

研究抽水蓄能电站电气工程自动化技术及其应用

康 虎

陕西镇安抽水蓄能有限公司 陕西 商洛 711500

摘 要：抽水蓄能电站作为电力系统的重要组成部分，电气工程自动化技术的应用对其高效稳定运行至关重要。本文探讨了抽水蓄能电站电气工程自动化技术的构成，包括智能控制技术、电力电子技术和信息融合技术等关键技术。我们还分析了这些技术在机组自动化运行、电站监控与调度以及故障诊断与预警等方面的应用，并指出了电气工程自动化技术的应用优势及其在未来抽水蓄能电站中的发展趋势。

关键词：抽水蓄能电站；电气工程；自动化技术

引言

抽水蓄能电站，作为电力系统中至关重要的调节与储能环节，其运行效率及稳定性对整个电力系统的性能有着直接影响。随着电气工程自动化技术的迅猛进步，该技术在抽水蓄能电站中的应用变得愈发广泛与深入。本文深入剖析抽水蓄能电站电气工程自动化技术的核心构成及其在电站中的具体应用，旨在为电站的高效、智能运行提供坚实的理论支撑与实践指导，进一步推动抽水蓄能电站向更加现代化、智能化的方向发展。

1 抽水蓄能电站电气工程自动化技术构成

(1) 抽水蓄能电站的电气工程自动化技术由多个关键部分构成。监控系统作为核心，承担着对水轮机、发电机等各类设备电气与非电气参数的采集、处理及分析工作，能依据预设策略远程操控设备，像机组启停、负荷调节等，还具备故障诊断、报警与事件记录功能，让运维人员实时掌握设备状况并及时应对^[1]。(2) 继电保护系统旨在保护电气设备免遭过载、短路、接地等故障威胁。它能迅速精准检测故障信号并立即动作，切除故障设备以防其恶化。针对不同设备与故障类型，有发电机差动保护、变压器瓦斯保护等多种装置，且随自动化技术进步，已拥有自适应与自诊断能力，可靠性与灵敏性大幅提升。(3) 自动化元件遍布电站各环节，涵盖传感器、执行器与控制装置。传感器采集设备运行物理量并转换为电信号传至监控或控制装置，如温度传感器监测温度、压力传感器测量压力；执行器依控制信号操控设备，像电磁阀控制流体通断、电动调节阀调节流量；控制器如PLC，依程序与逻辑关系处理输入信号并输出控制信号给执行器，达成设备自动化控制。(4) 通信网络是连接各自动化设备与系统的纽带，确保信息快速准确传输。运用工业以太网、现场总线等多种技术，实现监控系统与继电保护系统、自动化元件间的数据交互。工业

以太网适合监控系统大量数据传输，现场总线则在自动化元件连接上可靠性高、实时性强。合理构建与优化通信网络，对提升电站自动化系统整体性能意义重大。

2 抽水蓄能电站电气工程自动化关键技术

2.1 智能控制技术

(1) 模糊控制是一种基于模糊逻辑的智能控制方法，它不需要精确的数学模型，而是根据操作人员的经验和专家知识，将控制规则用模糊语言来描述。在抽水蓄能电站中，对于一些具有非线性、时变特性的对象，如机组的调速系统，模糊控制能够取得较好的控制效果。通过模糊规则来确定机组的转速调节量，根据当前转速与设定转速的偏差以及偏差的变化率，模糊控制器输出相应的调节信号，使机组转速快速、稳定地跟踪设定值，提高了机组运行的稳定性和响应速度。(2) 神经网络具有强大的自学习和自适应能力，能够对复杂的非线性系统进行建模和控制。在抽水蓄能电站的负荷预测方面，神经网络可以利用历史负荷数据、气象数据，类型等多种因素作为输入，通过训练学习建立负荷预测模型。该模型能够根据当前的输入信息预测未来一段时间内的电力负荷需求，为电站的机组调度和运行计划提供依据。在机组控制方面，神经网络可以对机组的动态特性进行学习和逼近，实现对机组的优化控制，提高机组的效率和可靠性。

2.2 电力电子技术

电力电子技术是抽水蓄能电站实现高效运行的关键技术之一。尽管当前我们电站的抽水蓄能机组在抽水与发电过程中均保持恒定频率和转速，但电力电子技术能够通过变频器精确调控电机供电频率，理论上可大幅提升机组的运行效率和灵活性。随着技术的不断演进，电力电子技术有望在未来成为我们电站升级转型的重要支撑，助力我们实现更智能、更高效的能源管理，推动电

站向绿色、低碳方向持续发展。而在现代电力系统中，抽水蓄能电站开始广泛采用先进的调节技术，其中AVC（自动电压控制）便是一个重要代表。AVC系统通过一系列复杂的算法和控制策略，实现对电站内部电压的自动调节，确保电压稳定，满足电力系统的需求。AVC系统利用先进的传感器和计算技术，实时监测电站的电压和无功功率情况，然后根据预设的控制策略进行快速、准确的调节。它能够在极短的时间内响应电力系统的变化，确保抽水蓄能电站与电网之间的无功交换保持稳定，从而增强电力系统的整体电压稳定性和动态响应能力。

2.3 信息融合技术

抽水蓄能电站涉及大量的设备和复杂的运行工况，信息融合技术能够将来自不同传感器、不同系统的信息进行综合处理和分析，提取出更有价值的信息。将机组的振动传感器、温度传感器、电气参数传感器等采集到的信息进行融合，可以更全面地了解机组的运行状态，及时发现潜在的故障隐患。通过数据挖掘和分析技术，对历史运行数据和实时监测数据进行融合处理，能够建立设备故障预测模型，提前预测设备可能出现的故障，为预防性维护提供依据，提高电站的可靠性和可用性。

3 电气工程自动化技术在抽水蓄能电站中的应用

3.1 机组自动化运行

(1) 机组启动与停止。在机组启动过程中，自动化系统按照预设的启动程序，依次完成对机组各部分的检查和准备工作，如对润滑油系统、冷却系统、制动系统等进行检查和启动，然后逐步开启导叶，启动水轮机，带动发电机旋转，并网发电。在机组停止时，自动化系统先将机组负荷减至零，然后按照相反的顺序关闭各设备，完成机组的停机操作。整个过程由自动化系统自动控制，无需人工过多干预，提高了机组启动和停止的准确性和安全性，同时也减少了操作人员的劳动强度。

(2) 机组负荷调节。根据电力系统的负荷需求，自动化系统实时调节机组的发电负荷或抽水负荷。通过对电网频率、电压等参数的监测，当系统负荷增加时，自动化系统增加机组的发电出力；当系统负荷减少时，相应地降低机组发电负荷或切换到抽水工况。在负荷调节过程中，采用智能控制算法，如上述的模糊控制或神经网络控制，能够使机组快速、平稳地跟踪负荷变化，保证电力系统的频率和电压稳定。

3.2 电站监控与调度

第一，监控系统对抽水蓄能电站内所有设备的运行状态进行24小时不间断监控，将采集到的设备运行数据实时显示在监控画面上，运维人员可以直观地了解设备

的运行参数、工作状态和报警信息等。通过设置不同的监控画面和报警阈值，能够对重点设备和关键参数进行重点关注，及时发现设备异常情况并采取处理措施。监控系统还能够对历史数据进行存储和查询，为设备的维护、故障分析和性能评估提供数据支持。第二，抽水蓄能电站的机组运行优化调度主要依赖于自动化系统的信息采集与处理能力，结合负荷预测模型和优化算法来实现。这一过程中，我们严格遵循西北网调的指令进行操作。具体来说，自动化系统能够实时采集电力系统的负荷曲线以及电站自身的设备状况等关键信息。基于这些信息，负荷预测模型能够预测未来的电力需求趋势。优化算法会根据预测结果以及西北网调的指令，制定出合理的机组发电和抽水计划。在电力负荷低谷时段，当西北网调指示进行抽水操作时，我们会安排机组进行抽水蓄能，以备后续发电之需。而在电力负荷高峰时段，当西北网调指示发电时，我们会及时启动机组进行发电，以满足电力系统的需求。

3.3 故障诊断与预警

(1) 故障诊断。当抽水蓄能电站设备发生故障时，继电保护系统首先动作切除故障设备，同时自动化系统启动故障诊断程序，通过对故障时设备的运行数据、报警信息以及历史数据的分析，结合故障诊断模型，确定故障的类型、位置和原因。对于发电机故障，通过分析其电气参数（如三相电流不平衡、电压异常等）、机械参数（如振动、温度升高等）以及相关保护装置的动作情况，判断是定子绕组短路、转子接地还是其他故障类型，并确定故障发生在发电机的具体部位^[2]。故障诊断结果能够为维修人员提供准确的维修依据，缩短维修时间，提高电站的恢复速度。(2) 故障预警。基于信息融合技术和故障预测模型，自动化系统能够对设备潜在的故障进行预警。通过对设备运行数据的实时监测和分析，当发现某些参数出现异常变化且接近故障阈值时，系统发出预警信号，提醒运维人员关注设备运行情况并采取相应的预防措施。当轴承温度持续上升且上升速率超过设定值时，系统可能预测到轴承即将发生故障，提前通知运维人员进行检查和维护，如添加润滑油、检查冷却系统等，避免故障的发生，提高电站运行的可靠性。

4 电气工程自动化技术应用优势

自动化技术的应用使得抽水蓄能电站的机组能够更加精准地根据电力系统的需求进行运行，如在负荷调节方面能够快速响应，减少了机组在非最优工况下的运行时间，提高了机组的发电效率。通过优化调度，合理安排机组的发电和抽水计划，提高了电站整体的能源转换

效率,降低了运行成本。监控系统的实时监测、继电保护系统的快速动作以及故障诊断与预警功能,大大提高了抽水蓄能电站设备运行的可靠性。能够及时发现设备故障并采取措施,防止故障的扩大,减少了停电事故的发生概率。在电力系统中,抽水蓄能电站作为重要的调节和备用电源,其可靠性和稳定性的提高对于整个电力系统的安全稳定运行具有重要意义。自动化技术实现了对设备的远程监控和操作,减少了运维人员的现场巡检和人工操作工作量,降低了人力成本。通过故障诊断与预警,能够提前发现设备潜在问题并进行有针对性的维护,避免了设备的过度维修和突发故障导致的高额维修费用,延长了设备的使用寿命,进一步降低了运维成本。基于自动化系统的大量运行数据采集和存储,为电站的管理提供了丰富的数据资源。通过数据分析和挖掘,可以对电站的设备性能、运行效率、能源消耗等进行全面评估,为电站的管理决策提供科学依据。根据设备的运行状况制定合理的维护计划、采购计划和人员培训计划等,提升了电站的整体管理水平^[3]。

5 抽水蓄能电站电气工程自动化技术发展趋势

随着人工智能技术的不断发展,抽水蓄能电站电气工程自动化将朝着智能化方向进一步深化。智能控制系统将更加智能、灵活,能够根据复杂多变的运行工况和电力系统需求自主优化控制策略。采用深度学习算法对电站的运行数据进行分析和学习,实现对设备故障的更精准诊断和预测,提高电站的自适应性和自愈能力。智能化的人机交互界面将为运维人员提供更加便捷、高效的操作和管理体验。在未来能源结构中,新能源的比例将持续增加。抽水蓄能电站作为一种重要的储能设施,将与风能、太阳能等新能源更加紧密地融合。自动化技术将在新能源与抽水蓄能电站联合运行的协调控制、能量管理等方面发挥关键作用。建立统一的智能能量管理

系统,实现对新能源发电和抽水蓄能电站的联合调度和优化控制,提高能源的综合利用效率,促进新能源的大规模接入和消纳。大数据和云计算技术将在抽水蓄能电站自动化领域得到广泛应用。通过对海量的运行数据进行存储、管理和分析,挖掘出更多有价值的信息,为电站的运行优化、设备维护、故障预测等提供支持。云计算技术则为数据处理提供强大的计算能力,提高数据处理的速度和效率。通过大数据分析技术,我们可以全面解析电站设备的全生命周期数据,精确构建设备性能退化模型。这一模型能够实时监测设备状态,预测其性能变化趋势,从而实现设备的精准维护。它还能设备的更新改造提供科学依据,帮助我们做出更加明智的决策,确保电站的稳定运行与高效产出。

结语

电气工程自动化技术在抽水蓄能电站的应用展现了巨大潜力,不仅显著提升了电站的运行效率与稳定性,还有效降低了运维成本。随着技术的持续革新,其在抽水蓄能电站中的应用范围将进一步扩大,深度也将不断增加。展望未来,我们应积极关注并探索新技术在抽水蓄能电站的融入,致力于推动电站向更高水平的智能化、高效化迈进,为电力系统的稳定运行与可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]尤嘉钰.虚拟抽水蓄能电站运行模式和控制方法研究[D].华北电力大学,华北电力大学(北京),2020.18-21.
- [2]施凯健.抽水蓄能电站定子绕组故障分析与检修策略研究[D].广东:广东工业大学,2021.225-227.
- [3]胡浩,张苏,赵剑喆,等.高比例水电系统抽水蓄能电站发展空间及趋势研究[J].水电与抽水蓄能,2024,10(1): 115-120.