

射电望远镜的发展和前景

吴 盛 殷 南 仁 东

(中国科学院北京天文台 北京 100012)

摘 要

在近代科学技术发展的基础上诞生和成长起来的射电天文学已经走过了 66 年的历程, 作为射电天文学主要探测工具的射电望远镜有了长足的进步, 面临 21 世纪人类社会和自然科学技术包括天文学发展的挑战, 射电望远镜及射电天文学将迈出新步伐。从射电天文学和射电望远镜发展的关系、射电望远镜几个主要发展方向和目前水平、自 90 年代以来逐步勾画而明确起来的未来发展方向等方面阐明了射电望远镜的发展和前景, 以作为我国发展新一代射电望远镜的参考。

关键词 射电天文学 — 仪器: 射电望远镜

分类号: P111.44

1 射电天文学的发展与射电望远镜

自 Jansky 于 1932 年探测到银河射电后 66 年来, 由于立足于较之任何空间计划所需费用低得多的地面观测设施及高速发展的电子技术基础之上, 射电天文学既易于观测设备更新和性能改进以充分利用通讯及军事领域中发展和研究的最新技术, 又可在相当宽的频率范围内采用相似技术探测不同的天象, 其技术方法已经有了长足的进步和发展。射电天文学家正是利用不断发展的射电望远镜, 从最初仅探测到银心射电、天鹅座 A 及太阳等几个孤岛般的射电源, 发展到如今已经探测了许多星系的结构和大小, 发现了类星体、脉冲星及 2.7K 微波背景辐射, 证实了广义相对论所预言的引力辐射和双中子星系统的轨道衰变, 探测到引力透镜、以及 OH、 H_2CO 、CO 等数十种星际分子, 发现了巨大的分子云、星际分子脉泽源及河外超脉泽, 探测了活动星系核的致密结构并发现了其中的视超光速运动, 发现并广泛探测了太阳及木星的射电爆发及金星的温室效应, 借助于对脉泽斑的观测将经典的视差测距法扩大到银河及邻近河外射电源的宇宙距离测定, 发现了黑洞存在的直接观测证据。近 26 年中获诺贝尔物理学奖的 7 项涉及天文学的项目中, 就有 5 项直接或主要通过射电天文手段取得^[1]。

作为一门观测宇宙天体射电辐射的科学, 射电天文学的发展与观测手段特别是射电望远镜的发展息息相关, 为了探测更多、更弱的天体, 为了得到天体射电辐射可能带来的关于天

体更精细的结构、频谱、时变等信息,人们要求射电望远镜具有更高的角分辨率及灵敏度、更快更完美的成像能力和灵活多样的后端配置。射电望远镜的角分辨率(即可分解的两子源最小角距 θ_{\min})与其孔径大小(或基线长短)成反比,而与工作波长成正比,射电望远镜的灵敏度(用最小可检测流量 S_{\min} 度量)则与系统噪声温度 T_{sys} 成正比,与其有效接收面积 A_e 及观测积分时间 τ 与带宽 $\Delta\nu$ 乘积的平方根成反比,即 $\theta_{\min} \approx 1.2\lambda/D$ (弧度), $S_{\min} \propto T_{\text{sys}}/[A_e(\tau \times \Delta\nu)^{1/2}]$ 。简言之,射电望远镜的发展主要沿着降低工作波长和系统噪声温度、增大有效接收面积或基线长度、提高采样率或信息密度的途径取得。新的保形技术可以使百米级抛物镜面工作到毫米波段,接收机噪声温度在厘米波段已达到15K,在某些情况下,主要噪声源已不在前置放大器,而是来自背景、干扰或前端接插件的热噪声。多馈阵技术使单镜面射电望远镜(特别是毫米波望远镜)的成像速度和观测效率大大提高了。射电望远镜的空间分辨率及成像速度的提高,有赖于综合孔径系统及VLBI网的发展。实际上,和30年代射电天文学诞生初期相比,现代射电望远镜的主要性能指标已经分别提高了 10^4 — 10^{12} 倍^[2]。目前射电望远镜所达到的典型角分辨率已经是0.1mas,典型的灵敏度是0.1毫央斯基(mJy)。这相当于可以探测置于月球表面的带宽2MHz、功率0.1mW的微型发射机发出的信号,足以分辨月球表面上的一辆小汽车的两前灯。

2 射电望远镜的发展

为了适应射电天文学的发展,观测更多、更弱、更细、更快、更真的射电天象,射电望远镜在四个方面,即单镜面、综合孔径、毫米波及甚长基线干涉仪网(VLBI)均有所发展。在不同时期,它们发展的特色和侧重点又与当时工艺和技术发展的水平和特点相关联。

2.1 单镜面(厘米波)射电望远镜

单镜面(厘米波)射电望远镜是一切形式射电望远镜的基石。因其接收机后端配置及观测模式调整相对简单灵活,对射电天文学(特别是在早期)曾发挥了极其重要的作用。这种射电望远镜的角分辨率和灵敏度分别与其孔径成逆线性和逆平方关系,所以射电天文学家一直追求愈来愈大而精的主反射面、尽可能低噪声的接收机、并配置适应不同观测课题的较完备的后端^[3],以满足射电天文学发展的需要。目前分布在全球范围的90余面直径25m以上的抛物面射电望远镜,构成这类望远镜的主体,其中最大的是德国波恩附近Effelsberg的100m望远镜和在美国西弗吉利亚州Green Bank即将建成的有更高技术水平的100m望远镜GBT,另外还包括直径305m的Arecibo固定球面射电望远镜、俄罗斯的名为RATAN-600的直径600m的抛物环状望远镜等。表1列举其中几个威力最大的射电望远镜。GBT射电望远镜将于明年建成,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、溢损和天空背景的系统噪声才30—47K^[4]。

现在绝大部分单镜面(厘米波)射电望远镜只是作为综合孔径或VLBI网的组成单元来使用,但是其中一些特别是口径最大的,由于采用了焦面阵及超低噪声接收机而具有高灵敏度、高成像能力、可观的角分辨率和数据处理简单的优点,仍具有不可替代的作用。除了正

表 1 威力最大的几个单镜面(厘米波)射电望远镜的主要性能指标

国别	地点	口径 /m	类型	最短波长 /cm	系统噪声温度 /K	建成及改建年代
美	Green Bank	100	全可跟踪抛物面	0.3	47	1997(计划)
德	Effelsberg	100	全可跟踪抛物面	0.7	100	1971,1981, 1991,1996-
英	Jodrr. Bank	76	全可跟踪抛物面	6	80	1957,1974, 1986,1997-
澳	Parkes	64	全可跟踪抛物面	0.7-中部	80	1961,1972, 1976,1990
俄	Ussurijsk	70	全可跟踪抛物面	1.3	100	1991
美	Arecibo	305	固定球反射面	3	80	1962,1971, 1982,1995-
俄	北高加索	600	可调节抛物环带	0.8	150	1976,1981, 1990

在建设的 GBT 以外, Arecibo-305m, Effelsberg-100m, Jodrell Bank-76m 等射电望远镜也都已经或将要花费数以千万美元计的巨资进行改建或更新, 就是例证。以 Effelsberg-100m 为例, 它是德国马普射电天文所的一个自 1970 年以来一直活跃在射电天文观测前沿的、世界上最大的射电望远镜。其反射面的现精度在中心 25m 为 0.1mm, 整个 100m 为 1mm, 绝对指向精度约为 $5''$ 。在 1996 到 2000 年期间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 都可精确到约 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^[5]。

2.2 综合孔径射电望远镜

射电望远镜的工作波长大体是光学望远镜工作波长的 10^{-5} 倍, 欲获得米级光学望远镜同样的角分辨率, 射电望远镜的孔径需达到 100km。实际上, 由于重力、风荷、温差等引起的形变, 在现代的材料和技术条件下, 要建造孔径比 100m 大许多的全可动单抛物镜面射电望远镜几乎是不可能的。早在 50 年代到 60 年代初, 为了观测银河系和一些河外星系射电辐射区的细节, 射电天文学家探索了获得更高的角分辨率的新途径, 他们采用较小的天线对一个虚拟的大孔径内辐射场分立分时采样而后进行数据处理的办法, 得到工程上不可实现的“大孔径射电望远镜”的高角分辨率, 这就是以后逐渐发展成熟起来已成为现代射电望远镜基石的综合孔径成像方法。经过近 30 年的发展, 已经有了一批角分辨率和成像能力可以和最大的光学望远镜甚至哈勃空间望远镜媲美、灵敏度或探测深度远远超过后者的综合孔径射电望远镜, 在银河系、银心、超新星遗迹、射电星系和类星体的探测, 特别是和光学观测的对比研究中, 发挥了重要的作用。其佼佼者有美国的 VLA(甚大天线阵)、英国的 MERLIN(多单元无线电连接干涉网)、澳大利亚的 AT(澳大利亚望远镜)和荷兰的 WSRT(Westerbork 综合射电望远镜)等, 即将于年内完成的印度 GMRT(巨型米波射电望远镜)由 30 面直径 45m 的抛物面望远镜组成, 创已有射电望远镜的有效接收面积之最, 其在米波段的灵敏度较 VLA 提高约 8 倍^[6]。美国 VLA 已经开始实施耗资庞大的更新计划, 使其主要性能指标有全面的、明显的提高。它将配备全部最先进的低噪声宽频带 HEMT 接收机, 用光纤数据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 μ Jy 的灵敏度, 并有很好的成像能力^[7]。MERLIN 也将进入它的第三次改建期, 主要是工作频率扩展到 150MHz—24 GHz 的范围, 角分辨率达到 1".4—0".008, 另外通过增加带宽和更新接收机来提高灵敏度至大约 5 μ Jy/beam, 足以对一些热射电源结构成像^[8]。建成于 1984 年, 由 28 面 9m 直径天线组成的密云综合孔径射电望远镜 (MSRT) 是一个工作在 232 和 327 MHz 的低频系统, 其性能指标当然不能和上述佼佼者相比。

正在计划中的国际合作新一代射电望远镜 (LT) 拟在方圆 9 万 km² 的范围内建立 1km² 有效接收面积的天线, 其灵敏度将是现有最灵敏的射电望远镜的 100 倍, 其角分辨率和成像能力的提高程度也将有过之而无不及, 它将作为跨世纪的工程在 21 世纪的头 10 年中建成^[9]。

有代表性的综合孔径射电望远镜 (包括在建或计划中的) 主要情况列于表 2。

表 2 重要的综合孔径射电望远镜

国别	名称	地点	单元数	单元口径 /m	构形或布局	最短工作波长 /cm	最长基线 /km
美	VLA	Socorro	27	25	天线可移 Y 形阵	0.7	36.4(21/臂)
英	MERLIN	JB,Camb. 等	7	76,32	二维散布	3	218
澳	AT	Culgoora	6 + 5	22,64	中心线阵二维散布	0.3	3 + (120)
荷	WSRT	Westerbork	14 + 2	25	EW 阵 12 固定 4 可移	6	3
印	GMRT	Pune	30	45	中央致密加 Y 形阵	21	24.3
国	LT 或 SKAI	未定	2304	25	30 余个群集单元	15	270—500
际	KARST		1.3 兆	1	二维分布内密外疏		
			36	~ 400			

2.3 宇宙化学的探测和毫米波射电望远镜

60 年代以来, 毫米波、亚毫米波射电望远镜及与其相联系的射电天文学分支——分子天文学随着一批重要的宇宙分子谱线被陆续发现、以及更精密的天线制造工艺和该波段低噪声器件的发展而得到了迅猛的发展。目前已经有近 30 面孔径 10m 以上的毫米波或亚毫米波望远镜 (包括我国紫金山天文台在德令哈的 13.7m 望远镜) 在工作。最著名的当推日本 Nobeyama 的 45m, 德、法、西班牙的 IRAM 在 Pico Veleta 的 30m 及德、美合作的亚毫米波望远镜 SMT(10m); 几个初具规模的毫米波综合射电望远镜阵, 如 IRAM 5 × 15m、NRO 6 × 10m 和 OVRO 4 × 10m 仍在不断得到改进和扩展。预期本世纪末 HEMT 低噪声放大器及 SIS(低温超导结) 将在毫米波段取代现在广泛使用的 Schottky 二极管混频器, 使毫米波射电望远镜对分子谱线和分子脉塞源的探测有更高的角分辨率和灵敏度。美国正在建造一个更大的毫米波综合阵 (MMA)^[10] 和第一个亚毫米波综合阵 (SMA), 它们分别由 40 面 8m 和 6 面 6m 的抛物面天线组成。现代毫米波及亚毫米波射电望远镜的发展水平, 可从表 3 所列主要望远镜的性能参数窥其一斑。

新的国际合作的大型毫米波及亚毫米波综合射电望远镜阵, 即欧洲各国合作的 LSA(大南方毫米波阵)^[11]、日本的 LMSA(大毫米波亚毫米波阵)^[12] 也已经开始了预研。最近得到的消息表明, 美国的 MMA 计划已得到政府 5000 余万美元的支持, 不足部分正在寻求欧洲国家的合作, 最终 MMA 和 LSA 将合并成一个计划实施。随着正在建设或计划建造的几个大型毫米波、亚毫米波综合射电望远镜于本世纪末或下世纪初建成, 并用于对分子谱线和分子脉塞源的更深度的、更精细的探测和巡天, 有可能使分子天文学成为世纪之交时最有成果的天文学分支之一。

表 3 主要的毫米波、亚毫米波射电望远镜及其性能参数

国 别	地 点	单元数 × 口径 /m	反射面公 差 / μm	最短工作 波长 /mm	最长基线 /m 和布局	备 注
日 本	Nobeyama	1 × 45	140	1.3	单镜面	属 NRO
德、西	Pico Veleta	1 × 30	65	0.8	单镜面	属 IRAM
德、美	Mt. Graham	1 × 10	15	0.3	单镜面 (名 SMT)	属 MPIfR, U.Ar
英、荷	Mauna Kea	1 × 15	30	0.6	单镜面	名为 JCMT
瑞典等	La Silla	1 × 15	50	0.8	单镜面	属 OSO, ESO
美国	Arid Corner	40 × 8	35	0.8	2000, 多圆阵	名为 MMA (在建)
美国等	Mauna Kea	(6 + 2) × 6	15	0.3	500, Y 形阵	名为 SMA (在建)
欧 洲	Pampa Chino	50 × 16	35	0.8	2000, 二维疏密	名为 LSA (计划)
日 本	Rio Frio (智)	50 × 10	20	0.35	2000, 二维疏密	名为 LMSA (计划)

2.4 超高分辨率探测和 VLBI 网

为了适应探测致密射电天体 (如射电类星体、BL Lac 天体、活动星系核以及银河系内的射电星、射电双星、脉冲星等) 的需要, 在综合孔径射电望远镜方法、高精度原子时标、高密度数据记录手段和电磁场的极稀疏采样且缺相位信息 (混合) 成象技术基础上于 70 年代后期发展起来的甚长基线干涉仪网迅速成为射电天文学最重要的观测手段之一。USN (美国网)、EVN (欧洲网) 将当时美、欧相距数百到数千 km 的主要厘米波单镜面射电望远镜联合成网, 在 80 年代曾经进行过极富成果的观测; 90 年代以来, 一个有最佳的天线分布、以最先进的部件统一配置的、专用的 VLBI 阵——VLBA 在美国建成; 有更紧密合作和更新配置的 EVN 和 JIVE (欧洲 VLBI 联合研究所) 在欧洲形成, 因为有欧洲三个有效孔径在 70m 以上的射电望远镜作为骨干而具有更高的灵敏度, 也因为接受了中国在上海和乌鲁木齐的两个 25m 射电望远镜作为该 VLBI 网的正式成员, 而使其角分辨率不次于 VLBA。一个新的 VLBI 网即 APT (亚洲及太平洋地区射电望远镜网) 也已经初步组织起来。目前地面 VLBI 网的最长基线已经接近地球直径, 角分辨率已达到 0.1mas 量级, 是任何其他观测手段所望尘莫及的。高灵敏度 VLBI 系统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 3 倍, 对 1—3mJy 的源就有可能作成像观测^[13]。

为了突破地球直径给基线所加的限制, 第一个空间 VLBI 站, 即载有 8m 直径抛物面天线的日本 VSOP 站已在 1997 年 2 月发射, 它将和地面的各站组成所谓空间 VLBI 网, 使其角分辨率比地面网提高 3 倍以上, 达到 30 μas 。能提供更长基线、更多观测频带和更大轨道天线的空间 VLBI 计划也正在实施或酝酿中, 已经在积极筹备和研究的、欧美合作的所谓“先进的空地射电干涉仪” (ARISE) 计划就是第二代高灵敏度空间 VLBI 计划之一, 该计划包括 25m 的可展天线、5—90GHz 的频率覆盖、30—70 μas 的角分辨率及比 VSOP 高 50—150 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氨等有机分子的强有力设备^[14]。VLBI 网进入空间的另一个步骤是发射并安装一个百米级的遥控“月球射电望远镜”, 利用它和地面网以及近地空间网组成的 VLBI 网, 可以微角秒或亚微角秒的角分辨率探测许多星系核的窄发射线区, 乃至黑洞的边沿。

2.5 太阳射电望远镜

由于在地面上太阳射电辐射强度远远高于宇宙射电, 而且它又包含短时标及小尺度的流量、空间结构变化成分及极高动态范围的爆发成分, 所以就发展了各具独自特点的太阳射电

望远镜,如早期的运动频谱仪、现在仍起重要作用的射电日像仪和近十年来发展起来的多通道频谱仪、宽带扫频频谱仪、毫秒级高时间分辨率辐射计和偏振计等。它们一般并不追求大的望远镜口径,但基本上都配备了灵活多样的后端及其接口。

日本 Nobeyama 太阳射电天文台的毫米波日像仪自 1992 年建成投入工作以来,一直在世界上领先,它由 84 面安装在水泥墩上的地平装置小抛物面天线组成,呈 T 形阵分布(490m×220m),开始工作于 17GHz,可以高空间分辨率(10'')及高成像速率(20 个/s)得到太阳表面的二维图像。1995 年 10 月,该日像仪又进一步扩展到 34GHz 观测,目前可以提供空间角分辨率为 10'' 及 5'',时间分辨率为 100ms 的双频太阳图像。美国加州理工学院利用在欧文斯谷射电天文台(OVRO)早在 1957 年就建成的由两面 27m 天线组成的变距干涉仪作频率综合,对太阳的谱结构作观测研究,该干涉仪的最长基线是 731.5m,观测频率在 1—18GHz 间以 0.2GHz 的间隔快速切换,即在 86 个频道间顺序切换,从而综合出太阳活动区的谱结构,利用同样的数据,也可以经傅里叶变换得到活动区的快速变化信息。

我国自 90 年代初就建立了太阳射电高时间分辨率联合观测网(RHJON),网中包括了分布在北京、南京、昆明、乌鲁木齐等地的多波段采样率为毫秒级的太阳射电望远镜、毫秒采样率的双频偏振计、毫秒采样率的多通道太阳频谱仪、以及此后为获得太阳射电爆发精细结构、强度和流量密度动态谱而发展和逐步配备起来的宽频带扫频频谱仪等。角秒级空间分辨率的太阳射电望远镜作为我国新一代太阳射电观测设施,也正在计划和论证中。

3 前景展望

早在 60 年代,射电天文学因对昂贵的大型射电望远镜的需要,而和宇航、高能物理并列所谓的“巨科学”(big science)之一,发展到 20 世纪 90 年代,人们日益意识到,没有国际合作,任何一个国家都无力建造适应下一世纪需要的新一代射电望远镜。在 1993 年和 1996 年连续两届国际无线电科联(URSI)的大会上,射电天文专门委员会(Comm. J)都作出决议,组成 3 个工作组并开展相应的合作研究,它们是 LTWG(大射电望远镜工作组)、LMSAWG(大毫米/亚毫米波天线阵工作组)和继续 GVWG(全球 VLBI 工作组),这些工作组分别由各有关国家及主要空间机构的 10、14 和 10 个代表组成,进行为期至少 6 年的工作,以深入探讨拟议中面向 21 世纪的这些射电望远镜的科学目标,研究其能取得最大科学成果的技术性能和设计思想,进行可行性研究以确定并尽可能解决以合理的价格建造这些射电望远镜所面临的技术挑战,并协调实现既定目标中的国际合作。3 个工作组的建立表明,面向世纪之交,新的射电望远镜计划最可能沿着下述三个方向之一进行,无论选择哪一个发展方向,都可能给射电天文学带来新的机遇和突破:

(1) 建造极高灵敏度的米波—分米波—长厘米波望远镜,正在酝酿的 SKAI 或由中国提出的 KARST 计划就是这种类型的望远镜,它们将以不同宇宙距离($z=0-10$)的中性氢分布、原星系及原星系团、暗物质、射电宁静天体等的高灵敏度探测为主要目标^[15]。

(2) 建造更大的毫米/亚毫米波阵。除了美国已经实施的 MMA(40×8m 毫米波阵)和 SMA(6×6m 亚毫米波阵)外,日本正在酝酿的大毫米亚毫米波阵(LMSA)、欧洲的瑞典、荷、法、德等国正在准备的大南半球阵(LSA),都以(亚)毫米波深空巡天及特殊源的高分辨率成像为主要目标。

(3) 实施进一步的空间射电望远镜计划, 如建造比 VSOP 更先进的空间 VLBI 站(网), 以获得更高的分辨率及动态范围; 建造低频空间阵(LFSA)、大型可展空间红外/亚毫米波望远镜(LDR)、亚毫米波空间阵(SSMF)等, 其目的是尽量减少地球大气层及电离层对高质量观测的影响, 尽可能把地面可观测频率范围的高低端向外扩展。进一步发展和完善地面 VLBI 系统, 以求能工作到更高的频率, 有更高的灵敏度和成像动态范围、更好的兼容性。

另一方面, 太阳射电望远镜除了一些特定观测课题申请用大型射电望远镜外, 仍将发展因太阳射电研究的需要而提出有特殊性能的相对小巧的设备。

从射电天文观测的角度看, 无线电电子学和通信事业的发展, 既为射电望远镜的发展提供了技术基础和机遇, 又使地球上无线电干扰呈指数律增长。如果不及时地完善和有效地实施对无线电频谱的管理, 探讨电磁兼容的技术手段, 来控制 and 抑制对射电天文观测构成致命威胁的射电干扰, 不用太长时间, 迅速增长的射电干扰都有可能使建造极高灵敏度射电望远镜以进行更深空射电天文探测的努力事倍功半。国际射电天文界已经在连续三届的国际无线电科联的大会上, 设题为“射电干扰”的专题学术报告和讨论, “射电干扰”也和前三项射电望远镜的发展一起, 成为 1997 年成立并开始工作的经济合作与发展组织(OECD)大科学论坛(MSF)射电天文工作组的四项主要议题, 这一切都表明, 射电干扰的研究和控制, 在射电望远镜和射电天文学的未来发展中有十分重要的意义。

参 考 文 献

- 1 Kellermann K I, *Sky Telesc.*, 1991, Sept.: 247
- 2 Parijskij Y N, In: Kardashev N S ed. *Astrophysics on the Threshold of the 21st Century* (Translated by Smith D F). Philadelphia: Gordon and Breach Science Publishers, 1993. 331
- 3 王绶琯, 吴盛殷等. 射电天文方法. 北京: 科学出版社, 1988
- 4 King L J. In: Cao C, Hu D Z *et al* eds. *Proceedings of 1995 International Conference on Radio Science*. Xinxiang: Chinese Institute of Electronics, 1995. 607
- 5 Reich W. In: Jackson J, Davis R J eds. *High-sensitivity Radio Astronomy*, Cambridge: Cambridge University Press (Referred as HSRA hereafter), 1997: 225
- 6 Swarup G *et al*. *Curr. Sci.*, 1991, 60: 95
- 7 Napier P, Bagri D *et al*. In: Bastian T S, Bridle A H eds. *The VLA Development Plan* (Proceedings of a Science Workshop), Socorro, NM, 1995, Socorro: NRAO, 1995: 1
- 8 Cohen R J. HSRA, 1997: 238
- 9 Braun R. In: *The 25th General Assembly of URSI - ABSTRACT*, Lille, France: URSI Press, 1996: 525
- 10 Brown R L. In: Ishiguro M, Welch J eds. *IAU Colloq. 140, ASP Conf. Series, Vol.59, 1994*, 413
- 11 Downes D. In: Wamsteker W, Longair M, Kundu Y eds. *Frontiers of Space and Ground-based Astronomy*, Dordrecht: Kluwer, 1994: 133
- 12 Ishiguro M *et al*. In: Ishiguro M, Welch J eds. *IAU Colloq. 140, ASP Conf. Series, Vol.59, 1994*: 405
- 13 Nakajima J *et al*. HSRA, 1997: 256
- 14 Ulvestad J S *et al*. In: *AIAA Space Progr. & Techn. Conf. 1995*, [s.l.]: [s.n.], 1996: 95-3794
- 15 南仁东, 吴盛殷, 邱育海等. 国际大射电望远镜(LT)争建建议书. 北京: 中国科学院北京天文台, 1996

The Development and Prospect of the Radio Telescopes in the World

Wu Shengyin Nan Rendong

(*Beijing Astronomical Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012*)

Abstract

Based upon the development of the radio, electronics and associated sciences and technologies, the radio astronomy was born 66 years ago and grows up with brilliant achievements in last several decades. The radio telescope has won a huge progress as an essential probing instrument of the universe in the radio wavelength band. The radio telescope and radio astronomy will stride forward towards a new level facing challenges issued by development of human being society, natural science and technology including astronomy itself in the 21st century. An attempt is tried in this paper to clarify the development and the prospect of radio telescope from its relationship with developments of radio astronomy, the essential directions of radio telescopes, the current status and development of radio telescopes in the future, which has been drawn out clearer and clearer since the 90s of the century. The overview could be referred if we were planning to build any new-generation radio telescope in our country.

Key words radio astronomy—instrumentation: radio telescopes