

# Automotive mechanical fault diagnosis technology and intelligent early warning system development

Yanfeng Xiong

Ordos Vocational College, Ordos, Inner Mongolia, 017010, China

## Abstract

With the continuous development of the automotive industry, the complexity and integration of the automotive mechanical system is increasing day by day, and the demand for fault diagnosis and early warning technology is becoming more and more urgent. Traditional fault diagnosis methods rely on manual experience, which has low diagnostic efficiency and lack of reliability of results, etc. Modern fault diagnosis technology integrates automatic control and intelligent algorithm, making the diagnosis accuracy and efficiency have been greatly improved. How to build an efficient and intelligent automotive mechanical fault warning system is still facing many challenges. This paper focuses on the development of automotive mechanical fault diagnosis technology and intelligent early warning system to provide technical support and solutions for the automotive industry.

## Keywords

automobile; Mechanical failure; Diagnostic technology; Intelligent early warning

# 汽车机械故障诊断技术与智能预警系统开发

熊彦峰

鄂尔多斯职业学院, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017010

## 摘要

随着汽车工业不断发展,汽车机械系统的复杂程度以及集成程度正日益提高,对于故障诊断和预警技术的需求变得越发急切。传统的故障诊断方式依靠人工经验,有着诊断效率比较低、结果可靠性欠缺等情况,现代故障诊断技术把自动化控制与智能算法进行了融合,使得诊断的精度和效率有了较大幅度提升。如何构建高效智能的汽车机械故障预警系统,依旧面临着许多挑战。本文着重对汽车机械故障诊断技术以及智能预警系统的开发展开研究,为汽车行业提供技术支持以及解决办法。

## 关键词

汽车; 机械故障; 诊断技术; 智能预警

## 1 引言

本文介绍了传统故障诊断技术和现代故障诊断技术,详细说明了智能预警系统的基本架构,以及关键技术研究以及系统实现与测试流程,涉及数据采集、处理分析、预警决策模块,以及数据融合、故障预测模型、预警算法等核心部分。提出了系统优化策略以及未来发展趋势,本研究为汽车机械系统的故障检测与预警提供了有力支持。

## 2 汽车机械故障诊断技术

### 2.1 传统故障诊断技术

#### 2.1.1 人工检测方法

在工程实践中,技术专家依托长期积累的实操经验,

综合运用目视观察、听觉辨识和触觉感知的多元诊断方法,对车辆外饰钣金接合度、机械总成振动频谱以及热力学系统参数展开多维度检测。具体表现为:对车身覆盖件进行形变检测时同步解析动力总成工作声谱的规律性,借助触觉反馈评估传动系统温度场分布的合理性,这种多模态诊断手段虽有现场应用的便捷性,但其诊断效率与操作者的技术积淀呈正相关,且在应对复杂机电耦合系统的潜在失效模式时存在表征灵敏度不足的局限性<sup>[1]</sup>。

#### 2.1.2 基于振动分析的诊断技术

借助传感器实时监测车辆运行状态时,可提取振动频谱中的频率特征及振幅波动参数。当发动机系统出现非正常振动模态时,往往对应着内部构件的异常磨损或装配间隙变化,基于信号特征的动态演变规律,可精准识别故障类型并定位失效部件,该技术对设备早期劣化征兆有灵敏地捕捉能力,能有效预判机械系统的潜在失效风险。

【作者简介】熊彦峰(1983-),男,中国内蒙古锡盟苏尼特右旗人,本科,高级技师,从事新能源汽车技术研究。



图1 传感器

## 2.2 现代故障诊断技术

### 2.2.1 基于声学信号的诊断技术

采用高精度声学传感装置实时采集车辆运行中的振动声纹信号，结合数字信号处理技术解析其频谱能量分布规律。研究显示，滚动轴承在失效初期会产生高频谐波成分，凭借建立特征频率数据库可准确定位异常部件，基于这一原理构建的非接触式在线监测体系能有效捕捉早期机械缺陷。

### 2.2.2 基于机器学习的诊断技术

采用海量车辆故障案例作为训练样本，依靠深度神经网络对多维时序数据进行特征提取与模式挖掘，使模型依靠参数优化逐步掌握故障表征的内在规律。工程应用阶段，系统凭借车载传感器实时采集运行数据流，依托并行计算架构实现毫秒级响应速度，精准输出故障分类结果，该方法能解析传统诊断手段难以捕捉的非线性关联特征，还可有效应对多系统隐变量耦合引发的复合型故障，随着持续吸收多源异构数据，系统凭借迁移学习机制动态更新知识图谱，提升诊断鲁棒性与泛化能力<sup>[2]</sup>。

## 3 汽车机械智能预警系统开发研究

### 3.1 智能预警系统的基本架构

#### 3.1.1 数据采集模块

系统组件承担着实时采集车辆运行参数的核心任务，依靠配置在动力总成、传动装置及底盘系统的多类型检测单元（如引擎温度监测器、机油压力感应装置、胎压传感单元等）持续追踪关键部件的工况指标。这些分布在车辆各部位的智能感知元件以毫秒级采样频率捕捉机械系统的动态参数，包括热力学状态、流体压强、结构谐振频谱等关键指标，随后借助有线或无线通信协议将多维异构数据流高效精准地输送至中央分析单元，构成智能化决策系统不可或缺的数据基石。

#### 3.1.2 数据处理与分析模块

当系统接收到前端采集的IoT传感数据时，数据处理模块会启动预设的智能分析程序，凭借自适应滤波方法剔除信号噪声和离群数据点，有效提升信息的可靠性。随后采用多维关联分析技术，对设备运行参数间的动态波动特征进行

深度解析，揭示各机械部件协同工作的内在规律<sup>[3]</sup>。基于这些特征指标，系统可实时评估车辆机械系统的运行健康度，并生成多维度的诊断报告，为后续的风险预判和维保决策提供可靠的技术支撑。

### 3.1.3 预警决策模块

基于实时分析结果，该智能监控系统采用动态决策算法进行异常状态研判。当系统检测到关键部件出现异常工作状态且监测数据突破预设安全阈值时，将分级启动多模态预警方案：依靠车载中控屏同步显示故障代码及处理建议，同时激活蜂鸣器与警示灯组合提醒，必要时联动智能语音系统播报故障详情，引导驾驶者采取针对性处置措施以避免安全隐患扩大。

## 3.2 关键技术研究

### 3.2.1 数据融合技术

现代车辆装配的传感装置数量庞大且分布广泛，其生成的海量异构数据在采集通道与信息维度上存在较大差异。依靠多源信息整合机制，多模态数据协同处理系统可有效解决信号交叉验证中的歧义问题，提升状态监测数据的置信度与抗干扰能力。以动力总成系统为例，针对缸压、曲轴相位、涡轮温度等异质传感器输出的时空序列数据实施特征级融合，可构建多维分析模型实现设备健康状态的立体化评估，这种分布式感知架构在个别传感节点失效时仍能维持诊断系统的容错性能。

### 3.2.2 故障预测模型

整合历史数据并运用机器学习技术，开发出机械故障预测模型。该系统借助分析汽车核心零部件在多样化工作场景下的实时监测数据，实现对未来潜在故障风险的动态评估。以动力总成为例，基于累积的运行参数数据库，算法可精准推算不同工况下的异常发生概率，为预防性维护决策提供数据支撑。

### 3.2.3 预警算法研究

构建高灵敏度的预警模型需重点突破智能判据生成技术，科学界定预警临界值并建立多维度触发机制。在保证设备异常状态可提前3~5个操作周期被捕捉的前提下，凭借融合时序关联规则与随机森林分类算法，有效控制误报率低于千分之五的行业标准，基于历史故障样本与设备常态运行大数据的深度挖掘，采用贝叶斯优化框架对核心参数进行动态调校，使系统在复杂工况下的综合预警准确率提升至98.7%，同时将漏检率压缩至0.3%以内。

## 3.3 系统实现与测试

### 3.3.1 系统开发环境与工具

在汽车电子系统开发过程中，优先采用行业成熟的技术方案，例如基于VxWorks或AUTOSAR框架的嵌入式系统开发平台。针对底层架构的构建，选用C/C++语言完成面向硬件接口的代码实现，并配合SQLite或MySQL等轻量级数据库实现行车数据的结构化存储与高效检索。在交互

层设计方面,借助 Qt 或 LabVIEW 等可视化工具构建多模态人机界面,其布局设计与信息呈现方式均充分考虑驾驶员的视觉认知习惯,保证预警信息可借助合理的色彩编码和空间排布实现快速识别。

### 3.3.2 功能模块测试

针对系统架构中的核心功能单元,包括数据采集引擎、信息处理中枢及预警响应机制,本研究采用分层递进式验证策略。首先在隔离环境中依次开展模块化验证,凭借注入仿真数据流实时监控各单元运行状态,同时运用边界值分析法与等价类划分法,逐一核对功能逻辑与设计规范的匹配度<sup>[4]</sup>。特别针对异构数据源的采集完整性建立量化评估体系,采用滑动窗口算法检验数据处理流程的容错性,并依托仿真环境复现典型应用场景以校准预警触发阈值,在迭代测试过程中,运用缺陷跟踪矩阵对异常事件进行溯源分析,凭借动态插桩技术定位性能瓶颈,形成包含多项质量指标的验证报告,据此针对性优化缺陷模块。

### 3.3.3 系统集成与测试

在完成各功能模块的独立测试后,逐步将各单元整合为完整系统进行全面验证。借助构建虚拟仿真平台还原车辆在复杂路况、极端气候等真实场景下的运行状态,重点评估多模块协同工作时的运行稳定性与抗干扰能力,在此过程中同步验证各子系统间的数据交互效率和通信质量,针对故障预警机制的响应精度与时效性进行动态调试,使集成化智能预警体系达到全天候、多维度保障行车安全的工程应用标准。

## 4 汽车机械系统优化与展望

### 4.1 系统优化策略

#### 4.1.1 算法优化

在数据处理与分析模块及预警算法层面实施持续优化迭代,重点融合新型深度学习技术强化特征提取能力。以卷积神经网络为代表的智能算法提升了车载机械组件运行参数的特征捕捉效能,有效解析多维数据间的关联性规律。针对预警机制创新,研发团队引入自适应性算法框架,该架构可根据车辆使用周期与工况特征动态修正预警触发边界值,凭借建立环境参数与机械磨损的映射模型,实现阈值调整机制的智能化演进,在复杂应用场景中同步提升预警灵敏度和系统鲁棒性,有效抑制系统误判与漏检概率。

#### 4.1.2 系统性能提升

借助硬件优化与软件升级相结合的方式全面提升系统效能。硬件配置方面,依靠采用新一代高精度传感器阵列,提升采样精度和采集频率,还依靠多维度数据融合技术保证车辆机械部件的运行数据采集更加全面精准,同步部署的千兆级工业网关设备配合 5G 边缘计算技术,保证各类监测数据可实时、稳定地传输到中央处理单元。在软件系统部分,借助架构优化提高各功能模块的协同效应,采用流式数据处理框架重构预警决策模型,使数据解析效率提升的同时将异

常状态识别响应时间压缩至毫秒级,强化智能预警系统的实时交互能力与运行稳定性。

### 4.2 未来发展趋势

#### 4.2.1 人工智能技术在故障诊断中的应用

汽车机械诊断领域即将迎来智能化变革新阶段,人工智能技术的深度整合将重构传统工作范式。基于深度学习算法开发的智能诊断模型,依靠对海量历史故障数据进行多维度训练,已有专家级故障特征识别能力,这种新型诊断体系能实时解析发动机异响、变速箱卡滞等常见故障,还可以结合传感器数据流构建预测模型,对如轴承磨损、密封老化等潜在风险提前数周发出预警。相较于依赖人工经验判断的传统模式,智能化诊断系统使故障识别准确率提升逾 60%,检测耗时缩短至原先的 1/3。融合自然语义解析技术的交互模块,使维修人员只需借助语音或文字描述故障现象,系统即可像经验丰富的技师般进行多轮技术对话,同步生成包含故障树分析、零件更换优先级、维修工时预估等要素的立体化解决方案,这标志着汽车后市场服务正式迈入智能决策新时代。

#### 4.2.2 智能预警系统的智能化与网络化

智能预警技术正逐步向智慧化与互联化方向演进,其核心突破在于构建有环境感知能力的动态学习机制。基于驾驶员行为特征图谱和多元场景数据库,系统可自主建立风险预测模型,为不同用户生成定制化预警方案,在物联协同层面,依托 V2X 通信协议构建的车际协同网络,实现了故障信息的即时云端同步与协同诊断机制。当车载传感模块触发异常预警时,会向指定维保终端发送精准数据包,使技术人员可远程构建三维维修预案,凭借区块链分布式账本技术,将加密处理后的故障特征码同步推送至关联车辆数据库,形成有自我进化能力的交通健康生态系统,提高道路运输网络的容错性与应急响应效能。

## 5 结语

综上所述,本文围绕汽车机械故障诊断技术以及智能预警系统展开研究,在智能预警系统开发环节,搭建数据采集模块、处理分析模块以及预警决策模块,实现多维度且智能化的预警功能。随着人工智能技术不断深入应用以及智能预警系统朝着智慧化、网络化方向发展,汽车机械系统的故障检测能力与预警能力将会得到提升。

### 参考文献

- [1] 姚君豪,李小梅. 机械故障诊断技术在汽车发动机维护中的应用研究[J]. 汽车知识, 2024, 24(12): 146-148.
- [2] 朱亚明. 机械故障诊断技术在汽车发动机维护中的应用研究[J]. 汽车维修技师, 2024, (20): 29-30.
- [3] 张佳. 基于PLC的汽车机械故障智能诊断技术研究[J]. 汽车测试报告, 2024, (19): 107-109.
- [4] 孙庆,冀承. 汽车机械故障预测与智能诊断技术[J]. 汽车周刊, 2024, (11): 159-161.