

刹车系统异响探析及应对策略研究

卓书亮 刘 荣

海南海马汽车有限公司 海南 海口 570216

摘要: 本文深入探析了刹车系统异响问题的成因及应对策略。从摩擦片系数和模态避频两个技术路径展开,系统分析了摩擦片材料参数对制动异响的影响,以及制动系统模态共振的产生机理。通过优化摩擦片材料配方、调整表面状态及制动系统设计,有效降低了制动异响。同时,运用模态避频技术,调整制动盘和前卡钳体结构设计,避免固频耦合,显著减少了共振现象。研究表明,优化摩擦片系数和避免模态共振在降低制动异响方面具有显著的专业性和重要性,为刹车系统的优化设计提供了科学依据和技术支持。

关键词: 刹车系统异响; 摩擦片系数; 模态避频; 制动性能

1 引言

随着汽车技术的飞速发展,汽车已成为现代生活中不可或缺的交通工具。然而,刹车制动异响问题作为汽车制动系统中的常见缺陷,不仅广泛存在且严重影响驾驶舒适性和安全性。频繁的异响不仅干扰驾驶体验,还可能掩盖其他关键机械故障,对行车安全构成潜在威胁。特别是在电动汽车和混合动力汽车兴起的背景下,制动系统对低噪音、低振动的要求更为严苛,制动异响问题成为制约制动系统性能提升的关键因素^[1]。

本研究致力于刹车制动异响问题的深入探析及应对策略研究,具有重要的学术价值和实践意义。通过优化摩擦片系数和采用模态避频技术,本研究旨在为解决制动异响问题提供新思路和新方法,并通过案例分析验证其有效性和可行性,为汽车制动系统的优化设计提供理论支持和实践指导。

2 汽车制动器结构及异响产生机理

2.1 汽车制动器结构

汽车制动器是汽车安全行驶的关键部件,其主要功能是在车辆行驶过程中提供必要的减速和停车能力。根据结构和工作原理的不同,汽车制动器主要分为鼓式制动器和盘式制动器两大类。

鼓式制动器

鼓式制动器是一种传统的制动器类型,其结构相对简单,主要由制动鼓、制动蹄、回位弹簧、轮缸等部件组成(参见图1)。

盘式制动器

盘式制动器是现代汽车广泛采用的一种制动器类型,其结构相对复杂,但制动性能优异。盘式制动器主要由制动盘、制动钳、摩擦片、活塞、油管等部件组成(参见图2)。

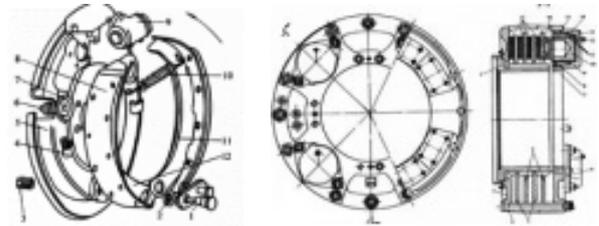


图1 鼓式制动器示意图 图2 盘式制动器示意图

2.2 制动异响的产生机理

制动异响是汽车制动过程中常见的一种故障现象,其类型多样,产生原因复杂。根据异响的特征和产生原因,制动异响可以分为尖叫、低频轰鸣、金属摩擦声等多种类型^[2]。

制动异响的类型

(1) 尖叫: 尖锐刺耳的异响,通常发生在制动初期或制动释放时,声音频率较高。

(2) 低频轰鸣: 低沉的轰鸣声,通常发生在制动过程中,声音频率较低。

(3) 金属摩擦声: 类似金属摩擦的异响,通常发生在制动盘和摩擦片之间接触不良或磨损严重时。

异响产生的主要原因

(1) 摩擦片与制动盘的接触不均匀:

- 摩擦片表面磨损不均,导致与制动盘的接触压力分布不均,产生振动和异响。

- 制动盘表面不平整或存在锈迹、油污等污染物,影响摩擦片与制动盘的接触效果。

(2) 摩擦材料特性:

- 摩擦片材料过硬或过软,都会影响制动效果和异响的产生。过硬的材料容易产生尖锐的异响,过软的材料则容易导致制动效能下降。

- 摩擦片材料的热稳定性差,在高温下容易变形或

产生硬点,导致制动异响。

(3) 制动系统模态共振:

- 制动系统的某些部件(如制动盘、制动钳等)在特定频率下容易发生共振,产生异响。

- 制动系统的固有频率与外界激励频率相吻合时,也会发生共振现象。

(4) 其他因素:

- 制动系统部件松动或损坏,如制动钳固定螺栓松动、活塞密封不良等,都会导致制动异响。

- 制动液不足或变质,也会影响制动效果和异响的产生。

3 摩擦片系数对制动异响的影响

3.1 摩擦片系数的定义与影响因素

摩擦片系数,通常指的是摩擦材料与对偶件(如制动盘)之间的摩擦系数,它是衡量摩擦材料在制动过程中阻力大小的重要参数。在制动过程中,摩擦片系数直接决定了制动效果的好坏,包括制动距离、制动稳定性和制动噪音等^[3]。

影响摩擦片系数的因素众多,主要包括以下几个方面:

- 材料成分:摩擦材料的成分对其摩擦系数有直接影响。例如,半金属摩擦材料具有良好的耐磨性和耐高温性,但其摩擦系数可能相对较高,容易产生制动噪音;而低金属或陶瓷摩擦材料则具有较低的摩擦系数,有助于减少制动异响。

- 表面状态:摩擦片表面的粗糙度、纹理和清洁度等都会影响其摩擦系数。表面过于粗糙或存在杂质时,会增加摩擦过程中的振动和噪音。

- 温度:随着制动过程中温度的升高,摩擦材料的性能会发生变化,从而影响其摩擦系数。一般来说,高温下摩擦系数会降低,但过低或过高的摩擦系数都可能导致制动异响。

3.2 优化摩擦片系数的方法

为了降低制动异响,我们可以通过调整摩擦材料配方、改善表面状态等方法来优化摩擦片系数。

- 调整摩擦材料配方:通过改变摩擦材料的成分和比例,可以调整其摩擦系数和耐磨性。

- 改善表面状态:对摩擦片表面进行精加工处理,如磨削、抛光等,可以降低其表面粗糙度并减少振动和噪音。此外,还可以采用涂层技术来改善摩擦片表面的耐磨性和润滑性。

- 优化制动系统设计:通过优化制动系统的整体设计来降低制动异响。例如,改进制动钳的结构和材质、优化制动盘的形状和尺寸等都可以有效减少制动过程中

的振动和噪音。

4 模态避频技术在制动异响控制中的应用

4.1 模态避频技术概述

模态避频技术是一种通过调整系统结构或参数,避免系统在工作过程中产生共振现象的技术。模态避频技术的基本原理是利用系统的模态参数(如固有频率、阻尼比等)来设计系统结构,使得系统在工作频率范围内远离其固有频率,从而避免共振现象的发生。在汽车制动系统中,模态避频技术可以通过调整制动盘、制动钳等部件的结构设计^[4],或者增加阻尼元件等方式来实现。

4.2 模态避频设计策略

通过对制动系统进行模态分析模态分析结果,可以提出相应的模态避频设计策略。这些策略主要包括调整制动系统结构设计、增加阻尼元件等方法。

- 调整制动系统结构设计:通过改变制动盘的厚度、制动钳的刚度分布等部件的结构设计,可以改变其模态特性,从而避免共振频率的激发

- 增加阻尼元件:在制动系统中增加阻尼元件(如橡胶垫、液压阻尼器等)可以消耗振动能量,降低共振现象的严重程度。这些阻尼元件可以安装在制动盘与制动钳之间、制动钳与车身之间等位置。

在实施模态避频设计策略时,需要充分考虑制动系统的整体性能和成本等因素。

通过优化设计方案,可以在保证制动性能的同时,有效降低制动异响。

5 案例分析

5.1 异响问题描述

某车型在低速制动时,前轮会出现明显的异响,具体表现为“吱吱”和“呜呜”声,异响频率主要集中在2250Hz至2400Hz之间(参见图3)。该异响问题在车辆冷态且空气湿度较高的环境下尤为明显,如车辆放过后首次制动时,以及特定工况下(如低速行驶、转弯时轻踩刹车)均会出现。这一问题不仅严重影响了驾驶体验,还可能对车辆的制动性能造成潜在影响^[5],引发客户对车辆质量的担忧。

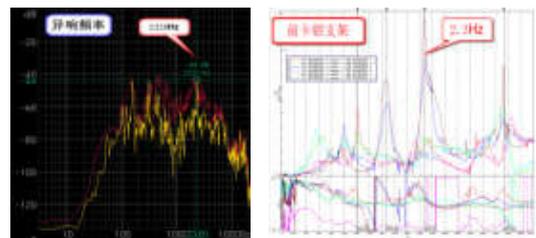


图3 异响频率

5.2 异响原因分析

噪声发生机理方面:制动盘与摩擦片之间因不均匀

接触产生复杂的制动力矩波动，进而引发振动，当振动频率与自身或周边件的固有频率耦合时，便会产生共振，形成放大的噪声。

关联件固频耦合方面；实车测试发现前制动片内片、卡钳支架、前转向节和前摆臂都有2300Hz左右的固频，和实车噪声频率一致，故此振动频率极易出现与周边件频率耦合情况，导致在制动过程中容易产生共振。

摩擦片材料与结构方面：摩擦片材料选择、硬度、厚度以及倒角、切槽等设计因素均可能影响其与制动盘的接触状态，进而引发异响。

5.3 优化措施

工艺调整方面，通过提升摩擦材料的压缩率，提高

其对振动的吸收能力；

材料配方优化方面，将NAO材料更改为低金属材料，以改变摩擦振动频率，避开共振频率；

隔振方面，在内摩擦片上增加带卡爪限位的隔振片（参见图4），减少噪音传播并增加摩擦片系统刚性，摩擦片压力分布由上下边缘受力变为中间均匀受力（参见图5）；

结构设计优化方面，通过调整摩擦片、固定支架等结构，避免固频耦合（参见图6和图7）；优化制动片材料与结构，改善其与制动盘的接触状态；改善制动系统散热条件，提高散热效率；加强环境适应性设计，如增加湿度传感器和加热元件等；并在制动系统的生产过程中实施严格的质量控制与测试，确保制动系统的性能和可靠性。

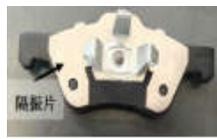


图4 隔振片



图6 摩擦片结构优化

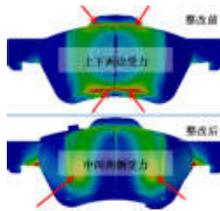


图5 受力分布

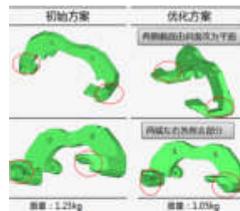


图7 固定支架结构优化

5.4 优化措施验证

经过上述优化措施的实施与验证，车辆的刹车系统异响问题得到了显著改善。

噪音水平降低：通过增加隔振片、优化材料配方等措施，刹车系统的噪音水平显著降低，驾驶舒适性得到明显提升。

制动性能稳定：优化后的刹车系统在制动过程中表现出更加稳定的性能，未出现因异响导致的制动失灵或制动距离延长等问题。

结论：本文通过对刹车系统异响问题的深入探析，从摩擦片系数和模态避频两个技术路径出发，系统地研究了刹车制动异响的成因及应对策略。

在摩擦片系数方面，我们发现摩擦片材料的硬度、厚度、表面粗糙度等参数对制动异响有显著影响。通过优化这些参数，如调整摩擦材料的压缩率、改变材料配方等，可以有效降低制动时的振动和噪音。通过采用低金属材料替代原有的NAO材料，增加隔振片，成功避开了2.3kHz的共振频率，显著改善了制动异响问题。

在模态避频方面，我们识别了制动盘和前卡钳体等关联件的固有频率，并发现当这些固有频率与制动时产生的振动频率耦合时^[6]，会产生共振现象，从而放大噪音。

通过调整制动盘和前卡钳体的结构设计，避免固频耦合，可以有效减少共振现象的发生。在内摩擦片上增加隔振片，减少噪音传播并增加摩擦片系统刚性，摩擦片压力分布更合理。

综上所述，本研究通过摩擦片系数和模态避频两个技术路径，成功解决了多个车型的刹车制动异响问题。研究表明，优化摩擦片系数和避免模态共振在降低制动异响方面具有显著的有效性和重要性。

参考文献

- [1]袁万柱. 汽车行驶中异响产生机理与预防措施研究[J].汽车与驾驶维修, 2024(05)
- [2]代春奇. 基于ICS-BP的盘式制动器设计与优化[D].中国石油大学,2020.
- [3]黄炎清. 制动噪音研究及实例分析[J].汽车实用技术, 2023,48(21)
- [4]马宝山,刘志刚,孙建民,赵振宇. 自适应滤波技术在汽车悬架振动控制中的应用[D].黑龙江工程学院,2002.
- [5]万鑫. 盘式制动器制动抖动试验分析与控制[D].重庆大学,2019.
- [6]彭涛,周亨,田振勇. 盘式制动器NVH性能的时-频域耦合仿真方法[J].噪声与振动控制, 2016,36(01).