II类甲醇脉泽的红外抽运研究 *

郑兴武 凌兆芬 刘桂霞
(南京大学天文系, 210008)

摘 要

本文研究了II类甲醇脉泽与周围红外源的关系，发现它们有很强的相关性. 分析认为红外源很可能是II类甲醇脉泽的抽运源.

关键词 星际介质，脉泽

一、引 言

最近几年，在近200个恒星形成区的原始星际气体里，发现了甲醇(CH_3OH)脉泽辐射[1,2]。从其辐射形态，可分成两类[3]，其中I类甲醇脉泽的典型源是Orion－KL. 所观测到的甲醇脉泽线在$9_1 \rightarrow 9_2E$跃迁，频率为25GHz. 它们一般离开致密氢II区(UCHII)、羟基(OH)和水(H_2O)脉泽1pc左右. 这类甲醇脉泽被认为是从年轻恒星喷发出来的星风与周围气体强相互作用的结果. 它们很可能发生在由激波扫积的浓分子气体的压缩区[4]. II类甲醇脉泽位于致密氢II区的浓原始气体壳层里. 其位置、物理和化学环境非常类似于星际OH脉泽. 脉泽活动发生在$2_0 \rightarrow 3_1E$(12GHz)和$5_1 \rightarrow 6_0A^+$(6.6GHz)线. 典型的源是W3(OH). 由于它们所处的位置，而成为研究大质量恒星形成和演化的强有力的工具.

I类甲醇脉泽分子布居反转很可能是在浓分子气体压缩区，甲醇分子受其他分子或离子碰撞激发引起的[4]. 这种理论已经被Orion－KL区甲醇的25GHz $J_2 \rightarrow J_1E$脉泽的高分辨率观测所证实[5]. 但是，甲醇II类脉泽的激发原因尚不清楚，一种可能是氢II区的自由－自由辐射，受壳层的甲醇分子气体放大而形成了脉泽. 这种理论解释困难在于：部分II类甲醇脉泽是靠近氢II区，但不完全投影在氢II区上，这就很难用氢II区的自由－自由辐射为背景辐射来解释甲醇脉泽.

本文试图用年轻恒星的红外辐射作为抽运源，解释甲醇脉泽的形成. 按照Menten[1]列出的83个6.6GHz的II类甲醇脉泽的位置，从IRAS点源表(IRASPSC)[6]中搜寻对应的红外源. 在以甲醇脉泽为中心，10′为半径内，发现有75个对应的红外源. 我们研究了甲醇脉泽辐射与成协红外源在四个波段上辐射的关系.

二、资料的选取

不少观测者使用不同的天线，在许多分子云浓核中，发现了II类甲醇脉泽[7,8]. 资料

* 国家攀登项目资助研究.
本文于1995年8月15日收到，修改稿于1996年2月10日收到.

表1 Ⅱ类 CH_3OH 脉泽和对应红外源的参数

源名	CH_3OH 位置		S_t	Δv	红外	红外源位置		μ_{12}	μ_{25}	μ_{60}	μ_{100}	D
	α(1950)	δ(1950)	(Jy)	(km /s)	源名	α(1950)	δ(1950)	(Jy)	(Jy)	(Jy)	(Jy)	(kpc)
W3(OH)	02 23 16.4	61 38 57	3880	7	02232+6138	02 23 13.7	61 38 46	0.406E+02	0.536E+03	0.927E+04	0.106E+05	4.97
S231	05 35 51.3	35 44 16	208	7	05358+3543	05 35 48.8	35 43 41	0.561E+01	0.747E+02	0.722E+03	0.131E+04	2.0
173.59+02.44	05 36 06.4	35 29 21	5	1	05361+3539	05 36 06.2	35 39 06	0.118E+01	0.672E+01	0.291E+02	0.131E+04	
Mon_ R2	06 05 20.2	−06 22 40	160	5	06053−0622	06 05 20.4	−06 22 31	0.470E+03	0.410E+04	0.131E+05	0.202E+05	0.8
S252A	06 05 36.5	20 39 34	18	3	06055+2039	06 05 33.9	20 39 47	0.156E+02	0.768E+02	0.103E+04	0.172E+04	2
S252	06 05 53.7	21 39 09	457	4	06058+2138	06 05 53.9	21 38 57	0.140E+02	0.140E+03	0.956E+03	0.167E+04	1.5
S255	06 10 01.0	18 00 44	61	3	06099+1800	06 09 57.9	18 00 12	0.107E+03	0.372E+03	0.314E+04	0.528E+04	1.3
S269	06 11 46.5	13 50 39	134	7	06117+1350	06 11 46.4	13 50 33	0.190E+02	0.152E+03	0.146E+04	0.196E+04	2
345.01+1.79	16 53 21.0	−40 09 40	544	10	16533−4009	16 53 20.2	−40 09 50	0.264E+02	0.471E+03	0.714E+04	0.133E+05	2.3
344.58−0.02	16 59 27.1	−41 37 42	3	2	16594−4	16 59 27.2	−41 37 38	0.113E+01	0.330E+02	0.662E+03	0.112E+04	
345.51+0.35	17 00 54.7	−40 39 59	171	11	17008−4040	17 00 51.0	−40 40 18	0.684E+02	0.539E+03	0.271E+04	0.182E+05	
345.00−0.22	17 01 40.2	−41 25 00	148	12	17016−4124	17 01 38.8	−41 24 59	0.310E+01	0.241E+03	0.367E+04	0.703E+04	
350.11+0.09	17 16 02.3	−37 07 00	43	15	17160−3707	17 16 02.5	−37 07 51	0.451E+02	0.336E+03	0.425E+04	0.104E+05	
NGC6334−B	17 16 34.5	−35 54 44	13	10	17165−3554	17 16 35.1	−35 54 48	0.372E+01	0.806E+03	0.105E+05	0.198E+05	
RCW122	17 16 39.7	−38 54 17	98	16	17167−3854	17 16 42.3	−38 54 31	0.328E+03	0.182E+04	0.990E+04	0.358E+05	
NGC6334−F	17 17 32.3	−35 44 04	3910	16	17175−3544	17 17 33.6	−35 44 05	0.104E+03	0.140E+04	0.114E+05	0.220E+05	1.7
351.78−0.54	17 23 20.9	−36 06 46	246	3	17233−3606	17 23 22.3	−36 06 55	0.450E+01	0.229E+03	0.879E+04	0.204E+05	
354.61+0.48	17 27 00.0	−33 11 38	191	12	17269−3312	17 26 57.2	−33 12 02	0.192E+02	0.137E+03	0.103E+04	0.196E+04	
353.41−0.36	17 27 06.6	−34 39 20	96	5	17271−3439	17 27 09.3	−34 39 24	0.960E+02	0.590E+03	0.704E+04	0.122E+05	
355.34+0.15	17 30 12.0	−32 45 54	15	12	17302−3245	17 30 13.4	−32 45 55	0.467E+01	0.304E+02	0.482E+03	0.691E+03	
359.14+0.03	17 40 14.6	−29 38 12	18	5	17402−2938	17 40 14.2	−29 38 01	0.220E+02	0.108E+03	0.723E+03	0.168E+04	
359.43−0.10	17 41 28.3	−29 27 04	29	8	17423−2924	17 42 22.9	−29 24 05	0.472E+01	0.159E+02	0.362E+03	0.504E+04	
Sgr_ B2	17 44 10.7	−28 22 17	53	11	17441−2822	17 44 09.8	−28 22 05	0.765E+01	0.687E+02	0.130E+05	0.666E+05	10.0
0.54−0.85	17 47 04.1	−28 54 01	86	12	17470−2853	17 47 04.7	−28 53 13	0.424E+02	0.281E+03	0.548E+04	0.131E+05	

2.14+0.01	17 47 19.0	−27 05 01	11	8	17474−2704	17 47 28.4	−27 04 55	0.468E+01	0.136E+02	0.289E+03	0.606E+03	
3.91−0.01	17 51 35.6	−25 34 19	2	18	17516−2532	17 51 37.7	−25 32 59	0.429E+01	0.994E+01	0.167E+02	0.603E+03	
9.61+0.19	18 03 16.0	−20 32 01	4870	3	18032−2032	18 03 14.7	−20 32 08	0.386E+02	0.292E+03	0.411E+04	0.784E+04	
8.67−0.37	18 03 18.9	−21 37 59	117	7	18032−2137	18 03 14.6	−21 37 54	0.190E+02	0.154E+03	0.191E+04	0.522E+04	4.47
W31(1)	18 05 40.5	−19 52 23	823	28	18056−1952	18 05 38.7	−19 52 34	0.793E+01	0.106E+03	0.370E+04	0.102E+05	5.47
10.62−0.38	18 07 30.5	−19 56 28	4	18	18074−1957	18 07 27.0	−19 57 49	0.235E+02	0.148E+03	0.948E+04	0.214E+05	16.82
12.89+0.49	18 08 56.4	−17 32 14	75	9	18089−1732	18 08 56.4	−17 32 14	0.608E+01	0.453E+02	0.125E+04	0.315E+04	3.58
12.03−0.04	18 09 07.4	−18 32 39	98	7	18090−1832	18 09 05.7	−18 32 42	0.263E+01	0.134E+02	0.112E+03	0.171E+04	12.36
11.91−0.15	18 09 18.1	−18 42 25	77	6	18092−1842	18 09 13.7	−18 42 20	0.464E+01	0.584E+01	0.133E+03	0.171E+04	14.00
12.22−0.12	18 09 45.0	−18 25 10	23	15	18097−1825	18 09 47.4	−18 25 06	0.247E+01	0.962E+01	0.182E+04	0.422E+04	80.8
11.94−0.62	18 11 04.4	−18 54 20	46	14	18110−1854	18 11 03.7	−18 54 18	0.136E+02	0.222E+03	0.208E+04	0.493E+04	
W33A	18 11 44.2	−17 52 58	327	6	18117−1753	18 11 43.7	−17 53 01	0.211E+02	0.269E+03	0.223E+04	0.631E+04	4.0
M17	18 17 31.8	−16 13 00	49	3	18174−1612	18 17 29.3	−16 12 48	0.521E+03	0.405E+04	0.265E+05	0.659E+05	1.84
16.59−0.06	18 18 20.3	−14 33 18	22	9	18182−1433	18 18 16.8	−14 33 19	0.249E+01	0.353E+02	0.420E+03	0.107E+04	4.69
18.46−0.01	18 21 48.0	−12 53 02	28	4	18217−1252	18 21 47.5	−12 52 03	0.295E+01	0.410E+02	0.850E+03	0.189E+04	
19.48+0.16	18 23 10.3	−11 54 31	24	15	18232−1154	18 23 15.2	−11 54 22	0.151E+02	0.891E+01	0.935E+03	0.287E+04	3.94
20.24+0.08	18 24 55.8	−11 16 24	112	7	18248−1116	18 24 49.6	−11 16 28	0.324E+01	0.602E+01	0.116E+03	0.257E+03	2.38
20.08−0.13	18 25 23.0	−11 30 46	4	1	18253−1130	18 25 23.4	−11 30 58	0.725E+01	0.761E+02	0.144E+04	0.276E+04	3.48
21.88+0.02	18 28 16.1	−09 51 01	14	2	18282−0951	18 28 16.8	−09 51 44	0.903E+01	0.617E+02	0.675E+03	0.963E+03	2.28
24.33+0.11	18 32 32.3	−07 38 24	3	13	18324−0737	18 32 25.2	−07 37 33	0.514E+01	0.594E+01	0.187E+03	0.727E+03	7.74
W42	18 33 30.6	−07 15 07	89	9	18335−0713	18 33 30.1	−07 13 10	0.775E+01	0.707E+02	0.746E+03	0.694E+04	
27.35−0.20	18 39 16.0	−05 06 35	12	7	18391−0504	18 39 11.4	−05 04 37	0.977E+02	0.698E+02	0.384E+03	0.163E+04	
28.21−0.05	18 40 21.6	−04 16 26	2	10	18402−0418	18 40 14.3	−04 18 59	0.249E+01	0.535E+01	0.157E+04	0.588E+03	
28.83−0.25	18 42 12.4	−03 49 08	85	13	18421−0348	18 42 11.3	−03 48 37	0.559E+01	0.608E+02	0.713E+03	0.188E+04	5.34
29.95−0.02	18 43 27.1	−02 42 36	229	10	18434−0242	18 43 27.2	−02 42 35	0.218E+03	0.170E+04	0.750E+04	0.117E+05	23.06
30.82+0.28	18 44 00.5	−01 48 29	4	27	18440−0148	18 44 00.5	−01 48 40	0.214E+01	0.311E+02	0.334E+03	0.122E+04	

续表

源名	CH_3OH 位置		S_ν	Δv	红外	红外源位置		μ_{12}	μ_{25}	μ_{60}	μ_{100}	D
	α(1950)	δ(1950)	(Jy)	(km /s)	源名	α(1950)	δ(1950)	(Jy)	(Jy)	(Jy)	(Jy)	(kpc)
30.22−0.15	18 44 24.0	−02 32 00	11	11	18443−0231	18 44 21.7	−02 31 12	0.267E+01	0.122E+02	0.120E+04	0.349E+04	
30.60−0.06	18 44 45.0	−02 09 15	5	50	18446−0209	18 44 41.2	−02 09 42	0.192E+01	0.880E+02	0.115E+04	0.183E+04	11.74
30.70−0.06	18 44 58.9	−02 04 27	125	7	18450−0200	18 45 04.0	−02 00 42	0.182E+03	0.760E+03	0.105E+05	0.545E+04	5.76
30.79−0.06	18 45 08.8	−01 59 12	25	22	18450−0205	18 45 00.5	−02 05 16	0.186E+02	0.140E+03	0.167E+04	0.390E+04	7.3
W43M	18 45 36.8	−01 29 12	87	10	18456−0129	18 45 39.6	−01 29 49	0.485E+01	0.893E+02	0.107E+04	0.369E+04	7.0
32.74−0.07	18 48 46.7	−00 15 28	46	12	18486−0017	18 48 40.0	00 17 19	0.327E+01	0.453E+01	0.270E+03	0.265E+03	
33.13−0.09	18 49 33.6	00 04 25	10	38	18494+0002	18 49 27.2	00 02 58	0.284E+01	0.539E+01	0.591E+03	0.218E+04	
34.26+0.15	18 50 46.2	01 11 12	32	7	18507+0110	18 50 47.0	01 10 49	0.140E+03	0.111E+04	0.115E+05	0.325E+05	3.69
35.03+0.35	18 51 30.3	01 57 30	50	2	18515+0157	18 51 32.7	01 57 45	0.537E+01	0.422E+02	0.133E+04	0.330E+04	4.51
35.19−0.74	18 55 40.8	01 36 30	107	7	18556+0136	18 55 41.2	01 36 28	0.426E+01	0.217E+03	0.193E+04	0.112E+04	2.6
35.20−1.73	18 59 13.8	01 09 20	556	8	18592+0108	18 59 14.5	01 08 46	0.114E+03	0.102E+04	0.102E+05	0.140E+05	3.08
40.62−0.14	19 03 34.9	06 41 55	14	7	19035+0641	19 03 34.9	06 41 55	0.227E+01	0.667E+02	0.610E+03	0.923E+03	10.36
W49N	19 07 49.9	09 01 14	28	25	19078+0901	19 07 51.7	09 01 11	0.105E+03	0.109E+04	0.757E+04	0.362E+05	11.61
43.80−0.13	19 09 30.8	09 30 47	152	5	19095+0930	19 09 30.2	09 30 42	0.530E+01	0.129E+03	0.172E+04	0.274E+04	3.17
45.07+0.13	19 11 00.4	10 45 43	42	2	19110+1045	19 11 00.3	10 45 42	0.576E+02	0.494E+03	0.591E+04	0.750E+04	6.67
45.47+0.13	19 11 47.5	11 07 14	15	18	19117+1107	19 11 47.3	11 07 13	0.373E+02	0.304E+03	0.261E+04	0.789E+04	8.42
45.47+0.05	19 12 04.4	11 04 11	3	5	19120+1103	19 21 00.4	11 03 59	0.788E+02	0.640E+03	0.534E+04	0.789E+04	5.96
W51	19 21 24.4	14 24 48	979	28	19213+1424	19 21 22.3	14 24 58	0.424E+03	0.434E+04	0.480E+04	0.268E+05	5.60
V645_Cyg	19 41 04.2	23 36 42	103	13	19410+2336	19 41 04.2	23 36 54	0.144E+02	0.109E+03	0.982E+03	0.163E+04	5.37
ON1	20 08 10.0	31 22 40	91	17	20081+3122	20 08 09.9	31 22 39	0.111E+01	0.588E+02	0.143E+04	0.312E+04	3.0
ON2	20 19 50.5	37 16 30	54	14	20198+3716	20 19 49.1	37 16 16	0.738E+02	0.480E+03	0.545E+04	0.698E+04	3.58
Cep_A	22 54 19.2	61 45 47	1420	5	22543+6145	22 54 20.2	61 45 55	0.112E+02	0.820E+03	0.128E+05	0.205E+05	0.70
NGC7538	23 11 36.6	61 11 50	346	8	23116+6111	23 11 36.9	61 11 57	0.243E+03	0.178E+04	0.707E+04	0.141E+05	6.16

审查表明，用不同灵敏度，不同空间分辨率和不同频率分辨率的天线，将会得出不尽相同的结果．为了求得系统的一致性，我们选取美国国立射电天文台(Green Bank)观测站43m天线的甲醇脉泽的观测资料[1]．天线的系统温度为50—70K，噪声水平 σ 为 0.4×10^{-26}W · Hz /m^2 (单位 Jy)．观测频率为6.668518GHz，频率分辨率分别为0.055和0.44 km /s．利用这个天线系统，Menten发现83个6GHz $5_1\rightarrow6_0A^-$ 跃迁的II类甲醇脉泽．按照脉泽源的位置，在10′为半径的范围内搜寻红外源．发现其中75个II类甲醇脉泽有其对应的红外源．表1列出这75个脉泽源的位置 α 和 δ，峰值流量密度 S_v(J)以及甲醇脉泽辐射的带宽 Δv(km /s)，这些资料选自文献[1]．表1还列出对应于甲醇脉泽源的红外源的位置，以及在12μm、25μm、60μm和100μm波段上的辐射流量．

三、资料分析和结果

为了研究II类甲醇脉泽与附近红外源的关系，论证恒星形成区的红外辐射是甲醇脉泽的抽运源，作如下统计分析：

(1) II类甲醇脉泽和红外源的位置关系．图1给出红外源到甲醇脉泽的距离的分布图．可以看出，除了四个源以外，红外源和甲醇脉泽源对应在150″为半径的区域内．其中55个红外源和甲醇脉泽的距离小于60″．占总数的73%．假如选取源的距离为2kpc，60″角距离对应的线尺度为0.6 pc．这个尺度大致是巨分子云浓核的尺度．

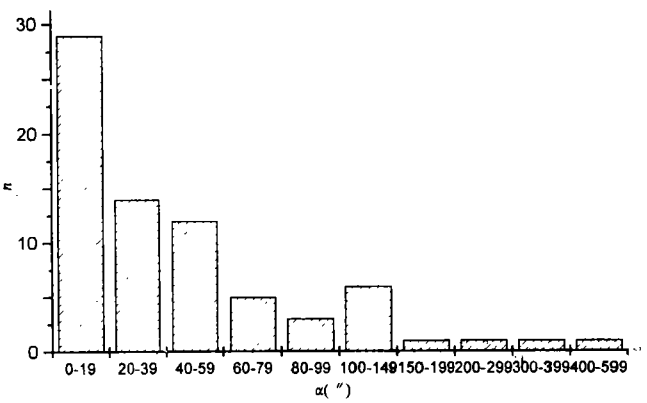


图1　甲醇脉泽和附近红外源距离的分布图

Fig.1　Distribution of the distance between CH_3OH and IRAS position

(2) 与甲醇脉泽成协的红外源双色图．从表1发现，每一个红外源都有4个观测波段的流量密度，由此可以导出3个相互独立的红外源色指数．定义 $C_{x-y}=\lg(f_x/f_y)$，其中 f_x 和 f_y 分别为波长 x 和 y 波段上的流量密度值．色指数反映了红外辐射在各个波长的分布状态，这种分布可能反映年轻恒星形成的不同的演化阶段[9]．

图2给出色指数双色图．从图(a)看出，具有甲醇脉泽的红外源在该双色图中，有一定分布，它们绝大部分都分布在直线 $C_{60-12}=1.48C_{25-12}$ 的上半部．从图(b)看出，具有甲醇脉泽的红外源分布在 $C_{100-12}=1.14C_{60-12}$ 直线的上半部．这两张图给出了根据红外源IRAS辐射特性，寻找甲醇脉泽的一个判据：$C_{60-12}>1.48C_{25-12}$ 和 $C_{100-12}>1.14C_{60-12}$．

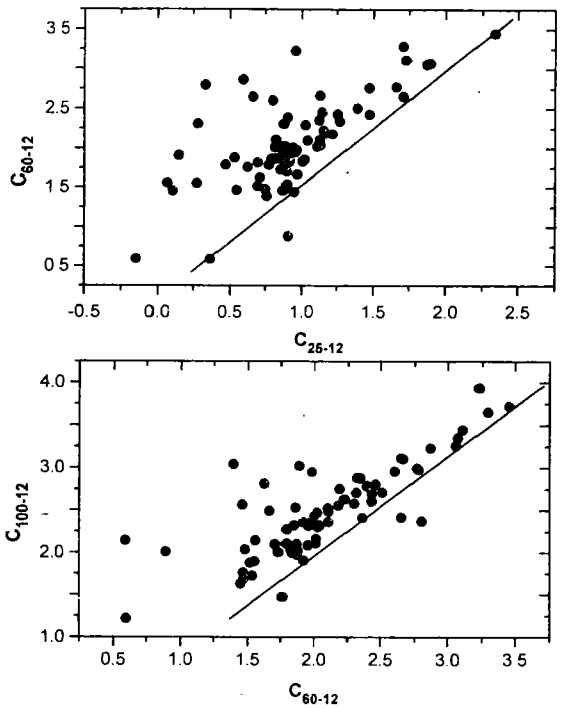


图2 与甲醇脉泽成协的红外源双色图

Fig.2 The color distribution of IRAS sources associated with CH_3OH masers

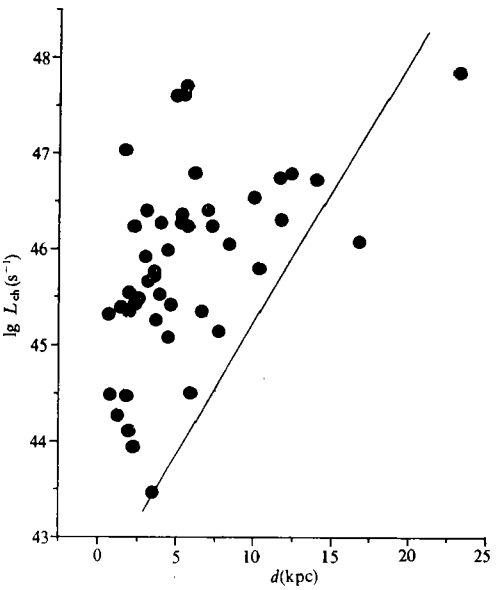


图3 甲醇脉泽光子发射率与源距离的关系

Fig.3 Maser luminosity vs distance

(3) 甲醇脉泽发射的光子数与距离的关系. 假设甲醇脉泽为各向同性辐射, 甲醇脉泽的光子发射率为

$$L_{ch}=\frac{4\pi S_\nu \Delta\nu D^2}{h\nu}\ , \tag{1}$$

把流量密度、距离和带宽的单位换成天文的实用单位 Jy, kpc 和 km /s, 则(1)式可写为

$$L_{ch}=6.02\times10^{41}S_\nu\Delta\nu D^2\times10^{41}. \tag{2}$$

在观测资料中, 没有给出在总辐射带宽上积分的流量密度 $S_\nu\Delta\nu$. 用观测资料给出的峰值流量密度视为 S_ν, $\Delta\nu$ 采用总的辐射频率覆盖. 这样用(2)式计算甲醇脉泽的光子发射率会带来误差. 我们仔细研究了三个源, 发现用(2)式计算总的光子发射率时, 过高地估计了脉泽的光子发射率, 误差在一个数量级以内.

图 3 给出总甲醇脉泽光子发射率与源距离的关系. 直线为天线灵敏度. 可以看到, $d<2$kpc 时, 有许多 $L_{ch}>10^{42}$ 的甲醇脉泽, 由于观测的选择性, 没有被观测到. 在 6kpc 以外, 甲醇脉泽明显地减少, 这可能与银河系中分子气体分布有关.

(4) 甲醇脉泽和红外源发射光子率的关系. 由于红外辐射带宽大于 12— 100μm波段范围. 如果直接从红外点源表中列出的 4 个流量密度值, 估计红外源的光子发射率, 很可能会低估其值. 为了弥补, 我们从已知 4 个波段的流量密度值, 利用尘埃的发射谱

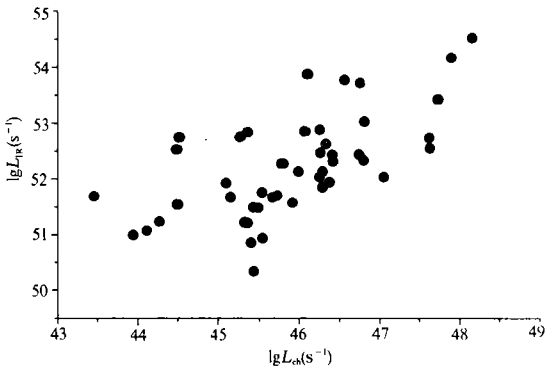


图 4　甲醇脉泽和成协红外源光子发射率的关系

Fig.4　CH_3OH maser luminosity vs FIR luminosity

$S_\nu = S_0 \nu B_\nu(T_c)$，外推得出 7$\mu$m 和 140$\mu$m 的红外辐射．再由不规则形求面积的方法[8]，从公式

$$S_{IR} = 10^{-14}(15.3S_7 + 18.8S_{12} + 11.5S_{25} + 3.12S_{60} + 1.20S_{100} + 0.306S_{140})\text{W}/\text{m}^2, \tag{3}$$

计算总的积分流量，则红外源光子发射率为 $L_{ch} = 4\pi S_{IR} D^2 / h\nu_{IR}$.

图 4 给出甲醇脉泽和红外源光子发射率之间的关系．从图中看出，红外光子发射率总大于甲醇脉泽光子发射率，这给甲醇脉泽的红外抽运提供了强有力的证据．

四、抽运理论讨论

下面将定量计算红外辐射抽运，以确认可能的 II 类甲醇脉泽形成的抽运机制．如前所述，脉泽活动是中性分子云中一种微波受激放大过程．因此，管状脉泽活动区是一种可接受的几何模型．设管的长度为 l_m，截面积半径为 R_m，管状脉泽辐射束立体角为 $\Omega_m = 4\pi R_m^2 / l_m^2$，根据甚长基线干涉仪(VLBI)的高分辨率[8,12]，观测得 $R_m \approx 10^{14}$cm，从相干长度估计 $l_m = 5 \times 10^{15}$cm，则脉泽辐射束立体角约为 0.005rad.

脉泽形成的必要条件是能级布居反转．设红外源发射的红外光子激发脉泽区的甲醇分子，使甲醇脉泽能级布居反转．定义在单位体积、单位时间里，抽运进脉泽的甲醇分子数为抽运率 P．抽运率与脉泽辐射能级上的甲醇分子数密度 n、爱因斯坦受激跃迁几率 B、和在由红外源引起的局部辐射 I 成正比，即有 $P \sim nBI$.

设脉泽活动光学厚，β 为脉泽活动区的捕捉因子，则有

$$\beta = \frac{1}{\tau}\ ,\ \tau = \frac{h\nu_{iR}}{4\pi\Delta\nu_{iR}} Bnl_m\ , \tag{6}$$

其中 τ 为光学厚度，ν_{IR} 和 $\Delta\nu_{IR}$ 为抽运源辐射频率和辐射带宽．

设红外源辐射为各向同性，脉泽活动区吸收抽运红外光子也各向同性，则抽运率与红外源张的立体角 Ω_{IR} 成正比．定义稀释因子 w 为

$$w = \frac{\Omega_{IR}}{4\pi} = \frac{1}{4}\left(\frac{R_{IR}}{r}\right)^2, \tag{7}$$

其中 R_{IR} 为红外源的半径，r 为脉泽活动区到红外源的距离．考虑(6)和(7)式，有:

$$p=\frac{\pi I}{h\nu_{IR}}\,\Delta\nu_{IR}\frac{1}{L_m}\left(\frac{R_{IR}}{r}\right)^2, \tag{8}$$

在各向同性的假设下，有 $\pi I=F$, F 为红外抽运辐射流密度．体积为 $\Delta V=\pi R_m^2 l_m$ 的总抽运率为

$$P_t=P\Delta V=4\pi R_{IR}^2\frac{F}{h\nu_{IR}}\,\Delta\nu_{IR}\frac{\pi R_m^2}{4\pi r^2}=N_{IR}\frac{\Omega}{4\pi}\ , \tag{9}$$

N_{IR} 为红外抽运源的光子发射率，Ω 为脉泽活动区所张的立体角 $\pi R_m^2/r^2$．从(9)式，对于一个光学厚的脉泽活动区来说，为了使脉泽能级分子布居反转，总的抽运率应等于在脉泽活动区方向红外源的光子发射率．

实际上，在总抽运的粒子中只有极少的一部分发射脉泽光子．定义抽运效率为 η，脉泽活动区的脉泽光子发射率为

$$N_m=\eta P_t=\eta N_{IR}\frac{\Omega}{4\pi}\ , \tag{10}$$

从图4，可以估计 $\eta\Omega/4\pi$ 约在 10^{-6}— 10^{-7} 之间．选取一个典型的甲醇脉泽源，其距离为2kpc，红外源和甲醇脉泽源的角距离为 $10''$，对应的线距离约0.1pc．考虑甲醇脉泽的截面积为 10^{14}cm，在一个脉泽源中，平均有25个脉泽子源，则估计 $\eta\approx10^{-2}$．这个抽运效率与Moran等人对恒星形成区中脉泽的抽运效率的估计是相一致的[12].

利用 Rayleigh－Jeans 近似关系: $I_\nu(T)=2\nu^2kT/c^2$，考虑近似关系，$\Delta\nu_{IR}/\nu_{IR}=\Delta\nu_m/\nu_m$，由(10)式可导出脉泽辐射亮温度 T_m 和红外辐射体亮温度 T_{IR} 的关系

$$T_m=\eta w\left(\frac{4\pi}{\Omega_m}\right)\left(\frac{\nu_{IR}}{\nu_m}\right)^2T_{IR}, \tag{11}$$

从上式，可以发现，脉泽辐射亮温度的主要贡献来自 $(\nu_{IR}/\nu_m)^2$．选取 $\eta=10^{-2}$, $w=10^{-2}$, $\Omega_m=5\times10^{-3}$, $\lambda_{IR}=60\mu$m, $\lambda_m=4.5$cm, $T_{IR}=100$K，则脉泽辐射亮温度可达 1.4×10^7K，与观测结果非常接近．

根据甲醇脉泽附近红外源的光子发射率，以及由它作为抽运机制计算的甲醇脉泽的亮温度，可以认为恒星形成区的红外源很可能是II类甲醇脉泽的抽运源．

五、结　论

从最近观测发现的83个6.6GHz $5_1\rightarrow6_0A^+$ II类甲醇脉泽源中，发现有75个对应的红外源．通过甲醇脉泽辐射和红外辐射特征的分析研究，得出如下结论:

(1) II类甲醇脉泽和它附近的红外源有很好的位置对应关系．75外源中，55个源的甲醇脉泽和红外源角距离小于 $60''$．

(2) 甲醇脉泽附近红外源的光子发射率比甲醇脉泽光子发射率大约 10^6— 10^7 倍．考虑抽运效率 $\eta\approx10^{-2}$，红外源有足够大的辐射作为II类甲醇脉泽的抽运源．

(3) 在脉泽活动区光学厚的条件下，近100K亮温度的红外辐射体，依靠辐射抽运，

能够形成亮温度近 10^7K 的 II 类甲醇脉泽.

(4) 具有甲醇脉泽的红外源在(C_{25-12}, C_{60-12}) 和(C_{100-12}, C_{60-12}) 两个双色图中，有一定的分布位置，应该在具有色指数 $C_{60-12}>1.48C_{25-12}$ 和 $C_{100-12}>1.14C_{60-12}$ 的红外源位置，找 II 类甲醇脉泽.

参　考　文　献

[1] Menten, K. M., *Ap. J.* (*Lett.*), Vol.**380**, L75, 1991.

[2] MacLeod, G. C., M. J. Gaylard and G. D. Nielson, Mon. N. Roy, Astro. Soc., Vol.**254**, p.1, 1992.

[3] Batrla, W., H. E. Matthews, K. M. Menten and C. M. Walmsley, *Nature*, Vol.**326**, p.49, 1987.

[4] Plambeck, R. L. and K. M. Menten, *Ap. J.*, Vol.**364**, p.555, 1990.

[5] Johnston, K. J. et al., *Ap. J.*, Vol.**385**, p.232, 1991.

[6] Beichman, C. A. et al., IRAS Catalogs and Atlas Explanatory Supplement, GPO, 1985.

[7] McCuteheon, W. H. et al., *Ap. J.* (*Lett.*), Vol.**333**, L79, 1988.

[8] Menten, K. M. et al., *Ap. J.* (*Lett.*), Vol.**331**, L41, 1988.

[9] Lada, C. J. and N. D. Kylafis (Ed.), The Physics of Star Formation and Early Stellar Evolution, Kluwer Academic Publishers, p.329, 1991.

[10] Henning, T., W. Pfan and W. J. Altenhoff, *Ap. A.*, Vol.**227**, p.542, 1990.

[11] Moran, J. M., Molecular Astrophysics (Ed. by T. Hartquist), Cambridge Univ. Press, p.389, 1989.

A STUDY ON THE PUMPING MECHANISM OF CLASS II CH_3OH MASERS

Zheng Xing－wu　Ling Zhao－fen　Liu Gui－xia

(*Department of Astronony, Nanjing University*, 210093)

Abstract

The association of CH_3OH masers with far－infrared sources is investigated in this paper. A strong correlation between the maser and infrared luminosities appears to show an infrared excitation for the CH_3OH masers.

Key words　Interstellar medium, Maser