

# 由几个有关分子云的问题 看银河CO巡视的现状

向 德 琳

(中国科学院紫金山天文台)

## 提 要

本文评论了约有十年历史的银河CO巡视在分子云寿命,分子云和银河结构,分子云的物理性质,分子云在银河的分布等几个方面所取得的进展和结果。特别突出地介绍了各方面目前尚存在的分歧意见。最后,从CO巡视本身,结合这几方面存在的问题,论述了银河的CO巡视工作不是已接近尾声,而是有待深入地发展以趋完备。

对于加深对银河系大尺度结构和银河分子云的性质的了解,一氧化碳CO是贡献最大的一种分子。它在星际空间的存在,于1970年第一次被贝尔实验室R. W. Wilson, K. B. Jefferts和A. A. Penzias在9个银河源内证实<sup>[1]</sup>。比起在空间中发现的其它分子来,更为重要的是它与分子氢H<sub>2</sub>的共存。因为CO各转动能级的发射是由于它和H<sub>2</sub>碰撞激发所致,故CO谱线观测就开辟了取得作为分子云的主要组成但在射电波段又观测不到的分子氢的信息的新途径。另外,由于在恒星形成区域尘埃不透明度很高,可见光波段不能提供信息;由于CO的不透明度高,它的发射具有高强度和普遍存在的特点;虽然CO的空间丰度只有H<sub>2</sub>的1/100,但它在低温状况中有强的辐射,因而CO成为探测低温区域的有力工具;由于CO的主要转动跃迁落在短毫米波段和亚毫米波段(如 $J=1-0$ ,  $\lambda=2.6\text{mm}$ ;  $J=2-1$ ,  $\lambda=1.3\text{mm}$ ;  $J=3-2$ ,  $\lambda=0.87\text{mm}$ ),用较小口径天线可进行较高分辨本领的观测等等,决定了CO分子在星际介质物理学中的重要地位,它被天文学家们所重视,并作为开展巡视工作的工具。首先是银河巡视,继而发展到河外星系的观测。近年来大量的CO观测揭示出因其谱线强而宽以及饱和问题引起严重的特征区速度合并效应等,发现它对于研究分子云的性质不如其同位素<sup>13</sup>CO理想。后者具有的特点恰恰补充了<sup>12</sup>CO的不足(例如谱线较弱和较窄,饱和缓慢,较少受速度合并效应影响),是研究云的尺度和无规速度分布较好的工具。它能更直接地反映分子丰度分布、分子云质量和数目(Liszt, Xiang和Burton 1981)<sup>[2]</sup>。<sup>13</sup>CO谱线由于不透明度小,可补救<sup>12</sup>CO不透明度大、不易作定量解释的缺点。即使是完备的<sup>12</sup>CO巡视,也援引<sup>13</sup>CO作对比观测(Solomon, Scoville和Sanders, 1979)<sup>[3]</sup>。

以下分别介绍与CO巡视结果有关的几个主要的银河星际分子云问题,继而讨论CO巡视本身的现况和前景。

## 分子云的寿命

在十年来分子云的观测研究中,分子云的寿命问题吸引了一批天文工作者的注意。因为作为一类新认识的、包含银河星际物质的大部分质量的天体,其形成和演化过程中的时标问题是一个基本问题。它的大部分观测证据由 CO 巡视的导出结果提供,和银河旋涡结构的存在与否有着内在的联系。它和银河旋臂问题一样,是目前国际上在这个领域中正在进行着热烈争论和急待解决的大问题之一。争论中的问题基本分为两类:

一类是认为分子云有长于  $10^8$  年,甚至超过  $10^9$  年的寿命。其理论是在星际介质的三成分模型的启发下发展的。在这种模型中,星际物质的大部分质量以分子的形式存在并包含在分子云中。而云际介质极为稀薄,只包含很少的星际物质。由于其温度极高,不能响应旋涡扰动,即使在旋涡引力势极小点也不能致冷和压缩。同时由于几乎全部的星际物质都存在于云中,所以大质量云的形成过程就只能是云-云碰撞、小云集聚而生长成大云的过程。主要的理论工作有 Kavn (1979)<sup>[4]</sup> 以及 Scoville 和 Hersh(1979)<sup>[5]</sup> 等。最近 Kwan 和 Valdes (1983)<sup>[6]</sup> 通过数字模拟发现,当云碰到旋涡引力势时,由云-云碰撞聚结过程所要求的分子云的生长率是无旋涡扰动时的 3—6 倍。如果大质量云的时间跨度比碰到相继的旋涡引力势的时间间隔短,它们的大部分将出现在引力势极小点处。总的来说,分子云的平均寿命长于  $10^8$  年。支持长寿命的观测事实是:1) 在银河臂间区观测到大量的分子云,CO 的银河巡视未能揭示出旋臂结构 (Scoville 和 Hersh 1979; Solomon 和 Sanders 1980)<sup>[5,7]</sup>。这意味着分子云会在穿过几个旋臂的过程中幸存下来,这提供了它们有长寿命的证据。Liszt 和 Burton (1981)<sup>[8]</sup> 的模拟计算进一步表明,即使存在臂和臂间对比度,也不能作为云的短寿命的证据。2) 观测到在银河分子环中 90% 的气体是  $H_2$  而不是 HI, 所以气体必须在分子状态渡过 90% 的时间,这就意味着它们的寿命长于  $3 \times 10^8$  年 (Solomon 和 Sanders 1980)<sup>[7]</sup>。3) Townes(1977)<sup>[9]</sup> 测得的同位素丰度比  $^{12}C/^{13}C$  在不同分子云中的差异,表明了银河系内核合成的速率和类型,并指出了质量为  $10^5 \sim 10^6 M_{\odot}$  的分子云在约  $10^9$  年或更长的时间里保存它的完整性。

争论中的另一类意见基于星际介质的两成分模型。要点是,在旋涡星系中约占整个星际物质一半质量的云际介质碰到旋涡引力势时,在其极小点会受到压缩、致冷。大尺度不稳定状态的后果,会导致分子云的形成。关于这种模型的理论工作有 Bash, Green 和 Peter(1977)<sup>[10]</sup>; Bash (1979)<sup>[11]</sup>。所得云的平均寿命  $\tau \leq 4 \times 10^7$  年。另外, Blitz 和 Shu (1980)<sup>[12]</sup> 认为无规动能均布的倾向导致个别云的极大的弥散度,由小云随机碰撞、吸积从而生长成大质量云复合体就不可能了。他们建立了云团-云团碰撞模型。在这个模型中大部分星际物质是以 HI 的形式存在,分子云只占星际物质的 30% 左右。它是由银河激波后的原子气体形成的,所给出的碰撞时标  $\tau < 1 \times 10^7$  年。支持短寿命的观测证据有:1) 疏散星团和 OB 次星协在  $3 \times 10^7$  年内就要毁灭它们的前身分子云 (Bash, Green 和 Peter 1977; Kutner, Tucker, Chin 和 Thaddeus 1977<sup>[10,13]</sup>)。2) 在太阳邻近 2kpc 范围内的分子云复合体都显示出最近有年青的恒星在其中形成的证据:有时复合体是与可以看出是年青星的可见恒星成协的,有时恒星

仍处在在复合体内部形成的过程之中, 这是由它们的红外辐射探测到的。因此, 似乎复合体在其本身成形后, 不久就可能开始产生大质量恒星。如果复合体的年令大于  $10^8$  年, 那么由于其中云的湍动和粘滞效应, 多半会使得它们变成球形并产生稠密的核。但实际上复合体是不规则块结状 (irregular clumpy) 的没有中心凝聚物的天体。从银河的标准来看, 复合体是十分年青的, 它的年令不会比太阳和地球年令的  $1/100$  长。即寿命小于  $10^8$  年 (Blitz 1981, 1982)<sup>[14, 15]</sup>。3) 由 M31 的观测证实了 CO 集结在旋臂上 (Linke 1982)<sup>[16]</sup>。Stark (1979)<sup>[17]</sup> 由 M31 的 CO 观测得到了分子云、旋臂和中性氢之间有关系, 他说来自 M31 NW 短轴上的两个突出臂的 CO 发射比臂间发射要强 3 倍以上。和 Cohen, Cong, Dame 和 Thaddeus (1980)<sup>[18]</sup> 在银河系整个范围以及 Blitz, Kulkarni 和 Heiles (1981)<sup>[19]</sup>; Blitz, Fich 和 Stark (1982)<sup>[20]</sup> 在银河外部区得到域的情形一样, 可明显看出 CO 大尺度分布类似于中性氢的分布, 显示出旋涡结构。

两类模型都未能用自己的证据被所有的同行所接受。已有的观测证据多是间接的和定性的。Liszt 和 Burton (1981)<sup>[8]</sup> 作过定性分析, Solomon, Sandeas 和 Scoville (1979)<sup>[21]</sup> 以及 Scoville 和 Hersch (1979)<sup>[5]</sup> 曾用分子特性的实测资料导出过云的寿命值, 但他们推求的基础是分子云的平均尺度和平均质量。向, Liszt 和 Burton (1983)<sup>[22]</sup> 用  $^{13}\text{CO}$  银道巡视资料导出的云的质量谱代之以平均质量, 采用了 Kwan (1979)<sup>[4]</sup> 的云-云碰撞、聚结的分子云的生长模型, 给出了星际分子云平均寿命的下限为  $1 \times 10^9$  年, 用以支持长寿命的观点。看来, 在这个问题上分歧观点要取得一致, 还需要观测和理论的深入。

## 分子云和银河结构

分子云复合体和它与银河结构的关系的研究, 都还处在初期阶段, 天文学家们刚开始认识到分子云在银河系内可能对恒星的分布有着重要影响。因为不仅恒星诞生于分子云, 而且后者对其周围的恒星以及星团施以引力和潮汐力, 由分子云复合体施加的潮汐力, 可能就是松散约束的星团的分裂和最终离散的原因。进而, 许多天文学家怀疑银河系内产生的  $\gamma$ -射线是由高能粒子和巨分子云中的物质碰撞生成的。随着人们把注意力日益增多地转向分子云, 他们发现分子云确以不容置疑的方式影响着银河及其结构 (Blitz, 1982)<sup>[14]</sup>。

分子云到底是不是银河旋涡结构的示踪物? 这是至今尚未取得一致看法的问题。

在分子云复合体中形成的亮恒星, 明显地确定了许多河外星系的大尺度旋涡结构, 这就自然地使人们设想在银河系内的分子云也可能揭示出旋臂图样。有几组天文工作者进行了大量的星际分子巡视, 都希望找到确凿的证据来证明这个问题, 但结果仍是不定的。追究其原因, 其一是观测局限于银河第一象限, 就天空复盖来说巡视是不完全的, 严重受到取样不足的影响。其二是在银河系内部区域“描绘”旋臂的困难在于射电观测只能得到星际一氧化碳的速度 (作为它在天空中的方向的函数)。由绕银心旋转的气体的速度, 能给出确定的气体团块的银心距离, 但如何在两个可能的到太阳系的距离之间作出选择还不能解决。对于银河运动学距离往往要借助于假定, 这使得结果带有不确定性。

对于旋涡结构是否存在, 不同的观测者给出了互相矛盾的判断。Scoville, Solomon

和 Sanders (1979)<sup>[23]</sup> 断言说“由不存在可辨认的旋涡形态, 可认为大多数云不能位于有规的旋臂图样之内。”对 CO 旋臂持否定观点的根据是, 即使对较亮的特征区, 臂-臂间对比度很小, 甚至没有。大分子云在空间不是局限在旋臂附近。速度-经度图 (对纬度积分) 对预期的运动学环状结构 (对应银盘俯视图中的旋臂结构) 给出很弱的证据 (Scoville 和 Hersh 1979, Solomon 和 Sanders, 1980)<sup>[5,7]</sup>。

Cohen, Cong, Dame 和 Thaddeus (1980)<sup>[18]</sup> 新的巡视指出, CO 发射确实显示出了“高度有规排列。”他们对 CO 臂持肯定的观点, 认为银河分子气体有向臂集中的形态, 并提供了一个大的臂-臂间对比度。他们宣称 21cm 原子氢谱线揭示的五条经典旋臂, 在 CO 观测中有明显的对应物, 那就是在整个银河范围内延伸的英仙臂、本地臂 (包括林德布拉德本地膨胀环)、人马臂、盾牌臂和 4-kpc 臂。很少臂间气体集中在像在旋臂中发现的那种分子云中<sup>[18]</sup>。Blitz, Kulkarni 和 Heiles (1981); Blitz, Fich 和 Stark (1982)<sup>[19,20]</sup> 的工作指出, 在银河的外部区域分子云确实集结在有规的旋臂之内。Stark (1983)<sup>[24]</sup> 在一次新的银河第一象限巡视中, 取得了在切线速度带附近 320 个分子云的资料。分析结果表明, 较大的云比较小的云有较小的标高, 他认为这可看作小云在旋臂中结合成大云的证据。

还有一种观点认为是速度场而不是密度分布控制着  $l-v$  空间的大尺度结构 (Liszt 和 Burton, 1981)<sup>[8]</sup>。同时, 在整个第一象限, 终端速度强度脊的连续性意味着一个低的臂-臂间对比度 (Liszt, Xiang 和 Burton 1981)<sup>[2]</sup>。这和巨 H II 区很不一样。后者的分布和一个旋涡结构模型相合。H II 区不是大质量云的代表。巨 H II 区可能和大质量云成协, 而许多大质量云显然并不伴随着 H II 区。

通过大质量云的观测研究, 对银河系旋臂结构还没有得到占优势的结论, 而大质量云的分布现在也还不能直接从其它星系的研究中推出。在光学观测的情况下, 如它们出现在臂间区则不够亮, 即使出现在旋臂上, 也因为它们是在与之成协的强 H II 区下面而成为光学不可见。由于 CO 在 2.6mm 的高角分辨率, 相对低的特征速度弥散度, 高丰度及长路径的可及性和可限制在相当窄的高压缩区域的特征, 如果银河系内部区域是由螺旋图样来表征的, 就可以合理地预言, 这将首先通过 CO 来证实。虽 CO 巡视已进行了约十年, 但显示银河系内螺旋结构的公认证据至今尚未取得。不过也没有理由认为这不是由于观测的限制。

## 分子云特性的研究

星际分子云是银河系的主要组成部分, 它的性质直接关系着银河系的起源和演化等基本问题, 是发展银河系起源和演化理论的必需的依据, 对星系演化研究也有重要的意义。分子云的性质由它的物理学、化学及运动学参数来表征, 分个别云的参数和云总体的参数两类。个别云的参数由观测个别云来确定, 而总体参数多半是由银河巡视来取得。毫米波分子谱线天文学近年来的发展, 使得研究星际分子云的物理、化学和运动学参数成为可能。CO 巡视直接和重要的结果之一就是给出分子云的总体参数。这是由高分辨本领的巡视把银河辐射分解成分立云的辐射来导出的。

云区物理条件的典型参数是温度和密度。这些参数可以从观测取得的谱线强度、轮廓和

频率, 近似地用局部热动平衡方法 (Dickman, 1975)<sup>[25]</sup> 或模型方法 (包括大速度梯度模型和微湍模型) 求解 (Goldreich 和 Kwan, 1974; Leung 和 Liszt, 1976)<sup>[26, 27]</sup>, 此方法的总结可见 (唐、张、向, 1983)<sup>[28]</sup>。云的尺度可借 CO 速度-经度图 (参考图 1) 和速度-纬度图进行分子云随机集合的模拟计算 (Burton 和 Gordon, 1976)<sup>[29]</sup> 或直接的测量 (Solomon, Sanders, 1980)<sup>[7]</sup> 来取得。为避免 CO 严重的速度合并效应所造成的云尺度的过估, 继后的 <sup>13</sup>CO 观测改进了这一弊端, 结果较为合理 (Liszt, Xiang 和 Burton, 1981)<sup>[2]</sup>。云的质量可由维里定理或由云的积分强度和附近暗云的目视消光而得。下面列出由 CO 巡视所得分子云和云总体典型的各物理参数:

表 1 分子云和分子云总体的物理学和运动学参数

平均直径 $\langle D \rangle$	25~40~80pc
运动温度 $T_K$	10~16K
平均密度 $n_{H_2}$	300cm <sup>-3</sup>
平均质量 $\langle m \rangle$	2~5 × 10 <sup>3</sup> M <sub>⊙</sub>
云的质量谱 $f_m$	∝ m <sup>-1.73</sup> ; m <sup>-1.5</sup> ; 或 ∝ m <sup>-2</sup> e <sup>(1.46-0.043m<sup>1/2</sup>)</sup>
平均自由程 (λ <sub>c-c</sub> )	≤ 2kpc, (R~5kpc)
空间平均数密度 $\langle n_{H_2} \rangle$	2~5cm <sup>-3</sup> , (R~5kpc)
云-云速度弥散度 $\sigma_v$	3~8kms <sup>-1</sup>
CO 层标高 $\sigma_z$	50~60pc
银心 Z 坐标 $Z_0$	-20pc
质量面密度 $\sigma_{H_2}$	14~20M <sub>⊙</sub> pc <sup>-2</sup>
分子氢和原子氢的质量比 $\sigma_{H_2}/\sigma_{HI}$	6~10 (R~5kpc)
银盘中心区质量 $M_{GC}$	5 × 10 <sup>8</sup> ~10 <sup>9</sup> M <sub>⊙</sub>
银河总 H <sub>2</sub> 质量 $M_t$	1.5~3 × 10 <sup>9</sup> M <sub>⊙</sub> (银心在外)
银河分子云总数 $N$	4000~8000

其中列有两个以上数据的参数系不同作者给出的不同结果 (Stark, 1979<sup>[17]</sup>; Cohen, Tomasevich, Thaddeus, 1979<sup>[30]</sup>; Solomon, Sanders, 1980<sup>[7]</sup>; Liszt, Xiang, Burton, 1981<sup>[2]</sup>; Kutner, Mead, 1981<sup>[31]</sup>; Liszt, Burton, 1981<sup>[8]</sup>; 向, Liszt, Burton, 1983a<sup>[22]</sup>, 1983b<sup>[32]</sup>), 这里不对每个数据一一标明出处。由表可见大多数参数都没有一致结果, 有待改进和进一步观测研究。

## 分子云的银河分布

### 1. 分子云的银河径向分布:

这个问题要分两个方面来叙述。以太阳圈为界, 一是分子云在银河内部区域的径向分布, 一是在银河外部区域的径向分布。前者经过近十年来大量的观测研究, 结论基本趋向一致, 而后者在“银河系的结构、动力学和运动学”学术会议 (1982年5月在加拿大温哥华举行) 上引起了激烈的争论。

#### (1) 分子云在银河内部区域的分布:

北半球第一批银道面 CO 巡视有 Scoville 和 Solomon, 1975 年发表的  $l=0\sim 90^\circ$  的<sup>1</sup>

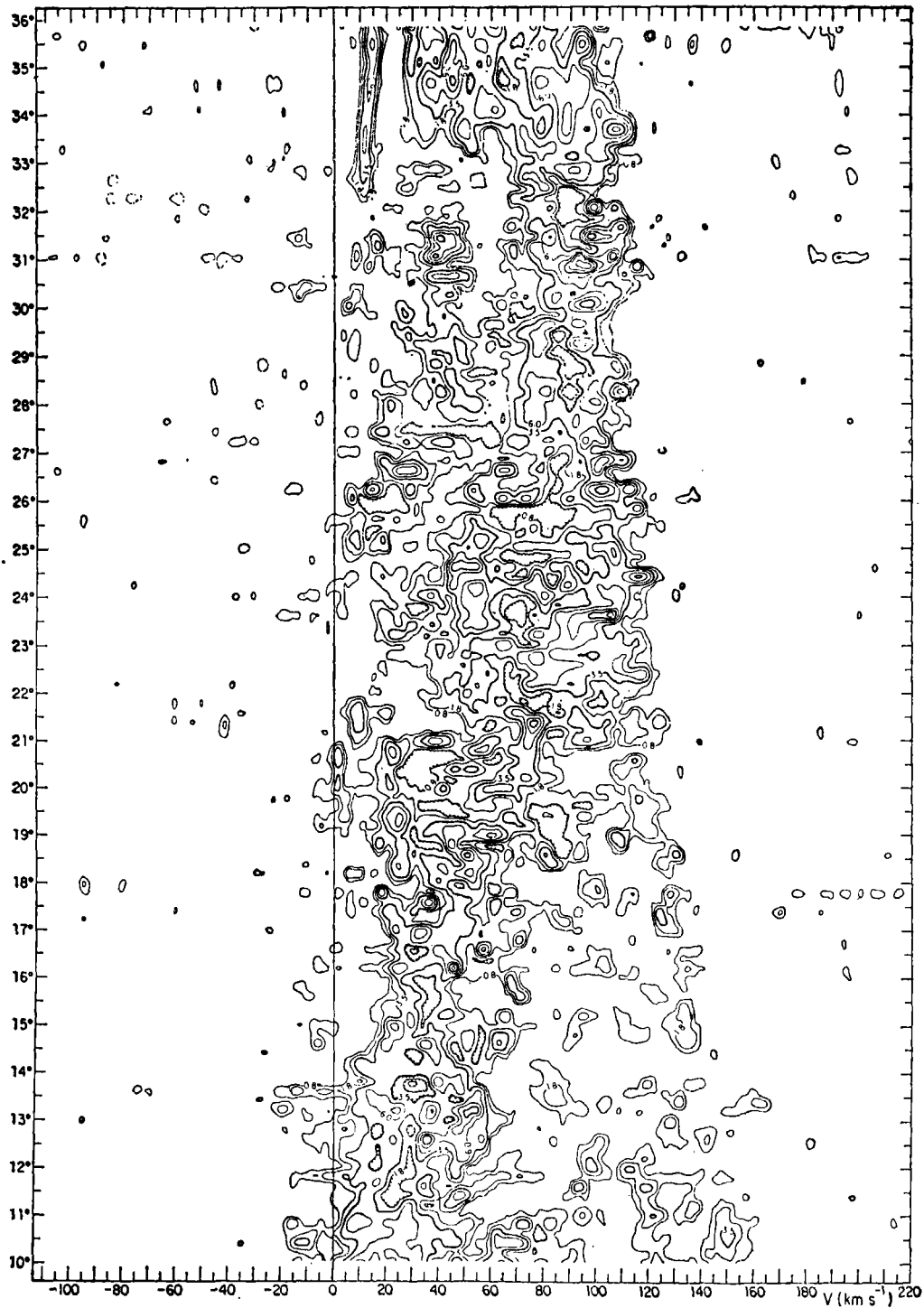


图1  $^{12}\text{CO}$  发时的经度-速度图。资料包括  $b=0, 10^\circ < l < 36^\circ$ , 波束间距  $0.2^\circ$ , 等强度轮廓线以温度为单位, 图中标度  $T^* = 0.8, 1.8, 3.5, 6.0, 9.0, 12.0, \dots \text{K}$  (Gordon and Burton 1976a)<sup>[52]</sup>

间隔的观测<sup>[33]</sup>及Burton, Gordon, Bania 和 Lockman 同年发表的 $l=10^\circ\sim 200^\circ, 5^\circ$  间距的观测<sup>[34]</sup>以及 Gordon 和 Burton 1976 年发表的 $l=10^\circ\sim 36^\circ$  的 $12'$  间距的观测<sup>[35]</sup>等。图 1 给出 CO 的速度-经度分布图, 这是典型的中等分辨率的大尺度分子云的分布图。这批观测揭示了星际介质的大部分以分子形式( $H_2$ )存在, 并确定了银河分子云的径向分布。分子云的最显著的大尺度特征, 是它们集中在银心区域以及位于银心径 $4\sim 8\text{kpc}$  的分子“环区”。峰值在 $6\text{kpc}$  附近, 极小在 $2\sim 4\text{kpc}$ 。这与平坦分布的原子气HI 的分布形成鲜明的对比。图 2 给出由银道面 CO 观测推出的银河分子氢密度的径向分布,  $21\text{cm}$  观测推出的原子氢的密度的径向分布, 它们之和, 银河核子 $n(H)=2n(H_2)+n(HI)$  的体密度分布。因为氢在气体中丰度最高, 总和 $n(H)$ 表示了星际核子完整的形态(Gordon 和 Burton, 1976)<sup>[35]</sup>。

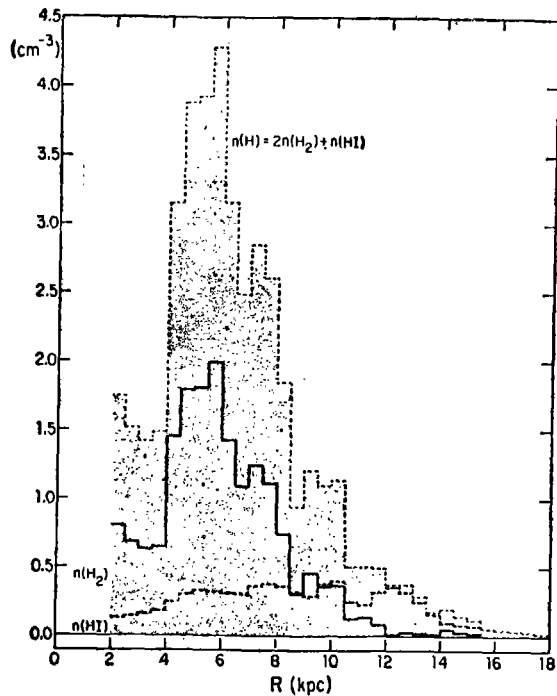


图 2 银道 HI 和  $H_2$ (由  $^{12}\text{CO}$  推出)的体密度的径向分布(Gordon 和 Burton, 1976)<sup>[35]</sup>

从 CO 银道丰度的径向分布得到了由  $R=4\sim 8\text{kpc}$  的环内发出的 CO 积分强度, 占整个银河内部区域总积分强度的 65%, 而对应区域发射的 HI 只占 36%, 这说明 HI 分布更为均匀。

Sanders (1982)<sup>[36]</sup> 进一步指出, 在银心径  $R>6\text{kpc}$  区域, 总银盘气体( $H_2$ 和 HI)密度分布和总银盘质量分布的形式类似, 两者均可用下降指数律表示, 标长  $\sim 4\text{kpc}$ 。对银河切向点带的研究表明, 沿此带 CO 发射有 3:1 到 5:1 的对比度。但对应最强 HI 峰(人马臂)和 H II 区 W51 处( $l=50^\circ$ )的 CO 发射却是最弱峰, 而  $l=40^\circ$  处 CO 峰较强却无 H II 区对应, 这说明 CO 并不与 H II 区成协。

CO 同位素  $^{13}\text{CO}$  的观测 (Solomon, Scoville 和 Sanders, 1979, 在  $l=10^\circ\sim 44^\circ$  的 17 条

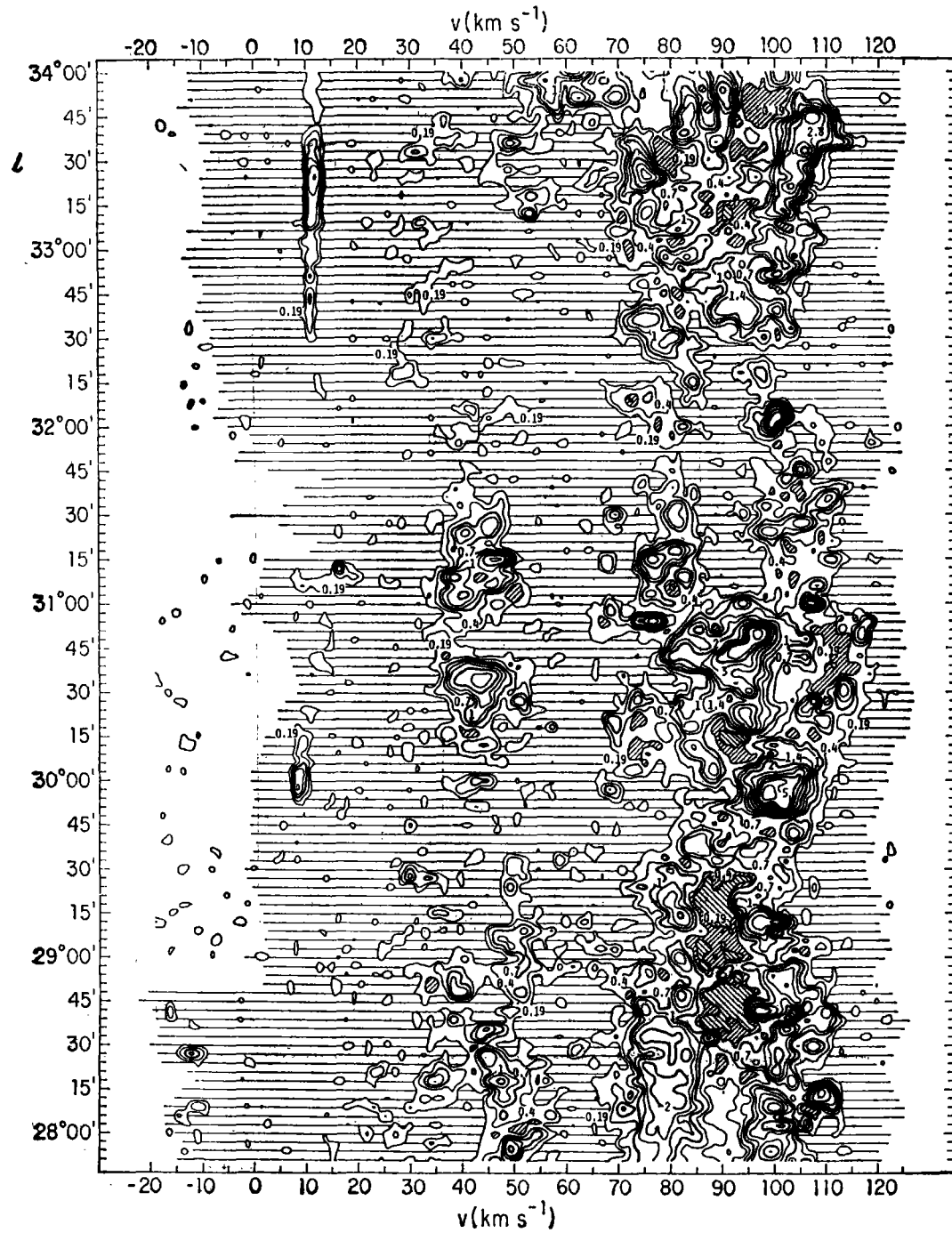


图3  $^{13}\text{CO}$ 发射的  $l$ - $v$  图, 资料包括  $b=028^{\circ}<l<40^{\circ}$ ,  $\Delta l=0^{\circ}.05$  (Liszt, Xiang, Burton, 1981)<sup>[23]</sup>



谱线观测<sup>[3]</sup>; Liszt, Xiang 和 Burton, 1981, 在 $l=28^\circ\sim 40^\circ$ 的244条谱线观测<sup>[2]</sup>; 向, Liszt, Burton, 1983b, 在 $l=20^\circ.5-40^\circ$ 的391条谱线观测<sup>[32]</sup>)也给出了类似的结果。图3是典型的高分辨本领(波束间距 $3'$ )的 $^{13}\text{CO}$   $l-v$ 图。和 $^{12}\text{CO}$ 的 $l-v$ 图比较可见到更清晰的云的形态, 更少的特征区的速度合并现象和更细致的云的结构。图4是由 $^{13}\text{CO}$ 推出的星际核子密度的径向分布。它呈现了和 $^{12}\text{CO}$ 相仿的分布形态。

图5给出了若干银盘组分(一氧化碳CO, 氢复合线H166 $\alpha$ , 巨H II区,  $\gamma$ -射线, 超新星遗迹)的径向分布的比较。结合图2、4的氢的分布可看出CO、H<sub>2</sub>和它们的类似性, 但和HI不同。上述各星族I组分的形态的粗略相似, 不像是偶然的, 它们或许起源于互为相关的机制。当然某些组分的分布被认为是直接相关的, 如超新星遗迹和脉冲星的分布, 超新星遗迹和同步辐射的分布, 以及如CO和 $\gamma$ -射线的分布(虽然是很复杂的)。对于分布特征, 多数人认为CO是压缩的星族I的基本代表。图中CO, H166 $\alpha$ 和巨H II区的资料只包括 $l>0^\circ$ 部分,  $\gamma$ -射线和超新星遗迹的资料包括了 $l<0^\circ$ 的部分以及较宽的纬度范围的观测。标着A的垂直轴表示用任意相对标度的丰度。

南半球银河内部分子径向分布具有和北半球类似的形态。Sanders(1981, 1982b)<sup>[38, 39]</sup>(观测覆盖 $330^\circ<l<356^\circ, b=0$ )指出南北半球3—9kpc的积分发射度在 $\pm 10\%$ 的精度内相等, 说明两半球的分子气体近似相等。但南半球CO径向分布在 $R=6\text{kpc}$ 的峰比北半球的峰强度略小, 宽度较大(5:3)。McCutcheon, Robinson, Whiteoak 和 Manchester(1982)<sup>[40]</sup>的南天巡视(覆盖 $294^\circ\leq l\leq 350^\circ, -0^\circ.075\leq b\leq 0^\circ.075$ , 见图6)是目前范围最广的南天巡视, 它给出南天CO发射度主峰在 $R=6.5\text{kpc}$ , 相对北天的峰向 $R$ 增大方向移动了 $0.7\text{kpc}$ , 和南天OH脉泽源的分布特征相似, 说明这个位移可能反映了气体在两半球径向分布的真实差异。当然, 这与所采用的南北半球的银河旋转曲线有关。

$^{13}\text{CO}$ 发射的南北半球的径向分布酷似, 在 $R=3-9\text{kpc}$ 范围内 $^{12}\text{CO}$ 和 $^{13}\text{CO}$ 的发射度比约为6(Sanders 1982)<sup>[39]</sup>。

#### (2) 分子云在银河外部区域的分布

近年来好几组采用不同天线、不同波束宽度和波束间隔, 选取不同经纬度覆盖, 开展了 $^{12}\text{CO}$ 和 $^{13}\text{CO}$ 巡视, 所得银河内部区域( $R<R_0$ )分子云的分布特征基本一致, 这是银河巡视

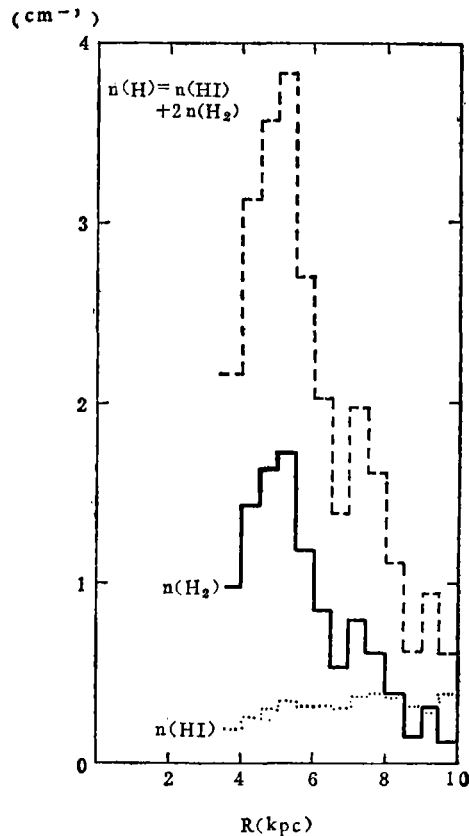


图4 银河总氢密度 $n_{\text{H}}$ 的径向分布(向, Liszt, Burton, 1983b)<sup>[32]</sup>

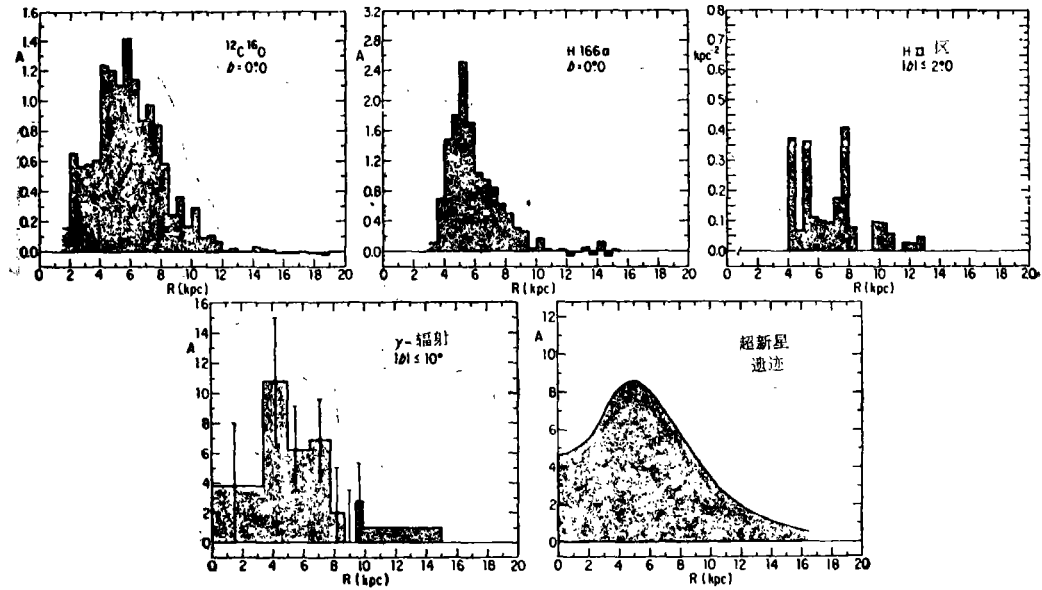


图 5 若干银盘组分的径向分布 (Barton, 1976 a)<sup>[37]</sup>

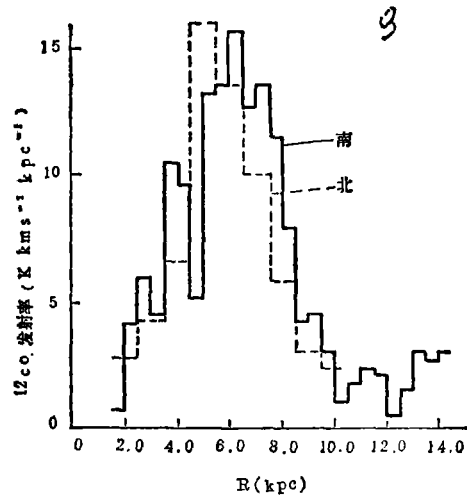


图 6 CO 发射度的银心径向分布 (McCutcheon, Robinson, Whiteoak 1982)<sup>[40]</sup>

所得结果中堪称公认的唯一结果。但在第一象限负速度区 ( $R > R_{\odot}$ ) 的发射问题却是一大争论。在分子环峰以远 ( $R > 6\text{kpc}$ ), CO 辐射随  $R$  增加快速下降是过去一致的印象。二维观测 (Cohen 和 Thaddeus, 1977<sup>[41]</sup>; Solomon, Sanders 和 Scoville, 1979<sup>[21]</sup> 以及 Solomon 和 Sanders, 1980<sup>[9]</sup>) 和第二象限  $l = 110^{\circ} \sim 140^{\circ}$  的巡视 (对应英仙臂段) (Cohen, Cong, Dame 和 Thaddeus, 1980<sup>[18]</sup>) 都得到银河外部区域只有很少量 CO 发射的认识。Blitz, Fich 和 Stark (1982) 在  $R = 18\text{kpc}$  光学 H II 区附近处发现了 CO 辐射, 但这种云在银河外部区域是很少的<sup>[20]</sup>。

近来 Kutner 和 Mead (1981)<sup>[31]</sup> 和 Kutner (1982)<sup>[42]</sup> (以下简称 KM) 进行了空间复盖  $l=55^\circ\sim 95^\circ$ ,  $b=1^\circ.3, 1^\circ.5, 1^\circ.7$ , 波束间隔  $\Delta l=0^\circ.1$ , 速度复盖  $v=-10\sim -135\text{kms}^{-1}$  (对应  $10\sim 27\text{kpc}$  的银河外部区域) 的 CO 观测, 对以往的结论提出了异议。他们报告说在  $l=55^\circ\sim 72^\circ$  之间观测到 222 条 CO 发射线, 并宣称被以往银河巡视遗漏了的银河外部区域, 尤其是  $R>14\text{kpc}$  范围的辐射, 是由于观测所选择的纬度和速度复盖不恰当或是由于错误的取样或波束稀化造成的。他们发现: 1) 此区明显有三处类臂凝聚区: 延伸在第一象限的英仙臂段 ( $R\sim 12\text{kpc}$ ),  $R\sim 11\text{kpc}$  和  $R\sim 15\text{kpc}$  的类臂结构; 2) 银河外部和内部分子环区的分子物质的量可以相互比较。银河外部区域的总质量约为  $3\times 10^8 M_\odot$ , 而银河“环区”约为  $8\times 10^8 M_\odot$ ; 3) 个别云的细致研究表明, 在银河外部区域云是复合体形式, 其线径一般约  $60\sim 80\text{pc}$ 。内有若干 CO 增密区, 但运动温度不如本地复合体的那样高。看来这里的复合体不像本地复合体那样包含强 H II 区; 4) 银河外部区域的物质多聚集在  $b=0$  之上, 那里呈现和 H I 气体一样的翘曲结构。气体层厚度从  $R=6$  到  $16\text{kpc}$  增加到 3 倍。

为核查银河外部 CO 辐射的情况, Solomon, Stark 和 Sanders(1982)<sup>[43]</sup> (以下称 SSS) 进行了一组 CO 观测, 其空间复盖和 Kutner 和 Mead (1981)<sup>[31]</sup> 的几乎相同, 接收机均方噪音温度却降低到他们的  $1/3\sim 1/5$ 。SSS 认为在  $l=55\sim 72^\circ, b=1^\circ.5$ , KM 报导的 90% 的辐射是没有的。在 KM 观测到的 222 条 CO 发射线中, SSS 只观测到 17 条  $T_{R^*}>1\text{K}$  的 CO 线, 其中在  $R>15\text{kpc}$  ( $v<-80\text{kms}^{-1}$ ) 没有  $T_{R^*}>1\text{K}$  的 CO 辐射。SSS 求得的在  $l=55^\circ\sim 72^\circ, b=1^\circ.5, R=11\sim 15\text{kpc}$  之间, 云-云间距  $\lambda_{c-c}=57\text{kpc}$ , 是  $R=3\sim 9\text{kpc}$  范围内平均间距  $\lambda_{c-c}$  的 13 倍。将这个结果推广到整个银河系, 就是说在  $R=11\sim 15\text{kpc}$  范围的云数只有  $R=3\sim 9\text{kpc}$  的银河内部区域的 12%。

在温哥华会议上这项争论很引人注目, 它动摇了银河外部区域基本上不存在分子云的似乎已成定论的认识, 这关系到尚在争论的整个银河范围旋臂有无等银河结构的根本问题。

## 2. 分子云的银河垂向分布:

垂直于银面的 CO 辐射是高斯分布, 标高  $\sigma_z=50\sim 60\text{pc}$ 。银道外观测表明, 分子层比 H I 层薄而且更加成块 (Burton, Gordon 1976; Solomon, Sanders 和 Scoville, 1979)<sup>[29,21]</sup>。CO 发射度的标高随半径增加(图 7), 在  $R=3\sim 9\text{kpc}$  的线性拟合给出  $\sigma_z(R)=46+4.2(R-$

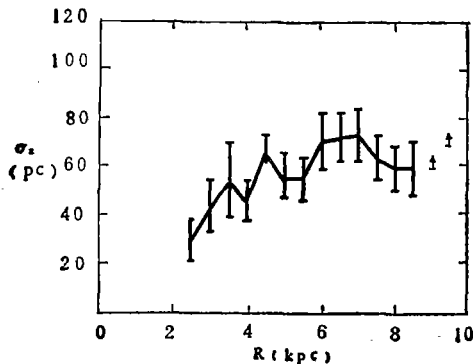


图 7  $^{12}\text{CO}$  发射的标高(Sanders, 1982a)<sup>[36]</sup>

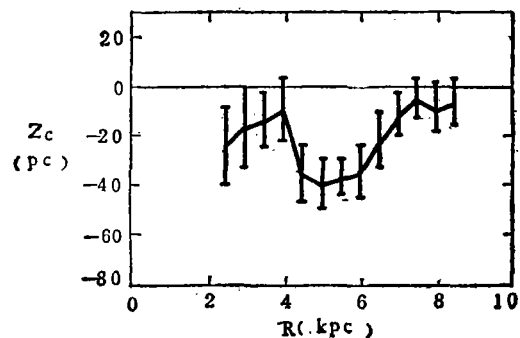


图 8  $^{12}\text{CO}$  发射的中心面位移 (Sanders, 1982a)<sup>[36]</sup>

3)(pc)。CO分布的中心面位于银盘面以下  $-20\text{pc}$ 处 ( $R=3\sim 9\text{kpc}$ ) (图 8)。分子盘的面呈现出皱折结构, 其振幅为  $\pm 20\text{pc}$ 。和银盘气体的其它示踪物如 H I (Quiroga, 1974)<sup>[44]</sup> 和 H II (Lockman, 1979)<sup>[45]</sup> 表现出类似偏离, 说明翘曲是银盘的基本性质。由中心平面发射度和标高乘积表示的质量面密度的分布表明, 在  $R < R_{\odot}$ ,  $\text{H}_2$  对 H I 来说占优势 (Sanders, 1982a)<sup>[36]</sup>。

### 3. 银心的 CO 发射

银心的 CO 发射和 H I 一样, 可用直径  $3\text{kpc}$ 、标高  $0.1\text{kpc}$ 、对  $b=0^\circ$  倾斜  $22^\circ$  的圆盘模型来表示 (Liszt 和 Burton, 1978)<sup>[46]</sup>, 见图 9。此盘以  $\sim 170\text{kms}^{-1}$  的速度旋转和膨胀, 它解释了以前观测到的棒状物、旋臂或孤立的银核抛射物, 也解释了银心引力场主要来源的旋转核盘特征区、“连结臂”等。所以 CO 观测表明, 在  $l=0^\circ$ ,  $b=0^\circ$  的银心附近有一个膨胀的、倾斜的分子环。盘区 CO/H I 的强度比异常大, 盘区总  $\text{H}_2$  质量  $M_{\text{H}_2} \geq 10^9 M_{\odot}$ , 而此处总原子氢质量  $M_{\text{H}} \sim 1 \times 10^7 M_{\odot}$ , 比分子氢小两个数量级。 $\text{H}_2$  的空间平均数密度  $\langle n_{\text{H}_2} \rangle \geq 25\text{cm}^{-3}$ , 5—10 倍于环区值。Sanders (1982a)<sup>[36]</sup> 也有类似结果, 只是他得到的核盘倾斜为  $7^\circ$ , 总  $\text{H}_2$  质量为  $5 \times 10^8 M_{\odot}$  (50 倍于 H I 值)。

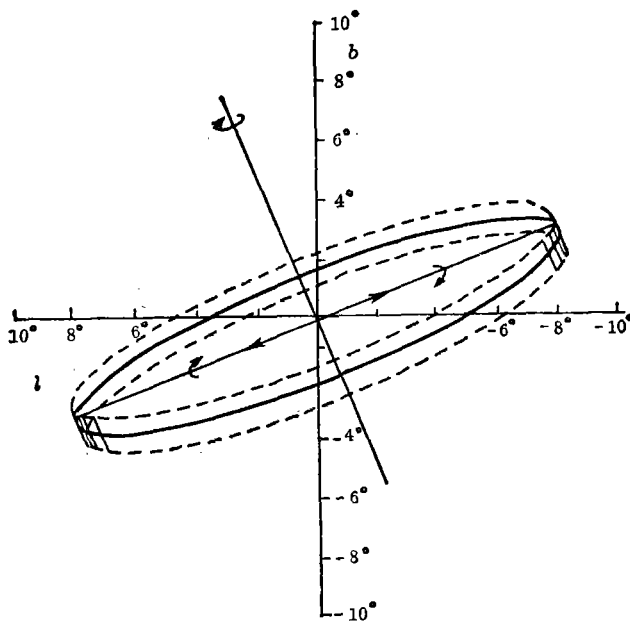


图 9 银心 CO 分布模型 (Liszt 和 Burton, 1978)<sup>[46]</sup>

银心“3-kpc臂”的 CO 观测 (Bania, 1977, 1979)<sup>[47, 48]</sup> 表明, 它是倾斜、较强和连续的臂状结构。该处分子氢的柱密度  $N_{\text{H}_2} \sim 2.4 \times 10^{21}\text{cm}^{-2}$ , 臂的半径  $\sim 4\text{kpc}$ , 臂上云的  $\text{H}_2$  质量  $m_{\text{H}_2} \sim 4.7 \times 10^5 M_{\odot}$ , 云的总氢质量是  $m_{\text{H}_2} + m_{\text{HI}} = 10^6 M_{\odot}$ , 对银心  $90^\circ$  张角的臂段,  $M_{\text{H}_2} = 2.4 \times 10^7 M_{\odot}$ ,  $M_{\text{HI}} + M_{\text{H}_2} \approx 6 \times 10^7 M_{\odot}$ , 膨胀能量  $\sim 1.7 \times 10^{54}$  尔格。CO 和 H I 的资料表明, 3kpc 臂不是均匀的圆环状图象, 位于太阳和 SgrA 之间, 它的切点对  $l=0^\circ$  不对称。

银心的结构和气体运动状态复杂, 质量大, 有激扰的 H II 区, 有高能活动和物质抛射,

其强射电源 SgrA 还发出同步加速器辐射。研究银心气体的运动状态和核活动, 对研究具有活动核的星系的演化史有重要意义。

## 银河 CO 巡视

CO 的银河巡视已有近十年历史, 巡视工作从北半球银道面开始<sup>[33,35]</sup>逐渐发展到银道外观测<sup>[7,18,21,41]</sup>和南天巡视<sup>[38-40]</sup>。北半球银道面已达到全覆盖(见图10), 全球银道面巡视的经度覆盖已由 $292^\circ$ 通过银心到 $200^\circ$ , 达到全经度的 $3/4$ 。至于纬度覆盖, 在北半球, 只在 $-4^\circ$ — $+70^\circ$ 经度范围内有纬度 $\pm 2^\circ$ 的覆盖<sup>[7,21]</sup>, 在 $105^\circ$ — $139^\circ$ 经度范围有 $b = \pm 3^\circ$ 的覆盖<sup>[18]</sup>。南天的巡视基本上是银道面和近银道面的。

由于巡视所用望远镜口径大小不一, 波束间距各不相同, 情况是复杂的。用大口径天线, 由于分辨本领高, 为得到大尺度信息不得不加大波束间距, 这造成了天空覆盖严重的取样不足, 而采用小的间距, 对于同样的天区范围意味着延长观测时间, 这又常常受到望远镜有限分配时间的限制。对于某些参数的测量(如云的尺度), 大的间距会造成小云漏数, 小的间距在有限的时间里将造成云数的取样不足。而小天线观测, 由于其天线分辨本领低, 必然是平滑了细节, 失去了小尺度结构。总之, 望远镜口径(即分辨本领)和可能得到的观测时间是先决条件, 波束间距和经纬度覆盖则是根据课题要求而设计的。如 $l = 24^\circ, 30^\circ, 36^\circ \sim 47^\circ, 50^\circ, 110^\circ \sim 140^\circ$ , 分别各对应 HI 巡天得到的4kpc 膨胀臂、盾牌臂、臂间区、人马臂和 第二象限的英仙臂段。固定经度的纬度观测是为研究该经度处分子层的厚度或标高, 银河内部区域的负纬观测是为研究已初步估计到的银层中心部位, 银河外部区域的正纬观测是为研究 HI 对应的银盘翘曲等等。

图 10 只粗略表示了已覆盖天区, 并未标明观测所用的波束宽度和波束间距。例如, 进行过大量毫米波观测的美国国家射电天文台的11米天线和近年做出很好结果的哥伦比亚 1.2 米天线的波束宽度比约为10, 由它们取得的资料当然很不一样。以往观测采用过的 $5'$ 间距<sup>[34]</sup>和 $2'$ 间距<sup>[7]</sup>(波束 $1'$ ), 取样率之比是150。即使最密的 $2'$ 间距取样, 也有一半天区被遗漏, 何况那加大了150倍的取样间距所遗漏的天区。可见, 就是对图中已覆盖区域而言, 也谈不到巡视已经完成, 更何况如图10所显示的还有大面积的空白天区以待覆盖, 特别是南天和北天的银道外区域。

至于速度覆盖, 已有的观测大多集中在对应太阳圈以内区域的第一象限正速度区, 这造成了以往对银河外部区域观测的疏漏。1982年在温哥华银河结构会议上, 关于该区 CO 云是否大量存在的问题展开了激烈的争论, 但当时的与会者, 对此问题有发言权的人并不太多。这正反映了即使对这些有经验的观测者, 在过去大多观测中也存在速度覆盖的局限性问题。这一“论战”以1:1平局告终, 问题本身并未了结, 但速度覆盖问题却引起了人们更多的注意。

CO 同位素 $^{13}\text{CO}$ 的巡天, 更是方兴未艾。首先由图10可见, 它的覆盖范围远不如 $^{12}\text{CO}$ 广泛。其次, 和 $^{12}\text{CO}$ 不一样, 在已覆盖的范围内重复观测并不多。例如 $^{12}\text{CO}$ 在第一象限 $l = 10^\circ \sim 70^\circ$ ,  $|b| = 0^\circ \sim 2^\circ$ 范围内, 观测就有若干重复<sup>[23,36,41,49]</sup>。 $^{13}\text{CO}$ 在银道上只有一小段重复<sup>[13,32]</sup>。另外, 在已观测的并不重复的各区段间, 由于观测条件(望远镜口径,

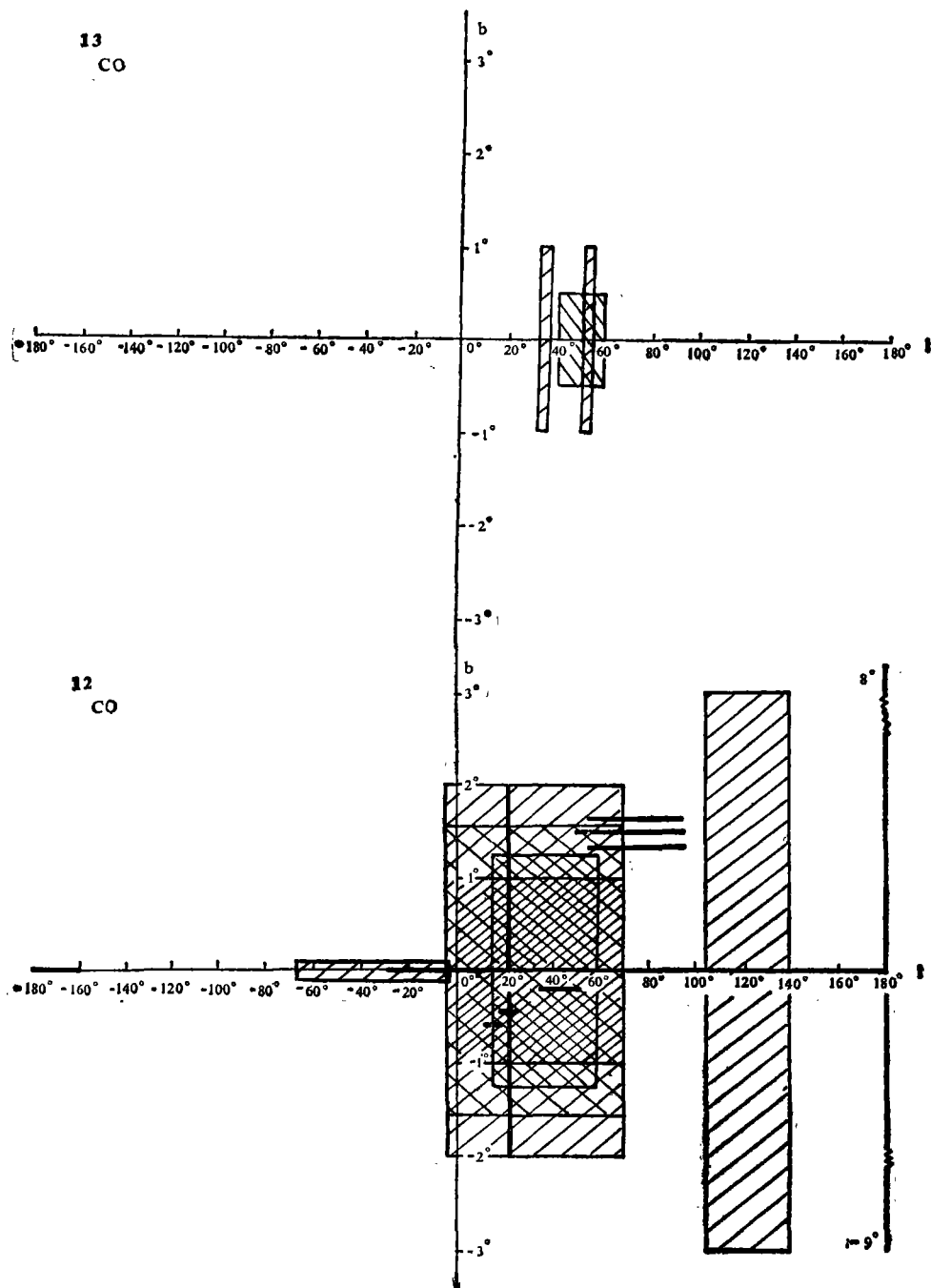


图 10  $^{13}\text{CO}$  和  $^{12}\text{CO}$  巡视的  $l$ - $b$  分布图

波束宽度,波束间隔等)很不一样<sup>[1,3,50]</sup>,观测所能解决的问题也就不一样,对同样课题的研究,其结果自然会有不同的权重。从上述<sup>13</sup>CO覆盖重复区段的观测导出的银河<sup>13</sup>CO发射度分布(或H<sub>2</sub>密度分布)的比较<sup>[2,3,32]</sup>来看,波束间距大的,结果就缺少细节,这多半是2°取样间隔和66"波束宽度所决定的天空覆盖取样严重不足的后果。详细的<sup>12</sup>CO和<sup>13</sup>CO银河巡视表见<sup>[51]</sup>。

## 结 语

综上所述,CO巡视本身至今未及完备,“填补空白”当为重要任务。即使对所谓已覆盖区,由于波束宽度小,取样间隔大,漏测的天区实际甚广,遗漏的信息无疑很多。空白,首先指“已覆盖区”的天空漏测部位,因为“已覆盖区”并不是真的已被覆盖。空白,更名正言顺地系指全天覆盖(应包括经纬度和速度覆盖两个方面)的空缺区(图10只展示了经纬度覆盖),此区更广,真的达到全天覆盖确实路途遥远,尚需颇多时日。当然,从学科角度或许也并不见得需要达到真正的全天覆盖。由于观测条件不一,观测结果各异,对不同课题的要求往往需要精心分析、认真选取经纬度和速度覆盖(包括对“已覆盖区”)、波束宽度、取样间隔等,需要作反复的观测和分析研究。

CO巡视结果,前文已分别阐述。所涉问题(除分子云的银河内部分布结果较为一致外)尚存争议甚多。尚需观测提供充分可信的证据和理论的严谨推演。本文着重介绍了争论现状,旨在说明CO的银河巡视虽已历经近十年,却没有成熟的结论,更不是接近尾声,而是有待后继者的努力,将现有的观测加以改善和发展,使各异的结果和意见得以统一。

## 参 考 文 献

- [1] Wilson, R. W., Jefferts, K. B., Penzias, A. A., *Ap. J.*, 161 (1970), L43.
- [2] Liszt, H. S., Xiang Delin, Burton, W. B., *Ap. J.*, 249 (1981), 532.
- [3] Solomon, P. M., Scoville, N. Z., Sanders, D. B., *Ap. J.*, 232 (1979), L89.
- [4] Kwan, J., *Ap. J.*, 229 (1979), 567.
- [5] Scoville, N. Z., Herish, K., *Ap. J.*, 229 (1979), 578.
- [6] Kwan, J., Valdes, F., *Ap. J.*, 271 (1983).
- [7] Solomon, P. M., Sanders, D. B., in *Giant Molecular Clouds in the Galaxy*, eds. P. M. Solomon, M. G. Edmunds, 41, (1980), Oxford: Pergamon.
- [8] Liszt, H. S., Burton, W. B., *Ap. J.*, 243 (1981), 778.
- [9] Townes, C. H. in *Topics in Interstellar Matter*, H. van Woerden(ed), 113, (1977), Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland.
- [10] Bash, F. N. Green, E., Peter, W. L. III. *Ap. J.*, 217 (1977), 464.
- [11] Bash, F. N., *Ap. J.*, 238 (1979), 524.
- [12] Blitz, L., Shu, F. H., *Ap. J.*, 238 (1980), 148.
- [13] Kutner, M. L., Tucker, K. D., Chin, G., Thaddeus, P., *Ap. J.*, 215 (1977), 521.
- [14] Blitz, L., in *The Phases of Interstellar Medium, Proceeding of a Workshop held at the NRAO, G. B., West Virginia, May 10-13, 1981*, J. M. Dickey(ed), 87, (1981).
- [15] Blitz, L., *Scientific American*, 246 (1982), 84.
- [16] Linke, R. A., in *Extragalactic Molecules, Proceedings of a Workshop held at NRAO, G. B., Nov. 2-4, 1981*, eds. L. Blitz, M. Kutner, 87, (1982).
- [17] Stark, A. A. Ph. D. Thesis, 1979, Princeton University.
- [18] Cohen, R. S., Cong, H. I., Dame, T. M., Thaddeus, P., *Ap. J.*, 239 (1980), L53.

- [19] Blitz, L., Kulkarni, S., Heiles, C., *B. A. A. S.*, 13 (1981), 539.
- [20] Blitz, L., Fich, M., Stark, A. A., in *Regions of Recent Star Formation, Proceedings of the Symposium on 'Neutral Clouds near HII Regions, Dynamics and Photochemistry'* held in Penticton, British Columbia, June 24-26, 1981, eds. Roger, R. S., Dewdney, P. E., *Astrophysics and Space Science Library*, 93 (1982), 209.
- [21] Solomon, P. M., Sanders, D. B., Scoville, N. Z., in *IAU Symposium No.84, "The Large Scale Characteristics of the Galaxy"* ed. W. B. Burton, 35, (1979), Dordrecht: Reidel.
- [22] 向德琳, Liszt, H. S., Burton, W. B., *天文学报 (Acta Astronomica Sinica)* 24 (1983 a), 347.
- [23] Scoville, N. Z., Solomon, P. M., Sanders, D. B., in *IAU Symposium No.84, "The Large Scale Characteristics of the Galaxy"*, ed. W. B. Burton, 277, (1979), Dordrecht: Reidel.
- [24] Stark, A. A., Preprint (1983).
- [25] Dickman, R. L., *Ap. J.*, 202 (1975), 50.
- [26] Goldreich, P., Kwan, J., *Ap. J.*, 189 (1974), 441.
- [27] Leung, C. M., Liszt, H. S. *Ap. J.*, 208 (1976), 732.
- [28] 唐沅, 张承岳, 向德琳, *紫金山天文台台刊 (Publications of Purple Mountain Observatory)*, 2 (1983), No.3.
- [29] Burton, W. B., Gordon, M. A., *Ap. J.*, 207 (1976), L189.
- [30] Cohen, R. S., Tomasevich, G. R., Thaddeus, P., in *IAU Symposium No.84, "The Large Scale Characteristics of the Galaxy"*, ed. W. B. Burton, 53, (1979).
- [31] Kutner, M. L., Mead, K. N., *Ap. J.*, 249 (1981), L15.
- [32] 向德琳, Liszt, H. S., Burton, W. B., *紫金山天文台台刊 (Publications of Purple Mountain Observatory)*, 2 (1983 b), No.3.
- [33] Scoville, N. Z., Solomon, P. M., *Ap. J.*, 199 (1975), L105.
- [34] Burton, W. B., Gordon, M. A., Bania, T. M., Lockman, F. J., *Ap. J.* 202 (1975), 30.
- [35] Gordon, M. A., Burton, W. B., *Ap. J.*, 208 (1976), 346.
- [36] Sanders, D. B., in *Proceedings of the Vancouver Conference, May 1982, The Milky Way: Structure, Kinematics and Dynamics*, ed. W. Shuter (1982 a).
- [37] Burton, W. B., *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 14 (1976 a), 275.
- [38] Sanders, D. B., Ph. D. Thesis, Stony Brook University (1981).
- [39] Sanders, D. B., Presented at the Leiden Workshop on Southern Galactic Surveys, August, 1982. To be published by D. Reidel as part of their *Astrophysics and Space Science Library Series*, Eds. Burton, W. B. and Israel, F. P. (1982 b).
- [40] McCutcheon, W. H., Robinson, B. J., Whiteoak, J. B., Manchester, R. N., in *The Milky Way: Structure, Kinematics and Dynamics*, held in Vancouver, May 1982.
- [41] Cohen, R. S., Thaddeus, P., *Ap. J.*, 217 (1977), L155.
- [42] Kutner, M. L., in *Proceedings of Leiden Workshop on Southern Galactic Surveys held at Leiden, Netherlands, August 4-6, 1982*.
- [43] Solomon, P. M., Stark, A. A., Sanders, D. B., Preprint (1982).
- [44] Quiroga, R. J., *Ap. and Space sci.*, 27 (1974), 323.
- [45] Lockman, F. J., *Ap. J.*, 232 (1979), 761.
- [46] Liszt, H. S., Burton, W. B., *Ap. J.*, 226 (1978), 790.
- [47] Bania, T. M., *Ap. J.*, 216 (1977), 381.
- [48] Bania, T. M., in *IAU Symposium No.84, "The Large Scale Characteristics of the Galaxy"* ed. Burton, W. B., 351, (1979).
- [49] Burton, W. B., Gordon, M. A., *Astr. Ap.*, 63 (1978), 7.
- [50] Despois, D., Baudry, A., in the *Proceedings of the Workshop on Southern Galactic Surveys held at Leiden, Netherlands, August 4-6, 1982*.
- [51] 向德琳, *紫金山天文台台刊 (Publication of Purple Mountain Observatory)*, 3(1984), No.1.



---

## Current Situation of the CO Survey in Our Galaxy in view of Relevant Problems of Molecular Clouds

Xiang De-lin

*(Purple Mountain Observatory, Academia Sinica)*

### ABSTRACT

A review about the progress and results in respects of the molecular clouds and galactic structure, the lifetime, the physical properties and the distribution in our Galaxy of interstellar molecular clouds from galactic CO surveys during the last decade is given in this paper. Especially, different points of view existed in this field for the moment are prominently presented. In the last part, so far as the CO survey itself and the problems are concerned, the author concludes that CO survey has not yet come to an end, and it remains to be developed in depth.