

探秘星团新发现

文·何锐思 (Richard de Grijs) / 翻译·程思淼

◀ 由马克斯-普朗克学会 (MPG) 和欧洲南方天文台 (ESO) 共用的智利拉西拉天文台MPG/ESO 2.2米望远镜拍摄的明亮星团NGC 3532的绚丽图像。其中的一些恒星仍然在发出炽热的浅蓝色光芒, 但质量更大的恒星则已经进入红巨星阶段, 发出橙黄色的光。图片来源: ESO/G. Beccari。



何锐思
(Richard de Grijs)

北京大学科维理天文与天体物理研究所 (KIAA) 教授, 国际天文学联合会天文发展办公室东亚分站负责人。

新理论: 中年星团中的恒星年龄都相近!

仔细观察夜空我们就会发现, 星星很少单独出现, 而是常常聚集成星团。有的星团里恒星可多达上百万颗。这种在星团王国中年龄最大、所含星数最多的, 就是所谓的“球状星团”。人们曾一度以为, 自己对它们已经了如指掌——球状星团不过是简单地聚在一起的一群恒星罢了, 而且这些恒星并不是同时诞生, 是在超过3亿年的时期里逐步形成的。不过, 2014年12月中旬《自然》杂志上发表的一篇文章指出, 在这些大质量星团中, 恒星形成的情况并非如此。利用哈勃太空望远镜的数据, 我在北京大学科维理天文与天体物理研究所和中国科学院国家天文台的研究团队发现, 至少在大质量中年星团中, 所有恒星都是同时诞生的。

恒星的生命始于一团由尘埃和气体组成的云。在引力的作用下, 这团云气慢慢地凝聚成致密的球体。如果质量够大, 它的核心就可以达到足够高的温度, 点燃将氢聚合成氦的核反应。这一过程释放巨大的能量, 使恒星发出明亮的光。几十年后, 当核心区的氢储备告罄, 恒星就开始燃烧核心周围壳层的氢。这会使恒星 (表面) 的温度发生变化。

以前的观测显示, 在一个老龄的大质量星团中, 那些处于核心氢燃烧末期的恒星, 相互之间温度差异很大。由此计算得出, 这些恒星的年龄差异可以达到、甚至超过3亿年。

“这个结果令人困惑,” 我在北大的博士生、在《自然》上发表那篇文章的主要作者李程远说。“因为年轻的星团在诞生后的1000万年里, 会迅速失去可以形成恒星的气体。”因此, 同一个星团里的恒星, 其年龄的差异应该很难超过1000万年。

我们的观测目标是NGC 1651——一个位于大麦哲伦星系中、



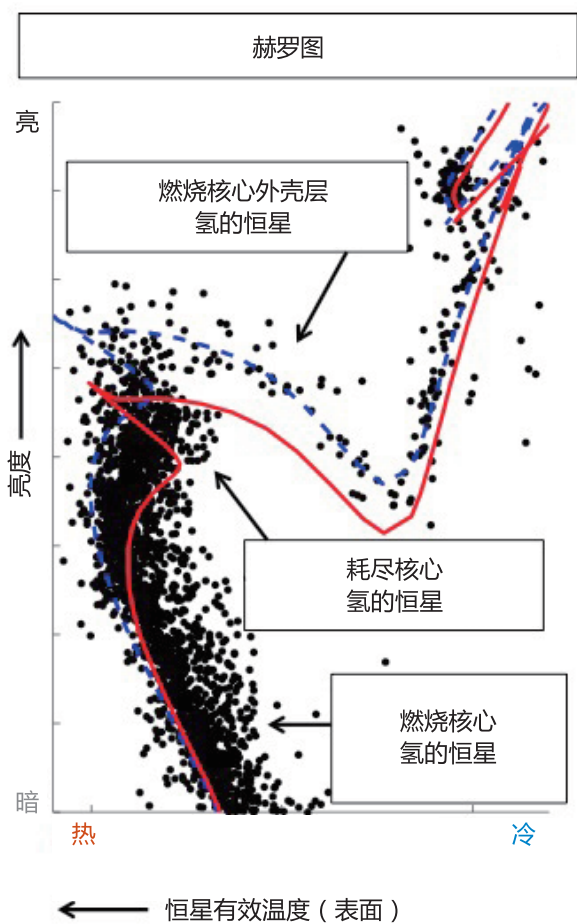
▲ 图1 NGC 1651是位于大麦哲伦星系中的一个中年星团。尽管我们曾以为其中的恒星年龄相差很大，但最新的研究表明，它们的年龄几乎相同。图片来源：NASA/ESA Hubble Space Telescope/Fabian RRRR。

20亿岁、正步入中年的星团。我们关注的地方有两个：一是那些快要耗尽核心氢储备的恒星——这是以往研究的重点；二是那些正在燃烧核心周围壳层里氢的恒星。对于那些燃烧核心氢的恒星，我们同前人一样也发现，不同恒星离开这一阶段时的温度差异很大；但是，当我们把目光转向那些温度相近的、正在燃烧核心区周围壳层的氢的恒星时，我们惊讶地发现，它们之间亮度相差非常小。根据这一结果，我们得出的结论是：这个星团中的所有恒星，其年龄差异不超过8000万年，比起星团的年龄来，这点差异算是非常小了。

目前，NGC 1651是我们找到的、其中恒星具有完全单一年龄成分的最好例子。另外，我们还找到了一些具有类似特征的中老年星团。这些研究都表明，至少对中老年星团来说，当今普遍的看法可能是错误的，一个星团中所有的恒星也许都有着几乎相同的年龄。

其实，十年前天文学家曾经提出过这样的看法：任何一个星团中的恒星都应该具有相同的年龄。后来这种看法渐渐失宠了，因为天文学家发现了一些证据，证明至少在银河系最古老、最庞大的星团中，确实存在着不同年龄的恒星。不过，我们在《自然》杂志上发表的论文，将使这一被打入冷宫的看法重新获得人们的正视。同行评审对论文的评价是“坚实可靠、令人信服”，我们希望，这份结果能够解决天文学家持续了十年的争论。

除此之外，我们认为，进入核心氢燃烧末期的恒星亮度之所以相差很大，原因或许在于恒星自转：如果两颗恒星年龄完全相同，但是自转速率差别很大，观测结果也会显示出不同的有效温度。而现在的模型往往没有考虑恒星自转。将来的研究如果能更好地建立恒星自转模型，并以此来解释不同恒星离开核心氢燃烧阶段时温度的差异，或许可以对星团的年龄问题给出更好的解释。



▲ 图2 星团NGC 1651的赫罗图，每个点代表一颗恒星的观测数据。数据点的弥散被认为是星团中恒星年龄不一致的证据。根据年龄相差4.5亿年的模型计算的结果如图中两条线所示，蓝色表示较年轻的恒星应处的位置，红色表示较年老的恒星应处的位置。这一结果虽然能较好地解释星团NGC 1651中那些刚离开核心氢燃烧阶段的恒星的弥散分布，却与核心外壳层氢燃烧阶段恒星的分布明显不符。图片来源：李程远，何锐思；KIAA。

最古老的星团：成分“并不简单”

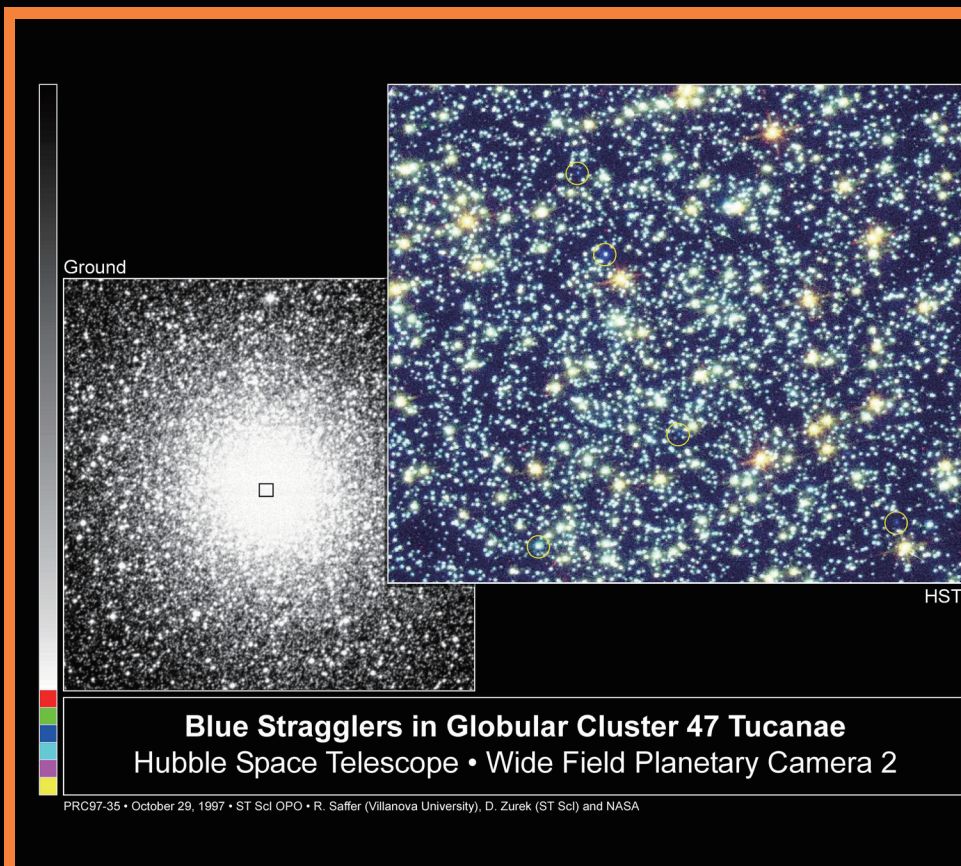
包含超过10万颗恒星，年龄高达100亿岁的球状星团，是与银河系一样古老的密集星群。前面说过，天文学家正是在球状星团中发现了不同年龄的恒星种族，而我们的研究并不推翻这一认识。

“我们曾经以为自己对这些古老的星团了如指掌，”加拿大麦克马斯特大学的埃里森·西尔斯（Alison Sills）说，“我们告诉学生说，这些星团里所有的恒星都是同一时期从一块巨大的云中诞生的，各个恒星按照自己的生命轨迹演化、死亡，但星团中不再有新的恒星出生。”

不过在上世纪中叶，人们在星团中发现了一类称为“蓝离散星”的恒星。如果它们和星团的年龄相同，那么如此大质量的恒星应该早就离开主序，进入演化末期了才对，不可能继续以炽热而明亮的面目存在。对此，目前的解释是恒星相互作用：当两颗“正常”的恒星走得太近，引力会使其中一颗星的物质转移到另一颗星上，或者可能融合形成一颗新恒星。

“天文学家认为，在这些密集的星团中，数千颗恒星挤在一块相对狭小的空间里，每颗星的运动都受到其他恒星引力的影响，其运行轨迹将非常复杂。就好比一个没有交通灯的十字路口，近距离接触和直接碰撞的概率都非常大。”西尔斯解释说。

哈勃太空望远镜的观测显示，球状星团中先后形成了两代恒星，而不是只有一代。不过这里的“第二代恒星”与银河系其他地方的情况也不一



▲ 图3 球状星团杜鹃座47的核心是很多蓝离散星的聚居地。蓝离散星是一些不知什么原因重新“焕发青春”，像大质量年轻恒星一样发出明亮蓝色光的恒星。哈勃望远镜获得的图像（左）显示了杜鹃座47拥挤的核心区，它距离我们约15000光年远。哈勃太空望远镜宽视场和行星相机（WFPC2）深入观察了球状星团明亮的核心，将哈勃望远镜视野中密集的“星块”分解成一颗颗恒星（右）。其中一些发出老年恒星特征的光，另一些则发出蓝离散星典型的蓝色的光。哈勃太空望远镜还给出了一些蓝离散星的位置（图像中用黄色圆圈标出）。图片来源：Rex Saffer (Villanova University), Dave Zurek (STScI), NASA Goddard Space Flight Center (NASA-GSFC)。

样。在球状星团中，至少有一部分的第二代恒星，它们并不是来源于上一代爆发的超新星残骸，而是从第一代恒星缓慢抛出的物质中孕育的。这种“代际关系”令人费解，天文学家仍在努力探索球状星团中出现这种情况的原因。

“研究星团中的那些普通恒星，可以帮助天文学家弄清恒星是如何活动和死亡的，”西尔斯说，“而通过这些异类，现在我们能看得更远些，了解到它们如何诞生。关注一个群体中不同寻常的个体总是值得的，你永远不知道它们能告诉你什么。”

老星团，新认识

哈勃太空望远镜对一个邻近的小星系——天炉座矮椭圆星系中的球状星团进行观测，发现它们与银河系中

的球状星团非常相似。因此可以推测，它们的形成方式也是相似的。目前关于球状星团形成的主流理论预

言，球状星团的周围必定存在着数量巨大的老年恒星。但是，尽管老年恒星在银河系中非常普遍，在小小的天



▲ 图4 这幅由哈勃太空望远镜拍摄的图像，显示了天炉座矮星系中的四个球状星团。图片来源：NASA, ESA, S. Larsen (Radboud University, the Netherlands)。

炉座星系中却几乎没有什么老年恒星。因此，问题变得更加复杂了。

我们已经看到，球状星团是宇宙中最大的谜团之一。过去十年的研究表明，很多银河系中球状星团的形成历史要比我们想象的复杂得多。它们至少由两个不同的星族组成：其中大约有一半的恒星，是最初形成的第一代“正常”恒星；剩下的一半组成了所谓“第二代”恒星，即富金属星（这里的“金属”指比氢、氦重的所有元素）。其中，氮的含量可高达第一代恒星的50~100倍。

富金属星在银河系球状星团中的比例远远超过了天文学家的估计。或者说，与富金属星相比，现存第一代恒星的数量严重不足。因此，主流的解释认为，这些星团曾经容纳了过多的恒星，不过后来，第一代恒星中的很大一部分都被抛出了星团。

这个解释对银河系中的球状星团是有效的，因为那些被抛出的第一代恒星很容易进入巨大的银晕，并与它们相似的其他老年恒星混在一起。但天文学家使用哈勃望远镜的宽视场相机（WFC3）对天炉座星系中四个球状

星团的最新观测结果，使这一理论陷入了困境：比银河系小得多的天炉座星系并不能为离开星团的第一代恒星提供藏身之地。

“当我们发现银河系中的星团比我们原来想的还要复杂后，我们构造了很多理论来解释为什么会如此。但真要检验这些星团的形成理论，还必须了解银河系之外的情况。”荷兰奈梅亨大学的索伦·拉尔森（Sören Larsen）说。“之前我们并不知道，小星系中的球状星团是否也拥有多代恒星；而这次的观测清楚地表明，它们确实有！”

天文学家对天炉座星系中的四个星团的细致观测显示，它们也拥有第二个、富含金属的星族。观测结果同时指出，不仅这四个星团本身具有相似的起源，它们的形成过程与银河系中的星团也相类似。天文学家使用哈勃望远镜的观测结果，测量了星团中恒星的氮含量，发现在每个星团中，都有大约一半的恒星与银河系球状星团中的富氮星具有相同量级的氮含量。富金属星的比例如此之高，表明天炉座球状星团的形成机制与银河系

球状星团很可能是相同的。

从富金属星的数量来看，这些球状星团过去的质量可能是现在的十倍；它们“踢”出了大量的第一代恒星，才缩小到现在的尺寸。但是，被踢出去的恒星到哪里去了？天炉座星系里并没有像银河系中那么多的老年恒星。

“如果这些被踢出的恒星还在（星系里），我们应该能看到它们；可是我们并没有看到。”丹麦奥胡斯大学的弗兰克·格伦达尔（Frank Grundahl）说。“只能认为，是我们的星团形成理论错了。天炉座星系中没有哪个地方能够安置这么多离开星团的恒星，因此，这些星团过去不可能有理论预言的那么大。”

这一发现意味着，目前关于存在复合星族的球状星团形成的主流理论不太可能是正确的。这些在银河系和深空中广泛存在的天体是如何出现的？天文学家不得不重新思考这个问题。

不过似乎并不是所有的球状星团都有多代恒星。科学家认为，在背后决定一切的，是万有引力：星团质量



越大，就越能留住恒星形成所必需的气体和尘埃。星团的质量决定了是否能够形成第二代恒星。

这里要用到的例子是球状星团 IC 4499。有一类小质量球状星团，我们在其中只观测到一代恒星；另一类大质量球状星团，我们在其中观测到不止一代恒星。球状星团 IC 4499 的质量则介于两者之间。通过研究 IC 4499 这样的星团，天文学家就能够发现质量是如何影响星团中恒星成分的。在哈勃太空望远镜对 IC 4499 的最新观测结果中，天文学家没有发现存在多代恒星的迹象。这也支持了小质量星团一般只包含一代恒星的看法。

作为银河系中非常重要的组成部分，球状星团的形成和演化仍给人们留下了许多未解之谜。它们让我着迷！在那些球状星团中，埋藏着丰富的、可供恒星和星系物理学研究者挖掘的宝藏。我相信，在未来的几年里，借助哈勃太空望远镜的数据，我们将会做出更多激动人心的新发现！

▲ 图5 “哈勃” 的这幅新图像拍摄的是球状星团 IC 4499。图片来源：ESA/NASA。

(责任编辑 冯翀)