

考虑新能源消纳的光伏 微电网储能配置优化方法

浦洁 陈轶

(国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司)

摘要: 由于光伏发电的间歇性和波动性,导致微电网中存在新能源消纳不足与供需不匹配的问题,为此提出考虑新能源消纳的光伏微电网储能配置优化方法。在考虑新能源消纳因素情况下,根据光伏微电网的实际发电量和负荷量,预测光伏微电网的储能量。根据储能模块的组成结构和储能状态,确定光伏微电网储能容量。从储能容量、储能设备工作能力等方面,设定储能配置约束条件。在设定条件约束下,通过对储能能量的分配与调度,实现光伏微电网储能优化配置。实验结果表明:与传统储能配置方法相比,优化设计方法的实际储能配置结果与最优配置方案之间偏差更小,通过优化设计方法的储能配置,光伏微电网的储能均衡度明显提升,同时供求匹配系数有所降低,由此证明优化设计方法具有更优的储能配置效果。

关键词: 新能源消纳; 光伏微电网; 储能模块; 储能配置; 优化配置

0 引言

光伏微电网是由分布式光伏电源、储能装置、负载、变配电设备和控制系统等构成的小型电力系统,能够实现自我控制、保护和管理,具有可靠、环保、灵活等特点。储能模块是光伏微电网的重要组成部分,能够起到能源缓存的作用,可根据光照和负载情况调整储能状态^[1]。为了有效提高能源利用效率、增强微电网的运行稳定性,提出光伏微电网储能配置方法。

光伏微电网储能配置指的是在光伏微电网系统中,对储能装置的容量、类型、充放电策略等进行科学、合理的规划和配置,以满足微电网的供电需求的过程。现阶段发展较为成熟的储能配置方法中,文献[1]提出的考虑需求响应和源荷不确定性的光储微电网储能配置方法运用聚类方法精简运行场景,全面权衡购电成本、储能配置、损耗以及联络线功率波动罚款等因素,在应对长期不确定性时,协同设计微电网储能系统,构建依据用户调度优先级的负荷调控策略,利用弹性系数评估需求响应成效,最终实现分阶段储能配置。然而,上述方法在实际运行过程中,未充分考虑微电网发电端的运行状态,因此得出的配置结果与最优配置方案之间存在一定偏差。文献[2]提出的计及可靠性成本的风光储微电网储能配置方法运用自回归滑动平均模型和Homer软件来模拟风速、光辐照度的离散序列,构建风力发电机和光伏发电机的功率输出模型,采用电量短缺期望值

作为评估标准,采用改进的二阶振荡粒子群优化算法求解最优配置方案。然而上述方法以风光储微电网作为研究环境,将其应用到光伏微电网中无法保证配置结果。

综上所述,传统配置方法均存在配置效果不佳的问题,为此考虑新能源消纳因素。新能源消纳是指将发电厂发出的新能源电力进行消化、吸纳的过程。在考虑新能源消纳因素的情况下,优化设计光伏微电网储能配置方法,以期能够得到最佳的储能配置方案。

1 光伏微电网储能配置优化方法设计

光伏微电网储能配置的基本原理为:综合考虑光伏微电网发电量和储能容量之间的关系,结合储能模块的组成结构,将不均衡或待使用的电能存储到不同的储能空间中,保证储能空间中的能源分布平衡,且方便能源的随时调取与使用。在此次优化设计方法中,切实考虑光伏微电网中的新能源消纳因素,也就是光伏微电网发电量与使用负荷之间的关系,在保证光伏微电网能源动态平衡的情况下,将多余能源存储到储能空间中,得出最优的光伏微电网储能配置方案。

1.1 考虑新能源消纳预测光伏微电网储能量

在已知光伏微电网工作原理、工作参数以及光伏环境参数的情况下,对光伏微电网的发电量进行预测。在此基础上,考虑新能源消纳情况,剔除光伏微电网的复合消耗部分,得出需要存储的发电量。光伏微电网的发电与消纳原理,如图1所示。

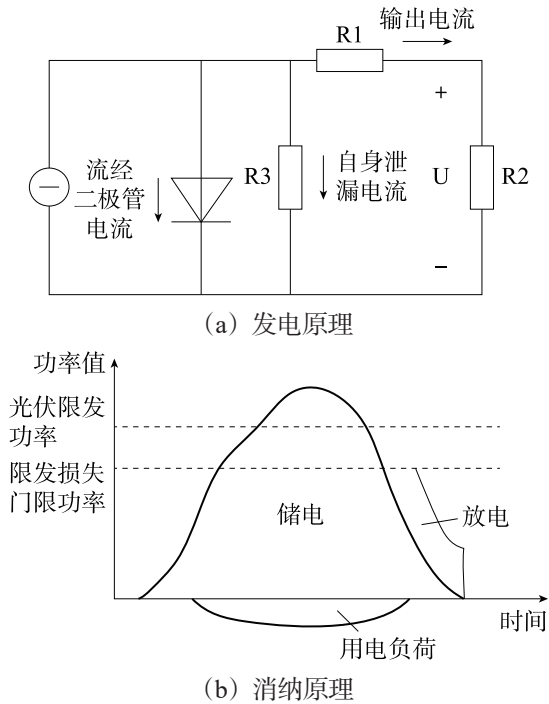


图1 光伏微电网发电与消纳原理图

根据图1(a)表示原理,得出光伏微电网的发电输出电流为:

$$I_F = \sum_{i=1}^{n_g} I_{out}(i) - I_{diode}(i) - I_{leakage}(i) \quad (1)$$

式中, $I_{out}(i)$ 、 $I_{diode}(i)$ 和 $I_{leakage}(i)$ 分别表示光伏微电网中第*i*个光伏元件的输出电流、流经二极管电流以及自身泄漏电流, n_g 为微电网中包含的光伏元件数量^[2]。在已知光伏微电网工作环境因素的情况下,可以得出 $I_{diode}(i)$ 和 $I_{leakage}(i)$ 的预测结果为:

$$\begin{cases} I_{diode}(i) = I_{in}(i) \left(\exp \left(\frac{qU + I_e R(i)}{\kappa_b T} \right) - 1 \right) \\ I_{leakage}(i) = \frac{(I_{photo-generated}(i) + \kappa_T T) G(i)}{G_e(i)} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $I_{in}(i)$ 和 $I_{photo-generated}(i)$ 分别表示光伏元件*i*的输入电流和光生电流, I_e 为额定电流, U 和 $R(i)$ 分别表示该光伏元件的电压和电阻值, κ_b 和 κ_T 分别为玻耳兹曼常量和温度关系系数, T 为光伏元件的工作温度, $G(i)$ 和 $G_e(i)$ 分别为实际光照强度及其额定值。将公式2的预测结果代入到公式1中,即可得出光伏微电网输出发电量的预测结果。根据图1(b)表示消纳原理,结合光伏微电网的负荷需求以及光伏消纳比例,得出光伏微电网储能能量预测法结果为:

$$W_c = UI_F - \sigma H \quad (3)$$

式中, σH 为光伏微电网的消纳量, σ 和 H 分别对应的是光伏消纳比例以及负荷需求量。将实时发电量和消

纳量的求解结果代入到公式3中,即可得出光伏微电网储能能量的预测结果。

1.2 确定光伏微电网储能容量

光伏微电网中的储能设备包括锂离子电池储能模块、铅酸蓄电池模块、超级电容等,那么光伏微电网中的最大储能容量为:

$$R = R_{li} + R_{Lead-acid} + R_C \quad (4)$$

其中, R_{li} 、 $R_{Lead-acid}$ 和 R_C 分别为表示三种储能模块允许存储的最大容量^[3]。考虑储能模块当前存储状态,确定能够使用的储能容量为:

$$R_y = R - S \times E \quad (5)$$

式中, S 和 E 为储能模块的存储荷电状态以及当前储能容量。综合考虑储能容量的组成结构、物理结构以及当前储能状态,得出光伏微电网当前储能容量的确定结果。

1.3 设定光伏微电网储能配置约束条件

通过设定储能设备的容量、充放电速率等约束条件,确保光伏微电网在充放电过程中不会超出其设计能力,防止出现过充、过放等危险情况^[4]。光伏微电网储能配置中的容量约束条件为:

$$0 \leq R_0 + M \leq R_y \quad (6)$$

其中, R_0 和 M 分别表示光伏微电网的初始储能能量以及分配调度量。另外,储能模块充放电倍率约束条件的设置结果为:

$$\frac{P}{R} \leq \delta \quad (7)$$

式中, P 为储能模块的充放电功率, δ 为充放电倍率的上限值。按照上述方式,可以得出功率平衡、储能成本等方面约束条件的设定结果。

1.4 实现光伏微电网储能配置优化

在设定配置条件约束下,以光伏微电网储能能量的预测结果为配置对象,以光伏微电网中的储能模块作为配置环境,采用储能能量分配与调度的方式,实现微电网的储能配置。光伏微电网中任意储能模块的电分配调度量为:

$$D(i) = \frac{R_y - W_c}{n_{storage}} \times \gamma(i) \quad (8)$$

式中, $n_{storage}$ 为光伏微电网中包含的储能模块数量, $\gamma(i)$ 为第*i*个储能模块的分配比例系数。根据微电网中各个储能模块的容量大小以及剩余容量情况,可以确定变量 $\gamma(i)$ 的具体取值。那么光伏微电网储能模块的配置结果为:

$$\psi = \sum_{i=1}^{n_{storage}} D(i) \quad (9)$$

根据式(9)表示的光伏微电网储能配置方案,在

设定条件约束下,对产生的储能量进行调度,即微电网光伏发电端产生的电能经负荷消纳后,取 $D(i)$ 电能将其存储到第 i 个储能模块中,在调度过程中保证调度路线容量高于电能分配调度量,对应电能达到对应模块后与模块中的初始存储能量进行融合,完成该储能模块的调度与配置^[5]。重复上述操作,直至当前产生的所有电能均成功存储到目标储能模块中,完成光伏微电网的储能配置工作。

2 实例分析

为了测试优化设计考虑新能源消纳的光伏微电网储能配置优化方法的配置效果,以某220kV的光伏微电网作为实验对象,设计实例分析实验,此次实验的基本原理为:利用光伏组件上的挡板设备,控制微电网的实际发电量,并通过用电设备接入状态与工作参数的控制,确定微电网的用电负荷。在已知微电网运行状况的情况下,生成光伏微电网的最优储能配置方案,以此作为判定性能优化设计方法储能配置效果的比对标准。将优化设计方法作用到光伏微电网中,生成实验储能配置方案,并执行相应的分配调度任务。在储能配置完成后,将配置结果与最优配置方案进行比对,并对微电网储能模块的均衡度以及供求匹配系数进行测定,得出反映优化设计方法储能配置效果的测试结果。

此次实验选择220kV的光伏微电网作为实验环境,该微电网的内部拓扑结构如图2所示。

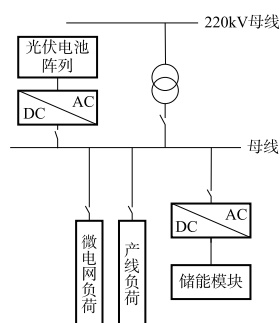


图2 光伏微电网拓扑结构图

从图2可以看出,此次实验选择的光伏微电网由光伏电池阵列、光伏DC/AC逆变器、储能系统、储能双向AC/DC变流器、用电负荷、中央控制器等元件组成,光伏电池阵列共包含28个电池元件,用电负荷的额定电压均为220kV。光伏微电网的输出频率为50Hz,可承载容量为1000kW,包含三种类型储能元件,并将存储空间划分为10个部分,初始状态下储能空间已占用15.8kW。微电网中光伏电池的综合效率为80%,实验过程中的日光照强度为1000Lux,总发电量为5000kWh。

为了给考虑新能源消纳的光伏微电网储能配置优化方法的运行提供硬件支持,在光伏微电网环境中对相关硬件设备进行连接,具体包括处理器、主控器等。

在硬件设备支持下,利用PVsyst工具对优化设计考虑新能源消纳的光伏微电网储能配置优化方法,进行开发,该工具支持光伏项目的开发,并完成对光伏组件、逆变器等设备的详细配置。将优化设计方法对应的配置程序,作用到选择的光伏微电网中,得出当前负荷状态下的储能配置结果。

调整光伏微电网的负荷以及发电状态,按照上述方式,得出不同状态下的储能配置结果,统计输出的储能配置数据,并对其进行编号处理。此次实验设置传统的考虑需求响应和源荷不确定性的光储微电网储能配置方法和计及可靠性成本的风光储微电网储能配置方法作为实验对比,在相同实验环境下得出相应的储能配置结果。

为实现对储能配置效果的量化测试,设置配置偏差、储能均衡度以及供求匹配系数作为测试指标,其中配置偏差的测试结果为:

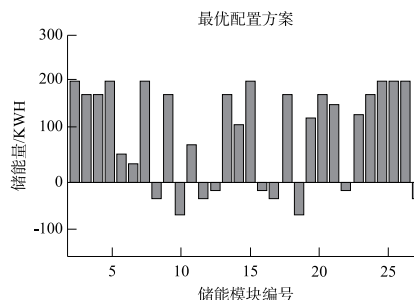
$$\varepsilon = |\psi - \psi_{\text{optimal}}| \quad (10)$$

式中, ψ 和 ψ_{optimal} 分别表示光伏微电网的实际储能配置值和最优配置值。另外,储能均衡度和供求匹配系数的测试结果为:

$$\left\{ \begin{aligned} \phi &= \frac{\sqrt{\frac{1}{n_{\text{storage}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{storage}}} (A_i - \bar{A})^2}}{\bar{A}} \\ \mu &= \frac{\sum W_{\text{con}} - H}{\sum H} \end{aligned} \right. \quad (11)$$

式中, A_i 和 $\bar{A}$ 分别表示第 i 个储能单元的实际储能量以及整个储能模块储能量的平均值, W_{con} 经过储能配置后光伏微电网中的实际发电量。最终计算得出储能均衡度越大、供求匹配系数越小,证明对应方法的储能配置效果越优。

通过相关数据的统计,得出光伏微电网储能配置偏差指标的测试结果,如图3所示。



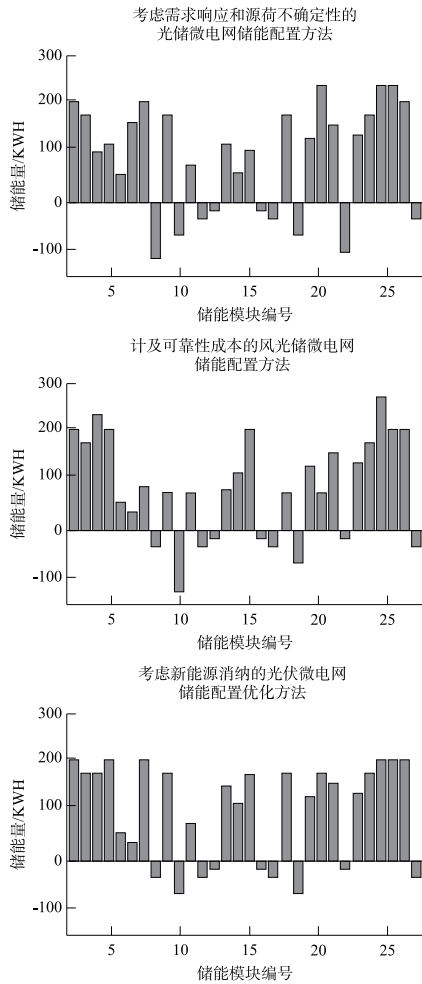
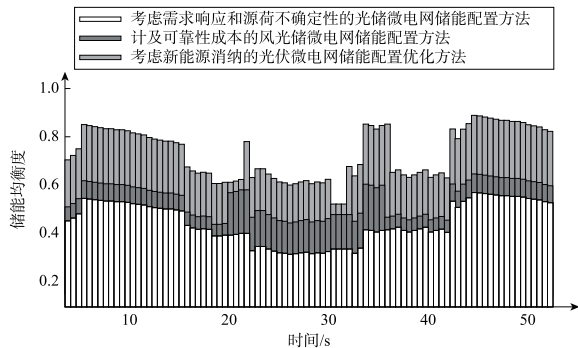


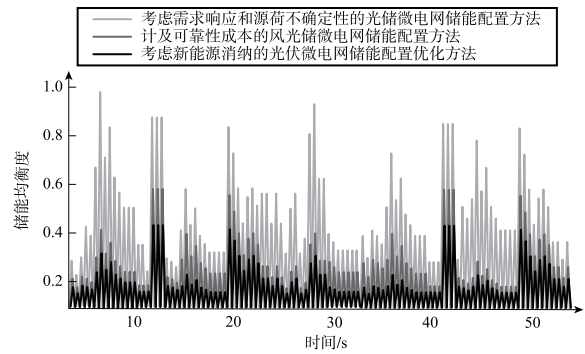
图3 光伏微电网储能配置偏差测试结果

从图3可以看出,与两种传统方法相比,优化设计方法得出的储能配置方案与最优方案的相似度更高,将图3中的数据代入到式(10)中,计算得出优化设计方法的储能配置偏差更小。

另外,统计光伏微电网及其储能模块的实际运行数据,通过式(11)的计算,得出储能配置方法作用下,光伏微电网均衡度和供求匹配系数的测试结果,如图4所示。



(a) 储能均衡度



(b) 供求匹配系数

图4 光伏微电网储能均衡度和供求匹配系数测试结果

从图4可以看出,在优化设计方法配置下,与传统方法相比,光伏微电网的储能均衡度更高、供求匹配系数取值更小。综合上述三个指标测试结果,证明优化设计方法在储能配置效果方面具有明显优势。

3 结束语

光伏微电网储能的优化配置对于提高可再生能源利用率具有积极意义,同时确保微电网在各种运行条件下的稳定性和经济性。通过精确计算和合理配置储能系统的容量与类型,旨在平滑光伏发电的间歇性和不确定性,有效缓解供需不匹配的问题。在此次研究中,通过对新能源消纳因素的考虑,储能系统能够在负荷低谷时储存电能,在负荷高峰时释放电能,从而优化电力资源的配置。这不仅可以缓解电网的供电压力,还可以提高发电设备的利用率,降低电网的运行成本。

参考文献

- [1] 南斌,董树锋,唐坤杰,等.考虑需求响应和源荷不确定性的光储微电网储能优化配置[J].电网技术,2023,47(4):1340-1352.
- [2] 汪宇航,李琰,应飞祥,等.计及可靠性成本的风光储微电网储能容量协同优化[J].电测与仪表,2023,60(5):59-65.
- [3] 王鹏,邓祥力,汪凯琳.考虑风机及光伏机组三状态的微电网混合储能双层容量配置模型[J].现代电力,2023,40(3):323-331.
- [4] 任莹,李桐歌,马骏毅,等.考虑荷电状态的光伏微电网混合储能容量优化配置[J].电测与仪表,2024,61(2):150-156.
- [5] 林泽源,王宗尧,张凡,等.考虑氢能应用的光伏直流微电网中储能容量配置寻优方法研究[J].高压电器,2024,60(7):78-87.

(收稿日期:2025-02-21)