

车辆制动系统设计中动态响应特性的理论探索

郑东明 方 灯

浙江亚太机电股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要: 车辆制动系统动态响应特性, 和车辆安全、操控稳定关联紧密。钻研制动系统设计里动态响应特性理论, 琢磨影响它的因素, 探寻提升这特性的法子。分析不同工况下它的表现和应对办法, 对优化制动系统设计、增强车辆整体性能很关键。这些研究能给汽车行业提供理论支持, 助力汽车技术发展, 让车辆在各种行驶状况下都能可靠制动, 提升用户驾乘体验, 保障安全。

关键词: 车辆制动系统; 动态响应特性; 制动设计; 理论研究

引言

汽车工程里, 制动系统是车辆安全行驶的关键。它性能如何, 直接关系驾乘人员安危, 影响车辆运行状态。制动系统动态响应特性很重要, 能体现车辆行驶时, 制动系统应对动态变化的速度和精准度。汽车技术不停进步, 对车辆制动系统动态响应特性要求越来越高。探究相关理论, 有助于优化制动系统设计, 提升车辆整体性能, 意义重大。

1 车辆制动系统动态响应特性的理论基础

1.1 制动系统的基本工作原理

车辆制动系统靠摩擦力把车辆动能变为热能, 来让车辆减速或停下。像摩擦制动、液压制动、气压制动, 都是常见制动方式。就说液压制动系统, 驾驶员踩下制动踏板, 制动主缸里活塞受压力移动, 让制动液有了压力。接着, 制动液经管路把压力传到各个车轮的制动轮缸, 推动轮缸活塞运动, 促使制动片和制动盘或者制动鼓接触, 产生摩擦力, 实现车辆制动。这个过程里, 制动系统各部件配合, 把驾驶员操作变为车辆制动动作。

1.2 动态响应特性的相关概念

动态响应特性涵盖制动系统响应时间、制动压力变化速率还有制动效能稳定性这些方面。响应时间呢, 就是从驾驶员下达制动指令, 到制动系统开始产生制动力, 这中间的时间间隔, 它展现出制动系统对驾驶员操作反应有多快^[1]。制动压力变化速率, 表明制动过程中, 制动系统压力增加或者减小的速度, 直接影响着制动效果。而制动效能稳定性, 说的是制动系统在不同状况下, 像高温、高速或者潮湿这些恶劣环境里, 能不能稳定保持制动力, 持续可靠地制动。

1.3 力学模型与分析方法

研究车辆制动系统动态响应特性, 常借助建立力学模型。多体动力学模型较常用, 把车辆看成多个相连刚

体构成的系统, 考量部件间力学关系与运动约束。建模时, 车辆质量分布、惯性特性, 还有轮胎和地面的相互作用等因素都得考虑进去。经对模型做动力学分析, 能算出不同制动工况下车辆运动状态, 以及制动系统各部件受力状况, 给评估动态响应特性提供理论基础。运用数值模拟方法, 像有限元分析, 能对制动系统关键部件开展强度、刚度和热分析, 进而优化部件设计, 让制动系统整体性能得以提升。

2 影响车辆制动系统动态响应特性的因素

2.1 制动系统部件特性

制动片、制动盘或制动鼓的材料特性, 对车辆制动系统动态响应特性的影响极为显著。摩擦系数堪称衡量制动材料性能的关键指标, 唯有摩擦系数恰到好处, 制动之时才能够产生充足的摩擦力。要是摩擦系数过高, 车辆制动就会过于猛烈, 致使车辆操控性大打折扣; 可要是摩擦系数过低, 制动效能必然降低, 制动距离也会大幅延长。制动片的磨损特性同样不可小觑, 一旦磨损速度过快, 制动性能便会随之变差, 动态响应的稳定性也将大受影响。制动液特性在这其中同样扮演着重要角色。制动液的黏度, 直接影响着制动压力的传递速度, 当黏度较高时, 压力传递过程中的阻力会显著增大, 使得响应时间延长; 而黏度过低的话, 又可能对制动系统的密封性造成影响, 甚至引发制动失效的严重后果。制动液的沸点亦是不容忽视的重要参数, 倘若沸点过低, 在频繁制动或者处于高温工况时, 制动液极易汽化, 进而产生气阻现象, 这无疑会对制动性能产生极为严重的负面影响。制动管路的长度、直径以及布局情况, 也会对制动压力的传递效率造成影响。管路过长, 压力传递的延迟便会增加; 管径过细, 制动液的流量就会受到限制, 这都会对制动系统的响应速度产生不利作用^[2]。合理规划制动管路的布局, 则能够有效减少压力损失, 确保

制动压力能够均匀地传递到各个车轮,从而全方位提升制动系统的整体性能。

2.2 车辆行驶工况

车辆行驶速度对制动系统动态响应特性影响不小。高速行驶时,车辆动能大,要制动系统短时间产生足够制动力,实现安全制动。这意味着制动系统的响应更快,制动压力变化速率更高。而低速行驶时,对制动系统响应速度要求没那么高,可对制动平稳性、精确性要求却更严苛。车辆载荷分布会改变重心位置,进而影响制动时各车轮受力。车辆满载,重心后移,后轴负荷增加,前轴负荷相对减少。这种情形下,制动系统的依据载荷分布变化,合理分配制动力,防止车轮抱死、甩尾,确保车辆操控稳定。不同路面条件,像干燥路面、湿滑路面、冰雪路面等,轮胎与地面摩擦系数不一样,制动系统动态响应特性也有差别。湿滑路面上,制动系统需更精准控制制动力,避免车轮打滑,保障车辆行驶安全。

2.3 环境因素

温度影响制动系统,主要关乎制动材料、制动液。高温时,制动片和制动盘摩擦系数改变,制动效能降低,出现“热衰退”;高温还使制动液沸点下降,气阻风险增大。低温环境里,制动液黏度变大,制动压力传递速度受影响,制动响应延迟。湿度同样影响制动,它降低轮胎与地面附着力。潮湿环境下,路面积水在轮胎和地面间形成水膜,摩擦系数变小,制动距离增加;湿度还会让制动系统部件生锈,影响正常工作,进而影响动态响应特性。

3 提升车辆制动系统动态响应特性的设计策略

3.1 优化制动系统部件设计

制动片与制动盘设计,选高性能摩擦材料特关键。材料得有稳定摩擦系数,不管啥温度、啥工况,都能保持好的制动性能。用新型复合材料,把多种材料优点结合,提升摩擦片耐磨性,让抗热衰退性能更好。制动片形状和结构也得优化,增加跟制动盘接触面积,让制动力产生效率更高。制动液方面,合理选型并改进。挑黏度合适、沸点高的制动液,保证各种工况都能正常运作。还能研发新型制动液,加点特殊添加剂,提升抗气阻性能、抗腐蚀性能。制动管路设计也要优化,缩短管路长度,管径加大,减少管路弯曲、接头数量,降低压力损失,提高制动压力传递速度^[3]。用新型制动管路材料,像高强度、耐腐蚀的,提高管路可靠性、耐久性。

3.2 引入先进的控制技术

电子控制技术在制动系统里用得越来越多,像防抱

死制动系统(ABS)、电子制动力分配系统(EBD)、车身稳定控制系统(ESC)等。ABS 监测车轮转速,自动调节制动压力,防止车轮抱死,提升车辆制动时操控稳定性。EBD 依据车辆载荷分布、行驶状态,自动分配前后轴制动力,保证每个车轮都能得到最佳制动力。ESC 综合车辆横摆角速度、侧向加速度等参数,对各车轮制动干预,维持车辆行驶稳定性。未来制动系统朝着智能方向发展,智能制动系统用传感器实时监测车辆行驶状态、驾驶员操作意图、路面情况等信息,依靠先进算法预测车辆制动需求,提前调整制动系统工作状态。它能根据车辆前方障碍物距离、相对速度,自动调整制动压力,实现更精准、更快速制动响应。

3.3 考虑车辆整体性能的协同优化

制动系统跟车辆悬挂系统、轮胎系统关系紧密。优化悬挂系统参数,比如弹簧刚度、阻尼系数,能改善车辆制动时姿态,降低车身俯仰和侧倾,提升制动稳定性。选合适轮胎很重要,得保证轮胎抓地力好、排水性能佳,这样在不同路面都能给制动提供可靠支撑。轮胎花纹设计、橡胶材料选择等,都会影响轮胎制动性能。车辆动力学集成优化也得做,要综合考虑制动、悬挂、轮胎以及动力等各个子系统间相互作用。通过构建整车动力学模型,对各个子系统协同优化,让车辆制动时实现最佳动力学性能匹配,提升整体动态响应特性与操控稳定性。

4 不同工况下车辆制动系统动态响应特性的分析与应对

4.1 紧急制动工况

紧急制动时,车辆安全全靠制动系统出彩表现,对它的动态响应速度要求特别高。制动系统的在极短时间内,迅速使出最大制动力,好让高速行驶的车紧急减速,稳稳停下,这过程分秒必争,每个瞬间都关系重大。要做到这样,制动系统的有灵敏又高效的快速响应能力,制动踏板行程、踩踏力度和制动力得紧密匹配,这匹配很关键^[4]。得精细到驾驶员一踩制动踏板,马上就能清楚、直观感觉到制动效果,也就是踏板力能准确变成相应制动力,让驾驶员有足够信心,制动时操控感好。防抱死制动系统(ABS)和电子制动力分配系统(EBD),在紧急制动时作用特别重要。ABS 会不断调整制动压力,有效防止车轮抱死。车轮快抱死了,ABS 立刻降低制动压力,让车轮恢复转动;车轮转正常了,再适时增加制动压力,就这样循环。靠这种工作方式,ABS 能一直让轮胎和地面保持最大摩擦力,大大缩短制动距离,给车辆紧急制动时的安全有力保障。

4.2 连续制动工况

车辆于山区下坡或城市拥堵时频繁启停,会处于连续制动工况。像在山区道路开车,需长时间持续制动来控制车速;城市拥堵路段,车辆不断刹车、启动,致使制动系统持续工作。这般频繁运作,制动系统便会产生大量热量。随着热量持续积累,制动片与制动盘温度急剧升高,热衰退现象就此出现。热衰退严重影响制动效能,加大制动距离,给行车安全带来极大隐患。想要应对连续制动工况下的热衰退问题,在制动部件设计上可采取相应举措。设计有通风结构的制动盘颇为有效,通风结构能增加制动盘散热面积,加快热量散发,以此降低制动盘温度,减少热衰退的影响。选用耐高温且抗热衰退性能好的制动片材料同样关键,这类材料在高温环境中仍可保持稳定摩擦系数,确保制动片经长时间使用后,依旧能可靠地产生制动力。

4.3 不同路面条件下的制动工况

在湿乎乎的路面上,轮胎跟地面间的摩擦系数明显下降,制动时往往容易出现车轮打滑现象,极大危及制动效果和车辆操控稳定性,为增强湿滑路面的制动可靠性,制动系统可采用特定的防滑控制策略,借助传感器实时监测车轮的滑动情形,当察觉到车轮出现打滑迹象时,自动降低刹车压强,杜绝车轮抱死^[5]。轮胎的拣选也很关键,应当选用拥有良好排水性能的轮胎,减轻水膜对轮胎跟地面附着力的影响,在冰雪道路上,制动系统碰到更棘手的挑战,除采用防滑管理策略外,也可添设雪地模式或专门的冰雪制动体系,这些系统采用调节制动压力的输出样式和次数,让车辆在冰雪铺就路面上可以更平稳地制动,添装防滑链条或采用雪地车胎,可提

升轮胎跟冰雪路面的摩擦力,加大制动成效。

结语

机动车制动系统的动态响应特性是一个复杂的研究方面,牵涉制动系统部件特性、车辆行驶情形以及环境状态等多个方面,通过透彻剖析其理论根基,分析影响因子集,采用优化部件设计、运用先进控制体系以及协同优化车辆整体性能等办法,可以切实提升制动系统的动态响应水平。对应不同工况下的制动诉求,筹划对应的处理办法,可保障车辆在各种情形下均具备可靠的制动性能与良好的操控稳定性,随着汽车技术的逐步优化,对车辆制动系统动态响应特性的揣度将持续深入,为汽车行业的发展给予更稳定的理论根基,保障交通道路安全。

参考文献

- [1]张亮,王志伟,王权,等.考虑车辆振动的高速列车制动系统动态响应[J].振动.测试与诊断,2023,43(04):800-808+835-836.
- [2]霍皓灵.重型商用车气压制动系统快放阀特性研究与优化设计[D].中南林业科技大学,2022.DOI:10.27662/d.cnki.gznlc.2022.000399.
- [3]黄伦明,廉高荣,王明亮,等.多轮车辆气压制动系统动态响应特性仿真研究[J].南方农机,2021,52(21):22-25+33.
- [4]刘子辰.直驱式车辆制动系统控制方法研究[D].哈尔滨工业大学,2021.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2021.003232.
- [5]李兴丽,李刚炎,杨凡,等.车辆制动气室动态响应特性的无因次分析[J].液压与气动,2018,(03):44-51.