

常熟三爱富氟化工有限责任公司 HCFC-141b 生产线
关闭项目场地土壤污染风险评估报告

业主单位：常熟三爱富氟化工有限责任公司

编制单位：北京义德科技有限公司

2026 年 8 月

项目信息

项目名称：常熟三爱富氟化工有限责任公司 HCFC-141b 生产线关闭项目场地土壤污染风险评估报告

业主单位：常熟三爱富氟化工有限责任公司

编制单位：北京义德科技有限公司

编制及修订记录

报告编制		
具体情况	参与人	日期
报告编制	孙雨虹	2025 年 12 月
报告审核	田园	2026 年 8 月
报告审定	卢山	2026 年 8 月

报告修订					
修订版本	具体情况	日期	修订内容	修订人	审核人
0	形成初稿	2025 年 12 月	初稿	孙雨虹	田园
1	第一稿	2026 年 6 月	正文、图件	孙雨虹	田园
2	第二稿	2026 年 7 月	正文、图件	孙雨虹	田园
3	形成最终稿	2026 年 8 月	正文、图件	孙雨虹	田园

摘要

常熟三爱富氟化工有限责任公司始建于 1975 年，原名常熟制冷剂厂，企业老厂坐落于常熟市海虞镇福山（南），在 2004 年至 2008 年之间逐步迁入江苏省高科技氟化学工业园内。新厂区占地面积 151835.9m²，目前已建成年产 3000 吨三氟氯乙烯（CTFE）生产装置、年产 30000 吨无水氟化氢（AHF）生产装置、年产 30000 吨二氟一氯乙烷（F141b）生产装置、年产 24000 吨 1，1，1-三氯三氟乙烷（F113a）生产装置（一期 6000 吨，二期 18000 吨，以及配套 F113 生产装置）、年产 6000 吨六氟丙烯（HFP）生产装置和年产 6000 吨偏氟乙烯（简称：VDF）生产装置。本次关闭项目场地为年产 30000 吨二氟一氯乙烷（F141b）生产装置。

我单位于 2025 年 6 月 5 日、2025 年 10 月 11 日分别对设备拆除前、后的场地开展了土壤及地下水开展调查采样工作，两次调查采样工作的相关内容汇总如下：

1、设备拆除前共采集了 3 个钻孔的 26 个土壤样品（含 3 个平行样），采样深度最深至 13.5m；共采集了 3 口监测井（与土壤采样点位置重合）的 4 个地下水样品（含 1 个平行样）。设备拆除后共采集了 7 个点位的 8 个表层土壤样品（含 1 个平行样）；采集了 5 口监测井的 6 个地下水样品（含 1 个平行样）。

2、两次调查的土壤检测指标均为《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）中的 45 项基本检测项目及 pH、氟化物、氯化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、1，1-二氯-1-氟乙烷（简称：HCFC-141b）、一氯二氟乙烷（简称：HCFC-142b）、三氯乙烷、钛；地下水检测指标均为《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）的 37 项常规项（排除放射性指标）及石油类、1，1-二氯-1-氟乙烷（简称：HCFC-141b）、一氯二氟乙烷（简称：HCFC-142b）、偏氯乙烯（1，1-二氯乙烯）、氯乙烯、三氯乙烷、钛。

3、检测结果：土壤样品共检出 14 项污染物，除特征污染物氯乙烯（S1-2-1.6~1.8m）外，其他检出污染物的检出浓度均符合《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）中第二类用地风险筛选值；地下水样品共检出 26 项污染物，除亚硝酸盐、耗氧量、氨氮、菌落总数、

色度、浊度等常规因子外，其他检出污染物检出浓度均符合《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中IV类用水标准限值。

4、场地内土壤存在特征污染物氯乙烯超标污染，需要开展对关注污染物氯乙烯的人体健康风险评估工作。

为体现评估保守性，本次风险评估，选取场地土壤中氯乙烯最高检出浓度 888 $\mu\text{g/kg}$ 代表场地污染最大暴露水平，分别概化该污染点作为上层（表层）土壤污染、下层土壤污染两种情景开展定向风险评估。识别 5 类暴露途径，包括经口摄入、皮肤接触、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，分情景代入场地实测水文地质参数、第二类工业用地成人暴露参数及污染物毒理理化参数，核算单途径日均暴露量、分层致癌风险与非致癌危害指数，最终叠加得到场地综合健康风险。

为验证风险计算结果可靠性，开展模型暴露参数单因素敏感性分析，将各暴露参数上下浮动 5%重新计算风险值，通过敏感性比例 SR 判定参数敏感等级。分析结果表明，敏感参数的敏感程度均为不敏感。

由此，土壤中氯乙烯人体健康风险整体可接受。

目录

摘要	I
1. 项目背景	1
2. 概述	3
2.1. 编制目的	3
2.2. 风险评估范围	3
2.3. 编制依据	3
2.4. 前期工作总结	5
2.5. 风险评估程序	5
3. 区域及场地概况	8
3.1. 区域概况	8
3.2. 场地概况	13
4. 土壤污染状况调查回顾	34
4.1. 第一阶段土壤污染状况调查回顾	34
4.2. 第二阶段土壤污染状况调查回顾	61
4.3. 土壤污染状况调查结论	67
5. 人体健康风险评估	68
5.1. 前期调查数据论证	68
5.2. 危害识别	69
5.3. 暴露评估	71
5.4. 毒性评估	78
5.5. 风险表征	81
6. 结论与建议	93
6.1. 结论	93
6.2. 建议	93

1. 项目背景

《蒙特利尔议定书》第 69 次执委会 69/28 号决议批准了中国第一阶段 HCFCs 生产行业淘汰管理计划（HPPMP），在 2013 年实现 HCFCs 生产量冻结在 2009 年至 2010 年的平均生产量，并在 2015 年实现 HCFCs 生产量在基线产量的基础上削减 10% 的淘汰目标。在多边基金执委会与中国达成的 HCFCs 生产行业的决定中，要求中国优化实施战略，优先考虑关闭 HCFCs 生产线的实施方式，并承诺到 2030 年拆除或报废约 55 万吨的 HCFCs 生产能力。同时，多边基金对生产行业的政策指南中要求关厂项目应考虑对场地清理的环境管理要求。

世界银行作为该项目的国际执行机构，根据多边基金执委会的政策对项目实施进行监督和指导。世界银行总体上要求中国在项目实施过程中要遵守世界银行的环境安全政策，特别是对关厂项目有较为严格的环境管理要求，在项目实施过程中明确要求需提交环境管理计划书（EMP）。同时，生态环境部对外合作与交流中心负责上述行业计划在中国的具体实施工作，以便为行业计划的顺利实施提供技术支持。

常熟三爱富氟化工有限责任公司 2004 至 2008 年间从常熟市海虞镇福山（南）搬迁至江苏省高科技氟化学工业园内，是国家重点高新技术企业和国家火炬计划常熟高分子新材料产业基地骨干企业。2024 年 10 月，为积极履行 ODS 物质管控义务，综合生产成本考虑，公司关闭了 HCFC-141b 生产装置。

根据环境管理计划（EMP）中的相关要求，常熟三爱富氟化工有限责任公司在 HCFC-141b 生产装置关闭项目结束后，业主应聘请有经验的环境咨询机构进行场地环境调查，并向生态环境部对外合作中心及世界银行提交场地环境调查报告，根据后者的意见对报告进行修改。

2025 年 6 月 5 日和 2025 年 10 月 11 日，在 HCFC-141b 生产线关闭项目拆除前与拆除后，常熟三爱富氟化工有限责任公司聘请了北京义德科技有限公司技术人员进行了生产装置拆除前后的环境调查，监测场地的土壤、地下水环境质量，并编制《常熟三爱富氟化工有限责任公司 HCFC-141b 生产线关闭项目场地环境调查报告》。

调查结果显示：土壤样品 S1-2（1.6~1.8m）中氯乙烯超出了《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）中第二类用地的筛选值，未超管制值，超标倍数约 2.06 倍。

根据《中华人民共和国土壤污染防治法》第六十条，对土壤污染状况调查报告表明污染物含量超过土壤污染风险管控标准的建设用地场地，土地污染责任人、土地使用权人应当按照国务院生态环境主管部门的规定进行土壤污染风险评估。

2025 年 10 月，常熟三爱富氟化工有限责任公司委托北京义德科技有限公司对本场地开展土壤污染风险评估工作，本单位按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）等一系列相关技术规范中规定的工作流程，基于环境调查报告，对本场地开展土壤污染风险评估工作。

2. 概述

2.1. 编制目的

在环境调查的基础上，分析场地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。

2.2. 风险评估范围

本次评估范围为常熟三爱富氟化工有限责任公司 HCFC-141b 生产装置。评估范围见图 2.2-1。

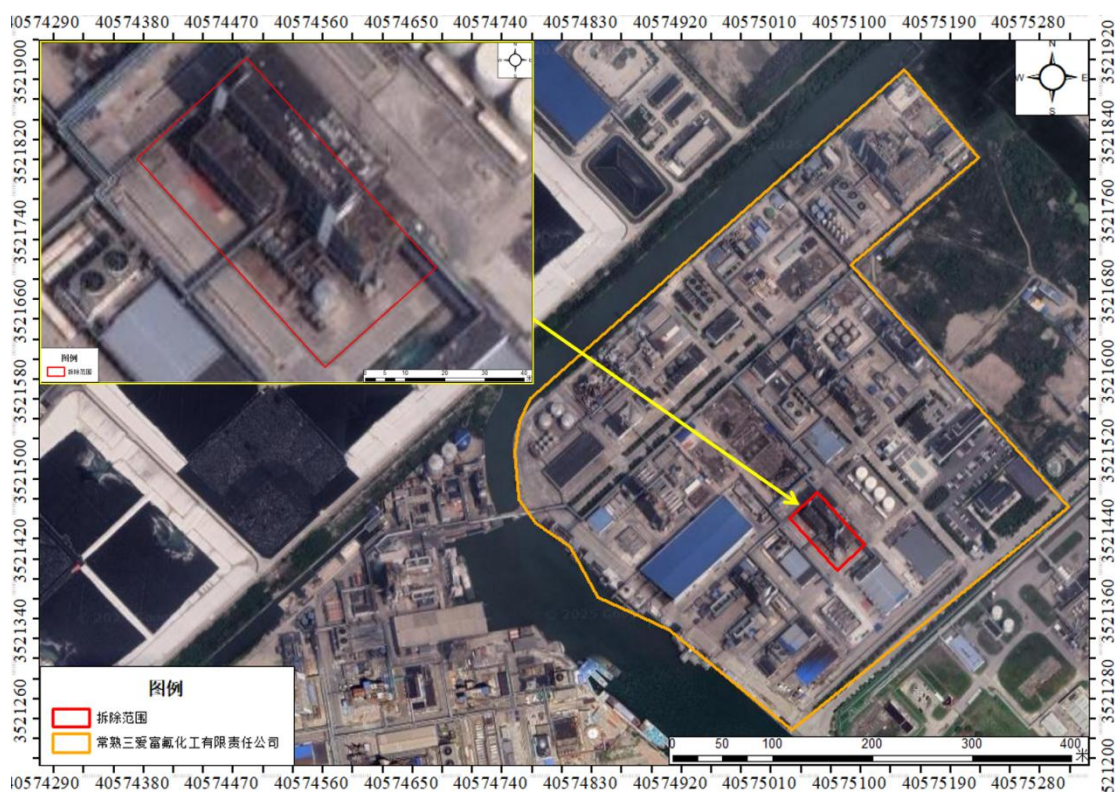


图 2.2-1 常熟三爱富氟化工有限责任公司风险评估范围图

2.3. 编制依据

2.3.1. 相关法律、法规、政策

1. 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日实施）；
2. 《土壤污染防治行动计划》（国发[2016]31 号）；
3. 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年 1 月 1 日施行）；

4. 《工矿用地土壤环境管理办法（试行）》（生态环境部令第3号，2018年8月1日起施行）；
5. 《污染场地土壤环境管理办法》（环保部令第42号，2017年7月1日起施行）；
6. 《江苏省土壤污染防治条例》（2022年9月1日实施）；
7. 《苏州市2024年土壤和地下水污染防治工作计划》（苏污防攻坚办〔2024〕43号）。

2.3.2. 相关标准

1. 《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）；
2. 《建设用地土壤污染风险筛选值》（DB32/T 4712-2024）；
3. 《地下水环境监测技术规范》（HJ 164-2020）；
4. 《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）。

2.3.3. 相关技术导则、规范

1. 《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》（HJ 682-2019）；
2. 《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）；
3. 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019）；
4. 《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）；
5. 《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2019）；
6. 《建设用地土壤污染风险管控技术规范》（DB32/T 4441-2023）；
7. 《建设用地地下水污染修复和风险管控技术导则》（DB32/T 4611-2023）。

2.3.4. 其他文件

1. 《苏州市土壤污染重点监管单位名录》（2024年）；
2. 《常熟市土壤污染重点监管单位名单》（2024年）；
3. 《常熟三爱富氟化工有限责任公司 HCFC-141b 生产线关闭项目场地环境调查报告》（2026年6月）；
4. 《常熟三爱富氟化工有限责任公司 HCFC-141b 生产线关闭项目环境管理计划》（2025年5月）。

2.4. 前期工作总结

2025 年 6 月，常熟三爱富氟化工有限责任公司委托北京义德科技有限公司进行该场地的土壤及地下水污染环境调查工作，并编制了《常熟三爱富氟化工有限责任公司 HCFC-141b 生产线关闭项目场地环境调查报告》。

第一次现场调查采样工作于 2025 年 6 月 5 日开展，共采集了 3 个钻孔的 26 个土壤样品（含 3 个平行样），最大采样深度 13.5m；采集了 3 口地下水监测井的 4 个地下水样品（含 1 个平行样），地下水监测井和土壤采样点位置重合。

根据土壤样品检测结果显示，位于生产线上游的土壤样品 S1-2（1.6~1.8m）中，氯乙烯检出值（888 $\mu\text{g/kg}$ ）超出了《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）中第二类用地的筛选值，但未超管制值，超标倍数约为 2.06 倍；根据地下水样品检测结果显示，常规因子亚硝酸盐（W1）、浊度（W1~W3）、耗氧量（W1）、氨氮（W1）、菌落总数（W1~W3）的检出浓度超出《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中IV类用水标准限值。

2.5. 风险评估程序

污染场地风险评估按照《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，场地风险评估应按照危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征以及土壤和地下水风险控制值计算几个方面开展。风险评估工作流程与技术路线见图 2.5-1。

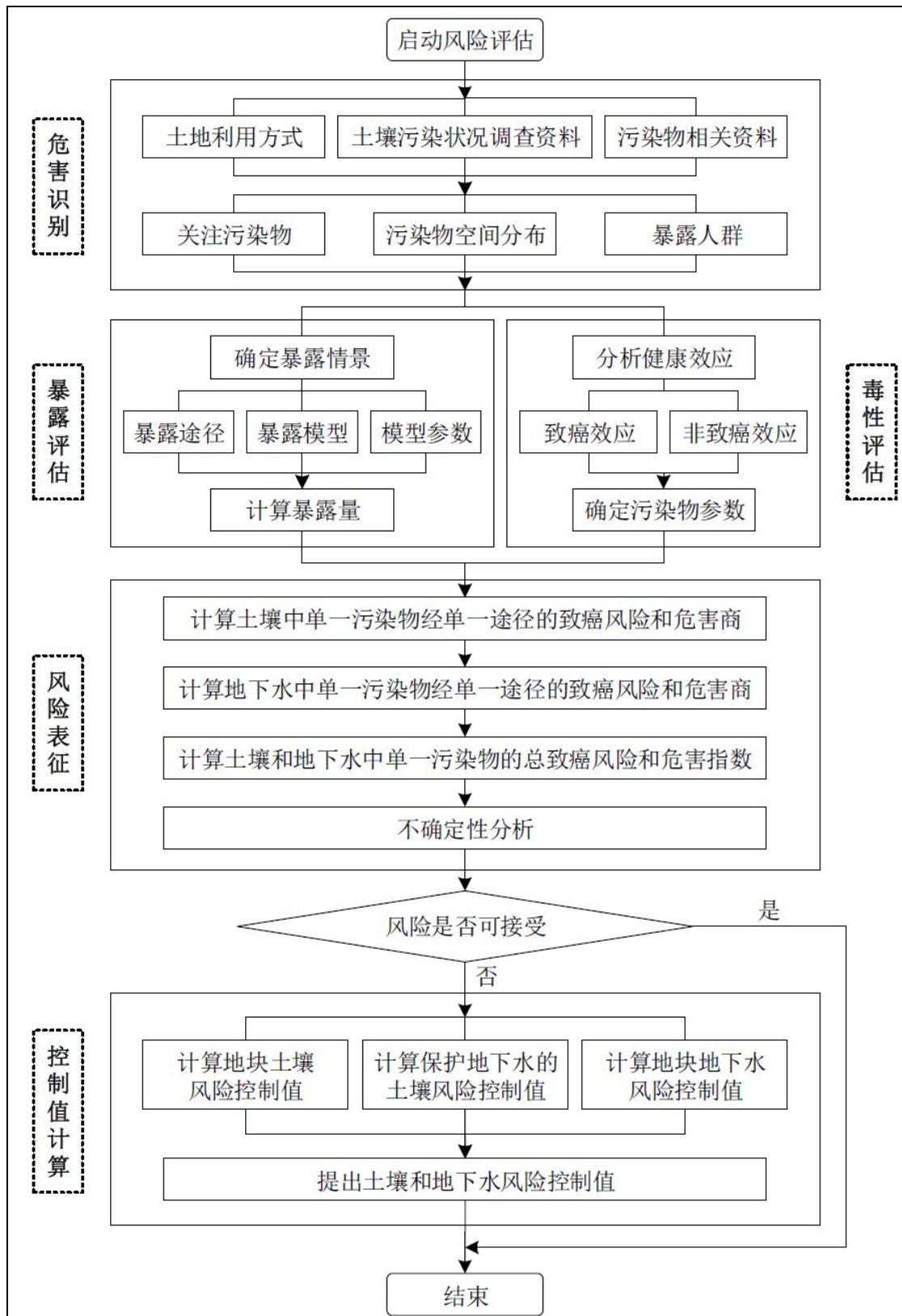


图 2.5-1 风险评估工作流程与技术路线图

2.5.1. 危害识别

根据土壤污染状况调查阶段获取的相关资料和数据，掌握场地土壤和地下水中关注污染物的浓度分布，明确规划土地利用方式，分析可能的敏感受体，如儿童、成人、地下水体等。根据土壤污染状况调查和监测结果，将对人群等敏感受体具有潜在风险需要进行风险评估的污染物，确定为关注污染物。

2.5.2. 暴露评估

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。

2.5.3. 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。

2.5.4. 风险表征

在暴露评估和毒性评估的基础上，采用风险评估模型计算土壤和地下水中单一污染物经单一途径的致癌风险和危害商，计算单一污染物的总致癌风险和危害指数，进行不确定性分析。

2.5.5. 土壤和地下水风险控制值计算

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。

3. 区域及场地概况

3.1. 区域概况

常熟三爱富氟化工有限责任公司位于常熟新材料产业园（江苏高科技氟化学工业园）昌虞路 2 号。

江苏高科技氟化学工业园成立于 1999 年 10 月，于 2001 年 7 月获江苏省人民政府正式批准。园区位于江苏省常熟市海虞镇，濒临长江，距常熟市区 16km，苏州市 58km，上海市 100km，国家一类口岸--常熟港 18km。工业园重点发展新材料、氟化学、精细化学、生物医药等产业。目前已近三十个项目进驻园区，包括世界五百强企业美国杜邦、法国阿科玛、日本大金、比利时苏威以及上海三爱富等国内外知名公司，投资总额超过 50 亿元人民币，注册外资 3.64 亿美元，成为国内重要的氟化工生产、研发基地。同时，园区利用氟化物产品特点着力发展循环经济，努力促进上下游产品配套一体化，形成了主产品物流循环链，能源、硫酸钙、副产盐酸综合利用链等 6 条循环经济链。

3.1.1. 地理位置

常熟三爱富氟化工有限责任公司位于江苏省苏州市常熟市海虞镇常熟新材料产业园（江苏高科技氟化学工业园）。

常熟市地处东经 $120^{\circ} 33' \sim 121^{\circ} 03'$ ，北纬 $31^{\circ} 33' \sim 31^{\circ} 50'$ 。东邻太仓，距上海 100km；南接昆山、苏州市区；西接无锡市区、江阴；东北濒长江黄金水道，与南通隔江相望；西北境与张家港接壤。全境东西间最长距离 49km，南北间最长距离 37km。总面积 1264km²。

海虞镇位于常熟市北部，地处北纬 $31^{\circ} 49'$ ，东经 $120^{\circ} 48'$ ，系长江三角洲冲积平原，东有望虞河，西有福山塘直贯南北，北濒长江，西邻张家港市，东与梅李镇接壤，南隔梅塘与古里镇交界，西南与虞山镇谢桥相连，东南和虞山镇毗邻，区域面积 109.97km²。

F141b 生产线拆除项目位于常熟三爱富氟化工有限责任公司内，中心地理坐标为北纬 $31^{\circ}48'47.94045''$ 、东经 $120^{\circ}47'33.97177''$ 。企业地理位置见图 3.1-1。

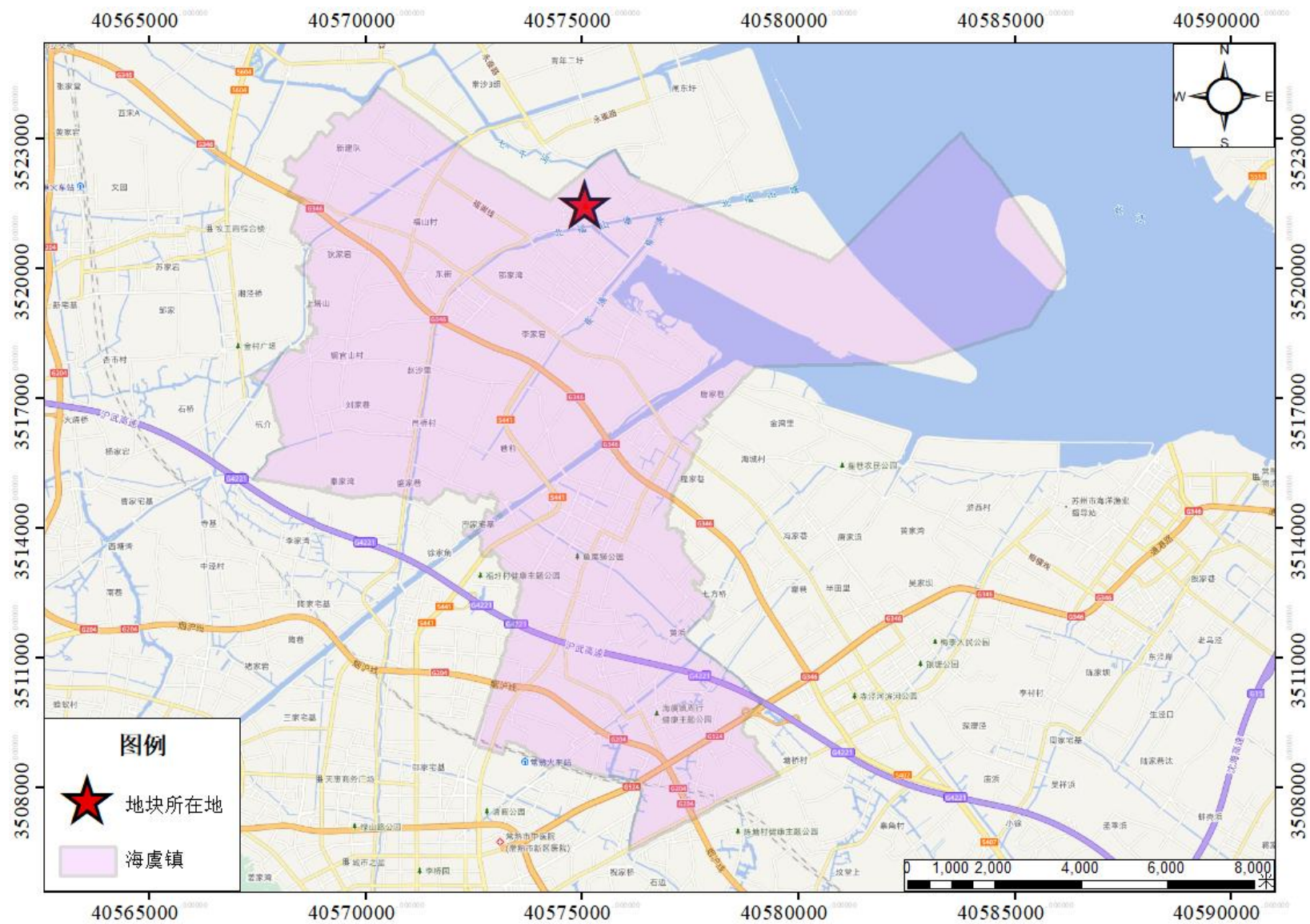


图 3.1-1 常熟三爱富氟化工有限责任公司地理位置图

3.1.2. 地形地貌

常熟市属于长江三角洲冲积平原，地势由西向东倾斜。以纵横贯穿全市的望虞河、盐铁塘为分界，分为锡澄虞高亢平原、虞南阳澄湖低洼圩田和虞东沿江三角洲地区。望虞河以西属锡澄虞高亢平原，地势高亢，稍有起伏，称虞西平原。望虞河以东，盐铁塘以北属虞东沿江三角洲地区，地势偏高，称滨江平原。望虞河以东，盐铁塘以南属南阳澄湖低洼圩田区，地势低洼，河湖密布，称阳澄圩区。另有顾山、福山诸丘和虞山分布在境域西北和城西，其中虞山为长江三角洲前缘平原上延伸最长、海拔最高的山体，最高峰望海墩海拔 263m，东端蜿蜒入城，并以秀美见长，称著江南。

3.1.3. 水文及水文地质

3.1.3.1. 水文

长江常熟段距离长江入海口约 100km，其水文特性受径流和潮汐的双重影响，属于长江河口感潮河段，该段江面开阔，宽约 5.5km，根据统计资料，长江 1950~1986 年 37 年多年平均流量为 $28900\text{m}^3/\text{s}$ ，多年平均洪峰流量为 $56.900\text{m}^3/\text{s}$ ，多年洪水季平均流量为 $45.700\text{m}^3/\text{s}$ ，多年枯水季平均流量为 $12.400\text{m}^3/\text{s}$ ，历年最大洪峰流量为 $92.600\text{m}^3/\text{s}$ ，历年最小枯水流量为 $4.620\text{m}^3/\text{s}$ 。年际流量变化相对比较稳定，年内流量变化较大，每年 12 月至次年 2 月为枯水期，6 月至 8 月为丰水期，其余月份为平水期。

长江常熟段潮汐为不规则半日潮，历年平均高潮位 1.86m（黄海基面下同），低潮位 -0.11m，最大潮差涨潮 3.76m、落潮 4.01m，该河段的潮流以落潮起主导作用，涨落潮表面平均流速分别为 0.55m/s 和 0.98m/s；潮流流速在平面上的分布是非均匀且比较复杂的，并随时间而变化，涨潮时间短（1 小时以内）、落潮时间长（一般 5~6 小时），涨憩后约 3 小时即接近落潮，再持续约 5 小时才减速转流；同时，该河段处于流路分汊和径流、潮流的共同动力作用，流向也比较复杂，但基本为东西向，因受地球自转偏向力的作用，潮流涨潮偏南、落潮偏北。此外，本河段含泥沙量较大，水体浑浊呈浅黄色，根据有关资料，多年平均含泥沙量为 $0.53\text{kg}/\text{m}^3$ ，最大和最小含沙量为 $3.24\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.022\text{kg}/\text{m}^3$ 。

常熟境内各条河流均属于太湖水系，由于北濒长江、南接太湖以及境内大小湖荡的引泻调节，河流正常水位比较稳定，涨潮不超过 1m。

望虞河于 1958 年开挖而成，起于太湖沙墩港，过望亭北流，在湘西南入常熟港，流经境域后入江，目前其主要功能是泄洪、引水灌溉、饮用及航运等，在河口建有 15 孔节制闸一座，闸下河口段长 1.1km，底宽 15~50m。

福山塘以谢桥镇为分界点分为南、北两个部分，北部起于谢桥镇北套闸，向北流至福山镇东北，经福山闸入江，全长 9.3km，闸外河段长 200m，底宽 10~20m；南部止于水北门外的护城河，全长 8.7km，河水流经护城河汇入常浒河，两部分均为北面引泻与航运的重要通道。崔浦塘较短，起于萧桥，止于崔浦闸，底宽 10~20m，福山塘平均流量为 18.0m³/s，崔浦塘则较小，两者均受闸的控制。

走马塘：南起苏南运河，经无锡市新吴、锡山区，苏州市常熟市、张家港市，由七干河入江，全长 66.51km，其中苏州境内长 27.51km。河口宽 45~70m，河底高程 0.0~-1.0m（镇江吴淞基面），现状为六级航道。干河现状水质类别为Ⅲ类，沿线汇入支河水质类别为Ⅲ类。走马塘沿线以绿化景观为主，少量居民住宅区及工矿企业，河道岸线利用程度相对较低。河道岸线总长 54.71km（按照临水边界线统计），已开发利用岸线长度 6.84km，岸线现状利用率为 12.50%，重要基础设施占比最高。

企业雨水通过雨水明沟收集汇入雨水总排池达标雨水排入崔福河（北福山塘支流）。根据《2025 年 6 月常熟市水环境质量状况》，福山塘水质类别为Ⅱ类水。

企业污水均排入车间污水收集池再由污水泵通过明管打入公司污水站处理达到纳管标准后排入园区污水厂 2#污水收集池，再打至常熟中法工业水处理有限公司，经处理后达标后排入走马塘。根据苏州市水务局“河湖简介—走马塘”，走马塘干河现状水质类别为Ⅲ类，沿线汇入支河水质类别为Ⅲ类。

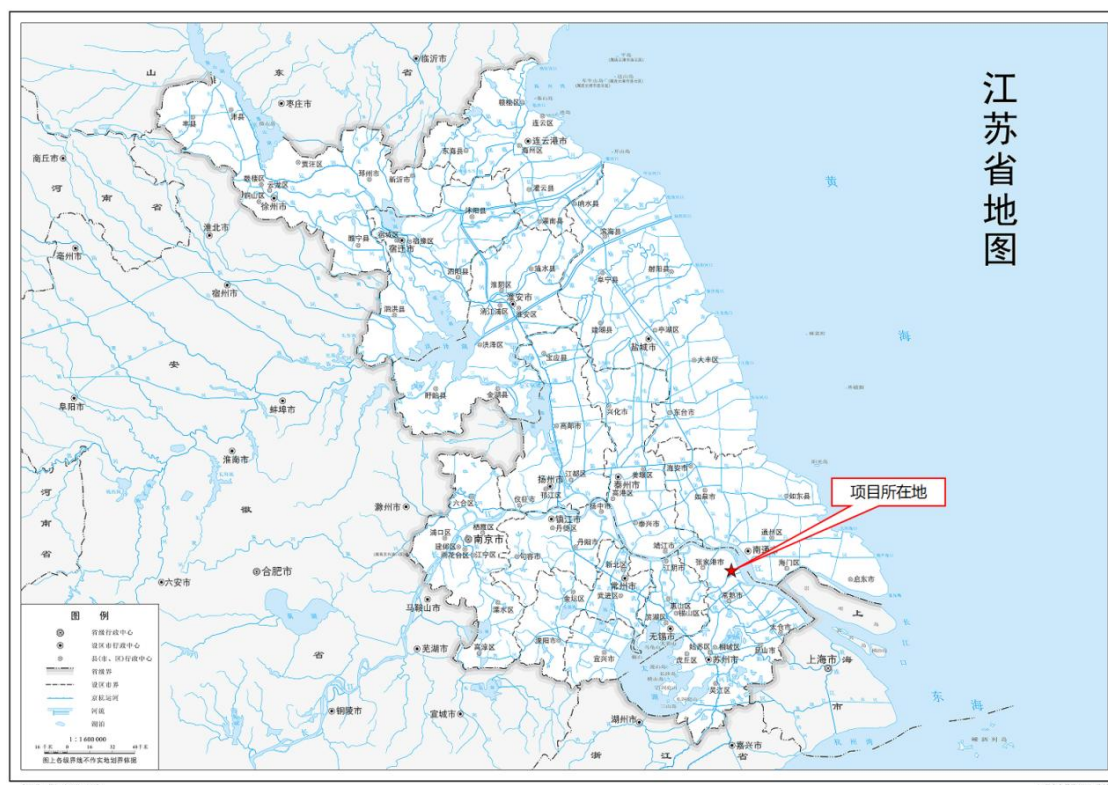


图 3.1-2 江苏省地表水系图

3.1.3.2. 水文地质

区内地下水主要赋存在第四纪松散层中，以松散岩类孔隙水为主，含水层岩性分为以下几类：

灰黄色、灰色亚砂土，局部为粉砂透镜体。地下水位一般埋深 1~3m，局部地区大于 3m。含水层底板埋深一般均小于 25m，民井的单井涌水量为 1~10t/d，矿化度 <1g/L，以 $\text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水为主。但在吴市、福山、乐余一线矿化度 1~2g/L，为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Ca} \cdot \text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水。

灰黄、灰色的粉细砂，粉细砂，粉细砂夹亚粘土和中细砂。地下水位埋深 15~10m，含水层顶板埋深 30~70m，含水组厚 10~90m，单井涌水量 100~500t/d。水质除跨塘、辛庄、兴隆、王市一线以东及后塍附近为 $\text{Cl}-\text{Na}$ 型水，矿化度 1~2g/L 外，皆为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型水，矿化度 <1g/L。

以灰黄、灰色细砂、中细砂和含砾中粗砂。地下水位埋深 45~40 米，含水层顶板埋深 65~120m，含水组厚 12~60m。单井涌水量 100~1000t/d，个别达 2000t/d 左右。矿化度均 <1g/L，以 HCO_3-Na 型水为主。

灰黄色、黄绿色的细砂。地下水位埋深 5~16m，含水层顶板埋深 128~160m，

含水组厚 7~33m，单井涌水量一般 140~1700t/d。矿化度<1g/L，以 HCO₃-Na 型水为主。

3.1.4. 气象、气候

项目地处北亚热带南部湿润气候区，季风盛行，温暖湿润，四季分明，雨量充沛。冬季盛行大陆来的偏北风，以寒冷少雨天气为主；夏季盛行海洋来的东南风，以炎热多雨天气为主；春秋两季为冬夏两季风交替，常出现冷暖、干湿多变的天气。本地区的异常气候，如潮湿、夏秋旱、梅雨、台风、龙卷风等时有发生；多年入梅期在 6 月 16 日，出梅在 7 月 4 日，台风平均每年 1.5 次，龙卷风平均三年有 1 次，冰雹平均每年 1 次。

常熟市历年平均风速为 2.8m/s，主导风为 ESE。常熟市历年气温、气压、湿度、降水量状况见表 3.1-1。

表 3.1-1 常熟市气象站气温、气压、湿度、降水量统计表

项目		春季	夏季	秋季	冬季	年均
气温（℃）	平均	14.8	27.9	17.4	2.8	15.5
	最高温度	19.8	31.8	22.1	6.9	19.8
	最低温度	10.6	24.7	13.7	-0.3	12.0
气压（hpa）	平均	1014.8	1003.8	1019.7	1026.3	1016.4
相对湿度（%）	平均	75	82	77	75	77
降水量（mm）	平均	85.3	161.7	57.7	34.6	1062.3

3.2. 场地概况

3.2.1. 场地历史变革

通过对收集的资料、现场踏勘和人员访谈内容进行分析，结合 Google Earth 卫星影像图，综合整理得知常熟三爱富氟化工有限责任公司场地使用历史及变迁过程。企业历史影像图（2010-2024 年）见图 3.2-2。

三爱富公司成立于 1994 年。老厂坐落于常熟市海虞镇福山（南），总占地面积 100 亩，2004 年至 2008 年之间逐步迁入氟化工园区新厂区内。根据对企业人员的访谈确认，新厂区 2004 年建成前为农田，不涉及其他工业企业生产。

企业目前已建成年产 3000 吨三氟氯乙烯（CTFE）生产装置，年产 30000 吨无水氟化氢（AHF）生产装置，年产 30000 吨二氟一氯乙烷（F141b）生产装置，年产 24000 吨 1，1，1-三氯三氟乙烷（F113a）生产装置（一期 6000 吨，二期

18000 吨，以及配套 F113 生产装置），年产 6000 吨六氟丙烯（HFP）生产装置和年产 6000 吨偏氟乙烯（简称：VDF）生产装置。企业平面布置见图 3.2-1。

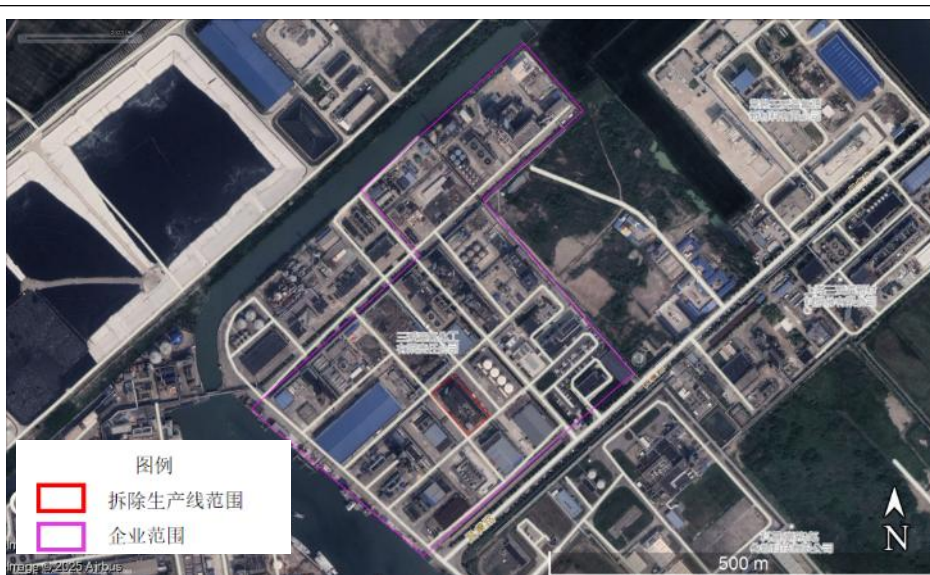


图 3.2-1 常熟三爱富氟化工有限责任公司平面布置图

2024 年 10 月，为积极履行 ODS 物质管控义务，综合生产成本考虑，公司终止 HCFC-141b 的生产。



 图例 拆除生产线范围 企业范围	2013.11 截止至 2013 年， 企业拥有 AHF、 F134a、 F113a、 F113、 CTFE、 F141b 生 产装置。
 图例 拆除生产线范围 企业范围	2015.07 同 2013 年相比 无明显 区别。
 图例 拆除生产线范围 企业范围	2017.06 东侧新 建 HFP 生产单 元。

	2019.07 截止至 2019 年 企业拥 有 AHF、 F134a、 F113a、 F113、 CTFE、 F141b、 HFP（未 生产）生 产装置。
	2021.03 截止至 2021 年 企业拥 有 AHF、 F113a、 F113、 CTFE、 F141b、 HFP、 VDF 生 产装置。
	2023.09 同 2021 年相比 无明显 区别。

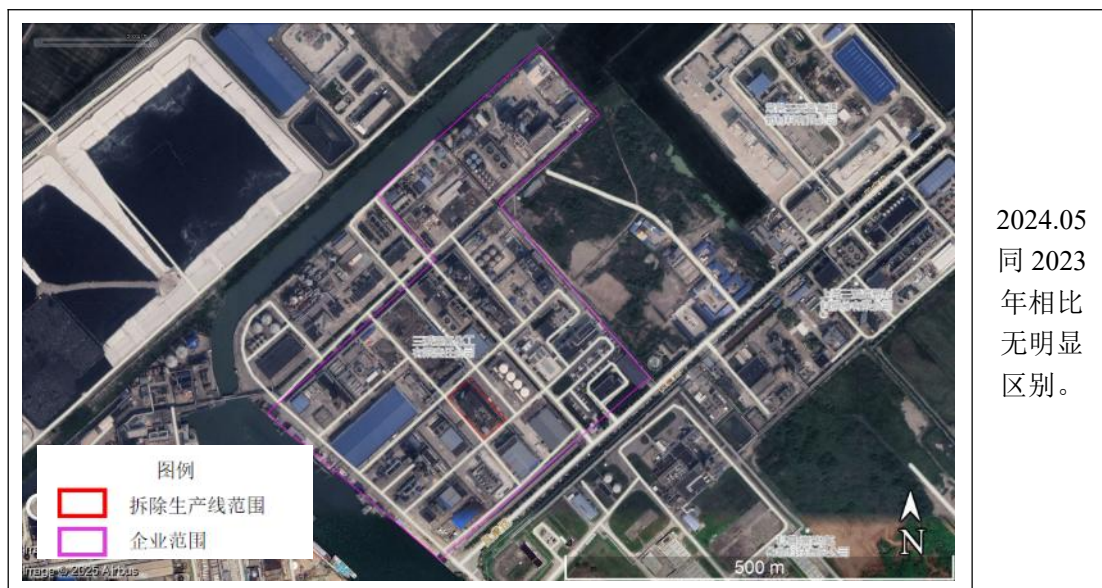


图 3.2-2 企业历史影像图（2010-2024 年）

3.2.2. 场地现状

截止至 2025 年 10 月，HCFC-141b 生产线所有生产活动已停止，拆除工作已完成。项目组进行现场踏勘后汇总结果如下：

HCFC-141b 关闭项目生产装置区为多层框架结构，现场防渗设施（包括地面硬化、围堰）齐全，生产区拆除前、后及各设施照片见图 3.2-3。现场未发现遗留废水、废液、一般固体废物和危险废物，无刺激性气味、污染痕迹等，土壤颜色无异常。F141b 关闭项目废水、废气、固废等收集方式、照片总结于“4.1.1 场地概况”。



HCFC-141b 关闭项目拆除前



图 3.2-3 HCFC-141b 生产区拆除前、后及各设施照片

3.2.3. 场地周边现状

3.2.3.1. 相邻区域

根据“图 3.2-1 常熟三爱富氟化工有限责任公司平面布置图”，HCFC-141b 关闭项目周边为 VDF 生产线、AHF 生产线、各类罐区、仓库、F141b 冷冻区等，现场踏勘时地面没有污染痕迹，未闻到异味。相邻区域现状照片见图 3.2-4。其他相关内容如下：

1、VDF 生产线（运行中）

位于项目北侧，防渗设施包括硬化、围堰等，雨水由混凝土浇筑的明沟收集，废水、废气、固废等收集方式、照片总结于“4.1.2 场地周边概况”。

2、AHF 罐区

位于项目北侧，共有 4 台地上罐（100m³），罐的材质为碳钢；防渗设施包括硬化、围堰等，雨水由混凝土浇筑的明沟收集。

3、四氯乙烯罐区（运行中）

位于项目东侧，共有 8 个地上罐，材质为碳钢，其中 1000m³ 的有 4 台，100m³ 和 50m³ 的各 2 台。罐区内防渗主要为硬化、围堰等，雨水由混凝土浇筑的明沟收集；呼吸废气经地上焚烧缓冲罐（碳钢）由管道运送至焚烧炉。

4、F141b 生产辅房（内部已拆除）

位于项目南侧，为 F141b 生产线的辅助用房，防渗主要为硬化，雨水由混凝土浇筑的明沟收集，固废通过吨袋（拆设备入孔）由汽车外运送出。

5、丙类仓库（运行中）

位于项目南侧，主要储存 F113a、氯化锌溶液等，防渗主要为硬化，雨水由混凝土浇筑的明沟收集。

6、甲 A 类罐区（运行中）

位于项目南侧，内部共有 6 个地上罐（100m³），防渗设施主要为硬化，主要储存甲醇、碱液、高沸物等，罐的材质为 Q345R；设备及地面冲洗废水经废水池（水泥+防腐涂料）由地上管道（法兰连接）运送，管道不经过本项目所在区域。

7、F141b 冷冻区（运行中）

位于项目西侧，防渗设施主要为硬化，雨水由混凝土浇筑的明沟收集。

8、AHF 生产线

位于项目西侧，防渗设施包括硬化、围堰等，雨水由混凝土浇筑的明沟收集，废水、废气、固废等收集方式、照片总结于“4.1.2 场地周边概况”。

相邻区域—北侧：VDF 生产线	
	
雨水明沟	防渗设施
相邻区域—北侧：AHF 罐区	



现状



雨水明沟

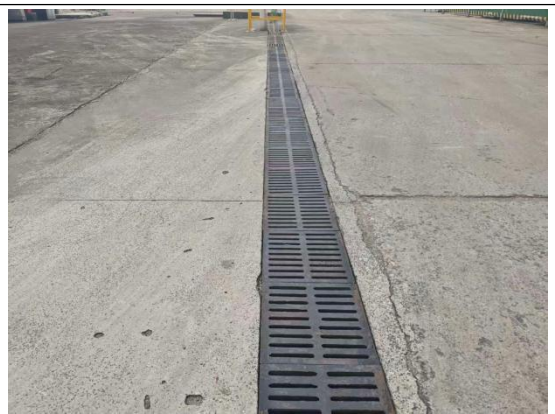


防渗设施（硬化、围堰）

相邻区域—东侧：四氯乙烯罐区



现状



雨水明沟

	
雨水池	废气收集设施
	
防渗（围堰+硬化）	
相邻区域—南侧：F141b 生产辅房	
	
现状	防渗设施（硬化）

	/
雨水明沟	/
相邻区域—南侧：丙类仓库	
	
现状	防渗设施（硬化）
	
内部收集沟	雨水明沟
相邻区域—南侧：甲 A 类罐区	



现状



废水收集池及防渗

相邻区域—西侧：F141b 冷冻区



现状

防渗设施（硬化）



雨水明沟	/
相邻区域—西侧：AHF 生产线	
	
现状	雨水明沟
	
防渗设施（硬化、围堰）	

图 3.2-4 相邻区域现状照片

3.2.3.2. 周边区域

常熟三爱富氟化工有限责任公司位于常熟新材料产业园昌虞路 2 号，场地为常熟三爱富氟化工有限责任公司厂区内南侧的 F141b 生产装置。

以场地为中心，周边 1km 范围内共识别出 22 家企业，企业汇总见表 3.2-1。但根据前期钻探资料结合水文地质资料，场地所在区域地下水流向为自西向东，因此本次污染分析主要考虑位于西方的化工企业，包括常熟三爱富中昊化工新材料有限公司、常熟金星佳业化工产品有限公司。

表 3.2-1 场地周边 1km 范围内的企业汇总表

序号	用地现状	高程所在点位经度	高程所在点位纬度	识别结果
1	常熟三爱富氟化工有限责任公司	120°47'31.68894"	31°48'50.93905"	本次调查场地位于该企业内
2	常熟三爱富氟源新材料有限公司	120°47'49.57307"	31°49'1.41930"	位于场地东方向 445m 处
3	常熟三爱富振氟新材料有限公司	120°47'52.06430"	31°48'53.10553"	位于场地东南方向 220m 处
4	常熟市建筑材料再生资源利用中心	120°47'25.31732"	31°49'2.51042"	位于场地北方向 330m 处
5	苏威特种聚合物（常熟）有限公司	120°48'6.87654"	31°49'4.73129"	位于场地东方向 800m 处
6	科慕（常熟）氟化物科技有限公司	120°47'43.50913"	31°48'42.05912"	位于场地南方向 105m 处
7	立邦涂料（江苏）有限公司	120°48'14.63992"	31°48'33.65844"	位于场地东南方向 660m 处
8	多恩生物科技有限公司	120°48'8.37321"	31°48'30.03745"	位于场地南方向 910m 处
9	苏州和创化学有限公司	120°48'1.32436"	31°48'32.34523"	位于场地南方向 660m 处
10	湛新树脂（常熟）有限公司	120°48'3.28452"	31°48'25.24810"	位于场地南方向 900m 处
11	常熟市滨江化工有限公司	120°47'38.60391"	31°48'25.64400"	位于场地西南方向 540m 处
12	江苏强盛功能化学股份有限公司	120°47'46.09693"	31°48'20.54565"	位于场地西南方向 740m 处
13	苏州富士莱医药股份有限公司	120°47'52.70160"	31°48'16.27772"	位于场地西南方向 920m 处
14	常熟高泰助剂有限公司	120°47'30.99502"	31°48'21.54198"	位于场地西南方向 760m 处
15	阿科玛投资公司（常熟分公司）	120°47'20.90937"	31°48'18.46359"	位于场地西南方向 600m 处
16	常熟金星佳业化工产品有限公司	120°47'1.57333"	31°48'33.57516"	位于场地西方向 880m 处
17	常熟三爱富中昊化工新材料有限公司	120°47'16.68069"	31°48'39.82307"	位于场地西方向 260m 处
18	常熟三福化工有限公司	120°47'39.79400"	31°49'12.82479"	位于场地东北方向 680m 处
19	大金新材料（常熟）有限公司	120°47'57.76373"	31°49'15.53811"	位于场地东方向 800m 处
20	优美科燃料电池催化剂（常熟）有限公司	120°48'6.68583"	31°48'43.03618"	位于场地东南方向 550m 处
21	常熟恩赛生物科技有限公司	120°47'46.67870"	31°48'10.50527"	位于场地西南方向 1063m 处

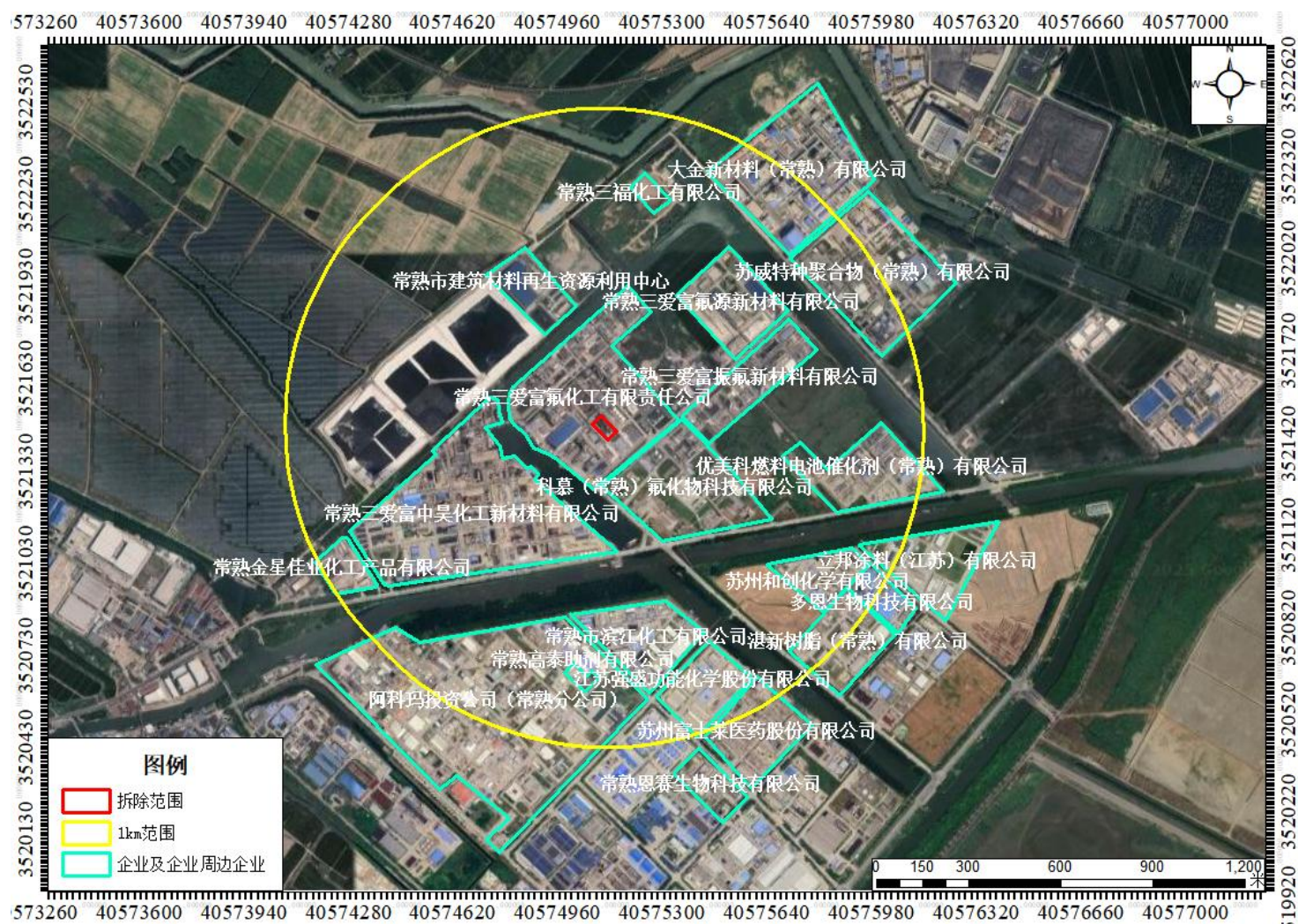


图 3.2-5 场地周边 1km 范围内企业分布图

3.2.3.3. 敏感目标

场地周边 1km 范围内的敏感目标为地表水（北福山塘、七干河），1km 范围内无居民区、无水源地、不在生态红线范围内。最近的一处地表水河流位于拆除范围西方向 160m 处。



图 3.2-6 场地周边敏感目标分布图

表 3.2-2 敏感目标分布一览表

名称	类型	方位	最近距离(m)	水质	备注
北福山塘	地表水	西	160	Ⅱ类	水质数据来源于《2025 年 6 月常熟市水环境质量状况》
七干河		北	820	Ⅲ类	为走马塘分支，水质数据来源于苏州市水务局“河湖简介—走马塘”

3.2.4. 场地利用规划

HCFC-141b 生产线拆除后，企业计划将场地用作生产三氟氯乙烯、氢氟酸及副产品盐酸，用地性质不变，为工业用地。规划证明见图 3.2-7。

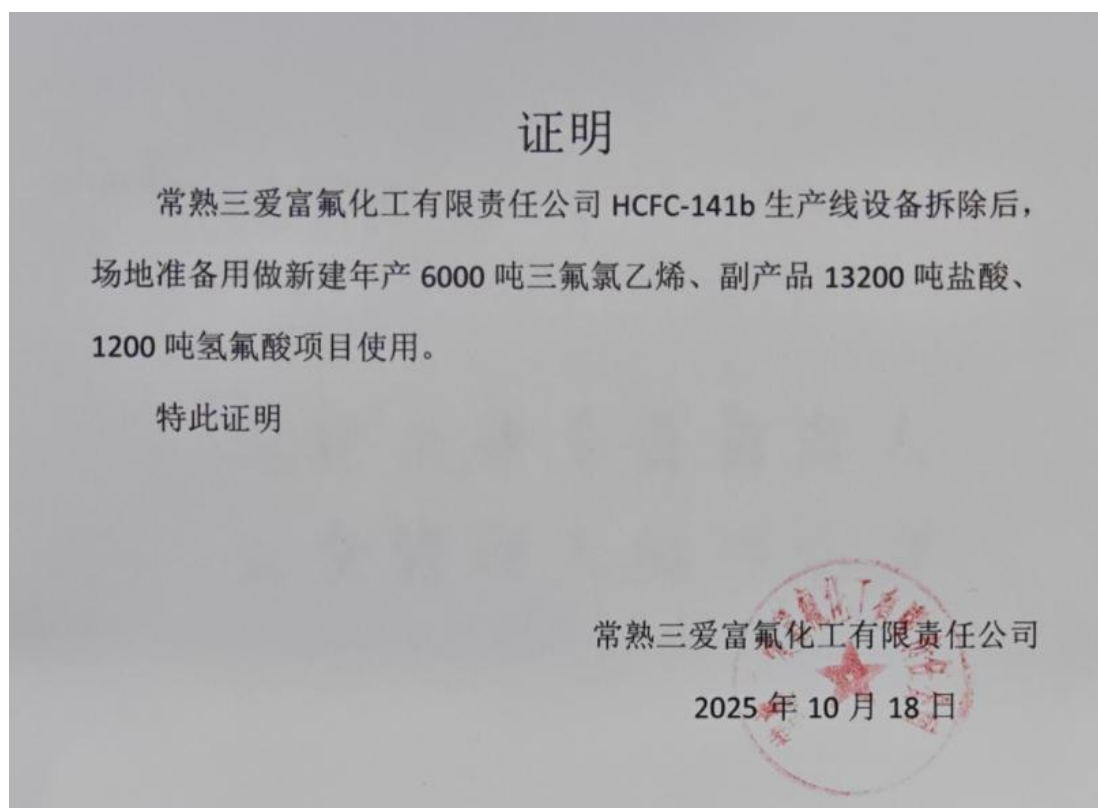


图 3.2-7 场地利用规划证明

3.2.5. 场地地质及水文地质

环境调查完成土壤及地下水深层采样孔 3 个, 共计 37.5m 进尺任务, 并进行了孔口坐标、高程及地下水水位埋深的测量。根据 3 个钻孔的钻孔资料, 对常熟三爱富氟化工有限责任公司 F141b 生产线关闭项目场地的地质、水文地质条件认识如下。

3.2.5.1. 地层

根据场地内钻孔揭露的资料, 钻探深度范围内地层岩性与结构自上而下依次为第 1 层素填土 (Q_4^{ml})、第 2 层淤泥质粉质粘土夹粉土 (Q_4^{al+pl})。

第 1 层素填土 (Q_4^{ml}):

灰白色、黑棕色, 稍湿, 松散, 含混凝土、碎石块, 无植物根系, 无异味。该层在场地内均有分布, 厚度为 0.70~1.00m, 平均 0.90m, 层底标高为 11.06~11.38m。

第 2 层淤泥质粉质粘土夹粉土 (Q_4^{al+pl}):

黑褐色, 稍湿、湿、饱和, 含粉土、粉质粘土, 可塑、流塑。该层在场地内均有揭露, 揭露厚度为 9.50~12.80m, 平均揭露 11.60m。

表 3.2-3 场地综合地层岩性表

层号	地层时代	层底深度 (m)	厚度 (m)	层底标高 (m)	岩性描述	水理 性质
1	Q ₄ ^{ml}	0.70~1.00	0.70~1.00, 平均 0.90	11.06~11.38	素填土	弱透水
2	Q ₄ ^{al+pl}	/	9.50~12.80, 平均揭露 11.60	/	淤泥质粉质 粘土夹粉土	含水

钻孔柱状图

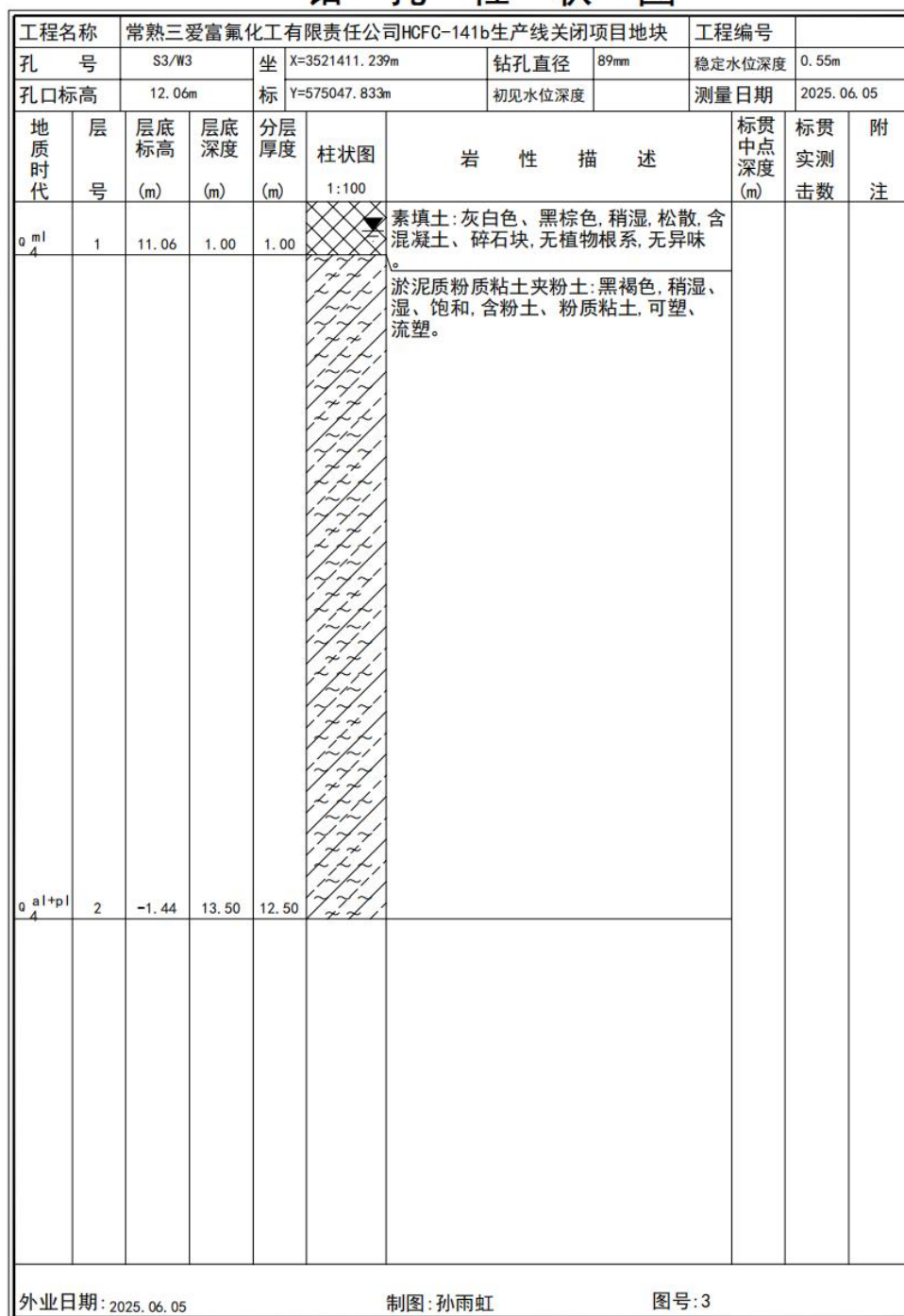


图 3.2-8 钻孔柱状图 (示例)

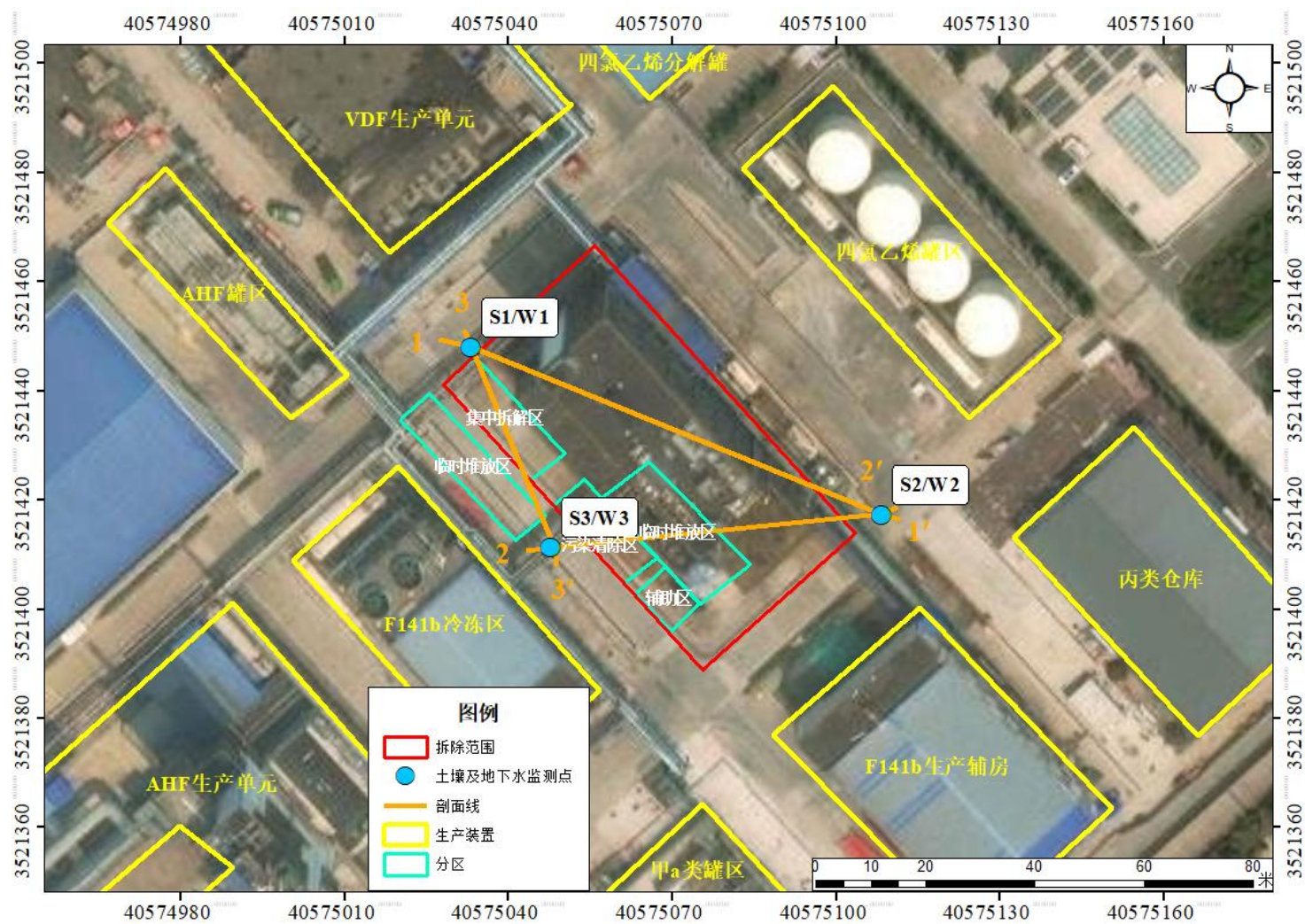
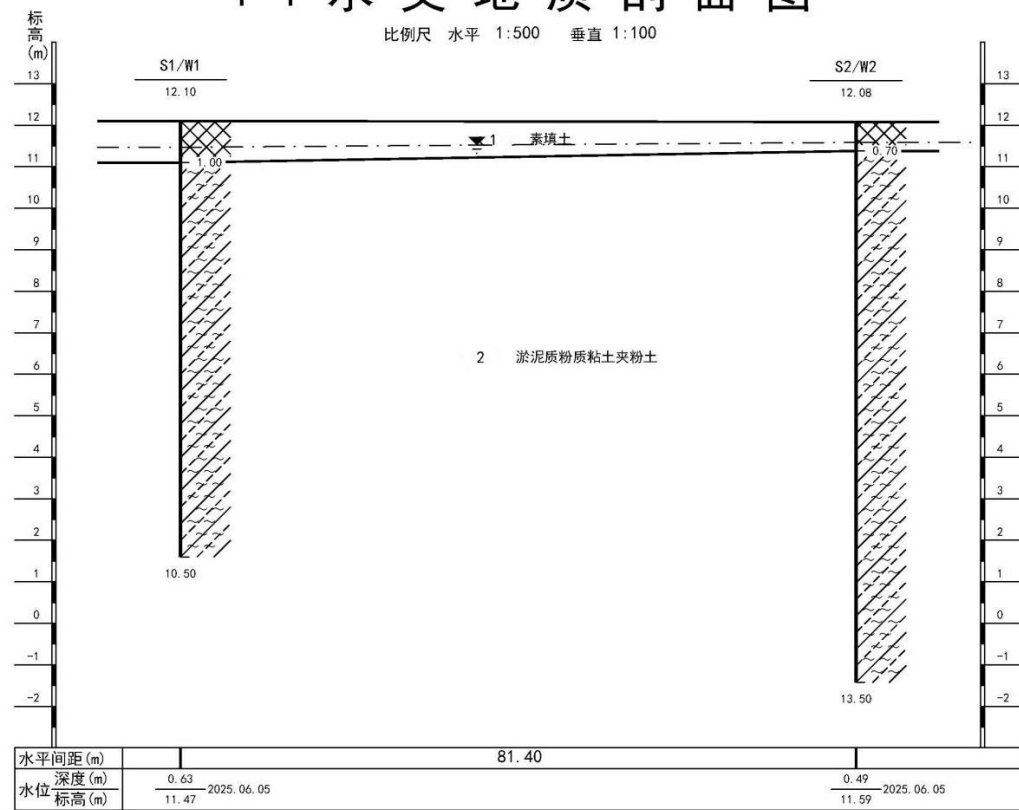


图 3.2-9 钻孔平面布置图

工程名称:常熟三爱富氟化工有限责任公司HCF-141b生产线关闭项目地块

1-1'水文地质剖面图

比例尺 水平 1:500 垂直 1:100



制图:孙雨虹

图号:1

图 3.2-10 水文地质剖面图 (以 1-1 为例)

3.2.5.2. 水文地质条件

地下水主要赋存于第 2 层淤泥质粉质粘土夹粉土中，属于松散岩类孔隙水。地下水水位埋深为 0.49~0.91m，水位标高为 11.335~11.518m。地下水总体流向为由西向东。地下水主要接受大气降水和地表径流补给，天然条件下以蒸发及径流排泄为主。根据《常熟三爱富氟化工有限责任公司年产 6000 吨偏氟乙烯（VDF）、副产品 32500 吨盐酸技改项目岩土工程勘察报告》，在勘察深度范围内，含水层厚度为 23.00~25.00m，粉质粘土为地下水隔水层。

本次调查地下水水位统计及流场图见表 3.2-4、图 3.2-11。

表 3.2-4 地下水水位统计表（2025.8.7 统测）

点位	X	Y	地面高程	水位埋深	水位标高	备注
SW1	3521451.989	574825.839	12.428	0.91	11.518	厂区监测井
SW2	3521436.674	575186.925	12.195	0.86	11.335	厂区监测井
W1	3521448.032	575033.133	12.099	0.63	11.469	调查期间新建井
W2	3521417.236	575108.431	11.927	0.49	11.437	调查期间新建井
W3	3521411.239	575047.833	12.004	0.55	11.454	调查期间新建井

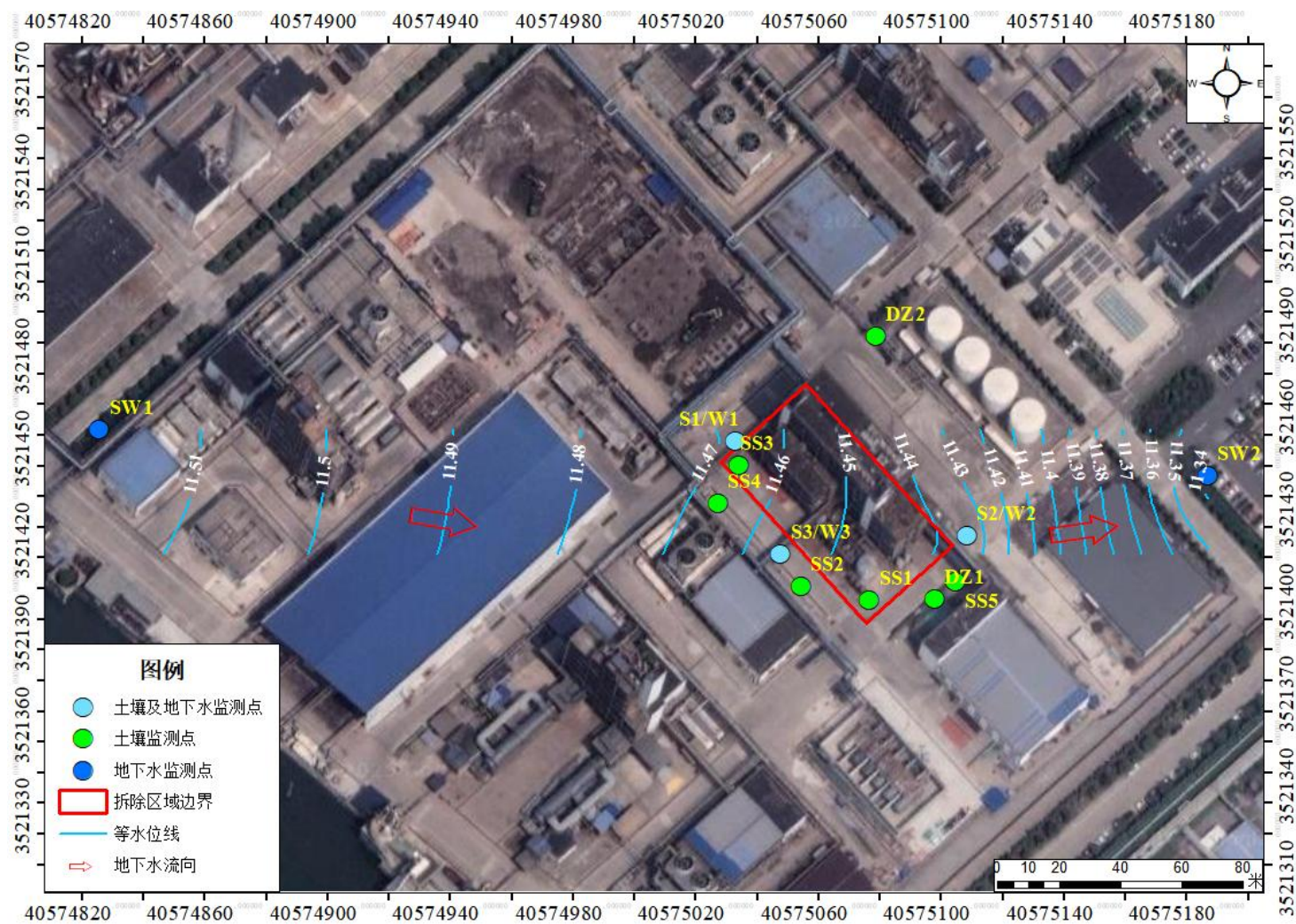


图 3.2-11 地下水流场图

4. 土壤污染状况调查回顾

根据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1-2019）、《建设用地土壤环境调查评估技术指南》，本场地进行了第一阶段土壤污染状况调查和第二阶段土壤污染状况调查，调查内容如下。

4.1. 第一阶段土壤污染状况调查回顾

2025 年 6 月，场地进行了第一阶段土壤污染状况调查工作，通过资料收集、现场踏勘和人员访谈等手段了解了常熟三爱富氟化工有限责任公司的生产工艺、平面布局、原料使用等情况，初步判断目标评估场地的可能污染源及污染物类型，为第二阶段土壤污染状况初步采样调查提供依据。

4.1.1. 场地概况

4.1.1.1. 历史生产阶段

常熟三爱富氟化工有限责任公司 HCFC-141b 生产线采用氟化氢和偏二氯乙烯制取 1-氟-1, 1-二氯乙烷（HCFC-141b），设计产能 30000（t/a）。近三年产量及经营状况见表 4.1-1。

表 4.1-1 近三年产量及经营状况

产品	年度	总生产量 (吨)	受控用途生 产配额 (吨)	受控用途 产量 (吨)	内用生产 配额 (吨)	内用受控用 途产量 (吨)
HCFC-141b	2021 年	7668.633	12632	7668.633	7705	6991.383
	2022 年	10036.417	12632	10036.417	7705	8502.768
	2023 年	6435.598	6557	6435.598	3784	3764

1、平面布置及生产设施

HCFC-141b 生产线四周均有围堰，且生产区域防渗措施完好。生产区域主要包括反应釜区、成品槽区、脱偏区、中间料槽、脱酸区、脱气区、精馏塔釜区、碱槽、酸槽、热水槽等。生产线平面布置见图 4.1-1：

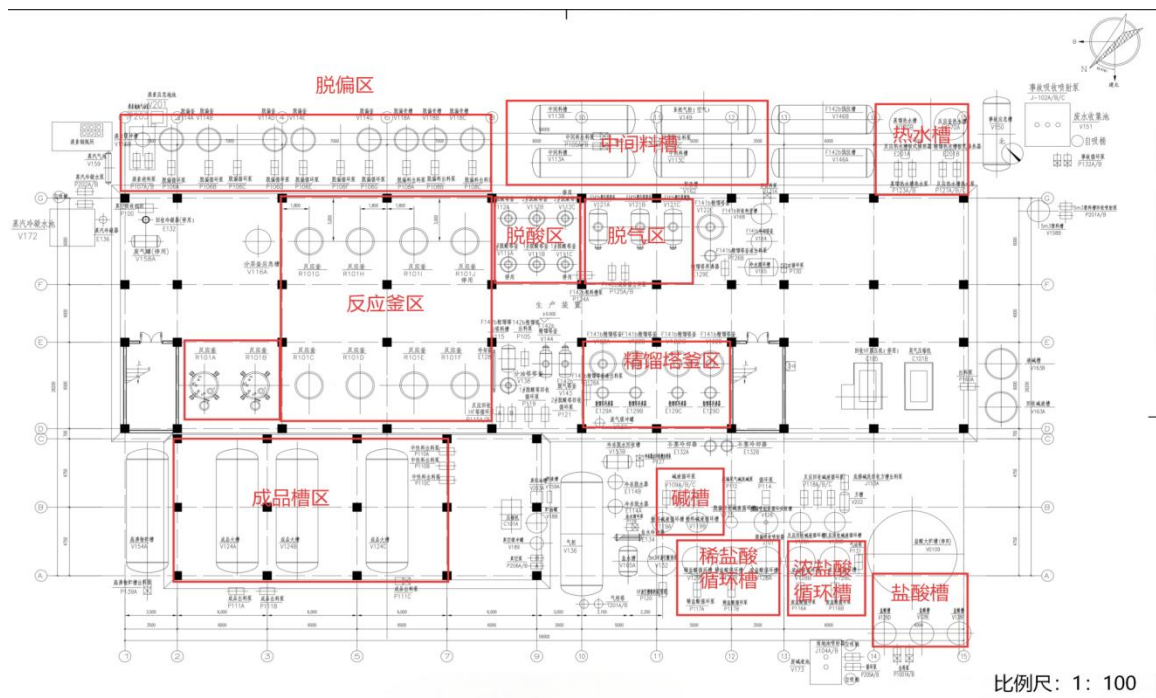


图 4.1-1 HCFC-141b 生产线平面布置图

生产装置设备主要包括偏氯乙烯贮槽、催化剂计量槽、助催化剂计量槽、HF 计量槽、VDC 计量槽等设备。HCFC-141b 设施设备见表 4.1-2。

表 4.1-2 生产设施设备一览表

序号	设施设备	规格（型号）	数量（台/套）	材质
1	偏氯乙烯贮槽	V=100m ³	3	A3
2	催化剂计量槽	800X900	5	A3
3	助催化剂计量槽	500X900	3	A3
4	HF 计量槽	V=2.3m ³	10	A3
5	VDC 计量槽	V=2.5m ³	6	不锈钢
6	反应釜	V=5m ³	20	A3
7	全凝器	600X2000	10	A3
8	分层釜		10	A3
9	回收 HF 槽	V=1.6m ³	4	A3
10	酸性受槽	V=15m ³	10	A3
11	酸性脱气塔	釜 1.8m ³ 400X13000	5	
12	酸性塔冷凝器	500X2000	5	
13	脱偏搪瓷釜	V=5m ³	12	组合件
14	物料碱洗塔	400X12500	4	聚丙烯
15	中性物料收集槽	V=10m ³	8	
16	脱气塔（成品）	釜 2.5m ³ 400X13000	5	不锈钢
17	脱气塔冷凝器	500X2000	5	不锈钢
18	精馏塔（成品）	釜 1.8m ³ 400X12500	5	不锈钢
19	外回流冷凝器	600X2500	5	不锈钢
20	成品槽	V=50m ³	4	A3

序号	设施设备	规格（型号）	数量（台/套）	材质
21	蒸出塔冷凝器	500X2000	6	A3
22	HF 计量槽	V=3m ³	20	A3
23	酸性槽	V=12.5m ³	6	A3
24	收集槽（酸性塔）	V=8m ³	6	A3
25	物料碱洗塔	400X13000	4	聚丙烯
26	尾气水洗塔	400X5700	4	PVC
27	尾气碱洗塔	400X5700	4	聚丙烯
28	尾气碱液槽	V=0.5m ³	2	A3
29	物料碱洗碱液槽	V=2m ³	2	A3
30	碱洗泵	Y112M-2	2	三氟泵
31	回收碱洗泵	Y100L-2	4	三氟泵
32	回收脱偏泵	Y100L-2	4	三氟泵
33	尾气吸收泵	Y100L-2	4	三氟泵
34	计量泵	Y112M-4	8	三氟泵
35	充装屏蔽泵	HPN5.5-2	2	三氟泵
36	中性出料泵	Y2-132S1-2	4	三氟泵
37	反应投料计量泵	Y112M-4	8	三氟泵
38	盐酸泵	Y100L-2	4	三氟泵
39	盐酸槽	V=1m ³	1	PVC
40	成品循环泵	25FSB-18	2	三氟泵
41	脱偏泵	Y100L-2	8	三氟泵
42	灌装用回收槽	V=2m ³	1	A3
43	气包	V=1m ³	1	A3
44	精馏回收塔	500X2000	2	不锈钢
45	冷凝器	V=8m ³	2	A3
46	尾气气柜	V=5m ³	2	A3
47	回收槽	400X1500	2	A3

2、产品及原辅料

生产线生产所用主要原辅材料包括偏二氯乙烯、氟化氢、液碱、催化剂（四氯化钛）、水、电、蒸汽等，产品为 1,1-二氯-1-氟乙烷（F141b）。

原辅材料及产品的组分、使用量、来源、运输方式、毒理性质见表 4.1-3、4.1-4。

表 4.1-3 生产线生产主要原辅材料及产品一览表

类别	序号	名称	重要组分 规格、指标	年使用量	来源	包装运输
原料	1	偏二氯乙烯	>99.5%	5432.68 吨	巨化	槽车
	2	氟化氢	>99.8%	1178.06 吨	本公司配套	管道
	3	液碱	30%	24.77 吨	永盛化工	槽车
	4	催化剂（四氯化钛）	99.9%	20.22 吨	沃德化工	汽车

	5	氟磺酸	99.8%	90 吨	中昊化工	汽车
水	6	工业用水	0.2MPa, 32°C	3557 吨	工业用水管网	管道
电	7	生产用电	380v	161.0654 万千瓦时	园区 110KV 变电站	电缆
汽	8	蒸汽	0.9MPa	5115 吨	欣福化工厂	供热管网
产品	9	F141b	1, 1-二氯-1-氟乙烷	/	/	/

表 4.1-4 生产线生产主要原材料理化和毒理性质一览表

序号	名称	理化和毒理性质
1	偏二氯乙烯	无色液体，带有不愉快气味；蒸汽压 65.98kPa/20°C，闪点-28°C；熔点-122.6°C；沸点 31.6°C；溶解性不溶于水；密度：相对密度（水=1）1.21；相对密度（空气=1）3.4；稳定性：稳定；危险标记 7（中闪点易燃液体）；主要用途：用作辅聚剂、粘合剂和用于有机合成。 引燃温度 530°C；爆炸上限%（V/V）15.0，爆炸下限%（V/V）6.5。 急性毒性：LC₅₀200mg/kg（大鼠经口）；LC₅₀25210mg/m³，4 小时（大鼠吸入）；人吸入<5ppm，肝功能略有影响。 长期慢性毒性：主要靶器官为肝脏、肾脏。大鼠吸入 0.199–0.379 g/m³（≈50–100 ppm），8h/d、5d/周，数月：肝细胞坏死、肾功能异常、蛋白尿。低浓度（<0.099 g/m³≈25 ppm）：轻度肝脂肪变性、肾小管损伤。小鼠长期吸入：肾腺癌（雄性特异性，CYP2E1 介导）。
2	氟化氢 HF	无色液体或气体，极易挥发。熔点：-83.7°C；沸点：19.5°C；相对密度（水=1）：1.15；相对蒸气密度（空气=1）：1.27；饱和蒸气压（kPa）：53.32（2.5°C）；临界温度：188°C；临界压力：6.48Mpa；易溶于水。主要用于蚀刻玻璃，以及制氟化合物。 本品不燃，高毒，具强腐蚀性强刺激性，可致人体灼伤。若遇高热，容器内压增大，有开裂和爆炸的危险。 急性毒性：LC₅₀1276ppm，1 小时（大鼠吸入）；人在氟化氢 400~430mg/m³ 浓度下，可引起急性中毒致死；100mg/m³ 浓度下，能耐受 1 分多钟，50mg/m³ 下感到皮肤刺痛、粘膜刺激；26mg/m³ 下能耐受数分钟，嗅觉阈值为 0.03mg/m³。
3	液碱 NaOH	分子量 40，无色至淡红色透明液体，强碱，易溶于水、乙醇、甘油，不溶于丙酮。mp318.4°C；bp1390°C；d2.12。 不燃。 强腐蚀。
4	四氯化钛	无色透明液体，空气中极易发白烟，强烈刺激性酸性呛味；熔点：-25.0 °C；沸点：136.4 °C（常压）；液体密度：1.726g/cm³（重于水）；饱和蒸气压：1.33 kPa（21.3 °C），常温易挥发形成刺激性蒸气。 急性毒理：吸入毒性：大鼠吸入 LC50：400 mg/m³，2 h；小鼠吸入 LC50：100 mg/m³，2 h；小鼠吸入最低致死浓度：10 mg/m³（2h），吸入为主要中毒途径。
5	氟磺酸	分子量 100.07，无色透明发烟液体，有强烈的刺激性气味。熔点-87.3°C。沸点 163.5°C。相对密度（水=1）：1.74。溶于水。用于制造药品及有机合成。 不燃，具强腐蚀性、强刺激性，可致人体灼伤。 第 81 类酸性腐蚀品。

6	F141b	1,1-二氯-1-氟乙烷（简称：HCFC-141b），分子量 117，低于 32℃下为无色液体，沸点 32℃，凝固点-103.5℃，液体密度 1.01g/cm ³ ，临界温度 210.3℃，临界压力 45.8~105Pa。可燃。 低毒，低 ODP 值，具有低化学反应性和高稳定性。
以上数据来源于《常熟三爱富氟化工有限责任公司年产 3000 吨三氟氯乙烯（CTFE）扩建及 30000 吨 1,1-二氯-1-氟乙烷（F141b）搬迁技改项目环境影响报告书》（2008 年 12 月）、《危险化学品安全技术全书》及网络查询。		

3、生产工艺

企业采用氟化氢和偏二氯乙烯制取 1-氟-1, 1-二氯乙烷（HCFC-141b），所用主要原辅材料包括偏二氯乙烯、氟化氢、液碱、催化剂（四氯化钛）、水、电、蒸汽等。企业生产工艺流程图见图 4.1-2，流程简述如下：

将原料偏二氯乙烯和 HF 按比例连续均匀的投入备有催化剂的反应釜内，在一定的温度及压力作用下进行氟化反应，生成含有 HCl、HCFC-142b、高沸物及过量 HF 的酸性 HCFC-141b 物料，取样分析合格后，首先物料经冷凝、分层，分离出过量的 HF 进行回用；其次，脱酸分离出含有 HF、HCl 的酸性 HCFC-142b 物料及 HCFC-141b 物料，酸性 HCFC-142b 物料经回收分层分离其中的 HF 回用、水洗制得副产盐酸，碱液碱洗中和其中的酸性物料后得到 HCFC-142b，废碱至废碱处理；HCFC-141b 物料进入中间料槽；然后在脱偏剂 Br₂ 的脱偏釜进行脱偏处理，取样分析合格后进行碱洗中和，中性的 HCFC-141b 物料进入中性料槽；最后，经脱气分离出 HCFC-142b，精馏分离出副产进行外售，前序的 HCFC-142b 经精馏制得副产 HCFC-142b，成品物料 HCFC-141b 经取样分析合格后进入成品收集。

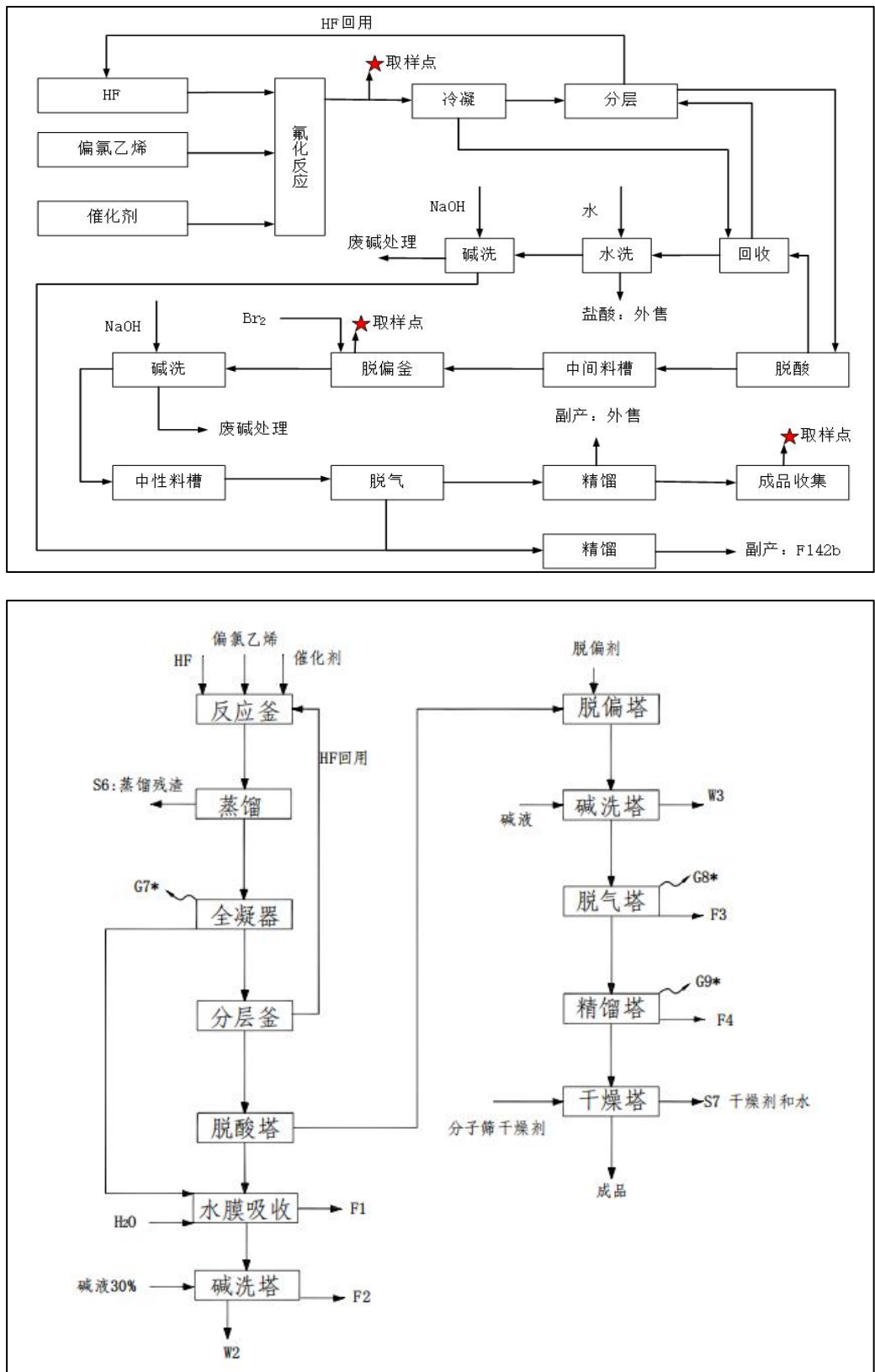


图 4.1-2 HCFC-141b 生产工艺流程图

4、污染物排放

HCFC-141b 关闭项目历史生产过程中主要产生废气、废水及固废。根据对环保单位、企业环保部门等相关人员的访谈，结合收集到的资料，项目在历史生产期间无泄漏等环境事故的发生记录。

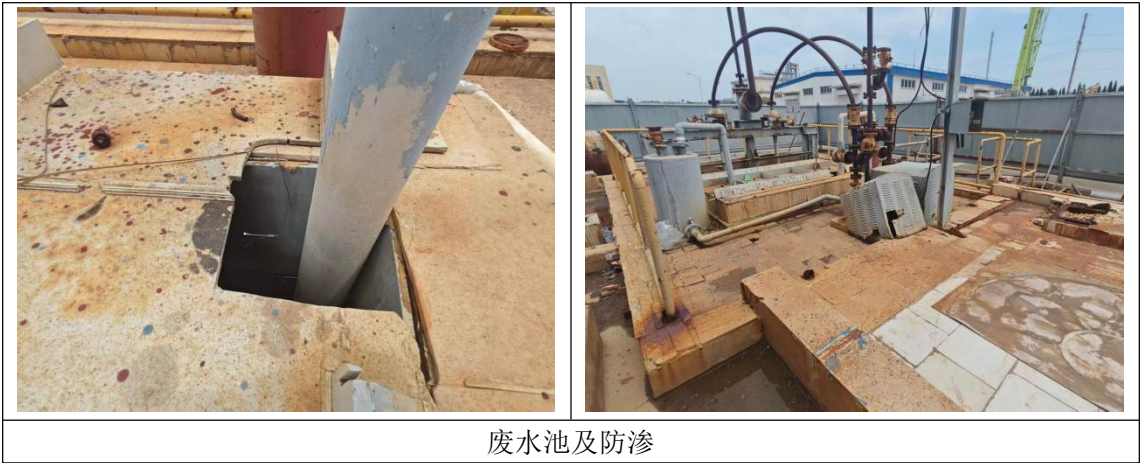
废气（连续排放源）经地上气柜（碳钢）由地上管道（PP 材质，法兰连接）捕集后送焚烧炉焚烧。

工艺废水（连续排放源）、设备及地面冲洗废水等通过车间地下废水池（水泥+PVC 软塑板），经由地上管路（PP 材质，法兰连接）排入公司污水处理站，若发生泄漏事故，抢险、应急过程中产生的消防水经由地上管路送入场内事故池，无地下管线；检修时的废液由残液槽临时储存，后回用，清洗废水通过车间地下废水池（水泥+PVC 软塑板），经由地上管路（法兰连接）排入公司污水处理站。

危废由接入管道的吨桶通过管道进行收集，收集后由汽车外送。
企业具体产污环节汇总及治理措施见表 4.1-5，收集设施照片见图 4.1-3。

表 4.1-5 本项目产污环节汇总及治理措施一览表

类别	编号	污染源名称	主要污染物	治理措施	排放去向
废气	G7、G8、G9	不凝气	PH、氟化物、氯化氢、氯化物、偏氯乙烯	捕集后送焚烧炉焚烧，捕集率 90%，其余按无组织考虑	焚烧炉处理
废水	W2、W3	碱洗废水	pH、全盐量、氯化物、氟化物、偏氯乙烯	送入公司污水处理站预处理	预处理后排入园区污水处理厂深度处理后排放
固废	S6	蒸馏残渣	氯磺酸、三氯乙烷等	收集	外售
	S7	废干燥剂	废吸附剂、氯氟烃类物质	收集	送至生产厂家进行再生处理



废水池及防渗

	/
废水沟	/

图 4.1-3 项目收集设施图片

4.1.1.2. 停产阶段

2024 年 10 月常熟三爱富氟化工有限责任公司启动 HCFC-141b 装置停产工作，企业编制专项停车、拆除方案并完成园区备案；停产前统筹各类原辅材料、中间物料消耗，提前排空精馏塔、反应釜、储槽内物料，最大限度减少罐区残料存量，完成全装置巡检后转入待拆除状态。

停产阶段包括物料转移、设备清洗、污染防范措施及落实等内容。

1、物料转移

装置在完成偏二氯乙烯大槽，偏二氯乙烯、AHF 计量槽的物料合并后投料完成，对所有中间料并槽并且蒸馏完成，原辅料全部消耗完成。产品全部桶装存至成品库；副产品 HCFC-142b 回收至 VDF 装置作为原料使用；辅料碱液通过密闭地上管道输送到吨桶暂存。

2、设备清洗

在安全措施及急救措施准备完毕的前提下，采用密闭管道将设备（储罐）内的气体抽出，收集后进行焚烧处理，最终无害化排放。设备（储罐）内的气体尽可能排净后，再进行氮气置换，置换出的气体同样通过密闭管道送入焚烧炉进行焚烧处理。

在储罐内气体全部抽出或置换完毕后，施工人员通过入孔采用高压水枪等作业方式进行设备清洗，在设备的排放口或计量口处采用管道方式密闭输送清洗后的废水，进入厂区内现污水处理站进行集中处理。

3、污染控制缓解措施及落实

（1）废水

企业将原 HCFC-141b 生产装置区设立为集中清洗区，在集中清洗区对拆除的设备、管道进行清洗。废水来源主要为设备的清洗废水，利用原有的污水收集设施和临时管线对设备清洗废水进行收集，清洗废水从设备排出后，首先进入设置围堰的作业区域，随后汇入排水沟，汇集至厂区的污水收集系统，经污水提升泵输送至污水处理站处理。HCFC-141b 生产装置区地面采用抗渗混凝土硬化（厚度不小于 100mm，渗透系数不大于 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ），防止废水渗漏；设备四周设置围堰，防止废水外溢，确保废水流入排水沟；HCFC-141b 生产装置区外围设置一圈污水收集明沟，防止废水外溢至生产装置区以外。

此次过程清洗废水全部收集并处理，没有遗洒和渗漏情况。

（2）废气

废气主要来自物料转移中设备吹扫废气，以及少量无组织废气。为减缓废气对环境的影响，企业进行物料转移时，在相对封闭空间内操作，尽量减少无组织废气排放，并设置气体收集系统和净化处理装置，采取有效措施防范有毒有害物质释放。吹扫废气收集后送焚烧炉焚烧处理，经 70m 高烟囱排放，实现无害化处理。

经检测，此次过程中无组织废气均达标排放。

（3）废物

在停产/物料转移阶段，主要的固体废物为含有机卤化物废物（三氯乙烷及高沸物质），属于危险废物。催化剂为四氯化钛，溶剂为环丁砜，从 F141b 反应釜放到吨桶里，与主要成分为三氯乙烷及高沸物质的含有机卤化物废物一起转移处置。

企业设有 1 个 513m² 的危废仓库作为危废贮存场所，危废仓库地面进行了硬化，采取了防腐和防渗处理。危险废物储存在封闭的容器内，避开了阳光直射和雨淋，并及时转运，减少暂存的时间。危险废物储存和转移未对环境产生明显影响。

4.1.1.3. 设备拆除阶段

2025 年 9 月，企业完成 HCFC-141b 生产装置的拆除工作，拆除施工工序包括：设备的清洗、管线及辅助设备的切割破坏、保温材料的拆除、HCFC-141b

生产装置主体设备的拆除及清理，关闭拆除期间的主要污染源有废水、固体废物、废气等。

1、废水

拆除阶段主要废水为设备高压水冲洗产生的废水、现场积水、雨水等。

处理方式：依托原有污水处理站对废水进行处理。利用现有管道和临时管线对清洗废水进行收集，排进污水处理站进行预处理，达到接管标准后接入园区污水管网，经水泵打至园区的常熟中法工业水处理有限公司进行处理，达标后排入走马塘。

防污措施：将 HCFC-141b 生产装置区作为设备集中清洗区，利用装置区原有围堰作为废水拦截设施，在冲洗作业前封堵围堰排水口，并在低洼处设置临时集水点，使冲洗废水全部控制在围堰范围内，废水没有外流。冲洗废水通过厂区原有污水管线导流到污水处理站进行处理。HCFC-141b 生产装置区为水泥硬化地面，具有较好的防渗性能，有效防止废水渗漏。

废水处理后，出水水质能达到“常熟中法工业水处理有限公司”污水接管标准限值要求，排入工业园区污水管网，经水泵打至园区的常熟中法工业水处理有限公司。

2、固体废物

拆除过程中，固体废物主要来自废弃、破碎的设备（生产线拆下来的设备）、管道、保温材料（主要材料为水泥/铝皮+聚氨酯）以及一般建筑垃圾等。

处理方式及防污措施：承包商在施工过程中妥善收集废弃物，安全暂存后交由相关处置、回收单位处理。

废建筑材料等一般工业固体废物统一堆放，并采取覆盖防扬尘，利用堆场地面硬化防渗漏的措施。属于一般工业固体废物的建筑垃圾交由江苏启安建设集团有限公司负责清理运输；生活垃圾由环卫部门定期进行处理。

拆除阶段产生的废油由于危量比较少，按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的相关要求，企业将废油暂时存放在危废仓库。2025 年 10 月 19 日，常熟三爱富公司将其与其他生产线危险废物，一同交由具有危险废物处置资质的盐城源顺环保科技有限公司进行处置。

3、废气

拆除过程中废气污染源主要有现场材料装卸及车辆运输和施工拆除过程中产生的扬尘，主要存在于设备、储罐、管道等拆除区、物料转移区和暂存区。

防污措施：承包商通过采取覆盖和密闭车辆运输、减缓倾倒速度、现场洒水等措施对扬尘进行降尘处理。

经检测，废气检出项目均小于江苏省地方标准《大气污染物综合排放标准》（DB32/4041—2021）中“表 3 单位边界大气污染物排放监控浓度限值”要求。

4.1.1.4. 场地内潜在污染分析

2025 年 9 月，企业开始拆除 HCFC-141b 生产装置，2025 年 10 月，企业完成 HCFC-141b 生产装置的拆除工作。本次潜在污染分析将从生产线关闭前的生产阶段及停产阶段、拆除阶段三方面进行分析。

1、HCFC-141b 关闭项目生产阶段潜在污染分析

(1) 生产设施设备

F141b 关闭项目生产设备主要有反应釜、全凝器、分层釜、脱酸塔、碱洗塔、脱偏塔、脱气塔、精馏塔、HF 贮槽、偏氯乙烯贮槽、F142b 存储钢瓶、成品贮槽等，这些设备设施在生产过程中可能通过跑冒滴漏等方式对项目所在区域的土壤及地下水造成污染，设备检修时的废液虽由残液槽临时储存后回用，但残液槽存在泄漏的可能，同样会引发土壤及地下水污染。其生产过程中可能涉及的污染物物质见表 4.1-6。

表 4.1-6 本项目产污环节汇总及治理措施一览表

主要生产设施设备	可能涉及的污染物
反应釜	HF、四氯乙烯
全凝器	F142b、三氯乙烷、偏氯乙烯、HCl、HF、F141b
分层釜	F141b、HCl、HF
脱酸塔	F141b、HCl
碱洗塔	HCl
脱偏塔	F141b、偏氯乙烯
脱气塔、精馏塔、成品贮槽	F141b
HF 贮槽	HF
偏氯乙烯贮槽	偏氯乙烯
F142b 存储钢瓶	F142b

汇总以上内容可得，各设施设备生产过程中可能涉及的污染物为 HF、F142b、三氯乙烷、偏氯乙烯、HCl、F141b。经前期资料收集及现场踏勘，未发现明显泄露痕迹

（2）污染物转化

项目生产涉及的原辅料（偏氯乙烯、氟化氢、液碱、四氯化钛、氟磺酸）、中间产物（三氯乙烷）、副产物及产物（F141b、F142b）等可能会进入土壤及地下水，在水体酸碱环境、土壤矿物催化、微生物好氧/厌氧降解等多重作用下发生水解、脱卤、还原、氧化、中和等系列化学反应，生成多种二次污染物及无机产物，各类物质可能转化生成的新物质如下：

偏氯乙烯：在地下水厌氧环境下会发生还原反应脱氯，转化为氯乙烯后进一步持续降解为乙烯。

氟化氢：极易溶于水，进入土壤及地下水后，可解离生成氟离子。

液碱：进入水土环境后主要发生酸碱中和反应，可改变土壤及地下水 pH 值，无有毒有害二次污染物生成。

四氯化钛：遇水发生剧烈水解反应，生成二氧化钛，同时解离产生氯离子、盐酸，盐酸会降低水土环境 pH 值。

氟磺酸：在水土环境中会水解裂解生成硫酸、氟化氢，并完全解离为硫酸根离子、氟离子、氢离子，导致土壤和地下水酸化。

三氯乙烷：厌氧条件下会发生还原脱氯反应，依次生成二氯乙烯、氯乙烯后降解为乙烯。

F141b：进入水土环境后发生水解、降解反应（速度较慢），逐步脱除氯、氟，生成氯氟乙烷、氯乙烷等卤代烃中间产物，最终生成氯离子、氟离子、二氧化碳，厌氧环境下可生成微量烷烃类物质。

F142b：在水土介质中缓慢发生脱卤水解反应，生成二氟乙烷、氟乙烷等中间产物后最终转化为氟离子、氯离子、二氧化碳。

（3）生产阶段潜在污染分析汇总

HCFC-141b 关闭项目生产阶段配备反应釜、各类塔器、原料及成品贮槽等生产、储运设备，设备跑冒滴漏、检修残液暂存残液槽泄漏均存在污染物渗入土壤与地下水的风险，但经前期现场踏勘及资料收集，场地内未发现明显泄漏痕迹，也无相关污染事故记录。生产涉及 HF、F142b、三氯乙烷、偏氯乙烯、HCl、F141b 等污染物；各类原辅料、中间产物、产品及副产物若进入水土环境，会在酸碱、土壤矿物、微生物作用下发生水解、脱卤、氧化还原等反应，转化为二氧化钛、

氯离子、氯乙烯、乙烯、氟离子、硫酸根、二氯乙烯、氯氟乙烷、氯乙烷、二氟乙烷、氟乙烷等物质，并影响水土 pH 值。

2、HCFC-141b 关闭项目停产、拆除阶段潜在污染分析

根据“5.1.2 HCFC-141b 关闭项目停产阶段污染识别”、“5.1.3 HCFC-141b 关闭项目设备拆除阶段污染识别”，HCFC-141b 关闭项目停产阶段主要开展物料转移与设备清洗作业，会产生设备吹扫及无组织废气、设备清洗废水、含卤有机物、四氯化钛催化剂等危险废物，企业通过密闭收集废气送焚烧炉无害化处置、依托防渗硬化装置区配套围堰与收集管网全收集清洗废水至污水处理站处理、配套防渗防腐危废仓库规范密闭暂存并及时转运危废，全过程无废水遗洒渗漏，无组织废气监测达标；设备拆除阶段污染源包括设备冲洗废水、施工扬尘、废设备管道、保温材料、建筑垃圾及少量废油危废，通过围堰拦截、临时集水点管控全部冲洗废水并分级处理后纳管、洒水抑尘+密闭运输管控扬尘、一般固废覆盖防渗堆放并合规清运、少量废油按规范存入危废仓库后委托资质单位处置，扬尘废气监测满足地方大气排放标准；两阶段均配套完善防渗、收集、处置、贮存等污染防治措施，施工周期较短，各环节污染物监测结果均符合相关标准，因此停产及拆除阶段不会通过废水渗漏、废气沉降、危险废物下渗等途径对场地土壤、地下水造成污染。

3、汇总

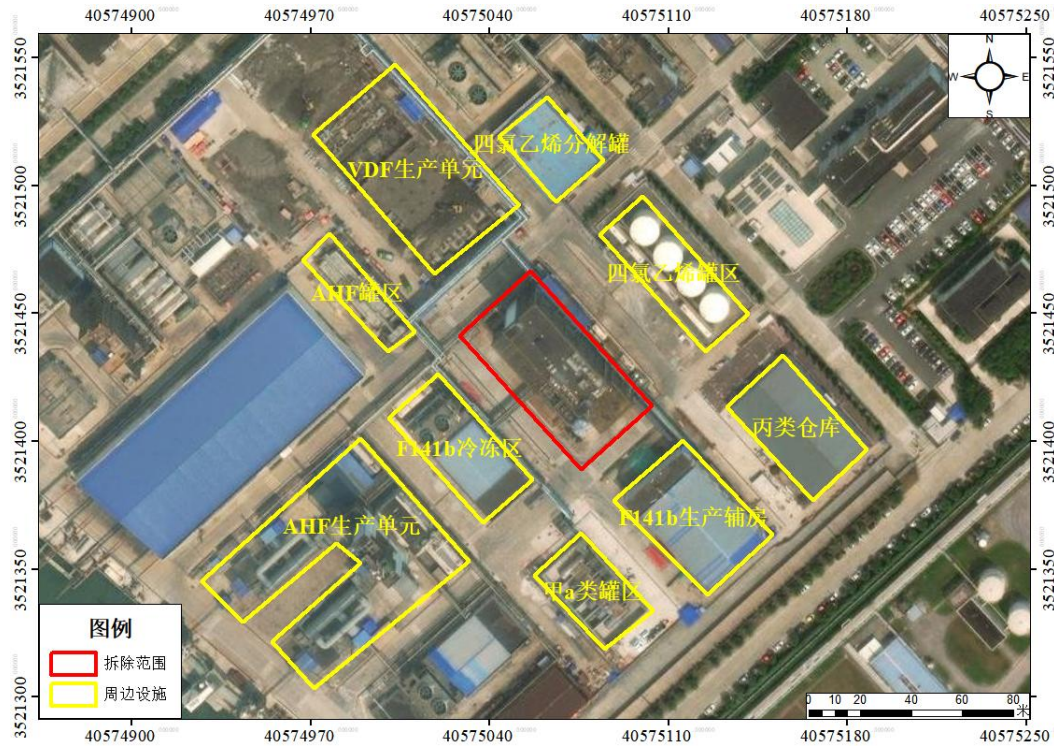
综合以上 HCFC-141b 关闭项目生产、停产、拆除三个阶段的潜在污染分析：

生产阶段反应釜、贮槽等设备存在物料微量渗逸、残液槽渗漏等污染隐患，污染物渗入土壤、地下水后会发生水解、脱卤等一系列转化反应。现场踏勘未发现直观泄漏痕迹，企业亦无污染事故台账记录，但场地长期生产运行过程中，仍存在隐蔽微量渗漏缓慢入渗水土的潜在污染风险；

项目停产、拆除阶段分别产生清洗废水、工艺废气、危废、施工扬尘、建筑垃圾等，全过程配套防渗围堰、密闭收集、焚烧处置、规范贮存转运等完备防控措施，施工周期短且各项监测均达标。整体来看，停产、拆除阶段无泄露、渗漏等风险，不会对场地土壤、地下水造成污染。

4.1.2. 场地周边概况

本次调查场地为常熟三爱富氟化工有限责任公司内的 HCFC-141b 生产线，该生产线相邻区域涉及的生产线有 VDF 生产单元、AHF 生产单元。生产线及相邻区域分布见图 4.1-4。



根据前期钻探资料结合水文地质资料，场地所在区域地下水流向为自西向东，因此本次污染分析主要考虑位于西方的化工企业，包括常熟三爱富中昊化工新材料有限公司、常熟金星佳业化工产品有限公司。企业分布见图 4.1-5。



图 4.1-5 企业分布图

表 4.1-7 周边生产线及企业分布情况一览表

生产线/企业名称	方位	距离 (m)	备注
VDF 生产单元	北	24	企业内
AHF 生产单元	西	54	企业内
常熟三爱富中昊化工新材料有限公司	西	260	
常熟金星佳业化工产品有限公司	西	880	

距离指距离 F141b 生产线的距离。

4.1.2.1. 无水氟化氢 (AHF) 生产线

无水氟化氢 AHF 是由硫酸和萤石 (CaF_2) 按一定比例在回转反应炉中反应生成的。生产过程涉及反应、吸附、冷凝、精馏等，生产工艺流程图见图 4.1-6。

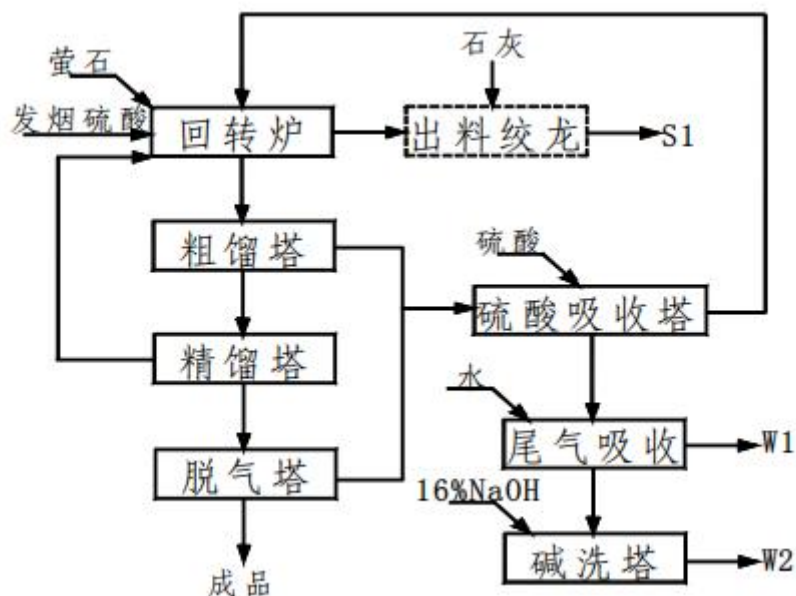


图 4.1-6 无水氟化氢生产工艺流程图

无水氟化氢（AHF）生产过程主要产生废水、废气、固体废物。

设备及地面冲洗废水、来自碱洗塔的工艺废水（连续排放源）等通过车间地下废水池（水泥+PVC 软塑板），经由地上管路（PP 材质，法兰连接）排入公司污水处理站，管道不经过 F141b 停产项目区域。检修时的废液由残液槽临时储存，后回用，清洗废水通过车间地下废水池（水泥+PVC 软塑板），经由地上管路（法兰连接）排入公司污水处理站。废气经地上回转窑炉（碳钢）由地上管路（PP 材质，法兰连接）运送至高筒排放。收集设施照片见图 4.1-7。

表 4.1-8 无水氟化氢（AHF）废物排放情况

类别	设备名称	涉及污染物	排放去向
废水	尾气吸收塔	pH、氟化氢、氟化硅、氟化物	作为副产物定向销售
	碱洗塔	pH、氟化物	排入污水处理设施
废气	回转炉	SO ₂ 、烟尘	高排气筒达标排放
固体废物	回转炉	萤石、硫酸钙等	定向销售

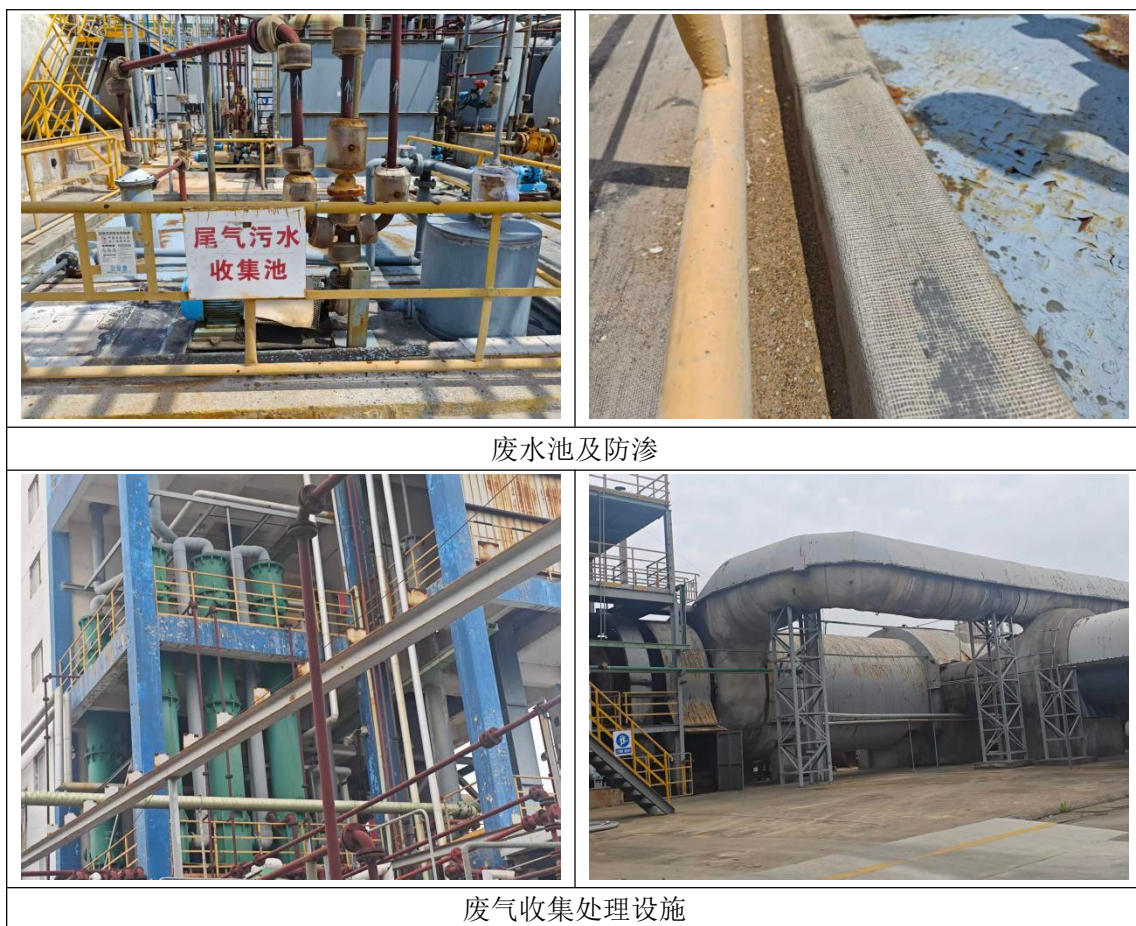


图 4.1-7 收集设施图片

汇总以上内容，无水氟化氢（AHF）生产过程产生的污染物主要是 pH、氟化物。

4.1.2.2. 偏氟乙烯（VDF）

偏氟乙烯（VDF）生产主要分为两个阶段：第一阶段是由二氟乙烷（F152a）同氯气进行光氯化反应生成二氟一氯乙烷（F142b），通过水洗、碱洗、冷凝、脱气、精馏、吸附等后处理，得到纯净的 F142b；第二阶段是将 F142b 进行裂解反应得到 VDF，再通过一系列的处理后（冷凝、精馏等环节），得到纯净的 VDF 产品。

六氟丙烯（HFP）生产过程涉及吸附、混合、裂解、过滤、粗分、精馏等，生产工艺流程图见图 4.1-8。

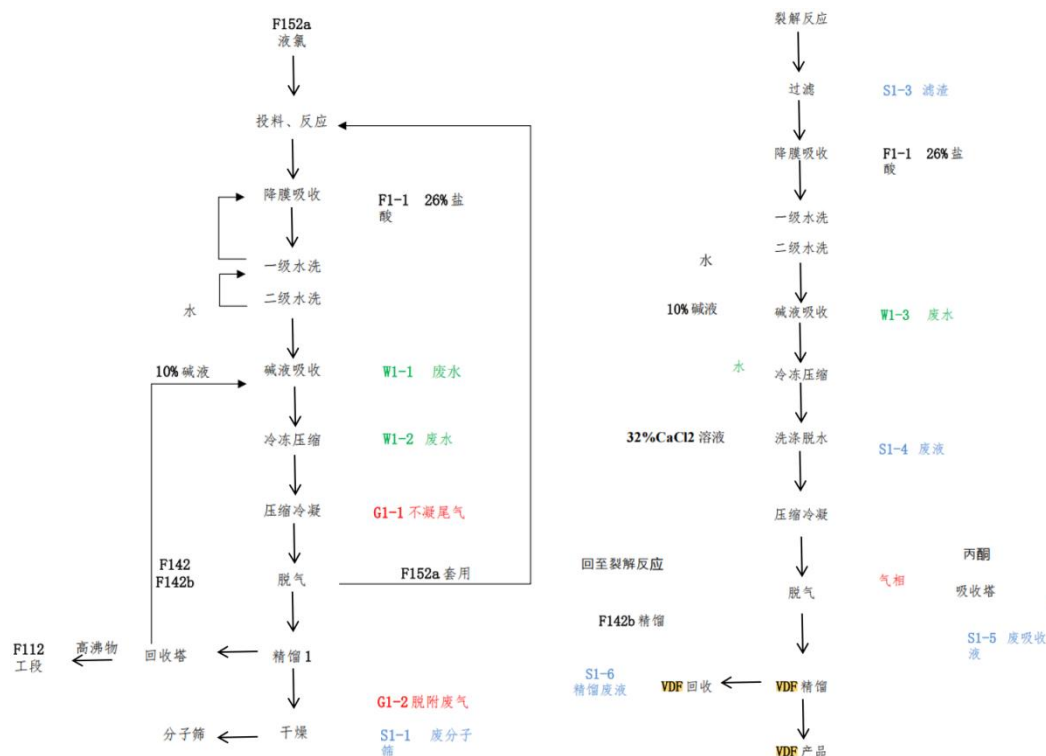


图 4.1-8 偏氯乙烯（VDF）生产工艺流程图

偏氯乙烯（VDF）生产过程主要产生废水、废气、固体废物。

设备及地面冲洗废水、工艺废水（连续排放源）等通过车间地下废水池（水泥+防腐涂料），经由地上管路（PP 材质，法兰连接）排入公司污水处理站，管道不经过 F141b 停产项目区域。检修时的废液由残液槽临时储存，后回用，清洗废水通过车间地下废水池（水泥+防腐涂料），经由地上管路（法兰连接）排入公司污水处理站。废气经地上焚烧缓冲罐（碳钢）由地上管路（PP 材质，法兰连接）运送至高筒排放；危废通过吨桶（接管道）、吨袋（拆设备人孔）收集，采用汽车外送。收集设施照片见图 4.1-9。

表 4.1-9 偏氯乙烯（VDF）废物排放情况

类别	设备名称	编号	涉及污染物	排放去向
废水	碱液吸收	W1-1、W1-3	氟化物、全盐量、偏氯乙烯	在企业污水处理厂脱除有机氟后再进行脱氟脱盐，然后采用“中和曝气-混凝-沉淀”工艺进行处理，达接管标准后排入园区污水处理厂处理
	冷冻压缩	W1-2	SS、COD、BOD	
废气	压缩冷凝	G1-1	氟氯烃、偏氯乙烯	收集后送至焚烧炉
	干燥	G1-2		
	吸收	G1-3		
危险废物	干燥	S1-1	废分子筛	交由有资质单位处置

	过滤	S1-3	滤渣	焚烧
	洗涤脱水	S1-4	废液	
	吸收塔	S1-5	废吸收液	
	精馏	S1-6	精馏废液	



废水收集设施（废水沟、地下废水池）



废水池防渗

废水泵及管道



废气收集及管道

危废收集

图 4.1-9 收集设施图片

汇总以上内容，偏氯乙烯（VDF）生产过程产生的污染物主要是氟化物、偏氯乙烯。

4.1.2.3. 常熟三爱富中昊化工新材料有限公司

常熟三爱富中昊化工新材料有限公司是一家专业从事含氟高分子材料及含氟精细化学品、氟利昂替代品、哈龙替代品及相关产品的研究、开发及生产的企业。公司目前已建成无水氟化氢（AHF）、二氟甲烷（F32）、氯二氟甲烷（F22）、四氟乙烯（TFE）、六氟丙烯（HFP）、1,1-二氟乙烷（F152a）、二氟一氯乙烷（F142b）、七氟丙烷（F227ea）、五氟乙烷（F125）、四氟丙烯（HFO1234yf）、六氟丁烯（F1336）、氟树脂、聚三氟苯乙烯等含氟产品生产线。

常熟三爱富中昊化工新材料有限公司企业生产过程中会产生废水、废气及固体废物。

表 4.1-10 常熟三爱富中昊化工新材料有限公司废物排放情况

类别	污染源	涉及污染物	排放去向
废水	装置工艺	pH、氟化物、氯化物、亚硫酸盐、次氯酸盐、AOX	中和调节+反应+混凝+助凝一级沉淀+助凝+二级沉淀+MVR+终沉池
	焚烧炉洗气	氟化物、氯化物、亚硫酸盐、次氯酸盐	
	三氟苯乙烯设备及地面冲洗	COD、SS、氯苯	
	真空泵	COD、氯苯	
	机泵冷却	COD、SS	
	生活污水	COD、SS、氨氮、总氮、总磷	
	软水制备系统	COD、SS	中和调节+反应+混凝+助凝+一级沉淀+助凝+二级沉淀+终沉池
	设备及地面冲洗	COD、SS、氟化物	
	初期雨水	COD、SS	
	三氟苯乙烯及聚三氟苯乙烯车间	COD、SS、AOX、LAS、氯苯、氟化物	生化处理系统：调节+水解酸化+接触氧化+终沉池
	循环冷却	COD、SS	清污分流，作为清下水排放
废气	焚烧炉	HCl、硫化物、NO _x 、氟化物、二噁英	急冷+两级降膜吸收+水洗+二级碱洗
	储罐	HCl	碱洗
	TFE 过热炉燃烧	硫化物、NO _x	直排
	三氟苯乙烯及聚三氟苯乙烯车间	四氢呋喃、氯苯、HCl、乙醇	冷凝+布袋除尘+两级水洗装置
	聚三氟苯乙烯干燥	pH、四氢呋喃、氯苯、HCl、硫酸	水吸收+活性炭吸附
	次氯酸钠装置	Cl ₂	两级碱液吸收后直排
	AHF 回转窑燃烧	颗粒物、硫化物	直排

类别	污染源	涉及污染物	排放去向
	AHF 工艺废气	pH、HF	碱洗收
	F22 废气焚烧炉	氟化物、HCl、硫化物、NO _x 、二噁英	急冷+降膜吸收+水洗+碱洗
	TFE 分馏系统	F22 断键低沸物、TFE	经气柜收集送至厂区废气废液焚烧炉
	HFC-125 精馏系统	TFE、HFC-125	
	HFC-227 精馏系统	F227、LB 等氟氯烃	
	HFP 脱轻塔	C3F8、C2F4、C3F6、C318、LB 等不凝气	
	TFESK 反应釜、丙酮冷凝	TFE、丙酮	
	醋酸丁酯冷凝	醋酸丁酯	
	HCFC-142b 精馏系统	HCFC-142b、LB	
	F152a 脱轻塔	C2H2、C2H3F	
	F1234 精馏系统	五氟丙烷、六氟丙烷、LB	
	F22 脱轻塔	三氟甲烷	CDM 项目，由 F22 废气焚烧炉单独焚化
危险废物	F22	五氯化锑废催化剂（含 F32 生产线）	委托南通升达废料处理有限公司处置
		精馏残液	焚烧炉
	HFC-152a	氟磺酸废催化剂	焚烧炉
	TFE	废自聚物	委托江苏康博工业固体废物处置有限公司处置
		氟蜡、高沸物、精馏残液	焚烧炉
	HFC-125	F125、HB 等精馏残渣	焚烧炉
		废催化剂	委托有资质单位处置
	HFC	废氧化铝	委托江苏康博工业固体废物处置有限公司处置
		废自聚物	
		炭黑	
		废液	焚烧炉
	醋酸丁酯	精馏残渣	焚烧炉
	F1234	精馏残液	焚烧炉
		废催化剂	委托光大环保（苏州）固废处置有限公司处置
	HFC-227	废催化剂（有机氮类、醇类与氟化氢混合）	焚烧炉
	F142、F132、F122 中间体	高沸物	焚烧炉
	氟树脂	废硅藻土	委托江苏康博工业固体废物处置有限公司处置
	三氟苯乙烯及聚三氟苯乙烯	精馏残液	焚烧炉
		废活性炭	委托江苏康博工业固体废物处置有限公司处置
		精馏残渣	

类别	污染源	涉及污染物	排放去向
		废包装材料	
		废粉尘及布袋	
	污水处理站	含氟污泥	委托光大环保（苏州）固废处置有限公司处置
		污泥	委托江苏康博工业固体废物处置有限公司处置

汇总以上内容，该企业涉及的污染物为：pH、氟化物、氯化物、亚硫酸盐、次氯酸盐、氯苯、氨氮、总氮、总磷、硫化物、二噁英、TFE、HFC-125、F227、C3F8、C2F4、C3F6、C318、丙酮、醋酸丁酯、HCFC-142b、C2H2、C2H3F、五氟丙烷、六氟丙烷、三氟甲烷、F125。

4.1.2.4. 常熟金星佳业化工产品有限公司

常熟金星佳业化工产品有限公司是一家从事电子专用材料研发、电子专用材料制造、电子专用材料销售等业务的公司。企业的经营范围为：电子专用材料研发、制造、销售；金属材料制造、销售；金属表面处理及热处理加工；新材料技术研发、推广服务等。

电子专用材料生产工艺涉及配料、搅拌、轧制等工序，企业生产工艺流程图见图 4.1-10。



图 4.1-10 电子专用材料生产工艺流程图

常熟金星佳业化工产品有限公司企业生产过程中会产生废气及固体废物。

表 4.1-11 常熟金星佳业化工产品有限公司废物排放情况

类别	污染源	涉及污染物	排放去向
废气	配料、搅拌（粉尘）	纤维、铝、锌	封闭抑尘或集尘罩收集后无组织排放
	配料、搅拌、轧制、检验（有机废气）	甲烷、乙烷、松油醇、醛、酮等	UV 光氧化+活性炭吸附废气处理设施处理后高桶排放
危险废物	危险废物	抽检废品	交由有资质单位处置
		废 UV 灯管	
		废活性炭	
	一般固废	生活垃圾	环卫部门统一收集处理

汇总以上内容，该企业涉及的特征污染物为：铝、锌、甲烷、乙烷、松油醇、醛、酮。

4.1.2.5. 汇总

综合 VDF 生产单元、AHF 生产单元、常熟三爱富中昊化工新材料有限公司、常熟金星佳业化工产品有限公司潜在污染分析汇总表见表 4.1-12。

表 4.1-12 场地周边生产线/生产型企业污染物识别及污染分析汇总表

序号	生产线/企业	方向	距离 (m)	污染物排放 类型	识别特征污染物	迁移途径	对场地影 响可能性
1	无水氟化氢 (AHF)	西	54	废水	pH、氟化氢、氟化硅、氟化物	地下水迁 移扩散	较大
				固废	萤石、硫酸钙	下渗	
2	VDF 生产单元	北	24	废水	氟化物、全盐量	地下水迁 移扩散	较大
				废气	氟氯烃	大气沉降	
				固体废物	废分子筛、滤渣、洗涤废液、废吸收液、精馏废液	下渗	
3	常熟三爱富中昊化工 新材料有限公司	西	260	废水	pH、氟化物、氯化物、亚硫酸盐、次氯酸盐、氯苯、总氮、总磷	地下水迁 移扩散	较小
				废气	HCl、硫化物、氟化物、二噁英、四氢呋喃、氯苯、乙醇、pH、TFE、HFC-125、F227、C3F8、C2F4、C3F6、C318、醋酸丁酯、丙酮、HCFC-142b、C2H2、C2H3F、五氟丙烷、六氟丙烷、三氟甲烷		
				危废	废催化剂、精馏残液（渣）、废自聚物、氟蜡、高沸物、废氧化铝、炭黑、高沸物、废硅藻土、废包装材料、废粉尘及布袋、含氟污泥、污泥		
4	常熟金星佳业化工产 品有限公司	西	880	废气	铝、锌、甲烷、乙烷、松油醇、醛、酮	地下水迁 移扩散	较小
				危废	抽检废品、废 UV 灯管、废活性炭		

综上，企业内的无水氟化氢（AHF）、VDF 生产单元可能会通过大气沉降、地下水迁移及污染物下渗等方式对场地产生影响，产生影响的污染物为 pH、氟化物。

由此，结合区域地下水流向（自西向东）、主导风向（东南风）及其他相关地理条件开展污染迁移与影响可能性分析。

1、无水氟化氢（AHF）生产单元

生产线位于场地西侧，处于本项目地下水上游 54m 位置，生产过程产生废水、废气、固废三类污染物。废水特征污染物包括 pH、氟化氢、四氟化硅、氟化物，若生产设备出现跑冒滴漏或设备检修期间发生物料泄漏，相关污染物可能经地表下渗、地下水迁移扩散，对位于地下水下游的 HCFC-141b 生产线关闭项目造成污染；废气以焚烧烟气为主，废气经配套治理设施处理后由高空排气筒排放，且生产线处于本场地常年下风向位置，废气对调查场地造成污染的概率较低；产生的固体废物中无危险废物，主要为萤石、硫酸钙等，遇降雨冲刷易随雨水入渗土壤，并通过地下水迁移途径对本项目所在区域形成潜在污染风险。

2、VDF 生产单元

生产单元布置于场地北侧，距本项目场地 24m，生产过程产生废水、废气、固体废物三类污染物。生产废水内含氟化物、全盐量、偏氯乙烯等污染因子，该生产线与项目场地间距较近，废水若发生泄漏，产生的污染物可能随地下水径流侧向迁移扩散，侵入项目场地；装置废气主要污染组分为氟氯烃，因空间距离近，废气沉降物经雨水淋溶后存在污染本场地的潜在风险；危险废物包含废分子筛、滤渣、洗涤废液、废吸收液、精馏废液等，若危废暂存设施发生泄漏，污染物将通过地表下渗、迁移扩散，对本场地土壤及地下水造成污染隐患。

3、常熟三爱富中昊化工新材料有限公司、常熟金星佳业化工产品有限公司

常熟三爱富中昊化工新材料有限公司位于场地西侧 260m 处，产污包含废水、废气、危废，特征污染物种类繁杂，含氟化物、各类氟氯烃、氯苯、硫化物等有机、无机污染物；常熟金星佳业化工产品有限公司位于场地西侧 880m，主要排放含重金属、烷烃、醛酮类废气及废活性炭、废灯管类危废。

两家企业均位于场地西侧，与本场地之间存在福山塘河道天然阻隔，且距离场地较远；同时企业配套污染治理设施完备，外排污染物原始浓度较低。含污染物的地下水向东迁移途中易受河道稀释、地层吸附阻滞，废气经长距离、逆风向大气扩散后浓度大幅

衰减，危废下渗污染物难以跨越河道到达场地，综合判定两类企业对本场地产生污染影响的可能性较小。

综上，企业内的无水氟化氢（AHF）、VDF 生产单元可能会通过大气沉降、地下水迁移对场地造成污染，污染物为 pH、氟化物、偏氯乙烯。



图 4.1-11 可能对场地造成影响的周边生产线及企业分布图

4.1.3. 第一阶段土壤污染状况调查结论

第一阶段调查从场地内部、周边区域开展潜在污染识别，结合生产工艺、产排污及区域水文气象条件分析污染来源：

HCFC-141b 关闭项目内的污染识别主要包含生产阶段、停产阶段、拆除阶段 3 个阶段。经分析，生产阶段反应釜、贮槽等设备存在物料微量逸散、残液渗漏隐患，虽现场未见明显泄漏痕迹，也无污染事故台账，但长期生产仍存在隐蔽微量渗漏造成土壤及地下水污染的潜在风险；停产、拆除阶段配套完善污染防治措施，施工周期短，监测结果达标，不会造成场地污染。

结合地下水流向（自西向东）、主导风向（东南风）分析周边污染源得出：西侧 AHF 生产单元处于地下水上游，污染物可能通过地下水迁移方式对场地造成潜在污染；北侧 VDF 生产单元距离场地仅 24 m，废水泄漏、废气沉降淋溶、危废暂存设施泄漏均存在污染本场地土壤、地下水的风险。

场地西侧常熟三爱富富中吴化工新材料有限公司、常熟金星佳业化工产品有限公司，与本场地有福山塘河道阻隔，距离较远，治理设施完备，污染物经稀释、吸附衰减后，对本场地产生污染的可能性小。

综上，场地内潜在污染源主要涉及历史生产阶段可能存在的隐蔽微量渗漏；周边潜在污染源主要为西侧 AHF 生产单元及北侧 VDF 生产单元，主要污染途径包括地下水迁移、污染物下渗等。综合所有潜在污染源，场地涉及的特征污染物包括 pH、氟化物、氯化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、1, 1-二氯-1-氟乙烷（简称：HCFC-141b）、一氯二氟乙烷（简称：HCFC-142b）、氯乙烯、三氯乙烷、偏氯乙烯、钛。

为进一步查明该场地土壤及地下水污染状况，调查开展了第二阶段土壤污染状况调查。

4.2. 第二阶段土壤污染状况调查回顾

4.2.1. 现场采样

场地于 2025 年 6 月 5 日进行了设备拆除前现场采样工作。共采集 3 个点位的 26 个土壤样品（含 3 个平行样），最深采样深度为 13.5m；共采集 3 口监测井的 4

个地下水样品（含 1 个平行样）。2025 年 10 月 11 日进行了设备拆除后的现场采样工作，共采集了 7 个点位的 8 个土壤表层样品（含 1 个平行样），5 口监测井的 6 个地下水样品（含 1 个平行样）。

两次采样工作的土壤样品检测项目均为《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600—2018）中的 45 项基本检测项目及 pH、氟化物、氯化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、1，1-二氯-1-氟乙烷（简称：HCFC-141b）、一氯二氟乙烷（简称：HCFC-142b）、三氯乙烷、钛；地下水样品检测项目均为《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的 37 项常规项（排除放射性指标）外加石油类、1，1-二氯-1-氟乙烷（简称：HCFC-141b）、一氯二氟乙烷（简称：HCFC-142b）、偏氯乙烯（1，1-二氯乙烯）、氯乙烯、三氯乙烷、钛。

两次采样的土壤、地下水样品采集信息汇总表见表 4.2-1、4.2-2，,点位分布图见图 4.2-1。

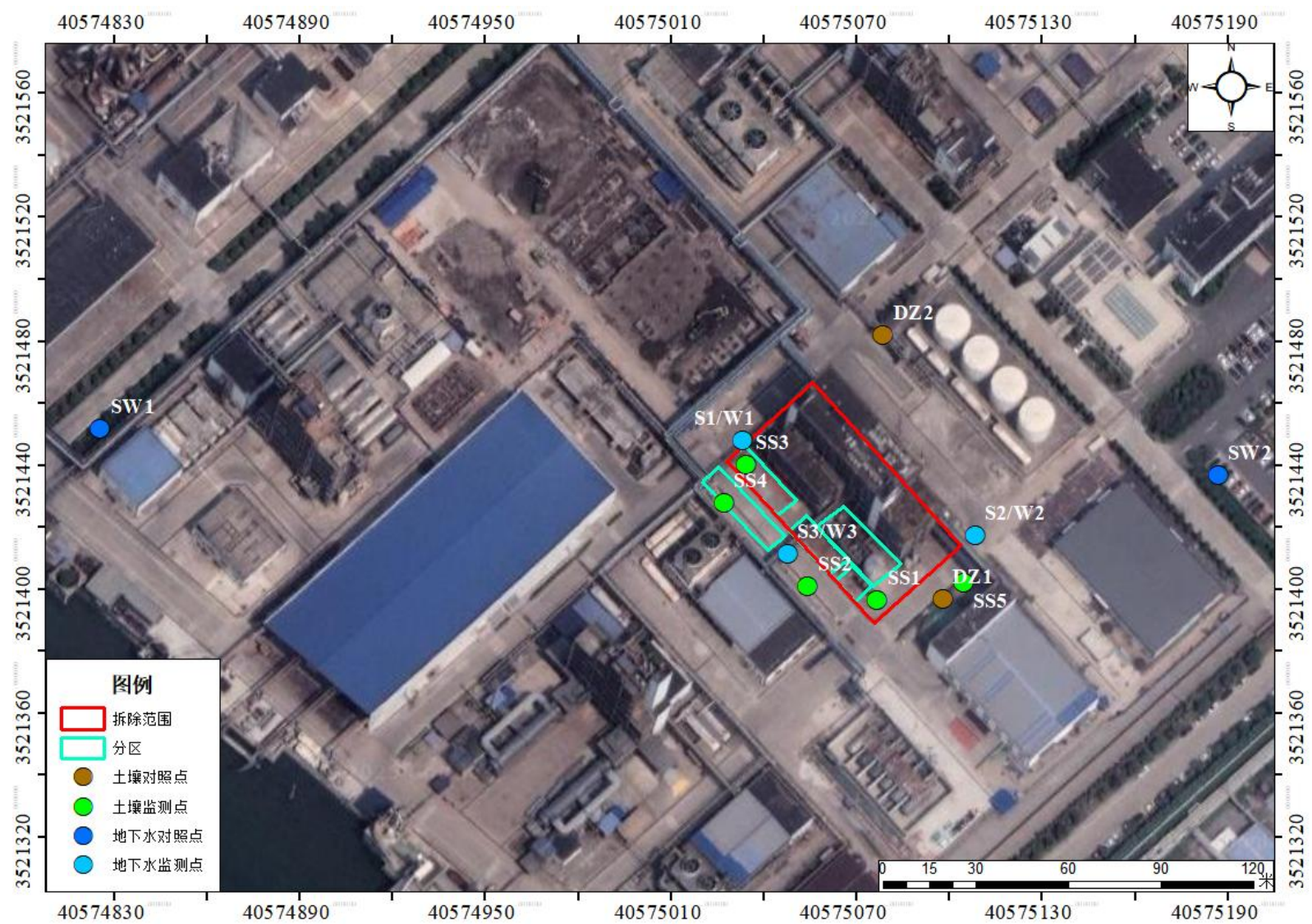
表 4.2-1 土壤样品信息汇总表

设备拆除前现场采样（2025 年 6 月 5 日）				
点位	孔深（m）	采样深度（m）	土壤岩性	采集样品个数
S1	10.5	0.3~0.5	素填土	1
		1.6~1.8	淤泥质粉质粘土夹粉土	1
		3.6~3.8		1
		5.6~5.8		1
		6.2~6.4		1
		8.2~8.4		1
		9.8~10.0		2（含 1 个平行样）
S2	13.5	0.7~0.9	素填土	1
		2.5~2.7	淤泥质粉质粘土夹粉土	1
		3.8~4.0		1
		5.8~6.0		1
		7.8~8.0		1
		9.8~10.0		1
		11.0~11.2		1
		13.3~13.5		2（含 1 个平行样）
S3	13.5	0.3~0.5	素填土	1
		1.5~1.7	淤泥质粉质粘土夹粉土	1
		3.5~3.7		1

设备拆除前现场采样（2025 年 6 月 5 日）				
点位	孔深（m）	采样深度（m）	土壤岩性	采集样品个数
		4.5~4.7		1
		6.5~6.7		1
		8.5~8.7		1
		10.5~10.7		1
		12.5~12.7		2（含 1 个平行样）
设备拆除后的现场采样（2025 年 10 月 11 日）				
SS1	0.5	0~0.2	素填土	1
SS2	0.5	0~0.2	素填土	1
SS3	0.5	0~0.2	素填土	1
SS4	0.5	0~0.2	素填土	1
SS5	0.5	0~0.2	素填土	1
DZ1	0.5	0~0.2	素填土	1
DZ2	0.5	0~0.2	素填土	2（含 1 个平行样）

表 4.2-2 地下水样品信息汇总表

设备拆除前现场采样（2025 年 6 月 5 日）			
点位	孔深（m）	含水层介质	采集样品个数（组）
W1	10.5	淤泥质粉质粘土夹粉土	2（含 1 个平行样）
W2	13.5	淤泥质粉质粘土夹粉土	1
W3	13.5	淤泥质粉质粘土夹粉土	1
设备拆除后的现场采样（2025 年 10 月 11 日）			
W1	10.5	淤泥质粉质粘土夹粉土	1
W2	13.5	淤泥质粉质粘土夹粉土	2（含 1 个平行样）
W3	13.5	淤泥质粉质粘土夹粉土	1
SW1	/	淤泥质粉质粘土夹粉土	1
SW2	/	淤泥质粉质粘土夹粉土	1



4.2.2. 检测结果

生产线拆除后，企业计划将场地用作生产三氟氯乙烯、氢氟酸及副产品盐酸，工业用地性质不变。因此两次调查土壤质量标准均采用《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）中第二类用地风险筛选值进行评价，地下水质量标准均采用《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中IV类用水标准限值进行评价。氟化物标准参考江苏省地方标准《建设用地土壤污染风险筛选值》（DB32/T 4712-2024）第二类用地筛选值；石油类标准参考上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标第二类用地筛选值。其他评估指标无标准的，本次调查仅列出检出范围。

汇总设备拆除前、后两次土壤及地下水检测结果得出：

4.2.2.1. 土壤检测结果

1、土壤样品共检出 14 项污染物，分别为总砷、镉、铅、总汞、铜、镍、pH 值、石油烃（C₁₀~C₄₀）、氟化物、氯离子、1，1-二氯乙烯、氯乙烯、1，1-二氯-1-氟乙烷和钛。

2、特征污染物共检出 8 项，分别为 pH 值、石油烃（C₁₀~C₄₀）、氟化物、氯离子、钛、1，1-二氯乙烯、氯乙烯、1，1-二氯-1-氟乙烷，其中：

pH 检出值范围为 8.35~11.63；氯离子检出值范围为 0.0071~0.057g/kg；钛检出值范围为 0.64~5.67g/kg。

石油烃（C₁₀~C₄₀）检出值范围为 ND~59mg/kg，未超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）中第二类用地风险筛选值；

氟化物检出值范围为 191~758mg/kg，未超过江苏省地方标准《建设用地土壤污染风险筛选值》（DB32/T 4712-2024）第二类用地筛选值；

特征有机污染物中 1，1-二氯乙烯检出值检出范围为 ND~24.2μg/kg，1，1-二氯-1-氟乙烷检出值范围为 ND~18.2μg/kg，氯乙烯检出值检出范围为 ND~888μg/kg。

氯乙烯（S1-2-1.6~1.8m）检出浓度超出了《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）中第二类用地风险筛选值，未超管制值，超标倍数约为 2.06。

3、其他检出污染物的检出浓度均符合《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）中第二类用地风险筛选值。

根据检测结果，场地内土壤存在特征污染物氯乙烯超标污染；经分析，该污染来源于场地的历史生产活动。

4.2.2.2. 地下水检测结果

1、地下水样品共检出 26 项污染物，分别为 pH、铅、砷、钠、铝、铁、锰、钛、锌、硫化物、氰化物、碘化物、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻、亚硝酸盐、色度、浊度、溶解性总固体、总硬度、耗氧量、氨氮、石油类、总大肠菌群、菌落总数，未检出含氯有机污染物。

2、特征污染物共检出 5 项，分别为 pH、F⁻、Cl⁻、石油类、钛，其中：

pH 检出值范围为 7.2~7.8；钛检出值范围为 ND~0.51μg/L；

F⁻检出值范围为 0.258~1.66mg/L，Cl⁻检出值范围为 21.5~310mg/L，符合《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中IV类用水标准限值；

石油类检出值范围为 0.01~0.02mg/L，符合上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标第二类用地筛选值。

3、其他检出污染物除亚硝酸盐、耗氧量、氨氮、菌落总数、色度、浊度等常规因子检出浓度超出《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中IV类用水标准限值外，检出浓度均符合相关标准。

4.2.3. 小结

综合“4.2.1.1 现场采样”及“4.2.1.2 检测结果”可知：

1、调查共布设了 10 个土壤采样点（含 7 个为表层采样点），共采集土壤样品 34 个（含 4 个平行样）。共布设 5 口地下水监测井（含 2 口企业原有监测井），采集地下水样品 10 个（含 2 个平行样）。

2、两次采样工作的土壤样品检测项目均为《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）中的 45 项基本检测项目及 pH、氟化物、氯化物、石油烃（C₁₀-C₄₀）、1, 1-二氯-1-氟乙烷（简称：HCFC-141b）、一氯二氟乙烷（简称：HCFC-142b）、三氯乙烷、钛；地下水样品检测项目均为《地下水质

量标准》（GB/T14848-2017）的 37 项常规项（排除放射性指标）外加石油类、1,1-二氯-1-氟乙烷（简称：HCFC-141b）、一氯二氟乙烷（简称：HCFC-142b）、偏氯乙烯（1,1-二氯乙烯）、氯乙烯、三氯乙烷、钛。

3、所有土壤样品共检出 14 项污染物，其中特征污染物氯乙烯的检出浓度超出《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）中第二类用地风险筛选值，未超管制值，超标倍数约为 2.06；地下水样品共检出 26 项污染物，未检出含氯有机物。其中仅常规因子亚硝酸盐、耗氧量、氨氮、菌落总数、色度、浊度检出浓度超出《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中IV类用水标准限值。

4.3. 土壤污染状况调查结论

第一阶段通过资料收集、现场踏勘及人员访谈开展污染识别，场地历史为 HCFC-141b 生产线，生产阶段设备存在隐蔽微量渗漏风险；停产及拆除阶段污染防治措施完备，未发生渗漏污染。场地周边 AHF、VDF 生产单元存在潜在污染影响，外侧两家企业对本场地污染可能性较小。最终识别场地特征污染物包括 pH、氟化物、氯化物、石油烃（C₁₀~C₄₀）、1,1-二氯-1-氟乙烷（HCFC-141b）、一氯二氟乙烷（HCFC-142b）、氯乙烯、三氯乙烷、偏氯乙烯、钛。

第二阶段分别在生产线拆除前后开展土壤、地下水采样检测工作。其中土壤样品中氯乙烯（S1-2-1.6~1.8 m）检出浓度超出了《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）的第二类用地风险筛选值；地下水样品中无有机污染物检出，仅部分常规水质指标超出IV类地下水标准。

综上，根据《污染场地土壤环境管理办法》相关要求，该场地为污染场地，需开展风险评估工作，计算氯乙烯的致癌风险和危害商，判断风险是否可接受。

5. 人体健康风险评估

根据前期调查结果，本场地应针对土壤开展风险评估工作，风险评估基于《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）进行。

场地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。

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污染物的风险控制值与风险和危害商，并对场地的土壤污染物进行风险表征；若有风险，应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。

本项目针对场地土壤中超过筛选值的污染物（氯乙烯）进行风险评估。

5.1. 前期调查数据论证

5.1.1. 污染情况

设备拆除前共采集了 3 个钻孔的土壤样品，共采集土壤样品 26 个（含 3 个平行样）。其中，点位 S1 中样品编号为 S1-2 的土壤样品存在超标现象，超标污染物为氯乙烯，检出浓度超过了《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）的第二类用地土壤污染风险筛选值，超标土层为淤泥质粉质粘土夹粉土。土壤超标点位信息见表 5.1-1。

表 5.1-1 土壤超标点位信息表

超标点位	超标深度（m）	土壤岩性	超标污染物	浓度（ $\mu\text{g/kg}$ ）	二类用地标准限值（ $\mu\text{g/kg}$ ）	是否超管制值	位置
S1	1.6~1.8	淤泥质粉质粘土夹粉土	氯乙烯	888	430	否	位于生产线地下水流向上游

5.1.2. 污染来源相关性分析

分析土壤超标物质氯乙烯与场地生产历史的相关性。从生产工艺、原辅材料等因素分析，偏二氯乙烯为制取 1-氟-1, 1-二氯乙烷的原料，在厌氧环境下会发生还原反应脱氯，转化为氯乙烯。综上，本场地土壤超标物质氯乙烯来源可追溯。

5.2. 危害识别

5.2.1. 危害识别

通过对场地开展的现场调查、样品检测分析，表明该场地土壤受到了一定程度的污染，场地污染对人体、生态环境等保护对象会产生不同程度的危害和风险。

该场地土壤中检测出较高浓度的氯乙烯，该污染物会通过挥发吸入直接或间接对人类健康造成威胁。

健康危害：对人体中枢神经系统有麻醉作用，可经呼吸道进入人体，主要损害肝、脾和中枢神经系统。吸入高浓度表现为头晕、头痛、乏力、胸闷、气急、站立不稳等，严重时意识不清。长期过量接触可致肝、脾肿大，肝功能异常、肝血管肉瘤。也可引起肢端溶骨症。

环境危害：可参与光化学烟雾反应，对水体也可造成污染。

燃爆危险：为易燃的致癌物。

氯乙烯为 IARC 一类人类致癌物，长期低剂量暴露存在不可逆致癌风险，特征诱发肝血管肉瘤、肝细胞癌，同时提升脑、血液、肺部肿瘤发病概率；无安全暴露阈值，长期任何剂量均存在超额癌症风险。长期慢性非致癌毒性以肝脏为核心靶器官，依次引发肝脂肪变性、纤维化乃至肝硬化；可诱发特征性氯乙烯综合征，包括肢端溶骨症、雷诺现象、硬皮病样皮肤病变；同时造成中枢与外周神经持续性损伤、心肺功能减退、生殖发育损害及肾小管慢性病变。

5.2.2. 场地规划与敏感受体

《建设场地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）规定了 2 类典型用地方式下的暴露情景，即以住宅用地为代表的第一类用地（简称“第一类用地”）和以工业用地为代表的第二类用地（简称“第二类用地”）的暴露情景。

常熟三爱富氟化工有限责任公司 F141b 生产线拆除后，企业计划用作生产三氟氯乙烯、氢氟酸及副产品盐酸，工业用地性质不变，属于第二类用地。

第二类用地方式下，成人的暴露期长、暴露频率高，一般根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌效应。

综上，在第二类用地方式下，成人可能会因长时间暴露于污染场地而产生健康危害。

5.2.3. 场地风险分析

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》，结合土壤污染状况调查和检测结果，对人群等敏感受体具有潜在风险且需要进行风险评估的污染物，将被确定为关注污染物。

根据前期土壤污染状况调查的检测结果，土壤样品中检出的特征污染物有 1,1-二氯乙烯、1,1-二氯-1-氟乙烷、钛、氯乙烯，其中：

1,1-二氯乙烯为场地原生产线生产原料，急性毒性：LC₅₀200mg/kg（大鼠经口），长期暴露主要损伤肝脏与肾脏，高浓度可致肝细胞坏死、肾功能异常。虽其毒性较高，IARC 将其列为 2B 类（可疑人类致癌物），但本场地土壤中的检出浓度仅 24.2 μg/kg，远低于 GB 36600-2018 第二类用地风险筛选值（66000 μg/kg），现有浓度下二类用地各暴露途径带来的致癌与非致癌健康风险均很小，因此不将 1,1-二氯乙烯纳入本次风险评估的关注污染物。

1,1-二氯-1-氟乙烷（HCFC-141b）为场地原生产线产品，急性毒性：大鼠经口 LD₅₀>5000 mg/kg（大鼠经口），高浓度吸入主要表现为中枢神经抑制、麻醉效应。由于该物质为低毒，IARC 未将其列为致癌物，且场地内土壤检出浓度仅 18.2 μg/kg，现有检出水平下二类用地各暴露途径带来的致癌与非致癌健康风险均很小，因此本次风险评估不将其列为关注污染物。

钛为本生产线催化剂四氯化钛的组成元素，场地土壤中钛检出值范围为 4.29~4.82 g/kg，暂无相关评价标准。四氯化钛进入土壤环境后会快速发生水解反应，生成性质稳定的二氧化钛，使得钛元素主要以二氧化钛固相形态赋存于土壤中。二氧化钛属于低毒物质，大鼠经口 LD₅₀>5000 mg/kg，难溶于水，人体消化道吸收效

率极低，只有长期高浓度吸入超细粉尘才可造成肺部沉积、慢性炎症。结合场地检出水平、物质环境赋存特征及毒理数据分析，二类用地各暴露途径带来的致癌与非致癌健康风险均很小，因此本次风险评估不将钛列为关注污染物。

氯乙烯为本场地生产原料偏氯乙烯在水土环境下的转化产物，土壤中检出值范围为 ND~888 $\mu\text{g/kg}$ ，S1 点位的 S1-2 样品（1.6~1.8m）检出浓度超过《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）第二类用地风险筛选值。氯乙烯急性毒性：LD₅₀500 mg/kg，毒性较高，可经呼吸道侵入人体，对中枢神经系统存在麻醉效应，慢性暴露主要损害肝脏、脾脏，同时存在致突变、致畸及胚胎毒性。IARC 将氯乙烯划为 G1 确认人类致癌物，EPA 将其列为 2A 类（很可能人类致癌物）。综合污染物检出水平、毒性特征等，本次风险评估将其列为关注污染物。

综上，本项目以氯乙烯作为关注污染物，选取场地土壤中氯乙烯最高检出浓度 888 $\mu\text{g/kg}$ 代表场地污染最大暴露水平，开展定向人体健康风险评估。

5.3. 暴露评估

污染场地风险暴露评估，是在确定场地利用方式和关注污染物的基础上，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和暴露评估模型，确定评估模型参数取值，计算敏感人群在不同暴露情景下对应的暴露量。

企业计划将 HCFC-141b 生产装置拆除后，用作生产三氟氯乙烯、氢氟酸及副产品盐酸，用地性质不变，本次评估按工业用地考虑。

5.3.1. 暴露情景分析

暴露情景是特定土地利用方式下，场地污染物经由不同方式迁移并到达受体的一种假设性场景描述，即关于场地污染暴露如何发生的一系列事实、推定和假设。根据场地用地规划，确定场地的未来用地情景。根据受体特征，分析受体人群与场地污染物的接触方式。《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中规定了 2 类典型用地方式下的暴露情景，即以住宅用地为代表的敏感用地（简称“敏感用地”）和以工业用地为代表的非敏感用地（简称“非敏感用地”）的暴露情景。

本报告选取《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中规定的非敏感用地情景进行人体健康风险评估。对于致癌效应，考虑人群的终生暴露危害，根据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，根据成人期暴露来评估污染物的非致癌危害效应。

5.3.2. 暴露途径分析

暴露途径是场地土壤和地下水中污染物经一定的方式迁移达到并进入敏感受体的过程。主要由污染源的属性、场地的用途和人群的活动特点决定。

依据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）土壤风险评估相关要求，结合场地后续规划，本场地关注污染物为氯乙烯，选取最高检出浓度 888 $\mu\text{g/kg}$ 作为最大暴露点浓度。为体现评估保守性，本次风险评估分别概化该污染点污染作为上层（表层）土壤污染、下层土壤污染两种情景开展定向风险评估。因场地地下水无有机污染物检出，结合地块后续生产规划（用于生产三氟氯乙烯、氢氟酸及副产品盐酸），本次评估不考虑地下水及室内暴露途径。两种暴露情景暴露途径分别为：

1、上层（表层）土壤污染情景

此时土壤污染物直接与人体接触，由于氯乙烯挥发性强，会从上层（表层）土壤挥发至空气中，因此暴露途径为经口摄入、皮肤接触、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。

2、下层土壤污染情景

此时土壤污染物埋于地下，不会直接接触人体，氯乙烯主要从地下污染土层向上挥发迁移扩散至地面，因此暴露途径为吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物。

5.3.3. 场地概念模型

建立概念模型的目的是更清晰、直观地表示出污染物以何种介质、通过何种途径到达或接触各种暴露情景（生活、工作、休闲等）下的受体，确定到达受体的暴露途径，选择合适的暴露计算模型和参数计算暴露剂量。根据《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中相关规定，场地中污染物除了可以土壤为载体接触或

进入人体外，还可以与大气（如颗粒污染物、气态污染物）接触或进入人体。本次风险评估概念模型暴露途径表见表 5.3-1。

表 5.3-1 土壤概念模型氯乙烯暴露途径表

基质	暴露情景	暴露途径
土壤	氯乙烯上层（表层）土壤污染情景	经口摄入
		皮肤接触
		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
	氯乙烯下层土壤污染情景	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物

5.3.4. 暴露评估计算模型

在危害识别的基础上，分析场地内关注污染物迁移和危害敏感受体的可能性，确定场地土壤污染物的主要暴露途径和暴露评估模型，确定评估模型参数取值，计算敏感人群对土壤和中污染物的暴露量。

我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）规定了第二类用地方式下土壤 5 种暴露途径的暴露剂量计算方法、地下水 1 种暴露途径的暴露剂量计算方法。结合“5.3.2 暴露途径分析”，本次风险评估涉及到的暴露途径计算方法如下：

1、经口摄入土壤途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害，经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用公式计算：

$$OISER_{ca} = \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害，经口摄入土壤途径对应的土壤暴露量采用公式计算：

$$OISER_{nc} = \frac{OSIR_a \times ED_a \times EF_a \times ABS_o}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

2、皮肤接触土壤途径

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害。皮肤接触土壤途径的土壤暴露量采用公式计算：

$$DCSER_{ca} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{ca}} \times 10^{-6}$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害，皮肤接触土壤途径对应的土壤暴露量采用公式计算：

$$DCSER_{nc} = \frac{SAE_a \times SSAR_a \times EF_a \times ED_a \times E_v \times ABS_d}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

3、吸入土壤颗粒物

对于单一污染物的致癌效应，考虑人群在成人期暴露的终生危害，吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式计算：

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

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害，吸入土壤颗粒物途径对应的土壤暴露量采用公式计算：

$$PISER_{nc} = \frac{PM_{10} \times DAIR_a \times ED_a \times PIAF \times (f_{spo} \times EFO_a + f_{spi} \times EFI_a)}{BW_a \times AT_{nc}} \times 10^{-6}$$

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对应的土壤暴露量，采用公式计算：

$$IOVER_{cal} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{ca}}$$

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害，吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量，采用公式计算：

$$IOVER_{ncI} = VF_{suroa} \times \frac{DAIR_a \times EFO_a \times ED_a}{BW_a \times AT_{nc}}$$

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对应的土壤暴露量，采用公式计算。

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

对于单一污染物的非致癌效应，考虑人群在成人期的暴露危害，吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量，采用公式进行计算。

$$IOVER_{nc2} = VF_{suboa} \times \frac{DAIR_c \times EFO_c \times ED_c}{BW_c \times AT_{nc}}$$

上述公式中各参数含义见表 5.3-2。

表 5.3-2 暴露量方程中各参数含义

参数	定义	单位
OISER _{ca}	经口摄入土壤暴露量（致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
OISER _{nc}	经口摄入土壤暴露量（非致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
OSIR _a	成人每日摄入土壤量	mg·d ⁻¹
ED _a	成人暴露期	a
EF _a	成人暴露频率	d·a ⁻¹
ABS _o	经口摄入吸收效率因子	无量纲
BW _a	成人平均体重	kg
AT _{ca}	致癌效应平均时间	d
AT _{nc}	非致癌效应平均时间	d
DCSER _{ca}	皮肤接触途径的土壤暴露量（致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
DCSER _{nc}	皮肤接触途径的土壤暴露量（非致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
SAE _a	成人暴露皮肤表面积	cm ²
SSAR _a	成人皮肤表面土壤粘附系数	mg·cm ⁻²
E _v	每日皮肤接触事件频率	次·d ⁻¹
H _a	成人平均身高	cm
SER _a	成人暴露皮肤所占面积比	无量纲
ABS _d	皮肤接触吸收效率因子	无量纲
PISER _{ca}	吸入土壤颗粒物的土壤暴露量（致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
PISER _{nc}	吸入土壤颗粒物的土壤暴露量（非致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
PM ₁₀	空气中可吸入浮颗粒物含量	kg·m ⁻³
DAIR _a	成人每日空气呼吸量	m ³ ·d ⁻¹
PIAF	吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	无量纲
f _{spo}	室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例	无量纲
EFO _a	成人的室外暴露频率	d·a ⁻¹
IOVER _{ca1}	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
IOVER _{nc1}	吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（非致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
VF _{suroa}	表层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子	kg·m ⁻³

参数	定义	单位
IOVER _{ca2}	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
IOVER _{nc2}	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（非致癌效应）	kg 土壤·kg ⁻¹ 体重·d ⁻¹
VF _{suboa}	下层土壤中污染物扩散进入室外空气的挥发因子	kg·m ⁻³

5.3.5. 评估模型参数

场地风险评估时需用到的参数类别主要包括土壤特征参数、暴露因子及污染物理化毒性等几大类。本次评估所需的场地特征参数参考国家环境保护部发布的《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）及场地的实测数值。

1、暴露因子相关参数

暴露因子是计算污染物进入人体暴露量的重要参数，主要包括体重、皮肤面积、平均寿命、暴露时间、土壤摄入速率和呼吸量等。暴露因子相关参数见表 5.3-3。

表 5.3-3 受体暴露参数

参数名称	符号	单位	第二类用地取值	取值依据
成人每日摄入土壤量	OSIR _a	mg·d ⁻¹	100	HJ 25.3-2019
成人暴露期	ED _a	a	25	HJ 25.3-2019
成人暴露频率	EF _a	d·a ⁻¹	250	HJ 25.3-2019
成人平均体重	BW _a	kg	61.5	参考江苏省疾控中心公开数据
经口摄入吸收因子	ABS _o	无量纲	1	HJ 25.3-2019
致癌效应平均时间	AT _{ca}	d	27740	HJ 25.3-2019
非致癌效应平均时间	AT _{nc}	d	9125	HJ 25.3-2019
成人平均身高	H _a	cm	166.6	参考江苏省疾控中心公开数据
成人暴露皮肤所占表面积比	SER _a	无量纲	0.18	HJ 25.3-2019
每日皮肤接触事件频率	E _v	次·d ⁻¹	1	HJ 25.3-2019
空气中可吸入颗粒物含量	PM ₁₀	mg·m ⁻³	0.0463	常熟市近三年（2023~2025 年）全年环境空气质量情况通报的 PM ₁₀ 平均值
成人每日空气呼吸量	DAIR _a	m ³ ·d ⁻¹	14.5	HJ 25.3-2019
吸入土壤颗粒物在体内滞留比例	PIAF	无量纲	0.75	HJ 25.3-2019
室外空气中来自土壤的颗粒物比例	f _{spo}	无量纲	0.5	HJ 25.3-2019
暴露于土壤的参考计量分配比例（VOCs）	SAF	无量纲	0.33	HJ 25.3-2019
成人室外暴露频率	EFO _a	d·a ⁻¹	62.5	HJ 25.3-2019
单一污染物可接受致癌风险	ACR	无量纲	1.00E-06	HJ 25.3-2019
单一污染物可接受危害熵	AHQ	无量纲	1	HJ 25.3-2019
成人皮肤表面土壤粘附系数	SSAR _a	mg·cm ⁻²	0.2	HJ 25.3-2019
气态污染物入侵持续时间	τ	a	25	HJ 25.3-2019
成人次经皮肤接触的时间	ta	h	0.5	HJ 25.3-2019

2、场地特征参数

场地特征参数包括土壤类型、场地气象条件等，主要影响污染物在介质之间的迁移过程。参数按照 HJ 25.3 的默认参数取值及现场实测数值确定，具体见表 5.3-4。

表 5.3-4 场地特征参数

参数名称	符号	单位	第二类用地	取值依据
表层污染土壤层厚度	d	cm	50	HJ 25.3—2019
污染土壤层埋深	Ls	cm	160	实测值
污染土壤层厚度	d _{sub}	cm	20	
污染源区面积	A	cm ²	26460000	
土壤有机质含量	f _{om}	g/kg	22.8	
土壤容重	ρ _b	kg·dm ⁻³	1.34	
土壤颗粒密度	ρ _s	kg·dm ⁻³	2.71	
混合区大气流速风速	U _{air}	cm·s ⁻¹	200	HJ 25.3-2019
混合区高度	δ _{air}	cm	200	HJ 25.3-2019
污染源区宽度	W	cm	4000	生产线宽度

5.4. 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_i），经口摄入致癌斜率因子（SF_o）和皮肤接触致癌斜率因子（SF_d）。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（RfD_i）、经口摄入参考剂量（RfD_o）和皮肤接触参考剂量（RfD_d）。

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（D_a）、水中扩散系数（D_w）、土壤-有机碳分配系数（K_{oc}）、水中溶解度（S）等。

污染物人体毒性数据的获取采取以下原则：

1、优先参考我国生态环境部颁布的《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中给定的污染物的理化参数及毒性参数；

2、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中未包括的污染物，其理化参数及毒性参数主要通过参考国外权威机构建立的数据库获取。

当数据库中仅给出污染物的呼吸吸入单位致癌风险（IUR）和呼吸吸入参考浓度（RfC）时，需要对其进行转换，转换为致癌斜率因子（SF_i）和参考剂量（RfD_i），使其可应用于风险计算。呼吸吸入吸收致癌斜率因子（SF_i），优先根据呼吸吸入单位致癌风险（IUR）外推计算得到；呼吸吸入吸收参考剂量（RfD_i），优先根据呼吸吸入吸收参考浓度（RfC）外推计算得到，计算公式如下：

$$SF_i = \frac{IUR \times BW_a}{DAIR_a} \quad RfD_i = \frac{RfC \times DAIR_a}{BW_a}$$

式中：SF_i：呼吸吸入吸收致癌斜率因子，（mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹）⁻¹；RfD_i：呼吸吸入吸收参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；IUR：呼吸吸入吸收单位致癌因子，m³·mg⁻¹；BW_a：成人体重，kg；DAIR_a：成人每日空气呼吸量，m³·d⁻¹；RfC：呼吸吸入参考浓度，mg/m³。

皮肤接触致癌斜率系数（SF_d），优先根据经口摄入致癌斜率因子外推计算得到；皮肤接触参考剂量（RfD_d），优先根据经口摄入参考剂量外推计算得到。计算公式如下：

$$SF_d = \frac{SF_o}{ABS_{gi}} \quad RfD_d = RfD_o \times ABS_{gi}$$

式中：SF_d：皮肤接触致癌斜率因子，（mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹）⁻¹；SF_o：经口摄入致癌斜率因子，（mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹）⁻¹；RfD_d：皮肤接触参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；RfD_o：经口摄入参考剂量，mg 污染物·kg⁻¹ 体重·d⁻¹；ABS_{gi}：消化道吸收效率因子，无量纲。

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），污染物毒性参数、理化性质参数见表 5.4-1~5.4-2。

表 5.4-1 关注污染物毒性参数

毒理性质			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		消化道吸收因子		皮肤吸收效率因子	
类别	污染物	CAS 编号	SFo (mg/kg-d) ⁻¹	来源	IUR (mg/m ³) ⁻¹	来源	RfDo (mg/kg-d)	来源	RfC (mg/m ³)	来源	ABSgi (无量纲)	来源	ABSd (无量纲)	来源
土壤	氯乙烯	75-01-4	0.72	I	0.0044	I	0.003	I	0.1	I	1	RSL	-	-

备注：（1）SFo：经口摄入致癌斜率因子；IUR：呼吸吸入单位致癌风险；RfDo：经口摄入参考剂量；RfC：呼吸吸入参考浓度；ABSgi：消化道吸收因子；ABSd：皮肤吸收效率因子。

（2）“I”代表数据来自“美国环保局综合风险信息系统（USEPA Integrated Risk Information System）”；“RSL”代表数据来自美国环保局“区域筛选值（Regional Screening Levels）总表”污染物毒性数据。

表 5.4-2 关注污染物理化性质参数

理化性质			亨利常数		空气中扩散系数		水中扩散系数		土壤-有机碳分配系数		水溶解度		皮肤渗透系数
类别	污染物	CAS 编号	H'	来源	Da (cm ² /s)	来源	Dw (cm ² /s)	来源	Koc (cm ² /g)	来源	S (mg/L)	来源	Kp (cm/hr)
土壤	氯乙烯	1975-1-4	1.14	EPI	0.107	WATER9	0.000012	WATER9	21.7	EPI	8800	EPI	0.0056

备注：（1）H'：无量纲亨利常数；Da：空气中扩散系数；Dw：水中扩散系数；Koc：土壤-有机碳分配系数；S：水溶解度。

（2）“EPI”代表美国环保局“化学品性质参数估算工具包（Estimation Program Interface Suite）”数据；“WATER9”代表美国环保局“废水处理模型（the wastewater treatment model）”数据。

（3）表中无量纲亨利常数等理化性质参数为常温条件下的参数值。

5.5. 风险表征

在暴露评估和毒性评估的基础上，采用风险评估模型计算土壤和地下水中单一污染物经单一途径的致癌风险和危害商，计算单一污染物的总致癌风险和危害指数，进行不确定性分析。

5.5.1. 人体可接受风险水平

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中的规定，单一污染物可接受致癌风险水平为 10^{-6} ，可接受危害商为 1。即当单一污染物致癌风险水平大于 10^{-6} 或危害商大于 1 时，其代表的场地区域应划定为风险不可接受的污染区域，需采取进一步的管理措施。

5.5.2. 风险评估计算公式

5.5.2.1. 土壤中单一污染物致癌风险

1、经口摄入土壤途径的致癌风险计算公式：

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

CR_{ois} ——经口摄入土壤途径的致癌风险，无量纲；

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

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

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

2、皮肤接触土壤途径的致癌风险计算公式：

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

CR_{dcs} ——皮肤接触土壤途径的致癌风险，无量纲。

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

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

3、吸入土壤颗粒物途径的致癌风险计算公式：

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

CR_{pis} ——吸入土壤颗粒物途径的致癌风险，无量纲。

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

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

4、吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的致癌风险计算公式：

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

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

$IOVER_{ca1}$ ——吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

5、吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险计算公式：

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

CR_{iov2} ——吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的致癌风险，无量纲；

$IOVER_{ca2}$ ——吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ ；

6、土壤中单一污染物经所有暴露途径的总致癌风险计算公式：

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

CR_n ——土壤中单一污染物（第 n 种）经所有暴露途径的总致癌风险，无量纲。

5.5.2.2. 土壤中单一污染物危害商

1、经口摄入土壤途径的危害商计算公式：

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

HQ_{ois} ——经口摄入土壤途径的危害商，无量纲；

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

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

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

SAF ——暴露于土壤的参考剂量分配系数，无量纲；

2、皮肤接触土壤途径的危害商计算公式：

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

HQ_{dcs} ——皮肤接触土壤途径的危害商，无量纲；

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

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

3、吸入土壤颗粒物途径的危害商计算公式：

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

HQ_{pis} ——吸入土壤颗粒物途径的危害商，无量纲。

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

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

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计算公式：

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

HQ_{iov1} ——吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物途径的危害商，无量纲。

$IOVER_{nc1}$ ——吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（非致癌效应）， $kg \text{ 土壤} \cdot kg^{-1} \text{ 体重} \cdot d^{-1}$ 。

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计算公式：

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

HQ_{iov2} ——吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物途径的危害商，无量纲。

IOVER_{nc2}——吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物对应的土壤暴露量（非致癌效应），kg 土壤·kg⁻¹ 体重·d⁻¹。

6、土壤中单一污染物经所有暴露途径的危害指数采用公式计算：

$$HI_n = HQ_{ois} + HQ_{dcs} + HQ_{pis} + HQ_{iov1} + HQ_{iov2}$$

HI_n——土壤中单一污染物（第 n 种）经所有暴露途径的危害指数。

5.5.3. 风险评估软件

本项目的风险评估采用《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）中模型进行计算。

风险评估软件将采用《污染场地风险评估电子表格》计算，软件可以计算不同污染场地的风险控制值和筛选值，为污染场地筛选和修复提供指导。软件适用于污染场地人体健康风险评估和污染场地筛选值的查询和土壤和地下水风险控制值的确定，但不适用于放射性物质、致病性生物污染以及农用地土壤污染的风险评估。

软件依据的标准是《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），基于中国标准参数和数学模型。依据评估方式的不同，污染场地风险评估电子表格评估分为三层，随着层次的深入，使用的场地特征数据逐步增加，评估结果更加符合场地实际情况。

第一层：针对用地的不同（住宅用地、公园绿地、工业用地），分别对不同污染物设定土壤筛选值和地下水筛选值，这里主要参考国家 1、北京 2、上海 3、重庆 4、浙江 5、珠三角 6 的标准，存在的不足是没有考虑不同场地特征的影响；

第二层：工作内容包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征，以及土壤和地下水风险控制值的计算，可选择不同的暴露途径及场地特征参数，评估体系更加完善；

第三层次尚未开放。

软件依据的数据库是筛选值数据库、污染物数据库。其中筛选值数据库包括国家、北京、上海、重庆、浙江、珠三角的标准，评估对象是污染土壤和地下水，适用于第一层次风险评估。污染物数据库涵盖各种重金属、VOCs、SVOCs 的理化性

质与毒理性质，如亨利常数、分配系数、扩散系数、致癌风险、参考剂量等，用于第二层次以上的风险评估。其他如污染区参数、土壤性质参数、受体暴露参数等，来源于污染场地风险评估技术国家导则。



图 5.5-1 风险评估软件主界面

5.5.4. 土壤污染风险评估结果

按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019）要求，场地土壤污染物对人体的致癌风险水平设为 10^{-6} ，非致癌风险可接受危害商设为 1。

根据场地土壤环境调查结果，结合场地土壤性质和水文地质条件，基于土壤污染物检测浓度，采用《污染场地风险评估电子表格》计算第二类用地暴露情境下场地关注污染物的人体健康风险。

两种暴露场景中的计算结果如下：

1、氯乙烯上层（表层）土壤污染情景

此时土壤中氯乙烯最大致癌风险为 $2.37\text{E-}07$ ，未超过可接受致癌风险值 $1.0\text{E-}06$ ；土壤中氯乙烯最大非致癌风险为 $1.06\text{E-}03$ ，未超过非致癌风险可接受危害商 1。

2、氯乙烯下层土壤污染情景

此时土壤中氯乙烯最大致癌风险为 $1.24\text{E-}09$ ，未超过可接受致癌风险值 $1.0\text{E-}06$ ；土壤中氯乙烯最大非致癌风险为 $2.59\text{E-}05$ ，未超过非致癌风险可接受危害商 1。

综上，土壤氯乙烯风险可接受。

表 5.5-1 土壤单一污染物的致癌风险与非致癌风险

基质	暴露情景	暴露途径	最大致癌风险	最大非致癌风险
土壤	氯乙烯上层（表层）土壤污染情景	经口摄入	$2.34\text{E-}07$	$9.99\text{E-}04$
		皮肤接触	-	-
		吸入土壤颗粒物	$2.22\text{E-}11$	$4.64\text{E-}07$
		吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	$3.09\text{E-}09$	$6.48\text{E-}05$
	氯乙烯下层土壤污染情景	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	$1.24\text{E-}09$	$2.59\text{E-}05$

5.5.5. 不确定分析

5.5.5.1. 不确定性来源分析

受基础科学发展水平、时间及资料等限制，本项目建设用地地块的风险评估可能存在一定程度的不确定性，包括暴露情景假设、评估模型、地块实测参数、毒性参数及敏感性等。

1、暴露情景假设的不确定性

本次地块风险评估全程严格遵循国家现行土壤污染风险评估相关技术导则、规范开展工作，所有暴露情景假设均贴合本地块规划用地类型、场地未来开发利用方式进行设定，未脱离国内场地风险评价通用理论框架与本土场地实际工况。情景假设带来的偏差仅为系统性方法固有偏差，无主观假设偏差，不会造成风险评估结果量级性误差，该部分不确定性可接受。

2、评估模型的适用性

本次评估未自行研发、选用非标评估模型，全部采用国家导则明确推荐的标准化暴露评估模型，该类模型已在国内大量工业遗留地块、建设用地土壤风险评估项目中广泛应用，适配国内绝大多数场地地质结构、污染物迁移规律，经过国内海量实际项目验证，具备充足的行业适用性与工程可靠性。虽然模型无法完全匹配本场地独一无二的微观地质、污染物特征，但模型固有通用偏差属于行业普遍存在的客观问题，且模型及模型参数偏保守，基本覆盖了不利情景，不会降低场地风险等级判定结论，模型适用性带来的不确定性可接受。

3、地块实测参数的不确定性

本次地块土壤和地下水调查采样点位布设、采样深度、样品检测数量、检测流程均严格按照国家场地调查技术规范执行，采样工作量、检测成本均满足规范最低及常规工作要求，调查精度符合建设用地风险评估通用标准。针对场地地质条件不均匀、局部地层波动较大的问题，本次评估结合现场实测数据+区域水文地质经验参数双重校核方式完善场地概念模型，经验参数选取均依托本地成熟区域地质勘察数据库，参数取值贴合区域地层共性特征。同时本次评估在参数取值过程中采取保守性取值原则，放大不利暴露条件，最终计算得出的风险值、修复目标值均偏保守，能够覆盖参数波动带来的潜在风险，不会低估场地实际污染风险，实测参数及经验估值带来的不确定性可接受。

4、毒性参数的不确定性

现阶段国内土壤污染风险评估领域基础毒理试验、本土人群暴露参数研究仍处于完善阶段，行业内所有同类项目均普遍存在借鉴国外权威毒性参数的情况，属于国内场地风险评估行业共性问题，并非本项目独有缺陷。本次评估在选用国外毒性

参数时，优先选取欧美环保机构保守版毒理参数，同时结合国内人群体重、呼吸速率、饮食饮水习惯等本土暴露参数进行修正，进一步弱化国外毒理数据和国情不匹配带来的偏差。整体参数选取全程遵循保守评估原则，最终风险评估结果不会低估污染物对人体健康的危害，能够充分保障场地后续开发利用过程中的人体健康安全，毒性参数带来的不确定性可接受。

综上，本次地块风险评估存在的各项不确定性均为国内外场地风险评估行业固有、不可完全消除的客观误差，无重大方法缺陷、无关键数据缺失、无不合理主观取值。且本次评估全程采用保守评价原则，评估结果偏安全，不确定性不会影响场地风险等级判定、不会误导场地修复方案制定及后续用地安全管控。因此，本项目风险评估过程中存在的全部不确定性均处于合理范围，本次风险评估结果可信、有效，不确定性可以接受。

5.5.5.2. 暴露风险贡献率计算公式

单一污染物经不同暴露途径致癌和非致癌风险贡献率计算公式如下。

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

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

- CR_i （无量纲）单一污染物经第 i 种暴露途径的致癌风险；
- PCR_i （无量纲）—单一污染物经第 i 种暴露途径致癌风险贡献率；
- HQ_i （无量纲）—单一污染物经第 i 种暴露途径的非致癌风险；
- PHQ_i （无量纲）—单一污染物经第 i 种暴露途径非致癌风险贡献率。

5.5.5.3. 暴露风险贡献率结果

贡献率分析是指单一污染物经不同暴露途径的致癌风险和危害商贡献率，贡献率越大，表示特定暴露途径或特定污染物对于总风险值或危害指数的影响越大。根据上述公式，单一污染物经不同暴露途径的致癌风险和非致癌风险贡献率见表 5.5-2 所示。

表 5.5-2 土壤氯乙烯暴露风险贡献率汇总表

基质	暴露情景	暴露途径	贡献率（致癌风险）	贡献率（非致癌途径）
土壤	氯乙烯上层（表层）土壤污染情景	经口摄入	98.69%	93.87%
		皮肤接触	-	-
		吸入土壤颗粒物	0.01%	0.04%
		吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	1.30%	6.09%
	氯乙烯下层土壤污染情景	吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	100%	100%

5.5.5.4. 模型参数敏感性分析

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。

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，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±5%；参数值大范围变化时值将参数值变动±50%，或取该参数的最大与最小可能数值。模型参数（P）的敏感性比例计算公式如下。

$$SR = ((X2 - X1) \times P1) / (X1 \times (P2 - P1))$$

SR—模型参数敏感性比例，无量纲；

P1—模型参数 P 变化前的数值；

P2—模型参数 P 变化后的数值；

X1—根据 P1 计算的致癌风险或非致癌风险，无量纲；

X2—根据 P2 计算的致癌风险或非致癌风险，无量纲。

参考李聪等人与 2019 年发表的《污染场地风险评估模型参数的敏感性分析》，对参数敏感性的划分按照不同比例范围分为不敏感类、一般敏感类、敏感类和极敏感类，具体划分情况见表 5.5-3。

表 5.5-3 土壤敏感性分类划分表

分类等级	敏感性比例	敏感分类
I	$0\% \leq SR \leq 5\%$	不敏感
II	$5\% \leq SR \leq 20\%$	一般敏感
III	$20\% \leq SR \leq 100\%$	敏感
IV	$ SR > 100\%$	极敏感

根据表 5.5-3，本场地吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物、经口摄入的致癌贡献率、非致癌贡献率均超过 20%，因此需要开展相关参数和该途径相关参数的敏感性分析。

1、成人每日摄入土壤量

成人每日摄入土壤量变化与模型计算风险值和非致癌风险值呈正相关，即成人每日摄入土壤量取值增大，计算得到的风险值和非致癌风险值随之增大。本次评估成人每日摄入土壤量取值 $100\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$ ，取值变动 5% 时，风险评估模型敏感性比例绝对值为 1.01%，不敏感。

2、成人暴露期

成人暴露期变化与模型计算风险值和非致癌风险值呈正相关，即成人暴露期取值增大，计算得到的风险值和非致癌风险值随之增大。本次评估成人暴露期取值 25a，取值变动 5% 时，风险评估模型敏感性比例绝对值为 1.01%，不敏感。

3、成人暴露频率

成人暴露频率变化与模型计算风险值和非致癌风险值呈正相关，即成人暴露频率取值增大，计算得到的风险值和非致癌风险值随之增大。本次评估成人暴露频率取值 250d/a，取值变动 5% 时，风险评估模型敏感性比例绝对值为 1.01%，不敏感。

4、成人平均体重

成人平均体重变化与模型计算风险值和非致癌风险值呈负相关，即成人平均体重取值增大，计算得到的风险值和非致癌风险值随之减小。本次评估成人平均体重取值 61.5kg，取值变动 5% 时，风险评估模型敏感性比例绝对值为 0.93%，不敏感。

5、经口摄入吸收效率因子

经口摄入吸收效率因子变化与模型计算风险值和非致癌风险值呈正相关，即经口摄入吸收效率因子取值增大，计算得到的风险值和非致癌风险值随之增大。本次评估经口摄入吸收效率因子取值 1，取值变动 5% 时，风险评估模型敏感性比例绝对值为 1.01%，不敏感。

6、成人每日空气呼吸量

成人每日空气呼吸量变化与模型计算风险值和非致癌风险值呈正相关，即成人每日空气呼吸量取值增大，计算得到的风险值和非致癌风险值随之增大。本次评估成人每日空气呼吸量取值 $14.5\text{m}^3/\text{d}$ ，取值变动 5% 时，风险评估模型敏感性比例绝对值为 0%，不敏感。

7、成人室外暴露频率

成人室外暴露频率变化与模型计算风险值和非致癌风险值呈正相关，即成人室外暴露频率取值增大，计算得到的风险值和非致癌风险值随之增大。本次评估成人室外暴露频率取值 62.5d/a，取值变动 5%时，风险评估模型敏感性比例绝对值为 0.08%，不敏感。

8、气态污染物入侵持续时间

气态污染物入侵持续时间变化与模型计算风险值和非致癌风险值呈负相关，即气态污染物入侵持续时间取值增大，计算得到的风险值和非致癌风险值随之减小。本次评估气态污染物入侵持续时间取值 25a，取值变动 5%时，风险评估模型敏感性比例绝对值为 0%，不敏感。

各模型参数敏感性变化汇总见表 5.5-4。

表 5.5-4 模型参数敏感性变化表（参数值变动 5%）

参数	敏感性比例绝对值	敏感程度
成人每日摄入土壤量	1.01%	不敏感
成人暴露期	1.01%	不敏感
成人暴露频率	1.01%	不敏感
成人平均体重	0.93%	不敏感
经口摄入吸收效率因子	1.01%	不敏感
成人每日空气呼吸量	0%	不敏感
成人室外暴露频率	0.08%	不敏感
气态污染物入侵持续时间	0%	不敏感

综上，敏感性参数波动后敏感性比值绝对值均小于 5%，敏感程度为不敏感，即敏感性参数变化不会改变风险评估的最终结论。

6. 结论与建议

6.1. 结论

本次风险评估对象为 HCFC-141b 生产线关闭项目场地，企业计划将拆除后的场地用于生产三氟氯乙烯、氢氟酸及副产品盐酸，工业用地性质不变。

场地土壤及地下水检测结果表明，S1 点位（1.6~1.8 m）土壤样品中，氯乙烯检出浓度为（888 $\mu\text{g/kg}$ ）超出《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）第二类用地筛选值，但未超过管制值；该污染物为原生产线所用原料偏氯乙烯在厌氧条件下的转化产物，污染来源可追溯，本次将氯乙烯作为关注污染物开展人体健康风险评估。其他特征污染物，如 1,1-二氯乙烯、1,1-二氯-1-氟乙烷、钛等因检出浓度低或毒性低等原因，不纳入关注污染物。

为体现评估保守性，本次风险评估，选取场地土壤中氯乙烯最高检出浓度 888 $\mu\text{g/kg}$ 代表场地污染最大暴露水平，分别概化该污染点污染作为上层（表层）土壤污染、下层土壤污染两种情景开展定向风险评估。识别 5 类暴露途径，包括经口摄入、皮肤接触、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，分情景代入场地实测水文地质参数、第二类工业用地成人暴露参数及污染物毒理理化参数，核算单途径日均暴露量、分层致癌风险与非致癌危害指数，最终叠加得到场地综合健康风险。

为验证风险计算结果可靠性，开展模型暴露参数单因素敏感性分析，将各暴露参数上下浮动 5%重新计算风险值，通过敏感性比例 SR 判定参数敏感等级。分析结果表明，敏感参数的敏感程度均为不敏感。

由此，土壤中氯乙烯人体健康风险整体可接受。

6.2. 建议

本次风险评估是基于场地现有的基础条件和工业用途下的概念模型，开展的风险评估，如后续场地状况或具体的开发利用方式发生了变化，特别是有室内暴露途径的用地情景，需重新构建场地概念模型，重新进行风险评估。

严格执行每 2~3 年一轮全域土壤污染隐患排查要求，重点巡查防渗设施、雨水管网、遗留沟槽、固废临时堆放区，防止残留废液渗漏造成二次土壤污染。

开展常态化跟踪监测，每年分丰、枯水期对污染区域土壤、地下水取样检测，重点监控超标及特征污染物；建立监测数据预警机制，污染物浓度持续上升、超出管控阈值时立即加密监测、溯源排查并采取阻断管控措施。

对拆除后遗留硬化围堰、防渗地面、初期雨水收集系统定期检修维护；在污染核心区域保留现有防渗阻隔设施，不得随意拆除、破坏；完善地块雨水导排系统，持续落实雨污分流，杜绝雨水冲刷携带污染物下渗扩散。