折叠翼机构加载展开试验系统设计和仿真研究

郑旸，吴斌，杨森
（西北工业大学，西安　710072）

摘要：设计了一种折叠翼加载展开试验装置，并进行了不同装药量时的加载展开试验，测试了展开时间。建立了折叠翼机构仿真模型，在试验数据的基础上，确定了模型的加力情况。仿真数据表明，加载汽缸引起的附加质量对展开时间影响较小，加载试验方法可行；弹翼加上模拟升力后，展开时间比不加模拟升力长20%左右，对展开时间影响显著。

关键词：折叠翼；展开试验；加载装置
中图分类号：TJ760.3+4　　　**文献标识码**：A
文章编号：1672－9242(2013)02－0038－05

Design and Simulation of Folding Wings Loading and Spreading Experimental Device

ZHENG Yang，*WU Bin*，*YANG Sen*
（Northwestern Polytechnical University，Xi'an 710072，China）

Abstract：A spreading experimental device was designed for folding wings. Loading and spreading experiments were carried out in different amount of powder and spreading time was measured. Simulation model of the folding wings was established and the loading of the model was determined with the experimental data. The simulation results showed that the additional mass caused by the loading cylinder barely impact on the spreading time; the experimental methods is feasible; the influence of simulated lift is significant, as the spreading time with the simulated lift is longer than without it by about 20%.

Key words：folding wings；spreading experiment；loading device

传统飞行器一般采用固定翼，随着飞行器技术的发展，处于节省空间或者优化气动性能方面的考虑，折叠翼越来越多地被研究和应用。折叠翼的设计虽然解决了箱式运输和发射问题，机载时节省空间，但带来的问题是增加了折叠机构。如果折叠机构在发射时不能正常展开，或者展开时间和理论计算的时间有较大差别，必然导致发射失败。因此在地面上进行折叠翼加载展开试验，对折叠翼展开可靠性验证、展开驱动机构的参数调整、展开时间的确定都有重要意义。

收稿日期：2012–10–27
作者简介：郑旸(1986—)，男，陕西礼泉人，硕士研究生，主要从事力学仿真、结构强度等研究。

目前,在折叠翼展开运动分析中开展了许多工作。赵育善等[1]给出了折叠翼展开过程的数学模型,详细分析了展开过程中机构中存在的各种阻尼力矩和摩擦力矩,并给出了运动微分方程的求解方法。黄鋆等[2]针对以燃气发生器为动力的折叠机构进行了内弹道性能分析,建立了动力系统和展开机构之间的耦合联动关系,给气缸的选取和系统的设计提供了参考。在折叠翼的试验方面,王焘等[3]对折叠翼的模拟气动加载进行了相关试验和分析。关于折叠翼的展开运动试验[4]也早有研究,但当时并没有提出在运动过程中加载模拟升力等外载荷条件。李莉的仿真优化[5]给出了影响折叠翼展开到位时影响撞击力大小的几种因素,通过在ADAMS中参数优化使冲击过载减小了近一半。在李莉的《折叠翼展开性能仿真研究与试验》[6]中,折叠翼的试验系统采用了高压冷气作为能源,模拟升力采用汽缸产生的拉力,给出了早期的展开加载试验平台基本原理,分析了连杆长度对撞击力的影响,并使用ADAMS优化了结构尺寸。可见,针对地面模拟飞行载荷的翼面加载展开试验涉及较少,方法也较为简单。当然,在风洞中进行折叠翼的展开试验能够真实模拟挂飞导弹折叠翼在飞行状态下展开时承受气动力的真实状态,但是风洞试验价格昂贵,并且耗时费力,适合于定型或最终的参数确定试验。在前期必须研制一套加载展开试验装置,进行机构的优化、燃气发生器参数的确定等试验。

针对某巡飞器大翼展折叠翼,设计了一套展开加载试验装置,并进行了折叠翼及折叠机构的运动仿真分析,为折叠翼样机的研制提供了理论和试验数据。

1　折叠翼机构模型

根据设计要求采用燃气压力式折叠翼,确定基本结构形式如图1所示。图1中a为活塞推杆,b为保证左右两片弹翼展开同步的滑块,c为滑块和弹翼的连接杆,d为弹翼旋转轴与连接杆段部的距离,d'为弹翼旋转轴到滑块的距离,L为对称面到弹翼旋转轴之间的距离,展开机构为左右对称结构。为了不使整个组件安装在弹上的总体尺寸过大,L应当小于200 mm。d主要由滑块的宽度和弹翼的形状确定,c的长度要保证折叠翼在展开到位以后与b的夹角 θ 不大于180°　。

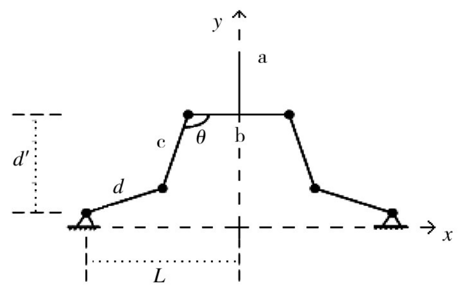
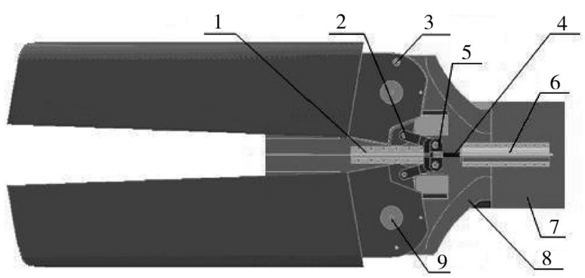


图1　展开机构基本形式

Fig. 1　The basic form of the spreading mechanism

某巡飞器折叠翼内部结构如图2所示。为了便于安装,把与弹身连接的下板分为下板、下板前端两部分;燃气缸、导轨和弹翼转轴安装在下板上;活塞杆由燃气缸伸出后连接在滑块上;滑块和弹翼通过连杆相连。机构运动时,由活塞推动滑块通过连杆对弹翼产生转矩,使弹翼做展开运动;滑块卡在导轨上以保证机构运动时的对称。弹翼锁紧装置用来保证展开到位后弹翼不会在碰撞力作用下回弹。



1.导轨; 2.连杆; 3.弹翼锁紧装置; 4.活塞杆; 5.滑块; 6.燃气缸; 7.下板前端; 8.下板; 9.弹翼转轴

图2　折叠翼内部结构

Fig. 2　Internal structure of the folding wings

2　折叠翼加载展开试验平台

折叠翼加载展开试验平台的功能是在折叠翼展开过程中,给折叠翼提供一个模拟升力(最大约2500 N),进行折叠翼有模拟升力情况下展开过程的研究。此试验平台可以测量折叠翼的展开时间、展

开过程中弹翼的加速度等。

升力的模拟需在折叠翼质心处安装一个加载汽缸,汽缸活塞杆和一个滚动轴承连接,滚动轴承的作用是尽量减小折叠翼在展开过程中的摩擦阻力。在汽缸加气时,活塞杆通过滚动轴承顶在支撑台面上,给弹翼加向上的力,调节汽缸内的压力可以改变加载力。支撑台面为固定在槽钢焊接支架上的20 mm厚钢板,保证台面有足够的刚度。

由于汽缸安装在折叠翼的质心处,并且随着折叠翼一起运动,作为附加质量,对折叠翼的展开状态有一定影响。为了尽量减小附加质量的影响,在保证满足加载力的情况下,汽缸质量应尽可能小。展开试验平台的总装配图如图3所示。

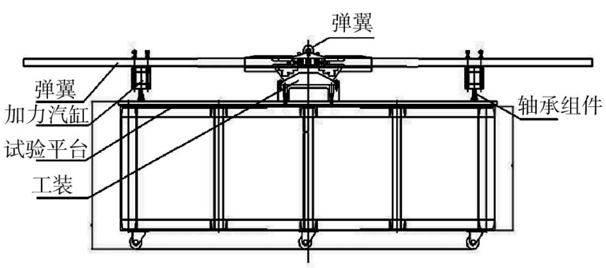


图3 展开试验平台总装

Fig. 3 The general assembly of the expanding experiment platform

根据最大加载2500 N的要求,选取63 mm的标准汽缸,在压力0.8 MPa下可以达到加载要求。

在测量台上安装初始位置光电传感器,在展开到位位置安装一个光电传感器,测量两个光电传感器的时间,即为展开时间。在弹翼翼面上沿展开方向安装加速度传感器,可以测量弹翼到位后碰撞的加速度;通过传感器安装位置到折叠翼转轴的距离可计算出碰撞力。

3 折叠翼加载展开试验分析

研究折叠翼展开机构在模拟升力载荷作用下的展开情况,并根据试验数据确定作用筒的装药量、展开时间、碰撞力等关键参数,在试验基础上对折叠翼展开机构进行优化设计。

折叠翼展开试验按工况顺序进行,见表1。试验现场如图4所示。

表1 试验结果

Table 1 Experimental results

试验序列	黑火药/g	推进剂/mm	展开时间/ms		加载力/N
1	1.5	4.5	190	190	2500
2	2	4.5	155	155	2500
3	1	4	249	250	2500
4	1.5	6	196	195	2500

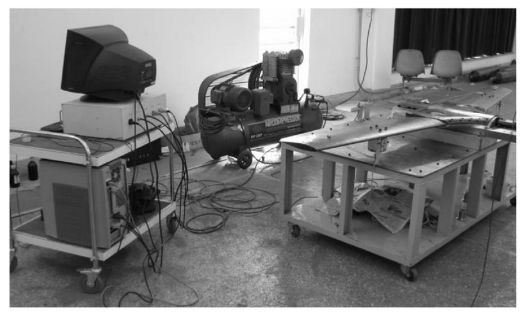


图4 折叠翼展开后状态及部分试验设备

Fig. 4 State of the folding wings after unfolded and some laboratory equipment

折叠翼展开驱动机构为燃气缸,燃气缸的能源为黑火药加推进剂。黑火药的主要作用是点燃推进剂,另外利用黑火药燃烧速度快的特点可以使燃气汽缸内压强迅速升高,确保在较短时间内剪断锁紧定位销钉。试验测试数据见表1,测得压力曲线如图5所示。

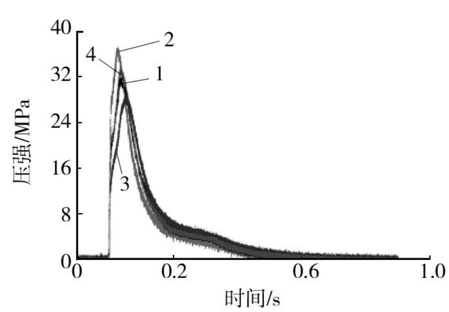


图5 试验压力曲线

Fig 5 Experimental pressure curve

黑火药具有较高的燃烧速度,对最大压强的提高起关键作用。从试验序列1,2的压力曲线可以看出,试验序列2比试验序列1多出0.5 g黑火药,但是峰值压强高出4 MPa以上。推进剂由于燃烧速度较

慢,在峰值压强过后起压强保持作用。对比试验序列1和试验序列4可以看出,在推进剂长度相差1.5 mm的情况下,峰值压强过后试验序列4保持了稍高压强。

由于燃气缸活塞直径小、运动行程短,其峰值压强的大小对折叠翼展开时间长短起主要作用。因此增加和减少黑火药的数量,对展开时间的调整最有效。

4　折叠翼加载展开仿真分析

在试验状态下,汽缸提供的加载力为恒力,并且弹翼下面附加了汽缸的质量,得到的试验结果和真实结果肯定不同。因此,根据已有的试验结果,建立和修正机构的仿真模型,确定系统的参数,得到较真实的仿真模型,对计算在没有附加质量及变升力时的展开参数有重要的意义。

4.1　仿真模型的建立

采用ADAMS运动仿真软件。在图2所示的几何模型中,翼面转轴用固定副与Ground固定。左右翼面与转轴之间用旋转副连接,位置在翼面转轴质心处;左右连杆分别与左右翼面用旋转副连接,作用位置在连接转轴的质心处;滑块与左右连杆亦分别用旋转副连接;活塞推杆与滑块固定;滑块与Ground用滑动副连接。旋转副的方向垂直于图2中的xOz平面;滑动副的方向为Oz轴的方向。

模型中,除弹翼(密度为1.6 g/cm^3)为复合材料外,其余部件均为金属材料,密度为7.8 g/cm^3。弹翼质量为12.52 kg,绕自身质心的转动惯量分别为,Ixx:1.80 kg·m^2;Iyy:1.74 kg·m^2;Izz:0.54 kg·m^2。

4.2　模型中加载的力

4.2.1　活塞推力

仿真分析时,用实际测量的燃气压力曲线作为推力曲线。从图5和表1可以看到,不同装药量下,燃气压力峰值时间不同。取试验序列1曲线,将数据导入到ADAMS作为SPLINE,如图6所示。图6中的单位仍为MPa,燃气缸的内径为30 mm,加载力为AKISPL(TIME,0,SPLINE_1,0)*1000000*pi*0.015**2(**表示x的y次幂)。

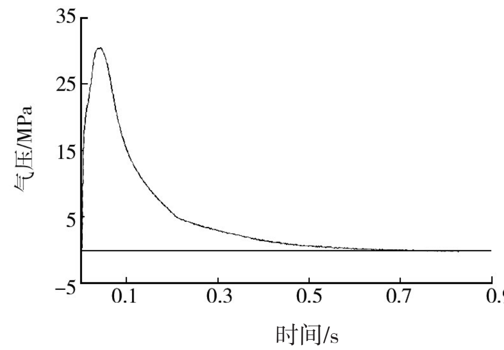


图6　导入的试验序列1推力曲线

Fig. 6　Thrust curve of the importing experimental sequence one

4.2.2　翼面模拟升力

翼面的模拟升力全部采用2500 N。注意汽缸的质量也需考虑在内,在翼面上的作用点处加一个质量体来模拟汽缸质量(1.045 kg)。模拟升力作用点和试验时汽缸加载的作用点(取汽缸活塞中心轴所对位置)一致。

4.2.3　活塞与燃气汽缸壁的摩擦力

模型中施加在滑动副上的动摩擦系数为0.1,静摩擦系数设为0.15,施加20 N预载荷,预载荷为燃气汽缸壁与活塞之间密封圈密封压力。

4.2.4　弹翼与上下盖板接触产生的摩擦力

由于模拟升力产生弯矩,使翼面变形压住上下盖板,在弹翼展开过程中产生模拟阻力。这个摩擦阻力矩在展开过程中为恒力矩,可直接在旋转轴上增加一个阻力矩模拟。

4.3　机构运动参数计算

仿真所取的试验序列1,折叠翼的展开时间为0.2 s。仿真的目的是在推力、模拟升力已知的情况下调整不确定参数(如摩擦力等),使折叠翼在0.2 s内展开。根据仿真结果确定较真实的折叠翼机构仿真模型,计算折叠翼的其它运动特性参数。

仿真过程中需要设置传感器,使翼面展开角度在80°时停止仿真。在模型中输入推力曲线、加载力的参数,调整摩擦力因素,得到仿真展开时间为0.201 s。

由于汽缸安装在折叠翼翼面上,距离折叠翼的转轴距离较远,这会增加折叠翼绕转轴的转动惯量。去掉汽缸的质量,观察其对折叠翼展开过程的影响。删除模拟汽缸的质量,其它参数均不改变,仿

真得折叠翼的展开时间为0.192 s。仿真结果如图7—9所示。

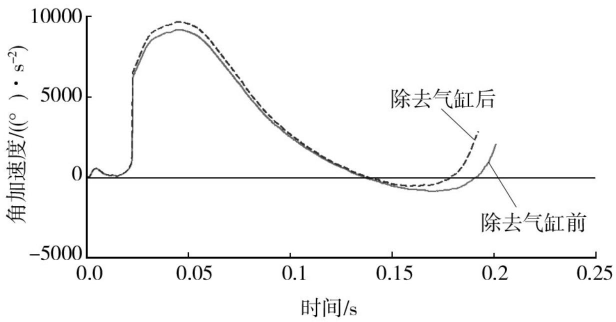


图7 除去汽缸前后折叠翼转动角加速度对比

Fig. 7 Comparison of angular acceleration before and after removing the cylinder

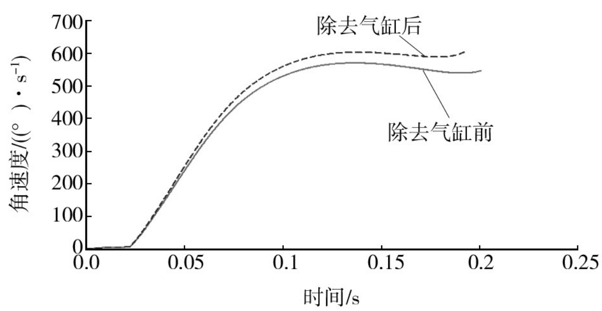


图8 除去汽缸前后折叠翼转动角速度对比

Fig. 8 Comparison of angular velocity before and after removing the cylinder

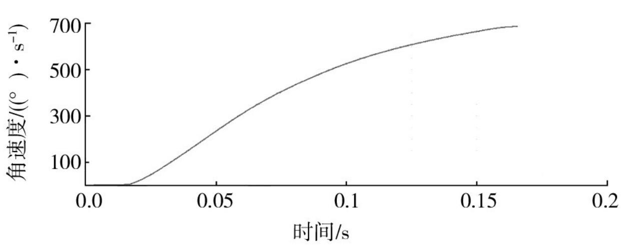


图9 除去加载升力与气缸后折叠翼转动角速度曲线

Fig. 9 The angular velocity curve of the folding wings after removing cylinder and loading lift

4.4 仿真结果分析

如图10所示的推力曲线(最大推力达21 480N),对比试验序列1的压力曲线(最大压力为38 MPa),最大推力为:

$$F=PS=3800\times 0.25\times 1.5^2=21\ 374\ \mathrm{N}$$

可见压力曲线导入正确。

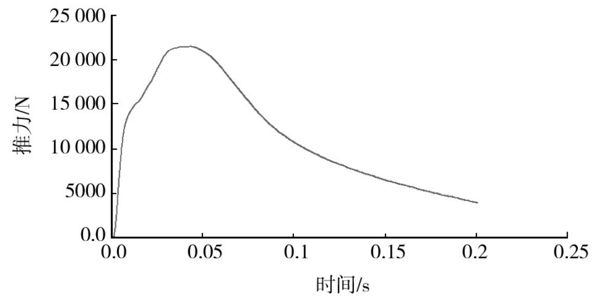


图10 燃气汽缸推力曲线

Fig. 10 The thrust curve of cylinder

由图7知,大约在0.134 s时弹翼的转动角加速度由正变为负,说明此时燃气产生的推力小于系统所产生的总阻力;然而在0.191 s弹翼转动角加速度又开始大于0,这是因为此时弹翼即将展开,推杆和活塞杆的夹角接近90°,在活塞推力很小的情况下,会使弹翼产生较大的转动力矩。

除去汽缸之后,单个弹翼的质量减少了1.045 kg,折叠翼展开时间从0.201 s减小为0.192 s;弹翼转动的角加速度峰值从9158.14(°)/s^{2}增加到9647.84(°)/s^2;弹翼展开的角速度从547.14(°)/s增加到603.63(°)/s。汽缸对折叠翼展开过程有一定的影响,但是影响较小。可见用此方法进行折叠翼的加载展开试验是可行的。

由图9知,如果不加载升力,同样的推力条件下展开时间经过仿真大约为0.165 s,可见模拟升力对展开时间的影响比较显著,必须进行加载展开试验。

5 结论

以某巡飞器的增程组件(折叠翼)为对象,设计了一种气动式折叠翼加载展开试验装置,进行了不同装药量时的展开试验,测试了展开的时间。建立了折叠翼机构仿真模型,在试验数据基础上,确定了模型的加力情况,进行了仿真研究,通过试验和仿真数据,得出以下结论。

1) 加载汽缸引起的附加质量对展开时间影响较小,加载试验方法可行;

2) 弹翼加上模拟升力后,展开时间比不加模拟

(下转第95页)

2　能力验证试验

先将模块A单独取出，按1.2节第6)条(2)中的方法进行预处理后，将模块A按工艺要求装入电机驱动板，再将驱动板装入某机载站中，按试验大纲要求的试验条件进行试验，每个循环的通电测试结果均正常，机载站天线座运转符合试验要求。

3　结论

某机载站控制系统电机驱动板上的模块A，在进行温度循环试验前，未采取一定的预处理措施与正确的防凝露积水方法，水的3种相态在温度变化的不同阶段相互转化，由气态或固态转化成液态的前后期间，电机驱动板上的模块A漏电增加，整个系统发生故障。

用密封塑料薄膜密封电机驱动板上的模块A，是一种简单实用的方法。对有较大腔体的非密封性结构分系统进行温度循环试验前，从工艺上讲，最有效的办法是先采取高温预先烘干等措施，排出分系统模块A腔体中的水汽后再密封，以防止试验中模块A内部凝露积水造成损害。另外，根本上解决问题的通用法则是采取在试验箱内充满干燥空气的办法，减少箱体内部水汽，防止凝露结霜。试验箱本身的密封性能(包括测试孔和门窗的密封性)应保持良好是很重要的一个因素。

参考文献：

[1]　GJB 150.1—86，军用设备环境试验方法[S].

[2]　张祉佑，石秉三. 制冷及低温技术(上册)[M]. 北京：机械工业出版社，1981.

[3]　杜利劳，李新. 环境模拟试验箱设计与控制技术[J]. 陕西环境，1999(1)：9—11.

(上接第33页)

[3]　黎火林，苏金然. 锂离子电池循环寿命预计模型的研究[J]. 电源技术，2008，1(4)：242—246.

[4]　黄可龙，吕正中，刘素琴. 锂离子电池容量损失原因分析[J]. 电池，2001，31(3)：142—144.

[5]　ASAKURA Kaoru，SHIMOMURA Makoto，SHODATakahisa I. Study of Life Evaluation Methods for Li-ion Batteries for Backup Applications[J]. Journal of Power Sources，2003，119(121)：902—905.

[6]　冯静. 基于秩相关系数的加速贮存退化失效机理一致性检验[J]. 航空动力学报，2011，26(11)：2440—2444.

[7]　HU J M，BARKER D，DASGUPSTA A. Role of Failure-mechanism Identification in Accelerated Testing [J]. Journal of the IES，1993，26(4)：39—45.

[8]　中国电子技术标准化研究所. 可靠性试验用表[M]. 北京：国防工业出版社，1987.

[9]　林逢春，王前程，陈云霞，等. 基于伪寿命的加速退化机理一致性边界检验[J]. 北京航空航天大学学报，2012，38(2)：234—238.

[10]　BARTLETT M S. Properties of Sufficiency and Statistical Test[C]// Proceedings of the Royal Society，1937.(余不详)

[11]　吴贇，蒋新华，解晶莹. 锂离子电池循环寿命快速衰减的原因[J]. 电池，2009，39(4)：206—207.

[12]　解晶莹. 锂离子电池安全性研究及影响因素分析[D]. 上海：中国科学院上海微系统与信息技术研究所，2005：70—79.

(上接第42页)

升力多20%左右，对展开时间影响显著；

3) 燃气缸直径越小，装药量越少，压力上升越快，折叠翼展开时间越短，如果要获得较长的展开时间，可以在燃气缸后部开卸压孔。

参考文献：

[1]　赵育善，余旭东. 折叠翼展开过程仿真研究[J]. 弹箭与制导学报，1997，17(2)：19—23.

[2]　黄鋆，唐金兰. 燃气活塞式弹翼展开动力系统内弹道性能分析[J]. 弹箭与制导学报，2009，29(4)：143—146.

[3]　王焘，余旭东，马彩霞. 导弹折叠翼静力试验研究[J]. 弹箭与制导学报，1998，18(2)：51—53.

[4]　马彩霞，余旭东，王焘. 导弹折叠翼展开运动试验[J]. 弹箭与制导学报，1996，16(2)：63—65.

[5]　李莉，任茶仙，张铎. 折叠机构展开动力学仿真及优化[J]. 强度与环境，2007，34(1)：17—21.

[6]　李莉. 折叠翼展开性能仿真研究与试验[D]. 西安：西北工业大学，2005.