风光储多源并网下配电网自动化协同优化控制研究

李　洋

杭州鑫泰电力设计有限公司　浙江　杭州　311400

摘　要：风电、光伏与储能构成的分布式电源逐步规模化并入配网，原有配电网管控方式已无法契合多元电源并存的运行环境。针对新能源出力随机性引发的功率起伏、线路潮流失衡、各主体调度配合度偏低等现实难题，文章立足配网自动化协同优化管控开展探究。归纳多电源接入后配网运行特点与管控瓶颈，依托协同框架、调控方案、运维保障三层内容搭建完整管控体系，切实增强配网安全运行水平与新能源消纳能力，助力新型智能配电网调控技术落地应用。

关键词：风光储多源并网；配电网；自动化；控制难点；控制策略

引言

新能源发电产业持续推进，风电、光伏与储能装置逐步成为配电网的重要组成部分，彻底改变了传统配电网单向供电的运行形态。多能源主体并网让配电网电源结构更复杂，出力随机性、波动性问题也愈发突出，给电网调度、负荷匹配、安全运行带来诸多挑战。现阶段配电网自动化控制的协同短板逐渐显现，难以实现多能源资源的高效统筹。基于此，开展多源并网下配电网自动化协同优化控制研究，对保障电网安全运行、提升新能源消纳能力具备现实意义。

1 风光储多源并网配电网运行特征

风光储多源并网模式下，配电网的电源构成、潮流分布及运行逻辑和传统电网存在明显区别，整体运行特性呈现多元化、动态化特征。传统配电网以大电网单向供电为主，负荷变化规律相对稳定，调度控制的难度较低[1]。风电、光伏电源依托自然条件发电，出力水平无法持续稳定，会随时间、气候产生大幅波动，这是多源并网配电网最核心的运行特点。储能装置的接入可以对新能源出力起到平抑调节作用，实现电能的存储与错峰释放，让配电网从被动供电转变为可主动调控的运行模式。多能源主体分散并网的布局，让配电网潮流不再保持单向流动，潮流双向交互、随机偏移的情况频繁出现，电网节点电压、线路功率的运行状态时刻发生变化。多种能源设备的接入也增加了配电网的设备体量与运行维度，不同能源单元的响应速度、运行特性存在差异，各单元独立运行时容易出现运行节奏不统一的问题。从实际运行情况来看，多源并网既丰富了配电网的供电形式，提升了能源供给的灵活性，也打破了传统电网的稳态运行格局。电网运行的不确定性大幅提升，常规自动化控制手段无法适配动态变化的运行工况，这就需要依托协同优化控制模式，统筹各类能源单元的运行状态，适配新型配电网的运行需求。

2 风光储多源并网配电网控制难点

2.1 新能源出力不确定性管控难度大

风电与光伏能源的发电特性依赖外部自然环境，不存在固定的出力规律，昼夜交替、阴晴天气、季节变化都会直接改变发电功率。这类新能源电源的出力波动没有固定周期，短时功率骤升、骤降的现象十分常见，会直接干扰配电网的电压稳定与频率稳定。当前新能源出力预测技术存在一定误差，无法精准匹配实时发电状态，导致电网调度工作难以提前精准部署。在大规模新能源并网的场景下，单一电源的小幅波动会形成叠加效应，进一步扩大电网运行的波动范围，增加电网稳态控制的难度，常规的稳压、稳频控制手段难以达到理想调控效果。

2.2 多能源单元运行协同性不足

风光储三类能源单元的运行机制与调控逻辑存在明显差异，各单元的运行目标相对独立。风电、光伏单元以最大化发电消纳为核心运行目标，储能单元主要承担功率调节、负荷削峰填谷的任务，三者的运行诉求无法天然统一。配电网原有自动化控制系统多针对单一电网结构设计，缺乏多能源主体的统筹调控模块，无法实现各单元运行数据的实时互通与指令同步调度。各能源单元独立运行、分散调控的状态，容易出现出力匹配失衡、调节动作冲突的情况，部分时段会出现新能源弃电与供电缺口并存的问题，大幅降低配电网能源利用效率。

2.3 配电网自动化调控适配性不足

传统配电网自动化系统的调控逻辑较为固化，核心围绕单向供电、稳定负荷的运行场景设计，动态调控能力偏弱。多源并网后配电网运行工况实时变化，需要控制系统具备快速响应、动态调整的能力，原有调控模式难以适配这类动态需求[2]。多源并网让配电网数据维度大幅增加，发电数据、储能数据、负荷数据、线路运行数据体量持续增长，原有数据采集、分析、处理体系的运行效率不足，无法为精准调控提供有效数据支撑。除此之外，现有自动化调控策略缺乏针对性的多场景适配能力，面对电网波动、负荷突变等复杂工况，调控动作的滞后性较为明显，无法实现精细化、智能化调控。

3 风光储多源并网配电网自动化协同优化控制策略

3.1 构建多源信息协同感知体系

依托现代传感技术、通信技术与数据采集技术，搭建全覆盖、高精度、低延迟的风光储多源信息协同感知体系，实现配电网各类运行数据的全域采集、实时互通、精准融合，为协同优化控制提供完整的数据支撑。全面优化配电网数据采集终端布局，在风电并网点、光伏阵列、储能变流器、线路节点、负荷终端等关键位置加装智能采集装置与高精度传感器，细化数据采集维度，全覆盖采集新能源实时出力、储能充放电功率、电池荷电状态、线路潮流、节点电压、负荷用电量、设备运行状态等核心数据，消除传统电网数据采集盲区，保障多源并网场景下电网运行数据的完整性。统一各类能源设备的数据传输标准与接口规范，针对风电、光伏、储能、配电设备、负荷设备的差异化数据格式，搭建标准化数据转换平台，完成异构数据的清洗、归一化、脱敏处理，解决不同设备数据不互通、格式不统一、数据冗余等问题。采用 5G 通信、光纤专网相结合的双重通信传输模式，替代传统单一通信传输方式，大幅降低数据传输延迟，保障海量电网运行数据的实时上传与调度指令的实时下发，实现全域数据毫秒级交互。搭建多源数据融合分析模块，依托大数据分析技术构建分层数据处理机制，对实时采集的动态数据与历史运行数据进行分类存储、关联分析、特征挖掘，精准捕捉新能源出力波动、负荷突变、线路功率偏移等运行状态变化规律。

3.2 搭建分层分区协同控制架构

结合风光储多源并网配电网的网架结构、电源分布与负荷分布特征，构建分层、分区、分单元的立体化协同控制架构，打破传统电网集中式调控的局限，实现全域能源单元的统筹管控与分区精准调控，理顺多能源主体的调控层级与运行权责。按照“上层统筹、中层协调、下层执行”的核心思路划分调控层级，上层设置配电网全局协同调控中心，主要负责统筹全域风电、光伏、储能资源，结合电网整体运行状态、新能源发电规律、区域负荷需求，制定全局调控方案，下发整体调度指令，保障配电网整体供电稳定与能源高效利用。中层设立区域协调控制单元，根据配电网供电区域、线路覆盖范围划分多个独立调控分区，针对各分区的电源装机容量、负荷特性、并网设备类型，开展分区内的资源协调与动态调控。各区域单元独立管控辖区内风光储设备的运行状态，实时承接上层调控指令，结合区域实时工况微调调控参数，同时实现相邻分区的信息互通与功率互济，避免单一区域新能源出力过剩、供电缺口等问题，实现区域间能源资源的互补优化[3]。下层为设备层执行单元，涵盖所有风电、光伏、储能、配电、负荷可控设备，严格执行中层与上层下发的调控指令，实时反馈设备运行状态与出力参数，形成“全局统筹、区域协调、设备执行、状态反馈”的闭环调控体系。同时明确各层级、各分区的调控权限与响应机制，设定差异化的响应时限，储能设备、柔性负荷设备适配快速响应机制，风电、光伏设备适配稳态调节机制，杜绝不同层级调控指令冲突、动作脱节的问题，全面提升配电网整体调控的有序性与稳定性。

3.3 优化多能源出力协同调度机制

围绕新能源最大化消纳、电网功率平衡、降低运行能耗的核心目标，优化风光储多能源协同调度机制，整合各类能源单元运行特性，统一运行调控目标，有效解决多能源出力失衡、调控冲突、弃电率偏高等运行问题。结合风电、光伏出力随机性与储能可控可调的优势，搭建多目标协同调度模型，动态衔接发电资源与用电负荷，优先全额消纳风光清洁能源，依托新能源实时出力变化切换储能运行模式。在风光发电高峰时段，控制储能充电吸纳过剩电能，杜绝新能源弃电问题；在新能源出力低谷时段，调度储能放电补能，填补电网供电缺口，实现电能错峰高效利用。同时推行分时分区差异化调度，结合季节、昼夜及负荷峰谷变化规律制定适配方案。日间以光伏供电为主体、风电为辅助，储能适度储电；夜间依托平稳风电搭配储能放电保障基础负荷。用电高峰期联动风光机组满发、储能全力放电支撑负荷；用电低谷期缩减冗余新能源出力、加大储能储电力度，稳定电网供需平衡。

3.4 完善电网动态稳压稳频控制策略

针对多能源并网带来的电压波动、频率偏移等问

题，结合新能源出力特点与储能快速调节优势，搭建精细化动态稳压稳频控制体系，保障配电网稳定运行。实行节点电压分层差异化调控，重点监测新能源集中并网、负荷密集等关键节点，实时把控电压偏移状态。电压偏高时，通过储能充电、缩减新能源冗余出力消耗过剩功率，抑制电压抬升；电压偏低时，启动储能放电、提升新能源机组出力，快速补齐功率缺口，实现电压动态稳定。依托储能毫秒级快速响应能力，构建自适应频率调控体系，承担电网主次调频核心工作，革新传统单一调频模式。针对新能源波动引发的短时频率偏移，快速补偿有功功率差额，平抑频率波动；针对持续性频率偏移问题，联动风光机组协同调频，微调机组运行参数，保障频率稳定在标准区间[4]。同时优化全网无功资源配置，统筹风光机组、储能的无功调节能力与无功补偿设备运行状态，精准补偿线路无功损耗，解决多源并网引发的潮流紊乱、电压畸变等问题。针对极端天气、设备故障、新能源大幅波动等异常工况，增设应急调控机制，预设应急处置方案，电网参数超标时自动触发调控指令，快速隔离故障、重构周边设备运行状态，防范故障扩散，全面提升电网抗干扰能力与运行稳定性。

3.5 搭建自适应智能调控迭代机制

依托人工智能与机器学习技术，构建配电网自适应智能调控迭代机制，破解传统调控策略固化、场景适配性差的弊端，实现调控策略动态优化迭代。系统梳理风光储并网配电网的常规运行、新能源大幅波动、负荷突变、设备故障、极端天气等全场景工况，积累海量运行、调控参数及效果数据，搭建全覆盖工况样本数据库，为智能优化迭代提供数据支撑。引入强化学习算法，使调控系统自主学习各场景最优调控策略，通过对比历史数据与运行效果，排查传统调控模式存在的滞后性、精准度不足、资源浪费等问题，自主优化调控参数与指令逻辑。系统可根据实时电网状态匹配最优调控模型，自主完成多能源调度、稳压稳频、潮流优化等调控工作，实现调控智能化与自适应化。建立周期迭代与实时微调结合的优化模式，通过日、周、月数据复盘总结调控规律，迭代升级调控模型，提升复杂场景适配能力[5]。同时增设实时微调模块，快速适配突发罕见工况，弥补固定模型的局限性。搭建人机协同调控模块，保留人工干预权限，结合运维工程经验修正智能参数，实现算法优势与实操经验的融合，持续提升配电网智能调控的精准度与稳定性，适配多能源并网电网的长期稳定运行需求。

结语

风光储多源并网重塑了配电网的运行体系，也让电网调控面临诸多新的挑战，出力波动、协同不足、适配性差等问题直接影响电网运行质量与新能源利用效率。本文结合多源并网配电网的运行特征，梳理核心控制难点，从信息感知、控制架构、调度机制、参数调控、智能迭代五个维度搭建协同优化控制体系。该体系可以有效统筹多能源单元运行状态，平抑电网运行波动。后续可结合电网迭代发展趋势，持续优化调控逻辑，进一步提升新型配电网的稳定运行能力与新能源消纳水平。

参考文献

[1] 何茜儒, 韩冰, 孙允伟. 风光储一体化电力并网稳定性控制策略 [J]. 电气技术与经济,2026(1):410-413.

[2] 张晓莉, 赵亮. 基于 PLC 的风光储多能源协同控制系统设计 [J]. 江苏工程职业技术学院学报,2026,26(1):21-26.

[3] 崔立鑫. 基于风光储多能源系统的容量配置研究 [J]. 中文科技期刊数据库（全文版）自然科学,2024(5):0230.

[4] 张力, 张鹏飞, 陶佳融. 分布式电源接入技术在山区智慧配电网中的应用研究 [J]. 自动化应用,2025,66(9):78-81.

[5] 高运动. 风光储多源融合的中低压配电网架构及运行策略分析 [J]. 电力系统装备,2023(12):14-16.