

# 运输车辆振动环境与人体响应的监测研究\*

申仲翰

黄清华 祝发荣 陈德成

(中国科学院力学研究所,北京 100080) (北京大学力学系,北京 100871)

**摘要** 本文以五十铃八吨运输汽车为对象,针对其在青藏公路上格尔木至拉萨段的行驶路线,进行了以座椅和驾驶员腰部为重点的振动测试。并对测量结果作了规律性分析。

**关键词:** 振动环境,加速度,频率,人体响应

**中图分类号:** O329

## 0 引言

作为陆上交通工具的汽车,振动是困扰驾驶者及乘员舒适性的重要指标,尤其是对于行驶在不平路段的运输货车,振动环境对人身健康是至关重要的。以内地通往拉萨的大动脉——青藏公路为例,长年行驶的运输车辆是物资交流的主要工具,驾驶员多为解放军战士,他们不怕艰苦,努力克服高原缺氧的困难。奔驰在海拔数千公尺的高原上,绝大多数人患有不同程度的职业性疾病——腰痛。显然,作为体重支撑结构的脊柱,在较强振动的持续作用下,长期承受的垂直方向的动载很可能是导致病痛的原因之一。为此,本文对行驶于青藏公路的运输车座椅及驾驶员腰部的振动状况进行了现场实际监测。并对结果作了分析研究。

## 1 测量方案

### 1.1 测点的确定

为了对驾驶员所感受的振动环境作出评估,我们的研究是从测试人体臀部所承受的垂直振动着手;由于人体是和座垫直接接触的,所以振动的测点设在人的臀部和座垫之间。为此,我们设计了一个木制圆盘,在盘的中心沿垂直盘面方向安装加速度传感器,并且将圆盘平放在臀部和座椅之间。于是由传感器测得的振动即代表行车过程中驾驶员臀部所承受的振动。与此同时为了确知座椅本身的振动,又将另外一只传感器装在座椅的框架上,两个传感器的测试方向均为垂直,其分布形式如图1所示。

设车体质量为  $M$ ,整个车体通过由轮胎及板簧串连的弹簧-阻尼系统与地面相接,当车行进时,振动自地面输入。

另外,为了估计人的腰部的振动,我们还在驾驶

员束紧的腰带上装了传感器,以测量水平和垂直方向的振动。

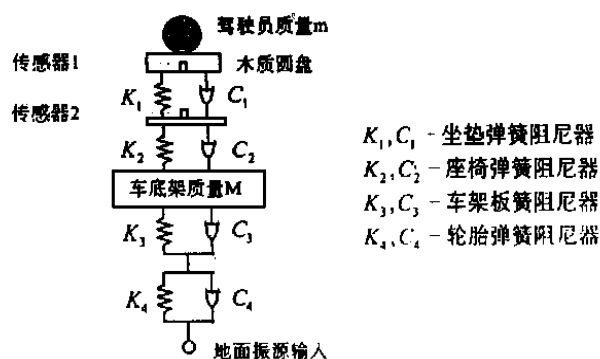


图1 汽车振动特性系统示意图

### 1.2 测量工况的选定原则

测试所用车型为五十铃八吨载重汽车,测量工作涉及到各种工况。其选定原则为不同车速与不同路况(即不同路面谱)的组合,重点放在运输车辆行驶在各种路段的常用车速,以使所测结果具有代表性。

### 1.3 测试仪器系统的配置

振动测量所用的仪器组合系统可表示为图2所示之框图。

图中所用加速度传感器为B&K公司生产的4375型压电式敏感元件,前置放大器为B&K2635型,低通滤波器上限选为100Hz,以滤去与被测信号无关的高频杂散噪声。A/D采集卡为12位字长,使用的采集软件为北京大学力学系研制的VIBDSP信号采集与分析系统。测量仪器用电由不间断电源UPS供给。

## 2 测试结果及分析

测试工作是按照确定的车速并针对不同路段而

\* 收稿日期:2000-08-17

第一作者 申仲翰 男,研究员,1939年9月生

进行的。测点分布于座椅底部、坐垫上部,以及束紧于驾驶员腰部之护带的垂直方向和水平向前方向。振动的计算以加速度表示,单位  $m/s^2$  (米/秒<sup>2</sup>)。

测量工作自 1998 年 9 月 11 日开始,9 月 15 日结束,共历时五天。现从大量测试数据中选择具有代表性的部分作出如下处理分析。

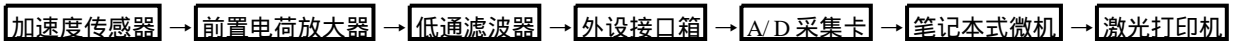


图 2 测量仪器系统示意图

图 3(a) 为腰部护带处垂直方向(上图)、水平沿前进方向(下图)的加速度时程曲线。

2.1 驾驶员座椅的振动测量和分析

图 3 所示为运输车行驶于沱沱河 - 唐古拉路段之土石便道时的测试结果,其分为(a)、(b)两图,图(a)之上部分为驾驶员座椅底框架的振动加速度时程曲线,下部分则为坐垫上的振动加速度时程曲线,图(b)中的上下两部分则分别为与图(a)中两条时程曲线相对应的自动率谱图。分析曲线可知座椅底框架之振动加速度为  $\pm 6m/s^2$ ,而通过座椅弹簧隔离后的坐垫振动仅有  $\pm 3m/s^2$ 。从频谱图上看,两者之振动主频均为 2Hz,但在座椅下框的振动中含有较多的 2~40Hz 的成分,这些较高频率的分量在通过坐垫弹簧后即被隔离。

肌体的动能;而在不系护腰的状态下,腰部振动系统的刚度偏小,一部分动能因传递不畅而消耗于腰部的肌肉,反映在传感器上的现象就是振动量偏小,但消耗的能量将造成腰部肌体的疲劳。由此可知,系护腰对驾驶者是有保护作用的。

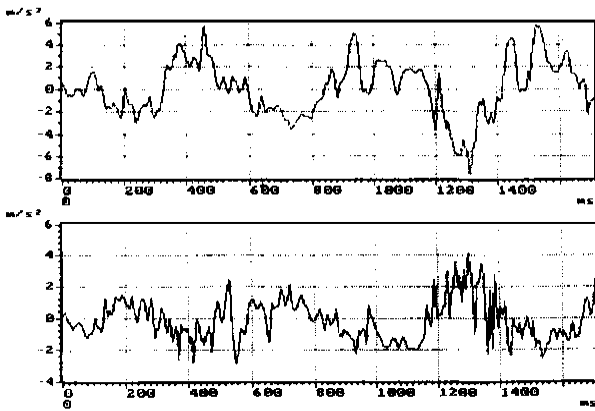


图 3(a) 土石便道(沱沱河 - 唐古拉),车速 40 Km/h

2.2 驾驶员腰部的振动测量和分析

护腰是骨伤疾病治疗中的一种辅助性器械,它是具有一定宽度和厚度的腰带,系上之后可维持腰部的稳定挺直,宜于缓解伤痛,减轻疲劳。因此,驾驶员系护腰与否对同等条件下消耗于腰部的振动能量是不同的。典型测试数据列于表 1,其反映了车辆行驶于柏油路面时的振动情况。

分析表中数据可知,垂直振动大于水平振动,系护腰时的振动测量值大于不系护腰的测量值,这一现象可作如下解释:在有护腰的状态下,腰部振动系统的刚度较大,因此座椅的振动传至护腰带,使位于其上的传感器测出了较大的振动值,这样正好减弱了激励腰部

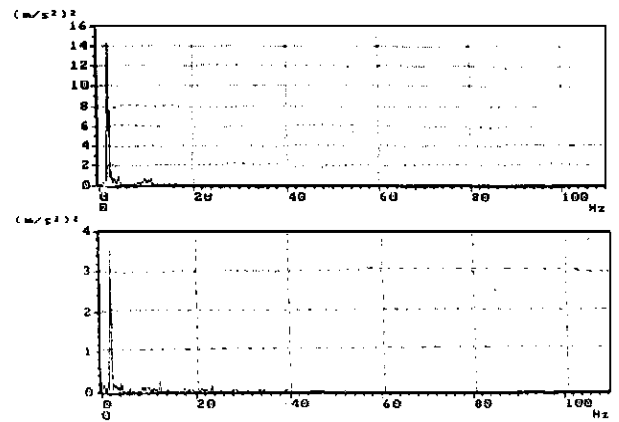


图 3(b) 与图 3(a) 中时程曲线对应的自动率谱

表 1 驾驶员腰部振动系统情况列表

		车 速			
		10Km/h	30Km/h	60Km/h	
不系护腰	峰值加速度 ( $m/s^2$ )	垂直方向	0.8	4	2.5
		水平前进方向	0.3	1.4	1.7
	峰值频率 (Hz)	垂直方向	2	2~5	2~10
		水平前进方向	2~8	1~14	5~14
系护腰	峰值加速度 ( $m/s^2$ )	垂直方向	2	4	4
		水平前进方向	1	2	2.5
	峰值频率 (Hz)	垂直方向	1~6	2~4	2~5
		水平前进方向	1~8	2~4	2~11

2.3 振动对人体健康的影响

关于这一问题的讨论可从人体对振动环境的适应能力进行分析。首先估计驾驶员所承受的基本振动环境,当汽车以 40Km/h 之车速行驶于柏油路面时,根据抽样测试所得的坐垫上之峰值加速度约为  $0.6 \sim 3m/s^2$  之间;在土石路面上行驶时坐垫上之加速度振动最大可达  $6m/s^2$ 。现结合实际路况分布,按均方根值估算,在柏油路面上的振动加速度峰值约为  $0.4 \sim 2m/s^2$ ,土石路面上可达  $4m/s^2$ 。

根据人体承受纵向振动的“疲劳 - 工效降低限”所

示标准(ISO标准-2631)<sup>[2]</sup>,当主频为2Hz,幅值为 $2\text{m/s}^2$ 时,其疲劳界限值为25分钟到1小时之间。按上述的“承受极限”标准分析,其暴露时间也仅为2.5小时,这表明长时间在前述条件下开车是极易疲劳的,对身体健康也有影响。又根据人体机械动力学模型,人体脊柱的固有振动频率范围为 $10\sim 12\text{Hz}$ <sup>[3]</sup>,与前述2Hz的振动相距甚远,不会产生耦合共振,因而对脊柱之损伤可以认为尚未构成严重威胁。

### 3 结 束 语

(1) 五十铃八吨载重汽车以 $40\text{Km/h}$ 的速度在柏油路段上行驶时驾驶员臀部承受的均方根加速度振动约为 $0.4\sim 2\text{m/s}^2$ ,于土石路面上行车时振动会加大,最大均方根加速度可达 $4\text{m/s}^2$ 。主峰能频率约为2Hz;但有些路段峰能频率相对分散,分布于 $1\sim 10\text{Hz}$ 的频带内。

(2) 驾驶座椅之坐垫相当于一个滤波装置,它隔离了10Hz以上的高频振动。

(3) 行车中的座椅振动环境易导致驾驶员的疲

劳,对身体健康亦有影响,特别是 $2\text{m/s}^2$ 以上的振动更是如此。当然,由于路况的好与差是相间变化的,从而形成了一定的调节作用。

(4) 护腰设备对驾驶员的腰部健康有一定维护作用。

(5) 从驾驶员腰部振动测试结果可知,在大多数路段上,垂直振动大于水平向前方向的振动。

(6) 振源的形成主要来自路面,它是路面状况与行驶速度的函数。

(7) 根据以上分析,在青藏公路上工作的驾驶员,每连续驾驶1至2小时后,应适休息一下,缓解疲劳。此外,可在座椅上和靠背处进一步增加隔振措施,也可起到一定的缓解疲劳效果。

### 参 考 文 献

- 1 申仲翰,欧阳怡,郭泰. 拖拉机-拖车系统的随机振动响应分析与实验研究. 农业机械学报,1980,1(1):9-19
- 2 C. M. 哈里斯. 冲击和振动手册,北京:科学出版社,1990
- 3 振动与冲击手册编辑委员会编著. 振动与冲击手册第三卷:工程应用. 北京:国防工业出版社,1992

(上接第40页)

保护的设计规则》的情况下,对汽车纵向碰撞控制结构设计理论与方法的研究就更具现实意义了。

### 参 考 文 献

- 1 滕丽静. 我国汽车“正面碰撞”实现法规化[J]. 汽车与安全,2000,(6):8-11
- 2 M. M. 凯墨尔, J. A. 沃夫[美]编,陈砺志译. 现代汽车结构分析,北京:人民交通出版社,1987
- 3 崔淑兰. 汽车被动安全性[J]. 世界汽车,1996,(5):10-12
- 4 Zhong Zihua. Finite element procedures of contact-impact problems[M]. Oxford:Oxford University Press,1993
- 5 雷正保等. 受冲薄壁结构动力效应的显式有限元分析[J]. 力学学报,2000,32(1):70-77
- 6 朱西产. 应用计算机模拟技术研究汽车碰撞安全性[J]. 世界汽车,1997(3):15-35
- 7 贾宏波等. 车身碰撞仿真技术在红旗轿车车身开发中的应用. 汽车工程,198043,1998,20(5):257-261
- 8 Dan Holt. Light truck study shows that the number of parts used in

the structure and body can be reduced. Automotive Engineering, 1997(6):38-40

- 9 雷正保等. 汽车前部纵向冲击力学特性加权优化设计[J]. 振动与冲击,1998,17(4):49-52
- 10 雷正保等. 相似结构动力响应的外推方法及精度特性[J]. 振动与冲击,1999,18(2):17-22
- 11 雷正保等. 动态大位移大转角大变形弹塑性结构的相似比[J]. 机械工程学报,1999,35(2):6-9
- 12 雷正保等. 受冲板壳结构的大变形弹塑性力学特性分析[J]. 振动工程学报,2000,13(1):78-83
- 13 El-Sobky H. Singace A A. Profiled polymer pipes as re-usable energy absorption elements. International Journal of Mechanical Sciences,1999,41(9):1385-1400
- 14 Santosa S, Wierzbicki T. Effect of an ultralight metal filler on the bending collapse behavior of thin-walled prismatic columns. International Journal of Mechanical Sciences,1999,41(8):891-1030
- 15 Ambrosio J A C, etc. Crashworthiness of transportation systems: Structural impact and occupant protection. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers,1997
- 16 张廷楷主编. 高速公路. 北京:人民交通出版社,1993

## A STUDY ON THE DYNAMICS OF A CRACKED JEFFCOTT ROTOR

Zhu Houjun Zhao Mei Wang Deyang

(National Key Lab. of Vibration ,Shock and Noise ,Shanghai Jiaotong University ,Shanghai 200030)

**Abstract** The dynamic behavior of a horizontal cracked Jeffcott rotor is investigated in the paper. With the influence of whirl speed taken into account ,the flexural stiffness matrix of the cracked shaft is derived. The equations of motion of the cracked rotor are derived and its dynamical behaviors are analyzed. Numerical analysis demonstrates that the responses of the vibration contain  $2x, 3x \dots$  exponents ,reaching its maximum value when  $\omega = 1/2, 1/3 \dots$  respectively. The components of high frequency almost disappear when the rotor runs in the supercritical region ,but their phases change violently.  $\bar{e}$  influence mainly  $1X$  component. The center of the motion orbit of the rotor changes because of the existence of crack. The crack keeps open or close when the rotor runs near the critical speed. Otherwise ,it opens and closes by turns if  $\bar{e}$  is less than 1.

**Key words** :cracked rotor ,nonlinear vibration ,numerical anlysis ,rotor dynamics

## MAGNETORHEOLOGICAL DAMPER 'S DAMPING FORCE MODEL AND THE DEFINITION OF ITS PARAMETER

Guan Xinchun Ou Jinping

(Harbin University of Civil Engineering and Architecture ,Harbin 150090)

**Abstract** In the paper ,the characteristics of magnetorheological demper 's damping force and its common model are analyzed and an improved Bouc-Wen model of damping force is built. The law of the changing of the model parameters is studied and with experiment results the model parameters are defined. Some useful conalusions are obtained. The foundation of application of magnetorheological damper in the field of structure control is provided.

**Key words** :magnetorheological damper ,model of damping force ,model parameters

## MONITORING OF VIBRATION ENVIRONMENT AND BODY RESPONSE ON THE TRUCK

Shen Zhonghan

(Institute of Mechanics ,Chinese Academy of Sciences ,Beijing 100080)

Huang Qinghua Zhu Farong Chen Decheng

(Department of Mechanics ,Beijing Univeristy ,Beijing 100871)

**Abstract** In the paper ,vibration monitoring of truck driven on the QING ZANG highway has been conducted. The key positions of measurement are the Chair and driver 's waist. Measurement results are analyzed and some conclusions are present ed.

**Key words** :vibration environment ,acceleration ,frequency ,body response.

## WAVELET-BASED ANALYSIS TECHNIQUE FOR THE MONITORING OF TALL STRUCTURE UNDER NORMAL LOADING USING GPS

Huang Dingfa<sup>1,2</sup> Chen Yongqi<sup>2</sup> Ding Xiaoli<sup>2</sup> Zhu Jianjun<sup>3</sup> Yang Xizhong<sup>4</sup> Liu Guoxiang<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Southwest Jiaotong University ,Chengdu 610031) (<sup>2</sup>The Hong Kong Polytechnic University ,Kowloon)

(<sup>3</sup>Central South University ,Changsha) (<sup>4</sup>Guangdong Polytechnic University ,Guangzhou)

**Abstract** With the development of GPS receiver technology for high recording rate ,it allows reliable monitoring of engineering structures ,such as suspension bridges ,towers and tall buildings. The distinctive advantage is that relative displacements