

# 赤经快动, 精度测试和望远镜平衡

李 挺  
(南京仪器厂)

## 一、快动箱的设计

对赤经快动的速度要求是 $120^\circ/\text{分}$ , 采用3000转/分的电机, 减速比为9000, 快动传动链如图1所示, 电机直接驱动望远镜, 而恒微慢动箱是通过电磁离合器的吸合, 经快动传动链驱动望远镜的。快动电机之选择应保证其输出转矩可克服望远镜的阻力矩, 它们主要有: 消除蜗轮付齿合间隙的反向力矩 $M_1$  ( $\sim 10$ 公斤米), 风荷阻力矩 $M_2$ 和轴承的摩擦力矩 $M_3$ 。

为计算风荷阻力矩, 我们将望远镜简化为如图2的模型, 风的方向垂直于纸面, 计算极轴两侧风荷转矩之差便得到风荷力矩, 前镜筒为圆柱形, 单位长度风荷为 $0.026\text{kg}/\text{cm}$ , 箱体为矩形截面, 风阻系数为1.16, 于是其上风荷

$$\text{为 } \frac{1.19}{0.74} \cdot \frac{502}{490} \cdot 0.026 = 0.0418\text{kg}/\text{cm}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{左}} &= q_1 [0.5 \cdot 230^2 + 40 \cdot 230] \\ &\quad + \frac{1}{2} q_2 \cdot 40^2 - \frac{1}{2} q_2 \cdot 144^2 \\ &= 660.34 - 435.46 \\ &= 524.88\text{kg}\cdot\text{cm} = 5.25\text{kg}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

为求出摩擦阻力矩, 考察图3所示的极轴受力情况, 极轴轴承为径向止推球轴承, 平均直径分别为34和31厘米, 径向和轴向负荷下的摩擦系数为0.003和0.005, 设望远镜和叉臂为纬轴上的集中负荷(1500kg), 可得:

$$\begin{aligned} M_3 &= 0.003 (3387 \cdot 0.17 + 1887 \cdot 0.155) \\ &\quad + 0.005 \cdot 664 \cdot 0.155 = 3.35\text{kg}\cdot\text{m}. \end{aligned}$$

于是, 总的阻力矩为 $M = 18.6\text{kg}\cdot\text{m}$ 。

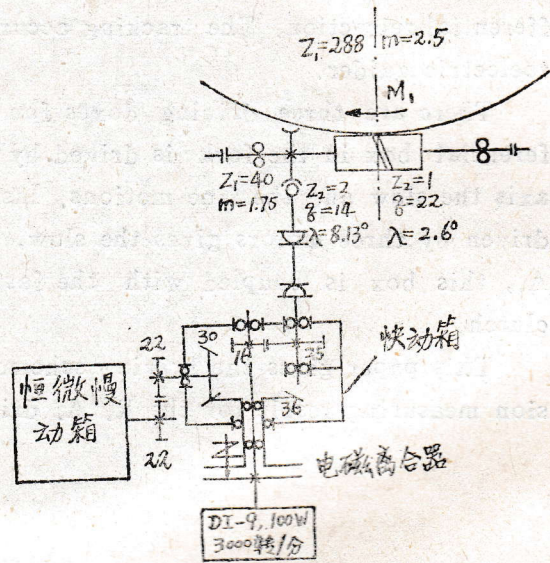


图1 赤经快动传动链

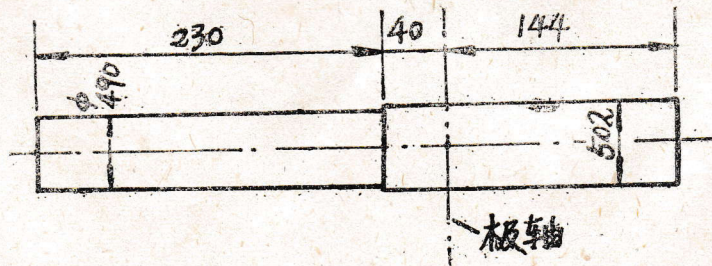


图 2



设蜗轮付的摩擦系数 $f=0.15$ ，对于大蜗轮付（压力角 $\alpha=12^\circ$ ），摩擦角

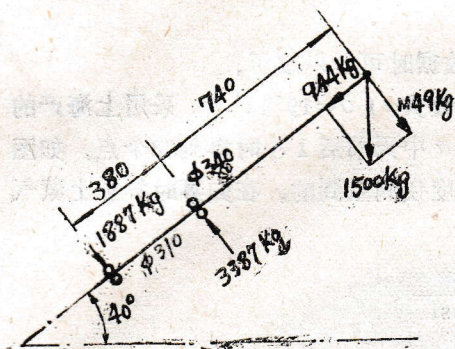


图3 极轴受力图解

$\rho = \arctg\left(\frac{0.15}{\cos 12^\circ}\right) = 8.72^\circ$ ，螺旋角 $\lambda = \text{tg}^{-1} \frac{1}{22} = 2.6^\circ$ ，效率 $\eta_1 = \text{tg} \lambda / \text{tg}(\lambda + \rho) = 0.23$ 。对于小蜗轮付， $\rho = \text{tg}^{-1}\left(\frac{0.15}{\cos 20^\circ}\right) = 9.07^\circ$ ， $\lambda = \text{tg}^{-1} \frac{1}{7} = 8.13^\circ$ ，效率 $\eta_2 = 0.46$ 。一对齿轮付效率 $\eta_3 = 0.95$ 。于是，得到快动传动键的总效率 $\eta = 0.1$ 。

$$\text{要求电机输出转矩 } M_0 = \frac{1}{9000 \cdot 0.1} \cdot 1860 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$= 2.07 \text{ kg} \cdot \text{cm}.$$

若电机转速为3000转/分，则其输出功率应大于 $W_0 = 2.07 \cdot 10^{-2} \cdot 120 \pi$  千克·米/秒  
 $= 7.8$  千克·米/秒  $= \frac{7.8}{0.102}$  瓦  $= 76.5$  瓦。

我们选用DI-9型直流印刷电机，输出功率100瓦，额定转矩为 $2.7 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ ，因此能拖动望远镜而稍有富裕。这个电机的功率选得较小，有利于保护精密蜗轮付，因如果出现过大的阻力矩（如五级以上大风，过大的不平衡或遇到障碍物）时，电机便堵转。但望远镜必须严格平衡。

## 二、赤经驱动精度测试

望远镜的赤经传动系采用差动机构的多电机传动箱作为恒、慢和微动，通过快动箱内吸合的电磁离合器传给赤经蜗轮付。快动时，离合器断电脱开，由快动电机直接驱动。驱动精度和平稳性主要取决于末级大蜗轮的周期误差和前级小蜗轮的累积误差。考虑到太阳视运动的不均匀性和蒙气差，将赤经大蜗轮的周期误差定为4级精度，允差 $5.2\mu$ ，按蜗轮参数 $m=2.5$ ， $Z=288$ 。相应角度误差 $2.98''/5$ 分钟，与太阳运动的不均匀性相当。

用天文方法测定的驱动精度乃是包含了赤经蜗轮付及其前级传动链的全部误差，望远镜的机械变形及望远镜本身作为巨大的惯量对上述误差的平滑作用的综合效果，是天文学家最关心的指标。

为测定驱动精度，我们采用了夜间拍摄恒星的传统方法：在 $\phi 100$ 照相焦点处安置135照相机，在其取景器内找到一颗亮星，并导引到视场正下方，每隔5分钟（蜗轮转过一齿）曝光1~2秒，作微小的赤纬方向移动，再曝光，如此重复，直到恒星移出视场，然后在赤经方向稍稍移动望远镜，反向作赤纬运动，便在底片上划出一道标志赤纬方向的基准线。为减小光学系统的色差的影响，在照相机前安置一块QB22绿色滤光片，还安置一简易的手控快门，以控制曝光，照相机的快门置于“B”档。

为了以恒星时速率跟踪，在恒慢微动箱与快动箱之间加上三个中间齿轮，与原来的 $Z=22$ 的齿轮组合，得到太阳时与恒星时的近似比值：

$$\lambda = \frac{21}{22} \cdot \frac{104}{99} = 1.002754821$$



实际值  $\lambda_0 = \frac{366.25}{365.25} = 1.002737851$

由此引入的跟踪误差为  $+0.153''/10$  分钟，在处理测试数据时可予以改正。

1981年6月1日夜进行照相测定，被拍摄的星体是牧夫 $\alpha$  ( $\delta=19^\circ 17'$ )，采用上海产的航微1胶卷(30DIN)，由于受底片尺寸限制，在牧夫 $\alpha$ 中天前后1小时得到23个点，如图4所示。拍摄到的底片是用紫金山天文台的蔡司坐标量度仪测量到的。在归算时需加上蒙气差改正 $\Delta t$ 的变化：

$$\Delta t = 60'' \frac{\sin t}{\tan 32^\circ 04' \sin 19^\circ 17' \cos 19^\circ 17' + \cos^2 19^\circ 17' \cos t}$$

结果如表1所示。表2给出了测量及归算的结果。

最后得到周期误差  $\Delta T = \sqrt{\sum \delta T^2} = 2.82'' = 4.92\mu$ 。略高于4级精度标准。与赤径蜗轮的测

表1 蒙气差改正 (牧夫 $\alpha$ )

时间	0	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	40m	45m	50m	55m	60m
t	0	1°15'	2°30'	3°45'	5°	6°15'	7°30'	8°45'	10°	11°15'	12°30'	13°45'	15°
$\Delta t$	0	1.20''	2.41''	3.62''	5.83''	6.04''	7.26''	8.48''	9.71''	10.95''	12.19''	13.45''	14.71''
$\delta t$		1.20''	1.21''	1.21''	1.21''	1.21''	1.22''	1.22''	1.23''	1.24''	1.24''	1.26''	1.26''

定结果是相符合的。被测的22个齿的累积误差在扣除变换齿轮付引入的  $11 \times 0.153'' = 1.68''$  后得  $\Delta T \Sigma = 43.6''/22 \text{齿} = 76.1\mu/22 \text{齿}$ ，比较大，但与太阳运动不均匀性相比 ( $68.2''/110$  分钟)，还是小一些，而且不难用光电导行改正。

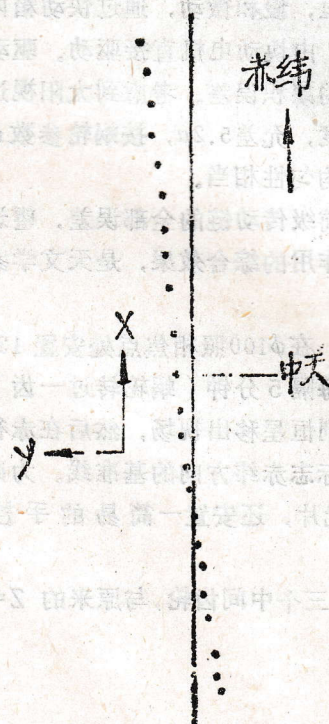


图4 传动精度测试记录

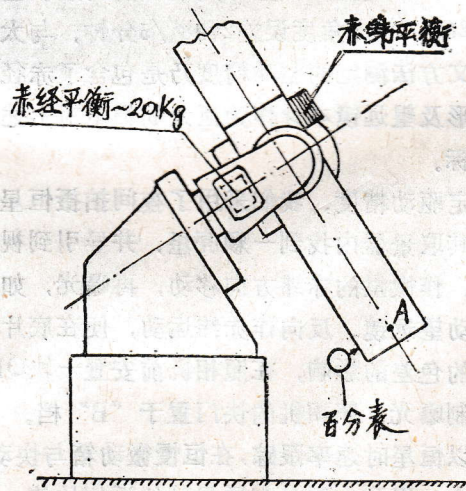


图5 望远镜的平衡



表 2 测量和归算结果

序次	量度仪测量值		平均值 y	差值 Δy	时间误差 Δt	较差蒙气差 δt	跟踪误差 Δt
	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>					
1	203.649	203.649	203.649	0.259	4.97"	1.26"	3.71"
2	203.911	203.905	203.908	0.087	1.67"	1.26"	0.41"
3	203.996	203.993	203.995	0.353	6.78"	1.24"	5.54"
4	204.344	204.352	204.348	0.158	3.03"	1.24"	1.79"
5	204.590	204.590	204.590	0.018	0.35"	1.23"	-0.88"
6	204.613	204.602	204.608	0.290	5.57"	1.22"	4.35"
7	204.909	204.866	204.898	0.176	3.38"	1.22"	2.16"
8	205.068	205.080	205.074	0.172	3.30"	1.21"	2.09"
9	205.234	205.249	205.242	0.135	2.59"	1.21"	1.38"
10	205.369	205.385	205.377	0.352	6.76"	1.21"	5.55"
11	205.730	205.728	205.729	0.076	1.46"	1.21"	0.25"
12	205.810	205.799	205.805	0.169	3.24"	1.20"	2.04"
13	205.987	205.961	205.974	0.151	2.90"	1.20"	1.70"
14	206.119	206.131	206.125	0.151	2.90"	1.21"	1.69"
15	206.269	206.283	206.276	0.194	3.72"	1.21"	2.51"
16	206.470	206.469	206.470	0.042	0.81"	1.21"	-0.4"
17	206.513	206.510	206.512	0.113	2.17"	1.21"	0.96"
18	206.621	206.619	206.625	0.129	0.56"	1.22"	-0.66"
19	206.757	206.752	206.754	0.351	6.74"	1.22"	5.55"
20	207.106	207.104	207.105	-0.005	-0.10"	1.23"	-1.33"
21	207.104	207.096	207.100	0.193	3.71"	1.24"	2.47"
22	207.287	207.298	207.293	0.294	5.64"	1.24"	4.4"
23	207.594	207.580	207.589				

中天

底片比例尺  $\frac{31'}{100} = 19.2''/\text{mm}$        $\Delta t' = 1.92 \cdot \Delta y$

$\sum \Delta t^2 = 185.0852$

$\Delta t = \sqrt{\frac{\sum \Delta t^2}{22}} = 2.9'' = 5.1\mu$

$\Delta T \Sigma = 45.28''/22\text{齿}$

扣除转换齿轮付误差  $0.08''/5\text{分}$ , 得  $\Delta T = 2.82'' = 4.92\mu$        $\Delta T \Sigma = 43.6''/22\text{齿}$



### 三、望远镜的平衡

由于蜗杆架挂在蜗轮上，不能轻易折下来，因此，不能脱开蜗轮付使望远镜作大范围转动来平衡望远镜。我们是利用蜗轮付的啮合间隙，籍百分表观察望远镜偏向那一侧，便可判断望远镜不平衡方向，再用弹簧秤，便可测定需加配重的重量。如图4所示，先使望远镜处于子午面内，由百分表指针摆向，可判断出镜筒后面较重，考虑到箱体的重心偏下，便在箱体前方加平衡铅板，每块重10公斤，总重80公斤，便在赤纬方向达到平衡。此时，百分表的指针显示出随遇平衡的状况。说明不平衡转矩已小于摩擦阻力矩。然后同样在赤径方向进行平衡，在左叉臂内安置平衡铅块。在子午面内达到平衡后，将望远镜转到水平位置，表明仪器对称性较好，仍能保持平衡状态。

由于望远镜惯量大，电机功率富裕不多，因而起动时间较长，约2~3秒。这样，赤径方向点动速度较慢，有利于寻找和对准太阳。

## THE SLEW MOTION AND ACCURACY OF R. A. DRIVING AND THE TELESCOPE BALANCE

Li Ting

(Nanjing Astronomical Instrument Factory)

### Abstract

The R.A. slew motion of  $120^\circ/\text{min}$  is given by a D.C. motor through corresponding spur gears and worm gearing. When the slew motion is started, the electromagnetic clutch linking it with differential box for slow, tracking and fine motion is cut off.

The tracking accuracy of R.A. driving was measured with the classical astronomical method: Photographed a series of star images on same one film, after once exposure, the telescope was shifted slightly in declination and after definite time (5 min., the R.A. worm wheel was rotated over one tooth), next exposure was taken. The measuring result of the film showed that the R.A. driving has an average period error of  $2.8''$ , which is corresponding to the non-homogeneity of the solar motion.

The driving mechanism was so designed that it is rather difficult to separate the worm and the worm wheel both in R.A. and Decl. for the purpose of balancing the telescope. However, the telescope can be moved slightly by hand between the mesh gap (less than 0.2mm), then the unbalance of the telescope could be detected with a micrometer touching with the lower end of the tube.