

电厂汽轮机及其辅机设备运行管理及节能降耗技术探析

丛 林

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘 要：本文聚焦电厂汽轮机及其辅机设备的运行管理与节能降耗技术展开深入探析。在运行管理方面，阐述状态监测、负荷调度以及智能化运维等策略对保障设备稳定运行的重要作用。在节能降耗技术上，从汽轮机本体节能、辅机设备节能以及热力系统优化等维度，探讨高效叶片设计、热回收技术、系统集成优化等具体技术手段。通过理论与实践结合，旨在为电厂提升设备运行效率、降低能耗提供有益参考，推动电力行业向高效、节能、可持续方向发展。

关键词：汽轮机；辅机设备；运行管理；节能降耗

1 汽轮机及其辅机设备运行管理基础

1.1 汽轮机工作原理

汽轮机作为发电厂的核心设备之一，其工作原理基于热力学中的蒸汽动力循环。具体而言，高温高压的蒸汽从锅炉进入汽轮机，通过一系列固定和旋转的叶片（静叶和动叶），蒸汽的动能和热能逐步转化为机械能，驱动汽轮机转子旋转。这一过程中，蒸汽的压力和温度逐渐降低，最终以较低温度和压力的蒸汽排出汽轮机，进入冷凝器冷凝成水，再通过给水泵送回锅炉循环使用。汽轮机的效率取决于蒸汽参数、叶片设计、级间损失控制等多个因素，高效的汽轮机设计能够显著提升发电厂的整体经济性和环境效益。

1.2 辅机设备系统构成

汽轮机的辅机设备系统是确保汽轮机安全、高效运行的重要组成部分，主要包括：给水系统：负责将冷凝水加热并送回锅炉，保证锅炉的供水需求。凝结水系统：处理汽轮机排出的蒸汽冷凝水，去除杂质并调整水质，以供循环使用。循环冷却水系统：为冷凝器提供冷却水，确保蒸汽有效冷凝^[1]。润滑油系统：为汽轮机轴承等部件提供润滑，减少摩擦，保证设备稳定运行。真空系统：维持汽轮机排汽侧的真空状态，提高汽轮机效率。旁路系统：在汽轮机启动、停机或故障时，旁路系统可调节蒸汽流量，保护设备。密封油系统：确保发电机等设备的密封性，防止油泄漏。这些辅机设备系统相互协作，共同维持汽轮机的正常运行。

1.3 运行管理标准与规范

为确保汽轮机及其辅机设备的安全、高效运行，必须遵循严格的运行管理标准与规范，主要包括：设备维护与检修：制定详细的设备维护计划，定期进行预防性检修，及时发现并处理设备隐患。操作规程：制定并

严格执行操作规程，确保操作人员按照标准流程进行设备启停、负荷调整等操作。安全规范：建立完善的安全管理制度，包括人员培训、安全防护、应急预案等，确保人员和设备的安全。质量控制：对蒸汽参数、水质、润滑油品质等进行严格监控，确保设备在最佳状态下运行。环境管理：遵守环保法规，控制废气、废水排放，降低对环境的影响。人员资质：操作人员需经过专业培训，持有相应资格证书，具备处理突发情况的能力。数据记录与分析：建立完善的数据记录系统，对设备运行参数进行实时监控和分析，为设备维护和优化提供依据。

2 电厂汽轮机及其辅机设备运行管理的现状

2.1 老旧设备更新改造的需求

随着电力行业的快速发展和技术的不断进步，许多电厂的汽轮机及其辅机设备已逐渐进入老化阶段。这些老旧设备不仅在能效上无法与新型设备相比，而且在安全性、可靠性和环保性能方面也存在诸多不足。例如，部分老旧汽轮机的蒸汽参数较低，导致发电效率低下；辅机设备如给水泵、循环水泵等，由于设计陈旧，能耗高且维护成本逐年上升。老旧设备在应对极端工况和复杂运行环境时的稳定性较差，增加了运行风险。因此对老旧设备进行更新改造已成为电厂提升竞争力、降低运行成本、实现可持续发展的必然选择。更新改造的内容包括采用高效节能的新型汽轮机、优化辅机设备配置、应用智能化监控系统等，以提高整体运行效率和安全性。

2.2 运行参数调节与控制时延的问题

在电厂汽轮机及其辅机设备的运行管理中，运行参数的实时调节与精准控制对于确保设备高效、稳定运行至关重要。当前许多电厂仍面临运行参数调节与控制时延的问题。这主要源于设备自动化水平不高、控制系统响应速度慢、数据传输延迟等因素。例如，当电网负荷

发生变化时,汽轮机的负荷调节需要快速响应,但由于控制系统时延,可能导致负荷调整不及时,影响电网的稳定运行。辅机设备如冷凝器、给水泵等运行参数的调节也存在类似问题,时延不仅降低设备的运行效率,还可能引发设备过热、振动加剧等安全隐患^[2]。

2.3 设备故障风险与停机维护的成本

电厂汽轮机及其辅机设备在长期运行过程中,由于磨损、腐蚀、老化等原因,不可避免地会出现各种故障。设备故障不仅影响电厂的正常发电,还可能引发安全事故,造成重大经济损失。例如,汽轮机叶片断裂、轴承损坏等故障,可能导致机组长时间停机维修,影响电力供应。设备故障还可能引发连锁反应,导致辅机设备损坏,进一步扩大损失。机维护的成本也是电厂面临的一大挑战。停机期间,电厂不仅损失发电收入,还需承担设备维修、备件更换、人员加班等费用。随着设备老化程度的加深,故障频率和维修成本呈上升趋势,给电厂的经济运行带来巨大压力。

3 汽轮机及其辅机设备运行管理优化策略

3.1 状态监测与故障诊断

汽轮机及其辅机设备是电厂发电系统的核心组成部分,其运行状态直接影响电厂的发电效率、安全性和经济效益。随着物联网、大数据和人工智能技术的飞速发展,实时状态监测技术已成为现代电厂管理的重要工具。通过在汽轮机及其辅机设备的关键部位安装高精度传感器,如振动传感器、温度传感器、压力传感器等,能够实时采集设备的运行数据,并将这些数据传输至中央监控系统。中央监控系统利用数据分析算法,对采集到的数据进行实时处理和分析,及时发现设备的异常状态。例如,通过振动分析可以判断汽轮机叶片是否存在裂纹或磨损,通过温度监测可以预警轴承过热等故障。基于实时状态监测数据,结合专家系统和机器学习算法,建立故障预警与诊断系统。该系统能够根据设备的历史运行数据和故障模式,对当前设备的运行状态进行评估,预测可能发生的故障,并给出相应的处理建议。当设备出现异常时,系统能够迅速发出预警信号,通知运行人员及时采取措施,避免故障扩大。故障诊断系统能够根据故障特征,快速定位故障原因,为维修人员提供准确的维修指导,缩短维修时间,降低维修成本。利用互联网技术,实现汽轮机及其辅机设备的远程监控。运行人员和管理人员可以通过手机、电脑等终端设备,随时随地查看设备的运行状态,接收故障预警信息。此外,远程技术支持团队可以实时为现场运行人员提供技术指导和故障处理建议,提高故障处理的效率和准确性。

3.2 负荷优化调度

负荷优化调度是提高电厂发电效率、降低运行成本的关键措施。通过对汽轮机及其辅机设备的负荷进行合理分配和优化调度,可以实现设备的高效运行,降低能耗和排放。利用先进的负荷预测技术,结合历史负荷数据、气象数据、节假日信息等因素,对电厂的负荷需求进行准确预测。根据预测结果,制定合理的负荷调度计划,提前调整汽轮机及其辅机设备的运行参数,确保设备在负荷变化时能够快速响应,实现平稳过渡。对于拥有多台汽轮机及其辅机设备的电厂,实施多机组协同调度策略^[3]。根据各机组的运行状态、能效指标和负荷需求,动态调整各机组的负荷分配,实现机组间的优势互补,提高整体发电效率。例如,在低负荷时段,可以优先调度能效较高的机组运行,降低能耗;在高负荷时段,则通过多机组并联运行,满足负荷需求。积极参与电网的需求响应计划,根据电网的调度指令,灵活调整汽轮机及其辅机设备的负荷。在电网负荷高峰时段,适当增加发电量,缓解电网压力;在负荷低谷时段,则减少发电量,参与电网调峰。通过与电网的互动,电厂不仅可以获得额外的经济收益,还可以提高电网的稳定性和可靠性。

3.3 智能化运维管理

智能化运维管理是利用现代信息技术,对汽轮机及其辅机设备的运维过程进行全面优化,提高运维效率和质量,降低运维成本。建立数字化运维平台,将设备的运行数据、维护记录、故障信息等集成到一个统一的平台上。通过该平台,运维人员可以实时查看设备的运行状态,制定维护计划,记录维护过程,跟踪故障处理情况。平台还可以提供数据分析功能,帮助运维人员发现设备的潜在问题,优化维护策略。利用智能巡检设备和机器人,对汽轮机及其辅机设备进行定期巡检。智能巡检设备可以自动采集设备的运行数据,并通过无线通信技术将数据传输至数字化运维平台。机器人则可以进入设备内部,对难以到达的部位进行检查,发现潜在的故障隐患。通过智能巡检和机器人应用,可以提高巡检的效率和准确性,降低运维人员的劳动强度。基于设备的历史运行数据和故障模式,建立预测性维护模型。通过对设备运行数据的实时监测和分析,预测设备的剩余使用寿命和故障发生概率,提前制定维护计划,避免设备突发故障。实施全生命周期管理,从设备的选型、采购、安装、调试、运行到报废,对设备进行全程跟踪和管理,确保设备在整个生命周期内的高效运行。

4 汽轮机及其辅机设备节能降耗技术

随着能源问题的日益突出,节能降耗已成为各行各

业关注的焦点。在电力行业中,汽轮机及其辅机设备作为发电系统的核心组成部分,其能耗水平直接影响电厂的经济效益和环境效益。因此探索和应用有效的节能降耗技术,对于提升电厂竞争力、实现可持续发展具有重要意义。

4.1 汽轮机本体节能技术

汽轮机本体节能技术主要聚焦于提高汽轮机的热效率和运行效率,从而减少能源消耗。采用先进的叶片设计技术,优化叶片型线,减少蒸汽流动损失,提高汽轮机的通流能力。例如,应用三维流动分析技术,精确模拟蒸汽在叶片通道内的流动情况,优化叶片的进口角、出口角和叶型厚度,使蒸汽能量得到更充分的利用。对汽轮机的通流部分进行改造,如采用新型的喷嘴组、隔板和动叶等,提高通流效率。通过减小通流部分的间隙,减少蒸汽泄漏,降低内部损失。改进汽封结构,采用先进的汽封材料和密封技术,提高汽封的密封性能。例如,应用蜂窝汽封、接触式汽封等新型汽封,有效减少蒸汽泄漏,提高汽轮机的热效率。采用高效调节阀,提高调节阀的流量特性和调节精度,减少调节过程中的节流损失。同时优化调节阀的控制系统,实现调节阀的快速响应和精确控制,提高汽轮机的负荷适应性。入智能化控制技术,如先进的过程控制系统(APC)、模型预测控制(MPC)等,对汽轮机的运行参数进行实时优化调整,使汽轮机始终运行在最佳工况下,提高运行效率。

4.2 辅机设备节能技术

辅机设备在汽轮机发电系统中起着重要的辅助作用,其能耗水平也不容忽视。因此对辅机设备进行节能改造,也是降低电厂能耗的重要途径。第一、高效泵与风机应用:采用高效泵和风机,提高泵和风机的效率。例如,应用变频调速技术,根据实际负荷需求调整泵和风机的转速,避免“大马拉小车”现象,降低能耗。第二、热回收技术:在辅机设备中应用热回收技术,回收设备排放的余热,用于加热给水、预热空气等,提高能源利用效率^[4]。第三、优化管道布局:对辅机设备的管道布局进行优化,减少管道阻力损失。例如,采用合理的管道直径和弯头设计,避免管道过长和过多的弯头,降低蒸汽和水的流动阻力。第四、节能照明与电机:在辅

机设备区域采用高效节能照明灯具,降低照明能耗。同时对电机进行节能改造,如采用高效电机、变频调速电机等,提高电机的运行效率。

4.3 热力系统优化技术

热力系统是汽轮机发电系统的核心,其优化对于降低能耗具有重要意义。一是系统集成与优化:对热力系统进行集成与优化,减少系统中的能量损失。例如,优化锅炉与汽轮机的匹配关系,提高锅炉的燃烧效率和汽轮机的热效率;采用联合循环发电技术,将燃气轮机和汽轮机联合运行,提高整体发电效率。二是热电联产技术:应用热电联产技术,将发电过程中产生的余热用于供热,实现能源的梯级利用。例如,在电厂附近建设热网,将余热输送至居民区、工业区等,提高能源利用效率。三是智能调度与优化:引入智能调度与优化技术,对热力系统的运行进行实时监控和优化调整。例如,应用大数据分析、人工智能等技术,对热力系统的运行数据进行实时分析,发现系统中的瓶颈和问题,及时采取措施进行优化调整。

结束语

电厂汽轮机及其辅机设备的运行管理与节能降耗是电力行业持续发展的关键所在。本文通过对相关策略与技术的深入探讨,为电厂优化设备管理、降低能源消耗提供了思路与方法。随着技术的不断进步和能源形势的变化,电厂仍需持续探索创新,加强技术研发与应用,不断提升设备管理水平与节能降耗能力。相信在各方的共同努力下,电厂将能够实现更加高效、环保的运行,为社会的可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 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):6163.
- [2] 马旭.电厂汽轮机运行的节能降耗策略探析[J].中国设备工程,2022(15):86-88.
- [3] 朱良诚.电厂汽轮机运行的节能降耗策略探析[J].现代工业经济和信息化,2020,10(9):44-45.
- [4] 顾振东.加强电厂汽轮机运行的节能降耗的策略探析[J].通讯世界,2021,26(3):154-155.