

基于标准轴承的经纬仪俯仰轴系设计

王涛, 唐杰, 丛俊峰

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 为适应靶场经纬仪轻量化、小型化的要求, 设计了基于标准轴承的光电经纬仪俯仰轴系。该轴系采用角接触球轴承作为主要支撑, 深沟球轴承为辅助支撑, 轴系晃动可以控制在3"以下, 同时降低了加工成本, 缩短了制造周期。根据球轴承Hertz弹性接触理论, 对轴系进行了谐振仿真计算, 计算出俯仰谐振频率为76.9Hz, 能够满足伺服控制系统的要求。

关键词: 角接触球轴承; 谐振频率; 光电经纬仪; 有限元分析

中图分类号: TH745

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2011)03-0039-03

Design of Theodolite's Pitching-Shaft Based on the Standard Bearing

WANG Tao, TANG Jie CONG Junfeng

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences Changchun 130033)

Abstract: To meet the range in theodolite lightweight, small of the requirements, design theodolite's pitch-shaft based on the standards bearings. The use of angular contact ball bearing shaft as the main support, deep groove ball bearings as the auxiliary support shaft can be controlled in shake 3" below, while reducing processing costs and shorten the manufacturing cycle. According to Hertz elastic contact ball bearing theory, Shafting resonance simulation carried out to calculate the pitch resonant frequency 76.9Hz, to meet the requirements of the servo control system.

Key words: angular contact ball bearings; resonance frequency; photoelectric theodolite; FEA

经纬仪作为一种主要的靶场光测设备, 应用在试验中目标航迹、弹道、姿态以及拦截脱靶量的测量^[1-2]。为了避免光测设备受时域、空域的限制, 实现机动灵活布站, 小型化、轻量化设计已经成为经纬仪结构设计的主要趋势。随着材料科学和制造业的发展, 滚动轴承已广泛应用于航空航天、车辆、电机等工业系统, 既是载荷支撑件又可以作为运动连接件。将高精度、刚度的轴承应用到经纬仪的轴系设计中, 取代自制的散装轴系, 可以在保证精度的前提下, 降低制造成本, 缩短加工周期, 减轻轴系的重量, 实现轻量化设计。

本文应用标准轴承设计了200mm口径经纬仪的俯仰轴系, 设计重量为65Kg, 同时对轴系进行了精度和谐振频率分析, 经计算均能满足使用要求。

1 俯仰轴系的设计

以标准轴承作为轴系支撑设计了小型经纬仪的俯仰轴系, 轴系承载能力 $\geq 30\text{kg}$, 主要部件包括照准架、四通(主传感器承载平台)、左、右轴承组、俯仰编码器、俯仰力矩电机、手动-机动切换机构、缓冲机构等。水平轴系结构图如图1所示。

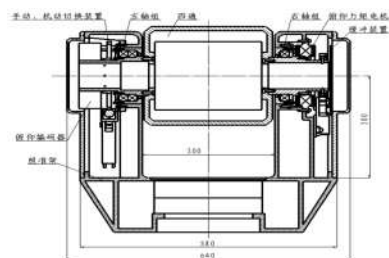


图1 水平轴系结构图

Fig.1 Structure of horizontal shaft

轴系主要采用双联轴接触球轴承作为主支撑,

收稿日期: 2011-04-16

作者简介: 王涛(1981-), 男, 硕士, 助研, 主要从事精密光电仪器结构的设计研究, E-mail: toniear@163.com。

同时设置了一个深沟球轴承作为辅助端。为了保证轴系精度,双联轴承需加预载过盈,使轴承稍带负的运转游隙。水平轴左端采用双联轴接触球轴承做为固定侧,起固定轴与照准架之间相对轴向位移作用,编码器也固定在水平轴左端轴头上。水平轴右端采用单列向心球轴承做为自由侧,仅承受径向负荷,轴向可以相对移动,以解决因温度变化而产生的轴的伸缩问题。在轴承和照准架间设计了钢轴套,以保证温度变化对轴系精度的影响。

照准架是整个水平轴系的支撑骨架,大多数的机械机构都含纳其中。所以照准架的强度、刚度、重量、内部结构、外型尺寸等等是直接影响轴系设计好坏的基础因素。设计中照准架采用铸铝结构,局部加加强筋^[3],在保证刚度的前提下降低了整个系统的总重量。

2 轴系精度分析

在轴系的工作中,影响轴系精度的因素很多。其主要包括轴系单个零件的加工误差、零件的形状误差、零件的位置误差、配合间隙、温度的变化、润滑剂的影响、摩擦、磨损以及弹性变形等影响。这些因素都不可避免地轴系精度产生或大或小的影响。根据实际情况我们把各项误差进行汇总。

水平轴误差主要由左右立柱不等高造成的系统倾斜差 σ_1 ,水平轴角晃动误差 σ_H 。

跨距 $L=400\text{mm}$,通过修研左右立柱中心孔不等高差 $h\leq 0.002\text{mm}$

则左右立柱不等高造成的系统倾斜差:

$$\sigma_1 = \arctan \frac{h}{L} = \arctan \frac{0.002}{400} = 1.03''$$

水平轴采用双联轴承,影响水平轴角晃动的系统误差有轴承套的圆柱度、左、右轴同轴度、轴承的径向游隙等合成如下: $\Delta_{\text{总}}=0.003\text{mm}$

轴承选用71922型双联轴承,钢球中心距为130,接触角为 25° ,轴承厚度为20。

故双联轴承支点跨距:

$$L=130 \times \tan 25^\circ + 20 = 80.6\text{mm}$$

$$\sigma_H = \arctan \frac{\Delta_{\text{总}}}{L} \times \frac{1}{3} = \arctan \frac{0.003}{80.6} \times \frac{1}{3} = 2.5''$$

根据以往经验随机误差可控制在 $0.3''$ 。

$$\text{总误差 } \delta = \sqrt{1.03^2 + 0.3^2 + 2.5^2} = 2.7''$$

经计算俯仰轴系角晃动小于 $3''$,能够满足使用要求。

3 俯仰谐振频率的有限元分析

由于轴承的阻尼很小,所以俯仰谐振频率分析可以简化为无阻尼扭转振动系统^[4-6]进行分析,其运动方程为:

$$J\ddot{\theta} + K\theta = T(t) \quad (1)$$

固有频率为:

$$\tilde{\omega}_n = \sqrt{\frac{K}{J}} \quad (2)$$

根据球轴承Hertz弹性接触理论^[4],钢球在载荷作用下的变形为弹性变形,刚度系数相当于载荷变形结构,由式(3)决定

$$K = \left(\frac{\pi^2 k^2 E'^2 K(e)}{4.5L^3(e) \sum \rho} \right)^{0.5} \quad (3)$$

式中 $K(e)$ 、 $L(e)$ 分别为第一类椭圆积分和第二类椭圆积分,由式(4)、(5)决定, e 为椭圆偏心率, E' 为有效材料弹性模量, $\sum \rho = \sum \rho_1 + \sum \rho_2$, $\sum \rho_1$ 为第一个接触表面在接触点的曲率和, $\sum \rho_2$ 为第二个接触表面在接触点的曲率和。

$$K(e) = 1.5277 + 0.6023 \ln \left(\frac{\sum \rho_1}{\sum \rho_2} \right) \quad (4)$$

$$L(e) = 1.0003 + 0.5968 \ln \left(\frac{\sum \rho_1}{\sum \rho_2} \right) \quad (5)$$

$$k = 1.0339 \left(\frac{\sum \rho_1}{\sum \rho_2} \right) \quad (6)$$

将轴系结构简化为弹性支撑模式,简化模型如图2所示。

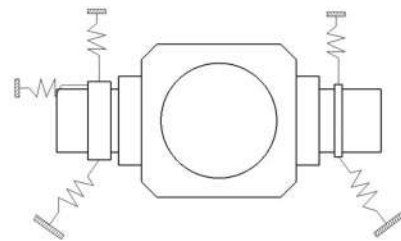


图2 简化模型

Fig.2 Simplified model

将简化模型转化成有限元模式,由弹性力学有限元法^[5,6],可得到俯仰扭转振动系统的无阻尼自运动方程为:

$$M\ddot{X} + KX = 0 \quad (7)$$

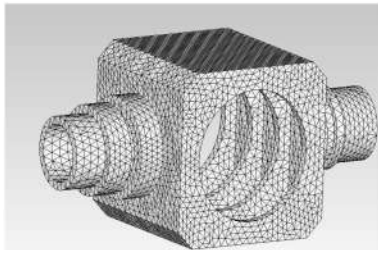


图3 简化模型网格图

Fig.3 The grid map of simplified model

式中 M 、 K 分别为总体质量和刚度矩阵; \ddot{X} 、 X 分别为结构的加速度和位移。其对应的特征方程为:

$$(K - \omega^2 M)X = 0 \quad (8)$$

将其转化为标准特征值问题求解就可以得到俯仰扭转振动系统的固有频率和振型。

对简化模型进行网格划分,划分后的节点总数为:64929,单元总数为:37252。网格后的模型如图3所示。

查取标准轴承刚度,设置轴向刚度系数为 $6.4 \times 10^8 \text{N/m}$,径向刚度系数为 $3.6 \times 10^9 \text{N/m}$ 。

对划好网格的有限元结构进行模态分析,得出前5阶固有频率和振型图。前5阶固有频率见表1。

表1 模态分析结果

Tab.1 Modal analysis results

阶数	1阶	2阶	3阶	4阶	5阶
固有频率/Hz	76.9	133.6	151.3	268.2	607.1

1阶振形图如图4所示。

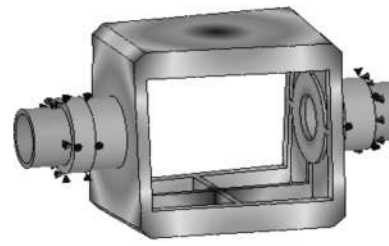


图4 1阶振形图

Fig.4 First order vibration shape

4 结论

应用标准轴承设计了小口径经纬仪的俯仰轴系,设计重量为65Kg,对轴系进行了精度和谐振频率分析,轴系晃动小于3",1阶谐振频率为76.9Hz,能够满足使用要求。为小型经纬仪俯仰轴系的设计提供了理论参考,为进一步的结构优化设计提供了技术基础。

参考文献

- [1] 赵学颜,李迎春.靶场光学测量[M].装备指挥技术学院,2000:4-35.
- [2] 何照才,胡保安.光电测量[M].北京:国防工业出版社,2002.
- [3] 王涛,唐杰,宋立维.某经纬仪垂直轴系的优化设计[J].长春理工大学学报:自然科学版,2010,33(3):14-16.
- [4] 赵联春.球轴承振动的研究[D].浙江大学博士论文,2003.
- [5] 张相庭,王志培,黄本才.结构振动力学[M].上海:同济大学出版社,1994.
- [6] 王涛,唐杰.某经纬仪方位谐振频率分析[J].激光与红外,2010(10):1093-1095.

(上接第35页)

4 结论

本文提出的细分算法抛弃了传统方法认为两路信号必须正交的观点。对信号正交性的变化,算法都能够快速、灵活地做出反应。在光栅盘、轴系等硬件自身精度合格的基础上,通过理论验证和推导,在偏离正交态的情况下,仍能保证细分精度。本算法克服了传统细分方法对两路信号正交关系的依赖,并且对信号的随机性和波动性有比较强的抗干扰能力。

另外,对细分精度影响比较大的干扰因素还有直流电平漂移,信号幅值的不一致^[3,4]。因此,欲更

有效的提高信号的细分精度,还需要考虑直流电平、信号幅值的变化。减少这三者共同作用时对细分精度影响的算法还有待进一步探索研究。

参考文献:

- [1] 楚兴春,吕海宝.任意相位差条纹信号细分方法的研究[J].光学学报,2005,25(4):497-500.
- [2] 齐永岳,赵美蓉,林玉池.高精度激光干涉条纹细分系统[J].传感器与微系统,2006,25(8):43-46.
- [3] 李江国,宣明,王一凡.莫尔条纹细分中相位误差的软件补偿方法[J].光学精密工程,1995,3(1):69-73.
- [4] 罗华,高山,李翔龙.粗光栅信号全数字化处理法实现高倍数细分[J].光学精密工程,2007,15(2):283-288.