

# 河外射电变源与致密源

尹其丰

(北京大学地球物理系)

## 提 要

本文对河外射电变源和致密源的观测特征以及理论模型进行了评述。本文分为两部分。第一部分包括仪器及观测方法、样品选择及资料分析,射电源的频谱特征和时变性质等。

本文的第二部分简述了理论研究和模型工作。其中包括对于在河外射电源中观测到的射电频谱及视超光速运动等现象的理论解释。和其它模型比较起来,Rees模型比较好,它可以很好地解释观测特性。

## 一、引 言

河外射电源的分类有许多种方式。按射电源的几何形态,可分为简单源(即双源)、复杂源、头尾源等。按辐射区域又可分为:

- A. 离母星系或类星体很遥远的弥漫辐射区;
- B. 喷流(jets)和热斑(hot spots),人们认为这是星系核和弥漫辐射区之间能量交换的地方。
- C. 致密源,它和星系核或类星体相重合。

从射电源的时变特征上,河外源则又可以分为变源和非变源。上述这些划分显然不是彼此独立的,只是从研究的活跃程度以及观测和理论研究的方便角度去分类。例如,致密源几乎都有时变现象;变源的绝大部分是致密源;星系核、类星体或延展射电源的某一特定区域。

河外变源的观测,最初开始于射电巡天和射电源星表的编制工作。对某些星表所列射电源的多次测量中发现,某些射电源的流量密度有随时间变化的现象,而其它大多数源则是不变的。人们根据这些现象,就对某些相对强源进行定期监视性观测。这种工作比较系统地开展始于六十年代中期。此后,有大量的从低频(米波)到高频(毫米波)的实测资料发表。目前,世界上的一些大型单天线射电望远镜一般都给这种观测分配一定的观测时间。

河外变源的变化时间尺度为几天到几年。其典型值为月~年的量级。变化幅度为百分之几到几倍。这种变化一般都不具有周期性,而有某些爆发的特征。

对于“致密源”并无清楚的定义。但是在文献上有某种适用性定义,凡符合下述两条标准的射电源,一般称之为“致密源”(compact radio sources):

- 1) 小角径:角 $\theta \ll 1$ 角秒

2) 在 $\nu > 100\text{MHz}$ 的频率上, 源对于相对论性电子的同步加速器辐射有自吸收。

由上述条件 2), 根据同步辐射理论, 可以推出源的角径上限大约为 0.1 角秒。因此, 实际上把条件 1) 中不等式上限又降低了一个量级。0.1 角秒对应的线直径当然与射电源的距离有关, 对于离我们近的星系, 相应的线径为 0.01PC; 对于遥远的星系或类星体, 大约为几百 PC。

有关致密源的实测工作, 若从研究其结构形态来算, 开始得较晚。这是因为其角径很小, 只在甚长基线干涉仪 (VLBI) 问世后才开始获取有关信息。若从其时变特征研究上算起, 则它和变源的研究是同时开始的, 因为绝大部分变源是致密源。

射电变源、致密源是当代河外射电天文实测和理论研究的重要课题之一, 有着重要的天体物理意义。

现在普遍认为, 射电变源、致密源起着“中心引擎”的作用, 它产生大量的能量, 提供给星系或类星体外面的延展辐射区。因此, 研究它的频谱、时变、结构及其可能的动力学过程, 对人们了解相对论性电子获取和损失能量的过程, 以及如何把能量从核心部分输送到核心外面遥远的地方会有所助益。这样, 能使我们对于星系尺度上的基本能源问题有更好的理解。从研究方法上看, 由于这种射电源的角径很小, 其定位精度应优于 1 角秒, 因此易于和其光学对应体相证认, 且证认的确定性较大。这样就可把它们的射电特征和光学特征结合起来研究。

在辐射各向同性的假设下, 致密源的射电光度在  $10^{37}$  到  $10^{46}$  尔格·秒<sup>-1</sup> 之间。

目前致密源的证认可概述如下: 几乎全部的 BL Lac 类型天体, 大多数类星体和许多射电星系都包含有致密源。在某些“正常”旋涡星系和椭圆星系中也发现有这种致密的变源。其射电特征似乎与其光学对应体的类型无关。

Kellermann 和 Pauliny-Toth 在 1981 年对致密源作了很好的评述<sup>[1]</sup>, 对 1980 年夏天以前有关的研究进展及存在的问题进行了概括。但该文对观测的叙述和变源的叙述似嫌不足。本文在这两方面均有所强调。

考虑到我国在低频上观测设备的前景, 低频变源的研究有其特殊意义。由于篇幅所限, 与低频变源( $\nu < 1000\text{MHz}$ )的研究有关的问题将在另文中评述。

## 二、变源的观测

河外射电变源的观测和理论研究的早期结果, 见 Kellermann 和 Pauliny-Toth (1968)<sup>[2]</sup>。近十几年来, 又有大量观测结果发表。下面就新近发展, 包括观测仪器和方法、高频、低频变源等方面作一概述。

### 1. 观测仪器和方法

河外变源观测仪器大部分是大型单天线射电望远镜。这是因为观测要求较高的分辨率和灵敏度。高分辨率在实际应用中大约为几角分, 这样可把个别源区分出来, 对于那些源与源之间角距过小的源(相当于望远镜分辨率量级)只好舍弃, 以免混淆。灵敏度的要求是指仪器对于变幅只有百分之几的流量变化能够检测出来, 而且要求仪器有长期(数年)的相对稳定

性。一般大型射电望远镜都可满足上述要求。例如美国 NRAO 的 92 米中星仪式和 140 英尺赤道式射电望远镜、美国 Arecibo 305 米和西德 MPI 100 米射电望远镜等，都在变源研究上做出过很出色的工作。

另一类仪器是射电干涉仪，例如 NRAO 在 Green Bank 的三单元干涉仪也为变源的研究提供过很好的资料。

观测频率从低频(米波)到高频(毫米波)都有系统观测。

## 2. 观测对象的选择

第一步是发现变源。为此，通常的做法是选择足够数量的河外源样品群，定期或隔一段时间去重复观测，以发现其中哪些是变源。这方面的工作颇多。在低频上，以 Cotton 1976a<sup>[4]</sup>，1976b<sup>[4]</sup> 为例，在 365MHz 对一个河外源的完备样品(816个源)进行观测，发现其中的 2% 是低频变源。Condon 等<sup>[6]</sup> 在 318MHz 上做了类似的观测，用的是 Arecibo 305 米巨型射电望远镜。其样品选择标准是那些在 1400MHz 上流量密度  $S_{1400} \geq 3\text{Jy}$  和在 5000MHz 上流量密度  $S_{5000} \geq 1\text{Jy}$  的全部河外源。上述两组工作提供了很好的低频变源表，可供我们参考。

笔者和 Heeschel<sup>[6]</sup> 使用了 NRAO 300 英尺(91 米)射电望远镜，在  $\lambda = 9\text{cm}$  上对  $S_4$  射电源表中的强源(230 个)作了定期观测，观测对象也是一种完备样品群。其中  $S > 1\text{Jy}$ ， $35^\circ < \delta < 60^\circ$  69 个源， $S < 1\text{Jy}$  和  $\delta < 35^\circ$  或  $\delta > 60^\circ$  65 个源。从 NRAO 5GHz 星表中，按目标选取 63 个源。BL Lac 天体 15 个，以及特殊有兴趣的源，包括双类星体等 17 个源组成一个完备样品群<sup>[5]</sup>。

样品选择的另一种方式是，仅仅选取在其他频率上已确定为或可能是变源的河外源。这样可大大压缩样品数量，从而节省大量望远镜的使用时间。例如 Spangler 等<sup>[7]</sup> 选择 22 个“肯定是”和“可能是”变源的河外源，在很宽的频率范围内进行监视性观测，取得了河外变源在很宽频率范围内(325—15500MHz)频谱指数  $\alpha$  的信息。

## 三、变源观测资料分析

由于在观测中使用的仪器不同，分析方法也不相同。但是在分析观测结果时，以下几点是共同需要注意的。若宣称射电源是变源，则在分析资料时要考虑多种引起观测流量变化的因素，通过合理的观测安排和检验，排除这些因素，才能最后确定所测得的变化是河外源本征变化。这些因素通常为：

(1) 仪器带来的。这主要是天线指向误差及其机械不稳定性和接收机带宽不稳定性。这可以通过对射电望远镜实测考验和计算加以确定和排除。

(2) 地球大气的影晌。多产生于电离层和对流层引起所测信号的变化。这可以通过对变源的频谱观测加以判定和排除。这是指变源的射电谱一般比较平，大气对信号的影响不会因为源的谱不同而不同。

(3) 行星际空间和银河系内传播的效应

这可以通过时隔半年对目标重复观测一次来判断是否和行星际传播效应有关。用源的流量变化是否和银纬有依赖关系来判断是否为银河系内的效应。

(4) 星系际空间效果。这一般不易排除其可能性。但可以由起伏变化是否和红移  $Z$  有关来判断或排除。

若上面 4 条都可排除, 则可最后肯定所测得的流量密度随时间的变化确系射电源的本征变化。

#### 四、变源的频谱

观测表明, 变源的射电频谱比非变源的谱要平坦。

射电源的流量密度  $S(\nu)$  一般简化写为

$$S(\nu) \propto \nu^{-\alpha} \quad (1)$$

其中  $\alpha$  称为频谱指数。河外展源的典型值  $\alpha \approx 0.7$ , 并有一个很宽的分布范围。这种谱称为陡直谱。但变源的  $\alpha$  值一般小于 0.4, 如图 1。图 2 是几个典型河外变源的观测频谱, 在这个图中可以看出, 变源的谱不仅平, 有时甚至出现反转。由于变源流量密度是随时间变化的, 这种变化在不同频率上各不相同, 因此确定其谱并不是件容易的事情, 要在相当宽的频段上的不同频率同时进行观测。

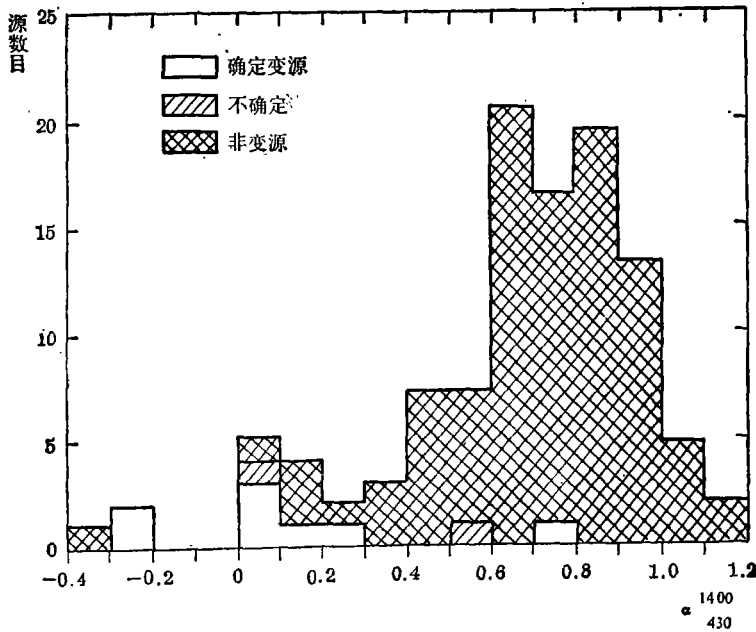


图 1. 河外射电源在 430~1400MHz 上的频谱指数  $\alpha$  分布 (Spangler 和 Cotton, 1981)<sup>[7]</sup>。

#### 五、河外源流量变化的时间尺度及变幅

河外源流量变化的时间尺度  $t_v$  一般采用下述定义<sup>[10]</sup>:

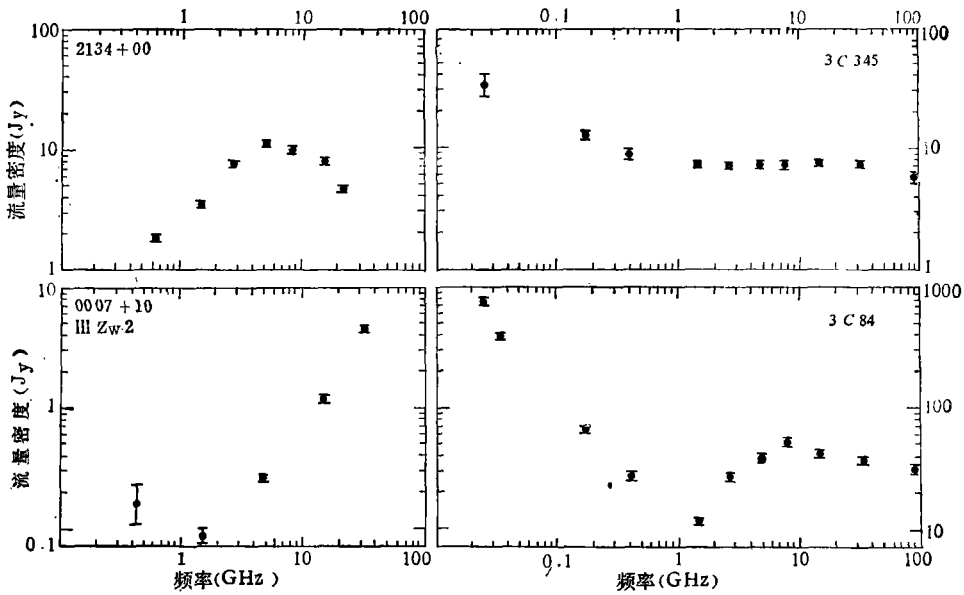


图 2. 几个变源的观测频谱(Owen et al.,1980<sup>[8]</sup>; Witzel et. al., 1981<sup>[9]</sup>).

$$t_v = \left| \frac{d \ln S_\nu}{dt} \right|^{-1} = \langle S_\nu \rangle \left| \frac{\Delta t}{\Delta S_\nu} \right|, \quad (2)$$

河外射电源的流量变化，一般不具有周期性，而带有某种随机爆发的特征。因此，由(2)式，对于某个源所定出的时间尺度带有一定的人为性。这是因为  $S_\nu(t)$  是一复杂曲线，在大时间尺度的变化上往往有短时间尺度的涨落。正因为如此，一般文献上给出的时间尺度都是粗略的，例如几周、数月或几年等等。河外变源典型的时间尺度为月~年的量级。也有几天的短时间尺度的脉动(flutter)。

河外源流量密度变幅总是和它所对应的时间尺度同时给出，这是因为两者是相关联的。例如，笔者和Heesch对 230 个河外源进行了三段时间的观测。所用波长为 9cm(300 英尺天线)和 6cm(140 英尺天线)，每段观测历时 25 天，段与段相隔半年(1979 年 5 月至 1980 年 12 月)。观测表明，发生在几天之内的脉动幅度不大于 8%。这可能表明，河外源快速(几天)大幅度(>10%)的变化是极其罕见的现象<sup>[6]</sup>。

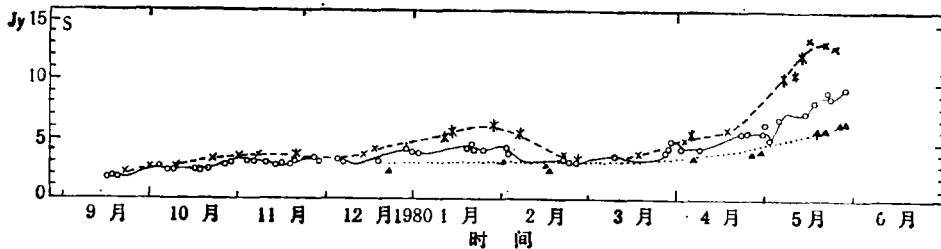


图 3. BL Lac 天体射电流量密度及偏振随时间变化曲线(Aller et. al., 1980<sup>[11]</sup>)

但是, 在较长的时间尺度上, 例如月~年的量级, 河外源流量变化大于20%却是常见的, 甚至可达几倍。例如, BL Lac天体, 在1979年9月至1980年5月期间, 在 $\nu=14.5\text{GHz}$ 上, 流量变化(增强)达7倍, 图3给出变化曲线。

## 六、理论研究概况

### 1. 变源频谱的解释

如所周知, 河外展源的射电流量密度谱通常具有陡直的特征。若以  $S_\nu \propto \nu^{-\alpha}$  表示, 则  $\alpha$  的典型值为0.7。但河外变源的  $\alpha$  一般  $\leq 0.4$ , 甚至可能为负值, 这种谱称为平谱( $\alpha \approx 0$ 是其典型情况)或反转谱。

过去由某些观测特征所推出的某些物理量如变源的视亮温度 $T_b$ , 有时会高于非相干同步加速器理论模型所给出的上限 $10^{12}\text{K}$ , 甚至可达  $T_b \sim 10^{16}\text{K}$ , 使得理论解释中放弃了通常的(非相干)同步辐射理论, 转而求助于相干同步辐射理论<sup>[12]</sup>。这是由于对变源辐射区域的几何尺度估计引起的困难。这个问题为近年来的大量观测所解决, 我们将在下一小节中讨论这个问题。

可是现在比较普遍的看法却是通常的非相干理论可以很好地解释观测事实, 相干模型反倒为许多观测所否定。

在非相干模型下, 理论上认为变源是半透明的(在米波段,  $\tau \sim 1$ )相对论性电子同步加速器辐射区。这种理论目前没有任何实质上的困难。为了解释其平谱乃至反转谱, 理论模型假定若干小辐射区(即空间不均匀性), 每个小辐射区内的电子能谱分布均取幂律形式<sup>[1]</sup>, 即

$$N(E)dE \propto E^{-\gamma}dE \quad (3)$$

观测到的变源辐射谱为若干这种小辐射区辐射频谱的叠加。具有(3)式所表达的幂律能谱的相对论性电子, 其流量密度达到极大值 $S_m(\tau \sim 1)$ 的频率  $\nu_m$ 为

$$\nu_m \approx f(\gamma)B^{1/5}\sin^2/5\delta^{-4/5}(1+Z)^{1/5}\text{GHz} \quad (4)$$

其中 $f(\gamma)$ 为电子能谱指数 $\gamma$ 的缓变函数, 当取 $\gamma=2$ 时,  $f(\gamma) \approx 8$ 。S的单位为Jy, 角度大小 $\delta$ 的单位为毫角秒。B的单位为高斯。取 $H=50$ 公里/秒·百万秒差距 $^{-1}$ ,  $q_0=0$ 。

当 $\nu \gg \nu_m$ 时, 即光学薄源的情况, 有

$$S \propto \nu^{-\alpha}, \text{ 其中 } \alpha = (\gamma - 1)/2;$$

当 $\nu \ll \nu_m$ 时, 即光学厚的情况, 有

$$\alpha = -2.5$$

由于各个辐射小区域的电子能谱指数 $\gamma$ 和磁场B可能是不同的, 它们的辐射频谱亦可不尽相同, 每个区域的 $\nu_m$ 也不同。这样, 在不能分辨这些小区域的情况下, 观测到的源辐射谱可能是许多小区域的辐射谱合成的。

由于河外变源的流量密度 $S_\nu$ 是随时间变化的, 而且对同一个源在不同频率上的变化是不同的, 因此, 要测定变源的精确射电辐射谱是不容易的。这需要两台以上的大型射电望远镜分别在不同频率上同时对河外源进行观测。大型射电望远镜安排观测时间通常是比较紧的。因此, 实现起来比想象的要难。尽管如此, 目前已积累了不少这种同时观测的数据。到1982

年,已有上百个致密源有较好的频谱资料了。

## 2. 高亮温度问题, 变源几何尺度上限的估计

河外变源研究中,曾经在理论模型的构造上遇到过困难。这主要是指对源的几何尺度的估计方法并由此带来的对源的亮温度的估计上。人们曾假定,源的流量变化的时间尺度不能短于光沿源传播的时间,即

$$t_v \geq L/c \quad (5)$$

其中  $L$  是变源的线大小,  $c$  是光速, 由观测的  $t_v$  可定出源的几何尺度的上限  $t_v \cdot c$ 。由于河外变源通常具有较大的红移量, 若把它理解为宇宙论性红移, 则源离我们非常遥远, 因此, 源对我们的张角  $\Omega_s$  (由变源的几何尺度及距离定出) 非常之小。这样, 定出来的变源的辐射亮温度  $T_b = \lambda^2 S_\nu / 2k\Omega_s$  就会非常之大, 以至高过  $10^{12}$  °K, 在米波段, 甚至会高到  $T_b \simeq 10^{16}$  °K。而当  $T_b > 10^{12}$  °K 时, 逆康普顿辐射将起重要作用 (条件是相对论性电子的辐射场能密度  $\sim$  磁能密度), 从而使非相干同步辐射可能达到的亮温度的上限约为  $10^{12}$  K。这样, 就不能再用非相干同步辐射理论了。这是这种理论所遇到过的一个困难。

为了克服这一观测同理论解释的矛盾, 人们或者发展相干同步辐射模型<sup>[13]</sup>, 或者否定这些源是处在遥远的宇宙论红移的距离上<sup>[14]</sup>。

但是近来的观测结果使得上述的困难得以克服。这些结果来自在长波上对射电变源的某些观测和 X 射线卫星对某些河外射电变源的观测。对这些源的某些大爆发的宽频观测表明, 甚至在米波上仍表现为光学薄特性。考虑到逆康普顿散射极限, 求出的变源的角径比由光传播时间定出的值至少要大 100 倍。亦即, 源的真实尺度比由 (5) 式定出的要大得多。

河外变源的几何尺度大于光传播尺度的另一个重要观测证据来自 X 射线观测。若源的尺度果真小于光传播尺度, 推出的  $T_b$  就会高于  $10^{12}$  K, 逆康普顿散射必然引起很强的 X 射线辐射。但是使用 HEAO 卫星对若干个河外源在它们发生射电大爆发时的观测结果表明, 没有一次观测到过预期的 X 射线增加辐射。卫星探测的灵敏度比要探测的强度好得多。这再次说明, 逆康散射根本没有发生, 亦即, 源的实际大小比光传播尺度大得多 (Marsher et. al., 1979)<sup>[15]</sup>。随着爱因斯坦卫星的发射, 人们能检测 X 射线的灵敏度大为提高。通过观测, 已发现许多河外射电变源也是 X 射线变源, 但 X 射线的强度比起用光传播尺度假设计算出的逆康散射值低得多。这一最新观测结果支持由 HEAO-A 卫星对这一问题的判断 (Schwartz et. al., 1983)<sup>[16]</sup>。

还有一个观测验证, 来自射电波的星际闪烁。假若这些变源的线度真如光传播尺度那么小, 则在宇宙论性红移的遥远距离上, 其张角必然极小, 以至于可以看成为理想的点源。星际介质不均性则会引起观测的射电信号的闪烁起伏。而实测结果是否定的。<sup>[17][18][19][20]</sup> 这使得变源的张角  $\Omega_s$  的下限提高, 从而使得亮温度比由光传播尺度定出的值低 4 个量级。尤其值得指出的是, 在 BL Lac 类天体 0235 + 16 射电大爆发期间, 没有观测到这种闪烁。有些光学观测证据表明, 这个天体的确是处在宇宙论红移的距离上<sup>[21]</sup>。

米波段变源辐射性质、无逆康普顿 X 射电及无信号闪烁等事实, 使得人们相信变源的尺度远较光传播尺度为大。于是援引极复杂苛刻物理条件的相干辐射模型就显得更缺乏吸引力了。有关变源的许多观测特性均可在通常的非相干同步加速器辐射理论框架下加以解释。有

关理论模型将在下节介绍。

## 七、VLBI对河外变源结构的观测以及有关的理论解释

### 1. 视超光速运动

河外变源的辐射区域一般角径都很小( $\ll 1''$ ), 因此, 即使用甚大阵(VLA)系统也不可能得到其结构图象, 必须使用甚长基线干涉仪(VLBI)系统。目前的 VLBI 在分辨率上已达毫角秒( $10^{-3}$ 角秒)的量级。由电子计算机软件为主体的成像技术的改进, 使得 VLBI 的水平有所提高。

VLBI 对变源辐射区的观测表明, 它们对应于某些活动星系核(证认的方位误差 $\sim \pm 1$ 角秒)或类星体或 BL Lac 型天体。VLBI 对这种致密源(或展源的某一致密区)的观测表明, 几乎所有的致密源流量密度都是变化的<sup>[1]</sup>。VLBI 观测这种流量变化的致密天体的目的之一是希望确定其亮度分布或结构随时间的变化。直到七十年代后期才得到比较系统可靠的有关资料。

观测表明, 某些最亮的源如 3C120, 3C273, 3C279 和 3C345 等有视超光速的运动, 其运动速度在  $5c \leq v \leq 45c$  之间<sup>[22]</sup>。3C454.3 有强的射电爆发并伴随  $v \sim 3c$  的视超光速运动。这种视超光速的运动是指 VLBI 观测中发现源的子成份之间的视分离速度。目前由于观测资料所限, 还不知道究竟这种视超光速源占整个强致密源的多大比例。因为也有些强源的 VLBI 观测没有发现这种现象。例如 3C84 (NGC1275) 和 4C39.25 (0923 + 39)。Kellermann 等人估计可能约占一半的强致密源都有这种视超光速运动<sup>[1]</sup>。而这一估计对于同用射电源观测者所处位置的几何效应来解释的模型说来, 是至关重要的。

### 2. 关于视超光速运动的解释

自从河外致密源的 VLBI 观测发现这种奇特现象以来, 已有大量模型试图解释这种现象。Kellermann 等人把这些模型分为七类:

- (1) 真超光速运动;
- (2) 在宇宙学尺度上哈勃常数的不正确所引起的效应或者是由于非宇宙论性红移所引起的效应 (Kellerman 和 Shaffer, 1977; Burbidge, 1978)<sup>[26], [27]</sup> 或者是由于不正确的宇宙学模型所引起的效应 (Segal, 1979)<sup>[28]</sup>;
- (3) 光的回波效应 (Lynden Bell, 1977)<sup>[29]</sup>;

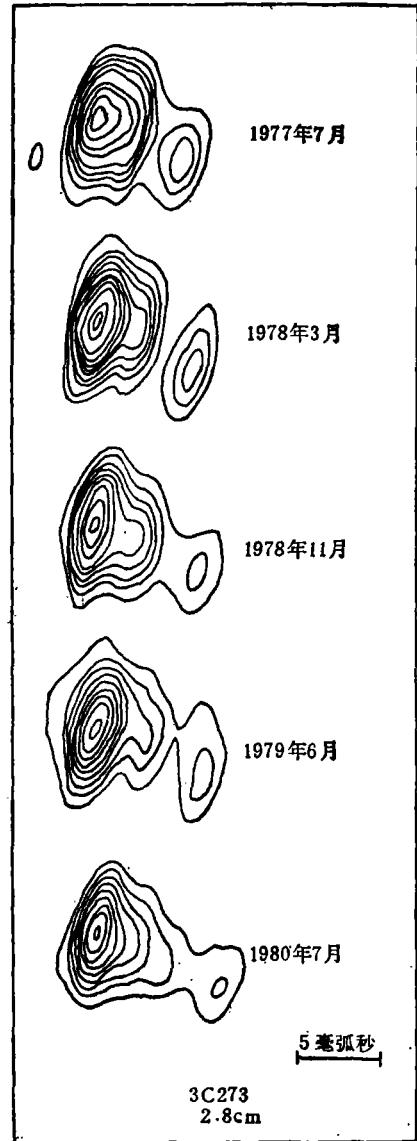


图 4. 3C273 子成分的视超光速分离 (Vnwin et al. 1981)<sup>[12]</sup>.



- (4) 引力透镜和引力屏效应(Chitre和 Narlikar, 1980)<sup>[80]</sup>;
- (5) 在同步加速器辐射光厚物体中发生的系统变化(Epstein 和 Geller, 1977)<sup>[81]</sup>;
- (6) 在固定的偶极场中, 电子的同步加速器辐射或曲率辐射 (Bahcall 和 Milgrom, 1980)<sup>[82]</sup>;
- (7) 由于信号传播的有限时间而引起的各种视效应(Rees, 1967)<sup>[23]</sup>。

对上述诸种模型, Kellermann 等人没有详加讨论, 但是比较倾向于 Rees 模型。即认为视超光速运动实质上是由于发射区域集体相对论性运动引起的。这种模型还可以很好地解释观测到的  $T_b \geq 10^{12} \text{K}$ , 把它归结为这种运动所产生的一种视效应。

Rees模型的提出早于视超光速现象的发现<sup>[23]</sup>。更为系统地论述这种特殊情况下(发射体宏观速度近于光速)的同步辐射理论, 见文献(24), 这篇文章的发表也早于视超光速的发现。

一个以近于光速  $c$  运动的客体, 其同步辐射性质是与相对于观测者静止的源所发出的辐射有很大的不同。这一差别被人们忽略了相当长的时间, 也就是说, 人们没有注意到一个快速运动物体的真正形式与它被观测者所看到的形式之间的差别。

某些河外源出现宏观相对论性的运动是完全可能的。这是因为许多河外源可能是某些高能爆炸的产物。

这个模型可在不援引过分复杂的物理条件的情况下, 很成功地解释变源的流量密度变化和视超光速等观测事实。但也存在一些问题。其中最主要的问题是致密源中约有一半发现有视超光速运动, 这比射束随机取向情况下应有的几率大得多。目前的一种解释是选择效应。由于目前的 VLBI 动态范围很小, 可能只有射束朝向观测者的源才强得足以被观测到, 射向其它方向的源, 无法检测到。这样一来, 具有视超光速的源所占的比例就会比统计预期的值高得多。这一点需要在仪器改进后进行观测验证。计划中的美国十面直径为 25 米的甚长基线阵(VLBA), 将会对这个重要问题的解决做出贡献<sup>[25]</sup>。这个正在设计中的巨型射电天文观测设备, 是专门用来研究宇宙中致密天体的, 其分辨率, 灵敏度和动态范围都将比现有的 VLBI 好得多。

同时, 也应发展理论模型, 以期在河外射电变源与致密源的研究方面有更大的进展。

### 参 考 文 献

- [1] Kellermann, K. I. and Pauliny-Toth, I. I. K., Compact Radio Sources, 预印本 (1981).
- [2] Kellermann, K. I., and Pauliny-Toth, I. I. K., Ann. Rev. Astron. Astrophys., (1968).
- [3] Cotton, W. D., Ap. J., 204 (1976a), L63.
- [4] Cotton, W. D., Ap. J. Suppl., 32 (1976 b), 267.
- [5] Condon, J. J., Ap. J., 84 (1979), No.1.
- [6] Yin, Q.-F. and Heeschen, D. S., in preparation.
- [7] Spangler et. al., A. J., 86 (1981), 5, 730.
- [8] Owen, F. N. et. al., A. J., 85 (1980), 357.
- [9] Witzel, A., et. al., A. Ap. Suppl., 43 (1981), 195.
- [10] Pacholczyk, A. G., Radio Galaxies, Pergamon Press, (1976).
- [11] Aller, H. D. et. al., preprint (1981).
- [12] A. G. 帕考尔楚克, 射电天体物理学, 王绥琯、郭成光译, 科学出版社, 1973.
- [13] Colgate, S. A. and Petschek, A. G., Pittsburgh Conference on BL Lac objects, (1978), 349.

- [14] Burbidge, G. R., Stein, W. A., *Comments Astrophys. Space Sci.*, **6** (1975), 87.  
[15] Marshner, A. P. et al., *Ap. J.*, **233** (1979), 498.  
[16] Schwartz, D. A. et al., preprint, (1983).  
[17] Condon, J. J., Backer, D. C., *Ap. J.*, **197** (1975), 31.  
[18] Armstrong, J. W. et al., *A. J.* **82** (1977), 785.  
[19] Condon, J. J. and Dennison, B., *Ap. J.*, **224** (1978), 835.  
[20] Dennison, B. and Condon, J. J., *Ap. J.*, **246** (1981), 91.  
[21] Wolfe, A. M. et al., *Ap. J.*, **222**, (1978), 752.  
[22] Cohen, M. H. et al., *Nature*, **268**, (1977), 405.  
[23] Rees, M. J. *M. N. R. A. S.*, **135** (1967), 345.  
[24] Ginzburg, V. L. and Syrovatskii, S. I., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **7** (1969), 375.  
[25] N. R. A. O. 内部报告, The Very Long Baseline Array Design Study, (1981).  
[26] Kellermann, K. I. and Shaffer, D. B., IAU Colloquium No.37, Bolkowski and Westerbend, ed., Paris CNRS, (1977). 347  
[27] Burbidge, G. R., *Physica Scripta*, **17** (1978), 281.  
[28] Segal, I. E., *Ap. J.*, **193** (1979), 55.  
[29] Lynden-Bell, D., *Nature*, **270** (1977), 369.  
[30] Chitre, S. M., Marlikar, J. V., *Ap. J.*, **235** (1980), 335.  
[31] Epstein, R. I., Geller, M. J., *Nature*, **265** (1977), 219.  
[32] Bahcall, J. N. Milgrom, M., *Ap. J.*, **236** (1980), 24.

## Extragalactic Variable and Compact Radio Sources

Yin Qi-feng

(Department of Geophysics, Beijing University)

### Abstract

Observational properties of extragalactic variable and compact radio sources and theoretical models have been reviewed in this paper which could be divided into two parts. The first part includes instrumentations and observational methods, sample selecting and data analysis, properties of radio spectrum and variabilities of radio sources, etc.

The theoretical studies and models are summarized in the second part which includes the explanation of radio spectrum and superluminal motions observed in the extragalactic radio sources. Rees model of superluminal motion seems to be reasonable one which explains the observational properties better than others.