

基于虚拟仪器技术开发的便携式铁道车辆平稳性测量仪

A Portable Ride Comfort Meter based on Virtual Instruments Technology

姓名：任利惠

赵青平

职务：讲师

工程师

单位：上海铁道大学

青岛四方车辆研究所

应用领域：现场测试

挑战：构造一个便携式测试系统，将现场测得的加速度信号经过复杂的数学处理直接得到铁道车辆运行平稳性指标。

应用方案：使用 National Instruments 公司的 LabVIEW 软件、SCXI 设备以及便携式计算机构造一个应用于现场测试的便携式铁道车辆平稳性测试系统。

使用的产品：LabVIEW, SCXI

摘要：本文介绍了采用虚拟仪器技术开发的便携式铁道车辆平稳性测试仪。该测试仪器由 National Instruments 公司的 LabVIEW 软件、SCXI 设备以及便携式计算机构成，利用 LabVIEW 软件强大的数学处理功能，通过对现场采集的加速度信号的频谱密度函数进行加权统计运算，实时测量铁道车辆运行品质的 Sperling 平稳性指标。

1 平稳性指标

铁道车辆在运行中产生的各种振动影响旅客乘坐的舒适度和装运货物的完整，衡量铁道车辆运行品质的主要技术参数是运行平稳性指标，目前我国采用的评定指标是 Sperling 平稳性指标。

Sperling 指标是基于大量实验而制定的，它用于评定车辆本身的运行品质和旅客乘坐舒适度，运行品质由车辆本身来衡量，而舒适度则还与旅客对振动环境的敏感度有关。用于舒适度评价的指标由下式表示：

$$W = 0.896 \cdot 10^{\sqrt{\frac{j^3}{f}} F(f)}$$

式中， j 为加速度峰值 (cm/s/s)， $F(f)$ 为频率的加权修正函数，表示人对各种振动频率的敏感性不同，在常用的频率范围内，垂向和横向的加权函数 $F(f)$ 是不同的。

对于垂向振动的频率加权函数：

$$\text{当 } f = 0.5 - 5.9 \text{ 赫时, } F(f) = 0.325f^2$$

$$\text{当 } f = 5.9 - 20 \text{ 赫时, } F(f) = 400 / f^2$$

$$\text{当 } f > 20 \text{ 赫时, } F(f) = 1$$

以上公式是根据单一频率的等幅振动得到的。由于车辆振动实际上是随机振动，从车体上测得的加速度包含了车辆的整个自然频率，因此需要将测得的振动加速度按频率分组，统计每一频率中不同加速度的 W 值，总的平稳性指标按下式求得：

$$W_{\Sigma} = (W_1^{10} + W_2^{10} + \dots + W_n^{10})^{1/10}$$

2 虚拟仪器

虚拟仪器是计算机系统与仪器系统技术结合的产物。它利用计算机系统的强大功能，结合相应的硬件，大大突破传统仪器在数据处理、显示、传递、存储等方面的限制，使用户可以根据自己的需要“制造”自己的仪器。与传统仪器相比，虚拟仪器的最大特点是它的灵活性，它可以很方便地通过选择不同的硬件配置和改变软件来实现各种测控功能，使得硬件资源具备了再用性。由于采用了通用的硬件和计算机，使得系统的成本下降，开发周期缩短，维护的成本降低。

在虚拟仪器系统中，硬件仅仅是为了解决信号的输入输出，软件是整个虚拟仪器的核心。National Instruments 公司的 LabVIEW 是一个优秀的数据流图形化虚拟仪器软件平台，具有丰富的信号处理函数和数值分析函数。

3 便携式平稳性测量仪系统构成

便携式平稳性指标仪由加速度传感器、SCXI 信号调试系统以及便携式计算机组成。

3.1 系统硬件组成

传感器采用了日本共和公司的应变式加速

度传感器。

基于现场测试的要求,我们选择了 National Instruments 公司的 SCXI 系统作为信号调理。加速度传感器信号通过接线端子 SCXI-1321 接到系统中, SCXI-1321 端子可以提供桥路的各种连接方式,同时利用端子内置电位器可以完成桥路的平衡。四通道隔离放大器 SCXI-1121 提供 4 路激励信号,扫描速率为 333ks/s,每通道的增益可以通过跳线调整 1-2000 倍并提供低通滤波。由于 SCXI-1211 模块中的低通滤波器为一个三级 RC 滤波器,滤波频率只能设置为 4Hz/10KHz,因此系统使用一个八通道可编程椭圆滤波器 SCXI-1141 作为系统的滤波单元,软件可选的低通滤波截止频率为 10Hz-25KHz,为八阶椭圆滤波器,同时提供软件可编程增益。考虑现场测试的复杂性,后备了直流电源 SCXI-1382。

数据采集卡 DAQCard-AI-16E-4 直接插于笔记本电脑的 PCMCIA 接口。系统基本配置为单机箱 8 通道,也可采用多机箱级连方式接入更多测点信号,同时每个机箱也可根据测试信号测点的需要插入不同的模块。

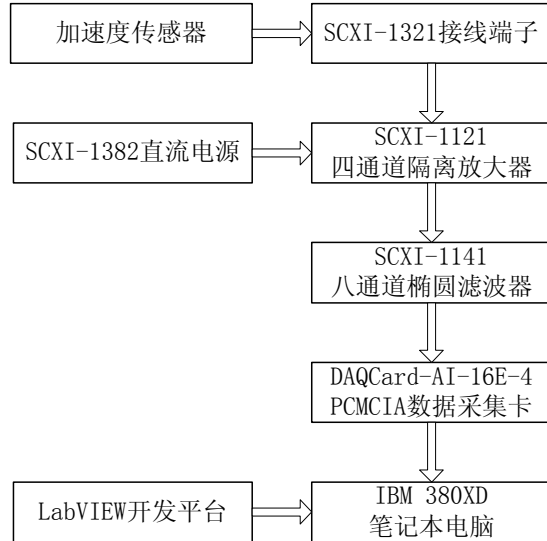


图1 SCXI 测试系统结构框图

3.2 系统软件设计

测试软件全部采用 LabVIEW 编制。软件的算法设计依照国标 GB5599-85 规范进行。

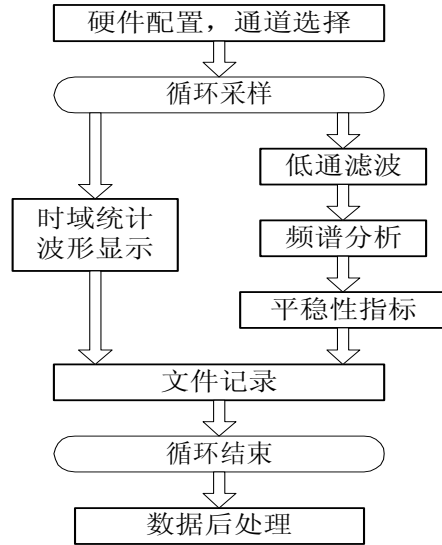


图2 软件流程框图

将加速度信号进行频谱分析,得到其频谱分布函数,然后采用循环结构对每一频率进行平稳性指标计算,针对不同的频率,循环内部采用了分支结构及公式框节点分别处理,最后由循环体得到的统计值经公式框节点进行开 10 次方运算得到最终结果。

程序同时对加速度信号进行时域统计运算,得到其平均值、最大(小)值、RMS。

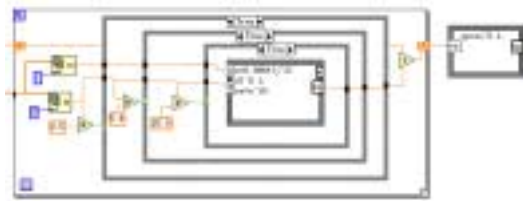


图3 垂直向平稳性指标计算程序内核

程序用户界面采用仪器化模式,上半部实时显示信号的时间历程,下半部左边显示加速度信号的统计结果和平稳性指标,右边是程序控制区。

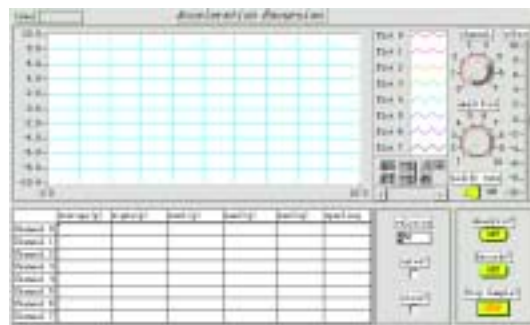


图4 程序用户界面

测试信号的计算结果可根据需要存放在数据文件中,由后处理程序对测量结果进一步

处理。后处理程序能够绘出平稳性指标的时间历程变化曲线、随速度以及路况（直线、曲线）的变化曲线等。

3.3 系统的价格

与英国 TDM Tape Services Limited 公司生产的 MKII 型便携式平稳性指标仪相比，上述基于虚拟仪器开发的平稳性指标仪在价格上只有前者的三分之一，但在功能上远远超过前者。

目前该测试系统配置在青岛四方车辆研究所，在现场测试中得到广泛运用。

4 结论

采用虚拟仪器技术开发的铁道车辆平稳性指标仪功能完备、价格低廉，十分适合现场测试。使用 National Instruments 公司的 LabVIEW 和 SCXI 设备开发虚拟仪器是一条捷径。