

振动传感器在汽轮机监测中的应用与检修

贾宏宇 梁瑞平 张天翼 高鑫 王景繁 万文博
达拉特发电厂 内蒙古鄂尔多斯 014300

摘要: 文章围绕振动传感器在汽轮机监测与检修中的应用展开研究。首先阐述了振动传感器的基本原理与特性,包括其定义、分类、工作原理以及性能指标。接着详细探讨了振动传感器在汽轮机运行状态监测、故障预警与分析、参数优化与改进等方面的应用,同时也介绍了其在汽轮机检修前状态分析、检修过程中的监测以及检修后状态评估中的作用。通过对达拉特发电厂五期1×100万千瓦机组扩建工程相关情况的结合分析,旨在为汽轮机的安全稳定运行提供有力的技术支持和理论参考,提高汽轮机的运行效率和可靠性。

关键词: 振动传感器; 汽轮机监测; 汽轮机检修

引言

汽轮机作为发电厂的核心设备之一,其运行的稳定性和可靠性直接关系到整个电厂的发电效率和经济效益。振动是汽轮机运行过程中常见的现象,异常振动可能预示着设备存在故障或潜在问题。因此,对汽轮机的振动情况进行实时、准确的监测至关重要。振动传感器作为一种能够将振动信号转换为电信号的装置,在汽轮机监测与检修中发挥着关键作用。本文将深入探讨振动传感器在汽轮机监测与检修中的应用,以期为提高汽轮机的运行安全性和可靠性提供有益的参考。达拉特发电厂五期1×100万千瓦机组扩建工程,作为内蒙古自治区2020年蒙西地区自用煤电规划项目,具有重要的战略意义。该项目于2020年8月18日奠基,历经数年的建设与调试,取得了显著的成果。2023年10月15日,工程钢结构间冷塔封顶;2024年6月12日,工程9号机组首次并网一次成功;2024年7月20日,工程9号机组顺利通过168小时试运行投入商业运营。在整个工程推进过程中,实现了锅炉点火、汽轮机冲车、首次并网等多个一次成功,这充分展示了该项目在技术和管理方面的卓越水平。

一、振动传感器的基本原理与特性

1. 振动传感器的定义与分类

振动传感器是一种用于测量物体振动参数的装置,它能够将机械振动量转换为与之成比例的电信号。根据不同的工作原理和测量方式,振动传感器可以分为多种

类型。

常见的振动传感器类型包括:

(1) 压电式振动传感器: 基于压电效应工作,压电材料在受到机械应力作用时会产生电荷,通过测量电荷的变化来检测振动。压电式振动传感器具有灵敏度高、频响范围宽等优点,广泛应用于高频振动测量。

(2) 磁电式振动传感器: 利用电磁感应原理,当线圈在磁场中运动时,会产生感应电动势,感应电动势的大小与振动速度成正比。磁电式振动传感器适用于中低频振动测量。

(3) 应变式振动传感器: 通过测量应变片的电阻变化来检测振动。当物体发生振动时,应变片会产生应变,导致其电阻值发生变化,通过测量电阻变化来获取振动信息。应变式振动传感器具有结构简单、测量精度较高等特点。

2. 振动传感器的工作原理

不同类型的振动传感器工作原理有所不同。以压电式振动传感器为例,其工作原理基于压电效应。压电材料(如石英晶体、压电陶瓷等)具有独特的物理性质,当受到外力作用时,其内部的晶体结构会发生变形,从而产生电荷。在压电式振动传感器中,压电元件通常被安装在一个质量块上,当传感器感受到振动时,质量块会产生惯性力,该惯性力作用在压电元件上,使其产生电荷。电荷通过电极引出,经过放大和处理后,转换为与振动加速度成正比的电信号输出。

磁电式振动传感器的工作原理是电磁感应。它主要由永久磁铁、线圈和弹簧等组成。当传感器随被测物体振动时,线圈在磁场中做切割磁力线运动,根据法拉第电磁感应定律,线圈中会产生感应电动势。感应电动势

作者简介: 贾宏宇(1991.09——),男,满族,内蒙古自治区包头市人,本科学历,助理工程师,主要从事发电厂电力系统方面的研究工作。

的大小与线圈的运动速度成正比，因此磁电式振动传感器可以测量振动速度。

应变式振动传感器则是利用电阻应变效应。应变片通常粘贴在弹性元件上，当弹性元件受到振动作用时，会产生应变，应变片的电阻值也会随之发生变化。通过测量应变片的电阻变化，可以得到与振动相关的信息。通常采用电桥电路将电阻变化转换为电压变化，再经过放大和处理后输出。

3. 振动传感器的性能指标

为了评估振动传感器的性能优劣，需要考虑以下几个重要的性能指标：

(1) 灵敏度：灵敏度是指传感器输出信号与输入振动量之间的比例关系。灵敏度越高，传感器对微小振动的检测能力越强。

(2) 线性度：线性度表示传感器输出信号与输入振动量之间的线性程度。线性度越好，传感器的测量结果越准确。

(3) 频响范围：频响范围是指传感器能够准确测量的振动频率范围。不同类型的振动传感器频响范围不同，在选择传感器时需要根据被测振动的频率范围来确定。

(4) 分辨率：分辨率是指传感器能够检测到的最小振动变化量。分辨率越高，传感器对微小振动变化的检测能力越强。

(5) 量程：量程是指传感器能够测量的最大振动量。在实际应用中，需要根据被测振动的大小来选择合适量程的传感器。

二、振动传感器在汽轮机监测中的应用

1. 汽轮机运行状态监测

汽轮机运行时产生的振动可以反映设备运行状态。振动传感器能够对汽轮机各个部分的振动参数例如振动位移、振动速度以及振动加速度进行实时监测。分析这些振动参数就能判断汽轮机运行是否正常。

汽轮机启动时，振动传感器可对汽轮机转子升速及振动变化进行监测。升速时转子振动随转速增加而变化，转速到达临界转速后振动达到峰值。通过振动传感器实时监测可精确地判断临界转速并采取适当措施避免转子长时间滞留临界转速周围，以确保汽轮机安全启动。

汽轮机正常工作时，振动传感器能连续监测振动参数变化情况。若振动参数出现了异常的波动，例如振动幅值的骤增和振动频率的变化，都有可能表明汽轮机出现了故障或者是潜在的问题。如不平衡、不对中和轴承磨损的故障均可引起汽轮机的不正常振动。对振动信号进行分析处理可及时发现上述故障并采取适当措施加以

处理，以免故障继续扩大。

2. 故障预警与分析

振动传感器既能实时监测汽轮机振动，又能通过分析振动信号做出故障预警与诊断。在振动传感器监测到振动参数偏离正常范围的情况下，该系统发出预警信号以提醒运行人员。分析振动信号特征可初步确定故障种类及部位。

比如不平衡故障就是汽轮机的常见故障。汽轮机转子出现不平衡时会产生与转速同步的振动成分，从振动信号频谱分析可看出这种同步振动成分幅值很大。对振动信号进行相位关系分析也可判断不平衡部位。

不对中故障还是引起汽轮机振动不正常的常见因素。不当会导致联轴器两侧轴发生相对位移而振动。对振动信号进行分析可找出2倍频和3倍频这两种不正确故障特征频率。通过对不同部位振动信号的检测可判断不对中程度及方向。

轴承磨损对汽轮机的振动也有显著的影响。轴承磨损时会造成轴承间隙变大，进而加剧转子振动。对振动信号进行时域及频域分析可找出轴承磨损故障时振动幅值升高、低频振动成分增多等特点。

3. 参数优化与改进

通过对振动传感器监测数据的长期分析，可以为汽轮机的参数优化和改进提供依据。例如，通过分析不同工况下汽轮机的振动情况，可以确定最佳的运行参数，如转速、负荷、油温等，以降低汽轮机的振动水平，提高运行效率。

根据振动监测结果，还可以对汽轮机的结构进行改进。如果发现某个部位的振动较大，可以通过增加支撑刚度、改变结构形状等方式来改善振动情况。对汽轮机的安装和调试过程进行优化，确保设备的安装精度和对中精度，也可以有效降低振动水平。

三、振动传感器在汽轮机检修中的应用

1. 检修前状态分析

在汽轮机大修之前，借助于振动传感器来对汽轮机的振动状态进行全面而深刻的分析具有十分重要的意义。振动传感器可以连续地收集汽轮机各个部分的振动数据，它们就像设备健康状态的“密码”一样。对长期监测数据进行整合分析可以清晰地勾画出汽轮机振动的历史和趋势，洞悉设备有无潜在故障隐患。如果在一定时间内振动幅值渐进式上升，振动频率发生偏移，这就很有可能预示着该装置中零件的磨损和连接的松动现象。振动信号的频谱分析可以准确地定位出故障的种类和部位，各种故障都将表现出特有的频率特征，如不平衡故障将产生明显的振动分量随转速变化而变化，而非对应性故

障具有2倍频和3倍频两种特征频率。同时比较不同运行状态下的振动数据是至关重要的,汽轮机在满负荷和部分负荷状态下振动特性存在差异,并分析了负荷变化给振动带来的影响,可为检修过程中参数调整提供一定参考依据。根据这些分析结果,检修人员可以制定更有针对性和科学性的检修计划,确定检修的重点和方向并提前做好必要的工具和备件准备,保证了检修工作的高效、有序进行,为汽轮机大修之后的平稳运行打下了坚实的基础。

2. 检修过程中的监测

在汽轮机大修过程中,振动传感器都是以一种严谨的态度投入到工作中,开始不间断地跟踪设备的振动状况。在更换轴承的过程中,每一个安装环节都有可能对轴承的运行状况产生影响,因此振动传感器能够精确地记录新轴承安装完成后的振动位移、速度和加速度参数。如果在安装时出现间隙调整不合适和接触面处理不当的情况,振动数据将马上出现异常情况,检修人员将根据数据对安装环节进行追溯,排查和纠正错误,确保轴承安装质量符合高水准,从根本上减少轴承问题诱发振动的可能性。

联轴器在对中调整过程中,对中精度的好坏关系到汽轮机转子的运行平稳性。振动传感器连续采集联轴器周围的振动信号,当对中发生偏差时,两侧轴相对位置的变化将触发振动特征的变化,传感器采集到的数据起伏给检修人员指明了调整的方向,通过多次微调使得对中精度满足要求,避免了在工作过程中由于未对中而引起的附加振动应力。

在汽轮机重启阶段,振动传感器完整地记录了开机过程中的振动数据并与大修前的同类型工况数据做了深入的比较和分析。从振动幅值趋势到频率成分变化,每项数据均体现了检修效果,如果数据显示振动状况好转,则说明检修措施是行之有效的;如果仍然有异常情况出现,那么这些数据就为后续的故障诊断和检修方案的优化奠定了坚实的基础。

3. 检修后状态评估

汽轮机大修结束后,振动传感器立即打开系统进行设备状态评估。其不断收集汽轮机各个关键部位振动数据,覆盖了振动位移、速度及加速度等多维信息,而这些信息也就成了评判检修成效好坏的核心标准。对比检修前后振动幅值,若呈现明显下降趋势,且降至合理区间内,表明检修有效消除了导致振动的部分故障因素,如部件磨损修复、松动连接紧固等。对振动频率成分进行观测,发现大修后正常频率成分应该占主导地位,而异常频率峰值明显减小甚至消失,这意味着诸如不对中、不平衡等典型故障得到妥善处理。

振动数据的长期追踪监测和稳定性分析是关键。如果振动参数在特定时间段内的波动非常微小,这意味着汽轮机的运行状况是稳定的,并且维修工作是可靠的;相反,如果无规律的波动就需要深入调查有没有潜在的隐患。同时进行了趋势分析并对装置未来的运行状况进行了预测。如果振动参数在良性方向上不断发生变化,则预示着汽轮机长期处于稳定的工作状态;如果有升高或者异常波动的倾向,则预先发出预警信号对后续维护决策起到前瞻性指导作用,保证汽轮机一直处于安全高效运行状态下,保证电力生产持续稳定。

结语

振动传感器是汽轮机监测和大修领域中起决定性作用的传感器。深刻认识其基本原理和特点,可以为不同应用场景下精准选型,保证监测数据准确可靠提供坚实的支持。在对汽轮机的运行进行监控时,其对振动信号进行实时的捕捉,对设备的运行状况进行及时的洞察,使可能出现的故障无处遁形,并通过对振动数据的深入分析来达到故障预警和精准诊断的目的,为参数的优化和改进提供了强有力的依据,从而有效地促进了汽轮机的运行效率和可靠性。在大修环节中,大修之前其有助于对设备的状态进行全面的剖析,并制定出科学合理的大修方案;在大修时对运行的影响进行实时监控,确保大修的质量;大修后对效果进行了准确的评价,并判断装置是否回归健康运行。达拉特发电厂五期工程的成功做法充分显示出振动传感器在其中所起到的至关重要的作用。未来随着科技的持续发展,振动传感器将变得更加智能和高精度,其在汽轮机全生命周期管理中的应用也将变得更加广泛和深入,为电力行业的稳定发展提供强大的推动力。

参考文献

- [1] 刘志德,程学亮,魏红阳,等.基于包络分析的汽轮机叶片振动监测信号处理方法[J].汽轮机技术,2024,66(2):117-119.
- [2] 贺冰伟,宋亮福,田洪伟.汽轮机振动监测与故障诊断[J].工业控制计算机,2024,37(11):103-104.
- [3] 李阳.基于传感器技术的汽机轴封加热器故障检修工艺研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(11):174-176.
- [4] 赵智康.基于振动和音频信息的设备故障诊断平台研发[D].北方工业大学,2024.
- [5] 黎炜,吴俊宁.电厂汽轮机振动监测与故障诊断技术研究[J].2025.