

附件1

河北省在产化工园区土壤和地下水污染 边生产边管控指南

(试行)

2025 年 12 月

目 次

一、适用范围	- 1 -
二、规范性引用文件	- 1 -
三、术语与定义	- 3 -
(一) 边生产边管控	- 3 -
(二) 污染源	- 3 -
(三) 管控目标	- 3 -
(四) 有毒有害物质	- 4 -
(五) 易迁移污染物	- 4 -
四、基本原则	- 4 -
(一) 系统治理	- 4 -
(二) 科学合理	- 4 -
(三) 绿色低碳	- 5 -
五、工作内容与流程	- 5 -
(一) 工作内容	- 5 -
1. 污染源溯源	- 5 -
2. 断源整治	- 5 -
3. 管控修复	- 5 -
4. 后期环境监管	- 6 -
(二) 工作程序	- 6 -
六、问题识别与污染溯源	- 8 -
(一) 问题识别	- 8 -
1. 资料收集	- 8 -
2. 污染情况	- 8 -
3. 周边环境敏感目标	- 8 -
(二) 分类分区	- 8 -
1. 分类	- 8 -
2. 分区	- 9 -
3. 分类分区管理策略	- 9 -
(三) 污染溯源	- 10 -
1. 污染源排查	- 10 -
2. 污染源解析	- 11 -
3. 污染源清单建立	- 11 -
七、断源整治	- 11 -
(一) 明确断源措施	- 11 -
(二) 制定整治方案	- 12 -
(三) 评估整治成效	- 12 -
八、风险分级评价与管控方案制定	- 13 -
(一) 风险分级评价	- 13 -
(二) 风险管控和污染治理方案制定	- 13 -

1. 管控目标确定	- 13 -
2. 管控范围确定	- 14 -
3. 管控模式确定	- 14 -
4. 技术筛选	- 14 -
5. 制定方案	- 15 -
九、管控工程过程监管与效果评估	- 15 -
(一) 工程准备	- 15 -
(二) 过程管理	- 16 -
(三) 效果评估	- 16 -
十、监测监管	- 17 -
(一) 完善应急防控体系	- 17 -
(二) 健全监测预警机制	- 17 -
(三) 强化长效监管措施	- 17 -
附录A	- 18 -
附录B	- 19 -
附录C	- 24 -

为贯彻落实《地下水管理条例》《土壤污染防治行动计划》《关于加快建设天蓝、地绿、水秀的美丽河北 以实际行动全面推进美丽中国建设的实施意见》，依法加强化工园区土壤和地下水环境管理，按照防新增、去存量、控风险的思路，推进河北省在产化工园区土壤和地下水污染源头防控，制定本指南，请参考使用。

一、适用范围

本指南制定了在产化工园区边生产边管控土壤和地下水污染风险的基本原则、流程、内容和工作方式。

本指南适用于在产化工园区在不影响企业安全生产的前提下，为控制土壤和地下水污染风险，确保污染不加重、不扩散，保障园区和企业内人群健康及周边敏感受体环境安全，依法自行组织开展土壤和地下水污染风险管控工作。

其他园区或工业集聚区，以及在产企业开展土壤和地下水污染边生产边管控工作，可参考本指南。本指南未制定事宜，应符合国家和行业有关标准的要求或规定。

二、规范性引用文件

本指南内容引用了下列文件中的条款。凡是未注明日期的引用文件，其有效版本适用于本指南。

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 14848 地下水质量标准

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）

HJ 25.6 污染地块地下水修复与风险管控技术导则

HJ 493 水质 样品的保存和管理技术规定

HJ 494 水质 采样技术指导

HJ 164 地下水环境监测技术规范

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

《地下水污染修复（防控）工作指南》（试行）（环办〔2014〕99号）

《地下水环境状况调查评价工作指南》（环办土壤函〔2019〕770号）

《地下水污染健康风险评估工作指南（试行）》（环办土壤函〔2019〕770号）

《地下水污染模拟预测评估工作指南（试行）》（环办土壤函〔2019〕770号）

《地下水污染修复（防控）工作指南（试行）》（环办土壤函〔2019〕770号）

《地下水污染源防渗技术指南（试行）》（环办土壤函〔2020〕72号）

《化工园区地下水环境状况调查评估技术方案》（土壤函〔2021〕10号）

《地下水污染地球物理探测技术指南（试行）》（环办土壤函〔2022〕16号）

《地下水污染同位素源解析技术指南（试行）》（环办便函〔2022〕44号）

《地下水污染防治重点区划定技术指南（试行）》环办土壤函

〔2023〕299号

《工业企业周边土壤和地下水监测技术指南》（总站土字〔2024〕73号）

《重点监管单位土壤污染隐患排查指南（试行）》（生态环境部公告2021年第1号）

三、术语与定义

下列术语和定义适用于本指南。

（一）边生产边管控

在保障在产化工园区与企业安全生产的前提下，开展土壤和地下水污染管控或修复活动，以达到确保污染不加重、不扩散，保障企业和园区内人群健康及周边敏感感受体环境安全底线目标。

（二）污染源

可能造成化工园区土壤和地下水污染的来源，按污染时间和污染产生方式可分为泄漏源、历史污染源。其中，泄漏源指生产过程中储罐、管道、池体等可能发生原辅料等泄漏，使污染物进入土壤和地下水的污染源；历史污染源是指历史生产过程中污染物进入土壤和地下水形成的污染物高度积聚区域，可能进一步迁移扩散影响周边环境的污染源。

（三）管控目标

统筹考虑地下水污染扩散的环境风险和基于实际暴露情景的人体健康风险，为保障化工园区的人群健康和周边环境风险可接受，所确定的边生产边管控工作目标，具体可包括近期、中期和远期目标。

(四) 有毒有害物质

列入《中华人民共和国水污染防治法》规定的有毒有害水污染物名录的污染物；列入《中华人民共和国大气污染防治法》规定的有毒有害大气污染物名录的污染物；《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定的危险废物；国家和地方建设用地土壤污染风险管控标准管控的污染物；列入《重点控制的土壤有毒有害物质名录（第一批）》规定的土壤有毒有害物名录的污染物；列入优先控制化学品名录内的物质；其他根据国家法律法规有关规定应当纳入有毒有害物质管理的物质。

(五) 易迁移污染物

由于污染物自身理化特性，在土壤和地下水环境中具有较高的迁移性，易于发生扩散的污染物。

四、基本原则

(一) 系统治理

按照问题导向、分类施策、分步实施的思路，从溯源-断源-管控治理-监测监管全方面系统推进在产化工园区边生产边管控工作。统筹考虑化工园区土壤和地下水污染风险，结合分类分区管理要求，采取各要素协同的污染防治模式。

(二) 科学合理

综合考虑安全生产、管控周期、成本、技术可行性及对人群健康和环境的影响，依据国家和地方生态环境保护等相关法律法规和标准规范要求，科学合理开展在产化工园区土壤和地下水污染边生产边管控工作。严防边治理边污染，以及未查明污染源径汇关系仅

对已知局部污染开展治理的行为。

（三）绿色低碳

倡导绿色低碳修复理念，降低资源能源消耗，有效控制潜在二次污染风险。在确保达到风险管控目标的前提下，力争实现环境效益最大化和碳排放量最小化。

五、工作内容与流程

（一）工作内容

一般包括：污染源溯源、断源、管控修复和后期环境监管等。

1. 污染源溯源

化工园区已发现土壤和地下水污染问题的，开展污染源排查，通过全面核查产排污关键环节，分析超标点位污染来源和污染途径，明确泄漏点、历史污染等潜在污染来源；对于污染源排查阶段未排查出潜在污染源，或排查出的潜在污染源与超标监测点位不对应的，应开展污染源解析。

结合污染源排查和溯源结果，形成污染源清单。

2. 断源整治

针对污染源清单，制定阻止污染物进一步渗漏、流失、扬散等有效整治方案，分步有序实施断源措施。根据断源措施实施情况，结合土壤和地下水监测结果，编制断源报告。

3. 管控修复

统筹考虑基于实际暴露情景的人体健康风险和地下水污染扩散环境风险，制定化工园区边生产边管控的管控目标。根据化工园区地下水环境调查结果，必要时开展园区土壤和地下水全面调查，确

定目标污染物、污染范围和程度，结合风险分类分区分级评价结果，确定管控范围。明确管控模式，筛选管控技术，制定管控方案。开展管控工程，并对管控效果进行评估。

4. 后期环境监管

加强园区内部高、中关注度企业地块的周边监测，若发现污染迁移出企业地块边界，应及时排查污染源、采取管控措施防止污染进一步扩散。在产化工园区应完善应急防控体系，健全监测预警机制，强化长效监管措施。

(二) 工作程序

在产化工园区土壤和地下水污染边生产边管控流程如下。

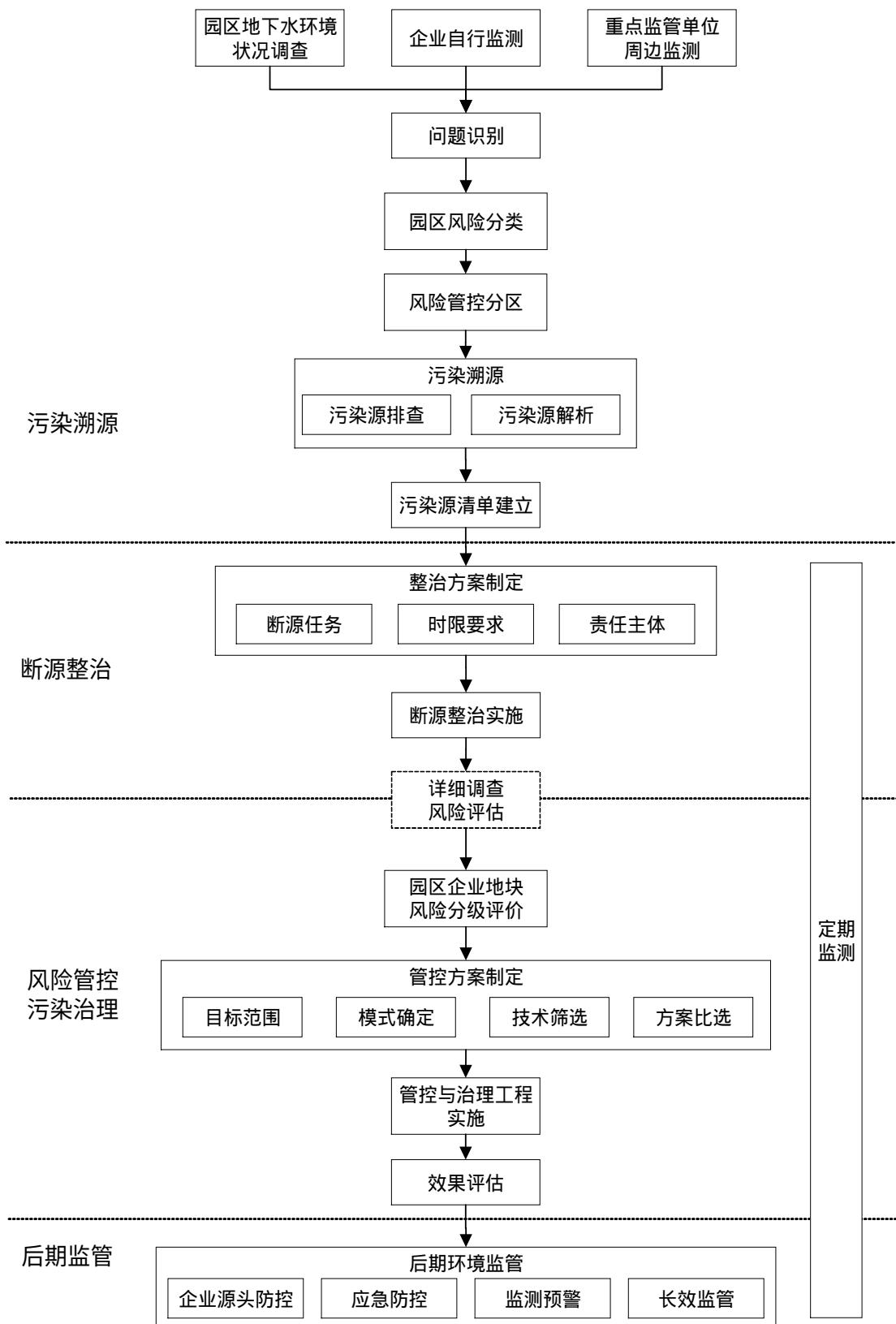


图 5-1 化工园区边生产边管控流程

六、问题识别与污染溯源

（一）问题识别

明确园区及周边环境基础状况，分析土壤和地下水污染情况，识别土壤和地下水污染主要问题。

1. 资料收集

收集分析园区及企业土壤和地下水历史调查监测信息，包括监测开展情况，土壤点位和地下水井点位编码、经纬度及其距园区边界和厂界距离，历史企业名称，土壤和地下水监测时间、监测数据、调查评估及监测评价结果，已有的隐患排查及整改台帐等。

2. 污染情况

根据化工园区地下水环境质量调查工作结果，全面系统整理辖区内化工园区地下水调查、企业污染隐患排查、企业土壤及地下水环境自行监测、重点监管单位周边监测等相关工作的土壤与地下水监测数据，确定化工园区土壤和地下水污染情况。

3. 周边环境敏感目标

分析化工园区周边地下水型饮用水源保护区、生态敏感与脆弱区和社会关注区等环境敏感目标与园区边界的距离，及园区特征污染指标检测结果。

（二）分类分区

1. 分类

根据化工园区地下水环境状况调查结果，结合超标指标类别、超标点位与园区边界位置关系等，确定化工园区土壤和地下水污染

风险分类，包括高风险、中风险和低风险园区。

2. 分区

根据园区功能区划、企业分布与平面布置，周边环境目标及其敏感程度，结合化工园区地下水环境状况调查结果，划定在产化工园区风险管控分区。

- (1) 整治区：泄漏源或历史源等污染源所在区域；
- (2) 管控区：污染源迁移扩散形成的地下水污染羽区域；
- (3) 防控区：园区边界或已扩散至园区外的污染羽与周边环境敏感目标之间的区域；

分类、分区方法参照《河北省在产化工园区土壤和地下水污染风险分类分区分级评价技术指南（试行）》。

3. 分类分区管理策略

结合化工园区土壤和地下水污染状况、对周边环境影响等因素，根据化工园区分类分区结果，采取针对性的风险管控、修复或源头防控活动，有效控制化工园区土壤和地下水污染。

表 6-1 化工园区分类分区管理策略对照表

分类	分区	污染溯源	断源整治	详细调查 风险评估	风险 管控	污染 治理	定期 监测
高风险	整治区	√	√	√	√	√	√
	管控区			√	√	√	√
	防控区			○	○		√
中风险	整治区	√	√	○	√	○	√
	管控区			○	○		√
	防控区						√
低风险	整治区	√	√		○		√
	管控区						√

备注：“√”为边生产边管控应开展的工作内容；“○”为根据实际情况可选择开展的工作内容。

(三) 污染溯源

1. 污染源排查

在产化工园区针对已发现的土壤和地下水污染问题，结合隐患排查、调查监测等工作组织开展污染源排查，分析污染原因，查明各“超标点位”具体的污染来源（造成污染的具体设施、设备或位置）和污染途径，明确现有企业设施设备有毒有害物质渗漏、流失、扬散或历史污染等污染来源。

污染源排查可通过资料对比分析和现场踏勘，在隐患排查基础上，对地下（或接地）储罐和地下水管线等开展渗漏检测，确定污染泄漏源；必要时在重点区域开展加密调查，确定污染渗漏区域。

污染源排查适用方法见表6-2。隐患排查、渗漏检测方法参照《重点监管单位土壤污染隐患排查指南（试行）》（公告2021年第1号）、《地下水污染源防渗技术指南（试行）》（环办土壤函

〔2020〕72号)和附录A 化工园区地下水渗漏排查技术的要求。

表 6-2 污染源排查适用方法

类别	排查区域	排查方法
泄漏源	地下管线(槽)	机器人检测、X6电法检测、密封装置检测、扩散管法、电容器传感法
	地下(或接地)储罐	声发射检测
	地下池体	玻璃仪器检测、密封装置检测
	生产区、储存区地面	目视检查、玻璃仪器检测
	其他方法不适用或无法开展	地下水监测法
历史源	污染土壤和地下水	地下水监测法、示踪剂法等

2. 污染源解析

对于污染源排查阶段未发现潜在污染源,或潜在污染源与超标监测点位不对应等情况,应开展污染源解析。

污染源解析可采用空间叠图法、化学指纹法、环境示踪剂示踪、稳定同位素法或多元统计法等,方法参照附录B 化工园区地下水污染源解析技术方法。

3. 污染源清单建立

化工园区管理机构根据污染溯源结果,形成污染源清单。

七、断源整治

结合污染溯源结果,制定阻止污染物进一步渗漏、流失、扬散等有效断源措施,结合实际分步有序断源。

(一) 明确断源措施

1.针对泄漏源(如:储罐、管线和储存池等),结合隐患排查整改和渗漏排查等,加强源头防控,控制污染进入土壤和地下水。

(1) 化工园区内涉及有毒有害物质的重点场所或者重点设施设

备（特别是地下储罐、管网等）应进行防渗漏设计和建设，消除土壤和地下水污染隐患。开展防腐防渗改造、存储转运密闭化、管道输送可视化等绿色化改造。

（2）对化工、医药等行业企业已投产的晾晒池、蒸发塘等重点设施开展排查，发现防渗措施不到位、运行管理不规范的，督促企业采取有效措施封堵漏点。

（3）开展园区污水管网排查整治，减少管网漏失，提升工业园区污水收集处理效能。园区内废水做到应纳尽纳、集中处理和达标排放。

（4）鼓励有条件的化工园区开展管网升级改造，规模以上化工企业污水实施“一企一管、明管输送、实时监测”。

具体方法参照《地下水污染源防渗技术指南（试行）》。

2. 针对历史污染源或易迁移污染物造成的污染，可能进一步迁移扩散影响园区周边敏感目标的，应制定阻断其迁移途径的措施。已造成土壤和地下水污染的企业在实施改建、扩建和技术改造项目时，必须采取有效措施防控已有污染。

（二）制定整治方案

化工园区管理机构组织制定整治方案，应明确断源任务、责任主体和时限要求，对短期内难以全面完成断源的，应明确分阶段断源任务。

（三）评估整治成效

通过化工园区超标监测井和扩散监测井污染指标定期监测情况，优化整治方案及措施，直至实现整治目标。

八、风险分级评价与管控方案制定

（一）风险分级评价

结合化工园区地下水环境状况初步调查、详细调查评估、迁移模拟预测结果，以及污染源排查和断源工作成果，根据企业类型与规模、污染程度和空间分布、污染物迁移性和健康、环境危害效应等，开展在产化工园区企业土壤和地下水污染风险分级评价，将园区内企业地块分为高、中、低关注度三个等级，方法参照《河北省在产化工园区土壤和地下水污染风险分类分区分级评价技术指南（试行）》。

化工园区管理机构应及时将分级评价结果、土壤和地下水污染管控要求通知相关企业，督促企业开展污染防控措施。地方生态环境管理部门和化工园区管理机构可通过纳入土壤污染重点监管单位名录或地下水污染防治重点排污单位名录、定期开展自行监测、建设地下水监测网、监督性监测、污染源整治成效抽查等方面制定差异化管理措施。

（二）风险管控和污染治理方案制定

土壤和地下水污染严重、污染物易迁移且周边存在敏感受体的高风险化工园区，或高关注度企业地块，应制定风险管控和污染治理（以下简称“管控”）方案，及时采取管控措施。

1. 管控目标确定

按照结合土壤-地下水污染风险管理与地下水环境质量管理的思路，统筹考虑基于实际暴露情景的人体健康风险和地下水污染扩散的环境风险，制定在产化工园区和园区企业边生产边管控的管控目

标。

管控目标的确定应保证管控实施后，有效保障园区人群健康和周边环境质量，具体包括近期、中期和远期目标。

a. **近期目标**：有效断源，遏制土壤和地下水污染加重和扩散趋势。针对管控修复区域，控制现有范围不进一步扩大。

b. **中期目标**：降低污染影响，地下水污染羽范围显著减小，实现地下水污染不出园区边界。

c. **远期目标**：土壤和地下水污染浓度显著下降，管控终止前最终实现土壤污染物浓度低于GB36600第二类用地筛选值或健康风险可接受，地下水环境质量达到GB/T 14848中Ⅳ类标准要求，或当化工园区周边存在水源地的达到GB/T 14848中Ⅲ类标准要求。

2. 管控范围确定

根据化工园区地下水环境调查结果，结合园区内部企业地块风险分级评价结果，必要时开展园区或园区企业土壤和地下水全面调查，确定目标污染物、污染范围和程度，明确管控目标，划定管控范围。

3. 管控模式确定

根据化工园区和园区企业土壤和地下水污染特征、区域地质和水文地质条件、管控目标、管控范围、时间周期和成本，结合园区分类管理策略，选择确定园区和园区企业管控模式。参照附录C在产化工园区土壤和地下水污染防治模式。

4. 技术筛选

根据园区土壤和地下水污染特征，按照确定的管控模式，筛选

适用的修复和管控技术，评估管控效果、成本和环境影响等方面。技术筛选方法参照HJ 25.4、HJ 25.6和《地下水污染修复（防控）工作指南（试行）》。

5. 制定方案

化工园区管理机构组织制定园区治理方案，包括公共区域管控修复方案和企业地块管控要求，督促园区相关企业编制地块管控与治理方案。

根据确定的管控与治理技术，制定技术路线，确定工艺参数，估算管控与治理工程量，确定管控方案。管控方案应当包括以下主要内容：

- (1) 园区/企业土壤和地下水污染情况
- (2) 污染源和断源情况
- (3) 管控目标
- (4) 管控范围
- (5) 管控模式
- (6) 管控技术
- (7) 技术路线与工艺参数
- (8) 工程量
- (9) 环境管理计划
- (10) 应急安全预案
- (11) 进度安排

九、管控工程过程监管与效果评估

(一) 工程准备

应在明确化工园区污染源、迁移途径的前提下，开展风险管控工程，避免工程作业扰动造成的污染扩散。

风险管控工程实施前，应首先分析工程实施的环境影响，根据管控修复工艺过程产生的废水、废气、固体废物，以及噪声和扬尘等环境影响，制定相关的收集、处理和处置技术方案，落实相关环保设施，采取二次污染防治措施，防止边治理边污染。

为确保风险管控工程和地下水污染治理工程实施过程中施工人员与企业员工的安全，应结合企业生产情况制定周密的环境应急安全计划，针对识别出的安全问题，采取安全预防措施，配备必要的安全防护装备，组织开展安全防护培训，并准备突发事故时的应急措施，避免安全事故。

(二) 过程管理

化工园区管理机构组织开展风险管控工程和地下水污染治理工程环境监测。针对园区内相关企业开展的管控工作活动应组织开展现场监督检查，核查相关企业管控工程环保设施运行和环保措施落实情况，以及风险控制措施落实情况。

市级生态环境管理部门组织对园区管控工程开展监督检查，监督化工园区和企业落实二次污染防治措施。

(三) 效果评估

化工园区风险管控工程和地下水污染治理工程施工完成后，应组织开展效果评估，评价是否达到预期效果，并根据评估结果，对园区后续环境监管提出建议。工作流程和评价方法可参照HJ 25.5和HJ 25.6执行。

效果评估内容应包括风险管控的目标污染物、二次污染指标和

工程性能指标。工程性能指标评估参照HJ 25.6相关要求。

十、监测监管

（一）完善应急防控体系

坚持预防为主、预防与应急相结合的原则，推进园区突发环境事件应急防控体系建设，健全化工园区边生产边管控过程突发环境事件应急联动机制，有效控制和消除环境安全隐患。

园区企业在边生产边管控过程造成或者可能造成突发环境事件时，应当立即启动突发环境事件应急预案，采取切断或者控制污染源以及其他防止污染扩散的必要措施，及时通报可能受到危害的单位和人员，并向化工园区管理机构和事发地县级以上生态环境管理部门报告。

（二）健全监测预警机制

完善地下水污染监测预警机制，构建化工园区地下水环境监测体系，健全地下水污染防治长效监管机制，定期开展监测评估。若发现园区新增污染或企业地块边界外存在污染，应及时组织排查污染源、采取管控措施防止污染扩散。

（三）强化长效监管措施

地方生态环境部门按照环境监管重点单位名录管理要求，确保化工园区内土壤污染重点监管单位和地下水污染防治重点排污单位应纳尽纳。针对高、中、低关注度企业地块采取差异化管理措施，提升土壤污染源头防控水平。

附录A
(资料性附录)
化工园区地下水渗漏排查方法

A.1 适用范围

本文件适用于调查监测发现土壤和地下水污染，需开展地下水渗漏排查工作的在产化工园区；未开展调查监测，但存在地下水污染风险的重点单位可参照此方法开展排查。

A.2 排查重点

重点对地下（或接地）储罐、地下管线（槽）、填埋坑、废水池、原材料及货物暂存区、废水收集和排放系统、废弃物贮存场及预处理区域、尾矿库，以及运行多年或存在老化、破损、裂缝的池体，生产区内有明显的未硬化地面及地面裂缝的区域，管道转角、接口、阀门、导淋等易发生物料渗漏的位置开展地下水渗漏排查。

A.3 排查方法

渗漏排查工作参考《地下水污染源防渗技术指南（试行）》。根据重点排污单位的性质和重点场所设施的特征选择适合的渗漏排查方法。

渗漏排查方法包括：

- (1) 机器人检测
- (2) X6电法检测
- (3) 玻璃仪器检测
- (4) 自动连接装置检测
- (5) 密封装置检测
- (6) 扩散管法
- (7) 电容传感器法
- (8) 示踪剂法
- (9) 电化学感应电法
- (10) 电学法
- (11) 地下水监测法等。

A.4 工作内容

(1) 通过人员访谈和资料收集，对排查对象及周围环境进行调查，明确可能存在的产污环节、污水管道分布、地下水及半地下储罐和池体等有毒有害物质可能发生渗漏的位置，了解该区域的地下水流动情况、周边敏感点，确定排查范围及方法。

(2) 结合地下水环境监测现状，综合分析污染物来源和途径，提出相应整改措施，如何进行防渗改造、工艺技术改进等。

(3) 排查完成后，排查单位应建立渗漏排查台账。

附录B
(资料性附录)
在产化工园区地下水污染源解析技术方法

B.1 适用范围

本文件适用于在产化工园区地下水污染源解析。

B.2 工作原则

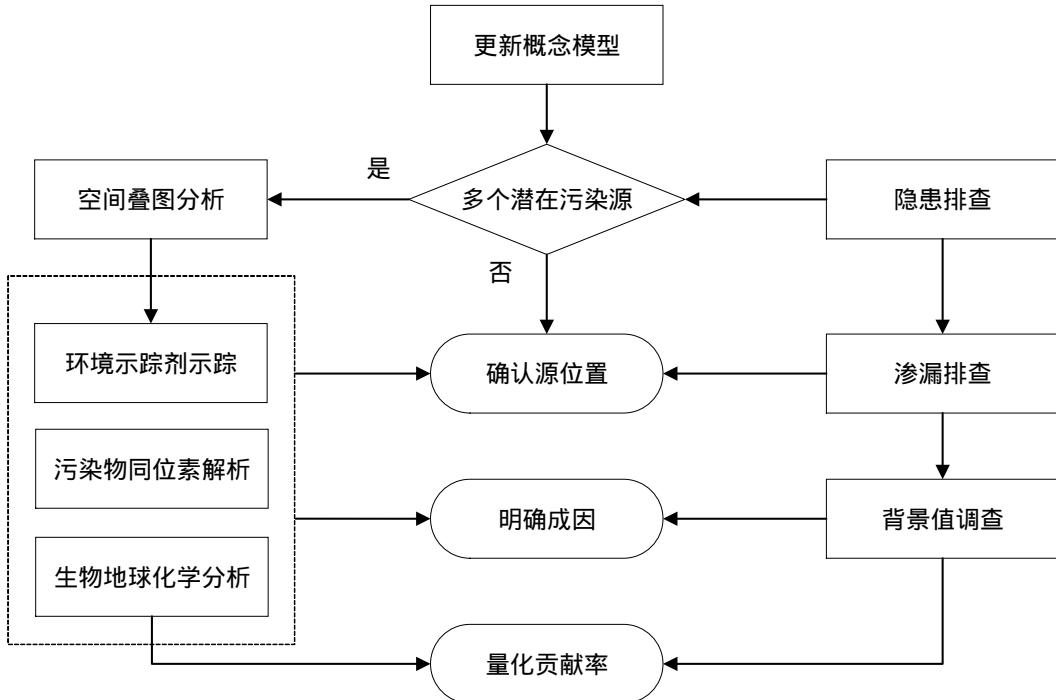
(1) 规范性原则：在污染源解析过程中，采用流程化和系统化方式规范工作，保证源解析工作过程的科学性和客观性。

(2) 实操性原则：在源解析方法和技术科学性的基础上，强调根据概念模型，基于当前科技发展和专业技术水平，考虑技术方法的适用性，保证源解析具备实操性。

(3) 协同互补原则：根据实际情况，可选用两种或多种源解析技术，确认污染源和量化贡献率两项主要工作，且两项工作之间相互印证，以查明污染成因，保证污染源解析的准确性。

B.3 工作流程

污染源解析技术流程见图B.1。



图B.1 工作流程

B.4 工作内容

B.4.1 更新地块概念模型

在化工园区土壤和地下水污染状况调查基础上，更新地块概念模型，包括资料分析、要素概念化、关联性分析和综合描述等。主要步骤参照《化工园区地下水环境状况调查评估技术方案》

中相关规定执行。

B.4.2 源解析方法选择

针对化工园区地下水环境状况调查或企业自行监测、重点监管单位周边监测等工作已发现土壤和地下水污染问题的，结合隐患排查、地下水渗漏排查等工作开展污染源解析，确定各“超标点位”具体的污染来源。

(1) 空间叠图分析

采用空间分析手段，将污染源和污染羽空间分布图与地下水流场图叠加，以推断污染物迁移路径。主要步骤参照《地下水环境状况调查评价工作指南》中相关规定执行。

(2) 环境示踪剂示踪

沿推测的污染物迁移路径，采集测试地下水中环境示踪剂（如³H、³H-³He、⁸⁵Kr、CFCs和SF₆）进行水流测年示踪，验证污染物迁移路径，重点解析污染源区至污染羽“源-径-汇”关系。

(3) 同位素源解析

结合潜在污染源可能的污染途径，利用多元同位素关系图或同位素-水化学指标关系图等分析解译同位素及水化学数据，解析地下水污染来源并确定各污染源的贡献率。

(4) 化学指纹法

通过分析污染物在不同来源中独特的化学特征，包括污染物的成分组成，或者特定条件下光谱、色谱特征，建立化学标识，识别污染物来源。

(5) 多元统计法

采用主成分分析、聚类分析和相关性分析，识别污染物和潜在源的空间关联。

(6) 生物地球化学分析

必要时，沿推测的污染物迁移路径，采样测试有机物生物转化相关的代谢产物及微生物指标，揭示污染物迁移过程中的生物转化机理，阐释“源-径-汇”内在关系，查明污染分布特征的形成原因。

B.5 数据结果解译

B.5.1 污染源确定

(1) 更新地块概念模型

参照《化工园区地下水环境状况调查评估技术方案》中相关规定执行。

(2) 空间叠图分析

主要步骤如下：

- a. 分析主要污染物浓度现状分布图，确定地下水污染物高浓度区；
- b. 根据识别的潜在污染源，结合土壤污染隐患排查、地下水污染泄漏排查等工作核查潜在污染源具体位置，并在图件中标出；
- c. 将主要污染物浓度现状分布图、潜在污染源位置分布图与地下水流场图叠加，推断地下水主要污染物来源。

(3) 环境示踪剂示踪

一般污染地下水年龄较轻，推荐选取³H、³H-³He、⁸⁵Kr、CFCs、SF₆示踪剂。

B.5.2 结果解译方法

常用数据结果解译方法如下：

(1) ${}^3\text{H}$ 、 ${}^3\text{H-}{}^3\text{He}$

参照《地下水污染同位素源解析技术指南（试行）》中相关规定执行。

(2) ${}^3\text{H}$ 、 ${}^{85}\text{Kr}$ 、CFCs、SF₆图解法

方法应用前提是假设地下水以活塞流运动。首先建立环境示踪剂大气降水输入历史记录曲线，根据样品中 ${}^3\text{H}$ 、CFCs或SF₆含量，在与大气输入函数曲线上浓度相等的点上划一条水平线，然后找出与大气输入曲线的交点所对应的时间。

对于CFC-12，测试浓度以联系亨利定律的等量大气浓度给出，假设CFC-12不分解（即：不存在厌氧条件），则对比在过去何时大气中的浓度等于测试的浓度。在样品值与大气浓度相等的点上划一条水平线，然后找出与大气输入曲线的交点。由于输入曲线单调增加，因此只有一个交点。

对于 ${}^3\text{H}$ 和 ${}^{85}\text{Kr}$ 以同样的方式来确定其代表的时间，但是，要考虑放射性衰变，需要从样品浓度反推到初始值，在半对数曲线上向后作一条直线，其斜率是由衰变常数给出，在直线与输入曲线的交点，可得到水粒子开始传输的可能时间。由于氚的输入曲线不是单调的，时间具有多解性。因此实际中必须结合水文地质条件具体分析，以确定更符合实际的地下水滞留时间。

(3) ${}^3\text{H}$ 、 ${}^{85}\text{Kr}$ 、CFCs、SF₆集中参数模型法

集中参数模型也称黑箱模型，假设系统是线性的稳定状态水流，给定一个示踪剂输入函数，根据传输函数来计算理论输出浓度（Zuber, 1994；Maloszewski等1996）：

$$C_{\text{输出}}(t) = \frac{^x}{\partial} C_{\text{输入}}(t-t') g(t) e^{\lambda t} dt$$

式中：

$C_{\text{输入}}(t-t')$ ——示踪剂输入浓度；

$C_{\text{输出}}(t)$ ——示踪剂输出浓度；

$g(t')$ ——示踪剂年龄分布函数；

t ——示踪剂输出浓度时间系列；

t' ——示踪剂传输时间；

λ ——放射性示踪剂衰变常数；

表B.1是各种模型的应用条件，不同类型的集中参数模型给定的示踪剂传输函数不同，在计算过程中通过对实测浓度和理论计算值来识别传输函数的参数，如平均滞留时间、弥散系数。

采用集中参数模型进行测年数据解释可以利用相关软件和电子表格来完成。

(4) 污染物同位素解析

当前常用的污染物同位素见表B.1，数据结果解译参照《地下水污染同位素源解析技术指南（试行）》中“5.2污染源识别”相关规定执行

表B.1 常用的集中参数模型

污染物		同位素
有机物	碳氢化合物	苯系物
		石油烃类

污染物			同位素
含氧碳氢化合物	酚类	多环芳烃类	
		甲基叔丁基醚	^{13}C 、 ^2H 、 ^{18}O
卤代物	氯代烃	^{13}C 、 ^2H 、 ^{37}Cl	
	溴代烃	^{13}C 、 ^2H 、 ^{81}Br	
	硝基化合物	硝基苯	^{13}C 、 ^2H 、 ^{15}N
重金属	铬		^{53}Cr
	铅		$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
无机物	硝酸盐		^{15}N 、 ^{18}O
	铵盐		^{15}N
	硫酸盐		^{34}S 、 ^{18}O
	氯化物		^{37}Cl

B.5.2 污染源贡献率量化

污染物同位素数据结果解译参照《地下水污染同位素源解析技术指南（试行）》中“5.3 污染源贡献率确定”相关规定执行。环境示踪剂数据结果解译常用的集中参数模型见表B.2。

表B.2 常用的集中参数模型

模型	原理与应用条件
活塞流模型（PFM）	<p>活塞模型假定：同一断面不同流线上同位素传输时间相等；不存在水动力弥散和分子扩散。响应函数为：</p> $g(t) = \delta(t - t_t)$ <p>式中：t_t—示踪剂平均滞留时间。</p> <p>输出浓度为：</p> $C_{\text{输出}}(t) = \frac{1}{t_t} \int_0^t C_{\text{输入}}(t - \tau) g(\tau) e^{\lambda \tau} d\tau$ <p>描述非混合系统，示踪剂从补给区以运动输出浓度仅是由于输入浓度的放射性衰变，示踪剂平均滞留时间（t_t）是模型唯一的参数，给定该参数系列，可以计算出输出浓度。该模型仅应用于恒定示踪剂输入的系统，实际地下水流动系统很少符合这种模式。</p> <p>应用活塞流模型解释氚数据只能识别出 1954 年以来补给的地下水。</p>
指数模型（EM）	<p>也称为全混合模型，其假设不同流线之间没有同位素交换，且不同流线的同位素传输时间呈指数分布。即，流线愈短，同位素传输时间愈接近于零，流线愈长，同位素传输时间愈长。响应函数为：</p> $g(t) = t_t^1 e^{-t/t_t}$ <p>示踪剂平均滞留时间（t_t）是模型唯一的参数，给定该参数系</p>

	<p>列，可以计算出输出浓度。该模型通常可以得出一个比较合适的年龄，最大可识别出 1000 年的地下水。</p> <p>完整井和全排型泉近似这种情况，所采的样品符合指数模型的要求。当地下水系统中不存在无限短的流线时，或者当采样井为滤水管位置较深的非完整井时，该模型不适用。</p>
指数-活塞流模型 (EPM)	<p>含水层假设由两部分组成，一个是指数型分布的运移时间，另一个是活塞流分布运移时间，</p> $g(t) = \begin{cases} \frac{\eta / t}{\sqrt{(1 - \eta^{-1}) t}} \exp(-\eta t / t + \eta - 1), & t < (1 - \eta^{-1}) t \\ 0, & t > (1 - \eta^{-1}) t \end{cases}$ <p>式中：η—系统中流动水总体积与指数组型水体积之比。 当 $\eta=1$ 时，为指数模型，$\eta=\infty$ 时，为活塞流模型。</p>
弥散模型 (DM)	<p>响应函数为：</p> $g(t) = \left(4\pi P_d t / t \right)^{-1/2} t^{-1} \exp\left(-\frac{(1 - t / t)^2}{4P_d t / t} \right).$ <p>式中：P_d—视弥散系数($=D/v_x$， Peclet 数的倒数)，实际与地下水系统一般的弥散度(D/v)无关。 弥散度很小的氚弥散模型只能识别出 1954 年以来补给的地下水，典型弥散系统可识别年龄上限可达 100~200 年。</p>

B.5.3 污染成因确定

基于上述工作，明确在产化工园区污染成因及贡献率。

附录 C

(资料性附录)

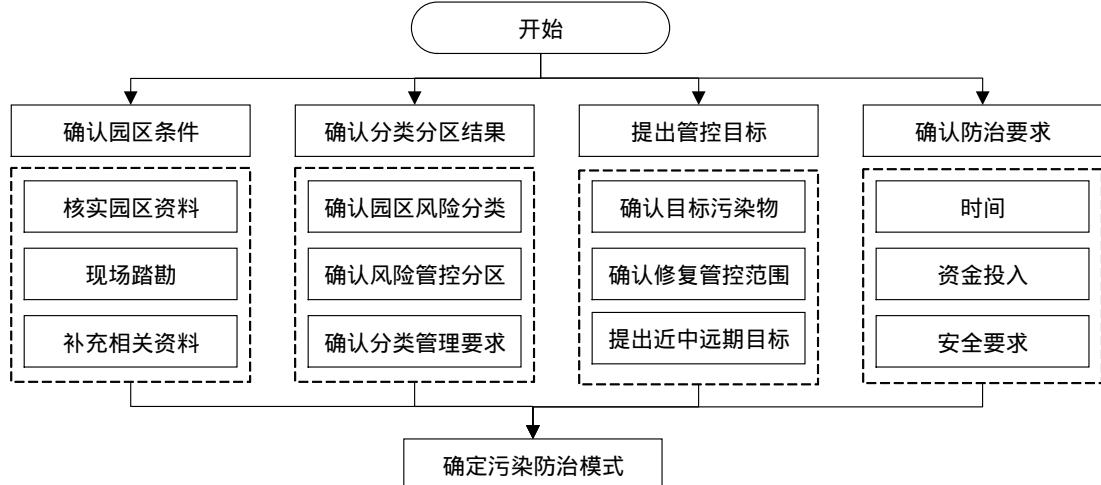
在产化工园区土壤和地下水污染防治模式

C.1 适用范围

本文件适用于在产化工园区土壤和地下水污染防治模式的确定。其他在产园区或工业集聚区土壤和地下水污染防治模式可参考使用。

C.2 确定流程

在产化工园区土壤和地下水污染防治模式的确定流程见图C.1。



图C.1 在产化工园区土壤和地下水污染防治模式确定流程

C.3 防治模式

在产化工园区土壤和地下水污染防治模式的选择见表C.1。

表C.1 常见在产化工园区土壤和地下水污染防治模式

园区类别	整治区	管控区	防控区
高风险	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 断源整治: 泄露设施设备更换或防渗改造、清挖和处置重污染土壤、抽出处置 NAPL 等 ◆ 污染治理: 化学氧化还原、热处理、地下水抽出处理、阻隔、可渗透反应墙等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 风险管控: 监测自然衰减、抽出处理、空气曝气、气相/多相抽提、生物修复等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 风险管理: 监测+预警、制度控制
中风险	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 断源整治: 泄露设施设备更换或防渗改造、清挖和处置重污染土壤 ◆ 风险管控: 化学氧化还原、监测自然衰减、地下水抽出处理、气相/多相抽提、可渗透反应墙等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 风险管控: 监测自然衰减、抽出处理、空气曝气、气相/多相抽提、生物修复等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 定期监测、制度控制
低风险	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 断源整治: 泄露设施设备更换或防渗改造 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 日常监测, 研判污染风险 	/

