

2.16 m 光学天文望远镜的建立 (2.16 m Optical Astronomical Telescope, Establishment of)



2.16 m 天文望远镜

2.16 m 光学天文望远镜是中国科学院南京天文仪器研制中心、北京天文台和自动化研究所研制的、国内最大的、也是远东最大的光学天文望远镜。

1958 年中国天文工作者提出了建造 2.16 m 望远镜的设想，如果较快研制成功，当时从口径来讲在世界上可排在第五，从国家来讲可排在第三，是一个伟大的壮举。不久，考虑到 2.16 m 望远镜工程的艰巨性，决定先研制一架 60 cm 的中间试验望远镜，1968 年这架望远镜完成。由于“文化大革

命”，直到1972年才重新启动2.16 m 望远镜的研制，1974年下达设计任务书。当时参加2.16 m 望远镜设计的科技人员，绝大多数从未出过国，没见过大望远镜，知识分子的地位又很低，他们凭着为国争光和为科学事业献身的精神，完成了对它的设计。在这样困难的情况下，还有创新和不少高水平的设计，确实是不易的。70年代后期2.16 m 望远镜进入了全面加工阶段，上海、南京的一些大工厂在大件加工上给予了热情的支持，80年代，2.16 m 望远镜进入总装调试，1989年在北京天文台兴隆站开始了运行。当时能工作的还只有卡塞格林一个焦点，从1989年到1996年又经过了7年不断的完善和大量的观测，终于在1996年通过了鉴定。这期间2.16 m 望远镜取得了大批优秀的天文成果，这台望远镜已成为中国天文学和天体物理学研究的最主要的观测设备。

这台望远镜通光口径2.16 m，是一架能进行多种天文工作的普适型望远镜，有卡塞格林、折轴和主焦点三个系统，前两个系统已经完成，主焦点系统是第二期工程，仅完成光学设计。主镜焦比3，卡塞格林系统焦比9，折轴系统焦比45。卡塞格林系统采用了同时消去球差和彗差的里奇-克列基昂（R-C）系统，这个系统设计的关键是像场改正器，视场直径定为52.6角分（线直径300 mm），采用了由两片熔石英透镜组成的像场改正器，设计任务书定的设计指标为波段3650~12000 Å之间，任一宽为1000 Å的范围，星像能量（指几何光能，下同）的75%集中在0.5角秒内（用一套或两套改正器实现），设计结果为从3650 Å~14000 Å整个波段范围，星像能量的100%集中在0.32角秒内（只需用一套改正器即可实现），远超过设计任务书的要求，也显著超过了国外的类似设计，这个像场改正器是70年代中期设计

的，1996年，著名天文光学家威尔逊（R.N. Wilson）在他新出的专著 *Reflecting Telescope Optics* 中以将近一页的篇幅介绍了2.16 m 望远镜的这个改正器，称这个设计是最好的，这个设计结果已成为这类改正器的标准。拍摄的底片上视场中心和边缘星像都呈很小的圆斑，从底片上和通过阴影检验都看不出视场中心和视场边缘像质的区别。这个带改正器的系统当初是为照相工作考虑的，当前底片的重要性已大为下降，但需要大视场和优秀像质的多目标光纤光谱观测已成为望远镜最重要的工作模式之一，这个系统正适于这项工作。传统的望远镜，卡塞格林系统和折轴系统用不同的副镜，不仅增加了机械结构的复杂性，更严重的是往往降低了光学系统准直的精度，使像质变坏，有的转换还要花去不少时间，2.16 m 望远镜设计者提出了卡塞格林系统和折轴系统共用同一个副镜的思想和一系列新的折轴系统，2.16 m 望远镜上采用了其中加有一块中继镜的方案，这种折轴系统与卡塞格林系统的转换极为方便，设计者并发现只要转换时副镜作小量平移（在2.16 m 望远镜上约11 mm），同时将中继镜面形取为适当的扁球面，得到的折轴系统可同时消去球差和彗差，有极佳的像质。设计任务书上定的设计指标为视场直径5角分，星像能量的75%集中在0.5角秒内，这也是传统折轴系统的像质，而这个新的折轴系统设计结果星像能量的100%集中在0.1角秒内，且星像为对称的椭圆形（传统折轴系统为不对称的彗差），远优于设计任务书的要求，也远优于传统的折轴系统。1994年2.16 m 望远镜的折轴光谱仪完成，这个折轴系统正式装好并投入使用，它的成功不仅是光学设计的成功，也是相应机械结构和光学加工检验的成功。这种创新的折轴系统受到了国际上的高度好评，以国际天文联合会

主席戈德堡(L. Goldberg)为首的由10位美国著名天文学家组成的考察组访问中国时盛赞说,这一设计思想必将被世界其他国家所仿效。著名天文光学家迈内尔(A. B. Meinel)将这种折轴系统中的中继镜命名为SYZ(表示苏定强、俞新木、周必方)中继镜,在他提出的4 m、10 m、15 m大望远镜方案中都用了SYZ中继镜。正在研制中的世界最大望远镜——欧洲南方天文台(ESO)的VLT也采用了共用副镜的思想和类似的折轴系统。目前,在2.16 m望远镜折轴焦点安放了高分辨的阶梯光栅光谱仪,折轴焦点的存在还为自适应光学系统的设置和今后建立光干涉系统创造了条件。加有像场改正器的主焦点系统,视场直径50角分,设计结果像质也优于国外。2.16 m望远镜的主镜坯是50年代末前苏联浇铸的,牌号为JK5,膨胀系数不到一般光学玻璃的二分之一,但它系由三锅浇成,不仅气泡、杂质、条纹多,且表面各处硬度不同,给加工带来了极大的困难,采用了小抛光盘局部手工修改的高难度方法,才使光能集中度达到了80%光能集中在1.19角秒内,尚属良好,能适应台址和满足大多数天文工作的要求,但与国际先进水平相比尚有差距。

2.16 m望远镜主镜外径2.20 m,边厚330 mm,重2.2吨,由重锤杠杆系统支承,计算的自重变形仅 $1/10 \sim 1/20$ 波长,主镜背面挖有18个不通孔,侧支承安装在其中。副镜外径730 mm,倒悬在空中。为了减少挡光,各种机构必需尽量躲藏在副镜的背后,在系统转换和调焦时副镜需作直线运动,自行研制了大尺寸高精度的直线轴承作为调焦导轨,用步进电机经过1:100蜗轮蜗杆减速箱带动螺距12 mm的滚珠丝杆实现副镜的直线运动,运动部分重400 kg,受的重力状态是变化的,研制的结果运动分辨率精达

$0.6 \mu\text{m}$ 。位于主光轴和赤纬轴交点处的第一平面镜,卡塞格林系统和折轴系统转换时它要转出或转入光路,这里空间有限。为了少挡光,各种机构还要尽可能藏在副镜的影区内。实际研制结果在2.16 m望远镜中,折轴系统和卡塞格林系统转换的时间仅只需要4分钟。由于副镜和第一平面镜的机械结构精确,转换后,不需作任何校正,这对临时改变观测计划、应付突发事件是极有利的。在主镜室的背后卡塞格林焦点处设有电机驱动的x, y平台,它的方位可由手动旋转,平台上可连接不同的后端设备,并可安置高频摆镜(tip-tilt镜)。镜筒由主镜室、副镜室、中间块和Serrurier桁架组成,总重23吨。2.16 m望远镜采用的是非对称双柱式赤道装置,即英国式装置,这种装置的主要优点是给卡塞格林焦点的使用提供了很大的空间。极轴是一个巨大的铸钢件,为加工方便由三段组成,在它中部的两侧分别安置了镜筒和平衡重。由于极轴中间要通光,赤纬轴两轴承的间距被限制仅为600 mm,并以悬臂梁方式支承镜筒,受重力的状态又有极大的变化,采用了径向推力球轴承,加合理的预紧力,最后实测的结果垂直与水平两不同位置的弹性变形仅26角秒。2.16 m望远镜整个转动部分重90吨,支承在南北基墩上的圆柱式静压油垫轴承上,轴向分力则由北端的平面止推油垫平衡,整个90吨重转动的部分由60个大气压的压力油托起。在极轴北轴颈的外端面上安装了一个直径1960 mm 720齿的大齿轮,与跟它啮合的50齿的小齿轮组成一对精密齿轮副,整个齿轮系统共有11个齿轮同时工作,齿轮系统中并有反力矩装置,确保了传动系统的消间隙和很好的跟踪运动。由于采用油垫和齿轮的传动效率高,只需3瓦的功率即可实现对天体的恒速跟踪。

2.16 m望远镜由力矩电机驱动,采用速

度反馈和位置反馈的闭环控制系统,用高精度的光栅信号作为速度反馈信号,两个双通道多极旋转变压器作为位置反馈信号,用高精度的晶体数字频率给定和锁相技术,确保速度跟踪与定位的极高精度。计算机控制系统,采用微机局域网控制,在不同的控制单位中分别由各自的智能CPU控制,再由5位机对它们进行协调管理、函数计算和逻辑控制等,除自动定位、交替对星、紧急保护、人机对话功能外,还可以进行轴角检测的数据处理,校正大气折射和储存星表等。控制系统已经随着技术的发展,进行了两次更新。

在2.16 m望远镜的机械结构、控制系统方面,采用了油垫轴承、齿轮副传动、数字锁相、计算机控制等先进技术,并在副镜笼、齿轮副传动、赤纬轴、第一平面镜等机构和控制系统中有中国的特色和创新。跟踪精度是反映望远镜机械系统和控制系统综合性能最主要的指标,设计任务书提的要求是2角秒/30分钟,实测的结果为长时间峰—峰值0.55角秒,远优于设计任务书的要求。

1996年12月中国科学院对2.16 m光学天文望远镜的鉴定意见认为:该望远镜首创使用中继镜作折轴系统转换,光学系统中像场改正器的设计达到了国际领先水平,这是一台2 m级的达到国际先进水平的光学望远镜。不过,由于主镜毛坯质量的限制,光学加工遇到了难以克服的困难,经过十分艰苦的努力,磨制了目前使用的镜面,光学性能良好,光能集中度指标与国际先进水平尚有差距。

目前,在2.16 m望远镜上配有三个先进的后端设备:①卡塞格林焦点CCD直接成像系统;②卡塞格林焦点OMR低色散光谱仪;③折轴焦点阶梯光栅分光仪。

2.16 m望远镜安置在北京天文台兴隆观测站(东经117.5°、北纬40.4°)。现在每个

晴夜2.16 m望远镜都安排观测,由于望远镜故障不能观测的日子每年只有2~3天,1989年投入运行以来获得了大量重要的天文成果:到1998年10月已发现了500多个活动星系核,包括200多颗类星体,一批BL Lac天体、赛弗特星系,发现的个别类星体在宇宙学研究上具有重要意义;认证并研究了中国发现的29颗超新星,其中一些特殊的超新星引起了全世界天文学界的关注;发现了一批具有W-R星特征的赛弗特星系;发现了与赛弗特星系成协的星爆星系;发现了11个激变变星;发现了在分子云周围的一批T Tau星;完成了极亮红外星系巡天样本;发现了海尔—波普彗星的钠喷发;取得了一大批特殊变星的观测资料……为中国天文学作了重大贡献。2.16 m望远镜同时参加了AGNs、WET、MUSICOS、WEBT、STEPH等多项国际联测,北半球从夏威夷到高加索近120°的经度范围内,2.16 m望远镜是唯一的一台性能优良、正常运行的望远镜,在全球联测中它占有重要的位置。

2.16 m光学天文望远镜获1998年度国家科技进步一等奖,主要完成单位(获奖单位)是,中国科学院南京天文仪器研制中心、中国科学院北京天文台、中国科学院自动化研究所,主要完成者(获奖者)是:苏定强、包可人、潘君骅、黄磷、黄玉棠、沈磐安、蒋筱如、夏立新、黄铁琴、李德培、蒋世仰、陈禄顺、胡景耀、竺松、张卫一。为表彰参与这项工作的老专家和有关领导,中国科学院向他们颁发了荣誉证书,获得者是:龚祖同、程茂兰、王大珩、雷天觉、戴耀、洪斯溢、沈海璋。

#### 参考文献

苏定强主编:《2.16米天文望远镜工程文集》,北京:中国科学技术出版社,2001。

《2.16 m 反光望远镜设计任务书》，中国科学院文件，(74) 科发二字112号，1974年3月15日。

《2.16 m 光学天文望远镜鉴定意见》，2.16 m 光学天文望远镜鉴定证书，中国科学院，1996年12月。

苏定强、周必方、俞新木：《中国2.16 m 望远镜的主光路系统》，《中国科学》A 辑，1989年第11期，1187~1196。

(苏定强)