

新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响研究

王晓剑

内蒙古鲁电蒙源电力工程有限公司，内蒙古 呼和浩特 010020

摘 要：随着新能源发电在电力系统中的占比不断提高，其出力的间歇性、波动性给电网稳定性带来了巨大挑战。新能源发电侧储能配置作为一种有效的解决方案，受到广泛关注。本文深入研究了新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响。首先分析了新能源发电特性及其对电网稳定性的影响，接着阐述了储能系统的类型与特性，然后从频率稳定性、电压稳定性、暂态稳定性等多个维度探讨了储能配置对电网稳定性的具体影响机制，并分析了储能配置的关键参数对电网稳定性的影响规律。最后提出了优化储能配置以提升电网稳定性的策略，旨在为新能源发电侧储能系统的合理规划与运行提供理论依据和技术支持。

关 键 词： 新能源发电；储能配置；电网稳定性

Study on the Influence of Energy Storage Configuration on Power Grid Stability in New Energy Generation

Wang Xiaojian

Inner Mongolia Lude Mengyuan Electric Power Engineering Co., LTD. Hohhot, Inner Mongolia 010020

Abstract： As the proportion of new energy generation in power systems continues to increase, its intermittent and fluctuating output poses significant challenges to grid stability. Energy storage configuration on the new energy generation side is an effective solution that has garnered considerable attention. This paper delves into the impact of energy storage configuration on grid stability. It first analyzes the characteristics of new energy generation and their effects on grid stability, then describes the types and properties of energy storage systems. Next, it explores the specific mechanisms by which energy storage configuration affects grid stability from multiple dimensions such as frequency stability, voltage stability, and transient stability. The paper also examines the influence patterns of key parameters of energy storage configuration on grid stability. Finally, it proposes strategies for optimizing energy storage configuration to enhance grid stability, aiming to provide theoretical basis and technical support for the rational planning and operation of energy storage systems on the new energy generation side.

Keywords： new energy power generation; energy storage configuration; power grid stability

在全球能源危机和环境污染问题日益严峻的背景下，新能源发电技术得到了迅猛发展。太阳能、风能等新能源以其清洁、可再生的优势，成为未来能源发展的重要方向。然而，新能源发电具有明显的间歇性、波动性和随机性，其大规模并网给电力系统的规划、运行和控制带来了诸多难题，尤其是对电网稳定性产生了显著影响。储能技术作为一种灵活的电力调节手段，能够有效平抑新能源发电的波动，提高新能源的消纳能力，增强电网的稳定性。因此，研究新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响具有重要的理论意义和现实意义。=

一、新能源发电特性及其对电网稳定性的影响

（一）新能源发电特性

新能源发电主要包括太阳能光伏发电和风力发电。太阳能光伏发电的出力主要取决于光照强度、环境温度和光伏电池的特性。光照强度受天气、季节和地理位置等因素的影响，具有明显的日变化和季节变化规律^[1]。风力发电的出力则与风速的大小和方向密切相关，风速的不确定性和间歇性导致风力发电出力波动

较大。

（二）新能源发电对电网稳定性的影响

新能源发电对电网稳定性有着多方面影响。在频率稳定性方面，其间歇性与波动性会破坏电网功率平衡，当出力骤增或骤减时，电网有功功率供需失衡，进而引发频率波动。若波动超出允许范围，会干扰电力设备正常运行，甚至诱发电网事故。电压稳定性上，新能源发电接入改变了电网潮流分布，使部分节点电压改变，出力不稳定还会造成电压频繁波动与越限。而且，其通过

电力电子装置接入电网，这些装置产生的谐波和无功功率，会进一步损害电压质量^[2]。暂态稳定性层面，电网发生故障时，新能源发电动态响应特性异于传统电源，像风力发电机组在故障期间可能脱网，这会使电网功率缺额增大，加剧系统暂态失稳风险，给电网安全稳定运行带来挑战。

二、储能系统的类型与特性

（一）储能系统的类型

储能系统依据能量存储原理，常见类型可分为物理储能、化学储能以及电磁储能。物理储能凭借物理过程实现能量存储与释放，其中抽水蓄能技术成熟、储能容量大，但受地理条件限制；压缩空气储能可大规模储能，不过效率有待提升；飞轮储能响应速度快、循环寿命长，但能量密度相对较低。化学储能通过化学反应完成能量转化，铅酸电池成本低、技术成熟；锂离子电池能量密度高、充放电效率高；液流电池安全性高、可深度充放电。电磁储能则基于电磁场原理，超级电容器储能功率密度大、充放电迅速；超导储能响应极快、损耗低。

（二）储能系统的特性

储能系统因类型差异而特性各异。抽水蓄能优势明显，其储能容量可观，能为电网提供大规模的能量存储；使用寿命长，可长期稳定运行；充放电效率也处于较高水平。不过，它受地理条件制约严重，需具备合适的地形和水源条件，且建设周期漫长，涉及诸多复杂工程。锂离子电池能量密度高，能在有限空间存储更多能量；充放电效率佳，能量损耗小；响应速度迅猛，可快速适应电网功率变化，但成本居高不下。超级电容器储能功率密度大，能瞬间释放或吸收大量电能；充放电速度极快；循环寿命长，可频繁充放电，只是能量密度偏低。

三、新能源发电侧储能配置对电网稳定性的影响机制

（一）对频率稳定性的影响

储能系统对电网频率稳定性起着关键作用。凭借其快速充放电特性，它能够灵活调节电网的有功功率平衡，进而有效抑制频率波动。在新能源发电出力超出电网需求时，储能系统可迅速吸收多余电能，避免功率过剩引发频率上升；而当新能源发电出力无法满足电网负荷时，储能系统又能及时释放所储存的电能，填补功率缺口，防止频率下降^[3]。通过科学合理地配置储能系统的容量与功率，使其与电网运行需求相匹配，能够显著增强电网应对功率波动的能力，大幅提升电网的频率稳定性。

（二）对电压稳定性的影响

储能系统对电网电压稳定性有着积极影响。从无功功率角度看，它能提供必要的无功功率支持，精准调节电网电压水平。在新能源发电接入点周边部署储能系统，可发挥关键作用。由于新能源发电出力具有波动性，接入电网后易引发电压波动，甚至出现电压越限情况，而储能系统能迅速响应，及时补偿电压变化，将电压稳定在合理范围内。同时，储能系统还可借助有功功率调

节来优化电网潮流分布。电网潮流分布不合理会影响电压质量，储能系统通过合理充放电，改变有功功率流向，使潮流分布更加均衡，进而改善电压质量^[4]。通过合理规划储能系统的布局与运行策略，能充分发挥其在电压调节方面的优势，增强电网应对新能源发电波动的能力，保障电网电压稳定可靠运行。

（三）对暂态稳定性的影响

储能系统对电网暂态稳定性有着积极且关键的影响。电网故障往往具有突发性，会导致功率失衡、频率和电压剧烈波动，威胁电网稳定运行。此时，储能系统凭借其快速响应特性，能迅速介入并提供必要的有功功率支撑。以风力发电场为例，当电网突发故障，风力发电机组因机械惯性等因素，转速会急剧下降。若机组转速低于临界值，将无法维持并网运行而脱网，进一步加剧电网的不稳定。而配置储能系统后，它能在短时间内释放电能，为风力发电机组补充能量，维持机组转速稳定，确保机组持续并网^[5]。这不仅增强了电网应对故障的能力，还保障了新能源发电的连续性，从整体上提高了电网在故障情况下的暂态稳定性。

四、储能配置关键参数对电网稳定性的影响规律

（一）储能容量对电网稳定性的影响

储能容量作为关键参数，深刻影响着电网稳定性。当储能容量逐步增大时，储能系统对新能源发电出力波动的“消纳”与“熨平”能力显著提升。新能源发电间歇性与波动性大，出力不稳易致电网频率、电压波动，而大容量储能可及时吸收多余电能或释放储备能量，填补功率缺口、削减功率盈余，从而增强电网频率稳定性，使频率波动幅度减小、恢复速度加快；也能改善电压稳定性，减少电压骤升骤降、越限等情况发生，保障电压处于合理区间。不过，储能容量并非越大越好。其增加意味着建设、运维等投资成本水涨船高，若盲目追求大容量，可能造成资源浪费，降低项目经济性^[6]。因此，需权衡利弊，结合电网实际需求、新能源发电特性、负荷波动情况等多方面因素，开展综合评估与优化分析，确定既能有效提升电网稳定性，又兼顾经济性的合理储能容量，实现电网安全与经济效益双赢。

（二）储能功率对电网稳定性的影响

储能功率在电网稳定性中扮演着重要角色，它直接关乎储能系统充放电的速度与响应能力。当储能功率较大时，储能系统能够迅速对电网的功率变化做出反应。在电网突发故障或负荷急剧波动等暂态过程中，大功率储能系统可快速释放或吸收电能，及时填补功率缺口或削减功率盈余，有效抑制频率和电压的剧烈波动，从而显著提高电网的暂态稳定性，降低系统失稳风险。然而，储能功率并非越高越好。若功率设置过高，在日常电网平稳运行时，储能设备可能长期处于低负荷状态，导致设备利用率大幅降低，造成资源闲置与浪费。同时，高功率储能系统往往伴随着更高的建设与运维成本^[7]。因此，在实际应用中，需全面考量电网的实际运行需求、负荷特性、新能源发电出力波动情况以及储能系统自身特性等多方面因素，通过科学分析与评估，合理确定储能功率，以实现电网稳定性与经济性的平衡。

（三）储能充放电策略对电网稳定性的影响

储能充放电策略是影响电网稳定性的关键因素，不同策略带来不同效果。恒功率充放电策略，设定固定功率值进行充放电操作，其优势在于控制简单，但在应对电网复杂波动时，灵活性欠佳，可能无法精准匹配电网实时需求，影响调节效果。恒电流充放电策略，以恒定电流值运行，在特定场景下能实现稳定充放电，但难以适应电网负荷和新能源发电出力的快速变化，对电网稳定性提升有限。而基于电网状态的智能充放电策略，优势显著。它借助先进传感器与算法，实时监测电网频率、电压、功率等关键参数，根据电网实际运行状态，动态调整储能系统的充放电功率与速率^[9]。在电网负荷高峰时释放电能，低谷时吸收电能，还能平抑新能源发电波动。通过这种精准调节，充分发挥储能系统的调节能力，有效提升电网频率稳定性、电压稳定性与暂态稳定性，保障电网安全可靠运行。

五、优化储能配置以提升电网稳定性的策略

（一）基于多目标优化的储能配置方法

在储能系统配置中，为平衡电网稳定性、经济性与环保性等多方面需求，可采用基于多目标优化的配置方法。首先，综合考虑电网稳定性目标，如频率稳定性、电压稳定性等，确保储能系统能在电网波动时发挥有效调节作用；经济性目标则涵盖储能系统的投资成本、运维成本以及全生命周期成本等；环保性目标聚焦于储能系统对环境的影响，如碳排放量等。以此为基础，构建多目标优化模型，将各目标量化并纳入统一框架。接着，选用智能优化算法求解该模型，例如遗传算法、粒子群算法等，通过迭代计算不断逼近最优解，得到储能系统的最佳配置参数，包括容量、功率、充放电策略等^[9]。通过多目标优化，在保障电网稳定运行的同时，有效降低储能系统的投资与运行成本，减少对环境的负面影响，实现综合效益最大化，为储能系统的科学配置提供有力支撑。

（二）储能与新能源发电的协同规划

在新能源发电蓬勃发展的当下，储能与新能源发电的协同规划至关重要。于新能源发电项目规划初期，就需将储能系统的配置需求纳入核心考量范畴。合理的选址是协同规划的关键一步。

要结合新能源发电场的地理位置、气候条件、电网接入点分布等因素，选择既能高效接收新能源电能，又便于向电网输送能量的位置部署储能系统。而定容同样不容忽视，需精准评估新能源发电的波动特性、出力规模以及电网的消纳能力，确定储能系统的最佳容量^[10]。通过科学选址与合理定容，储能系统能够充分发挥其“削峰填谷”的独特作用。在新能源发电过剩时储存电能，在发电不足时释放电能，有效平抑新能源发电的间歇性与波动性，显著提升电网的功率平衡能力与电压、频率稳定性，保障电网安全、稳定、高效运行，推动新能源产业可持续发展。

（三）储能系统的分层分区控制策略

储能系统的分层分区控制策略是提升电网运行效能与稳定性的重要手段。基于电网复杂的拓扑结构和独特的运行特点，对储能系统实施分层分区控制。分层控制方面，依据电网的电压等级、控制功能等划分不同层级，如上层负责全局协调与策略制定，中层进行区域内的功率分配与调度，下层则直接控制储能设备的充放电。分区控制则是根据地理位置、负荷特性、新能源分布等因素，将电网划分为若干区域，每个区域配置相应的储能系统。通过分层分区控制，不同层级和区域间能够实现信息的实时共享与协调联动。上层指令可快速传达至下层执行，各区域储能系统也能根据自身及相邻区域情况灵活调整运行状态。这种控制方式大幅提高了储能系统的响应速度和调节效率，使其能更精准地应对电网功率波动、频率变化等问题，有效增强电网的稳定性。

六、结论

新能源发电侧储能配置对于提高电网稳定性具有重要意义。本文深入分析了新能源发电特性及其对电网稳定性的影响，阐述了储能系统的类型与特性，探讨了储能配置对电网稳定性的影响机制，并研究了储能配置关键参数对电网稳定性的影响规律。在此基础上，提出了优化储能配置以提升电网稳定性的策略。未来的研究可以进一步考虑储能技术的新发展和电网运行的新需求，不断完善储能配置方法和控制策略，推动新能源发电与储能技术的深度融合，实现电力系统的安全、稳定、高效运行。

参考文献

- [1] 熊寅韬, 贺志斌. 面向新能源发电接入的电网调度运行技术 [J]. 城市情报, 2024(18): 33-34.
- [2] 刘瑞平, 袁亮, 胡铭欣, 等. 含构网型新能源发电单元的孤立电网暂态稳定性提升策略 [J]. 电力科学与技术学报, 2024, 39 (06): 152-161.
- [3] 刘哲睿, 王儒科, 曹宝丹. 基于频率响应模型新能源接入对电网运维的影响研究 [J]. 电力设备管理, 2024, (17): 20-22.
- [4] 张兴, 战祥对, 吴孟泽, 等. 高渗透率新能源发电并网逆变器跟网/构网混合模式控制综述 [J]. 电力系统自动化, 2024, 48 (21): 1-15.
- [5] 王璐. 新能源发电侧储能技术及应用探究 [J]. 科技视界, 2024, 14 (16): 48-51.
- [6] 翟晓敏, 夏昊. 新能源接入电网稳定性控制策略研究 [J]. 光源与照明, 2023, (11): 150-152.
- [7] 郑军铭, 冯丽, 蔡志远, 等. 提高短时中断故障期间新能源微电网稳定性的惯性储能永磁发电机组 [J]. 电工技术学报, 2022, 37 (23): 6000-6010.
- [8] 刘家源. 新能源并网逆变器的阻抗测量方法研究与装备研制 [D]. 湖南大学, 2019.
- [9] 我国面向新能源发电的超导储能—限流技术取得重要进展 [J]. 科学咨询 (科技·管理), 2018, (14): 6.
- [10] 许国瑞, 尹忠东, 刘鹏, 等. 提升电力系统稳定性的新能源发电场同步电机对并网技术 [J]. 中国电力, 2018, 51 (01): 44-50.