

基于散热性能提升的摩托车碟刹总成结构与试验研究

黄玉文

瑞安市宏亚汽摩配件厂 浙江温州 325204

【摘要】本文剖析碟刹总成结构散热问题,明确刹车盘材质、结构设计和通风方式等是影响散热性能的关键因素。基于此,提出优化刹车盘通风结构、增加散热鳍片、改进卡钳设计等结构设计理念,给出梅花形通风孔、V形散热槽、蛇形散热通道等具体方案,并引入隔热材料和主动散热方式辅助。运用 ANSYS 软件模拟分析,结果显示优化结构使刹车盘温度分布更均匀,最高温度降低,热流密度分布改善。通过对比试验,在不同工况和环境温度下验证改进后碟刹总成能降低刹车系统温度,提升制动性能稳定性和可靠性。研究成果为碟刹总成设计提供新思路,对提升制动安全性和行业技术发展有重要意义。

【关键词】摩托车;碟刹总成;散热性能;结构设计;试验研究

Structural Design and Experimental Study of Motorcycle Disc Brake Assemblies with Enhanced Heat Dissipation Performance**

Huang Yuwen

Rui'an Hongya Automotive and Motorcycle Parts Factory, Wenzhou, Zhejiang 325204

【Abstract】This study examines heat dissipation challenges in disc brake assemblies, identifying brake disc material, structural design, and ventilation systems as critical factors affecting thermal performance. The research proposes structural optimization strategies—including improved brake disc ventilation configurations, additional heat dissipation fins, and enhanced caliper designs—with specific solutions such as plum blossom-shaped ventilation holes, V-shaped cooling grooves, and serpentine cooling channels, supplemented by thermal insulation materials and active cooling mechanisms. ANSYS simulation results demonstrate that the optimized design achieves more uniform temperature distribution across the brake disc, reduced maximum temperatures, and improved heat flux distribution. Comparative experiments under various operating conditions and ambient temperatures confirm that the upgraded assemblies effectively lower brake system temperatures while enhancing braking stability and reliability. These findings provide innovative insights for disc brake assembly design, holding significant implications for improving braking safety and advancing industry technology.

【Key words】Motorcycle; Disc brake assembly; Heat dissipation performance; Structural design; Experimental study

一、引言

摩托车是便捷交通工具,在全球广泛使用。随着技术发展和骑行体验要求提高,其性能与安全性受关注。碟刹总成是摩托车制动核心部件,性能影响制动与行驶安全。行驶中,碟刹总成靠刹车片与刹车盘摩擦制动,会产生大量热量。若热量不能及时散发,会使刹车盘和刹车片升温,引发系列问题。高温会使刹车片摩擦系数下降、制动性能衰退、刹车距离变长,增加事故风险,还可能使刹车盘变形,影响刹车稳定性和舒适性,缩短碟刹总成寿命、增加维修成本。因此,提升碟刹总成散热性能意义重大。

二、摩托车碟刹总成结构散热问题分析

摩托车制动时,刹车盘与刹车片剧烈摩擦,使机械能大量转化为热能,导致二者温度急剧升高,这是热量产生主因。此外,高速行驶频繁制动或长时间下坡连续制动,会使热量

积累,加剧升温。散热不良对碟刹性能有诸多负面影响:温度过高,刹车片摩擦系数下降,出现热衰退,制动力减弱、刹车距离变长,增加事故风险;持续高温还可能使刹车盘变形,制动时抖动,影响舒适性和制动性能,严重时制动失灵;高温加速刹车片和刹车盘磨损,缩短寿命、增加成本;若温度超制动液沸点,制动液汽化产生气泡,压缩后致制动系统压力传递不稳定,刹车软绵绵,影响制动效果。

三、基于散热性能提升的结构设计思路

3.1 散热性能提升的关键因素

常见刹车盘材质有铸铁和铝合金,铸铁强度和耐磨性高,但导热性差,制动热量难散发,易使刹车盘温度过高;铝合金导热性好,能快速传导热量、降低温度,但强度低,承受大制动力时可能变形。

结构设计也影响散热性能。刹车盘的形状、尺寸及通风孔、散热槽等结构设计,都会显著影响散热。合理设计通风

孔大小、形状和布局,可增加空气流通、提高对流散热效率,但过大通风孔会削弱刹车盘强度;散热槽可增加散热面积,不同形状和深度的散热槽对散热效果影响不同,需通过实验和模拟分析确定最优方案。

通风方式是提升散热性能的关键。良好通风可加速空气流动、带走更多热量。常见通风方式有自然风冷和强制风冷,自然风冷利用摩托车迎面风冷却刹车盘,结构简单,但散热效果受车速和行驶条件影响大,低速或长时间制动时效果不佳;强制风冷通过风扇等装置增加空气流量、提高散热效率,能在各种工况下保持较好散热效果,但会增加系统复杂性和成本。

3.2 创新结构设计理念

为有效提升摩托车碟刹总成散热性能,提出创新结构设计理念。一是优化刹车盘通风结构。传统通风孔和散热槽设计存在空气流通不畅、散热效率不高问题。创新设计如交错排列通风孔、特殊形状散热槽,可改善空气流动路径,增加接触面积,提高对流散热效果。交错通风孔增强空气扰动带走热量,特殊形状散热槽增加面积、延长空气停留时间。二是增加散热鳍片。在刹车盘或卡钳表面设置散热鳍片可增加散热面积。其形状、尺寸和间距影响散热效果,需优化设计找到最佳组合。三是改进卡钳设计,如增加散热通道、优化制动液流动路径,可提升散热性能,保证制动系统稳定可靠。

3.3 具体结构设计方案

3.3.1 刹车盘结构优化

采用新型通风孔设计是提升刹车盘散热性能的重要措施。如设计梅花形通风孔,其边缘比传统圆形通风孔复杂,空气通过时产生更多紊流,增强热交换效率。通风孔采用同心环形排列,从刹车盘中心到边缘直径渐大,使空气从中心流向边缘时更好接触刹车盘表面,带走更多热量。此外,在刹车盘表面设置特殊散热槽结构,如V形散热槽,其独特形状引导空气形成高效散热通道。

3.3.2 卡钳结构改进

改进卡钳散热通道设计是提升其散热性能的关键。传统卡钳散热通道简单,无法满足高效散热需求。新设计采用蛇形结构,制动液在其中流动路径变长、与卡钳壁接触面积增大,能更充分传热至卡钳壁并散发到空气中。同时,卡钳壁设多个与蛇形通道连通的微小散热孔,制动液流动时热量可直接散发,提高散热效率。散热孔直径和分布密度经精确计算优化,确保不影响卡钳结构强度时实现最佳散热。

3.3.3 其他辅助散热设计

增加隔热材料是有效辅助散热方式。在刹车盘与轮毂间装隔热垫,其由陶瓷纤维等耐高温、隔热性好的材料制成,可阻挡刹车盘热量传向轮毂,减少轮毂受热变形风险,助于刹车盘热量集中散发。采用强制风冷或水冷等主动散热方式可提升散热性能。强制风冷可在摩托车前叉或车架装小型风扇,出风口对准刹车盘和卡钳,行驶中风扇能根据刹车盘温度自动启停或调速,加速空气流动以提高散热效率。

四、结构设计的模拟分析

4.1 模拟分析软件与方法

本研究选用 ANSYS 软件进行模拟分析。ANSYS 是功能强大的工程模拟软件,在多领域广泛应用,热分析和结构分析性能卓越,能准确模拟复杂结构物理过程,为工程设计提供可靠依据。模拟分析采用有限元法,将连续体离散为有限单元,求解单元平衡方程获整体结构响应。

具体步骤如下:对摩托车碟刹总成结构离散化,划分为小有限元单元,通过节点连接形成离散模型;根据实际材料定义材料属性,输入密度、弹性模量、热导率等参数;根据实际工作情况设置边界条件,将刹车片与刹车盘摩擦力作为载荷,考虑风速、环境温度等因素;在 ANSYS 中选热分析求解器,进行稳态和瞬态热分析,获取温度分布和热流密度等参数;利用软件后处理模块,以云图、图表展示结果,便于分析评估。

4.2 模拟分析模型建立

利用 SolidWorks 等三维建模软件建立摩托车碟刹总成精确三维模型,建模时考虑刹车盘、卡钳、刹车片等部件实际形状、尺寸和相对位置,确保与实际结构一致。按优化设计精确绘制刹车盘梅花形通风孔和V形散热槽,详细设计卡钳蛇形散热通道和微小散热孔。将模型导入 ANSYS 软件进行网格划分,采用合适技术对各部件精细化划分,在关键部位加密网格以提高计算精度。根据实际选用材料在 ANSYS 中设置碟刹总成各部件材料属性,设置其密度、弹性模量和热导率;卡钳用铸铁,设置相应参数;刹车片按实际成分设置相关参数。设置边界条件时考虑实际制动工况和散热环境,计算刹车片与刹车盘间摩擦力并作为载荷施加,模拟 30m/s 迎面风作为对流边界条件施加在外表面,设置环境温度 25℃,考虑热辐射并设置系数为 0.8。

4.3 模拟结果分析

通过模拟分析,得到刹车盘制动过程温度分布云图。传统结构设计下,刹车盘最高温度区域集中在中心及边缘与刹车片接触处,最高温度约 350℃;优化结构后,温度分布更均匀,最高温度降至约 280℃,这是因梅花形通风孔和V形散热槽改善空气流通、增加散热面积,使热量散发更快。模拟还给出刹车盘热流密度分布,其反映热量传递强度。传统结构中,热流密度大的区域集中在与刹车片接触部位,最大值达 8000W/m²;优化后,热流密度分布更均匀,最大值降至约 6000W/m²,表明优化结构能有效引导热量传递、减少局部过热、提高散热效率。对比不同结构碟刹总成模拟结果,优化结构散热性能优势显著。温度降低和热流密度均匀分布,有助于稳定刹车片摩擦系数、提高制动性能、减少刹车盘变形风险、延长碟刹总成寿命。模拟结果为进一步优化结构提供参考,通过分析可发现散热薄弱环节并针对性改进。

五、试验研究

5.1 试验目的与方案

试验目的是验证基于散热性能提升的摩托车碟刹总成结构设计的实际效果。通过实际测试对比原碟刹总成和改进后碟刹总成在制动时的散热性能(刹车盘和刹车片温度变化)及制动性能稳定性,评估新结构能否降低刹车系统温度、提高散热效率、增强制动可靠性。

试验方案采用对比试验法。选两辆同型号摩托车,一辆装原碟刹总成作对照组,另一辆装优化设计的碟刹总成作实验组。在相同试验条件下对两组车进行制动试验,试验条件模拟实际行驶工况,包括不同行驶速度、制动频率和环境温度。设置 30km/h 低速行驶工况,多次频繁制动,每次间隔 10 秒;80km/h 高速行驶工况,进行紧急制动。同时,分别在 25℃ 常温环境和 40℃ 高温环境下试验,全面考察碟刹总成在不同工况下的散热和制动性能。

5.2 试验设备与装置

试验主要设备有制动试验台、温度传感器、压力传感器和数据采集系统。制动试验台模拟摩托车行驶和制动,精确控制行驶速度、制动时间和压力等参数,保证试验条件一致、可重复。温度传感器选高精度 K 型热电偶,精度 $\pm 1^\circ\text{C}$,能准确测刹车盘和刹车片温度变化,多个传感器分别装在刹车盘中心、边缘及刹车片与刹车盘接触部位,获取不同位置温度数据。压力传感器精度 $\pm 0.5\%$ FS,装在制动油管上,实时监测制动压力。

试验装置搭建:将摩托车固定在制动试验台,确保车轮自由转动;安装好传感器并连接数据采集系统;在刹车盘和刹车片表面涂石墨粉,增强热传导、提高测量精度;同时在试验场地周围设防护设施,保障人员和设备安全。

5.3 试验过程与数据采集

按照试验方案,先在常温环境下对对照组和实验组摩托车进行低速行驶频繁制动试验。将摩托车加速至 30km/h,按设定制动间隔制动,每次制动持续 3 秒。制动时,数据采集系统以 10Hz 频率实时采集温度和压力传感器数据,记录刹车盘、片温度变化和制动压力大小。每组试验重复 10 次确保数据可靠。完成低速试验后,进行高速行驶紧急制动试验,将摩托车加速至 80km/h 后迅速紧急制动使其尽快停止,同样采集温度和压力数据。每次紧急制动试验后,让刹车系统自然冷却至常温再进行下一次试验,共进行 5 次高速行驶紧急制动试验。接着在高温环境下,将摩托车置于 40℃ 恒温箱预热 30 分钟,使刹车系统达稳定高温状态,再按上

述低速和高速试验步骤进行制动试验并采集数据。整个试验过程中,密切观察摩托车制动情况,如制动是否平稳、有无异常噪音或振动等并做好记录。

5.4 试验结果与分析

通过整理分析试验数据,得到原碟刹总成和改进后碟刹总成在不同工况下的刹车盘、刹车片温度变化曲线及制动压力数据。在低速频繁制动工况下,原碟刹总成刹车盘最高温度 320℃、刹车片 280℃,改进后刹车盘 260℃、刹车片 220℃,改进后温度明显降低,表明优化结构设计能提高散热、降低频繁制动时的温度。在高速紧急制动工况下,原碟刹总成刹车盘最高达 400℃、刹车片 350℃,改进后刹车盘 320℃、刹车片 280℃,改进后的散热优势更明显,能应对大量热量、减少热衰退。制动压力方面,两组压力变化趋势基本相同,但改进后压力波动更小,制动性能更稳定。对比不同环境温度下的试验结果,高温对原碟刹总成散热影响大,进一步证明新结构在不同环境下散热和适应性更好。综合试验结果,基于散热性能提升的摩托车碟刹总成结构设计有效,能提高散热、降低温度、增强制动稳定性和可靠性,满足各种工况下的安全制动需求。

六、结论

本研究围绕基于散热性能提升的摩托车碟刹总成结构与试验展开,取得重要成果。分析碟刹总成制动时热量产生和传递机理,明确刹车盘材质、结构设计和通风方式等是影响散热性能的关键因素。据此,提出优化刹车盘通风结构、增加散热鳍片、改进卡钳设计等结构设计理念并给出方案。刹车盘结构优化采用梅花形通风孔和 V 形散热槽,改善空气流通、增加散热面积;卡钳结构改进设计蛇形散热通道和微小散热孔,涂覆高导热、低摩擦涂层,提高散热性能;还增加隔热材料,考虑强制风冷或水冷等主动散热方式辅助散热。用 ANSYS 软件模拟分析,建立精确模型、设置合理参数。模拟结果显示,优化结构使刹车盘温度分布更均匀,最高温度显著降低,热流密度分布更均匀,减少局部过热,证明散热优势。进行严格试验研究,对比原碟刹总成和改进后总成在不同工况和环境温度下的散热与制动性能。试验数据表明,改进后碟刹总成刹车盘和刹车片温度明显降低,制动性能更稳定,验证了结构设计的有效性和可靠性。

参考文献

- [1]任强. 摩托车后碟刹泵安装支架改进实例[J]. 摩托车技术,2020(8):39-41.
- [2]刘权. 摩托车制动器的合理设计安装[J]. 摩托车技术,2022(11):40-42.
- [3]陈祥,曹汉清,魏宇峰,等. 基于碟刹的能量回收系统设计与研究[J]. 新型工业化,2021,11(2):132-133.
- [4]石柏廷. 摩托车前轮液压盘式制动系统故障与排除[J]. 摩托车技术,2003(11):38-40.