

Research on the field application of the electric control technology of the lock beam of the tail water gate of the pumped storage power station

Shunhu Liu Hongshan Wang Min Zhang Jianjian Li Chuanqi Cui

Qinghai Huanghe Medium Hydropower Development Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810501, China

Abstract

To solve the problems of large manual intervention, low efficiency and prominent safety risks in the traditional manual locking beam operation of the tail water of the Jiading Hydropower Station, this paper designs and studies the on-site application of the locking beam electric control technology. On the basis of following the relevant design of the water conservancy and hydropower industry, the electric control locking beam system has been constructed through optimizing the locking beam structure design, setting up the load-bearing guide wheel elastic support mechanism and electric push rod driving system. The overall structure design, key component selection, working principle and on-site implementation process of the system are expounded in detail, the feasibility of the technology is verified through on-site tests. The application results show that the electric control locking beam system can reduce the number of operators from 4 to 12, greatly shorten the operation time, completely eliminate the risk of personnel working near water and edges, significantly improve the safety and efficiency of gate locking operation, and provide reliable reference the technical upgrading of similar hydropower station gate locking devices.

Keywords

Jiading Hydropower Station; Tailwater gate; Locking beam; Electric control; On-site application

加定水电站尾水闸门锁定梁电动控制技术的现场应用研究

刘顺虎 王虹善 张民 李建坚 崔传琦

青海黄河中型水电开发有限责任公司, 中国·青海 西宁 810501

摘 要

为解决加定水电站尾水闸门传统手动锁定梁操作中存在的人工介入量大、效率低下及安全风险突出等问题, 本文开展了锁定梁电动控制技术的设计与现场应用研究。在遵循水利水电行业相关设计规范的基础上, 通过优化锁定梁结构设计, 增设承重导轮、弹性支撑机构及电动推杆驱动系统, 构建了集机械结构与电气控制于一体的电动锁定梁系统。详细阐述了系统的整体结构设计、关键部件选型、工作原理及现场实施流程, 并通过现场测试验证了技术的可行性。应用结果表明, 电动控制锁定梁系统可将操作人数从4人减至1~2人, 大幅缩短操作时间, 彻底消除人员临水临边作业风险, 显著提升闸门锁定作业的安全性与效率, 为同类水电站闸门锁定装置的技术升级提供了可靠参考。

关键词

加定水电站; 尾水闸门; 锁定梁; 电动控制; 现场应用

1 引言

尾水闸门作为水电站水轮发电机组运行调节与安全防护的关键设备, 其锁定装置的可靠性直接关系到电站的安全稳定运行。加定水电站现有的尾水闸门锁定梁采用传统手动式结构, 通过人工架设工字钢实现闸门锁定, 在长期运行中暴露出诸多问题。该操作模式不仅需要多名人员协同配合, 耗时费力且效率低下, 更关键的是操作区域位于临水临边的闸门槽边缘, 人员坠落与物体打击风险极高, 已无法满足现

代水电站安全高效的运行管理要求。基于此, 开展尾水闸门锁定梁电动控制技术研究, 通过机械结构优化与电气控制集成, 实现锁定梁投退的自动化操作, 对于提升电站设备运行安全性、降低劳动强度、提高作业效率具有重要的现实意义^[1]。本文结合加定水电站现场工况, 系统阐述电动控制锁定梁的设计思路、实施过程及应用效果, 为该技术的推广应用提供理论与实践支撑。

2 研究背景与问题提出

2.1 传统手动锁定梁现状分析

加定水电站尾水闸门原锁定装置由一对工字钢组成, 通过将工字钢架设在闸门槽两端的平台上, 使闸门落在工字

【作者简介】刘顺虎(1986-), 男, 中国青海互助人, 工程师, 从事水利发电研究。

钢上实现锁定功能。在闸门升降作业时,需执行严格的人工操作流程:首先安排4名操作人员分别在锁定梁两端系挂安全带,然后配合闸门启闭机的运行节奏,手动抽出或放置两根锁定梁。该操作模式在实际应用中存在三大核心问题:一是人工介入程度高,4人协同作业仍需较长时间完成锁定梁的投退,尤其在紧急停机等特殊工况下,操作效率低下可能延误最佳处置时机;二是劳动强度大,工字钢锁定梁自重较大,人工搬运与架设过程中操作人员需持续承受体力负荷;三是安全风险突出,操作区域为闸门槽边缘的临空区域,虽配备安全带等防护措施,但仍存在人员坠落、锁定梁滑落等安全隐患,不符合水电站“本质安全”的管理要求^[2]。

2.2 技术升级需求分析

随着水电站自动化水平的不断提升,设备操作的自动化、智能化已成为行业发展趋势。传统手动锁定梁与电站现有自动化控制系统无法兼容,难以实现远程监控与联动控制,制约了电站整体自动化水平的提升。从安全管理角度,《水利水电工程机电设备安装安全技术规程》等规范明确要求减少临边危险作业的人工介入,通过技术手段实现本质安全。从经济运行角度,人工操作效率低下导致闸门操作时间延长,间接影响电站的发电效益与调度灵活性。因此,对传统手动锁定梁进行电动化升级改造,实现锁定梁投退的自动化、安全化操作,已成为加快水电站设备技术升级的迫切需求。

3 电动控制锁定梁系统设计

3.1 设计依据与原则

本系统设计严格遵循国家及行业相关法律法规与规范性文件标准,确保设计成果的合规性与可靠性,主要参照标准包括《水工金属结构术语》(SL 543-2011)、《水工钢闸门和启闭机安全运行规程》(SL/T 722-2020)、《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74-2019)、《水利水电工程自动化设计规范》(SL612-2013)及《水工金属结构防腐蚀规范》(SL105-2007)等,所有标准均采用最新版本。设计过程中遵循三大核心原则:一是安全性原则,通过结构优化与控制逻辑设计,彻底消除人工临边作业风险,确保系统运行过程中人员与设备安全;二是兼容性原则,锁定梁核心承载参数与原设计保持一致,确保与现有闸门及闸门槽结构完美匹配;三是可靠性原则,选用成熟稳定的机械部件与电气元件,确保系统在水电站潮湿、多粉尘的恶劣工况下长期稳定运行^[3]。

3.2 整体结构设计

电动控制是以电气量或电子信号为控制特征,作用于电动执行元件的技术,应用于电动汽车、智能家居及自动控制系统等领域。其核心元件包括继电器、电磁阀、伺服驱动器和变频器,2025年全球市场规模预计达40.09亿美元(年复合增长率12.8%),中国市场规模将达10.6亿美元(年

复合增长率14.0%)。技术发展呈现智能化(AI/物联网/大数据应用)、集成化、高压化趋势,产业链涵盖上游芯片供应商至下游整车厂及终端应用。电动控制锁定梁系统采用“机械结构+电气控制”的集成设计方案,主要由锁定横梁、承重导轮、弹性支撑机构、电动推杆及电气控制系统五部分组成。系统整体布局与闸门槽结构紧密结合,通过电动推杆驱动锁定梁沿预设轨迹移动,实现锁定梁的自动投退;弹性支撑机构配合承重导轮,解决锁定梁在承载与非承载状态下的高度自适应问题;电气控制系统通过行程限位与逻辑联锁,确保系统与闸门启闭机协同运行。该设计方案在保留原锁定装置承载性能的基础上,实现了操作过程的全自动化,且结构紧凑、安装便捷,无需对现有闸门槽结构进行大规模改造。

3.3 关键部件设计与选型

锁定梁作为闸门承载的核心部件,其承载性能直接关系到闸门运行安全。为确保与原系统兼容,锁定梁材质、型号及截面尺寸均与原工字钢锁定梁保持一致,保证承载能力满足闸门自重及运行工况要求。在原结构基础上,创新性地在锁定梁两端增设支腿结构,支腿采用内外套管嵌套形式,内套管底部安装承重导轮,外套管内部布置压缩弹簧,形成弹性支撑机构。该设计既解决了锁定梁移动过程中的导向问题,又通过弹簧的弹性变形实现锁定梁在承载状态下的平稳过渡,避免刚性接触导致的结构损伤。电动推杆作为系统的驱动核心,其推拉力与行程精度直接影响锁定梁的运行可靠性。结合锁定梁自重、运行阻力及安全余量要求,单根锁定梁采用2台电动推杆对称布置的驱动方案,确保驱动力均衡。

3.4 工作原理分析

当需要对闸门进行锁定时,操作人员确认闸门处于完全提升状态后,按下“锁定”按钮,电气控制系统驱动电动推杆伸出行程杆,推动锁定梁沿承重导轮向闸门槽中心移动。当锁定梁移动至预设锁定位置时,端部行程限位开关动作,电动推杆停止运行。此时操作人员可控制闸门下落,当闸门落在两根锁定梁上时,闸门自重使锁定梁两端的压缩弹簧受到压缩,内套管下沉,锁定梁两端平稳接触闸门槽平台,完成闸门锁定。整个过程中,状态指示灯实时显示“锁定中”“锁定完成”等状态,确保操作人员清晰掌握流程进度。

4 现场实施流程与关键技术

4.1 方案设计与参数确定

现场实施前,首先开展详细的工况勘查,重点测量闸门槽边尺寸、闸门高度、现有平台间距等关键参数,结合原锁定梁的承载性能参数,确定电动锁定梁的整体尺寸、电动推杆行程及安装位置。通过力学计算软件对锁定梁的承载能力、支腿结构强度及弹簧弹力进行校核,确保结构强度满足闸门运行的极端工况要求。针对焊接工艺可能对锁定梁强度产生的影响,制定专项焊接工艺方案,选用匹配的焊接材料

与焊接参数,并明确焊接后的无损检测要求,确保焊接质量符合《水工金属结构焊接通用技术条件》(SL36-2016)标准。

4.2 设备采购与工厂组装测试

根据设计方案开展设备采购工作,所有关键部件均选用具备水利水电行业应用业绩的合格供应商产品,其中电动推杆、行程开关等电气元件需提供防水防尘等级检测报告,锁定梁钢材需提供材质证明书。工厂组装阶段,按照设计图纸完成锁定梁与支腿的焊接、弹性支撑机构的装配及电动推杆的预连接,重点检查支腿与锁定梁的焊接垂直度、承重导轮的转动灵活性及弹簧安装的预压缩量。组装完成后进行工厂测试,包括电动推杆行程精度测试、锁定梁移动阻力测试及承载性能模拟测试,其中承载测试采用等效配重方式,验证锁定梁在额定载荷下的结构稳定性,确保满足现场应用要求。

4.3 现场安装施工

现场安装前制定专项安全施工方案,对作业人员进行安全技术交底,明确临水临边作业的防护措施。安装分三个环节:一是电动推杆底座安装,按照设计位置钻孔在闸门槽口内侧水泥墙上,用膨胀螺栓固定底座,保证底座安装牢固,且水平度符合要求;二是锁定梁安装,通过吊装设备将组装好的锁定梁放在闸门槽平台,调整好位置后将电动推杆与锁定梁连通,保证连通间隙均匀,转动灵活;三是电气系统安装,把控制箱固定于启闭机操作室,把电动推杆线缆与限位在安装过程中严格执行“水利水电工程机电设备安装安全技术规程”SL400-2016,每道工序完成后进行质量检查,确保安装质量合格。

4.4 现场调试与性能验证

现场调试包括空载调试,负载调试与联动调试三个阶段。空载调试阶段,单独操作电动推杆,测试锁定梁的伸出与收回行程,检查限位开关的动作准确性及状态指示灯显示一致性,保证锁定梁移动平稳无卡滞。负载调试阶段,控制闸门下落至锁定梁上,测量弹簧压缩量与锁定梁的承载稳定性,验证弹性支撑机构的缓冲效果;多次重复锁定与解锁过程,检查各部件的磨损情况与运行可靠性。联动调试阶段:电动锁定梁系统与闸门启闭机控制系统联动,测试连锁保护逻辑的有效性,重点验证“闸门未提升到位时禁止解锁”。锁定梁未到位时禁止闸门下落等连锁关键项,使系统能与原有设备协同运行安全可靠。在调试过程中,详细记录各项运行参数,及时针对发现的问题,进行优化调整,直至满足设计要求。

5 应用效果分析

5.1 安全性显著提升

电动控制锁定梁系统,彻底改变了传统人工架设锁定梁的操作模式,操作人员不需要再进入闸门槽边缘的临空区域作业,从根本上消除了人员坠落与物体打击的安全风险,实现锁定作业的本质安全。由于系统设置的多重连锁保护逻辑,能有效地避免误操作造成设备的碰撞损坏,确保闸门与锁定梁的运行安全。加定水电站尾水闸门锁定作业应用后,安全风险等级由“高风险”降至“低风险”,未发生有关锁定装置的任何安全隐患,安全管理水平得到了较大提高。

5.2 操作效率大幅提高

传统手动锁定梁操作需要 4 名人员协作,完成一次锁定或解锁操作耗时 20 分钟左右;而采用电动控制技术后,仅需要 1-2 名操作人员在控制室通过按钮就可完成整个操作流程,单次操作时间缩短至 5 分钟以内,操作效率提高 75% 以上。在电站机组检修、紧急停机等需要频繁操作闸门的工况下,该技术有效缩短了闸门操作时间,提高了电站的应急处置能力与调度灵活性,间接提升了电站的发电效益。

6 结语

本文针对加定水电站尾水闸门传统手动锁定梁存在的问题,开展了电动控制技术的设计与现场应用研究,通过优化机械结构设计、集成电气控制系统及严格的现场实施调试,成功研发并应用了电动控制锁定梁系统。研究表明,该系统通过自动化操作彻底解决了传统方式的安全隐患,大幅提升了操作效率与运行可靠性,实现了安全、高效、经济的运行目标,满足了电站技术升级的需求。未来,可进一步拓展该技术的智能化水平,结合传感器技术与物联网技术,实现锁定梁运行状态的实时监测与故障预警;通过大数据分析优化系统运行参数,实现自适应控制,进一步提升系统的运行稳定性与智能化水平。同时,可将该技术推广应用与其他类型的闸门锁定装置,为水利水电行业设备自动化升级提供更多技术支撑。

参考文献

- [1] 李所,孔买群,王晓莉,袁伟.泸定水电站尾水渠大桥6号桥台挡墙及引道回填施工[J].云南水力发电,2019,35(04):82-84.
- [2] 徐林,李海鹏,魏亚军.四川泸定水电站尾水肘管安装与调整[J].科技风,2012,(02):114+116.
- [3] 胡传安,赵华荣,张朝刚.泸定水电站尾水大桥连续预应力箱梁施工技术[J].水力发电,2011,37(05):63-66.