

# 毫米波、亚毫米波射电天文 观测设备的发展

向德琳

(中国科学院紫金山天文台)

## 提 要

本文概述了二十多年来毫米波、亚毫米波射电天文观测设备发展的历程,包括初期的毫米波观测设备发展的概况。较详细地列表介绍了国际上近期已完成或正在建设中以及计划中的各项毫米波、亚毫米波观测设备的发展现状,以及其他较大型射电望远镜项目。最后指出了射电天文方法向短波端延拓的趋势。

## 一、引 言

射电天文方法的发展在某种程度上可用射电望远镜的发展来表征。而射电望远镜发展的每一次长足的进步总是毫无例外地为射电天文研究的发展树立一个新的里程碑。世界上第一个射电望远镜是Jansky于1932年在美国建成的,他只使用一台工作在14.6米波长上的可旋转的简陋的天线。用这台望远镜他确认了噪声来自地球以外。他的这个认识标志了一门新发展的学科——射电天文学的诞生<sup>[1],[2]</sup>。世界上第一台超综合孔径射电望远镜是由Ryle于1962年在英国建成的。他结合移动几台天线以改变其间相对距离的方法和利用地球自转的方法进行孔径综合,实现了使用口径相对小得多的天线结构,取得了口径相应于比它大得多的单天线所能取得的同样效果。这项成就使Ryle荣获了1974年诺贝尔奖金<sup>[2]</sup>。由加拿大Broton等人,美国国家射电天文台Bare等人和麻省理工学院Moran等人组成的小组,由于进行独立本振、长基线干涉测量(VLBI)的试验获得成功,于1971年得到美国科学与艺术研究院的Rumford奖金<sup>[2]</sup>。

在短短的几十年中,由于各类射电观测设备的迅猛发展,射电天文方法不断地为天文事业作出了巨大的贡献。这个历程可用射电镜角分辨率的提高来表征(见图1)<sup>[3],[4]</sup>。在三十年代初期,Jansky建造的第一台射电镜,分辨率几乎是 $10^5$ 角秒。随着工作波长的缩短和更大口径天线系统的建立,射电镜的角分辨率稳定地提高。六十年代美国NRAO的91米直径中星仪式射电镜、澳大利亚64米全动抛物面射电望远镜、美国Arecibo的300米固定式球面镜、法国的 $200 \times 35$ 米改型Kraus型射电镜以及加拿大的46米射电镜等,工作在厘米到分米波段,角分辨率在 $10^3-10^2$ 角秒范围。当今国际上最大的全动抛物面射电镜——西德的100米射电镜在

1986年12月26日收到。

1987年10月20日收到修改稿。

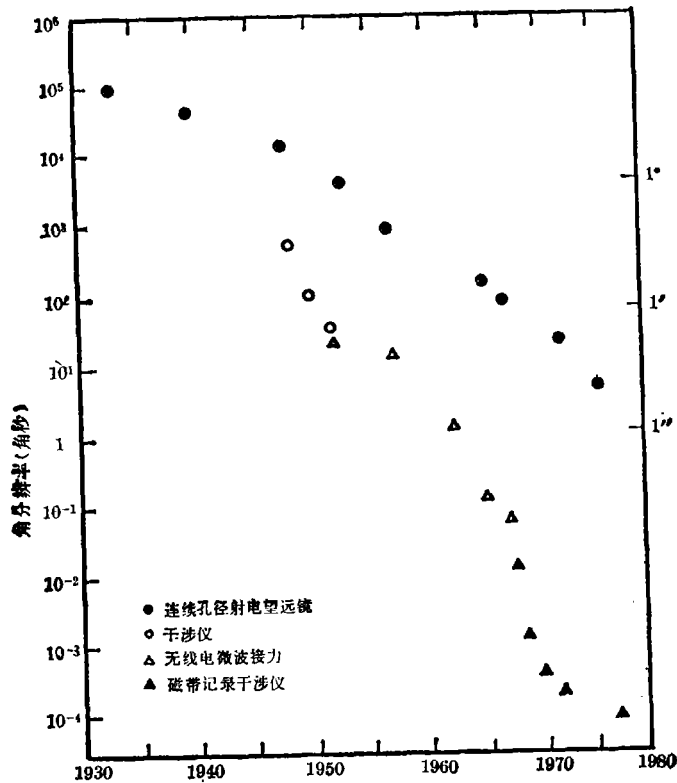


图1. 连续口径射电望远镜和各种干涉仪系统的角分辨率的改进。

1970年建成, 1977年最短工作波长延展到 8mm, 它的分辨率已达20"左右<sup>[5-7]</sup>。

分辨本领的进一步提高, 促进了射电天文方法的深入发展。从七十年代中到八十年代, 由经典干涉仪发展到独特设计的综合孔径系统(如 VLA), 独立本振干涉仪(甚长基线干涉仪 [VLBI])以及分辨率高达 $10^{-4}$ 角秒量级<sup>[4]</sup>的甚长基线天线阵(VLBA)。

由望远镜的衍射限制所确定的望远镜的分辨本领, 与望远镜的口径大小成正比。同样口径的望远镜在更短的波长上工作也是提高分辨本领的途径之一。单从缩短工作波长来提高分辨本领着眼, 是侧重方法和技术性的, 当然也很有意义。不过, 射电天文观测设备向短波端的发展是受到学科发展需要的激发, 它本身还有着深刻的物理意义。

## 二、初期毫米波观测设备的发展

开始研制毫米波射电望远镜是由于在厘米波段意外地观测到金星表面的高温。射电天文学家们预期, 在毫米波段观测太阳、行星和它们的卫星的热辐射, 能取得行星大气深处及其表层的信息。最早的一台口径为 5 米左右的毫米波射电望远镜于1963年在美国制成<sup>[8]</sup>。

毫米波射电天文学在七十年代得到快速发展的基础是毫米波无线电技术的发展和1951年发现原子氢21cm谱线所开创的射电天文谱线观测研究的方法<sup>[1]</sup>。同时还不能忽略六十年代发现OH(羟基)、NH<sub>3</sub>(氨)、H<sub>2</sub>O(水)、H<sub>2</sub>CO(甲醛)和CO(一氧化碳)等星际分子所起的激发作用<sup>[9-13]</sup>。因为在星际空间的激发条件下, 许多对天体物理学有重要意义的星际分子的纯转动

表1 早期建成的毫米波观测设备

天线形式	口径	建成年代	所属单位	波长 (mm)	站址	高度 (m)	纬度
1 单天线	4.6m	1963	美国, Aerospace Corporation	1.3	El Segundo, Los Angeles, U.S.A.	0	34N
2 单天线	22m	1966	苏联, Crimea Astrophysical Obs.	4.0	Cimet, U. S. S. R.	500	46N
3 单天线	4.9m	1967	美国, Millimetre Wave Obs., U. Texas	1.3	Fort Davis, TX, U. S. A.	2100	31N
4 单天线	6.1m	1968	美国, Hat Creek Obs., U. California	2.0	Hat Creek, CA, U. S. A.	1100	41N
5 单天线	11m	1969	美国, National Radio Astronomy Obs.	2.6	Kitt Peak, AZ, U. S. A.	1900	32N
6 单天线	6m	1970	日本, Tokyo Astronomical Obs., U. Tokyo	3.1	Mitaka, Tokyo, Japan	100	36N
7 单天线	13.7m	1972	巴西, U. Mackenzie Obs.	5.1—6.4	Sao Paulo, Brazil	600	23S
8 干涉仪	2×2.5m	1973	法国, Bordeaux Obs.	8.6	Plateau de Bure, France	2 550	45N
9 单天线	13.7m	1974	芬兰, U. Helsinki	3.7—4.8	Helsinki, Finland	0	60N
10 干涉仪	16×0.5m	1974	日本, Nagoya U.	8.6	Nagoya, Japan	700	35N
11 单天线	1.5m	1975	日本, Kisarazu Technology College	2.6	Kisarazu, Japan	0	36N
12 单天线	4.6m	1975	加拿大, U. British Columbia	2.0	Vancouver, Canada	0	49N
13 干涉仪	2×7.5m	1975	苏联, Moscow Technology College	2.0	Moscow, USSR	0	56N
14 单天线	4m	1976	澳大利亚, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	2.6	Epping, Australia	0	34N
15 单天线	13.7m	1976	西班牙, Geographic Institute	3.2—4.0	Madrid, Spain	2000	41N
16 单天线 (64m中心)	17.0m	1976	澳大利亚, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	5.1	Parks, SW. Australia	400	33S
17 单天线	20m	1976	瑞典, Onsala Space Obs., Chalmers U. of Technology	2.7—3.4	Gothenburg, Sweden	0	58N
18 单天线	7m	1977	美国, Bell Telephone Laboratories	1.0	Holmdel, NJ, U.S.A.	0	40N
19 单天线	13.7m	1977	美国, Five College Radio Astronomy Obs.	1.3—2.1	Amherst, MA, U.S.A.	550	42N
20 单天线	1.2m	1978	美国, U. Colombia	1.0	New York, U.S.A.	100	41N
21 单天线	10m	1978	美国, Owen's Valley Obs., California Institute of Technology	0.8	Big Pine, CA, U. S. A.	1200	37N
22 单天线 (100 m中心)	60m	1978	西德 Max-Planck-Institut für Radioastronomie	8	Effelsberg, FRG	300	51N
23 干涉仪	2×0.3m	1978	澳大利亚 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	3			
24 综合孔径	2×6.1m	1978	美国, Hat Creek Obs., U. California	2.5	Hat Creek, CA, U.S.A.	1100	41N

表2 近期完成的射电

项 目 名 称	天线形式	口 径	所 属 单 位	波段( $f_m$ 或 $\lambda_{m n}$ )	分辨率	面板精度 ( $\mu\text{m}$ , rms)
1. Nagoya 1.5m 短毫米波望远镜	mm- $\lambda$ 单天线	1.5m	日本, Dept. Astrophys., Nagoya U.	2.6mm	7'	
2. Plateau de Bure 2.5m 毫米波镜	mm- $\lambda$ 单天线	2.5m	法国, Astrophys. Group, Grenoble U.	1.3mm	2'.5	60
3. Bordeaux 2.5m 毫米波射电镜	mm- $\lambda$ 单天线	2.5m	法国, Bordeaux Obs.	3mm	5'	
4. Cologne 3m毫米波和亚毫米波镜	sub mm- $\lambda$ 单天线	3m	西德, Physics Institute, U. Cologne	0.5mm	4'.2	<50
5. Nagoya 4m毫米波望远镜	mm- $\lambda$ 单天线	4m	日本, Dept. Astrophys., Nagoya U.	1.0mm	1'	<40
6. R.R.I. 10.4m毫米波射电镜	mm- $\lambda$ 单天线	10.4m	印度, Raman Research Institute	mm- $\lambda$		65
7. NRAO 12m望远镜	mm- $\lambda$ 单天线	12m	美国, National Radio Astronomy Obs.	345GHz 0.87mm	18"	
8. IRAM 30m射电镜	mm- $\lambda$ 单天线	30m	法国·西德·西班牙. Institut de Radioastronomie Millimetrique	1.3mm	11"	90
9. Nobeyama 45m射电镜	mm- $\lambda$ 单天线	45m	日本, Nobeyama Radio Obs., Tokyo Astronomical Obs.	115GHz 2.6mm	15"	180
10. Nobeyama 毫米波天线阵	mm- $\lambda$ 综合孔径	5 $\times$ 10m	日本, Nobeyama Radio Obs., Tokyo Astronomical Obs.	22GHz 1.3cm (115GHz)2.6mm	4" 0".8	70
11. OVRO 3mm干涉仪	mm- $\lambda$ 干涉仪	3 $\times$ 10.4m	美国, Owens Valley Obs., California Institute of Technology.	2.6—3.4mm		
12. RATAN 600	mm- $\lambda$ 单天线	600m	苏联, Pulkovo Obs.	8mm (1.6mm)	1".7	82
13. 密云毫米波综合孔径望远镜	m- $\lambda$ 综合孔径抛物面天线阵	28 $\times$ 9m	中国, Beijing Obs.	232MHz 1.3m (408MHz)73cm	3'.8 $\times$ 3'.8 $\times$ csc $\delta$	
14. Cambridge 低频望远镜	m- $\lambda$ 综合孔径亚基天线阵		英国, Mullard Radio Astronomy Obs.	151MHz 2m	66" $\times$ 66" $\times$ csc $\delta$	
15. Gauribidanur T-形天线阵	m- $\lambda$ 综合孔径多波束T-形天线阵		印度, Indian Institute of Astrophysics	34.5MHz 8.7m	2'.6 $\times$ 4'.1(z=0 $^\circ$ )	

## 天文观测设备

指向精度 rms	系统温度 $T_{sys}$ (K)	速度分辨率 $\Delta v$	频带宽度 BW	接收机前端	后端	站址 高度 (m)	备注	开始运 转日期
	462 (SSB)	0.1km $\cdot s^{-1}$	730km $\cdot s^{-1}$		二台声光频谱仪		采用“纳斯米斯”光学系统	1982.1
$\pm 15''$				致冷硝特基势垒二 极管, FET放大器	8×40MHz, 256ch. 2bit相关器	2550	天线 $F/D=0.4$ ; 地平装 置: 室温和 80K 冷负载; 波束开关	1984
						2550	用 PDP11/24或34 控制; 是 Bordeaux天文台毫米波干涉 仪的东天线, 称 POM1	1980
1"		40kHz	40MHz	致冷硝特基势垒二 极管, FET放大器	256×1MHz 1000×40kHz		天线 $F/D=0.4$ , PDP11/ 34控制	1983
	220—250 (DSB)	40kHz, 250kHz	44MHz 280MHz	致冷二极管混频器	声光频谱仪	70	波束波导馈源: $\eta=74\pm 5\%$	1982.11
							天线是 Owen's Valley 莱曼天线的复制品	
							将原 11m 天线改装新的 12m 面板而成; 测天线用机械法 和 LES-8 卫星的微波全息技 术, $\eta=15\%$	1984.11
3"	35, 100—250		320MHz	致冷硝特基管, SIS	512×1MHz; 256× 100kHz; 2048ch. 1相关频谱仪	3400	$\eta=25\%$ , 旋转扇形波束开 关 (6Hz) 用于连续测量	1985.8
2-3"							$\eta=25\%$ , 用日本卫星 CS- 2A, CS-2B 在 19.45GHz 进 行全息测量	1982
	100 1000		80—320 MHz	SIS(115GHz)	FFT 相关频谱仪		基线 560E—W, 520N—S, 各有 30 点位	1984.7
	150—200 (SSB)			SIS(3.4—2.6 mm)			基线 200E—W, 380N—S	
							由环形反射器 (895×2m× 7.4m) + 400m 长的平板反 射器构成, 用微波全息技 术测量	
							天线 E—W 向, A 阵 16× 9m, B 阵 12×9m; 同时有 192 干涉仪对; 间距 18m— 1164m; 视场 $10^\circ \times 10^\circ$ (232MHz)	1984. 秋
							天线 E—W 向 (69×10×10 元亚基天线); 同时 778 条 基线, 间距 3A—4.6km; 总 接收面积 2000m <sup>2</sup> ; 4m 内可 得低分辨率图, 1 <sup>h</sup> —2 <sup>h</sup> 内 可得完善天区图, 在高纬 $\Delta S=20Jy$ (12 <sup>h</sup> )	1983
				双边带系统			对一维综合所要求的能见 度使用 1bit 相关器测量; 天顶角覆盖 $10^\circ$	

表3 建造中的

项 目 名 称	国 别	天 线 形 式	口 径	波 段	分 辨 率	站 址
1. MPIfR/UoA 10m 亚毫米波望远镜 (SMT)	西德-美国	Sub mm- $\lambda$ 单天线	10m	0.35mm	8".8	Mt. Graham, Arizona, 美国
2. Caltech亚毫米波望远镜	美 国	Sub mm- $\lambda$ 单天线	10.4m	0.35—2mm	8".5	Mauna Kea, Hawaii, 美国
3. SEST亚毫米波望远镜	瑞典-欧南台	Sub mm- $\lambda$ 单天线	15m	0.87, 1.3, 2.6 mm	15"	La Silla, 智利
4. UK-NL James Clerk Maxwell毫米波望远镜	英国-荷兰	Sub mm- $\lambda$ 单天线	15m	0.43mm	7".2	Mauna Kea, Hawaii, 美国
5. IRAM干涉仪	西德-法国	Sub mm- $\lambda$ 单天线	3×15m	70—350GHz (0.86—4.3mm)		Plateau de Bure, 法国
6. 青海 13.7m 毫米波望远镜	中 国	mm- $\lambda$ 单天线	13.7m	1.3cm (2.6mm)	4' (48")	青海, 德令哈, 中国
7. Iraq 30m毫米波射电望远镜	伊 拉 克	mm- $\lambda$ 单天线	30m	1—10mm	8".4	科雷克山, 伊拉克
8. 澳大利亚望远镜	澳大利亚	cm- $\lambda$ 天线阵(22m和64m中心都可工作在 mm- $\lambda$ )	6×22m+22m+64m	cm- $\lambda$ (50—115GHz)		Parks, 澳大利亚
9. 苏联 VLBL 网	苏 联	cm-dm- $\lambda$ VLBIN, (mm- $\lambda$ 单天线)	3×70m	1.3, 6, 18, 75 cm(1.3mm)		Evpatoria Usurisk Tashkent, 苏联
10. VLBA	美 国	mm-dm- $\lambda$ VLBA	10×25m	327MHz—43GHz 7mm—92cm(3.5mm)		全美大陆+夏威夷+加勒比海地区
11. Arecibo 300m改进计划	美 国	cm-dm- $\lambda$ 单天线	300m	4cm—dm- $\lambda$		Arecibo, Puerto Rico, 美国
12. 中国的 VLBI 网	中 国	cm-dm- $\lambda$ VLBIN	2×25m+10m			上海, 昆明, 乌鲁木齐, 中国

表4 计划中的射

项 目 名 称	国 别	天 线 形 式 和 口 径	波 段	分 辨 率 $\theta$
1. LDR(在空间展开的轨道反射器)	美 国	Submm-cm- $\lambda$ 空间望远镜, 20m	sub mm- $\lambda$	
2. Smithsonian亚毫米波天线阵	美 国	sub mm- $\lambda$ 综合孔径, 6×6m(可移动天线)	0.35—1.3mm	1"
3. ARO 37m天线的改进计划	加 拿 大	mm- $\lambda$ 单天线, 37m	2.6mm	18"
4. NRAO毫米波天线阵	美 国	mm- $\lambda$ VLA, (20—30)×(8—10)m+ 旋转倾斜的中心单元: { 1. 21×(3—4)m[或] 2. 焦面阵单天线	30—345GHz (0.87mm—1cm) 重点: 200—300GHz (1—1.5mm)	
5. QUASAT	国际合作(欧洲, 苏联, 澳大利亚, 美国)	空间 cm- $\lambda$ VLBI (空间射电+全球 VLBIN)	1.35, 6, 18cm	1/50 $\theta_{\text{地面}}$
6. RADIOASTRON	苏 联	cm-dm- $\lambda$ 地面-空间干涉仪((1—2)×10m空间射电+地面 VLBIN)	0.61, 1.66, 5, 22GHz, (1.3, 6, 18, 50cm)	(40×10 <sup>-6</sup> )" (22GHz)
7. CLBA(加拿大 VLBA)	加 拿 大	dm- $\lambda$ VLBA: (1)9×32m(2)4×32m	611MHz—22GHz (13—49cm)	
8. GMRT(巨型米波望远镜)	印 度	dm-m- $\lambda$ 方向可控抛物柱面阵, 34×92m×35m	38, 151, 325, 610MHz (49, 92cm, 2, 7.9m)	

## 射电望远镜

高 度	面板精度 $\mu\text{m}(\text{rms})$	备 注	时 间 表
2800m	4	碳纤维反射器分三圈: 牛棚式随动圆顶观测时可开启	1987年启用
4100m	10	使用天文圆顶, 具有百页窗式风门	预期1986年春完成
2200m		由IRAM设计制造, 昂萨拉空间天文台负责管理和仪器装备, 包括硝特基和(或SIS)混频器, 声光频谱仪( $\text{BW}=100\text{MHz}$ , $500\text{MHz}$ , $\Delta\text{B}=50\text{kHz}$ , $500\text{kHz}$ ).	1986年10月初步完成
4100m	35	钢骨架随动圆顶; 滑动门及屋顶覆盖PTFE薄膜(透过率 $>90\%$ )以实现温控, 消除风压; 面板由276块蜂窝铝构成, 天线用异体同形设计; 调整用激光干涉仪及微波全息技术; 绝对指向精度 $3''$	1986年测试
2550m	50	基线160~NS, 288~EW, 近似T形, 各有26点位; 每台风线的两台接收机将同时在不同偏振不同频率上工作, 控制计算机PDP11/44, 处理计算机VAX 730; 连续谱 $\text{BW}=500\text{MHz}$ , 用延迟线及相关器, 谱线用数字互相关器( $512 \times 1\text{MHz}$ , $256 \times 100\text{kHz}$ )	1986—1987年完成
3200m	66	控制计算机PDP11/24, 处理计算机PDP11/44; 前端硝特基致冷混频器, $T_{\text{sys}}=200\text{K}(\text{DSB})$ ; 后端 F·B( $256 \times 1\text{MHz}$ ), A.O.S. ( $1024 \times 24\text{kHz}$ )	预期1987年第一波段试观测
2100m	80	$F/D=0.35$ , 副面 $2\text{m}$ ( $2\mu\text{m}$ 精度, rms), 可作轴向, 横向和点头运动( $5\text{Hz}$ ); 无覆罩; 工作温度 $-10^{\circ}\text{C}$ — $40^{\circ}\text{C}$ ; 计算机 VAX 11/780; 先后建立4.6—5.1, 8.9—10.8, 21.8—23.8, 100—300 GHz等波段	1986年始建 1986年完成
		天线包括EW阵( $6 \times 22\text{m}$ , 基线 $6\text{km}$ , 37点位) + $22\text{m} + 64\text{m}$ (原Parks); 波段 1.25—1.8, 2.2—2.5, 4.4—6.1, 8.0—9.2GHz; 对每条基线 $\text{BW}_{\text{max}}=128\text{MHz}$ , 最大通道数8192	1986年完成第一台天线 1988年启用
		是苏联深空网的一部分	第一台天线已工作 第二台天线建造中 第三台天线1990年完成
		接收机9波段: 运转中心在新墨西哥州, 索柯若; 为20个站设计的128MHz的相关器可对各站得到的磁带重新录制	1986年始建 1992年完成
		主镜外加上18cm高的屏以减少溢出噪声, 用一宽带复合反射器馈源替代原线馈源; 改进指向精度在天顶将获得 $12\text{K/J}$ , 灵敏度提高一倍, 减少积分时间至1/10	预期1986年初完成
			1986年已完成 10m和25m各一台

## 电天文观测系统

备 注	状 况
用84块直径2米的六边形面板构成一台无源 $f/0.7$ 的主反射器, 加上90cm的改正镜, 使获得衍射性能, 进入轨道后在空间站附近装配。也适于mm- $\lambda$ 和cm- $\lambda$ 的VLBI观测	方案发展中
天线阵Y形布局, 基线100米; 站址候选地 Mauna Kea和 Mt. Graham	计划中
原46米cm- $\lambda$ 天线将由这台37米mm- $\lambda$ 天线替换, 用全封闭背架; 面板精度 $160\mu\text{m}(\text{rms})$ ; 指向精度 $2''$ ; 将是北美最大的mm- $\lambda$ 天线, 并成为mm- $\lambda$ VLBI网的重要组成部分	计划已批准 1987年完成
基线可能35km; 波段4—5个; 对大视场观测天线阵将工作在镶嵌模式	设计研究中
是一项发射绕地椭圆轨道, 携带一台射电望远镜的卫星计划; 轨道根数: 近地点5700km, 远地点12500km, 倾角 $63^{\circ}$ ; 寿命两年; 收到观测信号后能通过微波接力直接传送到地面遥控站并传送到面VLBA中心进行相关处理, 成像只需几小时, 将提供明晰、圆点延展性的射电源像	完成估价研究
最长基线RADIOASTRON I: $77 \times 10^3\text{km}$ (周期 $24^{\text{h}}$ ); RADIOASTRON II: $46 \times 10^6\text{km}$ (周期 $12^{\text{h}}$ ); $T_{\text{sys}}=35-100\text{K}$ ; $\text{BW}=2$ 或 $32\text{MHz}$ , $\Delta S=10\text{Jy}$ , 指向精度 $<5'$ ; 能快速高质量成像	1992年第一次发射
两个方案( $9 \times 32\text{m}$ )以及( $4 \times 32\text{m}$ ,)待审批; 天线将横贯加拿大国土排列	计划待批
由34台抛物柱面构成, 其中16面组成 $1\text{km}^2$ 的中心阵, 14面沿臂长14km的Y形阵式分布; 反射表面是2厘米的网	计划已批准 1985—1992年完成

跃迁的一系列谱线强度峰都落在毫米波段。出于对星际分子实测的需要,射电天文方法迅速向毫米波段和亚毫米波段延拓<sup>[14]</sup>。

至今已发现的星际分子约有60种,谱线1800多条<sup>[15]</sup>。早期用美国国家射电天文台的11米毫米波射电镜发现了大量的星际分子<sup>[16]</sup>,这是射电天文方法借鉴了无线电波谱学的技术,观测银河系星际空间以及河外星系中受到压缩的冷而密的尘云区,补救了光学方法之不足而取得的成就。毫米波天文学的研究对象包括太阳系天体,特殊恒星,致密HII区,射电星系和类星体等。除了来自星际分子的谱线辐射之外,来自热辐射等离子体或相对论性等等离子体的连续辐射同是毫米波天文学研究的重要组成部分。

由望远镜的分辨本领的定义可知,在毫米波段上工作的较小口径的天线,具有和在较长波段上工作的较大口径的天线同样的分辨本领。不过这种天线要求更高的加工精度。所以,“大型”毫米波射电镜的口径相对小,而制造难度比一个口径大得多的厘米波射电望远镜还要高得多。

七十年代国际上已建成的毫米波射电镜(包括单天线,干涉仪和综合孔径)总共有近30台(见表1)<sup>[16-21]</sup>。这些射电镜取得了许多成果,如美国国家射电天文台的11米望远镜,在发现星际分子热潮的工作中贡献最大<sup>[16]</sup>。用瑞典昂萨拉空间天文台的20米毫米波射电镜进行扫频观测,肯定了这是探查新的星际分子和新谱线的一种有效的方法<sup>[22]</sup>。其他如美国五大学的13.7米镜,美国贝尔电话实验室的7米镜,美国德克萨斯州的4米镜,口径虽不甚大,在毫米波天文学领域却做出了系统性的有影响的工作。澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)的4米镜在南天的巡视工作中起了重大的作用<sup>[23]</sup>。

这批毫米波射电镜主要工作波段在1.3mm到8mm范围内。较大口径的射电镜做少量短厘米波段的工作。它们多为超外差式,采用致冷砷化镓硝特基势垒二极管混频器直接混频系统。对于前置中放,场效应放大器得到广泛应用。频谱分析多采用多通道滤波器,频率分辨率从0.1到1MHz,通道数几百。后期发展了声光频谱仪,频率分辨率提高到几十kHz,通道数达到1024。

### 三、当今射电天文观测系统的发展

射电天文学中几乎所有的激动人心的发现都是来自提供了新波段、高灵敏度、高空间和时间分辨率或者是改进了成像质量的新型观测设备或技术。观测设备的发展也反映了这门分支学科发展的需要和发展的趋势。

我们用表列形式来概括当今国际上射电天文台全部较大型射电设备(包括从亚毫米波到米波)的发展阶段和概况。表2列出了近期完成的射电天文观测设备<sup>[24-42]</sup>,表3列出了建造中的射电望远镜<sup>[4],[24],[40],[43-62]</sup>,表4列出了计划中的射电天文观测系统<sup>[24],[39],[41],[58-69]</sup>。给出了各项设备的主要技术指标,设计特色,所属国别,单位以及运转、研制和方案讨论的进展情况。我们可以由这些表看到<sup>[24-70]</sup>射电观测设备的形式有一个由单天线向VLBI,由地面局部区域到横贯大陆,到洲际联合,直至迈步空间,谋求更长的基线以提高分辨本领的趋势。研制和管理范围也由个别单位扩大到广泛的国际合作。在观测波段方面(见表5),八十年代以来已完成的15台射电镜中有一台可工作到亚毫米波段,11台工作到毫米波段,3台工作在米波段。分别占这个时期完成的射电镜总数的7%,73%和20%。正在建造的12台中,在



表5 射电天文观测设备的波段分布

	设备总数	波 段							
		亚毫米波	毫 米 波	亚毫米波 毫 米 波	厘米波和 分米波	米 波			
		各波段设备数(百分比)							
最近完成的设备	15	1(7%)	11(73%)			3(20%)			
建造中的设备	12	12(80%)		14(70%)	2(16%)	5(25%)			
计划中的设备	8	5(42%)	5(42%)				10(84%)	3(33%)	1(12%)
		2(25%)	2(25%)						

亚毫米波段和毫米波段的射电镜各5台,厘米、分米波段的有2台,分别占总数的42%,42%和16%。可以看出八十年代以来亚毫米波段加毫米波段的观测设备的研制有所发展。在射电设备总数中所占的百分比由80%增加到84%。而亚毫米波段的设备数由占射电设备总数的7%增加到42%,正在大幅度地增长。在计划和建造中的20台射电镜中,有14台在亚毫米和毫米波段,占总设备数的70%。厘米、分米和米波段的设备数共占30%。由此可清楚地看出八十年代到九十年代射电天文观测波段向短波端延拓的趋势(由厘米波到毫米波,一直到亚毫米波)。同时我们也可看到,在电磁谱的无线电波段上,毫米波、亚毫米波波段的开发显得如此瞩目,它大力促进着射电天文方法的发展。毫米波和亚毫米波波段的观测研究在射电天文分支学科的发展中正在和将要占据十分重要的地位,这一点是毋庸置疑的了。

## 参 考 文 献

- [1] Cohen, R. S., Hiebert, E. N. and Mendelssohn, E. I. (eds.), *Classics in Radio Astronomy*, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland, (1982).
- [2] Vallee, J. P., *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 76 (1982), 574.
- [3] Hey, J. S., *The Evolution of Radio Astronomy*, Elek Science, London, (1973).
- [4] Kellermann, K. I., *An Intercontinental Very Long Baseline Array*, NRAO, (1977).
- [5] Christiansen, W. N. and Högbom, J. A., *Radiotelescopes*, Univ. Press, the 2nd edit, (1985).
- [6] Meeks, M. L., *Methods of Experimental Physics*, V. 12, Astrophysics -Part B: Radio Telescopes, Academic Press, New York, (1976).
- [7] Labrum, N. R., *Solar Physics*, 27 (1972), 496.
- [8] Lequeux, J., *La Recherche Mensuel*, 11 (1981), No. 107, 16.
- [9] Weinrebs, S. et al., *Nature*, 200 (1963), 829.
- [10] Cheung, A. C. et al., *Phys. Rev. Lett.*, 21 (1968), 1701.
- [11] Cheung, A. C. et al., *Nature*, 220 (1969), 62.
- [12] Cheung, A. C. et al., *Nature*, 221 (1969), 626.
- [13] Wilson, R. W., Jefferts, K. B. and Penzias, A. A., *Ap. J.*, 161 (1970), L43.
- [14] 徐培源, 毫米波和亚毫米波天文学, 见《中国大百科全书·天文卷》, p. 112, 中国大百科全书出版社, (1980).
- [15] Lovas, F. J., *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 15 (1986), 251.
- [16] 向德琳, 紫金山天文台科研工作报导, (1977), No. 2, 1.
- [17] 徐培源, 徐之材, 韩溥, 毫米波望远镜发展的动向和我国的科研计划, 紫金山天文台, (1985).
- [18] 向德琳, 紫金山天文台台刊, 3 (1984), No. 1, 13.
- [19] Kaufmann, P., *Sky and Telescope*, 45 (1973), 1.
- [20] Menzel, D. H., *Sky and Telescope*, 52 (1976), 4.
- [21] Arny, T. and Valeriani, G., *Sky and Telescope*, 53 (1977), 431.

- [22] Johansson, L. E. B. et al., *A.Ap.*, 130 (1984), 227.
- [23] Robinson, B. J. et al., *BAAS*, 15 (1983), 993.
- [24] Kellermann, K. I., *Highlights of Astronomy*, Vol. 8, p. 879, ed. by J. P. Swings, Dordrecht, D. Reidel, (1986).
- [25] 福井康雄等, 天文月报, (1982), No. 12, 330.
- [26] Lucas, R., *The Scientific Importance of Submillimetre Observations*, ESA Scientific and Technical Publications Branch, p. 59, (1982).
- [27] Baudry, A. et al., *J. Ap. A.* 1 (1980), 193.
- [28] Winnewisser, G., et al., *The Scientific Importance of Submillimetre Observations*, ESA Scientific and Technical Publications Branch, p. 5, (1982).
- [29] Kawabata, K. et al., *A. Ap.*, 151 (1985), 1.  
(以下参考文献序号后只列姓名者为在1985年IAU XIX大会(新德里)第40委员会[射电天文]讨论会中以及会外提供素材为本文所引用者)。
- [30] Bhandari, R..
- [31] Leighton, R. B., *Final Technical Report*, California Institute of Technology, (1978).
- [32] Findlay, J..
- [33] Morris, D..
- [34] Baars, J. W. M. and Hooghout, B. G., *Proc. Conf. Optical and Infrared Telescopes for the 1990 s*, p. 458, ed. by A. Hewitt.
- [35] Kaifu, N..
- [36] Nobeyama Radio Observatory, Tokyo Astronomical Obs., Nobeyama Radio Obs. Technical Report, No.6.
- [37] Ishiguro, M., Nobeyama Radio Obs. Technical Report, No. 7(1981).
- [38] Scoville, N..
- [39] Parijskii, Y..
- [40] Baldwin, J..
- [41] Udaya Shankar, N..
- [42] 王绶琯, 密云综合孔径射电望远镜, 1984年10月密云综合孔径射电望远镜鉴定会, 北京, (1984).
- [43] 钱志瀚, 天文学进展, 4 (1986), 70.
- [44] Wielebinski, R..
- [45] Phillips, T..
- [46] Smith, D. H., *Sky and Telescope*, 70 (1985), 119.
- [47] Ronnang, B. O..
- [48] Hills, R., *The Scientific Importance of Submillimetre Observations*. ESA Scientific and Technical Publications Branch, p. 51, (1982).
- [49] Baars, J. W. M., *Reviews in Infrared and Millimetre Waves*, Vol. 2, ed. by K. J. Button, (1982).
- [50] Emerson, D..
- [51] 徐之材, 韩溥.
- [52] 俞维栓
- [53] 裴立本
- [54] 梁镇猷
- [55] 韩溥, 天文学报, 26 (1985), 187.
- [56] Hamid, M. K., *Astronomy in Iraq*, Space and Astronomy Research Center, Baghdad, (1984).
- [57] Roberts, J. A..
- [58] Matveyenko, L..
- [59] Kellermann, K. I..
- [60] Kellermann, K. I. and Thompson, A. R., *Science*, 229 (1985), 123.
- [61] Hagfors, T..
- [62] 云南天文台射电室十米课题组, 云南天文台台刊, (1986), No. 1, 104.
- [63] Kuiper, T..
- [64] Willner, S..
- [65] Kronberg, P..
- [66] Owen, F..
- [67] Swarup, G..

[68] Galt, J..

[69] Schilizzi, R. and Burke, B..

[70] 杨建, 娄国芳, 天文学进展, 2 (1984), 120.

(责任编辑 谢应地)

## The Development of the Observation Instrumentation of Radio Astronomy in Millimetre and Submillimetre Wave

Xiang Delin

(*Purple Mountain Observatory, Academia Sinica*)

### Abstract

The general course of the development of the observation instrumentation of radio astronomy in millimetre and submillimetre wave band are outlined in this paper. The general situation of the development of millimetre wave instrumentation in the earlier period is also included. The tabulated development quotation of each observation instrumentation in millimetre and submillimetre wave band as well as other projects of larger radio telescopes having been completed recently, being constructed and being planned are given in more detail. Finally the trend of the extending of radio astronomy method toward the short wave end is indicated.