

新能源并网技术与电气工程及其自动化融合发展研究

邓书堂 代俊安

湖北紫电电气集团有限公司 湖北 荆州 434000

【摘要】：风光新能源高占比并网是新型电力系统建设的核心趋势，新能源出力具备波动特性，分布式电源建模流程复杂，电网调控存在明显阻碍，这类问题影响电网安全稳定运行，制约新能源资源有效消纳。文章围绕新能源并网建模、智能并网控制、多维度协同优化三项核心技术开展研究，依托电气工程自动化的数据融合、智能控制、图论分析等技术，构建风光资源时空分析、分布式电源集群等值建模体系，优化虚拟同步机控制、自适应最大功率跟踪等并网算法，搭建电能质量整治、源网荷储调配、微电网集群联动的一体化应用架构。工程应用案例证实，相关技术可优化新能源并网仿真效果，增强电网调控效能，提高新能源利用效率，攻克高渗透率新能源并网的各类技术难题，为新型电力系统稳定运转提供坚实技术支撑。

【关键词】：新能源并网；电气工程自动化；智能控制；源网荷储；电网协同优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.003

引言

双碳目标下，风光新能源规模化、高渗透率并网推动电力系统完成结构转型，新能源发电本身的出力波动、随机变化及分布式电源分散接入形式，对电网建模、运行调控与电能治理工作产生较大挑战。传统建模方式存在明显性能短板，算力消耗体量较大，现有并网算法难以适配复杂多变的外部环境与电网工况，固定调控形式无法适配多主体协同运行场景。结合电气工程自动化核心技术，针对新能源并网的建模、控制、优化内容开展专项研究，依托多项省级百万千瓦级示范工程完成技术验证，攻克新能源并网运行现存痛点，助力新型电力系统实现稳定高效的智能化运行。

1 新能源并网建模与自动化基础支撑技术

1.1 风光新能源资源时空特性建模技术

风光新能源出力存在明显时空波动特征，电气工程自动化的数据融合与数值仿真技术可搭建标准化风光资源时空建模体系。体系整合风云卫星遥感、地面气象监测与场站实测三类基础数据，依托时空插值算法构建精细化资源分布模型，按照秒级、小时级、季节性分层划分波动尺度，适配电能质量校核、电网调度规划、年度资源评估等不同仿真应用场景^[1]。省级能源气象协同工程融入机器学习订正算法，改善微地形环境引发的测算偏差，搭建0.25km高精度时序资源模型并接入电网自动化预测平台，风光资源评估误差降幅可达12%以上，完成资源特性量化分析与电网仿真系统的自动化联动，从技术层面改善新能源出力不确定导致的并网仿真精度缺陷，为新能源并网规划工作提供稳定的数据支撑。

1.2 分布式电源集群等值自动化建模方法

大量分布式光伏与小型风电零散接入配电网，精细化全域

建模会引发仿真维数灾难。电气工程自动化图论分群、智能潮流计算技术，能够完成分布式电源集群等值自动化建模。发电单元依据潮流灵敏度与电压相关性完成集群划分，电气距离相近的设备可自动聚合形成虚拟等效模型，结合多时间尺度自适应建模方式适配电网运行需求，稳态调度使用简化模型，暂态校核启用精细模型。百万千瓦级分布式光伏示范工程应用该建模体系，上万零散发电单元被整合为二十余组集群模型，电网仿真计算时长缩减七成。自动化参数辨识技术可智能录入设备运行数据，保留系统并网动态响应特征，削减仿真算力消耗，适配高渗透率分布式新能源电网的稳定分析工作（见图1）。

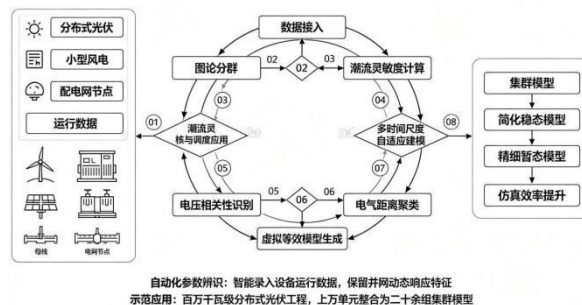


图1 分布式电源集群等值自动化建模方法

2 融合型并网控制与智能化监控体系

2.1 虚拟同步机主动支撑并网控制技术

电力电子并网设备缺少同步发电机的固有惯量与阻尼属性，难以维持电网运行稳定，虚拟同步机控制算法依托电气工程自动化闭环控制技术优化升级，复刻同步机转子运行规律，搭建有功调频、无功调压双闭环调节架构。系统动态匹配虚拟惯量参数，兼顾电网调频需求与变流器运行边界，让新能源电源改变传统跟网运行模式，主动参与电网稳定支撑。220kV风光储并网示范项目搭载新型控制模块，机组一次调频响应时长

控制在 80 毫秒内，电网频率波动范围大幅收缩。设备实时更新控制参数，电网故障阶段输出无功功率完成电压支撑，契合低电压穿越并网规范，改善高比例新能源电网惯量缺失、调频性能不足的运行问题。

2.2 自适应新能源最大功率跟踪控制算法

传统固定步长最大功率跟踪算法适配性较差，光照、风速突变工况中会出现功率振荡与跟踪失效现象^[2]。结合电气工程自动化模糊控制、神经网络技术优化的自适应 MPPT 算法，能够妥善处理这类运行缺陷。算法根据功率变化梯度调整搜索步长，结合环境变动趋势预判下发控制指令，全局扫描配合局部精细搜索，处理光伏遮挡、风机湍流造成的功率曲线多峰畸变问题。山地风光互补电站投入该算法后，复杂气象下的功率跟踪误差显著降低，稳定锁定最大功率点。控制器搭载智能保护逻辑，极端工况中自主切换轻载运行模式，保障新能源机组在复杂环境下持续稳定高效出力。

3 多维度协同优化融合应用关键技术

3.1 并网电能质量自动化协同治理技术

新能源并网电力电子设备运行会诱发谐波畸变、电压闪变、三相不平衡等电能质量问题，自动化协同治理技术可完成多设备联动管控。技术依托瞬时无功功率理论，配合有源电力滤波器、静止无功发生器完成毫秒级谐波检测与动态补偿，动态电压调节器抑制低频电压闪变，锂电池与超级电容混合储能系统分别化解中长期功率偏移与瞬时功率缺口。集中式风光基地部署该治理体系，可自主匹配补偿设备投入容量，公共连接点电压不平衡度控制在 2% 以内，各项指标符合并网规范。设备协同调控机制规避多设备投切冲突，减少谐波造成的设备损耗与继电保护误动等并网故障隐患，提升新能源并网运行稳定性（见图 2）。

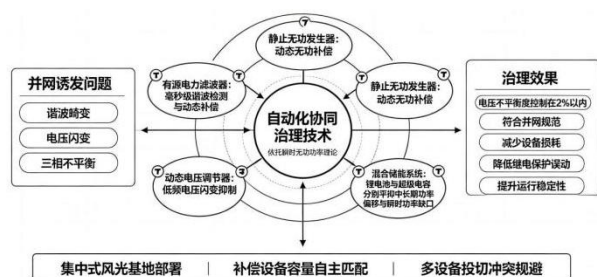


图 2 并网电能质量自动化协同治理技术

参考文献:

- [1] 李从善,和萍,王永华,等.新能源并网发电技术精品课程建设实践[J].中国教育技术装备,2025,(22):67-70+85.
- [2] 翁晓斌.电气工程中的新能源并网技术研析[J].电力设备管理,2025,(8):95-97.
- [3] 郭强,刘东岐,姚利.电气工程中的可再生能源并网技术及其优化策略[J].中国高新科技,2024,(14):104-105+108.

3.2 源网荷储一体化智能调度优化技术

高比例新能源电网整合源、网、荷、储各类运行资源，电气工程自动化技术可搭建一体化智能调度运行体系。系统依托多时空尺度功率预测数据，建立兼顾电网安全运行、经济运行与新能源消纳的多目标优化模型，智能算法求解非线性调度参数，依据超短期功率偏差更新调度指令，挖掘负荷侧可调资源，聚合柔性负荷形成虚拟电厂参与电网调节。源网荷储一体化示范项目搭载该调度平台，联动风光机组、储能设备与可调负荷制定调控策略，区域弃风弃光率控制在 1% 以内。系统可预判七日电网运行态势，识别网架消纳瓶颈，为电网结构升级与储能配置优化提供量化技术依据。

3.3 储能与微电网集群自动化协同运行技术

多微电网集群并网模式能够强化新能源供电体系的运行韧性，分层自动化协同控制技术可以实现各子网之间的高效能量互济调配^[3]。单微电网内部依靠底层控制完成实时功率平衡，上层架构结合分布式一致性算法，自主优化联络线功率交换状态，混合储能搭载智能能量管理程序拆分功率指令分量。超级电容承担瞬时功率波动抑制工作，锂电池负责中长期能量调节，适配电网不同时间尺度的运行需求。配套并离网切换技术支持故障状态下的快速响应，毫秒级完成孤岛运行模式切换，保障微电网集群在复杂工况下的供电稳定性与运行连续性。

4 结语

本文梳理适配高比例新能源并网的全套自动化技术体系，覆盖建模、控制及协同优化核心内容。精细化时空建模与集群等值建模方式改善新能源并网仿真存在的各类问题，智能并网控制算法优化电网稳压调频效果与功率跟踪性能，多维度协同技术可落实电能质量治理工作，完成源网荷储资源的高效调度。多项工程实践表明，相关技术能够缩减新能源出力评估误差与仿真耗时，提升电网运行稳定性与新能源消纳水平。