

储能在农村电网供电中的应用研究

常强, 蔡权, 刘修理, 唐海鑫, 郑远, 潘婷, 付奕琿

贵州电网有限责任公司, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年2月1日; 录用日期: 2024年2月21日; 发布日期: 2024年4月7日

摘要

以农村电网供电需求为根基, 结合目前清洁能源大规模应用趋势, 探寻了太阳能、风电出力场景下, 电池储能系统的调峰策略。以用户负荷峰谷差为优化目标, 依据清洁能源发电功率及负荷变化, 滚动调整储能充放电功率, 以平抑可再生能源功率波动, 并通过某地区电网实际案例验证了本文所提策略的可行性。

关键词

农村电网, 电池储能系统, 可再生能源, 调峰策略

Research on the Application of Energy Storage in Rural Power Supply

Qiang Chang, Quan Cai, Xiuli Liu, Haixin Tang, Yuan Zheng, Ting Pan, Yihun Fu

Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang Guizhou

Received: Feb. 1st, 2024; accepted: Feb. 21st, 2024; published: Apr. 7th, 2024

Abstract

Based on the power supply demand of the rural power grid, combined with the current large-scale application trend of clean energy, the peak regulation strategy of battery energy storage systems under the scenario of solar energy and wind power output is explored. Taking the peak-valley difference of user load as the optimization goal, according to the power generation and load changes of clean energy, the charging and discharging power of energy storage is adjusted rollingly to stabilize the fluctuation of renewable energy power. The feasibility of the proposed strategy is verified by the actual case of a regional power grid.

文章引用: 常强, 蔡权, 刘修理, 唐海鑫, 郑远, 潘婷, 付奕琿. 储能在农村电网供电中的应用研究[J]. 电力与能源进展, 2024, 12(2): 51-58. DOI: 10.12677/aepe.2024.122006

Keywords

Rural Power Grid, Battery Energy Storage System, Renewable Energy, Peaking Strategy

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

农村发展是我国建设社会主义现代化社会发展进程中的薄弱环节，一直以来都受到社会各界广泛关注[1]。2021年全社会用电量同比增长10.3%，一度飙升到83,128亿千瓦时[2]。农村电网已难以满足与日俱增的工业及生活用电需求，频繁出现供电中断、故障等问题。2021年农村地区用户平均停电时间为14.06 h/户，相较于2017年的停电时间20.35 h/户已有显著改善；这归功于近年来我国市场机制改革和可再生能源整合技术。当下，如何进一步合理利用可再生能源以持续提升农村电网供电可靠性是亟需解决的问题。

光伏(Photovoltaic, PV)及风力(Wind Turbine, WT)以其灵活、经济、环保等特性成为可再生能源的代表，为农村电网的电力供应来源提供了新选择[3] [4]。文献[5]运用风电和光伏降低了单位电度成本，提升了系统的经济性。文献[6]提出计及新能源的多微网实时优化调度，运用仿射原理实时处理风光的不确定性和相关性，得到了经济性最优的调度计划。风光出力的强随机性、农村电网陈旧的输配电基础设施，将导致电网电压上升、电能质量下降等问题。如何平滑可再生能源发电并网所产生的功率冲击成为亟需解决的关键问题。电储能系统(Battery Energy Storage System, BESS)可以提供灵活的能源管理解决方案，从而提高可再生能源混合发电系统的电能质量。当下，BESS已用于频率调节、降低传输损耗、提高可靠性、旋转备用、不间断电源[7] [8] [9] [10] [11]。

本文立足于国家电网“十四五”建设方针，对可再生能源发电场景下的储能调峰策略进行了探讨，并在湖南株洲茶陵某农村地区进行了初步实践，分别针对PV、WT发电场景下研究了BESS对于电网负荷的平滑效果。PV、WT视为输出功率不可控的能源设备，BESS视为抑制输出功率波动的缓冲环节。通过具体的实践案例证实了本文工作的有效性。

2. 储能调峰措施

储能调峰优化措施主要分为两类：一是优化系统参数；二是以负荷峰谷差最优为目标，通过建模分析得到充放电策略。恒功率充放电易于操作，但难以控制供需两端功率平衡[12]。为此，本文采用跟踪负荷变化，滚动调整储能充放电功率的策略，以达实时供需两端功率平衡。储能初始荷电状态为0，在出力平衡条件下，其流程如图1所示[13] [14]。

3. 算例分析

本文以湖南株洲茶陵某农村电网为例，采样周期为24小时，分别在单独含有光伏、风力发电及风光并存三种场景下，对BESS的充放电控制策略进行验证。该地区电网架构如图2所示；电源侧风力、光伏发电设备、储能装置分别为1、4、2台。储能额定容量为500 kWh，充放电额定功率为200 kW；负载侧包含居民用电和工业电力负荷。

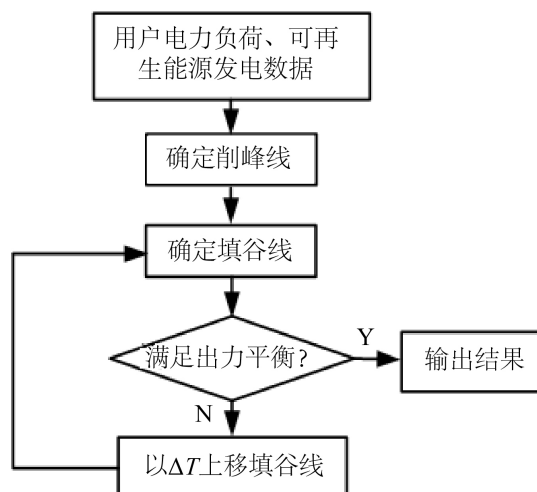


Figure 1. Energy storage variable power charging and discharging control strategy

图 1. 储能变功率充放电控制策略

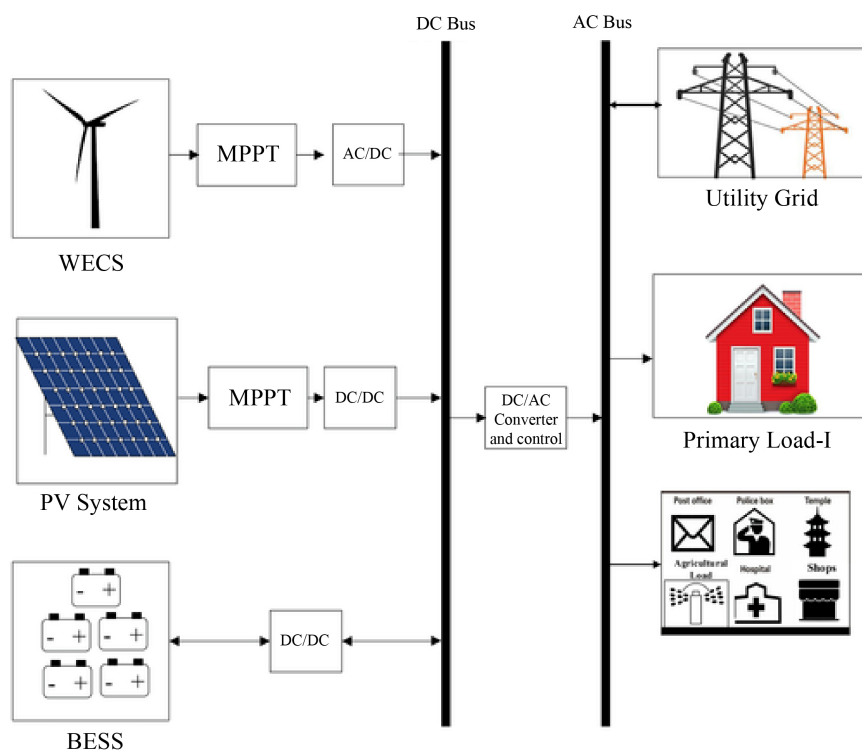
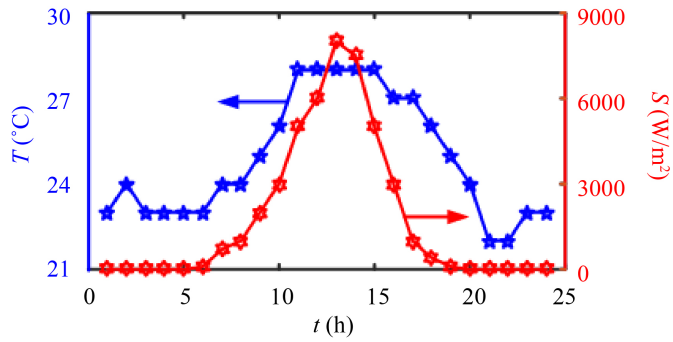


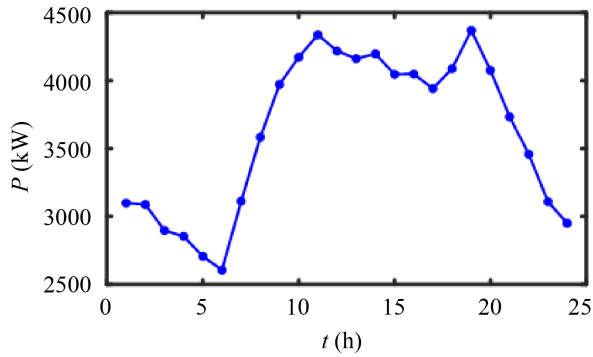
Figure 2. Composition of a rural power grid architecture

图 2. 某农村电网架构组成

场景 1: 某一工作日所采集的某一区域光照强度及其对应气温如图 3(a)所示, 基本用电负荷如图 3(b)所示。基于图 3(a)中的气象数据, 对应测量如图 4 所示得光伏电池出力。在 13:00 时刻, 因日照强度和温度达到峰值, 此时光伏对应输出 610.35 kW, 可使得该地负荷峰值降至 3551.95 kW。另外, 原始负荷低谷时段为夜间无日照, 光伏不出力, 对负荷峰谷差无影响。



(a) 气温及日照强度分布



(b) 用电基本负荷数据

Figure 3. The data of sunshine, temperature and original basic load were collected

图 3. 采集日照、气温及原始基本负荷数据

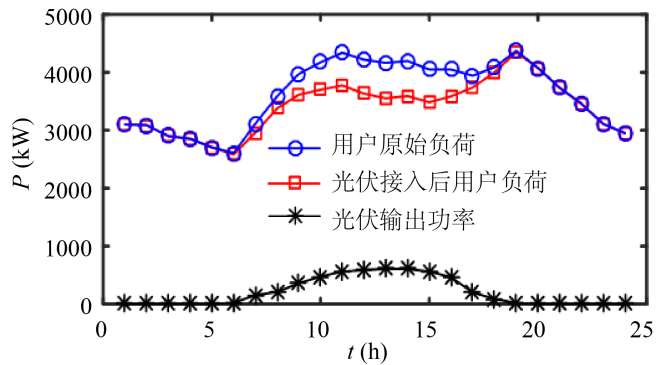
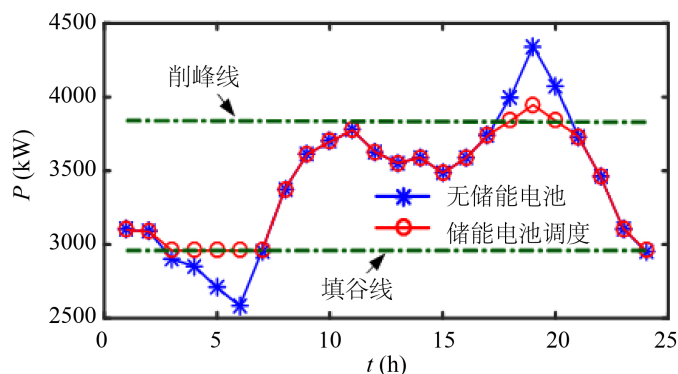


Figure 4. Load curve before and after photovoltaic access

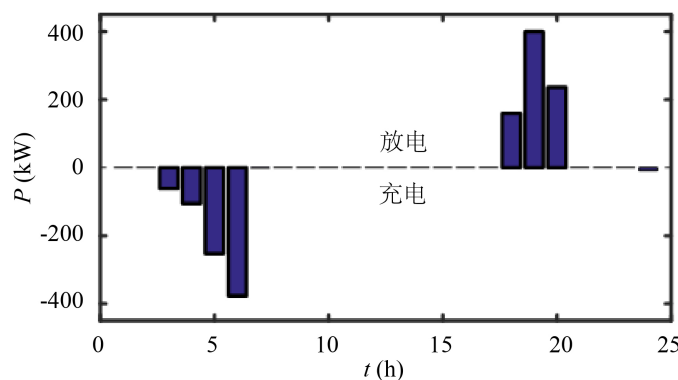
图 4. 光伏接入前后负荷曲线

风光出力的不确定性会对电网实时稳定运行造成不利影响，故在电网中接入 BESS 进行平滑。BESS 具有能耗时移的功能以补偿优化负荷曲线，从而达到削峰填谷的目的。当用户负荷超出削峰阈值时，储能电池会释放电能以满足用户用能需求；当用户负荷跌破填谷阈值时，储能电池主动存储可再生能源提供给负荷用电以后所盈余的电能。根据图 1 所示储能充放电策略，求解得削峰线、填谷线功率分别为 3839.1 kW、2959.3 kW，负荷峰值降低，低值被拉高，对应负荷峰谷差最小值为 987.48 kW，比对未使用储能系统的负荷峰谷差 1764.5 kW，降低了 44.03%。此时，能耗时宜效果如图 5(a)；储能实时功率如图 5(b)。

显然，储能有利于节电以合理利用可再生能源，确保电网经济安全地运行。



(a) 储能纳入调度后的负荷曲线

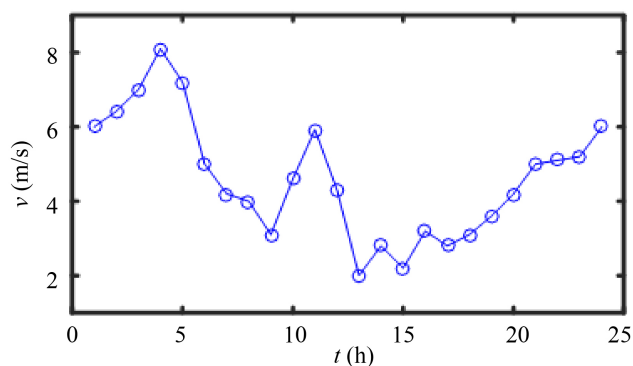


(b) 储能电池实时充放电功率

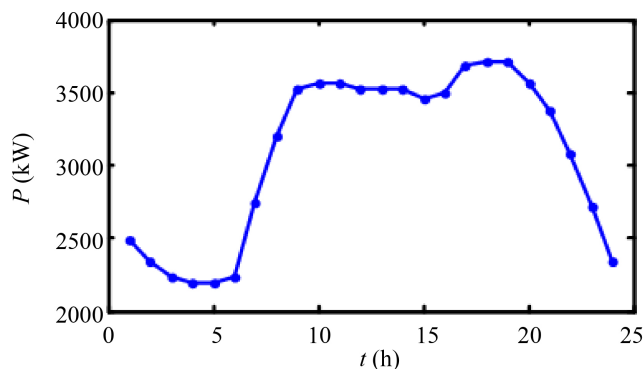
Figure 5. Scenario 1, the working condition diagram of energy storage battery after participating in collaborative scheduling

图 5. 场景 1 中储能电池参与协同调度后工况图

场景 2：采集得到另一工作日内风速分布如图 6(a)所示，用电基本负荷数据如图 6(b)所示。基于图 6(a)中的风速曲线，可对应求得如图 7 所示的风力发电功率。在 11:00，风机出力为 587.3 kW，接入后负荷峰值降至 2892.9 kW。风机在 4:00 发出最优输出功率，对应原始谷负荷时段，这会加大用户负荷峰谷差值。



(a) 风速分布情况



(b) 用电基本负荷数据

Figure 6. Collection of wind speed and original load curve
图 6. 采集风速及原始负荷曲线

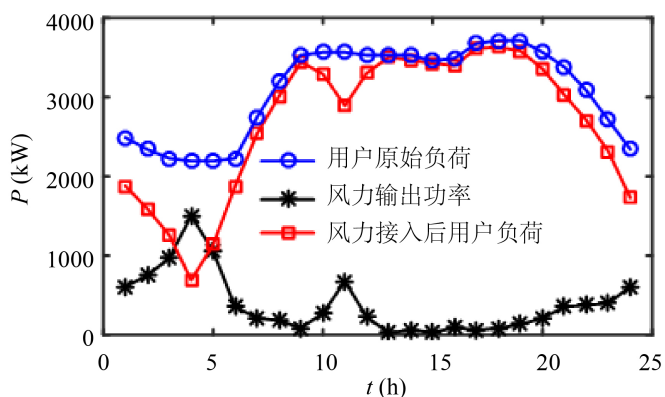
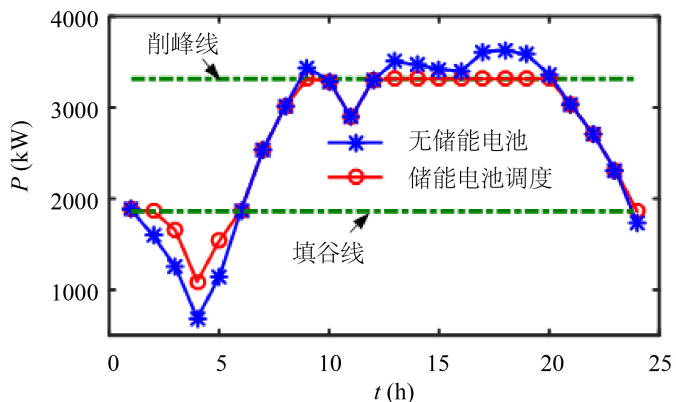
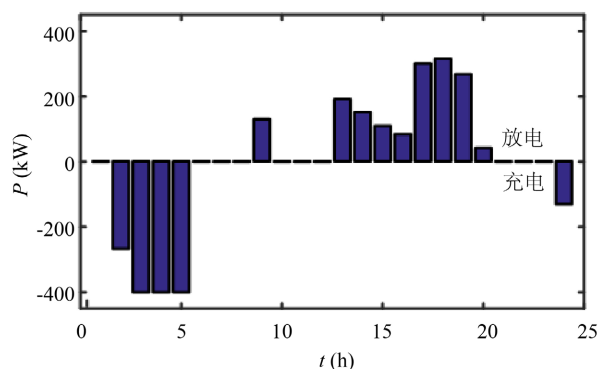


Figure 7. Load curve before and after wind power access
图 7. 风力发电接入前后负荷曲线图

将 BESS 接入该地区电网中以降低风电出力的随机性对电网平稳运行所造成的冲击。削峰、填谷线分别为 3315.3 kW、1860 kW、负荷峰谷差最小为 2225.3 kW，相较于储能调度前负荷峰谷差减小 24.3%。储能电池参与协同调度后工况如图 8 所示。显然，BESS 的优化调度同样能良好适应风力发电工况。



(a) 储能加入调度后的负荷曲线

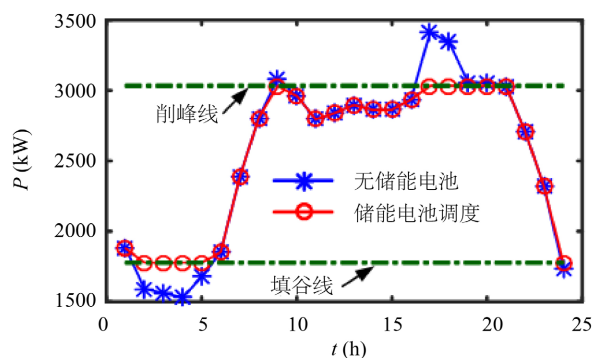


(b) 储能电池实时充放电功率

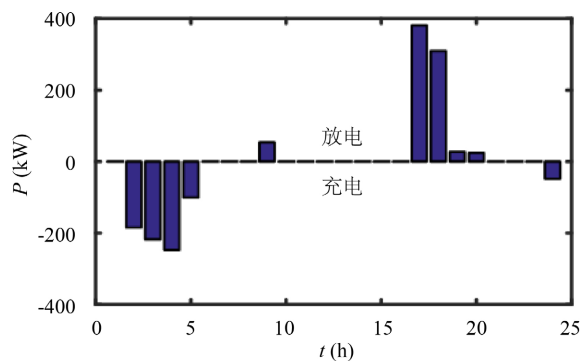
Figure 8. Scenario 2, the working condition diagram of energy storage battery after participating in collaborative scheduling

图 8. 场景 2 中储能电池参与协同调度后工况图

场景 3: 实现风光混合接入, 并采用电池储能系统进行调峰, 效果如图 9 所示。削峰线为 3030.3 kW, 填谷线为 1777.9 kW, 负荷峰谷差最小为 1254.5 kW, 对比储能调度前负荷峰谷差 1884 kW 减小 33.4%。风光混合发电接入电网可进一步减小电网供电负担, 但是也将带来更大的功率波动, 在电池储能调峰策略控制下, 电网负荷曲线平坦, 保证了可再生能源的可靠整合及消纳, 从而提升中低压电网向农村用户供电的经济性和安全性。



(a) 储能纳入调度后的负荷曲线



(b) 储能电池实时充放电功率

Figure 9. Scenario 3, the working condition diagram of energy storage battery after participating in collaborative scheduling

图 9. 场景 3 中储能电池参与协同调度后工况图

4. 结论

光伏、风力等可再生能源出力的间歇性会对中低压农村电网运行产生负面影响。BESS 可有效解决此问题。本文提出了一种调峰策略，以负荷峰谷差最小为优化目标，实时调节 BESS 的充放电功率，以平抑光伏、风力混合发电系统的输出功率波动。实践表明，所提出的控制策略对于光伏、风力发电输出场景均获得了理想的调峰特性，能够实现电力负荷曲线的削峰填谷，为后续农村电网建设提供借鉴。

参考文献

- [1] 刘旭鹏, 邱爽, 李海波, 等. 基于分布式光伏的低压配网“低电压”治理[J]. 农村电气化, 2022(7): 5-7.
- [2] 王宏伟. 农村电网技术的发展现状及趋势[J]. 大众用电, 2022(7): 66-68.
- [3] 刘健, 雷霞, 闵伟成, 等. 考虑负荷与分布式电源随机性的配电网无功优化[J]. 电测与仪表, 2016(12): 92-97.
- [4] 许利通, 程明, 魏新迟, 宁新福. 考虑损耗的无刷双馈风力发电系统功率反馈法最大功率点跟踪控制[J]. 电工技术学报, 2020, 35(3): 472-480.
- [5] 谭虎, 王小亮, 徐亭亭, 等. 风光沼储交直流混合农村微电网经济技术优化[J]. 中国电力, 2024, 57(3): 27-33.
- [6] 陈飞雄, 郭奕鑫, 邵振国, 等. 计及新能源出力相关性的多能源微网仿射实时优化调度[J/OL]. 电网技术: 1-17. <https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2023.2235>, 2024-02-08.
- [7] 夏晨阳, 杨子健, 周娟, 张永磊. 基于新型电力系统的储能技术研究[J]. 内蒙古电力技术, 2022, 40(4): 3-12.
- [8] 李欣然. 大规模电池储能在电力系统中的应用[J]. 大众用电, 2018, 32(9): 16-17.
- [9] 杨水丽, 李建林, 李蓓, 等. 电池储能系统参与电网调频的优势分析[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(2): 43-47.
- [10] 李军徽, 朱星旭, 严干贵, 等. 抑制风电并网影响的储能系统调峰控制策略设计[J]. 中国电力, 2014, 47(7): 91-95.
- [11] 张新松, 袁越, 傅质馨. 基于电池储能系统降低风电接入后系统运行风险的分析[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 128-134.
- [12] 李建林, 孟高军, 葛乐, 等. 全球能源互联网中的储能技术及应用[J]. 电器与能效管理技术, 2020(1): 1-8.
- [13] 黄翌, 邓瑾. 面向区域能源互联网的光储能量协同管理策略[J]. 电工技术, 2021(22): 33-35.
- [14] 孟娅, 李欣然, 黎淑娟, 等. 电池储能参与配电网削峰填谷的变功率控制策略[J]. 电力建设, 2018, 39(4): 45-50.