

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2017.07.016

磁流变制动器性能分析试验台的研制

王娜¹, 宋万里^{1,2}, 胡志超², 马晋涛¹

(1. 东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 农业部南京农业机械化研究所, 江苏 南京 210014)

摘 要: 在车辆制动系统中制动器的优劣直接决定了制动系统的性能优劣. 为了配合新型磁流变制动器的研制, 研发了专用测量分析磁流变制动器性能的试验台. 试验台整体分为测量模块和施加负载模块, 其中测量模块是在虚拟软件 LabVIEW 平台上开发, 它包括转速转矩传感器和数据采集卡以及虚拟仪器. 最后, 通过一系列试验证明该试验台能够完成对磁流变制动器的综合性能测试分析, 验证了试验台设计的合理性和可行性.

关 键 词: 磁流变制动器; 磁流变液; 试验台; 制动力矩; 制动时间

中图分类号: U 463.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)07-0989-04

Development of Test Bench for Measuring Performance of Magneto-Rheological Fluid Brake

WANG Na¹, SONG Wan-li^{1,2}, HU Zhi-chao², MA Jin-tao¹

(1. School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China;
2. Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China.
Corresponding author: SONG Wan-li, E-mail: songwl@me.neu.edu.cn)

Abstract: Theoretically, the quality of a vehicle braking system is mainly determined by the performance of brake. In order to coordinate the development of new magneto-rheological (MR) brake, a specific test system is developed and discussed in detail. The test apparatus system consists of measuring module and load applied module. For the system, it is a crucial problem to realize real-time measurement and display of data. Based on the LabVIEW software, the measuring module, including the speed torque sensor and the data acquisition card (DAQ card), is ultimately developed. The test system is validated to be reasonable and practical by the successful application of braking performance tests of MRB.

Key words: MR (magneto-rheological) brake; MR (magneto-rheological) fluid; test bench; braking torque; braking time

制动器是车辆正常运行必不可少的工作部件和安全部件. 目前由于车辆制动性能不足引发的事故越来越多, 因此对高性能制动器的要求日益提高. 磁流变制动器基于磁流变液的流变效应而具有响应速度快、体积小、低能耗等优点, 有望成为新一代的制动系统, 在汽车领域具有巨大的潜在市场和经济效益.

磁流变制动器试验台的功能是对磁流变制动器进行性能分析检测, 以便于对磁流变制动器的设计进行改进与完善. 试验台的好坏直接影响被试制动器性能指标的真实表示, 因此搭建性能良好的试验台非常关键. 在国外, Li 等^[1] 最早研制了检测磁流变制动器的制动力矩与磁场强度和转速关系的试验台. Karakoc 等^[2] 也研制了一种磁流变制动试验台, 该试验台能够对多盘式磁流变制动器的制动力矩进行试验测试. 在国内, 对磁流变制动器的研究处于理论研究阶段, 尚未研制针对磁流变制动器实验研究的试验台. 而且, 上述提

及的两种国外试验台虽然能够测试磁流变制动器的制动力矩,但无法完成磁流变制动器制动时间等技术指标的测试.

因此,本文根据间隙可调式磁流变制动器的工作原理以及 GB12676—1999 和 QC/T479—1999 标准^[3-4]中关于制动器试验台所要具备的试验要求等内容研制了一款针对磁流变制动器性能测试的惯性试验台. 本文针对试验台的设计原理、试验台结构设计、测量系统的研制以及试验结果分析等内容进行详细介绍.

1 试验台系统设计原理与结构设计

1.1 试验台设计原理

根据中国汽车行业标准 GB12676—1999 规定^[3]和 QC/T479—1999 规定^[4]与磁流变制动器制动工作原理^[5-7],要求制动器试验台要满足以下试验要求:制动器减速度试验;制动器响应时间试验;制动器磨合试验;制动力矩影响因素试验,包括电流、制动盘间隙、磁流变液等因素.

根据制动器制动系统以及试验要求,试验台应包括以下机构^[8]:制动压力加载模块,用于实现力矩制动;制动负载模块,用于模拟制动器制动时负载情况;驱动模块,用于提供惯量模块的能量,使其在制动压力加载前储存足够的能量;测量系统模块,用于实现试验数据的采集和处理.

1.2 试验台参数设计

1.2.1 转速参数设计

根据国家标准 QC/T479—1999 和制动器生产企业规定,在各项制动器性能试验中,所要求的制动初速度有以下几种:30,40,50,60,65 和 80 km/h. 根据车轮转速和汽车速度的公式得

$$2\pi nr = \frac{1\,000}{60} \times v.$$

(1)

式中: n 为车轮转速,r/min; r 为车轮半径,m; v 为汽车速度,m/s.

根据汽车车轮设计标准,一般车轮半径为

0.3 m. 代入式(1)计算得出不同制动初速度对应的车轮转速,如表 1 所示. 根据数据拟合原理,一般试验台转速范围为 300 ~ 600 r/min.

表 1 制动初速度与车轮转速对应表

Table 1 Initial velocity and rotating speed

初速度/(km·h ⁻¹)	30	40	50	60	65	80
转速/(r·min ⁻¹)	298	357	425	510	552	613

1.2.2 转动惯量参数设计

目前磁流变制动器还处于研发改进阶段,为了更好地测试磁流变制动器的制动性能并保证测量结果的准确性,应根据磁流变制动器制动力矩的范围设计与制动力矩等效的转动惯量值进行模拟制动器的负载^[9].

由于实验台上其余零部件的转动惯量较小,故可以忽略不计,则根据能量守恒定律得

$$\left. \begin{aligned} P_M &= M \cdot \omega, \\ E_J &= \frac{1}{2} I \omega^2. \end{aligned} \right\}.$$

(2)

式中: P_M 为磁流变制动器制动功率; E_J 为惯性飞轮储存动能; M 为转矩,N·m; I 为转动惯量,kg·m²; ω 为角速度, $\omega = 2\pi n$,rad/s.

依据被测制动器的力矩大小可知试验台的力矩测量范围为 10 ~ 15 N·m,转速为 600 r/min,将上述数据代入式(2)得: $I_{\max} = 0.48 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$; $I_{\min} = 0.32 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

1.3 试验台结构设计

磁流变制动器试验台的结构设计框图和三维构造图如图 1 和图 2 所示. 磁流变制动器与普通制动器的制动踏板加载方式不同,应采用直流电源进行制动压力的加载;试验台所需转动惯量较小,因此采用机械惯量即惯性飞轮来模拟制动器负载;驱动模块采用减速电机和电磁离合器对制动负载模块提供所需的能量;测量系统模块采用动态扭矩传感器和数据采集卡进行转速、转矩信号的采集与处理,并采用虚拟软件 LabVIEW 进行数据显示和储存.

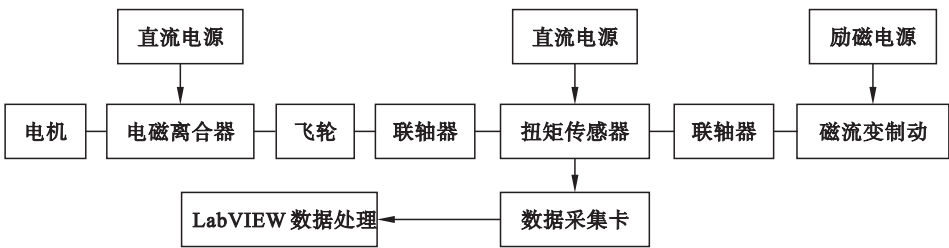
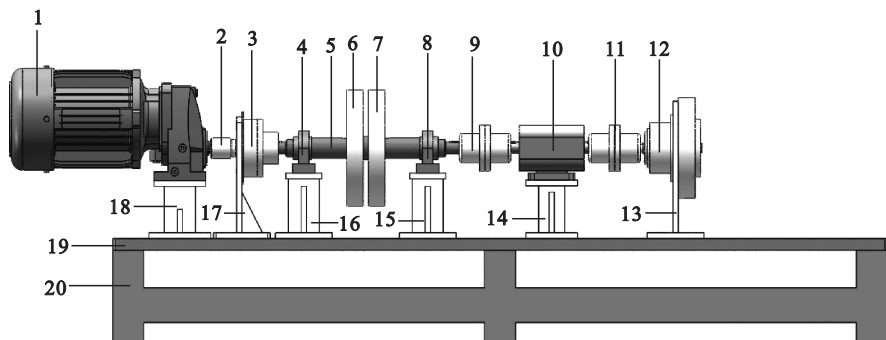


图 1 磁流变制动器性能测试试验台示意图

Fig. 1 Schematic view of performance testing rig of MR brake



1—减速电机;2—连接轴;3—电磁离合器;4、8—带座轴承;5—传动轴;6、7—惯性飞轮组合;9、11—联轴器;10—转速转矩传感器;12—磁流变液制动器;13~18—底座;19—试验台台板;20—试验台支架。

图2 磁流变液制动器试验台三维模型图

Fig. 2 Schematic diagram of magneto-rheological fluid brake test bench

其具体工作过程:启动电机和电磁离合器,当电机达到所需转速,惯性飞轮吸收足够能量后,关闭电器离合器使电机和传动轴断开,传动轴在惯性飞轮组的作用下继续转动,这时惯性飞轮组释放所吸收的能量,同时启动磁流变制动器,通过转速转矩传感器和数据采集卡将采集到的转矩和转速信号传递到 PC 机上,利用虚拟技术进行数据处理、显示和保存,通过对数据进行分析来分析制动器的性能。

2 试验台数据采集分析系统设计

依据实验要求,试验台通过采集转矩、转速信号进行制动器的性能分析,因此本文选用动态扭矩传感器进行转速和转矩信号的采集. 为了方便与准确地读出转速和转矩数值,还需采用 PCI 数据采集卡将传感器采集到的模拟信号转换为数字信号,并输送到 PC 机上通过 LabVIEW 虚拟软件的显示面板进行数值显示.

采用 LabVIEW 图形化编程软件控制测量系统^[10-11],根据试验要求的数据显示方式以及存储和保存功能,综合 PCI8602 硬件和 LabVIEW 的特点与作用,设计 LabVIEW 程序. 整个程序分为 4 个模块:驱动和初始化数据采集卡模块、数据采集模块、数据存储模块、数据显示模块. 4 个模块相互合作完成数据的采集与存储.

3 试验台可行性验证

试验台设计合理可靠的最有效的验证方法是所设计的试验台(如图3所示)能够满足《乘用车制动器性能要求与台架试验》中规定的试验项

目.为此,本文进行了如下试验来验证试验台设计的可行性.



图3 磁流变制动器试验台
Fig. 3 Test bench of MR brake

Fig. 3 Test bench of MR brake

3.1 影响制动力矩因素试验

磁流变制动器的制动效果包括制动力矩和制动时间,本文选用间隙可调式磁流变制动器作为被测对象,电流与磁流变液的厚度是影响该制动器制动力矩的因素. 试验条件:系统转速为 600 r/min,转动惯量为 $0.48 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$,通过实验得到如图 4 所示的试验结果.

从图4中可以看出:相同电流下,间隙越小制动力矩越大;相同间隙下,电流越大,制动力矩越大.电流对制动力矩的影响程度比间隙值的要大.

3.2 制动器减速度和制动响应时间试验

制动器响应时间是指制动器的制动力矩从零开始到趋于平稳的时间,它是客观反映制动效果的重要条件.制动器的减速度也是衡量制动器制动性能的关键因素,它的优劣直接关系到制动距离的远近,对车辆的安全功能起到决定性的作用.本次试验选取间隙为 0.25 mm,电流为 4 A,系统

转速为 600 r/min,转动惯量为 $0.48 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 条件下进行制动器响应时间试验,得到如图 5 所示的试验结果。

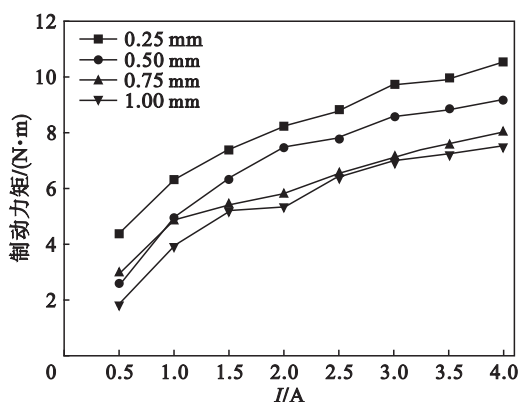


图 4 激励电流和间隙对制动力矩的影响

Fig. 4 Effect of the current and gap on braking torque

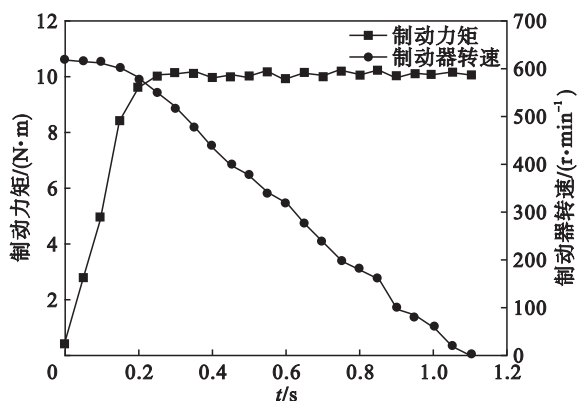


图 5 制动力矩与制动器转速随时间的变化

Fig. 5 Braking torque and rotating speed versus time

从图 5 中可以看出:制动器制动力矩从零开始增加到稳定值所需的时间为 0.3 s,符合国标中规定的制动器响应时间范围 0.15 ~ 0.3 s;系统转速近似以恒定减速度减小,证明制动力矩的数值稳定,制动器性能较高;根据减速度计算公式 $a = Mr/I$ 得出减速度的数值为 6.5 m/s^2 ,制动距离为 28 m。

4 结 论

1) 根据《乘用车制动器性能与台架试验方法》规定与磁流变制动器制动原理,考虑完整模拟磁流变制动器的制动过程和测试制动器重要技术指标,提出了磁流变制动器性能分析试验台的设计原理以及参数的计算方法。

2) 采用 LabVIEW 虚拟软件与 PCI 数据采集

卡以及动态扭矩传感器组合开发了一套高效、高精度的测量系统,并具有很好的信号类型转换以及数据处理等功能。

3) 通过进行制动器性能试验与影响制动力矩因素试验等项目,验证了试验台能够满足对磁流变制动器的测试等功能,证明试验台的设计是合理可行的。

参考文献:

- [1] Li W H, Du H. Design and experimental evaluation of a magnetorheological brake [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, 21: 508 – 515.
- [2] Karakoc K, Park E J, Suleman A. Design considerations for an automotive magnetorheological brake [J]. *Mechatronics*, 2008, 18(8): 434 – 447.
- [3] 国家质量技术监督局. 汽车制动系统结构、性能和试验方法: GB12676—1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
(The State Bureau of Quality and Technical Supervision. Road vehicle-braking systems-structure, performance and test methods: GB12676—1999 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1999.)
- [4] 国家机械工业局. 货车、客车制动器台架试验方法: QC/T479—1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
(State Bureau of Machine Building Industry. Trucks and buses-brake-bench test methods: QC/T479—1999 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1999.)
- [5] Assadsangabi B, Daneshmand F, Vahdati N, et al. Optimization and design of disk-type MR brakes [J]. *International Journal of Automotive Technology*, 2011, 12(6): 921 – 932.
- [6] Olabi A G, Grunwald A. Design and application of magnetorheological fluid [J]. *Materials & Design*, 2007, 28(10): 2658 – 2664.
- [7] Nguyen Q H, Lang V T, Nguyen N D, et al. Geometric optimal design of a magneto-rheological brake considering different shapes for the brake envelope [J]. *Smart Materials & Structures*, 2014, 23(1): 203 – 208.
- [8] Akay A, Giannini O, Massi F, et al. Disc brake squeal characterization through simplified test rigs [J]. *Mechanical Systems & Signal Processing*, 2009, 23(8): 2590 – 2607.
- [9] 陈其志. 摩托车 ABS 试验台研制及试验研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
(Chen Qi-zhi. Develop and experimental study in the motorcycle ABS experimental platform [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2005.)
- [10] Xiong G, Ling B L. Multi-channel data acquisition system based on LabVIEW [J]. *Nuclear Electronics & Detection Technology*, 2013, 33(1): 19 – 22.
- [11] Shi C, Teng G, Li Z. Approach of pig weight estimation using binocular stereo system based on LabVIEW [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2016, 129: 37 – 43.