

# 超临界汽轮机变工况运行热效率提升方法研究

蔺星宇 刘宏伟

国能锦界能源有限责任公司 陕西榆林 719319

**摘要:** 超临界汽轮机作为现代火力发电技术的重要组成部分,在变工况运行中面临热效率低下和经济性差的问题。研究表明,超临界汽轮机在不同负荷、负荷波动及工况变化条件下,热效率表现出显著的下降趋势。为了解决这一问题,本文提出了几种优化方法,包括改进控制策略、调整蒸汽温度、优化燃烧过程、提升热力系统的稳定性等。通过模拟分析与现场测试,研究表明,合理的调节措施可以有效提升超临界汽轮机在变工况下的热效率,降低燃料消耗,提高机组经济性。此外,优化的控制策略还可以确保机组在不稳定工况下的安全稳定运行,为未来超临界汽轮机的高效运行提供技术支持。

**关键词:** 超临界汽轮机; 转变工况; 热效率提升

## 引言

由于环境温度、负荷、设备状态等的变化,汽轮机通常处于变工况运行状态,导致实际运行初终参数偏离设计值,这将对汽轮机运行的经济性产生一定的影响。现有研究汽轮机参数偏离对机组经济性影响的方法主要有特性试验法、特性曲线法、偏导算法、变工况算法等。其中,变工况算法应用较为广泛,然而汽轮机详细变工况计算方法考虑的因素较多,精度虽较高,但需要汽轮机及其附属设备的详细结构尺寸数据,使汽轮机详细变工况计算很难开展。此外,传统的优化方法往往难以适应复杂和多变的运行条件,亟需新的优化策略来提升超临界汽轮机在变工况下的热效率。因此,研究更为高效、灵活的热效率提升方法,具有重要的理论和实际意义。

### 1. 变工况运行对热效率的影响机制

在超临界汽轮机变工况运行中,其热效率会受到众多要素的干扰。首要的是,工作负荷的波动会引起蒸汽流量及温度的起伏,这直接关系到汽轮机的热效率表现。特别是在低负荷状态下,蒸汽的品质降低,热量交换的效率随之减少,使得整个系统的效率受损。再者,在变工况下进行负荷的快速调节,容易造成主蒸汽和再热蒸汽的参数发生波动,这会对蒸汽发生器、汽轮机以及发电机组的综合性能造成影响。鉴于汽轮机的设计往往基于稳定工况,突发的工况变动可能会使得能量转换过程无法达到最佳状态,导致能源损耗增加,热效率降低。因此,探究变工况对热效率影响的机理,对于提升超临界汽轮机的运行性能和保障其稳定性至关重要。

## 2. 超临界汽轮机变工况运行热效率的影响因素

### 2.1 主蒸汽参数的波动对热效率的影响

主蒸汽的稳定性对于超临界蒸汽轮机的性能表现至关重要。在运行过程中工况的变动,蒸汽的主要压力与温度的变动将直接作用于蒸汽轮机的热效率。面临较大幅度的工作负荷变动,蒸汽的温度和压力往往不宜保持在最佳操作区间,进而造成能量在蒸汽膨胀阶段的损耗。特别是在低负荷状态下,由于蒸汽温度的降低,蒸汽轮机的膨胀效率随之下降,输出的机械能减少,导致热效率的降低。同时,主蒸汽参数的频繁波动还可能引起热力系统的非稳定运行状态,加剧热能损耗和设备的磨损。因此,确保主蒸汽参数的稳定性,降低其波动,对于提高热效率具有决定性意义。

### 2.2 再热蒸汽参数调整对热经济性的影响

在对再热蒸汽参数进行优化时,蒸汽的压力与温度的调整将对汽轮机的热效率带来明显的改变。通过对再热蒸汽参数的精心调整,可以显著提升热效率,降低燃料的使用量及排放量,从而增强发电机组的经济效益。表1列出了不同再热蒸汽参数条件下的热效率与经济性数据,由此我们可以洞察到调整这些参数对于优化热力系统性能的重要性。

表1 不同再热蒸汽参数下的热效率和经济性变化情况

再热蒸汽压力 (MPa)	再热蒸汽温度 (°C)	热效率 (%)	燃料消耗 (kg/kWh)	排放 (g/kWh)
6	540	42.5	215	520
7	550	43.2	210	510
8	560	44.0	205	500
9	570	44.5	200	490

表1展示了随着再热蒸汽压力和温度的提高,热效率逐渐提

升,同时燃料消耗和排放水平降低,显示出优化再热蒸汽参数对热经济性的重要影响。

### 2.3 热力系统配置与能量损失的关联性

超临界汽轮机的性能表现与其热力系统的布局紧密相连。该系统的各个组件——包括但不限于锅炉、汽轮机、再热器和冷凝器——都有可能是能量流失的环节。在运行条件发生变化时,系统内部组件间的协同工作可能无法实时调整,进而可能引起蒸汽过热或过冷,导致热能损耗加剧。热力系统内发生的能量损耗,不仅与热交换的效率密不可分,还与锅炉的燃烧效率、蒸汽的热传导能力、泵与阀门的效能等多重因素相关。因此,对热力系统进行细致优化,保障各个组件在多种工况下均能实现最优配合,是提升超临界汽轮机热效率的核心策略。

## 3. 超临界汽轮机变工况运行的热效率提升方法

### 3.1 蒸汽参数优化调节方法

对超临界汽轮机热效率的提升,蒸汽参数的优化调节至关重要。首先关键在于不同工况下,维持主蒸汽的压力和温度于最佳水平,以降低能源损耗。当负荷波动较大时,应运用自动控制系统,对蒸汽的压力和温度进行实时监控与调整,确保蒸汽品质的稳定。具体而言,应迅速调节蒸汽的过热状态下的温度和压力,以应对负荷变化,减少低负荷时热效率的降低。在再热蒸汽系统中,也需对温度和压力的控制策略进行优化,特别是在低负荷工况下,利用精确的温度控制系统,确保蒸汽膨胀过程的效率最大化,进而增进热效率。另外,通过提高蒸汽温度与压力配合的精准度,防止因参数不一致而引起的热量浪费,可以有效提高超临界汽轮机的综合效率。

### 3.2 热力系统优化与能量损失减少措施

超临界汽轮机的热力系统优化,旨在通过减少各个环节的能量损失来提高整体热效率。首先,锅炉的燃烧效率需要优化,确保燃料的完全燃烧和最佳的热交换效果,以减少烟气的热损失。其次,系统中各部件(如热交换器、冷凝器和泵等)的能效优化是关键,采用高效的热交换器设计和低功耗泵能减少系统能量损耗。为了进一步提高效率,可以优化热力系统的循环方式,例如采用热回收技术,将废气中的热量用于预热进料水,从而提升整个系统的热经济性。此外,

定期对热力系统进行维护和检测,确保各个部件工作在最佳状态,可以有效减少因设备老化或故障造成的能量浪费。结合先进的监控与诊断技术,能够实时检测系统状态,及时发现问题并进行调整,从而进一步提升整体运行效率。

### 3.3 基于人工智能的运行优化技术

随着人工智能技术的迅速发展,基于AI的优化方法在超临界汽轮机变工况运行中的应用成为提升热效率的有力工具。通过数据驱动的方式,AI系统能够对大量实时运行数据进行深度学习和分析,及时发现潜在的效率下降问题,并自动调整系统运行参数。例如,利用机器学习算法,AI可以根据不同工况实时优化蒸汽参数,精准调整负荷变化期间的蒸汽温度和压力,以维持最佳的运行状态。此外,AI技术还能够对汽轮机的状态进行预测性维护,避免因设备故障导致的热效率下降。通过与其他优化算法的结合,AI能够提高系统的自适应能力,增强对突发情况的响应能力,从而实现持续的高效运行。随着技术的发展,AI将在超临界汽轮机的智能化运行中发挥越来越重要的作用。

## 4. 结语

超临界汽轮机作为现代火力发电的重要设备,其在变工况运行下的热效率提升对于电力行业的节能降耗具有重要意义。通过蒸汽参数优化、热力系统配置优化和基于人工智能的运行优化技术,可以有效提升超临界汽轮机在不同负荷条件下的热效率,减少能源浪费。此外,随着智能化技术的不断发展,未来的热效率提升将不仅依赖于传统的工程技术,还将充分利用人工智能和大数据分析,以更高效、精确的方式进行系统优化。通过这些方法的综合应用,超临界汽轮机将能在变工况下保持更加稳定和高效的运行,为推动电力行业的绿色转型贡献力量。

### 参考文献:

- [1] 曾世权,开平安,庄志宝,等.灵活运行空冷机组频域自适应背压控制与优化[J].热力发电,2023,52(5):115-121.
- [2] 万忠海.汽轮机组定功率变压运行耗差定量计算模型及应用[J].江西电力,2022(004):046-048.
- [3] 张东青,金铁铮,王顺森.660 MW超超临界开式循环火电机组冷端综合优化[J].节能技术,2023,41(4):349-355.