

文章编号:1674-8190(2013)03-274-06

带扰流片的升力风扇操纵特性数据采集系统设计

张冰融, 詹浩, 张怡哲, 张炜
(西北工业大学 航空学院, 西安 710072)

摘要: 以带扰流片的升力风扇为动力系统的无人机, 在动力学建模和控制方式上与传统升力风扇无人机有很大不同, 升力风扇的操纵特性是这类升力风扇无人机动力学建模的关键, 而目前国内尚未检索到对此进行研究或实验的报告或文献。因此, 为了研究带扰流片的升力风扇动力系统的动态操纵特性, 利用 LabVIEW 设计并制作一套动态数据试验采集系统, 设计试验输入, 完成带扰流片的升力风扇操纵特性动态数据采集, 所获得数据及后续建模过程表明本试验采集系统是正确、有效的。

关键词: 数据采集; 升力风扇; 扰流片; 操纵特性; LabVIEW

中图分类号: V216.8

文献标识码: A

Data Acquisition System Design for Manipulative Characteristics of the Lift-fan Power System with Spoilers

Zhang Bingrong, Zhan Hao, Zhang Yizhe, Zhang Wei
(School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In comparison with the conventional lift-fan UAV aircraft, the lift-fan UAV with spoilers has great differences in kinematic modeling and controlling mode. The main key of kinematic modeling is manipulative performance. However, up to now there have been few researches, reports or references on it in our country. In order to obtain the dynamic characteristics of this kind of power system (lift-fan with spoiler), a set of dynamic data acquisition (DAQ) system based on LabVIEW is designed and produced, including experimental data input and collation of dynamic characteristics. The data acquired and the successive modeling process indicate that the system is correct and efficient.

Key words: data acquisition; lift-fan; spoiler; manipulative characteristics; LabVIEW

0 引言

升力风扇无人机是升力风扇技术在无人机设计中新的应用方向, 能够实现超短距离/垂直起降, 具备悬停能力并且能够以固定翼飞机方式飞行。与传统固定翼飞机相比, 它对起降场地要求低, 且具有可悬停的优势; 与传统直升机相比, 它具有更快的飞行速度^[1]。另外, 升力风扇动力系统相对于鹞式飞机采用的升力发动机系统在提供垂直推力方面要更高效, 相对于倾转旋翼式和直升机在提供

垂直推力方面效率较低^[2]。

带扰流片的升力风扇动力系统, 在继承普通升力风扇优点的同时, 通过扰流片的偏转, 还能产生一个垂直于升力方向的侧向力及一个附加力矩, 同时可以通过扰流片调整涵道面积直接改变升力, 这比通过转速来调整升力, 大大提高了控制效率。带扰流片的升力风扇动力系统方案并不新颖, 最早有二战后期德国的 Omniplane, 后有通用电气与 Ryan 联合研制的 XV-5, 但因当时的技术限制没有完成。在进入 20 世纪 90 年代后, 随着电子设备及加工技术等方面的进步, 升力风扇再次被提上议程, 最具代表性的是美国的 F-35 及正在研制中的以色列“空中骡子”, 但国内外尚未有文献对此类升力风扇动力系统的研究和实验进行报道。

收稿日期: 2012-11-07; 修回日期: 2013-01-14

通信作者: 张冰融, 18327578@qq.com

本文以带扰流片的升力风扇系统为研究对象,以 LabVIEW 虚拟仪器及 USB-6009 数据采集卡为工具,通过实验测量的方式,研究带扰流片的升力风扇系统在扰流片动作时,升力风扇系统输出的力和力矩的变化规律。这对设计以带扰流片的升力风扇系统为动力的升力风扇无人机具有一定的意义。

1 带扰流片升力风扇工作原理及采集系统构建

1.1 工作原理及数据采集流程

本文所研究的带扰流片的升力风扇系统,主要包括动力电机(发动机)、升力风扇、涵道壳体以及布置在涵道壳体下方的两组扰流片。

扰流片的安装位置及动作定义如图 1 所示。

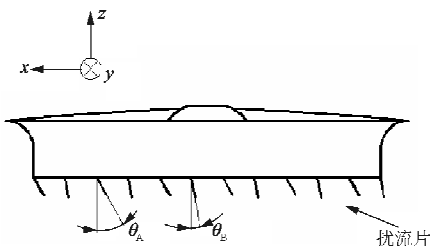


图 1 扰流片的安装位置及动作定义

Fig. 1 Installation position and action definition of spoiler

θ_A 和 θ_B 分别为两组扰流片的偏角,通过这两个角度定义以下两种动作方式:

(1) $\beta_v = (\theta_A + \theta_B) / 2$ 为单纯偏流动作:两组扰流片同向转动,改变尾流方向,从而改变升力方向,并产生一个绕 y 轴的力矩;

(2) $\beta_s = (\theta_A - \theta_B) / 2$ 为单纯的通道闭合动作:两组扰流片反向转动,改变风扇尾部的通道面积,从而在不改变风扇转速的情况下,改变升力大小。

两种动作方式既可单独作用也可同时作用,四种典型动作的示意如图 2 所示,箭头为当前扰流片偏转角度下,升力风扇的升力方向及大小示意。

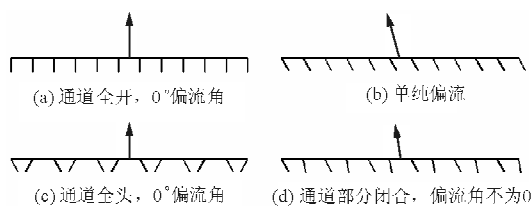


图 2 扰流片的四种典型动作示意图

Fig. 2 Four typical schematic diagram of spoilers

为方便数据分析,实验过程中将上文所述的扰流片的两种动作分开实验,数据采集流程如图 3 所示。

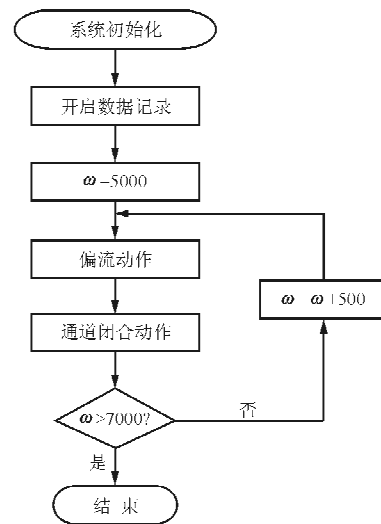


图 3 数据采集流程

Fig. 3 Data acquisition process

1.2 采集系统构建

带扰流片的升力风扇系统框图如图 4 所示。本文主要研究 β_s 和 β_v 变化时,升力风扇的四个输出响应,因此需采集的数据包括风扇升力(z 方向)、风扇侧力(扰流片偏流动作时产生, x 方向)、俯仰力矩(扰流片偏流动作时产生,绕 y 轴)、风扇扭矩(绕 z 轴)、风扇转数和两组扰流片当前各自的角度。系统框图中输入部分包括油门 δ_T (控制电机电压)、扰流片偏角 δ_c 和扰流片通道闭合角 δ_L 。同时,由于风扇叶片转动惯量大,转速改变困难,在实际运行中,风扇转速只有少数几个工作状态,升力大小主要靠扰流片来调节。

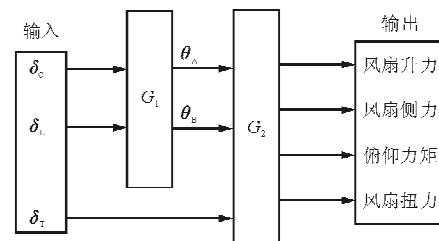


图 4 带扰流片升力风扇系统框图

Fig. 4 System block diagram of lift-fan with spoilers

G_2 为扰流片的偏转角度和风扇油门量的大小与四个输出量之间的关系,即该型升力风扇的动力学模型方程,而 G_1 为扰流片控制输入与扰流片实

际动作之间的关系函数,限于篇幅,对此均不做讨论。

采集系统传感器布置示意图如图5所示。转速传感器由光敏二极管加一个由LM358构成的放大电路配合计数器组成^[5]。两组扰流片的角度由两个WDS35S2系列高精度电位器采集,标称阻值5K。风扇推力(z方向)、风扇扭矩、风扇侧力(x方向)及俯仰力矩,由两组正交布置的CHLBS-II“S”型拉力传感器采集相应信号后经简单计算后得到。相对于传统6分度天平,这种布置方式具有三个优点:传感器校正更加容易;传感器数量更少,而且待测量与传感器信号关系更明确;造价低廉,制作方便。

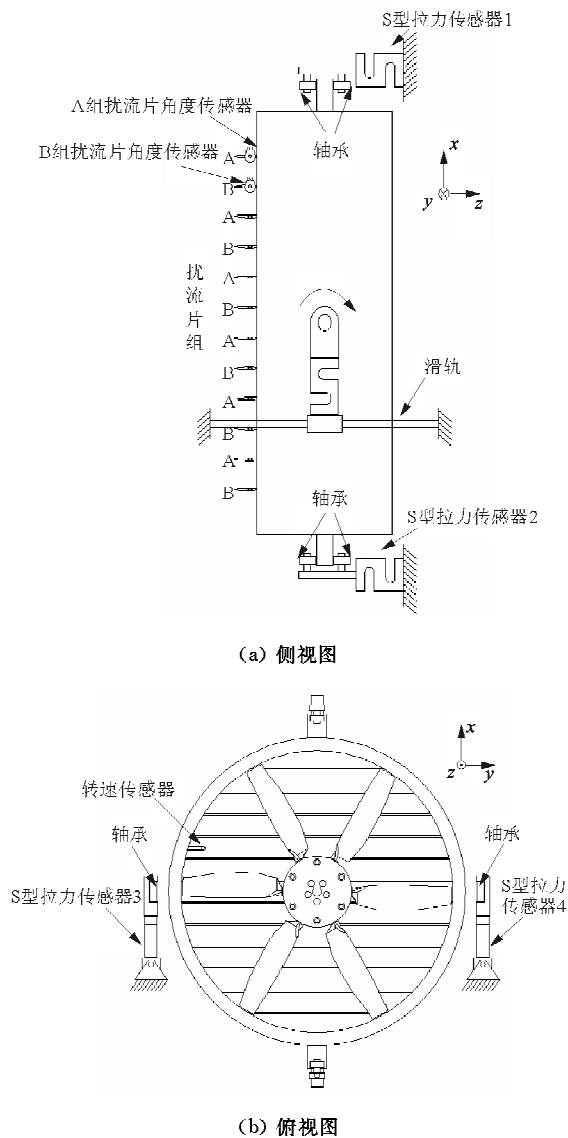


图5 传感器布置

Fig.5 Sensor arrangement

待测量力与力矩和传感器输出信号值之间的关系(所有传感器在风扇静止状态下置零)如下:

$$L = K_1 U_1 + K_2 U_2 \quad (1)$$

$$C = K_3 U_3 + K_4 U_4 \quad (2)$$

$$N = (K_3 U_3 - K_4 U_4) \times S_{34} \quad (3)$$

$$M = (K_1 U_1 - K_2 U_2) \times S_{12} \quad (4)$$

式中: L 为风扇升力(N); C 为风扇侧力(N); N 为风扇扭矩(N·m); M 为俯仰力矩(N·m); K_i 表示编号为*i*的“S”型拉力传感器传递系数(N/mV); U_i 表示编号为*i*的“S”型拉力传感器输出信号电压(mV); S_{34} 为拉力传感器3、4之间的水平距离(m); S_{12} 为拉力传感器1、2之间的垂直距离(m)。

1.3 NI USB-6009 采集模块

NI USB-6009 是一款低价位多功能数据采集模块,包括8路模拟AD(14位分辨率,最高采样率可达48KS/s)、2路DA(12位分辨率,150KS/s)、12路数字I/O、32位计数器,即插即用的USB设备,可使用LabVIEW、C或Visual Studio等为其应用程序进行编程。

2 采集系统程序设计

LabVIEW是一种类似于C和BASIC的开发环境。与其他基于文本的语言的计算机语言相比,LabVIEW使用图形化编辑语言,产生的程序是框图的形式。另外,文本编程语言按语句顺序执行,循环和条件结构仅仅更改了顺序执行的次序。而LabVIEW则完全不同,是数据流驱动的,本质是多线程并行结构。只有当节点所有必需的输入端都有数据流入的情况下,该节点才继续运行^[4]。事实上,LabVIEW也提供了顺序结构供用户使用,分别是平铺式顺序结构和堆叠顺序结构,本文为了转速采集程序的顺序进行,也使用该种结构。

2.1 模拟信号采集及处理

实验中共采集的2个电位器信号和4个拉力传感器信号均为电压值,而由于传感器布置方式的不同,以及其他原因,导致每个传感器的零值或电压范围并不相同。而由采集模拟信号的DAQ助手函数的数据端引出的数据流,包含了8路模拟信号,不利于个别处理。因此由DAQ助手获得的模

拟信号需首先经过信号选择器,将 8 路模拟信号分离;然后对部分信号进行置零、滤波、数学运算后显示在实验面板上,方便实验时观察;采集的数据通过采样压缩函数中的均值压缩,将数据密度压缩到每秒 40 个数据,最后将压缩后的数据保存为文本文件。

2.2 计数器信号采集及处理

由 DAQ 助手函数采集的计数器信号可配置为升值计数或减值计数以及由外部控制,即每当采集卡采集到一个脉冲时(上跳沿或下降沿),计数器

值加 1 或减 1。因此,只需在单位时间内获得计数器值的变化量,便可计算出当前风扇转速。但计数器的值是贮存在先进先出数据暂存器 AI FIFO 内的,并不能由软件直接改写,因此除了定时器外,还需两个变量,第一个变量贮存第 N 时刻计数器值,第二个变量贮存第 $N+1$ 时刻的计数值。另外,LabVIEW 在执行过程中并不按顺序执行,本质是多线程并行结构,因此为了保证顺序结构按规定的顺序执行,本实验采集采用平铺式顺序结构。具体程序图如图 6 所示。

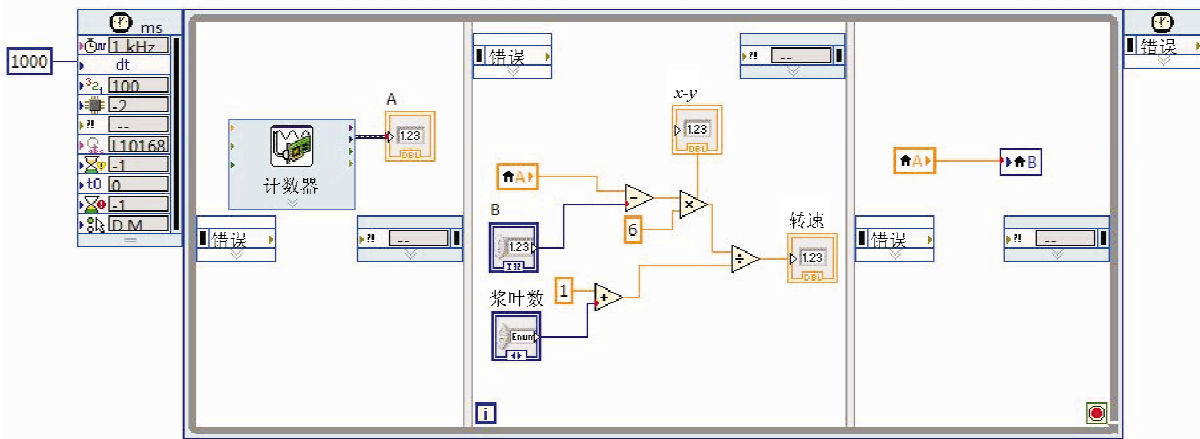
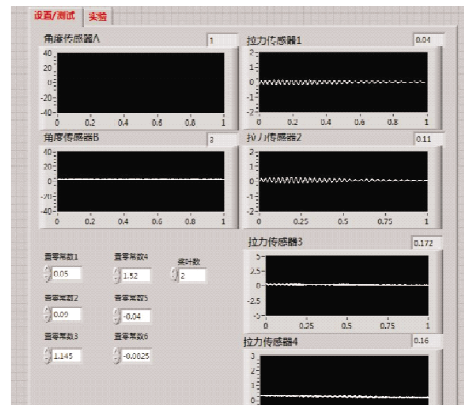


图 6 转速采集程序图

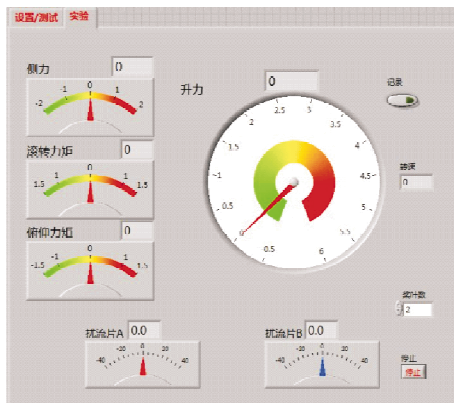
Fig. 6 Procedure chart of speed acquisition

2.3 人机交互界面—前面板设计

前面板包含参数设置和测试部分以及实验部分。参数设置部分包括传感器置零、桨叶数设置等,实验部分包括升力值显示、侧力值显示、俯仰力矩值显示、扭力值显示、两组扰流片偏转角度显示以及数据记录开关。前面板如图 7 所示。



(b) 参数设置及测试部分



(a) 实验部分

图 7 前面板

Fig. 7 Front panel

3 误差分析、实验过程及实验数据

3.1 误差分析

在首次实验过程中,出现了明显与常识不符的

现象:两组扰流片均在零度偏转角时,随着风扇推力的增加,风扇侧力也随之提高,如图8所示。

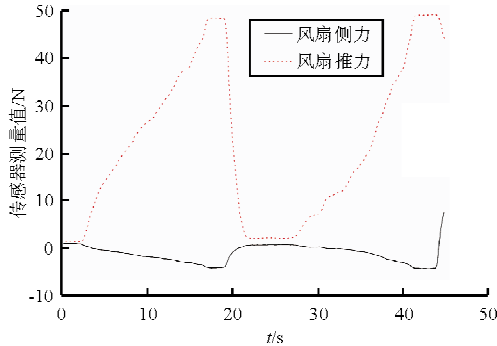


图8 风扇侧力与风扇推力

Fig. 8 Side force and thrust of lift-fan

经分析,产生上述现象的原因如图9所示。由图9(a)可知,“S”型拉力传感器将同轴的待测力转换为力偶(该型号传感器力臂长度为37 mm),从而产生弯曲,再由上、下两组应变片测量应变,经处理后得到待测力的值,如图9(b)所示;而在本实验中,由于导轨存在摩擦力,垂直方向的“S”型拉力传感器,除了受到垂直方向上的力外,还受到由于摩擦力而产生力矩(参考图4传感器布置),如图9(c)所示(力臂长度为110 mm),该力矩同样会被“S”型拉力传感器测得。

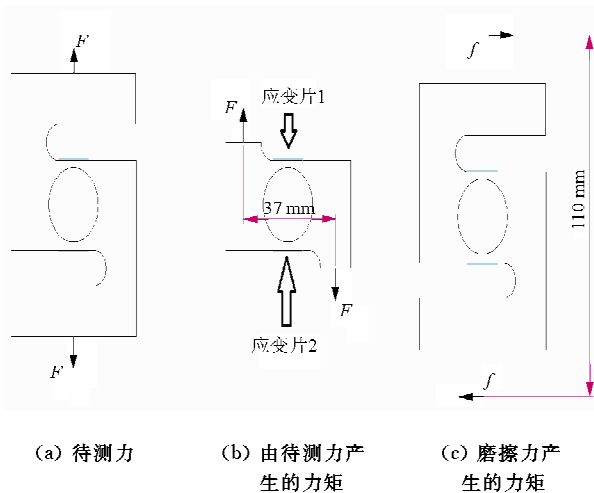


图9 “S”型拉力传感器

Fig. 9 “S” tension sensor

综上所述,“S”型拉力传感器的最终指示力

$$X = F + \frac{110}{37} \times f$$

式中: X 为传感器实际测量值; F 为待测量值; f 为滑轨摩擦力。

由实验数据可知,在扰流片无偏转时,推力与升力呈现良好的线性关系,因此可以通过风扇升力修正风扇侧力。

在扰流片无偏转时,风扇升力与风扇侧力关系如图10所示。

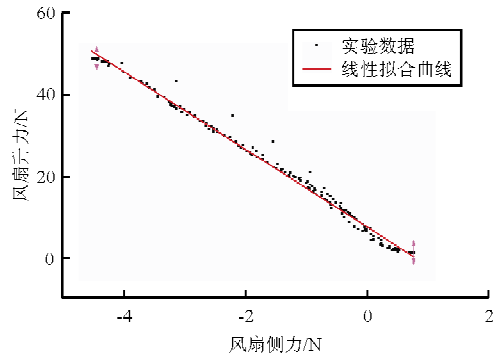


图10 推力/侧力关系

Fig. 10 Relationship of thrust and side force

图10中直线为实验数据做线性拟合^[5-6]后得到的曲线,由此可得侧力的修正值

$$\Delta C = 0.0174 - 0.09918 \times L$$

式中: L 为风扇升力; C 为风扇侧力。

3.2 实验过程及最终实验数据

系统输入、输出量较多,为了更好地分析系统特性,实验共分5组,风扇转速从3 000 RPM开始,每组递增1 000 RPM,风扇最高转速7 000 RPM。在每组实验中,油门量为固定值(即固定转速)。另外,在每组实验中,扰流片的两种动作首先是分开进行,并且动作频率也做合适的变化,然后两种动作混合进行。扰流片两种动作混合进行时,具体动作如下:通道闭合角闭合75%,偏流角全幅动作几次;通道闭合角闭合50%,偏流角全幅动作几次;通道闭合角闭合25%,偏流角全幅动作几次。

系统静态值采集说明:将通道闭合角分为6组,每组递增5°;偏流角左右对称,因此只取正值部分,每组同样递增5°,共6组;再加上5组不同的转速,共采集180个静态数据点。

其中一组修正后的动态实验数据(转速6 000 RPM)如图11所示。

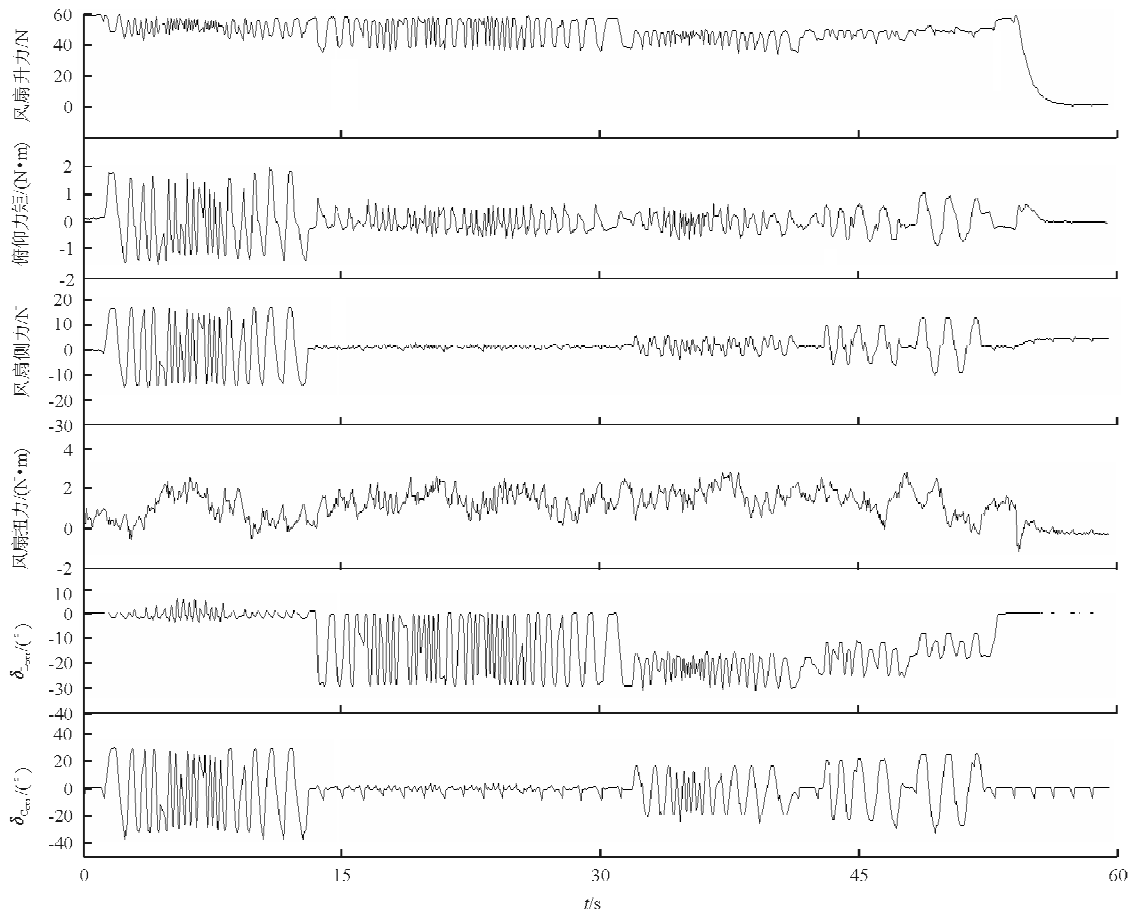


图 11 采集的部分实验数据

Fig. 11 Some experimental data of DAQ

4 结 论

(1) 带扰流片的升力风扇动力系统为典型的多输入多输出系统,本文利用 LabVIEW 及 USB-6009 数据采集卡,针对这种升力风扇操纵特性设计并制作的动态试验及数据采集系统,动态采集了不同转速和扰流片偏角下的四分量力和力矩输出。

(2) 升力风扇升力 L 、附加力矩 M 、侧力 C 的变化与扰流片的动作之间的规律明显。整个实验过程中,数据重复性较好,误差分布小,试验数据与理论分析结果吻合,表明本实验测试系统达到了设计要求。

(3) 在后续研究中,利用本实验提供的实验数据成功完成了带扰流片升力风扇无人机操控特性的建模工作,为该类型无人机设计提供了重要依据。

参考文献

- [1] 田宝林. 世界垂直起降动力装置的演进和展望[J]. 航空发动机, 2003, 29(1): 50-55.
Tian Baolin. Evolution and development of world VTOL power plant[J]. Aeroengine, 2003, 29(1): 50-55. (in Chinese)
- [2] Nietz T C, Scott Baber. An innovative UAV design[R]. AIAA-2004-6380, 2004.
- [3] 王旭峰, 郭迎清. 航空发动机转速传感器调理电路设计与仿真[J]. 电子测量技术, 2007, 30(8): 105-155.
Wang Xufeng, Guo Yingqing. Design and simulation of rotate speed sensor modulation circuit for aeroengine[J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(8): 105-155. (in Chinese)
- [4] 陈树学, 刘萱. LabVIEW 宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
Chen Shuxue, Liu Xuan. The ultimate book of LabVIEW [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)

(下转第 291 页)

- Reinforced Plastics & Composites, 1993, 10(12): 1043-1057.
- [2] Camanho P P, Matthews F L. A progressive damage model for mechanically fastened joints in composite laminates[J]. Journal of Composite Materials, 1999, 24(23): 2248-2280.
- [3] Kermanidis Th, Labeas G, Tserpes K I, et al. Finite element modeling of damage accumulation in bolted composite joints under incremental tensile loading[C]. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Barcelona, 2000.
- [4] 王丹勇, 温卫东, 崔海涛. 含孔复合材料层合板静拉伸三维逐渐损伤分析[J]. 力学学报, 2005, 37(6): 788-794.
Wang Danyong, Wen Weidong, Cui Haitao. Three-dimensional progressive damage analysis of composite laminates containing a hole subjected to tensile loading[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2005, 37(6): 788-795. (in Chinese)
- [5] 崔海坡, 温卫东, 崔海涛. 含孔复合材料层合板在压缩载荷下的三维逐渐损伤[J]. 机械工程学报, 2006, 42(8): 89-94.
Cui Haipo, Wen Weidong, Cui Haitao. Three-dimensional progressive damage of laminated composites with a hole under compressive loading[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(8): 89-94. (in Chinese)
- [6] 鲁国富, 刘勇, 张呈林. 含缺口复合材料层合板的三维有限元失效分析[J]. 力学季刊, 2008, 29(2): 259-265.
Lu Guofu, Liu Yong, Zhang Chenglin. Three-dimensional finite element failure analysis of notched composite laminates[J]. Chinese Quarterly of Mechanics, 2008, 29(2): 259-265. (in Chinese)
- [7] Lemaitre J, Desmorat R. Engineering damage mechanics, ductile, creep, fatigue and brittle failures [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2010.
- [8] Hai Qing, Leon Mishnaevsky Jr. 3D constitutive model of anisotropic damage for unidirectional ply based on physical failure mechanisms[J]. Computational Materials Science, 2010, 50(2): 479-486.
- [9] Peter Linde, Jurgen Pleitner, Henk de Boer, et al. Modeling and simulation of fibre metal laminates [C] // 2004 ABAQUS Users' Conference. Boston: ABAQUS Inc., 2004: 412-439.
- [10] Camanho P P, Maimi P, Davila C G. Prediction of size effects in notched laminates using continuum damage mechanics[J]. Composites Science and Technology, 2007, 67(13): 2715-2727.

作者简介:

王文智(1984—),男,博士研究生。主要研究方向:复合材料结构损伤分析。

王小朋(1962—),男,博士,教授,博导。主要研究方向:飞行器总体设计、飞行器结构设计、航空器事故分析。

姚辽军(1986—),男,博士研究生。主要研究方向:复合材料结构损伤分析、高分子材料断裂力学。

(编辑:马文静)

(上接第 279 页)

- [5] 吴石林, 张玘. 误差分析与数据处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
Wu Shilin, Zhang Qi. Error analysis and data processing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010. (in Chinese)
- [6] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
Fei Yetai. Error theory and data processing[M]. Beijing: China Machine Press, 2011. (in Chinese)

作者简介:

张冰融(1984—),男,硕士研究生。主要研究方向:飞行器总体设计。

詹浩(1972—),男,博士,教授。主要研究方向:飞行器设计、飞行动力学、流体力学。

张怡哲(1972—),男,博士,副教授。主要研究方向:火力、飞行、推进控制系统综合、自动攻击系统等。

张炜(1963—),男,博士,副教授。主要研究方向:飞行器设计、人机系统工程。

(编辑:赵毓梅)