

天津市河西区陈塘科技商务区 F10 至  
F17 及相关配套设施地块环境调查和  
风险评估项目—F16 地块  
风险评估报告

项目单位：天津市河西区土地整理中心

报告编制单位：天津生态城环境技术咨询有限公司

编制日期：二〇一八年十二月

# 目 录

|           |                        |           |
|-----------|------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>概述</b> .....        | <b>3</b>  |
| 1.1       | 项目概况.....              | 3         |
| 1.2       | 调查范围.....              | 3         |
| 1.3       | 调查目的.....              | 4         |
| 1.4       | 调查依据.....              | 4         |
| 1.5       | 基本原则.....              | 6         |
| 1.6       | 工作方案.....              | 7         |
| <b>2</b>  | <b>初步和详细调查概况</b> ..... | <b>9</b>  |
| 2.1       | 地块调查基本情况.....          | 9         |
| 2.2       | 地块污染物种类及含量.....        | 9         |
| 2.3       | 调查结果分析.....            | 9         |
| 2.4       | 结论及建议.....             | 10        |
| <b>3</b>  | <b>危害识别</b> .....      | <b>11</b> |
| 3.1       | 关注污染物的判定.....          | 11        |
| 3.2       | 污染源分析.....             | 11        |
| 3.3       | 受体分析.....              | 11        |
| 3.4       | 污染地块概念模型.....          | 12        |
| <b>4</b>  | <b>暴露评估</b> .....      | <b>13</b> |
| 4.1       | 地块未来用地规划.....          | 13        |
| 4.2       | 暴露途径分析.....            | 13        |
| 4.3       | 暴露量的计算.....            | 14        |
| 4.4       | 不同暴露途径的贡献率.....        | 20        |
| <b>5</b>  | <b>毒性评估</b> .....      | <b>21</b> |
| <b>6</b>  | <b>风险表征</b> .....      | <b>22</b> |
| 6.1       | 风险计算过程.....            | 22        |
| 6.2       | 风险计算结果.....            | 24        |
| <b>7</b>  | <b>不确定性分析</b> .....    | <b>26</b> |
| <b>8</b>  | <b>风险评估结论</b> .....    | <b>27</b> |
| <b>9</b>  | <b>治理与修复建议</b> .....   | <b>28</b> |
| 9.1       | 修复目标值确定.....           | 28        |
| 9.2       | 修复范围及工程量.....          | 28        |
| 9.3       | 修复技术建议.....            | 30        |
| <b>10</b> | <b>结论及建议</b> .....     | <b>31</b> |
| 10.1      | 评估结论.....              | 31        |
| 10.2      | 建议.....                | 31        |

## 摘 要

2018年11月,天津生态城环境技术咨询有限公司受天津市河西区土地整理中心委托,遵照相关法律法规和技术导则要求,在初步调查和详细调查的基础上,对天津市河西区陈塘科技商务区 F16 地块开展场地风险评估工作。天津市河西区陈塘科技商务区 F16 地块位于天津市河西区珠江道与洞庭路交口附近,西至市印刷物资公司及地铁十号线建设指挥部,北至 F14 地块(现状平地),东至梅林北路,南至珠江道。地块占地面积 24456.4m<sup>2</sup>。

依据初步调查和详细调查结果,F16 地块内 F16-2 点位填土层土壤中六氯苯和苯并[a]芘均超过《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)第二类用地筛选值,因此需要对其进行风险评估,明确其风险水平。

根据风险评估结果,地块内表层土壤中六氯苯和苯并[a]芘的风险评估结果均超过了致癌风险可接受值 10<sup>-6</sup>,未超过非致癌危害商 1。地块内土壤中六氯苯和苯并[a]芘的非致癌风险均可接受,但致癌风险均不可接受。因此本地块表层土壤(0~3m)需要进行修复。

为防止过度修复,本地块选择《土壤环境质量 建设用地土壤风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中第二类用地筛选值作为修复目标值。修复范围 500m<sup>2</sup>,修复深度 3m,修复土方量为 1500m<sup>3</sup>。本地块修复过程中,应加强地块环境管理,防止污染物扩散。避免开发建设活动过程造成场地地下水中污染物的迁移、场地环境的破坏、二次污染以及对人体造成健康风险。



## 1.3 调查目的

### 1.3.1 调查与评估目的

开展 F16 地块风险评估工作，主要目的是防止潜在污染地块开发利用危害人民群众身体健康、污染区域土壤和地下水环境。

1、通过计算该场地对未来进驻人群可能造成的致癌风险和非致癌风险，判断关注污染物计算得到的风险值是否超过可接受风险水平。

3、如果关注污染物计算风险值超过可接受风险水平，分析计算场地内污染指标的风险控制值，估算修复土方量，为下一步土壤修复工作提供数据支撑。

4、为场地规划利用提供决策依据，为土地和环境管理相关部门提供技术支撑。

### 1.3.2 主要内容

为了科学充分的调查和判断地块所在区域的详细污染情况及污染对自身和周围敏感目标的健康风险，按照《场地环境调查技术导则》(HJ25.1-2014)将本次风险评估工作的主要内容有：

污染场地风险评估：将第一阶段和第二阶段的场地调查中确定的污染物浓度与筛选值进行比较。如果关注污染物含量高于筛选值，则依据《污染场地环境风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014)计算暴露量，确定污染物参数，从而确定场地的污染程度和范围。计算风险表征，对污染场地的风险程度进行评价。如果超过风险值，则提供修复建议。

## 1.4 调查依据

### 1.4.1 法律法规

《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月)

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2016 年修订)

《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(国环办[2004]47 号)

《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）

《天津市环境保护条例》（2010年修订版）

《天津市“十二五”固体废物污染防治专项规划》（2013年）

《天津市环保局工业企业关停搬迁及原址场地再开发利用污染防治工作方案》（津环保固[2014]140号）

《天津市建设项目环境保护管理办法》（2015年修正）

《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）

《污染地块土壤环境管理办法（试行）》

《天津市土壤污染防治工作方案》津政发[2016]27号

《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南》（2014年，试行）

《建设用地土壤环境调查评估及治理修复文件编制大纲（试行）》

## 1.4.2 标准导则

《场地环境调查技术规范》（HJ25.1-2014）

《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2014）

《污染场地环境风险评估技术导则》（HJ25.3-2014）

《污染场地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2014）

《场地环境评价技术导则》（DB11/T 656-2009，2010年1月1日实施）

《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（试行）（GB36600-2018）

《场地土壤环境风险评价筛选值》（DB11/T 811-2011）

《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》（DB11/T 1278-2015）

Regional soil screening level, USEPA 2018

《地下水水质标准》（DZ/T 0290-2015）

《地下水质量标准》（GB1448-2017）

《生活饮用水水质标准》（GB 5749-2006）

### 1.4.3 相关规划

《陈塘科技商务区土地使用性质分布图-16版》

## 1.5 基本原则

场地环境调查与评估工作是基于主观和客观相结合的综合结果，工作过程遵循以下原则：

### 1.5.1 针对性原则

场地环境调查是基于主观和客观相结合的综合结果，工作过程遵循以下原则：

#### 1、针对性原则

评估过程中所有涉及该地块的参数均来自于地块本身，因此这个地块的风险评估将最大限度地接近地块实际污染状况所产生的风险，风险评估结果也只适合于应用在这个特定地块中。此类评估的结果能为地块风险管理者最大限度地降低至可忽略程度提供科学依据。

#### 2、规范性原则

目前在我国以及北京市地方环境管理部门已初步构建起了国家层面的关于污染地块风险评估和环境管理方面的一些法律、标准和规范性文件，本项目将尽可能遵照现有的与土壤环境风险评估相关的政策和标准进行评估。当现行标准针对污染场地缺乏有效指导时，将从科学角度对美国、欧洲等国家和地区的经验进行综合分析和合理判断，以现场问题为导向，科学分析和论述目标地块涵盖的调查方法、分析方法、评估方法和修复技术等问题。

#### 3、可操作性原则

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。

## 1.6 工作方案

### 1.6.1 调查方法和主要内容

污染场地健康风险评估工作内容包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征，以及土壤和地下水风险控制值的计算。

**危害识别：**收集场地环境调查阶段获得的相关资料和数据，明确污染场地土壤和地下水关注污染物，掌握场地内关注污染物的浓度及空间分布，明确规划土地利用方式，分析可能的敏感受体。根据不同的土地利用方式，常见敏感受体有居民（儿童和成人）、商业人员、场内工人、地下水体等。

**暴露评估：**在危害识别的基础上，分析场地内关注污染物迁移和危害敏感受体的可能性，确定场地土壤和地下水污染物的主要暴露途径和暴露评估模型，确定污染物在环境介质中的迁移方式，建立“污染源-污染物迁移路径-敏感受体”场地概念模型，确定评估模型参数取值，计算敏感人群对土壤和地下水中污染物的暴露量。

**毒性评估：**在危害识别的基础上，分析关注污染物对人体健康的危害效应，包括致癌效应和非致癌效应，确定与关注污染物相关的参数，包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和呼吸吸入单位致癌因子等。

**风险表征：**在暴露评估和毒性评估的基础上，采用健康风险评估模型计算土壤和地下水中单一污染物经单一暴露途径的致癌风险和非致癌危害商、单一污染物经所有暴露途径的总致癌风险和非致癌危害指数、所有污染物经所有暴露途径的总致癌风险和非致癌危害指数，进行不确定性分析。

**土壤和地下水风险控制值的计算：**在风险表征的基础上，判断计算得到的风险值是否超过可接受风险水平。如污染场地风险评估结果未超过可接受风险水平，则结束风险评估工作；如污染场地风险评估结果超过可接受风险水平，则计算土壤、地下水中关注污染物的风险控制值；如调查结果表明，土壤中关注污染物可迁移进入地下水，则计算保护地下水的土壤风险控制值；如调查结果表明，地下水中关注污染物可迁移进入周边水体，则计算保护周边水体的地下水风险控制值；根据计算结果，综合提出关注污染物的土壤和地下水风险控制值。



## 1.6.2 工作程序（技术路线）

污染物通过风险评估，确定场地污染带来的健康风险是否可接受，依据场地初步修复目标值划定修复范围。污染场地风险评估工作内容包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征，以及土壤和地下水风险控制值的计算。

风险评估技术路线如图 1.6-1 所示。

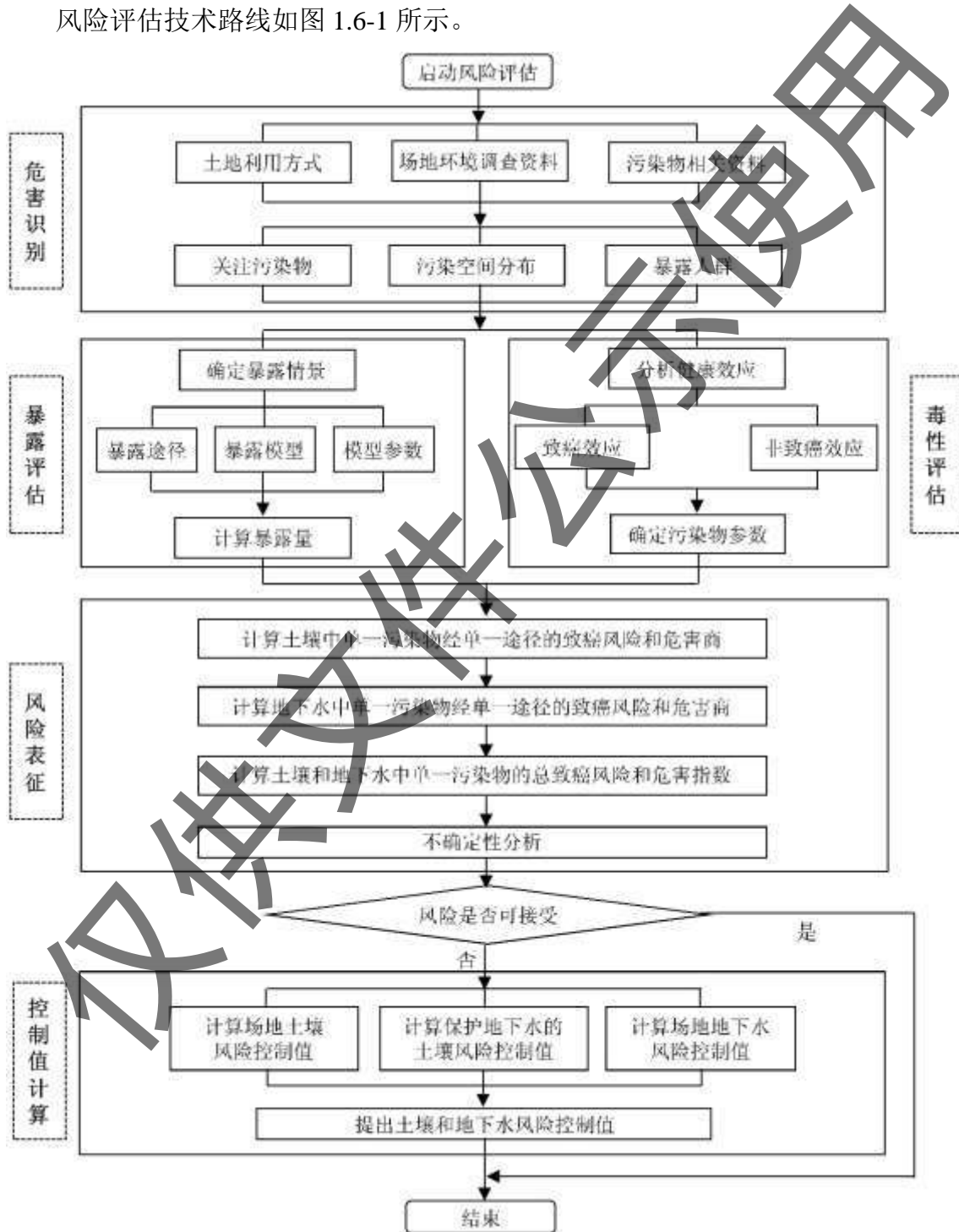


图 1.6-1 风险评估工作流程图

## 2 初步和详细调查概况

### 2.1 地块调查基本情况

初步调查阶段，共布设土壤采样点 5 个，地下水采样点 3 个。其中，共采集并送检 11 个土壤点位的 48 个样品（不含平行样），送检指标包括 pH、氰化物、重金属、总石油烃、VOCs、SVOCs、六价铬、有机磷农药、有机氯农药等。地下水，共采集 3 个样品（不包括平行样），送检指标包括 pH、氰化物、重金属、VOCs、SVOCs、石油类、六价铬、有机磷农药、有机氯农药等。

详细调查阶段，依据初步调查结果，在污染超标点位 20m 范围内布设 4 个土壤采样点。

### 2.2 地块污染物种类及含量

根据初步调查及详细调查报告，本地块内主要污染物为六氯苯和苯并[a]芘，污染物均集中在 F16-2 点位填土层，具体情况见表 2.2-1。

表 2.2-1 地块内污染超标情况汇总 (mg/kg)

| 污染物    | 检测数据 | 超标倍数 | 商服用地/第二类用地 |      |
|--------|------|------|------------|------|
|        |      |      | 筛选值        | 来源   |
| 六氯苯    | 5.33 | 4.33 | 1          | GB-2 |
| 苯并[a]芘 | 1.85 | 0.23 | 1.5        | GB-2 |

### 2.3 调查结果分析

综合初步调查及详细调查结果，六氯苯仅在 F16-2 点位，深度 0.4m 处有检出，检出值为 5.33mg/kg，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）第二类用地筛选值（1mg/kg）4.33 倍。

苯并[a]芘在多个个采样点位填土层中均有检出（0.3m-1.6m），仅有 F16-2 点位超标，深度为 0.4m，检出值为 1.85mg/kg，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）第二类用地筛选值（1.5mg/kg）0.23 倍。

六氯苯特性见表 2.3-1，多用于繁殖麦类黑穗病，种子和土壤消毒。因本地块历史上从未用作农田使用，因此不可能是农药导致。由于相邻地块报告（《天津市河西区陈塘科技商务区 F10 至 F17 及相关配套设施地块环境调查和风险评估项目—F15 地块土壤环境详细调查报告》）中显示其地块内存在大量六氯苯污染的房渣土，因此

本场地出现六氯苯污染的原因可能是由其他地块内污染物带入。

苯并[a]芘是由于煤、石油等燃料不完全燃烧产生的，本地块内苯并[a]芘可能的主要来源：1.临近地块锅炉房煤炭燃烧产生的烟气沉降；2.运输车辆（包括火车）尾气沉降。

表 2.3-1 超标污染物特性

| 名称     | 饱和蒸汽压                            | 相对密度 | 溶解性                                |
|--------|----------------------------------|------|------------------------------------|
| 六氯苯    | 0.13/114.4°C                     | 2.44 | 不溶于水，溶于乙醚、氯仿等大多数有机溶剂               |
| 苯并[a]芘 | $0.665 \times 10^{-19}$ kPa/25°C | 1.35 | 不溶于水，微溶于乙醇、甲醇，溶于苯、甲苯、二甲苯、氯仿、乙醚、丙酮等 |

## 2.4 结论及建议

详细调查结果和初步调查结果综合分析可知，六氯苯和苯并[a]芘超标范围集中在 F16-2 点位表层，由于该点位六氯苯和苯并[a]芘均超过《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第二类用地筛选值，因此需要对其进行风险评估，明确其风险水平。

## 3 危害识别

### 3.1 关注污染物的判定

依据场地风险管理的基本思路，当污染调查结果显示场地土壤或地下水中某种污染物的最高检出浓度超过相应的风险筛选值或筛选标准时，通常认为该污染物的潜在健康风险可能超过可接受水平，需结合场地用地规划、污染物空间分布、场地水文地质条件、未来受体的具体暴露特征参数等因素构建场地风险概念模型，并定量评估其健康风险。这类超过筛选值或评估标准、需进一步开展健康风险评估的污染物，通常称之为关注污染物。

污染现状分析结果显示，场地调查范围内土壤中存在超过筛选值的污染物包括六氯苯、苯并[a]芘两种 SVOCs。

根据污染物分布特点，仅在 0~1.6m 土壤中有检出，因此本次风险评估仅关注表层土壤，关注污染物为六氯苯和苯并[a]芘。

### 3.2 污染源分析

#### 3.2.1 污染来源

根据检测结果，场地内主要污染物为六氯苯和苯并[a]芘，其中六氯苯污染的原因，可能是由其他生产点位的污染物带入。苯并[a]芘可能的主要来源：1.临近地块锅炉房煤炭燃烧产生的烟气沉降；2.运输车辆（包括火车）尾气沉降。

#### 3.2.2 污染扩散

随着原工厂的拆除，生产车间构筑物和硬化地面破拆，污染物未及时有效清理，可能会随拆迁设备及车辆发生位移，也可能随雨水下渗至场地内土壤和地下水。进入地下水中的污染物可进一步随地下水的流动，向下游方向迁移，导致地下水污染羽的进一步扩散。

### 3.3 受体分析

根据《陈塘科技商务区土地使用性质分布图-16版》见图 1.1-1，此地块规划为

商业服务设施用地，在此土地利用方式下，受体（成人）在室内进行商业活动、购物、休闲娱乐以及在室外休闲散步、玩耍时可能暴露于污染场地而产生健康危害。同时，现场作业的建筑工人作为短期暴露的敏感受体同样存在着人体健康风险。

### 3.4 污染地块概念模型

基于以上分析，构建场地调查区域的概念模型如图 3.4-1 所示。

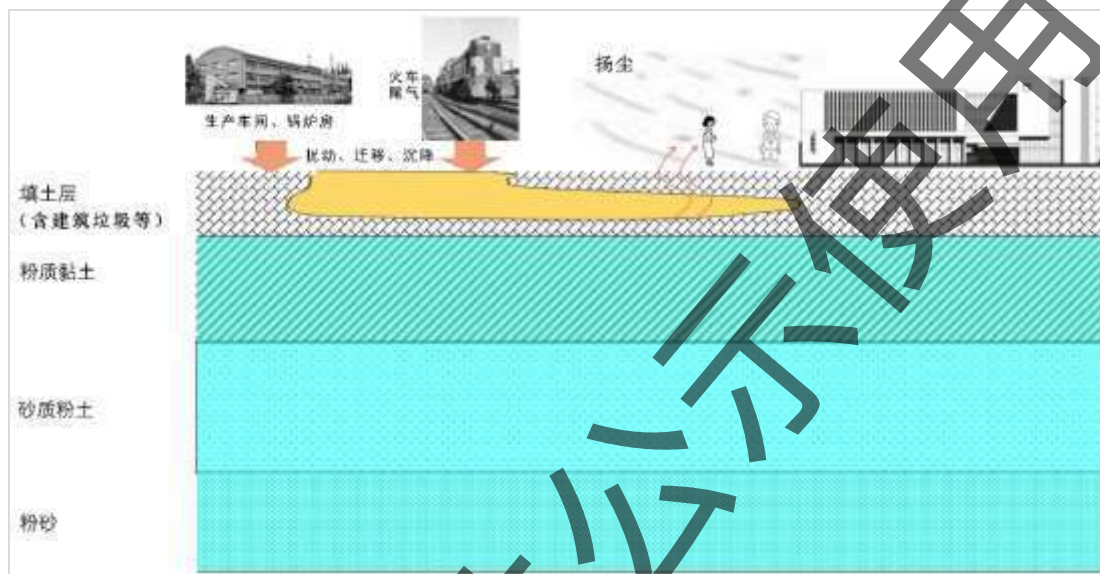


图 3.4-1 场地概念模型示意图

## 4 暴露评估

### 4.1 地块未来用地规划

《污染场地风险评估技术导则》（HJ25.3-2014）规定了 2 类典型用地方式下的暴露情景，即以住宅用地为代表的敏感用地（简称“敏感用地”）和以工业用地为代表的非敏感用地（简称“非敏感用地”）的暴露情景。

住宅类敏感用地具体包括 GB50137-2011 规定的城市建设用地中的居住用地（R）、文化设施用地（A2）、中小学用地（A33）、社会福利设施用地（A6）中的孤儿院等，也包括农村地区此类用地。

工业类非敏感用地具体包括 GB50137-2011 规定的城市建设用地中的工业用地（M）、物流仓储用地（W）、商业服务业设施用地（B）、公用设施用地（U）等，也包括农村地区此类用地。

根据场地规划资料，河西区陈塘科技商务区 F16 地块未来用地类型为**商业性公共设施用地**，因此，该场地按照**非敏感用地**类型进行评估。

### 4.2 暴露途径分析

考虑到场地未来规划为商业性公共设施用地，受体（儿童或成人）主要暴露特征是在室内进行商业活动、购物、休闲娱乐以及在室外休闲散步、玩耍等，暴露有室内也有室外。

场地上未来建筑基本位于污染土壤和地下水的垂直上方，污染物在分子扩散作用下依次通过地下水及污染土壤上方的非饱和土层进入地标呼吸层与受体接触，或依次通过土层及建筑物底板进入室内空间与受体接触。

本地块仅涉及表层土壤污染，暴露途径为以下五种：1、经口摄入土壤；2、皮肤接触土壤；3、吸入室内土壤颗粒物；4、吸入室外土壤颗粒物；5、吸入表层土壤室外蒸气。

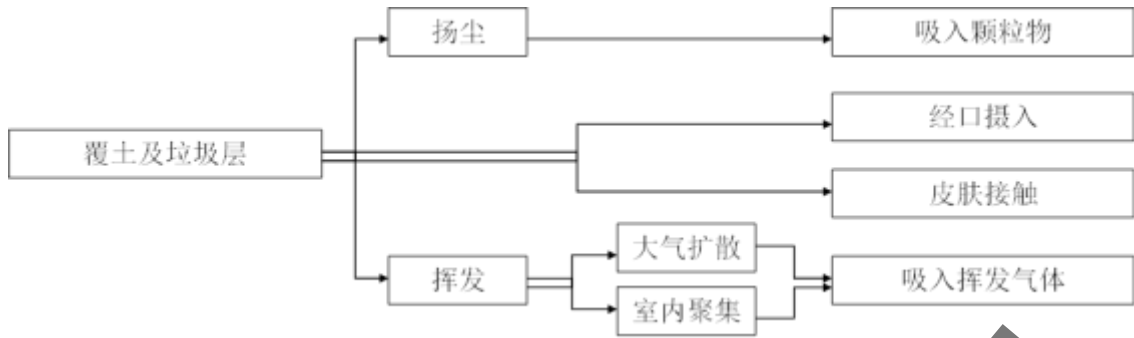


图 4.2-1 暴露途径示意图

## 4.3 暴露量的计算

### 4.3.1 暴露参数

在考虑暴露模型与参数时，考虑到污染物致癌效应和非致癌效应的区别，对于致癌效应和非致癌效应的评估按照不同的模型和参数进行计算，模型中参数主要依照场地现场实际调查测量以及《污染场地风险评估技术导则》（HJ25.3-2014）中的推荐值及《场地环境调查技术导则》（HJ25.1-2014）等 5 项国家环境保护标准修改单（征求意见稿）确定。

#### 4.3.1.1 受体暴露参数

受体暴露参数见表 4.3-1 所示。非敏感用地方式下，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。

表 4.3-1 受体暴露参数一览表

| 参数名称              | 符号                | 单位                 | 非敏感用地 | 参数选取依据 |
|-------------------|-------------------|--------------------|-------|--------|
| 成人平均体重            | BW <sub>a</sub>   | kg                 | 61.8  | 导则推荐   |
| 成人平均身高            | H <sub>a</sub>    | cm                 | 156.3 | 导则推荐   |
| 成人暴露期             | ED <sub>a</sub>   | a                  | 25    | 导则推荐   |
| 成人暴露频率（经口摄入和皮肤接触） | EF <sub>a</sub>   | d/a                | 250   | 导则推荐   |
| 成人室内暴露频率（呼吸吸入）    | EFI <sub>a</sub>  | d/a                | 187.5 | 导则推荐   |
| 成人室外暴露频率（呼吸吸入）    | EFO <sub>a</sub>  | d/a                | 62.5  | 导则推荐   |
| 成人暴露皮肤所占体表面积比     | SER <sub>a</sub>  | -                  | 0.18  | 导则推荐   |
| 成人皮肤表面土壤粘附系数      | SSAR <sub>a</sub> | mg/cm <sup>2</sup> | 0.2   | 导则推荐   |
| 每日皮肤接触事件频率        | E <sub>v</sub>    | 次/d                | 1     | 导则推荐   |
| 成人每日摄入土壤量         | OSIR <sub>a</sub> | g/d                | 0.1   | 导则推荐   |
| 成人每日饮用水量          | GWCR <sub>a</sub> | mL/d               | 1000  | 导则推荐   |
| 成人每日空气呼吸量         | DAIR <sub>a</sub> | m <sup>3</sup> /d  | 14.5  | 导则推荐   |
| 气态污染物入侵持续时间       | τ                 | a                  | 25    | 导则推荐   |

| 参数名称              | 符号                               | 单位  | 非敏感用地    | 参数选取依据 |
|-------------------|----------------------------------|-----|----------|--------|
| 室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例 | fspi                             | -   | 0.8      | 导则推荐   |
| 室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例 | fspo                             | -   | 0.5      | 导则推荐   |
| 吸入土壤颗粒物在体内滞留比例    | PIAF                             | -   | 0.75     | 导则推荐   |
| 成人每日摄入叶菜量         | CR <sub>a</sub> <sup>leafy</sup> | g/d | 0        | 导则推荐   |
| 成人每日摄入根菜量         | CR <sub>a</sub> <sup>root</sup>  | g/d | 0        | 导则推荐   |
| 摄入自产叶菜比例          | HF <sub>leafy</sub> <sup>o</sup> | -   | 0        | 导则推荐   |
| 摄入自产根菜比例          | HF <sub>root</sub> <sup>o</sup>  | -   | 0        | 导则推荐   |
| 非致癌效应平均时间         | AT <sub>nc</sub>                 | d   | 9125     | 导则推荐   |
| 致癌效应平均时间          | AT <sub>ca</sub>                 | d   | 27740    | 导则推荐   |
| 可接受致癌风险           | ACR                              | -   | 1.00E-06 | 导则推荐   |
| 可接受危害商            | AHQ                              | -   | 1        | 导则推荐   |

#### 4.3.1.2 土壤性质参数

场地土壤性质参数如表 4.3-2 所示。

表 4.3-2 土壤性质参数一览表

| 参数名称             | 符号                | 单位                | 取值       |
|------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 表层污染土壤层厚度        | d                 | m                 | 0.5      |
| 下层污染土壤层厚度        | d <sub>sub</sub>  | m                 | 1        |
| 下层污染土壤层顶部埋深      | L <sub>s</sub>    | m                 | 1        |
| 污染土壤层厚度          | L <sub>1</sub>    | m                 | 2        |
| 污染土壤层顶部至地下水面的距离  | L <sub>2</sub>    | m                 | 3        |
| 平行于风向的土壤污染源宽度    | W <sub>dw</sub>   | m                 | 20       |
| 平行于地下水流向的土壤污染源宽度 | W <sub>gw</sub>   | m                 | 45       |
| 土壤中水的入渗速率        | I                 | m/a               | 0.3      |
| 包气带孔隙水体积比        | θ <sub>ws</sub>   | -                 | 0.15     |
| 包气带孔隙空气体积比       | θ <sub>as</sub>   | -                 | 0.28     |
| 包气带土壤容重          | ρ <sub>b</sub>    | g/cm <sup>3</sup> | 1.5      |
| 包气带土壤有机碳质量分数     | f <sub>oc</sub>   | -                 | 0.0058   |
| 毛细管层孔隙水体积比       | θ <sub>wcap</sub> | -                 | 0.342    |
| 毛细管层孔隙空气体积比      | θ <sub>acap</sub> | -                 | 0.038    |
| 土壤地下水交界处毛细管层厚度   | h <sub>cap</sub>  | m                 | 0.05     |
| 土壤透性系数           | K <sub>v</sub>    | m <sup>2</sup>    | 1.00E-12 |

#### 4.3.1.3 地下水性质参数

地下水性质参数如表 4.3-3 所示。

表 4.3-3 地下水性质参数一览表

| 参数名称  | 符号              | 单位 | 取值 |
|-------|-----------------|----|----|
| 地下水埋深 | L <sub>gw</sub> | m  | 3  |



| 参数名称           | 符号            | 单位                | 取值   |
|----------------|---------------|-------------------|------|
| 地下水混合区厚度       | $\delta_{gw}$ | m                 | 2    |
| 平行于风向的地下水污染源宽度 | W             | m                 | 45   |
| 含水层水力传导系数      | K             | m/d               | 6.85 |
| 水力梯度           | i             | -                 | 0.01 |
| 含水层土壤容重        | $\rho_b^a$    | g/cm <sup>3</sup> | 1.7  |
| 含水层有机碳质量分数     | $f_{oc}^a$    | -                 | 0.01 |
| 含水层有效孔隙度       | $\theta_e$    | -                 | 0.38 |

#### 4.3.1.4 建筑物特征参数

建筑物特征参数见表 4.3-4。

表 4.3-4 建筑物特征参数一览表

| 参数名称               | 符号                | 单位               | 非敏感用地    |
|--------------------|-------------------|------------------|----------|
| 地基裂隙中水体积比          | $\theta_{wcrack}$ | -                | 0.12     |
| 地基裂隙中空气体积比         | $\theta_{acrack}$ | -                | 0.26     |
| 地基和墙体裂隙表面积所占比例     | $\eta$            | -                | 0.01     |
| 室内空间体积与气态污染物入渗面积之比 | $L_B$             | m                | 3        |
| 室内空气交换率            | ER                | 1/s              | 2.31E-04 |
| 室内室外气压差            | dP                | Pa               | 0        |
| 地面到地板底部厚度          | $Z_{crack}$       | m                | 0.15     |
| 室内地板面积             | $A_b$             | m <sup>2</sup>   | 70       |
| 室内地板周长             | $X_{crack}$       | m                | 34       |
| 室内地基厚度             | $L_{crack}$       | m                | 0.15     |
| 土壤颗粒物载入因子          | DL                | g/m <sup>3</sup> | 1.00E-04 |

#### 4.3.1.5 空气特征参数

场地空气特征参数如表 4.3-5 所示。

表 4.3-5 空气特征参数一览表

| 参数名称         | 符号               | 单位  | 取值         |
|--------------|------------------|---|------------|
| 混合区高度        | $\delta_{air}$   | m   | 2          |
| 混合区大气流速      | $U_{air}$        | m/s   | 2          |
| 空气扩散因子       | Q/C              | g m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> /kg m <sup>-3</sup> | 79.25      |
| 空气中可吸入颗粒物含量  | PM <sub>10</sub> | mg/m <sup>3</sup>                                     | 0.119      |
| 颗粒物释放通量      | $P_e$            | g/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>                      | 6.90E-10   |
| 植被覆盖率        | VC               | -   | 0.5        |
| 7 米高处年平均空气流速 | u                | m/s   | 4.8        |
| 7 米高处年最大空气流速 | $u_t$            | m/s   | 11.32      |
| 风速经验公式       | $F_{(x)}$        | -   | 0.22384147 |

## 4.3.2 暴露量计算

污染场地土壤污染物暴露途径下的污染物暴露量按照下述公式计算。

### 4.3.2.1 经口摄入土壤途径

住宅及公共用地方式下，人体可经口摄入土壤，如食用粘附有土壤的食物等。对于致癌效应，经口摄入土壤暴露量采用公式 4.3-1 计算；对于非致癌效应，经口摄入土壤暴露量采用公式 4.3-2 进行计算：

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

公式 4.3-1

$OISER_{ca}$ —经口摄入土壤暴露量（致癌效应），kg 土壤  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

$OSIR_c$ —儿童每日摄入土壤量， $mg d^{-1}$ ；

$OSIR_a$ —成人每日摄入土壤量， $mg d^{-1}$ ；

$ED_c$ —儿童暴露周期，a；

$ED_a$ —成人暴露周期，a；

$EF_c$ —儿童暴露频率， $d a^{-1}$ ；

$EF_a$ —成人暴露频率， $d a^{-1}$ ；

$BW_c$ —儿童体重，kg；

$BW_a$ —成人体重，kg；

$ABS_o$ —经口摄入吸收效率因子，无量纲；

$AT_{ca}$ —致癌效应平均时间，d。

$$OISER_{nc} = \frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c \times ABS_o}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

公式 4.3-2

$OISER_{nc}$ —经口摄入土壤暴露量（非致癌效应），kg 土壤  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

$AT_{nc}$ —非致癌效应平均时间，d。

### 4.3.2.2 皮肤接触土壤途径

住宅及公共用地方式下，人体可经皮肤直接接触、土壤灰尘附着于皮肤等途径

暴露于土壤污染物。对于致癌效应，皮肤接触土壤暴露量采用公式 4.3-3 计算；对于非致癌效应，皮肤接触土壤暴露量采用公式 4.3-4 进行计算：

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

公式 4.3-3

$DCSER_{ca}$ —皮肤接触途径的土壤暴露量（致癌效应），kg 土壤  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

$SAE_c$ —儿童暴露皮肤表面积， $cm^2$ ；

$SAE_a$ —成人暴露皮肤表面积， $cm^2$ ；

$SSAR_c$ —儿童皮肤表面土壤粘附系数， $mg\ cm^{-2}$ ；

$SSAR_a$ —成人皮肤表面土壤粘附系数， $mg\ cm^{-2}$ ；

$ABS_d$ —皮肤接触吸收效率因子，无量纲；

$E_v$ —每日皮肤接触事件频率，次  $d^{-1}$ 。

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

公式 4.3-4

$DCSER_{nc}$ —皮肤接触的土壤暴露量（非致癌效应），kg 土壤  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

公式 4.3-3 和公式 4.3-4 中  $SAE_c$  和  $SAE_a$  的参数值分别采用公式 4.3-5 和公式 4.3-6 计算。

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

公式 4.3-5

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

公式 4.3-6

$H_c$ —儿童平均身高，cm；

$BW_c$ —儿童体重，kg；

$SER_c$ —儿童暴露皮肤所占体表面积比；

$H_a$ —成人平均身高，cm；

$BW_a$ —成人体重，kg；

$SER_a$ —成人暴露皮肤所占体表面积比。

#### 4.3.2.3 吸入土壤颗粒物途径

住宅及公共用地方式下，人体可经呼吸吸入室内和室外空气中来自土壤的颗粒物而暴露于土壤污染物。对于致癌效应，皮肤接触土壤暴露量采用公式 4.3-7 计算；对于非致癌效应，皮肤接触土壤暴露量采用公式 4.3-8 进行计算：

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_c + f_{spi} \times EFI_c)}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

公式 4.3-7

$PISER_{ca}$ —吸入土壤颗粒物的土壤暴露量（致癌效应），kg 土壤 kg<sup>-1</sup> 体重 d<sup>-1</sup>；

$PM_{10}$ —空气中可吸入浮颗粒物含量，mg m<sup>-3</sup>；

$DAIR_a$ —成人每日空气呼吸量，m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>；

$DAIR_c$ —儿童每日空气呼吸量，m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>；

$PIAF$ —吸入土壤颗粒物在体内滞留比例，无量纲；

$f_{spi}$ —室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例，无量纲；

$f_{spo}$ —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<sup>-1</sup>；

$EFI_c$ —儿童的室内暴露频率，d a<sup>-1</sup>；

$EFO_a$ —成人的室外暴露频率，d a<sup>-1</sup>；

$EFO_c$ —儿童的室外暴露频率，d a<sup>-1</sup>。

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_c + f_{spi} \times EFI_c)}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

公式 4.3-8

$PISER_{nc}$ —吸入土壤颗粒物的土壤暴露量(非致癌效应),kg 土壤 kg<sup>-1</sup> 体重 d<sup>-1</sup>；

$AT_{nc}$ —非致癌效应的平均时间，d。

#### 4.3.2.4 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径

对于致癌效应，吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径暴露量采用公式 4.3-9 计算；对于非致癌效应，吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径暴露量采用公式 4.3-10 进行计算。

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

公式 4.3-9

$IOVER_{cal}$ —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），kg 土壤 kg<sup>-1</sup> 体重 d<sup>-1</sup>；

$VF_{suroa}$ —表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子，kg m<sup>-3</sup>。

$$IOVER_{nc1} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}}$$

公式 4.3-10

$IOVER_{nc1}$ —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），kg 土壤 kg<sup>-1</sup> 体重 d<sup>-1</sup>。

#### 4.4 不同暴露途径的贡献率

根据该场地实际状况及未来土地利用类型，结合场地中目标污染物类型及其理化性质，确定该场地土壤中不同污染物对应的主要暴露途径包括以下几种：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入室内土壤颗粒物、吸入室外土壤颗粒物、吸入表层土壤室外蒸气这 5 种暴露途径。根据风险评估所考虑的污染物及暴露途径的种类，评估单一污染物、单一暴露途径对总风险的贡献率，可筛选出风险贡献率大的污染物及暴露途径，为后期场地土壤的风险管理对策制定提供参考和依据。

各种污染物不同暴露途径贡献率如

表 4.4-1 所示。

表 4.4-1 土壤致癌风险/非致癌风险贡献率（单位：%）

| 暴露途径       | 致癌风险  |        | 非致癌风险 |        |
|------------|-------|--------|-------|--------|
|            | 六氯苯   | 苯并[a]芘 | 六氯苯   | 苯并[a]芘 |
| 经口摄入土壤     | 54.87 | 55.52  | 62.32 | 17.84  |
| 皮肤接触土壤     | 33.17 | 43.63  | 37.68 | 14.02  |
| 吸入室内土壤颗粒物  | 0.37  | 0.77   | -     | 62.01  |
| 吸入室外土壤颗粒物  | 0     | 0      | -     | 0      |
| 吸入表层土壤室外蒸气 | 11.59 | 0.08   | -     | 6.13   |

## 5 毒性评估

毒性评估是在危害识别的基础上，分析关注污染物对人体健康的危害效应，包括致癌效应和非致癌效应，确定与关注污染物相关的参数，包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和呼吸吸入单位致癌因子等。本次评估涉及到的污染指标毒性参数见表 5-1。本次毒性评估过程，关注污染物毒性参数优先选用《污染场地风险评估技术导则》（HJ25.3-2014）中附录 A 中相应污染物的毒性参数及《场地环境调查技术导则》（HJ25.1-2014）等 5 项国家环境保护标准修改单（征求意见稿）中相应修改内容，如该导则缺少，则参考 2018 年 5 月美国环保局发布的区域筛选值中相应的毒性参数。

表 4.4-1 污染物毒性参数列表

| 参数           | 符号                | 单位                     | 六氯苯      | 苯并(a)芘   |
|--------------|-------------------|------------------------|----------|----------|
| CAS 编号       | N                 | -                      | 118-74-1 | 50-32-8  |
| 类型           | T                 | -                      | 有机       | 有机       |
| 分子量          | MW                | g/mol                  | 2.85E+02 | 2.52E+02 |
| 水中溶解度        | S                 | mg/L                   | 6.20E-03 | 1.62E-03 |
| 蒸汽压          | Pv                | mmHg                   | 1.23E-05 | 4.89E-09 |
| 亨利常数         | H                 | -                      | 6.95E-02 | 1.87E-05 |
| 经口摄入致癌斜率因子   | SF <sub>o</sub>   | 1/(mg/kg/d)            | 1.60E+00 | 1.00E+00 |
| 呼吸吸入单位致癌风险   | IUR               | 1/(mg/m <sup>3</sup> ) | 4.60E-01 | 6.00E-01 |
| 经口摄入参考剂量     | RfD <sub>o</sub>  | mg/kg/d                | 8.00E-04 | 3.00E-04 |
| 呼吸吸入参考浓度     | RfC               | mg/m <sup>3</sup>      | -        | 2.00E-06 |
| 参考剂量分配比例     | RAF               | -                      | 2.00E-01 | 2.00E-01 |
| 消化道吸收因子      | ABS <sub>gi</sub> | -                      | 1.00E+00 | 1.00E+00 |
| 皮肤吸收效率因子     | ABS <sub>d</sub>  | -                      | 1.00E-01 | 1.30E-01 |
| 空气中扩散系数      | D <sub>air</sub>  | m <sup>2</sup> /s      | 2.90E-06 | 4.76E-06 |
| 水中扩散系数       | D <sub>wat</sub>  | m <sup>2</sup> /s      | 7.85E-10 | 5.56E-10 |
| 水体最大浓度限值     | MCL               | mg/L                   | 1.00E-03 | 1.00E-05 |
| 土壤有机碳-水分配系数  | K <sub>oc</sub>   | cm <sup>3</sup> /g     | 6.20E+03 | 5.87E+05 |
| 土壤-水分配系数     | K <sub>d</sub>    | cm <sup>3</sup> /g     | -        | -        |
| 辛醇-水分配系数     | K <sub>ow</sub>   | -                      | 7.24E+05 | 1.29E+06 |
| 半衰期（一阶衰减）    | HL                | 饱水带 d                  | 4.18E+03 | 1.06E+03 |
|              |                   | 包气带 d                  | 4.18E+03 | 1.06E+03 |
| 衰减常数（计算值）    | λ                 | 饱水带 1/d                | 1.66E-04 | 6.54E-04 |
|              |                   | 包气带 1/d                | 1.66E-04 | 6.54E-04 |
| 土壤-植物可利用校正因子 | δ                 | -                      | -        | -        |
| 传输因子         | TF                | g/g                    | 5.00E-01 | 5.00E-01 |
| EPA 毒性分级     | -                 | -                      | B2       | B2       |

## 6 风险表征

### 6.1 风险计算过程

按照《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2014)的要求针对污染物暴露途径进行了风险表征。风险表征过程中提出的风险控制值这一概念是基于可接受致癌风险为  $10^{-6}$  及危害商为 1 的基础,到达风险控制值的场地基本能满足土地使用要求,不会对范围内的人体健康和动植物造成危害。

#### 6.1.1 致癌风险

计算土壤污染物经各种暴露途径的致癌风险值,在此基础上,利用导则推荐公式计算得出该场地污染物作为敏感用地类型开发时的综合致癌风险值。

##### 6.1.1.1 经口摄入土壤途径的致癌风险

基于经口摄入土壤途径致癌效应的土壤风险,采用公式 6.1-1 计算:

$$CR_{ois} = OISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_o$$

公式 6.1-1

$CR_{ois}$ —经口摄入土壤途径的致癌风险,无量纲;

$C_{sur}$ —表层土壤中污染物浓度,  $mg\ kg^{-1}$ 。

##### 6.1.1.2 经皮肤接触土壤途径的致癌风险

基于经皮肤接触土壤途径致癌效应的土壤风险,采用公式 6.1-2 计算:

$$CR_{dcs} = DCSE_{ca} \times C_{sur} \times SF_d$$

公式 6.1-2

$CR_{dcs}$ —经皮肤接触土壤途径的致癌风险,无量纲。

##### 6.1.1.3 吸入土壤颗粒物途径的致癌风险

基于吸入土壤颗粒物途径致癌效应的土壤风险,采用公式 6.1-3 计算:

$$CR_{pis} = PISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_i$$

公式 6.1-3

$CR_{pis}$ —吸入土壤颗粒物途径的致癌风险，无量纲。

#### 6.1.1.4 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的致癌风险

吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的致癌风险，采用公式 6.1-4 计算：

$$CR_{ivo1} = IOVER_{cal} \times C_{sur} \times SF_i$$

公式 6.1-4

$CR_{ivo1}$ —吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的致癌风险，无量纲。

6.1.1.5 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 6.1-5 计算：

$$CR_{ivo2} = IOVER_{ca2} \times C_{sur} \times SF_i$$

公式 6.1-5

$CR_{ivo2}$ —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，无量纲。

## 6.1.2 非致癌风险

### 6.1.2.1 经口摄入土壤途径的非致癌风险

基于经口摄入土壤途径非致癌效应的危害商，采用公式 6.1-6 计算：

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_0 \times SAF}$$

公式 6.1-6

$HQ_{ois}$ —经口摄入土壤途径非致癌效应的危害商，无量纲；

$RfD_0$ —经口摄入参考剂量，mg 污染物  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

$SAF$ —暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲；

$OISER_{nc}$ —表层土壤中污染物浓度，mg  $kg^{-1}$ ；

$C_{sur}$ —经口摄入土壤暴露量（非致癌效应），kg 土壤  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ 。



### 6.1.2.2 皮肤接触土壤途径的非致癌风险

基于皮肤接触土壤途径非致癌效应的危害商，采用公式 6.1-7 计算：

$$HQ_{dcs} = \frac{DCSER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d \times SAF}$$

公式 6.1-7

$HQ_{ois}$ —皮肤接触土壤途径非致癌效应的危害商，无量纲；

$RfD_d$ —皮肤接触参考剂量，mg 污染物  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ 。

### 6.1.2.3 吸入土壤颗粒物途径的非致癌风险

基于吸入土壤颗粒物途径非致癌效应的危害商，采用公式 6.1-8 计算：

$$HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF}$$

公式 6.1-8

$HQ_{ois}$ —基于吸入颗粒物途径非致癌效应的危害商，无量纲；

$RfD_i$ —呼吸吸入参考剂量，mg 污染物  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ 。

### 6.1.2.4 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的非致癌风险

基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的非致癌风险，采用公式 6.1-9 计算：

$$HQ_{iov1} = \frac{IOVER_{nc1} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF}$$

公式 6.1-9

$HQ_{iov1}$ —吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的非致癌风险，无量纲。

## 6.2 风险计算结果

在计算场地风险水平时，用关注污染物浓度的最大值作为暴露点浓度，计算对应的风险水平。风险评估结果见表 6.3-1。

表 6.2-1 场地土壤风险评估计算结果

| 编号 | 污染物 | 致癌风险     | 非致癌风险    |
|----|-----|----------|----------|
| 1  | 六氯苯 | 5.67E-06 | 5.92E-02 |

| 编号 | 污染物    | 致癌风险            | 非致癌风险    |
|----|--------|-----------------|----------|
| 2  | 苯并(a)芘 | <b>1.21E-06</b> | 1.92E-01 |

表层土壤中六氯苯和苯并[a]芘的风险评估结果均超过了致癌风险可接受值 $10^{-6}$ ，未超过非致癌危害商 1。

地块内土壤中六氯苯和苯并[a]芘的非致癌风险均可接受，但致癌风险均不可接受。因此本地块表层需要进行修复。

仅供文件公示使用

## 7 不确定性分析

受基础科学发展水平、时间及资料等限制，本项目的风险评价可能存在以下不确定性：

### (1) 暴露途径的不确定性

在风险评价过程中，不同国家或研究机构之间暴露途径选择不尽相同，有时候差异还比较大。一方面是地区实际情况的差异，另一方面也是各国风险评价方法理论框架带来的差异。本地块主要遵从场地风险评价技术导则。另外，考虑场地实际情况，在评价过程中，不考虑食用种食物带来的风险。

### (2) 参数的不确定性

本项目尽量采用实测数据（如场地参数）和国内官方认可的参数，但由于我国相关基础研究十分匮乏（如对暴露参数和建筑物参数的估计），因此仍有某些参数采用的是国外数据，难免会造成参数估计不能完全反映我国的实际情况。另外，由于部分毒性效应和污染物毒性参数的缺失，无法开展定量风险评估工作，这可能导致结果的偏差。本次风险评价采用了场地调查中的相关水文地质参数，和区域地质经验相结合的方式，确定了场地概念模型的相关参数。这些依靠区域地质经验估计的参数可能会影响场地风险和修复目标值的计算。

(3) 敏感性参数是对目标结果（风险计算结果或土壤修复目标值）影响较大的参数，包括人群相关参数（体重、暴露周期、暴露频率等）、与暴露途径相关的参数（每日摄入土壤量、暴露皮肤表面积、皮肤表面土壤粘附系数、每日吸入空气体积、总悬浮颗粒物含量、室内地基厚度、室内空间体积与蒸气入渗面积比等）。采用敏感性比例表征模型参数敏感性，即参数取值变动对模型计算结果的影响程度。参数的敏感性比例越大，表示目标变化程度越大，该参数对目标计算的影响也越大。制定污染风险管理对策时，应该关注对风险和修复目标值影响较大的敏感性参数。

## 8 风险评估结论

地块内表层土壤中六氯苯和苯并[a]芘的风险评估结果均超过了致癌风险可接受值  $10^{-6}$  未超过非致癌危害商 1。

地块内土壤中六氯苯和苯并[a]芘的非致癌风险均可接受，但致癌风险均不可接受。因此本地块表层需要进行修复。

仅供文件公示使用

## 9 治理与修复建议

### 9.1 修复目标值确定

根据风险评估结果，本地块土壤中需进行修复的关注污染物为六氯苯、苯并[a]芘。考虑到国家筛选值在确定过程中已经充分考虑了相关风险因素，并充分考虑我国国情，因此为防止过度修复，本地块选择较为保守的国家筛选值作为修复目标值。

### 9.2 修复范围及工程量

#### 9.2.1 修复范围确定原则

1、根据地块土地规划用途类型划分修复范围，F16 地块规划为商业服务设施用地，按照非敏感用地修复标准进行修复范围的划分。

2、深度划定原则：根据本场地土层特征，在本地块具有风险的土层范围仅为填土层，填土层最大深度为 3m。

3、修复范围划定原则：根据场地内调查的清洁点，确定污染修复范围。

#### 9.2.2 修复范围

根据上述土壤修复范围确定原则，以及初步调查和详细调查综合分析结果，由于场地内苯并[a]芘和六氯苯污染超标点位均为 F16-2 点位，且周边布设的详调点位浓度均未超过对应筛选值，因此同步划定六氯苯和苯并[a]芘的修复范围。

本报告认为未超标的点位即为清洁点，以此划定六氯苯和苯并[a]芘的修复范围。另，由于范围内存在已建道路（A、B 边界点东侧为已建道路），因此结合实际情况进行手动调整，得到本地块修复范围，修复面积为 500m<sup>2</sup>，修复深度 3m，修复土方量为 1500m<sup>3</sup>。

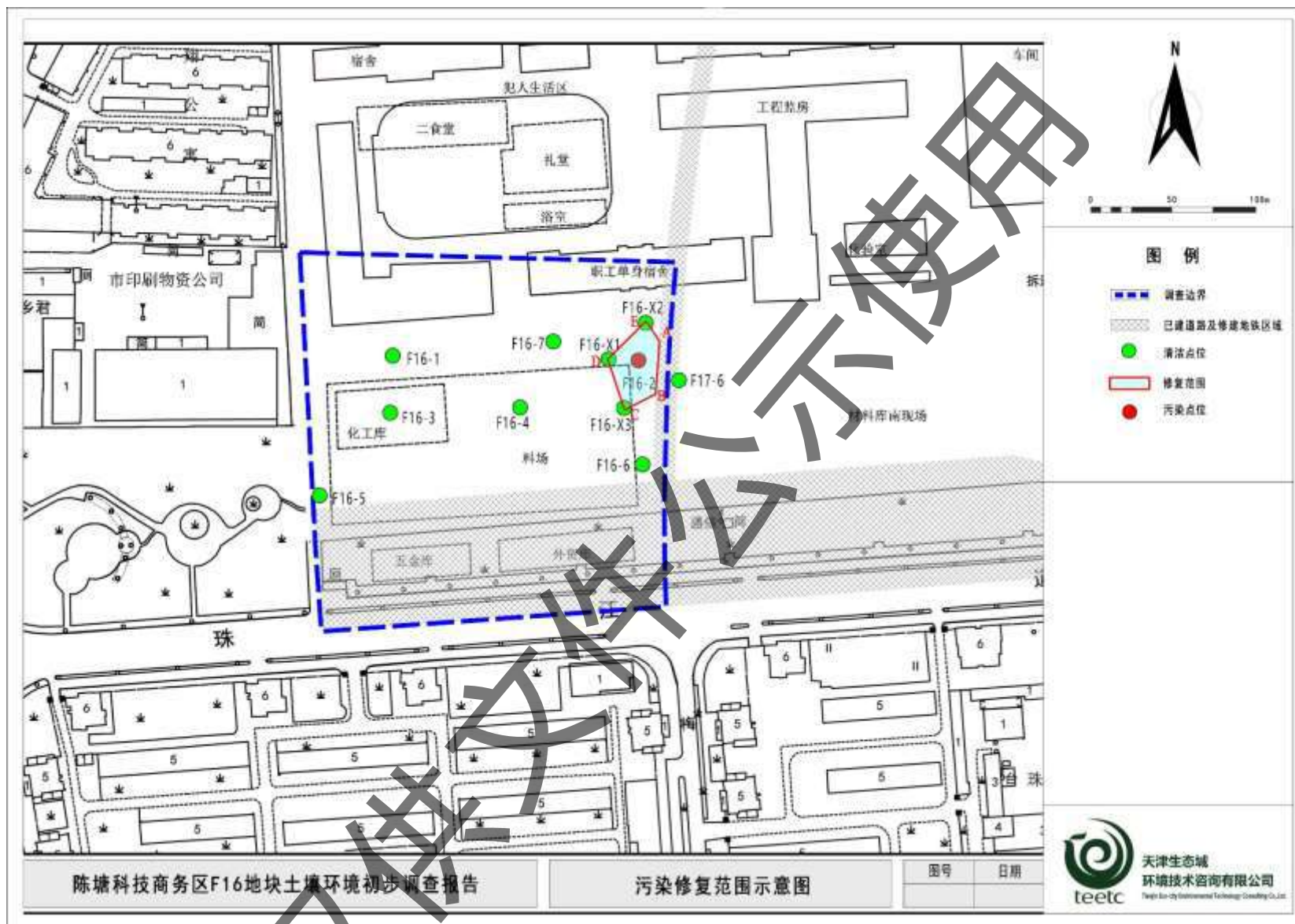


图 9.2-1 污染修复范围示意图

### 9.3 修复技术建议

本地块污染物六氯苯为半挥发性有机物，适合的修复技术主要包括（但不限于）以下 4 种。

#### 1、异位化学氧化/还原技术

适用于污染土壤。其中，化学氧化可处理石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物；化学还原可处理重金属类（如六价铬）和氯代有机物等。

#### 2、异位热脱附技术

适用于污染土壤。可处理挥发及半挥发性有机污染物（如石油烃、农药、多氯联苯）和汞。

#### 3、异位土壤洗脱技术

适用于污染土壤。可处理重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物。

4、原位化学氧化/还原技术适用于污染土壤和地下水。其中，化学氧化可处理石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物；化学还原可处理重金属类（如六价铬）和氯代有机物等。

综上所述，本地块内主要污染物为六氯苯、苯并[a]芘两种 SVOCs，综合来看本项目修复土方量较小，若本项目场地急于使用，建议将污染土壤挖出采用上述异位处理方式。

# 10 结论及建议

## 10.1 评估结论

地块内表层土壤中六氯苯和苯并[a]芘的风险评估结果均超过了致癌风险可接受值  $10^{-6}$  未超过非致癌危害商 1。地块内土壤中六氯苯和苯并[a]芘的非致癌风险均可接受，但致癌风险均不可接受。因此本地块表层需要进行修复。

为防止过度修复，本地块选择《土壤环境质量 建设用地土壤风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第二类用地筛选值作为修复目标值。本地块建议修复范围  $500\text{m}^2$ ，修复深度 3m，修复土方量为  $1500\text{m}^3$ 。

## 10.2 建议

1、尽快对污染区域进行治理和修复。治理和修复前应做好风险管控，应采取必要的污染隔离措施。在修复达标前，应避免人员和附近居民进入场地逗留，以免造成人员暴露在区域污染环境。

2、在场地修复达到土壤关注污染物建议目标前，地块内应尽量避免开发建设活动。

3、本报告是基于有限的资料、数据、工作范围、时间周期、项目预算及目前可以获得的调查事实而做出的专业判断。本报告中的修复建议只能作为指导性说明使用而不适合作为直接的行动方案。