

## 11 风险评估的结论及建议

B1 地块面积 75760m<sup>2</sup>，规划为建设用地中 R2 二类居住用地、G1 公园绿地（社区公园）。

根据 B1 地块初步规划，居住用地中建设 12 栋住宅楼、3 栋配套公建设施和 2 栋变电所。其中住宅楼地上建设 12 层或者 15 层，地下及住宅楼之间建设 2 层整体互通的地下车库，地下车库采取筏板基础，筏板基础厚度为 60cm；配套公建地上建设 2-3 层，地下建设 1-2 层，地下主要为设备间和人防设施。北侧的 G1 公园绿地中不建设地面建筑及地下建筑。规划建设方案中整体互通地下车库开挖深度初定为 9m，配套公建地下开挖深度视地下空间的情况确定，向下开挖 3-6m 不等。B1 地块 R2 二类居住用地占地面积 56317.663m<sup>2</sup>；地下车库占地面积约 34296m<sup>2</sup>，综合考虑地下公建的地下空间（未计入地下车库面积内）及开挖时的施工方式，可将 R2 二类居住用地的开挖深度统一按照 9m 考虑。

虽然场地住宅下方及住宅之间建设了整体互通的地下车库，但是地下车库仍被各个住宅建筑地下空间墙体、地下车库防火分区墙体、地下设备间墙体隔开。通过底板裂隙进入住宅建筑地下空间和建筑附近车库地下空间区域的挥发性污染物可就近通过住宅建筑地下设备间管道、消防楼梯、电梯井向上迁移，影响居民室内空气质量，出于保守考虑，结合规划方案，将每栋建筑所在区域划分为一个暴露单元，不考虑挥发性污染物进入地下车库后的混合效果。

结合规划平面布局及北京市地方标准《建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则》（DB11/T 656-2019）要求，将 B1 地块划分为 21 个暴露单元，按照规划用地性质开展风险评估。

### 11.1 土壤风险评估结论

#### （1）详细调查结果

根据 B1 地块详细调查结果，B1 地块第一类用地（R2 二类居住用地、G1 公园绿地）土壤样品中共有 4 项挥发性有机物浓度值超过土壤筛选值，分别为三氯乙烯、二氯甲烷、1,1,2-三氯乙烷，氯仿。超筛选值区域主要集中在化工厂及周边区域（即规划的第一类用地），以 X23、X24、X22、X27、X43 为主的土壤采样点区域污染较为严重，超筛选值面积约 1.36 万 m<sup>2</sup>。B1 地块第二类用地挥发

性有机物指标均未超过第二类用地（S 道路与交通设施用地）土壤风险筛选值，对照第一类用地筛选值，道路土壤样品中污染物含量也可满足第一类用地筛选值。

## （2）暴露途径分析

结合场地开发利用规划，住宅楼下和住宅楼之间 0-9m 深度土壤清挖，建设整体互通的地下室，住宅区域大部分土壤压在地下车库以下，综合分析，场地内居住用地土壤暴露途径仅考虑吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物 1 种暴露途径；公园绿地和道路交通设施用地暴露单元土壤中的污染物浓度满足建设用地第一类用地筛选值要求，污染风险一般情况下可以忽略，不再考虑其暴露途径和风险。居住用地各暴露单元污染物无污染物随表层土壤颗粒迁移及挥发至室外空气的原场暴露途径，故不再考虑居住用地暴露单元作为离场影响源，临近住宅、公园绿地和道路交通用地作受体时的土壤污染物离场暴露途径。

## （3）风险表征结果及修复目标、工程量

根据 B1 地块规划开发利用方案，第一类用地的居住用地在进行地下车库建设过程中开挖面积约 5.67 万  $m^2$ ，清挖量约 51.03 万  $m^3$ 。为了确保 0-9m 中污染物清挖干净，清挖效果评估指标保守增加毒性较大的降解产物氯乙烯，0-9m 侧壁清挖验收时考虑验收三氯乙烯、二氯甲烷、1,1,2-三氯乙烷、氯仿、氯乙烯五项指标，验收目标保守考虑为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中第一类用地筛选值。结合调查数据和清挖验收目标，其中超过清挖验收目标的量为 72213 $m^3$ 。该部分土壤中三氯乙烯、二氯甲烷、1,1,2-三氯乙烷、氯仿需要进行处置。如果处置方式选择异位修复，送到处置场所如水泥窑协同处置场所进行处置，三氯乙烯、二氯甲烷、1,1,2-三氯乙烷、氯仿的最终处置目标需要由修复方案编制单位结合污染土壤的最终处置方式确定；如果处置方式选择原位修复，保守建议在场地内修复到满足《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中第一类用地筛选值，后续根据修复方案确定最终去向。

第一类用地居住用地 9m 以下土壤风险评估结果表明：土壤中单一污染物致癌风险大于  $10^{-6}$  的暴露单元分别为 2#、7#、8#、9#、12#、13#，共涉及 6 个暴露单元；土壤中单一污染物危害商大于 1 的暴露单元分别为 2#、7#、8#、12#、13#，共涉及 5 个暴露单元。土壤污染风险不可接受的污染物三氯乙烯和氯仿，

需要开展土壤修复工作。综合比较分析风险控制值计算结果和第一类用地土壤筛选值，9~26m 土壤选择筛选值作为修复目标值，保守考虑，修复效果评估指标增加毒性较大的降解产物氯乙烯。三氯乙烯、氯仿、氯乙烯的修复目标值为 0.7mg/kg、0.3mg/kg、0.12mg/kg。9~18m 包气带需要修复的土壤量约 67869m<sup>3</sup>；18~26m 含水层土壤仍存在着超修复目标值的情况，需要进行修复，需要修复的土壤体积为 39736m<sup>3</sup>，具体修复方案是随地下水一起修复还是单独作为土壤修复，由修复方案编制单位确定。

综合考虑，B1 地块各个层位的最大投影修复面积为 13800m<sup>2</sup>，需要治理修复的土壤量合计为 179818m<sup>3</sup>。

## 11.2 地下水风险评估结论

### (1) 详细调查结果

B1 地块详细调查结果表明第一层地下水中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、氯仿、顺-1,2-二氯乙烯超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类标准限值和《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》（DB11/T 1278-2015）附录 A 地下水筛选值中的居住用地筛选值，超标区域主要位于集中在兴海康克厂区内及厂区西侧，其中三氯乙烯超标范围最大，约 3.7 万 m<sup>2</sup>。

第二层地下水中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯化碳、顺-1,2-二氯乙烯超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类标准限值和《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》（DB11/T 1278-2015）附录 A 地下水筛选值中的居住用地筛选值，包气带污染最重的兴海康克厂区第二层地下水未超标，超标区域主要集中在厂区外西北侧区域，推测在西北侧区域的相对隔水层可能存在着某种优势通道（可能是粉土夹砂形成的孔隙），三氯乙烯等污染物可能通过该优势通道下渗至第二层地下水中，污染第二层地下水，并随着第二层地下水的流向继续向西北侧迁移，目前超标范围已出 B1 地块西北侧边界，超标面积约 2.11 万 m<sup>2</sup>。

结合 B1 地块详细调查结果及 B1 地块周边第一层水和第二层水调查结果，除 B1 地块北侧场界外小部分区域外，B1 地块外第一层水和第二层水其他区域中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、氯仿、四氯化碳、氯乙烯、苯、1,1-二氯乙烷浓度满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中III类标准限值；顺-1,2-二氯乙烯

满足《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》（DB11/T 1278-2015）附录 A 地下水筛选值中的居住用地筛选值要求。

## （2）暴露途径分析

根据 B1 地块地下水利用现状及规划，场地内第一层地下水不饮用，无经口饮用途径；公园绿地和道路交通用地内无建筑，第一层地下水污染暴露途径上仅考虑吸入室外空气中来自地下水的气态污染物 1 种暴露途径。结合暴露单元浓度统计情况，公园绿地和道路交通用地内暴露单元第一层地下水污染物浓度满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中地下水 IV 类标准限值，室外暴露途径的风险可忽略不计，不再考虑其暴露途径和风险。第二层地下水中的污染物正常情况下不会迁移至第一层地下水中，第二层地下水中的污染物对地表的敏感受体无相关暴露途径。

居住用地暴露单元第一层地下水污染物无挥发至室外空气的原场暴露途径，故不在考虑居住用地暴露单元作为离场影响源，临近住宅、公园绿地和道路交通用地作受体时的离场暴露途径。公园绿地和道路用地暴露单元第一层地下水污染物浓度满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中地下水 IV 类标准限值，地下水原场风险可忽略不计，故作为离场影响源时，周边受体单元的地下水离场风险也可忽略不计，不再考虑公园绿地和道路交通设施用地第一层地下水离场暴露途径。

## （3）风险表征结果及修复目标、工程量

风险评估结果表明：B1 地块第一层地下水风险中单一污染物累积致癌风险大于  $10^{-6}$  的暴露单元分别为 2#、3#、8#、12#、15#-1，共涉及 5 个暴露单元；第一层地下水中单一污染物累积危害商大于 1 的暴露单元分别为 2#、3#、8#、12#、15#-1，共涉及 5 个暴露单元。风险不可接受的因子为三氯乙烯。

结合该场地的地下水实际使用及规划情况，第一层地下水中三氯乙烯选取风险控制值 1.28mg/L 作为修复目标值，修复面积约为 14389m<sup>2</sup>，修复的含水层厚度约 6m，需要修复的含水层体积为 86334m<sup>3</sup>，如果有效孔隙度按照 0.2 考虑，需要修复的污染水量约为 17266.8m<sup>3</sup>；第一层水修复效果评估时还应保守考虑毒性较大的降解产物氯乙烯作为效果评估指标，修复目标值为 0.376mg/L。

第二层地下水在最保守暴露情景下考虑,第二层地下水中三氯乙烯的风险控制值为 2.24mg/L,大于第二层地下水中三氯乙烯的浓度最大值 1.64 mg/L,说明在最保守的考虑情况下,第二层地下水中的三氯乙烯的风险也可接受,第二层地下水无需修复。

#### (4) B1 地块场地内风险管控目标

第一层地下水中的三氯乙烯修复至修复目标后,三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、氯仿,第二层地下水中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、四氯化碳浓度仍超过《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中地下水IV类标准限值;第一层地下水和第二层地下水中的顺-1,2-二氯乙烯浓度超过《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》(DB11/T 1278-2015)附录 A 地下水筛选值中的居住用地筛选值,需要开展风险管控工作,控制污染羽扩散。根据第一层地下水污染物迁移模拟结果及第二层地下水污染现状,未采取控制措施情况下,第一层地下水污染羽在迁移过程中将不断增大,4年后将迁移出 B1 地块西场界;第二层地下水污染羽继续向西北侧场界外扩散。

B1 地块场地内风险管控目标包括污染羽扩散控制要求及污染羽控制标准。

①污染羽扩散控制要求辅助一定的人工措施,控制污染羽不再继续向周边迁移,并且控制污染羽不再继续变大。

②保守考虑,风险管控指标增加毒性较大的降解产物氯乙烯,污染羽中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、氯仿、四氯化碳、氯乙烯风险管控目标值为《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中地下水IV类标准限值,分别为 0.21mg/L、0.06mg/L、0.3mg/L、0.05mg/L、0.09mg/L;顺-1,2-二氯乙烯风险管控目标为《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》(DB11/T 1278-2015)附录 A 地下水筛选值中的居住用地筛选值 0.07 mg/L。

③考虑到地下水具有迁移性,保守考虑,将土壤气风险不可接受因子中的苯、1,2-二氯乙烷也作为地下水风险管控的因子,管控标准为《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中IV类标准限值,分别为 0.12mg/L、0.04mg/L。

结合 B1 地块详细调查数据,第一层地下水需要风险管控的面积约 40037m<sup>2</sup>,含水层厚度为 6m;第二层地下水需要风险管控面积约为 21228m<sup>2</sup>,含水层厚度为 17m。

### (5) B1 地块场地外风险管控目标

为了保护 B1 地块周边的地下水质量，建议后续对 B1 地块周边地下水开展风险管控，风险管控目标包括污染羽控制要求及水质风险管控目标。

#### ①污染羽控制要求

B1 地块外北侧第二层地下水的污染羽控制要求为：B1 地块外北侧第二层地下水超《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中Ⅲ类标准限值区的污染浓度不能再加剧，污染羽不能再向外扩散，管控期间污染羽应有缩小趋势。

#### ②水质风险管控目标

应结合区域地下水流向，在 B1 地块外 10m 范围内分层设置第一层水和第二层水风险管控监测井，定期监测 B1 地块周边的地下水水质。

考虑到到 B1 地块内部地下水已经受到污染，为确保 B1 地块内的污染不通过深层水向东南侧迁移，影响新建村水厂地下水源井，应在 B1 地块外东南侧未受污染区域分层设置第四系孔隙水深层监测井和基岩水监测井，其中基岩水监测井采样深度和新建水厂地下水开采深度一致。

结合收集到的 B1 地块附近的地下水井的检测数据，B1 地块外除北侧第二层地下水的超标区域外，B1 地块外第一层地下水、第二层地下水其他区域、第四系孔隙水深层监测井和基岩水监测井的水质管控目标为：

保守考虑，风险管控指标增加毒性较大的降解产物氯乙烯，地下水中三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、氯仿、四氯化碳、氯乙烯的风险管控目标值为《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中Ⅲ类标准限值，分别为 0.07mg/L、0.005mg/L、0.06mg/L、0.002mg/L、0.005mg/L；顺-1,2-二氯乙烯风险管控目标值为《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》（DB11/T 1278-2015）附录 A 地下水筛选值中的居住用地筛选值 0.07 mg/L；

考虑到地下水具有迁移性，保守考虑，将土壤气风险不可接受因子中的苯、1,2-二氯乙烷也作为地下水风险管控的因子，管控标准为《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中Ⅲ类标准限值，分别为 0.01mg/L、0.03mg/L。

## 11.3 土壤气风险评估结论

### (1) 详细调查结果

B1 地块详细调查结果显示，B1 地块第一类用地（居住用地、社区公园）土壤气样品中共有 9 项挥发性有机物浓度值超过土壤气筛选值，分别为顺-1,2-二氯乙烯、氯仿、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、苯、1,2-二氯丙烷、乙苯。B1 地块第二类用地（道路）土壤气样品中共有 2 项挥发性有机物超过土壤气筛选值，分别为氯仿、三氯乙烯。

### （2）暴露途径分析

场地内第一类用地居住用地土壤气暴露途径仅考虑吸入室内空气中来自下层土壤气的挥发性有机污染物 1 种暴露途径。公园绿地和道路交通用地无需开挖，且无相关建筑，故土壤气暴露途径为吸入室外空气中来自下层土壤气的挥发性有机污染物 1 种暴露途径。公园绿地和道路用地暴露单元土壤气浓度有超过土壤气筛选值的情况，土壤气原场暴露途径中也存在着下层土壤气挥发至室外空气的情况，故公园绿地和道路用地土壤气中污染物可挥发至地表，随风迁移至下风向其它暴露单元，由该单元的感受受体通过呼吸吸入室外空气的形式吸入人体，存在相应离场暴露途径。

### （3）风险表征结果

考虑到土壤气暴露情景，第一类用地（居住用地）选取住宅地下室底板下深度层位的土壤气浓度（目前规划方案土壤气浓度控制深度为 9.5m）进行风险评估；土壤第一类用地（公园绿地）及第二类用地选取 1.5m 的深度的层位开展风险评估。

风险评估结果表明：B1 地块土壤气风险以原场为主，其中单一污染物累积致癌风险大于  $10^{-6}$  的暴露单元分别为 2#、5#、7#、8#、11#、12#、13#，共涉及 7 个暴露单元；土壤气中单一污染物累积危害商大于 1 的暴露单元分别为 2#、5#、7#、8#、11#、12#、13# 共涉及 7 个暴露单元。风险不可接受区域位于居住用地区域，不可接受的污染因子为氯仿、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、苯。

### （4）风险管控目标

考虑到目前国外实测统计出的土壤气衰减系数（室内空气中污染物浓度/土壤气中污染物浓度）平均为 0.03，和公式计算出的约  $2 \times 10^{-4}$  有比较大的差距，另外地下空间建设过程中地基和墙体裂隙比具有比较大的不可控性，保守考虑采

用土壤气筛选值作为土壤气风险管控目标值,该风险管控值仅针对接近住宅地下室底板下深度层位的土壤气浓度(目前规划方案土壤气浓度控制深度为 9.5m)。

土壤气风险管控因子保守考虑增加毒性较大的降解产物氯乙烯,土壤气中氯仿、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、苯、氯乙烯的风险管控目标为  $0.356\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $1.177\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.673\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.315\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $1.242\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $1.828\text{mg}/\text{m}^3$ 。初步估算,需要管控的面积约  $33301\text{m}^2$ 。

### (5) 建筑空气质量管控目标

考虑到目前对挥发性有机污染物迁移转化的复杂性,在项目建成交房前,建议对每个暴露单元室内空气质量开展检测,检测指标为土壤气风险管控因子氯仿、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、苯和氯乙烯。

国内目前室内环境空气质量标准为《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002),该标准对室内空气质量中的苯和总挥发性有机物 TVOC 做出了规定,其他因子并无相关限值。2020 年室内空气质量标准开始进行修订工作,目前发布了《室内空气质量标准》(征求意见稿),征求意见稿中增加了对三氯乙烯的浓度限值要求,加严了对苯浓度限值的要求。

虽然目前《室内空气质量标准》(征求意见稿)未发布除苯、三氯乙烯之外指标的控制浓度,但考虑到土壤气的暴露为呼吸吸入方式,土壤气控制指标皆为致癌物质,技术上可保守参照和三氯乙烯(室内装修污染中该因子相对较少,可用作对照基准)的致癌斜率因子的相关比例计算得出其他指标的室内控制标准限值。

交房前,每个暴露单元室内空气中苯、三氯乙烯、总挥发性有机物 TVOC 的浓度限值参照《室内空气质量标准》(征求意见稿)执行,分别为  $0.03\text{mg}/\text{m}^3$  (1 小时均值)、 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$  (8 小时均值)、 $0.6\text{mg}/\text{m}^3$  (8 小时均值)。

其他因子技术上保守参照和三氯乙烯呼吸吸入致癌斜率因子的相关比例,计算得出氯仿、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、氯乙烯的 8h 室内空气质量标准限值分别为  $1.08\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $1.56\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.96\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $5.59\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

后续若《室内空气质量标准》发布正式稿,各暴露单元室内空气质量标准按照正式稿中的相关浓度限值执行,正式稿中未规定的因子可保守参照计算得出的浓度限值。

考虑到目前挥发性有机污染物蒸气入侵的不确定性，保守考虑，建议对地下车库整体设计预防挥发性有机污染物蒸气入侵的工程控制措施（应含主动和被动措施）；另外对地块南侧土壤超标较为严重的公建部分，也应在其地下空间设计预防挥发性有机物蒸汽入侵的工程控制措施（应含主动和被动措施）。

如果检测出的室内空气中相关因子的浓度不能满足标准限值的要求，应启用住宅建设时设计的预防挥发性有机污染物蒸气入侵的主动工程控制措施，同时增加地下车库的换气频次，降低室内空气中污染因子的浓度至满足标准限值的要求；另在小区后续的运行管理中，应将预防土壤气蒸汽入侵主动工程控制措施的运行和维护、增加地下车库换气频次的要求落实到小区物业的日常管理中，确保居住在小区内居民的身体健康。

## 11.4 建议

1、本项目地块土壤中需修复的 2 种挥发性有机物为三氯乙烯、氯仿，地下水中需修复的挥发性有机物为三氯乙烯。现场调查阶段核实地块未来规划以居住用地为主，后期会进行地块开发和商品楼建设，其污染程度重、污染深度大，建议后期修复时，综合考虑技术可达性、成本优化性和工期可控性，合理选择修复技术和修复方案，并建议尽快开展土壤及地下水修复工作。

2、场地包气带土壤中部分挥发性有机物的浓度较高，在开挖过程中会有异味影响，在后续的修复方案编制过程中，应关注异味的二次污染问题。

3、地块内的第一层地下水修复完成后，需要和第二层地下水一起开展风险管控工作，需要尽快结合相关地下水数值模拟结果，提出风险管控方案，控制污染羽扩散；同时尽量利用调查阶段的相关井位，在污染羽的上游、下游、两侧分别布设监测井，跟踪监测至检测值小于风险管控目标值。

4、尽快在 B1 地块场地外东南侧未受污染区域设置第四系孔隙水深层监测井和基岩水监测井，其中基岩水监测井采样深度和新建村水厂地下水开采深度一致。定期开展检测工作，若定期检测过程中浓度发生恶化，应考虑开展应急处置工作，确保污染物不再继续向外迁移。