

# 蓝离散星现象的研究进展

石火明 赵君亮

(中国科学院上海天文台)

## 提 要

星团和星协中蓝离散星的存在是一种较普遍的现象,这对传统的恒星演化理论提出了挑战。迄今对于蓝离散星已进行了很多观测和理论研究工作。本文就有关蓝离散星本质和起源的各种假说进行了讨论。我们认为,不同的蓝离散星可以具有不同的形成机制,不应强求所有的蓝离散星都起源于同一种物理过程。

## 一、引 言

蓝离散星(blue straggler)是指出现在恒星系统HR图上的主序延伸线附近,且比主序折向点恒星显然更亮(星等差可达2.5mag左右)的一类恒星。Sandage<sup>[1]</sup>首次在球状星团M3的HR图中发现了约30颗这样的恒星,嗣后,在其他球状星团<sup>[2]</sup>、疏散星团<sup>[3]</sup>、OB星协<sup>[4]</sup>、甚至银晕场星<sup>[5]</sup>和近邻矮椭圆星系<sup>[6]</sup>中都有类似的发现,蓝离散星的存在因而成为这些恒星系统(特别是星团)中的一种较为普遍的现象。图1和图2分别显示了球状星团M3和疏散星团M67中出现的蓝离散星<sup>[7,8]</sup>。

利用自行和视向速度资料所作的成员研究表明,HR图上出现的蓝离散星绝大多数属于星团和星协的物理成员<sup>[9-13]</sup>。例如,Girard等<sup>[13]</sup>对M67所作的自行成员研究表明,团中

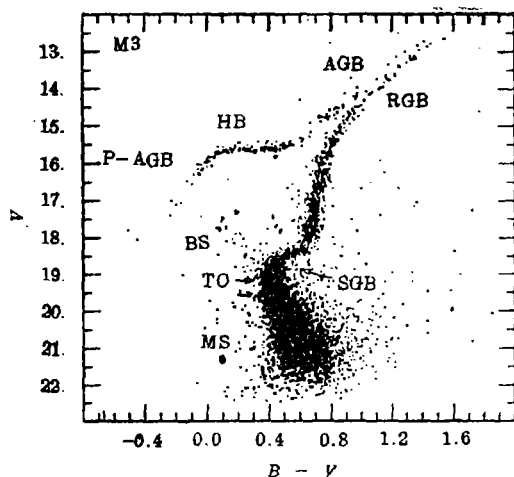


图1 球状星团M3中的蓝离散星(BS)

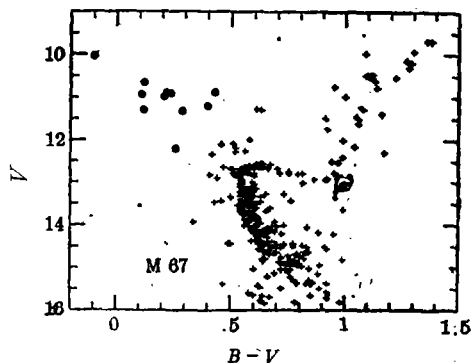


图2 疏散星团M67中的蓝离散星(圆点)

有 10 颗蓝离散星成员的概率都高于 97%，Mathys<sup>[8]</sup>对其中的 6 颗蓝离散星所测定的视向速度值相互之间也符合得很好。对蓝离散星的成员判定结果表明了这类恒星的存在确实是星团和星协所固有的现象而并非场星的混入所致。

蓝离散星的本质和起源问题一直困扰着恒星物理学家。如果星团或星协中的所有成员是在相同或相近的时期内形成的，那么从 HR 图上看，在向红巨星演化的进程中，蓝离散星似乎要比其他恒星（数量上占恒星系统的绝大部分）明显地滞后。由此说明这种现象及其内在机制无疑将对传统的恒星演化理论提出挑战。在过去的近 40 年中，对于蓝离散星已进行了大量的观测和理论研究工作，并就蓝离散星的本质和起源提出了多种假说。本文将分别就蓝离散星基本性质的重要观测事实和有关蓝离散星形成机制的各种主要假说给以综合性的介绍。

## 二、蓝离散星的基本观测事实

星团和星协中蓝离散星的数目一般在 3 到 50 之间，除了在 HR 图上所呈现出的具有比主序折向点恒星更亮的星等和偏蓝的颜色外，很多研究者对于蓝离散星所固有的基本性质如质量、双星及变星可能性、元素丰度、磁场效应和自转状态等，进行了不少的观测研究工作，积累了很多重要的资料，这对于探求蓝离散星的本质及起源是非常必要并具有关键性意义的。

### 1. 蓝离散星的质量、双星及变星可能性

蓝离散星质量 (MBS) 的准确测定有助于澄清蓝离散星到底是高质量星还是小质量星的问题，这一点具有根本的重要性。在实际中可以通过好几种途径来测定或估计蓝离散星的质量。由多色测光数据可以推得蓝离散星的有效温度和表面重力，通过与标准模型比较，可以直接确定其质量。例如 Strom 等<sup>[14,15]</sup>和 Mathys<sup>[8]</sup>对疏散星团 NGC 7789 和 M67 中的蓝离散星所进行的这种质量测定的结果表明，这些蓝离散星确实具有与同类光谱型的主序星相当的质量，因而是比星团内主序折向点恒星质量 ( $M_{\text{turn off}}$ ) 更大的高质量星。另一种方法是考察蓝离散星在星团中的空间分布性质，通过动力学分析来估计团中蓝离散星的统计平均质量。Mathieu 和 Latham<sup>[16]</sup>发现 M67 中蓝离散星的径向分布与红巨星相比有更强的中心聚集趋势（空间质量分层），这与团中的双星类似，并且都可用质量为  $2M_{\odot}$  的 King 模型很好地拟合其投影密度分布，而这一平均质量 ( $2M_{\odot}$ ) 明显地比主序折向点恒星质量 ( $1.2M_{\odot}$ ) 大。对很多球状星团如 NGC 5466<sup>[2]</sup>、NGC 5053<sup>[17]</sup>、Ruprecht 106<sup>[18]</sup>、NGC 7492<sup>[19]</sup>、NGC 6171<sup>[20]</sup>、NGC 6101<sup>[21]</sup>、NGC 5897<sup>[22]</sup> 以及 47Tuc<sup>[23]</sup> 等中的蓝离散星的径向分布特性的分析研究也表明，蓝离散星要比具有相似星等的亚巨星更明显地向星团中心聚集，动力学模型的拟合也给出了比主序折向点恒星更大的平均质量 ( $M_{\text{BS}} \approx 1.3M_{\odot}$ ， $M_{\text{turn off}} = 0.8M_{\odot}$ <sup>[2,17]</sup>)。Wheeler<sup>[24]</sup>根据恒星的理论演化迹线由 HR 图上估计出蓝离散星应具有与其主序位置相符的大质量。各种方法所确定的蓝离散星质量几乎都大于主序折向点质量而又小于该质量值的两倍。但是也有少数蓝离散星似乎具有异常大的质量，其质量值超过了主序折向点恒星质量的两倍<sup>[21,24]</sup>。

蓝离散星的双星可能性的探测对于揭示其本质具有重要意义。在观测上，可以通过测定

视向速度变化或光度变化来鉴别蓝离散星是否为双星, 这方面的工作已做了很多<sup>[18,14,25-30]</sup>。这类工作的结果表明, 在蓝离散星中确实存在双星系统, 有的还定出了准确的周期, 如 M67 中的一颗周期为 4 天的分光双星<sup>[26]</sup>以及球状星团  $\omega$  Cen 中的一颗周期为 1.38 天的食双星<sup>[30]</sup>。但是, 很多这类探测并未显示出双星所预期的变化。Manteiga 等<sup>[27]</sup>在 5 个疏散星团中的已被证认为成员的 24 颗蓝离散星中, 仅发现 4 颗具有较大的视向速度变幅, 占 17%。随后, Manteiga 等<sup>[28]</sup>在上述视向速度观测基础上进行了光度变化观测(包括红外测光以避免遗漏具有冷伴星的双星系统), 总的双星可能数所占比例接近 50%。需要指出的是, 视向速度的变化或光度的变化并不一定意味着是双星效应。一些特殊恒星也有可能产生类似的变化, 而变幅较小的双星则很难探测到。另外, 双星系统如果已发生了并合也不会表现出这种变化。令人颇感兴趣的是在某些球状星团内的蓝离散星中发现存在着所谓的 SX Phe 型变星, 例如 Jørgensen 和 Hansen<sup>[31]</sup>在  $\omega$  Cen、Mateo<sup>[29]</sup>、NGC 5466 以及 Hodder 等<sup>[32]</sup>在 M71 中就发现了这种短周期变星, 它们是反常造父变星的一种。对这种脉动变星的分析表明它们应具有大于主序折向点的质量(约为  $1.3M_{\odot}$ ), 这可作为蓝离散星属大质量星的一个旁证<sup>[21]</sup>。

## 2. 蓝离散星的元素丰度、磁场效应及自转状态

恒星光球元素丰度的测定对于恒星演化的研究非常重要, 在蓝离散星的情形, C、N、O 及 Li 元素的丰度具有特殊的意义。尽管目前对于蓝离散星元素丰度的直接光谱分析还不多, 但却得到了一些很重要的结果。Schild 和 Berthet<sup>[33]</sup>对 5 个星协中最热星的分光观测发现, 其中蓝离散星一般显示含 N 丰富的光谱, 而较晚型星显示正常光谱。Hulbert<sup>[34]</sup>也观测到疏散星团 NGC 6067 中的一颗蓝离散星的光谱在蓝端出现了很强的单次电离 N 的吸收线, 确认为是 OBN 星, 与太阳丰度相比, O 丰度相当, C 丰度偏低, 而 N 丰度偏高。Mathys<sup>[8]</sup>发现 M67 中的两颗蓝离散星的丰度比 C/N 和 O/N 也比太阳的相应值较低些(即 N 含量相对较高), 但是 CNO 总丰度却并不守恒。Pritchett 和 Glaspey<sup>[35]</sup>观测了 M67 中的 7 颗蓝离散星的光谱中的  $6707 \text{ \AA}$  Li 共振双线的强度, 结果表明, Li 丰度的上限值明显地比类似温度的主序场星的相应值更小。Hobbs 和 Mathieu<sup>[36]</sup>的有关观测也显示出蓝离散星中 Li 元素明显缺乏。对于蓝离散星是否是年轻恒星以及恒星内部是否发生了混合, CNO 丰度和 Li 丰度具有一定的鉴别作用, 对此后文还将进一步讨论。

由于磁场效应和自转状态会较大地影响到恒星的演化进程, 因而对于蓝离散星的磁场和自转的观测有可能提供关于蓝离散星本质的有用信息。Mermilliod<sup>[3]</sup>通过对中等年龄星团中的 16 颗蓝离散星的光谱分析, 确认其中 10 颗为 Ap 星(占 62%), 考虑到 Ap 星通常具有很强的磁场效应(光球磁场可达  $\sim 10^3 \text{ G}$ ), 因而可以推测这些蓝离散星可能具有较强的磁场。同时, 在属于年轻星团的 15 颗蓝离散星中发现在其中 7 颗的光谱中存在着发射线(通常为 B<sub>r</sub> 和 O<sub>r</sub> 星), 显示了快速自转的证据。Mathys<sup>[8]</sup>对年老星团 M67 中的蓝离散星的磁场和自转情况的直接观测结果则有所不同, 这些蓝离散星并未显示出类似 Ap 星的大尺度结构磁场, 就其光谱型而言自转也缓慢。

以上的各种观测事实无疑是任何蓝离散星假说都应加以考虑的, 下文中将结合有关蓝离散星的各种假说来阐明这些观测结果的意义。

### 三、有关蓝离散星的各种假说及其有效性

在发现蓝离散星之后的近 40 年中, 很多研究者相继提出了各种假说企图解释蓝离散星的本质和起源, 如后期诞生说、双星说、混合说、碰撞说等, 但迄今仍未取得一致。下面将就这些假说的主要论证及其局限性作一简要的介绍。

#### 1. 后期诞生说

该假说由 Roberts<sup>[37]</sup>首先提出, 认为蓝离散星是在恒星系统中, 在其他绝大多数恒星形成之后才再诞生的, 因而是一些很年轻的恒星。这是对蓝离散星的一种最直观的解释, 它实际上否定了星团或星协中所有成员星严格同龄的观念。

生成蓝离散星的气体可以是团内气体或星际气体。对于年轻的星团或星协, 由于它们大多分布在气体媒质较多的银盘中, 并且还实际观测到与之成协的气体云, 因而蓝离散星有可能在后期生成。Eggen 和 Iben<sup>[38]</sup>通过对观测 HR 图与等龄线的细致比较研究, 认为在属于年轻盘族的星团(如毕星团和毕超星团、天狼超星团)和属于极年轻盘族的星团(如昴星团、英仙 $\alpha$ 团及 IC 2602)中可能发生了两次甚至多次恒星形成事件, 其中绝大多数蓝离散星实际上是后期诞生的年轻恒星, 这可以很自然地解释蓝离散星所具有的大质量。但是若将后期诞生说作为蓝离散星的唯一形成机制则会遇到不少困难, 主要的问题是在年老星团中缺乏新近恒星生成事件的观测证据。年老星团中所含气体甚少, 且通常都较远离银盘, 似乎缺乏后期形成恒星的物质条件。另外, 一些蓝离散星的表面元素丰度分析显示出较低的丰度比 O/N、C/N 值, 或者 Li 元素明显缺乏, 从核反应角度看, 这应该是恒星经过了较长时间演化的结果, 因此很难将这些蓝离散星看成是新近生成的年轻恒星。

#### 2. 双星说

该假说由 McCrea<sup>[39]</sup>首先提出, 认为蓝离散星是双星系统中发生物质转移的结果。双星系统中, 原先的主星通过内拉格朗日点将物质转移到伴星上, 伴星质量由此增大并表现为蓝离散星。双星说的极端情形是认为两颗子星实际上并合成了一颗恒星<sup>[40]</sup>。

双星说一直得到众多的支持<sup>[7,21,28,29,41-44]</sup>, 成为一种最流行的说明蓝离散星形成机制的假说。双星说在理论上的吸引人之处在于只需用到已经很成熟的恒星和双星演化的知识而不必引进任何反常的或特殊的假设。支持双星说的重要原因是现已证实蓝离散星中确实有双星存在, 同时蓝离散星通常都处在双星说预期的质量限内 ( $M_{BS} \leq 2M_{turn off}$ ), 而且双星说也能够说明观测到的蓝离散星的异常的 CNO 丰度和 Li 丰度<sup>[8,36]</sup>。

双星说也存在不少问题。首先, 实际测定到少数蓝离散星的质量超过了主序折向点恒星质量的两倍, 这是双星说难以说明的<sup>[21,24]</sup>。双星说的另一个主要困难是对于蓝离散星视向速度变化和光度变化的许多观测结果似乎否定了其双星可能性。不过双星并合说又似乎给这一情况带来了转机。Manteiga 等<sup>[28]</sup>对多个疏散星团中的蓝离散星的研究指出, 如果同时考虑到实际探测到的双星数和由理论估计的并合双星数, 则起源于双星演化(物质交换或并合)的蓝离散星可以占相当高的比例。Mateo 等<sup>[29]</sup>对球状星团 NGC 5466 中蓝离散星进行了食双星探测和研究, 认为除了探明的食双星外, 其他蓝离散星皆有可能是双星并合后的产物。Eggen 和 Iben<sup>[44]</sup>甚至认为属于年老盘族(如老年疏散星团)和晕族(如球状星团)的蓝离散星

大多是双星并合形成的。然而, Milone 等<sup>[45]</sup>对 NGC 5466 中食双星的光变曲线研究后所得到的详细的分析结果, 给双星说带来了新的严重的困难。他们发现, 单独的主星就比主序折向点恒星偏蓝、偏亮。换言之, 单颗主星就是一颗蓝离散星, 这与双星说产生了尖锐的矛盾<sup>[46]</sup>。

### 3. 混合说

该假说由 Wheeler<sup>[24]</sup>提出, 认为单颗恒星由于其内部物质发生了某种混合而使恒星核区获得了附加的核燃料(氢), 从而具有更长的主序寿命, 在 HR 图上则表现为一颗蓝离散星。导致恒星内部物质发生混合的激发因素可能来自恒星的快速自转、强磁场压力甚至双星系统中的潮汐力影响。显然混合说对于传统的恒星演化理论提出了挑战。

混合说近年来得到了很多研究者的支持<sup>[4, 33, 47, 48]</sup>, 因为从理论上来说, 只要有不太大的内部混合作用便可以使恒星主序寿命大大延长<sup>[49]</sup>。Abt<sup>[47]</sup>根据 Mermilliod<sup>[31]</sup>对于较年轻疏散星团中蓝离散星的光谱分析结果认为, 其中光谱型为 B3-A2 的蓝离散星可能具有因强磁场而导致的内部混合, 而光谱型为 O6-B2 的蓝离散星则可能具有因快速自转而导致的内部混合。混合说预期蓝离散星具有较高的 N 丰度(或较低的 C/N 和 O/N 丰度比), 因为物质混合的结果会使核区 CN 过程的产物到达恒星外层。Schild 和 Berthet<sup>[33]</sup>及 Hulbert<sup>[34]</sup>根据他们的有关观测结果认定存在由自转导致内部混合的可能性。混合说也能说明观测到的蓝离散星的 Li 元素缺乏现象<sup>[35]</sup>。

蓝离散星的混合说并不完善, 迄今仍未能建立起细致而又令人满意的恒星内部混合机制, 而且其困难还在于如何说明只有很少一部分恒星发生了这种内部混合。同时观测证据也还很不够, 有的观测事实甚至产生了解释上的困难, 如 Mathys<sup>[8]</sup>所发现的蓝离散星的 CNO 总丰度的不守恒性。

### 4. 碰撞说

该假说由 Hills 和 Day<sup>[60]</sup>提出, 认为蓝离散星是星团内恒星之间发生实际的物理碰撞的产物。Benz 和 Hills<sup>[51]</sup>指出, 两颗主序星实际碰撞并合的结果是一颗充分混合的大质量星, 在 HR 图上就表现为蓝离散星。

Leonard 和 Fahlman<sup>[62, 63]</sup>对于球状星团中恒星间的碰撞作了详细研究, 认为致密球状星团中肯定会发生恒星间的实际碰撞, 而且即使对于数密度较低的球状星团, 由于双星的存在也会大大地增加恒星碰撞并合的机会, 这是因为质量分层效应将会使得团核中的双星出现率大大提高(如可达 50%—100%), 而双星—双星碰撞截面又远大于单星—单星碰撞截面(约 100 倍), 因此在强烈的双星—双星相互作用中发生恒星间物理碰撞与并合是完全可能的。但是碰撞说的一个很大缺陷是由双星碰撞产生的蓝离散星很有可能获得超过逃逸速度而被从星团中抛出, 不过这或许是银晕场星中蓝离散星的一种来源<sup>[62]</sup>。对于像疏散星团这样的内部结构稀疏的系统, 发生恒星间物理碰撞的可能性甚微, 因此碰撞说是不适用的。另外, 既然球状星团中存在着双星, 则显然也应同时存在着由双星演化而形成蓝离散星的可能性(双星说)。

### 5. 其他假说

(1) 吸气增质说 该假说由 Williams<sup>[54]</sup>提出, 认为蓝离散星是通过从周围气体介质中(团内气体或星际气体)吸积气体从而增大了自身质量的恒星。考虑到蓝离散星所具有的比

主序折向点恒星大得多的质量, 对于一颗孤立的恒星要想吸积如此大量的气体物质显然是很困难的, 因而吸气增质说并未得到人们的认可。

(2) 主序后星说 该假说由 Sargent<sup>[56]</sup>提出, 认为蓝离散星是经过充分演化的主序后星, 只不过又重新占据了 HR 图的主序位置而已。这一假说成立的可能性看来很小, 因为充分演化的主序后星其质量应该小于或相当于主序折向点恒星的质量, 而事实上, 质量测定表明蓝离散星具有与其 HR 图主序位置相当的主序大质量。

(3) 场星捕获说 该假说由 Leonard<sup>[56]</sup>提出, 认为蓝离散星可能是星团所捕获的早型场星。不过有关的  $N$  体模拟表明这种捕获事件发生的概率很小, 而且只有在很小的窜入速度下才可能发生, 实际上的窜入速度使得场星捕获可能性甚小。因此场星捕获说最多只能说明疏散星团中少量的蓝离散星, 而对球状星团则几乎不存在这种可能性。

(4) 保质说 该假说由 Willson 等<sup>[57]</sup>提出, 认为蓝离散星是在演化过程中避免了较大质量损失的主序星。Willson 等指出, 处在不稳定带上的绝大多数主序星(质量为  $1-2.5M_{\odot}$ ) 在其主序演化过程中会损失很大的质量, 结果使得这些恒星在 HR 图上沿主序向下移动, 而少数的恒星(如自转非常缓慢的恒星)则有可能避免这种较大的质量损失而基本保持原来的主序位置不变, 由此在 HR 图上表现为位于主序折向点之上的蓝离散星。Willson 等<sup>[57]</sup>认为这种机制可以较好地解释中等年龄星团中的蓝离散星(典型质量为  $2-2.5M_{\odot}$ )。保质说无疑也与传统的恒星演化理论很不相同。而且观测到蓝离散星中 Li 的缺乏似乎也与其保质说不一致, 因为避免了质量损失的蓝离散星应含有正常的 Li 丰度(大量的质量损失将导致 Li 缺乏)<sup>[58]</sup>。

有关蓝离散星的可能形成机制的新的假说还在不断出现, 例如, Trimble<sup>[46]</sup>针对 M67 中蓝离散星丰度异常的观测事实<sup>[8]</sup>, 推测它们可能与 S 型恒星有所联系。S 型恒星有两类, 其中不含钨元素的一类通常为带有白矮星伴星的双星。Trimble<sup>[46]</sup>认为蓝离散星的异常丰度可能产生于原先的大质量主星, 而后被抛掷到了目前所观测到的子星上。

#### 四、结 束 语

关于蓝离散星本质与起源的上述各种假说既有其成功之处又有相应的局限性。总的来说, 后期诞生说、双星说、混合说及碰撞说较有可能说明星团星协中部分或大部分蓝离散星的起因, 其中以双星说和混合说尤应得到重视。

尽管大多数研究工作都只强调了蓝离散星的某一种形成机制, 但不可否认, 不同恒星系统甚至同一恒星系统中的不同蓝离散星可能存在着不同的起因。考虑到不同恒星系统之间在年龄、化学组成、双星出现情况以及恒星生成条件等方面存在较大的差异, 以及实际观测得到的不同蓝离散星的复杂特性, 不同的蓝离散星有着不同的形成机制是完全可能的, 不应强求所有蓝离散星都起源于同一种物理过程。

对于蓝离散星现象的更深入的认识, 不仅取决于有关的理论研究(如恒星的各種反常演化机制的探讨), 而且更多地将取决于观测事实。目前, 有关观测工作还很不充分, 对于蓝离散星内禀物理性质诸如质量、自转、磁场、化学组成、双星及变星可能性等的更多更准确的观测与分析将是揭示蓝离散星本质的关键。

## 参 考 文 献

- [1] Sandage, A. R., *A. J.*, 58 (1953), 61.  
[2] Nemeč, J. M. and Harris, H. C., *Ap. J.*, 316 (1987), 172.  
[3] Mermilliod, J. C., *Astron. Astrophys.*, 109 (1982), 37.  
[4] Mathys, G., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 71 (1987), 201.  
[5] Rodgers, A. W., *M. N. R. A. S.*, 157 (1972), 171.  
[6] Carney, B. W. and Seitzer, P., *A. J.*, 92 (1986), 23.  
[7] Renzini, A. and Fusi Pecci, F., *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 26 (1988), 245.  
[8] Mathys, G., *Astron. Astrophys.*, 245 (1991), 467.  
[9] Mc Clure, R. D., Forrester, W. T. and Gibson, J., *Ap. J.*, 189 (1974), 409.  
[10] Mc Namara, B. J., *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 92 (1980), 682.  
[11] Mc Clure, R. D., Twarog, B. A. and Forrester, W. T., *Ap. J.*, 243 (1981), 841.  
[12] Chaffee, F. H. and Ables, H. D., *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 95 (1983), 835.  
[13] Girard, T. M., Grundy, W. M., Lopez, C. E. and Van den Bergh, W. F., *A. J.*, 98 (1989), 229.  
[14] Strom, S. E. and Strom, K. M., *Ap. J.*, 162 (1970), 523.  
[15] Strom, S. E., Strom, K. M. and Bregman, J. N., *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 83 (1971), 768.  
[16] Mathieu, R. D. and Latham, D. W., *A. J.*, 92 (1986), 1364.  
[17] Nemeč, J. M. and Cohen, J. G., *Ap. J.*, 336 (1989), 780.  
[18] Buonanno, R., Buscema, G., Fusi Pecci, F., Richer, H. B. and Fahlman, G. G., *A. J.*, 100 (1991), 1811.  
[19] Cote, P., Richer, H. B. and Fahlman, G. G., *A. J.*, 102 (1991), 1358.  
[20] Ferraro, F. R., Clementini, G., Fusi pecci, F. and Buonanno, R., *M. N. R. A. S.*, 252 (1991), 357.  
[21] Sarajedini, A. and Da Costa, G. S., *A. J.*, 102 (1991), 628.  
[22] Ferraro, F. R., Fusi Pecci, F. and Buonanno, R., *European Southern Observatory Scientific Preprint No.* 805.  
[23] Paresce, F. et al., *Nature*, 352 (1991), 297.  
[24] Wheeler, J. C., *Ap. J.*, 234 (1979), 569.  
[25] Stryker, L. L. and Hrivnak, B. J., *Ap. J.*, 278 (1984), 215.  
[26] Peterson, R. C., Carney, B. W. and Latham, D. W., *Ap. J.*, 279 (1984), 237.  
[27] Manteiga, M., Pickles, A. J. and Roger, C. M., *Astron. Astrophys.*, 210 (1989), 66.  
[28] Mantega, M., Roger, C. M., Morales, C. and Sabau, L., *Astron. Astrophys.*, 251 (1991), 49.  
[29] Mateo, M., Harris, H. C., Nemeč, J. M. and Olszewski, E. W., *A. J.*, 100 (1990), 469.  
[30] Jensen, K. S. and Jorgensen, H., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 60 (1985), 229.  
[31] Jorgensen, H. and Hansen, L., *Astron. Astrophys.*, 133 (1984), 165.  
[32] Hodder, P. J. C., Nemeč, J. M., Richer, H. B. and Fahlman, G. G., *A. J.*, 103 (1992), 460.  
[33] Schild, H. and Berthet, S., *Astron. Astrophys.*, 162 (1986), 369.  
[34] Hulbert, S. J., *Bull. Am. Astron. Soc.*, 21 (1989), 1100.  
[35] Pritchett, C. J. and Glaspey, J. W., *Ap. J.*, 373 (1991), 105.  
[36] Hobbs, L. M. and Mathieu, R. D., *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 103 (1991), 431.  
[37] Roberts, M. S., *A. J.*, 65 (1960), 457.  
[38] Eggen, O. J. and Iben, I. Jr., *A. J.*, 96 (1988), 636.  
[39] Mc Crea, W. H., *M. N. R. A. S.*, 128 (1964), 147.  
[40] Zinn, R. and Searle, L., *Ap. J.*, 209 (1976), 734.  
[41] van den heuvel, E. P. J., *Bull. Astron. Inst. Neth.*, 19 (1968), 326.  
[42] Iben, I. Jr., *Mem. Soc. Astron. Itali*, 57 (1986), 453.  
[43] Campbell, B., *Ap. J.*, 152 (1968), 885.  
[44] Egeen, O. J. and Iben, I. Jr., *A. J.*, 97 (1989), 431.  
[45] Milone, E. F., Stagg, C. R. and Kallrath, J., in *IAU Symp. No. 151*, (1991).  
[46] Trimbale, V., *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 104 (1992), 1.  
[47] Abt, H., *Ap. J.*, 294 (1985), L614.  
[48] Maeder, A., *Astron. Astrophys.*, 198 (1987), 159.  
[49] Saio, H. and Wheeler, J. C., *Ap. J.*, 242 (1980), 1176.  
[50] Hills, J. G. and Day, C. A., *Ap. Lett.*, 17 (1976), 87.  
[51] Eenz, W. and Hills, J. G., *Ap. J.*, 323 (1987), 614.  
[52] Leonard, P. J. T., *A. J.*, 98 (1989), 217.

- [53] Leonard, P. J. T. and Fahlman, G. G., *Ap. J.*, 102 (1991), 994.  
[54] Williams, I.P., *Ann. Astrophys.*, 27 (1984), 198.  
[55] Sargent, W. L. M., *Ap. J.*, 152 (1968), 885.  
[56] Leonard, P. J. T., *Bull. Am. Astron. Soc.*, 17 (1985), 882.  
[57] Willson, L. A., Bowen, G. H. and Struck-Marcell, C., *Comments Astrophys.*, 12(1987), 17.  
[58] King, J. R., *M.N.R.A.S.*, 249 (1991), 658.

(责任编辑 林一梅)

## Developments in the Studies of the Blue Straggler Phenomenon

Shi Huoming    Zhao Junliang

(Shanghai Observatory, Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

The occurrence of blue stragglers in star clusters and associations is a common phenomenon and presents a challenging problem for traditional stellar evolutionary theories. Much observational and theoretical work has been done on blue stragglers. In this paper, various explanations for their nature and origin are reviewed, from which it is suggested that there may exist a variety of formation mechanisms leading to different blue stragglers.