

饮用水水源地水质安全监测与风险评估

程方

中国核电工程有限公司 北京 100840

【摘要】：饮用水水源地水质安全关系居民健康与供水稳定。围绕水质监测与风险评估，分析水源地管理要求、常规指标与特征污染物识别、污染风险传导、监测预警短板及分级管控机制，提出动态监测平台建设、数据共享、风险预警联动和应急处置流程优化路径。通过典型水源地治理实践，说明污染源整治、生态修复和长效管理对提升水质安全保障能力的价值，为饮用水水源地精细化管理提供参考。

【关键词】：饮用水水源地；水质安全；水质监测；风险评估；污染防控

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.031

引言

饮用水水源地是城乡供水体系的重要基础，其水质状况直接影响公众饮水安全和社会稳定。工业排放、农业面源污染、生活污水及突发环境事件均可能对水源地造成威胁。开展水质安全监测与风险评估，有助于掌握水质变化规律，识别潜在污染风险，完善预警与防控措施。研究重点在于构建科学、连续、有效的监测评价体系，提高饮用水水源地安全管理水平。

1 饮用水水源地水质安全监测体系建设基础

1.1 水源地水质安全管理要求的提升

饮用水水源地承担着城乡居民生活供水、公共服务保障和区域发展支撑等多重功能，其水质安全管理已由单一水质达标管理逐步转向全过程风险防控管理。传统管理模式主要关注出厂水或取水口水质是否符合标准，对水源地周边污染输入、水体自净能力变化、突发污染事件影响等环节关注不足，难以及时反映水质安全隐患。伴随水源地保护要求不断提高，管理内容需要覆盖保护区划定、污染源排查、监测断面布设、数据动态分析、风险预警响应等多个方面。管理对象也不再局限于水体本身，还包括汇水区域内的工业企业、农业种植、畜禽养殖、交通运输、居民生活排放等外部因素。水源地水质安全管理要求的提升，体现为管理标准更加精细、责任边界更加明确、监测过程更加连续、风险处置更加及时。对水源地进行安全管理时，应当将水质指标变化与污染源活动、水文条件、气象变化等因素结合起来判断，避免仅凭单次检测结果作出片面评价。

1.2 常规监测指标与特征污染物识别

饮用水水源地水质监测需要以常规指标为基础，并结合区域污染特征识别重点污染物，形成具有针对性的监测内容。常规监测指标通常包括水温、pH值、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮、浊度、粪大肠菌群等，这些指标能够反映水体有机污染、营养盐污染、微生物污染和基本理化性质变化情况。水源地水质异常往往并非由单一指标变化引起，而是多项指标共同波动的结果，氨氮升高可能与生活污

水输入、养殖废水排放或底泥释放有关；总磷和总氮浓度偏高可能增加藻类异常繁殖风险；溶解氧下降可能提示水体有机污染负荷加重^[1]。特征污染物识别需要根据水源地周边产业结构、土地利用方式和污染源分布进行判断。工业园区附近水源地应关注重金属、挥发性有机物、石油类污染物等指标；农业种植区周边水源地应关注农药残留、硝酸盐、磷酸盐等指标；交通干线、码头或油品运输通道附近水源地应关注油类物质和突发泄漏风险。监测指标设置不宜停留在固定清单层面，应结合历史监测数据、污染源调查结果和季节变化规律进行动态调整。

1.3 监测数据支撑风险评估的运行逻辑

监测数据是饮用水水源地风险评估的重要依据，其价值体现在判断水质是否达标，还体现在揭示污染变化趋势、识别风险来源和支撑预警决策。水质风险评估需要将不同时间、不同断面、不同指标的数据进行连续比对，分析水质变化是否具有持续性、突发性或季节性特征。单次监测结果只能反映某一时点的水质状态，难以准确判断风险程度；连续监测数据能够呈现污染物浓度变化曲线，判断风险是否处于累积过程。监测数据进入风险评估环节后，应按照指标类别、超标幅度、污染持续时间、影响范围和供水敏感程度进行综合分析。微生物指标异常可能直接影响饮水卫生安全，需要较高等级的响应；营养盐指标长期偏高可能增加水华发生概率，需要结合水温、光照、水体流速等因素进行研判；重金属或有毒有机物检出时，即使浓度较低，也应关注其累积性和潜在健康风险。数据支撑风险评估还需要建立阈值判定、趋势识别和分级预警机制。

2 饮用水水源地水质安全风险识别与防控路径

2.1 污染来源多元化下的风险传导

饮用水水源地面临的污染来源具有分散性、隐蔽性和叠加性，不同污染因素通过地表径流、地下渗透、支流汇入、岸线排放等途径进入水体后，会在水文循环和人类活动共同作用下形成连续风险传导。工业生产环节中产生的废水、废渣和危化品储运风险，可能通过管网渗漏、非法排放或事故泄漏进入水源保护区；农业生产中化肥、农药和畜禽养殖废弃物在降雨

冲刷作用下进入河道或湖库,容易造成氮磷负荷升高;城乡生活污水、餐饮废水和垃圾渗滤液若处理不到位,也会增加有机污染和微生物污染风险。污染进入水体后并不会停留在原始排放点,而是随水流方向、流速变化和水位涨落发生迁移扩散。河流型水源地受上游来水和沿岸排放影响较大,污染物可在较短时间内传导至取水口;湖库型水源地水体交换速度较慢,污染物更容易在库湾、近岸带和底泥中累积。不同污染源之间还可能产生复合影响,营养盐输入增加藻类生长风险,有机物分解消耗溶解氧,藻类死亡后又可能释放异味物质,形成由单项污染向综合水质风险转化的过程。风险传导具有明显的时空差异,汛期面源污染输入强度增大,枯水期水体稀释能力下降,突发污染事件则可能打破原有水质平衡。

2.2 监测频次与预警能力的短板

水源地水质安全监测若频次设置不合理,容易造成风险发现滞后,尤其是在污染变化速度较快、外部扰动较强的区域,低频监测难以捕捉短时异常波动。部分水源地仍以定期人工采样为主要方式,监测时间间隔较长,采样点位覆盖不足,对突发污染、雨后径流污染、藻类快速增殖等情况反应不够灵敏。人工采样虽然能够保证检测项目较为全面,但在连续性和即时性方面存在局限,难以形成对水质变化全过程的跟踪。预警能力不足还体现在数据利用深度不够,部分监测结果仅用于达标判定,缺少对趋势变化、指标关联和异常波动原因的分析^[2]。某一指标虽未超过标准限值,但若连续多次接近限值,已经具备潜在风险信号;若不同断面同时出现相关指标升高,则可能提示污染输入范围扩大。缺乏动态阈值和预警分级规则,会导致管理部门难以及时判断风险程度。监测频次与预警能力之间存在直接联系,监测越不连续,预警越容易依赖事后处置。部分地区自动监测站建设不足,在线设备维护、数据校准、异常值复核和信息共享机制不完善,也会影响预警准确性。

2.3 水质安全风险分级管控机制

饮用水水源地水质安全风险分级管控需要依据风险发生概率、污染影响程度、受影响范围和处置紧迫性,对不同类型风险采取差异化管理措施。风险等级划分不能只以单项指标是否超标作为依据,还应结合污染物性质、浓度变化趋势、取水口距离、供水人口规模和应急替代水源条件进行综合判定。一般性风险可表现为个别常规指标轻微波动,短期内对供水安全影响有限,管理重点在于加强跟踪监测和污染源核查;较高风险通常表现为多项指标持续异常、污染范围扩大或水体自净能力下降,需要启动加密监测、区域排查和部门联动;重大风险多与有毒有害物质泄漏、严重微生物污染、藻毒素升高或取水口直接受污染有关,应立即启动应急响应、调整取水方案并开展污染控制。分级管控机制的核心在于使风险判断、处置措施和管理责任相匹配,避免低风险过度处置或高风险响应迟缓。风险分级还应与水源保护区管理制度衔接,不同保护区范围内

的建设活动、排污行为、交通运输和农业生产应设置不同管控强度。一级保护区应突出严格限制和源头隔离,二级保护区应强化污染削减和活动监管,准保护区应重视面源污染控制和生态缓冲空间建设。风险分级管控还需要建立信息报送、会商研判、应急调度和结果反馈流程,使监测部门、生态环境部门、水务部门和供水单位形成协同关系。

3 饮用水水源地安全保障机制的优化应用

3.1 动态监测平台与数据共享机制

动态监测平台建设应围绕水源地水质变化、污染源活动、水文气象条件和供水运行状态进行综合集成,形成多维度、连续化、可追溯的数据管理体系。平台功能不宜停留在数据采集层面,还应具备实时接收、自动校验、异常识别、趋势分析、图表展示和信息推送等能力。在线监测站点可重点布设在取水口、主要入库河流、支流交汇处、保护区边界和污染源敏感区域,对浊度、溶解氧、电导率、氨氮、总磷、叶绿素等指标进行连续监控。对于无法完全依靠在线设备完成的重金属、有机污染物和微生物指标,可通过实验室检测数据定期录入平台,与在线监测数据形成互补。数据共享机制需要打通生态环境、水利、住建、卫生健康、农业农村和供水单位之间的信息壁垒,使监测结果、污染源清单、排污许可、取水量变化、降雨预报和应急资源分布能够在统一平台中关联应用。数据共享过程中应明确数据来源、更新频率、审核责任和使用权限,防止数据滞后、重复填报或口径不一致影响研判结果。平台还可设置水质异常自动提醒功能,当关键指标出现快速上升、连续波动或接近管控阈值时,系统能够向相关管理部门推送预警信息。

3.2 风险预警联动与应急处置流程

风险预警联动需要将水质监测、污染源排查、信息报送、现场核查和应急处置纳入统一流程,使水源地异常情况能够在较短时间内完成识别、研判和响应。预警信号产生后,应根据指标异常类型和影响范围启动相应级别的联动程序。若水质指标出现轻微波动,可由监测部门进行数据复核,结合近期降雨、水位变化和上游排放情况判断异常原因;若指标持续升高或涉及有毒有害物质,应立即组织生态环境、水利、供水企业及属地管理部门开展联合核查。应急处置流程应包括异常确认、污染源定位、影响范围判定、取水安全评估、处置措施启动和结果反馈等环节^[3-5]。对突发性污染事件,可根据污染物类型采取拦截、导流、稀释、吸附、打捞、临时封堵等措施,必要时调整取水口运行方式或启用备用水源。供水单位在应急期间应加强原水、出厂水和管网水检测,适时调整处理工艺,保障供水端安全。联动机制还需要明确各部门职责,避免监测信息传递不及时、现场处置责任不清或应急资源调配迟缓。应急物资储备应覆盖吸油毡、围油栏、活性炭、移动监测设备、应急药剂和运输工具等内容,并结合水源地污染风险类型进行配置。预

警联动的运行效果取决于信息传递速度、部门协同程度和处置措施匹配度。通过流程化管理和常态化演练,能够提高水源地突发风险处置的规范性和执行效率。

3.3 典型水源地治理成效与长效管理

典型水源地治理可围绕保护区规范化建设、污染源整治、生态修复和运行监管展开,通过具体治理措施体现水质安全保障能力的提升。以某湖库型饮用水水源地为例,治理前库区周边存在农业面源污染输入、部分村庄生活污水收集不足、岸线缓冲带缺失和入库河流污染负荷偏高等问题,水体总氮、总磷浓度在雨季容易升高,局部区域存在藻类异常繁殖风险。治理过程中,可对一级保护区实行封闭式管理,清理违规养殖、垂钓和旅游活动;对二级保护区周边村庄建设污水收集管网和小型处理设施,减少生活污水直排;对入库河流两侧设置生态缓冲带,利用湿地、植被沟渠和沉淀塘削减泥沙及营养盐输入;对农业种植区域推广测土配方施肥和农药减量措施,降低面源污染强度。治理完成后,取水口水质稳定性增强,雨季污染物

峰值明显降低,水体透明度和溶解氧水平得到改善,水源地保护区内违规活动得到有效压减。长效管理不应依赖阶段性整治,而应建立巡查检查、设施维护、数据跟踪、责任考核和公众参与机制。保护区边界标识、隔离防护设施、污水处理设施和生态修复工程需要定期维护,防止治理成果弱化。对水质变化、污染源变化和土地利用变化进行持续跟踪,可及时发现新的风险点。通过治理成效评估与长效管理衔接,能够保持水源地水质安全管理的连续性和稳定性。

4 结语

饮用水水源地水质安全管理需要以连续监测为基础,以风险识别为核心,以分级管控和应急联动为支撑。完善监测指标体系、强化污染源排查、提升数据共享水平、优化预警处置流程,可增强水源地风险防控的精准性和及时性。动态监测平台、部门协同机制及长效治理措施的结合,有助于降低污染风险对供水安全的影响,推动饮用水水源地保护工作向精细化、常态化和系统化方向发展。

参考文献:

- [1] 廖谋华,韩颖杰.城市集中式生活饮用水源地建设面临的主要挑战[J].经济资料译丛,2025,(4):35-41.
- [2] 张关军,朱晓平.多源污染下农村饮水安全保障体系的构建[J].黑龙江水利科技,2025,53(11):149-151+168.
- [3] 褚娜.饮用水源地保护及水质安全预警系统构建研究[J].中国信息界,2024,(8):174-176.
- [4] 笪跃武,于少亭,胡淑圆.城市自来水厂绿色发展路径探索与思考[J].净水技术,2022,41(11):1-6+54.
- [5] 邵慧霞.水源地保护与安全管理的实践探索[J].科技创新导报,2021,18(7):111-113.