

# 大型光学综合口径望远镜的新方案

马品仲

(中国科学院南京天文仪器研究中心, 南京 210042)

**摘 要** 建议一台 4.3 m 光学红外新技术望远镜, 并与北京天文台 2.16 m 望远镜用真空管道联机集像作 CCD 照相和光干涉测量, 提高集光能力达 4.8 m 口径, 分辨率可接近 10 余米口径.

**关键词** 光学综合口径, 望远镜.

## 1 引 言

探索宇宙、开发利用宇宙为人类服务都要求不断提高望远镜集光能力和分辨率. 为此各国竞相研制大型望远镜, 在本世纪末, 美国将建造 2 台 10 m 和 5 台 8 m 望远镜, 欧洲南方天文台建 4 台 8 m 镜, 英国和日本各建一台 8 m 镜, 印度也拟建 7 m 镜, 为适应国际联测和发展我国天文与宇航事业, 本文提出如图 1 的光学综合口径望远镜方案, 以 1 台 4.3 m 光学红外新技术望远镜, 与 2.16 m 镜用真空管道联机集光和光干涉, 可达 4.8 m 集光能力和 10 余米同类口径望远镜的分辨率, 是解决造价低, 用途广和建设周期短的一个可行方案.

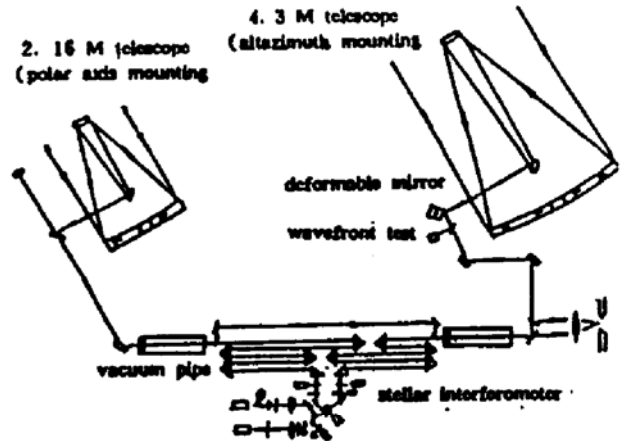


Fig. 1 The scheme of optical synthetic aperture telescope

## 2 4.3 m 光学红外新技术望远镜设计

目前世界各国已完成的 3.5 m 以上单镜望远镜共 11 台. 本方案提出的 4.3 m 镜可达国际第三位, 它的玻璃, 加工、技术和设备等较之更大直径镜容易解决, 可作为今后研制 8 m 镜的中间试验镜.

### 2.1 型式选择

因极轴马蹄式体积大, 笨重, 圆顶内拥挤和造价高. 故用图 2 地平装置, 其优点是结构简单, 体积小, 造价低并可提供两个 Nasmyth 焦点, 可安装重大观测仪器, 可对恒星、行星、卫星和宇航器作跟踪观测. 但天顶有  $0.2^\circ$  盲区, 可用计算机作地平与赤道坐标转换, 需用道

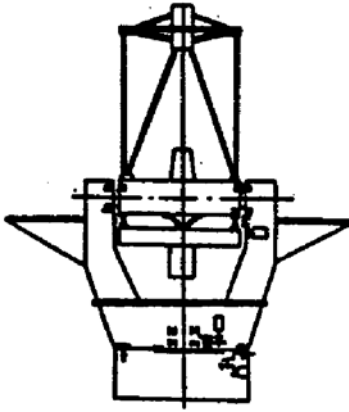


Fig. 2 4.3 m new technical telescope shape

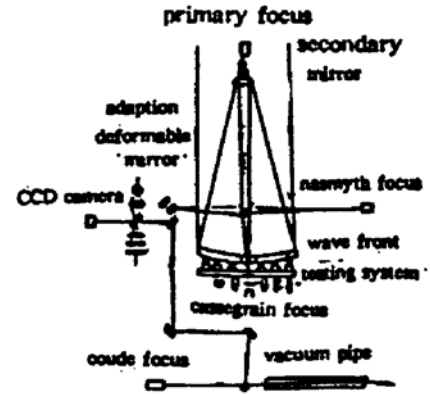


Fig. 3 4.3 m telescope optical system

威棱镜消像场旋转来克服。

## 2.2 光学系统及探测器

如图 3 用主焦比  $f/2$ ，耐焦比筒  $f/13$  的大集光力，大相对孔径的 R-C 卡塞格林系统，短镜筒，厚 10 cm 弯月形微晶玻璃主镜，减轻镜筒重量和降低造价，用三片型改正镜改善像质和扩大视场到  $1^\circ$ 。弯月形薄主镜由 68 个主动光学执行器控制，用 Shack-Hartmann 波前探测器使面形精度测控在  $\lambda/20$  以内，为克服 Shack-Hartmann 板与探测器间严格的对准关系，在光路中引入参考平面波，只要精测出每个采样单元内被测波与参考波间焦点距，即可求出对应的波面平均倾斜量，如第  $i$  采样单元内波面相对于  $x, y$  方向倾斜量为： $Q_{xi} = (\bar{x}_i - x_i)/f$ ； $Q_{yi} = (\bar{y}_i - y_i)/f$ ，式中： $x_i, y_i$  表示第  $i$  个微透镜的光轴位置， $\bar{x}_i, \bar{y}_i$  表示光斑在  $x$  和  $y$  方向的矩心位置。主焦点可探测极遥远、极暗弱的大视场天体。并设高敏度干板相机和  $2048 \times 2048$  面阵 CCD 相机，部分视频信号作 CCD 导星。

为提高仪器利用率和扩大观测波段到  $15 \mu\text{m}$ ，作红外巡天，红外星图，暗源光度测量，光谱分析和航天器识别等。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 相机和导星装置，TV 监视，光子计数器，红外光度和光谱仪等。耐焦比  $f/13$ ，设自适应补偿变形镜与 Shack-Hartmann 波面探测器，使  $1.5 \sim 15 \mu\text{m}$  波段星斑弥散像盘  $< 1''$ ，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像观测。第二耐焦设 CCD 相机及导星装置，TV 监测，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，可作高分辨率图像，多目标光谱，中等色散恒星光谱，光度和偏振等观测。有快速、准确和方便的更换附属仪器装置。折轴焦比  $f/35$ ，设 CCD 相机和导星装置，TV 监控，阶梯光栅摄谱仪和 Feby-Perot 干涉仪等，可作较亮恒星高分辨率图像观测，高色散，高分辨光谱和光度等测量。通过真空管道与  $2.16 \text{ m}$  镜星像叠合在 CCD 上，用多次成像计算机叠加可增强照相亮度，提高观测星等。将星像传到干涉系统可得等效于 10 余米口径分辨率。各焦面参数如表 1 所示：

Table 1 Focal plane specifications

focus	focal ratio	focal length (m)	prime-secondary mirror distance(m)	secondary mirror diameter (m)	primary vertex-focal plane distance(m)
primary	$f/2$	8.6	—	—	—
nasmyth	$f/13$	55.9	7.21	0.76	$3.8+2$
cassegrain	$f/15$	64.5	7.41	0.65	1.5
coude	$f/35$	150.5	7.24	0.75	$18.5+2$

为便于大视场巡天,在中间块侧面固定 15 cm 寻星镜,焦比  $f/5$ ,视场  $4^\circ$ ,倍率 40x,视度可调,有 TV 监控.

### 2.3 主镜玻璃选择及其研制

为使主副镜,转向平面镜等有稳定的面形,采用零膨胀系数微晶玻璃, $V_R$  或  $V_{O2}$  型微晶玻璃,使像质不受温度变化的影响:

1)  $V_R$  晶粒比  $V_{O2}$  更细密,且杂乱取向,各向同性,因玻璃相  $<10\%$ ,故不脆,对表面局部损伤不敏感,因晶粒使内应力造成的裂纹尖端弯曲或钝化,故不会因局部应力使裂纹扩大,而断裂也只能在玻璃晶粒周界间附着力超额时方能产生.强度高,尺寸稳定性好,变形小适于作弯月形薄主镜.因  $V_R$  比  $V_{O2}$  含 Pb 氧化物多 1.7 倍,而 Pb 氧化物可促使晶粒细化.

2)  $V_R$  硬度  $H_{RC}67\sim69$  比  $V_{O2}$  硬度  $H_{RC}54\sim55$  高,加工表面光洁度高,耐腐蚀性好,玻璃内气泡,条纹和杂质少.

3) 抗酸碱腐蚀性和化学稳定性好,尤其对各种酸抗蚀性能更好, $V_{O2}$  内含  $Na_2O$  比  $V_R$  多 35 倍,含  $BaO$  多 33 倍,故易腐蚀.

4) 热稳定性好,膨胀系数小,因  $V_R$  在热处理时析出负膨胀系  $TiO_2$  比  $V_{O2}$  多 2.4 倍.

5)  $V_R$  比重小且价格合理.

直径  $\varnothing 4.34$  m 厚 10.5 cm 弯月形微晶玻璃整体毛坯,也可选用 ULE 玻璃,选用 1.2 m 对径 11.2 cm 厚六角形平面镜,然后在加热炉内拼接,在六角拼接缝和边缘碎玻璃填充处,用火焰喷射加热至  $1650^\circ C$  约 2~3 hr 使溶为一体,冷却后再粗磨上下面和侧边为  $\varnothing 4.38$  m 厚 10.5 cm 平面镜,再在加热炉内将此平面镜置于双曲面模型上,均匀加热到  $1490^\circ C$  约 1 hr 使弯曲成双曲面,然后退火冷却而完成.

4.3 m 弯月形主镜的粗磨拟在 8 m 立车上加工,然后在同一车间内,用新制 4.5 m 精磨抛光机加工,用图 4 坐标法检测,用双频激光干涉仪作面形精度测量,因非球面度不大,故径向宜用光栅系统定位,轴向面形用角隅棱镜经滚轮触头(用于粗磨),喷气触头(用于精抛)测量,用四像限靶测导轨直线性作实时修正,也可用标准平尺放在工作台上,测 6 次取平均值作系统误差修正.测完一个截面,

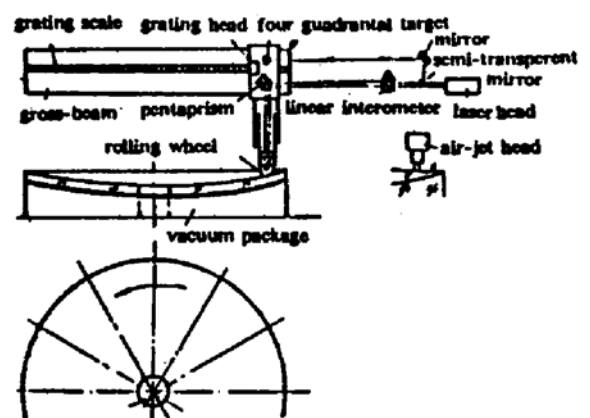


Fig. 4 The scheme of measuring 4.3 m main mirror

再旋转镜面测量, 粗磨测 6 个截面(60°间隔), 精抛测 12 个截面, 测后可画出立体误差面形和等高线图, 并打印误差值. 也可用剪切干涉法, 哈特曼法检验.

### 3 恒星光干涉系统研制

如图 5 的恒星光干涉仪结构图所示, 用对光衰减少的反射式角隅棱镜作 4 次反射, 使棱镜程差补偿长度缩短到  $L = (80 \cos 40^\circ)/4 = 15.3 \text{ m}$ , 这里设两台望远镜间基线距  $b = 80 \text{ m}$ , 观测范围为  $100^\circ$  圆锥角, 快速和跟踪补偿角隅棱镜架在圆柱导轨上, 用步进电机驱动  $\varnothing 50 \text{ mm}$  摩擦轮传动, 因步进机一转动  $157 \text{ mm}$ , 步距  $0.75^\circ$ , 则一转需 480 脉冲, 每个脉冲移动  $157/480 = 0.327 \text{ mm}$ , 设寻星速度  $V_A = 600 \text{ mm/s}$ , 则全程寻星时间  $t = 80 \cos 40^\circ / 0.6 = 102 \text{ sec}$ . 一个脉冲补偿光程长度为  $654 \mu\text{m}$ , 所需控制脉冲为 917 Hz, 角隅棱镜架速度  $V_1 = 300 \text{ mm/s}$ , 跟踪恒星时, 跟踪角隅棱镜架速度  $V_2 = 327 \mu\text{m/s}$ .  $\lambda/10$  程差微调补偿用压电陶瓷拖动光楔分辨率  $0.0018 \mu\text{m}$ .

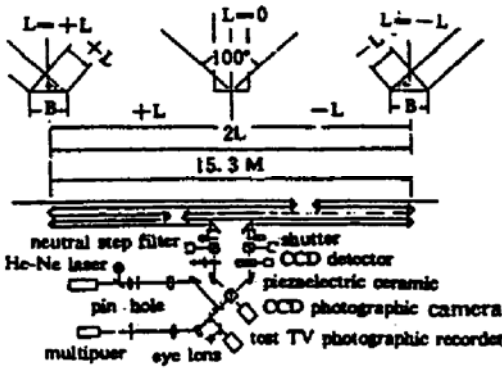


Fig. 5 The scheme of stellar interferometer

程差测量系统如图 6, 用一台双频激光干涉仪作快速寻星和跟踪补偿测量, 要补偿两台望远镜间基线距引起的光程差, 补偿地球自转、公转相对于恒星间两束光程差的变化, 补偿因地壳变动, 机械不稳定和热变形而产生基线距的变化等. 再透过光电寻星和用压电陶瓷控制直角棱镜使两束光平行并相干涉. 为使两束光等光强干涉, 以提高干涉条纹对比度, 让恒星光干涉仪室靠近 2.16 m 镜, 如图 7, 这样 4.3 m 镜成像光束因传输路程长而衰减, 最后再用光栏作严格的调整, 即可得到高对比度干涉条纹, 因干涉条纹的幅度和相位包含天体表面光强度分布信息, 故可测出恒星位置, 角直径和双星间距等天体参数.

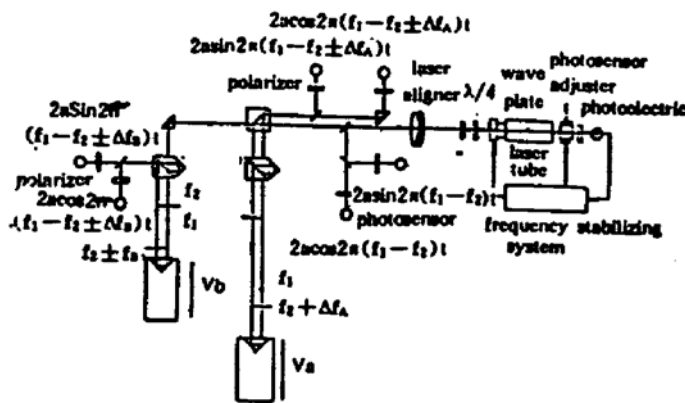


Fig. 6 The system of light compensation error measurement and control

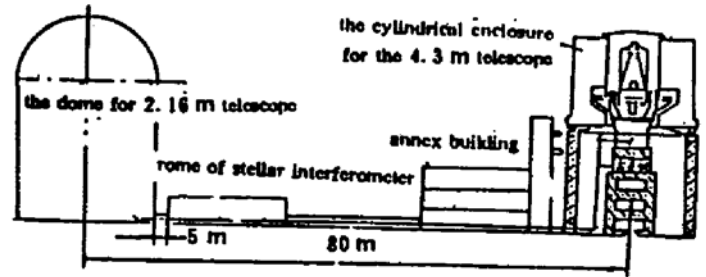


Fig. 7 The observers station for optical synthetic aperture telescope

### 4 结 论

长期来人类观测宇宙, 一直使用地面天文光学望远镜, 但受大气辐射窗口和湍流影响, 人们开始研制空间望远镜和企图在月球上建天文观测站, 但美国 2.4 m 空间望远镜升空后,

使用效果不佳，而修理困难且耗资巨大等因素，迫使人们又重视地面大型望远镜的建设。本方案提出 4.3 m 光学红外望远镜与 2.16 m 望远镜光干涉达 10 余米口径的分辨率，使造价低，建造周期短。

### 参 考 文 献

- [1] R. N. Wilson, The new technology telescope. *Proc VLT*, 1983, ESO D8046, Garching : 171~187
- [2] A. Boksenberg, The willian herschel Telescope. *Vistas in Astronomy*, 1985, 28(3) : 531~553
- [3] Terry E. Nelson *et al.*, The design of the keck observatory and ten meter telescope, 1985, keck Observatory Report No. 90 The University of California : 1~1093
- [4] B. Mack *et al.*, Proposal for the construction of an 8 M optical-infrared telescope, 1989, Royal Greenwich Observatory : 1~155
- [5] D. Enard, ESO VLT : A status report on telescopes and enclosures. *proc VLT*, 1992, ESO No. 42, Garching : 25~34
- [6] K. Kodaira, Japan national large telescope project. *Proc VLT*, 1992, ESO No. 42, Garching : 43~46
- [7] Fritz Merkle, Adaptive optics developments at ESO, *Proc VLT*, 1988, ESO No. 30, Garching : 639~655
- [8] H. Morian, R. Muller, progress in 8 m zarodur mirror blank production. *Proc VLT*, 1992, ESO No. 42, Garching : 47~56
- [9] M. Shao *et al.*, The mark III stellar interferometer, *Astrom, Astrophys*, 1988, 193 : 357~371

## A New Design of Optical Synthetic Aperture Telescope

Ma Pinzhong

(Nanjing Astronomical Instrument Research Center, Academia Sinica, Nanjing 210042)

(Received 15 March 1993)

**Abstract** This paper describes a 4.3 m optical-infrared new technology telescope. It makes use of vacuum pipe combination of the 4.3 m telescope and 2.16 m telescope for processing CCD imaging and optical interfering measurement. Its concentrating light power can reach to 4.8 m telescope and the resolution to that of ten metre telescope.

**Key words** optical synthetic aperture, telescope.