

# 北辛安棚户区改造项目 699地块土壤污染风险评估报告

土地使用权人：北京安泰兴业置业有限公司

编制单位：北京市科学技术研究院资源环境研究所



2021年12月4日 北京

# 北辛安棚户区改造项目 699地块土壤污染风险评估报告

土地使用权人：北京安泰兴业置业有限公司

编制单位：北京市科学技术研究院资源环境研究所

项目负责：王硕

参加人员：李佳斌 冷文鹏 郭鹏 王佳佳 代小丽 智丽琴 白冰

乔鹏炜 魏燕 罗楠

审核：魏文侠

# 《北辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染风险评估报告》专家评审意见

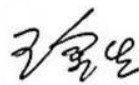
2021 年 12 月 1 日，北京市污染源管理事务中心组织召开了《北辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染风险评估报告》(以下简称“报告”)专家评审会。北京市生态环境局、石景山区生态环境局、北京安泰兴业置业有限公司(委托单位)的代表参加了会议。会议邀请了三名专家组成专家组(名单附后)。与会专家审阅了报告，听取了报告编制单位北京市科学技术研究院资源环境研究所的汇报，经质询和讨论，形成如下评审意见：

一、编制单位按照国家及北京市相关标准开展了风险评估工作，内容较全面，数据详实，评估方法得当，结论可信。报告修改完善经专家组确认后可作为下一步环境管理的依据。

## 二、建议：

- 1.补充完善污染成因分析；
- 2.补充完善区域水文地质条件与地块污染物关系。

专家组长：



2021 年 12 月 1 日

专家名单表

姓名	单位	职称	签字
王金生	北京师范大学	教授	王金生
马杰	中国石油大学(北京)	教授	马杰
钟茂生	北京市生态环境保护科学研究院	副研究员	钟茂生

# 《北辛安棚户区改造项目 699 地块 土壤污染风险评估报告》修改说明

2021 年 12 月 1 日，北京市污染源管理事务中心组织召开了《北辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染风险评估报告》（以下简称“报告”）专家评审会。北京市生态环境局、石景山区生态环境局、北京安泰兴业置业有限公司（委托单位）的代表参加了会议。会议邀请三位专家组成专家组，对报告进行了评审。根据专家提出的意见，北京市科学技术研究院资源环境研究所（报告编制单位）对报告进行了深入分析，并逐一修改，具体如下：

## **1. 补充完善污染成因分析；**

详见报告 27 页，分析 699 地块污染成因主要源于北侧 695 地块，补充“污染成因分析”章节。

## **2. 补充完善区域水文地质条件与地块污染物关系；**

详见报告 27 页至 28 页，补充“地下水迁移影响分析”章节，完善 699 地块水文地质条件，地下水上下游污染状况调查资料，排除污染物通过地下水迁移至本地块的可能性。

## **3. 其他修改**

1) 详见报告 18 页，修改“地层剖面图”图例；

2) 详见报告 31 页、32 页，修改“暴露情景下的敏感受体”，主要考虑地块内未来活动的人群（成人和儿童）；

3) 详见报告 69 页，修改“结论”中不确定性因素；

4) 详见报告全文，进行了格式的修改，梳理并完善了报告文字、结论、建议等内容。

# 目 录

1 概述.....	1
1.1 项目概况.....	1
1.2 评价范围.....	2
1.3 编制目的.....	4
1.4 工作依据.....	4
1.4.1 法律、法规、政策.....	4
1.4.2 导则、规范、标准.....	5
1.4.3 其他文件.....	5
1.5 基本原则.....	5
1.6 技术路线.....	6
2 地块概念模型.....	9
2.1 地块概况.....	9
2.2 区域水文地质条件.....	9
2.2.1 地形地貌.....	9
2.2.2 地质构造.....	10
2.2.3 地层结构.....	11
2.2.4 地下水分布.....	12
2.3 地块利用现状.....	15
2.4 地块土地利用历史.....	16
2.5 地块用地规划.....	16
2.6 地块地层结构.....	16
2.7 污染状况回顾.....	19
2.8 地块概念模型.....	19
2.8.1 地块北边界 695 地块污染延伸情况.....	19
2.8.2 土壤污染分布成因分析.....	27
2.8.3 地块污染概念模型.....	28
3 危害识别.....	29
3.1 关注污染物筛选.....	29
3.2 暴露浓度确定.....	29
4 暴露评估.....	31
4.1 暴露情景分析（敏感人群）.....	31
4.2 暴露途径.....	31
4.3 暴露评估模型.....	32
4.4 模型参数取值.....	38
5 毒性评估.....	41
5.1 污染物毒性特征.....	41
5.2 毒性参数取值.....	42

6 风险表征.....	45
6.1 表征模型.....	45
6.1.1 土壤中单一污染物致癌风险.....	45
6.1.2 土壤中单一污染物危害商.....	47
6.1.3 人体可接受风险水平.....	50
6.2 计算软件.....	50
6.3 计算结果.....	55
6.3.1 计算参数选定.....	55
6.3.2 计算结果.....	55
6.4 关键暴露途径.....	57
6.5 敏感性分析.....	59
6.6 风险评估不确定性分析.....	62
6.7 风险控制值.....	62
6.7.1 风险控制值计算步骤与方法.....	62
6.7.2 土壤风险控制值计算结果.....	63
7 修复目标值.....	64
7.1 基于导则的修复目标值计算.....	64
7.1.1 计算方法与步骤.....	64
7.1.2 目标风险水平确定.....	64
7.1.3 地块修复污染物确定.....	64
7.2 修复目标值的确定.....	64
8 修复范围.....	66
9 结论与建议.....	69
9.1 结论.....	69
9.2 不确定因素.....	69
9.3 建议.....	70
10 附件.....	71

# 1 概述

## 1.1 项目概况

北辛安棚户区改造项目位于石景山区北辛安社区，东至首钢集团特殊钢公司用地，南至石景山路，西至北辛安路，北至阜石路，整个棚户区改造项目占地约 140.9 公顷，规划建设南北两个商务区，中间布置商品房和安置房，主要对区域内房屋、企业等实施征地拆迁，建设道路工程、给排水工程、电力工程、燃气工程、热力工程、通信工程以及场地平整等。

按照《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年 1 月 1 日实施）、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环保部令第 42 号）、环境保护部《关于加强企业关停、搬迁及原址地再开发利用过程中污染防治工作的通知》（环发〔2014〕66 号）、中华人民共和国环境保护部 2014 年第 78 号公告《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》等的要求，根据北京市环保局《北京市环境保护局关于石景山区北辛安棚户区改造项目环保意见函》，对项目中涉及到的污染企业组织开展地块调查评估。

2015 年 6 月，北京安泰兴业置业有限公司委托北京市科学技术研究院资源环境研究所（原轻工业环境保护研究所）进行“北辛安棚户区改造项目”中涉及相关工业的场地进行地块环境评价工作。2016 年 7 月，《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》获得原北京市环境保护局的批复，批复文号为京环[2016]344 号。批复中要求：“评价范围内构筑物拆除后，要对构筑物占地范围及本报告范围外的疑似污染区域进行补充采样调查，若发现问题应及时向我局报告。”按照北京市环保局的要求，开展原厂区评价范围外的疑似污染区域的补充调查工作。

2017 年 10 月，应业主要求，将《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》（2016 年）中目标地块及其周边疑似污染的棚户区域划分为 17 个地块，699 地块为其中之一。699 地块占地面积约 5767.49 平方米，其中西侧占用原明塑包装制品厂部分办公用地约 582.323 平方米；中部及东侧占用原北辛安棚户区约 5185.167 平方米。地块四至：东至古城西街，南至 701 地块，西至 697 地块，北至 695 地块。

2021 年 4 月，北京市科学技术研究院资源环境研究所按照导则相关要求，开展了北辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染状况调查工作。2021 年 9 月，《北



辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染状况调查报告》通过专家评审会，于北京市石景山区生态环境保护局备案。

2021 年 11 月，北京市科学技术研究院资源环境研究所按照《建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则》（DB11/T656-2019）、《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）要求，对检测数据进行认真分析，结合该地块相关资料进行研究，在此基础上对该地块进行风险评估计算，编制完成《北辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染风险评估报告》，呈报北京市环境保护主管部门审查。

## 1.2 评价范围

699 地块占地面积约 5767.49 平方米，其中西侧占用明塑包装制品厂部分办公用地，约 582.323 平方米；中部及东侧占用原北辛安棚户区，约 5185.167 平方米。

699 地块边界拐点坐标和地块范围内主要功能区信息见表 1.2-1 和表 1.2-2。

699 地块调查范围详见图 1.2-1。

表 1.2-1 699 地块边界红线拐点坐标信息

界址点号	纵坐标 (X)	横坐标 (Y)
699-1	484464.980	305113.439
699-2	484464.980	305176.386
699-3	484553.218	305176.386
699-4	484557.344	305159.883
699-5	484557.344	305118.439
699-6	484552.344	305113.439

备注：北京市地方独立坐标系。

表 1.2-2 699 地块调查范围内主要功能区信息

调查区域内主要地块	占地面积 (平方米)	主要原料	备注
明塑包装制品厂办公区	约 582.323	/	主要占用原明塑包装制品厂东侧边界区域部分办公用房用地
棚户区	约 5185.167	/	餐饮、住宿等



图 1.2-1 699 地块调查范围平面示意图

### 1.3 评价目的

为避免地块内残留的污染物可能对未来地块内及周边人员身体健康和环境安全造成影响，判断是否需要针对污染物进行后续的治理工作，展开本次风险评价工作。主要目的为：

（1）通过风险评价方法计算场地土壤风险，计算土壤中关注污染物的风险控制值；

（2）结合相关标准建议修复目标，据此估算修复或风险管控范围及体积；

（3）结合目前资料汇总和水文地质调查结果，根据未来地块开发用途，给出初步的修复或风险管控对策建议。

### 1.4 工作依据

#### 1.4.1 法律、法规、政策

➤ 《中华人民共和国环境保护法》（主席令[2015]9号，2015年1月1日起实施）；

➤ 《中华人民共和国土地管理法》（2020年1月1日起实施）；

➤ 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019年1月1日实施）；

➤ 《建设项目环境保护管理条例》（2017年7月16日修订国务院令253号）；

➤ 《关于开展保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环境保护部等四部委，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》（环境保护部，环发〔2014〕66号）；

➤ 《关于加强土壤污染防治工作的意见》（环发[2008]48号，2008年6月6日起实施）；

➤ 《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环境保护部、工业和信息化部、国土资源部、住房和城乡建设部环发[2012]140号，2012年11月27日起实施）；

➤ 《国务院关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通知》（国办发[2013]7号，2013年1月23日起实施）；

➤ 《土壤污染防治行动计划》（国发[2016]31号，2016年5月28日起实

施)。

#### 1.4.2 导则、规范、标准

- 《建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则》(DB11/T656-2019);
- 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019);
- 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019);
- 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019);
- 《建设用地土壤修复技术导则》(HJ25.4-2019);
- 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》(环保部 2017 年第 72 号附件);
- 《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ682-2019);
- 《土壤环境质量 建设用地 土壤污染风险管控标准 (试行)》(GB36600-2018)。

#### 1.4.3 其他文件

- 《北辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染状况调查报告》(2021 年 10 月),北京市科学技术研究院资源环境研究所;
- 《首钢园区东南区先行启动地块场地环境调查与风险评估报告》(2018 年 5 月),北京市环境保护科学研究院;
- 《新首钢高端产业综合服务区(首钢石景山主厂区)场地环境调查与风险评价报告》(2015 年 9 月)。

### 1.5 基本原则

本次风险评估工作遵循以下原则:

#### (1) 规范性原则

在评估的技术细节中借鉴先进国家与地区的经验,以科学的观点分析和论述地块中可能存在的相关问题,确保地块风险评价结果的规范性、有效性。

#### (2) 针对性原则

评估过程中所涉及地块的参数均来自于该地块本身或选取最为接近的参数值。风险评估将最大限度接近地块实际污染情况所产生的风险,建立基于特定地块的风险评估体系,保证风险评价结果的针对性,评估结果只适用于此地块。

#### (3) 技术可行性原则

结合地块用地规划,根据地块用途对地块进行环境风险评价,确保地块风险

评价结果符合地块环境管理及土地利用规划风险控制要求，保证地块评价结果的技术可行性。

## 1.6 技术路线

本次地块699风险评估工作技术路线主要参考北京市地方标准《建设用土壤污染状况调查与风险评估技术导则》(DB11/T656-2019)，同时结合国家标准《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)。通过整理分析目标地块前期资料，结合用地规划及污染状况调查工作成果，以评估地块土壤环境中污染物对人体的健康风险为主，提出风险管控目标/修复目标值，并确定其相应的范围。本次污染地块风险评估程序及主要工作内容包括：

(1) **概念模型细化：**根据地块前期污染状况调查资料，结合地块未来再开发用地规划及建设方案进一步细化概念模型。

(2) **危害识别：**收集环境调查阶段获得的相关资料和数据，识别地块内土壤和地下水中关注污染物及其浓度分布，明确场地未来规划土地利用方式，分析潜在的敏感受体，如儿童、成人等，确定污染物暴露点的浓度；

(3) **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，确定场地土壤污染物的主要暴露途径和暴露评估模型，计算暴露量；

(4) **毒性评估：**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，确定关注污染物毒性参数，即浓度水平与受体健康的反应关系；

(5) **风险表征：**采用风险评估模型计算土壤中单一污染物经单一途径的致癌风险和危害商，计算单一污染物的总致癌风险和危害指数，进行不确定性分析；

(6) **土壤和地下水风险控制值的计算：**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超过可接受水平，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；根据最终计算结果，提出关注污染物的土壤和地下水风险控制值。

(7) **风险管控目标/修复目标值，并确定其相应的范围。**

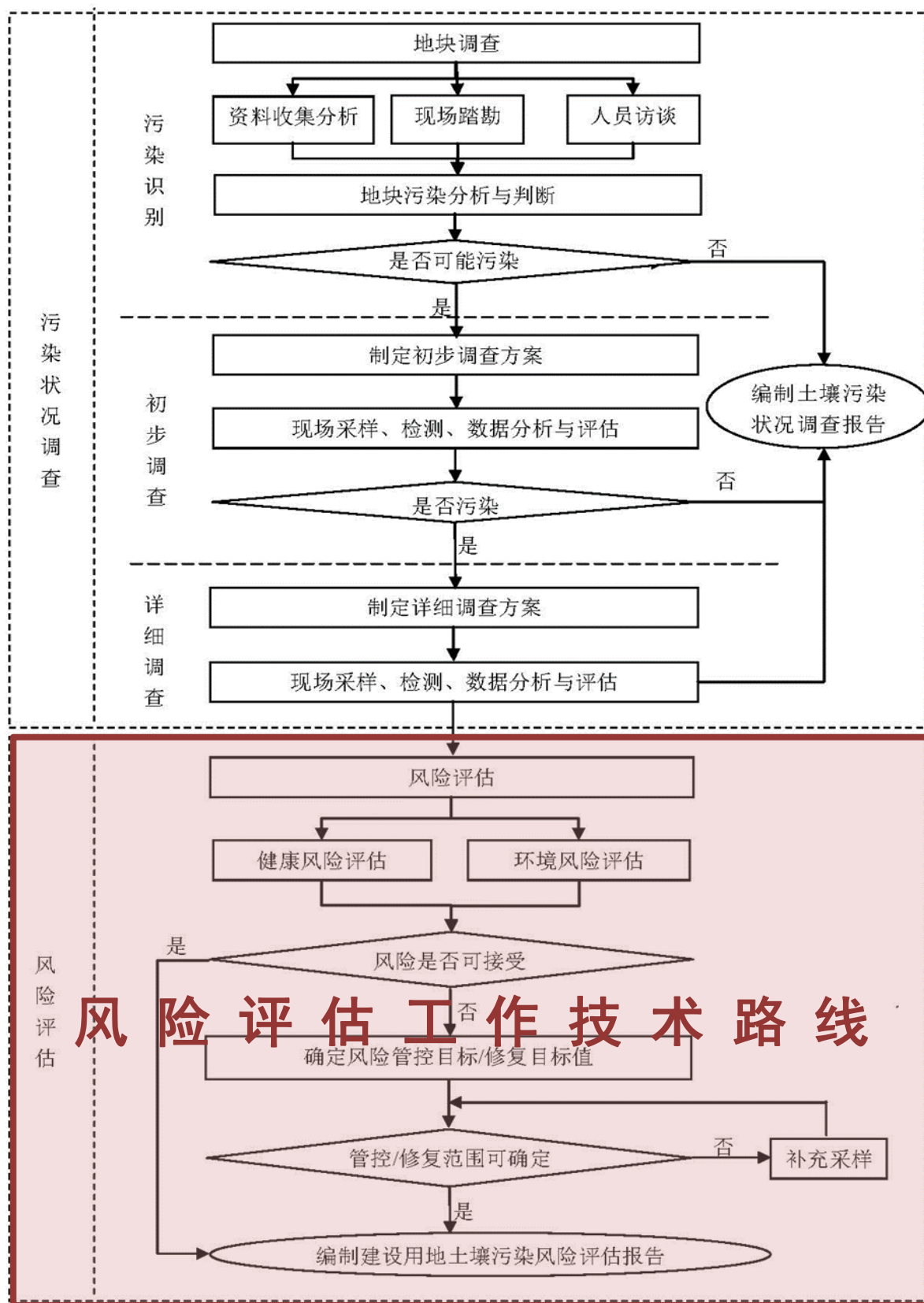


图1.6-1 污染地块风险评估程序与内容（北京地方标准DB11/656-2019）



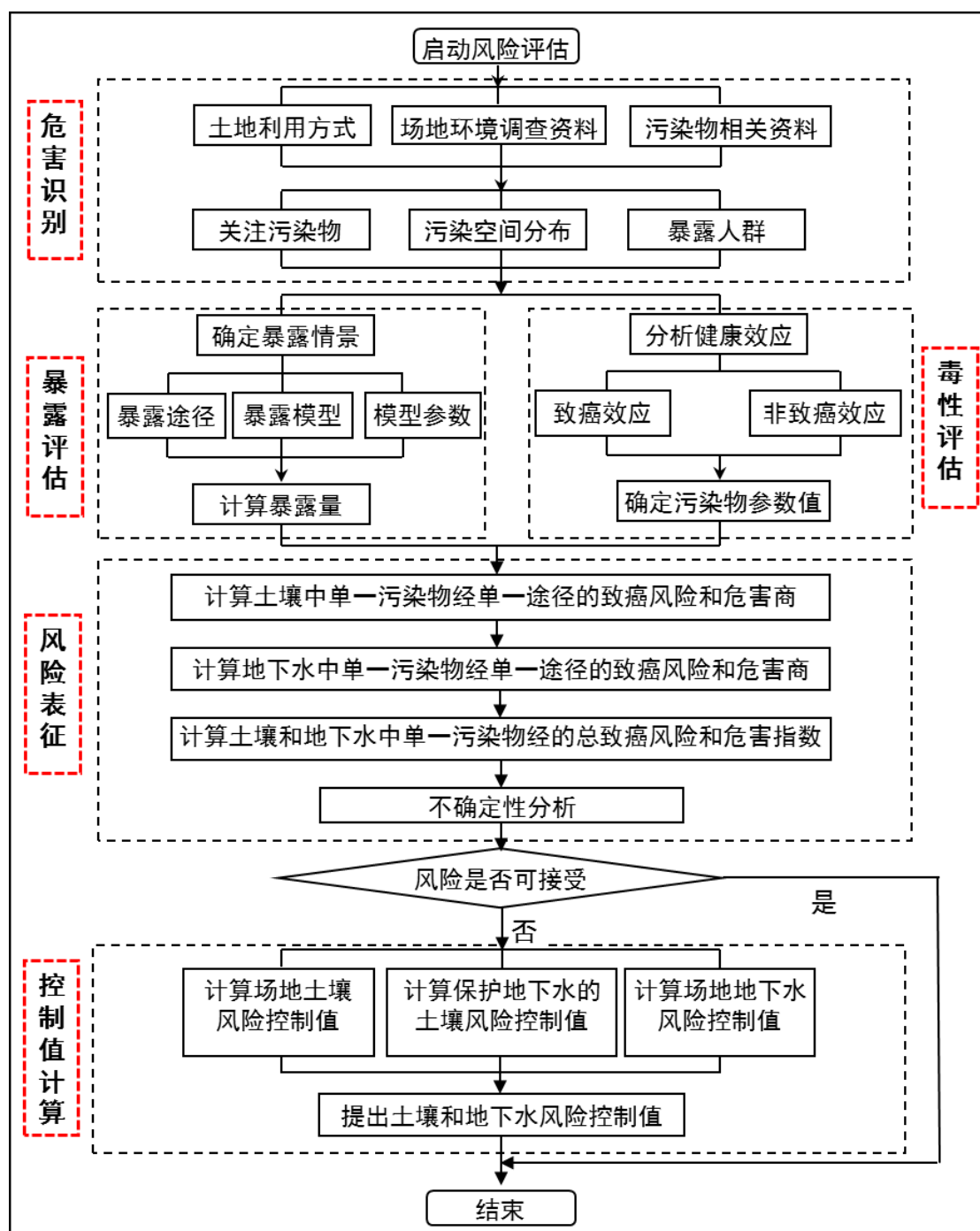


图1.6-2 污染地块风险评估程序与内容（国家标准HJ25.3-2019）

## 2 地块概念模型

建立合理的地块污染概念模型对于有效指导后期污染地块风险评估乃至修复至关重要。地块污染概念模型的建立主要基于在地块调查过程中收集的各种信息，综合考虑地块的水文地质情况、地块用地历史及后期规划、污染状况、地层结构分布等信息，以明确地块污染现状、污染物空间分布特征，并进一步分析可能存在的敏感受体、污染物暴露途径以及潜在危害风险。

### 2.1 地块概况

699 地块位于北辛安社区，调查范围中心点位置是  $39.91240^{\circ}\text{N}$ ,  $116.169893^{\circ}\text{E}$ 。699 地块总占地面积约 5767.49 平方米，地块四至：东至古城西街，南至 701 地块，西至 697 地块，北至 695 地块。该地块具体位置见图 2.1-1 所示。

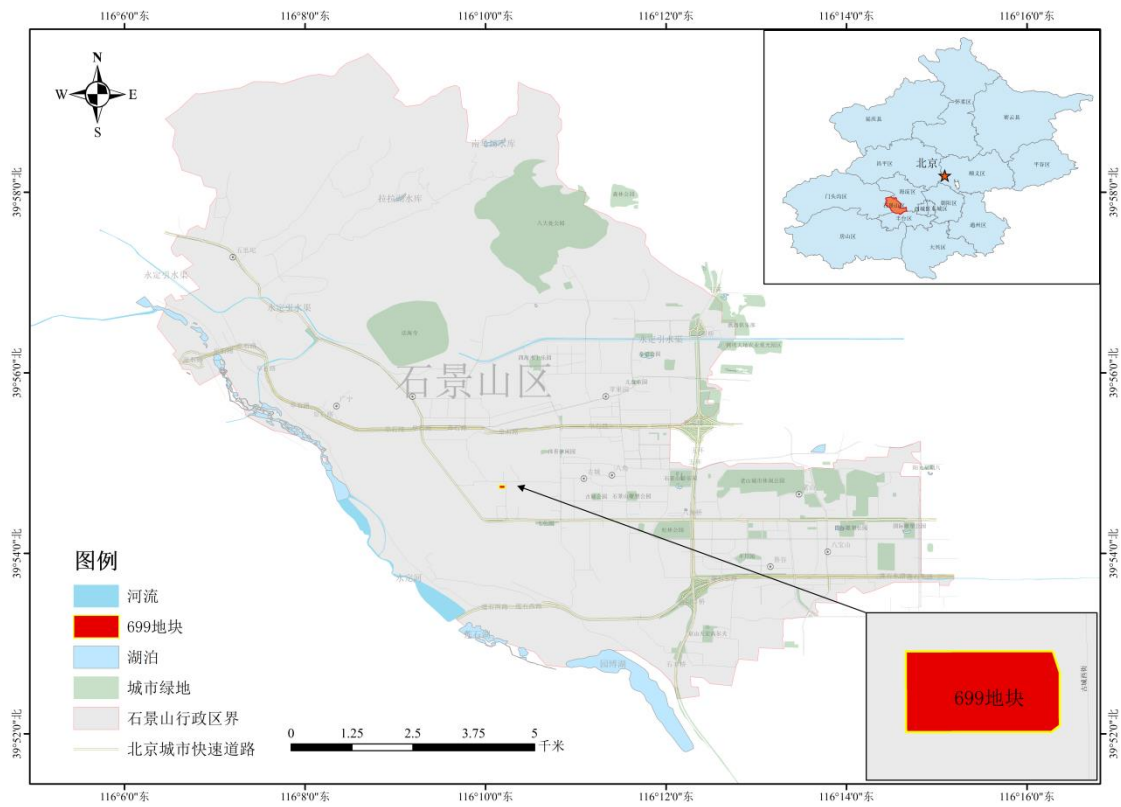


图 2.1-1 699 地块地理位置示意图

### 2.2 区域水文地质条件

#### 2.2.1 地形地貌

石景山区位于北京西山东部前缘永定河冲洪积扇顶部，沿东西方向，大致沿长安街由西向东。扇顶在石景山地区，砂砾石出露地表厚度数十米。冲洪积扇的中部为中砂-细砂-粉砂与粘土互层。河道部位为砂砾石和砂。河道两侧沉积物粒度变细。该区东部、北部与海淀区接壤，南与丰台区毗邻，西和西北部与门头沟



区相接。该区地势西北高东南低，西北部山区是北京西山的褶皱山地，属太行山北端余脉向平原延伸的部分，最高峰海拔 797.6m，中部和南部为永定河冲积所形成的平原，最低处为东部石槽村，海拔 58.1m。

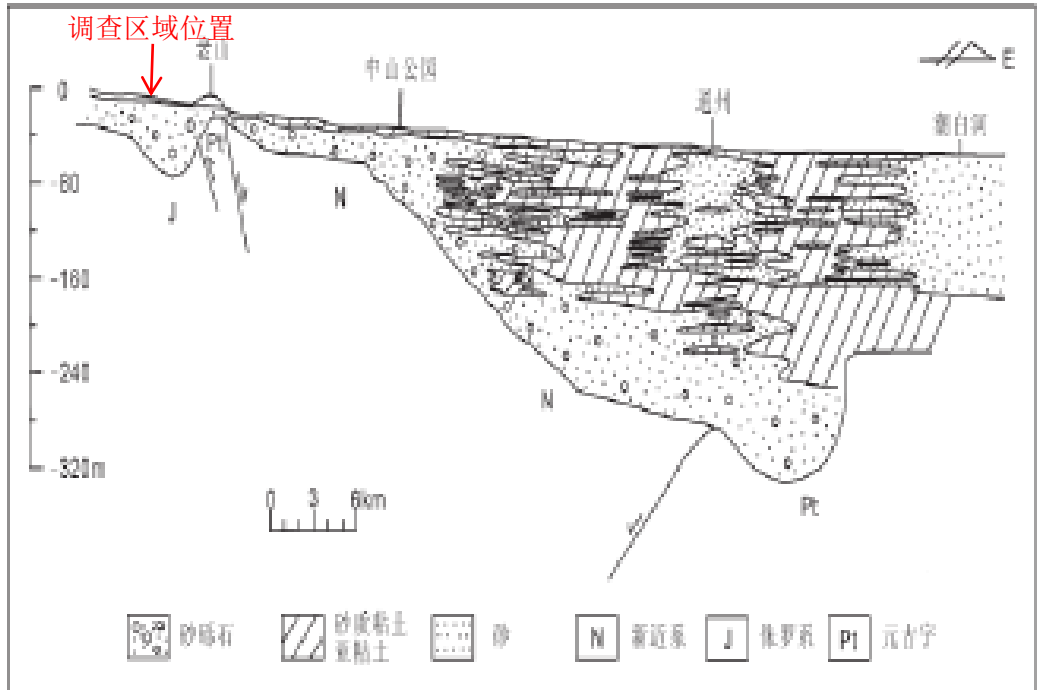


图 2.2-1 调查区域所在永定河冲洪积扇地区地质剖面图

地块位于永定河冲洪积扇顶部，为北京西部山前向平原过渡地带，西部为北京西山基岩出露地区，东部为广阔的北京冲洪积平原区。

### 2.2.2 地质构造

石景山区区域地质构造上处于华北断拗与燕山台褶带的交汇部位，属门头沟迭陷褶，构造复杂，以北东向构造为主，门头沟迭陷褶属西山迭拗褶之腹心地带。与北部青白口中穹褶和南部十渡—房山中穹褶呈构造过渡关系。东北与昌怀穹断和北京迭断陷相邻。

本区地层出露比较齐全，除个别地层因构造影响缺失外，从元古界至新生界地层均有出露。前第四系地层主要出露于西部山区，地层多以北东东向延伸，新生界的第三系地层分布于八宝山断裂南部，并被第四系所覆盖。地层由老至新包括蓟县系(Zj)、奥陶系(O)、石炭系(C)、二叠系(P)、侏罗系(J)、白垩系下统(K1)，见图 2.2-2。

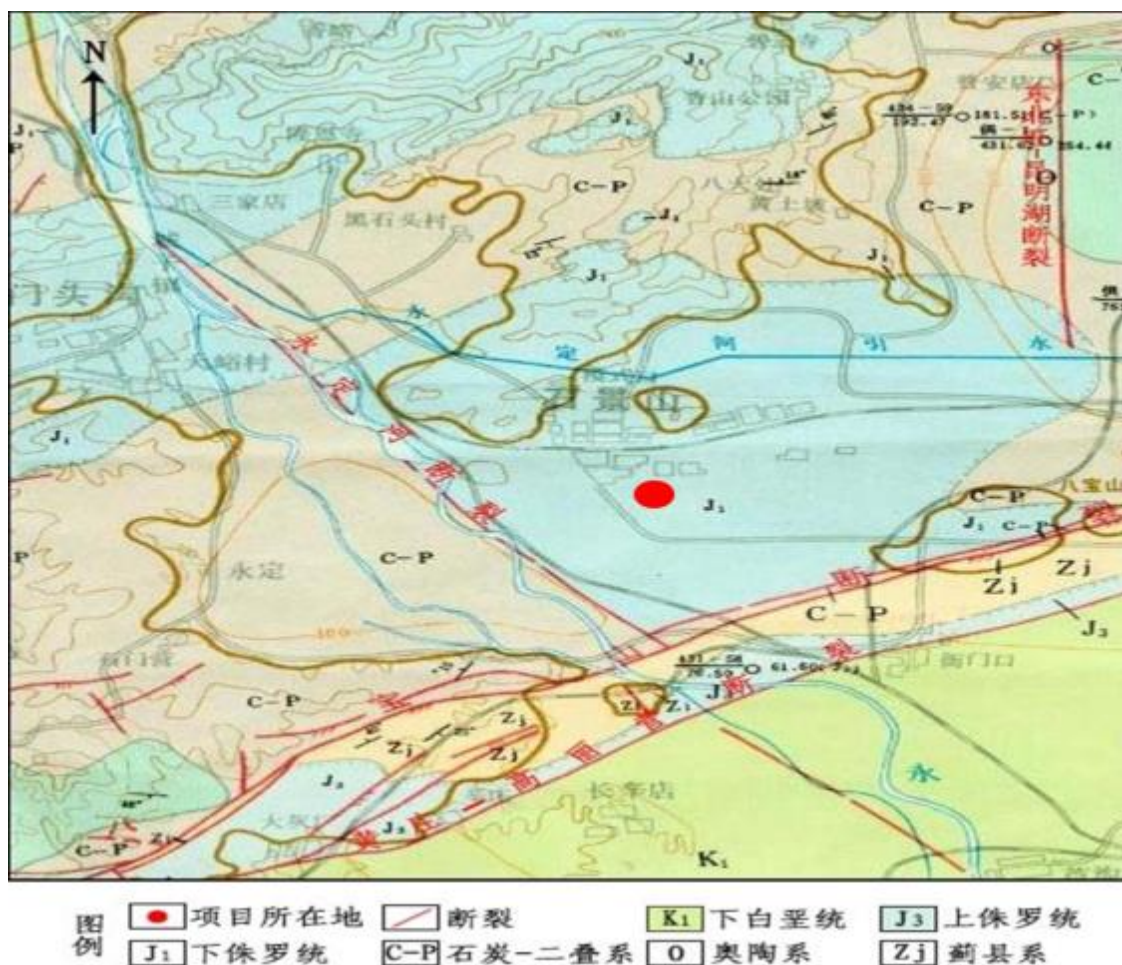


图 2.2-2 地块所在区域基岩构造图

### 2.2.3 地层结构

此区域位于北京城区以西的石景山区，地层岩性比较简单，主要由单一的砂卵石组成。目前大致分为四个土层：人工填土层、轻亚粘土层、卵石层、基岩层。区域地层岩性的垂直分布概况见图 2.2-3。

(1) 人工填土层：成分比较复杂，由砖瓦块、碎石及粘性土组成。灰~杂色，稍湿~湿，松散。该层没有层次规律，厚度在调查区域各个位置是不相同的，从 0.5~2.0 m 不等。

(2) 粉粘层：冲积形成含少量小砾石，黄~褐黄色。稍湿~湿，可塑~硬塑。厚度为 1.0 m 左右，在调查区域各个位置有差别。

(3) 卵石层：该层分布稳定。卵石成分为石英岩、辉绿岩等硬质岩石。卵石粒径 20~80 mm，最大超过 100 mm，含量大于 60%，磨圆度较好，多呈亚圆形。该层杂色，稍湿，密实，由沙充填。该地层也是地下水的含水层，在冲洪积扇顶部潜水区，砂卵石裸露于地表，直接接受地表水补充，该 3 地层平均厚度

40 m，地下水埋深约为 33.4-35.4m（参考 2019 年北京市环境保护科学研究院《首钢园区南区二型材地块场地环境初步调查报告》推断地下水埋深信息）。

（4）基岩层：局部顶面有薄层强风化物，呈土状，一般为中等风化，呈块状，黄绿色。

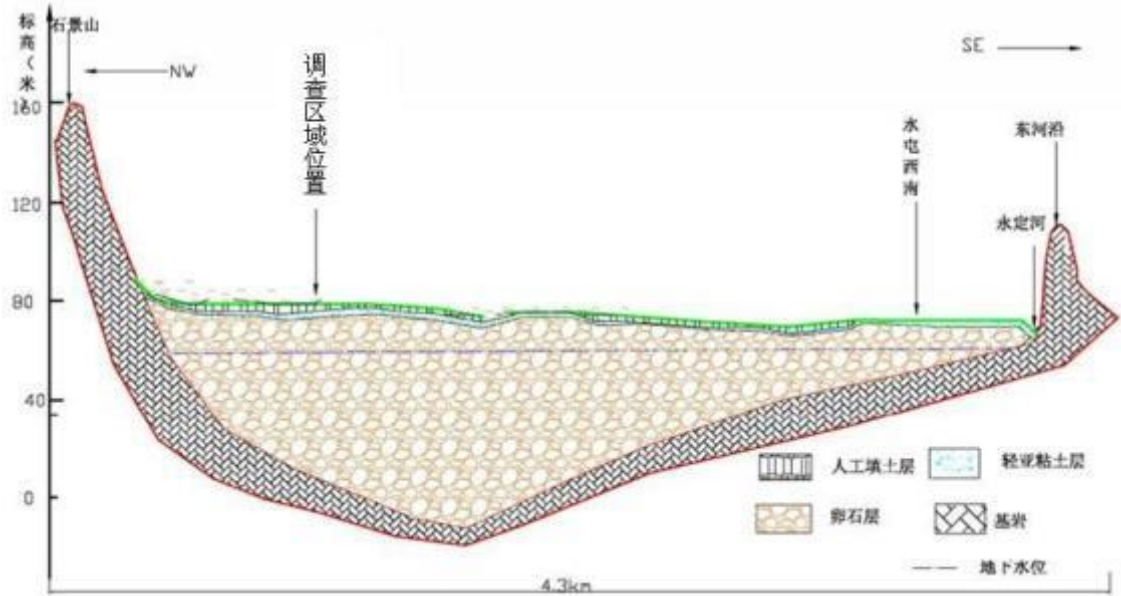


图 2.2-3 地块所在区域地层岩性的垂直分布图

#### 2.2.4 地下水分布

地块所在区域浅层地下水为潜水，水位埋深西高东低。地下水径流方向为由西、西北方向，流向东、东南方向（图 2.2-4 和 2.2-5）。据 1996 年资料，该区域地下水埋深为 30m 左右。2016 年北辛安棚户区调查报告资料显示，因地铁施工降水，地下水埋深为 55-60m。2018 年的调查资料表明，该层地下水埋深已经在 34-36m 左右，且年平均上涨 0.21m。综合推断，现阶段调查区域地下水水位埋深为 33.4-35.4m。区域含水层单层厚度较大，岩性以砾石、卵石为主，累计厚度 30m 左右，渗透系数 200-350m/d（图 2.2-6），是原工农业井主要开采层。

区域地下水的补给主要是大气降水入渗补给，河渠入渗补给、农田灌溉入渗补给，在山区与平原交界地带山区基岩测向径流补给第四系地下水。大气降水入渗对含水层的补给受地形、地貌、包气带岩性、厚度、降水性质、植被和建筑的影响。区域地下水的排泄主要为人工开采，主要是水厂水源地开采，其次为下游径流排泄以及少量的潜水蒸发，第四系地下水向东部径流排泄。



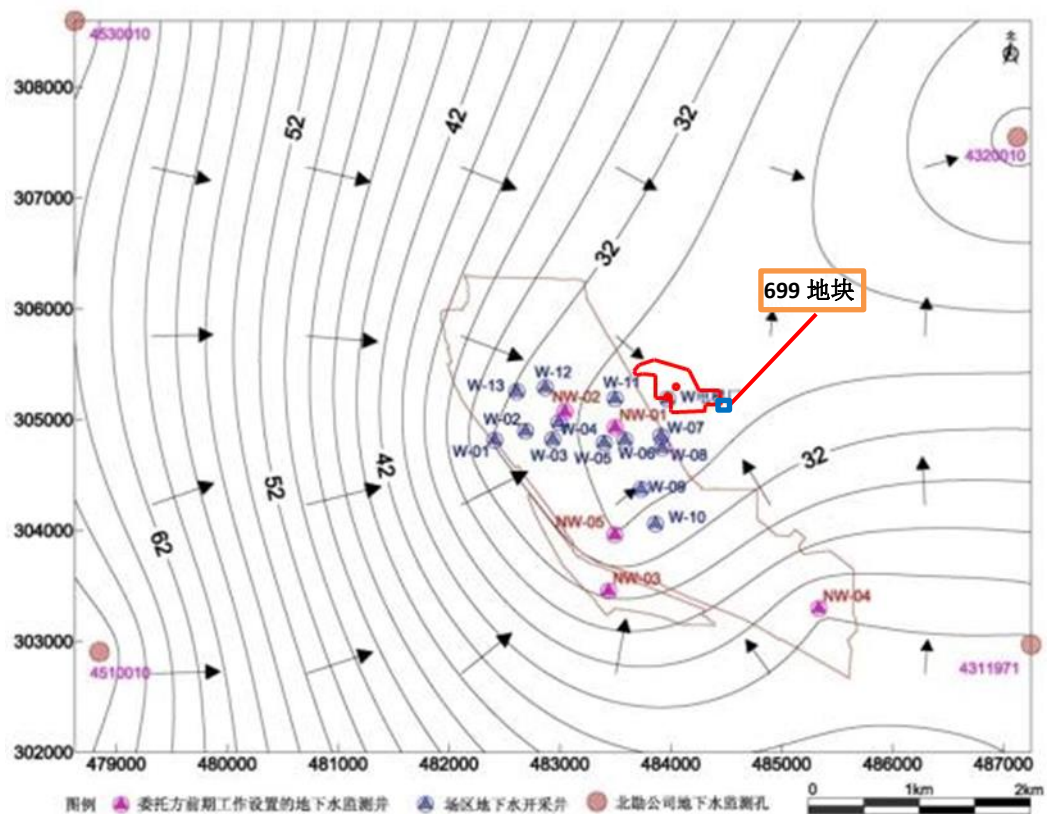


图 2.2-4 地块及周边区域地下水流向示意图（摘自首钢主厂区场地调查报告）



图 2.2-5 地块所在区域地下水等值线图（2008 年地块区域地下水等水位线）

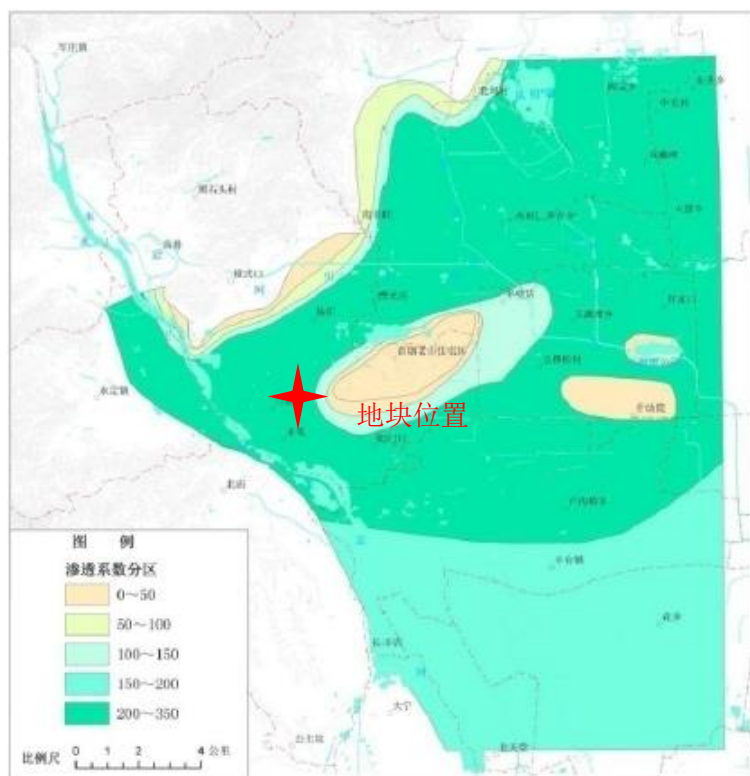


图 2.2-6 地块所在区域浅层地下水渗透系数分布图（摘自 2019 首钢二型材调查报告）

在东偏北距离大概 2.5km 处为杨庄水厂，距离其它水厂距离相对较远。调查区域位于杨庄水厂的地下水源补给区，但杨庄水厂主要通过深层基岩井采集区域深层承压水，深层承压水层与浅层第四系含水层之间有相对较厚的基岩层阻隔。因此，从区域地下水的开采利用情况来看，本地块浅层地下水的环境敏感性相对较低。如图 2.2-7。

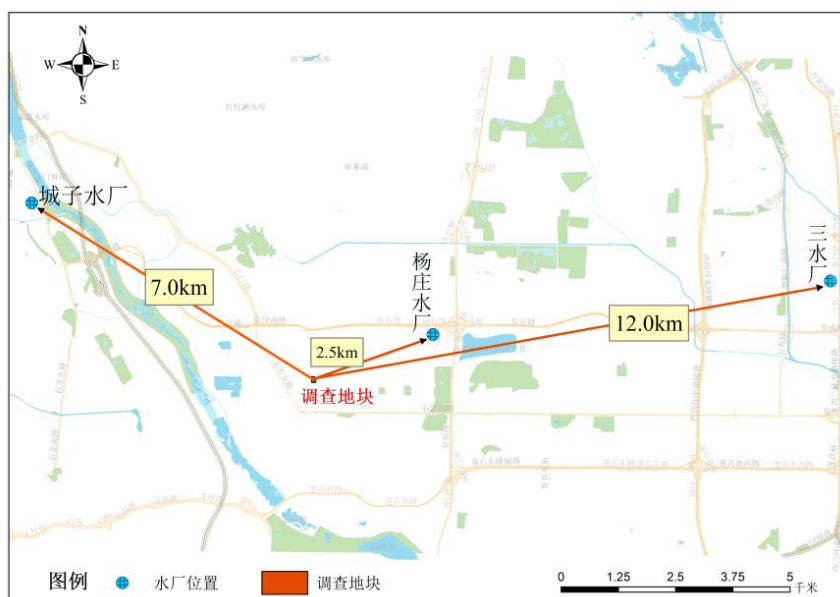


图 2.2-7 地块周边水厂位置示意图

## 2.3 地块利用现状

### (1) 699 地块西侧约 582.323 m<sup>2</sup> 区域

根据北京金隅红树林环保技术有限责任公司《关于 695、699 地块西边区域已经开挖的说明》（详见调查报告附件）中相关内容：“在对 697 地块污染土进行污染土治理清挖工作过程中，因 697 地块东侧存在原场区现状围墙，且距离 697 地块东边界较近，在清挖过程中该位置存在大量房屋基础及渣土，清挖时存在围墙及构筑物边缘处坍塌风险，考虑现场安全性及项目工期紧张，修复单位于 2019 年 6 月已将该区域范围渣土与 697 东侧污染区域同步考虑、同步治理，且均运输至北京金隅琉水环保科技有限公司进行处理。”按照前期修复方案清挖治理后，现被西侧相邻 697 地块建设施工征用，部分区域有临建搭设。详见图 2.3-1 和图 2.3-2。

### (2) 699 地块中部、东部约 5185.167 m<sup>2</sup> 区域

该区域于 2021 年 3 月构筑物拆除完毕，目前，场地较为平整且均有绿网覆盖。



图 2.3-1 699 地块已清挖治理区域示意图





图 2.3-2 地块内现场踏勘照片

## 2.4 地块土地利用历史

根据地块调查结果，分析 699 地块土地利用随时间的变化情况如下表所示：

表 2.4-1 地块土地利用状况

区域	时间节点	地块土地使用情况
699 地块西部	1971 年前	农田
	1971 年至 2003 年	北京塑料八厂办公用地
	2003 年至 2018 年	明塑包装制品厂办公用地
	2018 年至 2019 年	构筑物逐渐拆除
	2019 年 6 月	北京金隅红树林环保技术有限责任公司清挖治理
	2019 年 6 月至今	697 地块施工临建搭设
699 地块中部、东部	1971 年前	农田
	1971 年至 2020 年	北辛安棚户区
	2020 年至今	构筑物已拆除

## 2.5 地块用地规划

依据《北京市规划委员会建设项目规划条件》（2016 规（石）条整字 0001 号），北辛安棚户区改造项目 699 地块未来将规划建设成为《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地中的社会福利用地（A6）。

## 2.6 地块地层结构

根据原《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》（2016 年），可知：该地块区域地层主要由第四纪冲洪积相堆积物组成，沉积韵律明显，层位较稳定。根据现场调查数据分析，将地块调查范围深度上划分为 6 个地质单元层。各地质单元层的分布情况及特征见下表 2.6-1。

表 2.6-1 地块地层分布一览表

地层编号	地层名称	地层底板埋深	地层厚度	地层描述及特征
1	杂填土	1.0-5.0m	1.0-5.0m	杂色；稍密;稍湿；包含砖块、混凝土块、碎石，砖渣、灰渣、植物根。砂土填土约 35%
2	卵石	23-34.5m	20-29m	亚圆形级配较好，含中砂 35%
3	卵砾石	32-32.5m	5.5-9m	亚圆形级配较好-
4	中砂	33.3-35m	0.5-0.8m	含石英、云母
5	卵石	48-55m	13-21.7m	亚圆形级配较好，含中砂 35%
6	以下	未勘透	未勘透	未勘透

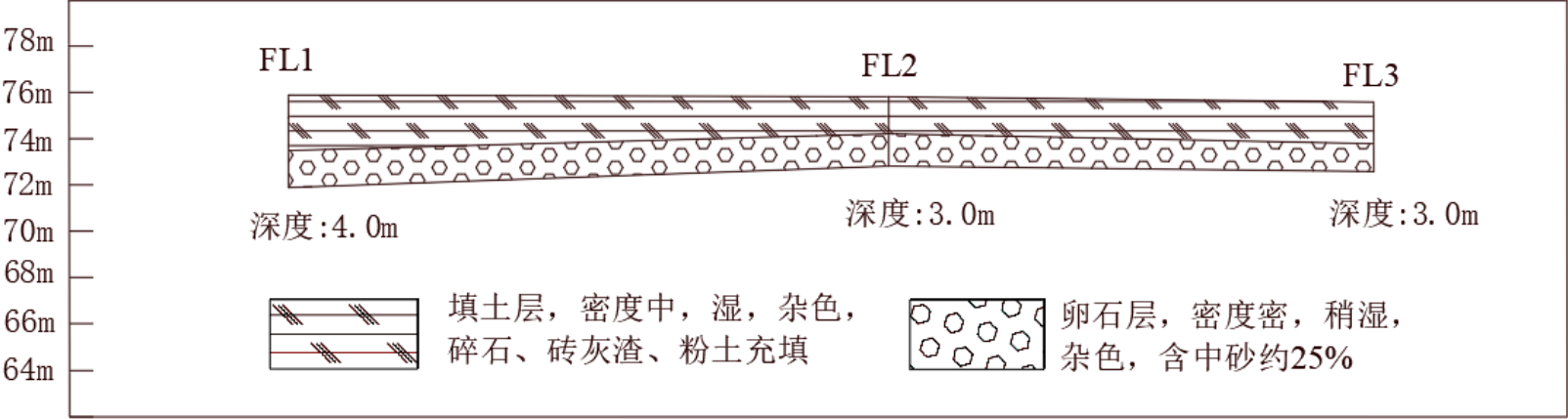
699 地块钻探深度范围内地层主要分为两层，第一层为填土层（杂填土、房渣土和粘粉填土等），埋深为 1.6-2.4m；第二层为卵石层，埋深为 1.6-4.0m。

699 地块区域填土厚度较为均匀，埋深约 2m 左右。与原《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》（2016 年）描述地层结构基本一致。

699 地块地层剖面详见图 2.6-1。



高程（单位:m）



高程（单位:m）

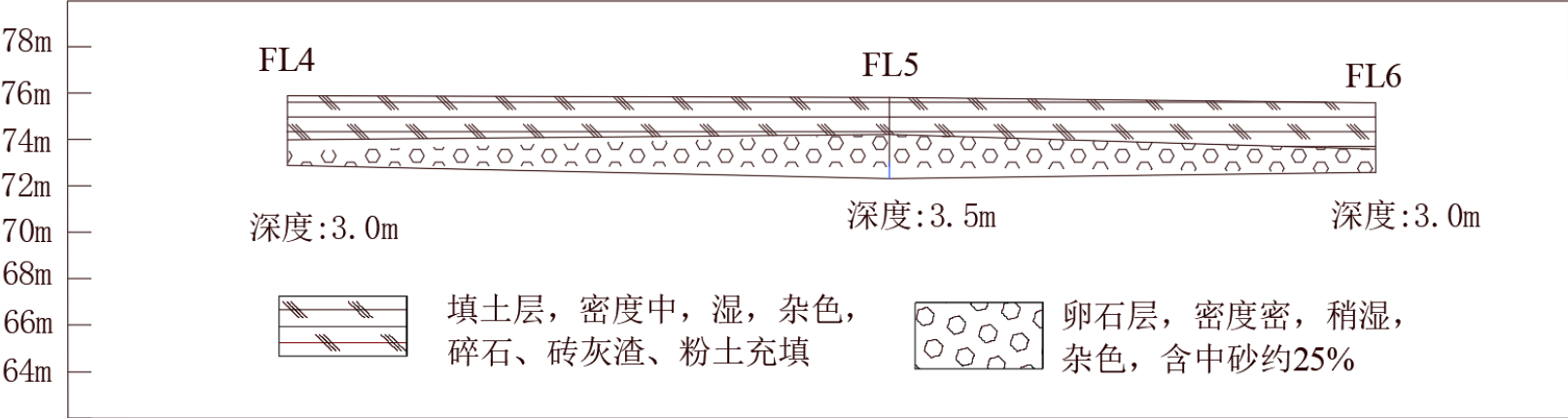


图 2.6-1 699 地块地层剖面图

## 2.7 污染状况回顾

根据《北辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染状况调查报告（备案稿）》（2021 年 10 月），699 地块土壤及地下水调查结果如下：

### （1）699 地块调查结果

699 地块初步调查布设土壤采样孔 6 个，采集土壤样品 21 个，检测指标为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600-2018）中表 1 基本项（45 项）和表 2 中 SVOCs，共 55 项，其中检出 14 项，包括 6 项重金属（镉、汞、镍、铅、砷、铜）、8 项 SVOCs（3,3'-二氯联苯胺、苯并(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、茚并(1,2,3-cd)芘、蒽）。

55 项检测指标污染物浓度均未超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中的一类用地筛选值。

### （2）699 地块地下水污染识别

699 地块主要占用原北辛安棚户区及原明塑包装制品厂部分办公区，不涉及生产车间。初步判断，不存在泄露风险。因此，基本不存在污染物垂向迁移。同时，地块上游首钢主厂区搬迁后，厂区处于闲置状态，699 地块上游方向无后续污染源，基本不存在污染物的水平迁移。

通过整理分析 699 地块上游及下游已开展过的地块地下水污染状况调查资料，对地下水污染情况进行识别，699 地块上游收集地下水监测井 17 口，699 地块下游收集地下水监测井 3 口，所有检测指标均满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中的 III 类水质标准要求。因此，综合判断 699 地块范围地下水受污染的可能性较小，调查报告中未布置地下水监测井。

## 2.8 地块概念模型

### 2.8.1 地块北边界 695 地块污染延伸情况

#### 2.8.1.1 699 地块与 695 地块地理位置关系

699 地块中心点位置是 39.91240°N，116.169893°E，总占地面积约 5767.49 平方米，地块四至：东至古城西街，南至 701 地块，西至 697 地块，北至 695 地块。695 地块中心点位置是 39.912674°N，116.169968°E，总占地面积约 5100 平方米，地块四至：东至古城西街，南至 699 地块，西至 697 地块，北至古城西路。699 地块与 695 地块南北相接，位置关系详见图 2.8-1。699 地块边界红线拐

点坐标信息见表 2.8-1，695 地块边界红线拐点坐标信息见表 2.8-2。

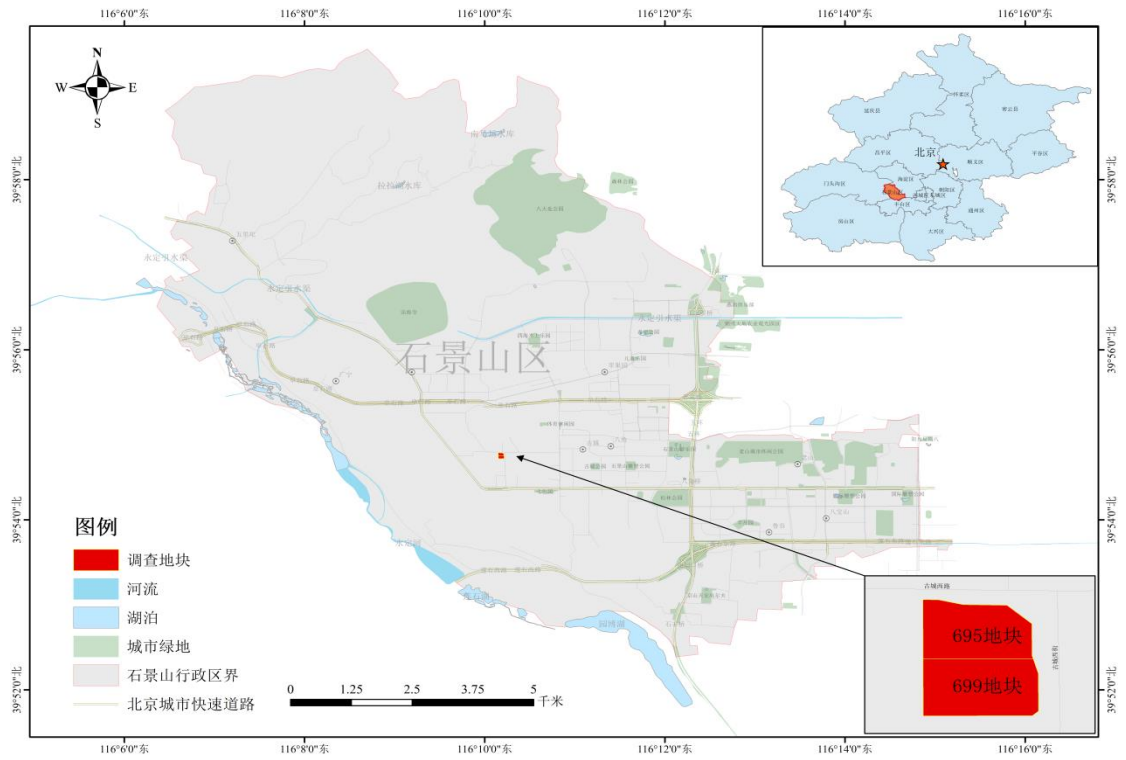


图 2.8-1 695 地块和 699 地块地理位置关系示意图

表 2.8-1 699 地块边界红线拐点坐标信息

界址点号	纵坐标 (X)	横坐标 (Y)
699-1	484464.980	305113.439
699-2	484464.980	305176.386
699-3	484553.218	305176.386
699-4	484557.344	305159.883
699-5	484557.344	305118.439
699-6	484552.344	305113.439

表 2.8-2 695 地块边界红线拐点坐标信息

界址点号	纵坐标 (X)	横坐标 (Y)
695-1	484464.980	305176.386
695-2	484464.980	305241.617
695-3	484477.457	305241.370
695-4	484497.355	305235.975
695-5	484532.348	305235.280
695-6	484552.344	305214.884
695-7	484552.344	305179.884
695-8	484553.218	305176.386

### 2.8.1.2 695 地块污染状况

695 地块与 699 地块同步开展污染状况调查工作，两个地块初步调查钻孔均钻探至卵石层以下 0.5-1.0m 处。

695 地块初步调查布设土壤采样点位 7 个，采样深度范围为 0.5~6.8m，终孔深度为 7.0m，均至卵石层以下 0.5-1.0m 终孔，共计采集土壤样品 27 个（含 4 个平行样）。检测指标为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600-2018）中表 1 基本项（45 项）和表 2 中 SVOCs，共 55 项。其中，3 个土壤钻孔（7 个样品）存在 4 种 PAHs 超标，分别为苯并(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒹、二苯并(a,h)蒹。苯并(a)芘超标率为 25.93%，最大超标 6.96 倍，超标情况较为严重。具体见表 2.8-3。

表 2.8-3 695 地块初步调查土壤 SVOCs 样品检出超标情况统计表

检测指标	样品总数 (个)	检出数量 (个)	超标数量 (个)	检出率 (%)	超标率 (%)	检出限 (mg/kg)	最大浓度 (mg/kg)	第一类筛选值 (mg/kg)
苯并(a)蒽	27	22	1	81.48	3.70	0.1	6.24	5.5
苯并(a)芘	27	18	7	66.67	25.93	0.1	4.38	0.55
苯并(b)荧蒹	27	16	2	59.26	7.41	0.2	8.23	5.5
二苯并(a,h)蒹	27	9	2	33.33	7.41	0.1	0.7	0.55

695 地块初步调查、详细调查（含补充调查）共布设土壤采样孔 24 个，采集土壤样品 154 个，超标样品 26 个，超标的物质为 4 种 PAHs（苯并(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒹、二苯并(a,h)蒹）。695 地块污染状况调查土壤 SVOCs 样品检出超标情况详见表 2.8-4。（具体内容见《北辛安棚户区改造项目 695 地块土壤污染状况调查报告》）。

表 2.8-4 695 地块污染状况调查土壤 SVOCs 样品检出超标情况统计表

检测指标	样品总数 (个)	检出数量 (个)	超标数量 (个)	检出率 (%)	超标率 (%)	检出限 (mg/kg)	最大浓度 (mg/kg)	第一类筛选值 (mg/kg)
苯并(a)蒽	154	73	3	47.40	1.95	0.1	6.46	5.5
苯并(a)芘	154	54	26	35.06	16.88	0.1	4.43	0.55
苯并(b)荧蒹	154	57	5	37.01	3.25	0.2	8.88	5.5
二苯并(a,h)蒹	154	29	7	18.83	4.55	0.1	1.09	0.55

695 地块污染物主要集中于地块中部深坑区域填土层及其与卵石层交界处，推断主要因地块后期扰动所致。695 地块详细调查点位 JY4-2(4.5m, 1.02mg/kg) 和 BC3 (2.5m, 3.57mg/kg) 存在苯并(a)芘超标，均位于 695 地块南边界附近。详见图 2.8-2 和表 2.8-5。

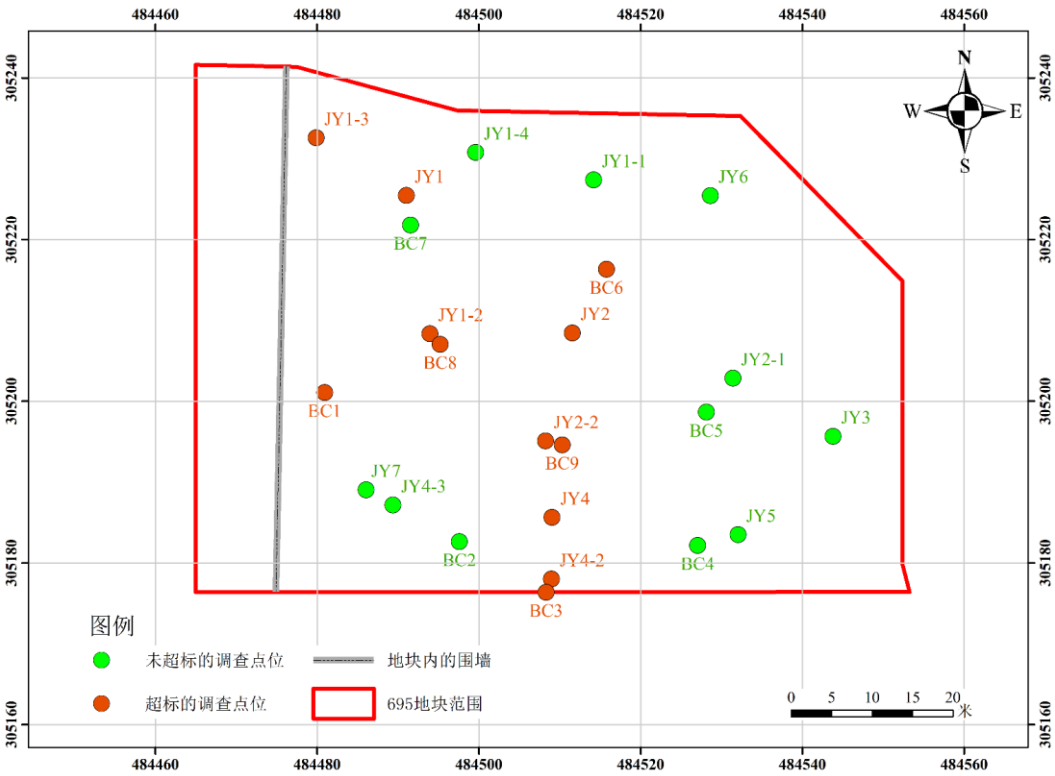


图 2.8-2 695 地块污染状况调查土壤超标点分布示意图

表 2.8-5 695 地块详细调查 JY4-2 和 BC3 点位坐标

点号	纵坐标 (X)	横坐标 (Y)
JY4-2	484508.965	305177.998
BC3	484508.302	305176.386
695 地块南边界拐点 1	484464.980	305176.386
695 地块南边界拐点 8	484553.218	305176.386
699 地块南边界拐点 2	484464.980	305176.386
699 地块南边界拐点 3	484553.218	305176.386

### 2.8.1.3 地块边界污染延伸情况

#### (1) 699 地块和 695 地块地层结构

699 地块 4.0 米深度范围内地层主要分为两层，第一层为填土层（杂填土、房渣土和粘粉填土等），埋深为 1.6-2.4m；第二层为卵石层，埋深为 1.6-4.0m。

695 地块 12.0 米深度范围内地层主要分为两层，第一层为填土层（杂填土、碎石填土和粉粘填土等），埋深为 0.7-7.5m；第二层为卵石层，埋深为 0.7-12.0m。695 地块北部及东部区域扰动较小，填土层较薄，以杂填土为主，埋深为 0.7-1.6m（BC7-JY6-BC5-BC4）。地块中部偏西南区域有一处深坑，填土最深至 7.5m（BC1、BC6、BC8、BC9、JY1-2、JY2-2 以及 JY2），以房渣土、砖块为主，部分区域为粉土填土。**JY4-2 和 BC 点位填土埋深为 2.2-2.5m，与 699 地块填土层深度基本相符。**具体见《北辛安棚户区改造项目 695 地块土壤污染状况调查报告》。

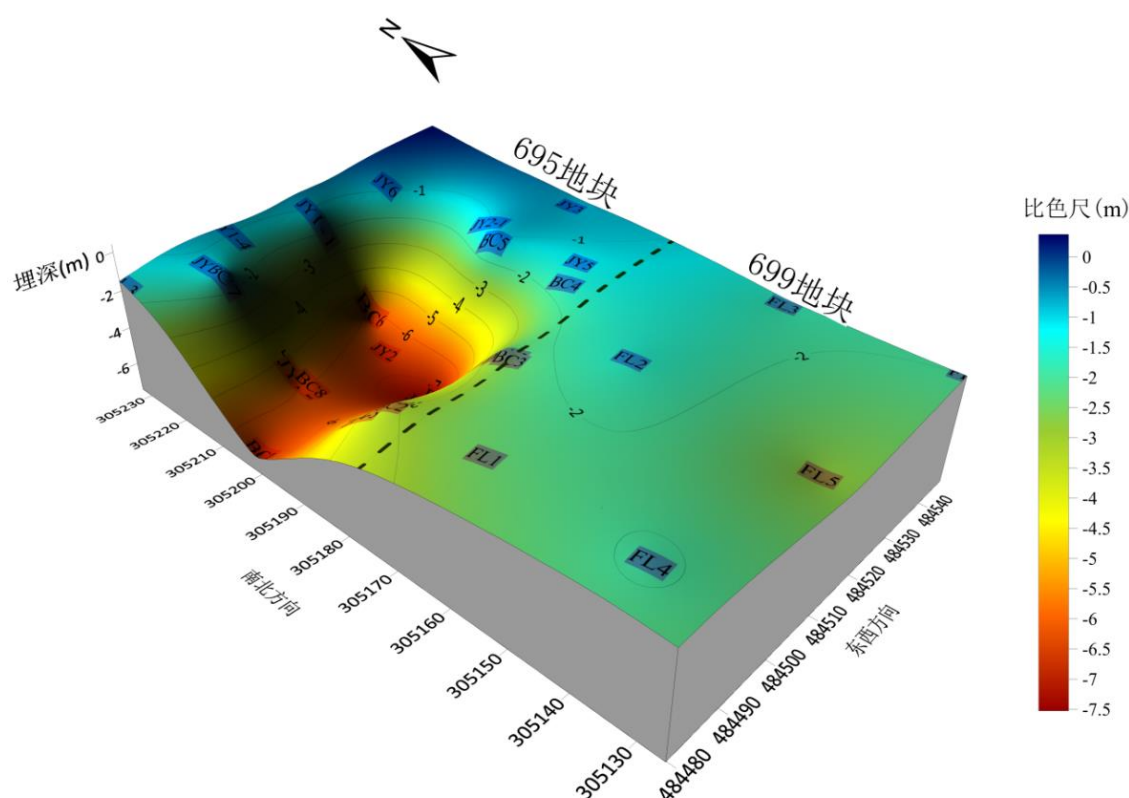


图 2.8-3 695 地块和 699 地块填土埋深等值线图

## (2) 699 地块和 695 地块延伸情况

结合 695 地块与 699 地块土壤苯并（a）芘检测数据，初步推断 695 地块南边界点位 JY4-2 和 BC3 处存在苯并（a）芘污染向南延伸至 699 地块的可能。具体如下：

（1）695 地块南边界 BC3 点位处，1.0-3.0m 深度范围内存在污染延伸现象，已延伸至 699 地块北边界部分区域。详见图 2.8-4。

（2）695 地块南边界 JY4-2 点位处，3.0-5.0m 深度范围内存在污染延伸现象，

已延伸至 699 地块北边界部分区域。详见图 2.8-5。

695 地块延伸至 699 地块的污染范围与地块红线交接拐点坐标信息详见表 2.8-6。交接拐点具体位置见图 2.8-4、图 2.8-5。

**表 2.8-6 695 地块延伸至 699 地块的污染范围与地块红线交接拐点坐标信息**

拐点	纵坐标 (X)	横坐标 (Y)	污染深度
A1	484495.098	305176.386	1.0-3.0m
A2	484528.442	305176.386	
B1	484495.703	305176.386	3.0-5.0m
B2	484525.329	305176.386	

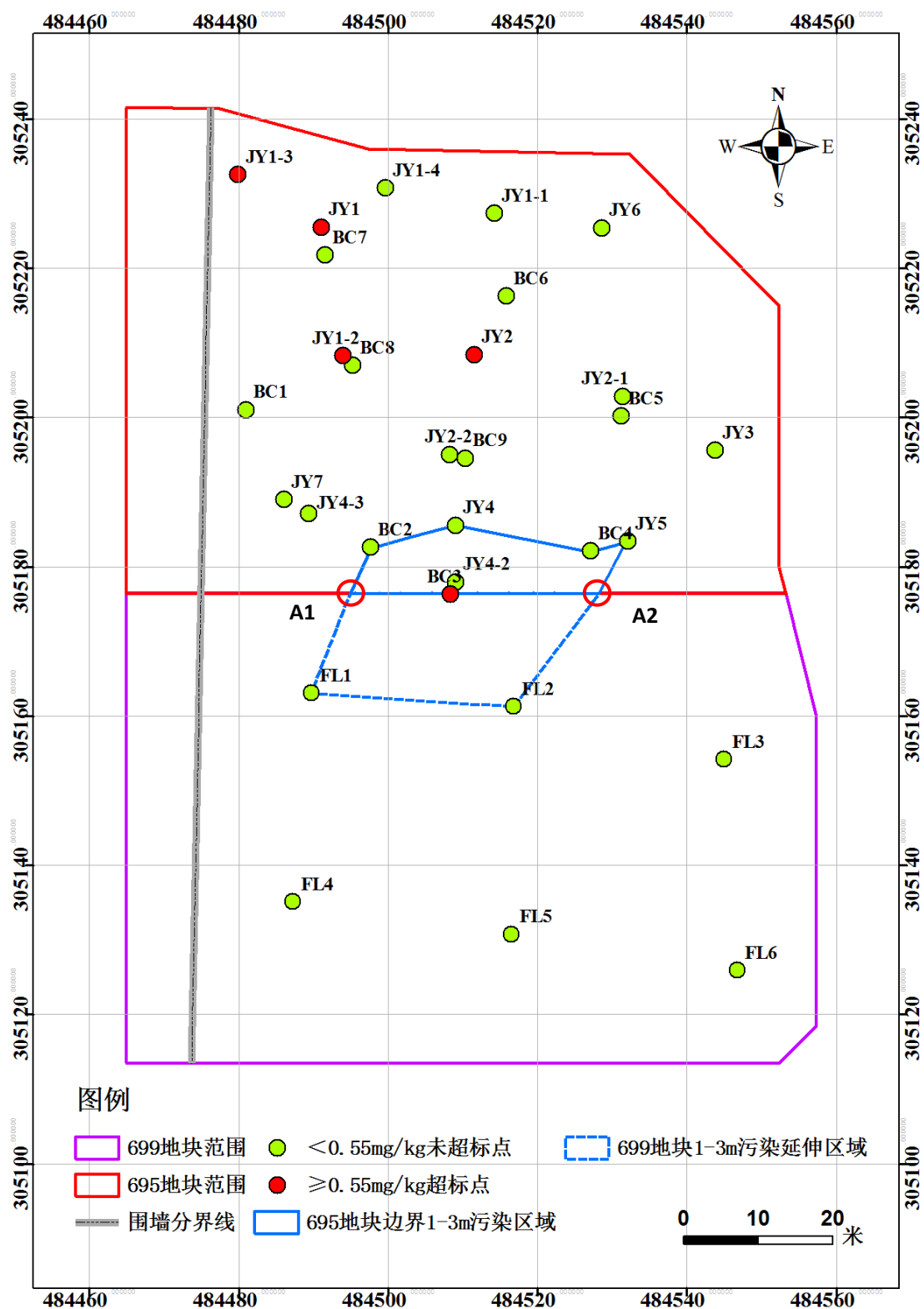


图 2.8-4 699 地块 1-3m 苯并(a)芘空间分布图



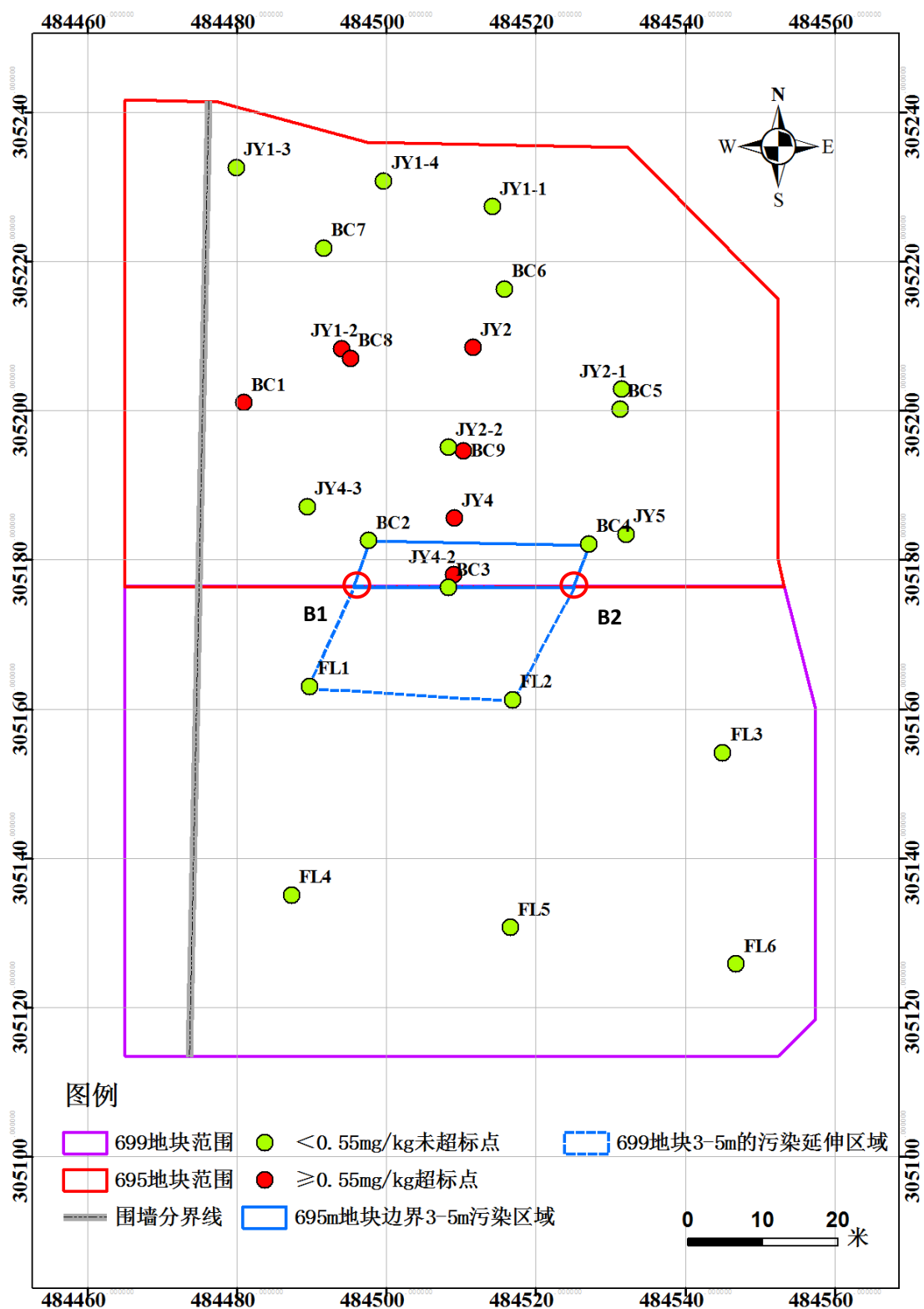


图 2.8-5 699 地块 3-5m 苯并(a)芘空间分布图

## 2.8.2 土壤污染分布成因分析

**699 地块污染主要源于 695 地块南边界两个调查点位 JY4-2 和 BC3 苯并(a)芘污染延伸。**695 地块占用原明塑包装制品厂办公用房用地及原北辛安棚户区用地，未发生过任何生产活动，不涉及生产车间。现场踏勘、人员访谈过程中，未发现垃圾倾倒、堆存等污染现象，未有固体废物、有毒有害化学物质产生及堆置情况，且未发生过污染事故。

### 2.8.2.1 污染成因分析

综合周边企业污染源情况及地块地层结构，**699 地块污染成因主要源于 695 地块**，分析 695 地块污染成因主要包括以下两个方面：

(1) 周边企业生产活动，通过大气沉降影响 **695 地块表层土**。695 地块周边 1km 范围内潜在污染企业主要为原明塑包装制品厂、原首钢煤料堆场、原首钢建设总公司古城基地、原北京第一低压电器厂、原首钢电机厂、原首钢热力众达换热设备公司、原首钢主厂区等，以及上述地块后期修复施工造成的潜在污染。695 地块表层污染主要是受周边涉污企业大气沉降影响。

(2) 地块扰动，导致 **695 地块中部偏西区域深坑（约 7m）的 2-3m 及 6-7m 深度范围污染较重，污染物垂向分布不连续**。根据地块调查结果，695 地块 12.0 米深度范围内地层主要分为两层，第一层为填土层（杂填土、碎石填土和粉粘填土等），埋深为 0.7-7.5m；第二层为卵石层，埋深为 0.7-12.0m。695 地块北部及东部区域填土层较薄，以杂填土为主，扰动较小，埋深为 0.7-1.6m（BC7-JY6-BC5-BC4）。地块中部偏西南区域有一处深坑，填土最深至 7.5m（BC1、BC6、BC8、BC9、JY1-2、JY2-2 以及 JY2），以房渣土、砖块为主，部分区域为粉土填土。根据初步调查、详细调查汇总结果，土壤污染物主要集中于深坑区 2-3m 深度范围的杂填土和 6-7m 深度范围的填土层与卵石层交接处，垂向上呈现不连续分布。综合考虑地块地层结构及污染状况，推断主要原因如下：①后期地块填土扰动所致；②地块回填前可能已存在污染。

### 2.8.2.2 地下水迁移影响分析

该区域地下水埋深远超 **695 地块南边界附近两个调查点位 JY4-2 和 BC3 的污染最大埋深**，且地块上下游的地下水水质均符合《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）的 III 类水质标准，排除污染物通过地下水迁移至 **699 地块的可能性**。699 地块所在区域浅层地下水为潜水，水位埋深西高东低。地下水径流方向

为由西、西北方向，流向东、东南方向。据 1996 年资料，该区域地下水埋深为 30m 左右。2016 年北辛安棚户区调查报告资料显示，因地铁施工降水，地下水埋深为 55-60m。2018 年的调查资料表明，该层地下水埋深已经在 34-36m 左右，且年平均上涨 0.21m。综合推断，现阶段调查区域地下水埋深为 33.4-35.4m。地下水埋深相关资料信息详见附件 3.1.2.4 小节。

通过整理分析本地块上游及下游已开展过的地块地下水污染状况调查资料，收集 699 地块上游地下水监测井 17 口，下游地下水监测井 3 口，所有检测指标均满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）的 III 类水质标准。综合判断该地块范围地下水受污染的可能性较小。地块上下游地下水质量信息详见附件 3.4.2 小节。

根据 695 地块调查数据汇总结果，临近 699 地块的两个调查点位的最大污染深度是 4.5m。结合该区域地下水历史埋深情况，同时根据收集的地块上下游的地下水监测井资料，综合判断，排除污染物通过地下水迁移至本地块的可能性。

### **2.8.3 地块污染概念模型**

结合 699 地块地层结构分布和 695 地块南侧红线附近污染物垂向分布状况，污染主要集中于 2-5m 深度范围的卵石层。

假设 695 地块的污染深度范围内土壤在开发利用阶段全部清挖外运处置，污染土壤在开挖过程中充分暴露。该情景下，污染土壤将充分暴露，主要通过人体直接接触（经口摄入、皮肤接触、呼吸颗粒物、吸入气态污染物）而受到危害。敏感人群主要为地块内未来活动的人群（成人和儿童）。

本项目风险评估将按照第一类用地情景进行，依据 695 地块南侧红线附近污染土壤的分布范围和污染程度，结合未来开发利用阶段详细规划的开挖情况，选取切实的评估模型和参数，分析其对周边及地块范围内敏感受体的影响，开展人体健康风险评估计算。

### 3 危害识别

根据《建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则》(DB11/T656-2019)、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.2-2019)等国家及地方技术要求,危害识别是人体健康风险评估过程的第一个步骤,主要根据目标地块土壤污染状况调查资料和相关数据,掌握地块土壤和地下水中关注污染物的浓度分布情况,结合地块规划土地利用方式,分析可能的敏感受体(如儿童、成人、地下水体等),明确风险评估阶段关注的污染物和暴露浓度。

#### 3.1 关注污染物筛选

结合 699 地块污染状况调查结果和污染概念模型,本次风险评估范围主要是 699 地块范围,评估对象为地块范围内的污染土壤。参照《北京市规划委员会建设项目规划条件》(2016 规(石)条整字 0001 号),699 地块未来将规划用于社会福利用地建设,属《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。

依据国家及地方风险评估技术导则要求,本次评价工作应对北侧 695 地块延伸至 699 地块的**苯并(a)芘**进行风险评估。

#### 3.2 暴露浓度确定

699 地块占地面积约 5767.49 平方米,主要由原明塑包装制品厂部分办公用地(约 582.323m<sup>2</sup>)和原北辛安棚户区(约 5185.167m<sup>2</sup>)两部分组成。其中,地块西侧原明塑包装制品厂部分办公用地占地区域(约 582.323m<sup>2</sup>)已完成修复治理。参照北京市 DB11/T656 风险评估技术导则,结合地块土地利用方式,将本次评价的 699 地块视为一个暴露单元。

为了能更好的控制污染土壤的健康风险,同时结合地块用地规划、地层结构以及污染分布情况。前期调查结果显示,地块内的污染物主要源于 699 地块北侧 695 地块**苯并(a)芘**污染的延伸。其中 **695 地块详细调查点位 JY4-2 (4.5m, 1.02mg/kg)**和 **BC3 (2.5m, 3.57mg/kg)**存在**苯并(a)芘**超标,均位于 695 地块南边界附近,与 699 地块紧邻。这两个点位均位于卵石层,在计算 699 地块风险水平时,由于 699 地块内采样点位土壤样品检测数据均达标,因此,采用北侧紧邻 695 地块两层土壤中污染物最大检测浓度值作为污染土壤的暴露浓度。结合前期地块污染状况调查结果,699 地块土壤中关注污染物的暴露浓度信息详见表

3.2-1。

表 3.2-1 土壤中关注污染物的暴露浓度 (mg/kg)

关注污染物	暴露浓度	筛选值
苯并(a)芘	3.57	0.55

## 4 暴露评估

暴露指受体与环境化学或物理要素的接触。暴露量指通过测定或评估确定的某一特定时期内，在人体交换边界处污染物对人体的有效剂量。暴露评估指对人体暴露于污染物的频率、周期、暴露途径、暴露量的确定或评估。在危害识别的基础上，分析地块内关注污染物迁移和危害敏感受体的可能性，确定地块土壤污染物的主要暴露途径和暴露评估模型，确定评估模型参数取值，计算敏感人群对土壤中污染物的暴露量。

### 4.1 暴露情景分析（敏感人群）

按照地块用地规划，699 地块未来将规划用于社会福利用地建设（第一类用地）。地块在未来利用的过程中，对地块范围内的敏感人群存在健康风险，暴露对象主要为地块范围内的儿童和成人。为确保敏感人群人体健康，致癌效应考虑敏感人群的终生暴露危害，根据儿童期和成人期的暴露来评估污染物的致癌风险；对于非致癌效应，儿童体重较轻、暴露量较高，采用儿童期暴露来评估。

为了降低后期土地再利用过程中由于土壤污染造成人体健康风险的不确定性，同时结合地块后期土地利用方式。

假设 699 地块的污染深度范围内土壤在开发利用阶段全部开挖，污染土壤在开挖过程中充分暴露；该暴露情景下的敏感受体为地块内未来活动的人群（成人和儿童）。

### 4.2 暴露途径

本次地块风险评估工作根据《建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则》（DB11/T656-2019）、《建设用地土壤污染风险评估导则》（HJ25.3-2019）中第一类建设用地进行暴露评估，评估用地情景的健康风险。土壤污染物暴露途径主要包括以下 6 种：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。

结合 699 地块地层土壤结构特性、污染物质空间分布特征、地块后期规划等因素，同时考虑地块敏感性及其后续全部清挖外运处置方式，最终确定考虑 6 种全暴露途径。具体见表 4.2-1。

表 4.2-1 699 地块风险评估暴露途径

序号	暴露对象	暴露途径	土壤
1	地块内未来活动的人群 (成人和儿童)	直接经口摄入污染土壤	√
2		皮肤直接接触表层污染土壤	√
3		吸入土壤颗粒物	√
4		吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	√
5		吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	√
6		吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	√

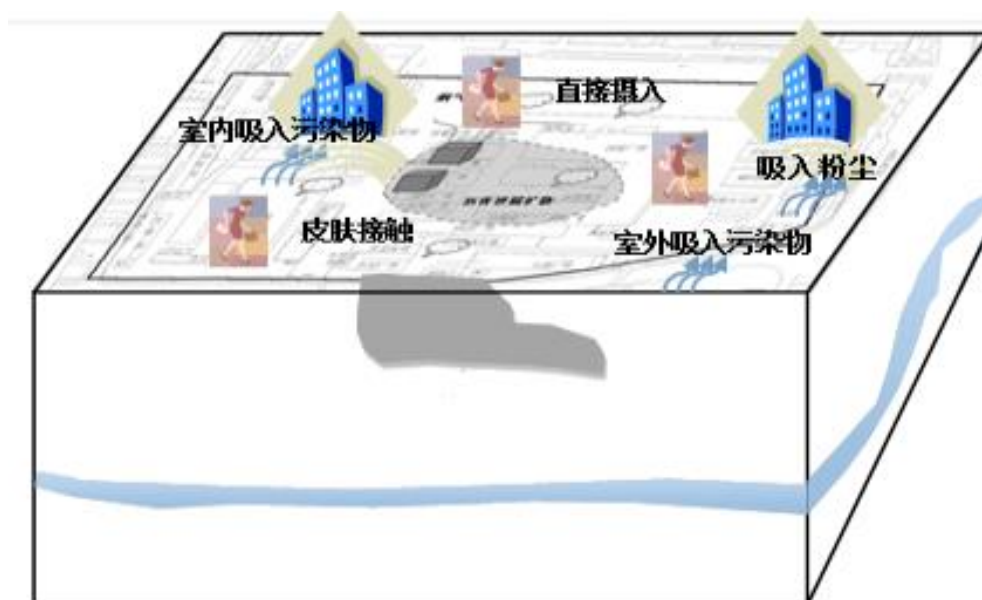


图 4.2-1 地块暴露途径概念模型图

### 4.3 暴露评估模型

本次地块暴露评估参照《建设用地土壤污染风险评估导则》（HJ25.3-2019）中第一类用地暴露评估模型计算土壤暴露量。

#### 1) 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生危害，经口摄入土壤途径的土壤暴露量采用公式（A.1）计算：

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

..... (A.1)

公式 (A.1) 中:

$OISER_{ca}$  一经口摄入土壤暴露量 (致癌效应),  $\text{kg 土壤 kg}^{-1}$  体重  $\text{d}^{-1}$ ;

$OSIR_c$  儿童每日摄入土壤量,  $\text{mg d}^{-1}$ ;

$OSIR_a$  成人每日摄入土壤量,  $\text{mg d}^{-1}$ ;

$ED_c$  儿童暴露期, a;

$ED_a$  成人暴露期, a;

$EF_c$  儿童暴露频率,  $\text{d a}^{-1}$ ;

$EF_a$  成人暴露频率,  $\text{d a}^{-1}$ ;

$BW_c$  儿童体重, kg;

$BW_a$  成人体重, kg;

$ABSo$  一经口摄入吸收效率因子, 无量纲;

$AT_{ca}$  一致癌效应平均时间, d。

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

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

公式 (A.2) 中:

$OISER_{nc}$  一经口摄入土壤暴露量 (非致癌效应),  $\text{kg 土壤 kg}^{-1}$  体重  $\text{d}^{-1}$ ;

$AT_{nc}$  非致癌效应平均时间, d。

公式 (A.2) 中  $OSIR_c$ 、 $ED_c$ 、 $EF_c$ 、 $ABSo$  和  $BW_c$  的参数含义见公式 (A.1)。

## 2) 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:

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



$$+ \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (A.3)$$

公式 (A.3) 中:

$DCSER_{ca}$  一皮肤接触途径的土壤暴露量(致癌效应), kg 土壤  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ;

$SAE_c$  一儿童暴露皮肤表面积,  $cm^2$ ;

$SAE_a$  一成人暴露皮肤表面积,  $cm^2$ ;

$SSAR_c$  一儿童皮肤表面土壤粘附系数,  $mg\ cm^{-2}$ ;

$SSAR_a$  一成人皮肤表面土壤粘附系数,  $mg\ cm^{-2}$ ;

$E_v$  一每日皮肤接触事件频率, 次  $d^{-1}$ 。

公式 (A.3) 中  $EF_c$ 、 $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $AT_{ca}$ 、 $EF_a$ 、 $ED_a$  和  $BW_a$  的参数含义见公式 (A.1),  $SAE_c$  和  $SAE_a$  的参数值分别采用公式 (A.4) 和公式 (A.5) 计算:

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

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

公式 (A.4) 和公式 (A.5) 中:

$H_c$  一儿童平均身高, cm;

$H_a$  一成人平均身高, cm;

$SER_c$  一儿童暴露皮肤所占面积比, 无量纲;

$SER_a$  一成人暴露皮肤所占面积比, 无量纲。

公式 (A.4) 和公式 (A.5) 中  $BW_c$  和  $BW_a$  的参数含义见公式 (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, 皮肤接触土壤途径对应的土壤暴露量采用公式 (A.6) 计算:

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

公式 (A.6) 中:

$DCSER_{nc}$  一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 (A.6) 中  $SAE_c$ 、 $SSAR_c$ 、 $E_v$  和  $ABS_d$  的参数含义见公式 (A.3),  $EF_c$ 、 $ED_c$  和  $BW_c$  的参数含义见公式 (A.1),  $AT_{nc}$  的参数含义见公式 (A.2)。

### 3) 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.7) 计算:

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

公式 (A.7) 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  $d^{-1}$ ;

$PM_{10}$  —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,  $m^3\ d^{-1}$ ;

$DAIR_c$  —儿童每日空气呼吸量,  $m^3\ d^{-1}$ ;

$PIAF$  —吸入土壤颗粒物在体内滞留比例, 无量纲;

$fspl$  —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;

$EFl_a$  —成人的室内暴露频率,  $d\ a^{-1}$ ;

$EFl_c$  —儿童的室内暴露频率,  $d\ a^{-1}$ ;

$EFO_a$  —成人的室外暴露频率,  $d\ a^{-1}$ ;

$EFO_c$  —儿童的室外暴露频率,  $d\ a^{-1}$ 。

公式 (A.7) 中  $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$  和  $AT_{ca}$  的参数含义见公式 (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, 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:

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

(A.8)

公式 (A.8) 中:

$PISE_{Rnc}$  一吸入土壤颗粒物的土壤暴露量 (非致癌效应),  $\text{kg 土壤 kg}^{-1}$  体重  $\text{d}^{-1}$ 。

公式 (A.8) 中  $PM_{10}$ 、 $DAIR_c$ 、 $f_{spo}$ 、 $f_{spi}$ 、 $EFO_c$ 、 $EFl_c$  和  $PIAF$  的参数含义见公式 (A.7),  $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$  的参数含义见公式 (A.1),  $AT_{nc}$  的参数含义见公式 (A.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, 吸入室外空气来自表层土壤的气态污染物途径对应的土壤暴露量, 采用公式 (A.9) 计算:

$$IOVER_{ca1} = VF_{suroa} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \dots\dots (A.9)$$

公式 (A.9) 中:

$IOVER_{ca1}$  一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),  $\text{kg 土壤 kg}^{-1}$  体重  $\text{d}^{-1}$ ;

$VF_{suroa}$  一表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子,  $\text{kg m}^{-3}$ ; 根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 附录 F 公式 (A.12) 计算。

公式 (A.9) 中,  $DAIR_c$ 、 $DAIR_a$ 、 $EFO_c$  和  $EFO_a$  的参数含义见公式 (A.7),  $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$ 、 $AT_{ca}$  的参数含义见公式 (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, 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, 采用公式 (A.10) 计算:

$$IOVER_{nc1} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots (A.10)$$

公式 (A.10) 中:

$IOVER_{nc1}$  一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>。

公式（A.10）中， $VF_{suroa}$  的参数含义见公式（A.9）， $DAIR_c$  和  $EFO_c$  的参数含义见公式（A.7）， $AT_{nc}$  的含义见公式（A.2）， $ED_c$  和  $BW_c$  的参数含义见公式（A.1）。

#### 5）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，采用公式（A.11）计算：

$$IOVER_{ca2} = VF_{suboa} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \dots\dots (A.11)$$

公式（A.11）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），kg 土壤 kg<sup>-1</sup> 体重 d<sup>-1</sup>；

$VF_{suboa}$ —下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>；根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 F 公式（F.20）计算。

公式（A.11）中， $DAIR_c$ 、 $DAIR_a$ 、 $EFO_c$  和  $EFO_a$  的参数含义见公式（A.7）， $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$ 、 $AT_{ca}$  的参数含义见公式（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，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（A.12）计算：

$$IOVER_{nc2} = VF_{suboa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots (A.12)$$

公式（A.12）中：

$IOVER_{nc2}$ —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>。

公式（A.12）中  $VF_{suboa}$  的参数含义见公式（A.11）， $DAIR_c$  和  $EFO_c$  的参数含义见公式（A.7）， $AT_{nc}$  的含义见公式（A.2）， $ED_c$  和  $BW_c$  的参数含义见公

式 (A.1)。

#### 6) 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，采用公式 (A.15) 计算：

$$IIVER_{ca1} = VF_{subia} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \dots\dots (A.15)$$

公式 (A.15) 中：

$IIVER_{ca1}$  一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  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

$VF_{subia}$  一下层土壤中污染物扩散进入室内空气的挥发因子， $kg\ m^{-3}$ ；根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 附录 F 公式 (F.26) 计算。

公式 (A.15) 中， $EFO_c$ 、 $EFO_a$ 、 $EFI_c$ 、 $EFI_a$ 、 $DAIR_c$  和  $DAIR_a$  的参数含义见公式 (A.7)， $ED_c$ 、 $BW_c$ 、 $ED_a$ 、 $BW_a$ 、 $AT_{ca}$  的参数含义见公式 (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，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 (A.16) 计算：

$$IIVER_{nc1} = VF_{subia} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \dots\dots (A.16)$$

公式 (A.16) 中：

$IIVER_{nc1}$  一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)，kg 土壤  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ 。

公式 (A.16) 中， $VF_{subia}$  的参数含义分别见公式 (A.15)， $DAIR_c$ 、 $EFI_c$  的参数含义见公式 (A.7)， $AT_{nc}$  的参数含义见公式 (A.2)， $ED_c$  和  $BW_c$  的参数含义见公式 (A.1)。

## 4.4 模型参数取值

暴露评估所需的相关参数主要包括场地特征参数 (土壤参数等)、建筑物参数、暴露因子及污染物理化性质等。根据具体场地的相关参数变化，敏感受体的

暴露量也会随之变化。本次风险评估选用的暴露模型参数主要结合调查地块实际数值，同时参考国家及地方《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）和《建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则》（DB11/T656-2019）中的相关数值。

本次地块风险评估重点关注儿童和成人人体健康，相关暴露参数取值如下：

**表 4.4-1 暴露因子及暴露途径相关参数**

序号	暴露参数		儿童	成人	参数来源
1	暴露周期 (a)	ED	6	24	导则 HJ 25.3
2	暴露频率 ( $d a^{-1}$ )	EF	350	350	导则 HJ 25.3
3	室内暴露频率 ( $d a^{-1}$ )	EFI	262.5	262.5	导则 HJ 25.3
4	室外暴露频率 ( $d a^{-1}$ )	EFO	87.5	87.5	导则 HJ 25.3
5	平均体重 (kg)	BW	19.2	61.8	导则 HJ 25.3
6	平均身高 (cm)	H	113.15	161.5	导则 HJ 25.3
7	每日呼吸量 ( $m^3 d$ )	DAIR	7.5	14.5	导则 HJ 25.3
8	每日摄入土壤量 ( $mg d^{-1}$ )	OSIR	200	100	导则 HJ 25.3
9	每日皮肤接触事件频率 ( $d^{-1}$ )	Ev	1	1	导则 HJ 25.3
10	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	fspi	0.8	0.8	导则 HJ 25.3
11	室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	fspo	0.5	0.5	导则 HJ 25.3
12	暴露于土壤的参考剂量分配比例	SAF	0.5	0.5	导则 HJ 25.3
13	暴露皮肤所占面积比	SER	0.36	0.32	导则 HJ 25.3
14	皮肤表面土壤粘附系数 ( $mg cm^{-2}$ )	SSAR	0.2	0.07	导则 HJ 25.3
15	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	PIAF	0.75	0.75	导则 HJ 25.3
16	经口摄入吸收效率因子	ABSo	1	1	导则 HJ 25.3
17	致癌作用时间 (d)	ATca	27740	27740	导则 HJ 25.3
18	非致癌作用时间 (d)	ATnc	2190	2190	导则 HJ 25.3
19	空气中可吸入颗粒物含量 ( $mg m^{-3}$ )	PM <sub>10</sub>	0.119	0.119	导则 HJ 25.3
20	单一污染物可接受致癌风险	ACR	$10^{-6}$	$10^{-6}$	导则 HJ 25.3
21	可接受危害商	AHQ	1	1	导则 HJ 25.3



表 4.4-2 构筑物相关参数

序号	参数		第 I 类用地参数值	参数来源
1	地基裂隙中空气体积比	$\theta_{\text{acrack}}$	0.26	导则 HJ 25.3
2	地基裂隙中水体积比	$\theta_{\text{wcrack}}$	0.12	导则 HJ 25.3
3	室内地基厚度 (cm)	Zcrack	35	导则 HJ 25.3
4	室内空间体积与其气态污染物入渗面积比 (cm)	$L_B$	300	导则 HJ 25.3
5	室内空气交换速率 (次 $d^{-1}$ )	ER	12	导则 HJ 25.3
6	地基和墙体裂隙表面积所占比例	$\eta$	0.0005	导则 HJ 25.3
7	气态污染物入侵持续时间 (a)	T	30	导则 HJ 25.3
8	室内室外气压差 ( $g\ cm^{-1}\ s^2$ )	dP	0	导则 HJ 25.3
9	室内地面到地板底部厚度 (cm)	Zcrack	35	导则 HJ 25.3
10	室内地板周长 (cm)	Xcrack	3400	导则 HJ 25.3
11	室内地板面积 ( $cm^2$ )	Ab	700000	导则 HJ 25.3

699 地块地层结构显示, 地块地层分为填土层和卵石层。填土层以渣土为主, 包含砖渣、灰渣、碎石、混凝土块等, 砂土填土约 35%; 卵石层以砂卵石为主, 卵石大小不一。考虑 699 地块北侧 695 地块南边界附近两个调查点位 **JY4-2(4.5m, 1.02mg/kg)** 和 **BC3 (2.5m, 3.57mg/kg)** 苯并(a)芘超标, 存在污染物延伸, 这两个点位超标位置均位于卵石层, 该层土质松散、渗透性强、有机质含量低等实际特征, 土质参数主要参考选用同区域首钢主厂区《新首钢高端产业综合服务区 (首钢石景山主厂区) 场地环境调查与风险评价报告》(2015 年 9 月) 报告中相关参数和 HERA 计算软件推荐值 (砂土参数)。具体见表 6.3.1 小节。

## 5 毒性评估

毒性评估的工作内容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，包括致癌和非致癌效应，确定与关注污染物相关的毒性参数，包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和单位致癌因子等。以支撑致癌风险及非致癌风险的计算。

定量毒性参数包括计算致癌风险的致癌斜率因子（非挥发性有机污染物）、致癌风险参考浓度与单位致癌斜率因子（挥发性有机污染物），以及计算非致癌风险的慢性参考剂量（非挥发性有机污染物）和参考浓度（挥发性有机污染物），可参照 HJ 25.3-2019 的附录 B 进行取值。

### 5.1 污染物毒性特征

通过分析关注污染物的毒性特征，进一步明确污染物经不同途径对人体健康的危害效应，包括致癌效应、非致癌效应、污染物对人体健康的危害机理和剂量-效应关系等。

本次 699 地块风险评估中，关注的污染物为 1 种 PAHs，苯并(a)芘。多环芳烃是一类含有两个或两个以上苯环的碳氢化合物，具有致癌、致畸和致突变性，且毒性随着苯环的增加而增加。此外，PAHs 暴露于紫外光下时，会加速自由基的形成，使膜脂过氧化，从而损伤 DNA，引起人体遗传信息发生突变，形成光致毒效应。

699 地块关注污染物的毒性特征分析如下：

**苯并(a)芘，英文名称：Benzo(a)pyrene, BaP**

无色至淡黄色、针状、晶体(纯品)，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，本品在工业上无生产和使用价值，一般只作为生产过程中形成的副产物随废气排放。

苯并(a)芘为一种突变和致癌物质，从 18 世纪以来，便发现与许多癌症有关。其在体内的代谢物二羟环氧苯并芘，是产生致癌性的物质。

**致癌：**BaP 被认为是高活性致癌剂，但并非直接致癌物，必须经细胞微粒体中的混合功能氧化酶激活才具有致癌性。BaP 进入机体后，除少部分以原形随粪便排出外，一部分经肝、肺细胞微粒体中混合功能氧化酶激活而转化为数十种代谢产物，其中转化为羟基化合物或醌类者，是一种解毒反应；转化为环氧化物者，特

别是转化成 7,8-环氧化物,则是一种活化反应,7,8-环氧化物再代谢产生 7,8-二氢二羟基-9,10-环氧化物,便可能是最终致癌物。这种最终致癌物有四种异构体,其中的(+)-BP-7 $\beta$ ,8 $\alpha$ -二醇体-9 $\alpha$ ,10 $\alpha$ -环氧化物-苯并[a]芘,已证明致癌性最强,它与 DNA 形成共价键结合,造成 DNA 损伤,如果 DNA 不能修复或修而不复,细胞就可能发生癌变。其它三种异构体也有致癌作用。动物试验包括经口、经皮、吸入,经腹膜皮下注射、均出现致癌。许多国家相继用 9 种动物进行实验,采用多种给药途径,结果都得到诱发癌的阳性报告。在多环芳烃中, BaP 污染最广、致癌性最强。BaP 不仅在环境中广泛存在,也较稳定,而且与其它多环芳烃的含量有一定的相关性,所以,一般都把 BaP 作为大气致癌物的代表。

致畸: 1000mg/kg, 妊娠大鼠以口, 胎儿致畸。

致突变: 40mg/kg, 1 次, 田鼠经腹膜, 染色体试验多种变化。小鼠, 遗传表型试验多种变化。昆虫, 遗传表型试验多种变化。微生物, 遗传表型试验多种变化。人体细胞培养 DNA 多种变化。

表 5.1-1 699 地块风险评估关注污染物性质信息表

化合物名称	分子式	分子量	Kow	环数	致癌性
苯并(a)芘	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.3	6.06	5	特强致癌

5.2 毒性参数取值

毒性参数主要采用《建设用土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)进行计算呼吸吸入致癌斜率因子 (SF<sub>i</sub>)、呼吸吸入参考剂量 (RfD<sub>i</sub>)、皮肤接触致癌斜率系数 (SF<sub>d</sub>) 和参考剂量(RfD<sub>d</sub>)，计算过程如下所示：

(1) 呼吸吸入致癌斜率因子和参考剂量外推模型公式

呼吸吸入致癌斜率因子 (SF<sub>i</sub>) 和呼吸吸入参考剂量 (RfD<sub>i</sub>) 的计算过程，分别如下：

$$SF_i = \frac{IUR \cdot BW_a}{DAIR_a}$$

$$RfD_i = \frac{RfC \cdot DAIR_a}{BW_a}$$

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>;

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>;

IUR 一呼吸吸入单位致癌因子,  $\text{m}^3 \text{mg}^{-1}$ ;

RfC 一呼吸吸入参考浓度,  $\text{mg m}^{-3}$ ;

DAIR<sub>a</sub>—成人每日空气呼吸量,  $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ;

BW<sub>a</sub>—成人体重, kg。

## (2) 皮肤接触致癌斜率因子和参考剂量外推模型公式

皮肤接触致癌斜率系数 ( $SF_d$ ) 和参考剂量( $RfD_d$ )的计算过程, 分别如下:

$$SF_d = \frac{SF_o}{ABS_{gi}}$$

$$RfD_d = RfD_o \cdot ABS_{gi}$$

式中,

$SF_d$ —皮肤接触致癌斜率因子,  $(\text{mg 污染物 kg}^{-1} \text{ 体重 d}^{-1})^{-1}$ ;

$SF_o$  —经口摄入致癌斜率因子,  $(\text{mg 污染物 kg}^{-1} \text{ 体重 d}^{-1})^{-1}$ ;

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

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

$ABS_{gi}$ —消化道吸收效率因子, 无量纲。

表 5.2-1 污染物毒性数据

污染物名称	CAS	经口摄入 致癌斜率因子	呼吸吸入 单位致癌风险	经口摄入 参考剂量	呼吸吸入 参考浓度	消化道吸收 效率因子	皮肤吸收 效率因子
		SFo	IUR	RfDo	RfC	ABS <sub>gi</sub>	ABS <sub>d</sub>
		(mg/kg-d) <sup>-1</sup>	(mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	mg/kg-d	mg/m <sup>3</sup>	无量纲	无量纲
苯并(a)芘	50-32-8	1.00E+00	6.00E-01	3.00E-04	2.00E-06	1	0.13

备注：表中参数摘自《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附表 B.1。

表 5.2-2 污染物相关物理性质

污染物名称	CAS	亨利常数	扩散系数		土壤-有机碳分配系数	水中溶解度
		H' (20-25℃)	Da (空气)	Dw (水)	Koc (20-25℃)	S (20-25℃)
		无量纲	cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
苯并(a)芘	50-32-8	1.87E-5	4.76E-02	5.56E-06	5.87E+05	1.62E-03

备注：表中参数摘自《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）附表 B.2。

## 6 风险表征

在暴露评估和毒性评估的基础上,采用风险评估模型计算土壤中单一污染物经单一途径的致癌风险和危害商,计算单一污染物的总致癌风险和危害指数,进行不确定性分析。主要工作内容是综合危害识别、暴露评估和毒性评估工作成果,采用剂量-效应模型定量计算关注污染物的健康风险水平。风险表征得到的地块污染物的致癌风险和危害商,可作为确定地块污染范围的重要依据。计算得到单一污染物的致癌风险值超过  $10^{-6}$  或危害商超过 1 的采样点,其代表的地块区域应划定为风险不可接受的污染区域。

### 6.1 表征模型

本次地块风险评估表征模型主要参考国家 HJ25.3-2019 及北京市 DB11/T656-2019 风险评估导则技术要求,进一步计算 699 地块土壤污染物致癌风险及非致癌危害商。

土壤中每一种致癌物质的风险可以通过经口、经皮肤、呼吸吸入等途径的摄入量与其致癌风险斜率因子的乘积相加后得出。土壤中的非致癌污染物的风险采用危害商进行表述,它是由不同途径摄入量与毒理学参考剂量的比值。当某种污染物的浓度超过这种物质的毒理学参考剂量时,可能对场地上的人群产生非致癌性的伤害。

#### 6.1.1 土壤中单一污染物致癌风险

(1) 经口摄入土壤途径的致癌风险计算公式:

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

公式中:

$CR_{ois}$ —经口摄入土壤途径的致癌风险,无量纲;

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

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

$SF_o$ —经口摄入致癌斜率因子,  $(mg \text{ 污染物 } kg^{-1} \text{ 体重 } d^{-1})^{-1}$ 。

(2) 皮肤接触土壤途径的致癌风险计算公式:

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



公式中：

$CR_{dcs}$ —皮肤接触土壤途径的致癌风险，无量纲。

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

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

$SF_d$ —皮肤接触致癌斜率因子， $(mg\ 污染物\ kg^{-1}\ 体重\ d^{-1})^{-1}$ 。

（3）吸入土壤颗粒物途径的致癌风险采用计算公式：

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

公式中：

$CR_{pis}$ —吸入土壤颗粒物途径的致癌风险，无量纲；

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

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

$SF_i$ —呼吸吸入致癌斜率因子， $(mg\ 污染物\ kg^{-1}\ 体重\ d^{-1})^{-1}$ 。

（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采用计算公式：

$$CR_{iov1} = IOVER_{ca1} \times C_{sur} \times SF_i$$

公式中：

$CR_{iov1}$ —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；

$IOVER_{ca1}$ —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  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

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

$SF_i$ —呼吸吸入致癌斜率因子， $(mg\ 污染物\ kg^{-1}\ 体重\ d^{-1})^{-1}$ 。

（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计算公式：

$$CR_{iov2} = IOVER_{ca2} \times C_{sub} \times SF_i$$

公式（C.5）中：

$CR_{iov2}$ —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；

$IOVER_{ca2}$ —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）， $kg$  土壤  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

$C_{sub}$ —下层土壤中污染物浓度， $mg\ kg^{-1}$ ；

$SF_i$ —呼吸吸入致癌斜率因子， $(mg\ 污染物\ kg^{-1}\ 体重\ d^{-1})^{-1}$ 。

（6）吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险采用计算公式：

$$CR_{iiv1} = IIVER_{ca1} \times C_{sub} \times SF_i$$

公式中：

$CR_{iiv1}$ —吸入室内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；

$IIVER_{ca1}$ —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  $kg^{-1}$  体重  $d^{-1}$ ；

$C_{sub}$ —下层土壤中污染物浓度， $mg\ kg^{-1}$ ；

$SF_i$ —呼吸吸入致癌斜率因子， $(mg\ 污染物\ kg^{-1}\ 体重\ d^{-1})^{-1}$ 。

（7）土壤中单一污染物经所有暴露途径的总致癌风险采用公式（C.7）计算：

$$CR_n = CR_{ois} + CR_{dcs} + CR_{pis} + CR_{iov1} + CR_{iov2} + CR_{iiv1}$$

公式（C.7）中：

$CR_n$ —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。

### 6.1.2 土壤中单一污染物危害商

（1）经口摄入土壤途径的危害商采用计算公式：

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \cdot C_{sur}}{RfD_o \cdot SAF}$$

公式中：

$HQ_{ois}$ —经口摄入土壤途径的危害商，无量纲；

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

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

RfD<sub>o</sub>—经口摄入参考剂量, mg 污染物 kg<sup>-1</sup> 体重 d<sup>-1</sup>;

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲;

(2) 皮肤接触土壤途径的危害商采用计算公式:

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

公式中:

HQ<sub>dcs</sub>—皮肤接触土壤途径的危害商, 无量纲;

DCSER<sub>nc</sub>—皮肤接触的土壤暴露量 (非致癌效应), kg 土壤 kg<sup>-1</sup> 体重 d<sup>-1</sup>;

C<sub>sur</sub>—表层土壤中污染物浓度, mg kg<sup>-1</sup>;

RfD<sub>d</sub>—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>;

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲。

(3) 吸入土壤颗粒物途径的危害商采用计算公式:

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

公式中:

HQ<sub>pis</sub>—吸入土壤颗粒物途径的危害商, 无量纲;

PISER<sub>nc</sub>—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>;

C<sub>sur</sub>—表层土壤中污染物浓度, mg kg<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>;

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数, 无量纲。

(4) 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的危害商采用计算公式:

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

公式中:

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商, 无量纲;

IOVER<sub>nc1</sub>—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>;

C<sub>sur</sub>—表层土壤中污染物浓度, mg kg<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>；

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

(5) 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害商采用计算公式：

$$HQ_{iov2} = \frac{IOVER_{nc2} * C_{sub}}{RfD_i * SAF}$$

公式中：

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商，无量纲；

IOVER<sub>nc2</sub>—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>；

C<sub>sub</sub>—下层土壤中污染物浓度，mg kg<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>；

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

(6) 吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径的危害商采用计算公式：

$$HQ_{iiv1} = \frac{IIVER_{nc1} * C_{sub}}{RfD_i * SAF}$$

公式中：

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

IIVER<sub>nc1</sub>—吸入室内空气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>；

C<sub>sub</sub>—下层土壤中污染物浓度，mg kg<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>。

SAF—暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲。

(7) 土壤中单一污染物经所有暴露途径的危害指数采用计算公式：

$$Hi_n = Hq_{ois} + Hq_{dcs} + Hq_{pis} + Hq_{iov1} + Hq_{iov2} + Hq_{iiv1}$$

公式中：

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。

### 6.1.3 人体可接受风险水平

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)，单一污染物的可接受致癌风险水平为  $1 \times 10^{-6}$ ，可接受危害商为 1。即当单一污染物致癌风险水平大于  $1 \times 10^{-6}$ ，危害商大于 1 时，可能对人体具有危害，需采取进一步的管理措施。

## 6.2 计算软件

本次 699 地块风险评估采用由中国科学院南京土壤研究所 污染场地修复中心开发的《污染场地健康与环境风险评估软件》(HERA)。开展计算工作前，依据 HJ25.3-2019 国家导则对软件中关注污染物的理化与毒性参数、受体暴露参数以及建筑物特征参数等相关参数进行核对更新，以保证本次风险评估工作的科学性与准确性。计算软件的工作界面详见图 6.2-1 至 6.2-5。

The screenshot shows the 'Project Information' (项目信息) interface of the HERA software. The title bar indicates the project is '北辛安-699' (Beixinkan-699) at the 'Tier1' level. The interface is divided into a left sidebar and a main content area. The sidebar contains a 'Project Input' (项目输入) section with buttons for 'Project Information' (项目信息), 'Select Pollutants' (选择污染物), 'Select Exposure Pathway' (选择暴露途径), 'Select Model' (选择模型), and 'Set Parameters' (设置参数). Below this is a 'Project Output' (项目输出) section with a 'Parameter Management' (参数管理) button. The main content area is titled 'Basic Information' (基本信息) and contains several input fields: 'Project Number' (项目编号) set to '北辛安-699', 'Site Name' (场地名称) set to '北辛安棚户区改造项目699地块', 'Site Location' (场地位置) set to '石景山区', 'Assessment Unit' (评估单位) set to '北京市科学技术研究院资源环境研究所', 'Assessor' (评估人员) with an empty field, and 'Date' (日期) set to '2021-11-04'. A 'Remarks' (说明) field contains the text '关注污染物：苯并(a)芘。'. At the bottom, there are two sections: 'Assessment Level' (评估层次) with radio buttons for 'First Level (Tier 1)' (selected) and 'Second Level (Tier 2)', and 'Calculation Mode' (计算模式) with checkboxes for 'Forward (Risk Value/Hazard Quotient)' (checked) and 'Reverse (Screening Value/Control Value)' (checked).

图 6.2-1 HERA 软件风险评估工作计算过程示意图（项目信息界面）

	污染物(中文)	状态	经口摄入致癌斜率因子 SF <sub>0</sub> [1/(mg/kg/d)]	参考文献	呼吸吸入单位致癌风险 IUR (m <sup>3</sup> /mg)	参考文献	经口摄入参考剂量 RfDo (mg/kg/d)	参考	
34	偶氮苯	▼	1.10E-01	EPA-I	▼	3.10E-02	EPA-I	▼	-
35	钡	▼	-	-	▼	-	2.00E-01	EPA-	
36	三唑酮	▼	-	-	▼	-	3.00E-02	EPA-	
37	氟草胺	▼	-	-	▼	-	3.00E-01	EPA-	
38	苯菌灵	▼	-	-	▼	-	5.00E-02	EPA-	
39	苯并(a)蒽	▼	1.00E-01	R369	▼	6.00E-02	R369	▼	-
40	苯甲醛	▼	-	-	▼	-	1.00E-01	EPA-	
41	苯	▼	5.50E-02	EPA-I	▼	7.80E-03	EPA-I	▼	EPA-
42	1,3-二氯基苯	▼	-	-	▼	-	6.00E-03	TX12	
43	1,2-苯二甲酸二异...	▼	-	-	▼	-	4.00E-02	-	
44	苯硫酚	▼	-	-	▼	-	1.00E-03	R369	
45	4,4'-二氨基联苯	▼	2.30E+02	EPA-I	▼	6.70E+01	EPA-I	▼	EPA-
46	苯并(a)芘	▼	1.00E+00	EPA-I	▼	6.00E-01	R369	▼	-
47	苯并(b)荧蒽	▼	1.00E-01	R369	▼	6.00E-02	R369	▼	-
48	苯并[e]芘	▼	-	-	▼	-	3.00E-02	TX12	
49	苯并(g,h,i)花	▼	-	-	▼	-	3.00E-02	TX12	
50	苯甲酸	▼	-	-	▼	-	4.00E+00	EPA-	
51	苯并(k)荧蒽	▼	7.30E-02	R369	▼	1.10E-01	R369	▼	-
52	二苯甲酮	▼	-	-	▼	-	6.70E-03	TX12	
53	三氯化苈	▼	1.30E+01	EPA-I	▼	-	-	-	-

图 6.2-2 HERA 软件风险评估工作计算过程示意图（毒性参数更新核实界面）

受体暴露参数	土壤性质参数	地下水性质参数	建筑物特征参数	空气特征参数	作物吸收参数	恢复默认参数
用地类型：敏感用地						
	儿童	成人				
平均体重 (BW)	19.2	61.8	kg			
平均身高 (H)	113.15	161.5	cm			
暴露期 (ED)	6	24	a			
暴露频率 (经口摄入和皮肤接触) (EF)	350	350	d/a		摄入自产叶菜比例 (HF <sub>leafy</sub> )	0.05 -
室内暴露频率 (呼吸吸入) (EFI)	262.5	262.5	d/a		摄入自产根菜比例 (HF <sub>root</sub> )	0.06 -
室外暴露频率 (呼吸吸入) (EFO)	87.5	87.5	d/a		每日皮肤接触事件频率 (E <sub>v</sub> )	1 次/d
暴露皮肤所占体表面积比 (SER)	0.36	0.32	-		气态污染物入侵持续时间 (T)	9.46E+08 s
皮肤表面土壤粘附系数 (SSAR)	0.2	0.07	mg/cm <sup>2</sup>		室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例 (fspi)	0.8 -
每日摄入土壤量 (OSIR)	0.2	0.1	g/d		室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例 (fspo)	0.5 -
每日饮用水量 (GWCR)	700	1000	mL/d		吸入土壤颗粒物在体内滞留比例 (PIAF)	0.75 -
每日空气呼吸量 (DAIR)	7.5	14.5	m <sup>3</sup> /d		非致癌效应平均时间 (AT <sub>nc</sub> )	2190 d
每日摄入叶菜量 (CR <sub>leafy</sub> )	2	6	g/d		致癌效应平均时间 (AT <sub>ca</sub> )	27740 d
每日摄入根菜量 (CR <sub>root</sub> )	1	2	g/d		可接受致癌风险 (ACR)	1.00E-06 -
					可接受危害商 (AHQ)	1 -

图 6.2-3 HERA 软件风险评估工作计算过程示意图（受体暴露参数更新核实界面）

污染场地健康与环境风险评估软件 - 【编号：北辛安-699 场地名称：北辛安棚户区改造项目699地块 层次：Tier1】

新建项目 打开项目 保存项目 关闭项目 删除项目 导入/导出

项目输入 项目信息 选择污染物 选择暴露途径 选择模型 设置参数

土壤性质参数

表层污染土壤层厚度( $d$ ) 0.5 m 污染土壤层顶部至地下水面的距离( $L_2$ ) 3 m

下层污染土壤层厚度( $d_{sub}$ ) 4.5 m 平行于风向的土壤污染源宽度( $W_{dw}$ ) 20 m

下层污染土壤层顶部埋深( $L_s$ ) 0.5 m 平行于地下水流向的土壤污染源宽度( $W_{gw}$ ) 45 m

污染土壤层厚度( $L_1$ ) 2 m 土壤中水的入渗速率( $I$ ) 0.3 m/a

土壤类型 CLEA(Sand)

包气带孔隙水体积比( $\theta_{ws}$ ) 0.26 - 毛细管层孔隙水体积比( $\theta_{wcap}$ ) 0 -

包气带孔隙空气体积比( $\theta_{as}$ ) 0.17 - 毛细管层孔隙空气体积比( $\theta_{acap}$ ) 0 -

包气带土壤容重( $\rho_b$ ) 1.18 g/cm<sup>3</sup> 土壤地下水交界处毛细管层厚度( $h_{cap}$ ) 0 m

包气带土壤有机碳质量分数( $f_{oc}$ ) 0 - 土壤渗透系数( $K_v$ ) 7.54E-12 m<sup>2</sup>

图 6.2-4 HERA 软件风险评估工作计算过程示意图（土壤性质参数更新核实界面）



受体暴露参数	土壤性质参数	地下水性质参数	建筑物特征参数	空气特征参数	作物吸收参数	恢复默认参数
用地类型：敏感用地						
地基裂隙中水体积比 ( $\theta_{wcrack}$ )		0.12	-	地面到地板底部厚度 ( $Z_{crack}$ )		0.35 m
地基裂隙中空气体积比 ( $\theta_{acrack}$ )		0.26	-	室内地板面积 ( $A_b$ )		70 m <sup>2</sup>
地基和墙体裂隙表面积所占比例 ( $\eta$ )		0.0005	-	室内地板周长 ( $X_{crack}$ )		34 m
室内空间体积与气态污染物入渗面积之比 ( $L_B$ )		3	m	室内地基厚度 ( $L_{crack}$ )		0.35 m
室内空气交换率 (ER)		1.39E-04	1/s	土壤颗粒物载入因子 (DL)		5.00E-05 g/m <sup>3</sup>
室内室外气压差 (dP)		0	Pa			

图 6.2-5 HERA 软件风险评估工作计算过程示意图（建筑物特征参数更新核实界面）

## 6.3 计算结果

### 6.3.1 计算参数选定

#### (1) 暴露浓度

表 6.3-1 土壤中关注污染物的暴露浓度 (mg/kg)

关注污染物	暴露浓度	筛选值
苯并(a)芘	3.57	0.55

#### (2) 参数设定

表 6.3-2 地块污染区及土壤相关参数

序号	参数		参数值	参数来源
1	表层污染土壤层厚度 (cm)	d	50	地块调查数据
2	下层污染土壤层埋深 (cm)	L <sub>s</sub>	50	地块调查数据
3	下层污染土壤层厚度 (cm)	d <sub>sub</sub>	450	地块调查数据
4	污染源区面积 (cm <sup>2</sup> )	A	5350000	地块调查数据
5	污染区宽度 (cm)	L <sub>gw</sub>	2000	地块调查数据
6	土壤颗粒密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>s</sub>	1.7	前期资料①
7	土壤有机碳含量	f <sub>oc</sub>	0 (砂卵石)	前期资料①
8	包气带孔隙水体积比	θ <sub>ws</sub>	0.26	前期资料①
9	包气带孔隙空气体积比	θ <sub>as</sub>	0.17	前期资料①
10	土壤容重 (kg dm <sup>-3</sup> )	ρ <sub>b</sub>	1.18	HERA 推荐值②
11	土壤渗透系数 (m <sup>2</sup> )	K <sub>v</sub>	7.543795E-12	HERA 推荐值②

备注：①前期资料为《新首钢高端产业综合服务区（首钢石景山主厂区）场地环境调查与风险评价报告》（2015 年 9 月）。②HERA 推荐值为计算模型中渗透系数最大的砂土参数。

### 6.3.2 计算结果

风险计算结果表明，土壤中的污染物苯并(a)芘对人体的致癌健康风险均超过风险控制值 1.0E-6，对人体的健康危害商超过可接受风险值 1。需要对土壤中的污染物进行修复。

表 6.3-3 699 地块土壤风险计算结果

污染物	暴露 浓度 mg/kg	土壤致癌风险						非致癌危害商					
		经口 摄入	皮肤 接触	吸入 颗粒物	吸入室 内空气	吸入室 外空气	总致癌 风险	经口摄 入	皮肤接 触	吸入 颗粒物	吸入室 内空气	吸入室 外空气	总危害 商
苯并(a)芘	3.57	<b>4.56E-06</b>	<b>1.90E-06</b>	1.72E-08	1.10E-07	9.45E-07	<b>7.53E-06</b>	5.94E-01	2.20E-01	2.67E-01	<b>1.70E+00</b>	<b>1.47E+01</b>	<b>1.74E+01</b>

## 6.4 关键暴露途径

单一污染物暴露风险贡献率分析，单一污染物是指经不同暴露途径的致癌风险和危害商贡献率分析；不同污染物是指经所有暴露途径致癌风险和危害商贡献率分析。根据计算获得的百分比越大，表示特定暴露途径或特定污染物对于总风险值或危害指数的影响越大，可为制定污染场地风险管理或治理与修复方案提供重要的信息。

单一污染物经不同暴露途径致癌和非致癌风险的贡献率，采用以下公式计算：

$$PCR_i = \frac{CR_i}{CR_n} \times 100\%$$
$$PHQ_i = \frac{HQ_i}{HI_n} \times 100\%$$

公式中：

Cri——单一污染物经第 i 种暴露途径的致癌风险，无量纲；

CRn——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；

PCRi——单一污染物经第 i 种暴露途径致癌风险贡献率，无量纲；

HQi——单一污染物经第 i 种暴露途径的危害商，无量纲；

HI<sub>n</sub>——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；

PHQi——单一污染物经第 i 种暴露途径非致癌风险贡献率，无量纲。

根据污染物的超标种类、超标数量的不同，结合地块主要污染特征，土壤中风险超过可接受水平的污染物为苯并(a)芘。土壤致癌风险的主要暴露途径是经口摄入，非致癌危害商的主要暴露途径是吸入室外空气，在后续规划和场地后续开发建设活动中，根据主要暴露途径，采取有针对性的措施降低暴露量和暴露风险。

表 6.4-1 699 地块土壤中污染物不同暴露途径的致癌风险贡献率

污 染 物	暴露 浓度 mg/kg	风险/ 贡献 率	土壤致癌风险						非致癌危害商					
			经口 摄入	皮肤 接触	吸入 颗粒物	吸入室 内空气	吸入室 外空气	总致癌 风险	经口摄 入	皮肤接 触	吸入 颗粒物	吸入室 内空气	吸入室 外空气	总危害商
苯并 (a) 芘	3.57	风险	4.56E-06	1.90E-06	1.72E-08	1.10E-07	9.45E-07	7.53E-06	5.94E-01	2.20E-01	2.67E-01	1.70E+00	1.47E+01	1.74E+01
		贡献 率	60.58%	25.19%	0.23%	1.46%	12.55%		3.41%	1.26%	1.53%	9.77%	84.03%	

## 6.5 敏感性分析

敏感性参数（P）应是对目标结果（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）。根据上述计算公式和方法，某传播途径获得的百分比越大，表示特定暴露途径对于总风险的贡献率越高。同时，贡献率超过 20% 的时候，需要针对敏感受体与该暴露途径的相关参数进行敏感性分析，用于研究具体参数的变化对于总体风险的敏感性。

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。制定污染土壤风险管理对策时，应该关注对风险和修复目标值影响较大的敏感性参数。

模型参数值变化（从 P<sub>1</sub> 变化到 P<sub>2</sub>）对致癌风险、危害商值的影响，基于致癌和非致癌风险的土壤限值（X<sub>1</sub> 到 X<sub>2</sub>）的敏感性比例，采用如下公式计算：

$$SR = \frac{\frac{X_2 - X_1}{X_1} \times 100\%}{\frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100\%}$$

公式中：

SR—参数敏感性比例，无量纲；

P<sub>1</sub>—参数 P 变化前的数值；

P<sub>2</sub>—参数 P 变化后的数值；

X<sub>1</sub>—按 P<sub>1</sub> 计算的致癌风险值、危害商值或修复目标值，无量纲；

X<sub>2</sub>—按 P<sub>2</sub> 计算的致癌风险值、危害商值或修复目标值，无量纲。

### （1）典型污染物选择

根据风险计算结果，选择苯并(a)芘作为敏感性分析的代表性污染物。

### （2）敏感性参数选择

根据典型污染物风险贡献率的计算结果，苯并(a)芘的暴露途径中，风险贡献率超过 20% 的暴露途径是经口摄入、皮肤接触，危害商贡献率超过 20% 的暴露

途径是吸入室外空气。因此，选择与风险贡献率较大的暴露途径相关的参数，如土壤性质参数、儿童平均体重、室内暴露频率等进行敏感性分析。

### (3) 敏感性分析

依据风险计算模型，进行敏感性计算。根据敏感性计算公式，计算得出各参数的敏感性。从表 6.5-2 中可以看出，儿童平均体重（BWc）对苯并(a)芘污染物致癌风险、非致癌危害商影响最大。

表 6.5-1 模型评估参数取值

参数	单位	土壤参数值 (P1)	变化后值 (P2)
土壤有机碳含量 (foc)	-	0	0.0225
土壤容重 ( $\rho_b^*$ )	$\text{kg dm}^{-3}$	1.18	1.5
儿童平均体重 (BWc)	kg	19.2	15.9
室内暴露频率 (EFI)	$\text{d a}^{-1}$	262.5	300
室内暴露频率 (EFO)	$\text{d a}^{-1}$	87.5	100

表 6.5-2 土壤污染物风险敏感性分析

风险	污染物	致癌风险						参数敏感性比例 SR(%)				
		按 P1 计算的 X1	按 P2 计算的 X2					foc	pb*	BWc	EFI	EFO
致癌风险	苯并(a)芘	<b>7.53E-06</b>	<b>6.48E-06</b>	<b>7.82E-06</b>	8.28E-06	7.55E-06	7.67E-06	-	14.20%	<b>-57.95%</b>	1.86%	13.01%
危害商		<b>1.74E+01</b>	1.12E+00	2.19E+01	2.10E+01	<b>1.77E+01</b>	<b>1.95E+01</b>	-	95.37%	<b>-120.38%</b>	12.07%	84.48%



## 6.6 风险评估不确定性分析

地块健康风险评估是一个系统工程，需要化学、地质学、毒理学等多方面的专家合作。受基础科学发展水平、时间及资料等限制，本项目报告在许多方面存在不确定性，相关研究还有待进一步深入。

(1) 暴露途径的不确定性：在风险评估过程中，由于我国各地地形地貌、气候气象各异，场地条件不尽相同，不同地区的暴露途径不尽相同。本项目主要遵从《建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则》(DB11/T656-2019)及《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)。

(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（如对暴露参数和部分污染因子的毒理参数估计），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。

(3) 物质在介质间迁移过程的不确定性：本次采用的迁移公式均来自于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)，但导则中的模型需要大量的项目资料进行验证、修正、支持。

## 6.7 风险控制值

### 6.7.1 风险控制值计算步骤与方法

地块污染物土壤风险控制值的计算步骤如下：

- 1) 选择模型方法计算污染物风险控制值；
- 2) 确定目标风险水平和危害商；
- 3) 根据风险评估结果，确定对人体健康具有潜在危害的污染物种类；
- 4) 整理收集污染物理化参数及毒理学参数；
- 5) 根据土地利用类型和受体特征确定暴露参数；
- 6) 根据地块特征确定场地参数，如土壤参数、地下水参数、建筑物参数等。

本项目污染物风险控制值的计算建议采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)中风险计算方法。

- 1) 基于土壤暴露途径综合致癌效用的土壤风险控制值

$$HCVS_n = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_o + DCSE_{ca} \times SF_d + (PISER_{nc} + IOVER_{ca1} + IIVER_{ca1}) \times SF_i}$$

2) 基于土壤暴露途径综合非致癌效用的土壤风险控制值

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

### 6.7.2 土壤风险控制值计算结果

比较各污染物经单一和所有暴露途径致癌风险的土壤修复限值、经单一和所有暴露途径的危害商的土壤修复限值，综合确定污染地块特征，计算风险控制值，如下表所示。

表 6.7-1 土壤中污染物风险控制计算值 单位：mg/kg

污染物	CAS	筛选值 (mg/kg)	暴露浓度 (mg/kg)	污染物风险控制计算值 (mg/kg)
苯并(a)芘	50-32-8	0.55	3.57	0.205

苯并(a)芘的风险控制计算值与《土壤环境质量建设用地 土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第一类筛选值（0.55mg/kg）差异较大。经认真分析核实计算，主要因地块污染物地层为砂卵石层，当土壤有机质参数为 0 时，计算所得的风险控制值与 GB36600-2018 国家标准中的筛选值存在较为明显的差异。

## 7 修复目标值

### 7.1 基于导则的修复目标值计算

#### 7.1.1 计算方法与步骤

地块污染物修复目标值的计算步骤如下：

- 1) 选择模型方法计算污染物风险控制值；
- 2) 确定目标风险水平和危害商；
- 3) 根据风险评估结果，确定对人体健康具有潜在危害的污染物种类；
- 4) 整理收集污染物理化参数及毒理学参数；
- 5) 根据土地利用类型和受体特征确定暴露参数；
- 6) 根据地块特征确定地块参数，如土壤参数、地下水参数、建筑物参数等。

本项目污染物风险控制值的计算建议采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中风险计算方法。

#### 7.1.2 目标风险水平确定

根据 HJ 25.3-2019 中推荐的单一污染物的可接受致癌风险水平为  $1 \times 10^{-6}$ ，单一污染物的可接受危害商为 1。

#### 7.1.3 地块修复污染物确定

风险计算结果表明，土壤中的污染物苯并(a)芘对人体的致癌健康风险均超过风险控制值  $1.0E-6$ ，苯并(a)芘对人体的健康危害商超过可接受风险值 1。需要对土壤中关注的污染物进行修复。

### 7.2 修复目标值的确定

依据我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）：计算基于致癌效应的土壤风险控制值时，采用的单一污染物可接受致癌风险为  $1 \times 10^{-6}$ ；计算基于非致癌效应的土壤风险控制值时，采用的单一污染物可接受危害商为 1。最终确定污染场地土壤修复目标值时，应将基于风险评估模型计算出的土壤风险控制值作为主要参考值。

但实际上，依据风险评估的理论和国内外修复目标确定常规方法，修复目标值的最终确定还需结合场地实际情况，综合考虑经济水平和修复技术水平可达性，从而提出经济合理、科学可行的修复目标值。

表 7.2-1 土壤修复目标值比较及确定 (mg/kg)

污染物	基于人体健康的土壤修复目标值	筛选值 (I 类)	管制值 (I 类)	建议修复目标值
苯并(a)芘	0.205	0.55	5.5	<b>0.55</b>

## 8 修复范围

根据采样点的样品检测浓度，首先采用反距离插值法计算地块污染物分布范围。在污染物分布范围插值基础上，对照地块污染建议修复目标值，结合超标点位周边清洁点的位置及调查区域范围、采样点深度、土壤地层结构分布、采样点的高程、污染物特征以及现场生产设施分布情况，综合考虑污染物迁移特征和现场识别等进行综合判断，最终确定地块土壤污染修复范围，修复范围以不同污染物污染范围叠加后的最大范围计算。

根据前期风险评估计算结果，污染土壤需要修复治理，地块内污染土壤修复范围面积和修复体积见表 8.1-1，不同深度的污染土壤修复面积和体积信息见表 8.1-2。土壤分层修复范围见图 8.1-1 至 8.1-2。

**表 8.1-1 污染土壤修复范围面积和体积汇总表**

污染土壤修复区	修复深度	修复面积 (m <sup>2</sup> )	修复土方量 (m <sup>3</sup> )	苯并(a)芘污染土方量 (m <sup>3</sup> )
第一层	2-3m	534.99	534.99	534.99
第二层	4-5m	283.19	283.19	283.19
合计			818.18	818.18

**表 8.1-2 不同深度的污染土壤修复面积和体积信息表**

污染土壤修复区	修复面积 (m <sup>2</sup> )	修复土方量 (m <sup>3</sup> )	拐点坐标	
			X	Y
第一层 (2-3m)	534.99	534.99	484491.75	305176.39
			484529.44	305176.39
			484516.81	305161.29
			484504.18	305157.00
			484489.72	305163.09
			484491.75	305176.39
第二层 (4-5m)	283.19	283.19	484503.79	305176.39
			484515.85	305176.39
			484516.81	305161.29
			484489.72	305163.09
			484503.79	305176.39
合计	818.18	818.18	--	--

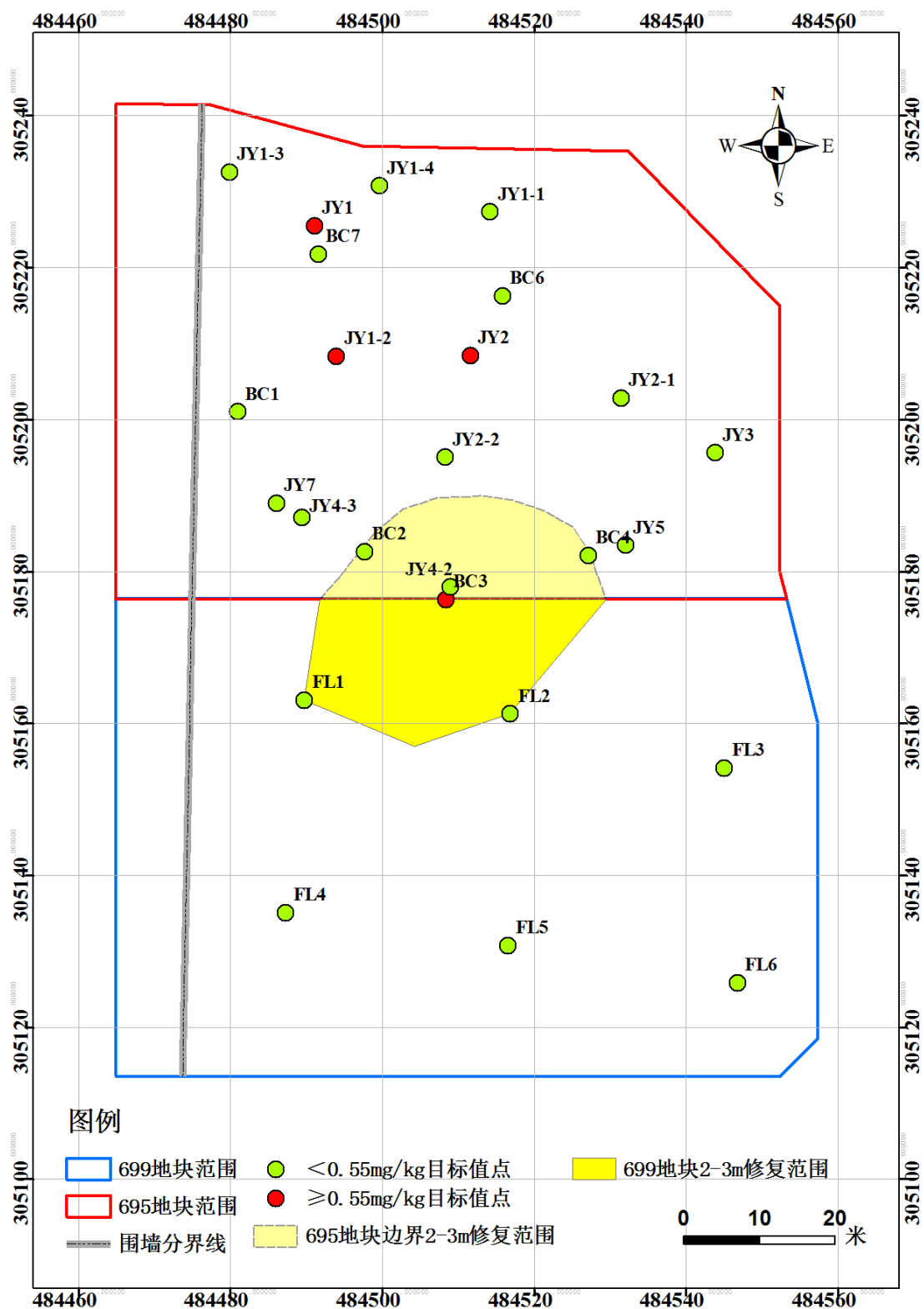


图 8.1-1 污染土壤第一层(2-3m)修复范围分布图

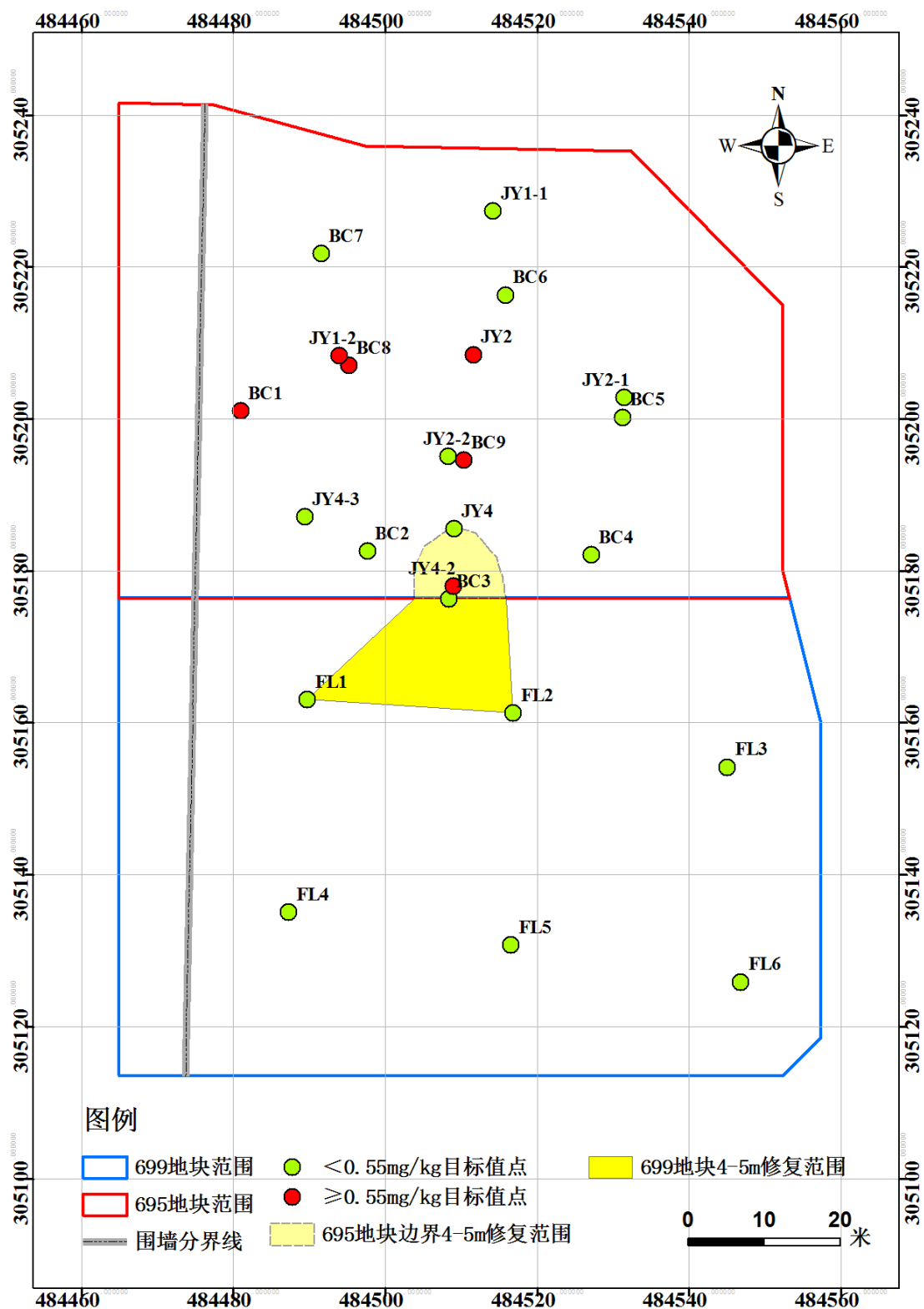


图 8.1-2 污染土壤第二层(4-5m)修复范围分布图

## 9 结论与建议

### 9.1 结论

1、699 地块初步调查布设土壤采样孔 6 个，采集土壤样品 21 个，检测指标为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600-2018）中表 1 基本项（45 项）和表 2 中 SVOCs，共 55 项，所有检测指标均未超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中的一类用地筛选值。

2、695 地块南侧紧邻 699 地块，两地块南北相接，根据 695 地块调查结果，该地块在南侧边界红线附近两个调查点位（JY4-2、BC3）苯并(a)芘超标，存在污染物的延伸，699 地块需要启动人体健康风险评估工作。

3、风险计算结果表明，苯并(a)芘对人体的致癌健康风险超过风险控制值  $1.0E-6$ ，对人体的健康危害商超过可接受风险值 1。需要对地块土壤中关注的污染物进行修复。

4、针对苯并(a)芘的污染，进行了修复目标值的计算，最终确定土壤中苯并(a)芘的修复目标值为 0.55 mg/kg。

5、经计算，699 地块调查场区内修复土方量约为 818.18 立方米。

### 9.2 不确定因素

1、暴露途径的不确定性：在风险评估过程中，由于我国各地地形地貌、气候气象各异，场地条件不尽相同，不同地区的暴露途径不尽相同。

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（如对暴露参数和部分污染因子的毒理参数估计），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。

3、物质在介质间迁移过程的不确定性：本次采用的迁移公式均来自于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），但导则中的模型需要大量的项目资料进行验证、修正、支持。

4、由于调查地块北侧 695 地块土壤中局部区域污染程度严重，污染范围具有一定的不确定性及随机性，可能会使得土壤污染修复施工过程中的存在一些不确定因素。



### 9.3 建议

建议该地块在开发利用之前，进行地块污染土壤修复。在修复过程中采取一定的环境保护措施。

现阶段未进行污染土壤修复前，建议对已查明的严重污染区采取有效的阻隔或者地面覆盖等措施，控制无关人员的暴露接触量，降低扰动产生污染扩散的风险。

建议现场扰动过程中，若局部土壤出现异色异味时，可以适当进行土壤采样检测，保障场地用地安全。

建议甲方单位在土壤修复过程中，采取分区开挖和分类堆放等管理措施。

建议在地块开发前，应聘请具有污染土壤修复经验的单位，依据地块调查报告、风险评估报告及地块修复技术方案编制地块污染施工治理方案，修复过程中，建立相应的应急预案，防范不确定因素的发生，防止二次污染情况的发生。

建议本地块在修复过程中，如存在红线边界污染物超标现象，应修复至临近地块无污染区域。

## 10 附件

附件:《北辛安棚户区改造项目 699 地块土壤污染状况调查报告》(备案稿),  
北京市科学技术研究院资源环境研究所。