

机电系统的故障诊断与维护技术研究

陆冠丞

360101*****6011

摘要:机电系统是工业生产与民生服务领域的核心基础设施,其运行稳定性对生产效率和运营安全具有决定性影响。随着智能化技术在工业领域的广泛应用,传统依赖人工经验的故障诊断与维护模式,已无法满足复杂机电系统的运维需求。本文以机电系统故障诊断与维护技术为研究对象,系统梳理当前技术的应用现状,深入分析诊断与维护过程中存在的核心问题。重点探讨先进传感技术、智能算法在故障识别中的应用路径,以及全生命周期维护体系的构建方法。研究成果可为提升机电系统故障预警准确性、延长设备使用寿命提供有效思路,推动机电系统维护模式从“事后修复”向“事前预判”转型,为相关领域的技术升级提供参考。

关键词:机电系统;故障诊断;维护技术;智能算法;全生命周期管理

DOI: 10.64216/3104-9664.25.02.021

引言

工业4.0与智能制造的推进,使机电系统向集成化、智能化方向快速发展。这一演进导致系统内部结构日益复杂,组件间耦合关系更为紧密。在此背景下,机电系统故障诱因呈现多元化、隐蔽化特点。单一组件故障若未及时处理,可能引发连锁反应,造成生产中断甚至安全事故。传统基于人工经验的故障诊断方式,存在效率低下、诊断精度不足等问题,难以适配现代机电系统的运维需求。

1 理论基础

1.1 故障特征与分类

机电系统故障的特征与分类是故障诊断工作的基础,直接影响诊断方向的准确性。从故障特征来看,多样性体现在不同组件、不同运行阶段的故障表现差异显著。关联性则表现为一个组件的故障可能通过系统耦合关系影响其他部分,形成复杂故障链。在分类方面,按故障根源可分为机械结构故障、电气系统故障和控制系统故障。机械结构故障常见于轴承磨损、齿轮咬合不良等;电气系统故障多表现为线路老化、元件短路等;控制系统故障则与程序异常、传感器失效相关。

1.2 故障诊断核心原理

故障诊断的核心原理围绕信号处理与模式识别展开,形成完整的技术逻辑链条。信号检测原理是基础,通过各类传感设备捕捉机电系统运行中的振动、温度、电流等参数信号。这些信号包含系统运行状态的丰富信息,正常与故障状态下的信号特征存在明显差异。特征

提取原理是关键环节,通过滤波、降噪等数据处理技术,从原始信号中剥离无关信息,提取出能够反映故障本质的特征参数,如振动信号的频率峰值、温度信号的变化速率等。模式识别原理则是通过将提取的特征参数与预先建立的标准模式库进行比对,判断系统是否存在故障及故障类型。

1.3 维护技术发展

机电系统维护技术的发展历程,是运维理念不断优化的过程。早期的被动维护模式以“故障后维修”为核心,即在设备发生故障后才进行维修处理。这种模式无法提前规避故障风险,往往导致生产中断时间过长,造成较大经济损失。随着工业生产规模的扩大,定期预防性维护模式应运而生。该模式根据设备运行周期制定固定维护计划,在一定程度上降低了故障发生概率,但存在明显局限性。对于运行状态良好的设备,定期维护会造成人力、物力的浪费,形成过度维护问题。

2 故障诊断关键技术

2.1 传感与信号采集技术

传感与信号采集技术是故障诊断的“数据入口”,其性能直接决定诊断精度。随着传感技术的发展,各类先进传感设备在机电系统中得到广泛应用。振动传感器能够捕捉设备运行中的微小振动变化,为机械结构故障诊断提供依据;温度传感器可实时监测电机、线路等关键部位的温度,及时发现过热隐患;电流传感器则通过监测电流波动,判断电气系统是否存在异常。这些传感器实现了对机电系统多维度运行参数的全面采集。

2.2 智能算法故障识别

智能算法的应用是故障诊断技术智能化发展的核心标志,有效突破了传统诊断方法的局限。神经网络算法凭借其强大的非线性映射能力,能够处理机电系统故障中复杂的非线性关系,通过对大量样本数据的学习,实现对复杂故障类型的精准分类。在实际应用中,即使故障特征存在交叉叠加,神经网络也能通过多层神经元的协同作用完成识别。支持向量机则在小样本数据场景中展现出独特优势,当某类故障的样本数据有限时,支持向量机可通过构建最优分类超平面,保持较高的诊断精度,解决了部分稀有故障诊断困难的问题。深度学习技术进一步提升了故障识别能力,其多层网络结构能够自动挖掘数据中隐藏的深层故障特征,无需人工干预特征提取过程,大幅提高了诊断效率和智能化水平。

2.3 多源信息融合诊断

单一信号源的诊断方式易受环境干扰,导致诊断结果存在不确定性,多源信息融合诊断技术有效解决了这一问题。该技术通过整合来自不同传感设备、不同维度的监测数据,实现故障信息的互补与优化。在实际应用中,振动信号、温度信号、电流信号等不同类型数据,从不同角度反映机电系统的运行状态。例如,机械结构故障可能同时导致振动异常和温度升高,仅依靠单一信号可能误判故障类型。通过数据融合算法对多源数据进行预处理,剔除噪声和异常数据后进行融合分析,能够综合各方面信息判断故障情况。

3 维护技术创新实践

3.1 预测性维护技术

基于状态监测的预测性维护技术,是当前机电系统维护领域的核心技术之一。该技术以机电系统的实时运行状态为核心依据,通过各类传感设备持续采集设备运行参数,结合数据处理技术对监测数据进行动态分析。通过构建故障预警模型,对设备运行数据的变化趋势进行预判,识别潜在的故障风险及发展规律。与传统定期维护不同,预测性维护能够精准判断设备的实际健康状况,提前制定针对性的维护计划。当监测数据显示某一部件即将达到故障阈值时,及时安排维护操作,避免突发性故障的发生。这种维护模式既减少了非计划停机带来的生产损失,又避免了定期维护中过度维护造成的资源浪费,实现了运维资源的优化配置,大幅提升了企业的运维管理水平。

3.2 数字化孪生维护

数字化孪生技术的发展为机电系统维护提供了全新的技术路径,实现了物理世界与虚拟世界的精准映射。通过三维建模、数据采集等技术,构建与物理机电系统完全一致的数字孪生体。该数字孪生体能够实时接收物理设备的运行数据,模拟设备的运行状态和故障演化过程。在维护工作中,技术人员可在数字孪生体上模拟各类故障场景,测试不同维护方案的效果,优化维护流程和操作步骤。这种虚拟仿真与实际操作相结合的方式,能够有效降低现场维护的风险,避免因维护方案不合理导致的二次故障。

3.3 远程协同维护技术

远程协同维护技术依托互联网、物联网与现代通信技术,打破了地域限制,实现了跨区域的维护资源整合。在大型企业或跨区域生产场景中,机电系统分布广泛,当某一区域的设备出现故障时,现场维护人员可能面临技术能力不足或经验欠缺的问题。此时,现场人员可通过智能终端将设备的运行数据、故障现象、现场环境等信息实时传输至远程专家系统。远程专家通过这些信息进行精准诊断,制定维护方案,并通过视频指导、实时通讯等方式向现场人员下达操作指令。这种现场操作与远程专家协同配合的模式,有效整合了优质技术资源,避免了专家赶赴现场的时间延误,大幅缩短了故障处理时间,降低了故障造成的经济损失。

4 现存问题分析

4.1 故障耦合问题突出

现代机电系统的集成化发展,使得各子系统间的耦合关系愈发紧密,故障耦合问题成为诊断工作的主要难点。在复杂机电系统中,机械、电气、控制等子系统相互关联、相互影响,单一组件的故障并非孤立存在,很可能通过耦合路径引发多系统的连锁反应,形成复杂的故障耦合现象。例如,电机轴承的磨损故障可能导致振动异常,进而影响与之相连的传动系统,同时振动信号的干扰还可能导致控制系统的误判。这种故障耦合使得不同故障的特征相互叠加、干扰,原本清晰的故障特征变得模糊,技术人员难以精准定位故障根源。故障耦合不仅增加了诊断的难度与复杂度,还可能导致诊断时间延长,错过最佳维护时机。

4.2 数据与模型适配不足

数据质量与诊断模型的适应性,是影响故障诊断效果的关键因素。故障诊断与维护工作依赖大量高质量的运行数据和故障数据作为支撑,但在实际工业环境中,

传感设备易受温度、湿度、电磁干扰等因素影响，导致采集到的数据存在噪声、缺失、失真等问题。这些低质量数据会干扰特征提取的准确性，进而影响诊断结果的可靠性。同时，现有诊断模型多是基于特定类型、特定工况下的机电系统数据构建的，模型的参数和结构针对该类系统进行了优化。当将其应用于不同型号、不同运行工况的机电系统时，模型的诊断精度会大幅下降，表现出较强的局限性。诊断模型对不同场景的适应性不足，泛化能力有待进一步提升，这在一定程度上限制了故障诊断技术的推广应用。

4.3 运维与技术衔接不畅

先进技术与运维管理体系的衔接问题，制约了故障诊断与维护技术价值的发挥。部分企业认识到先进技术的重要性，引入了智能传感设备、诊断系统等技术手段，但忽视了运维管理体系的配套升级。缺乏完善的运维管理制度，导致技术应用与运维流程相互脱节。监测数据采集后，未能建立有效的数据处理与反馈机制，数据无法及时转化为维护决策依据，先进技术沦为“摆设”。同时，运维人员的技术素养也难以适配先进技术的应用需求。部分运维人员仍习惯于传统维护方式，对智能诊断系统的操作、数据的分析解读能力不足，无法充分发挥技术优势。运维管理体系不完善与人员素养不足，共同导致先进技术的价值难以充分释放。

5 技术发展趋势

5.1 诊断与维护一体化

诊断与维护的一体化融合，是未来机电系统运维技术的重要发展方向。传统模式下，故障诊断与维护工作相对独立，诊断结果向维护计划的转化存在滞后性。未来，两者将实现深度融合，形成“诊断-预测-维护-反馈”的完整闭环体系。故障诊断系统实时监测设备状态，诊断结果直接传输至维护管理平台，平台根据故障类型、设备重要程度等因素自动生成维护计划。维护工作完成后，将维护效果、故障处理情况等数据反馈至诊断系统，用于优化诊断模型的参数。这种一体化模式实现了诊断与维护的无缝衔接，提升了运维工作的连贯性和效率。通过闭环反馈机制，整个运维体系能够持续自我优化，提升自适应能力，更好地适配机电系统的运行需求。

5.2 人工智能与物联网赋能

人工智能与物联网技术的深度赋能，将推动机电系统运维向更高水平发展。人工智能技术将突破现有应用局限，强化学习、迁移学习等先进算法将广泛应用于故

障诊断模型。强化学习能够使模型在与环境的交互中不断学习优化，提升对动态故障的处理能力；迁移学习则可解决小样本数据场景下的模型训练问题，提高模型对不同设备、不同工况的适应性。物联网技术将实现机电系统全要素、全流程的数据采集，通过大量智能传感设备构建全面的感知网络。海量的运行数据为人工智能模型提供充足的训练样本，两者形成互补。人工智能技术挖掘数据价值，物联网技术提供数据支撑，共同推动运维模式向智能化、自动化转型，实现故障的精准预测和高效处理。

5.3 绿色低碳维护优化

在绿色低碳发展理念的引领下，机电系统维护技术将融入更多环保元素，实现运维与环保的协同发展。维护技术的优化将更加注重节能降耗，通过精准的故障诊断与预测性维护，避免设备在故障状态下运行造成的能源浪费。在维护方案制定过程中，将优先选择环保型材料和节能型零部件，减少维护过程中有害物质的排放。同时，通过科学的维护延长设备使用寿命，降低设备更新频率，减少资源消耗。

6 结论

机电系统的稳定运行是工业生产与民生服务的重要保障，故障诊断与维护技术的发展对提升系统可靠性具有关键作用。本文通过对机电系统故障诊断与维护技术的系统研究，梳理了该领域的理论基础，分析了故障特征、诊断原理及维护技术的发展历程。重点探讨了传感技术、智能算法等关键诊断技术，以及预测性维护、数字化孪生等创新维护技术的应用价值。

参考文献

- [1] 李婷. 机电一体化技术在汽车故障诊断与健康管理系统中的应用[J]. 汽车维修技师, 2025, (18): 41-42.
- [2] 刘羽. 煤矿机电设备故障诊断系统的智能化研究[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(11): 36-38.
- [3] 刘冰迟. 基于深度学习的机电系统故障检测与自动修复方法[J]. 机电产品开发与创新, 2025, 38(05): 176-179.
- [4] 刘志强, 张育. 机电系统中的故障诊断与对策分析[J]. 电子技术, 2025, 54(05): 216-217.
- [5] 韩影, 高传磊, 王宇璐, 等. 输送机电液伺服装置分布式远程故障诊断专家系统优化设计[J]. 环境技术, 2025, 43(04): 127-132+137.