

# 基于 LabVIEW 的某型舵机综合性能测试系统

夏中亚<sup>1</sup>, 王伟<sup>1</sup>, 陆晓明<sup>2</sup>, 蒋平<sup>1</sup>

(1. 中国船舶重工集团公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003; 2. 武汉海达数云技术有限公司, 武汉 430000)

**摘要:** 某型新研舵机性能需要严格而有效的测试; 利用 LabVIEW 平台, 开发了一种舵机综合性能测试系统; 整个系统基于 PXI 总线进行构建, 以保证系统测试的精确性和可靠性, 能够产生对舵机的控制信号, 同时实现数据的采集和存储, 波形的实时显示, 测试数据的分析、保存和打印等功能; 该系统已应用在某型舵机性能测试中; 试验结果表明, 该系统操作方便, 运行稳定, 测试结果精确可靠。

**关键词:** 舵机; 性能测试; LabVIEW; PXI 总线

## Comprehensive Performance Test System of a Steering Engine Based on LabVIEW

Xia Zhongya<sup>1</sup>, Wang Wei<sup>1</sup>, Lu Xiaoming<sup>2</sup>, Jiang Ping<sup>1</sup>

(1. No. 710 R&D Institute, CSIC, Yichang 443003, China; 2. Haida Shuyun Technology Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

**Abstract:** A certain type of new research steering engine's performance requires strict and effective test; Based on the platform of LabVIEW, a kind of comprehensive performance test system for this steering engine is developed. The entire system is built by using PXI bus for ensuring the accuracy and reliability of this system. The system is capable of generating a control signal to the steering engine, while achieving the following functions; data acquisition and storage, real-time waveform display, analysis of test data, save and print. The system has been applied in a certain type of steering engine's performance test. The result indicates that; the system is easy to operate and can work stably with high system precision.

**Keywords:** steering engine; performance test; LabVIEW; PXI bus

## 0 引言

舵机是一种位置伺服驱动器, 是典型的闭环反馈伺服系统, 适用于需要角度不断变化且保持驱动的系统<sup>[1]</sup>。在水下航行器中, 舵机是控制系统的重要执行部件, 其工作性能如舵角精度及范围、频率响应、阶跃性等指标, 直接影响水下航行器的弹道控制的准确性及快速性。由于舵机为机电产品, 一般为多通道, 组成相对复杂, 且安装时配合精度要求高, 性能影响因素较多且相互间存在耦合。因此, 有必要全面、准确地测试舵机的各项性能参数。

目前, 某型舵机为某水下自导武器所研制, 无现成的测试设备可利用。该舵机为三通道舵机, 与系统控制中心采用一路异步通讯数字接口进行三通道操舵指令和实际舵角反馈值的传输。研制初期, 采用通用电子仪器进行电气性能测试, 力矩加载采用电机驱动机构及扭杆结构, 操舵指令及反馈采用计算机串口调试设备实现。系统所需设备及工装较多, 系统连接复杂, 所需操作人员多, 测试过程复杂, 且测试结果需人工逐项记录, 测试效率低。另外, 测试时舵机与扭杆间安装较困难, 测试精度较难保证。基于这种情况, 设计了一种针对该型舵机综合性能测试的系统。设计时充分考虑了适应不同规格舵机产品测试的扩展性。

该舵机综合性能测试设备, 可用于进行舵机的空载、加载

和动静态性能测试。该设备设计功能齐全, 采用数字形式的舵控信号, 且可任意进行波形设置。通过 PXI 总线、GPIB 接口实现通用仪器、电源和测试系统的信息交换。系统具备完善的自检和自校准功能, 能够确保被测产品能在一个安全的环境下完成测试。该设备有工作可靠、测试准确、使用方便、综合性强等优点, 为某型舵机的研制、批量生产和使用维护提供了快捷方便、精确有效的测试手段。

## 1 系统结构与工作原理

被测舵机主要组成部分: 一个三通道舵控制器, 三个由电机、传动机构及测角传感器等组成的单通道舵机组件。根据其测试需求, 要对其进行空载、加载和动静态性能测试, 包括零位偏差、灵敏度、回线宽度、阶跃响应、频域响应和偏转速度等项目的测试。本测试系统基于 PXI 总线进行构建, 以保证系统测试的精确性和可靠性<sup>[2]</sup>。系统由测控操作台、舵机加载台和测控软件三大部分组成, 各部分连接关系如图 1 所示。

系统的工作原理: 被测舵机安装在加载台上, 根据需测试的项目, 确定对舵机加载和卸载。在测控软件的控制下, 给舵机加电, 然后测控计算机通过 422 串行口输出测试波形, 同时通过编码器接口读入舵偏角响应数据, 测控软件根据测到的数据, 按照确定的算法计算出舵机的各项性能参数。在测试中, 被测参数均通过虚拟仪器实时显示在操作界面上。

针对数字舵机, 系统可自动形成规定的数字通讯协议。在系统中设置了任意波形发生器, 可以适应不同测试项目的输入要求。测试项目涵盖了舵机的所有测试项目, 可以实现对舵机性能的完整测试。

收稿日期: 2014-08-15; 修回日期: 2014-10-10。

作者简介: 夏中亚(1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事电子设备测试与故障诊断研方向的研究。

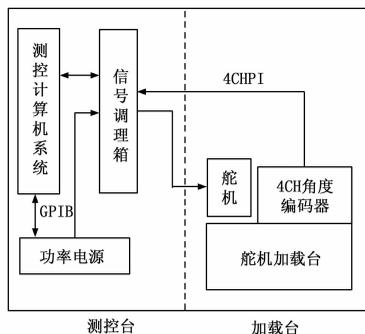


图 1 系统的组成

## 2 硬件设计

### 2.1 测控操作台

测控操作台包括测控计算机，接口卡，4 通道正交编码器卡与编码器，程控电源等。测控操作台的组成框图如图 2 所示。各部分设计与功能如下。

#### 2.1.1 测控计算机

测控计算机是测试系统的核心，主要完成舵机各项性能参数的测试<sup>[3]</sup>，包括舵控指令生成、舵偏角信号及其它信号的采集以及测试流程的控制。测控计算机还对整个测试系统的电源电压和电流进行监控，通过 GPIB 接口实现对功率程控电源的控制和数据回读。

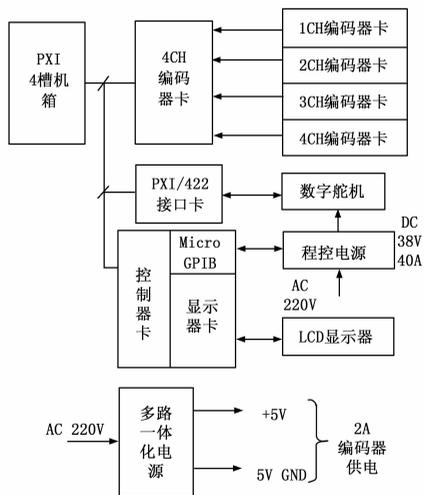


图 2 测控操作台的组成框图

本系统控制器卡采用 PXI-8108，是 NI 公司生产的一个高性能嵌入式控制器卡，可用于 PXI 和 Compact PCI 系统，配有 2.53 GHz 双核处理器和 800 MHz DDR2 内存，是模块化仪器和数据采集应用的理想选择。该控制器的双核处理器，是 NI LabVIEW 软件等多线程应用程序的理想选择，应用程序能够将各个任务分为多个线程执行。可以同时分别进入处理器的两个核心，从而提高系统整体性能。

#### 2.1.2 数据通信与处理

通过 PXI/422 接口卡与被测数字舵机进行通讯，输出控制波形数据作为舵机的舵控信号，同时可以读回舵机状态及舵机内部电位器检测的舵偏角反馈信号。选择 NI 公司生产的

PXI-8431/2 RS422 接口转换卡，它是一款用于与 RS422 设备进行 3Mb/s 高速通信的高性能 8 端口串行接口板卡。其借助高性能的 DMA 引擎，可实现高速数据处理能力，而且 CPU 占用很低，特别适用于多个串行端口同步通信的应用。

4 通道正交编码器卡采集 4 通道脉冲量舵偏角信号 (PI)。选用 NI 公司生产的 PXI-6602 四轴正交编码器卡，它拥有 8 个 32 位计数器/定时器和 32 条与 TTL/CMOS 兼容的数字 I/O 线。可执行各种计数器/定时器的测量任务，包括编码器定位测量，事件计数，周期测量，脉冲宽度测量，脉冲生成，脉冲序列生成以及频率测量。

通过四路编码器对加载控制台的 4 通道脉冲量舵偏角信号 (PI) 进行测量，以便测试系统在空载、加载测试过程中监控被测舵机的实际负载能力及运行情况。选用四川科奥达光电公司生产 DT005D-7200P/RWZ05P 型号光电编码器，+5 V 供电，7200P/PR，脉冲幅值+5 V，配合 PXI-6602 卡的 4 倍频设置，其角度分辨率可以达到 0.012 5 度/脉冲，满足该数字舵机各项指标测试的精度。

#### 2.1.3 程控电源

程控电源用于给舵机和测试设备供电，具有供电电压、电流显示功能，过流过压报警保护功能，当出现故障时可以自动切断舵机电源，保护产品的安全。选择 TDK 公司生产的带 GPIB 接口 GEN 38-40 型电源，其最大输出电流为 40 A，输出电压为 0~38 V 可调。

### 2.2 加载台

加载台如图 3 所示，采用弹簧杆加载方式。加载台用于安装固定被测弹体并向被测弹体的舵面施加负载。它由箱体（含行走轮）、底板、产品安装底座（可微调高度）、锁紧机构、加载接头、4 通道加载弹簧扭杆、光电编码器、扭杆刚度校准装置等几部分组成。箱体为加载台的机架，箱体上带有行走轮，方便设备的移动，箱体内部可存放砝码和工具等物品。底板与箱体固定，底板用于固定和安装产品安装座和单通道加载部件等。

在加载部件的设计中，仔细考虑回转轴、弹簧杆、光电编码器等的附加转动惯量。在保证强度及测量精度的前提下，尽量减小回转轴、弹簧杆、光电编码器的尺寸和质量，减小加载通道的转动惯量，尽可能减小对产品性能的影响。

加载台设计了可调整的工艺底座。加载杆采用整体拆换方式，可以方便地根据测试要求进行更换。在一定范围内通过移动滑台可以满足不同加载刚度的测试要求。

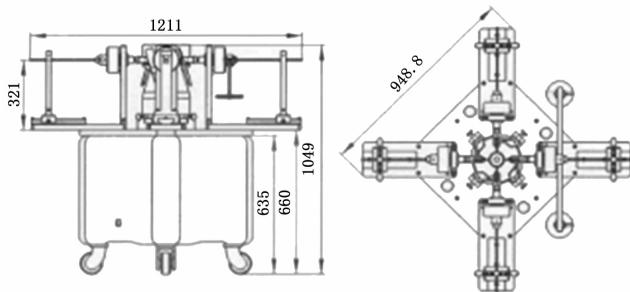


图 3 加载台

加载弹簧扭杆是加载台的关键部件，由 65 Mn 制造，热处理硬度 HRC48-52。根据舵机测试要求，8 Nm 扭杆其刚度

系数为  $8/15 = 0.533 \text{ N} \cdot \text{m}/^\circ$ , 扭杆截面为  $4.6 \times 4.8 \times 4.8 \text{ mm}^2$ , 工作长度为  $200.8 \text{ mm}$  可调。3 Nm 扭杆刚度系数为  $3/15 = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m}/^\circ$ , 扭杆截面为  $3.5 \times 3.5 \text{ mm}^2$ , 工作长度为  $151.4 \text{ mm}$  可调。

### 3 软件设计

软件即仪器是虚拟仪器的设计思想<sup>[4]</sup>。根据舵机测试所需完成的功能和系统方案设计, 测试系统软件子系统设计主要包括以下内容: 外设接口驱动程序设计, 应用软件设计。PXI 板卡的一些外设需要设计驱动程序才能运行, 这些驱动程序主要有串口驱动程序、电源驱动程序, 板卡驱动程序等。

测控软件采用 Windows XP 操作系统、LabVIEW 编程工具, 具有虚拟仪器功能, 各功能全部通过清晰的按钮来操作, 从而使系统具有良好的人机操作界面。整个操作系统、板卡驱动、测试程序等制作克隆盘, 实现整个计算机系统及测试软件一键恢复正常状态。

应用层软件设计主要是对测试系统工作时序及测试算法的设计。软件是测试系统的核心, 为实现测试系统的功能及提高软件运行的效率, 按照软件工程的要求和方法, 对其采取模块化设计, 以便于更改、调试、扩充和维护。其中包括: 自检模块、校准模块、数字舵机测试模块、帮助与退出模块。软件功能结构图如图 4 所示。

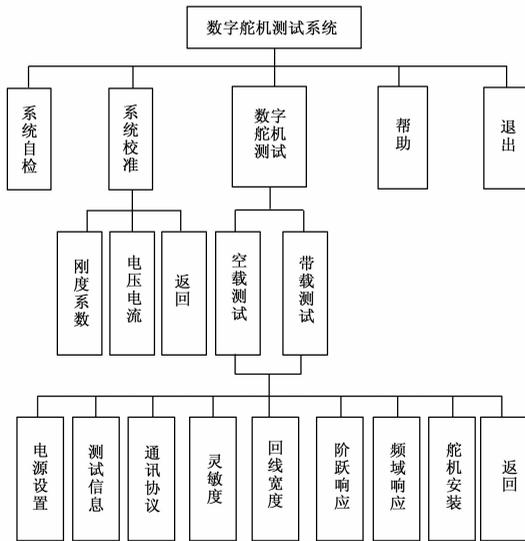


图 4 软件功能结构图

各模块实现的功能如下。

1) 自检模块: 包括测试系统自检和被测舵机供电电源检查。为了保证系统测试的安全性, 设置了完备的系统自检功能和测试环境监测保护功能, 在出现故障时可以自动切断舵机电源, 保护产品的安全。

调用该模块, 对测试系统硬件各模块和接口逐一进行检查, 并检查对被测舵机供电电源的状态, 可运行程控电源、DAQ 卡、编码器卡和 422 接口卡的自检程序。自检完成后, 向测控计算机反馈自检结果。测试系统自检通过后, 才可用于测试被测舵机。

2) 校准模块: 为了调试标校方便, 同时保证系统预定测试精度的可靠性和合法性, 设计了自校准模块, 可以自动定位系统故障并实现系统的自校准。包括加载弹簧刚度系数校准和

供电电源电压电流的校准。

3) 数字舵机测试模块: 对被测舵机的不同测试项目设计不同的测试模块, 各测试模块根据被测舵机的测试需求, 配置测试资源, 生成测试代码, 驱动测试板卡接口对数字舵机各项功能进行测试, 并向测控计算机反馈测试结果, 并进行实时显示。

在本模块中可以进行电源设置、通讯协议设置、测试信息输入、空载测试、带载测试、报表生成等选项。其中空载测试项目包括零位偏差、灵敏度、回线宽度、阶跃响应、频域响应和偏转速度的测试; 带载测试包括回线宽度、阶跃响应、频域响应和偏转速度的测试。以上测试可以一键完成也可以分项选择。若被测对象无故障, 则正常, 若存在故障则立即对该舵机断电, 并将其隔离。

4) 帮助与退出模块: 在测试过程中如遇问题, 可使用帮助模块解决相应问题; 测试任务完成之后, 选择退出, 测试系统关闭。

系统的主程序流程图如图 5 所示。

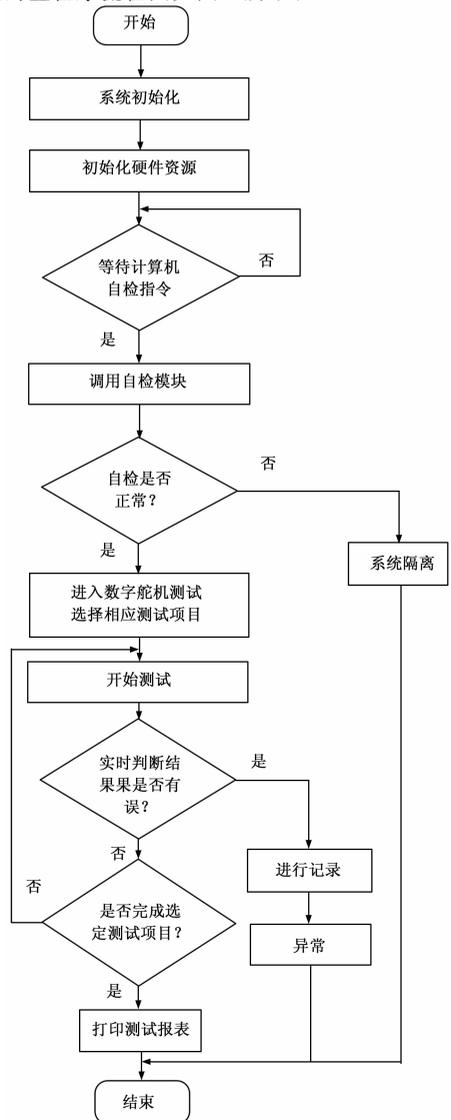


图 5 主程序流程图

### 4 测试验证

将该测试系统应用到某型号舵机的测试中，并进行功能验证，试验结果如表 1 中所示。测试数据经系统判断合格，如若不合格，则会显示为红色字体，用于提醒测试人员。

实践证明：该测试系统对被测舵机进行测试，测试过程中该设备工作稳定可靠，测试结果真实的反映了被测舵机的状态，提高了批量测试的效率，使舵机的自动测试更加简便快捷，实用可靠。

表 1 测试结果

		负载测试数据		
舵通道		1	2	3
阶跃响应	角速度 / (°)	89.96	108.85	99.36
	负载电流 / A	2.47	2.47	2.47
频率响应	峰值比	0.82	0.95	0.91
	相位差 / (°)	-139.28	-104.68	-108.52
滞环测试 / (°)		0.83	0.59	0.58
线性度 / (%)		0.64	0.62	0.36

备注：此表为常温性能测试记录

### 5 结论

测试验证结果表明，本文选用 LabVIEW 编程技术与 PXI 总线技术研制的舵机综合性能测试系统，功能全面，可全面满足数字式舵机的性能测试要求。实现了波形实时显示、自动测量、记录、分析、处理及打印等功能，人机界面友好，操作方

便，快捷，提高了测试效率，节约了人力资源，提高了参数测量的准确性。

此外，采用任意波形发生器可适应多种测试项目的测试需求；采用自动生成通讯协议方式可适应多种不同的数字通信方式；通过可调整的工艺底座及可更换加载杆等设计，可适应不同的力矩加载要求，舵机供电电压范围宽且可调。可适应不同数字舵机的测试要求，在一定程度上，提高了舵机综合性能测试系统的通用性。

该设计为实现数字化舵机的综合性能测试提供了更高效、稳定的解决方案。

#### 参考文献：

[1] 牛海发, 牛明博. 无人机舵机测试系统软件设计与应用 [J]. 测控技术, 2006, 25 (12): 64-67.

[2] 岳宏达, 何卫国, 曾漫. 基于 PXI 总线的舵机综合性能测试系统 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (9): 2339-2341.

[3] 陈敏, 汤晓安. 虚拟仪器软件 LabVIEW 与数据采集 [J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22 (4): 501-503.

[4] 牛海发, 牛明博. 一种基于虚拟仪器的舵机测试系统研制 [J]. 实验技术与管理, 2007, 24 (2): 67-71.

[5] 韩大伟, 周军, 于晓洲. 基于 PXI 总线的导弹自动测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008 (11): 1650-1652.

[6] 陈锦威, 史步海. 基于 LabVIEW 的船用发电机特性试验测试系统 [J]. 工业控制计算机, 2007, 20 (3): 81-82.

[7] 谭营, 许化龙, 曲从善. 基于 PC /104 总线的舵机测试系统设计 [J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27 (4): 55-57.

[8] 杨乐平, 李海涛, 赵勇, 等. LabVIEW 高级程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

(上接第 52 页)

### 5 结论

目前国内对陶瓷砖表面平整度检测基本以人工为主，本文依照国标陶瓷砖表面平整度检测标准，提出了基于激光技术在线平整度检测系统总体设计方案。由于测量装置的特点，如激光位移传感器示值误差、皮带流水线的“抖动”误差等都会对系统的测量结果产生很多不确定因素。通过不确定度分析可知，在纵向偏移角  $\alpha = 3^\circ$  情况下，激光传感器安装偏差导致的不确定性小于 0.12 mm，不会对测量结果精度产生影响。通过对不同试验环境下平整度多次重复性试验可知，本检测系统具有极高精度和重复稳定性，检测精度可达 0.02 mm。基于 vs2010 单文档框架，结合 Creator/Vega 三维仿真软件开发的上位机显示平台，具有直观方便、可扩展性强，便于调试维护等优点，可以广泛应用于航天飞行器建模、战场视景仿真、刑侦现场勘查场景重建、工业检测等多个领域。

#### 参考文献：

[1] GB/T3810.2 - 2006, 陶瓷砖试验方法 第二部分：尺寸和表面质量的检验 [S].

[2] 陈骥, 王鑫, 曹久大, 等. 高速 CCD 激光位移传感器 [J]. 光学精密工程, 2008, 16 (4): 611-616.

[3] 盖志刚, 赵杰, 杨立, 等. 一种新型激光智能水位测量系统的研制 [J]. 光电子·激光, 2013, 24 (3): 569-572.

[4] 谢晋, 韦风, 田牧纯. 微纳 V 槽脆/塑性域切削的 3D 激光检测及评价 [J]. 光学精密工程, 2009, 17 (11): 2771-2778.

[5] 刘会朴. 陶瓷砖平整度在线检测系统的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009.

[6] 段亚轩, 陈永权, 赵建科, 等. 长焦距激光光学系统焦距测试方法 [J]. 中国激光, 2013, 40 (4): 187-193.

[7] 聂陶荪, 王庆松, 胡鸿豪, 等. 墙地砖表面平整度自动连续检测技术 [J]. 中国陶瓷工业, 2004, 11 (2): 9-11.

[8] 殷宏, 王志东, 许继恒. 基于 Creator/Vega 的战场视景仿真 [J]. 解放军理工大学学报 (自然科学版), 2005, 6 (2): 137-141.

[9] 彭亮, 黄心汉. 基于 VC 和 Vega Prime 联合开发的巡航导弹仿真系统研究 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2010, 41 (1): 219-224.

[10] 王瑞华, 王普. 隔离型换热节能系统的粗大误差检测研究 [J]. 国外电子测量技术, 2012, 31 (1): 45-47.