

汽轮机维护保养与故障预防技术研究

白骥瑞

包头东华热电有限公司 内蒙古 包头 014040

摘要：本文围绕汽轮机维护保养与故障预防技术。首先分析汽轮机基本结构与运行特性，阐述核心部件功能及常见失效模式。接着构建维护保养技术体系，涵盖日常维护策略、定期检修技术和特殊工况维护。最后探讨故障预防机制，包括状态监测技术、故障诊断方法及预防性维护策略。通过这些研究，为汽轮机安全稳定运行提供技术支撑，降低故障发生率，提高设备可靠性和使用寿命，保障能源转换效率。

关键词：汽轮机；维护保养；故障预防；状态监测；预防性维护

引言：汽轮机作为关键动力设备，在能源、电力等领域应用广泛。其运行环境恶劣，面临高温、高压、高速等挑战，易出现材料疲劳、磨损、振动等故障，影响运行安全与效率。有效的维护保养和故障预防技术对保障汽轮机稳定运行至关重要。然而，当前相关技术存在不足，如监测手段有限、诊断方法不精准、维护策略缺乏针对性等。深入研究汽轮机维护保养与故障预防技术，对于提升设备性能、降低运维成本、保障生产安全具有重要意义。

1 汽轮机基本结构与运行特性分析

1.1 结构组成与功能

汽轮机，作为一种重要的动力设备，其核心部件构造精妙且各自承担关键作用。转子是汽轮机的旋转部件，由主轴、叶轮、动叶片等构成。主轴通常采用高强度合金钢锻造而成，具备出色的机械性能，以承受巨大的扭矩和弯曲应力。叶轮固定在主轴上，动叶片均匀安装于叶轮外缘。运行时，蒸汽作用于动叶片，推动叶轮和主轴高速旋转，将蒸汽的热能转化为机械能，进而带动发电机等设备运转。汽缸是汽轮机的外壳，用于容纳蒸汽并引导其流动。一般由优质铸铁或铸钢制成，具有足够的强度和密封性，以承受高温高压蒸汽。汽缸分为高压缸、中压缸和低压缸，不同压力等级的蒸汽在相应汽缸内逐级膨胀做功。为减少蒸汽泄漏，汽缸结合面采用高精度加工和密封材料，确保蒸汽在规定路径内高效做功。轴承在汽轮机中起到支撑转子并保证其平稳旋转的作用。常见的有径向轴承和推力轴承。径向轴承承受转子的径向载荷，使转子中心与汽缸中心保持一致，防止转子与汽缸发生碰撞。推力轴承则承担蒸汽作用在转子上的轴向推力，确保转子在轴向位置稳定，避免因轴向位移过大而损坏设备。调节系统负责控制汽轮机的进汽量，以调节汽轮机的转速和输出功率^[1]。主要包括调速

器、调节阀等部件。调速器能够感知汽轮机转速变化，当转速偏离设定值时，通过一系列机械或电子装置控制调节阀的开度，进而调整进入汽轮机的蒸汽量，使汽轮机转速稳定在规定范围内，满足不同工况下的运行需求。

1.2 运行特性与失效模式

汽轮机在高温、高压、高速的恶劣运行环境下，材料面临着严峻考验。材料疲劳是常见问题，由于蒸汽压力和温度的周期性变化，以及转子的高速旋转，部件承受交变应力。长期作用下，材料内部微观结构逐渐损伤，形成微裂纹并不断扩展，最终导致疲劳失效。例如，动叶片根部在交变应力集中区域，容易出现疲劳裂纹。磨损机制也不容忽视。高温高压蒸汽中可能携带微小颗粒，这些颗粒在高速蒸汽带动下冲击部件表面，造成冲蚀磨损。相对运动的部件之间，如轴颈与轴承，因摩擦产生磨损。磨损会导致部件尺寸变化、表面粗糙度增加，影响设备性能和可靠性。典型失效形式中，振动问题较为突出。转子不平衡、轴承故障、动静部件摩擦等都可能引发汽轮机异常振动。过大的振动不仅会加速部件磨损，还可能导致连接部件松动，甚至引发严重事故。裂纹的产生除了疲劳因素，热应力也是重要原因。汽轮机启停过程中，温度变化剧烈，部件不同部位热胀冷缩不一致，产生热应力，可能促使裂纹萌生与扩展。腐蚀同样威胁汽轮机安全运行，蒸汽中的杂质、水分等会与金属部件发生化学反应，导致材料腐蚀，降低部件强度和使用寿命。

2 汽轮机维护保养技术体系

2.1 日常维护策略

汽轮机的高效运行依赖于日常维护策略的有效实施。这些策略不仅能够延长设备使用寿命，还能预防潜在故障的发生。在汽轮机的日常运行中，实时监控关键指标如转速、温度和压力等至关重要。通过安装传感器

和监控系统,可以对这些参数进行连续监测。例如,转速监测有助于及时发现异常振动或速度波动;温度监测则能确保汽轮机各部件在安全范围内工作,避免因过热导致的损坏;而压力监测可以帮助识别管道或阀门中的潜在泄漏点,从而提前采取措施。现代监控系统通常具备报警功能,一旦检测到异常情况,会立即发出警报,提醒操作人员进行检查和处理。润滑系统的正常运作对于汽轮机至关重要。润滑油不仅起到减少摩擦的作用,还能带走热量,保护轴承和其他运动部件免受磨损。保持润滑油品质的稳定是日常维护的重点之一。定期更换润滑油并进行油品分析,可以有效防止因油质恶化引发的问题。还需要注意冷却介质的循环优化^[2]。冷却系统通过循环冷却水或其他介质来控制汽轮机的工作温度,确保其在最佳状态下运行。优化冷却介质的流量和路径,不仅可以提高冷却效率,还能降低能耗。

2.2 定期检修技术

为了确保汽轮机长期稳定运行,定期进行全面检修是必不可少的。这包括解体检查与零部件修复以及密封与通流部分的维护。定期解体检查是对汽轮机内部主要部件如汽缸、转子、轴承等进行详细检查的过程。通过拆卸和仔细检查这些部件,可以发现潜在的磨损、裂纹或其他缺陷。例如,在检查汽缸时,应注意其内壁是否有划痕或腐蚀现象;对于转子,则要关注是否存在不平衡或变形问题。针对发现的问题,需采取相应的修复措施,如研磨表面、更换受损零件或重新平衡转子。轴承作为关键部件,也需要定期检查其磨损情况,并根据需要进行调整或更换,以确保转动平稳。密封性能直接影响汽轮机的效率 and 安全性。定期调整汽封间隙是维护工作中的一项重要任务。适当的汽封间隙既能保证蒸汽的有效利用,又能防止蒸汽泄漏,从而提高整体效率。叶片的清洁与防腐蚀处理也不可忽视。叶片在长期使用过程中可能会积累污垢或受到腐蚀,影响其空气动力学性能。通过清洗和防腐处理,可以恢复叶片的光滑表面,确保蒸汽流通顺畅,减少能量损失。

2.3 特殊工况维护

汽轮机在不同工况下的表现可能有所不同,特别是在启停机过程和极端环境下,更需要特别的维护措施。启停机过程是汽轮机最容易出现问题的阶段之一。暖机阶段的操作规范尤为重要,它可以使汽轮机各部件逐步升温,避免因温差过大造成的应力集中。升速和降速阶段也需严格遵循操作规程,确保转速平稳过渡,防止因快速变化引起的机械损伤。例如,在启动过程中,应逐步增加蒸汽供应量,使汽轮机缓慢达到额定转速;而在

停机时,则要逐渐减少负荷,直至完全停止。正确的操作不仅能延长设备寿命,还能保障运行安全。在高温、高湿、低温等极端环境下,汽轮机的防护措施显得尤为关键。高温环境下,汽轮机各部件容易因过热而失效,因此需要加强冷却系统的效能,确保各部件处于适宜的工作温度范围内。高湿环境可能导致电气元件短路或金属部件生锈,需采取防潮措施,如安装除湿设备或使用防水材料^[3]。而在低温条件下,润滑油黏度增大,可能影响润滑效果,此时应选用适合低温环境的润滑油,并采取预热措施,确保启动前各部件达到合适的工作温度。还需定期检查保温层的完整性,防止热量散失,影响汽轮机的运行效率。

3 汽轮机故障预防机制

3.1 状态监测技术

有效的状态监测是预防汽轮机故障的关键环节。通过实时监控设备运行状态,可以提前发现潜在问题并采取相应措施,避免重大事故的发生。振动监测是一种广泛应用的状态监测技术,尤其适用于旋转机械如汽轮机。通过对汽轮机各关键部位的振动信号进行采集和分析,可以提取出反映设备健康状况的特征信息。基于频谱分析的方法能够将复杂的振动信号分解为不同频率成分,从而识别出特定故障模式对应的频率特征。例如,不平衡、不对中或轴承磨损等故障都会在振动频谱中表现出独特的频率峰值。定期进行振动监测,并建立历史数据库,有助于及时发现异常变化趋势,为故障诊断提供依据。润滑油不仅是汽轮机润滑系统的重要组成部分,也是反映设备内部状况的一个重要窗口。定期对润滑油进行分析,可以检测其中金属颗粒、水分以及其他污染物的含量,这些指标的变化往往预示着设备内部可能存在的问题。例如,润滑油中出现大量金属颗粒可能是由于轴承或其他运动部件磨损所致;而水分的存在则可能表明密封系统失效或冷却介质泄漏。通过油液分析,不仅可以评估润滑油的质量,还能间接了解设备的磨损程度和潜在风险,为维护决策提供参考。红外热成像技术利用物体表面温度差异来生成图像,是一种非接触式的状态监测手段。对于汽轮机而言,关键部件如汽缸、轴承座等区域的温度分布情况直接反映了其工作状态。如果某个部位出现异常高温,可能意味着存在局部过载、摩擦增加或冷却不良等问题。通过定期使用红外热成像仪对汽轮机进行全面扫描,可以早期识别温度异常现象,及时采取措施防止故障扩大。红外热成像还可以用于验证其他监测手段的结果,增强故障预警的准确性。

3.2 故障诊断方法

准确的故障诊断依赖于科学合理的方法和技术手段。模型驱动诊断和数据驱动诊断是两种主要的故障诊断途径。模型驱动诊断基于热力学模型和其他物理原理,通过对比实际测量值与理论计算值之间的偏差来判断设备是否存在故障。具体来说,在汽轮机正常运行条件下,根据其设计参数和操作条件,可以构建一个详细的热力学模型,预测各个性能参数的理想值。然后,将实际运行中的测量值与这些理想值进行比较,若发现显著偏差,则说明可能存在某种故障。这种方法的优点在于其理论基础扎实,能够深入理解故障产生的根本原因。它也存在一定的局限性,比如需要精确的模型参数和复杂的计算过程。随着信息技术的发展,机器学习算法在故障诊断领域得到了广泛应用。数据驱动诊断主要依靠大量历史数据和实时监测数据,利用机器学习算法自动识别故障模式^[4]。常见的算法包括神经网络、支持向量机和支持向量回归等。这些算法通过训练样本数据学习故障特征,并在实际应用中对新数据进行分类或回归分析,以确定当前设备状态是否正常。数据驱动诊断的优势在于无需深入了解设备的具体物理模型,而是通过数据挖掘的方式直接从观测数据中提取有用信息。这种方法的有效性高度依赖于数据质量和算法选择。

3.3 预防性维护策略

预防性维护旨在通过主动管理设备健康状态,最大限度地减少意外停机时间,提高设备可靠性和使用寿命。基于设备健康状态的动态维护周期调整是预防性维护的核心理念之一。通过对设备进行定期的风险评估,可以量化各种潜在故障的概率及其影响程度,进而制定相应的维护计划。例如,对于高风险部件,可以缩短检查间隔,增加监测频率;而对于低风险部件,则可以在保证安全的前提下适当延长维护周期。这种动态调整不仅提高了维护效率,还避免了不必要的资源浪费。结合

状态监测技术和故障诊断方法,可以更加精准地定位故障隐患,制定针对性更强的维护方案。备件管理和应急响应机制是预防性维护策略的重要组成部分。关键备件的库存优化直接关系到故障发生时能否迅速恢复生产。一方面,应根据设备的历史故障记录和零部件使用寿命,合理规划备件储备数量,确保常用备件随时可用;另一方面,还需建立快速更换机制,以便在紧急情况下能够迅速替换损坏部件,减少停机时间。企业可以引入先进的供应链管理系统,实现备件采购、存储和配送的全流程信息化管理。加强与供应商的合作,建立战略合作伙伴关系,也有助于提高备件供应的及时性和可靠性。

结束语

汽轮机维护保养与故障预防技术是一个系统性工程,涉及设备结构、运行特性、维护策略、监测诊断等多个方面。通过对其基本结构与运行特性的分析,明确了维护保养的重点和难点;构建的维护保养技术体系,为设备日常运行和定期检修提供了科学依据;故障预防机制的研究,为提前发现和处理故障隐患提供了有效手段。未来,随着技术的不断发展,应进一步优化监测诊断方法,完善预防性维护策略,提高汽轮机运行的可靠性和经济性,推动相关行业的可持续发展。

参考文献

- [1]李华.现代汽轮机故障诊断技术探讨[J].电力系统保护与控制,2021,49(10):67-73.
- [2]张磊.基于振动监测的汽轮机故障预防技术[J].装备制造技术,2023,54(3):102-108.
- [3]张保瑞.化工汽轮机振动故障原因及解决措施分析[J].装备维修技术,2022(03):150-151.
- [4]姬巍.电厂集控运行汽轮机运行优化途径[J].大众标准化,2023,(20):31-33.