

# 4.3米光学红外望远镜设计方案

马品仲 TH743

**摘要:** 简述了4.3米光学、红外望远镜的设计方案,它包括型式选择,光学系统和探测器,机械系统,控制系统,精度要求和可靠性设计。

**关键词:** 光学望远镜, 红外望远镜, 望远镜

## 1 前言

不断提高集光能力以观测更暗、更小、更遥远的星体和航天器。不断提高分辨率,以更仔细地研究天体形状、大小、精细结构和航天器在空中的姿态,更高精度测定天体的位置和运动,天体的温度,质量,磁场,物质结构等,这些物理参数是进一步发现和研究星系与恒星的形成与演变,探索宇宙中是否有生命体及其激变物理过程对人类的危害与影响等的依据,也是天文学和航天学的重要研究课题,为此各国竞相研制大型望远镜,如:美国研制2台10米、5台8米、1台7.6米,欧南台研制4台8米,英国和日本各研制1台8米,甚至印度也研制1台7米镜等,这些均打算在2000年前完成。

为适应国际联测和我国天文、航天事业的需要,我国提出近期先建4.3米光学、红外望远镜,再用光纤集光达5米镜,光干涉联机达10余米镜。这是一个成本低,建设周期短,能促进我国高科技事业发展的合理方案。因为世界各国已有12台口径为3.5米以上的望远镜,如生产4.3米镜在国际上可达第三位,生产口径为3.5米以下则在国际上天文地位太低,要生产4.3米镜,玻璃、加工、技术、设备等我国还是有能力解决的。而生产6米和8米镜,则我国研制有困难,并且无合适的台址。

## 2 型式选择

对于大型望远镜由于极轴马蹄式系统有体积大、笨重、圆顶内拥挤和造价高等缺点,所以决定用地平式结构;其优点是:(1)镜筒只在俯仰平面内运动,受力情况好,对称使结构简单。(2)体积少,造价低,圆顶小而轻,随动系统简单。(3)可提供两个相对于望远镜座架固定不动的Nasmyth焦点,它焦距适中,象质好,视场大,可安放精密测光、光谱、偏振等很多体积大、重量大的仪器。(4)可对恒星、行星、慧星、卫星及宇航器作跟踪观测。(5)对大气折射,弯曲变形等修正只在一个俯仰座标内改正即可。但也有缺点:(1)要用计算机作坐标变换与控制,但可实现,如已知星的赤道坐标 $\delta$ 和 $t$ ,求望远镜地平坐标 $Z$ 和 $A$ ,由天文球面三角形:

根据

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

$$\sin Z \sin A = \cos \delta \sin t$$

$$\sin Z \cos A = \cos \delta \sin \varphi \cos t - \sin \delta \cos \varphi$$

④ 中国科学院南京天文仪器研制中心, 210042 江苏省南京市

推导得: 
$$A = \text{tg}^{-1} \frac{\cos\delta \cdot \sin t}{\cos\delta \sin\varphi \cos t - \sin\delta \cos\varphi}$$

$$Z = \text{tg}^{-1} \frac{\cos\delta \cdot \sin\delta}{\sin A (\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t)}$$

$\varphi$  为天文台的纬度。(2) 要配消象场旋转装置——道威棱镜以星位角之半旋转, 即可得静止而稳定星象, 其运动速度随天体座标位置和时间变化。(3) 根据望远镜在天顶附近所能跟踪的最高加速度, 天顶有  $0.2^\circ$  盲区。

### 3 光学系统及探测器

如图 1 用主焦比  $f/2$ , 耐焦比  $f/13$  的大集光力、大相对孔径、短镜筒、厚 10cm 的弯月形薄微晶玻璃主镜可降低造价, 提高望远镜的性能。为使视场  $1^\circ$  和象质好, 用三片型改正镜。

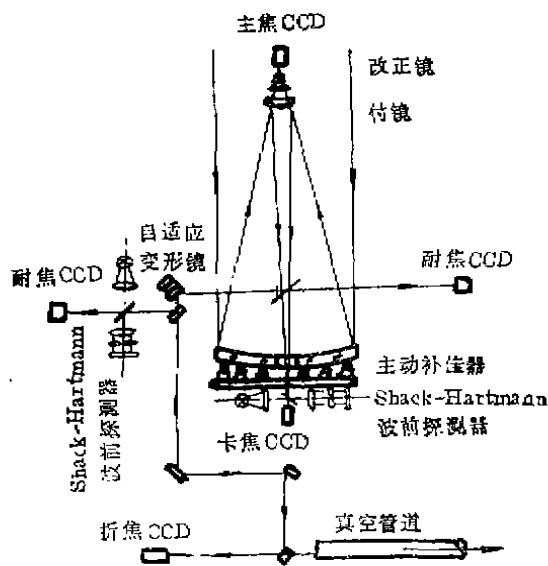


图 1 4.3米光学, 红外望远镜光学系统

主焦点设高敏度、大视场干板相机, 高量子效率  $2048 \times 2048$  象元 CCD 相机和导星装置, 可探测极遥远暗弱天体的高分辨率精细结构图象。为提高仪器的利用率, 扩大观测波段到  $10\mu\text{m}$ , 作红外巡天, 红外星图, 暗源光度和光谱分析等, 在白天和明月夜作红外观测, 设  $f/15$  卡焦系统, 副镜小有  $10 \sim 20\text{Hz}$  摆频,  $4'$  摆幅, 可调焦有 CCD 推机和导星装置, TV 监控, 光子计数器, 红外光度和光谱仪等可作高分辨率红外观测。耐焦比  $f/13$ , 设 100 单元自适应补偿变形镜与 Shack-Hartmann 波面探测器, 使  $1.5 \sim 10\mu\text{m}$  波段的星斑弥散象盘  $< 1''$ , 焦面设 CCD 相机和导星装置, TV 监控和高灵敏相机等可作接近 Seeing 极限的高分辨率精细结构图象观测。第二耐焦设 CCD 相机及导星装置, TV 监控, 光子计数器, 偏振

计, 多目标多光纤摄谱仪及高分辨率光谱仪等, 可作高分辨率图象, 多目标光谱, 中等色散恒星光谱, 光度和偏振等观测。有快速、准确、方便的更换附属仪器的装置。折轴焦比  $f/35$ , 设 CCD 相机和导星装置, TV 监控, 阶梯光栅摄谱仪 Fabry-perot 干涉仪等, 可作较亮恒星高分辨率图象观测, 高色散, 高分辨光谱和光度等测量。通过真空管道可将图象质量好, 无畸变星象与 2.16 米镜星象准确叠合在 CCD 上, 用多次成象计算机叠加可增强照相亮度, 提高观测星等。将星象传到光干涉系统可得等效于 10 余米口径的分辨率图象。为便于大视场巡天, 在中间块侧面设 15cm 寻星镜, 焦比  $f/5$ , 视场  $4^\circ$ , 倍率  $40 \times$ , 视度可调, 有 TV 监控, 可遥控观测, 寻星镜与主镜筒等弯沉, 使天体中心偏离  $< 1''$ 。

### 4 机械系统

总体设计如图 2 所示。

#### 4.1 镜筒

为保证光准直，稳定的支承和短的温度平衡时间，减少镜筒内湍流对星像的影响，用敞开式等弯沉无缝钢管焊接的三角形Serrurier桁架结构，要求镜筒指向任意位置时，主副镜相对弯沉 $<0.03\text{mm}$ ，相对倾角 $<2''$ 。

副镜室有 CCD 和干板相机可互换使用，如图 3，有三片型改正镜。f/35 折焦与 f/13 耐焦副镜共用一个可转  $180^\circ$  副镜笼，f/15 红外卡焦副镜小，有  $4'$  摆幅， $10\sim 20\text{Hz}$  摆频为单独副镜笼。主焦点照相时取下副镜笼。副镜室支承环为  $\phi 250\text{mm}$  钢管，用偏置器翼梁支承，副镜有  $30\text{mm}$  调焦量。

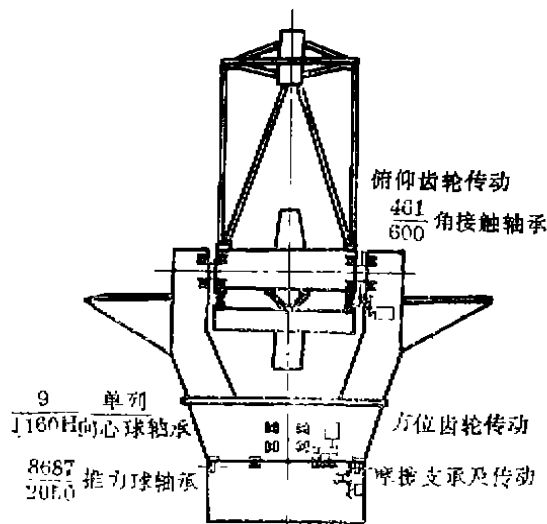


图 2 4.3米光学红外望远镜

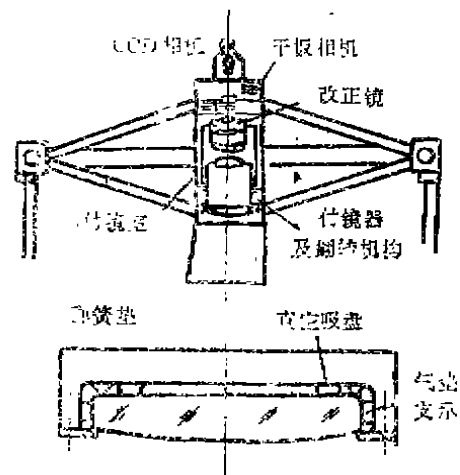


图 3 桁架上端与副镜室

中间块用  $4\text{cm}$  钢板的多肋箱式结构，有 8 开式主镜盖，遮光筒和光栏。

弯月型薄主镜固定于  $10\text{mm}$  钢板焊成的主镜室内如图 4，68 个主动光学执行器根据波面误差校正面形到  $\frac{\lambda}{20}$ ，主镜中心有定位筒，侧向有平衡重，轴向有弹簧支承和步进电机微调。上端有限位板。主镜底面和侧面涂隔热绝缘层。

**4.2 地平式座架** 如图 2 高刚度座架，通过水平轴支承 40 吨重镜筒，轴颈  $600\text{mm}$  用  $461/600$  成对角接触球轴承作径向和轴向支承，结构紧凑，清洁度较液压支承高，起动容易且维护保养方便，起动与运行摩擦小，无间隙过盈配合，轴颈不圆度  $1\mu\text{m}$ ，镜筒惯量大可对短周期误差起平滑作用。高刚度基座承重  $120$  吨，为降低造价选用  $8687/2050$  推力球轴承承重  $80$  吨，其余由  $12$  个  $\phi 200 \times 120$  摩擦轮弹性支承并传动，径向由两个  $9/1160\text{H}$  单列向心球轴承支承并定位。轴承用强迫循环油润滑，有调平机构。

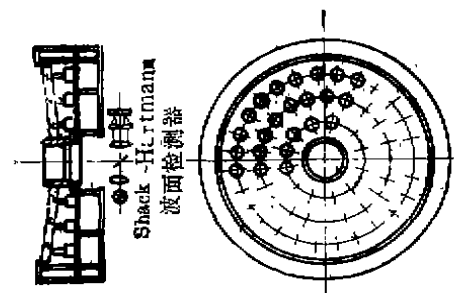


图 4 主镜室与主动光学测控系统

**4.3 驱动系统** 为保证镜筒能准确、迅速对准半个天球内任何一颗星，并准确跟踪，必

须有快、慢、微动和恒动。如图 2 要求镜筒俯仰  $0\sim 95^\circ$ ，方位  $\pm 370^\circ$ ，旋转和跟踪速度  $0\sim 2^\circ/\text{s}$ ，旋转和跟踪加速度  $0\sim 0.5^\circ/\text{s}^2$ 。为精确跟踪恒星补偿周日运动，取得  $0.5''$  照相细节，要求跟踪平稳，短周期误差  $< 0.2''$ ，用 26 位光栅编码器保证  $0.2''/10\text{min}$  跟踪精度， $\pm 1.5''$  指向精度。要求驱动系统刚度大，时滞  $< 1''$ ，效率高，低速运行平稳，无爬行，无振荡，有安全限位报警，副镜调焦稳定，直线性好，避开  $4\text{Hz}$  机械自振频率和电机在负载下振荡区，快速启动和制动过渡过程  $< 4''$ ，速度误差  $< 5\%$ ，有自动定位和圆顶天窗的自控系统等。

因望远镜转动惯量大，故机座扭转刚度，末级传动副和轴承刚度要大，减少传动件，提高传动系统自振频率。故俯仰传动用  $m=5$ ， $z_1=480$  的 5 级精度直齿圆柱齿轮； $z_2=24$ ；再配  $m=3$ ， $i=\frac{20}{40}=\frac{1}{2}$  减速箱。方位传动用  $m=6$ ， $z_1=460$ ， $z_2=20$ ，5 级精度直齿圆柱；配  $m=3$ ， $i=\frac{20}{40}\times\frac{20}{40}=\frac{1}{4}$  减速箱。齿轮用高强度合金球墨铸铁。

因力矩电机转矩惯量比高，机电耦合刚度大，可在低速输出较大转矩，可提高系统精度及运行平稳性，有较大加速能力，适用于高精度位置和速度伺服系统。因位置和速度分辨率高，无空回死区，谐振频率高，动态特性好，响应速度快，结构简单并紧凑，输出力矩正比于输入电流，线性度高，调速范围宽  $1:36000$ ，故快、慢、微动和恒动可由一只力矩机完成。宽调速直流力矩机——测速机组可得稳定速率和输出力矩，可常用于堵转和低速。选用电压灵敏度高(提高低速平稳性)，力矩灵敏度高(提高抗阵风干扰灵敏度)。力矩波动少，转矩大，体积小的 270ZLC20 机组。用高稳定直流电源，用电流负反馈使电机电流稳定，以稳定输出力矩；速度反馈(由测速机)提高低速平稳性，抗负载扰动并扩大调速范围；位置反馈(由编码器)计算机闭环数控提高位置精度。为消齿隙设反力矩电机(可作高速正向助动)，使齿单边啮合，反力矩大于平衡力矩、风荷力矩、惯性矩和摩擦阻力矩之和。

## 5 控制系统

要求  $5\sim 10$  分钟内能迅速对准半个天球内任何一颗星，并空位和跟踪，在数小时内以  $1\sim 2''$  精度跟踪天体，星象漂移  $< 0.2''$  (10 分钟曝光)，有恒速跟踪，自动调焦(因温度与机械变形等造成失焦)，并对镜筒的弯沉、扭曲、轴系变形、温度变化、大气折射象气差、岁差和行差作修正。望远镜能自动定位和复位，方位数显分辨率  $10''$ ，俯仰分辨率  $1''$ 。能自动交替对星，范围  $1^\circ$ ，精度  $1''$ 。主焦点照相移动底片盒，调焦分辨率  $0.01\text{mm}$ 。各焦面自动调焦分辨率  $0.01\text{mm}$ 。

在控制室操纵望远镜，可检焦并监视大气透明度和亮度变化。观测前，将被测星赤经，赤纬值输入，或输入被测星名从磁盘星表上读出赤经和赤纬值。找到星后，CCD 自动导星(先用脉冲发生器全视场扫描，找到星后即自动跟踪)。

实时控制系统除需作导星、指向和跟踪，波前误差探测与自适应补焦和主动光学镜面修正，星体赤道坐标与望远镜地平坐标转换，各种实时误差作每秒钟补偿修正 10 次，能显示工作状态，精确记录时间和天文环境条件，使圆顶跟随望远镜旋转误差  $< \pm 1.5^\circ$ ，有安全限位，过载联锁保护和报警装置等外。为保证恒动跟踪，快、慢和微动；可全自动，半自动和手操纵。用多微机并行控制系统，因它功能强而可靠，自动化程度高，体积小，硬件少，价

廉，软件分散，运行计时充裕，不会因一机故障而全面停止运转。备用的微机可立即掉换坏机，运行维护方便，有新型微机时更换也方便。控制系统可分以下几种微机与原板机组合系统：(1) 操作、监控与显示系统。(2) 指向、跟踪控制与状态监测系统。(3) CCD 图象采集、处理与记录系统。(4) 主动光学与自适应测控系统。(5) 同步卫星数码遥控观测系统如图 5。(6) 光干涉系统等。

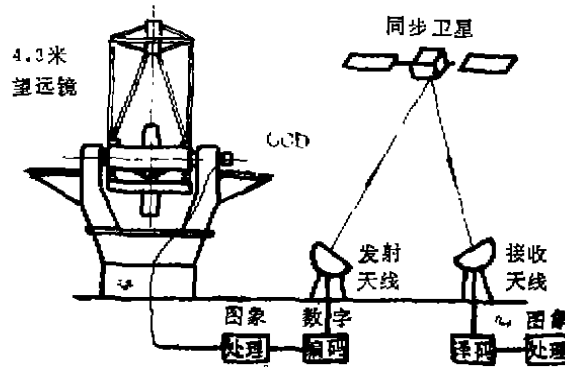


图 5 同步卫星数码遥控观测系统图

### 参考文献

- 1 A. Bokkenberg. The William Herschell Telescopes. *Vistas in Astronomy*. 1985, 28: 531~553.
- 2 B. Wilson. progress on the 3.5M new technology telescope. *The messenger*. 1982, (29): 24~27.
- 3 B. Mack et al proposal for the construction of an 8M optical-infrared telescope. Royal Greenwich Observatory. 1989.
- 4 东京大学东京天文台. 7.5米大型光学红外线望远镜, 东京天文台, 1986.
- 5 Tarry. E. Nelson et al. The Design of the keck observatory and ten Meter Telescope. *Keck Observatory Report*, 1985, (90).
- 6 T. G. Hawarden et al. 3.8M U.K. infrared Telescope, Royal Greenwich Observatory. 1981.

## The Design of the Optical-infrared Telescope

Ma Pin-zhong\*

**Abstract.** This paper describes a scheme of 4.3m opticalinfrared telescope. The scheme contains the model selection, optical system and detector, mechanical system, control system, requirement for precision and reliability design.

**Key Words.** Optical Telescope, Infrared Telescope.

\* Nanjing Astronomical Instrument Research Center, Academia Sinica, 210042 NanJing Jiangsu