

水闸泵站的安全运行与风险防控

连九蕾

北京市南水北调大宁管理处 北京 102442

摘要：水闸泵站作为水利基础设施关键部分，其安全运行关乎防洪减灾、农业灌溉、城市供水等领域。论文深入剖析设备老化损坏、人员操作失误、自然环境影响、管理维护不到位等影响安全运行的主要因素，针对性提出加强设备维护管理、提高人员培训水平、强化运行环境监测、完善风险预警机制、推进信息化建设等防控策略，旨在保障水闸泵站稳定运行，提升水利设施安全保障能力。

关键词：水闸泵站；安全运行；风险防控

引言

水闸泵站于水资源调配及防洪排涝体系意义重大，其运行状态直接关联区域经济社会发展与生态环境稳定，是维系水资源合理利用、抵御洪涝灾害的关键水利设施。然而，受设备老化、人员操作、自然环境等多因素影响，水闸泵站安全运行面临诸多挑战。深入研究其安全运行影响因素并提出有效防控策略，对保障水利设施功能发挥、降低灾害风险具有重要意义。

1 水闸泵站安全运行的重要性

水闸泵站作为水利基础设施的关键组成部分，其安全运行具有不可忽视的重要性，在多个领域发挥着至关重要的作用。在防洪减灾方面，水闸泵站是抵御洪水侵袭的重要防线。在汛期，江河水位上涨迅速，若水闸泵站无法安全运行，不能及时有效地调节水位、排泄洪水，洪水将迅速泛滥，淹没周边农田、村庄和城镇。大量农田被淹会导致农作物绝收，给农业生产带来毁灭性打击；村庄和城镇被淹则会威胁居民的生命安全，造成房屋倒塌、基础设施损毁等严重后果。水闸泵站的安全运行对于保障人民生命财产安全、减少洪涝灾害损失具有决定性意义。在农业灌溉领域，水闸泵站是保障农作物生长的重要保障。通过合理调控水源，水闸泵站能够将河水引入灌溉渠道，为农田提供稳定的水源。稳定的水源供应有助于农作物在生长关键期获得充足的水分，促进其正常生长发育，提高农作物的产量和质量。若水闸泵站运行异常，灌溉水源无法保障，农作物将面临干旱胁迫，导致减产甚至绝收，严重影响粮食安全和农业经济发展。在城市供水和水环境调节方面，水闸泵站同样发挥着关键作用。它可以调节城市水系的水位和水质，保障城市供水的稳定性和安全性。

2 影响水闸泵站安全运行的主要因素

2.1 设备老化与损坏

水闸泵站各类核心设备长期处于高强度、不间断的运转状态，机械疲劳累积与介质侵蚀的双重作用，加速了设备部件性能的退化进程。水泵叶轮作为水流输送的关键部件，在高流速水流的持续冲刷下，其表面材质会逐渐发生剥落现象。这导致叶轮的水力性能下降，还会引发流量不足的问题，同时使泵站能耗大幅攀升。电机绕组绝缘层在温度与湿度不断交替变化的环境中，极易出现龟裂、碳化等损伤。这些损伤会导致绝缘电阻降低，增加了电机短路的风险，如果发生短路，将对泵站电气系统造成严重破坏。闸门启闭机的传动部件，如齿轮和链条，长期承受交变载荷的作用，齿面会出现磨损，链节也会伸长。这直接影响了启闭机的启闭精度与运行可靠性，会导致闸门无法准确启闭，影响水闸泵站的正常调度。金属结构部件在水体环境中会发生电化学腐蚀，壁厚逐渐减薄，承载能力下降。特别是在焊缝处，由于应力集中现象的存在，更容易形成裂纹，甚至引发结构断裂。设备老化带来的这些问题，降低了水闸泵站的运行效率，还引发突发故障，如轴承卡死、联轴器断裂等，引发连锁反应，严重威胁整个泵站系统的安全稳定运行^[1]。

2.2 人员操作失误

（1）水闸泵站运行安全与操作人员专业素养及操作水平紧密关联。未接受系统培训的人员，因对设备运行机制和操作规程掌握不足，易在实际操作中形成认知误差。这种误差可能导致设备误操作、故障隐患无法及时识别，甚至引发安全事故。（2）操作过程中，水位传感器信息误读与违规操作是威胁设备安全运行的两大隐患。若工作人员对水位传感器反馈数据理解偏差，将导致阀门调节失准，引发水流动力紊乱，破坏系统稳定；而违反标准流程进行设备启停操作，会使电机在带载状态下启动，瞬间产生过电流现象，加剧设备磨损，还可

能造成电气元件损毁,甚至引发火灾等严重事故。(3)在设备异常状况出现时,经验匮乏的操作人员无法及时察觉故障隐患,错误的排障措施可能加剧设备损坏程度。长期机械性操作易引发注意力衰减和操作麻痹,导致运行参数记录失真、设备巡检疏漏等问题,这些潜在风险在复杂工况下,会演变为安全事故,干扰泵站稳定运行。

2.3 自然环境影响

极端自然条件对水闸泵站构成直接威胁。洪水过境时,超高水位与强大水流冲击力,冲毁泵站护岸、挡水建筑物基础,甚至造成闸门整体倾覆;夹带的大量漂浮物堵塞拦污栅,增加过流阻力,使水泵吸水条件恶化,引发气蚀现象,加速叶轮损坏。暴雨天气常伴随强风,掀翻泵站屋顶、吹倒室外电气设备,同时诱发山体滑坡、泥石流,掩埋输水管道或堵塞进水口。地震产生的剧烈震动,会破坏设备安装基础的稳定性,导致水泵、电机等设备发生位移、倾斜,使联轴器对中失效,引发振动加剧;建筑物结构在地震波作用下,产生裂缝、墙体脱落,危及站内人员与设备安全。这些自然环境因素具有突发性和不可控性,如果发生,将对水闸泵站造成严重破坏^[2]。

2.4 管理维护不到位

(1)设备全生命周期管理体系缺失显著威胁水闸泵站运行安全。维护计划的非系统化特征致使易损件更换周期失准、关键部位润滑养护缺位,加速机械部件疲劳磨损与性能衰减。(2)巡检机制执行效能不足已成为威胁水闸泵站安全运行的重要风险源。因缺乏标准化巡检流程与量化监测指标,设备运行时产生的异常振动、局部过热等早期故障信号难以被及时察觉。这些微小的异常往往是重大故障的前兆,若无法在故障萌芽阶段采取有效干预措施,小问题可能逐渐演变成严重故障,最终影响水闸泵站的安全稳定运行。(3)档案管理与备品备件保障体系的不完善形成系统性漏洞,历史运行数据与维修记录的缺失导致故障诊断缺乏数据支撑,而备件储备与实际需求的错配,在设备突发故障时易引发处置延误,延长停机时间,更会因应急维修资源不足引发连锁故障,多重管理缺陷的累积效应最终加剧安全事故发生概率,严重制约水闸泵站设施的稳定运行与服役周期。

3 水闸泵站安全运行与风险防控策略

3.1 加强设备维护管理

构建完善的设备维护管理制度,需依据设备特性与运行工况,制定差异化的维护周期与流程。对于水泵、闸门启闭机等核心设备,应建立全生命周期档案,详细

记录安装调试数据、运行参数、历次维护记录等信息,为精准维护提供数据支撑。引入先进的检测技术是提升设备隐患排查能力的关键,无损检测技术如超声波探伤、磁粉检测,可在不破坏设备结构的前提下,探测金属部件内部裂纹、腐蚀等缺陷;在线监测系统通过传感器实时采集设备振动、温度、压力等参数,利用物联网技术将数据传输至监控中心,借助大数据分析与机器学习算法,预测设备故障趋势,实现预防性维护。在备品备件管理方面,需综合考虑设备使用频率、易损程度及采购周期,科学确定备件储备种类与数量。采用ABC分类管理法,对关键且采购周期长的A类备件(如水泵叶轮、电机轴承)保持充足库存;对通用性强的C类备件则可适当降低储备量。建立备件动态管理机制,根据设备运行状态与维护需求,及时调整备件储备策略,确保设备突发故障时能够迅速更换受损部件,减少停机时间,降低因设备故障引发的安全风险,保障水闸泵站持续稳定运行^[3]。

3.2 提高人员培训管理

(1)操作人员专业素养与安全意识直接关联水闸泵站运行安全,构建层次化、全覆盖培训体系势在必行。基础培训聚焦设备运行原理、标准化操作流程及安全规范,确保人员精准把握设备运行逻辑,规避因操作失当引发安全隐患;进阶培训则针对复杂工况与智能控制系统等新技术应用,强化操作人员对新型设备与系统的操控能力。借助案例分析与经验交流机制,通过深度解析实际运行中的典型事故,总结教训以提升人员安全认知水平。(2)应急演练是提升操作人员应急处置能力的关键手段。通过设计包含洪水漫溢、电气火灾、设备故障等多场景的演练方案,模拟真实突发情境,促使操作人员熟练掌握故障隔离、人员疏散、设备抢修等核心技能,增强实战应对能力。(3)建立完善的人员考核机制,将培训成效与技能水平纳入绩效评估体系。采用理论测试、实操考核、应急演练表现等多维度评价指标,对考核优异者予以激励,对未达标者实施针对性复训,形成“培训-考核-能力提升”的闭环管理模式,驱动操作人员主动提升专业素养,为水闸泵站安全运行提供坚实的人力保障。

3.3 强化运行环境监测

运行环境的动态变化对水闸泵站安全运行有着直接影响,强化环境监测需构建立体化监测网络。在水文监测方面,安装高精度水位、流量传感器,实时获取河道水位、泵站进出水流量数据,通过数据建模分析水流变化趋势,为泵站调度提供依据。水质监测设备可对水

体酸碱度、浊度、含沙量等指标进行连续监测,及时掌握水质变化,避免因水质恶化导致设备腐蚀、堵塞等问题。气象监测系统实时收集风速、降雨量、温度等气象数据,提前预警暴雨、大风等极端天气,以便采取防范措施。除水文与气象监测外,还需加强对周边地质环境的监测。在泵站周边布设地质位移监测点,利用全站仪、GPS等设备监测地面沉降、山体位移等情况,结合卫星遥感与无人机巡检技术,对潜在地质灾害隐患区域进行动态观测。建立环境预警系统,设定各监测参数的安全阈值,当数据超出正常范围时,系统自动发出声光报警,并将预警信息推送至管理人员终端^[4]。

3.4 完善风险预警机制

(1) 构建科学完备的风险预警机制是保障水闸泵站安全运行的关键所在。可运用故障树分析(FTA)、风险矩阵法等专业评估工具,从设备工况(如机械磨损、电气故障)、运行环境(极端天气、水位异常)、操作管理(违规操作、维护缺失)等核心维度,搭建多要素风险评估体系。通过量化分析,将风险划分为高、中、低三个等级,并明确各风险对设施运行、周边环境及公共安全的影响程度,为后续分级管控与动态监测提供数据支撑,实现风险隐患的早发现、早研判、早处置。(2) 基于评估结果设定设备振动幅值、电气设备温升、水位变化区间等核心预警指标,明确各参数的临界阈值,构建分级预警模型。当监测数据触发阈值时,智能预警系统即时响应,同步生成风险分析报告,直观呈现潜在风险及其可能引发的后果。(3) 配套建立风险分级响应机制,针对不同类型与等级的风险启动相应应急预案,涵盖设备故障抢修、运行状态调控、人员应急疏散等关键环节,通过明确部门职责与标准化处置流程实现快速响应。结合技术迭代与实际运行反馈,定期开展应急演练与预案优化,持续提升风险防控体系的有效性与适应性,最终达成安全风险的全周期闭环管理。

3.5 推进信息化建设

构建水闸泵站信息化管理系统,整合设备监测、运行控制、数据管理等功能模块,实现设备状态的远程监控与智能化管理。在设备监控方面,通过物联网技术将分散的传感器、执行器等设备接入网络,管理人员可通过电脑或移动端实时查看设备运行参数、视频图像,远程控制设备启停、调节运行参数,提高管理效率与响应速度。数据管理模块对采集的海量运行数据进行存储、分析与挖掘,利用数据可视化技术,以图表、曲线等形式直观展示设备运行趋势、能耗分布、故障概率等信息,为管理决策提供数据支持。借助对设备能耗数据的深入剖析,能科学优化运行策略,有效削减能耗成本;依托故障数据统计,精准锁定高频故障部件,从而针对性改进维护计划,提升管理效能。

结束语

水闸泵站安全运行与风险防控需从设备、人员、环境、管理等多方面协同发力。通过实施针对性防控策略,可有效提升水闸泵站运行安全性和稳定性。未来,伴随物联网、大数据等技术革新,应持续迭代风险防控体系。通过部署智能监测设备、搭建数字化管理平台,引入PDCA闭环管理理念,推动水闸泵站安全管理向智能化、精细化迈进,为水利事业高质量发展筑牢安全屏障。

参考文献

- [1]张理军.水闸泵站自动化控制系统维护及软硬件优化探讨[J].水电站机电技术,2025,48(1):113-116.
- [2]傅远双.小型水库安全运行中的风险评估与防控策略研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(1):005-008.
- [3]张威.泵站进水闸复核计算过程与评价[J].水科学与工程,2023(5):65-69.
- [4]王红蕾.中小型涵闸的安全运行与除险加固[J].水利科技与经济,2022,28(8):86-89+99.