

T/BSES

团 体 标 准

T/BSES

化工场地污染源解析技术指南 (征求意见稿)

Technical guide for chemical site pollution source analysis

2022 - XX - XX 发布

2022 - XX - XX 实施

北京环境科学学会 发布

目 次

| | |
|------------------------|----|
| 前 言..... | II |
| 1 范围..... | 1 |
| 2 规范性引用文件..... | 1 |
| 3 术语和定义..... | 1 |
| 4 总体原则..... | 2 |
| 5 源解析内容及程序..... | 3 |
| 5.1 源解析内容..... | 3 |
| 5.2 源解析程序..... | 3 |
| 6 场地调查与分析..... | 5 |
| 7 源解析技术选择..... | 5 |
| 8 污染源解析..... | 6 |
| 8.1 浓度追踪法..... | 6 |
| 8.2 模拟-随机统计反演法..... | 8 |
| 8.3 人工强化水动力法..... | 10 |
| 8.4 同位素法..... | 13 |
| 9 结果表征..... | 16 |
| 9.1 技术报告..... | 16 |
| 9.2 图件..... | 16 |
| 附录 A（资料性）技术报告编制大纲..... | 17 |

。

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国地质大学（北京）提出。

本文件由北京环境科学学会归口。

本文件起草单位：中国地质大学（北京）、吉林大学、浙江大学、生态环境部环境规划院、中南大学。

化工场地污染源解析技术指南

1 范围

本文件规定了化工场地土壤与地下水有机物污染源解析的总体原则、源解析内容与流程、场地调查与分析、源解析技术选择、污染源解析和结果表征。

本文件适用于化工场地土壤和地下水有机物污染的源解析。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则

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和风险管控技术导则

HJ 164 地下水环境监测技术规范

HJ 1019 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则

HJ/T166 土壤环境监测技术规范

《地下水污染防治实施方案》（环土壤〔2019〕25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）

《地下水环境状况调查评价工作指南》（环办土壤函〔2019〕770号）

《地下水污染同位素源解析技术指南（试行）》（环办土壤〔2022〕16号）

《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）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

化工场地 **chemical field**

指从事化学品生产、转运、储存和使用的场地。

3.2

目标污染物 targeted pollutants

在场地土壤或地下水中检测出来的主要有机污染物。

3.3

污染源解析 pollution source apportionment

通过化学、物理学、数学等方法定性或定量识别场地土壤和地下水中有机污染物的来源。

3.4

浓度追踪法 concentration tracing method

基于场地调查结果，在场地区域新增布设采样井，测定土壤和地下水中目标污染物的浓度，并结合场地水文地质条件，确定污染物浓度值最高点为潜在的污染源区，再根据包气带物理结构进一步识别污染源具体位置的方法。

3.5

模拟-随机统计反演法 simulation-stochastic statistical inversion method

在建立地下水有机污染多相流模拟模型的基础上，通过数理方程正反演、随机统计、人工智能等理论方法交叉融合，有效地识别出污染源的时空分布特征的方法。

3.6

人工强化水动力法 artificial reinforcement hydrodynamic method

通过构建可控、人工强化的地下水动力-化学场，依据人工强化条件下的单口抽水井中目标污染物浓度变化特征，计算地下水污染源与单井的距离，通过多组单井抽水得到多组污染源-抽水井的距离，结合距离交会定位确定地下水污染源位置的方法。

3.7

同位素法 isotopic method

基于同位素的质量守恒原理，通过测定场地样品有机物污染中某一种或多种元素的稳定同位素比值的变化来区分和识别污染物来源的方法。

4 总体原则

4.1 科学规范原则

在化工场地污染源解析过程中，采用流程化和系统化方式规范场地地下水和土壤有机物污染源解析的技术工作流程，确保所采用的方法和技术的科学性和规范性。

4.2 实用可靠原则

在源解析方法和技术科学性的基础上，综合考虑源解析目标需求和场地条件，兼顾方法和技术的可操作性和实用性，保证源解析结果的可靠性。

4.3 因地制宜原则

应结合源解析场地的实际情况，根据化工场地种类特点、基本条件和污染防治目标，科学的选择适合当地化工场地污染源解析方法。

4.4 协同使用原则

可根据场地的水文地质条件特征和有机物污染的控制需求，同时选用两种或多种源解析技术以确保污染源识别的准确性。

5 源解析内容及程序

5.1 源解析内容

5.1.1 场地调查与分析

通过资料收集、现场踏勘和样品采集，识别场地水文地质条件和地下水化学特征，分析场地土壤和地下水污染现状，确定污染源解析工作范围，为污染源解析的技术选择和后续工作做准备。

5.1.2 源解析技术选择

根据场地调查结果，初步判断场地潜在的污染源数量和位置，然后基于场地含水层结构和渗透性、地下水流场等水文地质条件，结合源解析目标 and 需求，选择合适的源解析技术。

5.1.3 污染源解析

选定源解析技术后，按照不同源解析技术方法的技术流程，开展场地的污染源解析工作，并对源解析结果进行分析，确定化工场地土壤和地下水的污染来源。

5.1.4 结果表征

完成场地污染源解析后，通过撰写技术报告和绘制相关附图、附表，对解析结果进行表征。要求表征结果应能体现化工场地污染源解析的全部内容。

5.2 源解析程序

化工场地污染源解析程序见图 1。

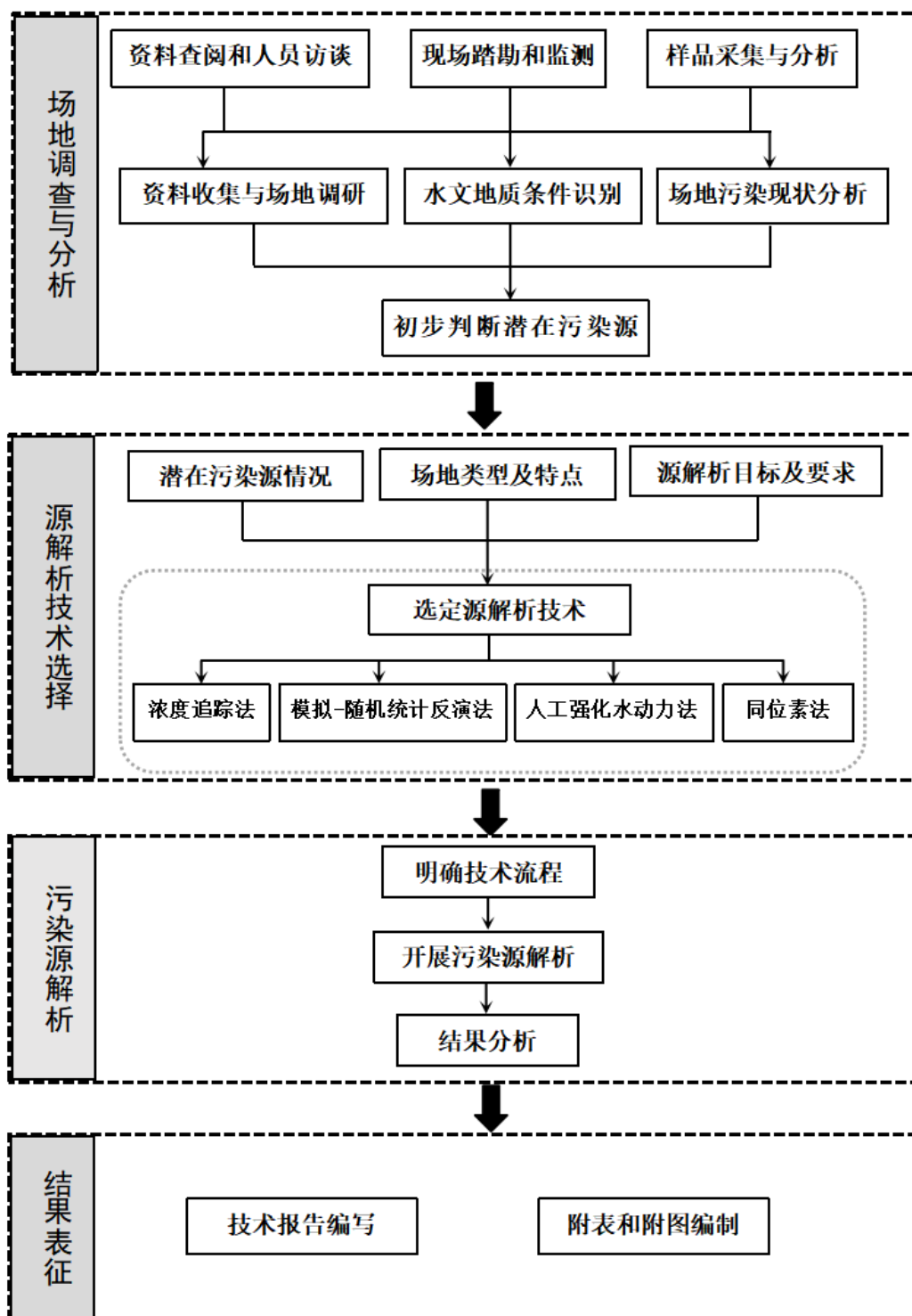


图 1 化工场地污染源解析程序图

6 场地调查与分析

6.1 开展化工场地污染源解析前，应对场地进行初步调查。初步调查宜符合 HJ 25.1 和《地下水环境状况调查评价工作指南》的规定。

6.2 场地调查与分析宜包括资料收集与场地调研、水文地质条件识别、场地污染现状分析。

6.3 资料收集与场地调研宜收集场地所在区域自然地理、地质和水文地质、土壤和地下水环境状况、污染状况等相关资料，并通过实地考察和人员访谈等方式详细调研化工厂生产产品、原辅料、工艺和产排污情况，周边企业，以及人口分布和地表水等敏感受体情况。

6.4 水文地质条件识别宜根据收集的资料情况，识别场地地质及水文地质条件，明确场地地层岩性、含水层结构和地下水补径排特征，分析地下水的水位、水量、水质变化情况。若通过资料收集无法识别场地水文地质条件，则需要开展水文地质补充调查，可通过现场踏勘、水文地质钻探和地下水监测获取相关信息。

6.5 场地污染现状分析宜结合场地调研情况，在场地地下水流场上下游、两侧，及厂区内部重点区域和设施下游布设采样点，采集并分析土壤和地下水样品中的主要污染物。结合场地水文地质条件和化工生产、排污情况，确定场地目标污染物种类、浓度和空间分布特征，初步判断场地潜在的污染源数量和位置。

7 源解析技术选择

7.1 应根据场地种类特点及其水文地质条件，并结合场地修复和环境管理相关目标、需求，以及开展有机污染物源解析工作所需的基础条件（基础数据、技术能力等），选择适合实际场地情况的污染源解析技术方法。

7.2 化工场地污染源解析技术可选择浓度追踪法、模拟-随机统计反演法、人工强化水动力法和同位素法。各种方法的适用性见表 1。

表 1 化工场地污染源解析主要技术方法的适用性

| 技术方法 | 适用阶段 | 适用介质 | 适用性 | 必备条件 | 可达目标 |
|------------|---------------|--------|--|-----------------------------------|----------------------------|
| 浓度追踪法 | 初步调查过程中或初步调查后 | 地下水和土壤 | 可快速识别污染源的位置。 只适用于存在单一污染源且污染物泄漏时间短的场地。 | 需要合理布设采样点，打井取样，分析土壤和地下水中有有机污染物浓度。 | 确定点状污染源位置，定量污染物浓度。 |
| 模拟-随机统计反演法 | 初步调查后 | 地下水 | 适用于同时对地下水有机污染源多方面的信息进行识别，包括污染源的空间 | 具有实际监测数据(水位和浓度监测)，以及场地水文地质条件等相 | 识别出污染源时空分布特征(包括污染源的空间分布状态和 |

| | | | | | |
|----------|-------|--------|---|--|------------------------|
| | | | 分布状态和释放历史。 | 关信息。 | 释放历史)。 |
| 人工强化水动力法 | 初步调查后 | 地下水 | 可识别低渗透性场地的污染源,适用于多种有机污染物。 | 需要调查场地含水层结构、渗透性等水文地质条件,测定不同点位的污染物浓度;且需要假设人工强化过程中点源的浓度保持不变。 | 确定近似点状污染源位置。 |
| 同位素法 | 初步调查后 | 地下水和土壤 | 适用于存在两个及以上污染源,或受污染时间较长的化工场地,可以精确识别污染源位置,并计算不同污染源的贡献率。对分析技术和设备要求较高,成本较高。 | 污染物同位素测定值达到检出限;场地有机污染物发生同位素分馏。 | 精确识别污染源位置,确定不同污染源的贡献率。 |

7.3 对于只有单一潜在有机污染源且污染物泄漏时间短的化工场地,宜采用浓度追踪法。

7.4 对于存在两个及以上潜在有机污染源,或者受污染时间较长的化工场地,需要了解场地污染源的空间分布状态和释放历史时,宜采用模拟-随机统计反演法;需要精确识别污染源,或需要探清不同污染源的贡献率时,宜采用同位素法。

7.5 对于存在两个及以上潜在有机污染源的低渗透性化工场地,尤其是含水层等效渗透系数介于 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s} \sim 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 之间的污染场地,宜采用人工强化水动力法;若需要精确识别污染源,或需要探清不同污染源的贡献率时,宜同时采用人工强化水动力法和同位素法。

8 污染源解析

8.1 浓度追踪法

8.1.1 技术原理

场地污染物泄露于土壤-地下水系统中,随介质场、流场在时间、空间尺度的改变,浓度场也在发生变化。此方法基于监测数据对污染源区进行识别,通过对流场、浓度场的分析,结合场地资料与污染物特征,判断污染源区的位置及污染物浓度。

8.1.2 浓度追踪法的技术流程见图2。

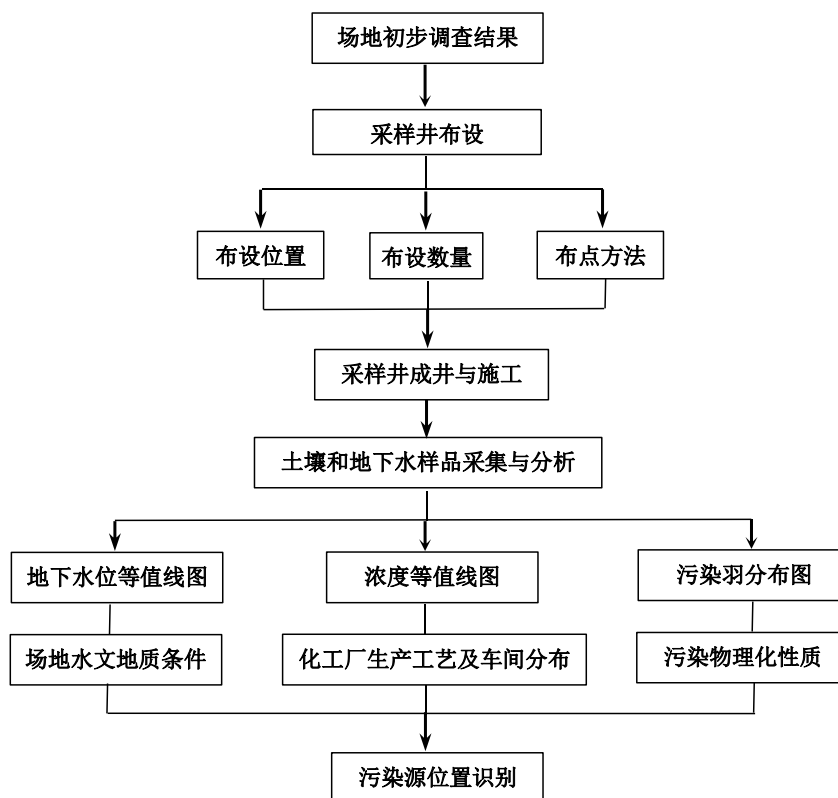


图2 浓度追踪法的技术流程图

8.1.3 采样井布设宜符合以下规定：

a)在场地调查的基础上，根据场地土壤和地下水中污染物浓度分布和地下水水流场变化情况，在高浓度点位的上游区域加密布设采样点，新增布设地下水采样井；

b)采样井的布设数量和位置应根据场地地下水流向、介质渗透性和污染物迁移能力确定；

c)采样井应采用点线面结合的方法进行布设，可采用网格法、随机定点或辐射法等；

d)对于低渗透性含水层，在布点时应采用辐射布点法。

8.1.4 采样井成井与施工宜符合以下规定：

a)地下水采样井的井管宜选择钢管、不锈钢管、PVC管；

b)采样井的井管、滤水管和沉淀管应完好，不得有断裂、错位、蚀洞等现象；

c) 采样井深度应根据场地水文地质条件、含水层结构及厚度确定。如存在多个含水层，应分层建立采样井，并防止串层污染。

8.1.5 样品采集与分析宜符合以下规定：

a)场地土壤和地下水样品的采集应符合 HJ/T166、HJ 164、HJ 1019 的规定；

b)土壤样品的采集可与地下水采样井的建设统筹考虑，采集过程中应减少对样品的扰动，不对样品采用均质化处理；

c)地下水采样应以浅层地下水为主，同时兼顾与目标含水层存在水力联系的深层地下水；

d)VOCs、SVOCs 等有机物可采用现场快速分析仪器进行趋势性分析；对于实验室分析的样品参照 GB/T14848-2017 的有关规定采用气相色谱仪(GC)、气相色谱-质谱仪(GC-MS)测定，对于易热分解的物质可采用高效液相色谱（HPLC）或高效液相色谱-质谱仪(HPLC-MS)测定，同时执行该标准的数据质量保证和质量控制措施。

8.1.6 污染源位置识别宜根据土壤和地下水样品浓度测定结果，使用 Visual MODFLOW、TMVOC、Surfer 等建立地下水位等值线图、浓度等值线图和污染羽分布图等，结合场地水文地质条件、化工企业生产工艺及车间分布情况和污染物理化性质，确定污染物浓度值最高点为潜在的污染源区，再根据包气带物理结构进一步识别污染源具体位置。

8.2 模拟-随机统计反演法

8.2.1 技术原理

在建立地下水 NAPLs 有机污染多相流模拟模型的基础上，应用人工智能深度学习中的深度置信神经网络方法，建立多相流数值模拟模型的深度置信神经网络替代模型。运用随机统计的理论与方法，设计构造启发式搜索迭代过程，可以有效地识别出污染源的时空分布特征(包括污染源的空间分布状态和释放历史)。

8.2.2 模拟-随机统计反演法的技术流程见图3。

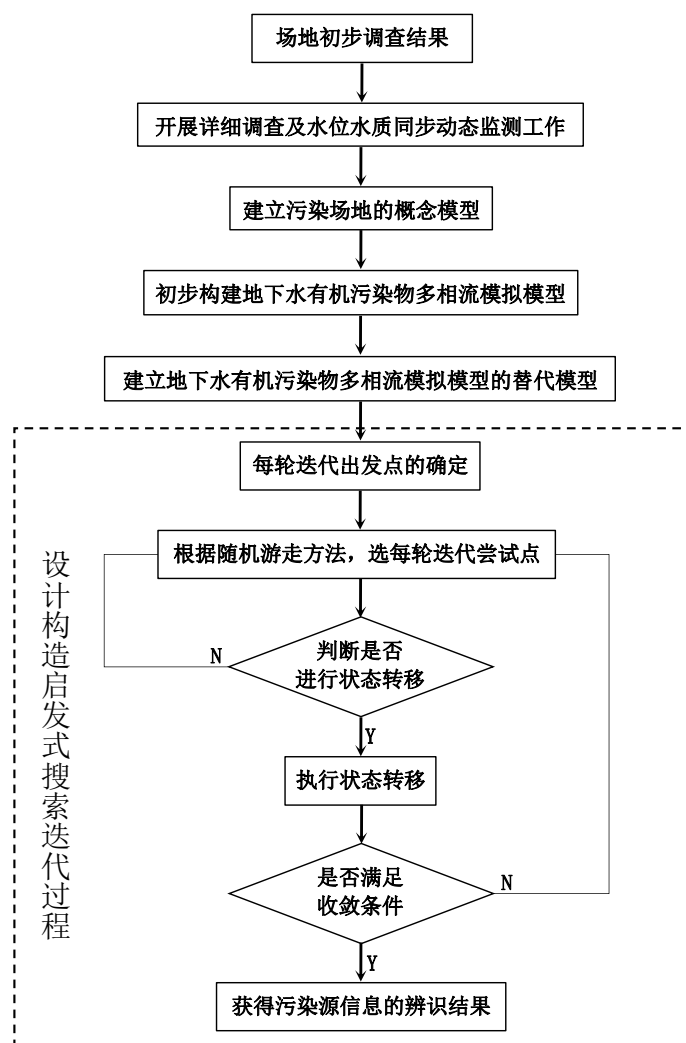


图3 模拟-随机统计反演法技术流程图

8.2.3 补充调查及水位水质同步动态监测应符合以下规定：

a)应在前期场地调查的基础上，对场地的地质、水文地质条件进行必要的补充调查，获取包括但不限于以下信息：

- 1) 含水层的岩性、底板埋深和厚度；
- 2) 含水层水化学类型；
- 3) 含水层的补给排泄条件、孔隙度、渗透系数、给水度、弥散系数等水文地质参数的取值情况。

b)在充分分析已有资料的基础上，根据前期地下水水样测试分析结果，新增布设监测井，开展水位水质同步动态监测工作。

8.2.4 污染场地概念模型的建立应根据野外现场调查、资料分析和定性分析的结果，确定污染场地的范围，对污染场地的具体条件，包括边界条件、含水层特征、水力特征、补给排泄条件等进行概化，建立描述真实系统的概念模型。

8.2.5 地下水有机污染物多相流模拟模型的初步构建应在概念模型的基础上，初步确定地下水有机污染多相流数值模拟模型的一般数学表达式，并对每个待识别变量（污染源的时空分布特征，包括污染源的空间分布状态（污染源的形状、位置）和释放历史（初始释放时刻、释放时长和释放强度））做出初步估计，给出初估值。在此基础上初步建立地下水有机污染多相流数值模拟模型。地下水有机污染多相流数值模拟模型包括偏微分方程、初始条件和边界条件。

8.2.6 地下水有机污染物多相流模拟模型的替代模型的建立应符合以下规定：

a) 运用拉丁超立方抽样方法在待识别变量的可行域内进行抽样，将样本依次输入到多相流数值模拟模型中进行正演计算，获得多相流数值模拟模型的输入-输出样本数据，作为建立替代模型的训练样本与检验样本数据；

b) 应用人工智能深度学习中的深度置信神经网络方法，建立多相流数值模拟模型的深度置信神经网络替代模型；

c) 利用训练样本，训练深度置信神经网络替代模型；

d) 利用检验样本，检验深度置信神经网络替代模型对多相流数值模拟模型的逼近精度。

8.2.7 启发式搜索迭代过程的设计构造应符合以下规定：

a) 确定每轮迭代出发点。对于首轮迭代，出发点处各待识别变量的取值都赋以初估值，作为初始状态。后续每轮迭代的出发点由上轮迭代的尝试点构成；

b) 选定每轮迭代尝试点。应用多向量变步长随机游走方法，确定每轮迭代的尝试点；

c) 判别状态转移与否。将 Metropolis 公式的计算结果作为状态转移的判别依据；

d) 执行状态转移。如果满足状态转移的条件，则进行状态转移，将本轮迭代的尝试点作为下一轮迭代的出发点，然后开始进行下一轮的迭代。若不满足，则需再运用多向量变步长随机游走方法，重新选定本轮迭代的尝试点；

e) 当迭代达到收敛条件时，停止迭代。运用概率论与数理统计的相关理论和方法，在各个待识别变量停止迭代前，对迭代次数的取值进行统计分析，获得各个待识别变量点的估计结果。

8.2.8 反演结果的识别宜将各个待识别变量点的估计结果作为最终的辨识成果，依据待识别变量的坐标来判断污染源的位置，同时还可识别污染物的释放历史。不同形状污染源的反演结果的识别应符合以下规定：

a) 污染源为线状时，待识别变量包括线状污染源两个端点的横坐标和纵坐标 x_1 、 y_1 和 x_2 、 y_2 ，释放历史包括污染质的初始释放时刻 t ，释放时长 T ，释放强度 q ；

b) 污染源为点状时，待识别变量包括污染源的横坐标 x 和纵坐标 y ，释放历史包括污染质的初始释放时刻 t ，释放时长 T ，释放强度 q 。

8.3 人工强化水动力法

8.3.1 技术原理

通过抽水实验，构建可控、人工强化的地下水动力-化学场，依据人工强化条件下的单口抽水井中

目标污染物浓度变化特征计算地下水污染源与抽水井的距离，利用通过多扣抽水井计算得到的距离，结合距离交会定位方法确定地下水污染源位置。可将人工强化水动力法多轮次实施，逐步精确定位地下水污染源。

8.3.2 人工强化水动力法的技术流程见图 4。

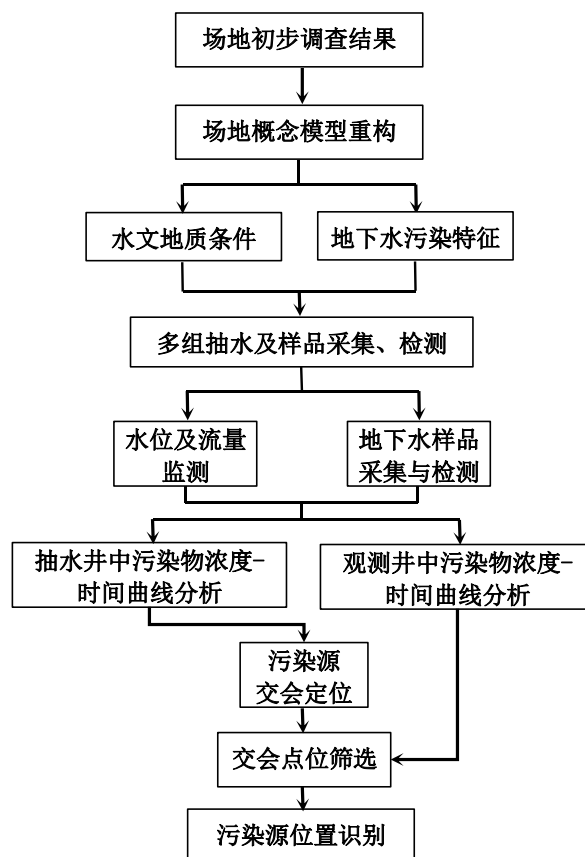


图 4 人工强化水动力法技术流程图

8.3.3 场地概念模型重构宜符合以下规定：

a) 运用人工强化水动力法前，需在前期场地调查的基础上，综合分析场地条件，对场地概念模型进行重构，必要时开展补充调查。

b) 场地概念模型关键要素包括：

1) 地层岩性、结构、厚度、分布及渗透性能等含水层特征，地下水流动特征及补给、径流和排泄条件等，水文地球化学条件等；

2) 场地地下水有机污染物及其空间分布特征。

8.3.4 抽水及地下水样品采集、检测宜符合以下规定：

a) 依据前期场地调查结果，选取有机污染物浓度较高区域，设计符合场地水文地质特征的抽水井位置、流量等参数；确保持续抽水的同时降低抽水和抽出水处理的成本、缩短污染源定位用时，并降低因抽水造成污染物扩散的风险，防止二次污染；

b) 布设抽水井，在抽水井周边不同方位布设观测井，观测井数量至少为 2 口，并尽量均匀分布于抽

水井周围，观测井与抽水井距离应小于抽水井影响半径，观测井监测层位应与抽水井保持一致；

c)抽水井可利用现有最高浓度井，也可在高浓度区补充建设抽水井。抽水井应为污染含水层完整井，抽水井井径至少为 110 mm，井管材质应不影响采样分析结果，可选不锈钢管、UPVC 管等管材。抽水流量应保持抽水过程持续，并形成尽量大的水位降深，提高人工强化效率；

d)抽水过程中，应监测抽水井中流量、抽水井及观测井中水位，水位监测频率宜符合 YS 5215 的规定，并每天对场地地下水流场进行统测；

e)定期采集抽水井中地下水样品，水样采集频率为初始每 6 小时一次，根据监测结果动态调整，保障可掌握抽水过程中浓度-时间曲线的整体变化特征；

f)抽水流量、地下水水位的监测及样品采集、流转和检测过程应符合 HJ 164 的规定；

g)水样分析指标以场地目标污染物为主，并兼顾目标污染物的次生产物、地下水 pH、电导率、氯化物等常规化学组分等。

8.3.5 抽水井中污染物浓度-时间曲线分析宜符合以下规定：

a)根据监测结果，利用公式（1）对污染物浓度-时间序列拟合，得到浓度历时变化趋势曲线，取浓度-时间序列拟合曲线中点对应时间 t_a ，作为污染物由污染源迁移至抽水井所用时间。

$$C = \frac{C_1 - C_2}{1 + \exp\left(\frac{t - t_a}{dt}\right)} + C_2 \quad (1)$$

式中：

C_1 、 C_2 —抽水前、出水浓度稳定后抽水井中污染物浓度，mg/L；

t_a —浓度-时间序列拟合曲线中点对应时间，h；

dt —时间常数。

b)根据公式（2）计算污染源与抽水井间的距离 l 。

$$l = \sqrt{\frac{q_0}{\pi h_0 n_e} t_a} \quad (2)$$

式中：

l —污染源至抽水井的距离，m；

q_0 —抽水速率， m^3/h ；

h_0 —含水层厚度，m；

n_e —有效孔隙度；

t_a —污染物由污染源迁移至抽水井所用时间，h。

8.3.6 地下水污染源交会定位与识别宜先利用 1 口抽水井的浓度-时间序列得到抽水井与污染源的距离，然后通过相同的方法获得其他多组抽水井与污染源的距离，利用距离交会方法可判定交会点位即为污染源潜在位置，通常为 2 个交会点。而后利用观测井对交会点进行进一步筛选，将抽水井周边不同方位

观测井中污染物浓度变化幅度进行排序，将浓度升高幅度最大的观测井所在方位的交会点进一步识别为污染源位置。

8.4 同位素法

8.4.1 技术原理

不同来源或不同形成过程的化学物质的稳定同位素组成特征存在差异，它们所含某种元素的同位素比值（或丰度比，如 D/H、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值、 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ）是不同的，具有不同的同位素指纹特征。通过测定化工场地不同位置的各种介质和潜在污染源中目标污染物的稳定同位素比值并进行分析比对，可以判断出介质中与潜在污染源中有机污染物是否具有同源性，从而准确识别出污染源。若确实存在多个污染源，还可结合各类模型，定量计算出各污染源对受体端污染的贡献比例。

8.4.2 同位素法的技术流程见图 5。

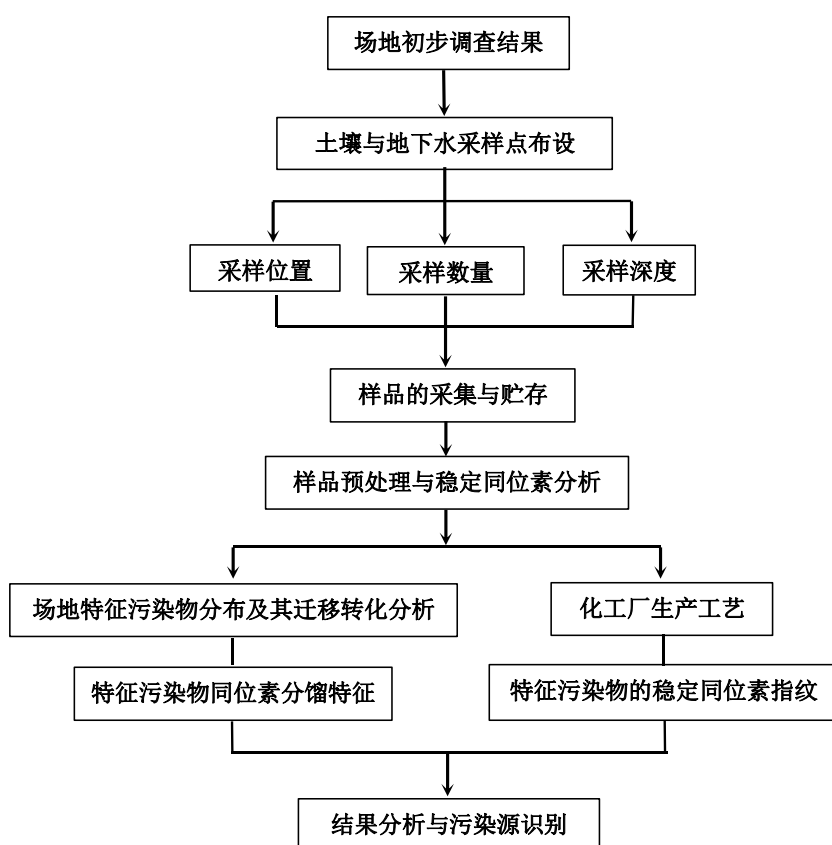


图 5 同位素法技术流程图

8.4.3 采样点的布设宜符合以下规定：

a) 采样点应根据前期场地调查结果并结合场地特征和功能分布确定。应以潜在污染源、受体端（场地中受污染土壤和地下水）以及环境基线（场地周边未受污染样品）为主要采样区域，并根据前期场地调查结果判断的目标污染物的分布特征进行布点，布点应符合 HJ25.1 的规定；

b) 采样点垂直方向的土壤采样深度应根据潜在污染源位置、场地地层结构和水文地质特征，以及污染物迁移特性等进行判断设置。地下水采样点的布设应考虑水文地质条件及污染物迁移趋势，原则上应

沿着潜在污染源向污染区的地下水流线布设，地下水采样点的布设可参考《地下水环境状况调查评价工作指南》。

8.4.4 样品的采集与贮存应符合以下规定：

a)土壤样品

1) 应结合场地污染情况选择合适的采样深度，采集不同土层土样。土壤采样应符合 HJ/T 166 的规定；

2) 采集过程和样品保存应按照 GB/T 36197 的规定，选取合适的采样技术和贮样容器以避免交叉污染；

3) 土壤样本的运输宜保持在 4°C 以下，长期贮存时应低于 -25°C；

4) 在样品采集、运输和保存过程中，应确保样品的同位素成分不因蒸发或扩散等原因产生分馏。

b)地下水样品

1) 地下水采样应建地下水采样井，采样井的建设应符合 HJ 164 的相关要求；

2) 采集含有挥发性有机污染物水样时，应符合 HJ 1019 的相关要求；

3) 采集完毕的地下水样品应立即装入高密度聚乙烯瓶，同时避免大量空气混入，不留顶空并立即密封，然后在低温条件下运输并置于 4°C 保存。

c)地下水和土壤样品的采集量应满足对应元素同位素测试要求，可根据前期场地调查时获得的目标污染物种类及其浓度范围来确定。

8.4.5 场地样品的预处理和稳定同位素测定应符合以下规定：

a)应根据特征有机污染物种类、污染物特性和检测目的确定土壤样品的预处理方法。土壤样品一般应进行干燥、粉碎及目标污染物的分离与富集等预处理；

b)稳定同位素测定前，应先测定样品中特征有机污染物浓度，可采用顶空(HS)或固相微萃取(SPME)等进行预处理；

c)样品中含有多种目标污染物时，应根据不同污染物的元素和理化特征调整仪器分析参数，有效分离目标污染物后才能进行同位素检测；

d)应通过预实验确定污染物浓度测定和稳定同位素测定的仪器参数，例如装置温度、程序升温条件、运行时间、进样比、气流速率、梯度变化等，并结合标准样品的同位素信号强度及方差大小确定特定污染物同位素测定的最佳方法；

e)采用化学手段转化样品或目标污染物形态时，转化率应趋于 100%；

f)分析多种污染物同位素时，应避免预处理及上机操作过程中仪器分析导致的污染物性质改变或相互转化，造成不必要的人为干扰引起的同位素分馏现象。不同元素的同位素测试方法可参考《地下水污染同位素源解析技术指南（试行）》执行；

g)样品中特征有机污染物浓度可采用气相色谱质谱仪(GC-MS)、高效液相色谱质谱仪(HPLC-MS)测定；手性目标污染物的对映体分数可采用手性气相或液相色谱测定；

h)样品中特征有机污染物中某一种或多种元素的稳定同位素比值可采用气相色谱-燃烧炉-稳定同位素质谱仪（GC-C-IRMS）测定。

8.4.6 结果分析及污染源识别应符合以下规定：

a)针对化工企业仍在运营或污染时间短的场地，可直接对采集样品中的稳定同位素组成特征进行分析比较。若受体端同位素组成特征与污染源较为接近，且符合污染物浓度迁移规律，则可说明受体端污染物与潜在污染源具有同源性，否则不具有同源性。若确实存在多个污染源，或在同一位置存在多个污染源时，可采用同位素源解析技术比较不同采样点污染物同位素比值（ δ ）的微小变化，并结合同位素分析软件 Isosource，定量计算出潜在各污染源对受体端污染的贡献率（公式（3）和（4）），进而验证场地介质（土壤或地下水）中有机污染物与污染源是否具有同源性，并据此判别污染源。

$$\overline{\delta_M} = f_1\overline{\delta_1} + f_2\overline{\delta_2} + f_3\overline{\delta_3} + f_4\overline{\delta_4} \quad (3)$$

$$1 = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 \quad (4)$$

式中：

$\overline{\delta_M}$ —受污染点同位素比值；

f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 —不同潜在污染来源所占比例；

$\overline{\delta_1}$ 、 $\overline{\delta_2}$ 、 $\overline{\delta_3}$ 、 $\overline{\delta_4}$ —不同来源中污染物的同位素比值。

b)针对化工企业已经关停或污染时间较长的场地，应结合化工行业生产工艺过程调查结果，获取同时期目标污染物的内在稳定同位素指纹。当有机污染物在环境中降解时，可通过稳定同位素分馏因子（ α ）的变化，识别和预测有机化合物的降解程度，区分生物降解和非生物降解作用。同时基于场地土壤/地下水中特征有机污染物污染羽特征，分析污染物的同位素分馏特征。然后结合不同采样位点样品中污染物的浓度变化和同位素分馏特征，反推污染物浓度最高点为污染源。

9 结果表征

9.1 技术报告

技术报告编写应包括项目背景、工作区概况、源解析技术选择、污染源解析技术流程及结果分析、存在问题与建议等。其中项目背景需要包括项目来源、工作任务目标及具体要求等；工作区概况需要包括化工场地所在行政区划情况、水文地质概况、地下水开发利用现状、场地工作基础、化工厂生产和排污历史、土壤和地下水污染现状等；源解析技术选择需要基于场地调查结果，结合场地特征和污染源解析目标选定；污染源解析部分需要根据选定源解析技术的相关流程，详细说明污染源解析过程，并明确解析结果。要求报告充分反映化工场地污染源解析的过程及所取得的成果，技术报告的编制大纲见附录A。

9.2 图件

根据场地的范围确定比例尺，绘制化工场地潜在污染源分布图、采样点平面位置图、土壤和地下水污染分布图、场地水文地质平面图和剖面图、地下水流场等相关图件。要求图件的表达规范、图例统一、图面清晰、实用易懂。

9.3 保存时限

源解析的相关数据资料的保存时限按照上级部门要求或者甲乙双方约定执行。

附录 A
(资料性)
技术报告编制大纲

A.1 项目背景

A.1.1 项目概况

包括项目来源、化工厂概况、场地位置及范围、场地污染概况等。

A.1.2 工作目标及任务

包括场地开展污染源解析的目标、需求和具体任务情况。

A.1.3 工作内容与流程

包括项目需要开展的具体工作内容，以及相关的工作流程。

A.2 场地调查

A.2.1 工作区概况

包括行政区划情况、自然地理特征、土地利用概况、化工厂生产和产、排污情况、周边企业及人口分布情况等。

A.2.2 场地水文地质条件

包括场地地层岩性、含水层结构和地下水补径排特征，地下水的水位、水量、水质变化情况，场地渗透系数、给水度、有效孔隙度、水力梯度，地下水开发利用现状等。

A.2.3 场地污染现状

包括场地土壤和地下水中的主要污染物种类、浓度和分布特征等。

A.2.4 场地潜在污染源初步判断

A.3 源解析技术选择

A.4 污染源解析

A.4.1 技术原理

A.4.2 技术流程

A.4.3 污染源解析过程

根据选定的源解析技术，按流程列出详细解析过程。若同时选择多种技术，则分别列出解析过程。

A.4.4 结果分析

A.5 存在问题与建议

A.6 附表和附图