

速率陀螺仪扭杆扭转刚度及迟滞角测试装置的研究

刘北英

(北京科技大学机械工程学院 北京 100083)

[摘要] 通过对现有速率陀螺仪中微小弹性元件扭杆扭转刚度及迟滞角测试方法的研究,运用了新的测试方法,重新对测试装置进行了设计并引入了单片机控制系统,提高了测试方法的自动化程度。

[关键词] 弹性扭杆; 扭转刚度; 迟滞角

[中图分类号] V241.5+33 [文献标识码] B [文章编号] 1003-5451(2001)03-0038-03

Development of a new Test Equipment for Torsional Rigidity and Delayed Angle of the Twiot Arm in Rate Gyroscope

Liu Beiyong

(Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083)

[Abstract] Based on the study of the applied method of measuring delayed angle and torsional rigidity of the micro-elastic unit-twiot arm in rate gyroscope, a new test equipment is designed with a new measuring method adopted and a single-chip microprocessor introduced as a control system to improve the automation level of the whole system

[Keywords] twiot arm; torsional rigidity; delayed angle

速率陀螺仪是一种精确地指示速率变化的仪器,被广泛应用于航空、航天、航海等领域,扭杆是陀螺仪最关键的零件之一,其性能的好坏直接影响着速率陀螺仪的整体性能。

1 扭杆在陀螺仪中的作用及其扭转刚度和迟滞角测试的重要性

速率陀螺仪主要由壳体、内环、扭杆和信号传感器等组成,如图1所示,其中,内环为转子部分,它内部的飞轮转子高速旋转,起着定向的作用。信号传感器接受输入信息,弹性扭杆一端连接壳体,一端连接内环,在陀螺仪处于稳定状态时,内环与壳体相对静止,扭杆不承受扭矩,当外界作用条件改变时,由于

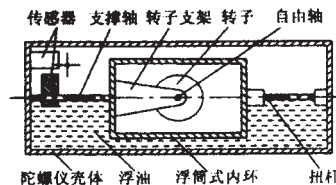


图1 速率陀螺仪结构

惯性,内环将绕其轴线相对壳体出现转角,并由扭杆的弹性变形一扭转角体现出来,因此扭杆起着支承、定位和产生弹性扭矩的关键作用。速率陀螺仪要求扭杆应具有良好的弹性,众所周知,弹性体弹性的大小是用弹性刚度表征的,同时对扭杆材料及其截面形状优势的判断,可借助于对扭转刚度的测定分析,而外界输入角速度的大小,在确知扭杆转刚度的条

件下,也易于计算,迟滞角也是反映扭杆性能好坏的重要指标;从这些方面来说,扭杆扭转刚度及迟滞角测试的重要性,是显而易见的。

2 对速率陀螺仪扭杆扭转刚度及迟滞角测试的要求

2.1 速率陀螺仪中扭杆的特点

①形式多样。不同陀螺仪需有与之相适应的不同扭杆。仅从其横截面的形状看就有矩形、圆形、十字形等多种,见图2,这为扭杆扭转刚度及迟滞角的理论计算带来不便和误差,一般均需实测获得扭杆扭转刚度及迟滞角值。

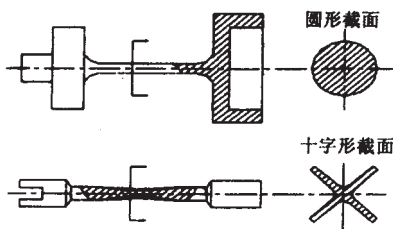


图2 陀螺仪扭杆截面形状

②尺寸很小。陀螺仪中的扭杆,尺寸都十分小,不论其形式和截面形状如何,通常它们的长度都在5~20mm左右,包容它们横截面之圆的直径,为0.5mm左右。

2.2 扭杆扭转刚度及迟滞角测试的要求

由材料力学知,扭杆的扭转刚度 K_n ,可表示为:

$$K_n = \frac{M_n}{\theta}$$

表1 现有扭杆扭转刚度测试装置的检测原理及性能分析

测试原理图	测量原理说明	性能分析
	<p>扭杆上、下端分别夹紧于夹杆中心和转台轴心。测前调整转台至测针与显微镜中“0”刻线重合后紧固转台;测时,等量砝码放入夹杆两端盘内,形成作用于扭杆的扭矩,读取显微镜中测针偏离“0”刻线的值,即为扭转角θ,记录砝码重并量取d值,求出扭矩$M_n = Fd$,则扭转刚度可算得;$K_n = M_n / \theta$迟滞角是撤去砝码后,测针偏离“0”刻线的值β。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 装置粗糙、原始、操作麻烦。 2. 人工找正、人工读数、测值误差大、测量精度低。 3. 砝码加载,施力过程中,扭矩M_n不是恒值,存在理论误差。 4. 有摩擦影响。
	<p>圆光栅的转子与夹紧轴联结一起直接反应轴转动的角度,此即扭杆的扭转角θ;扭杆一端由螺母旋转拉紧,力作用在施力杆上时,轴承为轴卸荷并减少摩擦,扭杆所受扭矩即为纯扭矩$M_n = Fd$,进而求出$K_n = M_n / \theta$;迟滞角是放开施力杆后,圆光栅的输出值β。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 装置虽较1有所改进,但螺母拉紧扭杆时,仍有较大摩擦易产生迟滞现象,且易损坏扭杆。 2. 施力机构仍为砝码加载,M_n仍是变值。 3. 高分辨率的圆光栅,价格昂贵,成本高。 4. 有摩擦影响。

式中 M_n ——作用在扭杆上的等效扭矩,

θ ——在 M_n 作用下扭杆两端的相对角位移(扭转角)。

由此,扭杆扭转刚度的测试,实质是测量扭矩与测角技术的综合;迟滞角是撤去施加在扭杆上的扭矩 M_n 后,扭杆两端的相对角位移;根据本课题的具体要求,对陀螺仪扭杆扭转刚度及迟滞角的测量可归纳为:

①扭杆的扭转角范围为 $\pm 3^\circ$, 满量程误差不超过 $5'$, 分辨率为 $1'$; 在 $\pm 0.5'$ 范围内, 测量误差不得超过 $3''$, 分辨率为 $0.1''$ 。

②扭杆所受扭矩的范围为 $0.01 \sim 15 \text{mN} \cdot \text{m}$, 属小扭矩测量, 满量程误差不超过 $0.2 \text{mN} \cdot \text{m}$, 分辨率为 $0.001 \text{mN} \cdot \text{m}$ 。

③扭杆在实际工作状态, 只受纯扭矩的作用。

针对以上所述, 测试装置应满足如下要求:

①测试装置测角范围为 $\pm 4^\circ$, 满量程误差不超过 $1.6'$, 分辨率为 $0.1'$; 在 $\pm 0.1'$ 范围内, 测量误差不得超过 $0.5''$, 分辨率为 $0.1''$ 。

②测试装置测扭矩的范围为 $0.01 \sim 20 \text{mN} \cdot \text{m}$, 满量程误差不超过 $0.06 \text{mN} \cdot \text{m}$, 分辨率为 $0.001 \text{mN} \cdot \text{m}$ 。

③测扭矩装置中施力矩机构应能提供纯扭矩。

3 现有扭杆测试装置的分析

目前, 测量这样细小娇贵零件的装置, 国内尚未见成熟的方法, 现有两种测试装置的测试原理及其性能的简单分析, 列于表1。

4 扭杆扭转刚度及迟滞角测试装置的设计

按陀螺仪扭杆测试所提出的要求,新设计的总体结构框图如图 3。

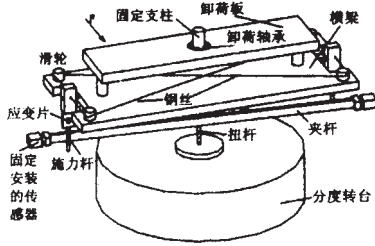


图 3 测试装置结构

原理,为确保高测量精度,每种形式的扭杆均应有各自专用的夹具。

4.2 扭矩施加及测量机构设计

为满足所提要求,扭矩施加及测量设计为一套机构,如图 3 所示,其原理为,当外力 F 作用于卸荷板时,通过刚性支柱使横梁摆转,两面固定钢丝且不要对称于扭杆的施力杆中将有一个先与夹杆接触,被反作用力推动的施力杆经绕于四个定滑轮间钢丝作用,自动调节两施力杆同时与夹杆接触并施予相等的力,从而实现扭杆纯扭矩的施加,施力的大小由贴于二施力杆上的应变片测出;角度由固定的传感器—电感式闭磁路差接变换器测出。

4.3 扭转角测量机构设计

此小角度测量采用将角度测量转化为位移测量的原理,图 4 所示为电感式闭磁路差接变换器原理

图。由电磁理论知输出电感

$$L = \frac{w^2 \mu_0 S_0}{2l_0} \quad \text{式中}$$

线圈匝数 W,磁导率 μ_0 及同 L 成反比的 AB 间

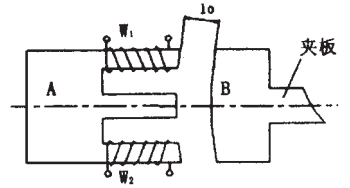


图 4 电感式闭磁路差接变换器原理

距 l_0 均为恒值,在夹杆转动时山形磁铁两线圈的输出电感 L 仅随气隙等效截面积 S_0 的改变而成正比的变化,一个增大,一个减小,可分别联在差动电路中,作为反映扭杆扭转角输出的模拟信号;由于测角的特殊要求,测试装置在对电感模拟输出量处理时采用分档放大的方式来满足不同范围 ($\pm 4^\circ, \pm 0.5^\circ$) 和不同精度 ($1.6', 0.5''$) 的要求。经处理的电感信号再经滤波,直流放大及 A/D 转换,送入单片机进行数据处理,尔后,显示或打印检测结果(均从略)。

5 实测结果及结论

使用研制的测试装置,测量力(即扭杆所受扭矩)和扭杆扭转角结果如下:

1. 扭矩:因扭矩测量范围规定为 $0 \sim 15(\text{mN} \cdot \text{m})$,当力臂 $d = 10\text{mm}$ 时,则转化为力的测量范围为 $0 \sim 2\text{N}$,按测量程序自动测得数据见表 1。

表 1 单位 :N

砝码重力	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
实际输出值	0.0003	0.1007	0.2001	0.3005	0.4006	0.5004	0.6007	0.7008	0.8005	0.901	1.0002
砝码重力	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1
实际输出值	1.0997	1.2001	1.3002	1.4003	1.5009	1.6006	1.7008	1.7999	1.8992	1.9995	2.0997

利用最小二乘法处理后,最大误差为 0.0024N。分辨率 0.0001N,测量范围 $0 \sim 2\text{N}$

2. 扭转角 θ :实测数据见表 2

表 2 单位 :分

输入值	-240	-180	-120	-60	0	60	120	180	240
实际输出值	-241.2	-181.2	-121	-60.4	0	60.6	121	181.4	241.8

利用最小二乘法处理后,最大误差约为 $0.7'$,分辨率 $0.2'$,测量范围 $\pm 4^\circ$

3. 迟滞角 β :测试数据见表 3

(下转第 27 页)

结果 :137#、150#合格 ,两端均无渗漏 ;
138#右端合格无渗漏 ,左端有微渗不合格

3.4 工艺可靠性试验

3.4.1 喷嘴反向回压始动压力测试

将 FL/97-138 底座切成两块 ,分别反压两个喷嘴 ,数据表 7 :

表 7 喷嘴

	始动	移动 ≤ 0.3	移动 0.5 ~ 1.0
左端压装力/kg	220	125 ~ 132	110 ~ 118
右端压装力/kg	120	69 ~ 65	56 ~ 59

由表中数据证实 ,喷嘴当零位调好后 ,其稳定性是可靠的 ,在正常的试验环境冲击下喷嘴位置不会窜动。(零件压装后须做一次时效稳定处理)

3.4.2 衔铁组件随阀典、寿试试验

抽取一套用表面改质剂压装的伺服阀 FD/S-90# (壳体编号 95067#) ,衔铁组件、喷嘴均采用表面改质剂作润滑剂 ,按设计规范的所有典、寿试项目做试验考验可靠性 ,结果可满足设计要求。

3.5 表面改质剂特性介绍

FA 表面改质剂是国外研发的国防科技最新产品 ,是从石油中提纯的碳氢化合物。其微细单分子 $0.01\mu\text{m}$,能渗入金属表面细孔 ,在金属表面形成 $0.05\mu\text{m}$ 的单分子超润滑薄膜 ,其摩擦系数 0.01 ,能耐高温 ,耐高压 ,抗腐蚀。FA 表面改质剂不含金属成分及固体润滑剂、树脂等 ,使用后没有凝固物及杂质产生 ,与矿物油、液压油等是相溶的。表面改质剂还有另一大特性 :金属清洁与去污特性。表面改质剂

与金属间强烈的分子回应 ,随着金属反应结合清洁作用 ,可以取代金属表面的附着物 ,包括分子渗透摩擦面被清除 ,并使金属系统保持清洁。此特性可最大限度地防止压装中的抱死现象 ,金属表面清洁同时也有效的防止了压装后的渗漏。

4 结论

①表面改质剂在伺服阀装配中使用 ,其耐高温、耐高压 ,不含金属成分及固体润滑剂使用后没有凝固物及杂质产生 ,不会造成伺服阀被污染 ,使用是安全的。已运用在批量生产中。

②表面改质剂在压装中的润滑作用 ,使各部件装配作用力降低 ,但设计指标的过盈量是合格的。伺服阀可承受 $-30^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 温度变化及其他典试环境 ,性能稳定 ,使用可靠。

③表面改质剂的清洁作用及润滑特性可防止压装后零件的渗漏油 ,效果是显著的。

④表面改质剂可使压装力下降 50% 以上 ,无抱死、压不到位现象 ,成品合格率高 ,生产效率高 ,压装非常方便。

⑤调试中 ,压喷嘴时克服了爬行窜动 ,给调整零位带来极大方便 ,解决了调试难题。

参考文献 (略)

(收稿日期 2000-12-14)

(上接第 40 页)

表 3 迟滞角测试数据

秒

输入值	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10
实际输出值	-61.1	-55.8	-50.9	-45.7	-40.1	-35.4	-30.4	-24.8	-19.7	-14.4	-10.1
输入值	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
实际输出值	-5.1	-0.9	5.1	10.5	15.8	20.6	25.2	30.1	35.9	41.2	46.1
输入值	50	55	60								
实际输出值	51.2	56.2	61								

利用最小二乘法处理后 ,最大误差约为 $0.38''$,分辨率为 $0.1''$,测量范围 $\pm 1'$ 。

由以上结果可以看出 ,装置在扭矩和角度方面的能够满足测试要求 ,此外 ,测试装置采用了纯扭矩结构 ,使扭杆被测时接近其实际工作状态并应用了单片机来控制 ,有较高的自动化程度和较强的抗干扰能力且经济实用。

参考文献

- [1] 陆恺 . 陀螺仪原理及应用 [M]. 北京 :国防工业出版社 ,1992
- [2] 李朝青 . 单片机原理及接口技术 [M]. 北京 :北京航空航天大学出版社 ,1998

(收稿日期 2001-03-07)