

# 机电设备振动信号采集与故障识别方法研究

赵建兵

广西柳钢工程技术有限公司 广西 柳州 545002

**摘要:** 在现代工业生产中,机电设备作为核心动力源,其稳定运行对生产效率与质量至关重要。本文围绕机电设备振动信号采集与故障识别方法展开研究。在振动信号采集技术上,深入探讨传感器选型布置、系统架构、抗干扰等关键技术,确保信号采集的准确性与稳定性;振动信号分析采用时域、频域、时频域及参数模型等方法,挖掘信号特征;故障识别运用传统机器学习、深度学习、融合方法,以及基于专家系统和模糊逻辑的方法,提升故障诊断精度。研究成果为机电设备的状态监测与故障诊断提供了理论支持与技术参考,对保障设备可靠运行、降低维护成本具有重要意义。

**关键词:** 机电;设备振动;信号采集;故障识别;方法研究

引言:随着工业自动化与智能化的快速发展,机电设备在各领域的应用愈发广泛,其运行状态直接影响生产效率与安全。振动信号作为反映设备运行状况的关键信息载体,蕴含丰富故障特征。然而,复杂的工业环境与设备运行工况,对振动信号采集的准确性、信号分析的有效性以及故障识别的精确性提出更高要求。传统方法在处理非平稳、非线性信号及复杂故障时存在局限性。因此,深入研究机电设备振动信号采集与故障识别方法,开发高效、可靠的技术手段,对实现设备预防性维护、减少停机损失、推动工业可持续发展具有迫切的现实需求与深远意义。

## 1 机电设备振动信号采集技术概述

机电设备在运行过程中,由于机械部件的相互作用、电磁力等因素会产生振动,这些振动以机械波的形式传播,通过合理的信号采集手段能够获取包含设备运行状态信息的振动信号。振动信号采集是故障识别的前提和基础,采集信号的质量直接影响故障诊断的准确性。高质量的振动信号采集需要综合考虑传感器选型、布置位置以及信号采集系统的性能等多个方面<sup>[1]</sup>。

## 2 振动信号采集关键技术

### 2.1 传感器选型与布置原则

传感器作为振动信号采集的关键元件,其选型至关重要。不同类型的传感器适用于不同的振动测量场景,例如加速度传感器常用于测量高频振动信号,速度传感器适合中低频振动测量,位移传感器则主要用于测量较大幅度的振动位移。在选型时,需要根据机电设备的振动特性、工作环境、测量精度要求等因素综合选择合适的传感器。

传感器的布置位置同样会对采集信号的质量产生显

著影响。合理的布置应确保传感器能够准确获取反映设备故障的振动信息。一般而言,传感器应布置在设备振动传递路径上的关键部位,如轴承座、齿轮箱壳体等。同时,要避免将传感器布置在受外界干扰较大的位置,以减少噪声对采集信号的影响。

### 2.2 信号采集系统架构

完整的振动信号采集系统通常由传感器、信号调理电路、数据采集卡和计算机等部分组成。传感器将机械振动信号转换为电信号后,由于信号往往较为微弱且可能包含噪声,需要通过信号调理电路进行放大、滤波等处理,以提高信号的信噪比和适配后续数据采集卡的输入要求。数据采集卡负责将模拟信号转换为数字信号,并传输至计算机进行存储和后续分析。计算机上安装的专用数据采集与分析软件,可实现对信号的实时采集、显示、存储以及各种分析处理功能。

### 2.3 抗干扰技术

在实际的工业环境中,机电设备运行现场存在着多种干扰源,如电磁干扰、机械振动干扰等,这些干扰会严重影响振动信号的采集质量。为了提高采集信号的准确性,需要采用有效的抗干扰技术。常见的抗干扰措施包括屏蔽技术,通过使用屏蔽线、屏蔽罩等对传感器和信号传输线路进行屏蔽,减少外界电磁干扰的影响;接地技术,合理的接地能够将干扰电流引入大地,降低干扰电压;滤波技术,利用各种滤波器对采集信号进行滤波处理,去除噪声频段的信号,保留有效振动信号成分。

### 2.4 同步采集技术

在一些多传感器协同采集振动信号的应用场景中,如大型结构的模态测试、复杂机械系统的多部位振动监测,各传感器采集信号的同步性至关重要。若同步性不

佳,采集到的信号无法准确反映被测对象的真实振动状态,会导致后续分析结果出现偏差。

同步采集技术主要包括硬件同步和软件同步。硬件同步通过专门的同步触发电路,使各传感器在同一时刻开始采集信号,如采用GPS同步时钟模块,为分布在不同位置的传感器提供精确的同步触发信号,确保时间上的一致性。软件同步则是利用算法对各传感器采集到的信号进行时间校准,例如基于互相关函数的同步算法,通过计算不同传感器信号之间的相关性,调整信号的时间轴,实现同步。

### 2.5 压缩采样技术

随着振动信号采集应用场景的不断拓展,数据量呈爆炸式增长,给数据存储、传输和处理带来巨大压力。压缩采样技术应运而生,它突破了传统奈奎斯特采样定理的限制,在远低于奈奎斯特采样率的情况下,仍能精确重构原始信号。

压缩采样技术的核心原理是利用信号的稀疏性,即信号在某个变换域(如小波变换域、傅里叶变换域)中大部分系数为零或接近零。通过设计合适的测量矩阵,将高维的原始信号投影到低维空间,实现信号的压缩采集。在信号重构阶段,运用稀疏恢复算法,如正交匹配追踪(OMP)算法、基追踪(BP)算法等,从压缩后的测量值中恢复出原始信号。该技术在结构健康监测、机械设备故障诊断等领域应用前景广阔,可有效降低数据采集成本,提高数据传输和处理效率。

## 3 振动信号分析方法

### 3.1 时域分析方法

时域分析是对振动信号在时间域内的特征进行分析的方法,是最直观、最基础的信号分析手段。通过对振动信号时域波形的观察,可以直接获取信号的幅值、均值、方差、峰值等统计特征参数。这些参数能够在一定程度上反映设备的运行状态,例如当设备出现故障时,振动信号的幅值可能会突然增大,均值和方差也会发生相应变化。此外,时域分析还包括自相关分析和互相关分析等方法,自相关分析可用于检测信号中的周期成分,互相关分析则可用于分析两个信号之间的相关性,有助于确定振动源和传播路径。

### 3.2 频域分析方法

频域分析是将时域振动信号通过傅里叶变换转换到频域进行分析的方法。在频域中,信号的频率成分得以清晰展现,能够揭示信号中不同频率成分的能量分布情况。通过对频域频谱的分析,可以识别出设备振动信号中的特征频率,进而判断设备是否存在故障以及故障的

类型。例如,在旋转机械中,齿轮的啮合频率、轴承的故障特征频率等都可以通过频域分析准确获取。常见的频域分析方法包括功率谱分析、倒频谱分析等,功率谱分析用于描述信号的功率随频率的分布情况,倒频谱分析则对信号的频谱进行二次变换,能够有效提取被调制的故障特征频率成分,增强故障特征的识别能力。

### 3.3 时频域分析方法

时频域分析方法结合了时域和频域分析的优点,能够同时反映信号在时间和频率上的变化特征,适用于分析非平稳振动信号,而机电设备在故障发生过程中产生的振动信号往往具有非平稳特性。常用的时频域分析方法有短时傅里叶变换、小波变换等。短时傅里叶变换通过加窗函数对信号进行分段处理,然后对每一段信号进行傅里叶变换,从而得到信号的时频分布,但它存在窗口大小固定的局限性,难以同时满足高频和低频信号的分析需求。小波变换则克服了这一缺点,它通过选择合适的小波基函数,能够根据信号的频率自适应地调整分析窗口大小,在高频段采用窄窗口,在低频段采用宽窗口,从而更准确地分析信号的时频特性,在机电设备故障诊断中得到了广泛应用<sup>[2]</sup>。

### 3.4 参数模型分析方法

参数模型分析方法基于振动信号产生机制,通过构建数学模型对信号进行描述与分析。常见模型包括自回归(AR)模型、滑动平均(MA)模型以及自回归滑动平均(ARMA)模型。其核心原理是将信号视为由特定参数的数学模型生成,通过估计模型参数来表征信号特征。该方法优势明显,只需少量模型参数,就能有效提取信号特征,降低数据处理复杂度。在实际应用中,通过监测模型参数变化,可精准判断机械设备运行状态。例如在轴承故障诊断时,随着轴承磨损,振动信号的AR模型参数会出现规律性改变,提前捕捉这些变化,就能预测故障发展趋势,为设备维护提供科学依据,减少突发故障带来的损失,在工业领域具有重要应用价值。

## 4 故障识别方法

### 4.1 传统机器学习故障识别方法

传统机器学习方法在机电设备故障识别领域已得到广泛应用。常见的传统机器学习算法包括支持向量机(SVM)、人工神经网络(ANN)、决策树等。在故障识别应用中,首先需要从振动信号中提取有效的特征参数,如时域统计特征、频域特征等,然后将这些特征参数作为机器学习模型的输入,通过对大量已知故障状态的样本数据进行训练,使模型学习到不同故障类型与特征参数之间的映射关系。以支持向量机为例,它通过寻

找最优分类超平面,能够在高维空间中对不同故障类型进行有效分类。人工神经网络则具有强大的非线性映射能力,通过构建多层神经网络结构,能够自动学习故障特征的复杂关系。然而,传统机器学习方法在特征提取过程中依赖人工经验,特征选择的准确性和有效性直接影响故障识别的性能,且对复杂故障模式的识别能力有限。

#### 4.2 深度学习故障识别方法

深度学习作为机器学习的一个重要分支,近年来在机电设备故障识别领域展现出巨大的优势。深度学习模型能够自动从大量原始振动信号数据中学习特征,无需人工手动提取特征,减少了对人工经验的依赖。常见的深度学习模型如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体长短时记忆网络(LSTM)等在故障识别中均有广泛应用。卷积神经网络通过卷积层和池化层对振动信号进行特征提取和降维,能够自动学习信号中的局部特征和层次结构,适用于处理具有空间结构特征的振动信号数据。循环神经网络及其变体长短时记忆网络则擅长处理具有时间序列特征的振动信号,能够有效捕捉信号中的时间依赖关系,在设备故障预测和诊断方面具有良好的性能。

#### 4.3 融合故障识别方法

为了充分发挥不同故障识别方法的优势,弥补各自的不足,融合故障识别方法逐渐成为研究热点。融合方法可以是不同分析方法之间的融合,如将时域分析、频域分析和时频域分析相结合,从多个角度提取振动信号的特征;也可以是传统机器学习与深度学习方法的融合,利用传统机器学习方法的可解释性和深度学习方法的强大特征学习能力,提高故障识别的准确性和可靠性。此外,还可以将多源信息进行融合,除了振动信号外,结合设备的温度、电流、压力等其他运行参数信息,构建更全面的故障特征模型,从而更准确地识别设备故障类型和程度。

#### 4.4 基于专家系统的故障识别方法

基于专家系统的故障识别方法,是通过收集、整理领域专家的知识 and 经验,构建包含故障规则、现象描述、处理策略的知识库。推理机依据输入的振动信号特征,在知识库中进行匹配和推理,从而得出故障类型及解决方案。例如,在电力变压器故障诊断中,将变压器

振动频率异常、油色谱数据变化等多种特征与知识库中的规则对应,若检测到振动信号中出现特定频率成分且幅值超出正常范围,推理机结合知识库中相关规则,判断可能存在绕组松动故障,并给出检修建议。该方法具有可解释性强的特点,能够将专家经验有效传承,但依赖专家知识的完整性和准确性,构建和维护知识库成本较高,且难以处理新出现的、知识库中未涵盖的故障情况。

#### 4.5 基于模糊逻辑的故障识别方法

基于模糊逻辑的故障识别方法针对振动信号特征和故障判断边界的模糊性问题而提出。在实际故障诊断中,部分故障特征并非界限分明,例如振动信号幅值“偏大”“偏小”难以精确界定。模糊逻辑通过定义隶属度函数,将精确的振动信号特征值映射为属于某一故障类别的隶属程度。例如,对于轴承故障诊断,将振动信号的峰值、峭度等特征模糊化,设定“轻微故障”“中度故障”“严重故障”等模糊集合,根据隶属度函数计算特征值属于各模糊集合的程度,通过模糊推理规则进行综合判断,得出故障严重程度。该方法无需精确数学模型,能够处理不确定和不精确信息,在复杂、干扰多的工业环境下,可有效应对振动信号特征的模糊性,提高故障识别的适应性,但隶属度函数和模糊规则的确定往往依赖经验,需不断优化调整以提升诊断准确性<sup>[3]</sup>。

#### 结束语

机电设备的稳定运行对工业生产至关重要,振动信号作为其运行状态的“晴雨表”,相关采集与故障识别技术意义重大。经探索,已形成涵盖采集、分析、识别的完整技术链条,从传感器优化到创新算法应用,大幅提升故障诊断效能。未来,伴随大数据、人工智能与物联网的深度渗透,研究将着力攻克实时诊断瓶颈,强化多源数据融合分析,推动故障诊断技术迈向更高精度、更智能化的新台阶,为工业领域设备维护注入新动能。

#### 参考文献

- [1]张定波.基于边缘智能的机电设备故障检测服务研究[J].智能城市,2023,9(09):115-118.
- [2]申普.基于边缘智能的机电设备故障检测服务研究[J].桂林电子科技大学,2024.
- [3]武慧敏.矿山机电设备智能故障检测诊断技术的应用[J].电子技术与软件工程,2024,(21):217-218.