

大型储能电站储能设备调试技术

蔡昆 王振环

上海宝冶集团有限公司, 上海 200941

[摘要]随着能源结构转型的加速推进,大型储能电站已成为新型电力系统的重要组成部分。设备调试作为电站建设的核心环节,直接关系到电站的安全稳定运行。本篇文章系统论述了大型储能电站从常规电气设备到专用储能设备的完整调试方法,重点分析电池系统、功率变换系统(PCS)等关键设备的调试流程和技术要求。通过阐述调试准备、设备单体调试、系统联调、并网测试等阶段的技术要点,并结合国家及行业标准,提出了调试评价指标体系。研究表明,采用分层次、标准化的调试方法可有效保障储能电站的建设和运行质量,为储能电站的标准化调试提供实践指导。

[关键词]储能电站; 设备调试; 电池系统; PCS; 调试流程; 评价标准

DOI: 10.33142/aem.v8i2.19030

中图分类号: TM61

文献标识码: A

Debugging Technology for Energy Storage Equipment in Large-scale Energy Storage Power Stations

CAI Kun, WANG Zhenhuan

Shanghai Baoye Group Co., Ltd., Shanghai, 200941, China

Abstract: With the acceleration of energy structure transformation, large-scale energy storage power stations have become an important component of the new power system. Equipment commissioning, as the core link of power station construction, is directly related to the safe and stable operation of the power station. This article systematically discusses the complete commissioning methods of large-scale energy storage power stations from conventional electrical equipment to dedicated energy storage equipment, focusing on the commissioning process and technical requirements of key equipment such as battery systems and power conversion systems (PCS). By elaborating on the technical points of debugging preparation, individual equipment debugging, system integration debugging, and grid connection testing, and combining them with national and industry standards, a debugging evaluation index system is proposed. Research has shown that adopting a hierarchical and standardized debugging method can effectively ensure the construction and operation quality of energy storage power stations, providing practical guidance for the standardized debugging of energy storage power stations.

Keywords: energy storage power station; equipment debugging; battery system; PCS; debugging process; evaluation criteria

引言

大型储能电站通常包含电池系统、功率变换系统(PCS)、升压变流装置及站控系统 etc 复杂设备。与传统电站相比,储能电站调试具有设备种类多、系统集成度高、调试周期长等特点。针对储能设备的专项调试成为确保电站性能的关键。基于工程实践,本文重点探讨储能专用设备的调试方法,涵盖调试准备、设备单体调试、系统联调到并网测试的全过程,并依据 GB/T36547《电化学储能系统接入电网技术规定》、GB/T36548《电化学储能系统接入电网测试规范》等标准,建立调试评价框架,以提升调试工作的科学性和可靠性。近年来,伴随着储能电站装机量迅速增加,调试工作对规范化、精细化、智能化有更高

要求,需要有一套适合大规模储能电站调试的技术方案。

1 调试前期准备

调试前期准备是确保调试工作顺利开展的基础,需从团队组织、仪器准备和技术资料审查三个方面进行系统规划。

1.1 调试团队组织

调试团队需配置专业工程师,包括电气试验、继电保护、电池系统、PCS 系统等专业人员。团队应明确分工,建立分级负责制。调试总负责人统筹协调,各专业组长负责具体设备调试计划的实施。所有人员需经过专业培训,熟悉设备原理和调试流程。由于大型储能电站规模大、工期要求紧,在学习类似的重点工程项目的的基础上,可以采取由业主项目部牵头组织,调试单位为主,设备厂家协助,监理单位监督

的方式进行, 并行开展各个设备的调试工作来减少整个项目的调试时间, 在调试高峰时期每天召开例会, 对当天出现的问题及时解决, 保证第二天能够正常开展调试工作。

1.2 调试仪器准备

除常规电气试验设备外, 需配备储能专用调试仪器, 如电池内阻测试仪、绝缘监测装置、充放电测试设备、PCS通讯分析仪、热成像仪等。所有仪器需在校准有效期内, 精度等级满足调试要求。仪器校准需由具备 CNAS 认证的第三方机构执行, 校准周期不超过 1 年(精密仪器)或 2 年(常规仪器), 并现场核查功能性。其中大型储能站的数据采集系统要能够接入上百万点的数据, 遥信、遥控的动作准确率为 100%, 遥调动作准确率不低于 99.9%, 并且从接收到显示的时间小于等于 1s。在调试之前需对数据采集系统进行专门测试以保证其能够处理大量的实时数据。

1.3 技术资料审查

调试前应全面审查技术资料, 包括设备厂家提供的技术说明书和调试大纲、设计院提供的系统接线图和原理图、设备布置图和电缆清册、保护定值清单和逻辑框图等。资料审查需确保与现场设备一致, 避免因信息不符导致调试偏差^[1]。另外还要注意检查各设备之间通信规约的一致性, 使 BMS 与 PCS、EMS 等之间的通信规约版本号相同、点号对应。对使用新工艺的设备, 还需要组织设计方、制造厂、调试单位进行专门的技术交流会, 交代关键技术指标以及注意事项等。

2 储能设备调试方法

储能设备调试需分层次进行, 从单体设备到系统级联调, 确保各环节可靠衔接。

2.1 电池系统调试

电池系统是储能电站的核心, 其调试包括外观检查、绝缘测试、充放电测试及电池管理系统(BMS)验证。

2.1.1 电池舱外观检查

检查舱体密封性和防腐层完整性, 确认消防系统安装到位, 验证通风系统运行正常, 并检查电缆桥架和接线盒的完整性。任何缺陷都需在调试前整改。对于室外布置电池舱, 要考虑到寒冷或者炎热天气对设备的影响, 在寒冷或者炎热环境中进行设备开机测试以及通信正常性。

2.1.2 电池模块调试

初始状态检查: 测量电池模块的初始电压和内阻, 记录环境温度和湿度, 检查电池模块之间的连接可靠性, 并验证电池管理单元(BMU)通讯正常。由于大型储能电站中电池模块的数量较多, 在此可以使用数字化手段建立每一块电池的信息档案, 在以后维护工作中起到一定的参考作用。

绝缘性能测试: 使用 1000V 兆欧表测量电池簇对地

绝缘电阻, 要求大于 $1M\Omega$ 。测试时需断开电池与 PCS 的连接, 确保安全。

充放电测试: 进行小电流充放电测试, 验证 BMS 的过压/欠压保护、过流保护、温度保护及均衡功能。测试需逐步增加电流, 观察电压和温度变化。充放电试验要包括恒流、恒压、恒功率等不同工况, 记录电池簇电压一致性变化, 评价电池一致性好坏。

2.1.3 电池管理系统(BMS)调试

硬件检查: 检查采集模块的安装和接线, 验证传感器测量的准确性, 测试 CAN 总线通讯质量。

软件功能测试: 验证 SOC/SOH 计算准确性, 测试告警和保护功能, 检查历史数据存储功能, 并验证与站控系统的通讯。BMS 调试主要关注电池均衡是否有效, 测试被动均衡或者主动均衡电路是否正常工作, 在经过大量充放电之后电池组各单元之间电压差是否满足设计要求。还要验证 BMS 对于电池发生热失控之前预兆能否识别, 比如过快升温速度、内部电阻增大等。

2.2 功率变换系统(PCS)调试

PCS 调试需涵盖基本检查、功率单元测试及并网功能验证。

2.2.1 PCS 舱基本检查

检查舱体接地可靠性, 验证散热系统运行正常, 检查直流侧和交流侧电缆连接, 确认防雷保护装置完好。

2.2.2 功率单元测试

绝缘电阻测试: 测量直流侧和交流侧对地绝缘电阻, 应符合厂家技术要求, 一般不低于 $10M\Omega$ 。

控制回路检查: 测试开关量输入/输出回路, 验证模拟量采集精度, 检查保护回路动作正确性。

空载运行测试: 在断开电网情况下进行空载运行, 检查直流电压稳定性、交流输出电压波形、开关频率和死区时间及散热系统运行状态。在空载状态下运行时间不应小于两小时并记录各部位温升情况来判断散热系统在大功率下是否能有效散热。

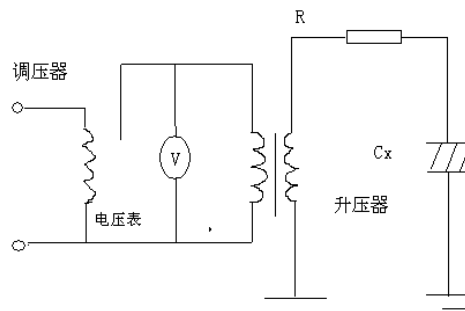


图 1 PCS 调试系统图

2.2.3 并网功能测试

同步性能测试：验证 PCS 与电网的同步能力，包括电压幅值调节、频率跟踪和相位同步。同步精度要求是电压偏差不大于 $\pm 5\%$ ，频率偏差不大于 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，相位差不大于 $\pm 3^\circ$ 。

功率控制测试：进行有功功率调节、无功功率调节和功率因数控制测试，记录响应特性^[2]。功率控制试验应在整个功率范围内进行，主要针对 10%、25%、50%、75%、100% 功率点进行调节精确度及响应速度测试。有功功率控制误差不应大于 $\pm 2\%$ ，无功功率输出满足 Q(P) 能力曲线的要求。

保护功能测试：模拟过流、过/欠频、孤岛保护等故障，验证保护动作的正确性。孤岛保护测试要在并网以及离网两种情况下分别进行，检验其被动式孤岛检测及主动式孤岛检测的有效性和响应速度。

2.3 升压变流系统调试

升压变流系统包括箱式变压器和变流器，调试需按 GB50150 标准执行。

2.3.1 箱式变压器调试

进行绕组直流电阻测量、变比和极性检查、绝缘电阻测量及交流耐压试验。特殊检查包括有载调压开关动作可靠性和冷却系统验证。对于大型储能电站中的升压变压器还需做局部放电试验，判断其绝缘在长期运行条件下能否安全、可靠地工作。

2.3.2 变流器调试

控制策略验证：测试 PQ 控制模式、VF 控制模式和下垂控制特性。控制策略验证需要包含恒功率控制、恒压恒频控制、下垂控制等不同情况并且要对各种控制方式之间进行转换的平顺性以及过渡过程中的动态特性进行研究。

动态响应测试：进行负载阶跃响应、电网故障穿越和频率扰动响应测试，评估系统稳定性。在动态响应试验中需着重关注电网电压骤升骤降、频率突变等情况下的变流器响应情况，对其低电压穿越能力和故障时提供无功支持的能力进行验证。

2.4 系统联调

系统联调是检验设备协同运行的关键，包括电池舱与 PCS 联调及全站系统联调。

2.4.1 电池舱与 PCS 联调

通讯联调：测试 BMS 与 PCS 的通讯，验证数据采集的实时性和控制指令执行情况。在此过程中需做满负荷的数据量传输测试，在最多的数据量时通信能否保持良好并

且及时，通信丢包率不得超过 0.1%。

功率调节测试：通过站控系统下发指令，测试系统功率调节能力，验证协调控制。功率调节测试应包含充电到放电的过零调节，验证功率反向时的平滑性和响应时间。

2.4.2 全站系统联调

充放电测试：进行恒功率充放电、恒流充放电和功率斜坡测试，观察各系统协调运行^[3]。充放电试验应在 0~ 额定功率范围内进行，每种功率下持续时间不少于 10min，记录系统效率、电压波动、温度变化等情况，系统整体效率满足要求，一般大于等于 85%。

模式切换测试：测试充电/放电模式、并网/离网模式及不同控制策略的无缝切换。在有手动干预和自动控制的情况下进行模式切换测试，模式切换要平滑，电压、频率变化不能超过规定值。

3 并网调试及评价标准

并网调试是储能电站投运前的最终验证，需严格遵循安全规程和标准要求。

3.1 并网前检查

检查设备绝缘状况，验证保护定值设置，确认通讯系统正常，并检查同步条件满足。并网操作需按阶梯进行，从零功率并网逐步提升至额定功率。并网前要做反送电试验，测试站用电及升压变流器是否可靠。对于连接在 35kV 及以上的储能电站还要根据《电化学储能电站并网验收技术规范》的规定，进行并网验收相关工作。

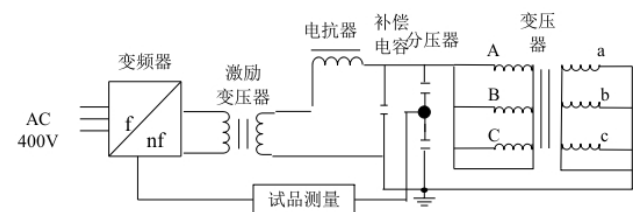


图 2 并网调试系统图

3.2 并网过程调试

零功率并网：首先进行零功率并网，检查并网冲击电流、电压波动情况和保护装置动作。零功率并网需记录并网时刻电压暂降程度以及恢复时间，并网时冲击电流不应大于额定电流的 10%。

功率逐步提升：按 10%、25%、50%、75%、100% 的阶梯逐步提升功率，每个阶段稳定运行 30min，观察设备运行状态。在增大功率的同时应注意关注电池温度变化、PCS 功率模块温度以及变压器油温的变化情况，保证散热系统良好。

并网后测试：进行电能质量测试（电压偏差、频率偏

差、谐波含量分析)和性能指标测试(系统效率、响应时间、调节精度)。在电能质量方面应包括谐波电压总畸变率、奇次谐波含有率、偶次谐波含有率、间谐波含有率等内容,其中谐波电压总畸变率需满足 GB/T14549 的要求。直流分量不超过 0.5%。

3.3 调试评价标准

调试评价需基于国家标准和行业规范,重点包括:

控制精度:有功功率控制精度偏差不得超过 $\pm 2\%$,无功功率输出满足 Q(P)能力曲线要求。

响应时间:充/放电响应时间不超过 100ms,调节时间确保功率稳定在目标范围内。

电能质量:谐波电压总畸变率符合 GB/T14549,电压波动和闪变满足 GB/T12326,直流分量不超过 0.5%^[4]。

通讯可靠性:与调度主站通讯丢包率 $\leq 0.1\%$,遥控执行响应时间 $\leq 100\text{ms}$ 。

评价数据需记录于标准化表格,如下表 1 所示:

表 1 调试项目记录表

调试项目	功率指令 (%Pn)	控制精度 (%)	响应时间 (ms)	判定结果
有功功率控制	100	≤ 2	≤ 100	合格

4 安全管理与应急预案

调试期间的安全管理是保障人员和设备安全的中中之重。

4.1 安全管理措施

现场防护:设置警示标志,执行双人监护制度,高压区域作业需穿戴绝缘装备。认真履行工作票、操作票制度,做到两票合格率为 100%,对于大容量储能电站,在调试期间往往一次要开几十个工作票的情况下,应有相应的电子化的工作票管理平台以保证安全措施得到有效实施。

操作规范:调试前进行技术交底,每项试验由一人操作、一人监护,严禁非工作人员进入试验区域。在储能电站特有的电池热失控、直流拉弧、储能舱起火的风险上做好预防工作,例如用物理手段使调试区和运行区隔离开来。

4.2 应急预案

针对触电、设备短路等风险,制定应急流程:

立即暂停调试,切断电源,排查故障原因。

启动紧急停机程序,通知调度机构,并使用备用通讯方案确保联络畅通。

配备急救箱、灭火器材等应急救援物资,定期组织演练^[5]。储能电站应有专门的储能舱内火灾扑救设备,例如

气溶胶灭火器、消防水喷淋系统等,并根据电池火灾的特点编制应急预案。应急演练每季度至少一次,主要进行触电急救、电池火灾处置、全站断电后的恢复等内容。

5 调试数据处理与分析

调试数据是评价电站性能的依据,需系统记录和分析。

5.1 数据记录要求

详细记录设备运行参数、保护动作记录、异常情况描述及处理措施。数据采集需使用校准仪器,确保准确性。在大规模储能系统的百万级测点的情况下应该有分布式的结构来采集数据,使用实时数据库以及历史数据库来进行保存,对于实时的数据采样的频率不应低于 10Hz,而对于历史的数据保存的时间间隔可以根据实际情况选择秒或者分钟,以保证重要部分的数据完整性的同时节省空间。

5.2 数据分析方法

采用专业软件分析设备性能指标对比、系统运行特性及异常数据趋势。重点关注功率控制曲线和电能质量指标,形成调试报告。分析内容包括稳态分析与暂态分析两个部分:稳态分析主要是对系统的效率、充电量、放电量、能量传输能力等进行分析;暂态分析主要是对响应速度、调节速度、超调量等进行分析。针对调频的应用场合还需要对 AGC 指令跟踪精度、响应延迟、调节速率等调频相关性能指标进行分析。

使用数据挖掘方法对调试中产生的大量异常数据进行研究,找出可能存在的故障以及性能衰退情况。比如通过对电池簇电压离散度的变化趋势进行分析可以判断出电池一致性的问题有多大;通过对 PCS 功率模块温度变化曲线分析可以判断出冷却系统的有效性并预测出功率器件的使用寿命等。调试数据分析的结果要加入到电站数字化档案里面作为以后运维、性能评估的基础数据。

6 结论与建议

通过系统化的调试方法,可有效确保储能电站设备的可靠性和安全性。调试实践表明:

- (1) 分层式的调试策略有助于问题定位和处理。
- (2) 标准化调试流程提高工作效率。
- (3) 完善的记录体系为运行维护提供依据。

建议在后续项目中:

(1) 推广数字化调试技术,如实时数据监控和智能诊断。

(2) 完善调试标准体系,结合新技术动态更新。

(3) 加强调试人员专业培训,提升综合能力。

未来,随着储能技术的快速发展,调试方法需不断优

化,以适应更高电压等级和更复杂应用场景的需求。

[参考文献]

- [1]梁冬梅,梁星桃,甘焱,等.储能电站用电气设备安全预警技术研究[J].电工技术,2025(15):186-192.
- [2]刘乃玲,张乐瑶,卞姗姗,等.电化学储能电站余热用于建筑供暖的节能性分析[J].山东建筑大学学报,2025,40(5):56-62.
- [3]王亦楠,庄可好,冷若寒,等.低短路比下新能源基地构网型储能分散式配置与经济性分析[J].电力系统自动

化,2026,3(3):1-21.

- [4]马成廉,赵宇,魏刚,等.基于新能源功率品质的储能多时间尺度优化配置[J].中国电力,2026,3(3):1-10.
- [5]王建军.大型电池储能电站调试技术研究[J].电力建设,2022,43(5):12-18.

作者简介:蔡昆(1991.4—),男,毕业院校:荆州理工职业学院,所学专业:机电一体化技术,当前就职单位:上海宝冶集团有限公司,职务:项目总工程师,职称级别:工程师。