

飞船光学瞄准镜分划板位置误差分析

吕 涛, 付东辉, 陈小云, 刘 杰

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 光学瞄准镜是载人飞船对地观测的光学测量部件, 航天员通过光学瞄准镜可以完成对地观测, 确定飞船的飞行轨迹和飞行姿态。光学投影屏分划板是光学瞄准镜的重要组成部分, 其位置精度直接影响宇航员对飞船姿态的确定。本文对光学瞄准镜的分划板位置误差因素进行了详细的分析, 确定了影响光学分划板位置误差的主要因素, 并计算得到了分划板实际位置与理想位置的最大平移量。

关键词: 光学瞄准镜; 光学测量; 误差分析; 位置精度

中图分类号: V443.5

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112804.0043

Position Error Analysis of the Spacecraft Optical Sight Reticle

LV Tao, FU Dong-hui, CHEN Xiao-yun, LIU Jie

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

Abstract: The optical sight, as a measurement unit for the manned spacecraft, is used to observe the earth. It helps to determine the spacecraft's flight path and flight profile for the astronaut. The optical projector screen reticle plays an important role in the optical sight. Its position accuracy directly affects the determination to the spacecraft profile for the astronaut. The detailed analysis of the position error factors on the optical sight reticle is conducted. The main factor on the reticle position error is determined. The maximum translation amount between the actual position and the ideal location of the reticle is obtained by calculations.

Keywords: optical sight; optical measurement; error analysis; position accuracy

1 引言

光学瞄准镜是载人飞船对地观测的光学测量部件,航天员通过光学瞄准镜可以完成对地观测,确定飞船的飞行轨迹,并可以在一定精度内确定飞船的姿态。

光学瞄准镜是一种纯光学仪器,由1个中心系统和8个周边系统组成。中心系统将其对应视场内的地貌图像投影到观测屏上,而周边系统将8个周边视场所对应的地球边缘图像投影到观测屏上。通过边缘视场内的地球边缘所处的位置,可以确定飞船的俯仰和滚动姿态角,通过中心视场内的地貌图像移动方向,可以确定飞船的偏航姿态角。国内关于轻武器上的瞄准镜有研究^[1-4],而对船上用光学瞄准镜的研究较少,中科院长春光机所的郭培基曾对光学瞄准镜的结构进行了分析与计算^[5]。本文针对光学瞄准镜的关键件——光学投影屏分划板(简称分划板)进行了位置精度分析。

2 影响分划板位置精度的因素

光学瞄准镜的结构分为四大部分:窗口组件、物镜筒、倍率镜筒和外罩,具体结构如图1所示。其中窗口组件、物镜筒和倍率镜筒是光学系统的支撑结构,外罩将光学系统密闭在一定空间内,并在其一端装有投影屏分划板和标尺,外罩的主要作用是为观察部件提供支撑。

宇航员通过对光学瞄准镜上中心系统分划板的观察,可以确定飞船是否偏航;对投影屏周边系统

分划板的观察,可以确定飞船俯仰和翻滚的姿态。分划板的位置精度直接影响指示的精度,若分划板位置精度不高,则会大大降低宇航员的观测精度。

影响分划板位置精度的因素有:

- (1) 相关联零部件装配过程中产生的误差;
- (2) 相关联零部件加工时产生的误差;
- (3) 分划板在加工和装配时产生的误差。

3 分划板位置误差分析

3.1 装配关系及形位公差

物镜筒与窗口组件的配合按孔6级、轴5级的公差配合进行安装,各对应配合件的形位公差选用6级,并在配合件之间加工有定位标志。

倍率镜筒与物镜筒按孔7级、轴6级公差配合进行装配,形位公差选用6级,装配时对周向位置进行精调。为保证光学系统的同轴度,二者的轴向配合处需装修正垫圈。

外罩安装在物镜筒的定位平面上,有同轴度及位置度的要求,二者都选用6级。

零件几何形状位置误差包括垂直度、同轴度及圆度等,各零件垂直度公差累计后会使分划板对光轴产生倾斜,同轴度会使分划板产生平移,同样,装配时的间隙也会使分划板产生平移。

为讨论分划板的位置误差,假设光学瞄准镜安装基准的窗口位置是准确的。给出各个零部件加工和配合的技术要求如下:

窗口与物镜筒的配合关系为 $\Phi 354H6/g5$,物镜筒下基准面对轴线的垂直度公差为0.05,同轴度公差为 $\Phi 0.015$,其上表面对轴线的垂直度公差为0.04,同轴度公差为 $\Phi 0.020$ 。

物镜筒与倍率镜筒的配合关系为 $\Phi 190H7/g6$,倍率镜筒下基准面对轴线的垂直度公差为0.04,同轴度公差为 $\Phi 0.020$,其上表面对轴线的垂直度公差为0.04,同轴度公差为 $\Phi 0.020$ 。

外罩与倍率镜筒的配合关系为 $\Phi 222F7/g6$,下基准面对轴线的垂直度公差为0.05,分划板对轴线

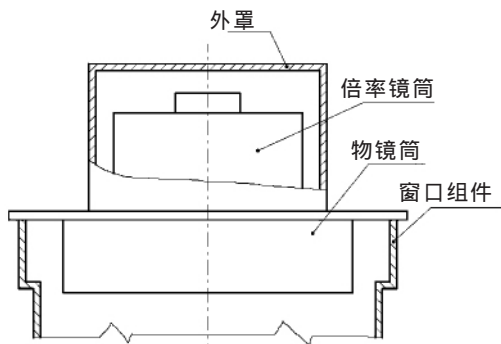


图1 光学瞄准镜的结构示意图

的垂直度公差为 0.05, 同轴度公差为 $\phi 0.020$ 。

3.2 垂直度对分划板的影响

系统垂直度误差为:

$$\Delta_1 = \sqrt{3 \times 0.05^2 + 3 \times 0.04^2} = \pm 0.111 \quad (1)$$

由垂直度公差的概念可知, 分划板平面在垂直于轴线的两个距离为 0.111 的平面之间, 故分划板平面的倾斜量在轴线方向为 0.111。由分划板的直径计算得到分划板的倾斜角度为:

$$\alpha = \arctan \frac{0.111}{242} = 0.0263^\circ \quad (2)$$

由垂直度引起分划板在水平方向的位移为 2.55×10^{-5} , 此值可忽略不计, 可以认为系统的垂直度误差对分划板位置没有影响。

3.3 同轴度及配合间隙对分划板产生的平移

系统同轴度误差为:

$$\Delta_2 = \pm \sqrt{0.0075^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2} = \pm 0.021 \quad (3)$$

根据装配关系, 系统间隙所引起的误差为:

$$\Delta_3 = \pm \sqrt{0.0395^2 + 0.045^2 + 0.065^2} = \pm 0.088 \quad (4)$$

两者可能造成分划板的最大平移为:

$$\Delta_{23} = \Delta_2 + \Delta_3 = \pm 0.109 \quad (5)$$

3.4 分划板划线及装配误差

为了提高分划板的抗震性, 其制作方法采用照相腐蚀法, 此法制作的分划板位置误差为 ± 0.2 。

在固定分划板时亦可能产生 ± 0.1 的误差, 因而分划板刻线位置误差为:

$$\Delta_4 = \pm \sqrt{0.02^2 + 0.1^2} = \pm 0.22 \quad (6)$$

与上述其他误差相比, 此分划板制作及安装误差是误差中的重要组成部分, 如果能够提高光学分划板的刻划精度和装配精度, 则非常有助于提高分划板的位置精度。

3.5 分划板装配位置的总误差

因为系统垂直度误差对分划板几乎不产生影响, 所以分划板位置的总误差为:

$$\Delta = \pm \sqrt{\Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2} = \pm \sqrt{0.021^2 + 0.088^2 + 0.22^2} = \pm 0.238 \quad (7)$$

此值说明, 光学瞄准镜分划板装配后的实际位置与理想位置可能有 ± 0.238 的平移。

4 结 论

光学瞄准镜是宇航员对地观测的主要设备, 是宇航员确定飞船飞行轨迹和飞行姿态的光学仪器, 本文对光学瞄准镜的主要观测窗口——分划板的位置误差影响因素进行了分析和量化, 并计算得出了分划板装配后的实际位置与理想位置最大偏移量为 ± 0.238 , 折算成中心系统的角度误差为 $\pm 10'$, 折算成周边系统的角度误差为 $\pm 3'$, 这两个角度误差均满足技术指标的要求。

参考文献

- [1] 刘光灿, 白廷柱, 王毫球, 等. 轻武器新型瞄准镜研究[J]. 应用光学, 2007, 28(5): 548-552.
- [2] 李如春. 微光瞄准镜的分划精度[J]. 红外技术, 1992, 14(5): 37-40.
- [3] 共田. 二战时期的轻武器瞄准镜[J]. 轻兵器, 2005(10): 42-43.
- [4] 胡清平, 孔小建. 潜望式红外夜视瞄准镜的研制[J]. 红外技术, 2008, 30(5): 283-285.
- [5] 郭培基. 飞船光学瞄准镜结构的初步分析与计算[J]. 光学精密工程, 1996, 4(6): 61-65.

作者简介: 吕涛 (1984-), 男, 汉族, 河南济源人, 硕士, 实习研究员, 2009年于北京航空航天大学获得硕士学位, 主要从事太阳、地球等外空间环境的地面模拟设备研究。E-mail: lvtao1984@gmail.com