

# VLBI 与 视 超 光 速 源\*

## (I) 观测手段与结果

吴盛殷

(中国科学院北京天文台)

朱含枢

(中国科学院紫金山天文台)

### 提 要

类星体和活动星系核结构的变化及其中的视超光速运动,被认为是用 VLBI 方法所揭示的最重大的天体物理现象之一。十余年来积累了大量观测资料,迄今已经观测证实了不少于25个视超光速源,更广泛的监测和搜寻计划正在进行中。

本文从观测手段和结果两个方面,综述对视超光速源探测的方法及现状。在另一篇文章中将总结视超光速源的观测特征,以及为解释这些特征所作的有代表性而又较为广泛的理论探讨。

## 一、引 言

Broten等[1]和Bare等[2]于1967年分别独立地在加拿大和美国进行了分立本振射电干涉实验,实验的成功开始了甚长基线干涉仪(VLBI)作为日益重要的射电天文观测设备的历史。

二十年来,在VLBI的许多天体物理成就中,类星体和活动星系核的结构变化及其中的视超光速运动,无疑是最引人注目的。所谓视超光速运动指的是射电源中结构变化的表观横向速度大于光速的情况。观测到这种运动的源,就称为视超光速源(Superluminal sources),为了叙述简便,本文将这种源称为SLS。

历史上关于SLS的首次报道出现在1971年,Whitney等[3]用模型拟合方法,在将类星体3C273及3C279看作高斯双源的简化假设下,比较了1970年10月及1971年2月,用VLBI测得的可见度幅度极小点的移动,来证明两子源间距的增大,如图1所示。这一发现证实了Rees[4]几年前提出剧变源以相对论速度膨胀可使表观时间尺度缩短的预言,它提供了天文学中观测方法的发展与理论的预见相互对应和补充的有趣例子。

\*国家自然科学基金资助项目  
1987年2月12日收到。  
1988年4月28日收到修改稿。

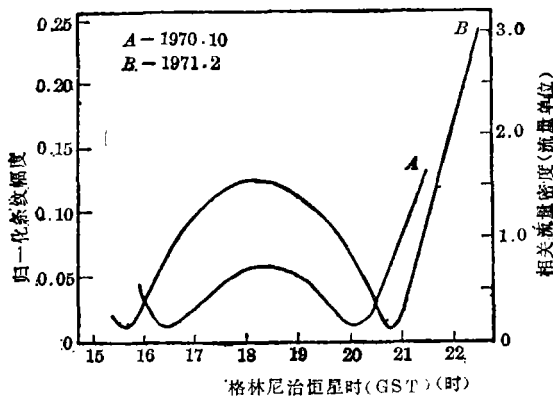


图1. 从3C279可见度函数幅度极小值的变化<sup>[3]</sup>推断出子源间距的增加。

早期的双天线VLBI只能测源的角径上限及一维相对位置,对源结构的分析只能靠简单的模型拟合。随着七十年代后期 Readhead 等[5]、Cornwell 等[6] 和 Schwab[7] 等发展的 VLBI 成图算法的出现,如今VLBI技术已经主要用于国际或洲际多天线联网观测(见附录1)。多天线VLBI网,结合混合成图等自校技术,已经成为天体物理中取得毫角秒乃至亚毫角秒分辨率成图观测的独一无二的设备。对类星体及活动星系核复杂结构的多历元的系统监测和比较,不仅完全证实了SLS的存在,确定了某些子源相对于另一子源的自行速度和径迹,而且已经可以将列入SLS表的源数扩大到25个以上[8]。

对SLS的观测和研究,有助于了解SLS及其他河外源内可能存在的相对论等离子体运动的本质及其在源的结构演化中所起的作用。

本文拟从观测SLS的角度,简述VLBI技术的发展现状及限制,总结对SLS观测的已有结果。

## 二、VLBI 发展的现状

SLS是用VLBI技术发现的,VLBI迄今仍然是以毫角秒(mas)分辨率对SLS作成图观测的仅有技术。利用现有的VLBI网(附录1)的18面天线,可以在波长 $\lambda = 50, 18, 6, 2.8$ 及1.3厘米作常规成图观测。最大分辨率用式(1)估计,

$$\text{FWHM} \approx 0.5 \lambda / D = \frac{\lambda (\text{cm})}{D (1000\text{km})} (\text{mas}) \quad (1)$$

对于从欧洲到美国加州的典型基线  $D = 8200\text{km}$  及  $\lambda = 1.3$  厘米,分辨率约为  $0.2 \text{ mas}$ 。对SLS的VLBI成图观测大多在6厘米波长,约有  $0.8 \text{ mas}$ 的分辨率。在更短的波长,如7 mm及3 mm,也成功地进行了分辨率约  $0.2 \text{ mas}$ 的VLBI成图观测[9],但成图能力有待改进提高,目前尚未列入常规观测安排。不久将来全球范围的毫米波天线阵将使分辨率提高到  $0.05 \text{ mas}$ ,利用约五年内将发射进入空间的天线[10],将可获得更高的分辨率。

1mas的角分辨率对应邻近活动星系核的约 0.25 pc 的线分辨率, 及大多数类星体约 4 pc 的线分辨率。而一个 $10^6 M_{\odot}$ 黑洞的史瓦西半径大约是 $10^{-4}$ pc, 活动核中典型“宽发射线区”的大小 $\sim 1$  pc, 典型“窄发射线区”的大小 $\sim 100$  pc。可见, VLBI可以分辨宽线区, 与分辨“中央发动机”的要求还有距离。

在VLBI成图中,需用自校技术以克服大气及本振相位和幅度不稳定性的影响[11]。这些技术要求在相干时间内(取决于频率及气候条件,一般在 30 秒到 10 分钟范围),源是可检测的,因此成图观测限于较强的源,例如在 18 和 6 cm 波长,用欧洲网的天线,对 MKII 记录系统,成图下限为 100 mJy,对MKIII系统,下限为 20 mJy。实际上接近此极限的源,仅限于十分致密者方能成图。VLBI的绝对定位精度比其分辨率低得多,给证认、比较和记载不同波长或历元的图象带来困难,而这些对源的结构变化及SLS的发现和监测是十分重要的。

VLBI成图的动态范围(图象中最亮的峰值与细节仍然可信的最低亮度值之比)一般在 20 到 5000 之间[12],它受灵敏度(每综合方向束面积达几个mJy)、“非闭合”校准误差及不足的(U, V)覆盖(即图象中失去的空间 Fourier 分量)等因素限制。动态范围不够高往往成为对SLS中的弱子源跟踪监测的障碍。

利用相位基准技术,VLBI的相对定位精度在 $0^{\circ}.5$  范围内优于 0.04 mas,在 $0^{\circ}.5$  内优于 0.01 mas, 这样的精度对监测 SLS 中子源间的相对位移是足够的。Bartel 等[13]曾利用 3C345 附近致密射电源 NRAO 512 和其中被认为是核的子源间的相对定位,证实了该核在约10年的时间里相对NRAO 512 基本保持“固定”( $<0.02$ mas/yr.),从而确认了 3C345 的一些节以视超光速相对核分离。

VLBI成图观测可以认为是某种类型的孔径综合,但它和通常意义的孔径综合又不同,除了用分立本振外,(U, V)平面的采样或覆盖严重短缺是其主要差异点。由此带来的VLBI网成图观测有如下特点:

(1)视场受到严重限制,目前可信视场尺度仅约等于综合束直径的 200 倍[14],当然具体视场取决于所用天线的个数和分布,系统带宽、相干积分时间等因素[15]。目前观测到的SLS中超光速分离的子源有的已经达到 130 mas[16],暂时还未超过VLBI成图的视场。SLS周围更大尺度的延伸结构,还未发现与超光速运动子源有必然联系的变化[17],但不能排除它与某种中等尺度结构可能有联系并等待人们去揭示。

(2)现有的VLBI网天线大多分布在北半球中纬度地区,因此对中、低赤纬的源,东西方向的分辨率往往远优于南北方向的分辨率,对已有的大样本SLS搜寻计划,这无疑加上了某种偏向及限制因素。而由于采用了一些南半球的天线,使早已发现的SLS的观测取得新的结果(也有了例证[16],[18])。在新的VLBI网的布局设计中,这是一个必须考虑的问题。

(3)采用有别于综合孔径中直接 Fourier 变换的特殊算法,目前在对 VLBI 网观测数据的分析中,最广泛采用的是混合成图算法及模型拟合。混合成图是以有限的采样测量结合模型的可见度数据,得到射电源一个“混合图”的 Fourier 变换迭代过程。实践证明,此算法可以从粗糙的起始模型(例如点源)出发,提供源结构的复杂细节。尽管得到的图不是唯一的[19],也难以确定从图测得的源参数的误差,但成图在恢复源的主要特征方面仍然是相当有效的,而且可以尽量减小人为干预,所以通常用它得到源结构的定性描述[20]。

用简单模型的可见度幅度(或加上闭合信息)以最小二乘法原理来拟合测得的可见度数据的迭代过程就是模型拟合。在对 SLS 的 VLBI 观测数据进行分析中,模型拟合是混合成图的重要补充。当观测所用天线少于 5 个时,一般只宜于用模型拟合来得到源结构的估计;即使对于更多天线的观测结果,在混合成图给出源结构的定性描述后,往往需要用模型拟合来定量确定各子源的相对位置、大小、形态和方向角等所欲知道的参数,这时,混合图提供了选择起始模型的依据。但模型拟合仅能提供有少数参数的源的简化描述,从而易于确定误差<sup>[20]</sup>。不可能用模型拟合独立地分析复杂源的观测结果及研究喷流中的节那样弱特征的运动和演化。

在 VLBI 成图中,也曾尝试使用最大熵方法(MEM),即改变对最大值的约束,使最大熵图不是和可见度相洽,而是和测量的闭合量相洽。所得的最大熵图突出了图中最大值,在该处有“超分辨率”,与各点有同样分辨率的混合图相比,更加难以解释、分析弱子源相对于峰值的运动<sup>[11],[12]</sup>,所以在 SLS 的研究中作用有限。由于 MEM 对大视场成图较优越<sup>[22]</sup>,随着将来 VLBI 成图视场的扩大及对 SLS 研究的深化,也许能起更大的作用。

### 三、SLS 和宇宙学

观测者只能测到源亮度分布中两成分间分离的表观角速度——或表观自行  $\mu$  (mas/yr),要判断这个源是否 SLS,还必须从  $\mu$  转换为表观线速度  $v_{app} = c\beta_{app}$ ,为此必须知道源的距离。对大多数河外源,唯一知道的标距参数是红移指数  $Z$ ,必须在一定的宇宙学模型下,才能推算出源的距离。在 SLS 的研究中,通常假设宇宙由标准的 Friedmann-Robertson-Walker 模型描述,其模型参数为哈勃常数  $H_0$  及减速因子  $q_0$ ,这时源的光度距离( $D_L$ ),角径距离( $D_A$ )及自行距离( $D_M$ )分别用下列公式计算<sup>[23]</sup>。

$$D_L = \frac{cZ}{H_0} \left( \frac{1 + \sqrt{1 + 2q_0Z} + Z}{1 + \sqrt{1 + 2q_0Z} + q_0Z} \right) \quad (2)$$

$$D_A = D_L(1 + Z)^{-2} \quad (3)$$

$$D_M = D_L(1 + Z)^{-1} \quad (4)$$

从观测到的自行  $\mu$  推算表观横向速度  $\beta_{app}$  (以  $c$  为单位)时用自行距离  $D_M$  有:

$$\beta_{app} = \frac{\mu D_M}{c} = \frac{\mu Z}{H_0(1 + Z)} \left( \frac{1 + \sqrt{1 + 2q_0Z} + Z}{1 + \sqrt{1 + 2q_0Z} + q_0Z} \right) \quad (5)$$

哈勃常数  $H_0$  是不确定的,不同作者常采用的值在  $50-100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ ,若采用  $100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$  为  $H_0$  的单位,并将不确定性包含在一个无量纲参数  $h$  中时,

$$H_0 = 100h \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1} \quad (6)$$

当采用与自行  $\mu$  同样的单位——mas/yr 时,则有

$$H_0 = 2.11 \times 10^{-2} h \text{ mas/yr} \quad (7)$$

减速因子  $q_0$  是完全未知的,后面对 SLS 的列表及叙述中,我们采用  $q_0 = 0.5$  及  $0.05$  两个典型值。

#### 四、对SLS的一些探测结果

要将一个源归类为 SLS, 必须在两历元或更多历元观测得到的混合图中, 设法证认出在所观测历元中都出现的某一致密而又较平谱的子源, 并假设它是稳定的, 将它记为“核”。同时至少还能证认出第二子源, 它在所有的混合图中也是可见的。比较不同历元两子源间的角距, 并按上节所述模型归算为横向速度, 就可以看出该源是否是 SLS。可见, 归类为 SLS 的源, 除了要求最后归算出来的视横向速度  $\beta_{app} > 1$  外, 还取决于若干因素和条件: 即在监测的时候它必须是活动的(可见性); 它必须用 VLBI 观测过至少两次, 如运动着的子源未能很好确定则很可能需要观测许多次; 当角膨胀速度小于方向束宽时, 例如高红移源情况, 观测必须有足够长时间的间隔。

将迄今已探测到的视超光速源, 可能探测证实为 SLS 的源, 以及亚光速源, 分别列入表 1、表 2 和表 3 [8],[24]。表 1 中所列源或者其子源的运动已经相当好地建立或证实, 或者已由作者根据观测数据宣布其为 SLS。表中 ID 指源的光学证认, Q, G 及 BL 分别代表类星体, 星系及 BL Lac 源; Z 为源的红移指数; 子源一栏对多子源 SLS 采用作者原来的标号;  $S_s$  表示该源在频率 5 GHz 处的参考流量, 对许多源说, 这一流量值是变化的; Rf 一栏注明各源的参考文献编号。表中源的顺序大体以其发现为 SLS 的先后为准。

从表 1 可以看到, 绝大多数探测到的 SLS 是类星体, 占表列 25 个源的 18 个, 即 72%; 星系仅 2 个, 占 8%; 其余 5 个是 BL Lac 型天体, 占 20%。从源的频谱分类看, 探测到的 SLS 中, 有平谱或峰状谱的核优势源 19 个, 占表列源的 76%; 陡谱致密源两个, 占 8%; 另有 4 个经典双瓣源的中央成分, 占 16%。

表 1 已探测的部分超光速源

源名	IAU 编号	ID	Z	$S_s$ (Jy)	子源	角自行 $\mu$ (mas/yr)	视速度 $\beta_{app}$		注 解	Rf	
							$q_0=0.05$	$q_0=0.5$			
3C 279	1253-055	Q	0.538	16	?	0.5	10.4	9.2	最早发现的 SLS, 分离速度减慢	25	
					B2	0.11	2.3	2.0		18	
3C 273	1226+023	Q	0.158	40	C3	0.79	5.5	5.3	最亮的 SLS, C5 有 明显快的视速度	26	
					C4	0.99	6.9	6.6		27	
					C5	1.20	8.3	8.0		16	
					C7	0.76	5.3	5.1			
3C 120	0430+052	G	0.033	10	A	1.35	2.1	2.1	最近的 SLS, 有最高角膨胀速度, 不同子源有不同速度。	28	
					B	2.53	3.9	3.9			
					C	2.47	3.8	3.8			
					D	2.66	4.1	4.1			
					E	2.54	3.9	3.9			
3C 345	1641+399	Q	0.595	10	核	<0.02	<0.5	<0.4	研究最多的 SLS, 观测到 C4 的位置角变化及加速, 子源径迹特殊	13	
					C2	0.48	10.8	9.5			29
					C3	0.30	6.8	5.9			
					C4	0.07, 0.3	1.6, 6.8	1.4, 5.9			

续表

源名	IAU编号	ID	Z	$S_5(\text{Jy})$	子源	角自行 $\mu$ (mas/yr.)	视速度 $\beta_{app}$		注 解	Rf
							$q_0=0.05$	$q_0=0.5$		
3C 179	0723+679	Q	0.846	0.3		0.19	5.7	4.8	最弱 SLS, 经典双源的中央部分	30
NRAO 140	0333+321	Q	1.258	2	B	0.15	6.2	4.8	X射线短缺	31
BL Lac	2200+420	BL	0.070	5	B	0.76	2.4	2.4	新 SL 子源发生与总流量及偏振爆发相联系。	32
4C 39.25	0923+392	Q	0.699	5.9	a-c	<0.006	<0.15	<0.13	二稳定子源之间第三子源的 SLM	33
3C 395	1901+319	Q	0.635	1.75	1-2	<0.07	<1.7	<1.4	mas尺度的运动图景与4C39.25相似	34
3C 454.3	2251+158	Q	0.859	12	3	0.64	~15	~13	有相对稳定子源, 不同的视速度, SLM中的减速等特点	35
					4	0.35	10.7	8.8		
					5?	0.21	6.4	5.3		
3C 390.3	1845+797	G	0.0569	4.45		0.74	1.9	1.9	CSS源	36
4C 73.18	1928+738	Q	0.302	3	A1-4	0.6	7.5	7.0	从一完全样本观测中发现, 多子源, mas和as喷流方向相似	37
4C 69.21	1642+690	Q	0.751	1.4		0.34	9.3	7.9		38
4C 58.17	0850+581	Q	1.322	1.39		0.12	5.1	3.9	完全样本中核-喷流	39
	0212+735	BL	2.367	2.2		0.09	6.0	3.9	完全样本观测发现	40
	1150+812	Q	1.25	1.18		0.13	5.3	4.1	同上	40
3C 216	0906+430	Q	0.669	1.81		0.11	2.7	2.4	CSS源, mas 喷流与大尺度轴垂直	41
3C 263	1137+060	Q	0.652	0.15		0.06	1.5	1.3	又一双瓣源的核中 SLM, 最弱	42
	1951+498	Q	0.466			~0.07	~1.3	~1.2	双瓣源的核	43
3C 245	1040+123	Q	1.029	1.45		0.11	3.9	3.1	最强的双瓣源核	44
4C 34.47	1721+343	Q	0.206	0.94		0.36	3.2	3.1	最大的双瓣 QSO, 有大尺度单边喷流	45
	0735+178	BL	0.424	2	NE	0.18	3.0	2.8		46
CTA 102	2230+114	Q	1.037	3.65		~0.65	~23	~18		47
OJ 287	0851+202	BL	0.306	2.61	SW 1-2	0.28	3.6	3.3		48
	2007+777	BL	.....	1.26		0.30	>1	>1		37

表2 可能的超光速源(待观测证实)

源名	IAU 编号	ID	Z	$S_s$	观测到的现象	$R_f$
3C111	0415+379	G	0.049	7.8	喷流的超光速消退	49
3C446	2223-052	Q	1.404	5	稳定双源中超光速增亮	50
	0235+164	Q	0.851	2.79	超光速流量变化	51
3C147	0538+498	Q	0.545	8.12	X射线短缺, 内部运动	52
3C371	1107+698	G	0.051	1	结构变化	53
OI318	0711+356	Q	1.62	1.52	延伸成分中结构变化?	54
OL564	1038+528A	Q	0.678	0.78	从核的抛射?	55
4C71.07	0836+710	Q	2.16	2.6	有 $\beta_{app} \approx 6.2$ 的报道, 致密子源呈双结构	37

表3 一些亚光速源

源名	IAU 编号	ID	Z	$S_s$ (Jy)	子源	角自行 $\mu$ (mas/yr)	视速度 $\beta_{app}$		注解	$R_f$
							$q_0=0.05$	$q_0=0.5$		
3C84	0316+413	G	0.0172	50		0.24	0.19	0.19	结构较复杂, 从北(核)南伸展推算	56
M87	1228+127	G	0.004	76		<0.3	<0.06	<0.06		57
NGC6251	1637+826	G	0.023	1		<0.3	<0.06	<0.32		58
PHL61	2134+004	Q	1.936	12		<0.01	<0.6	<0.4		59
OW637	2021+614	Q	0.2266	2.31		<0.06	<0.6	<0.6	致密双源, 但高分辨率观测为四子源在一直线上三子源	41
OI417	0710+439	G	0.517	1.67	A-C	<0.05	<1.0	<0.9		41
OC314	0108+388	EF	0.323	1.34				1		54
Cen A	1322-427	G	0.002	103.0						60
CTD93	1607+268	G		1.63				<1		61
Cyg A	1957+405	G	0.057							62

对表中所列的一些 SLS, 作一简要说明如下: 最早发现视超光速现象的 3C273 及 3C279, 通过近 10 年的 VLBI 网成图观测, 表明它们并非早期假设的简单双子源结构。对赤纬分别为  $2^\circ$  及  $-5^\circ$  的这两个源, 用北半球中纬度地区的射电望远镜网观测, 其南北分辨率较差, 因此近几年组织了包括巴西和南非的射电望远镜的全球 VLBI 网观测, 大大改善了南北方向分辨率。结果不仅发现了 3C273 中新的超光速运动子源 C5, C7a 及因核拉长而辨认出来的又一个新子源 C8, 而且发现了毫角秒喷流的非单向弯曲现象。发现 3C279 各子源不同的转折频率及子源 B2 的表现超光速运动比七十年代探测到的慢得多, 而 3C273 中子源 C5 的视速度比其他子源快得多。

3C345 是得到较好研究的 SLS, 1979 年到 1985 年的系统成图观测表明, 核的亮峰及子源

C3 对核的间距都是频率相依的;该源的不同子源并不总有相同的自行速度,而且对于源C4的监测表明,其速度的大小和方向都有明显的改变,例如1982年4月前后就观测到该节的明显加速现象,自行从0.07变到0.3 mas/yr<sup>[20]</sup>;此外发现C4相对核的位置角随时间变化,描出不通过核的准直线径迹,相继的节是否沿同样径迹向外运动,尚待进一步观测来回答。3C345也是第一个报道其子源在超光速运动的同时,也以视超光速( $\sim 3c$ )膨胀变大的SLS<sup>[20]</sup>。

3C454.3是一个强活动射电类星体,过去二十年发生了两次厘米波大爆发(1967年及1981年)。1981年大爆发之后的一系列VLBI成图观测表明,核区开始出现以视超光速向 $-95^\circ$ 的拉长<sup>[62]</sup>,更短波长的观测显示核区复杂的多子源结构,它们在同一方向角延伸,并作视超光速运动,从1982年1月到1983年8月推算出各子源的视速度分别达到 $5.5h^{-1}c$ ,  $15.4h^{-1}c$ 和 $22h^{-1}c$ (在 $q_0 = 0.05$ 的假设下),为当时所有已知SLS中的最高速。但1984年以后的观测,发现子源2,3相对于子源1(核)基本稳定,而子源4,5以较前为低的视超光速继续离核远去(减速),并在很快消退中<sup>[35]</sup>。这种特殊的结构演化特征,难以用整体相对论运动解释,可能意味着3C454.3是一类特殊的SLS。近来在3C111, 4C39.25及3C395的结构变化观测中,也发现类似的一些现象。

近几年可列出的SLS数量急剧增加,除了个别超光速候选源的搜寻和研究外,这和几个选源巡天发现SLS占相当大的比例有密切关系。例如Witzel及Eckart等对赤纬大于 $70^\circ$ ,流量大于1Jy的13个强源的巡天中,发现了1928+73, 1150+81及0212+73是SLS<sup>[37]</sup>,占样本的23%,如果加上两个可能的SLS(待证实)及4个因红移 $Z$ 未知、还暂时无法计算自行的源,竟占全部样本的69%! Pearson和Readhead对赤纬大于 $30^\circ$ 、银纬在 $\pm 10^\circ$ 以外、流量1.3Jy以上的河外源65个样本的巡天<sup>[41]</sup>,从45个成图观测的源中,发现已知的及新的SLS达8个,约占成图观测样本的18%,3C216, 0850+581及1642+690就是他们巡天中发现的SLS。Hough和Readhead从26个满足 $S_{1.78} > 10\text{Jy}$ ,  $\delta > 10^\circ$ ,  $|b| > 10^\circ$ 的双瓣射电源样本中,选择5GHz的核流量 $S_n > 75\text{mJy}$ 的6个源的子样本,进行Mk3 VLBI成图观测,发现了新的SLS: 3C263和3C245,占33%<sup>[44]</sup>。而Zensus和Porcas从Jodrell Bank 966MHz巡天的68个类星体中挑出满足 $S_{6.85} > 0.7\text{Jy}$ ,  $m_b < 19$ 及延伸结构 $> 10''$ 的30个,作为随机取向的类星体样本,进行VLBI观测以研究其中可能有的视超光速运动。为了用Mk3系统对弱核作成图观测,他们又集中研究了其中5个源的子样本,结果发现其中3个是SLS,除了早先发现的3C179外,3C263及1951+498也证实为SLS<sup>[43]</sup>,占该子样本集的60%。可见,视超光速运动是某些类型源中相当普遍的现象。随着选源巡天研究的进一步深入扩大,预期会有更多的源被列入SLS表。

此项工作得到国家自然科学基金委员会1860621号项目的资助,特此致谢。

### 附录一 常规使用于联网观测的射电望远镜和潜在的VLBI阵

这里用表1A及表2A分别列出七十年代末以来进行常规VLBI联网观测的欧洲网(EVN)和美国网(USN)所使用的射电望远镜<sup>‘63’</sup>,<sup>‘64’</sup>。表3A列出近年建造的苏联VLBI网所用天线。表4A列出将于1991年完成的美国专用VLBI阵——VLBA<sup>‘66’</sup>。所有天线的地理位置用经纬度表示,其负值分别表示东经和南纬。



表 1A 欧洲VLBI网——EVN

站 名	研 究 所	国 别	纬度(度)	经度(度)	天线直径(米)
Jodrell Bank	Manchester大学 Nuffield射电天文实验室	英	53.1	2.3	76,26×38
Nançay	Meudon, Paris天文台	法	47.3	-2.2	94(eq.) <sup>(1)</sup>
Westerbork	Dwingeloo射电天文台	荷	52.7	-6.6	25—93 <sup>(1)</sup>
Effelsberg	Max-Planck射电天文所	西德	50.3	-6.8	100
Wetzell	Munich技术大学/Bonn大学	西德	49.1	-12.9	20
Onsala	Goteborg, Chalmers技术大学	瑞典	57.2	-11.9	20,26
Medicima	Bologna射电天文所	意	44.5	-11.3	32
Noto	Bologna射电天文所	意	36.7	-12.8	32
Torun <sup>(2)</sup>	Nicolaus Copernicus大学	波兰	53.1	-18.6	15,32
Simeiz <sup>(2)</sup>	Moscow空间研究所	苏	44.5	-34.0	22
Hartebees- thoek <sup>(2)</sup>	NITR射电天文台	南非	-25.7	-27.7	25

表 2A 美国VLBI网——USN

站 名	所 属 研 究 所	纬度(度)	经度(度)	天线直径(米)
Arecibo	Arecibo 天文台	18.34	66.75	305(球面)
Haystack	Haystack 射电天文台	42.43	71.49	37
North Liberty	Iowa 大学天文与物理系	41.50	91.57	18
Owens Valley	Owens Valley射电天文台	37.21	118.28	40
Green Bank	NRAO (国立射电天文台)	38.25	79.84	43
Socorro	NRAO—VLA站	33.90	107.62	25—114.5 <sup>(3)</sup>
Fort Davis	Harvard 射电天文台	30.63	103.94	26
Hat Creek	California 大学天文系射电天文实验室	40.82	121.46	26
Maryland Point	海军研究实验室(NRL)射电天文部	38.82	77.02	26
Vermilion River	Illinois 大学	40.06	87.56	37
Goldstone	喷气推进实验室 (JPL)	35.43	116.88	64
Madrid <sup>(4)</sup>	DSN, NASA/JPL	40.45	4.37	64,26
Tidbinbilla <sup>(4)</sup>	DSN, NASA/JPL	-35.40	-148.98	64,26
Algonquin <sup>(4)</sup>	Algonquin 射电天文台(加)	45.96	78.07	45.7

表 1A/2A注:

- (1) 此为抛物带状天线的等效天线直径。
- (2) 此二系统为综合孔径阵连成同相阵使用,等效天线直径因所采用天线数  $n$  而定,其值为  $\sqrt{n}d_0$ ,  $d_0$  为一个天线直径。
- (3) 这几个天线不是相应网的正式成员,其中甚至包括南非及加拿大的天线,但可申请并安排用于VLBI网观测。
- (4) 此二站属于美国宇航局深空探测网,尽管它们分别位于西班牙和澳大利亚,仍将其收于USN表中。

表 3A 即将完成的苏联 VLBI 网<sup>(68)</sup>

站 名	纬度(度)	经度(度)	天线直径(米)	频 标	备 注
Simeiz	44	-34	22	H	1.35—18cm
Evpatoria	45	-33	70	H	1.35/18cm
Pushino	55	-38	22	H	1.35/18 cm
Bear Lake	56	-43	64	H	18cm
Samarkand	39	-66	70		正建造中
Ulan Ude	52	-107	25	Rb	18cm
Usuriisk	43	-132	70	H	1.35/18 cm

表 4A 正在进行的VLBA计划天线分布

地 点	代 号	纬度(度)	经度(度)	海拔(米)	可工作年月
Pie Town, NM	PT	34.30	108.12	2371	87/11
Kitt Peak, AZ	KP	31.96	111.61	1916	88/6
Los Alamos, NM	LA	35.78	106.25	1967	88/9
N. Liberty, IA	NL	41.77	91.57	241	83/12
Fort Davis, TX	FD	30.63	103.94	1615	87/5
Brewster, WA	BR	48.13	119.68	255	87/9
St. Croix VI	SC	17.76	64.58	15	91/3
Owens Valley, CA	OV	37.23	118.28	1204	90/6
Mauna Loa, HI	ML	19.58	155.49	2735	90/12
"New England"	NE				91/5

此外,澳大利亚计划建造的包括5个射电望远镜,基线长达1500公里南北向的长基线阵及中国正在进行的VLBI网等这里不一一列举。

## 参 考 文 献

- [1] Broten, N. W., et al., *Nature*, **215** (1967), 38.  
 [2] Bare, C., Clark, B. G., et al., *Science*, **157** (1967), 189.  
 [3] Whitney, A. R., et al., *Science*, **173** (1971), 225.  
 [4] Rees, M. J., *Nature*, **211** (1966), 468.  
 [5] Readhead, A. C. S. et al., *Astrophys. J.*, **223** (1978), 25.  
 [6] Cornwell, T. J. et al., *MNRAS*, **196** (1981), 1067.  
 [7] Schwab, F. R., 1980 Intern. Opt. Computing Conference, ed. by W. T. Rhodes, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Engrs*, **231** (1980), 18.

- [ 8 ] Porcas, R. W., *Superluminal Radio Sources, Proc. of A Workshop, California, 1986*, ed. by J. A. Zensus and T. J. Pearson, 12, Cambridge Univ. Press (1987).  
 Note: The proceedings is referred to as SRS(1987), hereinafter.
- [ 9 ] Moffet, A. T. and Readhead, A. C. S., in SRS(1987), 32.
- [10] Schilizzi, R. T., Lecture at Beijing Astronomical Observatory(1987).
- [11] Pearson, T. J. and Readhead, A. C. S., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **22** (1984), 97.
- [12] Unwin, S. C. and Davis, R. J., in Proc. IAU Symp. No. 129, (1988).
- [13] Bartel, N. et al., *Nature*, **319** (1986), 733.
- [14] Wilkinson, P., report in Session J2, XXII General Assembly of URSI, Aug., 1987.
- [15] Wu, S. Y., in preparation (1988).
- [16] Zensus, J. A., in SRS (1987), 26.
- [17] Browne, I. W. A., in SRS (1987), 129.
- [18] Unwin, S. C., in SRS (1987), 34.
- [19] Cornwell, T. J., in Proc. NRAO-VLA Workshop, Synthesis Mapping, ed. by A. R. Thompson et al., Green Bank: NRAO(1982), 13-1.
- [20] Biretta, J. A. et al., *Astrophys. J.*, **308** (1986), 93.
- [21] Narayan, R. and Nityananda, R., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **24** (1986), 127.
- [22] Cornwell, T. J., report in Session J6, XXII General Assembly of URSI, Sept., 1987.
- [23] Pearson, T. J. and Zensus, J. A., in SRS (1987), 1.
- [24] Impey, C., in SRS (1987), 233.
- [25] Cotton, W. D. et al., *Astrophys. J. Letters*, **228** (1979), L115.
- [26] Unwin, S. C. et al., *Astrophys. J.*, **289** (1987), 109.
- [27] Biretta, J. A. et al., *Astrophys. J. Letters*, **292** (1985), L5.
- [28] Walker, R. C. et al., in SRS (1987), 48.
- [29] Biretta, J. A. and Cohen, M. H., in SRS (1987), 40.
- [30] Porcas, R. W., *Mitt. Astron. Ges.*, **65** (1986), 95.
- [31] Marscher, A. P. and Broderick, J. J., *Astrophys. J.*, **290** (1985), 735.
- [32] Mutel, R. L. and Phillips, R. B., in SRS (1987), 60.
- [33] Shaffer, D. B. and Marscher, A. P., in SRS (1987), 67.
- [34] Simon, R. S. et al., in SRS (1987), 72.
- [35] Pauliny-Toth, I. I. K. et al., *Nature*, **328** (1987), 778.
- [36] Alef, W. et al., *Astron. Astrophys.*, **192** (1988), 53.
- [37] Witzel, A., in SRS (1987), 83.
- [38] Pearson, T. J. et al., *Astrophys. J. Letters*, **300** (1986), L25.
- [39] Barthel, P. D. et al., *Astrophys. J. Letters*, **310** (1986), L7.
- [40] Schalinski, C. J. et al., in Proc. IAU Symp. No. 121, p. 287, (1987).
- [41] Pearson, T. J. et al., in SRS (1987), 94.
- [42] Zensus, J. A. et al., *Nature*, **328** (1987), 36.
- [43] Zensus, J. A. and Porcas, R. W., in SRS (1987), 126.
- [44] Hough, D. H. and Readhead, A. C. S., in SRS (1987), 114.
- [45] Barthel, P. D., in SRS (1987), 148.
- [46] Bääth, L. B., in Proc. IAU Symp. No. 110, p. 127 (1984).
- [47] Bääth, L. B., in SRS (1987), 206.
- [48] Roberts, D. H. and Wardle, J. F. C., in SRS (1987), 193.

- [49] Götz, M. M. A. et al., *Astron. Astrophys.*, **176** (1987), 171.  
 [50] Brown, R. L. et al., *Astrophys. Letters*, **21** (1981), 105.  
 [51] Scheuer, P. A. G., *MNRAS*, **117** (1976), 1p.  
 [52] Preuss, E. et al., in *Proc. IAU Symp. No. 110*, p. 29, (1984).  
 [53] Lind, K. R., in *SRS* (1987), 180.  
 [54] Readhead, A. C. S. et al., in *Proc. IAU Symp. No. 110*, p. 131, (1984).  
 [55] Marcaide, J. M. et al., *Astron. Astrophys.*, **142** (1985), 71.  
 [56] Backer, D. C., in *SRS*, 76, (1987).  
 [57] Schmitt, J. H. M. M. and Reid, J. M., *Astrophys. J.*, **289** (1985), 120.  
 [58] Jones, D. L., in *SRS* (1987), 162.  
 [59] Pauliny-Toth, I. I. K. et al., in *Proc. IAU Symp. No. 110*, 149, (1984).  
 [60] Preston, R. A. et al., in *Proc. IAU Symp. No. 97*, p. 67, (1984).  
 [61] Hodges, M. W. and Mutel, R. L., in *SRS* (1987), 168.  
 [62] Linfield, R., *Astrophys. J.*, **295** (1985), 463.  
 [63] ESA SCI(85)5: QUASAT A SPACE VLBI SATELLITE, ASSESSMENT STUDY (1985), 34/36.  
 [64] Backer, D. C. (ed.), *USA VLBI Network Handbook* (1981).  
 [65] Romney, J. D., in *Proc. IAU Symp. No. 129*, p. 461, (1988).

(责任编辑 林一梅)

## VLBI and Superluminal Sources

### (I) Observational Means and Results

Wu Shengyin

(Beijing Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences)

Zhu Hanshu

(Purple Mountain Observatory, Academia Sinica)

### Abstract

The structural variations and superluminal motion within some QSSs and AGNs are considered as one of the most important astrophysical phenomena revealed by VLBI. Since 1971, the observational data of the superluminal sources have been accumulated in large amounts. More than 25 superluminal sources have been confirmed so far. More extensive projects are underway to monitor and search for this kind of sources.

The paper overviews the status of observing the superluminals in both observational means and results. Lists of confirmed and possible SLSs are given in the last section of the paper. Existing and potential radio telescopes for VLBI observations are listed and appended to the paper as well.

The generally observed characteristics of SLS and some commonly accepted theoretical explanations will be outlined in next paper under the same title.