

# 浮动蹄式制动器制动跑偏力学分析

王庭义<sup>1,2</sup>, 吕彭民<sup>1</sup>, 王斌华<sup>1</sup>, 李玉杰<sup>1</sup>, 兰吉光<sup>1</sup>

(1. 长安大学 工程机械学院, 陕西 西安 710064; 2. 北京停易制动器有限公司, 北京 101200)

**摘 要:**运用有限元分析软件建立浮动蹄式制动器和传统蹄式制动器的有限元模型,选择摩擦片与制动鼓的 8 个偏心位置进行有限元分析,得到偏心量-制动力矩曲线关系图;为验证理论分析的正确性,利用 Adams 动力学软件进行 2 种制动器的动力学分析,并进行了车辆台架试验,其结果与有限元分析结果一致。分析结果表明:偏心误差改变时,浮动蹄式制动器仍能够保证总的制动力矩基本不变,降低了制动器对汽车跑偏的影响,而传统蹄式制动器总的制动力矩有很大的变化,易发生制动跑偏;浮动蹄式制动器对于减小车辆制动跑偏有明显的优越性。

**关键词:**机械工程;蹄式制动器;制动跑偏;有限元分析;动力学分析

**中图分类号:**U463.511

**文献标志码:**A

## Brake pulling arch analysis of floating-shoe brake drum

WANG Ting-yi<sup>1,2</sup>, LU Peng-min<sup>1</sup>, WANG Bin-hua<sup>1</sup>, LI Yu-jie<sup>1</sup>, LAN Ji-guang<sup>1</sup>

(1. School of Engineering Machinery, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Beijing Tingyi Braking Co Ltd, Beijing 101200, China)

**Abstract:** The finite element model of floating-shoe and traditional brake were built through ANSYS finite element software, and eight eccentric positions of brake drum were analyzed, and the curve of quantity of eccentric-brake torque was got. In order to verify the correctness of the theoretical analysis, the braking processes of these two brakes were simulated by ADAMS dynamic simulation software, and also bench tests of vehicle were performed, the results of which were as same as the ones of finite element analysis. The results show that the brake torque of floating shoe brake drum can still remain unchanged when eccentric error is changed. The influence on automobile snaking is reduced. However, the change of traditional brake torque is large, which leads to brake pulling easily. The floating-shoe brake can reduce the brake pulling of vehicle, and its superiority is obvious. 2 tabs, 7 figs, 4 refs.

**Key words:** mechanical engineering; shoe brake; brake pulling; finite element analysis; dynamic analysis

## 0 引 言

汽车在行驶时,本身有保持直线方向运动的惯性,轮胎与路面间又有抗侧滑特性,所以在正常情况

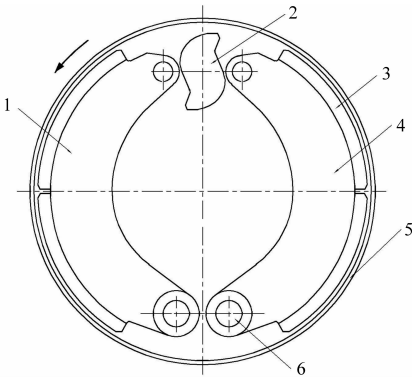
下,制动时不易发生侧滑,若汽车左右侧的制动力相差超过一定限值时,则产生跑偏现象。跑偏会严重影响车辆的行驶安全,因此,研究制动跑偏有重要意义。影响制动跑偏的主要原因有:制动系统各主

要零部件的设计、加工精度、装配定位及工艺调整不当等<sup>[1]</sup>。中国汽车蹄式制动器总成的设计,一般都采用一个中心的模式,即制动蹄与制动鼓为一个中心,摩擦片外圆与制动鼓也是一个中心,摩擦片在最后加工成形时,也是与制动鼓装配后在一个中心的情况下加工的。制动器中的摩擦片在实际工作状态下,特别是初始状态,由于制动鼓与制动器摩擦片之间有间隙存在,故理论上蹄式制动器摩擦片最先接触制动鼓内壁的应是靠近凸轮轴端,并且制动器的设计和制造过程中不可避免有偏心误差存在,使得蹄式制动器的初始接触点随机产生,两侧制动力矩不平衡导致制动跑偏。这不仅导致各种新车制动力矩有差别,同时,也是新车制动力矩达不到国家规定的 60%制动力矩的原因之一<sup>[2]</sup>。

基于以上原因,作者研究了一种径向浮动式制动器,即允许制动过程中领蹄、从蹄在支撑销处能径向浮动<sup>[3]</sup>。本文利用 ANSYS 有限元分析软件,分别进行了传统蹄式制动器和浮动蹄式制动器的偏心量对制动输出力矩的影响分析,并通过 ADAMS 动力学仿真软件和车辆台架试验,验证理论分析的正确性。试验结果表明,浮动蹄式制动器对于减小车辆制动跑偏有明显的优越性。

1 有限元模型的建立

本文所研究的领从蹄式制动器是在传统领从蹄式制动器(制动蹄绕支承销转动,销孔是圆形)的基础上改进的浮动蹄式制动器(制动蹄绕支承销转动,销孔是椭圆形,即制动蹄有一定的径向浮动)。浮动蹄式制动器主要由制动底板、凸轮、滚轮、制动蹄、摩擦片和制动鼓组成。传统的蹄式制动器结构如图 1 所示。



1-领蹄;2-凸轮;3-摩擦片;4-从蹄;5-制动鼓;6-支撑销

图 1 传统的蹄式制动器结构

浮动蹄式制动器在制动时,通过凸轮顶开制动蹄,从而使固定在制动蹄上的摩擦片与制动鼓之间产

生摩擦力而制动。模型中制动鼓、摩擦片采用 ANSYS 三维实体单元 solid45,制动蹄采用 ANSYS 板壳单元 shell63,制动蹄与摩擦衬片之间通过 beam4 单元以耦合的形式连接在一起。在制动过程中,制动蹄与制动鼓之间存在相互挤压和摩擦,因此在制动鼓与摩擦片之间建立面接触单元来模拟蹄、鼓之间的相互作用,凸轮与滚轮之间、衬套与支撑销之间也建立接触单元。在建模过程中,由于制动蹄与滚轮的接触不是本文研究的重点,所以该局部区域把滚轮和制动蹄建为一体,只是定义不同的材料来区分<sup>[3]</sup>。

为使模型更符合制动器的真实工作情况,对制动蹄采用力加载方式,使其可以跟随鼓的变形,始终保证摩擦片、制动鼓间的接触。通过给凸轮施加一输入扭矩,对制动蹄施加促动力。整个加载过程分为 2 个载荷步和若干个载荷子步进行求解,在第 1 个载荷步内,制动蹄张开,模拟蹄在促动力作用下压紧鼓;在第 2 个载荷步内,对鼓施加微小周向位移,模拟鼓的旋转。

最终建立的浮动蹄式制动器模型如图 2 所示。

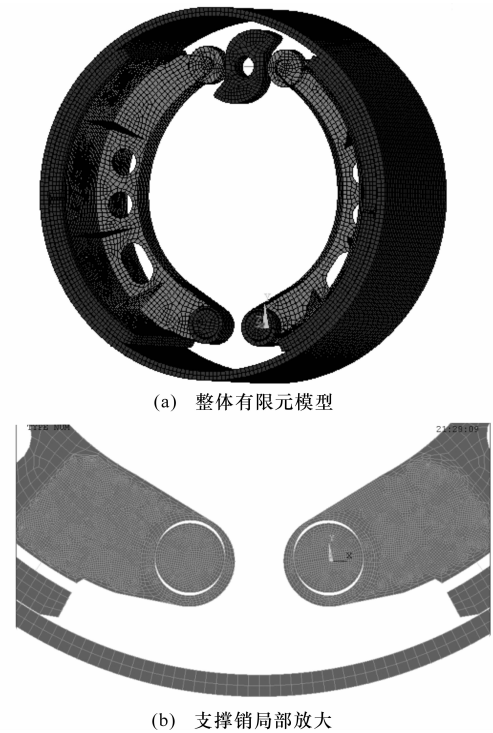


图 2 浮动蹄式制动器有限元模型及支撑销处的局部放大

图 2 中:制动蹄板壳 shell63 单元共划分 13 274 个;摩擦片、制动鼓、支撑销、衬套、凸轮采用实体单元 solid45,共划分 45 560 个;摩擦片和制动蹄之间采用 beam4 单元耦合,beam4 单元共 262 个;摩擦片与制动鼓之间、凸轮与滚轮之间、衬套与支撑销之间建立接触单元,接触单元共 15 742 个。

为了与传统的蹄式制动器制动过程的受力状态进行比较,同时也建立了传统的蹄式制动器模型,如图 3 所示。

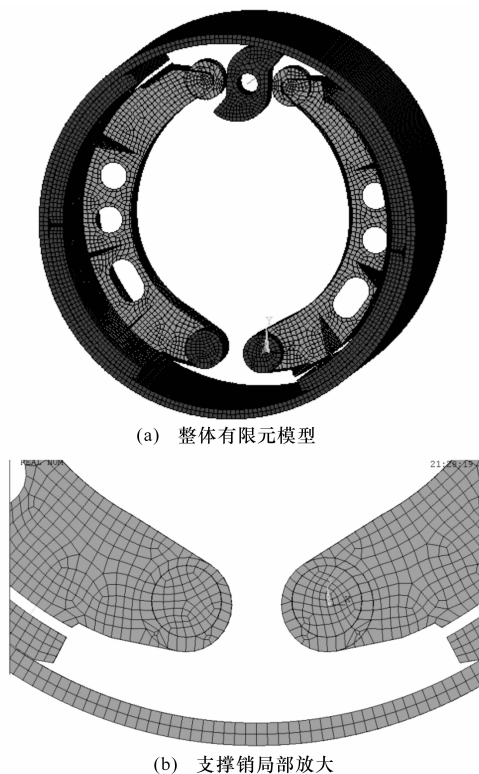
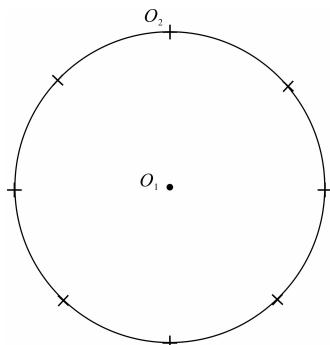


图 3 传统的蹄式制动器有限元模型及支撑销处的局部放大

## 2 偏心量对制动力矩的影响分析

为了验证制动器摩擦片与制动鼓偏心误差对汽车跑偏的影响,选择偏心量为 0.1 mm 时沿圆周方向的 8 种均布位置进行分析,偏心位置如图 4 所示。



$O_1$  为摩擦片圆心; $O_2$  为制动鼓圆心

图 4 偏心位置

仿真分析传统蹄式制动器与浮动蹄式制动器的偏心量与制动力矩的关系,如图 5 所示。

由图 5 分析可知:由于径向浮动的调节作用,浮动蹄式制动器的制动力矩随偏心角度变化较小,其最大变化量为 576 kN·m,可有效降低车辆制动跑

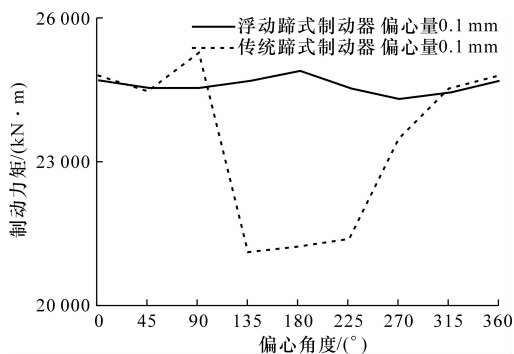


图 5 偏心角度与制动力矩的关系

偏;而传统蹄式制动器的制动力矩随偏心角度变化很大,其最大变化量可达 4 148 kN·m,是浮动式的 7.2 倍。由于偏心误差不可避免,且偏心角度又是随机的,故传统蹄式制动器容易造成左、右轮制动力矩不等而发生制动跑偏。

## 3 动力学与试验验证

### 3.1 动力学验证

为了验证以上分析的正确性,本文采用 ADAMS 动力学仿真软件,建立浮动蹄式制动器和传统蹄式制动器模型,仿真分析偏心量与制动力矩的关系。浮动蹄式制动器的制动蹄的支撑销孔设计成长条孔,即允许制动过程中领、从蹄片有微小移动,因此动力学模型中只需要给领、从蹄片的支撑销处增加移动副,允许移动位移为  $\pm 1.5$  mm。其余建模方法及仿真参数同文献[4],选择以下 3 种工况:①偏心量为 0;②制动鼓水平向左偏移 0.1 mm;③制动鼓水平向右偏移 0.1 mm。

通过动力学仿真分析,得出制动器总制动力矩随时间变化的曲线,如图 6 和下页图 7 所示。

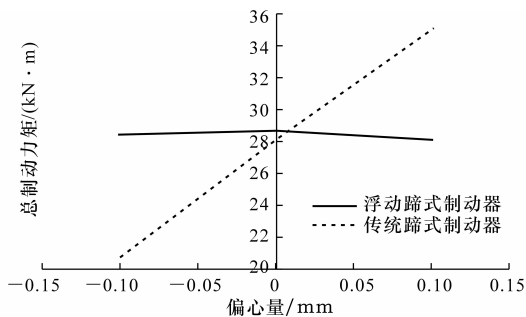


图 6 浮动蹄式与传统蹄式制动器总制动力矩与偏心量的关系

由图 6、图 7 可知,浮动蹄式制动器的总制动力矩随偏心量基本不变;而传统蹄式制动器的总制动力矩有较大变化。这与有限元分析结果相一致。

### 3.2 试验验证

对传统蹄式制动器与浮动蹄式制动器进行了车

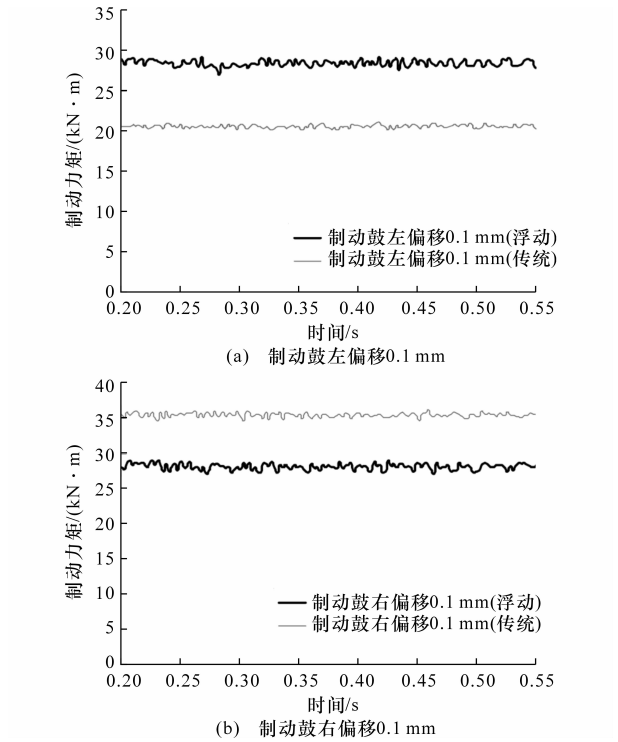


图7 浮动蹄式与传统蹄式制动器总制动力矩随时间的变化曲线  
辆跑偏台架试验,试验数据见表1、表2。表1、表2中,制动和为 $(F_1 + F_2)/G$ ;制动差为 $(F_1 - F_2)/G$ 。其中: $F_1$ 为左前轮制动力(10 N); $F_2$ 为右前轮制动力(10 N); $G$ 为轴载质量(kg)。

表1 传统蹄式制动器制动力试验(车辆磨合2 250 km)							
测量 序号	左前轮 制动力/ 10 N	右前轮 制动力/ 10 N	制动 和/ %	制动 差/ %	左前轮 质量/ kg	右前轮 质量/ kg	前轴 质量/ kg
1	1 701	1 679	86	18	1 912	2 025	3 937
2	1 844	1 776	92	17			3 933
测量 序号	左后轮 制动力/ 10 N	右后轮 制动力/ 10 N	制动 和/ %	制动 差/ %	左后轮 质量/ kg	右后轮 质量/ kg	后轴 质量/ kg
1	2 552	2 831	63	19			8 532
2	2 700	2 831	65	12	4 318	4 318	8 456

表2 浮动蹄式制动器制动力试验							
测量 序号	左前轮 制动力/ 10 N	右前轮 制动力/ 10 N	制动 和/ %	制动 差/ %	左前轮 质量/ kg	右前轮 质量/ kg	前轴 质量/ kg
1	1 637	1 675	82	4	2 085	1 965	4 050
2	1 610	1 729	82	7	2 104	1 960	4 064
测量 序号	左后轮 制动力/ 10 N	右后轮 制动力/ 10 N	制动 和/ %	制动 差/ %	左后轮 质量/ kg	右后轮 质量/ kg	后轴 质量/ kg
1	2 610	2 636	61	3	4 510	4 032	8 542
2	2 616	2 585	61	4	4 506	4 023	8 529

由表1、表2可知,传统蹄式制动器在车辆磨合2 250 km后,左右轮制动差还明显高于浮动蹄式制动器(新制动器)的制动差。这说明传统蹄式制动器的车辆左右车轮制动力矩偏差较大,容易产生跑偏现象,其结果与有限元分析结果相一致。

#### 4 结 语

(1)有限元分析结果表明,摩擦片与制动鼓之间尽管存在偏心误差,浮动蹄式制动器仍能够保证总的制动力矩基本不变,而传统蹄式制动器总的制动力矩有很大的变化;因此,在汽车制动过程中,浮动蹄式制动器有抑制制动跑偏作用。

(2)动力学分析结果表明,偏心量为-0.1 mm、0和0.1 mm时,浮动蹄式制动器的总制动力矩基本不变,而传统蹄式制动器的总制动力矩有较大变化,这与有限元分析结果相吻合。

(3)车辆跑偏台架试验结果表明,传统蹄式制动器制动差明显大于浮动蹄式制动器的制动差,说明传统蹄式制动器的车辆左右车轮制动力偏差较大,容易产生跑偏现象,这与理论分析结果相一致。

#### 参考文献: References:

[1] 王解生. 关于汽车典型故障制动跑偏的研究[J]. 科学咨询:科技管理,2010(6):91-92.  
WANG Jie-sheng. Research on the braking deviation from of typical vehicle faiure[J]. Scientific Advisory: Technology Management,2010(6):91-92.

[2] 黄宗益,李兴华,孙 蛟. 前后车轮制动器制动力矩的分配[J]. 筑路机械与施工机械化,2006,23(1):23-26,38.  
HUANG Zong-yi,LI Xing-hua,SUN Jiao. Brake ratio for brake axle[J]. Road Machinery &. Construction Mechanization,2006,23(1):23-26,38.

[3] 王庭义,吕彭民,李玉杰,等. 浮动蹄式制动器制动过程有限元分析[J]. 长安大学学报:自然科学版,2010,30(6):99-102.  
WANG Ting-yi,LU Peng-min,LI Yu-jie. et al. Finite analysis of blake process on drum brake[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(6):99-102.

[4] 王庭义,吕彭民,兰吉光,等. 鼓式制动器制动过程动力学仿真[J]. 中国公路学报,2010,23(6):115-120.  
WANG Ting-yi,LU Peng-min,LAN Ji-guang. Dynamic simulation of brake process on drum brake[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(6):115-120.