

## 火电厂机组深度调峰运行特性与控制策略研究

傅金 崔清博 刘翔 郑浩 苗晏玮 史雨柔  
华能日照电厂，山东 日照 276800

[摘要]伴随新能源发电装机规模不断拓展，电力系统运行模式产生了颇为显著的变化，火电机组从传统意义上的基础负荷电源渐渐转变成具备调峰以及支撑功能的关键灵活电源。深度调峰运行已然成为火电机组契合新型电力系统的关键技术途径，然而在低负荷、频繁变动负荷这类工况之下，机组的运行特性、设备的安全状况以及控制策略都面临着全新的考验。此文紧扣火电机组深度调峰运行的需求，全面且细致地剖析低负荷以及深度调峰工况下机组热力系统、燃烧系统还有汽水系统的运行特性，归纳出深度调峰运行进程里所存在的诸多主要问题，并在此根基之上给出与之对应的控制策略，希望能够给火电机组安全、经济且稳定地投身于深度调峰给予一定的参考。

[关键词]火电机组；深度调峰；调峰运行

DOI: 10.33142/hst.v8i11.18301 中图分类号: TM621 文献标识码: A

## Research on the Deep Peak Shaving Operation Characteristics and Control Strategies of Thermal Power Plant Units

FU Jin, CUI Qingbo, LIU Xiang, ZHENG Hao, MIAO Yanwei, SHI Yurou  
Huaneng Rizhao Power Plant, Rizhao, Shandong, 276800, China

**Abstract:** With the continuous expansion of new energy generation capacity, the operation mode of the power system has undergone significant changes. Thermal power units have gradually transformed from traditional basic load power sources to key flexible power sources with peak shaving and support functions. Deep peak shaving operation has become a key technical approach for thermal power units to adapt to new power systems. However, under low load and frequent load changes, the operating characteristics of the units, the safety status of equipment, and control strategies are all facing new challenges. This article closely focuses on the demand for deep peak shaving operation of thermal power units, comprehensively and meticulously analyzes the operating characteristics of the unit's thermal system, combustion system, and steam water system under low load and deep peak shaving conditions, summarizes the many main problems that exist in the process of deep peak shaving operation, and provides corresponding control strategies on this basis, hoping to provide some reference for thermal power units to safely, economically, and stably engage in deep peak shaving.

**Keywords:** thermal power units; deep peak shaving; peak shaving operation

### 引言

在“双碳”目标以及新型电力系统建设这样的大背景之下，风电、光伏等新能源发电所占的比例正在不断地提高，其出力有着十分显著的随机性与波动性特点，这就给电力系统的调节能力提出了更高的要求。由于受到储能规模以及负荷侧调节能力方面的限制，在相当长的一段时期里，火电机组依旧要担负起电力系统调峰以及安全支撑的关键职责。传统火电机组主要是把稳定地运行在额定负荷附近当作设计时的目标，在深度调峰的条件之下，其运行的时间是比较短的，而且调节的幅度也是有限的。随着电网调峰的需求变得越来越强，火电机组就需要在更低的负

荷范围当中达成长期稳定的运行状态，并且还要拥有快速、频繁地调节负荷的能力。对火电机组深度调峰运行特性及其控制策略展开深入的研究，对于提升机组运行的安全性与经济性、强化电力系统整体的灵活性而言，有着十分重要的实际意义。

### 1 火电机组深度调峰运行背景与技术要求

调峰是电力系统通过灵活调节发电机组出力或用电负荷实现电网供需平衡的关键技术手段，在保障电力系统安全稳定运行、提高新能源消纳能力方面发挥着基础性作用。针对新能源发电占比提升带来的出力随机性和波动性加剧问题，火电机组通过实施灵活性改造不断拓展运行调

节区间，实现由常规调峰向深度调峰转变，同时抽水蓄能电站、燃气机组、光热发电等多类型调峰资源协同应用，共同构建多层次、互补型的调峰体系，以提升新型电力系统整体调节能力和运行可靠性。

## 2 火电机组深度调峰运行特性分析

### 2.1 低负荷工况下热力系统运行特性

在负荷较低的运行状况下，火电机组的热力系统会偏离其原本的设计工况，这时锅炉还有汽轮机的能量转换效率会出现较为明显的下滑情况，整个系统的热经济性也会变得越来越差。就锅炉这一侧而言，燃料投入的量有所减少，炉膛的热负荷随之降低，传热过程也受到了相应的影响，受热面吸热不均的情况变得更加凸显出来，局部的受热面很容易出现换热效率降低的问题；而在汽轮机这一侧，进汽参数出现了下降，级间的效率降低了，内部的损失增加了，这就使得每单位发电量所对应的热耗水平呈上升趋势。与此低负荷运行还会致使主蒸汽以及再热蒸汽的参数波动幅度增大，热力系统的调节裕度相应地减小了，这无疑会给自动调节系统的稳定性以及响应速度造成一定的影响，对于运行监视、参数优化以及运行方式调整等方面也都提出了更高的要求。

### 2.2 深度调峰工况下燃烧与稳燃特性

在深度调峰运行这种情况下，锅炉会长时间处于低负荷或者超低负荷的状态，此时燃烧稳定性便成了影响机组安全运行极为关键的因素。由于燃料供给量有所减少，使得炉膛温度降低下来，煤粉的着火以及燃尽条件也跟着变差了，如此一来，就很容易出现火焰不稳定、燃烧偏斜乃至局部熄火之类的种种问题，并且在低负荷的状况下，炉膛内的气温分布是极不均匀的，局部出现过冷或者过热的现象会更为明显，这无疑又进一步加大了燃烧控制的难度。一方面来讲，一次风、二次风配比还有炉内气流组织对于燃烧稳定性所产生的影响变得更为敏锐，即便是微小的偏差都有可能致使火焰发生偏移或者燃烧效率出现下降的情况；另一方面来说，传统上是以额定负荷作为基础来设定的燃烧控制参数，很难去满足深度调峰的需求，所以必须要借助更加细致、动态且连续的调节办法来维持炉膛温度的均匀以及燃烧的稳定，与此同时还要保证煤粉能够充分燃尽，从而确保机组在低负荷运行的整个期间都能够具备安全性以及经济性。

### 2.3 汽水系统及主辅设备运行特性变化

在开展深度调峰运行相关工作期间，汽水系统的实际运行工况呈现出频繁变化的态势，其中给水流量以及蒸汽流量均出现了较为明显的降低情况，水动力条件也随之变

得更为恶劣，对于汽包水位以及压力的控制所面临的难度也在不断增大，在这种情形下，传统所采用的控制方式于低流量以及快速负荷发生变化的情况下，很难确保系统各项参数能够维持稳定状态，极有可能会诱发瞬时出现的波动情况以及超出限定范围的现象。在低流量这样的条件下，汽水分离所能达成的效果有所下滑，汽水分离器还有蒸汽取样装置的工作效率也都降低了，这无疑进一步提高了水位出现波动以及参数发生异常状况的可能性，进而对锅炉实现安全运行形成了潜在的风险隐患。与此像送风机、引风机、给水泵这类主辅设备长时间都处在低负荷或者工况发生变化的运行状态当中，这些设备的运行效率出现了下降的情况，机械振动的频次也变得更为频繁，启停操作的次数有所增加，如此一来，不但加速了机械磨损以及老化的进程速度，而且还对设备的维护周期以及运行管理提出了更高的要求，从整体上而言，其对机组的稳定性、可靠性和经济性均产生了颇为显著的影响作用。

### 2.4 深度调峰对机组效率与安全性的影响

深度调峰运行在提升电力系统灵活性的也对机组效率和安全性产生了影响。机组在低负荷区间运行的时间变长，整体发电效率降低，单位电量成本提高，且低负荷运行会造成燃烧不充分和热损失增加，进而影响机组综合经济性。频繁的负荷变化和启停操作加大了设备的热应力和机械应力，特别是锅炉受热面、汽轮机转子以及管道系统在短时间内经受反复升降负荷，容易出现疲劳损伤和局部过热的情况，增加了锅炉、汽轮机及辅机系统的故障风险。与此低负荷以及快速调节对控制系统的响应速度和调节精度提出了更高的要求，若缺少科学的运行管理、合理的调控策略以及实时监测手段，那么深度调峰运行有可能给机组的长期安全性、可靠性以及设备寿命带来较为严重的不利影响。

## 3 火电机组深度调峰运行存在的主要问题

### 3.1 超低负荷运行稳定性问题

在超低负荷运行的条件之下，火电机组的各项系统其运行的稳定性出现了较为明显的下滑情况。具体而言，锅炉的燃烧过程不够充分，炉膛的温度也处于偏低的状态，如此一来就很容易诱发火焰出现波动以及燃烧发生中断等状况；汽水系统的调节裕度存在不足之处，相关参数的波动频发，这无疑增加了运行环节所面临的风险。特别是在长时间维持低负荷运行的时段里，该系统对于外界扰动的敏感程度会进一步提升，一旦在控制方面稍有偏差，就很有可能引发运行方面的异常情况，而这恰恰是深度调峰进程当中迫切需要去加以解决的核心问题当中的一个。

### 3.2 频繁变负荷对设备安全的影响

深度调峰运行需要机组有快速且频繁地调节负荷的能力,如此一来,设备便会在短时间内不断承受着始终处于变化状态的热负荷以及机械负荷。就锅炉受热面、汽轮机转子还有管道系统而言,在频繁进行升降负荷操作的过程中,会产生幅度颇大的热应力波动,若长期处于这种运行状态,那么很容易就会出现疲劳损伤以及结构方面的问题。与此辅机系统的启停次数较为频繁,这无疑增加了机械磨损的程度以及故障发生的几率,进而给设备的安全性与可靠性带来了不小的挑战。

### 3.3 锅炉-汽轮机协调控制难点

在深度调峰这一特定条件之下,锅炉跟汽轮机相互之间所呈现出的动态响应特性方面的差异会变得更加突出起来,传统的那种协调控制策略往往很难做到同时把快速的负荷响应以及参数稳定的控制这两方面都兼顾好。锅炉在进行燃烧调节的时候,其调节过程存在着一定的滞后性特点,然而汽轮机对于负荷变化的响应速度却比较快,要是两者协调得不够妥当的话,就很容易会出现主蒸汽参数产生大幅度波动的情况,进而对机组的安全运行造成不利的影响。所以,怎样才能够在确保燃烧能够保持稳定状态并且参数也处于安全状况的前提条件之下达成快速的负荷调节目的,这无疑是在深度调峰控制当中所面临的一项颇为棘手的技术方面的难题。

### 3.4 深度调峰运行中的经济性约束

深度调峰运行时,效率往往会降低,而运行成本却会上升,其中煤耗、厂用电率以及设备维护成本都有所增加,在当前电力市场和调峰补偿机制还不完善的情形下,火电机组参与深度调峰会面临较大的经济性方面的压力,怎样在满足电网调峰需求之时,合理地控制运行成本,提高机组的综合经济效益,是深度调峰运行必须要去面对的一个重要约束条件。

## 4 火电机组深度调峰控制策略研究

### 4.1 深度调峰运行总体控制思路

火电机组深度调峰控制要把安全稳定当作前提条件,把提升调节能力以及经济性作为目标,去构建能适应低负荷以及频繁变工况运行的控制体系。在总的控制思路方面,需借助科学优化运行参数设定,像锅炉燃烧参数、汽轮机功率分配还有主辅设备运行状态等,强化各子系统之间的协调性以及整体联动效果,与此同时提升控制系统的灵活性与响应速度,让机组可以在宽负荷范围内达成平稳运行的状态<sup>[1]</sup>。在确保安全和稳定的前提下,还要兼顾快速响应电网调度指令的能力,保障机组在面临负荷波动、可再

生能源出力波动以及突发调峰任务的时候可以及时且准确地完成负荷调整,进而实现安全性、灵活性和经济性的有机结合,给新型电力系统的可靠运行给予技术方面的保障。

### 4.2 燃烧系统优化与稳燃控制策略

针对深度调峰时燃烧稳定性欠佳这一情况,需要着重对燃烧系统的控制策略加以优化。要细致地去调整给煤量、配风的比例以及燃烧器的运行方式,以此来提升炉膛燃烧的稳定性,保证燃料可以彻底燃尽,减少未燃碳的损失以及排放。在低负荷以及超低负荷的工况之下,应当适当地维持炉膛的温度水平,对一次风、二次风还有风速分布予以优化,让火焰的形态变得均匀,燃烧的过程保持稳定,避免出现火焰波动、燃烧偏斜或者局部熄火这类现象<sup>[2]</sup>。与此要结合炉膛在线监测所获取的数据以及燃烧动态模型,落实实时调节以及闭环控制的相关举措,强化对于负荷波动以及煤质变化的适应能力,从而为机组实现长期稳定的运行给予可靠的保障,并且在确保安全性得以维持的前提下,尽可能地提升燃烧的效率以及整体的经济性,进而满足深度调峰运行对于灵活性以及响应速度方面的要求。

### 4.3 机组协调控制与快速负荷响应策略

机组协调控制这块,要依据深度调峰运行的特点,针对锅炉和汽轮机协调控制参数展开系统优化以及细致调整,以此来改进机组的整体动态响应特性以及运行稳定性。借助合理安排负荷调节任务,达成锅炉燃烧调节同汽轮机功率响应的协同匹配,既能确保主蒸汽压力、温度还有再热蒸汽参数的稳定,又能提升机组应对负荷变化的快速响应能力<sup>[3]</sup>。在这个过程里,得充分考量锅炉热惯性、汽轮机转动惯量以及辅机设备的状态,通过引入预测控制和自适应调节策略,强化机组对短时负荷波动的适应能力,进而提高负荷变化速率以及调节精度,保证在频繁调峰以及快速负荷变化的条件下,机组既能满足电网调度的灵活性需求,又能保持长期运行的安全性与经济性,实现深度调峰运行目标的成功落地。

### 4.4 辅机系统优化与节能控制策略

辅机系统在机组开展深度调峰运行期间,其对于机组的安全性、可靠性以及经济性而言,有着不容忽视的重要影响。对送风机、引风机、给水泵以及其他辅机设备的运行方式进行优化,依据负荷变化的特点,合理运用变频调节以及智能控制技术,如此便能够有效地将低负荷以及频繁调节工况之下的能耗水平降下来,进而提升机组的整体运行效率。与此需强化针对辅机运行状态所展开的实时监测以及故障诊断工作,及时且精准地掌握设备的振动、温

度、压力等一系列关键参数的变化情况，尽力避免那些不必要的启停操作以及过度的调节行为，借此减缓设备的磨损速度，延长设备的使用寿命，最终提高系统的可靠性。在此基础之上，借助辅机系统和主机之间相互协调并联动起来的方式，便可以达成能量利用的最大化以及节能控制的最优化，从而为深度调峰运行给予安全、经济并且高效的支撑与保障，保证机组在灵活应对电网调度需求之时，仍能维持一种长期稳定且可靠的运行状态。

## 5 结语

火电机组开展深度调峰运行，是适应新能源大规模接入的情况、电力系统灵活性方面的需求持续提升时的重要举措。仔细分析深度调峰运行所呈现出的特性、当前存在的各类问题以及相应的控制策略，能够发现，唯有把保障机组安全且稳定地运行当作前提条件，同时不断地去优化控制策略以及运行管理的方式方法，才能够让火电机组在

新型电力系统里面充分地发挥出其调节方面的作用。与之相关的诸多研究以及实际的操作经验，对于促使火电机组从传统的电源朝着灵活电源的方向实现转型而言，有着极为重要的意义。

## [参考文献]

- [1]程晓东.火电厂集控运行及机组协调控制策略研究[J].应用能源技术,2022(5):1-3.
  - [2]冯文嵩,闫晶.火电机组深度调峰运行阶段风险管理及策略[J].中小企业管理与科技,2023(1):115-117.
  - [3]张美君.燃煤电厂锅炉机组深度调峰运行优化方法研究[J].电气技术与经济,2024(9):295-297.
- 作者简介：傅金（1994.10—），男，毕业院校：青岛理工大学，学历：本科，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：华能日照电厂，职务：运行部集控主值，年限：2年，助理工程师。