

火电厂汽轮机冷端系统运行优化及节能降耗分析

王 磊

国能宝清煤电化有限公司 黑龙江 双鸭山 155600

摘 要：火电厂汽轮机冷端系统对机组运行经济性至关重要。本文阐述冷端系统在汽轮机热力循环中的关键作用，分析凝汽器侧、循环水侧、真空系统等因素对经济运行的影响。提出凝汽器性能提升、循环水系统优化、真空系统改进、冷却塔换热强化及冷端综合优化控制等运行优化措施，并探讨冷端性能在线监测与预警、定期试验与维护等运行管理策略，以及智能化发展方向，为火电厂冷端系统节能降耗、稳定运行提供参考。

关键词：火电厂；汽轮机；冷端系统；凝汽器真空；节能降耗；运行优化

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，火电厂的节能降耗工作至关重要。汽轮机冷端系统作为火电厂热力循环的关键环节，其运行状态直接影响机组的循环效率、出力及运行经济性。然而，冷端系统在运行过程中受多种因素影响，存在诸多可优化空间。深入研究火电厂汽轮机冷端系统运行优化及节能降耗措施，对提高火电厂能源利用效率、降低运营成本、实现可持续发展具有重大现实意义。

1 冷端系统在汽轮机热力循环中的重要性

冷端系统是汽轮机热力循环的核心组成部分，直接决定了循环效率、机组出力及运行经济性，是火电厂实现高效节能运行的关键环节。汽轮机排汽进入冷端系统后，通过凝汽器冷却凝结为水，形成真空环境，为汽轮机提供持续的做功压差，保障机组稳定输出功率。冷端系统的运行状态直接影响汽轮机排汽压力，排汽压力升高会导致汽轮机理想焓降减小，发电煤耗上升，反之则能显著提升机组循环热效率。同时，冷端系统还承担着回收凝结水、维持热力系统水质稳定的重要作用，凝结水作为锅炉给水的核心来源，其品质直接关系到锅炉受热面的腐蚀、结垢问题，进而影响整个机组的安全稳定运行^[1]。另外，冷端系统的优化运行的还能有效降低厂用电率，减少能源浪费，对于火电厂实现节能降耗、低碳排放目标具有不可替代的作用，是保障机组长期安全、经济、高效运行的基础。

2 影响冷端系统经济运行的主要因素

2.1 凝汽器侧因素

凝汽器作为冷端系统的核心换热设备，其运行状态是影响冷端系统经济性的首要因素。凝汽器传热管结垢、腐蚀是最常见的问题，水中的硬度离子、悬浮物等在管壁沉积形成水垢，会显著降低传热系数，导致排汽温度升高、真空度下降，进而降低机组效率。同时，传

热管腐蚀会造成管壁变薄、泄漏，不仅影响换热效果，还可能导致凝结水水质恶化，威胁锅炉安全。此外，凝汽器真空严密性不足也是重要影响因素，若凝汽器外壳、法兰、管道接口等存在泄漏点，外界空气会进入凝汽器，破坏真空环境，增加真空系统负荷，降低冷端系统运行效率。另外，凝汽器内凝结水水位控制不当，过高会淹没部分传热管，减少换热面积，过低则可能导致真空泵入口进水，影响真空效果，均会对冷端系统经济运行造成不利影响。

2.2 循环水侧因素

循环水系统作为凝汽器的冷却介质输送系统，其运行参数和水质状况直接影响冷端系统的换热效率和经济性。循环水流量不足是主要影响因素之一，流量不足会导致凝汽器冷却水量不够，排汽冷却不充分，排汽温度升高，真空度下降。循环水流量受循环水泵运行状态、管道阻力、阀门开度等影响，水泵效率下降、管道结垢堵塞、阀门卡涩等都会导致流量降低。其次，循环水水质超标会加剧凝汽器传热管结垢和腐蚀，水中的悬浮物、藻类、微生物等会附着在管壁形成生物黏泥，堵塞传热管间隙，降低换热效果^[2]。循环水进水温度也会影响冷端系统运行，进水温度过高会缩小凝汽器内传热温差，降低换热效率，而进水温度受环境温度、冷却塔换热效果等因素影响，夏季高温时段尤为明显，会直接导致冷端系统经济性下降。

2.3 真空系统因素

真空系统的主要作用是及时抽出凝汽器内的不凝结气体，维持凝汽器真空度，其运行性能直接关系到冷端系统的经济运行。真空设备（如真空泵、射水抽气器）效率下降是关键影响因素，设备磨损、密封件老化、冷却效果不佳等都会导致抽真空能力下降，无法及时排出不凝结气体，导致凝汽器真空度降低，排汽温度升高，

机组发电煤耗上升。真空系统管道泄漏也会影响运行效果,若管道存在泄漏点,外界空气会进入系统,增加真空系统负荷,同时降低抽气效率。此外,真空系统的运行参数控制不当,如抽气压力、流量调节不合理,会导致抽气设备能耗增加,同时无法达到最佳真空维持效果,进而影响冷端系统的整体经济性。另外,真空系统的维护不到位,如滤网堵塞、冷却器冷却能力不足等,会缩短设备使用寿命,增加故障发生率,间接影响冷端系统的稳定经济运行。

3 火电厂汽轮机冷端系统运行优化措施

3.1 凝汽器性能维持与提升

为维持和提升凝汽器性能,需从传热效率、真空严密性、水质控制等方面采取针对性优化措施。首先,加强凝汽器传热管的清洗维护,定期采用高压水冲洗、化学清洗等方式,清除管壁结垢和生物黏泥,恢复传热系数,确保换热效果。对于腐蚀严重的传热管,及时进行更换,采用耐腐蚀、传热性能好的管材,延长设备使用寿命。其次,强化凝汽器真空严密性检查与治理,定期进行真空严密性试验,采用氦质谱检漏等先进技术,精准定位泄漏点并及时处理,减少空气泄漏,维持凝汽器高真空状态。同时,优化凝汽器凝结水水位控制,采用自动调节系统,确保水位维持在合理范围,避免因水位异常影响换热面积和抽气效果。此外,加强凝结水水质监测与处理,严格控制水质指标,防止水质超标导致传热管结垢腐蚀,为凝汽器稳定运行提供保障。

3.2 循环水系统运行优化

循环水系统运行优化的核心是在保证冷却效果的前提下,降低系统能耗,提升运行经济性。首先,优化循环水泵运行方式,根据机组负荷、环境温度等参数,合理调整水泵运行台数和转速,采用变频调速技术,实现水泵出力与冷却需求的匹配,减少电能消耗。例如,在机组低负荷、环境温度较低时,减少水泵运行台数或降低转速,避免能源浪费。其次,加强循环水水质治理,定期对循环水进行过滤、加药处理,控制水中悬浮物、硬度、藻类等含量,防止管道和凝汽器传热管结垢堵塞,降低管道阻力,提升循环水流量。定期清洗循环水管道和冷却塔填料,清除积污和堵塞物,保障循环水顺畅流通。优化循环水进水温度,通过改善冷却塔换热效果,降低进水温度,缩小凝汽器传热温差,提升换热效率,进一步优化冷端系统运行经济性^[1]。

3.3 真空系统优化

真空系统优化的关键是提升抽气效率、降低设备能耗,维持凝汽器稳定真空。首先,对抽气设备进行技术

改造和升级,更换效率更高、能耗更低的抽气设备,如将传统射水抽气器替换为高效真空泵,提升抽气能力的同时降低厂用电率。其次,加强抽气系统的日常维护,定期检查抽气设备的运行状态,及时更换磨损的密封件、轴承等部件,确保设备密封良好、运行稳定。定期清洗抽气系统滤网,防止堵塞影响抽气效果。同时,优化抽气系统运行参数,根据凝汽器真空度和不凝结气体含量,合理调节抽气压力和流量,使抽气设备在最佳工况下运行,避免过度抽气导致能耗增加。另外,采用先进的控制策略,实现抽气系统与凝汽器真空度的联动控制,根据真空变化自动调整抽气设备运行状态,提升系统运行的智能化和经济性。

3.4 冷却塔换热强化

冷却塔作为循环水冷却的核心设备,其换热效果直接影响循环水进水温度,进而影响冷端系统经济性,因此需采取措施强化冷却塔换热。定期清洗冷却塔填料,清除填料表面的积尘、藻类和生物黏泥,避免填料堵塞,确保气液充分接触,提升换热效率。对于老化、破损的填料,及时进行更换,采用高效、耐腐蚀的填料材质,增大换热面积。优化冷却塔配水及循环水泵运行方式,根据环境温度、循环水进出口温度等参数,合理调整循环水泵转速和运行台数,采用变频调速技术,降低循环水泵能耗的同时保证冷却效果。例如,夏季高温时段提循环水泵频率,增加循环水量;冬季低温时段降低频率或减少运行台数,节约电能。改善冷却塔的配水均匀性,检查并调整配水装置,避免出现配水不均导致局部换热效果不佳的情况,进一步提升换热效率。

3.5 冷端综合优化控制策略

冷端系统各组成部分相互关联、相互影响,单一设备的优化难以实现系统整体效益最大化,因此需建立冷端综合优化控制策略。搭建冷端系统多参数联动控制平台,整合凝汽器、循环水系统、抽气系统、冷却塔等设备的运行参数,实现各设备的协同控制。根据机组负荷、环境温度、循环水水质等实时参数,动态调整各设备运行状态,使冷端系统处于最佳运行工况。采用先进的优化算法,结合历史运行数据和实时监测数据,建立冷端系统运行优化模型,预测不同工况下的最优运行参数,指导现场运行调整。同时加强冷端系统与机组整体运行的协同优化,将冷端系统优化与机组负荷调整、锅炉燃烧优化相结合,实现整个火电厂的节能降耗。建立冷端系统运行效果评估体系,定期对优化措施的实施效果进行评估,根据评估结果及时调整优化策略,持续提升冷端系统运行经济性。

4 火电厂汽轮机冷端系统运行管理与持续改进

4.1 冷端性能在线监测与预警系统

建立冷端性能在线监测与预警系统,是实现冷端系统精细化管理、及时发现运行异常的关键。该系统需实时采集凝汽器真空度、排汽温度、循环水流量、进水温度、凝汽器真空等关键运行参数,通过数据处理和分析,实时评估冷端系统运行性能。设置各参数的预警阈值,当参数超出阈值范围时,系统及时发出预警信号,提醒运行人员及时处理,避免故障扩大。同时,系统需具备数据存储、趋势分析、报表生成等功能,积累历史运行数据,为冷端系统优化运行和故障诊断提供数据支撑。通过在线监测系统,运行人员可实时掌握冷端系统运行状态,及时发现凝汽器结垢、真空泄漏、循环水流量不足等问题,提前采取应对措施,减少非计划停机时间,保障冷端系统稳定运行。结合大数据、人工智能技术,提升系统的故障诊断能力,实现异常情况的精准预判和智能预警。

4.2 定期试验与维护策略

制定一套科学合理的定期试验与维护策略,是确保冷端系统能够长期稳定运行、有效延长设备使用寿命的坚实基础。首先,要精准明确各设备的定期试验周期与具体内容,定期对凝汽器开展真空严密性试验和传热性能试验,以此精准判断其性能状况;对循环水泵进行性能试验,保障其运行效率;对抽气设备进行抽气能力试验,及时发现潜在问题。通过这些试验,能及时掌握设备运行状态,提前发现潜在故障隐患。其次,建立完善的设备定期维护制度至关重要,依据设备运行工况和使用寿命,制定具有针对性的维护计划,涵盖清洁、润滑、紧固、部件更换等全方位内容^[4]。比如,定期清洗凝汽器传热管、循环水管道和冷却塔填料,防止污垢堆积影响性能;定期检查并更换抽气设备的密封件和润滑油,确保设备密封良好、运转顺畅;定期紧固各设备的连接部件,防止出现泄漏和故障。同时,加强维护人员的专业培训,提升其维护技能,保证维护工作的质量与效率。此外,建立详细的维护记录档案,将维护时间、内容、结果等信息完整记录,为设备的全生命周期管理提供有力依据,推动维护工作朝着规范化、标准化方向

迈进。

4.3 智能化发展方向

随着火电厂智能化水平的不断提升,冷端系统的智能化发展已成为必然趋势,其核心是通过智能化技术实现系统的自主优化、智能诊断和精准控制。推进冷端系统智能化控制,采用人工智能、模糊控制等先进技术,建立智能控制模型,实现各设备运行参数的自动调节和协同优化,减少人工干预,提升运行效率和稳定性。例如,通过智能算法自动调整循环水泵转速,根据实时工况优化抽气系统运行状态,实现冷端系统的自适应运行。构建智能故障诊断与预测体系,结合在线监测数据、设备运行历史数据,利用大数据分析和机器学习技术,实现故障的精准诊断、提前预测,减少故障发生率和故障处理时间。推进冷端系统与火电厂智能管控平台的融合,实现冷端系统运行数据与机组整体运行数据的互联互通,为火电厂整体智能化调度和优化运行提供支撑,助力火电厂实现节能降耗、安全稳定、高效运行的目标。

结束语

火电厂汽轮机冷端系统运行优化与节能降耗是一项系统性、长期性工作。通过深入分析影响冷端系统经济运行的因素,采取针对性优化措施,并加强运行管理与持续改进,可有效提升冷端系统运行效率,降低能源消耗。同时,随着智能化技术的发展,冷端系统智能化将成为未来发展方向。火电厂应积极推进冷端系统智能化建设,不断提升运行管理水平,以适应能源行业发展的新要求,实现经济效益与环境效益的双赢。

参考文献

- [1]程波,卢绪祥,刘雨菲,等.基于GA-BP神经网络的汽轮机冷端系统运行优化[J].汕头大学学报(自然科学版),2023,38(4):44-52.
- [2]刘萍.火电厂凝汽式汽轮机冷端运行优化探究[J].电力设备管理,2024(3):59-61.
- [3]杨海平.火电厂凝汽式汽轮机中真空系统的优化设计[J].产品设计,2025(23):80-82.
- [4]戴家涨.汽轮机高能耗成因及节能措施[J].科技创新导报,2021,18(12):95-97.