

# 现代汽车盘式制动器的优化设计分析

傅炎木

浙江万安科技股份有限公司 浙江 诸暨 311800

DOI:

**【摘要】**在当今社会,汽车是最重要的交通工具。为了确保安全驾驶,汽车通常配有盘式制动器。盘式制动器的性能是整个制动系统中最复杂,最不稳定的因素。本文从现代汽车盘式制动器有限元模型的建立、现代汽车盘式制动器的仿真结果与分析、现代汽车盘式制动器的设计参数优化以及现代汽车盘式制动器的优化设计试验验证等四个方面对现代汽车盘式制动器的优化设计进行了分析。

**【关键词】**现代汽车;盘式制动器;优化设计

盘式制动器在汽车制动系统中被广泛使用,具有许多优点。例如,可以在涉水后保持稳定的扭矩和制动稳定性,并且制动期间产生的制动力在很大程度上可以保持稳定。在各种情况下,可以产生稳定扭矩。此外,盘式制动器可以与空气直接接触,因此,可以避免盘式制动器产生高温,他可以立即散热。盘式制动器也有其缺点,例如,摩擦片和盘片之间的灰尘使摩擦盘严重磨损,制动效率低,所需的制动管压力高,并且结构复杂。根据盘式制动器的性能指标和盘式制动器所需的限制进行了优化。本文以优化设计为理论原理,对盘式制动器的设计进行了完整的研究和优化,以设计出高效的盘式制动器。

## 1 现代汽车盘式制动器有限元模型的建

### 1.1 模型建立与网格划分

制动过程中摩擦产生的热量基本上被盘式制动器和洗涤器吸收,并在空气中融化。因此,应考虑两个主要组成部分:盘式制动器和摩擦垫。对主要零件去除装配孔,凸轮轴,圆角等需要优化。如图1所示,建立一个有限元模型作为对原始模型的研究。选择45三维16个节点分析,具有2130个盘式制动器单元,摩擦块单元数462个,节点数分别为3124和720。

### 1.2 边界条件的计算

#### 1.2.1 盘式制动器最大角减速度的确定

为了模拟制动时间,有必要确定最大角减速度,前提是要知道汽车的原始速度。

汽车的最大制动力矩为:

$$M_{u\max} = G_c / L(L_1 + \varphi h_g) \varphi r_c$$

盘式制动器的等效转动惯量为:

$$I = \frac{G(L-L_1-0.45h_g)r_3^2}{2L}$$

最大角减速度为:

$$\epsilon = \frac{M_{u\max}}{I} \approx 23r/s$$

#### 1.2.2 盘式制动器与摩擦块之间热量分配系数的确定

汽车减速是摩擦加热过程,产生的一些热量被盘式制动器和摩擦块吸收,其中一些通过空气对流吸收。热传递有三种方式:热传导,热对流和热辐射。这里仅考虑热传导和热对流。并且忽略热辐射的影响。盘式制动器和摩擦块之间的热量分配系数为:

$$\eta = \frac{q_p}{q_k + q_p} = \frac{r}{r+1}$$

可得:

$$r = \frac{q_p}{q_k} = \sqrt{\frac{\lambda_p c_p \rho_p}{\lambda_k c_k \rho_k}}$$

如果输入  $\eta = 0.86$  的数据,则认为盘式制动器是研究的主要目的,因此盘式制动器会吸收大部分热量。

#### 1.2.3 对流传热系数的确定

在盘式制动器高速旋转时,与摩擦块接触的表面在摩擦循环结束时迫使空气流动,并且导热系数也随角速度的变化而变化,即:

$$h = \begin{cases} 7.66\omega^0.55 & \omega \leq 53.5 \\ 3.585\omega^0.8 & \omega \geq 53.5 \end{cases}$$

可以看出,角速度的降低盘式制动器的对流传热效果也会下降。它还将对流热传递到盘式制动器和摩擦垫的圆柱表面,但是由于温度低,传递的热量

更少。

### 1.3 载荷和约束的施加

对照盘式制动器以盘式制动器圆心为中点,与盘式制动器的有效制动位置不同,盘式制动器的旋转自由度在 X 方向和其他 5 个自由度上得以保持,这应限制 X 方向上的块摩擦的自由度。在踩下制动踏板后,制动器在液压油的作用下平行移动,从而向制动器施加 60 MPa 的平面力,由于两者之间存在垂直接触力,因此必须定义两者之间的接触:初始距离为 0.01 mm,摩擦块为接触面,盘式制动器为目标表,面摩擦系数为 0.35。

## 2 现代汽车盘式制动器的仿真结果与分

根据《制动器台架试验方法》(QC / T564-1999),我们使用 ANSYS 软件的有限元素来模拟和评估两个条件:紧急制动和重复制动。

### 2.1 紧急制动工况

紧急制动条件模仿在高速公路上行驶(将速度限制设置为 100 km / h),并且驾驶员面临危险,实现距离最短的制动,经过计算,该过程大约需要 4 秒钟。通过仿真紧急制动。制动器温度和运动时间变化之间的关系如图 1 所示。

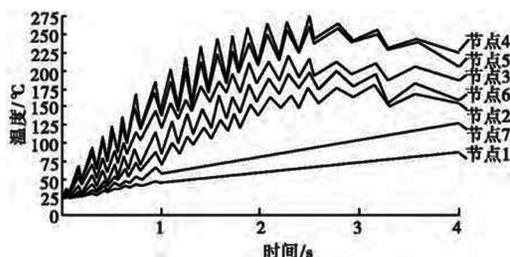


图 1 紧急制动过程中盘式制动器表面温度变化曲线

如图 1 所示,在制动过程中,温度继续从 0 升高到 2.5K。这是因为摩擦产生的大量热量集中在摩擦表面上,并且温度持续急剧上升,在 2.5 秒后盘式制动器温度最高达到 270°C(见图 2)。摩擦扭矩的温度在 2.5 K 之后下降。这是因为通过降低盘式制动器角速度来降低摩擦热的温度,并且由于空气的热对流起着重要的作用而降低了温度。温度曲线显示为锯齿形状,因为当所研究的节点进入摩擦表面时温度升高,并且由于摩擦表面中的对流散热而使温度降低,如图 1 所示,节点 4 温度最高,由于这是摩擦接触的中心点。该区域是形成热源的区域,因此空气的对流不容易散热,温度在短期内会升高。节点 6 和节点 7 上的温度并不高。这是因为 2 个节点距离热源很远。像温度分布一样,摩擦副的接触

中心处的负载最大,并且总体变化趋势首先增大和减小,最大负载为 128.7 MPa。另外,制动块的应力场分布不均匀。由于局部高温导致的温度分布不均匀而产生热应力,这是由于摩擦引起的机械接触和应力场的变化所致。这些方面是相互影响的,因为摩擦副的形状变化而引起的应力场的变化也会产生影响载荷的空间分布。

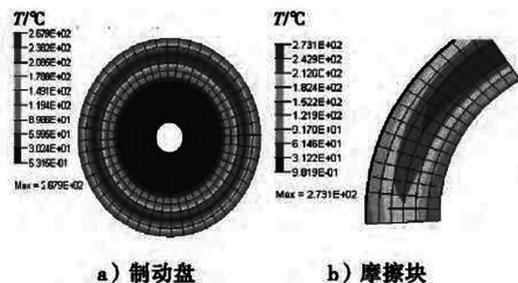


图 2 紧急制动过程中的最高温度

### 2.2 重复制动工况

重复制动条件模仿山路上连续发生的车祸。与紧急制动情况不同,在这种状态下,启动速度很慢,但工作行程很长。通过重复制动,可以通过仿真获得盘式制动器温度。电温度和应力变化如图 3 所示。如图 3 所示,工作状况包括四个工作冲程和三个休息冲程。每个工作冲程需要 2.5 秒,其余冲程需要 10 秒,在制动后盘式制动器温度急剧上升,并在暂停后逐渐下降。在第四个工作冲程结束时,温度和负载分别达到最高 672.6°C 和 766.7 MPa。可见,重复制动器状况和紧急制动器条件更加恶劣,温度 672.6°C,应力 766.7 MPa 未超过规格中指定的最大估计值,未满足安全系数 1.2 的要求。因此,在进行重复制动时,有必要将对重复制动结束时的温度和压力参数进行优化。

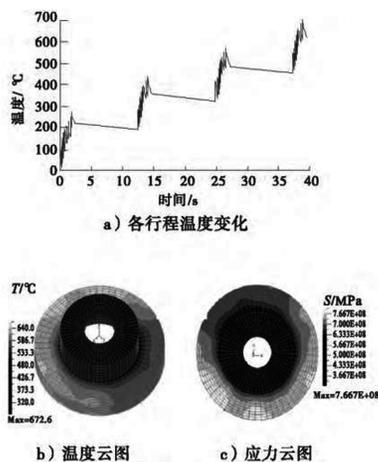


图 3 重复制动结束时盘式制动器的温度和应力

### 3 现代汽车盘式制动器的设计参数优化

#### 3.1 优化问题的数学描述

在不改变制动结构的总体变化情况下,就在恶劣的工作条件下为重复制动条件转换为最佳制动条件。盘式制动器和摩擦块的材料不改变,四个参数用作设计变量。换句话说,摩擦垫的内径,摩擦垫的厚度,盘式制动器的外径和盘式制动器的厚度分别为  $X_1, X_2, X_3$  和  $X_4$ 。为了优化目标,还必须确保四个变量在允许范围内变化,并且油缸的油压压力不超过指定范围。换句话说,优化问题可以用公式表示。

$$\begin{cases} \text{Minimize : } T = (x_1, x_2, x_3, x_4) \\ \text{Minimize : } S = (x_1, x_2, x_3, x_4) \\ \text{subject - to : } 0.080 \leq x_1 \leq 0.095 \\ 0.010 \leq x_2 \leq 0.015 \\ 0.125 \leq x_3 \leq 0.135 \\ 0.009 \leq x_4 \leq 0.013 \\ P \leq [P] \end{cases}$$

#### 3.2 NSGA-II 算法的优化

它用于根据估计模型优化 NSGA 中使用的算法,将温度权重设置为 6,将权重设置为 4。经过 49 次迭代,从重复制动条件下优化的总共有 19 种 Pareto 解决方案。评价总数是 241 次,因此解决方案所需的测试数量为 12.6。表 1 显示了制动优化前后项目和性能参数的比较。可以看到制动性能得到了极大的改善。最高温度降低了 13%,应力下降 15%。最高额定数值可以满足安全系数 1.2 的要求。

表 1 制动器优化前后对比

参数	优化前	优化后
盘式制动器外径/mm	128	126.22
盘式制动器厚度/mm	12	10.6
摩擦块内径/mm	88	86.3
摩擦块厚度/mm	13	14.4
最高温度/°C	672.6	587.0
最大应力/MPa	766.7	652.0

#### 【参考文献】

- [1] 向友,王剑彬,周为. 汽车盘式制动器多目标函数优化设计[J]. 机械工程师,2016(01):104-105.
- [2] 吕辉,于德介,谢展,路怀华. 基于响应面法的汽车盘式制动器稳定性优化设计[J]. 机械工程学报,2013,49(09):55-60.
- [3] 胡文婕,陈亮. 基于 iSIGHT 的汽车盘式制动器多学科设计优化[J]. 农业机械学报,2010,41(05):17-20.

### 4 现代汽车盘式制动器的优化设计试验验证

为了确保模拟结果的准确性,根据《制动器台架试验方法》(QC / T564-1999)在重复制动下对优化的制动器进行了台架试验。试验台是 JFJ,在速度,温度,初始制动,材料特性等条件下,将温度与生成的模拟值在 5 秒钟之间的点进行比较。结果如图 4 所示。

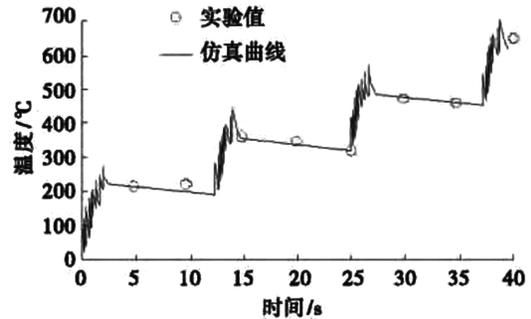


图 4 仿真值和试验值对比

图 4 仿真曲线的最后一个元素对测试值反应良好,并验证了仿真的准确性。仿真曲线和测试值略有不同。这可能是由于盘式制动器制造过程中的错误所致。

### 5 结论

在本文中,我们使用模拟元素方法来模拟盘式制动器。对于紧急制动模式和重复制动状况进行了分析,最终对最大温度和压力进行校核。最后,需要通过在 ANSYS 来调整输入参数,然后使用相应的数据应用响应方法构建盘式制动器模型,并使用 NSGA-to-algorithm 优化设计,优化后,最高温度降低 13%时,最大应力降低了 15%,制动力指数显著提高了。基于有限元方法近似模得到了优化,并且所使用时间明显缩短,提高研发效率。响应面法和 NSGA 联合优化算法已经过测试,以验证其有效性,这种方法为工程师提供了新的思路。