

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2019.03.10

标准空速管角度测试装置测控系统设计

孔祥雪, 李亚晋, 张鹏

(航空工业北京长城计量测试研究所, 北京 100095)

摘要: 随着航空技术的发展, 现有攻角、侧滑角传感器的测试方法无法满足机载系统大量测试的需求。针对这一现状, 基于 LabVIEW 语言设计了一套标准空速管角度测试装置测控系统, 并详细阐述了系统的工作原理、硬件结构和软件设计。经试验验证, 该测控系统可靠性好、自动化程度高, 为机载系统的相关性能评价提供了重要依据。

关键词: 标准空速管; 攻角; 侧滑角; 测控系统

中图分类号: TB922

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2019)03-0055-05

Measurement and Control System Design for the Standard Pitot Tube Angle Test Device

KONG Xiangxue, LI Yajin, ZHANG Peng

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: With the development of aviation technology, the existing testing methods of angle of attack and sideslip sensors cannot meet the needs of a large number of airborne system testing. In view of this situation, a set of measurement and control system of standard pitot tube angle test device is designed based on LabVIEW language, and the working principle, hardware structure and software design of the system are described in detail. The experimental results show that the measurement and control system have good reliability and high automation, which provides an important basis for the performance evaluation of airborne systems.

Key words: standard pitot tube; angle of attack; angle of sideslip; measurement and control system

0 引言

在大气校准领域, 空速管为控制系统提供全压、静压的数据信息^[1-7], 标准空速管可作为大气系统校准的标准器具。一般情况下, 选作飞行试验专用的标准空速管比批量生产型常规空速管的测试准确度高出一个数量级, 其各项指标均符合 NIST/MIL-STD-45662A 的要求^[8]。旋转风标式攻角侧滑角传感器为飞机提供飞行时的角度数据, 并将与被测角度呈近似线性关系的电压信号传输给机载控制系统^[9]。由于传感器风标大多安装在空速管上, 在复杂的大气环境下, 由于高速气流的冲击, 可能会导致传感器发生故障, 增大攻角和侧滑角的误差, 降低传感器的准确度, 因此有必要对传感器的性能进行测试。

目前, 攻角、侧滑角传感器的性能测试主要采用人工检测的方法, 利用量角器进行测试。这种方式只能在一定程度上检测出传感器的故障和缺陷, 存在准确度低、可靠性差、操作复杂等问题^[10], 且不能实现对攻角、侧滑角传感器的动态测试。

此外, 电位计作为攻角、侧滑角传感器的重要元器件, 可根据电刷位置不同输出相应的电压值。将输出电压除以总电压即可得到电位计的电压比, 根据电压比即可解算出相应的角度值, 角度值的准确度可直接影响传感器的品质, 因此需要对电位计的性能进行测试。针对这些问题, 设计了一套基于 LabVIEW 语言的标准空速管角度测试装置测控系统, 本文详细阐述此系统的工作原理、硬件结构和软件特点, 并通过试验验证其可靠性。

1 工作原理

标准空速管角度测试装置测控系统主要用于标准空速管攻角和侧滑角的测试和校准, 并验证电位计的性能, 系统结构图如图 1 所示。该系统主要由测控设备、标准空速管、高准确度程控转台、电位计和电位计校准台组成, 其工作原理是: 测控设备通过总线发出控制指令, 驱动高准确度程控转台和电位计校准台进行相应的位移及转动, 采集其反馈的脉冲数, 进而计算位置、角度和状态等。高准确度程控转台通过接

收测控设备的控制信号,实现对标准空速管攻角和侧滑角的静态定点准确度测试以及动态连续性测试;电位计校准台通过接收测控设备的控制信号,对单个电位计进行筛选和测试。

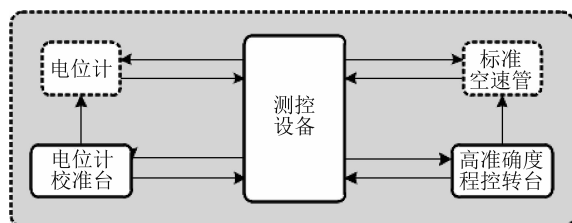


图1 标准空速管测控系统结构图

2 硬件结构

根据测控系统的工作原理,硬件在设计上采用分布式结构,主要由数据采集系统和运动控制系统两部分构成。该测控系统的机械结构如图2所示。

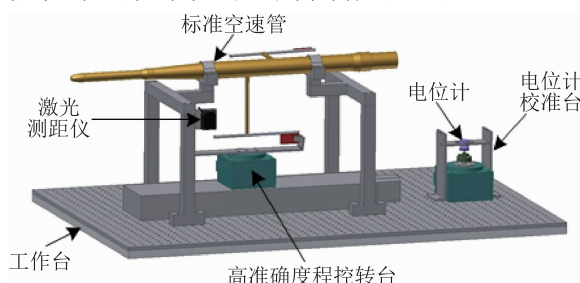


图2 机械结构示意图

2.1 数据采集系统

1) 采集信号类型

由于电位计采用机械单余度、电气双余度的设计,即一个旋转轴带动两个相互独立的电位计,因此,在高准确度程控转台部分,数据采集系统需采集的信号包括电源电压、两路电位计的输出电压和激光位移传感器的输出电压;在电位计校准台部分,数据采集系统需采集的信号包括电源电压、两路电位计的输出电压。

2) 角度解算

电位计可实现 360° 旋转,并有 340° 的测量范围,其工作原理与滑动变阻器相同。一般使用电位计电压比50%的位置作为电位计的 0° 位置。

设电位计每个余度输入电压为 V ,输出电压为 V' ,采集两路数据即可得到电压比 V'/V 。电位计全测量范围为 340° ,即每 1° 对应的电压比应为 $1/340$ 。零位电压比设定为 A_0 ,输出电压比设定为 A ,则角度 α 的计

算公式为

$$\alpha = (A - A_0) \times 340 \quad (1)$$

在软件实现过程中,可根据回零操作得到的零点电压比以及输出电压比进行计算,从而得出相应的角度。

2.2 运动控制系统

本测控系统以电动平移台作为线位移机构,以电动旋转台作为角位移机构,以运动控制器作为运动控制机构。电动旋转台既作为高准确度程控转台的角位移机构,又作为电位计校准台的角位移机构,主要用于带动风标夹持机构或电位计按照程控设备的指令进行转动和角度给定;电动平移台作为高准确度程控转台的线位移机构,主要用于将高准确度程控转台水平移动到转台中心与风标杆在垂直方向上同轴的粗略位置,然后由程控设备进行更高准确度的微调;运动控制器是与位移机构配套的运动控制装置,可直接与位移机构连接,实现本地控制和远程控制,提高装置的可操作性。

3 软件结构

标准空速管角度测试装置测控系统采用LabVIEW图形化编程语言开发,具有为测试与自动化控制应用设计的专业性配置功能,并且使用高效,广泛地应用于数据采集、仪器控制、测量分析与数据显示等各个领域。下面将依据软件实现的功能,具体阐述软件设计思路。

3.1 软件功能

软件主要包含四个功能:

1) 设备连接

计算机与运动控制器和数据采集卡实现通讯并自动检测连接状态,若连接失败,用户排查故障后,重新运行软件。

2) 数据采集

网络连接成功后,进入攻角侧滑角测控模块或者电位计校准模块,点击开始采集按钮后,软件便开始采集数据。

3) 运动控制

运动控制系统接收测控设备的控制信号,完成相应的移动和角度给定。

4) 数据显示和处理

试验过程中,用户可查看当前角度、电压比、状态等信息。采集完成后绘制角度与电压比的波形图。软件流程图如图3所示。

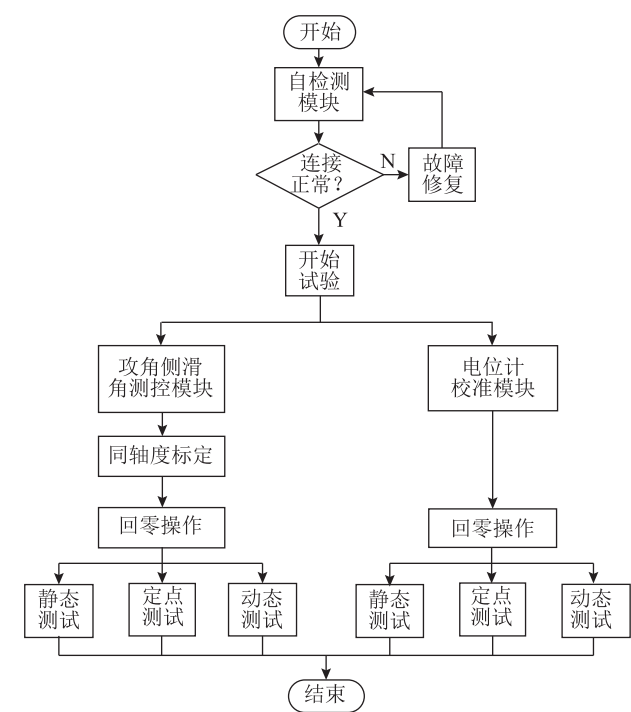


图3 软件流程图

3.2 软件设计

根据测控系统的功能需求，软件采用模块化设计，主要包括两个模块：攻角、侧滑角校准模块和电位计校准模块。

1) 攻角、侧滑角校准模块

攻角、侧滑角校准模块用于对标准空速管的攻角、侧滑角传感器的静态性能和动态性能进行测试，显示攻角、侧滑角的数据，并在采集结束后以波形图的形式表示角度与电压比的关系。

试验开始前，首先选择需要测试的角度类型(攻角或侧滑角)，然后对装置进行同轴度标定，即利用激光位移传感器测量夹持机构在0°和180°位置处与风标杆的距离，并对电动平移台进行调整，直到两位置的距离值的差值小于某一数值，即认为同轴度标定完成。然后点击开始回零，得到电位计的零点电压比，同轴度标定和回零操作的设计界面如图4所示。之后依次进行静态测试、定点测试、动态测试。

静态测试过程中，用户输入行程范围和步进角度，驱动电动旋转台夹持攻角或侧滑角的风标进行相应角度的转动，以此检测标准空速管的攻角或侧滑角的静态特性。静态测试设计界面如图5所示。

定点测试过程中，用户输入目标角度，驱动电动旋转台转动到目标角度，以此测试攻角或侧滑角移动

到某个角度的准确度。定点测试设计界面如图6所示。



图4 同轴度标定和回零操作设计界面 图6 定点测试设计界面

动态测试过程中，用户输入行程范围以及旋转速度，驱动电动旋转台在行程范围内以指定旋转速度进行转动，以此测试攻角或侧滑角的动态连续性以及旋转准确度。动态测试设计界面如图7所示。



图7 动态测试设计界面

2) 电位计校准模块

电位计校准模块用于对单个电位计进行筛选和测试。通过该模块对电位计的静态准确度和动态准确度进行测试并显示数据，判断电位计输出参数是否满足使用要求。

试验时首先点击开始回零按钮，根据控制指令驱动电位计快速转动至零点电压比为0.5时停止，回零操作的设计界面如图8所示。之后依次进行静态测试、定点测试和动态测试。

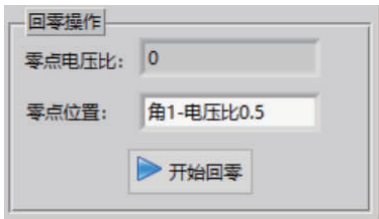


图8 电位计回零操作设计界面

动态测试过程中，运动控制系统根据行程范围和旋转速度进行转动，测试完成后，波形界面将显示指定行程范围内的角度与电压比的波形。用户可根据波形的线性化程度判断电位计的性能品质，以此实现单个电位计的筛选。

4 试验验证

利用标准空速管角度测试装置测控系统对某型标准空速管进行测试，并验证试验结果。

4.1 静态测试

以攻角、侧滑角模块的静态测试为例，设置攻角的行程范围为 $-170^{\circ} \sim 170^{\circ}$ ，步进角度为 20° 进行静态测试，测试结果如图 9 所示。静态测试的主要功能是在指定行程范围内进行连续单点测试，因此可根据角度和电压比波形的线性关系判断攻角或侧滑角的静态性能。

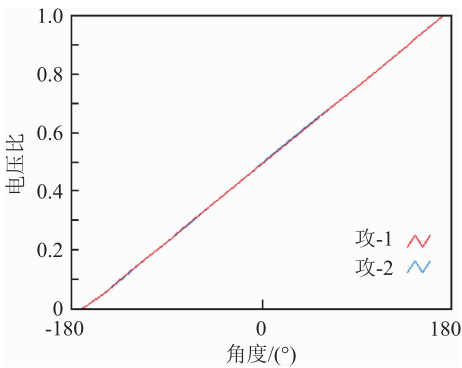


图9 攻角、侧滑角校准模块静态测试结果

从试验结果可以看出，测控系统实现了对指定范围的连续单点的自动测试，并且通过角度和电压比的线性关系，得出该攻角的静态性能良好。

4.2 定点测试

以攻角、侧滑角模块的定点测试为例，分别选取 11 个目标角度，对标准空速管的攻角进行定点测试，测试结果如表 1 所示。定点测试的主要功能是在指定行程范围内进行指定单点测试，可通过攻角或侧滑角的角度与转台角度的误差，以及电压比判断攻角或侧滑角移动到某个角度的准确度。

根据试验结果可以看出，测控系统实现了对指定单点的自动测试，并且可根据用户的实际需求，判断攻角传感器角度与转台角度的误差以及电压比是否在准确度要求范围内，从而分析攻角或侧滑角的定位准确度，并验证系统的有效性和可靠性。

4.3 动态测试

以电位计校准模块的动态测试为例，设置电位计的行程范围为 $-170^{\circ} \sim 170^{\circ}$ ，设定旋转速度为 1000 脉冲/秒，之后进行动态测试，测试结果如图 10 所示。

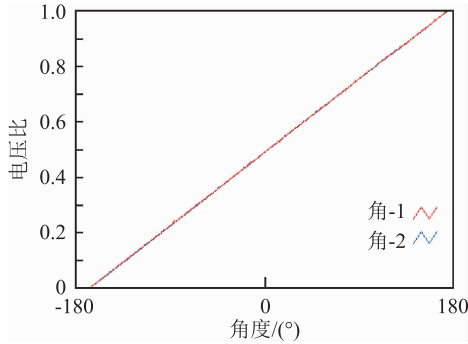


图10 电位计校准模块动态测试结果

表 1 标准空速管攻角定点测试试验结果

实验编号	转台角度/(°)	输入电压/V	攻 1 - 电压/V	攻 2 - 电压/V	攻 1 - 电压比	攻 2 - 电压比	攻 1 - 角度/(°)	攻 2 - 角度/(°)
1	-90.0	9.37	2.14	2.13	0.228	0.227	-90.1	-90.6
2	-60.0	9.37	2.96	2.96	0.316	0.316	-60.0	-60.5
3	-40.0	9.37	3.52	3.52	0.376	0.375	-39.8	-40.3
4	-20.0	9.37	4.07	4.07	0.434	0.435	-19.8	-20.1
5	-10.0	9.37	4.35	4.35	0.464	0.464	-9.90	-10.1
6	0.00	9.37	4.62	4.63	0.493	0.494	0.00	0.00
7	10.0	9.38	4.90	4.91	0.522	0.523	10.0	10.1
8	20.0	9.37	5.17	5.18	0.552	0.552	20.0	19.9
9	40.0	9.38	5.72	5.73	0.610	0.611	39.9	39.8
10	60.0	9.38	6.26	6.27	0.668	0.668	59.6	59.3
11	90.0	9.38	7.08	7.09	0.755	0.756	89.3	89.0

动态测试的主要功能是在指定行程范围和转动速度范围内进行连续动态测试,可根据角度和电压比波形的线性关系判断电位计的动态性能。

从试验结果可以看出,测控系统实现了对指定行程范围和转动速度的连续自动测试,此外,根据电位计的角度与电压比呈线性关系,可判断电位计的性能品质良好,从而实现对单个电位计的筛选。

5 结论

根据标准空速管角度测试的需求,本文设计了一套高效、可靠的标准空速管角度测试装置测控系统。该测控系统利用测控设备实现对标准空速管攻角、侧滑角以及电位计的测试,改进了传统检测方法的工作模式,实现了装置的自动化,有效地提高了工作效率;此外,测控系统解决了人工检测准确度低、可靠性差等问题,实现用户对攻角、侧滑角传感器的高准确性测试需求。

试验结果表明,本测控系统硬件结构可靠,软件可操作性强,准确性、稳定性均符合用户的测试要求。测控系统采用模块化的编程思想,具有较强的可扩展性,为机载系统的相关性能评价提供了参考依据。

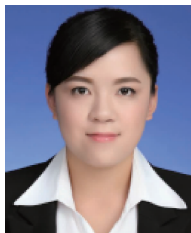
参考文献

- [1] 李晓丹. 浅谈大气数据系统的发展趋势[J]. 科技创新导报, 2018, 440(8): 12-14.
- [2] 汤黄华. 空速管位置误差值的试飞测试[J]. 教练机, 1994(4): 1-8.

- [3] 郭婷. 减小空速管静压源误差方法的研究[J]. 数字技术与应用, 2011(9): 82-83.
- [4] 张振华. 分布式大气数据系统的结构和软件设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [5] 赵焯, 钟麦英, 郭丁飞. 基于等价空间的无人机飞行控制系统故障检测[J]. 山东大学学报: 工学版, 2017, 47(5): 150-156.
- [6] 单勇革, 李永春. 空速管的X射线检测法[J]. 无损检测, 2015, 37(8): 61-63.
- [7] 武文康, 屠兴. 气动补偿空速管的研究与发展[J]. 流体力学实验与测量, 1993(4): 11-16.
- [8] 刘华勇, 刘莉, 曹放华. 大气系统校准的基准空速管法[J]. 实验流体力学, 2013, 27(2): 91-94.
- [9] 汪磊. 某型攻角侧滑角传感器设计[J]. 科技创新与应用, 2014(22): 31-32.
- [10] 彭志专, 王鼎, 陆波, 等. 飞机攻角侧滑角传感器检测系统[J]. 传感器与微系统, 2004, 23(9): 59-60.

收稿日期: 2018-05-26

作者简介



孔祥雪(1991-),女,助理工程师,硕士,主要从事动态温度测量与校准技术研究。