

水利工程管理中水闸安全运行措施分析

马程

新疆水发准水建设开发有限公司, 中国·新疆 昌吉 831511

摘要: 水闸作为水利工程中的关键控制性设施, 其安全运行直接关系到防洪、灌溉、供水及生态安全。论文基于水闸运行特点与风险特征, 结合国内外典型工程实践(如三峡水利枢纽、荷兰三角洲工程等), 从技术保障、管理优化、应急响应三个维度构建安全运行措施体系。研究指出, 当前水闸运行面临结构老化、监测滞后、管理粗放等突出问题, 需通过智能监测系统部署、设备升级改造、标准化管理制度完善及应急联动机制强化等手段, 实现风险预警、快速响应与长效管理。研究成果可为提升水闸工程安全水平、保障流域综合效益提供理论支撑与实践参考。

关键词: 水闸安全; 运行管理; 技术措施; 应急响应; 标准化制度

Measures for Safe Operation of Sluices in Water Conservancy Project Management

Cheng Ma

Xinjiang Shuifa Zhunshui Construction and Development Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831511, China

Abstract: As a key controlling facility in water conservancy projects, the safe operation of sluices is directly related to flood control, irrigation, water supply, and ecological security. Based on the operational characteristics and risk features of sluices, and combined with typical engineering practices at home and abroad (such as the Three Gorges Water Control Project and the Dutch Delta Works), this paper constructs a safety operation measure system from three dimensions: technical support, management optimization, and emergency response. The study points out that the current operation of sluices faces prominent issues such as structural aging, monitoring lag, and extensive management. It is necessary to achieve risk early warning, rapid response, and long-term management through the deployment of intelligent monitoring systems, equipment upgrading and renovation, the improvement of standardized management systems, and the strengthening of emergency linkage mechanisms. The research results can provide theoretical support and practical references for enhancing the safety level of sluice projects and ensuring the comprehensive benefits of river basins.

Keywords: sluice safety; operation management; technical measures; emergency response; standardized system

0 前言

水闸作为水利工程体系中的关键控制性节点, 承担着防洪调度、水资源调配、航运保障及生态流量调节等多重功能, 其安全运行直接关系到区域经济社会稳定与生态环境安全。近年来, 极端天气频发与工程设施老化叠加, 导致水闸运行风险显著加剧。例如, 2021 年河南郑州“7·20”特大暴雨期间, 部分水库溢洪道闸门因泥沙淤积与设备故障未能及时启闭, 险些引发重大险情; 荷兰三角洲工程则通过完善的应急响应机制与智能化监测体系, 成功抵御多次风暴潮威胁。实践表明, 水闸安全运行需依托技术创新、管理优化与应急能力提升的协同作用。然而, 当前中国水闸管理仍存在监测覆盖率低、设备更新滞后、应急预案可操作性差等突出问题, 亟须构建覆盖全生命周期的安全运行措施体系。论文基于国内外典型案例与工程实践, 从技术保障、管理优化、应急响应三个维度提出系统性解决方案, 以期提升水闸工程安全水平提供理论支撑与实践参考。

1 水闸作为关键控制性工程的重要性

水闸作为水利工程体系的核心控制性设施, 兼具防洪调度、水资源配置、航运保障及生态保护等多重功能, 其安全运行对区域经济社会稳定与生态环境平衡至关重要。在防洪减灾中, 水闸通过分洪闸、挡潮闸等工程形式削减洪峰流量, 如长江荆江分洪闸在 1954 年特大洪水中分蓄洪水 54 亿立方米, 使武汉段水位下降超 1 米, 避免城市被淹。在水资源调配方面, 节制闸通过蓄泄调节实现跨流域调水与灌溉供水, 如都江堰鱼嘴分水堤分流岷江水系, 保障成都平原两千余年农业与生态稳定; 现代工程如黄河小浪底水利枢纽通过调水调沙优化水沙分布, 维持河湖生态水位, 改善下游生态环境。然而, 水闸长期运行面临多重风险: 大量建于 20 世纪中后期的水闸存在结构老化问题, 混凝土碳化、金属结构锈蚀普遍, 如闸门启闭机传动部件磨损严重; 泥沙淤积、地震液化等复杂环境加剧运行风险; 管理短板突出, 部分工程“重建轻管”, 安全监测设备覆盖率不足, 应急预案可操作

性差, 基层单位缺乏专业技术人员, 难以有效分析自动化监测数据, 导致潜在风险无法及时预警与处置。这些问题亟须通过技术创新与管理优化加以解决。

2 水闸安全运行现状分析

中国水闸安全运行面临多重挑战, 其风险特征与技术、管理、环境适应性及运行机制等因素密切相关。技术层面, 大量建于 20 世纪中后期的水闸因材料与条件限制, 普遍存在混凝土碳化、金属结构锈蚀、止水系统失效等问题, 如闸门启闭机传动部件磨损导致启闭力下降, 影响调度效率; 关键参数监测覆盖率低, 依赖人工巡检, 数据采集频率与精度不足, 难以实现风险早期预警; 自动化控制系统兼容性差、软件更新滞后, 远程监控与智能调度功能受限, 削弱应急响应能力。管理层面, 标准化管理缺失与人才匮乏交织, 部分水闸缺乏统一操作规程与维护标准, 日常巡检与设备养护随意性大, 管理漏洞频发; 安全责任体系不健全, 权责边界不清, 事故追责难落实; 基层单位技术人员不足、年龄结构老化, 对新技术掌握能力有限, 如无法有效分析自动化监测数据, 导致潜在风险难以及时预警与处置。环境适应性层面, 自然与人为风险叠加加剧运行不确定性。地质条件复杂(如泥沙淤积、地震液化)与设计标准偏低导致工程难以抵御极端荷载; 气候变化引发极端降雨、干旱频发, 水闸调度策略调整频繁, 但超设计标准洪水适应性不足; 违规操作、超水位运行、设备维护不当等人为因素加剧运行风险, 部分工程“重功能、轻安全”。运行机制层面, 跨部门协作不畅, 信息共享与联合调度机制难落地, 如水利、气象、交通部门应急响应联动不足; 资金保障短缺, 维修养护与设备更新滞后, 安全隐患累积; 传统管理模式资源消耗高, 缺乏绿色运维技术与循环经济理念, 难以满足长期安全运行需求。

3 水闸安全运行关键措施

3.1 技术保障措施

水闸安全运行的关键措施需从技术保障、管理优化及应急响应等多维度协同推进, 其中技术保障措施是构建安全防线的基石。在智能监测系统建设方面, 需通过部署高精度传感器网络实现全天候数据采集与风险预警。具体而言, 可在水闸关键部位(如闸墩、底板、闸门)安装渗流计、应力计、位移计等设备, 实时监测结构内部的渗流场、应力场及变形情况。例如, 三峡水利枢纽通过布设 3000 余个监测点, 结合自动化采集与传输技术, 实现了对大坝运行状态的实时掌握, 其数据精度可达毫米级, 为工程安全提供了可靠依据。此类系统可提前识别混凝土开裂、基础沉降等隐患, 为预防性维护提供决策支持。

设备升级改造是提升水闸可靠性的核心环节。针对传统水闸普遍存在的金属结构锈蚀、启闭机老化等问题, 需采用耐腐蚀材料(如不锈钢闸门)替代传统碳钢材质, 并配置高可靠性启闭机(如液压驱动或变频调速电机)。例如, 在

沿海地区水闸中推广使用 316L 不锈钢闸门, 其抗腐蚀性能较普通碳钢提升 3 倍以上, 可显著延长设备使用寿命; 同时, 采用双冗余设计的启闭机控制系统, 可在主系统故障时自动切换备用模块, 确保闸门启闭安全。此外, 对老旧水闸的止水系统进行改造, 采用橡胶密封与弹性填料复合技术, 可有效解决渗漏问题。

信息化平台建设是实现水闸智慧化运维的关键抓手。通过整合 BIM(建筑信息模型)与 GIS(地理信息系统)技术, 可构建三维可视化运维平台, 将水闸结构、设备参数、运行数据等信息集成于统一界面。例如, 基于 BIM 模型的水闸数字孪生系统可模拟不同工况下的水流状态与结构响应, 为调度方案优化提供仿真支持; GIS 系统则可实时展示水闸周边地形、水文及气象信息, 辅助管理人员进行风险研判。此类平台还支持移动端访问, 技术人员可通过手机或平板电脑远程查看设备状态、接收预警信息, 显著提升运维效率。

技术保障措施的落地需与标准化管理、应急响应机制相结合。例如, 智能监测系统的数据采集标准需与设备升级改造后的性能参数相匹配, 信息化平台需预留与应急指挥系统的接口, 确保在极端情况下能够快速启动预案。通过技术与管理措施的深度融合, 可构建覆盖“感知—分析—决策—执行”全链条的水闸安全运行体系, 为水利工程安全提供坚实保障。

3.2 管理优化措施

水闸安全运行的管理优化措施需从制度完善、人员能力提升及责任落实三方面协同发力, 以系统性改革破解“重建轻管”困局。在标准化管理制度建设方面, 应制定涵盖全生命周期的《水闸运行维护规程》, 明确巡检周期、操作规范及档案记录要求。例如, 规程可规定日常巡检需每日记录闸门启闭状态、止水系统密封性及电气设备运行参数, 定期巡检需每季度开展结构完整性检测与设备性能评估; 操作规范需细化闸门启闭速度、水位监测频率等关键指标, 确保运行过程可追溯、可量化。通过标准化管理, 可有效减少人为操作误差, 降低事故风险。

人员培训体系是提升基层管理效能的核心环节。需建立常态化技能考核与应急演练机制, 针对水闸运行特点设计培训课程。例如, 技能考核可涵盖自动化监控系统操作、设备故障诊断与维修等内容, 要求基层人员通过理论考试与实操测试后方可上岗; 应急演练需模拟极端工况(如超标准洪水、设备突发故障), 检验人员快速响应与协同处置能力。以荷兰三角洲工程为例, 其管理单位每年组织跨部门联合演练, 通过模拟风暴潮侵袭场景, 提升操作人员与应急指挥中心的协同效率。此外, 可引入虚拟现实(VR)技术构建沉浸式培训场景, 增强人员应对复杂情况的能力。

安全责任机制的构建需以“分级负责、责任到人”为原则, 建立“管理单位—技术负责人—操作人员”三级责任体系。管理单位需承担整体安全主体责任, 制定年度安全目

标与考核标准；技术负责人需对设备选型、改造方案等技术决策负责，定期审核运行数据并提出改进建议；操作人员需严格执行操作规程，及时上报异常情况。例如，可推行“安全责任清单”制度，明确各级人员在巡检、维护、应急等环节的职责边界，并通过数字化平台实现责任追溯。同时，需建立与责任体系配套的奖惩机制，对履职到位者给予表彰，对失职行为依法依规追责，确保安全压力层层传导。

管理优化措施的落地需与技术保障措施深度联动。例如，标准化管理制度需与智能监测系统的预警阈值相匹配，人员培训体系需围绕信息化平台的操作要求展开，安全责任制需嵌入设备升级改造后的运维流程。通过管理与技术的双轮驱动，可形成“制度管人、技术赋能、责任倒逼”的良性循环，为水闸安全运行提供长效保障。

3.3 应急响应机制

水闸应急响应机制的构建需以预案编制为核心、物资储备为支撑、联动机制为保障，形成“预防—响应—恢复”的全链条管理体系。在预案编制方面，需针对洪水、地震、设备故障等典型风险场景，制定分级响应流程，明确不同级别事件下的处置措施与责任分工。例如，可借鉴荷兰三角洲工程的“预防—预警—抢险”三级预案体系：在预防阶段，通过定期风险评估与隐患排查，提前加固薄弱环节；预警阶段，依托气象、水文监测数据，设定洪水、风暴潮等灾害的预警阈值，启动应急值班与设备预置；抢险阶段，根据灾害等级启动相应预案，如超标准洪水时启动分洪闸泄洪、设备故障时启用备用机组等。预案需细化到具体操作步骤，例如规定闸门启闭速度、人员撤离路线等，并通过桌面推演与实战演练验证其可行性。

物资储备是应急响应的物质基础，需根据水闸风险特征配置抢险设备与应急物资。例如，针对洪水风险，应储备移动式泵站、防汛沙袋、救生衣等设备，确保在堤防漫溢时能够快速排水与封堵缺口；针对设备故障，需配备备用电源（如柴油发电机）、关键部件（如闸门启闭机齿轮箱）及维修工具，保障紧急情况下设备可恢复运行；针对地震等地质灾害，应储备破拆工具、应急照明设备等，支持灾后快速搜救。物资管理需建立动态更新机制，定期检查库存状态，确保物资性能可靠、数量充足，并通过信息化系统实现物资调拨与使用的全程追溯。

联动机制的建立需打破部门壁垒，实现气象、水文、交通等多部门的数据共享与协同响应。例如，可构建统一的风险预警平台，集成气象预报、水位监测、地质灾害预警等信息，通过算法模型预测风险演变趋势，提前发布预警信号。

以长江中下游水闸为例，管理单位与气象部门联合开发“降雨—水位—流量”耦合模型，当预测到极端降雨时，可提前降低闸前水位，预留防洪库容；与水文部门共享实时流量数据，动态调整闸门开度，避免下游河道超警戒水位。此外，需建立跨部门应急指挥体系，明确联合响应流程与指挥权限，如规定在超标准洪水期间，由水利部门统一调度水闸，交通部门配合实施交通管制，确保应急行动高效有序。

应急响应机制的有效性依赖于常态化演练与持续优化。管理单位需定期组织多部门联合演练，模拟复杂场景下的协同处置过程，检验预案的实用性与联动机制的顺畅性。例如，通过模拟“暴雨+设备故障+人员被困”的复合灾害场景，检验应急队伍在通信中断、电力供应中断等极端条件下的应对能力。演练后需开展复盘评估，针对暴露的问题修订预案、补充物资、优化流程，形成“演练—评估—改进”的闭环管理，确保应急响应机制始终适应风险变化。

4 结语

水闸安全运行是水利工程管理的核心任务，需从技术、管理、应急三方面协同推进系统性改革。技术层面，应加快智能监测与设备升级，推动物联网、大数据与工程运维深度融合，实现风险动态感知与精准防控；管理层面，需完善标准化制度与责任体系，强化基层人员能力建设，破解“重建轻管”困局；应急层面，需构建跨部门、跨区域的联动响应机制，提升极端事件下的快速处置能力。未来，随着智慧水利建设的深入推进，水闸管理将向“预测—预警—预演—预案”全链条模式转型，为流域防洪安全、水资源高效配置及生态可持续发展提供坚实保障。

参考文献：

- [1] 朱正浩,李侠,李磊.水利施工中水闸施工的管理措施分析[J]. Water Conservancy & Electric Power Technology & Application, 2024,6(1).
- [2] 李正才.水利工程施工中水闸安全运行与检查养护研究[J]. 2024(21):153-155.
- [3] 邹子洋.浅谈水利工程施工中水闸安全运行与检查养护[J].水电水利,2023,7(3):4-6.
- [4] 黄宝垒.水利工程施工技术及管理措施[J].2024(9):112-114.
- [5] 于天晓.水利工程施工中水闸安全运行措施[J].水上安全,2023(13): 176-178.

作者简介：马程（1990-），男，回族，中国甘肃白银人，本科，中级工程师，从事水利工程运行管理、水利工程项目建设质量、安全管理等研究。