

# 疏散星团 NGC 6530 的光度函数和分层效应\*

赵君亮<sup>1</sup> 温文<sup>2</sup>

(1. 中国科学院上海天文台, 上海 200030; 2. 上海大学, 上海 200444)

## 提 要

该文利用疏散星团 NGC 6530 的自行观测数据和成员判别结果, 给出了星团的光度函数, 并详细讨论了星团的质量分层效应。分析表明, NGC 6530 存在空间质量分层效应, 但并不存在速度质量分层, 因此星团的表现空间质量分层可能起因于星团形成时的初始条件, 而不是动力学弛豫的结果。

主题词: 疏散星团 — NGC 6530 — 光度函数 — 分层效应

分类号: P154.1<sup>+1</sup>

## 1 引 言

NGC 6530 是一个非常年轻的疏散星团, 其 Triimpler 分类型号为 II 2 m, 在天球上的位置:  $(\alpha, \delta)_{2000} = (18^h 04^m. 6, -24^\circ 20')$ ,  $(l^{\text{II}}, b^{\text{II}}) = (6^\circ. 14, -1^\circ. 38)$ 。我们曾经利用上海天文台佘山工作站 40cm 双筒折射望远镜所拍摄的两期 6 张照相底片, 对该星团中心周围  $60' \times 60'$  范围天区内的 364 颗恒星确定了自行成员概率, 并对成员判定的结果和星团的空间运动进行了有关的研究<sup>[1,2]</sup>。本文将在上述工作的基础上, 进一步讨论星团的光度函数和可能存在的分层效应。

## 2 星团的光度函数

为了得到星团的光度函数, 必须把文献[1]中给出的 B 星等转换为绝对星等  $M_B$ , 以及将 V 星等转换为绝对星等  $M_V$ 。NGC 6530 的距离和红化分别取  $r = 1.8 \text{ kpc}$  和  $E_{B-V} = 0.35$ , 都取自 Sung 等人的工作<sup>[3]</sup>。根据以下内禀距离模数计算公式可以得出恒星的绝对星等  $M_B$  和  $M_V$ , 并由此确定星团的光度函数。

$$(m - M)_0 = 5 \lg r - 5 - A \quad (1)$$

其中  $A$  为星际消光, 对于 B 星等和 V 星等,  $A$  的数值是不同的, 可分别取为  $A_V = 3.1 E_{B-V}$  和  $A_B = 4.1 E_{B-V}$ 。图 1 给出了 NGC 6530 天区内成员概率大于 0.9 的 250 颗具有 B 星等数据的

恒星的光度函数。经与 van Altena 和 Jones (以下简称 AJ) 样本<sup>[4]</sup>进行交叉证认后,得到了 158 颗成员概率大于 0.9 的具有 V 星等的恒星,图 2 给出了它们的光度函数。

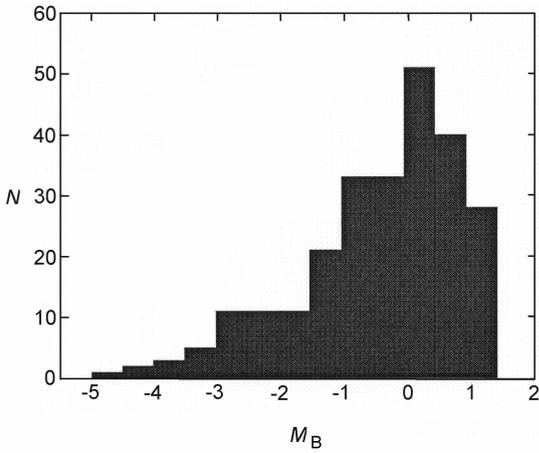


图 1 250 颗  $p > 0.9$  的具有  $M_B$  数据的成员星的观测光度函数

Fig. 1 B band luminosity function for 250 stars with  $p > 0.9$

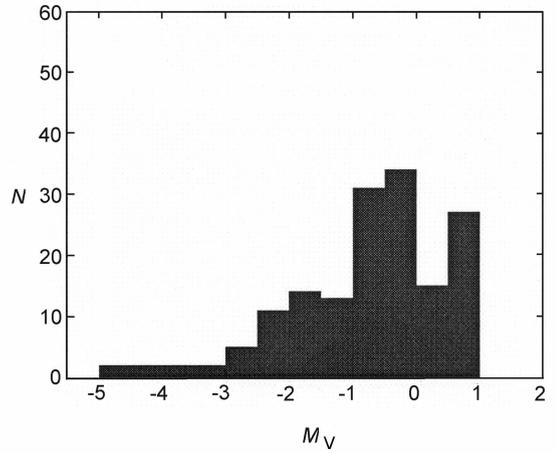


图 2 158 颗  $p > 0.9$  的具有  $M_V$  数据的成员星的观测光度函数

Fig. 2 V band luminosity function for 158 stars with  $p > 0.9$

作为比较,图 3 给出了 AJ 样本中星团天区内成员概率大于 0.5 的 88 颗恒星所得出的 V 星等光度函数。可以看出,尽管 AJ 样本比我们的样本小很多,但从总体上看两者光度函数的形状是类似的,没有明显的系统性差异。尽管图 3 中直方图的频数起伏较为明显,但这只是因样本小而造成的统计涨落。

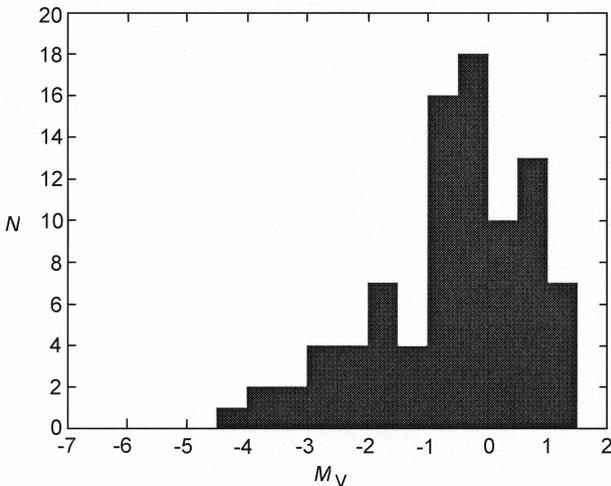


图 3 AJ 样本中  $p > 0.5$  恒星  $M_V$  的光度函数

Fig. 3 V band luminosity function for stars in the AJ sample with  $p > 0.5$

### 3 分层效应

许多研究工作表明,在一些星团中,不同质量的恒星在星团内的分布并不是均匀的,而是随着团心距的变化而呈现出某种变化趋势。具体表现为星团内的质量大的恒星有向中心集聚的趋势,而相对来说小质量的恒星则比较多地分布在星团的外部区域,这一现象就是质量的空间分层效应。不仅如此,星团内的大质量恒星的速度弥散度比较小,而小质量恒星的速度弥散度比较大,这种现象称为质量的速度分层效应。一般认为分层效应起因于恒星集团的弛豫过程。天体系统在弛豫过程中必定会因能均分的要求,大质量天体运动速度变小并向团中心区内落,小质量天体运动速度变大并远离团中心,从而迟早会出现空间和速度上的质量分层。因为年龄大的星团有充分的弛豫时间,从而达到或接近达到能均分状态,一些中等年龄特别是老年疏散星团内部存在较为明显的分层效应<sup>[5-7]</sup>。

McNamara 和 Sekiguchi 曾经明确提到<sup>[8]</sup>,非常年轻的疏散星团 NGC 6530 也存在着质量分层,这显然不能用弛豫过程来加以解释。下面我们对疏散星团 NGC 6530 内部的恒星质量分层效应进行比较详细的讨论。

#### 3.1 星团中不同区域的观测光度函数

首先利用光度函数对星团 NGC 6530 的分层效应进行讨论。图 4 和图 5 分别给出了星团内部区域 ( $0 < r_c \leq 20'$ ,  $r_c$  为团心距) 和外部区域 ( $r_c > 20'$ ) 的 B 星等光度函数。这里选择  $20'$  作为内外区域的分界是为了使内部和外部区域内的成员星个数大致相等,可称  $20'$  为半数目半径。经过这样划分后,在成员概率  $p > 0.9$  的 250 颗成员星中,位于  $20'$  以内和以外的恒星分别为 130 颗和 120 颗。为了确定恒星的团心距,取这 250 颗恒星的坐标平均值作为团中心的坐标。

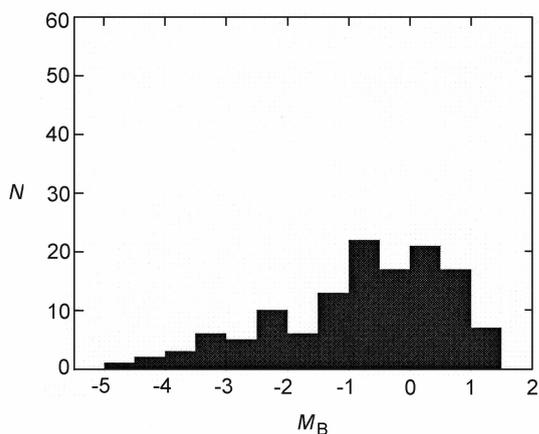


图 4 NGC 6530 的内部光度函数

Fig. 4 LF of NGC 6530 in the inner region

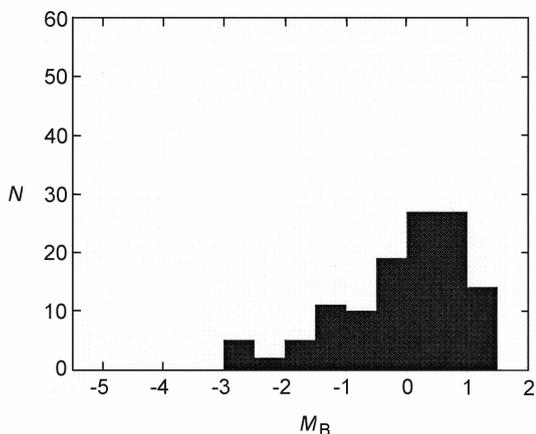


图 5 NGC 6530 的外部光度函数

Fig. 5 LF of NGC 6530 in the outer region

假定质光比为质量的单调函数,则光度分层在定性上可以等价成质量分层。比较图 4 和图 5 可以看出: NGC 6530 的内部光度函数较外部光度函数平坦,这说明星团内部区域比外部

区域有较多的大质量星,而相对来说小质量星比较少,表明 NGC 6530 中大质量亮星的中心聚度比小质量星的中心聚度大,也就是说该星团存在一定程度的空间分层效应。如果把星团天区按不同团心距  $r_c$  范围分为三个区域:  $r_c < 13'$ 、 $13' \leq r_c < 25'$  和  $r_c \geq 25'$ ,则团星数分别为 84、85 和 81。图 6、7、8 分别给出了这三个区域的光度函数。由图可见,越靠近星团的中心区域,大质量亮星所占的比例越大,而暗星的情况恰好相反,进一步证实了由图 4、图 5 所表现的星团质量空间分层效应。

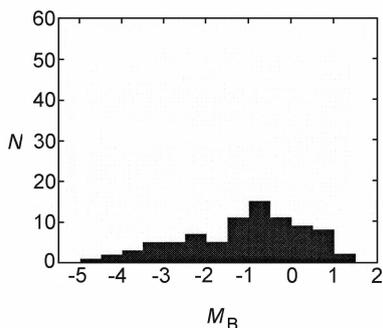


图 6 团心距  $r_c < 13'$  的团星光度函数

Fig. 6 LF for member stars with  $r_c < 13'$

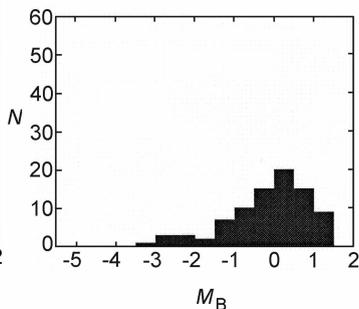


图 7 团心距  $13' \leq r_c < 25'$  的团星光度函数

Fig. 7 LF for member stars with  $13' \leq r_c < 25'$

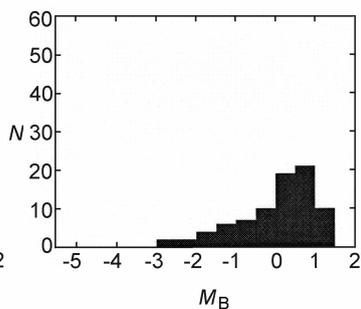


图 8 团心距  $r_c \geq 25'$  的团星光度函数

Fig. 8 LF for member stars with  $r_c \geq 25'$

### 3.2 径向累积密度分布

本节从不同星等团星的径向数密度来考察疏散星团 NGC 6530 的质量分层效应。为此,把成员概率大于 0.9 的成员星按 B 星等分成三组:  $B < 12.0$ 、 $12.0 \leq B < 13.0$  和  $B \geq 13.0$ ,

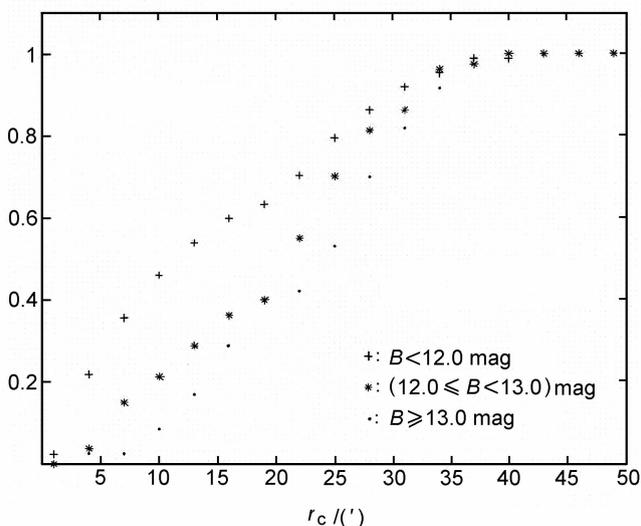


图 9 NGC 6530 中不同星等范围团星的径向累积密度轮廓

Fig. 9 Normalized cumulative radial number density profile for NGC 6530 members with different magnitude ranges

各组的成员星个数分别为 87、80 和 83。图 9 给出了这三类成员星的归一化累积数密度的径向分布轮廓。

由图 9 可以看出,在接近星团中心处,恒星的分布表现出一种随着星等值的减小(即质量增大)而密度增加的趋势,与 McNamara 和 Sekiguchi<sup>[8]</sup>给出的结果相一致,这同样说明了星团 NGC 6530 可能存在空间质量分层。

### 3.3 半质量半径和半光度半径

表 1 给出了上述三个不同 B 星等范围内团星的半光度半径。可以明显地看出,越明亮(星等越小,即质量越大)的恒星半光度半径越小,这同样说明了 NGC 6530 可能存在质量分层。另一方面,如果假设所研究的每颗恒星都是主序星,则可以从太阳邻域内主序星的质光关系得到恒星相对应的质量。本文利用的质光关系( $M - M_V$ )取自 Kroupa 等人<sup>[9]</sup>的工作,其中恒星质量  $M$  以太阳质量  $M_\odot$  为单位。这样就可以得到 158 颗有 V 星等的成员星的质量,从而得到不同星等范围星团的半质量半径,结果在表 2 中给出。从表 2 可以看出,对应较小的恒星质量,半质量半径同样有增加的趋势。

表 1 不同 B 星等范围内团星的半光度半径

Table 1 Half-light radii for cluster members with various B magnitudes

B/mag	恒星数目	半光度半径/(')
$B < 12.0$	87	12.9
$12.0 \leq B < 13.0$	80	21.0
$B \geq 13.0$	83	24.7
全部	250	

表 2 不同 V 星等范围内团星的半质量半径

Table 2 Half-mass radii for cluster members with various V magnitudes

V/mag	恒星数目	半质量半径/(')	质量范围( $M/M_\odot$ )
$V < 11.5$	55	6.4	$>5.01$
$11.5 \leq V < 12.0$	39	14.2	4.09 ~ 5.01
$V \geq 12.0$	64	14.7	$\leq 4.09$
全部	158	10.6	

### 3.4 速度质量分层效应

如果 NGC 6530 确实存在分层,并且这样的分层效应是由于动力学弛豫和能均分过程产生的,那么应该可以发现星团中的恒星不仅存在空间质量分层,同时也应该表现出速度质量分层效应,即大质量恒星应该具有小的速度弥散度,而小质量恒星具有大的速度弥散度。本小节讨论 NGC 6530 的速度质量分层效应,为此需要计算不同星等范围内团星的内禀自行弥散度。计算方法取自 McNamara 和 Sekiguchi 的文章<sup>[8]</sup>。该方法是 Jones<sup>[10]</sup>给出的。计算的结果列于表 3,表中各列从左到右分别表示:成员概率、V 星等范围、恒星平均质量、分组样本的大小、 $\alpha$  和  $\delta$  方向的内禀自行弥散度以及它们的加权平均值。

从表3可以看出,内禀自行弥散度都具有足够的精度(最暗的样本组精度较差)。与表列数字的中误差相比,各个样本组中恒星的内禀自行弥散度没有明显的差别,尤其是对于成员概率较高( $p \geq 0.95$ )的团星更是如此。由此看来,疏散星团 NGC 6530 看来并不存在明确的速度-质量关系,即不存在速度质量分层效应。

表3 NGC 6530 内团星的速度-质量关系

Table 3 Velocity-mass dependence for members of NGC 6530

$p$	$V$	$\langle M \rangle / M_{\odot}$	$n$	$\langle \sigma_x^2 \rangle^{1/2}$	$\langle \sigma_y^2 \rangle^{1/2}$	$\langle \sigma \rangle$
$\geq 0.90$	<11	$10.40 \pm 0.77$	40	$1.92 \pm 0.24$	$1.39 \pm 0.27$	$1.68 \pm 0.26$
	11 ~ 12	$4.80 \pm 0.07$	54	$1.83 \pm 0.22$	$1.79 \pm 0.28$	$1.81 \pm 0.25$
	12 ~ 13	$3.46 \pm 0.06$	48	$1.66 \pm 0.23$	$2.30 \pm 0.29$	$2.01 \pm 0.26$
	$\geq 13$	$2.69 \pm 0.02$	16	$1.65 \pm 0.44$	$1.79 \pm 0.45$	$1.72 \pm 0.44$
$\geq 0.95$	<11	$10.26 \pm 0.73$	35	$1.66 \pm 0.23$	$1.32 \pm 0.28$	$1.50 \pm 0.26$
	11 ~ 12	$4.82 \pm 0.08$	47	$1.13 \pm 0.19$	$1.72 \pm 0.30$	$1.46 \pm 0.25$
	12 ~ 13	$3.51 \pm 0.07$	40	$1.23 \pm 0.23$	$1.76 \pm 0.28$	$1.52 \pm 0.25$
	$\geq 13$	$2.68 \pm 0.03$	15	$1.49 \pm 0.45$	$1.69 \pm 0.45$	$1.59 \pm 0.45$

考虑到有 V 星等的团星的样本比较小,我们又对 NGC 6530 内具有 B 星等的 364 颗团星进行了研究,进一步讨论了 NGC6530 内部的速度-质量关系。类似地,把样本按成员概率  $p \geq 0.90$  和  $p \geq 0.95$  两种情况进行分析,结果由表4给出,表中从左到右分别列出:成员概率、B 星等范围、分组样本的大小、 $\alpha$  和  $\delta$  方向内禀自行弥散度以及它们的加权平均值。显然,表4的结果和表3的结果几乎是一致的,尤其是对于  $p \geq 0.95$  的恒星来说,显然不存在速度-光度关系,或者说团星不存在速度的光度(质量)分层。

表4 NGC 6530 内团星的速度-光度关系

Table 4 Velocity-luminosity dependence for members of NGC 6530

$p$	$B$	$n$	$\langle \sigma_x^2 \rangle^{1/2}$	$\langle \sigma_y^2 \rangle^{1/2}$	$\langle \sigma \rangle$
$\geq 0.90$	<11	41	$1.67 \pm 0.22$	$1.22 \pm 0.25$	$1.46 \pm 0.24$
	11 ~ 12	46	$1.65 \pm 0.22$	$1.71 \pm 0.26$	$1.68 \pm 0.24$
	12 ~ 13	80	$2.09 \pm 0.21$	$1.59 \pm 0.21$	$1.86 \pm 0.21$
	$\geq 13$	83	$1.65 \pm 0.18$	$2.09 \pm 0.23$	$1.89 \pm 0.21$
$\geq 0.95$	<11	35	$1.07 \pm 0.19$	$1.18 \pm 0.26$	$1.13 \pm 0.23$
	11 ~ 12	40	$1.32 \pm 0.21$	$1.60 \pm 0.27$	$1.47 \pm 0.24$
	12 ~ 13	63	$1.57 \pm 0.19$	$1.32 \pm 0.23$	$1.45 \pm 0.21$
	$\geq 13$	63	$1.26 \pm 0.20$	$1.59 \pm 0.23$	$1.44 \pm 0.22$

传统的观点认为,疏散星团内部存在的质量分层效应是恒星处于能均分或者接近能均分状态时产生的一种结果。但通过以上的讨论发现,对于本文所研究的疏散星团 NGC 6530 的质量分层效应,这种解释并不合理。NGC 6530 是一个非常年轻的疏散星团,年龄不超过  $2 \times 10^6$  年,甚至还小于星团的穿越时标。对于这样的一个其中还有很多处于引力坍缩阶段恒星的极端年轻疏散星团来说,星团内部根本不可能有充足的时间达到或接近能均分状态,上述有关速度质量分层效应的讨论也证明了这一点。正如 McNamara 和 Sekiguchi<sup>[8]</sup>所指出的那样,星团的初始形成条件也有可能就导致团星类似分布的形成。从上述讨论也许可以得到这样的结论,即 NGC 6530 中团星在位置上的分布表明,这个星团的空间质量分层也许是星团形成过程的自然结果,而不是由星团内部的弛豫过程产生的。

## 4 小 结

本文从实测结果得到了疏散星团 NGC 6530 的光度函数,通过与 AJ 样本的光度函数的比较,说明虽然样本大小不同,但有关光度函数的结果是类同的。

通过分析不同区域的光度函数,以及对不同星等范围团星的径向数密度分布和半质量半径及半光度半径的比较,详细地讨论并说明了 NGC 6530 内部存在着空间质量分层效应。但是,有关团星速度弥散度与质量(或光度)的关系的分析,表明该星团内部并不同时存在速度质量分层。因此,观测到的 NGC 6530 的空间质量分层效应很可能主要是由该星团形成时的初始条件造成的。

**致谢:** 本文得益于陈力研究员的讨论和帮助,谨表示真诚的谢意。

## 参 考 文 献

- [1] 温文, 赵君亮, 陈力. 中国科学院上海天文台年刊, 2005, 26: 79
- [2] 温文, 赵君亮, 陈力. 天文学报, 2006, 47: 9
- [3] Sung H, Chun M, Bessell M S. AJ, 2000, 120: 333
- [4] van Altena W F, Jones B F, A&A, 1972, 20: 425 ~ 436
- [5] van den Bergh S, Sher D. Pub. David, Dunlap. Obs., 1960, 2: 203
- [6] Larson R B. Symposium on the Orion Nebula to Honor Hernor Henry Draper (Ann. N Y Acad. Sci.), 1982, 395: 274
- [7] Zhao J L, Tian K P, Shu C G. Astrophysics and Space Science, 1996, 235: 93
- [8] McNamara B J, Sekiguchi K. ApJ, 1986, 310: 613
- [9] Kroupa I, Tout C, Gilmore G. MNRAS, 1993, 262: 545
- [10] Jones B F. AJ, 1970, 75: 563

# LUMINOSITY FUNCTION AND SEGREGATION EFFECT OF THE OPEN CLUSTER NGC 6530

ZHAO Junliang<sup>1</sup>      WEN Wen<sup>2</sup>

(1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030;

2. Shanghai University, Shanghai 200444)

## Abstract

Using the observational data of the open cluster NGC 6530 of Shanghai Astronomical Observatory and the proper motion membership determined on the basis of the data, the luminosity function of the cluster is given and its mass segregation effect is discussed in some details. From analyses on the luminosity functions of members in different areas of the cluster, the radial number density profiles of members with different masses and the half-mass or half-light radii of various mass or magnitude groups of members, it is shown that there exists the spatial mass segregation for the cluster, but there are no definitive evidences to demonstrate the velocity-mass dependence or the velocity mass segregation of cluster members, from which it may be concluded that the apparent spatial mass segregation of the cluster is very likely mainly due to the initial conditions when the cluster formed instead of the two-body relaxation process afterwards.

**Key words** open cluster — NGC 6530 — luminosity function — segregation effect