

新能源发电接入电网调度运行技术研究

刘冲冲 林亮

国网太仓市供电公司

摘要: 新能源发电的快速发展对电网调度运行提出了新的挑战。本文分析了新能源发电的间歇性、波动性、不可控性和地理分散性特点,指出其接入电网会提高电网调峰能力要求、备用容量需求和运行灵活性需求,并导致线路潮流反向等问题。针对这些挑战,本文重点探讨了新能源发电功率预测、出力控制、电网灵活性提升和电网协调优化调度等关键技术,并提出了源-网-荷储协调规划、柔性互联输电通道规划、电网结构优化与新能源配置、多时间尺度电网灵活性规划等新能源友好型电网规划设计技术,为新能源的高效利用和电力系统的安全稳定运行提供技术支撑。

关键词: 新能源发电; 电网调度运行; 功率预测; 灵活性; 协调优化

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-627X.2022.12.095

引言

近年来,世界各国纷纷出台政策大力发展风电、光伏等新能源,推动能源结构转型和低碳发展。我国提出力争2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和的目标,并制定了到2030年非化石能源占一次能源消费比重达到25%左右的规划,新能源发电将迎来前所未有的发展机遇。然而,新能源发电的随机性、间歇性和波动性特点,给电网调度运行带来诸多挑战。为实现新能源的高比例接入和消纳,亟须开展新能源发电接入电网的调度运行技术研究。

一、新能源发电的特点及其接入电网的影响

1. 新能源发电的特点

新能源发电,尤其是风电和太阳能发电,具有间歇性、波动性、不可控性和地理分散性等特点。风电和光伏发电的出力随风速和日照强度变化而波动,存在昼夜和季节性间歇,难以根据电力需求进行准确调控,出力预测难度大。新能源电站受资源分布限制,多位于电网末端,远离负荷中心,给电网调度运行带来挑战。要实现新能源的大规模开发利用,必须充分认识其随机性、波动性特征,加强功率预测和优化调度技术研究,改进电网规划建设模式,提高电网灵活调节能力,促进新能源与常规电源及电网的协调运行。

2. 新能源发电接入电网的影响

新能源发电大规模接入电网,对电网调度运行提出了新的挑战。一方面,新能源出力的波动性和反调峰特性增加了电网的调峰压力。为平衡新能源发电的波动,电网需要配置更多的灵活调节电源,提高调峰能力。同时,新能源出力的不确定性增加了电网对备用容量的

需求,既要确保系统备用容量的充裕性,又要兼顾经济性,避免备用过剩导致成本上升。另一方面,新能源发电接入改变了电网的潮流分布。新能源电站集中接入电网末端,可能引起局部区域潮流反向,给电网安全稳定控制带来新问题。远距离输电也增加了电网损耗和投资成本。此外,新能源发电难以像常规电源一样提供电压和频率控制等辅助服务,在高比例新能源并网后,电网调频和无功调节能力面临考验。

二、新能源发电接入电网的调度运行关键技术

1. 新能源发电功率预测技术

新能源发电功率预测是新能源大规模接入电网的基础。准确预测新能源发电出力,可以帮助电网优化调度,平衡电力供需,提高新能源消纳能力。常用的预测方法包括数值天气预报模型、统计学习模型和人工智能算法等。数值天气预报模型通过对大气物理过程进行数值模拟,结合气象数据和地理信息,预测未来风速、辐射强度等气象要素,并结合风电机组和光伏组件的发电特性,得到发电功率预测结果。统计学习模型通过分析历史发电数据与天气、时间等因素的关系,建立回归、时间序列等预测模型。人工智能算法如神经网络、支持向量机等,可以自动学习发电数据的内在规律,实现更精细化的发电功率预测。在实际应用中,通常采用多种预测方法集成,并结合电场实时测量数据,对预测结果进行误差校正,提高预测精度。随着气象探测、边缘计算、人工智能等技术的进步,新能源功率预测技术不断发展,多时间尺度、高空间分辨率的预测得以实现,新能源功率预测水平不断提升,为新能源并网消纳提供了重要支撑。

2. 新能源发电出力控制技术

新能源发电出力控制是提高新能源并网性能、保障电网安全稳定的关键技术。随着新能源渗透率的提高，无功功率调节、低电压穿越、一次调频和惯性响应等电网安全稳定控制能力面临挑战。风电和光伏发电机组需要具备无功补偿、电压调节能力，根据电网需求灵活调整无功出力，维持电压在合理范围内。低电压穿越控制可提高新能源机组对电网故障的适应能力，在电网发生短路故障时保证一定时间的不脱网运行，支撑电网恢复。虚拟同步发电机技术通过新能源逆变器模拟同步发电机特性，响应系统频率变化，参与一次调频，并提供虚拟惯性，提高电网频率稳定性。此外，通过新能源发电出力预测和储能系统协调优化，可以平滑新能源发电波动，削减输出功率变化率，减轻电网调节压力。合理配置新能源就地消纳和远距离输送比例，优化新能源逆变并网点，加强新能源群防群控，可在一定程度上实现新能源出力的平滑控制。随着智能逆变器、虚拟同步发电机、智能电网等新技术的发展和应用，新能源发电将从“无法调控”到“可部分调控”，再到“精准调控”，不断提升新能源并网消纳能力和电网运行安全性。

3. 电网灵活性提升技术

电网灵活性是指电力系统快速适应负荷和发电波动，维持供需平衡的能力。高比例新能源并网背景下，电网灵活性已成为安全稳定运行的关键。储能是提升电网灵活性的重要手段。电化学储能如锂电池、液流电池等，具有响应速度快、调节精度高等特点，适合提供调频、调峰等辅助服务。抽水蓄能电站可通过水泵和水轮发电机组调节，具有调峰调频和备用等多种功能，是电网灵活性资源的骨干力量。在用户侧布置分布式储能，可就近吸收新能源余电，削减负荷峰谷差，提高用户端可再生能源利用率。此外，需求响应通过价格或激励手段引导用户改变用电行为，在用电高峰时段减少用电负荷或转移用电负荷，可有效缓解电网调峰压力，提高电网对新能源出力波动的适应能力。电动汽车分散布置，可通过智能充放电参与电网调节，发挥移动储能作用。在供给侧，通过优化常规电源调度，挖掘火电、水电等电源的调节潜力，引入燃气轮机等快速响应单元，加强源网荷储协调优化，可进一步提升电网灵活性，促进新能源消纳。

4. 新能源发电与电网协调优化调度技术

大规模新能源接入背景下，需要统筹考虑新能源出力特性、常规电源运行约束、电网安全稳定等多方面因素，开展新能源发电与电网协调优化调度。在日前市场出清阶段，需兼顾新能源消纳和常规机组组合约束，开展机组组合优化，确定各类电源的出力计划。在日内实时调度阶段，需基于新能源出力预测，综合考虑电网拓扑、线路潮流、设备检修等状态，实时优化新能源出力控制、常规机组出力调整和储能充放电策略，最大化新能源消纳同时保障电网安全。在新能源高渗透情景下，可在电网暂态稳定约束下，开展二次调频配置、调度备用优化，提高系统抗风险能力。在电力市场环境，可结合新能源竞价上网，探索“新能源+常规”捆绑报价、“新能源+储能”联合出力等市场化交易机制，促进新能源平等参与市场交易。在实际调度中，可应用人工智能技术和高性能计算平台，提高新能源发电功率预测和电网安全约束的精度和计算速度，实现更优的新能源调度控制策略。未来坚强智能电网将充分吸纳和利用各类先进技术，实现全景感知、泛在互联、智慧调控，推动源网荷储协同优化，支撑高比例可再生能源并网消纳。

三、新能源友好型电网规划设计技术

1. 源一网-荷储协调规划

新能源友好型电网规划需统筹考虑电源、电网、负荷和储能等多个环节，开展源一网-荷储协调规划。在电源侧，要科学论证新能源装机规模和布局，统筹风电、光伏、水电等电源开发时序，优化新能源与常规电源的比例构成。在电网侧，要因地制宜规划新能源接入方案，加强电网网架结构优化和输电通道规划，充分利用已有输电通道，提高系统传输能力，降低电网投资成本。在负荷侧，要加强负荷预测和需求侧管理，引导负荷错峰避谷用电，提高负荷与新能源出力的匹配度，促进新能源就地消纳。在储能侧，要统筹规划集中式和分布式储能，优化储能的类型、容量和布点，充分发挥储能削峰填谷、提升系统灵活性的作用。源一网-荷储协调规划要统筹兼顾技术经济性和环境效益，量身定制适应新能源发展的电网规划方案，实现多目标协调优化。随着新能源渗透率的提升，源一网-荷储耦合趋势加强，全局统筹和一体化规划将成为新能源友好型电网规划的主流模式。

2. 柔性互联输电通道规划

柔性互联输电通道是实现新能源跨区输送、促进清洁能源消纳的重要载体。相比常规输电通道，柔性直流输电技术具有输电距离长、控制灵活、潮流可逆等优势，可有效缓解新能源高渗透地区电网柔性不足的问题。在新能源富集区，可规划建设清洁能源基地外送通道，利用柔性直流技术实现新能源长距离输电，促进资源优化配置。在负荷中心，可通过柔性直流技术灵活引入周边电网富余新能源电力，满足负荷中心清洁电力需求。在区域互联场景下，柔性直流输电通道可作为不同电网间的“联络线”，实现清洁能源跨区域辅助支撑，提高电力系统的互济共享能力。在柔性互联输电通道规划中，要统筹考虑新能源资源禀赋、电力电量平衡、输电线路走廊、换流站选址、电网安全稳定等因素，优化输电通道的规模、走向和技术方案，实现多区域电网互联和新能源优化配置。

3. 电网结构优化与新能源配置

新能源大规模接入对电网结构提出了新的要求。传统电网多采用辐射状结构，电源集中布置在负荷中心附近，电力由电网中心向周边放射。而新能源电站多分布在电网末端，且出力波动性大，传统电网结构面临新能源接入和消纳难题。因此，需要加强电网结构优化设计，适应新能源分散接入、多点向中心反送的新形势。在新能源高渗透地区，可采用多回路、网状化的电网接入方式，提高电网的供电可靠性和内部转移能力。在新能源集中连片开发地区，宜采用集中式接入和就近接入相结合的方式，统筹优化升压站和集电线路布置，降低接网成本。在负荷中心，可因地制宜配置分布式新能源，实现新能源就近消纳，减少远距离输电损耗。同时，要加强新能源与常规电源的混合配置，利用火电、水电等常规电源的调节能力，提高系统对新能源波动的适应性。在新能源接入较多的重要输电通道，可配置电力电子设备、储能装置等灵活性资源，提升输电通道的安全稳定水平。此外，电网规划还要统筹考虑电力市场化交易和新能源消纳影响，完善电网结构与市场机制的适配性。

4. 多时间尺度电网灵活性规划

电网灵活性已成为新能源高占比电力系统安全运行的关键能力。为适应新能源出力快速波动和频繁变化，需要从多时间尺度开展电网灵活性规划。长时间尺度

上，要统筹电源、电网、负荷、储能的协调发展，合理确定新能源装机规模和布局，配套建设电网基础设施和灵活性资源，提升电力系统的整体调节能力。中长期时间尺度上，要开展灵活性资源的中长期规划，包括抽水蓄能电站、电化学储能电站、可再生能源制氢等，优化各类灵活性资源的规模、类型和布局，满足电力系统调节备用容量需求。中短期时间尺度上，要强化需求侧资源的灵活性挖掘，通过需求响应、分布式储能、电动汽车智能充放电等手段，引导用户参与电网调节，提高负荷的灵活调节能力。在实时调度时间尺度上，要加强灵活性资源的协调优化调度，根据新能源出力预测和电网运行状态，合理安排火电深调峰、储能充放电、需求响应等灵活性资源出力，保障电力系统实时平衡。此外，还要充分利用先进的计算和通信技术，构建覆盖发电、输电、变电、配电、用电等环节的智慧能源系统，实现灵活性资源的实时监测、智能分析和自动调控，进一步提升电网灵活性。

结束语

新能源发电的大规模接入和高效利用，是实现碳达峰、碳中和目标和构建清洁低碳电力系统的必由之路。本文针对新能源发电接入电网面临的关键问题，分析了新能源发电特点，总结了促进新能源消纳的电网调度运行关键技术，并提出了新能源友好型电网的规划设计思路。未来还需进一步加强新能源发电的精细化功率预测、高效协调控制和灵活调度运行技术研究，完善新能源友好型电网的顶层设计和规划建设，推动源网荷储多元主体的协同优化，提升电力系统运行的经济性和灵活性，为建设清洁低碳、安全高效的现代电力系统提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 李国俭, 刘智超. 智能电网及其在新能源发电中的应用分析[J]. 企业管理, 2021, (S1): 344-345.
- [2] 李其军. 大规模新能源接入电网的思考[J]. 中国电力企业管理, 2021, (27): 42-43.
- [3] 施海炜, 许钢彦. 新能源并网与电能质量矛盾破解[J]. 中国电力企业管理, 2021, (18): 56.
- [4] 朱锐, 黎劲松, 杨宝起等. 高比例新能源接入区域电网稳定控制技术探讨[J]. 电工技术, 2021, (12): 46-49.