

机电设备的故障诊断与健康管理方法研究

沈泽贵

350821*****0470

摘要: 随着现代工业生产的不断发展,机电设备的可靠性与稳定性对生产效率和质量的影响日益显著。本文深入探讨了机电设备故障诊断与健康管理方法,分析了故障诊断技术的现状、健康管理的重要性以及两者结合的必要性。通过阐述基于传感器网络的故障监测、智能诊断算法的应用以及健康管理系统的的设计,本文旨在为机电设备的高效运行提供理论支持和实践指导,推动机电设备管理的智能化发展。

关键词: 机电设备;故障诊断;健康管理;智能算法;传感器网络

DOI: 10.64216/3080-1508.25.11.043

引言

在现代工业生产中,机电设备的稳定运行是保障生产效率和产品质量的关键。然而,机电设备在长期运行过程中不可避免地会出现各种故障,这些故障不仅会导致生产中断,还会增加维修成本和安全隐患。因此,及时准确地进行故障诊断和有效的健康管理对于提高设备的可靠性和使用寿命至关重要。近年来,随着传感器技术、智能算法和物联网技术的快速发展,机电设备的故障诊断与健康管理方法取得了显著进展。通过构建智能化的故障诊断系统和健康管理平台,可以实现对机电设备的实时监测、故障预警和健康评估,从而优化设备维护策略,降低维护成本,提高设备的运行效率和可靠性。

1 机电设备故障诊断技术的现状

1.1 基于振动信号分析的故障诊断

振动信号分析是机电设备故障诊断中应用最为广泛的技术之一。通过在设备关键部位安装振动传感器,可以实时采集设备运行过程中的振动信号。这些信号包含了设备运行状态的丰富信息,通过对振动信号进行时域分析、频域分析和时频域分析,可以提取出反映设备故障特征的参数,如振动幅值、频率、相位等。例如,时域分析中的峰值、均方根值等参数可以反映设备的振动强度;频域分析中的频谱图可以揭示设备的振动频率成分,有助于识别设备的故障模式。通过建立故障特征数据库和诊断模型,可以实现对设备故障的自动诊断和预警。

1.2 基于油液分析的故障诊断

油液在机电设备中起着润滑、冷却和传递动力等重要作用。通过对设备油液的化学成分、物理性质和污染

程度进行分析,可以获取设备内部磨损和故障的信息。油液分析技术主要包括光谱分析、铁谱分析、油液污染度分析等。光谱分析可以检测油液中的金属元素含量,通过分析金属元素的浓度变化,可以判断设备内部的磨损情况;铁谱分析则可以通过分离油液中的磨损颗粒,分析其大小、形状和成分,进一步确定设备的故障部位和程度;油液污染度分析可以检测油液中的杂质含量,评估油液的清洁度和设备的污染状况。

1.3 基于智能算法的故障诊断

随着人工智能技术的快速发展,基于智能算法的故障诊断方法逐渐成为研究热点。智能算法,如神经网络、支持向量机、遗传算法等,具有自学习、自适应和非线性映射能力,能够处理复杂的故障诊断问题。例如,神经网络可以通过学习大量的故障样本数据,建立设备故障特征与故障类型的映射关系,实现对未知故障的自动诊断;支持向量机通过寻找最优分类超平面,能够有效处理小样本、高维数据的分类问题,在故障诊断中具有较高的准确性和泛化能力;遗传算法可以通过模拟生物进化过程,优化故障诊断模型的参数,提高诊断模型的性能。

2 机电设备健康管理的重要性

2.1 提高设备可靠性与使用寿命

机电设备的健康管理通过实时监测设备的运行状态,评估设备的健康状况,预测设备的故障发展趋势,从而实现对设备的预防性维护。通过预防性维护,可以在设备故障发生前及时采取措施,避免设备的突发故障,提高设备的可靠性和使用寿命。例如,通过建立设备健康评估模型,根据设备的实时运行数据和历史维护记录,评估设备的健康状况,预测设备的剩余使用寿命,为设备的维护决策提供依据。

2.2 优化设备维护策略与降低维护成本

传统的设备维护方式主要依赖于定期维护和事后维修,这种方式存在维护成本高、维护效率低、设备故障率高等问题。机电设备的健康管理通过实时监测设备的运行状态,实现对设备的精准维护,优化设备的维护策略。通过健康管理系统,可以根据设备的实际运行状况和健康状况,制定个性化的维护计划,避免过度维护和不足维护。例如,通过设备健康评估模型,预测设备的故障发展趋势,合理安排设备的维护时间和维护内容,提高维护的针对性和有效性。通过优化设备维护策略,可以降低设备的维护成本,提高设备的运行效率和经济效益。

2.3 增强设备运行安全性与减少事故风险

机电设备的故障可能导致设备的突发停机,甚至引发安全事故,对人员生命和财产安全造成严重威胁。机电设备的健康管理通过实时监测设备的运行状态,及时发现设备的潜在故障,提前采取措施,避免设备的突发故障和事故的发生。例如,通过建立设备故障预警模型,根据设备的实时运行数据和历史故障数据,预测设备的故障风险,及时发出故障预警信号,提醒维护人员采取措施。通过增强设备的运行安全性,可以减少事故风险,保障人员生命和财产安全,提高企业的生产安全管理水平。

3 基于智能算法的故障诊断方法

3.1 神经网络在故障诊断中的应用

神经网络是一种模拟人脑神经元网络的计算模型,具有自学习、自适应和非线性映射能力。在机电设备故障诊断中,神经网络可以通过学习大量的故障样本数据,建立设备故障特征与故障类型的映射关系,实现对未知故障的自动诊断。例如,通过构建多层感知器神经网络,输入设备的振动信号、温度信号等故障特征数据,输出设备的故障类型和故障程度。神经网络在故障诊断中具有较高的诊断精度和适应性,但其也存在一些问题,如模型训练时间长、对样本数据的要求高、解释性差等。

3.2 支持向量机在故障诊断中的应用

支持向量机是一种基于统计学习理论的分类算法,通过寻找最优分类超平面,能够有效处理小样本、高维数据的分类问题。在机电设备故障诊断中,支持向量机可以通过学习少量的故障样本数据,建立设备故障特征与故障类型的分类模型,实现对未知故障的自动诊断。例如,通过构建支持向量机分类器,输入设备的振动信

号、油液分析数据等故障特征数据,输出设备的故障类型和故障程度。支持向量机在故障诊断中具有较高的准确性和泛化能力,但其也存在一些问题,如模型参数选择困难、计算复杂度高等。因此,需要进一步优化支持向量机的参数选择和计算方法,提高其在机电设备故障诊断中的应用效果。

3.3 遗传算法在故障诊断中的应用

遗传算法是一种基于生物进化理论的优化算法,通过模拟生物进化过程,优化问题的解。在机电设备故障诊断中,遗传算法可以通过优化故障诊断模型的参数,提高诊断模型的性能。例如,通过遗传算法优化神经网络的结构和权重参数,提高神经网络的诊断精度和收敛速度;通过遗传算法优化支持向量机的核函数参数和惩罚因子,提高支持向量机的分类性能。遗传算法在故障诊断中具有较强的全局搜索能力和优化性能,但其也存在一些问题,如计算时间长、对参数设置敏感等。因此,需要进一步优化遗传算法的参数设置和计算方法,提高其在机电设备故障诊断中的应用效果。

4 机电设备健康管理系统的构建

4.1 健康监测系统的构建

健康监测系统的构建需围绕设备全运行周期,搭建“感知 - 传输 - 处理”的一体化监测框架。首先根据机电设备的关键部件(如电机、轴承、传动系统)与运行参数(如温度、振动、电流、转速),部署适配的传感器(如振动传感器、温度传感器、电流传感器),确保实时采集设备运行数据;其次通过工业以太网、5G 等通信技术,将传感器数据稳定传输至数据处理中心,避免数据丢失或延迟;最后在处理中心搭建数据预处理模块,对采集的原始数据进行降噪、滤波、归一化处理,去除干扰信息,为后续健康评估提供准确、可靠的基础数据,实现对设备运行状态的实时掌控。

4.2 健康评估模型的建立

健康评估模型的建立需结合设备特性与运行数据,构建科学的健康状态评价体系。首先明确设备健康等级划分标准(如“良好 - 一般 - 预警 - 故障”四级),并确定各等级对应的参数阈值(如振动幅值、温度范围);其次选择适配的建模方法(如基于数据驱动的机器学习模型、基于机理的物理模型),通过训练数据集(历史运行数据、故障数据)优化模型参数,使模型能根据实时监测数据判断设备健康状态;同时需定期引入新的运行数据与故障案例对模型进行迭代更新,修正参数偏差,

提升模型对复杂工况、新型故障的适应能力，确保健康评估结果的准确性与时效性。

4.3 维护决策系统的开发

维护决策系统的开发需以健康评估结果为依据，实现维护方案的智能化生成与执行。系统需整合设备的历史维护记录、备件库存信息、生产计划等数据，结合健康评估得出的设备健康状态与故障风险，制定差异化维护策略——对“良好”状态设备制定定期巡检计划，对“预警”状态设备生成预防性维护方案（如更换易损件），对“故障”状态设备触发紧急维修流程；同时系统需具备方案优化功能，在满足设备健康需求的前提下，综合考虑维护成本、生产影响（如避开生产高峰期），选择最优维护时间与方式；此外还需支持维护过程的记录与追溯，自动更新设备维护档案，为后续维护策略优化提供数据支撑。

5 机电设备故障诊断与健康管理的未来发展趋势

5.1 智能化与自动化

未来机电设备故障诊断与健康管理的未来趋势将向深度智能化、全流程自动化发展。诊断层面，系统将集成更先进的智能算法（如深度学习、强化学习），具备自主学习能力——通过持续分析设备运行数据与故障案例，自动优化诊断模型，提升对隐性故障、早期故障的识别精度，减少人工干预；管理层面，将实现“监测 - 评估 - 决策 - 维护”的全流程自动化，从设备状态监测、健康等级判定，到维护方案生成、维护工单派发，再到维护效果验证，均由系统自主完成，无需人工介入；同时将结合数字孪生技术，构建设备虚拟模型，通过虚拟仿真模拟故障演化过程与维护效果，进一步提升诊断与管理的智能化水平。

5.2 多学科融合

多学科融合将成为故障诊断与健康管理技术突破的关键方向。未来将深度整合机械工程（设备结构机理）、电子信息（传感器与通信）、计算机科学（算法与数据处理）、材料科学（部件老化规律）、管理学（维护计划优化）等多学科知识——例如结合材料科学分析部件疲劳寿命，优化健康评估模型的参数设计；融合管理学中的资源调度理论，提升维护决策系统对备件、人员的统筹效率；同时将引入跨领域技术（如声学诊断、红外热成像），丰富故障诊断手段，突破单一技术的局限性，

实现对设备故障的多维度、全方位诊断，提升健康管理系统综合性能与适应性。

5.3 绿色化与可持续发展

绿色化与可持续发展将成为故障诊断与健康管理的价值导向。技术层面，将优化监测系统的能耗设计，采用低功耗传感器、节能型数据传输模块，减少系统运行过程中的能源消耗；管理层面，将通过精准的故障诊断与预防性维护，延长设备使用寿命，减少因过早报废导致的资源浪费；同时注重维护过程的环保性，在维护决策中优先选择绿色维护技术（如无油润滑维护、环保型清洗剂），减少维护过程中污染物（如废油、废液）的产生；此外还将推动设备全生命周期的健康管理，从设计、运行到报废阶段，通过科学管理提升设备资源利用率，助力制造业实现低碳、可持续发展目标。

6 结论

机电设备的故障诊断与健康管理的未来趋势是现代工业生产中保障设备可靠运行和提高生产效率的重要手段。通过基于传感器网络的故障监测、智能诊断算法的应用以及健康管理系统的集成设计，可以实现对机电设备的实时监测、故障预警和健康评估，从而优化设备维护策略，降低维护成本，提高设备的运行效率和可靠性。机电设备故障诊断与健康管理的未来发展趋势将朝着智能化、自动化、多学科融合和绿色化方向发展。因此，机电设备管理领域应重视故障诊断与健康管理技术的研究与应用，加强技术研发和创新，推动机电设备管理的智能化发展和可持续发展。

参考文献

- [1] 李珂. 智能技术的机电设备故障诊断措施[J]. 智慧中国, 2025, (S1): 41-42.
- [2] 闫兆星, 梁方方. 煤矿机电设备安装中的故障诊断与预防策略[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (16): 154-156.
- [3] 崔凯. 基于智能算法的水电站电气设备故障诊断与预测分析[J]. 电气技术与经济, 2025, (08): 392-394.
- [4] 王忠霞. 基于改进交替迁移学习法的泵站设备故障诊断模型构建[J]. 中国水能及电气化, 2025, (08): 12-17.
- [5] 史峰, 李林, 王海龙, 等. 煤矿掘进设备常见机电故障诊断与排除方法[J]. 煤炭科技, 2025, 46(03): 117-120.