

南水北调中线干线水源保护区水质风险源防控研究

高 亮

中国南水北调集团中线有限公司河南分公司 河南 郑州 450000

摘 要：本文系统分析了中线干线水源保护区面临的主要水质风险源，包括农业面源污染、工业点源污染、生活污染、水土流失及突发环境事件等，并从风险识别、评估、防控及应急管理等方面构建了全链条防控体系。通过引入风险源分级管理、智慧化监测预警、生态补偿机制等创新手段，结合湖北十堰、河南南阳等地的实践案例，提出针对性防控策略。研究表明，通过“源头防控—过程阻断—末端治理—应急保障”的协同治理模式，可有效降低水质风险，保障南水北调中线工程“三个安全”（工程安全、供水安全、水质安全）。

关键词：南水北调中线；水源保护区；水质风险源；防控体系；智慧监测

1 引言

南水北调中线工程2014年通水后，累计调水超767亿立方米，惠及1.85亿人，是水资源优化配置的“生命线”。但中线干线长1432公里，跨四省市，地质复杂、人口密集、经济活动多，水质安全面临挑战。水源保护区风险源防控关乎工程稳定运行。近年来，尽管政府采取多种措施强化水质保护，但农业面源污染等问题仍存，多起污染事件暴露出防控体系短板。因此，系统研究防控策略、构建科学高效防控体系意义重大。

2 中线干线水源保护区水质风险源识别与分类

2.1 风险源识别方法

水质风险源识别需结合工程特点与区域环境特征，采用“空间—时间—污染类型”三维分析法：

2.1.1 空间维度

以总干渠为中心，划分核心区（50米）、控制区（50~1000米）和影响区（1000~3000米），重点识别各区域主要污染源。

2.1.2 时间维度

分析季节性污染特征，如农业面源污染在汛期因径流冲刷加剧，工业污染在生产旺季排放量增加。

2.1.3 污染类型维度

区分化学性污染（重金属、有机物）、生物性污染（病原微生物）和物理性污染（悬浮物、热污染）。

2.2 主要风险源分类

2.2.1 农业面源污染

中线干线沿线多为农业主产区，化肥、农药过量使用及畜禽养殖废弃物直排是主要污染源。据研究，河南段农田氮磷流失量占入河总负荷的45%，其中汛期贡献率达70%。十堰市郧阳区曾因畜禽粪污未经处理直接排入支沟，导致总干渠某断面COD超标1.2倍。

2.2.2 工业点源污染

沿线分布有化工、制药、食品加工等高污染行业，部分企业存在偷排漏排行为。2023年，南阳市淅川县查获某化工企业通过暗管向库区排放含镉废水，导致局部水域重金属超标3倍。

2.2.3 生活污染

城镇污水收集处理设施不足、农村生活污水直排及垃圾填埋场渗滤液泄漏是主要问题。邓州市某乡镇因污水管网覆盖率仅35%，导致生活污水通过沟渠汇入总干渠支流，氨氮浓度长期超标。

2.2.4 水土流失与生态破坏

森林覆盖率下降、陡坡开垦及工程建设导致水土流失加剧，泥沙携带污染物进入水体。淅川县石漠化面积达125.8万亩，年土壤侵蚀模数超5000吨/平方公里，是丹江口水库泥沙的主要来源之一。

2.2.5 突发环境事件

交通事故、危化品泄漏及自然灾害可能引发急性污染。2025年7月，十堰市丹江口库区因暴雨导致某乡镇垃圾填埋场滑坡，渗滤液流入库区，经应急处置后未造成重大影响，但暴露出风险防控薄弱环节。

3 水质风险源评估与分级管理

3.1 风险评估指标体系

构建“污染排放—环境敏感度—防控能力”三维评估模型，选取以下指标：（1）污染排放强度：包括污染物种类、排放量、毒性系数。（2）环境敏感度：保护区级别（一级/二级）、水体功能（饮用水源/生态用水）、水文连通性。（3）防控能力：现有治理设施覆盖率、应急响应时间、监管执法力度。

3.2 风险分级标准

根据评估结果将风险源划分为高、中、低三级：

(1) 高风险源: 涉及重金属、持久性有机物排放, 位于一级保护区或直接汇入总干渠, 且缺乏有效治理设施^[1]。

(2) 中风险源: 排放常规污染物(COD、氨氮), 位于二级保护区, 治理设施运行不稳定。(3) 低风险源: 排放低毒性污染物, 位于影响区, 且治理设施完善。

3.3 分级管理策略

3.3.1 高风险源

实施“一源一策”精准管控, 强制安装在线监测设备, 建立“企业—政府—第三方”联合监管机制。例如, 十堰市对丹江口库区周边化工企业实施“关改搬转”, 累计关停560家高耗能企业。

3.3.2 种风险源

推行清洁生产改造, 定期开展执法检查, 建立风险源动态数据库。南阳市淅川县对总干渠沿线380家养殖场实施粪污资源化利用, 粪污综合利用率提升至92%。

3.3.3 低风险源

加强宣传教育, 引导公众参与监督, 通过生态补偿机制激励源头减污。十堰市设立“生态文明日”, 将水质保护纳入绩效考核, 对履职不力干部实行“一票否决”。

4 水质风险源防控技术体系

4.1 源头防控技术

4.1.1 农业面源污染控制

生态拦截技术是在农田与水体间建设生态沟渠、缓冲带等, 通过植物吸收和微生物降解减少氮磷流失。生态沟渠内种植水生植物, 如菖蒲、香蒲等, 这些植物能够吸收水中的氮、磷等营养物质, 同时其根系为微生物提供附着场所, 促进微生物对污染物的分解。十堰市鄖阳区在支沟两侧种植湿生植物, 使COD去除率提升40%, 有效改善了支沟水质。精准施肥技术根据土壤肥力和作物需求, 制定科学的施肥方案, 推广测土配方施肥和有机肥替代化肥。通过土壤检测, 了解土壤中各种营养元素的含量, 按照作物生长需求合理施肥, 避免过量施肥造成浪费和污染。邓州市通过土壤检测制定施肥方案, 化肥使用量较2015年下降25%, 既降低了农业面源污染, 又节约了成本。

4.1.2 工业污染深度治理

末端治理升级采用“预处理+生物处理+深度处理”组合工艺, 确保废水达标排放。预处理阶段去除废水中的大颗粒悬浮物和部分有机物, 减轻后续处理负担; 生物处理阶段利用微生物的代谢作用分解有机物; 深度处理阶段进一步去除废水中的氮、磷等营养物质和残留的有机物, 使出水水质达到更高标准。十堰市某污水处理厂通过增设反硝化深床滤池, 使出水TN浓度降至10mg/

L以下, 达到地表Ⅲ类标准, 为保护水质提供了有力保障。清洁生产改造引导企业采用低毒原料、循环用水技术, 减少污染物产生。企业通过改进生产工艺, 优化生产流程, 实现资源的循环利用, 降低废水产生量和污染物排放浓度。南阳市西峡县某制药企业通过工艺改进, 废水产生量减少60%, COD浓度下降75%, 在提高经济效益的同时, 也减少了对环境的污染。

4.2 过程阻断技术

4.2.1 智慧化监测预警

“水陆空”一体化监测集成卫星遥感、无人机巡查、地面传感器等技术, 构建全覆盖监测网络。卫星遥感技术可以从宏观角度监测大面积水域的水质变化和水体富营养化情况; 无人机巡查具有灵活、高效的特点, 能够快速到达监测区域, 对重点部位进行详细检查; 地面传感器实时监测水质参数, 如pH值、溶解氧、COD等, 并将数据传输至监管平台。十堰市布设50余套归巢式无人机, 每日自动巡查库岸线, 结合172个断面水质监测站, 实现问题线索10分钟响应, 及时发现和处理水质异常情况。大数据分析预警建立水质预测模型, 结合气象、水文数据, 提前48小时预警污染风险^[2]。通过对历史水质数据和气象、水文数据的分析, 找出水质变化规律和影响因素, 预测未来水质变化趋势。当预测到可能出现污染风险时, 及时发出预警信息, 为采取防控措施争取时间。南阳市投资360万元建设10个乡界水质自动监测微型站, 数据实时传输至监管平台, 预警准确率达90%, 有效保障了水质安全。

4.2.2 生态修复与缓冲带建设

人工湿地构建是在总干渠两侧建设表流湿地, 通过植物、微生物协同作用净化水质。湿地中的植物能够吸收水中的营养物质, 微生物能够分解有机物, 同时湿地的水流缓慢, 有利于悬浮物的沉降。淅川县在库区周边建设3000亩人工湿地, 对氮磷的去除率分别达35%和40%, 改善了库区周边水生态环境。生态护坡技术采用植生袋、生态混凝土等材料修复渠岸, 减少水土流失。植生袋内装有土壤和种子, 能够在坡面生长植物, 形成植被覆盖; 生态混凝土具有多孔结构, 有利于植物生长和水体交换, 同时能够增强坡面的稳定性。邓州市在总干渠护坡种植狗牙根、黑麦草, 使土壤侵蚀模数下降60%, 保护了渠岸生态环境。

4.3 末端治理技术

4.3.1 污水处理设施提标改造

农村生活污水治理推广微动力无动力分布式处理设施, 解决分散式污染问题。微动力无动力分布式处理设

施具有投资少、运行成本低、管理方便等优点,适合农村地区使用。十堰市建成1967处农村污水处理设施,处理率从2015年的15%提升至2025年的85%,有效改善了农村水环境质量。城镇污水处理厂扩容增效通过扩建管网、升级工艺,提高污水收集处理能力。随着城镇人口增加和污水产生量上升,原有的污水处理设施可能无法满足需求,需要扩建管网,扩大污水收集范围,同时升级处理工艺,提高处理效率和质量。南阳市邓州市建成9万吨/日污水处理厂,城区污水收集处理率达100%,保障了城镇污水达标排放。

4.3.2 垃圾无害化处理

垃圾分类与资源化推行“户分类、村收集、镇转运、县处理”模式,减少垃圾填埋量。通过垃圾分类,将可回收物、有害垃圾和其他垃圾分开处理,提高资源利用率,减少对环境的污染。十堰市建成205个村级垃圾处理站,生活垃圾无害化处理率达100%,改善了农村环境卫生状况。渗滤液处理技术采用“预处理+膜生物反应器+反渗透”工艺,确保渗滤液达标排放^[3]。垃圾填埋场产生的渗滤液含有高浓度的有机物、氨氮和重金属等污染物,处理难度大。通过预处理去除大颗粒杂质和部分有机物,膜生物反应器进一步降解有机物和去除氨氮,反渗透工艺深度处理,使出水水质达到排放标准。淅川县垃圾填埋场渗滤液处理站出水COD浓度稳定在50mg/L以下,有效防止了渗滤液对环境的污染。

5 应急管理与协同治理机制

5.1 应急预案与演练

分级响应机制根据污染类型和影响范围,制定Ⅰ级(重大)、Ⅱ级(较大)、Ⅲ级(一般)应急预案,明确各部门职责和处置流程。不同级别的应急预案对应不同的污染程度和影响范围,确保在发生污染事故时能够迅速、有效地采取应对措施。常态化演练每半年组织一次桌面推演或实战演练,检验预案可操作性。桌面推演通过模拟污染事故场景,让各部门人员熟悉应急处置流程和职责分工;实战演练则在实际环境中进行,检验应急队伍的实战能力和各部门之间的协同配合能力。十堰市2025年开展危化品泄漏应急演练,模拟苯胺泄漏事故,2小时内完成污染围堵和水质恢复,提高了应急处置能力和水平。

5.2 跨区域协同治理

联防联控机制建立豫鄂两省水质保护联席会议制度,共享监测数据,联合执法检查。通过联席会议制度,加强了两省之间的沟通与协调,共同研究解决水质

保护中存在的问题。共享监测数据可以及时掌握水质变化情况,为联合执法检查提供依据。十堰市与南阳市签订《丹江口水库协同保护协议》,每年开展2次跨界断面水质联合监测,确保水质达标。生态补偿机制按照“谁受益、谁补偿”原则,由受水区城市向水源区提供生态补偿资金^[4]。水源区为保护水质作出了牺牲,限制了部分产业发展,受水区应给予相应的经济补偿,支持水源区的生态保护和经济发展。2025年,北京市向十堰市支付生态补偿款5亿元,用于库区生态修复和污染治理,促进了区域协调发展。

5.3 公众参与与社会监督

环保志愿服务组建2000余支环保志愿服务队,常态化开展巡河、库面清漂等活动。环保志愿者来自社会各界,他们具有较高的环保意识和责任感,通过参与志愿服务活动,能够及时发现和报告环境问题,为水质保护贡献力量。十堰市“守水护水”志愿服务项目获评全国最佳志愿服务项目,激发了更多人参与环保志愿服务的积极性。有奖举报制度设立专项奖励基金,鼓励公众举报环境违法行为。公众在日常生活中能够及时发现身边的环境问题,通过有奖举报制度,可以调动公众参与环境监督的积极性,形成全社会共同参与环保的良好氛围。南阳市淅川县2025年通过举报线索查处违法排污案件63件,行政处罚金额超200万元,有效打击了环境违法行为。

结语

南水北调中线干线水源保护区水质风险源防控是长期复杂系统工程,需坚持“预防为主、综合治理”,构建协同治理格局。经系统识别、评估与防控,水质安全获有效保障。未来研究可聚焦:新型污染物监测,完善风险评估;搭建智慧化管控平台,实现全生命周期数字化管理;探索生态产品价值实现,促进产业融合发展,提升可持续发展能力。持续创新防控技术、完善制度、强化共治,中线工程将为保障水安全等作出更大贡献。

参考文献

- [1]曾俊.南水北调中线水源区水质时空分异规律及其藻类增殖风险预警研究[D].广西大学,2024,(11):25-28..
- [2]唐涛,王树磊,梁建奎,等.南水北调中线干线水源保护区水质风险源防控研究[J].中国水利,2018,(23):31-34+45.
- [3]刘兆孝,习刚正,王超.南水北调中线工程水源地水质安全问题与对策思考[J].中国水利,2024,(20):74-80.
- [4]李珏纯,郑豪盈,郭雪峰,等.南水北调中线干线工程水质安全保障概况及效益分析[J].城镇供水,2023,(S1):3-8.