

# 追求更高灵敏度的射电天文学

## ——HSRA'96 国际会议简介

### (1996 年 1 月, 英国 Jodrell Bank)

射电天文学的历史就是追求更高角分辨率和灵敏度的历史, 1996 年 1 月下旬, 在英国 Jodrell Bank 的 Nuffield 射电天文实验室 (NRAL) 召开了第一次国际“高灵敏度射电天文学” (HSRA) 学术讨论会, 会议共分为八个专题进行, 它们是: 微弱的射电谱线、河外星系的射电连续谱发射、宇宙学观测研究、恒星和脉冲星、新的和不断改进的大射电天文设施、高灵敏度 VLBI、对未来的计划和射电望远镜工作组第四次工作会议 (LTWG-4)。本文拟对会议作概要的介绍。

#### 1 射电天文学期待着更灵敏的射电望远镜

中性氢 (HI) 是宇宙中最丰富的物质, 对其 1420MHz 谱线的探测可以得到天体的旋涡、旋臂、星系盘、晕、壳、桥、纤维状组织的结构; 天体不同部分的运动, 如径向运动和转动; 及其他物理或动力学性质, 如射电星系中 HI 的温度和不透明度 (光深) 等多种信息。许多微弱的银河及河外射电星系中的分子谱线, 如 HCN, C<sub>2</sub>H, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, HC<sub>3</sub>N 等, 对宇宙化学和宇宙演化的研究; CO 和 D(氘) 分子的分布和相对 HI 的丰度的观测研究, 对宇宙结构、演化和年龄的确定; 河外微波激射源或超 masers, 如 OH, CH, H<sub>2</sub>CO, H<sub>2</sub>O 等的观测, 对宇宙演化中能量的转换、供能机理, 对原星系和恒星形成的研究, 都是十分重要的。目前仅探测到百余个射电星系中的分子谱线, 占已知射电星系的约百分之二, 河外脉泽源也仅在近百个河外射电星系中发现, 所有这些深入的探测都期待着灵敏度比现有射电望远镜至少要高数十倍的观测设备。

射电星系连续谱的观测已经从星系盘和晕扩展到超新星遗迹和星暴星系中的电离气体, 乃至深度宇宙分子和尘埃的亚毫米波辐射以及射电星系核的弱射电发射, 取得了星系中物质及有序磁场的分布、星系团中超新星出现的频度等重要信息。而对射电星系核的连续谱探测已经从一般的

强射电星系, 进入较弱的塞佛特、旋涡、及椭圆星系, 乃至过去称之为射电宁静的星系和射电宁静类星体的很弱的射电发射。对比射电星系和类星体多得多的“射电宁静”天体、窄线区中电离气体自由-自由发射和吸收的探测, 窄线区的形成、结构以及其中的高速成分的研究、对星系核爆发及星暴激励机理的研究等, 都期待着更高灵敏度的射电望远镜。当代最灵敏的射电望远镜之一, 美国的 VLA 阵近几年曾用来进行  $\mu\text{Jy}$  射电源的巡天, 并和哈勃空间望远镜 (HST) 的观测作对比研究。结果表明已观测到的流量为数  $\mu\text{Jy}$  的河外射电源, 也仅及源计数研究预测的源数量的约十万分之一。

高灵敏度射电天文观测, 为更准确地确定宇宙学和宇宙演化参数创造了条件, 目前已能把哈勃常数 ( $H_0$ ) 在约百分之十的误差内确定, 而减速因子 ( $q_0$ )、宇宙空间曲率 ( $\Omega_0$ )、年龄 (约 13Gyr)、计数、射电光度函数和密度演化等的确定, 无不和研究的样本数有直接的联系。如果能有高灵敏度的 VLBI 系统来观测 300—700 个河外射电源的精细结构, 减速因子 ( $q_0$ ) 将得以更准确的估算, 可是目前能得到高角分辨率的射电图像的射电源只不过百来个。

自 1982 年首次发现毫秒脉冲星以来, 至今只有数十个河外毫秒脉冲星、毫秒脉冲双星、脉冲双星等相继被发现, 毫秒脉冲星可以提供比原子时标准确得多的时间标准, 可以从脉冲周期的监测来确定其行星状伴星、质量、距离等。而银河系内的天体尽管离地球比河外射电源要近得多, 但由于其辐射强度比河外射电源要弱 20 来个量级, 例如射电发射最强的木星, 其射电光度只是一般射电类星体的  $10^{26}$  分之一, 所以尽管迄今已采用了最灵敏的射电望远镜来观测射电星、行星状星云、新星、超新星遗迹、河内脉塞源及太阳系的行星, 乃至彗木相撞后木星辐射带出现的

不对称性等。但是已探测到的射电星及河内脉塞源仅分别近 300 及 100 余个。对河外脉冲星及银河源的进一步研究无不期待着更高灵敏度的射电望远镜,例如,若采用接收面积达一平方公里的高灵敏度射电望远镜,预期能探测到的这两类天体数将分别达到  $10^3$  和  $10^5$  量级。这对未来天体物理和天体测量的意义是不言而喻的。

## 2 使现有的射电望远镜更加灵敏

为了追求更高的灵敏度,完成、改造、更新现有或在建的大射电望远镜,是一个重要方面。

(1)GBT—Green Bank 100m 射电望远镜,将于 1997 年建成,它是一个偏馈、无孔径遮挡、可以工作到 52—86GHz 的全天可跟踪射电望远镜,由于采用了可调主动面板及全程激光测距,克服了重力、温度及指向给射电望远镜的精度所加的限制,使得其孔径效率在 52GHz 仍达到 60%,而且由于采用噪声温度仅 5—7K 的 HEMT 放大器,包括放大器、馈源、溢损和天空的系统噪声才 30—47K。

(2) Effelsberg 100m 射电望远镜,目前其反射面精度在中心 25m 为 0.1mm,整个 100m 为 1mm,绝对指向精度约为  $5''$ 。从 1996 到 2000 年,将进行一系列的改建,包括重铺方位轨道、更换轴承、改进背架、重铺全部反射面使孔径外沿直达 100m 都精确到约 0.5mm 内、指向精度达  $3''$ 、更广泛地采用多馈阵来提高观测速度和精度、并把全部接收机换成 HEMT 型。

(3) Lovell 76m 射电望远镜虽几经改建,现仍主要工作于 6/18cm。计划重铺铝合金反射面板、将柱支撑主馈接收改成卡焦接收、采用 PID 反馈改善跟踪及指向精度、用全息测量法来调整表面以达到 8mm 以内的峰—峰形变(表面公差为 1mm)、采用可变形的二次反射面以补偿主面的偏差、并采用 7 馈源系统及 HEMT 接收机,使该射电望远镜能工作到 22GHz 并有 85% 的最高孔径效率,其灵敏度将至少有 5—6 倍的提高。

(4) GMRT—印度的大米波射电望远镜,由 34 面 45m 的抛物面天线组成,将于 1997 年建成,它在米波段有比现有射电望远镜至少高 8 倍的灵敏度。

(5) VLA—美国的甚大天线阵,仍是世界上最灵敏的天线阵,它将配备全部最先进的低噪声

宽频带 HEMT 接收机、用光纤传输系统取代原来的锁相环埋地电缆、发展新的超集成相关器、将 27 面 25m 的天线阵扩大为 32 面以便获得一个超致密阵观测低亮度弥散源、并增建若干基线达 40—400km 的天线以填补 VLA 和 VLBA(甚长基线干涉阵)之间基线的空缺,从而使该射电望远镜在大多数工作频率,达到 1.3— $3.5\mu\text{Jy}$  的灵敏度,并有很好的成像能力。

(6) MERLIN—英国多天线无线电连接干涉网,将进入它的第三次改建期,主要是扩展工作频率到 150MHz—24GHz 的范围,角分辨率达到  $1''.4$ —8mas,另外通过增加带宽和更新接收机来提高灵敏度至大约  $5\mu\text{Jy}/\text{beam}$ ,足以对一些热射电源结构成像。

(7) 高灵敏度 VLBI 系统也将因广泛采用相位基准、双频校准、GPS、TFC、提高设备稳定性、以及采用新一代千兆比特的 VLBI 暂存及记录系统而提高灵敏度约三倍,这就有可能观测到一到几个毫央斯基的源。

## 3 筹划中的高灵敏度射电望远镜和建议

(1) 第二代高灵敏度空间 VLBI 计划是继日本 VSOP 等轨道天线计划之后,正在积极筹备和研究欧美合作的所谓“先进的空地射电干涉仪”(ARISE)计划,包括 30m 的可展天线、5—90GHz 的频率覆盖、30— $70\mu\text{as}$  的角分辨率、及比 VSOP 高 50—100 倍的灵敏度,将使它成为研究 AGN 的核性质、直接测量 50—200Mpc 的河外距离尺度和银河系星际分子云中氧分子的强有力设备。

(2) 大毫米波阵计划包括一个以欧洲为主的国际合作计划(LSA),由 50 面 16m 抛物面天线组成的阵,其工作频率在 40—230GHz,灵敏度将比现在最灵敏的 IRAM 毫米波阵高 100 倍,还有一个日本的 LMSA 计划,由 50 面 10m 的天线组成,最短工作波长达 0.35mm。两者将耗资数十亿美元,它们是研究分子谱线、宇宙尘埃、宇宙电离气体和相对论粒子毫米波辐射的极好设备,对恒星形成、原恒星、原行星、星际各种分子间的关系的研究有重要的意义。

(3) 平方公里接收面积射电望远镜(SKAI、KARST 或 IMT)计划即过去两年报导的 LT 计划,它将以巨大的接收面积获得优于现有射电望远镜 100 倍的超高灵敏度,工作频率为 200—

2000MHz, 以高红移中性氢、原星系、原恒星为主要观测目标。会议上主要提出了三种工程概念, 它可能由百万块  $1\text{m}^2$  见方的集成平板天线组成 30 个左右巨大的自适应阵 (荷兰的建议), 也可能由 30 余个安装在喀斯特洼地中的巨型球面射电望远镜 (直径约 400m) 组成 (中国的建议), 或者由 1800 面直径 25m 的抛物面射电望远镜组成 (印度的建议)。几种方案各有利弊, 一些射电天文学家将它们分别称之为高、中、低技术的方案, 有的射电天文学家认为, 由于贵州省具备了建造球面射电望远镜阵所必需的最佳的峰丛喀斯特洼地群, 中国的方案从造价及可行性方面考虑, 也许是最现实的。当然最终的选择和决定, 有待进一步的预研、试验、论证和比较。

科学家还提出了一些新建议, 如 ARGUS 即下一代无方向性射电望远镜, 由大量双螺旋单元及巨型计算机组成, 其视场遍及全天, 数据的接收、采集、传输、预处理、乃至方向束的形成都由计算机完成; 很长焦距 ( $f/D = 6$ ) 的大抛物面射电望远镜, 其反射面可以由十米见方的平板组成且可调, 馈源或二次反射面则用气球等手段高

悬空中, 将来很可能据此建造巨型的高频射电望远镜。

随着科技进步特别是通讯事业的发展, 射电干扰呈指数律增长, 若无高度的国际协调和努力以保护射电天文频率或最大限度地抑制干扰, 对下世纪更高灵敏度射电天文的一切追求都将付诸东流。因此国际及欧美的相应组织 IUCAF、CRAF 和 CROF 正进行着高强度的工作, 以保护射电天文频率。

致谢: 作者参加了 HSRA 学术讨论会及作为其议程之一的大射电望远镜工作组的工作会议 (LTWG-4), 得到中国 LT 推进委员会及英国 NRAL 的部分资助, 在此表示衷心感谢。

(吴盛殷)

Radio Astronomy in Pursuit of Higher Sensitivity—an Introduction to HSRA'96. (Jodrell Bank, UK, January 1996)

(Wu Shengyin)