

基于振动信号的化工旋转机械故障诊断研究

朱会刚

国能新疆煤制气有限公司 新疆 昌吉 831800

摘要: 化工旋转机械是化工生产的核心设备,其稳定运行直接关系生产安全与效率,传统故障诊断方法存在效率低、精准度不足等问题。本文以振动信号为核心,梳理故障诊断的基础理论体系,构建涵盖信号采集、预处理、特征提取及故障识别的核心技术体系,探讨技术优化路径与未来研究方向。可有效弥补传统诊断短板,实现故障早期识别与精准定位,优化设备维护策略,为化工旋转机械稳定运行提供技术支撑,具有重要的工程应用价值。

关键词: 振动信号; 化工旋转机械; 故障诊断

引言: 化工生产中,旋转机械承担着传输、反应等关键任务,长期处于高速、重载、复杂工况下,易出现部件磨损、失衡等故障,引发生产中断、设备损坏等问题。传统故障诊断依赖人工经验,难以捕捉早期故障特征,诊断精度和效率难以满足生产需求。振动信号能直观反映设备运行状态,基于振动信号的故障诊断技术可实现故障精准识别,成为解决旋转机械故障诊断难题的有效途径,开展相关研究对保障化工生产连续性、安全性具有重要意义。

1 化工旋转机械振动信号故障诊断研究概述

1.1 化工旋转机械故障诊断的核心研究价值

化工生产离不开各类旋转机械的稳定运转,这类设备作为生产流程中的核心部件,其运行状态直接关系到生产的连续性和安全性。旋转机械长期处于高速、重载、复杂工况下,容易出现部件磨损、失衡、松动等各类故障,一旦发生故障,不仅会导致生产中断,还可能造成设备损坏,增加维修成本,甚至影响生产安全。传统的故障排查方式主要依靠人工经验,不仅效率低,还很难及时发现早期潜在故障,容易导致故障扩大,影响生产进度。振动信号是反映旋转机械运行状态的核心载体,设备出现故障时,其振动特征会发生明显变化,通过对这些信号的分析 and 解读,能够精准判断故障的类型和程度,为检修工作提供明确方向。开展相关研究,能有效弥补传统诊断方式的不足,实现故障的早期识别和精准定位,提前采取防控措施,避免故障扩大化。同时,还能优化设备维护策略,减少不必要的检修工作,延长设备使用寿命,降低维护成本,推动化工生产更加高效、稳定、安全地运行,为化工生产的持续推进提供可靠的技术支撑。

1.2 振动信号故障诊断的基础理论体系

振动信号故障诊断的核心是搞清楚信号与设备故障

之间的内在关联,其理论体系围绕信号的采集、分析、解读三个核心环节展开,是实现精准诊断的前提。信号采集理论主要解决如何精准捕捉设备振动信息的问题,核心是根据旋转机械的转速、工况特点,选择合适的采集位置和方式,确保采集到的信号能真实反映设备运行状态。信号分析理论是整个体系的核心,通过各类分析方法对采集到的原始信号进行处理,剥离无干扰信号,提取能反映故障特征的关键信息,常用的分析方式涵盖时域、频域等,每种方式都有其针对性的应用场景。故障机理理论则聚焦设备故障与振动特征的对应关系,搞清楚不同故障类型会引发怎样的振动信号变化,比如部件磨损会导致振动幅值异常,失衡会引发特定频率的振动^[1]。这些理论相互衔接、相互支撑,形成完整的体系,既为信号采集和分析提供了方法指导,也为故障的精准识别提供了理论依据,让振动信号诊断从经验判断走向科学精准,为后续实际诊断工作提供坚实的理论支撑。

2 基于振动信号的化工旋转机械故障诊断核心技术体系

2.1 化工旋转机械振动信号的采集技术

振动信号采集是故障诊断的首要环节,其质量直接决定后续诊断结果的精准度,针对化工旋转机械的特殊工况,采集技术需兼顾专业性和实用性,才能捕捉到能反映设备运行状态的有效信号。(1)采集点位选择:要结合旋转机械的结构特点,优先选择振动信号传递最直接的位置,避开管道、支架等干扰源,确保采集到的信号能真实反映设备核心部件的运行状态,避免因点位不当导致信号失真。(2)采集参数设定:需根据设备转速、运行工况,合理设定采样频率和采样时长,避免采样不足导致关键信号遗漏,同时控制采样冗余,减少无效数据占用,保障采集效率和信号质量。(3)采集设备

选型：要适配化工生产的复杂环境，选择抗干扰、耐高温防腐的采集设备，确保设备在长期运行中稳定可靠，避免因环境因素导致采集中断或信号异常。合理运用这些采集要点，能有效提升振动信号的完整性和准确性，为后续信号分析和故障识别筑牢基础，让故障诊断工作更具针对性和可靠性。

2.2 振动信号的预处理与降噪方法

采集到的振动信号往往夹杂各类干扰，预处理与降噪是剔除无效信息、保留故障特征的关键环节，直接影响后续诊断工作的精准度。化工旋转机械运行环境复杂，采集到的原始信号不仅包含设备故障相关的有效信号，还会混入环境噪声、设备自身无关振动等干扰信号，若不进行处理，会掩盖故障特征，导致诊断出现偏差。预处理主要是对原始信号进行筛选和修正，剔除因采集过程中设备误触、线路干扰产生的异常信号，修正信号采集过程中的微小偏差，确保信号的完整性和规范性。降噪方法则聚焦于剥离各类干扰，结合旋转机械的振动频率特点，采用针对性的处理方式，保留与设备故障相关的特征信号，剔除无关噪声^[2]。预处理与降噪需紧密配合，先通过预处理规范信号格式，再通过合理的降噪方法提升信号纯度，剔除无效干扰，让后续的信号分析能精准捕捉到故障相关的关键信息，为故障类型的识别和定位提供清晰、可靠的信号支撑。

2.3 振动信号的故障敏感特征提取方法

经过预处理和降噪后的振动信号，仍需通过针对性方法提取故障敏感特征，这是实现精准故障诊断的核心步骤，能从复杂信号中剥离出与设备故障直接相关的关键信息。（1）时域特征提取：聚焦信号的幅值、峰值等关键指标，捕捉设备故障引发的信号幅值变化，能快速识别设备的明显异常，适配旋转机械常见的磨损、松动等故障的初步判断，操作便捷且能快速反馈设备运行异常情况。（2）频域特征提取：通过频率分析剥离信号中的干扰成分，定位与故障相关的特征频率，精准对应设备不同部件的故障类型，解决时域分析难以区分复杂故障的问题，提升特征识别的精准度。（3）时频域联合提取：结合时域和频域的优势，兼顾信号的时间和频率信息，能捕捉到瞬时故障产生的特征信号，适配化工旋转机械复杂工况下的故障识别，避免单一提取方法的局限性。合理选用不同的提取方法，结合化工旋转机械的运行工况灵活搭配，能精准捕捉各类故障的敏感特征，让故障诊断更具针对性，有效提升诊断的精准度和效率。

2.4 基于振动信号的故障识别与分类方法

故障敏感特征提取完成后，故障识别与分类是衔接

特征信息与故障判断的关键环节，其核心是通过合理方法将提取的特征与设备故障类型对应起来，实现精准诊断。化工旋转机械的故障类型多样，不同故障对应的敏感特征存在差异，识别与分类方法需适配这些特点，才能准确区分故障类型、明确故障程度。传统的识别分类方法主要依靠特征匹配，将提取的故障特征与已知的故障特征库进行对比，判断设备故障类型，操作相对简便，能应对常见的简单故障。随着技术发展，更精准的识别分类方法逐步应用，能更好适配化工旋转机械复杂的运行工况，有效区分相似故障，减少误判。这些方法依托提取的敏感特征，通过精准的逻辑分析，对故障进行分类定位，明确故障发生的部位和类型^[3]。合理运用识别分类方法，能将提取的敏感特征转化为明确的故障判断结果，清晰区分不同类型的故障，为设备检修提供直接指导，提升故障诊断的针对性和可靠性，助力化工旋转机械稳定运行。

3 化工旋转机械振动信号故障诊断技术优化与发展方向

3.1 强干扰环境下振动信号诊断的抗干扰方法优化

化工生产环境复杂，各类干扰因素会严重影响振动信号的采集与分析，导致诊断结果出现偏差，抗干扰方法的优化的核心是针对性抵御各类干扰，提升诊断的稳定性和精准度。（1）采集端抗干扰优化：优化采集点布置，远离管道振动、电机噪声等干扰源，同时强化采集设备的防护性能，提升设备抗温、抗腐、抗电磁干扰的能力，减少环境干扰对原始信号的影响。（2）信号处理抗干扰优化：改进滤波算法，精准区分故障特征信号与干扰信号，剥离无关干扰成分，避免干扰信号掩盖故障信息，同时修正信号传输过程中的失真问题，保障信号的完整性。（3）系统适配抗干扰优化：结合化工旋转机械的运行工况，优化诊断系统的参数设置，让抗干扰方法与设备运行状态、环境干扰类型相适配，提升抗干扰的针对性。通过多环节的抗干扰优化，能有效抵御强干扰环境中的各类无效信号，确保故障诊断工作不受干扰影响，精准捕捉设备故障特征，为设备稳定运行提供可靠的诊断支撑。

3.2 变工况条件下故障诊断的适配性提升路径

化工旋转机械的运行工况并非固定不变，转速调整、负载变化等情况频繁出现，传统故障诊断方法难以适配工况波动，容易出现诊断偏差，适配性提升需围绕工况动态变化特点展开。工况变化会导致设备振动特征发生相应改变，若诊断方法保持固定参数，无法精准捕捉不同工况下的故障特征，进而影响诊断结果的可靠

性。适配性提升需先明确不同工况下振动信号的变化规律,结合工况参数的波动范围,优化诊断系统的参数调节机制,让诊断方法能跟随工况变化实时调整。同时优化故障敏感特征提取方式,针对不同工况下的信号特点,调整特征提取的侧重点,确保能精准捕捉各类工况下的故障信息。还要强化诊断方法的适应性,使其能应对不同工况下的干扰因素,减少工况波动带来的诊断误差^[4]。通过这些路径提升诊断适配性,能让故障诊断技术更好适应化工旋转机械的动态运行需求,在各类工况下都能实现精准诊断,为设备稳定运行提供保障。

3.3 故障诊断技术的精度提升与泛化能力优化

精度和泛化能力是化工旋转机械故障诊断技术的核心指标,直接决定诊断结果的可靠性和适用范围,优化提升需围绕这两个核心同步推进。诊断精度不足会导致故障误判、漏判,无法精准定位故障部位和程度,影响设备检修效率;泛化能力欠缺则会让诊断技术局限于特定设备或工况,难以适配不同类型、不同运行状态的旋转机械。精度提升需聚焦故障特征提取和识别算法的优化,细化特征提取的细节,减少无关信息的干扰,让识别算法能更精准地匹配故障特征与故障类型,降低诊断误差。泛化能力优化则需突破单一设备、单一工况的局限,结合各类旋转机械的结构特点和运行规律,优化诊断模型的适配性,让技术能灵活应对不同设备、不同工况下的故障诊断需求。两者的优化需相互协同,不能孤立推进,精度提升为泛化能力优化奠定基础,泛化能力优化则能让高精度诊断技术发挥更广泛的作用,推动故障诊断技术向更高效、更全面的方向发展,更好满足化工旋转机械的诊断需求。

3.4 振动信号故障诊断技术的未来研究方向

随着化工旋转机械向大型化、智能化发展,振动信号故障诊断技术的研究需紧跟设备发展步伐,聚焦现有技术的不足,向更高效、更智能的方向推进。未来研究将重点突破现有技术的局限,强化智能化诊断模型的研发,依托先进技术提升诊断的自主性和精准度,减少人

工干预,实现故障的自动识别、定位与预警。同时会注重多信号融合诊断的研究,打破单一振动信号的局限,结合其他相关信号,提升复杂工况下故障诊断的可靠性,解决各类极端工况下的诊断难题。此外还会朝着轻量化、便捷化方向发展,优化诊断系统的结构设计,提升设备的便携性和适配性,满足不同场景下的诊断需求^[5]。未来研究还会注重诊断技术与设备运行的深度融合,实现诊断数据与设备运行数据的联动,提前预判故障发展趋势,推动故障诊断从被动检修向主动防控转变,推动化工旋转机械故障诊断技术不断升级,更好适配化工生产的发展需求。

结束语:未来,化工旋转机械将朝着更大型化、智能化的方向迭代,对故障诊断技术的精准度、适配性提出更高要求。本文相关研究梳理了振动信号故障诊断的理论与技术体系,明确了技术优化路径,为实际工程应用提供了可行参考。振动信号故障诊断技术的完善的关键在于持续突破现有局限,强化技术与设备运行的深度融合,不断提升抗干扰能力、适配性和泛化能力。该项技术的持续升级,将有效降低设备故障发生率,保障化工生产的连续性与安全性,为化工行业高质量发展提供有力的技术支撑。

参考文献

- [1]唐世杰.石油化工装置旋转机械振动故障诊断技术研究与应用[J].石化技术,2026,33(1):400-402.
- [2]孙洋,李则龙,季朋.基于振动信号特征的旋转机械故障分析研究[J].舰船电子工程,2025,45(10):141-145.
- [3]吴国威,陈华辉,邵昌盛.变速工况下基于阶次域分析的旋转机械故障诊断方法[J].自动化应用,2026,67(3):129-132+136.
- [4]何清波,李天奇,彭志科.旋转机械故障诊断中的振动信号模型综述[J].振动.测试与诊断,2024,44(4):629-639+821.
- [5]胡超.基于振动信号的高压断路器机械故障诊断研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(7):94-96.