

两自由度精密伺服机构装配工艺研究

代亚新 谢 超

(北京遥感设备研究所, 北京 100039)



摘要: 针对旋转框架易产生变形, 伺服机构运转稳定性要求高, 伺服电机启动电压要求低等装配技术难点, 采取了控制装配间隙、伺服机构内外框架和齿轮磨合等工艺措施, 并设计了工装和专用设备, 提高了装配效率, 使装配质量大幅提高, 伺服机构的各项技术指标满足设计要求。

关键词: 两自由度; 伺服机构; 装配技术

Study on Assembly Technology of Servomechanism with Two Degrees of Freedom

Dai Yaxin Xie Chao

(Beijing Research Institute of Remote Sensing Equipments, Beijing 100039)

Abstract: Regarding to deformation of rotation framework, high demand of the stability of servo operation and low voltage requirements of the servo motor start assembling, technological measures have been taken by controlling assembly gap, inside and outside framework and gear running-in, as well as designing tool and special equipment. Finally, it improves assembly efficiency and quality, and servomechanism can fulfill the design requirements.

Key words: two degrees of freedom; servomechanism; assembly technology

1 引言

伺服机构是伴随电的应用而发展起来的, 近几十年来在新技术革命的推动下, 特别是伴随着微电子技术和计算机技术的飞速发展, 伺服技术得到了广泛应用。

伺服机构一般是由机械装置和控制系统相结合的系统, 控制系统为伺服机构输入各种控制参数, 使机械装置实现各种机械运动或机械操作动作。伺服机构采用内外旋转框架的结构形式, 为两自由度随动系统, 复合探测系统通过支架安装在内框架上。由于飞行器对空间和重量的限制, 伺服机构多采用薄壁轻质结构件, 造成伺服机构在装配过程中易发生结构变形, 影响装配的精度, 装配难度较大。

2 伺服机构结构组成和技术要求

作者简介: 代亚新 (1975-), 本科, 机械工程专业; 研究方向: 精密装配。
收稿日期: 2011-04-01

2.1 结构组成

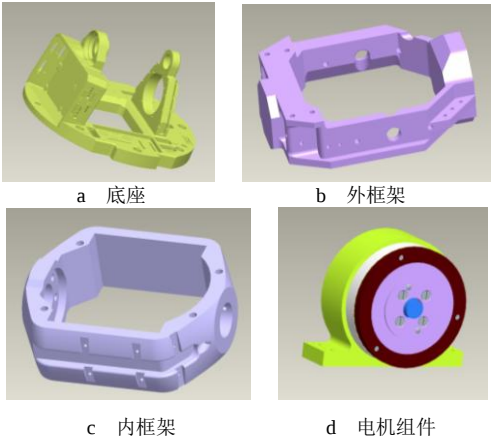


图 1 伺服机构部分组件

伺服系统接收飞行器指令, 由伺服电机驱动内、外框架作两自由度的旋转, 带动安装在内框上的支架转动到相应的角度位置, 完成方位和俯仰运动, 从而

使安装在支架上的复合探测系统按指令对目标进行搜索、跟踪。伺服机构主要由底座(见图1a)、外框架(见图1b)、内框架(见图1c)、电机组件(见图1d)、扇形齿轮、陀螺、轴承和零位销等部分组成,这些零部件的加工精度高(达 μm 级精度),且多为铝制薄壁件,加工、装配过程中易变形,装配难度较大。

2.2 技术要求

伺服机构的主要技术要求包括:

- a. 外框架运动范围大于 $\pm 50^\circ$;
- b. 内框架运动范围: $+3.5^\circ \sim -25^\circ$;
- c. 轴承外圈与轴承孔、轴承内圈与轴的安装间隙在 $0.002 \sim 0.008\text{mm}$ 之间;
- d. 零位锥销孔需钻配铰孔,利用零位销锁定机械零位,零位位置要保证复合探测系统的安装支架与伺服机构底座的平行度 $\leq 0.04\text{mm}$;
- e. 外框架组件装配后,两端安装轴的同轴度要求 $\leq \Phi 0.008\text{mm}$;
- f. 内、外框架上的伺服电机,在常温 $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 时的启动电压 $\leq 2.5\text{V}$,低温 $-40^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 以及高温 $+60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 时启动电压不超过常温下的20%。

3 装配难点分析

3.1 装配工艺和工艺装备

在伺服机构的装配工艺中,必须对影响整机技术指标的关键装配工序设计控制方法,制定合理的工艺流程,编制装配工序内容,绘制数据记录表格,确保伺服机构的装配质量。

从简单实用、提高装配效率、保证装配质量、减少人为因素的影响等角度出发设计各类工装、夹具、量具和专用设备,保证伺服机构装配完成后的各项技术指标达到设计要求。

3.2 结构件变形

伺服机构底座、扇形齿轮、旋转框架等零件均为薄壁零件,如内框架扇形齿轮,壁厚 5.5mm ,承受内框架上安装支架、陀螺、复合探测系统等重力和阶梯轴支撑力、齿轮压力等数个方向的作用力。因装配产生的作用力是齿轮压力和阶梯轴支撑力,这两个力偏大会导致齿轮运转平稳性下降,启动电压超差,偏小则阶梯轴会在内环产生轴向间隙,齿轮出现空转,严重影响伺服机构性能。底座是伺服机构的基础零件,因减重和空间的要求,其壁厚最薄处仅为 3mm ,而外框架、阶梯轴、电机等都安装到底座上,因此对

安装位置和精度要求极高。如果装配时应力过大,会使外框架和扇形齿轮发生变形,严重时出现外框架运行噪声过大,系统死区加大等问题。而旋转框架平面是确定系统机械零位的重要平面,如果在装配和加工零位销钉孔过程中旋转框架变形,会造成系统零位超差。伺服机构中的这些薄壁、易变形零件给伺服机构精密装配带来很大难度,因此控制变形是伺服机构精密装配中不可忽视的重要问题。

3.3 装配间隙控制要求

轴承和轴、孔的配合以及齿轮间的啮合间隙直接影响到伺服机构的运转稳定性和伺服电机的启动电压。考虑到伺服机构工作和存贮温度变化较大,采用了间隙配合的形式。但是配合间隙的选择要考虑到可装配性和是否满足性能要求,需要根据实际情况进行公差分析和选配。此外,必须要对整机进行调整和跑合,以满足伺服电机启动电压的要求,获得伺服机构运动的稳定性。

3.4 整机的磨合

伺服系统必须通过一段时间的磨合才能达到性能稳定的要求,如果机械部分磨合不好,交付的产品使用一段时间以后,随着结构应力释放,会导致结构摩擦力等发生变化,从而引起伺服系统参数的变化,严重时会导致系统指标超差。因此伺服机构装配完成以后,需要通过磨合试验,使结构性能尽快稳定。针对伺服电机启动电压要求,确定整机磨合试验方案,确保能够持续、稳定地达到电机的启动电压要求。

4 伺服机构的装配措施

4.1 外框架组件的装配

外框架组件主要由外框扇形齿轮、外框端轴、外框架三个零件组成,端轴和扇形齿轮都是通过四个定位销钉和四个安装螺钉分别与外框架两端连接的。底座上两端轴承安装孔的同轴度为 $\Phi 0.012\text{mm}$,外框端轴和扇形齿轮轴之间的同轴度要求 $\leq \Phi 0.008\text{mm}$,并要求组件不变形。

由于外框架形状特殊,只能依靠装配保证精度。首先将端轴和扇形齿轮上连接外框架的沉孔先加工成直孔,使用柱头螺钉进行初装配,配合定位打孔工装,利用外框扇形齿轮和外框端轴的加工顶尖锥面进行找正,打表测量并调整同轴度。然后用锁紧件锁紧进行销钉孔加工。销钉孔加工完成后拆下端轴和扇形齿轮,将螺钉安装孔加工成沉孔。最后在销钉定位的

基础上，用沉头螺钉完成外框架的装配连接。

4.2 电机组件的装配

电机组件是伺服机构的主要传动组件，装配后的启动电压和装配精度直接影响到伺服机构的运动效果。电机组件包括电机壳、定子、转子、轴承、齿轮轴、电刷等零件，转动中涉及到电刷和转子的接触，转子和定子的对应位置等问题，这些因素对电机的启动电压和转动的稳定性有着重要影响。

转子和定子的对应位置主要受电机壳的内径尺寸和限制环的影响，电机壳尺寸精度主要靠机加保证，限制环位置精度主要靠装配来保证。限制环的技术要求是装配到位后配钻铰销钉孔，限制环径向跳动和端面跳动小于 0.02mm。为达到这一技术要求，对其加工方法做了改进：首先，对齿轮轴的两个安装轴承进行选配，使齿轮轴的径向跳动和端面跳动在 0.002mm 内。其次，将限制环端跳调整工装装在齿轮轴端面上，对限制环进行调整，使其端跳达到 0.004mm 内。再用电机组合工装对电机外壳进行定位，对限制环进行支撑，使限制环径跳达到 0.004mm 内，对调整好的组件进行打孔加工。利用这种方法加工，可以使限制环端面跳动和径向跳动在 0.01mm 内，大大提高了技术指标，使电机转子的运转精度有了大幅的提高。

电刷的装配对电机的启动电压有着重要的影响，通过对电刷的安装位置调整，使电机的启动电压达到了一个最佳效果，使电机装配质量有了较大提高，改变了以往电机装配质量不稳定以及电机传动轴回转

精度难以控制的状态。

4.3 伺服系统磨合

通过伺服系统磨合试验，使结构性能满足伺服系统的要求，保证产品的一致性。磨合试验的内容是：给伺服系统预置磨合程序，加电使其内、外框架在规定的角度范围内来回运动，每磨合 30min 对伺服系统进行一次测试，测试不同角度上电机的启动电压值。伺服机构的内、外框架分别进行磨合，磨合方法一致。

以内框架为例，通过专用的伺服系统磨合控制器给内框架电机加电。专用伺服系统磨合控制器采用集成功率放大器，双电源供电，同时采用电流环反馈，确保电机响应的快速性。在电路输入端加入正弦信号，使电机带动内框架来回运动，通过改变正弦信号的幅度和频率可以改变内框架运动的角度范围和运动速度。

磨合 30min 后，断电进行启动电压测试，测试内框架在不同角度时电机的启动电压值，并记录测试结果。按照下列公式计算启动电压的平均值、偏差值：

电压平均值：
$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

电压偏差值：
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}$$

对伺服系统内框架和外框架各进行 10 个循环的磨合试验，每次试验后对各个角度的启动电压进行测试，并对每个循环后的内、外框架启动电压的均值和偏差值进行计算。测试结果见表 1。

表 1 伺服系统启动电压统计表 V

磨合次数	内框启动电压平均值	内框启动电压偏差值	外框启动电压平均值	外框启动电压偏差值
0	1.62	0.345	1.55	0.428
1	1.52	0.235	1.45	0.22
2	1.43	0.233	1.32	0.3
3	1.44	0.225	1.31	0.255
4	1.32	0.259	1.38	0.319
5	1.33	0.249	1.35	0.287
6	1.28	0.235	1.35	0.391
7	1.31	0.134	1.37	0.255
8	1.31	0.231	1.35	0.329
9	1.32	0.176	1.35	0.166
10	1.32	0.234	1.35	0.259

图 2 是每个循环内、外框架启动电压均值的折线图，可以看出在磨合 2 个循环后，伺服系统的启动电压均值趋于稳定。图 3 是每个循环内、外框架启动电

压偏差值的折线图，同样可以看出在磨合 2 个循环后，伺服系统的启动电压偏差值也基本稳定。重复上述步骤，进行多次磨合试验，直到测得的启动电压平均值

和偏差趋于平稳,满足内、外框架伺服电机启动电压均小于 2.5V,低温下启动电压不超过常温启动电压的 20%,磨合结束。

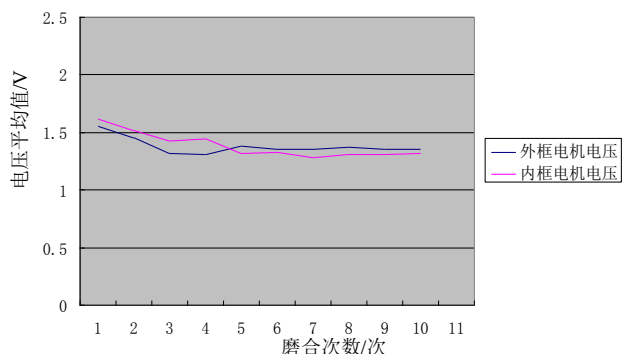


图2 内外框电机电压平均值统计图

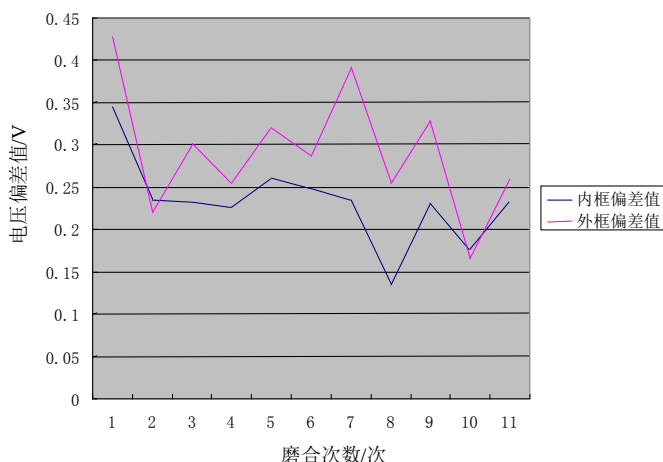


图3 内外框电机电压偏差值统计图

通过对磨合试验数据的初步分析,可以得出如下结论:伺服系统在进行 2~3 个循环的磨合试验后,伺服系统内、外框架的启动电压的均值和偏差基本趋于平稳,满足伺服系统设计要求,达到磨合效果。

4.4 零位销钉孔的加工

伺服机构的零位销钉孔是机械零位、电零位、光学零位的定位基准,也是机械轴、电轴、光轴重合的基准,其精度直接影响到复合探测系统的制导、跟踪精度。

伺服机构零位销钉孔的加工具有一定难度,首先要考虑加工后零位销钉孔的位置精度,其次还要考虑到零件在加工过程中不变形、扭曲。技术要求:Y、Z 两方向零位销钉插好,复合探测系统的安装面与底座底面的平行度小于 0.04mm。

针对伺服机构的结构特点,设计了零位销钉孔的加工作装,在伺服机构的底座上加装了过渡底板,在

过渡底板上加装了内支柱和两个外支板,并在外框架上加装外延板,在内框架上加装内延板。通过内支柱、外支板对外延板和内延板的调整,来实现内框架、外框架的调整,将内、外框架调整到位后,用工装将内、外框架锁死后,进行零位销钉孔的加工。

伺服机构零位销钉孔的打孔工装使零位销钉孔的加工精度大幅提高。加工销钉孔前,使用上述工装结合打表测量,复合探测系统的安装面与底座底面的平行度可调整到 0.004mm,打孔后因切屑力影响也可达到 0.012mm,精度提高了 70%以上。该加工方法可以作为同类伺服机构装配加工的借鉴。

4.5 装配间隙控制

伺服机构中轴承和孔以及轴采用间隙配合,技术要求的间隙是 0.002~0.008mm,但在实际装配中,轴承孔和轴承之间配合间隙的选择根据实际情况不同存在差异。

在伺服机构装配过程中,为了保证内、外框架上扇形齿轮和内、外框架两端轴的装配位置精度和齿轮啮合精度,对轴和轴承内孔的配合做了试验,总结出配合间隙在 0.001~0.003mm 之间最为合适。这样保证了组件之间位置精准和运动的平稳性。

对于向心轴承的外径和轴承孔之间的配合间隙,通过试验确定为 0.002~0.004mm 之间最为合适。选择该间隙主要是充分考虑到轴承在使用过程中,零件的变形和产品振动试验过程中的摩擦。

对于向心推力轴承,由于内外环可拆卸,在产品中是成对使用,将其装配间隙确定为 0.004~0.006mm。

通过对装配间隙的控制,保证了轴承的装配精度,使扇形齿轮轴和端轴的跳动误差得到降低,伺服机构的运转柔和、顺畅。

5 结束语

在伺服机构的装配过程中,对伺服机构的结构特点和技术要求进行了认真的分析,针对装配难点,采取了一些工艺措施,设计了各类工装、夹具、量具和专用设备,保证了伺服机构装配完成后满足各项技术指标要求。在装配过程中,总结出的方法和经验可为其他伺服机构的装配提供借鉴。