

# 智能制造背景下机械设备故障诊断与预测维护技术研究

翟志远 王 晨

杭州华新机电工程有限公司余杭分公司 浙江 杭州 310030

**摘要:** 在智能制造背景下, 机械设备运维面临连续化、高效化新要求。本文详细阐述机械设备故障诊断核心技术, 涵盖信号采集与预处理、故障特征提取、智能诊断算法应用及故障类型识别; 深入剖析预测维护关键技术, 包括设备运行状态监测、故障趋势预测、维护策略制定及与智能制造系统融合。同时探讨运维技术优化方向, 如技术适配性、集成应用、运维效率及落地适配性优化。为智能制造中设备稳定运行与高效维护提供全面技术支持。

**关键词:** 智能制造; 机械设备; 故障诊断; 预测维护; 技术优化

引言: 智能制造推动制造业向自动化、高效化迈进, 机械设备作为生产基础, 其运行稳定性至关重要。传统运维模式依赖固有周期与经验判断, 难以满足智能制造连续化、高效化需求, 故障诊断滞后与维护决策主观成为制约生产稳定的关键因素。因此, 探索机械设备故障诊断与预测维护技术, 实现设备全生命周期智能管控, 成为提升制造业竞争力的重要课题。

## 1 智能制造与设备故障诊断、预测维护的关联

### 1.1 智能制造对设备运维的核心需求

智能制造依托多环节数据贯通与生产流程协同运转, 推动设备运行朝着连续化与高效化方向发展。设备运维需要贴合生产节拍调整响应节奏, 依托实时状态信息完成异常识别<sup>[1]</sup>。生产环节对设备稳定性提出更高要求, 运维工作需覆盖全生命周期运行过程。运维行为需与生产调度形成紧密衔接, 依托动态信息支撑决策制定。运维环节需要突破传统事后处理局限, 转向全过程状态管控, 保障生产链条稳定推进。

### 1.2 故障诊断与预测维护在智能制造中的定位

故障诊断与预测维护构成智能制造体系中设备保障的关键组成。故障诊断承担运行状态识别与异常定位功能, 为生产稳定提供基础保障。预测维护依托状态变化规律完成风险预判, 提前规划处置方案。两项技术共同支撑生产流程平稳推进, 减少非计划停机带来的生产中断。维护工作融入智能生产体系, 成为保障产能稳定与产品质量的重要支撑。运维环节与智能管控平台深度融合, 推动设备管理向精细化方向延伸。

### 1.3 智能制造技术对故障诊断及维护的支撑作用

智能制造领域的感知技术为设备状态监测提供数据基础, 实现运行参数全面采集。数据处理技术提升海量信息分析效率, 强化状态特征提取能力。智能算法为故障识别与趋势推演提供技术路径, 提升判断准确性。网

络传输技术保障状态信息高效传递, 实现跨区域数据共享。平台化管理整合分散运维资源, 构建统一管控体系, 推动诊断与维护工作朝着智能化方向持续升级。

## 1.4 传统运维模式与智能制造背景下运维模式的核心差异

传统运维多依赖固定周期执行维护任务, 依靠经验完成故障判断。智能制造背景下的运维依托实时数据开展工作, 依托算法完成状态分析。传统模式以故障处置为核心工作内容, 智能运维侧重风险前置管控。传统运维呈现分散化管理特征, 智能运维依托统一平台实现协同管控。传统模式缺少全流程数据支撑, 决策制定存在较强主观性, 智能运维依托完整数据链条支撑科学决策, 推动设备管理水平全面提升。

## 2 机械设备故障诊断核心技术

### 2.1 信号采集与预处理技术

信号采集是机械设备故障诊断的基础环节, 核心是通过各类传感器捕捉设备运行过程中产生的振动、温度、声发射、电流等多维度信号<sup>[2]</sup>。传感器选型需匹配设备运行特性与诊断需求, 常用振动传感器包括压电式、磁电式两种, 温度传感器以热电偶、红外测温元件为主, 声发射传感器则用于捕捉设备内部缺陷产生的弹性波信号。信号采集过程需控制采样频率与采样时长, 避免采样频率过低导致信号失真、采样时长不足影响特征捕捉。预处理技术用于消除原始信号中的干扰成分, 核心涵盖滤波、去趋势、信号归一化等操作, 其中滤波技术可剔除环境噪声与电磁干扰, 去趋势处理可消除设备正常运行趋势对故障信号的掩盖, 归一化处理则实现不同量级信号的统一分析, 为后续特征提取奠定可靠基础。

### 2.2 故障特征提取技术

故障特征提取是故障诊断的关键环节, 核心是从预处理后的信号中分离出能够表征设备故障状态的特征参

数。该技术依托信号分析理论,分为时域、频域、时频域三类提取方法。时域特征提取聚焦信号的幅值、峰值、有效值、峭度等参数,可快速反映设备运行的异常波动;频域特征提取通过傅里叶变换、功率谱分析等方法,将时域信号转换为频域信号,捕捉故障对应的特征频率,适用于旋转机械等周期性运行设备的故障识别;时频域特征提取结合时域与频域分析优势,通过小波变换、经验模态分解等方法,解决非平稳信号的特征提取难题,可有效捕捉设备瞬时故障产生的信号变化,提升故障特征的辨识度。

### 2.3 智能诊断算法应用

智能诊断算法是实现故障精准判断的核心支撑,依托智能制造背景下的人工智能技术发展,形成基于机器学习、深度学习的两大类应用体系。机器学习算法包括支持向量机、决策树、随机森林等,通过对历史故障数据的训练,构建故障特征与故障状态的映射关系,实现故障的快速分类与判断,适用于中小规模故障数据的诊断场景。深度学习算法涵盖卷积神经网络、循环神经网络等,具备强大的特征自主学习能力,可直接对原始信号或提取的特征参数进行深度挖掘,无需人工干预特征筛选,适用于复杂设备、多故障耦合场景的诊断需求,有效提升故障诊断的智能化水平与准确率,是当前故障诊断技术的主要发展方向。

### 2.4 故障类型识别技术

故障类型识别是故障诊断的最终环节,核心是结合特征参数与智能诊断算法,明确设备故障的具体类型、发生部位及严重程度。该技术需建立完善的故障类型数据库,涵盖机械设备常见的磨损、疲劳、断裂、松动、失衡等故障模式,明确不同故障类型对应的特征规律与信号表现。通过将提取的故障特征与数据库中的标准特征进行比对,结合智能算法的判别结果,实现故障类型的精准识别。同时,故障类型识别需联动信号采集与特征提取环节,根据识别结果反向优化采集参数与特征提取方法,形成“采集-预处理-提取-识别”的闭环流程,确保故障识别的准确性与可靠性,为后续预测维护提供明确的技术支撑。

## 3 机械设备预测维护关键技术

### 3.1 设备运行状态监测技术

设备运行状态监测技术是预测维护的前提,核心是实现设备全生命周期运行参数的持续捕捉与动态跟踪<sup>[9]</sup>。该技术整合智能制造领域的感知技术与网络传输技术,通过部署分布式传感器阵列,实时采集设备振动、温度、油液性能、电压电流等关键运行参数,打破传统监测的时空

局限。监测过程需兼顾数据采集的实时性与准确性,通过自适应采样调节机制,根据设备运行负荷变化调整采集频率,避免无效数据冗余与关键数据缺失。同时,依托边缘计算技术对采集数据进行实时初步处理,筛选出异常数据并快速反馈,为后续趋势预测提供及时、可靠的数据支撑,实现设备运行状态的动态感知与精准把控。

### 3.2 故障趋势预测技术

故障趋势预测技术是预测维护的核心,核心是基于设备运行历史数据与实时状态数据,推演设备故障发展规律与演变趋势。该技术依托时间序列分析、智能算法等理论方法,构建故障趋势预测模型,实现设备剩余使用寿命与故障发生时间的精准预判。常用预测方法包括基于统计学习的时间序列预测、基于深度学习的趋势推演等,其中时间序列分析可捕捉设备运行参数的变化规律,适用于简单工况下的趋势预测;深度学习方法可挖掘多维度数据间的内在关联,有效处理复杂工况下的非线性变化,提升趋势预测的精准度。预测过程需结合设备运行特性,不断优化模型参数,修正预测偏差,确保预测结果能够真实反映设备故障发展态势。

### 3.3 维护策略制定技术

维护策略制定技术是预测维护落地的关键,核心是结合故障趋势预测结果、设备运行需求与生产调度计划,制定科学合理的维护方案。该技术需平衡维护成本与设备可靠性,避免过度维护造成的资源浪费,同时防止维护不足导致的设备故障与生产中断。维护策略制定需依托设备全生命周期管理理论,明确维护时机、维护内容、维护流程与资源配置,针对不同故障类型与设备重要程度,制定差异化维护方案。通过建立维护决策模型,综合考量设备运行状态、故障风险等级、生产任务优先级等因素,实现维护策略的动态优化,确保维护工作有序开展,提升设备运行可靠性的同时降低运维成本。

### 3.4 预测维护与智能制造系统的融合技术

预测维护与智能制造系统的融合技术,核心是打破预测维护模块与智能制造各环节的信息壁垒,实现数据贯通与流程协同。该技术依托工业互联网平台,将预测维护数据与生产调度、设备管理、质量管控等环节的数据深度融合,构建统一的智能运维管控平台。通过数据接口标准化设计,实现预测维护系统与智能制造系统的数据双向交互,使预测维护结果能够直接支撑生产调度调整与设备管理优化。同时,融合技术可实现维护流程与生产流程的协同联动,根据预测维护计划合理安排生产任务,避免维护工作与生产任务冲突,推动预测维护融入智能制造全流程,提升整个生产体系的稳定性与智

能化水平。

#### 4 智能制造背景下运维技术优化方向

##### 4.1 技术适配性优化

技术适配性优化聚焦运维技术与智能制造设备、工况的精准匹配，核心是解决不同类型机械设备、复杂生产场景下运维技术的适配短板<sup>[4]</sup>。优化过程需依托设备全生命周期特性，结合不同设备的运行规律、结构差异与故障特点，调整运维技术的应用参数与实施方式。针对高端智能设备的复杂运行工况，优化传感器部署方式与信号采集逻辑，提升数据采集的针对性；针对不同行业生产场景的环境差异，优化故障诊断与预测模型的适配能力，避免技术应用与实际工况脱节。同时，结合智能制造技术的迭代升级，同步优化运维技术的核心参数，确保运维技术能够紧跟设备升级与生产模式变革步伐，提升技术应用的适配度与适用性。

##### 4.2 技术集成应用优化

技术集成应用优化核心是打破各类运维技术的独立应用壁垒，实现故障诊断、预测维护、状态监测等技术的深度融合，构建一体化智能运维技术体系。优化重点在于梳理各类技术的核心功能与应用场景，明确技术间的协同逻辑，消除技术间的数据孤岛与流程脱节问题。通过工业互联网平台搭建技术集成载体，实现信号采集、特征提取、故障诊断、趋势预测、维护执行等环节的技术联动，使各环节技术形成有机整体。同时，整合智能制造领域的大数据、人工智能、边缘计算等技术，融入运维技术体系，强化技术间的协同互补，提升运维技术的综合效能，推动运维工作从分散化、碎片化向集成化、一体化转变。

##### 4.3 运维效率提升技术优化

运维效率提升技术优化以缩短运维响应时间、降低运维成本为核心，依托智能技术升级实现运维流程的简化与效能提升。优化方向聚焦数据处理效率与运维决策效率两方面，通过优化数据预处理算法，提升海量运维数据的分析速度，快速筛选关键信息，减少无效数据对运维决策的干扰。借助智能决策算法的优化升级，实现故障诊断、趋势预测与维护方案制定的自动化，减少人工干预，提升决策的及时性与准确性。同时，优化运维流程的衔接逻辑，简化维护计划制定、资源调配、现场

执行等环节的流程，依托数字化技术实现运维过程的可视化管控，提升运维工作的流转效率，实现运维资源的合理配置，进一步降低运维成本。

##### 4.4 技术落地适配性优化

技术落地适配性优化核心是解决运维技术从理论应用到实际落地的衔接难题，确保技术能够贴合企业实际生产需求，具备可操作性与可推广性。优化过程需结合企业的生产规模、技术水平、运维能力，调整运维技术的实施门槛与操作流程，避免技术过于复杂导致落地困难<sup>[5]</sup>。针对不同规模企业的运维资源差异，优化技术的部署成本与实施周期，为中小企业提供轻量化、低成本的运维技术方案，推动技术的广泛落地。同时，建立技术落地后的动态优化机制，根据企业生产工况的变化、设备的升级迭代，持续调整技术应用方案，解决落地过程中出现的适配问题，确保运维技术能够真正发挥作用，支撑企业智能制造水平的提升。

#### 结束语

在智能制造浪潮下，机械设备故障诊断与预测维护技术是保障生产稳定、提升竞争力的关键。本文深入剖析了故障诊断核心技术、预测维护关键技术，并探讨了运维技术在适配性、集成应用、效率提升及落地适配性等方面的优化方向。随着智能制造技术的持续演进，相关运维技术也将不断创新升级，为制造业智能化转型提供更为坚实的技术支撑，助力企业实现高效、稳定、可持续发展。

#### 参考文献

- [1]赵成.故障诊断技术在煤矿机械设备中的应用研究[J].机械管理开发,2025,40(4):199-201.
- [2]钟志刚.机械设备故障诊断与预测性维护技术的应用研究[J].电脑应用文粹,2024(10):394-396.
- [3]郑兰.自动化机械设备在定制化智能制造中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(09):22-24.
- [4]董飞.基于智能制造的机械设备自动控制系统研究[J].今日制造与升级,2025,(06):113-115.
- [5]闵彬,李哲,姚晓龙,等.智能制造环境下设备工程机械制造的数字化转型路径研究[J].造纸装备及材料,2025,54(05):73-75.