

高比例新能源接入下配电网动态调度优化策略研究

王博文 曾宇龙 李 恒 孙文琍

国网宁东供电公司 宁夏 银川 750411

【摘要】：高比例新能源接入使配电网运行面临波动性与不确定性，频率偏移、电压不稳和调度压力等问题逐渐凸显。为保障电网稳定与能源高效利用，亟需构建动态调度优化策略。研究从新能源出力预测、多源数据融合、储能系统与柔性负荷协同调节等方面提出解决路径，并引入智能算法和分层分区调度模式以提升实时性与灵活性。通过多主体协同和市场机制支撑，可实现新能源的高效消纳与系统安全运行，为推动清洁能源发展和低碳目标落实提供有效支撑。

【关键词】：配电网；新能源接入；动态调度；储能优化；运行稳定性

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.031

1 高比例新能源并网对配电网调度运行的主要挑战

（1）风光出力波动对电网运行稳定性的影响

风能和光伏出力极易受到自然条件制约，风速和光照在短时间内的剧烈变化，会直接导致功率大幅波动。当风速过低时，风电机组难以输出有效功率，而强风环境则可能在瞬间带来满额出力，这种突发性波动会给电网带来频率不稳和电压失衡的问题。光伏发电则受昼夜周期和气象条件影响更为明显，尤其是在云层快速移动或天气骤变的情况下，光伏出力会在数分钟内出现骤升骤降，使得电力潮流发生突变。此类变化不仅加大调度环节的响应压力，也容易引起电压闪变等电能质量问题。当新能源占比逐渐提高时，这种波动效应叠加会进一步冲击系统稳定运行，对调度策略的实时性和灵活性提出更高要求。

（2）负荷不确定性对调度计划可执行性的限制

用户侧负荷在实际运行中表现出高度不确定性，受到生产工序安排、气候变化以及居民用电习惯的多重影响。高温天气下空调负荷集中开启，或寒潮到来时电采暖设备大规模运行，均会导致负荷在短时间内大幅攀升。当这种突增与新能源发电功率波动叠加时，电力平衡难度成倍增加。即使调度中心基于预测数据制定了运行计划，受限于预测模型的精度以及突发性用电需求的增加，计划往往难以完全落地执行。负荷预测偏差还可能造成备用容量不足，影响电网运行安全。特别是在新能源渗透率不断上升的配电网环境下，负荷不确定性已成为制约调度计划可执行性的重要因素，迫使运行模式向更加灵活与动态化方向演进。

（3）电能质量与供电可靠性面临的潜在风险

在高比例新能源接入后，电能质量问题日益突出。逆变器型电源的大规模接入，改变了电网传统以同步机为主体的结构，使得电压稳定性和频率调节能力减弱。新能源发电波动造成频率偏移频繁出现，而逆变器控制特性又可能带来谐波和电压畸变，增加配电设备故障的几率。在工业与医疗等对电能质量要求较高的领域，电压波动和频率异常会严重影响敏感设备的运行安全，甚至可能引发停机事故。供电可靠性同样面临挑

战，当新能源因气象突变出现大规模脱网时，电网承载压力骤然上升，备用电源若无法及时顶替，极易演变为大范围停电事件。在新能源大规模并网背景下，如何保证电能质量与供电连续性，已成为动态调度策略需要优先解决的核心问题。

2 动态调度优化中新能源预测与数据驱动方法研究

（1）短期预测模型对风光出力波动性的修正作用

短期预测在新能源接入的动态调度中具有核心地位，其目标是对未来数分钟至数小时内的风光功率变化趋势进行准确估计。通过构建气象参数与发电功率之间的非线性关系模型，可以捕捉风速变化、太阳辐射强度以及温度对新能源出力的影响。传统的时间序列方法如ARIMA模型，能够在一定程度上反映功率的变化规律，但在复杂天气环境下准确度有限。近年来，机器学习与深度神经网络的引入显著提升了预测精度，尤其是在处理非线性和高维数据方面优势突出。通过不断引入新的训练样本，并结合实时监测数据进行动态修正，短期预测模型能够有效减轻风光波动对电网运行带来的不利影响，使得调度系统能够提前采取调节措施，保障运行稳定。

（2）多源数据融合提升新能源出力预测精度研究

在新能源预测中，仅依赖单一数据源往往难以满足精确调度的要求。通过融合气象台站观测、卫星遥感影像、历史电力运行数据和物联网传感器采集信息，能够形成覆盖空间和时间多维度的综合数据库。风速分布的局部差异、太阳辐射的实时波动以及温度湿度的微小变化，均会对预测精度产生影响，而多源数据的融合正是弥补单一数据不足的重要途径。基于大数据处理与人工智能算法的融合技术，可以实现不同时间尺度下的预测优化，短期预测注重实时性，中长期预测注重趋势性，两者结合形成完整的预测体系。这一方法能够有效提高新能源功率预测的精度与稳定性，为配电网动态调度提供更加可靠的数据支撑。

（3）实时监测与信息反馈在动态调度中的应用价值

实时监测技术在新能源大规模接入条件下成为不可或缺的环节。通过传感器网络对风电场和光伏电站的运行状态进行

高频采样,并结合 SCADA 系统采集的电压、电流和潮流信息,可以形成完整的运行数据库。信息反馈机制将这些数据传输至调度中心,支持调度系统基于滚动优化的方式进行快速调整。大数据分析 with 物联网通信的结合,使得监测与反馈更加高效和智能化。当新能源功率出现突变或负荷突然上升时,实时数据能够触发快速调节策略,例如启用备用电源、调整储能出力或引导柔性负荷参与,从而降低预测误差带来的运行风险。通过这一机制,动态调度能够保持高度灵活性,确保电网在复杂环境下依旧具备稳定性与可靠性。

3 储能与灵活调节资源在动态调度中的协同优化

(1) 储能系统削峰填谷与缓解电网波动的作用机制

储能系统在新能源高比例并网的场景下具备显著的调节能力,能够在功率过剩时吸纳富余电量,并在用电高峰时段快速释放,减轻供需矛盾。电化学储能因响应速度快,适合应用在秒级和分钟级的电网频率调节环节;抽水蓄能则具有大规模、长时间调节的特点,更适合跨日和季节性的运行需求;压缩空气储能可在大规模系统中提供长时间支撑,有利于新能源持续消纳。通过不同储能技术的互补应用,可在多时间尺度上实现电网波动的平滑化,减少新能源出力随机性对系统带来的冲击。合理的储能配置不仅可以缓解电网波动,还能在突发故障中提供备用电源,使电力供应更具安全性和可靠性。

(2) 柔性负荷参与调度提升电网灵活性的关键途径

柔性负荷在配电网动态调度中的地位日益凸显,成为提高系统灵活性的重要手段。工业生产环节中,大型电机、压缩机以及冶炼设备等高能耗装置可根据电网运行情况调整运行时段,在新能源出力高峰期加大生产负荷,而在供电紧张阶段适度降低功率,从而分担调峰压力。电动汽车的快速普及也为柔性负荷调度提供了新的载体,集中充电需求可通过价格信号或引导性策略转移至夜间低谷,甚至在白天新能源出力充裕时主动进行充电,逐渐形成分布式的可调控资源。居民层面则依托智能家电和需求响应平台实现用电的动态调节,例如推迟洗衣机运行或优化空调启停时段,以缓解电网压力。柔性负荷的深度参与不仅拓展了调度资源范围,更使电网运行模式从单一的供给侧调节转变为源荷互动的双向调节,显著增强了电力系统的韧性与适应能力。

(3) 分布式电源与储能联合优化配置的调度策略

分布式电源在配电网中的快速发展为灵活调度注入了新的动力,其与储能系统的联合应用能够在局部范围内形成独立的微电网,实现能量的自我调节与自治运行。当风电与光伏出力超过本地负荷需求时,储能装置可以及时将多余电能存储,避免资源浪费;在新能源出力不足或主网发生扰动时,储能则能快速释放电能,保障局部供电的连续性与稳定性。通过建立分布式电源与储能的容量配置优化模型,可以结合区域气象条

件、负荷特征及电网拓扑结构,科学确定两者的比例关系和运行策略,从而提升整体运行的合理性。该策略不仅能够显著提高新能源的消纳水平,还能有效减少长距离输电带来的压力和线路损耗,增强局部电网抵御风险的能力。随着应用的深入,分布式电源与储能的协同优化将推动清洁能源在更大范围内的高效利用,为智能配电网的稳定运行提供坚实保障。

4 动态调度优化方法与智能算法的应用探索

(1) 基于模型预测控制的多时间尺度调度优化机制

模型预测控制在动态调度中的应用体现为对未来系统运行状态的滚动预测与实时修正。其通过建立电力系统运行模型,结合风速、光照和负荷预测信息,能够提前计算出不同调度时段的最优控制变量。当实际运行情况偏离预测结果时,系统会在下一个控制周期重新优化并更新调度指令,从而保证运行的连续性与适应性。该机制适用于多时间尺度调节,例如秒级频率控制、分钟级功率平衡以及小时级运行优化。与传统静态调度方法相比,模型预测控制能在新能源波动和负荷不确定性频繁出现的环境中,保持电网运行的前瞻性与动态适应能力,显著提升电网调度水平。

(2) 智能算法在复杂电力系统动态调度中的应用成效

智能算法因具备全局寻优与自适应能力,已成为电力调度优化的重要工具。遗传算法依靠种群进化机制,通过选择、交叉和变异不断迭代,可以在庞大的解空间中快速找到近似最优解,适合处理非线性与约束复杂的调度问题。粒子群优化利用群体协同搜索原理,使多个粒子在搜索过程中共享信息,从而高效解决多目标优化难题。蚁群算法则模拟信息素传递机制,在路径规划和资源分配中展现出较强的适应性。这些方法在新能源接入条件下被广泛应用,例如用于储能的选址与容量配置,帮助实现合理布局;在负荷侧移峰填谷中,通过优化调度策略减轻系统压力;在潮流分配中,能够有效缓解局部过载。智能算法还可与预测模型结合,实时修正运行参数,使调度方案更贴合实际工况,从而提升电网运行效率和稳定性。

(3) 分布式优化方法提升多区域协调调度的可行性

分布式优化方法在高比例新能源接入的复杂电力系统中具有突出的适用性,尤其适用于区域划分较多、资源分布广泛的场景。该方法将整体调度问题分解为若干区域子问题,各区域结合本地风光出力特征和负荷水平独立求解,再通过有限的信息交互实现全局协调,从而兼顾局部灵活性与系统整体性。与传统集中式调度模式相比,分布式优化能够显著降低计算复杂度,避免大规模集中运算导致的延迟,提高响应速度和实时性。当新能源波动频繁或负荷突变时,区域内部的分布式电源与储能装置可以优先实现本地消纳和自我调节,减少对主网的依赖和跨区潮流的压力。跨区之间仅需交换必要的边界信息,即可完成协调优化,提升系统运行的整体一致性。这种方法不

仅增强了电网的灵活性与鲁棒性，还为未来构建更加高效、安全的多区域智能电力系统提供了可行路径。

5 高比例新能源接入下动态调度优化的实践路径探索

(1) 智能电网环境下多主体协调调度的运行模式

在智能电网环境中，多主体协调运行成为实现动态调度的重要模式。传统电网以电网公司为核心的集中调度已无法完全满足高比例新能源接入的需求，多主体模式下，分布式电源运营商、储能运营商及用户均可作为独立参与方。各主体通过统一的信息交互平台共享实时数据，调度中心则在此基础上制定协调策略，保证系统运行平衡。区块链和智能合约技术的引入能够提升数据交换的安全性和透明度，使多方协同过程更加高效。不同主体的利益也可通过市场化机制进行合理分配，从而激励更多资源积极参与调度过程，提升系统整体运行的协调性。

(2) 分层分区调度体系构建提升系统运行灵活性

分层分区调度模式是应对高比例新能源接入挑战的重要手段，其核心思路是将配电网划分为多个功能区域，每个区域可根据本地新能源出力特征、负荷需求以及电网结构独立开展局部调度。这样能够减少对集中式调度的过度依赖，在运行中实现更快的响应速度，避免因信息传输和集中处理延迟造成电力供需失衡。该体系通常由上下两级构成，上层主要负责全网的功率平衡与跨区协调，下层则重点解决新能源消纳、电压控制和电能质量保障等局部问题。通过分层分区运行，中央调度系统的压力显著降低，电网在面对新能源波动或负荷突变时能

够更快调整运行状态。不同区域根据自身条件制定差异化的调度策略，还可形成互补效应，进一步增强系统的灵活性与稳定性，为电网在复杂环境中保持高效运行提供支持。

(3) 面向低碳目标的动态调度优化长效机制构建

在碳达峰与碳中和战略目标的引领下，动态调度优化不仅要保证电网安全稳定运行，还需兼顾新能源的高效利用和系统整体的经济性。长效机制的构建应当从政策、市场和技术三个层面协同推进。在政策层面，需完善新能源优先消纳制度，确保风光等清洁能源能够优先并网，提高可再生能源利用率。在市场层面，可通过碳交易与绿色电力交易平台实现资源价值的合理体现，激励各类主体参与清洁能源消费。灵活电价机制则能够引导用户在新能源出力充足时主动增加用电，降低弃风弃光现象。储能补贴政策和需求响应激励措施将进一步推动储能和可控负荷进入调度环节。技术层面则需依托信息化与智能化平台的建设，提升实时监测与智能控制能力，使调度系统能够长期保持高效灵活。通过制度约束、市场激励与技术支撑的结合，可逐步形成面向低碳目标的可持续动态调度优化模式。

6 结语

本文围绕高比例新能源接入下配电网动态调度优化策略展开探讨，从新能源波动性带来的挑战、预测与数据驱动方法、储能与柔性负荷的协同作用，到智能算法和分层分区调度模式的应用，系统阐述了提升电网灵活性与稳定性的路径。研究表明，动态调度需在技术、政策和市场层面协同推进，才能实现新能源的高效消纳与安全运行。未来在智能化和低碳化双重目标驱动下，动态调度优化将成为配电网发展的核心方向。

参考文献:

- [1] 陈凯,周颖.高比例新能源接入下配电网运行稳定性研究[J].电力系统保护与控制,2022,50(14):23-31.
- [2] 刘浩,孙睿.基于机器学习的风光出力短期预测方法[J].电力系统自动化,2023,47(9):112-120.
- [3] 郑飞,胡倩.储能系统在配电网动态调度中的优化配置研究[J].电力建设,2021,42(12):85-94.
- [4] 马楠,韩冰.智能算法在电力系统多目标调度中的应用[J].电力科学与工程,2024,40(3):77-86.
- [5] 许涛,丁珊.分层分区调度模式提升新能源消纳能力的实践探索[J].电网技术,2022,46(10):145-154.