

新能源发电与分布式发电及其对电力系统的影响

闫文吉 马慧霞

中国广核新能源控股有限公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要：本文阐述新能源发电（光伏、风电等）与分布式发电的核心概念、技术特征及发展现状，系统分析二者大规模接入对电力系统运行稳定性、调度控制、规划建设及经济性的多维度影响，指出新能源间歇性、分布式分散性带来的核心挑战，结合当前技术与政策现状，提出技术优化、调度革新、规划完善的针对性应对措施，为新能源与分布式发电融入电力系统、推动能源清洁低碳转型提供理论与实践参考。

关键词：新能源发电；分布式发电；电力系统；影响

引言：全球能源转型进程加快，新能源替代传统化石能源成为必然趋势，分布式发电因就近消纳、灵活高效的优点快速发展，截至2024年底全球新能源累计装机突破40亿千瓦，我国分布式光伏装机达3.7亿千瓦。二者大规模接入重塑电力系统格局，既带来能源利用效率提升、碳排放降低的利好，也引发电网稳定、调度困难等问题，因此深入研究其影响并提出应对策略，对推动电力系统高质量发展具有重要意义。

1 新能源发电与分布式发电的核心概念及发展现状

1.1 新能源发电的核心类型与技术特征

（1）太阳能发电主要分为光伏和光热两类：光伏发电借助光伏电池光生伏特效应，将太阳辐射能直接转化为电能，安装灵活、运维简便，适配户用、工商业等多场景；光热发电通过反射镜聚光加热工质，搭配蒸汽轮机发电，可结合储能实现24小时稳定供电，弥补光伏间歇性短板，已具备规模化商业化基础。（2）风力发电分为陆上与海上风电，各有优劣：陆上风电技术成熟、建设及运维成本低，适配草原、戈壁等开阔地形，是当前风电产业主力；海上风电风能资源更丰富、发电效率高且不占地，但存在建设难度大、运维成本高、受海洋腐蚀等问题，受地理和生态保护限制，发展需科学把控。

（3）其他新能源发电包括生物质能、地热能等，目前均稳步发展：生物质能发电利用农林废弃物、畜禽粪便等，通过焚烧、气化转化为电能，实现废弃物资源化；地热能发电依托地下热能，稳定性强、环保性突出，但受地质条件限制，仅特定区域可规模化应用，尚未全面普及。

1.2 分布式发电的定义、分类与核心优势

（1）分布式发电的官方定义为：在用户场地附近建设，以自发自用、余电上网为主要模式，以配电网平衡调节为核心特征的小型发电设施，其核心界定标准是就

近利用能源、就近消纳电能，涵盖新能源发电及资源综合利用类发电项目。（2）分布式发电主要有两种分类方式：按能源类型可分为太阳能、风能、生物质能、地热能等分布式发电；按安装场景可分为户用分布式（如家庭光伏）、工商业分布式（如厂房光伏）、农村分布式等，其中户用和工商业分布式是当前国内应用最广泛的两种类型。（3）相较于集中式发电，分布式发电具有独特优势：一是就近消纳，减少电能传输过程中的损耗，提升能源利用效率；二是建设周期短、规模灵活，可根据用户需求灵活调整装机容量；三是能缓解电网供电压力，搭配储能系统可提升局部电网稳定性，适配乡村振兴、工业园区节能等多元场景^[1]。

1.3 新能源与分布式发电的全球及国内发展现状

（1）全球范围内，新能源发电装机容量持续攀升，分布式发电增速领跑，截至2024年底，全球新能源累计装机突破40亿千瓦，其中分布式光伏、海上风电成为新的增长热点，各国纷纷出台政策推动清洁低碳转型，新能源替代传统化石能源的趋势愈发明显。（2）我国高度重视新能源与分布式发电发展，布局上重点推进分布式光伏普及，兼顾陆上、海上风电协同发展，2024年底分布式光伏累计装机达3.7亿千瓦；政策层面简化项目备案流程、优化电网接入服务，出台补贴及消纳保障政策，引导电能就地消纳，推动新能源与分布式发电高质量发展。（3）典型应用案例方面，区域案例有青海格尔木光热发电项目，是全球单机规模最大的光热发电项目，实现光热与光伏协同供电；企业及场景案例有农村地区“千家万户沐光行动”，推动户用光伏全覆盖，工业园区分布式光伏项目实现自发自用、余电上网，形成可复制、可推广的应用模式。

2 新能源发电与分布式发电对电力系统的影响分析

2.1 对电力系统运行稳定性的影响

(1) 新能源发电受自然条件制约, 具有显著的间歇性和波动性, 直接影响电网频率稳定。太阳能发电依赖光照强度, 风力发电受风速变化影响, 二者出力均无法持续稳定, 当新能源装机占比过高时, 电网有功功率平衡易被打破, 导致频率偏离额定范围, 若调频资源不足, 会进一步加剧频率波动, 影响电力系统正常运行。

(2) 分布式发电分散接入配电网, 会对电网电压质量产生明显扰动。分布式电源出力波动易引发配电网节点电压偏差, 超出允许范围会影响用电设备正常工作; 同时, 光伏逆变器、风电变流器等电力电子设备运行时, 会产生谐波污染, 叠加配电网原有谐波, 导致电压波形畸变, 降低电网供电质量^[2]。(3) 新能源与分布式发电接入会改变电力系统的暂态与动态稳定特性。暂态方面, 新能源电源的惯性较小, 故障发生时难以快速提供有功支撑, 可能导致系统暂态功角不稳定; 动态方面, 电力电子设备的控制特性与传统同步发电机差异较大, 易引发系统振荡, 影响电力系统动态稳定, 增加故障处置难度。

2.2 对电力系统调度与控制的影响

(1) 分布式电源具有分散性、小型化特点, 大量分散接入配电网, 对传统集中式调度模式构成挑战。传统调度以集中式电源为核心, 可精准掌控电源出力, 而分布式电源数量多、分布广, 调度中心难以全面监测和管控每一个电源节点, 导致调度范围扩大、复杂度大幅提升。(2) 新能源出力受自然条件影响大, 预测难度较高, 直接影响调度精度。目前, 太阳能、风能出力预测仍存在一定误差, 尤其是短期预测精度不足, 调度中心难以根据预测结果精准制定发电计划, 易出现有功功率供需失衡, 增加调度调整难度, 甚至影响供电可靠性。

(3) 新能源与分布式发电的大规模接入, 对电力系统调频、调压策略提出新要求。传统调频主要依赖同步发电机的惯性响应, 而新能源电源惯性小, 需优化调频策略, 引入储能系统、需求响应等辅助手段; 调压方面, 需适配分布式电源的出力波动, 优化配电网调压装置控制方式, 确保电压稳定在合理范围^[3]。

2.3 对电力系统规划与建设的影响

(1) 新能源与分布式发电的发展, 推动电网规划(输电、配电网络)进行调整。输电网络方面, 需优化跨区域输电通道布局, 解决新能源资源富集区与负荷中心分布不均的问题, 实现电力远距离输送; 配电网络方面, 需打破传统辐射式规划模式, 构建灵活、可靠的配电网架构, 适配分布式电源的分散接入。(2) 大量分布式发电接入, 对配电网改造提出迫切要求。现有配电网

设计初衷未充分考虑分布式电源接入需求, 线路承载力、保护装置配置等难以适配, 需改造配电网线路、升级保护与控制设备, 完善配电网通信系统, 提升配电网对分布式电源的接纳能力和运行灵活性。(3) 新能源的间歇性、波动性, 推动电力系统储能设施加速建设。储能系统可实现新能源出力的平抑与存储, 缓解出力波动对电网的影响, 提升系统调峰调频能力, 因此, 随着新能源与分布式发电规模扩大, 储能设施的建设需求大幅增加, 成为电力系统规划建设的重要组成部分。

2.4 对电力系统经济性的影响

(1) 新能源与分布式发电的成本呈现持续下降趋势, 投资成本方面, 光伏、风电组件价格逐年降低, 分布式发电项目投资门槛不断降低; 运营成本方面, 新能源发电无需消耗化石燃料, 运维成本远低于传统火电, 但分布式发电因分布分散, 运维难度较大, 一定程度上增加了运维成本。(2) 新能源与分布式发电对电力系统供电成本和电价机制产生深远影响。一方面, 新能源发电替代传统火电, 可减少燃料消耗, 降低系统供电成本; 另一方面, 分布式发电的自发自用模式, 改变了传统电力供销格局, 对现有电价机制提出挑战, 需完善分时电价、上网电价等政策, 兼顾各方利益^[4]。(3) 分布式发电就近消纳的特点, 可大幅降低电力传输过程中的电网损耗, 提升能源利用效率, 带来显著的经济性效益; 同时, 随着技术进步和规模效应凸显, 新能源与分布式发电的经济性优化空间广阔, 通过优化并网技术、提升储能效率、完善调度机制等, 可进一步降低系统整体成本。

3 应对新能源与分布式发电对电力系统影响的策略与措施

3.1 技术层面的应对措施

(1) 优化与应用新能源出力预测技术, 提升预测精度以缓解出力波动影响。整合气象监测数据、历史出力数据, 结合人工智能、大数据算法, 构建多维度预测模型, 重点优化短期和超短期出力预测精度, 降低光照、风速等自然因素对预测结果的干扰; 同时, 建立预测误差反馈机制, 实时修正预测结果, 为电力系统调度提供精准的数据支撑, 减少出力波动对电网稳定的冲击。

(2) 推广与完善储能技术, 破解新能源间歇性、波动性难题。重点推广电化学储能、机械储能等主流储能技术, 其中电化学储能依托锂电池、钒液流电池等设备, 适配分布式场景, 实现出力平抑和应急供电; 机械储能(如抽水蓄能、压缩空气储能)聚焦大规模调峰, 提升系统容量支撑能力。同时, 完善储能技术标准, 降低储

能设备成本,推动储能与新能源、电网深度融合,提升系统灵活性。(3)升级智能电网技术,实现分布式电源协同控制。加快智能电网基础设施升级,完善配电网通信网络和监测体系,实现对分布式电源出力、电网运行状态的实时监测与精准调控;构建分布式电源协同控制平台,整合各类分布式电源资源,实现分布式电源与电网、储能系统的协同运行,优化功率分配,缓解分布式接入对电网电压、频率的扰动,提升电网接纳能力。

3.2 调度与控制层面的优化策略

(1)革新调度模式,适配分布式电源分散接入特点。打破传统集中式调度模式,构建“集中调度+分布式调度”的协同调度体系,赋予配电网调度自主权,实现对分布式电源的就近调度、灵活管控;引入虚拟电厂技术,整合分散的分布式电源、储能设备和可控负荷,形成聚合效应,将其作为单一调度单元参与电网调度,降低调度复杂度。(2)优化调整调频、调压策略,适配新能源接入需求。调频方面,突破传统同步发电机调频局限,构建“新能源+储能+需求响应”的复合调频体系,利用储能系统快速响应特性,弥补新能源惯性不足的短板,提升系统调频精度;调压方面,优化配电网调压装置(如变压器、无功补偿设备)控制策略,结合分布式电源出力波动,实时调节节点电压,抑制电压偏差和谐波污染,保障电压质量^[5]。(3)构建分布式电源与大电网的协同调度机制,实现供需平衡。建立分布式电源出力信息共享平台,打通分布式电源与大电网调度中心的数据壁垒,实现出力预测、运行状态的实时互通;制定协同调度规则,明确分布式电源与大电网的功率交互标准,在保障大电网稳定运行的前提下,优先消纳分布式电源出力,优化电力资源配置,提升系统运行效率。

3.3 规划与政策层面的保障措施

(1)优化完善电力系统规划,适配新能源与分布式发电发展。结合新能源资源分布和负荷需求,优化输电、配电网规划,完善跨区域输电通道布局,解决新能源富集区电力外送问题;重点加强配电网规划,按照

分布式电源接入需求,改造升级配电网线路和设备,扩大配电网接纳能力,构建灵活、可靠、高效的电网架构。(2)调整完善支持政策,助力新能源与分布式发电健康发展。优化新能源发电补贴政策,重点向分布式发电、储能技术倾斜,降低项目投资门槛;简化分布式发电项目备案、并网审批流程,提升并网效率;完善上网电价、分时电价机制,鼓励分布式电源自发自用、余电上网,激发市场主体积极性,推动新能源与分布式发电规模化发展。(3)完善标准体系与技术规范,规范行业发展。加快制定新能源发电、分布式电源并网、储能系统应用等方面的标准规范,明确技术要求、安全标准和接入准则;完善电力系统运行、调度、运维相关规范,统一分布式电源管控标准,解决不同类型分布式电源并网兼容性问题,为新能源与分布式发电融入电力系统提供制度保障。

结束语

新能源与分布式发电的发展是实现“双碳”目标的重要支撑,其对电力系统的影响兼具机遇与挑战。尽管当前面临出力波动、电网适配、调度复杂等难题,但通过技术创新、调度优化与政策保障,可有效破解瓶颈。未来需持续推动新能源与储能、智能电网深度融合,完善标准体系,优化发展模式,助力电力系统向清洁化、灵活化、高效化转型,实现能源可持续发展。

参考文献

- [1]谢晶晶.新能源发电与分布式发电及其对电力系统的影响[J].科学与财富,2020,(24):16-18.
- [2]钟俊琛.新能源并网对电力系统电能质量的影响[J].集成电路应用,2023,40(3):184-185.
- [3]李鹏伟.智能配电网技术在配电网规划中的应用[J].光源与照明,2023,(12):201-203.
- [4]贺红军.新能源发电和分布式发电对电力系统的影响分析[J].光源与照明,2022,(8):159-161.
- [5]吴鹏.新能源并网对电力系统电能质量的影响[J].光源与照明,2022,(3):246-248.