

地下水污染源识别在水工环调查中的实践路径探析

何彦霖¹ 支光琴²

1. 泸县自然资源和规划综合服务中心 四川 泸州 646000

2. 四川省第六地质大队 四川 泸州 646000

【摘要】：地下水系统受地质结构、水文条件与人类活动共同影响，污染源识别成为水工环调查中的关键环节。为提高追溯精度，需构建以时空演化分析为主线的识别路径，将监测数据、地层结构、水力梯度变化与污染物特征浓度场进行关联解析。通过多点取样、等值线反演、污染指纹比对与地下水流向推演，可逐步锁定潜在来源，并判断其形成背景与迁移趋势。多源信息的耦合不仅强化了证据链的完整性，也为判断复合型污染源提供可靠依据，为后续治理策略提供基础支撑。

【关键词】：地下水污染；污染源识别；水工环调查；时空演化；指纹特征

DOI:10.12417/2811-0528.26.08.042

地下水受外界扰动后会呈现出与流场、地层结构及外源输入密切相关的变化特征，使得污染来源的辨析始终处于复杂背景之中。随着取水方式、土地利用与排放活动不断变化，污染物在地下介质中的迁移路径趋于隐蔽化，进一步提升了识别难度。针对这一挑战，水工环调查逐渐形成以动力条件分析与污染特征解析为核心的识别思路，通过挖掘时空变化线索，揭示污染痕迹背后的因果链条。相关路径的构建不仅能够呈现地下水系统的响应模式，也能够为污染事件的追踪提供更具解释力的依据，推动调查工作向更加精细化的方向发展。

1 地下水污染源识别中的关键难点解析

地下水污染源的辨析往往处于多重不确定性叠加的环境之中，隐蔽流动特征使污染物迁移路径难以直接捕捉。地下介质结构差异、渗透系数变化与水力梯度扰动共同影响着污染物的扩散方向，使污染范围呈现出高度离散的空间分布。加之深浅层补给关系复杂，局部水动力条件易被抽采活动改变，流场变形使溯源线索不断弱化^[1]。在多点监测不足、时序数据缺失的情况下，污染羽往往无法凭单点浓度判断其来源位置，导致调查环节存在明显的信息断层。部分区域还会出现污染物背景值偏高、成因混杂等情况，使得浓度异常难以直接指向具体排放源，进一步增加判断难度。

在人类活动高度集中的区域，多源排放现象使污染图式更加复杂。工业废水排放、农业施肥渗漏与生活污水入渗可能在同一含水层中形成叠加效应，使污染指纹呈现出多组分交织的特征。一旦迁移带出现重金属与有机物并存的情形，常规指标很难直接锁定源头类型。此外，填埋场、化工园区与地下管网漏失往往具有间歇性、隐匿性排放特点，导致污染峰值的出现与地下水流动并非同步，使时序特征难以捕获真实的排放节奏。即便利用水力追踪模型，也可能因源强波动、突发性输入

或包气带滞留作用而产生偏差，使得结果难以完全反映污染的真实起点。

地下环境的非均质性进一步提升了识别难度。透水层、弱透水层与隔水层在空间上的不连续分布，会改变污染物的主迁移通道，使得实际路径与理论流线偏离。裂隙发育带、古河道砂体等特殊地质体还可能形成优先流通道，使污染物以跳跃式方式扩散，造成监测布点难以全面覆盖关键迁移带。部分区域的蒸发浓缩、地表径流回灌与地下水位季节性波动也会影响污染物富集程度，使浓度场呈现周期性变化，干扰外推判断。加上取样深度差异、监测井结构不一以及人为干扰因素的叠加，使数据解释复杂化，进一步削弱源解析的确定性，形成水工环调查中最棘手的识别障碍之一。

2 水工环调查中的污染追溯路径构建

水工环调查中污染追溯路径的构建往往从大尺度水文地质格局的梳理展开，含水层结构、区域补给与排泄条件、地下水等势分布等基础信息为判断污染物迁移方向提供了首要约束。通过建立动态水位观测网络，可以捕捉流场在抽采、降雨和地表补给影响下的周期性变化，使追踪路线具备明确的水动力背景^[2]。含水介质的渗透性差异、水力梯度的空间转折点、潜水面起伏强烈区往往成为污染羽扩散的关键节点，需要在调查路径中提前纳入考虑。为避免信息片段化，常采用多尺度耦合的方式，将区域性流场与局部微地貌、微水文条件相叠加，使污染源的判别链条呈现连续性。

在明确流场格局的基础上，污染物指纹特征成为追溯路径构建的骨架。不同排放源在化学成分、同位素特征、离子配比、微量元素谱方面具有可区分性，通过高频取样与成分比对，可逐步缩小潜在来源范围。污染物在迁移过程中会经历稀释、吸附、挥发、氧化还原反应等一系列地球化学过程，不同过程会

留下可被识别的变化轨迹,为路径构建提供方向性引导。高氯化物负荷、氮素组分转化链、重金属价态变化等特征往往能揭示污染输入方式与停留时间。结合多点浓度场反演手段,可描绘污染羽前缘、核心区与衰减带的空间形态,使追踪路径更加贴合地下水系统的真实响应。

为了提升追溯精度,数值模拟与现场监测耦合成为调查中的重要技术环节。通过建立三维水流—溶质运移模型,可以对污染羽的演化趋势进行预判,并根据反演结果调整采样位置与监测密度,使路径构建具备迭代性与验证性。模型参数需依据实测数据不断校正,包括渗透系数、有效孔隙度、弥散度等关键变量,以减少模拟偏差。在污染源分布复杂、排放具有间歇性或迁移通道隐蔽的地区,还会应用示踪试验、地球物理探测等辅助手段,使隐蔽性输导路径得以暴露。随着数据集不断丰富,追溯路径逐渐清晰,污染输入点、迁移主通道及控制性地质构造的关系也可随之厘定,为溯源提供坚实的技术支撑。

3 污染源识别路径的综合提炼与实践启示

污染源识别路径的综合提炼强调从多源信息中构建稳定的证据链,使水工环调查具备可重复、可验证的技术框架。在流场、地质构造与污染分布呈现多重耦合的条件下,单一指标往往难以支撑准确判断,因此在综合阶段需将水动力线索、地球化学指纹、污染羽形态变化与数值模拟结果进行整合,通过关联分析揭示各类信息之间的逻辑关系^[3]。含水层渗透性差异、污染物成分构型以及迁移速度的空间变化常会形成可识别的特征组合,为提炼稳定路径提供基础支撑。随着数据量不断累积,污染源的时序输入方式、迁移链条与衰减行为逐渐显现,使综合提炼具备更强的指向性。

参考文献:

- [1] 叶铃,肖开煌,赵芯.地下水污染现状及监测方法探讨[J].广州化工,2025,53(16):164-167.
- [2] 甘雨,王冻,刘情.地下水污染修复技术的创新与应用[J].山东化工,2025,54(16):193-195+200.
- [3] 郭敏.基于环境风险的土壤和地下水污染治理与修复路径研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(12):49-51.

在实践中,识别路径往往依赖不断强化的空间定位精度与成分解析能力。高密度监测布设、精细化取样和同位素示踪技术的应用,使污染羽前缘与核心区的界定更为清晰,有助于锁定关键迁移带。污染物在地下介质中的一系列物理—化学过程也被纳入综合分析框架,通过识别吸附滞后、离子交换、溶解度控制等机制,可以剔除干扰信息,使真实的来源特征在复杂背景下被提取出来。当模型反演结果与现场监测数据达到较高拟合度时,综合路径逐步形成稳定结构,使污染源位置、强度及迁移方向呈现连续逻辑。

在多类型污染并存或流场扰动频繁的区域,综合提炼过程还需注重对异常信息的辨析与修正。间歇性排放、潜在优先流通道、局部隔水体破碎等因素可能造成污染浓度场不稳定,通过动态更新调查路径,可以避免判断偏移。随着调查步骤不断推进,识别框架中的关键控制要素逐渐明确,污染物的来源序列与迁移主控条件得到进一步厘定,使综合结果具备较强的适用性,为溯源判断提供方向性参考,也为复杂地下环境中的污染解析积累经验路径。

4 结语

地下水污染源的识别在多重干扰因素下呈现显著复杂性,水工环调查由此形成以流场解析、化学特征比对与模型反演为支撑的综合路径。多源信息的融合不断强化证据链,使迁移通道、输入方式与源区位置逐渐清晰。随着调查深度增加,地下水系统的响应规律被更为细致地揭示,识别框架在实践检验中持续完善。污染来源的厘定不仅依赖技术手段的精确性,也依赖对地下环境整体性的把握,为后续治理提供可靠依据。