

新形势下的电力系统自动化及研究方向

李 晟 杨 宇 徐 昌
天津盛邦电力工程有限公司 天津 300480

摘 要：随着能源结构转型与电力需求增长，电力系统自动化面临新挑战与机遇。智能控制、分布式电源并网等技术革新传统电力架构，提升系统稳定性与效率。新型电力系统构建、电力市场协同、网络安全防护及低碳智能化融合成为关键研究方向。这些技术与方向的探索，对保障电力可靠供应、推动能源可持续发展具有重要战略意义，将助力电力系统向更智能、高效、安全的方向演进。

关键词：新形势；电力系统自动化；研究方向

引言

在“双碳”目标与能源革命的推动下，电力系统规模持续扩大、结构日趋复杂，对自动化水平提出更高要求。传统电力系统已难以满足新形势下的多样化需求，亟需通过技术创新与理论突破实现转型升级。本文围绕智能控制、分布式电源并网等自动化技术展开分析，并深入探讨新型电力系统构建、电力市场协同等前沿研究方向，旨在为电力系统自动化发展提供理论支撑与实践参考。

1 电力系统自动化概述

电力系统自动化是以现代电子技术、通信技术、计算机技术和控制理论为基础，旨在实现电力系统安全、稳定、经济运行的综合性技术体系。其核心目标是通过自动化装置与系统对发电、输电、变电、配电及用电等环节进行实时监测、控制与管理，确保电能高质量、高效率地从生产端输送至消费端。在发电环节，自动化系统依据电网负荷需求与机组运行状态，对发电机组的有功功率、无功功率、频率及电压等参数进行动态调节，优化机组间的负荷分配，提高发电效率。例如，自动发电控制（AGC）系统通过采集全网频率偏差及联络线功率数据，经计算后向各发电厂下达调节指令，使系统频率维持在额定值附近，保障电力供需平衡。输电与变电环节中，借助远方终端装置（RTU）、相量测量单元（PMU）等设备，将线路电流、电压、功率等实时数据传输至调度中心，经能量管理系统（EMS）分析处理后，实现对变电站设备运行状态的远程监控与故障诊断。当系统发生短路、断线等故障时，继电保护装置能迅速动作，隔离故障区域，避免事故扩大。配电与用电侧的自动化则聚焦于提升供电可靠性与用户用电体验。配电自动化系统通过馈线自动化装置对配电网进行故障定位、隔离与非故障区段恢复供电，缩短停电时间；智

能电表与需求侧管理系统实时采集用户用电数据，分析负荷特性，引导用户合理用电，实现电力资源的优化配置。随着新能源大规模接入与电力市场的发展，电力系统自动化正朝着智能化、网络化方向演进，人工智能、大数据、物联网等新技术的应用，将进一步提升系统的自适应能力与协同控制水平，为构建清洁低碳、安全高效的现代电力系统提供技术支撑。

2 新形势下电力系统自动化技术

2.1 智能控制技术

智能控制技术依托人工智能算法与先进控制理论，为电力系统的复杂运行场景提供动态优化解决方案。在电力系统中，发电侧的新能源机组输出功率具有显著的波动性与间歇性，智能控制技术通过构建深度学习模型，可对风电场、光伏电站的功率预测误差进行动态补偿，使预测精度提升15%-20%。其自适应能力体现在可根据电网实时拓扑结构、负荷变化以及新能源出力情况，在线调整控制策略，确保电力系统在多工况下的稳定运行。智能控制在电网运行控制层面发挥着关键作用，能够对电力系统中的潮流分布进行智能优化，降低网络损耗。通过强化学习算法，可实现对无功补偿装置的精准控制，提升系统电压稳定性。在配电网中，面对大量分布式电源接入带来的双向潮流问题，智能控制技术可协调分布式电源、储能装置与可控负荷，保障配电网的安全稳定运行。随着电力系统规模不断扩大，智能控制技术还能与数字孪生技术相结合，在虚拟空间中模拟电网运行状态，提前预判潜在风险并制定应对策略，为电力系统的智能化运行提供可靠支撑^[1]。

2.2 分布式电源并网技术

分布式电源并网技术致力于解决新能源电源与传统电网之间的兼容性与协同性问题。分布式电源如小型光伏电站、风力发电机、生物质能发电装置等，其输出特

性与传统同步发电机组存在显著差异。并网技术通过电力电子变流器实现分布式电源与电网的接口转换,将分布式电源输出的直流电或不稳定的交流电,转换为符合电网接入标准的稳定交流电。在并网过程中,需解决电能质量、系统稳定性以及孤岛效应等关键问题。先进的并网技术采用自适应控制策略,实时监测电网电压、频率等参数,动态调整分布式电源的输出,确保其与电网的良好兼容性。针对分布式电源接入可能引发的电压波动与谐波问题,并网技术通过优化变流器控制算法、配置滤波装置等手段,有效提升电能质量。为保障电网安全运行,分布式电源并网技术还具备完善的孤岛检测与保护功能,当电网故障或停电时,能快速切断分布式电源与电网的连接,防止孤岛运行对人员和设备造成危害,推动分布式能源的高效、安全利用。

2.3 广域测量与保护技术

广域测量与保护技术以同步相量测量技术为核心,通过在电力系统各关键节点部署相量测量单元(PMU),实现对电网运行状态的实时、同步、高精度监测。PMU利用全球定位系统(GPS)提供的精确时间基准,以每秒50-100次的采样频率采集电网的电压、电流相量信息,并通过高速通信网络将数据传输至广域测量系统主站。这些实时数据涵盖了电网的电压幅值、相位、频率以及有功、无功功率等关键运行参数,使调度人员能够全面、准确地掌握电网的运行状态。基于广域测量数据,广域保护系统能够快速检测出电力系统中的故障,并实现对故障的精准定位与隔离。相较于传统的继电保护装置,广域保护系统利用全网信息进行决策,可有效避免保护误动与拒动,显著提升保护的可靠性与速动性。在电网稳定控制方面,广域测量与保护技术通过实时监测电网的功角、频率等稳定指标,结合稳定控制策略,可及时采取切机、切负荷等控制措施,防止电网发生功角失稳与频率崩溃,保障电力系统的安全稳定运行,为电网的安全防线构筑坚实屏障^[2]。

2.4 信息通信融合技术

信息通信融合技术是实现电力系统自动化与智能化的关键支撑,它将电力系统的业务需求与通信技术深度融合,构建起高效、可靠的信息传输网络。在电力系统中,从发电、输电、变电、配电到用电的各个环节,都需要实时、准确地传输大量的监测数据、控制指令与管理信息。信息通信融合技术通过采用光纤通信、5G通信、卫星通信等多种通信方式,构建起覆盖电力系统全范围的通信网络,满足不同场景下的通信需求。在数据传输层面,信息通信融合技术运用先进的编码、调制与

传输技术,提高数据传输的速率与可靠性,降低传输时延与误码率。通过构建信息安全防护体系,保障电力系统信息传输的安全性与保密性,防止数据泄露与恶意攻击。在业务应用层面,信息通信融合技术支持电力系统的远程监测、控制与管理,实现电网设备的状态监测、故障诊断与智能运维。通过将通信技术与电力系统业务流程深度融合,推动电力系统从传统的自动化向智能化方向发展,提升电力系统的运行效率与管理水平,为电力系统的数字化转型提供有力支撑。

3 新形势下电力系统自动化的研究方向

3.1 新型电力系统构建与运行优化

(1) 新型电力系统构建聚焦于高比例可再生能源接入背景下系统架构的革新,通过多能互补与源网荷储协同优化,实现电力系统从传统集中式向源网荷储多元互动模式的转型。分布式电源的广泛接入改变了系统潮流方向与电压分布特性,需要建立包含分布式电源、储能装置、可控负荷的新型电力系统拓扑模型,利用先进的状态估计与潮流计算方法,解决可再生能源间歇性、波动性带来的系统稳定问题。(2) 运行优化层面,依托智能算法与数字孪生技术,构建实时动态的电力系统运行仿真平台。该平台基于高精度量测数据与系统模型,对系统运行状态进行实时评估与预测,通过优化调度算法制定包含发电计划、负荷控制、储能充放电策略的最优运行方案,实现电力系统在不同运行工况下的经济高效运行,提升系统整体运行效率与可靠性。(3) 在新型电力系统运行过程中,通过部署智能监测设备与通信网络,实现对系统各环节的全面感知与精确控制。借助先进的控制策略,协调各类电源与负荷资源,增强系统的抗干扰能力与自愈能力,保障系统在复杂运行环境下的安全稳定运行,推动电力系统向更加灵活、高效、可靠的方向发展。

3.2 电力市场与自动化协同发展

(1) 电力市场环境下,电力作为特殊商品参与市场交易,自动化技术为电力市场的高效运行提供技术支撑。基于自动化的电力交易平台,整合发电侧、售电侧、用户侧的供需信息,利用智能合约与自动匹配算法,实现电力资源的快速、精准配置,提高电力交易的透明度与效率,降低交易成本。(2) 自动化系统通过实时采集电力市场运行数据,包括电价信息、电量信息、设备运行状态等,运用大数据分析与机器学习技术,构建市场预测模型,对电力市场价格走势、供需平衡状况进行准确预测,为市场参与者制定交易策略提供数据支持,帮助其在市场竞争中获取更大利益。(3) 在电力市

场与自动化协同发展过程中,自动化系统实现对电力交易过程的全流程监控与管理,确保交易的公平、公正、公开。通过自动化的计量、结算系统,实现电力交易电量与电费的准确计量与结算,保障市场参与者的合法权益,促进电力市场的健康、有序发展^[3]。

3.3 电力系统网络安全防护

(1) 随着电力系统自动化程度不断提高,网络攻击风险显著增加,电力系统网络安全防护成为保障系统稳定运行的关键。构建多层次的网络安全防护体系,涵盖物理层、网络层、系统层、应用层的安全防护,采用防火墙、入侵检测、加密通信等技术手段,防止外部网络攻击对电力系统造成破坏,确保电力系统网络环境的安全。(2) 针对电力系统关键信息基础设施,开展网络安全风险评估与漏洞检测,利用渗透测试、代码审计等技术手段,发现系统存在的安全隐患,并及时采取加固措施。建立网络安全应急响应机制,制定应急预案,定期开展应急演练,提高电力系统应对网络安全事件的能力,减少网络攻击造成的损失。(3) 在电力系统运行过程中,通过部署网络安全监测设备,实时监测网络流量与系统运行状态,利用人工智能与机器学习技术,对网络攻击行为进行智能识别与分析,及时发现潜在的安全威胁,并采取相应的防护措施。加强电力系统内部人员的网络安全管理,提高其网络安全意识,防止内部人员违规操作引发网络安全问题。

3.4 低碳化与智能化深度融合

(1) 在“双碳”目标驱动下,电力系统低碳化发展成为必然趋势,而智能化技术为低碳化目标的实现提供有力支撑。通过智能化的可再生能源预测技术,准确预测风电、光伏等可再生能源的出力情况,优化可再生能源发电计划,提高可再生能源在电力系统中的消纳比例,降低电力系统碳排放强度。(2) 智能化的能源管

理系统整合电力系统内各类能源资源,包括分布式电源、储能装置、可控负荷等,通过智能优化算法制定能源综合利用方案,实现能源的梯级利用与高效转化,减少能源浪费,提升能源利用效率,促进电力系统低碳化发展。同时,利用智能计量与监控技术,实时掌握能源消耗情况,为能源管理提供数据支持。(3) 低碳化与智能化深度融合还体现在电力系统的运行控制环节。通过智能化的电网控制技术,优化电网运行方式,降低电网损耗,提高电网运行效率。结合碳捕集、利用与封存(CCUS)等低碳技术,实现电力系统碳排放的有效控制,推动电力系统向低碳化、智能化方向协同发展,为实现全球气候变化目标贡献力量^[4]。

结语

综上所述,新形势下电力系统自动化技术的发展与研究方向的探索,是保障电力系统安全稳定运行、推动能源行业可持续发展的核心驱动力。智能控制、广域测量等技术的应用显著提升了电力系统的运行效能,而新型电力系统构建、网络安全防护等研究方向,更是契合了时代发展需求。未来,需进一步深化相关研究,加速技术成果转化,推动电力系统向智能化、低碳化方向高质量发展。

参考文献

- [1]韩旭.新形势下的电力系统自动化及研究方向[J].神州,2020(3):277.
- [2]陈晓荣.新形势下电力系统自动化新技术研究方向[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2020(4):1815-1816.
- [3]燕治伟.新形势下的电力系统自动化的新技术分析[J].科学与财富,2021,13(1):119.
- [4]陈心科,何嘉宁,孙旦.新形势下电力系统自动化的应用分析[J].光源与照明,2022(4):189-191.