

大质量分子云核的 ^{13}CO 成图研究*

吴月芳 王均智 吴京文 阎慧荣

(中国科学院-北京大学联合北京天体物理中心,北京 100871;北京大学天文学系,北京 100871)

雷成明 孙金江 王利明

(中国科学院紫金山天文台青海观测站,青海 817000)

摘要 用中国科学院紫金山天文台青海观测站 13.7 m 望远镜上新安装的 SIS 接受系统,对 S241, S39 和 ON3 进行了 ^{13}CO $J=1\sim0$ 的成图观测,并作了 C^{18}O $J=1\sim0$ 的单点观测,结果表明这 3 个源都有大质量核,尺度在约 2~5 pc,质量可达约 $10^3\sim10^4 M_{\odot}$ 量级,而且 3 个源中都搜寻到了高速特征. ON3 中的 V_{LSR} 系统分布表明它的核是旋转的. 3 个云核中都含有深埋的形成中的大质量恒星,在 S241 和 ON3 中年轻星体正在离开诞生地运动.

关键词 星际介质 分子云 星际介质动力学 恒星形成

稠密及高度屏蔽区域的研究对了解分子云的演化和恒星形成是必不可少的. 毫米波段和红外观测揭示了太阳系附近暗分子云核的物理性质, C^{18}O 成图研究得出这类近区云核的尺度约 0.3 PC, 温度约 10 K 左右, 质量约 $30 M_{\odot}$ ^[1], 红外研究表明这些核有一半以上有红外源成协, 这些红外源实质为仍然屏蔽的 T Tauri 星或年轻星体^[2], 关于年轻星体的活动, 例如光学喷流、分子外向流的研究也较为充分^[3].

与低质量稠密核相比, 对大质量云核的了解还较少. 巨分子云比近邻暗云要远得多, 由于大质量形成区不仅关系到单体星诞生而且关系到星团的形成, 因此区域结构也比小质量云核复杂, 至今成图研究很少. 高速分子外向流的探测也比在小质量星附近的少. 不过, 大质量云核常常有深埋的高光度红外源成协, 而且在这类区域所发现的 H_2O 脉泽则要比小质量形成区多^[4].

为了搜寻大质量云核并研究其中的恒星形成活动, 我们以星际水脉泽和高色余 IRAS 源为导向, 进行 CO 同位素观测.

1 观测仪器和方法

^{13}CO $J=1\sim0$ 和 C^{18}O $J=1\sim0$ 的谱线观测, 用中国科学院射电天文联合实验室的中国科学院紫金山天文台青海观测站 13.7 m 望远镜进行, 谱线频率分别为 110.261 和 109.782 GHz. 于 1998 年 12 月观测. 该波段望远镜束宽 55", 木星和火星用以作指向校准源, 指向和跟踪精

2000-08-04 收稿

* 国家自然科学基金(批准号:19773002)、国家重大基础研究和中国科学院射电天文联合实验室资助项目

度好于 $10''$, 前端为新安装的 SIS 接收机, 系统噪声温度 160 K(双边带), 后端采用声光频谱仪, 它具有 1024 通道, 总带宽 170 MHz, 等效速度分辨率 0.43 km/s , 大气温度用以对天线温度 T_A^* 进行定标, 辐射温度 $T_R = T_A^*/\eta_c \eta_{fs}$ ^[5], 其中 η_c 是耦合因子, 对我们的观测源, $\eta_c = 1$, η_{fs} 为前向散射和满溢效率, 为 61%.

观测采用位置调制模式, 积分时间 4~8 min, 成图单元 $55'' \times 55''$, 成图区域一般以 5×5 点开始, 再看外围光谱, 若强度仍较大, 再继续扩展, 因为巨云中 $^{13}\text{CO } J=1 \sim 0$ 发射一般都很强, 寻找边缘十分困难, 我们一般观测到峰值的一半左右. 资料用 DRAWSREC 软件处理, Winsurf 和 Origin 用以光谱及成图分析.

2 结果

两种辐射 $^{13}\text{CO } J=1 \sim 0$ 和 $\text{C}^{18}\text{O } J=1 \sim 0$ 在 3 个源中都测到了, 光谱用 Gauss 轮廓进行拟合, 参考点(见表 1)的谱线参量列于表 1, 第 1~3 列为源名和它们的赤经、赤纬(历元 1950), 两条谱线的天线温度 T_A^* , 线心速度 V_{LSR} 和全半宽 ΔV 分别列于第 4~6 和 7~9 列, 高速气体特征列于最后一列, “WS”表示谱线有双翼.

表 1 观测参量

源	$\alpha(1950)$	$\delta(1950)$	T_{A13}^*/K	$V_{\text{LSR}13}/\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$V_{\text{FWHM}13}/\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	T_{A18}^*/K	$V_{\text{LSR}18}/\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$V_{\text{FWHM}18}/\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	PRO
S241	06 00 40.9	30 14 53.8	1.8	-7.20	4.75	0.4	-8.05	3.75	WS
S39	18 13 56.1~18 42 57.2	2.9	39.54	3.79	1.3	80.44	3.46		WS
ON3	19 59 58.4~33 25 46.8	2.4	-22.58	4.82	0.2	-22.82	4.00		WS

3 个源中均测到了密核, 求得 ^{13}CO 发射强度并获得等值线图, 图 1(a)为 S241 中 $^{13}\text{CO } J=1 \sim 0$ 的光谱, 图 1(b)为其 $^{13}\text{CO } J=1 \sim 0$ 发射强度的等值线图, 图 2 和图 3 的(a), (b)分别是源 S39 和 ON3 的光谱和等值线图.

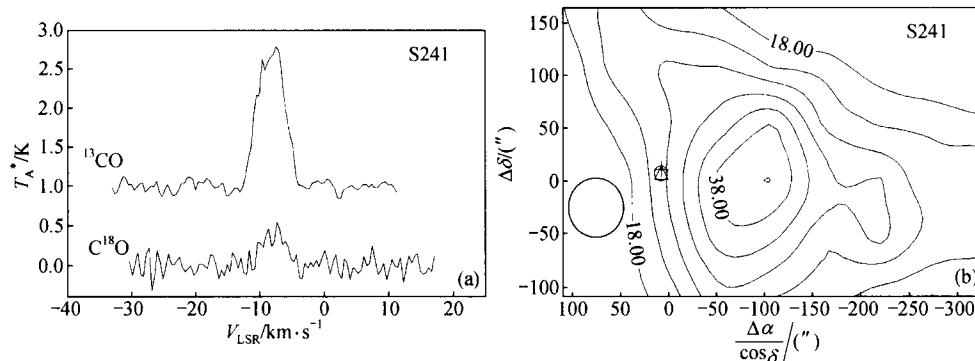


图 1 S241

(a) $^{13}\text{CO } J=1 \sim 0$ 和 $\text{C}^{18}\text{O } J=1 \sim 0$ 的光谱; (b) $^{13}\text{CO } J=1 \sim 0$ 积分强度等值图, 由 $18 \text{ K} \cdot \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 开始, 以 $4 \text{ K} \cdot \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 递增. 左侧小圆表示相应波束宽度; (0,0) 为参考位置(见表 1), + 示 IRAS06006+3015 的位置, △示 $2 \mu\text{m}$ 源 0603541+301452 的位置, ○示 $2 \mu\text{m}$ 源 0603541+30145 的位置

计算了各源的物理参量, S241 的 $[^{13}\text{CO}]/[\text{C}^{18}\text{O}]$ 为 4.5, $^{13}\text{CO } J=1 \sim 0$ 可能是光厚的, 故用

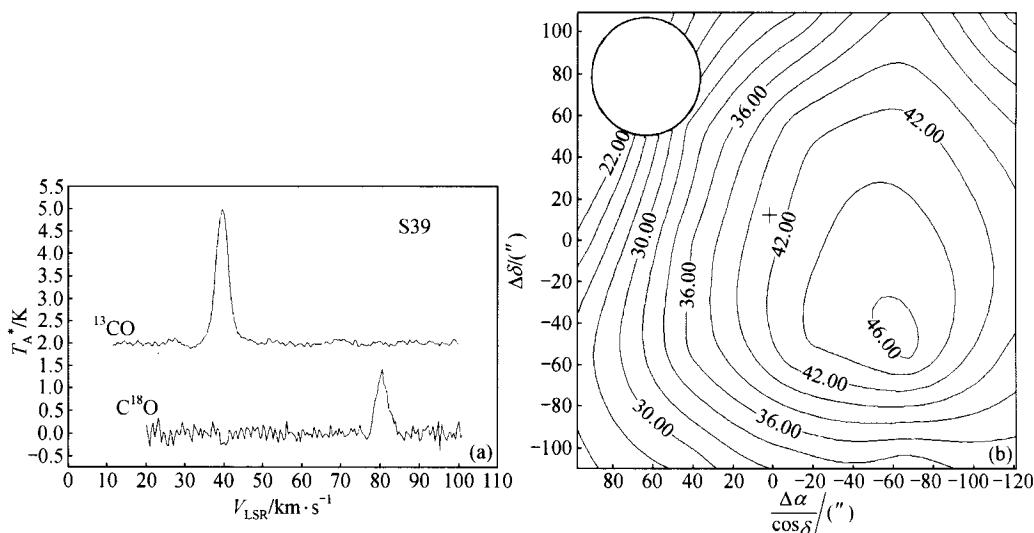


图2 S39

(a) ¹³CO $J = 1 \sim 0$ 和 C¹⁸O $J = 1 \sim 0$ 的光谱; (b) ¹³CO $J = 1 \sim 0$ 积分强度等值图, 自 22 K·km·s⁻¹ 开始, 以 2 K·km·s⁻¹ 递增, 符号含义同图 1

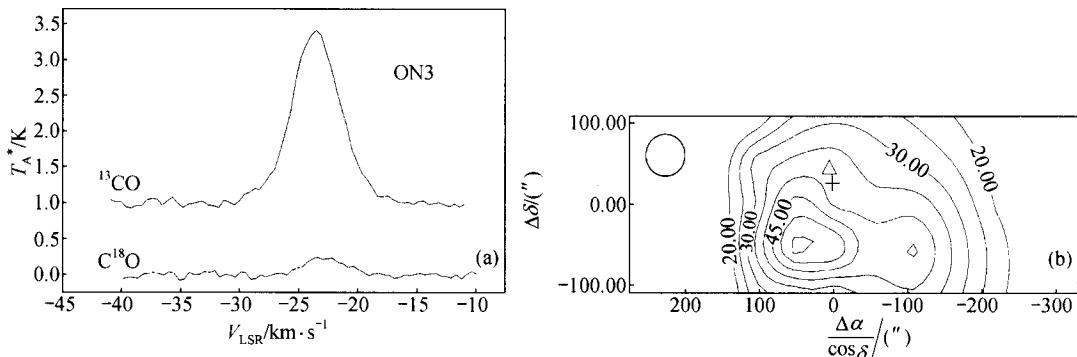


图3 ON3

(a) ¹³CO $J = 1 \sim 0$ 和 C¹⁸O $J = 1 \sim 0$ 的光谱; (b) ¹³CO $J = 1 \sim 0$ 积分强度等值图, 自 20 K·km·s⁻¹ 开始, 以 5 K·km·s⁻¹ 递增, 符号含义同图 1

C¹⁸O $J = 1 \sim 0$ 进行计算, 由辐射转移理论:

$$T_{18} = \left(\frac{h\nu}{k} \right) / \ln \left\{ 1 + \left(\frac{h\nu}{k} \right) / \left[\left(\frac{h\nu}{k} \right) / (e^{h\nu/T_b} - 1) + \left(\frac{T_A^*}{\eta_{fs}} \right) / (1 - e^{-\tau_{18}}) \right] \right\},$$

式中 T_b 为微波背景温度.

假设¹³CO 和 C¹⁸O 具有同样的激发温度, 并且用丰度比 [¹³CO]/[C¹⁸O] = 5.5, τ_{18} 即可求得, 并可得 C¹⁸O $J = 1 \sim 0$ 低能级柱密度^[1],

$$N_{18} = 3.86 \times 10^{14} \tau_{18} \left(e^{\frac{h\nu}{kT_{18}}} - 1 \right)^{-1} \frac{h\nu}{k} \Delta V_{18},$$

再用配分函数^[1]:

$$\frac{1}{f_1} = \left(\sum_{J=0}^{J_{\max}} (2J+1) e^{-\frac{hBJ(J+1)}{kT_{18}}} \right) / (3e^{\frac{-2hB}{kT_{18}}}),$$

求和至 $J_{\max} = 7$, 并用丰度比 $[^{13}\text{CO}]/[\text{CO}] = 1/89$ 和经验关系 $[\text{CO}]/[\text{H}_2] = 10^{-4}$, 求得云气体的柱密度。对于源 ON3 $[^{13}\text{CO}]/[\text{C}^{18}\text{O}]$ 为 12, $\text{C}^{18}\text{O } J = 1 \sim 0$ 发射太弱, 这可能是 C^{18}O 在云的演化中耗损造成的^[6], 在 S39 中, 没有相同速度上的 $^{13}\text{CO } J = 1 \sim 0$ 和 $\text{C}^{18}\text{O } J = 1 \sim 0$ 的谱线对, 对这两个源 C^{18}O 不能示踪云密度, 因此我们用 ^{13}CO 来求柱密度, 方法类似 Scoville 等所用^[7]。

利用 $^{12}\text{CO } J = 1 \sim 0$ 资料(对 S39 用 1999 年 12 月在青海观测站测得的资料, ON3 的资料取自文献[8]), 并假设 $^{12}\text{CO } J = 1 \sim 0$ 光厚而且 $^{12}\text{CO } J = 1 \sim 0$ 和 $^{13}\text{CO } J = 1 \sim 0$ 有相同的激发温度, 即可得出 ^{13}CO 的柱密度 N_{13} 。

由等值图上峰值的 2/3 附近的等值圈量得云核的半长轴和半短轴 a, b , 假设云核为半径 $R = \sqrt{ab}$, 密度均匀的球体, 即可得出质量。导出的参量列于表 2, 其第 1 列为源名, 第 2 列是距离, 第 3 列为尺度, 第 4,5 列分别为 C^{18}O 和 ^{13}CO 的柱密度, 最后一列是质量。

表 2 导出参量

源	D/kpc	尺度/ pc	$N_{18} \times 10^{15}/\text{cm}^{-2}$	$N_{13} \times 10^{15}/\text{cm}^{-2}$	质量(M_\odot)
S241	4.7	3.6	1.1	...	5480
S39	4.2	2.3	...	7.8	2884
ON3	7.9	4.7	...	8.7	13431

同时对线心速度分布也作了分析, 发现在源 ON3 中有系统变化, 图 4 为该源的不同位置的光谱对比((a))和 V_{LSR} 等值线图((b)), 以及速度随位置的变化((c))。

为了分析这些源的演化情况, 我们也考察了其红外辐射, 用 IRAS 点源表及正在释放的 TMASS 资料, 作了证认。成协最紧密的 IRAS 源及其相关参数列于表 3 上幅, 第 2 列是 IRAS 名, 第 3,4 列是 IRAS 源的位置, IRAS 的色指数 $\log(f_{25}/f_{12})$ 和 $\log(f_{60}/f_{12})$ 在第 5 和 6 列给出, 第 7 列的红外光度按下式算得^[9]:

$$L_{5 \sim 1000 \mu\text{m}} = 4\pi D^2 \times 1.75 (F_{12}/0.79 + F_{25}/2 + F_{60}/3.9 + F_{100}/9.9).$$

表 3 红外源参量

源	IRAS 源	IRAS				L_{IRAS} (L_\odot)	
		位置		$\log(f_{25}/f_{12})$	$\log(f_{60}/f_{12})$		
		(s)	(")				
S241	06006 + 3015	41.4	05	0.78	1.99	13388.7	
S39	18139 - 1842	56.7	47	1.00	1.91	65654.2	
ON3	19598 + 3324	50.0	20	0.77	1.55	1797362.3	

2 μm 源	TMASS				K/mag	
	位置		J/mag	H/mag		
	$\alpha(1950)$	$\delta(1950)$				
S241	0603541 + 301452	6 00 41.4	30 15 02	6.44	3.89	
	0603541 + 301451	6 00 41.4	30 15 01	6.38	3.71	
ON3	2001452 + 333224	19 59 49.7	33 24 00	5.27	4.91	
					2.15	

表3下幅第2~4列分别为 $2\mu\text{m}$ 源的名称和赤道坐标(1950), 第5~7列是J,H,K波段的星等.

3 讨论

3.1 各个源的分析

S241, 这是一个分子云复合体, 与几个红外源成协^[10], 最强的红外源是IRAS 06006+3015, 它的IRAS色指数很高, 满足致密H II区的判据^[11], Wouterloot等人^[12]在该源中测到水脉泽, CO J=1~0观测发现了分子外向流^[10].

这个源的 ^{13}CO J=1~0和 C^{18}O J=1~0都比较强, 在东北方向 ^{13}CO J=1~0变得红蓝不对称, 即谱线带有红翼. 图1(a)出示了参考位置的 ^{13}CO J=1~0和 C^{18}O J=1~0谱, 它们的线心速度分别是-7.20和-8.05 km·s⁻¹. 图1(b)是 ^{13}CO J=1~0的发射强度等值线图, 发射区有点从东北到两边的延展. 有两个红外源在此发射区内, IRAS06006+3015(在图上标为+)距 ^{13}CO 发射峰值较近, 并且最红最强. 附近有两个 $2\mu\text{m}$ 源0603541+301452和0603541+301451(分别以△和○表示). 该源的柱密度由 ^{13}CO J=1~0和 C^{18}O J=1~0导出, 采用4.7 kpc的距离, 质量是 $5480 M_\odot$, ^{13}CO J=1~0的成图也表明该源中存在大尺度的线心速度位移, 这与CO J=1~0的结果总体相符. 但在源的西部区域, 线心速度的变化比较复杂, 而且不同分子的线心速度有些差异. 这种情况也可能由湍动或激波引起, 这需要作进一步考证.

S39, 这是一个电离氢区, 成协IRAS源是IRAS 18139-1842. 这个红外源亮度大, 色指数满足致密H II区判据^[11]. 水脉泽首先由Jaffe等人^[13]测到. 脉泽峰值在-40 km/s, 速度从-46延展到-37 km/s. Comoretto等人^[14]测得的水脉泽峰值移到-35.5 km/s处, 速度范围为-36.7到-34.3 km/s, 文献[13]和我们在1999年12月均观测到了 ^{12}CO J=1~0谱线, 速度均在40 km/

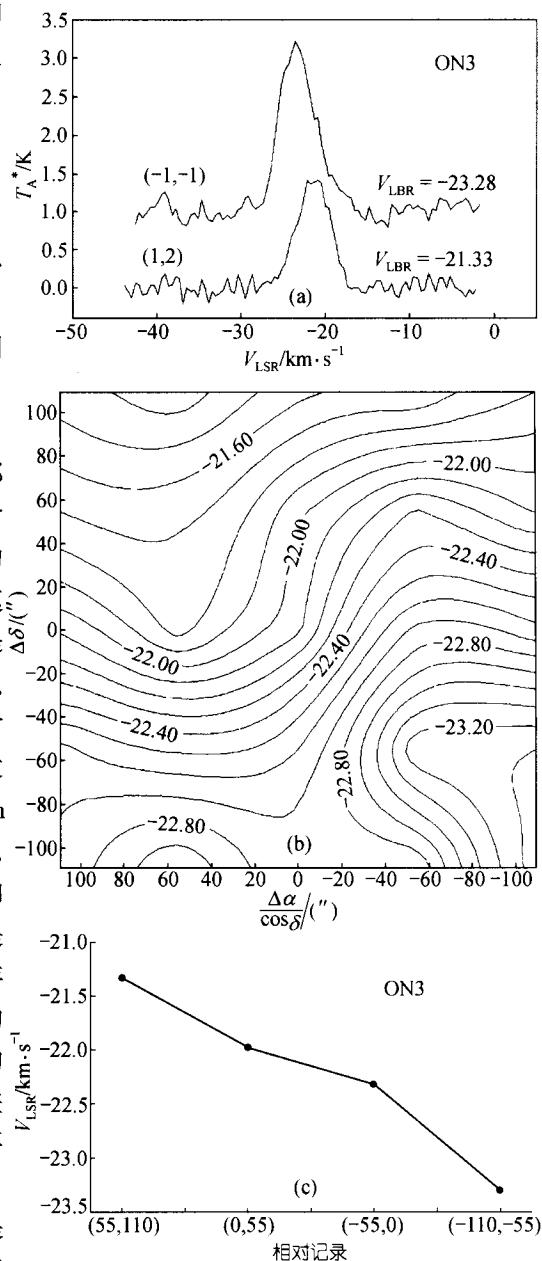


图4 ON3的速度分布

(a) 取自(-1, -1)和(1, 2)的两条光谱, 可看出其线心速度不同; (b) 线心速度等值图, 等值线自西南方向的-23.1 km·s⁻¹开始, 向东北方向以0.1 km·s⁻¹递增; (c) 速度-位置图, 可看出速度数值变化. 该源的55''相当于

2.1 pc

s 左右。其谱线全宽达约 15 km/s。 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 和 C^{18}O $J = 1 \sim 0$ 的光谱示于图 2(a), 由图 2 可见 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 的线心速度是 39.54 km/s, 这和 ^{12}CO $J = 1 \sim 0$ 相符, 但该速度附近却没有 C^{18}O $J = 1 \sim 0$ 的明显辐射。而在 80.4 km/s 处有强的 C^{18}O $J = 1 \sim 0$ 辐射, 此处也不见 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 的辐射。这说明两者成协不好, 或者出于非同一成分。

图 2(b)为 ^{13}CO 发射的等值线图。看来核区较规则, 而且 ^{13}CO 发射峰与成协 IRAS 源(在图上标为 +)的距离在一个束宽之内, 星体可能还未离开诞生地太远。该源未见 TMASS 资料。

由于 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 和 C^{18}O $J = 1 \sim 0$ 可能不是来自一个成分, 因此不宜用于导出参量。云的柱密度由 CO $J = 1 \sim 0$ 和 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 导出。采用 4.2 kpc 距离, 核区质量为 $2884 M_{\odot}$ 。

ON3, 这一个水脉泽源有两个脉泽发射峰, 分别位于 21.5 和 -18.0 km·s⁻¹ 处^[15], 对应的 IRAS 源是 IRAS 19598+3324, 它很强并且具有很高的色指数, 和它最近并且区域内最强的 2 μm 源是 2001452+333224。该源的动力学方法算得的距离是 7.9 kpc, CO $J = 1 \sim 0$ 观测表明该源中有高速气体, 谱线全宽达约 20 km·s⁻¹^[8]。

参考位置(见表 1)的 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 和 C^{18}O $J = 1 \sim 0$ 光谱示于图 3(a), 线心速度分别是 -22.58 和 -22.82 km·s⁻¹, 与 CO $J = 1 \sim 0$ 的线心速度都比较接近^[8]。取自(-1, -1)和(1, 2)的两个 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 光谱, 分别具有红翼和蓝翼(见图 4(a))。 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 发射强度等值图示于图 3(b), 内核部分从东北向西南倾斜。成协 IRAS 及 2 μm 源(在图 3(b)上示为 + 和 △)在发射峰值西边。结合 CO $J = 1 \sim 0$ ^[8] 和 ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 资料, 计算了柱密度, 质量近似于 $1.3 \times 10^4 M_{\odot}$ 。

速度分布表明该发射区域有系统的线心速度位移, 图 4(a)中所示(-1, -1)和(1, 2)点的光谱线心速度相差明显。速度等值图在图 4(b)中。由该图可见速度梯度是从东北到西南。图 4(c)表出速度沿梯度方向随空间位置的变化。由这一系统的线心速度变化可得出速度梯度为 $0.3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{pc}^{-1}$ 。

3.2 综合讨论

3.2.1 CO 同位素辐射 从 ^{13}CO 的成图观测来看, 这些源的 ^{13}CO 辐射区域确实很大, 尺度为约 2~5 pc, 质量大于 $10^3 M_{\odot}$, 远大于附近暗云核的相应参量。 ^{13}CO 辐射强度从峰值区向外延展时下降很慢, 有的地方甚至下降到约 1/2 后又开始上升, 说明巨云核中峰值区与核间的分子物质对比度较小。

关于 C^{18}O $J = 1 \sim 0$, 在 ON3 中天线温度比 $[^{13}\text{CO}] / [\text{C}^{18}\text{O}]$ 大于 5.5, 主要是由于 C^{18}O 太弱, 原因可能关系到 C^{18}O 的耗空^[6]。同时, 从线心速度看, ^{13}CO $J = 1 \sim 0$ 和 C^{18}O $J = 1 \sim 0$ 在 S39 中相差很远, 表明它们并非出于同一辐射成分, 所以 C^{18}O $J = 1 \sim 0$ 不适合作为密度示踪剂。

这些源的谱线宽度 ΔV_{FWHM} 也比附近暗云核中的要大得多, 在 10 倍左右。谱线宽度可能与辐射区尺度相关, $\Delta V \sim R$ 的相关性有许多作者研究过, 一般可表示为 $\Delta V \propto R^P$, 其中 $P = 0.3 \sim 0.5$ (参阅文献[16])。但对这 3 个源的平均尺度 R 为 3.8 pc, 平均 ΔV 为 $4.4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 取 $P = 0.5$, \sqrt{R} 和 ΔV 分别比低质量星的平均尺度 0.3 pc 和平均线宽 $0.6 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[1] 增大 3.5 和 7.3 倍, 显然不能用这一关系来解释大质量云核中谱线的增宽。

这些源的谱线轮廓表现出一些高速特征, S241 和 S39 具有线翼, ON3 的谱线明显不对称, 在这 3 个源中都观测到了 H₂O 脉泽, 这些高速现象表明云的动力学过程及星的质量喷发可能对谱线致宽起促进作用。在 ON3 中的线心速度位移是系统的, 速度梯度倾向于核的长轴, 可

由一个角速度为 $0.9 \times 10^{-14} \text{ s}^{-1}$ 的旋转引起, 这对谱线也将起致宽作用.

3.2.2 红外辐射 这 3 个源的核区均有一个强 IRAS 源, 这些强 IRAS 源在红外波段都很亮, $L_{5\sim1000\mu\text{m}}$ 达到 $10^4 \sim 10^6 L_\odot$, 而且具有满足 UCH II 区判据的色指数. 从位置看都在云核内, 但 S241 和 ON3 中已偏离峰值位置, 它们可能正在离开诞生地. S39 位于云核峰值处, 它可能相对年轻.

在 S241 和 ON3 的核区内都有较多的 $2\mu\text{m}$ 红外源, 但核区内最强的 $2\mu\text{m}$ 源仍然与最强的 IRAS 源成协最紧密, 说明它们可能是这些 IRAS 源的 $2\mu\text{m}$ 对应体. 在近红外的色余也很大, 说明星体确较年轻. 对应星源可能与区域内高速气体及水脉泽的激发有关. 在 S241 中, 另一个 $2\mu\text{m}$ 源 0603541 + 301451 的强度仅次于 0603541 + 301452, 也位于 IRAS 源的误差椭圆内, 在云核动力学过程中可能也有重要作用. 应以更高分辨率及偏振观测等作进一步考察.

4 结语

(i) 以 $^{13}\text{CO } J=1\sim0$ 的成图观测, 在水脉泽源 S241, S39 和 ON3 中获得大质量云核, 得出了其参量与附近暗云核的不同. 尺度(约 $2\sim5\text{ pc}$)、质量(约 $10^3\sim10^4 M_\odot$) 均比低质量星形成区的大.

$\text{C}^{18}\text{O } J=1\sim0$ 的发射有时很弱, 而且谱线中心速度与 $^{13}\text{CO } J=1\sim0$ 有偏离, 甚至相差很远. 说明 CO 同位素在某些云中成协不是很好, 对此应用更多样品作进一步研究.

(ii) 这 3 个源的谱线宽度约 $4\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, 与区域尺度的关系难以解释它与小质量星形成区的不同. 其他高速特征, H_2O 脉泽, ON3 谱线的不对称、S241 和 S39 中的线翼都表明恒星形成区的活动, 这些也可能导致谱线加宽.

ON3 中发现了线心速度的系统变化, 可能由核旋转引起, 相当于核以角速度 $\omega \approx 0.9 \times 10^{-14} \text{ s}^{-1}$ 的旋转.

(iii) 3 个云核均有一个强 IRAS 源成协, 并对应核区内最强的 $2\mu\text{m}$ 源, 辐射特征表明它们为深嵌的大质量年轻星体. 在 3 个云中星体距诞生地远近不同, 可能由于经历不同演化造成.

致谢 非常感谢中国科学院紫金山天文台青海观测站的同志在观测期间提供了多方面的帮助. 也非常感谢江林华、孙晓辉、薛永泉、刘怡、杨传义等同学在数据处理中给予的帮助. 本文用了 TMASS 资料, 这是美国国家宇航局(NASA)和基金会(NSF)支持下麻省大学与加州理工学院红外中心的联合项目.

参 考 文 献

- Myers P C, Linke R A, Bebson P J. Dense cores in dark clouds. I. CO observations and column densities of high-extinction regions. *Ap J*, 1983, 264: 517~537
- Beichman C A, Myers P C, Emerson J P, et al. Candidate solar-type protostars in nearby molecular cloud cores. *Ap J*, 1986, 307: 337~349
- Wu Y. Outflow near the low-mass young stellar objects. *Progress in Astronomy*, 1990, 4: 291~302
- Lada C J. Cold outflows, energetic winds and enigmatic jets around young stellar objects. *AR A & A*, 1985, 23: 267~317
- Kutner M L, Ulich B L. Recommendations for calibration of millimeter-wavelength spectral line data. *Ap J*, 1981, 250: 341~348

- 6 Evans N J II. Physical conditions in regions of star formation. *AR A&A* 1999, 37: 311 ~ 362
- 7 Scoville H Z, Sargent A T, Sanders D B, et al. High-resolution mapping of molecular outflows in NGC2071, W49, and NGC7538. *Ap J*, 1986, 303: 416 ~ 432
- 8 Wu Y, Li Y, Lu J, et al. A CO survey for high velocity gas in interstellar H₂O maser sources. *Acta Astrophysica Sinica*, 1998, 18: 415 ~ 418
- 9 Casoli F, Combes F, Dupraz C, et al. ¹³CO and CO observations of cold IRAS unidentified point sources in the galaxy. *A&A*, 1986, 169: 281 ~ 297
- 10 Wu Y, Yang C, Li Y. High velocity gas in S241 and IRAS19529 + 2704. *C A & A*, 1999, 23: 6 ~ 10
- 11 Wood D O S, Churchwell Ed. The morphologies and physical properties of ultracompact H II regions. *Ap J*, 1989, 340: 265 ~ 272
- 12 Wouterloot J G A, Brand J, Henkel C. Star formation in the outer Galaxy. *A & A*, 1988, 191: 323 ~ 340
- 13 Jaffe D T, Guesten R, Downes D. New H₂O masers associated with far-infrared sources. *Ap J*, 1981, 250: 621 ~ 630
- 14 Comoretto G, Palagi F, Cesaroni R, et al. The Arcetri atlas of H₂O maser sources. *A & A S*, 1990, 84: 179 ~ 225
- 15 Genzel R, Downes D. H₂O in the galaxy: sites of newly formed OB stars. *A & A S*, 1977, 30: 145 ~ 168
- 16 Myers P C. Turbulence and collapse in star-forming clouds. In: Latter W B, Radford S J E, Jewell P Q, et al, eds. *Proc IAV Symp 182*, Tucson, 1995. CO: Twenty-five Years of Millimeter-wave Spectroscopy. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1997. 137 ~ 147