

## 测试、试验与仿真

# 一种光电转台的轴承装配分析

孙利军 蔡 军

(光电信息控制和安全技术重点实验室,天津 300308)

**摘要:**在轴承的安装方式、预紧量、预紧载荷、润滑与密封等方面分析计算的基础上,提出了一种轴承的装配方式。探讨了精密光电转台轴系结构精度,在样机的装配中运用了这种独特的轴系装配方式,将装配中难以控制的轴承预紧量转换为调节端盖的厚度,不但解决了轴系装配中的预紧问题,而且较好地保证了轴系的精度。经多次装调测试证明,该装配方式能够保证轴承达到最佳的预紧效果,为转台平稳运行,实现较高的跟踪精度奠定了基础,具有较好的实际指导意义。

**关键词:**光电转台 轴系精度 轴承预紧

中图分类号:O439

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2017)-03-0070-03

## Analysis of Bearing Assembling of Opto-electronic Turntable

SUN Li-jun, CAI Jun

(Key Laboratory of Electro-optical Information Control and Security Technology, Tianjin 300308, China)

**Abstract:** A bearing assembling method is proposed based on analysis calculation of bearing assembling method, pre-tightening amount, pre-tightening load, lubrication and sealing. The shafting structure precision of the precise opto-electronic turntable is discussed. The unique shafting assembling method is used in prototype assembling, and the bearing pre-tightening amount is converted into the regulation of the end-cover thickness. Not only the pre-tightening problem during shafting assembling is resolved but also the shafting precision is guaranteed. Assembling and debugging experiments show that the assembling method can guarantee the best pre-tightening effect and provides basis for the turntable stable running and high precision tracking, which has better actual guidance.

**Key words:** opto-electronic turntable; shafting precision; pre-tightening bearing

光电转台是跟踪、侦察、定位、导航等领域的基础平台和关键设备,它是保证跟踪精度和控制性能的基础。随着光电信息技术的快速发展和广泛应用,光电转台已经从固定平台发展到机动平台,因此对其平稳性、可靠性和环境适应性等方面提出了更严格的要求。轴系的结构精度是转台的基础环节,尤其是对角秒级转台的设计更为如此。文章以某光电转台为背景,在轴承的支承安装方式、预紧量、预紧载荷、润滑与密封等方面进行了分析计算<sup>[1]</sup>,提出了一种轴承的装配方式,将装配中难以控制的预紧量转换为调节端盖底部的垫片厚度,既简

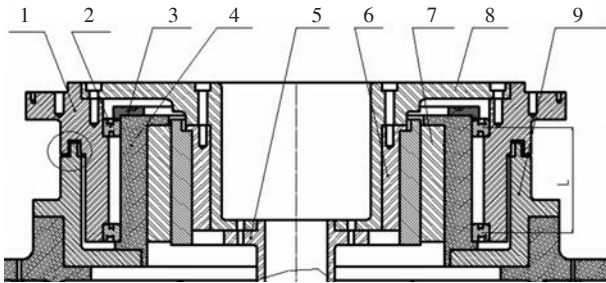
单又方便调整,经多次装调测试表明,该方法能够保证轴承达到最佳的预紧效果,为转台平稳运行,实现较高的跟踪精度奠定了基础,具有较好的实际指导意义。

## 1 轴系结构精度分析

### 1.1 轴系总体结构方案

转台轴系的支承结构基本有两种方式:一种是选用一对靠紧的角接触球轴承背靠背安装,该方案

适用轴系跨度小的情况,如果轴系跨度大时此轴系回转时产生较大的倾斜度,严重影响旋转精度;另一种是复合轴方式,该方案选择两对角接触球轴承分别配合各自的转子和定子,再将两个转子与方位轴连接,该方式适合了轴系跨度大的情况,但由于是复合轴结构,两个转子和定子在各自的设计、制造中都存在一定的误差,这样使整个轴系的累积误差增多,影响了轴系的精度,另外该方案在装配时不能很好地保证整个轴系的同心度,从而直接影响了该轴系的旋转精度。考虑该项目较高的跟踪精度要求而且转台的负载、跨度及径向尺寸均较大,所以采用一对高精度的角接触球轴承拉开一定的间距 $L$ 背靠背安装作为轴系的支承,参见图1所示。



图中,1为转盘;2为轴承;3为调节端盖;4为定子;5为连接轴;6为电机转子;7为电机定子;8为方位主轴;9为固定盘

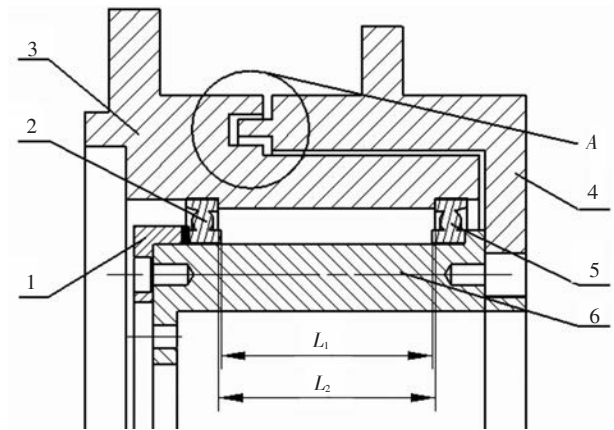
图1 方位轴系结构简图

转盘1、方位主轴8、电机转子6和连接轴5相连接构成转动部分;定子4、调节端盖3、电机定子7、固定盘9和机座相连接,组成固定部分。调节端盖3的作用是调节轴承的间隙,实现预紧,保证轴系的支承刚度。

该支承方案一方面适应了转台方位轴跨度大的要求,另一方面由于这样的一对轴承拥有共同的转子和定子,对比复合轴结构的情况,减少了设计、制造带来多余的累积误差,而且装配中能够很好地保证整个轴系的同心度,为实现转台结构的高精度指标奠定了基础。

## 1.2 滚动轴承的组合设计及分析

轴承的组合设计主要解决轴承的安装、定位、预紧、调整、润滑和密封等问题。轴承组合结构简图如图2所示。



图中,1为轴承压盖;2为角接触球轴承;3为转盘;4为定子;5为轴承;6为定子

图2 轴承组合结构简图

图2中,配对的角接触球轴承2与5采用背靠背安装,外圈旋转,内圈固定。转盘3设计间距为 $L_2$ 的一段轴肩,既保证两轴承外圈的固定,又能保证两侧外圈的轴承座孔一次完成加工,减小轴系结构的同轴度误差。轴承5的内圈靠定子6固定,轴承2的内圈通过轴承压盖1实现调节定位。

### 1.2.1 轴承的预紧

滚动轴承的预紧是在轴承安装时在内、外圈之间施加一定的轴向压紧力,使滚动体和内、外圈接触处产生一定量的初变形,使轴承中保持一定的轴向力,从而消除轴承中的游隙,预紧后的轴承受到工作载荷时,其内、外圈的径向和轴向相对移动量比未预紧的轴承大为减小,提高了轴系的刚度和旋转精度<sup>[2]</sup>。常用的预紧方法有:

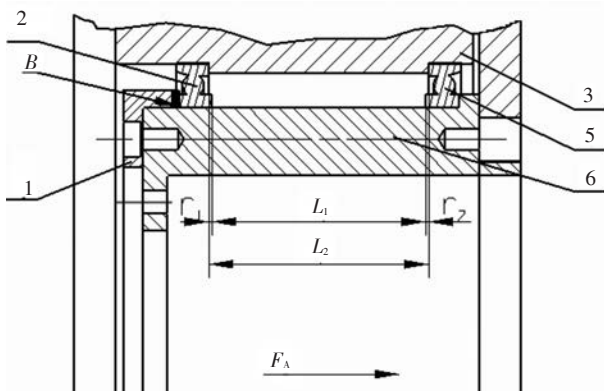
(1)在轴承的内圈(或外圈)之间加金属垫片。角接触球轴承采用“背靠背”产生安装时,在两外圈之间放垫片,或者将两内圈端面磨窄,使外圈靠拢产生预紧力<sup>[3-4]</sup>。

(2)在一对角接触球轴承之间安装长度不等的套筒使轴承达到预紧,预紧力的大小可以通过套筒的长度差控制<sup>[3-5]</sup>。

(3)采用弹簧预紧的方式<sup>[6]</sup>。弹簧预紧可得到稳定的预紧力,但是不能保证轴承的精确定位。

该精密转台为了能够实现轴系结构中的关键部件的精确定位,故不采用第(3)种方式,由于本结构中配对的角接触球轴承拉开一定的间距,所以也不能采用第(1)种方式,考虑第(2)种方式,设计的

套筒轴向和径向尺寸都很大,另外由于套筒在两轴承之间,不方便进行轴承的调整,因此设计了一种适合该轴系结构的预紧调节方式,见图3所示。



图中,1为轴承压盖;2为角接触球轴承;  
3为转盘;5为轴承;6为定子

图3 轴承的预紧原理及调节方式

图3中,配对的角接触球轴承2和5背靠背安装,转盘3中间长度为 $L_2$ 的轴肩保证了两轴承外圈的固定,轴承5的内圈靠定子6固定,轴承2的内圈通过轴承压盖1实现调整定位,通过修配压盖1的底端B处,能够实现内圈的移动,完成预紧,最终预紧后内圈间距为 $L_1$ 。

$$L_2 = L_1 + r_1 + r_2 \quad (1)$$

轴承预紧量的大小对轴系的性能影响很大,若预紧量太小,则达不到预紧的目的;若预紧量过大,则会增加轴承的摩擦力矩<sup>[7]</sup>,不仅影响轴承的承载能力,还会降低轴承的疲劳寿命。

### 1.2.2 轴承的预紧载荷

轴承预紧量是通过施加轴向预紧载荷 $F_A$ 实现的,根据轴承厂家提供的数据,参见文献[8]:KAYDON 刊号 10,本方案选定的轴承型号:KD100AR4M,其中M为预压值(0.000 5~0.001)英寸,对应文献[8]中图4-20查得:预压值(0.000 5~0.001)英寸,所对应的预载荷为(450~113 4)kg,取 $F_A = 800$  kg在预紧载荷 $F_A$ 作用下,实际测量预紧量 $r_1$ 和 $r_2$ 。轴承2和轴承5分别做好标记,首先测量轴承2的内圈的实际厚度为 $N_1$ ,外圈的实际厚度为 $W_1$ ,将该轴承放在轴承测量工装上,在轴线方向上施加压力 $F_A$ ,用千分表在轴承圆周方向四个位置测出内圈、外圈的高度差 $\delta_{11}$ , $\delta_{12}$ , $\delta_{13}$ , $\delta_{14}$ ,取其平均

值为 $\delta_1$ ,则轴承2预紧量 $r_1 = N_1 + \delta_1 - W_1$ ;同样的方法测得轴承5的预紧量 $r_2 = N_2 + \delta_2 - W_2$ 经过多组测试计算得到预紧量 $r_1$ 和 $r_2$ 的平均值: $r_1 = 0.229$  mm, $r_2 = 0.216$  mm确定预紧量的调整范围: $r_1 = (0.22 \sim 0.23)$  mm, $r_2 = (0.21 \sim 0.22)$  mm。

### 1.2.3 轴承的润滑及密封

润滑的目的不仅减小轴承的摩擦、磨损,还能起到冷却、防锈、吸振和降低噪声的作用。轴承内径 $d = 254$  mm,轴承转速 $n = 20$  r/min, $dn = 0.5 \times 10^4$  mm·r/min查文献[7]表12-13,确定采用脂润滑。

轴承密封的作用一是阻止润滑剂流失,二是防止外界杂物浸入轴承。采用迷宫式非接触密封。在图1中,圆圈处所示,将旋转的转轴1与固定的定子盘9之间的间隙设计成曲路,缝隙间填入润滑脂实现密封。

## 2 结论

探讨精密光电转台轴系结构精度,在样机的装配中运用了这种独特的轴系装配方式,将装配中难以控制的预紧力转换为调节端盖的厚度,不但解决了轴系装配中的最佳预紧问题而且较好保证了轴系的精度,在模拟机动平台上,对模拟移动目标进行多次测试,实现了“动对动”较高的跟踪精度,经过几年的运转使用,转台工作平稳可靠。

### 参考文献

- [1] 蒋蔚,周彦伟. 配对角接触轴承刚度和摩擦力矩分析计算[J]. 轴承, 2006(8):1-3.
- [2] 胡鹏浩,胡毅. 精密角接触球轴承综合参数测试仪[J]. 光学精密工程, 2014, 22(11):3038-3043.
- [3] 高泽远. 机械设计[M]. 沈阳:东北大学出版社, 1988: 249-258.
- [4] 贾群义. 滚动轴承设计原理与应用技术[M]. 西安:西北工业大学出版社, 1991:161-185.
- [5] 董青华,帅荣标. 精密测试转台轴系结构设计与研究[J]. 新技术新仪器, 2009, 29(5):26-28.
- [6] 乔孝纯,牛锡传. 机械设计[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1986: 243-254.
- [7] 刘泽九. 滚动轴承应用手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2006: 669-736.
- [8] REALI-SLIM 样本 300, KAYDON 刊号 10[M]. 美国 KAYDON 公司, 2013:1-130.