

城市供水系统水质安全保障与风险评估体系构建

聂建鸿

江西吉干发建设工程有限公司 江西吉安 331300

摘要：本文系统研究了城市供水系统水质安全保障与风险评估体系的构建。研究首先深入识别了水源、净水处理及输配管网三个核心环节的水质风险，明确了自然与人为因素、工艺适配性与操作管控、管网缺陷与二次管理等主要风险源。在此基础上，构建了一套覆盖全流程的水质风险评估体系，建立了包含关键指标的风险评估指标体系，并制定了低、中、高三级风险等级划分标准与“数据收集—指标计算—等级判定—风险报告”的闭环评估流程。进而，文章提出了针对性的安全保障策略，包括实施源头防控与实时预警的水源保护策略、动态调整与工艺强化的净水处理策略，以及管网修复、二次供水管理与实时监控相结合的输配系统维护策略。该研究旨在通过系统性的风险识别、科学的评估和多层次的安全保障，构建一个主动、精准、高效的城市供水水质安全管理体系。

关键词：城市供水；水质安全；风险评估；保障策略

引言

城市供水系统是保障城市正常运行和居民生命健康的生命线，其水质安全至关重要。然而，从水源地到用户水龙头，供水系统链条长、环节多，面临着来自自然变化、环境污染、工艺局限及设施老化等多重风险，传统依赖末端检测的管理模式已难以应对复杂多变的安全挑战。因此，构建一个覆盖全流程、系统化的水质风险评估体系，并在此基础上制定主动、精准的安全保障策略，对于实现从被动应对向主动预防、从经验管理向科学管理的转变，确保供水水质安全具有重大的理论价值和紧迫的现实意义。

一、城市供水系统水质风险识别

(一) 水源水质风险识别

水源是城市供水的起点，其水质风险主要源于自然因素与人为活动的双重影响。自然因素方面，降雨径流会携带地表泥沙、有机物进入水源地（如水库、河流），导致原水浊度骤升、COD（化学需氧量）升高，若浊度超过50NTU，会增加后续净水处理难度；季节性藻类繁殖（如蓝藻）会产生藻毒素，常规消毒工艺难以完全去除，存在健康隐患。人为因素则以污染排放为主，农业种植区的化肥、农药通过土壤渗透进入地下水或地表水源，导致氨氮、总磷超标；工业企业偷排废水会引入重金属（如铅、镉）、持久性有机物，这类污染物毒性强、降解难，即使微量也可能危害人体健康；生活污水管网泄漏会使水源中大肠杆菌、悬浮物含量升高，增加微生物污染风险^[1]。

物污染风险^[1]。

(二) 净水处理过程风险识别

净水处理是水质保障的核心环节，其风险主要体现在工艺适配性不足与操作管控不当两方面。工艺适配性问题表现为：针对高浊度原水，若混凝剂（如聚合氯化铝）投加量不足，会导致沉淀效果不佳，出水浊度超标（超过1NTU）；针对低温低浊原水，常规沉淀工艺效率下降，易出现“矾花”细小、沉降缓慢问题，影响后续过滤效果。操作管控不当则包括：消毒环节余氯控制失衡，余氯过高会产生三卤甲烷等消毒副产物，过低则无法抑制管网内细菌滋生；滤池反冲洗不及时，滤料堵塞导致过滤阻力增大，出水水质波动；水质检测滞后，无法实时发现原水水质突变（如突发有机物污染），导致处理工艺调整不及时，影响出水质量。

(三) 输配管网系统风险识别

输配管网是连接水厂与用户的“纽带”，其水质风险集中在管网自身缺陷与二次供水管理漏洞。管网自身缺陷方面，老旧铸铁管、镀锌钢管使用超过20年后，内壁易腐蚀结垢，滋生铁细菌、军团菌，导致出水发黄、异味，同时腐蚀产生的铁、铅等金属离子会溶入水中，造成水质超标；管网漏损不仅浪费水资源，还可能在负压状态下吸入外部污染水（如地下污水），污染管内水体；管网施工或维修时，若管道清洗、消毒不彻底，会引入泥沙、微生物，导致局部水质恶化。二次供水管理漏洞则表现为：水箱、蓄水池未按规范每季度清洗消毒，内壁滋生青苔、沉积物，成为细菌繁殖场所；二次供水设

施密封性差，易落入灰尘、昆虫，污染水体；供水泵组维护不当，运行时产生的铁锈、碎屑进入管网，影响末端水质^[2]。

二、城市供水系统水质风险评估体系构建

(一) 风险评估指标体系的建立

水质风险评估指标体系需覆盖水源、净水处理、输配管网全流程，遵循“科学性、可操作性、代表性”原则筛选指标。水源端指标聚焦污染源头控制，选取pH值（反映水体酸碱平衡，标准6.5–8.5）、氨氮（反映有机污染程度，限值0.5mg/L）、COD（反映有机物含量，限值3mg/L）、重金属（铅≤0.01mg/L、镉≤0.005mg/L）、藻毒素（限值0.001mg/L），这些指标直接决定原水水质基础。净水处理端指标关注工艺效果，选取出厂水浊度（限值1NTU）、余氯（出厂水0.3–4mg/L，管网末梢≥0.05mg/L）、消毒副产物（三卤甲烷≤0.06mg/L），反映处理后水质是否达标。输配管网端指标侧重“最后一公里”管控，选取管网末梢浊度、余氯、细菌总数（限值100CFU/mL）、金属离子（铁≤0.3mg/L）、二次供水水箱水质（细菌总数、浊度），评估管网传输与二次供水环节的水质变化。

(二) 风险等级的划分与标准

根据指标超标程度、持续时间及影响范围，将水质风险划分为低、中、高三个等级，明确各等级判定标准。低风险为“单一指标轻微超标，持续时间短，影响范围小”，例如水源端氨氮短暂升至0.6–0.8mg/L（未超过限值1.6倍），且24小时内恢复正常，仅影响水厂局部处理流程，无居民端水质投诉。中风险为“1–2项指标超标，持续时间较长，影响局部区域”，例如输配管网末梢余氯持续2–3天低于0.03mg/L（低于限值40%），细菌总数升至150–200CFU/mL，涉及1–2个小区居民用水，出现少量水质异味投诉。高风险为“多项指标超标，持续时间长，影响大范围区域”，例如水源端COD升至5–8mg/L（超过限值1.6–2.6倍），同时重金属铅超标至0.02–0.03mg/L，导致水厂出水无法达标，需暂停供水或切换备用水源，影响多个社区居民用水，存在健康风险^[3]。

(三) 风险评估流程的确定

水质风险评估流程需形成“数据收集—指标计算—等级判定—风险报告”的闭环，确保评估高效、精准。第一步是数据收集，通过自动化监测设备（水源地在线监测仪、水厂出水在线分析仪、管网末梢水质监测点）实时采集指标数据，同时结合人工抽检（如二次供水水箱每周1次人工采样）补充数据，确保数据覆盖全流程、

无遗漏。第二步是指标计算，将采集的指标数据与国家标准对比，计算超标倍数（如某指标实测值/标准限值）、超标持续时间，同时统计受影响用户数量、区域范围，为风险等级判定提供量化依据。第三步是等级判定，根据“指标超标情况—持续时间—影响范围”的综合分析，对照风险等级标准确定当前风险等级，例如某小区二次供水水箱细菌总数250CFU/mL（超标1.5倍），持续5天，影响300户居民，判定为中风险。第四步是风险报告，生成包含风险等级、超标指标、影响范围、可能原因的评估报告，同步推送至供水企业运维部门、城市水务管理部门，为后续风险处置提供依据。

三、城市供水系统水质安全保障策略

(一) 水源保护与预警策略

水源保护工作必须从“源头防控”和“实时预警”两个方面同时入手，以有效阻断污染物的输入。在源头防控方面，首先需要严格划定水源保护区，明确各级保护区的管理要求。具体而言，一级保护区内严禁新建任何形式的排污口和开展养殖活动，确保水源地的绝对安全；二级保护区内则需严格控制农业种植活动，减少化肥和农药的使用量，同时限制工业企业的布局，防止工业污染对水源的影响。此外，还需对水源地周边环境进行综合整治，包括清理垃圾、修复生态岸线等措施，以减少面源污染对水源的威胁。针对工业废水的管理，应建立“排污许可”和“在线监测”相结合的制度。要求所有相关企业必须安装废水排放在线监测仪器，并将监测数据实时上传至环保部门。一旦发现排放数据超标，立即启动关停整改程序，确保工业污染不会进入水源地。在实时预警方面，应在水源地建设完善的水质在线监测系统，监测指标应涵盖pH值、氨氮、化学需氧量（COD）、重金属以及藻毒素等多个方面。设定科学合理的超标报警阈值，例如氨氮浓度超过0.4mg/L时即触发预警。一旦系统监测到超标情况，将自动向水厂和水务部门发送警报信息，水厂则需提前调整净水工艺，如增加混凝剂的投加量，必要时甚至切换至备用水源，确保不合格的原水不会进入后续处理流程^[4]。

(二) 净水工艺优化与强化策略

净水工艺的优化应根据原水水质的变化情况进行动态调整，以提升处理的适配性和效果。针对高浊度的原水，应采用“预处理”和“常规处理”相结合的组合工艺。在预处理阶段，增设沉砂池和预氧化单元（如投加高锰酸钾），以有效减少水中的悬浮物和有机物含量，从而降低后续混凝沉淀阶段的处理负荷。在常规处理阶

段，应根据浊度的实时变化情况，通过在线浊度监测仪的反馈数据，精准调整混凝剂的投加量，例如当浊度升至30NTU时，混凝剂的投加量应从20mg/L增至30mg/L，确保处理效果。对于低温低浊的原水，则应采用“低温高效混凝剂”和“斜管沉淀池”相结合的工艺。低温高效混凝剂（如聚合氯化铝铁）在5–10℃的低温环境下仍能形成大粒径的“矾花”，而斜管沉淀池则能有效提升沉降效率，避免出水浊度超标。针对微污染的原水（如含有微量有机物和藻毒素），需增设深度处理单元，采用“臭氧–生物活性炭”工艺。臭氧化能有效分解有机物并破坏藻毒素的结构，而生物活性炭则能吸附残留的污染物，确保出水的COD和藻毒素指标达标，同时还能降低消毒副产物的生成量。此外，还需加强净水工艺的操作管控，定期校准在线监测设备，如余氯分析仪应每周校准一次，规范滤池的反冲洗流程（反冲洗强度控制在12–15L/(m²·s)，历时5–8分钟），以避免人为操作失误对水质造成影响。

（三）管网输配系统维护与监控策略

管网输配系统的维护工作应聚焦于“管网修复”、“二次供水管理”和“实时监控”三个方面，以保障“最后一公里”的水质安全。在管网修复方面，需积极开展老旧管网的更新改造工作，优先更换使用年限超过20年的铸铁管和镀锌钢管，替换为耐腐蚀性能更好的PE管和球墨铸铁管，从而减少管道腐蚀对水质的影响。采用管道内窥检测技术（如CCTV检测）定期排查管网状况，每年检测比例不低于管网总长的10%，一旦发现腐蚀或泄漏点，应及时进行修复。同时，通过分区计量（DMA分区）监测管网的漏损情况，对漏损率高于12%的区域进行重点排查，采取管道修补或更换等措施，降低负压吸污的风险。在二次供水管理方面，应建立“物业负责”和“供水企业监管”相结合的机制。要求物业每季度对水箱和蓄水池进行清洗消毒，清洗后必须进行水质检测（包括细菌总数和浊度），确保合格后方可供水。供水企业则需定期抽查二次供水设施（每半年一次），对维护不到位的物业责令整改，必要时甚至代管二次供水设施，确保管理规范。在实时监控方面，应在管网末梢和二次供水小区设置水质监测点，监测指标包括浊度、余氯和细菌总数等，监测数据需实时上传至供水企业的监控平台。一旦发现末梢余氯低于0.05mg/L或细

菌总数超标，立即启动排查程序，查明原因（如管网泄漏或二次供水污染），并及时开展管道冲洗和消毒工作，防止水质问题扩散^[5]。

结语

城市供水系统作为城市基础设施的核心组成部分，其水质安全不仅直接关系到广大居民的健康状况，更是对城市的可持续发展产生深远影响。本文通过系统而全面地分析城市供水系统在水源选择、净水处理过程以及输配管网各个环节中可能存在的水质风险，构建了一个覆盖从源头到终端用户全流程的水质风险评估体系。该体系不仅明确了风险等级的具体划分标准，还详细规定了评估流程的各个环节，确保评估结果的科学性和准确性。在此基础上，本文针对性地提出了多项安全保障策略，包括加强水源保护措施、优化净水处理工艺以及提升管网维护水平等。研究结果表明，通过实施这些多层次、全方位的风险防控措施，不仅可以有效降低水质风险发生的概率，还能显著缩小风险影响的范围，从而显著提升供水系统的韧性和可靠性。未来，随着物联网、大数据等先进技术的深入应用和普及，城市供水系统的水质安全保障将逐步向智能化、精准化方向发展，为居民提供更加安全、优质的饮用水，进一步保障公众健康，促进城市的可持续发展。

参考文献

- [1] 唐磊, 徐丽丽, 吴爽, 等.常州城市饮用水水源安全评估及优化对策研究[J].中国给水排水, 2022, 38(4): 10.
- [2] 王顺琴, 吕盼玉.天水市农村集中式供水饮水安全计划与对策研究[J].检验检疫学刊, 2021(006): 031.
- [3] 申佩佩, 李志学, 郝卓君, 等.太行山区农村供水系统风险评价模型的建立[J].2021.DOI: 10.3969/j.issn.1004-7700.2021.07.026.
- [4] 赵蓓, 李礼, 游晓旭.多水源供水模式下市政管网水质风险评估[J].城镇供水, 2020(4): 7.DOI: 10.3969/j.issn.1002-8420.2020.04.017.
- [5] 王燕云.变化环境下西北内陆干旱区供水安全及风险评估——以塔里木河流域为例[D].中国水利水电科学研究院, 2022.