

# 1 项目概述

## 1.1 项目由来

原江苏永大药业有限公司（以下简称“永大药业”）始建于 1999 年，其前身为盐城制药厂，地块位于盐城市亭湖区海纯东路 3 号，南至小洋河，北至海纯东路，东侧为空地（原为盐城市曜源染整有限公司、中环乳胶厂和盐城市钢管厂有限公司），西侧为世福苑小区，地块中心经纬度为 119°32'13.90"E，32°11'31.05"N，地块占地面积大约为 35350m<sup>2</sup>，约 53 亩。

江苏永大药业有限公司前身为盐城制药厂原料药厂区，位于海纯东路 3 号，始建于 1999 年，主要生产原料药、化工医药中间体，其中包括苯妥英钠、甲硝唑等原料药和四乙酰核糖医药中间体。2003 年 11 月改制实施重组加入永大纺织集团股份有限公司，2004 年 8 月更名为江苏永大药业有限公司。

江苏永大药业有限公司原料药因未达到 GMP 验收的要求，面临着被迫关闭的局面。另外，由于城市的发展，生产厂区已被居民小区及商业区包围；原料药生产厂区使用的部分原料为易燃易爆和有毒物质；原料药生产厂区在生产过程中产生的三废处理存在不稳定等问题，对市容建设、城市交通、居民生活及城市安全构成妨碍和威胁。2003 年底，永大纺织集团股份有限公司决定对本公司原料药生产厂区实施异地搬迁改造。

2005 年生产厂区搬迁后原址厂房和仓库对外租赁作为食品、生活用品等仓库使用。2018 年 8 月，盐城市亭湖区住房和城乡建设局提请亭湖区人民政府组织对潮声路两侧棚户区改造项目（地块二）范围内的国有土地上房屋实施征收（房屋征收调查公告亭征调字〔2018〕第 36 号），江苏永大药业有限公司原料药生产厂区位于征收红线内。该地块后期规划为安置房用地，属于万泰时代城北侧安置房地块范围内。根据《中华人民共和国土壤污染防治法》、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》等文件要求，为确保彻底消除环境风险，保障该地块后期用地安全。工业企业搬迁后地块在开发利用前需开展地块调查及风险评估，了解退役后地块土壤及地下水污染情况。2019 年 9 月对调查地块土壤污染状况开展相关土壤污染状况初步调查工作。2020 年 4 月对永大药业地块进

行土壤及地下水的详细调查工作。根据调查结果，土壤及地下水中污染物超出相关国家标准，土壤主要污染物为苯、氯仿、苯并（a）芘、苯并（b）荧蒽、氰化物，地下水主要污染物为：溶解性总固体、总硬度、氟化物、氨氮、耗氧量、砷、二氯甲烷、氯仿、苯和氰化物，该地块需进行进一步的风险评估工作。

## 1.2 风险评估内容

污染场地修复前的土壤污染调查评估，主要是为后期污染土壤修复服务。在土壤污染状况调查阶段，通过对相关资料的收集分析和采样监测数据的分析等方法，确定场地污染土壤的主要关注污染物、污染浓度水平、各污染物的分布区域及范围。

风险评估阶段，在土壤污染状况调查的基础上，分析地块土壤和地下水中污染物对人群的主要暴露途径，评估污染物对人体健康的致癌风险或危害水平，并提出基于保护人体健康的关注污染物风险控制目标值。

## 1.3 风险评估范围

江苏永大药业有限公司地块位于盐城市亭湖区海纯东路3号，总占地面积约为53亩，合35350m<sup>2</sup>。

## 1.4 风险评估程序

风险评估按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）实施。根据导则要求，场地风险评估按照危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和风险控制值计算五个步骤展开。

### （1）危害识别

根据搜集调查的污染基本信息和污染物监测信息，依据相关原则筛选出该污染区域中风险评估关注污染物，作为开展风险评估的对象。根据片区未来可能的利用方式、分析不同用地方式下受体活动等信息，分析不同生活、工作情景（即暴露情景）下关切污染物可能通过哪些途径接触或进入人体。建立概念模型，以直观的方式反映出污染区居民的暴露情景和暴露途径。

根据场地环境调查获取的资料，结合场地土地的规划利用方式，确定污染

场地的关注污染物、场地内污染物的空间分布和可能的敏感受体，如儿童、成人等，建立场地风险评估概念模型；根据土壤及地下水监测分析结果，确定检出污染物的筛选值，筛选确定风险评估关注污染物。

## （2）暴露评估

暴露评估是一个定量评估的过程。在危害识别的工作基础上，分析场地关注污染物进入并危害敏感受体的情景，确定场地污染物对敏感人群的暴露途径，确定污染物在环境介质中的迁移模型和敏感人群的暴露模型，确定与场地污染状况、土壤性质、地下水特征、敏感人群和关注污染物性质等相关的模型参数值，计算敏感人群摄入来自土壤和地下水的污染物所对应的土壤和地下水的暴露量。

## （3）毒性评估

在危害识别的工作基础上，分析关注污染物对人体健康的危害效应，包括致癌效应和非致癌效应，确定与关注污染物相关的毒性参数。包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和单位致癌因子等。

## （4）风险表征

风险表征是人体健康风险评估的最后一部分工作，在该部分根据暴露评估及毒性评估的结果，对所有的信息进行整合，以定性或定量的描述风险。对非致癌风险采取风险商的方式进行描述；对潜在的致癌风险，根据污染物的致癌斜率因子及致癌暴露剂量评估受体可能面对的致癌风险。采用风险评估模型计算单一污染物经单一暴露途径的风险值、单一污染物经所有暴露途径的风险值、所有污染物经所有暴露途径的风险值。

## （5）风险控制值计算

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

风险评估工作流程与技术路线如下图 1.4-1 所示。

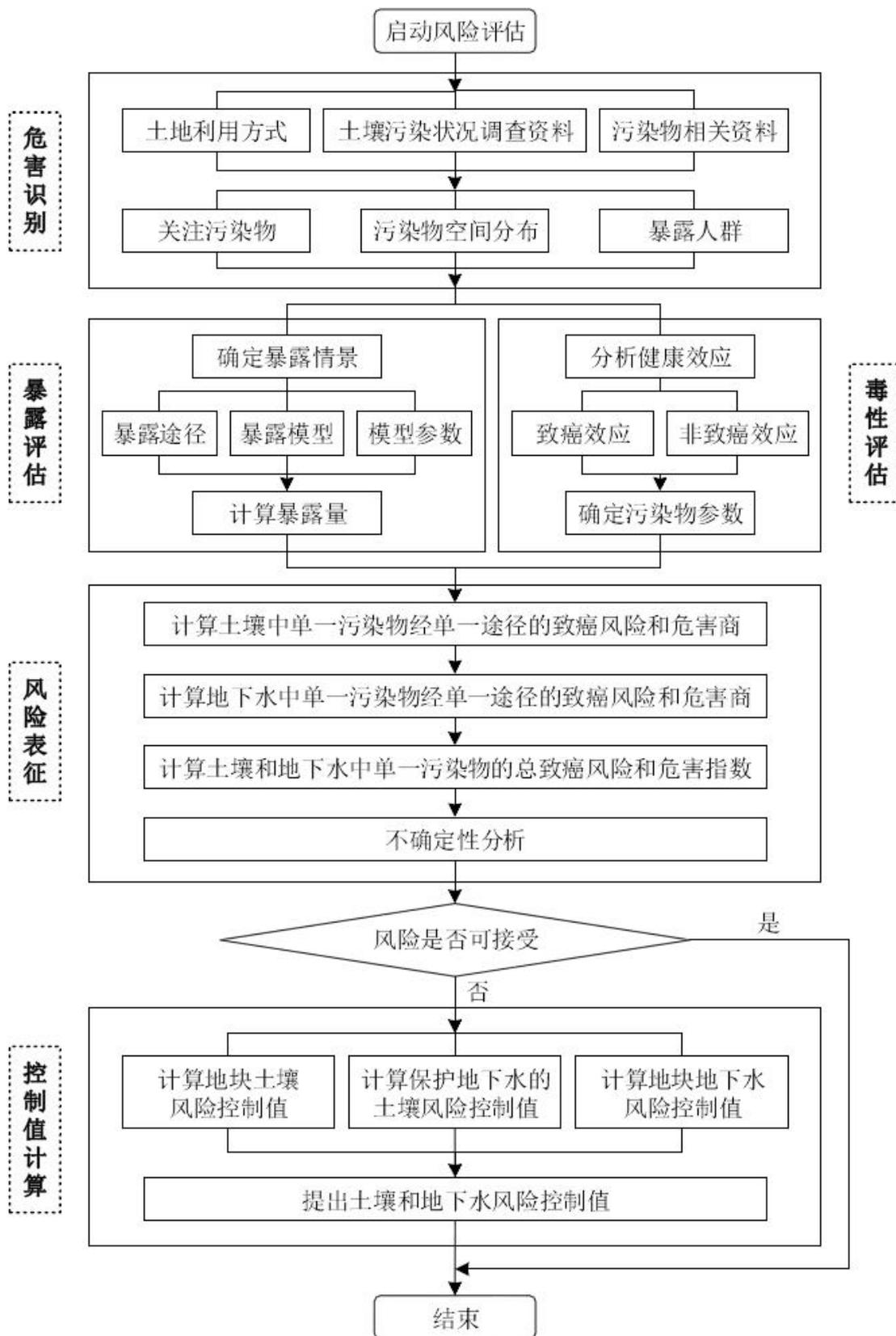


图 1.4-1 风险评估技术路线图

## 1.5 评估依据

### 1.5.1 相关法律、法规及政策

(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014年4月24日修订通过，2015年1月1日起施行；

(2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2018年8月31日第十三届全国人民代表大会常务委员会第五次会议通过，2019年1月1日起施行；

(3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年4月29日修订通过；

(4) 《中华人民共和国水污染防治法》，2017年6月27日修订，2018年1月1日起施行；

(5) 《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发〔2012〕140号）；

(6) 《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》（环发〔2014〕66号）；

(7) 《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知》（国发〔2016〕31号）；

(8) 《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》（国发〔2015〕17号）；

(9) 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环保部第42号令，自2017年7月1日起施行）；

(10) 《工矿用地管理办法（试行）》（生态环境部2018年第3号令，自2018年8月1日起施行）；

(11) 《省政府关于印发江苏省土壤污染防治工作方案的通知》（苏政发〔2016〕169号）；

(12) 《关于加强我省工业企业场地再开发利用环境安全管理工作的通知》（苏环办〔2013〕157号）；

(13) 《盐城市人民政府关于印发盐城市土壤污染防治工作方案的通知》（盐政发〔2017〕56号）；

(14) 《关于印发<盐城市土壤污染治理与修复规划>的通知》（盐环办

(2017) 221 号)。

### 1.5.2 相关技术导则、规范和标准

- (1) 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1-2019)；
- (2) 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019)；
- (3) 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)；
- (4) 《建设用地土壤修复技术导则》(HJ25.4-2019)；
- (5) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》(环境保护部公告, 2014 年第 78 号)；
- (6) 《建设用地土壤环境调查评估技术指南》(环境保护部公告, 2017 年第 72 号)；
- (7) 《水文地质钻探规程》(DZ/T 0148-2014)；
- (8) 《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2009)；
- (9) 《场地土壤环境风险评价筛选值》(北京市地标 DB11/T 811-2011)；
- (10) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)；
- (11) 《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ1019-2019)；
- (12) 《建设用地土壤污染状况调查、风险评估、风险管控及修复效果评估报告评审指南》(环办土壤〔2019〕63 号)；
- (13) 《地下水环境状况调查评价工作指南(试行)》(环办〔2019〕770 号)；
- (14) 《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600-2018)；
- (15) 《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)。

### 1.5.3 其他文件依据

- (1) 盐城市亭湖区潮声路两侧棚户区地块改造项目指挥部委托书；
- (2) 《江苏永大药业有限公司实施原料药 GMP 改造扩大苯妥英钠等药品

生产能力项目环境影响报告书》（2004年）；

（3）《江苏永大药业有限公司退役场地初步调查报告》（2019年12月）；

（4）《盐城市生态环境状况公报（2020）》；

（5）《江苏永大药业有限公司土壤污染状况调查地块岩土工程勘察报告》（工程编号：2020YC019）；

（6）《盐城市通榆北村（新客站东部）地段控制性详细规划》（2011年）；

（7）《盐城市总体规划（2013-2030）》（2017年修订）；

（8）《江苏永大药业有限公司退役地块土壤污染状况详细调查报告》（2020年7月）；

（9）《文海雅苑（安置房）一期工程岩土工程详细勘察报告》（2021-YC-KC-001-1）。

## 2 地块概况

### 2.1 地块地理位置

亭湖区是盐城市的中心城区，地处盐城市中心，位于江苏省东部、黄海之滨。江苏永大药业有限公司地块位于盐城市亭湖区海纯东路3号，地块中心经纬度为119°32'13.90"E，32°11'31.05"N，地块占地面积大约为35350m<sup>2</sup>，南至小洋河，北至海纯东路，东侧为空地（原盐城市曜源染整有限公司、中环乳胶厂和盐城市钢管厂有限公司）。本项目地理位置见图2.1-1。

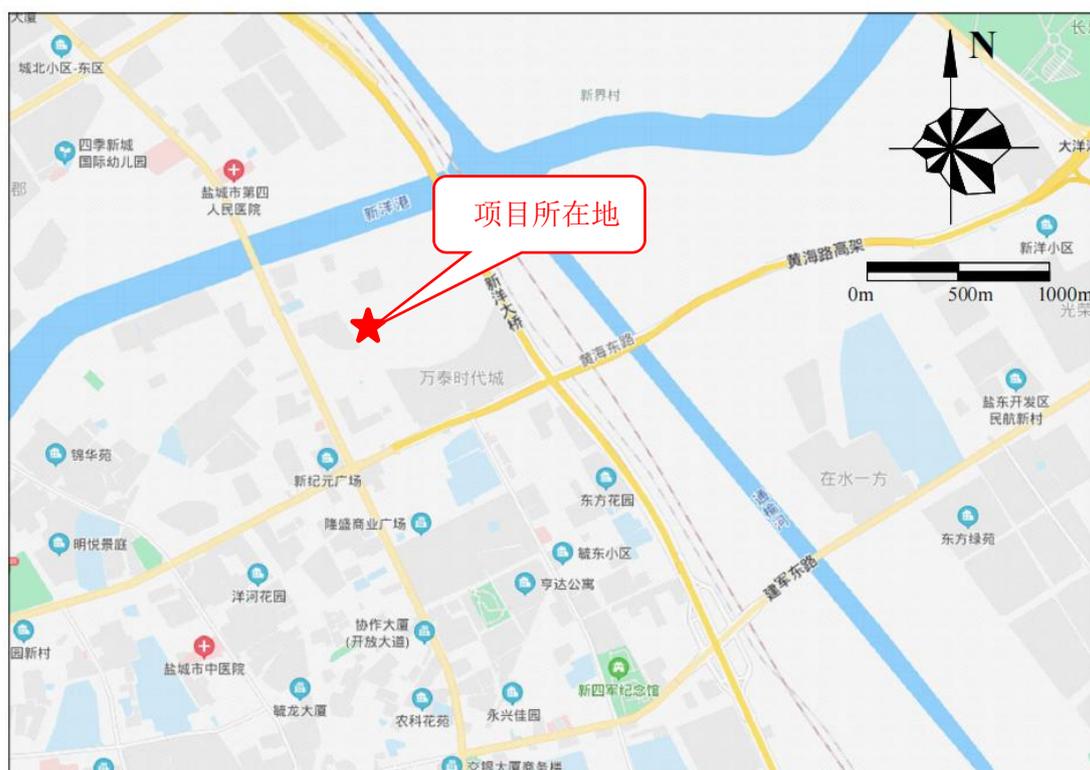


图2.1-1地理位置图

### 2.2 区域环境概况

#### 2.2.1 地形地貌

盐城全境为平原地貌，西北部和东南部高，中部和东北部低洼，大部分地区海拔不足5米，最大相对高度不足8米。分为3个平原区：黄淮平原区、里下河平原区和滨海平原区。地块所属地区为滨海平原区，位于灌溉总渠以南，串场河以东，总面积为7000多平方公里，约占全市总面积的一半，该平原区大

致从东南向西北缓缓倾斜，地面高程一般为 2~2.5 米。该区属滨海相沉积，经过长期海水入侵及河流冲击而成。主要是盐土和潮土两大类，后者经过人工改良多已成为基本脱盐或完全脱盐的土壤。

## 2.2.2 气候气象

项目所在地区亭湖区属于北亚热带季风气候，北纬 33.3 度，东经 119.93 度，气候湿润，四季分明，日照充足，适宜于多种农作物的生长。由于滨邻黄海，海洋调节作用非常明显，雨水丰沛，雨热同季。冬季受亚伯利亚高压控制，多偏北风，天气晴好，寒冷而干燥；夏季受太平洋副热带高压控制，多偏南风，炎热而多雨。全年平均光照 2240~2390 小时，其中春季占 25%，夏季占 29%，秋季占 24%，冬季占 22%。年降水日 100~105 天。主要气象特征见表 2.1-1，盐城市全年及代表月份风向玫瑰图见图 2.2-1。

表 2.2-1 主要气象特征

序号	项目	统计项目	特征值
1	气温	年平均气温	14摄氏度左右
		年最高气温	39.1摄氏度
		年最低气温	-11.7摄氏度
2	气压	年平均气压	1016.9百帕
3	降水量	年平均降水量	900~1060毫米
		年最大降水量	1564.9毫米
4	空气湿度	年均相对湿度	78%
5	霜期	年均无霜期	218天
6	风向	全年主导风向	东南偏东风
		次主导风向	北风
		夏季	东南风
		冬季	东北风
7	风速	年平均风速	3.5米/秒
8	风频	年平均静风率	7%

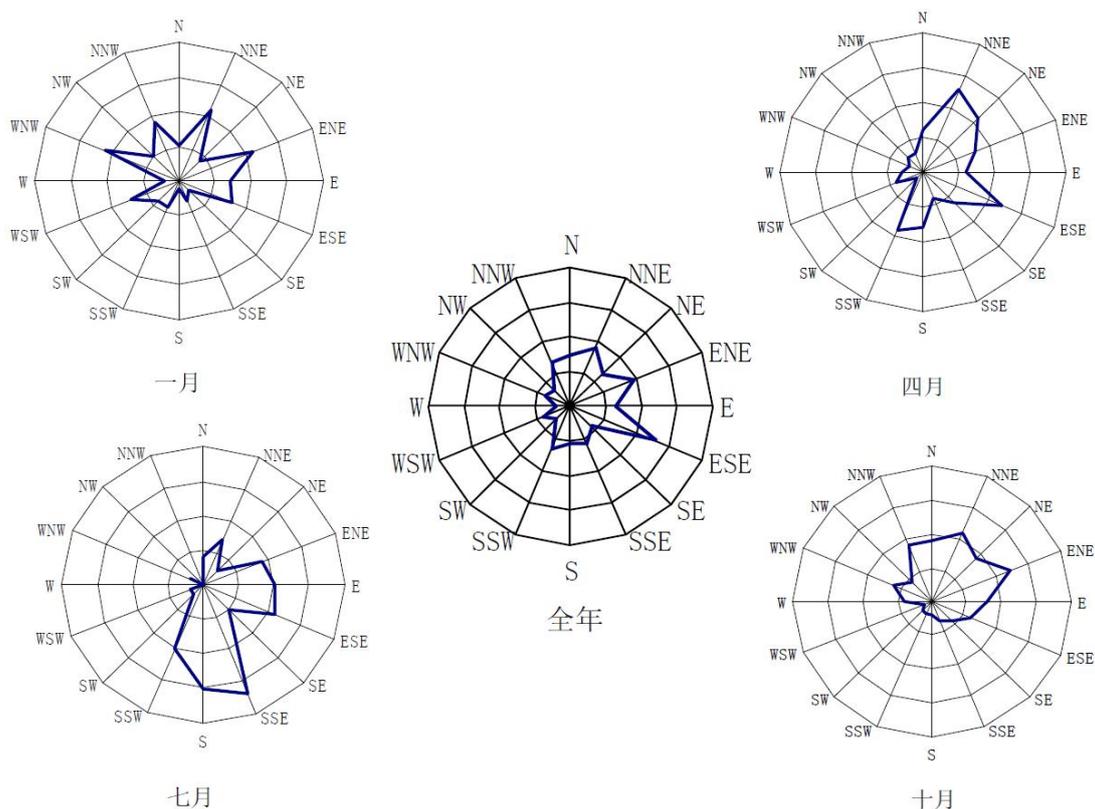


图2.2-1盐城市全年及代表月份风向玫瑰图

### 2.2.3 水文水系

盐城市境内河流众多，水网密布，经流量丰富，大致以废黄河为界，分为淮河水系和沂沭泗水系，主要河流有苏北灌溉总渠、射阳河、黄沙港、新洋港、串场河、灌河等。流经市区及附近的河流主要有新洋港、串场河、通榆河、西潮河，项目周边水系图见图 2.2-2。



### (1) 新洋港

新洋港西起蟒蛇河，穿串场河、通榆河，经南阳岸、黄尖向东至新洋港闸入海，全长 69.8km，河底宽 70-100m，河口宽 150-160m，河底高程（废黄河口以上）-2.5-4.0m，集水面积 2478km<sup>2</sup>。新洋港是盐城市区主要排海通道，市区内河道长度约 14km，主要功能为灌溉、排涝及航运。

### (2) 串场河

串场河是盐城市主要河道之一，南北串通射阳河、黄沙港、新洋港及斗龙港等水系，共同组成了盐城市的农业灌溉和工业供排水体系。位于里下河地区的东部，串场河南起海安县城，向北流经东台市、大丰区、盐都区、亭湖区、亭湖区至阜宁县入射阳河，全长 176km，盐城市内长 160km。串场河对沟通南北水上交通和调节沿海垦区排灌用水发挥了重要作用。

串场河盐城市区段长 133km，河口宽 40-70m，河底宽 10-20m，河底高程-2.5-3.0m。最高水位 2.46m（以黄河口基准算），最低枯水位为 0.38m，平均水位 1.09m。由于地势低平，河流流速缓慢。据测量，串场河盐城段水深 2.5~4.5 米，流速 0.059~0.161 米/秒。

### (3) 通榆河

位于里下河地区的东侧，串场河以东 2~3 公里，原南起南通市，北达赣榆县，全长 420km。新通榆河输水工程从高港调长江水，经泰东河入通榆河，设计流量 100m<sup>3</sup>/s。河底宽 30-50m，河底真高 1.0~4.0m，堤顶真高 4.0~7.5m。

### (4) 小洋河

小洋河位于盐城市第Ⅲ防洪区，河流起讫点为新洋港~串场河，长度 2750m，河口宽度 30-40m，水域面积 11.37 公顷，景观河道。

## 2.2.4 地质构造和土壤类型

盐城市地质构造处于苏北拗陷构造单元，介于响水-淮阴-盱眙断裂和海安-江都断裂之间，属长期缓慢沉降区，沉积了震旦系-三叠系的海陆交互相沉积物。在燕山运动影响下，进一步形成拗陷区，拗陷范围由西北向东至黄河南部。在沉降过程中，由于各地沉降幅度不一，形成一系列的凹陷和隆起，其中

东台拗陷的白垩系至第三系的地层极为发育，是苏北地区油气田的远景区。第三系沉积物厚达数千米，为黑色、灰黑色泥岩、粉沙岩和砂岩，夹有油页岩和大量的有机质，主要是河、湖相堆积物。后期断裂活动大多沿老断层位移，强度不大。第四系沉积物一般厚 125~300 米，由于地壳运动和气候的影响，沉积岩相有明显差异。下部为灰绿色粘土、亚粘土及灰黄色、深灰色中细粒砂岩，有铁锰结核和钙结核。中部为褐色粉细砂、淤泥质粉砂和土黄、灰黄、灰绿色粘土、亚粘土，上部为灰黑、棕黄色粘土、淤泥质亚粘土，类灰黑色粘土，含少量铁锰结核和钙质结核。地震烈度为 7 级，属地震设防区。该地区河道纵横交错，湖荡星罗棋布，属典型的平原河网地区。绝大部分地区海拔不足 5 米，亭湖区位于苏北灌溉总渠以南，斗龙港以北这一低洼地带，平均海拔 2 米以下。该地区按其自然环境可划分为淮北平原区、里下河平原区、滨海平原区、黄淮平原区。该地区大多数为壤质土壤，占 74.2%，其余砂质土占 2.2%，粘土质占 23.6%。土壤类型为盐土类、潮土类、水稻土类和沼泽土类。根据国家土壤信息服务平台数据，地块所在区域土壤类型为潮土。

## 2.3 周边敏感目标

项目调查区域为江苏永大药业有限公司地块，识别地块 500 m 范围以内的环境敏感目标。地块周边的环境敏感目标主要为地块南侧的盛世家苑、万泰时代城、滩涂新村、盐城市蓝天幼儿园，地块西侧的世福苑，地块北侧的园林小区、千禧山庄、通港新村、盐城市王港小学。地块具体敏感目标见表 2.3-1，周边概况图见图 2.3-1。

表 2.3-1 地块周边主要敏感目标

名称	保护对象	保护内容	环境功能区	相对方位	相对距离 (m)
万泰时代城	居住区	人群	《环境空气质量标准》GB3095-2012中二类区	S	198
滩涂新村	居住区	人群		S	228
盛世家苑	居住区	人群		SW	437
世福苑	居住区	人群		W	70
通港新村	居住区	人群		NE	50
园林小区	居住区	人群		NW	250
千禧山庄	居住区	人群		N	210

盐城市蓝天幼儿园	学校	人群	《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) IV类标准	S	235
盐城市王港小学	学校	人群		NW	341
海纯沟	小河	地表水		W	紧邻
无名小河	小河	地表水		N	紧邻
小洋河	小河	地表水		S	紧邻
新洋港河	中河	地表水		N	350

## 2.4 地块用地历史

江苏永大药业有限公司前身为盐城制药厂原料药厂区，位于海纯东路3号，始建于1999年，主要生产原料药、化工医药中间体，其中包括苯妥英钠原料药，甲硝唑等原料药和四乙酰核糖医药中间体。2003年11月改制实施重组加入永大纺织集团股份有限公司，2004年8月更名为江苏永大药业有限公司。江苏永大药业有限公司其历史发展如下：

- (1) 1999年前地块为空地；
- (2) 1999年在海纯东路3号新建盐城制药有限公司原料药分厂，产品包括苯妥英钠原料药，甲硝唑等原料药和四乙酰核糖医药中间体；
- (3) 2003年11月盐城制药有限公司原料药分厂实施重组加入永大纺织集团股份有限公司，并于2004年8月更名为江苏永大药业有限公司；
- (4) 2005年停止生产，对生产设备进行拆除。
- (4) 2013年搬迁后原址厂房对外租赁，作为食品、生活用品等仓库使用。
- (5) 2016年对地块内实验楼北侧空地区域进行硬化。
- (6) 2018年8月，盐城市亭湖区住房和城乡建设局提请国有土地上房屋实施征收，2020年5月对地块内建筑物及地面硬化进行拆除。

## 2.5 地块土地使用情况

通过人员访谈和第一次现场踏勘，永大药业于2004年左右停产，地块原生产设备已拆除完毕，仅建筑物未拆除（废水处理区构筑物已拆除），部分地表构筑物另作他用（食品储存库房、建材回收站等），地块内的混凝土路面部分区域有破损，周边有完整的围墙。在地块内西南原料堆场区域地表有煤渣、废桶、废渣及垃圾等固体废物，宿舍区南侧空地区域堆存部分外来生活垃圾，甲

硝唑等部分车间和仓库内堆放食品和包装材料，由于详细调查采样完成后补充采样前地块内所有建筑物进行拆除，在此报告中对拆除前和拆除后现状进行分别描述。

## 2.6 地块利用规划

根据盐城市自然资源和规划局公布实施《盐城市通榆北村（新客站东部）地段控制性详细规划》，规划范围为：通榆北村（新客站东部）地段位于盐城市城中分区东北部。规划范围东至通榆河，南至建军东路，西至小洋河，北至新洋港。调查地块位于《盐城市通榆北村（新客站东部）地段控制性详细规划》规划范围内，地块规划为二类居住用地。2.7污染识别

### 2.7.1 资料收集

根据导则及规范的相关要求，污染识别期间需收集的资料主要包括：地块利用变迁资料、地块环境资料、地块相关记录、有关政府文件以及地块所在地区的自然和社会信息。当调查地块与相邻地块存在相互污染的可能时，须调查相邻地块的相关记录和资料。

本次调查收集《原江苏永大药业有限公司场地环境初步调查报告》（江苏盐城环保科技城土壤污染修复研发中心）作为基础资料，其他相关资料收集情况见下表：

### 2.7.2 地块生产情况

#### 2.7.2.1 产品清单

根据《江苏永大药业有限公司实施原料药GMP改造扩大苯妥英钠等药品生产能力项目环境影响报告书》（2004年）相关资料及人员访谈，企业产品方案见表2.7-2。

表2.7-2 产品方案

序号	产品	搬迁前产量 (t/a)	指标 (%)
1	苯妥英钠	80	98.5
2	甲硝唑	400	99
3	四乙酰核糖	8(2002年实际产量)	/

4	盐酸多塞平	3	98.5
5	盐酸左氧氟沙星	2	98.5
6	盐酸酚苄明	1	98.5
7	磺胺嘧啶银盐	1	99
8	硫酸沙丁胺醇	1	98.5
9	沙丁胺醇	0.2	98.5
10	盐酸噻氯匹啶	0.05	98.5
11	盐酸哌仑西平	0.05	98.5
12	双氯酚酸钾	0.05	98.5

### 2.7.2.2 工艺流程

经现场踏勘及资料收集，已收集到《永大集团实施原料药GMP改造扩大苯妥英钠等药品生产能力项目环境影响报告书》，结合企业实际生产状况，企业生产工艺如下，生产反应原理及原辅材料消耗见附件14。

### 2.7.2.3 污染物产生及排放情况

#### (1) 废气

苯妥英钠生产时在二苯乙醇酮被硝酸氧化成二苯乙二酮工段产生的NO<sub>2</sub>废气采取用塔水吸收循环套用的方法进行处理；对尿素和液碱副反应产生的NH<sub>3</sub>采取一级水吸收后经排气筒排放；对乙醇、甲醇等有机溶剂，通过蒸馏釜蒸馏、冷凝回流，少量未冷凝下来的不凝气排空；盐酸多塞平、盐酸左旋氧氟沙星等小品种原药生产过程中产生的少量HCl、丙酮、乙醇、HF、NH<sub>3</sub>、氯仿、二氯乙烷、甲醇等废气采取加强车间通风的方式排放。

#### (2) 废水

苯妥英钠生产产生的废水先经沉淀池处理，再经微滤中和后进薄膜浓缩蒸发器处理。对其它产品生产过程中产生的工艺废水、车间地面冲洗水经沉淀去除部分污染物后排放。公司生活污水经化粪池简单处理后排放。

#### (3) 固废

生产过程中产生的活性炭吸附废渣、蒸馏残液(渣)送盐城市工业固废处理中心焚烧处理。

## 2.8 相邻地块的历史和现状

### 2.8.1 相邻地块的历史和现状

调查地块东侧为空地 and 文海雅苑（安置房）一期在建工程（原为盐城市曜源染整有限公司、中环乳胶厂和盐城市钢管厂有限公司）；南侧为小洋河，小洋河南侧为滩涂新村和万泰时代城；西侧为小河和世福苑小区；北侧为海纯沟、空地和通港新村，地块周边相邻地块使用现状见表2.8-1。

**表2.8-1 地块周边历史用地及现状利用一览表**

序号	评估地块	方位	历史用地名称	现状用地状况
1	永大药业地块	N	海纯沟、通港新村	海纯沟、通港新村和空地
2		E	盐城市曜源染整有限公司、中环乳胶厂和盐城市钢管厂有限公司	空地和文海雅苑（安置房）一期工程
3		S	小洋河、滩涂新村	小洋河、滩涂新村和万泰时代城
4		W	小河和城中村	小河和世福苑小区

### 3 土壤污染状况调查采样调查结果

#### 3.1 土壤和地下水风险筛选值

##### 3.1.1 土壤风险筛选值

根据地块的用地规划，后期该地块规划为居住用地，属于第一类用地。土壤环境质量标准选择《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）中第一类用地风险筛选值。

对于 GB 36600 中未涉及因子使用风险评估进行计算，土壤暴露途径考虑经口摄入、皮肤接触土壤颗粒物、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表层土壤的气态污染物等暴露途径。计算参数选取《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）及《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）风险评估模型参数推荐值，风险筛选值和风险管制值如下：

表3.1-1 土壤筛选值（单位：mg/kg）

序号	检测项目	第一类用地		筛选值来源
		风险筛选值	风险管制值	
<b>金属及无机物</b>				
1	六价铬	3.0	30	GB36600-2018和风险评估计算值（*）
2	氰化物	22	44	
3	氟化物	2.79E+03*		
4	铜	2000	8000	
5	铅	400	800	
6	镍	150	600	
7	镉	20	47	
8	汞	8	33	
9	砷	20	120	
<b>VOCs（挥发性有机物）</b>				
1	氯仿	0.3	5	GB36600-2018和风险评估计算值（*）
2	苯	1	10	
3	甲苯	1200	1200	
4	乙苯	7.2	72	
5	间/对-二甲苯	163	500	

6	邻-二甲苯	222	640	
7	2-氯甲苯	6.31E+02*		
8	4-氯甲苯	1.00E+03*		
9	乙酸乙酯	3.94E+02*		
10	二硫化碳	9.31E+01*		
11	1,3-二氯丙烷	4.34E+00*		
<b>SVOCs (半挥发性有机物)</b>				
1	苯酚	9.57E+03*		GB36600-2018和风险评估计算值 (*)
2	菲	1.06E+03*		
3	荧蒽	1.46E+03*		
4	芘	7.58E+03*		
5	苯并(g,h,i)芘	1.06E+03*		
6	茚烯	3.94E+02*		
7	苯并[a]蒽	5.5	55	
8	蒽	490	4900	
9	苯并[a]芘	0.55	5.5	
<b>其他特征污染物</b>				
1	甲醇	1.51E+01*		风险评估计算值 (*)
2	乙醇	3.98E+05*		
3	二甲基亚砷	/		
4	苯妥英钠	/		
备注	① 本表仅列出检出污染物筛选值；②“/”表示无毒性参数，无法进行风险评估；③“*”表示采用风险评估计算筛选值。			

### 3.1.2 地下水质量评价标准

本场地地下水评价标准首先按照《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV类标准进行评价。该标准中未涉及因子使用风险评估进行计算，地下水暴露途径考虑吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物等2种暴露途径（该地块地下水不作为饮用水源，因此未选择饮用地下水途径）。计算参数选取《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB36600-2018)及《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)中推荐的参数值。其余筛选值如下表所示。

表 3.12 地下水污染物质量标准

序号	检测指标	单位	标准值				
			I类	II类	III类	IV类	V类
感官性状及一般化学指标							

1	pH 值	无量纲	6.5≤pH≤8.5			5.5≤pH<6.5 8.5<pH≤9.0	pH<5.5 或 pH>9.0	
			≤300	≤500	≤1000	≤2000	>2000	
2	溶解性总固体	mg/L	≤300	≤500	≤1000	≤2000	>2000	
3	总硬度	mg/L	≤150	≤300	≤450	≤650	>650	
4	氯化物	mg/L	≤50	≤150	≤250	≤350	>350	
5	铜	mg/L	≤0.01	≤0.05	≤1.00	≤1.50	>1.5	
6	氨氮	mg/L	≤0.02	≤0.10	≤0.50	≤1.50	>1.50	
7	耗氧量	mg/L	≤1.0	≤2.0	≤3.0	≤10.0	>10.0	
8	氰化物	mg/L	≤0.001	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1	
9	亚硝酸盐氮	mg/L	≤0.01	≤0.10	≤1.00	≤4.80	>4.80	
10	氟化物	mg/L	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤2.0	>2.0	
11	六价铬	mg/L	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.10	>0.10	
12	镍	mg/L	≤0.002	≤0.002	≤0.02	≤0.10	>0.10	
13	铅	mg/L	≤0.005	≤0.005	≤0.01	≤0.10	>0.10	
14	镉	mg/L	≤0.0001	≤0.001	≤0.005	≤0.01	>0.01	
15	砷	μg/L	≤1	≤1	≤10	≤50	>50	
16	汞	μg/L	≤0.1	≤0.1	≤1	≤2	>2	
毒理学指标								
17	二氯甲烷	μg/L	≤1	≤2	≤20	≤500	>500	
18	氯仿	μg/L	≤0.5	≤6	≤60	≤300	>300	
19	苯	μg/L	≤0.5	≤1.0	≤10	≤120	>120	
20	甲苯	μg/L	≤0.5	≤140	≤700	≤1400	>1400	
21	2-氯甲苯	μg/L	/					
22	4-氯甲苯	μg/L	/					
23	苯酚	mg/L	/					
24	2-甲酚	mg/L	/					
25	苯妥英钠	mg/L	/					
37	甲硝唑	mg/L	/					
备注		①本表有机项目仅列出检出污染物筛选值；②“/”表示无毒性参数，无法进行风险评估；						

## 3.2 初步采样调查结果

### 3.2.2 初步调查检测结果

#### (一) 土壤检测结果

##### (1) 土壤pH

采集地块11个土壤点位的38份土壤样品进行了土壤pH测定，土壤pH变化范围为7.64~9.93，土壤总体偏碱性。

## (2) 土壤重金属污染物检出结果

采集地块11个土壤点位38份土壤样品进行了土壤重金属含量的测定，检测了铜、铅、锌、镉、镍、砷、汞、六价铬8种重金属。所有土壤样品铜、铅、锌、镉、镍、砷、汞、六价铬8种重金属均未超过《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地土壤污染风险筛选值。

## (3) 地块土壤有机污染物结果分析

采集11个土壤点位，选取其中38份土壤样品进行了土壤有机物含量的测定（石油烃指标采集了2个土壤点位，选取其中8份土壤样品），测定了52种有机污染指标，其中VOCs指标29种，SVOCs指标21种和石油烃（C10-C40）。土壤样品中VOCs检出苯、1,4-二氯苯2项指标，2项指标均各有1个样品检出，未超过相应的土壤环境质量标准。SVOCs检出苯并（a）蒽、苯并（a）芘、苯并（b）荧蒽、苯并（k）荧蒽、蒽、茚并（1,2,3-c,d）芘、萘、2-甲基萘、萘烯、芴、菲、萘、蒽、荧蒽、芘、苯并（g,h,i）芘等16项指标，检出点位均为S09。其中，苯并（a）芘、苯并（b）荧蒽2项指标浓度超过《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第一类用地污染物的土壤风险筛选值；菲、苯并（g,h,i）芘、萘烯均未超过推导土壤污染风险筛选值。石油烃（C10-C40）最大浓度为28 mg/kg，低于《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地污染物的土壤风险筛选值。

## (4) 土壤无机物污染情况

采集了4个土壤点位，选取其中17份土壤样品进行了土壤氰化物含量的测定，其中有3个点位的8个样品检出，1个样品氰化物浓度超过《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第一类用地污染物的土壤风险筛选值，超标点位为S09。氰化物浓度未超过推导土壤污染风险筛选值。

## (二) 地下水初步调查结果

地下水pH检出范围为5.91-7.64，地下水样品检出苯、乙苯、间-二甲苯、对-二甲苯、邻-二甲苯、砷、铜、镍、铅、锌、六价铬、氰化物12项指标，初步调查采集的地下水样品中镍在GW02处超过《地下水质量标准》（GB14848-2017）中IV类标准，超标倍数为0.48倍。

### 3.3 详细采样调查结果

#### （1）土壤 pH

根据检测结果可知，pH 变动范围在 7.99~10.1 之间，与背景点 pH 变动范围在 8.49~9.77 对比，基本一致。

#### （2）土壤重金属及无机物

检出情况：六价铬、氰化物、氟化物检出率分别为 30.7%、4.65%、97.7%，重金属（铜、镍、铅、镉、砷、汞）所有土壤样品均有检出，检出率 100%，重金属银未检出。

检出结果分析：氰化物、氟化物、重金属（六价铬、铜、镍、铅、镉、砷、汞）检测结果均满足《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地风险筛选值及风险评估计算筛选值。

#### （3）挥发性有机物（VOCs）

检出情况：本次调查共筛选 114 个土壤样品送检，VOCs 检测项共包含 63 项检测因子，其中有 9 种挥发性有机物：氯仿、苯、甲苯、乙苯、间/对-二甲苯、邻-二甲苯、2-氯甲苯 4-氯甲苯、乙酸乙酯检出，其余挥发性有机物均未检出。

检出结果分析：检出污染物中苯（S11 点位）、氯仿（S22 点位）检测结果超出《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》第一类用地风险筛选值；其余检出污染物检测结果均低于《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地风险筛选值及风险评估计算筛选值。

#### （4）半挥发性有机物（SVOCs）

检出情况：本次调查共筛选 114 个土壤样品送检，SVOCs 检测项共包含 60

项检测因子，其中有7种有机物检出：苯酚、菲、荧蒽、芘、苯并[a]蒽、蒽、苯并[a]芘，其余半挥发性有机物均未检出，浓度均低于实验室检出限。

检出结果分析：苯酚、菲、荧蒽、芘、苯并[a]蒽、蒽、苯并[a]芘检出污染物检测结果均低于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地风险筛选值及风险评估计算筛选值。

#### （5）其余特征污染物

检出情况：本次调查共筛选包含其余特征污染物的28个土壤样品送检，检测因子包括甲酸、二甲基亚砷、N-甲基哌嗪、甲醇、乙醇，其中甲醇、乙醇、二甲亚砷有检出，甲酸和N-甲基哌嗪均未检出。

检出结果分析：甲醇、乙醇、二甲亚砷检出污染物检测结果均低于风险评估计算筛选值。

## （二）地下水检测结果

地下水样品检测项目包括：pH、VOCs（含苯、甲苯、二氯甲烷、二氯乙烷、氯仿、甲苯）、SVOCs（含苯并（a）芘、苯并（b）荧蒽、菲、苯并（g,h,i）芘）、重金属7项（铜、铅、砷、汞、镍、镉、六价铬）、氟化物、氰化物、苯甲醛、丙酮、乙酸乙酯、甲酸、二甲基亚砷、N-甲基哌嗪、甲醇、乙醇、硝酸盐、亚硝酸盐、溶解性总固体、耗氧量、氨氮、氯化物、总硬度。

### （1）基本水质因子及无机污染物

基本水质因子中，部分地下水点位中常规无机因子一般化学指标中溶解性总固体、总硬度、氨氮、耗氧量、氯化物超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准；其他检测因子均可满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准；GW8点位砷和氟化物超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准；其余指标均可满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准。

### （2）地下水有机污染物

地下水样品中VOCs类污染物检测49项，SVOCs类污染物检测80项，根据检测结果，VOCs类污染物共检出4项，分别为二氯甲烷、氯仿、2-氯甲苯、

4-氯甲苯，SVOCs 类污染物检出 2 项，为苯酚、2-甲酚。对照《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准，检出挥发性有机物（二氯甲烷、氯仿）超出IV类水质标准；2-氯甲苯、4-氯甲苯、2-甲酚未有相关筛选标准，在此仅列出检测结果，不做评估。

根据检测结果，地下水超出IV类水质标准污染物有 9 种，分别为：溶解性总固体、总硬度、氟化物、氨氮、耗氧量、氯化物、砷、二氯甲烷、氯仿。

### 3.4 补充采样调查结果

#### （1）土壤无机污染物

检出情况：所有土壤样品氟化物均有检出，检出率 100%。检出结果分析：氟化物检测结果均满足风险评估计算筛选值。

#### （2）土壤有机污染物

检出情况：补充调查共筛选 25 个土壤样品送检，VOCs 检测项共包含 52 项检测因子，各检测因子均未检出。

#### （二）地下水检测结果

补充调查中内共建立 4 个浅层地下水监测井，采集 4 个地下水样品，编号为 MW1~MW4。地下水样品检测项目包括 pH、VOCs、SVOCs、氟化物、氯化物、丙酮、乙酸乙酯、硝酸盐、亚硝酸盐、溶解性总固体、耗氧量、氨氮、氯化物、总硬度。

### 3.5 第二次补充采样调查结果

#### （一）土壤检测结果

本次调查参考《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）和风险评估计算标准，对检测结果进行分析，以此评价调查地块的土壤环境质量。具体检测结果汇总归纳见表 3.3-7。

#### （1）挥发性有机物（VOCs）

检出情况：本次调查共筛选 83 个土壤样品送检，VOCs 检测项共包含 63 项检测因子，其中有 12 种挥发性有机物：二硫化碳、二氯甲烷、氯仿、苯、甲

苯、1,3-二氯丙烷、氯苯、乙苯、间/对-二甲苯、邻-二甲苯、2-氯甲苯、4-氯甲苯检出，其余挥发性有机物均未检出，浓度均低于实验室检出限。

与前期调查土壤中 VOC 采样采取《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》（HJ1019-2019（高浓度方法，加甲醇）检出情况基本一致，检出污染物除氯仿和二氯甲烷外均远低于评价标准。

检出结果分析：检出污染物中氯仿（S22 点位）检测结果超出《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》第一类用地风险筛选值；其余检出污染物检测结果均低于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第一类用地风险筛选值及风险评估计算筛选值。

## （2）其余特征污染物

检出情况：本次调查共筛选 24 个土壤样品送检，检测因子包括苯妥英钠、甲硝唑、四乙酰核糖，检出有机物为苯妥英钠，甲硝唑、四乙酰核糖均未检出。苯妥英钠未有相关筛选标准，在此仅列出检测结果。

## （二）地下水检测结果

地下水样品检测项目包括 VOCs、耗氧量、苯妥英钠、甲硝唑、四乙酰核糖。根据检测结果，地下水中超出IV类水质标准污染物为：耗氧量、二氯甲烷和氯仿。

## （三）地表水检测结果

根据江苏省地表水功能区划和盐城市城市蓝线规划（2019-2030），地块南侧小洋河和西侧小河处于第III防洪，为景观河道，水体环境功能规划为IV类。

地块周边地表水中除溶解氧、氨氮和总磷超过《地表水环境质量标准》GB3838-2002 中IV类标准外，其余检测指标均达到水体功能要求。二氯甲烷、氯仿和苯等挥发性有机物各断面均未检出，地表水地块相邻断面及下游断面氰化物和氟化物与上游对照断面检测结果基本一致，溶解氧、氨氮和总磷检测结果优于上游对照断面检测结果，地块地下水排泄对周边地表水影响较小。

## 4 地块污染特征

### 4.1 地块地质与土质参数

#### 4.1.1 地层分层情况

本次勘探控制深度为 15.0m。对揭露的土体，据其成因时代、物理力学性质指标的差异，划分为 6 个主要工程地质层（编号 1~6）。第 1 层为人类活动所形成的杂填土，2~6 层为第四纪全新世（Q4）沉积的土层。各层的工程地质特征分述如下：

1、素填土（Qml）：灰黄色，松散，稍湿~湿，其主要成分为黏质粉土，上部含较多植物根茎，土质不均匀，普遍分布，厚度 0.50~0.70m，平均 0.60m；层底标高 1.14~1.15m，平均 1.15m；层顶标高:1.64~1.85m，平均 1.75m；

2、黏质粉土：稍密，很湿，土质不均匀；厚度 1.0m，平均 1.0m；层底标高 0.14~0.15m，平均 0.15m；层顶标高:1.14~1.15m，平均 1.15m；

3、淤泥质粉质黏土：流塑，饱和，土质欠均匀，厚度 6.50~7.20m，平均 6.77m；层底标高-7.05~-6.35m，平均-6.62m；层顶标高:0.14~0.15m，平均 0.15m；

4、黏质粉土：稍密，很湿，土质不均匀，厚度 0.90~1.60m，平均 1.27m；层底标高-8.06~-7.65m，平均-7.89m；层顶标高:-7.05~-6.35m，平均-6.62m；

5、砂质粉土：中密，湿~很湿，土质欠均匀，厚度 2.70~2.80m，平均 2.77m；层底标高-10.76~-10.45m，平均-10.65m；层顶标高:-8.06~-7.65m，平均-7.89m；

6、粉质黏土：可塑，饱和，土质尚均匀，该层未穿透。

#### 4.1.2 土工试验

土工采用点设计目的在于采集关注区域的不同代表位置的土层或选定土层的原状土，获取典型地层的相关土工参数，如渗透系数、含水率、容重、孔隙度等，从而为地块风险评估提供参数。土工参数测定方法依据《土工试验方法标准》（GB/T50123-1999）中的相关规定进行，参考《岩土工程勘察规范》（GB50021-2009）采集土工样品。

##### （1）常规物理性质参数

本次项目调查土工样品的物理性质常规指标，主要包括：天然含水率、天然密

度、土粒比重、饱和度、孔隙比、液限、缩限、颗粒组成百分比、有机质、渗透系数等。各主要土层的常规物理性质参数统计结果见表 4.1-1~2。

#### (2) 土壤颗粒组成百分比

各土层土壤颗粒组成百分比见下表，由粉质粘土、粘质粉土和砂质粉土的细颗粒物比例依次减少，粗颗粒物比例依次增加。

## 4.2 水文地质条件

### (1) 地块地下水分布

场地勘探深度范围内地下水类型主要为孔隙潜水，孔隙潜水主要赋存于第 6 层以上土层中，其补给来源主要为大气降水及地表水，水位呈季节性变化，其排泄形式主要为自然蒸发和侧向径流。地下水径流缓慢，处于相对停滞状态。

地下水类型为孔隙潜水，勘察期间，测得钻孔内孔隙潜水的初见水位标高为 1.14~1.23m，稳定水位标高在 1.23~1.30m，根据水文观测资料，近期内最高地下水位标高为 1.88m，历史最高水位为 1.90m，历史最低地下水位 0.55m，地下水位年变化幅度为 1.15m。

根据收集地块东侧 145m《文海雅苑（安置房）一期工程岩土工程详细勘察报告》（2021-YC-KC-001-1），场地勘探深度范围内地下水类型主要为孔隙潜水，其次为承压水，孔隙潜水主要赋存于第 3B 层及以上土层中，其补给来源主要为大气降水及地表水，水位呈季节性变化，其排泄形式主要为自然蒸发和侧向径流。承压水赋存于第 3C、5~7B、9A~9、11~13 层土中，其中 3C 层土中承压水补给来源主要是同一含水层的侧向补给及上层潜水的越流补给，其排泄形式主要为侧向径流；其余土层中承压水补给来源主要是同一含水层的侧向补给，其排泄形式主要为侧向径流。地下水径流缓慢，处于相对停滞状态。

根据场地 1~3#水位观测孔，采用套管及相应的止水措施，将被测含水层与其他含水层隔离的方式进行测量，测得第 3C 层土中的承压水水头标高分别为 0.60m、0.62m、0.66m，孔隙潜水与第 3C 层土中的承压水的混合水头标高分别为 0.80m、0.83m、0.86m，第 5~7B 层土中的承压水水头标高分别为 0.50m、0.55m、0.53m；根据水文观测资料，第 3C 层土中的承压水近 3~5 年承压水最高水头标高为

0.70m，孔隙潜水与第 3C 层土中的承压水的历史最高混合水头标高为 1.70m 左右；第 5~7B 层土中的承压水近 3~5 年承压水最高水头标高为 0.60m。

综上所述，地块区域地下水类型主要为孔隙潜水，其次为承压水，孔隙潜水补给来源主要为大气降水及地表水，水位呈季节性变化，其排泄形式主要为自然蒸发和侧向径流。承压水补给来源主要是同一含水层的侧向补给及上层潜水的越流补给，其排泄形式主要为侧向径流。地下水径流缓慢，处于相对停滞状态。

## **(2) 地块地下水流场**

勘察期场区地下水水力坡降平缓，场地内地下水主要为上层滞水，上层滞水补给来源主要是接受地表水、大气降水下渗补给，上层滞水向场地南侧小洋河排泄。据区域资料，地下水位年变化幅度约 1.15m，地下水总体由西北向东南方向小洋河渗流。

## 5 风险评估

本项目风险评估基于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）进行。地块定量风险评估程序是一个多层次定性与定量的评估体系，也是一个概念模型与描述污染物运移的分析模型及暴露模型的综合体系。本项目针对永大药业地块土壤及地下水中超过相关环境质量标准或筛选值的污染物进行风险评估。根据场地污染源特征、水文地质条件等实际情况，构建场地概念模型，应用污染场地风险评估电子表格软件计算不同暴露途径下土壤及地下水污染物的风险控制值与风险和危害商，并对场地的土壤与地下水中的污染物进行风险表征；结合我国的土壤质量标准值，确定最终的修复目标值，筛选出超过修复目标值的污染物，分析其污染分布与超标范围，估算土壤的修复土方量。

### 5.1 地块危害识别

#### 5.1.1 地块规划与敏感受体

根据永大药业地块的用地规划，后期该地块规划居住用地，属于第一类用地。

第一类用地方式下，儿童和成人均可能会长时间暴露于地块污染而产生健康危害。对于致癌效应，考虑人群的终生暴露危害，一般根据儿童期和成人期的暴露来评估污染物的终生致癌风险；对于非致癌效应，儿童体重较轻、暴露量较高，一般根据儿童期暴露来评估污染物的非致癌危害效应。

#### 5.1.2 关注污染物筛选

根据土壤污染状况调查结果和污染概念模型分析，本次风险评估范围主要针对地块内污染土壤及地下水。根据本地块用地规划类型，该地块规划为第一类用地，将地块内土壤超过第一类用地用地筛选标准的污染物列为关注污染物，根据以上筛选标准，该地块土壤关注污染物共 5 种，为苯、氯仿、苯并（a）芘、苯并（b）荧蒽、氰化物，见表 5.1-1，

本地块内地下水不作为饮用水，将地下水检测结果超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类水质标准及风险评估计算筛选值的污染物，且为有毒有害性质的污染物作为地下水关注污染物，根据以上筛选标准，该地块地下水关注污染物共 7 种，分别为氟化物、砷、镍、二氯甲烷、氯仿、苯和氰化物。

## 5.2 地块暴露评估

### 5.2.1 暴露途径

#### (1) 暴露情景分析

暴露情景是特定土地利用方式下，地块内污染物经不同方式迁移并到达受体的一种假设性场景描述，即关于地块污染暴露如何发生的一系列事实、推定和假设。根据用地规划，确定本地块的未来用地情景。根据受体特征，分析受体人群与污染物的接触方式。

根据本地块未来的规划内容，本地块未来为二类居住用地，儿童和成人可能会在日常生活中暴露于地块污染而产生健康危害，因此对于致癌效应需考虑人群的终生暴露危害，对于非致癌效应应考虑儿童期的暴露情况。

此外，在本地块修复和开发过程中，地块内的工作人员也会直接暴露于地块污染，产生一定的健康危害，因此需要考虑本地块开挖施工过程中的暴露情景。

#### (2) 暴露途径分析

针对第一类用地和第二类用地，《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）规定了9种主要暴露途径和暴露评估模型，包括经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物共6种土壤污染物暴露途径和吸入室外空气中来自地下水的气态污染物、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物、饮用地下水共3种地下水污染物暴露途径。

根据污染识别结果，本地块土壤关注污染物为苯、氯仿、苯并（a）芘、苯并（b）荧蒽和氰化物，地下水关注污染物为氟化物、砷、镍、二氯甲烷、氯仿、苯和氰化物。在未来开发和使用过程中，本地块作为住宅用地可能存在绿化等土壤裸露面，因此土壤中污染物能够通过6种暴露途径对受体产生健康风险。此外，对于下层污染土壤，在本地块开发过程中可能因开挖等施工而变成上层土壤，因此下层土壤也具备吸入室外空气中来自上层土壤的气态污染物途径。

经确认本地块地下水不涉及饮用，因此地下水的主要暴露途径为吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径和吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径。综上，本地块在不同情境下的暴露途径如下表 5.2-1。

表 5.2-1 地块关注污染物暴露途径

污染源	暴露途径	暴露情景	
		施工过程	使用过程
上层污染土壤	经口摄入土壤	√	√
	皮肤接触土壤	√	√
	吸入表层土壤颗粒物	√	√
	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径	√	√
下层污染土壤	经口摄入土壤	√	×
	皮肤接触土壤	√	×
	吸入表层土壤颗粒物	√	×
	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径	√	×
	吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径	√	√
	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径	√	√
地下水	吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径	√	√
	吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径	√	√
	饮用地下水	×	×

### 5.2.2 暴露概念模型

污染场地概念模型是综合描述场地污染源释放的污染物通过土壤、水体和空气等环境介质，进入人体并对场地周边及场地未来居住、工作人群的健康产生影响的关系模型。场地概念模型包括污染物、污染物的迁移途径、人体接触污染的介质和接触方式等。

暴露途径反映的污染物从污染源进入人体的过程，主要由污染源的特征、场地的用途和人群的活动特点决定。受污染的表层土壤表面会产生扬尘进入空气中，同时会从地表产生污染物蒸气进入空气中。地表以下受污染的土壤也会产生污染物的蒸气进入空气中。而且，受污染的地下水也会产生污染物的蒸气进入空气中。

场地暴露途径主要体现在经口摄入污染土壤，皮肤接触污染土壤，吸入土壤颗粒物以及室内外空气中的气态污染物。

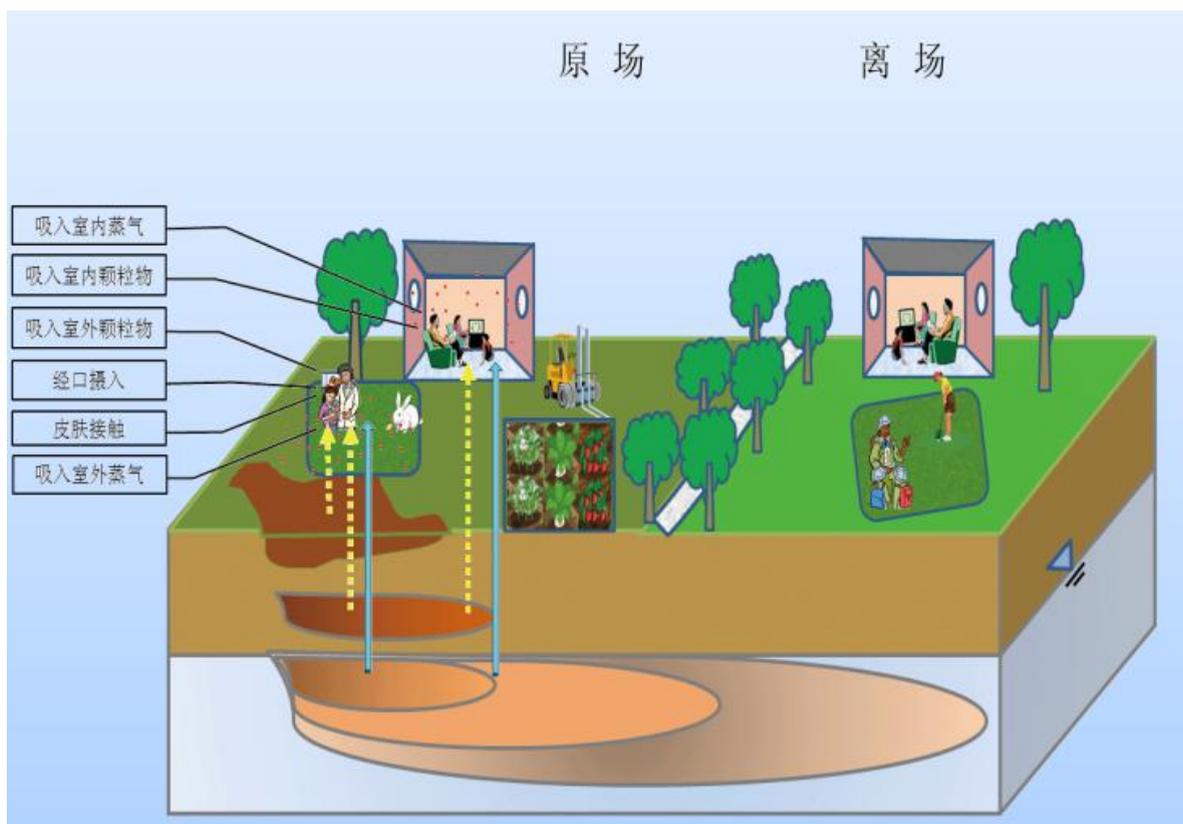


图 5.2-1 地块暴露途径示意图

### 5.2.3 暴露评估计算模型

在未来规划中上述地块规划为居住用地，其暴露途径包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态颗粒物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态颗粒物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径等暴露途径。

各种暴露途径的评估计算公式如下：

#### (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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.1）计算：

$$OISER_{ca} = \frac{\left( \frac{OSIR_c \times ED_c \times EF_c}{BW_c} + \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a}{BW_a} \right) \times ABS_o}{AT_{ca}} \times 10^{-6} \dots \dots (A.1)$$

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，经口摄入

土壤途径的土壤暴露量采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.2）计算：

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

## （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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.3）计算：

$$DCSER_{ca} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-5} + \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-5} \quad \dots\dots (A.3)$$

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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.6）计算：

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_c \times SSAR_c \times EF_c \times ED_c \times E_v \times ABS_d}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-5} \quad \dots\dots (A.6)$$

## （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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.7）计算：

$$PISER_{ca} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PLAF \times (fspo \times EFO_c + fspi \times EFI_c)}{BW_c \times AT_{ca}} \times 10^{-6} + \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PLAF \times (fspo \times EFO_a + fspi \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad \dots (A.7)$$

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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.8）计算：

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_c \times ED_c \times PLAF \times (fspo \times EFO_c + fspi \times EFI_c)}{BW_c \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad \dots (A.8)$$

## (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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.9）计算：

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

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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.10）计算：

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

## (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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.11）计算：

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

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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.12）计算：

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

## (6) 吸入室内空气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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.15）计算：

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

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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.16）计算：

$$IIVER_{ac1} = VF_{subia} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ac}} \quad \dots\dots (A.16)$$

(7) 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室外空气中来自地下水的气态污染物对应的地下水暴露量，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.13）计算：

$$IOVER_{ca3} = VF_{gwoa} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad \dots (A.13)$$

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地下水的气态污染物途径对应的地下水暴露量，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.14）计算：

$$IOVER_{nc3} = VF_{gwoa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}} \quad \dots\dots (A.14)$$

(7) 吸入室内空气来自地下水的气态污染物

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在儿童期和成人期暴露的终生危害，吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径对应的地下水暴露量，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.17）计算：

$$IIVER_{ca2} = VF_{gwia} \times \left( \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ca}} + \frac{DAIR_a \times EFI_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}} \right) \quad \dots\dots (A.17)$$

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地下水的气态污染物途径对应的地下水暴露量，采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式（A.18）计算：

$$IIVER_{ac1} = VF_{gwia} \times \frac{DAIR_c \times EFI_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{ac}} \quad \dots\dots (A.18)$$

## 5.2.4 评估的模型参数

毒性评估的工作内容包括分析关注污染物的健康效应（致癌和非致癌效应），确定污染物的毒性参数值。本项目土壤和场地参数主要通过土工试验以及土壤污染状况调查实测获得，其他部分参数选用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3）中的推荐值。

#### （1）人体暴露参数

此类参数常为社会学统计数据，在待评估场地内难以获得或即使通过研究也难以准确量化因子。因此，模型中所使用的参数均来源于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的推荐值。表 5.2-3 列举了本次风险评估所用的人体暴露参数。

表5.2-3 暴露参数

序号	符号	含义	单位	参数取值	参数来源
1	EDa	成人暴露期	a	24	导则推荐
2	EDc	儿童暴露期	a	6	导则推荐
3	EFa	成人暴露频率	d·a <sup>-1</sup>	350	导则推荐
4	EFc	儿童暴露频率	d·a <sup>-1</sup>	350	导则推荐
5	EF1a	成人室内暴露频率	d·a <sup>-1</sup>	262.5	导则推荐
6	EF1c	儿童室内暴露频率	d·a <sup>-1</sup>	262.5	导则推荐
7	EFOa	成人室外暴露频率	d·a <sup>-1</sup>	87.5	导则推荐
8	EFOc	儿童室外暴露频率	d·a <sup>-1</sup>	87.5	导则推荐
9	BWa	成人平均体重	kg	61.8	导则推荐
10	BWc	儿童平均体重	kg	19.2	导则推荐
11	Ha	成人平均身高	cm	161.5	导则推荐
12	Hc	儿童平均身高	cm	113.15	导则推荐
13	DAIRa	成人每日空气呼吸量	m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup>	14.5	导则推荐
14	DAIRc	儿童每日空气呼吸量	m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup>	7.5	导则推荐
15	GWCRa	成人每日饮用水量	L·d <sup>-1</sup>	1	导则推荐
16	GWCRc	儿童每日饮用水量	L·d <sup>-1</sup>	0.7	导则推荐
17	OSIRa	成人每日摄入土壤量	mg·d <sup>-1</sup>	100	导则推荐
18	OSIRc	儿童每日摄入土壤量	mg·d <sup>-1</sup>	200	导则推荐
19	Ev	每日皮肤接触事件频率	次·d <sup>-1</sup>	1	导则推荐
20	fspi	室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例	无量纲	0.8	导则推荐

21	fspo	室外空气中来自土壤的颗粒物比例	无量纲	0.5	导则推荐
22	SAF	暴露于土壤的参考剂量分配比例(SVOCs 和重金属)	无量纲	0.5	导则推荐
23	WAF	暴露于地下水的参考剂量分配比例(SVOCs 和重金属)	无量纲	0.5	导则推荐
24	SERa	成人暴露皮肤所占体表面积比	无量纲	0.32	导则推荐
25	SERc	儿童暴露皮肤所占体表面积比	无量纲	0.36	导则推荐
26	SSARa	成人皮肤表面土壤粘附系数	mg·cm <sup>-2</sup>	0.07	导则推荐
27	SSARc	儿童皮肤表面土壤粘附系数	mg·cm <sup>-2</sup>	0.2	导则推荐
28	PIAF	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	无量纲	0.75	导则推荐
29	ABSo	经口摄入吸收因子	无量纲	1	导则推荐
30	ACR	单一污染物可接受致癌风险	无量纲	0.000001	导则推荐
31	AHQ	单一污染物可接受危害熵	无量纲	1	导则推荐
32	ATca	致癌效应平均时间	d	27740	导则推荐
33	ATnc	非致癌效应平均时间	d	2190	导则推荐
34	SAF	暴露于土壤的参考剂量分配比例(VOCs)	无量纲	0.33	导则推荐
35	WAF	暴露于地下水的参考剂量分配比例(VOCs)	无量纲	0.33	导则推荐

## (2) 建筑物参数

此类参数常为社会学统计数据，因此，模型中所使用的参数均来源于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的推荐值。

表5.2-4 建筑物参数

序号	符号	参数名称	单位	参数取值	参数来源
1	$\theta_{\text{crack}}$	地基裂隙中空气体积比	无量纲	0.26	导则推荐
2	$\theta_{\text{wcrack}}$	地基裂隙中水体积比	无量纲	0.12	导则推荐
3	$L_{\text{crack}}$	室内地基厚度	cm	35	导则推荐
4	$L_B$	室内空间体积与气态污染物入渗面积之比	cm	220	导则推荐
5	ER	室内空气交换速率	次·d <sup>-1</sup>	12	导则推荐
6	$\eta$	地基和墙体裂隙表面积所占面积	无量纲	0.0005	导则推荐
7	$\tau$	气态污染物入侵持续时间	a	30	导则推荐
8	dP	室内室外气压差	g·cm <sup>-1</sup> ·s <sup>2</sup>	0	导则推荐
9	$Z_{\text{crack}}$	室内地面到地板底部厚度	cm	35	导则推荐
10	$X_{\text{crack}}$	室内地板周长	cm	3400	导则推荐
11	Ab	室内地板面积	cm <sup>2</sup>	700000	导则推荐

## (3) 空气特征参数

混合区大气流速风速、混合区高度来源于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的推荐值，空气中可吸入颗粒物含量（PM<sub>10</sub>）来源于盐城市生态环境局发布的《盐城市生态环境状况公报》（2020年）的PM<sub>10</sub>平均浓度，详见表5.2-5。

表5.2-5 建筑空气特征参数表

序号	参数名称	符号	单位	参数取值	参数来源
1	空气中可吸入颗粒物含量	PM <sub>10</sub>	mg·m <sup>-3</sup>	0.054	《盐城市生态环境状况公报》（2020年）
2	混合区大气流速风速	U <sub>air</sub>	cm·s <sup>-1</sup>	200	导则推荐
3	混合区高度	δ <sub>air</sub>	cm	200	导则推荐

## (4) 污染区参数

污染区域参数主要参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》中推荐参数，见下表：

表5.2-6 污染区参数

序号	含义	符号	单位	参数取值	来源
1	表层污染土壤层厚度	d	cm	50	导则推荐
2	下层污染土壤层埋深	L <sub>s</sub>	cm	50	导则推荐
3	下层污染土壤层厚度	d <sub>sub</sub>	cm	100	导则推荐
4	污染源区面积	A	cm <sup>2</sup>	16000000	导则推荐

## (5) 场地土壤和地下水参数

场地土壤和地下水参数主要以调查实测数据为主。通过土工试验计算的参数主要有土壤容重、土壤含水率和土壤透性系数等。其余参数来源于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）推荐值。

土工试验计算的参数采用不同岩性的土壤进行采样和土工试验测试（土工试验报告详见4.1.2小节），参数取值为土壤和地下水超标土层试验测试结果平均值。

表5.2-7 地块土壤参数

序号	含义	符号	单位	取值	参数来源
1	土壤有机质含量	f <sub>om</sub>	g·kg <sup>-1</sup>	24*	土壤实测（平均值）
2	土壤容重	ρ <sub>b</sub>	kg·dm <sup>-3</sup>	1.34*	土壤实测（平均值）
3	土壤含水率	P <sub>ws</sub>	kg·kg <sup>-1</sup>	0.355*	土壤实测（平均值）
4	土壤颗粒密度	ρ <sub>s</sub>	kg·dm <sup>-3</sup>	2.70*	土壤实测（平均值）

5	污染源区宽度	W	cm	4000	导则推荐
6	土壤地下水交界处毛管层厚度	$h_{cap}$	cm	5	导则推荐
7	非饱和土层厚度	$h_v$	cm	55*	场地实际情况
8	毛细管层孔隙空气体积比	$\theta_{acap}$	无量纲	0.038	导则推荐
9	毛细管层孔隙水体积比	$\theta_{wcap}$	无量纲	0.342	导则推荐
10	地下水达西（Darcy）速率	$U_{gw}$	$cm \cdot a^{-1}$	2500	导则推荐
11	地下水混合区厚度	$\delta_{gw}$	cm	200	导则推荐
12	土壤中水的入渗速率	I	$cm \cdot a^{-1}$	30	导则推荐
13	土壤透性系数	Kv	$cm^2$	1.18E-12*	土壤实测（平均值）
14	地下水埋深	$L_{gw}$	cm	60*	场地实际情况
15	地下水混合区厚度	$\delta_{gw}$	cm	200	导则推荐

### 5.2.5 土壤暴露量计算

地块规划为居住用地，其暴露途径包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外空气中来自表层土壤的气态颗粒物、吸入室外空气中来自下层土壤的气态颗粒物、吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物途径、吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径、吸入室内空气来自地下水的气态污染物途径等暴露途径。采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）公式附录 A 公式计算本地块土壤和地下水中污染物的致癌暴露量计算结果见表 5.2-8，土壤和地下水中污染物的非致癌暴露量计算结果见表 5.2-9。

表5.2-8 土壤和地下水中污染物的致癌暴露量计算结果

序号	污染物名称	CAS 编号	土壤 (kg 土壤·kg <sup>-1</sup> 体重·d <sup>-1</sup> )						地下水 (L 地下水·kg <sup>-1</sup> 体重·d <sup>-1</sup> )			
			口摄入土壤颗粒物	皮肤接触土壤颗粒物	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	吸入室外空气中来自地下水的气态污染物	吸入室内空气中来自地下水的气态污染物	饮用地下水	
			OISERca	DCSERca	PISERca	IOVERca1	IOVERca2	IIVERca1	IOVERca3	IIVERca2	CGWERca	
1	氰化物	57-12-5	1.28E-06	-	2.95E-09	9.98E-08	4.23E-08	9.98E-08	2.35E-07	3.40E-07	2.40E-06	
2	苯	71-43-2	1.28E-06	-	2.95E-09	1.34E-07	7.64E-08	1.34E-07	1.78E-05	1.56E-07	4.09E-05	
3	氯仿 (三氯甲烷)	67-66-3	1.28E-06	-	2.95E-09	1.85E-07	2.44E-07	1.85E-07	3.44E-05	1.60E-07	2.64E-05	
4	苯并(a)芘	50-32-8	1.28E-06	5.32E-07	2.95E-09	1.67E-09	1.18E-11	1.67E-09	4.36E-13	7.65E-08	3.62E-09	
5	苯并(b)荧蒽	205-99-2	1.28E-06	5.32E-07	2.95E-09	1.65E-09	1.16E-11	1.65E-09	5.55E-13	7.65E-08	4.69E-09	
6	砷 (无机)	7440-38-2	1.28E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	镍	7440-02-0	1.28E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	氟化物	16984-48-8	1.28E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	二氯甲烷	75-09-2	1.28E-06	-	-	-	-	-	4.84E-05	1.84E-07	3.04E-05	

表5.2-9 土壤和地下水中污染物的非致癌暴露量计算结果

序号	污染物名称	CAS 编号	土壤 (kg 土壤·kg <sup>-1</sup> 体重·d <sup>-1</sup> )						地下水 (L 地下水·kg <sup>-1</sup> 体重·d <sup>-1</sup> )			
			口摄入土 壤颗粒物	皮肤接触 土壤颗粒 物	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	吸入室外 空气中来 自地下水 的气态污 染物	吸入室内 空气中来 自地下水 的气态污 染物	饮用地下 水	
			OISERnc	DCSERnc	PISERnc	IOVERnc1	IOVERnc2	IIVERnc1	IOVERnc3	IIVERnc2	CGWERnc	
1	氰化物	57-12-5	9.99E-06	-	1.10E-08	3.72E-07	1.58E-07	3.72E-07	8.73E-07	1.26E-06	8.93E-06	
2	苯	71-43-2	9.99E-06	-	1.10E-08	4.99E-07	2.85E-07	4.99E-07	6.62E-05	5.79E-07	1.52E-04	
3	氯仿 (三氯甲烷)	67-66-3	9.99E-06	-	1.10E-08	6.88E-07	9.10E-07	6.88E-07	1.28E-04	5.96E-07	9.84E-05	
4	苯并(a)芘	50-32-8	9.99E-06	3.70E-06	1.10E-08	6.21E-09	4.40E-11	6.21E-09	1.62E-12	2.85E-07	1.35E-08	
5	苯并(b)荧蒽	205-99-2	9.99E-06	3.70E-06	1.10E-08	6.15E-09	4.31E-11	6.15E-09	2.07E-12	2.85E-07	1.75E-08	
6	砷 (无机)	7440-38-2	9.99E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	镍	7440-02-0	9.99E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	氟化物	16984-48-8	9.99E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	二氯甲烷	75-09-2	9.99E-06	-	-	-	-	-	1.80E-04	6.84E-07	1.13E-04	

### 5.3 地块毒性评估

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，包括致癌效应和非致癌效应，确定与关注污染物相关的参数，包括致癌效应毒性参数、非致癌效应毒性参数及污染物的理化性质参数。

致癌效应毒性参数包括呼吸吸入单位致癌因子（IUR）、呼吸吸入致癌斜率因子（SF<sub>i</sub>）、经口摄入致癌斜率因子（SF<sub>o</sub>）和皮肤接触致癌斜率因子（SF<sub>d</sub>）。非致癌效应毒性参数包括呼吸吸入参考浓度（RfC）、呼吸吸入参考剂量（RfDi）、经口摄入参考剂量（RfDo）和皮肤接触参考剂量（RfDd）。

污染物理化性质参数包括无量纲亨利常数（H'）、空气中扩散系数（Da）、水中扩散系数（Dw）、土壤-有机碳分配系数（Koc）、水中溶解度（S）等。

①呼吸吸入致癌斜率因子（SF<sub>i</sub>）根据 HJ25.3-2019 模型公式呼吸吸入单位致癌因子（IUR）外推获得；计算公式如下：

$$SF_i = \frac{IUR \times BW_a}{DAIR_a} \quad \dots\dots (B.1)$$

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

BW<sub>a</sub>：成人体重，kg；

DAIR<sub>a</sub>：成人每日空气呼吸量，m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>；取推荐值 14.5 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>；

②皮肤接触致癌斜率系数（SF<sub>d</sub>）根据 HJ25.3-2019 模型公式经口摄入致癌斜率系数（SF<sub>o</sub>）外推获得。

$$SF_d = \frac{SF_o}{ABS_{gi}} \quad \dots\dots (B.3)$$

式中：SF<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>；

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

ABS<sub>gi</sub>：消化道吸收效率因子，无量纲。

③呼吸吸入参考剂量（RfDi）根据 HJ25.3-2019 模型公式呼吸吸入参考浓度（RfC）外推得到。

$$RfDi = \frac{RfC \times DAIR_a}{BW_a} \quad \dots\dots (B.2)$$

式 中 ：

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

RfC: 呼吸吸入吸收参考浓度, mg/m<sup>3</sup>;

④皮肤接触参考剂量 (RfD<sub>d</sub>) 根据 HJ25.3-2019 模型公式经口摄入参考剂量 (RfD<sub>o</sub>) 外推获得。

$$RfD_d = RfD_o \times ABS_{gi} \quad \dots\dots (B.4)$$

式中: RfD<sub>d</sub>: 皮肤接触参考剂量, mg 污染物·kg<sup>-1</sup> 体重 d<sup>-1</sup>;

ABS<sub>gi</sub>: 消化道吸收效率因子, 无量纲。

以上毒性参数值来源于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019), 本地块土壤关注污染物: 该地块土壤关注污染物共 5 种, 为苯、氯仿、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽和氰化物。地下水关注污染物: 氟化物、砷、镍、二氯甲烷、氯仿、苯和氰化物, 污染物毒性参数见表 5.3-1, 污染物理化性质参数见表 5.3-2。

表5.3-1 本项目关注污染物毒性参数一览表

序号	污染物名称	CAS编号	经口摄入致癌斜率因子		呼吸吸入单位致癌因子		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		皮肤吸收因子	
			Sf <sub>0</sub> (mg/kg-d) <sup>-1</sup>	数据来源	IUR(mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	数据来源	RfD <sub>0</sub> (mg/kg-d)	数据来源	RfC(mg/m <sup>3</sup> )	数据来源	ABS <sub>gi</sub> (无量纲)	数据来源	ABS <sub>sd</sub> (无量纲)	数据来源
1	氰化物	57-12-5	-	-	-	-	0.0006	I	0.0008	RSL	1	RSL	-	-
2	苯	71-43-2	0.055	I	0.0078	I	0.004	I	0.03	I	1	RSL	-	-
3	氯仿(三氯甲烷)	67-66-3	0.031	RSL	0.023	I	0.01	I	0.098	RSL	1	RSL	-	-
4	苯并(a)芘	50-32-8	1	I	0.6	RSL	0.0003	I	0.00002	I	1	RSL	0.13	RSL
5	苯并(b)荧蒽	205-99-2	0.1	RSL	0.06	RSL	-	-	-	-	1	RSL	0.13	RSL
6	砷(无机)	7440-38-2	1.5	I	4.3	I	0.0003	I	0.000015	RSL	1	RSL	0.03	RSL
7	镍	7440-02-0	-	-	0.26	RSL	0.02	I	0.00009	RSL	0.04	RSL	-	-
8	氟化物	16984-48-8	-	-	-	-	0.04	RSL	0.013	RSL	1	RSL	-	-
9	二氯甲烷	75-09-2	0.002	I	0.00001	I	0.006	I	0.6	I	1	RSL	-	-

表5.3-2 本项目关注污染物理化性质参数一览表

序号	污染物名称	CAS编号	亨利常数		空气中扩散系数		水中扩散系数		土壤有机碳/土壤孔隙水分配系数		水溶解度		皮肤渗透系数
			H'	数据来源	Da(cm <sup>2</sup> /s)	数据来源	Dw(cm <sup>2</sup> /s)	数据来源	Koc(cm <sup>3</sup> /g)	数据来源	S (mg/L)	数据来源	Kp(cm/hr)
1	氰化物	57-12-5	0.00415	Ma et al 2010	0.211	WATER9	0.0000246	WATER9	9.9	Kd(cm <sup>3</sup> /g)	95400	PHY SPR OP	0.001
2	苯	71-43-2	0.227	EPI	0.0895	WATER9	0.0000103	WATER9	145.8	EPI	1790	EPI	0.015
3	氯仿（三氯甲烷）	67-66-3	0.15	EPI	0.0769	WATER9	0.0000109	WATER9	31.8	EPI	7950	EPI	0.0068
4	苯并(a)芘	50-32-8	0.0000187	EPI	0.0476	WATER9	0.00000556	WATER9	587000	EPI	0.00162	EPI	0.7
5	苯并(b)荧蒽	205-99-2	0.0000269	EPI	0.0476	WATER9	0.00000556	WATER9	599000	EPI	0.0015	EPI	0.7
6	砷（无机）	7440-38-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001
7	镍	7440-02-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0002
8	氟化物	16984-48-8	-	-	-	-	-	-	-	-	1.69	EPI	0.001
9	二氯甲烷	75-09-2	0.133	EPI	0.0999	WATER9	0.0000125	WATER9	21.7	EPI	13000	EPI	0.0035

## 5.4 本场地风险表征

风险表征分为致癌风险表征和非致癌风险表征，可接受致癌风险阈值为  $1.00E-06$ ，可接受非致癌风险商值为 1.00。

### 5.4.1 致癌风险和非致癌危害商的计算方法

#### C.1 土壤中单一污染物的致癌风险

(1) 经口摄入土壤途径的致癌风险采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录 C 公式 (C.1) 计算。

$$CR_{ois} = OISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_o \quad \dots\dots (C.1)$$

(2) 皮肤接触土壤途径的致癌风险采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录 C 公式 (C.2) 计算。

$$CR_{dcs} = DCSEER_{ca} \times C_{sur} \times SF_{st} \quad \dots\dots (C.2)$$

(3) 吸入土壤颗粒物途径的致癌风险采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录 C 公式 (C.3) 计算。

$$CR_{pis} = PISER_{ca} \times C_{sur} \times SF_i \quad \dots\dots (C.3)$$

(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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录 C 公式 (C.4) 计算。

$$CR_{iovl} = IOVER_{ca1} \times C_{sur} \times SF_i \quad \dots\dots (C.4)$$

(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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录 C 公式 (C.5) 计算。

$$CR_{iovl2} = IOVER_{ca2} \times C_{sub} \times SF_i \quad \dots\dots (C.5)$$

(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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录 C 公式 (C.6) 计算。

$$CR_{ivl} = IIVER_{ca1} \times C_{sub} \times SF_i \quad \dots\dots (C.6)$$

(7) 土壤中单一污染物经所有暴露途径的致癌风险采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录 C 公式 (C.7) 计算。

$$CR_{\eta} = CR_{ois} + CR_{dcs} + CR_{pis} + CR_{iovl} + CR_{iovl2} + CR_{ivl} \quad \dots\dots (C.7)$$

## C.2 土壤中单一污染物的非致癌危害商

(1) 经口摄入土壤途径的危害商采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录C公式(C.8)计算。

$$HQ_{ois} = \frac{OISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_o \times SAF} \quad \dots\dots (C.8)$$

(2) 皮肤接触土壤途径的危害商采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录C公式(C.9)计算。

$$HQ_{dcs} = \frac{DCSER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_d \times SAF} \quad \dots\dots (C.9)$$

(3) 吸入土壤颗粒物途径的危害采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录C公式(C.10)计算。

$$HQ_{pis} = \frac{PISER_{nc} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \dots\dots (C.10)$$

(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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录C公式(C.11)计算。

$$HQ_{iovl} = \frac{IOVER_{nc1} \times C_{sur}}{RfD_i \times SAF} \quad \dots\dots (C.11)$$

(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《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录C公式(C.12)计算。

$$HQ_{iovl} = \frac{IOVER_{nc2} \times C_{sub}}{RfD_i \times SAF} \quad \dots\dots (C.12)$$

(6) 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害商采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录C公式(C.13)计算。

$$HQ_{iivl} = \frac{IIVER_{nc1} \times C_{sub}}{RfD_i \times SAF} \quad \dots\dots (C.13)$$

(7) 土壤中单一污染物经所有暴露途径的危害指数采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)附录C公式(C.14)计算。

$$HI_n = HQ_{ois} + HQ_{dcs} + HQ_{pis} + HQ_{iovl} + HQ_{iovl} + HQ_{iivl} \quad \dots\dots (C.14)$$

## C.3 地下水中单一污染物致癌风险

C3.1 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的致癌风险采用《建设用地

土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 C 公式（C.15）计算：

$$CR_{inv3} = IOVER_{ca3} \times C_{gw} \times SF_i \quad \dots\dots (C.15)$$

C3.2 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的致癌风险采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 C 公式（C.16）计算：

$$CR_{inv2} = IIVER_{ca2} \times C_{gw} \times SF_i \quad \dots\dots (C.16)$$

#### C.4 地下水中单一污染物危害商

C4.1 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物途径的危害商采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 C 公式（C.19）计算：

$$HQ_{ion3} = \frac{IOVER_{nc3} \times C_{gw}}{RfD_i \times WAF} \quad \dots\dots (C.19)$$

C4.2 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物途径的危害商采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 C 公式（C.20）计算：

$$HQ_{inv2} = \frac{IIVER_{nc2} \times C_{gw}}{RfD_i \times WAF} \quad \dots\dots (C.20)$$

### 5.4.2 致癌风险表征

#### （1）土壤致癌风险

本地块土壤中污染物的致癌风险计算结果见表 5.4-1，由下表可见永大药业地块土壤中对人体具有致癌风险的污染物为苯、氯仿、苯并(a)芘和苯并(b)荧蒽，致癌风险分别为 1.86E-05、2.32E-04、1.38E-05、1.91E-06，大于致癌风险标准  $10^{-6}$ ，风险不可接受。

#### （2）地下水致癌风险

本地块土壤地下水中污染物的致癌风险计算结果见下表 5.4-2，由下表可知永大药业地块地下水对人体具有致癌风险的污染物为氯仿，致癌风险为 5.63E-04，大于致癌风险标准  $10^{-6}$ ，风险不可接受。

### 5.4.3 非致癌风险表征

#### (1) 土壤非致癌风险

危害商是非致癌污染物每日摄入量/浓度与参考剂量/浓度的比值，用于表征人体暴露于非致癌污染物而受到危害的水平。

本地块土壤中污染物的非致癌风险计算结果见下表 5.4-3，由表可见，永大药业地块土壤中对人体具有非致癌风险的污染物为氰化物、苯、苯并(a)芘和氯仿，非致癌风险分别为 1.48、1.01、1.25、1.35，大于非致癌风险标准 1，风险不可接受。

#### (2) 地下水非致癌风险

本地块地下水中污染物的非致癌风险计算结果见表 5.4-4，由表可知永大药业地块地下水对人体具有非致癌风险的污染物为氯仿，非致癌风险为 2.82，大于致癌风险标准 1，风险不可接受。

## 5.5 风险控制值的确定

场地土壤和下水风险控制值的确定是评估逆过程，先设定可接受的风险水平，再根据暴露评估公式和迁移模型反推得该定可接受的风险水平下的污染物浓度即风险控制值。

### 5.5.1 风险控制值的推导

本项目修复目标值的推导将依据上述已建立的场地暴露概念模型，按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）进行计算方法和模型参数的优化后来推导保护人体健康的土壤和地下水的风险控制值。

基于人体健康风险的土壤与地下水风险控制值时选取  $10^{-6}$  作为单一污染物的目标风险、1 作为单一污染物可接受的危害商。风险控制值计算过程中涉及到的参数的取值同 5.2.4 小节。

由于计算风险控制值的过程为评估逆，因此不再详细列出风险控制值的计算公式，风险控制值的总公式如下：

#### (1) 土壤风险控制值

基于 6 种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值，采用下列公式计算：

$$RCVS_n = \frac{ACR}{OISER_{ca} \times SF_0 + DCSE_{ca} \times SF_d + (PISER_{ca} + IOVER_{ca1} + IVOER_{ca2} + IIVER_{ca1}) \times SF_i}$$

式中：RCVSn—单一污染物基于 6 种土壤暴露途径综合致癌效应的土壤风险控制值， $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

ACR—可接受致癌风险，无量纲；取值为  $10^{-6}$ 。

基于 6 种土壤暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值，采用下列计算：

$$HCVS_n = \frac{AHQ \times SAF}{\frac{OISER_{nc}}{RfD_o} + \frac{DCSER_{nc}}{RfD_d} + \frac{PISER_{nc} + IOVER_{nc1} + IOVER_{nc2} + IIVER_{nc1}}{RfD_i}} \quad \dots\dots (E.14)$$

式中：HCVSn—单一污染物基于 6 种土壤暴露途径综合非致癌效应的土壤风险控制值， $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

AHQ—可接受致癌风险，无量纲；取值为 1。

### (2) 地下水风险控制值

基于 3 种地下水暴露途径综合致癌效应的地下水风险控制值，采用下列公式计算：

$$RCVG_n = \frac{ACR}{(IOVER_{ca3} + IIVER_{ca2}) \times SF_i + CGWER_{ca} \times SF_o} \quad \dots\dots (E.19)$$

RCVGn—单一污染物基于 3 种地下水暴露途径综合致癌效应的地下水风险控制值， $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

ACR—可接受致癌风险，无量纲；取值为  $10^{-6}$ 。

基于 3 种地下水暴露途径综合非致癌效应的地下水风险控制值，采用下列公式计算：

$$HCVG_n = \frac{AHQ \times WAF}{\frac{IOVER_{nc3} + IIVER_{nc2}}{RfD_i} + \frac{CGWER_{nc}}{RfD_o}} \quad \dots\dots (E.23)$$

HCVGn—单一污染物(第 n 种) 基于 3 种地下水暴露途径综合非致癌效应的地下水风险控制值， $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

AHQ—可接受致癌风险，无量纲；取值为 1。

## 5.5.2 风险控制值

考虑到地下水中二氯甲烷超标严重，超标位置与氯仿相同，且二氯甲烷和氯仿污染物性质相近，因此将地下水中二氯甲烷列为修复污染因子。

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）风险控制值计算

方法，得出了污染物可接受的非致癌风险水平即目标危害商为 1，可接受的致癌风险为  $1 \times 10^{-6}$  水平下的土壤和地下水风险控制值。具体如表 5.5-1~表 5.5-2 所示。

表5.5-1土壤风险控制值（单位：mg/kg）

序号	污染物名称	CAS 编号	致癌风险控制值	非致癌风险控制值	风险控制值
			RCVSn	HCVSn	
1	氰化物	57-12-5	-	2.07E+01	2.07E+01
2	苯	71-43-2	1.50E+00	2.75E+01	1.50E+00
3	氯仿（三氯甲烷）	67-66-3	2.89E-01	4.97E+01	2.89E-01
4	苯并(a)芘	50-32-8	5.49E-01	6.07E+00	5.49E-01
5	苯并(b)荧蒽	205-99-2	5.49E+00	-	5.49E+00

表5.5-2地下水风险控制值（单位：mg/L）

污染物名称	CAS 编号	致癌风险控制值	非致癌风险控制值	风险控制值
		RCVGn	HCVGn	
氯仿（三氯甲烷）	67-66-3	3.84E-01	7.67E+01	3.84E-01
二氯甲烷	75-09-2	7.67E+02	4.08E+02	4.08E+02

## 5.6 风险评估不确定性

### 5.6.1 不确定因素

场地健康风险评估是一个系统的工作，需要环境学、化学、地质学、毒理学、统计学等多学科的融合，受基础科学发展水平、实践及资料限制，风险评估计算的不确定性主要来源于选用模型的适用性、模型的设定条件与实际条件的差异、模型参数的确定以及检测统计数据代表性。

(a) 计算模型的不确定性：风险评估按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）的基本要求计算。虽然风险评估的计算模型是基于理论原理建立，且长期以来被广泛应用于实际污染场地的风险管理决策，但必须认识到几乎没有一个数学模型可以完全准确地描述污染物迁移和暴露的全过程。随着技术的发展，暴露计算和风险计算的方法可能会发生改变。

(b) 场地参数和暴露参数的不确定性：本项目的模型输入数据均为场地实测数据或国家导则中的默认保守参数。由于我国对于风险评估的基础研究相对匮乏，且江苏地区的参数（如气象、暴露等参数）和与国家导则中推荐的默认参数也存在一定的差异性，因此模型根据国家导则计算本场地的风险或危害商可能与本场地的实际情况有所差异。

(c) 污染物毒性学性质：不同的研究机构或政府机构根据特定条件下的研究结果或统计结果提出了不同的毒性参数和理化参数，这些参数根据试验条件的不同略有差异，而且会根据毒性学的研究进展进行更新。本项目中关注污染物的物理化学特性参数和毒理学参数主要来自于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》的规范性目录以及其他权威部门发布的数据，部分参数可能会随着数据的更新而发生改变。

(d) 风险评估的结果是基于对应场地概念模型中的暴露情景，当实际的暴露情形发生时，本次风险评估的结果并不能保证污染源的风险可接受性。因此，在使用

本次风险评估的结果时应注意风险评估中的暴露情景。

### 5.6.1 暴露风险贡献率分析

#### (1) 贡献率计算公式

单一污染物经不同暴露途径致癌和非致癌风险贡献率，分别采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）附录 D 中的推荐模型进行计算。单一污染物经不同暴露途径的危害商贡献率分析见以下模型。

$$PCR_j = \frac{CR_j}{CR_n} \times 100\%$$

$$PHQ_j = \frac{HQ_j}{HQ_n} \times 100\%$$

式中：

PCR<sub>j</sub>—单一污染物经某一（第 j 种）暴露途径致癌风险贡献率，无量纲；

CR<sub>j</sub>—单一污染物经第 j 种暴露途径的致癌风险，无量纲；

PHQ<sub>j</sub>—单一污染物经某一（第 j 种）暴露途径非致癌风险贡献率，无量纲；

HQ<sub>j</sub>—单一污染物经某一（第 j 种）暴露途径非致癌危害商值，无量纲。

#### (2) 暴露风险贡献率

由表 5.6.1~5.6.2 可知，土壤中苯和氯仿致癌风险贡献率结果显示，吸入室内空气来自下层土壤的气态污染物这一暴露途径贡献率占比最大，分别为 88.42% 和 97.63%，土壤中苯并(b)荧蒽和苯并(a)芘致癌风险贡献率结果显示，口摄入土壤颗粒物这一暴露途径贡献率占比最大，分别为 70.17% 和 70.18%；土壤中苯和氯仿非致癌风险贡献率结果显示，吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物这两种暴露途径贡献率占比最大，分别为 78.28% 和 83.91%，土壤中氰化物和苯并(a)芘非致癌风险贡献率结果显示，吸入土壤颗粒物这一暴露途径贡献率占比最大，分别为 89.09% 和 40.46%。地下水中超标污染物致风险贡献率和非致癌风险贡献率结果显示，吸入室内空气来自地下水的气态污染物这一暴露途径贡献率占比最大。

### 5.6.2 参数的敏感性分析

单一暴露途径风险贡献率超过 20%时，应进行人群相关参数和该途径相关参数的敏感性分析。本场地的主要风险暴露途径为经口摄入土壤颗粒物、皮肤接触土壤颗粒物、吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物和吸入室内空气中来自地下水的气态污染物，因此敏感性分析参数包括：人群相关参数：体重、暴露周期、暴露频率；与暴露途径相关的参数：每日土壤摄入量、每日空气摄入量；土壤参数：土壤颗粒密度( $\rho_s$ )、土壤容重( $\rho_b$ )、土壤含水率 ( $P_{ws}$ )、土壤有机质含量 ( $f_{om}$ )。敏感性分析采用敏感性比例进行表征，即参数取值变动对模型计算风险值的影响程度。参数的敏感性比例越大，表示风险变化程度越大，该参数对风险计算的影响也越大。分析时，应兼顾考虑参数的实际取值范围，进行小范围或大范围参数值变化分析。参数值小范围变化是指将参数值变动 $\pm 5\%$ ；参数值大范围变化是指将参数值变动 $\pm 50\%$ ，或取该参数的最大与最小可能数值。敏感性比例绝对值小于 100%，参数敏感程度低；敏感性比例绝对值等于 100%，参数敏感程度中等；敏感性比例绝对值大于 100%，敏感程度高。敏感性比例计算模式如下：

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

式中：

SR—参数敏感性比例，无量纲；

$P_1$ —参数 P 变化前的数值，无量纲；

$P_2$ —参数 P 变化后的数值，无量纲；

$X_1$ —按  $P_1$  计算的致癌风险或危害商值，无量纲；

$X_2$ —按  $P_2$  计算的致癌风险或危害商值，无量纲。

## 6 修复目标与修复范围

### 6.1 修复目标值的确定

为对场地风险进行管理，项目组根据导则要求制定各关注污染物的修复目标值，并划定修复范围。关于修复目标值的确定，国家导则和技术指南的相关规定如下：

1、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）的规定，修复目标值确定的依据为：分析比较按照 HJ25.3 计算的土壤风险控制值和地块所在区域土壤中目标污染物的背景含量和国家有关标准中规定的限值，合理提出土壤目标污染物的修复目标值。

2、《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》的规定：初步修复目标值是根据场地可接受污染水平、场地背景值或本底值、经济技术条件和修复方式（修复和工程控制）、当地社会经济发展水平等因素综合确定的、场地土壤中的污染物修复后需要达到的限值。污染场地最终修复目标的确定，还应综合考虑修复后土壤的最终去向和使用方式、修复技术的选择、修复时间、修复成本以及法律法规、社会经济等因素。

根据导则要求和项目的实际情况，本项目土壤修复目标值的设置原则为：

- ①以按照 HJ25.3 计算的土壤风险控制值为主。
- ②参考现行的环境质量标准或风险筛选值。
- ③区域背景值、场地背景值或本底值。
- ④修复目标值应低于国家风险管制值。

基于以上原则，本地块未来作为第一类用地场景下土壤中相应污染物的修复目标值如表 6.1-1 所示。基于对人体健康的保护，此次地下水中超标的污染物选择《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中的 IV 类标准作为风险控制值，地下水中相应污染物的修复目标值如表 6.1-2 所示。

表6.1-1 土壤修复目标值 (单位: mg/kg)

序号	污染物名称	第一类用地筛选值	第一类用地管制值	风险控制值	修复目标值	出处
1	苯	1	10	1.50	1	GB36600-2018 第一类用地筛选值
2	苯并(a)芘	0.55	5.5	0.549	0.549	风险评估计算
3	苯并(b)荧蒽	5.5	55	5.49	5.49	风险评估计算
4	氰化物	22	44	20.7	20.7	风险评估计算
5	氯仿 (三氯甲烷)	0.3	5	0.289	0.289	风险评估计算

表6.1-2 地下水修复目标值 (单位: mg/L)

序号	污染物名称	风险控制值	(GB/T14848-2017) IV类标准值	修复目标值	出处
1	氯仿 (三氯甲烷)	0.384	0.3	0.3	GB/T14848-2017 IV 类
2	二氯甲烷	408	0.5	0.5	GB/T14848-2017 IV 类

## 6.3 修复范围

### 6.3.1 修复范围确定原则

污染场地修复是指通过物理、化学、生物的方法，消除或降低场地污染物对环境及人体带来的风险至可接受的风险水平范围内的过程。依据国家政策和导则，结合场地实际情况，确定修复范围划定原则：

(1) 场地修复的目标是保障人体健康，使得场地环境中污染物的风险水平降低到可接受水平。因此对于污染土壤，污染物浓度大于或等于修复目标值的污染土壤需要进行修复。

(2) 根据场地内污染空间分布情况，划分不同的污染区，结合污染物的特性、水文地质情况、地下水流场等信息，估算修复范围及修复土方量。

(3) 本地块土壤污染区域采样点分布密集，因此不采用污染物的浓度空间插值的方法确定预测污染物的空间分布情况，直接以污染物点位周边非超标点位作为修复边界。

### 6.3.2 土壤修复范围

本场地超出土壤修复目标值的污染物主要为氯仿、苯、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽和氰化物。根据调查结果，S09 超标深度为 0.5m，1.0m 土壤未超标，保守估算该区域污染土层厚度为 1m，初步估算该区域污染土壤面积约 1266m<sup>2</sup>，污染土方量 1266m<sup>3</sup>；S22 点位超标深度为 1.0~5.0m，6.0m 土壤未超标，保守估算该区域污染土层厚度为 5.5m，初步估算该区域污染土壤面积约 1266m<sup>2</sup>，污染土方量 7596m<sup>3</sup>；S11 点位超标深度为 4.0~6.0m，7.0m 土壤未超标，保守估算该区域污染土层厚度为 6m，初步估算该区域污染土壤面积 1053m<sup>2</sup>，污染土方量 6318m<sup>3</sup>。

### 6.3.3 地下水修复范围

根据地下水污染物检测数据，利用 surfer 12 对地下水中修复目标污染物修复范围进行模拟。采用克里金插值法绘制等值线图确定地下水污染面积，对修复范围进行了绘制（为方便后期修复工程实施，对叠加的污染范围曲线进行了取直处理，形成的不规则多边形包含模拟出的修复范围），并对修复范围拐点坐标进行了提取。

依据风险评估的地下水修复目标及地下水污染物超标情况，地下水中氯仿和二氯甲烷为修复目标污染物，地下水修复面积为 3948m<sup>2</sup>，地下水修复深度为 12.5m（达潜水底板），地下水修复范围图见图 6.3-3。

## 6.4 修复技术建议

根据我国 2019 年颁布的《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）、《污染场地修复技术目录（第一批）》及其它相关文件要求，本项目在充分考虑江苏永大药业有限公司地块的水文地质条件、场地污染特征、当地经济技术条件的基础上，结合本项目场地未来规划和施工进度等要求，比较分析了多种可行的修复技术，最终提出了本场地的土与地下水修复方案建议。

### 6.4.1 修复技术原则

污染场地修复技术路线的确定，需要综合考虑场地实际状况、业主要求、开发利用规划、修复成本以及修复技术成熟度等因素，并需要对不同性质的土壤进行修复实验，确定修复工艺和参数，以达到安全、彻底和高效地修复污染场地的目标。

在修复技术的筛选方面必须遵循以下原则。

#### （1）修复技术成熟性原则

目前，国内外有多种污染场地修复技术，有些技术已经成熟，有些还在研究试验阶段。为了保证该场地修复顺利完成，方案设计宜采用成熟可靠的修复技术，避免采用处于研究初期或中试阶段的技术。

#### （2）修复时间合理性原则

在保证修复效果达标的前提下，为降低修复过程中的潜在环境风险，早日进行后续开发利用，需尽快完成该地块土壤修复，选择修复时间短的修复技术。

#### （3）修复费用经济性原则

制定方案将结合场地中的污染物特性，尽可能选择经济可行的修复技术，既满足修复要求，又尽量削减修复费用。

#### （4）修复过程环保性原则

原江苏永大药业有限公司地块位于盐城市亭湖区海纯东路 3 号，周围居民区比较多。因此修复工程实施过程中要严格控制污染物对周围环境的影响，做

好工程实施过程中的各项环境保护措施，如防气味，防尘，防噪声，防二次污染，防臭味等，将对周围居民的影响降到最低。各种污染物排放必须符合国家相关标准。

(5) 修复效果达标性原则

场地中各目标污染物的修复结果要达到预期目标，场地修复的最终目标必须满足今后的土地规划和开发标准，确保环境安全及居民健康。

#### 6.4.2 修复技术初筛

技术筛选矩阵见表 6.4-1。

表 6.4-1 污染土壤/地下水修复技术筛选矩阵

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用的适应性	应用的局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
土壤修复技术								
1	固化/稳定化	通过向土壤中添加混凝土等黏结剂固定土壤中的污染物，防止其在环境中的进一步迁移、扩散。	技术成熟/国内有应用	需要时间较短。	中等	对于重金属等无机污染物污染的土壤比较合适；不适用于挥发性有机物污染土壤的修复。	(1)不适用于挥发性有机污染物的处理。 (2)缺乏相应验收标准。 (3)处理后的土壤通常丧失其生态作用，需考虑接纳场所	不建议采用
2	热脱附	加热土壤中有机污染物（或汞）到较高温度，使其挥发，与土壤相分离，再对挥发出的气态污染物进行处理。	技术成熟/国内有应用	和处理量相关，相对较快	较高	适用与多种挥发性、半挥发性有机物如卤代烃类、苯系物、农药等，经改造后也可处理汞污染土壤。	(1)土壤含水率会影响处理成本及效果 (2)需要专门处理设备	建议采用
3	水泥窑协同处置	挖掘土壤、运输土壤到水泥厂，和水泥生料一起进入回转窑，控制污染土壤的配比。	较成熟，有已经改造的水泥窑生产线	受水泥产量限制，土壤添加配比较低。	中等	适用于重金属和半挥发性、难挥发性有机物	(1)土壤含水量高，会增加成本； (2)部分场地内有大量氯苯化合物，焚烧会产生二噁英 (3)对挥发性有机物污染土壤，在挖掘、长距离运输、储存过程中容易造成二次污染	具备条件下建议采用
4	气相抽提	通过布置在污染土壤内的专用管道，向土壤	技术成	中等	较低	适用于透气性好的	影响处置成本的主要因素	不建

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用的适应性	应用的局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
		内引入气流，促使挥发性或半挥发性有机物进入空气流，进而使污染物脱离土壤，然后在地面进行尾气收集并处理。	熟/国内有应用			土壤中挥发性有机物包括苯系物、卤代烃类等的处理	是土壤性质和污染物挥发性。	议采用
5	常温解吸	将污染土壤经过初步预处理后，常温下通过专业工程设备（包括混合和筛分等）将污染土壤与修复药剂（以生石灰为主）混合，并通过车间附属通风及尾气收集和处理系统将解吸的挥发性气体去除。	技术成熟/国内有应用	较快	较低	适用于透气性好的土壤中各种挥发性有机物包括苯系物、卤代烃类等的处理	影响处置成本的主要因素是土壤性质和污染物挥发性。	不建议采用
6	土壤淋洗	利用淋洗液去除土壤污染物的过程，通过水力学方式机械地悬浮或搅动土壤颗粒，使污染物与土壤颗粒分离。土壤清洗干净后，再处理含有污染物的废水或废液。	技术成熟/国内有应用	较快	中等	适用于处理水溶性污染物、可促溶的有机物。	不适用于粘粒含量过高的土壤；需配备淋洗液处理回用设施。	不建议采用
7	化学氧化	通过向土壤中注入化学氧化剂与污染物产生氧化反应，使污染物降解或转化为低毒产物的修复技术。化学氧化可以以原位注入、原位搅拌、异位混合等多种方式进行。	技术成熟/国内有应用	根据土壤及污染物具体情况	中等	对于高浓度苯系物、卤代烃等有机污染物比较有效和经济。	(1)氧化剂的氧化能力强，但是使用不当会带来安全隐患； (2)渗透率低的土壤如粘土，会降低修复效果	建议采用
8	化学还原	利用零价铁等物质创造出强还原性条件，促进氯代有机物的还原脱氯降解。	技术成熟/国内有应用	需要时间较长	中等	适用于卤代烃类、氯代芳烃和氯代杀虫剂等有机物以及部分重金属离子。	可处理的污染物具有局限性	不建议采用
9	生物修复	通过向土壤中添加营养物或接种微生物菌种等，利用微生物降解土壤中的有机污染物。	较成熟/国内有应用	时间长	低	适用于易降解的有机物如BTEX等有机污染	处理时间长，部分顽固污染物不容易被降解。	不建议采用
10	焚烧	利用高温、热氧化作用通过燃烧来处理污染物。焚烧可以有效破坏废物的有害成分，达	技术成熟	需要时间较短	高	适用于处置有机物污染土壤	不能去除重金属。对废气排放需要进行控制	不建

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用的适应性	应用的局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
		到减容减量的效果，焚烧产生的气体是二氧化碳、水蒸汽和灰分。						议
11	填埋	将污染土壤挖掘运输到填埋场填埋	技术成熟	需要时间取决于挖掘和填埋速度，一般较快	中等	技术简单	(1)需大面积填埋场； (2)污染物未被处理，只是转移位置，存在二次污染风险； (3)挥发性污染物难以密闭填埋；	有条件采用

## 地下水处理技术

1	地下水多相抽提处理	将受污染地下水抽提至地面进行处理	技术成熟/国内有应用	取决于抽提与处理速度，通常较快	中等	取决于含水层渗透性与污染物特性	不宜用于渗透性差或地下水变动较大的场地	推荐采用
2	地下水化学氧化	直接将氧化剂注入到受污染的含水层，氧化分解污染物	技术成熟/国内有应用	取决于含水层渗透性和污染物成分	中等	适用于多种有机污染物，可用于污染源区修复	对氧化剂配方须进行可行性试验验证，以确保氧化可以达到效果。有机质含量高的含水层易消耗氧化剂。	酌情考虑采用
3	地下水生物修复	以原位入注的方式向地下环境注入碳源、营养物质、电子供体等物质，促进土著微生物对污染物的降解	技术较成熟/国内应用少	反应相对较慢	低	污染物易被生物降解，且存在可降解污染物的土著微生物	生物反应时间通常较长，系统环境条件的控制较复杂。	不建议采用
4	抽提处	将受污染地下水抽提至地面，在满足纳管要	技术成	通常较	中等	可能需要进行预处理	需有接纳条件。	推荐

序号	技术名称	技术简介	应用参考因素			应用的适应性	应用的局限性	结论
			成熟性	时间条件	资金水平			
	理-纳管排放	求的情况下，排入污水管道，进入污水处理厂进行处理。	熟/国内常用	快		理以满足纳管要求		采用
5	渗透式反应屏障	在地下水流经截面上构筑含有活性反应填料的反应屏障。地下水流过屏障时，污染物与填料发生反应，从地下水中被去除。	技术较成熟/国内应用少	相对较慢	中等	属于被动式修复技术，构筑后运行较为简单	主要用于处理氯代有机污染物与重金属	不推荐采用

### 6.4.3 土壤及地下水修复技术初步确定

根据上述修复技术比选，综合考虑本项目污染地块的水文地质条件、污染程度、修复技术的科学性等因素，推荐以下修复技术作为主要技术。

(1) 地块土壤修复目标污染物为苯、氯仿、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、氰化物，可以采用原地异位化学氧化/还原技术或者异位热脱附技术或水泥窑协同处置技术。鉴于本地块周边敏感目标较多、受地块开发时间要求、污染土壤修复工程量及盐城及考虑周边地区污染土壤终端技术能力和产能优势，建议采用水泥窑协同处置技术处理，能够短时间将场地内污染物移除，不影响近期开发。

(2) 地块潜水含水层土壤从上往下依次为素填土、黏质粉土、淤泥质粉质黏土、黏质粉土、砂质粉土，含水层除淤泥质粉质黏土外渗透性均较好。地块地下水修复目标污染物为氯仿和二氯甲烷，地块地下水修复目标污染物为氯仿和二氯甲烷，地下水修复的污染物范围集中在地块西侧，且地块与城东污水处理厂距离约500m具备接管条件，因此地下水修复可采用抽提处理-纳管排放技术。在污染范围内分阶段布设井群抽提系统，采用多相真空抽提系统，抽取地下污染区域的挥发性污染气体、地下水到地面进行多相分离和处理，分离出的气体排入气体处置装置，分离出的地下水送至异位水处理区进行修复达标后纳管排放。考虑地块污染地下水对周边环境的影响，建议在地下水修复前对地块东侧边界和地下水径流下游南侧边界增加阻隔措施。

## 7 结论和建议

### 7.1 风险评估结论

根据永大药业地块的用地规划，后期该地块规划为居住用地，属于第一类用地，周边敏感受体为成人。根据土壤污染状况调查结果，土壤关注污染物为苯、氯仿、苯并（a）芘、苯并（b）荧蒽、氰化物，超标点位为 S11、S22 和 S09。

根据风险评估地块土壤关注污染物苯、氯仿、苯并(a)芘和苯并（b）荧蒽致癌风险分别为  $1.86E-05$ 、 $2.32E-04$ 、 $1.38E-05$ 、 $1.91E-06$ ，均大于  $1.00E-06$ ，致癌风险不可接受；氰化物、苯、苯并(a)芘和氯仿非致癌风险分别为 1.48、1.01、1.25、1.35，均大于 1，非致癌风险不可接受。本地块土壤修复污染物修复目标值为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第一类用地风险筛选值。根据估算，本地块需修复的污染土壤面积约  $2319m^2$ ，污染土壤方量约  $13914m^3$ 。

地下水中关注污染物氯仿致癌风险为  $4.86E-04$ ，大于  $1.00E-06$ ，致癌风险不可接受；氯仿非致癌风险为 2.82，大于 1 非致癌风险不可接受；考虑到地下水中二氯甲烷超标严重，超标位置与氯仿相同，且二氯甲烷和氯仿污染物性质相近，因此将地下水中二氯甲烷列为修复污染因子。根据估算，本地块地下水修复面积为  $3948m^2$ 。本地块将《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类标准值作为目标场地污染物的地下水修复目标。

### 7.2 地块修复管理建议

#### 7.2.1 修复阶段建议

（1）在土壤污染状况调查工作完成后至本地块修复工程开始前，地块责任单位应对本地块进行必要的管理和保护，不允许开展其他与修复工程无关的工作，避免修复区域受到扰动而影响下一步环境修复工作。建议具体保护措施为：对修复区域进行围蔽，在修复区域边界悬挂明显标志，在地块修复实施方案通过相关主管部门备案之前，禁止任何单位和人员开挖、取土等扰动修复区域的行为，确保下一步修复工作的顺利开展。建议修复方案实施与开发建筑工程有机结合，包括开发顺序和基坑深度、土方平衡等，最大程度的降低工程投

资成本，对整体工程包括污染土壤修复工程和后期开发建设工程进行最优化组合。

(2) 本地块地下水不涉及饮用，但地下水非毒性指标中有溶解性总固体、总硬度、氨氮、耗氧量、氯化物超过IV类水标准，其中地下水氨氮的超标可能带来一定异味。因此，在修复过程中应注重基坑渗水的处置，具体措施如下：

①基坑开挖前进行有效降水；

②基坑开挖、降水过程中收集基坑废水，在施工现场铺设临时排水管线，设置临时排水管线时做好防渗措施，施工人员对排水管线全程管控。基坑降水排处理达标后排放；

③注重特殊天气的防范措施。大雨天气不宜进行施工和运输工作，准备好防雨材料，配备水泵及时抽出基坑内积水；风力较大时不进行工程施工，并用防水布覆盖已经开挖的土壤表面，减少扬尘和雨水冲刷，避免二次污染；

④注重施工人员的防护，若出现基坑地下水异味暴露，应立即抽出处置。

(3) 考虑到紧邻东侧空地和文海雅苑（安置房）一期工程后期开发过程中涉及地下工程基坑开挖和降水，地块内未修复地下水向东径流补给可能对施工人员和未来居民造成健康风险，同时地块紧邻地表水，为了防止场地内外的交叉污染，对地块东侧边界和地下水径流下游南侧边界设置地下水垂直阻隔墙（深度13m，总长度约455m），防治污染的横向迁移。

(4) 若施工过程中发现调查阶段未发现的污染，应立即开展必要的补充调查，经评估需要实施修复的，一并予以修复。

(5) 地块修复中要配备安全环保措施

在进行地块修复施工前，要进行具有针对性的安全环保培训，特别是防治化学品和污染土壤毒害的培训，确保施工安全进行。土壤开挖涉及深基坑，应对深基坑进行专项论证，施工之前要制定包括运输在内的安全环保方案，为施工提供指导并要求施工人员遵照执行。土方清挖、污染土壤运输过程中产生的异味，需要采取妥善的防护措施，消除废气及异味对周边居民可能产生的环境影响。对于施工过程中发现异常时（比如现场PID读数高、现场异味较大、雨水有颜色等）进行应急专项监测。

(6) 修复施工单位若需要转运污染土壤应当制定转运计划，将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等，提前报所在地和接收地

生态环境主管部门

### 7.2.2 开发建设阶段建议

(1) 地块未来开发建设过程中，管理方应对地块进行严格管理，防止外来污染物进入地块对本地块土壤造成污染。

(2) 在后期开发过程中，产生基坑废水时需及时处置，禁止以任何形式、方式开发利用地块内的浅层地下水。