

# 电网储能电站调峰调频控制策略优化

王 驰 赵柔君 周英强 王力平

国家电投集团重庆合川发电有限公司 重庆 400000

**摘 要:** 随着可再生能源在电网中的渗透率日益增加, 电网负荷特性呈现出新的变化趋势, 给电网的稳定运行带来了挑战。储能电站作为调峰调频的重要资源, 其控制策略的优化显得尤为重要。本文围绕基于电网负荷特性的储能电站调峰调频控制策略优化进行研究, 旨在提高电网的运行效率和可靠性。提出了一种综合考虑多种影响因素的控制策略, 所提出的控制策略能够有效平抑电网负荷波动, 提升调峰调频效果, 具有较好的应用前景。

**关键词:** 储能电站; 调峰调频; 策略; 电网负荷特性

## 一、电网负荷特性分析

(1) 周期性: 许多电力消费行为表现出强烈的日常和季节性周期性。例如, 居民区在早晨和晚上高峰时段使用更多的电力用于照明和家用电器, 而工业负荷可能在工作日的日间时段更为集中。(2) 可预测性: 大部分常规负荷, 如家庭用电、企业办公用电等, 通常可以较准确地预测, 因为它们与日常习惯和工作时间紧密相关。(3) 波动性: 某些类型的负荷, 尤其是由天气或特定事件驱动的负荷(如空调使用量), 可能会造成电网负荷的快速波动。(4) 峰值和谷值: 电网负荷具有明显的峰值和谷值特征, 这通常需要通过调峰电站或储能设备来平衡<sup>[1]</sup>。

## 二、储能电站参与调峰调频的模式

### 1. 直接能量交换模式

直接能量交换模式是储能电站参与调峰调频的最直观方式。在此模式下, 储能系统通过直接向电网注入或吸收电能来调节电力供需平衡。当电网负荷增加, 需求超过供给时, 储能系统迅速释放储存的能量以补充不足的供电; 相反, 在负荷减少, 供过于求的情况下, 储能系统吸收多余的电能进行存储。这种模式的优点在于响应速度快, 能够实时匹配电网的瞬时变化, 有效维护系统的频率稳定。然而, 该模式对储能系统的循环效率和容量有一定要求, 频繁的充放电操作可能会缩短设备的使用寿命。

### 2. 频率调节模式

频率调节模式主要针对电网频率的微小波动进行调节。储能电站在该模式下作为一个认知智能模型段, 通过检测到的频率变化信号自动调整其输出功率。当电网频率高于标准值时, 表明系统供电过剩, 此时储能系统

吸收电能; 反之, 当频率低于标准值时, 表明供电不足, 储能系统则释放电能。这种模式对调节速度和精度要求较高, 需要储能系统具备快速反应能力以及精细控制技术。此模式对于维持电网的稳定性非常关键, 特别是在高比例可再生能源并网的情况下, 能有效缓解由于天气变化引起的供电波动。

### 3. 时段优化模式

时段优化模式利用电价时段差异来实现调峰调频。储能电站根据预测的负荷曲线和电价信号, 提前制定运行策略: 在电价低的时段储存能量, 在电价高的时段释放能量。这样不仅可以通过买低卖高的方式获得经济效益, 还能在一定程度上减轻电网在高峰时段的压力。这一模式对预测的准确性和时间管理有很高的要求, 同时还需要与市场规则紧密配合。时段优化模式适合用于规模较大的储能项目, 可以实现商业运营和电网服务的双重目标<sup>[2]</sup>。

### 4. 备用模式

备用模式是指储能电站处于待命状态, 以备不时之需。在这种模式下, 储能系统并不直接参与日常的调峰调频操作, 而是在电网出现紧急情况, 如供电短缺或突发事件时, 迅速投入运行状态以提供关键的电力支持。这种模式相当于为电网提供了一个快速响应的功率储备, 增强了系统的鲁棒性和可靠性。备用模式对储能系统的可靠性和安全性要求极高, 需要确保在关键时刻能够顺利启用并提供足够的功率输出。

## 三、影响储能电站调峰调频效果的关键因素

### 1. 系统波动性

系统波动性是指电网中供电与负荷之间的不平衡状

态, 这种不平衡状态会引起电网频率的波动。储能电站在调峰调频过程中扮演着平衡角色, 其效果受系统波动性影响显著。当系统波动性较大时, 即负荷与供电之间存在较大的偏差, 储能电站需要释放或吸收更多的能量来维持系统的平衡, 这对储能电站的调峰调频能力提出了更高的要求。此外, 系统波动性的不可预测性也增加了储能电站运行的难度, 尤其是在高峰时段或低谷时段, 电网对调峰调频的需求更为迫切。此时, 如果储能电站无法准确快速地响应系统波动, 将直接影响到调峰调频的效果。因此, 理解和预测系统波动性, 以及设计能够适应不同波动场景的控制策略, 对于提升储能电站调峰调频效果至关重要<sup>[3]</sup>。

## 2. 电力储能类型

不同类型的电力储能拥有不同的性能特点和适用场景。例如, 电化学储能如锂电池、流电池具备高能量密度、快速响应的特点, 适合用于短时高效的调频服务; 而抽水蓄能、压缩空气储能等则具有大容量、长持续时间的优势, 更适合用于长时间的调峰服务。这些特性决定了每种储能类型在调峰调频中的适用性和效率。例如, 在需求快速变化的调频场景中, 电化学储能能够迅速释放或储存能量以平衡系统; 而在持续较长时间的调峰场景中, 则可能需要使用容量更大但反应速度较慢的储能类型。因此, 电力储能类型的选择及其配置对于实现有效的调峰调频至关重要。

## 3. 响应速度

响应速度是指储能系统从接收指令到实际提供功率输出所需的时间。在电力系统中, 尤其是含有高比例可再生资源的现代电网中, 需求的快速变化要求储能系统必须具备快速响应的能力。响应速度越快, 储能系统越能在负荷突增或突降的情况下迅速作出反应, 从而有效地维护电网的频率稳定。相反, 如果响应速度慢, 即使储能系统有足够的容量, 也可能由于无法及时提供或吸收功率而导致调峰调频效果不佳。因此, 响应速度是影响储能电站调峰调频效果的一个关键因素。

## 4. 调节速率

调节速率指的是储能系统功率输出变化的快慢, 即单位时间内功率上升或下降的速度。调节速率直接关系到储能系统对电网频率波动的调节能力。一个高调节速率的储能系统可以在短时间内完成从零到额定功率的输出变化, 这对于应对电网突发事件或极端负荷变化至关重要。如果调节速率较低, 那么在电网频率发生快速变

化时, 储能系统可能无法提供足够的即时功率来平衡系统, 这会降低调峰调频的效率和效果。因此, 提高储能系统的调节速率是保证其有效参与电网调峰调频的关键。

## 四、基于电网负荷特性的储能电站调峰调频控制策略优化

### 1. 采用快速响应储能进行一次调频

在现代电网中, 随着可再生能源比例的增加, 电网的波动性和不确定性也随之增大。传统的调频方法由于响应速度慢、调节能力有限等问题, 难以满足现代电网的需求。因此, 采用快速响应储能进行一次调频成为了一种有效的解决方案。这种方法利用了电力电子接口的储能装置(如电池、超级电容器、飞轮等)的快速响应和高调节能力, 可以在短时间内对电网频率进行精确控制, 从而提高电网的稳定性和可靠性。此外, 这种方法还可以减少传统调频方法中的能源浪费, 提高电网的运行效率。然而, 这种方法也存在一些问题, 如储能装置的寿命、成本、安全性等, 需要进一步研究和解决<sup>[4]</sup>。

### 2. 综合惯性控制的参数优化

综合惯性控制是一种通过模拟传统发电机的惯性响应来提供频率支持的方法。在这种方法中, 关键的参数包括虚拟惯性时间常数、下垂系数等。这些参数的选择直接影响到系统的频率响应特性。例如, 增加虚拟惯性时间常数可以提高系统的频率稳定性, 但可能会降低系统的功率调节能力。因此, 需要进行参数优化, 在保证系统稳定性的同时, 最大限度地提高系统的功率调节能力。此外, 由于电网的负荷特性和运行状态会不断变化, 因此, 参数优化需要实时进行, 以适应电网的变化。

### 3. 改进下垂控制策略

下垂控制是一种常用的调频方法, 其基本思想是通过调整发电单元的输出功率来补偿电网频率的偏差。然而, 传统的下垂控制策略存在一些问题, 如调节速度慢、调节精度低等。为了解决这些问题, 可以对下垂控制策略进行改进。例如, 可以根据电网的实时负荷特性和运行状态, 动态调整下垂系数, 以提高调节的速度和精度。此外, 还可以结合其他调频方法(如虚拟惯性控制、二次调频等), 形成复合控制策略, 以进一步提高调频的效果。

### 4. 自适应调整控制策略

自适应调整控制策略旨在根据电网实时负荷特性和储能电站的状态, 动态地调整储能系统的充放电计划和功率输出。这种控制策略的核心在于建立一个反馈机制,

该机制能够实时监控电网的频率变化、负荷波动以及储能系统的荷电状态 (SOC), 并据此调整控制参数。在实施自适应调整控制策略时, 首先需要对电网的负荷进行预测, 这通常基于历史数据和先进的预测算法来实现。预测结果将为控制策略提供初步的输入信息。接着, 结合储能系统的当前SOC, 通过智能算法计算得出最佳的充放电计划。这个计划不仅要考虑即时的调峰需求, 还要考虑储能系统的长期健康和寿命周期管理。进一步地, 自适应控制策略还需要与电网中的其他调频资源相协调, 如常规发电机组、其他类型的储能系统等, 以确保整体的供需平衡和频率稳定。在实际操作中, 这意味着要不断更新控制算法, 以便更好地适应电网运行环境的变化和不同调频资源的响应特性。此外, 为了提高自适应调整控制策略的鲁棒性, 应当考虑到极端情况和突发事件下的应急响应方案。例如, 当电网出现大规模负荷波动或重要传输线路故障时, 控制策略应能迅速作出反应, 调配足够的储能资源以维持系统稳定<sup>[5]</sup>。

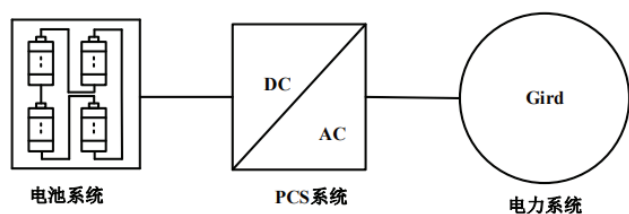


图1 储能电站充放电控制系统

### 5. 源-储协调优化调度方法

源-储协调优化调度方法指的是将发电侧 (源) 与储能系统 (储) 作为一个整体来进行优化调度, 以实现电网调峰调频的最佳效果。这种方法认识到, 单纯的发电侧调节或仅仅依靠储能系统进行调峰调频都无法完全适应现代电网的需求, 特别是在高比例可再生能源接入的情况下。因此, 源-储协调优化调度方法应运而生, 目的是发挥两者的协同效应, 优化整体电网的运行状态。该方法首先需要对发电侧的资源进行评估, 包括传统机组的可调范围、启停特性以及新能源的波动性和可预测性等。同时, 对储能系统的能力进行评估, 主要包括其充放电功率、容量以及对不同时间尺度响应的灵敏度等。基于这些信息, 构建一个综合优化模型, 该模型以最大化调峰调频效果为目标, 综合考虑发电成本、调节性能、系统稳定性和设备寿命等因素。在实际运行中,

源-储协调优化调度方法需要实时收集电网运行数据, 包括负荷需求、发电出力、频率波动等关键参数。通过高级优化算法, 如混合整数线性规划 (MILP)、遗传算法 (GA) 或者粒子群优化 (PSO), 计算出在不同时间尺度下的最优调度策略。这些策略不仅指导传统发电资源的合理分配和启停计划, 还决定储能系统的充放电时机和功率大小, 以平抑电网的瞬时波动和周期性变化。此外, 源-储协调优化调度方法还需考虑市场机制的影响, 如何在电力市场环境下实现经济高效的调峰调频服务成为关键问题。这要求在优化模型中加入市场因素, 如电价信号、调频市场规则等, 确保在满足电网技术要求的同时, 也能够实现经济效益的最大化。

### 结语

总体而言, 针对电网负荷特性的变化, 本文提出了一套有效的储能电站调峰调频控制策略优化方法。通过对负荷特性进行深入分析, 结合预测与实时监测, 实现了储能电站的灵活调度和精确控制。本研究不仅有助于提升电网的调峰调频能力, 也为储能电站的商业化运营提供了理论支持和技术参考。未来的研究将关注储能技术的进一步创新, 以及与其他调频资源的协同优化, 以应对更加复杂多变的电网负荷特性, 推动电网向更加智能化、可靠和绿色的方向发展。

### 参考文献

- [1] 赵立宁. 基于SOC优化的储能系统调峰调频混合控制策略研究 [D]. 北方工业大学, 2023.
- [2] 张嘉诚, 夏向阳, 邓子豪, 等. 储能电站安全参与电网一次调频的优化控制策略 [J]. 中国电力, 2022, 55 (02): 19-27.
- [3] 陶以彬, 薛金花, 王德顺, 等. 面向电网调峰调频的储能电站综合性能评价 [J]. 电源技术, 2021, 45 (06): 764-767.
- [4] 高东学, 李文启, 李程昊, 等. 基于负荷预测的储能功率分配优化策略 [J]. 可再生能源, 2021, 39 (04): 554-560.
- [5] 张冰玉. 电池储能参与调峰调频协同优化配置与控制策略 [D]. 湖南大学, 2021.