

90年代的VLBI天体物理学

万 同 山

(中国科学院上海天文台)

提 要

本文评述 VLBI 天体物理学的进展,特别是在河外连续谱天文学、星际脉泽、脉冲星和恒星等方面 VLBI 观测的主要结果。同时列出 90 年代 VLBI 观测能力的扩展,主要在毫米波 VLBI、空间 VLBI 站以及地面 VLBI 的提高等诸方面。

一、引 言

在 VLBI 的早期, VLBI 观测往往是为着估计一些致密射电源的直径,以证实有很小角径的致密结构的存在,射电源的 VLBI 图像的动态范围是很低的。1976 年美国 VLBI 网建立起来,1980 年又建立了欧洲 VLBI 网, VLBI 天体物理学观测便逐步走上每年 4 期的常规性观测。美国网、欧洲网和其他一些非网成员的射电望远镜,还往往联合起来,组成全球性的联测,多达 18 个天线,这样的观测虽然组织复杂,数据处理耗费时间很多,但它是值得做的。因为 (u, v) 覆盖的改善,可获得更多的射电源结构的细节,动态范围从早期的 10:1 到现在的 1000:1 量级。那末, VLBI 天体物理学的进展如何? 90 年代会如何发展? 这是本文的兴趣所在。

二、VLBI天体物理学的进展

与其他类型的设备相比,例如与 VLA, WSRT, MERLIN 这些大型综合孔径射电望远镜相比, VLBI 的 (u, v) 覆盖不足,灵敏度不高,数据处理很费时间,但是 VLBI 仍保持不断发展的势头,其主要原因是高分辨率的 VLBI 才能对天体物理学中的一些问题提供答案,这主要是指致密射电源产生的物理过程,其亮温度超过 $\approx 10^8\text{K}$, 银河系中的恒星、分子脉泽,河外的活动星系核、类星体都有这种过程。遥远天体的自行,如视超光速现象也只有用 VLBI 才能进行研究。文献上常常提到的射电源的 VLBI 结构、VLBI 天体物理学,便是指上述这类研究。如以活动星系核的黑洞模型为例, VLBI 已能分辨出接近宽线发射区的尺度(约 1pc),但是地面 VLBI 的分辨率达到“中央发动机”的尺度(约 10^{-4}pc) 还是将来的事。

1. 河外连续谱天文学

河外天文学最基本的问题是弄清楚类星体、星系核中的能量本质及其宇宙学演化过程,

这种高能过程发生在这些致密天体的核心之中。

迄今用 VLBI 观测的目标不过数十个，至于多次不同纪元、多频率经过详尽观测研究过的也只有 10 多个，不完全(纪元、频率)研究过的约有 100 个。传统的干涉仪已观测过几百、几千个射电源完备样本，因此，通过完备样本的观测，统计地测定一类天体的性质，和预期的物理模型做比较研究的工作，在 VLBI 研究中目前尚存在困难。

由于 Mk2 VLBI 技术的灵敏度的限制和 Mk3 的磁带短缺，取流量限的完备样本观测只限于致密核出现在较高频率的天体。Eckart^[1]等集中观测了 13 个平谱天体。Lawrence^[2]等在 22GHz 上得到 25 个射电图。迄今最多的是 Pearson 和 Readhead^[3]做的，有 65 个， $S(6\text{ cm}) > 1.3\text{ Jy}$ ， $\delta > 35^\circ$ ，银纬大于 10° 。它们可分作两类。一类是平谱的、核占主要地位的致密源，带有一个单边的射电弱子源，其流量和相对于核的位置有变化。这一类源中最著名的便是所谓核-喷流非对称源，或超光速运动源。但确定一个源是否超光速源并非易事。必须满足以下条件：

(1) 不能有太强的核；因为动态范围不足，弱子源是检测不出来的；

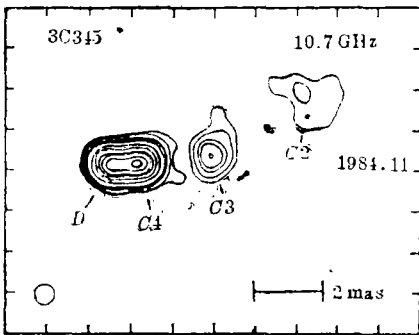


图 1 3C345 的 2.8cm VLBI 图。引自 Biretta, Moore 和 Cohen (1987)

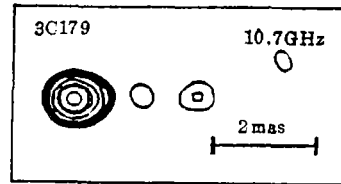


图 3 3C179 的 VLBI 图。引自 Porcas(1987)

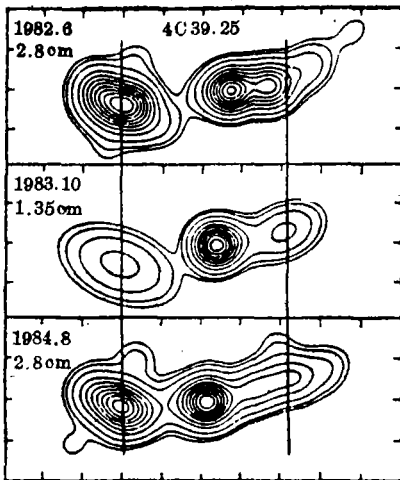


图 2 4C39.25 的 VLBI 图。引自 Shaffer 和 Marscher, (1987)。一小格是 0.5mas, 垂线表示静止子源

(2) 喷流中的“结”必须有清楚可辨的峰值；

(3) 必须在恰当的取样时间观测，否则，在不同纪元证认同一个峰值便会发生困难；

(4) 由于 VLBI 观测不能测定子源的绝对位置，在不同纪元把图像对准起来是有困难的。

解决了这些问题，便能测量超光速运动，或子源的自行。有多种超光速图像特性，但样本太少，而不能进行统计分类。例如，子源的加速和位置角改变(3C345)(图 1)^[4]，减速(BL Lac)；还有静态和超光速子源并存现象，如 4C39.25(图 2)^[5]其两个子源是相对静止的，第三个子源似从西面的子源射出，这和大多数超光速源很不一样。3C454.3 也是很特别的，具有超光速增亮现象^[6]。

另一类则是陡谱的，核的亮度较弱。这

类源如三重源，其陡谱瓣占主导且伸展达几千秒差距远(3C179, 图3)^[7]。有几个这种源的中央成份存在和角秒结构对准的结构，但很弱，要用 Mk3 观测。近几年来致密陡谱源(compact steep spectrum)引起了重视。在陡谱子源中 5GHz 的流量占 80% 以上(400MHz 以上 $\alpha > 0.5$)，在角秒尺度上几乎未被分解，相当于其投影线尺度小于 10kpc。Fanti 等^[8]研究了 3CR 星表中 30 个陡谱源。这些源用 VLBI 观测仍呈现大尺度结构(>100kpc)，但有很大程度的畸变和复杂性^[9]，这些研究的一个重要结果是星系和类星体的形态有明显的不同，几乎所有的星系都是对称双源，而类星体则各式各样。

再就是致密双源了，这类源在角秒尺度上未被分解，但在毫角秒的尺度上有两个亮度相当的子源，频谱在高频处较陡，在 1—5GHz 达峰值。这类源的一个有趣的特点是完全不存在角秒尺度的展源发射(在动态范围 3000:1 之内)，不是变源，没有超光速运动的迹象。

对银河系核的观测不多，因为必须利用 Mk3，而 Mk3 的观测时间分配不如 Mk2 容易得到。

2. 星际脉泽

不久前做了甲醇(CH_3OH , $2_0 \rightarrow 3_{-1}\text{E}$) VLBI 观测，其频率是 12.178GHz^[10]，主要结果是它和 OH 脉泽成协，所以其抽运过程应类似。Norris 等(1988)利用 Parkes-Tidbinbilla 干涉仪也观测了甲醇脉泽，结果和 Menten 的相同。

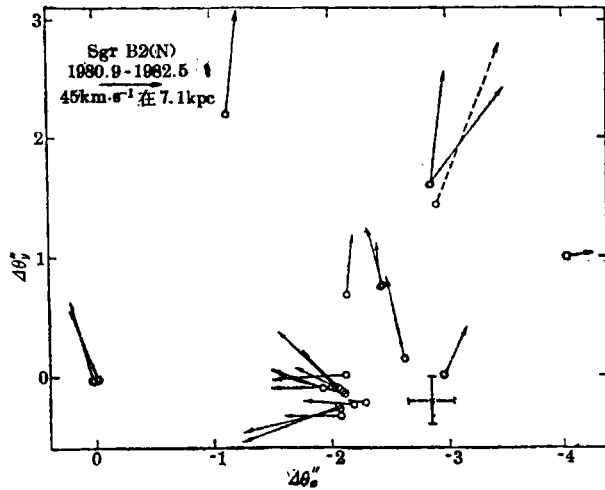


图 4 Sgr B2(N)的 H_2O 脉泽的自行。圆圈表示脉泽的位置，箭头的长度和方向表示脉泽特征的运动速率和方向。膨胀中心不确定度以 X 为中心标出^[12]

测定 H_2O 脉泽的自行被看作是谱线 VLBI 的最大成就，可用统计视差方法估计恒星形成区脉泽的距离。Reid 等^[11]观测了 Sgr B2(N)中 H_2O 脉泽(图 4)，得到 5 个纪元的数据，所得距离是 $7.1 \pm 1.5 \text{ kpc}$ ，Sgr B2 很可能离银心仅 2—300pc，所以估计到银心的距离 R_0 就是这个数字，它比 IAU 采用值小 1.5kpc。

Baudry 等^[12]观测了 W3(OH)中的 OH 脉泽的激发态发射源，频率是 4765MHz， $^2_{\pi_{1/2}}$ ， $J = 1/2$ ， $F = 1 \rightarrow 0$ 跃迁，这种脉泽很弱($S \sim 5 \text{ Jy}$)，而且不是 VLBI 的标准频率，所以没有

为 VLBI 界所注意。Baudry 发现 4765MHz OH 和 1665/7 和 6035MHz OH 以及 12.1GHz CH_3OH 脉泽均有空间相关性。Garcia-Barreto^[13]等发表了 18cm OH 脉泽(W3(OH))有四个 Stokes 参数的偏振观测结果, 发现脉泽特征的 25% 有椭圆偏振, 并估计磁场强度约为 6 mG。

利用脉冲星和脉泽的 VLBI 观测可研究星际散射(ISS)。Gwinn 等^[14]测定了脉冲星 1933 + 16 在频率 327 和 608MHz 的散射面, 对 VLBI 脉冲星应为点源, 所以任何结构应是由 ISS 引起的。Diamond 等^[15]用 7 台站 VLBI 网观测了银道平面的 60 个 OH 脉泽源, 得到了 ISS 效应的关系式。

3. 脉冲星和恒星

脉冲星的 VLBI 观测除研究 ISS 外, 主要目的是自行和视差的天体测量问题, Gwinn 等^[16]用相位基准法做了这个工作。测得脉冲星 PSR 0823 + 26 和 PSR 0950 + 08 的视差分别是 360 ± 77 和 130 ± 15 pc。Bartel^[17]等测量了脉冲轮廓内发射区的位置漂移, 利用了美国 VLBI 网和西德 100 米天线, 频率 2.3GHz, MK3 系统, 目标是 PSR 0329 + 54。

至于恒星(或称射电星)的 VLBI 观测, 对天体物理很重要, 但迄今 VLBI 网的灵敏度不足, 现今 VLBI 灵敏度约为 10^{10}K (300 秒积分)表面亮温度, 而热辐射源表面亮温度一般 $< 10^4\text{K}$ 。

互相作用的双星系统的 VLBI 观测需要较高的灵敏度, 要用 MK3 系统。Massi 等^[18]观测了 Algol 和 4RS CVn, 包括 UX Ari, 频率 5GHz, Lestrade 等^[19]观测了 Algol, 频率为 1.66, 2.3, 8.4GHz。在大爆发时, UX Ari 的表面亮度约 $4 \times 10^9\text{K}$, 而 Algol 在 3×10^8 和 $5 \times 10^9\text{K}$ 之间。

至少有 15 个有射电辐射的 X 射线双星, 其中有 4 个用地球基线不能分解 ($< 1\text{mas}$), 其特征为射电和 X 射线都有强烈变化, 射电亮温度 $\leq 10^{10}\text{K}$ 。VLBI 观测较多的是 SS433, 观测者有 Vermeulen 等^[20]Romney 等^[21]。SS433 被看作是有一个大质量早型星, 向着一个致密天体周围的吸积盘丢失其质量。产生光学和射电辐射的物质, 以 0.26c 的速度沿着半角 20° 的进动锥的表面而喷射出来, 而这个锥体的轴, 和观测者视线成 80° 角, 进动周期是 162.5 天。SS433 的 VLBI 图表明, 喷射物遵循 Margon 模型的轨迹, 它引人注目地显示, 只要再提高 VLBI 网的灵敏度, 这一成就可用于其他恒星系统的 VLBI 研究。

上面所说的是一些观测事实, 如果从 VLBI 天体物理学的角度, 还可以概括对天体和宇宙的认识上的进展。在活动星系核、类星体方面较重要的有:

(1) 在地球的最长基线上, 核未被分解, 这证实中央发动机的尺度小于 $10^{17} - 10^{18}\text{cm}$;
 (2) 由大量存在的超光速运动可推知, 物质从核以相对论性速度抛出, 这清楚表明活动星系核中有很深的势阱;
 (3) 证实了强射电源中喷流的初始对准方向在核的 1pc 之内, 所以它不可能产生于母星系的星际介质;
 (4) 发现单边的角秒级喷流和毫角秒的对应物总是在同一边出现。这说明在许多源中从 1pc 到 1kpc 尺度上的不对称性起因相同;
 (5) 发现在对源中核喷流和大尺度喷流的方向很一致, 这表明, 外喷流轴的建立不是由主星系的轴而是由中央发动机, 而且看来是由于大质量旋转天体的陀螺作用;
 (6) 发现射电连续谱源的亮温度在活动星系核中 $T_b \leq 10^{12}\text{K}$ 。这表明, 核的射电辐射中非相干同步辐射占主导地位。理论上, 由逆康普

顿极限, $T_B \gg 10^{12} \text{K}$ 是不可能产生的。

在天体距离的测量方面, 较重要的进展是:

在 VLBI 研究中, 利用星际脉泽成功地测量出太阳到银河系中其他点的距离, 意义重大。因为脉泽很亮, 它可用于银河系中的任何地方。这种方法可推广应用到了千万光年的河外脉泽, 从而将来它对宇宙学的争论的解决具有基本的重要性。

4. 目前所达到的观测能力

目前能进行常规性的波段有 50 cm, 18cm, 6 cm, 2.8cm, 1.3 cm, 近年来加了 90 cm, 3.5/13 cm, 毫米波 VLBI 是特别组织的, 而且参加的台站比较少。

(1) 分辨能力

用线分辨率表示, 对大多数类星体约为 4pc, 而对邻近的活动星系核约 0.25pc。 $10^9 M_\odot$ 黑洞的史瓦西半径 $\sim 10^{-4} \text{pc}$, 宽线发射区 $\sim 1 \text{pc}$, 而窄线发射区 $\sim 100 \text{pc}$ 。所以现今地面 VLBI 能分辨的区域是宽线发射区, 相当 $10^{17} \sim 10^{18} \text{cm}$ 。在毫米波段 (3 mm) 则接近于吸积盘的尺度。

银河系 H_2O 脉泽的内部运动的扩散约 $30 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, 在银心这相当于横向角速度 $0.6 \text{mas}/\text{yr}$ 。在 1Mpc 的距离上这种运动则相当于横向角速度 $6 \mu\text{as}/\text{yr}$, 要求分辨率提高百倍。

(2) 灵敏度

利用 Pearson 和 Readhead 的自校准方法成图, 以克服大气和本振的相位和幅度的不稳定性, 这要求在相干时间内能检测到射电源, 所以 VLBI 目前只限于强源, 用 MK2 系统约为 0.5Jy, 用 Mk3 系统约为 0.1Jy (要求带宽高达 56MHz, 一盘磁带仅记录 15 分钟)。以上是基于基线灵敏度, 这是当前的实际水平, 至于 VLBI 阵灵敏度将会大大提高, 但要普遍实现还是将来的事情。

(3) 动态范围

动态范围根据不同的情况从 20:1 到 1000:1。其主要的限制因素为灵敏度 (几 mJy/beam), 非闭合校准误差, (u, v) 覆盖不足。

三、90 年代的 VLBI 天体物理观测

主要表现在观测能力的扩展, 有三个方面的提高, 即毫米波 VLBI、空间 VLBI 站和地面 VLBI 网的提高。

1. 毫米波 VLBI

目前地面上的最高分辨率用 100GHz 得到为 $50 \mu\text{as}$, 正在做 230GHz 的 VLBI 实验, 并利用 Mk3 系统。毫米波成图技术是当今的一个前沿研究课题, 其困难在于灵敏度低, 要特殊组织实

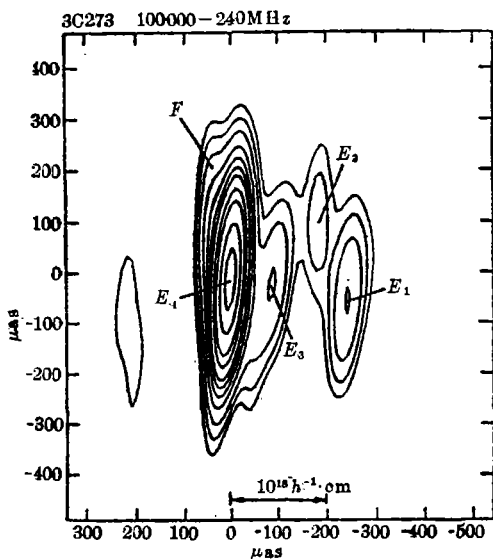


图 5 类星体 3C273 的 100GHz VLBI 混合图, 轮廓线 -5, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 90%, 峰值 7.15Jy。束宽 $280 \times 50 \mu\text{as}$, 位置角 $-4^\circ.4^{[22]}$

验, 目前能组织到 5—6 个天线的网, 动态范围在 10:1 量级, 相当于厘米波 VLBI 初期的水平。信噪比约为 $\sim \lambda^4$ 。其线分辨率达到 10^{16} — 10^{17} cm, 相当于黑洞模型的吸积盘尺度。

2. 空间 VLBI 站

RADIOASTRON

1985 年苏联科学院批准支持 RADIOASTRON 空间 VLBI 项目, 预计 1993 年发射一个 10 米天线到空间。RADIOASTRON 的轨道比较扁, 因此在厘米波段的分辨率比地面 VLBI 高 10 倍, 但 (u, v) 覆盖较差, 所以成图能力低, 在处理数据方面需要发展新方法。RADIOASTRON 的灵敏度, 当和地面上一个 70 米天线组合时, 用 300 秒积分, 在 1.35 厘米约 100 mJy, 6 厘米和 18 厘米约 50 mJy, 92 厘米约 150 mJy。预计 RADIOASTRON 发射时, 地面上将有美国、欧洲、澳大利亚和中国的天线参加观测。

VSOP

VSOP 是 VLBI Space Observatory Programme 的缩写, 是日本 ISA S (Institute for Space and Astronautical Science) 的研究项目, 可能在 1994—1995 年发射, 远地点 20000 km, 近地点 1000 km, 倾角 31° — 46° , 最长基线 30000 km, 分辨率达 $100 \mu\text{as}$ 。以这种分辨率成图是其主要的目的, 观测频率为 22.5 和 1.6 GHz, 参加的地面 VLBI 网将有美国、欧洲、澳大利亚和中国。

IVS

IVS 是 International VLBI Satellite 的缩写, 是由欧洲、美国、澳洲、日本等多个国家中的 VLBI 研究者共同向欧洲空间局于 1989 年底最新提出的第二代空间 VLBI 计划。其前身是 QUASAT 计划, 该计划曾得到广泛的支持, 可是因太贵而未争取到经费。IVS 计划发射像 VLBA 的 25 米那种天线, 因而其灵敏度比 RADIOASTRON 和 VSOP 高 20 倍, 同时, 分辨率高 10 倍, 接收机有 0.327, 1.6, 5, 15, 22, 43, 60, 90 GHz 等多种频率, 也可能有 220 GHz。

IVS 将有三个不同的轨道, 可以有高质量成图以及高分辨率的能力, 最高分辨率在 90 GHz 上可达 $< 3 \mu\text{as}$ 。同时 IVS 将具有单天线谱线工作的能力, 以搜索星际分子 O_2 。

RADIOASTRON 和 VSOP 都是已批准的项目, 从它们的轨道设计可推出, VSOP 将可用于高质量成图, 但是其分辨率比地面 VLBI 只提高 3 倍, 相反 RADIOASTRON 的分辨率比地面 VLBI 提高 10 倍, 而成图能力较差。这两个 VLBI 空间站有可能在 1994—1995 期间发射, 如同时观测, 其成图能力和分辨率将可以兼顾到。但由于轨道天线的口径都是 10 米, 其灵敏度比地面网低, 因此有相当一部分的天体物理目标是检测不到的。这将有待于第二代 VLBI 空间站 IVS 上天了。

3. 地面 VLBI

VLBA

美国的 Very Long Baseline Array 将是世界上第一个 VLBI 专用设备。它是多用途的, 可用于连续谱、谱线、天体测量和大地测量、偏振测量、脉冲星测量等等, 共有 9 个波段 (92 cm 到 7 mm)。VLBA 的记录系统比 MK3A 更为先进, 采用 2-bit 采样方案, 16 MHz 的通道, 格式更为灵活, 并有同时处理 20 个台站的 VLBI 处理机, 这样, 不仅能处理 VLBA

的 10 个天线, 而且能处理 VLBA 和欧洲或其他天线联网时的观测。因此, VLBA 处理机有“MK3 混合模式”工作性能。

EVN

欧洲 VLBI 网(European VLBI Network)在 1990 年天线可能增到 8—13 个。欧洲 VLBI 网向欧洲共同体提出了研制 VLBI 处理机的计划, 也是 20 个台站同时处理的, 采用 VLBA 式的记录终端, 不过尚未批准。和 VLBA 相比较, EVN 的主要优点是天线大, 因而灵敏度高几倍。

南半球 VLBI 阵

它是以澳大利亚的 AT 为中心的, AT 是 Culgoora 的 6 个 22 米天线的线性阵, 加上 Siding Spring 的一个新的 22 米天线, 和已有的 64 米 Parkes 天线所组成, 还有 Tidbinbilla (NASA) 和 Hobart (Tasmania 大学) 与 AT 组合, 形成南北阵, 基线覆盖很好, 从 100 到 1500km。

其他

除了上述三个网, 在 1995 年左右, 还会有 10 多个天线, 分布在苏联、中国、印度和日本, 其中苏联有 7 个, 中国有 3 个。上海的 VLBI 系统已建成, 它包括 25 米射电望远镜, MK2 和 MK3 数据采集终端, 以及 MK2 型的 VLBI 相关处理机、利用 Micro VAX2 和 HP 1000 的 VLBI 相关后处理系统。上海 VLBI 观测站已参加地壳动力学计划的联测和欧洲 VLBI 网的联合观测, 并已成为它的非正式成员。

地面 VLBI 发展的前景是, 改善 (u, v) 覆盖, 如 VLBA 是精心设计的, 多台站相关处理, 这是十分关键的, 例如 10 个台站有 45 对基本干涉仪, 如果用 3 台站处理要用 17 倍观测时间做相关处理, 这是很费时的, VLBA 处理机同时处理 20 台站, 效率就很高了, 而多台站 (10 多个) VLBI 观测是 90 年代的趋势; 增加灵敏度, 就要求天线大, 接收机温度低, 记录带宽大 (MK3A, VLBA), 相干时间长; 增加波段, 向毫米波发展; 偏振观测, VLBA 有这个功能; VLBI 阵校准的改进; 增加观测时间, VLBA 的观测时间将很多, 欧洲 VLBI 网中除 Effelsberg, WSRT (可能还有 Jodrell Bank) 外, 都将有全部时间观测。

四、一些简短的讨论

1. 毫米波 VLBI

毫米波 VLBI 是当今的一个新的前沿研究领域, 正在做 230GHz 的 VLBI 观测, 其困难主要是灵敏度低, 还往往要把 VLBI 设备搬到毫米波望远镜去。这种情况将改变, 一些毫米波望远镜, 如澳大利亚的 AT, 西班牙的 Pico Veleta 等将有自己的 VLBI 设备。连续谱成图的动态范围为 10:1, 这相当于 VLBI 早期的情况, 但随着天线的增多和接收机的改进, 这个比值也将相应提高。

2. 空间 VLBI 站

预计在 90 年代将有 VSOP 或 RADIOASTRON 进入轨道, 最高观测的频率是 22GHz, 成图的动态范围在 100:1 量级。分辨率比地面 VLBI 高 3—10 倍 (按同样的波长比较), 但灵

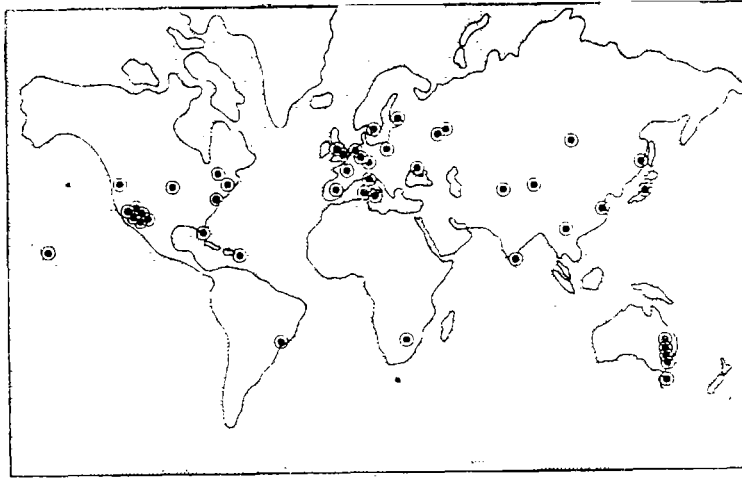


图 6 90 年代中有全部时间或部分时间能参加 VLBI 观测的 45 个射电望远镜^[23]

敏感度较低。其主要目的是更深入地探测活动星系核和类星体的结构。第二代 IVS 处于准备阶段, 它无疑是有生命力的。空间 VLBI 站的轨道设计具有基本的重要性, 单纯追求分辨率, 则 (u, v) 覆盖空洞大, 会牺牲成图性能。所以 IVS 有三个轨道, 最长的轨道远地点达 150000 公里, 这时会牺牲动态范围, 但这个超高分辨率有可能得到致密源的新信息。

3. 地面 VLBI 网

在地面 VLBI 网中, 毫米波 VLBI 已专门论及, 这里是指厘米波段。美国 VLBA 专用

表 1 现有的口径大于 10 米的毫米波射电望远镜^[23]

| 名称/地点 | 直径(m) | 最短波长(mm) | VLBI 宽带记录和氢原子钟 |
|---------------------------|-------|----------|----------------|
| Amherst (Mass.) | 14 | 1.3 | 无 |
| Bangalore(India) | 10 | 2.6 | 无 |
| Ching Hai Prov. (China) | 13.7 | 2.6 | 无 |
| Hat Creek (Calif.) | 3×6 | 2.6 | 有 |
| Itapetinga (Brazil) | 14 | 3.4 | 已提出建议 |
| La Silla (Chile) | 15 | 0.8 | 无 |
| Mauna Kea (Hawaii) | 15 | 0.7 | 无 |
| Mauna Kea (Hawaii) | 10 | 0.3 | 无 |
| Metsaehovi (Finland) | 14 | 2.6 | 有 |
| Nobeyama (Japan) | 45 | 1.3 | 有 |
| Nobeyama (Japan) | 5×10 | 1.3 | 无 |
| NRAO (Kitt Peak, Ariz.) | 12 | 0.8 | 有 |
| Onsala (Sweden) | 20 | 2.6 | 有 |
| Owens Valley (Calif.) | 3×10 | 1.3 | 已有经费 |
| Pico Veleta (Spain) | 30 | 0.8 | 已提出建议 |
| Yebes (Spain) | 14 | 2.6 | |
| <u>Under construction</u> | | | |
| Culgoora (Australia) | 6×22 | 3.0 | 已提出建议 |
| Mopra (Australia) | 22 | 3.0 | 已提出建议 |
| Mt.Graham (Arizona) | 10 | 0.3 | 已提出建议 |
| Plateau de Bure (F.) | 3×15 | 0.8 | 已提出建议 |
| Samarkand (USSR) | 70 | 3.0 | 已有经费 |

网将投入工作,并具有 20 台站同时处理能力。目前 10 多个台站的 VLBI 观测已很普通,但从观测到处理完毕,周期长达一、二年,效率不高,所以欧洲也有 20 台站处理机计划。这些计划的完成对 VLBI 研究有重要的意义。全球射电望远镜的联合观测仍是很必要的,以便得到高质量的射电图像。在 90 年代,空间 VLBI 的成图质量比不上高水平的地面 VLBI。

总之,各种手段将互相补充。在 90 年代,上海 VLBI 系统将不仅作为全球 VLBI 的一个单元,而且具备数据处理中心的能力。乌鲁木齐站将建成,它将有助于欧洲和亚洲的联网观测。在这些国际合作中,中国的 VLBI 研究无疑将作出应有的贡献。

表 2 美国 VLBA 天线的地点^[23]

| 地点 | 纬度 | 经度 | 高度 [m] |
|----------------|--------------|---------------|-----------|
| Pie Town, NM | 34°18'03".61 | 108°07'07".24 | 2371 |
| Kitt Peak, AZ | 31 57 22.39 | 111 36 42.26 | 1916 |
| Los Alamos, NM | 35 46 30.33 | 106 14 42.01 | 1967 |
| Fort Davis, TX | 30 38 05.63 | 103 56 39.13 | 1615 |
| N. Liberty, IA | 41 46 17.03 | 91 34 26.35 | 241 |
| Owens Vly., CA | 37 13 54.19 | 118 16 33.98 | 1207 |
| Brewster, WA | 48 07 52.80 | 119 40 55.34 | 255 |
| St. Croix, VI | 17 45 30.57 | 64 35 02.61 | 16 |
| Hancock, NH | 42 56 00.96 | 71 59 11.69 | 309 |
| Mauna Kea, HI | 19 48 | 155 28 | 3725 |

表 3 1990 年代欧洲的射电望远镜^[23]

| 望远镜 | 直径(m) | 情况 |
|----------------|-------|-------------|
| <u>UK</u> | | |
| JODRELL | 76 | 原有 |
| | 25 | 原有 |
| CAMBRIDGE | 32 | 已有经费 |
| <u>NL</u> | | |
| WSRT | 93 | 原有 |
| | 50 | 展望 |
| <u>Germany</u> | | |
| EFFELSBURG | 100 | 已有 |
| | 50 | 展望 |
| WETTZELL | 20 | 原有,主要为测地学用 |
| <u>Italy</u> | | |
| MEDICINA | 32 | 原有 |
| NOTO | 32 | 原有 |
| SARDINIA | ≥32 | 已有经费 |
| MATERA | 20 | 建造中,主要为测地学用 |
| TERMO | 64 | 已提出建造计划 |
| <u>Sweden</u> | | |
| ONSALA | 26 | 原有 |
| | 20 | 原有 |
| | 70 | 已提出建造计划 |
| <u>France</u> | | |
| NANCAÏ | 94 | 原有 |
| ? | ≥32 | 研究中 |
| <u>Poland</u> | | |
| TORUN | 15 | 原有 |
| | 32 | 建造中 |
| <u>USSR</u> | | |
| SIMEIZ | 22 | 原有 |
| SU'FFA | 70 | 建造中 |

参 考 文 献

- [1] Eckart, A. et al. *Astron. and Astrophys.*, 168 (1986), 17.
 [2] Lawrence, C. R. et al., *Ap. J.*, 296 (1985), 458.
 [3] Pearson, T. J., in *VLBI and Compact Radio Sources*, ed. by R. Fanti, K. Kellermann, and G. Setti, p. 15, (1984).
 [4] Riretta, J. A. et al., *Astrophys. J.*, 308 (1986), 93.
 [5] Shaffer, D. B., in *Superluminal Radio Sources*, ed. by A. Zensus, and T. J. Pearson, p. 67 (1987).
 [6] Pauliny-Toth, I. I. K., in *Superluminal Radio Sources*, ed. by A. Zensus and T. J. Pearson, p. 60 (1987).
 [7] Porcas, R. W., in *Superluminal Radio Sources*, ed. by A. A. Zensus, and T. J. Pearson, p. 12. (1987).
 [8] Fanti, C. et al., in *The Impact of VLBI on Astrophysics and Geophysics*, ed. by M. J. Reid, and J. M. Moran, p. 111, (1988).
 [9] Fanti, C. et al., *Astron. and Astrophys.*, 143 (1985), 292; *Astron. and Astrophys.*, 170 (1986), 10.
 [10] Menten, K. M. et al., *Ap. J. Lett.*, 333 (1988), L83.
 [11] Reid, M. J. et al., *Ap. J.*, 330 (1988), 809.
 [12] Baudry, A. et al., *Astron. and Astrophys.*, 201 (1988), 105.
 [13] Garcia-Barreto, J. A. et al., *Ap. J.*, 326 (1988), 954.
 [14] Gwinn, C. R. et al., in *Radio Wave Scattering in the Interstellar Medium*, ed. by Cordes, Rickett and Backer, AIP Conf Proc. No. 174, p. 106, (1989).
 [15] Diamond, P. J., in *Radio Wave Scattering in the Interstellar Medium*, ed. by Cordes, Rickett and Backer, AIP Conf Proc. No. 174, p. 195, (1989).
 [16] Gwinn, C. R. et al., *Astron. J.*, 91 (2) (1986), 338.
 [17] Bartel, N., et al., *Astron. J.*, 90 (2) (1985), 318.
 [18] Massi, M. et al., *Astron. and Astrophys.*, 197 (1988), 200.
 [19] Lestrade, J-F., *Astrophys. J.*, 232 (1988), 822.
 [20] Vermeulen, R. C. et al., *Nature*, 328 (1987), 309.
 [21] Romney, J. D., *Astrophys. J.*, 321 (1987), 822.
 [22] Bááth, L. B., 私人通信 (1989).
 [23] Schilizzi R. T., in *Very Long Baseline Interferometry. Techniques and Applications*, ed. by M. Felli and R. E. Spencer, p. 397. (1989).

(责任编辑 刘金铭)

VLBI Astrophysics in 90's

Wan Tongshan

(Shanghai Observatory, Academia Sinica)

Abstract

This paper touches the progress in VLBI astrophysics concerning some high lights of extragalactic continuum astronomy, interstellar masers and pulsars and stars from VLBI observations. Also mentioned are the expansion of the capability of VLBI observation by millimeter VLBI, space VLBI and ground VLBI in the 1990's.