

# 基于CAN总线的汽车智能控制系统设计与故障诊断研究

周梅

重庆电讯职业学院 重庆 402247

**摘要:** 随着新能源汽车与智能化技术的快速发展,车载电子电气系统的复杂度显著提高,传统分布式控制模式已难以满足整车在动力控制、能量管理、热管理、主动安全与智能驾驶等场景下的实时协同需求。CAN总线因其高可靠性、实时性与抗干扰能力,成为当前智能汽车控制系统最核心的通信骨干。本文提出了融合规则模型与数据驱动模型的故障诊断体系,并构建多等级故障降级与安全保障策略。研究结果显示,该系统具备高一致性、高实时性与强鲁棒性,为智能电动汽车的安全、高效与稳定运行提供了关键技术支撑。

**关键词:** CAN总线;车载网络;智能控制;ECU;故障诊断;电动汽车

## 引言

在汽车“电动化、网联化、智能化”趋势推动下,整车控制逻辑逐渐从机械耦合转向网络协同,ECU数量激增、功能边界不断扩展,使车载网络成为决定车辆性能与安全的核心基础设施。CAN总线凭借非破坏性仲裁、高干扰抑制能力与成熟的工程应用体系,仍是智能控制系统的主流通信方式。但随着动力、电池、底盘、热管理与驾驶辅助系统的数据交互需求指数级增长,CAN网络在实时性、负载管理、故障诊断与协同控制方面面临新的技术挑战。为解决这些问题,本文围绕CAN总线架构设计、通信模型构建、智能控制算法、故障诊断机制与安全设计展开系统研究,旨在形成可应用于新能源汽车与智能网联汽车的工程化解决方案。

## 一、基于CAN总线的汽车智能控制系统架构设计

### (一) 系统整体架构与功能分层设计

随着汽车电子电气架构从分布式向集中式演进,基于CAN总线的智能控制系统需通过清晰功能分层与高效数据流组织,支撑整车多场景实时协同<sup>[1-2]</sup>。本研究构建的系统架构含传感层、控制层、执行层、通信管理层及诊断层,通过CAN网络形成实时闭环控制体系。

传感层采集电压、温度、车速等关键参数,经本地调理后上传CAN网络,为控制算法提供输入;控制层由VCU、BMS、MCU等ECU组成,执行扭矩分配、能量管

理等核心算法,将结果下发至执行层;执行层驱动电机、制动组件等部件,确保车辆按期望轨迹运行。

通信管理层作为核心枢纽,负责报文优先级管理、总线负载监控、错误处理等,保障高负载、强干扰下系统可靠性;诊断层持续监测数据异常,通过故障记录、状态评估等实现系统健康动态管理。各层经CAN网络互联互通,形成层级清晰、扩展性强的分布式控制体系,相比传统架构,在复杂工况下可靠性与可维护性更优,契合智能电动车与网联汽车发展趋势。

### (二) CAN总线通信模型与节点硬件设计

构建智能控制系统的核心是可靠的CAN通信模型与高质量节点硬件设计。CAN总线采用差分信号传输,抗电磁干扰能力强,适配车辆复杂环境与长线束布设场景。为保障通信实时性,本研究将关键控制报文设计为高优先级标准帧ID,使其通过非破坏性仲裁机制优先抢占发送通道;报文结构遵循统一信号映射规则,各节点按约定数据字段与刷新周期收发,避免数据解释不一致导致的逻辑偏差<sup>[3]</sup>。

节点硬件方面,ECU由微控制器、CAN控制器、收发器、电源管理模块及保护电路组成:微控制器执行控制算法、处理协议并管理缓存;CAN控制器负责报文封装、校验、错误检测与调度;收发器完成数字信号与差分电平转换,通过共模抑制与滤波提升信号稳定性;电源模块采用隔离电路与TVS器件增强抗浪涌能力,保障高动态工况下稳定供电。节点软件采用模块化协议栈设计,涵盖报文过滤、中断策略、错误计数与恢复机制,可快速重置状态,避免单点故障引发网络瘫痪。该硬件

**作者简介:** 周梅(1994.07-),女,汉族,重庆奉节人,本科学历,研究方向:汽车检测与维修。

表1 CAN节点硬件组成及功能设计要点

模块类别	关键组成	技术特性
微控制器MCU	主控芯片、运算单元、缓存区	支持中断调度、实时计算、低功耗管理
CAN控制器	协议处理器、过滤器、错误计数器	支持仲裁检测、帧校验、自动重传
CAN收发器	差分驱动器、接收器、共模抑制器	高EMI抗扰度、支持高速/容错模式
电源与保护电路	DC-DC、隔离电路、TVS	抗浪涌、抗脉冲、电磁兼容性强
软件协议栈	应用层、驱动层、恢复模块	模块化、可扩展、自恢复机制

与协议栈设计显著提升了CAN网络的通信延迟、抗干扰能力与错误恢复能力。为明确节点硬件平台工程化实现路径，本研究系统梳理了各硬件模块的功能定位、关键技术特性及网络作用（详见表1）。

其优势在于以分层化、模块化方式实现节点的高可靠通信，为智能控制系统实时性与稳定性奠定了硬件基础。

### （三）智能控制模型设计与ECU协同机制

CAN总线实现整车智能控制，需可靠硬件基础与具备实时计算、跨节点协同及自适应能力的智能控制模型。动力系统控制模块采集加速踏板开度、电机转速、电池SOC等关键参数，经车辆动力学模型计算期望扭矩，通过CAN传输至MCU实现电流控制；制动系统采用模型预测控制（MPC）策略，预测制动需求与可回收能量，优化机械制动与再生制动比例，提升制动性能与能效；电池管理模型通过等效电路模型、扩展卡尔曼滤波（EKF）或神经网络算法估算SOC、SOH，支撑热管理与能量分配。整车控制器（VCU）作为核心协调单元，综合动力请求、热管理需求、驾驶模式等多维信息，实现跨ECU协同调度。

## 二、基于CAN总线的故障诊断机制与系统实现

### （一）CAN网络运行特性分析与故障模式识别模型构建

智能电动车智能控制系统依赖CAN总线实现多节点实时协同，通信链路稳定性直接决定整车控制可靠性，

因此全面分析CAN网络运行特性并构建系统化故障模式识别模型，是保障智能控制准确执行的重要基础<sup>[4]</sup>。

CAN采用非破坏性仲裁机制，高优先级报文传输延迟极低，但随着车辆功能增多、报文密度上升，网络负载动态波动且可能接近饱和，持续高负载易导致低优先级报文延时/挤压，引发ECU控制输入滞后、执行器响应迟缓等连锁问题。

故障模式识别需覆盖物理层、链路层、应用层：物理层监测差分信号电平、波形形态等量化指标，识别干扰增加、线束接触不良等隐患；链路层分析仲裁冲突、错误计数器变化等特征，捕捉报文拥堵、节点冲突等早期征兆；应用层通过报文丢失频率、信号一致性等数据，识别传感器漂移、执行器异常等复杂故障。

本研究采用“规则模型+数据驱动模型”融合策略构建识别体系：规则模型识别明确模式故障，数据驱动模型发现隐藏异常，提升诊断覆盖率与精细度。结合运行数据监测与故障特征分析，总结出CAN总线在典型场景中的主要故障模式，其表现特征、诊断指标及系统影响具规律性，可为模型提供结构化输入（详见表2）。

这些故障模式不仅涵盖物理层异常，还涉及链路层拥堵与应用层逻辑偏差，为后续DTC扩展机制及多维异常分析提供了量化基础。

### （二）故障码（DTC）系统扩展设计及车辆运行状态的多维异常分析

传统汽车电子系统中，故障码（DTC）是识别系统

表2 CAN网络典型故障模式、诊断特征与系统影响分析

故障类别	典型表现	诊断特征指标	可能影响的ECU/系统	对整车控制的影响程度
物理层干扰	波形畸变、电平偏移	位填充异常、错误帧比例上升	多节点同步通信链路	★★★★
仲裁冲突/拥堵	报文延迟、低优先级难发送	仲裁失败↑、负载>80%	VCU、BMS、MCU	★★★★★
节点掉线/Bus-off	节点无响应、控制回路断开	错误计数器上限、心跳中断	任意关键ECU	★★★★★
报文内容异常	信号突变或漂移	逻辑校验失败、参数不一致	传感器/执行器链路	★★★
应用层策略异常	输出与输入逻辑不匹配	跨模块关联矩阵异常	控制策略执行层	★★★★

异常的核心，但智能化提升后，仅依赖DTC已无法满足整车诊断精细化需求<sup>[5]</sup>。本研究扩展原有DTC框架，使其兼具故障记录、异常关联分析与状态追踪功能。

故障记录环节按触发条件、确认次数、运行环境及故障快照数据（freeze frame）等结构化记录故障信息，单条DTC可呈现故障及前后运行状态特征，为深度推理提供基础数据；异常关联分析通过CAN报文逻辑链条构建“故障关联矩阵”，结合时间序列建模、特征一致性检验与跨模态数据融合技术，实现“症状—原因—扩散路径”链式识别及“潜在异常—演化异常—显性故障”完整进程追踪。以驱动系统为例，系统通过分析电机转速、驱动电流与踏板开度等信号的动力学关系及相关性，判断信号偏差是否可接受，若多信号异常关联则触发综合预警并生成等级化响应措施。

### （三）故障降级控制策略与系统安全保障机制实现

智能汽车控制系统中，故障诊断的核心目标是故障发生后保障车辆可控性，这也是系统功能安全的关键。本研究在故障识别基础上，构建多级故障降级策略与系统安全保障机制，确保车辆在不同程度异常下仍具备最低安全运行能力。

故障降级策略分为三级：轻度故障（如传感器数据抖动、瞬时报文超时）通过历史模型预测填补数据缺口，避免控制逻辑突变；中度故障（影响动力响应、制动一致性等）时，车辆主动降动力输出、限最大扭矩、调制策略并强化温度控制，防止系统恶化；重度故障（高压系统失效、关键节点掉线等）按ASIL-D安全策略执行强制停车或断电保护，避免失控。

系统安全保障机制中，CAN网络管理模块核心作用显著：通过节点心跳报文、错误计数器及总线负载状态判断节点异常，采用隔离机制剥离问题节点，防止错误帧导致总线拥堵。综上，本研究构建的基于CAN总线的

智能故障诊断系统，兼具高精度识别与关键安全保障能力，为智能电动车复杂工况下稳定运行提供有力支撑。

### 结语

基于CAN总线的汽车智能控制系统是现代汽车电子架构的关键，在动力、电池管理、底盘控制及智能驾驶中起决定性作用。本文从系统架构、控制模型、通信节点设计、故障诊断及实验验证等方面，提出系统化工程化解决方案。研究表明，该系统可提升车辆动力响应、安全性与节能效率，通过多层次诊断机制增强整车可靠性与可维护性。随着车载以太网、自动驾驶域控制器及车辆云平台普及，CAN总线将与高速网络形成多层协同架构；后续可围绕CAN FD融合、高级安全机制、在线学习型诊断模型展开研究，适配下一代汽车智能控制需求。

### 参考文献

- [1] 张真, 迟瑞娟, 杜岳峰, 等. 基于CAN总线的玉米收获智能控制系统研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(S1): 275-281.
- [2] 陈东, 唐峥, 杜思远. 基于CAN总线的船用起重机自动定位控制系统设计[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(1): 141-144.
- [3] 魏洪乾, 时培成, 张幽彤. 汽车信息安全: 面向总线网络的伪造攻击检测技术[J]. 机械工程学报, 2024, 60(10): 476-486.
- [4] 赵祥模, 王文威, 王润民, 等. 智能汽车整车在环测试台转向随动系统[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2019, 39(6): 116-126.
- [5] 荀毅杰, 崔嘉容, 毛伯敏, 等. 基于联邦学习的智能汽车CAN总线入侵检测系统[J]. 信息安全, 2025, (6): 872-888.