

# VLBI天体物理课题概观

南仁东 吴盛殷

(中国科学院北京天文台)

## 提 要

从最初使用VLBI技术20余年来, VLBI已日益成长为成熟的、最重要的射电天文观测技术。特别因其具有无以伦比的高分辨率,使VLBI对天体物理学一直产生着深远的影响。

本文力图反映这种影响,并概述VLBI天体物理的一些主要研究课题及其研究目标。希望这些内容对打算选择VLBI天体物理观测课题的天文工作者有所助益。

## 一、引 言

从1965年美国Florida大学第一次完成对木星射电爆发的VLBI实验观测<sup>[1]</sup>的二十多年以来,由于现代电子技术、计算技术的采用,观测处理方法研究方面的进展,VLBI已进入了比较成熟的阶段。已使用的观测频率在87MHz至75GHz的范围,最高灵敏度达十几个mJy,全球VLBI网的高频观测可获得0.3毫角秒(mas)的分辨率,这一值高出所有其他天文观测3个量级。本文力图反映那些由它而产生的VLBI在天体物理学已带来的和潜在的主要课题。

在人们所熟悉的大爆炸宇宙模型中(图1),将四维时空连续体分割成四个部分:(1)原始闪光之后原星系或者原星系团开始形成;(2)类星体演化成正常星系核;(3)随着宇宙的膨胀,星系密度变低,正常星系为主导部份;(4)处在光锥顶点的银河系本身。沿图中回溯(lookback)轴向深度空间的观测,得到的是更早期演化天体的图像。本文所介绍的VLBI研究目标,大体按回溯轴方向顺序分类。当然,强的射电源常常是遥远的天体,因而课题出现的前后次序并非真正如此。

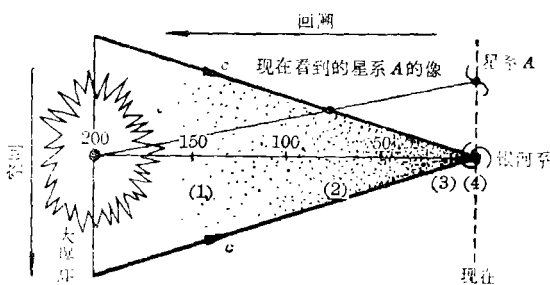


图 1

## 二、银河系内目标VLBI观测的现状与未来

由于恒星射电源的视角径大部份在几个毫角秒之下,加之射电辐射又相对弱,即使像

VLA这样分辨率高达 $1''$ 的连线干涉仪系统,也无法对它们的结构细节进行直接的观测研究。只有VLBI提供了这种可能性。由于灵敏度的限制,目前对可开展的课题限制还很大,预计1992年投入运行的美国甚长基线阵(VLBA)<sup>[2]</sup>将为河内目标研究提供更多的机会。

### 1. 热辐射源(thermal emitters)

这里所说的热辐射是指由非相对论性麦克斯威电子分布引起的自由辐射。热辐射来于各种恒星环境,例如星风<sup>[3]</sup>、新星<sup>[4]</sup>、恒星色球与星冕。<sup>[5]</sup>这些观测的目的是:(1)直接测量星风的角径,确定不同频率的光学厚度,以比总流量密度观测方法更高的精度来估计质量损失;(2)用星风的混合图来检验其球对称假设;(3)亮温度的测量可以区别热辐射过程( $T_B \leq 10^4 K$ )与非热辐射过程( $T_B \geq 10^4 K$ );(4)银河新星角径的监测,可以确定其膨胀速度、电离度以及电离云形态随时间的变化,结合角膨胀速度与谱线速度测量,可测定新星的距离。

### 2. 耀星

耀星是用来描绘有高变射电辐射的M型矮星,它们也是30多年前在米波段发现的真正射电星<sup>[6]</sup>。由于它们相对低的射电光度,回旋辐射可能是主要机制。它们的流量密度即使在爆发期间仍很少超过100mJy,而且排定时间的VLBI观测很难遇到流量的峰值,因而高分辨率的观测只有极个别的初步结果<sup>[7]</sup>。少数的河内X射线源像Sco X-1, Cyg X-3与SS433,由于高变的较强射电辐射而被称为射电耀星<sup>[8]</sup>。它们在厘米波段的爆发显示出同步加速器辐射绝热膨胀的性质。与河外源相似的辐射很可能是由于核心部份的中子星或黑洞吸积引起的,其中SS433多历元成功的VLBI观测,使它成为最吸引人的河内VLBI目标,本文将用独立的一节给予介绍。

### 3. 密近双星

在距离小于50pc之内的RS CVn系统是目前可用VLBI进行观测的恒星射电源之一。它们的角径在0.5至5毫角秒之间,非爆发期间的流量密度在30mJy,也就是在MK II纪录系统的灵敏度极限之下。1982年Mutel<sup>[9]</sup>开始使用MK III纪录系统成功地观测了7个双星系统,VLBA将把可观测的数目提高3个量级。这些观测要回答的问题是:(1)在活动与宁静期辐射区的形状与尺度;(2)有无相干发射;(3)致密核是否在运动。

### 4. 脉冲星

比较有代表性的脉冲星高分辨率研究要算1984年Bartel等人<sup>[10]</sup>使用MK III系统、三面天线(Effelsberg, NRAO, Big Pine)对PSR 0329+54及PSR 1133+16进行的观测。除对这两颗脉冲星的高精度天体测量外,可见度函数幅度的模型拟合给出了PSR 0329+54的视角径上限(0.23mas)与非脉冲期连续辐射的下限(2.5mJy)。与此同时,相位比较给出脉冲星空间结构的重要信息,时序上相邻10毫秒的3个分量之间距离大约在几个太阳直角的尺度。

脉冲星的观测同时又是研究星际介质(ISM)中小尺度电子浓度涨落引起的闪烁的有力工具。星际介质闪烁引起脉冲信号非对称展宽和河内外射电源视角径的展宽。Cordes<sup>[11]</sup>根据脉冲星观测,给出了不同银经象限河外源的闪烁展宽随银纬的变化关系。展宽角径与观测波长平方成正比,即使在银极处,低频段闪烁现象引起的展宽已经可以与VLBI的分辨率相比。所以像光学观测受限于大气一样,VLBI的分辨率也不可能无限提高,不过这里的“大气”是整个银河系。

### 5. SS433

在过去近10年间,这一源几乎成了由X射线至低频射电所有波段的观测对象。这一非常特别的天体被认为是双星系统,洛希瓣联系着质量损失星与大质量吸积盘,在吸积盘的中心可能是一颗中子星。超临界的吸积使得每年大约 $16^{-6}M_{\odot}$ 的电离物质以速度 $0.26c$ 的喷流(jet)形式沿盘的轴线射向盘的两侧<sup>[12]</sup>。

运动学模型<sup>[13]</sup>可以很好地描述处在进动喷流中辐射团块(blob)的运动。对这一源,各类射电观测所跨越的空间尺度至少有8个量级,由 $10^{12}\text{cm}$ 至 $10^{20}\text{cm}$ 。1985年Vermeulen等人<sup>[14]</sup>利用欧洲VLBI网(EVN)在5 GHz对SS433进行了6次连续监测,间隔为2日。图2是第二、三次观测得到的混合图,中间是一个变化的致密核(75mJy),两侧的团块沿曲线表示的运动学模型轨迹成对称分布,单个团块的典型流量密度为20mJy,并沿着轨迹方向展宽。图中曲线上的圆点代表模型所预见的单个团块每两日应出现的位置,实际测定的亮峰位移速度是模型的3/4倍。对这一偏差的可能解释是我们观测到的一系列结构在经过 $4 \times 10^{15}\text{cm}$ 尺度区域内被增亮。当然,对SS433更令人满意的描述,还需要更高灵敏度和分辨率的长期监测。与河外源的核喷流相比,它的活动能量与尺度都是微不足道的,但它们之间的共同点显示了不同尺度的自相似结构,对这一小质量系统短周期变化现象的研究,可能为人们认识活动星系、类星体的演化提供一个“快放”的镜头。

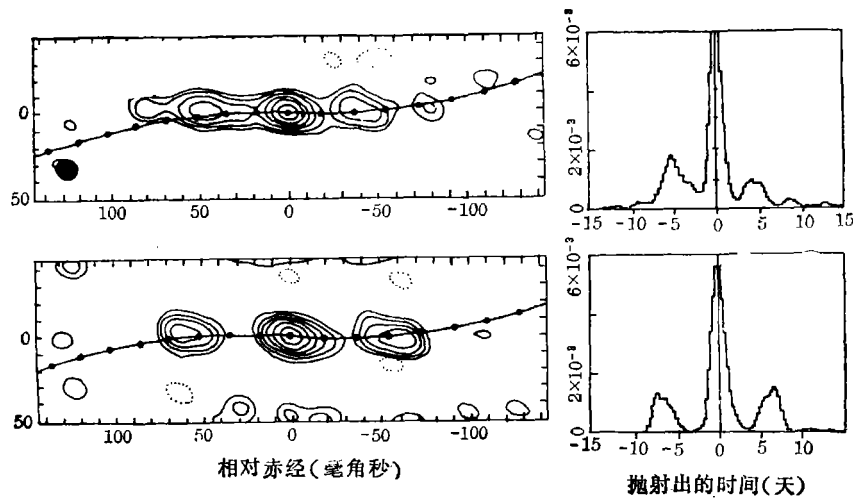


图 2

## 三、宇宙微波激射源高分辨率的研究与应用

河内最亮的点源常常出现在环绕晚期星或新恒星形成区的气体云中。无论上述哪一种情况,这些气云中小区域内的 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{OH}$ 与 $\text{SiO}$ 分子都在特征的频率上有极强的辐射,这就是人们所说的脉泽。脉泽源的观测即使在VLBI成为可成图技术之前就成为它的重要课题。在过去的20多年间所发现的数目有几百个,目前VLBI观测可以给出脉泽源 $10^{12}\text{cm}$ 尺度的结构信息,但

其中的绝大多数仍有不能分解的结构。

Moran等人<sup>[15], [16]</sup>利用对来自恒星形成区的脉泽辐射进行偏振测量, 以测定向正在形成的新恒星坍缩的气云中的磁场。Genzel等人<sup>[17]</sup>使用全球VLBI网在22GHz对H<sub>2</sub>O脉泽的观测, 清晰地分解了像W51主体中成簇出现的小斑点, 并精确地测定了它们的自行。Reid等人<sup>[18]</sup>对气体云W3中14个OH脉泽区进行了10mas分辨率的成图研究, 他们的动力学模型结果是脉泽源以5km·s<sup>-1</sup>的速度落向中心年轻星, 并有足够的证据说明这些源是吸积包层的遗迹。使用类似的方法, 天鹅座W 75N中的OH脉泽也被确认是一个早期双星系统的包层。

VLBI在脉泽研究中最惊人的成就是利用脉泽测距。例如猎户座H<sub>2</sub>O脉泽中的小斑点都相对于一点向外作各向同性膨胀, 因而可以用“膨胀星团视差法”来测定。将直接观测到小斑点的位置与自行以及由多普勒位移决定的径向运动应用到一个均匀膨胀的模型中去, 就可以确定每一个小斑点相对于膨胀中心的深度, 进而确定它们的三维坐标。于是, 由观测到的角运动转化成横向速度的总体定标, 就精确地给出脉泽的距离。另外一种可选的测距方法是将脉泽内的小斑点运动看成是随机的, 比较自行与径向运动的分布, 也可以直接确定距离。利用脉泽测距, 在银河系内的精度为10%至20%。

随着VLBI技术向更高分辨率的方向发展, 脉泽的观测不限于河内, 例如在邻近的旋涡星系M33中也有脉泽发现。在传统的天文测距工作中, 不同尺度使用不同的方法, 并且以接力的传递方式向深度宇宙延伸, 至今像对Virgo星系团内星系与我们之间距离的估计约相差一倍, 根据不同方法产生的不同距离估计结果推断出的宇宙年龄在100至200亿年。但是, 银河系球状星团的年龄估计约为150亿年, 这与宇宙年龄估计的下限不符。我们期望河外脉泽观测研究的发展将有助于解决这一宇宙学上的争端。

## 四、对河外恒星系统形态、分类以及发射机制认识的深化

早期发现的强射电源, 后来绝大部份都被认证为本星系团之外的远恒星系统(活动星系、类星体与BL Lac天体等)。它们是VLBI在天体物理学研究中的主要目标。虽然数不胜数的课题有自己特定的意图, 但主导思想可以明显地划分成两类: 一是由定义的分类样本去推断源的性质, 二是将对单个源细节的研究结论推广到其可能的同类。本节通过与非VLBI射电观测的比较来介绍VLBI在第一类工作中的进展。

### 1. 非VLBI工作在射电源基本结构研究上的成果

35年前Jennison与Das Gupta<sup>[19]</sup>发现强射电源Cyg A联系着一个弱的光学椭圆星系, 而对称分布在星系两侧的射电瓣相距的空间尺度是光学辐射区的10倍。以后的几年, 人们逐渐发现这样的双结构在射电源中是非常普遍的现象。综合孔径技术在不同频率上的观测, 确定了射电瓣中更小的区域——热斑(hot spots)的普遍存在<sup>[20]</sup>, 同时也在不同类型扩展源中央部份发现了平谱的致密核<sup>[21]</sup>。这些新发现刺激着发射机制理论模型的发展。当时Rees<sup>[22]</sup>提出的射束(beam)模型得到最广泛的观测结果的支持, 他认为射电星系中由核喷射出的能流在热斑处与环境作用, 转换成相对论性电子和磁场的能量。

在最亮的类星体3C273中发现了第一个射电喷流<sup>[23]</sup>后的10年中, 一直认为它是射电源中

一种特殊现象,直到七十年代中期人们才不断地在更多的星系核与射电瓣之间发现了形形色色的细长结构<sup>[24]</sup>,它们被确定为射电源角秒级以上的最后一种结构形态。喷流不是Rees模型所必需的,但考虑到高能喷流中自身不稳定性以及与环境的作用,它的存在就是很自然的了。

非VLBI的分类学研究主要集中在射电形态与谱特性上。射电源被分类成典型双源、有缓变射电瓣双源、非对称双源、头尾型双源、复杂型源与平谱源等。每一种源又根据特征参数的差异有更详细的分类。

## 2. VLBI在河外源分类结构研究方面的活跃课题

高分辨率的VLBI技术为直接观测恒星系统核提供了唯一的工具。像对Cyg A<sup>[25]</sup>、3C111<sup>[26]</sup>、3C273与3C345<sup>[27]</sup>、NGC6251<sup>[28]</sup>等核的观测,都在光学母体的内区得到核的精细结构。在核内观测到的小尺度喷流,常常跨过不可检测的弱辐射区,并与外层结构有相当好的对应关系,反映了能量由核心向外传播的过程;同时,VLBI喷流的方向与其相连系的光学星系的自旋轴,都相当精确地重合(在几度之内),这更深刻地显示出射电源基本结构各部分之间的联系。

由于非VLBI工作提供了大量有关射电源基本结构的知识,理论模型不断地更新完善,使得VLBI的观测研究比以往有更加明确的方向。当然,VLBI观测的耗时之长和耗资之巨,及众多申请者的激烈竞争,也要求VLBI课题有较严格的论证。关于Zensus<sup>[29]</sup>、Preston<sup>[30]</sup>、Eckart<sup>[31]</sup>与Readhead<sup>[32]</sup>等人的一些有代表性的VLBI巡天工作,已在作者与康连生的另一文中作了详细的评述。我们这里还要提到一些有重要成果的活跃课题:(1)对一批像3C273<sup>[33]</sup>这样高射电光度非对称源的多历元监测发现,处在单边VLBI喷流中的团块结构,似乎以几倍于光速的速度相对于核运动,这种超光速现象被解释成相对论性喷流接近视线方向的投影结果。由测定的视超光速结合X射线流量密度的测量,可以间接地估计喷流的速度以及多普勒增亮系数<sup>[34]</sup>;(2)致密陡谱源(CSS)的研究近几年来引起人们极大的关注<sup>[35]</sup>,增亮核不存在以及统计分析表明,它们的小角径反映了实际的小尺度,而不是接近视线方向造成的投影效果<sup>[36]</sup>。CSS源亚星系尺度内被严重干扰的喷流形态,可能表明母星系中有致密的星际介质<sup>[37]</sup>;(3)低频变源(LFV)是一种与致密非陡谱射电源有关的现象,Romney等人<sup>[38]</sup>所作的23个LFV多历元VLBI监测,得到了源毫角秒级结构与总流量密度相关的变化;(4)邻近星系核的研究<sup>[39]</sup>;(5)扩展类星体核的研究<sup>[40]</sup>;(6)无光学对应体的陡谱致密源的研究<sup>[41]</sup>;(7)毫米波VLBI的成功实验<sup>[42],[43],[44]</sup>;(8)BL Lac天体的监测<sup>[45]</sup>。

## 3. VLBI深化了人们对射电源基本结构与发射机制的认识

很明显,即使最简单的形态与谱分类,也强烈地依赖于观测的分辨率与动态范围。VLBI对活动星系核与类星体的观测,加之对秒级喷流、热斑及射电瓣更高分辨率的研究,对过去的分类方法提出了强烈的质疑,甚至使某些分类概念失去了意义。例如,现在提“致密源”时要非常小心了,目前对全球VLBI观测很难找到不能分解的校准用“致密点源”;“平谱核”与“陡谱核”被分解了,发现其中的陡谱晕状弱辐射和更小角径的平谱子源,与原来的总谱指数互逆;常常发现原来“对称的大尺度”有不对称的VLBI喷流;所谓“复杂型”射电源,即在高动态范围、高分辨率的混合图上显示出与其他源完全相似或局部退化差异的基本结构等等。

VLBI使我们看到了更丰富多采的射电形态,它不但使我们必须重新审核在这之前对射电源分类的思想,甚至影响到其他天文观测波段的一些观念。更多的工作不再是结构形态上的

描述, 而是去思考它们的天体物理学意义及其之间的本质联系。例如, 平谱陡谱实际上可能是一回事, 投影效应与多普勒增亮将扩展源变成了核主导的平谱源, 喷流近核区由于相对论性运动引起的不对称程度, 随着喷流在介质中减速而降低, 甚至在外层形成对称结构; 所谓扩展源与致密源, 实际上是一个超声速喷流在传播过程中不断逸散的属性; 尽管环绕介质的分布差异以及母星系运动引起了弯曲、Z型畸变甚至头尾型多样的外层结构, 但相似的 VLBI 内层准直结构, 总是与它们以逐渐过渡的形式相连。综上所述, 这里由新的观测事实引起了分类学上的简化, 河外射电恒星系统似乎有着更基本的统一构成, 可能有同一种类型的中央发动机(详见下节)。

这种统一性表现是多方面的。例如椭圆射电星系与 BL Lac 天体的可能统一<sup>[46]</sup>, 即每一个椭圆射电星系中都有一个 BL Lac 核, 只有当视线与星系轴几乎重合时, 才表现出 BL Lac 的性质。此外, 类星体的定义来自于光学, 陡谱的类星体有弱的光学对应体即高的射电—光学光度比, 很多陡谱致密源由于没有发现光学对应体而没有被列入帕洛玛天图上。这些源由于与陡谱类星体有相似的射电性质而被想象成河外源, 得名光学宁静类星体 (optically quiet quasar)。人们还在寻求有更大统一性的模型, 根据同类型的中央发动机某些参量(例如质量吸积率)将射电星系、QSR、QSO、BL Lac 等恒星系统排成一个序列。

## 五、几个河外源的 VLBI 天体物理学研究实例

这里将介绍 VLBI 在单个河外源细节研究上的 3 项代表性工作。从这些观测的设计思想、高质量的天图以及所得到的一些重要结论, 人们可以在纵深方向上了解 VLBI 在天体物理学上的成就。

### 1. NGC 6251

NGC6251 是一个 4 亿光年远处非常普通的椭圆星系, 但由于它的射电结构层次丰富, 使得它成为目前世界上几乎所有大型综合孔径系统和各频段 VLBI 网的观测目标。作为射电观测在射电星系方面的一个代表作品, Bride 与 Perley<sup>[47]</sup>、Readhead<sup>[48]</sup> 与 Miley<sup>[49]</sup> 等人对这个源的研究工作都有过详细的评述。

图 3<sup>[47]</sup> 上部的 Westerbork 综合孔径系统射电图, 反映了源的总体结构。总尺度大约为 6 百万光年, 是一个大型星系的 60 倍, 也是目前我们观测到的最大射电源之一。采用相同的比例, 光学对应体的直径在图上小于 1mm。由光学母星系开始向图的右上方是细长的桥形辐射, 中间 VLA 的射电图揭示了这一长达 50 万光年喷流的细节, 左端的射电亮峰对应着 NGC 6251 的星系核。最下面的图是 VLBI 观测得到的只有总体尺度二百万分之一的核内层结构, 长度只有 8 光年左右, 而且其取向与大尺度喷流只有几度之差; 核喷流的角宽为 0.1 毫角秒, 不同尺度喷流之间的准直关系至少保持 5 亿年, 以使近光速的喷射物质由核传向大尺度喷流的另一端。

要解释 NGC6251 射电特性的中央发动机必须满足如下条件: (1) 在 1 光年之内的小区域将上千万个太阳的质量转化成能量; (2) 喷出物质局限在小于  $3^\circ$  的角锥内; (3) 在喷射出相当于一个小星系质量物质的过程中, 喷流稳定在  $1^\circ$  之内; (4) 喷射速度接近光速。能满足以上

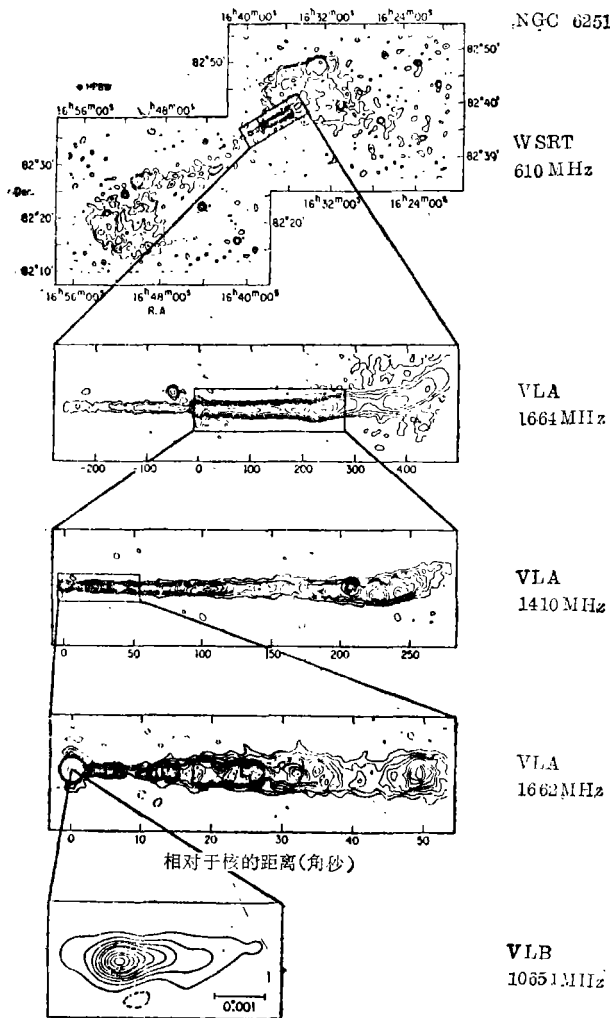


图 3

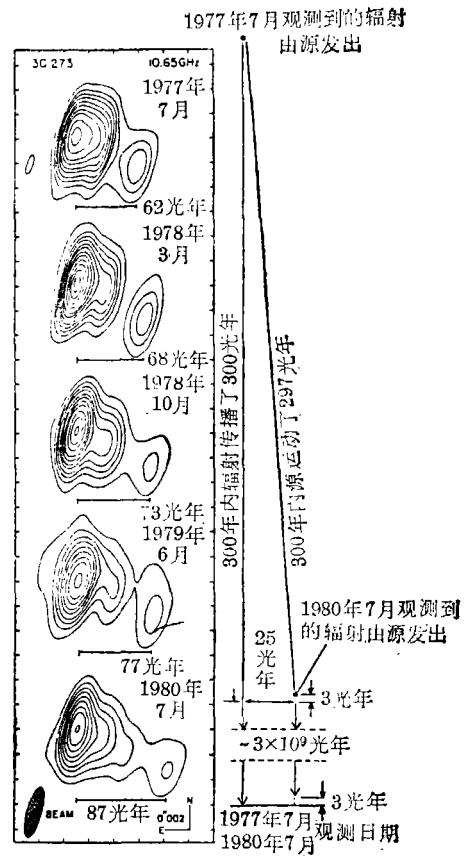


图 4

所有条件的可能理论模型只有一个——巨质量的黑洞，发动机的动力可能来源于比一般恒星中核能更经济的引力能，这样，燃料质量的需求量比上述低50倍。

如果上述结论是正确的，VLBI技术向空间的发展，将使可成图的细节接近或达到活动核内黑洞本身的尺度，那时，也许我们会由观测“看”到黑洞的存在或者进入一个不为我们所知的新境界。

### 2. 视超光速现象——3C273

不是所有的射电源都像NGC 6251那样有双边结构。非对称甚至单边喷流也经常有在亮核中发现，大部份还伴有时间尺度为年或月量级的亮度变化。其中某些单边喷流的结构似乎以几倍于光速的速度离开核，这就是所谓超光速运动。在VLBI成图方法发明之前，这一类现象就被一些人用理论模型拟合VLBI干涉仪输出的方法所发现<sup>[48]</sup>，但大多数天文学家对此表示怀疑，他们在相信哈勃定律与爱因斯坦相对论还是相信VLBI这门新技术之间，选择了前者。

现在看来, 即使当时模型有些缺陷, 但超光速运动确实存在, 混合成图方法的发展提供了有说服力的证据<sup>[50]</sup>。

第一个被确认有超光速运动现象的源, 是目前发现的最亮的类星体 3C273, 这一源具有非常罕见的光学喷流, 在射电天文观测的早期人们就发现它有相关的射电辐射<sup>[23]</sup>, 光学谱线的大红移也是首先在3C273中发现的, 它在30亿光年远处正以0.16c的惊人速度远离我们而去。

图4<sup>[33]</sup>是3C273的VLBI射电图。由上至下的连续监测, 显示出总体尺度在3年时间内由62增至87光年。这样, 由左端核喷出的小团块相对于核的表观速度为9.6c。对这一现象的解释没有触动传统的距离估计方法, 也不必与真正的“超光速粒子”打交道, 理论家用最简单的模型把它解释成人的幻觉。

假设源中团块本身以0.995c与视线成很小的角度向我们运动, 可以把图中5个等强度图看成是3年中连续5次的快拍记录。在团块中, 比携带着快拍某一信息的第一次爆发晚300年的第二次爆发的波前, 只晚了3年就抵达观测者, 因为包块本身在两次爆发期间向观测者运动了297光年, 在这期间它向右运动了25光年, 就在这一点我们第5次按下快门。这一过程造成了3年之内运动25光年的假象。与之共生的还有另外一种视觉差, 作相对论性运动的源似乎把辐射能集中在运动方向很小的立体角内。正向观测者以0.995c运动的源的亮度, 比静止源大6800倍, 这就是多普勒增亮(Doppler Boosting)效应。

这一研究方向吸引了为数众多的天文学家, 本文作者之一吴盛殷也在这一类课题中作过很多工作<sup>[51]</sup>, 他与他的合作者研究的3C454.3, 在迄今已发现的二十几个视超光速源中有非常特别的性质<sup>[52]</sup>。

### 3. 遥远的陡谱类星体——3C119

3C119属于近年来引起人们极大兴趣的致密陡谱源<sup>[35]</sup>, 高光度的CSS源大多处在比上述3C273更远甚至达100亿光年之外类星体与活动星系核为主导的深远宇宙空间。它们之所以呈现陡谱而没有发展成巨大尺度, 可能是因为它们还处在演化的早期, 被陷在高浓度星际介质的光学母体之中。另一方面, 如果多普勒效应将致密陡谱源的谱特性强直成平谱, 则可以推断CSS源的核—喷流与视线成大角度, 可以不计其相对论性运动效应, 因而它们的小角径反映了它们真正的亚星系小尺度。

3C119的总视角径只有 $0''.1$ , 在500pc之外没有可检辐射。图5中三个不同分辨率的18cm射电图代表了3C119 VLBI研究的进展。图5a<sup>[35]</sup>是Fanti等人使用欧洲VLBI网的结果, 比这更早的美国VLBI网观测<sup>[53]</sup>没有检测出南部子源。图5b<sup>[54]</sup>是本文作者之一南仁东在Dwingeleo天文台访问期间用他发展的不同历元观测数据相加的方法完成的混合图的灰度显示, 图5c是他所完成的全球VLBI网最新结果。3个不同处理软件系统的联合使用, 使这一图的动态范围达到3000至4000, 为目前世界上已取得的最高动态范围之一例。

图中3C119明显分解为7个子源, 平谱超致密子源A在18cm波段第一次被发现而被确认为类星体的核。其他的包块结构组成了一个极度扭曲的喷流。用相对论性进动喷流可以相当好地拟合这一源的形态, 但在与B投射重合的F和北部G处, 遇到了某些困难<sup>[55]</sup>。目前Fanti正在对这一模型作某些改动, 把F与G看成是反方向喷流的痕迹(私人通信), 但我们认为正反方向尺度与流量强度的关系不对应, 除非喷流本质上是非对称的。在众多其他可选的模型



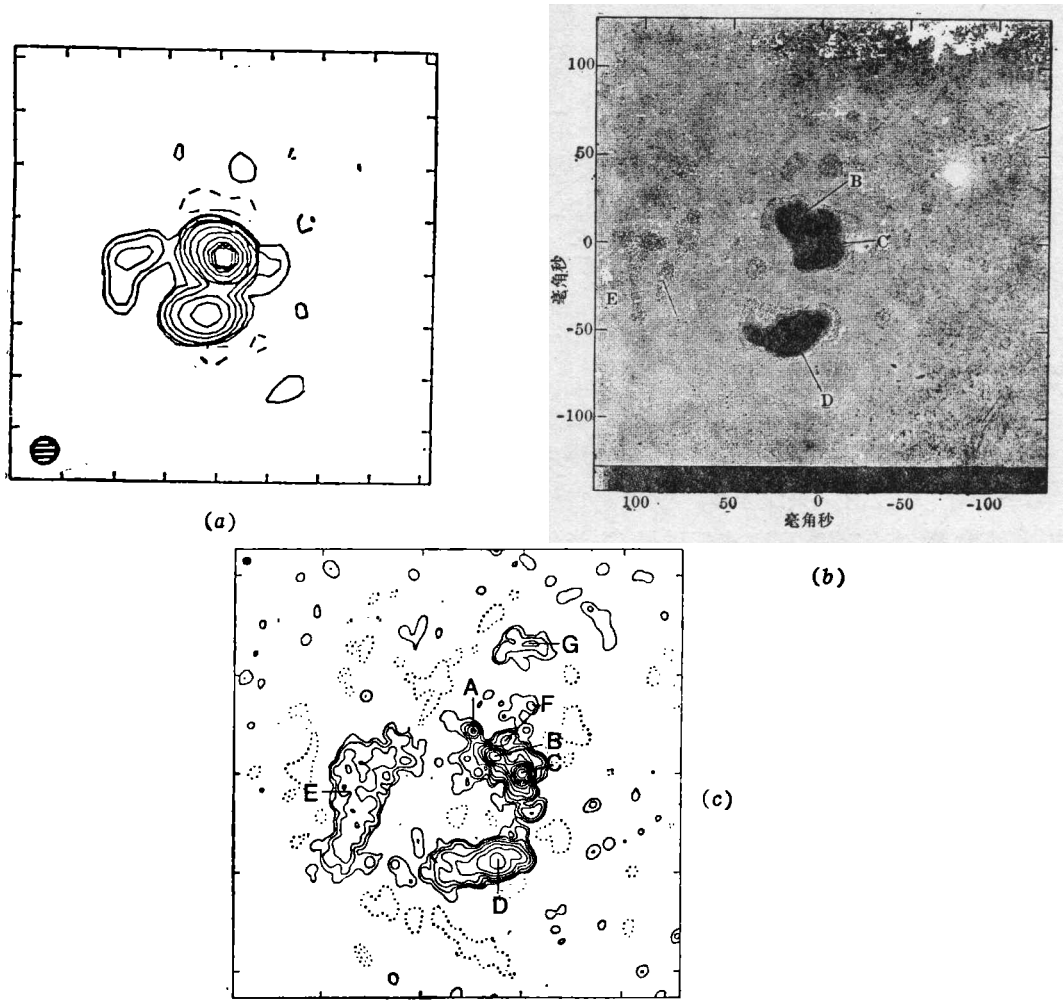


图 5

中，最可能的模型是不把3C119的复杂形态只看成是中央发动机和一个自由进动喷流的性质，而是考虑成由核A出发的喷流在非均匀星际介质中连续被反射，并在B至G处形成了增强的辐射。由于与界面的斜碰撞，每一个团块在下一个二次束方向扩展，由于喷流能量的不断损失，C至G的流量递减，喷流的天然张角以及由于干扰介质界面对它的散射，能解释这些团块依次扩展的性质。B作为一个例外，可以由相对小的碰撞角( $<7^\circ$ )来说明<sup>[55]</sup>。

由于3C119处在低银纬( $-4^\circ$ )，目前所获得的分辨率已经可以和闪烁效应引起的扩展相比，低频段的空间VLBI不大可能为此源提供更多的细节，在高频段，除去核A附近，其他部份的强度又可能过低。但是，结合目前VLBI的结果与未来空间光学望远镜(Hubble Space Telescope)提供的图像，也许能给我们提供最好的机会，通过此源来研究处在演化早期阶段的恒星系统与宇宙膨胀早期的介质环境。

## 六、结 束 语

VLBI在天体物理学研究上的成就和它在众多研究方向上的领先地位,把越来越多的技术家与理论家吸引到这一领域中来。目前可用于VLBI观测的望远镜遍布全球,一些大射电天文台的观测时间表上已经有三分之一以上为VLBI占用。由上海天文台开始的中国VLBI系统的建设工作,取得了可喜的进展,并已有多次国际合作成功的实验结果。VLBI还处在日新月异的发展过程中,九十年代初美国10面天线的VLBA将投入运行,它将把VLBI的灵敏度提高到1mJy,精心安排的天线布局与统一设计的天线、接收机系统,不但给出更完整的uv覆盖,同时也将大大提高运行效率。欧洲空间局与美国宇航局的联合计划QUASAT,将把两面卫星天线送入轨道,由它们与地面观测站组成的空一地VLBI网,在1.35cm波长的分辨率预计为60微角秒,这相当于距我们7.1kpc的银心处可分辨空间尺度不足半个日一地距离!到那时,天文学家当然还不能说他们完成或结束了什么,但是一批精采的突破性记录将出现在他们即将打开的下一页上——哪些他们猜中了,想错了,还有哪些他们根本不认识。

感谢与李竞、方励之、王绶琯同志的讨论以及他们提供的宝贵建议。本工作作为1860621课题的一部份,得到国家自然科学基金会的支持,作者在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Carr, T. D., May, J., Olsson, C. N. and Walls, G. F., IEEE NEREM Record, 7 (1965), 222.
- [2] Kellermann, K. J., IAU Symp. No. 110, p. 377, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [3] Drake, S. A. and Linsky, J. L., *Ap. J.*, 274 (1983), L81.
- [4] Kwok, S., Bignell, R. C. and Purtoo, C. R., *Ap. J.*, 279 (1984), 188.
- [5] Newell and Hjellming, *Ap. J.*, 263 (1982), L85.
- [6] Lovell, B., Whipple, F. L. and Selomon L. H., *Nature*, 198 (1963), 228.
- [7] Gary, D. E., Linsky, J. L. and Dulk, G. A., *Ap. J.*, 263 (1982), L79.
- [8] Nicolson, G. D., IAU Symp. No. 110, p. 285, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [9] Mutel, R. L., Lostrade, J. F., Preston, P. A. Niell, A. E., Phillips, R. B. and Webber, J., IAU Symp. No. 110, p. 277, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [10] Bartel, N., Cappallo, R. J., Ratner, M. I., Rogers, A. E. E., Shapiro, I. I. and Whitney, A. R., IAU Symp. No. 110, p. 275, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [11] Cordes, J. M., IAU Symp. No. 110, p. 303, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [12] Margon, B., *Ann. Rev. Astron., Astrophys.*, 22 (1984), 507.
- [13] Schilizzi, R. T., Romney, J. D. and Spencer, R. E., IAU Symp. No. 110, p. 289, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [14] Vermeulen, R. C., Schilizzi, R. T., Teke, V., Fejes, I. and Spencer, R. E., IAU Symp. No. 129 (in press).
- [15] Moran, J. M., Reid, M. J. Eana, C. J., Yen, J. L., Johnaston, K. J. and Spencer, J. H., *Ap. J.*, 224 (1978), L67.
- [16] Carcia-Barreto, J. A., Burke, B. F., Reid, M. J., Moran, J. M. and Haschick, A. D., IAU Symp. No. 110, p. 333, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [17] Genzel, R., Reid, M. J., Moran, J. M. and Downes, D., *Ap. J.*, 224 (1981), 884.
- [18] Reid, M. J., Haschick, A. D., Burke, B. F., Moran, J. M., Johnston, K. J. and Swenson, G. W., Jr., *Ap. J.*, 239 (1980), 89.
- [19] Jennison, R. C. and Das Gupta, M. K., *Nature*, 172 (1953), 996.

- [20] Miley, G. K. and Wade, C. M., *Astrophys.*, 8 (1971), L11.
- [21] Mitton, S., *Astrophys.*, 6 (1970), L161.
- [22] Rees, M. J., *Nature*, 229 (1971), 312.
- [23] Hazard, C., Mackey, M. B. and Shimmins, A. J., *Nature*, 197 (1963), 1037.
- [24] van Breugel, W. J. M. and Miley, G. K., *Nature*, 265 (1977), 315.
- [25] Kellermann, K. I., Clark, B. G., Niell, A. E. and Shaffer, D. B. *Ap. J.*, 197(1975), L113,
- [26] Pauliny-Toth, I. I. K., Preuss, E., Witzel, A., Kellermann, K. I. and Shaffer, D. B., *Astron. Astrophys.*, 52 (1976), 471.
- [27] Readhead, A. C. S.; Pearson, T. J., Cohen, M. H., Ewing, M. S. and Moffet, A. T., *Ap. J.*, 231 (1979), 299.
- [28] Cohen, M. H. and Readhead, A. C. S., *Ap. J.*, 233 (1979), L101.
- [29] Zensus, J. A., Porcas, R. W. and Pauliny-Toth, I. I. K., *Astron. Astrophys.*, 133 (1984), 27.
- [30] Preston, R. A., Morabito, D. D., Williams, J. G., Faulkner, J., Jauncey, D. L. and Nicolson, G. D., *Astron. J.*, 90 (1985), 1599.
- [31] Eckart, A., Hill, P., Johnston, K. J., Pauliny-Toth, I. I. K., Spencer, J. H. and Witzel, A., *Astron. Astrophys.*, 108 (1982), 157.
- [32] Readhead, A. C. S. and Pearson, T. J., IAU Symp. No. 110, p. 15. ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [33] Pearson, T. J., Unwin, S. C., Cohen, M. H., Linfield, R. P., Readhead, A. C. S., Seielstad, G. A. Simon, R. S. and Walker, R. C., *Nature*, 290 (1981), 365.
- [34] Cohen, M. H. and Unwin, S. C., IAU Symp. No. 110, p. 95. ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [35] Fanti, C., Fanti, R., Parma, P., Schilizzi, R. T. and van Breugel, W. J. M., *Astron. Astrophys.*, 143 (1985), 292.
- [36] Fanti, C., Fanti, R., Parma, P., Nan Rendong, Schilizzi, R. T., Spencer, R. E., van Breugel, W. J. M. and Venturd, T., IAU Symp. No. 129, (in press).
- [37] van Breugel, W. J. M.; Nan Rendong, Schilizzi R. T., Fanti, C. and Fanti, R., IAU Symp. No. 129 (in press).
- [38] Padrielli, L., IAU Symp. No. 110, p. 169, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [39] Preuss, E., IAU Symp. No. 110, p. 251, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [40] Barthel, P. D., Miley, G. K., Schilizzi, R. T., Preuss, E. and Cornwell, T. J., IAU Symp. No. 110, p. 39, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [41] Cotton, W. D., Owen, F. N., Geldzahler, B. J., Johnston, K., Baath, L. B. and Romney, J., *Ap. J.*, (submitted).
- [42] Levy, G. S. and Linfield, R., IAU Symp. No. 129, (in press).
- [43] Readhead, A. C. S. et al., *Nature*, 303 (1983), 504.
- [44] Marcaid, J. M. et al., Proc. IRAM-ESO-Onsala Workshop on mm/sub. mm Astronomy, (1985).
- [45] Baath L. B., Elgered, G., Lundquist, G., Graham, D., Weiler, K. W., Seielsta. G. A., Tallquist, S. and Schilizzi R. T., *Astron. Astrophys.*, 96 (1981), 316.
- [46] Browne, I. W. A., IAU Symp. No. 110, p. 1, ed. by R. Fanti et al., Reidel, Dordrecht, (1984).
- [47] Bridle, A. H. and Perley, R. A., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 22 (1984), 319,
- [48] Readhead, A. C. S., *Sci. Am.*, 246 (1982), 38.
- [49] Miley, G., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 18 (1980), 165.
- [50] 吴盛股, 朱含枢, 天文学进展, 4 (1988), (已接受).
- [51] Wu, S. Y., Pauliny-Toth, I. I. K., Porcas, R. W. and Zensus, J. A., 天体物理学报, 6 (1986), 89.
- [52] Pauliny-Toth, I. I. K., Porcas, R. W., Zensus, J. A., Kellermann, K. I. and Wu, S. Y., *Nature*, 328 (1987), 778.
- [53] Pearson, T. J., Readhead, A. C. S. and Wilkinson, P. N., *Ap. J.*, 236 (1980), 714.
- [54] Nan Rendong, XIXth YERAC, 40, ed. by Skillman, E., Hayelte, The Netherlands, (1986).
- [55] 南仁东, 博士论文: 长基线干涉网的综合使用方法及其在致密陡谱射电源研究上的应用, 84, 中国科学院北京天文

台, (1987).

(责任编辑 刘金铭)

## **General Survey of Essential Studying Activities in VLBI-Astrophysics**

Nan Rendong, Wu Shengyin

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

### **Abstract**

Since it was brought into being more than 20 years ago, VLBI has been growing up as the most important observational technique in radio astronomy, and making a profound impact on the astrophysics due to its unparalleled angular resolution.

The paper is intended to represent this impact, and to cover the major researches on astrophysics with VLBI and the purposes of those investigations. The information is hopefully helpful to the astronomers who are involved in choosing projects for VLBI observation.