

适用于热真空环境的太阳翼铰链组件测试系统

翟少雄, 王长胜, 张伟文, 温庆平, 胡安宗, 郝 宏
(兰州物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 太阳翼铰链组件测试系统是专门用于太阳翼铰链组件热真空环境下各种重要力学参数的测试。详细介绍了该测试系统的组成, 并对重要组成单元进行了具体设计。该测试系统获得的测试数据准确、可靠, 应用成果良好。

关键词: 太阳翼; 铰链组件; 测试系统

中图分类号: TH117

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2004)04-0202-03

DEVELOPMENT OF THE SOLAR WING HINGE MODULE TEST SYSTEM APPLIED IN THERMAL VACUUM ENVIRONMENT

ZHAI Shao-xiong, WANG Chang-sheng, ZHANG Wei-wen, WEN Qing-ping, HU An-zong, HAO Hong
(Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000, China)

Abstract: A test system used in the test of key mechanical parameters of the solar wing hinge module under thermal vacuum environment was developed. The components of the test system were introduced in detail and the important units were designed concretely. The test results acquired by the system are accurate and credible. The good effects are achieved in application fields.

Key words: solar wing; hinge module; test system

1 引 言

空间飞行器在发射前太阳翼处于收拢状态, 发射升空后由太阳翼铰链组件展开, 为空间设备提供能源, 是空间飞行器电源分系统的重要组成部分, 其可靠性直接关系到整星的成败。铰链组件包括锁定钩、锁勾轴、U6 关节轴承、轴承套、轴承挡圈、滑道、外垫圈和平面蜗卷弹簧等活动件。其中平面蜗卷弹簧是储能元件, 能量在释放过程中展开铰链组件, 而平面蜗卷弹簧的特性主要是由其刚度特性决定。铰链组件在展开过程中要克服摩擦力矩和外部力矩(如电缆扭矩)。同时, 如何在设计、生产、装配等过程中控制产品质量, 是保障产品可靠性的重要工作。

铰链组件结构比较复杂, 存在“面接触”滑动摩擦、“线接触”滑动摩擦以及“刃一边”摩擦等复合工况, 而且热真空环境影响各零件之间的配合关系, 并且在环境变化中摩擦副接触应力也在变化; 在展开过程中铰链组件各摩擦副的接触应力也在变化, 整个铰链组件摩擦副的工况条件很难分析确定。因此无法准确计算铰链组件的驱动力矩和摩擦力矩, 需要采用组合测试方法在地面模拟环境条件下实际测试, 获得准确、可靠的测试数据, 实现对铰链组件的质量控制, 提高产品的可靠性和研制水平。

铰链组件测试包括驱动力矩、摩擦力矩和平面蜗卷弹簧刚度。铰链组件测试主要要求:

(1) 力矩范围: $0.5 \sim 8.0 \text{ N} \cdot \text{m}$; (2) 转动速度: $3 \sim 15^\circ/\text{s}$ 可调; (3) 转动角度: $0 \sim 1080^\circ$; (4) 采样速率: 每度至少输出 3 个扭矩值; (5) 温度范围: $(-100 \pm 3 \sim +70 \pm 3)^\circ\text{C}$; (6) 真空度: 优于 $1.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$;

收稿日期: 2004-10-10.

作者简介: 翟少雄(1971—), 男, 甘肃省兰州市人, 工程师, 从事机电控制研究。

(7) 加载方式: 手动和电动 2 种方式。

2 测试系统方案及测试结果

测试系统主要由主机单元、控制器单元和软件单元组成。根据技术要求, 铰链组件测试方案应包含下列功能: 测试铰链组件的驱动力矩和摩擦力矩; 测试蜗卷弹簧的刚度; 测试主机单元能在真空中高、低温环境下正常工作。

(1) 铰链组件驱动力矩和摩擦力矩测试

铰链展开过程中 $T_o = T_d - T_f$, 铰链收拢过程中 $T_c = T_d + T_f$ 。根据上述可得驱动力矩

$$T_d = (T_o + T_c) / 2 \quad (1)$$

摩擦力矩

$$T_f = (T_c - T_o) / 2 \quad (2)$$

式中 T_o 为展开力矩; T_c 为收拢力矩; T_d 为驱动力矩; T_f 为摩擦力矩。

根据式(1)和式(2), 步进电机转动使铰链收拢, 记录 T_f 和角度对应关系; 反之, 可测得 T_d 和角度对应关系。以曲线方式实时在计算机上绘出测试数据。试验结束后以表格和曲线的方式给出驱动力矩、摩擦力矩及对应的角度。

(2) 平面蜗卷弹簧刚度测试

平面蜗卷弹簧用来产生反作用力矩, 其刚度和变形角的特性都属于线性, 弹簧刚度 K 为

$$K = \frac{T}{\phi} \quad (3)$$

式中 T 为转矩; ϕ 为变形角。

弹簧刚度数据采用最小二乘法拟和, 公式如下^[1]

$$\begin{aligned} na_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n y_i x_i \end{aligned} \quad (4)$$

2.1 主机单元

主机单元如图 1 所示。采用步进电机做为驱动源, 通过蜗轮-蜗杆减速器(减速比为 1:90)传动形式, 放大转矩并减速传动, 以开环控制方式驱动铰链的控制方案, 结构采用立式, 机座水平度可以通过底板上的 4 个可调支撑脚调节, 保证机座的水平。采用双轴伸的步进电机, 一端安装一个摇柄, 实现手动加载, 另一端与蜗杆同轴布置, 通过联轴器连接。蜗轮安装在主轴上, 主轴与测角编码器通过一个弹性联轴器连接, 以降低加工、安装过程的误差影响。

被测试件旋转轴与测角编码器、扭矩传感器同轴, 力矩传感器安装在机架上可上下移动的上支架上。为减小铰链力矩对力矩传感器的影响,

铰链与传感器之间通过一对滚动轴承座传递扭矩。支架上下移动靠固定在铰链测试机构立柱上的直齿条实现, 可以调整试件安装空间高度。

2.1.1 传感器设计

它包括扭矩传感器和角度传感器。其中扭矩传感器采用静态扭矩传感器, 角度传感器采用相对式旋转编码器。分别说明如下: 静态扭矩传感器量程分别为 8.0, 5.0, 3.0, 2.0, 1.0, 0.5 N·m 6 种规格; 工作温度在 -10~70 °C, 力矩的线性、重复性、迟滞性优于 ±0.2%; 温度灵敏度优于 ±0.3%~±0.2%; 相对式旋转编码器, 每转输出脉冲数 2 048, 编码器工作温度在 -10~70 °C, 保证角度输出精度和测量要求。 $\theta = 360^\circ / 2048 = 0.175^\circ$, 其中 θ 为测试角度, 每度至少测试 4 个扭矩值^[2]。

2.1.2 驱动设计

步进电机为二相混合步进电机, 控制方式为二相四拍, 步距角 0.9°。转速和驱动力矩如下:

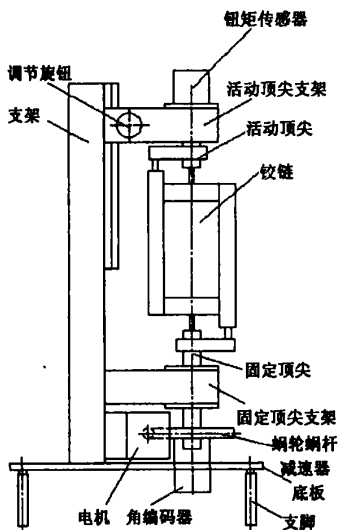


图 1 主机单元

输出转速要求在 $3\sim 15^\circ/\text{s}$ 范围内连续可调: $n=(3\sim 15^\circ/\text{s})\times 60\times i/360^\circ=45\sim 225\text{ r}/\text{min}$ (i 为减速比, 为 90, n 为电机转速)。

上述转速在步进电机工作转速范围之内。

步进电机在 $45\sim 225\text{ r}/\text{min}$, 驱动脉冲频率为 $300\sim 1\,500\text{ Hz}$ 。根据步进电机的矩-频曲线, 如果步进电机工作在 $2\,000\text{ Hz}$ 时, 输出力矩为 $0.5\text{ N}\cdot\text{m}$, 考虑蜗轮蜗杆、滚动轴承和联轴器的传递效率为 30%, 那么最小驱动力矩为

$$T_{\min}=T\times i\times \eta=0.5\times 90\times 30\%=13.5\text{ N}\cdot\text{m}$$

式中 $T_{\min}$ 为对试件的驱动力矩; T 为步进电机输出力矩; i 为减速比; η 为传递效率。

$T_{\min}$ 大于 $8\text{ N}\cdot\text{m}$, 对试件的驱动力矩完全满足要求, 并有足够的冗余度^[3]。

2.1.3 环境适应性设计

温度环境: 太阳翼铰链摩擦力矩测试温度环境为 $-100\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$, 而光电编码器的适用温度范围则是在 $-10\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$, 静态扭矩传感器的适用温度范围为 $-10\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$, 步进电机的适用温度范围是 $-15\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$, 在低温环境均不能正常使用。

采用主动温控的方法解决, 在角度、扭矩传感器和步进电机外壳贴加热片, 并包扎保温材料。在测试机架与传感器连接处用聚酰亚胺板做隔温垫, 防止热传导。根据计算, 可以得出温控所需的加热功率要求, 控制角度、扭矩传感器和步进电机工作温度范围($5\sim 10\text{ }^\circ\text{C}$), 保证传感器和步进电机在低温环境条件下工作正常。

真空环境: 测试主机单元的结构材料均采用不锈钢加工, 蜗轮-蜗杆传动副的润滑采用 PI 自润滑复合材料制备, 支撑滚动轴承均采用固体保持架与溅射 MoS_2 固体润滑膜的润滑方式。

角度传感器和电机支撑轴承采用脂润滑方式, 保证在真空环境下可以长时间可靠工作。

2.2 测试结果

铰链的驱动力矩和摩擦力矩的关系曲线如图 2 所示。

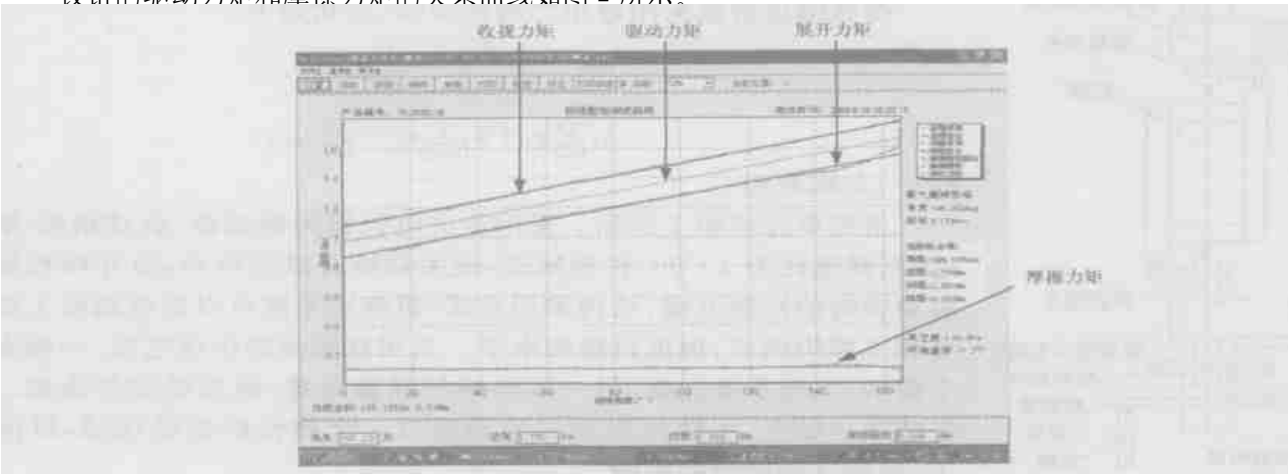


图 2 铰链的驱动力矩和摩擦力矩的关系曲线

3 结 论

(1) 本系统可实现测试铰链的驱动力矩和摩擦力矩; (2) 可实现测试平面蜗卷弹簧的刚度; (3) 设计的铰链测试仪可以在热真空环境条件下使用; (4) 铰链测试仪研制完成后交付用户使用, 做为太阳翼展开铰链研制的专用测试仪器, 获得了大量的测试数据, 为太阳翼铰链的研制和使用提供了直接的依据, 填补了国内在这方面的空白。

参考文献:

[1] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
[2] 王家桢, 王俊杰. 传感器与变送器[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
[3] 张海根. 机电传动控制[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.