

Application and Development Trend of Turbine Blade Fault Diagnosis Technology

Yueping Wang

State Power Investment Corporation Northeast Electric Power Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110168, China

Abstract

Steam turbine is one of the core equipment in energy and power systems. The smooth operation of steam turbine is of great significance for power supply and industrial production. The blades are the key components of steam turbine, and they are prone to failure under harsh conditions such as high temperature, high pressure, and high speed. Once blade faults are not detected and dealt with in a timely manner, they can lead to serious accidents and significant economic losses. Therefore, accurate and effective fault diagnosis techniques are of great significance in ensuring the safe and smooth operation of steam turbines. In addition, with the development of industry, the performance requirements of steam turbines are becoming increasingly high, and blade fault diagnosis technology needs to keep up with the pace of the times. This article will discuss the current application status and future development trends of turbine blade fault diagnosis technology for reference and inspiration.

Keywords

turbine blades; Fault diagnosis technology; Application; Development Trends

汽轮机叶片故障诊断技术应用与发展趋势

王越平

国家电投集团东北电力有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110168

摘要

汽轮机是能源动力系统中的核心设备之一, 汽轮机的平稳运行对于电力供应和工业生产都具有重大意义, 其中叶片是汽轮机的关键部件, 运行于高温、高压和高转速等苛刻条件下都很容易发生故障。叶片故障一旦被及时发现和处理就会导致严重的事故和重大的经济损失, 所以准确而有效的故障诊断技术对确保汽轮机的安全平稳运行具有重要的意义。另外随着工业的发展, 汽轮机的性能要求越来越高, 叶片故障诊断技术需要跟上时代发展的步伐。本文将对汽轮机叶片故障诊断技术应用现状及未来发展趋势进行论述, 以供参考和借鉴。

关键词

汽轮机叶片; 故障诊断技术; 应用; 发展趋势

1 引言

汽轮机作为电力、能源等行业关键设备, 其运行稳定性至关重要。叶片是汽轮机核心部件, 其工作环境恶劣就易出现故障而影响汽轮机性能甚至导致停机事故, 准确高效的故障诊断技术能及时发现问题保障汽轮机安全运行。因此研究汽轮机叶片故障诊断技术应用与发展趋势意义重大。

2 汽轮机叶片常见故障类型及原因分析

2.1 常见故障类型

2.1.1 疲劳断裂

汽轮机叶片高速旋转时受到离心力和气动力的交变载

荷作用, 长期在此复杂的应力环境中叶片的局部区域会由于应力集中现象而逐渐产生疲劳裂纹。裂纹随运行时间延长而扩展, 到一定程度叶片出现疲劳断裂, 如在某些高负荷和长期运行汽轮机叶片根部往往由于应力集中而成为疲劳断裂高发区^[1]。另外疲劳断裂在造成叶片破坏的同时也会引起连锁反应, 从而影响汽轮机整体的运行和安全。

2.1.2 腐蚀损伤

汽轮机在运行过程中蒸汽中常含有各种化学物质, 如具有腐蚀性的介质如氯和硫, 这些介质在叶片表面与金属材料产生化学反应而损伤叶片金属结构而导致腐蚀损伤。以沿海地区发电厂为例, 由于空气含盐量大, 流入汽轮机内的蒸汽会带入更多的氯离子而加快叶片腐蚀。另外汽轮机在停运过程中如果内部潮湿空气没有得到及时排放, 还可能诱发叶片电化学腐蚀现象而使叶片强度下降, 使用寿命缩短。

【作者简介】王越平(1993-), 男, 中国辽宁沈阳人, 博士, 工程师, 从事流体机械及工程, 汽轮机检修研究。

2.1.3 磨损

汽轮机在工作时高速旋转的蒸汽对叶片表面有较强的冲刷作用,使叶片材料逐步磨损。同时蒸汽可能带有的微小颗粒杂质被高速气流驱动冲击到叶片上也使磨损程度加重。与某些服役时间较长的汽轮机一样,由于长时间受冲刷及颗粒撞击等因素的作用,叶片表面也会产生不同的磨损情况,从而导致叶片型线的变化,继而影响汽轮机效率及性能。另外异物进入汽轮机内,例如检修过程中留下的刀具等也都会使叶片受到严重的磨损。

2.1.4 振动异常

汽轮机叶片在运行过程中承受着各种激振力,例如气流激振和共振。这些激振力频率接近或者等于叶片固有频率时会触发共振,从而使叶片振动反常地增强。如汽轮机启停或负荷突变时气流状态变化很大就会容易激起叶片异常振动。另外异常的振动不仅使叶片受到附加应力而加快疲劳损伤的速度,而且可能引起叶片与其周围零件摩擦碰撞而导致叶片受损,甚至诱发更为严重的设备失效^[2]。

2.2 故障原因分析

2.2.1 机械应力因素

汽轮机叶片高速旋转过程中由于离心力的作用,叶片将受到较大的拉伸应力作用并且距离旋转中心越远其应力也越大。在汽轮机的运行过程中叶片不仅要承受复杂的气动力,而且其大小和方向还会随着工况的变化而发生改变。这些机械应力叠加在一起使得叶片的局部区域出现应力集中现象,如叶片叶根部位既受离心力引起的拉伸应力又受气动力传递,为应力集中关键部位。此外叶片材料在长时间高应力条件下还容易产生疲劳损伤来使叶片使用寿命缩短,失效风险加大。

2.2.2 热应力因素

汽轮机在启停和负荷变化时,叶片的温度将发生急剧的改变,因叶片各部位温度变化速率不同而引起热应力。如起动时叶片的表面温度急剧增加,但叶片的内部温度增加比较缓慢而造成叶片的表面受压应力和内部受拉应力的增加。同时频繁温度变化及热应力循环会导致叶片材料疲劳裂纹及热疲劳性能下降,尤其对某些大型汽轮机而言,因其叶片体积大、热传递不均等原因,热应力更加凸显也会极大地影响了叶片运行的可靠性与稳定性。

2.2.3 化学腐蚀因素

蒸汽中化学物质对叶片腐蚀有很大影响,如氯化物对叶片表面氧化膜有损伤作用而导致金属与腐蚀性介质直接接触而诱发点蚀和晶间腐蚀;硫化物与叶片金属高温高压化学反应产生金属硫化物使叶片强度及韧性下降。另外汽轮机内湿度较大时也会产生电化学腐蚀,高温、高湿度以及化学介质等因素综合作用下叶片腐蚀速度增加,对叶片使用寿命及性能造成严重影响,就需要采取有效防腐措施以减少化学腐蚀影响。

2.2.4 运行工况因素

汽轮机运行工况对于叶片故障有着显著影响,频繁变负荷运行使得叶片所受机械应力与热应力持续改变而加快了叶片疲劳损伤,如调峰机组需要经常调节负荷、叶片承受的应力循环数量增加、疲劳寿命降低等。另外汽轮机在超速行驶过程中叶片的离心力大大增加,超出了设计承受的范围就易造成叶片的变形乃至破裂。同时在低负荷工况下蒸汽流量下降也有可能诱发气流激振从而加剧叶片的振动,提高了故障概率。所以维持汽轮机的平稳运行和避免恶劣的运行工况对于确保叶片的安全具有十分重要意义^[3]。

3 汽轮机叶片故障诊断技术面临的挑战

3.1 复杂工况下信号干扰问题

3.1.1 多种运行参数耦合对故障信号的干扰

汽轮机在工作过程中转速、负荷、温度和压力等诸多参数之间是互相联系和影响的。这些参数相互耦合使故障信号复杂多样,比如叶片产生微小裂纹时会使振动信号发生变化,但是与此同时负荷变化所产生的振动与此信号相叠加,从而使故障信号受到遮挡或者扭曲。同时工程师对信号进行分析时也很难从大量耦合的参数变化当中精确地分离出同叶片故障有直接关系的特征信号,这就加大了故障诊断的困难程度和不确定性。

3.1.2 环境噪声对检测信号的影响

汽轮机一般都是在工业环境下运行,其周围会有各种各样机械运转所发出的噪音,这些环境噪声具有较宽的频率范围,对叶片故障检测信号有干扰作用。例如当使用超声波对叶片内部缺陷进行检测时由于环境噪声会使得检测信号波形失真,进而造成检测数据不够精确。即便是通过滤波这样一种技术手段也很难彻底消除噪声干扰使诊断系统收到的信号质量降低,从而影响叶片故障的精准判断。

3.2 故障特征提取与识别难题

3.2.1 微弱故障特征的有效提取方法不足

早期汽轮机叶片故障往往特征较弱,如早期疲劳裂纹只显示极细微的应力变化或者振动异常,且现有检测技术面对上述微弱故障特征的检测手段比较局限,传统信号处理方法很难在复杂背景信号中准确提取这些微弱特征。尽管新的计算方法不断出现,但它们大部分仍在研究中尚未在实际生产中得到广泛应用。这样使得故障发生初期,由于不能有效地进行特征提取就很难对叶片故障进行及时的感知而耽误了维修时机,并可能会使得故障继续发展下去。

3.2.2 相似故障特征的准确识别困难

不同种类叶片故障有时表现出类似特点,如腐蚀损伤、磨损等均可不同程度地导致叶片表面粗糙度的改变,体现为检测信号可能更接近。另外振动异常可能源于叶片本身结构问题或汽轮机总体不平衡等原因,而这些类似的故障特征给诊断人员准确判别故障类型带来了困难。除此之外误判会导

致维修措施不当,既浪费了资源又不能真正解决这一问题,甚至会给设备带来更大的损失。

3.3 诊断模型的适应性与可靠性

3.3.1 不同类型汽轮机叶片诊断模型的通用性问题

汽轮机种类繁多,叶片在结构上、材质上和工作环境上都有所不同,针对特定种类的汽轮机叶片所构建的诊断模型,在其他种类中难以直接实施。以重型燃气轮机叶片和蒸汽轮机叶片为例,因工作温度、压力以及介质等因素的差异而导致其故障模式以及特点的差异,而已有诊断模型通常根据具体类型叶片运行数据及故障样本建立,其通用性不强。通用诊断模型的发展需要考虑多种因素且困难较多,也就制约着诊断技术在各类汽轮机间的推广。

3.3.2 长期运行中诊断模型的可靠性维持

汽轮机在漫长的运行期间,其设备将逐步老化并且运行工况也可能会发生改变,如叶片材料性能随使用年限的增长而发生变化,使其故障特征不同于模型建立之初的特征。同时运行环境温度和湿度的长期作用也使设备特性漂移,如果诊断模型不能够及时地适应上述改变,那么它的可靠性就会逐步下降。所以如何依据设备实时状态动态地更新与优化诊断模型,以保证设备在长时间工作下始终具有高可靠性是目前所面临的一个重要难题^[4]。

4 汽轮机叶片故障诊断技术发展趋势

4.1 多技术融合趋势

4.1.1 振动检测与无损检测技术融合方案

振动检测可以对叶片在工作过程中的振动特性进行实时监控,得到振动频率和幅值信息并迅速感知异常振动;而超声和涡流检测等无损检测可以检测出叶片内部缺陷。两者融合首先通过振动检测对异常区域进行初步定位,然后通过无损检测实现对缺陷的准确识别。例如在对叶片可疑疲劳裂纹进行诊断时通过振动检测找出振动异常的位置,并通过无损检测证实裂纹的深度、长度等信息,从而为维修决策的制定提供综合的依据,促进故障诊断的精度和效率的提高。

4.1.2 人工智能与传统检测技术结合的优势与应用前景

传统检测技术获取的大量数据并且需专业人员分析解读,而人工智能强大的数据处理与模式识别能力可弥补不足。通过深度学习算法,对传统检测数据进行分析建模能自动识别故障模式与特征,如将人工智能与红外热成像检测结合可快速准确判断叶片热故障。其应用前景广阔且能提高诊断智能化水平,减少人为误差以适应复杂多变的故障诊断需求。

4.2 智能化与自动化发展

4.2.1 智能诊断系统的构建与功能升级

智能诊断系统融合传感器技术、数据分析与人工智能算法。构建时需部署多类型传感器采集叶片运行数据,经数据预处理后利用智能算法分析诊断。功能上不仅实时监测故障,还能基于历史数据预测潜在故障,如通过对叶片温度、振动等数据长期分析,预测疲劳裂纹发展趋势。未来系统将进一步升级,具备自学习能力并随新故障案例增加不断优化诊断模型,提高诊断精准度。

4.2.2 自动化检测设备的研发与应用趋势

自动化的检测设备可以减少人工干预的情况并且提高检测的效率和准确性。目前研究开发的重点是提高设备的自主运行能力和检测功能的集成化,例如开发自动巡检无人机、携带各种检测设备、按照预设的线路对汽轮机叶片进行全方位的巡检^[5]。应用趋势在各种工况和型号的汽轮机中都会得到广泛的应用,同时该装置将无缝连接智能诊断系统,对检测数据进行实时的传输和分析,从而达到对故障的快速诊断和处理。

4.3 基于大数据与云计算的诊断技术

大数据能够完整地收集叶片工作的全生命周期,涉及设计参数、制造工艺、运行工况和检测数据。采用多源数据融合的方法构造完整的数据集,同时在分析中采用数据挖掘算法来发掘数据之间的潜在联系和故障特征。例如从大量振动、温度等数据中找出某一故障模式的数据规律,对故障进行提前预警,它的优点是可以在宏观上对故障进行分析,突破了单一数据的限制以增强诊断的准确性和可靠性。

5 结语

汽轮机叶片故障诊断技术对保障汽轮机安全运行至关重要。尽管面临诸多挑战,多技术融合、智能化自动化及大数据云计算等发展趋势将推动其不断进步,为汽轮机可靠运行提供有力支持。

参考文献

- [1] 马旭.汽轮机叶片断裂故障诊断及处理分析[J].中国设备工程,2022,(24):176-178.
- [2] 孔维阳.汽轮机振动突变故障分析与处理[J].电工技术,2022,(21):217-219+222.
- [3] 山崧.汽轮机叶片结垢故障诊断与运行过程中的处理[J].山东化工,2019,48(03):76-77.
- [4] 刘小进.2台汽轮机叶片断裂故障诊断[J].陕西电力,2014,42(02):88-90+96.
- [5] 石国明.浅谈汽轮机叶片脱落故障诊断方法[J].电子制作,2013,(09):240.