

电气工程中的新能源并网技术研究与挑战

夏 顺 梁继涵

国网武汉供电公司 湖北 武汉 430000

摘要: 本文聚焦电气工程中新能源并网技术,先阐述主流新能源发电技术特性、核心并网技术架构及电气接口与标准体系。接着深入探讨高比例新能源并网稳定性控制、分布式调控、储能协同、智能化监测调控等核心技术。分析技术、系统与管理层面面临的挑战,针对性提出技术优化、系统与管理优化策略及关键技术突破方向。旨在为新能源并网技术发展提供理论支撑与实践参考,推动新能源在电力系统中高效、稳定应用。

关键词: 新能源并网; 电力电子技术; 智能电网; 稳定性控制

引言: 在全球能源转型背景下,新能源凭借清洁、可再生优势,在电力系统中占比日益提升。然而,新能源发电的间歇性、波动性等特性,给其并网带来诸多难题。电气工程中的新能源并网技术成为关键,它涉及从发电到接入电网的多个环节,涵盖多种技术体系。深入研究新能源并网技术,不仅有助于解决当前并网难题,还能推动能源结构优化,实现能源可持续发展,对电力行业及社会经济发展意义重大。

1 新能源并网技术核心体系与工作原理

1.1 主流新能源发电技术特性

主流新能源发电技术主要涵盖风电、光伏、水电及生物质能发电等,各技术呈现显著差异化特性。风电依赖风能资源,具有间歇性、波动性强的特点,其出力受风速、风向变化影响显著,单机容量从千瓦级到兆瓦级不等,低风速区域机组逐步向大型化、轻量化发展。光伏发电基于光生伏特效应,出力与光照强度、环境温度密切相关,中午时段出力峰值明显,分布式光伏具有安装灵活、就近消纳的优势,但集中式光伏电站易受极端天气影响^[1]。水电具有清洁、可调节性强的特性,出力稳定且响应速度快,可作为新能源并网的调峰电源,但受水文条件和地理环境限制较大。生物质能发电可实现资源循环利用,出力相对稳定,但其规模受原料供应制约,能量密度较低。不同新能源发电技术的特性差异,对后续并网技术的适配性提出了多样化要求。

1.2 核心并网技术架构

新能源并网技术架构以“源-网-荷-储”协同为核心,构建分层分级的并网体系。底层为新能源发电单元层,包含各类发电设备及其控制器,负责将一次能源转化为电能并进行初步调控。中间层为汇集与变换层,通过箱变、集电线路将分散的发电单元出力汇集,经逆变器、整流器等电力电子设备完成交直流转换与电压等级

提升,实现电能的标准化输出。核心层为并网接入层,涵盖升压站、并网开关设备及测控装置,通过联络线将新能源电力接入区域配电网或主电网,同时具备故障隔离与快速切离功能。顶层为调度与监控层,依托能源管理系统实现对并网全过程的实时监测、功率调度与故障预警。该架构通过各层级的协同配合,保障新能源电力安全、稳定接入电网,同时提升电能传输效率与消纳能力,适配高比例新能源并网的发展需求。

1.3 新能源并网的电气接口与标准体系

新能源并网的电气接口是实现电能顺畅交互的关键,主要包括电压等级匹配、频率同步、相位一致及谐波控制等核心要求。电气接口设备需根据新能源发电类型与并网规模选型,如分布式光伏多采用低压220V/380V接口接入配电网,集中式风电场则通过35kV或110kV升压接口接入主电网。接口处需配置滤波装置、无功补偿设备,以抑制谐波污染、维持电压稳定。标准体系方面,已形成涵盖并网技术要求、安全规范、检测认证的多层次标准框架。国际上以IEC 61400系列(风电)、IE C61724系列(光伏)为核心,国内则发布GB/T 19963《风电场接入电力系统技术规定》、GB/T 38946《光伏发电站接入电力系统技术规定》等标准,明确了并网功率控制、电压调节、低电压穿越等技术指标。完善的电气接口设计与标准体系,为新能源并网的规范化、标准化实施提供了重要保障。

2 电气工程中新能源并网的核心技术研究

2.1 高比例新能源并网的稳定性控制技术

高比例新能源并网下,电网惯性降低、阻尼减弱,易引发电压波动、频率偏移等稳定性问题,相关控制技术成为研究核心。该技术以维持电网功角稳定、电压稳定和频率稳定为目标,主要包括虚拟同步机技术、灵活交流输电技术及协调控制技术。虚拟同步机技术通过模

拟同步发电机的惯性和阻尼特性,提升新能源发电单元的抗扰动能力,改善电网动态响应性能。灵活交流输电技术(如SVC、SVG)可快速调节无功功率,抑制电压波动,增强电网对新能源出力波动的适应能力。协调控制技术通过构建多源协同控制框架,实现新能源发电单元、储能设备与常规电源的协同调度,优化功率分配,平抑出力波动。另外,基于模型预测控制、深度学习的先进控制算法,可实现稳定性控制的精准化、智能化,为高比例新能源并网后的电网安全稳定运行提供技术支撑,推动新能源在电力系统中占比的持续提升。

2.2 分布式新能源并网调控技术

分布式新能源具有分散布局、出力波动大、接入点多等特点,其并网调控技术重点解决就地消纳、电压治理及与配电网协同运行问题。核心技术包括分布式电源集群调控、主动配电网技术及电能质量治理技术。分布式电源集群调控通过聚合分散的光伏、风电单元,实现集群内功率的自主平衡与协同优化,提升整体并网适应性^[2]。主动配电网技术引入柔性调控设备(如储能、可控负荷),具备源网荷互动能力,可通过实时监测与动态调度,优化分布式新能源出力分配,减少对主电网的冲击。电能质量治理技术针对分布式并网产生的谐波、电压暂降等问题,采用有源电力滤波器、动态电压恢复器等设备,保障配电网电能质量。同时,基于物联网的分布式并网监测技术,可实现对各接入点运行状态的实时感知,为精准调控提供数据支撑,促进分布式新能源的高效消纳与规范并网。

2.3 储能与新能源协同并网技术

储能与新能源协同并网技术通过储能设备的充放电调节,平抑新能源出力波动,提升并网稳定性与消纳能力,是新能源并网发展的关键支撑技术。该技术核心在于协同控制策略与储能技术的适配性优化。储能技术涵盖锂离子电池、液流电池、抽水蓄能等,其中电化学储能因响应速度快、配置灵活,广泛应用于分布式与集中式新能源并网场景。协同控制策略需实现新能源出力预测与储能充放电的精准匹配,通过短期出力预测指导储能实时充放电,平抑日内波动;通过中长期出力预测优化储能容量配置,保障跨时段功率平衡。储能系统与新能源发电单元的一体化控制技术,可实现两者的深度协同,提升整体运行效率。同时,储能参与辅助服务(如调频、调峰)的技术方案,可进一步挖掘储能价值,促进新能源与储能的协同发展,助力高比例新能源电力系统的构建。

2.4 智能化并网监测与调控技术

智能化并网监测与调控技术依托大数据、云计算、物联网等先进技术,构建全流程、全维度的并网管理体系,提升新能源并网的智能化水平与运行可靠性。监测层面,通过部署智能传感器、边缘计算设备,实现对新能源发电单元、并网接口、电网运行状态的实时数据采集,涵盖功率、电压、频率、谐波等关键指标,数据传输延迟控制在毫秒级,保障监测的实时性与准确性。调控层面,基于数字孪生技术构建电网虚拟仿真模型,模拟新能源并网后的运行状态,为调控策略制定提供仿真支撑;采用机器学习算法对新能源出力进行精准预测,提升调度的前瞻性;通过智能调度平台实现多源协同调控,自动生成最优调控指令,实现并网运行的闭环管理。该技术可有效提升新能源并网的精细化管理水平,及时发现并处置运行故障,为新能源电力系统的安全、高效运行提供保障。

3 新能源并网面临的核心挑战

3.1 技术层面挑战

新能源并网在技术层面面临诸多核心挑战,首要问题是出力波动性与随机性带来的电网稳定控制难度剧增。高比例新能源接入后,电网惯性显著降低,对功率波动的抵御能力下降,易引发频率失稳、电压崩溃等连锁故障,尤其在极端天气下,新能源集中脱网可能导致电网运行风险加剧^[3]。其次,电力电子设备的大量应用带来谐波污染与电磁兼容问题,逆变器设备的开关动作会产生大量谐波,叠加后影响电网电能质量,干扰敏感负荷正常运行。再者,分布式新能源并网的接入点分散,配电网规划与改造滞后,导致电压越限、线路过载等问题频发,制约分布式新能源的消纳能力。新能源出力预测精度不足,短期预测误差较大,难以支撑精准调度,进一步加剧了并网运行的复杂性,这些技术挑战对新能源并网技术的创新突破提出了迫切需求。

3.2 系统与管理层面挑战

新能源并网在系统与管理层面的挑战主要体现在电网规划统筹不足、市场机制不完善及管理体系不健全等方面。电网规划层面,传统电网规划未充分考虑高比例新能源发展需求,源网荷储协同规划机制缺失,导致电网输送通道与新能源发电基地布局不匹配,出现“弃风弃光”现象,制约新能源消纳。市场机制层面,当前电力市场尚未完全适应新能源并网发展,新能源参与辅助服务的激励机制不足,储能、分布式电源的价值难以充分体现,市场交易规则对新能源的包容性有待提升。管理层面,新能源并网涉及多主体、多领域,协调管理机制不健全,各地区并网标准不统一,数据共享不畅,导

致并网审批流程繁琐、运行管理效率低下。同时，电网调度体系对新能源的接纳与调控能力不足，跨区域调度协同性差，难以实现新能源电力的优化配置。

4 应对新能源并网挑战的策略与解决方案

4.1 技术优化策略

针对新能源并网的技术挑战，需实施多维度技术优化策略以提升并网稳定性与消纳能力。一方面，强化电网稳定控制技术升级，推广虚拟同步机、灵活交流输电等先进技术，提升电网惯性与阻尼，优化新能源发电单元的低电压穿越、高电压穿越能力，增强极端工况下的抗扰动性能。另一方面，推进配电网升级改造，采用主动配电网技术，优化分布式新能源接入点布局，加装无功补偿、谐波治理等设备，解决配电网电压越限、电能质量超标等问题。同时，提升新能源出力预测精度，融合数值天气预报与机器学习技术，构建多时间尺度、高精度的出力预测模型，为精准调度提供支撑。另外，加速储能技术迭代升级，优化储能容量配置与充放电控制策略，提升储能与新能源的协同调控效果，平抑出力波动，保障电网功率平衡，全方位提升新能源并网的技术适配性。

4.2 系统与管理优化方案

应对新能源并网的系统与管理挑战，需构建协同高效的系统优化与管理体制。在系统规划方面，实施源网荷储一体化规划，统筹新能源发电基地、电网输送通道、储能设施与负荷中心布局，建立新能源消纳能力评估机制，确保电网规划与新能源发展相匹配。在市场机制优化方面，完善新能源参与电力市场的交易规则，建立储能、分布式电源参与辅助服务的补偿与激励机制，畅通新能源电力消纳渠道，充分体现新能源的环境价值与经济价值。在管理体系建设方面，建立跨区域、多部门协同管理机制，统一并网标准与技术规范，推进并网审批流程简化与数字化转型。同时，构建一体化智能调度平台，强化跨区域调度协同，实现新能源电力的全局优化配置，提升运行管理效率，为新能源并网的规范化、有序化发展提供制度与管理保障。

4.3 关键技术突破方向

为从根本上破解新能源并网挑战，需明确关键技术突破方向，聚焦核心领域开展技术创新。一是先进储能技术研发，重点突破长时储能、低成本储能技术，如全钒液流电池、钠离子电池等新型储能技术的性能提升与成本降低，提升储能系统的循环寿命与安全性，支撑新能源跨时段消纳^[4]。二是电网智能化技术创新，发展电网数字孪生、柔性直流输电等技术，构建智能感知、精准调控、协同运行的智能电网体系，提升电网对高比例新能源的接纳能力。三是新能源与负荷协同互动技术突破，开发可控负荷精准调控技术，构建虚拟电厂运营管理体系，实现新能源出力与负荷需求的动态匹配。四是并网安全防护技术升级，研发基于人工智能的故障预警与快速处置技术，提升新能源并网系统的安全运行水平，为新能源电力系统的高质量发展提供核心技术支撑。

结束语

新能源并网技术是推动能源转型、实现绿色发展的关键力量。尽管当前在技术、系统与管理层面面临诸多挑战，但通过技术优化、系统与管理优化以及关键技术突破等策略，可逐步攻克难题。未来，随着先进储能、电网智能化等技术的不断进步，新能源并网将更加高效、稳定、安全。各方应加强合作，持续创新，共同推动新能源并网技术迈向新高度，助力全球能源可持续发展目标的实现。

参考文献

- [1]王强,张军,赵宇.分布式能源供电系统与电力系统并网的相关研究分析[J].电气工程专业,2023,11(3):100-105.
- [2]刘东阳,温浩,郭强.电气工程及其自动化在新能源发电领域的应用研究[J].中国高科技,2024,(18):96-98. DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2024.18.31.
- [3]金姜亮,陈根龙,马洪艳,等.新能源发电课程的实践教学体系设计[J].电子技术,2024,53(06):164-167.
- [4]李翠翠,韩晓梅,周忠原.基于电力设备新能源并网技术探究[J].电工技术, 2025, (S1): 128-130+133.