

电力系统及其自动化控制技术

杨 华

渝能（集团）有限责任公司 重庆 409116

摘 要：在当今社会，电力作为核心能源，是推动工业生产、保障日常生活、促进社会发展的关键支撑。本文围绕电力系统及其自动化控制技术展开探讨，首先概述该技术的核心内涵，随后从发电、输电、变电、配电、用电五个环节分析其具体应用，进而阐述智能控制、分布式电源接入、广域测量、通信等关键技术，最后展望其智能化、分布式能源与微电网融合、电力物联网构建、网络安全防护加强及跨学科融合的发展趋势。通过全面梳理，为理解电力系统自动化控制技术的现状与未来提供了清晰框架。

关键词：电力系统；自动化；控制技术

引言：随着社会经济的快速发展，电力需求持续增长，传统电力系统已难以满足高效、安全、可靠的供电要求，电力系统自动化控制技术应运而生并成为关键支撑。该技术通过融合现代控制理论、信息技术与电气工程，实现了电力生产、传输、分配及消费全流程的自动化与智能化管理。研究电力系统自动化控制技术，不仅有助于提升电力系统的运行效率和稳定性，还能为新能源接入、能源互联网发展等提供重要保障，对推动电力行业转型升级具有重要现实意义。

1 电力系统自动化控制技术概述

电力系统自动化控制技术是融合了现代电子技术、计算机技术、通信技术以及控制理论等多学科知识，对电力系统进行实时监测、控制、保护与协调管理的先进技术体系。它通过在电力系统的各个环节部署各类传感器、智能终端设备，实现对发电、输电、变电、配电和用电等全流程数据的精准采集与实时传输。借助先进的通信网络，这些数据被迅速传递至控制中心，为调度人员提供全面、准确的系统运行状态信息。在控制方面，电力系统自动化控制技术运用先进的控制算法和策略，实现对电力设备的自动调节与控制。例如，自动发电控制系统（AGC）可根据电网负荷变化，自动调整发电机组的出力，维持电网频率的稳定；自动电压控制系统（AVC）则能对电网电压进行实时监测和调整，确保电压质量符合标准要求。此外，该技术还具备强大的保护功能。当电力系统发生故障时，自动化装置能够迅速、准确地检测到故障位置和类型，并及时切除故障设备，隔离故障区域，防止故障扩大，保障电力系统的安全稳定运行。电力系统自动化控制技术的应用，极大地提高了电力系统的运行效率、可靠性和安全性，是现代电力系统不可或缺的重要组成部分^[1]。

2 电力系统自动化控制技术的应用

2.1 发电环节的应用

在发电环节，电力系统自动化控制技术发挥着关键作用。对于火力发电厂，自动化控制系统可精准调控锅炉的燃烧过程，依据负荷需求自动调整燃料供给量、送风量和引风量，提高燃烧效率，降低能源消耗与污染物排放。水力发电中，自动化技术能实时监测水位、流量等参数，根据电网调度指令自动控制水轮机的开度和导叶，实现发电功率的灵活调节。风力发电场借助自动化控制系统，可根据风速、风向等气象条件自动调整风机叶片的角度和转速，使风机始终处于最佳运行状态，提升发电效率。同时，自动化技术还能对发电设备的运行状态进行实时监测和故障诊断，提前发现潜在问题并及时预警，减少设备非计划停机时间，保障发电的连续性和稳定性。

2.2 输电环节的应用

输电环节中，自动化控制技术确保了电力的高效、安全传输。通过安装在线监测装置，可实时获取输电线路的导线温度、弧垂、绝缘子状态等信息，及时发现线路故障隐患，如导线覆冰、舞动等，并采取相应措施进行处理。自动化调度系统能根据电网的实时运行情况和负荷需求，合理分配输电功率，优化输电潮流，降低输电损耗。此外，利用广域测量技术，可实现对输电网络的全局监测和动态分析，提高电网的稳定性和抗干扰能力。当输电线路发生故障时，自动化继电保护装置能迅速动作，准确切除故障部分，缩小停电范围，保障电网的安全运行。

2.3 变电环节的应用

变电环节是电力系统的重要组成部分，自动化控制技术的应用极大地提高了变电站的运行管理水平。综合

自动化系统集成保护、测量、控制、信号等多种功能,实现了变电站的自动化监控和管理。通过微机保护装置,可快速、准确地切除故障设备,保护电网安全。自动化控制技术还能实现对变压器、断路器等主要设备的状态监测和故障诊断,根据设备运行参数自动调整运行方式,延长设备使用寿命。同时,变电站自动化系统与调度中心实现数据共享和远程通信,调度人员可实时掌握变电站的运行情况,进行远程操作和控制,提高了变电运行的可靠性和灵活性。

2.4 配电环节的应用

在配电环节,自动化控制技术有助于提高供电质量和可靠性。配电自动化系统通过安装在配电线路上的馈线终端单元(FTU)、配电变压器监测终端(TTU)等设备,实时采集配电网络的运行数据,如电压、电流、功率等。根据这些数据,系统可自动调整配电变压器的分接头位置,优化无功补偿装置的投切,改善电压质量。当配电线路发生故障时,自动化系统能快速定位故障点,并通过开关的自动分合操作,隔离故障区域,恢复非故障区域的供电,缩短停电时间。此外,配电自动化还支持分布式电源的接入和管理,实现对分布式能源的有效控制和优化调度。

2.5 用电环节的应用

用电环节的自动化控制技术主要面向用户侧,提高用电服务质量和能源利用效率。智能电表作为用电信息采集的重要设备,可实时记录用户的用电量、用电时间等信息,并通过通信网络将数据上传至电力公司。电力公司根据这些数据为用户提供详细的用电分析和节能建议,帮助用户合理用电。同时,自动化控制技术可实现对用户侧可中断负荷的管理,在电网高峰时段,通过激励措施引导用户主动减少用电负荷,缓解电网供电压力。此外,智能家居系统的应用也是用电环节自动化的重要体现,用户可通过手机等终端设备远程控制家中的电器设备,实现用电的智能化管理,提高生活的便利性和舒适度。

3 电力系统自动化控制技术的核心技术

3.1 智能控制技术

智能控制技术是电力系统自动化控制的核心关键技术之一,它融合了人工智能、自动控制、运筹学等多学科知识,为电力系统带来更高效、精准、自适应的控制能力。在电力系统运行中,智能控制技术可实现对复杂工况的智能分析与决策。例如,利用神经网络算法,它能对电力设备的运行状态进行精准评估和故障预测,提前发现潜在问题,避免设备突发故障影响系统稳定运

行。模糊控制技术则可根据电力系统的不确定性和模糊性信息,如负荷的波动变化,自动调整控制策略,实现对电力参数的平滑调节,提高供电质量。此外,智能控制技术还能与专家系统相结合,借助专家的经验 and 知识,为电力系统的调度、运行和维护提供科学合理的决策建议,有效提升电力系统的智能化水平和运行可靠性,适应现代电力系统规模不断扩大、结构日益复杂的发展趋势^[2]。

3.2 分布式电源接入技术

分布式电源接入技术是电力系统自动化控制的关键技术之一,它实现了小型电源(如太阳能、风能等)与电网的高效、安全连接。该技术通过并网或独立运行方式,将分布式电源接入35kV及以下电压等级电网,有效扩大了控电网络范围。在接入过程中,需遵循严格的技术规定,如并网点选择应确保电网安全稳定运行,分布式电源总容量不宜超过上一级变压器供电区域内最大负荷的25%。同时,该技术还注重电能质量监控,通过安装在线监测装置,实时采集并分析谐波、电压偏差等关键指标,确保分布式电源并网后电能质量满足国家标准。此外,分布式电源接入技术还支持储能装置的配置,以解决新能源发电的间歇性问题,提高供电可靠性。

3.3 广域测量技术

广域测量技术是电力系统自动化控制的关键技术之一,它通过同步相量测量单元(PMU)结合全球定位系统(GPS)授时,实现电力系统广域时空坐标下电气量的实时、高精度采集。该技术以每秒25-100帧的高采样密度获取电压、电流等动态数据,解决了传统SCADA系统低采样和非同步测量的缺陷,具备微秒级时间同步精度与相角直接测量能力。在应用层面,广域测量技术支撑故障测距、广域保护、状态估计等多个领域创新。例如,通过线性状态估计实现N端测距,消除传统测距盲区;结合多代理技术构建主站-子站协同的广域保护框架,提升电网安全控制能力;依托同步相量数据提升输电线路参数辨识与电压稳定评估精度。随着全国联网工程的推进,广域测量技术已成为大电网动态监测与安全控制的核心基础设施,为电力系统的稳定运行和高效管理提供了有力保障。

3.4 通信技术

通信技术是电力系统自动化控制的关键支撑,它保障了电力系统中各类设备与控制中心之间数据的高效、可靠传输。在电力系统里,多种通信技术协同工作。光纤通信凭借其高带宽、低损耗和强抗干扰能力,成为长距离、大容量数据传输的首选,广泛应用于骨干通信网

络,确保电力调度等关键信息快速准确送达。无线通信技术如4G、5G以及无线专网,为分布广泛的电力设备提供了灵活便捷的接入方式,像智能电表、分布式电源等可通过无线通信实时上传运行数据。电力线载波通信则利用现有电力线路进行数据传输,无需额外布线,成本较低,常用于配电自动化等场景。这些通信技术相互补充,构建起一个多层次、立体化的通信网络,实现了电力系统各环节信息的实时共享与交互,使自动化控制能够基于全面准确的数据做出科学决策,从而提升电力系统的运行效率、可靠性和智能化水平。

4 电力系统自动化控制技术的发展趋势

4.1 智能化发展

电力系统自动化控制技术的智能化发展是必然趋势。随着人工智能技术的不断突破,如机器学习、深度学习等算法在电力系统中的应用日益广泛。智能算法可对电力系统海量数据进行深度挖掘与分析,实现精准的负荷预测,提前规划发电与输电计划,提高能源利用效率。在故障诊断方面,智能化技术能快速准确地定位故障点,分析故障原因,并给出最优的修复方案,大大缩短故障抢修时间。同时,智能控制系统可根据实时运行数据自动调整控制策略,使电力系统始终处于最优运行状态。

4.2 分布式能源与微电网的融合

分布式能源与微电网的融合是电力系统发展的重要方向。分布式能源,如太阳能、风能、生物质能等,具有清洁、可再生、分布广泛等优点,但存在间歇性和波动性问题。微电网作为一种小型发配电系统,可将分布式能源、储能装置和负荷集成在一起,实现局部的能源自给自足和优化配置。通过自动化控制技术,微电网可以灵活调节分布式能源的出力,根据负荷需求和能源价格自动切换运行模式,如并网运行或孤岛运行。

4.3 电力物联网的构建

电力物联网的构建将为电力系统自动化控制带来新的变革。它通过在电力设备上安装各种传感器和智能终端,实现设备之间的互联互通和数据的实时采集与传输。借助物联网技术,电力系统的运行状态可以全方位、实时地被监测和分析,实现设备的精细化管理。同时,电力物联网还可以实现与用户的互动,为用户提供

个性化的用电服务,如用电信息查询、节能建议等。

4.4 网络安全防护的加强

随着电力系统自动化控制技术的广泛应用,网络安全问题日益突出。电力系统的自动化控制依赖于大量的网络通信和信息系统,一旦遭受网络攻击,可能导致电力设备失控、数据泄露等严重后果,威胁电力系统的安全稳定运行。因此,加强网络安全防护是电力系统自动化控制技术发展的重要任务。未来,将采用多种网络安全防护技术,如防火墙、入侵检测、加密技术等,构建多层次的网络安全防护体系。同时,加强对电力系统工作人员的网络安全培训,提高其安全意识和应急处理能力。

4.5 跨学科融合发展

电力系统自动化控制技术的跨学科融合发展是推动其创新的关键。电力系统涉及电气工程、自动化控制、计算机科学、通信技术等多个学科领域,各学科之间的交叉融合将为电力系统带来新的技术突破。例如,将电气工程与材料科学相结合,研发新型的电力设备和材料,提高设备的性能和可靠性;将自动化控制与人工智能技术融合,实现电力系统的智能化控制;将计算机科学与通信技术应用于电力系统的信息处理和传输,提高信息的处理效率和传输可靠性^[3]。

结束语

电力系统及自动化控制技术作为现代能源领域的核心支撑,其发展深刻影响着社会经济的稳定运行与可持续发展。从智能调控提升能源利用效率,到分布式能源与微电网融合推动能源结构转型;从电力物联网实现全环节实时感知,到强化网络安全保障系统稳定,每一项技术突破都在重塑电力行业格局。未来,随着跨学科融合的持续深化,电力系统将进一步向智能化、绿色化、柔性化方向演进。

参考文献

- [1]姚强,曹名波,李春生.智能配电网自愈系统的自动化控制技术[J].自动化与仪器仪表,2021,(12):204-207.
- [2]刘忠祥,王俊杰,丁查明,刘杰.自动化控制技术在污水处理过程中的应用和发展[J].仪器仪表用户,2020,27(04):105-106+65.
- [3]唐军.自动化控制技术在污水处理过程中的应用和发展[J].电子元器件与信息技术,2020,(12):54-56+126.