



综合能源系统框架下电力数字化与储能的协同优化研究

周孟琳, 王宇朋, 张健, 沈立祥, 陈建伟, 郎世伟
(国能太仓发电有限公司, 江苏 苏州 215400)

摘 要: 全球范围内的资源转型, 让以数字化和智能化为核心的综合能源系统成为重要发展方向。综合能源系统 (IES) 可以实现不同能源的互补和协同优化, 有效提高了能源综合应用效率, 但是面对可再生能源的间歇性和波动特征的问题有一定的局限性。电力数字化技术和储能技术凭借全要素驱动和能量转移, 可以帮助综合能源系统向自适应方向转变。对此文章综述了综合能源框架下, 电力数字化技术和储能技术对其的优化作用, 重点分析了电力数字化技术赋能和储能技术的优化方式, 探讨了二者对综合能源系统优化的内在机理模式, 以为后续研究提供一定思路。

关键词: 数字化; 综合能源; 应用效率

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0778

中图分类号: TM 912

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 09-3651-03

Research on collaborative optimization of power digitization and energy storage under the framework of integrated energy system

ZHOU Menglin, WANG Yupeng, ZHANG Jian, SHEN Lixiang, CHEN Jianwei, LANG Shiwei
(Guangdong Taicang Power Generation Co., Ltd., Suzhou 215400, Jiangsu, China)

Abstract: the global resource transformation has made the comprehensive energy system centered on digitization and intelligence an important development direction. Integrated Energy Systems (IES) can achieve complementary and collaborative optimization of different energy sources, effectively improving the efficiency of energy application. However, they have certain limitations when facing the intermittent and fluctuating characteristics of renewable energy. The digitalization technology of power and energy storage technology, driven by all factors and energy transfer, can help the comprehensive energy system transform towards an adaptive direction. This article summarizes the optimization effects of power digitalization technology and energy storage technology under the comprehensive energy framework, with a focus on analyzing the optimization methods of power digitalization technology empowerment and energy storage technology. It explores the internal mechanism and mode of the two for optimizing the comprehensive energy system, in order to provide some ideas for subsequent research.

Keywords: digitalization; integrated energy; application efficiency

收稿日期: 2026-09-07; 修改稿日期: 2026-09-10。

第一作者及通信联系人: 周孟琳 (1994—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为计算机应用、网络安全等, E-mail: A103zml@163.com。

引用本文: 周孟琳, 王宇朋, 张健, 等. 综合能源系统框架下电力数字化与储能的协同优化研究[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(9): 3651-3653.

Citation: ZHOU Menglin, WANG Yupeng, ZHANG Jian, et al. Research on collaborative optimization of power digitization and energy storage under the framework of integrated energy system[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(9): 3651-3653.

综合能源系统 (integrated energy system, IES) 是新时期能源改革的重要尝试。它可以通过物理信息耦合处理, 实现电力资源的协调化运营。有效解决传统能源系统只能独立运行的局限性, 实现电、热、气、冷等多能互补与协同优化。据国际可再生能源机构 (IRENA) 预测, 到 2050 年, 全球综合能源系统的投资规模将超过 30 万亿美元, 成为实现碳中和目标的关键支撑。从现阶段的研究成果来看, 综合能源最大的问题在于自身能源复杂背后的不确定性。一来, 可再生能源间歇性波动对综合能源系统稳定性有着更高要求; 二来, 多能耦合系统导致能源运行维度增加, 而传统物理模型很难兼顾效率和鲁棒性。在此背景下, 基于电力数字化技术和储能技术的协同优化策略成为综合能源系统的改革方向^[1]。

1 综合能源系统的研究特征

1.1 综合能源系统特征分析

综合能源系统作为现阶段一种较为先进的能源综合管理策略, 需要借助能源网络的深度耦合以及设备资源的共享, 协同打造电能、热能、气能等多能源协同分配消费的一体化系统^[2]。这一系统在实际应用中具有重要特征, 首先是能源的互补关系。综合能源系统可以更好地运用能源转化设备和能源梯度设备, 实现不同能源形式之间的充分互补; 其次是物理信息的融合性增加。综合能源系统依托大数据、互联网等技术, 可以实时采集各类设备数据, 包括环境状态、设备参数、用户行为等。再依靠各类数据, 为系统的精准调控与智能决策提供策略支持; 最后是市场参与化的提升。高度的市场参与是综合能源系统区别于其他能源管理系统的一项重要标志。因为综合能源系统可以涵盖发电企业、电力电网公司、储能运营企业和用户侧资源等不同主体。而这些主体均有自己的角色, 所以为了提高运行保障能力, 也需要构建一套协同运行机制^[3]。

1.2 综合能源系统的研究局限

随着可再生能源占比的不断提升, 发电侧的波动性愈发加剧, 同时用户侧分布式发电与柔性负荷的广泛普及, 使得需求侧的不确定性也进一步增大。传统能源综合管理系统一般采用能源匹配负荷的管理形式, 这种管理的滞后性已经无法满足当前需求。此外, 不同设备之间的多能耦合, 使得系统

之间的状态变量持续增加。例如, 电热耦合系统需要同时考虑电力平衡和热力平衡, 其背后的优化问题规模呈指数级增长, 传统基于模型预测控制 (MPC) 的方法在计算效率和鲁棒性方面都面临困境。

2 电力数字化和储能的协同优化

2.1 电力数字化技术赋能

电力数字化技术可以凭借自身优质的数据采集、传输和定向分析决策能力, 在储能系统优化中可以构建基础链条。例如数字化技术下的全要素感知技术。该技术就是将物联网终端作为网络神经末梢, 布置在不同的储能系统节点上, 它能实时精准采集储能设备状态信息, 如电池荷电状态 (SOC) 反映剩余电量, 关乎充放电安排; 电池温度影响性能与寿命。同时, 可获取电网频率、电压等信号, 其稳定与否关乎电力系统安全与用电设备状态。

在数据建模驱动上, 传统储能系统的数据模型需要较高的专业度。电力数字化技术则带来了新的发展脉络, 可以通过挖掘海量的数据信息, 拓展用电模式, 同时通过分析可再生能源的隐形规律, 结合长期用电用户的用电习惯, 预测电力波峰波谷。这些数据挖掘的规律模型可以较好地替代传统建模。智能控制是电力数字化赋能储能优化的关键。

2.2 储能系统核心功能

综合能源系统可以整合多类型能源形式, 在其核心框架下, 储能系统也承担着重要作用。首先是平抑供需。可再生能源在发电中具有明显的间歇性和波动性特征, 例如太阳能就十分依赖于光照强度和时间, 与之相对的就是用户侧用电的稳定性需求, 且这种需求伴随着一定规律性特征。二者的不匹配性, 为综合能源系统带来了挑战。储能系统的引入, 通过低充高放可以有效缓解用电矛盾。应用储能设备释放电能, 补充到电网中, 实现可再生能源的充分消纳, 调节负荷峰谷, 达到能源平稳。其次是储能系统的引入还可以帮助综合能源系统增强系统韧性。综合能源系统面临着诸多不确定因素, 极端天气如暴雨、台风等可能会对能源基础设施造成破坏, 导致电力供应中断; 设备突发故障也可能引发局部或大面积的停电事故。储能系统可以将原始电力供应中断, 转而应用存储能源, 为数据中心等核心区域持续应急供电, 避免造成严重后果。

3 协同优化内在机理与模式

3.1 需求响应下的用户侧挖掘

在需求响应场景下，电力数字化技术与储能系统的深度融合为用户侧灵活性的挖掘提供了有力支撑。电力数字化技术借助智能电表、家用能源管理系统（HEMS）等先进设备，能够全面、精准地采集用户用电数据。这些数据涵盖了用户在不同时间段、不同用电设备下的用电量、用电功率等关键信息，为后续的分析 and 决策提供了丰富的数据基础。其最典型的应用方式主要有分时电价响应和中断负荷管理。

3.1.1 分时电价

数字化平台可以通过自身较为强大的逻辑预测能力，对电价走向进行精准预测，提前确定电价高峰和低谷的时间段。从而控制储能系统在电价低谷期提前蓄电，此时电力供应较为充足，成本低廉。反之在高峰时段释放电能，缓解高峰压力，从而降低工程和企业成本，减少电费支出。

3.1.2 中断负荷管理

在电网压力过大时，通过储能系统可以进行电网中断，并通过自身电能对负荷损失进行补偿，提升系统调峰能力。例如，在夏季用电高峰时段，商业综合体中的一些非必要的照明、空调设备可以作为可中断负荷。当电网需要调峰时，中断这些设备的供电，储能系统为商业综合体中的关键区域如电梯、应急照明等提供电力支持，既保障了商业综合体的正常运营，又缓解了电网的供电压力。

3.2 资源调度互补优化

电力数字化与储能技术的融合，可以将综合能源系统推向电能、热能和气耦合系统中。由于储能系统的加入，可以有效协调不同能源之间的品种差异，从而实现能源灵活调度，提高能源资源利用率，实现资源调度互补。

3.2.1 电热协同

热储能技术就是电热协同的重要应用，它类似于一个庞大的热能仓储空间，可以将电能直接转化成热能进行存储，在白天供热高峰时段，区域需要高质量热能或者电能时，进行能源释放。这种电热协同策略不仅有效降低了电力依赖性，减少大规模

碳排放，还可以提高能源综合效率。

3.2.2 电氢耦合

化学储能与氢储能的联合运行是电氢耦合的重要模式。当电力系统中存在过剩电能时，通过电解水制氢设备将电能转化为氢气并储存起来。氢气作为一种清洁、高效的能源载体，具有能量密度高、存储时间长等优点。储存的氢气可以在需要时用于燃气轮机发电，为电网提供电力支持；也可以作为工业燃料，替代传统的化石燃料，减少工业生产过程中的碳排放。这种电氢耦合的方式实现了能量的长周期存储，解决了可再生能源发电的间歇性和波动性问题。

4 结 语

综合能源系统作为能源领域的重要发展方向，在推动能源转型、实现碳中和目标中扮演着关键角色。电力数字化技术与储能技术的协同优化，为解决综合能源系统面临的复杂问题提供了有效途径。通过电力数字化技术的赋能，储能系统得以在数据采集、建模驱动和智能控制等方面实现优化，充分发挥其平抑供需、增强系统韧性等核心功能。未来，随着技术的不断进步和创新，电力数字化与储能的协同优化将在综合能源系统中发挥更大的作用，为全球能源可持续发展贡献力量。

参 考 文 献

- [1] 高明非, 韩中合, 赵斌, 等. 区域综合能源系统多类型储能协同优化与运行策略[J]. 中国电力, 2024, 57(9): 205-216. DOI:10.11930/j.issn.1004-9649.202311024.
GAO M F, HAN Z H, ZHAO B, et al. Coordinated optimization and operational strategy for multi-type energy storage in regional integrated energy systems[J]. Electric Power, 2024, 57(9): 205-216. DOI:10.11930/j.issn.1004-9649.202311024.
- [2] 李涛, 马裕泽, 宋志成, 等. 考虑电-热储能协同的综合能源系统规划优化研究[J]. 运筹与管理, 2024, 33(2): 9-16. DOI: 10.12005/orms.2024.0037.
LI T, MA Y Z, SONG Z C, et al. Study on integrated energy system planning optimization considering electric-thermal energy storage synergy[J]. Operations Research and Management Science, 2024, 33(2): 9-16. DOI:10.12005/orms.2024.0037.
- [3] 刁涵彬. 区域电热综合能源系统储能协同配置及优化运行研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2021.