

火力发电厂汽轮机节能技术研究

刘燕峰 徐 磊 张泽群
华能平凉发电有限责任公司 甘肃 平凉 744000

摘 要：火力发电在能源供应体系中占据重要地位，汽轮机作为核心设备，其能耗水平直接影响电厂经济效益与能源利用率。深入剖析汽轮机工作原理可知，其能耗由蒸汽做功损耗、散热损失等多部分构成，设备参数、运行工况等因素对能耗影响显著。汽轮机本体优化、蒸汽与凝汽系统改进及辅助设备节能等技术，为降低能耗提供有效路径。配合加强技术培训、试点应用等推广建议，可推动火力发电行业绿色高效发展。

关键词：火力发电厂；汽轮机；节能技术

引言

在全球能源需求持续增长与“双碳”目标的双重压力下，火力发电行业亟需通过技术革新实现节能减排。汽轮机作为火力发电厂能量转换的关键设备，其能耗占比高，节能潜力巨大。研究汽轮机节能技术，不仅有助于提升电厂运行效率、降低生产成本，还对缓解能源危机、减少环境污染意义深远。本文基于对汽轮机工作原理与能耗特性的分析，系统探讨节能技术及推广策略，以为行业发展提供参考。

1 火力发电厂汽轮机工作原理及能耗分析

1.1 汽轮机工作原理

火力发电厂汽轮机是将蒸汽的热能转换为机械能的关键设备，其工作过程基于热力学中的能量转换原理。具有一定压力和温度的蒸汽经主蒸汽管道引入汽轮机，首先在喷嘴中实现膨胀，蒸汽压力与温度降低，流速大幅提升，将蒸汽的热能转换为动能。高速蒸汽流冲击汽轮机叶片，叶片在蒸汽作用力下产生圆周运动，带动转子旋转，实现动能向机械能的转化。汽轮机通常采用多级结构，包括高压缸、中压缸和低压缸，各级之间通过合理的通流设计，使蒸汽逐级膨胀做功，持续推动转子旋转。在整个过程中，蒸汽在不同级的汽缸内不断进行能量转换，其压力、温度和流速逐步降低，直至排汽进入凝汽器，完成一个完整的能量转换循环，为发电机提供持续稳定的旋转动力，驱动发电机将机械能转换为电能。

1.2 汽轮机能耗构成

汽轮机能耗主要由多种能量损失构成。在蒸汽流动过程中，存在流动阻力损失，蒸汽在管道、喷嘴、叶片等部件内流动时，因与壁面摩擦及内部涡流等因素，消耗部分能量，降低蒸汽做功能力。汽轮机的机械损失同样不可忽视，轴承摩擦、轴封漏气等导致机械能损耗，影响设备运行效率。排汽损失是汽轮机能耗的重要组成

部分，排汽在凝汽器中未能完全将余热转换为有用功，大量热量随循环水带走，造成能量浪费。回热系统不完善也会带来能耗，加热器端差、疏水不畅等问题，使得给水未能充分吸收抽汽热量，增加锅炉燃料消耗。汽轮机启停过程中的暖机、冲转等操作，以及正常运行时的辅助设备用电，如循环水泵、凝结水泵等，均构成汽轮机的能耗组成部分，这些能耗共同影响着汽轮机整体的能源利用效率。

1.3 影响汽轮机能耗的因素

汽轮机能耗受多方面因素影响。从设备自身特性来看，汽轮机的结构设计、制造工艺和设备状态对能耗起着关键作用。先进的通流部分设计可减少蒸汽流动阻力，优化的叶片型线能提高蒸汽做功效率；设备长期运行后出现的叶片磨损、汽封间隙增大等问题，会增加能量损失，导致能耗上升。运行参数方面，主蒸汽的压力、温度和流量，以及排汽压力等参数的变化直接影响汽轮机的能耗。主蒸汽压力和温度越高，蒸汽的可用焓降越大，做功能力越强，能耗相对越低；排汽压力升高，则会减少蒸汽在汽轮机内的做功焓降，增加排汽损失，使能耗增加。负荷变化对汽轮机能耗影响显著，在低负荷运行时，汽轮机的进汽节流损失增大，各级焓降分配不合理，导致效率降低，能耗升高；凝汽器真空度、加热器投入数量及运行效果等因素，也会通过影响汽轮机的热力循环过程，对能耗产生重要影响。

2 火力发电厂汽轮机节能技术

2.1 汽轮机本体节能技术

汽轮机本体作为能量转换核心部件，其设计与运行优化直接影响机组能效。通过采用先进的通流部分设计，如三维流场分析技术优化叶片型线，可显著降低蒸汽流动损失。小容积流量工况下，利用可控涡流型技术，使叶片表面压力分布更均匀，有效抑制二次流损

失,提高级效率。新材料的应用同样关键,高温合金材料的采用提升了叶片耐高温性能,允许更高的初参数运行,增大蒸汽焓降,在提升机组做功能力的同时减少能量损耗。汽封结构的改进是减少本体漏汽损失的重要途径,蜂窝汽封、布莱登汽封等新型汽封技术,通过缩小动静间隙并增强密封性能,降低蒸汽外漏,减少因漏汽导致的能量浪费,提升汽轮机整体效率。对汽轮机转子和轴承系统进行精细化加工与安装调试,保证转子动平衡精度,优化轴承润滑系统,可降低机械摩擦损耗,减少额外能量消耗,实现汽轮机本体运行的高效节能^[1]。

2.2 蒸汽系统节能技术

蒸汽系统是连接锅炉与汽轮机的能量传输纽带,其节能重点在于减少能量输送过程中的损耗与优化蒸汽参数。优化蒸汽管道布置与保温措施,采用低阻力管道元件和大曲率半径弯管,降低蒸汽流动阻力,同时选用高效保温材料并保证保温层厚度与施工质量,减少管道散热损失,确保蒸汽参数稳定输送至汽轮机。合理匹配蒸汽参数与汽轮机运行需求,通过先进的监测与控制系统,根据机组负荷变化动态调整蒸汽压力、温度和流量,避免蒸汽参数过高或过低造成的能量浪费。当机组低负荷运行时,适当降低蒸汽压力,减少节流损失;在高负荷时,确保蒸汽参数满足汽轮机最佳做功条件。余热回收利用技术在蒸汽系统节能中发挥重要作用,通过设置余热锅炉或换热器,回收汽轮机排汽或抽汽的余热,加热凝结水或补充水,提高给水温度,减少锅炉燃料消耗,提升整个蒸汽系统的能量利用率,实现节能增效目标。

2.3 凝汽系统节能技术

凝汽系统的高效运行是维持汽轮机低背压运行、提高循环热效率的关键。凝汽器作为核心设备,其传热性能直接影响系统能效。采用高效换热管材,如钛管或不锈钢高效传热管,配合优化的管束布置方式,可增大换热面积,提高传热系数,降低凝汽器端差,使汽轮机排汽更充分地凝结,维持较低的背压。定期对凝汽器进行清洗维护,去除换热管表面的污垢和沉积物,保持良好的传热效果,避免因传热恶化导致的背压升高和能耗增加。真空泵性能优化同样重要,选用高效真空泵并合理配置运行参数,及时抽除凝汽器内不凝结气体,维持凝汽器真空度稳定。对凝结水系统进行优化,采用变频调速技术调节凝结水泵转速,根据机组负荷变化精准控制凝结水流量,减少水泵功耗;设置凝结水精处理系统,提高凝结水品质,防止汽轮机通流部分结垢,保证机组高效运行,降低凝汽系统整体能耗^[2]。

2.4 辅助设备节能技术

辅助设备作为汽轮机系统正常运行的重要支撑,其节能潜力不容小觑。在给水泵、循环水泵等大功率辅机上应用变频调速技术,根据机组实际负荷需求实时调节水泵转速,改变流量,避免传统节流调节方式造成的能量浪费,大幅降低辅机运行功耗。优化辅机设备的选型与配置,根据机组设计参数和运行特点,合理选择高效节能型设备,确保设备在高效区运行。例如,采用高效节能型电动给水泵或汽动给水泵,结合机组运行工况灵活切换,提高给水泵整体运行效率。对润滑油系统、调节油系统等辅助系统进行精细化管理,优化油循环路径,减少油系统阻力;定期更换过滤元件,保证油品清洁度,降低因油系统故障导致的能量损耗。利用先进的监测与诊断技术,对辅助设备进行实时在线监测,及时发现设备异常,提前采取维护措施,保证设备长期稳定高效运行,实现辅助设备系统的节能降耗。

3 火力发电厂汽轮机节能技术的推广建议

3.1 加强技术培训与交流

(1)在火力发电领域,汽轮机设备的运行、维护与节能改造涉及流体力学、热力学等多学科知识,对操作人员专业素养要求极高。企业应构建系统化的培训体系,针对汽轮机运行参数优化、新型节能设备操作等内容,定期组织内部培训。邀请行业内资深专家、设备供应商技术骨干开展专题讲座,结合实际案例剖析节能技术要点,帮助一线员工深入理解汽轮机节能原理,提升其技术应用能力。(2)搭建内部技术交流平台同样重要。企业可设立线上线下相结合的技术交流社区,鼓励员工分享在汽轮机节能操作中的经验与创新想法。定期举办技术研讨会,针对运行过程中出现的节能难题,组织团队集中研讨,集思广益寻求解决方案。通过这种方式,促进员工之间的知识共享与技能互补,营造良好的技术学习氛围。(3)积极参与行业外部的技术交流互动。企业可与其他火力发电厂、科研机构建立合作关系,组织技术人员参与行业论坛、学术会议,及时了解汽轮机节能技术的前沿动态与发展趋势。通过参观学习先进企业的节能实践案例,汲取成功经验,拓宽技术视野,为企业自身的节能技术应用提供新思路与借鉴。

3.2 开展节能技术试点应用

(1)在推广汽轮机节能技术时,试点应用是验证技术可行性与经济效益的关键环节。企业应根据自身实际情况,选择具有代表性的机组进行节能技术试点。优先选取运行年限较长、能耗较高且具备改造条件的汽轮机,从设备特性、运行环境等多方面进行综合评估,确

保试点项目能够真实反映节能技术在实际工况下的应用效果。(2)在试点过程中,要建立完善的监测与评估体系。采用先进的监测设备,对汽轮机的运行参数、能耗指标等进行实时监测与数据采集。通过对比试点前后的各项数据,运用科学的分析方法,全面评估节能技术对汽轮机热效率提升、能耗降低的实际效果。密切关注试点过程中出现的设备兼容性、运行稳定性等问题,及时调整优化技术方案。(3)试点成功后,要做好经验总结与成果推广工作。深入分析试点项目取得成功的关键因素,形成详细的技术应用报告与操作指南。组织企业内部其他机组操作人员进行培训学习,将试点成果快速复制推广到其他机组。积极与设备供应商、行业内其他企业分享经验,共同推动汽轮机节能技术的广泛应用,实现行业整体节能水平的提升^[3]。

3.3 建立节能奖励机制

(1)为充分调动员工参与汽轮机节能工作的积极性,企业应建立科学合理的节能奖励机制。以汽轮机实际节能效果为核心指标,制定量化的奖励标准。例如,根据机组能耗降低的百分比、节能效益的具体数值等,设置不同等级的奖励金额。将节能成果与员工的绩效奖金、职业晋升等挂钩,使员工能够切实感受到节能工作对个人发展的积极影响。(2)奖励机制应涵盖多个层面。不仅对在节能技术创新、优化操作流程等方面做出突出贡献的个人给予丰厚的物质奖励与精神嘉奖,对积极参与节能工作、团队整体节能效果显著的班组或部门,也应进行公开表彰与专项奖励。通过这种方式,激发员工的团队协作精神,形成全员参与节能工作的良好局面。(3)企业还应定期对节能奖励机制进行评估与完善。根据企业发展战略、技术进步以及市场环境的变化,及时调整奖励标准与评选方式。公开奖励过程与结果,确保奖励机制的公平、公正、公开,增强员工对奖励机制的信任度与认同感,持续推动汽轮机节能工作的深入开展。

3.4 持续技术创新与合作

(1)在能源领域不断发展变革的背景下,火力发电

厂汽轮机节能技术也需要持续创新。企业应加大研发投入,组建专业的技术研发团队,针对汽轮机运行过程中的关键节能环节,如蒸汽参数优化、汽轮机通流部分改造等,开展深入研究。结合计算机仿真技术、大数据分析等手段,探索更高效的节能技术方案,提高汽轮机的能源转换效率。(2)加强与外部科研机构、高校以及设备供应商的合作是推动技术创新的重要途径。企业可与科研团队联合开展产学研项目,充分利用高校与科研机构的理论研究优势和企业的实践经验,加速科研成果向实际生产力的转化。与设备供应商合作,共同研发新型节能设备与技术,实现设备的优化升级,为汽轮机节能提供技术支撑。(3)建立技术创新成果的转化与应用机制同样不可或缺。企业应及时将研发与合作取得的技术创新成果应用到汽轮机设备改造与运行优化中,通过实际应用检验技术的可靠性与有效性。持续关注技术应用过程中的反馈信息,对创新成果进行不断改进与完善,形成技术创新、应用、改进的良性循环,确保企业在汽轮机节能技术领域始终保持领先地位^[4]。

结语

综上所述,对火力发电厂汽轮机节能技术的研究,通过对工作原理、能耗构成及影响因素的剖析,形成了涵盖本体、蒸汽系统、凝汽系统及辅助设备的节能技术体系。结合有效的推广建议,可切实推动节能技术落地应用。未来,随着技术创新与行业合作的深入,汽轮机节能技术将持续优化,助力火力发电行业在保障能源供应的同时,实现可持续发展目标。

参考文献

- [1]陈洪.火力发电厂汽轮机驱动给水泵节能研究[J].现代制造技术与装备,2021,57(12):88-90.
- [2]杨玉庆.火力发电厂汽轮机组节能环保问题研究[J].建筑工程技术与设计,2020(8):4457.
- [3]黄建.火力发电厂汽轮机组节能降耗对策研究分析[J].装饰装修天地,2022(7):115-117.
- [4]郭慧佳.火力发电厂汽轮机驱动给水泵节能探讨[J].新型工业化,2022,12(10):281-284.