

储能电源系统工程设计与实践

陈宇¹, 刘胜煜², 李民英¹, 戴瑜兴²

(1. 广东志成冠军集团有限公司, 广东 东莞 523718;

2. 温州大学电气与电子工程学院, 浙江 温州 325000)

摘要: 针对中石化黄埔输油站储能项目的需求, 设计开发 1 MW·h 储能电源系统。结合项目实际需求优化设计储能系统的结构, 根据黄埔当地的峰、谷和平电价规律设置蓄电池在不同工作时段의 充放电控制策略, 实现了储能电池的最优集成。通过现场调试, 验证了该储能系统的安全可靠, 经济环保, 能够满足实际工作的需求。

关键词: 输油站; 储能电源; 储能双向变流器; 控制策略

Engineering design and implementation of energy storage power system

CHEN Yu¹, LIU Shengyu², LI Mingying¹, DAI Yuxing²

(1. Guangdong Zhicheng Champion Group Co., Ltd., Dongguan 523710, China;

2. College of Electrical & Electronic Engineering, Wenzhou University, Wenzhou 325000, China)

Abstract: Designed and developed a 1 MW·h energy storage power supply system for Sinopec's Huangpu oil transmission station energy storage project. According to the actual needs of the project, the structure of the energy storage system is optimized and designed, and the charging and discharging control strategies of the battery in different working hours are set according to the local peak, valley, and flat electricity price rules in Huangpu. The optimal integration of the energy storage system is realized. Through on-site debugging, it is verified that the energy storage system is safe, reliable, economical and environmentally friendly, and can meet the actual requirements.

Key words: petroleum station; energy storage power supply; power conversion system; control strategy

0 引言

近年来, 电网引入储能环节后, 不仅可以更有效地利用电力设备, 还可以作为提高系统运行稳定性、调峰调频的一种手段^[1-3]。

随着储能技术的发展, 储能项目规模逐步增加, 但工程实践中也发现了一些问题, 如储能系统调控和运行维护缺少经验, 系统调控未

实现系统性全局最优, 基建型储能占地需求大, 建设周期较长等。这些问题对储能系统的应用提出了新的要求^[4-5]。

中石化销售有限公司华南分公司为充分利用广东省“峰谷电价”的政策, 推进先进储能技术在输油站领域的节能应用, 在黄埔输油站建设了一套储能电源系统。广东志成冠军集团有限公司承担了本项目, 完成了 1 MW·h 储能电源系统的设计研制和安装调试, 对其结构及充放电策略等方面进行了研究, 实现了储能

广东省“珠江人才计划”项目(2017ZT07G23)

系统的最优集成，并通过现场调试验证了该储能系统工作可靠，经济环保，能够满足实际工作需要。

1 储能系统的方案设计

黄埔输油泵站配电系统有两路 10 kV 输入，两段母线下各有一个 800 kV·A 变压器接入至 400 V 母线。本储能系统设计总功率容量为 300 kW，总电池容量为 995.328 kW·h

(1 MW·h)。由一台 300 kW 储能双向变流器、四套电池簇、一台中控柜、一台 DC 汇流柜、一台工业空调系统、一套温控系统、一套 BMS 和一套消防系统等组成，全部安装在集装箱柜中并放置于户外。储能系统整体结构和原理框图如图 1 所示。

其中储能双向变流器 (PCS)、电池模组和电池管理系统 (BMS) 是该储能变流器的核心部件，决定了整个系统的性能。

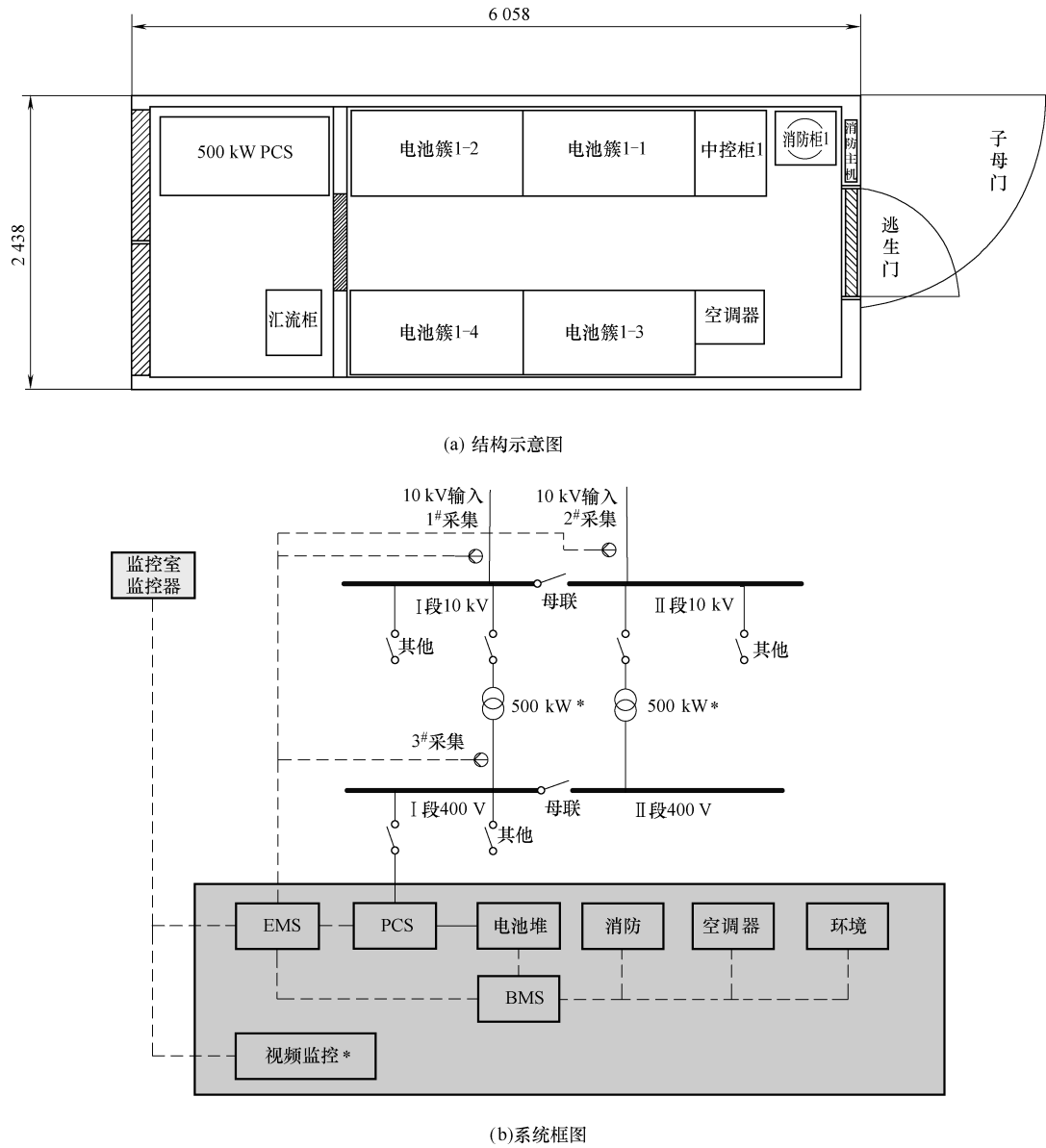


图 1 黄埔输油泵站储能系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of energy storage system of Huangpu oil pumping station

1.1 储能双向变流器 (PCS)

本储能系统集装箱内设计配置 1 台广东志成冠军集团有限公司研制的储能双向变流器。该储能双向变流器的拓扑结构如图 2 所示。

储能双向变流器采用 DSP 控制, 通过三

相全桥 IGBT 电路实现电池储能系统直流电池与交流电网之间的双向能量传递, 通过控制策略实现对电池系统的充放电管理、对网侧负荷功率的跟踪以及对电池储能系统充放电功率的控制, 其具有以下功能特点。

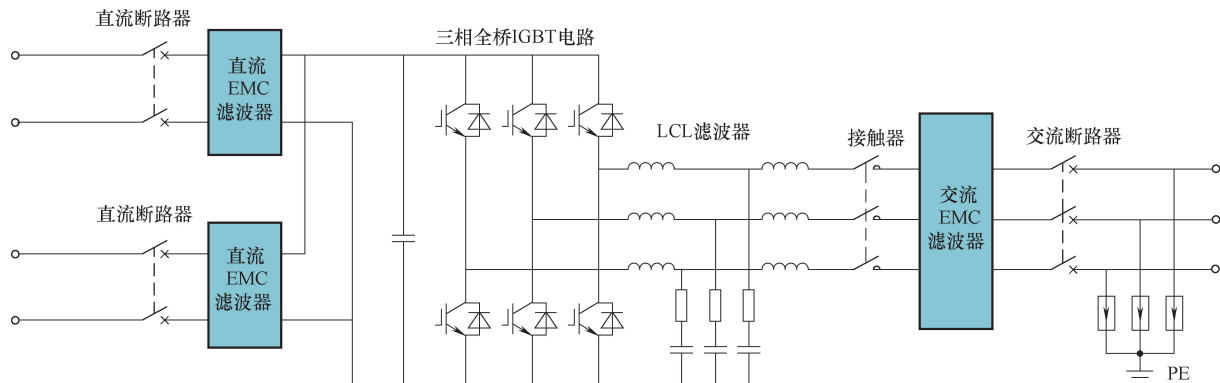


图 2 黄埔输油泵站储能双向变流器拓扑图

Fig. 2 Topology of energy storage bidirectional converter in Huangpu oil pumping station

1) 该双向变流器可以工作在并网和离网这两种运行模式下, 并可以在两种模式之间进行在线无缝切换, 过渡时间短, 能够满足用户在实际运用中的不同需求。

2) 采用了一系列硬件和软件优化措施, 使得设备本身的功耗很小, 而且转换效率可以达到 98.5% 以上, 拥有优异的节能特性, 确保了能量的最大化利用。

3) 该双向变流器具有各种完备的保护功能, 如过欠电压保护、过欠频率保护、过电流保护、短路保护、过载保护、防孤岛保护和功率翻转保护等, 最大限度地确保系统和电网的安全。

4) 具备低电压穿越功能 (LVRT)。具有一定的耐受电压异常能力, 不会在电网电压异常时脱离, 造成电网电源的损失。

5) 该双向变流器采用先进的软件算法和优异的硬件拓扑结构, 因此并网运行状态下, 对电网产生的谐波污染很小, 不会对电网造成很大的影响, 满足绿色环保的设计理念。

6) 并网运行状态下, 可根据实际电网的需求、远程指令或者是本地的设定, 向电网注

入无功功率, 使得并网功率因数可在 $-1 \sim 1$ 之间可调, 从而实现对电网的无功补偿。

7) 离网运行状态下, 能够产生高质量的交流电能, 满足用电负荷对电能质量的要求。

1.2 电池模组

本储能系统采用磷酸铁锂电池 (LFP), 其具有比能量高、循环寿命长、成本低、性价比高、可大电流充放电、耐高温、高能量密度、无记忆和安全无污染等特点, 已广泛应用于储能系统。本方案选用方壳硬包额定容量 $120 \text{ A} \cdot \text{h}$ 、额定电压 3.2 V 的磷酸铁锂电池。

为便于生产安装及系统管理, 本储能系统电池部分分为 4 个电池簇, 如图 3 所示。每个电池簇由 18 个电池模组按 1 并 18 串的组合方式组成; 每个电池模组由 36 块 $120 \text{ A} \cdot \text{h}/3.2 \text{ V}$ 磷酸铁锂电池和 1 个电池管理单元 (BMU) 组成, 通过 1 个控制盒完成对电池簇的控制。控制盒内集成电池簇管理单元 (BCMS), BCMS 向下收集电池模组信息, 向上层电池堆管理系统 (BAMS) 提供信息, 电池簇管理单元采集本簇电池电压、电流和温度等信息, 并对

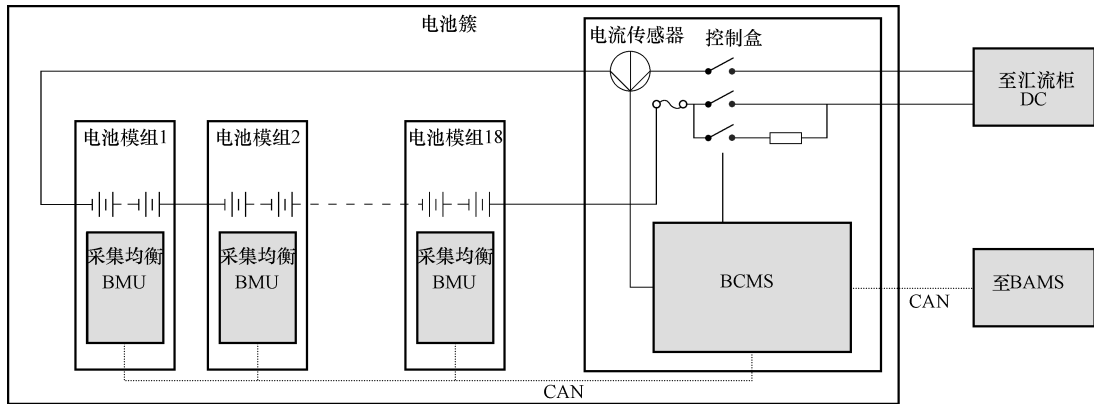


图3 电池簇结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of battery cluster structure

电池簇进行保护以及控制。

1.3 电池管理系统（BMS）

BMS 分三级管理架构：第一级为电池模组管理单元（BMU）；第二级为电池簇管理系统（BCMS）；第三级为电池堆管理系统（BAMS）。整个管理系统主要由 BMU、DMU、HMU、BCMS 和 BAMS 等部件构成，BMU/DMU/HMU 与 BCMS 采用 CAN 通信，BCMS 与 BAMS 同时采用以太网通信和 CAN 通信，形成双回路冗余通信。其系统架构如图 4 所示。

一级 BMS 管理单元（BMU）监测单体电芯的电压、温度、均衡电流以及模组总压，并通过 CAN 协议方式与二级 BMS 管理单元实时通信，控制电芯进行主动均衡。

二级 BMS 管理单元（BCMS）能够监测整簇电池总电压、总电流和绝缘电阻，能采集外部急停信号、高压控制盒内开关的状态量，能输出故障和运行状态。

三级 BMS 管理单元（BAMS）能够收集系统的总电压、总电流、总功率和二级 BMS 信息，能够实时对电池系统电池 SOC、SOH 和循环次数进行准确计算，并能隔离三级和二级 BMS 管理单元的数据，全面管理电池系统。

1.4 直流（DC）汇流柜

直流汇流柜是箱式储能系统的主要设备之

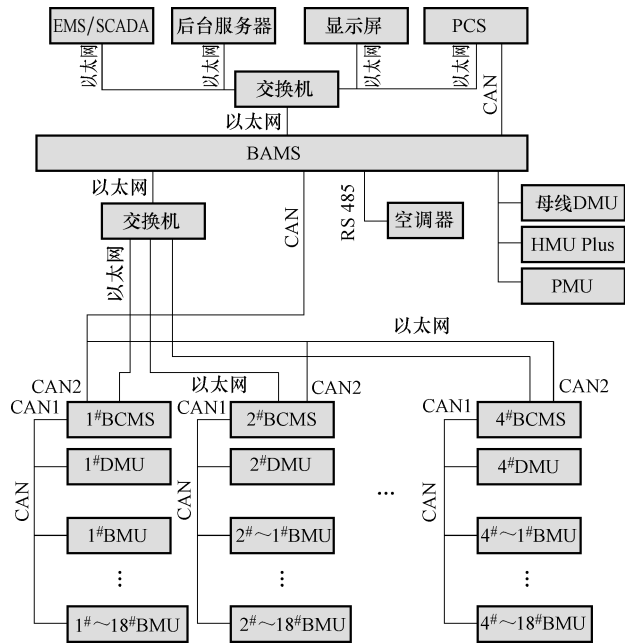


图4 黄埔输油泵站电池管理系统 BMS 结构框图

Fig. 4 BMS structure block diagram of battery management system in Huangpu oil pumping station

一，其作用是将各电池簇并联汇流，并输出至 PCS，配合系统监控装置对其输出电压、电流以及绝缘情况等进行监测，并且借助于其中的开关电源满足系统内关键器件的供电。通过以太网通信将数据或状态信息上传到电池堆管理系统（BAMS），并接收管理系统的命令控制

直流汇流总开关的分合。

2 储能系统的运行策略

2.1 储能系统 EMS 能量管理系统说明

黄埔输油泵站配电系统由两路 10 kV 输入，并进行备自投。两段母线各有 1 个 800 kV·A 变压器，转为 400 V。本项目在厂区侧增加 1#~4# 电能表，储能系统接入 0.4 kV 低压母线段，其拓扑如图 5 所示。

本储能系统与市电并网运行。夜间电价低谷时对储能充电，日间电价峰值时对外放电，以电价差方式降低总电价。

能量管理系统（EMS）作为储能系统的控制核心，根据设定的策略进行充电、放电管理，并根据实际运行状态进行优化调整。EMS 能对所有被监控的运行参数和状态进行实时和定时数据采集；采集 BMS 的各组电池常用信息，采集双向变流器系统的相关参数，采集储

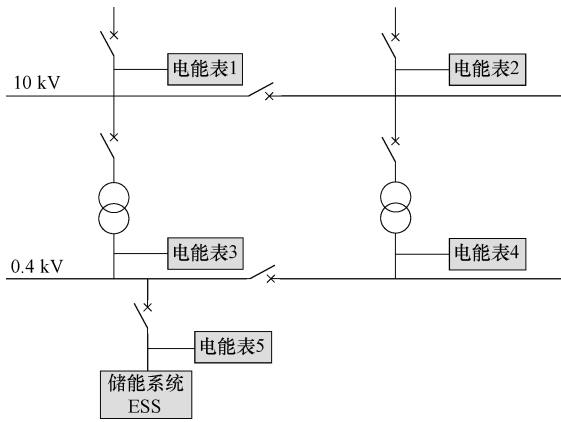


图 5 黄埔输油泵站拓扑图

Fig. 5 Topology of Huangpu oil pumping station

能系统的各个状态量。同时采集站内 1#~4# 电能表数据防止电能流入电网和变压器过载。

2.2 控制策略

1) 根据黄埔输油站当地的峰、谷和平电价规律，设置了相应的工作策略，具体工作策略如表 1 所示。

表 1 黄埔输油泵站储能电源系统工作策略

Tab. 1 Working strategy of energy storage power supply system in Huangpu oil pumping station

工作时段	序号	电价	时间段	工作策略	充放电电量估值
油泵工作时段	1	谷	00: 00~08: 00	充电	充电 900 kW·h
	2	平	08: 00~09: 00	待机	
	3	峰	09: 00~12: 00	放电	放电 900 kW·h
	4	平	12: 00~19: 00	充电	充电 900 kW·h
	5	峰	19: 00~22: 00	放电	放电 900 kW·h
	6	平	22: 00~00: 00	待机	
油泵不工作时段	7	谷	00: 00~08: 00	充电	充电 900 kW·h
	8	平	08: 00~09: 00	待机	
	9	峰	09: 00~12: 00	放电	放电 450 kW·h
	10	平	12: 00~19: 00	待机	
	11	峰	19: 00~22: 00	放电	放电 450 kW·h
	12	平	22: 00~00: 00	待机	

2) 保证充电时段变压器不过载、放电时段电能不流入电网。根据黄埔输油站实际负载情况，设置充电时，3# 电能表和 4# 电能表任一采集功率不应超过 640 kW；放电时，1# 电能

表和 2# 电能表任一采集功率不小于 150 kW。这样可以确保充电时段变压器不过载、放电时段电能不流入电网。5# 电能表用于计量储能系统充电电量。

3) 运行策略说明。若充电时 3# 电能表和 4# 电能表任一采集功率达到 640 kW, 则此时应该降低储能系统充电功率, 以确保 800 kV·A 变压器不发生超载; 若放电时 1# 电能表和 2# 电能表采集功率小于 150 kW, 此时应该降低储能放电功率, 这样设置可以确保电能不流入电网。

2.3 效益估算

黄埔输油站的峰值电价为 1.036 8 元/kW·h, 平值电价为 0.64 元/kW·h, 谷值电价为 0.334 8 元/kW·h。设定放电深度为 95%, 即 SOC 范围为 5%~100%, 每次放电剩余 5%, 此状态下磷酸铁锂电池衰减为 3 000 次 (90%)、5 000 次 (80%) 和 7 000 次 (70%), 实际使用容量为 965 kW·h。参考表 1 所示的充放电策略。

在泵运行时段, 日收益计算为: 谷值充电为 $0.334\ 8 \times 900\ \text{kW} \cdot \text{h} \approx 301.32$ 元; 平值充电为 $0.64 \times 900\ \text{kW} \cdot \text{h} \approx 576$ 元; 峰值放电为 $1.036\ 8 \times 1\ 800\ \text{kW} \cdot \text{h} \approx 1\ 866.24$ 元; 日收益 $\approx (1\ 866.24 - 576 - 301.32) \times 91\%$ (效率) ≈ 900 元。

泵不工作时段, 日收益计算如下为: 谷值充电为 $0.334\ 8 \times 900\ \text{kW} \cdot \text{h} \approx 301.32$ 元; 峰值放电为 $1.036\ 8 \times 900\ \text{kW} \cdot \text{h} \approx 933.12$ 元; 日收益 $\approx (933.12 - 301.32) \times 90\%$ (效率) ≈ 568.6 元。

年收益估算: 按黄埔输油泵站泵工作时段平均占 63% 计算 (历史统计数据)。泵工作天数为 $360 \times 63\% = 227$ 天, 泵不工作天数为 $360 \times 37\% = 133$ 天, 年收益为 $(900 \times 227) + (568.6 \times 133) = 279\ 924$ 元。

年充放电循环次数为 587 次。据此可大致认为 5 年后 (循环约 2 935 次) 的年收益下降为 90%, 即 $279\ 924 \text{ 元} \times 90\% = 251\ 931$ 元; 9 年后的年收益下降为 80% (循环约 5 283 次), 即 $279\ 924 \text{ 元} \times 80\% = 223\ 939$ 元; 12 年后的年收益下降为 70% (循环约 7 044 次),

即 $279\ 924 \text{ 元} \times 70\% = 195\ 946$ 元。

由上面估算结果可知, 该储能电源系统在黄埔输油站的应用能带来较好的经济效益。

3 调试验证

现场调试流程如图 6 所示。

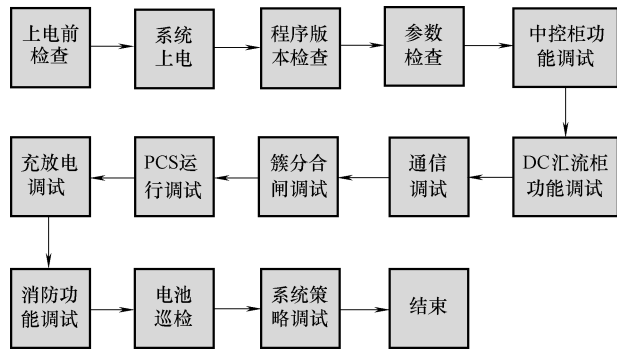


图 6 调试验证流程图

Fig. 6 Flow chart of debugging and verification

调试结果如表 2 所示。

根据报告描述的检验结果和检测项目符合检验依据的要求; 储能系统具备并网投入运行条件。储能系统实物图如图 7 所示。



图 7 储能系统实物图

Fig. 7 Physical diagram of energy storage system

4 结束语

本文研究的 1 MW·h 储能电源系统, 电池模组和电池簇均使用标准模块化设计, 易于安装、运输、维护和进行系统扩容, 实现了电池系统最优集成。在储能系统运行过程中, 通过优化控制策略, 充电时段变压器不过载、放电时段电能不流入电网, 可靠环保, 同时能给企

表 2 储能系统调试结果记录

Tab. 2 Energy storage system debugging result record

调试项目		调试说明	检查结果
系统单体调试	系统上电调试	对中控柜和 DC 汇流柜上电, 调试系统供电及各部件上电状态	正常
	中控柜功能调试	检查急停功能, 消防急停及联动功能	正常
	DC 柜功能调试	检查急停功能, 消防急停及联动功能	正常
	通信调试	检查显示屏与 BAMS 通信, BAMS 与 CMS14 簇通信, BCMS 与 BMU 通信, BCMS 与 DMU 通信, BAMS 与 PCS 通信	正常
	簇分合闸调试	控制操作, 分合闸功能	正常
	PCS 运行调试	调试 PCS 运行是否正常, 开机运行调试, 关机调试, 急停调试	正常
	充放电调试	检查充放电性能, BMS 均衡, 告警和保护状态	正常
	消防功能调试	检查单一火警和复合火警功能	正常
	电池巡检	对所有电芯进行一次巡检测试	正常
系统策略调试	设定功率值工作策略	检查储能系统是否按照已设定充放电时间段和对应的功率值运行	合格
	防变压器过载功能	检查充电阶段时, 1# 和 2# 低压进线关口 3# 电能表和 4# 电能表任一采集功率达到 640 kW, 则储能系统降低充电功率, 确保 800 kV·A 变压器不过载	合格
	防倒灌功能	检查放电阶段时, 1# 和 2# 高压进线关口表 1 和表 2 采集功率小于 150 kW, 则储能降低放电功率, 以确保电能不流入电网	合格

业带来经济效益。储能系统投入使用以来, 运行良好。

参考文献

- [1] 梁晓艳, 武晓龙, 吴晓虎, 等. 分布式电池储能系统参与辅助调峰的电网经济性调度研究[J]. 科技创新导报, 2018, 15(32): 60-61.
- [2] 魏伟, 陈晗, 朱洁, 等. 电池储能系统两模式协调控制策略[J/OL]. 电力系统及其自动化学报: 1-6[2020-11-20].
- [3] 齐琳. 储能逆变器及其抑制光伏功率波动的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

- [4] 房凯, 孙威, 徐少华, 等. 箱式一体化储能系统研究概述[J]. 电器与能效管理技术, 2017(7): 69-72.

- [5] 李建林. 箱式一体化储能系统概述[J]. 电气应用, 2017, 36(1): 4-6.

作者简介



陈宇

陈宇(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为新能源技术及其应用。

(收稿日期: 2021-01-12)