

机械装备故障诊断与预测性维护技术研究

雷超

陕西建设机械股份有限公司

DOI:10.32629/ems.v8i6.20582

[摘要] 机械装备作为工业生产的核心支柱,其运行的稳定状况会对生产效率以及运营成本产生直接的影响。故障诊断和预测性维护技术能够达成装备异常状况的早期察觉、故障位置的确定以及剩余使用寿命的预估,属于保障装备可靠运作的关键方式。本文对故障诊断与预测性维护的核心技术种类进行了梳理,剖析了各类技术的工作原理以及应用特性,探究了当前技术应用过程中存在的问题,并且给出了具有针对性的优化方向。研究显示,将多源数据相融合的智能诊断技术以及全生命周期维护策略能够切实地提高装备维护的效率,减少因故障停机所造成的损失,从而为机械装备的维护管理给予理论和实践方面的参考。

[关键词] 机械装备;故障诊断;预测性维护;智能监测

引言

伴随工业自动化水准的持续提高,机械装备向高精度、高负荷且更为复杂的方向推进,因装备故障所引发的生产中断、安全潜在危险等问题愈发显著。传统的事后维护方式存在响应迟缓、维护费用相对较高的不足,预防性维护难以精准契合装备的实际运行情形,不能满足高效生产的需求。故障诊断与预测性维护技术借助对装备运行参数进行实时监测,提前识别出可能出现的故障,并拟定维护方案,能够达到维护模式从被动应对向主动预防的转变。开展与之相关的技术方面的研究,梳理技术的体系以及应用所面临的瓶颈,这对于提高装备运行的可靠程度、优化维护资源的配置具有重要的价值与意义。

一、机械装备故障诊断技术体系

(一) 故障诊断技术核心分类

机械装备故障诊断技术大体上可划分为基于信号处理的诊断技术、基于模型的诊断技术、基于知识的诊断技术这三大类别。基于信号处理的诊断技术,是通过收集装备在运行过程中的振动、温度、噪声等信号,经过滤波、特征提取等操作,识别出信号中的异常特性,从而判定故障的类型与所在位置;基于模型的诊断技术依靠装备的数学模型,比较模型仿真得出的结果和实际运行数据之间的偏差,来确定故障的根源;凭借知识的诊断技术将专家经验与过往故障数据相融合,借助规则推理、神经网络等途径,达成故障的迅速识别与诊断。

(二) 故障诊断技术关键环节

故障诊断技术若要有效应用,必须历经信号采集、特征提取、故障识别这三个关键步骤。信号采集属于基础部分,应依据装备的具体类型以及故障的独特特点,选择合适的传感器以及合适的采集频率,以此保证所采集数据具备准确性和完整性;特征提取作为核心环节,需要从原始信号中提取能够体现故障状态的特征参数,去除冗余的信息,从而提高故障识别的精确程度;以故障识别作为最终目的,借助构建诊断模型的方式,针对所提取的特征参数展开分析,判定故障的具体类型、严重程度以及发生的具体位置,从而为后续的维护工作给予依据,如图 1 所示。



图 1 故障诊断技术关键环节示意图

(三) 故障诊断技术发展趋势

故障诊断技术正向着智能化、轻量化以及集成化的方向

不断发展。深度运用智能算法，让诊断系统拥有了自主学习以及自适应的能力，能够自动去适配不同种类装备所具备的故障特征；研发轻量化的诊断设备，使得现场部署的成本得以降低，有利于在复杂场景中进行灵活的运用；集成化的诊断系统将多种类型的诊断技术融合起来，达成了单一设备对多维度故障开展同步监测和诊断的目的，从而进一步提高了诊断的效率与全面性。

二、机械装备预测性维护技术核心内容

（一）预测性维护技术原理

预测性维护技术基于对装备运行状态的监测，将故障诊断的结果、装备的历史运行数据以及性能参数相结合，借助预测模型来估算装备还能使用的剩余寿命，进而制订具有个性化的维护计划。其核心原理是对装备的运行状态展开实时监测，捕捉故障在早期显现出的迹象，运用数据挖掘和智能算法达成对故障发展走向的精确预测，突破传统维护模式所存在的局限之处，让维护工作达成精准且高效的水平，尽可能地降低维护所产生的成本以及停机造成的损失。

（二）主流预测性维护技术类型

目前占据主导地位的预测性维护手段涵盖了振动分析方法、油液分析方法、红外热成像方法以及智能预测方法。振动分析方法借助对设备振动信号变化情况的监测，来预估旋转零部件磨损、松动等故障状况；油液分析方法通过对润滑油中金属颗粒以及污染物含量的检测，去判定设备内部零件的磨损情形；红外热成像方法通过对设备表面温度分布的检测，来识别电气构件、机械结构方面的过热故障；智能预测技术将大数据与人工智能算法相融合，达成多源数据的融合剖析以及故障的精确预报。

（三）预测性维护技术应用前提

预测性维护技术的有效运用需要具备两个关键前提条件。其一为完善的数据累积，这要求长时间收集装备的运行数据、故障数据以及维护记录，从而为预测模型的训练与优化给予支持；其二是专业的技术队伍，此队伍需拥有数据处理、模型搭建、设备操作等多方面的能力，以此保证技术应用的规范性和有效性，并且能够及时处理应用过程中出现的各种问题。

（四）预测性维护技术实施流程

预测性维护技术要规范实施，就需要遵循标准化流程，

各环节需衔接顺畅，数据要形成闭环。首先，状态监测环节，结合装备类型，选取适配监测设备，对振动、温度、油液等，关键参数实时采集，确保数据准确、连续，为后续分析打基础。其次是数据预处理环节，对原始数据进行降噪，去除冗余、做标准化处理，剔除异常数据，整合多源数据资源，提升数据质量。然后是故障诊断与寿命预测环节，运用智能算法和预测模型，分析预处理后数据，识别故障早期特征，精准预判装备剩余使用寿命。最后是维护执行与优化环节，依据预测结果，制定专门维护方案，开展维护作业后，记录具体效果，相关数据反馈给模型，不断优化预测算法、维护举措，形成“监测、分析、预测、维护、优化”的闭环管理，让预测性维护的价值发挥到最大。

三、机械装备故障诊断与预测性维护技术现存问题

（一）技术应用局限性

当下的故障诊断技术于复杂装备的故障识别工作中呈现出一定的局限性，有一些技术针对早期的轻微故障，其识别的精准度较低，难以察觉故障初始阶段的微弱信号；预测性维护技术的预测精准度在较大程度上受到数据质量的影响，若采集的运行数据存在数据缺失、数据失真等问题，就会对预测模型的准确性造成严重的不良影响；除此之外，部分技术在环境适应性方面表现欠佳，在高温、高噪声、高粉尘等恶劣的工作状况之下，监测的精度以及诊断的效果会显著降低。

（二）技术融合不足

故障诊断技术和预测性维护技术的融合状况欠佳，在大多数应用场景中，二者呈现出相互独立运行的态势，数据共享与协同作业并未达成。诊断所得结果未能切实助力预测模型的优化，预测得出的结论也无法为故障诊断给予具有针对性的指引，这使得维护效率难以获得进一步的提高；与此同时，不同类别的诊断技术和预测技术之间缺少有效的融合，全方位、多维度的装备维护体系难以构建，复杂装备的维护需求无法得到满足。

（三）成本控制难度较大

故障诊断以及预测性维护技术的布置与运营所需成本较为高昂，这成为了限制其广泛运用的关键要素。高精度的传感器、用于数据采集的设备以及智能分析系统在前期的投入巨大，对于中小规模的企业而言，难以承受高额费用；后续

的数据存储工作、系统的维护事务以及技术的更新操作，均需要持续不断地投入资源，这进一步提升了应用成本，从而导致一部分企业更倾向于选取传统的维护模式。

四、故障诊断与预测性维护技术优化方向

(一) 提升技术精准度

对信号采集技术予以优化，开展高精度、具备高适应性的传感器的研发工作，以提升在复杂工况环境下数据采集的精准性以及稳定性；对特征提取算法加以改进，将智能算法融入其中，来优化特征参数的筛选流程，从而提高对早期故障的识别精准度；对预测模型进行完善，将多源数据相融合，去构建更具适配性的预测模型，降低数据质量所产生的对预测精度的影响，达成对装备剩余寿命的精确预测。

(二) 加强技术融合应用

促使故障诊断技术和预测性维护技术达成深层次的融合，搭建起统一的数据共享平台，达成诊断数据以及运行数据的协同运用；将故障诊断的成果嵌入预测模型中，对维护计划的制定予以优化，与此同时，借助预测结论对故障诊断的关键方向加以引导，增强维护工作的针对性与高效程度；推动不同种类诊断和预测技术的交融，构建起全面的装备维护技术体系架构，满足复杂装备多样化的维护需求。



图2 故障诊断与预测性维护融合流程图

(三) 降低技术应用成本

凭借技术创新以及产业协同，来削减故障诊断和预测性维护技术在应用方面的成本；开展对性价比更为优良的监测设备和分析系统的研发工作，将部署流程加以简化，进而减少前期的资金投入；积极推进技术的标准化进程，以此降低系统维护和更新所需的成本；与此同时，强化技术的推广以及培训工作，提高企业在技术应用上的能力，使得更多企业有能力负担并且运用相关的技术，达成行业整体维护水平的提高。

(四) 完善技术标准化体系

技术标准化作为推动故障诊断以及预测性维护技术大规模应用的关键保障，需要构建统一的标准规范，涵盖数据采集、特征提取、故障诊断以及预测评估等方面，以此解决不同设备、不同技术在数据方面的不兼容状况；要明确技术应用的操作流程以及质量评价标准，增强技术应用的规范性和统一性，为技术在不同场景的推广、多个企业之间的协同应用创造基础条件，进而进一步挖掘技术应用的价值。

结论

机械装备的故障排查与预先维护技术，是确保装备稳定运作、削减维护成本的重要支柱。本文对故障排查与预先维护的技术架构、主要类别以及关键部分进行了梳理，剖析了当下技术运用时存在的问题，并且给出了提高技术精确程度、强化技术融合运用的改进方向。研究结果显示，借助技术的优化和融合，能够切实提高装备维护的效能与稳定性，为机械装备整个使用周期的维护管理提供坚实助力。未来，需要进一步推动技术向智能、集成的方向发展，以适应更为繁杂的工业应用环境。

[参考文献]

- [1] 拜颖乾. 深度学习驱动的机械装备故障诊断方法[N]. 安徽科技报, 2026-03-11 (014).
- [2] 苏齐. 基于机器学习的机械装备故障诊断与控制策略[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (11): 100-102.
- [3] 陈曦. 基于深度学习的机械装备故障诊断及维修方法研究[J]. 今日制造与升级, 2024, (10): 20-22.
- [4] 邓贤苏. 基于宽度学习的机械装备故障诊断及应用[D]. 广东工业大学, 2024.
- [5] 杜浩然. 数据驱动的机械装备智能故障诊断方法研究[D]. 吉林大学, 2024.