

# 火电厂锅炉汽轮机高效运行优化路径

范哲

格盟国际能源有限公司 山西 太原 030002

**摘要:** 火电厂中锅炉与汽轮机的高效运行对于提升能源利用效率、降低运营成本以及满足电网需求至关重要。本文聚焦火电厂锅炉汽轮机高效运行优化路径展开研究。针对锅炉,从燃烧系统、热传递过程、蒸汽参数控制三方面提出优化策略;对于汽轮机,阐述通流部分、运行参数、维护策略的优化方法;还探讨了锅炉汽轮机协同优化路径,包括负荷匹配、参数协同控制、能效监测与改进。旨在为火电厂提升运行效率、实现节能减排提供理论支持与实践指导。

**关键词:** 火电厂; 锅炉汽轮机; 高效运行; 优化路径

## 引言

在能源需求持续增长与环保要求日益严格的背景下,火电厂作为重要的能源供应主体,其运行效率备受关注。锅炉和汽轮机作为火电厂的核心设备,其运行性能直接影响着整个电厂的能源利用效率、发电成本以及污染物排放。然而,当前部分火电厂的锅炉汽轮机运行存在效率不高、能耗较大等问题。因此,深入研究锅炉汽轮机的高效运行优化路径,对于提高火电厂的经济效益、实现可持续发展具有重要的现实意义。

## 1 锅炉运行优化路径

### 1.1 燃烧系统优化

燃烧系统作为锅炉热能产生的核心环节,其优化对于提升锅炉整体性能至关重要,需从燃料适配、空气供给以及燃烧器改进三个主要方面展开。燃料适配方面,不同燃料具有不同的特性,包括热值、挥发分和粒度等。高挥发分燃料,由于其易于挥发和燃烧,通常采用悬浮燃烧的方式,这样可以使燃料与空气充分接触,实现高效燃烧。而低挥发分燃料,其燃烧难度相对较大,需要进行预处理,如破碎和制粉,将燃料颗粒细化,增加其表面积,从而提高燃烧速率,确保燃料能够充分燃烧,减少不完全燃烧损失<sup>[1]</sup>。空气供给系统的优化关键在于实现分级配风。通过多级送风的方式,即一次风携带燃料进入炉膛,为燃料的初始燃烧提供必要的氧气;二次风在燃料燃烧过程中适时补充,保证燃烧的持续进行;三次风则用于调整火焰的形状和位置,实现燃料与空气的逐步混合。这种分级配风的方式可以有效避免局部缺氧或富氧燃烧的情况发生,提高燃烧效率,降低污染物排放。燃烧器的改进也是燃烧系统优化的重要内容。对于燃油/气锅炉,采用旋流或压力雾化喷嘴可以提高燃料的雾化效果,使燃料以更细小的颗粒形式喷入炉膛,增加燃料与空气的接触面积,促进燃烧反应的进行。对于煤

粉锅炉,改进一次风粉混合装置可以避免煤粉在输送过程中发生沉积,确保煤粉能够均匀地进入炉膛燃烧。同时,采用低氮燃烧器,如空气分级燃烧器,可以通过控制燃烧过程中的氧气浓度和温度分布,抑制氮氧化物的生成,实现清洁燃烧。

### 1.2 热传递过程强化

热传递效率直接影响锅炉的能量利用水平,强化热传递过程需要从受热面维护、流速优化以及清洁技术三个方面入手。受热面的维护是保证热传递性能的基础。在锅炉运行过程中,受热面会不可避免地积累灰尘和污垢,这些积灰和污垢会增加污垢热阻,阻碍热量的传递,导致排烟温度升高,锅炉效率下降。因此,需要定期对受热面进行吹灰或化学清洗,清除积灰和污垢,恢复受热面的传热性能。例如,采用蒸汽吹灰的方式可以有效降低排烟温度5-10℃,提高锅炉的热效率。流速优化需要平衡传热强化与流动阻力之间的关系。在过热器中,管内蒸汽流速的控制至关重要。流速过低会导致对流传热系数降低,传热效果变差;流速过高则会增加流动阻力,导致泵的功耗增加。一般来说,过热器管内蒸汽流速应控制在8-15m/s的范围内。对于自然循环锅炉,通过调整循环倍率可以改善循环稳定性,确保锅炉的安全运行。清洁技术的选择需要结合锅炉的类型。流化床锅炉具有独特的床料循环系统,可以通过床料的不断循环实现自清洁,减少受热面的积灰。煤粉锅炉则可以安装机械振打装置,定期对受热面进行振打,清理积灰。燃气锅炉由于燃料清洁,产生的灰尘较少,可以采用在线清洗技术,在锅炉运行过程中对受热面进行清洗,维护受热面的清洁。此外,采用高效传热元件,如螺旋翅片管,可以增加受热面积,提高对流传热系数,进一步提升热传递效率。

### 1.3 蒸汽参数控制

蒸汽参数,包括压力和温度,直接影响锅炉的效率和汽轮机的做功能力,因此需要对蒸汽参数进行精确控制。主蒸汽压力的控制需要根据锅炉的负荷需求进行动态调整。在高负荷运行时,维持主蒸汽的额定压力可以提高循环效率,使锅炉能够输出更多的能量。而在低负荷运行时,适当降低主蒸汽压力可以避免节流损失,减少能量浪费。主蒸汽温度的控制主要通过燃烧调整和受热面布置来实现。过热器采用多级喷水减温的方式可以调节蒸汽温度,防止蒸汽超温导致管材老化,影响锅炉的安全运行。通过合理调整燃烧器的燃烧状态和受热面的吸热量,可以确保主蒸汽温度稳定在合适的范围内。再热蒸汽温度的控制同样重要。优化烟气挡板的开度,调整再热器受热面的吸热量,可以确保再热蒸汽温度与主蒸汽温度匹配,提高循环热效率<sup>[2]</sup>。再热蒸汽温度的稳定对于汽轮机的安全运行和高效做功也具有关键作用。此外,蒸汽湿度的控制也不容忽视。通过汽水分离装置可以有效控制蒸汽湿度,避免蒸汽带水进入汽轮机,损坏汽轮机叶片,影响汽轮机的使用寿命和运行效率。

## 2 汽轮机运行优化路径

### 2.1 通流部分优化

汽轮机的通流部分优化对于提高汽轮机的效率和使用寿命具有重要意义,需要从叶片设计、级间匹配以及密封改进三个方面进行。叶片设计应根据蒸汽参数选择合适的型线。在高压级,由于蒸汽压力高、密度大,采用后弯叶片可以提高效率,减少能量损失。而在低压级,蒸汽压力较低,采用直叶片可以简化结构,降低制造成本。级间匹配的优化需要通过气动计算来确定合理的级数和反动度。减少级间漏汽和余速损失是级间匹配优化的关键目标。例如,某汽轮机通过增加调节级,提高了部分负荷时的效率,使汽轮机在不同负荷下都能保持较好的运行性能。密封改进是通流部分优化的重要环节。采用新型密封结构,如蜂窝密封和刷式密封,可以有效减少轴端漏汽和隔板漏汽。某机组采用刷式密封后,漏汽量降低了50%,大大提高了汽轮机的效率。此外,通流部分需要定期清理结垢,维持叶片的光洁度,降低流动阻力,确保蒸汽能够顺畅地通过通流部分,提高汽轮机的做功能力。

### 2.2 运行参数调节

汽轮机的运行参数调节需要根据负荷需求进行动态调整,主要包括主蒸汽参数、再热参数和背压的调节。主蒸汽参数的调节需要与锅炉协同进行。在高负荷时,维持主蒸汽的额定参数可以提高循环效率,使汽轮机能够输出更多的功率。而在低负荷时,采用滑压运行方式可

以降低汽轮机的热应力,减少设备损耗。再热参数的调节重点在于优化中压缸进汽温度。通过调整锅炉的燃烧和受热面布置,可以提高再热蒸汽温度。例如,某机组将再热蒸汽温度提高10℃,循环效率提升了0.3%,显著提高了汽轮机的经济性。背压的调节需要根据环境温度和冷却水条件进行优化。在夏季,环境温度较高,采用喷淋降温的方式可以提高凝汽器的真空度,降低背压,提高汽轮机的出力<sup>[3]</sup>。在冬季,环境温度较低,可以适当减少冷却水量,降低厂用电率,提高机组的经济性。此外,运行参数的调节应避免频繁波动,减少设备的热疲劳损伤,延长设备的使用寿命。

### 2.3 维护策略优化

汽轮机的维护策略优化需要从状态监测、故障诊断和检修计划三个方面构建,以确保汽轮机的安全可靠运行。状态监测是维护策略的基础。通过安装振动、温度、位移等传感器,可以实时监测汽轮机转子、轴承和隔板等关键部件的状态。例如,振动监测可以提前发现转子不平衡或对中不良等问题,及时采取措施进行处理,避免故障的进一步扩大。故障诊断需要结合历史数据和专家系统,通过模式识别等方法定位故障原因。油液分析可以诊断轴承磨损或润滑故障,通过对油液中的金属颗粒和污染物进行分析,判断轴承的运行状态。红外测温技术可以检测设备的温度异常,及时发现潜在的故障隐患。检修计划的制定应根据设备的状态进行。采用状态检修替代定期检修,可以根据设备的实际运行情况确定检修时间和检修内容,减少非计划停机和过度维修,降低检修成本。例如,某机组通过状态检修将检修周期从3年延长至5年,检修费用降低了20%。此外,维护策略还需要与备件管理协同,确保关键备件库存充足,缩短故障修复时间,提高机组的可用率。

## 3 锅炉汽轮机协同优化路径

### 3.1 负荷匹配优化

锅炉和汽轮机作为火电厂的核心设备,其负荷匹配优化对于提高机组的整体效率至关重要。负荷匹配优化需要根据电网需求和机组特性协调锅炉与汽轮机的出力。锅炉出力的调整主要通过燃料量、风量和给水量的调节来实现。增加燃料量可以提高锅炉的产热量,增加蒸汽产量;调整风量可以保证燃料的充分燃烧,提高燃烧效率;调节给水量可以控制锅炉的水位和蒸汽产量。汽轮机出力的调整则通过调节阀开度和进汽参数控制来实现。调节调节阀开度可以改变进入汽轮机的蒸汽流量,从而调整汽轮机的出力;调整进汽参数,如压力和温度,可以影响汽轮机的做功能力<sup>[4]</sup>。协同优化需要建立锅炉-汽

轮机动态模型,预测负荷变化对参数的影响。通过模型模拟,可以提前了解负荷变化时锅炉和汽轮机各参数的变化趋势,制定相应的调整策略。例如,某机组通过建立动态模型,将负荷响应时间从5分钟缩短至2分钟,提高了机组对电网负荷变化的适应能力。此外,负荷匹配还需要考虑设备的寿命,避免频繁大幅调节导致热疲劳损伤。采用变负荷速率限制功能可以降低设备的应力,延长设备的使用寿命。

### 3.2 参数协同控制

参数协同控制需要统一锅炉与汽轮机的控制目标,实现压力、温度及流量的协同调节,以提高机组的运行效率和稳定性。主蒸汽压力的控制需要锅炉与汽轮机协调配合。锅炉通过调节燃料量来控制蒸汽产量,从而调整主蒸汽压力;汽轮机通过调节调节阀开度来稳定主蒸汽压力,确保进入汽轮机的蒸汽压力稳定。采用协调控制系统(CCS)可以实现主蒸汽压力的闭环控制,提高控制的准确性和响应速度。主蒸汽温度的控制需要锅炉燃烧调整与汽轮机喷水减温协同进行。锅炉通过调整燃烧器的燃烧状态和受热面的吸热量来控制主蒸汽温度;汽轮机通过喷水减温装置对蒸汽温度进行微调,避免温度波动导致设备热应力。例如,某机组通过温度前馈控制,将主蒸汽温度波动范围从 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 缩小至 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,提高了设备的安全性和运行效率。再热参数的控制需要锅炉烟气挡板与汽轮机中压调节阀协同工作。通过调整锅炉烟气挡板的开度,改变再热器受热面的吸热量,从而控制再热蒸汽温度;汽轮机通过调节中压调节阀开度,优化再热蒸汽流量,确保再热蒸汽温度与流量匹配。采用烟气再循环技术可以提高再热蒸汽温度的均匀性,进一步提高机组的运行效率。

### 3.3 能效监测与改进

能效监测是提高锅炉-汽轮机系统能效的基础。需要建立完善的锅炉-汽轮机能效指标体系,实时监测热效率、煤耗及厂用电率等关键指标。热效率监测可以通过正平衡法或反平衡法进行计算。正平衡法是通过测量锅炉的输入热量和输出热量来计算热效率;反平衡法是通过分析锅炉的各项热损失来计算热效率。通过热效率监测,可以

识别能效损失环节,例如某机组通过反平衡法发现排烟热损失占比最高,针对性地优化燃烧系统,降低了排烟热损失,提高了锅炉热效率。煤耗监测需要结合燃料热值与发电量进行计算。通过分析煤耗波动原因,可以找出影响煤耗的关键因素,采取相应的措施进行改进。例如,某机组通过煤耗监测发现给水温度偏低导致煤耗增加,通过优化加热器运行,提高了给水温度,使煤耗降低了1.5%。厂用电率监测需要分解各系统的用电量,找出用电量较大的系统和设备,优化辅机运行方式<sup>[5]</sup>。例如,某机组通过变频改造循环泵,降低了循环泵的功耗,使厂用电率降低了0.8%。此外,能效改进需要制定年度目标,通过技术改造和运行优化等措施,实现能效的持续提升,提高火电厂的经济效益和竞争力。

### 结语:

火电厂锅炉汽轮机的高效运行优化是一个涉及多环节、多因素的复杂系统工程。通过对锅炉燃烧系统、热传递过程、蒸汽参数控制等方面的优化,以及汽轮机通流部分、运行参数、维护策略的改进,再加上锅炉汽轮机的协同优化,能够有效提升机组的整体运行效率,降低能源消耗和污染物排放。火电厂应结合自身实际情况,积极采用这些优化路径,不断提升运行管理水平,以适应能源市场的发展需求,实现经济效益与环境效益的双赢。

### 参考文献:

- [1]邵山.火电厂锅炉汽轮机系统节能技术及优化措施研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(1):049-052.
- [2]李康胜.火电厂锅炉高效低氮燃烧优化运行策略研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2026(4):097-100.
- [3]李克.汽轮机调频技术在火电厂集控运行电力调节中的实践[J].消费电子,2026(7):239-241.
- [4]薛峰,王以炜,刘倩.热电厂锅炉汽轮机供热系统协同优化控制技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(2):204-207.
- [5]李康胜.火电厂循环流化床锅炉高效稳定运行关键技术研究[J].中国科技期刊数据库工业B,2026(1):009-012.