

利用双星相互作用解释球状星团中的恒星“代沟”

姜登凯

(中国科学院云南天文台 650011)

球状星团是由数十万颗到数百万颗被引力紧密束缚的恒星所组成的恒星集团，因其外形类似球形而得名。在我们的银河系中大约有150多个球状星团，这些球状星团的年龄几乎都在100亿年以上，因此可以称得上是我们银河系中的活化石。对这些球状星团进行研究，就能帮助我们了解银河系的遥远历史。一直以来，同一球状星团中的恒星被认为都是属于同一时代的，也就是由同一团气体塌缩形成的不同质量的恒星，所以会有一样的年龄和化学丰度。因此，对球状星团观测就可以知道不同质量的恒星在相同年龄时的演化状态，例如温度和光度等。更重要的是利用球状星团的这一特性可以对恒星演化模型进行定标，还能检验现有的恒星演化理论和星族合成模型。

然而，人们利用最新的哈勃空间望远镜的观测数据对球状星团中的恒星进行研究，却发现球状星团中的恒星之间是存在“代沟”的。不仅它们的化学组成会存在差异，而且它们在赫罗图（温度-光度图）中的分布也完全不像“同一代人”。球状星团中的恒星“代沟”彻底颠覆了人们对球状星团形成的认识，

而无法正确理解这一现象的形成也严重阻碍了人们对球状星团形成和演化的认识。因此，如何解释这一“代沟”已经成为众多国际研究团队的重要研究课题。人们曾猜测这些恒星也许是属于不同时代的“两代人”，而这“两代人”可能是依次诞生于同一星团的不同恒星形成过程，或诞生于不同的星团中，然后这两个星团再走到一起成为一个星团。然而，人们对非常年轻的星团进行了详细的观测研究，却没有观测到产生两代恒星的两次诞生过程。而另一方面，人们通过理论计算发现两个星团相遇，然后完全混合的可能性也非常小。因此，如何解释球状星团中恒星之间的“代沟”就成为一直困扰着研究人员的一大难题。

那么，还有什么其他可能的原因造成球状星团的“代沟”现象呢？应该注意很多恒星并不是孤立存在的，虽然离我们最近的太阳是一颗单星，但人们在很早以前就发现我们银河系场星中超过50%的恒星都是存在伴星的。这些存在伴星的恒星的演化会受到伴星的影响，它们演化的最终命运甚至会被彻底改变。相互绕转的双星之间的影响有

的很弱，有的却很强。当两颗星的距离非常远的时候，那么它们各自的演化与没有伴星的单星几乎一模一样。如果两颗恒星距离越来越远，每颗恒星都会在对方引力的作用下发生形变，会从球形变的像鸡蛋一样。由于恒星形状发生了改变，其内部的物理状态和整个恒星的演化也会随之发生变化，这时双星之间的相互影响还算平和。但当两颗星的距离更加接近的时候，两颗星之间的相互影响就会变得非常剧烈，不仅会争夺对方恒星表面的物质（图1(a)），甚至还可能把对方恒星撕碎，完全吞并掉。而天文中很多奇特而重要的观测现象都与双星的这些相互作用有着密切的联系，例如：亮度可以超过太阳几十万倍甚至几百亿倍的新星爆发和超新星爆发，形状如同花生一样的相接双星，以及本该“消失”但还像幽灵一样存在的蓝离散星（也被称为“恒星中的吸血鬼”）。

既然恒星的伴星会对恒星的演化有如此大的影响，那么球状星团中的恒星刚诞生的时候，如果有的恒星是孤立的单星，而另一些却存在伴星，那么它们之间就会有不同。我们利用理论模型对星团中

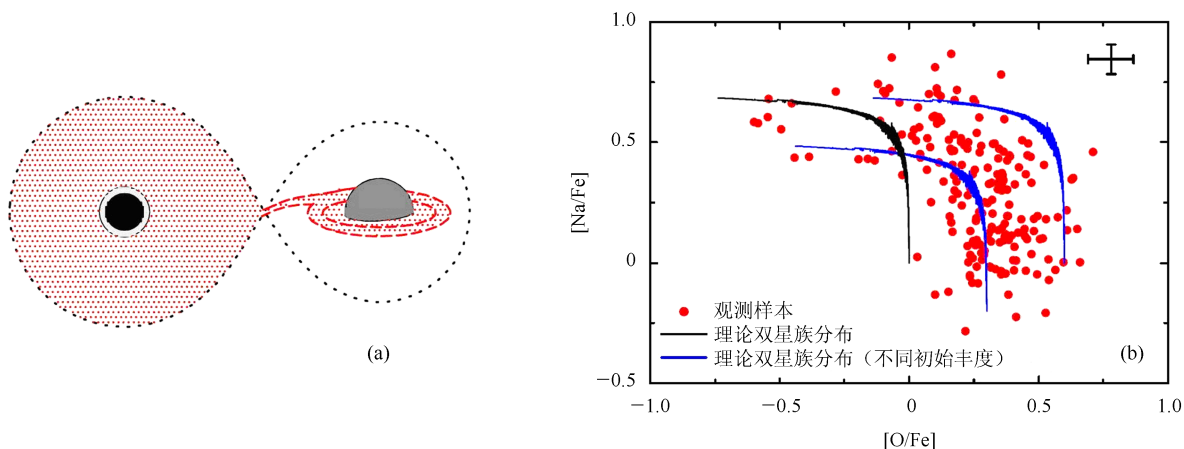


图1 (a) 双星相互作用示意图。(b) 双星相互作用产生的钠-氧 (Na-O) 反相关与多个球状星团观测样本的对比图, 其中红点为观测样本点, 黑线和蓝线为理论计算结果

的单星和双星的演化进行了研究, 发现由于双星之间的相互作用, 双星系统会产生很多转动非常快的恒星, 它们的速度甚至可以达到太阳的几百倍。而这些恒星转动变快的秘诀就在于抢夺伴星的物质甚至直接吞并掉对方, 因为在得到伴星物质的同时也会得到这些物质所携带的轨道角动量, 不断得到物质的这些恒星就会如同被人不断鞭打的陀螺一样越转越快。

虽然, 这些转动非常快的恒星在随后的演化中会逐渐减慢速度, 但它们仍然会与相同质量的普通单星有着很多区别, 例如亮度和颜色, 这就会使得这些恒星在赫罗图中的分布与普通单星不同, 完全不像“同一代人”。更重要的是由于这些恒星在不停的转动, 会把恒星中不同地方的物质不断混合, 例如把恒星表面的物质带到恒星中心的区域进行各种核反应, 同时把中心核反应区产生的各种元素带到这些恒星的表面。这就如同把糖加到装着水的杯子后, 如果不停的晃

动水杯, 就可以加速糖的溶解和混合, 使整杯水都变甜的道理是一样的。而普通单星中因为没有类似的混合效应, 所以表面的化学元素会与其刚形成的时候几乎一样。当同一星团中既有普通单星, 又有双星产生的这些快速转动恒星时, 就会使这一星团看起来好像是包含了存在“代沟”的两代恒星一样, 而实际上它们可能是同时形成的同一代恒星, 只是因为其中的一些恒生生来就不孤单。

球状星团中恒星存在“代沟”最重要也是最直接的两个观测证据就是: 赫罗图中的多个序列和化学元素丰度变化。我们的研究结果不仅再现了球状星团赫罗图中的多个序列这一重要的观测证据, 另外, 对于表征化学元素丰度变化最著名的“钠-氧 (Na-O) 丰度反相关”这一观测证据, 我们的研究也给出了与观测一致的结果 (图 1 (b))。因此, 球状星团中恒星之间的“代沟”很可能是因为双星相互作用造成的。这也表明双星相互作用对于

我们理解球状星团的形成和演化是至关重要的。同时, 我们也认识到在这一研究领域中还存在很多未解之谜需要人们进行更深入的探索和研究, 例如: 星团诞生的时候有多少恒星是存在伴星的? 距离很近的双星数目多还是很远的双星数目多? 如果两颗普通单星相遇, 会有多少变成相互绕转的双星? 这些问题的探索不仅需要对球状星团进行更多的观测研究, 还需要从理论方面对这些问题开展更深入的研究, 从而让我们更深入地了解这些古老而又神秘的球状星团。

作者简介:

姜登凯, 男, 2002 年在兰州大学获学士学位, 2010 年在中国科学院云南天文台获博士学位。主要从事双星演化和特殊天体形成方面的研究, 包括双星的非守恒演化、相接双星的形成和演化、快速转动恒星的形成、球状星团的形成和演化等。