

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]。

（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，无法及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、蓄水池未按规定每季度清洗消毒，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 ≤ 0.01 mg/L、镉 ≤ 0.005 mg/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,选取出水浊度(限值1NTU)、余氯(出厂水0.3-4mg/L,管网末梢 ≥ 0.05 mg/L)、消毒副产物(三卤甲烷 ≤ 0.06 mg/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 ≤ 0.3 mg/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.常州市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.