

# 球状星团的距离测定 与水平支绝对星等的估值

王茹嘉

(中国科学院北京天文台)

## 提 要

本文介绍了测定球状星团的距离和确定球状星团水平支绝对星等的各种方法、结果及绝对星等的统计性质，并分析了引起不同结果的原因，最后对今后测定球状星团距离的研究作了简短的讨论。

## 一、引 言

球状星团(以下简称GC)的距离测量是一项很重要的基础工作，它的意义不仅仅在于对GC空间特性的全面了解，而且也为了认识银河系的整个结构提供了线索。早在1917年、1930年，Shapley就是利用GC系统的空间分布，认识到了太阳不位于宇宙的中心，并由此确定了银心的位置<sup>[1,2]</sup>。

对GC距离测量的第一步是利用测光资料得到它本身的距离模数。由于GC的大小相对于它到太阳的距离小得多，可认为GC内所有恒星的距离近似相等，这样GC的距离模数 $(m - M)_V$ 可以通过GC内任一恒星的视目视星等 $V^*$ 和绝对目视星等 $M_V^*$ 得到：

$$(m - M)_V = V^* - M_V^*$$

其中 $V^*$ 是观测量，而 $M_V^*$ 的取值正是需要解决的问题。

在GC的颜色星等图(CMD)上，水平支(HB)和主序(MS)是两个很突出的特征(图1)，代表了恒星两个重要的演化状态，因而一直被作为确定GC距离模数的工具。但因观测条件所限，到目前为止，对所有已知的154个银河系GC<sup>[3]</sup>，其绝大多数只有位于高光度区域的水平支的 $V(\text{HB})$ 可以精确测到，并且HB上天琴RR型变星(RR)可作为GC的标距天体。因而从一开始，大家就把注意力直接或间接地集中在确定HB和RR的绝对星等 $M_V(\text{HB})$ 上，可以说GC的距离测量工作与确定 $M_V(\text{HB})$ 的研究几乎是同步发展的。对于大多数GC的 $M_V(\text{HB})$ 现在还无法直接得到，因而它们的取值是依赖于那些已知 $M_V(\text{HB})$ GC的统计特性得到的。在八十年代以前， $M_V(\text{HB})$ 的取值一直假设为某一常数，例如 $M_V(\text{HB}) = 0.6\text{mag}^{[4]}$ ，由此带来的距离模数尺度误差最大可达 $0.5\text{mag}^{[5]}$ 。近几年，由于观测仪器的发展和观测资料的丰富，

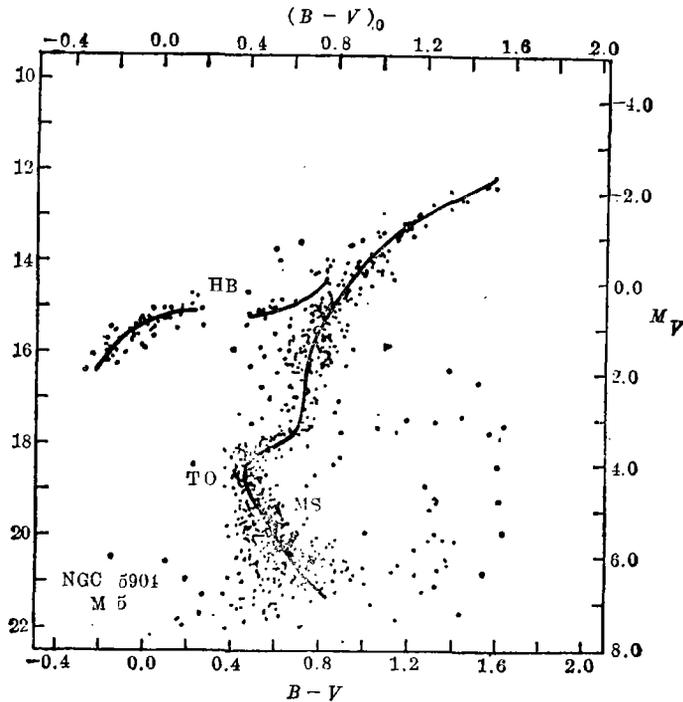


图 1 典型的球状星团M5在CMD中的形态特征：水平支(HB)、主序(MS)和拐点(TO)。图中的连线为理论等龄线

新的演化模型和许多新的方法出现，使得GC距离和 $M_V(\text{HB})$ 的研究取得了很大的进展，观测上和理论上的研究结果证实了 $M_V(\text{HB})$ 随着GC金属丰度 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的增加而变暗的趋势。不过不同方法得到的 $M_V(\text{HB})$ 与 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 关系尚有差异，这也是一个长久以来一直有争议的问题。

本文在第二节中从三个方面介绍了测定GC距离模数和 $M_V(\text{HB})$ 的方法、结果及 $M_V(\text{HB})$ 与 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的统计关系，在第三节中讨论了引起不同结果的原因，在最后一节中简短地论述了对今后测定GC距离和 $M_V(\text{HB})$ 的研究发展趋势。

## 二、方法和结果

测定GC距离和 $M_V(\text{HB})$ 的方法很多，归纳起来，主要是从三个方面入手的：

- 1) 统计平均；
- 2) HB上RR的光度；
- 3) 主序拟合。

下面分别加以介绍。

### 1. 统计平均

在测定距离时，一种最早被普遍应用的经典方法是假设所有GC的 $M_V(\text{HB})$ 为常数值。1976年Harris<sup>[4]</sup>总结了由三种观测方法即GC的主序拟合、银河系场RR的统计视差和已知距

离的麦哲伦云内 RR 得到的  $M_V(\text{HB}) = 0.6 \pm 0.3 \text{ mag}$ 。根据最后一种方法的结果弥散最小 (0.2 mag), 取  $M_V(\text{HB})$  近似为麦哲伦云内 RR 绝对星等的平均值 0.6 mag。然而这一结论的成立要求麦哲伦云与银河系的化学成份和年龄相仿, 而现在的观测证据已表明这一条件并未满足, GC 的  $M_V(\text{HB})$  弥散实际上比 0.2 mag 要大。从一些观测结果也证实了贫金属 GC ( $[\text{Fe}/\text{H}] < -1.0$ ) 比富金属 GC ( $[\text{Fe}/\text{H}] > -1.0$ ) 其  $M_V(\text{HB})$  要暗 0.3—0.5 mag<sup>[6-10]</sup>。因此, 一些作者在原来的基础上, 对富金属 GC 的  $M_V(\text{HB})$  取 0.9 mag<sup>[11]</sup> 或 1.1 mag<sup>[5]</sup>, 而贫金属 GC 的  $M_V(\text{HB})$  仍取值为 0.6 mag。

## 2. 以 HB 上 RR 作为 GC 距离模数的指标

利用 GC 中 RR 估计  $M_V(\text{HB})$  一直是测量 GC 距离的主要方法之一, 因为 RR 位于 HB 上, 它的  $M_V$  就代表了  $M_V(\text{HB})$ , 另外比起一般恒星来, 从 RR 可得到更多的与  $M_V$  有关的信息 (如脉动周期  $P$ 、振幅、光变曲线等), 通过脉动理论和这些观测资料来估计  $M_V(\text{HB})$ 。

1966 年 Chirsty<sup>[12]</sup> 用非线性脉动理论得到 GC 中 RR 的  $a$  型到  $c$  型的“过渡周期”  $P_{tr}$  与 HB 的绝对热星等  $M_{b,01}(\text{HB})$  的关系:

$$M_{b,01}(\text{HB}) = -4.2 \times \log P_{tr} - 0.54 \quad (2.1)$$

并根据得到的结果, 首次提出了富金属 GC 的  $M_V(\text{HB})$  比贫金属 GC 的要更暗些。

1981 年、1982 年 Sandage 对 M3 和半人马  $\omega$  团中 RR 的观测资料进行了分析<sup>[13-15]</sup>, 发现在同一 GC 中,  $ab$  型 RR 的一种周期变换值 ( $\Delta \log P$ )<sub>s</sub> 与变星的绝对星等变化量  $\Delta M_V$  存在下列关系:

$$\Delta M_V = -3 \times (\Delta \log P)_s \quad (2.2)$$

而不同 GC 的 ( $\Delta \log P$ )<sub>s</sub> 与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  的变化量存在着关系:

$$(\Delta \log P)_s = -0.116 \times \Delta[\text{Fe}/\text{H}] \quad (2.3)$$

结合式 (2.2) 和 (2.3) 得到  $M_V(\text{HB})$  与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  的关系:

$$\Delta M_V(\text{HB}) = 0.348 \times \Delta[\text{Fe}/\text{H}] \quad (2.4)$$

Sandage 的这一成果对确定  $M_V(\text{HB})$  具有很大的影响, 这是因为式 (2.4) 是直接由观测上得到的结果, 并支持了 Chirsty 的观点。然而由于这个结果与 HB 理论不符<sup>[16]</sup>, 与一些观测结果也有很大差异<sup>[8, 17, 18]</sup>, 因而引起了人们的争议。

1986 年 Caputo 把脉动理论和零龄水平支 (ZAHB) 演化模型结合起来<sup>[19]</sup>, 考虑了 GC 的形态特征, 并分别从不同的  $\gamma$  值、恒星氢核质量的增加  $DM_c$  和  $ab$  型 RR 周期变化三方面, 对 8 个 GC 的  $M_V(\text{HB})$  做了计算, 得到  $M_V(\text{HB})$  与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  的关系同 Sandage 的结果<sup>[15]</sup> 相近, 只是零点值要亮 0.5 mag。

根据 GC 中 RR 得到的  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$  在 0.35—0.42, 比较一致。但是由 ZAHB 理论模型得到的  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = 0.18$ <sup>[20-22]</sup>, Sandage<sup>[15]</sup> 和 Caputo<sup>[23]</sup> 提出, 两者不符可能是由  $\gamma$  值或  $DM_c$  的变化引起的。另外, 由 RR 得到  $M_V(\text{HB})$  的 GC 均为贫金属天体 ( $[\text{Fe}/\text{H}] < -1.0$ ), 因而用这种方法无法证实富金属 GC 的  $M_V(\text{HB})$  与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  也存在着较强的正相关性。

## 3. 主序拟合法

在同一 GC 中, 恒星的年龄相仿, 均位于 CMD 上同一条等龄线附近 (图 1), 主序拟合法就是通过把 GC 主序与某个恰当的年龄、化学成份条件下的理论模型等龄线拟合, 得到 GC 的距

离模数。这种方法主要是基于较完善的零龄主序(ZAMS)模型,是从观测上得到距离模型的一个有效方法。但是由于GC的主序星一般暗于19.0mag,难以精确地观测到,因而长期以来这种方法受到了很大限制。近几年,由于CCD技术和其他高量子效应测光仪器的发展,现在至少已有37个GC的BV系统主序测光<sup>[24]</sup>,因此可更多地利用GC的主序测光来求GC的距离。

主序拟合,首先要解决的是定标,即确定理论等龄线在 $M_V-(B-V)_0$ 图中的绝对位置,或者是观测主序在 $m_{b,1}-\log T_e$ 图中的位置。对于GC附近已知金属丰度的亚矮星,用其视差测量来定标是一种比较可靠的方法。

1980年Carney<sup>[18]</sup>借助于亚矮星的测光和分光测量,用消覆盖效应矢量法把GC主序从CMD变换到 $m_{b,1}-\log T_e$ 图中,并与理论等龄线比较,得到7个GC的距离模数,并导出 $M_V(\text{HB})=0.76 \pm 0.2\text{mag}$ ,与 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的关系是:

$$M_V(\text{HB}) = -0.32 \times [\text{Fe}/\text{H}] + 0.29 \quad (2.5)$$

$M_V(\text{HB})$ 随 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 变化的趋势与Sandage(1982)<sup>[15]</sup>的结果相反。

到目前为止,可用来定标的亚矮星不到10个,且均为贫金属天体<sup>[18]</sup>,因而能被亚矮星定标的GC数量很少。1985年Vandenberg和Bell<sup>[26]</sup>发表了用UBVI测光系统表示的理论等龄线,从理论上解决了定标问题,近几年已有不少作者应用这个定标理论主序测定GC的距离和 $M_V(\text{HB})$ <sup>[27-29]</sup>。

1986年Buonanno<sup>[28]</sup>选择在CMD中具有相似主序形状的GC做比较和拐点位移变换,然后与理论主序拟合,并用亚矮星对理论主序偏差进行修正,得到17个GC的距离模数、 $M_V(\text{HB})$ 以及 $M_V(\text{HB})$ 与 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的关系:

$$M_V(\text{HB}) = 0.34 \times [\text{Fe}/\text{H}] + 1.07 \quad (2.6)$$

这一关系除零点外,与Sandage(1982)<sup>[15]</sup>由RR得到的关系相符,这是第一次由主序拟合得到 $M_V(\text{HB})$ 连续地随 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 增大而变暗,而且包含有富金属和贫金属的GC。可是,Buonanno在做位移变换时忽略了由 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 引起的主序与拐点处 $(B-V)_0$ 的变化不同这个因素,Buonanno本人也指出了由这种变换带来的误差有可能改变 $M_V(\text{HB})$ 与 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的关系。如果对位移变换做修正,则得到的 $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$ 值小于0.34。

前面讨论了距离测定和 $M_V(\text{HB})$ 估值的方法,表1列出了各种方法得到的 $M_V(\text{HB})$ 值,表2列出了作者和方法,表3列出几种方法得到的不同 $M_V(\text{HB})$ 与 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的统计关系。由表1看到能直接得到 $M_V(\text{HB})$ 的GC是很少的,因而,对其他GC的 $M_V(\text{HB})$ 是根据统计结果得到的。现在通常采用的两种 $M_V(\text{HB})$ 假设是:

$$(1) M_V(\text{HB}) = 1.0 (\pm 0.1)\text{mag} \quad (\text{对富金属 GC}) \quad (2.7)$$

$$M_V(\text{HB}) = 0.6\text{mag} \quad (\text{对贫金属 GC})$$

$$(2) M_V(\text{HB}) = 0.35 \times [\text{Fe}/\text{H}] + C \quad (2.8)$$

(C为零点定标值)

不过在式(2.8)中,几位作者的零点取值C从0.99到1.38<sup>[19,15]</sup>,相差约0.4mag。最近还有一些研究结果提供了更有利于假设

$$M_V(\text{HB}) = 0.18 \times [\text{Fe}/\text{H}] + C \quad (2.9)$$

的观测方法和理论证据<sup>[30,31]</sup>,也许这种假设将得到承认和应用。

表 1 银河系球状星团水平支的绝对星等 $M_V$ (HB)

GC名称	[Fe/H]	$M_V$ (HB/RR)(mag)	参考文献序号
NGC 104 (Tuc 47)	-0.71	0.98	5
		0.90	6
		0.53	7
		0.84	8
		1.17	9
		0.79	11
		0.85	13
NGC 288	-1.40	0.62	11
NGC 362	-1.27	0.66	11
NGC 2808	-1.37	0.73	11
NGC 3201	-1.56	0.34	10
NGC 4590(M63)	-2.09	0.14	10
NGC 5024	-2.04	0.12	10
NGC 5139	-1.59	0.57	1
		0.55	11
NGC 5272 (M3)	-1.66	0.80	1
		0.6	2
		0.80	7
		0.50	8
		0.29	10
		0.61	11
		0.85	13
Pal 5	-1.47	0.72	11
NGC 5904 (M5)	-1.40	0.96	1
		0.68	7
		0.37	8
		0.84	9
		0.37	10
		0.81	12
		0.76	13
NGC 6121 (M4)	-1.28	0.44	10
		0.67	11
NGC 6171	-0.99	0.59	10
		0.87	11

(续表)

GC名称	[Fe/H]	$M_V$ (HB/RR)(mag)	参考文献序号
NGC 6205 (M13)	-1.65	0.53	3
		0.43	4
		0.69	7
		0.29	8
		0.79	9
		0.52	11
		0.50	12
	0.65	13	
NGC 6341 (M92)	-2.24	0.91	2
		0.46	3
		1.07	7
		0.51	8
		0.63	9
		0.37	11
	0.77	13	
NGC 6397	-1.91	0.37	11
NGC 6752	-1.54	0.56	7
		0.20	8
		0.86	9
		0.47	11
		0.59	13
NGC 6809	-1.82	0.34	11
NGC 6838 (M71)	-0.58	0.35	4
		0.50	6
		1.25	9
		0.58	13
NGC 7078 (M15)	-2.15	0.57	1
		0.98	2
		0.99	7
		0.55	8
		0.64	9
		0.10	10
		0.36	11
		0.68	13
	0.65	14	
NGC 7099 (M30)	2.13	0.32	11
NGC 7492	-1.51	0.61	11
		0.48	15

表 2 参考文献和方法

序号	作者	日期(年)	方法
1	Chirsty	1966	脉动理论
2	Sandage	1970	MSF*
3	Sandage	1970	脉动理论
4	Hartwick & Vandenberg	1973	MSF
5	Hartwick & Hesser	1974	MSF
6	Lloyd Evan, et al.	1977	红外测光
7	Carney	1980	MSF
8	Caputo, et al.	1981	MSF, ZAHB和ZAMS
9	Sandage	1982	RR的周期漂移
10	Caputo, et al.	1986	ZAHB和脉动理论
11	Buonanno	1986	MSF
12	Chieffi, et al.	1986	主序光度函数
13	Alcaino, et al.	1986	MSF
14	Vandenberg	1986	MSF
15	Buonanno, et al.	1987	MSF

\* MSF是Main-sequence fitting的简称,即主序拟合。

表 3  $M_V(\text{HB})$ 的统计性质

作者	日期(年)	方法	主要分析结果
Chirsty	1966	脉动理论	$M_b(\text{RR}) = -4.2 \times \log(\min Pa) + \text{Const.}$
Sandage	1970	MSF	$\Delta M_V(\text{HB}) / \Delta[\text{Fe}/\text{H}] < 0$
Carney	1980	MSF	$M_V(\text{HB}) = -0.32 \times [\text{Fe}/\text{H}] + 0.29$
Caputo, et al.	1981	MSF	$M_V(\text{HB}) = -0.27 \times [\text{Fe}/\text{H}] + \text{Const.}$
Sandage	1982	RR的周期漂移	$M_V(\text{HB}) = 0.348 \times [\text{Fe}/\text{H}] + 1.378$
Iben	1984	ZAHB( $Y=0.23$ )	$M_V(\text{HB}) = 0.18 \times [\text{Fe}/\text{H}] + \text{Const.}$
Caputo, et al.	1986	ZAHB和脉动理论	$M_V(\text{HB}) = 0.415 \times [\text{Fe}/\text{H}] + 0.987$
Buonanno	1986	MSF	$M_V(\text{HB}) = 0.35 \times [\text{Fe}/\text{H}] + 1.07$

### 三、讨 论

从上节的结果得知,  $M_V(\text{HB})$ 的取值一时难以统一, 原因是多方面的, 下面详细地讨论这些原因。

#### 1. Sandage的周期漂移效应

$\Delta M_V(\text{HB}) = 0.35 \times \Delta[\text{Fe}/\text{H}]$ 是 Sandage<sup>[14-15]</sup>根据GC内 RR的周期漂移效应(period-shift effect 简称PSE) ( $\Delta \log P$ ),  $= -0.116 \times \Delta[\text{Fe}/\text{H}]$ 得到的, 这一结果与HB理论预测结果  $\Delta(\log P) / \Delta[\text{Fe}/\text{H}] = -0.02$ <sup>[30]</sup>不符。另外, 用它引伸的另一结果是氦丰度相对 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的变化

$\Delta Y/\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = -0.07$ , 也与其他方法得到的结果不符<sup>[8, 22]</sup>。因而几位作者对 PSE 做了进一步的探讨。从观测上, Tornambole 等<sup>[31]</sup>选用 GC 内具有 ZAHB 代表特征的 RR 为样品, 得到  $\Delta(\log P)/\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = -0.06 \pm 0.03$ , 由此导出的  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = 0.18 \pm 0.09$  与 ZAHB 模型的分析结果  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = 0.18$  ( $Y = \text{常数}$ )<sup>[30]</sup>是一致的。从理论上, Renzini<sup>[32]</sup>提出把现用的 HB 模型中  $[\text{CNO}/\text{Fe}] = 0$  改为  $[\text{CNO}/\text{Fe}] = -a \times [\text{Fe}/\text{H}]$  ( $a = 0.5 - 1.0$ ) 得到的  $\Delta(\log P)/\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$  与 Tornambole 等人的结果相近。

## 2. 氦丰度 $Y$

从 ZAHB 和 ZAMS 演化理论<sup>[20, 26]</sup>得知 GC 的 HB 和 MS 在 CMD 中的位置是由 GC 的初始氦丰度  $Y$ 、金属丰度  $[\text{Fe}/\text{H}]$  以及年龄  $t$  所决定的, 而  $M_V(\text{HB})$  依赖于  $Y$  的变化较大。例如, 在  $\log T_e = 3.85$  处:

$$M_V(\text{HB}) = 1.68 - 3.41 \times Y + 0.17 \times [\text{Fe}/\text{H}] - 0.03 \times \log(t_9/15) \quad (3.1)$$

因此从理论上讲,  $Y$  是影响  $M_V(\text{HB})$  取值的主要因素之一。目前 GC 的  $Y$  值一般在  $0.2 - 0.3$  之间, 但是  $Y$  的精确取值仍未解决。Caputo<sup>[9]</sup>利用  $(B - V)_0 = 0.7 \text{ mag}$  处主序与 HB 的  $M_V$  之差估计  $Y$  值, 得到  $Y$  与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  成正相关, 并由此导出  $M_V(\text{HB})$  几乎与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  无关。Sandage<sup>[15]</sup>利用  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = 0.35$  和 ZAHB 模型得到  $Y$  与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  成反相关。Buzzoni<sup>[22]</sup>用 R 方法得到 15 个 GC 的  $Y = 0.23 \pm 0.03$ , 近似为常数, 并与大爆炸宇宙论的理论预期值  $Y = 0.24$  相近<sup>[33]</sup>, 根据这一结果由 (3.1) 式得到  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = 0.17$ , 与上述 Tornambole 等人的结果相符。现在一些作者引用  $Y = 0.23$  这一假设来估计 GC 的距离模, 但有些导出的  $M_V(\text{HB})$  值从理论上与假设条件相矛盾。因此对  $Y$  的取值, 还要通过其他方法进行探讨。不过对  $Y$  更细致的研究, 也许还会牵涉到 GC 年龄  $t$  的取值问题。

## 3. 主序定标

凡是利用 ZAMS 模型来估计 GC 的距离模数和  $M_V(\text{HB})$  都要对主序定标, 由于用亚矮星定标的局限性, Vandenberg 等<sup>[26]</sup>的理论定标已被不少作者应用。不过这个理论定标还仍存在有一些偏差, Vandenberg<sup>[27]</sup>把理论主序与已知视差的亚矮星相比较, 发现理论主序偏蓝了约  $\log T_e = 0.01$ , 由此误差引起的距离模数将偏小约  $0.2 \text{ mag}$ , 相应地  $M_V(\text{HB})$  值偏大  $0.2 \text{ mag}$ , 而由于变换的关系由这组模型用主序拟合得到的  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$  将偏大。

## 4. CNO(碳氮氧)

到目前为止, 前面所提到的各种演化模型(脉动理论、ZAHB 和 ZAMS 模型)均假设碳氮氧 CNO 与铁 Fe 含量的比值  $[\text{CNO}/\text{Fe}] = 0$ 。然而由于第二参数现象(非  $[\text{Fe}/\text{H}]$  变化引起的现象)的出现, 使得人们越来越多地注意到  $[\text{CNO}/\text{Fe}]$  的影响, 这是因为 GC 的 CNO 丰度很可能比太阳的大, 即  $[\text{CNO}/\text{Fe}] > 0$ , 许多观测数据也证明了贫金属天体的  $[\text{O}/\text{Fe}] > 0$ <sup>[34]</sup>。而理论上的研究表明 CNO 可引起 MS 和 HB 在 CMD 中位置变化, Vandenberg<sup>[27]</sup>也得到  $[\text{O}/\text{Fe}]$  值的增加(起码对贫金属的 GC)会引起 MS 的  $M_V$  变暗。另外, 从观测上得到  $[\text{CNO}/\text{Fe}]$  与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  是有关的<sup>[35-38]</sup>。Renzini<sup>[32]</sup>提出了  $[\text{CNO}/\text{Fe}] = -a \times [\text{Fe}/\text{H}]$  的假设, 且得到的 HB 理论预测结果更接近于观测结果。因此很可能  $[\text{CNO}/\text{Fe}]$  是对  $M_V(\text{HB})$  有影响的一个参量。只是目前得到 GC 的 CNO 丰度的资料很少, 要更深入地了解 CNO 与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  的关系以及 CNO 对  $M_V(\text{HB})$  的影响, 还需要从观测和理论上同时加强对 CNO 的研究。

## 四、结 束 语

根据前两节的讨论和分析, 得知  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$  比值的大小将直接影响 GC 的距离模数的确定精度。从目前发展趋势来看,  $\Delta M_V(\text{HB})/\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$  很可能在  $0.18 \pm 0.10$ , 但要得到精确的答案需要解决的问题不少, 主要原因是由于 GC 中恒星在 CMD 上的各种分布特征均与它们的初始质量  $M$ 、初始化学成份 ( $Y$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{CNO}$ ) 和年龄  $t$  有关, 而除  $[\text{Fe}/\text{H}]$  外, 其他参量都难以从观测上直接得到, 因而从方法上讲, 需要首先或同时考虑  $Y$ 、 $\text{CNO}$  和  $t$  这些量的取值问题。

UBVI 测光系统理论模型的出现, 使得人们可以利用 CMD 上一些特征参量对  $Y$ 、 $[\text{Fe}/\text{H}]$  和  $t$  的不同依赖关系, 直接从观测上同时得到  $M_V(\text{HB})$ 、 $Y$  和  $t$  值, 也许这是测量 GC 距离模数的一个好方法。不过  $[\text{CNO}/\text{Fe}] > 0$  很可能是个不可忽略的问题, 要弄清  $\text{CNO}$  对  $M_V(\text{HB})$  的影响, 就必须建立起基于  $\text{CNO}$  变化的恒星演化模型, 可以说这是一项急待解决的问题和任务。

总之, 要提高测量 GC 距离的精度, 还有待于对  $M_V(\text{HB})$  作更深入的研究, 今后更多的任务仍是从观测和理论上获得  $M_V(\text{HB})$  与  $[\text{Fe}/\text{H}]$  关系的可靠证据。

## 参 考 文 献

- [1] Shapley, H., *Ap. J.*, **48** (1918), 154.
- [2] Shapley, H., in *Star Clusters*, McGraw-Hill., New York, (1930).
- [3] Webbink R. F., *IAU Symp.*, No.113, p.541, (1985).
- [4] Harris, W. E., *A. J.*, **81** (1976), 1095.
- [5] Frenk, C. S. and White, S. D. M., *MNRAS.*, **198** (1982), 173.
- [6] Hartwick, F. D. A. and Hesser, J. E., *Ap. J. Lett.*, **194** (1974), L129.
- [7] Demarque, P. and McClure, R. D., in *Evolution of Galaxies and Stellar Populations*, p.199, ed. by B. M. Tinsley et al., (1977).
- [8] Caputo, F. and Cayrel de Strobel, G., *IAU Colloq.*, No. 68, p.424, (1981).
- [9] Alcaïno, G. and Liller, W., *Mem. S. A. It.*, Vol. 57 (1986), No. 3, 321.
- [10] Lloyd Evans, T. and Menzies, J., *MNRAS*, **178** (1977), 163.
- [11] Harris, W. E., *IAU Symp.*, No. 85, p.81, (1980).
- [12] Christy, R. F., *Ap. J.*, **144** (1966), 108.
- [13] Sandage, A., Katem, B. and Sandage, M., *Ap. J. Suppl.*, **46** (1981), 41.
- [14] Sandage, A., *Ap. J.*, **248** (1981), 161.
- [15] Sandage, A., *Ap. J.*, **252** (1982), 553.
- [16] Caputo, F., *A. J.*, **189** (1938), 70.
- [17] Sandage, A., *Ap. J.*, **162** (1970), 841.
- [18] Carney B. W., *Ap. J. Suppl.*, **42** (1980), 481.
- [19] Caputo, F., Stefanis, P. D., Paez, E. and Quarta, M. L., *A. Ap. Suppl.*, **68** (1986), 119.
- [20] Sweigart, A. V. and Gross, P. G., *Ap. J. Suppl.*, **32** (1976), 367.
- [21] Sweigart, A. V., *Ap. J. Suppl.*, **65** (1987), 95.
- [22] Buzzoni, A., Pecci, F. F., Buonanno, R. and Corsi, C. E., *A. Ap.*, **123** (1983), 94.
- [23] Caputo, F., *Mem. S. A. It.*, Vol. 56 (1985), No. 1, 73.
- [24] Peterson, C. J., *Publ. Astron. Soc. Pac.*, **98** (1986), 1253.

- [25] Demarque, P. and Mcclure, R. D., *Ap. J.*, 242 (1980), L5.  
[26] Vandenberg, D. A. and Bell, R. A., *Ap. J. Suppl.*, 58 (1985), 561.  
[27] Vandenberg, D. A., *Mem. S. A. It.*, Vol.57 (1986), No. 3, 373.  
[28] Buonanno, R., *Mem. S. A. It.*, Vol.57 (1986), No. 3, 333.  
[29] Buonanno, R., Corsi, C. E., Ferraro, I. and Pecci, F. F., *A. Ap. Suppl.*, 67 (1987), 327.  
[30] Iben, I. Jr. and Renzini, A., *Physics Reports*, 105 (1984), 329.  
[31] Tornambe, A. and Gratton, R. G., *Mem. S. A. It.*, Vol. 57 (1986), No. 3, 361.  
[32] Renzini, A., *Mem. S. A. It.*, Vol. 54 (1983), 335.  
[33] Boesgaard, A. M. and Steigman, G., *Ann. Rev. A. Ap.*, 23 (1985), 319.  
[34] Sneden, C., in *Production and Distribution of the C, N, and O Elements*, p.1, ed. by I. J. Danziger et al., (1985).  
[35] Pilachowski, C. A., *Ap. J.*, 224 (1978), 412.  
[36] Cohen, J. G., Frogel, J. A. and Persson, S. E., *Ap. J.*, 222 (1978), 165.  
[37] Frogel, J. A., Persson, S. E. and Cohen, J. G., *Ap. J.*, 227 (1979), 499.  
[38] Frogel, J. A., Persson, S. E. and Cohen, J. G., in *Globular Clusters*, p.143, ed. by D. Hanes, (1979).

(责任编辑 刘金铭)

## The Determination of Distance of Galactic Globular Clusters and Estimation of the Absolute Magnitude of Cluster Horizontal Branch

Wang Rujia

(Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica)

### Abstract

The methods, results and statistical properties for the determination of distance of globular clusters and the estimation of the absolute magnitude of cluster horizontal branch are introduced. Then, some reasons, for different results, are presented. Finally, the future works for determining distance of globular clusters are briefly discussed.