

新能源接入对配电网可靠性的影响及优化策略

文 / 徐永超 国网安徽省电力有限公司泾县供电公司

刘 涛 国网安徽省电力有限公司泾县供电公司

摘要: 在大规模可再生能源快速发展的背景下,配电网逐渐承受着高渗透率清洁能源并网所带来的多重压力。风力发电与光伏发电等间歇性电源的输出波动与不确定性,可能导致潮流失衡与局部过载风险。同时,传统配电设施的老化与调度系统的滞后,也加剧了电能质量与运行安全的问题。若不采取有效对策,电压偏移与频率波动将频繁出现,极端情况下或造成区域停电。为应对这些挑战,亟须从功率调节、储能应用以及数据分析等多维度入手,制定系统化的优化方案。配合最新会计准则进行经济测算与风险评估,可为各方利益主体提供客观依据。通过引入灵活的调度策略与智能监测技术,配电网可在面对海量清洁电源接入时维持稳定运转,从而兼顾环保效益与经济效率。本文将针对新能源并网对配电网可靠性的潜在影响展开系统梳理,探讨灵活调度、分布式储能与大数据驱动下的优化路径,并在结论处提出下一步研究的方向与思考。

关键词: 新能源接入;配电网;可靠性;优化策略;会计准则

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.074

引言

随着时代的发展与进步,全球能源危机问题也日渐严重。为了实现更快的发展,人类对能源进行过度开发,最终导致生态环境受到了严重侵害。经济的发展必须要建立在资源有限性以及生态保护这两大前提下来进行,而电力行业对能源的需求量十分庞大,所以新能源的利用对电力行业的发展具有重要的意义。^[1]在绿色低碳转型浪潮中,配电网既要满足传统供电需求,又需容纳风能、太阳能等多样化能源的并网。清洁能源的特性虽能降低碳排放,却也加剧潮流失配与设备应力,带来安全与调度层面的不确定因素。对此,电网运营机构与学术界均在探索更灵活、更先进的技术方

一、新能源并网对配电系统的主要冲击

(一) 间歇性特征与潮流失衡

可再生能源的间歇性特征对配电网的运行稳定性提出了巨大挑战。这种特性来源于风力和光伏发电的自然属性,其输出功率极易受到气象条件的波动影响。在高比例并网的情况下,潮流失衡现象尤为明显。风光电站的输出功率随时间呈现随机波动,不同区域间潮流分配的动态变化可能导致局部线路过载或设备超载运行,进而威胁整个配电系统的可靠性。潮流失衡不仅增加了电能传输过程中的损耗,还可能引发节点电压偏差、保护设备误动作等一系列连锁反应。在应对间歇性问题时,动态监测与分配成为关键。通过实时潮流监测与先进调度技术的结合,可以精确识别潜在的负荷热点区域,并提前进行功率分配优化。提升配电网的韧性需要引入柔性调度手段和新型储能系统,从而平抑间歇性带来的波动效应,实现潮流的稳定化与动态平衡。

(二) 频率波动加剧与调频难度

大规模风光并网的频率波动特性对常规机组的调频能力形成了严峻考验。风能和光伏发电系统通常无法提供惯性支撑,在电网受到功率冲击时,无法像传统同步

发电机那样迅速参与频率调节。由于负荷需求与发电输出的短期失配,频率波动的幅度和频率明显上升,而常规机组的调频能力有限且响应速度较慢,难以应对这种高频率、高幅度的波动状况。在高峰时段,频率波动甚至可能触发保护设备动作,导致区域性停电风险的增加。^[2]构建动态平衡手段是解决这一问题的关键。例如,通过采用基于新能源预测模型的调度算法,可以提高对频率波动的预判能力。同时,引入新型储能设备(如超级电容和飞轮储能)作为频率支撑装置,为电网提供快速响应能力,从而减轻常规机组的调频压力。

(三) 电压稳定性受随机干扰

光伏发电的随机性和波动性使得电压稳定性面临严重威胁,特别是在低电压分布式电网中,光伏输出功率的快速变化容易引发线路电压的剧烈波动。这种波动不仅干扰正常的供电质量,还可能导致敏感设备的损坏和用户体验的下降。局部电压偏差的难以预测性进一步增加了调压装置的运行难度,传统的静态无功补偿设备已经难以满足快速调节需求。为缓解光伏干扰对电压稳定性的影响,协同调压装置的应用被广泛视为一种有效策略。例如,动态无功补偿器(STATCOM)能够根据实时电压变化迅速调整无功功率输出,保持线路电压的稳定。智能调压技术结合分布式传感器网络,还可实现电压数据的高精度采集与实时分析。

二、配电网可靠性下降的机理分析

(一) 负荷特性错配与线路过载

配电网的负荷特性与线路容量之间的错配是导致过载概率飙升的重要原因。新能源的高渗透率带来了复杂的负荷特性,这些特性与传统配电网的设计标准不匹配,特别是在负荷分布不均或潮流动态变化较大的情况下,部分线路极易承受超额电流负荷。过载问题的频发直接威胁到线路的长期稳定运行,同时导致配电网保护装置面临阈值难以精确设定的挑战。保护装置在过载状态下可能出现误跳闸或拒动,进而影响区域供电的持续性与可靠性。为了缓解负荷特性错配问题,需要动态监测负荷变化并引入智能调度手段,例如,通过

负荷转移和削峰填谷技术，在高峰时段分配部分负荷至备用线路。^[3]

（二）调度系统误差与备转容量不足

配电网调度系统对新型电源特性的认识不足，使得调度计划误差频繁累积。这种误差通常来源于新能源输出功率的不确定性与传统调度算法的局限性。新能源的随机性使得调度系统难以准确预测其发电量，而调度计划一旦偏离实际运行状态，便可能引发备转容量不足的问题。备转容量作为电网应对突发负荷变化的重要保障，其充足性直接关系到配电网的可靠性。然而，计划误差的积累使得调度系统难以及时调用备用资源，导致在紧急情况下无法迅速填补功率缺口，从而增加了停电风险。解决这一问题需要优化调度模型与参数识别方法，通过大数据分析人工智能技术的结合，提升调度系统对新能源特性的学习与适应能力。例如，基于机器学习的负荷预测模型可以提高调度计划的精确性，减少备转容量配置的不确定性，从而保障配电网的供电稳定性。

（三）设备老化与疲劳效应累积

在高比例新能源并网的冲击下，线路与变压器等关键设备需要频繁应对功率波动与过载运行，这大幅缩短了设备的使用寿命。设备老化表现为绝缘性能下降、散热效率降低以及机械部件的磨损加剧，这些问题使设备的故障率显著提高。^[4]由于新能源的输出特性多变，配电网设备的工作负荷波动性增加，这进一步加重了设备的疲劳效应。检修滞后问题也加剧了设备的运行压力。部分电力企业在预算限制下未能实现设备的定期检修与寿命评估，导致隐性故障积累，从而引发更严重的后续问题。针对这一现状，需要引入寿命管理与在线监测技术，通过实时监测设备的运行状态与性能参数，准确评估设备健康状况，并制定合理的检修计划。结合先进的预测维护技术，可以在故障发生前采取预防性措施，从根本上提升配电网的可靠性。

三、可靠性提升的关键优化思路

（一）构建多层次储能与柔性负载体系

在提高配电网可靠性方面，多层次储能与柔性负载体系的构建具有重要作用。储能技术能够在电力供应与需求不平衡时充当调节器，通过在低负荷时段储存电能并在高负荷时段释放电能，削峰填谷效果显著。飞轮储能、超级电容和锂电池等新型储能设备可满足不同时间尺度的调节需求，从毫秒级瞬态响应到小时级长期支持，实现配电系统的灵活性与稳定性。柔性负载则通过需求响应技术，为系统提供负荷调节能力。工业与居民用电设备的智能化改造使其能够根据实时电价信号自动调整用电行为，从而缓解负荷压力并优化电能分配。在经济层面，通过最新会计准则测算储能系统的投资回报率与柔性负载的经济收益，可以为企业与用户提供清晰的财务依据。^[5]

（二）借助智能感知与物联网技术

智能感知与物联网技术的应用为配电网的实时监控与故障预警提供了技术保障。通过部署高精度传感器网络，配电网可以实现电压、电流、潮流等关键参数的实

时采集。与传统监控手段相比，智能感知技术能够提供更高分辨率的数据，从而更加准确地捕捉配电网运行中的微小变化。物联网平台则通过整合多源异构数据，实现跨区域、跨设备的状态监测与信息共享。这种数据集成方式有助于提升配电系统的透明度，为优化调度策略提供可靠的参考依据。在预警方面，基于人工智能算法的分析模型可以识别潜在的失配源头，例如潮流方向异常或线路过载风险。一旦检测到异常信号，系统能够通过可视化界面实时推送告警信息，并提供优化方案建议。

（三）推行分布式控制策略

传统集中式控制方法往往因信息传递滞后与数据处理负载过高而难以满足复杂场景需求，而分布式控制通过将决策功能下放至局部控制节点，能够实现更快速的响应与更灵活的操作。在分布式控制模式下，每个节点可以根据本地数据独立作出决策，同时通过通信网络与其他节点协作，形成全网级的协调运行机制。当局部故障发生时，系统能够迅速隔离故障区域并切换电力流向，避免影响范围扩大。这种策略还特别适合多能源系统环境，能够在多种电源和负载之间动态调节功率分配，从而优化整体资源利用效率。分布式控制的实施需要与先进的通信技术与数据处理手段相结合，例如5G网络与边缘计算的协作，进一步提升控制系统的实时性与可靠性。

四、多维度协同的系统性优化措施

（一）综合规划电源与负荷布局

在优化配电网运行中，传统的分散式能源开发模式容易导致资源重复投入和网络结构不均衡，最终引发高成本扩容与输电损耗问题。通过构建区域化能量管理平台，可以实现风、光、火、储等多类型能源的协同调度（如图1：综合规划电源布局示意图）。这种平台整合了发电侧与用户侧的实时数据，并结合负荷预测算法与资源分配模型，动态调整各能源单元的输出功率，使其更好地适配需求变化。^[6]风电与光伏等间歇性能源通过与火电或储能系统的联动运行，能够降低因波动性引起的调度难题，同时避免了储能容量的过度冗余设计。区域化管理还能够依据地理特点与负荷分布优化电源布局，降低能源传输成本并减少环境扰动。

（二）深化电力市场化改革

电力市场化改革为用户侧参与负荷调节提供了必要的经济激励。传统的电价机制难以有效反映电力供需动态，导致用户在用电行为上的响应能力不足，进而加剧了高峰负荷压力。通过完善价格信号体系和补偿机制，可以在供需波动时向用户侧传递明确的调节信号。例如，在高负荷时段，动态电价可以通过提高电价水平促使用户减少非必要用电，而在低负荷时段，优惠电价则激励用户转移用电需求。这样的价格调整能够显著缓解电网运行压力，并优化整体资源分配。补偿机制的引入同样至关重要，当用户侧通过需求响应为电网提供调节服务时，可以通过直接补贴或电费减免的方式提供经济回报。市场化改革还应当鼓励多方参与，包括分布式能源运营商与第三方服务商，以形成更加开放与多元化的

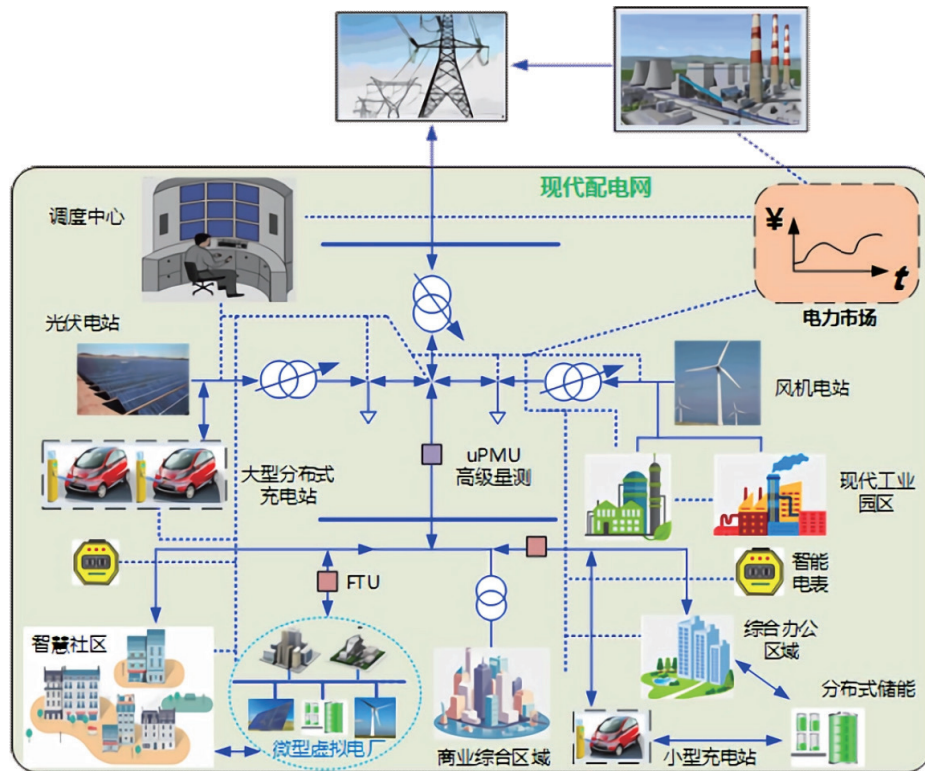


图1 综合规划电源布局示意图

电力市场格局。

（三）强化分布式数据分析与云平台融合

随着配电网运行复杂性与动态性不断增强，大规模数据的处理与高效应用已成为优化调度和保障可靠性的核心手段。在此背景下，分布式数据分析技术被广泛应用，通过在电网各节点部署边缘计算设备，实现对实时数据的快速采集与处理。边缘计算的核心优势在于其近源计算模式，这种模式能够显著减轻数据传输的带宽压力，同时提升数据处理的时效性。在配电网运行中，边缘计算设备可以实时分析本地节点的潮流、电压、电流等关键参数，并在故障检测与潮流分析中发挥出快速响应的能力，避免了集中式计算可能带来的延迟问题。^[7]

与此同时，云平台的融合进一步提升了配电网的数据处理能力与全局协调水平。大规模云平台通过强大的集中处理能力，为跨区域、跨设备的数据整合与协作分析提供了技术支持。在此基础上，电网运营方能够实现全网级的状态监测与数据共享，形成高效的协同分析体系。

结语

随着新能源在配电网中的渗透率持续攀升，传统的调度与保护体系已逐渐难以满足复杂负荷环境下的安全需求。风电、光伏等清洁能源为社会带来减碳效益，却也在间歇性和随机性层面增添了技术挑战。配电网要想在多源、多负载并存的环境中保持高水平的可靠性，离不开全面的规划与技术创新。通过储能技术、智能感知与AI调度算法等新兴手段，电网运营方可更灵活地管理潮流，分配功率，并在关键时刻启用应急机制，避免局部故障扩大。与此同时，电力市场化改革与商业模式创

新也是可靠性优化的重要推手，合理的电价信号与辅助服务补偿机制能有效鼓励用户侧参与并创造新的价值增值点。值得强调的是，经济评估与风险控制方案落地过程中扮演核心角色，只有在符合最新会计准则的前提下，对可能的投资与收益进行真实可信的测算，才能使决策过程具备更充分的说服力。未来，随着可再生能源与信息技术的进一步深化融合，配电网将朝着分布式、智能化与自愈式方向不断演化。完善的电气装备、先进的调度系统以及行之有效的经济激励手段，或将为电力行业的绿色转型提供更坚实的安全保障与收益空间。唯有多方合力、稳步推进，才能真正实现低碳时代下的供电持续性与高质量发展。

参考文献

- [1] 袁至. 新能源接入对智能配电网的影响及对策[J]. 科技资讯, 2022, 20(24): 42-45.
- [2] 晏开志. 探讨新能源接入对智能配电网的影响及建议[J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(05): 72-74.
- [3] 赵国栋. 新能源接入对智能配电网的影响及对策[J]. 集成电路应用, 2023, 40(12): 212-213.
- [4] 郦君婷. 新能源接入智能配电网的影响及应对策略[J]. 光源与照明, 2024, (07): 225-227.
- [5] 王行行. 新能源接入对智能配电网的影响与对策分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(05): 264-265.
- [6] 张宏阳. 新能源接入对配电网的影响探析[J]. 电工技术, 2018, (06): 63+66.
- [7] 梁峻铭. 新能源接入条件下的配电网节能优化[J]. 科技尚品, 2016, (01): 220.