

共 生 星

黄长春

(中国科学院紫金山天文台)

提 要

本文介绍了自本世纪初发现共生星以来共生星研究的历史。着重讨论了当前在光学、紫外、红外和射电各波段的观测所取得的结果。介绍了目前关于共生星的模型和演化的理论。

一、简单的历史回顾

天空大多数恒星具有简单的光谱，在亮连续光谱上叠加了暗吸收线，它们是所谓的正常矮星、巨星和超巨星。然而有些恒星的光谱里具有亮发射线，如新星、Oe/Be星、T Tau星、长周期变星和共生星等等。早期天文学家称这些天体为特殊恒星。共生星确是特别：它们的光度变化无常，它们的光谱冷热共存。研究共生星的前驱是P.W.Merrill。早在本世纪初Merrill就系统地研究了共生星R Aqr的光谱。他发现这颗星的光谱具有很强的[O III]星云线和HI发射线，其吸收光谱则像一颗具有TiO吸收带的Md变星的光谱^[1]。Merrill和Humason(1932)^[2]又发现了三颗具有“复合光谱”的星C1Cyg, RWHya和AXPer。1941年Merrill把这类星叫做“共生星”^[3]。在他关于共生星的定义里主要有两点：即在它们的光谱里有冷M型星光球的吸收线，并存在非常高温的发射线。到四、五十年代，研究共生星的天文学家越来越多，主要有Wilson山天文台的Merrill、Humason、Burwell、McDonald和Yerkes天文台的Swings、Struve以及Haute-Provence天文台的Tcheng、Bloch。这一时期，他们对以Z And为代表的大约12颗共生星作了大量的观测研究，描述了它们的光谱和光度的特征及变化。Merrill, Swings和Struve等人还怀疑所有共生星是双星。

到60年代末，天文学家已经积累了大量共生星的光谱和光度资料，对共生星现象的认识大大前进了一步。这时对共生星的定义更具体了。例如Boyarchuk(1969)^[4]提出，共生星除存在低温恒星光谱特征(TiO吸收带, Ca I及Ca II等元素的吸收线)和由He II, O III或更高电离度的离子产生的高激发发射线以外，它们的光度还须有变化。那时满足这些条件的共生星有21颗，另外还有16颗可疑的共生星^[4]。尽管那时还没有可靠的关于共生星轨道运动视向速度曲线的资料，Boyarchuk(1969)还是第一次明确地提出了一个共生星现象的双星模型。根据他的模型，共生星由三部分组成：即一颗红巨星($R_x \sim 10^2 R_\odot$)，一颗小热星($T_h \sim 10^5 \text{K}$, $R_x \sim 0.5 R_\odot$)和一个环绕这两颗星的电离气体星云($N_e \sim 5 \times 10^6 \text{cm}^{-3}$, $T_e \sim 17000 \text{K}$ 和 $R_n \sim 5 \times 10^4 R_\odot$)。

70 年代以来, 由于天文新技术的应用, 特别是空间天文的发展, 天文学家开始对共生星进行从X射线到无线电波的各个波谱段的观测研究, 人们对共生星现象的了解更为全面, 对共生星的本质的认识达到了一个新的高度。由国际紫外探测卫星 IUE 得到的观测资料使天文学家更直接地看到了辐射主要在远紫外波段的高温成分的起源和性质, 在红外波段得到的观测资料则更清楚地反映了共生星冷光谱成分的本质; 而近年来甚大天线阵的高灵敏度、高空间分辨率的射电观测, 直接揭示了某些近共生星星云的结构, 因此, 使天文学家在近十年里对共生星现象的起源的看法发生了巨大变化。现在共生星的双星模型已普遍被接受, 认为

它们是一种小质量及周期较长的双星, 其中一颗为红巨星或红超巨星, 另一颗为主序星、白矮星甚至中子星。红巨星通过星风或洛希瓣流失物质, 其热伴星吸积这些物质而形成吸积盘并产生高温辐射。

目前在银河系里已发现共生星 125 颗, 另有 25 颗为可疑共生星。此外, 在大小麦哲伦星云里发现了五颗, 在天龙座矮球状星系里发现一颗。这些河外星系的共生星都是碳星, 而在银河系里只有两颗共生星的冷成分为碳星。Allen^[6]1984 年发表了一个包含 124 颗共生星和 15 颗可能的共生星的较完整的表。他还给出了各星的证认图并给出了部分共生星的光谱图。共生星在银河系里的分布与行星状星云和银河新星一样向银道面集结, 因而被认为属于老的盘星族^[6]。

二、光学观测

直到今天地面光学观测仍然是研究共生星的主要手段。光学观测不仅历史悠久, 可以根据多年来积累的大量资料去追踪它们的光谱和光度的长期变化来研究其共生星现象的性质, 而且精密的测光和光谱分析是探测双星系统的各种参数, 确定共生星的双星本质的可靠方法。

1. 共生星的光度变化

图 1 是典型共生星 Z And 的光度变化曲线^[6]。可以看出, 它具有半规则光变的性质, 在呈现一定周期性的变幅较小的光变曲线上叠加了一些亮度增加 2—3 等的非周期性的爆发活

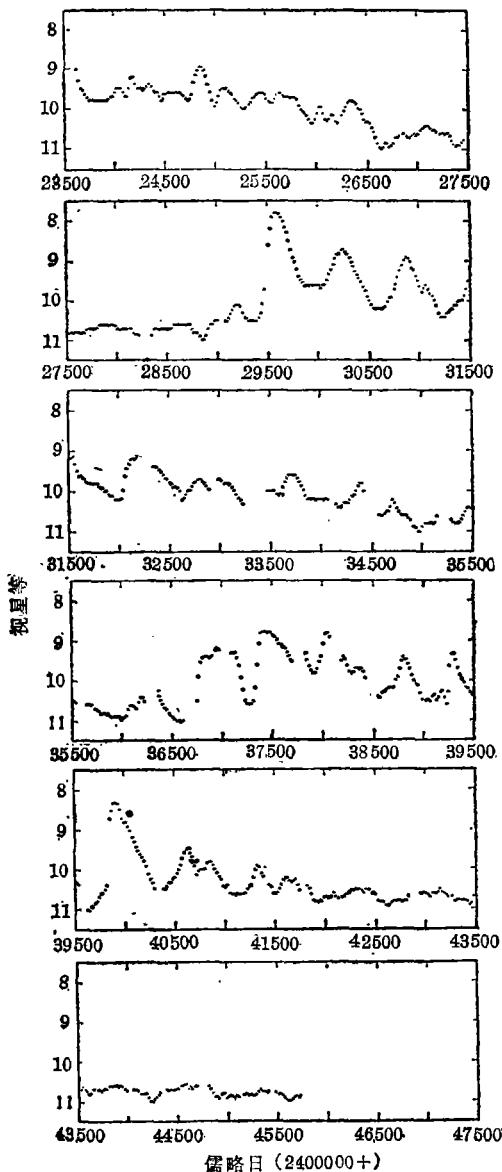


图 1 典型共生星 Z And 的光度变化曲线^[6]

动。从光变情况看，共生星一般存在活动期和宁静期。在爆发活动期，其色指数 $B-V$ 减小，恒星变蓝，同时也引起光谱的变化。在宁静时期的冷星的吸收光谱被蓝连续发射遮掩了，大多数发射线消失或变弱了，而氢和氦发射线的紫端出现 PCyg 吸收成分。不过也有例外，例如 A G Dra 星，它在 1981 年活动期的发射线光谱和在 1966 及 1985 年宁静期的发射线光谱没有大的差别，它们都很强。只是活动期强时，蓝连续发射掩盖了宁静期明显可见的冷星的吸收线 (Huang et al., 1988)^[7]。大约有 8 颗共生星的光度变化具有非常慢的新星的光度变化的性质，即在其历史记录上只观测到一个类似于新星的爆发活动。著名的 AG Peg 星就是一个典型的例子^[8]。

2. 共生星的光谱特征

图 2 是典型共生星 Z And 宁静期的光学光谱^[9]。这里共生星冷、热光谱成分的特征十分

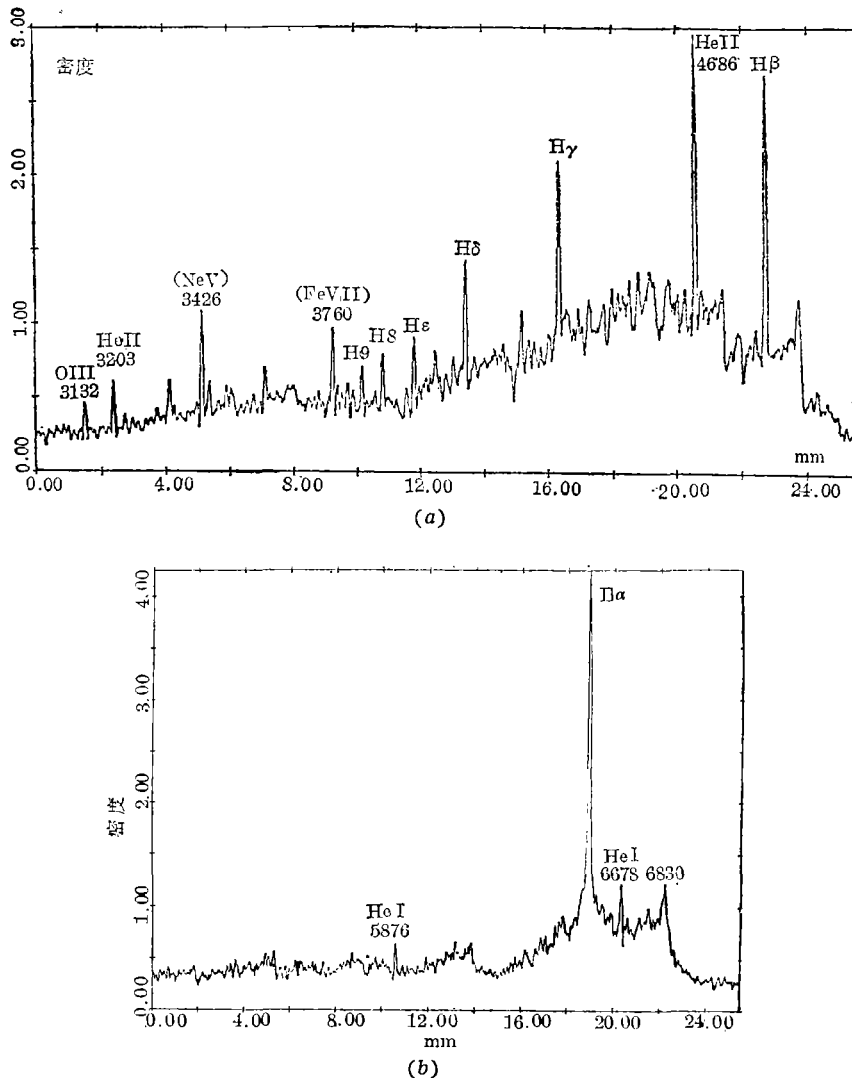


图 2 共生星 Z And 的光谱 (Huang, 1984)^[9]

明显, 在蓝紫区(图 2a)的高电离离子 He II、[Ne V]、[Fe VII]、O III 和氢的巴耳末发射线以及在红光谱区(图 2b)的 H α 发射线和中性氢发射线以及尚未得到认证的 λ 6830 发射带都十分突出。在蓝紫区最右面连续光谱的陡然下降和在红光谱区 H α 发射线左面连续光谱的巨大凹陷都是由 TiO 分子吸收带所造成。在 Z And 星的光谱里我们还测到许多由 Fe II、Fe III 和 [OI] 等产生的低激发发射线^[9]。

共生星的光谱型从早 G 型到晚 M 型以至碳星都有。光度级一般为巨星或超巨星。由于作为 MK 光谱分类判据的吸收光谱特征主要在蓝紫光谱区, 而这里常为变化的蓝连续发射所遮掩, 所以共生星的光谱分类多年来一直是一个非常困难的问题, 特别是对它们光度级的分类常常不确定。例如对 AG Dra 星的分类就有 KO Ib^[10]、dG₇^[11]、G7 III^[12]、K1^[13]、K3 III^[14]、K5 III^[15]和 K1 II^[16]。AG Dra 的视向速度为 -150km/s ^[10]。这样高速的星很可能属于银晕星族而缺乏金属元素, 因而用不同方法得到的光谱分类差别就大。Friedjung(1988)^[17]指出, 在光度测定上的不确定性也许更难以避免, Huang 根据 Ti II、Sr II 和 Ba II 的强度将 AG Dra 分类为 KO Ib, 即是说它的冷成分是超巨星。最近 Kenyon 等根据红外资料得到的分类是 <K4 III。根据不同判据得到不同光谱的另一个例子是 YY Her 星。Huang(1984)^[18]根据这颗星的蓝紫光谱区的特征得到这颗星的光谱型为 G8 Ib, 而 Herbig(1950)^[19]根据 TiO 吸收带强度将它分类为 M2。为了了解共生星的冷成分是否充满洛希瓣以便构造它们的模型, 准确知道它们的光度级是非常重要的。可是, 目前还没有正确测定共生星光度级的好方法。

3. 共生星的热成分

在共生星光谱里存在许多相对稳定的很强的高电离高激发发射线表明, 它们必定有一个激发这些发射线的高温辐射源。要激发像 He II 和 O III 的谱线, 热源的温度必须在 10^5K 以上。根据 He I λ 4471、He II λ 4686 和 H β 的强度比值与温度的关系^[20], Huang(1984)^[9]得到 Z And 热成分的温度为 200000K 。Kenyon(1986)^[6]得到这颗星的 He II Zanstra 温度为 180000K 。从光学光谱不能直接了解共生星热成分的性质, 因为如此高温的热成分的辐射主要位于远紫外光谱区。在下面关于共生星的紫外光谱部分将要讨论这问题。

4. 共生星的发射星云

在光学波段研究得最成功的要算发射星云了。共生星具有极丰富的发射线, 它们来源于激发度相差很大的各种离子, 从电离电势很低的 Fe II、Ti II 到电离电势很高的离子如 He II、O III、[Fe VII]、[Ca VII]甚至电离电势更高的离子 [Fe X IV]、[K X I]、[Ca X III]和 [Ni X V]^[21]都观测到了。H I 和 He I 的发射线在共生星光谱中是最常见的。要产生像 Fe VII 这的的离子, 光子能量要超过 100eV 。共生星的发射线既有容许跃迁也有禁戒跃迁, 并且它们的强度经常变化, 说明环绕共生星的星云的结构十分复杂。

利用通常分析星云物理状态的理论和方法, 不仅可以推断激发这些发射谱线的热源的温度, 而且可以测定电离星云的电子密度和电子温度。Nussbaumer(1982)^[22]指出, 利用光学区 [O III] 的发射线配合 [O III] λ λ 1661, 1667 二重线紫外卫星观测, 对探测星云的电子温度和电子密度非常有用。Kenyon(1986)^[6]得到共生星星云的电子密度为 $\text{Ne} \sim 10^8 - 10^9 \text{cm}^{-3}$, 其电子温度在 $10000 - 20000\text{K}$ 之间。

以上得到的共生星星云的 T_e 和 N_e 值有一个前提, 即这些谱线都产生在星云的另一区域。然而观测表明共生星的星云有明显的分层结构, 不同激发度的离子位于不同层里。在我们对共生星 C I Cyg 的观测中发现, 它的发射线有两组视向速度, 其容许线的视向速度平均为负的, 而禁线的视向速度为正的^[23]。交蚀共生星 C I Cyg 和 AR Pav 的观测令人信服地证实了共生星发射星云的分层结构。在 C I Cyg 1980 年发生交蚀时, 除 $[O III] \lambda 5007$ 和 $[O III] \lambda 4363$ 的强度在整个交蚀过程中几乎保持不变。同时, 有交蚀现象的谱线被掩蚀的程度还随着它们的激发度的增大而增加, 其次序大约是 $H\beta$, $H\gamma$, $H\epsilon$, $He I$ 线, $N III + C III \lambda 4640$ 和 $He II \lambda 4686$, $He II \lambda 4686$ 的掩蚀最厉害。此外, $H\beta$, $He II \lambda 4686$ 和 $He I \lambda 5876$ 的强度都同时在预期的光度极小时达到极小^[24, 25]。以上情况表明, 禁线 $[O III]$ 和 $[Ne III]$ 产生于环绕 C I Cyg 的星云的外围区域, 而高激发 $He II$ 和 $N III + C III$ 的发射线来自接近热成分的区域。有趣的是, 另一颗交食共生星 AR Pav 也有类似的现象。

共生星物理条件的复杂性还可从尚未得到证实的在 $\lambda\lambda 6830, 7088$ 处的强而宽的发射带看出。这些发射带的宽度在 $1000-2000 km/s$, 并且有复杂的结构。大约有 50% 的共生星存在这两个发射带^[26], 它们都是些具有高激发度的共生星。这两个发射带曾被证认为 PV 、 $Fe V I$ 、 $Fe V II$ 、 $Fe V III$ 、 $Ne V III$ 、 $Na IX$ 和 $Ca X$ 等所产生。似乎由 $Fe VII$ 的容许跃迁产生的可能性最大。但对 $Fe VII$ 的高能级又知道得不够精确, 无法得出肯定的结论^[6, 27]。看来这些发射带还是变化的^[9]。为什么 $\lambda\lambda 6830, 7088$ 发射带只出现在共生星上以及它们到底来源于什么元素? 至今还是一个谜, 这问题向原子物理学家提出了挑战。

三、紫外光谱

在紫外波段像在光学波段一样, 共生星的光谱呈现许多很强的高电离离子的发射线。它们来源于 $He II$ 、 $C III$ 、 $C IV$ 、 $Si IV$ 和 $N V$ 等。但有些共生星也存在低电离离子的谱线, 如 $[O I]$ 和 $Fe II$ 等。共生星的紫外连续谱随星的不同而有很大差异。图 3 显示了共生星 AG Peg (左) 和 C I Cyg (右) 的紫外光谱^[28]。AG Peg 的紫外连续谱很强, 并且在波长短于 2000 \AA 的波段上, 谱的强度迅速增加, 它的能量分布相当于一个温度为 $30000-60000 K$ 的恒星

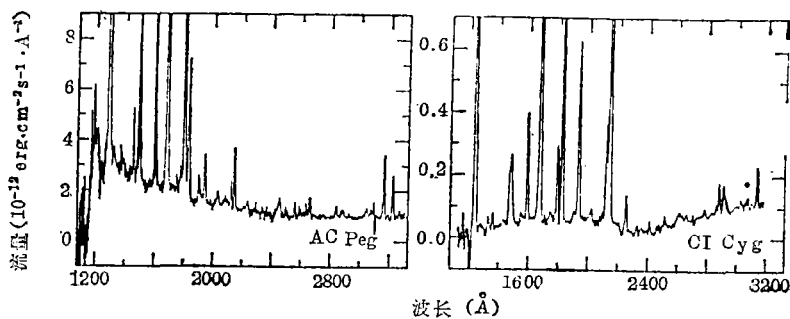


图 3 共生星 AG Peg (左) 和 C I Cyg (右) 的紫外光谱 (Kenyon, 1988)^[28]

源^[29]。大多数共生星的紫外连续谱和 AG Peg 的紫外连续谱差不多, 而少数共生星的紫外连续谱像 C I Cyg 的紫外连续谱一样, 则很平缓, 相当于一颗 A 或 B 型星的辐射^[28]。显然 A 或 B 型星不能产生足够的高能量光子来激发这些共生星的星云发射光谱, 解决这一矛盾的方法是, 假定它们的连续谱起源于环绕一颗小质量星的吸积盘, 高能光子在吸积盘的内边界层产生。Kenyon 和 Webbink^[29]指出, 用环绕一颗主序星的吸积盘能很好地说明 C I Cyg 的连续谱。他们得到其吸积率为接近 $10^{-5}M_{\odot}$ /年, 其伴星为充满洛希瓣的巨星。从紫外区的 C III] $\lambda\lambda 1907, 1909$, N IV] $\lambda\lambda 1488, 1487$ 和 Si III] $\lambda\lambda 1883, 1892$ 等互组合双线以及 O III] 和 [O III] 光学/紫外线的强度比率推得共生星星云的电子密度为 $n_e \sim 10^8$ 到 10^{10}cm^{-3} , 电子温度为 $T_e \sim 10000 \text{K}$ 到 20000K 。显然共生星星云物质的密度要比通常的行星状星云的密度 $n_e \lesssim 10^4 \text{cm}^{-3}$ 大得多^[28]。

顺便提一下, 有些共生星的热成分的温度高达 150000K 以上, 它们很可能是软 X 射线源。但只在少数几颗共生星上观测到了 X 射线辐射。X 射线辐射最强的共生星是 AG Dra 星。

四、红 外 资 料

红外观测是研究共生星冷成分的有力手段, 在这里没有热成分辐射的影响。近红外 $1-5\mu$ 测光观测表明, 大多数共生星是通常的红巨星或长周期变星 (Mira)。许多共生星的近红外颜色与温度为 $2500-3500 \text{K}$ 的恒星光球辐射一致, 这样的天体被称为 S 型共生星。而少数共生星的近红外颜色相当于温度为 1000K 的黑体辐射, 它们被称为 D 型共生星^[30]。D 型共生星有强 H_2O 吸收带, 并且在 2μ 处的光度有像长周期变星那样的周期变化, 变幅 $\Delta K \sim 1^m$, 周期 $P \sim 300-600$ 天^[13, 31]。在近红外双色图上, 大多数共生星长周期变星位于由一个 2500K 的长周期变星和 800K 尘埃壳组成的天体的位置内^[32]。此外, 共生星也是强的远红外源。在已知的共生星中, 有 50% 以上已为 IRAS 红外天文卫星探测到。远红外观测也表明 S 型共生星的颜色类似通常的巨星, 而 D 型共生星很像长周期变星^[28]。

低分辨率近红外分光光度观测表明, 共生星也有长周期变星光谱所具有的典型的 CO 和 H_2O 吸收带。地面大望远镜和 IRAS 中红外分光观测表明, D 型共生星的中红外光谱也具有很晚的巨星和长周期变星的特征。此外, 在 10μ 处的硅酸盐粒子辐射非常突出, 说明它们有很大的质量损失率^[28]。总之, 红外观测表明共生星的冷成分是通常的巨星。

五、射 电 观 测

在光学波段观测到的高激发发射线表明, 共生星有一个很大的电离星云, 因而必然有射电辐射。到 80 年代, 由于高灵敏度高分辨率射电望远镜的出现, 使共生星的射电观测研究大大前进了一步。在厘米波段探测到了大约 30 颗共生星的射电辐射, 大多数共生星的射电辐射主要来自红巨星的被热成分电离了的星风。大多数共生星射电源是宁静的或有非常慢的变化, 这表明共生星存在稳定的物质外流或低速爆发抛射活动^[33]。可是, 有些在光学波段有

爆发活动的共生星也存在射电爆发。有趣的是这些天体的射电图显示出具有双极源加上延伸的低表面亮度晕的结构^[34]。共生星 CH Cyg 1964 年以来处于活动期, 光学波段变化剧烈。1984 年七、八月间这颗星的光学光度突然下降一等以上, 高激发发射线和非常宽的巴耳末线翼出现了^[35,36]。与此同时, 在厘米波段观测到一个射电爆发, 并产生射电发射气体的喷射, 其膨胀速度为 $1''.1/\text{年}$ ^[37]。图 4 是 CH Cyg 星的两幅 2 厘米射电图, 这两幅图的观测相隔 75 天^[34]。共生星射电图的双极结构和对称性表明, 它们很可能具有吸积盘。

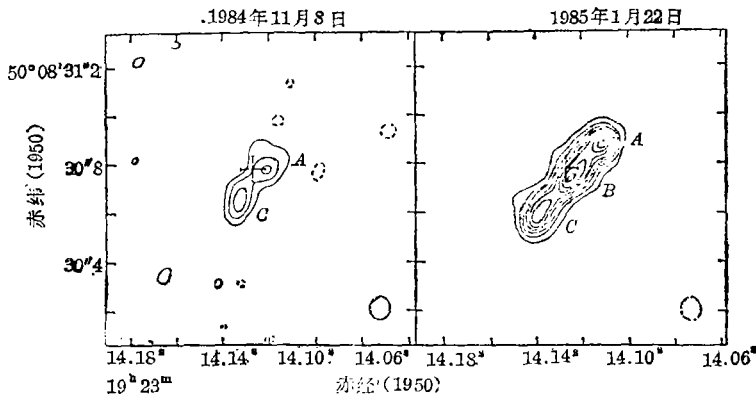
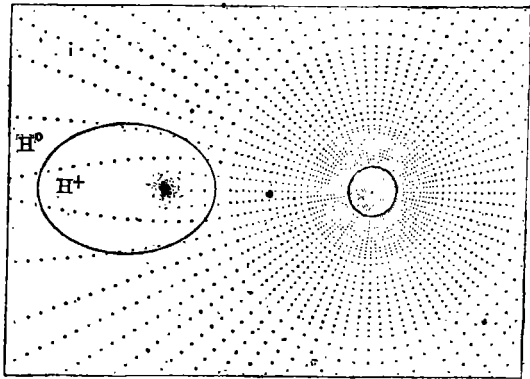
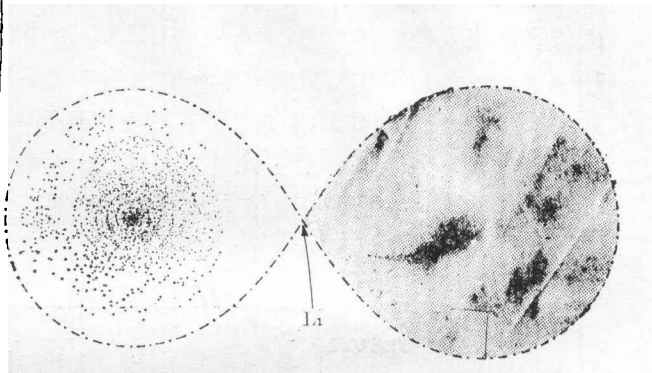


图 4 共生星 CH Cyg 在 $\lambda=2\text{cm}$ 的射电图。两幅图的观测相隔 75 天。十字表示恒星的位置, 喷流的角膨胀率为 $1''.1/\text{年}$ (Taylor, 1988)^[34]

六、现代共生星模型和共生星的演化

80 年代以来关于共生星模型的理论有了巨大的变化。1981 年在法国上普罗旺斯天文台召开的 IAU Colloquium No. 70 共生星本质讨论会上, 还有人讨论单星模型, 而 1987 年在波兰哥白尼大学召开的 IAU Colloquium No. 103 共生星现象讨论会上, 关于共生星的互相作用双星模型几乎无可争辩地为所有到会者所接受。这主要是由于空间紫外卫星观测对共生星远紫外辐射的研究表明, 大多数共生星的高温热成分的紫外连续谱是由热 ($T_e \sim 100000\text{K}$) 而致密的 ($\leq 0.1R_\odot$) 黑体辐射和星云连续辐射所组成。有的共生星的远紫外辐射, 甚至具有 A 或 B 型星的典型远紫外连续谱的性质^[28]。在光学观测方面, 由于新技术新方法的采用, 也大大提高了共生星冷成分视向速度测定的精度。Garcia et al. (1988)^[38] 利用高分辨率 ($\sim 0.2\text{\AA}$) 阶梯光栅光谱仪和 Reticon 探测器进行观测, 并用交叉相关技术进行计算, 经过 6 年观测, 得到了 Z And 和 CI Cyg 等九颗共生星的轨道运动速度曲线, 并推出了这些双星系统的参数。再则 CI Cyg 和 AR Pav 两颗共生星的光度和光谱变化的交蚀现象, 也已是无可争辩的事实。此外, 红外观测的结果说明, 共生星的冷成分很可能是通常的红巨星或长周期变星。

共生星双星模型可分为两类: 1. 包含一颗红巨星或长周期变星和一颗热白矮星或亚矮星的分离系统(图 5a); 2. 包含一颗充满洛希瓣的红巨星和一颗主序星的半分离系统(图 5b),

图 5a 共生星模型之一^[6]图 5b 共生星模型之二^[6]

前者的热成分通过恒星风吸积红巨星损失的物质，后者则通过起潮物质流吸积红巨星流失的物质^[28]。

现在简单谈谈共生星的演化问题。双星系统可以通过好几种途径演化为共生星。任何一个带有小质量伴星的双星系统，如果开始时它们在相距足够远的轨道上运动，则质量较大的主星可以先演化到巨星支而形成吸积盘—主序星共生星。如果两子星相距相当远，使得大质量主星演化到巨星后又一直不能达到充满洛希瓣而流失物质就演化为白矮星，而当小质量伴星演化为巨星或渐近支巨星时，这个系统也成为一颗共生星^[39,40]。

尽管现代观测资料，包括光学、紫外和红外资料都说明共生星是双星，并且一些理论模型也能解释许多共生星现象，但是共生星是不是单一的一类天体以及它们到底是什么天体这个十年前困扰天文学家的问题，今天仍然没有解决。正如 Friedjung(1988)^[41]在 IAU Colloquium No. 103 讨论会总结讲话中所说的“个别的星不总是很喜欢我们的理论”的。事实上，我们对共生星冷成分是不是“正常”的冷巨星的问题不能说已经清楚了，特别是对它们的光度分类还很不确定，而对热成分的性质也还知道得不确切，它的一些参数也常常是用间接的方法推出的。因此，无论从观测上或理论上都还有许多工作要做。从观测上说，精确测定更多的共生星的轨道运动速度曲线并配合以精密的光度测量，求得它们的轨道参数，是了解共生星本质的至关重要的问题。观测研究蚀双星共生星的光谱和光度的变化，以了解共生星的几何结构特别是其星云的结构，也极为重要。此外，也需要进行高分辨率光谱观测和研究各种元素的丰度，以求得冷成分的更准确的光度。在理论方面，需要进一步研究共生星双星的吸积盘理论，目前在这方面的的工作还不多。

以上我们主要从观测角度介绍了共生星研究的历史和现状，并顺便谈到了解释共生星现象的理论模型和共生星的演化问题。天体物理学是一门观测科学，天体物理学发展的历史说明，(理论)模型多样且来而复去，但观测资料一直保存下来。不过理论模型又常常启发观测，向观测提出新的要求，两者互相促进，使我们对宇宙的认识越来越深入。

参 考 文 献

- [1] Merrill, P. W., *PASP*, 31 (1919), 305.
 [2] Merrill, P. W., Humason, M. L., *PASP*, 44 (1932), 56.

- [3] Merrill, P. W., in *Etoile a Raies d' Emission*, p. 436, (1958).
- [4] Boyarchuk, A. A., in *Non-Periodic Phenomena in Variable Stars*, ed. by L. Detre, p. 395, (1969).
- [5] Allen, D. A., *Proc. Astr. Soc. Aust.*, 5 (1984), 369.
- [6] Kenyon, S. J., in *The Symbiotic Stars* (University Press; Cambridge, 1986).
- [7] Huang, C. C., Chen, Y. F., Chen, L., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 205, (1988).
- [8] Viotti, R., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 269, (1988).
- [9] Huang, C. C., in *Proceedings of Workshop on Stellar Activity and Observational Techniques Sino-Japan.* (Publications of the Beijing Astronomical Observatory, 6, 1984), p. 70.
- [10] Huang, C. C., in *IAU Colloquium No. 70*, p. 185, (1982).
- [11] Wilson, R. E., *PASP*, 55 (1943), 282.
- [12] Smith, S. E., *Bopp, B. W.*, M. N. R. A. S., 195 (1981), 733.
- [13] Allen, D. A., in *IAU Colloquium No. 70*, p. 27, (1982).
- [14] Boyarchuk, A. A., *Astrofizika*, 2 (1966), 101.
- [15] Belyakina, T. S., *Izv. Krym. Astrofiz. Obs.*, 40 (1969), 39.
- [16] Roman, N. G., *Ap. J.*, 117 (1953), 467.
- [17] Friedjung, M., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 199, (1988).
- [18] Huang, C. C., *Astron. Astrophys.*, 135 (1984), 410.
- [19] Herbig, G. H., *PASP*, 62 (1950), 211.
- [20] Iijima, T., in *Photometric and Spectroscopic Binary Systems*, ed. by E. B. Carling and Z. Kopal, P. 517, (1981).
- [21] Sahade, J., in *IAU Colloquium No. 70*, p. 1, (1982).
- [22] Nussbaumer, H., in *IAU Colloquium No. 70*, p. 85, (1982).
- [23] Fehrenbach, Ch., Huang, C. C., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 46 (1981), 257.
- [24] Oliverson, N. A., Anderson, C. M., *Ap. J.*, 268 (1983), 250.
- [25] Mikolajewska, J., Mikolajewski, M., *Acta Astron.*, 33 (1983), 403.
- [26] Allen, D. A., in *IAU Colloquium No. 46*, p. 125, (1979).
- [27] Allen, D. A., M. N. R. A. S., 192 (1980), 521.
- [28] Kenyon, S. J., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 11, (1988).
- [29] Kenyon, S. J., Webbink, R. F., *Ap. J.*, 279 (1984), 252.
- [30] Webster, B. L., Allen, D. A., *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.*, 171 (1975), 171.
- [31] Whitelock, P. A., *PASP*, 613 (1987).
- [32] Whitelock, P. A., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 47, (1988).
- [33] Seaquist, E. R., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 69, (1988).
- [34] Taylor, A. R., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 77, (1988).
- [35] Tomov, T., *IBVS*, No. 2610, (1984).
- [36] Selvelli, P. L., Hack, M., *Astronomy Express*, 1 (1985).
- [37] Taylor, A. R., Seaquist, E. R., Mattei, J. A., *Nature*, 319 (1986), 38.
- [38] Garcia, M. R., Kenyon, S. J., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 27, (1988).
- [39] Webbink, R. F., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 311, (1988).
- [40] Tutukov, A. V., Yungel' son, L. R., *Astrofiz.*, 12 (1976), 521.
- [41] Friedjung, M., in *IAU Colloquium No. 103*, p. 349, (1988).

(责任编辑 林一梅)

Symbiotic Stars

Huang Changchun

(*Purple Mountain Observatory, Academia Sinica*)

Abstract

Investigations on symbiotic stars since Merrill's pioneering work at the beginning of this century are reviewed. In this paper we put emphasis on discussions of results of modern optical, ultraviolet, infrared and radio observations of symbiotic stars. In addition, the evolution of symbiotic stars and symbiotic binary models are briefly presented.