

# 银河系铝元素丰度研究\*

马文娟<sup>1†</sup> 李宏杰<sup>2‡</sup> 张波<sup>3</sup>

(1 沧州师范学院物理与信息工程学院 沧州 061001)

(2 河北科技大学理学院 石家庄 050018)

(3 河北师范大学物理科学与信息工程学院 石家庄 050024)

**摘要** 恒星的Al元素丰度可以为探索星团和星系的化学演化提供重要线索. 通过系统分析银河系薄盘、厚盘、核球、银晕以及M4、M5等球状星团中恒星的[Al/Fe]随恒星金属丰度[Fe/H]的变化趋势, 得出银河系薄盘、厚盘和核球恒星的[Al/Fe]随着[Fe/H]的增加而缓慢下降, 而球状星团M4和M5恒星的[Al/Fe]随[Fe/H]增加没有下降趋势, 这暗示Ia超新星对M4和M5恒星元素丰度的贡献比较小. 详细研究了银河系恒星[Al/Fe]与[Mg/Fe]、[Na/Fe]的相关性, 结果表明银河系场星的[Al/Fe]与[Mg/Fe]正相关, 但在球状星团M4和M5恒星中未见此相关性; 银河系盘星及M4和M5等球状星团恒星的[Al/Fe]与[Na/Fe]都存在正相关.

**关键词** 恒星: 银河系, 元素: 铝元素, 恒星: 元素丰度

中图分类号: P144; 文献标识码: A

## 1 引言

自然界中的许多元素都来自于恒星, 宇宙中恒星既有单星, 也有很多由于引力作用聚在一起, 形成双星、聚星甚至星团, 例如球状星团. 通常, 球状星团中的大多数恒星比较年老. 星系是比星团更大的恒星系统, 包含椭圆星系、旋涡星系、棒旋星系和不规则星系等多种形态<sup>[1]</sup>. 银河系是旋涡星系, 从内而外分为核球、银盘和银晕, 银盘又可细分为薄盘和厚盘, 银河系包含了大约两千亿颗恒星<sup>[2-6]</sup>.

恒星中某种元素的多少用“丰度”来表示, 某一元素X的丰度定义为包含 $10^{12}$ 个氢原子的物质中所含元素X原子个数 $\epsilon(X)$ 的对数值, 即 $\lg \epsilon(X) = \lg(N_X/N_H) + 12$ , 式中 $N_X$ 为恒星中元素X的原子个数,  $N_H$ 为恒星中元素H的原子个数. 恒星中元素X、Y的丰度比定义为 $[X/Y] = \lg(N_X/N_Y)_* - \lg(N_X/N_Y)_\odot$ , 式中下标“\*”代表恒星, “ $\odot$ ”代表太阳. 银河系形成早期诞生的恒星的金属丰度(通常用[Fe/H]表示)很低, 称为极贫金属星<sup>[6-7]</sup>, 一般分布在银晕, 而形成时间比较晚的恒星则是金属丰度较高的富金属星, 研究不同恒星的元素丰度可以为探索星团和星系化学演化提供重要线索.

2018-12-26收到原稿, 2019-06-19收到修改稿

\*国家自然科学基金项目(11403007、11673007)资助

<sup>†</sup>mawenjuan123@126.com

<sup>‡</sup>lihongjie\_2004@126.com

铝元素为奇 $Z$  (质子数)元素, 其天体物理来源非常复杂, 研究不同恒星系统中铝元素的增丰情况可以为探索铝元素的天体物理来源提供参考. 随着观测技术的不断进步和发展, 恒星元素丰度的观测数据越来越丰富<sup>[2-13]</sup>, 为系统研究元素天体物理来源提供了观测依据. 天文观测发现某些恒星系统中铝元素和镁元素、钠元素丰度之间有相关性<sup>[14-16]</sup>, 同一星团内的恒星之间铝、镁、钠等轻元素的丰度存在差异, 不同星团之间铝元素丰度的差异可以很大, 即元素丰度存在离散. 本文对银河系不同恒星中铝元素的观测丰度、铝元素与其他元素相对丰度进行系统分析, 研究了银河系中不同恒星铝元素丰度的特点以及铝元素丰度随恒星金属丰度的变化趋势; 分析讨论了银河系恒星 $[Al/Fe]$ 与 $[Mg/Fe]$ 、 $[Na/Fe]$ 的相关性.

## 2 银河系恒星中铝元素丰度随金属丰度的变化趋势

为探求恒星铝元素丰度随恒星金属丰度的变化特点, 我们收集了包括银河系薄盘星、厚盘星、核球恒星、晕星和7个球状星团恒星在内的600余颗恒星观测数据. 恒星中元素丰度的确定会受非局域热动平衡(NLTE)效应的影响, 尤其对贫金属恒星而言, 这种效应比较大<sup>[4-5, 17]</sup>. NLTE效应对不同元素的影响是不一样的, 比如对Na和对Mg、Al的影响不同<sup>[4-5]</sup>, 所以我们对薄盘、厚盘和晕星做了局域热动平衡(LTE)和NLTE丰度之间的对比. 对于星团恒星, 能够做LTE和NLTE丰度对比的观测结果比较少, 且大部分球状星团恒星的元素丰度是基于LTE的, 所以7个球状星团的恒星丰度都采用了LTE丰度, 没有做LTE和NLTE丰度的比较.

所选银河系薄盘、厚盘、核球、晕星、球状星团中样本星的 $[Al/Fe]$ 随恒星金属丰度 $[Fe/H]$ 的变化如图1所示. 其中银河系薄盘星元素丰度的观测数据取自文献[2-5], 共221颗星; 厚盘星元素丰度观测数据取自文献[3-5], 共有126颗星; 晕星中元素丰度取自文献[3-6], 共有76颗星; 核球恒星元素丰度取自文献[7-8], 共有25颗星; 球状星团M4中恒星元素丰度取自文献[9], 共12颗星; 星团M5中恒星元素丰度取自文献[10], 共16颗星; 星团M3中恒星元素丰度取自文献[11], 共21颗星; 星团M22中恒星元素丰度取自文献[12], 共35颗星; 星团NGC 6139中恒星元素丰度取自文献[13], 共45颗星; 星团NGC 4833中恒星元素丰度取自文献[14], 共27颗星; 星团NGC 2808中恒星元素丰度取自文献[14], 共42颗星. 为了方便比较, 图中用实线表示 $[Al/Fe] = 0$ .

由图中观测数据分析得出:

(1)对比图1 (a)和图1 (b), 薄盘恒星的 $[Al/Fe]_{NLTE}$ 明显高于 $[Al/Fe]_{LTE}$ ,  $[Al/Fe]_{NLTE}$ 的离散约为0.8 dex, 比 $[Al/Fe]_{LTE}$ 的离散(约为0.6 dex)稍大. 从图1 (a)和图1 (b)中都可以看到随着 $[Fe/H]$ 增大,  $[Al/Fe]$ 的值缓慢下降, 但恒星HD73087的 $[Al/Fe]$ 极度超丰( $[Fe/H] = -0.11$ ,  $[Al/Fe] = 1.3$ ), 其原因还有待进一步研究. 薄盘星 $[Al/Fe]$ 离散小, 主要是因为随着银河系演化, 各种金属元素不断增丰, 星际介质混合趋于均匀; 由于Ia型超新星对Fe元素的贡献逐渐增大导致薄盘恒星 $[Al/Fe]$ 随 $[Fe/H]$ 的变化趋势逐渐减弱<sup>[18]</sup>.

(2)对比图1 (c)和图1 (d)可以看出, 得到的厚盘星的 $[Al/Fe]_{NLTE}$ 明显高于 $[Al/Fe]_{LTE}$ . 对厚盘星来说, 不论是 $[Al/Fe]_{NLTE}$ 还是 $[Al/Fe]_{LTE}$ , 其平均值都比薄盘星高, 离散也比薄盘星稍大. 当 $[Fe/H]$ 在 $-1.2$ 到 $-0.5$ 之间时,  $[Al/Fe]_{LTE}$ 随 $[Fe/H]$ 的变化趋势比较平坦,

但当 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 在 $-0.5$ 到 $0.2$ 之间时,  $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{LTE}}$ 略有下降,  $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{NLTE}}$ 则无明显变化. 恒星HIP74033的 $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{LTE}}$ 呈现超丰的反常现象( $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.85$ ,  $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{LTE}} = 1.6$ ). 厚盘星的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 在金属丰度比较高时略有下降, 也有Ia型超新星对银河系盘星Fe元素的贡献逐渐增多的因素; 而变化趋势整体较平缓说明在Fe元素增丰的同时Al元素的增丰也有较大提高, 使得Al元素和Fe元素的增丰比例比较接近.

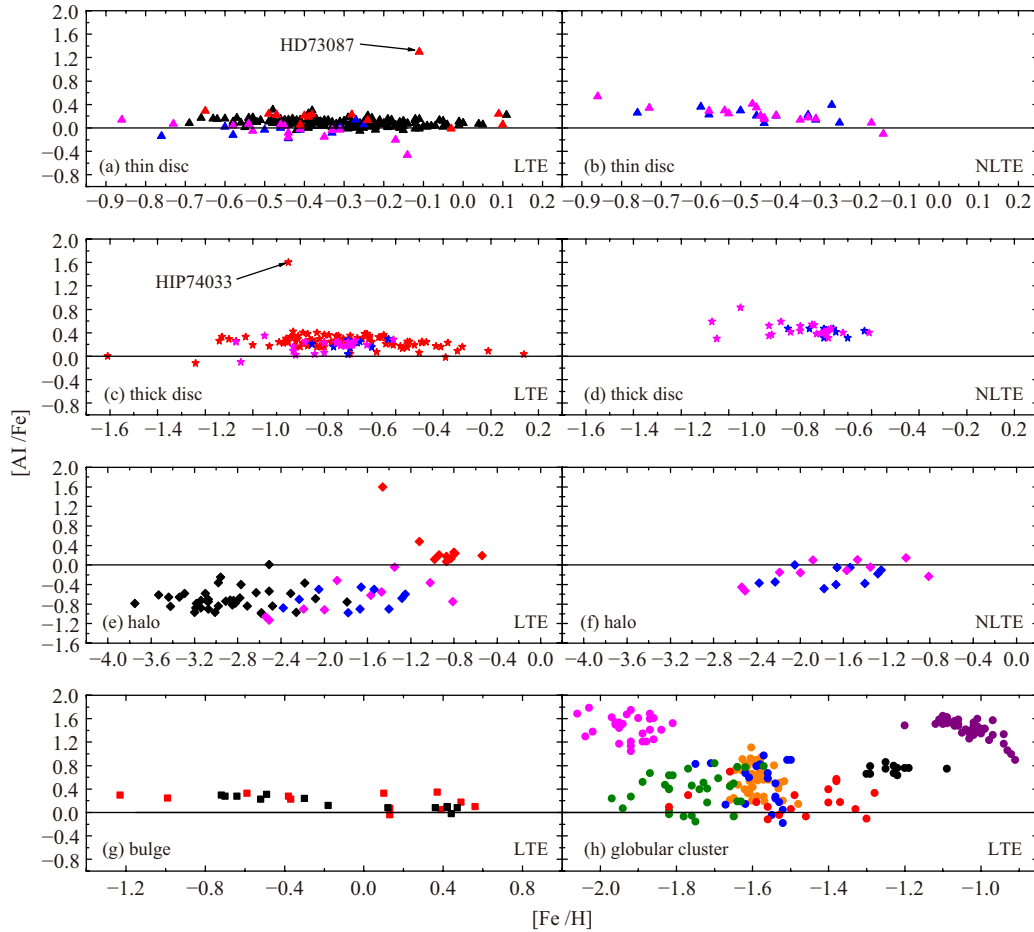


图1 银河系薄盘、厚盘、核球、晕星、球状星团恒星中 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 随着 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的变化. 其中银河系薄盘星数据取自文献[2-5], 分别用黑色、红色、蓝色、洋红色三角表示. 厚盘星数据取自文献[3-5], 分别用红色、蓝色、洋红色五星表示. 晕星数据取自文献[3-6], 分别用红色、蓝色、洋红色、黑色菱形表示. 核球恒星数据取自文献[7-8], 分别用红色和黑色方块表示. 球状星团中M4、M5、M3、M22、NGC 6139数据取自文献[9-13], 分别用黑色、红色、蓝色、橄榄绿、橙色圆点表示; NGC 4833、NGC 2808数据取自文献[14], 分别用洋红色、紫色圆点表示.

Fig. 1  $[\text{Al}/\text{Fe}]$  of Galactic thin disc, thick disc, bulge, halo, and the globular cluster stars as a function of  $[\text{Fe}/\text{H}]$ . Thin disk stars from Refs.[2-5] are shown as black, red, blue, and magenta triangles, respectively. Thick disk stars from Refs.[3-5] are shown as red, blue, and magenta stars, respectively. Halo stars from Refs.[3-6] are shown as red, blue, magenta, and black diamonds, respectively. Bulge stars from Refs.[7-8] are shown as red and black squares, respectively. Globular cluster M4, M5, M3, M22, and NGC 6139 stars from Refs.[9-13] are shown as black, red, blue, olive, and orange filled circles, respectively. NGC 4833, and NGC 2808 stars from Ref.[14] are shown as magenta and purple filled circles, respectively.

(3) 晕星的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 分布范围比较大, 从 $-3.8$ 一直到 $-0.5$ . 从图1 (e)和图1 (f)可以看出 $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{LTE}}$ 和 $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{NLTE}}$ 随着 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的增大稍有上升趋势. 文献[6]给出的28颗极贫金属晕星的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$  (图1 (e)中黑色菱形)整体比盘星和核球恒星的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 低很多, 平均值约为 $-0.8$ , 但是离散较大, 约为 $0.6$  dex, 这说明在金属丰度很低的情况下, 大质量星对星际介质贡献的Fe元素相对于Al元素的比例比金属丰度较高情况下的比例要高.

(4) 从图1 (g)可以看出, 核球样本恒星的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 在 $-1.3$ 到 $0.7$ 之间变化, 其中 $[\text{Fe}/\text{H}] > -0.3$ 时 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 略有下降,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ 在 $0.2$ 到 $0.6$ 之间时 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 有一些离散, 约为 $0.4$  dex.

(5) 从图1 (h)可以看出, 球状星团M4恒星的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 从 $-1.3$ 到 $-1.1$ , 差别只有 $0.2$  dex, 平均值为 $-1.23$ . 球状星团M5恒星的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 从 $-1.82$ 到 $-1.28$ , 有 $0.54$  dex的差别, 平均值为 $-1.49$ . M4中恒星的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 从 $0.63$ 到 $0.84$ , 离散很小, 仅为 $0.2$  dex. M5中恒星的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 从 $-0.12$ 到 $0.7$ , 离散较大, 有 $0.8$  dex. 对于铝元素丰度来说, M4的离散明显小于M5的离散, 尽管M4和M5的金属丰度比较接近, 但M5的演化特点显然与M4不同, M4离散小, 是典型球状星团的演化特征. 另外, M4和M5两个球状星团恒星与厚盘星相比其 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 比厚盘星稍大. M3和NGC 6139有相近的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 和 $[\text{Fe}/\text{H}]$ ,  $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 离散较大, 随 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 无明显变化趋势. M22与M3和NGC 6139有相近的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 的丰度比, 但M22的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 比这两个星团低, 而且 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的离散比M3和NGC 6139大. NGC 4833的金属丰度比NGC 2808低, 但它们的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 比较接近, 而且NGC 2808的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 有随 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的增大下降的趋势, 说明该球状星团的丰度可能有Ia型超新星的贡献, 这在其他6个球状星团中未见.

### 3 银河系恒星 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 和 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 、 $[\text{Na}/\text{Fe}]$ 的相关性分析

#### 3.1 银河系恒星 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 和 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 的相关性

为研究银河系各恒星系统中 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 和 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 的相关性, 图2给出了银河系中薄盘、厚盘、银晕、核球以及球状星团中恒星的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 随 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 的变化, 图中各符号含义与图1相同. 由图2可见, LTE和NLTE对 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 的影响不太大, 远小于对 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 的影响. 薄盘恒星 $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{NLTE}}$ 随着 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 的增大从 $-0.1$ 缓慢上升到 $0.54$ , 厚盘恒星的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 也随 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 的增大而增大. 对于晕星, 文献[3] (图中红色菱形)和文献[6] (图中黑色菱形)中样本星虽然 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 不同, 文献[3]中 $-1.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.5$ , 文献[6]中 $-3.8 < [\text{Fe}/\text{H}] < -2.4$ , 但它们 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 的变化趋势相同, 都是随 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 增大呈现明显上升趋势, 即样本星中 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 与 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 正相关. 核球恒星中 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 随 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 增大呈现明显上升趋势(从 $0.02$ 到 $0.47$ ), 这表明薄盘、厚盘、银晕、核球中恒星的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 和 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 呈正相关性. Carretta等<sup>[15]</sup>与Pancino等<sup>[14]</sup>对球状星团的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 与 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 的相关性进行了研究, 他们认为 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 与 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 反相关出现在贫金属球状星团和大质量的富金属球状星团之中. 从图中可见, NGC 4833 ( $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2.0$ )和NGC 2808 ( $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -1.1$ )的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 与 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 反相关, 其他星团的 $[\text{Al}/\text{Fe}]$ 与 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 未见明显相关性, 这与Carretta等<sup>[15]</sup>、Pancino等<sup>[14]</sup>的研究结论一致.

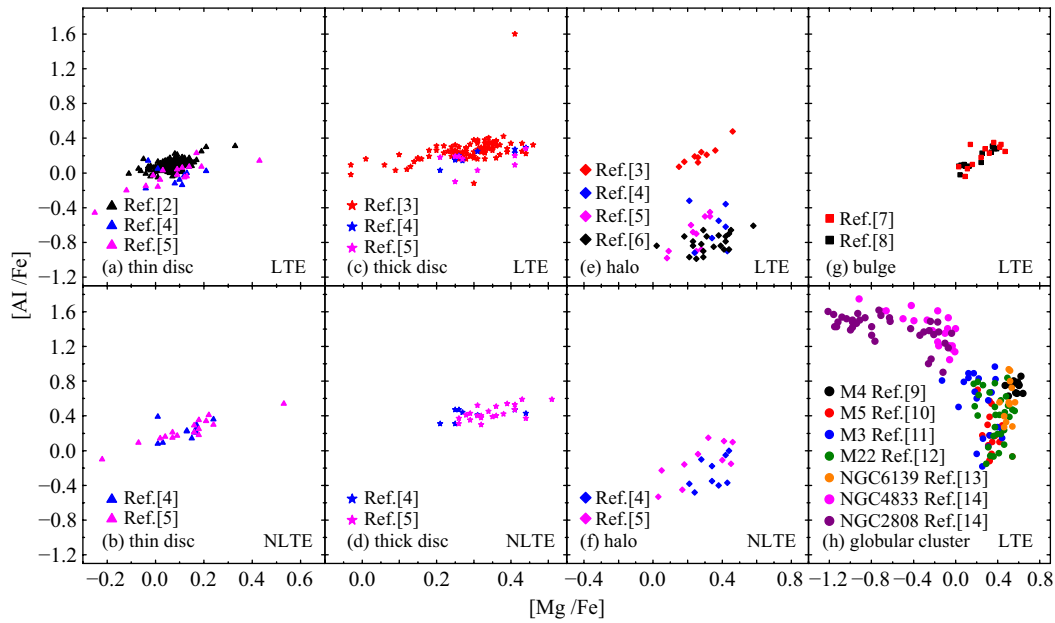


图2 银河系薄盘、厚盘、核球、晕星、球状星团恒星中[Al/Fe]随着[Mg/Fe]的变化

Fig. 2 [Al/Fe] of Galactic thin disc, thick disc, bulge, halo, and the globular cluster stars as a function of [Mg/Fe]

### 3.2 银河系恒星[Al/Fe]和[Na/Fe]的相关性

图3给出了银河系中薄盘、厚盘、核球、银晕以及球状星团中恒星的[Al/Fe]随[Na/Fe]的变化情况, 图中各符号含义与图1相同, 除了图3 (h)中NGC 4833 (丰度取自文献[16], 用洋红色圆圈表示)和NGC 2808 (丰度取自文献[15], 用紫色圆圈表示). 由图分析, 薄盘星和厚盘星的[Al/Fe]随[Na/Fe]的增大呈现上升趋势, 即[Al/Fe]和[Na/Fe]有正相关性, 但核球恒星中[Al/Fe]与[Na/Fe]未见明显相关性. 对薄盘星和厚盘星, NLTE和LTE两种情况的[Al/Fe]随[Na/Fe]的变化趋势一样. 晕星情况较为复杂, 对极贫金属晕星( $-3.8 < [\text{Fe}/\text{H}] < -2.4$ ),  $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{LTE}}$ 与 $[\text{Na}/\text{Fe}]_{\text{LTE}}$ 未见明显相关性, 而金属丰度较高的晕星( $-1.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.5$ ), 其 $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{LTE}}$ 与 $[\text{Na}/\text{Fe}]_{\text{LTE}}$ 表现出明显正相关,  $[\text{Al}/\text{Fe}]_{\text{NLTE}}$ 与 $[\text{Na}/\text{Fe}]_{\text{NLTE}}$ 始终表现出明显正相关. 除了M4恒星的[Al/Fe]随[Na/Fe]的变化比较缓慢以外, 其他球状星团的[Al/Fe]与[Na/Fe]都有明显正相关性.

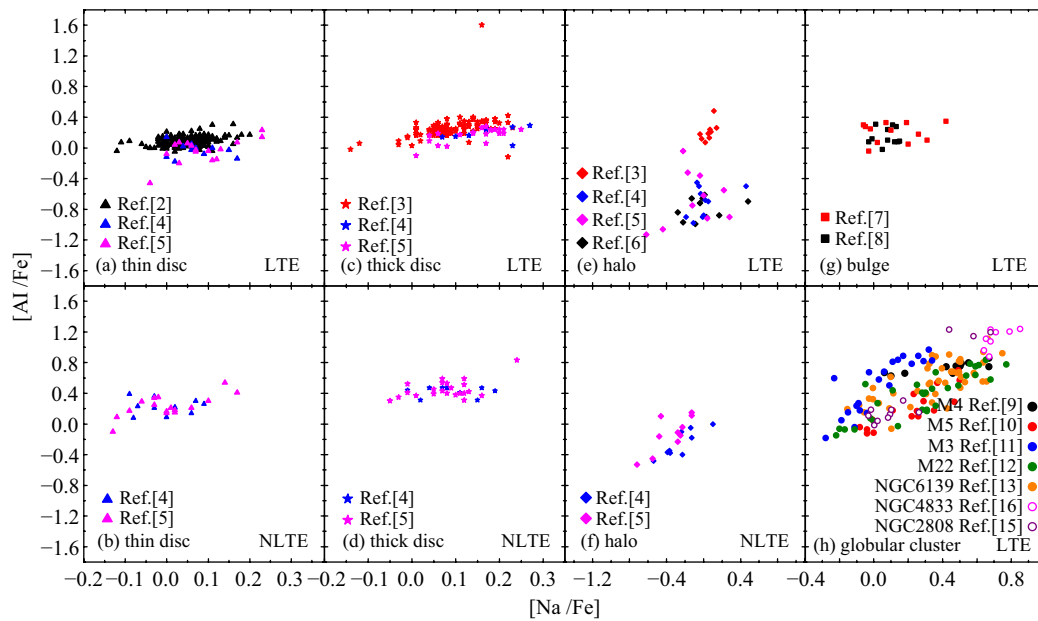


图 3 银河系薄盘、厚盘、核球、晕星、球状星团恒星中  $[Al/Fe]$  随着  $[Na/Fe]$  的变化

Fig. 3  $[Al/Fe]$  of Galactic thin disc, thick disc, bulge, halo, and the globular cluster stars as a function of  $[Na/Fe]$

## 4 结论

研究各种恒星系统中 Al 元素丰度的增丰特点可为探索恒星、星团和星系化学演化提供重要线索. 基于银河系不同恒星 Al 元素的观测丰度分析, 本文研究了银河系中不同恒星  $[Al/Fe]$  随恒星金属丰度的变化, 并对  $[Al/Fe]$  与  $[Mg/Fe]$  和  $[Na/Fe]$  的相关性做了探讨.

(1) 对于银河系薄盘、厚盘和核球恒星,  $[Al/Fe]$  随  $[Fe/H]$  变化的趋势相似, 表现为  $[Al/Fe]$  随  $[Fe/H]$  的增加而缓慢下降, 在  $[Fe/H]$  等于零时,  $[Al/Fe]$  约为零. 但与场星不同, 球状星团 M4 和 M5 都具有局域性演化特征,  $[Al/Fe]$  不随  $[Fe/H]$  变化呈现缓慢下降趋势, 这暗示 Ia 超新星对 M4 和 M5 元素增丰的贡献可能比较小.

(2) 薄盘、厚盘、核球以及银晕恒星的  $[Al/Fe]$  和  $[Mg/Fe]$  都呈现正相关性. 而球状星团 NGC 4833 和 NGC 2808 的  $[Al/Fe]$  与  $[Mg/Fe]$  反相关, 其他星团未见明显相关性.

(3) 薄盘星和厚盘星的  $[Al/Fe]$  和  $[Na/Fe]$  有正相关性. 核球恒星中  $[Al/Fe]$  与  $[Na/Fe]$  未见明显的相关性. 对于晕星,  $-3.8 < [Fe/H] < -2.4$  的极贫金属晕星中  $[Al/Fe]$  与  $[Na/Fe]$  未见明显相关性, 而  $-1.5 < [Fe/H] < -0.5$  的较高金属丰度晕星中  $[Al/Fe]$  和  $[Na/Fe]$  有明显正相关性. 除了 M4 恒星的  $[Al/Fe]$  随  $[Na/Fe]$  的变化比较缓慢以外, 其他球状星团的  $[Al/Fe]$  与  $[Na/Fe]$  都有明显正相关性.

(4) 对薄盘星和厚盘星,  $[Al/Fe]_{NLTE}$  明显高于  $[Al/Fe]_{LTE}$ , 但没有明显改变  $[Al/Fe]$  随  $[Fe/H]$ 、 $[Mg/Fe]$  和  $[Na/Fe]$  的变化趋势. 极贫金属晕星的  $[Al/Fe]_{LTE}$  与  $[Na/Fe]_{LTE}$  未见明显相关性, 而金属丰度较高的晕星的  $[Al/Fe]_{LTE}$  与  $[Na/Fe]_{LTE}$  表现出明显正相关,  $[Al/Fe]_{NLTE}$  与  $[Na/Fe]_{NLTE}$  始终表现出明显正相关.

## 参考文献

- [1] 向守平. 天体物理概论. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008: 195-212
- [2] Reddy B E, Tomkin J, Lambert D L, et al. MNRAS, 2003, 340: 304
- [3] Reddy B E, Lambert D L, Prieto C A. MNRAS, 2006, 367: 1329
- [4] Gehren T, Liang Y C, Shi J R, et al. A&A, 2004, 413: 1045
- [5] Gehren T, Shi J R, Zhang H W, et al. A&A, 2006, 451: 1065
- [6] Lai D K, Bolte M, Johnson J A, et al. ApJ, 2008, 681: 1524
- [7] Bensby T, Adén D, Meléndez J, et al. A&A, 2011, 533: A134
- [8] Bensby T, Feltzing S, Johnson J A, et al. A&A, 2010, 512: A41
- [9] Yong D, Lambert D L, Paulson D B, et al. ApJ, 2008, 673: 854
- [10] Lai D K, Smith G H, Bolte M, et al. AJ, 2011, 141: 62
- [11] Sneden C, Kraft R P, Guhathakurta P, et al. AJ, 2004, 127: 2162
- [12] Marino A F, Sneden C, Kraft R P, et al. A&A, 2011, 532: A8
- [13] Bragaglia A, Carretta E, Sollima A, et al. A&A, 2015, 583: A69
- [14] Pancino E, Romano D, Tang B, et al. A&A, 2017, 601: A112
- [15] Carretta E, Bragaglia A, Gratton R, et al. A&A, 2009, 505: 139
- [16] Carretta E, Bragaglia A, Gratton R G, et al. A&A, 2014, 564: A60
- [17] Nordlander T, Lind K. A&A, 2017, 607: A75
- [18] Maeda K, Röpke F K, Fink M, et al. ApJ, 2010, 712: 624

## Study on the Aluminum Abundance of Stars in the Milky Way

MA Wen-juan<sup>1</sup> LI Hong-jie<sup>2</sup> ZHANG Bo<sup>3</sup>

(1 Department of Physics and Information Engineering, Cangzhou Normal University, Cangzhou 061001)

(2 School of Science, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018)

(3 Department of Physics Science and Information Engineering, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024)

**ABSTRACT** Al abundances of the stars can provide important clues for exploring the chemical evolution of the globular clusters and the galaxies. In this paper, we mainly study the trends of  $[Al/Fe]$  with the stellar metallicity in stars of the thin disk, thick disk, bulge, halo of the Galaxy, and the Galactic globular clusters, such as M4 and M5. Furthermore, we investigate the correlations of  $[Al/Fe]$  with  $[Mg/Fe]$  and  $[Na/Fe]$ . For the stars in the thin disk, thick disk, and bulge of the Galaxy, their  $[Al/Fe]$  slowly decrease with the increasing  $[Fe/H]$ . However, this decreased trend does not appear in stars of M4 and M5, which implies that the contributions from Type Ia supernovae to the elemental abundances of the stars in M4 and M5 are less than those to the field stars. There are positive correlations between  $[Al/Fe]$  and  $[Mg/Fe]$  of the field stars. However, this positive correlation between  $[Al/Fe]$  and  $[Mg/Fe]$  disappears in M4 and M5 stars. Variations of  $[Al/Fe]$  have correlations with  $[Na/Fe]$  in the Galactic disk stars and stars of globular clusters, such as M4 and M5.

**Key words** stars: the Milky Way, element: aluminum, stars: elemental abundance