

自来水供应系统中的关键节点安全保障机制优化研究

赵 冰

南乐县中州水务原水有限公司 河南 濮阳 457400

摘 要: 自来水供应系统由多段功能链路串联构成,各运行节点的运行状态直接影响城市供水的稳定与水质安全。本文梳理供水系统各关键节点的运行特征与安全属性,归纳取水、净水、输配、终端供水环节现存的各类运行隐患,深入剖析设施老化、管控滞后、监测薄弱及环节衔接不畅等深层诱因,结合供水运行实际搭建多维度安全保障优化体系,从设备运维、层级管控、智能监测及联动机制四个维度完善安全运行模式,可有效消解供水节点运行隐患,提升城市供水系统运行稳定性。

关键词: 自来水供应系统;关键节点;运行隐患;安全保障;机制优化

引言: 城市自来水供应是维系城市正常运转、保障居民生活品质的重要民生基础设施,整套系统由多类功能节点串联构成,形成连续化的供水链路。各节点运行环境与运行状态存在明显差异,易受自然环境、设备损耗与人为管控等因素影响,滋生各类运行隐患。节点隐患会沿供水链路持续传导,干扰水质状态与供水秩序。完善各节点安全保障模式,补齐系统运行短板,是维系城市供水平稳运行的重要支撑。

1 自来水供应系统关键节点组成及运行特征

1.1 自来水供应全流程环节组成

自来水供应系统是支撑城市正常运转的基础性设施体系,依靠连贯的功能环节,完成自然资源的处理与输送工作。整套运行流程划分成水源采集、水质净化、清水输送、终端配水四个核心环节,各环节独立运作又相互串联,形成完整的供水链路。水源采集作为前置环节,通过专业取水设施汲取自然水体,为后续水处理作业提供基础水源^[1]。水质净化依托水厂成套处理工艺,通过沉淀、过滤、消毒等多种处理方式,清除水体杂质、微生物及有害物质,优化水体各项理化指标,达到民用供水标准。经过净化处理的清水,通过城市主干管网与加压设备完成长距离输送,跨越不同城区区域完成水体转运。终端配水依托片区管网与调压设施完成水体分流,适配城市各类生活与公共用水场景。每一段流程都具备专属功能,环节运行出现异常,都会扰动整体供水秩序。

1.2 系统关键节点的类型划分

结合自来水供应的流程顺序、功能定位与运行场景,可对系统内部关键节点做出清晰归类。整体体系

包含四大核心节点类型,分别为水源采集节点、水质处理节点、清水输送节点与终端配水节点。水源采集节点处于供水流程最前端,承担水资源采集输入的功能,是整套供水系统的起始单元。水质处理节点集中设置于水厂内部,主导水体净化与水质调控工作,直接决定供水品质层级。清水输送节点以城市主干管网为载体,承担大范围清水转运任务,衔接水厂处理单元与城区供水单元。终端配水节点零散分布在城市各个供水区域,负责水体精细化分配与水压调节,直接服务终端用水场景。不同节点按照供水流程有序排布,功能相互补充、层层衔接,构建层次清晰的供水运行架构。

1.3 各关键节点的运行特征与安全属性

不同供水节点的运行环境存在明显区别,运行特征与安全防护重点呈现差异化特点。水源采集节点暴露于自然环境中,水文、气候、周边环境变化都会影响水体状态,运行稳定性偏弱,安全防护聚焦水源洁净状态的长效维持。水质处理节点依托标准化设备与固定工艺运行,人为管控力度充足,运行状态可控性强,安全属性围绕工艺执行精度、出水水质稳定展开。清水输送节点采用封闭式管网输送模式,受外界环境干扰程度低,整体工况平稳,安全防护重点在于维持管网密闭状态与输水连贯程度。终端配水节点覆盖范围广泛,布局较为分散,工况会随用水负荷变化产生波动,安全属性体现在水压稳定输出与末端水质保真。各类节点的差异化运行特质,直接决定自来水供应系统的整体安全运行水平。

2 自来水供应系统关键节点安全运行矛盾

2.1 取水环节运行安全的潜在隐患

取水环节作为供水体系的前端单元,运行状态极易

受外部自然环境与周边环境的影响。自然水体存在季节性水质波动,水体浑浊度、微生物含量会随气候、水文条件发生改变,增加水质不稳定问题。周边区域产生的外源污染会侵入取水水域,破坏水体原有洁净状态。取水设施长期浸泡在水体中,结构表面会滋生附着物、积攒淤泥杂物,造成取水通道堵塞^[2]。设施表层腐蚀、构件老化等问题会逐步显现,弱化取水作业的稳定状态。外部环境的不确定性与设施自身的老化损耗,会持续给取水环节带来安全风险,为后续水处理流程埋下水质不稳定隐患。

2.2 净水处理环节运行安全短板

净水处理环节依托成套工艺设备完成水质优化,运行短板多体现在工艺管控与设备运行层面。水处理设备长期连续运转,内部滤料、反应构件会出现性能衰减,过滤与净化效率逐步下降。工艺管控出现细微偏差时,消杀、沉淀、过滤等工序处理质量下降,无法彻底祛除水体中的有害物质。设备内部积攒的污垢残渣,会滋生各类微生物,反向污染待处理水体。水处理工序衔接紧密,单一工序运行状态失衡,会拉低整体净水质量,破坏出水水质的稳定性,无法持续满足标准化供水要求。

2.3 输配水管网运行安全隐患

输配水管网承担城市清水转运与分配任务,管线铺设范围广、服役周期长,长期运行容易滋生各类安全问题。部分老旧管网材质性能衰减,管壁出现锈蚀、老化、微破损等问题,大幅降低管网密闭性。地下土体沉降、地面荷载变化,会对管线形成挤压拉扯,诱发管网渗漏、破损等故障。管网内部会长期积攒水垢、锈蚀残渣,缩小输水流通截面,影响输水效率。残渣堆积还会滋生微生物,破坏清水输送过程中的水质状态,阻碍供水链路稳定运转。

2.4 终端供水环节运行安全缺陷

终端供水环节直面用户用水场景,布局零散、工况波动频繁,存在多处运行缺陷。末端管网分支繁杂,管线细、点位多,运维覆盖难度较大,细微隐患难以及时排查处置。用户用水负荷动态变化,会造成管网水压频繁波动,引发供水不稳、水流异常等问题。末端管线长期使用会出现内壁锈蚀、接口松动等状况,容易造成清水二次污染。部分末端设施维护频次不足,隐患长期留存,持续影响终端供水的水质质量与供水稳定性。

3 自来水关键节点安全运行问题的产生缘由

3.1 设施设备运行老化与更新滞后

自来水供应系统各类设施设备长期处于连续运行状

态,自然损耗问题会随服役时间逐步累积。取水设备、净水装置与输配管网常年承受水体冲刷、环境侵蚀与荷载变化,构件性能会出现持续性衰退^[3]。金属材质构件容易出现锈蚀、磨损问题,塑胶管网会逐步硬化、脆化,设备精密部件也会出现功能衰减。城市供水体系覆盖范围持续扩张,部分老旧设施依旧保留在运行链路中,替换改造进度较为缓慢。老化设备难以适配现阶段供水负荷与水质管控标准,运行中频繁出现工况异常、密闭性下降、处理效率降低等问题。设施更新节奏跟不上系统运行损耗速度,各类隐性隐患持续积累,逐步诱发各供水节点的安全运行问题。

3.2 日常管控模式适配性不足

供水系统日常运维管控模式,多沿用传统固定管理方式,难以适配复杂多变的供水运行场景。运维工作多依托固定周期开展巡检养护,针对不同区域、不同服役年限的设施,无法做到差异化管控。老旧管网、偏远终端点位的巡检频次与养护力度不足,隐患排查覆盖存在盲区。管控工作偏向故障后的维修处置,前置性预防养护力度偏弱,很难提前干预设备性能衰减问题。水质管控、设备养护、管网运维的工作标准较为固化,难以应对季节水文变化、用水负荷波动带来的运行变动,管控适配短板逐步引发各类运行隐患。

3.3 动态监测管控手段较为滞后

供水系统各关键节点的监测体系存在明显短板,智能化、实时化管控能力有待提升。多数供水环节仍依赖人工巡检与定时抽样的方式开展监测,数据采集存在间隔空档。水质波动、管网压力异常、设备工况偏移等问题,无法在第一时间被捕捉识别。监测点位布设不够全面,部分支线管网、末端供水点位缺少有效监测覆盖,运行状态长期处于模糊管控状态。传统监测方式获取的数据连续性差,难以支撑运行状态的全程把控,微小隐患会持续发展扩大,逐步演变为影响供水安全的实质性问题。

3.4 各环节运维衔接模式不完善

自来水供应是多环节串联的连续系统,各环节运维工作独立开展,衔接机制存在明显漏洞。取水、净水、输配、终端供水的运维工作划分清晰,环节之间缺少互通联动的工作机制。单一节点出现工况波动或隐患问题,信息无法快速传递至上下游环节,难以及时开展协同处置。各岗位运维工作标准相对独立,问题移交、隐患跟进的流程不够规范,容易出现处置断层与责任空档。环节衔接的不完善,让局部隐患无法及时阻断扩

散,单点问题容易沿供水链路蔓延,影响整套自来水供应系统的安全稳定运行。

4 自来水供应系统关键节点安全保障优化体系构建

4.1 构建长效设备运维防护机制

针对供水设施老化加速、更新改造滞后带来的各类运行隐患,需搭建常态化、长效化的设备运维防护机制,从硬件层面稳固供水节点运行基础。结合取水设备、净水装置、输配管网、终端供水设施的不同服役年限与损耗规律,制定差异化养护方案,区分新建设施、中期运行设施、老旧高危设施的养护频次与作业标准。针对金属构件锈蚀、塑胶管网老化、精密设备性能衰减等常见问题,落实定点养护、专项检修、预防性维护的常态化作业模式。定期对管网内壁污垢、设备内部沉积杂质开展清理作业,缓解长期运行带来的设备损耗^[4]。建立设施全周期运维台账,记录设备运行状态、养护记录、故障情况与改造进度,精准掌握各类设施的性能变化规律。有序推进老旧设施分批更新改造工作,逐步替换性能衰退严重、隐患频发的老旧设备与管网,让硬件工况适配现阶段供水负荷与水质管控标准,从源头减少设备老化引发的安全问题。

4.2 构建适配性层级管控机制

为解决传统管控模式固化、适配性不足的问题,需要搭建分层分类的适配性管控机制,提升运维管理的针对性与灵活性。摒弃统一固化的巡检养护模式,依据供水区域位置、管网布设密度、设施服役状态、用水负荷差异,划分不同管控层级。对城区主干管网、核心净水设备、高密度用水片区设定高级别管控层级,增加巡检与养护频次。对偏远支线管网、分散终端点位完善基础管控流程,补齐以往运维覆盖不足的短板。调整运维工作重心,强化前置预防养护力度,依托设备运行状态变化与季节水文特征,提前开展设备检修、水质调控、管网防护工作。细化各层级管控内容与作业标准,根据季节水质波动、用水高峰变化灵活调整运维方案,弱化固定管控模式的局限性,让管理手段贴合各类供水节点的实际运行状态。

4.3 构建智能化动态监测机制

补齐传统监测手段滞后、覆盖不全的短板,依托智能技术搭建全域化、动态化的监测机制,实现供水节点状态的实时把控。优化监测点位整体布局,填补支线管网、末端供水点位的监测空白,实现取水、净水、输配、终端全流程点位覆盖。引入智能传感设备,实时采集水质参数、管网压力、设备运行参数等关键数据,替

代传统人工定时抽样巡检模式,消除数据采集的时间空档。搭建数据持续传输与存储通道,形成完整的运行数据链条,精准捕捉水质波动、压力异常、设备工况偏移等细微变化。依托数据变化规律研判设备运行趋势,提前识别潜在隐患,改变传统被动处置的运维模式。持续更新监测技术手段,适配供水系统扩容与工况变化,保持监测体系的有效性与全面性,为供水安全管控提供稳定的数据支撑。

4.4 构建一体化运维联动机制

针对各运维环节独立运行、衔接不畅的问题,搭建全流程一体化运维联动机制,打通各供水节点的运维壁垒。梳理取水、净水、输配、终端供水各环节的运维工作边界,建立跨环节信息互通渠道,实现各节点运行状态数据、隐患信息的实时互通。规范隐患上报、问题移交、协同处置的完整流程,单一节点出现工况异常后,上下游运维岗位可同步接收信息并开展配合处置,阻断隐患沿供水链路扩散。统一各环节运维作业标准,消除不同岗位之间的工作衔接偏差,规避处置断层与管理空档。搭建常态化联动运维工作模式,定期开展全流程状态复盘与协同巡检,统筹协调各环节养护、检修、整改工作。完整的联动体系可强化供水系统整体运行稳定性,提升全链路安全保障能力,实现自来水供应系统长效安全运行。

结束语

自来水供应系统各关键节点的安全隐患,多源于设备长期损耗、管理模式固化、监测能力不足与环节衔接缺失等多重因素。各类隐患相互交织,持续影响供水水质与输水稳定性。搭建适配性强、覆盖全面、联动顺畅的安全保障体系,能够补齐各环节运行短板,改善节点运行状态。常态化落实精细化运维与智能监测管控,可持续规避供水运行隐患,筑牢城市自来水供应安全的运行基础。

参考文献

- [1] 张少民,刘奇.自来水供应系统中的关键节点安全保障机制优化研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(3):379-381.
- [2] 贺文娟.加压水泵在自来水供应机电系统中的应用研究[J].建材与装饰,2025,21(21):109-111.
- [3] 张翠梅.农村冬季自来水供水设施管护策略[J].农业开发与装备,2023(5):97-99.
- [4] 王东亮,赵忠强.基于城乡饮水安全的供水管道安装工程施工方法[J].现代工程科技,2022,1(11):33-36.