

基于区块链技术的储能系统分布式检修与运行协同机制研究

陈浩

贵州西能电力建设有限公司, 贵州 贵阳 550000

摘要 : 本文旨在深入研究基于区块链技术的储能系统分布式检修与运行协同机制, 尤其针对以磷酸铁锂电池为代表的化学储能系统展开深入探讨。通过剖析区块链技术在储能系统中的应用原理、分布式检修模式以及运行协同机制等关键层面, 创新性地提出一种储能系统管理新模式, 旨在提升储能系统的运行效率、可靠性与安全性, 为能源领域的可持续发展提供坚实的理论支撑与技术参考。

关键词 : 区块链技术; 储能系统; 化学储能

Research on Distributed Maintenance and Operation Coordination Mechanism of Energy Storage Systems Based on Blockchain Technology

Chen Hao

Guizhou Xineng Electric Power Construction Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550000

Abstract : This paper aims to conduct an in-depth study on the distributed maintenance and operation coordination mechanism of energy storage systems based on blockchain technology, with a particular focus on chemical energy storage systems represented by lithium iron phosphate batteries. By analyzing the application principles of blockchain technology in energy storage systems, distributed maintenance modes, and operational coordination mechanisms, this paper innovatively proposes a new management model for energy storage systems. The goal is to improve the operational efficiency, reliability, and safety of energy storage systems, providing solid theoretical support and technical references for the sustainable development of the energy sector.

Keywords : blockchain technology; energy storage system; chemical energy storage

引言

在全球能源转型的大背景下, 储能系统作为平衡能源供需、提升电力系统稳定性的关键技术, 备受瞩目。以磷酸铁锂电池为代表的化学储能系统, 在这一过程中扮演着重要角色。随着太阳能、风能等可再生能源大规模接入电网, 电力系统的间歇性和波动性显著加剧, 储能系统的重要性愈发突出。它能解决能源供需时间错配问题, 增强能源系统可靠性与灵活性。

一、区块链技术基础与储能系统

(一) 区块链技术原理与特性

区块链技术是一种结合了计算机、网络、通信和密码学等多种现代化技术的综合性技术, 其本质上是一种链式数据结构。区块链技术通过链式结构保证了数据的不可篡改性和可验证性, 通过分布式网络技术保障了区块链网络中数据的一致性, 通过点对点传输技术保证了数据交换的高效性, 通过密码学技术保证了数据的安全性^[1]。

区块链特性为储能系统分布式检修与运行协同提供支持。去中心化使储能系统摆脱集中式管理, 各储能单元可自主通信协作; 不可篡改确保运行数据真实可靠, 为故障诊断等提供依据;

可追溯让储能系统运行轨迹清晰, 便于管理和故障排查; 智能合约实现储能系统自动化控制与交易, 如按电网负荷自动调节充放电, 自动结算能量交易^[2]。

(二) 储能系统概述

储能系统是一种能储存和释放能量的系统, 在能源领域地位关键, 可调节能源供需, 提升能源利用效率, 保障能源系统稳定, 是实现可再生能源利用和构建智能电网的重要支撑^[3]。其主要分为物理、化学、电磁储能三类。

化学储能以其显著特点在能源领域占据重要地位, 其中磷酸铁锂电池作为锂离子电池的一种典型代表, 进一步凸显了这些优势。磷酸铁锂电池具备较高的能量密度, 能够在较小的体积和较轻的重量下存储大量的能量, 这一特性使其特别适用于对空间和

重量要求苛刻的应用场景，如电动汽车，能够在有限的空间内为车辆提供充足的续航能力；在便携式电子设备中，也能满足设备长时间使用的电力需求^[4]。

从技术成熟度来看，以铅酸电池和磷酸铁锂电池为代表的化学储能技术已经实现商业化，并在多个领域得到广泛应用。磷酸铁锂电池凭借其稳定的性能和较长的循环寿命，在储能市场中逐渐占据重要份额。

此外，化学储能还具备良好的灵活性和可扩展性，磷酸铁锂电池系统能按需便捷扩展容量，应用范围从小型电子设备储能到大规模电网储能系统，为各类能源存储需求都能提供有效方案。

二、化学储能系统的运行与检修挑战

（一）化学储能系统运行特性

在化学储能系统进行充放电操作时，能量转换效率的高低极为关键，它作为输出电能与输入电能的比值，对系统的经济性和实用性有着直接影响。在实际运行状态下，这一效率受到多种因素干扰。以磷酸铁锂电池为例，其电池内阻会导致能量以热能形式损耗，这是因为电极材料的离子、电子传导速率会影响内阻大小，从而对效率产生作用；同时，电池极化现象会让电极电位偏离平衡电位，进而造成能量损失，降低了能量转换效率。

化学储能系统寿命衰减问题不容忽视，主要体现为电池容量下降与充放电性能恶化。充放电深度是关键影响因素，深度充放电会让活性物质发生不可逆反应，磷酸铁锂电池也不例外，会加速容量衰减。充放电倍率和温度同样影响显著，高倍率充放电产热、加剧极化，高温与低温都会不同程度缩短电池寿命^[5]。

安全性是化学储能系统稳定运行的重要保障，然而却存在着多种风险。电池热失控是严重问题，锂离子电池过充时锂枝晶或刺穿隔膜致短路引发热失控，磷酸铁锂电池虽热稳定性较好，极端情况也有此风险。过充、过放隐患常见，分别破坏电极、消耗材料。高温、潮湿、振动等外部环境也影响安全，威胁电池性能^[6]。

（二）传统检修模式的局限性

传统集中式检修模式在面对分布式储能系统时存在诸多局限。在数据获取上，依赖有限传感器与人工巡检，因分布式储能系统分布广、节点多，传感器难以全面覆盖，人工巡检效率低、主观性强，无法保证数据准确完整，如大规模分布式储能系统人工巡检耗时费力，易遗漏问题^[7]。

在故障诊断及及时性层面，故障数据需经多级传输至中央控制中心。由于传输层级较多，信息传递存在延迟，这极大影响了故障诊断的及时性。若紧急故障未能及时察觉并处置，极有可能使故障范围扩大，进而破坏系统的稳定性。例如，电池热失控在初期若未得到有效处理，便可能诱发严重事故。

检修成本上，需大量人工巡检与专业人员诊断维修，人力成本高，还要储备大量备品备件，增加物资成本，且故障诊断修复时间长，会导致储能系统长时间停机，造成能源供应中断，给用户带来经济损失。

三、基于区块链的分布式检修与运行协同机制设计

（一）总体架构设计

区块链技术的储能系统分布式检修与运行协同机制架构，融合了前沿技术与创新理念，旨在确保储能系统的高效、可靠运行，并为检修维护工作提供便利。

在该架构下，区块链节点呈广泛分布态势，其中磷酸铁锂电池构成的每个储能单元都作为节点，借助分布式网络达成互联互通，进而构建出去中心化的结构。以分布式储能电站来说，由磷酸铁锂电池组成的储能电池组作为独立节点，可直接开展通信交互。这种模式不仅强化了系统的可靠性与灵活性，还保障了在个别节点出现故障时，整体系统依旧能够正常运转。

数据流向呈现多向且高效的特点。储能单元的实时运行数据，如电压、电流等，会被实时采集并上传至区块链网络，通过分布式账本进行存储和共享，各节点均可获取最新数据。储能单元的充放电数据同样记录在区块链上并同步，便于各参与方全面了解系统运行状态，为决策提供有力依据。

（二）运行协同机制

在能源领域数字化与智能化转型的进程中，区块链技术凭借其独特的分布式账本与智能合约特性，为储能系统的高效运行与精细化管理提供了创新路径，显著提升能源利用效率与系统稳定性^[8]。

1. 分布式能量管理

区块链的分布式账本与智能合约，是储能系统能量协调分配的关键。分布式账本按时间戳记录电量、功率等数据，提供可靠数据基础。智能合约依供需算法、价格信号及用户规则，自动执行能量分配与交易。

在实际电网运行场景中，储能系统通过区块链共享能量状态，一旦出现电量供需差异，智能合约将自动触发能量转移，调控关键要素，优化策略以实现效益最大化。

分布式能量管理与可再生能源发电系统的深度融合，进一步拓展了能源综合利用的边界。当可再生能源发电过剩时，储能系统在智能合约的控制下自动启动储电模式，将多余电能存储起来；而在可再生能源发电不足时，储能系统则依据电网需求释放能量，实现可再生能源的平滑接入与高效利用，有效提升能源系统的稳定性与可靠性。

2. 实时状态监测与预警

在区块链节点部署传感器，实时采集磷酸铁锂电池储能系统的电压、电流、荷电状态（SOC）等关键数据，经区块链网络加密传输后分布式共享。运用大数据分析和机器学习算法挖掘历史数据，构建运行状态预测模型，实现实时监测与故障预警，有效防范过充等风险。机器学习算法还能依据长期数据对储能系统性能进行预测，为运维人员制定维护计划提供参考依据，从而降低故障率，提升系统的可靠性与使用寿命。

（三）分布式检修机制

1. 故障诊断与定位

在储能系统运维中，区块链技术实现的数据共享是快速诊

断、精准定位故障的关键，对检修意义重大。区块链按时间顺序记录储能系统全生命周期数据，故障发生时，检修人员可借区块链获取数据用于诊断。

借助对区块链上磷酸铁锂电池的电压、电流等关键数据的分析，再结合诊断算法，能够快速判定故障类型及其成因。举例来说，当出现电池电压异常情况时，对相关数据进行剖析，就能够精准判断出具体问题所在。并且，凭借区块链的可追溯特性，还能够回溯操作过程以及环境数据，从而准确确定故障的根源。

分布式故障诊断技术进一步提高了故障定位的精准度。各区块链节点依据本地采集的数据独立诊断分析，再把结果上传至区块链网络共享汇总。综合研判各节点的诊断结果，就能更准确地确定故障位置和影响范围。在大型分布式储能系统中，不同节点对故障信号的判断可能不同，借助区块链的共享协同机制整合分析，能有效解决这个问题，实现精准定位。

2. 检修任务分配与执行

在工业设备运维管理中，借助智能合约实现检修任务自动化分配，是优化检修流程、提升效率和秩序的关键。智能合约依照预设的严格规则和流程，在故障诊断完成后，综合考虑检修人员的技能水平、工作负荷和地理位置等因素，将任务精准分给合适人员或团队，同时实时监测、动态调整。

检修执行时，智能合约全程监督。检修人员完成任务上传结果和数据，智能合约依据预设标准进行验证，保障质量。若有新问题，人员通过区块链沟通，智能合约依新情况调整任务，确保检修顺利进行。

四、协同机制的优势与效益分析

(一) 技术优势

在技术维度上，区块链的储能系统分布式检修与运行协同机制展现出显著优势，为储能系统的高效稳定运行筑牢坚实基础。

在数据安全上，区块链为储能系统提供保障。传统储能依赖中心化服务器，数据易受攻击，服务器故障会危及数据安全。区块链用哈希、非对称加密技术加密数据，链式结构防篡改，分布式账本多节点存储，消除单点故障隐患，保障数据安全可用^[9]。

系统可靠性方面，区块链的去中心化架构和共识机制是关键。传统集中式储能中央控制中心故障易致系统瘫痪。区块链储能系统采用去中心化架构，节点平等参与管理，规避单点故障；共识机制确保节点数据一致，经多节点验证的数据才能写入区块链，保障系统稳定。

故障处理中，分布式检修机制较为突出。它能快速诊断定位故障，提升检修效率。检修人员借区块链共享数据，结合数据分析和机器学习判断故障类型与原因，如监测电池数据预测故障。智能合约按预设规则自动分配执行任务，跟踪进度，相比传统模式，大幅缩短故障处理时间，提高储能系统可用性和可靠性。

(二) 经济效益

区块链的储能系统分布式检修与运行协同机制，对储能产业经济效益增长和可持续发展意义重大。

运维成本上，传统集中式检修人工成本高，信息传递过程中的问题易造成物资浪费与过度储备。区块链赋能的分布式检修机制，借助远程诊断和智能分析，能减少人工巡检，降低人力成本；通过智能合约调配人员和管理备品备件，可以降低物资成本，缩短故障处理时长，减少停机损失。

能源利用效率方面，运行协同机制让储能系统与电网等高效协同。分布式能量管理系统依据电网需求和能源价格，可以自动调整充放电策略，削峰填谷，避免能源浪费^[10]。与可再生能源发电系统协同，能平滑输出波动，提高消纳能力，降低生产成本。

储能市场发展上，该协同机制营造良好环境。区块链的去中心化使储能交易更公平透明，降低成本和门槛，吸引更多参与者。智能合约实现交易结算自动化，提升效率和透明度。分布式检修与运行协同机制提高储能系统可靠性和性能，降低用户风险和成本，增加市场需求与认可度，推动储能产业规模化、商业化发展，为经济可持续发展助力。

五、结束语

本研究聚焦化学储能系统，深入剖析基于区块链技术的分布式检修与运行协同机制。结果显示，该机制在解决化学储能系统运行与检修难题上成果显著。以磷酸铁锂电池为例，能实时监测能量转换效率、寿命衰减和安全性，借分布式账本和智能合约分析数据、预测寿命、预警隐患，实现故障快速诊断与定位，智能合约分配执行检修任务，提升效率、降低成本，还能协调能量分配、监测预警，优化配置，保障系统稳定运行。

未来，该协同机制前景广阔。技术上需优化区块链性能，加强与人工智能、大数据、物联网等新兴技术融合，实现智能化管理和决策。应用层面，要拓展应用场景，加强与能源市场结合。政策层面，政府和相关部门应加大政策支持引导，制定标准规范，出台鼓励政策，推动能源产业转型升级。

参考文献

- [1] 刘博涵. 面向共享储能电站的区块链技术研究[D]. 华北电力大学(北京), 2024.
- [2] 王帆, 李欣然, 王振. 基于区块链的能源局域网储能优化调度研究[J]. 东北电力技术, 2024, 45(05): 1-5.
- [3] 孙童. 基于区块链技术的多微网共享储能能源交易研究[D]. 东北石油大学, 2022. DOI: 10.26995/d.cnki.gdqsc.2022.000367.
- [4] 谭敏生, 徐国庆, 丁琳, 等. 基于 POW 的区块链共识机制的改进[J]. 计算机应用与软件, 2024, 41(11): 117-122.
- [5] 闫铮. 基于区块链的共享储能应用及交易模式探讨[J]. 储能科学与技术, 2022, 11(02): 733-734.
- [6] 鲁恒聪. 基于区块链的分布式能源多主体交易决策及平台研究[D]. 华北电力大学(北京), 2021. DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2021.000344.
- [7] 管明杰, 闫军, 王鑫. 基于区块链的危险源管理方法研究[J]. 民航学报, 2024, 8(06): 97-102.
- [8] 王磊, 胡清. 储能技术在新能源电力系统中的应用[J]. 通讯世界, 2024, 31(10): 88-90.
- [9] 国家化学储能材料及产品质量检验检测中心(广东)、广东省动力电池安全重点实验室简介[J]. 中国计量, 2024, (02): 51-52.
- [10] 王哲. 储能技术在新能源电力系统中的应用[J]. 光源与照明, 2024, (01): 237-239.