

# 多镜面望远镜: 过去、现在和将来

Clinton C. Janes

(美国阿利桑那大学多镜面望远镜天文台)

## 提 要

本文阐述了多镜面望远镜(MMT)的发展简史、望远镜的功能和在望远镜上使用的终端仪器。还包括了望远镜的使用讯息、天气条件以及将来的计划。

## 传统望远镜的创新

1970年,当阿利桑那大学从一个撤消的课题中得到了七块1.83米的轻重量镜面后,该校的A. Meinel提出了多镜面望远镜的建议。Meinel认为六块镜面合成的望远镜阵所收集的光将相当于一架通常的4.5米口径的望远镜。1971年阿利桑那大学的科学家和史密松天体物理台会议欲在南阿利桑那的一个属于史密松天体物理台的有希望的台址建造一架望远镜。双方分担了设计任务,阿利桑那大学承担光学部分而史密松天体物理台承担建筑、机架和光学支承结构。1972年设计组将初步的机架设计方案下放给Philco Ford。这是一家享有很好的声誉并善于设计、制造大型射电天线的美国航天公司。此后不久,麻省坎布里奇的Simpson、Gumpertz和Heger的结构工程公司就开始设计光学支承结构。

考虑作多镜面望远镜是希望它成为一架低造价的大望远镜。为了降低造价,设计者们对传统望远镜中的每一个特点都作了严格的检查。

为了使望远镜更紧凑和使重力矢量在一个平面内变化,设计者很快就选择了地平式机架而放弃了传统的赤道式机架。

虽然迄今为止还从未制造过既要承受136500千克的结构重量又要满足光学望远镜的精密要求的滚珠轴承,设计者还是决定冒一下风险,将滚珠轴承用于方位支承。因为传统的静压轴承的制造和维修均很昂贵。

设计者选择了一种可随望远镜转动的观测室建筑,使它的“充满度”达到最大,同时又减少了基础建筑的费用。观测室建筑和望远镜的同步旋转,还能使望远镜高度轴的旋转限制在 $90^\circ$ 之内。这简化了主镜的支承,因为镜面仅需单边的径向支承。

六块小主镜的方案与建造一架4.5米望远镜所需的大量时间和金钱相比要节省得多。六块小镜面和它们的支承镜室共重27300千克,比通常的4.5米镜面约轻18200千克。此外,一架 $f/2.7$ 的1.8米望远镜的焦距小于5米,因此其光学支承结构非常短,结果是整个观测室建筑高度仅为17米。如果一架4.5米口径的赤道装置望远镜要放入上述建筑内,其焦比则必须为 $f/1.1$ 才有可能。

其他一些创新也改善了观测质量。

建筑顶部贴上了亮铝条以减少金属屋顶的冷辐射,这种冷辐射可能会引起冷空气流降到望远镜上从而引入局部视宁度。基于同样的热动力原理,在光学支撑结构上也贴有同样的亮铝条以增强结构的稳定性。

箱形天窗的整个前部和顶部均可打开,以增强空气的对流从而减小局部视宁度变坏的影响。风帘和刚性的望远镜驱动也减小了因风力冲击所引起的跟踪干扰。但当风速超过40mph时就必须关闭观测室,以避免风吹起的尘埃损坏望远镜的光学器件。

用薄壁钢管制成的光学支撑结构,可使望远镜和其周围的空气很快地达到热平衡,减小因空气中的热瞬变而引起结构弯曲。

1974年开始建造望远镜和作台址准备。1977年就竖起了建筑物的外罩壳以及安装了光学支撑结构。1978年5月望远镜首次曝光,一年之后望远镜正式揭幕。

原来为综合调整六架望远镜的星像而用的一个激光调整系统于1981年放弃使用,代之以一架弱光级电视摄像机和一架图像数字化装置。摄像机产生一个六层焦面的视频图像。称为望远镜综合调整计算机(TCS)的一架16位微机,对由数字化视频器送来的同一颗恒星的六个星像的中心一一作出计算。电视视频调整系统的成功使望远镜于1982年全面投入工作。现在,望远镜可用时间的89%进行天文研究。余下的时间,9%用于定期维护和终端仪器研究,2%的时间用于非定期的修理。

## 望远镜机架的跟踪

一组直流电机在方位和高度方向上驱动望远镜机架。方位方向上有四只电机,高度方向上有两只电机。方位轴和高度轴上均有一只2.5米的大齿轮。它们由套在电机上的小齿轮驱动。齿轮的传动比为100:1。直流伺服放大器向电机提供力矩指令。为消去齿轮间隙,放大器的输出电流被偏置予零以上,故诸小齿轮对大齿轮总施加有相反的力。

装在轴上的绝对码盘以 $0''.02$ 的分辨率读出望远镜机架的位置。一只1024极的感应同步器给出不少于16位的有效位置码。和感应同步器以齿轮相啮合的一台旋转变压器给出粗读数。称为机架计算机的一架16位微机,读出码盘电路和实时钟电路,计算出望远镜预期到达的位置和望远镜目前的位置之差(位置差),以及将修正的速度指令供给电子伺服系统。这种修正每秒计算20次。速度、加速度、加加速度参数均由计算机决定。

硬件补偿网络汇合电机测速计的输出、驱动电机的反馈电流和计算机的速度指令向驱动电机提供一个力矩指令。因为速度指令是由一只18位的数模转换器产生的,所以观测时望远镜可以在 $0-1^\circ.4$ /秒间的任一种速度进行足够精确的跟踪。方位跟踪速度的极限值限制了天顶死区值,这个死区半径仅为10角分。

第三根轴的运动可使终端仪器按星位角的变化而旋转用以补偿像场旋转。

重达455000千克的观测室建筑的基础结构是和望远镜分离的。观测建筑通过四只直径为1米的轮子压在一圈钢轨上,其中的两只轮子被15kW的直流电机所驱动。将一只线性变化的差分传感器(LVDT)的一头接在望远镜上,而另一头接在观测室上,因此当望远镜转动时就会

将误差信号送给建筑的驱动装置,使观测建筑亦跟着望远镜转动。由可控硅驱动线路给建筑驱动电机提供无级变化的力矩指令,并使观测室以 $0-1^{\circ}.4$ /秒中的任一速度旋转。由于电缆和管道均包在建筑之内,因此观测室的转动范围限制在 $\pm 270^{\circ}$ 之间。

原来在望远镜阵中央的那架76cm卡塞格林激光导星望远镜现只用来核对望远镜机架的指向。此外,这架中心导星望远镜每年一次用来测定了FK4星表中100颗恒星的视位置。通过这些位置的测量可得到一组改正系数。机架计算机利用这些改正系数来计算望远镜阵的任一位置的指向改正值。如果观测目标不处于非常密的星场里时,通过改正值得到的接近1角秒的指向精度,使天文学家不需天图而仅需依靠星的精确坐标就能发现他们所要的观测目标。

## 光学系统

主镜由很薄的熔石英的前板和后板以及处于两块板之间的厚度为 $3/8$ 英寸的硅玻璃方格网栅所组成。这个组件在热熔后形成镜面的粗曲率半径,然后再由阿利桑那大学光学中心作最后的抛光。当望远镜指向天顶时,每块轻重量镜面都被一块充气的氯丁橡胶薄膜所支承。实际上,60%的镜重由空气垫所支承,而40%的镜重由三个硬点所支承。借此三个硬点来保持光轴不变。当望远镜倾斜时空气垫中的空气也渐渐泄放出去,泄放量和望远镜高度角的余弦成比例关系,直到望远镜指向水平。此时镜面重量全部由包在镜子下侧边的滚子链所支承。在镜面后板的中央有一个硬橡胶制的圆盘用作主镜的径向定位。

由主镜聚集的光线被反射到望远镜的双曲面副镜上,再由副镜反射到位于主镜上方的第三平面镜上。第三平面镜将光线转折到望远镜中央的另一块平面镜上。这块中心平面镜共有六个反射面,每一个面对准一架望远镜。因此称它为光线合成器。每个1.8米的望远镜的光束以 $f/31.6$ 的相对孔径成像于光线合成器之下136.42厘米处的焦平面上。但整架望远镜的未充满的光锥光束的相对孔径比却是 $f/9$ 。焦平面上的像比例尺为 $279\mu$ /角秒。

正常操作时主镜和第三平面镜是不动的。但副镜却要沿三根轴作运动。一种是沿着光轴作调焦运动。另两种是作互相正交的倾斜运动。这两种倾斜运动均和光轴相垂直。目的是在焦面上移动星像位置。

为了使波面相位一致,六架望远镜之间的光程差必须小于 $1\mu$ 。位于光合成器侧面的每一块光楔均可分别作上下运动以改变光程。相位一致的要求仅仅在红外工作和光干涉工作时才需要。

许多终端仪器的焦面是通过一块反射孔径板形成的。4角分的不晕视场由这块反射孔径板引入到一个称为“顶匣”的导星匣里。导星匣位于光合成器和终端设备之间。“顶匣”中装有视频摄像机和为寻找目标时用的目视焦平面、综合调整以及自动导星的光学系统。在观测过程中“顶匣”还将一束特定的灯光送到摄谱仪上去定标。

## 望远镜的综合调整

机架的定向和跟踪仅是MMT操作中的一部分内容。除此之外,每个1.8米望远镜还必须

单独进行导星。通过“顶匣”和摄像机可以同时看到六层焦平面的像,因而有可能作手动导星或者利用控制计算机作预报改正值和作自动导星。所有这三种方式的导星均是以倾斜副镜而得以实现的。

望远镜的结构刚性非常好,故而明显地表现出很低的时滞。因而对机架的任何高度角位置均可精确地预报副镜的倾斜改正值。每当机架的高度给定一个变动时,TCS计算机就求解二次方程组并决定每一块副镜需要作的倾斜改正。方程的系数每月测定一次。方法是用六架望远镜对三个不同的目标测定其视星像的位置。此三目标中的一个必须靠近天顶、一个靠近地平而另一个则在天顶和地平之间。TCS计算机根据星像的相对位移计算方程的系数。

自动导星则是利用TCS计算机对摄像机上的由每一个望远镜所成的星像中心进行采样而实现的。计算机同时还计算出位置误差,然后把相应的倾斜改正值送给每块副镜。尽管在终端仪器焦平面上的一个星像重叠于另一星像之上,在“顶匣”里的光学系统仍可测量每个望远镜所成星像的中心位置。望远镜已成功地用自动导星拍摄了积分时间为20分钟的星像照片,合成的星像尺寸无明显的改变。自动导星可以用偏置恒星或者用从光谱仪的孔径光阑处的溢出光而得以实现。

TCS弯曲系数是足够精确的,因此有可能测量重叠在一起的每架望远镜所成的星像的中心来引导机架。对于暗得无法测量的目标,就只能应用弯曲系数来精确地跟踪,这时只需间约地用偏置邻近的一个亮目标进行综合调整。目前望远镜正用一架 $10\mu$ 和 $20\mu$ 的光度计和一架由芝加哥大学研制的阶梯光栅光谱仪作试观测。史密松天文台已应用一架平面光栅光谱仪投入正常观测。这架摄谱仪应用可动槽孔径板或者多孔孔径板还能同时测量邻近目标的光谱。

望远镜偶而也使用红外偏振仪、 $2\mu$ 成像器、差分斑点干涉仪和作红外干涉用的红外扫描仪。

## 天文研究

在四个月的观测期内,望远镜通常为35个不同的观测程序服务。研究的工作包括引力透镜、类星体、红外源、各种巡天和哈雷彗星光谱等。

为实际收集数据所花费的时间比例是研究性能质量的一种度量。MMT在一夜之间用于程序中的目标和用于夜间的定标源的时间与全部使用时间之比可达80%,其间单次曝光的持续时间约为10到30分钟,目标最多可达55个。即使在一夜间使用包括大约100个目标的光谱的程序时,上述的有效时间比也可超过65%。由于高的使用效率、最小的停用期和西南部沙漠中的优良的观测条件,根据应用MMT所得的数据而写的论文,在过去的四年中平均每年至少有50篇付印。

## 气候

南阿利桑那的气候总的来说是温暖的,但在2600米高峰上一场冬天的风暴可使温度下降到 $-15^{\circ}\text{C}$ ,同时还有相当多的积雪。固定在观测室上的犁雪器开出一条通道,保证观测室得

以转动。另用电子加热器融化积冰和屋顶上以及门缝上的积雪。因大风、多云和露水大约要损失三分之一的观测时间。另外,处于雨季中期的八月份,望远镜也停止使用。由于仅在1987年才开始进行严谨的视宁度测量,所以还没有可靠的统计数据。至今所得的结果表明,在主镜状态最好的情况下,视宁度可达 $0''.25$ 的光学极限。根据1988年春天里的63夜中获得的数据,平均视宁星像是 $0.75$ 角秒。

## 遥控操作

观测室和其北面65公里处的阿利桑那州图桑市阿利桑那大学校园里的天文台办公室相连的微波通道,可以接受到图桑市的全部电视频道。带有伴音和9600条通讯线路的电视视频连到计算机上,即可使观测者成功地遥控实施观测程序。观测室内仅需留一名望远镜操作者。

## 将 来

阿利桑那大学在制造网格格式快焦比的轻重量镜面的成功,促使萌生了在MMT机架上装一块6.5米单镜面的想法。虽然这种更换将导致现有的望远镜阵停止六个月的工作,但这个单镜面的集光面积将是现有镜面的两倍,视场也扩大到现有视场的15倍。工程研究已确定了新镜面最合适的直径尺寸。为了和略低于 $f/1$ 的主镜焦比相匹配,现有观测室的屋顶可能要提高一些。如果取主镜焦比为 $f/1.2$ 或更慢一些,则可降低副镜的尺寸和位置公差要求,同时可省去用于卡氏焦点的大型非球面多片改正镜。天文台希望能在1989年1月和工程公司进行合同谈判,以确定新的光学支撑结构的初步方案及主镜镜室和观测室的修改。镜面毛坯将于1989年1月订货,改进过的望远镜将于1993年首次曝光。

在此期间天文台计划进一步改进跟踪质量和研制终端设备如直接照相的CCD摄谱仪。

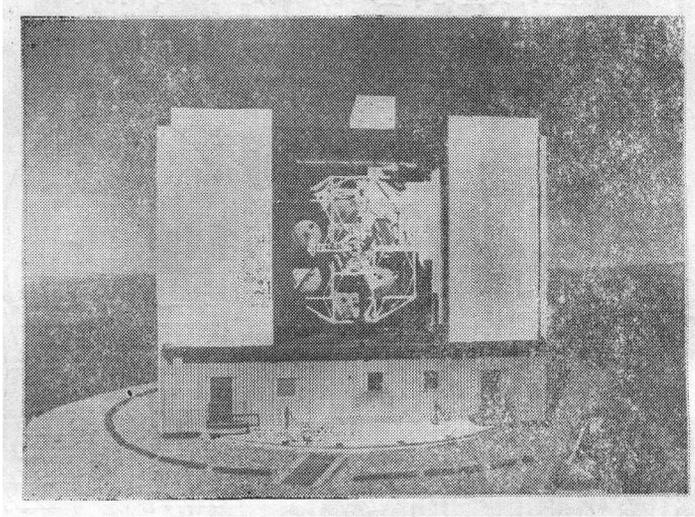
## 现 状

多镜面望远镜位于阿利桑那州图桑市之南,海拔2600米的霍普金斯山的顶峰上。纬度为 $31^{\circ}19'$ 。天文台按照和阿利桑那大学及史密松天文台的合同进行工作。共计22个工作人员操作、维护和发展望远镜的设备。6%的观测时间向阿利桑那大学和史密松天文台以外的客座访问学者开放。每年的9月,1月和5月由阿利桑那州图桑市的阿利桑那大学的多镜面天文台台长受理观测建议。

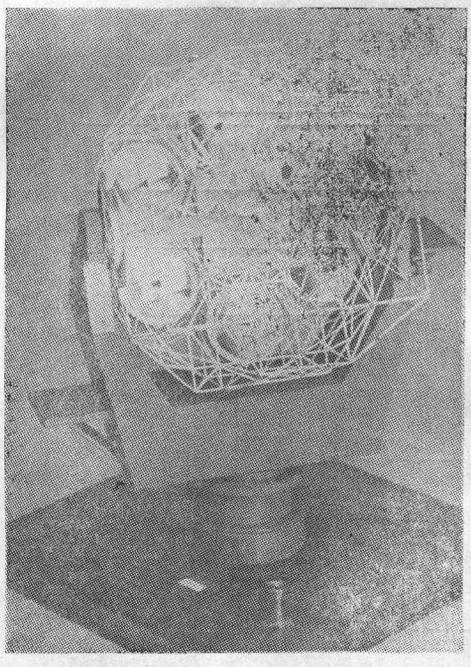
## 参 考 文 献

MMTO Technical Report 9, 13, 19, 20, 21.

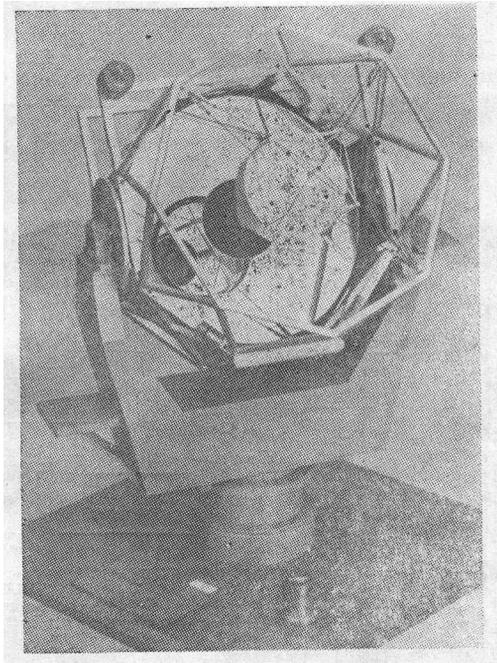
(朱能鸿译 郑义劲校)



位于阿利桑那州雀普金斯山2600米顶峰的多镜面望远镜

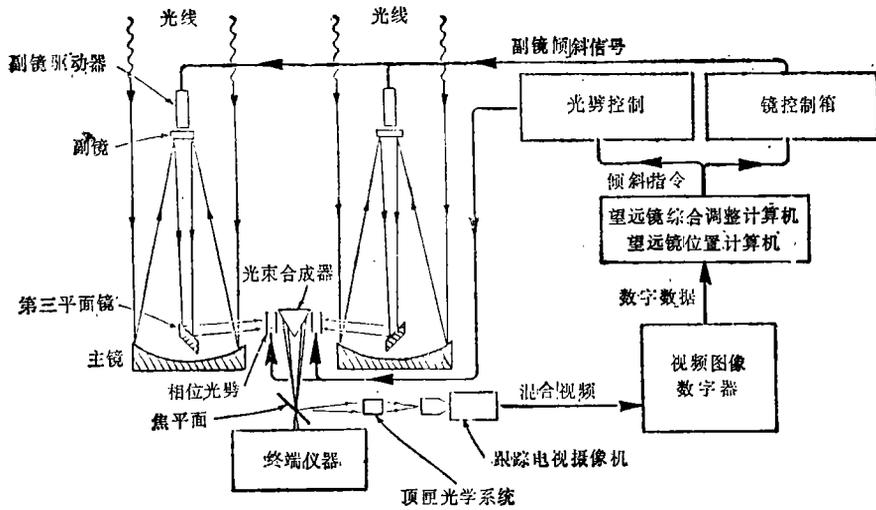
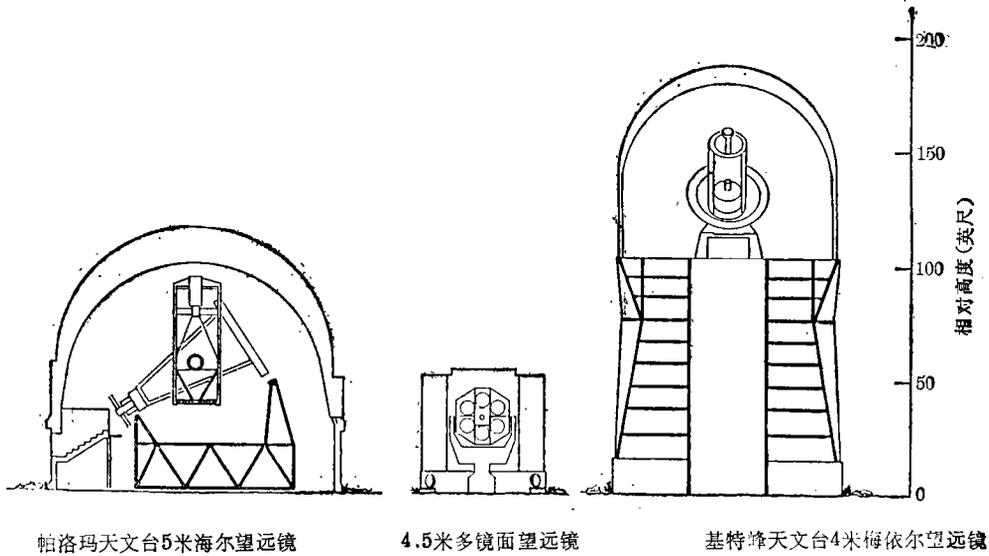


多镜面望远镜的模型。它的叉架和支撑六个1.8米望远镜的光学支撑结构。

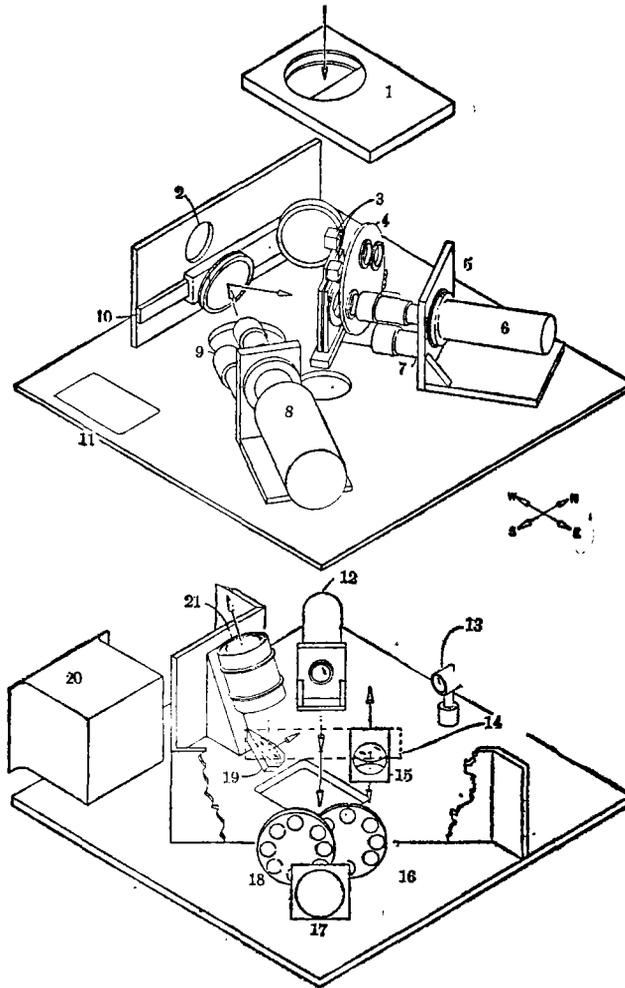


多镜面望远镜的一种可能的改进型模型。支撑着一块6.5米主镜和一块1.8米副镜的支撑结构代替了原来的光学支撑结构，机架保持不变。

不同类型的大型光学望远镜观测建筑的尺寸比较



望远镜阵的剖面图表示了从多镜面望远镜来的光线如何落到公共焦点上,这个焦点被再次成像到一架跟踪摄像机上.TCS计算机用此摄像机的数字视频讯号计算副镜的倾斜改正。



目标捕获和自动跟踪用的顶匣摄像机及其光学系统

1. 顶匣快门; 2. 辅助孔; 3. AWP/S; 4. 光瞳盘和转头; 5. 摄像机转头;  
 6. 增强型CCD; 7. CCD透镜变换; 8. 增强型摄像机; 9. 摄像机透镜变换;  
 10. 摄像机变换; 11. 连接板; 12. 视宁度照相机; 13. 计划中的光度计;  
 14. 系统变换选择平面镜; 15. 谱线比较和视宁度变换; 16. 哈德曼盘; 17. 积分标;  
 18. 滤光盘; 19. 辅助系统变换; 20. 插件框架; 21. 监视器焦点。

## The Multiple Mirror Telescope: Past, Present and Future

Clinton C. Janes

(Multiple Mirror Telescope Observatory, University of Arizona, USA)