

文章编号 1004-924X(2002)04-0416-04

GD - 220 光电经纬仪轴系的精度分析

杜俊峰, 李正周

(中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209)

摘要:光电经纬仪中轴系的精度在很大程度上决定着整台仪器的测量精度。为了提高其轴系精度和改进其轴系结构,以 GD - 220 光电经纬仪为例,讨论了其垂直轴系和水平轴系中存在的径向跳动误差、角度摆动误差和轴向窜动误差等,并定量分析了由构成轴系零件的形位误差造成的轴系在回转运动时的晃动误差。通过对 9 台套 GD - 220 光电经纬仪轴系的检测结果看,对 GD - 220 光电经纬仪轴系精度的分析和对其结构的设计都是合理的。

关键词:垂直轴系;水平轴系;经纬仪
中图分类号:V556.51 **文献标识码:**A

1 引言

GD - 220 光电经纬仪是光电测量系统中的关键设备,为车载机动站。分析其轴系精度是十分必要:一是轴系的精度与整台仪器的精度有着密切的关系,甚至起着决定性的作用;二是轴系的精度是轴系机械结构设计的重要依据。

2 轴系的精度指标

精密仪器或精密机械中的轴系在旋转过程中要求有较高的回转精度。实际上,由于轴系零件的加工误差、配合间隙、温度和润滑剂的变化、摩擦、磨损以及弹性变形等因素的影响,轴系中旋转件的回转轴心不可能始终在空间保持一定的位置,即使最精密的轴系其主轴回转轴心的位置也多少有些变动。此变动量愈小,则轴系的回转精度愈高。所以,可以用主轴回转轴心的位置变动量(主轴的回转误差)来表征轴系的回转精度。

为了评定主轴回转误差,需要建立主轴理想回转轴心与转轴平均轴心的概念。理想回转轴心是人为为轴系的回转主轴所假定的一条没有回转误差的回转轴心。实际中是没法确定它的位置,为此就用转轴平均回转轴心(转轴平均轴心)来

代替。转轴平均轴心相对于轴系中的非转动件的位置是固定的。在大多数情况下,它应当同轴系中非转动件的配合面的几何轴心重合。

根据相对运动的观点来处理主轴实际回转轴心在其旋转过程中位置变动的各种情况,可以认为:在任何瞬时,轴系的主轴一方面绕自己的回转轴心旋转,另一方面此回转轴心还同主轴一起相对另一条称之为理想回转轴心的轴心作轴向的、径向的和倾角的运动。因此主轴实际回转轴心的变动可以分为:纯轴向的窜动 S 、纯径向移动 C_0 、纯角度摆动 如图 1。

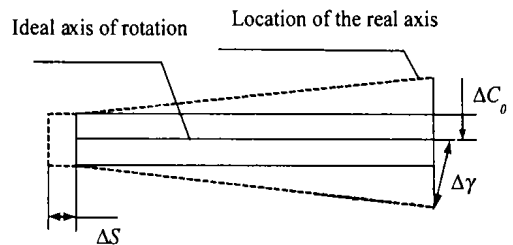


图 1 误差模型
Fig. 1 Error model.

2.1 主轴的轴向窜动误差 S

这是主轴回转误差的轴向分量,它沿主轴转轴平均轴心的方向来量度,反映了轴系的轴向回转精度。主轴的轴向窜动误差越小,则表明轴系的轴向回转精度越高。

2.2 主轴的置中误差 C

在主轴旋转的任一轴向位置上,主轴实际回转轴线的纯径向位移与由主轴轴线角度摆动所引起的主轴轴心的径向偏移之和就是主轴在该位置的置中误差,即

$$C = C_0 + l_i \cdot \quad , \quad (1)$$

式中 l_i 为主轴该位置之截面到位于摆动角顶点处的主轴端面的距离。

表明主轴轴线对转轴平均轴线的径向偏移程度。

2.3 主轴的晃动误差

主轴实际回转轴线对转轴平均轴线的纯角度摆动量 称为主轴的晃动误差,也称作轴系的定向误差。表明主轴实际回转轴线对给定方向的偏离程度。

3 GD - 220 光电经纬仪轴系的精度分析

GD - 220 光电经纬仪垂直轴系主要提供仪器在水平方向上的运动控制,完成方位上对目标的捕获和高精度跟踪。在垂直轴系的设计中,应用刚性基座平面的设计思想,采用传统的平轨道轴系结构。在轴系中,以分布在直径较大的一圈钢球和与之接触的上下止推轴承滚道平面承载和导向,并以分布在直径较小的一圈钢球和与之接触的径向轴承滚道定中心,使定中心面与承载面分开,且利用滚动摩擦形式,转动灵活。具体的结构尺寸参数如表 1。

表 1 垂直轴结构尺寸参数

Table 1 Vertical axis structure size

Flatness of the blocked bearing: h	0.004mm
Middle size of the bearing: D	484mm
Steel ball:	3/8

水平轴系就是水平的、与竖轴(垂直轴系)垂直的轴系。它主要提供仪器在高低方向上的运动控制,作为电视跟踪测量系统、红外跟踪测量系统以及捕获电视系统的运动承载平台,完成对目标在高低方向上的捕获和高精度跟踪。为了提高轴系的承载能力,设计时采取密珠轴系,具体的结构尺寸参数如表 2。

表 2 水平轴结构尺寸参数

Table 2 Horizontal axis structure size

Flatness of the left/ right blocked bearing: h	0.004mm
Distance of the left/ right radial bearing: L	406mm
Roundness of the bearing: D	0.004mm
Steel ball:	3/8

3.1 垂直轴系的静态误差分析

垂直轴系的静态误差主要有下面几种:

垂直轴的调平误差:经纬仪是用水准仪来安平而使垂直轴处于铅垂位置,水准仪的安平误差由水准仪的灵敏度、水准仪的调整误差和水准仪的读数误差组成。通常 $v_1 \pm 0.23$ 。

垂直轴的轴向窜动误差在此可以略去不计。

垂直轴的晃动误差:平面轴系是靠钢球和上下止推轴承的轴承滚道平面支撑和定向的,故其垂直轴的晃动与钢球以及上下止推轴承的轴承平面的误差有关。由于许多钢球的组合使用,钢球的不圆度误差很难复现,可以忽略不计。这样垂直轴的晃动误差就主要取决于轴承滚道平面的平面度误差。其最大值可由下式近似计算:

$$v_{2max} = K \cdot h/ D, \quad (2)$$

式中: h 为止推轴承端面不平度,设计时 $h = 0.004mm$;

D 为轴承的中径,即钢球滚道的直径,设计时 $D = 484mm$;

K 为负载变形系数,一般取 $K = 0.4 \sim 0.96$ 。

计算求得: $v_{2max} = 0.68 \sim 1.63$ 。

该误差服从均匀分布,故

$$v_2 = v_{2max} / \sqrt{3} = 0.4 \sim 0.96, \quad (3)$$

垂直轴的随机晃动:它取决于钢球的不圆度以及止推轴承不平度的三次以上分量。一般取 $v_3 \pm 0.3$ 。

那么垂直轴系的机械误差就是:

$$v_j = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}, \quad (4)$$

得: $v_j \pm 0.55 \sim 1.03$

部件检测大纲对其要求为 $v_j \pm 2$, 我们对 9 台套 GD - 220 光电经纬仪垂直轴的实际检测结果如表 3。

表 3 垂直轴系机械误差检测结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vertical axis	1.9	1.6	1.3	1.5	1.8	1.8	0.7	1.0	0.9

实际检测结果要比理论分析数值大,这是由于理论分析模型的简化和实测过程中带入的如人员误差造成的,总的看理论分析还是反映了垂直轴的设计情况。垂直轴的结构设计尺寸是合理可行的。

垂直轴的置中误差:影响轴系置中精度的主要因素是尺寸误差,轴系零件的圆度则是影响主轴轴心径向偏移轨迹的根本原因。由于径向轴承有 0.005 ~ 0.01mm 的过盈,因此垂直轴的置中精度还是很高的。垂直轴的置中误差其实反映在经纬仪上就是照准架与编码器轴系的偏心,编码器的精密联轴节的误差其实就给予了反映。

编码器及精密联轴节带入的数字测角误差为: $R = 1.5$ 。

这样方位角度测量中垂直轴系的误差为:

$$v = \sqrt{v_j^2 + R^2}, \quad (5)$$

得: $v = \pm 1.81$,

这样总体对垂直轴系精度 $v = 3$ 的要求是能够保证的。

3.2 水平轴系的误差分析

水平轴系的误差主要有以下几种:

水平轴系对垂直轴的不垂直度:产生水平轴倾斜的原因主要有左右轴承座的不等高和水平轴轴颈的不圆度。前一个误差因素当仪器装配好后是固定不变的系统误差,可用正倒镜测量法消除。对于后一个误差因素可通过调节六角环,使其能够保证: $i_1 = \pm 1$ 。

水平轴的轴向窜动误差:水平轴的轴向窜动反映在经纬仪上就是视准轴的水平方向的移动。在结构设计中,可采用左右止推环就能防止视准轴的平移。它不反映水平轴的精度,而是反映视准轴的精度。

水平轴在竖直平面内的晃动误差:水平轴在竖直平面内的晃动主要是由于水平轴轴颈和轴承外环的不圆度引起的。其最大晃动误差可由下式近似计算:

$$i_{2\max} = K \cdot D/L, \quad (6)$$

式中: D 为不圆度值,设计时 $D = 0.004\text{mm}$;
 L 为二径向轴承间的跨距,设计时 $L = 406\text{mm}$;

K 为负载变形系数,一般取 $K = 0.4 \sim 0.96$ 。

计算得: $i_{2\max} = 0.8 \sim 1.92$ 。

该误差服从均匀分布,故

$$i_2 = i_{2\max} / 3 = 0.46 \sim 1.11, \quad (7)$$

水平轴的随机晃动:主要取决于钢球的不圆度以及尺寸差。

一般取 $i_3 = \pm 0.3$ 。

那么水平轴系的机械误差为:

$$ij = \sqrt{i_1^2 + i_2^2 + i_3^2}, \quad (8)$$

得: $ij = \pm 1.14 \sim 1.52$ 。

部件检测大纲对其要求为 $ij = \pm 2$,我们对 9 台套 GD - 220 光电经纬仪垂直轴的实际检测结果如表 4。

表 4 水平轴系机械误差检测结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Horizontal axis	1.6	1.4	1.6	1.4	1.6	1.5	1.5	1.3	1.1

实际检测结果要比理论分析数值稍大,这是由于理论分析模型的简化和实测过程中带入的如人员误差造成的,总的看理论分析还是反映了水平轴的设计情况。水平轴的结构设计尺寸是合理可行的。

水平轴的置中误差:影响轴系置中精度的主要因素是尺寸误差,轴系零件的圆度则是影响主轴轴心径向偏移轨迹的根本原因。由于径向轴承有 0.002 ~ 0.012mm 的过盈,因此水平轴的置中精度也是很高的。水平轴的置中误差其实反映在经纬仪上就是水平轴与编码器轴系的偏心,编码器的精密联轴节的误差其实就给予了反映。

编码器及精密联轴节带入的数字测角误差为: $R = 1.5$

这样高低角度测量中水平轴系的误差为:

$$i = \sqrt{i_j^2 + R^2}, \quad (9)$$

得: $i = \pm 2.14$,

总体对水平轴系精度 $i = 3$ 的要求也是能够保证的。

4 结 论

通过对 GD - 220 光电经纬仪垂直轴系和水平轴系机械精度的分析结果和实际检测结果比较可以得出:

* GD - 220 光电经纬仪垂直轴系和水平轴系的设计是合理的,能够满足总体对其精度的要求;

*对于垂直轴系,改善止推轴承平面的平面度会明显地减小垂直轴系的晃动;提高径向轴承的圆度误差可以减小照准架与编码器的偏心,利于联轴节的正常工作;

*对于水平轴系,提高轴径的圆柱度可以减小水平轴系在垂直面内的晃动;加入左右止推轴承有益于视准轴的稳定;提高轴承内外环的圆度误差可以减小水平轴与编码器的偏心,利于联轴节的正常工作。

参考文献:

- [1]毛英泰. 误差理论与精度分析[M]. 北京:国防工业出版社, 1982.
- [2]王之江. 光学技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1994.
- [3]雷有生. 778 光电经纬仪角度测量系统[J]. 光电工程, 1986(1): 18 - 30.
- [4]黄先祥,夏军. 经纬仪水平测角误差的谱分析[J]. 宇航记测技术, 2001, 21(1): 17 - 22.
- [5]张景和,冯晓国. 用反向法测轴系回转误差[J]. 光学精密工程, 2001, 9(2): 155 - 159.

Analysis of the axial accuracy of the GD-220 photoelectric theodolite

DU Jun-feng, LI Zheng-zhou

(Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China)

Abstract: The axial accuracy of a photoelectric theodolite greatly determines the measuring accuracy of the whole instrument. Taking the photoelectric theodolite GD-220 as an example, this paper discusses various kinds of errors in the vertical and horizontal axial systems i. e. radial runout, angular swing and axial shifting, and quantitatively analyzes the axial swing error caused by the surface figure error and position error of the axial system parts. The measured results of 9 sets of GD-220 photoelectric theodolites are listed, showing that the analysis of the axial accuracy and structure design of the axial system are both reasonable.

Key words: vertical axial system; horizontal axial system; theodolites

作者简介:杜俊峰(1974 -),男,河南人,助理研究员,硕士,主要从事光机结构设计。E-mail:junfeng-du@163.net