

同位素丰度比 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 与恒星 演化及其核过程

毛 瑞 青 曾 琴

(中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

(中国科学院射电天文联合开放研究实验室 南京 210008)

摘 要

近 20 年中在银河系及河外星系中同位素丰度比 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的毫米波及光学观测取得了一些结果, 同位素丰度比 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 在研究恒星演化及其核过程方面具有重要的意义。银河系中的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 随银心距 D_{GC} 呈梯度分布, 附近河外星系中明显较高的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 表明银河系中心处于一个较为宁静的物理相, 恒星中不同的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 值则反映了各自不同的演化阶段。进一步高精度、大样本的观测将有助于人们更加细致地了解恒星演化及其核过程。

关 键 词 同位素丰度比 — 恒星演化 — 核合成

分 类 号 : P152

1 引 言

1.1 研究 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的重要性

现代核天体物理告诉我们, 所有比氢元素重的元素均是通过核过程合成的。用标准的大爆炸模型可以很好地解释一直到 ^7Li 的元素丰度, 但更重的元素的产生则被认为是与恒星中的核合成密切相关的, 也即依赖于恒星的演化过程。因此为了弄清楚恒星内部的物理过程必须精确测定各元素及其同位素的丰度。对于元素丰度的研究实际上包括了几乎每一个理论与观测天文学分支^[1]。观测到的星际元素丰度是对过去核产物事件的记录, 不同的元素联系着不同类型的事件。比方说, 氢与氦的同位素被认为是与大爆炸密切相关的重要示踪物, 重元素的某些同位素被认为是贫金属性恒星产生并排出的, 是银河系早期核演化的产物, 而另一些同位素则主要形成于富金属性恒星中, 它们提供了最近的核产物与质量损失的信息。CNO 循环组中的元素主要受中等质量恒星的影响, 而稍重的元素则被认为是由更大质量的恒星产生的。因此通过测量各种核品种的丰度, 可以了解有关银河系中核合成及恒星演化的细节。

星际介质是形形色色的, 既有从年轻恒星中释放出的增丰了的物质, 又有被结合进一新

生星中的物质, 可以通过毫米波、红外及光学等观测手段去研究恒星演化各阶段的元素丰度情况, 而同位素丰度比的测定则简捷地回避了因元素不同特性所引起的一些特别的难题, 例如不同的离子势会影响复合线的强度、粒子的加速及化学反应性质, 化学结合力的强度会决定分子的形成等^[1]。因 ^{12}C 与 ^{13}C 分别是主要核过程与次要核过程的产物, 因此 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 被广泛运用于此类研究中。

1.2 ^{12}C 与 ^{13}C 的核合成

^{12}C 是恒星演化到氦燃烧阶段时 3α 反应的产物^[2], 即 $^4\text{He}+^4\text{He}+^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}+\gamma$ (实际上由 $^4\text{He}+^4\text{He} \rightleftharpoons ^8\text{Be}$ 、 $^8\text{Be}+^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}+\gamma$ 两部分组成)。恒星在主序阶段时的一定温度范围内, 大部分的 ^{12}C 能捕获一个质子通过 $^{12}\text{C}(\text{p},\gamma)^{13}\text{N}(\beta^+,\nu)^{13}\text{C}$ 而增加 ^{13}C 丰度, 联系到恒星的演化, 可以认为恒星核心的氦燃烧是大多数 ^{12}C 的源泉, ^{12}C 及 ^{16}O 代表那些最后演化为超新星的大质量星核心氦燃烧的产物; ^{13}C 则主要是红巨星包层中由 ^{12}C 通过不完全氢燃烧产生的, 即 ^{13}C 的产生需要较早的 ^{12}C 的形成。但是当氢燃烧壳层与红巨星 He 燃烧壳层形成的 ^{12}C 混合时 ^{13}C 也可以在第一代恒星中形成^[3]。具体一点说, 在恒星稍深一点的层次温度足够高时 ($^{12}\text{C}(\text{p},\gamma)^{13}\text{N}(\beta^+,\nu)$ 的反应率随温度以 T^{19} 变化), 由于 $^{12}\text{C}(\text{p},\gamma)^{13}\text{N}(\beta^+,\nu)^{13}\text{C}$ 过程比 $^{13}\text{C}(\text{p},\gamma)^{14}\text{N}$ 更优先, 而会在耗尽 ^{13}C 转换为 ^{14}N 之前产生大量的 ^{13}C 。但是如果温度更高, 则反应会非常快, 以致几乎所有的 C 都变成 N。此前 ^{13}C 的丰度会在恒星还在主序时出现一峰值, 该峰值甚至可以出现在恒星的主要能源还是 pp 链的阶段, 在此峰值以外, 物质保持其原始组成, 而在峰值以内, 物质迅速达到 CN 平衡, 即 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} \rightarrow 3.4$ ^[4]。我们知道当一个恒星演化到巨星分支时, 表面对流区向内贯穿很深会将内部核反应的产物带出到表面, 也即所谓“挖掘”(dredge up)^[5]。下面我们从一些不同类型的观测资料入手分析 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 在研究恒星演化及核合成中的作用。

2 银河系中的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$

银河系中元素的空间及时间的分布依赖于恒星中的核合成, 银河系化学演化的一个关键问题是决定主要核过程与次要核过程的量, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的研究便是最有效的工具之一。在银河系演化过程中当大质量星、红巨星、新星及超新星向星际介质喷发出 C 时, 次要核过程的贡献增加, 因此, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 应随时间增加而减小^[6]。近 20 年的大量观测表明银河系中的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的确在空间和时间上都呈一定的梯度分布^[6~12]。

通常的测定丰度比的方法主要有: (1) 含 C 元素的分子的发射线的毫米波射电观测; (2) 含 C 自由基的红外、光学及紫外的吸收线的观测。这两种方法都根据一个基本的前提, 即: 如果这些分子都是碰撞激发的, 其光学深度不大且相似, 则可用发射线强度比表示同位素丰度比, 当然还需考虑化学分馏、自屏蔽、跃迁的饱和等许多改正^[13]。常用的毫米波观测分子对有: $\text{H}_2\text{CO}/\text{H}_2^{13}\text{CO}$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}/^{13}\text{C}^{18}\text{O}$ 、 $\text{HCO}^+/\text{H}^{13}\text{CO}^+$ 、 $\text{HC}_3\text{N}/\text{H}^{13}\text{CC}_2\text{N}$ 、 $\text{NH}_2\text{CHO}/\text{NH}_2^{13}\text{CHO}$ 、 $\text{OCS}/\text{O}^{13}\text{CS}$ 等, 而在假定某一同位素比已知的情況下还可用 $\text{C}^{34}\text{S}/^{13}\text{CS}$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}/^{13}\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{C}^{18}\text{O}/\text{H}_2^{13}\text{CO}$ 、 $\text{HC}^{18}\text{O}^+/\text{H}^{13}\text{CO}^+$ 、 $\text{HC}^{15}\text{N}/\text{H}^{13}\text{CN}$ 等分子对进行双重同位素的研究^[1]。

至于光学则选择了 CH^+ 离子分子的吸收线, 因 CH^+ 需较高的温度才能形成, 因此化学分馏的影响不重要, 且因光学线较宽, 不需作饱和改正, 因此能提供较精确的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ^[1]。

Langer 和 Panzias^[6,7] 用 $^{13}\text{C}^{18}\text{O}$ 以及 Henkel^[8~10]、Gardner^[11] 和 Gusten 等人^[12] 用

H_2CO 分子观测都发现 $^{12}C/^{13}C$ 随与银心的距离 D_{GC} 呈一定的梯度分布。Wilson^[14] 则总结他们的结果得出如下的空间分布:

$$(^{12}C/^{13}C) = (7.5 \pm 1.9)D_{GC} + (7.6 \pm 12.9) \quad (4kpc \leq D_{GC} \leq 12kpc) \quad (1)$$

表 1 同位素丰度比 $^{12}C/^{13}C$ 在银河系中不同区域的值^[14]

源	银心	4kpc 分子环	本地星际介质	太阳系	碳星
$^{12}C/^{13}C$	≈ 20	53 ± 4	77 ± 7	89	> 30

对图 1 中太阳附近源的 $^{12}C/^{13}C$ 值进行平均得到本地星际介质的 $^{12}C/^{13}C = 77 \pm 7$, 它之所以不同于地球值(约为 89) 归因于大尺度的“化学”演化。在过去的大约 5×10^9 年里, 中等质量恒星的“次要”喷出物 ^{13}C 增丰占优势使得 $^{12}C/^{13}C$ 变小, 在银河系的平面上空间大尺度范围内 $^{12}C/^{13}C$ 随金属元素的增加而变小, 而观测发现太阳的 $^{12}C/^{13}C$ 与金属元素丰度均超过相应的本地星际介质中的值, 又怎样解释呢? Cunha 和 Lanbeit^[15] 对 Orion 星协附近的恒星进行了 ^{16}O 的观测研究表明越年轻的星其 O 的增丰的程度越大, 而大多数恒星的 O 的丰度一般都低于太阳中的丰度, 似乎表明太阳相当明显地是在一个 OB 星协诞生的最后剧烈的阶段形成的, 那么太阳的较高的 $^{12}C/^{13}C$ 值, 可能还归功于太阳形成区附近的大质量恒星形成所引起的 ^{12}C 增丰^[16]。

Wouterloot 等人^[17] 最近的一项观测研究表明, 在 $D_{GC} = 16 \sim 17kpc$ 的银河系外缘有 $^{12}C/^{13}C = 201 \pm 15$, 即在上述 $D_{GC} \leq 10kpc$ 范围中观测到的 $^{12}C/^{13}C$ 随 D_{GC} 的增大而增大的梯度趋势可以延续到外部, 并且似乎表现得更为陡。

注意到 IRC+10216 这样的碳星中详尽的观测研究表明其 $^{12}C/^{13}C$ 值(约为 40) 明显小于本地星际介质中的值, 所以这种碳星对本地星际介质的平均 ($^{12}C/^{13}C$) 值的影响很小^[1]。

Wilson^[14] 还总结了一些观测结果给出银河系中 $^{14}N/^{15}N$ 、 $^{16}O/^{18}O$ 随银心距 D_{GC} 的梯度分布。而 Chin 等人^[18] 则通过 $^{12}C^{32}S$ 与 $^{13}C^{34}S$ 的观测研究并借助于已知的 $^{12}C/^{13}C$ 得到了银河系中 $^{32}S/^{34}S$ 的分布情况。

Stahl 等人^[19] 用光学吸收线 $CH^+(4232\text{\AA})$ 、 $^{13}CH^+(3957\text{\AA})$ 观测 ζ Oph 得到 $^{12}C/^{13}C = 77 \pm 3$, 与上述射电观测的结果符合得很好, 可见上述结果是可信的。

3 河外星系中 $^{12}C/^{13}C$ 的研究

关于银河系中 $^{12}C/^{13}C$ 的情况已有大量的观测资料及许多模型解释, 而河外源的观测相

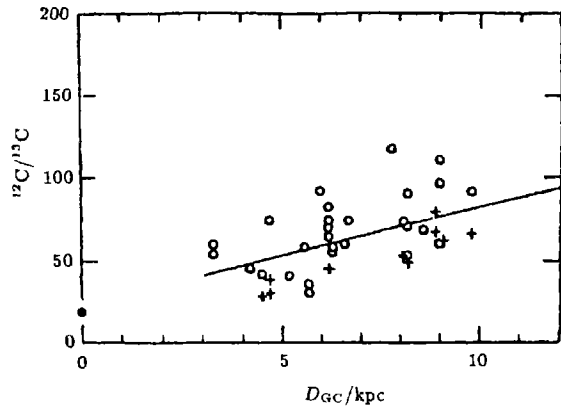


图 1 $^{12}C/^{13}C$ - D_{GC} 图^[14]

其中 \circ 表示 CO 数据, $+$ 表示 H_2CO 数据, \bullet 表示银心

对较少, 自 Encrenaz 等人 [20] 1979 年首次对五个星系进行了 ^{13}CO 的观测之后, C 和 O 的微量同位素已在一些河外源中被观测研究, 不过大多是近几年的结果, 表 2 是 Henkel 等人的一些结果 (其中 d 是以 Mpc 为单位的源的距离, L_{IR} 是以太阳光度 L_{\odot} 为单位的红外光度, $I(^{12}\text{CO})/I(^{13}\text{CO})$ 表示 ^{12}CO 与 ^{13}CO 的谱线强度比) [16]。

表 2 太阳系、银心及河外星系中 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的比较 [16]

	d/Mpc	L_{IR}/L_{\odot}	$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$	$I(^{12}\text{CO})/I(^{13}\text{CO})$
太阳系	0	1	89	—
银心	0.0085	1×10^9	20	10
NGC253	4	3×10^{10}	≈ 40	16.6 ± 2.5
M82	3	3×10^{10}		15.9 ± 2.5
NGC4945	4	2×10^{10}	≈ 50	14.4 ± 2.2

可以看出附近星系中的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 明显大于银河系中心的值, 那么这种偏离从何而来呢? Sage 等人 [21] 认为可能是 NGC253、NGC4945 中 ^{13}CO 比 ^{12}CO 相对较少的缘故, 那么其物理机制又如何呢? 单从观测的角度看, 表 2 中最明显的不同似乎是红外光度 L_{IR} (由 IRAS 点源星表计算得出), 河外星系核的值远大于银心 500pc 范围内的值。值得注意这几个河外星系均有星暴核, 因此大质量星系的形成率可能比银河系中心区域 ($D_{\text{GC}} < 500\text{pc}$) 要大, 这与银河系附近低质量星较多、超新星遗迹较少的观测事实相符 [22]。进一步的研究表明, NGC 253 尤其是 NGC4945 可能已处于爆后阶段, 而爆后回落气体未经充分演化, 因此其 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 丰度比较高, 这也许是观测到其核区的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 丰度比较高的主要原因 [16]。

比较银河系与河外星系的这些观测结果, 各种迹象表明银河系中心似乎已经很长时间处于宁静状态。观测的银心 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 值甚至比内盘中的值还低, 这与气体从盘向内收缩以及星暴核合成引起 ^{12}C 增丰等事实均不符。另外, 如果有星暴, 则较高的大质量星形成率会使 $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 减小, 而银河系中心的 $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 却很高 (> 600), 这更进一步说明银心正处在一个相对宁静的状态。其它同位素丰度比如 $^{16}\text{O}/^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}/^{17}\text{O}$ 的研究也都支持这一结论。但由于我们对银心区域恒星分布的详细情况仍不清楚, 因此很难确定其确切的宁静相。

当然因受观测技术等限制, 用于同位素丰度比观测的河外星系样本还太少, 更详尽的研究需要更多灵敏度的数据。

4 巨星分支的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$

对恒星的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的研究大多集中在 HR 图上巨星分支或渐近巨星分支前的阶段。Snedden [23] 研究了正经历“第一次挖掘”的恒星中的 CNO 丰度, 发现低质量恒星在其主序阶段或沿巨星分支演化时较低的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 需要标准的“第一次挖掘”理论以外的附加混合事件来解释。

恒星的“第一次挖掘”阶段发生在从主序通过亚巨星分支演化到渐近巨星分支时期 [5], 在恒星膨胀的同时, 其表面对流区域向内穿透, 最终接触到经历了 pp 链、CN 甚至 ON 循环的氢燃烧反应的内部区域, 通过内部与包层的这种混合, 表面的 CNO 组成被改变了, ^4He 虽增丰但无法观测, 而表面的 ^{12}C 渐渐被消耗并在 CN 循环中产生 ^{13}C 和 ^{14}N , 如果对流包层能穿透

到更深的内部较热的区域,则甚至在表面可出现 ON 循环; ^{16}O 减少而 ^{14}N 增多,相对较丰富的 ^{13}C 使得巨星中 ^{13}CO 、 ^{13}CN 和 ^{13}CH 较易观测, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 已在 $0.4 \geq [\text{Fe}/\text{H}] \geq -2.7$ ($[\text{Fe}/\text{H}]$ 表示金属性的强弱) 的巨星中确定,图 2 展示了所有主要的 G-K 型巨星的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 结果^[23]。图中所表现出的明显较低的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, 很可能是“第一次挖掘”后内外混合的结果。

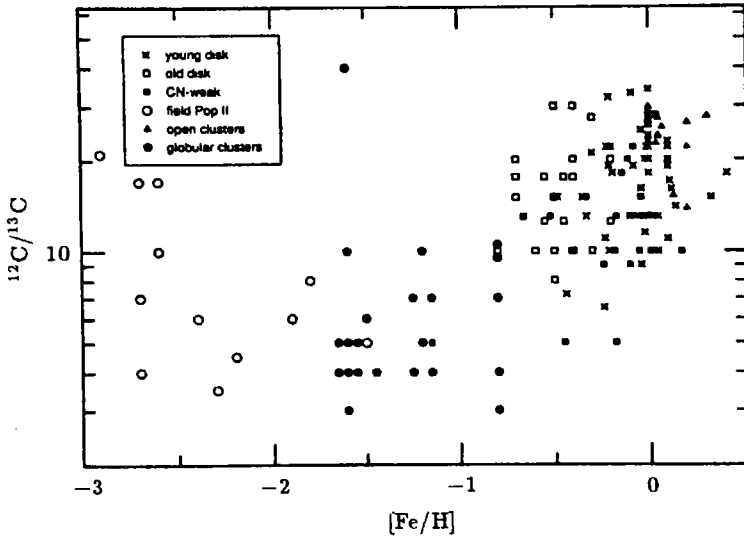


图 2 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 与巨星金属性的关系图^[23]

Gilroy^[24] 对 20 多个疏散星团的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 进行测定,发现 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 与巨星质量间有一定的关系且与 Dearborn 等人^[4] 所作的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 随巨星质量减小而增大且与其金属性无明显关系的理论预言有些冲突。Snedden 等人^[23] 在更细致的研究中发现, $M \geq 2.2M_{\odot}$ 时 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 26 \pm 3$, 不再与质量有关,这与标准的“第一次挖掘”理论一致,但当 $M < 2.2M_{\odot}$ 时, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 随质量减小而急剧下降。Lambert 和 Reis^[25] 1981 年就曾提出过这种猜测,但直到 1986 年 Snedden^[26] 才第一次定量地说明了这一现象,这说明以前关于小质量星的“第一次挖掘”理论需修改,尽管从观测到的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 充分说明了贫金属巨星中的内部混合,但要让理论与观测符合得很好似乎还需一些额外的混合事件发生,有人曾提出“子午圈环流”^[27],但实际上这个时期的额外混合的源是无法确定的。Snedden 等人用假想的混合进行数据计算得到了较低的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ^[26]。

对图 2 中不同组的数据平均后发现似乎有这样的现象,较老的盘族恒星中的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比年轻的盘族恒星中的值要小,而年老的盘族恒星中的 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 及质量均小于年轻的盘族恒星中的相应值。

对球状星团 M13 的研究表明其中恒星的 C 损耗、N 增丰比在年轻盘族恒星及老年盘族恒星中的都大,Smith 等人用先进的高分辨率 CO 谱研究球状星团发现 M4、NGC6752 中大量巨星测定的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 非常低 ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 4 \pm 1$),接近平衡值,说明这些星已经历了更长的演化时间^[28]。

Lambert 和 Reis^[25] 提出低质量恒星在其漫长的主序阶段,其云中的环流使包层中的大部分穿透到其内部区域,这个区域的温度足以使 ^{12}C 变成 ^{13}C ,而又不太高以致使其变成 ^{14}N ,

从而使得观测到的低质量恒星中的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 较低。Gilroy 等人^[29]发现 M67 这个较老的疏散星团中的恒星的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 与其在 HR 图上的位置有一定关系。很明显, 在短暂的氦闪之前的阶段或氦闪期间存在一种附加的混合事件, 使 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 变小。

表 3 M67 中不同巨星的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$

源及绝对目视星等 M_v	$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$
2 个 $M_v \approx +3$ 的亚巨星	≥ 20 、 ≥ 40
4 个 $2.7 \geq M_v \geq 0.8$ 的上升巨星	22.5 ± 1
2 个巨星支尖端 $M_v = 0.2$ 的恒星	14.5 ± 1
6 个 $M_v > 1.0$ 的氦燃烧“团”星	12.5 ± 1

还有一些工作是分析巨星光度与 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 间关系的。如 Vigroux 等人 1976 年发现 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 与光度有如图 3 的关系^[30]。1990 年 Smith^[28]在两个球状星团 M4、NGC6752 中也发现沿巨星分支 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 随光度增加有下降的趋势, 但他们的取样只包含了巨星分支的上半支, 而缺乏更低光度的星资料。因为这些星中的 CO 谱线很弱, 另外这种单一因素的分析是不可靠的, 可能存在系统误差。Cottrell 等人^[31]对两个有效温度、金属有效特性等均基本相同而仅仅光度差一个星等的两个较老的盘族巨星 HD111028 ($B-V = 0.99$, $M_v = 2.3$) 和 HD130952 ($B-V = 0.93$, $M_v = 1.2$) 的研究表明 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 随光度的增加而明显增加, 这些矛盾的结论需要用进一步的大样本的观测去分析。

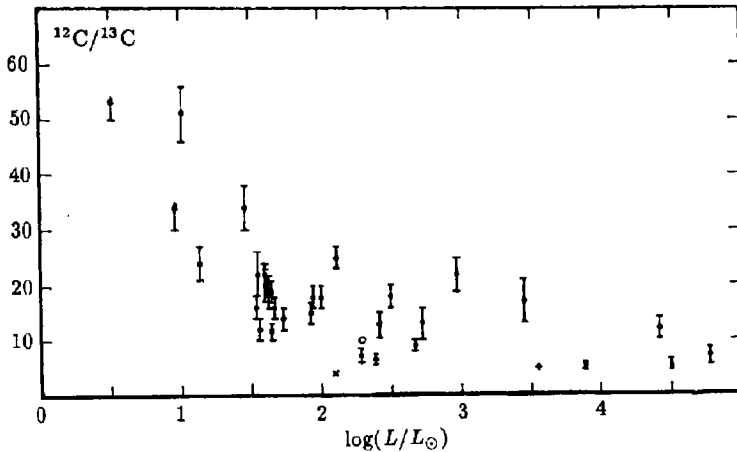


图 3 巨星 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 与恒星光度的关系图^[30]

其它一些研究^[32]表明亮的 AGB 星中对流包层温度达 $4 \times 10^7 \text{K}$ 。当 H 燃烧时包层也可自燃, 结果 $^{12}\text{C} \rightarrow ^{13}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}$ 且很快达到平衡 ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 约为 3.4)。当忽略包层的自燃时, 其氢燃烧可以产生与大质量星中相当的 ^{12}C , 但考虑了包层燃烧后喷出的 ^{12}C 会随混合深度的增加而很快减少, 不过包层燃烧似乎仅在 AGB 星的核心质量足够大时才会发生。至于大质量恒星及其后代 WR 星通常被认为是裸核的, 使我们可以观测到核合成的产物, 这些产物不象红巨星和超巨星中的那样在包层中被冲淡, 而是直接暴露在恒星表面。大质量恒星通过星风及超新星抛射等对星系化学演化中重元素的丰度增加起重要作用, 其演化的初始阶段表面的

丰度是标准的原始 ISM 值 (约为 76)。随着包层的移去, 原来在对流核心的元素出现在恒星的表面, 因 CN 循环迅速达到平衡使 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} \rightarrow 3.4$ 。

5 结 束 语

以上我们通过对银河系 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 随时间空间的分布、河外源与银河系的 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的比较以及巨星分支 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的研究, 对恒星演化各阶段 C 的核合成及 CNO 循环中的一些核过程有了一个大致了解。当然恒星演化过程中的核合成是错综复杂的, 仅凭 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 不可能全面了解其核过程, 这需要我们了解其它元素如 N、O 等元素同位素比的变化情况及它们与 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的关系。另外我们还应清楚地看到我们目前所作的分析大多基于一定假设, 需要更多的观测资料证实, 如几乎所有关于本地 ISM 元素丰度的研究都用目前太阳的元素丰度比作为初始值, 而实际上最近 Wielen^[33] 等人发现太阳诞生时的银心距比目前太阳的银心距 (8.5kpc) 小 (1.9 ± 0.9)kpc, 因此似乎应该用太阳诞生时银心距处的 ISM 元素丰度与太阳系的相应值进行比较。数据分析中还存在问题, 如射电资料虽然一般都很漂亮, 但通常含 ^{12}C 的分子的发射线都是典型的强饱和线, 比如从我们利用紫金山天文台 13.7m 射电望远镜对若干恒星形成区进行的 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 和 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 的观测可以明显看出 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 跃迁为强饱和的^[34], 加之化学分馏等的影响都使我们对数据的解释变得较困难, 因此我们要力图找到一些巧妙的办法去回避这些困难。光学的结果一般信噪比都较低, 其中的误差也不容忽视。另外, 河外观测样本的缺乏也直接影响到分析结果的准确性, 这些都需要进一步改善。当然随着观测技术日新月异的发展, 我们渴望得到更精确、更可信、更大样本的数据, 从而能更加准确细致地了解恒星演化及其核过程。

参 考 文 献

- 1 Wannier P G. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1980, 18: 399
- 2 Kippenhahn R, Weigert A. In: Kippenhahn R et al eds., *Stellar Structure and Evolution*, Heideberg :Springer-Verlag, 1990: 165
- 3 Audouze J, Lequeux J et al. In: Audouze J ed. *CNO Isotopes in Astrophysics*, Dordrecht: Reidel, 1977: 155
- 4 Dearborn D S P, Eggleton P P, Schramm D N. *Ap. J.*, 1976, 203: 455
- 5 Kippenhahn R, Weigert A. In: Kippenhahn R et al eds., *Stellar Structure and Evolution*, Heideberg: Springer-Verlag, 1990: 313
- 6 Langer W D, Penzias A A. *Ap. J.*, 1990, 357: 477
- 7 Langer W D, Penzias A A. *Ap. J.*, 1993, 408: 539
- 8 Henkel C, Walmsley C M, Wilson T L. *Ap. J.*, 1980, 82: 41
- 9 Henkel C, Wilson T L, Wamsley C M et al. *Astron. Astrophys.*, 1983, 127: 388
- 10 Henkel C, Gusten R, Gardner F F. *Astron. Astrophys.* 1985, 143: 148
- 11 Gardner F F, Whiteoak J B. *M.N.R.A.S.*, 1979, 188: 331
- 12 Gusten R, Henkel C, Batrla W. *Astron. Astrophys.*, 1985, 149: 195
- 13 Crane P, Lambert D L, Palazzi E. *Ap. J.*, 1990, 363: 192
- 14 Wilson T L. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1994, 32: 191
- 15 Cunha K, Lambert D L. *Ap. J.*, 1992, 399: 586
- 16 Henkel C, Whiteoak J B, Mauersberger R. *Astron. Astrophys.*, 1993, 274: 730
- 17 Wouterloot J G A, Brand J. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1996, 119: 439

- 18 Chin Y N, Henkel C. *Astron. Astrophys.*, 1996, 305: 960
19 Stahl O, Wilson T L, Henkel C *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1989, 221: 321
20 Encrenaz P J, Stark A A, Combes F *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1979, 78: L1
21 Sage L J, Henkel C, Mauersberger R. *Astron. Astrophys.*, 1991, 249: 31
22 Winnewesser G, 邢 骏. *天文学进展*, 1983, 1: 151
23 Sneden C. In: Michaud G, Tutukov A V eds. *IAU symp. No. 145, Evolution of stars: The Photospheric Abundance Connection*, Zlatni Pjasaci, Bulgaria, 1990, Dordrecht: Kluwer, 1991: 235
24 Gilroy K K. *Ap. J.*, 1989, 347: 835
25 Lambert D L, Reis L M. *Ap. J.*, 1981, 248: 228
26 Sneden C, Pilachowski C A, Vandenberg D A. *Ap. J.*, 1986, 311: 826
27 Sweigart A V, Mengel J G. *Ap. J.*, 1979, 229: 624
28 Smith V V, Lambert D L. *Ap. J.*, 1990, 361: 69
29 Gilroy K K, Brown J A. *Ap. J.*, 1990, 371: 578
30 Vigroux L, Audouze J, Lequeux J. *Astron. Astrophys.*, 1976, 52: 1
31 Cottrell P S, Sneden C. *Astron. Astrophys.*, 1985, 161: 314
32 Audouze J *et al.* In: Hanck B *et al.* eds. *Nucleosynthesis and Chemical Evolution*, 1986. 298
33 Wielen R, Fuchs B, Dettbarn C. *Astron. Astrophys.*, 1996, 314: 438
34 毛瑞青, 曾 琴等. *紫金山天文台台刊*, 1997, 16: 69

On Relations of $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ Isotope Ratio and Stellar Evolution and Nucleosynthesis

Mao Ruiqing Zeng Qin

(Purple Mountain Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

(Joint Radio Astronomy Laboratory, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

A brief review is given for $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ isotope ratio in the Galaxy and extragalaxy based on the mm-wave and optical observational results, and the relations of $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ isotope ratio and stellar evolution and nucleosynthesis are also introduced. There is a gradient in the $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratio with D_{GC} in the Galaxy. From the comparison of Galactic and extragalactic $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratio it is indicated that the nuclear region of the Galaxy has been quiescent for a long time. The difference of the $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratio in stars is a reflection of their different evolution phase. More accurate observations are needed for us to study the stellar evolution and its nuclear process in more detail.

Key words isotope ratio—stellar evolution—nucleosynthesis