

牵引车主挂联合制动的稳定性与控制策略研究

王文磊¹ 宋美琪² 孙汝山¹ 金有涛¹

1. 陕西汽车集团股份有限公司技术中心 陕西 西安 710000

2. 陕汽集团商用车有限公司 陕西 宝鸡 721000

摘要: 本文对牵引挂车联合制动的稳定性和控制策略进行了深入研究。通过分析制动不稳定的原因,阐述了提高制动稳定性的各种控制策略,对现有的控制系统进行了综合评价,并提出了改进方向。本文旨在为牵引拖车联合制动系统的设计与应用提供更全面、更深入的理论支持和实践指导。

关键词: 牵引车; 牵引挂车联合制动; 稳定性; 控制策略; 智能控制

引言: 牵引车作为货物运输的核心,其安全性能,尤其是制动性能,对确保道路交通安全至关重要。牵引车-挂车联合制动系统的稳定性及其控制策略是牵引车制动技术的一个关键方面,不仅具有理论价值,而且具有紧迫的现实意义。本文将从检查制动不稳定性的原因开始,深入研究提高制动稳定性的控制策略。通过理论分析和战略探索,我们旨在为提高拖拉机的安全性能做出贡献。

1 半挂牵引车主挂联合制动稳定性的影响因素

在牵引车主挂联合制动过程中,不稳定现象如折叠、甩尾和侧滑等,不仅严重影响制动效果,更可能引发严重的交通事故。这些现象的成因复杂多样,主要包括:

1.1 制动力矩分配

主车与挂车之间的制动力矩分配若不合理,会严重影响制动过程中的车辆动态稳定性。如果主车或挂车的制动力过大,会导致该部分的轮胎过度磨损,甚至可能出现轮胎抱死的情况。这会使车辆失去操控性,容易引发侧滑或甩尾,严重时会导致车辆失控^[1]。相反,如果制动力分配过小,制动距离会增加,同时车辆在制动过程中可能无法及时减速或停止,增加了碰撞的风险。

1.2 车辆质量分布

具体表现在以下几个方面:(1)质心高度:质心过高会导致车辆在制动时产生较大的倾覆力矩,增加侧翻的风险。因此,降低质心高度可以有效提高制动稳定性。(2)质心偏移:如果挂车的质心偏移过大,即质心不在车辆的几何中心,那么在制动时,车辆会受到不均

衡的力矩作用,容易产生折叠或甩尾现象,这种偏移可能是由于货物装载不均匀造成的。

1.3 路面条件

在雨天或雪后,路面会变得湿滑,导致轮胎与地面之间的摩擦系数显著降低。减少轮胎对地面的抓地力,进而影响制动的稳定性和效果。而坑洼不平的路面会使轮胎与地面的接触面积变小,减少轮胎与地面的摩擦力。同时,坑洼不平还可能导致车辆颠簸,影响制动的平稳性。在坑洼路面上制动,车辆可能会因为路面的不平整而产生跳跃或偏移,进一步降低制动的稳定性和效果。

2 提高制动稳定性的控制策略

2.1 优化制动力矩分配

首先需要建立一个能够准确反映牵引车和挂车动力学特性的数学模型。这个模型应该考虑车辆的载重、速度、加速度、路面条件以及车辆的机械特性等多个因素。通过这个模型,可以计算出在不同情况下主车和挂车所需的制动力矩,从而实现最优的制动力分配。为了实现制动力矩的最优分配,可以采用先进的优化算法,如线性规划、动态规划或遗传算法等。这些算法可以根据车辆的实时状态(如载重、速度等)和路面条件,动态地调整主车和挂车之间的制动力矩分配。制动力矩的分配不应是静态的,而应根据车辆的实际情况进行动态调整^[2]。例如,在车辆载重较大或路面湿滑时,应适当增加主车的制动力矩,以提高制动的稳定性和安全性(表1)。在进行制动力矩分配时还需要考虑多种因素,如轮胎的摩擦系数、车辆的悬挂系统特性、驾驶员的驾驶习惯等。

表1 不同情况下的制动力矩分配数据示例

载重 (吨)	路面条件	速度 (km/h)	主车制动力矩分配比例 (%)	挂车制动力矩分配比例 (%)	备注
30	干燥	60	65	35	正常情况下的分配比例
45	干燥	60	70	30	载重增加主车制动力矩增加

续表:

载重 (吨)	路面条件	速度 (km/h)	主车制动力矩分配比例 (%)	挂车制动力矩分配比例 (%)	备注
30	湿滑	40	55	45	湿滑路面主车制动力矩适当减少
30	干燥	80	75	25	高速行驶主车制动力矩增加
30	干燥	60	65	35	驾驶员习惯影响保持一定主车制动力矩

注: 表格中的数据仅作为示例, 用于说明在不同情况下制动力矩分配的一些可能调整。在实际应用中, 制动力矩的分配应根据具体的车辆参数、路面条件、载重情况等因素进行精确计算和动态调整。

2.2 改进悬挂系统

改进悬挂系统是提高牵引车主挂联合制动稳定性的另一项重要策略。比如主动悬挂系统, 其不同于传统的被动悬挂, 它能够根据车辆的动态特性进行实时调整。通过传感器监测车身的运动状态, 如加速度、速度、位移等, 主动悬挂系统可以迅速响应并调整悬挂的刚度和阻尼, 这种调整可以数学地表达为:

$$\text{悬挂刚度调整公式: } K_{\text{adjusted}} = K_{\text{baseline}} + \Delta K(t)$$

$$\text{悬挂阻尼调整公式: } C_{\text{adjusted}} = C_{\text{baseline}} + \Delta C(t)$$

其中: K_{baseline} 和 C_{baseline} 是悬挂系统的基准刚度和阻尼; $\Delta K(t)$ 和 $\Delta C(t)$ 是基于传感器读数和算法计算出的实时刚度和阻尼调整值。

在制动过程中, 过大的姿态变化会影响制动的稳定性。主动悬挂系统通过实时监测这些变化, 动态地调整悬挂参数, 以减小车身的俯仰、侧倾等姿态变化。在紧急制动情况下, 这种系统能够快速调整车身姿态, 保持车轮与地面的良好接触, 从而提高制动力传递的效率。实现主动悬挂系统的关键技术包括高精度的传感器、快速响应的控制系统以及高效的执行机构。

2.3 引入先进的控制系统

引入先进的控制系统对于提升牵引车主挂联合制动的稳定性至关重要。例如, 电子稳定控制系统 (ESC), 它通过多个传感器实时监测车辆的关键运动参数。这些传感器包括但不限于速度传感器、加速度传感器以及偏航率传感器, 它们协同工作以提供车辆动态状态的全面反馈。当ESC系统检测到车辆有不稳定趋势, 如过度转向或不足转向时, 它会迅速介入以纠正这种不稳定性。具体来说, ESC系统会自动调整车轮的制动力分配, 对特定车轮施加制动, 以帮助驾驶员重新获得对车辆的控制。此外, ESC系统还可以与发动机管理系统协同工作, 通过减少发动机功率输出来进一步稳定车辆。这种综合性的控制策略使得ESC系统在提高车辆稳定性方面表现出色, 尤其是在高速行驶和紧急情况下^[1]。

3 控制策略的评估与优化方向

3.1 控制策略的评估方法

具体包括: (1) 仿真模拟测试: 利用先进的仿真软件, 建立精确的车辆动力学模型。在此基础上, 对各种控制策略进行模拟测试, 观察制动距离、车身姿态变化等关键指标。这种方法能够快速、低成本地对多种策略进行初步筛选。(2) 实际道路测试: 在仿真模拟的基础上, 选择表现优异的控制策略进行实际道路测试。通过在实际驾驶环境中测试, 可以更准确地评估控制策略在实际应用中的效果, 特别是轮胎磨损等实际指标的观察。(3) 综合评估指标: 结合制动距离、车身姿态变化、轮胎磨损等多个维度, 建立综合评估体系。这些指标能够全面反映控制策略在安全性、稳定性和经济性方面的表现。

3.2 控制策略的改进方向

3.2.1 智能化控制

牵引车主挂联合制动稳定性控制策略的改进方向之一, 智能化控制, 无疑是当前和未来发展的重点。智能化控制技术的引入, 不仅能够显著提升制动系统的性能和反应速度, 更能够在复杂多变的驾驶环境中确保行车的安全性和稳定性。智能化控制的核心在于其学习和适应能力。通过先进的机器学习算法, 制动控制系统能够从海量的历史数据中汲取经验和知识, 使得系统在各种驾驶场景下都能做出最为合理和高效的反应。例如, 在湿滑的道路上行驶时, 路面附着系数的变化会直接影响车辆的制动效果。而智能化控制系统能够实时监测这一系数的变化, 并据此自动调整制动力的大小和分配。这种动态调整不仅保证了车辆的制动效果, 更能在关键时刻防止车辆打滑或失控, 大大提高了行车的安全性。此外, 在紧急制动情况下, 智能化控制系统的响应速度更是至关重要。系统通过精确识别驾驶员的意图, 能够在第一时间优化制动策略, 从而有效缩短制动距离, 减少潜在的碰撞风险^[4]。同时, 这种智能制动方式还能在一定程度上减少轮胎的磨损, 延长其使用寿命, 为车主节省维修和更换的成本。值得一提的是, 智能化控制不仅局限于制动系统本身。通过与车辆其他系统如转向系统、动力系统的智能协同, 制动系统能够更好地融入车辆的

整体运行体系中。这种跨系统的智能协同,无疑会进一步提升车辆的整体性能和安全性。

3.2.2 多传感器融合

多传感器融合技术是未来制动控制策略改进的关键方向,其通过整合不同类型的传感器,如雷达、摄像头以及IMU(惯性测量单元),以实现对环境更全面、精准的感知。这种技术的引入,对于提升行车安全性和优化驾驶体验具有重要意义。雷达传感器在多传感器融合中扮演着重要角色。它能够探测远距离的障碍物,并精确测量这些障碍物的速度和距离。这一特性使得雷达在避免潜在碰撞、确保行车安全方面发挥着至关重要的作用。特别是在高速行驶或恶劣天气条件下,雷达的稳定性和可靠性使得它成为不可或缺的感知元件。与此同时,摄像头传感器通过捕捉图像信息,为自动驾驶系统提供了强大的视觉感知能力。借助先进的图像识别技术,摄像头可以识别和分类道路标志、交通信号灯、行人以及其他车辆。这些信息对于车辆决策系统来说至关重要,能够帮助车辆在各种复杂交通场景中做出正确判断,确保行车安全。此外,IMU传感器也为制动控制系统提供了重要的运动状态信息。通过测量车辆的加速度和角速度,IMU能够估算出车辆的运动状态,包括位置、速度和姿态等。即使在GPS信号不佳或传感器短暂失效的情况下,IMU也能为系统提供连续、稳定的定位和姿态信息,确保控制系统的正常运行。

3.2.3 预测性维护

预测性维护是未来牵引车主挂联合制动稳定性控制策略中不可或缺的一环。这种维护方式不仅关注车辆当前的状态,更着眼于预防未来可能出现的问题,从而确保行车的持续安全和减少突发故障。在实施预测性维护时,各种传感器和监测系统能够实时收集到关键部件,如刹车片、轮胎等的状态数据。以刹车片为例,通过在刹车片上安装的磨损传感器,可以连续地监测其厚度的微妙变化。这种精准的监测使得能够在刹车片磨损达到

危险程度之前,就得到及时的预警,并进行必要的更换。而对于轮胎,胎压监测系统则扮演着重要角色。它不仅能够实时反应轮胎的压力情况,还能监测温度和磨损状态,从而提供一个全面的轮胎健康报告。这意味着,任何可能影响到行车安全的问题,都将在其成为真正隐患之前被我们发现并处理^[5]。但预测性维护的价值远不止于此。通过运用先进的数据分析技术,可以从海量的历史数据中提炼出关键部件的磨损规律和使用寿命预测模型。为了确保这一切能够高效、有序地进行,一个完善的维护管理系统是必不可少的。这样的系统能够自动地收集、整理和分析所有的传感器数据,为我们提供清晰、直观的报告,并在发现任何异常情况时,第一时间给出维护建议。

结语

本文通过对牵引车主挂联合制动的稳定性与控制策略进行深入研究和分析,提出了一系列切实可行的优化策略和改进方向。这些策略和方向不仅有助于提高牵引车在制动过程中的稳定性,减少交通事故的发生,还为未来的智能化制动系统的发展提供了有益的参考和借鉴。我们期待随着技术的不断进步和创新,牵引车的制动性能将得到进一步的提升和完善,为道路交通安全贡献更大的力量。

参考文献

- [1]寇树仁.牵引车与挂车同步制动控制策略的研究[J].汽车工程,2024,46(1):1-8.
- [2]容长生.基于终端滑模变结构控制的挂车制动系统研究[J].机械工程学报,2023,59(22):123-130.
- [3]李豫.重型装备运输车联合制动系统稳定性分析[J].交通运输工程学报,2023,23(5):68-76.
- [4]狄毅堂.拖挂式房车同步协调制动控制策略的研究与实现[J].汽车技术,2023,54(9):34-41.
- [5]岳梅.基于MPC的多目标稳定性控制策略在重型拖挂车上的应用[J].自动化学报,2023,49(11):2011-2020.