

# 全自动可调角度的随动测力装置设计

董力锐<sup>1</sup>,王彪<sup>1</sup>,段雅琦<sup>2</sup>,都桂泉<sup>3</sup>,费宝祥<sup>3</sup>

(1. 中北大学 机械工程学院,山西 太原 030051; 2. 中国兵器工业集团航空弹药研究院有限公司,黑龙江 哈尔滨 150036; 3. 陆军装备部驻北京地区军事代表局驻秦皇岛地区军事代表室,河北 秦皇岛 066000)

**摘 要:**火箭弹作为一种武器,其尾翼多采用折叠翼片。翼片在展开的过程中,其摩擦力是重要参数,对每个翼片的摩擦力需要进行测量并记录。针对火箭弹折叠尾翼的测力要求,设计出了一种全自动随动测力装置。此装置的夹紧钳可自适应夹紧较复杂的折叠翼翼面,以提高夹紧可靠性;随动测力装置可沿着折叠翼展开轨迹,准确测出折叠翼展开过程中的实时拉力值。通过对夹紧钳进行理论计算与静应力分析,其结果基本一致,表明此夹紧钳结构合理。

**关键词:**火箭弹;自适应;折叠翼;测力装置;随动

**中图分类号:**TP275 **文献标识码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)01-0202-03

## Design of Automatic Adjustable Angle Follow-up Force Measuring Device

DONG Lirui<sup>1</sup>, WANG Biao<sup>1</sup>, DUAN Yaqi<sup>2</sup>, DU Guixiao<sup>3</sup>, FEI Baoxiang<sup>3</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;  
2. China Ordnance Industry Group Aviation Ammunition Research Institute Co., Ltd., Harbin 150036, China;  
3. Qinhuangdao Office, Beijing Bureau of Army Equipment Department, Qinhuangdao 066000, China)

**Abstract:** As a weapon, the tail fins of rocket usually adopts folding fins. In the process of expansion, friction force is an important parameter. So it is of necessity to measure and record the friction force of each fin. Aimed at the structure and force measurement requirements of the folded tail fin of rocket, an automatic following force measurement device was designed. The clamping clamp of this device was adapted to clamp the complex wing surface of folding wing to improve the clamping reliability. The following force measuring device was intended to measure the real time tension of the folded wing along the expansion path. The theoretical calculation and static stress analysis of the clamp were basically consistent, which verifies the fact that the clamp structure is reasonable.

**Keywords:** rockets; self-adaption; folding wing; force measuring device; follow-up

## 0 引言

测力装置是自动化检测设备中一种应用较广的检测设备,在自动化领域有着极其重要的作用。我国的全自动拉力装置一直在向着智能化发展,实现拉力测试从定位、夹紧、运动、结束以及数据分析的自动化。翼片拉力测量装置采用了机电一体化的设计,将电子技术和计算机技术应用在机械测量装置中,使整体结构得到优化,测量精度得以提高,可靠性增强<sup>[1]</sup>。根据文献[2]中翼片的展开机构、仿真分析及文献[3]中对折叠翼展开实验的研究,设计出一种可调角度的随动测力装置。全自动拉力测试也由刚开始的测试数据使用计算机控制发展到用 PLC 控制拉力测试过程,再到全程由计算机控制测试过程并通过 PLC 控制其测量过程且由计算机自动分析测量结果。夹紧装置广泛应用于各个领域。2018 年,李丰延等人为实现辅助快递包装功能,设计出一种快递包装夹持装置<sup>[4]</sup>;朱勇巍设计出一种新型的、可进行无级调整的弹簧夹结构<sup>[5]</sup>;师晓宁等人基于 SolidWorks 对长杆夹持器的运动进行了分析与验证<sup>[6]</sup>。2019 年,张始斋针对煤矿钻机普通夹持

器无法在自动钻机上应用的情况,设计出一种新式双夹持器,并对其进行了仿真分析<sup>[7]</sup>。2020 年,汪林俊等人设计出一种可以应用在工业机器人末端的连杆机构夹持器,此夹持器满足了工业机器人的末端执行器同时实现对三种不同工作对象的夹持要求<sup>[8]</sup>。

本文主要针对折叠翼片的结构特性及检测要求;需要将夹紧机构伸入到折叠翼片的缝隙中夹紧折叠翼面,并将其拉出,以测得此过程的拉力,设计出一种全自动随动测力装置。此装置通过电动推杆控制夹紧折叠翼片,可将翼片绕着其回转中心从壳体中拉出,走出圆弧轨迹,并测得此过程中的拉力。

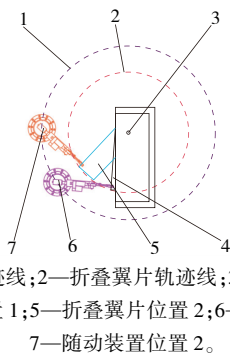
## 1 全自动随动测力的工作原理

全自动可调角度的随动测力装置整体结构包括自动夹紧装置、拉力传感器、连接件及随动装置。

自动夹紧装置采用 3:1 杠杆式夹紧钳结构,由电动推杆控制夹紧与松开。夹头可自适应夹紧折叠翼片较复杂的斜面,使夹头与翼片尽量实现面接触,增加摩擦力,提高夹紧装置的可靠性以及稳定性。

当夹紧机构夹紧折叠翼片后,测量路径需要绕折叠翼

片的回转中心走出圆弧轨迹。根据拉力传感器的测力原理应使所测拉力方向沿拉力传感器的轴线方向,才能保证拉力传感器的测量精度。因此夹紧机构及测力机构也要跟随折叠翼片走出圆弧轨迹,就需要随动装置进行联动。随动装置在结构上主要由回转支撑轴承的内外圈相对转动实现联动。夹紧装置安装在内圈上;外圈安装在直线模组等运动组件上,其运动轨迹由 PLC 控制实现。此测力机构的整体运行轨迹如图 1 所示。

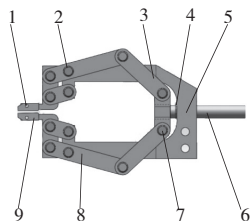


1—随动装置轨迹线;2—折叠翼片轨迹线;3—翼片回转中心;  
4—折叠翼片位置 1;5—折叠翼片位置 2;6—随动装置位置 1;  
7—随动装置位置 2。

图 1 测力装置整体运行轨迹图

## 2 夹紧机构与原理分析

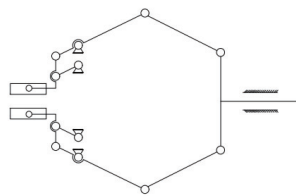
自动夹紧装置的结构主要有夹紧钳、固定架与电动推杆。夹紧钳的机体结构由主动杆、从动杆、夹头、可调装置、子母螺钉以及开口挡圈等部分组成。主、从动杆主要起传递动力的作用,夹头可伸入到折叠翼片的缝隙中夹紧折叠翼面,夹紧平面经过转动副结构便可夹紧较复杂的折叠翼面。子母螺钉是连接各个传动杆的机构,保证两个传动杆在节点处只能转动,即起到转动副的作用。开口挡圈的作用是限制主动杆的行程。电动推杆是此夹紧装置的动力来源。夹紧钳的具体结构如图 2 所示。



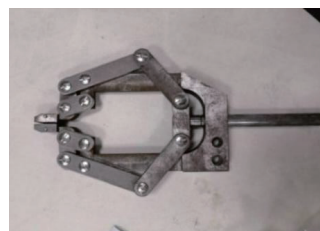
1—夹紧平面转动副;2—杠杆结构支撑点;3—从动杆 1;  
4—开口挡圈;5—固定架;6—主动杆;7—子母螺钉;  
8—从动杆 2;9—可调夹紧平面。

图 2 夹紧钳结构图

夹紧钳材料为 45 钢,夹紧钳的结构原理图和实物图如图 3 所示。在结构上采用如图 3(a) 所示的连杆机构。图 2 中的主动杆是由电动推杆控制,它的伸出与缩回带动夹紧平面夹紧与松开。传动部分的从动杆采用杠杆式钳头的基本结构,其采用 3:1 的增力比。夹紧部分的设计考虑到折叠翼面的结构,在钳头部分设计了一种角度可调机构。此机构采用转动副结构,使夹头可绕夹紧端面旋转。因此可自适应夹紧平面及一定角度的斜面,以此来增加接触面积,增大摩擦力,提高夹紧装置的可靠性以及稳定性。



(a) 结构原理图



(b) 实物图

图 3 夹紧钳

## 3 主要技术参数分析计算

### 3.1 技术参数计算

夹紧钳的主动推力  $F$  由电动推杆提供,经从动杆改变方向,又经过杠杆机构增力,最后到达夹头,产生夹紧力  $f$ 。主动推力  $F$  与平面夹紧力之间的力关系如图 4 所示,其中  $\theta_1 = 136^\circ$ ;  $\theta_2 = 115^\circ$ ;  $\theta_3 = 100^\circ$ ;  $OB = 3OA$ 。

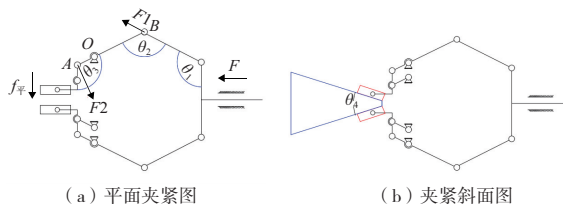


图 4 夹紧钳力关系图

$$F1 = 2F \times \cos(\theta_1 - 90^\circ) \quad (1)$$

对 AB 杆进行受力分析,其力矩平衡公式为:

$$F1 \times \sin(180^\circ - \theta_2) \times OB - F2 \times OA = 0 \quad (2)$$

$$F2 = 3 \times F1 \times \sin(180^\circ - \theta_2) \quad (3)$$

$$f = F2 \times \cos(\theta_3 - 90^\circ) \quad (4)$$

对于夹紧平面物体,  $f_{\text{平}}$  与  $f$  一致,得出:

$$f_{\text{平}} = f \approx 3.85F \quad (5)$$

夹紧钳的主动推力  $F$  与斜面夹紧力之间的关系在平面夹紧的基础上得出:

$$f_{\text{斜}} = f \times \cos(90 - \theta_4/2) \\ f_{\text{斜}} \approx 3.85F \times \cos(90 - \theta_4) \quad (6)$$

其中  $\theta_4$  为被夹紧物体为斜面时斜面的角度。

### 3.2 应力分析

对夹紧钳的静应力分析。本文选用 SolidWorks Simulation 进行仿真分析。SolidWorks Simulation 是 SolidWorks 软件中有限元分析插件,使 SolidWorks 同时具备三维设计及仿真分析等功能,有效提高生产效率。

首先建立三维模型,为了减小模型误差、提高网格划分的质量及节省计算时间,应先对模型进行简化:去掉对模型影响较小的特征;其次确定材料属性,此夹紧钳材料均为 45 钢,45 钢有较高的强度和较好的切削加工性;然后添加夹具,根据夹紧钳的设计原理及工作环境,在杠杆连杆的回转中心处添加铰链夹具,在夹头的夹紧面处添加固定夹具;最后添加载荷,在主动杆尾部添加 500 N 载荷,分析结果如图 5 所示。

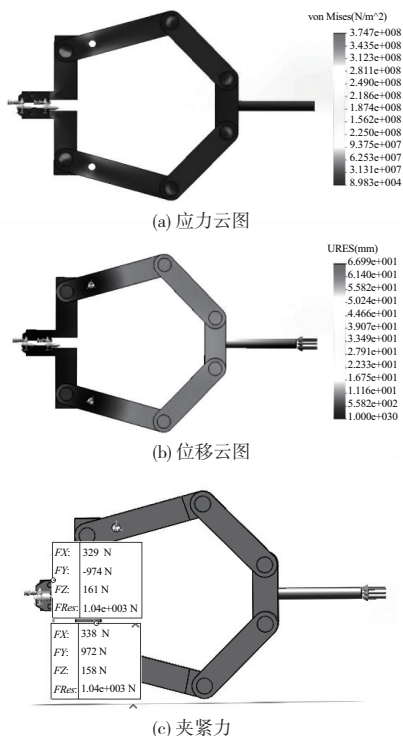


图5 静应力分析图

从仿真结果中可以看出:夹紧钳的夹紧力即夹紧平面在  $y$  方向的分力为:  $FY_1 = -974 \text{ N}$ ,  $FY_2 = 974 \text{ N}$ 。

$$FY_{\text{总}} = FY_2 - FY_1 = 974 + 972 = 1946 \text{ N} \quad (7)$$

$$FY_{\text{总}} \approx 3.89F \quad (8)$$

与理论计算值十分接近。

## 4 全自动测力装置整体结构

随动测力装置主要考虑到折叠翼片在测量过程中需要走出圆弧轨迹的同时,夹紧钳必须可靠夹紧。此随动测力装置一方面可保证在测量过程中夹紧装置及测力系统可靠联动;另一方面可保证拉力传感器的测力方向沿被测物体轨迹的切线方向,可最大程度保证拉力传感器的测量精度。

随动测力装置中拉力传感器为压阻式拉力传感器,具有较低的成本、较高的精度及较好的线性特性。本文中的拉力传感器一端连接夹紧装置,另一端连接随动装置。在整个装置运行过程中,拉力传感器会显示实时测量值,是测力机构的核心;回转支承轴承的内圈连接整个夹紧装置,外圈固定在轴承座上,是整个随动装置的核心。随动装置的轴承下连接板可以安装在直线导轨上,由直线导轨提供随动装置的动力,若需要走出圆弧、椭圆或其他轨迹的路径,可以用两轴插补具体实现。其结构如图 6 所示。

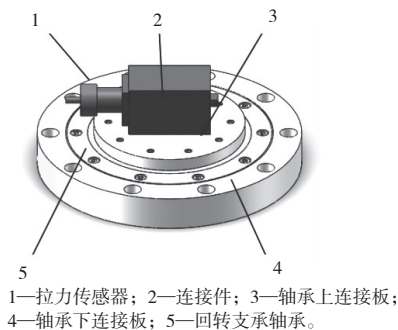


图6 随动装置结构

全自动测力装置可通过自动控制系统,由电动推杆驱动夹紧钳,自适应夹紧折叠翼面;由随动测力装置测得折叠翼片展开过程中的摩擦力,并实时显示拉力值。除了测量折叠翼片的拉力,还可根据具体需求夹紧不同物体,可以根据具体工况选择动力,根据所需走出不同轨迹的路径。全自动随动测力装置整体结构如图 7 所示。

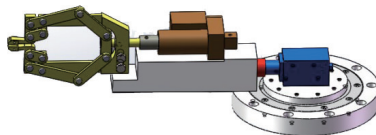


图7 全自动测力装置整体结构

## 5 结语

1) 此测力装置可以保证拉力传感器的测力方向沿折叠翼片轨迹的切线方向,最大程度保证拉力传感器的测量精度。

2) 夹紧钳采用 3 : 1 增力比的杠杆式连杆机构,可在很大程度上节省动力;并在夹头部分设计了一种可调节角度的结构,实现了此结构的应用多样性及提高夹头的可靠性。

3) 随动装置可保证在测量过程中夹紧装置及测力系统可靠联动,并可根据检测环境走出多种所需轨迹。

4) 通过仿真分析,夹紧力与理论值较接近,且最低安全系数为 1.8,说明整个夹紧钳的设计是合理的。

### 参考文献:

- [1] 谢幼梅,成晓芳,张华伟. 折叠翼拉力自动测量装置的研制[J]. 航天工艺,2001(2):39-42.
- [2] 席渊明,宋梅利,王晓鸣,等. 弹翼展开机构的设计[J]. 机械制造与自动化,2017,46(3):200-203,215.
- [3] 丁红. 某航弹折叠翼的有限元分析与试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学,2011.
- [4] 李丰延,成铭,王瑞,等. 快递包装夹持装置的设计与研究[J]. 包装工程,2018,39(13):123-128.
- [5] 朱勇巍. 弹簧夹夹紧机构工作能力探究[J]. 科技与创新,2018(10):76-77.
- [6] 师晓宁,李晓艳,彭婧,等. 基于 SolidWorks 对长杆夹持器的运动分析[J]. 化工管理,2018(2):220-222.
- [7] 张始斋. 钻机双夹持器结构设计及仿真分析[J]. 煤矿机械,2019,40(8):72-75.
- [8] 汪林俊,陈军统,赵龙云. 一种工业机器人末端连杆夹持器的设计与实现[J]. 科教文汇(中旬刊),2020(3):64-66.

收稿日期:2020-07-13