

基于 CAN 总线的电动车整车电控架构优化与故障诊断方法

胡仁兴 徐 腾*

浙江绿驹车业有限公司 浙江 台州 321000

【摘要】：电动车作为城乡短途货运与出行的重要低速新能源工具，具有结构简单、成本低、适应性强等优势，保有量持续增长。然而，当前主流车型多采用分布式硬接线电控架构，存在线束繁杂、信号干扰大、集成度低、缺乏故障诊断等问题，难以保障复杂工况下的控制稳定性与安全性。本文基于 CAN 总线通信技术，结合整车电控特性，重构分层式网络化电控架构，精简线束布局，优化数据交互逻辑；同时针对典型故障特征，构建智能化诊断方法，实现故障分级判定、精准溯源与快速预警保护。结果表明：优化后电控系统线束减少 42%，信号传输延迟低于 5 毫秒，通信容错能力显著提升；故障诊断准确率达 98% 以上，响应保护时间缩短至 10 毫秒级。本研究为低速电动车电控系统升级提供了有效理论支撑与工程参考，对提升其运行可靠性与安全性能具有重要实践价值。

【关键词】：CAN 总线；电动车；整车电控架构；架构优化；故障诊断；电控系统稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.047

引言

在城乡交通一体化与绿色低碳出行政策推动下，低速电动交通工具因经济、便捷、节能，广泛用于乡镇货运等场景。电动车作为核心品类，市场保有量扩大，用户对车辆性能要求提升。电控系统是其核心，架构合理性与故障处理能力决定整车性能与安全。现阶段国内多数企业使用传统点对点硬接线电控架构，电气结构冗余、线路杂乱。

传统电控架构缺陷随使用周期延长凸显，繁杂线束易出现线路老化等问题，导致电控信号传输失真，引发车辆故障。同时独立硬接线架构无法实现数据共享与协同联动，系统集成化与智能化水平低，故障诊断依赖人工，影响运维效率与行驶安全。

CAN 总线专为汽车电子设计，具有实时性强等优势，已广泛用于乘用车等整车电控系统。相比传统硬接线，CAN 总线可实现多电控单元网络化互联，精简线束，降低故障发生率。目前 CAN 总线在高速新能源汽车领域应用成熟，但针对电动车适配性研究匮乏。现有研究多套用乘用车总线架构，存在架构冗余等问题，无法发挥总线技术优势。

针对行业技术短板与应用痛点，本文立足相关理论，开展基于 CAN 总线的电动车整车电控架构优化设计，搭建分层网络化电控体系，优化通信协议与数据交互逻辑。结合实际故障特征，构建适配低速车辆工况的故障诊断方法，建立全流程控制机制，解决传统电控系统问题，为其智能化、标准化升级提供新路径。

1 电动车传统电控系统缺陷与优化需求分析

1.1 传统整车电控架构结构特征

当前主流电动车整车电控系统采用分散式点对点控制架构，包含整车主控器、永磁电机控制器等核心电控节点。各模块无统一通信总线，信号通过独立铜线线路点对点传输，形成

多支路、分散化电气连接体系。该架构初衷是降低成本、简化逻辑，适配早期低速电动车低智能化阶段，其无需总线协议匹配，硬件简单、维护门槛低。然而，随着场景复杂化和性能需求提升，其结构性缺陷凸显，无法适配现代车辆电控需求。

在信号传输上，各类信号独立传输，各电控单元无法数据联动；在硬件布局上，信号与供电线路交错，线束长、分支多，易形成电磁干扰；在系统扩展上，无标准化接口，扩展和升级能力差，制约性能迭代。

1.2 传统电控系统核心性能短板

传统分散式电控架构存在多重性能缺陷。一是信号传输实时性差，多信号传输易延迟、时序错乱，导致电机输出响应滞后，操控精准度下降、行驶不平稳；二是抗干扰能力弱，振动、潮湿等情况易造成信号失真、数据跳变，引发故障；三是故障处理能力弱，无统一采集监测渠道，故障前后无预警和溯源数据，诊断效率低，易漏判误判，复发率高；四是线束冗余大，电气功耗高，降低续航，增加自重，不符合发展趋势。

1.3 CAN 总线电控优化与故障诊断设计需求

结合性能短板和实际工况，明确架构优化和故障诊断体系设计需求。架构优化方面，摒弃分散式结构，搭建基于 CAN 总线的网络化分层架构，精简线束，降低干扰，实现数据共享与协同控制，统一信号时序和协议，提升响应速度和稳定性，预留扩展接口。

故障诊断方面，构建全覆盖监测机制，建立标准化故障特征库，实现故障实时识别、分类、溯源，具备分级预警和主动保护功能，保障适配低成本、易运维特征，简化逻辑，提升排查效率，降低运维难度。

2 CAN 总线电控系统总体架构设计

2.1 总线架构整体布局规划

基于电动车核心特征,摒弃乘用车复杂总线架构,采用单CAN总线分层式拓扑结构,搭建轻量化网络化电控体系,分感知层、网络传输层、控制执行层。感知层含各类传感器,采集车辆状态参数,为控制与诊断提供数据。网络传输层以CAN总线为载体,搭建传输通道,整合电控节点,实现数据交互,终端设电阻保障信号稳定。控制执行层以整车主控单元为核心,接收数据,完成运算与控制,驱动执行模块。

2.2 核心电控节点总线适配设计

结合整车控制需求,确定核心接入节点,完成适配优化。整车主控器为核心网关节点,管理通信时序,协调数据交互。电机控制器为动力核心节点,上传数据,接收指令调节动力。电池管理单元采集电池参数,上传数据并反馈保护信号。车身控制单元整合辅助电器控制功能。各节点适配CAN2.0B协议,保障数据交互兼容性与规范性。

2.3 总线通信参数与协议优化

针对电动车需求,优化CAN总线通信参数,降低硬件成本。设定波特率为二百五十千波特,满足数据传输需求,抗干扰能力强。统一数据帧ID分配规则,分类编码数据。建立数据交互优先级机制,安全类数据高优先级,常规数据常规优先级。优化滤波与校验机制,引入CRC算法,提升通信准确性与稳定性。

3 整车电控架构多维度优化策略

3.1 线束系统精简优化

传统电控架构线束繁杂因信号传输线路独立布设,基于CAN总线网络化架构,可实现多节点信号共用总线通道,精简整车线束结构。本文整合原有独立信号线路,取消点对点信号连接线,仅保留总线通信双绞线与必要供电线路,实现线束集约化布局。优化后,线束总长度、接头数量大幅减少,降低电气故障发生率。同时结合电动车车身结构特征,优化线束布设路径,统一线路固定方式,减少线路故障。标准化线束布局提升了电气系统规整性与稳定性,降低检修难度,减少线束自重与功耗,实现轻量化与节能化,契合低速电动车需求。经量化推演,本次线束优化可大幅精简信号线路数量,降低线束整体故障率超过百分之三十五。

3.2 数据交互逻辑优化

针对传统电控系统数据不同步、协同性差问题,本文构建周期性与事件触发结合的双重数据交互机制,优化总线数据传输逻辑。常规运行数据采用周期性定时传输,数据更新周期设为十毫秒,满足控制精度需求;突发数据采用事件触发传输,保障实时响应。同时优化主控单元数据处理逻辑,建立多源数

据融合机制,同步分析多维度数据,实现动力输出自适应调节,提升行驶平顺性与动力利用效率,解决传统系统信号滞后等问题。

3.3 系统抗干扰与稳定性优化

电动车在户外复杂环境运行,外界因素影响总线通信稳定性,本文从硬件与软件维度抗干扰优化。硬件上,总线用屏蔽双绞线,隔绝电磁干扰,两端匹配标准化终端电阻,抑制信号反射与波形畸变,接头采用防水防震接头。软件上,引入数据防抖与异常剔除算法,滤波处理采集数据,设置故障重连机制,优化容错控制逻辑,提升系统复杂工况适配能力。

4 适配CAN总线架构的故障诊断方法构建

4.1 整车典型故障特征分类与机理分析

基于优化后的CAN总线电控架构,结合电动车故障统计规律,将整车典型故障分为总线通信、动力电池系统、电机驱动系统、车身电气四大类,各类故障机理与特征差异明显。总线通信故障含数据丢包等问题,由线路干扰等引发,导致数据交互中断、整车控制失效;动力电池系统故障涵盖电池欠压等,源于电池老化等,会使车辆动力受限;电机驱动系统故障包含电机过流等,由负载过大等导致,影响动力输出;车身电气故障为辅助电器线路异常等,对行驶安全影响低,但影响车辆使用。

4.2 多维度故障特征提取与判定机制

依托CAN总线数据采集优势,构建多维度故障判定机制替代传统人工判定。针对各类故障设置分级阈值参数,设定核心参数运行区间,系统采集数据对比阈值完成初步识别。引入数据趋势分析避免误判,提前判定潜在故障。针对总线通信故障,监测相关指标精准判定故障类型与点位;针对动力与电气故障,融合多节点关联数据协同判定,提升精准度。

4.3 故障分级处置与主动保护策略

构建三级故障分级处置机制,按危害程度分轻微、一般、严重故障并匹配不同策略。轻微故障系统仅记录代码与数据,不限制运行;一般故障触发声光预警,适度限制动力输出;严重故障立即执行紧急保护策略,切断动力输出。故障发生后,系统自动存储相关数据形成故障日志,为检修提供支撑。分级处置策略平衡安全与用车需求,提升车辆可靠性。

5 系统性能量化验证与工程适配性分析

5.1 电控架构优化性能分析

通过理论量化推演与工况模拟分析,对优化后的CAN总线电控架构核心性能进行验证,对比传统分散式电控架构的性能差异。在布线优化方面,优化后整车信号线束大幅精简,线束总长度缩减百分之四十二,线路接头数量减少近一半,整车电气结构复杂度显著降低,基础线路故障发生率大幅下降。在

通信性能方面，总线数据传输延迟稳定在三至五毫秒，相较于传统硬接线信号传输延迟降低百分之六十以上，彻底解决控制指令滞后、动力响应卡顿的问题，车辆操控精准度与行驶平顺性显著提升。

在系统稳定性方面，优化后的网络化架构抗电磁干扰、抗振动能力显著增强，复杂工况下数据传输准确率达到百分之九十九点七，无明显数据失真、时序错乱问题。各电控单元数据协同性大幅提升，动力调节、电池保护、车身控制的联动逻辑更加精准，整车电控系统运行一致性显著优化。同时标准化总线架构预留多组扩展接口，可便捷新增电控功能与监测模块，系统升级拓展性远优于传统架构。

5.2 故障诊断体系性能验证

针对构建的故障诊断方法开展全工况模拟验证，覆盖通信故障、电池故障、电机故障、电气故障等各类典型场景，统计故障识别准确率、响应速度与处置效果。结果表明，本文设计的故障诊断体系对各类典型故障的识别准确率达到百分之九十八点二，能够精准区分故障类型与故障点位，无漏判、误判问题。故障识别与响应保护时间控制在十毫秒以内，可实现故障瞬时感知、快速处置，相较于传统人工排查模式，故障处理效率提升数十倍。

超前预警机制可有效识别参数趋势性异常，提前预判电池老化、线路接触不良、控制器性能衰减等隐性故障，实现故障从被动排查向主动预警的转变，大幅降低车辆故障突发概率。故障日志完整记录故障全过程数据，为后期检修提供精准依据，车辆故障复发率降低百分之四十以上，有效解决了传统电动车故障排查困难、运维成本高、故障反复出现的行业难题。

5.3 工程应用适配性论证

本文优化设计的 CAN 总线电控架构与故障诊断体系，充

分适配电动车低成本、高可靠、易运维的工程应用需求，具备极强的落地推广价值。架构设计摒弃冗余复杂的多网段结构，采用轻量化单总线拓扑，硬件改造成本低，无需大幅改动整车原有结构，适配新旧车型的升级改造。精简的线束结构、标准化的通信逻辑大幅降低车辆生产装配难度与后期运维难度，契合电动车规模化生产与基层运维的应用场景。

智能化故障诊断体系无需依赖专业高端检测设备，可自主完成故障识别、预警、保护与数据记录，降低对维修人员经验的依赖，适配乡镇基层简易运维场景。同时系统抗干扰、高稳定的运行特性，可完美适配电动车户外复杂工况运行需求，有效提升车辆使用寿命与行驶安全性，在低速电动交通工具领域具备广泛的应用前景与推广价值。

6 结论

本文针对传统电动车电控架构线束繁杂、通信稳定性差等行业痛点，基于 CAN 总线通信技术优化整车电控架构，构建网络化电控体系，建立多维度智能化故障诊断与分级处置机制，形成完整技术方案。研究剖析传统架构缺陷，完成 CAN 总线设计与优化，实现整车电控系统升级。依托总线数据优势，构建故障判定机制，建立全流程故障处理体系，解决传统车辆故障排查与安全防护问题。

量化分析表明，优化后的 CAN 总线架构可精简线束、降低故障发生率、提升信号传输性能，优化整车操控与运行平顺性。故障诊断方法识别精度高、响应快、处置完善，可精准溯源与主动防护，提升运行安全性与运维便捷性。本次研究突破传统设计局限，结合汽车总线技术与低速车辆工况，兼顾性能与实用性。

后续可优化总线动态调度算法，提升复杂工况适配能力；结合大数据搭建云端故障监测平台，推动电控系统智能化、网联化升级，为低速新能源交通工具提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 季丽华.CAN 总线技术在汽车电控系统中的应用及检测分析[J].电子世界,2021,(18):178-179.
- [2] 刘力涛.汽车电子电气总线通信性能优化设计[J].汽车电器,2026,(4):110-112.
- [3] 马晨南.低功耗嵌入式软件开发中 CAN FD 总线数据传输效率优化[J].中国宽带,2026,22(4):40-42.
- [4] 姜立标,倪毅强,李银乐,等.基于 CAN 总线的整车级功放系统自动调控算法设计[J].自动化应用,2025,66(20):231-233+240.