

水电站发电系统自动化控制技术升级及运行效益分析

张 堡

国能长源恩施水电开发有限公司 湖北恩施 445000

摘 要：本文主要探讨水电站发电系统自动化控制技术的升级以及对其运行效益产生的影响。通过对传统水电站自动化控制技术存在问题的剖析，阐述了自动化控制技术升级的关键方向，包括智能监测系统、优化调度算法、自适应控制策略等方面的改进。详细分析了技术升级后在提高发电效率、增强系统稳定性、降低运维成本等运行效益方面所取得的显著成效。研究表明，水电站发电系统自动化控制技术的升级对于提升水电站整体运行水平和经济效益具有重要意义，为行业发展提供了有益的参考。

关键词：水电站；自动化控制技术；运行效益；智能监测；优化调度

引言

随着科技的不断进步，水电站作为重要的清洁能源生产方式，其自动化控制技术也在持续发展。传统的水电站自动化控制技术在面对日益复杂的电力需求和运行环境时，逐渐暴露出一些局限性。为了更好地适应现代电力系统的发展要求，提高水电站的运行效益，对自动化控制技术进行升级势在必行。通过升级自动化控制技术，不仅可以提高发电效率，还能增强系统的稳定性和可靠性，降低运维成本，从而提升水电站在能源市场中的竞争力。本文将深入探讨水电站发电系统自动化控制技术的升级路径以及带来的运行效益。

1 水电站发电系统自动化控制技术现状及问题分析

1.1 传统自动化控制技术概述

传统水电站自动化控制技术主要建立在经典控制理论的基础之上，采用了一系列成熟但相对简单的技术手段。其中最具代表性的是基于 PID（比例 - 积分 - 微分）控制算法的各类调节装置，如调速器和励磁调节器等。这些控制装置通过特定的控制逻辑和反馈机制，在一定程度上实现了水电站主要设备的自动化运行功能，能够维持机组的基本稳定运行状态。以水轮机调速器为例，该系统通过实时监测水轮机的转速变化，采用 PID 控制算法计算出最优的导叶开度调节量，从而精确控制水轮机的转速，使其与发电机的同步转速保持高度一致，最终确保输出电能的频率稳定在标准范围内。同样地，励磁调节器通过持续监测发电机端电压的变化情况，采用闭环控制方式动态调整励磁电流的大小，有效维持发电机端电压的稳定性，为电力系统提供合格的电能质量。

1.2 存在的问题

1.2.1 设备状态监测能力不足

传统自动化控制技术在设备状态监测方面存在明显的局限性。其监测手段主要依赖于定期的人工巡检和简单的传感器数据采集系统，这种被动式的监测方式对于设备潜在的故障隐患难以做到及时发现和准确诊断。以水电站的关键设备为例，发电机定子绕组和水轮机转轮等核心部件在故障初期往往仅表现出一些细微的参数变化，如局部温度异常升高或振动幅度轻微增大等。然而，传统监测系统由于传感器精度不足、采样频率偏低以及缺乏先进的分析算法，无法对这些微弱信号进行有效捕捉和深入分析。这种监测能力的不足直接导致故障发现滞后，可能使初期的小问题逐渐演变为严重的设备损坏事故，不仅增加了维修成本，还可能影响电站的正常发电。

1.2.2 调度运行方式不够智能

传统的调度运行方式主要基于运行人员的经验和简单的数学模型，存在明显的智能化不足问题。这种调度方式未能充分考虑水电站的实时运行工况、来水情况的动态变化以及电力市场的需求波动。特别是在多机组联合运行时，各机组之间的负荷分配策略往往不够科学合理，无法实现整体发电效益的最大化。具体表现在：在枯水期和丰水期等不同水文条件下，调度系统没有根据实际的来水流量动态调整机组的运行组合和负荷分配方案。这种缺乏适应性的调度方式不仅导致发电效率降低，还造成宝贵的水资源未能得到充分利用。此外，在电力市场需求波动时，传统调度系统难以及时响应，无法实现发电效益与市场需求的动态平衡。

1.2.3 环境适应能力有限

水电站的运行环境具有复杂多变的特点,水位、水温、水质等环境因素都会对设备的运行性能产生显著影响。然而,传统自动化控制技术缺乏必要的自适应调整能力,当运行环境发生较大变化时,既定的控制参数难以实现自动优化,从而严重影响设备的运行稳定性和发电效率。以发电机冷却系统为例,在夏季高温条件下,环境温度的升高会显著影响发电机的冷却效果。但传统控制方式由于缺乏环境参数的自适应调节机制,无法根据温度变化自动调整冷却系统的运行参数,可能导致发电机温度持续升高,不仅降低发电功率输出,还可能危及设备的安全运行。类似的情况也存在于水轮机等其它关键设备中,显示出传统控制系统在环境适应性方面的明显不足。

2 水电站发电系统自动化控制技术升级方向

2.1 智能监测系统的构建

利用传感器网络采集来自不同设备、不同部位的多种类型的数据,包括温度、压力、振动、电流、电压等。通过多源数据融合技术,将这些数据进行整合和分析,以更全面、准确地反映设备的运行状态。例如,将发电机定子绕组的温度数据、振动数据以及电气参数数据融合分析,可以更精确地判断定子绕组是否存在局部过热、松动等故障隐患。

基于人工智能算法,如神经网络、支持向量机等,构建故障诊断模型。通过对大量历史数据和故障样本的学习,模型能够自动识别设备运行数据中的特征模式,实现对设备故障的早期预警和准确诊断。例如,利用神经网络建立发电机故障诊断模型,当输入实时监测数据时,模型可以快速判断发电机是否处于正常运行状态,若存在故障,能够指出故障类型和可能的故障位置。

开发可视化监测平台,将设备运行数据以直观的图表、图形等形式展示给运维人员。运维人员可以通过平台实时查看设备的运行状态、关键参数变化趋势以及故障预警信息等。例如,通过平台的三维模型展示水电站设备的整体布局,点击具体设备可查看详细的运行参数和历史数据曲线,方便运维人员及时掌握设备运行情况,做出科学决策。

2.2 优化调度算法的应用

建立综合考虑来水流量、水位、机组效率特性、电力市场价格等多种因素的调度模型。通过对这些因素的实时监测和分析,制定最优的发电调度方案。例如,在丰水期,根据来水流量的大小和电力市场价格的波动,合理安排机组的

发电负荷,优先运行效率高的机组,以实现发电效益的最大化;在枯水期,则更加注重水资源的合理利用,优化机组的启停和负荷分配,避免水资源的浪费。

采用动态规划和遗传算法等优化算法对调度模型进行求解。动态规划可以根据水电站不同时段运行状态和约束条件,逐步寻找最优的调度策略;遗传算法则通过模拟生物进化过程中的遗传、变异和选择机制,在解空间中搜索全局最优解。例如,利用遗传算法对多机组联合运行的调度方案进行优化,通过不断迭代计算,找到使发电效益最大且满足各种约束条件的机组负荷分配方案。

实现实时调度功能,根据实时监测到的来水情况、电力系统负荷需求等信息,动态调整发电调度方案。同时,采用滚动修正策略,以一定的时间间隔对调度方案进行重新优化和调整,确保调度方案始终适应实际运行情况的变化。例如,每15分钟根据实时水情和电网负荷需求,对机组的发电功率进行调整,保证水电站与电力系统的协调运行。

2.3 自适应控制策略的实施

对于水电站的关键控制设备,如调速器和励磁调节器,采用自适应控制技术实现控制参数的自动调整。通过实时监测设备的运行状态和外部环境参数,利用自适应算法动态优化控制参数,以适应不同的运行工况。例如,当水轮机的水头发生变化时,调速器能够自动调整导叶开度的控制参数,使水轮机始终保持在高效运行区域。

引入智能预测控制方法,对水电站设备的未来运行状态进行预测。根据预测结果提前调整控制策略,以应对可能出现的运行工况变化。例如,利用气象预报信息和水文模型预测未来一段时间的来水流量变化,提前调整机组的发电计划和控制参数,避免因来水突变导致机组运行不稳定或发电效率降低。

在水电站的多机组系统中,实施分布式协同控制策略。各机组之间通过通信网络实时交换运行信息,根据整体运行目标和各机组的实际情况,实现分布式的协同控制。例如,当电网发生故障或负荷突变时,各机组能够迅速响应并协同调整发电功率,共同维持电力系统的稳定运行。

3 水电站发电系统自动化控制技术升级后的运行效益分析

3.1 全面提升发电运行效率

通过部署先进的智能监测系统,实现对发电机组运行状态的24小时不间断监控,能够精准捕捉并快速处理各类影响发电效率的异常情况。以水轮机为例,系统通过高精度传感器网络对转轮磨损程度进行实时跟踪监测,当检测到磨

损量接近设计阈值时,立即触发预警机制并生成维修建议,确保在最佳时机进行转轮修复或更换作业,从而持续维持水轮机的最佳水力效率水平。与此同时,基于大数据分析的智能调度系统通过整合实时水文数据和电力市场供需信息,运用深度学习算法动态优化机组负荷分配方案,确保每台发电机组始终运行在最优效率区间。此外,系统具备的智能预测控制功能可提前72小时预测电力需求变化,结合实时调度模块制定最优运行计划,有效减少不必要的机组启停操作。机组频繁启停不仅会加速机械部件的磨损老化、大幅增加维护成本,还会因每次启停过程中的能量损耗导致整体发电效率显著下降。

3.2 全方位增强系统运行稳定性

智能监测系统配合先进的故障诊断模型构成了双重保障机制,能够通过多维度数据分析及时发现设备运行中的细微异常,在故障萌芽阶段就发出分级预警。运维团队可根据预警等级采取针对性的预防性维护措施,将潜在故障消除在初始阶段,从而确保整个发电系统的长期稳定运行。以发电机保护为例,当监测系统通过红外热成像技术发现定子绕组存在局部过热迹象时,立即启动自动降温程序并通知运维人员,有效避免了因温度持续升高导致的绕组绝缘损坏甚至烧毁等严重事故。在控制策略方面,系统采用的自适应控制算法使发电设备具备智能调节能力,能够根据水位波动、水温变化等环境参数自动优化控制参数。例如,当检测到水库水位发生显著变化时,调速器会智能调整导叶开度,励磁调节器同步优化励磁电流,确保机组转速和输出电压始终保持在设计允许范围内。这种自适应能力显著提升了发电系统对复杂工况的适应能力,大幅降低了因环境参数波动导致的系统不稳定现象,为电网安全稳定运行提供了坚实保障。

3.3 降低运维成本

智能监测系统通过实时采集和分析设备的运行参数,为运维团队提供了全面、准确的设备运行状态评估和故障诊断信息。这种基于数据的智能化监测方式,使运维人员能够实施更加精准、高效的维护策略。与传统运维模式相比,不再需要依赖固定周期的全面检修,而是根据每台设备的实际运行数据,制定个性化的维护方案。这种转变显著减少了不必要的维护工作量和相关成本支出。在实际应用中,运维人员可以根据监测数据做出科学决策:对于运行参数稳定、性能良好的设备,可以合理延长维护间隔;而对于出现异常指标或存在潜在故障风险的设备,则能够及时安排针对性维修。这种差异化的维护策略有效解决了传统模式中存在的过

度维护和维修不足的双重问题。

通过持续监测和数据分析,系统能够早期发现设备运行中的异常情况,及时识别故障隐患。同时,基于监测数据优化设备的运行参数设置,确保设备始终处于最佳工况。这些措施显著降低了设备的异常磨损和意外损坏风险,从而有效延长了设备的使用寿命。以发电机组为例,通过实时监测转速、温度、振动等关键参数,并结合自适应控制系统,能够避免设备长期处于过载运行或温度过高等不利工况。这种精准的监测和控制有效防止了发电机绝缘材料过早老化、轴承等关键部件异常磨损等问题,不仅大幅延长了发电机的使用寿命,还显著降低了设备提前更换的成本投入,为企业创造了可观的经济效益。

4 结论

水电站发电系统自动化控制技术的升级对于提升水电站的运行效益具有重要意义。通过构建智能监测系统、应用优化调度算法和实施自适应控制策略,能够有效解决传统自动化控制技术存在的问题,提高发电效率、增强系统稳定性、降低运维成本。案例分析也进一步验证了技术升级带来的显著成效。在未来的发展中,随着人工智能、大数据、物联网等技术的不断进步,水电站自动化控制技术将持续升级和完善,为清洁能源的高效开发和利用提供更有力的支持。各水电站应积极推进自动化控制技术的升级改造,以适应电力行业的发展趋势,提升自身的竞争力和经济效益。同时,相关科研机构和企业应加强技术研发和创新,为水电站自动化控制技术的发展提供更多先进的解决方案。

参考文献:

- [1] 杨年浩,陆杰,刘壮,等.考虑尾水拓挖的水电站引水发电系统运行稳定性[J].人民长江,2025,56(09):235-241.
- [2] 张文传,王翔,翁永红,等.乌东德水电站集运鱼系统试运行效果及其影响因素研究[J/OL].水生生态学杂志,1-12[2025-09-29].<https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.202404090121>.
- [3] 张星华.南岸水电站水力机械改造分析[J].小水电,2025,(04):54-57.
- [4] 贺荣.气象技术在水力发电行业的应用综述[J].水电与新能源,2025,39(07):32-35.
- [5] 杨年浩,陆杰,刘壮,等.考虑尾水拓挖的水电站引水发电系统运行优化控制[J/OL].人民长江,1-9[2025-09-29].<https://link.cnki.net/urlid/42.1202.TV.20250513.1320.002>.