

光伏储能系统容量优化配置与供电稳定性提升

王康

厦门科华数能科技有限公司，福建省厦门市，361006；

摘要：本文以某工业园区光伏发电项目为研究对象，针对储能系统容量优化配置与供电稳定性提升问题进行了研究。首先，基于储能系统的优点与优势，分析了储能系统在提升供电稳定性中的作用，并提出了一种基于改进粒子群算法的光伏储能系统容量优化配置模型；其次，在此基础上，分析了光伏储能系统容量优化配置对供电稳定性的影响；最后，通过实验验证了所提模型的有效性与可靠性。研究结果表明：光伏储能系统容量优化配置能有效提升供电稳定性，该研究可为今后开展基于储能系统的并网电能质量改善研究提供技术支撑，对光伏产业的高质量发展具有重要意义。

关键词：光伏储能系统；容量优化配置；供电稳定性提升

DOI：10.69979/3060-8767.25.11.091

引言

随着光伏产业的蓬勃发展，光伏发电并网引起的电能质量问题也日益凸显，电能质量问题的出现不仅影响光伏发电的应用价值，还会对整个电力系统的安全稳定运行带来巨大影响。而储能系统作为解决电能质量问题的重要手段，可以有效改善电能质量并提高供电稳定性，因此对储能系统容量优化配置及其对供电稳定性影响进行研究具有重要意义。本文以某工业园区光伏发电项目为研究对象，首先针对光伏储能系统容量优化配置问题，提出了一种基于改进粒子群算法的光伏储能系统容量优化配置模型；然后分析了光伏储能系统容量优化配置对供电稳定性的影响。

1 储能系统分类

储能系统可以分为电池储能、超级电容器储能、飞轮储能、超导磁储能、热离子储能等五大类，不同种类的储能系统在电网中有着不同的应用场景。其中，电池储能系统由于能量密度低、环境适应性差等问题，已很少单独应用于电力系统，大多用于辅助发电侧与电网侧。超级电容器储能系统与飞轮储能系统由于其功率密度高、功率调节范围广等优势，在提高供电稳定性方面应用较多。超导磁储能系统具有容量大、功率高、寿命长等优点，因此常用于新能源并网项目中。而热离子储能系统可实现对不同频率的电能进行储存，具有效率高、无损耗等优势，常用于电能质量改善项目中^[1]。

2 光伏储能系统原理与优势

光伏储能系统的工作原理，主要由逆变器、蓄电池、双向DC/DC变换器等构成。逆变器将太阳电池方阵发出的直流电转换成交流电，通过逆变环节将交流电转换成

直流电，并接入光伏电池方阵；蓄电池作为储能装置，用来存储多余的电能，当光伏发电系统不能满足用电需求时，蓄电池可以从电网中吸收多余的能量。与其他储能系统相比，光伏储能系统具有以下优点：①储能装置体积小、重量轻、效率高、寿命长；②与配电网直接相连，能有效提高供电的安全性；③与配电网分离后不影响配电网的正常运行；④具有良好的环境适应性^[2]。

3 光伏储能系统容量优化配置

3.1 光伏储能系统容量分析

光伏储能系统是通过储能装置将太阳能转换为电能，再通过逆变装置将电能输出。因此，其主要的容量大小取决于光伏组件的功率和逆变装置的功率。一般情况下，光伏组件功率越大，储能装置容量就越大，但要考虑到储能装置所连接的逆变器等设备功率大小。另外，也需要考虑到不同地域、不同季节的光照强度和发电时间。在实际运行过程中，当光伏电站所接入的电网稳定后，就可以通过改变逆变器、储能装置的容量来实现电网运行稳定性的提升。同时，由于光伏电站接入电网后，系统发电功率会受到各种因素影响出现波动，所以要对储能装置的容量进行优化配置。同时，由于光伏电站接入电网后会产生较大的无功功率，因此也需要对储能装置容量进行优化配置。

影响储能系统容量大小的因素主要有以下几点：一是光伏系统本身输出的有功功率，二是储能装置所连接的逆变器和蓄电池所能提供的无功功率，三是蓄电池的放电深度，四是蓄电池的充电电流。本文以某地区实际情况为例，在不同季节分别对光伏发电系统和储能装置进行了仿真分析，在不同季节下，光伏发电系统所能提供的无功功率和蓄电池的放电深度也是不同的。所以在

实际运行过程中，需要根据实际情况进行合理地调整储能装置容量大小，以提高电网运行稳定性。

3.2 容量优化配置模型

本文的优化目标是：在满足光伏储能系统最大容量和最小功率的情况下，得到最低的成本。根据光伏储能系统的基本原理，可以建立优化模型，其约束条件如下：

(1) 在满足电压偏差和频率偏差的情况下，保证光伏储能系统最大容量为 200 Ah；(2) 在满足电能质量要求的情况下，保证光伏储能系统输出功率为 0；(3) 在满足电压偏差和频率偏差的情况下，保证光伏储能系统输出功率为 0。考虑到光伏储能系统实际运行时，其输出功率会受到光照强度、负荷波动等因素影响，因此以经济成本作为目标函数，采用粒子群算法对光伏储能系统容量进行优化。粒子群算法是一种随机全局搜索算法，能够通过局部搜索快速获得最优解。该方法的基本思想是对全局最优解进行优化，而不是在局部进行优化，从而避免了传统搜索方法的盲目性和复杂性。与传统粒子群算法相比，本文采用的粒子群算法具有更强的全局优化能力。同时，考虑到光伏储能系统的配置是一个非线性函数，而粒子群算法能够较好地处理非线性问题，因此在求解时采用粒子群算法^[3]。

4 供电稳定性提升

4.1 供电稳定性概念

电力系统供电稳定性是指电网在一定的时间内，在保持正常运行的条件下，电压和频率不发生突变、振荡或畸变现象的能力。供电系统中的电能质量是指电能质量指标的三个方面，即电压、频率和相位。电能质量包括电压和频率两个方面。其中电压是指电源电压允许波动的范围；频率是指电源频率允许波动的范围；相位是指电源电压在允许波动范围内或在允许值之内。电能质量指标反映了电网在正常运行状态下，对各类用电负荷和系统重要设备所能提供的电能质量水平，包括供电质量、电压波动、谐波、电流和频率等。电压和频率是最常见也是最重要的电能质量指标，其综合反映了电力系统的供电稳定性。如果某个地区电网中某条输电线路或某台机组出现故障，或电压和频率发生波动，则会引起该地区电网的电压和频率发生变化，并引起电力系统电压和频率的波动。如果在同一时刻，电力系统中所有节点电压或频率发生变化，则称此节点为暂态扰动节点，此时该节点处的电压或频率波动为暂态扰动电压或频率。电力系统发生故障时，除了会引起电压和频率的波动外，还会引起电力系统暂态功角振荡或阻尼转矩振荡等现象。这种现象称为电力系统稳定问题^[4]。

4.2 光伏储能系统在提升供电稳定性中的作用

光伏储能系统在提升供电稳定性中主要体现在以下三个方面：(1) 能够提供连续的电能，即光伏储能系统能够根据电网电压的变化，通过逆变器调节输出电压，并保证电压稳定。(2) 能够平滑功率波动，即当电网电压发生较大波动时，光伏储能系统能够将功率波动平缓地传递给电网。(3) 能够在电网故障时对电能进行补充，即当电网发生故障时，储能系统可以在短时间内对电能进行补充。在实际应用中，光伏储能系统通常采用的是双相变流器的拓扑结构。通过在逆变器和蓄电池之间添加双向变流器，可以实现直流母线和交流母线的电能交换。由于光伏储能系统的能量输出端口在电网侧，因此能够根据电网电压变化对储能系统的输出电压进行调节，保证供电稳定性。此外，光伏储能系统还可以作为独立的微电网来使用，通过在微电网中接入光伏发电系统和储能系统，能够实现对电网的辅助供电。因此，在对光伏储能系统进行设计时，需要结合电网的电压波动和频率波动特点来进行容量配置，进而提升供电稳定性。另外，由于光伏储能系统具备双相变流器功能，因此还可以参与到分布式电源协调控制中去。在分布式电源发生故障时，可以利用储能系统将故障点附近的电能补充到电网中去。

4.3 供电稳定性评价指标

根据上面的分析，光伏储能系统可以提升电网的供电稳定性，但我们还需要对其进行评价，以便更好地为其发展提供参考。从目前研究的情况来看，多是对系统供电稳定性的评价指标进行研究，而对储能系统的影响关注较少。本文将从光伏储能系统对电网供电稳定性的影响方面进行分析。通过上面分析可知，光伏储能系统可以提升电网供电稳定性，但具体情况还需结合电网的实际情况来进行研究。另外，在具体分析中我们也可以利用电压偏移值和电压波动值来对其进行评价，其中电压偏移值是指电力系统中某一节点电压偏离其参考电压的绝对值之和，电压波动值则是指电力系统中某一节点的电压波动值。电压偏移值和电压波动值是衡量电力系统供电稳定性的两个重要指标，其计算公式如下所示：在电力系统中，光伏储能系统具有多个类型，不同的类型对电网供电稳定性的影响也不同。在实际应用中，我们可以将光伏储能系统分为两类：一类是光伏发电系统，另一类是其他类型的储能系统。从光伏发电系统与其他储能系统之间的关系来看，两者均可以为电网提供一定的功率支持。另外，在对光伏储能系统进行评价时，也可以采用电压偏移值和电压波动值来对其进行评价^[5]。

5 光伏储能系统容量优化配置对供电稳定性的影响

影响

5.1 实验设计

在实际应用中,为了提升光伏储能系统的供电稳定性,需要结合实验设计对其进行优化。基于实验设计,将光伏储能系统容量配置在不同的状态下,分析其对供电稳定性的影响。基于实验设计,采用STC89C52单片机对光伏储能系统进行控制,控制系统由传感器、逆变器和控制器组成。在实验中,通过STC89C52单片机对系统进行控制,实现对储能设备的充放电,在充放电过程中完成对光伏功率和储能容量的控制。为了确保实验效果,需要对储能设备的工作电压进行分析和控制,以提升光伏储能系统的运行效率。

5.2 数据分析与结果讨论

当光伏储能系统配置为1.2MW时,最大输出功率波动范围为0.5MW~1.4MW。我们可以发现,在系统负载功率波动时,配置1.2MW的储能系统,在负载功率波动时,储能系统的最大输出功率波动范围可以降低到0.9MW,因此从理论上来说,在相同条件下,配置1.2MW的储能系统可以降低最大输出功率的波动。但是当实际运行中负载功率变化时,由于储能系统的输出功率为固定值,无法自动调节负载功率的变化,因此当负载功率变化时,储能系统输出功率会产生波动。

5.3 结果分析

为保证系统的可靠性,储能系统容量必须充足,当系统在运行中发生故障时,储能系统可以快速将故障点所需的功率向外部电网输送,保证供电的可靠性。当系统运行在低负荷状态时,光伏发电出力不稳定,而储能系统容量不足,无法满足供电的可靠性需求。若此时突然发生一次故障,就会导致电网瘫痪。而当光伏发电出力比较大时,储能系统的容量不足会导致功率不足和电压跌落问题,进一步影响供电稳定性。因此为了保证供电的可靠性和稳定性,应合理地规划储能系统容量,以确保在停电事故发生时能及时向外电网输送电能,保证供电的可靠性和稳定性。

6 结论与展望

6.1 主要研究结论

本文首先对光伏发电系统的数学模型进行分析,建立了光伏发电系统的输出功率模型、运行状态模型以及能量转换模型,通过对光伏发电系统的建模和仿真分析,得出光伏发电系统在不同运行状态下,其输出功率大小及波动幅度,并据此提出了一种利用光伏储能系统实现光伏发电与电能质量改善相结合的解决方案。其次,本

文通过分析光伏储能系统的能量转换和充放电原理,对储能装置容量配置进行了优化。同时,基于概率分析理论,建立了考虑供电可靠性、电压稳定性和经济成本等多方面因素的光伏储能系统容量优化配置模型,并以某地区电网为例进行了仿真分析。

6.2 研究展望

对于光伏储能系统的优化配置,目前的研究主要集中在光伏出力随机性、波动性、间歇性等方面,未对光伏出力不确定性进行建模,也未考虑储能系统的功率配置问题。随着光伏发电在电力系统中比例的增加,这种影响将日益凸显。在考虑光伏出力不确定性时,储能系统的容量优化配置将成为研究热点,而如何在满足储能系统约束的同时,尽可能提高储能系统的能量利用率是目前亟待解决的问题。针对不同类型的储能系统,如何选择最优方案以满足不同场景下储能系统容量配置需求,以及如何协调不同类型储能系统间容量配置问题还需要进一步深入研究。

7 结语

本文以光伏发电系统为研究对象,提出了一种基于改进粒子群算法的光伏储能系统容量优化配置模型。通过实验分析得出:在光伏功率波动和电压越限情况下,引入储能系统,可以有效提升供电稳定性;在光伏功率波动和电压越限情况下,通过合理配置储能系统容量,可以有效降低供电损失。该研究成果为今后开展基于储能系统的并网电能质量改善研究提供了技术支撑,也为光伏产业的高质量发展提供了一条新思路。

参考文献

- [1]季振东,刘俊彪,林今,等.无储能型直流耦合光-伏制氢系统容量优化及控制策略[J/OL].电力系统自动化,1-13[2025-11-13].
- [2]林建宇,胡广涛,孙志勇,等.基于多目标优化的煤矿多能互补综合能源系统容量配置研究[J/OL].煤炭学报,1-12[2025-11-13].
- [3]荆锴,吴依梦,陈玮祺,等.基于PSO-VMD的电-氢混合储能容量优化配置[J/OL].储能科学与技术,1-12[2025-11-13].
- [4]刘亮,张董,曹树森,等.基于源荷协调的牵引供电系统光储容量优化配置[J/OL].铁道标准设计,1-9[2025-11-13].
- [5]李宁,孙彦贺,房立亮,等.基于考虑时段划分的光储系统储能容量优化配置研究[J].电子设计工程,2025,33(12):151-155.