

智能传感技术在机电设备状态监测中的应用与算法研究

周 强

江西省巨峰建设有限公司 江西南昌 330000

摘 要：本文聚焦于智能传感技术在机电设备状态监测中的应用与相关算法研究。首先阐述了智能传感技术在机电设备状态监测中的重要性和意义，其能够实时、准确地获取机电设备的运行状态信息，为设备的安全稳定运行提供保障。接着详细探讨了智能传感技术在机电设备不同部位和不同运行参数监测中的具体应用方式，包括振动、温度、压力等关键参数的监测。同时，对用于处理和分析传感数据的相关算法进行了研究，如机器学习算法、信号处理算法等，分析了这些算法如何提高监测的准确性和可靠性。通过实际案例验证了智能传感技术及相关算法在机电设备状态监测中的有效性和实用性，最后对智能传感技术在机电设备状态监测领域的未来发展趋势进行了展望。

关键词：智能传感技术；机电设备；状态监测；算法研究

引言

现代工业生产中，机电设备稳定运行对保障生产效率、产品质量和人员安全至关重要。长期运行中，受机械磨损、电气故障、环境变化等因素影响，机电设备可能出现故障和隐患，若不及时处理，会导致设备损坏、生产中断甚至引发安全事故，造成经济损失。传统监测方法有局限性，如监测参数单一、实时性差、无法准确预测故障。随着科技发展，智能传感技术出现，它具备高精度、高灵敏度、多参数监测等优点，能实时全面获取设备运行状态信息。结合先进算法处理分析传感数据，可更准确判断设备状态、提前预测故障，为设备维护管理提供科学依据。因此，研究智能传感技术在机电设备状态监测中的应用及相关算法有重要现实意义。

一、智能传感技术及其在状态监测中的应用基础

（一）智能传感技术概述

智能传感器是一种集成了传感、处理与通信功能的器件。其基本构成包括传感单元，负责直接感知物理量或化学量；信号处理单元，对传感单元输出的原始信号进行放大、滤波、转换等处理；以及通信单元，用于将处理后的数据传输至外部系统。与传统传感器相比，智能传感器的区别在于其内部包含了处理单元和通信能力，使其不仅仅是被动地测量，而是能够主动地处理信息并与外界交互。智能传感器在数据采集方面，能够提供丰富、更精细的信息；在预处理方面，可以在传感器端完成部分数据分析任务，减少传输数据量并提高效率；

在自诊断方面，能够检测自身工作状态是否正常，判断测量结果的可信度；在自适应方面，可以根据环境变化或任务需求调整其工作参数，以保持测量的准确性和稳定性^[1]。

（二）常用智能传感技术类型

在机电设备状态监测中，常用的智能传感技术包括多种类型。振动传感技术基于物体运动产生机械振动的原理，通过测量设备关键部位振动的幅值、频率和相位，来感知设备是否存在不平衡、松动、磨损等故障。温度传感技术利用材料电阻、电压或光学特性随温度变化的规律，精确测量设备表面或内部特定点的温度，监测过热现象，判断冷却系统是否正常或部件是否存在异常摩擦。声学传感技术通过麦克风等器件捕捉设备运行时发出的声音信号，分析其频谱特征，识别异常噪音，从而判断轴承损坏、气穴现象或机械撞击等问题。油液传感技术则通过分析设备润滑系统中的油液样本，检测油液的理化指标（如粘度、水分含量）和污染成分（如金属磨粒、杂质），评估润滑状态和磨损程度。电流/电压传感技术通过测量设备运行时的电参数，分析其波形、有效值和相位关系，间接反映电机负载、电气连接状态以及是否存在匝间短路等电气故障。这些技术各自利用不同的物理或化学原理，直接或间接地感知设备运行状态的变化。

（三）智能传感技术在状态监测中的部署与应用

智能传感器在机电设备上的部署需要考虑具体的监测目标，例如是监测轴承状态、齿轮箱健康状况还是整个机械臂的运行平稳性。同时，环境因素如温度、湿度、

振动强度、电磁干扰等也必须纳入考量,选择适合该环境的传感器类型和防护等级。典型的部署策略可能包括在关键旋转部件附近安装振动和温度传感器,在润滑点附近设置油液传感器,在电气控制柜内布置电流/电压传感器,并在可能产生异常噪音的区域放置声学传感器。通过在设备不同部位、不同层次(如单体设备、设备群)部署智能传感器,构建一个传感器网络。这个网络能够实现多参数(同时监测振动、温度、声音等)、分布式(覆盖设备不同位置)和实时(连续不间断地)的状态监测过程。传感器持续采集数据,经过内部预处理后,通过通信单元将数据实时传输到中央数据处理平台。强调数据采集的连续性,是为了捕捉设备状态随时间演变的完整信息;强调准确性,是为了确保分析结果的可靠性;强调实时性,是为了及时发现瞬态的异常状态,为后续的快速诊断和预警提供基础。这些特性对于有效评估设备健康状况至关重要^[2]。

二、状态监测中的信号处理与特征提取

(一) 原始信号的特点与挑战

从智能传感器获取的原始信号,例如振动信号或温度随时间变化的曲线,往往具有复杂的特点。这些信号中不仅包含了反映设备实际运行状态的有用信息,还常常混杂着各种噪声和干扰。噪声可能来源于传感器自身的工作环境,如电磁干扰、机械振动传递过程中的随机波动,或是传感器元件的老化、漂移。干扰则可能由设备附近的其他电气设备、操作过程中的冲击或环境温度的剧烈变化等引起。更为困难的是,能够真正指示设备内部状态发生变化的特征信号,往往强度较弱,淹没在强大的背景噪声和干扰之中,难以直接辨识。因此,对原始信号进行有效处理,以滤除无用的成分,增强并提取出反映状态变化的微弱特征,是进行后续状态分析和诊断的必要前提。

(二) 关键信号处理技术

为了改善原始信号的质量,使其更适合进行特征提取和状态分析,需要应用一系列基本的信号预处理技术。滤波技术通过设计特定的频率响应特性,能够有选择地保留信号中有用的频率成分,同时抑制或去除那些被认为是噪声的高频或低频成分。去噪技术则进一步针对特定的噪声类型,采用如小波阈值去噪、经验模态分解等方法,力图在保留信号细节的同时,最大程度地消除噪声对信号的影响。归一化技术则通过对信号幅度或范围进行调整,消除不同传感器之间或同一传感器在不同工

况下可能存在的量纲差异和幅度差异,使得处理后的信号具有可比性,并有助于后续算法的稳定运行。这些预处理技术共同作用,旨在提高信号的信噪比,使反映设备状态变化的潜在特征更加清晰、突出^[3]。

(三) 特征提取方法

从经过预处理、质量得到改善的信号中,提取能够表征设备状态关键信息的特征,是连接原始数据与状态诊断结果的核心环节。其重要性在于,原始信号通常数据量庞大,维度高,包含了大量冗余或不相关的信息,直接进行分析计算量大且效率低。特征提取的目的,就是将这高维、复杂的原始数据,转化为一系列低维、具有代表性的状态指标。常用的方法包括时域特征提取,这主要是对信号在时间轴上的统计特性进行分析,例如计算信号的均值、方差、均方根值、峰值因子、峭度因子等统计量,这些量能够反映信号的能量水平、波动程度以及是否存在冲击成分等,从而间接指示设备的状态。频域特征提取则通过傅里叶变换等方法,将信号从时域转换到频域,分析信号在不同频率成分上的能量分布,例如识别出特定的故障频率及其谐波,这对于诊断旋转机械的不平衡、不对中、轴承故障等具有重要意义。时频域特征提取,如小波变换等方法,则能够同时提供信号在时间和频率上的局部信息,适用于分析非平稳信号,即那些统计特性随时间变化的信号,能够更精细地捕捉到状态变化的动态模式。这些不同的特征提取方法,各自从不同的角度捕捉状态变化的模式,其最终目的是将原始数据简化为一系列精炼的状态描述符。

三、状态评估与故障预警算法研究

(一) 基于特征的设备状态评估

利用从信号中提取的状态特征来评估设备的当前运行状况,是状态监测的核心环节。这一过程涉及将量化后的特征值与已知的正常状态特征模式进行对比,或者利用统计方法、机器学习模型来判断当前特征值是否偏离了正常范围。通过设定一系列判别规则或利用训练好的分类模型,系统能够区分设备的正常工作状态与各种潜在异常状态。例如,如果提取的振动信号的峭度值显著高于正常水平,可能指示存在冲击性故障;如果温度特征的均值持续升高,可能预示着过热风险。状态评估需要连续进行,这意味着系统会周期性地利用最新的特征数据更新设备的状态判断。这种连续性评估对于跟踪故障的萌芽、发展及恶化过程至关重要,它使得监测人员能够观察到状态特征是如何随时间逐步演变,从而更

早地认识到潜在问题的严重性及其发展趋势^[4]。

（二）故障预警算法原理

实现故障预警的基本逻辑，在于通过分析状态特征的变化趋势或将其与预设的阈值进行比较，来推断设备未来可能发生的故障。当监测到的特征值持续朝着异常方向变化，即使尚未超过绝对判定故障的阈值，系统也能根据其变化速率和模式预测出潜在的风险，发出预警。常用的预警方法包括设定动态或静态的阈值，当特征值触及或接近这些阈值时触发警报。阈值的设定可以基于历史数据的统计分布，如设定为正常状态特征值的均值加上若干倍标准差；也可以基于专家经验，根据不同故障模式对应的特征表现来设定。此外，趋势分析方法通过拟合特征值随时间的变化曲线，预测其未来的走向，如果预测结果显示特征值将快速接近危险阈值，即使当前尚未达到，也会发出预警。这些方法的基本思想都是捕捉特征值偏离正常状态的早期迹象，并对其后续发展做出判断。

（三）算法在提升监测效果中的作用

有效的状态评估与故障预警算法能够显著提高监测的准确性和预警的提前量。准确性体现在算法能够更精确地区分正常与异常，减少将正常波动误判为故障（误报）的情况，同时也降低了对真实故障未能及时识别（漏报）的风险。提前量则意味着算法能够在设备性能显著下降或发生严重损坏之前，就捕捉到早期微弱的异常信号并发出预警，为维护人员留出更充裕的时间来安排检查、诊断和维修计划，从而避免非计划停机。算法设计时必须考虑实时性要求，确保评估和预警能够在传感器数据采集后尽快完成，以便及时响应快速变化的工况。同时，算法需要具备鲁棒性，能够在存在一定噪声或数据缺失的情况下依然保持稳定的性能。此外，可解释性也是一个重要考量，算法的决策过程应当能够被理解，以便维护人员信任预警结果并据此采取正确的行动。这些要求共同确保了算法在实际应用中的可靠性和有效性^[5]。

结语

智能传感技术在机电设备状态监测领域展现出了巨

大的应用潜力和价值。通过智能传感技术的应用，实现了机电设备运行状态的多参数、分布式、实时监测，为后续的状态评估和故障预警提供了准确且连续的数据支持。在信号处理与特征提取环节，有效的信号处理技术和特征提取方法能够从复杂的原始信号中提取出关键的状态信息，将高维、复杂的数据转化为低维、有代表性的状态指标，为准确评估设备状态奠定了基础。而状态评估与故障预警算法的研究，使得我们能够基于提取的状态特征准确评估设备的运行状况，及时预测潜在故障，大大提高了监测的准确性和提前量，减少了误报和漏报情况的发生。然而，该领域仍存在一些挑战和需要进一步研究的方向。例如，如何进一步优化智能传感技术的部署策略，以适应更加复杂多变的工业环境；如何提高信号处理和特征提取的效率和准确性，以应对海量数据的处理需求；以及如何设计更加智能、鲁棒且具有可解释性的状态评估与故障预警算法等。未来，随着人工智能、大数据、物联网等技术的不断发展，智能传感技术在机电设备状态监测中的应用有望得到进一步拓展和深化。我们期待通过不断的研究和创新，为机电设备的安全、稳定运行提供更加可靠的保障，推动工业生产向智能化、高效化方向发展。

参考文献

- [1] 薛光辉, 张昊, 蔡文静, 等. 基于 ZigBee 无线技术的工业设备状态智能监测系统的设计[J]. 煤炭技术, 2019(8): 5. DOI: 10.13301/j.cnki.ct.2019.08.049.
- [2] 张杰, 冯伟, 宋雷, 等. 大型机组润滑安全在线监控与智能预警系统研究[J]. 润滑与密封, 2022(004): 047. DOI: 10.3969/j.issn.0254-0150.2022.04.022.
- [3] 贾永伟. 浅谈煤矿机电设备智能诊断技术研究与应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021.
- [4] 高启丽. 光纤传感技术在煤矿机电设备安全状态监测系统中的应用[J]. 当代化工研究, 2021(18): 2. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8114.2021.18.066.
- [5] 李维谊. 机电工程技术在智能电网建设中的应用[J]. 文渊(高中版), 2022(4): 659-661.