

# 锅炉汽轮机节能及运行管理技术探析

王燕龙 钱培东 关志成

北方联合电力有限责任公司达拉特发电厂 内蒙古自治区 鄂尔多斯 014300

**摘要:** 本文聚焦锅炉汽轮机节能及运行管理技术。先分析系统组成、工作原理与能耗影响因素,诊断典型能耗问题;接着探讨节能技术,涵盖锅炉、汽轮机及系统协同节能方向;随后提出运行管理策略,包括参数优化、设备维护、人员培训和智能化管理。旨在为降低锅炉汽轮机系统能耗提供全面思路,助力工业领域提升能源利用效率,实现可持续发展与节能减排目标。

**关键词:** 锅炉节能;汽轮机优化;运行管理

引言:在工业领域,锅炉汽轮机系统作为火力发电和工业供热的核心动力单元,其能耗水平直接影响着整体能源利用效率与成本。当前,能源紧张与环境问题日益突出,降低该系统能耗迫在眉睫。深入分析其能耗状况、诊断典型问题、探索节能技术并制定有效的运行管理策略,对于提升系统运行效率、降低能源消耗、实现节能减排目标具有重要的现实意义,也是工业可持续发展的必然要求。

## 1 锅炉汽轮机系统能耗分析

### 1.1 系统组成与工作原理

锅炉汽轮机系统是火力发电、工业供热的核心动力单元,主要由锅炉、汽轮机、发电机、凝汽器、给水泵、空预器等设备及辅助管网组成,各部件协同运作完成能量转换。其核心工作原理为:锅炉通过燃烧燃料将化学能转化为热能,加热给水生成高温高压蒸汽,蒸汽经主汽阀进入汽轮机,推动转子高速旋转将热能转化为机械能,汽轮机带动发电机发电实现机械能向电能的转化,做功后的乏汽进入凝汽器冷却成凝结水,经给水泵送回锅炉循环使用,形成完整的能量转换闭环。该系统运行稳定性与能量转换效率直接决定整体能耗水平,是工业领域节能管控的核心环节。

### 1.2 能耗影响因素分析

锅炉汽轮机系统能耗受多重因素综合影响,核心可分为设备、运行、燃料三大类。设备层面,锅炉受热面结渣、积灰会降低传热效率,汽轮机通流部件磨损、密封件老化会导致泄漏损失增加,辅机设备能效衰减也会拉高整体能耗。运行层面,锅炉燃烧调整不当、汽温汽压偏离设计值,汽轮机真空度不足、负荷波动过大,以及系统各设备协同性差,都会造成能量浪费<sup>[1]</sup>。燃料层面,燃料热值、挥发分、灰分等指标与设计值不符,会影响燃烧充分性,增加不完全燃烧损失,劣质燃料还会加剧

设备损耗,间接提升能耗。环境温度、水质指标、操作规范性等因素,也会通过影响设备运行状态间接作用于系统能耗,需全面管控以降低能耗。

## 2 典型能耗问题诊断

### 2.1 锅炉排烟热损失、不完全燃烧损失

锅炉排烟热损失与不完全燃烧损失是导致锅炉能耗偏高的核心问题,占锅炉总热损失的70%以上。排烟热损失主要源于排烟温度过高,多由空预器换热效率下降、受热面积灰结垢、过量空气系数控制不当导致,高温烟气携带大量热能直接排放,造成能量浪费,同时过高排烟温度还会加剧烟道腐蚀。不完全燃烧损失分为化学不完全燃烧和机械不完全燃烧损失,前者因燃料燃烧不充分产生CO等可燃气体排放,后者为未燃烧完全的炭粒随飞灰、炉渣排出,主要诱因包括燃料粒度不均匀、燃烧器配风不合理、炉膛温度偏低、炉内气流扰动不足等。这类损失不仅降低燃料利用率,还会污染环境,需通过精准检测排烟参数、飞灰含碳量等指标,针对性排查整改。

### 2.2 汽轮机通流部分效率下降、泄漏损失

汽轮机通流部分效率下降与泄漏损失是汽轮机能耗攀升的主要症结,直接影响能量转化效率。通流部分效率下降多由长期运行导致的部件损耗引发,如动叶片、静叶片磨损、腐蚀、结垢,使叶片型线偏离设计值,气流通道受阻,蒸汽做功能力减弱,同时叶片间隙增大也会加剧气流扰动损失<sup>[2]</sup>。泄漏损失主要包括内泄漏和外泄漏,内泄漏为蒸汽在通流部分各级之间的间隙泄漏,外泄漏则是蒸汽从轴端密封处泄漏至大气,根源在于密封件老化、间隙调整不当、转子变形等。这类问题会导致汽轮机输出功率降低,单位发电量耗汽量增加,需通过振动监测、密封性能检测、通流间隙测量等手段诊断,及时处理部件损耗与密封问题。

### 2.3 系统匹配性与协同运行问题

锅炉汽轮机系统匹配性与协同运行不足,易造成整体能耗居高不下,这类问题常被忽视却影响显著。系统匹配性问题体现在设备参数不匹配,如锅炉蒸发量与汽轮机额定进汽量不符、蒸汽参数与汽轮机设计要求偏差过大,导致设备无法在最佳工况运行。协同运行问题主要表现为各设备启停、负荷调整不同步,如锅炉升温升压速率与汽轮机冲转要求不匹配,辅机运行状态与主机负荷适配性差,以及自动控制系统调节滞后,导致系统频繁波动。另外,热力循环系统中管道保温破损、阀门节流损失过大,也会破坏系统协同性,造成能量损耗。这类问题需从系统整体角度优化,通过工况联动调整、参数精准调控提升协同运行效率。

### 3 锅炉汽轮机节能技术

#### 3.1 锅炉节能技术

锅炉节能技术聚焦降低热损失、提升燃烧效率,涵盖多个应用方向。在强化传热方面,采用高频声波吹灰器、脉冲吹灰器替代传统吹灰设备,有效清除受热面积灰结渣,提升传热效率;对锅炉炉膛、烟道进行保温改造,采用高性能保温材料,降低散热损失。在优化燃烧方面,推广低氮燃烧技术,通过调整燃烧器结构、优化配风方式,实现燃料充分燃烧,减少不完全燃烧损失;应用燃烧自动控制系统,实时监测燃烧参数,动态调整燃料供给量与空气量,维持最佳燃烧工况。余热回收技术应用广泛,如利用烟气余热加热给水、预热空气,或通过余热锅炉产生低压蒸汽供辅助系统使用,大幅提升能源利用率。

#### 3.2 汽轮机节能技术

汽轮机节能技术聚焦于提升通流效率、减少泄漏损失,同时兼顾工况优化与余热利用,旨在全方位提升汽轮机的能源利用效率。通流部分优化技术是其中的关键环节,通过对动叶片和静叶片进行气动性能改造,采用新型高效叶片型线,能够有效缩小通流间隙,从而降低气流在通过时的损失。而且,对通流部件进行防腐蚀、防结垢处理也至关重要,这可以延长部件的使用寿命,确保汽轮机在高效状态下长期稳定运行,减少因部件损坏或性能下降导致的能耗增加。在密封优化技术方面,采用刷式密封、蜂窝密封等新型密封结构来替代传统迷宫密封,能够大幅减少蒸汽泄漏量。特别是对轴端密封与级间密封进行改造,节能效果十分显著。汽轮机真空度优化技术也不容忽视。通过改造凝汽器、优化循环水系统运行,可以降低凝汽器端差,进而提高真空度,提升汽轮机的做功效率。同时,应用背压式汽轮机改造技术,将乏汽余热用于工业供热或生活供暖,实现热电联产,能够极大地提

升能源的综合利用效率,使能源得到更充分的发挥。

#### 3.3 系统协同节能技术

系统协同节能技术立足于整体优化,通过联动调控、流程改进等方式,实现全系统能耗的有效降低。其核心技术之一是分布式控制系统(DCS)升级,通过构建全流程联动控制平台,能够实时采集锅炉、汽轮机、辅机等设备的运行参数。借助先进的算法模型,对这些参数进行深入分析和优化,从而制定出更加科学合理的运行策略,实现各设备工况的精准匹配,避免出现局部过载或低效运行的情况,有效降低能源浪费<sup>[1]</sup>。热力循环优化技术也是系统协同节能的重要手段。通过改进循环流程,减少节流损失与散热损失,例如采用变频调速技术对给水泵、引风机等辅机进行改造,使辅机负荷能够随主机工况动态调整,降低辅机电耗。同时,优化凝结水回收系统,减少疏水损失,能够进一步提升循环效率。此外,能源梯级利用技术是协同节能的重要发展方向。根据不同设备对能量品质的需求,合理分配蒸汽能级,让高温高压蒸汽用于发电,低温低压蒸汽用于供热或驱动辅机,实现能源的最大化利用,提升整个系统的能源利用价值。

### 4 锅炉汽轮机运行管理策略

#### 4.1 运行参数优化管理

运行参数优化管理作为降低锅炉汽轮机系统能耗的基础手段,其重要性不言而喻。为达成节能目标,需构建一套精准的参数管控体系,确保设备始终在最佳工况下稳定运行。在锅炉侧,要着重管控汽温、汽压、水位以及过量空气系数等核心参数。严格将汽温汽压控制在设计允许的合理范围内,因为超温超压会损害设备,而参数偏低则会导致燃烧不充分,进而增加能耗。通过科学优化配风方式,精准调整过量空气系数,能够有效减少排烟热损失。汽轮机侧则聚焦于真空度、转速和进汽量等参数。定期对凝汽器真空度进行监测,一旦发现泄漏或结垢问题,及时排查处理,维持最佳真空状态,可提升汽轮机做功效率。依据负荷需求,合理调整进汽量与转速,能避免低负荷工况下汽轮机低效运行。建立参数异常预警机制,借助实时监测与数据分析技术,一旦发现参数偏离正常范围,立即发出预警并迅速处置,形成“监测-调控-反馈”的闭环管理流程,保障运行参数始终处于最优区间,实现节能降耗。

#### 4.2 设备维护与检修管理

科学的设备维护与检修管理是保障锅炉汽轮机系统设备高效运行、降低能耗的关键所在,必须建立一套全生命周期维护体系。在日常维护方面,要定期对锅炉受热面、汽轮机通流部件、密封件等关键部位展开细致检查。

及时清除受热面的积灰、结垢以及部件的磨损问题，定期更换老化的密封件和润滑油，以此确保设备性能稳定可靠。同时，加强辅机设备的维护力度，定期对仪表、阀门进行校验，保障其调节精度和运行可靠性，避免因小失大影响整体能耗。在检修管理方面，推行预防性检修策略，取代传统的事后检修模式。结合设备运行数据和磨损规律，精心制定检修计划，重点检修易引发能耗上升的部件，如锅炉燃烧器、汽轮机叶片、凝汽器等。检修完成后，进行严格的性能测试，确保设备参数达标、运行效率恢复如初，防止因检修不到位导致能耗反弹。建立设备维护档案，详细记录设备运行状态和检修情况，为后续维护工作提供有力的数据支撑。

#### 4.3 人员培训与操作规范

人员操作的规范性对锅炉汽轮机系统的能耗有着直接影响，因此需要通过完善培训体系、健全操作规范来提升运维人员的整体水平。建立分层级培训机制，针对运行人员和检修人员开展专项培训。对于运行人员，重点培训参数调控、故障判断以及节能操作技巧，使其能够熟练掌握不同工况下的最优操作方法，在运行过程中实现精准操作，降低能耗。对于检修人员，强化设备结构、节能改造技术和精准检修技能的培训，提升其故障处置和节能改造能力，确保在检修过程中能够高效解决问题，恢复设备性能。健全操作规范体系，制定各设备、各工况下的标准化操作流程，明确参数控制范围、操作步骤以及安全注意事项，严禁违规操作，例如严禁锅炉超负荷运行、汽轮机冲转参数超标等。同时建立操作考核机制，将能耗指标与操作规范性紧密挂钩，定期开展技能考核和节能评比活动，强化人员的节能意识，倒逼操作水平提升，从人为因素层面有效降低系统能耗。

#### 4.4 智能化运行管理系统

智能化运行管理系统是实现锅炉汽轮机系统精准节能、高效管控的核心支撑，它通过融合物联网、大数据、

人工智能等先进技术，对管理模式进行全面优化。该系统的核心功能之一是实时监测与数据采集。通过在锅炉、汽轮机及辅机上部署各类传感器和智能仪表，能够全面采集设备的运行参数、能耗数据以及设备状态信息，并将这些数据实时上传至管理系统，以直观的可视化形式展示出来，方便管理人员随时掌握系统运行状况<sup>[4]</sup>。基于大数据分析技术，系统可以构建能耗预测模型与工况优化算法，精准识别能耗异常点，预测能耗变化趋势，自动生成最优运行调整方案，辅助操作人员进行科学决策，甚至在部分工况下实现自动调控。另外，系统还具备故障预警与诊断功能，通过深入分析数据，及时发现设备潜在故障，避免故障扩大导致能耗激增。同时系统能够实现能耗数据统计分析、报表生成，为节能评估和管理决策提供有力的数据支撑，推动运行管理从经验型向智能化、精准化方向转变。

#### 结束语

锅炉汽轮机节能及运行管理是工业节能降耗的关键环节。通过全面剖析系统能耗问题，针对性地应用节能技术，并实施科学的运行管理策略，能够有效降低系统能耗，提升能源利用效率。未来，随着技术的不断进步，智能化、精准化的节能与管理手段将进一步发展，为工业领域的节能减排提供更有力的支持，推动工业向绿色、高效、可持续方向迈进，实现经济发展与环境保护的双赢。

#### 参考文献

- [1]崔志成.锅炉汽轮机节能及运行管理分析[J].电气技术与经济,2022,(05):157-159.
- [2]吴建明.锅炉汽轮机节能及运行管理探讨[J].石化技术,2022,29(04):188-189.
- [3]孙子昂.电厂汽轮机运行的节能降耗策略研究[J].造纸装备及材料,2022,51(11):61-63.
- [4]刘楠,邢海鹏.火电厂锅炉汽轮机系统的节能环保问题及措施[J].海峡科技与产业,2022,35(01):69-71.