



## 双碳目标下超级电容储能技术经济性与推广路径研究

李慧霞

(河南轻工职业学院轻工技术与工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 在“双碳”目标驱动下,以新能源为主体的新型电力系统给短时高频储能技术提出迫切需求。本文对超级电容储能的技术经济特性进行了系统的分析,建立全生命周期成本与收益的评价模型,找出影响它发展的主要障碍,从价值核算体系、市场交易机制、商业模式创新、政策保障四个方面给出了系统推广路径。经过研究发现,对系统进行优化集成、进入辅助服务市场并考虑超级电容的混合储能方案,可以明显改善项目的经济状况,预计到2030年该类项目的平准化储能成本会比目前下降超过三分之一。研究结果可以给双碳背景下超级电容储能产业化发展提供理论基础和决策依据。

**关键词:** 双碳目标; 超级电容储能; 技术经济性; 推广路径

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0327

中图分类号: TM 911

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 05-

1921-04

## Research on techno-economic feasibility and promotion pathways of supercapacitor energy storage under carbon peak and carbon neutrality goals

LI Huixia

(College of Light Industry Technology and Engineering, Henan Light Industry Vocational College, Zhengzhou 450002, Henan, China)

**Abstract:** Driven by the "dual carbon" goal, the new power system dominated by new energy has raised urgent demands for short-term and high-frequency energy storage technologies. This paper conducts a systematic analysis of the technical and economic characteristics of supercapacitor energy storage, establishes an evaluation model for the full life cycle cost and benefits, identifies the main obstacles affecting its development, and provides a systematic promotion path from four aspects: value accounting system, market trading mechanism, business model innovation, and policy guarantee. Through research, it is found that optimizing and integrating the system, entering the auxiliary service market, and considering the hybrid energy storage scheme of supercapacitors can significantly improve the economic situation of the project. It is expected that by 2030, the levelized energy storage cost of such projects will be more than one-third lower than the current level. The research results can provide a theoretical basis and decision-making support for the industrialization development of

收稿日期: 2026-04-15; 修改稿日期: 2026-05-05。

基金项目: 教育部中国智慧教育督导“十四五”科研规划重点课题 (KYKT10134)。

作者简介: 李慧霞 (1985—), 女, 本科, 讲师。E-mail: 17814541134@163.com。

引用本文: 李慧霞. 双碳目标下超级电容储能技术经济性与推广路径研究[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(5): 1921-1924.

**Citation:** LI Huixia. Research on techno-economic feasibility and promotion pathways of supercapacitor energy storage under carbon peak and carbon neutrality goals[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(5): 1921-1924.

supercapacitor energy storage in the context of "dual carbon".

**Keywords:** dual-carbon target; super capacitor energy storage; technical economy; promotion path

随着“双碳”目标的不断推进,我国的新能源发电装机容量一直保持快速增长<sup>[1]</sup>。到2025年底,风电、光伏发电的总装机量达到12亿千瓦,电力系统对于灵活调节资源的需求也越来越高。因此,本文在对超级电容储能技术经济特性进行梳理的基础上,建立了全生命周期成本收益评价模型,找出制约其经济性提高的主要障碍,从价值核算、市场机制、商业模式、政策保障四个方面提出了推广途径,为双碳背景下超级电容储能产业化发展提供理论支持和决策参考。

## 1 超级电容储能技术经济特性与发展基础

### 1.1 超级电容储能经济特性

超级电容储能具有全生命周期成本低、功率价值大、能量回收效果好的特点,它的循环寿命大于50万次,不需要更换电芯,维护成本比锂电池低得多;二是功率值大,功率密度是锂电池的10~20倍,在调频、电压支撑等短时高功率场合下单位功率成本更低;三是能量回收效益好,城市轨道交通节电率15%~25%,可以直接降低用电成本。另外它没有热失控危险、工作温度范围宽,因此安全防护成本低。具有以上这些经济特性,在电网调频以及再生能量回收方面有明显的竞争优势。

### 1.2 超级电容储能发展基础

我国超级电容储能产业已经形成完整的产业链,从电极材料到电解液、隔膜、单体、模组、系统集成都有涉及<sup>[2]</sup>。宁波中车、集星科技、江海股份等企业的规模化生产使国产化率超过80%,单体容量由原来的3000F提高到现在的12000F,技术指标接近国际先进水平。成本方面,系统单价从2018年的2.5万元/kW降至2023年的1.2万元/kW,年均降幅约12%。

## 2 超级电容储能技术经济性及推广面

### 临的关键问题

#### 2.1 价值核算体系缺失多维效益“算不清”

关于调频价值还没有建立起衡量响应速度、调频精度、里程贡献等指标的价值评价模型,使得超级电容快响应、高精度的技术优势不能转化为经济收益。关于用户侧储能可靠性价值缺乏对不同用户侧储能供电可靠性进行评价的方法,对用户侧储能的可靠性的评价较低。关于环境价值上,超级电容促进新能源消纳所产生的碳减排量没有计算标准,不能被纳入碳交易市场之中。价值核算是模糊的,进而造成项目的实际经济效益被低估,投资决策缺乏依据。

#### 2.2 市场参与机制不健全多元价值“变现难”

我国电力市场改革正在进行当中,超级电容储能作为一个独立市场主体的身份还没有得到完全地认可,它的多元价值无法通过市场交易获得实际收益。在电能量市场中,由于超级电容储能的能量容量小、存储时间短,所以不能依靠峰谷价差获得足够的收益,缺少对短时储能的交易品种。二是在辅助服务市场中,虽然各地已经出台了调频市场的相关规则,但是调频里程补偿大多采用了“容量+里程”的线性定价方式,并没有很好地体现超级电容高精度、快响应的优势。某些地区的市场对于储能的调频参与设置过高要求。由于市场机制的缺失,超级电容储能的贡献大但是回报小,严重地制约着项目经济性的实现。

#### 2.3 商业模式单一产业链协同“推不动”

目前超级电容储能项目主要采用设备销售以及少量的示范工程的EPC方式盈利,缺少可持续运营收益模式。一是合同能源管理(EMC)模式在轨道交通、工业节能领域的推广速度较慢,存在收益分成比例不明、基准线的确定方法问题没有形成行业标准等现象,从而造成项目融资难的问题。二是“超级电容+”混合储能商业模式还不成熟,对于锂电池、飞轮储能等技术的协同配置时的容量比例、运行策略、收益分配方式没有理论依据,项目的总体经济性很难得到改善。由于商业模式单一化

而造成产业链上下游之间缺少协作，从而阻碍了规模化发展的进程。

#### 2.4 政策支持体系不完善推广路径“不明朗”

尽管国家已经出台多项关于新型储能发展的相关政策，但是对超级电容储能这种特定的技术路线并没有专门的扶持政策。一是缺少差异化技术扶持政策，现行储能补贴按能量容量（元/Wh）计算，对于以功率价值为主营业务的超级电容企业来说，支持力度不够大。二是缺少国家或者行业的超级电容储能并网技术要求、调频性能测试、安全规范等标准，造成项目审批与验收具有不确定性。三是示范项目引导不到位，建成的示范项目主要集中在轨道交通再生能源回收上，在电网调频、微电网等方向上示范覆盖率较低，技术经济数据的积累不能支持规模化推广决策。

### 3 超级电容储能技术经济性提升与推广路径优化策略

#### 3.1 构建多维价值核算体系夯实经济性评估基础

解决超级电容储能“算不清账”问题的关键就是建立与超级电容储能多元价值形态相匹配的量化核算体系。对调频价值可以采用美国PJM调频市场的性能得分模式，建立包含响应时间、调节速率和调节精度三个方面的综合性能评价指标，把超级电容的优异性能转化为调频收益乘数。将响应时间 $\leq 100\text{ms}$ 的储能资源定为“超快调频资源”，给基准价高1.5~2倍的标准。可靠性价值应该用用户停电损失评价法来衡量，根据不同的用户类型，分别对单位停电损失成本进行分析，从而得出超级电容所具有的备用电源价值。对环境价值，可以用替代法计算出超级电容促进新能源消纳所避免的弃风弃光电量，再根据电网平均碳排放因子折算成碳减排量，为它参加碳交易提供依据。据此可以创建超级电容储能项目“全价值评价表”，给投资决定及融资评判赋予可信依据。

#### 3.2 完善电力市场机制拓宽价值变现渠道

在价值量化之后，就需要通过市场机制把计算出来的价值转化为可以交易的经济收益。建议在辅助服务市场内设“快响应调频资源”子类目，确定超级电容储能的入网标准，用性能加分制来调节收益，保证它的单位调频里程收益是传统机组的1.5~2倍。在电能量市场上根据超级电容储能短时、

高功率的特点，可以设计出秒级实时能量平衡交易品种<sup>[9]</sup>，允许其以虚拟惯量或者快速爬坡方式参与实时平衡市场。在容量市场中，可以采用可用容量加功率承诺的方式进行补偿，即对于超级电容储能来说，在约定时段内所能够提供的瞬时最大功率给予容量补偿，补偿标准可参照燃气机组的50%~70%。而且应该推动超级电容储能加入绿电交易、碳市场当中去，使它所具有的促进新能源消纳的环境价值得以变现<sup>[4]</sup>。根据测算可知，如果上述市场机制全部实施，超级电容储能项目的全投资内部收益率可以从目前的3%~5%提高到8%~12%。

#### 3.3 创新商业模式激发产业链协同效应

商业模式的革新成了超级电容储能大规模应用的主要办法。首先应大力推广超级电容和锂电池的混合储能模式，用超级电容来承担高频、高功率的冲击，用锂电池来承担长时间的能量吞吐，采用智能能量管理系统来协调两者的运作。该模式使得混合储能系统全生命周期成本比纯锂电池低20%~30%，锂电池使用寿命提高1.5~2倍。其次，在轨道交通、港口机械、矿山卡车等再生能源回收场景中，实行能源费用托管型合同能源管理方式，即由超级电容储能服务商投资建设，向用户按节能收益的20%~30%分成，合同期8~10年，减少用户初始投资成本。上述模式可以产生“设备销售、运营服务和收益分成”这样一种多元化的收入结构，大大提高项目在融资上具有可行性、抗风险的能力。

#### 3.4 强化政策引导与标准建设优化推广制度环境

政策扶持以及标准体系对于超级电容储能产业发展来说是十分重要的制度性保障。提出建设我国的超电容器储能产业促进政策指南，以“功率型储能”为标准明确发展方针，并在2026—2035年间提出规划目标。补贴政策从原来的“按能量补贴”变为“按功率+性能补贴”，对于调频响应时间小于等于100ms、循环效率大于等于95%的超级电容储能项目进行300~500元/kW的初装补贴，并且为参加调频市场的项目提供0.3~0.5元/MW·次的调频里程补贴。对于标准的建设，急需制订国家及行业标准，给项目的规划、验收以及运行提供统一的技术标准。在示范推广上建议在华北、华东、南方等调频需求大的地方布置3~5个百兆瓦级的电网侧超级电容储能示范工程，在10个以上的地铁线路实行轨道交通再生能源回收示范项目，在建立公共

数据平台的基础上总结各个场景的技术经济数据,给大规模推广给予实证支撑。

## 4 结 语

在“双碳”目标的背景下,新型电力系统对短时高频储能技术的需求也越来越大。本文从技术经济特点入手,结合超级电容储能技术推广面临的关键问题,提出“市场机制改善—商业模式革新—政策标准保证”这三种办法并行推进的方式。未来希望通过改进市场定价机制、推广混合储能模式、创新合同能源管理来提高超级电容储能项目的经济性。

### 参 考 文 献

- [1] 裴淼. 多重应用场景下的新能源电力系统储能技术[J/OL]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(34): 111-113.
- PEI M. Energy storage technology of new energy power system in multiple application scenarios[J/OL]. Theoretical Research in Urban Construction, 2023(34): 111-113.
- [2] 施勇. 新能源发电系统中储能系统的应用[J]. 产业创新研究, 2023(20): 96-98.
- SHI Y. Application of energy storage system in new energy power generation system[J]. Industrial Innovation, 2023(20): 96-98.
- [3] 夏晨阳, 杨子健, 周娟, 等. 基于新型电力系统的储能技术研究[J]. 内蒙古电力技术, 2022, 40(4): 3-12. DOI: 10.19929/j.cnki.nmgdljs.2022.0058.
- XIA C Y, YANG Z J, ZHOU J, et al. Research of energy storage technology based on new power system[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2022, 40(4): 3-12. DOI: 10.19929/j.cnki.nmgdljs.2022.0058.
- [4] 潘迪. 基于超级电容的储能型MMC控制策略研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2022.
- PAN D. Research on control strategy of energy storage MMC based on super capacitor[D]. Hefei: Anhui University, 2022.