

# 仙王 $\beta$ 型变星的观测物理特性和研究进展

刘学富 蔡正东

(北京师范大学天文系)

## 提 要

仙王 $\beta$ 型变星是一类早型(O8-B6, I-V)、短周期、低变幅的脉动变星。本文综述了这类变星的观测物理特性,并着重从实测方面介绍了近年来一些研究进展,新变星的寻找,高精度测光,高分辨率的光谱观测研究,光学偏振,紫外,红外, X射线探测等。仙王 $\beta$ 型变星的脉动机制至今尚未解决。

## 一、仙王 $\beta$ 型变星的观测特性

仙王 $\beta$ 型变星又称为大犬 $\beta$ 型变星,是一类特殊的脉动变星<sup>[1]</sup>。它们的脉动周期短,为0.1—0.6天,一般的在3至6小时之间,有的星如ESVul的脉动周期稍长为14.6小时,光谱型在O8至B6之间,都是早型星,光度级为I—V。光变曲线近似为正弦形,光变幅度小,在0<sup>m</sup>.01至0<sup>m</sup>.03之间(如BWVul星的光变幅为0<sup>m</sup>.24)。其视向速度变化,一般在10—50 km/s(BWVul的视向速度变化稍大,为140—260 km/s)。视向速度变化的周期和它的光变周期是相同的,而光变曲线的位相比视向速度曲线的位相大约落后90°( $\frac{1}{4}$ 周)。

如果它们的光度是由于星半径周期性膨胀收缩变化引起的,则这意味着它们的光度极大对应着半径收缩到最小。这类变星中可能大多数显示出径向脉动,但也有一些星如V469 Per显示出非径向脉动。

近年来发现这类变星的脉动具有多重周期性,这很可能是分析脉动机制的重要依据<sup>[2]</sup>。有的仙王 $\beta$ 型变星具有两个很相近的周期,除此之外还可观测到一个它们调制后的较长周期,称为“拍频”现象<sup>[1]</sup>。一般认为它们是由两种周期相近的振荡干涉的结果。例如 $\nu$  Eri变星有一主周期为4小时10分钟和一相干周期为4小时15分钟,其相干结果产生约7天的拍频周期。

我们收集了近年来有关具有多重周期的仙王 $\beta$ 型变星的资料,列于表1。在表1中也列出了选摘的文献,其中有“?”者表示不同文献有争议的值。

仙王 $\beta$ 型变星在赫罗图中的位置不同于造父变星等脉动变星,比较集中在主序上方与之平行的一条窄带内,称之为仙王 $\beta$ 型变星不稳定带<sup>[3]</sup>(图1表示出了仙王 $\beta$ 型变星在赫罗图

1989年5月20日收到。

1989年8月5日收到第一次修改稿。

1989年9月2日收到第二次修改稿。

中的位置, 摘自文献[1]).

自从1902年Frost发现 $\beta$  Cep星是脉动变星以来, 直到1989年3月已发现了108颗仙王 $\beta$ 型变星, 对这类变星物理特性的认识还有待进一步深入研究.

表 1 多重周期表

No.	星名 (or HD)	P1 日	P2 日	P3 日	P4 日	P5 日	P6 日	参考文献
1	AG Psc	0.08	0.055					51
2	V357 Per	0.28619	0.21955 ?					51
3	V360 Per	0.2007	0.40036 ?	0.40154 ?				51
4	V482 Cas	0.37822	0.28292 ?					55
5	KP Per	0.2017786	0.1980855	0.2270986				51
6	V469 Per	0.304	0.150	0.188	0.476	0.608	1.88	51
7	Nu Eri	0.17790414	0.1735079					51
8	V916 Ori	0.39912	0.28297 ?					51
9	Beta CMa	0.25003	0.12501	0.251300	0.23904	0.12565		51
10	15 CMa	0.184557	0.2033	0.1690				51
11	19 Mon	0.19120	0.19740					51
12	HD 64365	0.1927	0.168					52
			or 0.202					52
13	HD 64722	0.1154	0.1168					52
			or 0.1323					52
14	NGC3293-5	0.17730	0.1502	0.13947				45
15	NGC3293-10	0.168912	0.176056	0.21008	0.163666	0.18315		45
16	NGC3293-11	0.14577	0.149477	0.13850	0.14164	0.15128		45
17	NGC3293-14	0.15242	0.157978	0.16949				45
18	NGC3293-16	0.2506	0.3033					45
19	NGC3293-18	0.176678	0.1742	0.15197	0.17331			45
20	NGC3293-23	0.16207	0.174216	0.15060				45
21	NGC3293-24	0.20618	0.1600	0.17065	0.17699			45
22	NGC3293-27	0.22727	0.23095					45
23	Beta Cru	0.2365072	0.160466	0.121383				51
24	Lambda Cru	0.3951	0.7902 ?	0.1793 ?				51
25	Epsilon Cen	0.169608	0.17696					51
			or 0.2150					51
26	HD 129557	0.127550	0.142516	0.134769				53
27	HD 129929	0.154776	0.143268	0.155062				54
28	Sigma Sco	0.2468406	0.2396710	0.16745	0.15595			51
29	HD 147985	0.13231	0.14493	0.15666				55
30	NGC6231-S110	0.1079	0.0610					8
31	NGC6231-S150	0.1012	0.1077	0.1039	0.1214	0.8738	0.0910	8
32	NGC6231-S238	0.08785	0.06758	0.06221				40
33	NGC6231-S253	0.0671	0.4261	0.2844				8
34	NGC6231-S261	0.0988	0.0954	0.0907	0.0855	0.0830		8
35	NGC6231-S282	0.11928	0.07699	0.12040				40
36	Theta Oph	0.140531	0.092551	0.069452	0.0555	0.0464		51
37	HD 156662	0.1689	0.18861	0.16978				55
38	Kappa Sco	0.1998303	0.205430					51
39	Beta Cep	0.1904881	0.1904705					51
40	12 Lac	0.193092	0.19738	0.182115	0.187438	0.095109	0.23583	51
41	16 Lac	0.169166	0.169170	0.17077	0.181692			51
42	KZ Cep	0.24544	0.212938					51

## 二、观测研究进展

为了深入研究仙王  $\beta$  型变星的物理特性、演化阶段和脉动不稳定性机制, 很多天文学家进行了大量的观测研究。Lesh 和 Aizenman (1978)<sup>[4]</sup>, Jerzykiewicz 和 Sterken (1980)<sup>[5]</sup> 对于仙王  $\beta$  型变星的观测研究作过很好的评述。近年来在各方面如寻找新的仙王  $\beta$  型变星, 高精度的光电测光, 高分辨本领的光谱观测分析及在紫外、红外、X 射线等方面都有显著进展。

### 1. 新的仙王 $\beta$ 型变星的找寻和高精度的测光研究

为了寻找更多的样品和研究它们共同的特性, 近年来一直不断寻找这类变星的新成员。

自然, 测光观测在这方面是比较方便的方法, 由于它们的光变幅度小从而要求有高精度的光电测光(精确到千分之几星等)。Hill (1967)<sup>[6]</sup> 观测过 153 个 B 型星, 发现有 24 个是仙王  $\beta$  型变星。Balona 和 Engelbrecht (1983)<sup>[7]</sup> 在疏散星团 NGC 3293 中发现了 10 个仙王  $\beta$  型变星(其中有一个变星是后来确认的)。同时期 Balona 和 Shobbrook (1983)<sup>[8]</sup> 观测疏散星团 NGC 6231, 发现其中有 9 个成员星是仙王  $\beta$  型变星。最近 Waelkens 和 Rufener (1988)<sup>[9]</sup> 发现 HN Aqr (PHL 346) 是仙王  $\beta$  型变星, 而它是这类变星中唯一的星族 II 成员。

在高精度测光方面, 以应用 Strömberg 系统的 *uvby* 四色光电测光较为普遍, 用以研究这类变星的光变特性、周期变化和多重周期性等。Linden 和 Sterken (1987)<sup>[10]</sup> 对南天的 B、A 光谱型星做了高精度测光, 其中 HR 5488 和  $\sigma$  Sco 星就是这类变星。Jerzykiewicz 等人 (1988)<sup>[11]</sup> 研究了 1981 和 1982 年  $\delta$  Cet 的 *uvby* 测光观测资料, 分析了该变星的光变特征和周期变化。Van der Linden 和 Sterken (1987)<sup>[12]</sup> 由 1982—1983 年的 BW Vul 的四色测光资料精确测定了 BW Vul 的主脉动周期值, 并利用 1982 年的资料进行频谱分析, 求出了该变星的多重周期。高精度的测光研究, 丰富了我们对这类变星光变特性、多重周期性和周期的长期变化的认识, 为研究仙王  $\beta$  型变星的演化态和脉动机制提供了许多重要的科学依据。

### 2. 高分辨率光谱的观测和谱线轮廓变化的研究

研究谱线轮廓的变化对于确定它的大气模型和脉动模式是很重要的, 这需要高分辨率的光谱观测。Allison 等人 (1977)<sup>[13]</sup> 利用像管电视照相机观测 12 Lac 的光谱, 给出了 Si III 线  $\lambda 4553 \text{ \AA}$  和  $\lambda 4568 \text{ \AA}$  谱线轮廓随时间的迅速变化图(如图 2 所示)。

Young, Furenlid 和 Snowden (1981)<sup>[14]</sup> 采用在 Coudé 摄谱仪焦平面附加 CCD, 获得了 BW Vul 的  $H_{\alpha}$  线和 C II 双重线的光谱资料, 时间分辨率为 13 分钟, 观测时间覆盖了一个光变周期, 在分光观测的同时也进行了光电测光, 发现  $H_{\alpha}$  谱线, 轮廓随时间变化, C II

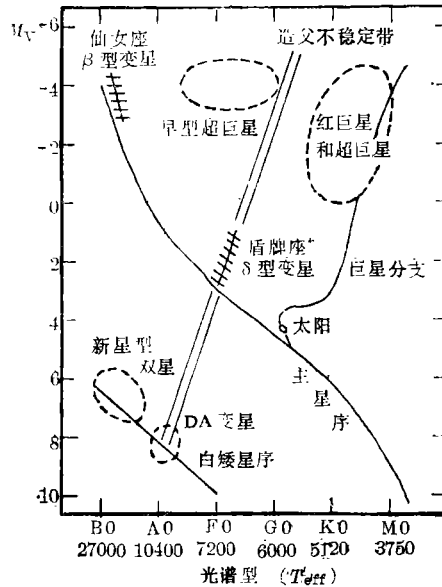


图 1 仙王  $\beta$  型变星在赫罗图中的位置

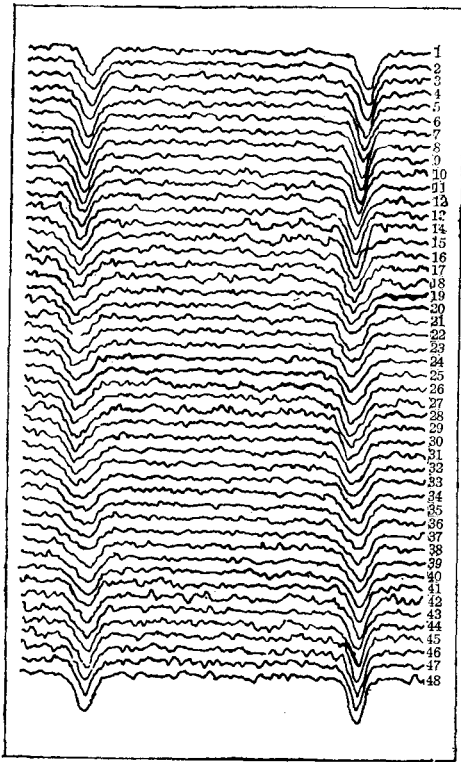


图 2 仙王 $\beta$ 型变星 12Lac 光谱中 Si III 线 4538 Å 和 4553 Å 谱线轮廓随时间序列的变化, 光谱是利用像管照相机(时间分辨率为 6 分钟)拍摄的<sup>[11]</sup>

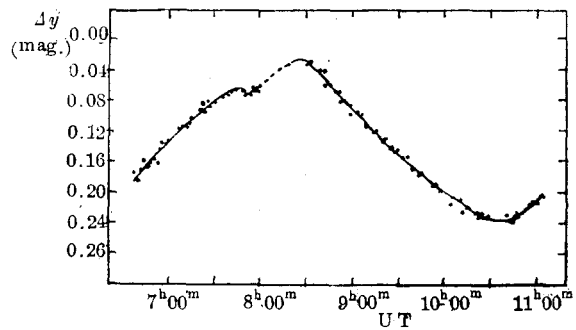


图 3 BW Vul 星的光变曲线(*uvby* 测光系统 *y* 滤光器)(时间分辨率为 2 分钟)

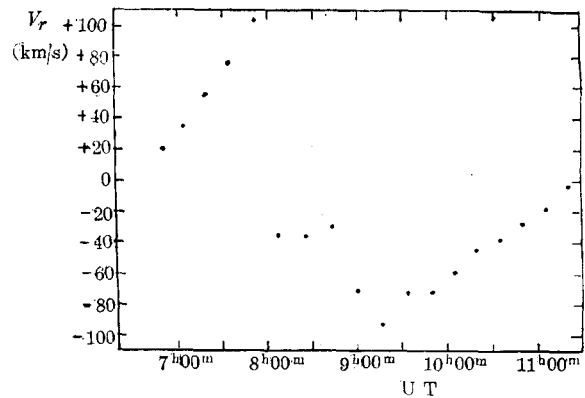


图 4 BW Vul 的  $H_{\alpha}$  线心的日心视向速度曲线(时间和图 3 光变曲线的 UT 时间相对应)

双重线的等值宽度也在变化, 而且发现光变曲线上的“小平台”(stillstand)与视向速度曲线的不连续段正好重合(如图 3 和图 4 所示)。

Crowe 和 Gillet (1989)<sup>[15]</sup> 采用 CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) f/8.2 Coudé 摄谱仪加 Reticon 探测器于 1986 年获得 BW Vul,  $\nu$  Eri 和  $\gamma$  Peg 的高速高分辨(平均时间分辨率为 6 分钟)高色散(4.83 Å/mm)光谱。研究了这些星的  $H_{\alpha}$  和 C II 双重线( $\lambda\lambda$  6578 Å, 6582 Å)在一个脉动周期内视向速度、谱线轮廓和等值宽度的变化, 发现 BW Vul 视向速度的“速度平台”(velocity stillstand)(相应于光极大)的前后对应的位相与  $H_{\alpha}$  核心剩余强度峰值出现的位相是相关的。作者根据这一观测事实提出了 BW Vul 的双激波模型, 并认为  $\nu$  Eri 的观测资料表明, 如果它存在激波也是相当弱或以压力波形式出现,  $\gamma$  Peg 也没有激波活动的证据。他们假定 BW Vul 是处于壳层氢燃烧阶段,  $\gamma$  Peg 是处于核心氢燃烧阶段, 而  $\nu$  Eri 是处于引力收缩的中间演化阶段, 并预计变星光变幅度是随着氢耗尽的演化进程而增长。

一般说来, 这类变星在视向速度曲线上段谱线窄而深, 而在下降段谱线宽而浅, 等值宽度的变化不大(氢线和一些氢线及个别谱线例外)。当变星脉动, 半径达最大时, 一些谱线出现被发射“填充”(“filled”)或部分被填充的情况。

由高分辨光谱观测得到的谱线轮廓与理论上按一定模式计算的理论轮廓相比, 可以对脉动模式提出最大限度的约束条件。Blomme 和 Hensberge(1985)<sup>[16]</sup>研究了 BW Vul 和  $\sigma$  Sco 的紫外光谱, 利用 C IV 和 Si IV 光谱线的轮廓变化, 分析了这两颗变星的外层大气, 估算出它们的质量损失为  $1.4-1.9 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{年}$ 。

Linden 和 Bultler (1988)<sup>[17]</sup>用 Coudé 摄谱仪观测到  $\sigma$  Sco 的光谱, 并建立模型求出在脉动过程中其有效温度变化  $\Delta T_{\text{eff}} = 4000\text{K} \pm 2000\text{K}$ , 其引力变化  $\Delta \log g_{\text{eff}} = 0.7 \pm 0.4$ , 而且推测出  $\sigma$  Sco 的化学元素相对丰度。该变星的 N、He 和 O 化学元素的相对丰度与太阳的相对丰度接近。

### 3. 紫外探测

由于仙王  $\beta$  型变星都是 O、B 型热星, 它们的紫外辐射很强。它们的有效温度约为 20000K 至 27000K, 紫外辐射流量的变化幅度比目视波段的光变幅度大 2 至 8 倍。如 BW Vul 星在 4250 Å 波段范围的光变幅度为  $0^{\text{m}}.24$ , 而在紫外 1430 Å 波段附近变幅为  $0^{\text{m}}.74$ 。

Fischel 和 Sparks (1981)<sup>[18]</sup>用 OAO-2 观测  $\beta$  Cep 变星的 C IV 线(1550 Å), 其等值宽度变化周期约为 6 天, 而其他光谱特征的变化周期为 4 个半小时。Burger 等人(1980)<sup>[19]</sup>利用安装在 TD-1A 卫星上的 S2/68 和 S59 设备, 观测了 16 颗仙王  $\beta$  型变星的紫外辐射流量。紫外探测表明, 这类变星的紫外辐射特征与同光谱型的非变星的紫外辐射特征没有任何显著区别。它们的紫外辐射光变曲线与目视区光变曲线的变化位相相同, 只是随着波长的变短其变幅大大增加。

此外, 紫外探测还发现了 HD61068(PT<sup>4</sup>Pup)是一颗仙王  $\beta$  型变星<sup>[20]</sup>。

### 4. 光学线偏振观测

早期 Serkowski(1968, 1970)<sup>[21,22]</sup>, Schafgans 和 Tinbergen(1979)<sup>[23]</sup>观测过  $\beta$  Cep 等仙王  $\beta$  型变星的光学线偏振。Odell(1981)<sup>[24]</sup>观测 BW Vul 星的偏振, 得到它在 B 波段的线偏振度  $P$  的变化为 0.004%。Clarke(1986)<sup>[25]</sup>观测  $\beta$  Cru,  $\alpha$  Vir 和  $\sigma$  Sco 变星的线偏振, 结果表明  $\beta$  Cru 和  $\alpha$  Vir 的线偏振度及变化幅度都很低, 只有  $\sigma$  Sco 的稍大, 在 4269 Å 半宽 40 Å 的波段范围内最大线偏振度为 1.37%, 而偏振度变化  $\Delta P$  为  $\pm 1.5 \times 10^{-4}$ 。因此所观测到的仙王  $\beta$  型变星的本征偏振及瞬时偏振变化一般是很小的。它们在紫外波段的偏振变化可能会大些, 但这有待进一步观测证实。

### 5. 红外、X 射线等方面

Verma(1983)<sup>[26]</sup>对 9 颗仙王  $\beta$  型变星做了近红外的观测。结果表明它们和对 B 型星估计的流量相符合, 没有发现红外波段的异常发射。

Agrawal(1984)<sup>[27]</sup>研究所观测到的仙王  $\beta$  型变星的 X 射线特性, 认为它们的 X 射线特征与其他同光谱型的星无法区分开来。

Peters 等人(1987)<sup>[28]</sup>综合了紫外远紫外及目视波段的观测资料, 给出了  $\gamma$  Peg 和  $\delta$  Cet 变星在 2 小时期间内它们的有效温度变化分别为 250K 和 450K, 其光度分别是 200 $L_{\odot}$  和 600 $L_{\odot}$ 。他们还进一步证实随着波长的变短其变幅增加的结论。

### 三、一些长期变化的特性

#### 1. 脉动周期的长期变化

Lesh 和 Aizenman(1978)<sup>[2]</sup>综述了 13 颗这类变星脉动周期发生长期变化的情况。Chapellier(1985)<sup>[26]</sup>分析了 BW Vul,  $\beta$  Cep,  $\sigma$  Sco,  $\delta$  Cet, 12 Lac,  $\beta$  CMa 和  $\alpha$  Vir 的脉动周期变化, 指出大多数都存在着周期的长期变化, 至少有三颗星  $\sigma$  Sco, BW Vul 和  $\beta$  Cep 振幅的变化较大。他认为, 周期的长期变化可能是由于这些星在某个时刻发生过周期突变引起的。这种变化与演化没有显著依赖关系, 而且这种现象在脉动变星里普遍存在, 很可能像其他脉动变星如天琴 RR 型变星那样, 由于核内半对流带的演化引起的一次核内能量的重新分配, 在十几年或 50 年甚至更长时间才发生一次周期突变。Linden 和 Sterken(1987)<sup>[10]</sup>证实 BW Vul 星在 1970—1971 年发生过周期突变, 其变化率为每世纪 0.48 秒。是否所有仙王  $\beta$  型变星都存在这种脉动周期的长期变化特性, 还有待于今后的大量观测来证实。

#### 2. 脉动振幅的长期变化

Chapellier 在研究仙王  $\beta$  型变星脉动周期的长期变化的同时, 发现其振幅也存在长期变化。他分析出  $\delta$  Cet,  $\alpha$  Vir,  $\beta$  CMa 和 16 Lac 的脉动振幅有变化, 并指出  $\beta$  Cep,  $\theta$  Oph, 15 CMa 和  $\xi$  CMa 变星也存在这一现象。但是 Jerzykiewicz 等人(1988)分析  $\delta$  Cet 的光变时, 认为它的脉动振幅长期变化的证据不足。

目前, 有关仙王  $\beta$  型变星脉动振幅长期变化的原因还不清楚。Balona(1985)<sup>[30]</sup>推测  $\alpha$  Vir 和 16 Lac 的脉动振幅长期变化可能是由于它们是双星的成员所致。他假设脉动是非径向的, 再加上双星特征, 推导出的两变星的理论光变曲线和视向速度曲线的振幅能与观测结果相符。Waelkens 和 Rufener(1983)<sup>[31]</sup>认为潮汐效应对这类变星的脉动振幅有影响。可是有些具有振幅长期变化的变星如  $\beta$  CMa 并非是双星, 因此用这种解释起码是不完善的。

#### 3. 位相滞后的长期变化

这类变星光变曲线的位相一般比视向速度曲线的位相落后约  $90^\circ$  ( $0.25P$  位相差), 可是不同的星这种位相迟滞稍有差异。如 BW Vul 的位相差为  $0.15P$ <sup>[26]</sup>, KP Per 的位相差为  $0.35P$ <sup>[32]</sup>。Lloyd 和 Pike(1984)<sup>[33]</sup>研究  $\delta$  Cet 的位相差在 13 年内由  $0.17P$  变化到  $0.27P$ 。Chapellier(1986)<sup>[34]</sup>研究  $\delta$  Cet 在 1968 至 1985 年间这个位相差按正弦规律变化了  $0.15P$  (从  $0.17P$  增至  $0.32P$ ), 他还分析了 BW Vul,  $\beta$  Cep,  $\sigma$  Sco 和  $\gamma$  Peg 的位相差也有类似的长期变化, 认为这可能是由于大气外层绝热区的物理状态变化引起的。

### 四、周光关系

仙王  $\beta$  型变星若以同样的脉动模式脉动, 则从理论上讲, 它们应有一定的周光关系。早期, Blaauw 和 Savedoff(1953)<sup>[35]</sup>求出如下周光关系:

$$M_V = -10 - 9 \log P \quad (P \text{ 以天为单位})$$

后来, Leung(1967, 1968)<sup>[36,37]</sup>在周光关系中加入了色指数项改为:

$$M_V = 2.60 - 5.67 \log P + 10.4(B - V) \quad (P \text{ 以小时为单位})$$

对于周光关系图上仍存在弥散情况, 认为是由于脉动模式不同造成的。Jakate(1980)<sup>[38]</sup>选取了更多的仙王  $\beta$  型变星的样品, 采用 Strömrgren 系统的色指数( $u - b$ )重新拟合, 求出如下周光关系:

$$\begin{aligned} -6.5 \log P - 11.0 &= M_{\text{bol}} \\ \pm 1.1 \quad \pm 0.9 \quad \pm 0.67 \\ -2.4 \log P + 3.8[u - b] - 6.2 &= M_V \\ \pm 0.9 \quad \pm 0.7 \quad \pm 3 \quad \pm 0.35 \end{aligned}$$

此关系式对周光关系图仍有弥散。

Waelkens(1981)<sup>[39]</sup>对 21 颗仙王  $\beta$  型变星进行了统计, 利用 Geneva 测光系统得到的周光关系为:

$$\begin{aligned} M_{\text{bol}} &= -14.78 - 11.72 \log P \\ \log P &= -0.556 - 0.866X + 2.108Y \end{aligned}$$

式中  $X$  是与有效温度有关的参量,  $Y$  是与光度有关的参量。

上述的周光关系都是对部分仙王  $\beta$  型变星的统计拟合, 目前已发现有 108 颗这类变星, 自然需要寻求更合适的周光关系。

## 五、演化阶段

仙王  $\beta$  型变星大多集中在赫罗图中主序上方的一个窄带区, 它实际上与已知的恒星演化“S”不稳带区相关联, 亦即与氢枯竭的核氢燃烧相相关。Lesh 和 Aizenman(1978)<sup>[4]</sup>根据上述理由认为, 仙王  $\beta$  型变星是处于氢枯竭的核氢燃烧阶段或位于第二引力收缩阶段或处于壳层氢燃烧阶段。

Balona 和 Englebrecht(1983)<sup>[7]</sup>研究了疏散星团 NGC3293 中的仙王  $\beta$  型变星, 指出它们都处于经典的仙王  $\beta$  型变星的不稳定带内, 并认为它们都处于核氢燃烧演化阶段的末期。可是 Balona 和 Shobrook(1983)<sup>[8]</sup>研究疏散星团 NGC6231 时, 发现其中的仙王  $\beta$  型变星都处于零龄主序, 亦即处于核氢燃烧演化阶段。Balona 和 Englebrecht(1985)<sup>[40]</sup>认为仙王  $\beta$  型变星不局限于恒星演化的不稳定“S”带内, 实际存在的不稳定带比 Lesh 和 Aizenman(1978)定义的要宽得多。

Chapellier(1985)<sup>[29]</sup>分析了仙王  $\beta$  型变星的脉动周期变化的长期特性, 同意 Balona 和 Englebrcht(1983)的结论, 认为大多数仙王  $\beta$  型变星处于核氢燃烧的末期演化阶段。

## 六、脉动模式和脉动不稳定机制

### 1. 仙王 $\beta$ 型变星的脉动指标

Leung(1968)认为可以用参量  $2K/\Delta m_b$  作为这类变星的脉动指标。这类变星的  $\langle 2K/$

$\Delta m_b \sim 500 \text{ km/s} \cdot \text{mag}$  比其他类脉动变星的值大得多。这是由于这类变星的有效温度高 (20000K 至 27000K), 光变幅度小的缘故。

Watson(1971)<sup>[41]</sup>提出用  $\langle (\Delta R/R)/\Delta M_{\text{bol}} \rangle$  作为指标, 他假定这类变星是径向脉动, 得到此指标  $\langle (\Delta R/R)/\Delta M_{\text{bol}} \rangle \sim 0.12$ 。

Stamford 和 Watson(1977)<sup>[42]</sup>利用  $V/\Delta(U-B)$  作为仙王  $\beta$  型变星的指标, 结果也不甚满意。

Lesh 和 Aizenman(1974)<sup>[43]</sup>认为脉动常数  $Q = P\sqrt{\rho/\rho_0}$  ( $P$  为周期,  $\rho$  为密度) 是脉动模式最敏感的判据。对于径向脉动, 基频脉动模式  $Q = 0.037-0.038$  天; 径向一次谐频脉动模式  $Q = 0.026-0.028$  天; 径向二次谐频脉动模式  $Q = 0.022$  天; 非径向脉动  $f$  模式 (引力模式)  $Q = 0.032$  天; 非径向脉动  $P_1$  模式 (压力模式)  $Q = 0.028$  天; 非径向  $P_2$  模式  $Q = 0.022$  天。大多数仙王  $\beta$  型变星的  $Q$  值约 0.027 天, 因此他们认为这类变星属于径向脉动一阶谐波模式或非径向脉动  $P_1$  模式。由于仙王  $\beta$  型变星的质量和半径都是间接求出的,  $Q$  值精度不高, 所以给判定脉动模式也带来困难。

Shobbrook(1985)利用 Strömgren 测光系统的  $\beta$  指数和消除了红化的色指数  $C_0$ , 重新求出了  $Q$  脉动常数。他考虑了双星效应, 认为大多数仙王  $\beta$  型变星是属于径向脉动一阶谐波模式或非径向脉动  $P_1$  模式, 而 HD5267 和 HD8725 的  $Q$  值分别是 0.039 和 0.035, 很接近径向基频脉动模式, 有的星可能属于径向脉动高阶谐频模式或非径向脉动模式。

Balona 和 Shobbrook(1983)<sup>[44]</sup>采用  $\beta/M_V$  定标疏散星团 NGC6231 内的仙王  $\beta$  型变星, 认为大多是属于径向脉动一阶谐波模式, 一些具有复杂频谱的星用非径向脉动模式也能解释。Balona 和 Engelbreche(1985)<sup>[40]</sup>进一步指出, 没有单一的脉动模式适合 NGC 6231 星团中的仙王  $\beta$  型变星。

Engelbrecht(1986)<sup>[45]</sup>研究疏散星团 NGC3293 内的仙王  $\beta$  型变星, 它们都具有多重脉动周期。他认为这些变星都属于非径向脉动二阶自转分裂模式, 一阶谐波起主导加上二阶谐波的脉动。

## 2. 脉动不稳定机制

Osaki(1975, 1979)<sup>[46,47]</sup>首先指出仙王  $\beta$  型变星的脉动机制不同于其他类脉动变星如造父变星, 天琴 RR 型变星, 它们的温度很高, 使造父变星的电离包层机制失效, 若用稳定脉动的  $e$  模式质量又太小。他认为仙王  $\beta$  型变星属于不稳定的非径向振荡脉动。他提出一种特殊引力模型, 认为变星内部对流核内是超稳定对流态, 它与自转运动相耦合产生非径向振荡, 观测到的星脉动是变星内部大尺度的振荡对流运动。

Kato(1974)<sup>[48]</sup>假定仙王  $\beta$  型变星是双星成员, 提出了潮汐波模型, 由于潮汐波的非线性耦合而形成非径向振荡。他指出脉动的拍频很接近潮汐波频率。

Stothers 和 Simen 提出一种 “ $\mu$  机制”<sup>[49,50]</sup>, 认为仙王  $\beta$  型变星是密近双星系统, 较大质量的子星 (主星) 在核氢燃烧演化阶段先膨胀, 充满它的洛希瓣并开始向伴星流失质量。伴星吸积来自主星包层的物质及核内富氮的物质。当它的氮含量达到一定浓度且当它的质量超过  $6M_{\odot}$  时, 氮层的有效温度上升, 外层附加了重物质, 导致低层物质的聚集, 激起了星的不稳定性。



据目前统计, 108 颗仙王  $\beta$  型变星中已确认是双星的有 18 个, 而有 3 个是可疑的双星, 没有足够证据说明它们都是双星。自然这种机制只能解释一部分变星的脉动不稳定性。

总之, 关于仙王  $\beta$  型变星的脉动机制至今尚无定论, 有待于今后作进一步的深入观测研究和理论探讨。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Strohmeier, W., in Variable Stars, ed. by A. J. Meadows, p. 137. Pergamon Press, (1972).
- [ 2 ] Lesh, J. R. and Aizenman, M. L., in IAU Coll. No. 29, p. 11, (1975).
- [ 3 ] Aizenman, M. L., in Nonradial and Nonlinear Stellar Pulsation, ed. by H. A. Hill and W. A. Dziernowski, p. 76, (1980).
- [ 4 ] Lesh, J. R. and Aizenman, M. L., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 16 (1978), 215.
- [ 5 ] Jerzykiewicz, M. and Sterken, C., in Variability in Stars and Galaxies, Proc. 5th. European Regional Meeting in Astronomy, p. B4.1, (1980).
- [ 6 ] Hill, G., *Ap. J. Suppl.*, 130 (1967), 263.
- [ 7 ] Balona, L. A. and Engelbrecht, C. A., *M. N. R. A. S.*, 202 (1983), 293.
- [ 8 ] Balona, L. A. and Shobbrook, R. R., *M. N. R. A. S.*, 205 (1983), 309.
- [ 9 ] Waelkens, C. and Rufener, F., *Astr. Ap.*, 201 (1988), L 5.
- [ 10 ] Linden, D. van der and Sterken, C., *Astr. Ap. Suppl.*, 69 (1987) 157.
- [ 11 ] Jerzykiewicz, M., Sterken, C. and Kubiak, M., *Astr. Ap. Suppl.*, 72 (1988), 449.
- [ 12 ] Linden, D. Van der and Sterken, C., *Astr. Ap.*, 186 (1987), 129.
- [ 13 ] Allison, A. M., Glaspey, J. W. and Fahiman, G. G., *A. J.*, 82 (1977), 283.
- [ 14 ] Young, A., Furenlid, I., Snowden, M. S., *Ap. J.*, 245 (1981), 998.
- [ 15 ] Crowe, R. and Gillet, D., *Astr. Ap.*, 211 (1989), 365.
- [ 16 ] Blomme, L. A. and Hensberge, L., *Astr. Ap.*, 189 (1985), 97.
- [ 17 ] Van der Linden, D. and Butler, K., *Astr. Ap.*, 189 (1988), 137.
- [ 18 ] Fischel, D. and Sparks, W. M., in The Universe at UV wavelength, p. 217, (1981).
- [ 19 ] Burger, M. and Beeckmans, F. and Kamperman, T. M., *Astr. Ap. suppl.*, 39 (1980), 301.
- [ 20 ] Jerzykiewicz, M. and sterken, C., *M. N. R. A. S.*, 211 (1984), 297.
- [ 21 ] Serkowski, K., *Ap. J.*, 154 (1968), 115.
- [ 22 ] Serkowski, K., *Ap. J.*, 160(1970), 1083.
- [ 23 ] Schafgans, J. J., Tinbergen, J., *Astr. Ap. Suppl.*, 35 (1979), 279.
- [ 24 ] Odell, A. P., *Ap. J.*, 246 (1981), L 77.
- [ 25 ] Clarke, D., *Astr. Ap.*, 161 (1986), 412.
- [ 26 ] Verma, R. *Ap. Space Sci.*, 92 (1983), 173.
- [ 27 ] Agrawal, P. C., *M. N. R. A. S.*, 208 (1984), 845.
- [ 28 ] Peters, G. J., Ogawa, H. S., Judge, K. S. and Judge, D. L., *Ap. J.*, 314 (1987), 261.
- [ 29 ] Chapellier, E., *Astr. Ap.*, 147 (1985), 135.
- [ 30 ] Balona, L. A., *M. N. R. A. S.*, 217 (1985), short communication, 17p.
- [ 31 ] Verma., *Ap. Space Sci.*, 92 (1983), 173.
- [ 32 ] Lane, M. C. and Percy, J. R., *A. J.*, 84 (1979), 831.
- [ 33 ] Liloyd, C. and Pike, C. D., *Observatory*, 104 (1984), 9.
- [ 34 ] Chapellier, E., *Astr. Ap.*, 163 (1986), 329.
- [ 35 ] Blaauw, A. and Savedoff, M. P., *Bull. A. Inst. Neth.*, 12 (1953), 69.
- [ 36 ] Leung, K. C., *Ap. J.*, 150 (1967), 223.
- [ 37 ] Leung, K. C., *Ap. Space Sci.*, 2 (1968), 302.
- [ 38 ] Jakate, S. M., *Astr. Ap.*, 84 (1980), 374.
- [ 39 ] Waelkens, C., *Astr. Ap.*, 97 (1981), 274.
- [ 40 ] Balona, L. A. and Engelbrecht, C. A., *M. N. R. A. S.*, 212 (1985), 889.
- [ 41 ] Watson, R. D. *Ap. J.*, 170 (1971), 345.
- [ 42 ] Stamford, P. A. and Watson, R. D., *M. N. R. A. S.*, 180 (1977), 551.
- [ 43 ] Lesh, J. R. and Aizenman, M. L., *Astr. Ap.*, 34 (1974), 203.
- [ 44 ] Balona, L. A. and Shobbrook, R. R., *M. N. R. A. S.*, 205 (1983), 309.

- [45] Engelbrecht, A. C., *M. N. R. A. S.*, 223 (1986), 189.  
[46] Osaki, Y., in *Nonradial Oscillation of Stars*, ed. by W. Unno, Y. Osaki, H. Ando, H. Shinanashi, p. 24, (1979).  
[47] Osaki, Y., *Pub. Astr. Soc. Japan*, 27 (1975), 237.  
[48] Kato, S., *Pub. Astr. Soc. Japan*, 26 (1974), 341.  
[49] Stothers, R., *Ap. J.*, 204 (1976), 853.  
[50] Aizenmen, M. L., in *Nonradial and Nonlinear Stellar Pulsation*, ed. by H. H. Hill and W. A. Dziemba, p. 93, (1980).  
[51] *General Catalogue of Variable Stars, the 4th edition containing information on variable stars discovered and designed till 1982*, ed. by P. N. Kholopo, (1985).  
[52] Jerzykiewicz, M., Sterken, C. and Landessternwarte., in *Changing Trends in Variable Star Research*, ed. by F. M. Bateson, J. Smak and I. H. Urch, p. 474, (1979).  
[53] Van der Linden, D. and Sterken, C., *Astr. Ap.*, 150 (1985), 76.  
[54] Waelkens, C. and Rufener, F., *Astr. Ap.*, 119 (1983), 279.  
[55] Waelkens, C. and Cuypers, J., *Astr. Ap.*, 152 (1985), 15.

(责任编辑 刘金铭)

## Observational Physical Properties of Beta Cephei Stars and Some Progress in Research

Liu Xuefu    Cai Zhengdong

(Department of Astronomy, Beijing Normal University)

### Abstract

In this paper we review observational physical properties of Beta Cephei stars and their investigation status and some progress, such as looking for new variables, high-accuracy photometric observations, high-resolution studies of profile variations of spectral lines, ultraviolet observations from spacecraft, and optical polarizations, etc. Their pulsational instability is a main unsolved problem in the description of Beta Cephe stars.