

基于 SDSS-DR8 及 2MASS 数据的疏散星团 NGC 6791 的基本性质研究*

高新华^{1†} 陈 力^{2†}

(1 常州大学信息科学与工程学院 常州 213164)

(2 中国科学院上海天文台 上海 200030)

摘要 利用斯隆数字巡天 (SDSS) 第 8 次释放数据 (DR8) 的恒星光谱数据及 2MASS (Two Micro All Sky Survey) 近红外点源测光数据研究著名的疏散星团 NGC 6791, 得到该星团的视向速度与金属丰度分别为 $V_r = -46.4 \pm 0.2 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.32 \pm 0.11 \text{ dex}$. 利用星团中红团簇巨星作为理想“标准烛光”, 结合 2MASS 近红外点源测光数据计算了该星团的绝对距离模数为 $(m-M)_0 = 13.02 \pm 0.08 \text{ mag}$ 或 $4.02 \pm 0.15 \text{ kpc}$. 与其他研究者给出的结果进行了比较, 金属丰度、视向速度及绝对距离模数都符合得比较好. 主要结论有 3 点: (1) NGC 6791 是个极度富金属的星团; (2) 在 SDSS 的光谱分辨能力以内, 分离出的 87 颗团星之间不存在明显的金属丰度差异; (3) 得到的距离模数对年龄、金属丰度及尘埃消光不敏感, 是一种可靠的间接测量.

关键词 疏散星团和星协; 个别: NGC 6791, 恒星: 丰度, 恒星: 距离, 技术: 视向速度
中图分类号: P 157; **文献标识码:** A

1 引言

疏散星团是纯粹靠万有引力束缚在一起的结构比较松散的恒星系统, 其成员星之间有着近似相同的年龄、金属丰度以及空间运动速度. 相对场星而言, 疏散星团的年龄、距离、金属丰度以及红化等重要参数更容易被准确测定. 因此, 疏散星团一直被天文学家看作是研究银盘结构与演化的重要示踪天体^[1-2]. 由于疏散星团的成员星具有年龄单一、质量分布广、化学成分均匀的特点, 天文学家一直把疏散星团当作研究恒星形成与演化的重要实验室. 红团簇巨星作为小质量恒星演化的一个重要阶段, 最初就是 Cannon^[3] 在研究老年疏散星团时偶然发现的.

NGC 6791 ($\alpha_{J2000} = 19^{\text{h}}20^{\text{m}}53^{\text{s}}$; $\delta_{J2000} = +37^{\circ}46'18''$) 目前一般仍被看作是疏散星团, 但它与其它已知的疏散星团差别非常明显. 它属于成员星较多且比较致密的富星团, 外形上很容易被误认为是球状星团^[4]. 不久前, Platais 等^[5] 估算出它的总质量约 5000

2010-02-24 收到原稿, 2010-03-23 收到修改稿

* 常州大学科研启动经费项目 (ZMF 1002121)、国家自然科学基金项目 (11073038, 10833005) 及科技部 973 项目 (2007CB815403) 资助

[†] xhgao@cczu.edu.cn; chenli@shao.ac.cn

M_{\odot} , 比一般疏散星团都要大. 多位研究者基于高分辨率光谱分析给出了比较一致的金属丰度值是 $[\text{Fe}/\text{H}] \sim +0.4 \text{ dex}^{[6-9]}$, 比一般疏散星团要高得多. 多位研究者基于高质量测光数据绘制的颜色-星等图 (CMD) 估算得到的年龄区间为 $8 \sim 10 \text{ Gyr}^{[4-5,9-10]}$, NGC 6791 属于疏散星团中最年老的一类, 与较年轻的球状星团年龄很接近. 不久前, 有研究者发现 NGC 6791 中的白矮星光度函数 (WDLF) 呈现两个峰, 并且根据 WDLF 所确定的年龄与根据恒星主序拐点 (MS-TO) 所确定的年龄之间存在明显的差异^[11-13]. 最近, 又有研究者指出 NGC 6791 中的内区与外区的恒星年龄存在大约 1 Gyr 的差异, 内区的恒星平均来说更年老^[14]. 如果真是这样, 这表明 NGC 6791 中的恒星形成过程可能与一般疏散星团不同, NGC 6791 可能经历了两次恒星形成过程, 因此不是一个传统意义上的疏散星团. 2006 年, Carraro 等^[6] 就曾指出过 NGC 6791 可能是被银河系潮汐力瓦解掉的一个更大恒星系统的内核部分, 并且这个恒星系统曾经的金属增丰过程很有效. 2009 年, Boesgaard 等^[9] 也指出 NGC 6791 的运动轨道表明它可能起源于富含金属的银河系中心区域, 而它现在所处的位置是由于受到过强烈扰动.

质量巨大、极度富金属、极度年老、奇特的白矮星光度函数、内外区恒星年龄的 1 Gyr 差异, 这些明显不同于其它疏散星团的特征使得 NGC 6791 一直是天文学家密切关注的对象. 对 NGC 6791 进行深入的研究将有助于我们更好地理解恒星的形成与演化以及银河系的形成与演化.

2 数据

2.1 SDSS-DR8

SDSS^[15] 所使用的仪器包括一架 2.5 m 口径、7 平方度视场 (视场角直径 3°) 的望远镜以及一对一次观测可以获得 640 条天体光谱的多目标光纤光谱仪, 光谱分辨率 $R \simeq 1800^{[16]}$. 我们所用的是 SDSS 第 8 次释放的数据 (SDSS-DR8)^[17].

SDSS 从第 2 期观测计划 (SDSS-II) 开始将银河系的研究作为重点之一, SDSS-II 的 3 个研究计划之一 — Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration (简称 SEGUE 或 SEGUE-1)^[18], 是专门针对银河系的观测计划, 其目的是通过对银河系的盘与晕中的大量恒星进行成像和光谱观测, 最终获得一大批恒星的分布、视向速度、化学成分、年龄等重要信息, 利用这些信息研究银河系的结构与演化. SEGUE-1 的观测数据随着 SDSS 的第 7 次数据释放 (DR7) 而公布^[19], SEGUE-1 使用一套自动处理恒星光谱的程序 SEGUE Stellar Parameter Pipeline (简称 SSPP)^[20-21], 能够得到恒星大气的金属丰度、等效温度以及表面引力加速度 3 个重要参数. SDSS 第 3 期 (SDSS-III)^[22] 依然将银河系的研究列为 4 个计划之一 (SEGUE-2), DR8 作为 SDSS-III 的第 1 次数据释放, 包含新增加的 SEGUE-2 期间观测到的 118 000 颗恒星的大气基本参数, 加上先前观测过的, DR8 公布的有大气基本参数的恒星总数达到 500 000 颗左右. 此外, DR8 使用经过改进的 SSPP 程序重新计算这 500 000 颗恒星的大气基本参数^[17], 得到的恒星大气参数值也更可靠^[23]. 目前最新版本 SSPP 得到的视向速度和金属丰度的精度分别为 $4 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.21 \text{ dex}^{[22]}$.

2.2 2MASS

2MASS 计划装备两台高度自动化的 1.3 m 口径望远镜, 可在 J (1.25 μm)、H (1.65 μm) 以及 Ks (2.16 μm) 3 个近红外波段同时进行观测, 目的是对整个天空进行近红外巡天. 2MASS 点源星表 (简称 PSC) 共包含了 470 992 970 个源的测光和天体测量数据, 其中大部分是银河系内的恒星, 每个源都有位置、星等、星等误差、测光质量等信息. PSC 覆盖了全天 99.99% 的范围, 在没有干扰源的情况下, 其完备极限星等为 $J \leq 15.8 \text{ mag}$ 、 $H \leq 15.1 \text{ mag}$ 、 $Ks \leq 14.3 \text{ mag}$ ^[24].

3 视向速度与金属丰度

要研究疏散星团的基本性质, 首先要将团星与场星有效地分离开来, 这一步通常被称为“成员判定”. 判定星团成员最常用的方法有两类, 即测光方法 (赫罗图) 和运动学方法 (自行或视向速度). 一般认为运动学方法更有效, 因为运动学方法可以建立在比较严格的数学模型的基础上, 并且容易计算出模型参数和成员概率^[25]. 运动学方法的理论依据是星团成员星有一致的空间运动速度, Vasilevskis^[26] 与 Sanders^[27] 的开创性工作为利用自行判定星团成员概率奠定了基础, Zhao 等^[28] 以及 Girard 等^[29] 则改进了这一方法使之可用于自行不等精度情况. 我们使用视向速度作为 NGC 6791 成员判定的依据, 是因为视向速度精度较高, SDSS-DR8 提供的恒星视向速度精度^[23] 已能够满足要求.

假定场星和团星的视向速度分别服从两个高斯分布, 在考虑恒星视向速度不等精度的情况下场星和团星的视向速度分布函数可表示如下:

$$\Phi(v_i) = \Phi_{fi} + \Phi_{ci}, \quad (1)$$

$$\Phi_{fi} = \frac{1 - n_c}{2\pi(\sigma_{f0}^2 + \epsilon_i^2)} \alpha_i, \quad (2)$$

$$\Phi_{ci} = \frac{n_c}{2\pi(\sigma_{c0}^2 + \epsilon_i^2)} \beta_i, \quad (3)$$

$$\alpha_i = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(v_i - v_f)^2}{\sigma_{f0}^2 + \epsilon_i^2}\right]\right\}, \quad (4)$$

$$\beta_i = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(v_i - v_c)^2}{\sigma_{c0}^2 + \epsilon_i^2}\right]\right\}. \quad (5)$$

这里, v_i 是第 i 颗星的视向速度, ϵ_i 是第 i 颗星的视向速度观测误差, n_c 是归一化团星数, Φ_{fi} 、 Φ_{ci} 分别是场星和团星的视向速度分布函数, v_f 、 v_c 分别是场星和团星的平均视向速度, σ_{f0} 、 σ_{c0} 分别是场星和团星的视向速度内禀弥散度, 待定参数共 5 个.

对于 N 颗星我们有如下似然函数:

$$L(\theta_j; j = 1, 5) = \ln \prod_1^N \Phi(v_i) = \sum_1^N \ln(\Phi(v_i)), \quad (6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_j} = \frac{\partial}{\partial \theta_j} \sum_1^N \Phi_i(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_5). \quad (7)$$

根据最大似然原理解出方程组 (7) 后, 得到分布函数的 5 个参数的最佳估计值 (见表 1),

第 i 颗星的成员概率可表示为:

$$P_i = \frac{\Phi_{ci}}{\Phi} = \frac{\Phi_{ci}}{\Phi_{ci} + \Phi_{fi}}. \quad (8)$$

表 1 5 个分布参数的估计值

Table 1 Distribution parameters of NGC 6791

n_c	$v_f(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$	$v_c(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$	$\sigma_{f0}(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$	$\sigma_{c0}(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$
0.4	-24.0	-46.3	33.6	2.3

从我们选出的 NGC 6791 所在天区范围内 ($1^\circ \times 1^\circ$, 中心与星团中心重合) 的 274 颗样本恒星的视向速度分布直方图 (见图 1) 可见, 有大量恒星的视向速度集中在 $-50 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 附近.

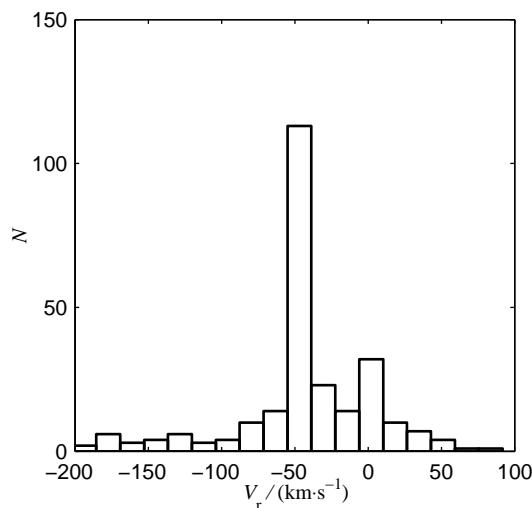


图 1 NGC 6791 天区 274 颗样本恒星的视向速度分布直方图

Fig. 1 Distribution of radial velocities for 274 stars in the region of NGC 6791

从成员概率分布直方图 (见图 2) 以及恒星空间分布图 (见图 3) 可以看出, 我们的成员判定是有效的. 为了最大限度排除场星污染, 我们人为选取成员概率 $P > 0.7$ 的 95 颗恒星作为成员星参与星团平均视向速度和金属丰度的计算.

我们利用 95 颗星团成员星计算得到的星团平均视向速度及平均值的不确定度为 $V_r = -46.4 \pm 0.2 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. 仅凭视向速度不能完全排除场星的污染, 事实上从图 3 中也可以看出, 离星团中心较远处有少量样本恒星, 虽然成员概率大于 0.7 但很可能是场星. 即使在星团中心附近这种情况也可能存在. 因此, 在计算星团平均金属丰度时, 我们首先剔除了位于潮汐半径以外的 5 颗成员概率大于 0.7 的恒星 (见图 3), 潮汐半径取 $r_{\text{tidal}} = 10 \text{ arcmin}$ [5]. 此外, 还需要剔除那些虽然位于潮汐半径以内且成员概率大于 0.7 但金属丰度明显不同的样本星. 如果这类恒星只是极少数, 且金属丰度差异明显, 我们认为这些很可能是场星污染. 如果这类恒星数量较多, 且金属丰度值比较一致, 我们认为很可能是 NGC 6791 成员星.

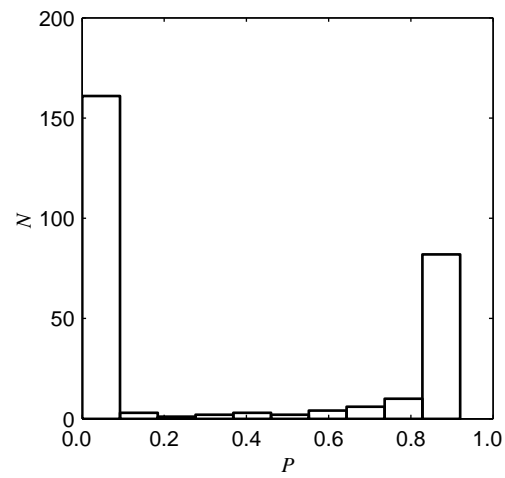


图 2 274 颗样本恒星的成员概率分布直方图

Fig. 2 Distribution of membership probabilities for 274 stars in the region of NGC 6791

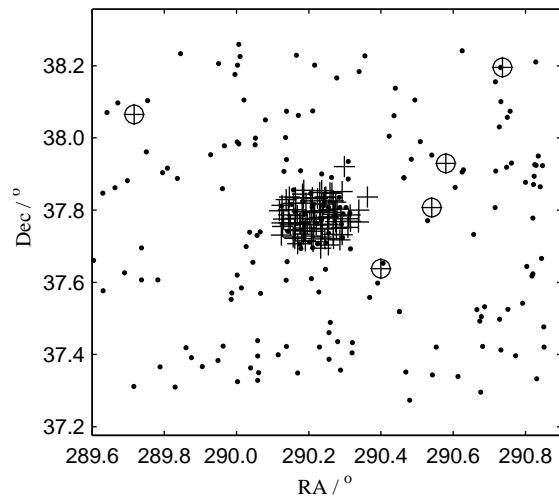


图 3 274 颗样本恒星的空分布情况, 其中“+”表示 $P > 0.7$ 的成员星, “.”表示 $P < 0.7$ 的场星, “⊕”表示位于潮汐半径外但 $P > 0.7$ 的场星

Fig. 3 The sky-plane distribution of 274 stars with different membership probabilities. Crosses indicate stars with $P > 0.7$, dots indicate stars with $P < 0.7$ and “⊕” indicate stars lying outside the tidal radius but with $P > 0.7$

存在金属丰度差异. 最终我们剔除了大于金属丰度平均值 3 倍中误差的样本星 3 颗, 这些被剔除的高成员概率样本星金属丰度之间差异明显 (见图 4). 最终我们用来计算星团平均金属丰度的成员星共有 87 颗, 计算得到的平均金属丰度及不确定度为 $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.32 \pm 0.11$ dex. 考虑到 SDSS 光谱的分辨能力 ($R \simeq 1800$), 这 87 颗成员星的金属丰度差异并不明显 (见图 4). 我们得到的平均视向速度及金属丰度值与其他研究者基于高分辨率光谱分析得到的结果符合得相当好^[6-9]. 值得一提的是, DR7-SSPP 在估算超太阳丰度恒星的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 时会出现严重低估的情况, 对于 NGC 6791 这样富金属的星团低估了约 0.3 dex, 这一点在我们先前的工作中已经讨论过^[30], 改进后的 DR8-SSPP 已经成功解决了这一问题.

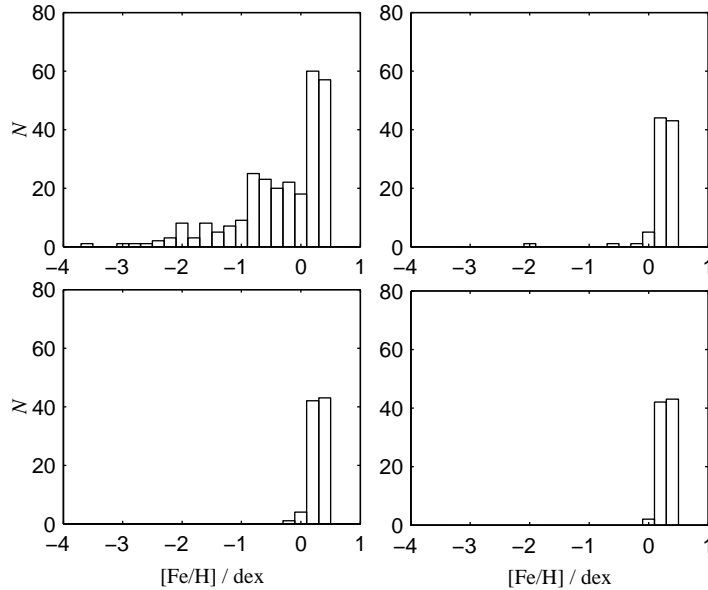


图 4 左上: 274 颗样本恒星的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 分布直方图; 右上: 95 颗 $P > 0.7$ 的样本恒星 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 分布直方图; 左下: 剔除潮汐半径以外样本后, 90 颗 $P > 0.7$ 的恒星的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 分布直方图; 右下: 剔除大于平均值 3 倍中误差的样本后, 87 颗成员星的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 分布直方图

Fig. 4 Top left: Distribution of $[\text{Fe}/\text{H}]$ for 274 stars; Top right: Distribution of $[\text{Fe}/\text{H}]$ for 95 stars with $P > 0.7$; Bottom left: Distribution of $[\text{Fe}/\text{H}]$ for 90 stars lying inside the tidal radius and with $P > 0.7$; Bottom right: Distribution of $[\text{Fe}/\text{H}]$ for 87 stars lying inside the tidal radius and with $P > 0.7$ after 3σ clip

4 基于红团簇巨星的绝对距离模数

红团簇巨星是处于中心氦燃烧阶段的小质量恒星, 它们在赫罗图上明显成团且光度弥散很小, 因此很容易被辨认出来. 理论和观测均表明红团簇巨星具有大致相同的光度, 某些波段的光度与金属丰度及年龄几乎不存在依赖关系, 是一类非常理想的“标准烛光”^[31-36]. 2007 年, van Helshoecht 等^[35] 利用 2MASS 数据分析了 24 个疏散星团样本中的红团簇

巨星的绝对星等以及绝对星等与年龄、金属丰度的依赖关系. 这 24 个疏散星团的年龄和金属丰度覆盖范围较广, 疏散星团的距离模数事先已经通过主序拟合的方法得到, 根据距离模数对照红团簇巨星的视星等就能得到绝对星等. van Helshoecht 等^[35]的结论是红团簇巨星的绝对星等为 $M_K = -1.57 \pm 0.05$ mag, 在星团样本的年龄和金属丰度范围内受年龄和金属丰度的影响不大, 可用这个值作为理想的“标准烛光”. 该工作是对红团簇巨星绝对星等的间接测量, 前提是星团样本有可靠的距离、金属丰度和年龄值. 2008 年, Groenewegen^[36]利用修正后的 Hipparcos 天体测量数据, 重新测定了太阳附近具有高精度三角视差的一批红团簇巨星样本的绝对星等, 这些红团簇巨星同样具有高质量的光谱金属丰度值, 得到绝对星等为 $M_{K_s} = -1.54 \pm 0.04$ mag, 且与金属丰度的相关性很微弱. Groenewegen^[36]的工作是对红团簇巨星 Ks 波段绝对星等的直接测量.

利用 2MASS 的点源星表提供的 J 波段及 Ks 波段的测光数据, 我们绘制了 NGC 6791 天区 (距星团中心 5 arcmin 以内, 与 Dias 疏散星团表^[37]给的大小一致) 恒星的颜色 - 星等图 (CMD)(见图 5). 从 CMD 上可以看出, NGC 6791 确实很年老, 大部分恒星已经离开了主序阶段. 从 CMD 上也不难发现 NGC 6791 确实存在一定数量的红团簇巨星. 我们凭肉眼判断, 人为在 CMD 上用矩形方框框出了红团簇巨星区 (见图 5). 矩形小方框覆盖的颜色范围为: $0.7 \leq J-K_s \leq 0.8$ mag, 星等范围为: $11.3 \leq K_s \leq 11.7$ mag, 这一区间有 19 颗红团簇巨星. 为了尽可能减少场星混入带来的误差, 我们利用这 19 颗红团簇巨星 Ks 星等中位值 $m_{K_s} = 11.52$ mag 作为平均视星等, 其弥散为 0.07 mag. 这样我们就得到了红团簇巨星的平均视星等 $m_{K_s} = 11.52 \pm 0.07$ mag. 考虑到 Ks 星等在 11.52 mag 处的观测误差小于 0.025 mag (见图 5), 我们忽略了红团簇巨星 Ks 星等的观测误差对距离模数计算造成的影响.

利用下式可以得到 NGC 6791 的绝对距离模数:

$$(m - M)_0 = m_{K_s} - M_{K_s} - A_{K_s}, \quad (9)$$

其中 $(m - M)_0$ 为星团的绝对距离模数, A_{K_s} 为 Ks 波段尘埃消光值. 我们采用消光关系: $A_{K_s}/A_V = 0.118$ ^[38], 红化值 $E(B - V)$ 取 0.117 mag^[37], 红团簇巨星的 Ks 波段的绝对星等采用 Groenewegen 在 2008 年基于修正后的 Hipparcos 数据得到的值: (-1.54 ± 0.04) mag^[36].

最终我们得到 NGC 6791 的绝对距离模数 $(m - M)_0 = 13.02 \pm 0.08$ mag 或表示成距离 (4.02 ± 0.15) kpc, 我们的结果与文献 [4,6,10] 用等龄线拟合法得到的结果符合得比较好. 相对于传统的等龄线拟合测距法, 我们方法的主要优点在于所用的都是直接观测值 (见 (9) 式), 不需要参考星团的年龄及金属丰度信息, 且受消光值的影响也比光学波段小得多. 2005 年, Carney 等^[39]用位于基特峰的 4 m Mayall 望远镜以及 IRIM 红外照相机观测得到的数据测量过 NGC 6791 的距离, 他们也用红团簇巨星作“标准烛光”得到绝对距离模数为 $(m - M)_0 = 13.07 \pm 0.04$ mag. Carney 等^[39]的距离模数比我们的值大一些, 这主要由于他们所用红团簇巨星的绝对星等是 Alves 给出的 $M_K = -1.61 \pm 0.03$ mag^[33], 比 Groenewegen 在 2008 年得到的值亮了将近 0.07 mag.

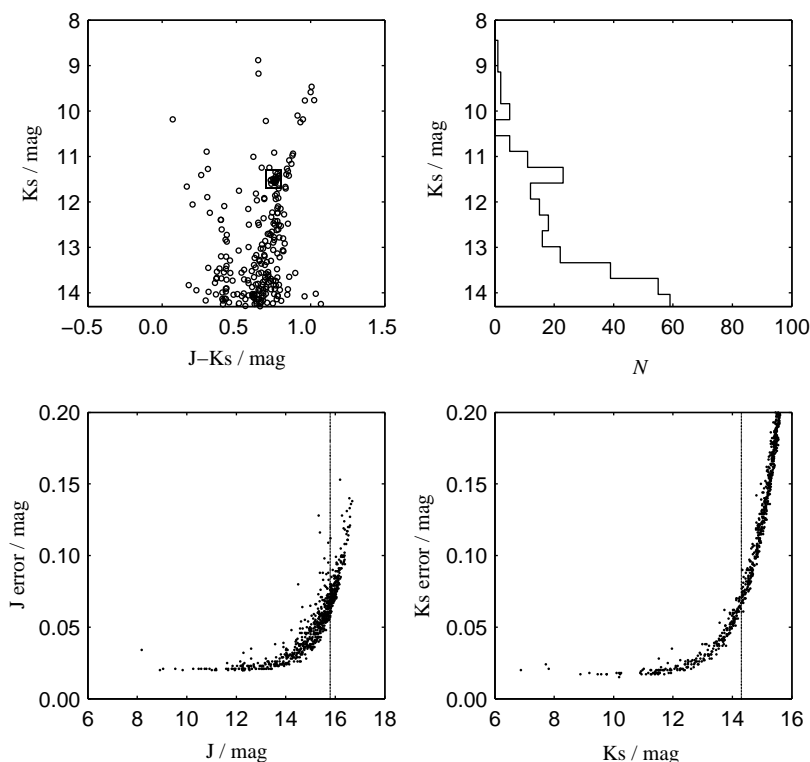


图 5 左上: NGC 6791 中心 5 arcmin 以内恒星的颜色 - 星等图 (K_s vs $J-K_s$), 矩形方框内为红团簇巨星区; 右上: K_s 波段星等分布图, 与颜色 - 星等图相对应; 左下: J 波段星等及星等观测误差, 竖线为完备极限星等 (15.8 mag); 右下: K_s 波段星等及星等观测误差, 竖线为完备极限星等 (14.3 mag)

Fig. 5 Top left: Color-magnitude diagram for stars lying within 5 arcmin from the center of NGC 6791. Rectangle indicates the red clump region; Top right: Distribution of K_s -band magnitude, corresponding to the color-magnitude diagram; Bottom left: J -band magnitude versus magnitude error. Vertical line indicates the complete limit magnitude (15.8 mag); Bottom right: K_s -band magnitude versus magnitude error. Vertical line indicates the complete limit magnitude (14.3 mag)

5 结论

我们利用 SDSS-DR8 的恒星光谱数据以及 2MASS 近红外测光数据分析了著名的星团 NGC 6791 的视向速度、金属丰度以及绝对距离模数。我们的视向速度与金属丰度结果与其他几位研究者基于高分辨率光谱的分析结果符合得很好, 但这几位研究者的样本比较少, 而且是比较亮的巨星。我们的样本恒星有 274 颗, 被判定为高概率成员星的有 95 颗, 其中有 5 颗高概率星位于 NGC 6791 的潮汐半径之外, 还有 3 颗的金属丰度明显偏离其它恒星, 因此在计算星团的平均金属丰度时被剔除。在 SDSS 光谱分辨能力以内, 我们未发现这 87 颗成员星之间有明显的金属丰度差异。我们认为这应该不是样本的

选择效应所造成, 而是 NGC 6791 的成员星的金属丰度比较一致, 即使最近有研究者指出 NGC 6791 中的恒星可能存在 1 Gyr 的年龄差异^[14], 这可能不足以造成明显的金属丰度差异. 此外, 我们还利用红团簇巨星作为“标准烛光”得到了 NGC 6791 的绝对距离模数, 并且与其他研究者基于等龄线拟合方法得到的结果符合得很好. 由于红团簇巨星的近红外绝对 K_s 星等与金属丰度及年龄相关性很微弱, 我们给出的距离模数对星团的年龄及金属丰度不敏感, 并且由于是用近红外 K_s 波段的测光数据, 因此受尘埃消光值的不确定性影响也很小.

致谢 此研究使用了美国斯隆数字巡天数据以及 2MASS 点源星表数据. 感谢审稿人提出的宝贵建议.

参 考 文 献

- [1] Friel E D. *ARA&A*, 1995, 33: 381
- [2] Chen L, Hou J L, Wang J J. *AJ*, 2003, 125: 1397
- [3] Cannon R D. *MNRAS*, 1970, 150: 111
- [4] King I R, Bedin L R, Piotto G, et al. *AJ*, 2005, 130: 626
- [5] Platais I, Cudworth K M, Kozhurina-Platais V, et al. *ApJ*, 2011, 733: L1
- [6] Carraro G, Villanova S, Demarque P, et al. *ApJ*, 2006, 643: 1151
- [7] Origlia L, Valenti E, Rich R M, et al. *ApJ*, 2006, 646: 499
- [8] Gratton R, Bragaglia A, Carretta E, et al. *ApJ*, 2006, 642: 462
- [9] Boesgaard A M, Jensen E E C, Deliyannis C P. *AJ*, 2009, 137: 4949
- [10] Chaboyer B, Green E M, Liebert J. *AJ*, 1999, 117: 1360
- [11] Bedin L R, Salaris M, Piotto G, et al. *ApJ*, 2005, 624: L45
- [12] Bedin L R, King I R, Anderson J, et al. *ApJ*, 2008, 678: 1279
- [13] Bedin L R, Salaris M, Piotto G, et al. *ApJ*, 2008, 679: L29
- [14] Twarog B A, Carraro G, Anthony-Twarog B J. *ApJ*, 2011, 727: L7
- [15] York D G, Adelman J, Anderson J E Jr, et al. *AJ*, 2000, 120: 1579
- [16] Gunn J E, Siegmund W A, Mannery E J, et al. *AJ*, 2006, 131: 2332
- [17] Aihara H, Allende Prieto C, An D, et al. *ApJS*, 2011, 193: 29
- [18] Yanny B, Rockosi C, Newberg H J, et al. *AJ*, 2009, 137: 4377
- [19] Abazajian K N, Adelman-McCarthy J K, Agueros M A, et al. *ApJS*, 2009, 182: 543
- [20] Lee Y S, Beers T C, Sivarani T, et al. *AJ*, 2008, 136: 2022
- [21] Lee Y S, Beers T C, Sivarani T, et al. *AJ*, 2008, 136: 2050
- [22] Eisenstein D G, Weinberg D H, Agol E, et al. *arXiv:1101.1529*
- [23] Smolinski J P, Lee Y S, Beers T C, et al. *AJ*, 2011, 141: 89
- [24] Skrutskie M F, Cutri R M, Stiening R, et al. *AJ*, 2006, 131: 1163
- [25] 石火明, 赵君亮. *天文学进展*, 1992, 10: 22
- [26] Vasilevskis S. *AJ*, 1962, 67: 699
- [27] Sanders W L. *A&A*, 1971, 14: 226
- [28] Zhao J L, He Y P. *A&A*, 1990, 237: 54
- [29] Girard T M, Grundy W M, Lopez C E, et al. *AJ*, 1989, 98: 227
- [30] Gao X H, Chen L. *RAA*, 2010, 10: 761
- [31] Paczynski B, Stanek K Z. *ApJ*, 1998, 494: L219
- [32] Sarajedini A. *AJ*, 1999, 118: 2321
- [33] Alves D R. *ApJ*, 2000, 539: 732
- [34] Grocholski A J, Sarajedini A. *AJ*, 2002, 123: 1603

- [35] van Helshoecht V, Groenewegen M A T. *A&A*, 2007, 463: 559
[36] Groenewegen M A T. *A&A*, 2008, 488: 935
[37] Dias W S, Alessi B S, Moitinho A, et al. *A&A*, 2002, 389: 871
[38] Dutra C M, Santiago B X, Bica E. *A&A*, 2002, 381: 219
[39] Carney B W, Lee J W, Dodson B. *AJ*, 2005, 129: 656

A Study on the Fundamental Characteristics of Open Cluster NGC 6791 Based on SDSS-DR8 and 2MASS Data

GAO Xin-hua¹ CHEN Li²

(1 *School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164*)

(2 *Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030*)

ABSTRACT SDSS-DR8 (The Eighth Data Release of Sloan Digital Sky Survey) and 2MASS (Two Micro All Sky Survey) data are used to analyze the fundamental parameters of the open cluster NGC 6791. Using the radial velocities of 274 stars in the region of the cluster, we calculate the membership probability for each star with the maximum likelihood method. Based on the stars with high membership probabilities, we derive a mean radial velocity value $V_r = -46.4 \pm 0.2 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ and a mean metallicity value $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.32 \pm 0.11 \text{ dex}$. Using red clump giants in the cluster as a kind of excellent distance indicator, we derive an absolute distance modulus value $(m - M)_0 = 13.02 \pm 0.08 \text{ mag}$ or distance $4.02 \pm 0.15 \text{ kpc}$. We therefore confirm that NGC 6791 is extremely metal-rich, and within the resolution of SDSS spectra, NGC 6791 does not show any evidence of internal spread in metallicity. The radial velocity and metallicity obtained by us are in good agreement with the values reported by other authors based on high-resolution spectra. Our derived absolute distance modulus based on red clump giants is also consistent with the values obtained from main sequence fittings by some authors.

Key words open clusters and associations: individual: NGC 6791, stars: abundances, stars: distances, techniques: radial velocities