

水利枢纽工程的运行管理与维护策略

曹玉聪

招远市水利工程建设养护中心 山东 烟台 265400

摘要：水利枢纽工程作为国家基础设施的核心组成部分，承担着防洪抗旱、水资源调配、发电航运等战略任务，其运行管理与维护水平直接关系到工程效益发挥与公共安全。本文提出以“制度—技术—人才”三位一体为核心的优化策略，旨在构建科学化、智能化、可持续的运行管理体系，为新时代水利高质量发展提供理论支撑与实践参考。

关键词：水利枢纽工程；运行管理；维护策略；智能化管理；风险防控

1 引言

水利枢纽工程是人类改造自然、调控水资源的关键基础设施。我国已建成各类水库9.8万座，总库容9306亿立方米，其中大型水库814座，中型水库3978座。这些工程在防洪减灾、农业灌溉、发电航运等领域发挥着不可替代的作用。然而，随着工程服役年限增长、极端气候频发、社会用水需求升级，传统运行管理模式暴露出制度滞后、技术薄弱、人才断层等问题。据统计，全国约30%的水库存在不同程度的安全隐患，每年因管理维护不当导致的直接经济损失超百亿元。因此，探索新形势下水利枢纽工程的运行管理与维护策略，成为保障工程安全、提升综合效益的迫切需求。

2 水利枢纽工程运行管理的优化策略

2.1 构建制度化管理体系

推行“管养分离”改革，明确管护主体和责任，提高管理效率。以百色水利枢纽为例，该工程实施了“管养分离”改革，将维护工作外包给专业的养护机构。通过公开招标的方式，选择了具备丰富经验和先进技术的养护单位，明确了双方的权利和义务。养护单位按照合同要求，定期对工程进行巡查、维护和保养，确保工程的正常运行。实施“管养分离”改革后，百色水利枢纽的维护成本降低了18%，设备完好率提升至95%，取得了显著的经济效益和社会效益。

建立标准化作业流程，规范巡检、维护、应急等各项工作，确保管理质量。横排头水利枢纽制定了一套涵盖巡检、维护、应急的全流程标准。在巡检方面，明确规定了坝体渗流监测的频次为每周1次，启闭机齿轮箱油位检查的频次为双周1次，并对巡检的内容、方法和记录方式进行了详细规定^[1]。在维护方面，制定了设备维护的周期、项目和质量标准，确保设备得到及时、有效的维护。在应急方面，完善了应急预案，明确了应急响应的

程序和措施，并定期组织演练，提高了应急处置能力。通过建立标准化作业流程，横排头水利枢纽实现了管理的规范化和精细化，提高了工程的安全性和可靠性。

完善考核激励机制，将维护质量与绩效挂钩，激发人员工作积极性。某流域管理局建立了完善的考核激励机制，将维护质量与维护人员的绩效工资挂钩。制定了具体的考核指标，如设备完好率、故障处理及时率、巡检记录完整率等，根据考核结果对维护人员进行绩效奖励。实施考核激励机制后，维护人员的工作积极性和责任心明显提高，主动发现问题数量提升了3倍，及时发现并解决了许多潜在的安全隐患，确保了工程的正常运行。

2.2 推进智能化技术升级

构建“天空地水工”监测体系，整合卫星遥感、无人机巡检、北斗定位等技术，实现全要素实时监测。百色水利枢纽通过整合多种监测技术，构建了“天空地水工”一体化监测体系。利用卫星遥感技术对水库的水域面积、水位变化等进行宏观监测；利用无人机巡检对大坝、溢洪道等建筑物进行近距离、高精度的巡查；利用北斗定位技术对监测设备进行实时定位和数据传输。通过这种全方位、多层次的监测体系，百色水利枢纽能够实时掌握工程的运行状态，及时发现异常情况，为工程的安全运行提供了有力保障。例如，通过GNSS北斗变形监测技术，该工程将大坝位移监测精度提升至0.1毫米，能够提前发现大坝的微小变形，及时采取措施进行处理，避免了重大安全事故的发生。

开发数字孪生调度系统，基于BIM模型与实时数据，构建虚拟仿真平台，优化调度决策。三峡工程通过开发数字孪生调度系统，实现了对水库调度的精准模拟和优化。该系统基于BIM模型建立了水库的三维数字模型，并实时接入气象、水文、水位等数据，构建了虚拟仿真平台。通过该平台，调度人员可以模拟不同的调度方

案,预测洪水演进过程、发电效益、生态影响等,从而选择最优的调度方案。实施数字孪生调度系统后,三峡工程的洪水预报精度提升至92%,调度方案优化时间缩短70%,在防洪、发电等方面发挥了重要作用。

应用AI辅助决策,利用机器学习算法分析历史数据,预测设备故障与风险趋势,提前采取措施。某水库通过应用AI辅助决策系统,对设备的运行数据进行分析 and 挖掘。该系统利用机器学习算法对设备的历史故障数据、运行参数等进行学习,建立了设备故障预测模型。通过对实时数据的监测和分析,系统能够提前预测设备可能出现的故障,并发出预警信息。例如,该系统提前30天预警了启闭机齿轮箱的故障,维护人员及时对设备进行了维修和更换,避免了重大事故的发生,保障了工程的正常运行。

2.3 强化人才队伍建设

实施“双师型”培养计划,联合高校与科研机构,开展“理论+实操”培训,提高人员专业素质。某省水利厅联合当地高校和科研机构,实施了“双师型”培养计划。该计划针对水利枢纽工程的管理和维护人员,开展了系统的理论培训和实操训练。在理论培训方面,邀请高校和科研机构的专家学者进行授课,讲解水利工程的专业知识和最新技术;在实操训练方面,组织人员到实际工程现场进行操作练习,提高他们的实际操作能力。通过实施“双师型”培养计划,该省水利系统300名技术骨干参加了智能监测设备操作培训,合格率达98%,人员的专业素质得到了显著提升。

建立职业晋升通道,设立“技术员—工程师—专家”职级体系,将职称评定与维护业绩挂钩,激励人才成长。某流域管理局建立了完善的职业晋升通道,设立了“技术员—工程师—专家”职级体系。根据维护人员的工作业绩、技术水平、创新能力等进行职称评定,将职称评定与绩效工资、福利待遇等挂钩^[2]。例如,高级工程师在绩效工资、科研项目申报等方面享有优先权。实施职业晋升通道后,该流域管理局高级工程师占比从12%提升至25%,吸引了更多的人才投身于水利枢纽工程的管理和维护工作,促进了人才的成长和发展。

开展常态化应急演练,每年组织防汛、反恐、设备故障等场景演练,提高应急响应能力。某水库制定了常态化的应急演练计划,每年组织多次防汛、反恐、设备故障等场景的演练。在演练过程中,模拟真实的突发事件场景,组织应急抢险队伍进行实战演练,检验应急预案的可行性和有效性,提高应急响应能力和处置水平。通过常态化应急演练,该水库的应急抢险队伍能够在接

到应急指令后迅速响应,将应急响应时间缩短至15分钟,确保了在突发事件发生时能够及时、有效地开展抢险救援工作,保障了工程的安全运行。

3 水利枢纽工程维护策略的创新实践

3.1 预防性维护体系构建

建立全生命周期健康管理体系,记录设备安装、运行、维修全周期数据,预测设备寿命。某水电站建立了全生命周期健康管理体系,对发电机组、变压器等关键设备进行了全生命周期的数据记录和管理。从设备的安装调试开始,就详细记录设备的各项参数、运行状态、维修情况等信息。通过对这些数据的分析和挖掘,建立了设备寿命预测模型,能够提前预测设备的剩余寿命,合理安排设备的更新和改造计划。例如,该水电站通过分析10年运行数据,准确预测了发电机组的寿命,提前更换了部分老化部件,避免了非计划停机,提高了发电效率和可靠性。

建设隐患数据库,利用应力波探伤、红外热成像等技术,发现隐蔽工程隐患,及时采取措施。横排头水利枢纽利用应力波探伤、红外热成像等先进技术,对大坝、隧洞等隐蔽工程进行了全面检测,建立了隐患数据库。通过对检测数据的分析和整理,发现了隧道管片裂缝扩展趋势等隐蔽工程隐患,并及时采取了加固措施。例如,针对隧道管片裂缝扩展问题,采用了注浆加固、碳纤维加固等技术,有效提高了隧道的结构安全性,保障了工程的正常运行。

加强白蚁等生物防治,采用无人机普查、智能诱捕器等技术,降低生物危害^[3]。丹江口工程针对白蚁等生物危害问题,采用了无人机普查、智能诱捕器等先进技术进行防治。利用无人机对水库周边区域进行全面普查,及时发现白蚁的巢穴和活动迹象;安装智能诱捕器,对白蚁进行诱捕和灭杀。通过这些措施,丹江口工程将白蚁危害发生率降至0,有效保护了工程的安全。

3.2 应急维护能力提升

配置模块化抢修装备,配备便携式发电机、焊接机器人等设备,实现快速抢修。某水库在应急维护方面,配置了模块化抢修装备,包括便携式发电机、焊接机器人、移动式起重机等设备。这些设备具有体积小、重量轻、便于运输和安装等特点,能够在突发事件发生时迅速到达现场,进行快速抢修。例如,在该水库的一次启闭机故障中,抢修人员利用模块化装备在2小时内恢复了启闭机的正常运行,避免了因启闭机故障导致的洪水漫坝等严重后果。

建立跨区域协同机制,建设区域应急物资共享平

台,实现资源优化配置。某流域管理局建立了跨区域协同机制,建设了区域应急物资共享平台。该平台整合了流域内各水利枢纽工程的应急物资资源,实现了物资的统一调配和共享。在突发事件发生时,能够根据各工程的实际需求,及时调配应急物资,提高资源利用效率。例如,在一次流域性洪水过程中,通过应急物资共享平台,将某水库的抢险物资及时调配到受灾严重的地区,有效支持了抢险救援工作,将灾害损失降到了最低。

整合社会化维护力量,与专业公司签订应急服务协议,确保24小时响应。某水库与3家专业公司签订了应急服务协议,整合了社会化维护力量。这些专业公司具备丰富的应急抢险经验和专业的技术设备,能够在接到应急指令后迅速响应,提供24小时不间断的应急服务。例如,在该水库的一次设备故障中,专业公司的抢修队伍在接到通知后,迅速到达现场,利用专业设备和技术,及时排除了故障,恢复了工程的正常运行。

3.3 绿色维护技术应用

推广生态友好型材料,使用高性能混凝土、生物基涂料等材料,减少对环境的影响。某水库大坝修复工程中,推广使用了生态友好型材料,如高性能混凝土、生物基涂料等。高性能混凝土具有高强度、耐久性好等特点,能够减少混凝土的使用量,降低碳排放;生物基涂料具有环保、无污染等优点,能够有效减少对水体和周边环境的污染。通过使用这些生态友好型材料,该水库大坝修复工程在保证工程质量的同时,减少了对环境的影响,实现了绿色维护^[4]。

建设水资源循环利用系统,收集雨水用于设备清洗、绿化灌溉等,节约水资源。某水电站建设了水资源循环利用系统,通过收集雨水、处理生活污水等方式,将水资源进行循环利用。收集的雨水经过处理后,用于设备的清洗和绿化灌溉;生活污水经过处理达标后,回

用于厂区的绿化和道路冲洗等。通过建设水资源循环利用系统,该水电站年节水超过10万吨,有效节约了水资源,降低了运行成本。

采用低碳维护工艺,利用无人机喷涂、机器人焊接等技术,降低能耗和碳排放。某工程在维护过程中,采用了无人机喷涂、机器人焊接等低碳维护工艺。无人机喷涂具有喷涂均匀、效率高、涂料利用率高等优点,能够减少涂料的浪费和挥发,降低对环境的污染;机器人焊接具有焊接质量高、能耗低等特点,能够提高焊接效率,降低能源消耗。通过采用这些低碳维护工艺,该工程有效降低了能耗和碳排放,实现了绿色可持续发展。

结语

水利枢纽工程运行管理与维护是系统工程,需制度、技术、人才协同。未来应重点推进三方面:一是标准化与智能化融合,制定智能监测、数字孪生等技术标准,规范智能化系统各环节,促进行业规范化;二是全要素协同管理,整合水工、气象、地质等多源数据,打破信息壁垒,建立统一数据平台,实现跨部门、跨区域协同,提升管理效率与决策水平;三是可持续发展导向,将生态流量保障、碳减排等指标纳入评价体系,推动绿色水利建设。持续创新下,水利枢纽工程将更好服务国家战略,保障经济社会高质量发展。

参考文献

- [1]王颖,肖储君.江西峡江水利枢纽打造现代化运行管理矩阵示范水库[N].中国水利报,2025-02-11(007).
- [2]尹化然.水利枢纽泄洪闸门的控制方法与运行维护措施[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2020,(04):98-99.
- [3]张海龙,童广勤,郭棉明.三峡水利枢纽工程运行安全管理实践[J].中国水利,2024,(22):36-40.
- [4]王建平.大藤峡水利枢纽建设和运行期若干重难点问题及解决对策[J].中国水利,2024,(08):51-54.