

电化学储能的用户侧应用

马 锐

中车株洲电力机车研究所有限公司综合能源事业部 湖南 株洲 412007

摘 要：随着能源转型的加速推进，电化学储能在用户侧的应用日益广泛。本文详细探讨了电化学储能在用户侧的多种应用场景，包括峰谷电价套利、提升供电可靠性、分布式可再生能源消纳以及辅助电力市场交易等方面。分析了电化学储能系统的技术特点、成本效益，并对其未来发展面临的挑战和前景进行了展望。通过深入研究，旨在为电化学储能在用户侧的进一步推广应用提供全面的理论依据和实践参考。

关键词：电化学储能；用户侧；峰谷电价套利；供电可靠性；可再生能源消纳

引言：全球能源格局正经历深刻变革，可再生能源的大规模开发利用以及电力需求的多样化增长，对电力系统的灵活性和稳定性提出了更高要求。电化学储能技术以其快速响应、灵活配置等优势，在电力系统各个环节尤其是用户侧展现出巨大的应用潜力。在用户侧合理应用电化学储能系统，不仅有助于用户降低用电成本、提高电能质量，还能促进分布式能源的高效整合，对构建智能、高效、可持续的现代能源体系具有重要意义。

1 电化学储能技术概述

1.1 主要电化学储能技术类型

目前，常见的电化学储能技术包括锂离子电池、铅酸电池、钠硫电池等。锂离子电池具有能量密度高、循环寿命长、自放电率低等优点，是当前应用最为广泛的电化学储能技术之一，在电动汽车、便携式电子设备以及储能电站等领域均有大量应用。铅酸电池技术成熟、成本较低，但能量密度相对较低，主要应用于一些对成本较为敏感、对能量密度要求不高的场合，如备用电源系统等。钠硫电池则具有高能量密度、高效率等特点，不过其工作温度较高，需要特殊的热管理系统，在大规模储能领域有一定的应用前景。

1.2 电化学储能系统的基本组成

电化学储能系统主要由储能电池组、电池管理系统（BMS）、功率转换系统（PCS）以及监控系统等部分组成。储能电池组是储能系统的核心部件，负责电能的存储和释放。电池管理系统对电池组的电压、电流、温度等参数进行实时监测和控制，确保电池组的安全稳定运行，延长电池寿命。功率转换系统实现电池组与外部电网之间的电能转换，可根据需求进行整流、逆变等操作，控制电能的输入和输出。监控系统则负责对整个储能系统的运行状态进行监测、数据采集与分析，并实现远程控制与调度^[1]。

2 电化学储能在用户侧的应用场景

2.1 峰谷电价套利

2.1.1 原理

许多地区实行峰谷电价制度，峰时段电价较高，谷时段电价较低。用户侧电化学储能系统可在谷时段充电，储存低价电能，在峰时段放电，将储存的电能以高价售出或自用，从而降低用户的平均用电成本。例如，在工业用户中，一些生产过程对用电时间的灵活性要求较高，如电解铝、钢铁等行业，可利用储能系统在夜间谷电时段进行储能，白天峰电时段减少从电网的购电量，实现显著的电费节省。

2.1.2 案例分析

以某大型商业综合体为例，其安装了一套容量为1MW/2MWh的锂离子电池储能系统。该地区峰时段电价为1.2元/kWh，谷时段电价为0.3元/kWh。储能系统每天在谷时段（0:00-8:00）充电，峰时段（10:00-15:00和18:00-22:00）放电。经统计，该储能系统每年可实现峰谷电价套利收益约118万元，投资回收期约为5年。

2.2 提升供电可靠性

2.2.1 备用电源功能

在电力供应不稳定或易发生停电事故的地区，用户侧电化学储能系统可作为备用电源使用。当电网停电时，储能系统能够迅速切换为负载供电，保障关键设备和业务的持续运行^[2]。例如，数据中心、医院、通信基站等对供电可靠性要求极高的场所，电化学储能系统可在电网故障期间提供不间断电源，避免因停电造成的数据丢失、医疗事故以及通信中断等严重后果。

2.2.2 应对短时电压暂降

电网在运行过程中可能会出现短时电压暂降现象，这对一些敏感设备如精密仪器、自动化生产线等可能造成损害。电化学储能系统可在电压暂降瞬间提供补偿功

率,维持设备端电压稳定,确保设备正常运行。例如,某电子制造企业安装了一套储能系统,在电网电压暂降时及时介入,成功避免了生产线因电压波动而导致的产品次品率上升问题,提高了生产效率和产品质量。

2.3 分布式可再生能源消纳

2.3.1 平滑可再生能源出力波动

分布式太阳能、风能等可再生能源发电具有间歇性和波动性特点,其出力受天气、光照、风速等自然因素影响较大。电化学储能系统可与分布式可再生能源发电装置相结合,存储多余电能,在可再生能源发电不足时释放电能,从而平滑发电出力曲线,提高可再生能源发电的稳定性和可靠性。例如,在一个分布式光伏电站中,配置了一定容量的储能系统后,光伏出力的波动明显减小,电能质量得到显著改善,能够更好地满足用户的用电需求。

2.3.2 实现可再生能源的“时间转移”

通过储能系统将分布式可再生能源在发电高峰期产生的多余电能存储起来,在非发电时段或可再生能源发电不足时使用,实现了可再生能源从发电时间到用电时间的“转移”。这有助于提高分布式可再生能源在用户侧的自给自足能力,减少对电网的依赖,促进分布式能源的广泛应用。例如,家庭用户安装了太阳能光伏板和储能电池,白天光伏板发电时,多余电能存储在电池中,晚上或阴雨天则使用电池中的电能,实现了“自发自用,余电存储”的能源管理模式。

2.4 辅助电力市场交易

2.4.1 参与需求响应

在电力市场环境下,用户侧电化学储能系统可参与需求响应项目。当电网系统出现电力供需紧张时,储能系统可根据电网调度指令放电,增加电力供应,缓解供需矛盾;当电力供应过剩时,储能系统可充电,消耗多余电能。用户通过参与需求响应可获得相应的经济补偿,同时也为电网的稳定运行做出贡献。例如,在夏季用电高峰期,某地区电网负荷压力较大,通过调用用户侧储能系统参与需求响应,成功降低了电网峰值负荷,保障了电力系统的安全稳定运行,参与响应的用户也获得了可观的经济收益^[3]。

2.4.2 提供调频辅助服务

储能系统具有快速响应、精确控制的特点,能够在电力系统频率发生波动时迅速调整出力,参与电网的调频辅助服务。与传统的调频电源如燃煤机组、燃气轮机相比,储能系统的调频响应速度更快、调节精度更高,能够有效提高电力系统的频率稳定性。在一些电力

市场中,储能系统可通过提供调频辅助服务获得相应的市场报酬,为用户创造额外的经济价值。

3 电化学储能在用户侧应用的成本效益分析

3.1 投资成本

电化学储能系统的投资成本主要包括储能设备购置费用、安装调试费用、电池管理系统费用、功率转换系统费用以及其他配套设施费用等。其中,储能设备购置费用占比较大,尤其是锂离子电池的价格对整个储能系统投资成本影响显著。近年来,随着技术进步和产业规模扩大,电化学储能系统的投资成本呈逐渐下降趋势,但总体仍相对较高。例如,目前锂离子电池储能系统的单位投资成本约为1000-1500元/kWh,对于一个容量为1MWh的储能系统,其初始投资成本约为100-150万元。

3.2 运行维护成本

运行维护成本主要包括电池的更换费用、系统的运维人员费用、设备的检修与保养费用以及能耗费用等。电池的寿命和性能衰减情况直接影响电池更换成本,一般来说,锂离子电池的循环寿命可达数千次,但随着使用年限的增加,电池容量会逐渐下降,当电池容量衰减到一定程度时,就需要更换电池。运维人员费用和设备检修保养费用则取决于储能系统的规模和复杂程度。此外,储能系统在运行过程中也会消耗一定的电能,尤其是功率转换系统等设备的能耗,这也构成了运行维护成本的一部分。

3.3 经济效益

电化学储能在用户侧应用的经济效益主要体现在峰谷电价套利收益、降低用电成本、参与电力市场交易获得的补偿收益以及提高供电可靠性避免停电损失等方面。如前面所述的峰谷电价套利案例,通过合理利用储能系统,用户可实现可观的电费节省。在分布式可再生能源消纳方面,储能系统可提高可再生能源的利用效率,减少用户从电网的购电量,进一步降低用电成本^[4]。同时,参与电力市场交易如需求响应和调频辅助服务等,也能为用户带来额外的经济收入。从长期来看,随着储能技术的不断进步和成本的持续下降,其经济效益将更加显著。

3.4 社会效益

除了经济效益外,电化学储能在用户侧的应用还具有重要的社会效益。首先,通过促进分布式可再生能源的消纳,有助于减少对传统化石能源的依赖,降低碳排放,推动能源结构的绿色转型。其次,提高供电可靠性可保障社会关键部门和居民的正常生产生活秩序,减少因停电造成的社会经济损失。此外,储能系统在电力市场中的灵活调节作用有利于提高整个电力系统的运行效

率和稳定性,促进电力资源的优化配置,对构建可持续发展的电力能源体系具有积极意义。

4 电化学储能的用户侧应用面临的挑战

4.1 技术性能有待进一步提升

尽管电化学储能技术取得了长足进步,但仍存在一些问题需要解决。例如,部分储能技术的能量密度和功率密度有待进一步提高,以满足不同应用场景对储能系统体积和响应速度的要求。电池的循环寿命和日历寿命还需要延长,降低电池的衰减速度,减少电池更换频率和成本。此外,电池的安全性也是一个关键问题,尤其是在高温、过充、过放等极端条件下,需要进一步提高电池的安全性能,防止电池热失控等安全事故的发生。

4.2 成本仍然较高

虽然电化学储能系统的成本在逐渐下降,但与传统的电力设备相比,其投资和运行维护成本仍然较高,这在一定程度上限制了其在用户侧的大规模推广应用。降低储能成本需要从多个方面入手,包括原材料成本的降低、生产工艺的改进、规模化生产效应的提升以及电池回收利用等环节的优化。

4.3 政策法规和市场机制不完善

目前,与电化学储能的用户侧应用相关的政策法规和市场机制还不够完善。在政策方面,缺乏明确的储能补贴政策、准入标准和规范等,导致用户投资储能系统的积极性不高。在市场机制方面,电力市场的价格信号不够灵活,储能系统参与电力市场交易的规则和流程不够清晰,储能的难以在市场中得到充分体现和合理补偿,制约了储能产业在用户侧的健康发展^[5]。

4.4 标准规范不统一

电化学储能行业在标准规范方面存在不统一的问题,包括储能系统的设计标准、性能测试标准、安全标准以及与电网的接入标准等。标准规范的不统一导致储能产品质量参差不齐,不同厂家的储能系统兼容性较差,增加了用户选择和应用储能系统的难度,也不利于储能行业的规范化和规模化发展。

5 电化学储能在用户侧应用的前景展望

随着技术创新的不断推进、成本的持续降低以及政策环境和市场机制的逐步完善,电化学储能在用户侧的

应用前景十分广阔。未来,电化学储能技术将朝着更高能量密度、更长寿命、更高安全性和更低成本的方向发展,其应用场景将进一步拓展和深化。在分布式能源领域,储能系统将成为标配,与分布式太阳能、风能等可再生能源紧密结合,构建更加智能、高效的分布式能源微网系统,实现能源的就地生产、存储和消纳。在工业用户和商业用户中,储能系统将更多地参与到电力市场交易和能源管理中,通过峰谷电价套利、需求响应、调频辅助服务等多种方式为用户创造更大的经济价值,同时提高用户的用电可靠性和电能质量。在居民用户侧,随着储能成本的降低和家庭能源管理系统的普及,电化学储能也将逐渐走进千家万户,成为家庭能源管理的重要组成部分,实现家庭用电的智能化、绿色化和自给自足。

结束语

综上所述,电化学储能在用户侧的应用不仅是现代能源体系的重要组成部分,更是推动全球能源转型和实现可持续发展的关键力量。尽管在技术性能、成本、政策法规以及标准规范等方面还存在一些挑战,但随着技术创新的不断深入、政策环境的日益优化以及市场机制的逐步完善,电化学储能将在用户侧能源管理中扮演更加重要的角色,为提高能源利用效率、促进可再生能源消纳和保障能源安全等方面做出不可估量的贡献。

参考文献

- [1]魏喜龙.电化学储能装置控制系统的应用研究[J].中国设备工程,2024(13):127-130.DOI:10.3969/j.issn.1671-0711.2024.13.056.
- [2]杜昊易,李尧,陈换军,等.电化学储能技术及应用案例综述[J].广东化工,2023,50(22):50-52.
- [3]陈璨,邓鹤鸣,曹阳,等.用户侧储能安全标准现状分析[J].供用电,2021,38(8):12-18.DOI:10.19421/j.cnki.1006-6357.2021.08.002.
- [4]沈汉铭,俞夏欢.用户侧分布式电化学储能的经济性分析[J].浙江电力,2019,38(5):50-54.DOI:10.19585/j.zjdl.201905008.
- [5]陈思培,谢宇哲.浙江省用户侧电化学储能经济效益分析[J].电力需求侧管理,2022,24(4).DOI:10.3969/j.issn.1009-1831.2022.04.017.