

电力调度中新能源出力波动的应对策略研究

樊 圣 张 程

国网宁东供电公司 宁夏 银川 750411

【摘要】：新能源的快速发展带来了电力系统出力的波动性，尤其是风电、光伏等不可控的电源。在电力调度过程中，如何应对这种波动性，保证电网的稳定和可靠运行成为了一个关键问题。针对这一挑战，提出了一系列有效的应对策略，包括出力波动的精确预测、优化调度方法的设计、以及电力储能技术的应用。这些策略的实施能够有效减小波动带来的负面影响，提升电力系统的调度效率。研究表明，新能源出力波动的合理调度不仅能提升能源利用效率，还能减少调度成本，提高电力系统的经济性与稳定性。

【关键词】：新能源；出力波动；电力调度；调度策略；储能系统

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.074

引言

新能源的逐步接入电力系统，为实现低碳目标提供了重要的支持，但与此同时，新能源的出力波动性给传统电力调度系统带来了新的挑战。风能和太阳能的随机性与不确定性，导致电力供应的时效性与可靠性无法精确预测。如何在这一背景下进行高效的电力调度，减少波动对电网的负面影响，已成为国内外研究的重点。电力调度中新能源出力波动的应对策略不仅需要充分发挥新能源的优势，还应结合储能技术、智能调度方法及精准的负荷预测技术，实现系统稳定运行与经济性最优。为此，建立完善的波动应对体系，将为提升电力系统的调度性能和运行效率提供强有力的支持。

1 电力系统中新能源出力波动的表现与影响

1.1 风电和光伏的出力特性

风电和光伏作为典型的新能源电源，其出力特性具有高度的随机性和不确定性。风能受气象条件的影响较大，风速变化直接决定了风电机组的发电量。光伏则依赖于日照强度、云层变化以及天气条件，光照的强弱导致电池板的输出波动。因此，风电和光伏的发电出力无法与传统火电或水电那样稳定，往往呈现出较强的波动性，甚至在短时间内出现大幅度的变化，这种波动直接影响到电网调度的可靠性和稳定性。

1.2 出力波动对电网稳定性的影响

电网要求频率和电压的平衡，而新能源的波动可能导致频率和电压的剧烈波动，特别是在大规模新能源接入的背景下，电网调度需要实时应对这些波动^[1]。如果调度不及时或不够精准，可能会导致电网频率失调、过载或甚至出现电力中断的风险。波动过大的新能源出力可能导致电网负荷调节难度增大，影响其他发电方式的稳定性，甚至使传统发电机组在无效运行状态下浪费能源。新能源的波动不仅影响电网的负荷平衡，还可能影响电力系统的整体安全性。

1.3 波动对电力调度的挑战

传统的电力调度方法主要针对传统电源（如火电、水电）

的稳定输出设计，而对于风电和光伏的波动性却缺乏有效的应对措施。由于风电和光伏的出力不能稳定预测，调度员必须通过短期和实时的调度手段不断调整电网运行策略。调度模型需要对新能源出力的不确定性进行充分考虑，并引入快速响应机制。面对出力波动，电力系统必须具备灵活的调度方式，包括负荷预测、发电量调节以及调度优化算法的创新，才能保证电力系统的可靠性与经济性。

2 新能源出力波动的预测方法

2.1 基于数据的预测技术

基于数据的预测技术广泛应用于新能源出力波动的预测，这些技术依赖于大量的历史数据和实时信息。通过分析过去的风速、光照强度等数据，结合当前的气象条件，数据驱动模型能够为风电和光伏的发电量波动提供有效的预测。常见的预测方法包括时间序列分析、回归分析以及深度学习模型等。时间序列分析通过对历史数据进行平稳性检验和趋势分析，能够捕捉到短期内的波动规律；回归分析则通过建立输入与输出之间的数学模型，推测出未来的输出趋势。近年来，深度学习和神经网络技术的发展，为新能源出力波动的预测提供了更加精确的工具。通过处理海量的多维数据，深度神经网络能够自动提取复杂的模式和特征，提高预测的准确性。基于数据的预测技术在风电和光伏领域的应用，显著提高了对出力波动的掌控能力。

2.2 模型预测与算法优化

模型预测技术在新能源出力波动的预测中具有重要地位，主要通过建立数学模型，结合实时输入数据，进行未来发电量的预测。传统的模型通常无法充分考虑到复杂的气象条件和突发事件，因此在实际应用中，模型的精度受到一定限制。为了提升预测效果，需要对现有模型进行优化，采用多模型集成策略，或者融合不同的预测算法^[2]。机器学习、支持向量机（SVM）和遗传算法等优化方法，已被成功应用于风电和光伏的出力预测中。这些方法能够提高对复杂环境下出力波动的适应性，尤

其在面对大规模数据时，能有效避免单一模型的局限性。强化学习也逐渐成为新能源调度中的优化工具，能够在动态调整中根据实际情况自我调整预测策略。算法优化不仅提高了模型的预测精度，也在解决短期预测误差问题上取得了突破。

2.3 预测精度的提升方法

提高新能源出力波动预测精度是确保电力调度安全和稳定运行的关键。精度提升的关键在于对多源数据的融合和特征提取，尤其是气象数据、历史发电数据以及电网负荷数据的综合利用。通过采用多维数据融合技术，能够在更大范围内捕捉到影响新能源出力波动的潜在因素，减少预测误差。采用自适应滤波算法与粒子群优化技术，可以在不同时间尺度上进行动态调整，实时修正预测结果，从而提高预测的精确度。进一步提升精度的方法还包括增量学习与在线学习技术，这使得模型能够根据新的实时数据进行不断更新，避免静态模型带来的预测偏差。在实际应用中，还可结合大数据技术，通过数据挖掘和特征选择，进一步精细化出力波动的预测，提高对极端天气或突发事件的响应能力。精度的提升不仅依赖于算法的优化，还需要不断优化数据采集、预处理以及实时计算的过程，最终实现对新能源出力波动的精准预判。

3 新能源调度优化方法

3.1 调度优化模型的构建

针对风电和光伏的波动性，传统的调度模型需要进行深度调整和优化，考虑新能源的随机性与不确定性。通常，调度优化模型包括发电单元的选择、功率分配、负荷调节等多个方面。为了应对新能源的出力波动，优化模型不仅要引入短期预测数据，还需考虑电力市场的价格波动、设备的运行状态以及电网的约束条件。多目标优化模型已逐渐成为新能源调度的主流方法，这种模型通过综合考虑经济性、环保性以及系统稳定性，实现多维度的平衡。在实际应用中，考虑到系统的复杂性与多样性，混合整数线性规划（MILP）和非线性规划（NLP）等技术被广泛应用于调度模型的构建，以实现大规模新能源接入电网后的高效调度。通过实时数据的反馈和精确的优化算法，这些模型能够动态调整发电计划，从而有效降低新能源波动对电网的影响。

3.2 优化算法与实际应用

调度优化算法的应用直接影响到电网的运行效率和稳定性。基于现有调度模型，优化算法的选择需综合考虑多种因素，包括计算复杂度、精度要求和实时性等。遗传算法、粒子群优化（PSO）、模拟退火算法等启发式算法被广泛应用于新能源的调度优化中，这些算法能够有效地在大规模的解空间中找到近似最优解。针对传统算法的局限性，近年来，人工智能和机器学习方法逐渐应用于新能源调度优化，尤其是深度学习与强化学习的结合，极大提高了调度算法的自适应能力和预测精

度。通过智能化优化，电力调度不仅能够实时调整出力，还能根据预测波动对调度计划进行灵活调整^[3]。实际应用中，这些优化算法帮助电力运营商在面对大量随机波动的新能源时，精确地调度不同类型的发电资源，避免不必要的浪费，提升电力系统的整体效益和稳定性。为确保电力系统的调度效果，结合具体应用场景，调度算法常常与先进的通信与计算平台进行融合，实时处理来自电网各个环节的数据。

3.3 优化结果与电力系统的稳定性分析

优化调度结果不仅关注发电成本的降低，还要确保电力系统的稳定性。新能源的波动性直接影响系统的频率、功率平衡及电压稳定性，因此调度优化结果的有效性应通过系统稳定性分析来验证。系统稳定性分析通常包括频率响应、负荷分配及备用容量的合理配置。在调度优化中，电力系统的稳定性主要依赖于灵活调度策略的实施，通过适时调度不同类型的发电机组以应对新能源出力的波动。当风电和光伏出力突然下降时，优化调度能够及时调用火电或储能设备，补充电网的不足，保证电力供应的平衡。与此同时，储能系统在调度优化中扮演着至关重要的角色，它能够在电力波动时提供即时调节，减少对电网的冲击。稳定性分析还应考虑到电力市场的波动性、突发事件以及负荷变化等因素，确保优化调度方案在面对不同工况时依然能够保持电网的稳定运行。通过综合评估调度优化结果对电网各项指标的影响，进一步完善新能源的调度方案，实现系统的高效、稳定和经济运行。

4 储能技术在波动调度中的应用

4.1 储能系统的功能与优势

储能系统在电力系统中扮演着越来越重要的角色，尤其是在新能源出力波动的调度过程中，储能技术具有独特的优势。储能设备能够在电力需求低谷时存储多余的电能，并在需求高峰或新能源出力波动时释放能量，平衡供需差距，缓解电网负荷压力。常见的储能技术包括电池储能系统（BESS）、抽水蓄能和飞轮储能等，具有不同的应用场景和技术优势。电池储能具有高效、灵活的响应特性，能够在短时间内快速充放电，适用于短时波动的调节。抽水蓄能技术则利用水位差将电能转化为势能，具有较大的储能容量，适合长时间的调节需求。储能系统的最大优势在于提高电力系统的可靠性与稳定性，减少对传统化石燃料发电机组的依赖，并促进电力系统的绿色转型。储能系统能够优化电网运行，减少电力供应中的波动性，降低系统调度成本，提高整体能源效率。

4.2 储能技术在调度中的作用

在新能源出力波动的调度过程中，储能技术的作用至关重要。随着风电和光伏发电比例的提升，电力系统对储能技术的需求也日益增加。储能系统能够及时响应电网频率波动，当新能源发电量大幅波动时，储能系统通过迅速充放电调节电网稳

定性^[4]。在风电和光伏出力过剩的情况下，储能系统可将多余的电力储存起来，避免电力过剩带来的系统失衡；而当新能源出力下降时，储能系统可以迅速释放储备的电能，填补供电缺口，确保电网的持续稳定运行。储能技术还可以作为备用电源，在紧急情况下为电网提供可靠的电力支持，减少突发性负荷波动对系统的冲击。储能系统的高效性与灵活性使其成为调度优化中的重要工具，尤其是在处理短时波动和突发性事件时，能够提供快速反应并确保电网的稳定性。

4.3 储能与调度策略的结合

储能系统与电力调度策略的有机结合，是解决新能源出力波动问题的关键。在调度策略中，储能技术不仅能起到平衡负荷、稳定电网的作用，还能在经济调度中降低对传统火电机组的依赖，优化发电组合。在实际应用中，储能系统与调度策略的结合通常通过优化算法实现。调度模型可以将储能作为调节电网波动的手段，结合预测模型和实时数据，动态调整储能的充放电策略。优化算法会综合考虑电网的负荷需求、储能的当前状态以及新能源的出力情况，实时计算最佳的储能调度方案。储能系统还可以与其他灵活调度设备（如需求响应和电网互联）共同配合，提升调度效率。在高比例新能源接入的背景下，储能与调度策略的深度结合，使得电力系统在确保稳定性的同时，能够更灵活应对各种运行工况，为电力市场的平稳运行提供有力支持。

5 新能源出力波动应对策略的实践与效果

5.1 实际案例分析

多个国家和地区已经在实践中成功应用了应对新能源出力波动的策略，积累了宝贵的经验。在某些地区，通过加强风电和光伏的实时监控与短期预测，配合先进的储能系统，成功平衡了电网中的电力波动。在具体案例中，采用了基于气象预测的实时调度系统，结合储能技术和灵活调度机制，有效地减少了风电和光伏发电的不确定性对电网的影响。在某一风电较

为集中的地区，调度中心通过分析历史风速数据与气象预测结果，优化了储能系统的充放电策略，使得即使风电出力出现短时间波动，电网依然能够保持稳定运行。此类成功的实践为大规模新能源接入电网提供了可借鉴的模型和方案。

5.2 策略实施的效果评估

策略的实施效果通过对电网稳定性、发电成本及系统运行效率的综合评估来体现。实践表明，通过加强新能源的预测精度、优化调度算法以及储能设备的灵活应用，不仅有效降低了新能源波动带来的负面影响，也大幅提升了电力系统的经济性^[5]。尤其是在低负荷时段，储能系统能够充分吸收过剩的电能，在高负荷时段释放，避免了传统火电机组频繁启停的问题。通过实时调度和动态优化，电网的频率波动大幅减少，运行效率显著提升。对于电力供应商来说，这种策略的实施使得电力交易市场更为稳定，新能源的使用比例也有所增加，最终实现了绿色能源与传统能源的高效结合。

5.3 应对策略的综合总结

精确的风电和光伏出力预测是基础，而储能系统和灵活调度方法是关键。通过优化调度模型、加强数据驱动的决策支持，以及提升系统的自适应能力，电力系统能够在面对新能源出力波动时做出及时、有效的响应。在实施过程中，储能技术的应用不仅提高了电力系统的稳定性，还大大降低了系统运行的成本。应对新能源波动的策略不仅改善了电力供应的可靠性，也为未来的绿色能源转型提供了重要参考。

6 结语

新能源的快速发展使得电力系统在调度中面临更多挑战。应对新能源出力波动的策略不仅为电网提供了稳定保障，也促进了绿色能源的高效利用。通过优化调度、精准预测和灵活的储能技术，能够更好地应对波动性问题，推动能源结构的转型与升级。未来，持续优化这些策略将有助于实现更高效、更稳定的电力系统运行。

参考文献：

- [1] 林俐,丁文敏,唐传伟,马笑寒,赵冬梅.计及储能调频能力的高比例新能源电力系统优化调度[J].华北电力大学学报(自然科学版),2026,53(1):1-11+I0001,I0002.
- [2] 马浩铭.电力系统调度自动化技术在新能源电网中的应用[J].现代工业工程,2026(2):15-18.
- [3] 林海.基于改进遗传算法的新能源电力系统多目标优化调度研究[J].电气技术与经济,2026(1):317-319.
- [4] 梁以恒,杨冬梅,刘刚,叶闻杰,杨翼泽,钱涛,胡秦然.基于功率预测精度提升和市场交易的平抑新能源出力波动策略[J].上海交通大学学报,2025,59(2):221-229.
- [5] 杨安栓,姜殿英,黄小龙.储能系统在平抑新能源出力波动中的应用与优化配置[J].现代工业工程,2025(11):11-14.