

·结构与工艺·

## 成对轴承的安装与轴系误差补偿方法

苏文

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300000)

**摘要:**介绍了轴承内圈径向跳动的测量方法及成对轴承的安装方式。通过对成对轴承径向跳动方向相反和相同的两种安装方式进行比较分析,得出轴承与径向跳动方向一致安装时,可以通过增大轴线的平移误差来减小轴系晃动误差的方法,达到补偿轴系误差的效果,有效地提高了轴系的回转精度。P5级成对轴承经误差补偿后,轴系的最大晃动误差为2.45角秒。

**关键词:**轴承;径向跳动;晃动误差;补偿;回转精度

中图分类号:TH161

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2015)-04-0080-03

### Installation of Paired Bearings and Shafting System Error Compensation Method

SU Wen

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China)

**Abstract:** The measurement method of bearing inner ring radial runout and the installation methods of paired bearings are introduced. By comparing and analyzing the two installation modes of both in the same and opposite directions of radial runout of the paired bearings, it is concluded that when the bearing is installed in the same direction of radial runout, the translation error of axis is increased to reduce the shaking error of the shafting system. So the effect of compensating shafting system error is obtained and the rotation accuracy of the shafting system is improved. After the errors of Class P5 paired bearings are compensated, the maximum shaking error of the shafting system is 2.45 second of arc.

**Key words:** bearing; radial runout; shaking error; compensation; rotation accuracy

采用成对轴承的轴系在研制过程中,需要精密加工与轴承配合零件,并采取过盈配合、调整游隙等方法来减少配合表面不圆度、配合间隙和轴承游隙的影响。对于所选用的标准成对轴承,其本身的跳动误差在出厂时就已经确定,尤其径向跳动误差对轴系精度的影响很明显。因此,对于采用成对轴承的轴系,如何减小标准轴承自身误差带来的影响成为提高轴系精度的重要问题<sup>[1]</sup>。

为了减小轴承自身误差对轴系精度的影响,首先要对轴承径向跳动进行准确的测量,才能正确的安装轴承,并系统分析轴系的主要误差源<sup>[2]</sup>及其对轴系影响的规律,再采取适当的误差补偿方法提高轴系精度。

### 1 轴承的径向跳动测量

轴承的径向跳动分为外圈的径向跳动和内圈的径向跳动两种方式。外圈的径向跳动是指外圈在不同角位置时,外径表面相对于内圈一固定点间的最大与最小径向距离之差;内圈的径向跳动是指内圈在不同角位置时,内径表面相对于外圈一固定点间的最大与最小径向距离之差。

在多数轴系结构中,大都采用外圈固定、内圈转动的工作形式,则轴系在回转时轴承只有内圈的径向跳动对轴系回转精度产生影响。因此,只对成对轴承的内圈径向跳动进行如下测量。

参照文献[5],支撑住外圈,在内圈的基准端面

施加一个和轴承同轴心的轴承工作时稳定载荷  $G$ , 如图1所示。测量仪指针置于轴承内径表面中部位置, 旋转内圈一周, 测量仪最大最小读数的差值即为成套轴承的内圈径向跳动误差。

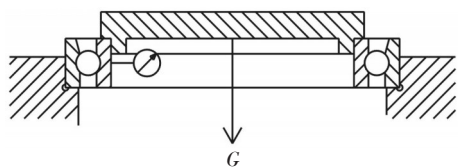


图1 轴承内圈径向跳动测量方法

## 2 轴承的安装与轴系误差补偿

对于精度要求较高的轴系组件, 为了提高轴系的回转精度, 除了要保证轴和相关零件较高的加工精度及采用精密的轴承以外, 轴承内圈与轴装配时需采用定向装配的方法, 人为地控制各装配零件的径向跳动误差的方向, 减小误差积累, 将一端轴承的径向跳动转化为轴线的偏移, 来提高轴系的回转精度。

### 2.1 标记轴承

按照轴承的径向跳动测量方法对成对轴承作如下标记:

首先标记轴承外圈任意一固定点  $A$ , 然后测量出轴承内圈相对于轴承外圈固定点  $A$  的径向跳动最大位置标记为  $B$ , 同样的方法标记另一个轴承, 如图2。

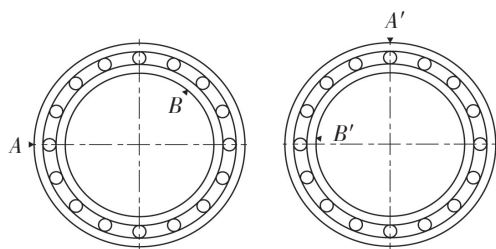


图2 轴承外圈固定点及内圈径跳最大点测量标记

### 2.2 安装轴承

轴承安装时把两轴承外圈标记的固定点  $A$ 、 $A'$  安装在外壳的同一条母线上, 轴承内圈径向跳动误差最大处  $B$ 、 $B'$  也安装在轴的同一条母线上, 即轴承内圈径向跳动最大值同方向安装, 如图3。

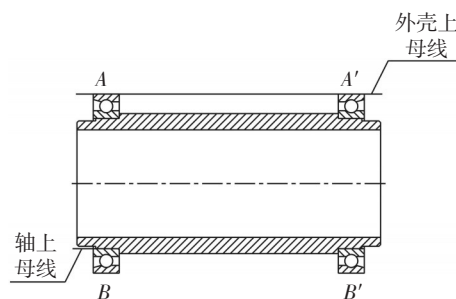


图3 轴承安装示意图

### 2.3 轴系误差补偿

轴系零件在装配时, 可以对零件的误差起平均作用, 因而轴系装配后的轴系精度高于零件的精度, 可以达到零件误差的20%~25%。

根据上述轴承安装方法, 在轴回转过程中,  $B$ 、 $B'$  同时经过  $A$ 、 $A'$  所在母线的相对位置, 轴承内圈的径向跳动同时达到最大值且径向跳动方向相同, 两个轴承的径向跳动误差同步周期性变化, 这样安装可以抵消一部分由轴承径向跳动引起的轴系晃动误差, 反之就会增大轴系晃动误差, 轴承晃动误差示意图如图4、图5所示。

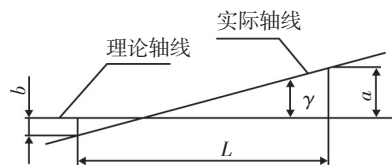


图4 轴承径向跳动方向相反

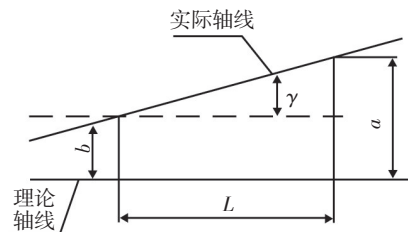


图5 轴承径向跳动方向相同

在两端轴承支撑的轴系中, 轴承的径向跳动误差也就是其对应处的轴线径向晃动误差, 此误差由两部分组成, 径向平移量与回转轴线的角晃动量, 在径向晃动误差一定的情况下, 若增大其中一个误差, 另一个误差必然减少。当两端轴承的径向跳动方向相反(图4), 轴线在轴承处的径向晃动误差分别为  $a$ 、 $b$  (设  $a > b$ ), 此时右端轴承处对应的轴线平移量为0, 轴系角晃动量为

$$\gamma = \arctg[(a+b)/L] \quad (1)$$

若使轴承径向跳动方向相同(图5),此时右端轴承处轴线平移量为 $b$ ,轴系角晃动量为

$$\gamma = \arctg[(a-b)/L] \quad (2)$$

式中, $L$ 为轴承的支撑间距; $a, b$ 为轴承内圈的径向跳动量; $\gamma$ 为轴线倾角。

可以看出,由轴承内圈径向跳动引起的误差为轴系角晃动量 $\gamma$ 与轴线的平移量 $b$ 。

在伺服转台的实际应用中,一般目标离光电仪器的距离 $D$ 为10 km以上,而轴线平移 $b$ 通常为10  $\mu\text{m}$ 以下(P5级以上精度轴承),编码器实测角度误差 $\Delta\theta = \arctg(b/D)$ 值很小,因此轴系平移量对轴系晃动误差影响很小,可以忽略不计。

当采用同一精度等级、同一批次的标准滚动轴承时,其最大径向跳动误差 $a$ 和 $b$ 相差较小,轴系角晃动量 $\gamma$ 会很小,因此,轴承径向跳动方向相同安装时,轴系回转精度将有较大提高。

## 2.4 误差补偿后轴系精度

P5级以上精度轴承采用上述轴承安装方式和误差补偿方法后,影响轴系精度的主要因素有:

(1)主轴轴径的不同轴度、锥度、不圆度和粗糙度及钢球的不圆度等误差。这些误差影响的轴系晃动量 $\delta_1$ 小于1角秒。

(2)未能完全消除的小部分轴承径向跳动误差。即使采用同一批次、同一精度等级的轴承,其最大径向跳动误差 $a$ 和 $b$ 也不会完全相同。因此,采用成对安装的轴承径向跳动最大方向对正安装后,总会有部分径向跳动误差残留,残留量为 $a$ 和 $b$ 之差。但由于 $a$ 和 $b$ 相差较小,残留量会很小,误差的最大值 $\delta_2$ 估计小于2角秒。

(3)安装过程中的随机因素。此项误差与装配工人的经验和操作水平有关。此项误差 $\delta_3$ 最大值为1角秒。

综合上述误差,误差补偿后的轴系最大晃动误差为: $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = 2.45$ 角秒。

参照文献[6]的轴倾角回转误差测量方法,测量出轴在 $0 \sim 360^\circ$ 回转范围内每隔 $30^\circ$ 时,轴晃动的角度偏差值,以轴转过的角度 $\omega$ 为横轴,以轴晃动的角度偏差值 $y$ 为纵轴,拟合成正弦曲线 $y = a \sin \omega + b$ 。然后,在伺服控制系统的位置环中,加入 $-y$ 的反馈信号,可以进一步提高轴系精度。

## 3 结束语

在实际应用中,轴系的径向平移量对轴系的精度影响很小,而角晃动误差影响比较显著,轴承安装时,使两端轴承的径向跳动方向同步同周期变化,则会使某一端轴承径向跳动转化为轴线的平移。也就是说,可以通过增大轴线的平移误差使角晃动误差减少的方法,以减少轴系的角晃动误差,从而提高轴系的回转精度。

## 参考文献

- [1] 冯栋彦,高云国,张文豹.采用标准轴承的光电经纬仪轴系误差修正[J].光学精密工程,2011(3).
- [2] 孔方金,陈世杰.精密轴系回转精度测试[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1997.
- [3] 赵福来.滚动轴承装配分析[J].设备管理与维修实践和探索,2005(S1).
- [4] 夏向阳.数控机床主轴轴承的两种装配方法[J].机电新产品导报,2006(5).
- [5] 张玉华.角接触轴承凹进量测量仪[J].计量技术,2006(6).
- [6] 王学根.基于最小区域圆法的轴倾角回转误差的数据处理[J].导弹与航天运载技术,2010(2).
- [7] 张玉环.深沟球轴承径向游隙 $G$ 对 $S_{ca}$ 和 $S_{ca}$ 测量误差的影响[J].轴承,2009(11).
- [8] 范凯峰.惯性平台中成对角接触球轴承的应用与研究[J].中国惯性技术学报,2005(6).
- [9] 罗志刚,杜杰.成对双联角接触球轴承的性能与安装使用方法[J].哈尔滨轴承,2004(3).
- [10] 彭万欢.超精密空气静压主轴径向回转误差的测试研究[J].制造技术与机床,2008(10).