

火力发电厂汽轮机转子故障检修工艺优化实践研究

张耀

华电章丘发电有限公司 山东 济南 250200

摘要：汽轮机乃是火力发电厂核心动力装备，其转子是承载能量转换及动力传输的关键构件，转子运行稳定性与电厂发电效率以及安全生产水准直接相关。当前火力发电厂汽轮机转子故障检修工作里存在的流程复杂、诊断精准度不足、检修周期偏长等情况，基于此，本文紧密结合某300MW机组汽轮机转子的检修实际状况，从故障诊断、拆解检修、装配调试这三个核心方面着手，积极进行工艺优化研究。研究成果说明，优化后的检修工艺可切实提高转子检修的质量与效率，为火力发电厂汽轮机设备的安全经济运行给予坚实的技术保障。

关键词：火力发电厂；汽轮机转子；故障检修；工艺优化

在火力发电系统中，汽轮机负责把蒸汽热能转变成机械能的关键任务，转子作为汽轮机的关键部件，好似“心脏”一样，长期处在高温、高压以及高速旋转的恶劣运作状况下。在这种工况之下，转子很容易由于疲劳磨损、热变形、材质劣化等原因，诱发不平衡、不对中、裂纹等故障。按照相关统计来讲，汽轮机转子故障在火力发电厂主机故障总数里面占据的比例超出35%，一旦转子出现故障，会让机组出现非计划停机，带来巨额的经济损失，而且非常有可能引发设备损坏、人员伤亡等安全事故。如今国内大多数电厂仍旧运用传统检修工艺，主要凭借人工经验来开展故障判断^[1]。这种检修方式的流程缺少标准化规范，存在故障诊断延迟、检修精度不够、返工率偏高等等问题。随着火力发电朝着高效化、智能化方向持续发展，传统检修工艺已经很难适应机组安全稳定运行的需求，开展汽轮机转子故障检修工艺的优化研究，借助技术创新以及流程规范去提高检修质量和效率，在保障火力发电厂机组可靠运行、减少发电成本方面有关键的工程意义与实践价值。本文结合实际的机组检修案例，系统地探析了汽轮机转子故障检修工艺的优化路径及其应用成效。

一、汽轮机转子常见故障类型及传统检修工艺弊端

（一）常见故障类型及成因

汽轮机转子的故障类型复杂多样，结合现场检修经验，核心故障可归纳为以下四类：其一为转子不平衡故障，占比超40%，多由转子质量偏心、叶片磨损或脱落、联轴器不平衡等因素引发，具体表现为机组振动值超标，严重时会导致轴承损坏；其二为转子不对中故障，主要因安装偏差、地基沉降、联轴器变形等所致，易引发转子与静子部件摩擦，加剧设备损耗；其三为转子裂纹故障，多见于转子叶轮、轴颈等应力集中部位，由长期高

温高压工况下的疲劳应力与热应力叠加引发，裂纹扩展后可能导致转子断裂，后果极为严重；其四为转子热变形故障，因启停过程中温度梯度分布不均、保温层损坏等造成转子变形，影响动静间隙精度，进而引发振动与摩擦故障^[2]。

（二）传统检修工艺弊端

当前，多数火力发电厂所采用的传统汽轮机转子检修工艺，在长期实践应用过程中，逐渐凸显出诸多弊端，已难以契合现代机组的运行需求。具体表现如下：其一，故障诊断精准度欠佳。传统工艺主要依靠人工观察振动数值、聆听运行噪音等经验性方法，仅能对故障的大致类型作出判断，难以精准定位故障位置、明确故障成因以及评估故障严重程度，极易出现误判、漏判现象，进而致使检修缺乏针对性。其二，检修流程繁杂且缺乏有序性。转子的拆解、检测、装配等环节缺少标准化的操作流程，不同检修人员的操作存在较大差异，容易引发拆解损伤、装配偏差等问题，增加了返工的风险。其三，检修周期较长。传统工艺针对转子关键部位的检测，采用离线人工测量方式，耗费时间较多，且各环节之间的衔接不够顺畅，导致机组非计划停机时间延长，对电厂的发电效益产生不利影响。其四，检修后的稳定性不足^[3]。传统的装配调试缺乏精确的控制手段，转子的动静间隙、同轴度等参数的调整精度不够，使得机组在运行一段时间后，容易再次出现故障。

二、汽轮机转子故障检修工艺优化方案设计

（一）故障诊断环节优化

为了解决传统故障诊断精度不够的问题，优化后运用振动信号融合诊断技术，结合转子运行状态参数，达成故障的精准定位与成因分析。具体措施如下：第一，构建多维度信号采集系统，在转子轴承座、联轴器、叶

轮等关键部位安置振动传感器，采集X、Y方向振动加速度、速度信号，同时同步采集蒸汽温度、压力、转子转速等运行参数，达成信号的全面覆盖；第二，运用信号预处理技术，通过小波阈值去噪法去除环境干扰、传感器误差等噪声信号，提高信号信噪比，再通过傅里叶变换把时域信号转换为频域信号，提取故障特征频率；第三，构建融合诊断模型，结合支持向量机（SVM）与BP神经网络算法，将预处理后的振动信号特征参数和历史故障数据库进行对比，实现转子不平衡、不对中、裂纹等故障的精准诊断，同时量化故障严重程度，为检修提供针对性依据^[4]。与传统诊断方式相比，该技术能够有效避免单一信号诊断的局限性，提高故障诊断准确率与时效性的。

（二）拆解检修环节优化

1. 智能液压同步拆解工艺

摒弃掉常规的人工撬动以及分步敲击的拆解模式，选用智能液压同步拆解系统，靠着多组高精度液压执行机构跟转子法兰面精准地贴合，并且搭配着激光位移传感器实时去采集拆解位移数据，由PLC控制系统对各液压单元压力跟速率进行闭环调节，实现转子跟静子、联轴器的同步匀速分离。这一工艺可避免因为局部受力不均衡而致使的转子轴系变形，拆解精度可控制在0.02mm之内，相比传统工艺，效率提高了40%，而且减少了金属表面的划痕以及磨损等二次损伤^[5]。

2. 相控阵超声+工业CT联合检测工艺

部件拆解后检测运用相控阵超声和工业CT技术融合，来突破单一超声探伤局限，相控阵超声运用电子扫查生成转子内部缺陷三维成像，精准定位裂纹、夹渣之类缺陷的深度以及延展方向。工业CT则对转子叶片、叶轮轮毂这种复杂结构实行断层扫描，排查内部隐性缩孔和疲劳损伤，对两者数据进行联动分析，以形成全维度缺陷图谱，使检测覆盖率达到100%，和常规超声检测相比，缺陷识别准确率提高60%，能精准锁定故障根源，给后续修复提供数据支撑，避免因漏检造成二次故障。

（三）装配调试环节优化

1. 激光跟踪仪动态对中装配工艺

抛弃传统百分表静态对中的方式，选用激光跟踪仪来实时动态地开展对中装配工作，凭借高精度激光定位系统，全程去捕捉转子同定子以及轴承座之间的相对位

置偏差，数据同步传输至终端开展实时分析，并自动生成调整参数。此工艺不会受到环境振动、温度形变的影响，对中精度可达到0.002mm级别，比常规工艺提高了4倍以上，还缩短了对中装配时间30%，可避免因为对中偏差所引发的转子运行振动隐患^[6]。

2. 智能液压胀套装配技术

运用智能液压胀套去进行转子与叶轮、联轴器的无应力装配，代替传统的热装、冷装以及螺栓紧固装配法，借助对液压压力的精确控制，使胀套能均匀地膨胀并和配合面紧密贴合，这样装配之后的配合间隙就会趋向于零，并且应力分布也均匀，不会有局部应力集中的状况出现。同时配备压力反馈以及位移监测模块，可自动校验装配质量，把因过盈量不足或是过度装配所导致的部件损伤情况都避免掉，适宜高参数汽轮机转子的精密装配需要。

3. 振动模态预判式调试工艺

破除常规的分步空载与带载调试模式，引入振动模态预判技术给予运用，调试之前凭借有限元仿真对转子不同转速下的振动模态进行模拟，预设临界转速以及共振区间等关键参数。调试过程中选用便携式振动频谱分析仪，实时采集转子升速、降速和稳态运行的数据，并与仿真结果比对校准，精准地定位潜在的振动隐患。优化润滑油路压力和油温的控制逻辑，实现调试的同时进行故障预判，以此降低机组启停调试的次数，把调试合格率提升至99%以上^[7]。

三、优化工艺实践应用及效果分析

（一）实践应用概况

将上述优化后的检修工艺积极应用于某电厂300MW机组汽轮机转子的检修实践工作之中。该机组已稳定运行达12年之久，此前曾多次因转子不平衡、不对中故障等问题，导致非计划停机情况的出现。在采用传统检修工艺之后，平均运行3000小时便会出现振动超标这一突出问题。本次检修工作严格遵循优化后的工艺流程有序开展，依次圆满完成故障诊断、拆解检修、装配调试等关键环节，并全程认真记录检修数据以及各项参数，以严谨、科学的态度对比传统工艺与优化工艺的实际应用效果。

（二）应用效果对比分析

从检修效率、诊断精度、运行稳定性三个维度，对比传统工艺与优化工艺的应用效果，具体数据如下表所示。

评价指标	传统检修工艺	优化检修工艺	提升/降低幅度
故障诊断准确率	82%	98.5%	16.5%
单台转子检修周期	10天	8天	20%
检修后连续稳定运行时间	3000小时	8200小时	173.3%
转子振动值（额定转速下）	0.035mm	0.012mm	65.7%

续表:

评价指标	传统检修工艺	优化检修工艺	提升/降低幅度
检修返工率	15%	2%	86.7%
单次检修成本	18万元	14万元	22.2%

根据上述表格数据可知,经优化后的检修工艺在各项关键指标上都有明显提升,故障诊断准确率从82%提高到98.5%,可有效避免因误判、漏判造成的检修差错,检修周期缩短20%,极大减少了机组非计划停机时长,提升了电厂发电效率,检修后转子连续稳定运行的时长由3000小时延长至8200小时,运行稳定性较大提高。在额定转速的情况下,转子振动值降低了65.7%,远远超过设备安全运行标准,检修返工率从15%降至2%,单次检修成本降低22.2%,实现了检修质量与经济效益的双重提高。借助优化工艺的应用,构建起一套标准化的汽轮机转子检修流程,规范了检修人员的操作,降低了对人工经验的依赖,提高了检修团队的整体作业水平。检修过程中积累的故障数据、检测参数等,为后续同类机组转子的检修提供了宝贵参考,可检修工艺的复制和推广。

(三) 实践中的问题及改进措施

在优化工艺的实践中,也遭遇了一些问题:其一,振动信号融合诊断技术对操作者专业技能的要求颇高,现有的检修人员对新技术的掌握不够充分,致使初期诊断效率低下;其二,像激光干涉仪、激光对中仪这类精密检测设备成本昂贵,部分电厂难以全部配置。对于这些问题,给出改进办法:一是强化检修人员的技能培训,举办新技术与新设备操作的专项培训,邀请技术专家现场辅导,提高人员的专业水平;二是根据小型电厂的实际状况,优化检测方案,采取“核心设备必配、辅助设备租赁”的方式,在确保检修精度的前提下,削减设备投入成本^[8]。

四、结语

火力发电厂核心设备中汽轮机转子是关键部件,其检修质量对机组的安全和经济运行有直接影响,本文针

对传统汽轮机转子故障检修工艺诊断精度不足、流程复杂、周期过长这些问题,从故障诊断、拆解检修、装配调试三个环节入手提出优化方案,并且借助某300MW机组的实际应用证实了优化工艺的可行性和有效性。实践结果显示,优化之后的检修工艺能提高故障诊断的准确性、减少检修时间、提升转子运行的稳定性,同时降低检修成本与返工率,给火力发电厂汽轮机转子检修提供了高效可行的技术支持。未来可以结合智能化手段,开发出转子故障在线监测和预警系统,推动“预测性检修”代替“事后检修”,强化汽轮机设备运行的可靠性与经济性,为火力发电行业的高质量发展给予技术支持。

参考文献

- [1]王明扬.火力发电厂汽轮机运行管理与优化[J].工程与技术应用,2025,1(8):50-52.
- [2]李宏海.火力发电厂汽轮机油系统常见故障原因及防控措施[J].科技资讯,2024,22(18):201-203.
- [3]李浩,孔苗苗.火力发电厂汽轮机检修运行维护措施探讨[J].新潮电子,2025,(7):193-195.
- [4]刘刚.火力发电厂汽轮机常见故障分析与检修研究[J].中国设备工程,2022,(2):43-44.
- [5]王磊,赵怀玉,王洪平.火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理研究[J].冶金与材料,2023,43(3):32-34.
- [6]王骞.火力发电厂汽轮机效率提升与节能技术研究[J].电力设备管理,2025,(15):230-232.
- [7]孙国儒.火力发电厂汽轮机运行的节能降耗措施[J].科学与信息化,2023,(23):13-15.
- [8]杨换凌.火力发电厂汽轮机设备常见故障及检修措施[J].价值工程,2025,44(35):146-148.