

地下水硝酸盐污染来源追溯及风险评估

李 霏

巴彦淖尔市水利科学研究所 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】地下水作为重要的水资源，其硝酸盐污染问题已成为全球关注焦点。本文首先介绍了全球及我国地下水硝酸盐污染现状，阐述其对环境与人体健康的危害。详细探讨了传统化学分析、多元统计分析、模型模拟等来源追溯方法，并对不同方法的优缺点及适用范围进行比较。指出当前研究存在的不足与挑战，展望未来需在方法完善、多学科交叉及数据共享等方面深入研究，为地下水保护与管理提供科学依据。

【关键词】地下水；硝酸盐污染；来源追溯；风险评估

DOI:10.12417/2811-0536.25.03.027

引言

在水资源体系中，地下水占据着至关重要的地位，它广泛服务于人类生活、农业灌溉和工业生产等领域。然而，当下地下水正面临着硝酸盐污染的严峻挑战，这不仅威胁到水质安全，还对生态环境和人体健康造成诸多问题^[1]。因此，开展地下水硝酸盐污染来源追溯及风险评估研究十分必要。目前，国内外在该领域虽取得一定进展，但仍存在一些问题。本文旨在系统总结相关研究成果，为后续研究提供参考。

1 地下水硝酸盐污染现状

地下水硝酸盐污染是一个全球性的环境问题，对生态环境和人类健康构成了严重威胁。从全球范围来看，地下水硝酸盐污染分布广泛且程度不一。在一些人口密集、农业发达和工业集中的地区，污染程度较为严重，污染范围也在不断扩大^[2]。近年来，随着人口增长，生活污水排放量增加；农业活动中化肥的大量使用，使得氮素不断渗入地下；工业发展产生的废水废渣未经有效处理也加剧了污染，这些因素导致全球地下水硝酸盐污染呈上升趋势。我国地下水硝酸盐污染现状也不容乐观。华北地区由于农业灌溉大量使用氮肥，且地下水水位较浅，污染较为突出，主要污染源为农业面源污染；华东地区经济发达，工业和生活污水排放量大，是导致该地区地下水污染的重要原因；华南地区降水丰富，但农业活动和部分工业废水排放也使得地下水受到一定程度的硝酸盐污染^[3]。地下水硝酸盐污染对我国经济社会发展产生了诸多不利影响，如影响饮用水安全、制约农业可持续发展等。硝酸盐污染对地下水环境和人体健康危害显著。在生态环境方面，高浓度的硝酸盐会对水生生物产生毒性作用，破坏水生态平衡，还会影响土壤质量，导致土壤板结、肥力下降。在人体健康方面，硝酸盐在人体内可能转化为亚硝酸盐，对消化系统、心血管系统等造成潜在危害，增加患癌症、高铁血红蛋白血症等疾

病的风险。因此，加强地下水硝酸盐污染治理迫在眉睫。

2 地下水硝酸盐污染来源追溯方法

2.1 传统化学分析方法

传统化学分析方法是常用手段。离子比值法基于不同来源硝酸盐中各种离子的比例差异来判断污染来源，例如农业污染和工业污染的离子组成有别。同位素示踪法利用硝酸盐中氮、氧等同位素的特征来追溯来源，不同污染源的同位素组成具有独特性。这些方法原理明确，适用于污染来源相对单一、特征明显的情况^[4]。但缺点是难以区分复杂混合源的贡献，比如当农业和生活污水共同污染时较难精准判断。实际案例中，在某农业区通过离子比值法确定了化肥使用是地下水硝酸盐的主要来源。

2.2 多元统计分析方法

多元统计分析方法通过处理大量水质数据识别污染源。主成分分析能将多个相关变量转化为少数几个综合指标，找出影响硝酸盐含量的主要因素；聚类分析可将水质相似的样本归为一类，推测可能的污染源；因子分析则能提取出潜在的污染源因子。这些方法适用于数据丰富、污染源复杂的地区，能有效识别不同污染源的贡献和特征。

2.3 模型模拟方法

模型模拟方法借助地下水流动模型和溶质运移模型，模拟地下水流动和硝酸盐迁移过程，从而追溯来源和运移路径。其优势在于能动态展示污染物的运移，适用于研究区域大、地质条件复杂的情况。然而，该方法依赖大量准确的基础数据，且模型的建立和参数确定存在一定难度。

2.4 不同方法的比较与综合应用

不同方法各有优劣。传统化学分析方法简单直接

但不够精准；多元统计分析方法能处理复杂数据，但对数据质量要求高；模型模拟方法能动态展示但数据和参数要求严格。在实际研究中，应根据研究区域的特点、数据的可获取性等具体情况选择合适的方法，并综合运用多种方法，以提高来源追溯的准确性和可靠性，为地下水污染治理提供有力支持。

3 地下水硝酸盐污染风险评估方法

3.1 基于指标体系的风险评估方法

基于指标体系的风险评估方法中，DRASTIC 模型通过选取地下水埋深、净补给量等七个指标，根据各指标对地下水污染的影响程度确定权重，综合评估污染风险。AHP-模糊综合评价法利用层次分析法确定指标权重，结合模糊数学理论处理不确定性因素^[5]。例如在某地区运用 DRASTIC 模型，通过对各项指标赋值计算，评估出该地区不同区域的地下水硝酸盐污染风险等级。

3.2 基于健康风险的评估方法

基于健康风险的评估方法，如美国 EPA 推荐的模型，主要考虑人体通过饮水、皮肤接触等途径暴露于硝酸盐污染地下水的剂量，结合毒理学数据评估健康效应，从而确定风险水平。比如计算不同年龄段人群因饮用受污染地下水而摄入硝酸盐的剂量，评估其患高铁血红蛋白血症等疾病的风险。

3.3 基于生态风险的评估方法

基于生态风险的评估方法，生态风险指数法通过

计算生态风险指数来评估污染对生物群落的影响；生态毒理学评价法利用生物测试等手段评估硝酸盐对水生生物的毒性效应，确定生态风险等级和范围。

3.4 不同风险评估方法的比较与应用前景

不同方法各有优劣。基于指标体系的方法简单易操作，但指标选取和权重确定存在一定主观性；基于健康风险的方法侧重于人体健康，但对暴露剂量和健康效应的评估存在不确定性；基于生态风险的方法关注生态系统，但生态毒理学数据获取较难^[6]。未来，应结合多学科知识，改进指标选取和权重确定方法，提高评估的准确性和可靠性，同时加强不同方法的综合应用，以更好地应对地下水硝酸盐污染风险评估的挑战。

4 结语

本文系统总结了地下水硝酸盐污染来源追溯及风险评估的研究成果。在来源追溯上，传统化学分析、多元统计分析和模型模拟等方法各有原理、适用范围与优缺点，并通过实际案例展示了应用；风险评估涵盖基于指标体系、健康风险和生态风险的方法。目前该领域虽取得一定进展，但仍存在诸多问题，如方法准确性和可靠性待提升、数据质量与完整性不足，实际应用中面临复杂地质条件下的来源追溯及多污染源综合评估等挑战。未来研究应聚焦改进完善追溯和评估方法，加强多学科交叉融合，提高数据质量与共享水平。同时，要重视地下水保护与管理，为保障水质安全提供坚实科学依据。

参考文献：

- [1] 涂月明.工业园区地下水中有毒污染物的来源追踪与健康风险评估[J].清洗世界,2024,40(12):148-150.
- [2] 丁启振,周殷竹,周金龙,等.新疆东部平原区地下水无机污染物空间分布、源解析及健康风险评价[J].地球科学,2024,49(11):4008-4021.
- [3] 黄勇,胡稳,朱世超,等.高原盆地区域地下水无机物污染、源解析及健康风险评价[J].环境科学研究,2024,37(6):1389-1400.
- [4] 伍永年,苏韬,徐卫东,等.水质型缺水地区地下水重金属污染风险评价[J].人民长江,2024,55(8):29-35.
- [5] 常帅,宋圆梦,陈慧,等.华北典型区域地下水重金属来源解析及健康风险识别[J].中国环境监测,2024,40(4):172-182.
- [6] 董林明,宋景辉,曹嘉萌,等.工业地块土壤与地下水污染风险分级方法国际比较研究[J].环境污染与防治,2023,45(1):113-121.