

工业区地下水污染现状调查与风险评估

王官¹ 顾巍¹ 孙镜雯¹ 杜丽娜²

1. 浙江德睿环境科技有限公司 浙江 杭州 310000

2. 浙江中通检测科技有限公司 浙江 宁波 315100

摘要: 文章聚焦工业区地下水污染问题,开展现状调查与风险评估。通过实地采样、实验室分析及文献调研,揭示工业区地下水污染特征,识别主要污染物及污染源。运用风险评估模型,量化评估污染对人类健康及生态环境的潜在风险。研究表明,工业区地下水污染形势严峻,需采取有效防控措施。本文为工业区地下水污染治理提供了科学依据,对保障水资源安全、促进区域可持续发展具有重要意义。

关键词: 工业区地下水; 污染现状; 风险评估

引言: 随着工业化的快速发展,工业区地下水污染问题日益凸显,成为制约区域生态环境与经济社会可持续发展的关键因素。地下水作为重要的水资源,其污染不仅影响居民饮用水安全,还对生态系统造成长期危害。因此开展工业区地下水污染现状调查与风险评估,对于制定科学合理的防控策略、保障水资源安全至关重要。本文旨在通过系统调查与科学评估,揭示工业区地下水污染现状,为后续治理工作提供有力支撑。

1 工业区地下水污染概况调查

在当今工业化进程加速的背景下,工业区地下水污染问题日益凸显,成为制约区域可持续发展与生态环境保护的关键因素之一。工业区作为各类工业生产活动的集中区域,由于长期高强度的工业生产、不合理的污染物排放及管理措施缺失,导致地下水系统遭受不同程度的污染威胁。(1) 污染源特征。工业区地下水污染源呈现多元化特征,主要包括:工业废水排放,部分企业因环保设施落后或运行管理不善,存在废水偷排、漏排现象,含有重金属、有机物、酸碱物质等污染物的废水直接或间接渗入地下,对地下水水质造成严重影响;固体废弃物堆放,工业生产过程中产生的废渣、尾矿等固体废弃物,若未得到妥善处置,经雨水淋滤或风化作用,其中的有害物质会随渗滤液下渗至地下含水层;地下储罐及管道泄漏,工业区内储存化学品、石油等物质的地下储罐及输送管道,因老化、腐蚀或人为破坏等原因发生泄漏,导致有毒有害物质直接污染地下水。(2) 污染现状。工业区地下水污染具有隐蔽性强、扩散范围广、治理难度大等特点。通过长期监测发现,工业区地下水中的污染物种类繁多,包括重金属(如铅、汞、镉等)、挥发性有机物(如苯、甲苯、氯仿等)、半挥发性有机物(如多环芳烃、邻苯二甲酸酯等)以及无机盐

类等。这些污染物不仅改变了地下水的化学组成,还可能导致水质恶化,使其失去原有的使用功能^[1]。(3) 污染影响。工业区地下水污染对生态环境和人类健康构成了严重威胁。一方面,污染的地下水会通过渗透、扩散等方式影响周边土壤、地表水及生态系统,导致生物多样性下降、土壤肥力减退等问题;另一方面,被污染的地下水作为饮用水源时,可能引发慢性中毒、癌症等健康问题,对居民的生活质量和生命安全造成长期危害。

2 工业区地下水污染成因分析

2.1 污染源解析

工业区地下水污染的源头复杂多样,主要可归结为工业生产直接排放、废弃物处置不当以及基础设施泄漏三大类。首先,工业生产过程中产生的废水、废液若未经有效处理直接排放,尤其是含有重金属(如铅、铬、汞)、有机溶剂(如苯系物、氯代烃)等高毒性物质的废水,会通过渗透作用迅速污染地下水。其次,工业固体废弃物(如废渣、尾矿)的不规范堆放,经雨水淋溶或自然风化后,有害物质会随渗滤液下渗至地下含水层,形成长期污染源。地下储罐、管道等基础设施的老化、腐蚀或人为破坏导致的泄漏,也是不可忽视的污染途径,石油、化学品等泄漏物直接侵入地下水系统,造成局部或区域性污染。

2.2 污染物迁移转化规律

工业区地下水中的污染物在地下环境中遵循特定的迁移转化规律。物理迁移方面,污染物通过地下水的对流、弥散作用在含水层中扩散,其迁移速度受水文地质条件(如渗透系数、孔隙率)和污染物自身性质(如溶解度、密度)共同影响。化学转化过程中,污染物可能发生水解、氧化还原、络合等反应,改变其存在形态和毒性。生物作用也是污染物转化的重要途径,微生物的

代谢活动可加速有机污染物的分解，但也可能促进某些污染物的生物转化，生成毒性更强的中间产物。

2.3 人为因素与政策影响

人为因素在工业区地下水污染中扮演着关键角色。一方面，企业为追求经济效益，往往忽视环境保护，违规排放、偷排漏排现象时有发生，加剧了地下水污染程度。另一方面，公众环保意识淡薄，对地下水污染的危害认识不足，缺乏主动参与污染防治的行动。政策层面，虽然国家出台了一系列环境保护法律法规，但在执行过程中仍存在监管不力、处罚力度不够等问题，导致部分企业违法成本低，难以形成有效约束。地下水污染防治政策体系尚不完善，缺乏针对工业区特点的专项政策和标准，污染防治技术研究和推广应用不足，也制约了地下水污染治理的效果。

3 工业区地下水污染风险评估

3.1 健康风险评估

健康风险评估是地下水污染风险评估的核心内容之一，旨在量化评估地下水污染对人体健康的潜在危害。工业区地下水中的污染物种类繁多，包括重金属（如铅、汞、镉）、有机污染物（如苯系物、多环芳烃）及农药残留等，这些污染物通过饮用水摄入、皮肤接触或食物链传递等途径进入人体，可能引发急性或慢性中毒、癌症、神经系统损伤等多种健康问题。进行健康风险评估时，需首先识别地下水中的主要污染物，并确定其浓度水平^[2]。随后，基于毒理学数据和暴露评估模型，估算不同暴露途径下污染物的摄入量，并结合人群特征（如年龄、性别、饮食习惯）计算健康风险指标，如致癌风险、非致癌危害指数等。通过对比风险标准值，可判断地下水污染对居民健康的潜在威胁程度，为制定针对性的防控措施提供科学依据。

3.2 生态风险评估

生态风险评估关注的是地下水污染对生态系统结构和功能的影响。工业区地下水污染不仅直接威胁水生生物的生存，还可能通过土壤-地下水交互作用，影响陆地生态系统的稳定性。污染物在地下水中的迁移扩散，可能导致水体富营养化、酸化或碱化，破坏水生生物栖息地，降低生物多样性。重金属等有毒物质在食物链中的累积放大效应，可能对顶级捕食者（如鸟类、哺乳动物）造成严重危害，进而影响整个生态系统的平衡。生态风险评估需综合考虑污染物的生态毒性、暴露浓度、暴露时间及生态系统的敏感性等因素。通过构建生态风险评估模型，模拟污染物在地下水-土壤-生物系统中的迁移转化过程，评估其对生态系统服务功能（如水源涵

养、水质净化）的潜在影响。评估结果有助于识别生态脆弱区域，为生态保护与修复提供决策支持。

3.3 风险评估模型应用

在工业区地下水污染风险评估中，常用的模型包括数值模拟模型、统计分析模型及不确定性分析模型等。数值模拟模型（如MODFLOW、PHREEQC）能够模拟地下水流动、污染物迁移转化过程，预测污染范围及演变趋势，为风险评估提供空间分布信息。统计分析模型则基于历史监测数据，运用回归分析、时间序列分析等方法，识别污染物浓度变化规律，评估污染风险等级。不确定性分析模型考虑评估过程中的各种不确定性因素（如数据误差、模型参数不确定性），通过蒙特卡洛模拟、敏感性分析等方法，量化评估结果的不确定性范围，提高评估结果的可靠性。在实际应用中，需根据工业区特点、数据可获得性及评估目的，选择合适的模型或模型组合。同时加强模型验证与校准，确保评估结果的准确性和实用性。随着大数据、人工智能等技术的发展，将这些先进技术融入风险评估模型中，将进一步提升评估的智能化水平，为工业区地下水污染风险防控提供更加科学、高效的决策支持。

4 工业区地下水污染防控策略

4.1 污染源控制

工业废水是地下水污染的主要来源之一，工业区应建立完善的废水收集与处理系统，确保所有工业废水经过有效处理后达标排放。采用先进的废水处理技术，如生物处理、化学沉淀、膜分离等，提高废水处理效率，降低污染物浓度。加强对废水处理设施的运行监管，确保其稳定运行，防止偷排、漏排现象发生。工业固体废弃物（如废渣、尾矿）的不当堆放是地下水污染的另一重要源头。应建立健全固体废弃物分类收集、贮存、运输和处置体系，推广资源化利用技术，减少废弃物产生量。对于无法资源化利用的废弃物，应采取安全填埋、焚烧等无害化处理方式，并设置防渗层、渗滤液收集系统等，防止有害物质下渗污染地下水。工业区内储存和使用的危险化学品（如石油、有机溶剂）一旦泄漏，将对地下水造成严重污染。应建立危险化学品全生命周期管理制度，从采购、储存、使用到废弃处置，实施严格监管^[3]。采用双层罐体、泄漏检测报警系统等安全措施，确保危险化学品的安全储存与使用。同时制定应急预案，提高应对突发泄漏事件的能力。鼓励企业采用清洁生产技术和工艺改进、原料替代、能源优化等措施，降低生产过程中的资源消耗和污染物排放。政府应出台相关政策，对采用清洁生

产技术的企业给予税收优惠、资金补贴等支持，引导企业绿色转型。

4.2 地下水修复技术

对于已污染的地下水，需采取有效的修复技术，恢复其水质与生态功能。（1）物理修复技术，包括抽提处理、气提技术等，通过物理手段将地下水中的污染物抽出或分离出来。（2）化学修复技术，利用化学反应原理，向地下水中注入化学药剂，使污染物发生沉淀、氧化还原等反应，转化为无害或低毒物质。如零价铁还原技术、高级氧化技术等，适用于特定类型的污染物。但化学修复可能引入新的化学物质，需谨慎评估其环境风险。（3）生物修复技术，利用微生物或植物的代谢活动，降解或转化地下水中的污染物。生物修复技术具有成本低、环境友好等优点，但修复周期较长，且受环境条件（如温度、pH值）影响较大。可通过基因工程、微生物强化等手段，提高生物修复效率。（4）原位修复与异位修复结合，根据污染场地的具体情况，灵活采用原位修复（在污染场地直接进行修复）与异位修复（将污染地下水抽出至地面处理）相结合的方式，提高修复效果。原位修复技术如可渗透反应墙（PRB）、生物通风等，可减少地下水系统的干扰；异位修复技术如人工湿地、活性炭吸附等，则适用于高浓度污染物的处理。

4.3 强化环境监管与执法力度

环境监管与执法是确保地下水污染防治措施有效实施的关键。建立健全地下水污染防治法律法规，明确污染者责任、监管部门职责及违法处罚措施。加大对环境违法行为的惩处力度，提高违法成本，形成有效震慑。建立地下水污染监测网络，定期对工业区地下水水质进行监测与评估。利用现代信息技术，构建地下水污染预警系统，及时发现并预警污染事件，为应急处置提供依据。地下水污染防治涉及环保、水利、国土等多个部门，需加强跨部门协作与信息共享。建立联合执法机制，形成监管合力，提高执法效率。鼓励公众参与地下水污染防治工作，提高公众环保意识。建立公众举报奖励制度，对有效举报环境违法行为者给予奖励，加强信

息公开，保障公众知情权与监督权。

4.4 推动企业环保技术创新与绿色转型

企业是地下水污染防治的主体，推动企业环保技术创新与绿色转型是解决地下水污染问题的根本途径。鼓励企业加大环保技术研发力度，引进和培养环保技术人才，提高自主创新能力。政府应设立环保科技专项资金，支持企业开展环保技术研发与示范应用^[4]。引导企业采用绿色生产模式，从产品设计、原料采购、生产制造到产品销售与回收，全过程贯彻绿色理念。推广循环经济、低碳经济等发展模式，降低资源消耗与环境污染。推动企业建立绿色供应链管理体系，要求供应商符合环保标准，共同推动产业链绿色发展。通过绿色采购、绿色物流等措施，降低整个供应链的环保风险。积极参与国际环保合作与交流，引进国外先进的环保技术与管理经验。鼓励企业“走出去”，参与国际环保项目，提升我国环保产业的国际竞争力。

结束语

工业区地下水污染现状调查与风险评估工作对于保障水资源安全、促进区域可持续发展具有不可替代的作用。本研究通过全面调查与科学评估，揭示了工业区地下水污染的严峻形势，为后续治理工作提供了重要依据。未来，需进一步加强污染源控制、地下水修复技术、环境监管与执法力度及企业环保技术创新与绿色转型等方面的工作，形成多方协同共治的良好局面，共同守护好我们的“生命之源”。

参考文献

- [1]张华,刘洋.地下水污染风险评估方法研究[J].水利学报,2020,51(11):1345-1352.
- [2]梁刚.区域地下水污染风险评估与治理对策探讨[J].水资源保护,2021(6):137-140.
- [3]刘娟.区域地下水污染风险评估与治理对策研究进展[J].中国环境管理,2022,14(1):77-80.
- [4]张宏程,代朝猛,游学极,等.页岩油气开发影响下的地下水污染风险评价方法综述[J].同济大学学报(自然科学版),2024,52(11):1758-1767.