

振动信号分析在机械设备故障诊断中的质量检测应用

杨欢¹ 杨岩花²

1. 西安德仕汽车零部件有限责任公司 陕西西安 710016

2. 西安欧德橡塑技术有限公司 陕西西安 710016

摘要:在现代工业生产日益发展的今天,机械设备所应用的领域也越来越广,其性能与可靠性对生产效率与安全有着直接影响。为确保机械设备平稳运行,对设备故障进行早期诊断非常关键。振动信号分析是一种高效的诊断方法,由于它能对设备状态进行实时监控,及时发现可能出现的故障而被广泛使用。振动信号分析是通过机械设备工作时振动信号的采集,处理与分析来有效识别出设备异常状态的,预先检测出故障迹象以达到故障预警及维护优化的目的。本文将探讨振动信号分析在机械设备故障诊断中的具体应用,以期及设备维护管理提供理论支持和实践指导。

关键词:振动信号分析;机械设备;故障诊断;质量检测

引言

机械设备在工作时由于种种原因可能发生的故障有磨损,对中不良和松动。传统故障检测方法通常依靠经验或者定期进行检修,易造成漏检或者误检。振动信号分析技术对设备产生的振动信号进行实时监控与分析,可以提供更精确、更及时的故障信息。研究表明:不同故障类型可引起设备振动信号特征显著改变,故通过提取和分析振动信号特征可实现设备状态监测和故障预测。

一、振动信号分析基础理论

1. 振动信号的基本概念

振动信号是机械设备在运行过程中,由于各类力学因素引起的物体位移、速度或加速度随时间变化的记录。这些信号反映了设备的动态特性,是诊断设备健康状态、识别潜在故障的重要依据。机械设备中,振动通常来源于不平衡、松动、摩擦、磨损、齿轮啮合不良等现象,振动信号携带了设备内部的各种信息,如负荷、转速、零件的摩擦与接触状态等。通过对振动信号的分析,可以有效地揭示设备的故障模式及其发展趋势。信号本身的特性包括幅度、频率、相位等,这些特性可以反映出设备运行的稳定性和可靠性。振动信号具有周期性和随机性,周期性成分通常与机械振动的基础频率相关,而随机成分则是由设备的非理想工作状态产生的噪声或不规则波动。振动信号的强度和频谱特征能够直接反映设备的状态,精确分析这些信号可以有效预测设备的故障,并实现故障的早期预警。因此,振动信号分析在设备维

护和质量检测中具有重要应用价值。

2. 振动信号的采集与处理

对振动信号进行采集及处理,是故障诊断及质量检测的关键环节。收集振动信号一般是由装置表面安装的传感器完成,常用传感器有加速度计、速度传感器以及位移传感器。这些传感器把机械振动变成电信号再由数据采集系统采集。在进行信号采集时,必须对采样频率进行合理的选择,以保证采集到的信号能体现出设备振动特性。过低采样频率会损失关键信号,过高采样频率则造成数据冗余和加重处理负担。信号处理分为预处理与特征提取两大阶段。预处理以消除噪声及不必要干扰信号为目的,通常采用滤波,去趋势和去噪声。常用的滤波技术包括低通,高通以及带通滤波等,这些滤波技术可以有效地消除高频噪声或者低频干扰。预处理之后的信号一般采用时域,频域或者时频域分析的方法提取特征。从时域上看,其共同特征有均值,方差和峰度;在频域分析中,利用快速傅里叶变换(FFT)能够揭示出设备运行时的频谱特性和谐波组成。时频分析融合了时域与频域的信息,特别适合于分析非稳态信号。对信号进行有效采集和处理,对后续故障诊断提供精确数据支持。

3. 振动信号特征提取

对振动信号进行特征提取是故障诊断的一个核心环节,它通过对原始信号进行有用信息提取,从而反映出设备所处的健康状况。常用特征提取方法有时域,频域,时频域分析等。时域分析时,利用特征,例如均值、方

差、峰度及偏度来表征信号波动性及异常状态；频域分析是通过快速傅里叶变换（FFT）来获取频谱，从而揭示信号中的频率成分分布，这有助于识别如不平衡、松动等故障模式。频谱的主频对应着设备转速和轴承故障频率这两个特征，从而可利用频域特征对不同故障进行辨识。时频分析将时域与频域信息相结合，尤其适合于非平稳信号处理，例如利用小波变换，能够更加精细的提取出信号局部特征并揭示出复杂故障信息。

二、机械设备故障诊断中的振动信号分析应用

1. 轴承故障诊断

在进行轴承故障诊断时，将振动信号和轴承故障特征联系在一起是非常关键。轴承工作时因内外圈、滚动体或者保持架等发生损坏而引起不规则振动。不同种类轴承故障将对振动信号形成具体频率特征。例如内圈故障一般都会表现出频谱上有明显基频和与基频有关的高次谐波；但外圈故障一般在频谱上表现为高频度低。滚动体破坏可产生较高频率冲击信号，其与装置转速，轴承大小及结构等因素相关，故可通过对振动信号进行频率成分分析判断故障类型。轴承发生故障后，其振动信号中幅值增加，特别是发生局部接触损伤后信号变化尤为显着，一般伴有高频尖锐波动现象。利用快速傅里叶变换（FFT）和其他频域分析技术，我们能够高效地抽取这些频率特性，并通过对比故障和正常状态下的频谱数据，成功地确定轴承的故障种类和其严重性。

2. 齿轮故障诊断

在齿轮的故障诊断中，齿轮的振动信号与其磨损和齿轮啮合不良的故障特征有着密切的联系。齿轮工作时，若发生磨损、齿面裂纹和齿轮啮合不良，将诱发不规则振动信号。齿轮磨损一般造成齿面接触不均，使振动信号出现高频振动成分，呈现出频率和齿轮转速及倍数有关的特点。如果齿轮的啮合状态不佳，可能会造成啮合间隙过大或齿面不平整，这种不正常的情况会在振动信号中产生周期性的冲击波，其频率与齿轮的传动比有关、转速关系密切，一般表现为振动信号出现周期性冲击成分及低频成分。齿轮表面开裂或者损坏后，其振动信号幅度随之急剧改变，具体表现在信号周期性波动增强，同时伴有高频噪声。通过对振动信号进行频域分析，尤其是利用快速傅里叶变换（FFT）来提取频谱信息，能够清楚地识别出与齿轮转速及其倍数相关的频率成分，从而识别出齿轮的磨损和啮合不良等故障。

3. 电机故障诊断

在电机故障诊断时，对振动信号进行分析是一种重要方法。电机的振动信号一般会反映出电机内部的故障情况，例如转子不平衡、定子绕组破损、轴承故障或者电磁故障。电机出现故障后，其振动信号特征明显改变。转子不平衡作为电机故障中最为常见一种，一般以低频振动信号形式出现，频率高低直接关系到电机转速高低。如果定子绕组出现损坏或接触不佳，可能会在频谱中产生更多的频率部分，尤其是在高频区域，这通常会伴随着谐波成分的出现。在电机中，轴承故障通常表现为特定频率的冲击信号，这些特定频率与轴承的转动速度和故障种类有着紧密的联系。电机出现的电磁问题，例如缺相、短路或不良接地等，会导致振动信号出现不稳定的波动，这些波动通常在频谱中表现为异常的高频部分。通过对电机的振动信号进行频谱分析，尤其是采用快速傅里叶变换（FFT）技术，能够有效地识别出不同故障类型的频率特性。另外，时频分析技术，例如小波变换，也在电机振动信号的故障检测中得到了广泛的应用，它能够捕捉到非平稳信号的即时变动，为电机故障的早期诊断提供了关键的参考依据。

4. 振动信号分析的多种故障诊断模型

在对振动信号进行分析时，各种故障诊断模型得到了广泛运用，可以有效提高故障识别精度与效率。常用的故障诊断模型有基于时域的统计方法，频域分析方法和时频域分析方法等，也有基于机器学习建立智能模型的方法。进行时域分析时，往往通过对信号均值、标准差、峰度及偏度统计特征进行统计，从而对振动信号异常波动情况进行辨识，常用于对设备基本故障状况进行判断。频域分析的方法是利用傅里叶变换将信号转化为频率域，这有助于确定与设备故障有关的特定频率部分。如轴承故障一般在频谱上表现为与轴承结构、转速等相关的频率成分。利用时频域的分析技术，例如小波变换和希尔伯特-黄变换（HHT），可以高效地处理不稳定的信号，捕获瞬时频率的波动，并更精确地鉴别出复杂的故障模式。另外，伴随着人工智能技术的不断进步，如支持向量机（SVM）、神经网络（NN）和决策树等机器学习模型，已经在振动信号故障诊断领域得到了广泛的应用。

三、振动信号分析在机械设备质量检测中的应用分析

1. 质量检测的定义与需求

质量检测就是通过多种手段与方法来评价与控制产

品质量，其目的在于保证产品从设计到生产再到使用都达到预定标准与要求。质量检测并不只是单纯地判断产品是否合格，它还涉及对其各种性能、规格、外观和耐用性的全面考核。随着产品质量的市场需求越来越高，人们对质量检测提出了越来越高的要求，尤其适用于机械、电子和食品行业。现代企业对于品质的重视不仅在于符合法规及行业标准，更在于提高品牌声誉，降低生产成本，增加顾客满意度。质量检测能够从原材料，生产过程以及成品等多个层面来发现问题，及时做出调整，从而避免生产出的不合格品进入到市场。检测技术的发展促使自动化，精密化以及高效化的检测手段得以运用，例如无损检测技术，振动信号分析以及视觉检测系统，这些技术提高了检测效率、减少了人为错误、保证了产品质量稳定一致。

2. 振动信号在设备质量检测中的应用

振动信号被广泛应用于设备质量检测，并有很大价值。机械设备在工作时会发生多种形式的震动，它们反映着设备工作状态及潜在故障。通过采集振动信号并进行分析，能够对设备健康状况进行实时监控，及早检测出问题所在，避免设备受损。对振动信号进行分析可有效判别设备运行是否正常，尤其对轴承、齿轮、泵及电机等关键部件质量检测有显著优点。设备发生故障后，其振动信号幅度、频率及波形等均发生改变，如轴承故障将以特定频率冲击成分呈现于振动信号，齿轮的磨损可能会在频谱中引发不均匀的频率变化。对这些变化进行分析，就能准确地确定设备故障类型和严重程度，以便及时采取措施进行检修。振动信号分析用于设备质量检测的另外一项重要用途就是对设备运行状态进行监测和控制，通过连续振动监测能够保证设备平稳运行，从而避免由于设备故障而造成生产停机或者安全事故。随着科技的不断发展，现代振动分析手段，包括时域分析、频域分析、时频分析和机器学习等多种技术的融合，已经显著提升了设备质量检测的准确性和工作效率。

3. 质量检测与故障诊断的关系

质量检测和故障诊断是紧密联系在一起的，它们共同影响着装备的维修及性能优化。质量检测的重点是保证产品在制造时达到设计要求与规范，一般是在制造环节上对其进行综合检查与评价，主要包括大小、形状、材料等质量控制。它以阻止不合格产品进入市场和保证

生产过程稳定为中心。而故障诊断就是通过对设备运行状态进行分析，发现其异常情况，确定和定位可能发生故障的来源，旨在最大程度上提高设备使用寿命和降低维修成本。质量检测能够为故障诊断提供所需的数据支撑，有助于诊断工程师了解不同生产阶段设备性能的变化情况并发现可能导致故障发生的原因。在设备出现不正常的振动、温度波动或其他性能问题时，通过质量检测数据可以协助诊断系统追溯问题的根本原因，比如通过分析振动信号的频率来识别轴承磨损和齿轮损坏等问题。并且故障诊断进一步挖掘了设备故障产生的具体根源，并有针对性地采取了维修措施，避免了设备故障扩散或者反复发生。

结束语

综上，通过准确地采集并分析振动信号，可以及时地发现设备可能出现的故障，从而避免由于设备损坏导致生产停滞以及安全事故的发生。在振动信号分析技术日益发展的今天，将时域，频域，时频域等多种分析方法与先进机器学习方法相结合，故障诊断精度与效率有明显提高。这样既提高了装置运行的可靠性与效率，又为质量检测工作提供了一种有效技术手段。今后随着科技的深入革新，振动信号分析在机械设备故障诊断、质量检测等方面会起到更大的促进作用，促进智能化制造、预测性维护等方面的不断发展，保证了装置的连续平稳运行，节约了企业成本，提高了生产效益。

参考文献

- [1] 陆丽丽. 基于振动信号分析的数控机床自动换刀系统故障诊断研究[J]. 机械制造与自动化, 2023, 52(6): 131-133.
- [2] 方运高. 机械设备故障诊断与维修的振动信号特征分析[J]. 电脑爱好者(电子刊), 2023(3): 1733-1734.
- [3] 吴鑫坤. 基于振动信号分析和神经网络的滚动轴承故障诊断[D]. 青岛科技大学, 2023.
- [4] 姚勇. 面向工业环境的旋转机械典型故障声学诊断方法研究[D]. 四川大学, 2023.
- [5] 刘晓辉. 振动分析在风电机械设备故障诊断中的研究[J]. Mechanical & Electronic Control Engineering, 2023, 5(12).