

摩托车车架多轴向多激励道路模拟试验方法研究

邹喜红^{1,3}, 熊 锋¹, 余 勇², 王锐利⁴

(1. 重庆理工大学 汽车零部件制造及检测技术教育部重点实验室, 重庆 400054; 2. 重庆市科学技术研究院, 重庆 400054; 3. 重庆建设摩托车股份有限公司, 重庆 400054; 4. 上海通用汽车有限公司武汉分公司, 武汉 430208)

摘 要: 为在室内比较全面考核摩托车车架在实际道路行驶载荷作用下的疲劳可靠性, 结合车架有限元分析建立了摩托车车架道路载荷谱采集方法, 并对道路载荷谱进行了采集和分析。在分析摩托车车架实际行驶受力情况基础上, 基于远程参数控制技术, 结合美国 MTS 液压伺服作动器和控制系统, 设计并搭建了一套多轴向多激励摩托车车架道路模拟试验平台, 并提出了力-位移混合控制的道路载荷谱模拟迭代方法。结合所采集的摩托车车架道路载荷谱, 采用力加载控制和惯性加载控制混合加载控制方式, 在室内对摩托车车架道路载荷谱进行了高效准确的模拟, 并建立了摩托车车架多轴向多激励道路模拟试验方法, 为在室内考核摩托车车架的疲劳可靠性提供了一种行之有效的方法。

关键词: 摩托车车架; 多轴向多激励; 远程参数控制; 混合控制; 道路模拟

中图分类号: U467.3

文献标识码: A

DOI:10.13465/j.cnki.jvs.2014.05.031

Multi-axial and multi-channel road simulation method for motorcycle frames

ZOU Xi-hong^{1,3}, XIONG Feng¹, YU Yong², WANG Rui-li⁴

- (1. Key Laboratory of Manufacture and Test Techniques for Automobile Parts, Ministry of Education, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China;
2. Chongqing Academy of Science and Technology, Chongqing 400054, China;
3. Chongqing Jianshe Motorcycle Co., Ltd, Chongqing 400054, China;
4. Shanghai General Motors Co., Ltd. Wuhan Branch, Wuhan 430208, China)

Abstract: To achieve comprehensive indoor assessment of motorcycle frame fatigue reliability under impact of moving load on real roads, an acquisition method of road load spectrum based on a finite element analysis of a frame was established, and the collection and analysis of road load spectra were then completed. A multi-axial and multi-channel road simulation tests platform for motorcycle frame test was designed and built, based on the analysis of practical driving load of motorcycle frames, combining with the remote parametric control (RPC) technology and the American MTS hydraulic servo actuator and control system. An iterative method of simulating road load spectrum with force-displacement mixed control was put forward. Applying the collected road load spectra of motorcycle frames and adopting a loading control mode, mixing the force loading control and inertial loading control, the road load spectrum of motorcycle frames was efficiently and accurately simulated indoor. A multi-axial and multi-channel road simulation test method for motorcycle frames was established, an effective indoor method for fatigue reliability assessment of motorcycle frames was provided.

Key words: motorcycle frame; load spectrum; remote parametric control; mixed control; road simulation

摩托车车架是整车最关键的承载部件, 车架本身的刚度、强度、质量等因素对整车的操纵稳定性、乘员舒适性起着决定性作用。因此在车架新产品投入市场之前, 必须要通过可靠性试验验证^[1]。

国内外摩托车车架的疲劳可靠性试验主要有道路试验、试验场试验和室内台架试验。其中道路试验和试验场试验, 所需周期长, 耗费大, 且试验结果容易受

环境因素影响^[1-2]。目前摩托车车架室内台架试验, 主要采用单轴向单激励方式或单轴向多激励方式进行, 由于摩托车车架的行驶条件和行驶载荷相当复杂, 这些激励加载方式不能模拟摩托车车架实际运行中所受到的多轴向载荷激励, 模拟精度不高, 容易出现过试验和欠试验^[1,3]。

基于 RPC(远程参数控制)的道路模拟试验能够在室内快速准确复现车辆实际道路行驶时所受的载荷冲击, 精度高, 周期短, 重复性好, 在汽车及其零部件疲劳耐久性考核中应用越来越广泛^[4,10]。因此, 本文结合美国 MTS 液压伺服作动器和远程参数控制技术, 构建

基金项目: 重庆理工大学研究生创新基金资助项目(YCX2013201); 重庆市科技攻关计划资助项目(cstc2012gg-yyjsB30002)

收稿日期: 2013-08-26 修改稿收到日期: 2013-10-10

第一作者 邹喜红 男, 博士, 副教授, 1976年生

了摩托车车架多轴向多激励道路模拟试验台架,采集了大量道路载荷谱,提出了力-位移混合控制的摩托车车架道路载荷谱模拟迭代方法,建立了摩托车车架多轴向多激励道路模拟试验方法,对摩托车车架实际行驶载荷进行了准确的复现,为摩托车车架室内疲劳可靠性考核和评估提供了一种行之有效的新方法。

1 摩托车车架道路载荷谱采集与分析

1.1 道路载荷谱测点布置及采集

所谓的摩托车车架道路载荷谱,是指实际道路行驶中所受到的来自路面不平度的冲击振动在车架的某些特定部位所表现出来的时间历程数据,主要有加速度信号、位移信号、应变信号、力或力矩信号等随时间变化的数据。摩托车舒适性等性能主要通过前轴、后轴、手把、坐垫、坐位、脚踏板和货架等部位的加速度来表达;而欲研究车架及附件的疲劳特性,则主要是通过部件应变时间历程来描述。因此本次路试主要采集摩托车车架特定部位加速度信号和应变信号,经过信号处理后作为室内摩托车台架试验的期望响应信号。

道路模拟试验是以实际道路载荷谱为基础的,载荷谱的精确与否,直接影响到试验结果的好坏。因此在布置测点时,须突出重点,同时还要兼顾全面。因此,首先运用有限元对车架进行静力学分析可以获得其受力分布,发现应力集中点和薄弱部位(如图 1 所示),指导应变测点的选择^[5]。

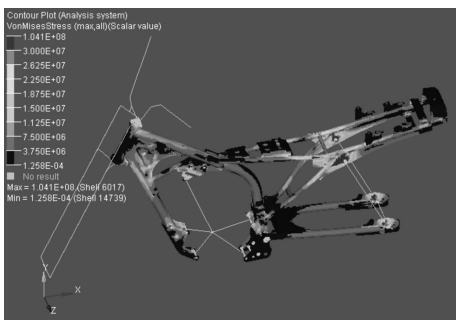


图 1 车架应力分布云图

Fig. 1 Frame stress distribution nephogram

从车架应力分布云图 1 可以看出幅值较大的应力主要分布在前转向立管的与主梁交汇处、坐垫处横管与尾管相交处、后减震器上下悬挂点处、发动机悬置处、以及后平叉与车架的连接处等。因此根据有限元分析结果,结合用户市场反馈的失效信息,布置了 34 个应变测点,如图 2 所示。

另外,在车轮前后轴、手把、坐垫、坐位、脚踏板和货架等处布置了加速度传感器,以考察摩托车的平顺性和舒适性,以及监测振动情况。图 2 中代号 AC1 ~ AC7 代表加速度传感器,S 代表应变片;图 3 为应变片和传感器布置实物图。

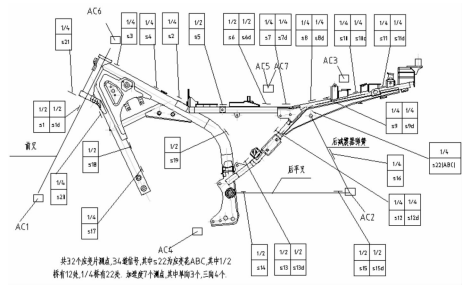


图 2 车架传感器及应变片布置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the frame arrangement of sensors and strain gauges



图 3 应变片和传感器布置实物图

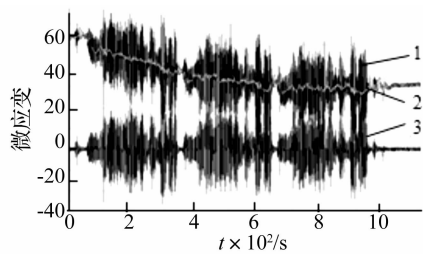
Fig. 3 Physical map of strain gauge and sensor arrangement

试验路段的选择应具有典型性,此次采集路段为某摩托车企业的道路耐久性试验路段,包括碎石路(巴南区南湖)和平坦路(南岸区长生镇)两种。利用等间隔数据采集方法,在碎石路段,车速范围是 20 km/h 到 50 km/h,速度间隔 10 km/h,路段长度为 3 km;在平坦路段,车速范围是 20 km/h 到 80 km/h,速度间隔为 20 km/h,路段长度为 2 km;两种路段采用频率均为 1 024 Hz。数据采集过程中用 GPS 车速仪对车速进行实时监测;为验证采集载荷谱的可靠性和重复性,不同路况均各采样两个循环。

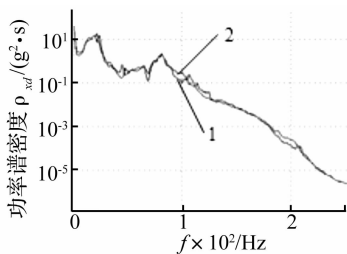
1.2 道路载荷谱分析

采集的原始响应信号中可能混入了一些非真实的信号,如零点漂移、趋势项和高频噪声等,为保证载荷谱的可靠性和真实性,需要对采集到的信号进行必要的分析和处理^[6]。本文首先对载荷谱进行了滤波处理,分别以 0-1.5 Hz 和 1.5-50 Hz 带通滤波器对原始数据加以滤波(如图 4 所示)。将两频带的数据与原始数据进行比较,发现 0-1.5 Hz 频带信号时间历程的幅值不足真实信号幅值的 5%,属正常信噪水平,而 1.5-50 Hz 频带信号幅值基本在零点(即无漂移),由此可以说明使用 1.5-50 Hz 带宽滤波是可靠的。

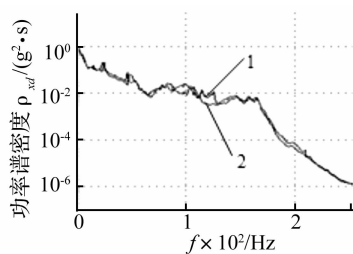
另外,为检验采集数据的重复性,提取碎石路 20 km/h 工况下,比较关注的车架易失效的 S3(前主梁)和 S8(坐垫处)两个部位两次采集的应变信号,经预处理后进行功率谱密度分析,如图 5 所示。



1. 原始信号 2. 0-1.5 Hz 频带信号
3. 1.5-50Hz 滤波去偏置后信号
图4 应变时间历程处理前后对比
Fig.4 Comparison of the strain time histories before and after treatment



(a) S_3 (前主梁)处应变功率谱密度比较



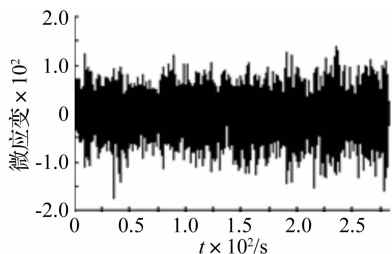
(b) S_8 (坐垫处)处应变功率谱密度比较

1. 第一次采集信号 2. 第二次采集信号
图5 S_3 和 S_8 处应变功率谱密度分析

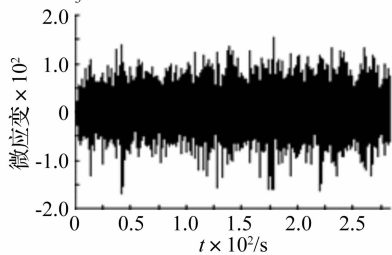
Fig.5 S_3 and S_8 strain power spectral density analysis

由图5可以看出两次试验功率谱趋势完全相同,且基本重合,数据的重复性较好。截取任意一个循环的信号,经过去除伪信号等处理后均可以作为期望响应信号。

为缩短试验周期,降低成本,在确保试验精度的前提下,还有必要剔除采集的原始响应信号中应力水平较低,对疲劳损伤贡献较小的小信号分量,得到浓缩的载荷谱。本文将载荷谱最大幅值的5% - 10%的幅值作为剔除小信号的幅值阈值,选取保留90%到100%之间的损伤量编辑信号,效果比较理想。图6是通过损伤编辑后碎石路面20Km/h工况下 S_3 和 S_8 处应变期望响应信号。



(a) S_3 (前主梁)处应变期望响应信号



(b) S_8 (坐垫处)处应变期望响应信号

图6 S_3 和 S_8 处应变期望响应信号

Fig.6 S_3 and S_8 strain expected response signal

2 摩托车车架多轴向多激励道路模拟装置设计

摩托车所受的载荷主要包括两个方面:①车架及安装的发动机等附件的重力 G ,驾驶员重力 F_1 、乘员或货物重力 F_2 ,以及由其引发的惯性力;②通过前后轮胎

传递的路面激励在车架连接处的作用力。从受力的方向来分,主要可分解为垂直方向上的力 F_v 以及水平方向上的力 F_H ^[7]。如图7所示。

为全面模拟车架实际行驶中受到的来自铅垂方向和水平方向所受的激励载荷,构建了如图8和图9所示摩托车车架道路模拟试验装置。试验装置中采用两套作动器对车架进行加载,作动器4对导轨滑块进行力控制加载,并通过前夹具对车架施加载荷,模拟前轮对车架水平和垂直方向的激励;作动器9对车架进行位移(加速度)控制,对车架施加位移,从而通过配重块对车架施加惯性力,模拟摩托车前后乘员、货物惯性力和后轮对车架的激励^[7-8]。为防止系统运动干涉,作动器9两端用平面铰连接。

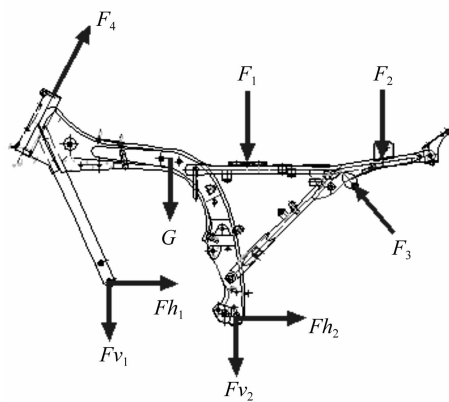


图7 摩托车车架简易受力分析

Fig.7 Simple stress analysis of motorcycle frame

1. 安装基座 (T型槽)
2. 导轨安装基座
3. 水平作动器后支座
4. 9. 作动器
5. 支承平面
6. 车架及配件
7. 车架后支座
8. 垂直连接夹具
10. 龙门架图

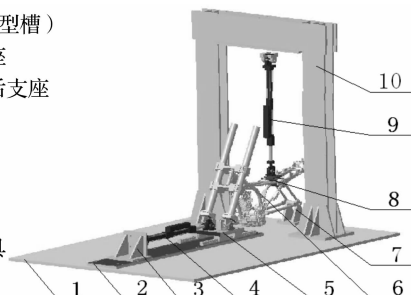


图8 试验装置的三维模型

Fig.8 Three dimensional model of test device

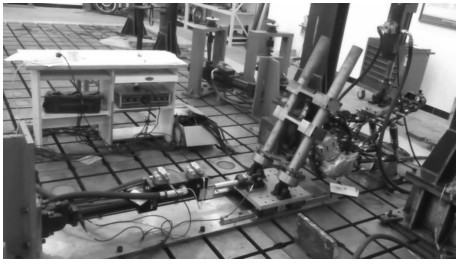


图 9 试验装置的实物图

Fig. 9 The physical map of test device

3 基于力 - 位移混合控制的道路载荷谱模拟迭代

3.1 控制方式选取:如前所述,用图 13 所示的水平作动器和垂直作动器联合加载,模拟车架实际行驶时所受的多轴向激励。在水平方向上,车架对力变化比位移变化更加敏感,即力分辨率较高,因此水平作动器选用力控制模式。相反,铅垂方向上,车架对位移变化比力变化敏感,即位移分辨率较高,因此铅垂作动器选用位移控制模式。

3.2 迭代点的选取:本试验选用方阵控制,选取两个目标响应信号迭代点。迭代点的选择应遵循两个原则:①尽量靠近作动器的作用点;②对应变、加速度等较为敏感。通过分析选择如图 10 所示迭代点 1(即 S3 处)和迭代点 2(S8 处)。

按图 9 所示搭建好试验台架后,在试车场采集载荷谱测点的相同位置布置加速度和应变传感器,进行模拟迭代。

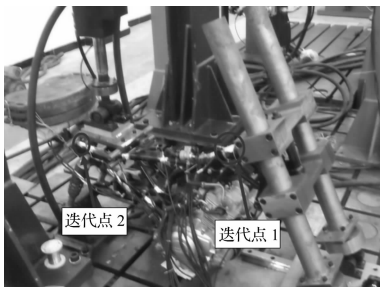


图 10 车架迭代点位置

Fig. 10 Frame iteration point position

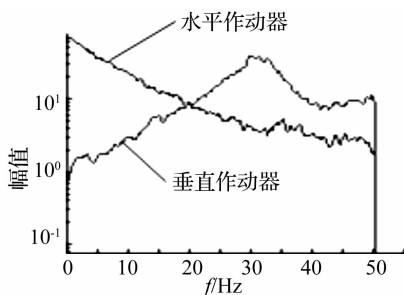


图 11 系统频响函数

Fig. 11 System frequency response function

(1)首先通过产生宽带数字白噪声信号 $X(f)$ 作为液压作动器的输入(水平作动器为力激励,垂直作动器为位移激励),同时采集目标响应点的输出 $Y(f)$,根据式(1)求解系统的频响函数 $H(f)$,如图 11 所示:

$$H(f) = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)} \quad (1)$$

式中, $S_{xy}(f)$ 为输入与输出的互功率谱; $S_{xx}(f)$ 为输入的自功率谱。

(2)用编辑好的目标响应信号和测量的系统频响函数逆矩阵 $H^{-1}(f)$,按公式 $X_1(f) = H^{-1}(f)Y(f)$ 计算初始激励驱动信号 $X_1(f)$

(3)用 $X_1(f)$ 驱动系统,通过传感器回收响应信号 $Y_1(f)$,将 $Y_1(f)$ 与目标响应信号 $Y(f)$ 进行比较获得信号 ΔY ,通过误差信号与系统频响函数逆矩阵计算校正信号 $\Delta X(f) = H^{-1}(f)\Delta Y(f)$ 。

(4)校正信号 $\Delta X(f)$ 乘上衰减系数与驱动信号 $X_1(f)$ 相加得到第二次驱动信号 $X_2(f)$ 。

重复以上步骤,直到响应信号 $Y_n(f)$ 与目标响应信号 $Y(f)$ 的误差在可以接受的范围内为止^[4,6]。



图 12 配重示意图

Fig. 12 Schematic diagram of the counterweight

由于本文是力 - 位移耦合控制,车架的配重就显得非常重要。为此本文对作动器前后即乘员处和货架处进行了配置,如图 12 所示。由于采集道路载荷谱时,后货架为数采设备及附件,经称重为 30 kg,因此乘员处配重为 60 kg,货架处配重为 30 kg,通过反复模拟迭代,迭代误差收敛曲线如图 13 所示。由图 13 可以看出,迭代点的误差均能快速收敛,经过 17 次迭代后各迭代点的误差均在 10% 以内,满足工程应用要求。

4 摩托车车架道路模拟试验

以最后一次迭代的驱动信号建立驱动信号文件,得到如图 14 所示的最终驱动信号。水平作动器为力输入,垂直作动器为位移输入。分别对各种路面各种工况采集的道路载荷谱进行模拟迭代,得到最终驱动信号,把各驱动进行连接,得到车架道路模拟试验驱动信号,以此驱动信号为输入进行车架疲劳耐久性试验^[9-10],并对各测量进行实时监测,为高效准确的考核摩托车车架的疲劳可靠性提供了一种思路和方法。

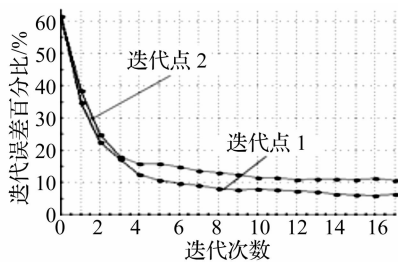


图13 模拟迭代误差收敛曲线

Fig. 13 Iterative simulation

error convergence curve

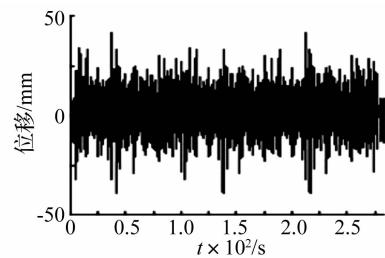
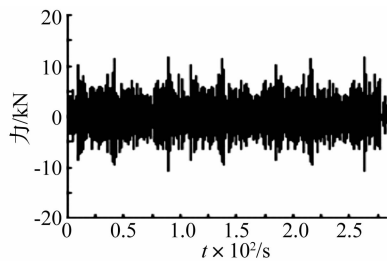


图14 作动器驱动信号

Fig. 14 Actuator drive signal

5 结论

(1)通过对采集的道路载荷谱分析处理表明,采集方法正确,采集的载荷谱重复性好,准确可靠。

(2)通过摩托车车架实际行驶时的受力分析,设计了一套多轴向多激励摩托车车架道路模拟试验装置,装夹和加载方式更接近摩托车车架实际行驶受力情况。

(3)在摩托车车架道路载荷谱模拟迭代过程中,采用力-位移混合控制方式,即实现了多轴向多激励试验的解耦问题,又能得到很高的模拟迭代精度,特别适合于摩托车车架等类似复杂受力构件。

参考文献

- [1] 石晓辉,王锐利,邹喜红,等. 摩托车车架三通道道路模拟试验装置设计[J]. 机械设计与制造, 2013(3):194-196.
SHI Xiao-hui, WANG Rui-li, ZOU Xi-hong. Design of Three-channel Road Simulator for Motorcycle Frame[J]. Mechanical design and manufacturing, 2013(3):194-196.
- [2] 杨帆,孟繁星,占少民. 车辆可靠性道路模拟技术理论基础研究[J]. 科学时代, 2010(21):124-125.
YANG Fan, MENG Fan-xing, ZHAN Shao-min. Research about theoretical basis of road simulation for durability of vehicle[J]. Science Times, 2010(21):124-125.
- [3] 汪学岭,毕传兴,李青. 基于长时间历程时域控制技术的激励谱编制方法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2010, 33(11):1601-1604.
WANG Xue-ling, BI Chuan-xing, LI Qing. Method for establishing drive spectrum based on long time history time domain control technology[J]. Journal of hefei university of

technology(Natural Science). 2010, 33(11):1601-1604.

- [4] 石锋,王红钢,刘再生,等. 路谱台架试验研究[J]. 振动与冲击, 2012, 31(19):10-14.
Shi Feng, Wang Hong-gang, Liu Zai-sheng. Road spectrum rig test[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(19):10-14.
- [5] 徐中明,余烽,汪先国,等. 全地形车架挂发动机结构动态特性建模方法[J]. 振动与冲击, 2011, 30(6):10-14.
XU Zhong-ming, YU Feng, WANG Xian-guo. Modeling on dynamic characteristics of ATV frame with elastically mounted engine[J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(6):10-14.
- [6] 邹喜红, 谯凯, 石晓辉, 等. 基于远程参数控制的DCT关键零部件道路模拟试验[J]. 中国机械工程, 2013, 24(11):1537-1541.
ZOU Xi-hong, QIAO Kai, SHI Xiao-hui. Road simulation test of DCT key parts based on remote parameter control[J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24(11):1537-1541.
- [7] 顾怀宁, 高建民. 摩托车车架强度试验方法探讨[J]. 摩托车技术, 2010(8):39-42.
GU Huai-ning, GAO Jian-min. Experimental studies on strength of motorcycle frame[J]. Motorcycle Technology, 2010(8):39-42.
- [8] Chandrakant Awate, Panse S. Validation of an Accelerated Test on a 4-Post Road Simulator[R]. SAE paper: 2007-26-070.
- [9] Wang B, Guo X X, Xu Z. Research on road simulator with iterative learning control[J]. SAE paper2001-01-2908, 2009.
- [10] Xu P J, Wong D. Pierre leblanc, gerry peticca. road test simulation technology in light vehicle development and durability evaluation[J]. SAEpaper2005-01-0584, 2005.