

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.04.008

一种速率陀螺组合全温自动测试系统的研制

李磊磊

(中航工业空空导弹研究院, 河南 洛阳 471099)

摘要: 针对速率陀螺组合在高低温环境下的自动化测试问题,对速率陀螺组合的测试项目及测试方法进行了分析研究,提出了一种全温环境下的速率陀螺组合电性能测试系统。通过采用LabVIEW模块化软件设计,实现了良好的人机交互界面;通过采用安装在高低温箱内的三轴转台系统,实现了全温环境下陀螺组合各被测敏感轴的自动、快速切换,提高了测试效率;通过采用实时测控系统设计,实现了对速率陀螺组合输出信号的实时和自动采集,保证了测试准确性,最后对高低温三轴转台的精度、测试系统的准确性和一致性进行了验证分析。研究表明,该测试系统集具备了良好的测试精度和测试一致性,能够准确测量速率陀螺组合的各项电性能,且具有自动化、高效率和高可靠性等优点。

关键词: 速率陀螺组合; 全温环境; 三轴转台; 自动测试

中图分类号: TH7 文献标志码: A

文章编号:1001-4551(2015)04-0479-05

Full temperature automatic test system for rate gyro combination

LI Lei-lei

(AVIC China Airborne Missile Academy, Luoyang 471099, China)

Abstract: Aiming at how to test the rate gyro combination automatically and accurately in the environment of high and low temperature, the method of testing the rate gyro combination was analyzed and a system for testing electrical performance of the rate gyro combination working in full temperature environmental was proposed. By using Labview modular, a good human-computer interaction interface was designed and realized; The fast and automatic switching of all the sensitive axes of gyro combination working in the full temperature environmental can be realized through the three-axis turntable fixed in the temperature chamber, and testing efficiency was improved; The real-time monitoring and control system was designed, the automatic acquisition of the gyro signal in real-time could be completed and the test accuracy will be enough. Finally, the accuracy of three-axis turntable in the temperature chamber, the consistency of the test system were tested and analyzed respectively. The results of the design indicate that the test system has the ability of testing electrical performance of the rate gyro combination accurately and consistently and gets the advantage of automation and high reliability.

Key words: rate gyro combination; full temperature environment; three-axis turntable; automatic test

0 引 言

压电陀螺无磨损部件具有寿命长、可靠性高、体积小、质量轻、易批产等特点^[1-2],在小型空空导弹上得到了较好的应用,作为测量弹体相对惯性空间角速度的器件是导弹飞行控制组件的重要组成部分,其性能直接影响着导弹的制导精度,因此,在装机前准确、全面地考核陀螺的电性能有着十分重要的意义。

目前,国内速率陀螺组合的测试一般采用常温单轴速率台进行测试,这种测试方式需要通过多次装拆测试夹具,效率低下;当对陀螺组合进行高、低温性能测试时,需要先将被测陀螺放在高低温箱内保温后再拿出温箱测试,在测试过程中陀螺周围环境温度已经不可避免地发生了较大变化,测试的准确性将无法保证。

本研究设计一套全温环境下(-50℃~+70℃)全自动化的速率陀螺组合电性能测试系统,采用美国NI

收稿日期: 2014-10-28

作者简介: 李磊磊(1983-),男,河南洛阳人,工程师,主要从事导弹总体系统装调技术方面的研究. E-mail:alei-35@163.com

公司推出的虚拟仪器开发平台 LabVIEW 作为系统软件,通过 GPIB 等接口实现各个部分的控制和数据采集,通过控制安装在高低温箱内的三轴转台系统实现全温范围内考核陀螺组合电性能的目标。

1 测试系统主要功能

测试系统主要是通过主控计算机控制一种能够在高低温箱内工作的高精度三轴转台,实现陀螺组合各被测敏感轴的自动、快速切换,并通过数字万用表自动采集陀螺输出信号,达到一次装夹后完成全部测试项目的目标,系统主要功能如下:

- (1) 进行零位电压测试:测量输入角速度为零时,到达准备时间后陀螺的输出电压。
- (2) 进行标度因数测试:测量陀螺仪输出量与输入角速率的比值。
- (3) 进行线性度测试:测量在工作的角速度范围内,陀螺仪输出量相对于最小二乘拟合直线的最大偏差值与最大输出量之比。
- (4) 进行阈值测试:测量在工作的角速度范围内,陀螺仪能敏感的最小输入角速率。
- (5) 进行分辨率测试:测试在规定的输入角速率下,陀螺仪能敏感的最小输入角速率增量^[3]。
- (6) 进行交叉耦合误差测试:将陀螺仪的一个敏感轴垂直于转台台面安装,正、反向启动转台,输入最大角速率,分别记录平行于转台台面的其它轴的输出,取输出中最大的一个与该轴零位作差,得到的差值与该轴满量程输出的百分比即为该轴对敏感轴的交叉耦合误差^[4]。

2 测试系统详细设计

测试系统由主控计算机、陀螺测控系统、高低温速率转台及控制系统、直流稳压电源、数字万用表、数字示波器、专用夹具和高低温箱等组成,测试系统基本组成如图 1 所示。

2.1 主控计算机

主控工控机是整个测试系统的核心,它通过与转台控制系统通讯实现对转台的远程控制,和陀螺测控系统一起实现对陀螺的性能测试,并对检查结果进行处理和图形分析。

2.2 陀螺测控系统

陀螺测控系统原理如图 2 所示。

该系统的主要功能如下:

- (1) 提供被测陀螺组合的电源输入接口,通过继电器板控制被测产品的供电,并通过电压、电流检测

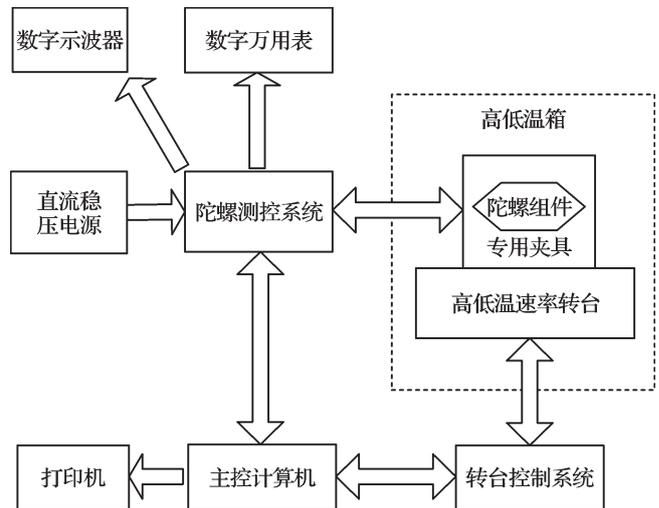


图 1 测试系统组成框

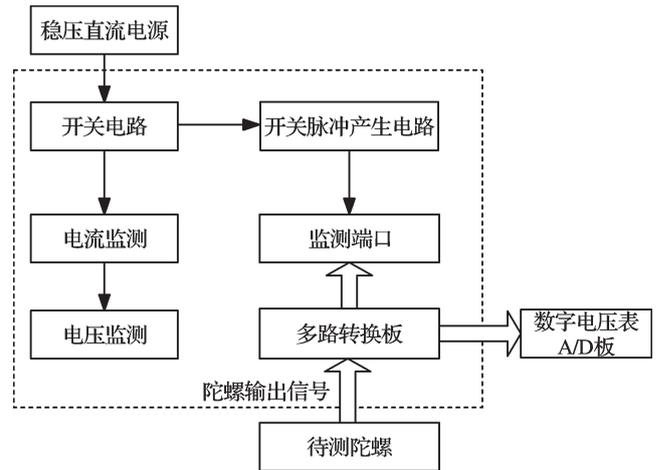


图 2 陀螺测控系统原理框图

电路实时检测被测产品的输入电压和消耗电流;

- (2) 将陀螺输出信号分类,通过多路转换板接入测试系统前面板(供数字示波器监测)和数字电压表;提供陀螺输入及输出接口,通过测试电缆与数字电压表的多通道内置扫描卡相连,再经数字电压表采集处理后由专用电缆将输出信号通过 IE4888 卡提供给主控计算机进行数据处理;

- (3) 提供被测陀螺组合测试和监测信号接口。通过系统前面板的 BNC 插座连接示波器进行信号检测,用于分析产品的工作状况,在陀螺组合出现故障时可以方便地进行故障的定位。

2.3 高、低温速率转台

该转台为被测速率陀螺提供装夹位置和输入角速率,主控计算机通过通讯协议可以方便地对转台进行远程控制,进而完成产品测试。

为了实现产品测试要求,转台台体采用 U-O-O 结构,由外框、中框、内框组成^[5]。中、内框具有位置功能,外框具有速率、位置功能,外框安装了导电滑环以

实现360°连续转动。

根据被测产品特性,为了保证测试的准确性,笔者对转台各项精度指标提出了以下要求:

- (1) 三轴相邻两轴垂直度:±20"(常温:±10");
- (2) 回转精度:±20"(常温:±10");
- (3) 内框安装面与内框轴线平行度:±20"(常温:±10");
- (4) 运动范围:速率轴:连续无限;位置轴:-180°~+180°;
- (5) 速率范围:0.001 °/s~500 °/s;
- (6) 速率精度: $\omega \leq 1 \text{ °/s } 5 \times 10^{-4}$; $1 < \omega \leq 10 \text{ °/s } 5 \times 10^{-5}$; $\omega > 10 \text{ °/s } 1 \times 10^{-5}$;
- (7) 速率平稳性:同速率精度;
- (8) 定位精度:±20"(常温:±10")。

由于被测产品需要在-50 °C~+70 °C的宽温环境下工作,条件比较苛刻,而导电滑环的工艺水平和工作特性不能保证其在如此宽的温度范围内可靠工作,本研究在结构上采用将外框主轴置于温控箱之外,中内框在温控箱之内,中间采用隔热材料连接的结构形式,转台结构如图3所示。此种结构形式能够很好地保证主轴各部分工作的可靠性,且转台有一个较好的机座并与高、低温箱分离,因此其能较好地保证产品安装面在高、低温下的水平度,进而保证产品的测试准确性。

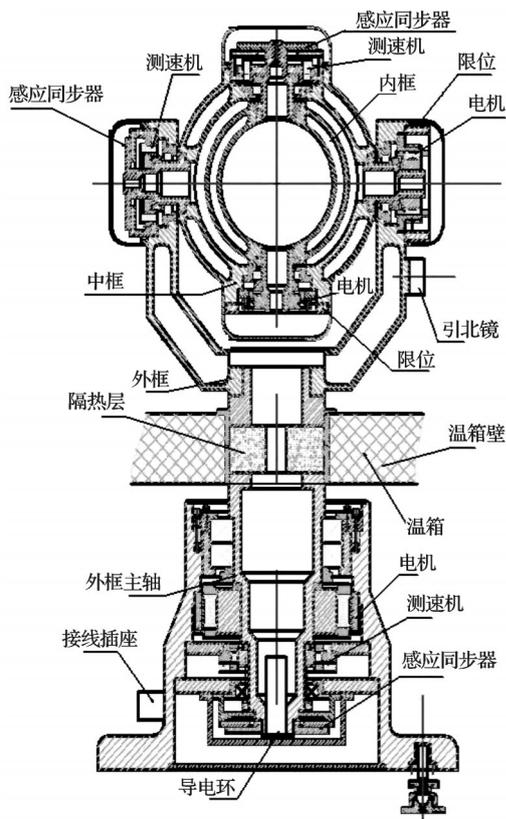


图3 转台结构图

为了保证转台结构精度和功能要求,转台框架选用了铝材料,其具有较好的可加工性能、防锈、隔磁,而且质地较轻又有足够的刚性和强度,辅以必要的热处理可满足框架不易生锈且温度变形较小的要求;轴、轴承与轴承座均选用不锈钢材料制成。

转台的外、中和内3个框架均使用有刷力矩电机提供驱动力矩;使用测速电机提供速度反馈;由于感应同步器对温度不敏感,相对于其他种类同等精度的角位置传感器具有可靠性高、能够适应恶劣环境等特点^[6],系统选择感应同步器提供测角和位置反馈信号;转台伺服控制系统采用了PMAC多轴控制器,它接受转台角度位置数据,并以测速机作为模拟速度反馈,根据一定的控制策略通过直流伺服驱动器对电机进行精确的伺服控制。

2.4 直流稳压电源及数字万用表

为保证被测陀螺工作的可靠性和测试的准确性,该系统选用了较高等级和精度的稳压电源及数字万用表,其中电源纹波电压≤10 mV,电压精度≤1%,万用表采用了6位半的数字万用表。

2.5 专用夹具

专用夹具用于被测陀螺组件在高、低温速率转台上的安装。夹具结构设计合理,拆卸方便,易对中,精度高,强度大,不变形,不生锈;笔者采用了高低温下形变小的材料,避免了对产品测试造成附加误差。

2.6 测控软件设计

测控软件是整个测试系统的重要组成部分,LabVIEW程序的执行是由数据流控制的,其拥有强大的界面开发能力和良好的软硬件接口,在智能化虚拟仪器和检测控制系统设计中广泛使用^[7-8],因而该测试系统的测控软件选择在Windows XP操作环境下,基于LabVIEW语言进行。

考虑到测试的实时性,软件设计采用了模块化设计思想^[9]及“自顶向下”的编程技术,各模块间相互独立,由主控程序进行任务控制和调度,模块间的联系用子程序调用和直接引用的方式实现,易于设计操作,便于扩展升级,且人机界面友好,操作简单,软件主要包含以下模块:

(1) 总控软件。设定了整个测试系统的工作模式和测试流程,其工作流程如图4所示。

(2) 设备自检软件。产品测试前设备进行自检,主要包括工控机内板卡、数字万用表、稳压电源、高/低温速率转台等自检。

(3) 主控计算机和速率转台间的通讯控制软件。通过两台工控机的串口进行通讯,实现主控计算机对三轴转台各框架位置、速率的控制,并实时读取转台

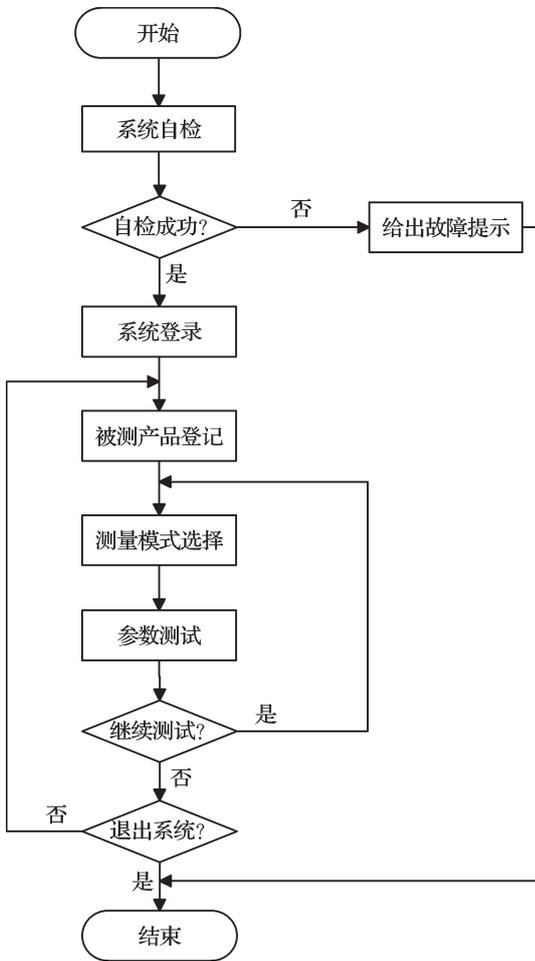


图4 总控软件流程

工作状态信息,确保转台安全工作。

(4) 陀螺性能测试软件。用于完成被测陀螺组合零位电压、准备时间、标度因数、线性度、阈值、分辨率、交叉耦合等各项指标的测试,自动判断被测指标是否合格并给测试人员以提示。

(5) 数据采集与处理软件。对产品测试数据进行采集,并根据不同测试项目设置的参数和判定阈值,进行数据分析并产生判定结果^[10];同时提供方便的数据查询功能,能够方便地对产品性能进行分析,很好地解决生产效率的提升和产品质量溯源^[11]的问题。

3 设计结果及验证

3.1 转台设计结果

高低温速率转台的实物如图5所示。

转台各项指标的计量结果如表1所示,通过对比可知转台的各项指标均达到了要求,符合设计方案的预期要求。

3.2 陀螺测控系统设计结果

陀螺测控系统的工作由陀螺测试程序负责调度,测试程序具有良好的可操作性,用户可以方便地选择

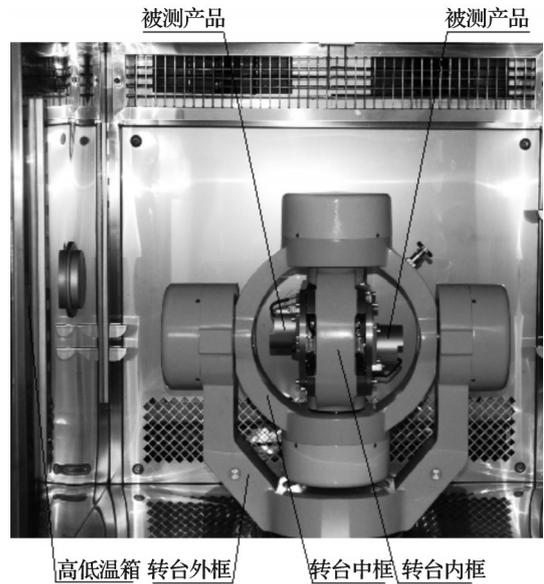


图5 转台实物图

表1 转台指标计量结果统计表

指标名称	指标要求	计量结果
相邻两轴垂直度	20"	9"
回转精度	20"	10"
内框安装面与内框轴线平行度	20"	6"
速率精度($\omega \leq 1$ °/s)	5×10^{-4}	2×10^{-4}
速率精度($1 < \omega \leq 10$ °/s)	5×10^{-5}	2×10^{-5}
速率精度($\omega > 10$ °/s)	1×10^{-5}	5×10^{-6}
速率平稳性($\omega \leq 1$ °/s)	5×10^{-4}	3×10^{-4}
速率平稳性($1 < \omega \leq 10$ °/s)	5×10^{-5}	2×10^{-5}
速率平稳性($\omega > 10$ °/s)	1×10^{-5}	7×10^{-6}
定位精度	20"	6"

被测产品、敏感轴及指标参数,每项指标测试结束后,测试结果会在界面内实时显示,并以不同的颜色区分结果是否合格,给测试人员以提醒,产品测试界面如图6所示。

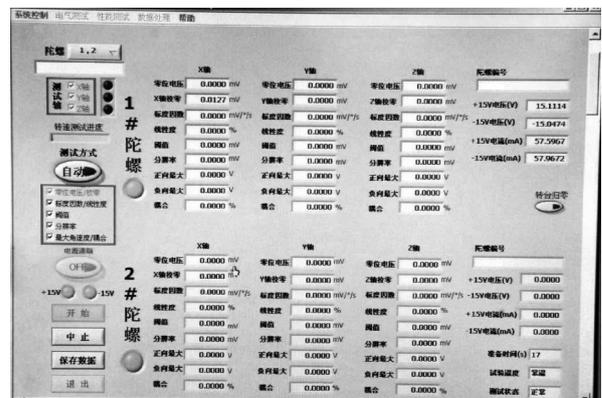


图6 产品测试界面

产品测试结束后,测试程序自动分析判断相关测试结果,并生成标准格式的测试报告^[12];测试界面还

提供电压、电流的实时监测功能,出现异常时系统将自动断电以保护产品,实现了无人值守的功能,提高了测试效率和操作安全性。

3.3 实验验证及结果分析

基于三轴高低温转台的测试系统虽然有一系列的优点,但与单轴转台相比,由于其存在3个框架,对速率陀螺组合的交叉耦合测试可能会带来一定的影响,测试系统对此进行了实验验证。

本研究随机选取3套陀螺组合针对交叉耦合进行测试,测试时,对3套陀螺组合共9个敏感轴各进行3次交叉耦合测试,然后与厂家原始测试数据进行对比,交叉耦合测试指标对比结果图如图7所示。

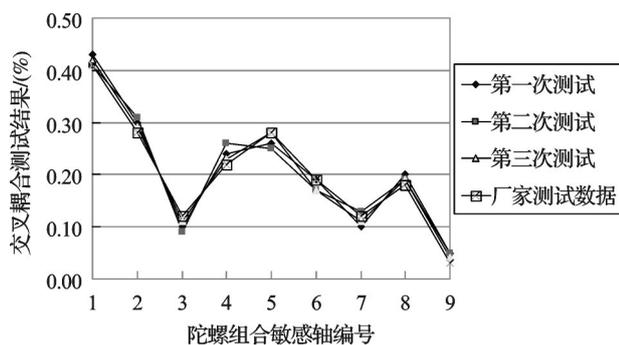


图7 交叉耦合测试指标对比图

实验验证结果表明,测试系统有着良好的测试精度和测试一致性,系统自身不会引入测试误差,测试结果准确可信。

4 结束语

本研究设计并完成了一种速率陀螺组合全温自动测试系统,实现了全温环境下对速率陀螺组合自动化、高效率的准确测试,为陀螺组合性能测试、考核提

高了良好的标准。其应用也保证了整机产品的性能,对类似测试系统的研制具有很好的借鉴意义。

该测试系统提供良好的人机界面,具有集成度高,测试速度快、高度自动化、操作维护方便、可靠性高等优点。

参考文献(References):

- [1] 潘英俊,邱建勋,刘宇,等.采用神经网络补偿压电陀螺的零位温漂[J].自动化与仪器仪表,2006(4):14-17.
- [2] 陈涛,王伟,吉清.基于小波变换的光纤陀螺信号的去噪方法[J].兵工自动化,2013(3):70-71,82.
- [3] 王新国,许化龙.全数字闭环光纤陀螺测试系统的软硬件设计[J].战术导弹控制技术,2005(2):63-66.
- [4] 吕志春,邵荣智. SJ20615-96压电陀螺仪总规范[S].电子工业部第二十六研究所,1996.
- [5] 谭志斌,赵祚喜,张霖,等. MEMS惯性传感器的三轴转台实验研究[J].电子测量技术,2012,35(4):110-115.
- [6] COLLEY P L. Space Vehicle Mechanisms: Elements of Successful Design [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 1998.
- [7] 赵晓东,贾孔昊.基于LabVIEW的磁控电抗器测试系统[J].机电工程,2013,30(3):380-383.
- [8] ARTHUR J H, SEXTON M R. LabVIEW Application: Energy Laboratory Upgrade [C]//Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education (ASEE). Annual Conference & Exposition. Portland: [s.n.], 2005.
- [9] 鲍永成,赵剌,孙夏川,等.位标器支座漏气阀性能测试系统设计[J].航空兵器,2008(1):50-53.
- [10] 卢潭城,高翔,刘鹏,等.天线自动测试系统设计与实现[J].实验室研究与探索,2013,32(12):115-117.
- [11] 张蕊,郎杰.基于PXI总线的自动测试系统设计[J].光电技术应用,2014,29(3):44-47.
- [12] 朱彦军.交流电机智能综合测试系统设计[J].机电工程,2012,29(2):200-203.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

李磊磊.一种速率陀螺组合全温自动测试系统的研制[J].机电工程,2015,32(4):479-483.

LI Lei-lei. Full temperature automatic test system for rate gyro combination [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(4): 479-483.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>