

# 棒在星系恒星形成中的作用

顾秋生 廖新浩 黄介浩

(南京大学天文系 南京 210093)

苏洪钧 吴国祥

(中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

## 摘 要

从理论 N 体模拟、射电辐射、红外辐射以及统计比较等几个方面,概述了棒在星系恒星形成中的作用,并讨论了在这一问题研究中出现的互相矛盾的一些结果。

**关键词** 恒星:形成 — 星系:星暴星系 — 星系:运动学和动力学 — 红外源:星系 — 辐射机制:非热辐射 — 辐射机制:热辐射

## 1 引 言

棒在星系中普遍存在,大约有三分之一的星系是明显的棒旋星系,三分之一的星系处于正常星系和棒旋星系之间,具有稍弱的棒状结构或者卵形畸变<sup>[1]</sup>。

从 Shlosman 等人在研究活动星系核 (AGN) 时提出的关系图中<sup>[2]</sup>,我们可以看到棒在星系动力学演化、星暴活动及活动星系核的形成过程中,起了一个非常重要的作用。

星系中棒的形成或增强大致可以归结为以下几条途径: (1) 冷恒星盘的动力学坍缩<sup>[3-5]</sup>; (2) 旋转密度波使得恒星轨道角动量向外传输<sup>[6]</sup>; (3) 在  $\Omega - k/2$  随半径增加而增大的区域 (其中  $\Omega$  是恒星旋转角速度,  $k$  是恒星的径向角频率,又称为本轮频率),棒状扰动使得恒星轨道沿棒方向延伸<sup>[7]</sup>; (4) 在星系核区棒状或卵形等非轴对称势作用下,恒星或气体盘的密度响应<sup>[8-12]</sup>。

从理论 N 体模拟可以看出,星系间潮汐相互作用能触发棒的形成,如果星系已经是棒旋星系,那么相互作用能增强棒的存在<sup>[13-15]</sup>。

棒的存在使得星系核区的引力场呈非轴对称分布,在这种非轴对称引力势的作用下,盘上气体将渐渐地向核区内流。Combes 和 Gerin 利用 N 体数值模拟,研究了在棒势作用下星系盘中物质的运动状况<sup>[16]</sup>。Bosma 总结了利用 VLA 观测棒旋星系中 HI21cm 辐射的情况<sup>[1]</sup>,目前得到的棒旋星系的速度场是一种偏离圆轨道运动的旋转场<sup>[1]</sup>。Sancisi

等人的 HI 观测以及 Pence 和 Blackman 的光学观测都表明在棒旋星系中存在由棒导致的物质内流 [17,18]。

从上述情况我们可以看到，由于棒使得盘上物质不断地向核区聚积，势必引起核区物质密度增加，物质间碰撞率明显增大，因而恒星形成必然增强。射电以及红外观测表明，棒旋星系中恒星形成要比非棒旋星系的强得多 [19,20]。

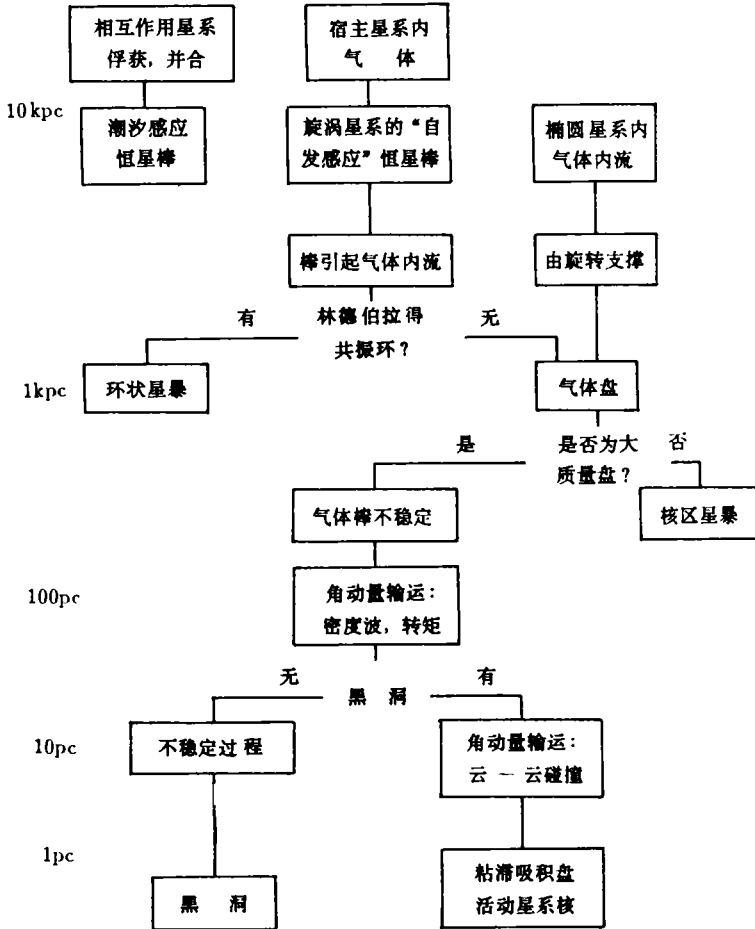


图 1 活动星系核形成的统一模型

但是，最近的一些研究发现棒旋和非棒旋星系间的差别越来越小 [21,22]，我们研究了红外亮星系中的恒星形成 [23]，发现只有满足一定条件，棒的作用才变得重要起来。那么棒在星系恒星形成过程中究竟起着什么作用呢？我们下面将从理论 N 体数值模拟、射电辐射、红外辐射以及统计比较等几个方面来对这一问题作一探讨。

## 2 棒的形成

从棒旋星系在目前所观测到的星系中所占的比例可以看出，棒旋星系的存在不是一种偶然的现象，应该与星系的动力学演化过程有关。N 体数值模拟表明，有两条途径可以触发棒的形成<sup>[4,24-26]</sup>。一是自发感应产生的棒，另一是星系间相互作用感应的棒。下面我们将分别介绍一下两种棒是如何形成的。

### 2.1 自发感应棒的形成

Ostriker 和 Peebles 在研究冷轴对称星系的稳定性时发现<sup>[4]</sup>，当星系的盘晕质量比大于某一定值时，在星系自身动力学演化过程中会形成棒状结构，以减少星系中恒星的平均转动动能。即使得  $t \geq t_c = 0.14$  (这里  $t = T_{\text{rand}}/|W|$ ,  $T_{\text{rand}}$  和  $W$  分别是系统的随机动能和引力势能)，这是一种满足一定初始条件下的 N 体问题动力学演化过程中的自发发现象，故称这种棒为自发感应棒。

Sellwood 通过对场星系的动力学演化研究后也发现<sup>[24]</sup>：当盘晕质量比大于一定值时，在场星系中也会产生棒。其结论与 Ostriker 和 Peebles 的结果是一致的。

为了证实自发感应棒在星系中的存在，最直接的办法是去比较棒旋星系和非棒旋星系的盘晕质量比，前者对应的比值平均来说要比后者的大。遗憾的是到目前为止还没有一种方法能有效地确定此比值<sup>[27]</sup>。但是人们目前仍认为 Ostriker 和 Peebles 提出的自发感应棒的形成是产生棒旋星系的一种机制<sup>[2]</sup>。

### 2.2 相互作用感应棒的形成

除了星系本身能自发产生棒外，Noguchi 研究了在伴星系潮汐作用下的星系动力学演化，发现在此过程中也会有棒状结构产生<sup>[25,26]</sup>。这种棒是在具有较小盘质量的星系受到伴星系作用后(伴星系达到近星系点时)产生的，其形态与潮汐摄动等因素有关，即：

- (1) 摄动体质量大，则产生的棒相对较长；
- (2) 当盘晕质量比小时，棒转动较慢；
- (3) 若旋转曲线刚性部分的最外部对应的半径大时，产生的棒相对较长；
- (4) 如果不考虑盘自引力作用，那么即使有潮汐摄动，在星系核区也不会产生棒结构；
- (5) 形成的棒的强弱具有周期性的变化。

通常称这种棒为相互作用感应棒。为了说明这种棒的产生与相互作用有关，一些研究小组比较了在不同星系环境下棒旋星系所占的比例，发现双星系中棒旋星系所占的比例要明显地比场星系的高<sup>[26,28]</sup>。

上述两种棒的不同主要表现在：前者是在大质量盘中产生的，而后者是在小质量盘中产生的<sup>[27]</sup>。由于盘晕质量比与图案速度成正比<sup>[26]</sup>，故自发感应棒的图案速度要比相互作用感应棒的大，即前者快转，后者慢转。并且前者可以延伸到共转圈附近<sup>[29,30]</sup>，而后者仅延伸到内 Lindblad 共振圈处<sup>[26]</sup>。

### 2.3 棒的范围

Contopoulos 采用作用—角变量方法研究了轴对称分布的星系中棒与粒子周期轨道形态间的关系<sup>[31]</sup>，即不同形态的棒产生的不同形态的周期轨道；反之，不同形态的粒子

周期轨道对棒的支撑不同, 在这基础上讨论了棒的延伸范围。这事实上涉及到模型的自洽问题。对自洽模型的研究目前还仅处于起步阶段<sup>[32]</sup>。关于棒的范围, 其主要结论如下<sup>[31]</sup> :

(1) 如果星系中仅仅存在一个内 Lindblad 共振圈, 那么一般来说棒仅存在于内 Lindblad 共振圈和共转圈之间;

(2) 如果存在两个内 Lindblad 共振圈, 则棒可以位于星系中心与靠近核心的内 Lindblad 共振圈之间, 或者位于外面的内 Lindblad 共振圈与共转圈之间;

(3) 如果不存在内 Lindblad 共振圈, 或者两个内 Lindblad 共振圈的位置非常靠近, 则棒能从中心一直延伸到共转圈附近。

到目前为止, 各种分析的结果均表明, 在棒旋星系中, 棒最大只能够延伸到共转圈处<sup>[24,33-36]</sup>。

### 3 棒的作用

Ostriker 和 Peebles 通过计算无晕的冷盘星系动力学演化发现, 在一定条件下, 整个系统便有  $t \sim t_c$ , 并且形态上呈现棒状结构。这说明, 棒结构对星系来说具有某种平衡作用。由此, Ostriker 和 Peebles 认为, 自发感应棒的出现增强了星系的稳定性。

Combes 和 Gerin 在研究了棒对星系中分子云分布的影响后发现, 当棒转动速度较快时, 在共转圈与外 Lindblad 共振圈 (OLR) 之间会产生旋涡结构, 并且在引力转矩的作用下其中的粒子向外运动。但是如果在 OLR 处已存在了一个粒子环, 那么粒子将不会继续向外运动, 在此环中气体粒子可能会形成恒星。在另外一方面, 对于转动较慢的棒, 引力转矩使得气体粒子向星系的中心区域流动, 同样在中心区域附近如果存在粒子环, 那么粒子也将不会继续向里运动。

Sellwood 在研究棒对星系演化影响时发现, 如果星系中存在一个较强的棒, 那么此棒能将盘的一部分角动量转移到晕中去。

Noguchi 利用数值模拟手段较详细地研究了星系盘中的气体粒子在恒星棒作用下的演化情况<sup>[14,15]</sup>。他采用的模型是由盘和晕组成的 N 体引力模型。盘中含有气体粒子, 但是忽略其对恒星运动的影响, 气体间碰撞率和恒星形成率成正比。此星系受到一个轨道为抛物线型的伴星系的潮汐作用, 并仅仅考虑伴星系在近星系点附近时星系的演化。通过给定不同的初始参数, 研究相互作用星系及其气体的演化规律。Noguchi 除了发现产生棒外, 还发现了气体在棒的作用下内流; 如果不考虑盘的自引力时, 就不会出现棒, 同时气体粒子间碰撞率陡然下降, 不发生明显的气体内流。模拟结果说明棒促使气体内流, 导致星系星暴的形成。为进一步搞清气体内流与棒的关系, Noguchi 采用不同模型作了计算, 结果发现: 如果不考虑星系中气体粒子间的碰撞, 那么即使有棒气体也不发生内流。这说明棒的存在和粒子间的碰撞是气体发生内流的两个相关的重要因素。当然气体内流量还与星系中的气体含量、棒的转动快慢等因素有关。为了进一步说明星暴产生的强度, Noguchi 具体地计算了气体内流的数量, 在一定条件下, 在星系两个自转周期的时间里, 星系盘中大约 20% 的气体流到星系核区 1—2kpc 的范围里。

总的说来, 尽管棒不是产生星暴的唯一途径<sup>[37,38]</sup>, 但是棒具有使星系盘中气体聚积的作用。由于棒的存在使得星系引力场出现非轴对称分布, 星系中气体粒子受力不均匀, 轨道也不再是近圆形, 这就增加了粒子间的碰撞机会, 在棒的引力转矩作用下气体角动量发生转移, 整个系统的能量减小, 粒子趋向于聚积于某一区域, 特别是星系中心区域。因此, 棒的存在是星系中星暴形成的一条不可忽视的重要因素。

## 4 星系中恒星形成的标志

一般说来, 我们有 5 个参数可用来表征星系中恒星形成的情况<sup>[39]</sup>, 它们是:

(1) 光学色指数  $(B-V)_T^0$  和  $(U-B)_T^0$

光学色指数明显地反映了整个星系中年轻恒星的多少, 光学色指数越小, 说明星系越蓝, 星系中年轻恒星的含量越多。

(2) 年轻恒星的直接计数

目前唯一可能的是观测星系中 H II 区和超新星, 然后统计星系中超新星的数目以及 H II 的分布情况。

(3) 核区和累积的发射线性质

复合线的强弱直接反映了能够产生电离辐射的年轻恒星的多少, 其中包括:  $H\alpha$  单色光度,  $H\alpha$  谱线等值宽度及表面亮度等等。普遍认为  $H\alpha$  单色光度定量地给出了星系中 OB 型恒星的形成率。

Pogge 和 Eskridge 给出  $H\alpha$  流量和恒星形成率 (SFR) 的公式如下<sup>[40]</sup>:

$$\text{SFR} = 6.8 \times 10^8 F(H\alpha) D^2 \quad (M_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1}) \quad (1)$$

其中:  $F(H\alpha)$  是观测到的  $H\alpha$  流量, 单位为  $\text{erg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,  $D$  为星系的距离, 单位是 Mpc。

(4) 远红外辐射

一般认为星系中远红外辐射来自于尘埃的热辐射。尘埃吸收了年轻恒星发射的高能光子, 温度升高, 并在远红外波段上发出热辐射。Devereux 和 Young 认为星系中远红外辐射来自于恒星形成区, 远红外光度反映了星系中 OB 型恒星形成率, 并且给出星系中恒星形成率<sup>[41]</sup>:

$$\text{SFR} = 7.7 \times 10^{-11} L_{\text{FIR}} \quad (M_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1}) \quad (2)$$

其中,  $L_{\text{FIR}}$  表示远红外光度, 单位是  $L_{\odot}$ 。

IRAS(红外天文卫星) 在  $12\mu\text{m}$ 、 $25\mu\text{m}$ 、 $60\mu\text{m}$  和  $100\mu\text{m}$  4 个波段上观测了全天区的 96% 的区域, 在 Catalogued Galaxies and Quasars Observed in the IRAS Survey 中, 对应的星系和类星体有 11444 个, 在  $60\mu\text{m}$  和  $100\mu\text{m}$  波段上同时探测到的星系约 6800 个<sup>[42]</sup>。这为研究星系在红外波段上的辐射性质提供了完整的数据资料。Lonsdale

等人给出在  $40\mu\text{m}$  到  $120\mu\text{m}$  波段间的远红外光度的公式为<sup>[43]</sup>：

$$L_{\text{FIR}} = 3.75 \times 10^5 D^2 (2.58 F_{60} + F_{100}) (L_{\odot}) \quad (3)$$

式中， $D$  为星系距离，单位是 Mpc， $F_{60}$  和  $F_{100}$  分别表示在  $60\mu\text{m}$  和  $100\mu\text{m}$  波段上的观测流量，单位是 Jy。在本文下述部分所碰到的  $F_{12}$ ， $F_{25}$ ， $F_{60}$  和  $F_{100}$  分别表示了 IRAS 在 4 个波段上观测到的流量。

### (5) 射电连续辐射

星系中射电辐射有两个来源，一是电离气体的热辐射，另一是超新星及超新星遗迹的非热辐射。Helou 等人发现在星系中普遍存在着相关极好的射电和远红外辐射的关系<sup>[44]</sup>。从射电辐射谱指数及表面亮度可看出射电辐射绝大部分来自非热源，即射电辐射大部分来自超新星及超新星遗迹的非热辐射，因而可以用射电表面亮度等来描述星系中的恒星形成。Keel 认为在厘米波段上的射电辐射表面亮度反映了星系中的超新星形成率<sup>[39]</sup>。Colina 等人给出星系中恒星形成率 (SFR) 的表达式为<sup>[45]</sup>：

$$\text{SFR} = \kappa (M_{\text{d}}^{(-\alpha+2)} - M_{\text{u}}^{(-\alpha+2)}) / (\alpha - 2) (M_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1}) \quad (4)$$

其中：

$$\kappa = \mathcal{R}_{\text{SNII}} (\alpha - 1) / (10^{(-\alpha-1)} - 25^{(-\alpha-1)}) \quad (5)$$

$\mathcal{R}_{\text{SNII}}$  为每年产生的超新星数量， $\alpha$  为射电辐射谱指数， $M_{\text{d}}$  和  $M_{\text{u}}$  分别对应于初始质量分布函数的质量下限和上限。

对于一个完备样本星系中恒星形成情况，我们可从以上几个方面加以研究。但到目前为止，作为一个均匀样本观测到  $\text{H}\alpha$  流量的星系仅 200 个左右<sup>[46,47]</sup>。下面的讨论将主要从光学色指数、射电以及红外辐射等几个方面来研究和比较星系中的恒星形成。

## 5 观测和统计

本节将从射电、红外辐射以及统计结果等方面来讨论棒在星系恒星形成中的作用。

### 5.1 射电辐射观测结果

在 70 年代，人们就已开始研究星系中射电连续辐射和形态间的联系。由于当时射电观测分辨率较低，通常只能得到整个星系的总射电流量，结果发现星系射电辐射与星系哈勃类型和形态无关，即棒的存在与否并不影响整个星系中的射电辐射<sup>[48-50]</sup>。

到 1981 年，Hummel 利用韦斯特博克综合口径射电望远镜 (Westerbork Synthesis Radio Telescope (WSRT)) 在 1415MHz 频率上观测了 280 个星系的射电辐射<sup>[19]</sup>，观测角分辨率为  $23''$ ，足以把整个星系的辐射分成中心区域和盘上区域两部分。结果发现光学性质相似的棒旋和非棒旋星系，在盘上的射电辐射没有差别，但是在中心区域里的射电辐射，棒旋星系的要比非棒旋星系的高 2—2.5 倍。

Puxley 等人同样利用 WSRT 观测了 22 个星系的射电辐射<sup>[51]</sup>，利用 Hummel 射电观测资料<sup>[52,53]</sup>，研究了棒旋和非棒旋星系在中心区域 1—3kpc 范围内射电辐射的情

形。他们得到在 30 个棒旋星系中，90% 的星系在中心区域具有强射电源；而在 54 个非棒旋星系中，仅仅 26% 的星系具有强射电源。这表明棒旋星系核区的恒星形成要比非棒旋星系的强。

近几年来，人们利用毫米波望远镜观测棒旋星系中 CO 的辐射<sup>[54-56]</sup>，结果发现在棒上 CO 辐射明显增强，表明棒上正发生剧烈的恒星形成。

总之，射电观测的结果表明棒旋星系在核区 1—3kpc 范围内的恒星形成要比非棒旋的强，说明棒增强了星系核区的恒星形成。

## 5.2 近红外辐射观测结果

Devereux 等人认为，近红外波段观测得到的流量超也反映了星系中的恒星形成<sup>[57]</sup>。

Becklin 在  $10\mu\text{m}$  波段处观测 Virgo 星团中星系的近红外辐射<sup>[58]</sup>，得到星系核区的红外光度与棒无关。

Devereux 等人观测 Virgo 星团中 150 个星系在  $10\mu\text{m}$  处的近红外辐射<sup>[57]</sup>，经研究后得到棒旋和非棒旋星系在  $10\mu\text{m}$  处的辐射没有差别，并认为对正常旋涡星系核区的恒星形成过程来说，棒的存在并不重要。

Pompea 和 Rieke 为了证实非相互作用星系中的高红外光度取决于流向星系核心区域物质多少的假设<sup>[21]</sup>，观测光学上非棒旋的、远红外光度大于  $10^{10}L_{\odot}$  的 15 个孤立星系在  $1.6\mu\text{m}$  和  $2.2\mu\text{m}$  波段处的单色像，发现至少在 8 个星系的核区中不存在棒状结构。这说明在红外活动的星系中，棒并不是增强星系核区恒星形成的必要条件。

在近红外波段上的观测结果表明，棒在星系恒星形成过程中的作用并非至关重要。

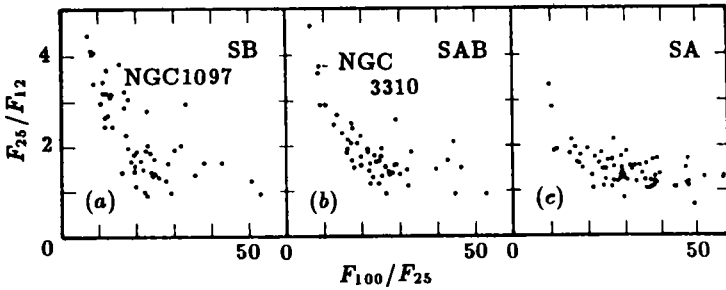


图 2 棒旋和非棒旋星系的 IRAS 两色图，Hawarden 等人统计的结果<sup>[20]</sup>

## 5.3 统计研究结果

Hawarden 等人在统计研究了 Revised Shapley-Ames Catalog 中非塞弗特星系和非相互作用星系的 186 个星系的远红外辐射后<sup>[20]</sup>，发现棒旋星系的平均远红外光度要比非棒旋星系的大 2 倍多，分别为  $4.3 \times 10^{10}L_{\odot}$  和  $1.7 \times 10^{10}L_{\odot}$ 。在  $F_{25}/F_{12}$  与  $F_{100}/F_{25}$  的两色图上，大约三分之一的棒旋星系的  $F_{25}/F_{12}$  的值要大于 2.2，而非棒旋星系很少能达到该值。见图 2。他们认为棒的存在导致气体内流，并积聚在核区共转圈附近，从而形成一个绕核环。当环上物质密度大于一定程度后，在环上发生星暴现象。因而棒旋星系中恒星形成要比非棒旋的高。他们同时指出，在 NGC1097 和 NGC3310 中，就存在这样的环<sup>[59,60]</sup>。

Dressel 统计研究了 738 个 S0 到 Sc 星系中暖亮红外星系的分布<sup>[61]</sup>。她认为在星系恒星形成区域，尘埃吸收大质量年轻恒星发出的紫外光子，并在红外辐射出去。加热后尘埃的红外辐射要比星际介质中冷尘埃的暖得多，因此暖亮红外星系(指  $F_{100}/F_{60} < 2.0, F_{60} > 1.5\text{Jy}$ )才真正反映了恒星形成。通过比较不同哈勃类型中暖亮红外星系的分布，得到在 S0 到 Sb 的棒星系中，暖亮红外源所占比例要明显比非棒旋的高，而在 Sc 星系中，棒旋和非棒旋星系没有区别。见图 3。因此 Dressel 认为棒触发了早型星系中的恒星形成。

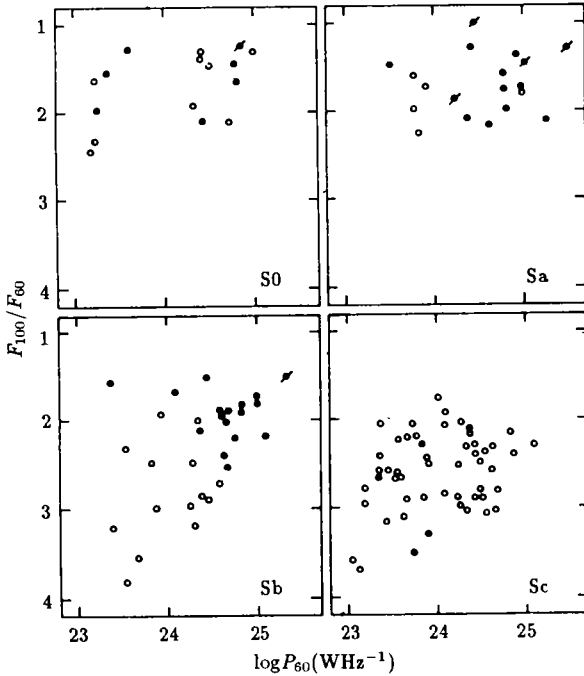


图 3  $60\mu\text{m}$  处的红外辐射功率和  $F_{100}/F_{60}$  的分布<sup>[61]</sup>

但是 Eskridge 和 Pogge 在研究 S0 星系中 HI 含量分布时，发现<sup>[22]</sup> 在 252 个 S0 星系中，HI 含量分布和远红外辐射分布对棒旋和非棒旋星系在 96% 的水平上没有差别。Isobe 和 Feigelson 研究了 Zwicky 表中退行速度小于  $1400\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  的正常星系的红外辐射同形态的关系<sup>[68]</sup>，发现棒不是增强而是减弱了恒星的形成。

我们利用 Soifer 等人给出的红外亮星系资料<sup>[62]</sup>，去掉其中的塞弗特星系<sup>[63]</sup>和强相互作用星系<sup>[64]</sup>，研究棒在红外亮星系恒星形成中的作用<sup>[23]</sup>。

我们发现：

(1) 棒对星系中恒星形成的作用，同研究样本对应的远红外光度

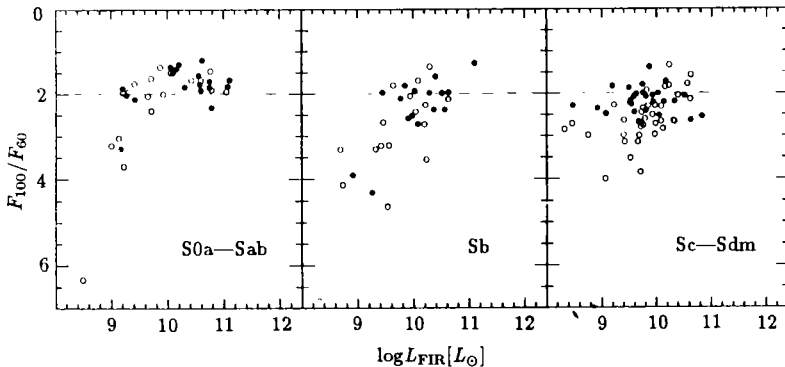


图 4 远红外光度和  $F_{100}/F_{60}$  的分布<sup>[23]</sup>。

其中实心点表示棒旋星系，空心点表示非棒旋星系



与蓝光度的比值 ( $L_{\text{FIR}}/L_{\text{B}}$ ) 有关。由棒减弱恒星形成到棒增强恒星形成对应着这个比值由小到大。

(2) 在 S0 到 Sb 的红外亮星系中, 棒旋星系所含暖亮红外源的比例也不比非棒旋的高, 见图 4。

(3) 对 S0/a 到 Sbc 的红外亮星系而言, 棒的作用仅当远红外光度与蓝光度的比值 ( $L_{\text{FIR}}/L_{\text{B}}$ ) 大于某一值时, 才明显增强, 见图 5。

(4) 对 Sc 到 Sdm 的红外亮星系来说, 棒并不增强恒星形成。

## 6 讨 论

目前在观测和统计上的一些矛盾的结论, 看来有着多种原因。研究的样本不同可能是其中一个重要的因素。Mazzarella 等人研究了从正常的 RSA 星系到超亮红外源等几种不同样本的统计性质<sup>[65]</sup>, 结果发现 Soifer 的红外亮星系样本同正常的 RSA 样本完全不同, 马卡尔良的并合星系样本却在多方面同 Soifer 的红外亮星系样本一致。

表 1 中列出的同棒无关的结果大都是针对正常的 RSA 星系样本得到的。我们得到的棒增强恒星形成的结论却是研究了 Soifer 红外亮星系后得到的, 这种增强的阈值条件可能正是反映了从正常星系到红外亮星系的过渡。

Elmegreen 等人通过对棒旋星系的观测, 总结出在早晚型棒旋星系中棒的性质是不一样的<sup>[66,67]</sup>。早型的棒相对长、强, 而晚型棒相对较短、较弱; 早型棒沿着棒的强度分布比较平坦, 但晚型棒的强度分布呈指数分布。

因此, 为了研究棒在星系恒星形成中究竟起什么作用, 应尽量就同一哈勃类型的星系样本来讨论。我们的研究表明把各个哈勃类型的星系放在一起讨论, 将会模糊棒旋和非棒旋星系的区别。

由于 IRAS 观测无法区分星系核区和盘上的红外辐射成分, 因而目前利用 IRAS 资料只能研究整个星系中累积的恒星形成过程。很可能今后的高分辨率的远红外观测会发现棒确实增强星系核区 (1 - 2kpc) 范围内的恒星形成, 如同现在的射电观测结果一样。因此, 今天从累积效应得到的星系中恒星形成与棒无关的结论, 就必须加以修改。实际

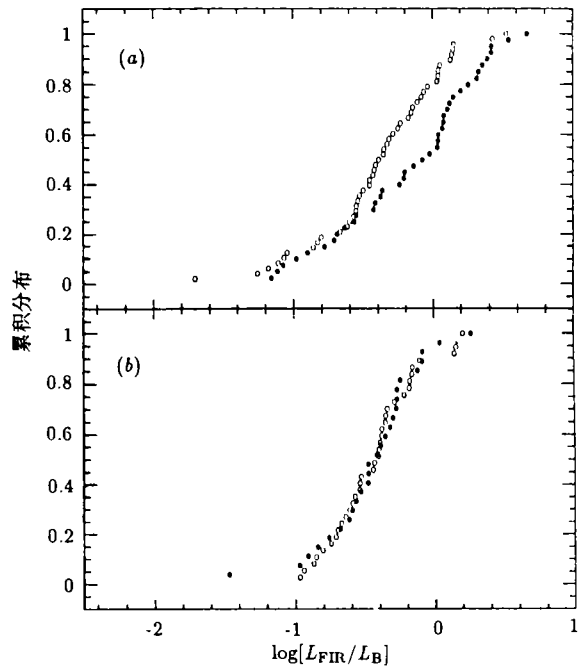


图 5 早型和晚型星系远红外光度与蓝光度之比的累积分布<sup>[23]</sup>: (a) 早型星系, (b) 晚型星系。其中实心点表示棒旋星系, 空心点表示非棒旋星系

表 1 到目前为止在这个问题上的主要研究成果

	棒增强星系中恒星形成	星系中恒星形成与棒无关	棒减弱恒星形成
观 测	1.Hummel <sup>[19]</sup> 提出棒增强星系中心区域射电辐射;  2.Puxley 等人 <sup>[51]</sup> 提出棒增强星系核区 1—3kpc 范围内的恒星形成。	1.Cameron <sup>[48]</sup> , Dressel 等人 <sup>[49]</sup> 和 Dressel <sup>[50]</sup> 提出射电辐射与棒无关; 2.Becklin <sup>[58]</sup> 和 Devereux 等人 <sup>[57]</sup> 在 10 $\mu$ m 处观测得到棒不增强正常星系核区的恒星形成; 3.Pompea 等人 <sup>[21]</sup> 在 1.6 $\mu$ m, 2.2 $\mu$ m 成像观测, 提出棒不是增强星系红外活动的必要条件。	
统 计	1.Hawarden 等人 <sup>[20]</sup> 统计 RSA 186 个星系, 提出棒增强星系核区的恒星形成; 2.Dressel <sup>[61]</sup> 在 738 个星系中, 得到棒增强 S0 到 Sb 星系中的恒星形成; 3. 我们统计表明在 S0/a 到 Sbc 星系中, 只有在一定条件下棒增强星系中恒星形成。	1.Eskridge 等人 <sup>[22]</sup> 在 252 个 S0 星系中, 发现棒旋和非棒旋星系间没有差别; 2.Dressel <sup>[61]</sup> 在 Sc 星系中, 发现棒不增强恒星形成; 3. 我们统计在晚型星系 (Sc-Sdm) 中, 棒不增强星系中恒星形成。	1.Isobe 等人 <sup>[68]</sup> 研究 449 个 Zwicky 源, 发现棒减弱恒星形成。

上理论 N 体模拟结果得到的是棒的存在会使气体向星系核区内流, 从而产生星系核区的星暴。因此棒的存在会增强星系中的恒星形成, 从模拟角度来看, 特别应该增强星系核区的恒星形成。从这点出发, 表 1 的矛盾结果可能并不像表面上看得那么严重。

**致谢** 感谢紫金山天文台胡佛兴和南京大学天文系周庆林、涂传平有益的讨论和帮助。

### 参 考 文 献

- [1] Bosama A. In: Longo G *et al* eds. Morphological and physical clasification of galaxies. [s. l.]: [s.n.], 1992. 207
- [2] Shlosman I, Begelman M C, Frank J. Nature, 1990, 345: 679
- [3] Lynden-Bell D. Ap. J., 1964, 139: 1195
- [4] Ostriler J O, Peebles P J. Ap. J., 1973, 186: 467
- [5] Bardeen J M. In: Hayli A ed. Dynamics of stellar system, Proc. of IAU Symp. No.69. Besancon, 1974, Drodrecht: Reidel, 1975: 297
- [6] Lynden-Bell D, Kalnajs A J. M. N. R. A. S., 1972, 157: 1
- [7] Lynden-Bell D. M. N. R. A. S., 1979, 187: 101
- [8] Toomre A. Ap. J., 1969, 158: 899
- [9] Toomre A. In: Fall M, Lynden-Bell D eds. The structure and evolution of normal galaxies. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1981. 111

- [10] Contopoulos G. *Astron. Astrophys.*, 1979, 71: 219
- [11] Contopoulos G. In: Evans D S ed. *Photometry, kinematics and dynamics of galaxies*. Austin: Univ. of Texas Press, 1979. 425
- [12] Contopoulos G. In: Mariopoulos E G, Theocaris P S, Mavrides L N eds. *Compendium in astronomy*. Dordrecht: Reidel, 1983. 55
- [13] Combes F. In: Thuan T X *et al* eds. *Starbursts and galaxy evolutions*. [s.l.]: [s.n.]. 1987.313
- [14] Noguchi M. *Astron. Astrophys.*, 1988, 201: 37
- [15] Noguchi M. *Astron. Astrophys.*, 1988, 203: 259
- [16] Combes F, Gerin M. *Astron. Astrophys.*, 1895, 150: 327
- [17] Sancisi R, Allen R J, Sullivan W T. *Astron. Astrophys.*, 1979, 78: 217
- [18] Pence W D, Blackman C P. *M. N. R. A. S.*, 1984, 210: 547
- [19] Hummel E. *Astron. Astrophys.*, 1981, 93: 93
- [20] Hawarden T G, Mountain C M, Leggett S K *et al*. *M. N. R. A. S.*. 1986, 221: 41p
- [21] Pompea S M, Rieke G H. *Ap. J.*, 1990, 356: 416
- [22] Eskridge P B, Pogge R W. *A. J.*, 1991, 101: 2056
- [23] Huang Jiehao *et al*. *Astron. Astrophys.*, 1994, submitted
- [24] Sellwood J A. *Astron. Astrophys.*, 1980, 89: 296
- [25] Noguchi M, Ishibasi S. *M. N. R. A. S.*, 1986. 219: 305
- [26] Noguchi M, *M. N. R. A. S.*, 1987, 228: 635
- [27] Noguchi M. In: Thronson H A, Shull J M eds. *The interstellar medium in galaxies*. Dordrecht: Kluwer, 1990. 323
- [28] Elmegreen D M, Elmegreen B G, Bellin A D. *Ap. J.*, 1990, 364: 415
- [29] Miller R H, Smith B F. *Ap. J.*, 1979, 227: 785
- [30] Sellwood J A. *Astron. Astrophys.*, 1981, 99: 362
- [31] Contopoulos G, *Astron. Astrophys.*, 1980, 81: 198
- [32] Contopoulos G, Grosból P. *Astron. Astrophys.*, 1988, 197: 83
- [33] Sanders R H, Tubbs A D. *Ap. J.*, 1980, 235: 803
- [34] Thielheim K O, Wolf H. *Ap. J.*, 1984, 276: 135
- [35] Sparke L S, Sellwood J A. *M. N. R. A. S.*, 1987, 225: 653
- [36] Sellowd J A, Sparke L S. *M. N. R. A. S.*, 1988, 231: 25
- [37] Byrd G G *et al*. *Astron. Astrophys.*, 1986, 166: 75
- [38] Jeffrey D P *et al*. *Ap. J.*, 1991, 381: 118
- [39] Kell W C. In: Combes F *et al* eds. *Dynamics of galaxies and their molecular cloud distributions*. Netherlands: [s.n.], 1991. 243
- [40] Pogge R W, Eskridge P B. *A. J.*, 1987, 93: 291
- [41] Devereux N A, Young J S. *Ap. J.*, 1991, 371: 515
- [42] Helou G, In: Israel F P ed. *Light on dark matter*. Dordrecht: Reidel, 1986. 405
- [43] Lonsdale C J, Helou G, Good J C *et al*. *Catalogued galaxies and quasars observed in the IRAS survey*. Washington D. C.: [s.n.], 1985
- [44] Helou G, Soifer B T, Rowan-Robinson M. *Ap. J.*, 1985, 298: L7
- [45] Colina L, Perez-Olea D. *M. N. R. A. S.*, 1992, 259: 709
- [46] Kennicutt W. A. J., 1983, 88: 1094
- [47] Romanishin W. A. J., 1990, 100: 373

- [48] Cameron M J. M. N. R. A. S., 1971, 152: 403
- [49] Dressel L L, Condon J J. Ap. J. Suppl., 1978, 36: 53
- [50] Dressel L L. PhD. thesis, Virginia: University of Virginia, 1979
- [51] Puxley P J, Hawarden T G, Mountain C M. M. N. R. A. S., 1899, 231: 465
- [52] Hummel E. Astron. Astrophys. Suppl., 1980, 41: 151
- [53] Hummel E, Pedlar A, van der Hulst J M *et al.* Ap. J. Suppl., 1985, 60: 293
- [54] Handa T, Nakai N, Sofue Y *et al.* Publ. Astron. Soc. Jpn. 1990. 42: 1
- [55] Gerin M, Nakai N, Combes F. Astron. Astrophys., 1988, 203: 44
- [56] Sandquist A, Elfhag T, Jorsater S. Astron. Astrophys., 1988. 201: 223
- [57] Devereux N A, Becklin E E, Scoville N. Ap. J., 1987, 312: 529
- [58] Becklin E E. In: Israel F P ed. Light on dark matter. Dordrecht: Reidel, 1986. 415
- [59] Telesco C M, Gatley I. Ap. J., 1891, 247: L11
- [60] Telesco C M, Gatley I. Ap. J., 1984, 284: 557
- [61] Dressel L L. Ap. J., 1988, 329: L69
- [62] Siofer B T, Boehmer L, Neugebauer G *et al.* A. J., 1989, 98: 766
- [63] Véron-Cetty M P, Véron P. ESO Scientific Report No. 10, 1991
- [64] Lonsdale C J, Persson S E, Matthews K. Ap. J., 1984, 287: 95
- [65] Mazzarella J M, Bothun G D, Boroson T A. A. J., 1991, 101: 2034
- [66] Elmegreen B G, Elmegreen D M. Ap. J., 1985, 288: 438
- [67] Elmegreen B G, Elmegreen D M. Ap. J., 1989, 342: 677
- [68] Isobe T, Feigelson E D. Ap. J. Suppl., 1992, 79: 197

(责任编辑 刘金铭)

## The Effect of Bars on Star-formation in Galaxies

Gu Qiusheng<sup>1</sup> Liao Xinhao<sup>1</sup> Huang Jiehao<sup>1</sup>  
Su Hongjun<sup>2</sup> Wu Guoxiang<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> *Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093*)

(<sup>2</sup> *Purple Mountain Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

### Abstract

We briefly describe the effect of bars on star-formation in galaxies from theoretic N-body simulation, radio emission, infrared emission and statistical aspects. And that there are two different results due to this effect are also discussed.

**Key words** star: formation—galaxies: starburst—galaxies: kinematics and dynamics—infrared: galaxies—radiation mechanisms: non-thermal—radiation mechanisms: thermal