

# 大型火力发电厂汽轮机效率提升技术研究

刁凡 龚昊

华能国际电力江苏能源开发有限公司南京电厂 江苏 南京 211500

**摘要:** 大型火力发电厂汽轮机效率提升技术研究旨在探索和优化汽轮机的运行参数、设备设计、监测与维护策略,以提高其热效率和运行稳定性。本文综述了蒸汽参数优化、设备设计与制造技术改进、运行工况优化调整以及智能控制系统与优化算法应用等关键技术。通过理论分析、实验验证和实际应用,揭示了这些技术在提升汽轮机效率方面的潜力和效果。本研究为大型火力发电厂汽轮机效率提升提供科学依据和技术支撑,对于推动能源高效利用和可持续发展具有重要意义。

**关键词:** 大型火力发电厂; 汽轮机; 效率提升; 节能减排

**引言:** 大型火力发电厂作为电力供应的重要来源,其能效提升对于节能减排和可持续发展具有重要意义。汽轮机作为发电厂的核心设备,其效率直接关系到整个系统的能源利用效率。开展大型火力发电厂汽轮机效率提升技术研究,旨在探索和优化汽轮机的运行参数、改进设备设计、强化监测与维护,以期实现更高的热效率和更稳定的运行状态,为能源行业的绿色发展提供有力支撑。

## 1 大型火力发电厂汽轮机工作原理及能耗特性

### 1.1 汽轮机工作原理

大型火力发电厂的汽轮机是电力生产的核心设备之一,其工作原理基于热能转换,即将燃烧化石燃料(如煤、天然气或石油)产生的蒸汽能转化为机械能,再由发电机将机械能转化为电能。这一过程主要包括以下几个步骤:(1)蒸汽进入。锅炉内燃烧化石燃料产生的高温高压蒸汽,通过管道和进汽阀进入汽轮机的汽缸。这些蒸汽携带着大量的热能;(2)叶片驱动。蒸汽进入汽缸后,冲击汽轮机叶片,产生力矩驱动叶片旋转。这一过程中,蒸汽的热能被转化为机械能,即转子的旋转能;(3)多级膨胀做功。汽轮机内部通常由高压缸、中压缸和低压缸组成,蒸汽在这些缸内经过多级膨胀做功,以最大化能量利用效率。每一级都由动叶和静叶组成,蒸汽在静叶中改变方向并加速,然后在动叶中膨胀做功,推动叶片旋转;(4)蒸汽排出与冷凝。做功后的低压蒸汽通过排汽阀排出汽轮机,进入凝汽器。在凝汽器中,蒸汽被冷却水冷凝成水,这一过程中释放的潜热被回收,冷凝水随后被送回锅炉进行循环使用;(5)机械能转化为电。汽轮机转子通过主轴与发电机相连,转子的机械旋转能带动发电机内的转子旋转,从而切割磁场线产生电能,并输出至电网。不同类型的汽轮机,

如冲动式汽轮机和反动式汽轮机,在工作原理上略有差异。冲动式汽轮机主要依赖蒸汽冲击力推动叶片旋转,而反动式汽轮机则同时依赖蒸汽的冲击力和反作用力。

### 1.2 汽轮机能耗特性分析

汽轮机的能耗特性主要受其设计、运行环境以及维护保养状况的影响。在实际运行中,汽轮机组能耗较高,主要包括几个方面的原因:汽机本体问题,喷嘴室和外缸容易变形,隔板汽封和轴端汽封漏气严重,低压缸出汽边水蚀严重,这些问题都会导致能量损失。调节阀与热力系统,调节阀油动机的提升力不足、气阀压损大,以及热力系统容易发生泄漏,都会增加能耗<sup>[1]</sup>。冷却水与凝汽器,冷却水的温度过高、凝汽器的真空偏高,也会影响汽轮机的效率。特别是在一些地区,如我国西北部,沙尘会积聚在凝汽器翅片管上,增加热阻,恶化传热性能。另外,汽轮机的变工况运行也会对其能耗特性产生影响。当蒸汽压力、温度或流量偏离设计值时,汽轮机的效率会受到影响,导致能耗增加。

## 2 影响大型火力发电厂汽轮机效率的关键因素

### 2.1 蒸汽参数

蒸汽参数,包括蒸汽的初压力和初温度,对汽轮机的效率有着至关重要的影响。提高蒸汽的初压力和初温度可以显著提高循环热效率,但这一提高受到金属材料性能、蒸汽膨胀终了湿度以及叶片损伤等因素的限制。在确定蒸汽参数时,需要进行全面的技术经济分析和综合平衡。在实际应用中,通过提高蒸汽参数可以显著节约燃料。例如,将中参数(3.5MPa、435℃)提高至高参数(9MPa、535℃),可以节约燃料12%~15%;进一步提高至超高参数并采用中间再热(13.5MPa、535/535℃),可以再节约燃料约8%。

### 2.2 设备设计

汽轮机的设计对其效率有着直接影响。高效的设计能够减少能量损失,提高热能转化为电能的效率。这包括采用先进的叶片设计和流道优化,以减小流体阻力,提高能量转换效率。汽轮机的多级膨胀做功设计也是提高其效率的关键因素之一。设备性能与状态也会影响汽轮机的效率。汽轮机的制造、安装质量以及运行过程中的磨损、腐蚀等因素都会影响其性能。

### 2.3 运行工况

汽轮机的运行工况对其效率有着显著影响。在理想工况下,汽轮机能够高效转换热能为机械能。当工况发生变化,如蒸汽压力、温度或流量偏离设计值时,汽轮机的效率就会受到影响。蒸汽压力的变化直接影响汽轮机的输出功率和效率。当蒸汽压力降低时,汽轮机的输出功率会减少,导致效率下降。同样,蒸汽温度的变化也会影响汽轮机的热效率和输出功率。蒸汽流量的波动也会对汽轮机的运行稳定性产生影响,进而影响其效率。

## 3 大型火力发电厂汽轮机效率提升的主要技术

在大型火力发电厂中,汽轮机作为能量转换的关键设备,其效率的提升直接关系到整个发电厂的能效和经济效益。

### 3.1 蒸汽参数优化技术

蒸汽参数,包括蒸汽的压力和温度,是影响汽轮机效率的关键因素。优化蒸汽参数,旨在通过提高蒸汽的初压和初温,以及合理控制蒸汽的再热温度和压力,来实现汽轮机热效率的显著提升。随着蒸汽初压和初温的提高,蒸汽在汽轮机中的膨胀做功能力增强,从而提高了循环热效率。这一提升受到材料性能的制约。因此开发耐高温、高压的新材料,如镍基合金和陶瓷复合材料,成为提升蒸汽参数的重要前提。采用先进的焊接和热处理技术,确保这些材料在极端条件下的稳定性和可靠性。在汽轮机高压缸做功后的蒸汽被抽出,重新加热至较高温度后再送回低压缸继续做功,这一过程称为再热循环。再热循环能够减少蒸汽在膨胀过程中的湿度损失,提高做功能力,从而进一步提升效率。优化再热温度和压力,以及再热器的设计和布置,是实现再热循环效率最大化的关键。在汽轮机低压缸中,蒸汽膨胀至接近饱和状态,产生湿蒸汽。湿蒸汽中的水滴会冲击叶片,造成能量损失和叶片磨损。通过改进叶片设计,如采用空心叶片和蒸汽冷却技术,以及优化汽缸和排汽系统,可以有效减少湿蒸汽损失,提高汽轮机效率。

### 3.2 设备设计与制造技术改进

设备设计与制造技术的改进,旨在通过优化汽轮机

的结构设计和制造工艺,减少能量损失,提高转换效率。叶片是汽轮机能量转换的核心部件,采用先进的流体力学计算和仿真技术,对叶片的形状、角度和布置进行优化设计,以减少流体阻力,提高能量转换效率。同时开发新型材料和制造工艺,如定向结晶叶片和三维打印技术,以提高叶片的强度和耐久性<sup>[2]</sup>。汽缸密封性能直接影响蒸汽泄漏量,进而影响汽轮机效率。采用先进的密封结构和材料,如迷宫式密封和金属波纹管密封,以及优化密封间隙和安装工艺,可以有效减少蒸汽泄漏,提高汽缸密封性能。转子作为汽轮机的主要旋转部件,其动力学性能直接影响汽轮机的稳定性和效率。通过优化转子的质量分布、轴承设计和支撑结构,以及采用先进的动平衡技术,可以减少转子振动和磨损,提高汽轮机运行稳定性和效率。

### 3.3 运行工况优化技术

运行工况的优化,旨在通过调整汽轮机的运行参数和工况,以适应不同的负荷需求和能源政策,同时保持高效率运行。在部分负荷工况下,通过调整锅炉出口蒸汽压力,使汽轮机保持较高的热效率。滑压运行能够减少节流损失,提高蒸汽在汽轮机中的做功能力。根据负荷变化,灵活调整汽轮机的进汽量、排汽压力和转速等参数,以保持最佳的运行状态。采用先进的调节阀和控制系统,实现精确、快速的工况调节。在汽轮机排汽中蕴含大量的余热资源。通过采用余热锅炉、热泵等技术,将排汽中的余热回收并转化为电能或热能,进一步提高能源利用效率。

### 3.4 智能控制系统与优化算法应用

随着信息技术的快速发展,智能控制系统与优化算法在汽轮机效率提升中发挥着越来越重要的作用。采用先进的传感器、数据采集和分析技术,实时监测汽轮机的运行状态和性能参数。通过机器学习算法和人工智能模型,对运行数据进行深度挖掘和分析,预测故障趋势,优化运行策略。智能控制系统能够实现汽轮机的自动化、智能化运行,提高运行效率和可靠性。利用遗传算法、粒子群算法等优化算法,对汽轮机的运行参数进行全局搜索和优化。通过模拟不同工况下的运行数据,找出最优的运行参数组合,实现汽轮机效率的最大化。同时结合实时运行数据和历史数据,对优化算法进行持续改进和迭代,以适应不断变化的运行环境和需求。通过云计算和物联网技术,实现汽轮机的远程监控和维护。专家团队可以实时获取汽轮机的运行状态和性能数据,进行远程故障诊断和性能优化。这不仅能够提高汽轮机的运行效率,还能降低维护成本和停机时间<sup>[3]</sup>。

## 4 大型火力发电厂汽轮机运行维护与监测技术

### 4.1 汽轮机运行优化调整

汽轮机运行优化调整是指根据汽轮机的实际运行状态和负荷需求,通过调整运行参数和操作策略,以达到提高能效、减少磨损和延长设备寿命的目的。根据电网负荷需求和汽轮机的设计特性,合理调整汽轮机的进汽量、排汽压力和转速等参数,实现负荷与汽轮机能力的最佳匹配。在部分负荷工况下,采用滑压运行方式,通过调整锅炉出口蒸汽压力,保持汽轮机在较高的热效率区间运行,减少节流损失。汽水品质直接影响汽轮机的热效率和设备寿命。通过加强锅炉给水和凝结水的净化处理,控制水中的溶解氧、硬度和酸碱度等指标,防止汽轮机内部结垢和腐蚀,保持汽水系统的清洁和高效运行。轴瓦温度和振动是反映汽轮机运行状态的重要指标。通过实时监测轴瓦温度和振动水平,及时发现并处理潜在的润滑不良和不平衡问题,防止轴瓦损坏和轴系振动过大,确保汽轮机的稳定运行。

### 4.2 设备状态监测与故障诊断技术

设备状态监测与故障诊断技术是通过安装传感器和数据采集系统,实时监测汽轮机的运行状态,并利用数据分析算法和专家系统,对监测数据进行处理和分析,以发现潜在的故障隐患并进行预警和诊断。采用振动传感器、温度传感器和压力传感器等在线监测设备,实时采集汽轮机的振动、温度和压力等关键参数。通过数据分析软件,对这些参数进行趋势分析和异常检测,及时发现设备运行中的异常情况。利用机器学习算法和人工智能模型,对监测数据进行深度挖掘和分析,识别故障特征和模式。通过建立故障知识库和专家系统,对识别出的故障进行自动诊断和分类,提供故障定位和修复建议。结合云计算和物联网技术,实现汽轮机的远程监控和预警。专家团队可以实时获取汽轮机的运行状态和故障信息,进行远程故障诊断和预警,及时指导现场人员进行处理,减少停机时间和维修成本。

### 4.3 定期维护与检修策略

定期维护与检修策略是根据汽轮机的运行周期和设

备特性,制定科学合理的维护计划和检修方案,以确保设备的长期稳定运行和延长使用寿命。根据汽轮机的运行历史数据和制造商的维护建议,制定预防性维护计划。定期对汽轮机进行清洁、润滑、紧固和检查等工作,及时发现并处理潜在的磨损和腐蚀问题,防止故障的发生<sup>[4]</sup>。根据汽轮机的运行年限和设备状态,制定大修计划和升级改造方案。大修期间,对汽轮机进行全面的解体检查、清洗、修理和更换损坏部件。同时根据技术进步和能效要求,对汽轮机进行升级改造,提高能效和可靠性。建立科学合理的备件管理和库存管理制度,确保关键备件和易损件的及时供应。通过对备件的使用情况和库存情况进行跟踪和分析,优化备件采购计划和库存管理策略,降低备件成本和库存积压风险。定期对维护人员进行技能培训和知识更新,提高其专业水平和故障处理能力。通过组织内部培训和外部专家讲座等方式,不断引进新技术和新方法,提升维护团队的整体素质和技术水平。

### 结束语

综上所述,大型火力发电厂汽轮机效率提升技术研究是一项系统工程,涉及蒸汽参数、设备设计、运行工况和智能控制等多个方面。通过综合应用上述关键技术,可以有效提高汽轮机的热效率和运行稳定性,降低能耗和排放,提升发电厂的整体能效和经济效益。未来,随着科技的不断进步和创新,汽轮机效率提升技术将不断得到优化和完善,为能源行业的绿色发展贡献力量。

### 参考文献

- [1]王杰.火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理分析[J].清洗世界,2021,37(11):129-130.
- [2]李阳.火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理分析[J].中国设备工程,2021(12):266-267.
- [3]张伟.火力发电厂汽轮机运行管理及优化策略分析[J].科技创新与应用,2022,12(23):133-136.
- [4]林华红.火力发电厂大型汽轮机振动异常分析及故障判断[J].山东工业技术,2019(04):181.DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2019.04.158.