

# 火电厂亚临界机组深度调峰技术分析

刘华雷

陕西德源府谷能源有限公司 陕西 榆林 719000

**摘要:**近年来,全球能源结构加速转型,新能源发电规模迅猛增长。然而,风电、光伏等新能源具有显著的间歇性与波动性,给电力系统的稳定运行带来极大挑战。本文聚焦火电厂亚临界机组深度调峰技术。先概述该技术,接着深入剖析锅炉燃烧优化、汽轮机调节、辅机系统优化、智能控制及储能系统协同等关键技术。同时指出亚临界机组深度调峰面临设备磨损加剧、燃烧稳定性变差、汽水系统参数波动大、辅机能耗上升等挑战。针对这些问题,提出设备升级与维护强化、燃烧优化调整、汽水系统精细化控制、辅机系统节能改造、控制系统升级等优化策略,旨在提升火电厂亚临界机组深度调峰的安全性、稳定性与经济性。

**关键词:**火电厂;亚临界机组;深度调峰;技术分析

**引言:**随着电力市场改革推进及新能源大规模接入,火电厂承担的调峰任务愈发艰巨,亚临界机组深度调峰成为关键。亚临界机组在传统运行模式下难以适应大幅负荷变化。深度调峰既能提高电网灵活性,保障新能源消纳,又对机组设备、运行控制提出更高要求。深入研究其深度调峰技术,分析关键技术、面临挑战并制定优化策略,对提升火电厂运行效率,保障电力系统稳定可靠供电意义重大,也为火电厂适应新形势发展提供技术支撑。

## 1 火电厂亚临界机组深度调峰技术概述

随着能源结构的调整和新能源的广泛接入,电力系统的供需特性发生了显著变化。为保障电网稳定运行和新能源的有效消纳,火电厂机组需具备更强的调峰能力,亚临界机组深度调峰技术应运而生。火电厂亚临界机组深度调峰技术,是指通过一系列技术手段,使亚临界机组在较低负荷工况下安全、稳定、经济运行的技术。亚临界机组通常指蒸汽压力在16.7 - 25.4MPa、蒸汽温度在538- 566℃的机组,在传统运行模式下,这类机组负荷调节范围有限,难以满足深度调峰的需求。该技术旨在提升亚临界机组的负荷调节能力,使其能在更宽的负荷区间内高效运行。一方面,通过优化机组各系统运行参数,降低机组最低稳燃负荷,提高机组在低负荷时的燃烧稳定性;另一方面,协调机组各设备间的运行配合,减少低负荷运行时的设备损耗和能源浪费,确保机组在深度调峰过程中,既能满足电网对电力供应的动态需求,又能保证自身运行的可靠性和经济性,从而更好地适应电力市场的变化和能源结构的调整<sup>[1]</sup>。

## 2 火电厂亚临界机组深度调峰关键技术分析

### 2.1 锅炉燃烧优化技术

锅炉燃烧优化技术旨在提升亚临界机组低负荷时的燃烧效率与稳定性。通过改进燃烧器结构,如采用浓淡分离燃烧器,将燃料气流分为浓相和淡相,浓相区燃料浓度高,着火容易,淡相区则保证燃尽,促进燃料在低负荷下快速稳定着火。借助先进的燃烧调整算法,依据炉膛温度、氧量等参数,动态调节二次风配风方式,形成合理的空气动力场,确保燃料与空气充分混合,减少燃烧死角。另外,利用煤粉粒度优化技术,精准控制入炉煤粉细度,使煤粉在炉膛内更易着火与燃尽。经此优化,锅炉在深度调峰时,可降低不完全燃烧损失,提高燃烧效率,减少污染物排放,保障机组稳定运行。

### 2.2 汽轮机调节技术

汽轮机调节技术对亚临界机组深度调峰至关重要。采用先进的电液调节系统,能快速响应负荷变化指令,精准调节汽轮机进汽量。例如,通过优化调节阀门的控制逻辑,实现阀门的快开快关及精确节流,避免因进汽量调节不当导致机组转速大幅波动。引入滑压运行策略,在低负荷时,汽轮机主蒸汽压力随负荷降低而降低,维持蒸汽在汽轮机内的理想膨胀过程,减少节流损失,提高汽轮机内效率。此外,对汽轮机通流部分进行优化改造,如采用新型叶型,降低蒸汽流动阻力,提升汽轮机在不同负荷下的做功能力。

### 2.3 辅机系统优化技术

辅机系统优化技术致力于提升辅机运行效率,降低能耗。以给水泵为例,采用变速调节技术,根据锅炉负荷变化精确调整给水泵转速,相较于传统定速运行,可大幅降低泵的能耗。对风机进行节能改造,选用高效节能型风机,并搭配智能控制系统,依据炉膛负压、烟气流量等实时调整风机转速或叶片角度,使风机始终运行

在高效区。通过这些优化,在保障辅机满足机组深度调峰运行需求的同时,降低了厂用电率,提高了机组整体经济性。

#### 2.4 智能控制技术

智能控制技术为亚临界机组深度调峰提供智能化运行保障。利用大数据分析技术,收集机组运行的海量历史数据,建立设备运行状态模型,实时监测设备健康状况,提前预测潜在故障。例如,通过分析汽轮机振动、温度等数据,预测轴承故障。采用先进的控制算法,如模型预测控制,综合考虑机组负荷、蒸汽参数、设备运行状态等多变量,提前优化控制策略,精准调节机组运行参数,实现机组的自适应控制。同时,借助人工智能图像识别技术,对炉膛火焰、设备外观等进行实时监测,及时发现异常情况。智能控制技术提升了机组运行的安全性、稳定性与自动化水平,助力深度调峰高效实施。

#### 2.5 储能系统协同技术

储能系统协同技术可有效提升亚临界机组深度调峰灵活性。在机组负荷低谷时,将多余电能存储至储能装置,如采用锂离子电池储能系统。当电网负荷需求增加,机组需快速提升出力时,储能系统释放电能,补充机组发电不足部分,协助机组快速响应负荷变化,缓解机组爬坡压力,减少机组调节时间。同时,储能系统能平滑机组输出功率波动,使机组在深度调峰过程中保持相对稳定的功率输出,减轻机组设备频繁调节带来的磨损。此外,通过优化储能系统与机组的协同控制策略,合理安排储能系统的充放电时间与功率,实现储能系统与机组的高效配合,提升电力系统整体稳定性与可靠性,更好地适应新能源大规模接入后的电网调峰需求<sup>[2]</sup>。

### 3 亚临界机组深度调峰面临的挑战

#### 3.1 设备磨损加剧

在亚临界机组深度调峰时,设备长期处于非设计工况运行,设备磨损情况急剧恶化。以汽轮机为例,低负荷下蒸汽流量大幅降低,蒸汽对叶片的冲蚀作用方式改变,不再均匀作用于叶片表面,导致叶片局部受力不均,出现气蚀、磨损等问题。而且,频繁的负荷变动使得汽轮机转子承受交变应力,加剧了转子与轴封、汽封处的摩擦,加快部件磨损。此外,各类泵与风机等辅机设备也深受影响,工况变化导致其内部流体流动状态紊乱,叶轮、蜗壳等部件磨损加剧,设备振动增大,密封装置也因频繁压力波动而受损,进一步缩短设备使用寿命,增加设备维护成本与突发故障风险。

#### 3.2 燃烧稳定性变差

深度调峰期间,锅炉燃烧稳定性面临严峻考验。低

负荷运行时,送入炉膛的燃料量大幅减少,炉膛热负荷显著降低,使得炉膛整体温度水平下降。燃料进入炉膛后,因温度不足,着火延迟,且难以维持稳定的燃烧火焰。同时,空气与燃料的混合比例难以精准控制,部分区域可能出现燃料过浓或过稀现象,导致燃烧不完全或熄火。此外,低负荷下燃烧器的出口风速和风量也会偏离设计值,气流扰动减弱,不利于燃料的充分混合与燃烧。这些因素相互叠加,使燃烧稳定性变差,极易引发锅炉灭火事故,严重威胁机组安全、稳定运行,一旦发生灭火,重新启动机组耗时耗力,还会造成巨大经济损失。

#### 3.3 汽水系统参数波动大

亚临界机组深度调峰时,汽水系统参数波动问题突出。由于负荷变化迅速且幅度大,给水流量需频繁调节以匹配蒸汽产量的变化。但在低负荷时,给水调节特性变差,微小的调节量就可能导致给水流量大幅波动。例如,负荷突然降低,蒸汽流量瞬间减少,汽包内汽水混合物的密度发生变化,引发虚假水位现象,使汽包水位短时间内急剧上升或下降,若操作不当,可能导致满水或缺水事故。同时,蒸汽压力和温度也难以稳定,负荷变动时,锅炉的燃烧工况与汽水循环状态改变,蒸汽压力和温度随之大幅波动,影响汽轮机的正常运行,增加了对设备的热应力冲击,降低设备寿命,也给汽水系统的运行控制带来极大困难。

#### 3.4 辅机能耗上升

为适应亚临界机组深度调峰,众多辅机设备不得不偏离经济运行工况,导致能耗大幅攀升。以引风机为例,低负荷下炉膛负压需维持在一定范围,为保证烟气顺利排出,引风机需通过调节挡板开度或改变转速来控制风量。但在低负荷时,风机效率大幅下降,额外消耗大量电能。给水泵同样如此,要保证不同负荷下锅炉的给水需求,在低负荷时需降低转速或调节泵的流量,然而此时泵的运行效率远低于设计工况,造成大量能量浪费。此外,循环水泵、凝结水泵等辅机设备也因机组负荷变化而频繁调整运行参数,运行在低效区间,导致整个机组的辅机能耗显著增加,降低了火电厂的经济效益<sup>[3]</sup>。

### 4 火电厂亚临界机组深度调峰技术优化策略

#### 4.1 设备升级与维护强化

在设备升级方面,对于汽轮机叶片,可采用抗磨损性能更好的材料进行制造或对现有叶片进行表面涂层处理,增强叶片抵御蒸汽冲蚀的能力。针对风机、泵类等转动设备,选用高精度、长寿命的轴承,优化密封结构,降低设备运行时的机械摩擦损耗。同时,引入在线监测设备,实时掌握设备关键部位的运行参数,如振

动、温度、应力等,借助数据分析预测设备故障隐患,以便及时安排维护。在维护强化层面,制定更为科学详细的定期维护计划,增加低负荷工况下设备巡检频次。每次巡检时,对设备磨损情况进行精确测量与记录,依据磨损数据提前储备备品备件,确保在设备磨损达到一定程度时能及时更换。加强对设备安装、检修工艺的质量管控,严格执行安装检修标准,避免因人为操作不当加剧设备磨损,以此延长设备使用寿命,保障机组深度调峰时设备稳定运行。

#### 4.2 燃烧优化调整

燃烧优化调整可从多方面着手。第一,对燃烧器进行改造升级,采用新型低负荷稳燃燃烧器,其独特的结构设计能强化燃料与空气的混合效果,促进燃料在低负荷下稳定着火与充分燃烧。同时,优化燃烧器的布置方式,调整燃烧器的角度与间距,使炉膛内的燃烧火焰分布更均匀,避免局部过热或过冷区域的出现。第二,精准控制燃料与空气的比例。利用先进的传感器实时监测炉膛内的氧量、一氧化碳含量等参数,通过自动化控制系统动态调节送风量和燃料量,确保不同负荷下都能实现最佳的空燃比。此外,对燃料的品质进行严格把控,保证入炉燃料的热值、挥发分等指标相对稳定,减少因燃料品质波动对燃烧稳定性的影响。通过这些燃烧优化措施,提高燃烧效率,增强燃烧稳定性,降低燃烧事故发生概率,助力机组深度调峰。

#### 4.3 汽水系统精细化控制

在汽水系统精细化控制上,针对给水流量控制难题,引入先进的智能给水控制系统。该系统融合前馈控制、反馈控制和预测控制算法,依据机组负荷变化、汽包水位、蒸汽流量等多参数,提前精确调节给水泵的转速或调节阀开度,消除虚假水位对给水调节的干扰,实现给水流量的平稳精准控制。对于蒸汽压力和温度控制,优化锅炉的燃烧控制系统与蒸汽减温减压系统。通过调节燃烧器的出力、配风比例以及调整减温器的喷水量,使蒸汽压力和温度能快速响应机组负荷变化,并稳定在设定范围内。加强对汽水系统管道、阀门等设备的维护与管理,定期检查管道的保温效果,确保无泄漏现象,减少汽水损失与能量损耗,保障汽水系统在深度调峰过程中安全、稳定、高效运行,提升机组整体运行性能。

#### 4.4 辅机系统节能改造

辅机系统节能改造可有效降低能耗。对于引风机,采用变频调速技术替代传统的挡板调节方式。依据炉膛负压和烟气流量的实时变化,精确调节引风机的转速,使风机运行在高效工况区,大幅降低风机能耗。对于给水泵,可采用液力耦合器调速或采用高效节能型的变速给水泵,根据锅炉给水需求灵活调整泵的转速,避免泵在低效区运行。此外,对循环水泵进行优化改造,根据机组负荷和凝汽器真空度,合理调整循环水泵的运行台数和转速,减少循环水流量的不必要浪费。

#### 4.5 控制系统升级

控制系统升级主要聚焦于提升系统的智能化与自动化水平。引入先进的分布式控制系统(DCS)或可编程逻辑控制器(PLC),增强系统的数据处理与运算能力,实现对机组各设备和系统运行参数的快速采集、分析与处理。利用人工智能算法,如神经网络、模糊控制等,构建机组运行模型,依据模型对机组运行状态进行实时预测与优化控制。完善控制系统的故障诊断与预警功能,当系统检测到设备或参数异常时,能迅速发出警报,并给出故障原因及处理建议,便于运行人员及时采取措施。

#### 结束语

火电厂亚临界机组深度调峰技术是保障电力系统稳定运行、适应新能源大规模并网的关键所在。从锅炉燃烧优化技术提升燃烧效率,到汽轮机调节技术确保运行稳定,再到辅机系统节能降耗,以及智能控制和储能系统协同带来的灵活性与可靠性增强,这些技术相辅相成。尽管当前深度调峰技术应用面临设备适配、成本控制等挑战,但随着技术不断迭代,必将助力亚临界机组更高效、更安全地参与深度调峰,推动电力行业向绿色、智能、稳定方向持续迈进。

#### 参考文献

- [1]杨晨.火电厂引风机变频与工频运行自动切换系统的应用[J].自动化应用,2022(12):121-122.
- [2]李延凯.火力发电厂汽轮机组的节能降耗方法论述[J].科技风,2023(36):226-227
- [3]宋健,谭慎迁,刘朝青.基于火电厂热动力联产系统节能改革问题[J].科技资讯,2018,16(35):141-143.