

# 机械设备智能化改造的技术研究

张维东<sup>1</sup> 赵 艺<sup>2</sup>

1. 中海油研究总院北京 北京 100028

2. 中国寰球工程有限公司北京分公司 北京 100028

**摘要:** 机械设备智能化改造融合现代信息技术, 赋予设备自主感知、决策与执行能力。本文阐述智能化改造的基础理论, 包括概念内涵与相关技术基础; 分析活塞式压缩机、离心泵等典型设备智能化现状及设备状态监测、智能控制等关键技术; 介绍系统架构与设计方法, 涵盖总体架构、硬件及软件设计; 阐述实施步骤与策略, 涉及需求分析、方案制定、过程管理及调试优化。为机械设备智能化改造提供全面技术参考。

**关键词:** 机械设备; 智能化改造; 关键技术; 系统架构; 实施策略

引言: 在工业生产不断追求高效、精准与灵活的当下, 机械设备智能化改造成为提升企业竞争力的关键。传统机械设备在运行效率、故障处理等方面存在局限, 难以满足现代生产需求。智能化改造融合多种先进技术, 赋予设备自主感知、决策与执行能力。深入研究其技术路径, 对推动机械设备升级, 提升生产系统柔性及效率, 具有重要现实意义。

## 1 机械设备智能化改造的基础理论

### 1.1 智能化概念与内涵

智能化是机械设备融合现代信息技术实现类人智能行为的演进过程, 其核心在于赋予设备自主感知环境、分析决策与执行控制的能力<sup>[1]</sup>。在机械设备领域, 智能化体现为多维度能力集成。自主感知能力通过部署各类传感器实现设备运行状态、环境参数的实时采集; 自主决策能力基于数据分析与算法模型, 使设备能够根据工况变化自动调整运行策略; 自主执行能力则通过智能控制算法驱动执行机构, 完成精准动作调节。这种智能进化使设备从被动执行向主动适应转变, 显著提升生产系统的柔性及效率。

### 1.2 相关技术基础

传感器技术是智能化改造的数据基石, 温度传感器通过热敏元件阻值变化实现温度测量, 压力传感器利用压电效应或应变效应转换压力信号, 位移传感器采用电感、电容或光电原理检测位置变化。这些传感器构成的监测网络为设备健康评估提供原始数据支撑。自动控制技术构建了设备智能调节的闭环系统, 开环控制通过预设指令驱动执行机构, 闭环控制则引入反馈环节形成动态修正机制, PID控制算法在电机调速、温度控制等场景中广泛应用。人工智能技术为设备注入决策智能, 机器学习通过历史数据训练预测模型, 深度学习利用神经网

络处理复杂非线性问题, 专家系统集成领域知识实现故障推理, 这些技术共同支撑起设备智能诊断与优化决策。通信技术编织起设备互联的网络, 有线以太网以高带宽保障车间级数据传输, 无线Wi-Fi、蓝牙、ZigBee等技术突破物理连接限制, 实现移动设备与传感节点的灵活组网, 为设备协同作业与远程运维奠定基础。

## 2 典型机械设备智能化现状及关键技术

### 2.1 典型机械设备智能化现状

(1) 活塞式压缩机。目前, 部分先进的活塞式压缩机已实现智能化升级。在状态监测方面, 安装了多种传感器, 可实时监测压缩机的振动、温度、压力等关键参数, 通过数据采集系统将数据传输至监控平台。一些压缩机还配备了智能控制系统, 能够根据运行工况自动调整压缩机的运行参数, 如排气量、压力等, 以提高运行效率和节能效果。同时, 利用远程通信技术, 可实现对压缩机的远程监控和故障诊断, 运维人员能够及时了解设备运行状态, 提前发现潜在问题。(2) 离心泵。离心泵的智能化发展也取得了一定成果。在状态监测上, 通过在泵体关键部位安装传感器, 能够实时监测泵的流量、扬程、振动、温度等参数。智能控制系统可根据监测数据自动调整泵的运行状态, 例如根据流量需求自动调节泵的转速, 实现节能运行。部分离心泵还具备故障预警功能, 通过对历史数据和实时数据的分析, 能够提前预测泵可能出现的故障, 如轴承磨损、叶轮堵塞等, 并及时发出警报, 提醒运维人员进行处理。

### 2.2 设备状态监测与故障诊断技术

多传感器信息融合技术聚焦于提升状态监测精度, 通过研究时空校准算法解决异构传感器数据的时间同步与空间配准问题, 采用加权融合、卡尔曼滤波等方法对振动、温度、压力等多维度数据进行综合处理, 有效抑制

单一传感器噪声干扰,显著增强状态监测的鲁棒性。故障特征提取与识别方法涵盖信号处理与模式识别领域,小波变换、经验模态分解等时频分析技术可有效提取故障特征频率成分,支持向量机、深度学习等分类算法通过训练历史故障样本实现故障类型的精准判别,特征选择与降维技术则能提升模型训练效率<sup>[2]</sup>。故障预测与健康管理技术构建了设备退化评估框架,基于物理模型与数据驱动的混合建模方法建立设备健康指标体系,运用生存分析、粒子滤波等算法预测剩余使用寿命,结合设备运行工况动态调整维护阈值,实现从被动维修向预测性维护的转变。

### 2.3 智能控制技术

自适应控制技术通过在线参数估计与实时调整机制,使控制器能够自动补偿负载变化、环境扰动等不确定性因素,模型参考自适应控制与自校正控制等典型方法已在数控机床、工业机器人等领域得到广泛应用,在活塞式压缩机和离心泵的智能控制中也有一定的应用潜力。模糊控制技术将专家经验转化为模糊规则库,通过隶属度函数与模糊推理机制处理非线性控制问题,在温度控制、液压系统调节等场景中展现出良好的动态响应特性,可用于对压缩机和泵的温度、压力等参数的控制。神经网络控制技术利用人工神经网络强大的非线性映射能力,通过离线训练与在线学习相结合的方式构建智能控制器,径向基函数网络、循环神经网络等结构在电机调速、机器人轨迹规划等任务中实现了高精度控制,也可应用于压缩机和泵的智能控制,提高其运行的稳定性和效率。

## 3 机械设备智能化改造的系统架构与设计方法

### 3.1 智能化改造系统总体架构

机械设备智能化改造需构建层次分明的系统架构,涵盖感知层、网络层、平台层与应用层。感知层作为数据采集前端,通过部署各类传感器实现设备状态信息全面感知,包括振动、温度、压力等关键参数,在活塞式压缩机和离心泵等设备中,感知层传感器数量根据设备复杂程度可达20-30个。网络层承担数据传输任务,采用有线与无线结合的通信方式,构建稳定可靠的数据传输通道,确保感知层采集的数据能实时上传至平台层,车间内网络传输速率可达100Mbps-1000Mbps。平台层作为核心数据处理中枢,集成数据清洗、存储、分析与挖掘功能,通过云计算与边缘计算协同工作,实现海量数据高效处理,其可处理的数据量可达每天1TB-10TB。应用层面向最终用户提供智能化服务,包括设备状态可视化监控、故障预警与诊断、生产过程优化决策等功能模块,形成完整智能化改造闭环。各层级间通过标准化接口实现数据

交互,感知层与网络层通过工业以太网或无线通信协议连接,网络层与平台层采用MQTT或OPCUA等工业协议传输数据,平台层与应用层则通过API接口实现功能调用,确保系统整体高效协同运行。

### 3.2 硬件系统设计

硬件系统设计需围绕数据采集、控制执行与通信传输三大核心功能展开。传感器选型应基于设备监测需求,针对不同物理量选择专用传感器,如加速度传感器用于振动监测,红外温度传感器用于温度测量,压力变送器用于液压系统监测,在活塞式压缩机和离心泵中,压力变送器数量通常根据设备规模为2-4个。布局设计需考虑设备结构特点,在关键部件表面或内部合理布置传感器,确保监测数据能够真实反映设备运行状态。控制器设计需根据控制精度与响应速度要求,选择PLC或工业单片机作为核心控制单元,设计模块化控制电路,配置足够数量的输入输出接口,并预留扩展接口以适应未来功能升级,一个中等复杂度的控制器输入输出接口数量可达50-100个。通信模块设计需兼顾传输速率与可靠性,短距离通信采用工业以太网或CAN总线,长距离通信选用4G/5G无线模块或LoRa低功耗广域网技术,确保设备与上位机、其他设备间的稳定数据交互,在一个跨区域设备互联场景中,无线通信模块的传输距离可达1km-10km。

### 3.3 软件系统设计

软件系统设计需构建分层架构,底层操作系统选择需平衡实时性与资源占用,关键控制环节采用RTOS实时操作系统确保指令及时响应,非实时任务则可部署嵌入式Linux系统,RTOS实时操作系统的任务响应时间可控制在1ms-10ms以内。应用程序开发应采用模块化设计方法,将状态监测、故障诊断、智能控制等功能封装为独立模块,通过统一接口实现数据交互<sup>[3]</sup>。状态监测模块需实现多参数实时显示与历史趋势分析,故障诊断模块应集成基于规则推理与机器学习的混合诊断算法,智能控制模块需支持PID控制与模糊控制等多种算法切换。数据库设计需采用时序数据库与关系数据库相结合的方案,时序数据库存储设备运行产生的海量监测数据,关系数据库存储设备台账、故障记录等结构化数据,通过数据仓库技术实现多源数据融合分析,为生产决策提供有力的数据支撑。

## 4 机械设备智能化改造的实施步骤与策略

### 4.1 改造需求分析

开展智能化改造前需对现有机械设备进行全面评估,重点分析设备运行效率、故障频率、维护成本等关键指标。通过收集设备历史运行数据,识别频繁发生故障的

部件与系统环节,结合生产工艺要求确定智能化改造的优先级。需求分析应涵盖功能需求与性能需求两个维度,功能需求包括设备状态实时监测、故障预警、远程控制等基础功能,以及自适应调节、生产数据追溯等高级功能;性能需求则需明确系统响应时间、数据采集精度、通信可靠性等量化指标,系统响应时间要求通常在1s-5s以内,数据采集精度误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内。此阶段需组织设备管理部门、生产部门与信息技术部门联合研讨,确保需求分析结果能够准确反映企业实际生产需求,为后续改造方案制定提供可靠依据。

#### 4.2 改造方案制定

基于需求分析结果构建分层改造方案,技术选型需兼顾成熟度与先进性,优先选择工业领域广泛应用的技术标准。系统架构设计应遵循模块化原则,将感知层、控制层、执行层进行解耦设计,便于后期功能扩展与维护升级。硬件配置需根据监测参数类型选择专用传感器,控制单元选型应满足实时性要求,通信模块需支持多种工业协议。软件配置应采用微服务架构,将状态监测、数据分析、控制决策等功能开发为独立服务模块,通过服务总线实现数据交互。方案制定过程中需开展技术可行性论证,组织行业专家对关键技术路线进行评审,确保改造方案技术路线可行、经济合理,技术可行性论证需邀请3-5位行业专家参与。

#### 4.3 改造实施过程管理

项目进度管理需采用甘特图工具编制详细计划,明确各阶段交付物与验收标准,建立周例会制度跟踪进度偏差。质量管理应贯穿改造全过程,硬件选型阶段需验证供应商资质与产品认证,软件开发阶段需执行代码审查与单元测试,系统集成阶段需开展联合调试与压力测试。风险管理需建立风险登记册,对技术难题攻关、供应链中断、人员技能不足等潜在风险制定应对预案,通

过预留技术缓冲期、建立备选供应商库、开展专项技能培训等措施降低风险影响。实施过程中应保留完整过程文档,为后续系统运维与功能升级提供基础资料,过程文档应包含至少10-20份关键文档。

#### 4.4 改造后调试与优化

系统调试应按照单机调试、联机调试、整机调试的顺序逐步开展,重点验证传感器数据准确性、控制逻辑正确性、通信稳定性等关键指标。性能优化需基于实际运行数据,采用A/B测试方法对比不同控制参数下的设备效能,运用机器学习算法对历史故障数据进行挖掘分析,持续优化故障诊断模型<sup>[4]</sup>。此阶段应建立性能基准线,定期开展系统健康检查,根据生产需求变化动态调整系统配置,确保智能化改造效果能够长期保持,性能健康检查周期通常为每月1-2次。

#### 结束语

机械设备智能化改造是一项复杂且系统的工程,涵盖多领域技术与多环节流程。从基础理论到关键技术,从系统架构到实施策略,每个环节都紧密相连、相互影响。通过科学的需求分析、合理的方案制定、严格的过程管理以及持续的调试优化,可确保改造效果达到预期。成功实施智能化改造,能显著提升设备性能与生产效率,为企业发展注入强大动力,推动工业生产迈向新高度。

#### 参考文献

- [1]王德强.机械设备智能化改造的技术路径[J].中国高科技,2024(17):28-30.
- [2]洪可迪.基于机械技术的储运设备智能化改造与升级研究[J].中国储运,2024(8):189-190.
- [3]张林.超期港口机械设备的修复与智能化改造分析[J].设备管理与维修,2024(4):76-78.
- [4]陈强,王勇,吴迪清.港口机械设备智能化改造策略分析[J].凿岩机械气动工具,2025,51(4):206-208.