

双星演化与大样本恒星演化

韩 占 文

(中国科学院云南天文台 昆明 650011)

Eggleton P P

(IGPP, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore CA, 94550, USA)

Podsiadlowski Ph

(Astrophysics, NAPL, Oxford University, Oxford, OX1 3RH, UK)

Tout C A

(Institute of Astronomy, University of Cambridge, Cambridge, CB3 0HA, UK)

Webbink R F

(Department of Astronomy, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801, USA)

摘 要

主要介绍大样本恒星演化所面临的困难、为解决困难所做的努力及对未来的展望。

关键词 恒星 — 恒星演化 — 双星演化 — 星族合成

分类号 P152

1 引 言

大样本恒星演化就是同时演化一百万或更多颗双星(单星视为长周期双星的子星), 然后对演化结果进行统计分析, 再同观测结果对比, 从而对观测做出解释和预测, 检验各种特殊恒星类天体的形成机制, 并对双星演化中的不确定性进行限制^[1~5]。大样本恒星演化可以用在星团 N -body 动力学模拟中, 还可用于星系中的星族合成。本文将主要介绍大样本恒星演化所面临的困难、为解决困难所做的努力及对未来的展望。

2 大样本恒星演化所面临的主要困难

(1) 有多类恒星天体的观测结果难以解释, 其形成机制尚不清楚。例如: AM CVn 星是种特殊的正在发生物质交流的双星系统, 其主星为氦星, 质量只有太阳质量的 1% 左右, 并充满洛希瓣, 伴星为白矮星。双星的轨道周期只有几十分钟^[6]。由于该类双星系

统对银河系的引力波背景辐射有重要贡献, 对即将发射的 LISA(一颗探测引力波辐射的卫星) 的相关研究课题有重要意义, 因此成为人们研究的热点^[5]。然而, 我们并不清楚产生 AM CVn 星的物理过程。

(2) 在解释相关但不同类别的特殊恒星天体的观测结果时, 往往采用不同的物理参量。例如: 在解释激变变星和低质量 X 射线双星时, 人们采用不同的物理参量。而在大样本恒星演化中, 这两种星的形成机制非常类似, 因此采用的模型物理参量也应当类似。

(3) 公共包层抛射效率是双星演化中最重要的参量之一。从物理上的能量守恒角度考虑, 公共包层抛射效率的最大值为 1。然而为了解释观测结果, 人们往往采用大于 1 的值(有时其值取为 10), 这与能量守恒定律相违背。因此该参量的取值具有很大的人为性, 与实际的物理过程显然不相符。

3 为解决困难所作的努力

为了解决以上困难, 我们进行以下工作:

(1) 构造情况 A 和情况 B 的双星演化模型网格, 用以取代双星近似演化模型。我们计算了情况 B 星族 I 双星演化模型网格^[7], 由该演化模型网格我们得到了双星主星初始质量与主星的终止质量(即白矮星质量)之间的关系(见图 1)。可知白矮星的质量除依赖

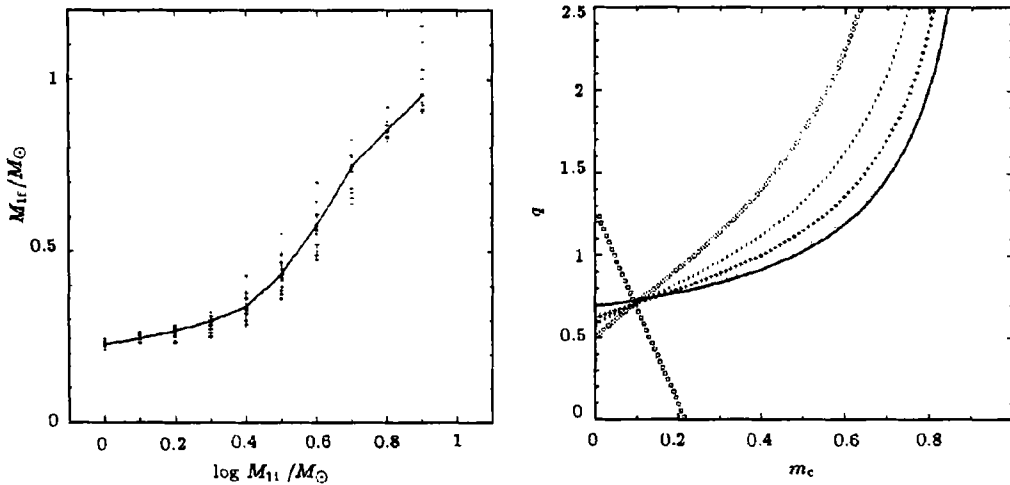


图 1 星族 I 双星演化的初始 — 终止质量关系

图 2 双星动力学非稳定性物质交流判据

于双星主星的初始质量外, 还依赖于双星的初始周期和质量比。在以前的研究中, 人们认为白矮星的质量只与双星主星的初始质量有关。而我们的计算结果表明, 对同一主星初始质量, 不同的初始周期或初始质量比, 白矮星的质量可能变化 40% 左右。

(2) 对双星演化中物质交流动力学非稳定性判据进行修改, 使其更符合实际情况。当主星演化到红巨星并充满洛希瓣时, 如果双星的质量比 q (主星与伴星质量之比) 大于某一临界值 q_{cr} , 则双星的物质交流是动力学非稳定的, 这将产生公共包层。公共包层演化是双星演化中极其重要的物理过程, 众多特殊恒星天体的形成均与之有关。在前人的研

究中,人们取 q_{cr} 的值为 0.65。而根据 Hejllming 和 Webbink 的恒星模型^[8], q_{cr} 与红巨星的核质量(以红巨星质量为单位)有关。而我们又发现, q_{cr} 与双星演化中物质交流效率有关。图 2 给出了不同物质交流效率时的 q_{cr} , 其中实线为质量角动量守恒(物质交流效率为 1)时的 q_{cr} 。图 2 中由左至右各线其物质交流效率分别为 0、0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0。另外我们还给出了双白矮星系统的物质交流稳定性判据^[9]。

(3) 进行双星公共包层演化计算时,在公共包层的流体动力学模拟中加入了热核反应。公共包层演化一直是双星演化中最困难的部分,也是最不清楚的部分。通过在公共包层模型中加入热核反应链,使得对公共包层的认识更加准确和深入。

(4) 对现在尚不能解释的特殊恒星天体,构思其形成机制。由于 AM CVn 星在引力波辐射中的特殊性,我们目前正在研究 AM CVn 星的形成机制。

(5) 在大样本恒星演化程序中,考虑尽可能多的已知的物理过程,争取建立大样本恒星演化的统一模型,用该统一模型来解释各种各样特殊恒星天体的形成。以前不同的恒星需要用不同的模型参量,如果用相同的模型参量则会产生相互矛盾的结果。

4 对未来的展望

大样本恒星演化所存在的困难和问题是因为对双星演化中物理过程所知不多引起。我们把对双星演化及相关物理过程的初步研究结果用到了大样本恒星演化研究中后发现,我们的大样本恒星演化模型得到了大幅度改善,众多问题已迎刃而解,可以说大样本恒星演化的统一模型已初步建立起来。我们相信,通过继续努力,最终可以得到一个完善的大样本恒星演化统一模型。

参 考 文 献

- 1 Han Z, Podsiadlowski Ph, Eggleton P P. M.N.R.A.S., 1994, 270: 121
- 2 Han Z, Podsiadlowski Ph, Eggleton P P. M.N.R.A.S., 1995, 272: 800
- 3 Han Z, Eggleton P P, Podsiadlowski Ph et al. M.N.R.A.S., 1995, 277: 1443
- 4 Han Z. M.N.R.A.S., 1998, 296: 1019
- 5 Webbink R F, Han Z. In: Folkner W M ed. AIP Conference Proceedings: Second International LISA Symposium on the Detection and Observation of Gravitational Waves in Space, Woodbury, New York: AIP, 1998, 456: 61
- 6 Warner B. Astrophys. Space Sci., 1995, 225: 249
- 7 Han Z, Tout C A. M.N.R.A.S., 2000, 319: 215
- 8 Hjellming M S, Webbink R F. Ap. J., 1987, 318: 794
- 9 Han Z, Webbink R F. Astron. Astrophys., 1999, 349: L17

Binary Evolution and Binary Population Synthesis

Han Zhanwen

(Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011)

Eggleton P P

(IGPP, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore CA, 94550, USA)

Podsiadlowski Ph

(Astrophysics, NAPL, Oxford University, Oxford OX1 3RH, UK)

Tout C A

(Institute of Astronomy, University of Cambridge, Cambridge, CB3 0HA, UK)

Webbink R F

(Department of Astronomy, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801, USA)

Abstract

The purpose of binary population synthesis is to determine, as far as possible, the consistency of our theoretical understanding of single and binary stars with the statistics of stars in our galaxy (and ultimately other galaxies). It is important to fit all types of stellar systems simultaneously rather than just concentrating on particular types of stars. In this paper, we describe the difficulties and problems of binary population synthesis, and the efforts we have made to establish a self-consistent binary population synthesis model.

Key words stars—stellar evolution—binary evolution—binary population synthesis