

双自由度侧杆操纵力测量 系统设计与实现

Design and Realization of Control Force Measurement System of Side Stick with Two Degree of Freedom

徐 州 陆伟铭 谢 陵 李慧颖 / Xu Zhou Lu Weiming Xie Ling Li Huiying
(上海飞机设计研究院, 上海 201210)
(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

在侧杆操纵的民机中,侧杆的操纵力需要满足飞行品质以及适航规章的要求,因此必须对侧杆的操纵力进行准确测量。针对侧杆具有的双自由度运动及侧杆表面形态复杂的特性,设计了一套操纵力测量系统。该系统能够精确控制侧杆的运动方向,使侧杆在一个平面内运动,并通过特殊的机制使力传感器与侧杆运动轴线垂直,保证测试的精度。基于 LabView 设计了测试软件,能够实时地显示力、位移以及滞环曲线。

关键词:侧杆;双自由度;复杂曲面;操纵力

中图分类号:TN919.6

文献标识码:B

[Abstract] As civil aircraft was controlled by side stick, the control force of side stick has to satisfy the requirements of handle quality and airworthiness regulations, so it is necessary to measure the control force precisely. This article developed a control force measurement system based on the characteristic of side stick which can move in two degree of freedom and has complex surface. This system can control the movement direction of side stick to make the side stick be restricted in one plane, and make the force sensor vertical to axes of side stick to ensure the precise of measurement. This system also designed the software to show the curve of force, displacement and hysteresis based on LabView.

[Key words] side stick; two degree of freedom; complex surface; control force

0 引言

飞机侧杆驾驶装置又称侧杆控制器、侧杆手控制器或侧臂飞行控制器、上肢操纵器等^[1],简称侧杆,它是传统中央驾驶杆的偏置和改进。侧杆的操纵力是飞控系统的一个重要考量指标,在飞行品质评判以及适航规章条款审查中都有重要的作用。因此在飞机的研制和试验验证过程中,需要对侧杆的操纵力进行测量。

1 侧杆简介

侧杆主要应用于电传飞控系统,根据控制权限

的不同,可以分为单轴、双轴和三轴侧杆。目前已经广泛应用于民用客机以及部分战斗机中。在民用飞机中,一般情况下使用的是双轴侧杆,也就是用侧杆来控制俯仰和滚转。使用侧杆作为驾驶舱操纵器件有以下好处^[2]:(1)可以减轻控制系统的重量;(2)降低操纵器件对空间的要求;(3)降低维护成本;(4)改善飞行品质;(5)降低飞行工作负荷;(6)增加飞行舒适性。侧杆的示意图如图 1 所示。

侧杆一般与力感器件相连,用来提供侧杆的操纵力。该力需要满足飞行品质和适航规章的要求。侧杆的操纵力在很多试验中是必须要获取的重要参数。

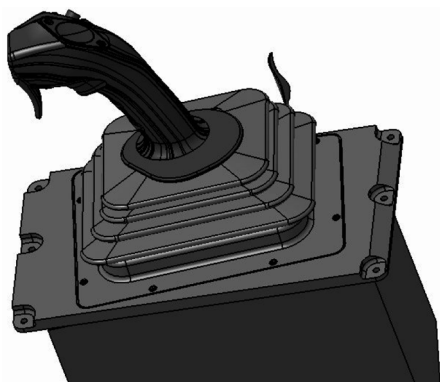


图1 侧杆的示意图

2 侧杆操纵力测量难点

飞机侧杆不同于汽车换挡杆等操纵杆,其操纵力和相应位移测试有以下特点和难点:

(1) 飞机侧杆的运动方向是双自由度的,用来控制飞机的俯仰轴及横滚轴,在实际操纵中,极易产生耦合。而在设计侧杆时所提的操纵力和位移指标以及适航条款的规定中都是以单个方向的力和位移之间关系的形式提出,所以在实际测试时,需要测试单轴的操纵力及相应位移,并严格避免双自由度的耦合。

(2) 为了飞行员操纵侧杆时的舒适性和可靠性,飞机侧杆一般被设计成多曲面的不规则外形结构用以贴合手部曲线。用常规的测试装置与侧杆连接,在运动过程中极易出现间隙,影响测量数据的准确性。

(3) 飞机的侧杆往往是一个整体的设备,在测试过程中不能对部件及整体进行拆卸、改造及改装。

已有的操纵力测量技术往往是针对汽车驾驶杆或类似的操纵器件提出,这些技术中,要么需要对驾驶杆进行截断,要么只能测量简单的操纵力,既不能保证驾驶杆在平面内运动,也不能满足侧杆整体无法改造的要求。因此,设计一种针对多自由度、复杂外形侧杆的操纵力及对应位移测试装置,成为亟待解决的问题。

3 操纵力测量系统的设计与实现

设计的操纵力测量系统的结构如图2所示。

操纵力测量系统主要由三部分组成,分别是工装夹具、数据采集系统以及上位机。工装夹具负责传感器与侧杆的连接以及侧杆运动的控制,数据采集系统负责提供传感器的激励以及数据的采集,上

位机则负责人机界面及数据管理。

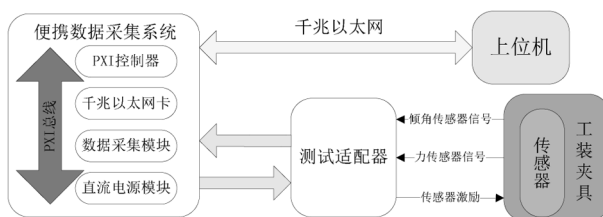


图2 操纵力测量系统架构图

3.1 夹具设计

夹具设计是本系统的重点和难点,需要设计的夹具既要保证侧杆运动在一个平面内,又能解决侧杆表面曲面负责的问题,还能够拆装方便,适合外场使用。根据上述特点,设计的夹具如图3所示。

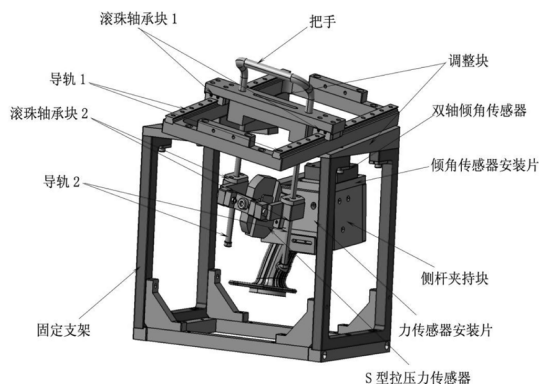


图3 操纵力测量系统的夹具设计

由于被测物(即飞机侧杆)是多曲面的不规则外形结构,且不能对部件及整体进行拆卸、改造及改装。因此,在侧杆上挑选出3个平面,设计一个侧杆夹具单元与这3个平面贴合,保证在运动过程中没有间隙。在侧杆夹具单元上方安装双轴倾角传感器,用于采集俯仰轴或横滚轴的角度;在侧杆夹具单元右侧或后侧安装S型拉压力传感器,用于采集横滚轴或俯仰轴的操纵力。安装双轴倾角传感器时,通过安装调整片,将传感器调至水平,并在采集前清零;安装S型拉压力传感器时,通过安装调整片,使传感器与侧杆轴线垂直且传感器的对称平面与侧杆运动平面重合,并在采集前清零。该装置使侧杆在运动过程中,S型拉压力传感器始终垂直于侧杆轴线,保证了所采集数据的准确性,从而解决了复杂曲面及侧杆整体不可拆卸的问题。

被测物(即飞机侧杆)是双自由度的,为避免双自由度的耦合,笔者所在团队设计了一个手动驱动测量装置,该装置与被测件(即飞机侧杆)的底座固定,用两套直线导轨与滚珠轴承单元来模拟单自由

度的弧线运动,安装直线导轨时,通过安装调整片,使直线导轨与“S”型拉压力传感器平行,保证驱动时无卡阻和过度摩擦。运用直线导轨可以约束另一自由度,从而解决双自由度侧杆运动耦合的问题,保证了测量的准确性。另外,当测量完一个运动方向的操纵力时,只需要对导轨的方向以及力传感器的链接位置进行改变,即可测量侧杆另一运动方向的操纵力。

另外,为了减少夹具自身重量对转动惯量的影响,夹具采用了材质较轻的铝合金作为材料,最大限度地提高测量精度。

3.2 数据采集系统

数据采集系统采用便携式 PXI 平台搭建,系统选用模块化仪器板卡作为系统的 I/O 资源。针对所选用的传感器,数据采集模块用于采集倾角传感器信号和力传感器信号,直流电源模块用于为倾角传感器和力传感器提供激励信号,千兆以太网卡用于与上位机进行高速通讯和数据传输。

为了满足外场便携使用的需求,数据采集系统自身基于 LabView 设计了软件^[3-4],用于驱动模块化仪器板卡进行数据采集、进行传感器标定、对采集到的数据进行分析处理以及上传数据到上位机等。数据采集系统的软件包含试验管理模块、数据管理模块、参数设置模块、通信管理模块以及系统自检功能。

试验管理模块可以在本地进行实验任务的创建和参数设置等操作,并且可以配置或修改实验任务,对于一次实验来说都有相应的实验任务配置文件对应,该文件详细定义了此次实验所需要使用的测试通道数、数据类型、数据分析处理方法等,配置好的实验任务可以上传到服务端(上位机笔记本)进行统一的存储管理。

数据管理模块实现数据的保存、分析和回放功能。

参数设置模块可以实现通道配置、参数配置以及传感器标定等功能。

通信管理模块则可以根据上位机的数据需求指令,打包采集到的数据,并且能配置文件解析模块,解析由上位机发送来的配置文件信息,替换数据采集系统现有的配置。

3.3 上位机

系统上位机通过千兆以太网进行数据采集的管

理和数据回收,上位机提供了更为友好的界面供用户使用,按照模块划分,上位机软件可以划分为用户管理、配置管理、数据管理和通信管理四个模块。

用户管理模块主要实现添加用户、删除用户、编辑用户的权限等功能。

配置管理模块包含实验配置和参数配置。实验配置可以详细定义实验所需要使用的测试通道数、数据类型、数据分析处理方法等,配置好的实验任务可以上传到服务器进行统一的存储管理。参数配置可以在上位机上对数据采集系统中数据采集通道参数进行设置。

数据管理模块实现数据的保存、分析、回放以及数据下载等功能。

通信管理模块则对接收到的数据进行解包,并管理系统中网络设置和网络通信。

4 系统实例

系统的界面如图 4~图 6 所示。分别实现了用户管理、参数设置和数据采集的功能。其中参数设置模块能实现传感器的自动标定功能。



图 4 用户管理界面

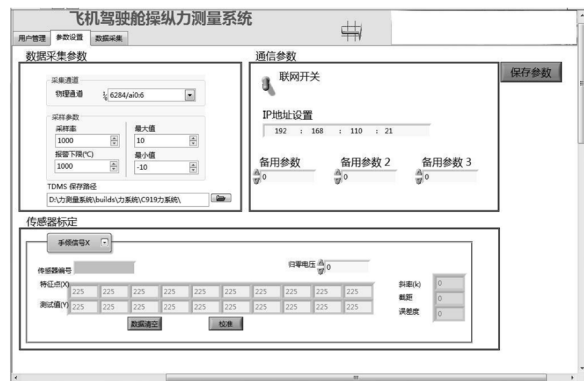


图 5 参数设置界面

(下转第 84 页)

时即会被更换,不会出现超寿命使用的情况。

4 结论

本文通过分析某型飞机所用起落架轮毂轴承的规格、外形等参数,计算了其额定载荷。同时,通过分析某型飞机在起降滑跑时的受力情况获取了分别作用在主/前起落架机轮轮毂轴承上的当量载荷。通过额定载荷与当量载荷的关系估算了轴承的寿命,并进行了必要的修正。研究结果表明,某型飞机起落架机轮轮毂轴承的选用恰当,装配方式合理,轴承的使用寿命完全满足设计要求。

值得注意的是,本文以工程计算的方式为主。为了确保结论的可靠性,在计算过程中采取相对保

守的方式,这将导致计算结果也相对保守。本文亦未将某型飞机实际采用的起落架减震、轴承润滑等措施考虑在内,这些措施均可延长轴承的寿命。如将以上措施考虑在内,轴承的寿命将得到显著延长。

参考文献:

- [1] 郭婧. 滚动轴承疲劳寿命综述[J]. 甘肃科技, 2006, 22(4): 430-431.
- [2] 中国民用航空局. CCAR25-R4 中国民用航空规章第25部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 6391 滚动轴承-额定动载荷和额定寿命[S]. 北京: 2004.

(上接第74页)

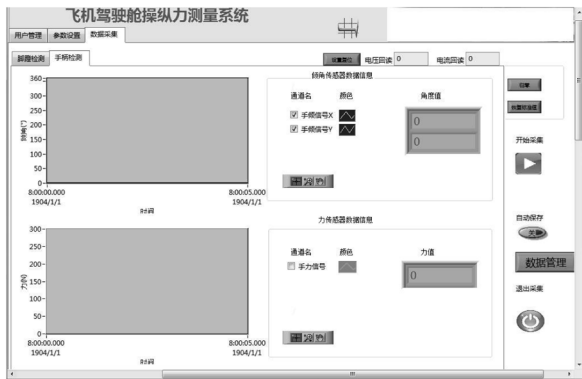


图6 数据采集界面

系统的采集的杆力和杆位移曲线如图7和图8所示。所采的结果满足设计的需要,结果可用。

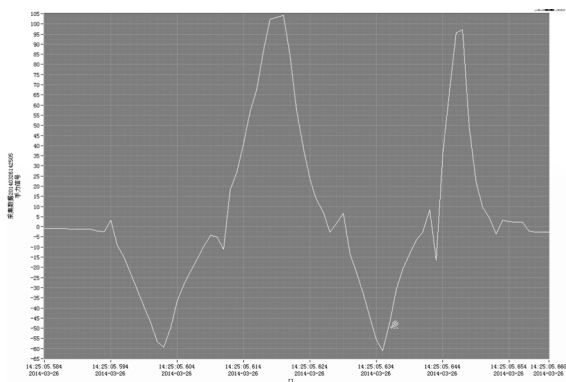


图7 系统测量的杆力曲线

5 结论

民用飞机的侧杆操纵力的测量是民机后期试验验证以及适航取证的一项重要工作。本文根据侧

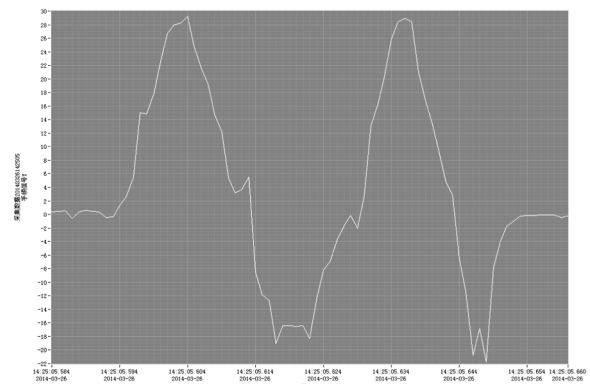


图8 系统测量的杆位移曲线

杆模块自身的特点设计了一套操纵力测量系统。该系统解决了侧杆操纵力测量中,侧杆曲面复杂、双自由度运动容易产生不同方向力的耦合、侧杆模块整体不能拆卸及改造等问题,并且能够实现测量系统的外场便携工作。目前该系统已经在民机试验中得到应用。

参考文献:

- [1] 孙滨生. 现代战斗机座舱布局[M]. 北京: 航空工业出版社, 1989.
- [2] 熊端琴, 郭小朝, 陆惠良, 郑伟. 飞机侧杆驾驶装置的优缺点及其改进设计探讨[J]. 人类工效学, 2006, 12(1): 36-38.
- [3] 阮奇桢. 我和 LabVIEW: 一个 NI 工程师的十年编程经验[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2009.
- [4] 刘君华. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.