

基于分布式光伏的微电网集群构建及其对新型电力系统的支撑作用

陈金星 许郁煌

福建水利电力职业技术学院 福建永安 366000

摘要：在当下能源转型以及“双碳”目标不断推进的大环境中，分布式光伏实现规模化接入，这给电力系统给予了全新的机遇同时也给予了挑战。微电网作为可整合本地分布式资源、提升供电可靠性的有效载体，正逐渐朝着集群化的方向发展。本文重点关注基于分布式光伏的微电网集群构建，对其协同运行机制以及关键技术展开探讨，主要关注分布式光伏微电网集群的构建逻辑，深入分析其在新型电力系统中的支撑作用，以此为能源转型背景下的电力系统升级提供理论以及实践方面的参考。

关键词：分布式光伏；微电网集群；新型电力系统

引言：

分布式光伏有着可在当地进行消纳以及有清洁低碳的优势，然而由于受到光照间歇性以及出力波动性的影响，当它大规模并入电网时容易引发电压波动、频率偏移等一系列问题，对能源利用效率以及电网稳定性造成了制约。微电网作为一种将分布式电源、负荷与储能整合在一起的局部能源系统，它可以达成对分布式光伏的灵活调控，依靠相互连接协同以及资源共享，可平稳出力波动、提高供电可靠性，成为解决分布式光伏并网瓶颈的关键途径。

1. 微电网集群的关键支撑技术

微电网集群可稳定运行并高效支撑新型电力系统，这离不开多维度关键技术的协同赋能，分布式光伏出力预测技术借助融合气象数据、历史运行数据以及机器学习算法，达成短期与超短期出力的精准预判，为集群内电源调度和负荷匹配奠定基础。集群协同控制技术以分层分布式架构为依托，依靠边缘计算节点与云端控制中心的实时交互，统筹各微电网的光伏出力、储能充放以及负荷需求，动态优化功率分配策略，抑制单微电网的出力波动，保障集群整体供电质量以及电网频率稳定。储能配置与运维技术针对光伏间歇性特征，合理规划电化学储能、虚拟储能等多种储能形式的容量与布局，依靠充放电策略优化以及状态监测实现储能资源的高效利用，提升集群削峰填谷以及应急供电能力，集群互联与通信技术依靠5G、物联网等高速传输网络，构建低时延、高可靠的信息互通通道，支撑各微电网间的实时数据共享、

指令传输以及协同响应，保证集群与主网的柔性互联以及孤网运行模式的平滑切换。源网荷储互动技术凭借挖掘可调节负荷的柔性潜力，结合需求响应机制引导用户侧用电行为与光伏出力协同，实现集群内能源供需的动态平衡，同时提高对新型电力系统的灵活性支撑。

2. 基于分布式光伏的微电网集群构建逻辑

构建基于分布式光伏的微电网集群，要把资源高效利用、系统稳定运行以及适配新型电力系统需求当作核心要点，借助拓扑结构优化、控制架构设计以及关键技术集成，形成协同有序的复杂能源系统。拓扑结构设计乃是集群构建的根基所在，需要遵循兼容性、灵活性、可靠性以及经济性这四大原则，结合分布式光伏分散布局的特点来看，辐射型拓扑适合应用于负荷集中且地域范围较小的区域，借助主微电网带动周边从属微电网进行互联，以此降低建设成本，环网型拓扑依靠多路径供电的优势，可提升集群抗故障的能力，适配新能源出力波动较大的场景，保障供电的连续性，混合型拓扑融合了前两者的优势，可以依据区域资源分布以及负荷特性进行动态调整，比如工业园区采用“环网+辐射”的组合模式，能契合工业负荷对于高可靠性的需求，又能适配分布式光伏的分散接入。集群内的分布式光伏需要结合光照资源分布来优化布局，优先在建筑屋面、闲置空地等区域进行布置，储能系统则靠近负荷中心或者光伏集中接入点进行配置，达成出力波动的就近平抑，负荷布局要与光伏出力时序特性相匹配，提升就地消纳比例。

协同控制架构运用分层分布式模式，达成各层级精确调控以及全局协同，底层微电网本地控制承担着光伏出力实时监测、储能充放电本地调节以及负荷就地平衡的任务，借助本地控制器迅速回应局部扰动，中层集群协同控制作为核心层级，依靠边缘计算节点收集各个微电网的运行数据，运用模型预测控制算法制定全局功率分配策略，抑制集群整体出力波动，协调储能与可调节负荷的跨微电网调度，上层与主网交互控制负责集群与主网的功率平衡调节，依据主网频率、电压状态动态调整上网功率，达成柔性互联，故障时快速切换至孤网模式保障关键负荷供电。三级控制架构能保障各微电网运行的自主性，又能依靠协同调度实现集群整体的优化目标，兼顾稳定性与灵活性。

关键支撑技术体系对集群构建起到核心保障作用，分布式光伏出力预测技术把气象卫星数据、地面监测数据以及机器学习算法融合在一起，构建短期和超短期预测模型，提高出力预判的准确性，为调度决策提供数据方面的支持。集群互联与通信技术借助5G、物联网搭建起低时延、高可靠的信息通道，达成控制指令与运行数据的实时传输，保证协同控制的响应速度，储能优化配置技术依据光伏出力特性和负荷需求，确定电化学储能、虚拟储能等多元储能的容量与布局，依靠充放电策略的优化来延长储能寿命、提高利用效率，源网荷储互动技术挖掘工业负荷、居民柔性负荷的调节潜力，结合需求响应机制引导用户用电行为与光伏出力相协同，实现供需动态平衡，为集群稳定运行和高效优化提供关键支撑。

3. 微电网集群对新型电力系统的多维支撑作用分析

3.1 提升新能源消纳能力，助力能源结构低碳转型

微电网集群借助地域协同以及资源整合，为新型电力系统大规模消纳分布式光伏等可再生能源给予关键支持，解决新能源并网方面的瓶颈问题。微电网集群依靠多个微电网在地理空间上的分散特性，可以充分利用不同区域光照条件的时空互补特点，借助集群级协同调度实现出力波动的自然抑制。比如，当某一区域遇到云层遮挡致使光伏出力急剧下降时，相邻区域微电网的富余光伏电力可借助互联通道迅速补充，有效弥补局部出力缺口。集群内整合的多元储能资源以及可调节负荷，可依据光伏出力变化灵活调整充放电状态以及用电行为，形成“源储荷”协同调节体系，抑制短期功率波动，降低新能源并网对主网电压、频率的影响，另外微电网集群依靠全局优化调度，可将分布式光伏出力在集群内

部优先进行就地消纳，减少远距离输电过程中的能源损耗，并且根据主网运行状态灵活调整上网功率，避免新能源出力与主网负荷峰谷倒置造成的弃电问题。这种多维度的消纳保障机制，能提升分布式光伏的利用率，还可以推动可再生能源在电力系统中的占比不断提升，为新型电力系统实现低碳转型目标提供有力支撑，帮助“双碳”愿景实现。

3.2 强化电网安全稳定，提升系统弹性与抗扰能力

微电网集群凭借柔性互联以及独立运行这两个特性，为新型电力系统打造多层次安全防护体系，提高了电网运行的稳定性和弹性，在新型电力系统里，分布式电源大规模接入以及电力电子设备广泛应用，让电网的动态特性变得更复杂。微电网集群采用分层分布式控制架构，各个微电网能保持相对独立的运行自主权，又能借助集群控制中心达成全局协同，正常运行时可依据主网频率、电压偏差实时调整出力与负荷，维持和主网的功率平衡，防止局部功率失衡引发电网波动。在极端天气、设备故障等突发状况下，微电网集群有快速切换到孤网运行模式的能力，凭借内部储能放电、可调节负荷切除等举措，保障医疗设施、交通信号、居民基本用电等关键负荷持续供电，降低大面积停电风险，集群内分布式储能与分布式电源分散布局，使电力系统故障影响范围被限定在局部区域，减少单一故障点对整个电网的冲击，并且集群间互联通道能实现故障区域的电力支援，加快电网恢复进程。微电网集群还可以借助需求响应机制调动用户侧柔性负荷的调节潜力，在电网出现频率偏移、电压越限等异常时，迅速削减或转移部分非关键负荷，缓解电网运行压力，提升系统抗扰动能力与故障恢复速度，为新型电力系统安全稳定运行筑牢防线。

3.3 优化系统运行效率，推动供需互动与资源集约

微电网集群借助全局资源的优化配置以及供需双侧的协同作用，可较大提升新型电力系统的运行效率，提高其经济性，达成能源资源的集约利用目的。微电网集群突破了单一微电网的能源边界，借助集群控制中心对各微电网的光伏出力、储能状态、负荷需求等数据展开实时采集与分析，制定全局优化调度策略，把富余电力在集群内部进行高效流转，减少跨区域远距离输电所带来的能源损耗以及建设投资。比如工业微电网在低谷时段的富余光伏电力可输送至商业微电网，以契合其高峰用电需求，居民微电网的分布式光伏出力可对电动汽车充电网络的用电需求给予支撑，实现

能源的梯级利用以及精准匹配，微电网集群深入挖掘用户侧柔性负荷潜力，凭借分时电价、需求响应补贴等激励举措，引导用户调整用电行为，让负荷曲线与光伏出力曲线趋于匹配，降低系统峰谷差，减少为应对负荷高峰而建设的备用电源容量，降低电力系统的整体投资成本以及运行成本。微电网集群依靠智能计量、物联网等技术，实现对能源生产、传输、消费全链条的精细化管理，实时监测能源利用效率，及时发现并优化运行薄弱环节，推动能源利用效率最大化，这种“源网荷储”协同优化的运行模式，降低了新型电力系统的运行成本，实现能源资源的集约高效利用，为新型电力系统的可持续发展提供强大动力。

3.4 支撑新型负荷适配，推动多元场景能源供给

微电网集群依靠其灵活的能源配置以及协同调度能力，可为新型电力系统里的各类新兴负荷给予定制化的能源支持。微电网集群凭借整合分布式光伏、多元储能与柔性负荷资源，构建“源-储-荷”一体化能源供给单元，能依据不同新型负荷的用电特性制定差异化供电策略，对于电动汽车充电网络，集群可借助分布式光伏的日间出力高峰以及储能充放电调节，匹配充电负荷的日间集中需求，凭借分时电价引导用户错峰充电，同时为充电桩提供就近供电，减少远距离输电压力与线路损耗，对于数据中心这类对供电可靠性要求极高的负荷，集群依靠多微电网冗余供电与快速故障切换技术，保障不间断供电，同时利用光伏清洁能源降低数据中心碳排放，契合“绿色数据中心”发展趋势。特别是智能楼宇与园区负荷，集群可整合建筑光伏、储能系统与楼宇自控系统，实现能源生产、储存、消费的闭环管理，依据室内温湿度、人员流动等动态调整供能策略，提升用能舒适度与能源利用效率。这种精准适配能力契合了新型负荷的多元化用能需求，还推动新型电力系统向“负荷友好型”转型，为交通电气化、数字经济发展提供坚实能源保障，促进电力系统与相关产业深度融合。

3.5 赋能能源互联网建设，加速跨域协同发展

微电网集群身为能源互联网的核心节点以及关键载体，借助技术融合以及机制创新，为新型电力系统帮助能源互联网建设给予核心支持，促使能源系统实现跨域协同以及高效运转。在技术方面，微电网集群依靠5G、物联网、边缘计算等数字技术，构建起覆盖能源生产、传输、消费整个链条的智能感知与信息交互网络，达成分布式光伏出力、储能状

态、负荷需求等数据的实时共享以及高效处理，为能源互联网的“数字赋能”打下基础，在多能源协同方面，集群可打破电、气、热、冷等单一能源品类的界限，借助耦合装置达成多能源形态的转化与互补，比如把富余光伏电力借助电制气、电采暖等技术转化为其他能源形式储存或者利用，提高综合能源利用效率，推动新型电力系统朝着综合能源服务延伸。在跨域协同方面，微电网集群可作为区域能源枢纽，达成与周边集群、主网以及其他能源网络的柔性互联，依靠跨区域功率互济、能源交易以及协同调度，优化更大范围的能源资源配置，打破地域能源壁垒，集群借助接入能源大数据平台以及市场化交易机制，让用户从单纯的能源消费者转变为“产消者”，激发用户侧参与能源治理的积极性，推动能源互联网的多元主体协同治理。这种跨域协同以及技术赋能能力，加速了能源互联网的建设进程，还拓展了新型电力系统的服务边界以及发展空间，推动能源系统朝着开放、共享、协同的现代化形态演进。

结语：综述，分布式光伏的微电网集群依靠其独特技术优势以及协同特性，成为新型电力系统建设的核心支撑力量，科学的构建逻辑可整合分布式能源资源，在新能源消纳、电网安全稳定、系统效率优化、新型负荷适配以及能源互联网赋能等多个维度发挥关键作用。破解了分布式光伏并网难题，还推动电力系统朝着清洁低碳、安全高效、灵活开放的方向发展，促使微电网集群规模化、标准化发展，为新型电力系统高质量建设以及“双碳”愿景实现提供更坚实的能源支撑。

参考文献：

- [1] 欧智清. 考虑荷源不确定性的微电网集群系统优化调度方法研究 [D]. 广东工业大学 ,2025.
 - [2] 姚琪敏 . 计及 5G 基站集群需求响应的含多微网配电网优化调度 [D]. 东北电力大学 ,2025.
 - [3] 刘雨航 . 面向风光燃储的多源微电网集群协调控制及优化策略研究 [D]. 河南理工大学 ,2024.
 - [4] 张睿 . 考虑多能源微网集群的配网优化调度策略研究 [D]. 沈阳工业大学 ,2024.
 - [5] 胡家健 . 直流微电网集群能量调度与电压控制策略研究 [D]. 中南大学 ,2024.
- 作者简介：**陈金星（1965.10-）男，汉族，中国福建人，本科，福建水利电力职业技术学院，副教授，主要研究方向电气工程；