

机械工程中液压系统故障诊断与智能维护方法研究

邹 义

四川康贝德新材料有限公司 四川乐山

【摘要】 液压系统作为机械工程关键动力装置，其运行稳定性直接关系到设备性能与生产效率。随着系统结构复杂化和使用环境多样化，传统故障诊断方法在精准性与实时性方面面临挑战。融合传感监测技术、信号处理方法与人工智能算法的智能维护手段，已成为提升液压系统运行可靠性的重要方向。围绕液压系统常见故障类型与成因，构建基于多源信息融合的智能诊断模型，并引入预测性维护策略，实现故障的早期预警与动态干预。研究结果表明，智能维护手段可显著提升故障识别准确率与维护响应效率，具有广阔的工程应用前景与推广价值。

【关键词】 液压系统；故障诊断；智能维护；信息融合；预测性维护

【收稿日期】 2025 年 1 月 23 日 **【出刊日期】** 2025 年 2 月 26 日 **【DOI】** 10.12208/j.jer.20250081

Research on fault diagnosis and intelligent maintenance methods of hydraulic systems in mechanical engineering

Yi Zhou

Sichuan Kangbeide New Materials Co., Ltd, Leshan, Sichuan

【Abstract】 As a key power unit in mechanical engineering, the operational stability of hydraulic systems is directly related to equipment performance and production efficiency. With the increasing complexity of system structures and diversification of usage environments, traditional fault diagnosis methods face challenges in terms of accuracy and real-time performance. Intelligent maintenance methods that integrate sensor monitoring technology, signal processing techniques, and artificial intelligence algorithms have become an important direction for improving the operational reliability of hydraulic systems. This study focuses on the common types of faults and their causes in hydraulic systems, constructs an intelligent diagnostic model based on multi-source information fusion, and introduces predictive maintenance strategies to achieve early warning and dynamic intervention for faults. The research results indicate that intelligent maintenance methods can significantly improve fault identification accuracy and maintenance response efficiency, offering broad prospects for engineering application and promotion value.

【Keywords】 Hydraulic system; Fault diagnosis; Intelligent maintenance; Information fusion; Predictive maintenance

引言

液压系统广泛应用于工程机械、制造装备及自动化系统中，是实现高功率传递与精密控制的核心组件。随着工业智能化进程加快，对液压系统的运行安全性与维护效率提出更高要求。传统基于经验的故障诊断方式已难以适应复杂工况下的高效管理需求。借助人工智能、大数据与传感技术的发展，构

建智能化、预测性的故障诊断与维护体系，已成为机械工程领域的重要技术突破口，对保障设备稳定运行与提升运维效能具有重要意义。

1 液压系统故障特征分析与成因识别

液压系统作为机械工程中实现能量转换与传递的重要部件，其运行状态受多种因素影响，常见故障表现出明显的多样性与隐蔽性。典型故障包

括压力异常、液压元件磨损、油液污染、执行机构响应滞后、系统泄漏及控制失灵等，这些问题不仅削弱设备性能，还可能导致整机运行中断^[1]。故障特征通常以系统输出不稳定、动作迟缓、温升过快或噪声异常等形式出现，需通过精细化指标监测与状态识别实现精准定位。

故障产生的根源往往涉及机械、液压、控制与环境等多方面因素交互影响。液压油劣化及污染颗粒超标会加速元件磨损并引发卡滞；系统密封结构老化或材料选型不当容易造成泄漏问题；长时间高负荷运行使阀类元件疲劳失效，进而影响系统流量与压力稳定性；而控制策略未能及时适应工作负载变化，也可能导致调节失效与执行迟缓，高温高湿、粉尘严重等恶劣环境条件亦会加剧系统失效风险，缩短使用寿命。

在新技术驱动下，液压系统故障呈现由局部单一故障向多点复合故障演变的趋势，传统经验型判断方式已难以满足高可靠性与高响应性的工程需求^[2]。采用传感器实时监测液压参数变化趋势，结合信号处理算法识别早期异常特征，可有效提升系统对复杂故障的识别能力。构建以运行数据驱动的多因子分析框架，有助于深层挖掘故障间的关联机制，实现对系统运行状态的动态评估与成因追溯，为后续智能维护提供可靠依据。

2 故障诊断技术的智能化演进路径

传统诊断方法依赖操作人员的经验积累与故障现象比对，虽在单一故障情境下具有一定适用性，但在面对复杂系统结构、多工况环境及非线性动态行为时，其准确性与适应性显著受限^[3]。随着液压系统逐渐向高精度、高负载及高频率方向发展，传统手段在诊断效率与时效性方面已无法满足现代机械工程对高可靠性与连续运行的技术要求。

现代诊断技术开始引入信号采集与分析手段，对液压系统中的压力、流量、温度、振动等关键参数进行实时监测，并利用频谱分析、小波变换、经验模态分解等方法提取故障特征信号^[4]。这一阶段实现了从现象观察向数据量化的转变，为智能化诊断提供了技术基础，面对大量非结构化与噪声干扰数据，传统信号处理仍存在特征提取精度不足、模型泛化能力差等问题，限制了其在复杂工程场景中的推广应用。随着人工智能、大数据与工业互联网技术的

不断发展，液压系统故障诊断逐步迈入深度智能化阶段。机器学习算法在模型构建方面展现出较强的自适应能力，支持向量机、随机森林、神经网络等技术广泛应用于故障识别与分类中，实现了多类型、多层级故障的自动化判断。基于深度学习的诊断框架通过多层神经网络提取高维数据中的潜在特征关系，在处理动态非线性系统和多变量耦合特征时具备更强的鲁棒性与泛化能力。

当前发展趋势已不再局限于静态故障检测，而是向故障趋势预测与健康管理的延伸。通过构建液压系统运行状态数据库，融合时间序列分析、状态识别与剩余寿命预测技术，可实现从被动维修向主动维护转变^[5]。基于边缘计算与物联网平台的智能诊断架构，使数据处理更贴近设备现场，有效降低传输延迟与网络负荷，提高诊断响应效率。多源数据融合技术的引入，也为构建全局感知、动态反馈的闭环控制机制提供支持，推动故障诊断从局部点式识别向系统全景感知发展。

3 多源信息融合在液压系统智能维护中的应用机制

液压系统智能维护的核心在于对设备状态的准确感知与预测性干预，而多源信息融合技术正是支撑这一能力提升的关键支柱。由于液压系统运行环境复杂、组成部件多样，单一信息源往往无法全面反映系统状态^[6]。多源信息融合通过整合压力、温度、流量、振动、噪声、电流等多维传感数据，实现系统运行状态的全景感知，为故障识别、状态评估与健康预测提供更加丰富和精准的数据支持。信息融合不仅体现在数据维度的扩展，更关键在于其处理逻辑的层次性与协同性。通过在感知层进行原始数据的清洗与预处理，利用滤波、归一化等技术去除噪声与冗余信息，保障输入数据的有效性。

在特征层融合中，采用小波包分解、主成分分析、信息熵分析等方法提取多源信号的关键特征参数，以构建具备判别能力的特征向量集合。决策层融合则基于模糊推理、贝叶斯网络、D-S 证据理论等算法实现对多个特征结果的综合判断，提升诊断决策的稳定性与准确性。智能维护系统中的多源融合应用不仅依赖传感器技术的进步，还需要数据处理平台的支持^[7]。随着边缘计算与工业互联网架构的应用，数据融合逐步从集中式处理向分布式协同转

变,实现设备端实时分析与云端模型优化的双向互动。在这种体系下,局部故障可在设备本地实现快速识别,严重故障趋势则由云端模型进行深度学习与全局调度,从而提高了故障响应的及时性与维护策略的前瞻性。

不同运行条件下的液压系统,其信息特征表现具有差异性,需通过动态融合机制适应不同工况需求,引入自适应加权策略,根据实时数据质量与历史可靠性对不同信息源赋权,提升融合结果的鲁棒性,结合工况识别与环境感知模块,可实现融合逻辑的实时切换与自我修正,使维护策略更加灵活精准,避免过度维修或误判带来的资源浪费与风险扩大。基于多源信息融合的智能维护方式,不仅提升了液压系统在故障预测、风险预警与运行优化方面的能力,也推动维护策略从周期性计划向状态驱动转型,契合“少停机、低能耗、高效率”的现代制造理念。在保障设备持续运行安全的进一步拓宽了智能制造系统中液压模块的协同应用边界,展现出高度融合化与智能化的技术发展趋势。

4 基于智能诊断模型的液压系统工程维护优化实践

液压系统作为工程装备中的关键执行机构,其运行状态直接关系到整体作业效率与系统可靠性。在高强度、连续化的工业生产场景中,常规维护手段往往存在响应滞后、干预粗放、成本控制不力等问题^[8]。基于智能诊断模型的工程维护优化实践,旨在借助人工智能算法与数据驱动机制,构建覆盖故障识别、状态监测、趋势预测与维护决策的完整闭环体系,实现液压系统运维方式的系统革新。智能诊断模型通过对海量运行数据进行学习与训练,能够精准捕捉系统内部的动态特征变化,并有效识别潜在异常模式。

在实践应用中,卷积神经网络、长短期记忆网络、图神经网络等深度学习架构被广泛应用于液压系统的状态分类与趋势预测任务中。通过多维度信息特征输入模型,诊断系统可对当前运行状态进行实时判断,并预测未来一段时间内的风险演化趋势,为工程决策提供量化支持^[9]。维护策略的优化不再依赖人工设定的固定周期,而是转向对健康状态的动态评估和风险等级的分级响应。基于模型输出的预测结果,可将液压系统运行状态划分为正常、预

警、轻微异常和严重异常等不同等级,并据此制定差异化的干预策略。例如在轻微异常阶段实施预防性保养,在严重异常前进行计划性停机检修,有效避免突发故障造成的设备损毁与生产中断。此类基于预测与风险评估的智能维护模式,在保障系统安全运行的显著降低了维护资源投入与运维成本。

智能诊断模型的部署亦需与工程场景高度融合,建立与设备控制系统、数据采集模块、云边协同平台的高效联动机制。通过嵌入式运算单元实现本地诊断、边缘分析与实时控制联动,既能提高响应速度,又增强模型在复杂工况下的适应性与稳定性,在大型工程项目中,通过集中式监控平台进行多系统运行状态的统一管理与维护调度,形成分布式智能协作体系,提升整体运维管理的科学性与协同性。在新型制造理念推动下,智能诊断模型所支撑的液压系统工程维护优化实践,已从设备层走向系统层,从局部优化迈向整体协同,具备跨行业适用能力与可持续发展潜力。未来随着模型算法的持续进化与工业数据体系的完善,该模式将在更多高精尖工程装备中实现深度嵌入,推动液压技术从传统机械属性向数字化、智能化、网络化全面转型。

5 结语

液压系统在机械工程中具有关键作用,面对运行环境日益复杂与故障形式多样化,传统维护模式已难以满足高效管理需求。通过故障特征识别、智能诊断模型构建以及多源信息融合的应用,构建出面向工程实践的智能维护体系,不仅提升了故障识别与响应能力,也推动维护策略向精准化、预测化方向转型。推动液压系统故障诊断与智能维护的深入融合,将成为机械工程智能化发展的重要支撑。

参考文献

- [1] 曾行健,丁悦,汤清源,等.基于BP神经网络的工程机械液压系统自动故障诊断研究[J].机床与液压,2025,53(02):165-170.
- [2] 潘虎.浅谈工程机械液压系统故障诊断及维修技术[J].中国设备工程,2024,(05):170-172.
- [3] 董彬.基于工程机械液压系统运行中的故障诊断技术研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(02):111-113.
- [4] 刘青苑.工程机械液压传动系统故障分析与维护方案研究[J].南方农机,2023,54(24):155-157+165.

- [5] 李雪谊,葛智学.工程机械液压系统故障诊断及维修思路[J].机械管理开发,2023,38(04):205-207.
- [6] 郑胜尧.工程机械液压传动系统故障诊断及排除对策[J].建筑机械化,2023,44(03):93-95.
- [7] 赵宇奇,张旭,李亚航,等.矿山机械液压系统故障分析[J].能源研究与管理,2023,15(01):162-166+172.
- [8] 史林甫.交通工程机械液压传动系统故障原因分析[J].四

川建材,2022,48(10):216-218.

- [9] 周多虎.工程机械液压系统的现场故障诊断与维修技术研究[J].内燃机与配件,2021,(22):108-110.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

