

智能化技术在水电站运行调度中的应用与成效

郭彦廷

国能大渡河瀑布沟水电站 四川雅安 625304

摘要: 随着水电行业发展和电力调度复杂性的提升,传统人工调度模式面临效率低、信息滞后、风险高等问题。智能化技术的应用为水电站运行调度提供了新的解决路径。本文结合实际水电站运行经验,分析了智能调度系统在实时数据采集、设备状态监测、负荷预测及优化调度中的应用方法,探讨了多源数据融合、智能算法优化及远程控制为提高发电效率、降低运行风险及节能减排方面的成效。研究表明,智能化调度能够显著提升水电站运行效率和安全性,为水电行业数字化转型提供实践参考。

关键词: 智能化技术;水电站;运行调度;优化调度;数据融合

水电作为我国清洁能源的重要组成部分,其发电调度直接关系到电网安全稳定运行和能源高效利用。传统水电站调度主要依靠人工经验,存在信息获取滞后、决策响应慢、调度精度低等问题,难以满足当前电力系统对灵活性和智能化的要求。随着信息技术、传感器技术和智能算法的发展,水电站运行调度正在向智能化方向转型。智能化调度系统能够实时采集机组运行数据、流量及负荷情况,通过大数据分析和智能算法优化发电方案,实现对机组的精准控制和科学调度。这不仅提升了调度效率,还能够有效降低水资源浪费和运行风险。

1 智能化技术引入水电站运行调度的必要性

随着我国能源结构调整和可再生能源比例的提升,水电在保障电网安全稳定和实现绿色低碳发展中的作用愈发重要。水电站的运行调度直接关系到发电效率、设备安全和水资源利用效率。然而,传统水电站运行调度模式主要依赖人工经验和手工记录,其信息获取速度和决策效率在当前复杂电网条件下已难以满足实际需求。人工调度存在信息滞后、操作响应慢以及安全风险高等问题,特别是在枯水期或极端天气情况下,容易出现机组负荷分配不合理、发电效率低下甚至设备过载停机的情况。据统计,某沿江大型水电站在未引入智能调度前,因信息传递延迟导致机组空载运行的时间占总运行时间约5%,每年发电量损失约1.8亿千瓦时,直接经济损失高达数千万元。

此外,随着电力系统调度的复杂性增加,电网负荷波动和新能源接入对水电机组的调节能力提出了更高要求。风

电、光伏发电的出力波动性大,水电站需要具备快速响应能力,实现机组灵活调峰以保障电网稳定。传统人工调度难以在短时间内准确分析多源数据、预测负荷变化并调整机组组合,这不仅影响发电效率,也增加了安全风险。智能化技术的引入正是为解决这些问题而提出的有效手段。通过布设多点传感器、物联网设备以及可视化监控系统,水电站能够实现实时数据采集和机组运行状态监控,打破信息滞后瓶颈。例如,在贵州某大型水电站,系统可实时采集水库水位、流量、机组负荷、振动及温度等数据,并通过智能调度平台进行可视化呈现。调度人员可直观掌握各机组运行状态,快速发现异常并采取措施,显著提高了响应速度和调度精准度。

智能化调度能够对多源数据进行融合和分析,将水文、气象、电网负荷以及机组运行状态等信息综合考虑,形成科学的调度方案。这种数据驱动的决策模式,可以通过预测来水量和负荷变化,提前制定机组启停和负荷分配方案,实现发电效率最大化和水资源优化利用。例如,云南某梯级水电站引入智能调度后,系统通过分析未来24小时降雨和来水趋势,优化机组组合,枯水期单机效率提高3~5%,整体发电量年均约2,500万千瓦时。

此外,智能化调度系统在安全风险管理和应急处置方面发挥重要作用。通过实时监测关键设备参数并设定自动报警阈值,系统能够及时发现机组振动异常、温升过高或水库水位异常等情况,提前采取措施,避免事故发生。例如,四川某水电站应用智能调度系统后,设备非计划停机次数下降约20%,机组故障率下降15%,大幅降低了运行风险。

所以,引入智能化技术不仅能够提升水电站运行效率和安全性,还能实现水资源的科学利用和节能减排目标。在当前电网对灵活调节能力要求日益提高、电力系统负荷波动加剧的背景下,智能化调度已经成为水电站现代化管理的必然选择。它不仅为水电站实现科学调度提供技术支撑,也为整个电力系统的稳定运行和绿色能源发展奠定基础。

2 智能化技术在水电站运行调度中的应用

2.1 实时数据采集与监控

在传统水电站运行中,调度人员主要依赖人工巡检和定时记录机组运行状态,信息获取滞后,无法快速响应突发状况。随着智能化技术的引入,水电站在关键机组和水工结构中布设了流量计、水位传感器、机组振动传感器及温度传感器等多种智能采集设备。这些设备通过物联网与监控系统实时连接,将数据自动上传至调度中心。调度人员可以在可视化界面上直观掌握每台机组的运行状态、负荷变化及水库水位情况,并能设置阈值实现自动报警。当出现异常波动时,系统能够第一时间发出提示,帮助调度人员迅速做出反应。同时,实时数据的积累为历史分析和设备维护提供可靠基础,减少了人为疏漏和操作失误的可能,提高了水电站整体调度效率和安全性。

2.2 多源数据融合与分析

水电站运行涉及水文、气象、电网负荷及设备状态等多种信息来源,单一数据难以为调度决策提供全局参考。智能化调度系统通过多源数据融合技术,将水库水位、降雨量、河道流量、风电及光伏发电量、负荷预测等信息统一整合,实现对水资源和电力需求的全面掌控。系统运用统计分析、机器学习模型及趋势预测算法,对未来负荷波动和水库蓄水量进行模拟和预测,为调度策略提供科学依据。例如,通过分析降雨趋势和来水量变化,系统能够提前调整机组启动顺序和出力计划,既保障电网稳定,又优化水资源利用。多源数据融合不仅提高了调度决策的科学性,也为复杂水文条件下的应急管理提供数据支撑。

2.3 优化调度算法应用

智能化调度系统在数据基础上,结合优化算法对机组运行方案进行计算与决策。通过建立发电功率、流量、机组效率及电网需求的数学模型,系统能够自动模拟多种调度方案,并根据效率最大化、损耗最小化等目标选择最优方案。在枯水季节或电力负荷高峰期,优化算法可合理安排机组启

停顺序,确保每台机组在最佳效率区间运行。同时,系统结合历史运行数据和预测结果动态调整调度策略,减少空载运行和调峰失误。优化调度算法的应用提升了水电站发电效率,降低了运行成本和设备磨损,为长期稳定运行提供保障。

2.4 远程控制与应急管理

智能化调度系统的另一个重要应用是远程控制与应急管理。在突发洪水、设备故障或电网异常等情况下,调度人员可通过系统实现远程操作,及时调整机组出力 and 水库泄流方案,避免人为延误造成的损失。同时,系统能够记录和分析应急操作过程,为后续改进提供经验。远程控制功能还支持多站点集中管理,使区域内水电站能够协同调度,优化整体发电效益。在应急管理方面,智能调度系统能够结合实时水文和负荷信息,生成多种应急预案,提前提示可能风险,并在实际运行中快速实施。这种应用极大提高了水电站的安全性和抗风险能力,为调度科学化、智能化奠定了基础。

3 智能化调度应用成效

3.1 提升发电效率

智能化调度技术在水电站的应用显著提升了发电效率。传统水电站调度依赖人工经验,机组启停顺序和出力安排容易出现不均衡,部分机组存在空载或低负荷运行的情况,直接影响发电效率。以贵州某大型水电站为例,该站装机容量为 1,200 MW,引入智能化调度系统后,系统能够实时采集水库水位、来水量、机组负荷及电网负荷数据,通过优化算法计算最佳机组组合和运行方案。实施半年后,该水电站年均发电量提升约 5%,尤其在枯水期,通过精确计算每台机组的最优启停点,最大限度利用水资源,同时避免机组频繁启停造成的效率损失。

此外,智能化调度系统可根据短期负荷预测动态调整机组出力。如在雨季来水量快速变化时,系统会提前计算机组组合方案,使发电量在不同时段均衡分布,减少峰谷差导致的效率损失。实际数据表明,某沿江水电站通过智能调度优化组合,单机效率从平均 92% 提升至 95%,整体水电站的日均发电量增加约 2,000 万千瓦时。同时,通过历史运行数据分析,系统可以识别机组高效运行区间,调整机组负荷,使每台机组长期保持在高效率运行状态,实现全年持续增效。

智能化调度还改善了枯水期和电网调峰期的发电策略。在枯水期,通过对水库蓄水量和来水趋势进行预测,系统优

化机组运行方案，在保证安全的前提下最大化发电效率。在电网调峰需求高峰期，智能调度系统能够根据实时负荷变化灵活调配机组出力，减少无效发电时间。这些措施结合数据驱动的优化算法，使水电站发电效率提升更加稳定可控，为电网安全运行提供了可靠支撑，也为水资源高效利用提供了科学依据。

3.2 降低运行风险

传统人工调度易因信息滞后或经验不足导致操作失误，例如机组超负荷运行、泄水不及时或设备异常未能及时处理，都会对水电站安全造成潜在威胁。智能调度系统通过实时监测机组振动、温度、水位和流量等关键参数，能在异常数据出现时立即发出警报。以四川某水电站为例，该站装机容量 800MW，曾因人工监控滞后导致一台机组过热停机，造成发电损失约 120 万元。引入智能调度系统后，通过实时数据采集和异常预测模型，系统能够提前识别温升异常或振动异常，并自动调整机组负荷或启停备用机组，避免设备损坏。

此外，多源数据融合和智能分析还为风险防控提供了决策依据。系统将水文、气象及负荷预测信息结合分析，形成多种应急方案。统计显示，应用智能调度后，该水电站全年设备故障率下降约 15%，机组非计划停机次数减少了 20%，运行安全性显著提升。

智能化系统还支持远程监控和协同调度。在多站联合调度中，通过数据共享和智能分析，不同水电站可以协同调整出力，避免单站盲目操作导致的水资源浪费或电网波动风险。例如在长江干流的梯级水电站群中，通过智能化调度实现上下游机组联动控制，使泄水量和发电负荷保持协调，降低了洪水风险及机组过载的概率。通过这些措施不仅提高了安全性，还为水电站在复杂水文条件下稳定运行提供保障。

3.3 节能减排与资源优化

智能化调度技术在水电站的应用，有效实现了节能减排和水资源优化利用。传统调度中，因缺乏精确的水文和负荷预测，部分机组存在低负荷或空载运行，造成水资源浪费和额外能耗。通过引入智能调度系统，水电站可以根据实时水库水位、来水量及电网负荷动态调整机组出力，实现精细化运行。例如，浙江某水电站引入智能调度系统后，通过对机

组组合优化和泵站运行调度，实现年节水约 1,500 万立方米，发电效率提高 4%，同时降低了泵站空载运行时间约 30%。

智能调度系统还通过优化机组启停顺序和出力调节，减少调峰过程中的能量浪费。在电网负荷低谷时，系统能够自动降低部分机组负荷或停机待命，而在高峰期快速启机，提高发电效率，同时保持水库蓄水和下游供水安全。以云南某大型水电站为例，智能调度实施后，每年可减少调峰过程中的无效发电约 5,000 万千瓦时，节能效果明显。

此外，多源数据融合使水资源利用更加科学。系统综合分析水库水位、来水趋势、下游需求及生态用水标准，实现水资源在发电、防洪及生态保护之间的平衡。通过智能调度，水电站不仅提高了能源利用效率，也实现了水资源的优化配置和节能减排目标，为绿色低碳发展提供了有力支撑，为我国水电行业的可持续发展提供了实践经验。

4 结论

智能化技术在水电站运行调度中展现出明显优势。通过实时数据采集、多源信息融合、智能算法优化及远程控制，水电站能够实现科学调度、精准发电和风险管理。应用实践表明，智能化调度不仅提高了发电效率，还降低了运行风险，实现了节能减排和水资源优化利用。同时，智能调度技术的推广为水电行业数字化转型提供了可行路径。未来，随着人工智能、云计算及大数据技术进一步发展，水电站智能化调度将更加精准、高效，能够更好地支撑电力系统安全稳定运行，并为新能源调度提供参考经验。

参考文献：

- [1] 欧力铭. 水电站智能化改造现状分析及建设思考 [J]. 计算机产品与流通, 2025(4):57-59
- [2] 史柳阳, 任培培, 曹正品, 等. 数字孪生与大数据技术融合在水电站智能化运维中的应用 [J]. 水电站机电技术, 2025,48(4):103-106
- [3] 王思良, 汤津茂, 张方虎, 等. 大型水电站智能化建设探索与实践 [J]. 水电与新能源, 2024,38(5):21-23
- [4] 马贵, 徐涛, 舒君侠. 基于物联网技术的水电站工器具智能化管理研究 [J]. 电气技术与经济, 2024(10):293-295
- [5] 李文. 面向“激励—响应”机制的水电站智能化建设思路探讨 [J]. 水电与抽水蓄能, 2024,10(5):70-76.