

# 火力发电厂深度调峰经济性分析

熊高云 易攀 王孜 王亮 林展鹏

华能武汉发电有限责任公司 湖北 武汉 430000

**摘要:** 本文围绕火力发电厂深度调峰经济性展开分析。阐述深度调峰的内涵与运行特点,探讨影响其经济性的关键因素,包括燃料消耗、机组维护、启停成本及调峰收益。进而提出提升经济性的路径,如运行优化、机组改造、调度策略优化,并给出技术研发、管理机制、市场机制协同等保障措施,为火力发电厂深度调峰的经济可行提供全面参考。

**关键词:** 火力发电厂; 深度调峰; 经济性分析; 机组改造; 调度策略

引言: 随着新能源发电量占比提升,电网负荷峰谷差扩大,火力发电厂深度调峰成为平衡电力供需的关键。深度调峰通过调整机组出力至更低水平,适应电网负荷波动,为新能源消纳创造条件。分析其经济性,对火电机组适应新型电力系统、提升运行效益具有重要意义,有助于明确影响因素与优化方向,推动深度调峰高效开展。

## 1 火力发电厂深度调峰基础认知

### 1.1 深度调峰的内涵

火力发电厂深度调峰,是通过将机组出力调整至更低水平,以适应电网负荷大幅波动的运行方式。这种方式突破传统调峰的负荷下限,让机组出力在更大范围内变动,以应对电网中负荷的剧烈起伏。随着新能源发电量占比提升,电网中不稳定电源的影响不断加剧,负荷峰谷差持续扩大,深度调峰成为平衡电力供需的关键手段<sup>[1]</sup>。在电力系统中的作用体现在多个方面。当电网负荷处于低谷时,通过降低火电机组出力,可避免发电量过剩导致的弃电现象;当负荷骤升时,又能快速提升出力填补供电缺口,保障电力持续供应。深度调峰为新能源电力的消纳创造有利条件,通过灵活调整火电出力,为风电、光伏等间歇性电源腾出上网空间,减少新能源发电的波动性对电网的冲击。这种运行方式推动火电机组在电力系统中从主力电源向调节电源转型,以适应新型电力系统的运行需求。通过这种灵活调节,火电在电力系统中的价值得以重新定义,既保障基础供电,又为新能源发展提供支撑,形成多元电源协同运行的格局。

### 1.2 深度调峰的运行特点

深度调峰过程中,机组运行状态呈现出显著特征。机组启停频率明显增加,为响应电网负荷快速下降,部分机组需在短时间内停机,而当负荷回升时又要迅速启动,这种频繁的启停操作改变了机组的常规运行节奏。负荷变动速率也大幅加快,从较高出力水平快速降至低负荷,或从低负荷迅速提升至较高出力,每一次变动都需要机组各

系统协同调整。这些运行特征对机组运行产生多方面影响。频繁启停导致锅炉受热面温度剧烈变化,热应力增加可能加速金属材料疲劳,进而影响设备使用寿命。负荷快速变动使燃烧系统难以维持稳定燃烧状态,炉膛温度波动加大,可能出现燃烧不完全或局部高温现象,增加污染物生成风险。汽轮机在低负荷状态下,蒸汽流量减少,叶片承受的离心力发生变化,长期运行可能导致动静部分间隙磨损。低负荷时机组各辅助系统如泵类、风机等运行效率下降,整体能耗上升。机组在低负荷区间运行时,各系统参数偏离设计最优值,热力循环效率降低,燃料消耗率上升。为维持低负荷稳定运行,需投入更多辅助能源,如启动燃油助燃或调整风机风量,进一步增加运行复杂性。这些影响共同构成深度调峰的运行挑战,也决定了其对机组性能和运行管理的特殊要求。

## 2 影响深度调峰经济性的关键因素

### 2.1 燃料消耗与成本

深度调峰时,机组常运行于低负荷状态,偏离设计的最优燃烧区间,燃料燃烧效率随之下降。炉膛内温度降低,燃料难以充分燃尽,未参与反应的可燃物比例上升,相同出力下需要消耗更多燃料<sup>[2]</sup>。为维持低负荷稳定燃烧,有时需投入助燃物质,进一步增加燃料消耗总量。燃烧不充分还会导致烟气中可燃物含量增加,烟道内可能出现二次燃烧现象,影响受热面传热效率,间接加剧燃料浪费。低负荷状态下,锅炉排烟温度升高,烟气带走的热量增多,降低整体热循环效率,使单位发电量的燃料消耗上升。这些因素共同作用,导致深度调峰期间燃料消耗成本呈现增长趋势,直接影响调峰操作的经济可行性。燃料种类不同,受低负荷燃烧效率变化的影响程度也存在差异,轻质燃料在燃烧稳定性上表现更优,其消耗成本的增幅相对较小。

### 2.2 机组维护成本

深度调峰过程中,负荷频繁变动使机组各部件承受

交变应力，锅炉受热面在负荷升降时经历快速的温度变化，热胀冷缩反复作用，容易产生金属疲劳，增加爆管风险。汽轮机在低负荷时，蒸汽参数降低，叶片所受冲击力变化频繁，长期运行可能导致叶片磨损或振动加剧，需要更频繁地进行检查和修复。发电机在负荷波动时，绕组温度波动较大，绝缘材料老化速度加快，绝缘性能下降，为避免故障需提前进行维护或更换。频繁启停使辅机设备如风机、水泵等启动电流冲击增大，电机绕组和轴承磨损加剧，维护周期缩短。阀门在调节负荷过程中开关次数增多，密封面磨损加快，可能出现泄漏问题，增加检修工作量和材料消耗。这些设备损耗的累积使机组维护频率提高，维护范围扩大，相应的人工费用和备件更换成本随之上升，成为影响深度调峰经济性的重要因素。

### 2.3 启停成本

机组在深度调峰中的启停过程涉及多方面资源消耗。启动阶段，锅炉需要从冷态或热态逐步升温，达到一定压力和温度才能向汽轮机供汽，此过程消耗大量燃料用于加热工质和维持炉膛温度。汽轮机启动时，需缓慢升温暖机，避免因温度不均产生过大热应力，这段时间内机组无法输出有效电力，却持续消耗能源。停机过程中，为保证设备安全，需按规定程序降低负荷、冷却系统，同样需要消耗时间和能源，且停机后再次启动前的准备工作也需投入人力和物力。频繁启停使机组非计划停运时间增加，减少有效发电时长，间接影响发电量和收益。启动过程中，燃料燃烧效率较低，污染物排放浓度可能超出正常运行水平，为满足环保要求，需投入更多的环保处理药剂，进一步增加启停成本。这些启停过程中的燃料消耗、时间损失及附加资源投入，汇总形成的成本对深度调峰的整体经济性产生显著影响。

### 2.4 调峰收益

电网对深度调峰服务设有专门的补偿机制，根据机组调峰的深度、响应速度和持续时间等指标给予相应经济回报。这种补偿直接体现为调峰操作的收益，可部分抵消调峰过程中的成本支出。深度调峰提高电网对新能源发电的接纳能力，减少因新能源出力波动导致的弃电现象，使更多清洁能源得以利用，间接提升电力系统的整体效益。对火力发电厂而言，参与深度调峰有助于维持机组在电力市场中的竞争力，保障机组在新能源高占比的电力系统中仍能保持一定的利用小时数。调峰过程中积累的灵活运行经验，使机组更易适应电力市场的变化，为参与辅助服务市场交易创造条件，拓展收益来源。通过深度调峰配合电网稳定运行，可避免因电网频率或电压异常导致的罚款或考核，减少潜在经济损失，这些间接收益也构成调峰经济性的重要组成部分。

## 3 提升深度调峰经济性的路径

### 3.1 运行优化技术应用

优化燃烧调整技术可改善低负荷状态下的燃烧效率，通过调整配风方式使空气与燃料混合更均匀，减少不完全燃烧现象。合理控制炉膛过量空气系数，在保证燃烧稳定的前提下降低排烟热损失，让燃料释放的热量更充分地被受热面吸收。调整喷燃器角度和投入方式，使火焰在炉膛内分布更合理，避免局部温度过低或过高，维持稳定的燃烧温度场。汽轮机运行参数优化同样关键，根据负荷变化动态调整主蒸汽压力和温度，使汽轮机在低负荷时仍能保持较高的内效率<sup>[3]</sup>。优化凝结水温度和真空度，减少冷源损失，提升热力循环效率。通过这些技术手段，机组在低负荷状态下的能源转换效率提高，单位发电量的燃料消耗减少，直接降低运行成本，为深度调峰的经济性提供技术支撑。在燃烧调整中，还可通过分层配风技术优化不同层次的风量分配，进一步提升燃料利用率。

### 3.2 机组改造升级

锅炉低负荷稳燃改造可增强低负荷状态下的燃烧稳定性，采用新型燃烧器提高燃料雾化质量，扩大稳定燃烧的负荷范围，减少助燃燃料的使用。在炉膛内增设卫燃带或采用烟气再循环技术，提升炉膛温度水平，改善燃料着火条件，降低低负荷时的不完全燃烧损失。汽轮机灵活性改造聚焦于提升负荷响应速度和低负荷运行性能，优化调节阀控制逻辑，使负荷变动更平稳，减少因波动导致的设备损耗。对汽轮机通流部分进行优化，降低低负荷时的蒸汽流动损失，提高运行效率。这些改造增强机组对深度调峰的适应能力，减少因设备限制导致的额外成本，从硬件层面为经济性提升创造条件。改造后的机组在快速响应负荷变化时，能更好地平衡稳定性与效率的关系。

### 3.3 调度策略优化

合理安排深度调峰时段需结合电网负荷特性，在负荷低谷时段集中进行深度调峰，避免在负荷波动频繁时段频繁调整负荷，减少过渡过程中的能量损耗。根据燃料供应情况调整调峰负荷区间，在燃料供应充足且成本较低时，可适当扩大调峰深度；燃料成本较高时，优化负荷曲线使机组在相对高效的负荷区间运行。协调多机组之间的调峰任务，根据各机组的经济性特性分配调峰负荷，让效率更高的机组承担更大比例的调峰任务。同时结合新能源发电预测调整调峰计划，在新能源大发时段主动降低出力为其腾出空间，减少弃电带来的间接损失。通过这些调度策略的优化，调峰过程与外部条件更匹配，无效能耗和设备损耗减少，整体运行成本降低，深度调峰的经济性得到显著提升。依据季节负荷特点灵

活调整调度方案，能让策略更贴合实际运行需求。

#### 4 深度调峰经济性保障措施

##### 4.1 技术研发支持

强调加强针对深度调峰的关键技术研发，为提升经济性提供技术支撑。围绕低负荷状态下的燃烧效率提升，开发可自适应调节的燃烧系统，通过实时感知燃料特性与炉膛状态，自动调整配风比例与燃烧强度，减少不完全燃烧损失<sup>[4]</sup>。研究设备低负荷运行时的损耗规律，构建基于运行数据的损耗预测模型，精准判断部件老化趋势，避免过度维护或突发故障。探索新型耐高温、抗疲劳材料在锅炉受热面与汽轮机叶片中的应用，延长设备在频繁负荷变动下的使用寿命，降低更换频率。开发智能控制系统，实现机组各系统在深度调峰过程中的联动调节，减少人为操作偏差导致的能耗增加。这些技术研发成果可直接作用于调峰过程，从设备性能与运行控制层面改善经济性。结合现场运行反馈持续优化技术方案，使研发成果更贴合实际工况需求。

##### 4.2 管理机制完善

说明建立科学的机组运行管理机制，规范深度调峰操作流程，减少不必要的成本支出。制定分负荷区间的标准化操作手册，明确不同负荷水平下的燃烧调整参数、设备巡检重点与应急处理步骤，避免因操作随意性导致的效率下降或设备损伤。建立跨部门协调机制，运行、维护、燃料等部门定期沟通调峰计划与设备状态，确保燃料供应、维护安排与调峰任务精准匹配。实施全员绩效管理，将调峰过程中的能耗控制、设备完好率等指标与岗位考核挂钩，激励员工主动优化操作。建立调峰效果评估制度，定期分析深度调峰的成本与收益数据，识别管理环节中的薄弱点并持续改进。通过这些机制的完善，使深度调峰的每个环节都有章可循，减少因管理疏漏造成的资源浪费。根据调峰模式变化动态更新管理流程，保持机制的适应性。

##### 4.3 市场机制协同

探讨如何协调电力市场中的调峰定价机制，确保深

度调峰的收益与成本相匹配，激励发电厂积极参与深度调峰。建立反映调峰成本的动态定价体系，将燃料消耗增量、设备损耗、环保投入等因素纳入定价模型，使调峰补偿金额能覆盖实际支出。细化调峰服务计量标准，按调峰深度、响应速度、持续时长等维度精准衡量调峰贡献，避免收益分配中的平均主义。搭建调峰交易平台，允许发电厂根据自身成本与收益预期自主申报调峰意愿与价格，通过市场竞争形成合理的交易价格。建立长期稳定的调峰合同机制，减少短期价格波动对发电厂调峰决策的影响，保障持续参与的积极性。这种市场机制的协同可平衡各方利益，让发电厂在承担调峰责任的同时获得合理回报，形成深度调峰可持续开展的经济动力。推动市场信息透明化，帮助发电厂更精准地判断调峰收益空间。

#### 结束语

深度调峰是火力发电厂适应新型电力系统的必然选择，其经济性受多因素共同影响。通过运行优化、机组改造、调度策略完善及相关机制协同，可有效提升深度调峰的经济可行性。平衡调峰过程中的成本与收益，既能保障电网稳定运行，又能维护电厂效益。随着技术进步与机制完善，深度调峰将在电力系统中发挥更重要作用，推动火电机组实现高效、经济的灵活调节，助力新型电力系统构建。

#### 参考文献

- [1]郭宣波.火力发电厂发电机组深度调峰工况下的经济运行[J].奥秘,2024(32):40-42.
- [2]贺刚.火力发电厂机组深度调峰运行的自启停控制优化[J].电工技术,2023,(09):203-206+209.
- [3]张栋,张华玲.燃煤电厂深度调峰收入的会计核算研究[J].内蒙古煤炭经济,2023,(07):78-80.
- [4]万泽维,朱曙光,徐斌,等.660MW机组深度调峰试验研究与效益分析[J].能源研究与利用,2022,(04):43-47.