

电化学储能电站工程风险与管控研究

邓伟

国家电投集团湖北电力有限公司光伏分公司，湖北 武汉 430062

DOI:10.61369/EPTSM.2025080013

摘要：本文深入探讨了电化学储能电站工程的风险问题，并提出了切实有效的管控措施，具有重要的现实意义。通过对电化学储能电站的设计、采购、施工及调试等关键阶段的风险进行简要剖析，进一步提出了相应的管控建议，旨在为电化学储能电站的建设提供有益的借鉴和指导。

关键词：锂离子电池；磷酸铁锂电池；电化学储能电站；设计；工程

Research on Engineering Risks and Management of Electrochemical Energy Storage Power Stations

Deng Wei

Photovoltaic Branch, Hubei Electric Power Co., Ltd., State Power Investment Corporation, Wuhan, Hubei 430062

Abstract : This paper delves into the risk issues in electrochemical energy storage power station projects and proposes practical and effective control measures, which hold significant practical implications. By briefly analyzing the risks at key stages such as design, procurement, construction, and commissioning of electrochemical energy storage power stations, corresponding control recommendations are further put forward, aiming to provide valuable insights and guidance for the construction of electrochemical energy storage power stations.

Keywords : lithium-ion battery; lithium iron phosphate battery; electrochemical energy storage power station; design; engineering

引言

(一) 研究背景与意义

2025年9月24日，习近平主席于联合国气候变化峰会上宣告了中国新一轮国家自主贡献：“至2035年，中国全经济领域温室气体净排放量相较于峰值降低7% – 10%，并力求取得更优成效。非化石能源消费在能源消费总量中的占比达到30%以上，风电与太阳能发电总装机容量达到2020年的6倍以上，且力争达到36亿千瓦”，到2035年全国新能源装机规模将是当前全国新能源装机规范的3倍之多。而未来提升风光消纳水平，解决风电和太阳能发电给电力系统带来的不稳定性、利用率降低等问题，提升能源消纳和并网能力，需要依赖灵活性调节资源——储能技术，尤其是以电化学储能为主的新型储能技术，它已经成为构建新型电力系统的客观必要条件。因此，对电化学储能电站工程风险进行深入研究，并提出有效的管控措施，具有重要的现实意义。

(二) 研究综述

根据国家能源局的相关数据统计，全国已投入运行的新型储能装机中，锂离子电池占比达97%。锂离子电池储能系统具有效率高、放电时长较为可观、循环次数多、响应迅速等显著优势，是各类电池中比能量较高的实用型电池。在典型的锂离子电池中，三元锂电池和磷酸铁锂电池均表现出能量密度高、环境适应性良好等特性^[1]。然而，二者存在差异，三元锂电池存在燃点低、燃烧风险较高的明显弊端，而磷酸铁锂电池在保护措施完善的情况下，燃烧风险较低，相对而言，安全可靠性更强。据相关机构不完全统计，自2017年起，全球共发生32起储能电站起火爆炸事故，其中25起事故所涉及的电池类型为三元锂电池，仅有2起事故所涉及的电池类型为磷酸铁锂电池^[2]。因此，磷酸铁锂电池已成为当前电化学储能项目中被广泛推广的主流技术类型，应用十分广泛。基于此，本研究将重点聚焦于采用磷酸铁锂电池技术类型的电化学储能电站。

作者简介：邓伟（1981.08-），男，汉族，陕西富平人，大学本科，工程师，研究方向：火电、新能源工程建设与发电技术管理等。

一、电化学储能系统基本原理、安全特性

(一) 电化学储能电站基本原理

如图1所示，储能电池通常采用模块化的构成方式，由电芯组合成模组，模组放置于电箱（电池簇）之中，电箱（电池簇）进而构成电池柜，以此形成一个储能单元。电芯作为组成电池装置的最小功率模块，一定数量的电芯通过相互之间的串联、并联形成模组和电箱（电池簇），再经汇流形成电池柜。在工程实践中，多采用室外布置的方式，将一定数量的电箱（电池簇）组装于集装箱内。以电压为3.2V、容量为280Ah型号的磷酸铁锂电池为例，组建一个50MW/100MWh的电化学储能电站，需要由360个电箱（电池簇）构成20个电池预制舱，每个电池预制舱的容量为2.5MW/5MWh。电池预制舱一般由40HC集装箱定制而成，内部集成布置有电池簇、汇流控制柜、消防、监控、通风冷却系统等。

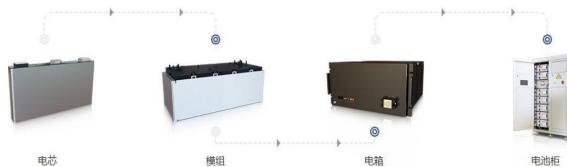


图1 储能电池模块化组成示意图

典型的电化学储能系统通常由电池预制舱、变流器升压一体机（PCS）以及能量管理系统（EMS）等系统组成。储能电池产生的电量经过系统汇流、逆变处理后接入电网。PCS可实现电能的双向转换：当处于充电状态时，PCS作为整流器，将交流电能转换为直流电能并存储于储能装置中；当处于放电状态时，PCS作为逆变器，将直流电能转换为交流电能并输送至电网。

(二) 锂离子电池的本征安全特性

锂元素作为元素周期表第二周期第1主族元素，具备极为活泼的化学性质。由其制成的锂离子电池，在本征安全方面存在以下四个方面的特性。其一，能量密度极高，通常比能量大于140Wh/kg，一旦发生热失控反应，会释放出极高的热量，极易引发不安全状况。其二，锂离子电池有机电解质体系中的有机溶剂为碳氢化合物，其分解电压较低，易于发生氧化反应，且该溶剂具有易燃性，若出现泄漏情况，将引发电池着火，甚至可能导致爆炸。其三，在某些特定条件下，如过充电、过放电或过电流工作时，锂离子电池极有可能在内部引发化学副反应。这不仅会严重影响电池的性能和使用寿命，还可能产生大量的易燃易爆组分（碳酸甲乙酯蒸汽、甲烷、氢气、一氧化碳、二氧化碳等），致使电池内部压力迅速增大，进而引发起火、爆炸。其四，在过充反应的情况下，锂离子电池会使正极材料的结构发生改变，产生不可逆的氧化作用，促使电解液中的溶剂发生强烈氧化。反应所产生的热量积累存在引发热失控的风险。例如，2021年，北京丰台区集美大红门25MWh电站发生火灾，造成1名值班人员遇难，2名消防员牺牲，1名消防员受伤。《丰台区“4·16”较大火灾事故调查报告》显示，此次事故系南楼储能电池故障引发热失控，产生的200立方米易燃易爆组分顺着电缆沟扩散至北楼并进入电池柜，遇电气火花起爆，爆炸当量达26千克TNT，威力极为巨大。

二、电化学储能电站工程风险剖析

(一) 设计管理方面

鉴于在认知层面存在欠缺，当设计人员数量不足、技术水平薄弱时，设计单位往往套用通用设计方案，难以依据不同条件开展具有针对性的个性化设计，这极有可能造成设计的适用性与深度不足。具体体现如下：其一是选址差异问题，未对地质、水文条件等展开深入研究，进而致使基础承台设计与地质勘测结果不相符，建成后出现基础沉降现象。其二是消防水系统的配置问题，要么完全未进行配备，要么配备不完善，不具备消防联动和保护功能，无法满足基本要求；其三是部分安全功能缺失，例如监控系统传感器数量减少配置，无法实现全面覆盖；此外，储能舱的规划布置不合理，未充分考量安全间距和应急措施；最后，设计方案的环境适配性欠佳，缺乏因地制宜的设计理念，例如电池舱体泄爆口面积的设置、消防系统灭火剂的选择等。这些问题均对项目的整体安全性和可靠性造成了严重影响。

(二) 采购管理方面

项目在未做充分准备的情况下仓促启动，导致设备采购方面未能开展深入调研，在市场状况、潜在供应商资质及产品性能等方面了解存在显著不足。在采购环节对技术规范的评估过程过于轻率，未能全面、系统地考量设备性能参数的优劣性，最终所选或许并非最优。此外，在设定潜在供应商准入条件时，存在诸多不合理情形，既无法有效筛选出真正具备实力的优质供应商，也难以保障采购产品的质量与性能。尽管在采购过程中，最终供应商表面上具有一定的市场知名度和品牌影响力，但经深入剖析后发现，这些供应商普遍缺乏核心技术竞争力，实际上仅作为普通集成商存在，在诸多关键核心技术领域方面缺乏充足的研发储备和实践经验。这为项目的后续实施埋下了质量安全隐患。当前，无论采用项目总承包建设模式、设计施工总承包建设模式、还是施工总承包等其他建设模式，储能设备的监造管理工作往往容易被各方疏漏，常出现使用材料不符合相关标准和规范、电器安装位置设计不合理、传感器质量不达标、消防材料配备不足等一系列问题，影响设备的运行安全与稳定性。

(三) 施工管理方面

建设单位未能有效执行设备进场验收工作，极易导致关键设备型式试验报告缺失的严重问题。此外，在设备配置方面，安全隐患和缺陷也难以被及时发现。具体表现为电池模组母排连接处未采取有效的防水措施，在潮湿环境下极易引发电气故障；此外，监控系统存在缺陷，当告警发生时，无法准确定位电池模组的具体位置，这为储能电站的安全运行埋下了潜在隐患。

在施工过程管理方面，现场管理明显存在缺位现象，施工组织缺乏科学性和适宜性，未能严格遵循科学的施工程序和施工顺序。尤为突出的是，施工单位未能针对工程的具体特点和难点制定相应的专项施工方案，导致管理水平远远不能满足工程实际的复杂需求。在实际操作中，部分电站为了赶工期，甚至未按方案施工，这种管理上的疏忽极易引发各种低级错误。例如，电缆敷设不符合相关标准、电气安装质量不合格、电缆接线违反规范要

求、防火封堵措施缺失、电气接地系统不达标、标识标牌漏装或错配，以及单项试验未能按规程进行等。这些问题的存在，不仅严重影响工程的质量和安全性，也给后续的运行和维护带来了极大的隐患。

(四) 调试与运营管理方面

在工程调试阶段，各供应链厂家之间在消缺配合方面的协调性显著不足，缺乏有效的沟通机制与协同作业能力，致使问题解决效率低下。同时，系统性的整改与提升工作亦较为薄弱，未能从根本上解决项目存在的诸多隐患与缺陷。在储能运营管理方面，亦存在一定的缺陷与不足，致使管理能力未能达到预期目标。具体而言，自身的维检能力表现欠佳，维检质量未能达到规定标准。在此情形下，无法对承包商的运维质量进行有效监督与管理，导致部分问题长期存在，却未能及时被发现并妥善处理。这种状况进一步导致制度、规程、措施、预案等管理性标准存在较多漏洞与欠缺，使得日常检查工作徒具形式，未能切实发挥应有作用。

三、风险管控相关建议

(一) 电站设计阶段

加强前期设计，注重规划的合规性与设计的合理性。同时，综合考虑每个储能电站的地理位置、容量、气候及配置要求等因素，制定符合项目条件的规划和设计^[3]。首先，科学合理地确定储能电站的选址、布局及安全设施，确保设计方案符合《电化学储能电站设计规范》GB 51048—2014等技术标准的相关规定。其次，重点考量火灾、爆炸等潜在危险因素，配备必要的温感、烟感装置，并统筹做好消防系统设计。再次，安全设施设计应兼顾安全监测信息的采集与上送，并重视分级审查工作。此外，储能布置应依据消防安全和交通运输要求进行合理设计，以确保满足设计标准。

(二) 设备采购阶段

构建电化学储能设备采购标准，以向合格供应商采购完全符合设计所确定的各项技术及规范标准的设备作为采购准则。在采

购专项资格文件中明确潜在供应商的必备条件，如技术水平、生产能力、同类产品业绩等。明确潜在供应商须具备自主生产电芯、电池模组、电池簇、变流器升压变一体机（PCS）、能量管理系统（EMS）、电池管理系统（BMS）等六项产品的能力，并提供型式试验报告或产品认证证书。加强储能设备生产工艺文件审查与过程监造工作。例如，重点审查电芯品质是否为3个月以内的同批次产品、电池簇电芯的一致性以及电芯捆扎紧固力是否符合标准；审查电池簇接线材质是否为铜质、电池舱监测系统控制电缆是否具备阻燃性能；审查电池舱防排烟设施排风机是否为防爆型，排风口的布置与数量是否合理等。

(三) 工程建设阶段

首先，重视施工承包商选择。电化学储能电站工程建设涉及多专业领域，专业性强、技术含量高。建设单位选择实力雄厚且专业的施工承包商，是工程安全高效、按期保质完成的关键。其次，重视绿色建造与施工信息化管理。采用“四新”技术，运用建筑信息模型（BIM）技术等手段，整合施工资源，提高工程质量、确保安全、控制变更、降低造价并缩短周期。再次，重视中间交接验收和涉网性能型式试验。建设单位牵头，多方参与对实体工程全面验收，审核技术资料等，为系统联调奠定基础。及时开展涉网性能型式试验很重要，既能满足属地电力调度机构要求，确保并网运行稳定，又能检验系统功能性能，解决潜在问题。最后，重视人员技能培训。结合企业特点建立员工培训上岗机制，所有岗位人员参加专业技能培训，考核授权后上岗。生产运维人员尽早介入项目，开展故障处理及生产运行技能培训。

四、结语

当前，以新能源配套为主的电化学储能电站受投资与收益条件限制，造价低、投产任务紧。此外，设计深度不足、设备选型和施工管理有瑕疵，使电站运行面临诸多风险。为应对这些问题，需对项目全生命周期进行系统性管控。深化设计、合理选择设备、优化施工管理、严格开展涉网性能型式试验，可提升电站安全性与可靠性。

参考文献

- [1] 康荣学,左哲.双碳目标下电化学储能电站安全可持续发展战略研究[J].工业安全与环保,2021(47):35~38.
- [2] 何姣,严彩霞,潘小飞.我国电池储能电站发展的现状、问题及建议[J].中国电力企业管理,2021(7):55~58.
- [3] 安坤,田政,赵锦,周喜超,王楠.浅谈电化学储能电站建设中存在的安全隐患及解决措施[J].储能系统运行控制技术专题,2020(10):107~113.
- [4] 王志福,张顺顺,罗崴,等.锂离子电池荷电状态与健康状态联合估计策略研究综述[J].科学技术与工程,2025,25(25):10537~10550.DOI:CNKI:SUN:KXJS.0.2025-25-001.
- [5] 李昊旸.电化学储能舱全氟己酮灭火装置及其灌装系统研究[D].齐鲁工业大学,2025.DOI:10.27278/d.cnki.gsdqc.2025.000613.
- [6] 陈素文,孔冠杰,张亚雷,等.锂离子电池储能系统火灾爆炸风险分析与防控技术研究进展[J].中国工程科学,2025,27(02):269~286.
- [7] 程西,梁亚峰,马立红,等.基于充放电损耗特性的独立微电网储能设备状态量研究[J].电气工程学报,2025,20(02):362~370.DOI:CNKI:SUN:DQZH.0.2025-02-035.
- [8] 胡雷雷.锂离子电池LiNi0.9Mn0.1O2正极材料的制备及其改性研究[D].青海师范大学,2025.DOI:10.27778/d.cnki.gqhzy.2025.0000916.
- [9] 柴进,董志国,唐茂林,等.储能用磷酸铁锂电池充电方法评估[J].山东电力技术,2024,51(11):1~14.DOI:10.20097/j.cnki.issn1007-9904.2024.11.001.
- [10] 周力民.H电化学储能电站安全管理问题研究[D].吉林大学,2024.DOI:10.27162/d.cnki.gjlin.2024.008477.