

智能新能源汽车制动系统协同控制策略

费亚红

北汽福田汽车股份有限公司时代领航卡车工厂 山东 潍坊 261000

摘要: 在全球倡导绿色出行与汽车智能化的时代背景下,智能新能源汽车蓬勃发展,成为未来交通的重要趋势。本文聚焦于智能新能源汽车制动系统的协同控制策略。先概述了智能新能源汽车制动系统,接着设计了制动系统协同控制架构,涵盖总体框架、信息交互机制和硬件配置要求。然后阐述了关键技术,包括制动力分配、能量回收优化、制动舒适性控制等。重点提出基于多目标优化的制动系统协同控制策略,涉及多目标优化模型建立、优化算法应用、控制策略验证分析,以及自适应动态权重调整和多系统协同优化验证策略。通过本文研究,期望提升智能新能源汽车制动系统的性能与安全性。

关键词: 智能新能源汽车;制动系统;协同控制;策略

引言:随着汽车行业向智能化、新能源化的快速发展,智能新能源汽车已成为未来交通的重要发展方向。制动系统作为汽车安全的关键组成部分,其性能的优劣直接关系到驾乘人员的生命安全。在智能新能源汽车中,制动系统不仅要满足传统的制动需求,还需兼顾能量回收等特殊功能。因此,研究智能新能源汽车制动系统的协同控制策略具有重要意义。本文将对制动系统的架构设计、关键技术及基于多目标优化的协同控制策略展开深入探讨,以推动智能新能源汽车制动技术的发展。

1 智能新能源汽车制动系统概述

智能新能源汽车制动系统主要由机械制动子系统和电机制动子系统组成。机械制动子系统沿用传统汽车的制动原理,通过摩擦片与制动盘或制动鼓的相互作用产生制动力,实现车辆减速或停车。电机制动子系统则利用电机的发电特性,在车辆制动时将车辆的动能转化为电能回收至电池中,同时产生反向扭矩,实现车辆制动。与传统燃油汽车制动系统相比,智能新能源汽车制动系统具有能量回收的独特优势,能够有效延长车辆的续航里程。但同时,由于电机制动和机械制动的特性差异,如响应速度、制动力输出特性等,使得制动系统的协同控制面临更大挑战,需要通过合理的控制策略来实现两者的有机结合,发挥各自优势^[1]。

2 制动系统协同控制架构设计

2.1 协同控制总体框架

制动系统协同控制总体框架采用分层式结构设计,主要包括感知层、决策层和执行层。感知层由各类传感器组成,如轮速传感器、加速度传感器、制动踏板行程传感器等,负责实时采集车辆运行状态信息,包括车速、车轮转速、制动踏板力等数据。决策层是整个协同

控制的核心,基于感知层采集的数据,运用先进的控制算法,对制动需求进行分析和判断,确定电机制动和机械制动的制动力分配方案。执行层则根据决策层的指令,精确控制电机制动系统和机械制动系统的工作,实现协同制动。

2.2 信息交互机制

在制动系统协同控制过程中,各子系统之间需要进行高效的信息交互。感知层采集的数据通过车辆总线(如CAN总线)传输至决策层,决策层经过处理后,将制动力分配指令发送至执行层。同时,执行层会反馈电机制动系统和机械制动系统的工作状态信息至决策层,以便决策层进行实时调整和优化。此外,制动系统还需与车辆其他系统(如动力系统、电子稳定系统等)进行信息交互,实现整车的协同控制,提高车辆的安全性和稳定性。

2.3 硬件配置要求

为实现制动系统的协同控制,对硬件设备提出了较高要求。感知层的传感器需具备高精度、高可靠性和快速响应能力,以确保采集数据的准确性和及时性。决策层通常采用高性能的车载控制器,如微控制器(MCU)或数字信号处理器(DSP),能够快速处理大量数据并执行复杂的控制算法。执行层的电机制动系统和机械制动系统的执行机构需具备精确的控制精度和快速的响应速度,以实现制动力的准确输出和快速调节。

3 制动系统协同控制关键技术

3.1 制动力分配策略

制动力分配是制动系统协同控制的关键技术之一。合理的制动力分配能够在保证制动安全性的前提下,最大化能量回收效率。目前常用的制动力分配策略包括基

于规则的分配策略和基于优化算法的分配策略。基于规则的分配策略根据预先设定的规则,如车速、制动强度等条件,确定电机制动和机械制动的制动力比例。该策略结构简单、易于实现,但灵活性较差,难以适应复杂工况。基于优化算法的分配策略则通过建立多目标优化模型,以制动安全性、能量回收效率和驾驶舒适性等为目标,运用遗传算法、粒子群优化算法等优化算法,求解最优的制动力分配方案。这种策略能够更好地适应不同工况,实现多目标的平衡优化,但计算复杂度较高^[2]。

3.2 能量回收优化技术

为提高智能新能源汽车的能量回收效率,需要对能量回收过程进行优化。一方面,通过优化电机制动控制策略,如调整电机的发电转矩、控制电机的工作区间等,使电机在制动过程中能够更高效地将动能转化为电能。另一方面,结合车辆的行驶工况和电池状态,合理规划能量回收强度。例如,在车辆低速行驶或电池电量较高时,适当降低能量回收强度,避免因过度回收导致的制动性能下降或电池过充问题;在车辆高速行驶或电池电量较低时,提高能量回收强度,充分利用制动能量。

3.3 制动舒适性控制

制动舒适性也是制动系统协同控制需要考虑的重要因素。在制动过程中,由于电机制动和机械制动的切换和制动力的变化,可能会导致车辆产生顿挫感,影响驾驶舒适性。为解决这一问题,需要通过控制算法对制动力的变化率进行控制,使制动力平滑过渡。同时,结合驾驶员的驾驶习惯和车辆的行驶状态,对制动踏板的感觉进行优化,提供更自然、舒适的制动体验。

3.4 制动力矩动态补偿技术

制动力矩动态补偿技术对于确保智能新能源汽车制动系统的稳定性和可靠性至关重要。在实际行驶过程中,车辆的制动力矩会受到多种因素的影响,如路面状况、轮胎磨损等。为了补偿这些因素导致的制动力矩变化,需要实时监测车辆的运行参数。例如,通过轮速传感器精确测量车轮的转速,结合车辆的行驶速度和加速度等信息,判断路面的附着系数。当检测到路面附着系数降低时,及时增加制动力矩,以保证车辆的制动效能。同时,考虑到车辆在制动过程中各车轮制动力矩的不均匀性,通过制动力矩动态补偿技术,对各车轮的制动力矩进行实时调整,防止出现车轮抱死等情况,提高车辆的制动稳定性和安全性。

3.5 多源信息融合决策技术

多源信息融合决策技术是智能新能源汽车制动系统协同控制的核心技术之一。车辆在行驶过程中,会产生

大量的传感器数据,如车速传感器、加速度传感器、制动踏板传感器等。同时,还可能接收来自外部的信息,如导航系统提供的路况信息。多源信息融合决策技术就是将这些不同来源的信息进行整合和分析,以做出更准确、合理的制动决策。通过先进的信息融合算法,对传感器数据进行预处理和特征提取,去除噪声和干扰信息。然后,将处理后的信息进行融合,建立车辆的综合状态模型。基于该模型,结合制动系统的控制目标,如制动距离、制动稳定性等,做出最优的制动决策。

4 基于多目标优化的制动系统协同控制策略

4.1 多目标优化模型建立

智能新能源汽车制动系统的性能优化需构建多目标优化模型,该模型以制动安全性、能量回收效率和驾乘舒适性为核心目标。在制动安全性方面,通过建立制动距离与车速、制动力、路面附着系数的函数关系,确保车辆在不同工况下的制动距离满足安全标准;能量回收效率目标则依托电机发电特性方程,量化动能转化为电能的效率;而驾乘舒适性目标,通过控制制动力变化率和车辆俯仰、侧倾角度,减少制动过程中的顿挫感。模型引入车轮转速、车辆载荷、电池 SOC(荷电状态)等状态变量,以及电机制动力矩、液压制动力等控制变量。为解决多目标间的冲突,设置多重约束条件,如在紧急制动时优先满足制动安全,在常规减速时平衡能量回收与舒适性。利用非线性规划、凸优化等数学方法,将复杂的多目标问题转化为可求解的数学模型,为制动系统协同控制提供精确的理论框架,实现多目标的最优平衡。

4.2 优化算法选择与应用

优化算法的合理选择与应用是求解多目标优化模型的关键。遗传算法(GA)基于生物进化原理,通过选择、交叉、变异操作,在全局范围内搜索最优解,尤其适用于高度非线性、多变量的复杂模型,能够有效处理制动系统中多目标的耦合关系;粒子群优化算法(PSO)模拟鸟群觅食行为,粒子通过信息共享快速向最优解聚集,计算效率高,适合实时性要求高的场景,可快速响应车辆工况变化;模拟退火算法(SA)借鉴固体退火过程,允许在搜索中以一定概率接受较差解,有效避免陷入局部最优,适用于求解存在多个局部最优解的问题。

实际应用中,需根据模型复杂度、计算资源和实时性需求综合选择算法。例如,对于在线实时控制,优先采用 PSO 算法并结合并行计算技术提升速度;对于离线优化复杂模型,GA 算法结合自适应参数调整策略可获得更优解。同时,通过算法融合,如将 PSO 与 SA 结合,发

挥不同算法优势,进一步提升求解的精度与效率,确保制动系统控制策略的有效性。

4.3 控制策略验证与分析

控制策略的验证与分析是确保其可靠性和实用性的必要环节。首先,利用 MATLAB/Simulink、CarSim 等专业仿真软件,搭建包含车辆动力学模型、制动系统模型、能量回收模型的虚拟仿真平台。设定多种典型工况,如高速紧急制动、城市拥堵路段频繁启停、长下坡连续制动等,模拟车辆在不同场景下的制动过程。通过分析制动距离、能量回收量、减速度波动等关键指标,与传统制动控制策略进行对比,评估新策略在多目标优化方面的提升效果。在仿真验证基础上,开展实车道路测试。选择不同类型道路(如高速公路、城市道路、山区道路)和天气条件(晴天、雨天、冰雪路面),采集车速、制动力、电机扭矩、电池充电电流等实时数据。结合仿真结果与实车数据,深入分析控制策略在实际应用中的性能表现,识别潜在问题,如算法响应延迟、传感器误差影响等。通过反复优化调整控制参数和算法逻辑,确保控制策略在真实场景中实现多目标协同控制的最优性能。

4.4 自适应动态权重调整策略

自适应动态权重调整策略是实现多目标动态平衡的核心机制。车辆行驶过程中,工况与环境不断变化,各目标的优先级需动态调整。系统通过集成车速传感器、制动踏板传感器、电池管理系统、导航系统等多源信息,实时感知车辆状态与行驶环境。当检测到紧急制动信号(如制动踏板行程突变、前方障碍物预警)时,将制动安全目标权重提升至接近 100%,确保车辆迅速减速;在城市缓行工况下,根据电池 SOC 状态动态调整能量回收权重,当电量低于 20% 时,加大能量回收力度,而电量高于 80% 时降低权重,避免过充。基于机器学习算法,如强化学习、神经网络,系统可对历史工况数据进行学习,自动优化权重调整规则。例如,通过分析不同路况下的驾驶习惯与车辆响应,建立权重调整的预测模型,提前适应工况变化。此外,结合驾驶员个性化设

置,允许用户自定义不同目标的权重偏好,实现制动系统控制策略的个性化与智能化,提升车辆综合性能与用户体验。

4.5 多系统协同优化验证策略

智能新能源汽车的制动系统与动力系统、悬挂系统、转向系统等紧密关联,多系统协同优化验证策略致力于提升车辆整体性能。首先,构建多系统联合仿真平台,如基于 AMESim 的机电液一体化仿真环境,精确模拟系统间的物理耦合关系。在仿真中,分析制动时动力系统的扭矩响应特性,研究制动扭矩对驱动电机的反向作用力,以及悬挂系统在制动力作用下的俯仰、侧倾动态变化,优化系统间的控制时序与参数匹配。实车测试阶段,通过在车辆关键部位布置高精度传感器,采集多系统协同工作的动态数据。针对发现的问题,如制动时动力中断延迟导致的顿挫感、悬挂响应与制动力不匹配引起的车身晃动,优化各系统的控制逻辑与接口协议。通过仿真与实车测试的迭代优化,实现制动系统与其他子系统的深度协同,提升车辆操控稳定性、能量利用效率和驾乘舒适性,推动智能新能源汽车整体性能升级^[3]。

结束语

智能新能源汽车制动系统协同控制策略融合多领域技术,在保障安全的同时实现能量高效回收与舒适驾乘。通过多目标优化模型、适配算法、动态权重调整及多系统协同验证,构建起全面的控制体系。随着智能网联与新能源技术发展,未来该策略将持续进化,更好地适配复杂交通场景与个性化需求。后续研究可聚焦于更先进的算法优化、系统集成创新,以及极端工况下的可靠性提升,推动智能新能源汽车制动技术迈向更高水平。

参考文献

- [1]孙文,张涵睿,张津硕,等.新能源汽车再生制动能量回收研究综述[J].汽车工程学报,2023,13(04):470-480.
- [2]朱腾,魏洪元,徐京京.新能源汽车再生制动系统能量回收特性研究[J].机电工程技术,2021,50(10):108-110.
- [3]张晓艳.新能源汽车再生制动控制策略[J].内燃机与配件,2021,(03):194-195.