

电化学储能电站基建期技术监督经验及启示

刘 畅, 曹晟磊

中国电力国际发展有限公司, 中电华创(苏州)电力技术研究有限公司, 江苏 苏州

收稿日期: 2025年2月7日; 录用日期: 2025年2月28日; 发布日期: 2025年4月29日

摘 要

随着“碳达峰、碳中和”战略的推进, 电化学储能作为新能源配套的主流技术广泛应用。然而, 储能项目建设仍面临技术监督体系不完善的问题。本文通过对四个典型电化学储能项目的实证研究, 分析了储能项目建设全周期的技术监督要素, 重点探讨了工程质量控制、设备调试规范、防火安全体系等关键环节, 揭示了工程管理规范化不足、系统设计冗余存在缺陷以及防火安全隐患等突出问题。研究提出了加强工程管理、完善项目实施方案、强化基建期工程质量检查与验收、健全储能系统防火措施等建议, 为电化学储能项目的技术监督体系建设提供理论支持, 并推动储能行业的规范化发展。研究表明, 强化项目各方职责的明确、合理的进度和质量控制、细化的验收标准及完善的防火安全措施, 是保障储能电站安全稳定运行的关键, 能够为我国新能源产业的可持续发展提供保障。

关键词

电化学储能, 技术监督, 电站基建, 工程管理

Experience and Insights on Technical Supervision of Electrochemical Energy Storage Power Stations during the Infrastructure Period

Chang Liu, Shenglei Cao

Zhongdian Huachuang (Suzhou) Electric Power Technology Research Co., Ltd., China Power International Development Limited, Suzhou Jiangsu

Received: Feb. 7th, 2025; accepted: Feb. 28th, 2025; published: Apr. 29th, 2025

Abstract

With the advancement of the “carbon peak and carbon neutrality” strategy, electrochemical energy

storage is widely used as a mainstream technology supporting new energy. However, the construction of energy storage projects still faces the problem of an imperfect technical supervision system. Through empirical research on four typical electrochemical energy storage projects, this paper analyzes the technical supervision elements of the entire construction cycle of energy storage projects, focusing on key links such as engineering quality control, equipment commissioning specifications, and fire safety systems, revealing prominent problems such as insufficient standardization of engineering management, defects in system design redundancy, and fire safety hazards. The study proposes suggestions such as strengthening engineering management, improving project implementation plans, strengthening engineering quality inspection and acceptance during the infrastructure period, and improving fire prevention measures for energy storage systems, providing theoretical support for the construction of a technical supervision system for electrochemical energy storage projects and promoting the standardized development of the energy storage industry. The study shows that strengthening the responsibilities of all parties in the project, reasonable progress and quality control, detailed acceptance standards, and perfect fire safety measures are the key to ensuring the safe and stable operation of energy storage power stations and can provide guarantees for the sustainable development of China's new energy industry.

Keywords

Electrochemical Energy Storage, Technical Supervision, Power Station Infrastructure, Project Management

Copyright © 2025 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

随着“碳达峰、碳中和”战略目标的推进,新能源发电装机规模持续扩大[1]。2023年1~6月,全国风电、光伏新增装机容量突破1亿千瓦,占总装机的71%[2]。然而,可再生能源固有的出力波动性加速了电网调频调峰压力[3]-[5],多省已出台储能配置强制性要求,推动电化学储能成为新能源配套的主流方案[6][7]。当前,全国已有23个省级行政区出台强制配储政策,其中甘肃省定西市($15\% \times 2\text{h}$)、江苏省沿江地区($8\% \times 2\text{h}$)等典型区域政策已形成示范效应[8][9]。在众多储能技术中,以锂离子电池为代表的电化学储能因其快速响应、控制精确及双向调节等显著优势[10][11],在新能源配套储能项目中得到了广泛应用[12]。然而,当前新能源配套储能项目建设仍处于探索阶段[13][14],相关标准及制度体系尚不完善,储能项目基建经验较为不足,这在一定程度上导致了项目实施过程中各类问题的出现[15]。

本研究基于技术监督理论框架,选取国家电投四个典型电化学储能项目进行实证研究。通过构建“制度审查-过程稽核-技术验证”三维分析方法,综合运用深度访谈、现场勘查、数据复核及文档分析等多种研究手段,系统地分析了储能项目建设全周期的技术监督要素,重点关注了工程质量控制、设备调试规范、防火安全体系等关键环节。本研究旨在为新型储能项目的技术监督体系建设提供理论支持,推动电化学储能项目的规范化发展,助力我国新能源产业的可持续发展。

2. 技术监督体系构建与现存问题分析

本次开展技术监督工作的4个储能项目建设进度如表1所示。

Table 1. Summary of overall project progress
表 1. 项目总体进展汇总表

项目名称	土建工程	设备安装	静态调试	储能系统受电	动态调试	涉网试验	整套启动
储能项目 A	已完成	已完成	进行中	未开始	未开始	未开始	未开始
储能项目 B	已完成	已完成	进行中	未开始	未开始	未开始	未开始
储能项目 C	已完成	进行中	进行中	未开始	未开始	未开始	未开始
储能项目 D	已完成	已完成	已完成	已完成	已完成	已完成	进行中

技术监督中共发现问题 42 项，其中工程管理类问题 11 项，占比 26.19%；安全管理类问题 4 项，占比 9.52%；设备管理类问题 27 项，占比 64.29%。各类问题分布情况如图 1 所示。

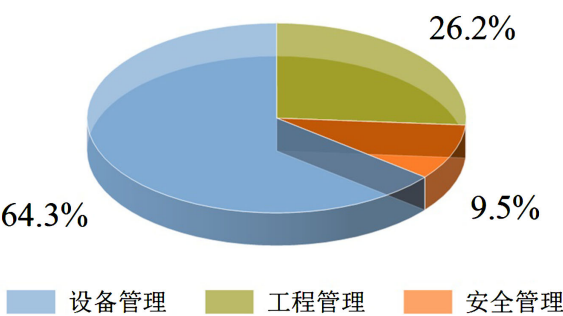


Figure 1. Distribution map of issues
图 1. 问题分布图

本研究针对四个储能项目的技术监督体系开展实证分析，结果表明，各项目管理单位已初步构建了以分管领导为核心的三级技术监督组织架构，并通过设立通用监督与专项监督双轨机制，明确专业组长责任制及岗位职责划分，从而实现了监督责任的层级落实。整体而言，监督工作整体遵循国家及行业技术标准，执行集团技术监督管理规范，初步形成系统化、专业化的监督框架。

然而，研究同时揭示出电化学储能基建期三个方面的突出问题：工程管理规范化程度不足、系统冗余设计技术缺陷及防火安全体系结构性隐患。详见第三部分具体技术监督问题分析。

3. 典型技术监督问题分析

3.1. 工程管理

1) 在储能项目 A 的验收标准中存在与实际不符的条款。例如，某项目实际上未安装操作票系统，但验收标准中却包含相关条目；此外，储能分项工程质量验收表中，监理单位未对每项验收项目分项内容进行分项签字验收，且部分验收申请表重要信息填写不规范，未注明验收日期等关键细节。

建议：应加强验收标准与实际内容的匹配性，完善验收流程与签字制度。加强对工程验收的管理，现场项目验收内容应与实际内容一致；对于分项工程，需要监理单位在每一项验收后进行签字确认，并注明验收日期等重要信息，确保验收过程的规范性与可追溯性。

2) 储能项目 D 在施工过程中发生两起设备损坏事件：① 开关柜舱多媒体箱的一根线缆长度不够，施工人员续接一段线缆，由于电缆连接处绝缘处理不规范，导致电缆接头因后续施工而损坏，如图 2 所示，裸露线头触碰柜体引起短路导致设备损坏；② 某两台 PCS 启动时报“设备绝缘阻抗低”故障，经过检查发现 PCS 直流母线存在破损，如图 3 所示，经过检查该问题是由于直流线缆未按要求排布，导致其位于紧固螺丝下方，进而由于螺丝紧固压迫导致线缆外绝缘损坏；损坏线缆经热塑修复后故障解除。

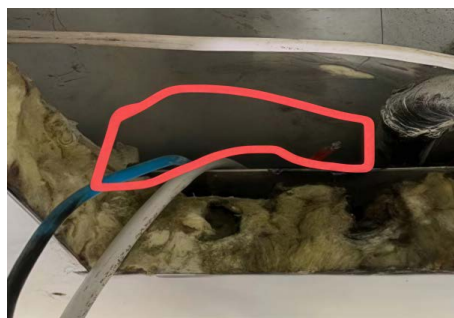


Figure 2. Multimedia box with exposed wires
图 2. 多媒体箱线头裸露

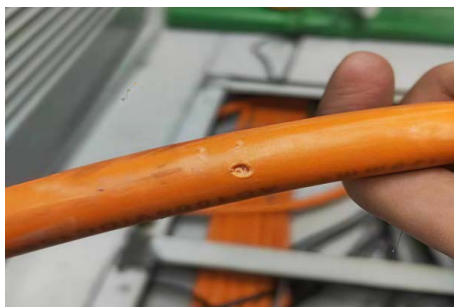


Figure 3. PCS DC busbar external insulation damage
图 3. PCS 直流母线外绝缘损坏

建议：规范施工操作，加强施工质量监督。这两起设备损坏事件均由于施工不规范导致。监理要督促施工单位严格按照标准规范施工，并加强对施工质量的监督管理，按规范要求做好旁站记录，必要时应留有影像资料。

3.2. 安全管理

1) 四个储能项目均存在防火措施不规范的情况：① 电缆沟存在防火包不足、穿越孔洞的电缆两侧未规范涂刷防火涂料等不规范情况，这些问题可能导致电缆在火灾时迅速蔓延，对项目的安全运行构成严重威胁，如图 4 所示；② 储能电池舱中直流电缆防火封堵所用材料不符合设计和规范要求，经测试发现遇火存在明显的变形。此外，箱变、储能电池舱内部分孔洞尚未进行防火封堵，进一步增加了火灾风险，如图 5 所示。



Figure 4. Non-standardized sealing of fireproofing packages
图 4. 防火包封堵不规范



Figure 5. Box change holes without fire blocking
图 5. 箱变孔洞未进行防火封堵

建议：① 严格按照《电化学储能电站安全规程》(GB/T 42288-2022)要求完善电缆沟防火措施，增添防火包、加装防火挡板，并及时对穿越孔洞的电缆两侧涂刷防火涂料；② 箱变、储能电池舱内电缆敷设完成后，应及时将孔洞进行封堵，确保防火封堵的完整性和有效性；③ 更换符合设计和规范要求直流电缆防火封堵材料，以提高防火性能，降低火灾风险。

2) 各参建单位资质均符合要求，但现场存在特种作业持证上岗不符合要求的现象。以储能项目 B 为例，挖掘机司机王某的特种作业人员信息表中未注明发证单位和有效期，且其备案的特种作业证已过有效期。这种情况可能导致特种作业人员在操作过程中存在安全隐患，影响项目的安全运行。

建议：① 加强特种作业人员持证上岗资格审查，确保所有特种作业人员均具备相应的操作技能和资质；② 建立健全特种作业人员信息管理制度，明确发证单位、有效期等信息，并定期更新和维护；③ 加强现场监管，对未持证上岗或证件过期的特种作业人员进行严肃处理，确保特种作业的安全进行。

3.3. 设备管理

1) 交接试验是电力设备在现场安装完成后、投入运行之前的重要环节，旨在全面检验电力设备的安装质量，确保储能项目的整体工程质量和安全运行。在对四个储能项目的设备交接试验进行技术监督的过程中，发现了一些亟待改进的问题，具体如下：① 电缆交接试验报告中，在电缆的耐压试验中，发现其耐压时间未能满足《电气装置安装工程 电气设备交接试验标准》(GB 50150-2016)第 17.0.5 条要求。此外，对于交联聚乙烯电缆，建议避免进行直流耐压试验，以防止对电缆造成潜在损害；② 高压负荷开关试验缺项：在高压负荷开关的试验中，报告未包含操动机构线圈的最低动作电压测量及操动机构的相关试验数据。这一缺失可能导致对设备性能的误判，进而影响系统的可靠性和安全性；③ 变压器试验报告的错误：在变压器的试验报告中，发现直阻值未进行温度换算处理，且不平衡系数的计算存在错误。此外，分接IV与分接V的电阻值接近，不符合实际运行情况。同时，交流耐压试验的电压未达到相关规程的要求。这些问题的出现可能对变压器的性能评估造成负面影响；④ 接地导通试验报告中，直流电阻值均大于 $0.1\ \Omega$ ，不符合《电气装置安装工程 电气设备交接试验标准》(GB 50150-2016) 25.0.2 中不大于 $0.05\ \Omega$ 的要求；⑤ 试验报告中，试验仪器无编号及检定有效期，这可能导致对设备性能的误判。

建议：严格按照规范开展电气设备交接试验，加强设备试验报告审核，同时加强监理旁站监督，确保交接试验的准确性和完整性，从而保障储能项目的整体工程质量和安全稳定运行。

2) 储能项目 C 开关柜采用 SF_6 气体绝缘开关，未提供 SF_6 气体泄漏自动联启风机的相关调试记录，存在 SF_6 泄漏不能及时通风排出，进而威胁人员健康的安全风险。

建议：按照“二十五项重点要求”(2023 版) 13.1 “户内布置的 GIS、六氟化硫(SF_6)开关设备室，应配

置相应的 SF₆ 泄漏检测报警、事故排风及氧含量检测系统”要求, 安装 SF₆ 泄漏检测报警、事故排风及氧含量检测装置, 安装前应对装置进行校准。电气设备间严禁作为值班室或休息室使用, 以确保人员安全。

3) 储能项目 C 直流系统设置存在问题: ① 电压告警值分别为 260 V、198 V, 与《电力系统用蓄电池直流电源装置运行与维护技术规程》(DL/T 724-2021) 4.2.7 中的推荐值不符。对于该项目采用的直流标称电压为 220 V 的系统, “控制母线过电压报警”推荐值为 242 V, “控制母线欠电压报警”推荐值为 198 V。② 交流窜入告警值设定为 50 V, 不符合《直流电源系统绝缘监测装置技术条件》(DL/T 1392-2014) 5.5.5.1 “当直流系统发生有效值 10 V 及以上的交流窜电故障时, 产品应能发出交流窜电故障告警信息, 并显示窜入交流电压的幅值”的要求。

建议: 按照相关标准及规程要求, 对直流系统保护整定值进行全面核对, 及时调整设置不合理的整定值, 以确保系统稳定运行并符合安全标准。

4) 储能项目 D 在放电响应时间测试过程中, 储能系统满功率运行时(该项目设计容量 30 MW, 满功率运行时单母线下发有功 15 MW), 电池管理系统(BMS)报过流故障导致跳闸。经排查分析发现, 由于储能系统在充电和放电过程中会产生大量的热量, 需要通过冷却系统来控制温度, 由于冷却系统为了能够将热量及时排出储能电池舱, 往往需要较大功率, 该项目冷却系统功率约占项目额定容量的 7%。储能电池舱的冷却系统通过本体供电, 因而当整个储能系统满功率运行时, 系统输出功率超过额定值从而导致过流故障。后经讨论, 该项目采取降容运行措施, 运行额定功率降为 28 MW, 单母线 14 MW, 设备运行正常。

建议: 温度是反映储能系统运行安全性的重要指标, 为了保证储能系统尤其是储能电池不发生超温状况, 冷却系统功率往往较大以保证其散热能力, 在设计阶段应予以考虑, 保证充足的冗余容量或通过厂用线路供电, 以确保储能系统在高负荷运行时仍能保持稳定和安全。

4. 建议

4.1. 强化工程管理

首先, 明确项目各参建方的具体职责。应根据项目合同规定, 必须明确项目业主单位、EPC 总承包单位、调试单位、施工单位、监理单位、设计单位在项目建设过程中的具体职责与分工。同时, 应定期召开项目建设推进会, 讨论并完善各参建方的职责, 确保这些职责得到广泛宣贯和深入理解。

其次, 科学合理地编制项目进度计划和质量控制措施, 保证施工进度与施工质量可控。制定详细的进度安排, 并设置合理的质量检查点和验收标准, 以保证项目按照预定计划顺利进行。

最后, 进一步完善项目实施方案。应根据项目建设的不同阶段和时间节点及具体工作内容编制调试方案。调试方案应至少包括调试风险分析及安全措施要求、调试子项目、调试步骤及记录表格等方面内容, 其中调试子项目应从静态调试、储能系统受电、动态调试、涉网调试、整套启动等几个层次进行梳理和设置, 确保调试过程全面、系统且有序。

4.2. 加强基建期工程质量检查与验收

为了确保整个项目建设的安全顺利推进, 必须加强各分项工程的质量检查与验收。以下是对相关环节的详细规定:

首先在设备安装调试时, 必须进行严格的设备交接检查。EPC 总承包单位、施工单位、调试单位、监理及业主代表实地检查现场环境、设备安装及相关配套设施是否满足调试条件。重点检查交接试验报告内容是否符合要求。施工单位向调试单位介绍安装过程发生的缺陷及处理整改情况, 调试单位在确定检查结果满足调试条件后, 经各方签字确认后, 方可启动调试工作。

其次在储能系统静态调试全部结束后, 需组织进行储能系统受电前调试工作验收, 验收过程中应编制《储能系统受电条件检查确认表》, 确保每一项检查内容均合格后方可开始启动储能系统受电。

再次在储能系统完成动态调试后, 须组织进行涉网调试前调试工作验收。验收过程中应严格按照相关标准和规程进行, 确保所有调试项目均符合要求。在验收合格后, 方可申请进行涉网调试。

最后在储能系统整套启动前, 由调试单位编制《运行条件检查确认表》, 并派专人对各系统设备状态进行全面检查确认。在调试单位确认无误后, 再由电站运行人员进行启动前最后检查及安全隔离工作, 确保系统安全稳定地投入运行。

4.3. 完善储能系统防火措施

为确保储能电站的安全运行, 应采取以下加强防火与消防措施的建议:

首先, 储能电站的设备间、隔墙、隔板等管线开孔部位和电缆进出口应采用防火封堵材料, 确保封堵严密, 以有效防止火势蔓延;

其次, 定期对储能电站消防设施进行检查, 包括烟感/温感火灾探测器、可燃气体检查装置、火灾报警装置、七氟丙烷灭火装置、灭火器等关键消防设施, 确保其始终处于良好的工作状态;

最后, 投运前, 运维单位必须编制消防设施运行操作规程, 确保每位运维人员都明确知晓并遵守。针对可能存在的电池热失控、火灾等紧急情况, 运维单位应编制切实可行的应急预案, 并与属地消防救援机构建立协同机制, 确保在紧急情况下能够迅速响应、有效处置。运维人员应接受专业的消防培训, 并在合格后方可上岗, 以确保他们具备足够的消防安全知识和应急处理能力。

5. 总结

在现代储能电站的建设与运营中, 系统化的工程管理与严格的质量控制是确保项目成功与安全运行的关键。通过明确各参建方的职责与分工, 能够有效促进各方协作, 减少因责任不清导致的管理漏洞。此外, 科学合理的项目进度计划和质量控制措施能够确保施工过程的可控性, 降低项目延误和质量缺陷的风险。

在基建期, 强化对各分项工程的质量检查与验收, 尤其是在设备交接和调试阶段, 是防止潜在安全隐患的重要环节。通过制定详细的验收标准和程序, 能够确保各项工程在开展下一步工作前均达到预期的安全和质量标准, 从而为后续的调试和运行奠定坚实基础。同时, 储能电站的防火与消防措施是保障其安全运营不可或缺的一部分。通过采用防火材料、定期检查消防设施、制定操作规程及应急预案, 能够有效降低火灾风险, 提升应急响应能力, 确保在突发情况下能迅速有效地进行处理。

综上所述, 强化工程管理、严格质量验收和完善消防安全措施三者相辅相成, 是保障储能电站安全、稳定、高效运行的综合性策略。这些措施的实施不仅可以提升工程建设整体质量, 也为推动储能技术的广泛应用和可再生能源的发展提供了坚实的保障。未来, 随着技术的不断进步和管理理念的更新, 相关的管理和安全措施将继续优化, 以适应日益增长的市场需求和安全标准。

参考文献

- [1] 陈诗胡. 双碳背景下新能源基地规划发展趋势分析[J]. 中国战略新兴产业, 2025(5): 72-74.
- [2] 郝英杰. 2023 年上半年全国电力供需形势分析预测报告[R]. 北京: 中国电力企业联合会, 2023.
- [3] 陈洪波. 新能源发电接入电网调度运行技术的研究[J]. 光源与照明, 2024(9): 243-245.
- [4] 孙涛. 新能源发电接入对传统电网调度的影响及应对措施[J]. 光源与照明, 2025(1): 219-221.
- [5] 杨卫明, 胡岩, 殷新建, 等. 储能技术及应用发展现状[J]. 建材世界, 2019, 40(5): 115-119.
- [6] 吴皓文, 王军, 龚迎莉, 等. 储能技术发展现状及应用前景分析[J]. 电力学报, 2021, 36(5): 434-443.

- [7] 谢小荣, 马宁嘉, 刘威, 等. 新型电力系统中储能应用功能的综述与展望[J]. 中国电机工程报, 2023, 43(1): 158-169.
- [8] 张宝锋, 童博, 冯仰敏, 等. 电化学储能在新能源发电侧的应用分析[J]. 热力发电, 2020, 49(8): 13-18.
- [9] 孙玉树, 杨敏, 师长立, 等. 储能的应用现状和发展趋势分析[J]. 高电压技术, 2020, 46(1): 80-89.
- [10] 熊晖, 倪昌, 米宏伟. 电化学储能系统安全应用及关键问题研究——以锂离子电池为例[J]. 节能, 2025, 44(1): 157-160.
- [11] 周芳, 刘思, 侯敏. 锂电池技术在储能领域的应用与发展趋势[J]. 电源技术, 2019, 43(2): 348-350.
- [12] 李先锋, 张洪章, 郑琼, 等. 能源革命中的电化学储能技术[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(4): 443-449.
- [13] 李泓, 吕迎春. 电化学储能基本问题综述[J]. 电化学, 2015, 21(5): 412-424.
- [14] 赵光金, 李晶晶, 胡玉霞, 等. 锂离子电池储能电站安全风险及应对策略[J]. 电源技术, 2024, 48(12): 2343-2349.
- [15] 袁帅, 崔煜杰, 程东浩, 等. 2017 年~2024 年全球电化学储能电站火灾爆炸事故统计分析[J/OL]. 储能科学与技术: 1-15. <https://doi.org/10.19799/j.cnki.2095-4239.2024.1151>, 2025-01-20.