

水电站自动化技术研究

董鸿伟

江苏省淮沭新河管理处 江苏 淮安 223003

摘要：水电站自动化系统集成控制、监测与调度于一体，实现了电力生产的高效与安全。随着智能化技术、高速通信技术和精准监测技术的发展，水电站自动化技术不断革新。水轮机调节、发电机励磁、电气设备监控及水库调度等关键环节均实现了自动化控制，显著提升了水电站的运行效率和稳定性。本文旨在探讨水电站自动化技术的现状及其在具体应用中的成效，为水电站自动化技术的进一步优化提供参考。

关键词：水电站；自动化技术；现状；应用

引言

在全球能源结构加速调整、可持续发展理念深入人心的当下，水电作为清洁、可再生能源，在电力供应体系中的地位愈发重要。水电站自动化技术成为提升水电生产效率、保障运行安全稳定的关键支撑。它融合了自动控制、通信、监测等多领域前沿成果，通过智能化控制系统、高速通信网络及精准监测手段，深度赋能水电站各环节运行。探究其发展现状与应用，对推动水电行业高质量发展意义深远。

1 水电站自动化系统概述

水电站自动化系统是现代水电站不可或缺的重要组成部分，它集成了现代计算机技术、通信技术、自动控制技术和监测技术，旨在提高水电站的运行效率、安全性和可靠性，降低运行成本，实现电站管理的现代化。水电站自动化系统通常包括数据采集与处理单元、监控主机、操作员工作站以及通信网络等核心组成部分。数据采集与处理单元负责实时采集现场设备的状态和运行参数，而监控主机则对采集到的数据进行处理，并根据预设的逻辑进行控制决策。操作员工作站为操作人员提供了直观、便捷的监控和操作界面。通信网络则连接各个监控单元，实现数据的高效交换和共享。在自动化系统中，发电机励磁系统和发电机调速器发挥着关键作用，励磁系统控制发电机的励磁电流，以维持电压稳定；调速器则调节水轮机的导叶开度，从而控制发电机的转速和输出功率。自动化系统还对发电机、变压器、母线等主要电气设备进行保护，防止设备过载、短路等故障的发生。水电站自动化系统还具备对水文、气象、水工结构、环境等进行全面监测的能力，它能够实时采集电站内各种设备的运行数据，并进行处理和分析，及时发现设备运行的异常情况并报警。根据电站运行需求，自动化系统能够自动调节设备参数，保持电站的稳

定运行，在设备发生故障时，系统能够迅速切断故障设备，保护电站安全。水电站自动化系统通过实时监控、自动控制和信息管理，显著提升了水电站的自动化水平，为电站的安全、经济和高效运行提供了有力保障，是推动水电站现代化管理的重要手段。

2 水电站自动化技术的现状

2.1 控制系统智能化程度逐步提升

在水电站自动化进程中，控制系统智能化程度的提升极为关键。传统控制系统依赖人工操作与简单逻辑判断，面对复杂多变的工况常力不从心。如今，智能控制系统融合先进算法与模型，能精准感知水电站内设备运行状态与外部环境变化。以智能调速器为例，其运用自适应控制算法，可依据水轮机的实时水头、流量等参数，自动调整导叶开度，确保水轮机始终维持高效稳定运行。相较于传统调速器，响应速度大幅提升，调节精度可达 $\pm 0.1\%$ ，有效减少了机组振动与磨损，延长设备使用寿命。人工智能技术也深度融入水电站控制系统，通过机器学习算法对海量历史运行数据进行深度挖掘与分析，构建设备故障预测模型。当设备出现潜在故障隐患时，系统能提前发出预警，为检修人员争取宝贵时间，降低非计划停机风险。如某大型水电站引入基于神经网络的故障诊断系统，自投入使用后，设备故障导致的停机时间缩短了30%，显著提升了发电效益。智能控制系统还具备远程监控与操作功能，运维人员可通过移动终端或电脑，在千里之外实时掌控水电站运行情况，对设备进行远程启停、参数调整等操作，极大提高了运维效率与管理水平^[1]。

2.2 通信技术实现高速可靠传输

通信技术是水电站自动化系统的神经网络，其高速可靠传输性能保障了系统各部分间信息的及时交互。随着通信技术的飞速发展，光纤通信凭借其带宽大、抗干

抗能力强、传输速率高等优势,成为水电站通信的主流方式。在大型水电站中,构建起覆盖全站的光纤通信网络,将各个控制单元、监测设备、上位机等连接成一个有机整体。数据传输速率可达千兆甚至万兆,能在毫秒级时间内将设备运行状态、实时数据等信息传输至控制中心,为控制系统快速决策提供有力支撑。无线通信技术也在水电站中发挥着重要补充作用,在一些布线困难的区域,如偏远的坝区、山区监测点等,采用4G、5G等无线通信技术,实现设备数据的远程传输。这些无线通信技术具备较强的信号穿透能力与移动性,可确保在复杂地形环境下数据传输的稳定性,通过与光纤通信网络的融合,形成了有线无线互补的通信架构,进一步提升了通信系统的可靠性。例如,在某水电站的巡检工作中,巡检人员利用搭载5G通信模块的智能终端,实时将现场设备的高清图像、视频以及检测数据传输至后台,专家可远程进行分析诊断,指导巡检工作,大大提高了巡检效率与准确性。为保障通信安全,水电站通信系统还采用了加密传输、身份认证等技术手段,防止数据被窃取或篡改,确保通信的安全性 with 可靠性。

2.3 监测系统向全面精准化发展

水电站监测系统的全面精准化发展,对于保障电站安全稳定运行意义重大。如今的监测系统不再局限于对关键设备的运行参数监测,而是涵盖了水电站运行的方方面面。从水轮机、发电机等核心设备,到大坝、闸门、压力管道等水工建筑物,均配备了高精度的监测传感器。这些传感器可实时采集设备的振动、温度、压力、位移等多种参数,并通过数据采集与传输系统,将数据汇聚至监测中心。以大坝安全监测为例,采用了分布式光纤传感技术,可对大坝的应力、应变、渗流等进行全方位、分布式监测。相较于传统监测点式传感器,分布式光纤传感技术能实现对大坝结构的连续监测,精准定位异常部位,且测量精度高,可达微米级。在水轮机监测方面,运用多物理场耦合监测技术,综合分析水轮机内部的水流场、压力场、温度场以及机械振动等参数,能更全面准确地评估水轮机的运行状态。一旦发现设备运行参数偏离正常范围,监测系统立即启动预警机制,通过声光报警、短信通知等方式,及时告知运维人员。利用大数据分析 with 人工智能技术,对监测数据进行深度挖掘与分析,可实现设备性能劣化趋势预测,为设备维护检修提供科学依据,变被动维修为主动维护,有效提升水电站的运行可靠性 with 经济性^[2]。

3 水电站自动化技术的具体应用

3.1 水轮机调节系统自动化

(1) 水轮机调节系统自动化是水电站运行的关键环节。通过精准的自动化控制装置,可依据水电站的实际负荷需求,实时调整水轮机的导叶开度。该过程利用传感器收集水轮机的转速、流量等关键参数,将信息反馈至控制系统。控制系统经复杂运算后,发出指令精确调节导叶,以此确保水轮机在不同工况下均能维持稳定运行,保障电能输出的稳定性 with 可靠性。(2) 自动化水轮机调节系统具备快速响应特性。当电力系统负荷发生突变时,能在极短时间内调整水轮机出力,有效抑制转速波动,避免对电力系统造成冲击。这一特性不仅有助于维持电力系统的频率稳定,还能降低水轮机因频繁负荷变动产生的机械磨损,延长设备使用寿命。例如在丰水期,用电需求变化频繁,自动化水轮机调节系统可迅速适应,保障电力供应。(3) 在提升水电站运行效率方面,水轮机调节系统自动化发挥着重要作用。它能够根据上下游水位变化、来水流量等条件,优化水轮机运行工况,使水能利用率达到最大化。通过自动化寻优算法,控制系统可找到不同工况下的最佳导叶开度与机组转速匹配,减少能量损耗,提升水电站整体经济效益。在多机组水电站中,还能实现各机组间的协调运行,进一步提高发电效率。

3.2 发电机励磁系统自动化

(1) 发电机励磁系统自动化对于保障发电机稳定运行及电力系统的安全至关重要。自动化励磁系统能够实时监测发电机的运行状态,包括端电压、电流、功率因数等参数。根据这些参数,系统自动调节励磁电流,确保发电机输出电压的稳定性。在电力系统发生故障或负荷突变时,能快速响应,提供足够的励磁电流,维持发电机的同步运行,防止失步现象发生。(2) 该系统具备强大的调节功能,可实现恒电压、恒电流、恒功率因数等多种调节方式。在不同的运行场景下,能依据实际需求灵活切换调节模式。例如在远距离输电时,为补偿线路压降,可切换至恒电压调节模式,保证受电端电压稳定。在与其他发电机并列运行时,通过恒功率因数调节,可优化无功功率分配,提高电力系统的稳定性和输电能力。(3) 自动化励磁系统还具备完善的保护功能。当检测到发电机出现过励磁、欠励磁、失磁等异常情况时,能迅速采取保护措施,如自动限制励磁电流、切换备用励磁电源等,避免发电机因故障受损。通过与电力系统自动化装置的通信连接,可将励磁系统的运行信息实时上传至监控中心,便于运行人员及时掌握设备状态,进行远程监控与管理,提高水电站运行的智能化水平^[3]。

3.3 电气设备监控自动化

(1) 电气设备监控自动化为水电站的安全、可靠运行提供了有力保障。通过安装在各类电气设备上的传感器和智能监测装置,可实时采集设备的运行数据,如温度、电流、电压、功率等。这些数据经通信网络传输至监控系统,监控系统运用数据分析算法对数据进行处理和分析,从而实时掌握电气设备的运行状态。例如,通过监测变压器的油温、绕组温度以及油位等参数,可及时发现变压器可能存在的过热、漏油等故障隐患。(2) 自动化监控系统具备故障诊断与预警功能。当监测到设备运行参数异常时,系统能迅速进行故障诊断,判断故障类型和位置,并发出预警信号。运行人员可根据预警信息及时采取措施,避免故障扩大。例如,在断路器出现异常分合闸动作或触头温度过高时,监控系统能及时察觉并提示维护人员进行检修,防止因断路器故障引发停电事故。(3) 电气设备监控自动化还实现了远程操作与控制。运行人员在监控中心即可对电气设备进行分合闸、启停等操作,无需现场手动操作,这不仅提高了操作的便捷性和安全性,还能在紧急情况下快速响应,保障电力系统的稳定运行。在水电站的日常巡检中,自动化监控系统可协助巡检人员确定重点检查设备,提高巡检效率,降低人力成本,提升水电站整体运维管理水平。

3.4 水库调度自动化

(1) 水库调度自动化借助先进的信息技术和自动化手段,实现对水库水资源的科学、高效管理。通过建立水库水情监测系统,利用雨量计、水位计、流量计等设备实时采集水库的降雨、水位、入库流量、出库流量等数据。这些数据经无线通信网络传输至水库调度中心,为调度决策提供准确依据。在汛期,可实时掌握水库来水情况,合理安排泄洪,保障大坝安全。(2) 自动化水库调度系统集成优化调度模型。该模型综合考虑水库的防洪、发电、灌溉、供水等多种功能需求,运用数

学算法对水库的水位、蓄水量、出库流量等进行优化计算,制定出最优调度方案。例如在枯水期,为满足发电和下游供水需求,模型可根据来水预测,合理调整水库蓄水量和出库流量,实现水资源的最大化利用。在丰水期,兼顾防洪和发电效益,优化泄洪时机和流量,提高水电站发电效益。(3) 水库调度自动化实现了远程监控与操作。运行人员可通过监控系统实时查看水库各设施的运行状态,如闸门开度、水泵运行情况等,并能远程控制这些设施的运行。在遭遇突发洪水等紧急情况时,可迅速远程操作闸门泄洪,保障水库及下游地区的安全。自动化系统还能与气象部门的天气预报系统对接,提前获取降雨信息,为水库调度提供更精准的决策支持,提升水库调度的科学性和时效性^[4]。

结语

综上所述,水电站自动化技术在当下取得了显著进展。控制系统智能化、通信高效稳定以及监测全面精准,为水电行业带来了巨大变革。从水轮机调节到水库调度等多方面的自动化应用,极大提升了水电站运行的安全性、稳定性与高效性。未来,随着技术持续创新,水电站自动化技术有望进一步挖掘潜能,推动水电行业向更加绿色、智能、可持续的方向大步迈进,在能源领域发挥更为关键的作用。

参考文献

- [1]刘池生.某水电站水轮发电机组自动化改造研究[J].水电站机电技术,2025,48(1):57-59.
- [2]王圯.浅析水电站电气工程中自动化技术的运用[J].模型世界,2024(36):132-134.
- [3]徐晓莉,胡星,钮月磊.数字孪生水电站故障诊断技术的研究应用[J].水电站机电技术,2024,47(11):66-70.
- [4]吴庆禄.某中小型水电站水轮发电机组自动化改造[J].水电站机电技术,2024,47(10):43-45.