

## 大口径望远镜主镜保护盖设计

陈宝刚,王 帅,杨 飞,张景旭

(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:** 针对某米级光学望远镜设计了四门对开花瓣式主镜保护盖。简要介绍了国内外已建成大口径望远镜主镜保护盖的主要结构形式,利用铰链四杆机构的演化偏置曲柄滑块机构为基体进行优化设计,得出一种不需曲柄存在的四杆机构,建立运动学模型,对其受力状态进行分析,计算了电机所需的驱动力矩、滑块的移动位移及镜盖开关时间。实际工程应用表明,该保护盖对主镜能够有效防尘及保护,单次打开或关闭时间约为 62.5 s,在长春地区无故障使用时间大于一年,免维护开关次数大于 500 次。满足系统设计要求,为后续研究者提供了设计参考。

**关键词:** 主镜保护盖; 大口径望远镜; 曲柄滑块机构; 运动模型

**中图分类号:** TH751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)04-0988-05

## Design of primary mirror cover for large aperture telescope

Chen Baogang, Wang Shuai, Yang Fei, Zhang Jingxu

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

**Abstract:** In order to protect the primary mirror of a meter-class telescope, the petal-type cover was designed. The main structure form of lager aperture telescope which have completed at home and aboard were introduced briefly. On the basis of offset slider-crank mechanism which was evolved from four-bar linkage mechanism, a four bar structure which did not need brace existing was proposed. In addition, the kinematic model was created and the force analysis was carried out. The driving torque of motor, displacement of slider and operation time of cover were calculated. Practical application shows that the cover is reliable and effective to prevent the dust and dropped objects from polluting or damaging the primary mirror. The time to open or close the cover is about 62.5 s. The life of no fault is more than one year using in Changchun area. The operation number of no maintenance are more than 500. So the design satisfies system requirement and provides reference for the coming researchers.

**Key words:** primary mirror cover; large aperture telescope; crank-slider mechanism; kinematic model

收稿日期:2012-08-15; 修订日期:2012-09-10

基金项目:中国科学院三期创新重大项目

作者简介:陈宝刚(1982-),男,助理研究员,硕士,主要从事大型光学仪器结构设计方面的研究。Email:cbg0813@163.com

## 0 引言

随着天文技术的不断发展,天文学家迫切需要大口径的望远镜对太空中的星体及人造目标进行观测。望远镜口径的增大,空气中悬浮的细小灰尘及颗粒会更加容易吸附在主镜镜面上,随着时间的推移,灰尘越积越多,会严重降低主镜的反射率,影响望远镜的观测能力。而且大口径望远镜在装配及日后的维护期间,必须靠近主镜进行各种组件的装调以及相关维护等操作,稍有不慎会触及主镜镜面,螺钉等异物跌落到主镜。因此,望远镜都要采用主镜保护盖对主镜进行防尘及保护<sup>[1]</sup>。

文中首先简要介绍国内外大口径望远镜主镜保护盖的主要结构形式,然后针对某米级望远镜设计了四门对开花瓣式主镜保护盖,详细介绍了其结构形式,建立其运动学模型,进行受力分析,并得出相关结论。

## 1 主要结构形式

目前,大口径望远镜主镜保护盖结构形式主要有盖板式、卷帘式(图1(a)云南丽江2.4 m望远镜)及百叶窗式(图1(b)美国AEOST望远镜),盖板式大多采用双门对开式(图1(c)美国SORT望远镜及图1(d)国家天文台2.16 m望远镜)及花瓣式(图1(e)智利SOAR望远镜及图1(f)欧洲北方天文台WHT望远镜),驱动形式有液压、气动、蜗轮蜗杆等,液压及气动需要在望远镜上加装驱动泵,会引入振动源,影响望远镜的工作,而且液压驱动系统有漏液的危险,这是不允许的。蜗轮蜗杆式结构虽然采用大减速比,但由于镜盖重心距旋转轴线较远,齿面易受过载而损坏<sup>[2]</sup>。卷帘式主镜保护盖结构轻巧,基本无风阻,但对安装空间要求较大,往往只适用于方形四通,而且保护盖上容易积灰,打开时产生振动往往造成灰尘污染镜面。百叶窗式打开后所有窗叶能够折叠在一起,最大的优点是基本不产生风阻<sup>[3]</sup>,但结构较为复杂,也只能适用于方形四通。

国内望远镜基本上采用双门对开式主镜保护盖,驱动系统结构较为笨重,位于北京国家天文台的2.16 m望远镜是我国自主设计的最大口径光学望远镜,镜盖末端采用大质量块配平,大大增加系统的质

量。国外望远镜主镜保护盖技术较为先进,采用各种精巧的结构形式,其中以美国AEOST望远镜的百叶窗式结构最为先进,质量轻,打开后无风阻,不对望远镜的指向精度产生附加干扰。保护盖能够有效地保护主镜,使望远镜的主镜重新镀膜时间至少增加一倍。

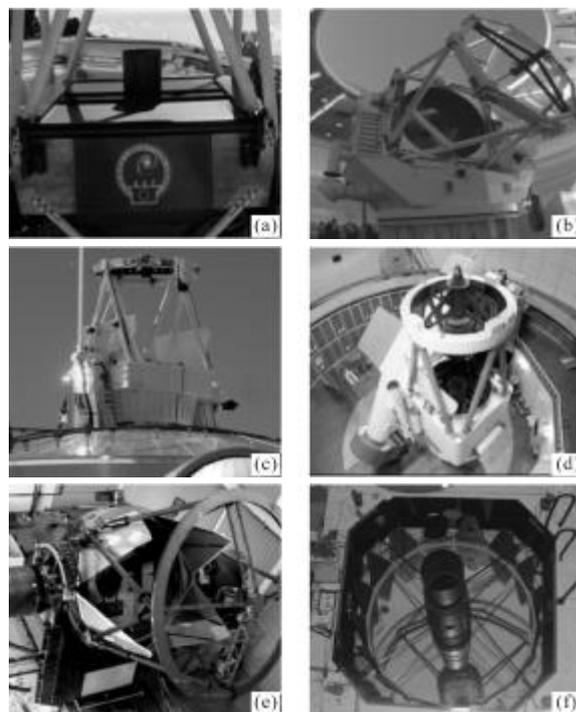


图1 望远镜主镜保护盖主要结构形式

Fig.1 Main structure form of telescope primary mirror cover

## 2 结构设计

针对某米级望远镜,综合考虑空间尺寸、可靠性、维护方便及外形美观等各种因素,决定采用四门对开花瓣式结构,整体结构如图2(a)所示。

整个主镜保护盖组件由四组组成,除其中对径两组盖板加装密封胶条外,四组结构完全相同,每组包括基板、盖板、直线驱动器、可调拉杆、球头关节、铰链支杆和铰链组成,其三维模型如图2(b)所示。盖板通过铰链支杆及铰链与基板联接在一起,直线驱动器固定在基板上,可调拉杆通过球头关节把盖板及直线驱动器联接起来。

能够实现直线驱动的执行元件有液压、气动、丝杆等多种方式。液压驱动需要额外加装压力泵,引入振动源,而且会有漏液的危险,存在污染主镜镜面的可能。气动驱动的方式平稳可靠,不存在漏液的危险,但是它也需要在望远镜上额外加装气泵,引入振

动源。丝杆驱动的方式不存在漏液的可能,也不需要加装泵这一类产生振动的装置,只需用较小的电机驱动就可以产生较大的牵引力,滑动丝杠可以自锁,十分适合用于主镜保护盖的驱动。

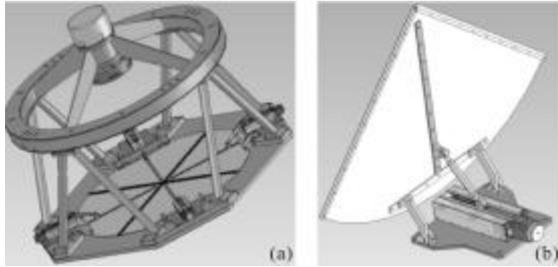


图 2 保护盖的三维模型  
Fig.2 3D model of cover

该主镜保护盖采用步进电机通过联轴器驱动丝杆旋转,丝杠副通过燕尾槽导轨导向把电机的旋转运动转化为滑块的直线运动。滑块通过球头关节和可调拉杆与盖板联接起来,构成曲柄滑块机构,滑块的直线运动就转化成盖板的旋转,实现主镜盖板的打开与关闭<sup>[4-6]</sup>。

### 3 运动学设计分析

主镜保护盖运动学的设计分析主要包括有关位置尺寸的确定、电机驱动所需力矩的计算分析、滑块移动位移的计算、开关所需时间的计算分析等。

#### 3.1 运动学模型

主镜保护盖的盖板通过铰链支杆及铰链与基板联接在一起,直线驱动器固定在基板上,可调拉杆通过球头关节把盖板及直线驱动器联接起来。整体构成铰链四杆机构的演化偏置曲柄滑块机构,但镜盖的打开与关闭只需 90°的旋转,为实现结构的紧凑,不需要曲柄存在,如图 3 所示,其中盖板及铰链支杆

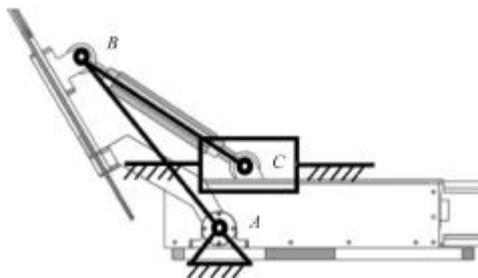


图 3 保护盖运动学模型  
Fig.3 Kinematic model of cover

构成曲柄 AB,可调拉杆构成连杆 BC,直线驱动器构成滑块<sup>[7-9]</sup>。

#### 3.2 受力分析

在滑块上施加驱动力 F,通过连杆的传递,则会在曲柄上形成一个围绕铰链中心 A 的力矩 T。

$$T = Fbc\cos\alpha\sin\gamma$$

根据图 4 中的几何关系得出:

$$a\sin\alpha = e + b\sin\beta$$

$$\alpha = \beta + \gamma$$

推导得出:

$$T = Fbc\cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{e + b\sin\beta}{a}\right)\right)\sin\left(\sin^{-1}\left(\frac{e + b\sin\beta}{a}\right) - \beta\right)$$

设计时选取  $a = 170 \text{ mm}$ ,  $b = 188 \text{ mm}$ ,  $e = 54 \text{ mm}$ , 由此计算得出:

镜盖关闭时  $\beta = 8.8^\circ$ , 镜盖打开时  $\beta = -81.2^\circ$ , 图 4 中所示角度为正。

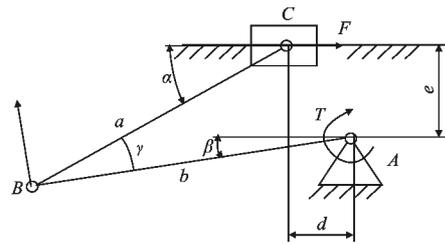


图 4 运动学模型中的几何关系  
Fig.4 Geometry relationship of kinematic model

由图 5 可以看出, T/F 随着镜盖打开角度发生变化,最大为 0.06,最小为 0.049。

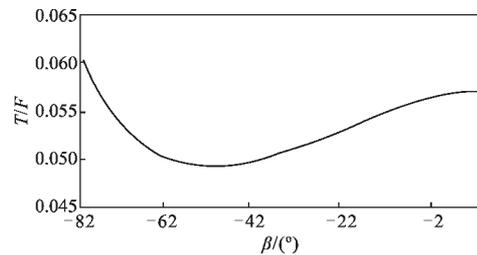


图 5 T/F 随  $\beta$  角的变化曲线  
Fig.5 Curve of T/F vs  $\beta$

镜盖旋转部分的质量约为 3 kg, 由于镜盖安装在四通上,镜筒在不同俯仰角时,镜盖旋转部分绕 A 点的力臂也随之变化,但最大力臂为 0.3 m,故拉力 F 绕 A 点产生的力矩 T 大于  $3 \text{ kg} \times g \times 0.3 \text{ m} = 9 \text{ Nm}$  时,才能保证镜盖在任何位置都能打开与关闭。

由 T 与 F 的系数变化曲线得出:

$T/F < 0.049$ , 即  $F > 187.5 \text{ N}$  时, 才能够保证镜盖在任何位置都能打开与关闭。

### 3.3 滑块移动位移计算

根据图 4 中的几何关系得出:

$$d = b \cos \beta - a \cos \alpha$$

图 4 中所示位移  $d$  为正。图 6 为滑块的运动位移随角度  $\beta$  的变化曲线, 最大为  $0.037 \text{ m}$ , 最小为  $-0.078 \text{ m}$ 。可以得出: 完全打开镜盖滑块所需移动的距离最小为  $0.037 \text{ m} + 0.078 \text{ m} = 0.115 \text{ m}$ 。

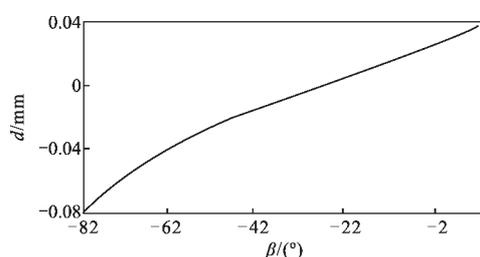


图 6 滑块的运动位移曲线

Fig.6 Displacement curve of slider

### 3.4 电机驱动所需力矩计算

文中采用步进电机通过联轴器驱动丝杆旋转, 把电机的扭矩转换为滑块的驱动拉力。丝杆参数为: 螺纹中径  $D$ , 螺距  $I$ , 丝杆和螺母间的滑动摩擦系数  $\mu$ , 则可以推导出要得到拉力  $F$  所需的驱动丝杆力矩为:

$$M = \frac{FD}{2} \left( \sin \frac{1}{\pi D} + \mu \cos \frac{1}{\pi D} \right) / \cos \frac{1}{\pi D}$$

式中:  $\frac{1}{\pi D}$  为丝杆的升角, 由于丝杆的升角较小, 上式可以简化为:

$$M = \frac{FD}{2} \left( \frac{1}{\pi D} + \mu \right)$$

丝杆直径  $12 \text{ mm}$ , 螺距  $1 \text{ mm}$ , 由于丝杆材料为 40 Cr, 螺母为锡青铜, 取滑动摩擦系数  $0.1$ , 由 3.2 节分析得出  $F$  为  $187.5 \text{ N}$ , 计算得驱动丝杆所需的力矩为:

$$M = \frac{187.5 \text{ N} \times 12 \text{ mm}}{2} \left( \frac{1 \text{ mm}}{12 \text{ mm} \pi} + 0.1 \right) = 0.1425 \text{ Nm}$$

取保险系数 3, 则所需的驱动力矩约为  $0.43 \text{ Nm}$ 。

由于主镜保护盖安装在四通上, 电机应尽可能小巧, 但为了实现电控系统出现故障后能够手动操作, 故不采用减速器。文中最终选用 57BYG250C 两相混合式步进电机, 保持转矩  $1 \text{ Nm}$ , 相电流  $1.5 \text{ A}$ 。

### 3.5 镜盖开关时间

根据该电机的特性, 设定其转速  $v$  为  $120 \text{ rpm}$ 。由 3.3 节计算得滑块最大移动距离为  $115 \text{ mm}$ , 丝杆螺距为  $1 \text{ mm}$ , 故单独打开每个镜盖所需时间为:

$$t = \frac{d}{lv} = \frac{115 \text{ mm}}{1 \text{ mm} \times 120 \text{ rps}} = 57.5 \text{ s}$$

但是为了保证镜盖关闭后的密封, 其中相对的两组镜盖边缘安装了密封胶条, 故操作时应该提前打开带有胶条的两组镜盖, 大约  $5 \text{ s}$  后再打开另外两组镜盖, 关闭时正好相反操作, 否则镜盖之间发生干涉<sup>[10]</sup>。所以, 整个镜盖完全打开或关闭所需的时间为  $62.5 \text{ s}$ 。图 7 为镜头盖安装到望远镜前在实验室内的调试。



图 7 镜盖开关时间调试

Fig.7 Debugging cover

## 4 结论

主镜保护盖是光学望远镜的重要组成部分, 保护主镜少受空气中悬浮的细小灰尘及颗粒污染, 保护人为误操作对主镜的损坏, 延长主镜重新镀膜的间隔时间, 维持望远镜具有较好的观测能力, 使望远镜获得更多更好的科学产出等方面具有重要意义。

针对某米级望远镜, 设计了四门对开花瓣式主镜保护盖, 采用模块化设计, 互换性强, 拆装维护简单方便, 可靠性好。实际工程应用表明, 该主镜保护盖对主镜的防尘和防护效果明显, 能够较好维持主镜的反射率。外场应用经历长春地区夏天  $+30 \text{ }^\circ\text{C}$  冬天  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$  的温度变化, 无故障使用时间大于一年, 免维护开关次数大于  $500$  次。国内已建成大口径望远镜多采用双门对开式结构, 文中是国内首次采用四门对开花瓣式结构的主镜保护盖, 为后续研究者的相关设计提供了重要的参考价值。

### 参考文献:

- [1] Cheng Jingquan. Principles and Design of Astronomical

- Telescope [M]. Beijing: China Science & Technology Press, 2003: 89-112. (in Chinese)
- 程景全. 天文望远镜原理和设计[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003: 89-112.
- [2] Pang Zhenji, Huang Qisheng. Precision Mechanics Design [M]. Beijing: China Machine Press, 2000: 77-97. (in Chinese)
- 庞振基, 黄其圣. 精密机械设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 77-97.
- [3] Zhou Chao, Yang Hongbo, Wu Xiaoxia, et al. Influence of wind loading on the 1.2 m telescope [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(5): 889-893. (in Chinese)
- 周超, 杨洪波, 吴小霞, 等. 1.2 m 望远镜风载作用分析[J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(5): 889-893.
- [4] Wei Guixiang. Design of automatic operation mechanism for mirror cover [J]. *Electrooptics System*, 2004, 107(1): 58-61. (in Chinese)
- 魏桂香. 镜盖自动开合装置设计 [J]. *电光系统*, 2004, 107(1): 58-61.
- [5] Fan Lili, Zhang Jingxu, Yang Fei, et al. Impact of the supports of primary mirror in equatorial telescope on its surface deformation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(1): 173-177. (in Chinese)
- 范李立, 张景旭, 杨飞, 等. 极轴式望远镜主镜支撑结构对镜面变形的影响 [J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(1): 173-177.
- [6] Chen Baogang, Dong Lei, Lin Xudong. Segmented mirror of fourier telescope field experimental system [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, 40(1): 87-91. (in Chinese)
- 陈宝刚, 董磊, 林旭东. 傅里叶望远镜外场实验系统拼接主镜[J]. *光子学报*, 2011, 40(1): 87-91.
- [7] Yuan Yi, Jin Gang. Motion control and error correction of pitching angle of a large precision optical stage[J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2010, 8(5): 67-71. (in Chinese)
- 袁毅, 金钢. 大型精密光学调节架的俯仰角运动控制方法及误差修正[J]. *光学与光电技术*, 2010, 8(5): 67-71.
- [8] Jin Lan, Xie Liming, Shen Hao. The kinematics simulation in offset slider-crank mechanism based on matlab [J]. *Manufacture Information Engineering of China*, 2008, 37(23): 33-37. (in Chinese)
- 靳岚, 谢黎明, 沈浩. 基于 Matlab 的偏置曲柄滑块机构的运动特性仿真研究 [J]. *中国制造业信息化*, 2008, 37(23): 33-37.
- [9] Geng Qidong, Fang Zhiguo. Simulation and kinetic characteristic analysis of deflection slider-crank mechanism [J]. *Mechanical Engineering & Automation*, 2011, 166(3): 49-54. (in Chinese)
- 耿其东, 方志国. 偏置式曲柄滑块机构仿真与运动分析 [J]. *机械工程与自动化*, 2011, 166(3): 49-54.
- [10] Wang Shuai, Chen Baogang, Yang Qingyun, et al. Design of electronic control system for primary mirror cover of large telescope [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2012, 35(1): 124-131. (in Chinese)
- 王帅, 陈宝刚, 杨轻云, 等. 大口径望远镜主镜保护罩电控系统设计[J]. *电子测量技术*, 2012, 35(1): 124-131.