

新能源储能在微电网中惯量支撑性能研究

唐 彪

四川川润环保能源科技有限公司 四川 成都 610000

摘要：新能源储能在微电网中惯量支撑性能研究旨在探索如何通过优化新能源发电控制、储能系统配置与控制策略、微电网拓扑结构与运行控制以及负荷管理与调节等手段，提升微电网在新能源高比例接入下的频率稳定性和惯量支撑能力。本研究基于理论分析、仿真实验和实际应用案例，深入剖析了影响惯量支撑性能的关键因素，并提出针对性的提升策略，为新能源储能微电网的稳定运行和可持续发展提供了理论支撑和实践指导。

关键词：新能源；储能；微电网；惯量支撑性能

1 新能源微电网概述

新能源微电网是集发电、配电、用电于一体的新型电力系统，由分布式电源、储能装置等构成，能自我控制、保护与管理，可并网或独立运行。它具有独立性、多样性等优势，集成多种可再生能源，利用分布式电源与可编程技术动态管理电力流，保障稳定运行。在偏远地区可解决供电问题，灾害时能确保关键机构供电。随着新能源发展与成本下降，其经济可持续性凸显，规模化趋势渐强，未来有望在多领域广泛应用，助力能源可持续利用与电力供应安全可靠。

2 惯量支撑原理

惯量支撑原理借由发电机旋转惯量维系电力系统频率稳定。电力系统中，频率是关键运行参数，其稳定性对系统运行和供电质量意义重大。当系统负荷突变，电能供需失衡致频率改变。发电机旋转惯量即转子质量与转动惯量的体现，能提供惯性力矩对抗负荷与电源扰动^[1]。具体而言，负荷增加时，旋转惯量让发电机持续供电，缓冲扰动稳频率；负荷减少时，则提供反向力矩防频率过快上升。此惯量支撑可抑制频率变化，使发电机缓应负荷变动，补充机械能保稳定并复频至额定值。发电机调速性能与惯量支撑紧密相连，调速器借控制转速与输出功率调频率，频率偏离时，经调整励磁或机械负荷协同旋转惯量稳频率。

3 影响新能源储能微电网惯量支撑性能的因素分析

在新能源储能微电网中，惯量支撑性能是确保系统频率稳定、电能质量优良的关键因素。这一性能受到多种因素的影响，主要包括新能源发电特性、储能系统特性、微电网拓扑结构与运行控制以及负荷特性。

3.1 新能源发电特性因素

新能源发电，如太阳能和风能，因其间歇性和不稳定性，对微电网的惯量支撑性能产生显著影响，太阳能

发电依赖于日照强度和光照时间，这导致光伏发电的输出功率随天气变化而波动。这种波动性直接影响到微电网的惯量支撑能力，因为惯量支撑需要稳定的能量来源。风能发电同样面临类似的问题，风速的变化直接影响风力发电机的输出功率。这种不稳定性不仅增加微电网的频率调节难度，还可能导致惯量支撑性能的下降。

3.2 储能系统特性因素

储能系统在微电网中扮演着至关重要的角色，它不仅能够平滑新能源发电的波动性，还能在需要时提供额外的惯量支撑。储能系统的特性也直接影响其惯量支撑性能。储能系统的容量和充放电速率是决定其惯量支撑能力的重要因素，容量越大，储能系统能够存储的电能就越多，从而在新能源发电不足或负荷高峰时提供更多的惯量支撑。而充放电速率则决定了储能系统响应负荷变化的速度，快速充放电的储能系统能够更有效地抑制频率波动。储能系统的能量管理策略也直接影响其惯量支撑性能，合理的能量管理策略能够确保储能系统在需要时提供足够的电能输出，同时避免过度放电或充电导致的储能效率下降，储能系统的维护和管理也是确保其长期稳定运行和惯量支撑性能的关键因素。

3.3 微电网拓扑结构与运行控制因素

微电网的拓扑结构和运行控制策略同样对惯量支撑性能产生重要影响，微电网的拓扑结构决定了其内部各组件之间的连接方式和电能传输路径。合理的拓扑结构能够减少电能传输过程中的损耗，提高电能利用效率，从而增强惯量支撑能力^[2]。

运行控制策略对于维持微电网的频率稳定和惯量支撑性能至关重要，先进的控制算法和策略能够实时监测微电网的运行状态，根据负荷变化和新能源发电情况动态调整各组件的输出功率，从而确保系统的稳定运行。运行控制策略还需要考虑微电网与主电网之间的交互作

用,以及在孤岛运行模式下的惯量支撑需求。

3.4 负荷特性因素

负荷特性是影响新能源储能微电网惯量支撑性能的另一个重要因素。负荷的波动性和多样性直接影响微电网的频率调节需求和惯量支撑能力。在负荷高峰时段,微电网需要提供更多的电能输出以满足负荷需求,这可能导致惯量支撑性能的下降。而在负荷低谷时段,虽然负荷需求减少,但储能系统的充电需求可能增加,同样对惯量支撑性能产生影响。负荷的多样性和不确定性也增加了微电网频率调节和惯量支撑的难度,不同类型的负荷对电能质量和频率稳定性的要求不同,这要求微电网在运行过程中需要根据负荷特性进行灵活调整。负荷的不确定性也要求微电网具备更强的鲁棒性和适应性,以应对可能的负荷突变和异常情况。

4 新能源储能微电网惯量支撑性能提升策略

新能源储能微电网作为未来电力系统的重要组成部分,其惯量支撑性能对于保障系统稳定、提高电能质量具有重要意义。

4.1 优化新能源发电控制策略

4.1.1 提高新能源发电预测精度

新能源发电的波动性和不确定性是影响微电网惯量支撑性能的重要因素。因此提高新能源发电预测精度是优化控制策略的首要任务。通过引入先进的预测模型和技术,如机器学习、深度学习等,结合气象数据、历史发电数据等信息,可以实现对新能源发电的精准预测,从而为微电网的调度和控制提供可靠依据^[3]。

4.2 储能系统优化配置与控制策略改进

4.2.1 合理配置储能容量与类型

储能系统的容量和类型对微电网的惯量支撑性能具有重要影响。根据微电网的实际情况和需求,合理配置储能容量和类型,可以确保储能系统在需要时提供足够的电能输出,同时避免过度放电或充电导致的储能效率下降。不同类型的储能系统具有不同的特性和优势,如锂离子电池具有高能量密度和长寿命,而超级电容器则具有快速充放电能力。在选择储能系统时,需要综合考虑其性能、成本、安全性等因素。

4.2.2 引入储能系统参与惯量支撑

储能系统不仅可以作为能量缓冲装置,还可以作为惯量支撑装置。通过控制储能系统的充放电过程,可以模拟发电机的惯量特性,为微电网提供额外的惯量支撑。通过引入储能系统参与惯量支撑,可以显著提高微电网的频率稳定性和惯量支撑能力。

4.2.3 优化储能系统控制策略

储能系统的控制策略对其惯量支撑性能具有重要影响。通过优化储能系统的控制策略,可以实现储能系统与新能源发电设备、负荷之间的协同调度和动态响应。例如,根据新能源发电预测结果、负荷需求和储能系统状态等信息,制定最优的储能系统充放电计划,以实现系统的最优运行和惯量支撑。

4.3 微电网拓扑结构与运行控制优化

4.3.1 优化微电网拓扑结构

微电网的拓扑结构对其惯量支撑性能具有重要影响。通过优化微电网的拓扑结构,可以减少电能传输过程中的损耗,提高电能利用效率,从而增强惯量支撑能力。例如,可以采用环形或网状拓扑结构,以提高系统的可靠性和灵活性;同时,通过引入冗余路径和备用设备,可以进一步提高系统的容错能力和惯量支撑能力。

4.3.2 引入分布式控制策略

分布式控制策略是实现微电网灵活调度和动态响应的重要手段。通过引入分布式控制策略,可以实现微电网内部各组件之间的信息共享和协同调度,从而提高系统的整体惯量支撑能力。例如,可以采用基于多智能体系统的分布式控制方法,将微电网内部各组件视为独立的智能体,通过相互通信和协作,实现系统的最优运行和惯量支撑。

4.3.3 实施分层控制策略

分层控制策略是实现微电网稳定运行和惯量支撑的有效方法。通过将微电网划分为不同的控制层级,如初级控制、次级控制和高级控制等,可以实现系统的分层调度和协同控制^[4]。初级控制主要负责微电网内部各组件的本地控制和保护;次级控制则负责实现微电网与主电网之间的功率平衡和频率稳定;高级控制则负责实现微电网的优化运行和惯量支撑。通过实施分层控制策略,可以进一步提高微电网的稳定性和惯量支撑能力。

5 实验

项目通过分布式控制策略,通过光伏系统、储能系统、负载系统建立一个微电网,通过优化拓扑结构及智能控制策略对储能对微电网的惯量支撑进行了研究。

5.1 微电网拓扑结构

项目设计的拓扑结构如下:50kW光伏系统、30kW储能系统、20kW负载系统组成一个交流耦合的微电网系统,通过微电网系统智能控制模块来实现微电网各个系统之间的耦合支撑性能研究。

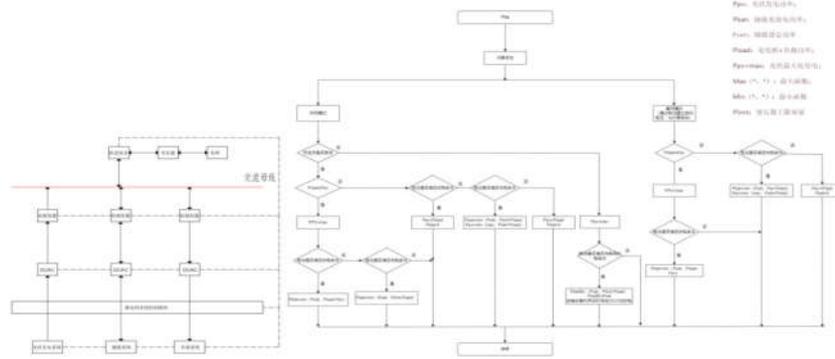


图5.1 微电网拓扑结构及控制流程图

5.2 微电网运行策略设计

5.2.1 数据采集与监测

实时采集微电网光伏发电系统、储能系统、负载系统的功率及电网的负荷情况等数据。通过检测装置等设备，将采集到的数据传至微电网系统控制模块。

5.2.2 控制策略制定

根据系统运行状态，制定优化的控制策略：

执行策略：

- 1) 光伏系统7:00-18:00期间进行发电，发电功率由低变高然后再变低。
- 2) 储能系统0:00-2:00、12:00-14:00按照-30kW进行充电，8:00-12:00根据负荷情况跟踪负荷放电。
- 3) 负载系统按照20kW额定功率运行。

5.2.3 运行结果分析

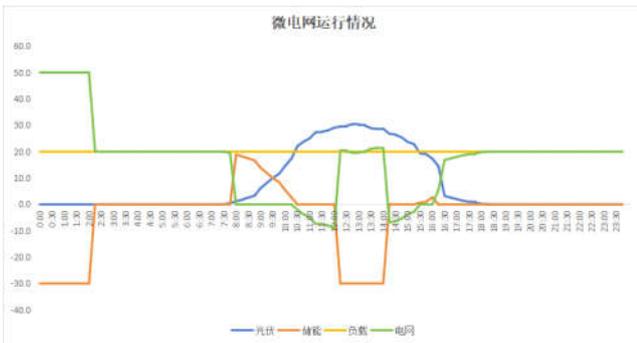


图5.2 微电网运行情况

- 1) 0:00-2:00时， $P_{pv} = 0$ ， $P_{bat} = -30kW$ ，此时电网承受的负荷冲击为最大的50kW；
- 2) 2:00-8:00时， $P_{pv} = 0$ ， $P_{bat} = 0$ ，此时电网承受负荷为20kW；
- 3) 8:00-12:00时，储能系统到达放电时间段，此时光伏系统发电功率随光照强度不断增高，光伏系统始终按照 $P_{pv} = \max$ 运行，储能系统通过微电网智能控制模块，放电功率跟踪负载功率进行自动调整，随着光伏系统功率的不断增加，储能系统的放电功率逐渐降低；当 $P_{pv} >$

20kW时， $P_{bat} = 0$ ，即储能系统停止放电，光伏多余的电在防逆流未启动的情况下进行上网，此时电网承受的负荷最小，为-9kW；

4) 12:00-14:00时，当储能系统到达充电时间段，储能系统按照额定功率进行充电即 $P_{bat} = -30kW$ ，此时储能系统优先采用光伏多余的电进行充电，当光伏功率不足时，电网给储能充电。此时电网系统承担的负荷为20kW，较无光伏系统支撑时降低了30kW。

5.2.4 小结

微电网系统中光伏与储能的协同运作有效调节了不同时段的电力供需关系，显著降低了电网在部分时段的负荷压力，提升了整个电力系统的稳定性与经济性，同时也表明合理的能源管理策略与智能控制模块对于微电网高效运行具有关键意义，为进一步优化微电网系统设计及运行提供了有力的数据支撑与实践经验。

结束语

通过对新能源储能微电网惯量支撑性能的研究，我们深刻认识到惯量支撑对于微电网稳定运行的重要性。本研究提出的优化策略不仅有助于提升微电网的频率稳定性和惯量支撑能力，还能促进新能源的高效利用和电力系统的可持续发展。未来，将继续深化这一领域的研究，探索更多创新技术和方法，为构建更加安全、稳定、高效的微电网系统贡献力量。

参考文献

[1]郑昆.丁胜.林文表.等. 动力电池安全性分析及检测技术概述[J]. 环境技术, 2021(6):229-234.

[2]祝夏雨.金朝庆.赵鹏程.等. 国内外动力锂电池安全性测试标准及规范综述[J]. 储能科学与技术.2019(2):428-441.

[3]孙培锋.冯云岗.卢海勇.等.新能源发电工程储能系统容量/功率优化配置[J].上海节能,2021(1):98-103.

[4]魏照中.叶冬挺.许飞.大规模储能电站多电池簇储能单元的分析与优化[J].上海电气技术,2021,14(1):20-24.