

正常星系的射电连续辐射及HI辐射

钱承统

(南京大学天文系)

提 要

本文综述了近年来世界上各大天文台站对正常星系的射电连续辐射和HI辐射的观测及研究。引述各型星系(E星系、旋涡星系、星系对)及星系核的射电观测的主要结果及其统计性质,对其中一些结果的物理机制进行初步探讨。

一、引 言

在星系中,射电波段辐射功率在 10^{40}erg/s 以上的称之为强射电星系——简称为射电星系,而将辐射功率在 10^{27} — 10^{40}erg/s 的称之为正常射电星系。我们的银河系就是这种正常射电星系中的一个。

正常星系的射电天文发展史,可追溯到1933年射电天文的创始者K. Jansky,他发现在银河系中心方向附近有射电辐射,1935年他认定这种辐射乃是出自银河系,1940年他的这一结论又得到G. Reber的证实,并首次检测到邻近星系M31(仙女座大星云)的射电连续辐射,1951年R. H. Brown等人在频率为158.5MHz用波束宽度为 2° 的射电望远镜测得M31的流量密度 $\sim 100\text{Jy}$ (央斯基)。以后对邻近的其它旋涡星系、椭圆星系进行射电连续辐射和HI的观测,到1964年前,用射电观测过的正常星系已达500个以上。随着各类射电望远镜的灵敏度和分辨率的不断提高,近二十年来更对各种类型星系的HI辐射^{[1],[2]}和星系对的射电辐射^[3]等进行观测研究,所观测的星系达几千个。特别是有高灵敏度和高分辨率的VLBI(甚长基线干涉仪)和VLA(甚大阵)投入使用以来(例如VLA在5GHz的灵敏度已达 0.1mJy ,VLBI的分辨率早已超过光学照相的分辨率),已能得到一些正常星系细致的射电图,甚至能得到射电谱指数 α 在星系面上的分布图。用VLBI对一些邻近亮星系的观测,能检测出它们中 $\leq 1\text{pc}$ 的致密源,用VLA观测,也能区别出在离我们21Mpc以内星系的 $\leq 100\text{pc}$ 尺度的细节。观测仪器的发展,观测资料的累积,使得近年来宇宙射电研究取得迅猛发展,在天文学刊物上发表的有关星系射电研究的文章的比重也逐年增加,研究的课题也更广泛(如银河系的星际气体分布、在旋涡星系内区几百pc的射电辐射结构等)。这样,在射电观测的基础上,对星系

1983年11月3日收到。

1984年4月4日收到修改稿。

的射电性质进行统计研究, 并且由于对各种类型星系在光学波段有较丰富的观测资料和一定的研究, 于是从光学和射电两方面对星系进行对比研究, 可以期待作出关于正常星系内射电辐射起源的推测, 初步探索其演化的规律。

在本文第二节中摘要列出近年来正常星系射电观测的动态及各型星系在射电波段上的检测率; 许多结果及统计性质将在第三节中归结; 最后, 在第四节中对正常星系的射电研究作简短的讨论。

二、观 测

近年来, 世界上一些主要的射电天文台站对正常星系在射电各频段上进行了大量的观测, 现将已刊载的摘要综合在表 1 中。

在表 1 所列的这些观测中, 有以下诸点值得注意:

(1) Stocke 等对大量星系对 (北半球的 603 对) 进行的射电观测^[3], 这项观测研究给出了在多重系统内射电辐射增强的第一批证据;

(2) 在 Dressel 和 Condon (1978) 一文中给出 Arecibo 纬度范围内大量亮星系 (2095 个) 的高灵敏的观测^[7];

(3) Kotanyi 用 Westerbork 综合孔径观测星系, 分别给出样品中盘辐射和中心源的观测资料^[23]。

从表 1 中显然可见, 世界上几架大的射电望远镜 (VLA、Westerbork 综合孔径、305m 等) 在正常星系射电辐射研究中起了主导作用。

从观测水平上看是从早期的低分辨率 ($\sim 12^\circ$) 到高分辨率 ($\sim 0''.001$), 从单频到多频绘制星系的射电图, 以至给出几个星系的射电谱指数的分布图^[8], 如 NGC6946 的频率在 610 MHz—1415 MHz 范围内的谱指数 α 分布图。将观测到的射电图叠置在该星系的光学照片上, 发现盘辐射的一系列亮峰是与 HII 区成协。此外, 在射电波段也观测到一些较近的旋涡星系个别亮 HII 区的辐射 (如 M101 等)。

我们能从星系的 HII 区及气体盘中检测到热辐射, 但受到观测仪器灵敏度的限制, 即使是最大的 HII 区, 也只能在不太远 (距我们几个 Mpc) 的星系内才能检测到它们。

就观测对象而言, 从整个星系的射电观测, 到几个 kpc 的中心源, 以至到 $< 1\text{pc}$ 的星系核。对于亮星系能用 VLBI 观测它们的致密源, 所得的致密源角径下限所对应的线径 $\leq 1\text{pc}$; 特别是 1979 年 Crane 所测的银心内, 用模型拟合后, 发现其中有小到 $0''.00075$ (相应于 7.5 个天文单位) 的致密源^[15]。

总的说来, 目前运用高分辨率观测, 已能揭示五种射电成分: (1) 核源; (2) 中心源; (3) 盘; (4) 旋臂; (5) 晕或厚盘^[8]。

在一系列观测中, 各种类型光学星系在射电波段内能被检测到的比例各不相同, 其统计结果如下:

(1) 旋涡星系

在这一型星系中, 凡光学上亮的星系在射电上能检到的可能性较暗弱星系为大, 且对旋

表 1

课 题	样 品 数	射电辐射		观测频率	分辨率	观 测 仪 器				参考文献	
		HI	连续			305m	100m	VLA			其它
								Westerbork			
大量星系 HI 的观测 旋涡星系几百秒差距内区射电结构	检测到1171/邻近1787	✓	✓	5GHz	~1"	✓				NRAO91m及43m	[4] [5]
亮旋涡星系内的强射电源	1063 个, m_p (亮) < 14.5 $S_r > 15\text{mJy}$ 占 456 个	✓	✓	4885MHz 2380MHz 2380MHz	2.7'	✓		✓			[6]
Arecibo 观测亮星系	2095 个										[7]
旋涡星系的射电连续辐射性质	280	✓		1415MHz	23"			✓		Bologna(意)	[8]
测旋涡星系及不规则星系	88	✓		408MHz							[9]
早期旋涡星系 HI 的吸收											[10]
晚期低表面亮度星系的光学射电研究	1787	✓			15'					Parkers, 64m	[11]
多重系统内旋涡星系射电连续辐射		✓		1415MHz				✓			[12]
不规则星系的 HI 分布	21	✓				✓					[13]
正常星系核的射电连续辐射	81	✓									[14]
VLBI 观测星系核	31			2380MHz	14.7'			✓		VLBI Parkers, 64m	[15] [16]
弱盘 SO 星系的 HI 研究								✓			[17]
E/SO 星系内射电辐射统计	574	✓		2380MHz 1410MHz				✓			[18]
SO 星系射电连续辐射和 HI 紧密星系对的射电辐射	603对, 北半球全部	✓		2380MHz 5GHz 等 5GHz 5GHz	6" × 47"			✓	✓	NRAO 91m, 43m 4 元干涉	[19] [20] [21]
综合孔径观测 NGC4472 Westerbork 观测 NGC 6946, M51 M31 的热辐射、非热辐射的分布		✓			高分辨率	✓				剑桥, 1 英里综合 孔径高分辨率	[22]

涡星系和椭圆星系而言, 强于某一射电功率的射电源的概率与光学光度成比例 $\propto L_{opt}^{1.3}$, 旋涡星系平均射电功率与平均光学绝对星等的关系如图 1 所示^[8]。其中 P 为 1,415MHz 总辐射功率 (单位: $W \cdot Hz^{-1}$), $P_{0.1}$ 为总辐射的 10%。从图 1 可看出, 星系盘辐射和中心源的平均射电功率是随着星系绝对星等而系统地增加。

对 280 个旋涡星系用射电进行观测, 其中各子型星系能检测到射电辐射的比例数如图 2 所示^[8]。图 2 中 C——仅有角径 $< 23''$ 的中心源; E——仅有盘辐射; CE——中心源及盘辐射两者都有。图中显见, 中心源在早型旋涡星系 (SO/a、Sa 和 Sb) 出现的机会要比晚型更多。反之, 检测到盘辐射的机会则在晚型较早型为多。

(2) 在有相互作用的星系对中能检测到射电源的概率比单个星系高^[12]。Stock (1978) 对 603 个星系对的观测表明, 射电源的检测率随离间指数 (星系对之间角距与星系对中星系的平均角径之比) 的减小而增加 (如图 3 所示)^[19]。在 603 个星系对中, 纯旋涡星系占 359 对, 纯椭圆星系占 79 对, 余下的 165 对含有旋涡星系和椭圆星系。

(3) 颜色较蓝的星系, 它们中心区的射电辐射较强, 这可能是产生较多的相对论性电子, 影响到它们的光学和射电辐射。

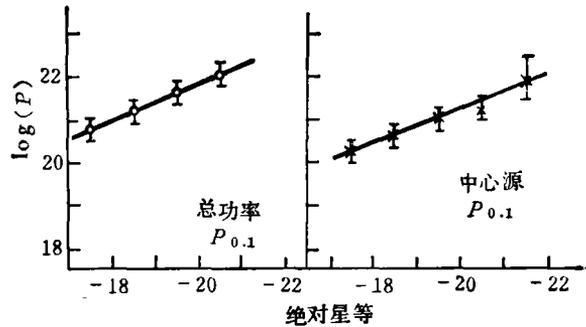


图 1 总射电功率与中心源的射电功率的 10% ($P_{0.1}$) 与绝对星等的函数关系。

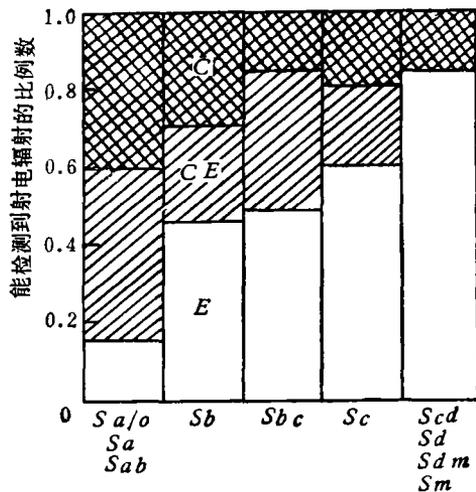


图 2 各形态型旋涡星系中各种射电成分所占的比例。

三、观测结果及统计性质

星系的射电观测至今已累积了相当多的资料, 可供分析、统计。

1. 星系的射电观测与光学形态比较

(1) 旋涡星系中大多数的光学直径 D_{opt} 大于射电直径 D_{rad} (见图 4 所示)^[8], 若令 $D_{opt}/D_{rad} = R$, 则 \bar{R} (平均值) 为 1.5 ± 0.1 ; 差不多有 80% 的旋涡星系的 \bar{R} 值落在 0.8—1.8 的范围内, 只是早型旋涡星系 (SO/a、Sa、Sab) 与 \bar{R} 偏离较大, 它们的 \bar{R} 约 2.3 ± 0.4 , 即在早型旋涡星系中射电直径相对地较小。个别的星系, 在星系的一端或两端的射电形态超过其光学的

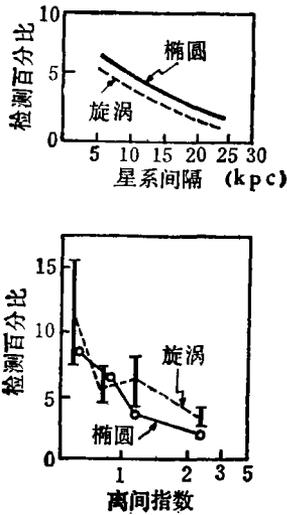


图3 星系对中,不同星系间距和离间指数的射电源所检测到的百分数。

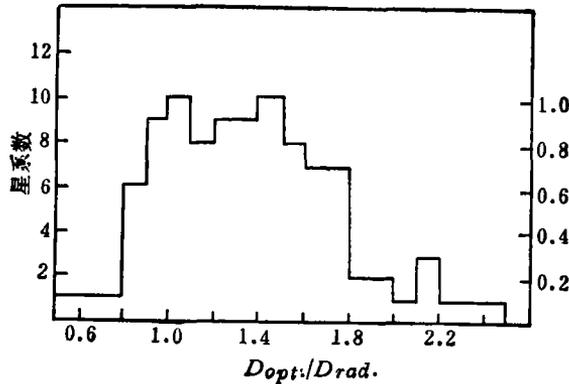


图4 各种 D_{opt}/D_{rad} 比值的旋涡星系数。

星系面(如 NGC891)。

而在E/SO星系中,有一些射电源则超过其对应体的光学边界。

(2) 观测到 M51 旋臂上有大量峰值与相应的 HII 区相合,但所观测到的热辐射流密度比期待的要高得多,看来这些源的射电辐射是不可能来自 HII 区^[21]。

(3) 在哈勃分类早型星系中,大多数有单一的中心强源,而在晚型星系中,则一般是弱的、复杂的源或无中心源。星系的颜色与射电结构也有统计关系,相对红的($B-V$) ~ 1.0 的星系多具有简单而致密的强射电结构;反之,相对蓝的($B-V$) ~ 0.5 的星系则具有弱的类似银心的复杂射电结构。

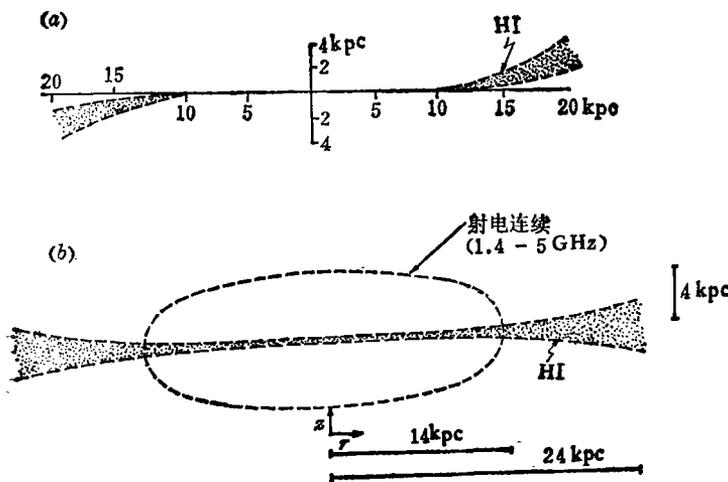


图5 HI的Z方向分布模型:(a)银河系;(b) NGC891。

(4) 在不规则星系中,HI的平均包层不大于麦哲伦星云($\sim 20\text{kpc}$)^[13]。在旋涡星系中,光学亮度在中心比较集中,而HI的分布却没有这样集中的倾向;相反,HI分布常在中央呈现极小。

(5) 关于Z方向上HI分布的问题,虽则在个别边沿就在视线方向的星系中(例如 NGC891),对Z方向的分布已有观测及计算,但观测还不足以

建立普遍的理论模型。在图5中把银河系(图5(a))与Sb星系 NGC891 (图5(b))的HI在Z方向的分布模型作了对比^{[24],[25]}。从图5中可看出, NGC891在径向方向上HI分布要比射电连续辐射分布约宽一倍, 可是在Z方向前者却要窄得多。在星系的较外围, 星系面上HI分布常呈翘曲, 不翘曲的平面是很少的。对星系HI区Z方向分布的翘曲已提出以下几种机制:

(i) 潮汐效应; (ii) 星系风的作用; (iii) 进动。其中潮汐效应的解释最受人注意。

(6) 已观测到一些星系(如M33等)的超新星的射电辐射, 但在试图寻找更多星系的超新星射电辐射的工作中, 未获得任何结果^[26]。

在星系射电观测资料与星系光学性质(如光学光度、Hubble型和颜色等)的相关统计中, 主要相关存在于射电光度与光学光度之间, 各型星系的这种相关的平均如图6所示^[28]。由图5可见, 很早型的星系的盘辐射特别低, 追究其原因, 可能是因为它们本身气体很少, 这样就不太能约束住相对论性电子和磁场, 从而使射电辐射较低^[24]。

2. 各型星系的射电性质尚有以下的一些结果

(1) 旋涡星系

(i) 据频率为1,415MHz观测统计, 在射电连续总辐射中盘状部分占的贡献大于90%;

(ii) 盘状部分的射电辐射与星系的光学形态(SA、SX、SB)一般无关(其中符号SA——正常旋涡星系, SB——棒旋星系, SX——介乎SA、SB之间), 而中心源的射电辐射却与星系的光学形态有关, 在非旋涡星系(SB、SX)中的中心源射电功率, 平均比正常旋涡星系(SA)几乎增强一倍;

(iii) 盘和中心源的射电功率与平均光学光度成正比;

(iv) 在很早型星系(Sa/O)中盘状部分的射电辐射较弱;

(v) 中心源的射电功率与盘的辐射无关^[8]。这表明盘产生射电辐射所需的相对论性电子和磁场并不是来自中心源, 也就是说, 这两个部分的射电辐射无关这一事实, 排除了中心源作为盘辐射的主要贡献的假设, 并且由于在晚型星系中盘的射电辐射较弱, 于是也排除了关于相对论性电子来自年轻的旋臂星族的设想。这样就提出了老的盘星族(如脉冲星及耀星等)作为相对论性电子主要来源的设想。至于中心源内相对论性电子的来源, 有人认为星系中心内的大质量天体可以增加中心区($\sim 1\text{kpc}$)内的气体密度, 给出较高的磁场强度和较高的相对论性电子产生率。

(2) SO星系

(i) 在SO型中, M_{HI}/L_B 值至少差50倍(从 <0.001 —0.16), 此值的范围显著大于旋

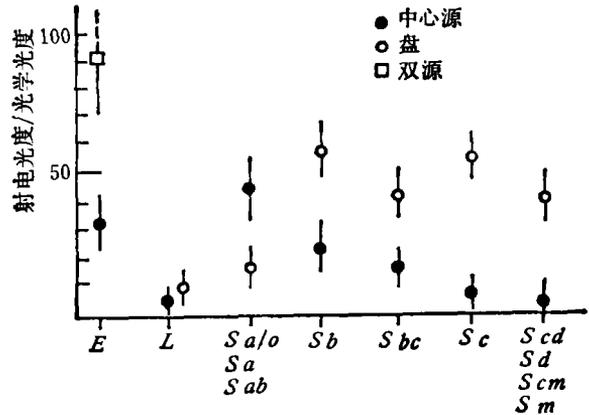


图6 各型星系的射电光度/光学光度平均分布图。

涡星系对应的范围;

(ii) 某些 SO 型星系的 M_{HI} 下限(如 $< 0.1 \times 10^8 M_{\odot}$) 值 $<$ 任何型的星系;

(iii) SO 型星系中的 HI 比许多晚型旋涡星系或不规则星系要多得多;

(iv) 某些 SO 型星系的射电直径 $>$ 光学直径;

(v) SO 型星系的中心源比椭圆星系的平均弱十分之九, 比旋涡星系的弱三分之二, 它们常具有平反转谱;

(vi) SO 型星系的空间结构和旋涡星系很相似, 都含有薄盘和核盘。至于它们是否是在星系团内部互相作用, 目前还不清楚。一般认为 SO 型星系是经过与其它星系相遇, 后来被星系际气体剥离后转化为旋涡星系的。

(3) 椭圆星系

(i) 在椭圆星系中具有致密源的所占的比例与 SO 型星系中相仿。这两型星系的主要差别是在椭圆星系中有展源的比例较高, 在 SO 型星系中强展源较少。

(ii) 在椭圆星系和 SO 两型星系中, 它们愈亮, 就愈可能是射电辐射源, 但这两型星系也有不同之处: 若椭圆星系在 Zwicky 星系团内, 则一般是射电源, 但在 Zwicky 星系团内的 SO 型星系却没有一个是属于射电源的。

(iii) 在已知的正常射电辐射的椭圆星系中有很好的“准直”结构, 它们被定义为附加的“轴”, 有些证据表明此射电轴可能也是星系的一根旋转轴^[27]。至于有些射电源有拖曳(S形)结构, 这也许是椭圆星系的主轴与旋转轴并非是一根轴引起的, 这可设想为另一根旋转轴是物质被椭圆星系俘获的结果。在这种情况下, 将使俘获物质在椭圆星系的引力场作用下进动, 直至进动停止, 使被俘获物质与椭圆星系的主轴一致^[28]。

(4) 不规则星系

(i) 用波恩的 100 米射电望远镜观测了 21 个不规则星系的 HI 辐射, 发觉它们的系统速度自然地与中心轮廓相对称, 这表明旋转是旋涡星系和不规则星系的主要运动形式;

(ii) 不规则星系的中性氢质量 M_{HI} 与它的照相光度之比值是 1 的数量级(分别以太阳质量 M_{\odot} 与太阳光度 L_{\odot} 为单位);

(iii) 不规则星系的 HI 范围(半功率宽)与星系的 Holmberg 直径(在该直径处, 星系的蓝光表面亮度降到 $26.5 \text{ mag/arcsec}^2$) 很相近;

(iv) 不规则星系的中性氢多聚集在星系中心(这种分布与旋涡星系中心区缺少中性氢的情况不一样), 且中性氢占星系体积中的大部分^[29]。

(5) 中心源和核

在多数情况下, 研究河外星系时, 与角分辨率相对应的线分辨率不优于几个 kpc, 射电天文界就用“中心源”这个词来表示上述尺度的星系中心结构 (0.1 kpc — $几 \text{ kpc}$)^[8]; 而一般将线尺度小于几个 pc 的称为星系的“射电核”。在旋涡星系中, 虽则各个星系间射电辐射盘部分与中心源的辐射比值在一定范围内各不相同, 但平均而言, 中心源仅占总流量的 10%。

星系核的射电观测得到以下一些结果:

(i) 在正常星系核的射电连续辐射研究中, 以银心的研究较为完善。银心的射电结构很复杂, 它由线大小为 $200 \text{ pc} \times 70 \text{ pc}$ 延展的非热源(其中嵌有几个巨大的 HII 区)和中心源 SgrA.

($\sim 9\text{pc}$)组成;用更高分辨率又可测得 Sgr A 是由两个更小的子源组成:(a) Sgr A 西,位于银心,热源,在其内部尚有一个极致密的($\leq 10\text{AU}$)较弱的源^[30];(b) Sgr A 东,一个较弱的非热源。最近的 VLA 观测表明,有些星系的中心源有类似于银河系中心的复杂的辐射区。

(ii) van der Hulst 根据射电结构将星系核分成四类^[14]:(a)简单型,具有高斯亮度分布;(b)有小的中心源,加上与中心源中心位置相同的弱的较展开的高斯子源,这犹如核晕的结构;(c)中心源外有一延展的复杂的亮度分布;(d)在核中没有能再能区别的 $>1.5\text{mJy}$ 的子源。各型星系中各类核结构的分布如图 7 所示(其中 P 为特殊星系)。从图 7 可看出,在 Sb 或较晚型星系中具有复杂核的居多,而 Sab 或较早型星系多数是简单核源。展晕和复杂核源线径范围在 200pc —几 kpc。

(iii) 星系核源的平均线大小 $\sim 150\text{pc}$,多数旋涡星系核线径为几百 pc,而一些椭圆星系的核多数在 100pc 以下。对于小于 150pc 的约有半数还未能分辨,也许它们含有 $<9\text{pc}$ (银心 Sgr A 中一子源的线大小)的小径源。用 VLBI 测得的旋涡星系 M81 的核径 $<0.006\text{pc}$,是目前在河外天体中所测到的最小的一个。

(iv) 在旋涡星系中射电核与光学星系核的分布多数是相合的;与此相反,在椭圆星系中它们的射电核没有一个是与光学核相合的^[29]。核的射电线径与绝对星等、星系形态及核射电功率之间不存在相关。

(v) 表 2 中给出一些邻近的旋涡星系核的线径及其核的射电光度^[31]。从表 2 可见,星系

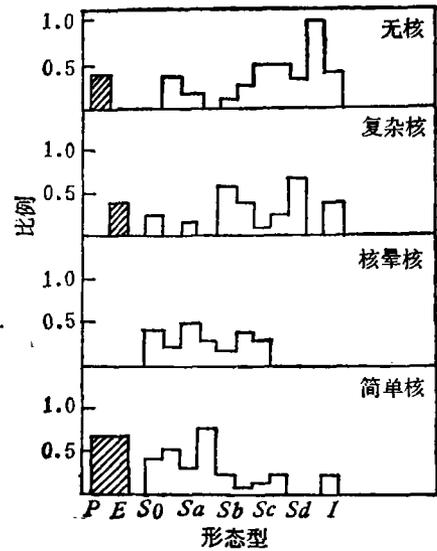


图 7 星系中各型核源的分布。

表 2 一些旋涡星系的核

星 系 名	光度 ($\text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$)	线径(pc)	谱指数($S \propto \nu^{-\alpha}$)
银河系*	10^{37}	200×70	?
	10^{36}	9	0.5
	10^{35}	10^{-4}	-0.3
M31	10^{36}	250	+0.7
M33	$<10^{45}$	—	—
M81	$2 \times 10^{57} **$	$<6 \times 10^{-3}$	-0.1
M51	2×10^{38}	750	+1.1

* 参见本节(i)。 ** 变源。

核射电线径及光度值的范围都很宽,银河系的相应参量并不能认为是典型的。

(vi) 核源的平均射电功率随星系形态(从 SO 型到不规则型)而变化(如图 8 所示)^[14]。在旋涡星系中,早型旋涡星系中心源的射电功率平均至少比晚型的强 10 倍以上。以银心的射

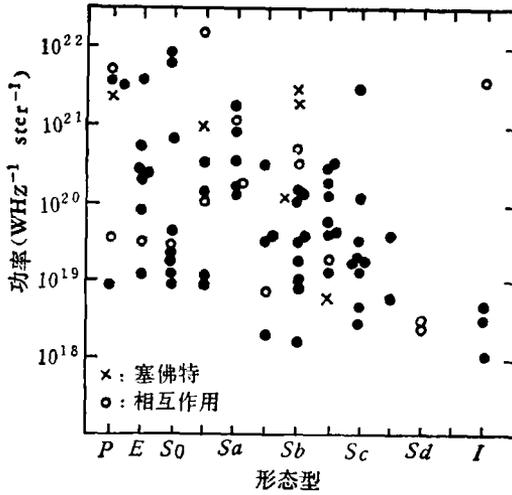
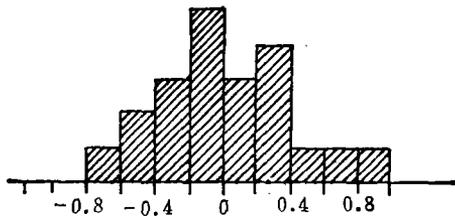


图 8 各型星系核的 $\lambda=6\text{cm}$ 单色射电功率分布图。

(a) 椭圆星系



(b) 塞佛特星系



(c) 旋涡星系

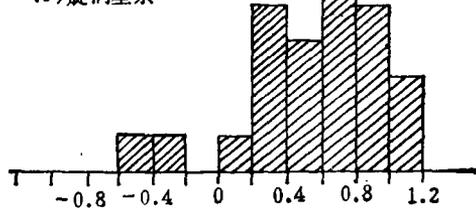


图 9 在 1.4~5GHz 的射电谱指数 $\alpha(S_{\nu} \sim \nu^{-\alpha})$ 的分布

(a) 正常椭圆星系; (b) 塞佛特星系;
(c) 正常旋涡星系。

电功率为例, 银心复合体总的辐射 $P_{6\text{cm}} \sim 10^{18.3} \text{W} \cdot \text{Hz}^{-1} \cdot S_{\nu}^{-1}$, 其中 Sgr A 子源 $P_{6\text{cm}} \sim 10^{17.8} \text{W} \cdot \text{Hz}^{-1} \cdot S_{\nu}^{-1}$, 与图 8 比较, 即可看出, 各型星系核的平均射电功率都强于银心。

(vii) 各型星系核的射电谱指数分布范围甚广(如图 9 所示)。显而易见, 正常旋涡星系核的谱指数 $\alpha_{1.4\text{G}}$ 在 0.2—1.0 为多, 而正常椭圆星系核的 $\alpha_{1.4\text{G}}$ 则多在 -0.4—+0.4 之间。

(viii) 最后, 值得提出的是核的射电光度/光学光度之比 R 在很大程度上依赖于星系类型: R 从 43(对于 SO/a 星系) 减小到 2(对晚于 Scd 星系)。中心源的射电光度与母体星系的光学光度的比值 R , 由 Condon 和 Dressel:

$$R = S \exp\left(\frac{m - 12.5}{2.5}\right)$$

定义为 R 其中 S 为在 2,380MHz 的射电流密度(单位 mJy), m 为星系视星等, 经消光及恒星内部吸收等改正^[32]。

(ix) Condon 和 Dressel 提出可能在星系内的中心有黑洞存在, 它可以接受气体, 以致使周围能有新的气体补充(犹如与其它星系的引力互相作用的结果), 由此而增强了它们的射电辐射^[32]。

(6) 星系对

用 Westerbork 综合孔径在 1,415MHz 观测星系对的射电连续辐射, 得到以下的一些研究结果^[12]:

(i) 双星系内中心源的射电功率比单星系内中心源的射电功率要高出 1.5 倍, 这被认为是星系的引力互相作用的结果。而盘部分在这两类星系中差别不大(它们的功率差别不大于 50%)。

(ii) 多重星系和单星系的初始条件不同, 会影响星系的所有性质。由于引力互相作用, 使相对论性电子增加, 磁场增强以及使星系内大部分气体降入中心区而压缩磁场, 促使恒星形成率增加, 这样或者使相对论性电子数增加, 或者使相对论性电子无规则加速。一般说来,

在射电波段的能量输出仅占总能量的很少部分,所以在研究星系对的性质时,还必须辅以中心区其它波段能量需求的研究。

四、讨 论

虽则正常星系的射电观测已累积相当的资料,但总的说来,毕竟还只有短暂的历史,且也只是近年来才较系统地进行了观测、统计。从星系射电方面来看,无论在理论解释及天体演化研究上都尚处在初步探讨阶段。

对星系射电源的观测,无论在射电辐射的光度、射电源的线大小,还是在射电谱方面都有很大的范围(可相差一个量级到六个量级),如用所考虑的物理机制来解释这样广阔的范围是很困难的。对星系射电谱的分析表明,它们的射电辐射机制无疑是同步加速辐射,而对产生同步加速辐射所需的相对论性电子和磁场起源的问题却还没有完满的解释。但据一些星系的射电资料,在一些文献上已作过某些探讨。在旋涡星系中由于盘的射电辐射与中心源不相关以及晚型星系中盘辐射较弱,因而可认为盘的辐射主要不是中心源及年青旋臂星族,于是就认为老的盘星族可作为盘射电辐射所需的相对论性电子的主要来源。至于旋涡星系中心

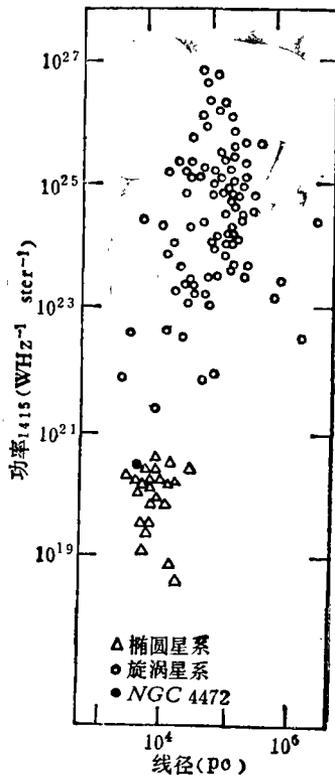


图10 星系线径与射电功率之关系图^[14]。

源的本质,曾有过诸如频繁的超新星爆发、巨脉冲星或黑洞之类大质量天体等假设来解释星系辐射的能源问题,但在这方面都遇到许多困难,特别是为产生必需的能量要求频繁的超新星爆发这一点更是难以接受,至少在我们银河系内就没有如此频繁的超新星爆发可循^[14],据记录及推测,我们银河系在这一千年内总共只有5次超新星爆发。现在一般认为在星系中心存在大质量的天体,这样在中心区($\sim 1\text{kpc}$)内的气体密度增加,从而有可能给出较高的磁场强度和相对论性电子的产生率。而在多重星系系统内,星系的中心源平均射电功率较高,可能是被降入到中心源的气体所触发,观测到紧密星系对比疏星系对更易检测到射电辐射也支持了这一看法。对于椭圆星系,经常观测到双瓣射电子源与母体星系呈准直分布,这可能是由于椭圆星系保持了气体晕,它们有助于约束和准直等离子体喷流,而相对密的气体晕也提供了较稳定的工作面,在工作面上将喷流的能量转化成同步加速辐射的能量。

关于星系是否循 Hubble 序列演化的问题,历来是天体物理学者很感兴趣的问题。因而,在星系的射电研究中,也充分注意在演化上的可能关系。例如,根据用VLA观测结果统计^[16],即使是同样的陡谱源,在不同类型的星系中,它们的射电结构却不一样:在E星系中,多数呈现离中心较远的展射电瓣;而在旋涡星系内,射电辐射常被限制在正在形成恒星的星系盘及星系核内。从统计上来说,

射电结构大的,射电功率较强,反之亦然。前者, E 星系居多;后者,旋涡星系居多(但也有个别例外,如在室女星系团中的巨椭圆星系 NGC4472,见图10^[20])。它的射电结构很大,但射电功率却较小)。这就能大致给出一幅图象:若单从射电辐射功率来看,从射电辐射功率大的椭圆星系演化到射电辐射功率小的旋涡星系的可能性很大;反之,若从旋涡星系向椭圆星系演化就很难解释,因为辐射能量来源的问题难以解决。此外,我们再从光学形态来看 SO 型星系,它是介于椭圆星系和旋涡星系间的过渡型星系。若 SO 型星系确实是过渡型的话,则可期待 SO 型星系在物理性质上也应介于椭圆星系和旋涡星系之间,而事实却不然。旋涡星系有着典型的盘射电辐射,而在 SO 型星系中却未检测到任何盘辐射,这显然与旋涡星系有根本不同。另一方面,椭圆星系和旋涡星系的中心源谱指数分布明显不同,前者平谱,多分布在 $\alpha < 0.5$ 的范围内,后者, $\alpha > 0.5$ 者居多,而 SO 型星系中心源的 α 分布与椭圆星系的相似,但其辐射流密度至少比椭圆星系的弱90%;在 Zwicky星系团内椭圆星系一般是射电源,与此相反,处在星系团内的 SO 型星系很少是射电源。这样, SO 型星系与椭圆星系的射电性质也有很大差别。因此,从射电方面看来, SO 型星系不象是椭圆星系和旋涡星系之间的过渡型天体。当然,欲想最终对演化途径作出抉择,仍需结合星系的许多光学特性一起综合考虑。

在观测方面,鉴于对其它一些天体的观测、分析(如塞佛特星系的射电光度和红外光度间存在良好的线性关系;对类星射电源3C273从射电直到 γ 射线波段进行的全面研究),可期待除提高射电望远镜灵敏度和分辨本领用多频率观测正常星系外,尚应在其它波段观测某些正常星系,以便更进一步地研究各个星系的物理本质,以及探索各型星系间的可能演化关系。

参 考 文 献

- [1] Unwin, S. C., *MNRAS.*, **192** (1980), 243.
- [2] Faber, S. M. & Gallagher, J. S., *Ann. Rev. A. Ap.*, **17** (1979), 135.
- [3] Stocke, J. T. et al., *A. J.*, **83** (1978), 348.
- [4] Fisher, J. R. and Tully, R. B., *Ap. J. Suppl.*, **47** (1981), 139.
- [5] van der Hulst, J. M., *A. J.*, **86** (1981), 1175.
- [6] Condon, J. J., *Ap. J.*, **242** (1980), 894.
- [7] Dressel, L. L. and Condon, J. J., *Ap. J. Suppl.*, **36** (1978), 53.
- [8] Hummel, E., *A. Ap.*, **93** (1981), 93.
- [9] Gioia, I. M. et al., *A. Ap.*, **96** (1981), 58.
- [10] Mirabel, I. F., *Ap. J. Lett.*, **270** (1983), L 35.
- [11] Longmore, A. J. and Hawarden, T. G., *MNRAS.*, **200** (1982), 325.
- [12] Hummel, E., *A. Ap.*, **96** (1981), 134.
- [13] Huchtmeier, W. K. et al., *A. Ap.*, **102** (1981), 134.
- [14] van der Hulst, J. M., *Highlights of Astronomy*, **5** (1980), 177.
- [15] Crane, P. C., *A. J.*, **84** (1979), 281.
- [16] Hawarden, T. G. et al., *MNRAS.*, **196** (1981), 175.
- [17] Dressel, L. L., *Ap. J.*, **245** (1981), 25.
- [18] Bieging, J. H. and Biermann, P., *A. Ap.*, **60** (1977), 361.
- [19] Stocke, J. T., *A. J.*, **83** (1978), 348.
- [20] Eker, R. D. and Kotanyi, C. G., *A. Ap.*, **67** (1978), 47.
- [21] van der Kruit, P. C., *A. Ap.*, **59** (1977), 359.

- [22] Beck, R. and Grave, R., *A. Ap.*, **105** (1982), 192.
[23] Kotanyi, C. G., *A. Ap. Suppl.*, **41** (1980), 421.
[24] Sancisi, R., *Structure and Evolution of Normal Galaxies*, 149, (1980).
[25] Sancisi, R. and Allen, R. J., *A. Ap.*, **74** (1979), 73.
[26] Brown, R. L. and Marscher, A. P., *Ap. J.*, **220** (1978), 467.
[27] Miley, G., *Ann. Rev. A. Ap.*, **18** (1980), 165.
[28] Ekers, R. D., 同[24], **169** (1980).
[29] Товмасын, Г. М., *Астрофизика*, **16** (1980), 563.
[30] Kellermann, K. I. et al., *Ap. J.*, **214** (1977), L 61.
[31] Ekers, R. D., *Physica Scripta*, **17** (1978), 171.
[32] Condon, J. J. and Dressel, L. L. *Ap. J.*, **221** (1978), 456.

Radio Continuum Radiation and HI Radiation of Normal Galaxies

Qian Chengtong

(Department of Astronomy, Nanjing University)

Abstract

The observations and study of radio continuum radiation and HI radiation of normal galaxies carried out by the main observatories in the world in recent years is described. Some main results and statistical properties of radio observations of various galaxies, such as E galaxy, spiral galaxy and double galaxy, as well as galactical nuclei are introduced. The physical mechanism of some observational results is discussed preliminarily.