

水电站运行中数字化管理技术应用

杨成明

(盐源县水利局, 四川 凉山 615700)

摘 要 数字化管理技术正在深刻改变水电站的运行模式与管理理念。本文从水利局行业监管视角出发, 梳理水电站数字化管理技术的核心内涵, 重点探讨智能监测、数据分析、自动化控制、可视化决策支持四项关键技术的应用场景, 并从技术架构设计、数据安全保障、人员能力建设、持续迭代创新四个维度提出实施策略, 以期为推进水电站数字化转型提供参考。

关键词 水电站; 数字化管理; 智能监测; 自动化控制; 数据安全

中图分类号: TV737

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.023

0 引言

水电站作为清洁能源供给的重要基础设施, 其安全稳定运行直接关系到区域电力保障与水资源综合利用。近年来, 物联网、大数据、人工智能等技术快速渗透, 水电站运行管理正从经验驱动向数据驱动转型。水利局既承担对水电站运行安全的监管职责, 也肩负引导行业技术升级的推动使命。然而, 当前不少中小型水电站仍停留在半人工管理阶段, 数字化水平参差不齐。深入研究数字化管理技术的应用框架与实施路径, 对提升全行业运行效能、保障水利工程长期安全具有重要的现实意义。

1 水电站数字化管理技术概述

1.1 数字化管理技术的内涵与演进

水电站数字化管理技术是以传感器网络、通信系统、计算平台为基础, 将运行过程中产生的物理信号转化为数字信息, 借助数据处理、分析建模、智能决策等手段实现运行管理全流程的数字化、网络化、智能化^[1]。从演进历程来看, 水电站信息化建设大致经历三个阶段: 第一阶段以单机自动化为特征, 各设备独立配置监控仪表, 数据记录以人工抄表为主; 第二阶段以集中监控为核心, 集中监控采集系统替代传统仪表盘, 实现对发电机组、闸门等关键设备的远程监视; 第三阶段迈向全面数字化, 物联网感知层覆盖坝体、库区、厂房的每一个角落, 云计算平台承载海量数据存储与运算, 人工智能算法赋予系统自主分析与预判能力。当前多数大中型水电站已进入第二阶段向第三阶段的过渡期, 水利局需准确把握各电站所处阶段, 制定差异化推进策略。

1.2 水利局视角下的数字化管理需求

水利局对水电站数字化管理的关注点有别于发电企业自身的运营诉求。发电企业侧重于提升发电效率、降低运维成本, 水利局则更关注防洪安全、生态流量保障、水资源调度合规性等公共利益维度。水利局需要实时掌握辖区内各水电站的水库水位、入库流量、下泄流量等关键水文数据, 以便在汛期做出科学的防洪调度决策; 需要监控各电站是否按要求下泄最小生态流量, 确保下游河道生态用水不被挤占; 还需要对水工建筑物安全状态进行持续跟踪, 及时发现坝体渗流异常、边坡位移等隐患。数字化管理技术为满足上述需求提供了手段, 但数据的标准化与共享机制必须率先建立, 否则各电站各自为政的信息孤岛局面将影响监管效能。

2 水电站运行中的关键数字化管理技术

2.1 智能监测与数据采集技术

智能监测是水电站数字化管理的感知基础, 核心任务在于将设备状态、水文气象、工程安全等多维度物理量转化为高质量数字信号。现代智能监测体系构建起“传感器+通信网络+边缘计算节点”三位一体的数据采集架构^[2]。水工建筑物安全监测方面, 光纤光栅传感器凭借抗电磁干扰、耐腐蚀、可分布式布设等优势, 逐步取代传统振弦式仪器, 被嵌入坝体内部测量应变、温度、渗压等参数, 单根光纤可串联数十个测点, 极大提升了空间分辨率。机电设备状态监测方面, 振动传感器、温度传感器、油液颗粒计数器等被集成安装于发电机组轴承座、定子绕组、调速器油系统等关键部位, 以毫秒级频率连续采集运行数据。

作者简介: 杨成明 (1993-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程管理。

库区水文监测同样迎来革新, 雷达水位计不受泥沙淤积、冰冻等因素干扰, 超声波多普勒流速仪实现无接触式流量测量, 精度较转子式流速仪提高了一个量级。边缘计算节点部署在采集现场, 对原始数据进行预处理、压缩、异常初筛, 只将有价值的信息上传至中心平台, 有效缓解通信带宽压力。水利局在推动智能监测应用的同时, 应牵头制定区域性数据接入标准, 明确数据格式、传输协议、采样频率等技术要求。

2.2 数据分析与预测技术

海量监测数据自身并不会直接带来管理价值, 必须经过有效分析挖掘之后才能化为管理决策的依据。水电站的数据分析及预测技术包含统计分析、机器学习、深度学习等诸多层面, 适配各种不同复杂程度的应用环境。就设备故障报警而言, 依靠历史运行数据来训练机器学习模型, 可以找出设备恶化时的初期迹象, 以水轮发电机组的轴承温度为例, 以往的监测系统只是当温度超出预定界限时才会发出警报, 晚于故障的真正出现。但利用时间序列预测模型之后, 系统就能按照温度变化的走向、快慢、周期上下浮动等情况, 提前提醒轴承的异常, 从而为维修计划赢得宝贵的时间^[3]。在水文预报方面, 依靠深度学习的时序记忆网络算法在降雨径流模拟中的准确度, 相比传统水文模型要高, 特别是在流域下垫面状况复杂、非线性特征明显的情况下, 数据激发型模型能获取到物理模型很难精准表述的产汇流规律。水利局可凭借各个电站提交的水文观测数据创建区域级别的洪水预报分析平台, 把众多站点的数据融合成一幅流域范围内的水情分布图, 以此来帮助防汛指挥决策。此外, 发电量预测也是数据分析技术的重要应用方向, 结合气象预报、来水预测、电网负荷需求等多源信息, 优化水库蓄放水策略, 在确保防洪安全的前提下最大化发电效益。值得注意的是, 数据分析模型的准确性高度依赖训练数据的质量, 水利局在推广预测技术时应同步推进数据治理工作, 清理历史数据中的缺失值、异常值、重复记录等质量问题, 为模型训练奠定可靠的数据基础。

2.3 自动化控制与优化调度技术

自动化控制属于水电站数字化经营的执行部分, 要将分析决策得到的结论转化为针对设备的具体操作。现代水电站的自动化控制系统将可编程逻辑控制器当作核心部件, 并依靠分散控制系统完成对水轮发电机组的启动、停止。负荷调整、闸门开启幅度改变、辅助设备联锁保护等全部操作都通过程序化执行, 相比过去依靠运行人员手工控制阀门、开关的方式, 自动

化控制不但大幅改善了操作的准确度和一致性, 还将由于人为失误造成事故的可能性降到最低。在改善调度方面, 技术重点正在由单站调度朝着梯级联合调度发展, 同一条河流上下游分布的多座水电站在用水量方面有着时间联系, 上游电站开始放水的时间点及放出水量会直接影响下游电站可使用的水位差。梯级联合优化调度系统将各电站的水库特性曲线、机组效率曲线、流域水、文预报当作输入条件, 把整个梯级的发电量最大或者弃水量最少当作目标函数, 用动态规划或者智能优化方法求出最合适的调度方案^[4]。水利局处在流域水资源的统筹位置, 在梯级调度过程中扮演着协调各电站利益、守住防洪安全底线、执行生态流量要求的重要角色。此外, 数字化调度平台的应用使水利局能随时掌握整个流域内的水情状况, 还能远距离下发调度命令。每一个调度步骤都被系统自动记录并存储, 方便后续的审查和追责。还需注意, 自动化控制系统是否可靠将直接影响水电站能否安全运转, 因此要为控制器硬件增添冗余配置, 一些重要的信号回路也要设置独立于主控系统的硬接线防护措施, 这样才能保证当出现通信中断、软件问题时, 依然可执行紧急停机等必要动作。

2.4 可视化与决策支持技术

数据可视化是连接技术系统与管理者认知的桥梁。水电站可视化技术已从早期二维模拟屏发展到三维数字孪生阶段, 在虚拟空间中构建与实体电站一一对应的三维模型, 再将实时监测数据映射其上, 使管理者以直观方式观察坝体应力分布、机组振动状态、库区水位变化等场景。当监测点出现异常时, 系统在三维模型中以颜色变化予以突出显示, 决策者无需逐一翻阅报表即可快速定位问题区域^[5]。决策支持系统在可视化基础上整合历史案例库、专家知识规则、实时监测数据三类信息源, 为管理者提供情景化应对建议。以汛期调度为例, 系统根据当前水位、降雨预报、下游安全泄量等约束条件自动生成多套预案, 每套附带发电损失、防洪风险、生态影响的量化评估, 辅助调度人员在多目标权衡中做出最优选择。水利局借助可视化技术可在统一平台上总览辖区内全部电站运行态势, 逐级下钻至单站、单台机组的详细数据, 实现扁平化管理。

3 水电站数字化管理技术的实施策略

3.1 技术架构设计与系统集成策略

技术架构设计应遵循“分层解耦、标准接口、弹性扩展”的原则, 纵向划分为感知层、网络层、平台层、

应用层四级,层间以标准化接口交互,避免强耦合依赖。横向需解决新建系统与既有集中监控采集系统、水情测报、大坝监测等系统的集成问题,宜采用数据中台思路,以统一架构通信协议、轻量级消息传输协议等工业物联网标准接口为纽带,将各子系统数据归集至中台清洗、标准化后统一供数。水利局应明确技术架构参考框架与关键接口标准,引导各电站按统一规范建设或改造,避免新一轮信息孤岛。对于资金有限的小型电站,可探索“区域共享平台+边缘轻量接入”模式,由水利局统一建设云端管理平台,各电站部署边缘网关接入核心数据,以较低成本享受数字化管理基础服务。

3.2 数据安全与隐私保护策略

水电站属于国家关键基础设施,运行数据一旦被非法获取或篡改可能引发公共安全事件。数据安全策略应覆盖采集、传输、存储、使用全生命周期。采集端传感器与边缘节点之间采用加密传输,电站内网与外部网络之间设置工业防火墙或物理隔离,远程访问经由加密专用网络通道并实施多因素认证。核心运行数据应部署在本地服务器或行业私有云上,建立定期备份与异地容灾机制,同时,数据使用权限需精细化管理,不同岗位人员只能访问与其职责相关的数据范围,操作日志完整留存备审^[6]。水利局对接各电站数据时应明确所有权归属与使用边界,规范第三方服务商接触运行数据的条件,定期组织网络安全演练与漏洞排查,将数据安全纳入安全生产考核体系。

3.3 人员能力提升与组织变革策略

水电站长期形成了以电气、机械、水工专业人才为主体的人员结构,信息技术背景的复合型人才相对匮乏。数字化系统上线后,若运行人员无法正确解读数据分析结果或不信任系统预警,再先进的技术也难以发挥实效。能力提升应从两个方向推进:对现有技术人员开展数字化技能培训,涵盖传感器维护、数据平台操作、常见异常识别等内容,采用“理论授课+实操模拟+跟岗实训”相结合的方式;同时引进兼具水电专业知识与信息技术能力的复合型人才,充实到数字化运维岗位。组织层面应适度扁平化管理层级,设立专门的数字化运维班组或数据分析岗位,赋予其参与运行决策的话语权。水利局可在行业层面搭建人才交流平台,组织各电站技术骨干定期开展经验分享与案例研讨,形成共同提升的学习氛围。

3.4 持续迭代与技术创新策略

数字化管理不是一次性工程项目,而是持续演进的长期过程。电站应建立常态化的系统评估与优化机

制,定期评估各功能模块使用效果,收集运行人员反馈,将未被满足的管理需求纳入下一轮迭代计划。数据分析模型尤其需要持续维护,设备老化、工况变化等因素会导致历史数据统计特征漂移,应建立模型定期重训练制度,以最新运行数据更新参数^[7]。技术创新方面,边缘智能可将部分分析计算下沉至现场设备层,提升通信中断场景下的自治能力;数字孪生技术有望从可视化展示走向仿真预演,在虚拟环境中模拟极端工况下的设备响应;大语言模型可能改变人机交互方式,运行人员以自然语言提问即可获取分析结果,降低系统使用门槛。水利局应设立数字化示范电站评选机制,将技术创新成效纳入年度考核,激发各电站主动探索的积极性。

4 结束语

水电站数字化管理技术的应用正在重塑传统水电运行面貌,从智能感知到数据分析,从自动化控制到可视化决策,每一项技术的落地都在拓展管理的精度与深度。水利局作为行业监管者,在推动数字化转型中既要扮演标准引领者的角色,也要承担协调服务者的职能。技术架构的统一规划为互联互通奠定基础,数据安全的制度保障为开放共享消除顾虑,人员能力的持续培育为技术应用注入活力,迭代创新的长效机制为转型升级提供动力。唯有将技术演进与管理变革同步推进,水电站运行管理才能真正迈入智慧化新阶段。

参考文献:

- [1] 张智渊.数字化控制技术在电力管理中的应用[J].集成电路应用,2023,40(03):382-383.
- [2] 樊金兰,张晋.水利工程建设管理中数字化技术的应用与前景展望[J].城市建设理论研究(电子版),2025(30):196-198.
- [3] 张彦.信息技术赋能水利水电工程设计数字化管理[J].数码设计(电子版),2024(04):889-891.
- [4] 杨威,冉爱民,彭嘉畅,等.双河口水电站数字化安全监测体系研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2023(04):41-45.
- [5] 金伯渔.水务企业管理工作中应用数字化技术的意义及策略[J].营销界,2025(08):121-123.
- [6] 单鹏超.水利工程运行中数字化管理技术应用探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(02):183-186.
- [7] 马树彪.水利工程运行中数字化管理技术应用[J].水利电力技术与应用,2023,05(10):220-222.