

基于颜色的 206 个星系的星族年龄与金属丰度研究^{*1}

陈丽¹, 李忠木¹, 张朝元²

(1. 大理学院 天文学与科技史研究所, 云南 大理 671003; 2. 大理学院 数学与计算机学院, 云南 大理 671003)

摘要: 基于颜色分别采用单星星族模型和双星星族模型对 206 个星系的年龄和金属丰度进行了确定, 并将 2 种结果和 Gallazzi 等人用谱指数得到的结果进行了比较. 结果表明: 样本星系的年龄比较老, 金属丰度比较高; 使用双星星族模型拟合得到的星族年龄和金属丰度比单星星族的偏大; 使用颜色拟合得到的星族年龄比谱指数的偏小, 金属丰度偏大.

关键词: 星系; 星族年龄; 金属丰度; 颜色

中图分类号: P 15 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7971(2012)03-0291-07

近年来, 人们对恒星和宇宙的研究越来越成熟, 但对星系的形成和演化的研究显得比较薄弱, 由于星系是介于恒星和宇宙中间的一种天体, 它是将恒星研究和宇宙学研究连结起来的一个重要桥梁, 因此对于星系的研究就变得非常重要^[1]. 由于观测条件的限制, 对于遥远星系, 只能观测得到它的一些整体特征量, 如光谱、星等、颜色等, 所以对遥远星系的研究目前最有效的方法就是通过星族合成的方法来研究. 星族合成研究开始采用的是经验星族合成方法, 但该方法存在诸多不足^[2]. 目前, 越来越多的人使用演化星族合成方法^[3]对星系进行研究, 它是确定星系中恒星成分、星系金属丰度和年龄的一种有效方法.

确定星系的年龄和金属丰度是研究星系形成和演化的一个重要内容, 金属丰度是指天体和其他宇宙物质中除氢和氦以外的其它所有元素的原子数或质量的占有元素原子总数或总质量的比例, 它是确定恒星成分的一个基本物理量. 目前用来确定星族年龄和金属丰度的主要方法是光谱和谱指数拟合^[4]. 对遥远星系而言, 由于观测条件的限制, 很难获得它们的可靠光谱和谱指数, 因此一些学者尝试了用颜色确定星族年龄和金属丰度^[5]. 他们的工作发现, 利用某些颜色确实可以解除以前

的学者对 Johnson 系统少数几个可见光波段的色指数的研究得到的星族年龄-金属丰度简并现象^[6], 确定出年龄和金属丰度. 但是各工作用来确定年龄和金属丰度的星族合成模型和颜色都有差异, 很难判断孰好孰坏. Li 和 Han^[7-8]对 Johnson 系统和 AB 系统中的颜色进行了系统的分析, 发现利用近红外波段和可见光波段的颜色可以部分解除星族年龄-金属丰度简并, 从而用于分析天体的星族年龄和金属丰度. 他们的研究给出了很多颜色和颜色对, 能够用于星族的研究, 并对各颜色对区分星族参数的能力进行了分析.

另一方面, 人们在使用演化星族合成方法对星族进行研究时, 使用的理论模型基本上是单星星族模型^[9], 只有少数是双星星族模型^[10]. 但根据科学研究表明, 实际上有一半以上的恒星以双星的形式进行演化, 而不是以单星的形式演化, 因此双星系统很大程度上影响着恒星的演化. Li 和 Han^[11]基于星族的年龄分布数据库建立了快速星族合成方法和模型, 其中有单星星族和双星星族 2 类模型.

本文基于颜色, 选取了 206 个样本星系, 分别采用双星星族模型和单星星族模型进行相关星系年龄和金属丰度的研究, 对单星星族模型和双星星族模型得到的 2 种不同结果进行了比较, 并把 2 种

* 收稿日期: 2011-12-19

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目(2011C123, 2010Z004).

作者简介: 陈丽(1980-), 女, 湖北人, 硕士生, 讲师, 主要从事星族合成及数据处理方面的研究. E-mail: lilychenkm@163.com.

结果与 Gallazzi 等^[12]由谱指数得到的结果进行了比较.

1 复合颜色

Li 和 Han^[7-8]使用单星星族模型对 Johnson 系统和 AB 系统中的颜色进行了系统的分析,给出了能够用于星族研究的颜色和颜色对.他们将 Johnson 系统的 BVRIJHK 星等转换为 AB 系统的 ugriz 星等,然后对 AB 系统的颜色进行了分析.在对不同颜色进行分析时,该工作发现利用可见光波段和近红外波段的测光数据可以解除星族年龄-金属丰度简并,确定天体的星族年龄和金属丰度.在取典型观测误差时,要同时较准确地确定星族的年龄和金属丰度,最好的 2 组颜色对是 $[(r-K), (u-R)]$ 、 $[(r-K), (u-r)]$, 其中 $(r-K)$ 、 $(u-R)$ 是由 UBVRJHK 星等和 ugriz 星等中分别取 1 个组成的,称为“复合色指数”或“复合颜色”.2 组颜色对中, $(r-K)$ 对金属丰度敏感, $(u-R)$ 和 $(u-r)$ 对年龄敏感.根据分析结果,在使用 $[(r-K), (u-r)]$ 颜色对确定星族的年龄和金属丰度时,星族平均年龄误差为 $\Delta\bar{t} = 3.57 \times 10^9$ a, 平均金属丰度误差为 $\Delta\bar{Z} = 0.0176$. Li 和 Han^[11]对双星星族进行考察,发现某些颜色对也可以解除星族年龄-金属丰度简并,确定星族年龄和金属丰度.

2 星系样本

文中 206 个星系的颜色观测数据取自 The two-Micron All-Sky Survey (2MASS) 和 The Sloan Digital Sky Survey (SDSS). 我们从 SDSS 中选取了 u 和 z 星等和它们的 k-改正、银河消光.从 2MASS 的 Ks 数据计算得到星系的 K 波段星等^[13], Ks 星等的 k-改正值设为 $-6 \lg(1+z)$ ^[14], 其中 z 为星系的红移.星系的银河消光改正使用 Burstein 和 Heiles^[15]的模型进行.另外,还考虑了 SDSS 星等和 AB 系统星等之间的差异.我们参考了 NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) 数据库, 2MASS 和 SDSS 巡天所提供的数据,从而合理地确定了观测天体的颜色误差, K 星等的典型误差直接利用 2MASS 提供的典型值来估计, u 和 r 星等的典型误差取了 SDSS 中 20 个星系的平均值来估计, 在此工作中 K、u、r 星等的误差分别取 0.126、0.11 和 0.007. 为了减小结果误差, 选取的 206 个星系带误差棒的 $(r-K)$ 、 $(u-r)$ 数据全部落入双星星族模

型的 $(r-K)$ & $(u-r)$ 理论网格中, 另外, 为了进行结果对比, 在 Gallaziet 等^[12]使用谱指数得到的结果中, 它们的金属丰度都小于 0.03.

3 理论星族模型

工作中将 Li 和 Han^[11]的双星星族模型和单星星族模型的颜色转化成年龄和金属丰度.

单星模型认为恒星的演化以单星的形式进行, 计算模拟相对简单. 双星模型考虑恒星以双星的形式演化, 更接近星系演化的实际情况, 计算模拟比较复杂. 这 2 个星族模型都包含在基于星族的等龄分布数据库建立的快速星族合成模型中. 其中采用了 Hurley 等^[16]的快速恒星演化程序进行单星和双星演化计算. 各星族采用 Salpeter^[17]初始质量函数, 并且采用了 BaSel3.1^[18]光谱库来计算星族颜色. 用快速星族合成方法计算出的颜色有 Johnson 系统包括一些近红外波段的 UBVRJHK 颜色和一些 SDSS-ugriz 系统颜色. 模型理论数据中年龄范围和间隔分别是 $0 \sim 15 \times 10^9$ a 和 1×10^8 a, 金属丰度范围和间隔分别是 $0.0003 \sim 0.0300$ 和 0.0001 , 即 1 个颜色对应于 151 个年龄乘上 298 个金属丰度的理论颜色数值, 共有 44 998 个.

2 个模型计算得到的颜色有以下区别: 由于双星星族中包含了双星演化的效应, 因此对于相同的年龄和金属丰度, 双星星族模型得到的颜色要比单星星族模型得到的颜色蓝^[11].

4 星系的年龄和金属丰度

图 1 和图 2 分别显示了 206 个星系在单星星族模型和双星星族模型的 $(r-K)$ & $(u-r)$ 网格图中的分布. 206 个星系带误差棒的 $(r-K)$ 、 $(u-r)$ 数据全部落入双星星族模型的 $(r-K)$ & $(u-r)$ 理论网格中, 一小部分数据超出单星星族模型的 $(r-K)$ & $(u-r)$ 理论网格. 工作中采用 $(r-K)$ 和 $(u-r)$ 颜色的最小二乘法^[19], 即通过理论星族网格以 $\Delta t = 1 \times 10^8$ a 和 $\Delta Z = 0.0001$ 为间隔, 寻找最佳拟合星族得到星系的年龄和金属丰度.

拟合量 χ^2 的计算公式如下:

$$\chi^2(t_i, Z_i) = [(r-K)_i - (r-K)_0]^2 + [(u-r)_i - (u-r)_0]^2,$$

其中 $(r-K)_i$ 、 $(u-r)_i$ 分别是第 i 组理论数据, $(r-K)_0$ 、 $(u-r)_0$ 是实验观测数据.

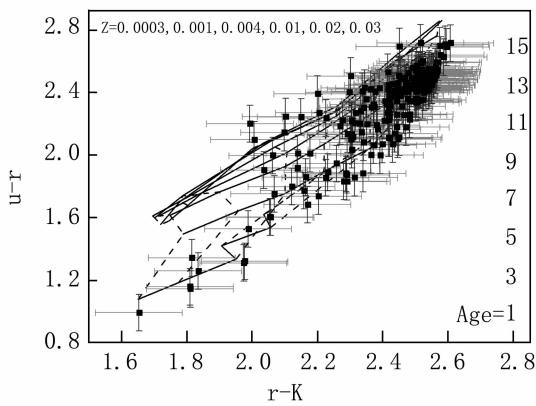


图1 206个星系在单星族的 $(r-K)$ & $(u-r)$ 网格中的分布,实线和虚线分别代表等年龄线和等金属丰度线

Fig. 1 206 galaxies in the $(r-K)$ versus $(u-r)$ grid of the single - star stellar population synthesis model, and solid and dashed lines represent constant age and metallicity respectively

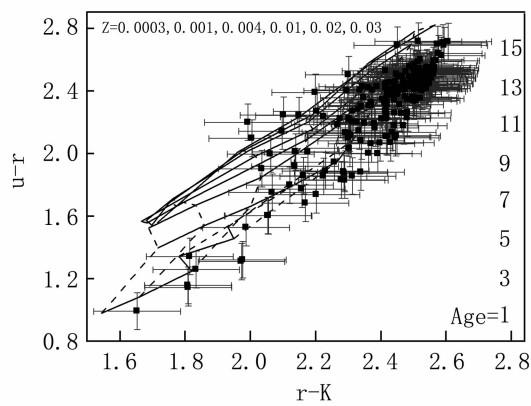


图2 206个星系在双星族的 $(r-K)$ & $(u-r)$ 网格中的分布,实线和虚线分别代表等年龄线和等金属丰度线

Fig. 2 206 galaxies in the $(r-K)$ versus $(u-r)$ grid of the binary - star stellar population synthesis model, and solid and dashed lines represent constant age and metallicity respectively

星系年龄和金属丰度的误差是采用五点法确定的平均误差,即取不考虑观测误差时2个星族参数的一组拟合值与考虑误差时得到的4组拟合值中的最大值减去最小值再取一半得到^[20]。

5 讨论分析

5.1 使用单星星族模型得到的结果 图3虚线显示了使用单星星族模型得到的206个星系的年龄分布。可以看出,处于 $(2 \sim 8) \times 10^9$ a的星系最多,有169个。有65.5%的星系年龄都在 5×10^9 a以上,表明星系的年龄都较老,但其中也有较年轻的星系,年龄在 5×10^9 a以下的星系约占样本星系的34.5%。样本星系的平均年龄为 5.88×10^9 a,平均年龄误差为 2.55×10^9 a。

使用单星星族模型得到的金属丰度的分布情况由图4虚线可以看出如下:处于0.028~0.03的星系最多,有105个,其中金属丰度在0.030附近的有83个,占整个样本星系的40.3%,说明星系的金属丰度较高。样本星系的平均金属丰度为0.0231,平均金属丰度误差为0.0069。

5.2 使用双星星族模型得到的结果 图3实线显示了使用双星星族模型得到的206个星系的年龄分布。可以看出,处于 $(2 \sim 10) \times 10^9$ a的星系最多,有178个。有70.4%的星系年龄都在 5×10^9 a以上,表明星系的年龄都较老,但其中也有较年轻的星系,年龄在 5×10^9 a以下的星系约占样本星系的

29.6%。样本星系的平均年龄为 6.53×10^9 a,平均年龄误差为 2.27×10^9 a。

使用双星星族模型得到的金属丰度的分布情况由图4实线可以看出如下:处于0.028~0.03的星系最多,有142个,其中金属丰度在0.030附近的有120个,占整个样本星系的58.3%,说明星系的金属丰度较高。样本星系的平均金属丰度为0.0255,平均金属丰度误差为0.0052。

5.3 结果比较

5.3.1 单星星族模型和双星星族模型的结果比较

图5和图6分别为由双星星族模型颜色和单星星族模型颜色拟合到的年龄比较图和金属丰度比较图,通过观察可以发现:用双星星族模型颜色拟合得到的星族年龄和金属丰度比用单星星族模型颜色拟合得到的年龄和金属丰度都偏大,年龄平均大 6.5×10^8 a,金属丰度平均大0.0024。

该比较结果与Li和Han^[21]的用两类星族模型拟合得到的金属丰度的结果一致,即双星的影响是使得星族金属丰度明显偏大。但年龄结果刚好相反,大概是因为样本个数较少,选择时又有一定的限制造成。

另外还可以发现,虽然使用两类星族模型拟合得到的绝对结果不同,但是它们的相对结果是一致的,这证实了以前用单星星族模型得到的结果的可靠性。

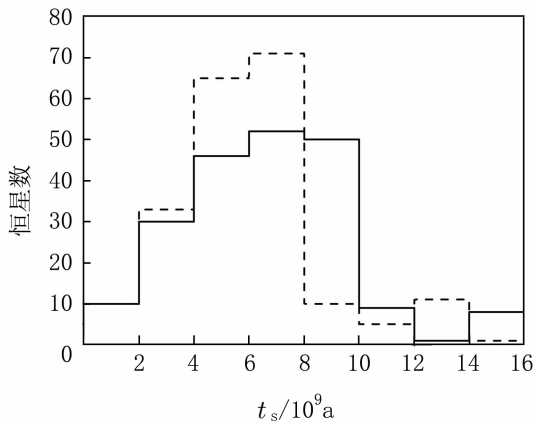


图3 使用单星星族和双星星族模型得到的星系年龄分布图(其中虚线为单星结果,实线为双星结果)

Fig. 3 Galaxy age distributions obtained by the single - star stellar population synthesis model (dashed line) and the binary - star stellar population synthesis model (solid line)

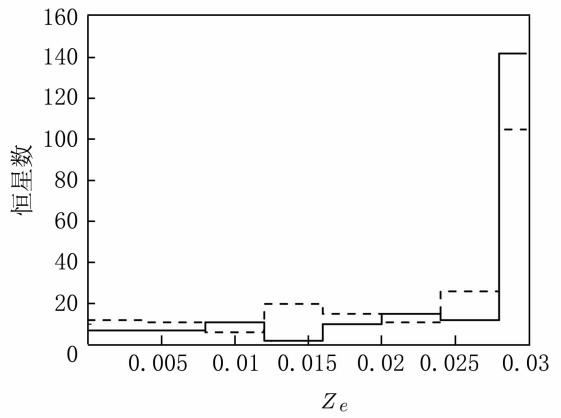


图4 使用单星星族和双星星族模型得到的星系金属丰度分布图(其中虚线为单星结果,实线为双星结果)

Fig. 4 Galaxy metallicity distributions obtained by the single - star stellar population synthesis model (dashed line) and the binary - star stellar population synthesis model (solid line)

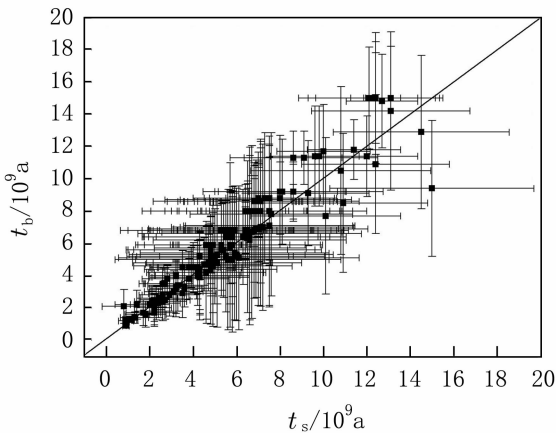


图5 各星系用单星星族和双星星族模型得到的年龄比较图

Fig. 5 Comparison of the ages of 206 galaxies

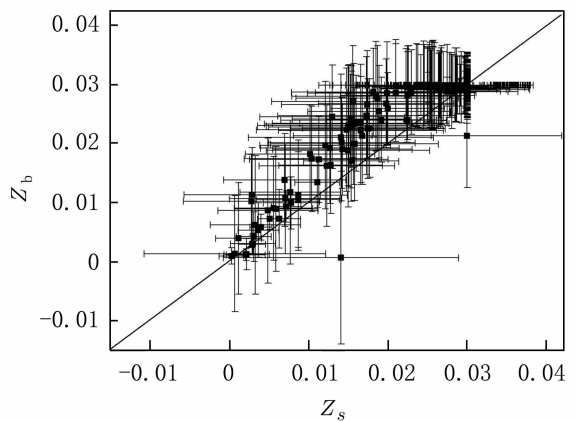


图6 各星系用单星星族和双星星族模型得到的金属丰度比较图

Fig. 6 Comparison of the metallicities of 206 galaxies

5.3.2 使用单星星族模型颜色得到的结果和 Gallazzi 等使用谱指数得到的结果比较 图7和图8分别为由单星星族模型颜色和 Gallazzi 等使用谱指数拟合到的年龄比较图和金属丰度比较图,从图中可以看出:用单星族模型颜色拟合得到的星族年龄比用谱指数拟合得到的年龄明显偏小,平均小 1.44×10^9 a;用单星星族模型颜色拟合得到的星族金属丰度比用谱指数拟合得到的金属丰度明显偏大,平均大 0.0090.

该比较结果与 Li 和 Han^[8] 的用单星星族模型

谱指数和颜色拟合得到的年龄和金属丰度的结果一致,即在星族合成研究中,颜色对年龄的影响是使得星族年龄变小,对金属丰度的影响是使金属丰度变大.

5.3.3 使用双星星族模型颜色得到的结果和 Gallazzi 等使用谱指数得到的结果比较 图9和图10分别为由双星星族模型颜色和 Gallazzi 等使用谱指数拟合到的年龄比较图和金属丰度比较图,从图中可以看出:用双星星族模型颜色拟合得到的星族年龄比用谱指数拟合得到的年龄偏小,平均小

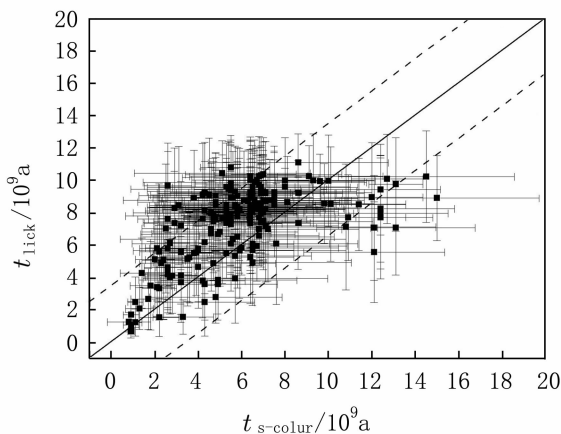


图7 各星系用单星星族模型和 Gallazzi 等使用谱指数得到的年龄比较图,其中虚线表示相对等同线 $\pm 3.5 \times 10^9$ a 的年龄弥散

Fig. 7 Comparison of the ages of 206 galaxies obtained respectively by the single - star stellar population synthesis model and lick indices used by Gallazzi et al. Dashed lines show a $\pm 3.5 \times 10^9$ a spread about the unity (solid) line for galaxy ages

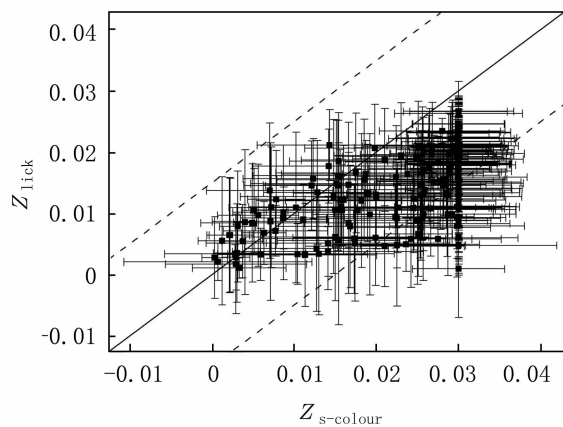


图8 各星系用单星星族模型和 Gallazzi 等使用谱指数得到的金属丰度比较图,其中虚线表示相对等同线 ± 0.015 的金属丰度弥散

Fig. 8 Comparison of the metallicities of 206 galaxies obtained respectively by the single - star stellar population synthesis model and lick indices used by Gallazzi et al. Dashed lines show a ± 0.015 spread about the unity (solid) line for galaxy metallicities

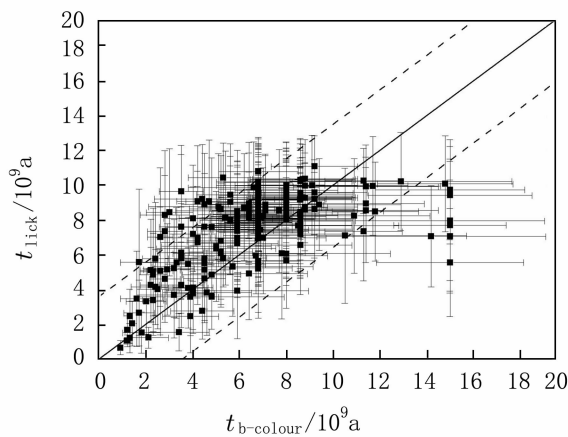


图9 各星系用双星星族模型和 Gallazzi 等使用谱指数得到的年龄比较图,其中虚线表示相对等同线 $\pm 3.5 \times 10^9$ a 的年龄弥散

Fig. 9 Comparison of the ages of 206 galaxies obtained respectively by the binary - star stellar population synthesis model and lick indices used by Gallazzi et al. Dashed lines show a $\pm 3.5 \times 10^9$ a spread about the unity (solid) line for galaxy ages

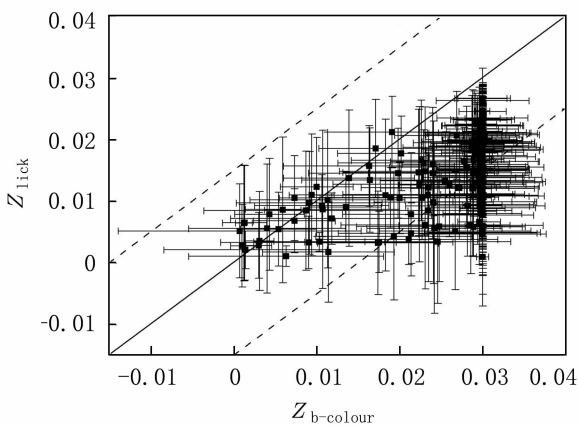


图10 各星系用双星星族模型和 Gallazzi 等使用谱指数得到的金属丰度比较图,其中虚线表示相对等同线 ± 0.015 的金属丰度弥散

Fig. 10 Comparison of the metallicities of 206 galaxies obtained respectively by the binary - star stellar population synthesis model and lick indices used by Gallazzi et al. Dashed lines show a ± 0.015 spread about the unity (solid) line for galaxy metallicities

7.9×10^8 a;用双星星族模型颜色拟合得到金属丰度的比用谱指数拟合得到金属丰度的明显偏大,平均大0.0114.

使用双星星族模型颜色和谱指数拟合得到的年龄和金属丰度比较结果与 Li 和 Han^[8] 的用单星

星族模型颜色和谱指数拟合得到的年龄和金属丰度比较结果类似,即颜色与谱指数比较,对年龄和金属丰度的影响是使得星族年龄和金属丰度分别变小和变大.

通过2种星族模型颜色拟合得到的结果与谱

指数拟合得到结果的比较,发现颜色对星族年龄和金属丰度的影响是使得星族年龄和金属丰度分别变小和变大,其原因很可能是由于星系的颜色受到年轻星族的影响,不同于星系中质量占主导地位的星族即主导星族造成的^[22].

6 结 论

通过上述讨论,可以得到以下结论:

(1) 复合颜色可以解除星族年龄和金属丰度简并,从而确定星族的年龄和金属丰度.

(2) 使用双星星族模型颜色拟合得到的星族年龄和金属丰度比使用单星星族模型颜色拟合得到的年龄和金属丰度都偏大.

(3) 使用颜色拟合得到的星族年龄和金属丰度和使用谱指数拟合得到的年龄和金属丰度的比较结果如下:用单星星族模型颜色拟合得到的星族年龄和金属丰度比用谱指数拟合得到的年龄和金属丰度分别明显偏小和明显偏大;用双星星族模型颜色拟合得到的星族年龄比谱指数的年龄偏小,金属丰度明显偏大.其原因很可能是由于年轻星族会使天体的颜色变蓝,从而使由颜色拟合得到的星族年龄和金属丰度比天体中主导星族的年龄和金属丰度分别小和大.

(4) 使用颜色算得的星系金属丰度大都集中在 0.030,这说明很可能理论星族的金属丰度上限还不够大,故理论金属丰度的上限 0.030 需要扩展.

参考文献:

- [1] 李忠木. 演化星族合成的应用[D]. 昆明:中国科学院云南天文台,2008.
- [2] 张奉辉,李立芳,韩占文. 星族合成[J]. 云南天文台台刊,2003(2):2-3.
- [3] 孔旭,程福臻. 演化的星族合成方法[J]. 天文学进展,2001(3):375-386.
- [4] WORTHEY G, OTTAVIANI D. L. H gamma, et al. Absorption features in stars and stellar populations[J]. The Astrophysical Journal Supplement Series, 1997, 111: 377.
- [5] JAMES P A, SALARIS M, DAVIES J I, et al. Optical/near-infrared colours of early-type galaxies and constraints on their star formation histories[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2006, 367: 339-348.
- [6] VAZDEKIS A, PELETIER R F, BECKMAN J E, et al. A new chemo-evolutionary population synthesis model for Early-Type galaxies. II. Observations and Results[J]. The Astrophysical Journal Supplement Series, 1997, 111: 203-231.
- [7] LI Z, HAN Z, ZHANG F. Potential of colors for determining age and metallicity of stellar populations[J]. Astronomy & Astrophysics, 2007, 464: 853-857.
- [8] LI Z, HAN Z. Colour pairs for constraining the age and metallicity of stellar populations[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2008, 385: 1 270-1 278.
- [9] RENZINI A. Stellar population diagnostics of elliptical galaxy formation[J]. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 2006, 44: 141-192.
- [10] ZHANG F, LI Z, HAN Z. Evolutionary population synthesis for binary stellar population at high spectral resolution: integrated spectral energy distribution and absorption-feature indices[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2005, 364: 503-514.
- [11] LI Z, HAN Z. An isochrone database and a rapid model for stellar population synthesis[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2008, 387: 105-114.
- [12] GALLAZZI A, CHARLOT S, BRINCHMANN J, et al. The ages and metallicities of galaxies in the local universe[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2005, 362: 41-58.
- [13] BESSELL M S. Standard photometric systems[J]. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 2005, 43: 293-336.
- [14] GIRARDI M, MARDIROSSIAN F, MARINONI C, et al. Galaxies in group and field environments: A comparison of optical-NIR luminosities and colors[J]. Astronomy & Astrophysics, 2003, 410: 461-470.
- [15] BURSTEIN D, HEILES C. Reddenings derived from H I and galaxy counts - Accuracy and maps[J]. The Astrophysical Journal, 1982, 87: 1 165-1 189.
- [16] HURLEY J R, TOUT C A, POLS O R. Evolution of binary stars and the effect of tides on binary populations[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2002, 329: 897-928.
- [17] SALPETER E E. The luminosity function and stellar evolution[J]. The Astrophysical Journal Letters, 1955, 121: 161.
- [18] LEJEUNE T, CUISINIER F, BUSER R. A standard stellar library for evolutionary synthesis. II. The M dwarf extension[J]. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 1998, 130: 65-75.

- [19] LI Z, ZHANG F, HAN Z. A study of binary stellar population synthesis of elliptical galaxies [J]. Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 2006, 6: 669-679.
- [20] 陈丽, 李忠木, 张茜. 13个球状星团的单星和双星星族合成研究[J]. 大理学院学报: 自然科学版, 2010, 9(10): 20-23.
- [21] LI Z, HAN Z. How binary interactions affect stellar population synthesis [J]. The Astrophysical Journal Letters, 2008, 685: 225-234.
- [22] LI Z, HAN Z. How young stellar populations affect the ages and metallicities of galaxies [J]. Astronomy & Astrophysics, 2007, 471: 795-804.

Study of the ages and metallicities of 206 galaxies using colours

CHEN Li¹, LI Zhong-mu¹, ZHANG Chao-yuan²

(1. Institute of Astronomy and History of Science and Technology, Dali University, Dali 671003, China;

2. College of Mathematics and Computer, Dali University, Dali 671003, China)

Abstract: Ages and metallicities of 206 galaxies are determined by ssSSPs and binary – star stellar population synthesis models (bsSSPs) respectively on the basis of colours in this article. Then the results are compared and they are compared with the results acquired by Gallazzi et al using lick indices. The results show that: the sample galaxies are old and metal – high. Larger ages and metallicities are obtained when bsSSPs models are used to determine the ages and metallicities of galaxies. When colours are used to determine the ages and metallicities of galaxies, smaller ages and larger metallicities are obtained.

Key words: galaxy; galaxy age; metallicity; colour

(上接第290页)

methods proposed by this paper can effectively explain the filtering properties of these two decompositions. To EMD, each component weight average power spectrum shows a group of ordered band pass filter in which the bandwidth decreases and the center frequency reduces gradually. The whole decomposition process is automatic but with edge effect which could influence the decomposition quality; to WD, it demonstrate distinct wavelet bases, some show the same multi – scale filtering properties as EMD while the other are distinct, or even completely distinct. Therefore, selecting different wavelets and setting different number of decomposition layers will probably lead to quite different decomposition consequences. The whole process of WD is very fast. Its mean time is only 1/25 of EMD.

Key words: non – stationary signal; empirical mode decomposition; wavelet decomposition; filter