

致密射电核*

吴 盛 殷

(中国科学院北京天文台 北京 100080)

摘 要

活动星系核 (AGN) 的多波段观测和研究, 早已成为天体物理学最热门的前沿之一。在射电天文学中, 按其观测形态又常将 AGN 和致密射电核 (CRC) 等同看待。对 AGN 及 CRC 的含义、分类、总的频谱特征、射电结构和射电性质、模型研究及 VLBI 的重要作用、最新的观测结果、问题和前景作一评述。评述中将侧重于用射电天文手段观测研究 CRC 的结果。

关键词 星系: 活动星系 — 星系: 核 — 星系: 星暴星系 — 星系: 赛佛特星系 — 星系: 致密星系 — 技术: 干涉测量

1 引 言

VLBI 观测已经对天体物理学的发展作出很多贡献, 例如检验广义相对论, 直接测量天文距离, 观测天体脉泽源的空间及速度分布, 以及活动星系核的观测等。

河外天体物理的突出问题之一, 是探索 and 了解一些河外天体和银河系核在整个电磁频谱所显示激烈活动的能量源泉。因而, 在过去 20 余年里, 对 AGN 的观测和研究, 一直是最活跃的天体物理前沿之一。80 年代以来, 随着 VLBI 技术的成熟和发展, VLBI 已经成为迄今唯一能提供亚毫角秒分辨率的成像观测设施, 而对仅占 AGN 中约 10% 的射电 AGN 的观测研究, 成为 VLBI 天体物理的重点和核心。

长期以来, 人们习惯于按射电天文观测设备的分辨率, 将射电源区分为致密或延展的。而射电 AGN 的活动常表现在两个截然不同的物理尺度上——致密射电源和延展射电源。所谓致密射电核 (CRC) 是, 假设它与 AGN 相符, 可用 VLBI 分辨的 CRC 通常呈现“核一喷流”结构, 即显现喷流状特征和其一端的未能分解的亮斑; 所谓延展结构, 通常呈喷流状或双瓣形态, 其线性尺度在 3kpc 到 5Mpc 范围。

大多数星系都有核, 但仅有约 10% 的星系有活动核^[1]。核活动的主要标志是, 除了通常包含在其组成恒星中的热核能之外, 还有其他巨大能源。AGN 的活动性主要表

* 国家自然科学基金资助项目

1993 年 12 月 17 日收到

现在:

- (1) 高光度或巨大的能量输出, 其光度 L 在 10^{38} 到 $10^{48} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ 的范围;
- (2) 非热辐射性质, 存在 UV、IR、X 射线及射电辐射超 (excess of);
- (3) 呈现流量密度、偏振、频谱及结构的可变性, 变化时间尺度从数年到数小时不等;
- (4) 显现类似爆发等剧烈释能过程产生的形态, 如喷射、喷流、亮桥、热斑和激波波前等;
- (5) 由膨胀、抛射等现象反映出重力不稳定性;
- (6) 有宽发射线等非恒星频谱的特征。

约只有 10% 的星系有活动核, 而其中又仅有 10% 的 AGN 是射电 AGN 或 CRC。AGN 产生的能量几乎与其他所有星系所产生能量的总和一样多, 因此长期以来它们自然地受到天文学各分支学科工作者的密切关注, VLBI 在射电天文中的产生和发展, 更开辟了更多类型、更远和更细致探测 AGN 的途径。

2 AGN 的观测分类

基于多波段对 AGN 的观测, AGN 的下述分类常出现在一般文献中 [2]:

- (1) 类星体 (QSO), 其中又有因可与光学光度相比的射电光度, 而称之为射电类星体 (QSR) 的一子类;
- (2) 射电宁静类星体 (RQQ), 和射电类星体的区别, 由 5GHz 谱功率 $P_5 = 10^{24.7} \text{WHz}^{-1}$ 作分界线;
- (3) 射电星系 (RG), 其中又有强射电星系和弱射电星系之分, 判据是看 1.4GHz 的谱功率大于或小于 $P_{1.4} = 10^{25} \text{WHz}^{-1}$;
- (4) Seyfert 星系, 指有明亮核, 其光学光度大体等于或小于一个一等椭圆星系的星系, 其中又有 Seyfert 1 和 Seyfert 2 星系之分, 看其有无宽发射线;
- (5) N 星系常显现出为一恒星状的核主导的弱星云状图像;
- (6) Blazars, 有强的、高偏振的、变化剧烈的非恒星连续谱, 一般都是强射电源, 但发射线暗弱或观测不到, 又有蝎虎 (BL Lac) 天体、光学激变类星体 (OVVs)、高偏振类星体 (HPQ) 以及视超光速射电源 (SLS) 之分;
- (7) 星暴星系 (SBG), 是有明显的正在经历恒星形成的爆发的局部区域的“正常”星系, 此类星系通常是强红外源;
- (8) 低电离核发射区 (LINERs), 其特征是窄的低激化容许谱线和禁线;
- (9) 核 H II 区 (NH II);
- (10) 强 IRAS 星系。

3 AGN 的总谱特征

在着重介绍 CRC 的射电观测性质之前, 对 AGN 从射电到 γ 射线的总谱特征作概

述是有意义的。频谱能量分布 $F(\nu)$ 通常用“幂律”表示：

$$F(\nu) \propto \nu^{-\alpha}$$

可是，许多作者建议对数高斯成分将更好地拟合多波段观测数据。因此用 $\nu F(\nu)$ 而不是 $F(\nu)$ 来表示频谱通常较方便， $\nu F(\nu)$ 正好是在频率 ν 附近每单位 $\log \nu$ 发射的能量的一个测度^[1]。再考虑到常遇到的大范围尺度问题，AGN 的总谱特征一般都画在 $\log(\nu F(\nu)) - \log \nu$ 的坐标系中。

图 1 表示坦谱射电类星体 (FSQ) 3C273(由图中圆点及竖线段表示，后者表变化的情况) 及陡谱射电类星体 (SSQ) 3C351(由实三角形代表，空心三角形仅指核) 的总谱特征。图 2 为 Seyfert 1 星系 NGC 4151 (点) 及 Seyfert 2 星系 NGC 1068(实三角形) 的总谱特征^[2]。图 3 则是 BL Lac 天体 OJ 287 及射电宁静类星体 I Zw 1(实三角形) 的总谱特征。

这些例子说明，AGN 的总谱特征显示一定程度粗略的一致，多数能量在红外波段，也常在 X 射线及紫外波段发射，而在 $100\mu\text{m}$ 及射电波长间，谱流量陡峭地或急剧地下降。但是从这几个例子中也可看出坦谱射电类星体、陡谱射电类星体、Seyfert 1 和 BL Lac 的频谱间存在差异，表现在如下几个方面。

(1) 在某些情况下，如射电宁静类星体及星暴星系，远红外到射电频段的下降，看来比各向同性分布的相对论电子产生的同步加速自吸收所对应的谱 $F(\nu) \propto \nu^{2.5}$ 还要陡。对星暴星系来说，这样陡的谱，可能由大量被新近形成的重恒星加热的冷尘埃 ($< 100\text{K}$) 远红外发射所致。

(2) 对坦谱射电类星体和 BL Lac 源来说，射电频谱较平滑缓慢地过渡到红外谱。

(3) 在陡谱射电类星体、射电星系、Seyfert 1 及射电宁静类星体中，如果只计及核的射电流量，射电—红外谱显示不连续，在 $10-3000\text{GHz}$ 间， $F(\nu)$ 增加了 $20-1000$ 倍，这可能是上述几类 AGN 中尘埃的红外发射所致。

(4) 在 X 射线频段，射电类星体一般强于射电星系，Seyfert 1 则强于 Seyfert 2。限于篇幅，各类 AGN 总频谱的细节不拟讨论。

4 致密射电核的结构和性质

射电干涉仪，特别是 VLBI 对射电 AGN 或 CRC 的观测和研究，提供了远超过其他

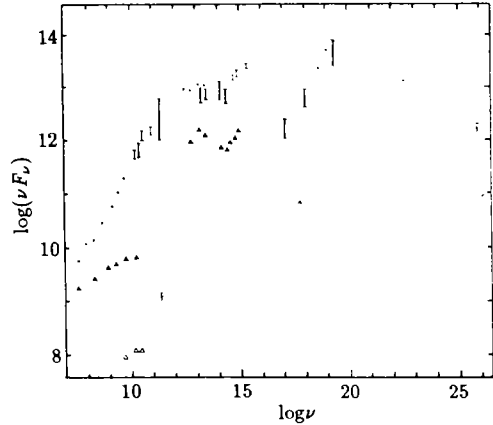


图 1 坦谱射电类星体 3C273(点及垂线) 和陡谱射电类星体 3C351(实三角形及空心三角形，后者仅指核) 的总频谱^[2]

频段望远镜可分辨的大量细节,加深了人们对 CRC 的认识。本节着重介绍对 CRC 的射电观测所得到的形态及其他性质。

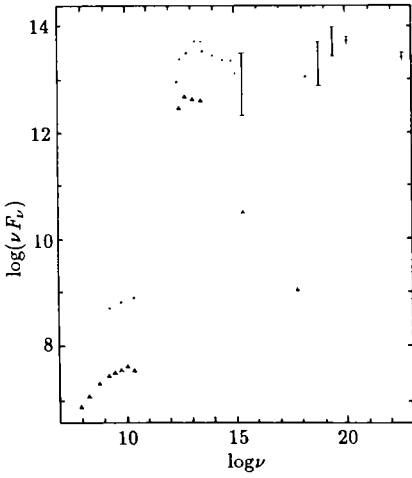


图 2 Seyfert 1 星系 NGC 4151(点、垂线及上限)及 Seyfert 2 星系 NGC 1068(三角形)的总频谱,纵标度用于 NGC 4151,对 NGC 1068 纵标度数值应增为 3.4 倍^[2]

用来估计星系的最短寿命。因为,如果认为观测到双瓣射电源时,其核是活动的,那么,有理由认为活动性至少持续了从核到射电瓣外沿的光行时间。

(5) 偏振高分辨图像使我们有可能确定磁场在源和 CRC 中的空间分布。

(6) 在整个红移范围观测研究 CRC,使我们可以研究源结构和其他性质在宇宙中的演化。例如,在通常宇宙论假设下, $z > 4$ 表示回溯到宇宙年龄的 75% 以上。

4.2 CRC 的基本形态^[1,2]

CRC 一般可变且有坦谱,新的子源看来常从核向外喷射,其光学活动性和射电功率有弱相关。VLBI 观测到的 CRC 通常显示类喷流特性并呈核—喷流结构。延展结构的形态也与射电功率成弱相关,射电光度 $L_R \geq 10^{42} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ 的源有 100—300kpc 的典型大小,而且是“邻边增亮”(或 FR II 型)的;相反,较弱的源一般更复杂,呈“边缘减暗”型,其延展尺度可能超过约 5Mpc。延展结构通常光学薄有陡谱, $\alpha \approx 0.5—1$, 有较小的“热斑”——即强射电发射区,其谱指数 $\alpha \leq 0.5$, 约 10% 的热斑还伴有光学发射。

4.1 可观测量及相关联的物理信息

(1) 突出的发射线及某些情况(如 BL Lac 源)的吸收线观测,往往用于确定产生这些谱线的星系近核区的红移和距离,并据此推算光度、视星等到绝对星等的转换;谱线的展宽及高分辨率观测下的红蓝移,又提供了该发射区动力学及运动学信息。

(2) 观测到的 CRC 连续谱发射的快速变化,常用来确定发射区大小的上限,即相干源不可能大于 $c\tau_\nu$, 这里 τ_ν 是变化的时间尺度。

(3) 喷流和相联系现象,如从 pc 到 Mpc 尺度的准直或“方向记忆”的出现,最小及最大尺度喷流的线性吻合,喷流中观测到分离的节及热斑等,对 CRC 或中央“发动机”的任何模型,都有深刻的影响。

(4) 对 CRC 外围延展结构的观测,也可以

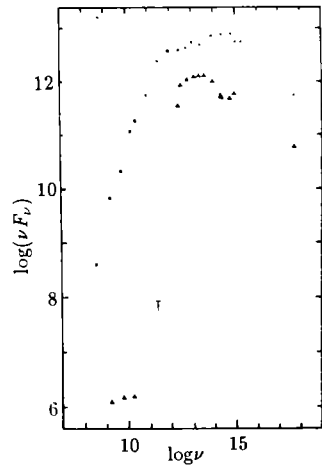


图 3 BL Lac 源 OJ287(点)及射电宁静类星体 I Zw 1(三角形及上限)的总频谱。对 I Zw 1 纵标数值应增加 1 倍^[2]

在过去 15 年里,已经在射电星系和类星体中,发现了数百个喷流。在弱源(即 $P_{1.4} < 10^{23.3} \text{WHz}$) 中喷流相当普遍(高达 80% 的弱源中找到),且一般是双边的。在 Seyfert 星系中,喷流暗弱,被扭曲、延伸仅数 kpc。在中等强度源中,喷流一般呈单边形态,或者说喷流和反喷流显示强反差,其喷流比弱源中的喷流更直并有更好的准直性。强源中情况似乎是混杂的,在强射电星系中难以找到喷流,而单边喷流在类星体中(约 40%—70% 的低红移射电类星体中)又十分常见。

存在明显的证据表明喷流和周围介质的相互作用,例如,在邻近射电星系中,有很高比例的喷流被低亮度的茧状物包围;射电星系的射电瓣中常显现“热斑”和碗状终端;在很多喷流中出现弯曲和扭折;所谓“头尾”星系表示了在喷流导引“头”处出现强碗状激波的明显证据。

喷流的偏振图像已经揭示出,在强弱射电源的喷流中磁场指向的重要形态差别。在强射电源中, \bar{B} 平行于喷流轴;在弱射电源中, \bar{B} 一般垂直于轴,但处于平行喷流壁的一薄表皮内,靠近核处,磁场又平行于喷流方向。一般说,磁场看来总是在可与喷流宽度相比的尺度上变得有序。

4.3 CRC 的射电谱^[3]

CRC 的射电谱多是坦谱或多峰谱,可用多个不相干、均匀膨胀的相对论电子云同步加速辐射谱的叠加来拟合,并受到同步加速自吸收和逆康普顿效应的约束。因而,射电谱随云团的膨胀或爆发的过程而演化,并存在演化中的截止频率或反转频率,逆康普顿冷却决定了 CRC 的亮温度 ($< 10^{12} \text{K}$) 和角尺度上限。

4.4 流量密度的变化

CRC 的流量变化从百分之几到百分之百不等,变化的时间尺度从数小时、数天乃至数年不同。最快和最激烈的变化发生在 BL Lac 天体或 Blazar 中。除了最快的变化外^[4],一般可用相对论粒子的膨胀云及其叠加来解释。开始时,它保持光学厚一直到较短波长,此后,随云团膨胀渐次在愈来愈长的波长变为光学薄。在一定演化阶段,光学厚区流量随时间增加,直到反转频率降低并通过该特定频率,而光学薄区流量则降低,直到另一个膨胀云由高频向低频演化。从流量变化的时间尺度,往往推出一些源(如剧变源、Blazars 及 LFV 等)将有远远超过逆康普顿限制的亮温度^[5]。如果认为流量变化是 CRC 的内禀性质,则必须求助于不相干辐射的相对论多普勒增强(relativistic Doppler boosting)或相干辐射过程来解释。

4.5 偏振^[3]

CRC 的射电偏振度的观测值远远低于均匀磁场和电子能量幂律分布假设下的预期值,且存在无内禀法拉第旋转的观测证据。这可能是由于磁场 \bar{B} 的无序性和星系际介质对法拉第旋转的调制作用,也意味着 CRC 中相对论电子数远大于冷电子数,高能相对论电子数远高于幂律分布预期值,或低能相对论电子数远低于该预期值的物理条件。

4.6 结构变化和视超光速运动^[6,7]

观测到在 CRC 的近核喷流中,存在陡谱亮度增强区(即“blobs”或“节”),离开坦谱“核”的系统角位移。当这种角位移在一定的宇宙模型下换算为线运动或横向运动,而又超过真空中的光速 c 时,称为视超光速运动(SLM)。迄今至少已发现并报道了近 40

个视超光速源 (SLS)，其中视超光速运动的速度范围在 $1.3 - 15c$ 之间。约 80% 得到多年观测研究的强 CRC 都包括在视超光速源表中，说明相当大比例的强 CRC 是视超光速源，对延伸射电结构的样本巡天和监测 [8,9]，也找到相当比例的视超光速源。可见视超光速运动是河外射电源中一种广泛存在的现象，此现象本身还强烈暗示着，存在发射物质的某种相对论整体运动。

视超光速效应一般解释为，在中央“发动机”被准直，并加速到具有体 Lorentz 因子 γ 的相对论喷流，沿与视线成 $\sim 1/\gamma$ 的方向运动，产生的表观横向速度 γc 和大约 γ^3 量级的多普勒增强的综合效应。由于逼近观测者的喷流成分明显增强，预期在最亮的源中，视超光速运动现象将是相当普遍的，这与观测结果吻合。相对论喷流假设或模型非常吸引人并得到较广泛接受的原因还在于，除了解释视超光速现象外，它还可以解释诸如喷流的单边性、X 射线发射低于预期值、喷流近核处的弯曲，乃至近核处的加速或减速等各种观测到的现象。在所谓“统一模式” (unified scheme) 中，几乎所有观测到的 CRC 的不同现象都归结为视角的不同 [10]。

4.7 CRC 的“核”本身和母星系

“核”本身的物理起源仍不清楚。观测到的核可能仅代表靠近喷流底部的、准直过程中的光学厚“喷嘴” (nozzle)。准直后并呈锥形的喷流很可能包含激波，激波引起连续谱爆发，很可能开始于喷流底部的 X 射线和光学发射，并随着磁场强度和粒子能量的下降，向红外、毫米波及射电波段过渡。一些观测证据表明，向射电波段的过渡可能发生在 $\ll 1 \text{ pc}$ ，例如 $\sim 10^{-3} \text{ pc}$ 的尺度范围内 (例如对 3C120 的观测 [3])。观测到的“核”的结构和频谱，实际上包含了喷流的形成和准直、喷流中相对论粒子的加速等丰富信息，但目前“核”本身的信息还不能单独分离出来，“核”的图像常淹没在从其母核中新产生的节的图像中。

早先，对活动性物理的研究几乎完全集中于核内的能量过程，而基本脱离对其母星系的研究，把母星系的作用简单归结为驱动 AGN 中央“发动机”某种“燃料”库的作用。直到最近几年，侧重点才有了转移，母星系总体现象及其在启动和激发活动性中的作用，得到日益广泛的关注。事实上母星系和 CRC 活动性的联系是不容忽视的 [1]，例如：

(1) 一般说，Seyfert 核可在早型旋涡星系中找到 (80% 在 $S_a - S_{bc}$ 星系中)；弱射电星系可在较不亮的椭圆星系，强射电星系则可在 $M_v = -23.3 \pm 0.7$ 的大而亮的椭圆星系中找到；类星体和射电类星体的母星系结构类型还不清楚，因为目前观测灵敏度和动态范围的限制，无法对其母星系分辨并成像，通常假设类星体在旋涡星系中，射电类星体在椭圆星系中形成。

(2) 特别是，与正常星系相比较，在强射电星系中，核外结构色更蓝，有更高的表面亮度和强的发射线以及较低的光学光度。

(3) 实际上，用深度成像观测研究过的所有 $z \leq 0.5$ 的类星体都可分解，且被延长的星状物包围。而延展的陡谱源被有平坦偏蓝连续谱的星云状物包围并有强发射线，相反，包围致密坦谱源的是红连续谱星云状物质，有弱的或根本没有发射线。

(4) 在对 74 个 AGN 样本研究中，发现射电 AGN 或 CRC 所处的星云状物 (星系) 比含有射电宁静 AGN 的星云状物更亮。其中约 1/3 看来是在相互作用系统中，约 1/4

位于小的星系群或团中，约 40% 显示有旋涡结构的某种迹象。

(5) 对晚型星系、Seyfert 星系、类星体及射电星系的远红外 (FIR) 与射电光度相关性的最新分析表明，这种相关性或远红外—射电图也许是区别母星系类型的有力手段。射电宁静类星体、正常恒星形成星系及特亮的红外星系显示同样的相关；而强射电类星体和射电星系则有不同于前者的相关。后者也许与 AGN 相联系，而前者的发射也许来自恒星形成母星系而不是 AGN。

现在还不清楚，强射电和射电宁静天体的射电及光学性质的差别纯粹是其母星系结构的反映呢，还是产生母星系大尺度结构的过程同时影响了核中的活动？愈来愈多的证据还表明，AGN 母星系的结构扭曲和星系间的相互作用。有人甚至提出椭圆星系是星系相互作用的结果。

5 CRC 的模型及统一模式

基于对 CRC 的一系列观测，特别是 VLBI 观测到的现象，例如存在相对论物质喷流、喷流的不对称性，喷流从亚秒差距到成百上千秒差距尺度上的准直或方向性“记忆”、X 射线辐射弱于逆康普顿效应预期水平、流量密度的短时标变化等，曾提出和发展了不少模型。限于篇幅，这里只能简单介绍其中得到广泛接受的所谓“标准模型”，此模型如图 4 所示 [11]，它有下列主要特征：由相对论喷流馈能的两大各向同性辐射的射电瓣分跨于核的两侧，喷流本身则因相对论多普勒效应而产生高度各向异性的射电到 γ 射线发射，一个旋转的特大质量黑洞 (supermassive black hole, $10^8-10 M_{\odot}$) 和与之相联系的吸积盘，使喷流准直并作为活动性能源，使喷流物质沿黑洞和吸积盘旋转轴方向，以相对论速度 ($\sim c$) 自黑洞周围的相对论深势阱中逃逸，与喷流垂直并围绕黑洞旋转的吸积盘，向黑洞吸积该星系或被俘获的客星系的气体和恒星。视线和源轴小于 $1/\gamma$ 的观测者，将看到核区的强各向异性 (集束) 的发射，当视线与轴夹角大于 $1/\gamma$ 时，主要看到瓣的各向同性辐射。

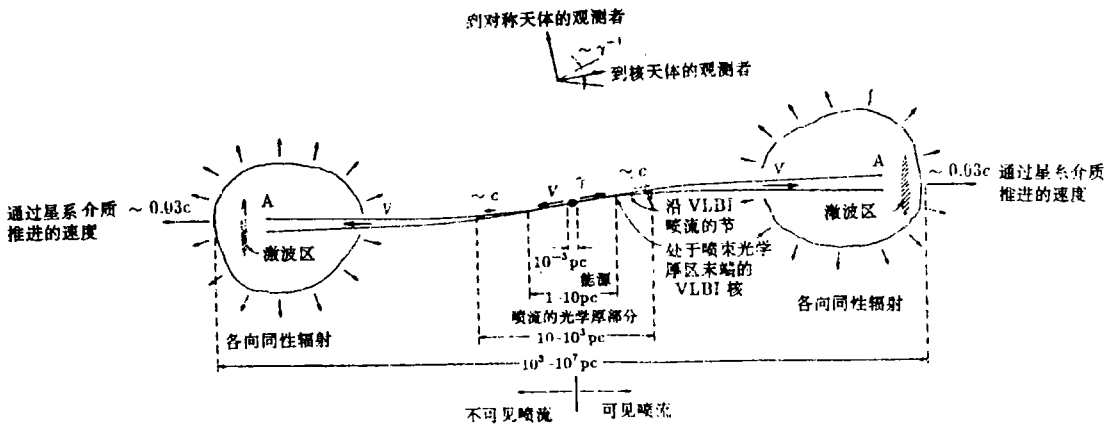


图 4 强河外射电源的“标准模型”示意 [11]

同性发射。厚吸积盘的掩食，进一步增强了这种指向性效应。后面述及的“统一理论”正是立足于这些效应。关于喷流形成和加速的更多细节，可参看文献 [12, 13, 14]。

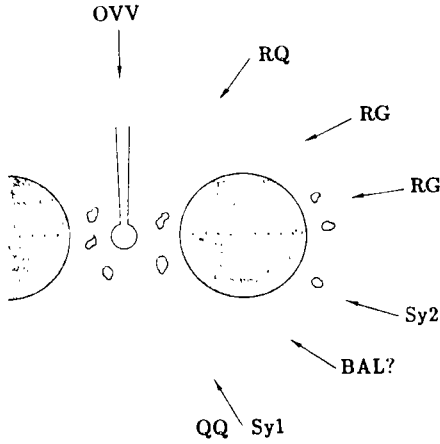


图 5 AGN 的一个统一模型 [2]

所有这些统一模式，现在看来都在一定程度上是正确的（参看文献 [10,16,17,18,19]）。图 5^[2] 是 AGN 的一个统一模型示意图，半径为数秒差距的吸收锚环 (absorbing torus) 围绕辐射核，环内是宽线区 (BLR) 的快动云，环外是窄线区 (NLR) 的慢动云，上方为相对论喷流 (下方无)，对基本朝向喷流的观测者，将看到快变的 OVV 及 BL Lacs，随着偏离喷流轴角度增大，将依次看到射电类星体、射电星系、Seyfert 2、宽吸收线类星体 (BAL)、Seyfert 1 和射电宁静类星体。但是情况仍是复杂的，例如，尽管某些射电强类星体在 $\theta \gg 1/\gamma$ 时会表现为射电宁静类星体，但也确实存在一类真正的射电宁静类星体，与指向性无关^[20]。另外虽然我们知道当 $\theta < 1/\gamma$ 时，某些射电星系看起来像类星体，但并非对所有射电星系都这样^[21]。

近几年来，也作出了不少努力试图将所有的核活动性纳入某个框架，这就是“大统一理论” (grand unified theories)，可参看文献 [22, 23]。

6 某些新结果和展望

6.1 VLBI 快拍成像观测的应用和大样本 CRC 研究的实现

用 14—20 个望远镜组成的 VLBI 阵对每个源作 $3 \times 20\text{min}$ 典型的短时采样观测，并结合应用新的、强有力的成图软件，就可实现对大样本 CRC 的 VLBI 快拍成像，效率较常规 VLBI 成像提高了近 30 倍^[24]。

已经和正在进行的快拍成像大样本研究包括：“Pearson—Readhead” 65 个样本源，符合条件 $S_5 > 1.3\text{Jy}$, $\delta > 35^\circ$; Caltech—Jodrell 1 (CJ1) 的 135 个样本源，符合条件 $1.3\text{Jy} \geq S_5 > 0.7\text{Jy}$, $\delta > 35^\circ$; 以及 Caltech—Jodrell 2 (CJ2) 的 500 个坦谱源，符合条

正是 VLBI 观测发现高方向性相对论喷流在离核小于 0.01pc 的尺度上^[15]，为旋转黑洞的存在提供了最好的旁证。VLBI 观测也为指向性效应的强度和重要性，首次提供了最有说服力的证据，并由此提出和发展了一些“统一理论” (unified theories)，试图统一两类活动星系核，即建立两类观测源的不同表象与喷流相对视线不同指向间的联系，譬如曾试图建立下列不同的两类源间的统一：

- (1) 延展陡谱源与致密坦谱源；
- (2) 射电星系和类星体；
- (3) 射电宁静类星体与强射电类星体；
- (4) Seyfert 1 和 Seyfert 2 星系。

件 $\alpha < 0.5$, $0.3 \text{ Jy} \leq S_5 < 0.7 \text{ Jy}$ 及 $\delta > 35^\circ$ 等。

头两大样本巡天的初步结果表明, 有约 75% 的样本源是致密坦谱核主导的不对称喷流源, 约 20% 是有不对称喷流的致密陡谱源, 还有约 5% 是非常规源。

大样本成像观测提供了对 CRC 或 AGN 进行统计研究的基础, 例如给出宇宙论及宇宙演化信息的 $\mu-z$ 图^[25]、对宇宙模型中减速参数进行估计的 $\theta-z$ 图^[26]、以及给出视超光速源表现速度和谱功率关系的 $\beta_{\text{app}}-P_{10}$ 图^[27] 等研究, 都要在大样本观测的基础上进行。

6.2 致密对称源 (CSO) 的发现

自 1984 年发现第一个 CSO(0710+439) 以来, 又从样本中发现了约占 5%、包括 2352+495 的 CSO。其主要特征是射电结构对称分布在活动中心两侧, 射电发射不具强集束特征, 典型射电结构的延伸仅数百秒差距, 高射电频谱陡峭, 低偏振及弱可变。它们可能是年轻的 FR II 源的先兆, 是“受挫的喷流”(frustrated jets), 或者是典型寿命仅约 3000 年的短寿天体。多频观测及有关功率、能量、同步加速辐射损失时间尺度等的分析, 显示了支持第三种可能解释的证据^[28]。

6.3 偏振 VLBI 成像

VLBI 成像观测在 80 年代的一个重要发展是实现了偏振成像。对 CRC 的 VLBI 成像发现, 多数类星体磁场平行于核区喷流的轴, 而 BL Lac 天体中磁场却一般垂直于轴; BL Lac 天体有强偏振核, 而射电星系和类星体则没有。差别可能是有无稠密的发射线区, 类星体中的这种稠密区使核的发射解偏, 并引起剪切产生观测到的平行磁场^[29]。另一种可能是高相对论喷流与视线方向的夹角是 $\theta > 1/\gamma$ (射电类星体) 还是 $\theta < 1/\gamma$ (对 BL Lacs) 的差异。在与喷流轴成小角度时, 核受到的屏蔽、相对论光行差效应、结合从核中光厚辐射到喷流中(视角 $\theta > 1/\gamma$) 光学薄发射的过渡, 看来可以解释磁场的大小和方向表现上的差别。

6.4 发现更多 CRC 模型及统一模式的观测证据^[30,31,32]

Seyfert 1 星系和 Seyfert 2 星系的密切关系, 即 Seyfert 1 星系因吸积盘掩食而显示典型的 Seyfert 2 观测特征, 已通过对所谓原型 Seyfert 2 星系 NGC 1068 的观测得到证明^[33]。相反, NGC 3271 如无吸积盘掩食, 其红外及电离光度都会亮到足以将它计入 Seyfert 1, 但在散射的偏振红外光中, 绝无宽线成分的迹象, 因此它可能是“真正”的 Seyfert 2 星系。

高分辨率的毫米波及红外观测提供了最直接的证据, 表明在一些新形成的、很年轻的恒星, 如 HL Tauri 及 T Tauri 的周围, 看到了气体盘。红外、紫外及光学发射线光谱观测以及光学偏振图像也表明, 如中性氧及单电离硫等谱线, 只出现蓝移而无红移翼, 暗示着只看到从中央区朝向观测者的物质流, 反向退离的物质流可能被倾斜的拱星气体盘所遮挡, 这也从另一侧面证明拱星气体盘的存在。

在像 U Gem 那样的激变变星中观测到另一类型气体盘, 这类变星由小质量的红星绕一白矮星运动构成, 体积比其伴星大得多的红星的部分物质被白矮星拉出, 形成朝向白矮星的细物质流和因角动量守恒而围绕白矮星快速旋转的吸积盘。

类似的情况也存在于一些 X 射线双星中, 如 Her X-1 和 Sco X-1 中, 不过上述白

矮星被更致密的中子星或黑洞所代替。X 射线双星中的吸积盘释放大量落入气体的能量(远大于恒星内的核反应能)。这些能量又必须在很小范围内辐射,所以吸积盘变得如恒星内部那样热,发射的大部分功率都在 X 射线波段。

恒星中观测到的气体盘和吸积盘,不是暗示着在类星体和星系尺度上,黑洞和吸积盘模型或假设的合理性吗?而且无论是从年轻恒星还是从激变变星观测到的盘,都的确是垂直于其光学喷流的,与我们所熟知的 AGN 标准模型假设一致。实际上,从室女座星系团中的 Seyfert 星系 NGC 4261 也找到了吸积盘垂直于喷流的间接证据,尽管目前并没有一种观测手段可直接观测和分辨 AGN 中的吸积盘,但从 NGC 4261 的射电和光学组合图像中,不仅清楚看到从核伸出达 88k 光年的射电喷流,也从 HST 拍到的该星系图像中,看到围绕其中心(黑洞),宽 400 光年,而且垂直于南北向喷流的尘埃盘^[34]。此外,从 NGC 6240 的 $H\alpha$ 谱线数据,推算出存在一个略偏离其中心的、质量约为 $10^{11} M_{\odot}$ 的致密天体,它可能是迄今已探测到的最大黑洞^[35]。

6.5 宇宙距离的直接测量与 CRC 研究

VLBI 对天体测量的最重要贡献之一,是通过 H_2O 脉泽源的自行测量,直接得到银河系内一些 H_2O 脉泽源的距离^[36]。由此得到了银心的统计平均距离 R_0 ,对银河系及河外天体的距离尺度都有重要影响。当这种直接测量用到某些邻近星系时^[37],因线性尺度与距离直接相关,对 CRC 尺度、物理环境、变化等的研究必将产生重要影响。

新的观测设施,如 VLBA、JIVE (Joint Institute for VLBI in Europe, 欧洲 VLBI 联合研究所)、AT (Australia Telescope, 澳大利亚望远镜)及 APT (Asia — Pacific Telescope, 亚太望远镜)等地面设施的建成或组成,以及空间观测措施 ROSAT (伦琴射线观测卫星)、CGRO (康普顿 γ 射线天文台)、HST (哈勃空间望远镜)、ASCA (先进宇宙和天体物理学卫星)、AXAF (先进 X 射线天体物理设施)、ISO (红外空间天文台)、SIRTF (空间红外望远镜系统)、VSOP (日本 VLBI 空间天文台计划)和 RADIOASTRON (俄空间 VLBI 轨道天线)等的先后建成和投入使用;加上在 VLBI 观测中,日益广泛采用快拍成像、相位基准、多频综合和偏振测量等新技术,必将给 AGN 和 CRC 的观测和研究带来有意义的成果和一些突破。

致谢 本文的初稿是 1993 年秋短期访问日本野边山射电天文台 (NRO) 时准备的,感谢他们的邀请和该台图书馆所提供的丰富参考资料。

参 考 文 献

- [1] Perry J J. In: Activities in galaxies. [s.l.]: [s.n.], 1993.25
- [2] Woltjer L. In: Courvoisier T J-L, Mayor M eds. Active galactic nuclei. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 1
- [3] Kellermann K I, Owen F N. In: Verschuur G L, Kellermann K I eds. Galactic and extragalactic radio astronomy. New York: Springer Verlag, 1988. 563
- [4] Witzel A, Wagner S, Wegner R *et al.* In: Davis R J, Booth R S eds. Sub-arcsecond radio astronomy. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993. 159
- [5] Kellermann K I, Pauliny-Toth I I K. *Ap. J. Lett.*, 1969, 115: L71

- [6] 吴盛殷, 朱含枢. 天文学进展, 1988, 6: 295
- [7] 吴盛殷, 朱含枢. 天文学进展, 1988, 6: 307
- [8] Zensus J A, Porcas R W. In: Zensus J A, Pearson T J eds. Superluminal radio sources. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987. 126
- [9] Hough D H, Readhead A C. A. J., 1989, 98: 1208
- [10] Barthel P D. Ap. J., 1989, 336: 606
- [11] Readhead A C. In: Wamsteker *et al* eds. Frontiers of space and ground-based astronomy, [s.l.]: [s.n.], 1993 (Preprints No.21 1993, CIT)
- [12] Wiita P J. In: Hughes P, Saunders R eds. Astrophysical jets. Cambridge Univ. Press, 1987.
- [13] Wiita P J. In: Hughes P A ed. Beams and jets in astrophysics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1991. 379
- [14] 卢炬甫. 天文学进展, 1989, 7: 253
- [15] Reid M J, Biretta J A, Junor W *et al*. Ap. J., 1989, 336: 112
- [16] Orr M J L, Brown I W A. M. N. R. A. S., 1982, 200: 1067
- [17] Scheuer P A G. In: Zensus J A, Pearson T J eds. Superluminal radio sources. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987. 104
- [18] Antonucci R R J. Annu. Rev. Astron. Astrophys., 1993, 31: (in press)
- [19] Urry M. In: Davis R J, Booth R S eds. Sub-arcsecond radio astronomy. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993. 333
- [20] Kellermann K I. A. J., 1989, 98: 1195
- [21] Singal A E. M. N. R. A. S., 1993, 262: L27
- [22] Blandford R. In: Courviswiler T J-L, Mayor M eds. Active galactic nuclei. Berlin: Springer-Verlag, 1991.255
- [23] Blandford R. In: Zensus J A, Pearson T J eds. Superluminal radio sources. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987. 310
- [24] Wilkinson P N, Polatidis A, Readhead A C *et al*. In: Davis R J, Booth R S eds. Sub-arcsecond radio astronomy. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993. 213
- [25] Vermeulen R C, Cohen M H. Ap. J., 1994, 430: 463
- [26] Kellermann K I. Nature, 1993, 361: 134
- [27] Wu Shengyin, Quirrenbach A, Witzel A. Science in China (Ser. A), 1992. (35): 1254
- [28] Readhead A C, Xu Wenge, Pearson T J *et al*. Ap. J., 1994, in press
- [29] Cawthorne T V, Wardle J F C, Robert D H *et al*. Ap. J., 1993, 416: 496(I), 519(II)
- [30] Blandford R, Koenigl A. Sky and Telescope. 1993. March: 40
- [31] Trimble V. Publ. Astron. Soc. Pac., 1993, 105: 1
- [32] Trimble V. Publ. Astron. Soc. Pac., 1992, 104: 1
- [33] Antonucci R R, Miller J. Ap. J., 1985, 297: 621
- [34] Jaffe W, Ford H C, Ferrarese L *et al*. Nature, 1993, 364: 213
- [35] Bland-Hawthorn J, Wilson A, Tully R B. Ap. J., 1991, 371: L19
- [36] Moran J M, Reid M J, Gwinn C R. In: Lecture Notes in Physics. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 412: 44
- [37] Greenhill L J, Moran J M, Reid M J *et al*. Ap. J., 1993, 406: 482

(责任编辑 刘金铭)

The Compact Radio Cores—An Overview

Wu Shengyin

(Beijing Astronomical Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

Multiband observations and studies of the active galactic nuclei (AGN) have become one of the most fascinating frontiers in astrophysics since the 1970 s. In radio astronomy, the AGNs are generally assumed to be coincident with the compact radio cores (CRC) in extragalactic sources. The senses, the classification, the overall spectra, the radio structures and properties of the AGNs and CRCs are reviewed in this paper. The “standard model” and the important role of the VLBI in understanding the AGNs are outlined briefly. Some recent results and prospect are introduced in the last part of the paper. The emphasis is put on observed and studied results of the CRCs by using radio astronomical facilities throughout the paper.

Key words galaxies: active—galaxies: nuclei—galaxies: starburst—galaxies: Seyfert—galaxies: compact—techniques: interferometric