

北辛安棚户区改造项目

场地环境评价报告

——681-1 地块报告

委托单位：北京安泰兴业置业有限公司

编制单位：轻工业环境保护研究所



2018年7月北京

北辛安置棚户区改造项目

场地环境评价报告

——681-1地块报告

委托单位：北京安泰兴业置业有限公司

编制单位：轻工业环境保护研究所

项目负责：魏文侠

参加人员：杨苏才 王海见 郝润琴 李佳斌 王硕 魏燕

张骥 吴乃瑾 郭鹏

审核：李培中

目录

1	总论	1
1.1	项目背景	1
1.2	场地环境评价目的	2
1.3	调查评价原则	2
1.4	评价依据	3
1.4.1	相关法律、法规、政策	3
1.4.2	相关技术导则和规范	3
1.4.3	相关标准	4
1.5	评价范围	4
1.6	场地评价内容	5
2	场地污染识别	8
2.1	场地概述	8
2.1.1	场地地理位置	8
2.1.2	场地区域自然概况	8
2.1.3	场地历史沿革	15
2.1.4	场地现状	15
2.1.5	场地未来规划	18
2.2	场地污染识别	20
2.2.1	场地污染分析	20
2.2.2	场地周边情况	20
2.2.3	环境突发事件	20
2.2.4	污染识别小结	20
2.3	初期污染识别结论与建议	21
2.3.1	结论	21
2.3.2	建议	21
3	场地污染现场调查	22
3.1	土壤样品现场采集	22
3.1.1	土壤采样布点原则	22
3.1.2	土壤采样布点方案	22
3.1.3	钻探取样	27
3.1.4	土壤样品现场快速筛查	27
3.2	水文地质调查	27
3.3	样品采集与保存	28
3.3.1	土壤样品采集与保存	28
3.4	实验室检测	29
3.4.1	检测项目	29
3.4.2	样品分析方法	29
3.5	全过程质量控制	29
3.5.1	现场采样前的准备工作	29
3.5.2	现场采样质量控制	30
3.5.3	样品运输与交接	31
3.5.4	实验室质量控制	31

3.5.5	质量控制结果.....	32
4	场地调查结果分析.....	33
4.1	场地水文地质调查情况.....	33
4.2	场地土壤污染特征分析.....	33
4.2.1	场地土壤中重金属污染特征.....	34
4.2.2	场地土壤中 SVOC 污染特征.....	36
4.2.3	污染物来源及成因分析.....	38
4.3	地下水污染特征分析.....	38
4.4	场地污染特征小结.....	40
5	场地风险评估.....	41
5.1	场地风险评价程序.....	41
5.2	风险识别.....	42
5.2.1	污染源分析.....	42
5.2.2	暴露点浓度.....	47
5.3	暴露分析.....	47
4.3.1	暴露对象.....	48
4.3.2	暴露途径.....	48
4.3.3	暴露参数.....	49
4.3.4	暴露量计算.....	51
4.4	毒性评价.....	53
4.4.1	非致癌物质毒性效应.....	53
4.4.2	致癌物质的效应评价.....	53
4.4.3	毒性参数.....	53
4.5	风险评价.....	55
4.5.1	工作内容.....	55
4.5.2	风险表征.....	55
4.5.3	RBCA 风险计算软件介绍.....	55
4.5.4	土壤污染风险计算.....	56
4.5.5	土壤污染风险贡献率分析.....	57
4.6	场地土壤污染计算修复目标值.....	58
4.7	风险评价不确定性分析.....	59
4.8	小结.....	59
5	场地修复目标和修复范围.....	60
5.1	建议修复目标.....	60
5.2	修复范围.....	60
6	调查报告结论及建议.....	69
6.1	结论.....	69
6.2	不确定性分析.....	70
6.3	建议.....	70
7	附件.....	71
附件 1:	相关文件资料.....	71
附件 2:	土壤采样现场记录表.....	71
附件 3:	采样钻孔地质剖面图.....	71
附件 4:	土壤样品检测报告.....	71

1 总论

1.1 项目背景

《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》已于 2016 年 7 月获得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。”本项目在施工验收过程中，对污染物进行了基坑的侧壁检测，发现评价范围外存在疑似污染，因此，本报告针对北京市环保局的要求，开展评价范围外的疑似污染区域土壤的补充调查工作。

目前，《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》整个场地划分为 17 个地块，681 地块属于《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》场地范围内 17 个地块其中之一，处于整体地块的西部位置，地块总体占地面积约 18118.595 平方米(已调查区域面积约 10576.4996 平方米，补充调查区域占地面积约 7542.0954 平方米)，此次 681 补充调查的地块原为厂区外南侧与北侧的六建模板分公司第一租赁站部分用地及棚户区域，现已拆除完毕，地块四至：东至 680 地块，南至 694 地块，西至 684 地块，北至 676 地块，该地块规划为建设住宅区，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。

北京安泰兴业置业有限公司于 2018 年 3 月委托轻工业环境保护研究所进行“北辛安棚户区改造项目—681-1 地块报告”中涉及到的相关场地进行场地环境评价工作。接受委托后，评价单位组织有关技术人员对现场进行了踏勘，并收集相关技术资料，与原厂区工作人员进行访谈，经初期调查后进行了场地污染识别和后续现场调查方案编制。

场地环境调查过程按照北京市《场地环境评价导则》(DB11/T656-2009)要求，进行场地现场调查采样工作，并委托有 CMA 资质认证的样品分析检测单位，进行该场地环境土壤样品的分析检测工作。评价单位对检测数据进行认真分析，结合该场地相关资料进行分析研究，在对场地进行风险评估的基础上，按照相关技术导则与规范，编制《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告-681-1 地块报告》，呈报北京市相关环境保护主管部门审查。

1.2 场地环境评价目的

通过对相关场地进行污染调查、污染分析和风险评价，明确场地内污染物种类、污染物分布和污染程度，并以该场地规划用地类型中的环境敏感人群为风险受体，计算其人体健康风险，确定该场地污染修复目标和修复范围。本次场地环境评价的主要目的包括：

（1）对相关场地现状、历史用途调查分析，识别和初步确认场地潜在环境污染；

（2）通过现场布点采样和实验室分析，确定场地是否污染及污染的程度、主要污染物种类、污染物浓度及污染范围等；

（3）根据场地现状和未来土地利用要求，进行场地污染风险评价，并根据场地土地利用规划，确定场地修复目标。

1.3 调查评价原则

本次场地调查与评价工作遵循以下原则：

（1）规范性原则

场地调查与评价过程遵循我国现行的污染场地环境评价相关法律、技术导则、规范以及该场地的相关规划。在国内相关标准和规范性文件不完全覆盖的情况下，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场地中可能存在的相关问题，确保场地风险评价结果的规范性、有效性。

（2）针对性原则

评估过程中所涉及场地的参数均来自于该场地本身或选取最为接近的参数值。风险评估将最大限度接近场地实际污染情况所产生的风险，建立基于特定场地的风险评估体系，保证风险评价结果的针对性，评估结果只适用于此场地。

（3）技术可行性原则

结合场地用地规划，根据场地用途对场地进行环境风险评价，确保场地风险评价结果符合场地环境管理及土地利用规划风险控制要求，保证场地评价结果的技术可行性。

1.4 评价依据

1.4.1 相关法律、法规、政策

- 《中华人民共和国环境保护法》（2014）；
- 《中华人民共和国土地管理法》（2004 年 8 月 28 日）；
- 《中华人民共和国水法》（2002 年 8 月 29 日）；
- 《中华人民共和国水污染防治法》（2008 年 2 月 28 日）；
- 《中华人民共和国固体废物污染防治法》（1995 年 10 月 30 日）；
- 《国家危险废物名录》（环发[1998]089 号）；
- 《建设项目环境保护管理条例》（<98>国务院令 253 号）；
- 《危险化学品安全管理条例》（国务院令[2003]344 号）；
- 《废弃危险化学品污染环境防治办法》（国家环保总局令[2005]第 27 号）；
- 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》（环境保护部，环办〔2004〕47 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）。

1.4.2 相关技术导则和规范

- 《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）；
- 《场地环境评价导则》（DB11/T656-2009）；
- 《场地环境调查技术导则》（HJ25.1-2014）；
- 《污染场地风险评估导则》（HJ25.2-2014）；
- 《污染场地环境监测技术导则》（HJ25.3-2014）；
- 《污染场地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2014）；
- 《地下水环境监测技术规范》（HJ/T164-2004）；
- 《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166-2004）；
- 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001-2009）；
- 《工程测量规范》（GB50026-2007）；

-
- 《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999);
 - 《土的工程分类标准》(GB/T50145-2007);
 - 《水位观测标准》(GBJ138-90);
 - 《城市地下水动态观测规程》(CJJ/T76-1998);
 - 《供水水文地质钻探与凿井操作规程》(CJJ13-1987)。

1.4.3 相关标准

- 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600--2018);
- 《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011);
- 《地下水质量标准》(GB/T 14848-93);
- 《土壤环境质量评价标准》(GB15618-1995);
- 《污染场地修复后土壤再利用环境评估导则》(DB11/T 1281-2015);
- 《美国联邦土壤筛选值 (居住用地), Generic Soil Screening levels for Residential Scenario》(2002);
- 《美国超级基金场地化学污染物区域筛选值, Regional Screening Levels for Chemical Contaminants at Superfund Sites》(2015)。

1.5 评价范围

681 地块总体占地面积约 18118.595 平方米,已完成的评价范围(厂区内地块)面积约为 10576.4996 平方米;此次 681 补充调查的地块原为厂区外南侧与北侧的六建模板分公司第一租赁站部分用地及棚户区域,现已拆除完毕,占地面积约为 7542.0954 平方米,如图 1.5-1 所示。

该地块主要场地信息如表 1.5-1 所示。



图 1.5-1 评价范围内主要场地位位置示意图

表 1.5-1 681 地块内的主要场地信息

序号	地块信息	调查区域内主要场地	占地面积 (平方米)	主要原料	备注
1	681 地块补充调查区域	厂区北侧及南侧外部原部分建筑区域	7542.0954	/	北侧原为部分棚户区用地、南侧原为六建模板分公司第一租赁站部分用地（现已拆除）
2	681 地块已完成调查区域	首钢煤料堆场部分区域	10576.4996	生产用煤、焦炭，用于原料堆放	无组织排放，遗撒、泄露。排放量不易估计。潜在特征污染物为重金属、VOCs、SVOCs。

1.6 场地评价内容

场地环境评价项目分为三个工作阶段，各阶段具体内容如下：

第一阶段：场地污染识别

收集该场地历史和现状生产及污染相关资料，通过文件审核、现场调查、并对该场地相关人员进行访谈等形式，获取场地水文地质特征、土地利用情况、场地生产工艺污染识别等基本信息，了解可能存在的污染物种类、污染途径、污染区域，再经过现场踏勘进行污染识别，初步划定重点关注范围。

第二阶段：现场勘查与采样分析

根据场地污染识别结果，通过现场勘查，对场地污染区域进行现场土壤采样，开展实验室检测分析，然后进行场地环境评价。

第三阶段：场地风险评价

结合样品分析检测结果和未来土地利用规划，对场地环境进行风险计算，明确场地的污染情况、污染范围。针对采样调查、风险评估和勘查结果，编制场地环境评价报告。

本次场地评价的工作程序为：通过场地污染识别了解可能存在的污染物种类、污染途径、污染区域，初步划定重点关注范围；对重点关注区域进行现场土壤采样分析；根据检测结果，采用污染场地风险评价的方法判断土壤是否受到污染、污染程度、污染范围以及污染修复标准。

工作程序如下图 1.6-1 所示。

本次场地评价的具体步骤是：对比环境检测数据和风险筛选值中的居住用地限值，如果小于筛选值，则说明其风险相对较小，可结束风险评价；如果大于筛选值，则需要进一步的风险计算，确定其人体健康风险值及修复标准限值，为进一步确定污染范围和修复对策提供依据。

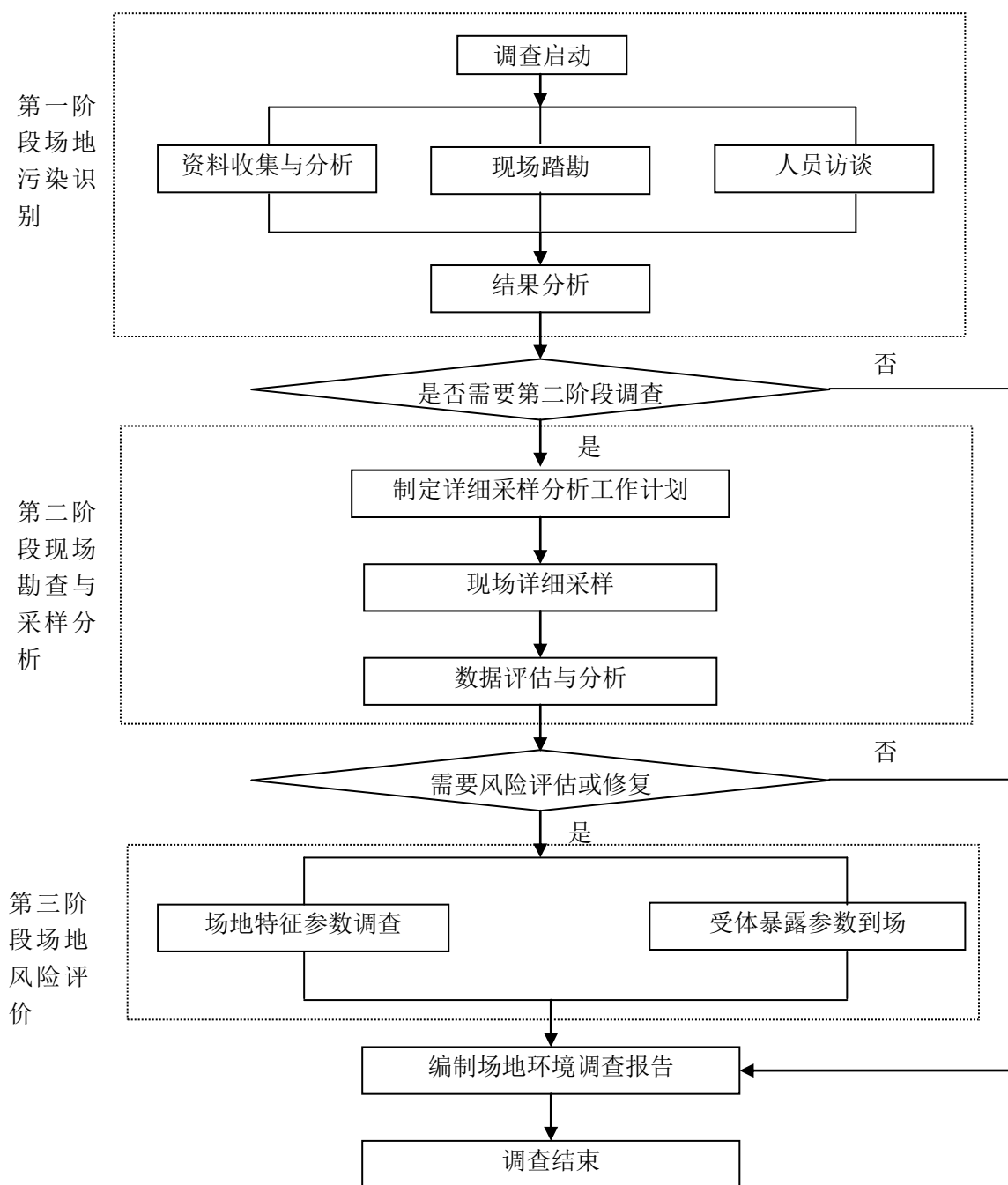


图 1.6-1 场地环境评价工作程序

2 场地污染识别

2.1 场地概述

2.1.1 场地地理位置

本次项目调查场地位于北辛安社区，评价范围中心点位置是 39.916°N，116.161°E。评价区域总占地面积约 18118.595 平方米，本次补充调查评价范围约 7542.0954 平方米，地理位置如图 2.1-1 所示。具体为厂区北侧、南侧外部原部分棚户用地区域及六建模板分公司第一租赁站部分用地（现已拆迁完毕），该地块四至：东至 680 地块，南至 694 地块，西至 684 地块，北至 676 地块。该地块具体位置见图 2.1-1 所示。

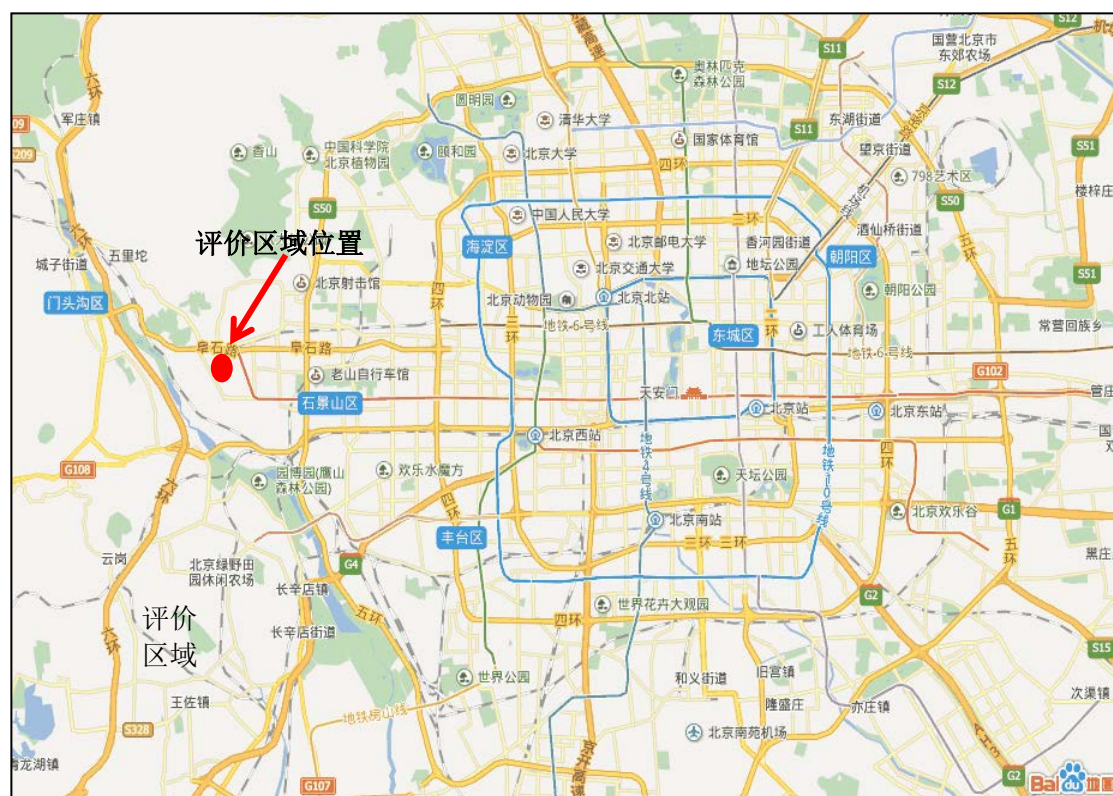


图 2.1-1 评价区域位置示意图

2.1.2 场地区域自然概况

2.1.2.1 气候气象

本项目位于北京市区的西部，属华北平原温带大陆季风型气候，属于暖温带大陆性半湿润-半干旱季风气候，受季风影响形成春季干旱多风、夏季炎热多雨、秋季秋高气爽、冬季寒冷干燥四季分明的气候特点。据北京观象台近十年观测资料，年平均气温为 13.1℃，历史极端最高气温 42.6℃(近年为 41.9℃，1999 年)，

历史极端最低气温零下 27.4℃，2001 年为零下 17.0℃，年平均气温变化基本上是由东南向西北递减，近二十年最大冻土深度为 0.80m。

石景山区多年平均降水量 626mm，降水量的年变化大，年内分配不均，汛期（6-8 月）降水量约占全年降水量的 80%以上。旱涝的周期性变化较明显，一般 9-10 年左右出现一个周期，连续枯水年和偏枯水年有时达数年。近十年来以 1994 年年降雨量最大，降雨量为 813.2mm，1999 年年降雨量最小，降雨量为 266.9mm。

石景山区月平均风速以春季四月份最大，据北京气象台观测，石景山区最大风速达 3.6m/s；其次是冬、秋季，夏季风速最小。春季风向以西北风最为突出，秋季为西南偏南风为主。

2.1.2.2 地质条件

项目所在地地处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。

本区域地质构造发育，断裂构造包括八宝山断裂、黄庄—高丽营断裂、永定河断裂、东北旺—昆明湖断裂等。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 2.1-2。

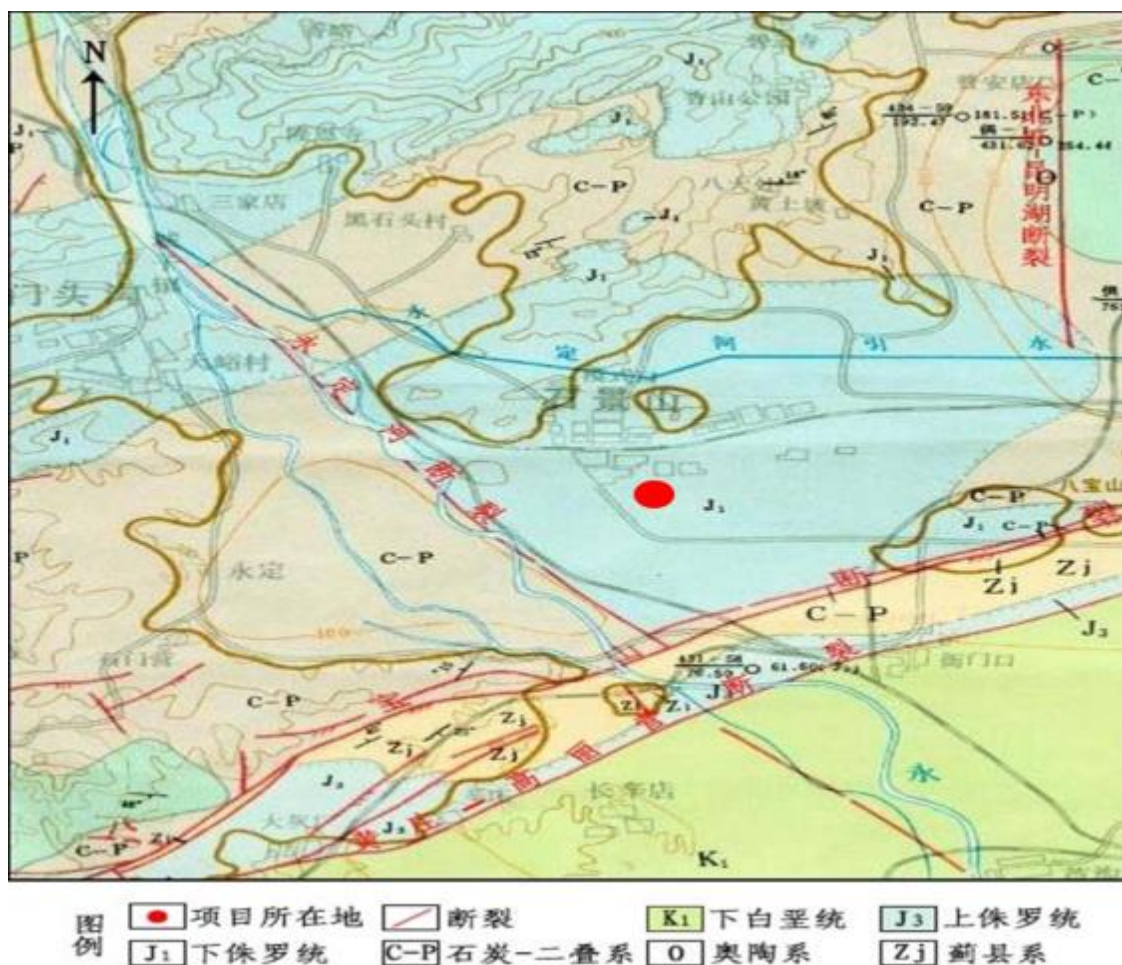


图 2.1-2 调查场地所在区域基岩构造图

此次调查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。调查区域地层岩性的垂直分布概况见图 2.1-3。

(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) 轻亚粘土层：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，该地层平均厚度 40 m，地下水埋深在 20 m 左右。

(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。

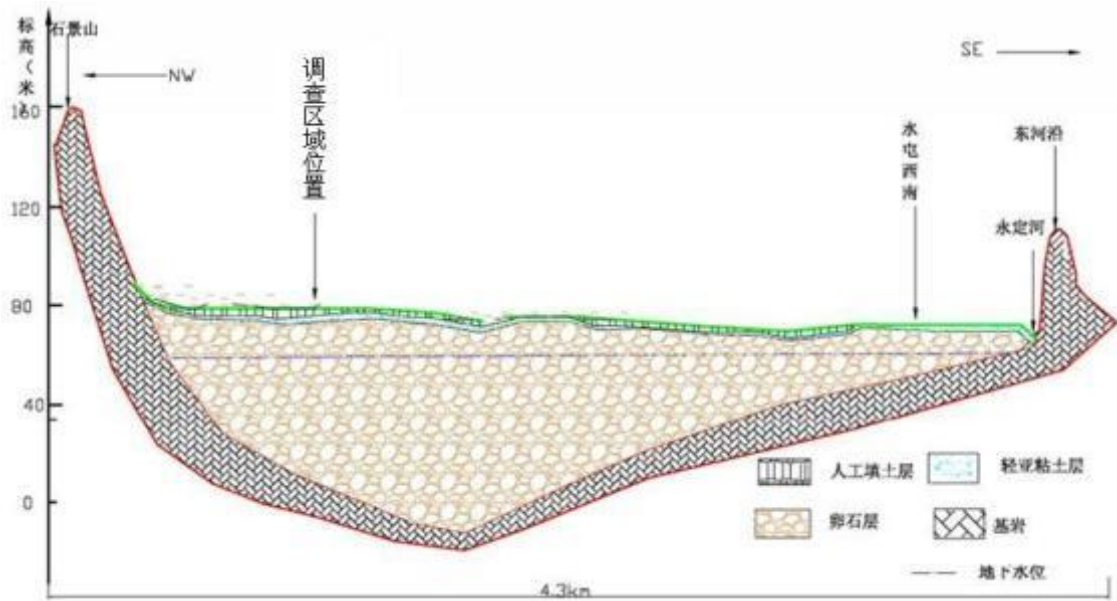


图 2.1-3 场地所在区域地层岩性的垂直分布图

2.1.2.3 区域水文地质条件

(1) 区域地下水赋存情况

石景山区地处海河流域，永定河是最重要的过境河，从石景山区的西南边缘流过。因历史上的永定河含沙量极大，致使石景山区河段早已成为“地上河”，自官厅、珠窝、三家店水库建成后，已近断流。永定河引水干渠自西向东横穿石景山区中部。

石景山区诸山除八大处为背斜外，其他均属向斜，储水地层均为砂页岩石层，储存方式为裂隙与孔隙水，基本以泉水形式出露。泉水的分布，有两个明显特点：一是与断裂、断层有关——泉水分布在断裂线上；二是与侏罗系南大岭组的玄武岩分布有关——泉在玄武岩与砂页岩接触带上。

石景山区山前为坡、洪积形成的粉土、碎石；近永定河冲积扇顶，因河流沉积具有分选性特征，造成河流沉积物的粒径分布具有水平分带现象，永定河河床附近的砾石平均粒径为 20~40 厘米，远离河床的东南部（八宝山、衙门口、黄庄），砾石平均粒径约 10 厘米。石景山区表土厚度一般在 1 米到 2.5 米之间，最薄处仅 0.5 米（山前地带表土较厚，约 5~10 米，质地较粘重，有夹石层）；质地多为透水性较好的沙壤及中壤。

石景山区的平原区是由永定河冲积物组成的山前倾斜平原，西部、北部稍高，

东部、南部略低。包含砂卵石、砂砾石、中粗砂含砾及薄层粘性土。按其岩性、结构特征及富水性，大致可划为五个区，此次评价区域位于 I 区，如图 2.1-4 和图 2.1-5 所示：

① I 区($5000-10000\text{m}^3/\text{d}$)，主要分布于永定河冲洪积扇地区。第四系厚度 30-150m，颗粒由粗变细，含水层岩性为砂卵砾石为主，含水层累计最大厚度 50-70m。

② II 区($3000-5000\text{m}^3/\text{d}$)，主要分布在永定河冲洪积扇近边缘地区，含水层主要为砂卵砾石组成，含水层厚度为 30-50m。

③ III 区($1500-3000\text{m}^3/\text{d}$)，主要分布在永定河冲洪积扇边缘地区及山区边缘地带，含水层岩性主要为砂卵砾石夹中粗砂，含水层厚度一般为 20-30m。

④ IV 区($500-1500\text{m}^3/\text{d}$)，主要分布在山区边缘地带，一般无含水层，仅在砂粘夹砾石中含水且水量小。

⑤ V 区富水性不均一，主要分布在山前地带。

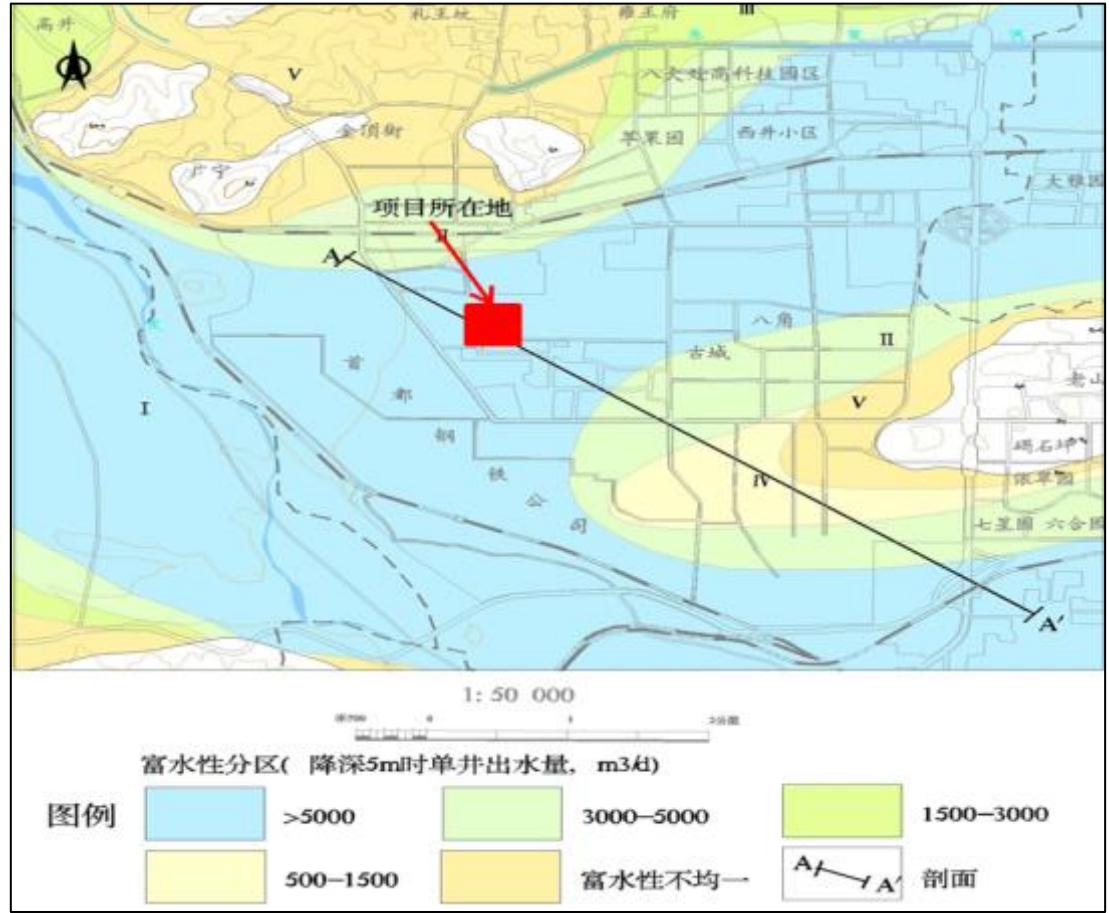


图 2.1-4 区域第四系水文地质图

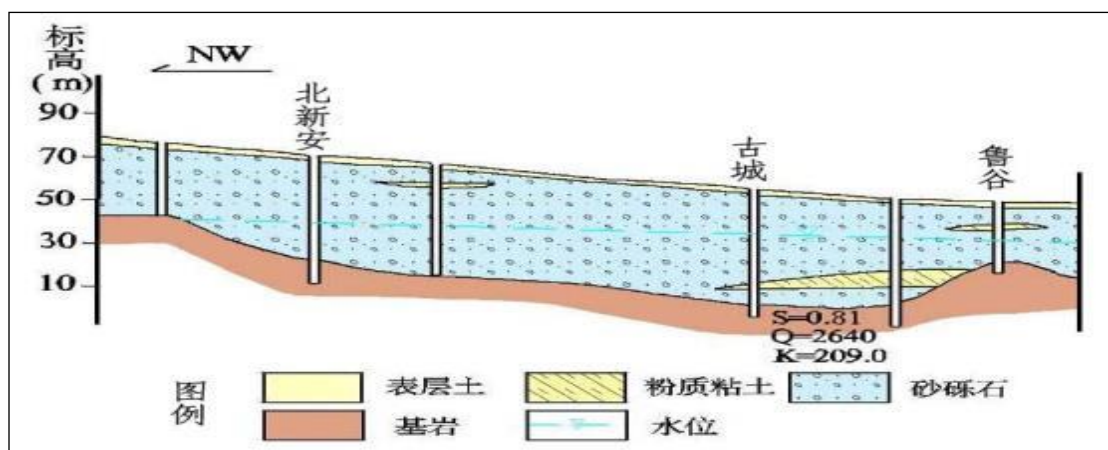


图 2.1-5 石景山水屯-马家堡 (A-A') 地层剖面图

该区域浅层地下水水位埋深西高东低。地下水主要补给来源为地下径流和地表降雨，区域地下水径流方向为由西、西北方向，流向东、东南方向。70 年代后受地下水开采影响，局部流向有一定变化。近年的调查资料表明，该层地下水埋深已经在 55-60m 左右，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 500-600m/d，是原工农业井的主要开采层。

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。

(2) 区域地下水利用情况及敏感度分析

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。

根据《北京市人民政府关于石景山区集中式饮用水源保护区划定方案的批复》，调查区域目前位于石景山区地下水源保护范围的二级保护区。北京市石景山区水厂地下水源保护区如图 2.1-6。

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，本场地浅层地下水的环境敏感性相对较低。如图 2.1-7。

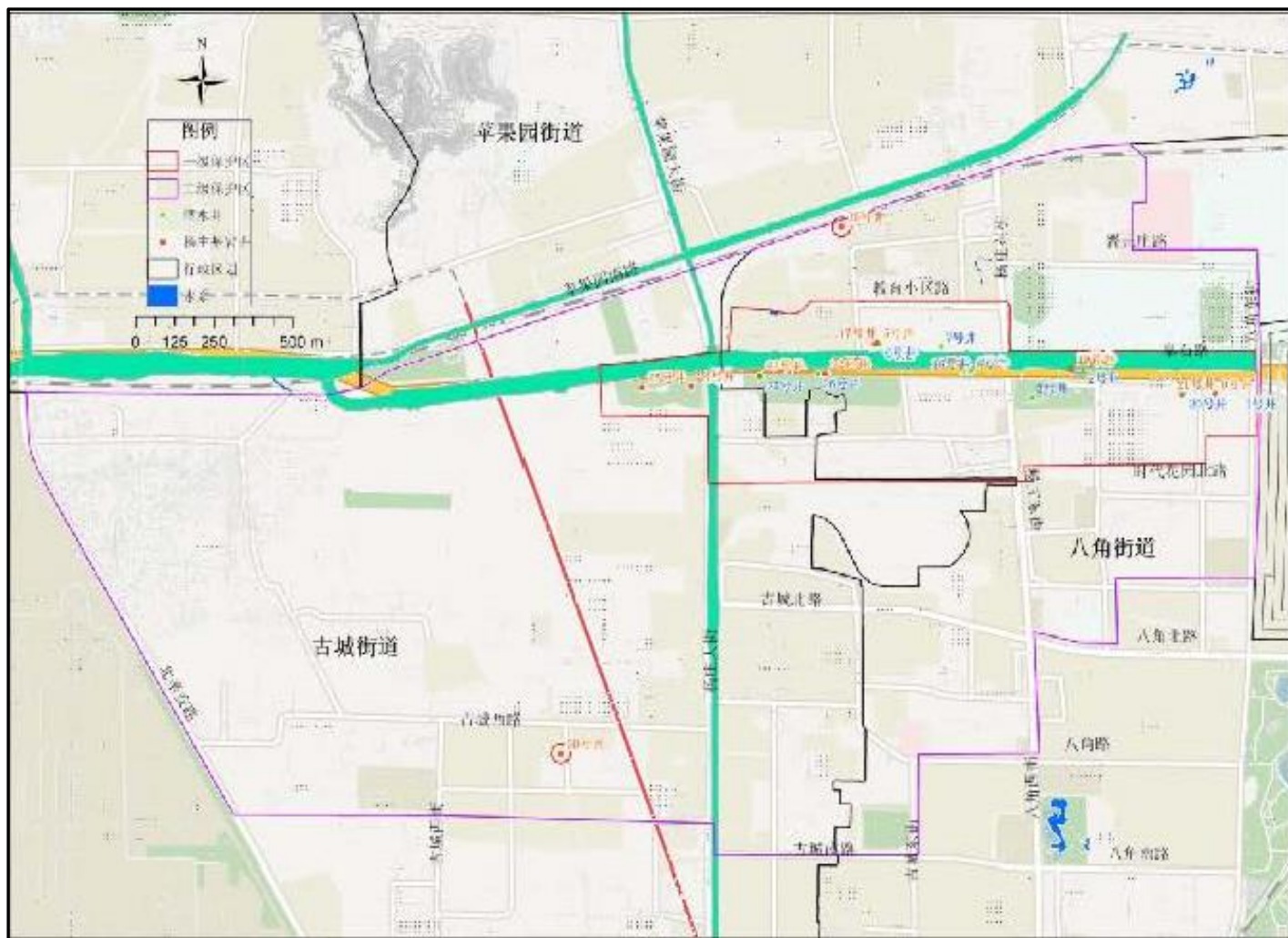


图 2.1-6 北京市石景山区水厂地下水源保护区图

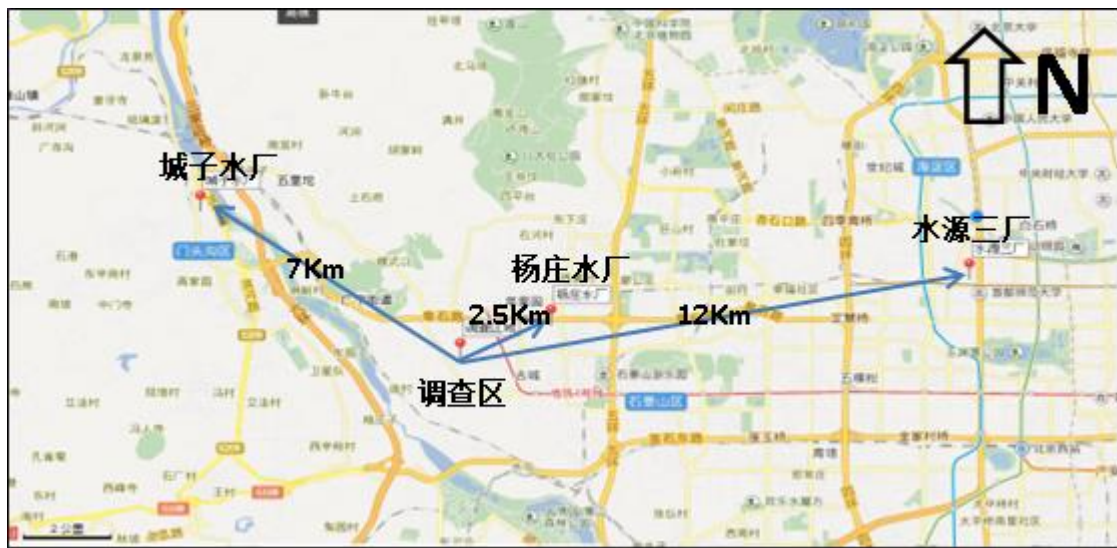


图 2.1-7 调查区周边水厂位置示意图

2.1.3 场地历史沿革

根据调查区域内近 10 年来的卫星图像的变化情况，初步判断场地的土地利用情况有了一定的变化。

厂区北侧外部原为棚户区用地区域

- 在上世纪 50 年代以前为农田。
- 2002 年-2017 年 3 月，有棚户区等建筑物存在。
- 2017 年 3 月至今，地块范围内的构筑物已拆除。

厂区南侧外部原为六建模板分公司第一租赁站部分用地

- 在上世纪 50 年代以前为农田。
- 2002 年以前，六建模板分公司第一租赁站及棚户区等建筑物存在。
- 2002 年-2017 年 3 月，六建模板分公司第一租赁站及棚户区遗留厂房。
- 2017 年 3 月至今，地块范围内的构筑物已拆除。

2.1.4 场地现状

从历史图片上看，调查的场地经历了一些变更，主要是在首钢煤料堆场，所造成的扰动相对较大。地块区域历史沿革情况如图 2.1-8。

2015 年场地调查时，厂区外侧 681 部分地块区域仍为棚户区建筑物及六建模板分公司第一租赁站闲置用房。2018 年 3 月进行现场调查时，厂区外侧 681 部分地块区域已拆除完毕。调查区域现状情况详见图 2.1-8 中 2018 年场地情况。

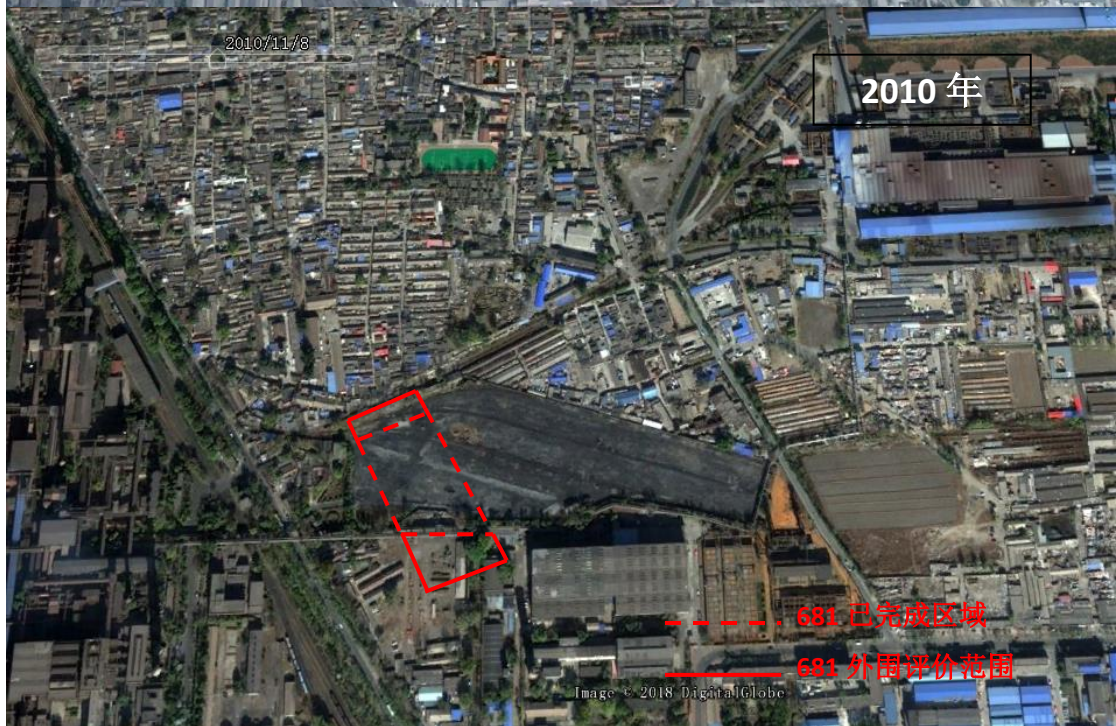






图 2.1-8 北辛安补充调查 681 地块范围用地历史变化示意图

2.1.5 场地未来规划

依据北辛安棚户区改造项目—681 地块规划内容，如图 2.1-9。调查场地区域内未来规划主要将建设成为住宅用地。



图 2.1-9 调查区域用地情况规划图

2.2 场地污染识别

2.2.1 场地污染分析

评价范围内原为棚户区及六建模板分公司第一租赁站部分用地，棚户区主要污染物为居民生活过程中产生的一些生活垃圾及生活污水等，六建模板分公司第一租赁站仅为模板的短期存放，不会对环境造成较大污染。

场地污染主要受以下几个因素影响：1)、本次调查区域紧邻首钢煤料堆场，首钢煤料堆场在修复过程中，基坑侧壁超标，因此，可能存在污染物的迁移。2)、受首钢主厂区的大气沉降影响，大气排放源来自煤的装卸、混配、粉碎、皮带运输过程中烟尘的飞扬等，排放的大气污染物主要是烟尘。3)、受主厂区施工过程中的扰动影响，评价区域内表层土壤可能存在潜在污染。

2.2.2 场地周边情况

通过现场踏勘和收集资料，厂址周围 2km 范围内无水源地、自然保护区、文物、景观等环境敏感点。

此次调查地块周边土地均为规划住宅用地。

此次调查的场地分布相对集中。经现场勘察分析，调查区域正处于首钢主厂区高炉烟囱的排放的下风向方向，直线距离为 1-2 公里，属于烟气沉降区，可能受首钢主厂区长期生产过程中气体排放的影响，造成对调查地块一定的潜在污染。

2.2.3 环境突发事件

经初期调查，场地在生产过程中，未出现环境污染突发事件。

2.2.4 污染识别小结

此次调查涉及到潜在污染地块，下面结合调查地块的历史变迁情况分析，681 外围补充调查区域潜在污染状况如表 2.2-1 所示。

表 2.2-1 调查区域内潜在污染状况

补充调查区域	已调查区域	681 厂区内部地块污染情况	调查区域潜在污染
681 厂区外侧地块	681 厂区内部地块（原首钢堆煤场部分用地）	基坑侧壁超标，检测污染物为重金属、SVOCs	厂区内部污染迁移，存在潜在污染，重点关注重金属、SVOCs

参考已批复的原《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》中首钢煤料堆场的污染因子，本区域存在的潜在污染物可能为重金属、SVOCs。

2.3 初期污染识别结论与建议

2.3.1 结论

通过此次调查地块的初步污染识别，场区内未发生环境污染事故，没有明显的污染痕迹。

结合现场污染识别情况及已完成的基坑侧壁验收结果，本次调查区域范围受原厂区堆煤场污染迁移、粉尘飘落，以及主厂区大气沉降等因素的影响，调查区域可能存在潜在污染。按照相关导则规范要求，本场地需进一步开展现场采样调查工作。初步参考原《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》中首钢煤料堆场的污染因子，本区域存在的潜在污染物可能为重金属、SVOCs。

2.3.2 建议

依据《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）、《场地环境调查技术导则》（HJ25.1-2014）等相关技术导则，结合场地实际情况，建议采样采用网格布点的方法开展现场钻探采样工作，以便快速、准确的判断调查区域的污染状况及修复范围。

3 场地污染现场调查

3.1 土壤样品现场采集

3.1.1 土壤采样布点原则

现场调查过程中，主要采用网格布点原则，进行场地采样调查；现场采样过程中根据场地实际情况判断，实时调整采样点的位置，确保掌握整个场地的污染状况。

3.1.2 土壤采样布点方案

在场地污染识别的基础上，按照相关导则技术要求，采用网格布点的方法，在调查区域内进行土壤布点采样，对污染区域、污染深度、污染物种类进行确认。

依据该场地区域水文地质资料，分析厂区内工程地质单元层的主要分布情况及特征，此次土壤采样点的计划采样深度自表土向下为：

第 1 层：0.2m 左右；

第 2 层：0.2-1m 左右；

第 3 层：1m-2m 左右；

第 4 层：2m-3m 左右；

第 5 层：3m-5m 左右；

在实际采样过程中，根据现场观察的实际情况和 PID、XRF 等现场快速测试设备测试结果辅助判断，适当调整采样深度和采样层数。

本次是针对厂区外围的补充调查，补充调查土壤采样孔 11 个，采集土壤样品 55 个；测试重金属 55 个、测试 SVOCs 55 个。

调查区域土壤取样孔具体情况如表 3.1-1。

调查区域土壤钻孔具体分布情况见下图 3.1-1。

表 3.1-1 采样点位信息表

采样点	钻进深度 (m)	采样深度 (m)	测试指标
LJ5	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs

		3.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
LJ14	3.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs
		1.8	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs
		3.0	重金属、SVOCs
LJ15	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs
		3.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
LJ16	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs
		1.5	重金属、SVOCs
		3.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
LJ17	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs
		3.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
LJ18	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs

		2.0	重金属、SVOCs
		2.8	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
LJ35	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs
		3.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
LJ36	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.1	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs
		3.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
SJD28	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs
		4.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
SJD29	5.0	0.2	重金属、SVOCs
		1.0	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs
		3.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs
SJD30	5.0	0.2	重金属、SVOCs

		1.0	重金属、SVOCs
		2.0	重金属、SVOCs
		3.0	重金属、SVOCs
		5.0	重金属、SVOCs



图 3.1-1 土壤钻孔位置示意图

3.1.3 钻探取样

此次现场采样使用冲击钻探和人工钻进行土壤采样。取样结束后回填钻孔，结束该点样品采集工作。

现场土壤样品采集均由评价单位专业人员现场工作。现场采样过程中，由于场地自身条件限制，取样点位位置有所调整。土壤采样现场取样记录情况见附件 2 土壤采样现场记录表。

3.1.4 土壤样品现场快速筛查

现场土壤样品采集时，使用 PID 以及 XRF 对土壤污染情况进行现场快速筛查，相对准确判断土壤污染区域和污染深度。同时结合 PID 和 XRF 检测结果，适当调整土壤采样深度及层数，并选取土壤样品进行采集保存，送至实验室检测分析。

3.2 水文地质调查

该场地水文地质调查方法贯穿于该场地调查土壤污染调查的全过程，调查过程中进行土壤钻孔，在整个过程中记录每个采样孔的地层及相关现场特征信息，形成现场钻孔记录单，最终形成钻孔柱状图，见图 3.2-1。全部钻孔柱状图见附件 3 所示。此次补充调查区域水文地质条件参照主厂区水文地质调查结果。

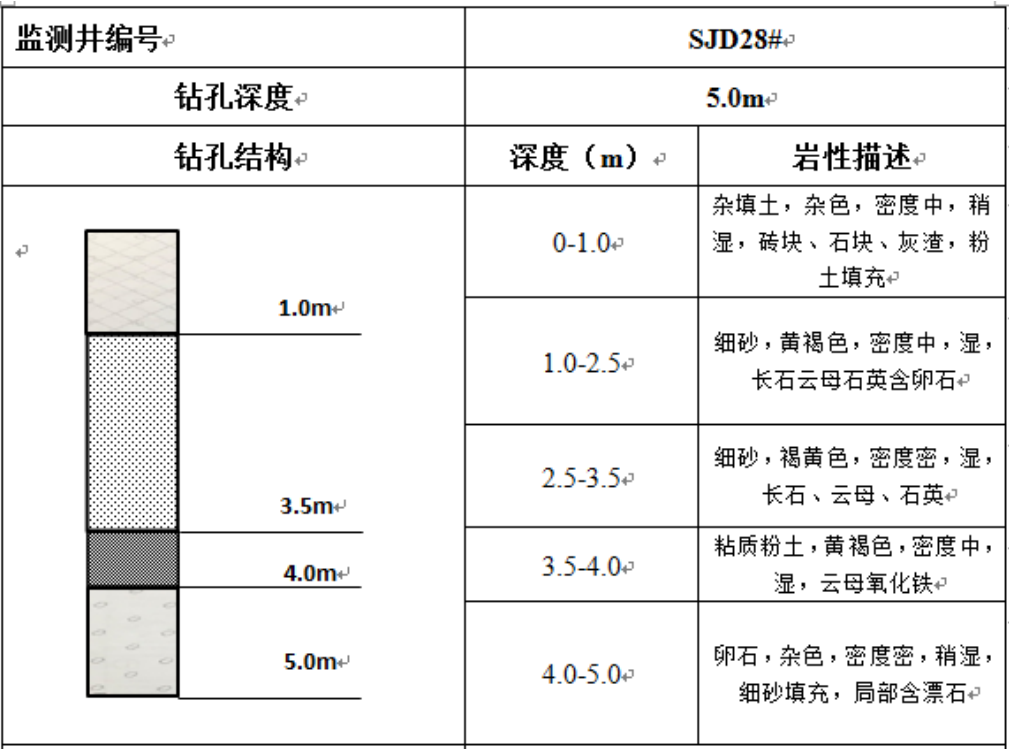


图 3.2-1 钻孔柱状图

3.3 样品采集与保存

3.3.1 土壤样品采集与保存

土壤采样按《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）的要求进行。采用 SH-30 型钻机进行土壤钻孔取样。土壤采样器根据不同土壤类型和污染物类型选择。现场土壤采样时应对采样器进行清洗，以防止交叉土样污染。

土壤样品采集方法主要分为两大类：重金属和 SVOCs 采用常规采样方法，直口玻璃瓶保存。现场使用 PID 对土壤样品中的 VOCs 浓度进行检测，使用 XRF 对土壤样品中的重金属含量进行检测。

现场样品采集与保存方法见表 3.3-1。

表 3.3-1 现场样品采集与保存方法

容器	指标类型	备注
直口瓶	SVOCs、重金属	采样后保温箱冷藏

现场过程如图 3.3-1 所示。



图 3.3-1 现场采样过程

3.4 实验室检测

3.4.1 检测项目

调查过程中，土壤检测因子具体如表 3.4-1 所示。

表 3.4-1 场地潜在污染区域土壤样品检测项目

区域编号	采样	土壤样品检测项目
681 厂区外侧 地块补充调查 区域	第 1 层	重金属、SVOCs
	第 2 层	重金属、SVOCs
	第 3 层	重金属、SVOCs
	第 4 层	重金属、SVOCs
	第 5 层	重金属、SVOCs
	第 6 层	重金属、SVOCs

根据原场评采样结果可知，681 地块厂区内部分区域存在的污染物主要是砷和多环芳烃，因此，681 地块厂区外侧补充调查区域的检测指标主要为重金属和半挥发性有机物 SVOCs。

3.4.2 样品分析方法

本次评价中涉及多种有机污染物，使用的土壤样品检测方法如表 3.4-2 所示。土壤样品检测方法见附件 4，采样样品检测报告及质检报告。

表 3.4-2 土壤样品检测方法

序号	检测指标	检测方法	检测仪器
1	汞	《土壤质量总汞总砷总铅的测定原子荧光法第 1 部分：土壤中总汞的测定》GB/T 22105.1-2008	双刀原子荧光光度计
2	砷	《土壤质量总汞总砷总铅的测定原子荧光法第 2 部分：土壤中总砷的测定》GB/T 22105.1-2008	双刀原子荧光光度计
3	铅、镉、铬、镍、铜、锌等其他重金属	《电感耦合等离子体质谱法》EPA 6020A	电感耦合等离子体质谱仪
4	SVOCs	《气相色谱-质谱法测定半挥发性有机化合物》EPA 8270D	气质联用仪

3.5 全过程质量控制

3.5.1 现场采样前的准备工作

在采样前要做好相关的防护、设备维护、人员分工、现场定点等工作。填写采

样前准备事项一览表。采样前的准备工作包括：

- 在采样前应该做好个人的防护工作，佩戴安全帽、眼罩、防毒面罩；
- 根据采样计划，准备采样计划单、钻探记录单、土壤采样记录单、样品追踪单及采样布点图。
- 准备 GPS 定位仪、相机、PID、样品瓶、标签、签字笔、保温箱、保温冰块、橡胶手套、蒸馏水、不锈钢铲子、聚四氟乙烯胶带、岩箱、采样器等；
- 确定采样设备和台数；
- 进行明确的任务分工；
- 现场定点，依据采样布点方案和采样计划，采样前一天或采样当天，采用金属探测器和探地雷达等设备探测地下障碍物，确保采样位置避开地下电缆、管线、沟、槽等地下障碍物，采用卷尺、经纬仪和水准仪等工具在现场确定采样点的具体位置，在现场做记号，并在图中标出。

3.5.2 现场采样质量控制

采样过程中，需采取以下措施保证采样质量：

- 每次取土样之前，清洗取土器；
- 每次取样佩戴一次性手套，每取完一个土层，更换手套；
- 每取完一个土层，更换塑料布；
- 对每层土壤，取样顺序为：含水率土样，SVOC 土样，重金属土样，土壤理化性质土样；取样后将 SVOC、含水率样品放置在 4℃ 低温保温箱中，再将所有样品 48 小时内送至检测单位；
- 配置专人操作现场筛选仪器，不得随意更换人员；
- 对于所有土壤样品根据规范要求选择合适的保存容器。
- 采集现场质量控制样。在采样过程中，现场控制样品数量为检测样品的 10% 左右。
- 现场样品的采集应严格按照相关的标准和规范进行样品采集操作和样品保存，避免交叉污染和样品损失。
- 现场采集时，应该详细说明现场观察的资料，比如土壤层的深度，沉积物的颜色，土壤质地，气味，水的颜色，气象条件，以便用于后期的采样和修复。当样品从场地转入清洁样品容器时，应该保持采样设备的清洁；当不用采样设备进行采样或对采样设备保存时，应该对采样设备进行清洗，

防止样品的交叉感染。

➤ 现场采样时详细填写现场记录单，包括采样土壤深度、土壤质地、气味、PID 测试数据等，以便为后续分析工作提供依据。

采样过程中的安全措施参照《工业用化学产品采样安全通则》（GB3723-1999）。具体内容包括：

- ✧ 确定现场健康安全监管员；
- ✧ 识别现场及现场活动的危害因素和暴露途径；
- ✧ 危害水平评估和防护水平评估；
- ✧ 监测计划；
- ✧ 防火、防触电、防意外伤害计划；
- ✧ 防有毒有害暴露计划；
- ✧ 应急计划；
 - 医疗处置计划；
 - 应急设备；
 - 疏散计划；
 - 应急通信等。

3.5.3 样品运输与交接

装运前核对采样结束后现场逐项检查，采样记录表、样品标签等，有缺项、漏项和错误处，及时补齐和修正后装运。

样品运输样品运输过程中严防损失、混淆或沾污，并将样品在遮光、低温（4℃）冷藏条件下尽快送至实验室分析测试。

样品交接样品送到实验室后，采样人员和实验室样品管理员双方同时清点核实样品，并在样品流转单上签字确认，样品流转单一式四份，由采样人员填写并保存一份，样品管理员保存一份，交分析人员两份，其中一份存留，另一份随数据存档。样品管理员接样后及时与分析人员进行交接，双方核实清点样品，核对无误后分析人员在样品流转单上签字，然后进行样品制备。

3.5.4 实验室质量控制

根据 HJ/T 164 和 HJ/T 166 的标准要求进行实验室分析质量保证和质量控制。

实验室从接样到出数据报告的整个过程严格执行 CNAL/AC01：2003《检测和

校准实验室认可准则》体系和计量认证体系要求。

实验室分析时设实验室空白样、平行样、基质加标样。要求分析结果中平行盲样的相对标准偏差均在要求的范围内，实验室加标和基质加标的平行样品均在要求的相对百分偏差内。样品的保留时间、保留温度等实验室内部质量保证/控制措施均符合规定的要求。具体见附件-样品检测报告。

3.5.5 质量控制结果

调查中共采集土壤样品 55 件，平行样 5 个，加标平行样 5 个，实验室控制样的回收率控制范围是 70.4%-125%，平行样控制范围为 0%-20.2%；加标平行样的控制范围是 0%-21.4%，符合质量控制要求。

4 场地调查结果分析

4.1 场地水文地质调查情况

根据钻探结果,场地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,将场地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4.1-1。(参考主厂区调查报告内容)。

表 4.1-1 场地地层分布一览表

地层编号	地层名称	地层底板埋深 (m)	地层厚度 (m)	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	0.5-0.8	含石英、云母
5	卵石	48-55m	13-21.7	亚圆形级配较好,含中砂35%
6	以下	未勘透	未勘透	未勘透

4.2 场地土壤污染特征分析

本次评价以北京市地方标准《场地环境评价导则》(DB11/T 656-2009)为主要参考标准对场地污染情况进行分析。土壤样品的检测结果见附件4。

本次调查的区域范围内土地未来规划为居住用地,为了控制健康风险,将本次调查区域涉及的场地主要以北京颁布的《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011)中的住宅用地情景筛选值为参照标准。

4.2.1 场地土壤中重金属污染特征

补充调查主要是对原场评北侧及西侧外围土壤进行土样采集，此次场地补充调查土壤采样孔 11 个，采集土壤样品 55 个；均进行了重金属（砷、镉、铬、铜、铅、镍、锌、汞）检测。其中，砷、铅、镍、铜 4 种重金属在调查区域内普遍检出。对比北京市场地土壤环境风险评价筛选值（DB11/T 811-2011）中的住宅用地标准，超过筛选标准值的污染物有 2 种，分别为砷和铜。此次补充调查地块范围内土壤样品中重金属的检出超标情况如表 4.3-1 所示。

表 4.3-1 土壤样品中重金属超过筛选值的检测结果（单位：mg/kg）

编号	污染物	砷	铜
	筛选值（DB11/T 811-2011）	20	600
1	LJ18-1.0	24	0.00
2	LJ18-2.0	32	0.00
3	LJ35-1.0	24	0.00
4	SJD28-0.2	18	941
5	SJD28-1.0	14	1500

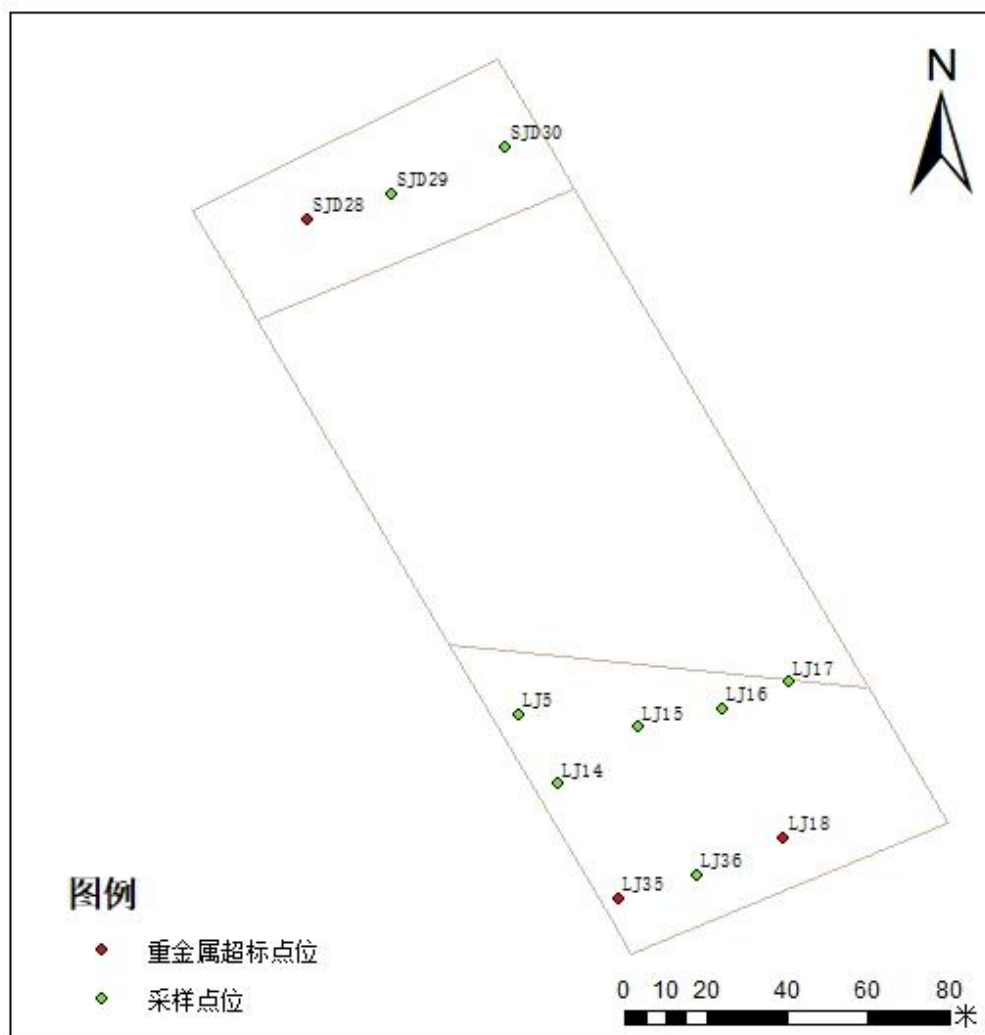


图 4.3-1 681 地块补充调查土壤重金属超标点位图

重金属超标污染物的检测结果统计数据如表 4.3-2 所示，土壤样品中重金属砷的最小检测浓度小于 1mg/kg，最大检测浓度为 32mg/kg，95%置信水平上限浓度值为 11.48mg/kg。土壤样品中重金属铜的最小检测浓度小于 0.5mg/kg，最大检测浓度为 1500mg/kg，95%置信水平上限浓度值为 122.87mg/kg。通过统计分析，几种超标重金属的 95%置信水平上限浓度值均小于筛选值，铜超标个数较少，且深度上及广度上均未出现超标现象，可认为铜的超标值为异常值。砷超标率为 5.45%，本报告中对重金属砷进行风险评估计算。

表 4.3-2 土壤样品中重金属的检测浓度统计情况

污 染 物	样 品 数	超标样 品个数	最大浓度 (mg/kg)	最小浓度 (mg/kg)	95%置信水平 上限值 (mg/kg)	报告检出 限 (mg/kg)	筛选值 (mg/kg)
砷	55	3	32	<1	11.48	<1.0	20
铜	55	2	1500	<0.5	122.87	<0.5	600

4.2.2 场地土壤中 SVOC 污染特征

调查区域内，共有 55 个土壤样品进行了 SVOCs 的检测分析，对比北京市场地土壤环境风险评价筛选值（DB11/T 811-2011）中的住宅用地标准，有 20 个土壤样品中的 SVOCs 浓度超过筛选值，结果如表 4.3-3 所示，超过筛选值的 SVOCs 有苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、萘、菲和二苯呋喃。此次补充调查地块范围内土壤样品中半挥发性有机污染物（SVOCs）的检出超标情况如表 4.3-3 所示。

表 4.3-3 土壤中 SVOCs 超过筛选值的检测结果（单位：mg/kg）

	苯并(a) 蒽	苯并(b) 荧蒽	苯并 (a)芘	茚并 (1,2,3-cd) 芘	二苯并 (a,h)蒽	萘	二苯呋 喃
筛选值	0.50	0.50	0.20	0.20	0.05	50.00	7.30
LJ17-0.2	0.50	0.70	0.30	0.20	0.12	50.50	41.60
LJ17-1.0	0.20	0.40	0.20	0.00	0.08	20.30	16.70
LJ16-1.0	0.20	0.60	0.20	0.00	0.11	5.00	2.20
LJ16-0.2	0.40	0.50	0.30	0.20	0.09	1.50	1.00
LJ15-0.2	0.30	0.50	0.30	0.20	0.08	1.40	0.50
LJ14-0.2	0.50	1.00	0.60	0.40	0.16	0.40	0.40
LJ14-1.0	0.20	0.40	0.30	0.20	0.10	0.40	0.40
LJ18-0.2	0.60	0.80	0.50	0.30	0.10	2.30	1.30
LJ18-1.0	0.70	1.00	0.70	0.40	0.17	0.70	0.40
LJ18-2.0	0.70	1.10	0.80	0.50	0.23	0.90	0.50
LJ36-0.2	0.30	0.50	0.30	0.20	0.08	0.30	0.00
LJ5-0.2	0.60	1.50	0.90	0.20	0.13	<0.1	<0.1
LJ5-1.0	1.00	2.30	0.80	0.00	0.17	<0.1	<0.1
LJ5-2.0	0.50	1.40	0.40	0.00	0.11	<0.1	<0.1
SJD28-0.2	0.4	0.7	0.5	0.6	0.15	0.60	0.20
SJD29-0.2	1	2	1.4	1.5	0.42	4	1
SJD30-0.2	1.5	3.4	2.2	2.4	0.71	3	1.1
SJD30-1.0	2.8	6	3.9	4.1	1.31	2.5	1.5
SJD30-2.0	1.5	3.6	2.2	2.4	0.72	3	1.1
SJD30-5.0	0.4	0.7	0.6	0.5	0.14	<0.1	<0.1

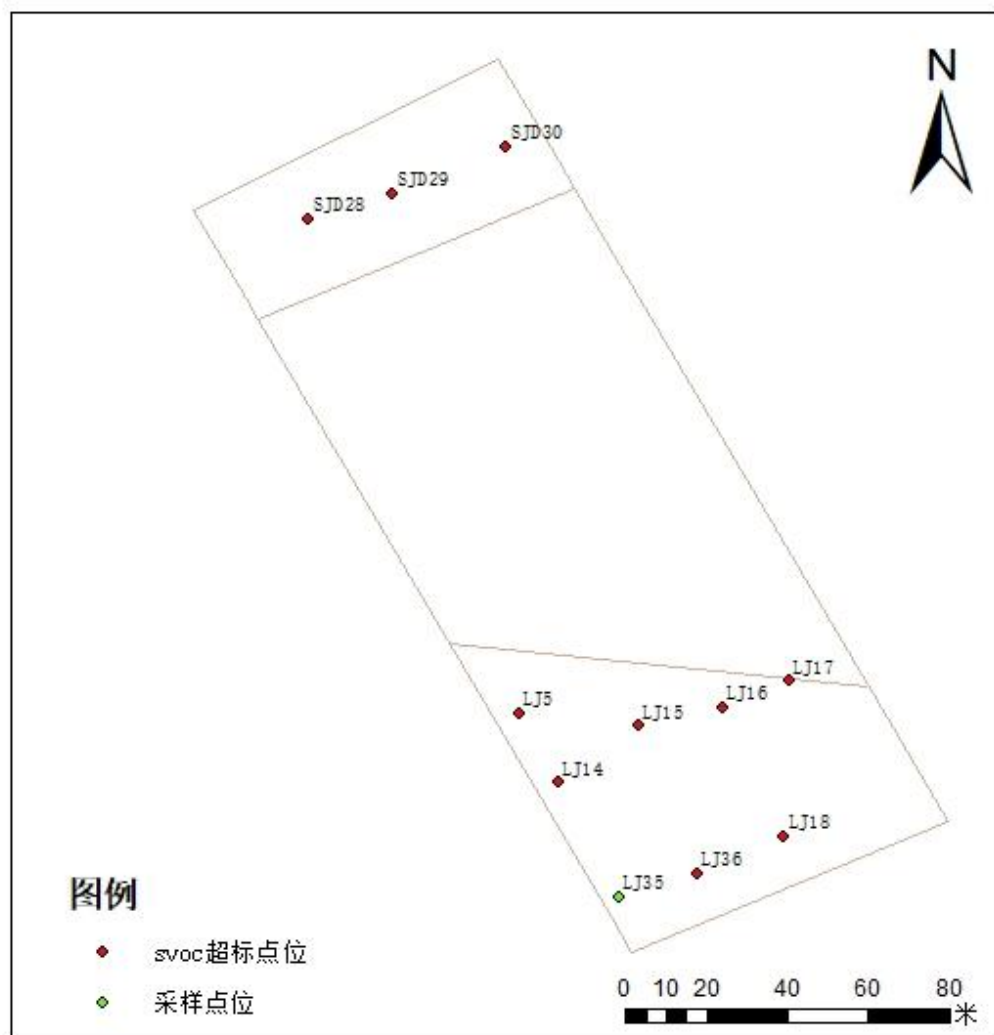


图 4.3-2 681 地块补充调查土壤 svoc 超标点位分布图

SVOCs 超标污染物的检测结果统计数据如表 4.3-4 所示，其中，苯并(a)蒽超标个数为 9 个，最大超标倍数为 4.6；苯并(b)荧蒽超标个数为 15 个，最大超标倍数为 11；苯并(a)芘超标个数为 19 个，最大超标倍数为 18.5；茚并(1,2,3-cd)芘超标个数为 10 个，最大超标倍数为 19.5；二苯并(a,h)蒽超标个数为 20 个，最大超标倍数为 25.2；萘超标个数为 1 个，最大超标倍数为 0.01；二苯呋喃超标个数为 2 个，最大超标倍数为 4.70。因此本报告后续重点针对苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、萘、二苯呋喃开展风险评估计算。

表 4.3-4 土壤样品中 SVOCs 的检测浓度统计情况

污染物	样品数	超标样品个数	最大浓度 (mg/kg)	最小浓度 (mg/kg)	95%置信水平上限值(mg/kg)	报告检出限(mg/kg)	筛选值 (mg/kg)
苯并(a)蒽	55	9	2.8	<0.1	0.44	<0.1	0.5
苯并(b)荧蒽	55	15	6.0	<0.1	0.91	<0.1	0.5
苯并(a)芘	55	19	3.9	<0.1	0.56	<0.1	0.2
茚并(1,2,3-cd)芘	55	10	4.1	<0.1	0.50	<0.1	0.2
二苯并(a,h)蒽	55	20	1.31	<0.05	0.17	<0.05	0.05
萘	55	1	50.50	<0.1	4.19	<0.1	50
二苯呋喃	55	2	41.6	<0.1	3.32	<0.1	7.3

4.2.3 污染物来源及成因分析

根据以上分析,可知该场地土壤中主要特征污染物为砷及 SVOCs。681 外围地块的污染主要是受到 681 已完成区域内(原首钢堆煤场部分用地)的影响。

1)、681 已完成区域首钢堆煤场中存放煤的砷含量较高,且在修复过程中,基坑侧壁超标,超标污染物亦为砷及多环芳烃,因此,存在污染物迁移现象。

2)、受首钢主厂区的大气沉降影响,大气排放源来自煤的装卸、混配、粉碎、皮带运输过程中烟尘的飞扬等,排放的大气污染物主要是烟尘。

3)、施工过程中的扰动可能会造成表层土壤的潜在污染。

因此,本次 681 地块外围补充调查砷及 SVOCs 的污染与 681 内侧已完成区域存在的污染相关。

4.3 地下水污染特征分析

根据已批复的《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》,在厂区布设 1 个地下水监测井。该场地调查地下水监测井使用汽车钻进行建井。地下水样品采集深度为 51m 左右。

调查在监测井 MW1 采集了 2 个地下水样品,对样品进行了重金属、VOCs、SVOCs 的检测分析,地下水检测结果见《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》附件 5 地下水样品检测报告。

地下水样品中检出物质主要包括重金属铜和砷，有机物氟二溴甲烷。地下水样品检测结果与国家《地下水质量标准》（GB/T 14848-93）进行对比分析。地下水中重金属铜、砷的检测浓度均小于《地下水质量标准》（GB/T 14848-93）的 III 类水质标准。

同时，结合首钢主厂区监测井地下水样品水质检测结果，色度、嗅和味、浑浊度和肉眼可见物等感官性状指标均达到我国地下水质量III类标准，挥发酚、氰化物、碘化物和六价铬未检出；样品中重金属均未超标。样品中 SVOCs 未检出。VOCs 检测指标仅 7 项有检出，检出项主要包括苯、甲苯、乙苯、总二甲苯、三氯甲烷、三氯乙烯、四氯乙烯，检出点位为首钢厂区监测井 W1 号，且均未超过我国地下水质量III类标准。

综合以上调查数据，认为该调查场地区域内地下水重金属、SVOCs 和 VOCs 均未超过地下水质量III类标准，说明调查场地地下水基本没有受到潜在特征污染物的影响。

根据收集到的 2014 年 10 月调查区域的地下水流场资料，在本次调查区域内，地下水有西北西向东南东方向流动（摘自首钢厂区场地调查报告）。结合场区位置可见，本次调查区域内的监测井位于调查范围的中下游方向，同时本次调查区域内地下水坡降较小，流动较缓，本次调查区域内监测井可以代表在调查时本次调查区域的地下水水质。结合调查场地周边情况，分析认为该调查场区对下游地下水不产生污染影响。因此后续不再扩展到对外围周边地下水进行调查及分析。

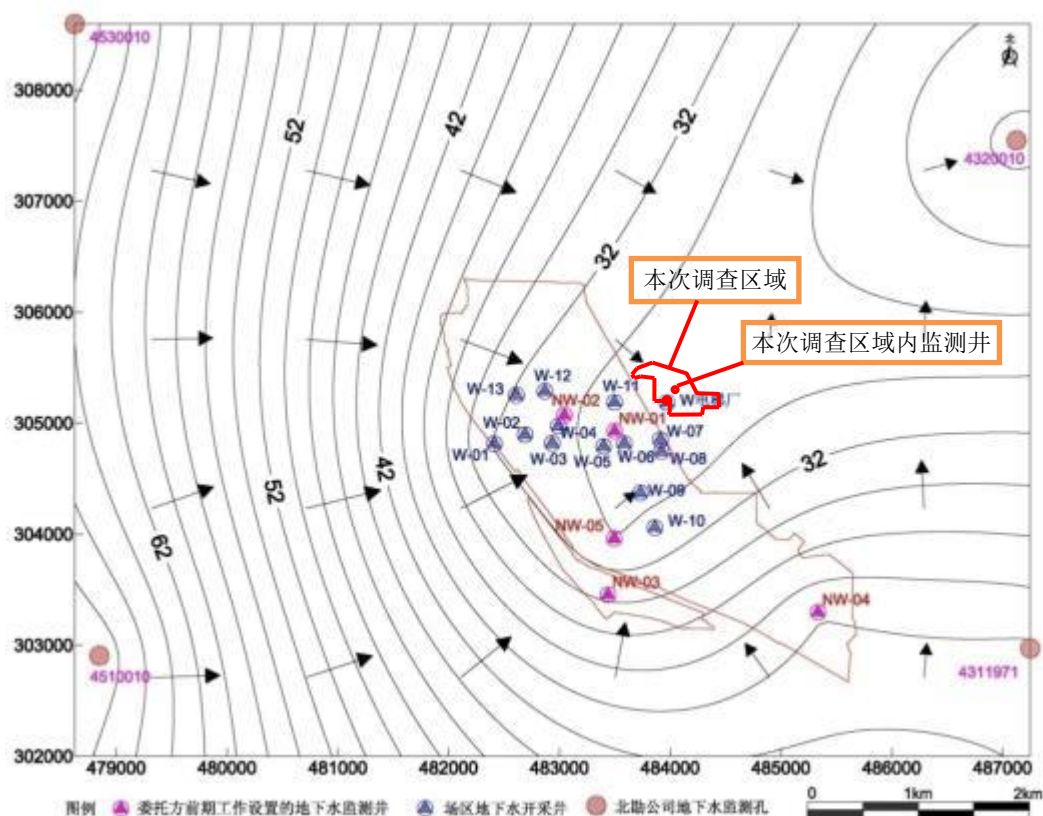


图 4.3-1 调查区域及周边其他场地地下水监测井位置相关性示意图

4.4 场地污染特征小结

1、通过网格布点方法对场区地进行采样调查，共布设土壤采样点 11 个，共采集土壤样品 55 个，其中重金属检测样品 55 个，SVOCs 检测样品 55 个。

2、本次评价以北京市地方标准——《场地环境评价导则》(DB11/T 656-2009)为主要参考标准对场地污染情况进行分析，主要以北京颁布的《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011)中的住宅用地情景筛选值为参照标准。

3、此次场地调查中对 55 个土壤样品进行重金属类物质检测，主要超标物质是砷、铜。

4、此次场地调查中对 55 个土壤样品进行 SVOCs 类污染物检测。土壤样品中主要的超标 SVOC 物质是苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒹、苯并(a)芘、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、萘、二苯呋喃。

5、根据样品检测结果的统计分析，需要关注的污染物主要包括砷、苯并(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒹、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、萘、二苯呋喃。

6、需要对土壤污染中关注的特征污染物开展风险评估分析。

5 场地风险评估

5.1 场地风险评价程序

场地环境污染的风险影响主要步骤见图 5.1-1，具体为：

- (1) 风险识别或污染源分析：识别关心的污染物及暴露点的浓度；
- (2) 暴露分析：确认潜在暴露人口、暴露途径、暴露程度；
- (3) 毒性评价：综合暴露分析和毒性分析确定污染浓度水平与健康的反应之间的关系；
- (4) 风险评价：确定场地的环境及健康风险。

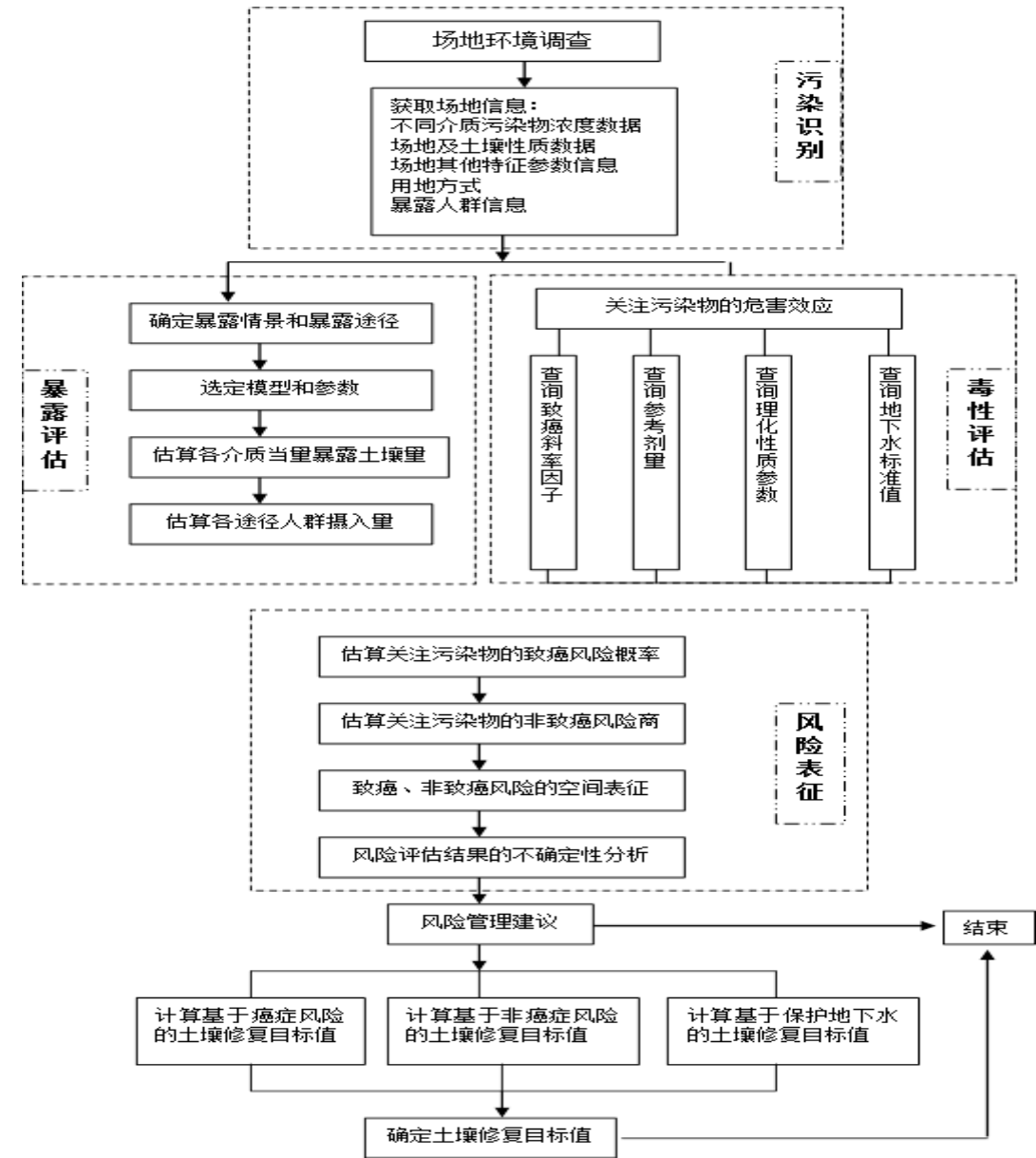


图 5.1-1 场地健康风险评价一般程序

5.2 风险识别

5.2.1 污染源分析

风险评价中的污染源是指可能对健康和环境产生不良影响的受污染的土壤。根据场地调查的检测分析结果，土壤中超出相应筛选值的污染物为砷和多环芳烃类物质，主要包括苯并(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、萘、二苯呋喃，本次评价将对 681 地块进行评估。

5.2.1.1 砷

砷，英文名称 Arsenic; As。

砷，是一种类金属元素，元素符号 As，单质以灰砷、黑砷和黄砷这三种同素异形体的形式存在。砷元素广泛的存在于自然界，共有数百种的砷矿物是已被发现。砷化合物可区分为有机砷及无机砷，有机砷化合物绝大多数有毒，有些还有剧毒。另外有机砷及无机砷中又分别分为三价砷(As_2O_3)及五价砷(NaAsO_3)，在生物体内砷价数可互相转变。

溶解性：不溶于水，溶于硝酸和王水，也能溶解于强碱，生成砷酸盐。

毒性：单质砷无毒性，砷化合物均有毒性。三价砷比五价砷毒性大，约为 60 倍。三价砷会抑制含-SH 的酵素，五价砷会在许多生化反应中与磷酸竞争，因为键结的不稳定，很快会水解而导致高能键（如 ATP）的消失。氢化砷被吸入之后会很快与红血球结合并造成不可逆的细胞膜破坏。低浓度时氢化砷会造成溶血（有剂量 - 反应关系），高浓度时则会造成多器官的细胞毒性。肠胃道、肝脏、肾脏、心血管系统、神经系统、皮肤系统、呼吸系统、血液系统、生殖系统均有可能造成不同程度的危害。砷急性中毒的表现症状为可有恶心、呕吐、口中金属味、腹剧痛、米汤样粪便等，较重者尿量减少、头晕、腓肠肌痉挛、发绀以至休克，严重者出现中枢神经麻痹症状，四肢疼痛性痉挛、意识消失等。砷中毒的症状可能很快显现，也可能在饮用含砷水十几年甚至几十年之后才出现。这主要取决于所摄入砷化物的性质、毒性、摄入量、持续时间及个体体质等因素。

致癌性：

皮肤癌：在长期食用含无机砷的药物、水以及工作场所暴露砷的人的研究中常常会发现皮肤癌。

肺癌：暴露三氧化二砷的精炼厂工人及五价砷农药的研究校正过二氧化硫及

抽烟的暴露之后显示肺癌发生的机率较高。

5.2.1.2 多环芳烃

多环芳烃是一类含有两个或两个以上苯环的碳氢化合物，一类是稠环芳烃，即苯环之间以稠环形式连接，如萘、蒽、菲等，另一类是非稠环芳烃，即苯环之间通过单键连接或通过一个或几个碳原子连接，如联苯、三联苯等。目前已知的多环芳烃有 200 多种。PAHs 室温下为固体，熔点和沸点高，难溶于水，易溶于有机溶剂，广泛存在于大气、水和土壤环境中。低分子量（2'--'3 环）PAHs 通常以气体形式存在，4 环 PAHs（如菲、蒽、荧蒽、芘等）以气态和固态两种形式存在，而 4 环以上 PAHs 通常吸附在颗粒物或散布在大气飘尘中，几乎所有的 PAHs 都分布在可吸入颗粒物上。

PAHs 具有致癌、致畸和致突变性，且其毒性随着苯环的增加而增加。目前已知的 500 多种致癌化合物中，有 200 多种是 PAHs 及其衍生物。其中，苯并(a)芘，二苯并(a,h)蒽等具有强致癌性。PAHs 可以通过消化道、呼吸道以及皮肤等进入人体，从而诱发皮肤癌、肺癌、直肠癌、膀胱癌等。众多 PAHs 中，受关注最多的是苯并(a)芘，因为苯并(a)芘具有强致癌性，当苯并(a)芘进入机体后，可被一些氧化酶激活，并代谢产生 7，8-二氢二醇-9，10-环氧化物等强致癌物，潜伏期可达 10-15 年。研究表明，苯并(a)芘浓度每上升 0. 1ug / 100m³，肺癌死亡率上升 5%。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。

多环芳烃极其稳定，难降解，会在环境中不断积累。1979 年，美国环保局公布了 16 种多环芳烃作为优先监测污染物，蒽、萘、二氢萘、萘、菲、芘、荧蒽、芴、苯(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(a)芘、蒽、苯并(ghi)菲、二苯并(a, h)蒽、茚并(1, 2, 3-cd)芘。其中，萘、荧蒽、苯并[b]荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(a)芘、茚并(1, 2, 3-cd)芘、苯并(ghi)芘这 7 种多环芳烃被列入了“中国环境优先污染物黑名单”。下表为常见的多环芳烃类成分性质。

表 5.2-1 多环芳烃类成分性质表

化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formulas	分子量 Molecular weight	Kow	环数 Numbers of rings	致癌性 Carcinogenicity
萘	C ₁₀ H ₈	128.2	3.28	2	

萆烯	C ₁₂ H ₈	152.2	4.07	2	
萆	C ₁₂ H ₁₀	154.2	3.98	3	
芴	C ₁₀ H ₁₀	166.2	4.18	3	
菲	C ₁₄ H ₁₀	178.2	4.45	3	
蒽	C ₁₄ H ₁₀	178.2	4.45	3	
荧蒽	C ₁₆ H ₁₀	202.3	4.90	4	助癌
芘	C ₁₆ H ₁₀	202.3	4.88	4	
屈	C ₁₈ H ₁₂	228.3	5.16	4	弱致癌
苯并蒽	C ₁₈ H ₁₂	228.2	5.61	4	强致癌
苯并(b)荧蒽	C ₂₀ H ₁₂	252.3	6.04	5	强致癌
苯并(k)荧蒽	C ₂₀ H ₁₂	252.3	6.06	5	强致癌
苯并芘	C ₂₀ H ₁₂	252.3	6.06	5	特强致癌
二苯并(a,h)蒽	C ₂₀ H ₁₄	278.4	6.84	6	特强致癌
苯并(g,h,j)花	C ₂₂ H ₁₂	276.3	6.50	6	助癌
茚并(1,2,3-cd)芘	C ₂₂ H ₁₂	276.3	6.58	6	相对较弱

下面对多环芳烃类各特征污染物的性质进行介绍。

苯并(a)蒽，英文名称：Benz(a)anthracene。

溶解性：黄棕色有荧光的片状物质，溶于乙醇、乙醚、丙酮和苯。

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。

致癌性：IARC 列为对实验动物有足够证据致癌物。Ames 试验鼠伤寒沙门氏菌 TA100、TA98 +S9 阳性；小鼠皮下最小中毒剂量 2mg/kg 阳性；小鼠非肠道最小中毒剂量 8mg/kg 阳性；小鼠种植最小中毒剂量 80mg/kg 阳性；小鼠经皮最小中毒剂量 240mg/kg(5 周)阳性。

致突变性：微粒体致突变：鼠伤寒沙门氏菌 50μg/plate(JJIND8 62,893,79)；

DNA 损伤：大肠杆菌 10 μ mol/L(MUREAV 89,95,81)

来源：本品存在于煤焦油、煤焦油沥青、杂酚油中，炼焦、各种烧煤烟道气、汽车发动机排气以及碳水化合物、氨基酸和酯肪酸在 700℃热解均有苯并(a)蒽存在。

苯并(a)蒽，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)蒽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蒽，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 β ,8 α -二醇体-9 α ,10 α -环氧化物-苯并[a]蒽，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。

苯并(b)荧蒽，英文名称: Benzo[b]fluorathene; BbF。

溶解性：不溶于水，表面活性剂可增加其水中溶解度，在橄榄油中的溶解度为 0.6mg/2ml。

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。

毒性毒理：人们对环境中多环芳烃的毒性的全面研究还比较少。在环境中很少遇到单一的多环芳烃(PAH)，而 PAH 混合物中可能发生很多相互作用。PAH 化合物中有不少是致癌物质，但并非直接致癌物，必须经细胞微粒中的混合功能氧化酶激活后才具有致癌性。第一步为氧化和羟化作用，产生的环氧化物或酚类可能再以解毒反应生成葡萄糖苷、硫酸盐或谷胱甘肽结合物，但某些环氧化物可能代谢成二氢二醇，它依次通过结合而生成可溶性的解毒产物或氧化成二醇-环氧化物，这后一类化合物被认为是引起癌症的终致癌物。PAH 的化学结构与致癌活性有关，分子结构的改变，常引起致癌活性显著变化。在苯环骈合类的多环芳烃中有致癌活性的只是 4 至 6 环的环芳烃中的一部分。苯并[b]荧蒹的相对致癌性很强。

代谢、降解、蓄积：PAH 具有高度的脂溶性，易于经哺乳动物的内脏和肺吸收，能迅速地从血液和肝脏中被清除，并广泛分布于各种组织中，特别倾向于分布在体脂中。虽然 PAH 有高度的脂溶性，但是在动物或人的脂肪中几乎无生物蓄积作用的倾向，主要因为 PAH 能迅速和广泛地被代谢，代谢产物主要以水溶性化合物从尿和粪中排泄。在环境大气和水体中的 PAH 受到足够能量的阳光中紫外线的照射时会发生光解作用，土壤中的某些微生物可以使 PAH 降解，但分子量较大的苯并[b]荧蒹的光解、水解和生物降解是很微弱的。

二苯并(a,h)蒹，英文名称：Dibenz[a,h] anthracene。

溶解性：溶于石油醚、丙酮、乙酸、苯、甲苯、二甲苯和油类，微溶于乙醇和乙醚，不溶于水。

致癌：流行病学研究已证明人们暴露在含有二苯并(a,h)蒹的混合物中会增加肺癌的几率。动物研究证明暴露在二苯并(a,h)蒹中引起肿瘤、白血病、生殖困难、先天缺陷和体重下降。二苯并(a,h)蒹对中枢神经、血液毒性作用很强，对粘膜的刺激性及麻醉性极强。

除致癌性外，二苯并(a,h)蒹对人类健康还有很大的影响。毒性作用主要表现为引起血小板和白细胞减少，髓细胞性贫血及白血病，出现神经衰弱症候群，四肢麻木和痛觉减退，对新陈代谢产生影响，并对皮肤有损害和致敏作用，长期接触可出现皮肤粘膜出血倾向。

致突变作用：对水生物有剧毒，在水生环境可能会引起长期有害作用,微藻在葱的胁迫下，生命体的生长会受到抑制，还可使体内活性氧积累而使微藻受到伤害。

茚并(1,2,3-cd)芘，英文名称：Indeno[1,2,3-cd]Pyrene；InP。

外观与性状，轻质石油中析出黄色片状或针状结晶，有淡绿色荧光。

溶解性：不溶于水，表面活性剂可增加其水中溶解度，在橄榄油中的溶解度为 0.6mg/2ml。

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

毒性毒理：茚并（1,2,3-cd）芘的相对致癌性较弱。

5.2.2 暴露点浓度

本次评价，将场区不同污染物的最大浓度作为暴露点浓度值进行风险评估。污染物的暴露点浓度结果见下表 5.2-1。

表 5.2-1 暴露点浓度（单位：mg/kg）

场区 指标	681 地块补充调查区域
砷	32
苯并(a)葱	2.8
苯并(a)芘	3.9
苯并(b)荧葱	6.0
二苯并(ah)葱	1.31
茚并(123-cd)芘	4.1
萘	50.50
二苯呋喃	41.6

5.3 暴露分析

人体周围的环境，包括空气、水、土壤、产品等，含有各种各样的化学物质，这些化学物质与人体外部边界的接触被定义为暴露。暴露点化学物质的浓度定义

为暴露浓度。暴露评估指定量或定性估计暴露量、暴露频率、暴露期和暴露方式，可概述为 3 步：描述暴露背景、识别暴露途径和暴露量化。

4.3.1 暴露对象

确定场地环境污染的健康风险暴露对象和暴露途径是场地风险评估的关键之一。暴露对象和暴露途径主要依据场地的未来用途确定。

本次评价区域在棚户区改造范围内，为了最大可能地保护场地未来利用过程中人体健康和生态环境，设定本次评价的暴露对象为居住人员。由于土壤污染深度较浅，在评价过程中，将污染土壤作为表层土壤进行风险评估。

4.3.2 暴露途径

住宅类用地方式下，表层土壤受到污染，居住人群可因不慎经口摄入污染土壤而暴露于污染物，可因皮肤接触污染土壤而暴露于污染物，也可因吸入室内和室外空气中的污染物而产生健康危害。本次评价厂区的污染场地风险评估的概念模型如图 5.3-1 所示。

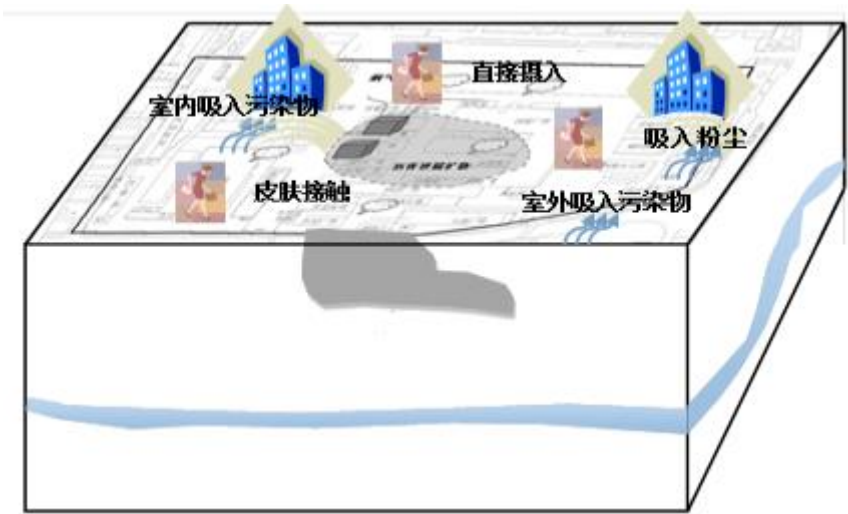


图 5.3-1 场地暴露途径概念模型图

通过场地前期调查与数据分析工作确定场地的主要污染物为重金属和多环芳烃类。依据北京市场地环境评价导则（DB11/T 656-2009），结合场地可能的清挖和未来的使用情景判断，进行暴露途径分析。

表层污染土壤主要暴露途径包括不慎直接摄入、通过皮肤直接接触土壤、通过呼吸吸入土壤尘而摄污染物和通过呼吸空气中挥发的污染物而摄入污染物而产生危害。污染物暴露途径图见图 5.3-2。

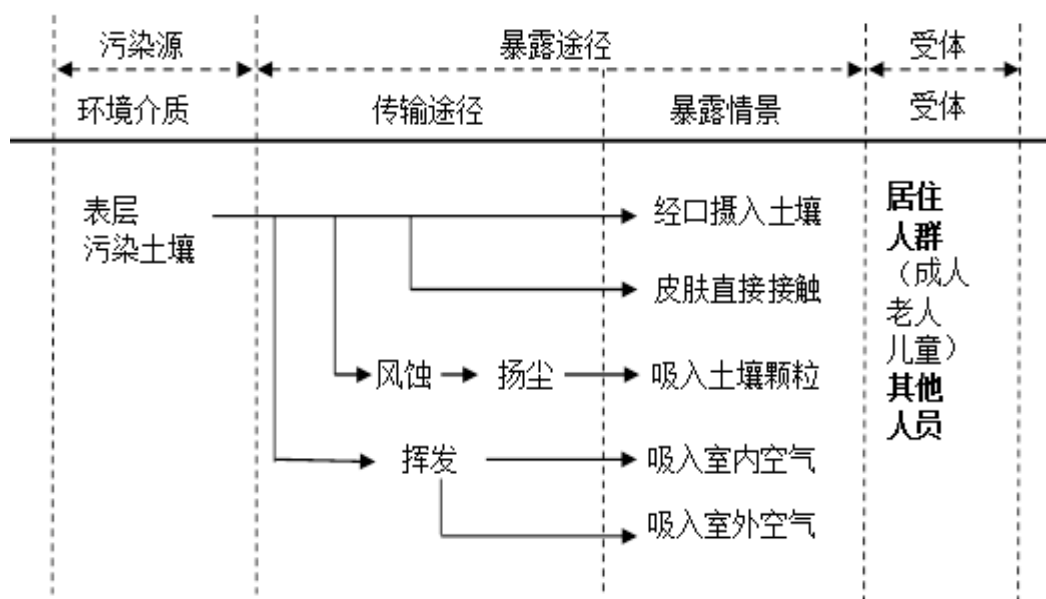


图 5.3-2 污染场地暴露途径示意图

4.3.3 暴露参数

暴露参数包括暴露频率、暴露期、土壤的摄入量 and 人体的相关参数。人体相关参数如体重、寿命、空气呼吸率和日饮水量等，土壤经口摄入量、暴露频率和暴露期等主要参照主要参考《场地环境评价导则》（DB11/T656-2009）和《污染场地风险评估导则》（HJ25.2-2014）推荐的相关参数，风险评价中各层土壤的相关参数主要通过现场实测获取，部分数据由经验公式计算得出，见表 5.3-1。

表 5.3-1 场地风险评估模型参数及推荐值

人体参数（居住）		
参数	儿童	成人
致癌作用时间(yr)	70	
非致癌作用时间(yr)	6	30
体重(Kg)	15	60
暴露持续时间(yr)	6	30
空气中的暴露时间(yr)	30	
暴露频率(d/a)	350	
皮肤暴露频率(d/a)	350	

皮肤暴露表面积 cm ²	1600	4350
皮肤的土壤吸附参数	0.5	
土壤摄入量（mg/d)	200	100
迁移模型参数		
室外空气挥发因子	表层土壤挥发模型使用 ASTM Model	
室内空气挥发因子	Johnson&Ettinger model	
土壤淋滤到地下水因子	使用 ASTM Model	
模型操作	不使用质量平衡限制	
土壤参数		
地下水埋深	51m	
毛细带厚度	0.05m	
土壤层厚度	50.95m	
	包气带/Vadose Zone	毛细带/Capillary Fringe
体积含水量	0.15	0.414
体积空气含量	0.31	0.046
总孔隙度	0.46	
干容积密度	1.6Kg/L	
垂向水力传到系数	559.008cm/d	
气体渗透性	7.2E-12 m²	
毛细带厚度	0.05m	
区域降水量	40cm/yr	
土壤有机碳含量	0.01	
土壤/水 pH	7.7	
室外空气参数		

空气混合区高度	2m
空气混合区的空气流速	2.25m/s
颗粒扩散因子	0.000000000069kg/m ³
区域颗粒浓度	1.9E-14g/cm ² /s
室内空气参数	
室内空间体积与气态污染物入渗面积比	2m
室内地板面积	70 m ²
室内地板周长	34m
室内空气交换率	0.00014 次/s
室内地基深度	0.15m
地基和墙体裂隙表面积所占比例	0.001
地基裂隙中水体积比	0.12
地基裂隙中空气体积比	0.26
地下水参数	
水力传导系数	300m/d
水力坡度	0.002
有效孔隙度	0.38

4.3.4 暴露量计算

本项目所假定的情景涉及的暴露①直接不慎摄入污染土壤；②经皮肤接触污染土壤而吸收土壤中污染物；③通过呼吸系统吸入土壤尘或挥发性气体。各种暴露途径的摄入量的计算如下：

① 直接不慎摄入污染土壤

$$EDI_{\text{直接摄入}} = \frac{CS \times IR \times CF \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

式中：

EDI—— 因不慎摄入土壤而摄入的污染物（mg/(kg·d)）

CS——土壤中化学物质浓度，mg/kg；

IR——土壤摄入量，mg/d;

CF——转换系数，kg/mg，数值为 10^{-6} ;

EF——暴露频率，d/a;

ED——暴露年限，a;

BW——体重，kg;

AT——平均作用时间，d。

② 经皮肤接触污染土壤而吸收土壤中污染物

通过皮肤直接接触土壤并吸收土壤污染物的摄入量可用下列公式计算出：

$$EDI_{\text{皮肤接触}} = \frac{CS \times CF \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

式中：

CS 化学物质与土壤中的浓度，mg/kg;

CF——转换系数，kg/mg;

SA——可能接触土壤的皮肤面积， cm^2/d ;

AF——土壤对皮肤的吸附系数， mg/cm^2 ;

ABS——皮肤吸收系数;

EF——暴露频率，d/a;

ED——暴露年限，a;

BW——体重，kg;

AT——平均作用时间，d。

③ 通过呼吸系统吸入土壤尘或挥发性气体

通过摄入土壤尘而摄入化学元素量 EDI ($\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$) 可按下列式计算：

$$EDI_{\text{呼吸摄尘}} = \frac{IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times C_{\text{air}}$$

$$C_{\text{air}} = CS \times \frac{P_e \times W}{U_{\text{air}} \times \delta_{\text{air}}} \times CF$$

式中：

CS——土壤中化学物质浓度，mg/kg;

IR——空气摄入量， m^3/d ;

EF——暴露频率，d/a;

ED——暴露年限，a;

BW——体重，kg；

AT——平均作用时间，d；

C_{air}——空气中化学物质浓度，mg/m³；

P_e——扬尘逸散速率，g/cm²·sec；

W——风向平行方向上污染源最大宽度，cm；

U_{air}——污染源上方平均风速，cm/sec；

δ_{air}——污染源上方空气混合层高度，cm；

CF——单位转换因子，cm³/kg-m³/g，数值为10⁻³。

4.4 毒性评价

污染物质对人体产生的不良效应以剂量~反应关系表示。对于非致癌物质如具有神经毒性、免疫毒性和发育毒性等物质，通常认为存在阈值现象，即低于该值就不会产生可观察到的不良效应。对于致癌和致突变物质，一般认为无阈值现象，即任意剂量的暴露均可能产生负面健康效应。

4.4.1 非致癌物质毒性效应

对于非致癌物质，假定其在高浓度条件下都会产生不良的健康效应；然而，当剂量非常低时，不存在或观察不到典型的不良效应。因此，定性化学物质的非致癌效应时，关键参数是阈值剂量。阈值指在此剂量下不良的效应开始出现。低于阈值剂量被认为是安全的，而高于阈值剂量可能会导致不良的健康效应。

本次评价中采用的慢性参考剂量和参考浓度及其来源见表 5.4-1。

4.4.2 致癌物质的效应评价

致癌效应的剂量~反应关系是以各种关于剂量和反应的定量研究为基础建立的，如动物实验学实验数据、临床学和流行病学统计资料等。由于人体在实际环境中的暴露水平通常较低，而实验学或流行病学研究中的剂量相对较高，因此，在估计人体实际暴露情形下的剂量~反应关系时，常常利用实验获取的剂量~反应关系数据推测低剂量条件下的剂量~反应关系，称为低剂量外推法。

本次评价中采用的致癌斜率及参考浓度及其来源见表 5.4-1。

4.4.3 毒性参数

污染物的人体健康毒性参数主要选自 RBCA 人体健康毒性数据。见表 5.4-1。

表 5.4-1 特征污染物毒性参数表

污染物	英文名称	CAS 序号	参考剂量 (RfD)		参考浓度	致癌斜率		单位致癌系数	皮肤吸收因子
			(mg/kg/day)		(mg/m ³)	1/(mg/kg/day)		1/(μg/m ³)	
			经口	经皮肤	呼吸	经口	经皮肤	呼吸	
砷	arsenic	7440-38-2	0.0003	0.0003	-	1.5	1.5	0.0043	0.03
苯并(a)芘	Benzo (a) pyrene	50-32-8	-	-	-	1.00E+00	1.00E+00	6.00E-04	0.13
苯并(b)荧蒽	Benzo (b) fluoranthene	205-99-2	-	-	-	1.00E-01	1.00E-01	6.00E-05	0.13
二苯并(a,h)蒽	Dibenz-a,h-anthracene	53-70-3	-	-	-	1.00E+00	1.00E+00	6.00E-04	0.13
苯并(a)蒽	Benanthrene	56-55-3	-	-	-	1.00E-01	1.00E-01	6.00E-05	0.13
茚并(1,2,3-cd)芘	Indeno (1,2,3-cd) pyrene	193-39-5	-	-	-	1.00E-01	1.00E-01	6.00E-05	0.13
二苯呋喃	Dibenzofuran	132-64-9	0.001	0.001	-	-	-	-	0.03
萘	Naphthalene	91-20-3	0.02	0.02	-	-	-	3.40E-05	0.13

注：主要参考《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》编制说明，美国 Regional Screening Level (RSL) Summary Table (TR=1E - 06, HQ=1) June 2017

4.5 风险评价

4.5.1 工作内容

风险表征的主要工作内容包括单一污染物的致癌和非致癌风险的计算、所有关注污染物的致癌和非致癌风险计算。

4.5.2 风险表征

风险表征应按照每个采样点样品中关注污染物分析浓度数据，计算致癌风险值和危害商值。本次风险评价根据暴露点浓度值计算致癌风险值和危害商值。

本次风险评价将考虑致癌和非致癌两种不同的健康影响风险。

①致癌风险评价

致癌风险值是通过平均到整个生命期的平均每天摄入量 EDI 乘以经口、经皮肤或直接吸入致癌斜率系数（CSF）计算得出。即

$$HI = EDI \times CSF$$

EDI——平均每天摄入量（按寿命周期为 70 岁计）， $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ；

CSF——各类途径的致癌风险斜率系数， $(\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d}))^{-1}$ 。

②非致癌风险计算

非致癌风险值可通过每天摄入量（平均到整个暴露作用期）除以每一途径的慢性参考剂量来计算。即：

$$HI = EDI / RfD;$$

HI=风险值；

EDI=每天摄入量（平均到整个暴露作用期）， $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ；

RfC=参考剂量， $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。

每个化学物质总的非致癌风险等于通过各种途径非致癌风险值的总和。

4.5.3 RBCA 风险计算软件介绍

本次场地风险评估使用的计算软件是美国的 RBCA（Risk-Based Corrective Action）Version2.5 模型。RBCA 模型是由美国 GSI 公司根据美国试验与材料学会（ASTM）“基于风险的矫正行动”（Risk-Based Corrective Action）标准开发，旨在完成 RBCA 计划中的场地风险评价，并可用来制定基于风险的土壤筛选水平（SSLs）及初步修复目标（PRGs），已在美国各州及世界多个国家和地区得到广泛的应用，是目前国际上较为完

善和先进的环境风险评价模型。其主界面见图 5.5-1。

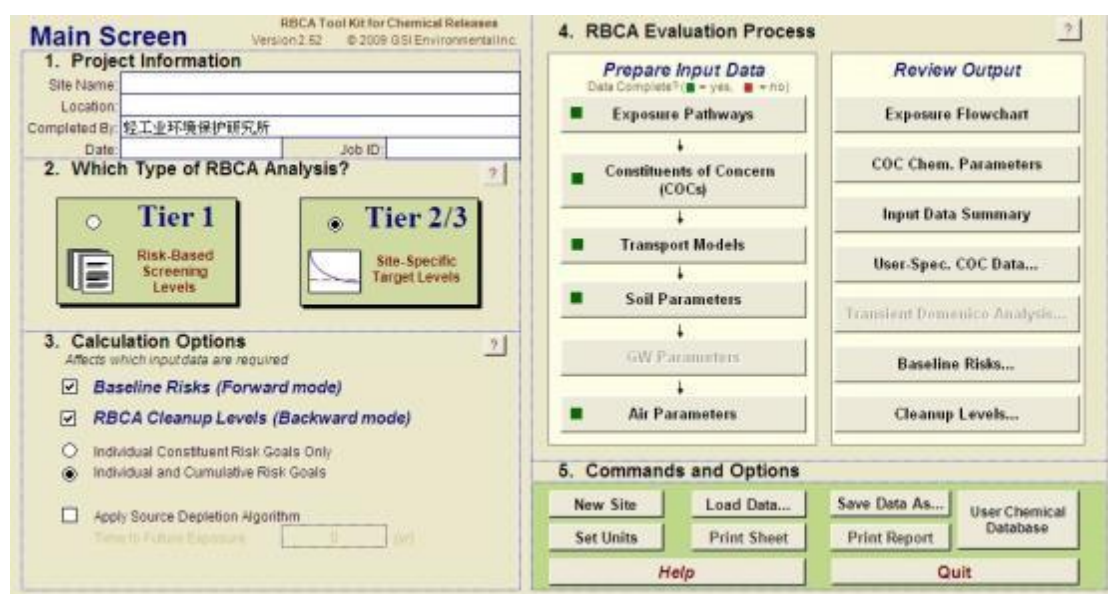


图 5.5-1 RBCA 模型主界面

RBCA 模型按照美国 EPA 的化学物质分类，将化学物质分为致癌与非致癌两类。在计算场地特征筛选值时，对于致癌物质，风险水平设定为 10^{-6} ；对于非致癌物质，危害指数判定标准设定为 1，不计算污染物累积风险。对于具有致癌与非致癌双重效应的物质，取二者之中的最小值作为筛选值；RBCA 模型分别计算直接摄入、皮肤接触、空气挥发等暴露途径的筛选值，取其中最小值作为场地特征筛选值。

第一步：将利用 RBCA toolkit 计算出健康风险水平。

第二步：计算每一情景下每一个污染物的累计风险。

$$HI_{i,j} = \sum_k HI_{i,j,k}$$

其中：i 为污染种类，j 情景，k 为土层。

第三步：根据土壤的累积风险值，利用 RBCA toolkit 计算每个关键污染物的修复目标。

4.5.4 土壤污染风险计算

考虑到该场地后续土地利用拟作为住宅用地开发，采用最保守的暴露途径，进行该场地土壤扰动情景下的风险计算。考虑不同特征污染物的致癌风险和非致癌风险。其计算结果见表 5.5-1。

表 5.5-1 场地污染物健康风险计算结果汇总表

场地 污染物	项目厂区	
	致癌风险	危害商
砷	1.15E-04	1.24E+00
苯并(a)芘	1.36E-05	8.55E-01
苯并(b)荧蒽	3.42E-06	-
二苯并(a,h)蒽	4.57E-06	-
苯并(a)蒽	9.79 E-07	-
茚并(1,2,3-cd)芘	2.64E-07	-
萘	3.87E-05	9.37E-01
二苯呋喃	-	9.57E-01
累计风险值	1.75E-04	3.99

根据风险计算结果，场区的致癌风险超过了可接受的致癌风险 $1.0\text{E-}6$ ，需要对污染土壤进行修复治理。

场区的累积致癌风险是 $1.75\text{E-}4$ ，危害商是 3.99；后期需要对污染土壤进行修复处理，主要关注污染物是砷、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、二苯并(a,h)蒽、萘。

4.5.5 土壤污染风险贡献率分析

通过对场地土壤污染的调查及评估，可以看出场地土壤中有多对对人体健康有害的污染物，可通过多种途径对人体产生危害。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。

本场区的累积致癌风险是 $1.75\text{E-}4$ ，主要关注污染物是砷、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、二苯并(a,h)蒽、萘。

根据表 5.5-2 的数据，单一污染物中致癌风险贡献率最高为砷贡献率为 65.58%；萘的贡献率为 22.09%；苯并(a)芘风险贡献率为 7.77%；二苯并(a,h)蒽的贡献率为 2.61%；苯并(b)荧蒽的贡献率为 1.95%。

从单一暴露途径看，对致癌风险贡献率最高的暴露途径是经口摄入，贡献率是

57.77%；其次是呼吸接触，贡献率是 32.07%；最小的是皮肤接触，贡献率是 10.16%。

表 5.5-2 厂区内土壤中单一污染物的致癌风险

污染物	不同暴露途径的致癌风险			单一污染物 致癌风险	单一污染物致癌 风险贡献率
	呼吸接触	经口摄入	皮肤接触		
砷	1.70E-05	8.65E-05	1.14E-05	1.15E-04	65.58%
苯并(a)芘	3.04E-07	9.01E-06	4.3E-06	1.36E-05	7.77%
苯并(b)荧蒽	7.97E-08	2.68E-06	6.614E-07	3.42E-06	1.95%
二苯并(a,h)蒽	9.84E-08	3.03E-06	1.444E-06	4.57E-06	2.61%
萘	3.87E-05	-	-	3.87E-05	22.09%
单一途径致癌风险	5.62E-05	1.01E-04	1.78E-05	1.75E-04	--
单一途径致癌风险贡献率	32.07%	57.77%	10.16%	--	--

该厂区内污染土壤的非致癌风险的危害商是 3.99，大于危害商的可接受值 1。主要的非致癌风险来源是土壤中的砷。

从不同暴露途径的风险贡献率分析，本次调查的场地内，对致癌风险影响最大的暴露途径主要是经口摄入和呼吸接触；调查区域内的污染物皮肤接触对致癌风险的贡献率最小。在后期的修复中，可以考虑通过控制污染物的暴露途径的方式，降低或消除土壤中污染物对人体的健康风险。

4.6 场地土壤污染计算修复目标值

将调查区域未来用地情形作为居住用地考虑，根据《北京市场地环境评价导则》单一污染物的致癌风险目标值最大为 1×10^{-6} ，可接受危害商为 1，采用 RBCA 2.5 软件计算该场地具体的场地特征筛选值。根据前面的风险评价结论，结合场地未来用地类型，推算得到的场地土壤污染修复目标值如见表 5.6-1 所示。

表 5.6-1 场地土壤污染的计算修复目标值（单位 mg/kg）

目标污染物	计算修复目标值
砷	1.9

苯并(a)芘	0.29
苯并(b)荧蒽	2.9
二苯并(a,h)蒽	0.29
萘	1.5

4.7 风险评价不确定性分析

本次风险评价部分采用了《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600--2018）和《污染场地风险评估导则》（HJ25.2-2014）中推荐的人体参数和房屋模型参数，并结合现场实测数据，这些数据可能存在一定的误差，同时本次风险评价中将所调查区域作为居住用地进行风险评估，评估结果比较保守。这些参数可能对场地风险和修复目标值的计算存在影响。

4.8 小结

将调查区域的未来利用方式设定为居住用地，以关注污染物的最高检测浓度值作为暴露点浓度，进一步开展风险评价。

根据风险计算结果，场区的致癌风险超过了可接受的致癌风险 $1.0E-6$ ，需要对污染土壤进行修复治理。后期对污染土壤进行修复处理过程中，关注的主要污染物是砷、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、二苯并(a,h)蒽、萘；

通过对不同暴露途径的风险贡献率分析，对健康风险影响加大的暴露途径主要是经口摄入和呼吸接触；在后期的修复中，可以考虑通过控制污染物的暴露途径的方式，降低或消除土壤中污染物对人体的健康风险。

5 场地修复目标和修复范围

5.1 建议修复目标

确定修复目标时的主要原则是，参考通过风险计算反推得到的场地修复目标计算值以及污染物的检出限、相关的法律法规和现有的场地案例等资料，在满足法律法规的要求下，充分考虑经济和技术的可行性，在综合考虑的基础上给出场地建议修复目标值。

本次调查的场地中，污染物类型相对比较单一，主要为挥发性能相对较弱的砷和多环芳烃类物质，将场地土壤风险评价后的修复目标计算值与《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、北京市风险筛选值、美国通用筛选值（SSLs）进行综合比较，结合北京的环境、气候、水文地质、人体参数等实际条件，按照基于人体健康风险的方式，充分考虑不同的暴露途径，确定最终的建议修复目标值。

综上所述该场地污染建议修复目标值如表 6.1-1 所示。

表 6.1-1 场地土壤污染建议修复目标（单位：mg/kg）

目标污染物	修复目标计算值	^a 国家管控标准筛选值	^a 国家管控标准筛选值	^b 北京市风险筛选值	^c 美国联邦土壤筛选值	建议修复目标值
砷	1.9	20	120	20	0.39	20
苯并(a)芘	0.29	0.55	5.5	0.2	0.09	0.55
苯并(b)荧蒽	2.9	5.5	55	0.5	0.9	5.5
二苯并(a,h)蒽	0.29	0.55	5.5	0.05	0.09	0.55
萘	1.5	25	255	50	3.6	25

注：a、引用土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（第一类标准居住用地）。

b、风险筛选值是指北京市土壤环境风险评价筛选值（居住用地）。

c、引用的国外筛选值是指居住用地情景下的经口暴露风险筛选值（最大暴露途径）。

5.2 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场地污染物分布范围。在污染物分布范围插值基础上，对照场地污染建议修复目标值，结合调查区范围、土壤采样点的位置、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，最终确定场地

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。

在调查区域内，根据总体高程，地势相对较为平整，高程为 79.26~80.18 米左右。

根据现场采样过程中的地质情况记录，个别点的地质情况与整个区域和四周采样点的地质情况存在明显差别，在划分修复范围时，将该采样点作为单独的污染点，根据周边点的位置情况判断该点土壤的回填范围进行修复范围的划分。

不同类别污染物污染土壤的修复范围示意图 6.2-1 至 6.2-5。

场地内污染土壤修复范围面积和修复体积见表 6.2-1，不同深度的污染土壤修复面积见表 6.2-2 至表 6.2-6。

根据不同深度修复面积的成图叠加，经计算，调查场区内土壤污染的修复土方量约为 7536.60 立方米。其中 PAH 修复土方量为 6268.37 立方米，As 修复土方量为 268.24 立方米，PAHs 和 As 混合污染的土壤修复土方量为 999.99 立方米。

表 6.2-1 污染土壤修复范围信息表

污染土壤修复区	修复深度	修复面积 (m ²)	修复土方量 (m ³)	PAHs 污染土方量 (m ³)	As 污染土方量 (m ³)	As 和 PAHs 混合污染土方量 (m ³)
第一层	0-1m	2778.98	2778.98	2778.98	0	0
第二层	1-2m	2323.13	2323.13	1450.91	268.24	603.98
第三层	2-3m	1187.29	1187.29	791.28	0	396.01
第五层	4-5m	623.60	623.60	623.60	0	0
第六层	5-6m	623.60	623.60	623.60	0	0
合计			7536.60	6268.37	268.24	999.99

表 6.2-2 污染土壤第一层修复范围信息表（修复深度 0-1m）

修复区域	修复区域面积 (m ²)	修复区域节点坐标
1	1612.65	483770.7017, 305535.0607; 483720.3149, 305514.1674; 483713.3238, 305518.9913; 483709.7546, 305523.7502; 483708.8623, 305532.0783; 483713.1818, 305541.2933; 483755.0455, 305561.6375
2	839.27	483739.8208, 305422.5408; 483752.7198, 305421.1865; 483762.0361, 305416.0605; 483766.5571, 305413.4431; 483771.5539, 305407.9704; 483775.1231, 305399.1664; 483778.4544, 305389.1726; 483776.0749, 305378.7030; 483769.2269, 305372.9398

3	327.06	483812.1378, 305414.9477; 483820.9441, 305414.0231; 483839.7225, 305409.7664; 483838.7737, 305406.2453; 483836.0968, 305401.4863; 483830.5741, 305398.4668; 483819.7380, 305398.8094; 483812.8971, 305405.0555
合计	2778.98	

表 6.2-3 污染土壤第二层修复范围信息表（修复深度 1-2m）

修复区域	修复区域面积 (m ²)	修复区域节点坐标
1	791.29	483769.2875, 305537.4545; 483765.7195, 305532.9947; 483748.8569, 305526.0023; 483735.1239, 305535.0165; 483732.6511, 305541.2469; 483733.6207, 305546.0579; 483737.5783, 305551.8041; 483748.5871, 305558.3275; 483756.1007, 305559.8449
2	659.62	483822.4126, 305361.7931; 483809.6104, 305362.9771; 483806.9646, 305366.6813; 483805.1124, 305373.8251; 483808.2875, 305380.1750; 483812.5209, 305387.0541; 483817.5479, 305388.6417; 483824.6918, 305388.6417; 483832.6292, 305385.2022; 483835.8042, 305380.7043; 483836.8626, 305374.3542; 483833.9522, 305367.7397; 483832.2556, 305365.9278
3	268.24	483772.7625, 305366.2347; 483774.4207, 305368.6921; 483778.9716, 305370.9145; 483784.3691, 305371.2322; 483787.9674, 305369.2214; 483790.8250, 305365.5170; 483792.6241, 305361.2838; 483792.3095, 305359.9070; 483791.7776, 305357.5797; 483789.6607, 305353.7697; 483786.3496, 305351.7001; 483785.4275, 305351.1237; 483782.5102, 305350.3669; 483779.5856, 305354.6497
4	603.98	483739.8208, 305422.5408; 483771.8087, 305418.9691; 483774.2800, 305413.3721; 483774.1610, 305406.8286; 483771.1867, 305400.5230; 483764.0483, 305395.8831; 483756.1415, 305394.4619
合计	2323.13	

表 6.2-4 污染土壤第三层修复范围信息表（修复深度 2-3m）

修复区域	修复区域面积 (m ²)	修复区域节点坐标
1	791.28	483769.2875, 305537.4545; 483765.7195, 305532.9947; 483748.8569, 305526.0023; 483735.1239, 305535.0165; 483732.6511, 305541.2469; 483733.6207, 305546.0579; 483737.5783, 305551.8041; 483748.5871, 305558.3275; 483756.1005, 305559.8449
5	396.01	483825.4413, 305364.8513; 483817.1071, 305365.5126; 483812.4767, 305371.8627; 483811.8154, 305380.9910; 483816.1808, 305385.6211; 483824.1185, 305387.2086; 483829.5424, 305385.8857; 483832.4527, 305381.6523; 483834.5075, 305377.7204; 483834.0402, 305375.6991; 483832.7173, 305369.8783; 483829.5424, 305366.7032

合计	1187.29	
----	---------	--

表 6.2-5 污染土壤第五层修复范围信息表（修复深度 4-5m）

修复区域	修复区域面积（m ² ）	修复区域节点坐标
1	623.60	483756.0203, 305559.9813; 483768.5569, 305538.6949; 483768.1603, 305534.5435; 483766.9211, 305532.8177; 483756.6015, 305528.4173; 483754.5359, 305528.6875; 483751.2727, 305530.1437; 483747.0521, 305533.4089; 483743.2331, 305538.7949; 483741.1247, 305545.6019; 483740.8297, 305549.2745; 483741.6015, 305555.1729; 483744.6613, 305559.4341; 483747.7313, 305561.1471; 483752.6001, 305561.5383
合计	623.60	

表 6.2-6 污染土壤第六层修复范围信息表（修复深度 5-6m）

修复区域	修复区域面积（m ² ）	修复区域节点坐标
1	623.60	483756.0203, 305559.9813; 483768.5569, 305538.6949; 483768.1603, 305534.5435; 483766.9211, 305532.8177; 483756.6015, 305528.4173; 483754.5359, 305528.6875; 483751.2727, 305530.1437; 483747.0521, 305533.4089; 483743.2331, 305538.7949; 483741.1247, 305545.6019; 483740.8297, 305549.2745; 483741.6015, 305555.1729; 483744.6613, 305559.4341; 483747.7313, 305561.1471; 483752.6001, 305561.5383
合计	623.60	

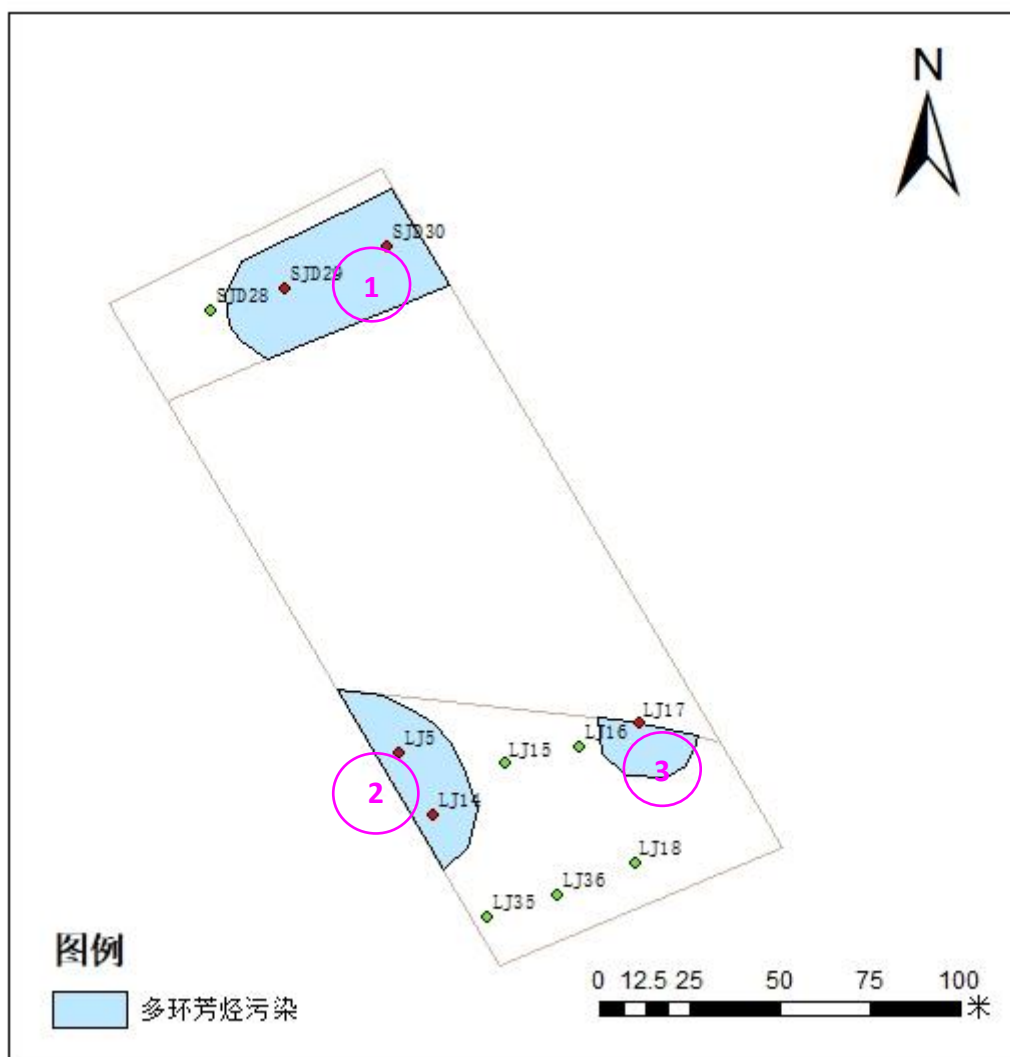


图 6.2-1 污染土壤第一层(0-1m)修复范围分布图

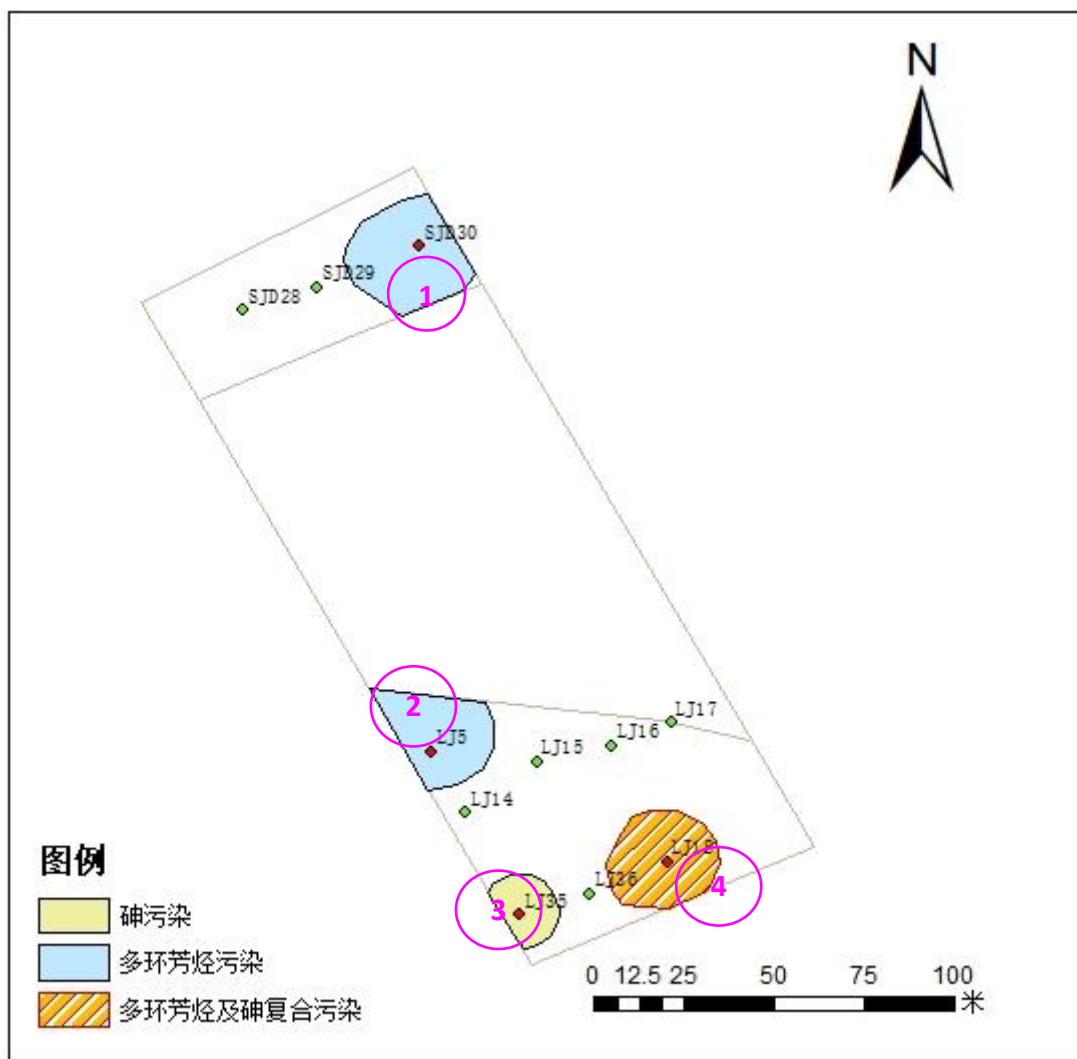


图 6.2-2 污染土壤第二层(1-2m)修复范围分布图

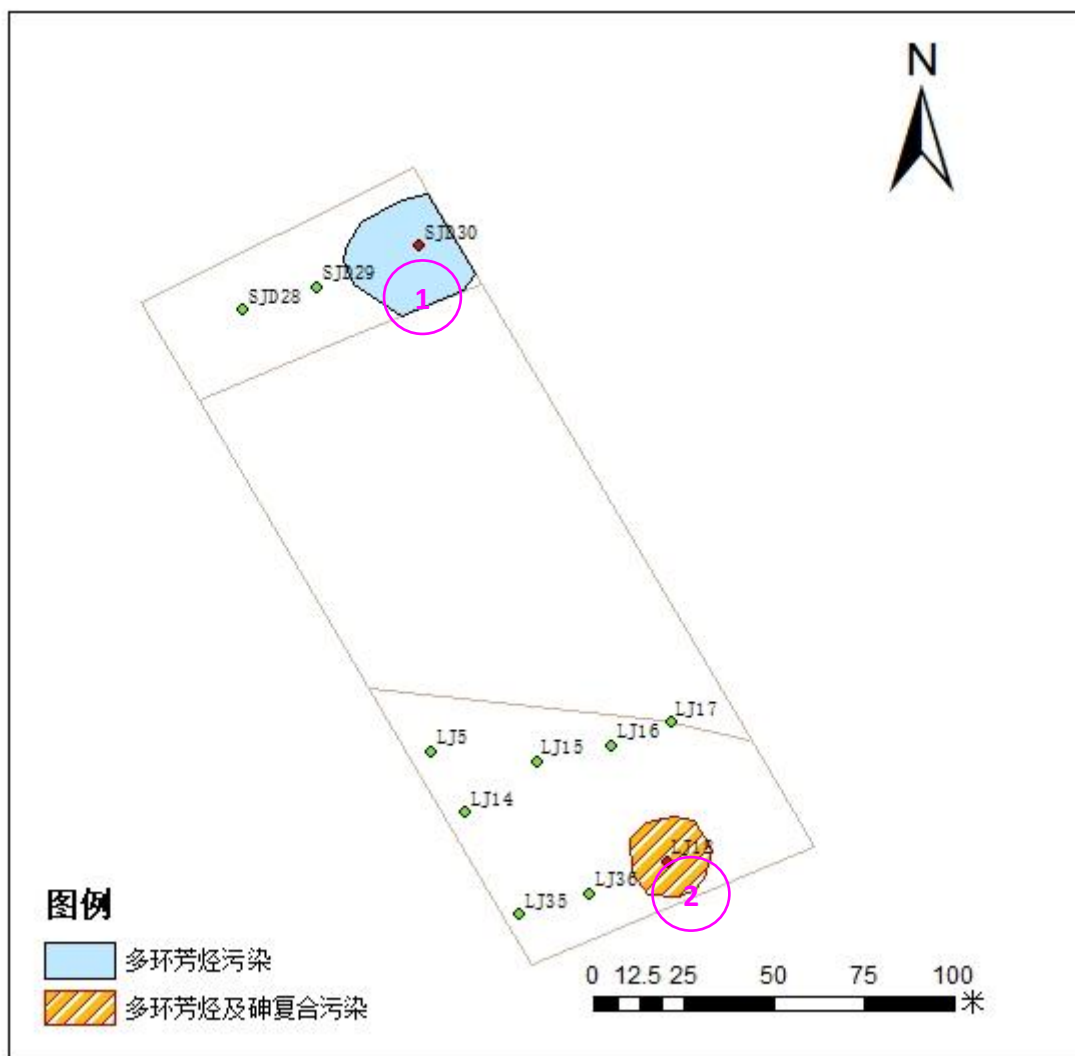


图 6.2-3 污染土壤第三层(2-3m)修复范围分布图

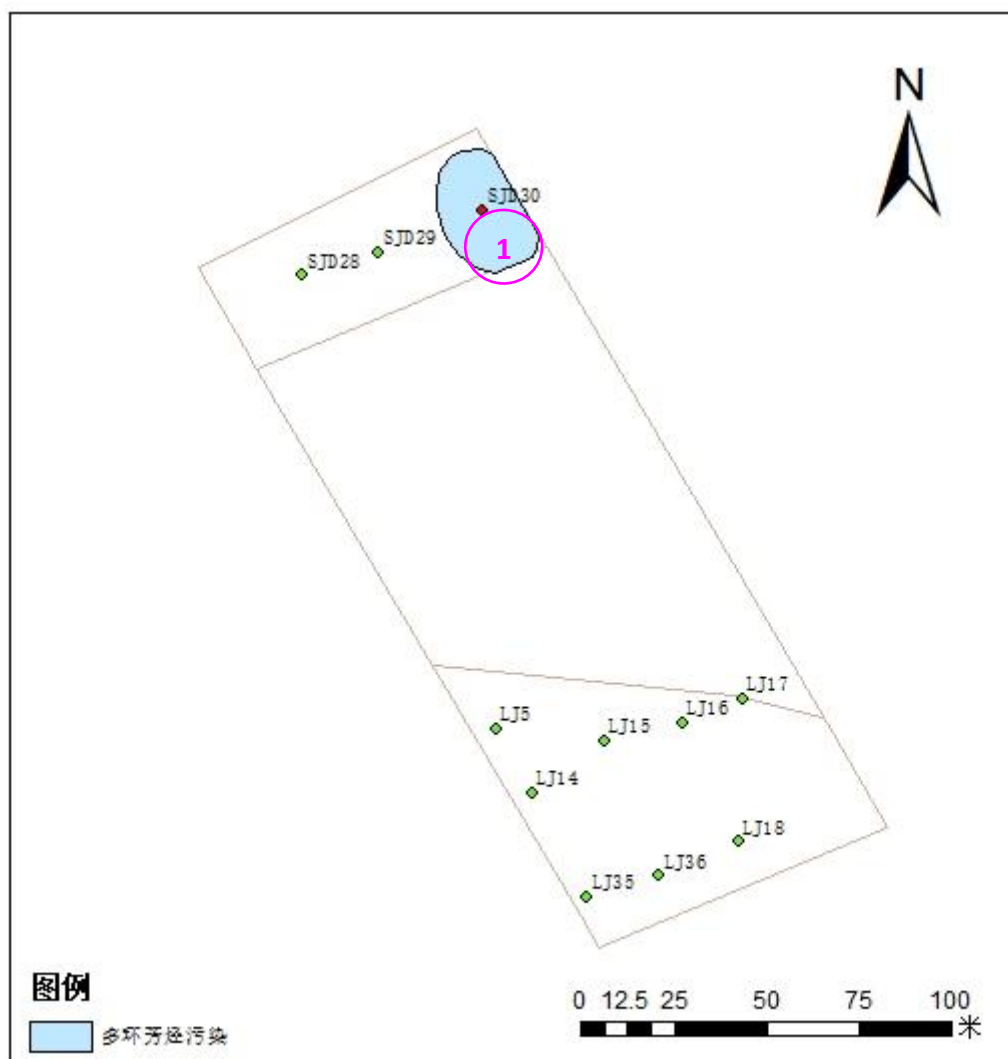


图 6.2-4 污染土壤第五层(4-5m)修复范围分布图

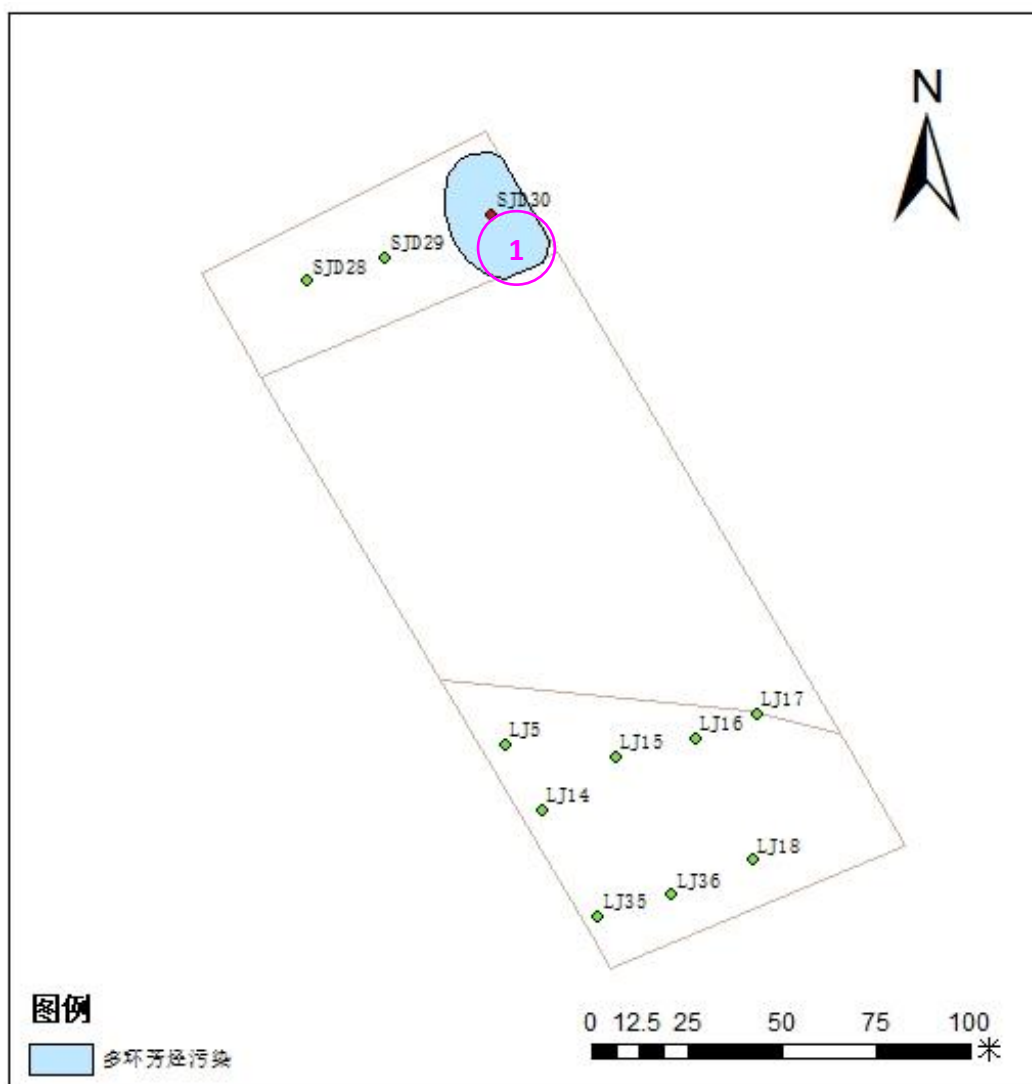


图 6.2-5 污染土壤第五层(5-6m)修复范围分布图

6 调查报告结论及建议

6.1 结论

1、按照北京市环保局《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》(见附件1),对评价范围内构筑物拆除后,构筑物占地范围及范围外的疑似污染区域进行补充采样调查。目前,《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》整个场地划分为17个地块,681地块属于《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》场地范围内17个地块其中之一,在施工验收过程中,对污染物进行了基坑的侧壁检测,发现评价范围外存在疑似污染,因此,本报告针对北京市环保局的要求,开展评价范围外的疑似污染区域土壤的补充调查工作。

681地块处于整体地块的西部位置,地块总体占地面积约18118.595平方米(已调查区域面积约10576.4996平方米,补充调查区域占地面积约7542.0954平方米),地块四至:北至北辛安二街路中,南至北辛安三街路中,西至1608-684地块,东至北辛安西路路中。规划建设住宅区。

2、通过网格布点和判断布点方法对681地块进行采样调查,共布设土壤采样孔11个,共采集土壤样品55个,其中重金属检测样品55个,SVOCs检测样品55个。

3、本次评价以北京市地方标准——《场地环境评价导则》(DB11/T 656-2009)为主要参考标准对场地污染情况进行分析,主要以北京颁布的《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB11/T 811-2011)中的住宅用地情景筛选值为参照标准。

4、根据样品检测结果的统计分析,需要关注的污染物主要包括砷、苯并(a)芘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、二苯并(a,h)蒽、茚并(1,2,3-cd)芘、萘、二苯呋喃。

5、通过风险评估,场地土壤中的污染物对人体的健康风险超出可接受水平,需要对场地进行修复,修复中主要的关注污染物是砷、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、二苯并(a,h)蒽、萘。

7、通过对不同暴露途径的风险贡献率分析,对致癌风险影响最大的暴露途径主要是经口摄入和呼吸接触。

8、针对不同的污染物,计算了修复目标值,其中建议砷的修复目标值为20mg/kg;苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、二苯并(a,h)蒽、萘的修复目标值分别是0.55 mg/kg、5.5 mg/kg、0.55 mg/kg、25mg/kg。

9、调查场区内土壤污染的修复土方量约为 7536.60 立方米。其中 PAH 修复土方量为 6268.37 立方米，As 修复土方量为 268.24 立方米，PAHs 和 As 混合污染的土壤修复土方量为 999.99 立方米。

6.2 不确定性分析

1、此次补充调查地块为 681 地块厂区外围区域，调查区域长期受主厂区生产活动影响，造成一定程度的污染。厂区内工业生产历史久远，期间生产工艺多次变化，场地原环保措施实施情况不易掌握，进而给厂区内及外围污染情况带来一定的不确定性。

2、补充调查地块周边区域存在拆迁、挖掘动土等活动，存在一定的动土扰动现象，因此土壤样品采集（特别是表层土壤）可能具有一定的扰动性。

3、由于调查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，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。

4、由于调查区域边界外土地使用权归个人所有，调查区域红线边界可能存在潜在污染，对污染调查结果造成一定的不确定性。

6.3 建议

建议该场地在开发利用之前，进行场地污染土壤修复。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。

建议现场拆迁过程中，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。

建议在场地开发前，相关业主应聘请具有污染土壤修复经验的单位，依据场地调查报告和场地修复技术方案编制场地污染施工治理方案，场地修复过程中，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。

7 附件

附件 1：相关文件资料

附件 2：土壤采样现场记录表

附件 3：采样钻孔地质剖面图

附件 4：土壤样品检测报告

《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告 —681-1 地块报告》专家评审意见

2018年7月19日，北京安泰兴业置业有限公司在北京市组织召开了《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告—681-1 地块报告》（简称“681-1 地块报告”）专家评审会。会议由5位专家组成专家组（名单附后）。与会专家听取了报告编制单位轻工业环境保护研究所的汇报，经质询和讨论，形成如下评审意见：

一、根据前期《北辛安棚户区改造项目场地环境评价报告》及其北京市环保局的审查意见（京环函[2016]344号），报告编制单位对681地块外围疑似污染区域进行了补充调查和风险评价工作，编制完成了681-1地块报告。该报告技术路线合理，内容较为完整，方法得当，数据翔实，结论可信。报告修改完善后可作为本场地后续环境管理的依据。

二、建议：

- 1、结合前期调查工作基础，补充完善污染识别及区域地下水资料等相关内容；
- 2、进一步完善风险评估不确定性分析及污染成因分析；
- 3、规范文本编制及相关图件。

专家组组长：

白刘平
2018年7月19日

附：专家名单

序号	姓名	单位	签字
1	白利平	中国环境科学研究院	白利平
2	张丽娜	北京市环境保护科学研究院	张丽娜
3	林爱军	北京化工大学	林爱军
4	焦文涛	中国科学院生态环境研究中心	焦文涛
5	周磊	北京市地质工程勘察院	周磊