

# 汽车电子控制系统故障诊断与维修策略研究

王涛 莫宗维 孙倩倩

重庆电讯职业学院，重庆市，402247；

**摘要：**随着汽车电子技术的快速发展，汽车电子控制系统日益复杂，故障诊断与维修的挑战也随之增加。本文旨在探索有效的汽车电子控制系统故障诊断与维修策略，以提升车辆运行效率和可靠性

**关键词：**汽车电子控制；故障诊断；维修策略

DOI:10.69979/3041-0673.24.5.002

## 引言

随着汽车工业的飞速发展，电子技术的广泛应用使得汽车电子控制系统日益复杂，这些系统在车辆的性能、安全性和经济性方面扮演着至关重要的角色。然而，复杂系统的故障诊断与维修变得愈发挑战重重，影响了汽车的运行效率和可靠性。因此，对汽车电子控制系统故障诊断与维修策略的研究显得尤为迫切。

## 1 汽车电子控制系统构成

汽车电子控制系统是现代汽车的灵魂，它由一系列精密的组件协同工作，以实现车辆的高效、安全运行。这个复杂的网络主要包括三个主要部分：传感器、电子控制器和驱动器，它们共同构成了电子控制系统的基石。

传感器是电子控制系统的眼睛和耳朵，负责感知汽车的各种状态信息。它们分布在汽车的各个部位，如发动机、制动系统、悬挂系统等，持续监测温度、压力、速度、转速、油位等关键参数。例如，氧传感器监测尾气中的氧气含量，以调整燃油混合比，提高燃烧效率和减少排放。这些传感器将收集到的数据转换为电信号，传递给电子控制器。

电子控制器，即汽车的“大脑”，是整个电子控制系统的核心。它接收来自传感器的数据，通过内置的算法和软件对信息进行分析和决策，然后发出指令。例如，发动机控制模块（ECU）根据进气量、转速和曲轴位置等信号，精确控制燃油喷射和点火时刻，以优化发动机性能。电子控制器还可以存储故障代码，帮助诊断潜在问题。

驱动器则是执行机构，将电子控制器的指令转化为机械动作，驱动汽车各部件工作。这些驱动器包括继电器、电磁阀、电动机和伺服机构等，如燃油泵驱动器根据 ECU 的指令调整油压，保证燃油供应；而电动助力转向系统（EPS）的驱动器则根据转向盘角度信息，提供合适的助力，使驾驶更为轻松。

通过对这些组件的深入理解，维修人员可以更有效地识别和修复故障。例如，如果一个传感器输出异常，可能表明

传感器本身故障，也可能是与其相连的线路问题或者电子控制器的逻辑错误。因此，诊断过程通常需要结合多个层面的信息，从数据的采集、传输到处理和执行，进行综合分析。

在实践中，汽车电子控制系统构成的复杂性要求维修人员具备跨学科的知识，包括电气工程、机械工程以及计算机科学。同时，随着汽车电子化进程的加速，如新能源汽车、自动驾驶等技术的应用，电子控制系统将更加智能化，故障诊断与维修策略也将面临新的挑战，这就需要不断研究和创新，以适应未来汽车技术的发展。

## 2 汽车电子控制系统故障诊断方法

### 2.1 故障自诊断技术

故障自诊断技术，是现代汽车电子控制系统的关键组成部分，它使得车辆能够自我检测并报告潜在的故障，为维修人员提供了宝贵的诊断线索。这种技术的早期形式是通过故障码读取，现代的系统则进一步发展，集成模型诊断和数据挖掘技术，以实现更高级别的故障预判和诊断。

故障码读取是故障自诊断的基础，它利用电子控制器内部的微处理器，对传感器输入的数据进行分析，一旦检测到与预设参数有较大偏差，就会生成对应的故障码。通过诊断接口，维修人员可以读取这些故障码，作为识别故障的初始线索。例如，当氧传感器数据异常，ECU 会记录下与之相关的故障码，维修人员通过诊断仪读取后，可以迅速定位到问题可能出在传感器或与其相关的电路中。

模型诊断技术则是在故障码读取的基础上，深化了故障诊断的精度。它以数学模型的形式，将电子控制系统的各项参数和工作状态联系起来，通过实时监测和计算，预测可能出现的故障。例如，在预测到发动机可能因冷却液温度过高而引发故障时，电子控制器会预先调整冷却系统的工作，防止故障发生。如果模型诊断预测到的故障确实发生，那么系统将记录故障码并启动应急程序，确保车辆仍能安全行驶。

数据挖掘技术则是利用大数据分析手段，从大量的历史数据中发现故障模式和规律。通过对成千上万的车辆运行数

据进行统计分析，可以识别出不同故障发生的概率与车辆使用条件、驾驶行为等因素的关系。这些模式可以帮助预测故障发生的可能性，优化预防性维护策略。例如，通过分析大量数据，可以发现某种特定的故障模式可能与特定里程数、气候条件相关，从而指导维修人员在适当的时间进行预防性检查。

故障自诊断技术的持续发展，推动了汽车电子控制系统向智能化迈进。未来的系统可能会集成更多人工智能算法，使其具备更强的自我学习和适应能力，不仅能识别已知的故障模式，还能预测未知的故障。例如，通过深度学习算法，系统可以模仿人类专家的诊断思维，分析大量实时数据，以更接近人类专家的水平进行故障诊断。

## 2.2 专家系统诊断技术

专家系统诊断技术，作为汽车电子控制系统故障诊断的高级手段，借鉴了人工智能中的知识表示、推理和学习方法，将专业领域的专家知识编码进计算机程序中，以便于在复杂故障诊断中提供准确且高效的解决方案。这种技术主要集中在模拟人类专家的诊断思维过程，通过一系列规则、模型和算法，对故障信息进行深入分析，从而辅助维修人员快速识别并解决故障问题。

专家系统的核心组成部分是知识库和推理机。知识库包含了一系列由汽车电子控制领域专家整理的规则和事实，例如不同传感器数据之间的关系、故障模式的特征以及可能的解决方案。推理机则负责应用这些规则，结合实时的汽车运行数据，进行逻辑推理，生成诊断结果。这样的系统能够在接收到故障自诊断技术提供的故障码或其他输入后，通过推理过程，进一步缩小故障范围，甚至在某些情况下，能够识别出尚未生成故障码的潜在问题。

例如，如果电子控制器记录到发动机转速异常且加速无力，专家系统会从知识库中调取相关规则，如“当发动机转速传感器数据异常且节气门位置传感器数据正常时，可能为点火系统故障”，然后通过推理机分析其他相关传感器数据，如爆震传感器和氧传感器数据，进一步确认或排除这种可能性。如果系统确认是点火系统故障，它还会推荐下一步的检查或维修操作，如检查点火线圈或火花塞。

专家系统的优势在于其强大的推理能力和对复杂故障模式的处理能力。它能处理大量规则，并能够根据现有数据进行推理，减少人工诊断的繁琐步骤和误判可能。此外，专家系统能够学习和适应，当遇到新的故障模式时，可以通过添加新的规则或调整现有规则的权重，来提高其诊断准确率。

然而，专家系统诊断技术也存在挑战。首先，知识库的构建需要专家的大量投入和不断更新，以适应汽车电子控制系统不断变化的设计和新型故障。其次，专家系统依赖于准

确和全面的数据输入，如果传感器数据存在错误或缺失，将直接影响诊断结果的准确性。最后，专家系统的复杂性可能对维修人员的使用造成一定困扰，需要提供友好的用户界面和详尽的使用指南，以确保其在实际维修中的有效应用。

## 2.3 数据融合诊断技术

数据融合诊断技术是现代汽车电子控制系统故障诊断领域的一次革新性突破，它来自不同数据源的信息进行整合，通过综合分析，提供更准确、更全面的故障定位。这种技术利用传感器数据、模型预测、历史故障模式等多种信息，形成深度学习和机器学习算法的输入，从而实现了对复杂故障的智能化识别和定位。

数据融合的核心在于信息的综合处理，它打破了传统诊断方法中单一数据源的限制，通过算法将传感器实时数据、先前的故障记录、车辆使用情况、环境因素等多维度信息有效地交织在一起。例如，通过结合发动机数据、刹车系统数据以及车辆运行状况，数据融合技术可以更准确地判断是电子刹车助力器还是刹车液位传感器出现故障。同时，它还可以识别出潜在的系统交互问题，如动力系统与刹车系统的协同工作异常。

## 2.4 故障预测诊断技术

故障预测诊断技术是现代汽车电子控制系统故障诊断的前沿领域，它通过结合大数据、机器学习和人工智能等先进技术，实现了从被动的故障检测向主动的故障预测转变。这种技术的核心在于对系统状态的连续监控与模式识别，从而在故障发生之前就发出预警，大大提升了汽车的运行效率和可靠性。

在故障预测诊断中，首先，通过安装在汽车电子系统各关键部位的传感器，实时收集大量运行数据，包括但不限于发动机转速、油耗、温度、压力等。这些数据随后会被传输到中央处理器，进行初步的预处理，如数据清洗、格式化和标准化，确保数据的质量和一致性。

随后，利用深度学习算法，如卷积神经网络（CNN）或循环神经网络（RNN），对预处理后的数据进行分析，学习和识别潜在的故障模式。这些算法能够发现数据中的复杂关系和隐藏模式，从而推测出可能的故障发展趋势。例如，通过分析一系列的发动机数据，算法可以预测发动机过热的可能性，甚至能在故障发生前的数小时内发出警告。

数据挖掘技术在故障预测中也扮演着重要角色，它通过挖掘历史故障数据，识别出故障发生的先兆和规律。例如，通过挖掘大量过去的的数据，系统可以发现特定故障模式与特定行驶条件或维护周期之间的关联，提前对可能的问题进行预防。

### 3 汽车电子控制系统维修策略

在汽车电子控制系统中，维修策略是确保车辆正常运行、提升可靠性以及降低维修成本的关键环节。随着技术的不断发展，现代维修策略已经从传统的故障模式分析和经验性维修转向了预防性、预见性及智能化的维护方法。本文将深入探讨这些维修策略，并通过实证研究和案例分析，验证其在实际应用中的效果。

基于故障模式与效应分析（FMEA）的预防性维修。预防性维修策略首先基于对故障模式的深度理解和分析，通过故障模式与效应分析（FMEA）来识别和评估潜在故障的可能性及其影响。FMEA 方法通过对电子系统中的每个部件进行详细分析，评估其故障的严重程度、发生频率和检测难度，以确定维修优先级。采取预防性措施，如定期更换易损部件、升级软件固件或执行预防性维护程序，可以显著降低故障发生的概率，减少非计划停机时间和维修成本。

例如，对于燃油系统中的氧传感器，通过 FMEA 发现其在高里程数车辆上故障率较高，维修策略可设定为每行驶一定里程后强制更换，以避免因传感器故障导致的发动机性能下降或排放不达标。

基于状态监控的预见性维修。预见性维修是通过实时或定期监测电子控制系统中设备的状态，结合数据分析，预测未来可能发生故障的可能。这种方法通常采用传感器数据、模型预测和数据挖掘技术，如机器学习算法，来识别异常模式，从而提前发现潜在问题。预见性维修策略可以显著缩短故障发现到修复的时间，提高维修效率，同时，降低因故障导致的车辆停机时间。

例如，在新能源汽车的电池管理系统中，通过监测电池单元的温度、电压和充放电状态，可以预测电池健康状况并预测其可能的早期衰减，从而在电池性能明显下降之前进行更换或维护。

优化的故障部件更换策略。优化的故障部件更换策略不仅考虑部件的直接成本，还考虑更换过程中的时间成本、劳动力成本以及对车辆性能的影响。通过采用物联网技术，维

修中心可以实时监控库存，预测部件需求，确保关键部件的快速供应，减少维修等待时间。此外，采用更耐用的部件或改进安装工艺，可以降低故障率和维护成本。

例如，采用高品质的电子控制器，虽然初期成本可能较高，但其更长的使用寿命和较低的故障率可以降低长期的维护成本。

人机交互设计与知识转移。在汽车电子控制系统维修过程中，优秀的交互设计能显著提高维修效率。例如，通过增强现实（AR）技术，维修人员可以更直观地理解故障信息，快速定位故障源。此外，维修过程中的人机交互设计应注重易用性和可理解性，减少错误的可能性。

知识转移在维修策略中同样重要。通过虚拟现实（VR）培训、在线学习平台和专家系统，可以提供更生动、互动的培训体验，使维修人员快速掌握最新的电子控制系统知识和维修技巧，提升整体维修质量。

### 4 结语

通过实施这些策略，汽车电子控制系统维修不仅变得更高效率，而且更环保，因为减少了不必要的零件更换和维修时间，降低了能源消耗。这些策略的实施有助于提升维修行业整体技术水平，推动汽车电子技术的进步，从而对整个汽车行业产生积极影响。未来，随着人工智能、大数据和云计算等新技术的融入，汽车电子控制系统维修策略将更加智能化，为车队管理、服务提供商和车主提供更全面、个性化的维护支持，实现汽车电子系统的可持续运行。

### 参考文献

- [1] 陈跃. 混合动力汽车电子控制系统故障维修策略研究[J]. 《汽车测试报告》, 2024 年第 1 期 7-9, 共 3 页
- [2] 沈文龙. 汽车电子系统故障诊断与维修策略研究[J]. 《汽车测试报告》, 2024 年第 1 期 92-94, 共 3 页
- [3] 许凯. 汽车传动系统故障诊断与维修策略研究[J]. 《汽车测试报告》2024 年第 6 期 101-103, 共 3 页.