

小质量比深度相接双星的统计分析

杨远贵

淮北师范大学物理与电子信息学院, 淮北 235000

E-mail: yygc@163.com

2010-08-06 收稿, 2010-09-29 接受

国家自然科学基金天文联合基金资助项目(10778707)

摘要 基于 30 颗小质量比深度相接双星的观测数据, 获得一些重要的统计结论: (i) 质光关系和质径关系指出, 此类双星可能由于演化和膨胀而使光度下降、半径变大, 预示它们可能处在演化的最后阶段. (ii) $M_{\text{total}}-J_{\text{total}}$ 关系表明, 随着总质量的减小, 总的比角动量也相应减小. 因此, 此类双星系统从深度相接到并合的过程中, 不断损失质量和角动量. (iii) 由 $q-f$ 关系和 $q-J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}}$ 关系, 确定出过相接双星的最小质量比可能在 0.0439~0.0465. 这对双星演化并合理论提出了重要的挑战. 目前观测到的最小质量比双星 V857 Her 通过次子星到主子星的守恒质量转移的并合时标约为 1.07 Ga.

关键词

过相接双星
最小质量比
双星并合

过相接双星是两子星均充满并溢出各自的洛希瓣且具有对流公共包层的强相互作用双星系统. 它们的子星在物理上是相接的且处于同一公共对流包层内. 两子星间存在物质交流伴随着能量转移^[1], 同时通过外拉格朗日点物质从系统溢出而使系统的角动量损失^[2]. 此外, 过相接双星的起源、结构和演化至今还没有弄清楚, 这使得它的前身天体和演化前途极为难以确定. 小质量比深度相接双星在过相接双星中是比较极端的一类, 它们具有较小的质量比(即 $q < 0.25$), 而且有较高的相接度(即 $f > 50\%$), 同时绝大部分系统存在轨道周期的长期变化^[3], 有的还叠加有第三天体光时效应所致的周期性变化^[4]. 特别是有些此类双星还是中年老星团中的成员(如 M67 中的 AH Cnc^[5]和 NGC752 中的 QX And^[6]). 由于过相接双星的演化和蓝离散星的形成目前还不清楚, 小质量比深度相接双星可能是过相接双星的演化终结, 又可能是蓝离散星的前身天体之一. 它们在双星和单星之间可能起桥梁和纽带作用, 并最终演化成快速旋转单星^[7].

杨远贵^[8]提出了小质量比深度相接双星可能演化为快速旋转单星并最终形成蓝离散星的两种途径:

其一, 对于轨道周期长期增加的系统, 随着质量从次星向主星的转移, 质量比减小; 与此同时, 自旋角动量增加而轨道角动量减小(仅考虑守恒的情况). 当 $J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}} > 1/3$ 时, 双星系统因潮汐不稳定而并合成快速旋转单星^[9]; 其二, 对于轨道周期长期减小的系统, 可能是质量从主星向次星的转移并伴随着物质通过外拉格朗日点 L_2 从系统溢出而损失大量的角动量. 轨道周期长期减小同时导致内外临界面的收缩而使相接度进一步增加, 而最终因动力学不稳定并合成快速旋转单星^[10]. 选取此类双星进行统计分析得到相关参数的相关性, 特别是并合的最小质量比, 对于研究过相接双星的演化并合机制和蓝离散星的形成具有重要意义.

1 小质量比深度相接双星的样本数据

1.1 测光解和分光解

根据小质量比深度相接双星的定义, 收集了 30 颗小质量比深度相接双星系统. 主星和次星分别指双星系统中的大质量子星和小质量子星. 表 1 列出了样本星的测光和分光参数. 它们包括光谱型、轨道周

表1 30颗大熊座W型小质量比深度相接双星的测光解和分光解

星名	类型	光谱型	周期/d	q_{sp}	$K_1/\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$K_2/\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	q_{ph}	$i(^{\circ})$	$f(\%)$	r_1	r_2	T_1/K	T_2/K	文献
QX And	AP	F7V	0.4122	0.306	67.92	221.73	0.233	56.2	55.9	0.5366	0.2932	6500	6217	[6,11]
V870 Ara	WT	F8	0.3997	0.082	23.3	283.5	0.082	70	96.4	0.6273	0.2379	5860	6210	[12]
AH Aur	AT	F7V	0.4941	0.169	47.2	279.61	0.165	76.1	75.0	0.5685	0.2744	6200	6418	[13,14]
AP Aur	A	A2V	0.5694				0.246	75.9	64.4	0.5238	0.2843	9016	8703	[15]
DN Aur	A		0.6169				0.205	76.9	53.9	0.5414	0.2765	6830	6750	[16]
V410 Aur	AT	G0/2V	0.3664	0.144	41.14	291.68	0.143	78.6	52.4	0.5697	0.2496	6040	5915	[17,18]
CK Boo	A	F7/8V	0.3552	0.111	31.66	285.31	0.109	64.9	65.0	0.5874	0.2267	6200	6291	[13,19]
XY Boo	AP	F0V	0.3706	0.16	39	245	0.186	69	55.9	0.5521	0.2724	6324	6307	[18,20]
FN Cam	AP	A9V	0.6771	0.222	59.62	269.01	0.222	71.2	88.4			6700	6848	[21,22]
V776 Cas	W	F2V	0.4404	0.13	31.97	245.31	0.138	52.9	77.0	0.5947	0.2443	6700	6725	[21,23]
AH Cnc	A	F5V	0.3604	0.537	103	138	0.168	90	58.5	0.5603	0.2658	6300	6265	[13,14]
YY CrB	AP	F8V	0.3766	0.243	68.07	279.85	0.243	77	63.4	0.5374	0.3027	6135	6142	[24,25]
V345 Gem	WT	F7V	0.2748	0.142	41.54	291.75	0.142	72.9	73.3	0.5789	0.2629	6115	6365	[26,27]
V728 Her	WP	F3V	0.4713				0.179	68.7	71.4	0.5626	0.2785	6622	6794	[28]
V857 Her	AT	F6	0.3822				0.065	85.3	83.8	0.6316	0.2080	8300	8513	[29,30]
FG Hya	AT	G2V	0.3278	0.112	36	322.4	0.112	82.3	85.6	0.5982	0.2493	5900	6012	[31,32]
UZ Leo	AT	A9V	0.6181	0.303	79.67	262.87	0.233	79.7	71.9			7250	7574	[27,33]
TV Mus	AT	F8V	0.4457	0.12	33.2	278	0.166	77.2	74.3	0.5678	0.2780	5980	5808	[34,35]
V2388 Oph	AT		0.8023	0.186	44.62	240.22	0.186	76.6	65.0	0.5553	0.2781	6900	6505	[36,37]
MW Pav	AT	A7V	0.7950	0.228	52.35	229.34	0.182	85.1	50.4	0.5511	0.2673	7620	7570	[38]
IK Per	AT	A2	0.6760				0.191	77.8	52.0	0.5482	0.2724	9070	7470	[39]
KN Per	AT	A5	0.8665				0.25	83.6	54.5	0.5293	0.2974	7650	7288	[40]
DZ Psc	A	F7V	0.3661	0.136	40.39	297.98	0.145	80.5	79.0	0.5789	0.2662	6210	6287	[28,31]
EM Psc	WT		0.3440				0.104	83.3	93.4	0.6064	0.2442	5800	5285	[41]
Y Sex	AT	F8	0.4198	0.18	38	210	0.18	76.1	64.0	0.5627	0.2830	6210	6093	[34,42]
CU Tau	AP	G0	0.4125				0.178	74	50.1	0.5530	0.2652	5900	5938	[35]
HV UMa	AP	A2V	0.7108	0.19	47	254	0.19	57.3	61.9	0.5209	0.2346	7300	7000	[43]
GR Vir	AT	F7/8V	0.3278	0.112	37.78	308.81	0.112	83.4	78.6	0.59	0.2519	6300	6163	[27,44]
GSC5909-189	A	G0	0.4486				0.12	73.8	62.7			6008	5907	[45]
NSV13890	A		0.3739				0.08	90.7	76.2	0.6622	0.2298	6510	6426	[46]

期、分光质量比 q_{sp} 、主子星和次子星视向速度曲线的半幅度 K_1 和 K_2 、测光质量比 q_{ph} 、温度 T_1 和 T_2 、相对半径 r_1 和 r_2 以及轨道倾角 i 和相接度 f 。从表中可以看出，轨道周期范围为 0.2748(V345 Gem)~0.8665(KN Per)。在已知光谱型的 26 颗小质量比深度相接双星中，它们的光谱型分别为早型(A)和晚型(F, G)。在晚型星中，仍然存在 W 次型的大熊 W 型双星。

对于表 1 作以下几点说明。

(i) 在 30 颗小质量比深度相接双星系统中，20 颗双星有分光解；3 颗双星(FN Cam, UZ Leo 和 GSC 5909-189)的测光解中文献没有给出相对半径。除 QX And 和 AH Cnc 外，它们的测光质量比和分光质量比基本一致。

(ii) 按照 Binnendijk^[47]对大熊座 W 型双星的分类，主食(主极小对于的掩食)对应于大质量子星被掩的称为 A 次型；而主食对应于小质量子星被掩的称为 W 次型。

5 个系统(V870 Aur, V776 Cas, V345 Gem, V728Her 和 EM Psc)是 W 次型双星；而其余的 25 颗双星为均 A 次型双星。表 1 中的“P”和“T”分别指全食双星和偏食双星。

(iii) UZ Leo 和 HV UMa 两颗双星的测光解是利用 BINSYN code^[48]方法，而其他 25 颗双星系统的测光解都是利用 W-D code^[49]。

(iv) AH Cnc 是球状星团 M67 星团的成员，并且是小质量比深度相接双星。由于分光质量比 $q_{sp}=0.537$ 远大于测光质量比 $q_{ph}=0.168$ ，因此不能确定 AH Cnc 的绝对物理参数。由于相同原因，NGC752 中的 QX And 的物理参数也没有确定。

1.2 样本星的绝对参数

根据小质量比深度相接双星的测光解和分光解，计算出它们的绝对物理参数。表 2 列出了两子星的间

表 2 小质量比深度相接双星样本的绝对参数和比角动量

星名	A	M_1	M_2	R_1	R_2	L_1	L_2	J_{spin}	J_{orb}	J_{total}	J_{spin}/J_{orb}
V870 Ara	2.58	1.34	0.11	1.62	0.61	2.73	0.50	0.0355	0.1353	0.1708	0.2627
AH Aur	3.29	1.68	0.28	1.87	0.90	4.57	1.22	0.0366	0.3086	0.3452	0.1185
V410 Aur	2.46	1.30	0.19	1.40	0.61	2.31	0.41	0.0279	0.2095	0.2374	0.1333
CK Boo	2.46	1.43	0.16	1.44	0.56	2.72	0.43	0.0312	0.1748	0.206	0.1784
XY Boo	2.23	0.91	0.17	1.23	0.61	2.14	0.52	0.0209	0.2055	0.2264	0.1016
V776 Cas	3.03	1.69	0.23	1.80	0.74	5.78	0.99	0.0384	0.2571	0.2955	0.1492
AH Cnc	1.72	0.45	0.08	0.96	0.46	1.29	0.28	0.0132	0.1169	0.1301	0.1133
YY CrB	2.66	1.43	0.35	1.43	0.81	2.56	0.82	0.0272	0.3423	0.3695	0.0796
V345 Gem	1.90	1.06	0.15	1.10	0.50	1.49	0.36	0.0229	0.1649	0.1878	0.1387
FG Hya	2.35	1.45	0.16	1.40	0.58	2.11	0.39	0.0319	0.176	0.2079	0.1811
TV Mus	2.81	1.29	0.21	1.60	0.78	2.88	0.62	0.0296	0.2512	0.2808	0.1177
V2388 Oph	4.65	1.76	0.33	2.58	1.29	13.34	2.64	0.0424	0.4123	0.4547	0.1029
MW Pav	4.45	1.58	0.29	2.45	1.19	17.89	4.10	0.0386	0.3752	0.4138	0.1028
DZ Psc	2.48	1.34	0.19	1.44	0.66	2.72	0.60	0.0295	0.216	0.2455	0.1364
Y Sex	2.12	0.62	0.11	1.19	0.60	1.87	0.44	0.0174	0.1606	0.178	0.1085
HV UMa	5.03	2.84	0.54	2.62	1.18	17.22	2.95	0.0488	0.553	0.6018	0.0882
GR Vir	2.26	1.30	0.15	1.34	0.57	2.48	0.41	0.0289	0.1638	0.1927	0.1763

距 A 、子星的质量 M_1 和 M_2 、半径 R_1 和 R_2 以及光度 L_1 和 L_2 。以上数据分别以太阳的质量、半径和光度为单位。在计算的过程中，质量比采用测光质量比。在 17 颗有分光解的系统中，FN Cam 和 UZ Leo 两个双星没有给出子星的相对半径。因此，只能给出 17 颗此类双星的绝对参数。系统总质量的范围为 $1.21M_{\odot}$ (V345 Gem)~ $3.38M_{\odot}$ (HV UMa)。

2 样本数据的统计分析

2.1 质光关系和质径关系

表 2 列出了 17 颗小质量比深度相接双星的绝对参数，质光关系(a)和质径关系(b)如图 1 所示。图中的实心点和空心点分别表示主次子星。从图中可以看出，随着质量的增加，光度和半径变大。应用线性

的最小二乘法得到如下关系：

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10}L = & 0.4795(\pm 0.0500) \\ & + 0.9280(\pm 0.0918) \times \text{Log}_{10}M, \end{aligned} \quad (1)$$

和

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10}R = & 0.1537(\pm 0.0154) \\ & + 0.4392(\pm 0.0282) \times \text{Log}_{10}M. \end{aligned} \quad (2)$$

拟合所得的关系如图 1 的实线所示。在(1)式中，线性项的系数 0.9280 小于 Kopal^[50]的值 0.96；而在(2)式中，线性项的系数 0.4392 小于 Kuiper^[51]的值 0.46。但这两个值仍然在误差范围内。

2.2 质量比与相接度的关系

测光质量比和相接度之间的关系如图 2 所示，实

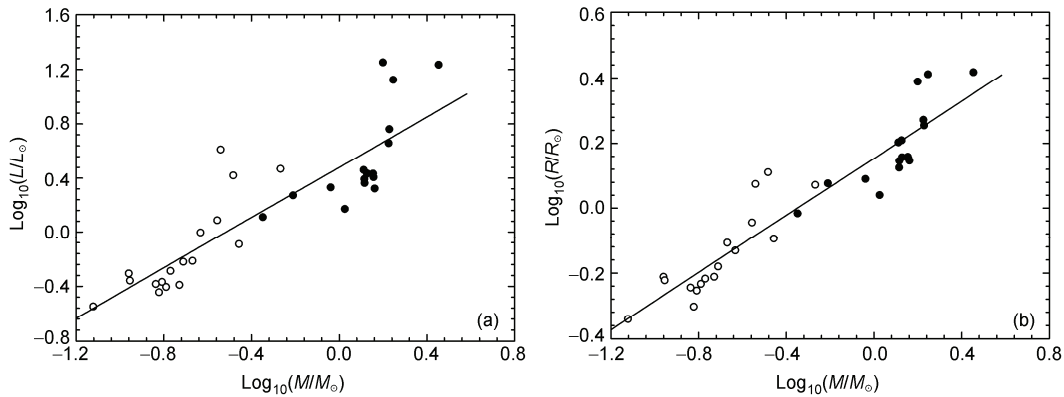


图 1 小质量比深度相接双星的质光关系(a)和质径关系(b)

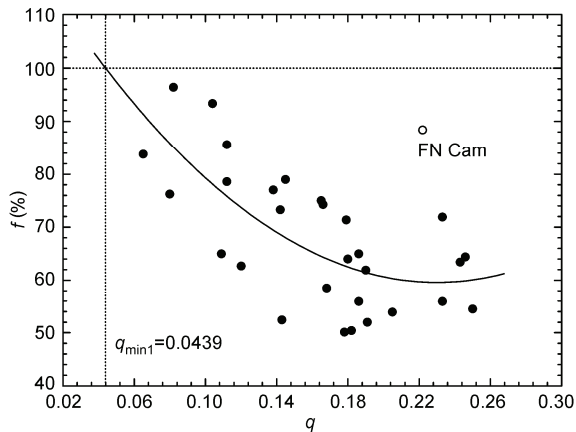


图2 小质量比深度相接双星的质量比 q 与过相接度 f 的关系

心点表示小质量比深度相接双星。尽管图中的点比较离散，但是仍然存在很明显的变化趋势，即随着质量比的减小，相接度变大。由于系统 FN Cam(空心点)的相接度明显不在一个趋势上，因此没有用于数据分析。采用抛物线拟合，得到相接度和质量比的关系如下：

$$f(\%) = 121.34(\pm 6.43) - 537.06(\pm 3.26) \times q + 1167.80(\pm 9.93) \times q^2. \quad (3)$$

拟合所得的关系如图 2 中实线所示。当相接度 $f = 100\%$ 时，根据(3)式可以得到质量比为 $q_{\min 1} = 0.0439$ 。此时过相接双星的 Roche 面与外临界面重合，双星系统因动力学极度不稳定而并合成快速旋转单星^[8]。

2.3 总比角动量与总质量、质量比的关系

过相接双星系统的总比角动量为

$$J_{\text{total}} = \sqrt{GM_{\text{total}}A} \times \left[\frac{q}{(1+q)^2} + \frac{(k_1 r_1)^2}{1+q} + \frac{(k_2 r_2)^2 q}{1+q} \right]. \quad (4)$$

中括号中的第一项为比轨道角动量 J_{orb} ，后两项分别为主星的比自旋角动量 J_{spin} 。在(4)式中，比角动量的单位为 $\sqrt{GM_{\odot}R_{\odot}}$ 。这样便得到自旋角动量与轨道角动量之比为

$$\frac{J_{\text{spin}}}{J_{\text{orb}}} = \frac{1+q}{q} [(k_1 r_1)^2 + (k_2 r_2)^2 q]. \quad (5)$$

在(4)和(5)式中， $k_i r_i (i=1,2)$ 为惯性回转半径。取惯性系数 $k_1^2 = k_2^2 = 0.05$ ，我们计算出 17 颗小质量比深度

相接双星的比角动量 J_{spin} 、 J_{orb} 、 J_{total} 和自旋角动量与轨道角动量之比 $J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}}$ 。这些数据也列于表 2 中。

下面首先导出 J_{total} 与 M_{total} 关系。17 颗小质量比过相接双星的总比角动量与总质量如图 3(a)所示。由于资料点比较离散，因此拟合参数的误差较大。应用最小二乘法得到如下关系：

$$J_{\text{total}} = -0.0040(\pm 0.0393) + 0.1772(\pm 0.0230) \times M_{\text{total}}. \quad (6)$$

(6)式表明，随着总质量的减小，总的比角动量也相应减小。因此从相接到并合的过程中，双星系统不断地损失质量和角动量。

其次，给出 q 与 $J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}}$ 的关系。图 3(b)为质量比 q 和自旋角动量与轨道角动量之比 $J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}}$ 的关系曲线。从图中可以看出，随着质量比的减小， $J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}}$ 的值增加。采用二次函数拟合，得到如下关系：

$$J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}} = 0.4766(\pm 0.0026) - 3.4279(\pm 0.0042) \times q + 7.4749(\pm 0.0130) \times q^2. \quad (7)$$

当 $J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}} = 1/3$ 时，由(7)式可以得到过相接双星的最小质量比为 $q_{\min 2} = 0.0465$ 。此时，小质量比深度相接双星因潮汐不稳定而并合成快速旋转单星^[9]。

3 讨论

许多研究人员对过相接双星的最小质量比进行了讨论。采用多方模型 $P = K\rho^{\Gamma} (\Gamma = 5/3, K$ 为常数)，Rasio 和 Shapiro^[10] 的研究表明，当质量比小于 0.25 时，双星系统存在动力学不稳定并且随着质量转移的进行而很快地并合。如果两子星都是主序星，发生潮汐不稳定的过相接双星最小质量比为 0.09^[52]。Li 和 Zhang^[53] 将相接双星的最小质量比极限进一步推进为 0.076~0.078。到目前为止，SX Crv($q=0.07$)和 V857 Her($q=0.065$)等过相接双星的质量比都小于此限制。因此，这两颗双星的存在对双星的演化理论提出了严峻的挑战。

通过统计分析，由 q - f 关系和 q - $J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}}$ 关系外推得到小质量比深度相接双星的最小质量比约为 $q_{\min} = 0.0439 \sim 0.0465$ 。下面以目前观测到的最小质量比双星 V857 Her 为例，对小质量比深度相接双星的质量转移时标进行粗略地估算。由于 V857 Her 没有分光解，因此不能确定其绝对物理参数。根据它的光谱型 F6，取主子星的质量为 $M_1 = 1.33M_{\odot}$ ^[54]。由测光质量比，次子星的质量为 $M_2 = 0.086M_{\odot}$ 。V857 Her 的

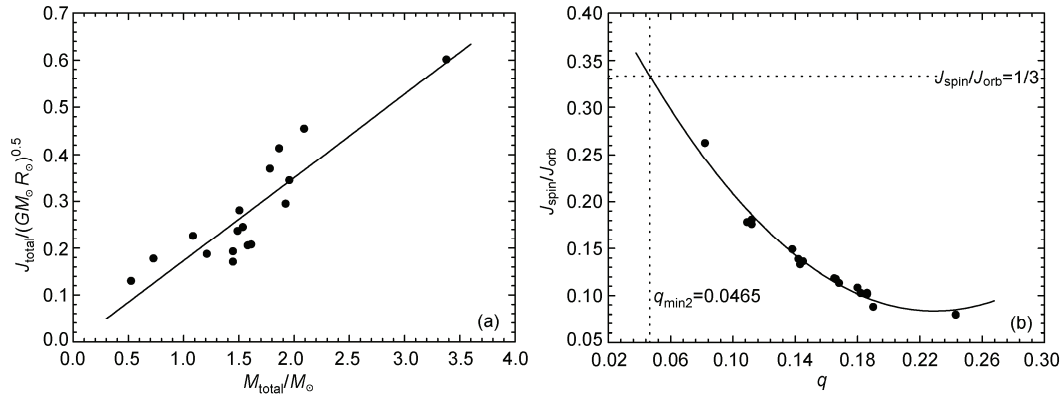


图3 小质量比深度相接双星的 $M_{\text{total}}-J_{\text{total}}$ 关系(a)和 $q-J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}}$ 质径关系(b)

轨道周期增加率为 $dP/dt = +2.90 \times 10^{-7} \text{ d/a}$. 在不考虑系统质量损失的守恒质量转移情况下, 从次子星向主子星的质量转移率为 $dm/dt = +2.34 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{a}$.

当双星系统的质量比 $q = [q_{\text{min}1}, q_{\text{min}2}] \sim 0.045$ 时, 次星质量仅为 $0.061 M_{\odot}$. 这样便可以计算出从次星向主星转移 $0.025 M_{\odot}$ 物质所需要的时间 $\tau = 1.07 \text{ Ga}$.

致谢 感谢中国科学院云南天文台钱声帮研究员的支持和帮助.

参考文献

- 1 王建民. 关于 W UMa 型双星中以较差自转为机制的能量转移过程研究. 科学通报, 1992, 37: 1366
- 2 陈文聪 曾庆国. 环绕双星盘: 一种高效提取轨道角动量的机制. 科学通报, 2008, 53: 1873—1879
- 3 Qian S, Yang Y, Zhu L, et al. Photometric studies of twelve deep, low-mass ratio overcontact binary systems. Astrophys Space Sci, 2006, 304: 25—28
- 4 杨远贵. 如何计算密近双星中光时轨道效应. 中国科学 G 辑: 物理学 力学 天文学, 2009, 39: 637—640
- 5 Qian S B, Liu L, Soonthornthum B, et al. Deep, low mass ratio overcontact binary systems. VI. AH Cancri in the old open cluster M67. Astron J, 2006, 131: 3028—3039
- 6 Qian S B, Liu L, Soonthornthum B, et al. Deep, low mass ratio overcontact binary systems. VII. QX Andromedae in the intermediate-age open cluster NGC 752. Astron J, 2007, 134: 1475—1482
- 7 Bradstreet D H, Guinan E F. Stellar mergers and acquisitions: The formation and evolution of W Ursae Majoris binaries. ASPC, 1994, 56: 228—243
- 8 杨远贵. 小质量比深度相接双星的观测与研究. 博士学位论文. 昆明: 中国科学院云南天文台, 2006
- 9 Hut P. Tidal evolution in close binary systems. Astron Astrophys, 1981, 99: 126—140
- 10 Rasio F A, Shapiro S L. Hydrodynamics of binary coalescence. 2: Polytropes with $\gamma = 5/3$. Astrophys J, 1995, 438: 887—903
- 11 Pribulla T, Rucinski S M, Blake R M, et al. Radial velocity studies of close binary stars. IV. Astron J, 2009, 137: 3655—3667
- 12 Szalai T, Kiss L L, Meszoros S, et al. Physical parameters and multiplicity of five southern close eclipsing binaries. Astron Astrophys, 2007, 465: 943—952
- 13 Rucinski S M, Lu W. Radial velocity studies of close binary stars. II. Astron J, 1999, 118: 2451—2459
- 14 Gazeas K D, Baran A, Niarchos P, et al. Physical parameters of components in close binary systems: IV. Acta Astron, 2005, 55: 123—138
- 15 Li L, Liu Q, Zhang F H, et al. Photometric study of an A-type contact binary: AP Aurigae. Astron J, 2001, 121: 1091—1097
- 16 Goderya S N, Leung K C, Schmidt E G. Photometric investigation of the eclipsing binary star KN Per. Astrophys Space Sci, 1997, 254: 295—304
- 17 Rucinski S M, Capobianco C C, Lu W, et al. Radial velocity studies of close binary stars. VIII. Astron J, 2003, 125: 3258—3264
- 18 Yang Y G, Qian S B, Zhu L Y. Deep, low mass ratio overcontact binary systems. IV. V410 Aurigae and XY Bootis. Astron J, 2005, 130: 2252—2261

- 19 Ralci R, Derman E. CK Bootis: A W UMa system with a small mass ratio. *Astronphys Space Sci*, 2005, 326: 342—248
- 20 McLean B J, Hilditch R W. Radial velocities for contact binaries. II - TZ Boo, XY Boo, TX Cnc, RZ Com, CC Com and Y Sex. *Mon Not R Astron Soc*, 1983, 203: 1—8
- 21 Rucinski S M, Slavek M, Lu W, et al. Radial velocity studies of close binary stars. V. *Astron J*, 2001, 122: 1974—1980
- 22 Pribulla T, Chochol D, Vanko M, et al. The first ground-based photometry of contact binaries FN Cam and EX Leo. *IBVS*, 2002, 5341: 1—4
- 23 Elmasli A, Tanriverdi T, Albayrak B, et al. A photometric study of the recently discovered eclipsing binary V776 Cassiopeiae. *ASPC*, 2004, 318: 192—194
- 24 Rucinski S M, Lu W, Mochnacki S W. Radial velocity studies of close binary stars. III. *Astron J*, 2000, 120: 1133—1139
- 25 Pribulla T, Vanko M. Photoelectric photometry of eclipsing contact binaries: U Peg, YY CrB, OU Ser and EQ Tau. *Contr Astron Obs*, 2002, 32: 79—98
- 26 Pribulla T, Rucinski S M, Conidis G, et al. Radial velocity studies of close binary stars. XII. *Astron J*, 2007, 133: 1977—1987
- 27 Yang Y G, Qian S B, Zhu L Y, et al. Deep, low mass ratio overcontact binary systems. IX. V345 Geminorum with a bright visual pair. *Astron J*, 2009, 138: 540—546
- 28 Nelson R H, Milone E F, van Leeuwen J, et al. Observations and analysis of the field contact binary V728 Herculis. *Astron J*, 1995, 110: 2400—2407
- 29 Gomez-Forrellad J M, Garcia-Melendo E. NSV 07968 is an overcontact eclipsing binary star. *IBVS*, 1996, 4364: 1—2
- 30 Pribulla T, Rucinski S M, Blake R M, et al. Radial velocity studies of close binary stars. XV. *Astron J*, 2009, 137: 3655—3667
- 31 Lu W, Rucinski S M. Radial velocity studies of close binary stars. I. *Astron J*, 1999, 118: 515—526
- 32 Qian S, Yang Y. Improved astrophysical parameters for the overcontact binary FG Hydrae. *Mon Not R Astron Soc*, 2005, 356: 765—772
- 33 Vinko J, Hegedus T, Hendry P D. UZ Leo and CV Cyg: Two evolved contact binaries. *Mon Not R Astron Soc*, 1996, 280: 489—497
- 34 Hilditch R W, King D J, McFarlane T M. Contact and near-contact binary systems. X. The contact system TV Muscae. *Mon Not R Astron Soc*, 1989, 237: 447—459
- 35 Qian S B, Yang Y G, Soonthornthum B, et al. Deep, low mass ratio overcontact binary systems. III. CU Tauri and TV Muscae. *Astron J*, 2005, 130: 224—233
- 36 Rucinski S M, Lu W, Capobianco C C, et al. Radial velocity studies of close binary stars. VI. *Astron J*, 2002, 124: 1738—1745
- 37 Yakut K, Kalomeni B, Ibanoglu C. An analysis of the light curves of the overcontact binary system V2388 Ophiuchi. *Astron Astrophys*, 2004, 417: 725—730
- 38 Lapasset E. Fundamental photometric data for two contact binaries—MW Pavonis and TY Mensae. *Astron J*, 1980, 85: 1098—1102
- 39 Zhu L Y, Qian S B, Soonthornthum B, et al. Deep, low mass ratio overcontact binaries. II. IK Persei. *Astron J*, 2005, 129: 2806—2814
- 40 Goderya S N, Leung K C, Schmidt E G. Photometric investigation of the eclipsing binary star KN Per. *Astronphys Space Sci*, 1997, 254: 295—304
- 41 Yang Y G, Qian S B, Gonzalez-Rojas D J, et al. The first photometric analyses of four new discovered EW-type eclipsing binaries: GSC 19=848-1264, GSC0804-0118, GSC 0619-0232 and GSC 2936-0478. *Astronphys Space Sci*, 2005, 300: 337—356
- 42 Yang Y, Liu Q. CCD photometric study of the W UMa contact binary Y Sextantis. *New Astron*, 2003, 8: 465—472
- 43 Csak B, Kiss L L, Vinko J, et al. HV Ursae Majoris: A new contact binary with early-type components. *Astron Astrophys*, 2000, 356: 603—611
- 44 Qian S B, Yang Y G. GR Virginis: A deep overcontact binary. *Astron J*, 2004, 128: 2430—2434
- 45 Maciejewski G, Ligeza P. Mass ratio determination of binary systems BD+14 d 5016, GSC 2757-769 and GSC 3472-641. *IBVS*, 2004, 5504: 1—4
- 46 Wadhwa S S. Photometric analysis of southern contact binary stars III: NSV 3497 and NSV 13890. *Astronphys Space Sci*, 2006, 301: 195—197
- 47 Binnendijk L. The orbital elements of W Ursae Majoris systems. *Vistas Astron*, 1970, 12: 217—256
- 48 Vinko J, Hegedus T, Hendry P D. UZ Leo and CV Cyg: Two evolved contact binaries. *Mon Not R Astron Soc*, 1996, 280: 489—497
- 49 Wilson R E, Devinney E J. Realization of accurate close-binary light curves: Application to MR Cygni. *Astrophys J*, 1971, 166: 605—619
- 50 Kopal A Z. *Close Binary Systems*. New York: John Wiley & Sons, 1951. 471
- 51 Kuiper G P. On the interpretation of β Lyrae and other close binaries. *Astrophys J*, 1941, 93: 133—177
- 52 Rasio F A. The minimum mass ratio of W Ursae Majoris binaries. *Astrophys J*, 1995, 444: 41—43
- 53 Li L, Zhang F. The dynamical stability of W Ursae Majoris-type systems. *Mon Not R Astron Soc*, 2006, 369: 2001—2004
- 54 Cox A N. *Allen's Astrophysical Quantities*. 4th ed. New York: Springer, 2000. 388

A statistical analysis of deep low-mass ratio overcontact binaries

YANG YuanGui

School of Physics and Electronic Information, Huaibei Normal University, Huaibei 235000, China

Based on the observations of 30 deep low-mass ratio overcontact binaries, some important results were discovered as follows: (1) The relationships of M-L and M-R imply that due to its evolution and expansion the luminosity of this kind of binary decreases and its radius increases, which suggests that it is in the final stage of its evolution. (2) The relationship between M_{total} and J_{total} shows when the mass ratio decreases, the total angular momentum per mass also correspondingly decreases. Therefore, the mass and angular momentum for this kind of binaries are continuously losing in the process from the contact configuration to the merged configuration. (3) From the relationships of q - f and q - $J_{\text{spin}}/J_{\text{orb}}$, the minimum mass-ratio for the overcontact binary may be determined as 0.0439–0.0465. It is a key challenge for us to bring forward the evolutionary theory and the merged mechanism of the binary. The observed minimum mass-ratio binary is V857 Her up to now. The merged timescale is around 1.07 Ga through the conserved mass transfer from the more massive component to the less massive one.

overcontact binary, minimum mass-ratio, merge of binary

doi: 10.1360/972010-1475