

# 中国天文科学 大型装置的研制与应用(一)\*

中国科学院国家天文台      中国科学院基础研究所

(北京 100012)

(北京 100864)

关键词 天文科学,大型装置,中国

天文学是一门以观测为主的科学,是研究宇宙中天体和天体系统的形成、结构、运动和演化的科学。它既散发着古老的气息,又沐浴着当代高科技的阳光。从我们的祖先仰望星空的那一刻,到伽利略发明第一台天文望远镜,伴随着接踵而来的各式望远镜的发明以及各种挑战极限的观测技术的产生,宇宙展现给人类的画卷显得越来越壮丽。

众所周知,天文观测在我国具有悠久的历史和良好的传统。我国是世界上最早开始天文学研究的国家之一,曾经书写了世界天文学发展的辉煌一页。尽管由于历史原因,我国目前天文观测设备的整体水平与国际先进水平存在一定的差距,但令人欣慰的是,改革开放后的二三十年中,我国天文学科学装置整体研究水平有了长足进步,涌现了许多极具开创性的研究工作,取得了一批在国际上具有一定影响的成果:上海天文台于1987年建成了1.56米天体测量望远镜和天线口径为25米的甚长基线干涉仪站;紫金山天文台于1990年在青海德令哈安装了13.7米口径的毫米波望远镜;国家天文台(原北京天文台)于1984年建成了太阳磁场

望远镜,1989年安装了当时我国最大的光学望远镜——2.16米望远镜;2008年1月在南极内陆最高点 Dome A,安装了小光学望远镜阵(CSTAR);即将进行国家验收的大天区多目标光纤光谱望远镜(LAMOST),兼具大口径、大视场观测能力;已经开工建设的500米口径射电望远镜(FAST,以上两项以后专文介绍),拥有多项国际领先的自主原创技术。这些望远镜都装备有先进的探测器和终端设备,使我国天文观测能力发生了根本变化,也标志着我国天文仪器研制能力的飞跃。

## 1 1.56米反射望远镜

“1.56米反射望远镜”是上海天文台佘山观测基地的主要光学天文观测设备,其主镜口径为1.56米,副镜口径0.60米,焦距15.60米。望远镜采用RC光学系统和卡塞格林焦点系统,先后使用照相底片和CCD照相机进行天体的成像观测工作。望远镜建立初期的主要学科方向是照像天体测量,并开展了天球参考架、疏散星团的自行和运动学等方面的研究。在CCD照相机投入工作之后,还进行天体亮度变化的观测,开展了相应的天体物理研究。

该望远镜由上海天文台自行设计并于1987年研制完成,1989年12月通过中科院鉴定后正式投入使用,随后加入中科院光学

\* 本文由上海天文台邵正义、洪晓喻,紫金山天文台杨戟、冯珑珑,国家天文台张洪起、魏建彦、李久利(E-mail:ljl@bao.ac.cn),基础科学局彭子龙共同组织撰写  
收稿日期:2009年2月13日



中国科学院

天文联合开放实验室向全世界研究机构开放并运行至今。望远镜时间分配委员会每年发布观测通知,接受望远镜时间申请,分配望远镜使用时间。目前的用户以国内各天文台和高校的天文学家为主。

目前该望远镜配备了  $2048 \times 2048$  像素的 CCD 照相机,主要领域包括:活动星系核的监测、大行星的自然卫星定位与轨道研究、星团的运动学和动力学研究、球状星团小变幅新类型变星、类星体短时标光变的探测、射电源光学对应体的精确测定、人造卫星观测实验、高分辨率观测实验等。

该望远镜自建成投入使用以来,在活动星系核和大行星的卫星定位等领域已发表论文 80 余篇(其中 SCI 收录 30 余篇),获国家科技进步奖一等奖 1 项(1992 年)、中科院自然科学奖二等奖 2 项(1997、1998 年)、上海市科技进步奖二等奖 1 项(1996 年)、广东省科学技术奖二等奖 1 项(2003 年)、云南省自然科学奖二等奖 1 项(2004 年)。

目前,正在承担国家自然科学基金重点基金项目“Blazar 天体的辐射、结构和演化”、“光干涉”等。该望远镜将在天文应用研究、新设备的试验平台和教学实践平台三方面继续为天文学研究服务。

## 2 甚长基线干涉测量网(VLBI)

VLBI(Very Long Baseline Interferometry)简单来说就是把若干分散的射电望远镜链接成为一个整体进行观测。由于 VLBI 对天体的定位测量精度与基线长度成正比,其观测分辨率与基线长度和观测频率成正比,因此,增加基线长度即望远镜间的距离(基线长度原则上不受限制,地面可达几千公里,空间可达几万公里),可极大地提高分辨率和测量精度,从而可达到一架巨型望远镜的观测效果。

20 世纪 70 年代初,上海天文台叶叔华院士提出了建设中国 VLBI 网的建议。1978

年上海天文台成立射电天文研究室,开始 VLBI 系统建立和应用的研究工作。1979 年 VLBI 实验系统研制成功。80 年代后期,在上海佘山建成了我国第一个 25 米射电望远镜 VLBI 观测站和相关处理系统(该系统获 1993 年度国家科技进步奖二等奖)。1986 年底,上海天文台提出的沪-乌-昆三台站 VLBI 系统(1995 年调整为沪-乌两台站 VLBI 系统),即“中国 VLBI 网二期工程”开始实施。1987 年 11 月,上海佘山 VLBI 观测站建成揭幕。1994 年 10 月乌鲁木齐南山 VLBI 观测站建成揭幕。目前,上海天文台和乌鲁木齐天文站的两架 25 米射电望远镜已成为国际 VLBI 网的正式成员,在国际 VLBI 前沿领域的研究中,做出了很大贡献。

为满足我国月球探测的需求,2006 年国家天文台分别在北京和昆明建造了口径为 50 米和 40 米的射电望远镜,作为绕月探测工程地面应用系统的数据接收站,并参加 VLBI 对绕月卫星的测轨工作。上海、北京、昆明和乌鲁木齐 4 台站以及上海天文台的数据处理和调度中心构成了我国的 VLBI 网。2007 年 10 月 24 日,“嫦娥一号”卫星发射升空。在卫星飞往月球轨道的过程中,VLBI 测轨分系统为测控系统提供了高精度的时延、时延率和测角数据,并参与完成各轨道段的准实时轨道确定与预报,为确保卫星送入预定环月轨道做出了重大贡献,并获得了国家有关部门的多项表彰。目前,仍承担着对绕月卫星进行长期运行管理的测轨工作。

VLBI 在天体测量方面可提供天文学、大地测量学、地球物理学、地震学、地面导航以及航天等方面的应用研究;在天体物理方面可进行活动星系核的形态、大质量黑洞、相对论性射电喷流等方面的研究。目前,正进一步完善和改进现有的厘米波段 VLBI 网,推进 VLBI 在天体物理中天体测量和地

球动力学领域的应用;发展毫米波 VLBI 的中长期计划, 参加国际毫米波 VLBI 观测, 开展我国的毫米波 VLBI 的观测研究。

### 3 13.7 米毫米波射电望远镜

该望远镜位于中科院紫金山天文台青海观测站, 是我国在毫米波段唯一的一台大型设备, 长期向全世界研究机构开放, 主要用于宇宙毫米波射电天文观测。该望远镜结合了精密仪器制造与测量、伺服控制、超导混频、毫米波技术、数字信号处理、计算机控制等多种高新技术, 具有国际同类仪器先进水平。望远镜主要由 3 大部分组成: 封闭在天线罩内的毫米波天线本体及其伺服系统、低噪声毫米波接收机以及计算机控制系统。

国际上, 毫米射电天文学在 20 世纪 70 年代才得到迅速发展。在这个高潮中, 紫金山天文台就已对望远镜项目开始进行调研。经过几代人的努力, 克服了我国毫米波技术基础薄弱、国外禁运、研制经费有限等诸多困难, 勇于创新, 攻克了一系列技术难关, 胜利完成了望远镜的研制任务。此后, 仍不断地进行升级和完善: 1998 年, 装备了高灵敏度超导 SIS 接收机, 探测灵敏度实现了飞跃性的提高; 2002 年, 安装了自主研制的“3 毫米波段多谱线系统”, 探测能力实现了量级上的提高; 2007 年 4 月, “数字 FFT 频谱及配套中频系统”投入开放观测, 标志着在河外星系的深度探测能力方面迈上了一个新的台阶, 同时也为今后发展高性能射电系统, 提供了一项重要技术。在望远镜研制和升级过程中取得的一系列技术创新成果, 通过推广应用也取得了明显的社会效益和经济效益。

目前, 该望远镜在世界上现有的 5 架同类射电望远镜中, 其运行水平和开放程度居于领先水平, 是国际性的毫米波射电天文开放观测研究基地。

该望远镜自 1990 年投入工作以来, 系

统开展了 22 GHz 的水脉泽源时变观测搜寻工作, 发现了近 100 个新水脉泽源。自“3 毫米波段多谱线系统”投入工作后, 观测到了分子云、红外源、晚型恒星、HH 天体、行星状星云的彗星等约 200 个新的银河恒星形成区的高速气流外流源。据不完全统计, 使用该望远镜观测资料发表论文共 181 篇(其中 SCI 收录 69 篇), 获中科院科技进步奖一等奖 1 项(1997 年)、国家科技进步奖二等奖 2 项(1999、2006 年)、江苏省科技进步奖一等奖 1 项(2002 年)、青海省科技进步奖一等奖 1 项(2005 年)、蔡冠深基金观测奖二等奖 2 项(2002、2004 年)。

该望远镜为我国天文学的发展填补了极为重要的空白, 实现了我国天文学发展战略的一个阶段性目标, 为我国天文学家在当今异常活跃的分子天文学这一前沿领域的研究提供了有力手段。近 5 年来, 承担了科技部“973”项目之课题“星系中的恒星形成和演化”, 国家自然科学基金重点项目“银河系与星系中的大尺度恒星形成”、面上项目“大质量恒星形成早期的埃尘与分子气体”、国际合作项目“银河系大质量恒星形成的系统研究”, 中科院重要方向项目“恒星形成的亚毫米波研究”等一系列科研项目。

以该望远镜为基础, 科研人员将自主研制并装备“超导成像频谱仪”, 使之具备先进的空间成像能力, 并将使我国毫米波望远镜的探测能力提高几十倍, 在国际同类设备中取得强有力的竞争地位。相关技术与设备还可应用在大气科学、环境科学、空间探测等领域的工作中。此外, 青海观测站正积极推进兴建跨地区的毫米波甚长基线干涉观测系统, 参加国际联测, 促进我国天文学和宇宙探测的发展。

### 4 太阳磁场望远镜

太阳是距离我们最近的一颗恒星, 太阳对地球和人类有着巨大的影响, 所以太阳是



中国科学院

天文学最重要的观测对象之一。“太阳磁场望远镜”能同时测量太阳光球和色球层次的视频矢量磁场、速度场,兼具长时间、高空间分辨率和高灵敏度,是目前世界上具有领先水平的太阳望远镜系统之一。

太阳磁场的测量源于上世纪初的美国威尔逊山天文台。到 50 年代初,威尔逊山天文台发明了光电磁像仪,60 年代初在前苏联克里米亚天文台发明了横场观测方法,再加上磁流体力学的兴起,使得太阳磁场的观测和研究几乎成了一切太阳活动研究的基础和关键。当时以艾国祥院士为代表的中国天文学家对太阳观测仪器的发展历史做了全面、辩证的分析,认为太阳观测仪器的发展存在着“面-点-面-点-面”的形式,在内容上也不断发生质变,早期的“面”是由简单的白光组成的,中期的“面”是由单色光组成的,应该发展的“面”则由磁场或单色偏振光或极纯单色光不同偏振状态的微小差别组成的。基于多年来在双折射滤光器——视面单色器方面的深入研究和实验基础,在 1966—1967 年,经过 2 年的初步探讨形成了视面磁场新仪器的基本概念,并称其为“太阳磁场望远镜”。

经过艾国祥院士领导的联合课题组(主要单位包括原北京天文台、原南京天文仪器厂、福建物质结构所和原长春物理所等)10 余年的不懈努力,该望远镜于 1984 年建成,隶属于国家天文台。望远镜直径 35 厘米,总体性能达到世界领先水平。

目前,该望远镜主要用于太阳物理的基础研究和太阳活动对空间环境和通讯干扰预报等的应用研究。基于该望远镜和怀柔太阳观测基地获得大量的一流观测资料,在太阳磁场和速度场研究方面取得不少重要结果:太阳耀斑活动区强剪切磁反变线附近色球速度场的拓扑性质、太阳光球矢量磁场(电流、螺度)变化、非势磁能释放和耀斑-日

冕物质抛射的联系、太阳磁螺度随太阳周期的变化和南北半球分布特征、太阳色球磁场的纤维结构、太阳宁静区网络磁场和内网络磁场的结构和演化等,在国际一流学术刊物发表 *SCI* 论文 300 余篇,在国际太阳磁场物理研究领域产生了重要的影响,并获国家科技进步奖一等奖 1 项(1988 年),中科院科技进步奖一等奖 1 项(1987 年)、自然科学奖一等奖 1 项(1994 年)。

### 5 2.16 米光学天文望远镜

“2.16 米光学天文望远镜”位于国家天文台兴隆观测基地(河北省兴隆县),是我国自主研制的、当时国内最大,也是远东最大的光学望远镜。该望远镜由中科院南京天文仪器研制中心(现南京天文光学技术所)、北京天文台(现国家天文台)和自动化所等单位历时 15 年联合攻关协作研制而成,堪称我国自力更生研制大型精密设备的标志。1990 年前后,望远镜完成了在兴隆观测站的安装和调试,逐步向国内外开放,是目前我国天文界最主要的观测设备之一。该望远镜被誉为中国天文学发展史上的一个里程碑。

该望远镜的口径为 2.16 米,采用 RC 光学系统设计,具有卡塞格林焦点和折轴焦点。卡塞格林焦点的焦比为 9、焦距为 19.44 米,目前有 3 套焦面仪器:OMR 低色散光谱仪、BFOSC 暗天体光谱和成像相机、三通道光度计。折轴光路的焦比为 45、焦距为 97.2 米,安装了自主研制的高色散阶梯光栅光谱仪。

该望远镜具有多色测光和成像、低色散光谱、高色散光谱等观测手段,且地处望远镜相对较小的地理经度,自建成起就一直是国际天文联合观测网的主力设备。其研究课题涵盖了太阳系内天体、银河系内的恒星、遥远的星系以及来自早期宇宙的各类星体等

广泛的天文和天体物理研究领域。利用望远镜的观测数据,已经在脉动变星、超新星、恒星元素丰度、活动星系等研究领域取得了有一定国际影响的研究成果,发表 *SCI* 论文 230 余篇(其中在 *Nature* 上独立发表 1 篇、合作发表 1 篇;在 *Science* 上合作发表论文 1 篇);1998 年获国家科技进步奖一等奖。

该望远镜通过中科院光学天文重点实验室定期向天文界征集课题,经专家评审,每年有 50 多批次的国内外科研人员利用它进行观测研究。

## 6 中国南极天文观测装置

早在 20 多年前,我国天文学家就筹划在南极开展天文观测工作,还曾在国家自然科学基金委的专项支持下,研制成功了一台适合南极特殊天气条件的地平式 40 厘米望远镜。2004 年 12 月 12 日,我国极地探险队从中山站出发历经 29 天成功抵达南极冰穹 A-Dome Argus(简称 Dome A)。Dome A 是南极冰盖的最高点(海拔 4 093 米),由于此处具有其他地点无法比拟的天文观测优势:①极好的视宁度;②等晕角大,相干时间长;③水汽含量少,红外背景辐射少;④风速小,地震少;⑤空气干燥,尘埃少;⑥长达半年的极夜,可对南天区进行长时间连续观测;⑦天空视角最大。因此,理论上预期 Dome A 是地球上进行天文观测的最佳站址之一。为此,我国政府决定于 2007 年在 Dome A 建立天文观测站,这不仅可极大地提高我国天文观测的水平,而且在目前激烈的国际竞争形势下具有重要的国家战略意义。

为充分利用我国在 Dome A 建站的契机,发展我国天文事业,中科院和国家自然科学基金委在 2007 年启动“南极冰穹 A 的天文选址和天文观测”重点项目,予以大力支持。该项目同时获得了极地界同仁的理解和支持,天文台址综合考察活动顺利纳入了

国家海洋局的“国际极地年”中国行动核心计划——“熊猫计划”,并开启了我国领导的南极内陆天文学研究的国际合作项目。

2008 年 1 月 12 日,我国第 24 次南极科考内陆冰盖考察队再次到达南极内陆最高点 Dome A,初步建立了自动天文观测站(PLATO)。PLATO 为智能化的全自动天文观测设备,由中国小光学望远镜阵(CSTAR)、表面层非多普勒声雷达、太赫兹亚毫米波望远镜、GATIINICCD 相机、15 米高塔自动气象站等设备组成,开展对南极的云层覆盖、天光背景、大气透明度、大气折射结构和边界层等重要天文台址参数的系统测量。其中 CSTAR 由南京天文光学所、紫金山天文台和国家天文台联合研制,用于监测南极天顶 20 多平方度内的所有天体,进行变星监测及统计分析,寻找系外行星、超新星等。

此次 Dome A 天文选址活动已取得阶段性成果,*Nature*、*Science* 以及美国《国家自然地理》、《纽约时报》等科学期刊与媒体均对此次活动进行了全方位的采访和报道,在国际上产生了重要影响。

继 CSTAR 之后,计划在 2009—2010 年再在 Dome A 安装由 3 台 0.5 米口径望远镜组成的南极施密特望远镜阵(AST3)。该装置将继续提供 Dome A 站址的重要信息,特别是测光精度等一手资料,同时还可利用极夜长时间连续搜寻太阳系以外的行星、超新星、类星体和其他暂现天象,具有更加显著的科学意义。AST3 项目的实施是我们未来在南极建造更大规模天文望远镜及观测台站的重要步骤,将为我国在 Dome A 这样一个重要而又条件艰苦的站址建造天文望远镜积累极其宝贵的经验。

(相关图片请见封三、封四)



中国科学院