

分布式风电光伏的储能容量优化配置方法研究

常超

中国能源建设集团辽宁电力勘测设计院有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i11.7406

[摘要] 随着可再生能源技术的快速发展,分布式风电和光伏系统的装机容量不断增加。截止到2023年底,国内累计电力装机规模为29.2亿千瓦。其中,风电:累计装机4.4亿千瓦,占比15%;光伏:累计装机6.1亿千瓦,占比21%。然而,风电和光伏发电的波动性给电网的稳定性带来了挑战,尤其是在负荷峰谷差较大时。为了提高系统的运行效率和经济性,储能系统成为解决这一问题的关键技术。本文针对现有储能容量配置方法的不足,提出了一种基于多目标优化的储能容量配置方法,并通过实验验证了其有效性。通过该方法有效减少了系统的负荷峰谷差,并提高了系统的经济收益。实验结果表明,本文方法在负荷平衡和经济效益方面均优于传统方法,在分布式风电光伏系统中的应用前景广阔。

[关键词] 分布式风电光伏; 储能容量; 优化配置; 蚁群算法

Research on the optimal configuration method of energy storage capacity of distributed wind power and photovoltaic power

Chang Chao

China Energy Construction Group Liaoning Electric Power Survey and Design Institute Co., LTD.

[Abstract] With the rapid development of renewable energy technology, the installed capacity of distributed wind power and photovoltaic systems has been increasing. By the end of 2023, China's cumulative installed power capacity was 2.92 billion kilowatts. Among them, wind power: cumulative installed capacity 440 million kW, accounting for 15%; PV: cumulative installed capacity 610 million kW, accounting for 21%. However, the volatility of wind power and photovoltaic power generation poses challenges to the stability of the power grid, especially when the load peak and valley difference is large. In order to improve the operation efficiency and economy of the system, the energy storage system has become the key technology to solve this problem. In view of the shortcomings of the existing energy storage capacity configuration method, this paper proposes an energy storage capacity configuration method based on multi-objective optimization, and verifies its effectiveness through experiments. Through this method, we effectively reduce the load peak-valley difference of the system and improve the economic benefits. The experimental results show that the method is better than the traditional method in load balance and economic benefit, and has a broad application prospect in distributed wind power photovoltaic system.

[Key words] distributed wind power and photovoltaic; energy storage capacity; optimal configuration; ant colony algorithm

1 引言

随着全球对清洁能源需求的不断增加,风电和光伏等可再生能源得到了快速发展。我国在政策支持下,风电和光伏发电的装机容量持续增长,已经成为全球最大的风电光伏市场。然而,风电和光伏发电的间歇性和波动性使得电力系统的稳定运行面临巨大挑战,尤其在负荷需求与发电输出不匹配时,能源的消纳和储存成为亟需解决的问题。传统的电网调度和储能容量配置方法往往不能充分应对这种波动性,导致储能系统的经济效益不高、负荷峰谷差较大。本研究的意义在于,通过引入多目标优化算法,提出一种新的储能容量优化配置方法,不仅

能够减少分布式风电光伏系统的负荷波动,还能够提高系统的经济效益和运行稳定性。通过优化储能容量配置,可以更好地实现风电和光伏发电的消纳,推动可再生能源的进一步发展,对于构建清洁、高效、稳定的能源体系具有重要的现实意义。

2 分布式风电光伏系统概述

分布式风电光伏系统是一种将风能和太阳能发电结合起来的能源系统,具有灵活性强、清洁环保等优点。由于风能和光伏发电的自然波动性,分布式系统的应用面临着如何平衡电网负荷和电力输出的问题。因此,储能技术成为保障系统稳定运行的关键。此外,分布式系统的优势在于其能够直接将发电

并网,减少传输损耗,提高能源利用效率。这种系统通常被用于偏远地区或负荷相对较小的区域,为当地提供可靠的电力来源。

2.1 分布式风电系统的特点

分布式风电系统具有几个显著特点。首先,其发电过程完全依赖风力资源,因此具有间歇性和不稳定性,这要求系统具备强大的调节能力以应对风速变化。其次,分布式风电系统的安装灵活,可根据地形条件灵活布置风电机组。第三,风电系统的运营成本较低,风力作为可再生能源不需要额外燃料成本,长远来看具备较好的经济效益。然而,其初期投资较大,包括设备、安装和维护成本。

2.2 分布式光伏系统的特点

分布式光伏系统的特点主要体现在其能量来源的普遍性和发电过程的清洁性。光伏系统通过太阳能发电,在日照条件良好的地区,其发电效率较高,且与风电类似,发电过程不会产生污染。此外,光伏系统模块化设计方便扩展,适合在居民区、工业园区等分散区域布置。然而,光伏系统的发电受限于天气和昼夜变化,稳定性相对较差,因此通常需要配备储能系统来平滑电力输出。

3 储能容量优化配置方法

在分布式风电光伏系统中,储能容量优化配置是提高能源利用效率、稳定电力输出的关键技术。由于风能和光伏发电的波动性,储能系统的优化配置需要考虑多个因素,包括负荷平衡、峰谷差率、设备成本等。在传统方法中,储能系统的配置常常不能有效满足这些需求,导致系统经济收益较低,峰谷差较大。因此,提出一种新的优化方法,通过建立多目标函数并引入蚁群算法,实现储能容量的最优配置,从而提高系统的稳定性和经济性。

3.1 建模多目标函数

为了优化储能容量的配置,首先需要建立一个多目标函数。本文的目标是最小化储能系统的负荷峰谷差和配置成本。在负荷方面,峰谷差是衡量储能系统负荷稳定性的关键指标,可以通过计算净负荷方差来表示。公式为:

$$\epsilon = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (P_e - P_v)^2$$

其中, P_e 表示储能系统在某一时刻的净负荷值, P_v 表示风电光伏发电系统的弃能率。通过该公式,可以计算储能系统在运行过程中负荷的波动情况,从而实现削峰填谷的目标。

在成本方面,储能容量配置成本包括设备购置、维护、运行等多项费用。目标是通过优化配置,最小化这些成本。具体公式为:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

其中, C_1 为风电和光伏电池的购入成本, C_2 为设备的运行成本, C_3 为设备的维护成本, C_4 为蓄电池废弃处理成本。通过权衡峰谷差和配置成本,综合考虑系统的运行效率和经济收益,最终目标函数为:

$$f = \omega_1 \cdot F^1 + \omega_2 \cdot F2$$

其中, ω_1 和 ω_2 分别为负荷峰谷差和配置成本的权重系数。

3.2 设定约束条件

在进行储能容量优化配置时,必须设定一定的约束条件以确保模型的可行性和合理性。首先,储能容量必须保持平衡,即充放电的功率差异不应导致系统失衡。公式为:

$$\int_0^T [x_u(t) - x_0(t)] dt = 0$$

其中, $x_u(t)$ 表示在某一时刻储能系统中的充电功率, $x_0(t)$ 表示放电功率。这一约束条件确保了储能系统能够在不超出其容量限制的情况下稳定运行。

其次,峰谷差率的约束条件限制了系统负荷的波动幅度,具体公式为:

$$b = \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_1} \leq k$$

其中, δ_1 表示系统的最大负荷, δ_2 表示最小负荷, k 为系统允许的峰谷差最大值。这一约束条件确保了负荷的波动在合理范围内,避免过大波动影响系统稳定性。

最后,储能系统的功率约束条件要求充电和放电的效率要达到一定标准,具体公式为:

$$X_u(t) / Z - X_0(t) \cdot a + X(t) = X_z(t)$$

其中, Z 和 a 分别为充电和放电的效率, $X_z(t)$ 为储能系统的额定功率。通过这些约束条件,可以确保储能容量配置模型的合理性和有效性。

3.3 最优配置决策输出

在建立了多目标函数和约束条件后,采用蚁群算法来求解最优配置方案。蚁群算法是一种基于群体智能的优化算法,适用于复杂的优化问题。在应用蚁群算法时,每个蚂蚁个体都代表一个可能的配置解,通过模拟蚂蚁在路径上的移动过程,逐步寻找到最优解。

蚁群算法首先初始化参数,如蚂蚁的初始速度、迭代次数等。然后,蚂蚁在路径上移动,过程中根据路径的信息素浓度来选择下一个目标位置。公式为:

$$\kappa(t+1) = \rho_T(t)\kappa(t) + \Delta U$$

其中, $\kappa(t+1)$ 表示信息素浓度的更新值, ρ 为信息素保留率, $\tau(t)$ 表示蚂蚁移动的速度。在迭代过程中,算法不断更新路径上的信息素浓度,直到找到最优的配置方案为止。通过该算法,可以输出储能系统的最优配置方案,实现对分布式风电光伏储能系统的优化配置。

4 储能容量优化配置实验

为了验证储能容量优化配置方法的有效性和可行性,本研究设计了针对分布式风电光伏系统的储能容量优化配置实验。通过实验数据对比传统方法和本文提出的方法,评估其在负荷峰谷差减少和经济收益提升方面的效果。实验采用对比实验法,以负荷峰谷差和系统经济收益为主要评价指标。

4.1 实验准备与设计

在实验设计阶段,选择某分布式风电光伏电站作为实验对象。该电站储能系统额定电压为 2.15V,电容为 2500F,最小工作电压为 0.56V,最小工作电流为 1500A,循环寿命为 500,000 次,运行系数和维护系数分别为 0.01,废弃处理系数为 0.04。实验的目的是优化配置该储能系统的容量,以实现负荷峰谷差的最小化和经济收益的最大化。

为了确保实验数据的可靠性,选择了两种传统的储能容量配置方法进行对比。传统方法 1 为基于改进麻雀搜寻算法的配置方法,传统方法 2 为基于 CEEMDAN-HT 的配置方法。通过这三种方法对比,分析它们在削峰填谷、经济收益等方面的差异。

实验设定 8 组不同的运行环境,每组实验运行 24 小时,记录每组实验中的负荷峰谷差以及系统的经济收益。实验数据通过电子表格记录和分析,以提供清晰的数据支持。以下是实验的具体设计参数和评估标准。

表1 实验设计

参数	数值	单位
额定电压	2.15	V
电容	2500	F
最小工作电压	0.56	V
最小工作电流	1500	A
循环寿命	500,000	次
运行系数	0.01	-
维护系数	0.01	-
处置系数	0.04	-
实验组数	8	组
每组运行时间	24	小时

4.2 实验结果与讨论

实验的主要目标是通过储能容量优化配置方法减少负荷峰谷差,并提高系统的经济收益。经过实验数据分析,本文提出的方法在这两个方面都取得了显著效果。

首先,在负荷峰谷差方面,本文提出的优化配置方法表现出明显的优势。传统方法1的负荷峰谷差最大为2,016.25MW,最小为1,569.86MW,平均负荷峰谷差为1,789.68MW;传统方法2的最大峰谷差为2,263.14MW,最小为2,006.45MW,平均为2,103.21MW。相比之下,本文方法的负荷峰谷差显著减少,最大峰谷差为1,036.52MW,最小为1,003.62MW,平均负荷峰谷差为1,014.52MW,表明在削峰填谷方面,本文提出的方法效果最佳。

表2 负荷峰谷差实验结果

实验组数	本文方法 (MW)	传统方法1 (MW)	传统方法2 (MW)
第1组	1,023.14	1,569.86	2,026.34
第2组	1,013.06	1,715.52	2,145.16
第3组	1,014.25	1,726.14	2,263.14
第4组	1,036.52	1,935.26	2,102.55
第5组	1,025.87	1,825.84	2,006.45
第6组	1,003.62	2,016.25	2,145.69
第7组	1,004.52	2,014.12	2,236.12
第8组	1,003.64	1,895.69	2,152.84

从上表可以看出,本文提出的方法在每一组实验中均能有效降低负荷峰谷差。相比两种传统方法,削峰填谷的效果更加显著,平均负荷峰谷差低于1,050MW,远低于传统方法的1,700MW及以上。其次,在经济收益方面,本文方法同样表现出

优势。通过对实验数据的分析,本文方法的日均经济收益达到12,100元,而传统方法1和传统方法2的日均收益分别为5,400元和5,200元。这一结果表明,本文提出的方法在提高经济效益方面同样优于传统方法。

表3 经济收益实验结果

时间 (月)	本文方法 (万元)	传统方法1 (万元)	传统方法2 (万元)
3	89.62	56.14	55.31
6	189.41	112.32	102.62
9	279.52	152.48	148.52
12	371.62	201.69	196.36
15	468.71	247.62	231.52
18	556.51	301.52	286.45
21	668.78	352.61	332.41
24	763.15	401.62	375.11

实验结果显示,随着时间的推移,本文方法在经济收益方面的优势逐渐扩大。经过24个月的运行,本文方法累计收益达到763.15万元,而传统方法的累计收益则分别为401.62万元和375.11万元。这一差距表明,本文提出的储能容量优化配置方法不仅能够提高系统的稳定性,还能显著提高经济效益。综上所述,通过储能容量优化配置实验,本文方法在负荷峰谷差和经济收益方面均优于传统方法,证明其在分布式风电光伏系统中的应用具有显著的实际意义和前景。

5 结语

通过本文的研究,证明了基于多目标函数和蚁群算法的储能容量优化配置方法能够显著降低分布式风电光伏系统的负荷峰谷差,并提高其经济效益。实验结果显示,该方法在削峰填谷和增加收益方面效果显著,具有良好的应用前景。未来工作可继续探索其他优化算法的应用,以进一步提升分布式新能源系统的运行效率和经济性。

[参考文献]

[1]马超,董森,华正操.多种光伏组件组合光伏电站的混

合储能容量优化配置研究[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2020,53(11):1128-1135.

[2]陈涛,邢金晶,刘闯,等.基于改进PSO-DE融合算法的风电场储能容量优化配置[J].山东电力技术,2023,50(1):8-13.

[3]闫群民,刘语忱,董新洲,等.基于CEEMDAN-HT的平抑光伏出力混合储能容量优化配置[J].电力系统保护与控制,2022,50(21):43-53.

[4]闫来清,曹丽源,薛大林,等.风电场黑启动储能容量优化配置:一种考虑储能运行策略的方法[J].电力系统保护与控制,2022,50(16):131-139.

[5]刘佳玲,秦博宇,孙颖,等.面向清洁低碳转型的隧道智慧能源系统框架设计及储能容量优化配置[J].高电压技术,2022,48(7):2563-2572.