

基于虚拟仪器技术的弹体静态 特征参数测试系统*

姚国年^{1,2}, 卫军胡¹, 赵希林², 孙国基¹

(1 西安交通大学系统工程研究所机械制造系统工程国家重点实验室, 西安 710049;
2 63870 部队, 陕西华阴 714200)

摘要:为了解决传统测量方式中分散测量弹体静态特征参数的不足,文中设计了一套基于工控机为主控单元、LabWindows/CVI为开发平台的弹体静态特征参数测量系统,详述了系统的组成和测量原理以及各分系统的软硬件设计。该系统能完成各种弹体的质量、质心、偏心、极(赤道)转动惯量等参数的测量。给出的试验结果表明,所有的测量精度均能够满足国军标的要求。目前该系统已投入试验使用,效果良好,可靠性高,且具有广泛的应用开发前景。

关键词:虚拟仪器; VXI总线; 静态参数; 综合测量

中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Measurement System for Static Characteristic Parameters of Projectile Body Based on Virtual Instrument

YAO Guonian^{1,2}, WEI Junhu¹, ZHAO Xilin², SUN Guoji¹

(1 State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Systems Engineering Institute,
Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2 No. 63870 Unit, Shaanxi Huayin 714200, China)

Abstract: In order to solve the problem of lack of static characteristic parameters of projectile body in conventional and dispersed measurement methods, a measurement system for static characteristic parameters of projectile body based on industry computer and LabWindows/CVI was designed, and systematic composition and measurement principles and subsystem hardware and software design were detailed. Parameters such as mass, centroid and eccentricity and pole (equator) inertia moment of all kinds of projectile and missile can be measured with the system. The experimental results show that measuring precision meets the GJB demands. The system has been extensively used in test, and the measured results are satisfactory with high reliability and developing prospect.

Keywords: virtual instrument; VXI-bus; static parameter; integrated measurement

0 引言

弹体的静态参数包括弹长、弹径、质量、质心、转动惯量、偏心距、动不平衡等,它是弹体性能的重要参数,与弹体的气动力特性、内、外弹道性能及弹体发射动力学等都有密切关系,关系到弹体的设计成败和质量,并且对于弹体飞行的稳定性、正确性都有很大的影响,因此精确测量这些参数,对于提高弹体质量,提高发射准确性是必不可少的。

传统的弹体静态参数的测量方法往往是分开测量,基本上采用具有单一测试功能的测量装置,从而花费了大量的财力和物力。由于被测弹体的范围广、种类多、长短不一、重量差异大,为了提高弹体静态参数的测量精度和效率,研制了一套以工控机为主控单元、以 LabWindows/CVI为虚拟仪器开发平台的弹体静态参数综合测量系统,该系统根据弹体重量、口径的不同而设计不同的测试平台,通过更换不同的平台以测量不同的弹体,其测试精度高、可靠性好。

* 收稿日期:2008-09-11

作者简介:姚国年(1966-),男,安徽桐城人,博士研究生,研究方向:常规武器试验。

1 系统的测量原理

系统由 3 套质量及质偏心测量子系统、6 套转动惯量测量子系统、1 套动不平衡度测量子系统三部分组成。

1.1 质量及质偏心测量子系统

将 3 个高精度度的压力传感器安装于测试平台的底部,使该 3 个传感器形成等腰三角形(见图 1(a)),被试弹丸安放于该测试平台的 V 形支架上,从而完成被试品质量、质心、偏心距的测量。

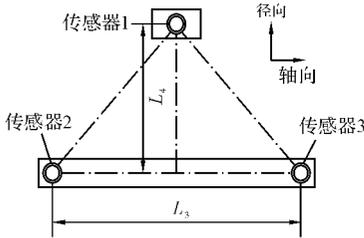
1.1.1 质量 G 测量

$$G = F_1 + F_2 + F_3 \quad (1)$$

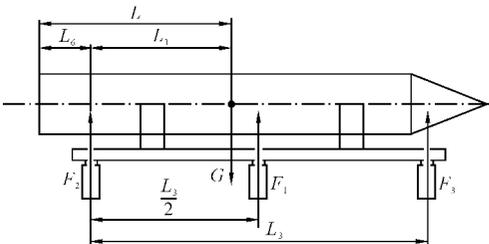
其中 F_1, F_2, F_3 为各称重传感器所受压力。

1.1.2 质心 L 测量

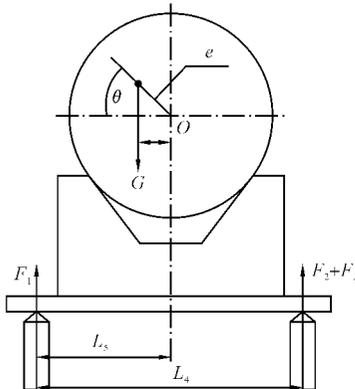
测量原理图如图 1(b) 所示。



(a) 质量



(b) 质心



(c) 偏心测量

图 1 质量、质心、偏心测量原理图

由力矩平衡条件可知:

$$G \times L_1 - F_1 \times \frac{L_3}{2} - F_3 \times L_3 = 0 \quad (2)$$

式中: L_1 为待测弹丸质心在轴向距离称重传感器 2 的距离; L_3 为称重传感器 2、3 在轴向方向的距离(其在径向方向距离为零); L_6 为待测弹丸尾端在轴向方向与称重传感器 2 的距离。

则弹丸距弹底质心位置: $L = L_1 + L_6$

即:

$$L = \frac{F_3 \times L_3 + F_1 \times \frac{L_3}{2}}{G} + L_6 = \frac{F_3 \times L_3 + F_1 \times \frac{L_3}{2}}{F_1 + F_2 + F_3} + L_6 \quad (3)$$

1.1.3 偏心 e 测量

偏心测量原理图如图 1(c) 所示。测量前,在弹体划出四等分圆周的母线。测量时,任意选择一条母线,转动被测弹体,使弹体分别处于 0° 、 90° 、 180° 、 270° 位置,并通过 3 个压力传感器分别测出弹体在相应 4 个位置时的压力值,根据静力矩平衡原理有:

$$\begin{aligned} (F_{21} + F_{31}) \times L_4 &= G \times (L_5 - \cos \theta \times e) \\ (F_{22} + F_{32}) \times L_4 &= G \times (L_5 - \cos(\theta + \pi/2) \times e) \\ (F_{23} + F_{33}) \times L_4 &= G \times (L_5 - \cos(\theta + \pi) \times e) \\ (F_{24} + F_{34}) \times L_4 &= G \times (L_5 - \cos(\theta + 3\pi/2) \times e) \end{aligned}$$

联立以上 4 个方程式,得到弹丸的偏心距 e 为:

$$e = \frac{L_4 \sqrt{(F_{24} + F_{34} - F_{22} - F_{32})^2 + (F_{23} + F_{33} - F_{21} - F_{31})^2}}{2G} \quad (4)$$

其中 θ 为弹丸质心所在截面上偏心和轴心的连线与过轴心水平线之间的夹角。

1.2 转动惯量测量子系统

利用扭摆法间接测量弹体的极转动惯量和赤道转动惯量。被测物体的转动惯量 J_d 为:

$$J_d = J_s \left(\frac{T_c^2 - T_0^2}{T_s^2 - T_0^2} \right) \quad (5)$$

式中: T_0, T_s, T_c 分别为支撑托架的空摆周期、标准样柱与支撑托架一起摆动时的振动周期、被测物体与支撑托架一起摆动时的摆动周期; J_s 是标准样柱的转动惯量。

因此,通过光电传感器测出 T_0, T_c, T_s 以及

已知的标准样柱的 J_s , 就可以利用式(5) 计算出被测物体的转动惯量 J_d 。

1.3 动不平衡度测量子系统

弹体的动不平衡度 β 的计算公式为:

$$\beta =$$

$$\frac{\sqrt{(G_1 e_1 X_1)^2 + (G_2 e_2 X_2)^2 + 2(G_1 e_1 X_1)(G_2 e_2 X_2)\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}}{(B - A)g}$$

(6)

式中: $(G_1 e_1)$ 、 $(G_2 e_2)$ 分别为左右校正面的不平衡量; φ_1 、 φ_2 分别为左右校正面的不平衡量所在相角; X_1 、 X_2 分别为左右校正面到质心的距离; A 、 B 分别为弹体的极、赤道转动惯量; g 为重力加速度常数。

因此, 通过动不平衡机测出左右校正面的不平衡量 $(G_1 e_1)$ 、 $(G_2 e_2)$ 及相角 φ_1 、 φ_2 , 再利用弹体的极、赤道转动惯量 A 、 B 的值, 就可以利用式(6) 计算出动不平衡度 β 的值。

2 系统设计

2.1 系统功能

根据试验任务, 测试系统需要完成对不同型号的弹体静态特征参数的测试。其主要功能是:

1) 控制功能: 根据 X 、 Y 方向倾角传感器的信号控制测试平台自动调平及限位; 利用摩擦传动的原理, 控制步进电机实现对被测弹体精确旋转 90° ;

2) 测量功能: 测量过程自动化, 按照被测技术要求对被测弹体参数进行准确的测试, 测量项目包括质量、质心、偏心、极赤道转动惯量、动不平衡度等;

3) 自诊断功能: 对综合测试系统自身具有完善的自动诊断功能, 并能报警显示出故障现象和部位, 以便能迅速排除综合测试系统的故障;

4) 记录功能: 对所有测试的结果具有储存、显示和打印功能。

2.2 系统的硬件设计

为完成综合测试系统的测试功能, 采用 PCI 工控机为控制核心的智能化、综合化、模块化设计, 以简单的硬件配置实现了综合测试的设计。

系统由控制/测量子系统、机械执行机构、传感器与信号调理、其它外围部件等几个部分组

成。控制/测量系统由主控计算机、VXI 数据采集系统、运动控制器、多路继电器开关、伺服/执行控制器和安全保护装置组成, 实现自动化测量。

该虚拟仪器测试系统采用外接主控计算机的形式, 通过 IEEE1394 串行传输接口卡与 VXI 总线零槽控制器相连, 实现对整个系统的控制和管理。系统选用拥有 6 个 C 尺寸和 3 个 B 尺寸的高功能、低消耗的 NI VXI - 1200 机箱、E8491A 零槽控制器模块、JV53124 计频/计数器模块、HPE1412A 数字万用表模块、DMC1348 运动控制器模块、JV53141 信号矩阵开关模块、信号调理电路等专用模块。系统的组成原理图如图 2 所示。

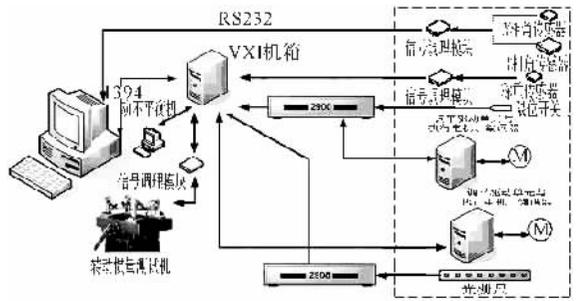


图 2 系统的测量原理图

2.2.1 称重传感器信号采集

对于弹体质量、质心、偏心的测量都需要采集称重传感器信号。各称重传感器输出的电压信号经过继电器阵列模块实现通道切换后, 依次传入数字万用表模块, 万用表模块分别对该电压信号进行采集, 通过计算, 得出各传感器上的重量值, 然后按照上述原理及式(1)、式(3)、式(4), 实现对弹的质量、质心、偏心的测量。

2.2.2 转动惯量周期信号采集

测量摆动周期时, 光电传感器输出的信号送入信号调理电路, 由比较电路对输入信号进行毛刺滤除, 然后通过 TTL 信号长线驱动后送入频率计数器模块完成周期测量, 然后按照上述原理及式(5), 从而得到弹体的极、赤道转动惯量。

2.2.3 动不平衡度的采集

由于动不平衡度是采用单独的平衡机进行测量的, 其测量结果通过网络连线传输到主控计算机, 实现数据交互, 读取测量结果, 此文不作详述。

2.3 系统的软件设计

软件采用 Windows2000 操作系统, 美国 NI

公司的 LabWindows/CVI 开发软件工具。应用软件由系统管理软件、系统自检软件和系统测量软件组成。

系统测量软件包括运动参数设置模块;秤盘调平模块;质量、质心、偏心测量模块;极、赤道转动惯量测量模块和动不平衡度测量模块等,完成相应信号的采集、分析与处理,并将测量结果进行存储并打印。

系统自检软件完成整个系统各部分工作状态的自动测试,用以判断系统工作是否正常,能否进入正常测试工作状态。

图 3 为测试系统运行界面。



图 3 系统运行界面

3 测试结果

对于弹体的静态特征参数测量设备,我国尚无此方面直接的计量手段,而是采用间接计量方法:即计量标准样柱的质量和几何尺寸,然后通过理论公式分别计算出标准样柱的质偏心位置

和极(赤道)转动惯量的理论值,再用计量标准样柱的质量值和标准样柱的质偏心位置以及极(赤道)转动惯量的理论值校准仪器。根据此方法,分别对一些标准样柱的质偏心和极(赤道)转动惯量进行了测量,然后将测量的值与被测样柱的理论值相比较,从而求出测试仪器的测量精度。由于设备台套数多,测量的数据量大,鉴于篇幅,文中只提供部分数据,其测量结果见表 1 和表 2。

表 1 样柱质量、质心、偏心的测量结果

理论质量 /kg	实测质量 /kg	相对质量 误差/%	理论质心 /mm	实测质心 /mm	质心误差 /mm	理论偏心 /mm	实测偏心 /mm	偏心误差 /mm
2.7553	2.7564	0.399	69.025	69.051	0.026	0	0.004	0.004
4.43975	4.4404	0.146	75.225	75.289	0.064	0	0.006	0.006
6.017	6.0193	0.382	88.42	88.351	0.069	0	0.004	0.004
21.699	21.7074	0.387	118.52	118.471	0.049	0	0.005	0.005
33.672	33.6787	0.199	162.03	161.985	0.045	0	0.007	0.007
44.659	44.6718	0.287	157.05	157.049	0.001	0	0.004	0.004

表 2 样柱的极、赤道转动惯量的测量结果

测量方法	极转动惯量			赤道转动惯量		
	理论值/(kgm ²)	实测值/(kgm ²)	相对误差/%	理论值/(kgm ²)	实测值/(kgm ²)	相对误差/%
50mm 样柱测	60 样柱:	0.00078712	0.177	60 样柱:	0.00129964	0.148
		0.00078698	0.159		0.00130303	0.113
60mm 样柱	0.0007857280	0.00078665	0.117	0.001301561	0.00130006	0.115
		0.000666667	0.433		0.003841485	0.093
60mm 样柱测	50 样柱:	0.000668104	0.216	50 样柱:	0.003839949	0.053
50mm 样柱	0.000669552	0.000666556	0.447	0.003837907	0.003841168	0.085

从上述测试数据可以看出,所有数据均满足指标要求,即:质量测量精度:≤0.04%F.S(满量程)、质心测量精度:≤0.1mm、偏心测量精度:≤0.01mm、极赤道转动惯量测量精度:≤0.5%(与标准样柱值相比)、最小可剩余动不平衡度:≤

0.3g·mm/kg。目前该套设备已投入试验之中,使用效果良好。

4 结论

文中提出的基于工控机为主控单元、以

LabWindows/CVI 为开发平台研制的弹体静态参数综合测试系统,充分发挥了虚拟仪器技术的优势,使系统具有人机界面友好、操作方便、功能完善、性价比高、可扩展性强的特点。系统在数据的多参数采集、存储、显示、信号处理、数据传输等方面显示了强大的性能优势。实际使用结果表明,该测试系统设计合理,结构简单,安装维护方便,能够满足国军标的精度要求。

参考文献:

[1] 陈贤隆,徐肖琪,丁彩云. 弹箭静态参数测量原理和技术[M]. 北京:宇航出版社,1993.
 [2] 王芳,朱蕴璞,徐肖琪. 基于 PC 的弹箭静态参数综合测试系统[J]. 弹箭与制导学报,2006,26(4): 166-168.
 [3] 张彦忠,周明光,宋志刚. 利用虚拟仪器技术构建

非电量测量系统[J]. 微计算机信息,2006(12): 164-165.

[4] 范金锁,张志成,张合新. 基于虚拟仪器的导弹控制系统测试研究[J]. 仪器仪表学报,2007(4):260-266.
 [5] 张毅刚,乔立言. 虚拟仪器软件开发环境 Labwindows/CVI6. 0 编程指南[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
 [6] 赵会兵. 虚拟仪器技术规范与系统集成[M]. 北京:清华大学出版社. 北方交通大学出版社,2003.
 [7] Richard Boynton. Mass properties measurement handbook[Z]. SAWE Paper No. 2444 ,1998.
 [8] G Bucci, A German, C Landi. Virtual instrument based on real-time measurement[C]// Proc. of IMTC/ 94, Hammamatsu, Japan, 1994: 357-360.

(上接第 76 页)

```
void dataCb ( DtSetDataInteraction * inter,
void * user) //接收数据的回调函数
{ DtEntityIdentifierRadar(1,2,2);
  if(inter->senderId() == Radar)
  {
m__Azimuth = inter - > datumValFloat32 (Dt-
Fixed,1);
//接收方位角的值
m__Pitch = inter - > datumValFloat32 (Dt-
Fixed,2);
//接收俯仰角的值
}
}
```

5 结论

综上所述,通过将 Simulink 模型与 VC6. 0 混合编程并将其改造成 HLA 联邦成员,文中将对现有的 Simulink 模型与 VC6. 0 混合编程以及

改造成 HLA 兼容的系统所涉及的关键技术进行了研究,在实践上利用上述技术和 MAK 公司的 VR-Link 工具包开发了导弹控制联邦成员,使得 HLA 中所体现出来的可重用性和可互操作的思想得到卓有成效的支持。

参考文献:

[1] Using Simulink [DB/OL],Matlab Online Manual.
 [2] Real-Time Workshop User's Guide [DB/OL], Matlab Online Manual.
 [3] 杨涤,李立涛,杨旭,等. 系统实时仿真开发环境与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
 [4] 田新华,冯润明,温干飞,等. 一种将 Simulink/Stateflow 模型改造成 HLA 成员的方法[J]. 系统仿真学报,2002,14(7):883-886.
 [5] MAK Technologies. MAK VR-Link 3. 9. 6 Developer's Guide[M]. Cambridge, USA: MAK Technologies,2005.
 [6] 曹罗生. VC++ 与 Matlab/Simulink 混合编程的实现与研究[J]. 科学技术与工程,2007,7(21):5685-5687.