

电力系统自动化中分布式能源协同控制技术创新与实践

崔军勇

广州普瑞电力控制系统设备有限公司，广东广州，510000；

摘要：本论文深入探讨电力系统自动化中分布式能源协同控制技术的创新与实践。通过对分布式能源在电力系统中发展现状的剖析，阐述了协同控制技术对于提升电力系统稳定性、可靠性及能源利用效率的重要意义。详细分析了协同控制在控制策略、通信架构、智能算法等方面的创新点，以及在不同电力场景中的实践应用情况。同时，探讨了该技术在推广应用过程中面临的挑战，并对未来发展趋势进行了展望，旨在为电力系统自动化领域的技术发展与实践应用提供全面且深入的理论支撑与实践指导。

关键词：电力系统自动化；分布式能源；协同控制技术；创新；实践

DOI：10.69979/3060-8767.25.08.030

引言

随着全球能源结构的调整与环保意识的增强，分布式能源在电力系统中的地位日益重要。分布式能源具有分散性、多样性和灵活性等特点，涵盖太阳能光伏发电、风力发电、小型水电、生物质能发电以及分布式储能等多种形式。这些分布式能源接入电力系统，为缓解能源危机、降低碳排放、提高能源利用效率带来了新的机遇。然而，分布式能源的大规模接入也给电力系统的稳定运行带来了诸多挑战，如功率波动、电能质量问题、系统保护协调困难等。在此背景下，分布式能源协同控制技术应运而生，成为实现电力系统自动化、提升电力系统运行性能的关键技术手段。研究分布式能源协同控制技术的创新与实践，对于推动电力行业的可持续发展、保障能源安全具有重要的现实意义。

1 分布式能源协同控制技术的发展背景与需求

近年来，传统集中式发电模式弊端日益凸显。随着全球能源需求的持续攀升，煤炭、石油等传统能源储量逐渐减少，能源枯竭危机如高悬之剑，时刻警示着能源结构转型的紧迫性。与此同时，传统发电过程中大量化石燃料的燃烧，释放出巨量的温室气体与污染物，对全球生态环境造成了难以估量的破坏，引发了气候变化、空气污染等一系列严峻问题。并且，传统集中式发电依赖长距离输电网络，在电力传输过程中，由于电阻等因素，大量电能白白损耗，据统计，部分地区电力传输损耗率甚至高达10%-15%。在这样的困境下，分布式能源凭借其独特优势，逐渐成为能源领域的关注焦点。分布式能源将发电单元分散布局在靠近用户的负荷中心，大大缩短了电力传输距离，显著降低了传输损耗，使得能源利用效率得到大幅提升。其形式丰富多样，涵盖了太

阳能光伏发电、风力发电、小型水电、生物质能发电以及分布式储能等。这种多样性为能源供应提供了更多元化的选择，即便某一种能源受自然条件限制，其他类型的能源仍能保障一定的电力供应，从而极大地增强了能源系统的可靠性与灵活性。

然而，分布式能源并非完美无缺。其分散性导致发电单元众多且分布广泛，管理难度大增。同时，受自然条件影响，如光伏发电依赖光照强度与时长，风力发电受制于风速与风向，其输出功率呈现出显著的随机性与波动性。这使得电力系统在功率平衡控制上面临巨大挑战，难以确保电压、频率稳定在合理区间。而且，分布式能源的大量接入，彻底改变了电力系统原有的拓扑结构与潮流分布，传统基于集中式发电的控制策略已无法适应新的系统运行特性。

2 分布式能源协同控制技术的创新要点

传统的电力系统控制策略难以满足分布式能源接入后的复杂控制需求，因此需要开发先进的控制策略。其中，分层分布式控制策略成为研究热点。该策略将电力系统划分为多个层次，各层次之间既相互独立又协同工作。在底层，针对单个分布式能源单元或局部微电网，采用本地控制策略实现对其功率调节、电压频率控制等基本功能；在中层，通过区域协调控制，对多个底层单元进行整合与协调，优化区域内的能源分配与系统运行性能；在高层，从整个电力系统的全局角度出发，进行宏观调控，确保系统的稳定性与可靠性。这种分层分布式控制策略能够充分发挥各层次的优势，提高系统的响应速度与控制精度，实现分布式能源的高效协同运行。

分布式能源协同控制依赖于准确、及时的信息交互，因此通信架构的创新至关重要。传统的电力通信网络在

面对分布式能源大量接入时,存在通信延迟、带宽不足、可靠性低等问题。为解决这些问题,新型通信技术不断应用于电力系统。例如,采用高速光纤通信技术,能够提供大容量、低延迟的通信通道,满足分布式能源系统对数据传输速率与实时性的要求;无线通信技术(如 5G)的引入,为分布式能源的灵活接入与移动监测提供了便利,尤其适用于偏远地区或难以铺设有线通信线路的分布式能源站点。同时,构建基于物联网(IoT)的通信架构,实现分布式能源设备、控制中心以及用户之间的全面互联,通过智能感知、数据采集与分析,为协同控制提供丰富、准确的数据支持,进一步提升系统的智能化水平。

智能算法为分布式能源协同控制提供了强大的计算与决策支持。在分布式能源系统的优化调度方面,采用智能优化算法(如遗传算法、粒子群优化算法等)能够在复杂的约束条件下,快速搜索到最优的能源分配方案,实现系统运行成本最低、能源利用效率最高等目标。机器学习算法(如神经网络、支持向量机等)可用于预测分布式能源的输出功率,根据历史数据与实时气象信息,准确预测光伏发电、风力发电等的功率变化趋势,为协同控制提供可靠的预测数据,提前调整控制策略,应对功率波动。此外,强化学习算法能够使分布式能源系统在运行过程中不断学习与优化自身的控制策略,根据系统状态与控制效果实时调整控制参数,以适应不断变化的运行环境,提高系统的自适应能力与控制性能。

3 分布式能源协同控制技术的实践应用

微电网作为分布式能源的一种有效组织形式,是分布式能源协同控制技术的重要实践场景。在微电网中,分布式能源(如光伏发电、风力发电、储能装置等)通过电力电子变换器接入低压配电网。利用协同控制技术,能够实现微电网内部电源与负荷之间的功率平衡,优化能源分配,提高电能质量。当光伏发电功率过剩时,协同控制系统可将多余的电能存储到储能装置中;当负荷需求增加且分布式能源发电不足时,储能装置释放电能,与其他分布式能源共同满足负荷需求。同时,通过协同控制,可实现微电网在并网与孤岛两种运行模式之间的无缝切换,确保微电网在不同运行条件下的稳定可靠运行,为用户提供高质量的电力供应。

分布式能源大量接入配电网后,对配电网的运行与控制产生了深远影响。分布式能源协同控制在配电网中的应用,能够有效解决配电网面临的电压波动、潮流反转、谐波污染等问题。通过对分布式能源的协同调度与控制,可优化配电网的潮流分布,降低线路损耗,

提高配电网的供电能力与可靠性。例如,在分布式电源密集接入的区域,利用协同控制技术合理调整分布式能源的输出功率,避免因功率集中注入导致的电压过高或过低问题。同时,协同控制技术还可与配电网的自动化设备(如智能开关、分布式电源监测终端等)相结合,实现对配电网的实时监测与智能控制,提高配电网的运行管理水平。

智能电网是未来电力系统的发展方向,分布式能源协同控制技术是智能电网建设的核心技术之一。在智能电网中,分布式能源协同控制技术与其他先进技术(如大数据、云计算、人工智能等)深度融合,实现电力系统的全方位智能化。通过大数据技术对分布式能源运行数据、用户用电数据等进行采集、存储与分析,为协同控制提供决策依据;云计算技术为大规模数据处理与计算提供强大的平台支持,确保协同控制算法的高效运行;人工智能技术则用于实现电力系统的智能诊断、预测与自适应控制。在智能电网的运行过程中,分布式能源协同控制系统能够根据电网实时状态与用户需求,动态调整分布式能源的运行方式,实现电力系统的优化运行,提高能源利用效率,增强电网的安全性与可靠性。

4 分布式能源协同控制技术面临的挑战与解决方案

目前,分布式能源协同控制技术尚缺乏统一、完善的技术标准与规范,不同厂家生产的分布式能源设备与控制系统之间存在兼容性问题,导致系统集成难度较大。为解决这一问题,需要行业内各方加强合作,共同制定统一的技术标准与规范,明确分布式能源设备的接口标准、通信协议、控制策略等关键技术参数,促进不同设备与系统之间的互联互通与协同运行。同时,相关部门应加强对技术标准与规范执行情况的监督检查,确保市场上的分布式能源产品与系统符合标准要求,推动分布式能源协同控制技术的规范化发展。

分布式能源的随机性与波动性以及复杂的电力系统运行环境,给分布式能源协同控制系统的稳定性与可靠性带来了巨大挑战。为提高系统的稳定性与可靠性,一方面需要进一步优化协同控制策略,采用鲁棒控制、自适应控制等先进控制理论,增强系统对不确定性因素的抗干扰能力;另一方面,要加强系统的冗余设计与备份机制,在关键设备与通信链路中设置冗余配置,当部分设备或链路出现故障时,系统能够自动切换到备用设备或链路,确保系统的不间断运行。此外,还需建立完善的系统监测与故障诊断体系,实时监测系统运行状态,及时发现并诊断故障,采取有效的故障处理措施,保障

系统的稳定可靠运行。

分布式能源协同控制技术的研发、设备购置与系统建设需要投入大量资金，导致其应用成本较高，在一定程度上限制了该技术的推广应用。为降低经济成本，一方面要加大技术研发投入，通过技术创新提高设备性能与系统效率，降低设备制造成本；另一方面，政府应出台相关的扶持政策，如财政补贴、税收优惠等，鼓励企业投资分布式能源协同控制项目，降低用户的使用成本。同时，随着技术的不断成熟与市场规模的扩大，通过规模效应进一步降低设备与系统的成本，提高分布式能源协同控制技术的经济可行性。

5 分布式能源协同控制技术的未来发展趋势

随着新能源技术的不断发展，如高效太阳能电池技术、大容量风力发电技术、新型储能技术等，分布式能源协同控制技术将与这些新能源技术深度融合。通过协同控制，充分发挥不同新能源技术的优势，实现能源的高效转换与利用。新型储能技术（如固态电池、液流电池等）的发展将为分布式能源系统提供更可靠的储能支持，协同控制技术能够根据新能源发电与负荷需求的变化，合理调度储能装置的充放电，提高系统的稳定性与灵活性。同时，分布式能源协同控制技术还将与新能源材料技术、能源转换技术等相互促进，推动整个能源行业的技术进步。

未来，分布式能源协同控制技术将朝着智能化与自主化方向发展。借助人工智能、大数据、物联网等先进技术，分布式能源协同控制系统将具备更强大的智能感知、决策与控制能力。系统能够实时感知电力系统的运行状态、分布式能源的发电情况以及用户的用电需求，通过智能算法快速做出决策，自动调整分布式能源的运行方式与控制策略，实现电力系统的自主优化运行。在智能化与自主化的发展趋势下，分布式能源协同控制系统将减少对人工干预的依赖，提高系统的响应速度与控制精度，进一步提升电力系统的运行效率与可靠性。

随着能源需求的不断增长与能源资源分布的不均衡，跨区域能源协同与能源互联网建设成为未来发展的重要趋势。分布式能源协同控制技术将在跨区域能源协同中发挥关键作用，通过构建广域的能源通信网络与协

同控制平台，实现不同地区分布式能源的互联互通与协同运行。在能源互联网建设中，分布式能源协同控制技术将与电网、气网、热网等多种能源网络进行深度融合，实现能源的跨网络传输与优化配置，提高能源综合利用效率，构建清洁、高效、安全的能源供应体系。

6 结语

分布式能源协同控制技术作为电力系统自动化领域的关键技术，对于推动电力行业的可持续发展、提升电力系统运行性能具有重要意义。通过在控制策略、通信架构、智能算法等方面的创新，以及在微电网、配电网、智能电网等不同场景中的实践应用，该技术已取得了显著成效。然而，在技术推广应用过程中，仍面临着技术标准不完善、系统稳定性与可靠性保障难度大、经济成本较高等挑战。未来，随着与新能源技术的深度融合、智能化与自主化水平的不断提升以及跨区域协同与能源互联网建设的推进，分布式能源协同控制技术将迎来更广阔的发展空间。电力行业相关人员应持续加强技术研发与创新，积极应对挑战，推动分布式能源协同控制在电力系统中的广泛应用，为实现能源的可持续发展与电力系统的智能化升级做出更大贡献。

参考文献

- [1] 王成山, 李鹏. 分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 10-14.
- [2] 宋永华, 杨霞, 徐智威, 等. 电动汽车与智能电网的相互作用[J]. 电网技术, 2011, 35(1): 27-31.
- [3] 孙宏斌, 郭庆来, 潘昭光, 等. 智能电网中的能量管理与智能调度技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(17): 1-11.
- [4] 刘念, 谢开贵, 周凜, 等. 分布式发电技术及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 120-127.
- [5] 文福拴, 薛禹胜, 洪峰, 等. 电力信息物理融合系统的运行分析与控制展望[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(16): 1-10.

作者简介：崔军勇，1974. 11. 09，男，汉族，陕西人，职称：中级，研究方向：电力系统自动化。