

大型火电机组汽轮机经济运行优化措施分析

王 磊

国能宝清煤电化有限公司 黑龙江 双鸭山 155600

摘要: 本文聚焦大型火电机组汽轮机经济运行优化。先阐述其工作原理与热力循环,接着从设计结构、运行边界、调节控制、设备老化故障等方面分析影响经济运行的关键因素。随后提出通流效率提升、配汽与运行方式优化等具体优化措施,以及基于状态的维护、运行小指标竞赛等优化管理策略。旨在为提升大型火电机组汽轮机经济运行水平提供理论依据与实践参考。

关键词: 大型火电机组; 汽轮机; 经济运行

引言: 在能源需求持续增长与节能减排要求日益严格的背景下,大型火电机组作为电力供应的主力军,其汽轮机的经济运行至关重要。汽轮机作为火电机组核心设备,其运行效率直接影响能源利用与发电成本。然而,诸多因素制约着其经济运行。因此,深入剖析影响因素,探寻有效的优化措施与管理策略,对提高大型火电机组汽轮机经济性、保障电力稳定供应意义重大。

1 大型火电机组汽轮机工作原理与热力循环

大型火电机组汽轮机是将蒸汽热能转化为机械能,进而驱动发电机发电的核心设备,其工作原理基于蒸汽的膨胀做功过程。锅炉产生的高温高压蒸汽经主汽阀、调节汽阀进入汽轮机,在各级动叶片与静叶片组成的通流部分中,蒸汽依次膨胀,压力和温度逐渐降低,将自身的热能转化为动叶片的旋转机械能,带动发电机转子转动实现电能输出。汽轮机的热力循环以朗肯循环为基础,通过锅炉加热产生饱和蒸汽,经过热器加热为过热蒸汽后送入汽轮机做功,做功后的乏汽进入凝汽器冷却凝结为水,再经给水泵升压送回锅炉重新加热,形成封闭的热力循环^[1]。在实际运行中,为提升循环效率,通常会采用回热循环、再热循环等改进方式,回收乏汽余热加热给水,减少热量损失,确保大型火电机组在高效、稳定的状态下运行,满足电力供应的需求,同时降低能源消耗。

2 影响汽轮机经济运行的关键因素

2.1 设计结构因素

设计结构是决定汽轮机经济运行的基础,其中通流间隙、叶型和密封性能对运行效率影响显著。通流间隙是指动叶片与静叶片、转子与汽缸之间的间隙,间隙过大易导致蒸汽泄漏,造成热能损失,降低通流效率;间隙过小则可能因设备热胀冷缩发生摩擦,影响设备安全稳定运行。叶型设计直接关系到蒸汽在通流部分的流动特性,合理的叶型能减少蒸汽流动阻力,降低能量损耗,提升做

功效率,而不合理的叶型会导致蒸汽涡流、脱流,增加损失。密封性能主要影响蒸汽的泄漏量,汽轮机各级之间、轴端等部位的密封装置若存在损坏或设计缺陷,会导致高压蒸汽向低压区域泄漏,不仅浪费能源,还会影响各级的做功能力,进而降低整个汽轮机的经济运行水平,因此设计阶段需精准控制各结构参数,保障设备先天运行优势。

2.2 运行边界因素

运行边界条件是影响汽轮机经济运行的重要外部因素,主要包括负荷率、循环水温度和煤质三个方面。负荷率是指汽轮机实际输出功率与额定功率的比值,大型火电机组在额定负荷附近运行时效率最高,负荷过低会导致单位发电量的煤耗上升,负荷波动过大则会增加设备磨损和能源消耗,影响运行经济性。循环水温度直接影响凝汽器的真空度,温度越低,凝汽器真空度越高,汽轮机排汽压力越低,做功能力越强,反之循环水温度过高会导致真空度下降,增加排汽损失。煤质的好坏直接影响锅炉产汽质量,煤质变差会导致锅炉燃烧效率降低,产生的蒸汽参数(温度、压力)达不到设计要求,进而影响汽轮机的做功效率,同时还可能增加设备结垢、磨损风险,进一步降低经济运行水平。

2.3 调节与控制因素

调节与控制系统的运行状态直接决定汽轮机的经济运行效果,核心影响因素包括配汽方式、滑压曲线和一次调频。配汽方式分为节流配汽和喷嘴配汽,节流配汽结构简单但节流损失较大,适合负荷波动较小的工况;喷嘴配汽能减少节流损失,提升低负荷时的运行效率,是大型机组常用的配汽方式,其调节合理性直接影响能源利用率^[2]。滑压曲线是指汽轮机在不同负荷下,主汽压力与负荷的对应关系,合理的滑压曲线能使汽轮机在各负荷段均处于最佳做功状态,减少蒸汽节流损失和设备应力,

若滑压曲线设置不合理,会导致煤耗升高。一次调频是机组响应电网频率波动的重要功能,调频性能不佳会导致机组负荷波动频繁,增加能源消耗,同时影响电网稳定性,进而降低汽轮机经济运行水平。

2.4 设备老化与故障因素

设备长期运行过程中,老化与故障会逐渐降低汽轮机的经济运行效率,主要表现为结垢、磨损和真空泄漏。汽轮机通流部分、凝汽器等部件易因蒸汽品质不佳、水质控制不当产生结垢,结垢会减小通流面积、增加流动阻力,降低热交换效率,同时导致蒸汽做功能力下降,增加煤耗。动叶片、静叶片等部件在长期运行中会因蒸汽冲刷、摩擦发生磨损,磨损会改变叶型结构、增大通流间隙,导致蒸汽泄漏和流动损失增加,影响机组效率。真空泄漏是凝汽器常见故障,泄漏会导致凝汽器真空度下降,汽轮机排汽压力升高,排汽损失增加,同时还会影响回热系统的正常运行,进一步加剧能源浪费,因此设备的日常维护的故障排查对保障经济运行至关重要。

3 大型火电机组汽轮机经济运行优化措施

3.1 通流效率提升

提升通流效率是优化汽轮机经济运行的核心措施,主要通过叶栅优化、汽封改造和间隙调整三个方面实现。叶栅优化通过改进静叶片、动叶片的型线设计,采用高效叶型结构,减少蒸汽流动过程中的涡流、脱流损失,提升蒸汽的做功效率,同时可通过数值模拟技术优化叶栅排列,进一步降低流动阻力。汽封改造采用新型高效汽封结构,如蜂窝汽封、刷式汽封等,替代传统汽封,减少蒸汽泄漏量,尤其是各级之间和轴端的泄漏,降低热能损失,提升通流效率。间隙调整则根据设备运行状态和热胀冷缩规律,精准控制通流间隙,在避免设备摩擦的前提下,尽可能减小间隙尺寸,减少蒸汽泄漏,通过以上三项措施的综合实施,可有效提升汽轮机通流效率,降低单位发电量的能源消耗,提升经济运行水平。

3.2 配汽与运行方式优化

配汽与运行方式的优化是提升汽轮机经济运行效率的重要手段,主要包括阀门管理、定-滑-压运行和综合阀位优化。阀门管理通过合理控制调节汽阀的开关顺序和开度,减少节流损失,尤其是在低负荷工况下,优化阀门组合方式,避免单一阀门节流导致的能源浪费。定-滑-压运行结合了定压运行和滑压运行的优势,高负荷时采用定压运行,保障机组稳定性;中低负荷时采用滑压运行,跟随负荷变化调整主汽压力,减少蒸汽节流损失,降低煤耗。综合阀位优化通过实时监测机组运行参数,动态调整各调节汽阀的阀位,使汽轮机在不同负荷下均处于

最佳配汽状态,平衡运行稳定性和经济性,同时减少阀门磨损,延长设备使用寿命,进一步提升机组经济运行效益。

3.3 冷端系统优化

冷端系统在汽轮机热力循环中占据着举足轻重的地位,其运行状态的好坏对机组的经济效率有着直接且关键的影响。为提升冷端系统的运行效能,主要可采取最佳真空控制、胶球清洗以及抽气系统改进这三项优化措施。最佳真空控制方面,借助先进的监测设备,实时精准地获取循环水温度、机组负荷等关键参数。依据这些参数的变化,动态且智能地调整循环水泵的运行台数和转速。如此一来,能让凝汽器始终维持在最佳真空状态,既能有效减少排汽损失,提升蒸汽的做功能力,又能避免循环水泵因过度运行而耗电过多,实现节能降耗的双重目标。胶球清洗则是定期向凝汽器内投入胶球,利用胶球的滚动摩擦,清除铜管内壁的结垢和杂物,恢复铜管良好的热交换性能^[3]。若铜管结垢,会显著降低真空度,导致热效率大幅下滑,而胶球清洗可确保冷端系统始终保持高效的换热效果。抽气系统改进通过精心优化抽气器的结构和运行参数,大幅提升抽气效率,及时将凝汽器内的不凝结气体排出,维持凝汽器真空度的稳定,有效减少因真空泄漏带来的能源损失,全方位提升冷端系统的运行经济性,为汽轮机的高效稳定运行提供有力保障。

3.4 回热系统优化

回热系统的优化可有效回收蒸汽余热,提升热力循环效率,主要包括高加解列控制、疏水冷却和抽汽压损控制。高加解列控制通过优化高压加热器的运行方式,避免因高加解列导致的给水温度下降,减少锅炉燃料消耗,同时建立高加故障预警机制,及时处理高加泄漏、堵塞等问题,保障回热系统正常运行。疏水冷却通过增设疏水冷却器或优化现有冷却结构,降低疏水温度,减少疏水直接排入凝汽器造成的热量损失,回收疏水的余热加热给水,提升能源利用率。抽汽压损控制通过优化抽汽管道设计,减少管道阻力,降低抽汽过程中的压力损失,确保抽汽参数稳定,提升回热效果,同时减少抽汽系统的泄漏,进一步降低能源浪费,提升机组经济运行水平。

3.5 在线监测与耗差分析

在线监测与耗差分析作为实现汽轮机经济运行优化的关键支撑手段,发挥着不可替代的重要作用。它借助实时监测、偏差诊断和操作指导这一系列紧密相连的环节,能够敏锐且及时地察觉汽轮机运行过程中出现的问题,并迅速做出优化调整,保障机组高效稳定运行。实

时性能计算是整个流程的基础。通过在汽轮机的关键部位安装各类高精度传感器，能够实时精准地采集温度、压力、流量等运行参数。基于这些海量数据，计算机组的关键指标，如热效率、煤耗等，为后续的运行优化提供坚实可靠的数据支撑，让运行人员对机组的运行状况有清晰全面的了解。偏差诊断则是对实时数据的深度剖析，将实时运行参数与设计值、最佳运行值进行细致对比，深入分析偏差产生的原因，精准识别影响经济运行的关键因素，像通流泄漏、真空下降等问题，并及时发出预警，为运行人员争取宝贵的处理时间。操作指导依据耗差分析结果，为运行人员提供极具针对性的操作建议，例如合理调整配汽阀位、优化循环水流量等。这有助于规范运行人员的操作行为，使机组始终维持在最佳运行状态，最大程度减少人为操作失误所带来的能源损失，提升汽轮机的经济运行水平。

4 经济运行优化管理策略

4.1 基于状态的维护策略

基于状态的维护策略是保障汽轮机长期经济运行的重要管理手段，核心包括定期性能试验和寿命管理。定期性能试验按照规范要求，定期对汽轮机的运行性能进行全面检测，包括通流效率、热耗率、真空度等关键指标，对比历史数据和设计值，分析性能变化趋势，及时发现设备老化、故障等问题，为维护检修提供依据，避免因设备性能下降导致的能源浪费。寿命管理通过实时监测汽轮机关键部件的运行状态，如转子、叶片、汽缸等，计算部件的累计损耗，制定合理的维护检修计划，避免过度检修造成的成本浪费和检修不足导致的设备故障，同时延长设备使用寿命，确保机组长期稳定、高效运行，平衡维护成本与经济运行效益，提升整体管理水平。

4.2 运行小指标竞赛与考核机制

运行小指标竞赛与考核机制通过激励运行人员，规范操作行为，提升机组经济运行水平。结合汽轮机运行特点，设定关键运行小指标，如主汽压力、主汽温度、真空度、给水温度等，明确各指标的最佳控制范围和考核标准。定期开展运行小指标竞赛，对指标控制优秀的运行人员给予表彰和奖励，对未达到标准的人员进行培训和考核，引导运行人员树立节能意识，主动优化操作方

式^[4]。同时建立完善的考核机制，将小指标完成情况与绩效挂钩，倒逼运行人员规范操作，减少人为操作失误，确保机组在最佳参数下运行，充分发挥运行人员的主观能动性，降低能源消耗，提升机组经济运行效益，形成良好的运行管理氛围。

4.3 全工况运行策略库建设

全工况运行策略库建设是实现汽轮机全工况经济运行的重要保障，通过梳理不同季节、不同负荷下的运行规律，制定标准化操作流程。结合季节变化特点，如夏季高温、冬季低温对循环水温度、蒸汽参数的影响，制定针对性的运行策略，如夏季优化循环水系统运行，冬季加强设备防冻保护，确保不同季节机组均能高效运行。针对不同负荷工况，尤其是低负荷、变负荷运行，制定标准化的配汽方式、滑压曲线调整、阀门操作等流程，明确各工况下的最佳运行参数和操作步骤。将各类运行策略整理归档，形成全工况运行策略库，为运行人员提供明确的操作指导，减少操作的随机性，确保机组在各种工况下均能维持最佳经济运行状态，提升运行稳定性和经济性。

结束语:

大型火电机组汽轮机经济运行优化是一项复杂且系统的工程。通过对其工作原理与关键影响因素的深入分析，提出涵盖设备、运行方式、系统等多方面的优化措施，以及基于状态的维护等管理策略。这些措施与策略相互配合，能有效提升汽轮机经济运行水平，降低能源消耗与发电成本。未来，需持续探索创新，不断完善优化方案，以适应不断变化的能源需求与环保要求。

参考文献:

- [1]王雪征.浅析大型火电机组汽轮机启动试验与问题处理[J].中国设备工程,2025(15):165-167.
- [2]王克.大型火电机组汽轮机冷端系统优化改造技术浅析[J].特种设备安全技术,2022(5):14-16.
- [3]陈英杰.大型火电厂汽轮机轴承振大原因分析及处理措施[J].城镇建设,2021(1):318.
- [4]周士博,庞凯元,张宝琴.火电机组汽轮机冷端系统优化改造技术分析[J].仪器仪表用户,2024,31(5):77-79.