

火电厂汽轮机本体检修策略与技术优化研究

简 冬

国能江苏电力工程技术有限公司 江苏 镇江 212000

摘 要：本文深入探讨了火电厂汽轮机本体的结构与工作原理，分析了转子、叶片、汽缸等关键部件的常见故障及其成因。针对传统检修策略存在的弊端，提出了状态检修和预知检修等新型检修策略，并结合火电厂汽轮机的实际运行情况，制定了检修策略优化方案。同时，文章还对转子、叶片、汽缸以及其他部件的检修技术进行了优化研究，旨在提高检修效率，降低检修成本，保障火电厂汽轮机的安全稳定运行。

关键词：火电厂；汽轮机本体；检修策略；技术优化

1 火电厂汽轮机本体结构与工作原理

1.1 汽轮机本体结构

火电厂汽轮机本体结构复杂且精密，是热能转换为机械能的核心装置。其核心部件转子犹如汽轮机的“心脏”，通常由主轴、叶轮、叶片等组成。主轴承担着传递扭矩和支撑其他部件的重任，需具备高强度和良好的韧性，以承受巨大的离心力和扭矩。叶轮固定在主轴上，为叶片提供安装位置，其设计直接影响蒸汽的流动和能量转换效率。叶片则分为动叶和静叶，动叶随转子高速旋转，将蒸汽的动能转化为机械能；静叶安装在隔板上，起到引导蒸汽流动、改变蒸汽方向和速度的作用，使蒸汽以合适的角度冲击动叶，提高能量转换效率。静子部分主要包括汽缸、隔板、喷嘴、轴封等。汽缸是汽轮机的外壳，为内部部件提供安装空间和密封环境，防止蒸汽泄漏。它通常分为高压缸、中压缸和低压缸，根据蒸汽压力和温度的不同进行设计，以适应不同的工作条件。隔板将汽缸分隔成若干个压力级，每个压力级都包含一组静叶和动叶，实现蒸汽能量的逐级转换。喷嘴是蒸汽进入动叶前的关键部件，其形状和尺寸对蒸汽的初速度和方向有重要影响，直接影响汽轮机的效率和出力。轴封则用于减少汽缸两端蒸汽的泄漏，提高汽轮机的热效率，同时防止外界空气进入汽缸，影响蒸汽品质。

1.2 工作原理

汽轮机的工作原理基于热力学中的能量转换定律，将蒸汽的热能转化为机械能。当高温高压的蒸汽进入汽轮机后，首先通过喷嘴，在喷嘴中蒸汽的压力降低，速度增加，将热能部分转化为动能。随后，高速蒸汽冲击动叶，使动叶带动转子旋转，将蒸汽的动能进一步转化为转子的机械能。这一过程在汽轮机的各个压力级中重复进行，蒸汽的压力和温度逐渐降低，能量被逐步释放并转化为机械能。根据蒸汽在动叶中的膨胀程度，汽轮

机可分为冲动式和反动式两种。冲动式汽轮机中，蒸汽主要在喷嘴中膨胀加速，在动叶中不发生膨胀或膨胀很小，动叶主要受到蒸汽的冲击力而旋转。反动式汽轮机中，蒸汽在喷嘴和动叶中都有膨胀，动叶不仅受到蒸汽的冲击力，还受到蒸汽膨胀产生的反作用力，从而推动转子旋转。现代大型汽轮机通常采用冲动式和反动式相结合的设计，以充分发挥两种原理的优势，提高汽轮机的效率和性能^[1]。

1.3 汽轮机本体运行特性

汽轮机本体在不同运行工况下表现出不同的特性。在启动过程中，汽轮机需要经历暖机、升速、并网等阶段。暖机阶段是为了使汽缸、转子等部件均匀受热，减少热应力，防止部件变形和损坏。升速过程中，要严格控制转速上升速率，避免因转速过快导致振动过大或部件损坏。并网后，汽轮机根据电网负荷需求调整出力，在变负荷运行时，需要快速响应负荷变化，同时保持稳定的运行参数。汽轮机运行过程中，还会受到多种因素的影响，如蒸汽参数（压力、温度、流量）、真空度、转速等。蒸汽参数的变化会直接影响汽轮机的效率和出力，例如蒸汽压力降低会导致汽轮机出力下降，蒸汽温度过高或过低都会影响汽轮机的安全运行。真空度对汽轮机的经济性有重要影响，真空度降低会使排汽压力升高，增加汽轮机的冷源损失，降低热效率。另外，汽轮机在运行过程中还可能出现振动、轴向位移、胀差等异常现象，这些现象如果得不到及时处理，可能会导致设备损坏，影响火电厂的安全稳定运行。因此，对汽轮机本体的运行特性进行深入研究，制定合理的检修策略和技术优化措施，对于提高汽轮机的运行效率和可靠性具有重要意义。

2 火电厂汽轮机本体常见故障分析

2.1 转子故障分析

转子是汽轮机传递能量的关键部件,其常见故障对汽轮机运行影响重大。不平衡故障是由于转子材质不均匀、加工误差、部件磨损或脱落等原因导致,会引起机组振动加剧,长期运行可能损坏轴承、密封等部件,甚至造成转子断裂。弯曲故障多因汽轮机启动或停机过程中操作不当,如暖机时间不足、热应力过大,或运行中发生水冲击等,使转子产生永久性弯曲变形,影响机组正常运行。轴颈磨损故障主要由轴承润滑不良、油中杂质等因素引起,会破坏轴承与轴颈的配合精度,导致轴承温度升高、振动增大。

2.2 叶片故障分析

叶片是将蒸汽动能转化为机械能的重要部件,其故障直接影响汽轮机的效率 and 安全性。叶片磨损故障主要由蒸汽中的固体颗粒冲刷、汽蚀等原因造成,会使叶片型线改变,降低能量转换效率。叶片断裂故障可能由于叶片设计不合理、材料缺陷、运行中受到交变应力过大等因素引发,一旦发生叶片断裂,碎片可能损坏其他部件,引发严重的设备事故^[2]。叶片腐蚀故障常见于蒸汽品质不佳、环境湿度大等情况,会削弱叶片强度,缩短叶片使用寿命。

2.3 汽缸故障分析

汽缸作为汽轮机的外壳,对保证蒸汽的正常流通和密封起着关键作用。汽缸变形故障多因制造质量问题、安装不当、运行中温度变化剧烈等原因导致,会破坏汽缸的密封性,引起蒸汽泄漏,降低机组效率。汽缸裂纹故障主要由热应力集中、材料老化等因素造成,裂纹的扩展可能导致汽缸泄漏加剧,甚至发生汽缸爆裂事故。汽缸结合面漏汽故障通常是由于结合面加工精度不够、螺栓紧力不均匀、垫片损坏等原因引起,会造成蒸汽损失,影响机组经济性。

2.4 其他部件故障分析

除转子、叶片、汽缸外,汽轮机的轴承、密封、联轴器等部件也可能出现故障。轴承故障如轴承温度过高、磨损、振动异常等,会影响转子的稳定运行;密封故障会导致蒸汽泄漏或空气进入,降低机组效率 and 安全性;联轴器故障如对中不良、螺栓松动等,会引起机组振动增大,影响功率传递。深入分析这些部件的故障原因和危害,为检修策略制定和技术优化提供全面依据。

3 火电厂汽轮机本体检修策略研究

3.1 传统检修策略分析

定期检修是过去火电厂普遍采用的检修策略,按照固定的时间间隔对汽轮机进行全面检修。其优点是检修计划易于制定和执行,能够对设备进行较为全面的检

查和维护。然而,定期检修存在明显弊端,由于不考虑设备的实际运行状态,可能导致过度检修,增加检修成本,同时频繁的检修也会缩短设备的使用寿命;另一方面,也可能因检修周期过长,无法及时发现和处理设备故障,影响机组的安全稳定运行。事后检修是在设备发生故障后进行的被动检修方式,这种检修策略的优点是在设备正常运行时无需投入过多的检修资源^[3]。但缺点也十分突出,设备故障往往会导致机组停机,造成电力供应中断,给企业带来巨大的经济损失;而且故障后的抢修工作时间紧迫,可能无法彻底解决问题,还会增加检修难度和成本。

3.2 新型检修策略探讨

状态检修是基于设备状态监测技术,通过实时采集设备运行参数,如振动、温度、应力等,运用数据分析和故障诊断技术,准确判断设备的运行状态和故障发展趋势,从而确定最佳检修时间和方案。状态检修能够避免过度检修和检修不及时的问题,提高检修的针对性和有效性,降低检修成本,同时保障设备的安全稳定运行。预知检修是在状态检修的基础上,利用先进的预测技术,对设备的故障进行提前预测,在故障发生前采取措施进行预防和修复,进一步提高设备的可靠性和可用性。

3.3 检修策略优化方案

结合火电厂汽轮机的实际运行情况和特点,综合考虑设备的重要性、可靠性要求、运行环境等因素,提出检修策略优化方案。对于关键设备和部件,优先采用状态检修和预知检修策略,实时监测设备状态,精准把握检修时机;对于一些辅助设备和部件,可结合定期检修和事后检修策略,在保证设备正常运行的前提下,合理控制检修成本。建立完善的设备状态监测系统 and 故障诊断体系,加强对检修数据的分析和利用,不断优化检修策略,提高检修工作的科学性和有效性。

4 火电厂汽轮机本体检修技术优化研究

4.1 转子检修技术优化

在转子不平衡故障检修方面,引入先进的动平衡技术,采用高精度的动平衡设备和先进的平衡算法,提高转子动平衡精度,减少振动。对于转子弯曲故障,研究采用热校直和机械校直相结合的复合校直技术,根据转子弯曲程度和材料特性,选择合适的校直方法,提高校直效果和转子的可靠性。针对轴颈磨损故障,应用激光熔覆、电刷镀等表面修复技术,快速、有效地修复磨损的轴颈表面,恢复轴颈的尺寸精度和表面质量。

4.2 叶片检修技术优化

针对叶片磨损故障,业界正积极研发新型抗磨损涂

层材料。这些材料具备卓越的耐磨性能,能够有效抵御蒸汽中固体颗粒的长期冲刷。采用热喷涂、气相沉积等先进的涂层制备技术,可以在叶片表面精确涂覆一层高性能涂层,显著提升叶片的抗磨损能力,延长其使用寿命。对于叶片断裂这一严重故障,技术团队正致力于优化叶片设计。借助先进的有限元分析方法,可以对叶片的结构和应力分布进行深度剖析。基于这些分析结果,对叶片的结构形状和材料性能进行有针对性的改进,以增强叶片的抗疲劳强度和断裂韧性,从根本上降低断裂风险。面对叶片腐蚀故障,检修人员会采用化学清洗、电化学保护等技术手段。这些技术能够有效去除叶片表面的腐蚀产物,并在叶片表面形成一层保护膜,从而阻止腐蚀的进一步扩展,确保叶片的稳定运行^[4]。

4.3 汽缸检修技术优化

汽缸作为汽轮机的外壳,其变形和裂纹等故障会严重影响汽轮机的密封性和运行稳定性。针对汽缸变形故障,传统的测量方法精度较低,难以准确把握汽缸的变形情况。研究采用激光测量技术和三维建模技术,激光测量技术具有高精度、非接触等优点,能够精确测量汽缸各部位的尺寸和形状变化。通过三维建模技术,将测量数据转化为直观的三维模型,可清晰地展示汽缸的变形情况。基于此,制定个性化的修复方案,利用液压整形、机械加工等方法对变形的汽缸进行修复。液压整形通过液压装置对汽缸施加压力,使其恢复原状;机械加工则可对汽缸表面进行精加工,恢复其几何形状和尺寸精度。对于汽缸裂纹故障,采用超声波探伤、磁粉探伤等先进的无损检测技术,能够准确检测裂纹的位置、长度和深度。超声波探伤利用超声波在材料中的传播特性,检测内部缺陷;磁粉探伤则通过磁化汽缸,使裂纹处产生漏磁场,吸附磁粉形成磁痕,从而显示裂纹情况。根据裂纹情况,选择合适的修复方法,如焊接修复可对裂纹进行填充和加固,裂纹消除技术则可彻底去除裂纹,确保汽缸的安全性和可靠性。在处理汽缸结合面漏汽故障时,改进密封结构和密封材料是关键。采用新型的密封垫片和密封胶,新型密封垫片具有良好的弹性和密封性,能适应汽缸结合面的微小变形;密封胶则能填充结合面之间的缝隙,提高密封效果,从而有效减少蒸汽泄漏,保障汽轮机的热效率。

4.4 其他部件检修技术优化

轴承作为汽轮机的支撑部件,其性能直接影响转子的运行稳定性和寿命。对于轴承故障检修,研发新型的轴承材料和润滑技术是重要方向。新型轴承材料具有更高的强度、耐磨性和耐腐蚀性,能够承受更大的载荷和更恶劣的工作环境。润滑技术方面,采用先进的润滑剂和润滑方式,如高性能的润滑油和油气润滑技术,可降低轴承的摩擦系数,减少热量产生,降低轴承温度和振动,提高轴承的承载能力和使用寿命。在密封故障处理方面,采用新型的密封装置和密封材料是提高密封性能的有效途径。干气密封利用气体动力学原理,在密封端面形成气膜,实现非接触密封,具有密封效果好、寿命长等优点;蜂窝密封则采用蜂窝状结构,能有效减少蒸汽泄漏和空气进入,提高汽轮机的热效率和安全性。针对联轴器故障,研究采用高精度的对中技术和新型的联轴器结构。高精度的对中技术可确保联轴器两端的轴线精确对中,减少因对中不良引起的振动和磨损;新型的联轴器结构如膜片联轴器、蛇形弹簧联轴器等,具有良好的缓冲和减振性能,能提高联轴器的对中精度和可靠性,降低机组振动,保障汽轮机的平稳运行。

结束语

综上所述,火电厂汽轮机本体检修策略与技术优化是提高设备可靠性和降低运维成本的重要途径。通过深入研究汽轮机本体的结构与工作原理,制定科学合理的检修策略和技术优化措施,可以有效减少设备故障,提高运行效率。未来,随着智能化、信息化技术的发展,火电厂汽轮机本体检修将更加精准、高效,为火电厂的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]付凯.汽轮机本体常见故障及检修的几点思考[J].中国科技纵横,2020(19):82-83.
- [2]李功甲.火电厂机组汽轮机本体检修分析[J].科技资讯,2020,18(06):68-69.
- [3]幸世宝.关于火电厂汽轮机组本体检修分析[J].科技风,2020(19):153.202019128.
- [4]周桂华.火电厂机组汽轮机本体检修的几点思考[J].现代经济信息,2020(12):381-382.