

机械设备故障诊断与维修技术研究

李海龙 赵正锋

亿利洁能股份有限公司达拉特分公司, 内蒙 鄂尔多斯 014300

[摘要]对于现代工业生产中因机械设备长期处于高负荷运行状态下而引发的故障频发、运维效率低等相关问题,本研究聚焦机械设备故障诊断与维修技术,构建基于多源异构数据融合的智能故障诊断模型,同时对维修技术流程进行优化,形成“监测-诊断-决策-执行”的技术体系,为机械设备高效运维提供技术支撑,提高故障模式识别的精确性,规范化的维修技术体系,降低非计划停机损失与备件库存成本,推进工业机械设备的安全稳定运行,为相关企业提供指导。

[关键词]机械设备;故障诊断;维修技术;数值模拟;运维优化

DOI: 10.33142/ect.v4i1.18838

中图分类号: TH11

文献标识码: A

Research on Mechanical Equipment Fault Diagnosis and Maintenance Technology

LI Hailong, ZHAO Zhengfeng

Dalad Branch of Elion Clean Energy Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 014300, China

Abstract: In response to the frequent failures and low operational efficiency caused by long-term high load operation of mechanical equipment in modern industrial production, this study focuses on mechanical equipment fault diagnosis and maintenance technology, constructs an intelligent fault diagnosis model based on multi-source heterogeneous data fusion, optimizes the maintenance technology process, and forms a technical system of "monitoring diagnosis decision execution", providing technical support for efficient operation and maintenance of mechanical equipment, improving the accuracy of fault mode recognition, standardizing the maintenance technology system, reducing unplanned downtime losses and spare parts inventory costs, promoting the safe and stable operation of industrial mechanical equipment, and providing guidance for related enterprises.

Keywords: mechanical equipment; fault diagnosis; maintenance technology; numerical simulation; operation and maintenance optimization

引言

随着我国工业化水平的提高,机械设备朝着大型化、精密化、智能化、连续化方向快速发展,生产效率得到大幅度提升,其在工业生产中的核心地位日益凸显,进而促进企业经济效益的提升。机械设备的安全稳定运行直接决定了生产效率、产品质量与生产安全。然而,现阶段,很多行业在使用机械设备过程中依然面临机械设备频繁出现故障的问题。故障的突发不仅会造成生产中断,机械设备的诊断、维修逐渐成为了企业成本支出的主要组成部分,还可能引发安全事故。基于此,本文将重点围绕机械设备故障诊断及维修技术的内在核心机理、整体体系搭建和优化策略方向展开探讨,为现代工业机械设备的有效运维管理提供参考,推动故障诊断与维修技术向精准化、高效化、智能化方向发展。

1 机械设备故障诊断与维修技术的核心理论基础

1.1 机械设备故障的核心特征与分类

机械设备故障主要是指设备在运行的过程中,由于性能的逐步退化、零件磨损结构本身存在的缺陷以及受到外界干扰等多种因素导致其运行参数偏离标准范围或是预定功能无法正常实现。从故障形成的特性来看,具备关联性、突发性以及渐进性等特征。关联性特征是当设备的某

一部位出现故障时,因各个零部件以及各个系统之间相互关联,进而导致设备无法正常运行。突发性特征主要是因关键零件的突然损坏、外界的突发干扰因素引发,无明显前期征兆,难以提前进行准确的预判与防范。间接性表现主要是零部件的磨损与老化均呈现出典型的渐进式规律;基于故障的产生原因和呈现特征分为结构性故障与功能性故障,如下表1所示。

表1 故障的产生原因和呈现特征分布表

故障类型	形成机理	核心特征	常见表现
结构性故障	零部件结构损坏、变形、断裂,或连接部位松动、脱落	不可逆性、破坏性强,多为突发性	轴断裂、齿轮崩齿、壳体变形
功能性故障	零部件性能退化、参数偏离标准,或控制系统、润滑系统异常	可逆性较强,多为渐进性,可通过维修恢复	转速异常、振动超标、润滑不良

1.2 故障诊断的核心原理

机械设备故障检测的主要机理就是通过对机器在运行过程中所采集的各种信号信息进行分析处理,从而得到一些能够代表故障状态下的特征参数,并将这些特征参数同机器正常运行状态下的一些特征参数作比较来确定出机器是否出现了故障以及出现故障的具体部位、严重程度等,以此来指导后期的检修维护等工作。它的工作流程主

要分为“信号采集-信号处理-特征提取-故障识别-诊断结果”这五步，各个环节环环相扣、层层推进，形成故障诊断完整闭环。故障诊断本质就是利用信号分析获取设备运行工况异常的变化信息，其基本理论有振动理论、声学理论、热力学理论及摩擦学理论：振动理论根据设备在运行过程中出现的振动信号来判断零部件的磨损、不平衡、不对中等故障；声学原理通过收集设备工作过程中发出的声音来判定密封件失效、轴承磨损等情况的发生；热学原理通过检测设备各个部位温度的变化情况来判定润滑状态不佳、超负荷运转等情况的发生；摩擦学原理通过分析油液中磨粒的数量、种类等信息来判定部件的磨损状况。

1.3 维修技术的核心原则

维修应坚持“预防为主、精准维修、高效节能、安全可靠”基本方针：“预防为主”，即利用巡检、状态检测及时发现故障苗头，防止故障突然发生；“精准维修”，即根据故障诊断情况确定故障点及原因后有针对性地进行维修作业，防止盲目检修；“高效节能”，即提高维修效率，选择节能的维修方案及零件，减少维修过程能耗；安全可靠指维修过程中满足维修的安全性要求，维修后的机器能达到安全工作的目的，防止维修后产生新的故障。

2 机械设备故障诊断技术体系构建与优化

2.1 故障诊断技术体系的整体架构

结合机械设备故障的核心特征与诊断原理，构建“信号采集层—信号处理层—特征提取层—故障识别层—诊断决策层”五级故障诊断技术体系，各层级分工明确、协同工作，实现故障的精准识别与高效诊断。体系整体架构如下图 1 所示。

信号采集层作为故障诊断工作的基础，主要负责机械

设备运行过程中产生的各种状态信号，例如振动信号、噪声信号、温度信号、油液信号等，利用传感器、数据采集仪等设备，将这些信号进行实时、准确地采集，以供后期的诊断工作使用；信号处理层主要是针对已经采集到的原始信号进行滤波、放大、变换等一系列处理，剔除干扰信号，提高信号质量，保证信号有效性；特征提取层对已经过预处理的信号进行特征参数提取，如时域参数(最大值、均方根、方差)、频域参数(峰值频率、频带能量)，获得故障的关键特征信息；故障识别层将所获取的特征参数同正常参数以及故障模型相比较，确定故障性质、部位及故障等级；诊断决策层用于提供诊断信息并给出相应的修理方案，同时根据诊断准确度反传对信号处理与特征抽取层进行修正以提高诊断正确率。

2.2 关键故障诊断技术优化

2.2.1 振动信号诊断技术优化

振动信号是最常用也是最有效的一种机械故障检测信号，绝大多数机械故障都引起振动信号的变化。传统的基于傅里叶变换的振动信号诊断方法存在着时间域与频率域分辨率不能同时达到最优以及对非平稳信号处理能力较差等问题。本文将小波变换应用于振动信号的提取中，改进振动信号分析技术提高故障识别率。小波变换通过伸缩、平移运算，可以实现对信号的多尺度分析，在获取信号的低频趋势的同时也可以获得信号的高频突变，克服了傅里叶变换对于非平稳信号无法分析的不足。经过改进的振动信号诊断过程是这样的：原振动信号采样→小波阈值滤波(去除杂讯)→小波多尺度分解(分离不同频段信号)→特征参数提取(时域+频域)→故障辨识。仿真结果表明，改进的基于振动信号的故障检测算法比原算法在诊断精度上提高了 15%~20%，可用于不稳定工况下机械系统故障分析。

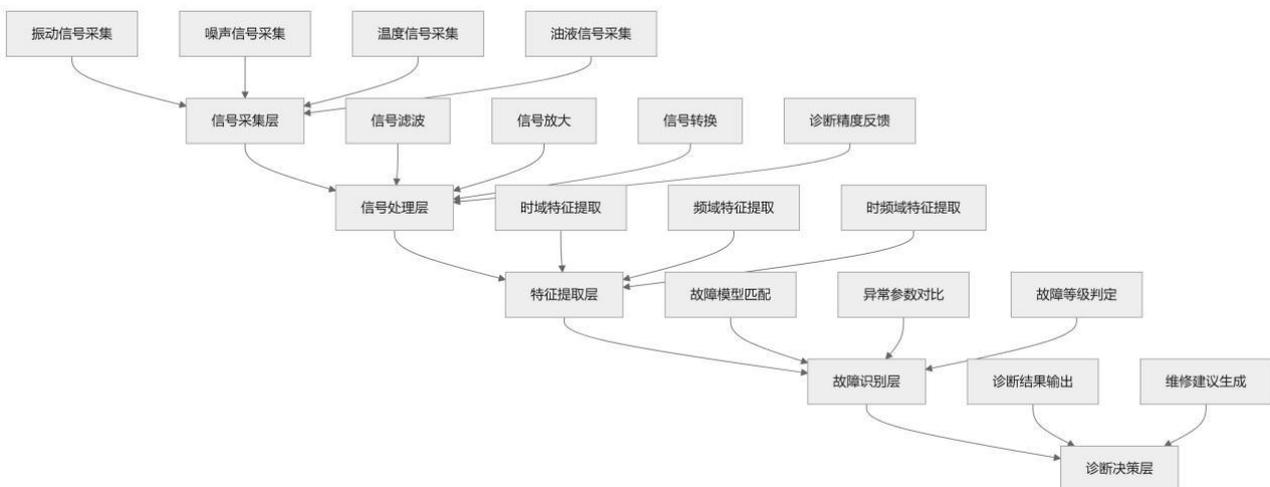


图 1 体系整体架构图

2.2.2 油液分析诊断技术优化

油液分析诊断技术根据机械设备中润滑油所含磨粒的数量、种类及大小来判断机械部件的磨损状况以及故障性质，在那些密封性好、不易观察到的机械部件发生故障时可以进行有效的故障诊断。传统的油液分析法主要有光谱分析法、铁谱分析法，但其具有分析效率低、检测精度不高的缺点。本文通过改进油液取样方法及分析算法来提高油液分析的有效性及准确度。改进型的油液分析诊断方法，采取在线取样、离线分析模式，减少取样时间，实时监控油液的各项指标。运用机器学习的方法，对油液中磨粒各项指标加以分析，将磨粒各项指标与设备故障种类联系起来，提高判断故障类型的能力及准确率。

2.2.3 故障诊断模型构建

以故障诊断技术体系为依据，构建全面整合多源信号与丰富特征的综合性诊断模型，借助 BP 神经网络算法具有的自适应性、自学习特征精准识别设备故障。充分考虑实际的工程应用需求。模型输入为振动信号、油液信号、温度信号提取的特征参数，模型的输出直接对应故障类型、位置与严重程度，以便为现场的维修工人提供明确的故障信息。模型结构如下图所示。

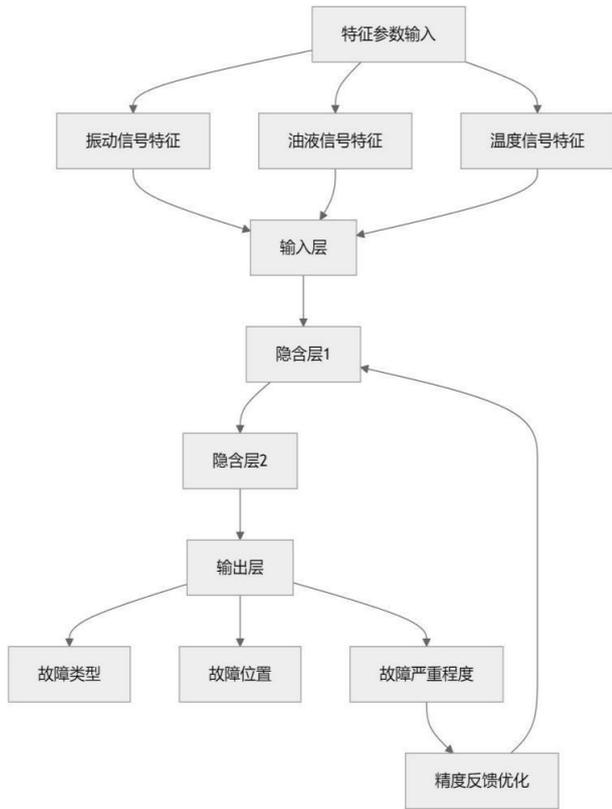


图2 模型结构图

该故障诊断模型创新性采用多信号融合策略，实现了对设备运行状态多维度、全方位的精准感知，提升了诊断的全面性。通过 BP 神经网络的自主学习与训练对输入的

海量故障样本数据进行深度挖掘，并不断优化模型参数，这种持续的优化过程提升故障识别的准确率，增强其对不同设备类型故障的适应性，为维修工作提供精准支撑。

3 机械设备维修技术体系构建与实施路径

3.1 维修技术体系的核心构成

基于故障判定结论与维护关键准则构建“预防维修-状态维修-事后维修”融合的机械设备维修技术框架，与此同时，充分考虑机械设备的重要程度以及运行工况，合理、科学的选择维修方式，体系核心构成如下表所示。

表2 体系核心构成表

维修类型	核心内涵	适用场景	核心技术
预防维修	定期对设备进行巡检、保养，提前消除故障萌芽	核心设备、连续运行设备，故障后果严重的设备	定期润滑、零部件检测、参数校准
状态维修	基于故障诊断结果，针对设备运行状态，按需进行维修	精密设备、工况复杂设备，故障可提前预判的设备	精准拆解、零部件更换、性能调试
事后维修	设备故障爆发后，及时进行维修，恢复设备功能	辅助设备、故障后果轻微，维修成本低的设备	故障排查、应急拆解、快速修复

3.2 关键维修技术优化与实施

3.2.1 精密零部件维修技术优化

精密零部件是机械设备的核心组成部分，其精度直接决定了设备的运行性能，精密零部件的故障维修难度大、要求高，传统维修技术难以满足精度要求，引入激光熔覆技术与精密磨削技术，优化精密零部件维修工艺，提升维修精度与质量。激光熔覆是利用激光束将熔覆材料熔化，覆盖于零部件磨损、损坏部位，实现对零部件的修复及强化，具有修复精度高、结合强度高、变形小的特点，可应用于轴类、齿轮类等精密零部件的磨损修复；精密磨削是通过优化磨削参数、应用高精度磨削设备，通过对修复工件进行精密加工处理，保证工件的尺寸精度、形位公差符合标准的要求。改进后精密零件修理技术，提高修理精度，能够很好地恢复精密零件的性能，延长零件的使用时间。

3.2.2 设备控制系统维修技术优化

随着机械设备的智能化发展，控制系统已经成为机械设备的“大脑”，负责设备的运行控制、参数调节及故障报警等功能，控制系统故障将导致设备不能正常工作，甚至发生安全事故。传统的控制系统维修技术是依靠人工进行排查，存在排查效率低、故障点不准确等问题。在本文中，利用智能诊断技术和远程维修技术改进控制系统维修工作方式。

基于改进的控制系统检修技术，在控制系统上增加智能化诊断功能，对控制系统运行参数进行动态检测，并自动判断出故障部位及故障性质；利用远程检修技术，技术人员可远程登录控制系统，完成故障分析、参数设置及故

障处理工作,不必亲临现场,减少检修时间。同时,建立控制系统故障数据库,将所有出现过的故障表现形式、排查方式及维修措施进行储存,并利用自学习算法不断完善故障排查速度,提高维修工作的精准性和高效性。

3.3 维修技术体系的实施保障

为了有效保证维修技术体系的落实,应围绕着人员、设备、管理制度三方面构建维修技术体系实施保障体系:在人员上,强化维修人员专业技术培训力度,提高维修人员故障诊断能力、维修技术水平以及安全操作意识,培育出既具有理论又具有实际动手能力的复合型维修技术人员;在设备上,硬件设施上配置精密的故障诊断装置、修理设备以及检验测试设备,提高检修工作精确性及工作效率;在制度建设上制定完善检修管理制度,对检修程序、职责划分以及评价机制进行规定,对检修过程中的各个阶段进行规范化约束,确保维修技术体系的规范化、标准化实施。

4 结论与展望

4.1 研究结论

本文是从机械故障诊断及维修的技术层面入手,在对现有技术进行系统梳理的基础上,针对技术本身开展理论完善工作,进行理论推导、建模以及仿真计算,得到如下成果:提出了“信号获取单元-信号预处理单元-特征值提取单元-故障判别单元-故障诊断单元”的故障诊断方法,应用小波变换技术和BP神经网络算法改进振动信号、油液信号处理的方法,并建立多种信号综合判断的故障诊断模型以提高故障判断的正确性和完备性。建立了“预防维修-状态维修-事后维修”三位一体的维修技术体系,引入激光熔覆、精密磨削与远程维修技术,提升了维修精度与效率,降低了运维成本。

4.2 研究展望

随着人工智能、大数据、物联网技术的发展,机械设备故障诊断与维修技术向智能化、数字化、远程化发展,下一步研究将物联网技术融入其中,建立智能化故障诊断与维修平台,对机械设备运行状况进行实时监测,并提前预警及远程维修。提高运维智能化程度。完善故障诊断模型,采用深度学习方法,增强模型的自我学习能力和自适应能力,以适应更加复杂的工况环境以及更多的设备故障类型;研究绿色维修技术,开发新型绿色维修材料及低能耗维修技术,减少维修作业对能源的浪费及对环境的污染,做到运维工作绿色发展。

[参考文献]

- [1]陈东锋.冶金机械设备故障诊断技术分析:评《冶金机械设备故障诊断与维修》[J].中国有色冶金,2023,52(2):164.
 - [2]李薇.矿山机械设备维修的故障诊断技术[J].科技与创新,2022(19):148-150.
 - [3]张方泽.矿山机械设备维修中的故障诊断技术[J].设备管理与维修,2020(24):143-145.
 - [4]徐晓瑞.煤矿综采设备系统预防性维护决策研究[D].太原:太原理工大学,2023.
 - [5]乔佳伟.矿井主排水离心泵健康状态智能评估方法研究[D].太原:太原理工大学,2023.
 - [6]齐晓霞.基于人工智能技术的机械设计要点研究[J].产业创新研究,2024(22):103-105.
 - [7]温晓东.人工智能在机械制造设备故障诊断与维修中的应用[J].机械管理开发,2024,39(9):310-313.
- 作者简介:李海龙(1984.10—),单位名称:亿利洁能股份有限公司达拉特分公司,毕业学校和专业:山东大学-化学工程与工艺。