

电化学储能电站调试管理规范研究与实践

刘婷婷

上海电力股份有限公司吴泾热电厂, 上海 201100

[摘要]为规范大型独立储能项目的调试管理,保障项目安全、优质、高效投运,本论文结合闵行吴泾独立储能项目(102MW/228MWh)的工程实践,提出了一套适用于多技术路线、多设备供应商协同作业的调试管理制度体系。项目采用磷酸铁锂与全钒液流电池混合储能技术,并配套 220kV 主变系统。调试过程中,通过整合锂电、液流、升压站及一二次设备等多方厂家的调试资源,形成了统一、规范的调试管理模式,实现了“零事故、一次并网成功”的目标,为同类混合储能项目的调试管理提供了可复制的经验。

[关键词]独立储能;调试管理;制度建设;磷酸铁锂电池;全钒液流电池;220kV 主变

DOI: 10.33142/aem.v8i6.20099

中图分类号: TM911.1

文献标识码: A

Research and Practice on Debugging Management Standards for Electrochemical Energy Storage Power Stations

LIU Tingting

Wujing Thermal Power Plant of Shanghai Electric Power Co., Ltd., Shanghai, 201100, China

Abstract: In order to standardize the commissioning management of large-scale independent energy storage projects and ensure their safe, high-quality, and efficient operation, this paper proposes a commissioning management system suitable for multi technology routes and multi equipment supplier collaboration, based on the engineering practice of the Minhang Wujing independent energy storage project (102MW/228MWh). The project adopts a hybrid energy storage technology of lithium iron phosphate and all vanadium flow batteries, and is equipped with a 220kV main transformer system. During the debugging process, a unified and standardized debugging management mode was formed by integrating the debugging resources of multiple manufacturers such as lithium batteries, liquid flow, booster stations, and primary and secondary equipment. The goal of "zero accidents and successful grid connection in one go" was achieved, providing replicable experience for the debugging management of similar hybrid energy storage projects.

Keywords: independent energy storage; debugging management; institutional construction; lithium iron phosphate battery; vanadium flow battery; 220kV main transformer

引言

在全球能源转型不断深化的背景下,电化学储能电站凭借其高效灵活的特性,已成为现代电力系统中不可或缺的能量存储与调节单元。然而,电化学储能在接入电网前必须经过系统、严格的安全风险评估,这不仅关乎电站本体的安全稳定运行,更直接影响到电网整体的供电可靠性与运行安全^[1]。电化学储能系统结构高度复杂,涵盖了电池单元、电气设备、功率转换、控制保护及辅助系统等多个子系统,各子系统内部及系统间均存在潜在的安全风险。因此,亟需从多维度、多层次系统研究并网前的调试流程、安全评估方法及相应的风险应对策略。

作为构建新型电力系统的关键组成部分,独立储能电站在调峰、调频、备用容量支撑及新能源消纳等方面发挥着日益重要的作用。以上海闵行吴泾独立储能项目为例,该项目规模达 102MW/228MWh,采用了磷酸铁锂与全钒液流电池混合储能技术路线,并配套建设 220kV 主变系统,技术集成复杂、设备接口众多、参与厂商多元。调试阶段作为验证设备性能、系统集成效果与控制策略有效性的核心环节,在多技术路线融合、多设备供应商协同的复杂环境下,其组织管理与技术协调难度显著增加。因此,构建一套科学、系统且具备可操作性的调试管理与安全评估一体化体系,成为确保项目高质量建设、安全可靠并网

的关键前提。

1 调试管理制度体系设计

在调试工作准备阶段,项目首先成立启动委员会,明确各岗位职权与任务。调试组织架构具体划分为:调试总负责、调试现场负责、技术负责、安全负责及调试人员。通过专项会议沟通,明确调试流程框架、具体调试要求及各专项方案的编写。项目各岗位的主要职责如下:

(1) 调试总负责:负责调试全过程中的工作安全、工作质量、工作进度和总体调试工作协调。

(2) 调试及相关技术负责:负责各专业调试方案的

编制、实施和最终调试成果验收。

(3) 安全负责:负责调试现场安全的监督、调试质量的检查和安全体系的执行。

(4) 调试人员:负责在现场按照相关方案进行具体的调试操作。

在正式进行调试工作之前,需要组织所有相关工作参与人员熟悉施工图纸,进行图纸会审,同时对设备厂家提供的说明书和相关技术资料进行学习。具体调试过程如图1所示。

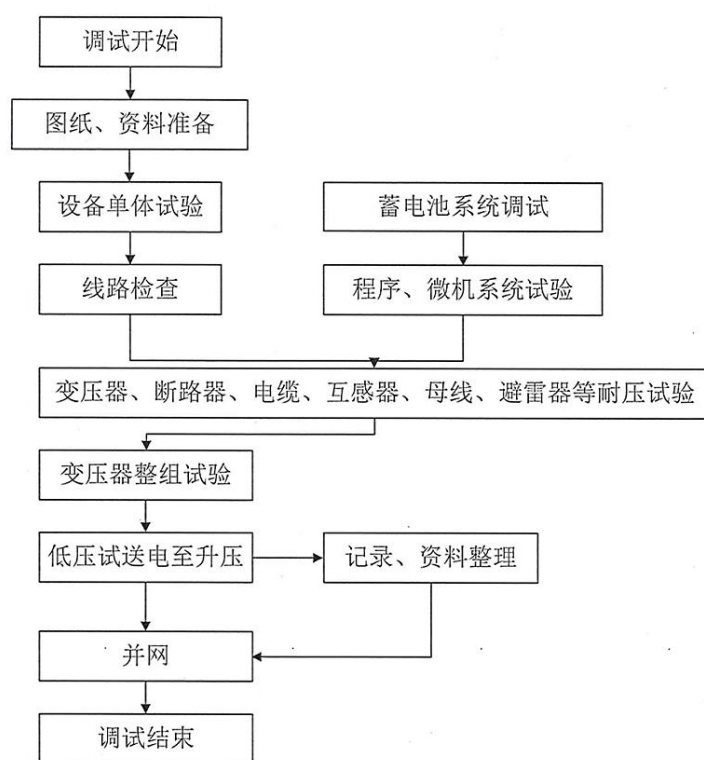


图1 调试流程

2 设备调试实施方案

2.1 试验对象与范围

(1) 调试试验对象:锂电池和液流电池储能系统(电池簇、BMS)、储能变流器(PCS)、能量管理系统(EMS)、监控系统和所有辅助设备的储能电站全系统。

(2) 调试试验范围:包括电站的基本参数、主要性能、运行的适应性、电网的交互性和安全可靠等多个维度。

2.2 试验条件

(1) 设备条件:所有储能设备安装调试完毕后,没有机械或电气故障;BMS、PCS、EMS等系统的通讯正常,相关参数的配置需符合设计要求;锂电池和液流电池

系统初始荷电状态(SOC)应该处于50%~60%。

(2) 环境条件:环境温度应处于0℃~40℃(特殊气候区需要按设计调整),相对湿度应不高于85%,无凝露;海拔符合设备额定工况的要求;现场没有强电磁干扰及安全隐患。

(3) 测试的仪器:功率分析仪、万用表、绝缘电阻测试仪、温度传感器等测量仪器需要经过校准并验明合格,精度满足标准要求。

2.3 核心试验项目及方法

所有的高压设备绝缘保护项目和标准需要严格参照国家标准《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》^[2]

执行。综合继电保护试验标准按照《继电保护和安全自动装置基本试验方法》^[3]执行。同时参考《继电保护和电网安全自动装置检验规程》^[4]、《微机变压器保护装置通用技术条件》^[5]和《继电保护微机型试验装置技术条件》^[6]等行业标准，确保继电保护系统调试的规范性和精确性。

在完成整站设备和保护装置的调试以后，需按照以下步骤进行性能试验：

(1) 有功功率控制测试：在设定功率下，把电池系统的 SOC 从 0% 充到 100%，然后静置 1h 后，再以设定功率放电使 SOC 到 0%，记录这个过程的响应时间、调节时间和控制偏差。

(2) 无功功率控制测试：在 20% 额定有功功率下，分别设置 10%、20% 容性和感性无功功率，并记录相关动态的响应参数。

(3) 能量转换效率测试：根据充放电流程，计算“放电总电能/充电总电能×100%”，以此分别测得锂电单元、液流单元和整站的效率。

(4) 电能质量测试：在充放电的过程中，调取并分析电能质量曲线。

(5) 自放电测试：电池系统充满电后静置 72h，记录 SOC 变化量，要求自放电率不大于 1%/天。

2.4 试验流程

(1) 试验前检查：确认设备的状态、仪器校准和安全措施已到位，签署试验启动确认单。

(2) 分项测试实施：按照“有功功率控制→无功功率控制→能量转换效率测试→电能质量测试→自放电测试”的顺序开展，实时记录数据。

(3) 异常处理：若在试验过程中出现设备故障或数据异常，应立即停止测试，排查原因并修复后重新测试。

(4) 试验收尾：完成所有测试项目后，需要恢复设备到正常状态，整理并归档测试记录。

3 调试结果与数据分析

3.1 有功/无功功率调节性能

表 1 有功功率调节测试结果

测试项目	磷酸铁锂单元	全钒液流单元	全站	要求
响应时间	200ms	300ms	300ms	≤300ms
调节时间	≤1s	≤2s	≤2s	≤2s
控制偏差	1%	1%	1%	≤±1%

根据表 1 所示的测试数据，磷酸铁锂单元、全钒液流单元及全站整体在有功功率调节方面的各项关键指标均优于或满足设计要求。具体而言，各单元及全站的响应时

间均未超过 300ms，调节时间控制在 2s 以内，控制偏差稳定在 ±1% 范围内。这些实测结果充分表明，储能系统在不同技术路线和整体集成层面均具备良好的动态响应性能与控制精度，验证了系统设计与调试方案的有效性，因此可以得出“有功功率调节性能全面满足设计要求”的结论。

表 2 无功功率调节测试结果

测试项目	磷酸铁锂单元	全钒液流单元	全站	要求
响应时间	500ms	500ms	300ms	≤500ms
调节时间	≤1s	≤2s	≤2s	≤2s
控制偏差	2%	2%	2%	≤±3%

根据表 2 的无功功率调节测试结果，储能系统各单元及全站的整体性能均达到或优于设计预期。具体来看，磷酸铁锂单元与全钒液流单元的响应时间均为 500ms，全站响应时间更优，为 300ms，均满足 ≤500ms 的要求；调节时间方面，各单元及全站均未超过 2s，符合设计标准；控制偏差方面，各单元及全站均稳定在 2%，优于 ≤±3% 的设计要求。以上数据表明，系统在不同技术路线单元及整体集成层面均具备良好的无功调节能力与协调控制性能，因此可认定无功功率调节的各项性能指标均满足设计要求。

3.2 电池系统温度

本项目的调试与测试方案针对磷酸铁锂和全钒液流电池的技术特性进行了差异化设计。鉴于磷酸铁锂电池存在热失控风险，项目对其部署了全面的温度监测体系。在满充满放测试过程中，对共计 36 个磷酸铁锂电池舱（1A-18B）的温度数据进行了持续监测。测试结果如图 2 所示（图中展示了三个具有代表性的电池舱温度曲线），所有电池舱的最高温度分布在 38.9℃~45.6℃ 之间，其中 17B 舱记录到最高温度 45.6℃；各舱平均温度则稳定在 37.5℃~40.0℃ 之间。所有温度数据均处于磷酸铁锂电池的安全工作范围（一般认为 ≤60℃）内，表明电池系统热管理设计有效，未出现局部过热现象，系统整体热稳定性符合安全运行要求。

相比之下，因为全钒液流电池采用的水系电解液，其不可燃特性使得从根本上消除了燃烧与爆炸风险。所以，该电池系统的热管理重点在于把电解液温度维持在最佳工作区间内以此来保障系统的性能，而不是针对即时性安全事故的预防。相应的温度参数作为项目中常规的运行数据进行监控，并将其未纳入本文安全验证层面的重点分析，也作同等深度的曲线展示。

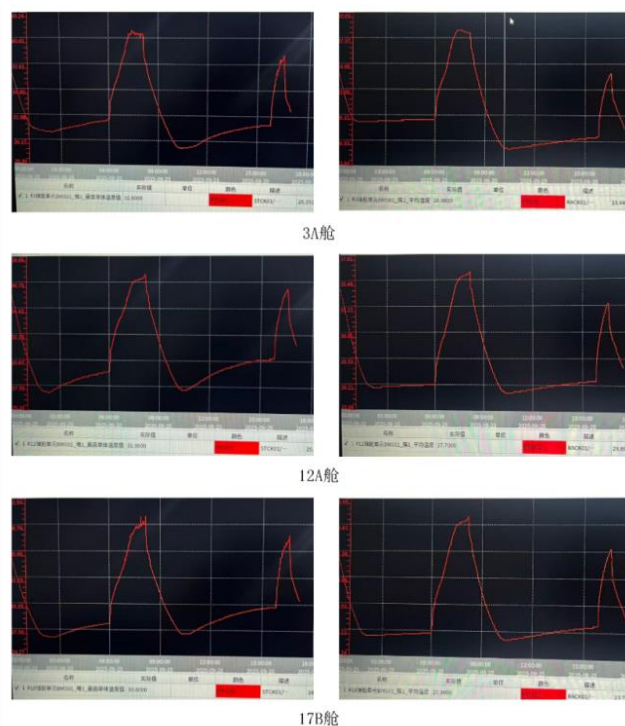


图2 磷酸铁锂电池舱温度曲线

4 安全、质量与环境管理

4.1 安全保障措施

(1) 试验现场需要配备警示标识和齐全的安全器材,并安排专人进行监护。现场安全管理严格遵循《电力安全工作规程(变电所部分)》^[7]和《国家电网公司建设安全工作规程(变电部分)》^[8]的要求,落实安全责任,规范作业行为。

(2) 所有测试人员都需要持证上岗,熟悉设备的操作规程,严禁违规操作。

(3) 明确针对电池起火、触电等突发情况的处置流程并制定详细的应急预案。

4.2 质量管理体系

(1) 确立以“仪器仪表完好率 100%”“调试质量合格率 100%”“一次启动成功”和“零缺陷移交”为标准的质量目标。项目质量管理要严格执行《工程建设施工企业质量管理规范》^[9]的相关标准,结合《国家电网公司十八项电网重大反事故措施(修订版)》^[10]等企业技术文件,实现对全过程调试的质量把控。

(2) 严格执行国家、行业标准及公司质量的管理程序,对每个试验项目编制技术交底文件,重要项目需要制定专项质量保证措施。

4.3 职业健康与环境保护

(1) 明确并严格执行“杜绝人身伤亡事故”“杜绝火

灾事故”“加强节能降耗与固体废弃物综合利用”等管理目标。

(2) 项目职业健康管理应参照《职业健康安全管理 体系实施指南》^[11],建立健全岗位安全责任制和环境管理制度。通过完备的管理机构和制度,制定并落实具体控制措施,确保调试全过程符合安全、健康和环境管理要求。

5 制度执行效果

闵行吴泾独立储能项目在多家厂商协同、多条技术路线并行的复杂环境下,通过实施系统化的调试管理制度,圆满实现了调试过程,实现了“零事故、零遗留隐患、一次并网成功”的目标。各系统调试报告的完整性和数据达标程度,充分验证了该调试管理体系的有效性。

6 结论

建立并执行科学的调试管理制度体系,是保障大型独立储能项目顺利投运的关键。闵行吴泾独立储能项目通过完善的制度架构和精细化的过程控制,使得调试过程更加规范化、专业化,也为未来同类大型混合储能项目的组织与管理工作提供了重要参考范本和实践依据。

[参考文献]

- [1]王浩.电化学储能电站并网前安全风险评估的思考[C]//中国电力设备管理协会.全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(七).十里泉发电厂;2024:229-231.
- [2]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家

标准化管理委员会.GB 50150-2016 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].北京:中国标准出版社,2016.

[3]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国标准化管理委员会.GB/T 7261-2016 继电保护和安全自动装置基本试验方法[S].北京:中国标准出版社,2016.

[4]国家能源局.DL/T 995-2016 继电保护和电网安全自动装置检验规程[S].北京:中国电力出版社,2016.

[5]国家能源局.DL/T 770-2016 微机变压器保护装置通用技术条件[S].北京:中国电力出版社,2016.

[6]国家能源局.DL/T 624-2010 继电保护微机型试验装置技术条件[S].北京:中国电力出版社,2010.

[7]国家能源局.DL 5009.3-2013 电力安全工作规程(变电所部分)[S].北京:中国电力出版社,2013.

[8]国家电网公司.Q/GDW 665-2011 国家电网公司建设安全工作规程(变电部分)[S].北京:中国电力出版社,2011.

[9]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 50430-2017 工程建设施工企业质量管理规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.

[10]国家电网公司.国家电网公司十八项电网重大反事故措施(修订版)及编制说明[M].北京:中国电力出版社,2014.

[11]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国标准化管理委员会.GB/T 28002-2011 职业健康安全管理体系实施指南[S].北京:中国标准出版社,2012.

作者简介:刘婷婷(1997—),女,山东济南人,助理工程师,上海电力大学大数据技术与工程专业毕业,现就职于上海电力股份有限公司吴泾热电厂,从事设备检修工作。