

## 极轴式望远镜赤经轴系设计

宋云夺 陈宁 施龙

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

Equatorial telescope polar axis shaft design

SONG Yun-duo, CHEN Ning, SHI Long

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

【摘要】极轴式望远镜由于赤经轴保持与地球转速同步, 星体在望远镜视场里没有相对转动, 也没有天顶盲区的突出优点, 使得世界上现存的5m以下的望远镜中, 相当一部分采用了极轴式结构。研制的XX型极轴式望远镜, 赤经轴系采用了轴向止推和径向支撑的过定位方式, 钢球与滚道过盈装配[过盈(5~10) $\mu\text{m}$ ]达到了较高的轴系精度(小于6")。

关键词 极轴式 赤经轴 轴系

【Abstract】As the equatorial telescope's polar axis turning at the Earth's rotation speed, stars in the telescope field of view is no relative rotation and no problem observing sources at zenith. In view of these advantages, most of the existing large telescopes in the world select this structure. We have developed xx telescope polar axis. Axial ball thrust bearing design and radial ball bearing design was chosen, all the ball was tight cased (5~10) $\mu\text{m}$ . It design achieve the best performance ( $\leq 6''$ ).

Key words Polar axis Equatorial telescope Shaft

中图分类号:TH12 文献标识码:A

## 1 前言

在天文观测中, 不少望远镜都采用极轴式跟踪架结构, 是由于赤经轴保持与地球转速同步, 星体在望远镜视场里没有相对转动, 也没有天顶盲区。控制相对简单。研制的XX型极轴式望远镜, 赤经轴系采用了轴向止推和径向支撑复合轴系, 取得了很好的效果, 如图1~图4所示。

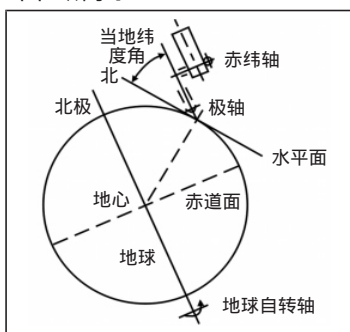


图1 极轴跟踪架原理示意图

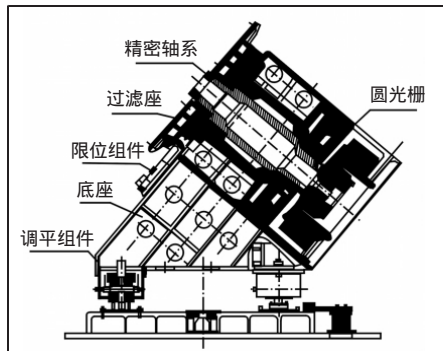


图2 赤经系统总图

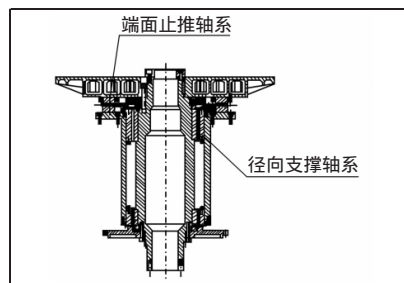


图3 赤经轴轴系

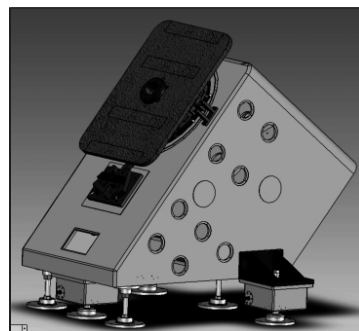
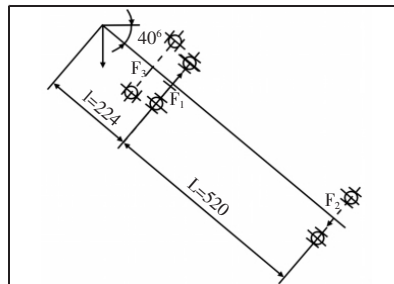


图4 赤经系统效果图



赤经轴系受力状态,如图5所示。赤经轴系在回转时处于倾斜状态,与水平面成 $40^\circ$ 夹角,受力点在两轴承支撑点外端。

已知:

赤经轴系总受力

$$W=3700\text{kg} \quad (1)$$

受力点与两支撑点距离分别为

$$l=224\text{mm} \quad L=520\text{mm} \quad (2)$$

各支撑点受力平衡方程

$$\begin{cases} F_1 - F_2 - W \cdot \sin 50^\circ = 0 \\ W \cdot \cos 50^\circ - F_3 = 0 \\ F_1 \times L - W \cdot \sin 50^\circ (l + L) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

解得  $F_1 = 3946\text{kg}$   $F_2 = 1188\text{kg}$   $F_3 = 2314\text{kg}$

## 2 径向支撑轴承的计算

### 2.1 单列钢球个数

由计算得知径向 $F_1$ 处受力最大,约为 $4000\text{kg}$ 。需对 $F_1$ 处应力校核。在 $F_1$ 处共设计14排钢珠,以增加轴承的承载能力。轴承参数如下,

径向轴承钢球直径 $d_1=12\text{mm}$

轴承内环轨道面直径 $d_2=348\text{mm}$

钢珠之间间隙 $C=9\text{mm}$

单排钢珠的数量为:

$$Z = \frac{\pi(d_1 + d_2)}{d_1 + c} = 50 \text{ 个} \quad (4)$$

示意图如图6所示。

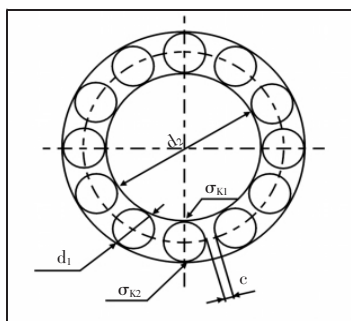


图6 径向轴承钢珠排部

### 2.2 单个钢球承受的最大压力

赤经轴 $F_1$ 处共14排钢球每排50个,轴承在 $F_1$ 作用下,单个钢球承受的最大压力:

$$F_{K1\max} = \frac{5F_1}{Z} = \frac{5 \times 4000}{700} = 285.7\text{N} \quad (5)$$

$K_1$ 点最大接触压应力

采用的轴承内环滚道是圆柱形,最大接触压应力在 $K_1$ 点,如图6所示,应力为:

$$\sigma_{K1\max} = \alpha_1 \sqrt[3]{\frac{F_{1A\max} \cdot E^2}{r_1^2}} \quad (6)$$

式中 $\alpha_1$ —系数按 $\frac{A}{B}$ 比值查表(机械零件强度许用值新标准及大型经纬仪机械设计),查得 $\alpha_1=0.394$

$$A = \frac{1}{2r_1}, B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (7)$$

式中 $r_1$ —钢球半径 $r_2$ —内环外圆半径 $E$ —为轴承钢弹性模量 $2.058 \times 10^7 \text{N/cm}^2$   $[\sigma_b]$ —为轴承钢许用应力 $4.0 \times 10^5 \text{N/cm}^2$ 。

$$\text{于是 } \sigma_{K1\max} = 0.394 \times \sqrt[3]{\frac{F_{1A\max} \cdot E^2}{r_1^2}} = 2.63 \times 10^5 \text{N/cm}^2$$

与许用压应力 $[\sigma_b]=4 \times 10^5 \text{N/cm}^2$ 比较,

$$\sigma_{K1\max} = 2.63 \times 10^5 \text{N/cm}^2 < [\sigma_b] = 4 \times 10^5 \text{N/cm}^2$$

所以赤经轴系中径向滚珠轴承的强度足够。

## 3 轴向止推轴承的计算:

预选钢球直径 $D_\omega=\Phi 12\text{mm}$

### 3.1 钢球个数Z的确定

钢球个数Z可按下式确定:

$$Z = \frac{180^\circ}{\sin^{-1} \frac{l}{D_m}}$$

式中 $l$ —隔离圈两孔中心的距离 $l=16\text{mm}$ ;

$D_m$ —轴承中心节圆直径 $D_m=\phi 620\text{mm}$ ,

代入数据,计算得 $Z=121.7$ ,

按图纸实际设计,钢球5排,每排72个 $Z=72 \times 5=360$

### 3.2 每个钢球的承载能力

$$Q = \frac{F_3}{0.8Z} = \frac{2378}{0.8 \times 360} = 8.26\text{kg} \quad (8)$$

### 3.3 强度验算钢球直径

$$D_\omega = \sqrt[3]{\frac{\alpha_1 \alpha_2 Q}{c}} \quad (9)$$

式中 $\alpha_1$ —负荷情况系数,静载荷取1,轻微冲击力取1~1.2,中等冲击力取1.3~1.8,大冲击力及变动载荷取1.8~2.5; $\alpha_2$ —工作时间系数,轴承工作时间为1000小时取1,2500小时取1.32,5000小时取1.62,10000小时取2; $\rho$ —滚珠材料的许用负荷强度,约为 $(80 \sim 100) \text{kgf/cm}^2$ 。

这里取 $\alpha_1=2$   $\alpha_2=2$   $\rho=90$ ,计算得

$$D_\omega = \Phi 6.1\text{mm}$$

所以选滚珠直径 $D_\omega=\Phi 12\text{mm}$ 是满足要求的。

### 3.4 钢球的接触应力的计算

$$\sigma_{\max} = 0.388 \sqrt[3]{QE^2 \frac{1}{R^2}} \quad (10)$$

式中 $Q$ —每个钢球的承载能力 $E$ —轴承钢的弹性模数,钢球材料Gr15,淬硬至HRC65, $E=2.16 \times 10^7 \text{N/cm}^2$  $R$ —钢球半径。

$$\begin{aligned} \text{则 } \sigma_{\max} &= 0.388 \sqrt[3]{8.26 \times 9.8 \times (2.16 \times 10^7)^2 \times \frac{1}{0.6^2}} \\ &= 1.83 \times 10^5 \text{N/cm}^2 < [\sigma_b] \end{aligned}$$

## 4 结论

赤经轴系采用了轴向止推和径向支撑的过定位方式,钢球与滚道过盈装配[过盈 $(5 \sim 10) \mu\text{m}$ ],达到了较高的轴系精度(小于 $6''$ )。并在实际应用中取得了很好的效果。

### 参考文献

- 1 吴又南,刘双发.新编滚动轴承应用技术手册[M].上海:上海科学技术出版社,1997
- 2 高福晖.机械零件强度许用值新标准及大型经纬仪机械设计[M].成都:成都科技大学出版社,1998
- 3 吴凤高.天线座结构设计[M].西安:西北电讯工程学院出版社,2002
- 4 马品仲.大型望远镜机械结构研究[J].现代机械,1996,(1):1~4
- 5 杜俊峰,李正周.GD-220光电经纬仪轴系的精度分析[J].光学精密工程,2002(8)
- 6 陈涛,陈娟.光电经纬仪跟踪架结构模式浅析[J].吉林工学院学报,2002(3):23~25