

文章编号:1000-582X(2007)12-0012-04

# 全地域车振动舒适性测试系统开发及应用

徐中明<sup>a,b</sup>, 陈雪梅<sup>b</sup>, 张志飞<sup>b</sup>, 谭海伟<sup>b</sup>, 赵伟<sup>b</sup>

(重庆大学 a. 机械传动国家重点实验室; b. 机械工程学院, 重庆 400030)

**摘要:**为分析评价全地域车(ATV)的振动舒适性,根据标准提出了采用加权加速度均方根值作为 ATV 振动舒适性客观评价方法,并基于 USB2.0 开发了可以脱离计算机进行独立采集的便携式数据采集器,并以 LabVIEW 为平台开发了一套数据处理分析系统,从而构建了 ATV 振动舒适性测试系统。通过实车振动舒适性道路试验结果表明:系统性能可靠、稳定。

**关键词:**全地行车;振动;舒适性;测试系统

**中图分类号:**U483

**文献标志码:**A

最近几年,ATV 被国内外市场广泛认同,然而对 ATV 的振动舒适性考察还有所缺陷,没有形成具体的评价准则,大多还仅依靠个别试车人员的主观感受来进行判别,因此个体差异和随意性较大,不能正确和定量地评价 ATV 的振动舒适性。所以,有必要开发出适合 ATV 行驶工况的振动舒适性测试分析评价系统。

## 1 ATV 振动舒适性评价方法

ATV 行驶时的振动主要是由两方面产生,一方面由发动机等 ATV 本体零部件的振动引起;另一方面是由于路面的不平整,以及车辙、线形、制动等原因引起。对 ATV 振动舒适性的评价应从局部振动和全身振动两个方面进行。因为 ATV 振动主要是通过手把、座位、脚踏 3 个部位传递到人体,其中通过手把传递到人的手和手臂系统的振动属于局部振动范畴,脚踏、座位将振动传递到人体全身,属于全身振动范畴<sup>[1]</sup>。

由于手把处的振动属于局部振动,ISO5349-2001(E)和 GB/T14790-1993<sup>[2]</sup>是接触局部振动的通用标准,这些标准认为人体对不同频率手传振动的敏感程度不同,根据手腕振动的暴露极限表明人体对低频振动 8~16 Hz 较为敏感。所以在进行加速度计算时考虑频率加权,标准中规定对 8~16 Hz 的加权系数定为

1.0,以后每递增一个 1/3 倍频程,加权系数应递减  $2^{-1/3}$  倍。各轴向加权加速度均方根值按照下式计算

$$a_{hw(x,y,z)} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi(x,y,z)})^2},$$

式中:  $W_{hi}$  为手把振动 1/3 倍频程的加权系数;  $a_{hi(x,y,z)}$  为不同轴向各 1/3 倍频程加速度均方根值分量,参照国际标准取相应的加权系数。主要的频率分析范围为 6.3~1 250 Hz。

ISO5349 标准规定,测点位置布置在手和机械的接触处,并以第三掌骨为坐标原点的三正交轴向测量,即基本中心坐标系,如图 1 虚线所示<sup>[3-5]</sup>。

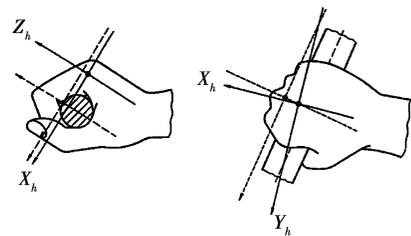


图 1 手把振动测量坐标系

ISO5349-2001 最新标准中,推荐使用三轴向振动的总值评价指标。手把振动总加权加速度均方根值按照如下公式进行计算:

$$a_{hw} = \sqrt{a_{hw x}^2 + a_{hw y}^2 + a_{hw z}^2}。$$

收稿日期:2007-08-16

基金项目:重庆市科委科技计划项目攻关项目资助(CSTC,2007AC6017)

作者简介:徐中明(1963-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事车辆振动舒适性及系统动力学研究,(Tel)13883565917;  
(E-mail)xuzm@cqu.edu.cn。

脚踏处和座位处的振动属于全身振动。人体全身振动评价指南 ISO2631 - 1997(E) 和国标 GB/T 13441 - 1992<sup>[6]</sup> 中规定了 3 种人体受振模型分别有坐姿、立姿、卧姿态, ATV 驾驶员属于坐姿。ISO2631 标准中推荐使用总加权值法进行人体全身振动影响的评价。计算公式如下

$$a_w = \sqrt{\sum_i (w_i a_i)^2},$$

式中:  $a_w$  为加权加速度均方根值;  $W_i$  为 1/3 倍频程的加权系数;  $a_i$  为各 1/3 倍频程加速度均方根值分量。

衡量振动输入点振动的大小使用三轴向均方根值的合成值, 具体计算公式为

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2},$$

式中:  $a_{wx}$ 、 $a_{wy}$ 、 $a_{wz}$  分别为输入点各轴向加权加速度均方根值;  $k_x$ 、 $k_y$ 、 $k_z$  分别为各轴向加权系数, 对于无靠背座位处输入点而言, 3 个系数均为 1.0<sup>[6-7]</sup>。

为了表示方便, 可以将总加权加速度均方根值换算成对数形式, 用加权振级表示, 计算公式如下:

$$L_{aw} = 20 \lg(a_w/a_0),$$

式中  $a_0$  为参考加速度均方根值,  $a_0 = 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$ 。

## 2 系统硬件设计

ATV 的振动不仅有全身振动, 还有局部振动(手把), 且 ATV 可放测试设备空间较小, 因此对 ATV 振动舒适性测试分析系统提出了如下功能需求:

- 1) 体积小, 重量轻, 便于安装;
- 2) 数据采集器通道数  $\geq 6$ ;
- 3) 数据采集器有外触发启动采样功能;
- 4) 数据采集器自带电源供电, 一次充电使用时间最好  $\geq 4 \sim 5 \text{ h}$ ;

5) 数据采集器能够独立脱离计算机进行数据采集和存储, 且存储空间足够;

6) A/D 转换精度满足测试系统要求;

7) 数据采集器与主机(计算机)的数据传递速度快, 最好采用 USB 接口, 传递数据时由 USB 供电。

基于以上要求, 遵循模块化、标准化、易扩展的原则, 以 PC 为硬件平台构建 ATV 振动舒适性测试系统。该系统组成示意图如图 2 所示。在该测试系统中采用了 ICP 加速度传感器, 专用于手把测量振动以及 B&K4322 座垫三向传感器(压电式)配电荷电压转换器, 测量各方向的振动。电荷型压电式加速度传感器相当于具有内电容的电源, 其输出阻抗很高, 要求二次仪表与之匹配, 系统采用了 B&K2647B 电荷电压转换器。由于 ICP 型传感器和电荷电压转换器需要恒流源

才能正常工作, 由于数据采集箱不带恒流源, 所以单独配了一个恒流源。测试系统中的数据采集箱必须整体小巧、便于携带、抗干扰能力强、具有抗混滤波功能、有 6 个通道以上同步采样、自带电源。笔者开发了便携式数据采集器, 该数据采集器上每个通道板上信号调理电路的后级均有独立的分辨率为 16 位的 A/D 转换器, 保证了各个通道均能同时采样, 同时进行模数转换。

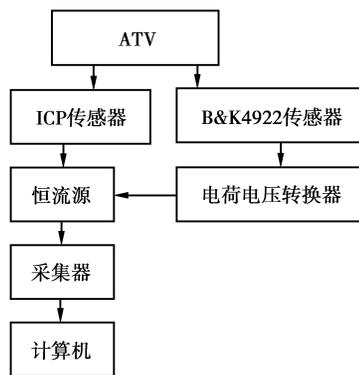


图 2 ATV 振动测试系统

## 3 系统软件开发

系统的开发采用美国 NI 公司 LabVIEW 来实现。根据结构化编程的思想将系统设计成几个模块<sup>[8]</sup>。根据系统的总体需求, ATV 振动舒适性测试系统被划分为含 6 个模块: 1) 程序启动界面; 2) 数据读取、显示模块; 3) 平顺性分析模块; 4) 数据存取模块; 5) 报告打印模块; 6) 使用帮助。其中数据分析的内容包括信号截断、功率谱分析、功率谱加权、功率谱平均、均方根值求取。分析模块的程序流程图如图 3 所示。

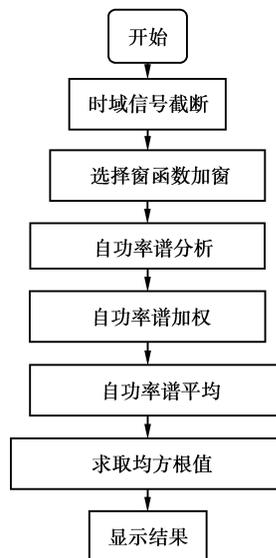


图 3 数据分析模块的程序流程图

## 4 系统应用

### 4.1 试验方法

用开发的 ATV 振动舒适性测试分析系统对几种代表车型进行了实车道路试验。全部试验用车都已经过磨合期,成色较新,代表了不同档次的 ATV。试验在某机场跑道进行,路面状况一般,路面等级等同于 B 级路面。ATV 试验车技术状况(如轮胎气压、预热状况等)符合 GB 5378《摩托车和轻便摩托车道路试验总则》的要求。驾驶员为专职试车人员,体重符合试验要求。ATV 试验车速为 30、40、50、60、70 km/h 共 5 个车速。试验过程中驾驶员严格控制速度通过稳速段,并控制采集起始时间进行数据采集。

### 4.2 试验结果及分析

将试验采集到的数据经过分析处理,得到驾驶员座垫、车把处的加速度自功率谱函数,分析结果 ATV 振动舒适性有以下特点。

1) ATV 既有低频振动也有高频振动。

图 4 为某国产 400 mL 车型在常规车速 50 km/h 时其座垫、车把处垂直方向的自功率谱  $G$  曲线(低频信号仅对垂直方向影响比较大)。ATV 座垫、车把在低频(30 Hz 以下)和低频(30 Hz 以上)均有振动峰值出现,激励主要来自发动机(高频)和路面不平度(低频)。

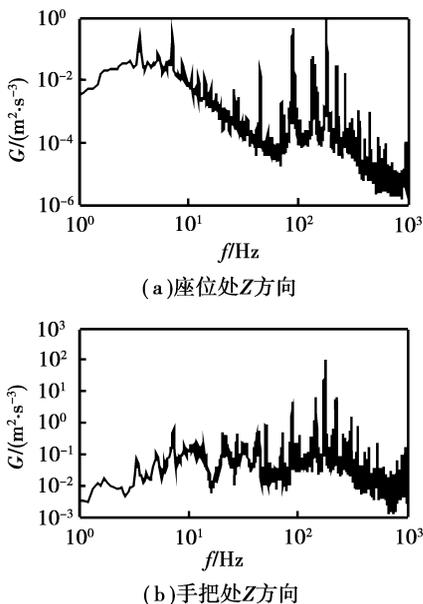


图 4 ATV 加速度功率谱

ATV 采用的是单缸发动机,转速较高,其不平衡和燃烧爆发压力是主要的高频激励源。发动机的基频应满足  $f = n/60$ ,其中  $n$  是根据 ATV 的车速、总传动比和后轮轮胎直径计算得到的发动机转速。根据换算主要表现在往复惯性力的基频、1.5 倍频和 2 倍频,而两阶以上影响较小。

2) 发动机与路面不平激励对 ATV 振动舒适性的影响同等重要。为了比较发动机与路面不平对 ATV 影响的大小,比较了手把和座位处的各轴向不同中心频率的 1/3 倍频程加权加速度值  $R$ 。图 5 为某国产 400 车型在 50 km/h 时,座位处垂直方向的 1/3 倍频程加权均方根值曲线,由图 5 可知高频段的加权加速度均方根值基本上与低频段处于相同的数量级,值得注意的是由于进行了频率加权,高频实际均方根值很大。

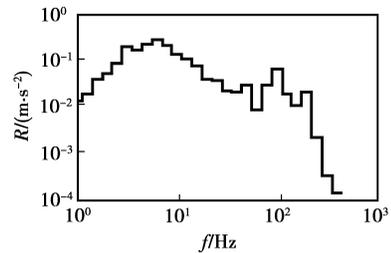


图 5 垂直加速度 1/3 倍频程加权均方根值

按照 ATV 振动舒适性评价处理方法,得到 ATV 在各个车速下驾驶员座垫和车把处的加速度均方根值,最后按照加权振级来评价 ATV 的振动舒适性。表 1 是某国产 400 mL 车型 3 轴向振动合成的加权振级。实验结果表明,座垫处的振动舒适性相对较好,随着车速的增加,该处振动舒适性没有明显变化。车把振动较大,在 70 km/h 出现共振,驾驶员感觉车把打手,该车车把局部振动是影响其振动舒适性的主要振动。综合振级与驾驶员的主观感觉吻合。

表 1 某国产 400 mL 车型振动舒适性振级评价

| 车速/(km · h <sup>-1</sup> ) | 座垫综合振级/dB | 车把综合振级/dB |
|----------------------------|-----------|-----------|
| 30                         | 115.8     | 130.6     |
| 40                         | 117.5     | 131.2     |
| 50                         | 116.5     | 135.0     |
| 60                         | 117.1     | 136.1     |
| 70                         | 117.2     | 136.4     |

## 5 结 论

1) 针对 ATV 振动舒适性试验评价,开发了便携式 ATV 振动舒适性测试系统,试验结果表明,系统满足要求。

2) 基于 ISO2631 和 ISO5349 建立了 ATV 振动舒适性评价方法。

3) 实验结果表明 ATV 车把局部振动是影响 ATV 振动舒适性的重要因素,应予以高度重视。

### 参考文献:

- [1] 李俊鹏,徐中明,黄泽好,等. 摩托车乘骑舒适性评价方法的研究[J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2004, 27(12): 9-12.
- [2] GB/T14790 - 1993 人体手传振动的测量与评价方法[S].

北京:中国标准出版社,1993.

- [3] GB/T5395 - 1995 油锯手传振动的测定方法[S]. 北京:中国标准出版社,1995.
- [4] 吴国梁. 人体承受局部振动的测试与评价[J]. 噪声与振动控制, 1994, 12(6): 27-30.
- [5] BURSTROM L, LUNDSTROM R, NILSSON T. Comparison of different measures for hand-arm vibration exposure [J]. Safety Science, 1998, 28(1): 3-14.
- [6] GB/T13441 - 1992 人体全身振动环境的测量规范[S]. 北京:中国标准出版社,1992.
- [7] PADDAN G S, GRIFFIN M J. Evaluation of whole-body vibration in vehicles [J]. Journal of Sound and Vibration, 2002, 253(1): 195-213.
- [8] 徐中明,李俊鹏,张志飞,等. 摩托车振动舒适性测试系统开发及应用[J]. 汽车工程, 2006(2): 176-180.

## Development and Application of Test System for Vibration Comfort of All Terrain Vehicle

*XU Zhong-ming<sup>a,b</sup>, CHEN Xue-mei<sup>b</sup>, ZHANG Zhi-fei<sup>b</sup>, TAN Hai-wei<sup>b</sup>, ZHAO Wei<sup>b</sup>*

( a. State Key Laboratory of Mechanical Transmissions; b. College of Mechanical Engineering,  
Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China )

**Abstract:** In order to analyze and evaluate the ride comfort of All Terrain Vehicle, an objective evaluation method is developed for ATV vibration comfort by adopting weighted root-mean-square acceleration, along with a portable USB 2.0-based stand-alone data acquisition device and a LabVIEW-based data processing & analysis system. Combined with them, a vibration testing & analyzing system for ATV is built. The results of road test for vibration comfort on real ATV show that the system is reliable and stable.

**Key words:** all terrain vehicle; vibration; ride comfort; test system

(编辑 李胜春)