

汽轮机检修技术的发展现状与未来趋势分析

李小刚

宁夏煤业煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750411

摘要: 本文探讨了汽轮机检修技术的发展现状与未来趋势。现状涵盖传统与现代检修技术及其在火电、核电、工业驱动等领域的应用场景。影响发展因素包括技术创新、行业需求及设备结构演进。未来趋势呈现智能化、绿色化、一体化, 涉及智能监测诊断、环保工艺、资源回收及全生命周期管理、一体化服务等内容。

关键词: 汽轮机检修技术; 现代检修技术; 行业需求; 发展趋势; 一体化服务

引言: 汽轮机作为能源转换与工业驱动的关键设备, 其检修技术对保障设备稳定运行、提升能源利用效率意义重大。随着工业技术不断发展, 汽轮机检修技术历经演变, 传统检修模式与现代先进技术并存。不同行业对汽轮机运行要求各异, 促使检修技术呈现多样化应用。探究其发展现状与未来趋势, 对推动行业进步至关重要。

1 汽轮机检修技术发展现状

1.1 传统检修技术

定期检修模式遵循严格的时间或运行周期准则, 是汽轮机检修早期应用广泛的方式。在制定检修计划时, 依据汽轮机的设计运行参数与经验数据, 设定固定的检修周期。检修实施前, 先对设备进行全面隔离, 切断蒸汽输入, 断开电气连接, 释放系统压力, 保障检修人员安全。解体检查环节, 按照由外至内、由附件到核心的顺序拆卸部件。例如, 先拆除汽轮机的外罩、管道, 再逐步分离缸体与转子, 整个过程需精准记录各部件位置、配合间隙等信息, 为后续组装提供依据。常规检测技术手段贯穿解体检查全程。尺寸检测利用卡尺、千分尺等工具, 对轴颈、孔径等关键部位进行测量, 判断部件磨损程度; 借助百分表监测部件的形位误差, 确保转子圆度、平面度等指标符合设计要求。表面质量检测采用目视检查与着色探伤相结合的方式, 目视检查可发现明显的磨损、变形, 着色探伤则能检测出肉眼难以察觉的表面裂纹。定期检修模式虽能对设备进行系统维护, 但因周期固定, 易出现过度检修或故障漏检的情况。

1.2 现代检修技术

状态监测技术通过传感器实现对汽轮机运行参数的实时感知。振动监测利用压电式或电感式振动传感器, 将设备的机械振动转化为电信号。传感器通常布置在轴承座、缸体等关键部位, 采集的振动信号包含幅值、频率等信息。当汽轮机发生转子不平衡、轴承磨损等故障

时, 振动信号的特征参数会发生变化, 通过对这些信号的分析, 可判断设备运行状态^[1]。温度监测采用热电偶、热电阻传感器, 安装在轴承、蒸汽管道等易发热部位, 实时监测温度变化, 高温异常可预警润滑不良、局部阻塞等问题。无损检测技术在不破坏部件结构的前提下, 实现内部缺陷检测。超声探伤利用超声波在不同介质中的传播特性, 当超声波传入汽轮机部件, 遇到内部缺陷时会发生反射、折射。接收反射波信号并分析其特征, 能够确定缺陷的位置、大小和形状, 尤其适用于检测金属部件内部的裂纹、气孔。射线探伤借助X射线或Y射线穿透部件, 在底片或探测器上形成影像, 通过观察影像中灰度差异, 判断部件内部结构缺陷, 常用于检测焊缝等关键部位。智能诊断技术借助计算机算法与知识库, 实现故障的快速精准判断。专家系统整合大量汽轮机故障案例与维修经验, 构建包含故障现象、原因、解决方案的知识库, 并制定相应的推理规则。当设备出现异常时, 系统将实时监测数据与知识库对比, 通过推理得出故障原因及处理建议。神经网络则基于深度学习算法, 对海量设备运行数据进行学习训练, 构建故障诊断模型。该模型能够自动识别数据特征, 对复杂故障进行准确诊断, 相比传统方法具有更高的诊断效率与准确性。

1.3 检修技术应用场景

在火电领域, 汽轮机作为核心发电设备, 检修技术的应用全面且系统。定期检修保障设备长期稳定运行, 及时处理磨损、老化部件; 状态监测技术实时监控设备运行参数, 一旦出现异常, 智能诊断技术迅速定位故障, 指导维修工作。核电领域对安全性要求极高, 无损检测技术发挥关键作用, 用于检测核岛汽轮机关键部件, 确保无内部缺陷; 智能诊断技术辅助分析设备运行状态, 预防潜在故障, 保障核电站安全稳定运行。工业驱动领域, 汽轮机检修技术的应用因行业需求而异。化工行业中, 汽轮机工作环境复杂, 介质具有腐蚀性, 对

密封部件的检测与维护要求严格。综合运用多种检修技术, 定期检查密封件磨损情况, 利用无损检测技术排查管道、容器的腐蚀缺陷, 确保设备密封性与安全性。在冶金行业, 汽轮机需适应高温、高粉尘环境, 检修重点关注轴承、叶片等部件的磨损, 通过状态监测技术实时掌握设备运行状态, 及时安排检修, 保障工业生产的连续性与稳定性。

2 影响汽轮机检修技术发展因素

2.1 技术创新推动

材料科学进展为汽轮机检修技术带来显著变革。新型耐高温、耐磨损材料的研发, 改变汽轮机部件检修策略。传统金属材料在高温高压环境下易发生蠕变、疲劳损伤, 检修时需频繁更换受损部件^[2]。新型高温合金材料凭借优异的高温强度与抗氧化性能, 延长部件使用寿命, 检修周期得以延长。这些材料的特殊物理化学性质, 促使检测技术升级。因其内部组织结构更为复杂, 常规检测手段难以精准判断其损伤程度, 催生相控阵超声检测等新型无损检测技术, 提升对材料内部缺陷的检测精度与效率。信息技术革新为汽轮机检修技术创造机遇。大数据技术使海量设备运行数据得以高效处理与分析。汽轮机运行过程中, 传感器持续采集温度、压力、振动等多维度数据, 大数据算法能够挖掘数据背后规律, 构建设备健康状态模型。通过分析历史数据, 可预测部件性能退化趋势, 提前制定检修计划, 实现从被动维修向主动维护转变。物联网技术实现设备间互联互通, 检修人员借助网络可远程获取汽轮机运行参数, 实时监控设备状态。一旦设备出现异常, 系统立即发出警报, 维修人员依据远程数据快速诊断故障, 缩短响应时间, 提高检修效率。物联网与大数据结合, 构建设备全生命周期管理平台, 为检修技术优化提供全面数据支持。

2.2 行业需求拉动

能源行业对高效、稳定运行的需求驱动汽轮机检修技术发展。发电企业追求发电效率最大化, 汽轮机作为核心发电设备, 其运行效率直接影响发电成本与收益。为保障设备高效运转, 要求检修技术能够精准检测设备性能损耗, 及时修复微小故障, 避免故障扩大影响发电效率。电力供应稳定性关乎社会经济运行, 任何设备故障导致的停电都可能造成重大损失。检修技术需具备强大的故障预警能力, 提前发现潜在隐患, 确保汽轮机持续稳定运行。基于振动分析的故障预测技术不断优化, 通过捕捉设备振动信号细微变化, 预测轴承失效、转子失衡等故障, 满足能源行业对稳定性的严苛要求。工业领域产能提升与节能减排要求促使汽轮机检修技术不断

进步。工业生产规模扩大, 对动力供应的稳定性和可靠性提出更高标准。汽轮机作为工业动力重要来源, 需保障长时间连续运行, 这要求检修技术缩短检修时间、提高维修质量, 减少设备停机对产能的影响。在节能减排方面, 企业面临降低能耗与减少排放的双重压力。检修技术需助力汽轮机优化运行参数, 降低能源消耗。通过精准检测蒸汽系统密封性, 修复泄漏点, 减少蒸汽损失; 优化汽轮机叶片型线, 提高蒸汽能量转换效率。采用环保型检修材料与工艺, 减少检修过程对环境的污染, 满足工业领域可持续发展需求。

2.3 设备结构演进的驱动作用

汽轮机设备持续向大型化、高参数化方向发展, 内部结构更加精密, 系统之间的耦合性显著增强。多级回热、再热系统以及复杂通流结构的广泛应用, 使热力循环更为复杂, 促使检修技术由单一操作转向系统化分析。面对高温、高压、高转速的工作环境, 关键部件容易出现微小缺陷, 传统检测手段难以应对, 推动无损检测技术向高精度与智能化升级^[3]。相控阵超声检测利用多声束特性实现缺陷精准定位, 微焦点CT则通过高分辨率成像清晰呈现内部结构, 两者应用日益广泛。设备复杂程度的提升要求检修方案趋于集成化, 需建立整体模型, 综合评估部件与系统间的相互影响。从转子动力学到蒸汽流场, 从材料性能到装配间隙变化, 均需纳入统一分析体系。这种发展趋势对检修人员的技术水平提出更高要求, 也促使培训体系不断创新, 推动从业人员掌握机械、电子、自动化等多方面知识, 成长为具备综合能力的技术人才。

3 汽轮机检修技术未来趋势

3.1 智能化发展方向

智能监测与诊断系统将向更深度发展。随着传感器技术的持续进步, 未来汽轮机上部部署的传感器种类与精度会进一步提升。除现有的温度、压力、振动传感器, 新型化学传感器可实时监测蒸汽中杂质成分, 光学传感器能捕捉部件表面微观裂纹的萌生。多类型传感器采集的海量数据将通过高速通信网络汇聚, 借助边缘计算技术在本地进行初步处理, 减轻数据传输与云端处理压力, 实现数据快速分析。人工智能算法在智能诊断中的应用会更加成熟。深度学习模型可对复杂故障模式进行精准识别, 通过对历史故障数据和正常运行数据的对比学习, 构建高度精确的故障预测模型。模型不仅能判断故障类型, 还可预测故障发展速度, 为检修决策提供更具时效性的依据。知识图谱技术将被引入, 整合设备设计原理、运行规程、维修经验等知识, 形成完整的知识

网络。当系统诊断出故障时,知识图谱可自动关联相关知识,为维修人员提供详细的故障解决方案与操作指导。自动化检修设备与机器人的应用前景广阔。针对汽轮机内部狭小、复杂的空间环境,微型检修机器人将被研发。这些机器人具备灵活的移动能力,可通过管道、缝隙进入汽轮机内部,利用搭载的微型检测设备对关键部件进行近距离检测,如采用显微成像技术检查叶片表面涂层剥落情况。在维修作业方面,大型自动化检修设备可完成重型部件的拆卸与安装工作。智能机械臂通过视觉识别系统精准定位部件,结合力反馈技术感知安装力度,确保部件安装位置与配合精度,大幅减少人工操作误差,提高检修作业效率与安全性。

3.2 绿色化发展趋势

环保型检修工艺的研发与应用将成为重点。传统化学清洗工艺使用的化学药剂可能对环境造成污染,未来将开发新型环保清洗剂。这些清洗剂采用可生物降解成分,清洗后废液对环境影响极小,甚至可通过简单处理实现循环利用。在部件表面处理工艺上,低温等离子体处理技术将得到推广。该技术无需使用化学溶剂,通过等离子体与部件表面发生物理化学反应,实现表面清洁、改性,达到提高部件耐磨性与耐腐蚀性的目的,避免传统电镀工艺带来的重金属污染问题。资源回收与再利用技术将取得更大发展。汽轮机部件在长期运行后,部分材料性能下降但仍有回收价值^[4]。先进的材料回收技术可对废旧部件进行高效拆解与分离,将不同金属材料分类回收。增材制造技术在再制造领域的应用将更加深入,通过对废旧部件进行三维扫描建模,利用金属3D打印技术补充磨损、损坏部分,结合后续加工处理,使废旧部件恢复性能,重新投入使用。这种再制造模式不仅减少原材料消耗,还降低了部件生产过程中的能源消耗与碳排放,符合绿色发展理念。

3.3 一体化发展模式

设备全生命周期管理理念将得到深入实践。从汽轮机的设计阶段开始,就融入检修与运维的考量。设计软

件可模拟设备在不同运行工况下的性能变化,预测部件寿命,为制定合理的检修策略提供依据。在设备制造过程中,植入电子标签或传感器芯片,记录部件制造信息与安装位置,便于后续运行阶段的监测与管理。运行阶段,通过智能监测系统收集设备实时数据,结合设计与制造信息,对设备健康状态进行综合评估,动态调整检修计划。退役阶段,依据全生命周期数据对设备进行科学评估,确定最佳回收与再利用方案,实现资源的最大化利用。检修、运维、升级一体化服务趋势将愈发明显。传统模式下,检修、运维、升级服务相互独立,存在信息沟通不畅、服务衔接不紧密等问题。未来,服务商将提供一站式解决方案,组建涵盖机械、电子、自动化等多专业的服务团队。在日常运维中,团队通过智能监测系统掌握设备运行状态,定期进行预防性维护。当设备出现故障时,快速响应开展检修工作。结合行业技术发展与设备实际需求,为用户提供设备升级改造方案,优化汽轮机性能。这种一体化服务模式减少用户协调成本,提高服务效率与质量,增强设备综合竞争力。

结束语

汽轮机检修技术在不断创新中发展,传统检修模式与现代技术相互补充,满足不同行业需求。技术创新、行业需求及设备结构演进等因素持续推动其进步。未来,智能化、绿色化、一体化将成为检修技术发展方向,实现更高效、环保、全面的设备管理与维护,为能源及工业领域发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]马旭兵.试论汽轮机组故障诊断技术现状与发展[J].中国设备工程,2021,(12):186-187.
- [2]张志刚,赵宇,孙洪涛.汽轮机检修工艺优化及效率提升技术研究[J].电力设备与材料,2024,47(10):1-4.
- [3]李强,王磊,张辉.汽轮机检修工艺优化与效率提升的关键技术研究[J].热力发电,2024,50(8):1-4.
- [4]陈磊,刘涛,王志勇.汽轮机检修工艺优化与效率提升的实践与探讨[J].电机与控制学报,2024,42(5):1-5.