

由一个射电天文基地看当前 射电天文实测研究的动向

向德琳

(中国科学院紫金山天文台)

提 要

本文前半部介绍了一个在国际上有影响的射电天文实测研究基地——美国国家射电天文台 (NRAO)* 的概况和主要实测装备, 阐明了它在射电天文领域的地位及其代表性。后半部介绍了它向世界各国天文学家开放的主要射电望远镜八十年代以来的观测课题分布, 并对当前射电天文实测研究的动向作了一个简单的剖析。

一、一个射电天文实测研究基地—— 美国国家射电天文台(NRAO)

1. 概况^[1-4]

NRAO在国际上是射电天文领域的主要研究中心之一, 于1957年建成。它和美国其他国家天文台一样, 把研究和发展望远镜系统的各部分及其资料处理系统, 并维持各望远镜系统的正常运转, 开展射电天文研究作为自己的重要责任。按规定它应将全部观测设备向国内外所有的天文单位开放。该台建成30年来, 已陆续接待了几百名中、长期的访问学者, 为他们提供了实测和科研的条件。通过相互交流和学学习, 使他们取得了更有效的实践经验, 为射电天文学科的发展作出了贡献。八十年代以来, NRAO每年的科研和仪器发展经费约在1000万美元左右, 此外还有专款用于大型设备的发展。

NRAO的组织机构参见图1, 它的总部设在弗吉尼亚州的夏洛茨维尔城, 包括行政机构、图书馆、计算中心、电子学实验室和甚长基线干涉测量(VLBI)处理中心等。计算中心配备有IBM4341大型计算机和VAX11/780以及其他型号计算机多台, 外部设备齐全。本部电子学实验室特别看重研制和发展特殊的毫米波元件。NRAO是甚长基线干涉测量网在美国的主要处理中心之一, 它的Mark II处理机负有处理全球20多个台站全部VLBI记录的任务。全台天文研究人员占其职员总数的10%左右, 国内外的访问学者主要集中在在这里, 共约七、八十人。技术支持人员占60%左右, 全台总人数约400名。

* NRAO-National Radio Astronomy Observatory is operated by Associated Universities, Inc. under contract with the National Science Foundation.

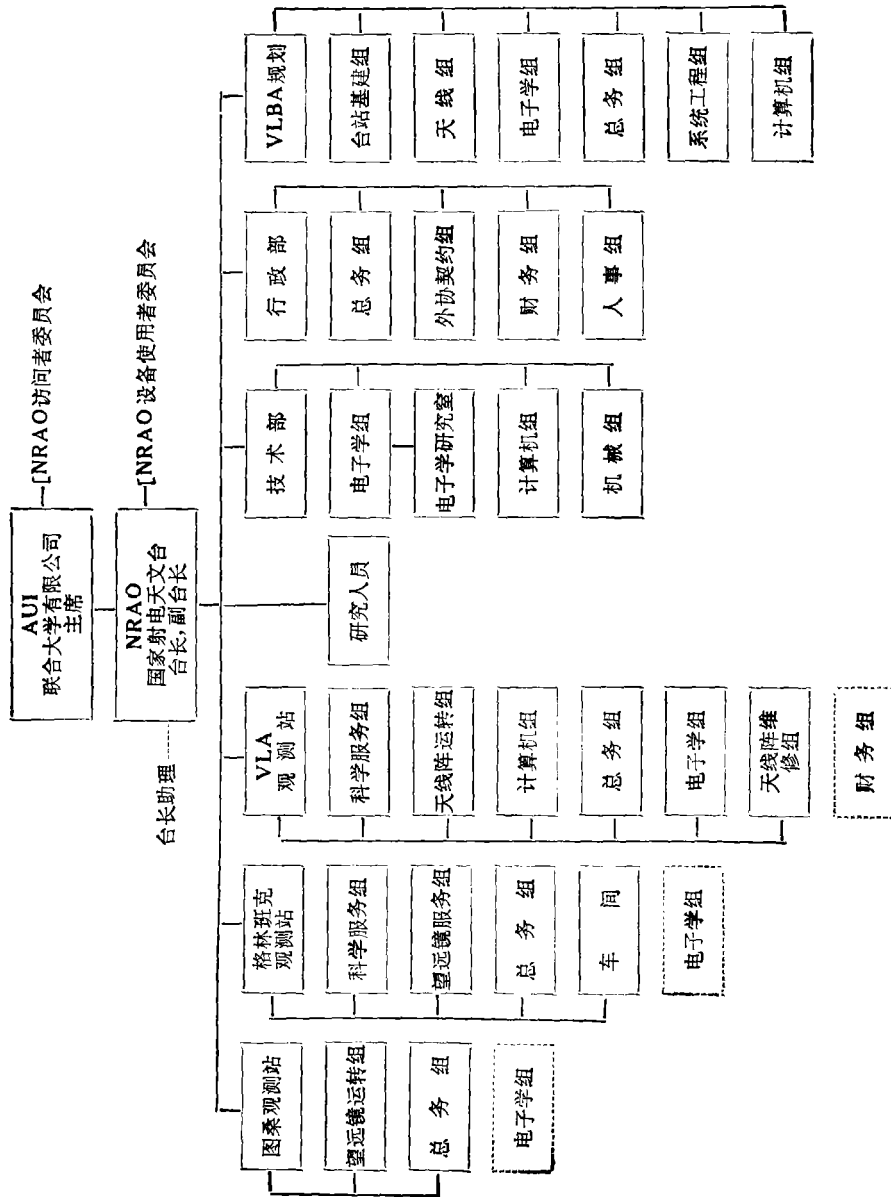


图 1. 美国国家射电天文台组织机构图。

NRAO有三个观测站。一个是1957年建在西弗吉尼亚州的格林斑克天文台。它设置在一个最大仰角为 5° 的山谷中,占地2700亩。这里安放了43米赤道式射电望远镜,91米射电中星仪等大型射电观测设备。

第二个观测站设在亚利桑那州图森城郊的基特峰国家光学天文台(NOAO)附近,称图森观测站,于1967年建成。台址高度1914米,纬度 $31^\circ 57' 12.1''\text{N}$ 。1968年在这里安装了直径为11米的毫米波射电望远镜。由于水汽的影响,大气在毫米波段的不透明度相当大,而且不稳定,所以台址选在这个空气相对干燥、少云、生活和技术保证条件已有一定基础的国家光学天文台附近。这台仪器运转情况良好,使用效率极高,除了8月份因沙漠雨季而停止观测外,从9月到次年7月每天24小时提供使用。经常有来自世界各地几十个天文台站的天文工作者前往观测,一般只留下10%左右的望远镜时间为本台人员使用。

第三个观测站是在1980年落成的VLA(甚大天线阵)观测站。它座落在新墨西哥州索柯若城以西80公里的圣奥格斯汀高原上,海拔2000米。它远离工业无线电干扰源,地势开阔、平坦,是个理想的大型天线阵站址。这个站于1973年始建,1980年底全面投入使用。VLA是当今世界上地面天文学中规模最大和威力最强的射电观测设备。该站占地14000平方米,建站耗资7800万美元。

NRAO的全部设备向世界各国的天文学家开放,至少60%的望远镜时间提供给访问科学家使用。中长期去美国进行观测研究的科学家每年约有350位。近年来,单是VLA的国内外观测者每年竟有500人次之多。在申请课题被批准后,他们可以使用NRAO的望远镜、有关仪器设备、计算机和各类软件做他们自己的研究题目。访问科学家和NRAO的研究技术人员间通过来访和观测活动进行的交流,使天文学家们及时了解前沿研究领域的成就和问题,也促进了NRAO仪器设备性能的改进和提高,为保持天文台的活力,推进射电天文学的发展起了促进的作用。

2. 主要的实测设备

(1) 11—12米毫米波射电望远镜 [2],[5],[6]:1968年投入使用的11米镜, $F/D=0.8$,地平装置,俯仰范围 $16^\circ-90^\circ$,方位范围 $0^\circ-360^\circ$,表面精度 $0.14\text{mm}(\text{rms})$,绝对指向精度 $7''(\text{rms})$ 。望远镜可在主焦和卡焦工作。副面可以摆动,用作波束调制。

1982年用一个新的直径为12米的面板替换了原来的11米面板。新面板于1984年9月和1985年8月又进行过机械测量,在230GHz面板重调达到精度 $75\mu\text{m}(\text{rms})$ 。主焦口径效率29%。指向精度和稳定性达到 $10''$ 。FORTH控制系统用RLO2 10.0MByte的磁盘,可容纳9000次扫描记录容量。站址的脱机资料处理增添了VAX 11/750计算机。对CO的 $J=(1-0)$ 谱线接收机的噪声温度已达225K(SSB)。在 $\lambda=1.3\text{mm}$ 已配备了He测辐射热计,灵敏度达到 $2.5\text{Jy}\cdot\text{s}^{-1}$ (包括大气影响时是3—8)。在 $\lambda=1.3$ 和2mm带宽分别是66和35GHz。1985年秋装到12米镜上的105—115GHz SIS(超导-隔离层-超导)接收机的噪声温度降到原有3mm波段所达到指标的1/4。

改装后的12米毫米波射电望远镜已于1984年底正式投入观测。该镜的指向控制用PDP 11/44计算机,自动控制的指向改正包括温差变形、重力变形和大气折射改正等等。

望远镜的接收系统包括连续谱和谱线接收两大类,工作频率范围从13mm直至0.87

mm, 分若干个波段, 使用不同的前端箱。调制系统包括波束调制、负载调制和频率调制。

(2) 43米射电望远镜[1],[7],[8]: 这台望远镜是世界上最大的赤道式射电望远镜, 是美国目前最大的短厘米波、全动抛物面射电望远镜。卡焦和主焦系统兼备。工作波段包括1.3cm, 2cm, 6cm, 10cm, 18cm/21cm等。抛物面精度 $\pm 0.8\text{mm}$ 。主瓣微波箱上的馈源接头对各波段是可以通用的。在卡焦系统, 几个馈源同时装在一个微波箱上。1985年的改进使副面出射波束一分为二, 同时照明卡焦处独立的两个量子放大器的上变频器, 使达到同时接收两路相反线偏振的目的。为减少在大时角或大赤纬观测时增益下降的弊病, 还作了副面侧向聚焦的改进。

接收机的前端置于致冷微波箱内, 包括参量放大器和第一混频器。前端还包括一只用作标准源的噪声二极管。微波箱的中频输出通过电缆送到望远镜塔座底层的主机室。

对于连续谱测量, 接收机包括一般的中频放大器、检波器、解调器等。输出数据可自动记入磁带。

这台望远镜除作单天线观测外, 还兼作甚长基线干涉测量。

(3) 91米中星仪式射电望远镜[1],[8]: 这是一台国际上最大的射电中星仪, 其赤纬轴支撑在两个钢结构柱架上。反射面是网状结构, 网眼间距1cm。主焦点上放置一个6—21cm的双波段微波箱。馈源可在主焦处的支架上沿东—西方向的轨道移动约3—4个主瓣宽度的范围, 以便在子午面附近跟踪射电源。俯仰方向指向由链条和链盘驱动。两个方向的波束扫描都是机械扫描, 由计算机控制。1985年启用了S波段观测。

这台望远镜1960年始建, 1962年完成, 安置在格林斑克站。耗资100万美元。

(4) 甚大天线阵(VLA)[1],[9—11]: 这台综合孔径射电望远镜是利用地球自转进行孔径综合的射电望远镜系统。它的天线系统的总接收面积相当一台直径为130米的单天线, 分辨率相当于跨度34公里的望远镜, 能在半天内综合出一幅辐射电源图像。

VLA由27面直径25米、重210吨的抛物面天线组成。每面天线包括256块面板, 表面精度 $0.7\text{mm}(\text{rms})$ 。这些天线被排在Y字形的三条铁轨上。其中两臂长21公里, 另一臂长19公里。天线在计算机控制下可沿铁轨运行至观测所需的点位(共72个)。VLA的组元天线可有四种排列方式, 称位形A、B、C和D。对应27面天线分别排列在延伸21公里、6.4公里、1.9公里和0.6公里的臂长上。

全部天线信息经变频放大后都通过波导系统集中到Y形臂中心附近的控制室中去。

VLA的主要性能有:

- a. 27台天线同时给出351条基线, 利用地球自转进行孔径综合。
- b. 沿着Y形三支臂排列的天线位置的非线性间距给出性能良好的波束。
- c. 它的四种位形A、B、C、D分别对应最长基线为36、11、3.4和1.0公里, 整个系统同时包括了若干短的基线, VLA可得到全覆盖。
- d. 有四个工作频段: L(1.35—1.72GHz)、C(4.5—5.0GHz)、U(14.4—15.14GHz)和K(22—24GHz)。
- e. 有四个中频系统, 可以同时两个频率上观测左、右圆偏振, 对每条基线相关器输出

8条不同的干涉仪条纹。

VLA的计算机系统由同步和非同步系统组成。前者联系观测过程, 在8到12小时的观测期间执行控制天线、收集观测资料(每小时约 4×10^6 个数据)等任务。它的全部资料(通过磁盘)实时地转送到非同步(脱机)系统作进一步的资料处理, 后者最终完成用等强度线或不同色彩表现的射电源图像, 分辨率最高可达 10^{-1} 角秒量级。

二、当前射电天文实测研究的课题分布^{[2],[12-21]}

NRAO近20年来大力发展观测设备, 目前拥有国际上威力最强大的射电望远镜系统(如VLA), 领导着不但已见成效而且前景远大的VLBI发展计划的实施, 并将全部设备向全世界天文学家开放。同时, 对各望远镜观测时间的全部申请报告——观测课题计划(包括NRAO本台的天文学家提出的)都要求经审查委员会(由有一定学术地位的台外科学家组成)评审、挑选, 才能最终列入望远镜的观测日程表。这样, 一来保证了这些投资巨大、装备先进的望远镜能得到更有效的利用, 二来使取得观测机会的计划项目能代表国际上最有水平的课题方案。由于NRAO的50—60%的望远镜观测时间安排给世界各地天文学家和学生使用, 台内研究人员只占用略多于10%的观测时间(剩下的时间用于望远镜的维修、校准等)。可以说这些望远镜的课题计划反映了国际上射电天文领域观测研究的前沿状况和发展趋势。本文用图和表展示的八十年代以来NRAO各观测设备对不同类目和具体观测课题的概况, 应能简明地体现当今国际上射电天文实测研究的动向。希读者能够由此一斑窥见当前射电天文学领域实测研究的全貌。

表1^[12-17]列出了1979年7月—1985年6月期间NRAO各观测设备对不同类目的总观测课题数和各望远镜的具体观测课题的分布。图2以及图3分别给出了相应的直方图。我们可以看到:

1. 91m望远镜

它的口径虽然巨大, 但限于是中星仪式的装置, 主要工作在对河外天体的观测研究上。包括对大量预选天体作巡视研究以及对河外变源(特别是低频变源)流密度和偏振的变化作监视观测。其次是对正常星系的OH(羟基)18cm和HI(原子氢)21cm谱线进行观测研究。

2. 43m望远镜

此镜的观测课题几年来相当稳定。大部分时间作银河系的星际分子、分子云、暗云以及HII区的观测研究, 谱线工作为主。全部观测课题的30%涉及星际分子及其谱线的搜索研究。例如近年来对 C_6H , C_5H , H_3C_5N , HC_3HNH 在某些有代表性的分子云中的搜索研究, 对 C_3H 吸收线的探测, 对 C_3O , H_2C_3O , NH_2CHO 低频跃迁的探测, 对对称陀螺分子 CH_3C_6H , CH_3C_6N 的搜索, 对一些新的星际分子如SiH的观测研究等等。其次是致密HII区、脉泽源和恒星形成区的观测研究。河外星际分子的谱线工作, 包括对河外 H_2O 脉泽的观测以及对河外星系的旋涡结构和OH发射关系的研究等。它也用来作一些银河系连续源的复合线巡视。

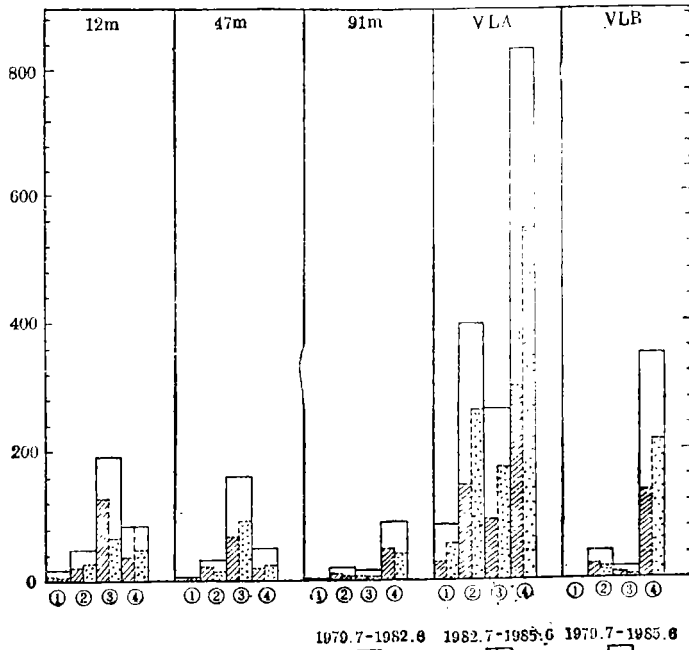


图2. NRAO各观测设备对不同类目的总观测课题数分布。①太阳系；②恒星；③银河系；④河外天体。

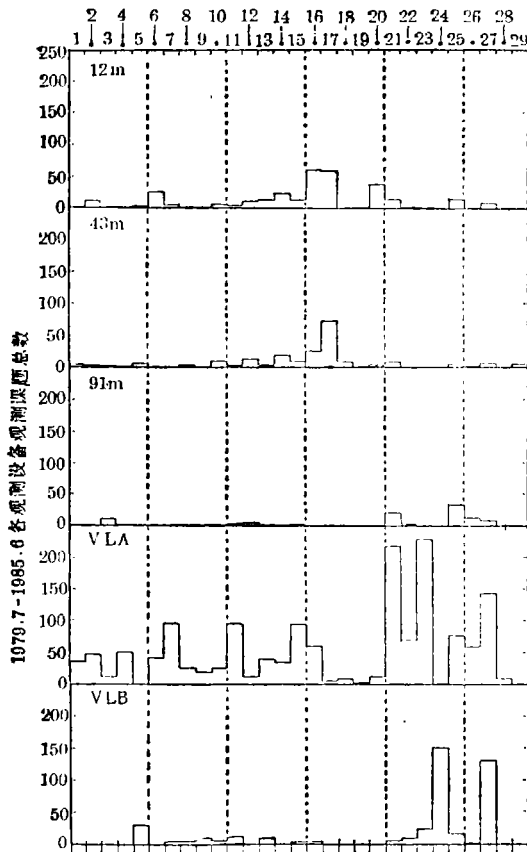


图3. NRAO各观测设备观测课题数分布。

1. 太阳
2. 行星、彗星
3. 脉冲星
4. 恒星、X射线源
5. 行星状星云
6. 质量损失和拱星包层
7. 超新星遗迹
8. 新星和超新星
9. 天体测量和测地
10. 晚期恒星脉泽源
11. 其他恒星
12. 银河系结构
13. 银河系中心
14. H II区
15. 致密H II区、脉泽、恒星形成区
16. 分子云、暗云、CO研究、外流
17. 分子搜索和研究
18. 星际介质
19. 银河系其他天体
20. 河外分子
21. 正常星系
22. 活动星系和X射线星系
23. 射电星系和射电源
24. 射电源的VLBI研究
25. 射电源的巡视、变源监视
26. 星系团和星系群
27. 类星体和 BL Lac天体、致密天体
28. 未知的X射线源、 γ 射线源
29. 宇宙论

3. 11m(1984年改成12m)毫米波射电望远镜

用这台望远镜发现了迄今为止已观测到的60多种星际分子的大部分,特别是对毫米波天文学早期阶段的发展起了推动作用,作出过重要的贡献。总的来说,近年来,它的最主要的观测课题是在银河系的分子云、暗云、一氧化碳(CO)和外流以及星际分子的搜索和研究两个方面,作过不少分子云的形态学和动力学的观测研究。随着大分子云、红外源和电离氢(HII)区之间演化关系的明显化,八十年代初期, HII区、脉泽源和年轻恒星区域等受到更多的注意。不过,七、八年来,使天文学家的吸引力有增无减的课题是对分子云和外流的研究。为了了解恒星形成区域的初始阶段,作为合适的实验室以探索乙烯(C₂H₄)、甲基乙炔(CH₃CCH)、氰基乙炔(HC₃N)等分子和乙炔基离子(CCH⁺)等等。暗云也作为很重要的观测对象。其次,为了研究恒星的演化,包括星风、恒星的气壳膨胀、恒星的爆发相等物理过程,恒星的质量损失和拱星包层的观测研究逐年受到更多的重视。由表1可见,这方面的观测研究课题近几年来比八十年代初期大有增加。反之,新的星际分子和新的跃迁的搜索研究热潮似乎已经过去,八十年代中期在这方面的选题计划已降到几年前的1/3。

进入八十年代,天文学家对搜索新的河外星际分子的兴趣已大减,在河外星系中探测到的星际分子总数基本上维持在10种左右,包括一氧化碳(CO),羟基(OH),水(H₂O),甲醛(H₂CO),氨(NH₃),氢(H₂),氰化氢(HCN),甲川(CH)分子及甲酰离子(HCO⁺)等等,几年来不见增多。这多半是由于其他的星际分子丰度较低,受到观测设备灵敏度限制所致。不过,属于河外分子研究领域的选题计划近年来比八十年代初期却上升了2—3倍。课题大部集中在用CO谱线观测各类河外星系(如熟知的旋涡星系、星系核有强烈活动的塞弗特星系、星爆星系和不规则星系等),对它们的结构进行研究。特别是新的12m天线的投入使用和³He致冷测辐射热计的装备,为大力开展河外星系的CO J=2—1谱线的观测提供了条件。继后发展的工作就是利用345GHz硝特基混频器接收机对CO的J=3—2谱线的单通道(一路偏振)观测。用亚毫米波谱线即将对银河系和河外星系的观测提供一幅新的图景。

4. VLA(甚大阵)

从图2、3可以清楚看到,从八十年代初VLA正式投入使用以来,利用VLA进行的观测不仅遍及太阳系、恒星、银河系和河外天体等四个天体层次,几乎全面涉及到表1所列的29项课题。在这台设备上安排的各类课题计划总数也全部超过所有其他的观测设备,成为当前NRAO使用效率最高,出成果最多的设备。实际上它在国际上也处于领先地位。

早期的VLA观测就包括了从太阳、行星到最遥远的河外天体。6cm的金星观测揭示了金星大气的性质;超新星遗迹Cas A(仙后座)的观测显示出其壳层的高速膨胀运动。用VLA观测巨射电星系,揭示了其核和喷流间的能量输运关系。射电源0957+561成协的双子源类星体的观测,显示出两个子源在亮度、射电、光学和X射线频谱上近似等同。用引力透镜理论曾对其作过解释。

从2图还可见,谷类天文观测对象的研究项目,在近三年比前三年有大幅度的增长,VLA的使用效率在逐年提高。

用VLA研究强大的射电展源(射电星系)的起源是它的重要课题之一。我们知道正常星系的射电发射主要来自恒星(包括由恒星爆发,如超新星产生的快速运动的电子)发出的非热

辐射以及来自被热星电离了的H II区的热辐射, 恒星表面的耀斑产生的小量射电辐射等。而射电星系的辐射是正常星系的 10^3-10^6 倍, 十分引人注目。而且这种强射电辐射大部来自距其母星系几十万光年以外, 在母星系两边的星系际空间, 来自那些可见星的辐射是很少的。25年以来, 射电天文学家几乎一直探索着这样一个问题: 射电星系将自己的大部分能量在射电波段发射, 而不是由它们包含的恒星在可见波段发射, 到底其过程、性质和原因是什么? VLA的高灵敏度和高分辨率给我们提供了更详细地探测和研究这些问题的新的可能性。表1和图3表现了VLA在这方面所发挥的作用。从VLA的描图看出, 环绕射电星系的许多延展发射区都是和星系中心非常致密的射电源相联结的。这种联结物称作喷流, 它实质上就是亮而纤细的射电发射。许多延展的发射区外边缘处也包含着若干射电亮度增强节(称作“热斑”)。

用VLA观测射电喷流, 显示出它们多半正从射电星系的稠密的核向发出大部射电能量的区域传输大量的荷电粒子和磁场, 其速度约为 $16000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。喷流的细致结构和偏振图像, 激励着解释这种过程的理论工作的发展。图4是河外高光度射电星系天鹅座A(Cyg A)又称3C 405的VLA 6cm的像。在相反的两端显示出热斑, 旁瓣的小束(纤维状物)和从核心向西瓣延伸的喷流。此图是1983年用VLA观测所得, 由NRAO提供分辨率 $0''.4 \times 0''.4$ 。

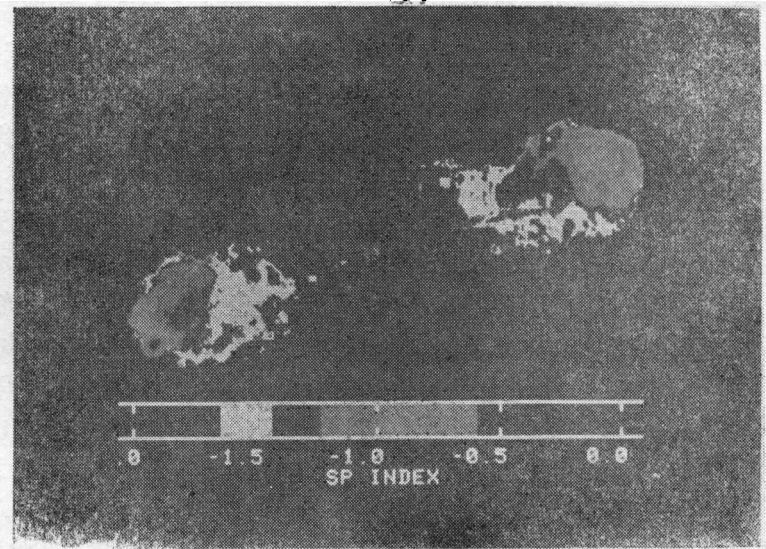


图4. 射电星系Cyg A(3C 405)的VLA 6cm像观测者 P. A. G. Scheuer, R. A. Laing and R. A. Perley, 1983。(此图由NRAO提供)

许多理论工作者相信椭圆星系的旋转使得恒星和气体落入稠密的热盘, 这种盘状物是由在星系中心环绕着巨大的黑洞运行的物质构成的, 它可以把下落的恒星和气体释放的引力能转交给荷电粒子和磁场, 形成定向流, 这就是所说的喷流。天文学家们相信喷流把稀薄的星系际气体从星系推出去, 使之受到压缩而形成一种表层, 由于粒子和场在其上的累积形成了热斑。高分辨率的热斑图有助于理论家了解由喷流从星系带走的能量如何通过射电发射分布到极大尺度的区域中去。

对类星体、致密天体、致密H II区和脉泽等致密源的观测, VLA同样能充分发挥它的威力。在某些致密天体抛射的等离子体云中, 发现了高至 10^{53} J 的能量, 了解这种能量的来

源,是现代天体物理学中最有挑战性的问题之一。VLA的观测指出,这种能量的来源可以追溯到类星体和活动星系核中非常致密、光度极大的核心,细长的喷流从那里向巨大延展的射电云延伸至几百万光年的距离。观测揭示,从这种致密的核(小到只有几光年跨距的空间范围,只有 10^{-6} 银河系体积)辐射出高达 10^{38} W的功率(达到正常星系的 10^6 倍)。图5是以各种分辨率观测得到的活动射电星系3C 120的结构,不同分辨率通过改变基线和观测频率来获得。VLA对该星系的核进行了初步的分解,其中(A) $D/\lambda = 1.9 \times 10^4$ ($D, 3.4\text{km}; \lambda, 18\text{cm}$);(B) $D/\lambda = 5.7 \times 10^4$ ($D, 3.4\text{km}; \lambda, 6\text{cm}$);(C) $D/\lambda = 6 \times 10^5$ ($D, 34\text{km}; \lambda, 6\text{cm}$);(D) $D/\lambda = 1.8 \times 10^6$ ($D, 34\text{km}; \lambda, 2\text{cm}$)。

总之,VLA的高灵敏度、高分辨率及其灵活性、多用途,使之成为对于河外射电源物理学、宇宙论(或宇宙结构)、恒星的结构和演化以及星际气体云化学组成等方面的主要观测研究设备。虽然有关理论的各种细节尚待探讨和研究,但利用VLA观测研究这类天体细节的能力,使我们能加深了解这类天体产生这种高能量的机制、物理过程及它们和引力、磁场、等离子体之间的相互关系所遵循的规律。

5. VLBI(甚长基线干涉仪)[5],[18—21]

甚长基线干涉测量技术从六十年代末期开始兴起,到八十年代中期已得到很大的发展,并日趋成熟。这项技术的发展使射电天文观测水平从射电天文发展初期的低分辨本领(几十度的量级,那时对光学手段只能起配合作用)一跃而上,达到了超高分辨本领(10^{-3} — 10^{-4} 角秒的量级,超过光学手段二个量级)的地位,补救了光学手段的不足,为现代天文学的发展作出了相当大的贡献。从表1—2和图3可见,它的作用主要发挥在分解遥远致密天体(如类星体、活动星系核等)的细节,探讨它们的起源、演化和巨大能源的产生以及变化过程等方面。在图5的E、F中,由VLBI提供的长基线把VLA的最大基线长度34km延长到10000km,使分辨率成数量级的提高,3C 120的核得到进一步分解,揭示了特高光度子源。图中(E) $D/\lambda = 5.5 \times 10^7$ ($D, 10000\text{km}; \lambda, 18\text{cm}$);(F) $D/\lambda = 1.7 \times 10^8$ ($D, 10000\text{km}; \lambda, 6\text{cm}$)。

近年来全球有25台以上独立运转的射电望远镜参加了VLBI计划。在美国,每两个月就安排6台以上的射电望远镜用1—2周的时间作VLBI观测。在欧洲,每年也要安排四次这样的VLBI观测。另外,还时常将欧洲和北美若干天线组成全球VLBI网来执行VLBI计划。NRAO在发展这项技术的过程中起着引导和组织的作用。国家航空和宇宙航行局(NASA)、国家大地测量局(NGS)和喷气推进实验室(JPL)也都组织安排全球地层构造、极移、地球自转和时间同步等各类地球科学VLBI实验。

为克服现存的VLBI网阵元布局不合理、阵元系统各异等弊病,一个特殊设计的VLBA(甚长基线天线阵)计划在NRAO领导下已于1986年开始实施。该网包括10台25米的天线,其中8台横贯整个北美大陆,东西方向一字排开。另两台将分别安置在夏威夷和拉美维尔京群岛。为了延展东西及南北基线,得到较好的U.V.覆盖,VLBA结合了VLBI的高分辨本领和VLA的高成像质量的特点,大大推进了VLBI技术的发展。将来VLA和VLBA的联合观测将比VLA的分辨率提高100—1000倍,达到亚毫角秒的量级,它对各类致密天体的分解和真正成像的功能,将对这类天体细节的研究提供更为良好的条件,为它们的能源产生及演化过程的探索开辟了无可限量的前景。可望八十年代后期随着射电天文方法长足的进步,各

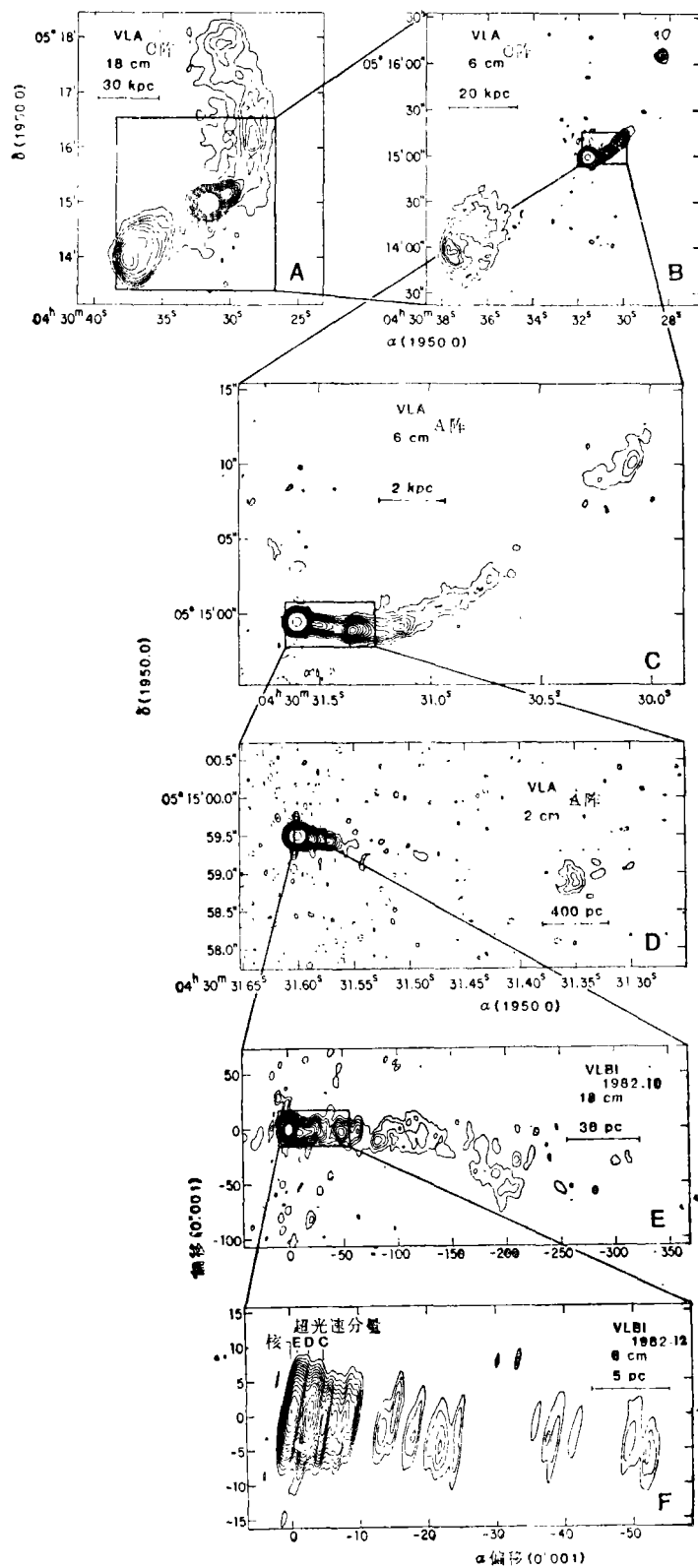


图5. 以各种分辨率观测的活动星系 3 C120 的结构 (R. C. Walker, J. Benson and S. Unwin, 未发表的观测)。

类河外星系及致密天体的研究将吸引大量的天文工作者,从而大大地提高了解决上述一系列对现代物理学和天体物理学提出的挑战性问题的可能性。

参 考 文 献

- [1] 中国天文代表团,出国参观考察报告——美国天体物理学研究概况,科学文献出版社,(1977)。
 [2] 向德琳,紫金山天文台科研工作报导,(1977),No. 2,1。
 [3] Lynds, B. T., *The National Observatories, Public Information Office, Kitt Peak National Observatory*.
 [4] Havlen, R. J., 私人通讯,(1985).
 [5] Kellermann, K. I., *Highlights of Astronomy*, **8** (1986), 879.
 [6] Hogg, D. E., *National Radio Astronomy Observatory Newsletter*, (1985), No. 25, 3.
 [7] Seielstad, G. A., *National Radio Astronomy Observatory Newsletter*, (1985), No. 25, 5.
 [8] Payne, H. and Bradley, R., *National Radio Astronomy Observatory Newsletter*, (1985), No. 25, 14.
 [9] Heeschen, D. S., *Telescopes for the 1980's*, p. 1, ed. by G. Burbidge and A. Hewitt, (1981).
 [10] Hjellming, R. M. and Bignell, R. C., *Science*, **216** (1982), 1279.
 [11] Napier, P. J. and Thompson, A. R., *Proceedings of the IEEE*, **71** (1983), 1295.
 [12] Roberts, M. and Havlen, R. J., *Bull. Am. Astron. Soc.*, **13** (1981), 308.
 [13] Roberts, M. and Havlen, R. J., *Bull. Am. Astron. Soc.*, **14** (1982), 369.
 [14] Roberts, M. and Havlen, R. J., *Bull. Am. Astron. Soc.*, **15** (1983), 397.
 [15] *Bull. Am. Astron. Soc.*, **16** (1984), 252.
 [16] Havlen, R. J., *Bull. Am. Astron. Soc.*, **17** (1985), 319.
 [17] Vanden Bout, P. A. and Havlen, R. J., *Bull. Am. Astron. Soc.*, **18** (1986), 574.
 [18] Kellermann, K. I. and Thompson, A. R., *Science*, **229** (1985), 123.
 [19] Walder, R. C., Benson, J. and Uniwin, S., 未发表的观测。
 [20] Young, D. S., *Science*, **225** (1984), 677.
 [21] Kellermann, K. I., *An Intercontinental Very Long Baseline Array, National Radio Astronomy Observatory*, (1977).

(责任编辑 林一梅)

The Trends of the Present Observational Studies in Radio Astronomy in View of a Radio Astronomy Centre

Xiang Delin

(Purple Mountain Observatory, Academia Sinica)

Abstract

In the first half of this paper, the author describes an overview and main observing facilities of National Radio Astronomy Observatory (NRAO), a typical observational research centre for radio astronomy. In the second half, a distribution of observing programs using the main telescopes of NRAO which has been open to the astronomers over the world since the 1980s is summarized. And the trends of the present observational studies in radio astronomy is analysed.