署“废水处理模型”(The Wastewater Treatment Model)”;(4)“TX12”代表数据来自 Texas Commission on Environmental Quality, Texas Risk Reduction Program: Toxicity and Chemical/Physical Properties Table, June 2012”。

## 6. 风险表征

### 6.1 风险水平计算方法

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019),本场地按照“第一类用地”利用方式下,场地土壤和地下水污染物经由不同暴露路径对受体人群的致癌风险和危害商计算模型如下:

#### (1) 土壤中单一污染物致癌风险计算方法

##### ● 经口摄入土壤途径的致癌风险

采用公式(21)计算:

$$CR_{ois} = OISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_0 \quad \text{式(21)}$$

式中:

CRois: 经口摄入土壤途径的致癌风险,无量纲;

Csur: 表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

OISERca 的参数含义见公式(1);

SF0: 经口摄入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>;

##### ● 皮肤接触土壤途径的致癌风险

采用公式(22)计算:

$$CR_{dcs} = DCSEr_{ca} \times C_{sur} \times SF_d \quad \text{式(22)}$$

式中:

CRdcs: 皮肤接触土壤途径的致癌风险,无量纲;

DCSErca 的参数含义见公式(3);

SFd: 皮肤接触致癌斜率因子, (mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>;

Csur: 表层土壤中污染物浓度, mg/kg。

##### ● 吸入土壤颗粒物途径的致癌风险

采用公式(23)计算:

$$CR_{pis} = PISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_i \quad \text{式 (23)}$$

式中:

CR<sub>pis</sub>: 吸入土壤颗粒物途径的致癌风险, 无量纲;

PISER<sub>ca</sub> 的参数含义见公式 (7);

C<sub>sur</sub>: 表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

SF<sub>i</sub>: 呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>;

● 吸入室外空气中来自表层土壤气态污染物途径的致癌风险

采用公式 (24) 计算:

$$CR_{iov1} = IOVER_{ca1} \times C_{sur} \times SF_i \quad \text{式 (24)}$$

式中:

CR<sub>iov1</sub>: 吸入室外空气中来自表层土壤气态污染物途径的致癌风险, 无量纲;

IOVER<sub>ca1</sub> 的参数含义见公式 (9);

C<sub>sur</sub>: 表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

SF<sub>i</sub>: 呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>。

● 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险

采用公式 (25) 计算:

$$CR_{iov2} = IOVER_{ca2} \times C_{sub} \times SF_i \quad \text{式 (25)}$$

式中:

SF<sub>i</sub>: 呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>;

CR<sub>iov2</sub>: 吸入室外空气中来自下层土壤气态污染物途径的致癌风险, 无量纲;

C<sub>sub</sub>: 下层土壤中污染物浓度, mg/kg; 必须根据场地调查获得参数值。

IOVER<sub>ca2</sub>: 参数含义见公式 (14)。

● 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险

$$CR_{iiv1} = IIVER_{ca1} \times C_{sub} \times SF_i \quad \text{式 (26)}$$

式中:

CR<sub>iiv1</sub>: 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险, 无量纲;

IIVERca<sub>1</sub>: 参数含义见式 (19);

C<sub>sub</sub>: 参数含义见式 (25);

SFi: 呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>;

● 土壤中单一污染物所有暴露途径的总致癌风险

$$CR_n = CR_{ois} + CR_{dcs} + CR_{pis} + CR_{iov1} + CR_{iov2} + CR_{iiv1} \quad \text{式 (27)}$$

式中:

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

(2) 土壤中单一污染物危害熵

● 经口摄入土壤途径的危害熵

采用公式 (28) 计算:

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_0 \times SAF} \quad \text{式 (28)}$$

式中:

HQ<sub>ois</sub>: 经口摄入土壤途径的危害熵, 无量纲;

SAF: 暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲;

OISER<sub>nc</sub> 的参数含义见公式 (2);

C<sub>sur</sub>: 表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

RfD<sub>0</sub>: 经口摄入参考剂量, mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>。

● 皮肤接触土壤途径的危害熵

采用公式 (29) 计算:

$$HQ_{dcs} = \frac{DCSER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d \times SAF} \quad \text{式 (29)}$$

式中:

HQ<sub>dcs</sub>: 皮肤接触土壤途径的危害熵, 无量纲;

DCSER<sub>nc</sub> 的参数含义见公式 (6);

C<sub>sur</sub>: 表层土壤中污染物浓度, mg/kg;

RfDd: 皮肤接触参考剂量,  $\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$ ;

SAF: 暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲。

● 吸入土壤颗粒物途径的危害熵

采用公式 (30) 计算:

$$HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{式 (30)}$$

式中:

HQ<sub>pis</sub>: 吸入土壤颗粒物途径的危害熵, 无量纲;

PISER<sub>nc</sub> 的参数含义见公式 (8);

C<sub>sur</sub>: 表层土壤中污染物浓度,  $\text{mg/kg}$ ;

RfDi: 呼吸吸入参考剂量,  $\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$ ;

SAF: 暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲。

● 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的危害熵

采用公式 (31) 计算:

$$HQ_{iov1} = \frac{IOVER_{nc1} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{式 (31)}$$

式中:

HQ<sub>iov1</sub>: 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的危害熵, 无量纲;

IOVER<sub>nc1</sub> 的参数含义见公式 (13),

C<sub>sur</sub>: 表层土壤中污染物浓度,  $\text{mg/kg}$ ;

RfDi: 呼吸吸入参考剂量,  $\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$ ;

SAF: 暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲。

● 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害熵

$$HQ_{iov2} = \frac{IOVER_{nc2} \times C_{sub}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{式 (32)}$$

式中:

HQ<sub>iov2</sub>: 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害熵, 无量纲;

IOVERnc<sub>2</sub>: 参数含义见式 (18);

C<sub>sub</sub>: 参数含义见式 (25);

RfD<sub>i</sub>: 呼吸吸入参考剂量, mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>;

SAF: 参数含义见式 (21)。

● 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害熵

$$HQ_{iiv1} = \frac{IIVER_{nc1} \times C_{sub}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{式 (33)}$$

式中:

HQ<sub>iiv1</sub>: 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害熵, 无量纲;

IIVERnc<sub>1</sub>: 参数含义见式 (20);

C<sub>sub</sub>: 参数含义见式 (25);

RfD<sub>i</sub>: 呼吸吸入参考剂量, mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>;

SAF: 参数含义见式 (21)。

● 土壤中单一污染物所有暴露物途径的危害熵

$$HI_n = HQ_{ois} + HQ_{dcs} + HQ_{pis} + HQ_{iov1} + HQ_{iov2} + HQ_{iiv1} \quad \text{式 (34)}$$

式中:

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

(3) 地下水中单一污染物致癌风险计算方法

● 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的致癌风险

采用式 (39) 计算:

$$CR_{iov3} = IOVER_{ca3} \times C_{gw} \times SF_i \quad \text{式 (39)}$$

式中:

CR<sub>iov3</sub>: 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的致癌风险, 无量纲;

C<sub>gw</sub>: 地下水中污染物浓度, mg/L, 必须根据场地调查获得参数值;

SF<sub>i</sub>: 呼吸吸入致癌斜率因子, (mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>;

IOVERca<sub>3</sub> 的参数含义见式 (11)。

- 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的致癌风险

采用式（40）计算：

$$CR_{iiv2} = IIVER_{ca2} \times C_{gw} \times SF_i \quad \text{式（40）}$$

式中：

CR<sub>iiv2</sub>：吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的致癌风险，无量纲；  
IIVER<sub>ca2</sub> 的参数含义见式（20），C<sub>gw</sub> 和 SF<sub>i</sub> 的参数含义见式（36）。

- 地下水中单一污染物经所有暴露途径的总致癌风险

采用式（41）计算：

$$CR_n = CR_{ioi3} + CR_{iiv2} \quad \text{式（41）}$$

式中：

CR<sub>n</sub>：地下水中单一污染物（第 n 种）经所有暴露途径的总致癌风险，无量纲；

CR<sub>ioi3</sub> 和 CR<sub>iiv2</sub> 的含义见式（39）和（40）。

#### （4）地下水中单一污染物危害熵

- 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的危害熵

采用式（42）计算：

$$HQ_{ioi3} = \frac{IOVER_{nc3} \times C_{gw}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{式（42）}$$

式中：

HQ<sub>ioi3</sub>：吸入室外空气来自地下水的气态污染物途径的危害熵，无量纲；

IOVER<sub>nc3</sub>：吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量（非致癌效应），L 地下水·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>；

RfD<sub>i</sub>：呼吸吸入参考剂量，mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>；

C<sub>gw</sub> 的参数含义见式（19）。

- 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的危害熵

采用式（43）计算：

$$HQ_{iiv2} = \frac{IIVER_{nc2} \times C_{gw}}{RfD_i \times SAF} \quad \text{式 (43)}$$

式中：

HQ<sub>iiv2</sub>：吸入室内空气来自地下水的气态污染物途径的危害熵，无量纲；

IIVER<sub>nc2</sub>：吸入室内空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量（非致癌效应），L 地下水·kg<sup>-1</sup> 体重·d<sup>-1</sup>；

C<sub>gw</sub> 的参数含义见式（19），RfD<sub>i</sub> 的参数含义见式（42），SAF 的参数含义见式（28）。

#### ● 地下水中单一污染物经所有暴露途径的危害指数

采用式（44）计算：

$$HI_n = HQ_{iov3} + HQ_{iiv2} \quad \text{式 (44)}$$

式中：

HI<sub>n</sub>：地下水单一污染物（第 n 种）经所有暴露途径的危害指数，无量纲；

HQ<sub>iov3</sub> 和 HQ<sub>iiv2</sub> 的参数含义见式（42）和（43）。

## 6.2 场地风险评估结果

### 6.2.1 土壤风险评估结果

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），单一污染物的可接受致癌风险水平小于 10<sup>-6</sup> 或危害商小于 1。

由表可见，在本场地居住土地利用方式下，场地区域范围内土壤第二层中共 2 种污染物存在致癌风险，分别为砷和邻苯二甲酸二(2 乙基己基)酯，致癌风险水平分别为 **5.82E-05** 和 **1.43E-06**；共 3 种污染物存在非致癌风险，分别为铜、砷和氰化物，危害熵分别为 **9.39E+00**、**2.25E+00** 和 **2.03E+00**。

### 6.2.2 地下水风险评估结果

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019），单一污染物的可接受致癌风险水平小于 10<sup>-6</sup> 或危害商小于 1。本场地居住土地利用方式下，场地地下水污染物对暴露人群的健康风险评估结果见表 6-2。

由表可见，在本场地居住用地利用方式下，场地区域范围内地下水污染物危害熵小于 1。

表 6-1 场地地下水污染物健康风险评估结果

污染物名称		利用方式	1,2-顺式-二氯乙烯
地下水污染 非致癌风险	HQ <sub>iov3</sub>	居住	5.16E-06
	HQ <sub>iiv2</sub>	居住	2.53E-03
	HI <sub>n</sub>	居住	<b>2.54E-03</b>

### 6.3 不同暴露途径的贡献率

根据以上单一污染物土壤和地下水暴露风险的计算方法，以及风险评估模型参数、污染物理化性质参数和毒性参数，本场地土壤和地下水单一污染物不同暴露途径的贡献率统计见表 6-3 和表 6-4。

表 6-2 场地土壤单一污染物不同暴露途径的贡献率

污染物名称	致癌效应	土壤暴露途径的贡献率（单位：%）						
		PPC <sub>s</sub> <sup>ing</sup>	PPC <sub>s</sub> <sup>der</sup>	PPC <sub>s</sub> <sup>ip-op</sup>	PPC <sub>s</sub> <sup>sur-ov</sup>	PPC <sub>s</sub> <sup>sbr-ov</sup>	PPC <sub>s</sub> <sup>iv</sup>	PPC <sub>s</sub> <sup>Total</sup>
铜	致癌风险	-	-	-	-	-	-	100.00
	非致癌风险	100.00	-	-	-	-	-	100.00
砷	致癌风险	86.34	8.28	5.37	-	-	-	100.00
	非致癌风险	77.38	6.61	16.01	-	-	-	100.00
邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	致癌风险	75.34	24.10	0.28	0.28	0.0002	0.00002	100.00
	非致癌风险	77.83	22.17	-	-	-	-	100.00
氰化物	致癌风险	-	-	-	-	-	-	100.00
	非致癌风险	88.75	-	0.69	10.09	0.01	0.46	100.00

注：(1)PPC<sub>s</sub><sup>ing</sup>:指经口摄入土壤暴露途径的贡献率；

(2)PPC<sub>s</sub><sup>der</sup>:指皮肤接触土壤暴露途径的贡献率；

(3)PPC<sub>s</sub><sup>ip-op</sup>:指吸入土壤颗粒物暴露途径的贡献率；

(4)PPC<sub>s</sub><sup>sur-ov</sup>:指吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物暴露途径的贡献率；

(5)PPC<sub>s</sub><sup>sbr-ov</sup>:指吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物暴露途径的贡献率；

(6)PPC<sub>s</sub><sup>iv</sup>:指吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物暴露途径的贡献率；

(7)PPC<sub>s</sub><sup>Total</sup>:指土壤污染物 6 种暴露途径的总贡献率。

表 6-3 场地地下水单一污染物不同暴露途径的贡献率

污染物名称	致癌效应	地下水暴露途径的贡献率（单位：%）		
		$PPC_{gw}^{ov}$	$PPC_{gw}^{iv}$	$PPC_{gw}^{Total}$
顺-1,2-二氯乙烯	危害商	0.20	99.80	100.00

注：(1)  $PPC_{gw}^{ov}$ :指吸入室外空气中来自地下水的气态污染物暴露途径的贡献率；

(2)  $PPC_{gw}^{iv}$ :指吸入室内空气中来自地下水的气态污染物暴露途径的贡献率；

(3)  $PPC_{gw}^{Total}$ :指地下水污染物 2 种暴露途径的总贡献率；

## 7. 风险评估结论

依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)要求,需要对本场地土壤中的超标污染物进行风险评估。根据本场地土壤污染调查结果,本场地土壤中共有 4 种污染物浓度超过本场地土壤污染风险筛选值,分别为铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物。第三层关注污染物浓度的最大值作为下层浓度进行评估;将选取地下水中顺-1,2-二氯乙烯浓度的最大值进行评估。

本场地居住用地利用下,场地的暴露情景主要为居住人群和公园休闲人群的生活过程暴露。土壤污染物暴露途径包括经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物共 6 种。地下水污染物暴露途径包括吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物共 2 种。

其毒理学参数划分为两类,致癌物用致癌斜率因子(Slope Factors, SFs)和单位风险因子(Unit Risk Factors, URFs)表示,非致癌物用参考剂量(Reference Doses, RfDs)和参考浓度(Reference Concentrations, RfCs)表示。

根据对本场地开展的危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征污染场地风险评估工作结果,本场地居住用地利用方式下,场地区域范围内土壤第二层(2.0-4.0m)污染物的致癌风险水平大于  $10^{-6}$  或危害商大于 1,地下水污染物非致癌危害商小于 1。

场地区域范围内土壤第二层中共 2 种污染物存在致癌风险,分别为砷和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯,致癌风险水平分别为 **5.82E-05** 和 **1.43E-06**;共 3 种污染物存在非致癌风险,分别为铜、砷和氰化物,危害熵分别为 **9.39E+00**、**2.25E+00** 和 **2.03E+00**。表明本场地土壤第二层污染物对暴露人群产生不良或有害健康效应的风险水平不可接受。

按照国家相关规定,需要对本场地土壤第二层超标污染物,包括铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物,开展治理修复工作。

## 8. 治理与修复建议

### 9.1 修复目标值确定

#### 9.1.1 风险控制值计算

##### (1) 土壤风险控制值计算方法

场地土壤风险控制值的计算是风险评估的逆过程,先设定可接受的风险水平,再根据暴露评估公式和迁移模型反推得该风险水平下的污染物浓度即风险控制值。计算过程涉及到的风险评估模型参数、污染物理化性质和毒性参数的取值同“风险评估模型参数”和“毒性评估”章节。场地土壤风险控制值的计算总公式如下:

##### ● 致癌效应土壤风险控制值

基于6种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值,采用下列公式计算:

$$RCVS_n = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times S_o + DCSE_{ca} \times SF_d + (PISER_{ca} + IOVER_{ca1} + IOVER_{ca2} + IIVER_{ca1}) \times SF_i}$$

式中:

RCVS<sub>n</sub>——单一污染物(第n种)基于6种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值, mg·kg<sup>-1</sup>;

ACR——可接受致癌风险,无量纲;取值为 10<sup>-6</sup>。

##### ● 非致癌效应土壤风险控制值

基于6种土壤暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值,采用下列公式计算:

$$HCVS_n = \frac{AHQ \times SAF}{\frac{OISER_{nc}}{RfD_o} + \frac{DCSE_{nc}}{RfD_d} + \frac{PISER_{nc} + IOVER_{nc1} + IOVER_{nc2} + IIVER_{nc1}}{RfD_i}}$$

公式中:

HCVS<sub>n</sub>——单一污染物(第n种)基于6种土壤暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值, mg·kg<sup>-1</sup>;

AHQ——可接受危害熵，无量纲；取值为 1。

## (2) 土壤风险控制值计算结果

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》，场地单个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熵 1，分别计算了场地土壤第二层风险水平不可接受污染物铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物的风险控制值。

### 9.1.2 土壤修复目标值

根据本场地上述土壤修复目标值的确定原则及本场地风险评估计算得到的场地土壤风险控制值，经与本场地选用的“土壤污染物风险筛选值”，及土壤中各种污染物分析检出限等相关因素比较，最终确定本场地居住用地利用方式下土壤第二层的修复标准，见表 9-2。

表 8-1 场地土壤第二层污染物修复目标值 (mg/kg)

序号	污染物名称	本场地 筛选值	管制值 (第一类用地)	第二层	
				风险控制值	修复目标值
1	铜	2000	8000	1998	2000
2	砷	20	120	0.45	20
3	邻苯二甲酸二 (2-乙基己基)酯	42	420	40	42
4	氰化物	22	44	20	22

## 9.2 修复范围及工程量

### 9.2.1 修复范围

#### 9.2.1.1 修复范围确定原则

本场地土壤修复范围确定原则如下：

(1) 不同土地规划用途类型应分别划分修复范围。本场地的规划用途为居住用地，应按居住用地类型划定场地土壤修复范围。

(2) 不同的污染物种类和污染程度应分别划分修复范围。对于场地土壤中

不同种类的污染物，如重金属、VOCs 和 SVOCs，或同一污染物种类不同的污染或风险程度，将来都有可能采用不同的修复技术和修复方案，因此应分别划分修复范围。

(3) 不同的土壤层次应分别划定修复范围。同时由于地层概化存在局部不对应性的问题，而本项目又都是孤样超标，故在修复深度部分结合超标点位附近的清洁点的实际钻探地层情况进行综合确定；

(4) 本场地污染土壤修复工程的计算应以本场地污染调查阶段原地面作为起始零点进行计算，不应包括场地地面以上的堆积物。

#### 9.2.1.2 场地土壤修复范围

本场地土壤中需要修复的污染物有 4 种，分别为铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物。根据本场地上述修复范围确定原则及本场地未来的土地利用规划，经污染物浓度的插值计算，得到了本场地土壤第二层铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物的修复范围。

### 9.2.2 修复量估算

根据上述各污染物的修复范围，结合超标点位周边清洁点位的地层实际勘查情况，综合计算，本场地土壤概化第二层需要修复的污染土壤面积为 1069.55 平方米，综合修复土方量为 3258 立方米，其中超过管制值的污染土壤面积为 272.49 平方米，土方量为 583.1 立方米。

8-2 污染土壤修复面积和修复量

序号	污染物名称	修复深度 (m)	修复面积 (m <sup>2</sup> )		修复土方量 (m <sup>3</sup> )	
			>管制值	介于修复目标值与管制值之间	>管制值	介于修复目标值与管制值之间
1	铜	2.0-4.0	253.43	256.67	506.86	513.34
2	砷	2.0-6.0	0	157.35	0	629.4
3	邻苯二甲酸二(2 乙基己基)酯	2.0-6.0	0	235.32	0	941.28
4	氰化物	2.0-6.0	19.06	147.72	76.24	590.88
污染物叠加		2.0-6.0	272.49	797.06	583.1	2674.9
			1069.55		3258	

## 9. 结论

### 9.1 评估结论

#### (1) 关注污染物

根据本场地土壤和地下水污染调查结果,本场地土壤中共有 4 种污染物浓度超过本场地土壤污染风险筛选值,分别为铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物,超标污染物主要分布场地概化第二层(2-4m)粉质黏土中;地下水中共有 3 种污染物浓度超过本场地地下水污染风险筛选值,分别为顺-1,2-二氯乙烯、氨氮和溶解性总固体。基于保守原则,选取场地土壤中关注污染物(铜、砷、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和氰化物)浓度的最大值,地下水中关注污染物顺-1,2-二氯乙烯浓度的最大值进行风险评估。

#### (2) 暴露途径

本场地居住用地利用方式下,场地土壤污染物暴露途径包括经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物共 6 种。地下水污染物暴露途径包括吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物共 2 种。

#### (3) 风险评估结果

本场地居住用地利用方式下,场地区域范围内土壤概化第二层污染物的致癌风险水平大于  $10^{-6}$  或危害商大于 1,地下水污染物非致癌危害商小于 1。土壤第二层中共 2 种污染物存在致癌风险,分别为砷和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯,致癌风险水平分别为 **5.82E-05** 和 **1.43E-06**;共 3 种污染物存在非致癌风险,分别为铜、砷和氰化物,危害指数分别为 **9.39E+00**、**2.25E+00** 和 **2.03E+00**。表明本场地土壤第二层污染物对暴露人群产生不良或有害健康效应的风险水平不可接受。

#### (4) 修复目标值

根据本场地风险评估结果,以致癌风险  $10^{-6}$  或非致癌危害商 1 为可接受风险水平,对场地土壤污染物的健康风险超过可接受风险水平的污染物计算风险控制

值。经风险计算，土壤第二层（2.0-4.0m）中污染物铜、砷、邻苯二甲酸二(2 乙基己基)酯和氰化物的风险控制值均小于本场地土壤污染风险筛选值。确定场地土壤第二层中污染物铜、砷、邻苯二甲酸二(2 乙基己基)酯和氰化物的修复目标值分别为 2000mg/kg、20mg/kg、42mg/kg 和 22mg/kg。

#### （5）修复范围及工程量

经污染物浓度的插值计算，总修复面积为 1069.55 平方米，总修复量为 3258 立方米。