

新型储能协同下水电工程全生命周期智慧运维管理模式研究

蒋尚健

贵州水利实业有限公司

DOI:10.32629/jpm.v7i6.8950

[摘要] 随着“双碳”目标推进，新型储能与水电的协同，受到社会各界的广泛关注，新型储能可以弥补水电季节波动缺陷，两者协同具有重大意义，可以有效提升电网稳定性。新型储能协同，主要是指储能系统与水电工程在规划、运行、维护等环节的深度耦合，全生命周期智慧运维覆盖工程规划、设计、建设施工、运行维护等全阶段，依托现代信息技术，可以实现状态感知智能诊断。本文主要阐述了新型储能系统下水电工程全生命周期智慧运维管理模式的意义，并从构建运维管理体系、注重数据技术融合、分阶段实施运维策略、构建全维度安全防护体系等方面提出了相应的策略，进而为相关人员提供参考。

[关键词] 全生命周期；运维；水电；智慧

Research on a Smart Operation and Maintenance Management Model for Hydropower Projects Throughout Their Entire Life Cycle Under the Framework of New Energy Storage Integration

Jiang Shangjian

Guizhou Water Resources Industry Co., Ltd.

[Abstract] With the advancement of the "dual carbon" goals, the synergy between new energy storage systems and hydropower has garnered widespread attention across society. New energy storage can compensate for the seasonal fluctuations inherent in hydropower generation, making their integration highly significant for enhancing grid stability. This synergy primarily involves deep integration between energy storage systems and hydropower projects throughout planning, operation, and maintenance phases, with comprehensive intelligent operation and maintenance covering all stages—from project planning and design to construction and operational maintenance—leveraging modern information technologies to enable condition-aware intelligent diagnostics. This paper elucidates the importance of a smart operation and maintenance management model for hydropower projects across their entire lifecycle within new energy storage frameworks, and proposes corresponding strategies including establishing an operational management system, integrating data and technological resources, implementing phased maintenance approaches, and building a multi-dimensional security protection system, thereby providing actionable insights for relevant stakeholders.

[Key words] Full life cycle; Operations and maintenance; Hydropower; Smart

引言

新型储能系统下，水电工程全生命周期智慧运维，可以提升电力系统灵活性以及能源系统韧性。近年来经济的不断发展，技术的不断持续突破，在水电与储能协同智慧运维下，应搭建远程管理体系，明确目标与管理边界，统一数据标准，规范运维流程；还应有效整合各类技术，注重多场景物联网部署以及数据中台建设，还能打造一体化协同运维平台。此外，水电工

程全生命周期智慧运维中，应积极开发AI驱动的智能决策系统，构建水储一体化调度模式；注重分阶段实施智慧运维策略，进而通过一系列的措施，助力能源转型与战略目标的实现。

一、新型储能协同下水电工程全生命周期智慧运维管理模式的实施意义

（一）提升电力系统韧性与灵活性

水电出力存在天然波动，新型储能具备快速，解决新能源

并网消纳难题，保障电网稳定运行^[1]。近年来技术不断发展，新型储能下水电工程全生命周期智慧运维，可以充分考虑工程设计、建设各阶段节点的有机结合，并注重各技术的有效融合，基于全生命周期完善数字孪生模型，驱动技术创新，进而提高电力系统韧性。而且智慧运维通过实时监测水电出力、储能状态等，可动态优化协同调度策略，提升电力系统对高比例新能源的承载能力；智慧运维模式依托智能传感、大数据分析，可提前预判设备风险、电网薄弱环节，制定应急协同方案，降低能源供应的系统性风险^[2]。传统水电运维存在效率低、成本高、设备损耗大等痛点。智慧运维通过物联网、AI 诊断、数字孪生等技术，可实现设备状态实时感知、故障智能预警、缺陷精准定位，降低运维人力、物力成本；新型储能的协同可优化水电运行工况，实现全生命周期成本的整体优化^[3]。

（二）推动生态环保

水电是低碳清洁能源，新型储能与水电协同，可以进一步顺应时代的发展节奏，充分发挥清洁能源优势，减少化石能源消耗。而且智慧运维可以充分利用现有的信息技术，实时监控水电项目生态影响，最大化水电和储能的清洁出力占比，减少对下游生态流量的扰动，积极践行绿色发展理念。全生命周期智慧运维从规划阶段就纳入生态考量，结合储能协同需求，可减少对水生生物、水文环境的影响，而且智慧运维可降低水电设备故障导致的漏油、废水排放等环境风险，推动能源开发与生态保护协同发展。

二、新型储能协同下水电工程全生命周期智慧运维管理模式的实施策略。

（一）构建智慧运维管理体系

近年来，新型储能深度融入，对水电工程全生命周期智慧运维提出了更高要求，在顶层设计中，应明确协同目标与管理边界，积极围绕规划、建设运行等核心环节，构建分层协同的智能感知体系。针对不同场景需求，定制化部署感知终端，打破传统水电运维与储能运维的割裂状态，明确全生命周期各阶段中水电与储能的数据交互规则，积极采用边缘感知、区域汇集+中心接入的分层架构。新型储能与水电协同，应成立协同决策中心，负责制定协同运维策略、审批重大决策等；同时还应构建全生命周期数据平台，注重数据标准化治理，以及搭建数据动态核心能力，如数据储存服务、知识沉淀等能力，在每个能力层面应细分相应内容。数据服务能力方面，可以提供标准化 API 接口；还应注重数据安全与合规保障。在构建智慧运维管理体系中，积极引入第三方评估机构，确保运维策略符合安全、能效、成本的目标，并统一数据标准，规范运维流程标准，针对水电与储能协同场景的安全风险，制定安全管控标准。

（二）强化技术协同创新

新型储能与水电工程的协同核心是功能互补，新形势下，

智慧运维中，应构建跨系统的协同监测体系，积极将水电与储能纳入统一调度体系，根据电网需求协同响应，建立水电设备与储能系统的健康度联合评估模型；运用机器学习算法，融合分析多元数据，挖掘潜在规律。通过风光功率预测数据，水电来水预测数据等，预判系统数据与需求的匹配风险；还应基于实际数据动态调整调度策略，最大化的利用水电清洁能源。协同体系构建过程中，应注重时空优化配置，将水电工程全生命周期的成本安全纳入调度模型，将水电大坝安全约束、储能系统安全约束等纳入调度模型，还应注重智能控制技术的有效落地，积极采用强化学习模型预测等算法，实现多维度策略的自适应优化。

（三）注重技术有效融合

1. 构建感知-融合-决策-执行技术体系

新型储能系统背景下，智慧运维中应积极顺应时代的发展节奏，充分利用现代化信息技术，搭建运维核心支撑平台，积极融合水电工程本体数据、储能系统数据、外部数据，并完善每个模块的数据体系，如信息储能系统应包含储能本体状态、储能变流器、运行数据等^[4]。全局感知数据体系中，应注重整合物联网传感器等技术，部署电池管理系统传感器，利用卫星遥感监测流域植被水体变化，并建立统一的数据标准，实现边缘计算节点对现场数据的预处理，进而形成标准化的数据资产。

2. 数字孪生及可视化技术的应用

在跨系统建模与智能分析技术应用过程中，应构建水电储能协同数字孪生模型，不仅还原物理设备属性，并嵌入设备运行机理，将水电与储能模型耦合，充分考虑水电的长期调节能源与储能的快速响应特性；还应融合 AI 算法与机理模型，进而通过一系列的措施，实现水电储能协同故障预测与健康管管理，提升协同效率。在智能决策与协同控制技术应用过程中，应构建一体化系统控制系统，采用分层控制模式，在电网调频场景下，快速响应能力，提供二次调频；并融入可视化 AR 技术，构建智慧运维决策平台，运用可视化技术展示关键指标；相关工作人员可以结合可视化状态进行决策，还可以利用自适应优化迭代技术持续优化迭代，协同调度策略、故障预测模型，延长设备使用寿命。

（四）全生命周期覆盖

1. 规划设计与工程建设

规划设计是水电工程全生命周期的源头，应结合流域资源禀赋与电网需求，明确水电与新型储能的协同定位功能，做好调查研究，项目选址中应同步规划储能系统布局，充分考虑水电与储能的地理距离、电气距离等，同时预留智慧运维基础设施^[5]。针对水电工程所处电网侧、电源侧、用户侧的不同需求，差异化配置基础设施。规划设计过程中，还应引入全生命周期成本分析方法，设备选型时，优先选择具备智能化接口数据库

通道设备,系统设计时还应预留协同调度控制接口,应坚持投资成本、能耗成本持续优化的前提下,满足运维接口数据要求。规划阶段,应搭建数字孪生模型,模拟全生命周期运维场景,制定水电与储能系统的设计规范。在工程建设阶段,应进行嵌入智慧基因,采用BIM技术开展水电与储能设施的系统设计,融入智能施工装备,并建立智能施工数据采集系统,形成全生命周期数据档案。工程建设过程中应同步部署物联网传感器数据采集设备,工程调试中积极开展联合调试,测试后故障联动和数据互动等功能,同时还应做好运维人员的培训工作,使运维人员能够掌握运维平台操作技能、协同调度流程^[6]。

2. 运行维护与退役处置

运行维护应依托新型储能等调节能力与智慧运维技术,构建协同运维体系,注重多元数据融合接入,依托物联网、AI算法等全生命周期监测储能系统、水电设备,利用数字孪生模型进行故障推演,提前预判潜在风险;并构建事前事中、事后闭环管理体系,发挥水电长周期调节与储能短周期快速响应优势。结合电力市场需求,优化水电与储能协同运营策略,建立运维闭环机制,实现故障上报、派单、处置到验收的全流程,并积极建设设备全生命周期健康管理体系,构建协同防护体系。在退役处置过程中,应将设备退役、资源回收纳入全生命周期管理体系,基于水电设备、储能系统等多方面的数据进行全周期价值评估;还应注重材料与设备回收利用,将退役设备的处置数据、回收数据录入数据中台。实现资源的循环。

(五) 构建全维度安全防护体系

新时代背景下,水电工程全生命周期智慧应用过程中,应积极构建主动防御动态适应的安全生态,注重全要素融合,整合水电设备储能系统,数字基础设施;还应构建跨系统的安全防护与联动机制。物理安全中,应分别完善水电核心设备防护,新型储能系统物理防护,直接引入变形监测、分布式光纤传感等技术,构建大坝数字孪生模型,保障监测系统在极端工况下的持续运行。相关企业还应针对电化学储能核心风险,采用电池管理系统实时监测数据,建立双电源供电系统,在功能安全防护过程中,应构建水电储能协同控制的安全用户模型,在操作界面设置权限分级与操作确认机制,搭建一体化监测平台,开发智能诊断算法,并注重应急预案的有效完善,定期开展实战演练。安全防护体系构建过程中,应构建分层安全防护架构,数据安全防护中,针对传感器数据进行真实性校验,传输数据进行加密,敏感数据进行加密储存,同时还能注重数据的清理过程的审计,搭建数据安全管理平台,建立数据分级分类管理制度,制。相关企业应积极完善组织架构,成立专门的安全管理团队,赋予各部门人员具体职责,制定详细的安全管理制度,分别完善安全考核机制,安全操作流程等内容,并建立安全风险分级管控机制,此外还应注重人员安全管理,注重安全考核的持续推进。

(六) 开发智能决策系统

智能决策系统可以实现运营模式的智能化,水电工程全生命周期运维管理中,应积极开发AI驱动的智能决策系统,运用机器学习算法,分析运维数据,建立故障预测模型,结合电网调度需求,开发水电与储能协同调度算法;并融合物理模型、数据模型、知识模型,实现预测诊断,优化决策。智能建模中应建立预防性维护优化模型,避免过度维护,构建水电运维知识图谱与储能运行知识图谱,将专家经验、行业标准转化为决策规则。在智能决策系统中,还应基于AI算法建模全生命周期成本,考虑多场景智能决策,在执行层将决策指令转化为具体操作。智能决策支持系统中,应建立多主体协同运维机制,包括运维商、电网多方协同平台;在关键技术支撑中,应进一步解决水电储能外部数据格式不统一,时序不同步问题,充分利用时空同步数据,数据质量治理技术,实现各数据的时空对齐;还应建立兼顾经济性、可靠性、环保性的多目标优化模型,用强化学习算法求解最优协同策略。

结束语

综上,新型储能系统下,水电工程全生命周期智慧运营管理模式可以支撑新型电力系统建设,提升水电工程的运维水平。在管理模式创新过程中,应积极注重数据驱动,全生命周期闭环管理,打通数据壁垒,注重动态优化,构建智能决策支持体系;还应充分运用轻量化技术,如多能互补、智能调度算法,边缘计算与云边协同架构。此外,智慧运维管理中,应积极开发AI驱动的智能决策系统,注重检修维护协同,并打造复合型智慧运维团队,构建全维度安全防护体系,进而通过一系列措施,确保模式的可持续性。

[参考文献]

- [1]禹澍.智慧化技术在新能源与水利水电工程全过程管理中的实践研究[C]//中国高校校办产业协会终身学习专业委员会.第七届教育信息技术创新与发展学术研讨会论文集(下).[出版者不详],2025:687-690.
- [2]尚海峰,范晓利,马宏斌.基于大数据的水利水电工程全生命周期管理研究[J].水上安全,2025,(14):64-66.
- [3]苏雪玲.基于全生命周期管理的水电工程项目档案质量控制研究[J].机电兵船档案,2025,(1):122-124.
- [4]陈杰.基于BIM技术的水利水电工程全生命周期管理分析[J].低碳世界,2024,14(10):124-126.DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2024.10.041.
- [5]黄灿新,王团乐,施炎,等.基于BIM的水利水电灌浆工程管理系统研发与应用[J].人民长江,2022,53(9):209-215.
- [6]孙少楠,宋宜昌.基于BIM+GIS的水利工程全生命周期建设管理研究[J].中国农村水利水电,2022,(10):131-137+142.

作者简介:蒋尚健,男,贵州省兴义市,大专,工程师,现场负责人。