

基于混合储能的光伏微电网控制策略研究

甘炜

中国石化润滑油有限公司

摘要: 混合储能的光伏微电网是一种将光伏发电和多种储能技术相结合的新型电力系统。本文通过对混合储能光伏微电网的控制策略进行研究和优化,旨在提高系统的能量管理效率和供电可靠性。

关键词: 混合储能; 光伏微电网; 控制策略

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.060

随着可再生能源的快速发展和能源短缺的压力,混合储能的光伏微电网作为一种新型的分布式发电系统得到了广泛关注和应用。混合储能光伏微电网将光伏发电、储能技术和传统电力网有机结合起来,具有能量转换高效、供电可靠性强等优点。然而,在实际应用中,由于光伏发电的间歇性和不稳定性,以及储能设备的能量管理问题,混合储能光伏微电网的控制策略仍然存在一定的挑战。

一、光伏微电网的优点

(一) 可再生能源利用

光伏微电网主要依靠太阳能发电,光伏电池板将太阳能转化为电能,不需要燃料消耗,具有零排放和无噪音的特点。这使得光伏微电网成为可再生能源的重要利用方式,有助于减少对传统化石能源的依赖,降低环境污染。

(二) 独立运行和自给自足

光伏微电网可以独立运行,不需要依赖传统的电网供电,可以在远离城市或偏远地区提供可靠的电力供应。通过光伏发电、储能和逆变器等技术的结合,光伏微电网可以实现自给自足,满足当地负载需求,减少对电网的依赖性。

(三) 提高能源安全性

光伏微电网采用分布式能源系统,将多个分布式发电装置和储能设备组合在一起,形成一个小规模的电网。这种架构可以提高能源供应的可靠性和稳定性,减少因故障或自然灾害等原因引起的停电风险。光伏微电网还可以通过与电网的互联互通,实现能源的双向流动和互补,进一步提高能源安全性^[1]。

二、光伏微电网面临的挑战

(一) 不稳定性

光伏能源受天气条件和季节变化的影响,输出功率存在波动性。在阴雨天或夜晚,光伏发电量显著减少,导致微电网供电不稳定。

(二) 储能技术限制

光伏微电网通常需要配备储能设备来平衡能源供需差异,但目前储能技术仍存在一些限制,如成本高、能量密度低、寿命短等问题。

(三) 电网连接与运营

光伏微电网需要与传统电网进行连接,但与传统电网的接口问题、电力市场机制等因素也会对光伏微电网的运营和管理带来一定困难。

(四) 综合调度与管理

光伏微电网中多种能源和负载的协调调度需要考虑多个因素,如能源预测、负荷预测、优化调度等,这对系统的综合管理提出了挑战。

(五) 安全与稳定性

光伏微电网的运行涉及多个关键环节,包括光伏发电、储能、逆变器等,其中任何一个环节的故障或失效都可能对系统的安全和稳定性造成影响。

三、混合储能系统的设计与优化

(一) 储能需求分析

储能需求分析是混合储能系统设计与优化的重要一环,它的目标是确定混合储能系统所需的储能容量和储能技术的选择,以满足电力系统的需求。首先,进行储能需求分析需要考虑电力系统的负载特性。通过对负载需求的分析,可以了解电力系统的负载曲线、负荷峰值、负荷波动性等信息。这些信息直接影响储能系统的容量需求,例如在峰值时段和低谷时段是否需要额外的储能支持以平衡电力供需。其次,储能需求分析还需要考虑可再生能源发电的特点。对于混合储能系统中的光伏发电和风力发电等可再生能源,需要对其出力特性进行分析。这包括光伏发电和风力发电的日变化和季节变化规律,以及其随天气变化引起的波动性。通过分析这些特点,可以确定储能系统所需的容量来平衡可再生能源的波动性。此外,储能需求分析还要考虑到电力系统的可靠性要求。储能系统在电力系统中具备备用能力,以应对突发负荷需求或可再生能源供给不足的情况。通过分析电力系统的可靠性要求,可以确定储能系统所需的备用容量,以保证电力系统的稳定供电。在进行储能需求分析时,可以借助数学模型和仿真工具来进行定量分析。通过基于历史数据的模拟和分析,可以评估不同场景下的储能需求,并根据分析结果进行优化设计,以达到储能系统在满足电力系统需求的同时最小化成本和提高效能^[2]。

(二) 储能技术选择

混合储能系统的设计与优化中,储能技术的选择至关重要。不同的储能技术具有各自的特点和适用场景,因此需要根据光伏微电网的需求和特性来选择最合适的储能技术。首先,常见的储能技术包括锂离子电池、钠硫电池、铅酸电池、超级电容器等。锂离子电池具有高能量密度、长寿命和较低的自放电率等优势,适用于中

小规模的光伏微电网；钠硫电池具有高能量密度和高温工作能力，适用于大规模的光伏微电网；铅酸电池具有低成本、良好的可充放电性能，适用于小规模的光伏微电网；超级电容器具有快速充放电能力和长寿命特性，适用于短时高功率输出的光伏微电网。其次，储能技术的选择还需要考虑光伏微电网的运行模式和运行需求。例如，如果光伏微电网需求更多地集中在短时高功率输出，可以选择超级电容器作为主要储能技术；如果光伏微电网需求更倾向于长时间储能和供电，可以选择锂离子电池或钠硫电池作为主要储能技术。此外，储能技术的选择还需要考虑投资成本、运维成本和环境影响等因素。不同的储能技术在成本和环境友好性方面存在差异。对于小规模光伏微电网，锂离子电池通常是较为经济和环保的选择；对于大规模光伏微电网，钠硫电池可能具有更好的经济性和环保性。

（三）系统拓扑设计

混合储能系统的设计与优化中，系统拓扑设计是一个重要的方面。系统拓扑设计决定了储能设备、光伏组件和负载之间的连接方式和布局，直接影响到系统的性能和效率。首先，对于混合储能系统的拓扑设计，需要考虑光伏组件和储能设备之间的连接方式。常见的连接方式包括串联和并联。串联连接可以提高系统的电压，适用于需要较高电压的应用场景；并联连接可以提高系统的电流，适用于需要较大电流输出的应用场景。根据实际需求和系统参数，可以选择合适的连接方式。其次，需要考虑储能设备之间的连接方式。混合储能系统通常由多种储能技术组合而成，因此需要确定不同储能设备之间的连接方式。例如，可以采用并联连接方式将多个储能设备并联起来，以增加系统的储能容量和供电能力；也可以采用串联连接方式将多个储能设备串联起来，以增加系统的电压和储能效率。此外，还需要考虑负载和储能设备之间的连接方式。负载可以直接连接到储能设备，也可以通过逆变器进行连接。直接连接可以减少能量转换过程中的能量损失，提高系统的能量利用率；而通过逆变器连接可以实现对负载的功率和电压调节，增加系统的灵活性和稳定性。在系统拓扑设计中，还需要考虑储能设备的布局。储能设备的布局应根据实际情况和系统要求进行优化。可以将储能设备分布在不同位置，以适应不同的场景需求。例如，可以将储能设备分散布置在光伏组件附近，以减少输电损耗；也可以将储能设备集中布置在负载附近，以提高能量传输效率。

（四）储能容量设计

混合储能系统的设计与优化中，储能容量设计是至关重要的一环。储能容量的大小直接影响着系统的供电能力、稳定性和经济性。首先，确定混合储能系统的总储能容量需要考虑负载需求以及光伏发电系统的出力波动性。负载需求是指系统所需供电能力，包括峰值功率和持续时间。光伏发电系统的出力波动性是指光伏发

电的不稳定性，受天气等外部因素的影响，其输出电力会有波动。这些因素决定了系统所需的储能容量大小。其次，根据负载需求和光伏发电系统的出力波动性，可以确定混合储能系统的储能类型和数量。常见的储能技术包括锂离子电池、铅酸电池、超级电容器等。不同的储能技术具有不同的特点，如能量密度、功率密度、循环寿命等。根据系统需求和经济性考虑，可以选择合适的储能技术和相应的储能容量。此外，储能容量设计还需要考虑储能设备的充放电效率和储能循环深度。储能设备的充放电效率表示了储能系统在充电和放电过程中能量转换的效率，直接影响着系统的能量利用率和经济性。储能循环深度表示了储能设备在使用过程中允许的充放电容量范围，过大或过小的循环深度会影响储能设备的寿命和稳定性。最后，储能容量设计还需要考虑系统运行的周期、充放电功率以及用户需求。不同的系统运行周期和充放电功率对储能容量的设计有不同要求。一些应用场景可能需要频繁的充放电循环，而另一些应用场景可能需要长时间的备用供电能力。同时，根据用户需求，储能容量设计需要满足用户的供电要求，并且在经济上是可行的^[3]。

四、基于混合储能的光伏微电网控制策略研究

（一）储能系统功率控制

基于混合储能的光伏微电网控制策略中，储能系统功率控制是非常重要的部分。储能系统功率控制的目标是根据光伏发电和负载需求的变化，实现电网的稳定运行和能量的平衡。首先，储能系统功率控制需要根据光伏发电和负载需求的变化来调节储能系统的充放电功率。当光伏发电功率超过负载需求时，多余的电力可以通过储能系统进行储存；当负载需求超过光伏发电功率时，储能系统可以提供额外的电力支持。储能系统功率控制可以确保光伏微电网在不同情况下都能够保持功率平衡，提高能源利用效率。其次，储能系统功率控制需要考虑储能系统的运行状态和限制条件。储能系统通常有最大充电功率和最大放电功率的限制，以及充放电效率等性能指标。控制策略需要根据储能系统的特性进行合理的功率调控，以避免储能系统的过载或损耗过大。在储能系统功率控制方面，常见的控制策略包括基于功率预测的最优功率控制和基于能量管理算法的动态功率控制。基于功率预测的最优功率控制是根据历史数据和实时信息对未来光伏发电功率进行预测，然后通过优化算法确定最优的储能系统充放电功率。这种控制策略可以使储能系统在不同时间段内充放电功率达到最优，以便满足负载需求并最大限度地利用光伏发电。基于能量管理算法的动态功率控制是根据当前光伏发电功率和负载需求实时调整储能系统的充放电功率。该算法通常基于能量平衡原则，通过监测系统状态和计算能量流动进行功率调整。该策略的优点是简单可行，能够快速响应系统变化，但对功率波动较大的情况可能需要进一步优化。

（二）储能系统电压控制

基于混合储能的光伏微电网控制策略中，储能系统电压控制是保证电网稳定运行的重要环节。储能系统电压控制的目标是维持电网电压在合理范围内，避免电压过高或过低对电网设备和负载的损害，并提高电网的可靠性和稳定性。首先，储能系统在光伏微电网中的电压控制需要根据光伏发电的变化和负载需求来调节储能系统的充放电功率，以平衡电网的供需关系。当光伏发电功率过大时，储能系统可以吸收多余的电力，防止电网电压过高；当光伏发电功率不足时，储能系统可以向电网注入额外的电力，以提高电网电压。其次，储能系统电压控制也需要考虑储能系统本身的特性和限制条件。储能系统通常有最大充电功率和最大放电功率的限制，以及充放电效率等性能指标。控制策略需要在满足这些限制条件的前提下，通过调节储能系统的功率来实现电网电压的平衡。在储能系统电压控制方面，常见的控制策略包括基于电压预测的最优功率控制和基于反馈控制的动态电压调节。基于电压预测的最优功率控制是根据历史数据和实时信息对未来电网电压进行预测，然后通过优化算法确定最优的储能系统充放电功率。这种控制策略可以使储能系统在不同时间段内充放电功率达到最优，以维持电网电压稳定。基于反馈控制的动态电压调节是根据当前电网电压实时调整储能系统的充放电功率。该控制策略通过监测电网电压并根据反馈信号调整储能系统功率，使电网电压保持在合理范围内，以确保电网的稳定性和可靠性^[4]。

（三）光伏发电与储能系统的协调控制

基于混合储能的光伏微电网控制策略中，光伏发电与储能系统的协调控制是实现可持续能源供应和电网稳定运行的关键环节。该控制策略旨在使光伏发电和储能系统协同工作，以最大化利用光伏发电的优势并平衡电网的供需关系。首先，光伏发电与储能系统的协调控制需要考虑光伏发电的不确定性和季节性变化。光伏发电的输出功率受到天气、太阳辐射强度和角度等因素的影响，存在波动性。而储能系统可以通过储存多余的太阳能电力并向电网注入额外的电力，以平衡供需关系，并在太阳能不足时提供电力支持。其次，协调控制需要根据电网需求和能源价格等因素来确定光伏发电和储能系统的充放电策略。根据电网负荷情况和储能系统的状态，控制策略可以确定光伏发电的输出功率以及储能系统的充放电功率。例如，在电网负荷高峰期，可以优先利用储能系统向电网注入电力，以减轻电网负荷压力；而在太阳能充足时，可以将多余的光伏发电功率储存到储能系统中。此外，协调控制还需要考虑储能系统的状态和性能限制。储能系统通常有最大充电功率和最大放电功率的限制，以及充放电效率等性能指标。控制策略需要在满足这些限制条件的前提下，合理确定光伏发电和储能系统的功率分配，以实现电网的平衡和稳定运行。

（四）预测控制策略

预测控制策略是基于混合储能的光伏微电网中常用的一种控制方法，其主要目标是通过通过对光伏发电和负载需求进行预测，以提前调整储能系统的充放电功率，实现对电网的优化运行和稳定控制。首先，预测控制策略需要建立一个准确可靠的预测模型来预测光伏发电量和负载需求。预测模型可以基于历史数据、天气预报、负载曲线等信息进行训练和建模。通过分析和处理这些数据，可以得到光伏发电和负载需求的概率分布、趋势变化等信息，为后续的控制决策提供依据。其次，预测控制策略需要根据预测结果确定最优的储能系统充放电功率。具体而言，当预测的光伏发电量较大且负载需求较小时，储能系统可以将多余的电力储存起来；当预测的光伏发电量较小且负载需求较大时，储能系统可以释放储存的电力以满足负载需求。预测控制策略可以通过优化算法来确定最优的储能系统操作策略。常见的优化算法包括模型预测控制、遗传算法、粒子群算法等。这些算法可以根据预测的光伏发电和负载需求，结合储能系统的特性和限制条件，通过迭代计算得到最优的充放电功率值，从而实现对电网的优化运行控制。此外，预测控制策略还可以与其他控制策略相结合，例如基于反馈的动态调节策略，以进一步提高光伏微电网的性能和稳定性。通过及时调整储能系统的充放电功率，可以实现对电网电压、频率等参数的精确控制，有效应对光伏发电和负载需求的波动变化，提高电网的可靠性和稳定性。

五、结语

本文对基于混合储能的光伏微电网的控制策略进行了研究和优化，基于功率控制和优化算法的综合控制策略能够显著提高混合储能光伏微电网的能量管理效率和供电可靠性。然而，由于混合储能光伏微电网是一个复杂的系统，仍然存在一些待解决的问题和挑战。因此，未来的研究可以进一步优化控制策略，提高系统的稳定性和可扩展性，推动混合储能的光伏微电网在实际应用中的广泛推广和应用。

参考文献

- [1] 祝龙记, 郁子扬. 基于混合储能的光伏微电网协调控制策略[J]. 电工技术, 2022 (20): 45-48+52.
 - [2] 刘志坚, 李晓磊, 梁宁等. 基于前馈自抗扰的光伏微电网混合储能控制策略[J]. 电力建设, 2021, 42 (09): 96-104.
 - [3] 陈若奇, 钟建伟, 罗春景等. 基于混合储能的光伏微电网控制策略研究[J]. 电工材料, 2021 (04): 26-28.
 - [4] 王爱岭, 邓蕾. 含混合储能的光伏微电网系统协调控制策略[J]. 中国设备工程, 2021 (04): 182-183.
- 作者简介: 甘炜, 1973.01.16, 男, 硕士学位, 研究方向: 生产安全环保部。