

走近天文之三 天文望远镜

汤海明[†]

(中国科学院上海天文台 上海 200030)

2020-04-26收到

[†] email: thming@shao.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20200510

自古以来人们对星空都有着非常浓厚的兴趣，希望通过观察天体的运动，洞察宇宙的奥秘。但是，受限于人类视力的局限，在很长一段时间之中，人们只能对一些星空中较为明亮的天体进行精度有限的位置测量。直到1609年伽利略将望远镜指向星空，向人类展示出前所未见的星空深处。随着天文望远镜这一重要观测设备的发明，人类的视野被延伸至宇宙深处。接下来，请随笔者共同走进天文望远镜的前世和今生，今生故事将着重以中国的几架代表性天文望远镜为例。

天文望远镜的发明

天文望远镜的发明要从四百多年前的欧洲谈起，那时望远镜已经被发明出来，并在军事领域获得了成功的应用。包括伽利略在内的一些科学家也对望远镜产生了浓厚兴趣。1609年，伽利略开始使用自制的天文望远镜观测天体，并进行了详细记录。他当时所使用的天文望远镜是由一片凸透镜和凹透镜分别作为物镜和目镜的折射式望远镜，观测天体时呈现正立的虚像。但由于光学结构及当时光学镜片加工精度的限制，这种天文望远镜口径只有四厘米左右，目视成像倍率也只有30倍。但即便如此，天文望远镜也使得人们首次可以突破肉眼视觉的极限对天体进行观测。

1610年伽利略所著《星际信

使》出版。在这本书中，伽利略描绘了他使用望远镜对月球、太阳、行星和恒星等一系列天体的观测成果。天文望远镜的使用，改变了人们过去仅能依靠肉眼收集光线观察宇宙的方式，开创了近代天文学。此后，人们不断地改进望远镜的光学结构，使得人们可以看得更遥远更清晰。

天文望远镜的改进

伽利略的观测成果很快便被同时代的其他天文学家所获悉，德国天文学家开普勒便是其中一位。1611年，他改进了伽利略天文望远镜的原有设计，将望远镜的目镜由凹透镜改为一组短焦距的凸透镜，从而使得天文望远镜可以呈现一个倒立的实像，提升了成像质量与目视倍率。由于在目镜位置新安装标有刻度的分划板，使得天文望远镜的实际观测效果大为改观。这种设计也成为后来许多折射式望远镜的基础光学结构。上海市天文博物馆(上海天文台佘山科普教育基地)所拥有的四十厘米双筒折射望远镜就属于这种类型(图1)。

然而，折射望远镜的不足之处开始凸显出来，其中最明显的一点是当时难以克服的色差。所谓色差是指由于折射率不一

致，不同波长的光线穿越凸透镜后难以聚焦到同一焦点，于是观测者会发现在目标周围环绕着各种颜色的光晕，极大地影响了观测效果。此外，折射望远镜昂贵的镜片材料与复杂的加工过程也成为制约其发展的重要障碍。

为了解决这类问题，各国科学家们开始了新探索。英国著名科学家牛顿创造性地将物镜从凸透镜改成凹面镜，再用平面镜作为副镜将光线从镜筒侧面反射出来，故这种类型的天文望远镜也被称为“牛顿式反射望远镜”。

相对折射式望远镜，“牛顿式反射望远镜”有着非常独特的优势。首先，反射望远镜的物镜仅需要加工一个反射面，相对来说加工的难度和材料成本都大大降低。其次，反射望远镜不会产生色差问题。再次，折射望远镜的物镜受到自重的影响产生重力形变，从而影响成像



图1 佘山天文台40厘米双筒折射望远镜

效果；但由于光线需要透过物镜镜片，因此在镜片上也不能进行支撑。而反射望远镜可以在镜片背面安装非常复杂的支撑装置，降低镜片的重力形变，从而获得最佳的观测效果。这便为制作更大口径的望远镜奠定了技术基础。因此，现代大型天文望远镜均以反射望远镜作为基础。

当然，反射望远镜也并非尽善尽美。比如，反射望远镜也会产生如球差、彗差之类的像差；由于光路中副镜的遮挡，导致进入镜筒的光线减少等。后来，科学家们还发明了一种折反射望远镜，通过在反射镜之前安装一个改正镜来修正反射镜所产生的像差，从而改善天文望远镜的成像效果。这种望远镜也被广泛地应用于科学研究和科普领域。

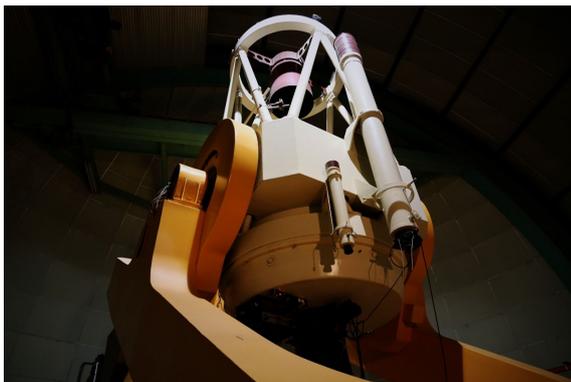


图2 上海天文台的1.56米光学望远镜

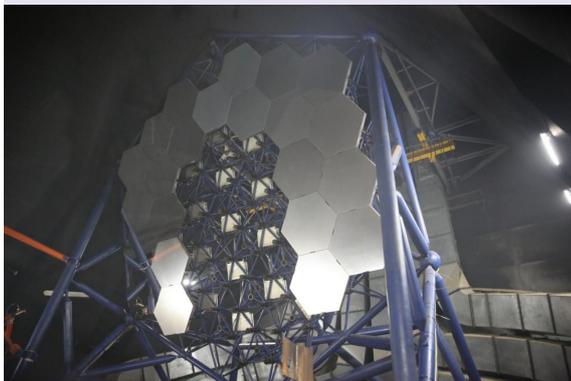


图3 郭守敬望远镜的主镜

现代大型光学望远镜

经过数百年的发展，天文望远镜已经发生了巨大的改变。天文望远镜口径的大小决定了望远镜收集光线的能力，进而决定了望远镜的分辨率与观察暗弱目标的能力。口径越大，获取的天体光线越多，观测暗弱天体的能力越强。光学望远镜的口径越来越大，天文望远镜的观测波段已经从光学拓展到多波段。

上海天文台的大型天文观测设备中，诞生于20世纪80年代的1.56米光学望远镜就是一台卡塞格林式结构的反射式望远镜，如图2所示。这台望远镜由南北两座基墩支撑起环形的支架，一高一低的两座基墩使得望远镜呈现北高南低的形态与上海地区的地理纬度(北纬31度)相同。叉辘式赤道结构可以抵消

由地球自西向东进行转动所产生的周日视运动，使得天文望远镜可以对天体进行稳定地跟踪。该望远镜的末端装有专业CCD照相机，用于采集天体的图像。与一般家用望远镜主要用于目视观测不同，专业的天文望远镜均会配置数据采集终端。而科学家正是通过分析和研究这些图像或光谱数据，去揭示天体的物理化学特性。

随着天文学研究的不断深入，人们对天文望远镜的观测精度也提出了更高的要求。在计算机技术和精密控制技术的助力下，天文望远镜的制

造与控制技术也发生了天翻地覆的变化。

一方面随着天文望远镜越造越大，望远镜镜片的加工能力受到了极大的挑战。因此科学家们研究出了多镜片拼接技术。如图3所示，座落在我国河北兴隆的郭守敬望远镜的主镜便是由37块1.1米六角形子镜拼接成6.67米×6.58米的主镜，以及24块1.1米六角形子镜拼接成的5.72米×4.4米反射施密特改正镜。位于夏威夷群岛的凯克望远镜更是这一技术的代表之作。两台凯克望远镜的口径均为10米，由36块1.8米大小的六边形镜片拼接而成。多镜片拼接技术的成功为后续建造更大天文望远镜奠定了基础。这使得科学家们建设大口径望远镜的目标从米级提升到了数十米级别。

另一方面，为了克服镜片重力和温度引起的变形，现代大型天文望远镜还采用主动光学技术。仍以郭守敬望远镜为例，其主镜在主动光学系统的支持下在观测过程中对镜片进行实时调整，从而使得望远镜的观测效果始终保持较高水平。

现代天文望远镜的第三项重要技术称之为“自适应光学技术”。为了克服大气湍流带来的天体图像抖动的问题，科学家们将天文望远镜建设在人迹罕至的沙漠和高原。科学家们通过技术手段测定大气湍流的情况，通过计算机控制改正镜或主镜对光线的畸变进行补偿，从而降低大气扰动对于天文观测的影响，获得更高的观测精度。

而为了彻底摆脱大气层的影响，科学家们还将天文望远镜从地面搬上太空。以哈勃望远镜为代表的一批太空望远镜摆脱了大气层的干扰，甚至不再受日夜变化的影响全天候地开展天文观测。

近年来,光学干涉技术也在不断地发展。欧洲南方天文台建设在智利的甚大望远镜便是由4台8.2 m口径的望远镜构成。这4台望远镜既可以单独观测也可以作为光学干涉仪进行观测。结合前面所讲到的主动光学和自适应光学技术,甚大望远镜达到16米口径望远镜的聚光能力以及130米口径望远镜的分辨能力。

多电磁波段观测

可见光作为电磁波的一部分,是人们观测天体最早使用的电磁波窗口。但是,天体的辐射同样体现在电磁波的其他波段,包括X射线、伽马射线、紫外线、红外线以及射电波段。射电望远镜用于接收来自于遥远天体发出的射电信息。

座落在上海天马山附近的口径为65米的天马望远镜是亚洲最大的可转动射电望远镜,如图4所示。整架望远镜总重达2700吨,运转在直径50米的钢制轨道上,而轨道的沉降误差严格控制在0.5毫米内。在计算机的控制下,天马望远镜的碟形天线可以同时俯仰和水平两个方向上缓慢转动,从而跟踪天体进行连续观测。天马望远镜也采用了主动光学技术的类似技术,在反射面板下安装了数以千计的触动物器。无论望远镜转向任何方向,金属反射面都会在计算机的控制下保持一个完美的反射面,从而保证最佳的观测效果。与之相比,位于贵州省的中国天眼FAST则更为巨大。这些巨大的射电望远镜接收来自遥远天体的无线电波,成为科学家们探索宇宙的另一重要手段。

射电望远镜不仅可以单独一台进行观测,在高精度原子钟以及高速互联网的支持下还可以通过组网的方式进行联合观测。现在,上

海、北京、云南、新疆的多台射电望远镜和位于上海天文台的数据处理中心,组成了我国的甚长基线干涉测量网。这个观测网的观测分辨率相当于一台口径达到3000千米的大型射电望远镜。甚长基线干涉测量技术不仅在天文学研究上发挥了重要的作用,还服务于我国嫦娥探月工程和未来的深空探测项目之中。

除了射电望远镜之外,天文学家们还开发出针对X射线、伽马射线、红外线和紫外线等波段进行观测的天文望远镜。但是由于大气层对于这些电磁波段有比较强的阻碍作用,因此这些望远镜通常会被发射到太空之中,帮助科学家们在太空中进行观测和研究。例如,2017年6月15日,中国第一个空间天文卫星——“慧眼”硬X射线调制望远镜(图5)发射成功并开展科学观测;以中国科学院国家天文台科研人员为首的科学家们提出的爱因斯坦探针卫星项目(Einstein Probe; EP)也即将在X射线波段的观测上大放异彩。

人类活动对于天文观测的影响

要想观察到遥远的天体就需要远离城市,因为人类的活动对于天文观测会造成相当多的不利影响。首先,城市的泛光照明所产生的光污染使得背景天空亮度提升,降低了天文望远镜观察暗弱天体的能力。其次,人类现代生活产生的无



图4 口径为65米的天马望远镜



图5 “慧眼”硬X射线调制望远镜的艺术想象图(图片来源于网络)

线电波对于射电观测也会产生干扰。

因此,专业天文台的观测站都会建设在远离城市的山上或是沙漠里。在我国研制的嫦娥三号月球探测器上携带了一台月基光学天文望远镜,首次在月球上进行天文光学观测。2019年初着落月球背面的嫦娥四号携带了长波射电望远镜,彻底摆脱了地球上人类活动所产生的无线电波对射电观测的影响。

天文望远镜的进步推动了科学的发展,望远镜诞生后的四百年以来,人们的目光已从我们身处的太阳系延伸到遥远宇宙深处。随着探索的不断深入,科学家们对望远镜也提出了更高的要求。相信在不久的将来,更大口径的天文望远镜以及坐落于月球的天文望远镜会继续助力科学家们不断揭示宇宙的奥秘。