

李雪梅, 钟青祥, 胡立春, 等. 大渡河流域电站智慧运行控制系统设计[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2025, 23(1): 150-156. LI X M, ZHONG Q X, HU L C, et al. Design of the intelligent operation control system for the Dadu River basin power stations[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2025, 23(1): 150-156. (in Chinese)

大渡河流域电站智慧运行控制系统设计

李雪梅¹, 钟青祥¹, 胡立春¹, 向文军¹, 闻昕²

(1. 国能大渡河流域水电开发有限公司, 成都 610041; 2. 河海大学水利水电学院, 南京 210098)

摘要: 新型电力系统建设带来的多元化需求, 对大渡河流域电站运行监视、上下游协同控制、智能化技术应用等方面提出了更高要求, 推动流域电站运行控制智慧化是保障电站安全高效运行的关键环节。面向大渡河流域电站运行控制核心业务, 分析流域电站运行控制发展现状和面临的问题, 提出流域电站发展需求, 对电站运行控制系统进行智能化升级, 建立涵盖电站运行监视、负荷调整、水风光储运行控制、远程操作、应急调度、数据治理等功能的智慧运行控制系统, 以此提高大渡河电站运行控制的安全性和可靠性, 为流域电站智慧化发展提供关键支持。

关键词: 大渡河流域; 运行控制; 需求分析; 发展规划; 智慧运行系统

中图分类号: TV212.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2025.0015

“双碳”目标^[1]下, 四川正在全面推进能源绿色低碳转型, 截至 2023 年底, 四川省水电装机容量达 9 759 万 kW, 居全国首位, 在能源转型中发挥着主力军和保驾护航作用。大渡河流域是四川电网的重要组成部分, 流域干流和主要支流水力资源蕴藏量 3 368 万 kW, 占四川省水电资源总量的 23.6%^[2], 在电力保障、调峰调频等方面发挥着重要作用。在新型电力系统建设背景下, 大渡河流域将面临诸多变革和挑战。一是四川省将优化电源结构, 预计 2025 年全省风电和光伏发电装机容量将超过 1 000 万 kW 和 2 200 万 kW^[3]。大规模风光发电的随机性和波动性将对清洁能源消纳和新型电力系统安全稳定运行构成新的挑战^[4-5], 大渡河流域水电将面临更高强度和频次的调峰调频任务^[6]。另外, 我国多个政策文件等^[7-8]提出因地制宜建设一批多能互补清洁能源基地, 流域电站类型和数量的增大对电站运行控制提出了更高的要求。二是随着大渡河流域水电的持续开发和灵活性改造, 相关设备的数量迅速增加, 其故障和异常运行所造成的风险也随之增大, 这对流域水电未来调度的准确性、安全性提出了更高的要求, 亟需加强对水电调度风险的分析和感知能力, 提高大渡河流域应对不同风险事件的决策水

平。三是随着云计算^[9]、大数据^[10]、物联网^[11]、人工智能^[12-13]等新一代信息技术的蓬勃发展, 传统依靠人工操作和管理的调度模式将逐步被数据驱动的智能模式所取代, 亟须加快流域电站运行控制与新一代信息技术的深度融合^[14]。在水利行业发展需求的推动下, 将智慧流域理论和水利行业实践相结合, 以数字赋能水利, 构建集自然水系、工程体系、管理体系和数字体系为一体的智慧水利体系, 是国际上共同选择的一种解决水问题的更加高效和可持续的方法^[15-16]。

随着流域水电生产自动化程度不断提高, 水电企业远程集控的运行模式也在广泛推广^[17], 提升流域梯级水电站集中运行控制管理水平, 对促进发电企业与电网调度机构之间灵活高效互动和促进电力运行风险管控体系发展具有重要意义^[18]。国内外学者分别从系统建设与运行管理等多方面展开了研究, 其中: 沙永兵等^[19]建立了基于 Python 数据可视化的水电集控平台主报警信息规则时序匹配与处置模型, 提升了水电集控平台主报警信息的可视化能力; 霍建伟等^[20]采用省级统建、多级应用模式, 从算力、算据、算法等方面大力推进水库信息化建设, 构建了具有预报预警预演预案功能的水库运行

收稿日期: 2024-04-18 修回日期: 2024-08-21 网络出版时间: 2024-09-05

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20240904.1709.012>

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52079040)

作者简介: 李雪梅(1989—), 女, 四川内江人, 工程师, 主要从事电力生产技术管理研究。E-mail: curve_kk@126.com

管理信息化体系;Zhong等^[21]通过SSH软件进行人机交互、数据处理和数据传输,完成数据的自动备份工作,实现对核心生产设备的数据集中与备份管理;Ma等^[22]提出了一种水电站运维监测数据安全共享方法,通过建立共享数据的数字身份,合理管理共享数据,保证用户数据的主权和数据的完整性,提高了数据共享的效率。在运行管理方面,胡春林等^[23]分析了水电集控的不同模式,结合水电生产管理关键业务和精益管理理论,提出了2种水电集控的精益化管理模式,为后续水电集控建设运营提供参考。当前研究大多集中于系统建设与软件开发,而在系统的具体功能设计与集成升级方向缺乏研究,使得相关的平台软件开发无法完全兼顾流域电站的实际调度需求,亟须进行相关研究的推进,以推动水电运行的智慧化朝着符合实际调度需求的方向发展。

当前,大渡河流域梯级电站已经在业内率先建成了以“流域多电站一键调度”为特色的调度体系,但是仍然以传统的集控模式为主,电站运行控制自动化程度不高,且由于大渡河属于多开发主体的典型河流,上下游电站归属不同业主,梯级电站统一运行控制在电站运行监视、上下游协同控制、智能化技术应用等方面还存在诸多问题^[24-25]。为此,通过分析当前大渡河流域电站运行控制的现状和痛点,明确流域在新型电力系统下的运行控制发展需

求,引入数据挖掘和人工智能等新兴技术,提出涵盖电站运行监视、负荷调整、水风光储运行控制、远程操作、应急调度、数据治理等主要功能的大渡河流域电站智慧运行控制系统,以实现电站运行控制的精准化和智慧化,主动适应新一轮能源革命带来的机遇与挑战,为未来的能源发展作出贡献。

1 大渡河流域电站运行控制系统建设背景

1.1 流域水电开发概况

大渡河是长江流域岷江水系最大支流,干流全长1 062 km,四川省境内长852 km,天然落差4 175 m,年径流量470亿m³,水能资源丰富,是我国第五大水电基地。截至2023年底,由国家能源集团大渡河流域水电开发有限公司负责开发的龚嘴、铜街子、瀑布沟、深溪沟、大岗山、枕头坝、猴子岩、沙南、吉牛9座水电站已投产,总装机约1 133.8万kW,当前实行所有投产电站远方集控和统一调度,对流域电站的协调运行控制提出了更高的要求。

1.2 流域电站运行控制现状与面临的问题

大渡河流域电站运行控制通过采集电站运行关键数据并实时做出决策来保障系统安全稳定运行,主要包括信息监视、功率调整、倒闸操作、应急调度、数据治理等核心任务。结合大渡河电站运行控制实际工作情况,分析当前具体业务现状见表1。

表 1 大渡河运行控制业务现状
Tab. 1 Status of operation control operations at Dadu River

业务	描述	现状
电站遥测及遥信信息监视	远程实时监测电站设备运行状态和遥信信号	依靠数据采集与监视控制系统,值班员24 h人工监视。
功率调整	根据电网需求,调整发电设备的输出功率,以维持电网稳定	采用EDC、AGC系统进行有功负荷自动调整,在系统投退时人工调整。 采用AVC系统进行无功负荷自动调整,在系统投退时人工调整。 人工与省调中心沟通进行短期有功调整,线上线下申请调整。
倒闸操作	集控电站的倒闸操作,包括操作票编写和安全校核	使用基于图形拓扑的智能成票技术,网源协同操作技术实现电站多层次操作。 操作时需人工至现场,双重确认。
应急调度	集控电站事故应急处置及大渡河公司应急值班	采用基于专家库的事故诊断支持系统,应急值班通过电话沟通,信息报送通过邮件形式。
数据治理	向电网调度、集团公司等报送集控电站电力生产信息	报表智能生成、校核,部分自动上报,部分需人工审核。

电站运行监视。目前电站运行监视主要依靠数据采集及监视控制系统实现,涉及开关站、机组、主变等多方面信号的实时监测主要局限如下:传统计算机监控系统噪声信号多造成大量报警信号未真实反映设备状态,指标间逻辑关系依靠人工判断,有效信息未被充分挖掘;由值班员24 h不间断监视,监视效率较低,巡屏质量不高,过多依赖值班人员

工作经验,巡视质量和精度存在差异^[26],难以及时发现潜在问题;缺少对于未来风光电站监视数据的接入准备,对风光接入后数据监视量暴增问题暂无有效预案^[27]。

随着智能化技术的发展,大渡河电站已开始探索智能监视技术,通过逻辑关系过滤无效过程信号,实现重要结果信号的智能报警,但仍亟须在智能监

视、智能巡屏技术、风光接入后的信号监视升级方面开展理论研究与应用,以提高设备可靠性,提高电站运行效率。

功率调整。功率调整是流域电站日常运行的关键环节,目前主要依赖调度控制处与省调中心的沟通协调来确定电站的功率调整方案,这些方案涉及有功和无功负荷的调整,以确保负荷按照调度命令执行且满足母线电压要求。当前实时有功负荷的调整主要采用经济运行控制(EDC)系统及自动发电控制(AGC)系统,由系统投退后采用人工调整。短期有功调整由调度控制处与省调中心沟通协调确定,主要方式为采用基于电厂门户管理平台进行线上负荷申请,以及通过电话进行线下申请。实时无功负荷调整采用 AVC 系统,在系统投退时采用人工调整。其中,EDC 系统覆盖瀑布沟、深溪沟、枕头坝 3 个水电站,AVC 系统、AGC 系统覆盖流域全站。

目前大渡河流域梯级电站实时功率调整存在协同决策复杂、负荷波动大、弃水问题突出等问题,以大渡河流域瀑布沟、深溪沟、枕头坝梯级水电站为例,分析 3 座梯级电站在典型年汛期的实际出力与计划出力过程与差值频率曲线见图 1、图 2。梯级电站在 2019 年 7 月的实际出力与计划出力之间的最大偏差达到了 268.2 万 kW,约占计划出力的 68.4%,平均偏差为 48.8 万 kW,平均偏差百分比(偏差值与计划出力值的百分比值)为 14.6%,有近 12% 的时段偏差超过 100 万 kW。可以看出,当前大渡河流域梯级电站在功率调整方面存在较大的提升空间。

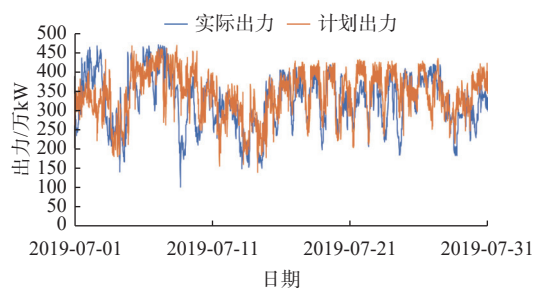


图 1 2019 年 7 月瀑布沟、深溪沟、枕头坝梯级电站出力过程
Fig. 1 Output process of the Pubugou, Shenxigou, and Zhentouba cascade power stations in July 2019

此外,流域电站在协同控制、市场信息融合等方面存在不足,主要体现在:EDC 技术尚未实现全流域电站的统一集中控制,存在上下游水量不匹配情况,仍需人工干预调整;现有技术与流域发展形势不匹配,相关技术尚未考虑风光接入后的控制需求,未考虑与电力市场相关方面的融合;智慧化程度不高,EDC 辅助服务市场目前已实现自动申报,

但审核工作仍需手动进行,同时 2 个细则的考核分析目前仍由人工分析;业务沟通智慧化程度严重不足,指令下达、负荷申请、业务联系等方面形式单一,存在信息交流失真、交流效率低等问题。对此,大渡河迫切需要升级集控电站负荷调整方面的协同感知能力,加强与电网机构的沟通协调,获取网架、潮流等流域决策关键信息,进一步将 EDC 技术拓展到全流域;拓展风电、光伏、市场等数据感知能力,在 EDC 辅助服务市场自动申报系统等方面做出可供应用的智慧化技术平台;构建 EDC 辅助服务市场申报结果自动审核系统,进一步开放线上业务办理范围。

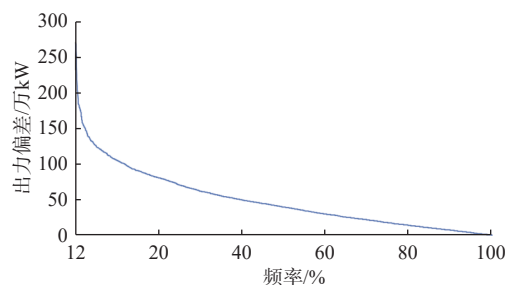


图 2 2019 年 7 月瀑布沟、深溪沟、枕头坝梯级电站实际出力与计划出力差值频率曲线

Fig. 2 Frequency curve of the difference between actual and planned output of the Pubugou, Shenxigou, and Zhentouba cascade power stations in July 2019

倒闸操作。倒闸操作涉及集控电站开关站开关及隔离刀闸的操作。当前技术半自动化程度较高,但现场设备状态的确认仍需人工完成,在远程操作、双方确认自动化、自动顺控操作等方面存在不足。目前基本实现了操作票的智能化生成和网源协同操作,但尚未实现全自动的顺控操作,仍需人工进行节点确认,具体表现:远程操作时需要值守人员前往现场进行确认;在双方确认自动化方面,部分操作项目需电站值守人员至现场检查设备状态;未实现全自动的顺控操作,仍需人工实现节点的复核确认,效率较低;在安全校核方面,虽然集控中心采用信号监视,但现场设备状态需人工确认。亟须通过引入高度自动化的远程操作系统,借助现代通信技术和传感器,实现倒闸操作的远程监控和控制;开发自动化操作系统,完善设备状态检查功能,引入双重确认机制,确保操作的可靠性;建立全自动的顺控操作系统,通过智能算法实现节点复核确认,降低人工干预的需求;同时,通过设立安全机制以保障操作的准确性和稳定性,提高倒闸操作的效率、安全性和可靠性。

应急调度及数据治理。应急调度主要涉及事故

应急处置和应急值班工作。目前流域研发了基于专家库及指纹库的事故决策支持系统,但应急处理方式仍为人工处理,在集控电站应急处置方面仍需进一步智能化报送机制,开展事故自动处置研究,辅助值班人员快速准备进行应急处置。亟须开发应急值班信息报送系统,实现事故初报、续报等流程的线上跟踪报送;完善与上级调度单位的沟通系统,打通应急值班与运行值班系统,实现交接班及日志的同步;需在自动处置机制等方面加大研发力度,提高应急调度水平。

数据治理业务包括制作并向电网调度、集团公司等报送集控电站电力生产信息。目前报表可智能生成、校核,部分实现自动上报,但大部分仍需人工审核后上报,自动化程度有待提高。为进一步提

升数据质量,需加强与上级调度单位的协调,以实现报表的全自动上报。

2 大渡河流域电站智慧运行控制系统建设

2.1 系统整体框架

传统运行控制系统的兼容性及信号处理能力已难以满足大渡河流域多能源一体化智能调度的需求,本文通过引入先进的技术和算法,提出新形势下大渡河流域电站智慧运行控制系统,从而全面提升流域运行控制系统智能化程度,克服传统运行控制系统的局限性。大渡河智慧运行控制业务主要包括流域电站主要发电设备的日常监视、负荷调整、水风光储运行控制、远程操作、应急调控、数据治理。流域智慧运行控制系统的发展架构见图3。

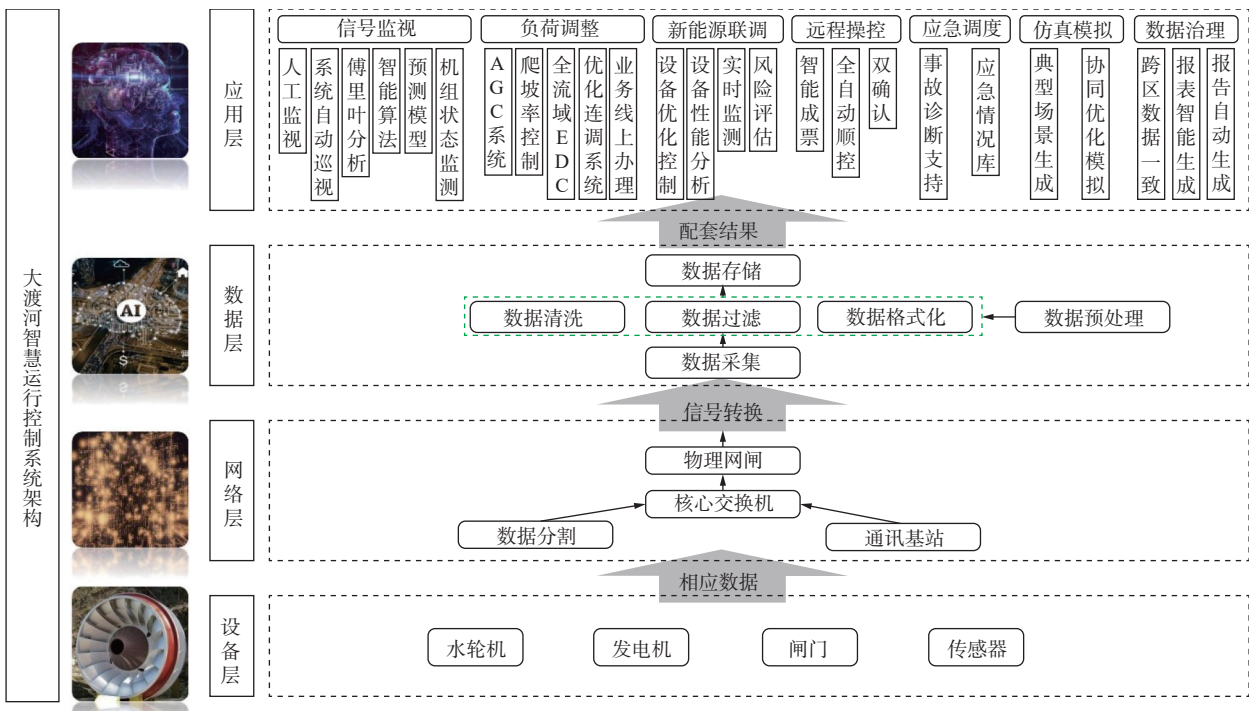


图3 大渡河流域电站智慧运行控制系统架构

Fig. 3 Architecture diagram of the intelligent operation control system for the Dadu River basin power stations

2.2 系统功能

2.2.1 智能监控, 预警联动

监控设备智能化拓展。通过调研流域各电站监控系统使用情况,对监控系统进行智能化升级改造,由独立监控系统向全流域统一智慧化监测系统拓展;研究满足智慧调度运行要求的各类机组状态监测智能组件(智能终端和智能电子装置),并在单台水电机组上进行试点应用。其中:智能终端通过物联网技术实时采集各类电站的设备状态与运行环境数据,利用大数据模型确保对光伏、抽水蓄能、传统水电等各类型电站设备状态和运行环境信息的全面、

准确采集;智能电子装置确保数据与电调系统的实时同步,进一步提升远程操控的精确性和安全性。

运行监盘升级。引入高级信号处理技术,如数字滤波和傅里叶分析,以降低噪声信号的影响,筛选必要信息,实现运行监盘系统全流域统一智慧化升级,具体包括:结合调度人员的监视经验和数据间的逻辑关系,利用人工智能模型提高信号的信息熵,进行异常信号的识别预警和排查,实现系统实时自动巡视;开发机器学习和人工智能应用,利用物联网技术、云协作视屏和信息集成平台,实时动态显示电站机组、大坝等重要设备和水工建筑物运

行状态,对工程运行信息进行实时采集、实时对比分析;开发实时数据分析和预测模型,引入决策树、神经网络等智能模型对工程运行信息进行实时处理和分析,在紧急情况下实现自动停止和强制制动等措施,保障运行安全;量化指标显示,实现信号处理准确率达 100%,异常信号识别预警的准确率提升至 95% 以上。

2.2.2 实时控制, 负荷调整

开展全流域 EDC 的研究,同时开展与新能源联合调度的融合研究,引入控制系统实时数据反馈机制,更新水电站的自动化控制系统,实现系统自动发出机组调整信号与机组负荷的平稳调整,使得负荷调整响应时间缩短至 10 s 内,调节精度达到 100%,具体包括:针对流域 EDC 技术覆盖范围较小、运行效率不高等问题,在现有 EDC 技术的基础上拓展至包括瀑布沟、深溪沟、枕头坝一级、枕头坝二级、沙坪一级、沙坪二级 6 个水电站的 EDC 策略,建立 6 站机组闸门多尺度协同调度决策技术;智能生成站间、站内负荷分配和闸门运用策略,并进一步推广至全流域,构建自适应的、高度自动化的流域电站集中控制系统,实时响应环境变化和系统需求,提高能源产出的效率和可靠性,实现流域内的最优水量分配;引入数据分析、人工智能、机器学习等算法,系统性地设计和完善智能功率调整系统,确保电站在各种运行条件下的功率调整需求得到高效满足。

2.2.3 多能互补, 智稳调度

构建水风光储一体化调度优化控制理论方法,同时借助大数据技术,综合考虑电网负荷、市场电价等多因素制定运行策略,精细管理光伏、风电等新能源电站,优化控制不稳定的新能源发电设备,提高能源利用效率,实现流域电站清洁能源发电上网率提升 20% 以上,具体包括:针对新型电力系统建设背景下水风光储多类型电源的互补运行问题,收集大渡河流域水风光储电站的规划和建设运行数据,对流域水风光储电站的发电能力进行分析和预测;构建大渡河水风光储多能互补优化运行模型,提出构建多尺度嵌套优化控制理论方法,响应不同时间尺度的风光新能源灵活性需求,实现资源的优化利用和系统的稳定运行;利用梯级水电站的调节能力降低新能源波动性和随机性对发电运行的影响,提高流域清洁能源发电能力,提升送出电能质量,实现电网对流域清洁能源的充分消纳,提高大

渡河清洁能源总体发电效益。

2.2.4 远程监视, 自动化顺控

丰富视频监视设备,提高操作确认识别的精度、效率和覆盖程度,实现操作正确性达 100%;基于专家系统和决策树模型,模拟和优化操作流程,自动执行相应的操作步骤,实现全自动的顺控操作,降低操作时间成本,实现操作效率提升 20% 以上;新增双确认功能,利用物联网技术实现远程控制和操作自动化,进一步增强系统的可靠性和安全性,降低操作风险和成本。

2.2.5 应急调控, 风险管理

针对大渡河流域可能面临的多类型灾害,建立专用的风险指标监控系统,实时监测各类关键性指标,研发流域多类型风险预警体系,实现流域不同突发事件风险的动态监控和实时预警,使得应急调度系统上报及时性达 100%;根据流域特点、环境特性,针对超标准洪水、极端干旱、库区滑坡、事故切机、水工设施故障等不同突发事件设置不同调度模式,实现系统自适应应急调度方案生成时间缩短至 10 s 内;根据风险类型、位置和等级科学调整流域各电站水位,智能生成应急调度策略并根据实际工况灵活调整。

2.2.6 仿真场景, 数据治理

仿真模拟培训。通过无人机倾斜摄影技术与 3D 激光扫描技术结合,获取现场调度实景的基础模型数据,进一步结合大数据技术,建立智慧调度仿真模型库和场景库,构建标准化的水电调度人员仿真培训体系;分析水电站运行各类业务和工序要求,采用 AR/VR 技术、机器学习和人工智能技术,定制与流域水电运行相关的典型场景,使操作人员能够在虚拟环境中获得实际操作经验,熟悉全流域水电的协同调度,更好地处理梯级电站运行中的复杂情景,提供受训者真实感的虚拟体验,确保电力供应的可持续性和质量。

跨区数据一致化程度提升。大渡河智慧水电调度的发展将使得接入数据爆发式增长,并呈现出多源、异构、高维等大数据典型特点,需通过数据分析技术实现跨区数据的一致化。具体包括:通过建立数据仓库,引入 ETL(extract, transform, load)工具,将不同站点的数据加载到中央数据仓库中;采用适当的数据库模型,如星型或雪花型模型,使得不同维度的数据能够相互关联,以支持数据的灵活查询和高效存储;将来自不同站点、不同源头的数据进

行统一,在数据整合的过程中建立数据关联关系,将数据标准化,确保整合后的数据能够为调度决策提供一致性的视图。

智能报表拓展。基于统一信息模型和数据共享,结合电站生产运行海量数据,构建智能报表应用,实现电力生产、综合管理等业务报表的智能化,根据用户的需求快速生成各类业务报告;采用数据挖掘和机器学习模型对海量数据进行预处理和分析,自动分析并提醒用户缺数和可疑数据,并按相应主题统计形成图文并茂的可视化报表,从而提高电站运行控制流程的办公效率,降低员工劳动强度。

3 结论

在新型电力系统下大渡河流域电站的传统运行控制方式存在自动化程度不高、电站运行效率较低、控制系统未实现全流域覆盖、未考虑新能源接入后的运行控制等问题。本文以自动化、数字化、信息化为基础,利用云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能等技术,构建了集合电站运行监视、负荷调整、水风光储运行控制、远程操作、应急调度和数据治理功能的大渡河流域智慧运行控制系统。该系统不仅能够显著提升流域的安全性能、调度效率与准确率,还能有效指导流域电站运行控制的发展建设方向,推动水电调度运行向着更加科学化、精准化、智能化的方向发展,为未来流域电站运行的智慧化和信息化发展奠定基础。

参考文献:

- [1] 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见 [EB/OL]. [2021-10-24]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm.
- [2] 陈在妮,吴双江.大渡河多业主梯级水电站联合调度机制初探 [J]. 甘肃水利水电技术, 2019, 55(10): 55-57. DOI: 10.19645/j.issn2095-0144.2019.10.014.
- [3] 四川省发展和改革委员会,四川省能源局.关于印发《四川省能源领域碳达峰实施方案》的通知(川发改能源〔2023〕3号)[EB/OL]. [2023-01-11]. <https://fgw.sc.gov.cn/sfgw/zcwj/2023/1/11/0903d9fc95914f208673b520331d1756.shtml>.
- [4] 杨钰琪,莫莉,周建中,等.负荷频繁波动情景下梯级水电站实时调度策略 [J]. 电力自动化设备, 2022, 42(7): 205-211. DOI: 10.16081/j.epae.202204047.
- [5] 章雅雯,马光文,朱燕梅,等.大规模水能富集电网短期多目标嵌套多能互补运行方式研究 [J/OL]. 中国农村水利水电: 1-15[2024-05-17]. [http://kns.cnki.net/](http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1419.TV.20240516.1454.004.html)
- [6] 易绍雯,黄炜斌,常高松.风光接入下瀑布沟水电站短期调峰优化调度研究 [J]. 水利规划与设计, 2024(4): 133-139. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2469.2024.04.024.
- [7] 中共中央 国务院.中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要 [EB/OL]. [2021-03-13]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
- [8] 中共中央 国务院.国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知 [EB/OL]. [2021-10-26]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-10/26/content_5644984.htm.
- [9] 朱嘉.大数据及云计算在水电运行中的应用 [J]. 设备监理, 2019(11): 46-50. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2465.2019.11.017.
- [10] 段美前,李胜,邓真平,等.面向水电大数据的数据采集与存储系统设计 [J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2022, 27(5): 5-8. DOI: 10.3969/j.issn.1008-8032.2022.05.002.
- [11] 寇菁悦.物联网技术在流域及梯级水电站集控系统的应用研究 [J]. 电工技术, 2019(8): 101-104. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2019.08.042.
- [12] 张可,孙艳,王晓鹏,等.区间水优先的水库群引供水调度规则研究 [J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(1): 124-133. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2024.01.011.
- [13] HU H X, MIAO Y Q, HU Q, et al. Optimization of reservoir operation scheme based on fuzzy optimization and convolution neural network[C]// Thirteenth International Conference On Digital Image Processing (ICDIP 2021), 2021: 11878.
- [14] 智慧水利:水利跨越式发展的重要路径 [N]. 中国水利报, 2018-03-08: (5).
- [15] 蒋云钟,冶运涛,赵红莉,等.智慧水利解析 [J]. 水利学报, 2021, 52(11): 1355-1368. DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.20210633.
- [16] 国家智能水网工程框架设计研究项目组.水利现代化建设的综合性载体:智能水网 [J]. 水利发展研究, 2013, 13(3): 1-5. DOI: 10.13928/j.cnki.wrd.2013.03.005.
- [17] 齐巨涛,谢崇扬.远程集控模式下的水电厂设备远程运维探讨 [C]//中国水力发电工程学会自动化专业委员会.中国水力发电工程学会自动化专委会换届大会暨 2023 年全国水电厂智能化应用学术交流会议论文集.华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 2023: 3. DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.010869.
- [18] 徐伟.流域水电运行风险源网一体化管理 [J]. 红水河, 2021, 40(5): 109-114. DOI: 10.3969/j.issn.1001-408X.2021.05.024.
- [19] 沙永兵,湛斐鸣,曹德勤,等.基于 Python 数据可视

- 化的水电集控平台主报警信息规则时序匹配与处置模型构建[J]. *水电能源科学*, 2023, 41(5): 182-186. DOI: [10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220566](https://doi.org/10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220566).
- [20] 霍建伟, 张军晖, 李永胜. 水库运行管理智慧化系统设计[J]. *河南水利与南水北调*, 2023, 52(1): 95-97. DOI: [10.3969/j.issn.1673-8853.2023.01.044](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-8853.2023.01.044).
- [21] ZHONG J Y, TANG J, YANG B, et al. Research and practice of automatic data backup of cascade basin power monitoring system[C]//2022 IEEE 6th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). 2023: 1214-1217. DOI: [10.1109/EI256261.2022.10116115](https://doi.org/10.1109/EI256261.2022.10116115).
- [22] MA Y J, HONG L, QIN T S, et al. Research on monitoring data security sharing method for hydropower station operation and maintenance[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, 2294(1): 012009. DOI: [10.1088/1742-6596/2294/1/012009](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2294/1/012009).
- [23] 胡春林, 吴辉, 曹德勤, 等. 水电集控运行模式研究[J]. *水电站机电技术*, 2024, 47(3): 92-94. DOI: [10.13599/j.cnki.11-5130.2024.03.029](https://doi.org/10.13599/j.cnki.11-5130.2024.03.029).
- [24] 李曦. 国家发改委等九部门: 印发《“十四五”可再生能源发展规划》[J]. *中国设备工程*, 2022(13): 1. DOI: [10.3969/j.issn.1671-0711.2022.13.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-0711.2022.13.002).
- [25] 路轶, 胡晓静, 孙毅, 等. 适应高水电占比的电力现货市场机制设计与实践[J]. *电力系统自动化*, 2021, 45(9): 162-170.
- [26] 张建云, 刘九夫, 金君良. 关于智慧水利的认识与思考[J]. *水利水运工程学报*, 2019(6): 1-7. DOI: [10.16198/j.cnki.1009-640x.2019.06.001](https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640x.2019.06.001).
- [27] 谢新民, 蒋云钟, 闫继军, 等. 流域水资源实时监控管理系统研究[J]. *水科学进展*, 2003(3): 255-259. DOI: [10.3321/j.issn:1001-6791.2003.03.001](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-6791.2003.03.001).

Design of the intelligent operation control system for the Dadu River basin power stations

LI Xuemei¹, ZHONG Qingxiang¹, HU Lichun¹, XIANG Wenjun¹, WEN Xin²

(1. Dadu River Basin Production Command Center of National Energy Group, Chengdu 610041, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The advent of a new power system has brought forth a multitude of demands, elevating the benchmarks for operational monitoring, collaborative control across upstream and downstream stations, and the deployment of intelligent technologies within the Dadu River basin's power stations. It is crucial that the safety and efficiency of these power stations are ensured by the transition to intelligent operation control. The core aspects of operation control in the Dadu River basin power stations was explored, analyzing the current development landscape and identifying challenges in watershed power station operation control.

In direct response to these challenges, a holistic development strategy and an intelligent enhancement of the operation control system were proposed. The upgraded system was designed to incorporate a range of functionalities which station operation monitoring, load adjustment, water, wind, and solar energy storage control, remote operation, emergency dispatch, and data management was included. Based on a thorough analysis of needs and the integration of advanced technologies, the development of this intelligent operation control system successfully met the demands of modern power systems.

Significant enhancements in the safety and reliability of operation control for the Dadu River power stations were achieved through the establishment of the smart operation control system capabilities in monitoring and adjusting loads, managing various forms of energy storage, and facilitating remote and emergency operations were crucial in improving the overall performance of these power stations. The integration of data management further streamlined operations, providing a robust framework for decision-making and oversight. The intelligent upgrade of the operation control system for the Dadu River basin power stations marked a critical step toward the intelligent development of watershed power stations. This system adeptly addressed not only the current challenges but also paved the way for future advancements in power station operations. By fully embracing automation, digitalization, and informatization, harnessing a constellation of technologies including cloud computing, big data, the Internet of Things, mobile internet, and artificial intelligence, the system demonstrated a immense potential of intelligent operation control in the new power system era.

Key words: Dadu River basin; operation and control; demand analysis; development planning; intelligent operation system