

中国射电天文的研究与发展*

杨 戟

(中国科学院射电天文重点实验室 中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

摘要 文章首先介绍了我国射电天文学的各项研究和进展,如分子云与恒星形成研究,脉冲星、超新星和星际磁场研究,黑洞和 AGN 研究以及宇宙学研究等。结合这些研究,介绍射电技术方法的研究和主要的设备能力建设情况,并展望未来一段时期的发展。

关键词 射电天文,恒星形成,脉冲星,星际磁场,黑洞,宇宙学,射电望远镜

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2011.05.004



中国科学院



杨戟研究员

射电天文是天文学的一个重要研究领域。自上世纪 30 年代出现以来,已经有综合孔径方法、脉冲星的发现、宇宙微波背景辐射的发现、脉冲双星的发现和研究发现、宇宙微波背景辐射的黑体谱特性以及非各项同性等重大的发现和发明先后获得诺贝尔物理学奖。射电天文导致的科学发现改变了人们对宇宙及物理世界的认识,同时,伴随射电天文的发展而发展出一系列新的探测技术与方法。这些新技术与方法不但使新的重大科学发展成为可能,而且在通讯、航天等领域得到了广泛应用。近年来,我国射电天文研究取得了许多重要的成果和进

展,而射电望远镜和探测设备的发展更为迅速。伴随射电天文研究、技术研发及设备发展,射电天文的人才培养也得到了显著的加强。以下结合我们近年来射电天文的状况,介绍前沿研究与技术和设备发展的主要进展。

1 分子云恒星形成研究与毫米波亚毫米波技术发展

1.1 星际脉泽源研究与高精度视差测量

利用相位参考的高精度 VLBI 方法,徐焯、郑兴武等人对距离太阳最近的英仙臂恒星形成了区 W3(OH)进行了多历元的 VLBI 视差测量,精确地给出目标的距离和运动速度,其中距离测量的相对精度达到了 2%^[1]。该项成果对银河系旋臂结构的测量和研究有突破性的进展。运用这种 VLBI 高精度的视差测量手段是传统三角视差测量的一次重大革新,不仅可以为天体的距离、银河系结构等基本天文的测量带来根本的提高,将来还可能为暗物质分布等重大问题提供精

* 收稿日期:2011 年 8 月 21 日

确的测量结果。通过已开始的大规模的国际合作计划(BeSSEL计划),在不久的将来对整个银河系的测量将获得更为系统的结果,成为一个有重要影响的国际合作成果。

1.2 银河系的分子云与恒星形成研究

星际分子云与恒星的形成研究领域是天文学有关起源研究的前沿之一^[2]。近年来,中科院紫金山天文台、北京大学、中科院国家天文台、上海天文台、新疆天文台等都开展了多项研究。主要研究包括:(1)红外暗云及星前核的物理性质;(2)物质下落运动的探测;(3)大质量恒星形成区的高分辨观测;(4)原行星盘和原始双星系统的探测;(5)分子云及年轻恒星的大样本分子谱线巡天;(6)年轻星和恒星形成区的多波段交叉证认及脉泽源的探测等。特别是,在大质量恒星形成区的研究方面取得了系列进展。例如,在早期的大质量核中,同时探测到分子气体的内流运动和外流活动。这一成果为大质量恒星通过吸积/盘/外流的动力学过程形成提供了有力依据。在这些研究基础上,通过开展系统的银河系巡天计划分子云与恒星形成研究,使之成为一个我国射电天文研究在国际上体现显著特色的研究方向。

1.3 星系中的恒星形成

紫金山天文台高煜等人通过射电观测给出了气体与恒星形成率的 Schmidt-Kennicutt 的关系修正。结合多波段研究,发现星系中致密分子气体含量与该星系的恒星形成率之间呈线性关系,这种关系成立的尺度从银河系分子云一直延伸到极量红外星系。对星系内部高密度气体的进一步探测,对以上关系提出了新的问题^[3]。恒星形成率关系已经在国际上得到高度认可,也被大量的研究所引用。

1.4 毫米波亚毫米波探测技术的发展

紫金山天文台 13.7m 望远镜是中国在

毫米波亚毫米波段的主要观测设备。这台设备的技术发展和升级不断进行。继超导接收机以及 3 毫米波段多谱线系统之后,紫金山天文台新近完成的 3x3 波束超导成像频谱仪成为新的换代接收设备。紫金山天文台毫米波与亚毫米波技术实验室完成了系列太赫兹 SIS 及 HEB 混频器的研发,合作应用到 SMA 和 ALMA 等装置中,也利用国内的小型亚毫米波望远镜开展了实验性观测^[4]。今后的一个重要发展是面向未来需求的宽带非相干成像太赫兹探测器及相关的技术。经过多年的发展,太赫兹探测技术已经成为我国天文探测技术的一个优势技术领域,这些新技术在大气科学、空间探测、安全检测以及医疗等领域也将有许多应用的机会。

2 脉冲星、超新星和星际磁场研究与

大口径射电望远镜

2.1 脉冲星的观测

在脉冲星的巡天基础上,新疆天文台一研究小组通过对一些年轻脉冲星样本的观测发现了一批重要的跃变天体,包括 PSR B2334+61 的大跃变。分析表明,相对跳变幅度比与脉冲星的年龄相关。另外,通过观测获得了一个毫秒脉冲星样本的偏振轮廓。对脉冲星到达时间的观测以及研究,为理解脉冲星的内部结构提供了重要的信息^[5]。面向脉冲星更为系统的观测研究等科学需求,提出了在新疆建设 110 米望远镜的计划。脉冲星研究已经成为国际上活跃的研究方向之一,基于射电脉冲星的导航定位技术探索可给未来的应用带来新的机遇。

2.2 超新星和星际磁场研究

国家天文台一研究小组利用银河系全天的脉冲星为探针,通过测量各个方向的磁场强度和方向,成功地构建了银河系磁场分布新模型^[6]。中德合作 6cm 偏振巡天是国际上同波段最完整的巡天。通过中德 6cm 偏

振巡天发现了一批新的超新星遗迹, 证实了新的 HII 区等。利用 HI 的吸收谱线并比较同一天体方向的分子发射谱线和 HI 吸收谱线, 给出了一批超新星遗迹新的距离测定结果。南京大学、国家天文台、紫金山天文台等单位的研究小组利用多波段资料, 特别是结合射电分子谱线观测, 研究了 IC443、Kes 69 等一批超新星与星际介质相互作用的对象, 探索宇宙射线的起源。星际磁场的研究成果在国际上取得了重要的影响, 这些成果在未来的大望远镜时代可以得到继续扩大。

2.3 500 米大口径球面望远镜 (FAST)

利用贵州特有的 KARST 地形建造 500 米口径球面望远镜 (FAST) 无疑将成为在射电波段国际射电天文的一个领先设备^[7]。FAST 的大口径集光能力结合 19 波束 L- 波段接收机及其他波段多台套的高灵敏接收机, 将为宇宙中型氢巡天、脉冲星和引力波探测、星际谱线探测以及探索宇宙通讯信号等研究领域提供强大的观测能力。除了在重大科学问题研究中的作用以外, 预期 FAST 也将在深空探测、脉冲星计时阵和“子午工程”非相干散射雷达信号的接收等重大应用需求方面发挥作用。该设备的建设工程正在紧张进行, 可以期待在未来 5 年投入使用, 成为国际射电天文领域一台“航母级”观测设备。

3 黑洞、AGN 研究

近年来, 以上海天文台一研究小组为代表, 在高分辨射电观测研究黑洞, 特别是 Sgr A* 结构及周围物理过程的研究方面取得了一系列重要进展^[8]。对 3C84 等活动星系核以及河外射电喷流进行了详细研究, 对其结构和频谱特性的研究获得了新的认识。此外, 还对一批活动星系核进行了毫米波 VLBI 的观测。黑洞和 AGN 的射电研究已经处于国际前沿水平。随着我国自主 VLBI,

包括空间 VLBI 和毫米波 VLBI 的发展, 该方向的研究将更为活跃。

4 宇宙学与 21CMA

为探测大爆炸后宇宙从黑暗时代到第一代恒星的形成, 国家天文台在新疆建设了大型低频干涉阵 21CMA^[9]。21CMA 由 81 个静止阵列单元构成, 分布在东-西和南-北两个方向的基线上, 对北极方向 10x10 平方度进行综合孔径成像, 空间分辨率为 4 角分。系统工作在 50—200 MHz 频段, 频谱分辨率为 24 kHz, 试图探测的红移范围 $z=6-27$ 。系统自 2005 开始工作。近期, 在该探测阵的基础上, 又建设了宇宙射线和高能中微子探测望远镜 TREND。在激烈的国际竞争中, 宇宙射电背景的探测很有可能取得重大的突破。

5 射电天文的应用

5.1 VLBI 在深空探测及测地中的应用

以上海佘山、乌鲁木齐南山 2 台 25 米望远镜及北京密云 50 米天线、云南凤凰山 40 米天线等一起组成了中国第一代 VLBI 网。随着国内互联网基础设施建设的发展, 国内已经实现了多台站 e-VLBI 的观测。佘山-乌鲁木齐两台 25 米望远镜对 SELENE 的同波束 VLBI 实验观测取得了成功, 结果显示 X- 波段的较差相位延迟的精度比非同波束的结果有了量级的提高。这些进展使得 VLBI 有可能在深空探测、测地以及其他领域发挥更为重要的作用。

5.2 射电天文在空间天气预报中的应用

不同波段的射电天文在探测太阳活动对人类地球环境的影响中发挥着重要作用。国家天文台、云南天文台和紫金山天文台运行多台套、不同波段的太阳射电频谱仪, 用于监测太阳活动及日冕物质抛射, 为空间天气预报提供实测资料。为了研究太阳爆发活动初始能量释放区, 以给空间天气预报提供



中国科学院

新的观测资料,国家天文台提出了建设新一代厘米-分米波日像仪(CSRH)计划^[10]。太阳射电观测和研究已经成为空间天气预报不可缺少的重要组份,并随着航天时代的发展而满足越来越深层次的需求。

6 射电天文研究与发展展望

当今天文学的研究面临一系列重大的科学问题,包括暗物质和暗能量、黑洞和致密天体、宇宙起源、天体起源以及宇宙生命起源等等。揭示这些问题将导致人们对宇宙和物质世界的认识产生重大飞跃。犹如射电天文发展从一开始就与高技术发展紧密相关,要回答这些问题,观测能力的创新显得十分关键。射电天文将迎来快速发展的时代,未来的发展包括各波段大型观测设备的建造与使用、通用的高分辨观测网络的建设、面向特定科学目标的观测设备的建设、特色终端的研制等等。建设与发展射电天文的基础设施需要前瞻的技术引领和铺垫。应加快发展射电天文的高技术和新方法,包括大口径望远镜及检测技术;高频射电主动反射面技术;多波束技术及大视场、多目标综合孔径成像技术;射电低噪声接收和太赫兹直接检波技术;宽带数字频谱和数字滤波、数字消色散接收、宽带数字传输技术及e-VLBI高性能软件相关处理等射电数字技术;空间VLBI、月基射电天文等射电空间探测技术、时频新技术和高时间分辨探测系统技术以及偏振测量技术等。

研发是为了明天。新技术方法与设备的有机结合将为未来的科学发现提供创新能力以及应用机遇。射电天文科学研究与技术发展需要加强人才培养和建设,相关的高等院校应在人才培养方面发挥更为突出的作用。

6.1 南极天文台与太赫兹望远镜

我国在低频领域的大科学装置 FAST

建设正在进行之中。南极天文台 5 米太赫兹望远镜的建设将包括高频段(太赫兹频段的)天文观测设备。实测表明,南极冰穹 A(Dome A)是地基太赫兹观测的优异台址。该台址冬季的大气可降水汽含量低达 70 微米,比地理南极点(South Pole)基地、Dome C 等其他南极基地的指标优越。利用该台址资源,建设南极天文台太赫兹望远镜,将打开太赫兹波段新的天文窗口,为各个领域的天文研究获得新的观测机会,也为地面天文开辟新的前沿。规划的中国南极天文台将先期建设一个 5 米口径的太赫兹望远镜,主要工作在 0.9/1.4TH(350 μ m/200 μ m)大气窗口。中长期发展的重点可能包括一个口径更大的太赫兹望远镜,侧重大视场和太赫兹/远红外深度成像的探测能力,而长远的太赫兹/远红外高分辨干涉是一个诱人的方向。

6.2 上海 65 米望远镜以及中国 VLBI 网(CVN)建设

近年来,上海天文台在多台站相关处理机和软件相关技术、数字基带转换技术、实时 VLBI 技术等方向有显著的进展。研制成功的数字基带转换器(DBBC)已经应用到多个 VLBI 观测台站。这些技术发展不仅保证了参加 EVN、NASA 测地网等主要的国际 VLBI 网络观测,而且也应用于“嫦娥一号”探月卫星的精密测轨,为佘山 65 米望远镜建设提供了技术保障。可以预计,500m 口径球面望远镜 FAST、65 米以及新疆 110 米望远镜的建成对增强 CVN 的观测能力将有全新的改变,使得以中国为主体的 VLBI 观测网络成为全球 VLBI 观测网络中一个有特殊份量的网络。面向高灵敏度和高分辨率的科学需求,对更大规模的干涉阵列,例如中国阵列(China-ART)的考虑,也在提议中。

6.3 射电频率保护

对射电天文而言,观测所使用的无线电

频段以及射电天文观测台站周围无线电宁静环境都是一种珍贵的资源,犹如新鲜的空气对人类那样重要。在现代工业化发展过程中,这些资源与环境经常受到不同程度的影响。保护好这些频段与宁静环境,是我国射电天文发展及应用的必要条件。近年来,国家有关部门对此高度重视并积极协调国内外的射电频率保护工作。中科院射电天文重点实验室也在持续组织射电频率保护的业务工作并与有关部门保持密切配合。今后,射电频率保护无论在立法、宣传、技术措施等方面还需要不断加强。

主要参考文献

- 1 Xu Y, Reid M J, Zheng X W et al. Science, 2006, 311(5 757):54-57.
- 2 杨戟. 物理, 2001, (11):51-55.
- 3 Gao Y. Nature, 2008, 452(7 186): 417-419.
- 4 史生才, 关口峪太郎. 日本赤外線学会志. 2010, 19: 33-36.
- 5 Wang N. Highlights of Astronomy, 2010, 15: 228-228.
- 6 韩金林. 科学, 2011, (1):4-7.
- 7 南仁东. 中国科学 G 辑. 2005, 35(5):449-466.
- 8 Shen Z Q, Lo K Y, Liang M C et al. Nature, 2005, 438:62.
- 9 Wu X P. Bulletin of the American Astronomical Society, 2009, 41: 474.
- 10 Yan Y, Zhang J, Wang W et al. Earth, Moon, and Planets, 2009, 104(1-4):97-100.



中国科学院

Research and Development on Radio Astronomy in China

Yang Ji

(Key Laboratory of Radio Astronomy, CAS,

Purple Mountain Observatory, CAS 210008 Nanjing)

Abstract The major research achievements and equipment development on Chinese radio astronomy are briefly reviewed in this paper. Research progresses in different areas of radio astronomy including molecular clouds and star formation, pulsar, interstellar magnetic fields, black hole and AGN, and cosmology are firstly introduced. The researches on radio astronomical technologies as well as the development of major radio facilities are also introduced. In combination with these introductions, perspectives on future developments are outlined.

Keywords radio astronomy, star formation, pulsar, interstellar magnetic fields, black hole, cosmology, radio telescope

杨戟 中国科学院紫金山天文台台长、研究员、博士生导师,中国天文学会秘书长,杰出青年基金获得者和中科院“百人计划”优秀完成人,国家基金委创新研究群体学术带头人。从事射电天文、恒星形成的研究工作,先后承担“973”课题、基金重点项目和国家重大科研装备研制计划等科研项目,在国内外期刊发表 110 余篇论文。E-mail:jiyang@pmo.ac.cn