

储能测试与评价



基于储能技术的多时段潮流计算与负荷平衡策略研究

张慧娟, 商 旻

(驻马店职业技术学院, 河南 驻马店 463000)

摘 要: 新能源并网后, 电网负荷波动性显著增强, 传统刚性负荷调控模式难以适配电网负荷平衡需求。以多时段潮流计算为基础的新型负荷平衡策略可以有效解决传统电网负荷调控问题。本文对基于储能技术和多时段潮流计算的新型负荷平衡策略进行分析评述。探究储能与多时段潮流计算的技术体系结构, 重点研究储能与多时段潮流计算的融合策略。针对目前电网时序与空间两类负荷失衡问题, 分析依托储能快速双向调节特性的精细化负荷平衡调控模型的工作内容, 包括其融入多维度安全约束与损耗参数, 通过迭代优化求解最优储能调控方案。研究证明, 基于储能技术的多时段潮流计算体系可以有效提高新能源消纳率, 平抑电网负荷波动, 为电力系统精细化调节提供技术支持。

关键词: 潮流计算; 电力负荷; 储能系统; 时序; 安全约束

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0850

中图分类号: TM 73

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 10-4172-03

Research on multi-period power flow calculation and load balancing strategy based on energy storage technology

ZHANG Huijuan, SHANG Ni

(Zhumadian Vocational and Technical College, Zhumadian 463000, Henan, China)

Abstract: After the integration of new energy into the grid, the fluctuation of grid load has significantly increased, and the traditional rigid load regulation mode is difficult to adapt to the demand for grid load balance. The new load balancing strategy based on multi-period power flow calculation can effectively optimize traditional problems. This study analyzes and evaluates a new load balancing strategy based on energy storage technology and multi-period power flow calculation. The technical architecture of energy storage and multi-period power flow calculation was explored, with a focus on the integration strategy of energy storage and multi-period power flow calculation. In response to the current imbalance between temporal and spatial loads in the power grid, the work content of a refined load balancing and control model relying on the fast bidirectional regulation characteristics of energy storage was analyzed, including its integration of multidimensional safety constraints and loss parameters. The optimal energy storage regulation scheme was solved through iterative optimization. Research has shown that a multi-period power flow calculation system based on energy storage technology can effectively improve the consumption rate of new

收稿日期: 2026-09-30。

基金项目: 河南省二〇二四年科技发展计划软科学研究项目 (242400410491)。

第一作者及通信联系人: 张慧娟 (1985—), 女, 本科, 副教授, 研究方向为计算机、互联网、信息技术等, E-mail: 15136576268@163.com。

引用本文: 张慧娟, 商旻. 基于储能技术的多时段潮流计算与负荷平衡策略研究[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(10): 4172-4174.

Citation: ZHANG Huijuan, SHANG Ni. Research on multi-period power flow calculation and load balancing strategy based on energy storage technology[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(10): 4172-4174.

energy, stabilize the load problem of the power grid, and provide technical support for the fine regulation of the power system.

Keywords: trend calculation; power load; energy storage system; time sequence; safety constraint

电力系统潮流计算是现代电网运行分析与调度优化的基础,其核心功能主要为电网节点电压、电网支路功率求解,同时分析网损等运行参数,为电网提供数据支持^[1]。随着风电光伏等间歇性可再生能源并入电网,电网侧出力的随机性和负荷侧波动性增强,仅依靠单一时刻的电网校验,无法适配复合时序波动与新能源随机扰动场景。对此,多时段潮流计算技术应运而生,该技术以时间序列为核心载体,可以将电网周期划分为多个时间段,通过时间迭代求解潮流分布,实现电网全天运行状态的动态刻画。但初期多时段潮流计算面对新能源峰谷负荷过大导致的潮流畸变,会出现线路重载、电压波动问题,自身调控能力有限。储能技术的规模化应用则有效解决了这一问题。尤其随着电化学储能、压缩空气储能等技术的成熟,储能系统具备了全天候的高精度调节能力,逐渐成为电网潮流柔性调控的重要资源^[2]。

1 储能与多时段潮流计算的技术体系研究

1.1 储能多时段潮流的融合体系结构

数据感知是整个融合应用体系的基础支撑,主要负责整个电网运行数据的采集,为后续潮流计算和储能调控提供输入端的参数集合。采集数据包括新能源出力时序数据、各类区域电力负荷的时序数据、输电线路、变压器等电网拓扑参数以及储能系统自身的响应参数等。同时,数据感知部分也具有一定数据预处理能力,需要保证时序统一。

计算模型是整个体系的核心部分,主要承担多时段潮流计算的迭代求解。目前,现有的计算模型已经可以突破传统牛顿拉夫逊法单一时刻计算的问题,基于时序分析思想,将电网周期划分为不同的时间区间,构建精细化数学模型。实现各时段节点电压、支路潮流、电网网损的精准求解,完整还原电网全天动态潮流变化规律。

优化调控是执行部分,主要基于模型计算层输出的潮流计算结果,结合电网运行时的执行目标,

构建储能充放电调控策略。该层级以电网潮流安全约束为前提,以网损最小、潮流分布均衡、新能源消纳最大为优化目标,对各时段储能运行状态进行优化决策。

最后是安全校验部分,安全校验是整个融合体系的安全保证,主要负责对各时段潮流优化结果与储能调控策略进行边界测试。核心测试内容主要有支路潮流功率上限、储能节点电压的波动机制、储能荷电状态阈值、储能电力最大爬坡状态以及响应约束等^[3]。

1.2 储能与多时段潮流计算融合策略

目前,多时段潮流计算的难点在于各个时段并非完全独立,储能荷电状态具有一定时序延续性,即前一段的充放电状态会直接决定后续时段的可调容量,分时独立计算模式可能出现结果偏差。最新的研究趋势是采用时序耦合建模策略,构建储能时序约束方程,实现储能容量的更新,改善可调功率的区间,避免出现储能超容量的运行时序脱空问题。在面对大型电网潮流分布差异较大,区域调控差异化明显的问题时,时序耦合建模策略可以建立分层,进一步优化主干电网多时段潮流分布,解决主干线路峰期重载、谷期轻载问题^[4]。

目前,除了基础的时序耦合建模策略,主流研究团队正努力改善其自适应修正水平。因为随着新能源在电网的广泛应用,负荷突发扰动持续增强。动态自适应修正,可以基于时序耦合模型实现多时段潮流滚动求解,当检测到新能源出力突变,负荷异常时,修正储能与充放电时序,调整电网潮流分布,使潮流计算结果始终贴合电网实时运行状态,提升高扰动场景下潮流优化的适应性与可靠性^[5]。

2 电网多时段负荷平衡调节

电力系统负荷平衡的目标,是保证各时段源侧发电功率、网侧传输功率的动态供需平衡。传统的负荷平衡策略更多依赖火电调峰或负荷切改这种较为刚性的技术手段,存在一定响应速度和控制问题,资源消耗量较大。储能技术凭借自身快捷响应

和双向调节能力,结合多时段潮流计算,可以实现电网负荷精细化操作,潮流计算带来的时序平移,可以实现负荷调节的动态化平衡,从计算层面优化电网电荷匹配特性。

2.1 多时段负荷失衡与技术调控逻辑

电网多时段负荷失衡问题,从原因层面可以分为时序失衡和空间失衡。时序失衡主要表现为不同时间段负荷峰谷的差异性,负荷低谷期新能源出力富余,负荷需求不足,弃风弃光、线路轻载现象严重。反之,负荷需求突增,电源出力不足,功能缺口大、线路重载电压跌落,这也是电网最主要的失衡形式。空间失衡表现为同一时段不同区域负荷分布不均,部分区域负荷密集、供电压力大,部分区域负荷稀疏、供电冗余,造成电网资源利用率偏低。

而现代的负荷平衡技术,其基础的调控逻辑就是通过时间平移和空间均衡,保证电力动态稳定。对此,针对电网时序失衡问题,可以利用储能能量的平移特征,实现高峰放电、低谷储电,平抑当前环境下的时序波动。针对空间失衡问题,集中储能系统,实现区域间的功率互补,针对新能源扰动导致的短时负荷失衡,利用储能毫秒级快速响应能力,实时补偿功率波动,维持多时段负荷动态平衡,保障电网全时段供需匹配。

2.2 多时段负荷平衡精细化调控

现阶段储能负荷平衡调控正不断引入数学模型,以替代传统的静态负荷分析模型。潮流计算平衡模型可以融入时序约束、储能约束、电网安全约束,构建更精细化的分析调节模型。这类模型一般包括负荷时序分析、储能调控、多目标约束三部分。因为目前的精细化调控分析模型均以电网的时间序列为核心,对电网日负荷进行精细化的时刻划分,然后精准拟合负荷规律。其间,通过采集历史负荷数据、气象数据、新能源数据,构建分时负荷预测日志,同时输出各时间段的负荷值,例如波动负荷、冲击负荷等,量化各时段的负荷供需差值,精准定位负荷失衡程度,为储能的调控提供数据支持。储能调控部分是整个控制模型的核心执行层,用以完整覆盖储能运行约束和执行调节特性。模型可以精细化储能充电、放电、静置三种状态的功率约束,明确各个时间段最大的充放电功率阈值,同时引入荷电状态的时序耦合约束,确保储能运行安

全。此外,现阶段的调控模型还会引入储能充放电效率损耗、爬坡功率,用以规避储能功率变化可能导致的电网二次波动。其具体的算法流程为:首先初始化各时间段的电网负荷、储能运行参数,依靠多时段潮流计算构建多时段优化种群数据;其次,根据多目标优化函数,计算种群个体数据适应度,筛选相应的最优调控方案,随后更新粒子速度位置,迭代不同时段的充放电功率,确定多元资源的调配权重;最后在满足所有安全约束的条件下,输出最优负荷平衡调控策略,同时求取电网负荷变化规律,满足电网调度需求,实现精细化调控。

3 结 语

本研究针对目前电网负荷动态失衡等核心问题,系统探究了储能与多时段潮流计算融合体系下的负荷精细化调控策略。该策略构建了完整的电网时序潮流优化与负荷调控框架,有效解决了传统潮流计算时序割裂,调控能力较弱的问题。未来可以针对极端气象和大规模新能源并网场景进行适配性方面的优化,提升复杂电网的运行调度能力。

参 考 文 献

- [1] 王长刚,孙晓宁,曹宇,等.计及电-热-混氢天然气耦合的综合能源微网双层博弈低碳经济调度[J].太阳能学报,2025,46(12):509-521.
WANG C G, SUN X N, CAO Y, et al. Low-carbon economic dispatch for integrated energy microgrids with two-layer gaming taking into account coupled electricity-heat-hydrogen[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2025, 46(12): 509-521.
- [2] 张义愿,陈哲之,和雪林,等.基于超级电容器的混合储能黑启动自适应柔性切换控制策略[J].三峡大学学报(自然科学版),2025,47(S1):72-79. DOI:10.13393/j.cnki.issn.1672-948X.2025.S1.013.
- [3] 宋文乐,王磊,张辉,等.储能技术在电动机负载波动下的故障预测精度提升策略[J].储能科学与技术,2025,14(4):1654-1656.
SONG W L, WANG L, ZHANG Y, et al. Strategies for improving fault prediction accuracy of energy storage technology under motor load fluctuations[J]. Energy Storage Science and Technology, 2025, 14(4): 1654-1656.
- [4] 王爱东.数字化转型驱动对饲料产业价值链重构的影响[J].饲料工业,2026,47(1):184-188.
WANG A D. Impact of digital transformation drivers on value chain reconstruction of feed industry[J]. Feed Industry, 2026, 47(1): 184-188.
- [5] 刘晓多.基于高精度数字化采集技术的新能源发电锂电池储能系统[J].电气应用,2026,45(1):100-104.
LIU X D. Lithium battery energy storage system for renewable power generation based on high-precision digital acquisition[J]. Electrotechnical Application, 2026, 45(1): 100-104.