

分布式“光伏 + 储能”系统 在传统制造型企业中的应用探索

浙江正泰新能源开发有限公司 ■ 胡华友* 吴云来 朱健雍

摘要：一般的传统制造型企业用电负荷长期稳定且需求量巨大，在适宜建设的区域内，结合分布式“光伏 + 储能”系统的优势，可以改善企业的负荷电网友好性，减少企业的固定电费支出。该文结合实际运行案例，探索分布式“光伏 + 储能”系统适当的储能容量比，以达到投资回报率最大化。

关键词：传统制造企业；光伏 + 储能；电费支出；储能容量比；投资回报率

0 引言

传统制造型企业多为劳动密集型产业，主要有冶金工业、机械工业、食品工业、纺织工业、电子工业等。此类型企业大多为 24 h 不间断连续生产制，电力负荷长期活跃稳定，非常适宜建设分布式“光伏 + 储能”电站，不仅可以改善企业的负荷电网友好性，还可以减少企业的固定电费支出。本文以昆山帕捷 1.5 MW_p 分布式光伏发电系统、2×(400kW/1MWh) 储能系统建立模型，对分布式“光伏 + 储能”系统进行分析。

1 分布式“光伏 + 储能”系统

1.1 电站基本情况

分布式光伏发电系统建设在机加工车间屋顶，装机容量为 1.5 MW_p；结合项目装机容量和电气设计接入条件，采用“自发自用、余量上网”单点 10 kV 高压并网形式。储能系统设计总规模

为 2×(400kW/1MWh)，根据用户负荷的特点，采用 2 点低压 380 V 接入至原厂区低压 0.4 kV 母线侧。分布式光伏发电系统和储能系统互为独立运行方式。电站特性如表 1 所示。

表 1 电站特性表

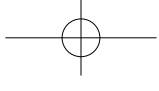
项目信息	属性
地理位置	江苏省苏州市昆山市
分布式光伏装机规模 /MW _p	1.5
储能装机规模	2×(400kW/1MWh)
25 年年均峰值日照时数 /h	941
25 年内年均发电量 /kWh	141.9 万
25 年总发电量 /kWh	3546.9 万
并网方式	光伏：单点，10 kV； 储能：2 点，0.4 kV
运行方式	光伏、储能系统互为 独立运行

1.2 配电情况

昆山帕捷内部有一回 10 kV 专线供电回路，

收稿日期：2018-05-11

通信作者：胡华友 (1990—)，男，本科，主要从事光伏发电系统设计优化方面的研究。hhuayou@163.com



设有 2 台 2000 kVA 变压器, 远期规划预留 1 台 2000 kVA 变压器出线间隔, 规划变压器总容量为 6000 kVA。根据生产线的生产属性及类似负载的长期负荷情况预测, 光伏发电功率可基本在用户侧完成消纳, 在企业停产或大规模减产时少量上网。

1.3 分布式光伏发电系统

昆山帕捷厂房为彩钢瓦屋面, 原建筑设计时已考虑分布式光伏发电系统的新增荷载, 按顺沿屋面角度满铺敷设, 可最大化利用屋顶面积, 装机容量为 1.5 MW_p。

企业为 24 h 连续生产“三班倒”模式, 用电负荷稳定在 2000 ~ 3600 kVA, 而分布式光伏发电系统装机容量为 1.5 MW_p, 正常情况下可全部消纳。因此, 光伏系统采用 10 kV 单点“自发自用、余量上网”模式, 可最大程度的匹配业主的用电负荷密度, 减少相当的电费支出。

1.4 储能系统

传统的单一光伏发电形式有明显的缺陷, 如季节性障碍无法克服、供电不稳定、波动性大、公用设施供电不适宜等。相比之下, “光伏 + 储能”系统有明显的优点:

- 1) 削峰填谷。利用平时段、谷时段电价进行充电储能, 在峰时段将电能放出。
 - 2) 需量调节。超出基本安装容量的突发性负荷予以补偿, 降低基础电费。
 - 3) 稳定新能源。可平抑和稳定风、光等间歇性可再生能源发电的输出功率。
 - 4) 微网运行。可与其他分布式能源组成微网运行。
 - 5) 应急电源。可减少各种暂态电能质量问题造成的损失。
 - 6) 无功支撑。可作为静止无功发生器使用, 提供就地无功补偿。
 - 7) 电网调频。可快速响应调频需求, 爬坡速率高, 解决了常规电源调整响应慢的困境^[1]。
- 独立的自发自用型光伏并网电站因未配套储

能系统, 电力只能通过用户侧消纳, 多余部分送至电网侧, 因此, 最大限度的在用户侧消纳是最为经济的运行方式。配备储能系统后, 可拓宽用户的“消纳范围”, 即在负荷端低谷状态时, 蓄电池充电存储; 在负荷端高峰状态时, 蓄电池放电补充。对于电网而言, 配电系统的自身调节性能得到了加强, 大幅提高了负荷的电网友好性; 对于电网和企业自身而言, 是双赢的结果^[2]。

考虑到储能系统的调需功能, 蓄电池需参与功率需量调节。本文中的用户 10 kV 供电回路共 3 台变压器, 属于大工业用电类型, 基本容量费用为 30 元/kVA/月, 需量费用为 40 元/kW/月, 7 月、8 月这 2 个月有尖峰时段, 非常适宜实施储能电站。

根据江苏省物价局文件, 结合用户的配电情况, 储能系统分别设置在两段低压母线处, 容量都为 400kW/1MWh, 此时峰谷电价差为 0.7558 元, 可发挥储能系统的最大经济价差。即在 00:00 ~ 08:00 低谷时段蓄电池充电, 08:00 ~ 12:00 高峰时段蓄电池放电, 第一次充放电过程完成; 在 12:00 ~ 17:00 用电平时段充电, 17:00 ~ 21:00 高峰时段放电, 第二次充放电过程完成。这样的模式不仅可以降低用户的最大需求功率费用, 节省固定支出, 还可以提高系统的投资回报年限, 降低回收周期。

由于蓄电池设计的日充放电次数为 2 次, 而普通铅酸蓄电池的正常使用寿命为 3 ~ 5 年, 在 25 年电站运营期内需多次更换蓄电池组, 造价、维护成本较高, 因此, 能量密度较高、充放电次数更高的锂离子蓄电池得到了储能系统的青睐。同时, 随着石墨烯等新型材料的研制, 相信在未来, 储能电池的可选范围会相对宽泛。

2 系统效益分析

2.1 已运行电站的系统效益分析

为验证分布式“光伏 + 储能”系统的实际应用性, 以正泰新能源公司在上海松江产业园投资建设的“光伏 + 储能”项目为例进行分析。本项

表 2 江苏省工业用电峰谷分时销售电价表 (2017 年 7 月 1 日起执行) (单位: 元 / kWh)

时段		高峰时段	平时段	低谷时段
价格		08:00 ~ 12:00、 17:00 ~ 21:00	12:00 ~ 17:00、 21:00 ~ 24:00	00:00 ~ 08:00
类别				
大工业 用电	1 ~ 10 kV	1.0697	0.6418	0.3139
	20 ~ 35 kV 以下	1.0597	0.6358	0.3119
	35 ~ 110 kV 以下	1.0447	0.6268	0.3089
	110 kV	1.0197	0.6118	0.3039
	220 kV 及以上	0.9947	0.5968	0.2989
100 kVA(kW) 及以上普通工业用电	不满 1 kV	1.3638	0.8183	0.3728
	1 ~ 10 kV	1.3388	0.8033	0.3678
	20 ~ 35 kV 以下	1.3288	0.7973	0.3658
	35 ~ 110 kV 以下	1.3138	0.7883	0.3628

备注: 7 ~ 8 月季节性尖峰电价按照我省季节性尖峰电价相关实施文件执行

目共建设 3.37 MW_p 光伏发电系统, 采用单点 10 kV “自发自用” 形式并网; 储能系统装机容量为 500kW/1MWh, 充、放电电源均取自电网侧; 光伏发电系统和储能系统互为独立运行模式。

目前, 该“光伏 + 储能”系统已稳定运行

200 余天, 采用高性能的比亚迪锂电池管理系统, 实际的充放电效率高达 86.54%; 根据上海的分时电价及用电负荷情况, 储能系统每天要完成 1.5 次的充放电过程。

图 2 为实时日用电负荷曲线, 反映的是企业

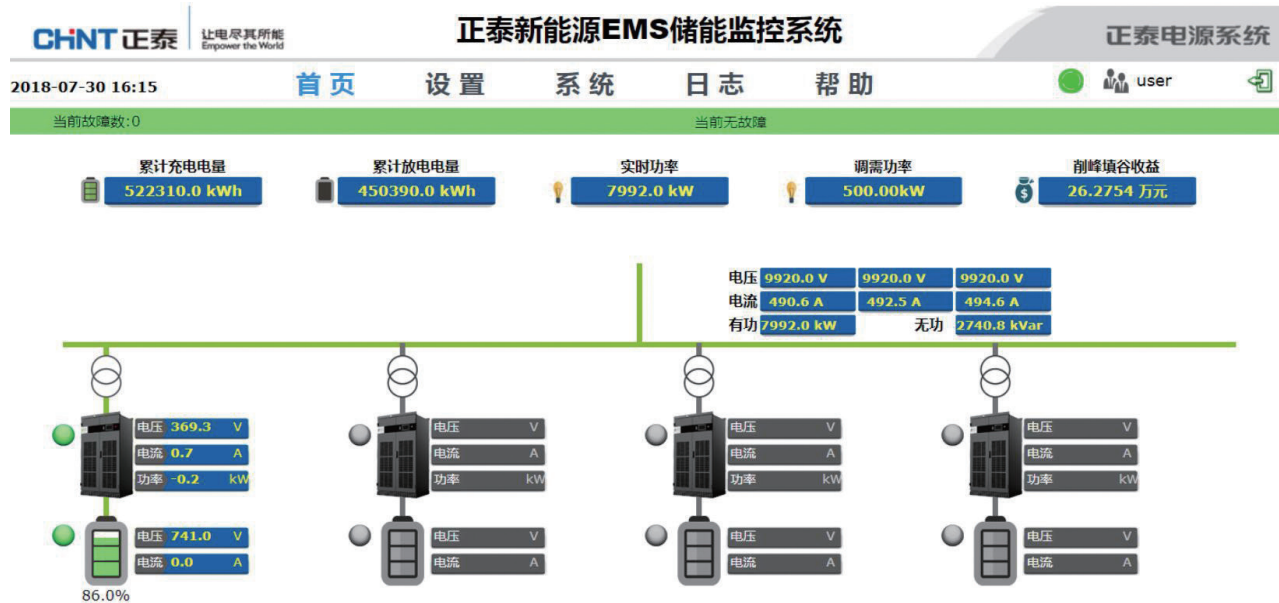


图 1 EMS 储能监控系统拓扑图

每天各个时间的用电功率。根据功率分布情况, 可将该企业的用电负荷分为 3 个用电时间段, 即 00:00 ~ 07:00、19:00 ~ 23:00、08:00 ~ 18:00, 前两个时间段为企业生产减产或停产间歇时间, 用

电负荷普遍很低, 而 08:00 ~ 18:00 为企业的丰产期, 电气设备集中运行。

以 7 月 28 日为例, 日用电峰值有 2 处, 发生的时间分别为 09:00 和 14:00, 而储能系统正

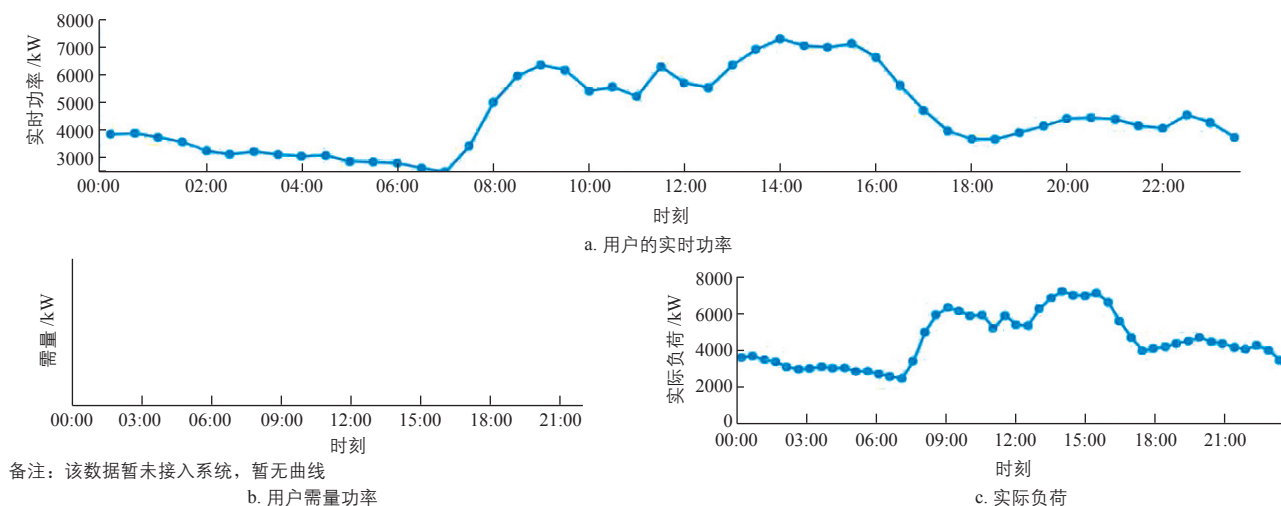
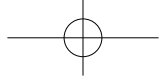


图2 系统日功率曲线图(2018年7月28日)

是在此峰值时间段介入补偿,可有效降低用电峰值功率,减少企业的需量费用。

图3a为PCS系统的日实时功率曲线,反映的是储能变流器的工作状态(充电、放电、待机)。23:30~03:00为蓄电池低功率充电状态,03:30~09:30为蓄电池待机状态,09:30~11:00为蓄电池高功率放电状态,11:30~13:00为蓄电池高功率补充充电状态,13:00~17:30为蓄电池待机状态,18:00~20:30为蓄电池高功率放电状态,20:30~22:00为蓄电池待机状态,之后进入夜间谷电时段,将电池电量充满,然后继续循环。

如图3b、图3c所示,以2018年6月全月为例,当月总充电电量为46701 kWh(日均1556.7 kWh),总放电电量为43494 kWh(日均1449.8 kWh),日均充电次数设置为1.5次,在此运行模式下经济效率最佳。

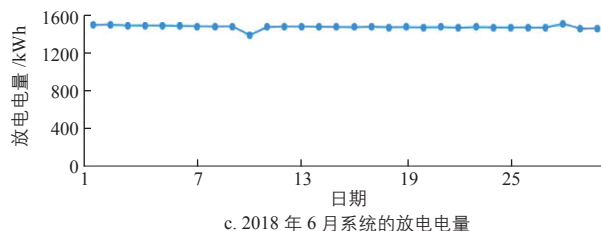
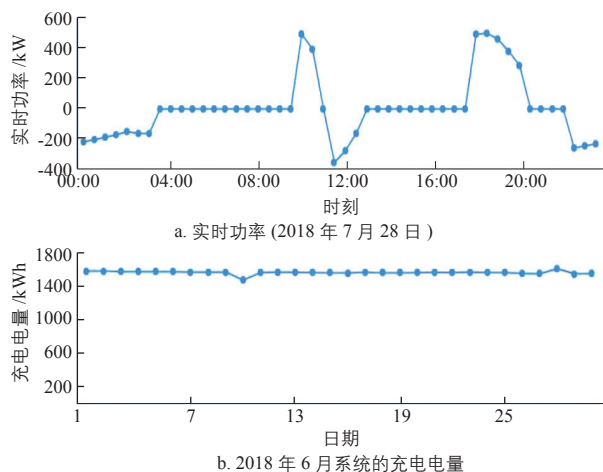


图3 储能系统的功率曲线图

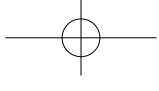
2.2 昆山帕捷电站的系统效益分析

对照已实际运行的分布式“光伏+储能”电站的运行数据,对昆山帕捷电站的收益做初步成本估算。

1) 分布式光伏发电系统。若年均发电量约为142万kWh,按消纳率100%、电价8折的优惠力度计算,企业的综合平均用电电价为0.85元/kWh;每年可为企业减少固定电费支出为 $1420000 \times 0.85 \times 0.8 = 96.56$ 万元;25年运行期内共可节省2414万元。

2) 储能系统。单个储能系统装机容量为400kW/1MWh,按每天完成2次充放电过程计算,第1次为低谷时段充电、高峰时段放电,电价价差为 $1.0697 - 0.3139 = 0.7558$ 元;第2次为平时段充电、高峰时段放电,电价价差为 $1.0697 - 0.6418 = 0.4279$ 元。

为简化财务分析模型,假设储能系统的效率按85%考虑,锂电池的放电深度(DOD)为90%,谷电时段和平电时段的充电时间比



为 1:1, 储能系统的年运行故障率为 2%, 单个储能系统的总投资成本为 300 万元 / MWh, 可计算得出: 系统每天放出的电量为 $2 \times 1000 \times 0.9 = 1800 \text{ kWh}$, 需要在谷时段和平时段共充电 $1800 / 0.85 = 2118 \text{ kWh}$, 谷时段和平时段的充电量均为 $2118 / 2 = 1059 \text{ kWh}$; 则每天可节省电费为 $2 \times (1.0697 \times 1800 - 0.3139 \times 1059 - 0.6418 \times 1059) = 1826$ 元; 每运行年可节省费用为 $365 \times 0.98 \times 1826 = 65.316$ 万元; 参与调需的容量为 800 kW, 每月可减少需量费用为 32000 元, 年均均为 38.4 万元。

综合以上因素考虑, 项目储能部分的静态投资回报周期为 $600 / 65 \approx 9.23$ 年。但这是未考虑锂电池衰减因素的结果, 在系统每天“两充两放”的利用情况下, 每年的锂电池衰减为 3%, 因此, 动态回收周期可能需要超出 10 年累计回报周期。

3 推广应用

目前制约分布式“光伏+储能”系统发展的主要因素是电池成本及电池技术。按目前的价格来看, 搭配储能系统的光伏电站价格仍然较为昂贵。能量高效存储受电池技术发展的影响, 新材

(接第 32 页) 难度大和捕捉难度大的问题, 后续试验电路应根据后续调研及试验验证的情况进行综合评估后再确定。

4 结论

直流故障电弧作为引起分布式光伏发电系统火灾的重要原因, 已经引起了国外的高度重视, 尤其是北美地区, 针对 80 V 以上的系统强制要求配备故障电弧检测装置与断路器; 并且由于分布式项目(尤其是屋顶)中, 直流故障电弧保护装置很难通过日常运维发现其故障点及相关隐患, 因此, 为了有效防止直流故障电弧带来的火灾风险, 系统配备直流故障电弧保护装置尤其重要。本文在分析后发现, 目前, 针对具体的光伏系统直流故障电弧保护装置的标准缺失, 给光

料电池如石墨烯等还未得到大规模的应用, 如果现在建设储能电站, 可能会很快面临以锂电池为代表的储能系统的一个升级换代, 对于投资企业来说, 成本是需要酌情考虑的。

但储能是未来的发展方向, 企业对于储能需提早布局。在未来 2~3 年内, 储能电池技术会迎来新的飞跃, 相信那时便是“光伏+储能”系统的爆发阶段。再配以新能源汽车的应用, 光伏将进一步取代其他能源, 成为清洁能源的代表, 融入未来生活的方方面面。

4 总结

本文分析了分布式“光伏+储能”系统的优势, 结合已实际运行的案例, 探索投资回报率的最大化, 并以昆山帕捷电站建立模型进行了分析。目前, 制约分布式“光伏+储能”系统发展的主要因素是储能电池的成本及技术, 但在未来 2~3 年必将迎来爆发阶段。

参考文献

- [1] 张兴. 太阳能光伏并网发电及其逆变控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009. 太阳能

伏系统直流故障电弧保护装置的测试和评估带来不便。本文对国外标准 UL 1699B-2018 与国内标准 GB/T 31143-2014 进行了综合研究, 系统分析了分布式光伏发电系统直流故障电弧保护装置测试评估技术中的预处理过程、测试参数、试验回路等, 并给出了具体建议, 为后续直流故障电弧保护装置测试评估方法或检测标准的制定提供了有效参考。

参考文献

- [1] 邢合萍, 路涛, 施江峰. 分布式光伏发电系统用组件防火性能测试评估技术与探讨 [J]. 太阳能, 2016, (2): 72 - 77.
- [2] 吴春华, 闫俊驰, 李智华. 光伏系统故障电弧检测技术综述 [J]. 电源技术, 2014, (9): 1768 - 1770.
- [3] 赵尚程, 曹建, 姚美齐. 光伏系统直流电弧故障检测方法综述 [J]. 电器与能效管理技术, 2017, (19): 18 - 21.
- [4] 牟龙华, 王伊健, 蒋伟, 等. 光伏系统直流电弧故障特征及检测方法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(19): 5236 - 5244. 太阳能