

水利工程闸门运行实操规范与寿命延长措施

钱曼央

乐清市水利局, 浙江省乐清市, 325600;

摘要: 本文针对水利工程闸门运行实操规范与寿命延长措施展开深入研究。在运行实操规范方面, 详细阐述了运行前的检查内容, 包括门体外观、机械传动部件及电气系统的全面排查; 明确了操作流程中人员资质要求、启闭控制要点、开度调节标准及操作记录规范; 强调了运行中通过传感器监测参数与人工观察状态相结合的实时监测方式。在寿命延长措施上, 从材料选择、防腐处理、维护保养到应急处理, 构建了完整的保障体系。其中, 材料选择注重门体与传动部件的适配性, 防腐处理采用门体涂层与阴极保护结合及传动部件针对性处理, 维护保养涵盖分级清洁、润滑、电气系统维护及性能检测, 应急处理建立自然灾害与设备故障的分类响应机制。研究旨在为水利工程管理人员提供系统、科学的指导, 以保障闸门可靠运行, 延长其使用寿命, 提升水利工程整体效益。

关键词: 水利工程; 闸门运行; 实操规范; 寿命延长

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 08. 045

水利工程作为关乎国计民生的重要基础设施, 在防洪减灾、农田灌溉、水力发电、水资源调控等诸多领域发挥着不可替代的作用, 而闸门是水利工程中调控水流、保障工程安全与效益的核心控制设备。闸门运行的稳定性直接决定着工程能否正常发挥功能, 操作不规范可能引发溃坝、内涝等重大安全事故; 其使用寿命则与工程运维成本紧密相关, 过早损坏会导致更换费用激增, 增加工程负担。当前, 部分水利工程存在闸门操作流程不规范、维护保养不到位等问题, 导致闸门故障频发、寿命缩短。因此, 深入研究并制定科学的闸门运行实操规范, 从材料、防腐、维护、应急等多方面提出有效的寿命延长措施, 对于提升闸门管理水平、保障工程安全稳定运行、降低成本具有重要的现实意义和实践价值。

1 水利工程闸门运行实操规范

1.1 运行前检查

运行前检查是保障闸门安全运行的基础。首先, 要对闸门的外观进行全面检查。查看闸门门体是否存在裂缝、变形等缺陷, 这些问题可能会影响闸门的密封性和结构强度。例如, 长期受水流冲击或外力作用, 门体可能会出现细微裂缝, 如果不及时发现和处理, 裂缝可能会逐渐扩大, 导致闸门漏水甚至损坏。还要检查闸门的连接部位, 如螺栓是否松动、焊接处是否有开焊现象。螺栓松动可能会使闸门在运行过程中产生晃动, 影响其稳定性; 焊接处开焊则会降低门体的整体强度。

其次, 对闸门的机械传动部分进行检查。检查启闭

机的齿轮、链条等传动部件是否有磨损、卡滞现象。磨损严重的传动部件会影响启闭机的工作效率, 甚至导致无法正常启闭闸门。同时, 要检查制动器的性能是否良好, 确保在闸门停止运行时能够可靠制动。另外, 对钢丝绳的状况进行检查也至关重要, 查看钢丝绳是否有断丝、磨损等情况, 如有问题应及时更换, 以防止在运行过程中钢丝绳断裂, 引发安全事故^[1]。

再者, 检查电气系统。查看电气线路是否有破损、老化现象, 破损的线路可能会导致漏电, 危及操作人员的安全。检查电机的绝缘性能是否符合要求, 绝缘性能不佳可能会使电机出现故障, 影响闸门的正常运行。还要检查控制设备的功能是否正常, 确保能够准确控制闸门的启闭。

1.2 操作流程

在进行闸门操作时, 必须严格遵循操作规程。操作人员应经过专业培训, 熟悉闸门的结构、性能和操作方法。操作前, 要再次确认各项检查工作已完成, 且无异常情况。

启动启闭机前, 要先将控制开关置于正确位置, 然后缓慢启动电机, 观察闸门的运行情况。在闸门开启或关闭过程中, 要密切关注其运行速度和方向, 确保运行平稳^[2]。如果发现闸门运行异常, 如出现卡顿、异响等情况, 应立即停止操作, 并进行检查和处理。

在操作过程中, 要严格控制闸门的开度。根据实际需要和水利工程的调度要求, 准确调整闸门的开度。例

如,在防洪期间,要根据水位情况合理控制闸门开度,以确保水库的安全水位。同时,要做好操作记录,记录闸门的开启时间、关闭时间、开度等信息,以便后续分析和查询。

1.3 运行中监测

闸门在运行过程中,需构建“智能监测+人工巡检”的实时监测体系。一方面,对运行参数实施精准监测:在门体关键部位安装物联网传感器阵列,包括激光位移传感器(精度 $\pm 0.1\text{mm}$)实时捕捉开度与位移变化,应变片传感器(采样频率 10Hz)持续监测应力波动,数据通过无线传输至中控平台形成动态曲线。当应力值超过设计值 80% 时,系统自动触发声光预警,同步推送至管理人员终端,为荷载调整或停机检修提供决策依据。

另一方面,强化运行状态的人工观察:每小时记录闸门振动频率(正常范围 $\leq 0.1\text{g}$),重点排查因水流紊动或齿轮啮合异常引发的高频振动;定期检查止水橡皮密封性,采用量杯法测量漏水量(允许值 $\leq 0.1\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$),发现超标立即查找门体变形或异物卡阻原因^[3]。同时,通过高清摄像头观察闸门周边流态,记录漩涡形成位置与强度,结合流速仪数据(每30分钟采集一次)分析水流冲击力,为优化闸门开度提供参考,确保运行状态始终可控。

2 水利工程闸门寿命延长措施

2.1 材料选择

合理选择闸门材料是延长其寿命的关键,需结合工况特性实现性能与经济性的平衡。在选择门体材料时,要综合考量强度、耐腐蚀性和耐磨性等核心性能。对于经常处于水下的闸门,优先选用耐腐蚀性能优异的材料:316L不锈钢含钼元素,对氯离子耐受性强,在沿海或高矿化度水域能有效抵抗微生物附着与电化学腐蚀,年均锈蚀速率可控制在 0.01mm 以内;铝合金材料如6061-T6,不仅耐腐蚀性良好,其密度仅 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$,较钢质门体减重 40% 以上,大幅降低启闭机负荷,且便于安装与维护;内陆淡水闸门则可选用Q355NH耐候钢,通过铬、镍等合金元素形成致密氧化层,耐蚀性能是普通碳钢的 $5\sim 8$ 倍,成本仅为不锈钢的 60% 。

对于机械传动部件,需聚焦高强度与耐磨性的匹配。启闭机的齿轮采用20CrMnTi渗碳钢,经渗碳淬火处理后表面硬度达HRC58~62,心部保持HRC30~35的韧性,

可承受 1500MPa 以上接触应力,齿面年磨损量控制在 0.02mm 内;传动轴选用40CrNiMoA合金结构钢,调质处理后抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$, -20°C 时冲击功 $\geq 63\text{J}$,能抵御频繁启停的交变载荷。同时,所有材料需通过疲劳试验($\geq 10^7$ 次循环无裂纹)和无损检测,严禁使用硫、磷含量超标的劣质钢材,从源头保障传动系统寿命^[4]。

2.2 防腐处理

防腐处理是延长闸门寿命的重要措施,需针对不同部件和环境采用差异化方案。对于门体,涂层防腐是基础手段:淡水环境中采用“环氧富锌底漆(干膜厚度 $80\mu\text{m}$)+环氧云铁中间漆($120\mu\text{m}$)+脂肪族聚氨酯面漆($60\mu\text{m}$)”体系,耐盐雾性能达 1000 小时;海水环境则升级为氟碳面漆,添加石墨烯改性剂增强抗氯离子渗透能力,涂层寿命可延长至 15 年以上^[5]。涂刷前需对门体表面进行喷砂处理,达到Sa2.5级标准,确保涂层附着力 $\geq 5\text{MPa}$ 。

门体防腐可配合阴极保护技术,水下区域每 5m^2 布置1块 $500\text{mm}\times 100\text{mm}\times 50\text{mm}$ 的锌合金牺牲阳极,通过恒电位仪将保护电位控制在 $-0.85\text{V}\sim -1.10\text{V}$ (vsCu/CuSO₄),阳极年消耗量稳定在 $50\text{g}/\text{m}^2$ 以内,焊缝等易腐蚀部位额外涂刷聚脲弹性体涂层增强防护。

对于机械传动部件,防腐需兼顾防锈与润滑:齿轮、链条经电镀锌处理(锌层厚度 $\geq 8\mu\text{m}$)后进行钝化,钝化膜需通过 72 小时中性盐雾试验无白锈,装配前浸涂二硫化钼润滑脂(滴点 $\geq 180^\circ\text{C}$);传动轴表面实施氮化处理,渗氮层深度 $0.3\sim 0.5\text{mm}$,表面硬度 $\geq \text{HV}850$;轴承座涂刷 $200\mu\text{m}$ 厚环氧玻璃鳞片涂料,每季度加注NLGI2级锂基润滑脂。建立防腐台账,涂层每 3 年检测附着力,牺牲阳极每年测量剩余重量,确保防腐体系持续有效。

2.3 维护保养

定期维护保养是延长闸门寿命的重要保障,需制定涵盖周、月、季度、半年的分级计划,按规范开展全流程养护。

定期对闸门进行清洁:每周用 $3\sim 5\text{MPa}$ 高压水枪冲洗门体,重点清除迎水面藻类、淤泥及锈迹,门槽内碎石、枯枝等杂物用专用钩具清理,防止卡滞运行;每月清理闸门周边 10 米范围积水坑洼与过近植被,减少水汽侵蚀与根系缠绕^[6]。清洁时同步检查涂层,发现局部剥落超 5cm^2 ,立即用砂纸打磨至金属基体,补涂同型号

漆料, 确保干膜厚度不低于原标准; 门体连接螺栓除锈后涂抹防锈脂, 用塑料膜包裹防雨水渗入。

定期对机械传动部件润滑: 齿轮箱每季度更换 L-CKC220 号中负荷齿轮油, 油位保持油标 1/2-2/3 处, 换油时清理油底壳杂质; 链条每周涂抹二硫化钼锂基脂, 保证销轴与链板间油膜持续。

定期对电气系统维护: 每月紧固接线端子 (M6 螺栓扭矩 $25\text{N}\cdot\text{m}$), 检测绝缘电阻; 电机每月用 0.4MPa 压缩空气除尘, 每半年检查轴承, 加注 3# 锂基润滑脂 (填充量为轴承腔 1/2); 每年对控制回路做 3kV 耐压试验, 持续 1 分钟无击穿。

每半年开展性能检测: 用全站仪测门体垂直度 (偏差 $\leq 1/1000$), 水位差法测密封性 (渗漏量 $\leq 0.1\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$), 应变片监测关键部位应力 (设计水头下不屈材料屈服强度 80%), 及时修复潜在问题。

2.4 应急处理措施

制定完善的应急处理措施是保障闸门安全的关键, 需建立“预警-处置-修复”闭环机制, 针对自然灾害与设备故障分类响应。

当遭遇地震、洪水等自然灾害时, 立即启动分级响应: 接到预警后 2 小时内完成门体结构、启闭机及电气系统的应急检查; 地震后用全站仪检测门体位移 (允许偏差 $\leq 50\text{mm}$), 洪水期间每 30 分钟监测水位, 超警戒水位 1.5m 时按“先泄后调”原则分步开闸, 单孔开度每次不超 0.5m。若发现门体裂缝超 100mm 或位移超标, 立即启用备用闸门封堵, 同步用 E5015 焊条 (焊脚高度 $\geq 8\text{mm}$) 临时加固; 灾后 48 小时内完成损伤评估, 结构性损伤采用钢板补强, 渗漏部位注入抗压强度 $\geq 60\text{MPa}$ 的环氧树脂灌浆料, 72 小时内恢复基本功能。

当发生设备故障时, 执行“5 分钟响应、2 小时处置”制度: 机械故障中, 齿轮卡滞需断电后手动排查, 异物卡塞清理后涂抹滴点 $\geq 200^\circ\text{C}$ 的应急润滑脂; 钢丝绳断裂启用备用卷扬系统, 采用双吊点同步吊装法更换 (安全系数 ≥ 8)。电气故障需先断电, 电机缺相检查接触器触点并涂抹导电膏, 控制回路短路采用分段排查法 (绝缘电阻 $\geq 0.5\text{M}\Omega$), 修复后进行 3 次空载试运行。维修全程记录故障信息, 配置含 20 类关键部件的应急备件库, 修复后需通过 1.1 倍额定载荷试验方可投用, 严格遵循安全规程保障人员安全。

3 结论与展望

3.1 结论

通过对水利工程闸门运行实操规范与寿命延长措施的系统研究, 可得出以下结论: 严格的运行实操规范是闸门安全稳定运行的核心保障, 运行前对门体外观、机械传动部件及电气系统的全面检查, 能从源头规避潜在风险; 规范的操作流程确保启闭过程精准可控, 避免人为失误; 运行中的实时监测可动态捕捉异常, 为及时处置提供依据, 三者协同能有效防范安全事故。有效的寿命延长措施形成闭环防护, 合理的材料选择奠定耐用基础, 科学的防腐处理减缓损耗速度, 定期的维护保养及时修复隐患, 完善的应急处理降低突发损伤, 共同显著降低闸门损坏率, 延长使用寿命, 大幅缩减工程运维成本。

3.2 展望

未来, 随着科技的不断发展, 水利工程闸门的运行和管理将朝着智能化、自动化方向发展。可以利用先进的传感器技术和物联网技术, 实现对闸门运行参数的实时监测和远程控制。通过大数据分析和人工智能算法, 对闸门的运行状况进行预测和评估, 提前发现潜在问题并采取相应的措施。同时, 在材料和防腐技术方面也将不断创新, 开发出更耐腐蚀、高强度的材料, 以及更高效的防腐处理方法, 进一步延长闸门的使用寿命。此外, 还需要加强对水利工程管理人员的培训, 提高其专业素质和应急处理能力, 以更好地适应水利工程发展的需求。

参考文献

- [1] 高欢, 黄栩晖. 水利工程金属结构闸门焊接头疲劳强度分析[J]. 中国水运, 2025, (08): 55-57+69.
- [2] 孟钰婕. 闸泵切换调水工程调度运行优化研究[D]. 济南大学, 2023.
- [3] 基于现代化技术的水利工程闸门安全运行管理研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2021, 4(04): 125-128.
- [4] 钟彬. 水利工程闸门安全运行管理措施[J]. 河南水利与南水北调, 2020, 49(08): 84+86.
- [5] 唐春明. 关于水利工程渠道闸门运行管理及技术的研究[J]. 地产, 2019, (23): 150.
- [6] 孟钰婕. 闸泵切换调水工程调度运行优化研究[D]. 济南大学, 2023.