

分类号 \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_

UDC \_\_\_\_\_

编号 \_\_\_\_\_

# 中国科学院研究生院 硕士学位论文

W49, W3, DR21 和NGC2024 GMCs 的甲醛观测研究

张传朋

指导教师 加尔肯·叶生别克 副研究员

中国科学院新疆天文台

申请学位级别 硕士 学科专业名称 天体物理

论文提交日期 2011年6月 论文答辩日期 2011年6月

培养单位 中国科学院新疆天文台

学位授予单位 中国科学院研究生院

答辩委员会主席 王娜 研究员



# The Formaldehyde Observations and Studies of W49, W3, DR21 and NGC2024 GMCs

**Chuan-Peng Zhang**

Supervisor:

Dr. Jarken Esimbek

Xinjiang Astronomical Observatory  
Chinese Academy of Sciences

June, 2011

*Submitted in total fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science  
in Astrophysics Research*





## 摘 要

本篇论文首先是对南山25米射电望远镜的接收系统进行了概述;其次,利用厘米波段的甲醛谱线和连续谱以及毫米波段的一氧化碳谱线的辐射信息,并结合中红外波段的数据对大质量恒星形成的早期阶段进行了观测研究;最后,基于GILDAS软件包中的CLASS软件,对FITS与CUBE数据的存储、处理和转换的方法进行了探讨.

在大质量恒星形成区,巨分子云的 $\text{H}_2\text{CO}$ 大尺度成图,相对来说是稀少但是必要的. $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线可以较好地示踪恒星形成区的低温包层的分子云.因此,我们的主要目的是了解 $\text{H}_2\text{CO}$ 在包层中的分布,利用6厘米的连续谱和 $\text{H}_2\text{CO}$ 数据( $1_{11} - 1_{10}$ ;来自南山25米射电望远镜), $^{12}\text{CO}$ (1-0;来自1.2米CfA望远镜)和中红外MSX数据,寻求这些示踪物在形态学上的分布关系,并进一步了解连续谱背景云对甲醛前景云的影响.

在80M的带宽内,我们同时观测了6厘米的 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线和 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线,并且给出了四个巨分子云的大尺度成图.它们分别是:W49 ( $50' \times 50'$ ),W3 ( $70' \times 90'$ ),DR21/W75 ( $60' \times 90'$ )和NGC2024/NGC2023 ( $50' \times 100'$ ) GMCs.通过对 $\text{H}_2\text{CO}$ , $^{12}\text{CO}$ ,MSX数据和连续谱的叠图与比较,我们得到了一些重要的关系. $\text{H}_2\text{CO}$ , $^{12}\text{CO}$ 和MSX数据的分辨率分别是 $\sim 10'$ , $\sim 8'$ 和 $\sim 18.3''$ .

在形态学上, $\text{H}_2\text{CO}$ , $^{12}\text{CO}$ ,MSX数据和连续谱的积分强度图有很好的相似性.它们的峰值位置几乎位于同一点上,然而 $^{12}\text{CO}$ 与其它峰值位置有较大的偏差.相对于弱的CMB背景来说,较强的连续谱背景对 $\text{H}_2\text{CO}$ 的强度分布有较大的贡献.通过分析线宽与强度,我们也发现 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 之间存在着较好的相关性,因此它们可能示踪相似的物理环境.在NGC2024/2023 GMC的北部, $\text{H}_2\text{CO}$ 云可能是以CMB为背景而激发产生吸收线.最后,我们统计了 $\text{H}_2\text{CO}$ 的强度与线宽的分布,大约85.21%的 $\text{H}_2\text{CO}$ 速度成分分布在: $-1.0 \text{ Jy} < \text{Intensity} < 0$ 和 $1.206 \text{ km s}^{-1} < \Delta V < 5 \text{ km s}^{-1}$ .

FITS是天文学界常用的数据格式,它专门为在不同平台之间交换数据而设计.我们介绍了FITS数据格式的头文件信息和数据存储的标准.FITS文件由头文件和数据组成.在头文件中存储有对该文件的描述,如观测时间、观测对象、观测坐标、观测者等信息,同时也可以头文件中注明观测时的视场、

精度等, 便于后期数据分析之用. 而在数据存储单元中是二维、三维或者四维的数据. GILDAS 软件包是对分子谱线进行数据处理的主要工具. 为了方便于新疆天文台分子谱线小组氨分子巡天数据的存储与再处理, 我们将利用FITS与CUBE数据的转换进行数据存储与分析. 在此, 我们介绍了使用GILDAS软件包的中CLASS软件提取FITS谱线信息的基本过程. 还探讨了将FITS数据打包成CUBE数据的全部过程, 并且还展示了抽取的FITS数据全部谱线和单点谱线的基本命令.

**关键词:** 恒星形成, 大质量, 分子云, HII区, 成图, FITS, CUBE, GILDAS

## Abstract

In this paper, firstly, the Nanshan 25-meter radio telescope receiving systems are outlined; Secondly, the centimeter-band spectra and continuum of formaldehyde and carbon monoxide millimeter-wave radiation spectrum, combined with the data in the infrared band of large mass star formation were observed in the early stages of research; Finally, basing CLASS in the GILDAS software package, we discuss how to process the CUBE of the FITS data.

The H<sub>2</sub>CO mapping of large area Giant Molecular Cloud (GMC), is relatively few but necessary. H<sub>2</sub>CO absorption line is a good tracer to the ambient molecular clouds of low temperature toward the star formation regions. So we need to know the distribution of H<sub>2</sub>CO in the ambient molecular clouds. Furthermore, we want to understand the morphologic relations among 6-cm continuum brightness temperature and H<sub>2</sub>CO (1<sub>11</sub> – 1<sub>10</sub>; from Nanshan 25-m radio telescope), <sup>12</sup>CO (1-0; from 1.2-m CfA telescope), Midcourse Space Experiment (MSX) data, and look after the impact of background components to foreground clouds.

We report simultaneous 6-cm H<sub>2</sub>CO absorption lines and H110 $\alpha$  radio recombination lines (RRLs) observations and give several large area mappings at 4.8 GHz toward W49 (50'  $\times$  50'), W3 (70'  $\times$  90'), DR21/W75 (60'  $\times$  90') and NGC2024/NGC2023 (50'  $\times$  100') GMCs. By superimposing H<sub>2</sub>CO and <sup>12</sup>CO contours onto the MSX color map, we gained many correlations among them. The resolutions of H<sub>2</sub>CO, <sup>12</sup>CO and MSX data are respectively  $\sim$ 10',  $\sim$ 8' and  $\sim$ 18.3''.

We find a rather great morphological correlation, by comparing the H<sub>2</sub>CO contours, <sup>12</sup>CO contours, the 8.28- $\mu$ m MSX colorscale map and continuum brightness temperature. And their peaks almost locate at the same position, but <sup>12</sup>CO peaks have some disagreement with H<sub>2</sub>CO in the small area. By analyzing the relations of width and intensity between H<sub>2</sub>CO and <sup>12</sup>CO, we find that there also exist good correlations, so they may trace a similar ambient physical condition of star formation region in the large area. NGC2024/NGC2023 GMC is a large area HII region with high continuum brightness temperature, however, on the north H<sub>2</sub>CO cloud is possible against CMB.

A statistical diagram is presented shows that 85.21% of H<sub>2</sub>CO absorption lines are distributed in the restriction range of  $-1.0 \text{ Jy} < \text{intensity} < 0$  and  $1.206 \text{ km s}^{-1} < \Delta V < 5 \text{ km s}^{-1}$ .

FITS (Flexible Image Transport System) is a data format commonly used by astronomical community. FITS is designed for data exchange between different platforms. We introduce the FITS data format of the header information and data storage standards. FITS file is made of the file header and data components. Header file stores a description of the file, such as observing time, observing object, observing coordinate, observer and other information. And it also indicates precision, which is easy to post data analysis purposes. In the data storage unit, there are two-dimensional, three-dimensional or four-dimensional data. GILDAS software package is the main tool for processing molecular lines data. In order to facilitate data storage and reprocessing of ammonia survey in the Xinjiang Observatory, we will use the CUBE and FITS to storage and analysis data. Here, we introduce the basic process of extracting spectral information with CLASS commands. Moreover, we exhibit the whole process of transforming FITS into CUBE, and show the basic commands of extracting FITS spectra and a single spectrum.

**Keywords:** stars: formation - stars: massive - ISM: clouds - ISM: HII regions - stars: imaging - stars: individual (W49, W3, DR21/W75 & NGC2024/NGC2023), FITS, CUBE, GILDAS

# 目 录

摘要	i
Abstract	iii
目录	v
第一章 引言	1
1.1 天文分子谱线	1
1.2 H <sub>2</sub> CO、HII区的射电复合线、CO	3
1.3 分子云	8
1.4 大质量恒星形成	10
第二章 观测与数据处理	15
2.1 观测目标	15
2.2 观测设备	16
2.2.1 南山25米射电望远镜	16
2.2.2 1.2米的毫米波望远镜	18
2.2.3 MSX中红外望远镜	19
2.3 数据处理	20
2.4 数据分析与描述	21
第三章 多波段的大尺度成图及分析与比较	25
3.1 四个巨分子云的成图及特征	25
3.1.1 W49 GMC	25
3.1.2 W3 GMC	26
3.1.3 DR21/W75 GMC	28

3.1.4	NGC2024/NGC2023 GMC .....	29
3.2	分析与比较H <sub>2</sub> CO与连续谱亮温度的分布 .....	30
3.3	分析与比较H <sub>2</sub> CO、 <sup>12</sup> CO、MSX 的分布 .....	31
3.4	<sup>12</sup> CO的峰值与H <sub>2</sub> CO和连续谱之间的位置差异 .....	33
3.5	H <sub>2</sub> CO的线宽与强度之间的统计关系 .....	34
3.6	总结 .....	35
<b>第四章</b>	<b>FITS 与CUBE 格式的数据处理与转换 .....</b>	<b>37</b>
4.1	FITS 数据格式简介 .....	37
4.2	二维的FITS数据打包成CUBE 数据 .....	41
4.3	抽取CUBE 数据中的谱线 .....	43
4.4	总结 .....	44
<b>第五章</b>	<b>结论 .....</b>	<b>45</b>
<b>附录 A</b>	<b>插图 .....</b>	<b>47</b>
<b>附录 B</b>	<b>表格 .....</b>	<b>51</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>59</b>
<b>攻读硕士学位期间的研究成果</b>	<b>.....</b>	<b>65</b>
<b>致谢</b>	<b>.....</b>	<b>67</b>

## 插 图

1.1	银河系的CO积分强度图 .....	8
1.2	银河系的CO位置速度图 .....	8
1.3	小质量年轻星能谱分布的演化序列图 .....	12
1.4	小质量年轻星演化的四个阶段 .....	13
2.1	分子谱线观测硬件系统 .....	16
2.2	1.2米的毫米波望远镜观测区域图 .....	18
2.3	MSX 巡天数据分布图 .....	19
2.4	W49 GMC 的H <sub>2</sub> CO和连续谱数据的叠图 .....	21
2.5	W3 GMC 的H <sub>2</sub> CO和连续谱数据的叠图 .....	22
2.6	DR21/W75 GMC 的H <sub>2</sub> CO和连续谱数据的叠图 .....	23
2.7	NGC2024/2023 GMC 的H <sub>2</sub> CO和连续谱数据的叠图 .....	24
3.1	W49 GMC 的H <sub>2</sub> CO、 <sup>12</sup> CO和MSX数据的叠图 .....	25
3.2	W3 GMC 的H <sub>2</sub> CO、 <sup>12</sup> CO和MSX数据的叠图 .....	27
3.3	DR21/W75 GMC 的H <sub>2</sub> CO、 <sup>12</sup> CO和MSX数据的叠图 .....	28
3.4	NGC2024/2023 GMC 的H <sub>2</sub> CO、 <sup>12</sup> CO和MSX数据的叠图 .....	30
3.5	H <sub>2</sub> CO的积分强度与连续谱亮温度的关系图 .....	31
3.6	<sup>12</sup> CO和H <sub>2</sub> CO的速度关系图 .....	32
3.7	<sup>12</sup> CO和H <sub>2</sub> CO的强度关系图 .....	33
3.8	<sup>12</sup> CO和H <sub>2</sub> CO的FWHM关系图 .....	33
3.9	H <sub>2</sub> CO的FWHM与流量的分布关系图 .....	34
4.1	RUN SPECTRUM 命令的对话框 .....	44
A.1	W49 GMC 的H <sub>2</sub> CO谱线 .....	47
A.2	W49 GMC 的H110 $\alpha$ 射电复合线 .....	47

---

A.3	W3 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 谱线 .....	48
A.4	W3 GMC 的 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线 .....	48
A.5	DR21/W75 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 谱线 .....	49
A.6	DR21/W75 GMC 的 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线 .....	49
A.7	NGC2024/2023 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 谱线 .....	50
A.8	NGC2024/2023 GMC 的 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线 .....	50



## 表 格

2.1	四个巨分子云的相关参数 .....	15
B.1	W49 GMC 的观测与计算结果 .....	52
B.2	W3 GMC 的观测与计算结果 .....	53
B.3	DR21/W75 GMC 的观测与计算结果 .....	54
B.3	DR21/W75 GMC 的观测与计算结果(续) .....	55
B.3	DR21/W75 GMC 的观测与计算结果(续) .....	56
B.4	NGC2024/2023 GMC 的观测与计算结果 .....	57
B.4	NGC2024/2023 GMC 的观测与计算结果(续) .....	58



## 第一章 引言

分子天体物理也称分子天文学,是20世纪70年代后蓬勃发展起来的一门新学科,是天体物理学的一个重要分支,它通过天文分子谱线所提供的丰富信息研究各类天体的形态,结构,物理状态,化学性质和演化.它的发展大大推动了恒星与星际物质的相互作用以及恒星乃至星系的形成和演化的研究,并促进了一大批天体物理难题的解决<sup>[1]</sup>.

从早期宇宙的复合时代到超新星遗迹,各种各样的天体中都能找到天文分子的踪迹.它们伴随着恒星的诞生和死亡并且提供演化的标记.已经用分子观测来研究的对象有星际气体(包括各种星云,分子云及河外星系的星际气体),银河(结构),电离氢区,恒星形成区,天体微波激射源,外向流,恒星吸积盘,原恒星,赫比格-阿罗天体,恒星大气,晚型星的星周包层及质量损),行星状星云,新星,超新星喷射物,星风,太阳黑子,彗星,行星及其卫星的大气,在活动星系核,原星系,星暴星系,合并星系甚至星系空间及类星体中也发现了天文分子.因此,分子成为诊断它们所在天体物理的物理条件的强有力的探针.

恒星形成的关键元素只有利用可见光以外波长的观察才能奏效.分子云的构造和原恒星的效应都只能在近红外线的消光图中被观察到(在那些区域内单位体积内恒星的数目与附近的区域比较趋近于0),来自一氧化碳(CO)分子和其他分子的转动转换,以及尘埃所释放出的连续辐射,至少可以在次微米波与无线电两个波段内被观察到,来自原恒星和早期恒星的辐射已经在红外线波段上观察到.由静止的云气造成的消光是如此的强大,使我们无法在可见光这一部分的光谱上观察到.实际上遭遇的困难是大气层在20微米至850微米几乎是完全不透明的,只有在200微米和450微米有狭窄的窗口.在这范围之外必须使用消除大气的技术观测.

### 1.1 天文分子谱线

星际分子的发现最早来自于光学观测.1937年观测到星光在经过星际物质后,某些波长的光被星际云吸收.后来证实它们是星际云中的甲川(CH)、氰基(CN)和甲川离子(CH<sup>+</sup>)的吸收光谱.但大多数星际分子谱线是在波长几十厘

米到几毫米的微波波段检测到的. 最先用射电望远镜找到的分子是羟基(OH). 1963年在仙后座内一些冷的星际氢云中探测到羟基对背景辐射源的吸收谱线, 波长约18厘米. 这项工作肯定了射电天文方法对于冷的、致密的星云中的星际分子是一种新的、有效的研究手段. 1968年末在1.3厘米波长附近接连观测到氨和水分子的谱线. 1969年证实星际有机分子甲醛( $\text{H}_2\text{CO}$ )的存在. 1970年发现包括一氧化碳(CO)在内的六种星际分子. 此后, 陆续发现和证认出一系列星际分子. 到1979年底已观测到并经证认的星际分子有50多种.

星际分子谱线是分子从它的某个能级跃迁到另一个能级时吸收或发射某一固定频率的电磁波而产生的. 不同能级之间的跃迁产生不同谱线. 大多数的分子射电谱线是由分子各个转动能级间的辐射跃迁形成的, 叫做纯转动谱线. 但是, 有些分子由于内部某些复杂的相互作用的影响, 能级比较复杂, 内部的各种相互作用使谱线呈现多种类型, 其中落在厘米, 毫米和亚毫米的几种类型对于分子天体物理学家来讲是特别有兴趣的. 在星际分子中遇到的有 $K$ 双重能级、 $\bar{E}$ 双重能级、反演能级和超精细能级.  $K$ 双重能级是由分子结构上的微小的不对称性造成的,  $\bar{E}$ 双重能级是由于分子的转动运动与分子内电子的运动相互作用而产生的. 这两种情况都使原来能量完全相同的两种运动状态变成能量稍有不同的两种运动状态. 反演能级见于氨分子, 氨分子中三个氢原子确定一个平面, 而氮原子可以置于此平面的任一边, 这相当于氨分子的两种运动状态, 它们的能级也有微小差别. 最后, 如果组成分子的原子具有不等于零的原子核磁矩, 则核磁矩的相对取向不同时, 分子的能级相应地也有微小的差别. 上述几种情况都使能级产生微小的差别, 叫作超精细能级. 它们的能级的间距都比较小, 它们之间的跃迁常产生相当于微波频率的谱线, 可用射电方法观测. 超精细能级与组成分子的原子(或其同位素)的核磁矩性质密切相关, 因此, 我们由超精细能级的谱线结构可以判断分子是由哪种同位素构成的, 并可由谱线的相对强度推测星云中各种同位素的丰度比.

频率在无线电波段的天文谱线, 天体(主要是星际物质)中原子和分子在不同能级间跃迁时所产生. 它们不为星际尘埃所吸收, 包含有丰富的天体物理学信息, 如星际物质的组成、密度、温度、压力、速度、元素的丰度、同位素比率以及激发机制等. 射电谱线与连续射电不同, 只在一个很窄的频带范围内才能观测到, 故称为“单色”辐射. 射电谱线跟光学谱线形成的机制是类似的, 所不同的是产生射电谱线的量子具有的能量, 远小于产生光学谱线的那些光量子的能量. 天文光学谱线一般是产生在高温、高压和高密度的恒星表面区域, 射电谱线一般

产生在低温、低压和低密度的星际空间,因此,它们是研究星际物质分布、星系结构以及恒星的形成和演化过程的重要手段.天文观测直接得到的是星际分子的谱线.

由射电望远镜或红外望远镜得到的谱线资料有谱线强度,谱线轮廓以及观测到的线心频率相对谱线静止频率的偏移.通过一些观测量,我们可以由这些资料推求出分子云或拱星分子包层的运动温度,气体密度柱密度,某种分子的相对丰度以及分析它的运动和正在进行的物理过程.在具体的天体物理环境下,各种谱线轮廓形成的最直接反映是谱线辐射的物理结构,速度场和谱线光厚等.从分子云的物质分布看,有均匀结构和不均匀结构(如团块,纤维状物质和空洞等)之分;从速度场性质看,又有热速度场和非热速度成分.谱线形成的进一步研究还涉及到分子和拱星分子包层的动力学状态以及成协天体的演化.

星际分子谱线已成为研究银河系的重要手段,它可以提供有关银河系的化学成分、银河系结构和运动状况、银河系各个不同区域中的物理环境等方面的新知识;并有助于了解星云演变为原恒星的许多细节,以及恒星演化到晚期阶段把大量物质抛向星际空间的运动情况.

## 1.2 $\text{H}_2\text{CO}$ 、HII区的射电复合线、CO

射电天文分子谱线探针为探索研究分子云、恒星形成区的物理环境提供了必要的条件.经过几十年的认证,已经有100多种分子样品中的上千条谱线在星际空间和拱星包层中通过微波窗口被观测到.并且,我们已经熟知了大量分子探针的物理特性.而在本文中, $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线、HII区的射电复合线、CO发射线三个重要的分子探针是我们主要的观测研究手段,为了了解这些分子探针的示踪范围和性质特点,本小节中,我们将简单介绍这几个探针.

### $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线

甲醛分子云已被详细地研究.奇怪的是在某些甲醛分子云的背后并没有发射连续辐射的射电源,却也能观测到甲醛的吸收线.这意味着它所吸收的是微波背景辐射.地球上的观测证实,所有天体,包括各种分子云在内,都处于2.7 K的微波背景辐射场的作用下.甲醛分子云能够吸收这种背景辐射表明它的激发温度比2.7 K还要低,而一个长期处于2.7 K的辐射作用下的分子云,本来至少应该达到2.7 K的温度.目前对这种现象的解释是,这类甲醛分子云中存在着一种“反微波激射”过程,就是分子云中较高能级上的分子被某种机制抽走,而使得较低能级

上的分子数目比2.7 K时热动平衡分布的数目相对地超出很多. 于是这对能级变得比2.7 K还要“冷”, 并能够吸收2.7 K微波背景辐射.

Formaldehyde ( $\text{H}_2\text{CO}$ ) 吸收线是恒星形成区比较常见的分子. Snyder et al. (1969) 在星际介质(ISM)中首次发现了 $\text{H}_2\text{CO}$  吸收线<sup>[2]</sup>, 他们所探测到的 $\text{H}_2\text{CO}$ 的静止频率为 $\nu_o = 4829.6594\text{MHz}$ , 属于 $J_{KaKc} = 1_{11}-1_{10}$ 能级的跃迁. 4.8 GHz的 $\text{H}_2\text{CO}$ 是分子云包层的较好探针, 一般来说, 我们所探测到的 $\text{H}_2\text{CO}$ 云位于致密或者超致密HII区的前面或者附近,  $\text{H}_2\text{CO}$ 云可以受到背景处的HII区的剧烈活动而碰撞激发. 值得一提的是,  $\text{H}_2\text{CO}$ 是低温环境的主要探针, 它的激发温度为1.7 K. 因此 $\text{H}_2\text{CO}$ 的吸收线可以以2.7 K微波背景辐射为背景而产生, 首次发现这一现象的是Palmer et al. (1969)<sup>[3]</sup>. 迄今为止已经在七个分子云中发现了极其罕见的4.8 GHz的 $\text{H}_2\text{CO}$ 的发射线, 不易被观测到的原因可能是因为4.8 GHz的 $\text{H}_2\text{CO}$ 的发射线的强度比较弱, 并且与 $\text{H}_2\text{CO}$ 的吸收线在同一速度位置上相互抵消的作用结果.

由于碰撞抽运机制的存在, 在高密度和几十 K 温度的条件下,  $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线强度比较强. 并且这种机制在低温(小于2.7 K)的情况下也是很有有效的<sup>[4]</sup>.  $J_{KaKc} = 1_{11}-1_{10}$ 跃迁可以分裂为6个超精细结构成分<sup>[5,6]</sup>, 这些成分混合在一起使得线宽加宽, 但是这种线宽加宽的效应是很小的, 相对于我们得到的线宽可以忽略. 通过巡天观测, Downes et al. (1980)<sup>[7]</sup>认为HII区中的80%是与 $\text{H}_2\text{CO}$ 成协的. Bieging et al. (1982)<sup>[8]</sup>利用2.6'的100 米望远镜对银河系中的12个亮的HII区(W3, W3(OH), NGC2024, W31, W33, M17, W43, W49A, W51A, W51B, K3-50 和DR21/W75)与2个暗云(NGC2264 和Heiles' Cloud 2)进行了 $\text{H}_2\text{CO}$ 的成图观测与研究. Araya et al. (2006)<sup>[9]</sup>利用Arecibo射电望远镜对L1551进行了观测, 他们认为 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线不仅示踪分子云的包层静态的云, 而且可以给出恒星形成区的动力学信息. Piepenbrink & Wendker (1988)<sup>[10]</sup>利用100 米的Effelsberg望远镜首次对Cyg X-region进行了 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $\text{H}110\alpha$ 的同时观测, 并且做了大尺度的成图研究. Sume et al. (1975)<sup>[6]</sup>利用Onsala 25米射电望远镜对Heiles' Clouds 1 和2, 和Lynds' cloud L134做了成图研究, 他们认为 $\text{H}_2\text{CO}$ 的轮廓图与光学观测具有较好的一致性. 另外, Rodríguez et al. (2006)<sup>[11]</sup>利用Onsala 25米望远镜对反银心方向进行了一次盲目的反常吸收线的搜寻工作, 他们认为 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线与 $^{12}\text{CO}$  (1-0)发射线在空间上是共存的, 并且他们具有一定的相关性. Rodríguez et al. (2007)<sup>[12]</sup>再次利用Onsala 25米望远镜, 围绕着L1204/S140源进行了一次搜索工作, 他们定性地和定量地描述了 $\text{H}_2\text{CO}$ 与 $^{12}\text{CO}$ 之间的较好的成协性. 然而, 关

于 $\text{H}_2\text{CO}$ 的大尺度成图的研究还是比较匮乏的,有待于我们进一步的观测研究.

### HII区的射电复合线

原子,例如氢原子,离化后生成正离子 $\text{H}^+$ 和电子 $e$ 并在能级图上处于连续离化区.而 $\text{H}^+$ 和 $e$ 复合后的原子可能处于能级 $(n + \Delta n)$ ,并跃迁至能级 $n$ 发射所谓复合谱线.其中 $n$ 是主量子数.若 $\Delta n = 1$ 称为 $n\alpha$ 线, $\Delta n = 2$ 称为 $n\beta$ 线.如H原子的复合线形成于 $n = 111 \rightarrow 110$ 的跃迁,称为H110 $\alpha$ 射电复合线. $(n + \Delta n) \rightarrow n$ 能级的跃迁频率为:

$$\nu = R_X c \left[ \frac{1}{n^2} - \frac{1}{(n + \Delta n)^2} \right] \quad (1.1)$$

其中: $\nu$ 的单位为GHz; $R_X$ 是X样品中的Rydberg常数, $R_X = 10.97373(1 + m_e/M_X)^{-1}$ ; $M_X$ 是X样品的核质量; $c$ 是光速( $\text{km s}^{-1}$ )<sup>[13]</sup>.

星暴星系中星暴区域大质量恒星的性质可以通过被其电离的周围气体得以研究.这些气体的性质取决于年轻星的性质和气体动力学特征.虽然近红外波段可以很好地示踪新形成的恒星,然后通常正在大规模形成恒星的星暴区域的尘埃消光都比较高,不利于近红外观测.射电复合线由于不受尘埃消光的影响,它可以用来作为研究星暴星系核区电离气体的强有力的诊断探针.通过射电复合线的观测,可以估计介质中的电子密度 $n_e$ 和电子温度 $T_e$ .而且这样得到的 $n_e$ 与填充因子无关.对于那些观测可以分辨的区域,就可以得到真正的莱曼连续谱光子产生率 $N_{\text{Lyc}}$ .并由下式估计恒星形成率<sup>[14]</sup>:

$$N_{\text{Lyc}} = 5.4 \times 10^{52} \times \Psi_{\text{OB}} \text{ s}^{-1} \quad (1.2)$$

其中 $\Psi_{\text{OB}} (M_{\odot} \text{ yr}^{-1})$ 为以OB型恒星的平均主序寿命(约为 $3 \times 10^6 \text{ yr}$ )平均的恒星形成率.并采用Miller & Scalo (1978)的IMF和恒星质量范围 $1 \sim 100 M_{\odot}$ <sup>[15]</sup>.另外不同于射电连续谱的是,即使是部分光学厚的射电复合线发射也会因非局部热动平衡效应而仍对气体密度敏感.不同频率的射电复合线示踪不同的密度范围.如毫米波H射电复合线来自密度高达 $10^5 \text{ cm}^{-3}$ 的气体,而20 cm的H166 $\alpha$ 复合线则来自密度约为几百 $\text{cm}^{-3}$ 的气体.更为重要的是通过H射电复合线的成图观测可以确定速度场分布,而且高分辨率的H射电复合线观测可以用来研究星暴星系核区的细致的运动特征.关于星系核区中H射电复合线发射气体的模型大致有两种:均匀的厚板(Slab)和多个致密HII区的集合.多条H射电复合线的观测、射电连续谱发射的能谱分布以及几何形态的考虑都可以对模型提供约束.在目前所研究的大多数情况下,观测都偏向支持第二种模型,即认为H射电复合线发射来自多个致



密HII区的集合. 这一模型通常可以同时解释观测到的H射电复合线和射电连续谱发射. 而均匀的厚板模型则会产生过多的厘米波连续谱热辐射, 这与观测到的射电连续谱多为非热辐射不一致.

厘米波段的射电复合线适合于作为探针去确定致密HII区的物理参数. 例如当电子密度 $n_e = 10^{4\sim 5} \text{cm}^{-3}$ , 受非局部热动平衡或压力致宽的影响相对较小, 通过它们可以对致密HII区的电子温度作出较好的估计. 结合对低频射电复合线的观测与研究还可以得到该区的密度. Gordon & Walmsley (1990) 对W3、NGC1976、NGC2024、Sgr B2、M17、W49和DR21 等HII区的2和3 mm波段的复合线用IRAM 30 m望远镜进行观测<sup>[16]</sup>, 其结果与在厘米波观测基础上建立起来的非局部热动平衡模型相符. 为研究密度低并有强连续背景源的部分离化介质, 选用低频射电复合线是比较合适的. 这类区域发射线因受激发射而大大增强, 因此临近HII区的部分离化介质也可以通过观测低频射电复合线来研究. 为了了解HII区的He丰度, 一个可行的方法是测量He和H射电复合线的强度比. 这个方法已用来研究星系中的丰度梯度. 采用该方法的前提是He的分布相对均匀; HII和HeII区有一个简单的离化结构以及H与He的线转移是相同的. 用高空间分辨率和高灵敏度技术观测He射电复合线, 可以判断上述假设前提是否成立. 如果线足够强, 可以借以了解速度场, 从而检验HII区的动力学模型.

### CO 发射线

在各种星际分子中, CO对天文观测有非常重要的意义. CO分子是最简单的双原子分子之一, 它的 $J = 1 \rightarrow 0$ 和 $J = 2 \rightarrow 1$ 转动跃迁是毫米波段的谱线, 对于致密的分子云核来说是光学厚的, 可以用来探测分子云外部的情况. 因此CO在银河系内的成图分布为确定稠密的冷云的分布提供了一种方法, 而这些冷云又示踪了活跃的恒星形成区. CO是丰度仅次于 $\text{H}_2$ 的分子, 二者的丰度比大约是 $10^{-4}$ , 并且CO是通过和与之共存的 $\text{H}_2$ 相碰撞而激发的, 因此可以通过对CO的测量来了解 $\text{H}_2$ 的存在与分布.

CO分子在 $J = 1 \rightarrow 0$ 和 $J = 2 \rightarrow 1$ 跃迁时通常近似处于局部热动平衡状态下, 因此可以用来估计激发温度 $T_{ex}$ . 但由于大多数情况下 $^{12}\text{CO}$ 是光学厚的, 需要通过较弱的 $^{12}\text{CO}$ 稀有同位素分子谱线估计柱密度等. 首先做以下一些假设:

- ①、在视线方向上, 所有同位素分子的 $J = 1 \rightarrow 0$ 发射具有相同的激发温度;
- ②、不同的同位素具有相同的激发温度, 通常激发温度取其动力学温度 $T_K$ ;
- ③、 $^{12}\text{CO}$ 的 $J = 1 \rightarrow 0$ 谱线的光学厚度大于1;



④、对另一种丰度较低的同位素, 比如 $^{13}\text{CO}$ 的 $J = 1 \rightarrow 0$ 谱线的光学厚度小于1;

⑤、 $^{13}\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 的发射来自同一区域. 在这些假设下我们有 $T_{ex} = T_K = T$ , 其中动力学温度 $T_K$ 是分子云Maxwell-Boltzmann关系中的唯一参数.

一般情况下 $^{12}\text{CO}$ 是光学厚的,  $J = 1 \rightarrow 0$ 的能级跃迁对应于115.271 GHz的谱线发射, 如果没有背景连续源,  $^{12}\text{CO}$ 的激发温度为:

$$T = 5.5/\ln\left[1 + \frac{5.5}{T_B(^{12}\text{CO}) + 0.82}\right]. \quad (1.3)$$

$^{13}\text{CO}$ 在110.201 GHz上谱线发射光学厚度为:

$$\tau_0(^{13}\text{CO}) = -\ln\left[1 - \frac{T_B(^{13}\text{CO})}{5.3} \left\{ \left[ \exp\left(\frac{5.3}{T} - 1\right) \right]^{-1} - 0.16 \right\}^{-1}\right]. \quad (1.4)$$

在局部热动平衡假设下, 对于 $J = 1 \rightarrow 0$ 谱线发射,  $^{13}\text{CO}$ 的柱密度为:

$$N(\text{total})_{^{13}\text{CO}} = 2.6 \times 10^{14} \frac{T \int \tau^{13}(\nu) d\nu}{1 - \exp(-5.3/T)}. \quad (1.5)$$

当分子云非常致密时 $^{13}\text{CO}$ 也可能是光学厚的, 这时我们就需要利用 $\text{C}^{18}\text{O}$ , 对于 $J = 1 \rightarrow 0$ 的谱线发射,  $\text{C}^{18}\text{O}$ 的柱密度表达式与(1.5)是相同的. 对于 $J = 2 \rightarrow 1$ ,  $^{13}\text{CO}$ 的柱密度为:

$$N(\text{total})_{^{13}\text{CO}} = 1.51 \times 10^{14} \frac{T \exp(5.3/T) \int \tau^{13}(\nu) d\nu}{1 - \exp(-10.6/T)}. \quad (1.6)$$

在式(1.5)和式(1.6)中, 对波束平均的柱密度单位都是 $\text{cm}^{-2}$ , 温度单位是K, 速度单位是 $\text{km s}^{-1}$ . 如果温度 $T$ 远远大于5.3 K 或者10.6 K, 可以将指数项展开, 从而使表达式得到进一步简化.

Schöier & Olofsson (2001)<sup>[17]</sup> 以 $^{12}\text{CO}$ 毫米波与亚毫米波分子谱线为例, 展现如何通过理论计算对观测结果的拟合来寻求适当模型下最符合实际的拱星包层的基本参数: 恒星质量流失率、气体动能温度和气体膨胀速率等. Burton et al. (1975)<sup>[18]</sup>给出了CO的平均分布半径 $R = 5.8 \text{ kpc}$ ; 60%的发射产生在距离银河系中心4~8 kpc 之间, 而CO在此的丰度已经下降到最大值的一半. 丰度分布并不是一条直线, 在 $R > 7 \text{ kpc}$  处的突然减少量比 $R < 5 \text{ kpc}$  处的减少量要小. 然后在 $R > 10 \text{ kpc}$  处也观测到了很少量的孤立的CO发射峰, 一般与所知道的HII区相连. Bania (1976)<sup>[19]</sup> 讨论了在更高的分辨率的观测下3 kpc 旋臂处的CO观测

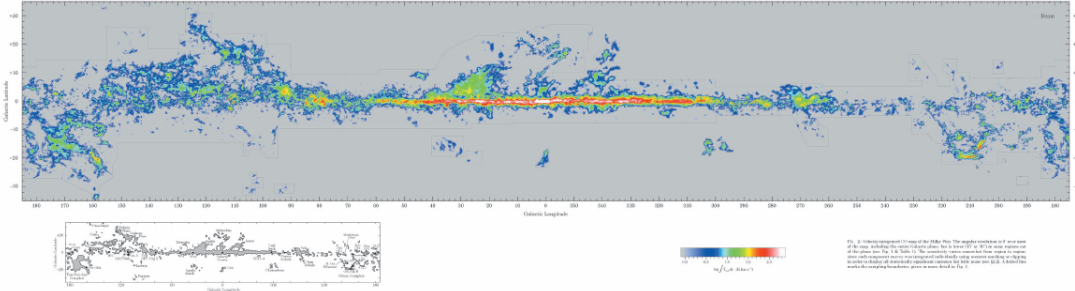


图 1.1: 银河系的CO积分强度图

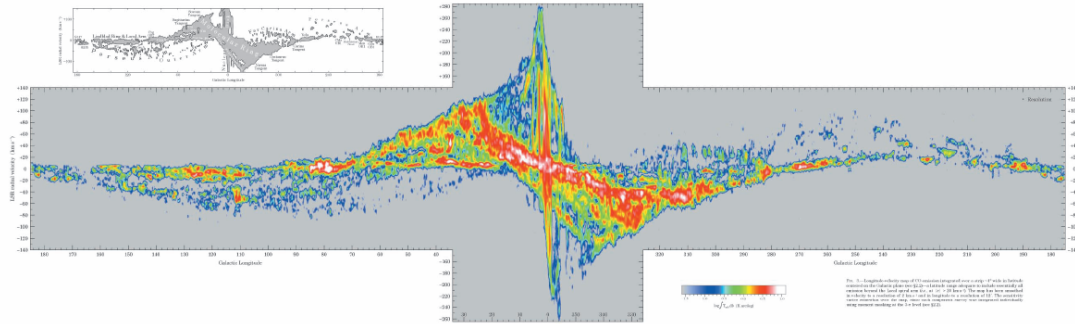


图 1.2: 银河系的CO位置速度图

范围比HI的观测范围要广。Scoville et al. (1975)<sup>[20]</sup> 和Gordon & Burton (1976)<sup>[21]</sup> 粗略地估计了CO层的厚度, 全宽130 pc, 半高120 pc。Dame et al. (2001) 作了一个大规模的银河系CO的巡天, 得到488000条谱线, 并结合前20年的31个探测结果对银河系的CO分布作了一个较全面的成图, 如图1.1和1.2。还得到银道面以外 $|b| > 5^\circ$ 的CO  $J = 1 \rightarrow 0$ 谱线强度( $\text{K km s}^{-1}$ )到 $\text{H}_2$ 的柱密度( $\text{cm}^{-2}$ )转换因子平均值是 $(1.8 \pm 0.3) \times 10^{20} \text{cm}^{-2} \text{K}^{-1} \text{km}^{-1} \text{s}$ , 这是目前为止在太阳系附近所得到的质量转换因子的最可靠的值。

### 1.3 分子云

分子云是星际介质的主要组成部分, 是星际介质中相对致密的区域。通常所谓分子云指的是气体密度大于 $100 \text{cm}^{-3}$ , 主要成分是分子, 从观测看具有较清楚边界的星际物质区域。星系中的分子气体是广泛分布的, 而不是仅局限在旋臂区。

早期的观测由于分辨率太低只是勉强能区分臂和臂间区. 以后的较高分辨率的研究也证实, 尽管重要的旋臂集中的确是存在的. 但是大多数CO发射仍然起源于星系的臂间区域<sup>[22]</sup>.

恒星形成于分子云, 同时又通过星风、物质外流、大质量恒星的UV辐射、超新星爆发等过程动态地改变着其母体分子云的环境. 换言之, 恒星形成的每一个过程都是在其母体分子云中留下痕迹. 我们可以通过这些痕迹的诊断分析最终描述出恒星形成的完整图像. 因此, 对分子云物理化学环境的研究便成了我们了解恒星形成过程的必由之路. 由于分子云中尘埃的消光作用而使得光学和近红外的观测受到严重限制. 然而这却正是微波波段的用武之地. 微波谱线观测所研究的主要对象就是分子云及其中发生的恒星形成过程中的各种成协现象. 半个多世纪以来积累的关于分子云与恒星形成的基本理论无不紧密依赖于天体微波谱线的观测与分析结果.

分子云的形成模型, 早在20年前就有不少作者研究过, 它们主要有3种: (1)、在旋臂上的分子气体由于帕克(Parker)不稳定性形成分子云<sup>[23]</sup>; (2)、在旋臂上由于引力不稳定性形成分子云复合体<sup>[24]</sup>; (3)、分子云通过云-云碰撞, 以一定概率结合(Coalescence), 逐步由小云变成大云<sup>[25]</sup>. 云形成机制是一个尚未定论的正在进展的课题. 有关云形成和演化的完整性描述必须求解高度非线性的流体力学方程. Elmegreen总结出5种有关云形成模型的方程. 这些模型是:

- (1)、热不稳定性;
- (2)、引力不稳定性;
- (3)、小云集结成大云的随机碰撞;
- (4)、激波波前对低密气体的直接压缩;
- (5)、湍动与磁流体力学波相互作用<sup>[26]</sup>.

分子云是一种暂现结构, 他们很快的形成、演化并最终耗散到星际介质中进入下一轮循环. 大量证据表明恒星形成是一个非常快的过程, 而分子云作为恒星的诞生地在恒星形成之后不久会遭到破坏或耗散掉, 因此其寿命也应该较为短暂, 大约为 $10^7$ 年. 分子云一般分为二种: 暗云, 质量约为 $10 - 10^3 M_{\odot}$ , 尺度约为 $1 - 5$  pc, 并且常常聚集在一起; 巨分子云质量约 $10^5 - 10^6 M_{\odot}$ , 尺度达到 $50 - 100$  pc, 温度一般在 $10$  K 以下<sup>[27]</sup>, 其中可能包含了处于不同演化阶段的很多年轻恒星天体, 在观测上显示有UCHII区、脉泽源、HH天体等. 大质量星主要在巨分子云中形成, 低质量星的形成则更为典型地与暗云成协, 当然巨分子云中在形成大质量

恒星的同时也有小质量星的形成. 分子云的内部非常不均匀, 越靠近中心, 密度越大, 从 $10^2 \text{ cm}^{-3}$  逐渐增加到 $10^4 \text{ cm}^{-3}$  以上. 而一些大质量恒星形成的场所, 其密度有可能更高. 在密度较低的区域, 采用 $^{12}\text{CO}$ 、 $^{13}\text{CO}$  可以很好地探测气体激发温度和各种性质, 而在高密度区域, 需要采用 $\text{C}^{18}\text{O}$ 、 $\text{HCO}^+$ 、 $\text{CS}$ 、 $\text{N}_2\text{H}^+$  等进行观测. 已有的观测研究表明, 大多数这些分子探针所观测到的最致密区域, 都和某个年轻恒星天体如IRAS 源成协<sup>[28]</sup>, 并且随着探针分子密度的增加, 这种联系更加明显.

## 1.4 大质量恒星形成

质量不同的恒星形成的历程被认为是不一样的. 低质量恒星形成的理论, 在大量观测的支持下, 认为低质量恒星是转动的分子云因密度逐渐升高而造成重力塌缩下形成的. 气体和尘埃组成转动中的分子云, 因塌缩导致吸积盘的形成, 经由这个通道, 在中心形成原恒星. 但是, 质量高于8倍太阳质量的恒星形成的历程目前还不清楚. 质量大的恒星产生较多的辐射, 会推挤向中心掉落的物质. 在过去, 辐射压被认为是足以阻止质量累积成为巨大的原恒星, 并能阻止质量高达数十个太阳的恒星形成. 最近的理论工作则显示, 产生的喷流和流出物会清理出空洞, 因而许多大质量原恒星的辐射压会逃逸掉而不会阻碍物质经由吸积盘进入中心的原恒星. 因此新的理论认为大质量恒星也会经由与低质量恒星相似的历程形成. 已经有具体的证据显示有一些大质量的原恒星是被吸积盘包围着, 而其他几种大质量恒星形成的理论仍有待观测上的证实. 当然, 或许最突出的理论是竞争吸积理论, 认为大质量的原恒星是以低质量的原恒星当“种子”, 与其他原恒星竞争者从母分子云中攫取质量, 而不是单纯的从局部的区域获取质量. 另一种大质量恒星形成的理论则认为, 大质量恒星可能是由两颗或更多的低质量恒星合并而成的.

我们知道, 只有一定质量(大于金斯质量) 和尺度(大于金斯半径) 的分子云才能形成恒星. 这就直接涉及到分子云的质量, 数密度和运动温度等基本参数的确定. 迄今已发展了一系列所谓标准的技术来确定某些特定的物理参量. 例如在局部热动平衡下(LTE) 用 $^{12}\text{CO } J = 1 \rightarrow 0$  谱线或 $\text{NH}_3$  的不同亚稳态能级间的转动跃迁来估算分子云的运动温度; 用光学薄的 $^{13}\text{CO}$  或 $\text{C}^{18}\text{O}$  的 $J = 1 \rightarrow 0$  谱线计算分子云的柱密度. 在非热动平衡(Non-LTE) 情况下, 则采用适于大速度梯度的LVG模型或者适于微观湍动运动的微湍模型.

对恒星形成的一个最基本的看法是恒星由一个足够大质量的气体云在其自引力作用下塌缩而成<sup>[29]</sup>. 在不考虑磁场和湍动时, 气体自引力塌缩的判据是云的质量 $m$ 必须大于金斯质量 $m_J$ . 由质量平衡条件求得 $m_J = (\pi KT/\mu m_H G)^{3/2} \rho^{-1/2}$  或写成 $m_J = 18m_\odot T^{3/2} n^{-1/2}$ . 这里 $\rho$ 是云的质量密度( $g \cdot cm^{-3}$ ),  $T$ 是温度.  $G$ 是引力常量,  $\mu$ 是以氢原子质量 $m_H$ 为单位的气体粒子的质量,  $n$ 是粒子的数密度( $cm^{-3}$ ),  $m_\odot$ 为太阳质量.

小质量恒星相对距离较近、形成环境也相对孤立, 加之演化时标较长, 有丰富的观测资料, 关于小质量恒星形成的标准模型已经建立. 迄今为止, 广泛被接受的理论是由Shu et al.<sup>[30]</sup>提出的自里向外塌缩模型. 当塌缩开始时, 稠密核的中心很快就形成了年轻的原恒星, 年轻星天体(YSO)是恒星的最早阶段, 包括从刚开始引力塌缩的分子云核到零龄主序星, 可供观测的波长范围从射电波段直到硬X射线. 它们有着共同的特征, 在周围有包层或者拱星盘, 从而表现出一定的红外超辐射. 然而能谱分布(SED)有相当大的差别, Lada<sup>[27]</sup>将年轻星天体的SED和演化状态联系在了一起, 把它们分类为CLASS I、II、III天体. Andre et al.<sup>[31]</sup>发现了一类新的CLASS 0天体, 使年轻星天体的种类达到了4种. Bachiller<sup>[32]</sup>则进一步描述了小质量年轻天体能谱分布的演化序列及各个阶段所对应的物理状态(参见图1.3). 即从CLASS 0到CLASS III阶段, CLASS 0此类源在小于 $10 \mu m$ 的波长上探测不到, 能谱峰值位置出现在大于 $20 \mu m$ 的亚毫米波处, 能谱分布类似于15-30K的黑体谱, 伴随着引力塌缩、吸积和外流现象; CLASS I能谱比黑体谱宽, 能谱分布的峰值在远红外和亚毫米处. 在大于 $2 \mu m$ 的波段上流量呈上升趋势, 和正常的恒星光球辐射相比具有巨大的红外“超”. 此类天体典型的在 $10 \mu m$ 出现硅酸盐吸收线. 有红外色余出现, 时标约为 $10^5$  yr, 仍伴随吸积和外流现象; CLASS 0和CLASS I都有大的尘埃和气体包层; CLASS II的能谱比黑体谱宽, 能谱峰值在近红外, 在大于 $2 \mu m$ 的波段上流量一般以幂律形式呈下降. 有红外色余, 这个红外色余由光厚的星周盘引起, CLASS II阶段的能谱可以在光学和红外波段被观测到, 经典T-Tauri星就是典型的CLASS II类天体, 时标约为 $10^6$  yr; CLASS III阶段的能谱类似于黑体谱, 能谱峰值在光学和红外处, 是零龄主序星或主序前的恒星, 时标大于 $5 \times 10^6$  yr. 分子内向流和外向流在小质量恒星形成过程中起了重要作用.

在这种塌缩模型理论中<sup>[30]</sup>, 整个恒星从分子云中形成的主要过程可以分解为四个阶段(如图1.4): (1) 形成分子云核; (2) 形成原恒星及盘; (3) 产生分子外向流; (4) 形成主序前星及尘埃吸积盘. 具体过程为: 当分子云核塌缩开始时, 稠密



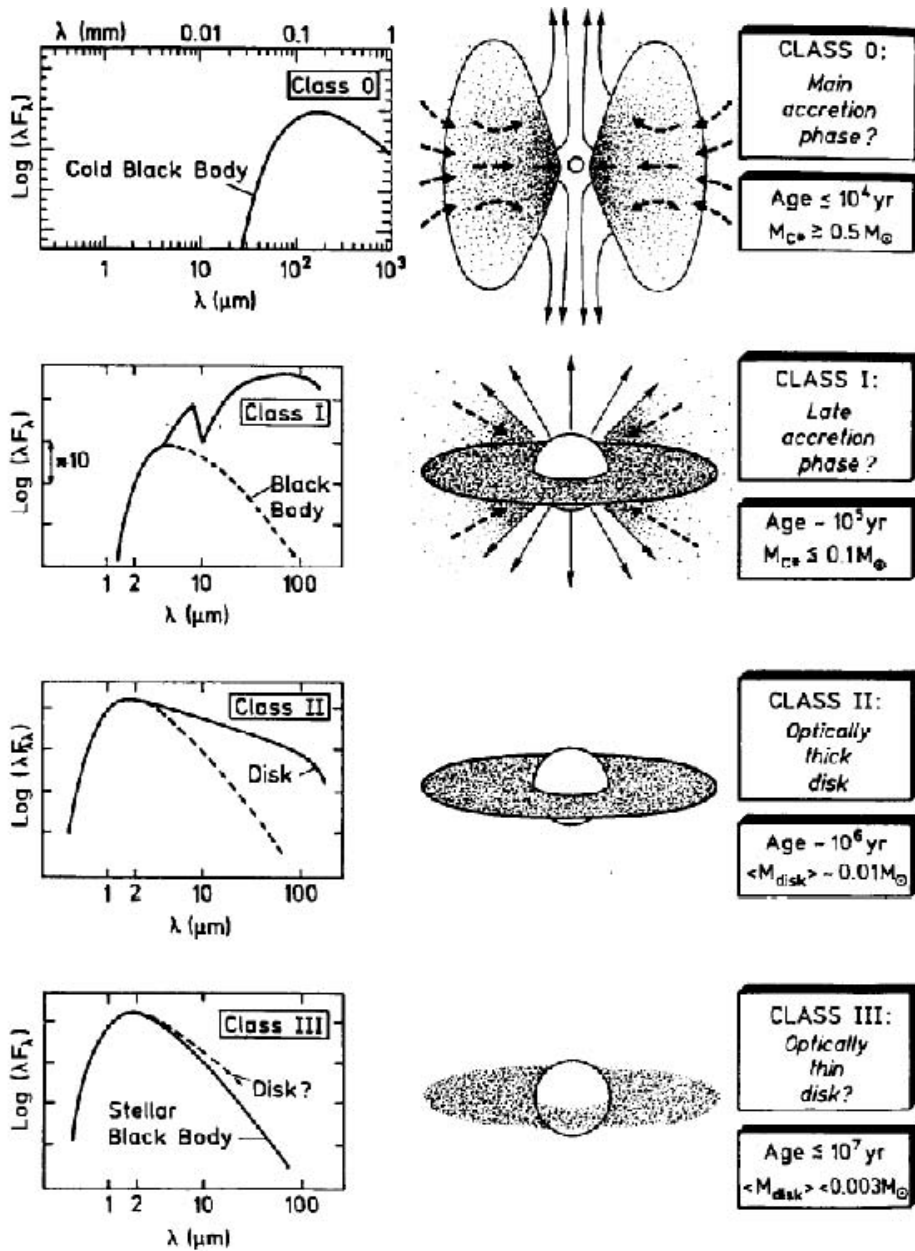


图 1.3: 小质量年轻星能谱分布的演化序列图

核的中心很快就形成了年轻的原恒星, 而周围一些尚未塌缩的物质会在原恒星周围形成下落星周包层. 由于分子云可能存在初始的角动量, 这些下落的物质将会在原恒星周围形成一个星周盘<sup>[33]</sup>. 星周盘的部分物质将会被吸积到原恒星的表面, 而另一些物质将会以外流、星风等形式发散到周围的星际介质中. 随着

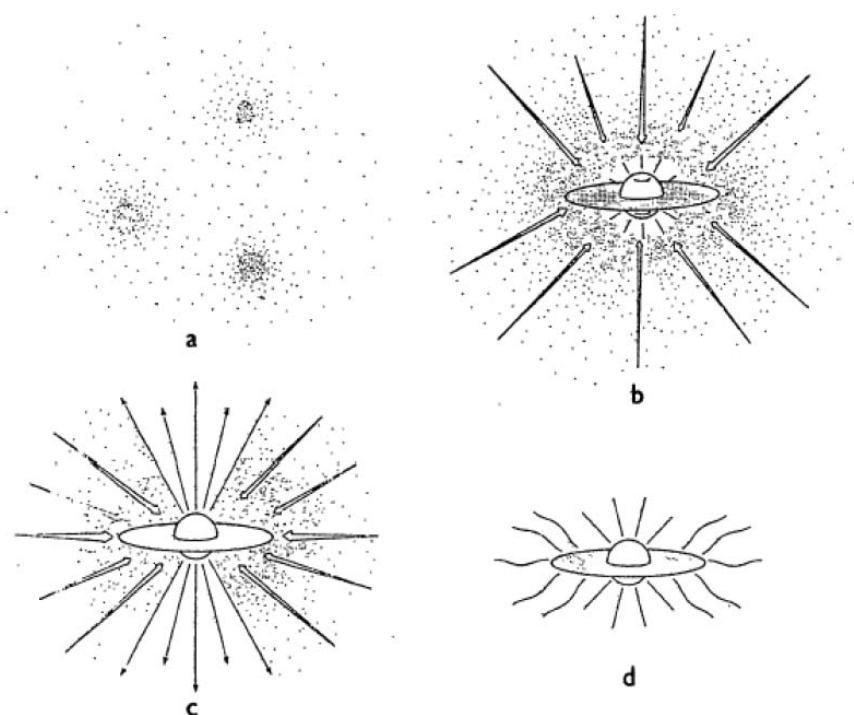


图 1.4: 小质量年轻星演化的四个阶段

星周盘的物质被不断的消耗掉, 中心原恒星将会在光学上变为可见的, 但这个时候它还没有到达主序阶段, 其能量仍然主要来自于引力收缩. 等到由 $p-p$ 链或者CNO循环的热核聚变开始时, 中心星就到达了零龄主序(ZAMS)<sup>[34]</sup>.

大质量恒星在宇宙演化中扮演着更为重要的角色. 它是宇宙中重元素和紫外辐射的主要来源. 而在恒星形成和演化过程中伴随的星风、大质量外流、膨胀的HII区以及超新星爆发等运动, 提供了星际介质中混合和湍流运动的重要来源. 湍流和较差转动共同作用产生了星系动力学, 随之产生了星系的磁场. 星系磁场与超新星的激波前相互作用, 加速宇宙射线. 而宇宙射线、紫外辐射和湍流的耗散是星际介质的主要加热机制. 而以尘埃、分子、原子和离子形式存在的重元素则是它的主要冷却机制. 因此大质量恒星相当大地影响着恒星和行星系统的形成过程<sup>[35]</sup>以及星系的结构、物理和化学性质(例如, Kennicutt 1998<sup>[36]</sup>).

大质量OB型星在进入主序阶段后仍有相当长的时间(相当于其寿命的大约15%)处于嵌埋相<sup>[37]</sup>. 红外和射电波段的观测表明这段嵌埋相大致可以分为以下几个阶段<sup>[38]</sup>:

(1)、大质量无星核或红外暗云(Infrared Dark Cloud; IRDC), 代表大质量恒星形成的初始条件;

(2)、热核(hot molecular core), 具有温度高, 质量大的特点; 中心的原恒星正在迅速的吸积周围的物质;

(3)、极超致密和超致密电离氢区(HCHII, UCHII), 热核形成不久, 大质量恒星进入主序阶段但仍在不断的吸积, 此时UV光子会形成一个引力束缚的HCHII区, 维持相当长的时间. 随着中央恒星的质量越来越大, 电离光子越来越多, HCHII中的辐射压挣脱引力的束缚开始不断膨胀, 在恒星周围形成一个UCHII区;

(4)、致密的和经典的HII区. UCHII区快速膨胀成致密的和经典HII区. 这些区域的气体已经全部电离, 并呈流体动力学状态向外膨胀. 最终会破坏周围的母体分子云, 使嵌入的大质量星和小质量星曝露出来, 使其在光学和近红外波段可观测到.



## 第二章 观测与数据处理

### 2.1 观测目标

$\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线可以较好的示踪恒星形成区的低温包层的分子云. 为此, 我们可以了解 $\text{H}_2\text{CO}$ 在包层中的分布. 利用6厘米的连续谱和 $\text{H}_2\text{CO}$ 数据( $1_{11} - 1_{10}$ ; 来自南山25米射电望远镜),  $^{12}\text{CO}$  ( $1-0$ ; 来自1.2米CfA 望远镜)和中红外MSX 数据, 寻求它们的成图在形态学上的分布关系; 并进一步了解背景云对前景云的影响. 分子云的主要成分是分子, 但其中还包括尘埃颗粒、原子、离子和恒星. 尘埃颗粒是形成于晚型星大气中并被星风吹到星际介质中去的固体颗粒, 也有少部分来自(超)新星; 分子云处于低电离状态, 宇宙射线电离和OB恒星发出的紫外光子光致电离, 使得分子云的气体完全电离(HII区); 恒星是分子云中最有趣也是最重要的组成部分; 分子云的高度结构化注定了其中的物理和化学性质的多样性, 其中CO能够确定分子云总的气体质量, CS、 $\text{HCO}^+$ 和HCN能够确定云核的密度, H射电复合线是超致密HII区的理想探针; 4829.66MHz的甲醛吸收线是低温分子云的主要探针. 甲醛是首批被探测到的星际分子之一, 并且它是星际分子云的常见成分, 80%的甲醛与HII区成协, 因此它是恒星形成区的主要探针.

表 2.1: 四个巨分子云的相关参数

Sources	ID (No.)	R.A.(J2000) ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	DEC.(J2000) ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>''</sup> )	Distance (kpc)	Size( $\alpha \times \delta$ ) (arcmin <sup>2</sup> )	Mass ( $M_{\odot}$ )	Int. time (minutes)	A/B/C	References
W49	12	19 10 15.25	09 06 08.4	11.4	50×50	2296910	966	19/5/2	[39], [8]
W3	17	02 25 38.79	62 02 22.0	1.95	70×90	71615	2370	41/19/4	[40], [8]
DR21	18	20 39 01.23	42 19 33.9	3.0	60×90	444774	2742	45/34/8	[41], [8]
NGC2024	27	05 41 45.49	-01 54 46.8	0.415	50×100	5609	3378	46/28/2	[42], [8]
Total					230×330		9456	151/86/16	

在大质量恒星形成区, 巨分子云的 $\text{H}_2\text{CO}$ 大尺度成图, 相对来说是稀少但是必要的. 该课题所追踪的是发生在4829.66 MHz的 $1_{11} - 1_{10}$ 旋转能级的跃迁产生的谱线, 该能级的激发温度只有1.7K, 所以微波背景辐射就可以成为甲醛的背景源, 但由于在这种情况下所产生的谱线较弱, 而且银河系中的背景温度普遍较高, 所以分子云的背景源主要为几十K的连续谱辐射; 对分子云的研究, 我们能够更清楚地了解恒星形成区分子云的物理结构及特性, 从而可以让我们更好的理解恒星形成的机制, 针对分子云的观测, 用不同的探针来观测可以反映出不同侧面

的信息. 而目前做得较多的是CO的观测, 甲醛因其强度较弱, 需要很长的积分时间, 所以进行的观测较少; 甲醛吸收线在大尺度上的成图的观测观测不多. 虽然甲醛吸收线较弱, 但由于其可以探测分子云内部的信息, 又有较低的激发温度, 甲醛是研究分子云有效的探针. 我们从文献中选取几十个恒星形成区, 进行一段时间的观测和筛选后, 最终确定下来四个源. 它们分别是: W49 ( $50' \times 50'$ ), W3 ( $70' \times 90'$ ), DR21/W75 ( $60' \times 90'$ )和NGC2024/NGC2023 ( $50' \times 100'$ ) GMCs. 我们对这四个源的甲醛吸收线和氢复合线进行较大尺度的观测, 最终我们给出分子云的距离、大小、质量、密度、温度等物理参数, 及其分子云的整体结构和演化状态, 从而理解恒星形成的过程.

## 2.2 观测设备

### 2.2.1 南山25米射电望远镜

射电望远镜观测性能的重要指标是分辨率和灵敏度. 望远镜的分辨率与观测的波长和天线的口径有关, 可用望远镜的功率方向图表达. 射电望远镜的灵敏度主要与天线增益, 系统温度, 频率带宽等有关. 另外, 指向精度的好坏直接影响其它各个观测量的精度.

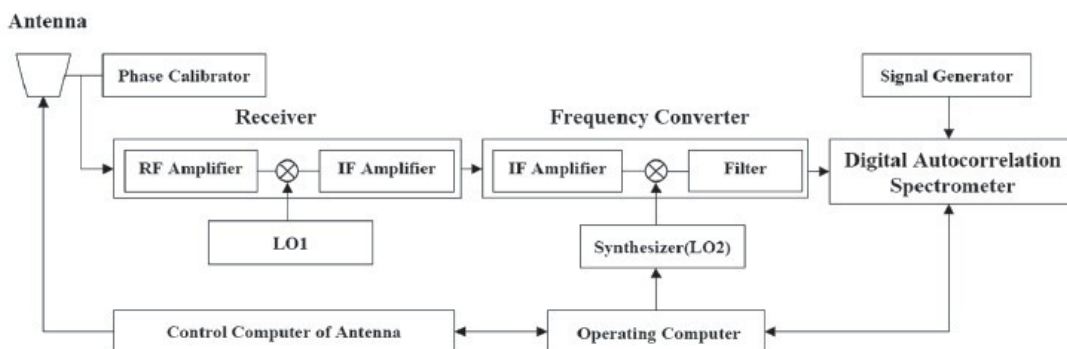


图 2.1: 分子谱线观测硬件系统

分子谱线观测系统的组成如图2.1所示, 除了25米射电望远镜的天线, 接收机, 前端系统等公共平台之外, 它主要包括信号发生器, 频率转换器, 频率综合器, 数字自相关频谱仪. 其中, 数字自相关频谱仪是系统的核心部分. 所使用的S80S4096型数字自相关频谱仪可以实时产生带宽内噪声信号的谱密度功率.

它包括数字版, 8个相关器芯片(S80C128)和并行口接口. 数字版用于模拟-数字转换, 由它量化并采集噪声信号. 相关器芯片用于积分, 计算噪声信号的相关函数. 最后, 通过计算机来校正数字板产生的一些量化错误, 计算相关函数的快速傅里叶转换并显示谱密度功率. S80S4096型数字自相关频谱仪具有4096个通道, 最大带宽为80 MHz, 分辨率为 $80\text{MHz}/4096=19.5\text{ KHz}$  射频信号的输入范围是: 0.5 MHz–80 MHz (功率为-20 dBm 至0 dBm) 钟频信号的输入范围是: 1MHz-160MHz, 正弦波(0 dBm至6 dBm)数字自相关频谱仪的内部积分时间范围是: 13 ms–30 s.

分子谱线观测软件是由新疆天文台分子谱线小组在SPACEBORNE公司提供的基本内核的基础上独立开发的. 软件编译系统采用Visual C++6.0编译软件, 在windows 2000操作系统下运行. 通过观测软件, 操作计算机与各观测仪器之间主要完成以下几项重要的通讯和控制:

- (1)、自相关频谱仪读出相关函数通过增强并行接口(EPP)读入操作计算机;
- (2)、操作计算机通过PCI-GPIB(General Purpose Interface Bus)接口卡控制频率综合器(E4423 Series signal generator)和信号发生器(81110A Pulse-pattern generator), 计算机第二本振和采样频率;
- (3)、操作计算机通过数据采集卡控制噪声源的开关;
- (4)、操作计算机通过串行接口与天线控制计算机进行通讯, 控制天线对源的追踪和运行; 当观测开始时候, 根据不同的观测任务, 对信号发生器带宽、频率综合器的观测频率等进行初始设置. 然后启动计算机观测程序, 依次输入观测源表、源名称、工作带宽、积分时间等参数, 之后就可以对目标源进行积分观测.

从2009年10月到2011年1月, 我们使用乌鲁木齐南山的25米射电望远镜非连续性地对四个巨分子云进行了积分观测. 在4.8 GHz, 该望远镜的半功率波束宽度(HPBW)是 $10'$ . 观测使用的带宽为80 M, 中心频率设定为4851.9102 MHz. 可以同时观测到4874.157 MHz的 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线和4829.6594 MHz的 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线. 4096通道的自相关频谱仪应用于观测中, 对应于80 M的带宽, 速度分辨率为 $1.206\text{ km s}^{-1}$ . 采用ON-OFF模式进行长时间的积分观测. 4.8 GHz的连续谱亮度温度数据的带宽大约为400 MHz, 连续谱的误差为1%, 灵敏度为75 mJy. 天线的指向精度好于 $20''$ , 效率为0.65, 系统温度为23 K. DPFU(Degrees Per Flux Unit)大小为0.116 K/Jy.

### 2.2.2 1.2米的毫米波望远镜

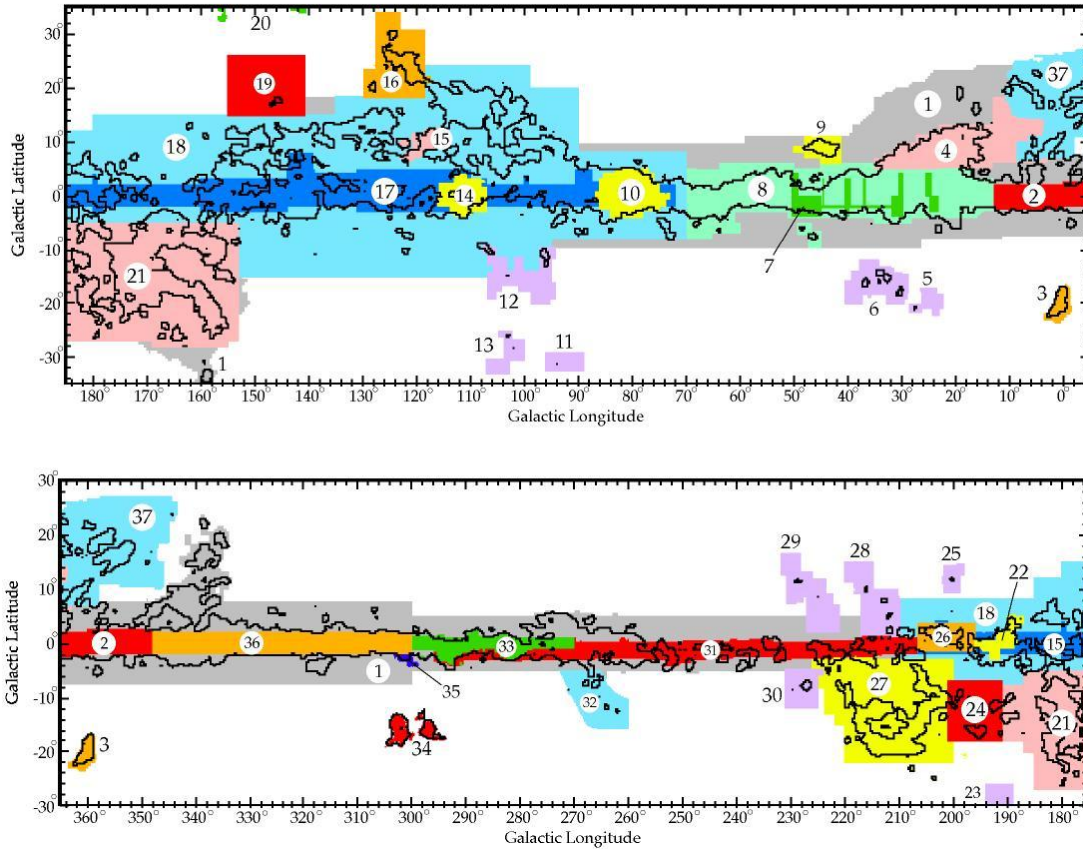


图 2.2: 1.2米的毫米波望远镜观测区域图

图中的序号分别为: 1、Superbeam, 2、Gal. Center, 3、R CrA, 4、Aquila Rift, 5、Sag-South, 6、Aql-South, 7、1st Quad, 8、1st Quad, 9、Hercules, 10、Cygnus, 11、Peg-West, 12、Lacerta, 13、Peg-East, 14、Cas A, 15、SNR CTA, 16、Polaris Flare, 17、2nd Quad, 18、2nd Quad, 19、Camelopardalis, 20、Ursa Major, 21、Taurus, 22、Gem OB1, 23、Tau-South, 24、Lam Ori, 25、Gemini, 26、Mon OB1, 27、Orion, 28、Canis Minor, 29、Monoceros, 30、Canis Major, 31、3rd Quad, 32、Gum Nebula 33、Carina, 34、Chamaeleon, 35、Coalsack, 36、4th Quad, 37、Ophiuchus.

近几十年来, 美国Cambridge天体物理中心(CfA)和托洛洛山美洲天文台的两台1.2米毫米波望远镜, 主要研究银河系及其附近星系的致密的恒星形成区

分子云的分布与特征. 这两面天线同属于卡塞格林系统, 我们所使用的 $^{12}\text{CO}$   $J = 1 \rightarrow 0$ , 数据角分辨率在115 GHz为 $8'.4 \pm 0'.1$ , 与我们观测的 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线的波束(10角分)相当. 两个超外差接收机应用在CfA望远镜中, 其中一台为非制冷的Schottky 双极混频器, 单带通接收机的噪声温度为900 K, 另一台为灵敏度很高的液氮制冷混频器, 单带通温度为95 K. 在美洲天文台, 液氮制冷的Schottky双极接收机的噪声温度为385 K. 这两台天线的频谱仪为256通道的滤波器, CfA望远镜的频率分辨率在115 GHz为250 kHz, 或 $0.65 \text{ km s}^{-1}$ ; 而在美洲天文台, 一台滤波器的分辨率为500 kHz, 或 $1.3 \text{ km s}^{-1}$ , 另一台的分辨率为100 kHz.

数据观测采用ON-OFF模式, 通常选取1~3个OFF点作为参考, 一个观测周期为30s, 观测区域如图2.2<sup>[43]</sup>. 我们所采用的 $^{12}\text{CO}$ 数据的四个源分别是: W49, W3, DR21/W75和NGC2024/NGC2023 GMCs.

### 2.2.3 MSX中红外望远镜

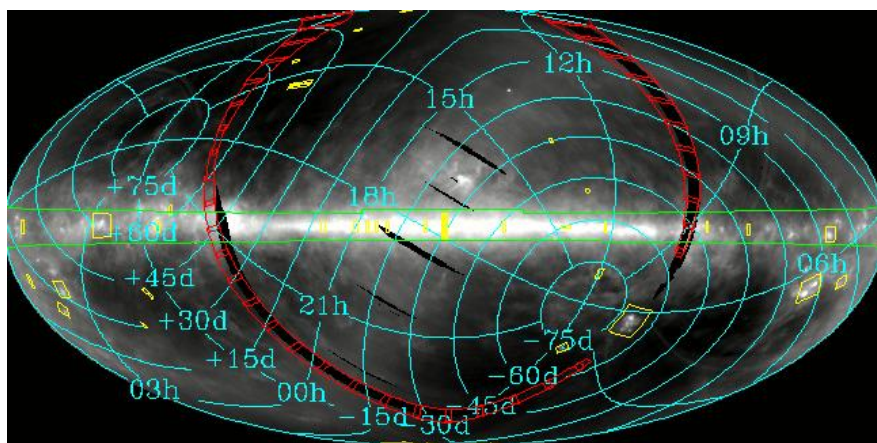


图 2.3: MSX 巡天数据分布图

MSX全称是Midcourse Space Experiment. 这是一颗弹道导弹防御系统卫星, 发射于1996年4月24日, 900 km 高, 极向轨道, 服役5年. 此卫星用6到25微米的四个中红外波段A( $8.28 \mu\text{m}$ )、C( $12.13 \mu\text{m}$ )、D( $14.65 \mu\text{m}$ )、E( $21.3 \mu\text{m}$ ), 搜寻天区包括 $0^\circ < l < 360^\circ$ ,  $-5^\circ < b < 5^\circ$ , IRAS遗漏的天区以及一些单独选择的目标. 另外两个B 波段由于带宽窄灵敏度低, 没有生成天文图像. 其指向精度为2角秒(rms), 空间分辨率约为18.3角秒. 这些巡测数据组合起来在每个波段生



成了1680个 $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ 的图片, 覆盖了整个银盘区域, 像素间隔为6角秒. 8.28  $\mu\text{m}$ 处(A波段)的等效噪声辐射率在内银河系大约为1.3 mJy/sr, 在外银河系纬度极限处变到此值的三倍. 由于焦平面温度随着时间增长导致噪声随着时间增长, 而内盘较早观测, 并且覆盖次数更多, 故噪声比外盘小. 在其它MSX中红外波段的灵敏度要差10到25倍. 在每个波段还生成了36个较低分辨率的 $10^\circ \times 10^\circ$ 图像, 覆盖了巡测的所有经度和纬度范围. 这些全景图分辨率大约为1.2角分, 像素间隔为36角秒, 便于与射电观测进行比较. MSX还对在银盘 $10^\circ$ 以内的一些区域生成了一些辅助图像. 图像数据的单位是“in-band-radiance”(Wm<sup>2</sup>sr<sup>-1</sup>).

### 2.3 数据处理

为了了解恒星形成区的背景环境, 我们用4.8 GHz的连续谱, 8.28微米的MSX数据作为H<sub>2</sub>CO轮廓的背景去分析. H<sub>2</sub>CO吸收线和H110 $\alpha$ 射电复合线的数据主要由IRAM公司开发的GILDAS软件包中的CLASS和GREG进行处理. 8.28微米的中红外MSX数据主要由SAOImage DS9, Adobe Photoshop 7.0.1, Origin 8 和Adobe Illustrator CS 软件进行处理. 另外, 我们使用Starlink 软件对<sup>12</sup>CO CUBE 数据进行处理.

下面, 我们将利用最常用的方法计算分子云的光深、柱密度和质量. 根据Bieging et al. (1982)<sup>[8]</sup>, 光深的计算公式为:

$$\tau_{app} = -\ln\left[1 + \frac{T_L}{T_c + T_{bgd} - T_{ex}}\right], \quad (2.1)$$

其中 $T_L$ 是H<sub>2</sub>CO吸收线的强度,  $T_c$ 是连续谱亮温度,  $T_{bgd}$ 是2.7K的微波背景辐射温度,  $T_{ex}$ 是H<sub>2</sub>CO的 $1_{10} - 1_{11}$ 能级跃迁的激发温度. 对于H<sub>2</sub>CO分子, 在 $1_{11}$ 能级上的柱密度的计算公式为:

$$N(H_2CO) = 9.4 \times 10^{13} \tau_{app} \cdot \Delta V, \quad (2.2)$$

其中 $\Delta V$ 是以km s<sup>-1</sup>为单位的半高全宽(FWHM). 因此, 利用Scovile & Solomon 1973<sup>[44]</sup> 中的关系式, 我们可以知道H<sub>2</sub>的柱密度为:

$$N(H_2) = 0.8 \times 10^9 N(H_2CO). \quad (2.3)$$

最后, 我们利用方程<sup>[45]</sup>:

$$M(H_2) = S \cdot \overline{N(H_2)} \cdot m_{H_2} \cdot r^2 \quad (2.4)$$

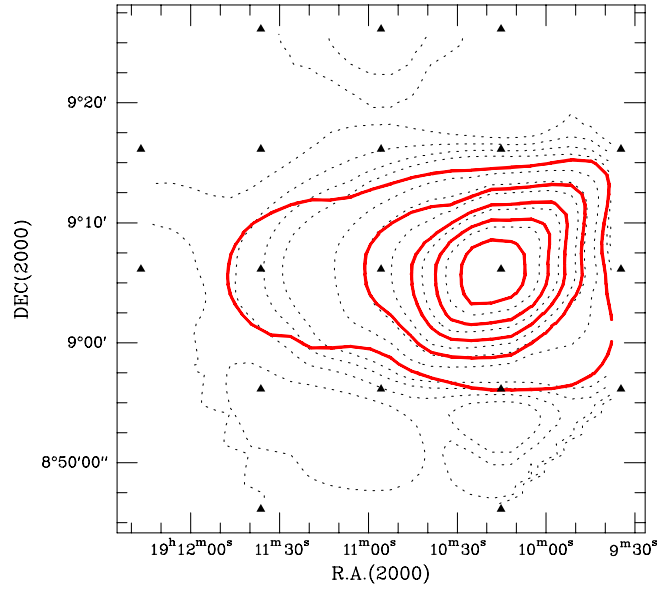


图 2.4: W49 GMC 的 $H_2CO$ 和连续谱数据的叠图

NOTES:——  $H_2CO$  (Red line) 的积分强度的LEVELS 如图3.1中的NOTES 所示. 4.85 GHz 的连续谱(Dot line) 的LEVELS 由里向外分别是4.601, 3.451, 2.301, 1.726, 1.150, 0.575, 0.431, 0.288 和0.144 K.

其中 $r$  是分子云的距离, 单位是kpc, 可以计算巨分子云的质量:

$$M(H_2) = 1.36 \times 10^{-21} \cdot \frac{S}{(\text{arcmin})^2} \cdot \overline{N(H_2)} \cdot M_{\odot} \cdot r^2, \quad (2.5)$$

其中,  $S$  是观测面积,  $\overline{N(H_2)}$  是平均柱密度,  $m_{H_2}$  是单个氢分子的质量.

## 2.4 数据分析与描述

在表2.1中, 第1列给出了所观测的四个巨分子云的名称. 第2列是相对于观测坐标偏置为(0, 0)位置的观测序号, 此序号已在谱线中标示出来(如图A.1、A.2、A.3、A.4、A.5、A.6、A.7和A.8). 另外, 第3列和第4列给出了坐标偏置为(0, 0)点的赤道坐标. 第5列是由文献中所得到的分子云的距离. 第6列给出了我们的观测区域大小, 我们的所观测的W49、W3、DR21/W75 GMCs的区域大于以往所有的观测范围. 第7列分别给出了四个巨分子云的质量. 第8列给出了我们对每个巨分子云的有效积分时间(ON-Position). 对于第9列中的“A/B/C”, “A”是某分子云所有观测位置的数目, “B”是我们获得可信的 $H_2CO$ 吸收线的数

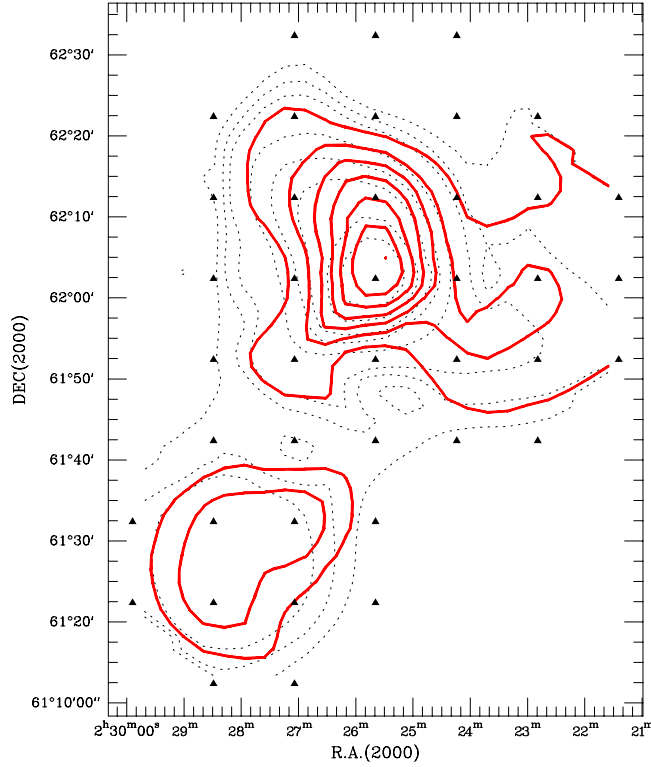


图 2.5: W3 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 和连续谱数据的叠图

NOTES:——  $\text{H}_2\text{CO}$  (Red line) 的积分强度的LEVELS 如图3.2中的NOTES 所示. 4.85 GHz 的连续谱(Dot line) 的LEVELS 由里向外分别是4.705, 3.529, 2.353, 1.765, 1.176, 0.588, 0.412 和0.235 K.

目, “C”是我们获得可信的 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线的数目. 由此可以知道,  $\text{H}_2\text{CO}$ 的探测率为56.95%,  $\text{H}110\alpha$ 的探测率为10.60%.

在图A.1、A.2、A.3、A.4、A.5、A.6、A.7和A.8中, 展示了我们所观测的W49, W3, DR21/W75, NGC2024/NGC2023 GMCs的 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线和 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线. 带有序号的每条谱线都放在了相对的观测位置上, 相关的数据列在了表B.1、B.2、B.3和B.4中. 每条谱线的坐标偏置位置已在相对的坐标轴上标示出, 步长值为 $10'$ . 谱线的速度是通过高斯拟合辨认的. 我们所展示的谱线包含可信( $> 3\sigma$ )与不可信( $< 3\sigma$ )的所有信号. 不含谱线的空白区域表示没有被探测. 我们所获得的 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线的信号都大于 $3\sigma$ , 而部分的 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线没有达到 $3\sigma$ , 此种情况已经在表B.1、B.2、B.3和B.4中用“a”标出. 由于观测到的 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线较少较弱( $< 3\sigma$ ), 所以文中仅仅展示了谱线, 没有进一步的



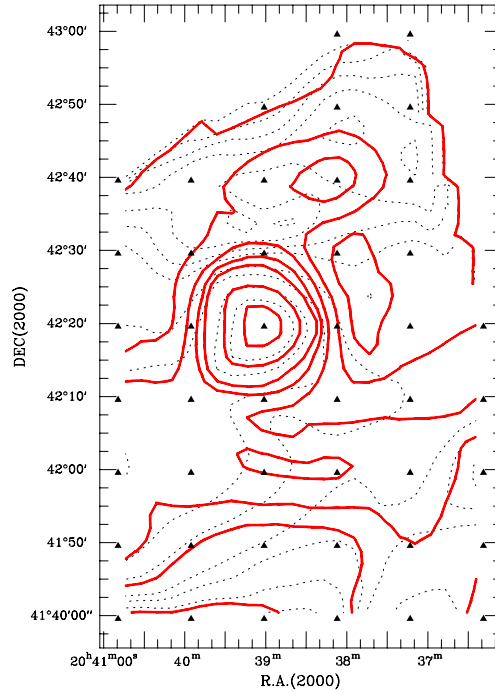


图 2.6: DR21/W75 GMC 的 $H_2CO$ 和连续谱数据的叠图

NOTES:——  $H_2CO$  (Red line) 的积分强度的LEVELS 如图3.3中的NOTES 所示. 4.85 GHz 的连续谱(Dot line) 的LEVELS 由里向外分别是2.512, 1.884, 1.256, 0.942, 0.628, 0.534, 0.440, 0.345, 0.251, 0.157 和0.063 K.

分析.

在表B.1、B.2、B.3和B.4中, 我们罗列了 $H_2CO$ 吸收线和 $H110\alpha$ 射电复合线的相关数据与计算结果. 观测序号与坐标偏置分别标在了第1列与第2列, 这与观测到的谱线(如图A.1、A.2、A.3、A.4、A.5、A.6、A.7和A.8)相互对应. 在第3列、第4列、第5列、第6列中, 我们列出了 $H_2CO$ 吸收线的参数. 在第11列、第12列、第13列、第14列中, 我们列出了 $H110\alpha$ 射电复合线的参数. 另外, 第3列与第11列给出了每个速度成分的积分强度, 第4列与第12列给出了本地静止坐标系中的速度, 第5列与第13列给出了谱线的半高全宽, 以“ $\Delta V$ ”表示, 第6列与第14列给出了谱线的强度. 在第7列、第8列、第9列、第10列中, 分别列出了4.8 GHz连续谱亮温度,  $H_2CO$ 云的光深,  $H_2CO$ 的柱密度和 $H_2$ 的柱密度. 我们所获得的 $H_2CO$ 云的光深范围为:  $0.007 < \tau_{app} < 0.188$ , 因此 $H_2CO$ 是光学薄的,  $H_2CO$ 云的柱密度范围为:  $0.121 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} < N(H_2CO) < 3.59 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ . 另外, 表中的“N”表示相应的谱

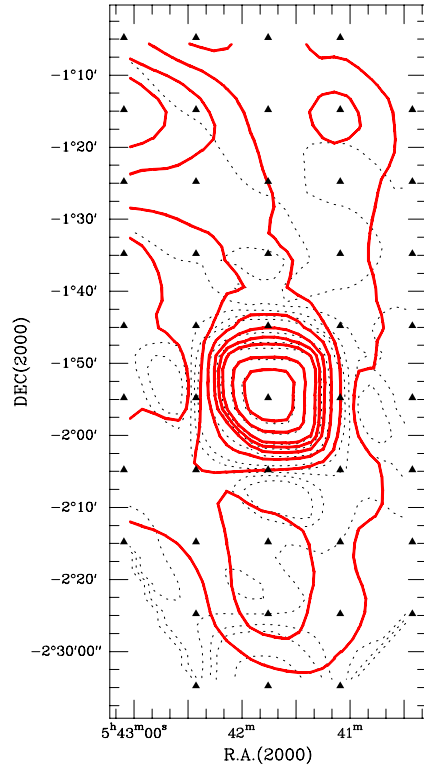


图 2.7: NGC2024/2023 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 和连续谱数据的叠图

NOTES:——  $\text{H}_2\text{CO}$  (Red line) 的积分强度的LEVELS 如图3.4中的NOTES 所示. 4.85 GHz 的连续谱(Dot line) 的LEVELS 由里向外分别是4.482, 3.361, 2.241, 1.681, 1.120, 0.560, 0.437, 0.314, 0.190 和0.067 K.

线没有被探测到, “ $\sigma$ ”表示相应的谱线没有达到 $3\sigma$ .

在图3.1、3.2、3.3和3.4中, 我们把 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 积分轮廓图叠加到了8.28微米的MSX彩图上. 另外, 如图2.4、2.5、2.6和2.7, 我们把4.8 GHz的连续谱亮温度轮廓图与 $\text{H}_2\text{CO}$ 的积分强度轮廓图叠加在一起. 我们发现在整体形态学上, 它们符合的比较好, 尽管 $\text{H}_2\text{CO}$ 与 $^{12}\text{CO}$ 在峰值位置上有些许的差别.  $\text{H}_2\text{CO}$ 的积分轮廓图与连续谱也符合的比较好, 这说明它们之间具有强的相关性. 另外, 一些具有代表性的天体已在叠图中标示出, 对于四个巨分子云的特征将在第三章中详细分析.

### 第三章 多波段的大尺度成图及分析与比较

#### 3.1 四个巨分子云的成图及特征

##### 3.1.1 W49 GMC

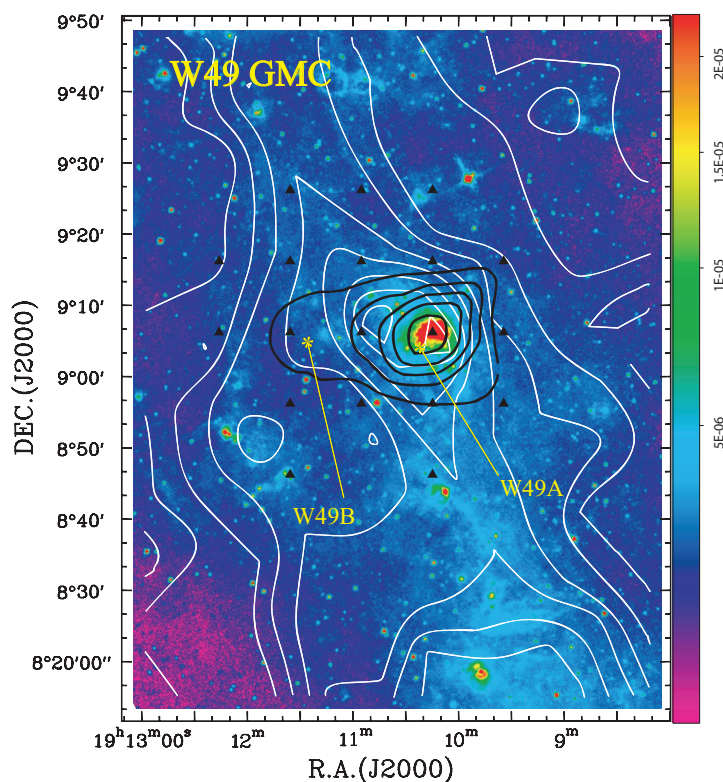


图 3.1: W49 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 、 $^{12}\text{CO}$ 和MSX数据的叠图

NOTES:—— 黑色轮廓图、白色的轮廓图和彩色背景图分别是 $\text{H}_2\text{CO}$  的积分强度、 $^{12}\text{CO}$  的积分强度和中红外 $8.28\text{-}\mu\text{m}$  MSX 数据的分布图. 三角形标出了 $\text{H}_2\text{CO}$  的搜寻位置. 中心位置坐标是R.A. =  $19^{\text{h}}10^{\text{m}}15^{\text{s}}.25$ , DEC. =  $09^{\circ}06'08''.4$ . 黑色轮廓图( $\text{H}_2\text{CO}$ ) 由里向外的LEVERS 分别是29.15, 22.67, 16.19, 9.71 和3.24  $\text{Jy km s}^{-1}$ ; 白色轮廓图( $^{12}\text{CO}$ )的LEVERS 是100 to 20  $\text{by } -10 \text{ K km s}^{-1}$ .  $\text{H}_2\text{CO}$  和 $^{12}\text{CO}$  的积分速度范围是从 $-29.8 \text{ km s}^{-1}$  到 $89.8 \text{ km s}^{-1}$ .

W49 GMC 发现于1958年的21厘米连续谱巡天<sup>[46]</sup>, 是许多课题的主要研究对象. W49 GMC 主要由相隔 $12'.5$  的一个热成分W49A和一个非热成分W49B构成,

W49A是银河系中亮度较强的HII区之一<sup>[47, 48]</sup>, W49B 是一个超新星遗迹. W49 GMC的动力学距离是11.4 kpc<sup>[39]</sup>. 在W49A中, 大约有40个HII区曾被详细地研究过<sup>[48]</sup>. 如图A.1和A.2, 我们探测到了较强的HII区的示踪物H110 $\alpha$ 射电复合线, 并且我们可以清晰地分辨出相对应的H<sub>2</sub>CO的三个速度成分. W49B中镶嵌有较强的射电强度和X射线的特征, 许多人对W49B比较感兴趣, 并做了一些超新星遗迹的形态模型<sup>[49-51]</sup>. Keohane 等人于2007年用充分的理由证明在W49B内部有一个较强的由于星风吹起的泡状结构(wind-blown bubble)<sup>[52]</sup>.

我们所观测的W49 GMC的尺度大约为50'  $\times$  50', 通过966分钟的长时间积分, 我们共获得了5条H<sub>2</sub>CO吸收线和2条H110 $\alpha$ 射电复合线, 其中有3条H<sub>2</sub>CO吸收线和1条H110 $\alpha$ 射电复合线属于我们首次发现. 在我们的谱线中, H<sub>2</sub>CO吸收线的三个速度成分分别是 $\sim 15.9$ ,  $\sim 40.9$ 和 $\sim 64.3$  km s<sup>-1</sup>. Brogan & Troland (2001)<sup>[53]</sup>用21厘米的中性氢线对W49A和W49B做了大尺度成图, 所观测到的速度成分分别为 $\sim 4$ 和 $\sim 7$  km s<sup>-1</sup> (W49A),  $\sim 40$ 和 $\sim 60$  km s<sup>-1</sup> (W49B). 包括HI, OH, H<sub>2</sub>CO, HCO<sup>+</sup>, 和CS<sup>[8, 54, 55]</sup>在内的多种原子和分子的研究显示出W49 GMC的速度成分为 $\sim 40$ 和 $\sim 60$  km s<sup>-1</sup>, 这些与我们的结果都比较接近. 同样, 我们所得到的H110 $\alpha$ 线的速度成分为 $\sim 7.5$  km s<sup>-1</sup>.

### 3.1.2 W3 GMC

W3 GMC 位于W4 GMC的西部, 距离太阳1.95 kpc<sup>[40]</sup>. W3 GMC 由W3 Main, W3 North, W3 OH 构成. 位于W3 Main 和W3 OH 之间的中心星团包含大量的Class II年轻星<sup>[56]</sup>. Oey et al. (2005) 认为IC 1795, W3 North, W3 Main 和W3(OH)的形成是由于英仙座中新一代恒星群中的超级Bubble的触发. W3, W4, W5 GMCs的分布表现为东西链状的分子云, 它们都是位于英仙臂中的大质量恒星形成区<sup>[57]</sup>. 来自W3, W4, W5 HII区的恒星风和电离流对该区域星际介质的形状塑造有强烈的影响<sup>[58]</sup>. 对于W3, W4 GMCs的整体结构来说, 一个年龄序列图曾现出来, 这表明超级Bubble的活动或者反馈机制(mechanical feedback)是恒星形成的激发机制<sup>[59]</sup>. 由此, 可能大量的原恒星和OB星镶嵌在H<sub>2</sub>CO云包裹的HII区里.

我们所观测的W3 GMC的尺度大约为70'  $\times$  90', 通过2370分钟的积分搜索, 我们探测到19条H<sub>2</sub>CO吸收线和4条H110 $\alpha$ 射电复合线, 其中有15条H<sub>2</sub>CO吸收线和3条H110 $\alpha$ 射电复合线属于我们首次发现. W3 GMC是一个非常复杂的大质量

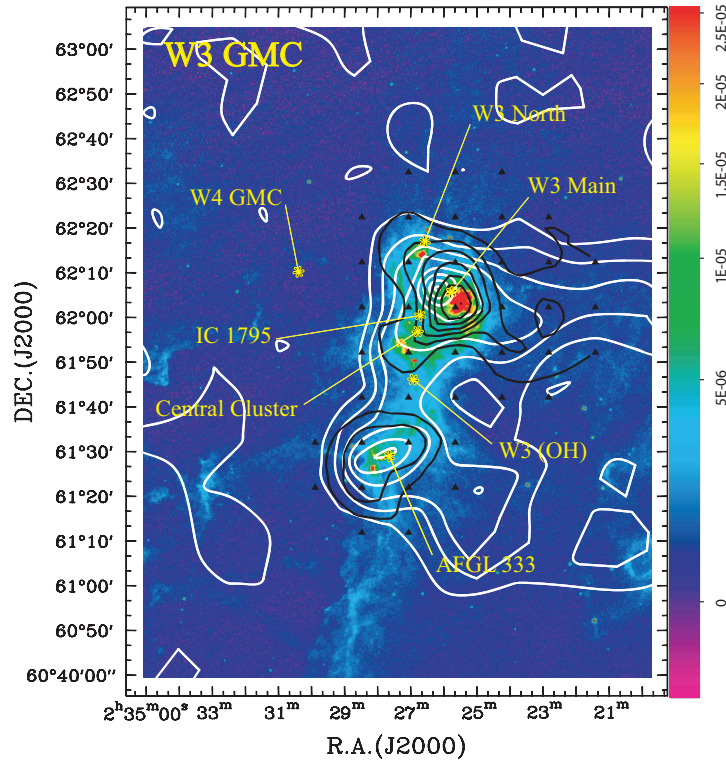


图 3.2: W3 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 、 $^{12}\text{CO}$ 和MSX数据的叠图

NOTES:—— 黑色轮廓图、白色的轮廓图和彩色背景图分别是 $\text{H}_2\text{CO}$  的积分强度、 $^{12}\text{CO}$  的积分强度和红外8.28- $\mu\text{m}$  MSX 数据的分布图. 三角形标出了 $\text{H}_2\text{CO}$  的搜寻位置. 中心位置坐标是R.A. =  $02^{\text{h}}25^{\text{m}}38^{\text{s}}.79$ , DEC. =  $62^{\circ}02'22''.0$ . 黑色轮廓图( $\text{H}_2\text{CO}$ ) 由里向外的LEVERS 分别是6.34, 5.22, 4.11, 2.99, 1.87 和0.75  $\text{Jy km s}^{-1}$ ; 白色轮廓图( $^{12}\text{CO}$ )的LEVERS 是48 to 6 by  $-6 \text{ K km s}^{-1}$ .  $\text{H}_2\text{CO}$  和 $^{12}\text{CO}$  的积分速度范围是从 $-59.15 \text{ km s}^{-1}$  到 $-20.15 \text{ km s}^{-1}$ .

恒星形成区, 该区域存在着较强的 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线和 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线,  $^{12}\text{CO}$ , MSX 源和亮的连续谱. 从图3.2中发现, W3 GMC有两块分子云或者说两个核组成. 在这两块分子云的连接处, 我们没有探测到 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线, 并且连续谱亮温度也比较低, 但是 $^{12}\text{CO}$ 和MSX 源的积分强度比较强. 另外, 从W3 GMC的 $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $\text{H}110\alpha$ ,  $^{12}\text{CO}$ , MSX源的强度分布图上, 我们似乎可以推测出, W3 GMC的西部区域是来自东部分子云的扩展.

W3和W4 GMC的大尺度速度结构是研究恒星形成历史的重要对象.  $\text{H}_2\text{CO}$  和 $\text{H}110\alpha$ 的谱线速度范围大约从 $-46.0$  到 $-35.0 \text{ km s}^{-1}$ , 这与中性氢的观测特征较为相近<sup>[60]</sup>. 从表B.1中数据的速度分布中, 我们发现一个明显速度不一致的现



象. 从谱线中的西北到东南方向上(如图A.3), 速度变化为从 $-35.02 \text{ km s}^{-1}$  (No.08) 到 $-45.14 \text{ km s}^{-1}$  (No.37). Lada et al. (1978)<sup>[57]</sup>, Dickel et al (1980)<sup>[61]</sup>, 和Thronson & Price (1982)<sup>[62]</sup>认为这种速度的不连续性来自巨HII区W4 GMC的扩张.

### 3.1.3 DR21/W75 GMC

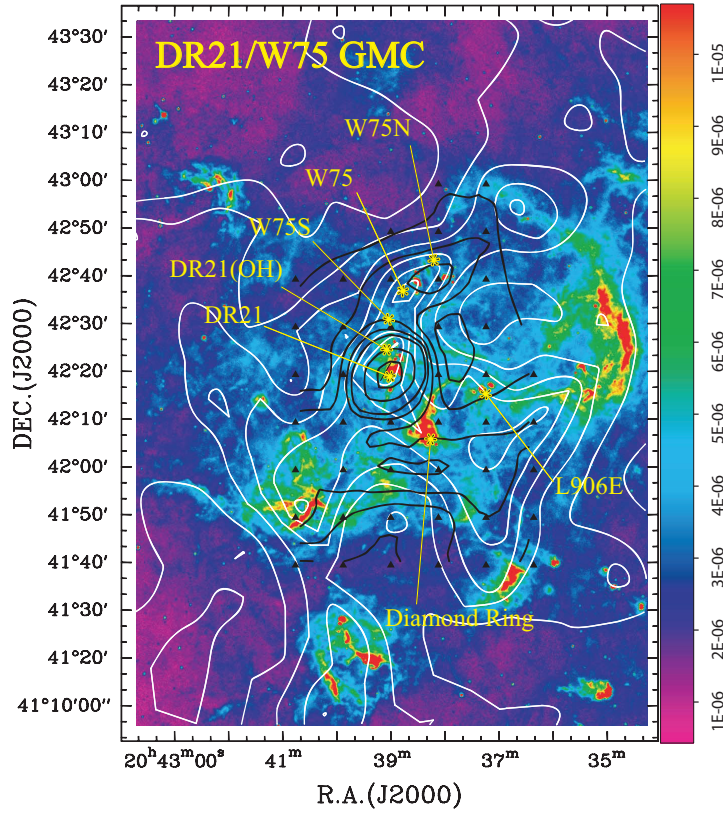


图 3.3: DR21/W75 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 、 $^{12}\text{CO}$ 和MSX数据的叠图

NOTES:—— 黑色轮廓图、白色的轮廓图和彩色背景图分别是 $\text{H}_2\text{CO}$ 的积分强度、 $^{12}\text{CO}$ 的积分强度和红外 $8.28\text{-}\mu\text{m}$  MSX 数据的分布图. 三角形标出了 $\text{H}_2\text{CO}$ 的搜寻位置. 中心位置坐标是 $\text{R.A.} = 20^{\text{h}}39^{\text{m}}01^{\text{s}}.23$ ,  $\text{DEC.} = 42^{\circ}19'33''.9$ . 黑色轮廓图( $\text{H}_2\text{CO}$ )由里向外的LEVERS分别是14.92, 10.00, 5.08, 3.85, 2.62, 1.39 和 $0.16 \text{ Jy km s}^{-1}$ ; 白色轮廓图( $^{12}\text{CO}$ )的LEVERS是81 to 4 by  $-11 \text{ K km s}^{-1}$ .  $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 的积分速度范围是从 $-15.4 \text{ km s}^{-1}$ 到 $25.6 \text{ km s}^{-1}$ .

在DR21/W75 GMC中, 包含有高能恒星形成特征的外向流<sup>[63, 64]</sup>. 该巨分子云位于距离太阳3.0 kpc处的天鹅座星群中<sup>[41]</sup>. 从MSX彩图中, 我们发现DR21/W75 GMC曾现出复杂和弥散的结构, 可能在视线方向上有许多分

散的星团聚集在一起. 我们所搜寻的DR21/W75 GMC区域包括W75N, W75, DR21(OH), DR21, L906E 和Diamond Ring. DR21 和W75 GMC与致密的大质量的星核成协, 它们相距大约30'<sup>[65, 66]</sup>. DR21/W75 GMC中充满着UCHII 区, 水脉泽, 羟基脉泽和甲醇脉泽源<sup>[67]</sup>, 这些都表明DR21/W75 GMC是一个复杂的大质量恒星形成区. 从图A.5中可以看出, DR21/W75 GMC的速度成分比较多而且复杂. 比起中部区域来说, 东北部的速度成分较小, 而西南部的速度成分偏大. 这种存在于小团块儿中的速度梯度, 可能是来自巨分子云的旋转运动.

我们对DR21/W75 GMC搜索的尺度大约为60' × 90'. 通过2742分钟的积分搜寻工作, 我们获得了34条H<sub>2</sub>CO吸收线和8条H110 $\alpha$ 射电复合线, 其中有28条H<sub>2</sub>CO吸收线和7条H110 $\alpha$ 射电复合线属于我们首次发现. 我们所探测到的强的H110 $\alpha$ 线可以示踪UCHII区域. 位于包层处扩展的H<sub>2</sub>CO线可能来自内部的UCHII的激发. 另外, 我们仅仅探测到了DR21/W75 GMC的一部分, 特别是对于西部区域, 我们发现存在着强的MSX源, 相比之下<sup>12</sup>CO的积分强度较弱. 为了更好的研究H<sub>2</sub>CO、<sup>12</sup>CO 和MSX 源之间的关系, DR21/W75 GMC西部的这片云是一个很好的研究对象.

### 3.1.4 NGC2024/NGC2023 GMC

NGC2024/NGC2023 GMC坐落于猎户座星云B (Orion B)中, 距离太阳415 pc<sup>[42]</sup>. NGC2024/NGC2023 GMC一个被显著的尘埃云横穿的亮的发射星云. 这片复杂的恒星形成区已经被广泛地观测与研究<sup>[68-70]</sup>. 弯曲的丝状结构云可能是在旋转磁场的作用下, 被正在扩张的HIII区的电离前锋吹散的结果<sup>[71]</sup>. 在与致密HIII区成协的南北方向上曾现出恒星形成的脊状区域, 这里是大质量原恒星的诞生地<sup>[72]</sup>. 相对NGC2024来说, NGC2023是一个亮的反射星云, 反射光主要来自HD 37903, 它位于O9.5 V星 $\sigma$  Ori 的西部30' 或 $\zeta$  Ori 的南部30'附近<sup>[73]</sup>. 从表B.4中可以知道, H<sub>2</sub>CO谱线的速度大小比较单一, 为11.70 km s<sup>-1</sup>. 从谱线A.7中来看, 所有较大的速度成分的值几乎相同.

我们对NGC2024/NGC2023 GMC的观测区域大约为50' × 100', Cohen et al. (1983)<sup>[74]</sup> 已经对此区域进行了观测, 在谱线速度和积分轮廓上比较的相似, 但是我们的观测设备比他们有更好的灵敏度. 通过3378分钟的积分观测, 我们共获得了28条H<sub>2</sub>CO吸收线和2条H110 $\alpha$ 射电复合线, 其中有1条H110 $\alpha$ 射电复合线属于我们首次发现. 在NGC2024/NGC2023 GMC的北部, 中红外辐射较弱,

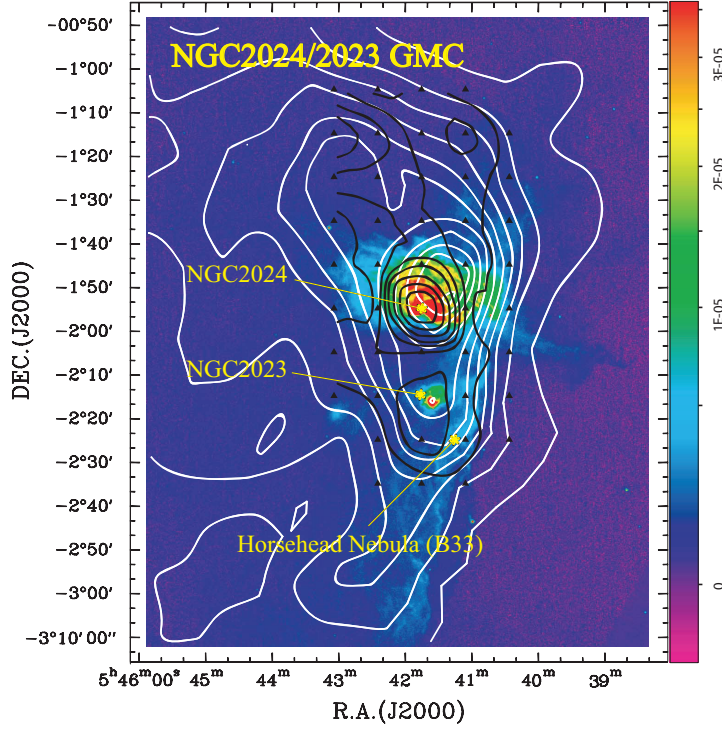


图 3.4: NGC2024/2023 GMC 的 $\text{H}_2\text{CO}$ 、 $^{12}\text{CO}$ 和MSX数据的叠图

NOTES:—— 黑色轮廓图、白色的轮廓图和彩色背景图分别是 $\text{H}_2\text{CO}$ 的积分强度、 $^{12}\text{CO}$ 的积分强度和红外 $8.28\text{-}\mu\text{m}$  MSX 数据的分布图. 三角形标出了 $\text{H}_2\text{CO}$ 的搜寻位置. 中心位置坐标是 $\text{R.A.} = 05^{\text{h}}41^{\text{m}}45^{\text{s}}.49$ ,  $\text{DEC.} = -01^{\circ}54'46''.8$ . 黑色轮廓图( $\text{H}_2\text{CO}$ )由里向外的LEVERS分别是8.69, 6.59, 4.50, 3.66, 2.83, 1.99, 1.15 和 $0.31 \text{ Jy km s}^{-1}$ ; 白色轮廓图( $^{12}\text{CO}$ )的LEVERS是124 to 4 by  $-12 \text{ K km s}^{-1}$ .  $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 的积分速度范围是从 $0.33 \text{ km s}^{-1}$ 到 $20.48 \text{ km s}^{-1}$ .

NRAO/VLA 巡天(NVSS)的射电轮廓图和 $4.8 \text{ GHz}$ 的射电亮温度都表现的比较微弱, 而 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 的分布比较的广泛. 这说明该区域 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线主要来自微波背景辐射的激发.

### 3.2 分析与比较 $\text{H}_2\text{CO}$ 与连续谱亮温度的分布

通常,  $\text{H}_2\text{CO}$ 强度会强烈的受到背景连续谱温度的影响, 而来自微波背景辐射激发所贡献的强度是比较弱的. 连续谱一般与HII区和 $\text{H}_2\text{CO}$ 背后的大质量的原恒星成协. 连续谱示踪的是光学薄的尘埃发射线, 连续谱的峰值与分子云柱密度的峰值比较的一致. 连续谱的峰值也就顺理成章地落在 $\text{H}_2\text{CO}$ 强度的峰值处.



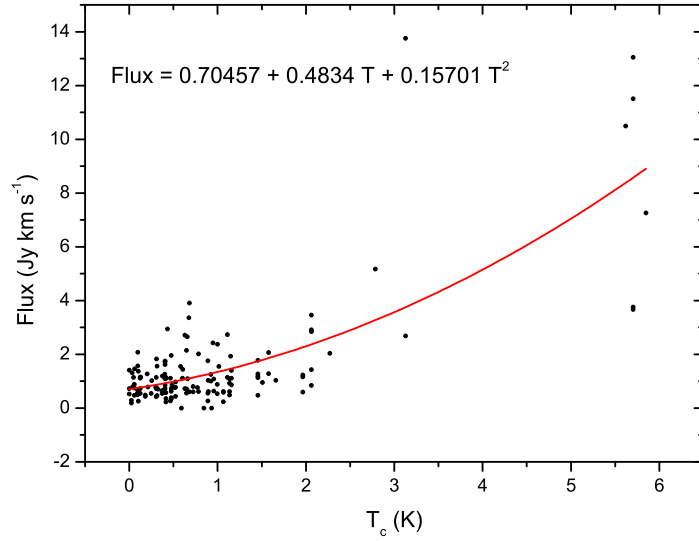


图 3.5:  $\text{H}_2\text{CO}$ 的积分强度与连续谱亮温度的关系图

连续谱分别叠加在四个巨分子云的 $\text{H}_2\text{CO}$ 轮廓图上2.4, 2.5, 2.6和2.7, 很明显地是, 在形态学上, 它们的分布符合的较好.  $\text{H}_2\text{CO}$ 与连续谱轮廓的峰值重合在一起. 从表B.1, B.2, B.3和B.4来看,  $\text{H}_2\text{CO}$ 的柱密度与强度轮廓图没有很好的相关性. 通过比较 $\text{H}_2\text{CO}$ 的积分强度与连续谱数据的关系, 如图3.5, 我们利用多项式拟合得到一个关系式:

$$\text{Flux}(\text{H}_2\text{CO}) = 0.70457 + 0.4834T_c + 0.15701T_c^2. \quad (3.1)$$

我们认为, 以较高连续谱亮温度为背景分子云可以碰撞激发更多的 $\text{H}_2\text{CO}$ 分子. 也可以说, 比起微波背景辐射, 强连续谱的区域可以碰撞激发更多的 $\text{H}_2\text{CO}$ 分子.

### 3.3 分析与比较 $\text{H}_2\text{CO}$ 、 $^{12}\text{CO}$ 、MSX 的分布

在相同的坐标位置, 对于相同的速度成分, 我们给出了W49, W3, DR21/W75和NGC2024/NGC2023 GMCs的 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 的速度关系图, 如图3.6. 从图中可以发现, 所有的点分布于一次拟合线上或者附近, 这说明它们示踪的是同一块儿分子云.

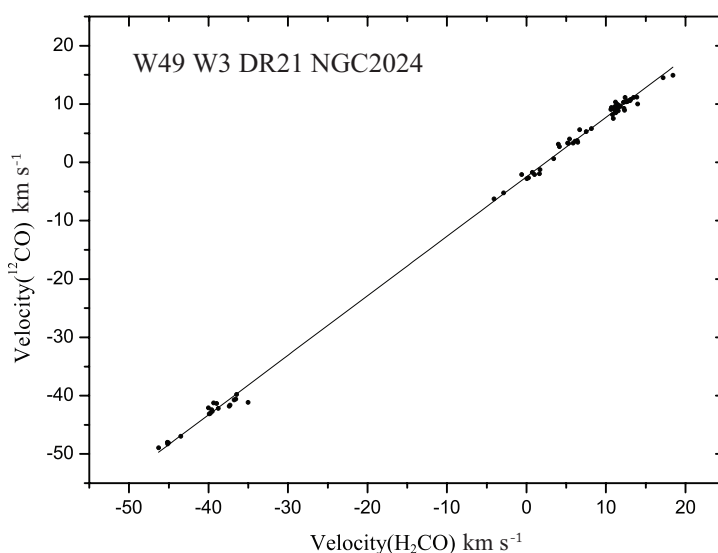
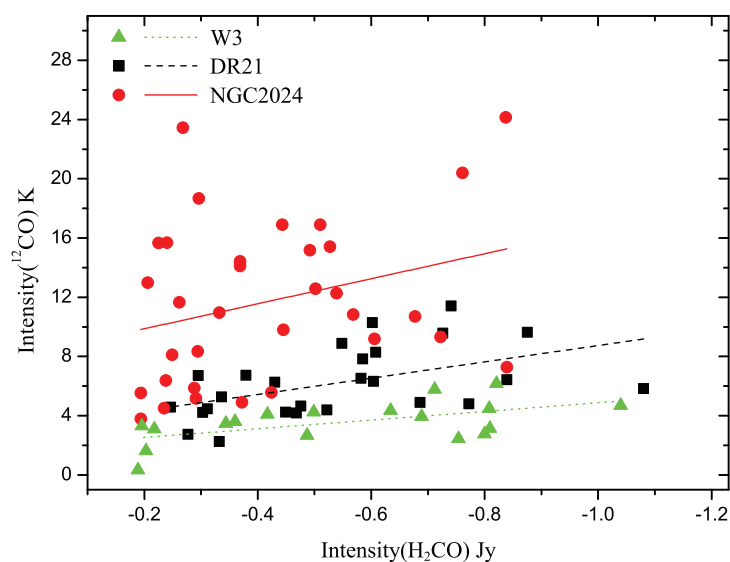


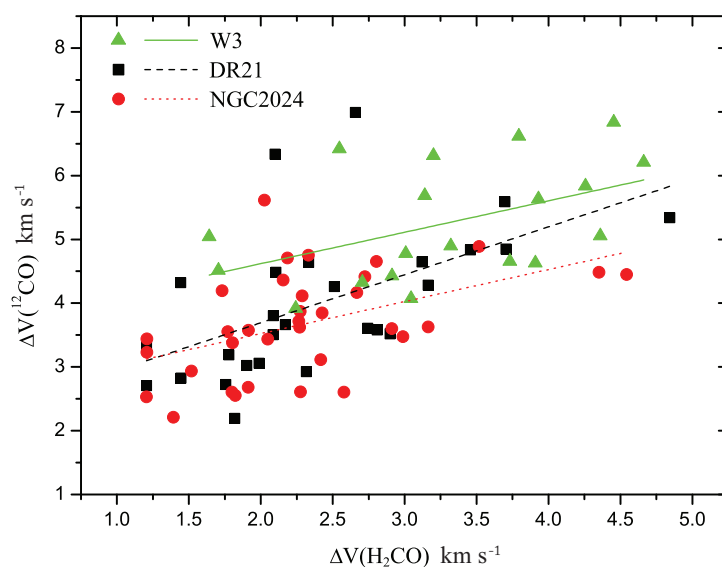
图 3.6:  $^{12}\text{CO}$ 和 $\text{H}_2\text{CO}$ 的速度关系图

$\text{H}_2\text{CO}$ 与 $^{12}\text{CO}$ 的强度关系如图3.7所示, W3, DR21 和NGC2024 GMCs 的强度相关系数分别是0.558, 0.499 和0.297. W3 和DR21/W75 GMCs 的相关关系要好于NGC2024/NGC2023 GMC, 原因可能是在NGC2024/NGC2023 GMC北部的 $\text{H}_2\text{CO}$ 线是由微波背景辐射激发产生, 而在其他方位都是以温度较高的连续谱为背景碰撞激发产生 $\text{H}_2\text{CO}$ 线. 这两种激发机制对 $\text{H}_2\text{CO}$ 强度的贡献是不同的.  $\text{H}_2\text{CO}$ 的强度与气体柱密度, 背景连续谱源, HII区的强度有很大的关系. 另外, 如图3.8, W3, DR21/W75 和NGC2024/NGC2023 GMCs 在 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 的线宽之间的相关系数分别为0.480, 0.556 和0.478.  $^{12}\text{CO}$ 的线宽普遍的宽于 $\text{H}_2\text{CO}$ 的线宽. 总的来说, 在 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 云之间存在很好的相关性, 这暗示着在大尺度上它们示踪着相似的物理环境.

通过在大尺度上比较 $\text{H}_2\text{CO}$ 轮廓,  $^{12}\text{CO}$ 轮廓和MSX 源之间的关系, 我们发现它们在形态学上展示出较好的一致性, 尤其是 $\text{H}_2\text{CO}$ 轮廓和MSX 源之间的关系. 它们的分布由大到小, 依次为 $^{12}\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}$ 和MSX 源. 它们的积分强度峰值几乎都位于同一位置上, 但是 $^{12}\text{CO}$ 的峰值略有些偏差. MSX 云总是位于恒星形成区的内部, 其内部最热的核是大质量恒星形成区的能量激发源.  $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 云可以扩展到恒星形成区的较边缘的包层区域. 整个分层的结构形象的构成了一个大质量恒星形成区.

图 3.7:  $^{12}\text{CO}$ 和 $\text{H}_2\text{CO}$ 的强度关系图

### 3.4 $^{12}\text{CO}$ 的峰值与 $\text{H}_2\text{CO}$ 和连续谱之间的位置差异

图 3.8:  $^{12}\text{CO}$ 和 $\text{H}_2\text{CO}$ 的FWHM关系图

在大尺度分布上,  $^{12}\text{CO}$ 与 $\text{H}_2\text{CO}$ 的轮廓在形态学上比较的相似; 但是在小尺度上, 存在着峰值位置的偏差. Rodríguez et al. (2007) 用Onsala的25米射电望远镜对暗云L1204进行了 $^{12}\text{CO}$ 与 $\text{H}_2\text{CO}$ 峰值差异的比较<sup>[12]</sup>. 他们观测的 $\text{H}_2\text{CO}$ 云

是以微波背景辐射为背景的, 而我们所选取的源是以较亮的连续谱源为背景的. 背景连续谱亮温度的强度对 $\text{H}_2\text{CO}$ 的分布有比较强的影响. 从图2.4, 2.5, 2.6和2.7上, 我们可以看出,  $\text{H}_2\text{CO}$ 和连续谱的轮廓在形态学上有较好的一致性. 可是从图3.1, 3.2, 3.3和3.4上, 我们发现 $^{12}\text{CO}$ 与 $\text{H}_2\text{CO}$ 的峰值位置有不一致之处. Rodríguez et al. (2007)所发现的位置偏差与我们发现的有些不同<sup>[12]</sup>. Rodríguez et al. (2007)认为峰值偏差主要由于紫外辐射对 $\text{H}_2\text{CO}$ 云的光致电离. 我们总结出原因解释偏差的存在: 首先,  $\text{H}_2\text{CO}$ 强度的分布强烈的受限于背景连续谱温度, 相对来说,  $^{12}\text{CO}$ 强度的分布与背景云的温度存在较小的约束关系; 其次, 恒星形成区的成团性和在他们的源与我们的源之间的不同演化阶段都会产生这种位置差异性; 而且,  $\text{H}_2\text{CO}$ 线是光学薄的( $<0.188$ ), 而 $^{12}\text{CO}$ 线是光学厚的, 因此 $^{12}\text{CO}$ 不是一个很好的密度的示踪物. 最后, 分辨率的不同也会造成这种峰值的差异性.

### 3.5 $\text{H}_2\text{CO}$ 的线宽与强度之间的统计关系

如图3.9, 我们对W49, W3, DR21/W75 和NGC2024/NGC2023 GMCs 还有W3 GMC <sup>[75]</sup>进行了 $\text{H}_2\text{CO}$ 的线宽与强度之间的统计分析.  $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线有相对弱的强度和窄的线宽. 我们共探测到86条 $\text{H}_2\text{CO}$ 线, 其中包括169条速度成分. 统计结果为, 大约85.21%的 $\text{H}_2\text{CO}$ 速度成分分布在此范围:  $-1.0 \text{ Jy} < \text{强度} < 0$  和  $1.206 \text{ km s}^{-1} < \Delta V < 5 \text{ km s}^{-1}$ .

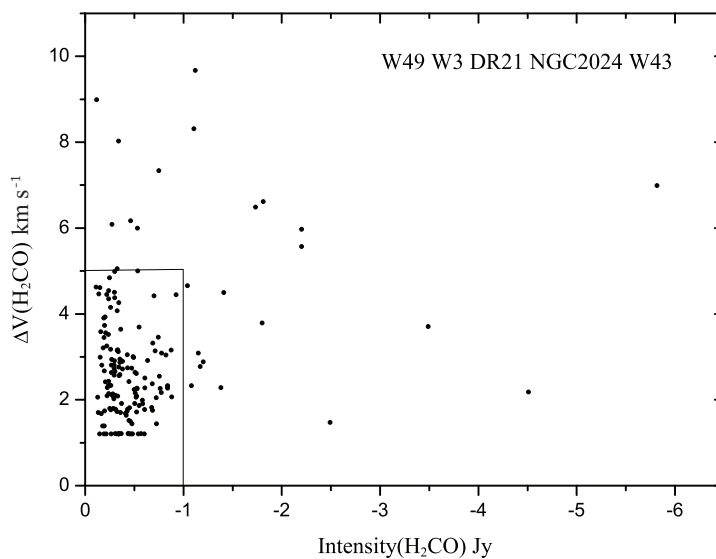


图 3.9:  $\text{H}_2\text{CO}$ 的FWHM与流量的分布关系图

由图3.9可以看出, 多数情况下,  $\text{H}_2\text{CO}$ 的谱线线宽是比较窄的, 甚至会小于 $1.206 \text{ km s}^{-1}$ 的速度分辨率. 然后, 有些情况下谱线宽度是比较宽的, 甚至可以得到 $9.67 \text{ km s}^{-1}$ . Bieging et al. (1982) 认为 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线的线宽普遍超出了热动力学温度下的热致宽, 因为对于 $\text{H}_2\text{CO}$ 来说, 在30K时,  $\Delta V (\text{thermal}) = 0.3 \text{ km s}^{-1}$ . 我们认为,  $\text{H}_2\text{CO}$ 谱线的致宽主要是视线方向上湍流运动与不同速度的分子云叠加的结果. 基于这些原因, 我们认为 $\text{H}_2\text{CO}$ 线的宽度是由于混合了多种速度成分而致宽.

### 3.6 总结

$\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线是一个重要的示踪恒星形成区包层环境的探针. 在过去的几十年中, 对巨分子云的大尺度的 $\text{H}_2\text{CO}$ 云成图研究比较匮乏. 从2009年10月份到2011年1月份, 我们利用南山25米射电望远镜对四个巨分子云的进行不连续的积分观测. 通过长时间的积分观测与分析, 我们获得如下的结论:

1. 对四个大质量恒星形成区W49, W3, DR21/W75 和NGC2024/NGC2023 GMCs, 我们通过9456分钟的积分, 用 $10'$ 的波束宽度, 搜寻了151个点, 首次发现了46条 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线和12条 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线. 特别地是, 我们还对这四个巨分子云进行了大尺度的 $\text{H}_2\text{CO}$ 成图.

2. 我们展示了 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线和 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线的观测谱线和相关物理参数. 所观测巨分子云的光深和柱密度的范围分别为:  $0.007 < \tau_{\text{app}} < 0.188$ ,  $0.121 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} < N(\text{H}_2\text{CO}) < 3.59 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ . 另外, 在 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 之间的速度成分, 线宽和强度的关系被详细地分析与比较. 对于线宽和强度来说, 我们发现在 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 之间存在着较好的相关性, 由此可以猜测 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 示踪着相似的物理环境.

3. 在大尺度上, 通过比较 $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $^{12}\text{CO}$ , 8.28微米的MSX数据和4.8 GHz的连续谱亮温度, 我们发现它们在形态学上的分布比较一致. 高的亮温度区域对 $\text{H}_2\text{CO}$ 有较高的激发率. 然后在小尺度上,  $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 的峰值存在位置上的差异. 这可能是由于 $\text{H}_2\text{CO}$ 的分布强烈受限于背景连续谱, 而 $^{12}\text{CO}$ 受背景环境影响较弱造成的.

4. 我们还偶然发现了一些有意义的结果. 非热超新星遗迹W49B与热云W49A有三个相同的速度成分. 在W3 GMC的中间接连处, 我们没有探测到 $\text{H}_2\text{CO}$ 线, 然而此处存在较强的 $^{12}\text{CO}$ 和MSX源. 在DR21/W75 GMC中存在着速

度梯度, 这可能来自巨分子云的旋转运动. 在NGC2024/NGC2023 GMC的北部, H<sub>2</sub>CO线的激发可能来自微波背景辐射.

5. 我们对所观测的H<sub>2</sub>CO吸收线的线宽与强度的关系进行了数据的统计, 我们发现, 大约85.21%的H<sub>2</sub>CO速度成分分布在此范围:  $-1.0 \text{ Jy} < \text{强度} < 0$  和  $1.206 \text{ km s}^{-1} < \Delta V < 5 \text{ km s}^{-1}$ .

## 第四章 FITS 与CUBE 格式的数据处理与转换

我们在本章中所说的二维的FITS 与三维的CUBE 格式的数据都属于标准FITS数据, 为了方便起见, 我们把它们简称为FITS 和CUBE 数据. 所使用的数据处理软件是GILDAS(Grenoble Image and Line Data Analysis System)组件里的CLASS(Continuum and Line Analysis Single-dish Software)软件. 其为IRAM 开发的处理单镜谱线和干涉仪 (PDBI) 的一整套软件. 我们做此工作的主要目的是为了便于将来氨分子巡天时的数据存储与再处理.

### 4.1 FITS 数据格式简介

FITS (Flexible Image Transport System)是天文学界常用的数据格式, 它专门为在不同平台之间交换数据而设计. 1988年的国际天文学联合会 (IAU) 大会指定IAU的FITS工作组全权负责此格式的修订. IAU规定, 今后对FITS标准的修改不得破坏前后一致性, 也就是所谓的“once FITS, always FITS” 一说. FITS文件由头文件和数据存储单元组成. 在头文件中存储有对该文件的描述, 如观测时间、观测对象、观测坐标、观测者等信息, 同时也可以头文件中注明观测时的视场、精度等, 便于后期数据分析之用. FITS 格式的使用证明, 它对天文学家是非常有用的, 现在天文学家可以在不同天文台之间或不同的图象处理系统进行数据交换, 只要说明是使用的FITS 格式就可处理. 目前, 不论是综合孔径、甚大阵、CCD观测记录, 还是CDS 发表的天文星表和CD-ROM 星表等都使用FITS 格式来存贮交换数据.

一个FITS 文件包含一系列逻辑单元, 而每个单元的开头都是用一组标题记录描述随后的数据记录. 一个FITS 文件的逻辑记录长度总是2880 字节(bytes), 每字节8 位(bits). 标题和数据组都在一个新的逻辑记录里起始. FITS 标题用ASCII 码编辑成每一个开始用一个8 字符的关键词(keyword) 定义信息的类型(80字符). 参数值用标准FORTRAN-77 规则编辑, 它们详细地描述了标题记录后面的数据. 在文件里最后的标题/数据单元后面, 可能存在附加的记录. 标题的设计对描述的数据组所需的参数定义有较大的灵活性. 总是需要给出很好定义的标准关键词组, 甚至用简单的程序也容易能够读出数据的基本内容. 一个FITS

文件的模块结构也使它容易转换更复杂的数据. 以后, 它提供了一种可能性, 即将FITS 基本格式标准扩展到新的数据类型, 而不用修改现在的FITS定义<sup>[76]</sup>.

### 头文件的记录<sup>[76]</sup>

标题记录描述数据数组的结构和坐标系统及传送任一附加的参数和伴随的正文. 这样的记录的定义在建立一个交换格式中是重要的. 在FITS 里用了ASCII 编码的卡片映象, 以使能用人机对话方式对标题记录进行编译. 不管是在标准参数卡片映象还是在注释卡片上都鼓励使用注释, 可以传输无限量的文本. 包括, 例如源程序, 用的卡片映象数是没有限定的, 以便能够补充扩展. 用关键词END 表示标题记录结束.

一个FITS 标题卡片映象的基本语法格式是: **Keyword= Value/Comment** (关键词=参数值/注释说明). 关键词是一个左边对齐的8 字符ASCII 码字符串, 放在1-8 列里, 字母必须大写. “=” 号出现在第9 列, 而第10 列是空格. 由于某些限定, 参数值按FORTRAN-77 表控规定书写, 直接可读格式. 逻辑值(F 或T)和数值在数值区中紧靠右排列, 字符串用符号: ’ ’ 括出, 字母大写. 符号 “/” 用来表示数值区结束. 注释说明紧接符号 “/”, 用大小写ASCII码字符书写.

为了更加清晰地了解认识FITS数据的存储格式, 下面给出的是南山25米射电望远镜观测得到的FITS数据格式的头文件信息:

```
SIMPLE = T /
BITPIX = 32 /
NAXIS = 4 /
NAXIS1 = 4096 /
NAXIS2 = 1 /
NAXIS3 = 1 /
NAXIS4 = 1 /
BLOCKED = T /
BSCALE = 1.00000004750E-003 /
BZERO = 0.00000000000E+000 /
DATAMAX = 1.00000000000E+003 /
DATAMIN = -1.00000000000E+003 /
BUNIT = 'Janskys ' /
CTYPE1 = 'FREQ' /
CRVAL1 = 0.00000000000E+000 /
CDELTA1 = -1.95312500000E+004 /
CRPIX1 = 2.047500e+03 /
CTYPE2 = 'RA ' /
CRVAL2 = 8.54395398396E+001 /
```



```
CDELTA2 = 0.0000000000E+000 /
CRPIX2 = 1.0000000000E+000 /
CTYPE3 = 'DEC' /
CRVAL3 = -1.91300002312E+000 /
CDELTA3 = 0.0000000000E+000 /
CRPIX3 = 1.0000000000E+000 /
CTYP4 = 'STROKES' /
CRVAL4 = 0.0000000000E+000 /
CDELTA4 = 0.000000e+00 /
CRPIX4 = 0.000000e+00 /
TELESCOP= 'URUMQI.25M' /
OBJECT = '1111+001' /
EQUINOX = 2.0000000000E+003 /
BLANK = 0.000000e+00 /
LINE = 'for4829.66' /
RESTFREQ= 4.85191015625E+009 /
VLSR = 0.0000000000E+000 /
DELTA_V = -1.20643530273E+003 /
IMAGFREQ= 4.85194531250E+009 /
TSYS = 2.24194622040E+001 /
OBS_TIME = 3.6000000000E+002 /
SCAN_NUM= 4.0448000000E+004 /
TAU-ATM = 7.40000000224E-003 /
OBSERVER= 'Zhangchuanpeng' /
OPERATOR= 'Jarken' /
ENGINEER= 'zhengxw' /
INSTRUME= 'S80S4096' /
BEAM_EFF = 6.70535504818E-001 /
FORWEEF = 5.700000e-01 /
GAIN_MAG = 1.000000e-01 /
TCAL = 1.70000004768E+000 /
RMS = 7.16505178642E-002 /
IF1_VAL = 0.000000e+00 /
IF1_GAIN= 0.000000e+00 /
IF2_VAL = 0.000000e+00 /
IF2_GAIN= 0.000000e+00 /
DATE-OBS= '2009-11- 4T 4:48:51' /
DATE-RED= '2009-11- 4T 4:48:51' /
LST = '5:22:11.709' /
UT = '20:48:51' /
AZIMUTH = 3.53150115967E+002 /
ELEVATIO= 4.44038848877E+001 /
```

```

COMMENT Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Academia Sinica.
COMMENT Urumqi Longitude(87:10:40.5) Latitude(43:28:16) Altitude(2080m)
COMMENT http://www.uao.cas.cn/
END

```

在此, 我们把由二维的FITS数据处理得到的三维数据称为CUBE数据, 下面给出的是1.2 米CfA 观测得到的CUBE格式数据的头文件信息:

```

SIMPLE = T / Standard FITS format
BITPIX = 16 / Bits per pixel
NAXIS = 3 / Number of axes
NAXIS1 = 417 / Number pixels on axis 1
NAXIS2 = 81 / Number pixels on axis 2
NAXIS3 = 49 / Number pixels on axis 3
CTYPE1 = 'VELO-LSR' / axis 1 coord type
CRVAL1 = -9.027060E+01 / coord value at CRPIX1
CDELTA1 = 6.501900E-01 / linear pixel spacing axis 1
CRPIX1 = 1.000000 / ref pixel for axis 1
CTYPE2 = 'GLON-CAR' / axis 2 coord type
CRVAL2 = 5.000000E+01 / coord value at CRPIX2
CDELTA2 = -1.250000E-01 / linear pixel spacing axis 2
CRPIX2 = 1.000000 / ref pixel for axis 2
CTYPE3 = 'GLAT-CAR' / axis 3 coord type
CRVAL3 = -3.000000E+00 / coord value at CRPIX3
CDELTA3 = 1.250000E-01 / linear pixel spacing axis 3
CRPIX3 = 1.000000 / ref pixel for axis 3
BSCALE = 3.156281E-04 / real = int*bscale + bzero
BZERO = 8.649787E+00 /
DATAMIN = -6.511419E-01 / minimum real value
DATAMAX = 1.050284E+01 / maximum real value
BLANK = -32768 / missing data flag
COMMENT Created: Wed May 5 11:09:42 2010
END

```

### 数据的物理表示<sup>[76]</sup>

FITS 是在7 磁道和9 磁道磁带上记录数字图象的一种数据格式. 数字位的设计和这种磁带的其他物理特性将符合有关的ANSI (美国国家标准局) 的技术要求. 为了简便起见在磁带上每一个物理记录将含有一个并且仅只含有一个逻辑记录. 而且, 全部记录长度均为23040 bits (2880 bytes / 8 bit, 3840bytes/6 bit). 这

个长度能用市场上出售的所有计算机的位长和字长除尽, (即6, 8, 12, 16, 18, 24, 32, 36, 48, 60 和64 bits). 这种通用性适用于在各种各样的计算机上读写记录. 记录长度对所有的标准磁带(如800, 1600, 6250bpi 9 磁道)提供了足够写记录的长度,因此它对小计算机也不存在问题.

对每一个图象用一个磁带文件表示. 每个文件开头用了许多包含标题数据的逻辑记录. 标题数据用7位ASCII码的80字符形式书写. 在8位字节里右对齐. 每一字符的高位(奇偶检验位)将是零. 第一个数据组记录将直接出现在上一个标题记录的后面. 第一个图象象元值将出现在该第一个数据数组里第一象元位置. 每一行第一个象元总是放在当前逻辑记录里下一个可利用的象元位置. 因此写图象数据记录具有最大的效率. 不管记录长度(2880 bytes)一行的具体长度是多少(可以是任一正整数), 上面的数据记录的剩余部分用一些零(0)填在最后一个数组象元的后面. FITS 支持三种类型象元值表示法: 8 bit 无符号二进制整数, 16 bit 二进制补码带符号二进制整数, 和32 bit 二进制补码带符号二进制整数. 对16 bit(2字节)和32 bit(4字节)的二进制整数, 其第一位是符号位, 最后是最小有效位, 即高位在前低位在后. 因此Dec PDP-11系列的用户, 必须改变那个系列设计的字符交换指令.

表示图象数据的文件用一个带记录结束符表示结束. 读这个文件的程序可以跳过任一记录找到结束符之前最后的数据记录. 这个约定允许将来发明新的记录类型, 而我们仅仅要求它们必须到数据数组记录的后面, 而且它的长度是23040 bit. 标题参数的约定允许FITS 数据数组的大小是0. 因此, 希望存在的标准数据数组可能不存在, 而可能由一些新类型的记录代替. 可以不要求在磁带上所有文件具有同样大小. 最后一个附加的带记录结束符写在该磁带上最后的数据文件结束符的后面.

## 4.2 二维的FITS数据打包成CUBE 数据

通过观测直接得到的数据为二维的谱线, 通常谱线的横坐标可以用速度、频率或者通道数等表示, 纵坐标可以用温度或者强度等表示. 而生成的CUBE 数据可以做积分强度图、P - V 图、CHANNEL 图、数据平滑、抽取谱线等, 比如利用DS9, STARLINK 软件进行数据的再处理. 下面是利用CLASS 软件把OTF (ON THE FLY)谱线打包成CUBE 的基本步骤<sup>[77, 78]</sup>:

第一、利用批处理脚本把观测到的每条谱线写入一个文件(single.uao), 例如:

```
LAS90> file out single.uao s
LAS90> for i 1454 to 3355
LAS90: if file("100709_11'i'.fits")
LAS90: las\fits read 100709_11'i'.fits
LAS90: write
LAS90: endif
LAS90: next
```

第二、对single.uao文件中的所有谱线进行同点谱线(观测坐标相同的谱线)的平均并写入新文件(average.uao), 例如:

```
LAS90> file out average.uao s
LAS90> file in single.uao
LAS90> find
LAS90> list
LAS90> find /offset ** **
LAS90> average
LAS90> write **
```

第三、对average.uao文件中的数据进行基线的多项式拟合并写入新文件(base.uao), 例如:

```
LAS90> file in average.uao
LAS90> find
LAS90> list
LAS90> get f
LAS90> plot
LAS90> set mod 1200 1600
LAS90> set win 1400 1450
LAS90> bas 1 /plot
LAS90> plot
LAS90> file out base.uao s
LAS90> for i 1 to found
LAS90: get idx%num[i]
LAS90: bas 1
LAS90: write
LAS90: next
```

第四、在此我们既可以对average.uao 数据进行打包,也可以对base.uao 数据进行打包. 如果基线比较平整,最好对average.uao 进行打包,反之对base.uao 进行打包,例如:

```
LAS90> file in average.uao ! 或者file in base.uao
LAS90> find
LAS90> consistency ! 检查源名、位置、谱线等信息是否一致
LAS90> table uao new /range ** ** v ! 生成一个uao.tab 数据文件; 谱线范围的设置为可选项
LAS90> xy_map uao /nogrid ! 生成uao.lmv 和uao.wei 数据文件
LAS90> go view ! 可以显示LMV cube (uao.lmv)、WEI image (uao.wei)数据的图像
LAS90> go gildas_fits ! 可以把LMV cube (uao.lmv)数据转换为标准的FITS CUBE 数据
```

### 4.3 抽取CUBE 数据中的谱线

从标准的FITS CUBE数据中抽取谱线后,方便于我们可以对谱线进行再处理,从而获得我们比较感兴趣的谱线信息. 然而打包成CUBE数据与抽取谱线的过程中难免会损失一些头文件信息,甚至数据上的信息. 因此,我们需要极为谨慎地设置存储数据的信息. 抽取谱线的软件有许多,通过STARLINK 中的GAIA 命令可以轻易地每根谱线;通过IDL 编程也可以抽取谱线信息. 在此,我们利用CLASS 软件中的一些命令和脚本语言抽取谱线.

#### 抽取uao.lmv 文件中的谱线(批量抽取)

在本章第4.2节中使用TABLE、XY\_MAP 命令打包成CUBE 的过程中产生了三个同名文件uao.tab、uao.lmv 和uao.wei. 在此我们将批量抽取uao.lmv 中的全部谱线并存储在文件cube.uao中, cube.uao中的谱线与原始观测到的谱线数据相同,因此可以进行数据的再处理,例如:

```
LAS90> file out cube.uao s
LAS90> lmv uao.lmv
```

#### 抽取uao.fits 文件中的谱线(单条抽取)

此处的uao.fits 文件是通过CLASS 软件中的GO GILDAS\_FITS 命令生成的标准FITS CUBE 文件. 利用RUN SPECTRUM 命令可以打开SPECTRUM 对话框,如图4.1,填入输入文件的路径名称(uao.fits)和输出文件的路径名称(uao.tab),并且输入谱线的绝对坐标,运行后可以得到一个uao.tab文件. 由此生成的谱线缺失了许多头文件信息,所有需要注意头文件的写入,例如:

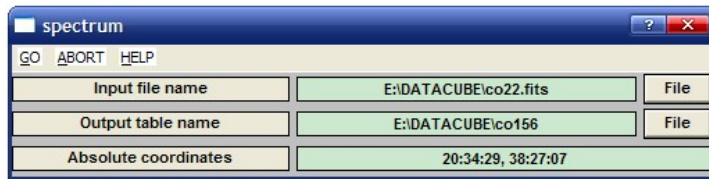


图 4.1: RUN SPECTRUM 命令的对话框

```

LAS90> run spectrum ! 打开SPECTRUM 对话框
LAS90> define double restfreq ! 定义restfreq
LAS90> col x 1 y 2 /table uao.tab
LAS90> model y x
LAS90> let source ** ! 设置源名
LAS90> let restfreq ** ! 设置中心频率
LAS90> plot
LAS90> file out test.uao s
LAS90> write

```

## 4.4 总结

FITS 是天文学界常用的数据格式, 它专门为在不同平台之间交换数据而设计. 此章节中, 我们介绍了FITS 数据格式的头文件信息和数据存储的标准. FITS文件由头文件和数据组成. 在头文件中存储有对该文件的描述, 如观测时间、观测对象、观测坐标、观测者等信息, 同时也可以头文件中注明观测时的视场、精度等, 便于后期数据分析之用. 而在数据存储单元中是二维、三维或者四维的数据.

GILDAS 软件包是对分子谱线进行数据处理的主要工具. 为了方便于新疆天文台分子谱线小组氨分子巡天数据的存储与再处理, 我们将利用FITS 与CUBE 数据的转换进行数据存储与分析. 在此, 我们介绍了使用GILDAS 软件包的中CLASS 软件提取FITS 谱线信息的基本过程. 还罗列了将FITS 数据打包成CUBE 数据的全部过程, 并且还展示了抽取的FITS 数据全部谱线和单点谱线的基本命令. 然而单条谱线的抽取过程中, 存在着一些头文件信息的缺失, 因此, 我们在对数据进行转化时需要注意头文件信息的写入. 而对uao.lmv 文件中谱线的批量抽取不存在数据的损失.

## 第五章 结论

本篇论文首先是对南山25米射电望远镜的接收系统进行了概述;其次,利用厘米波段的甲醛谱线和连续谱以及毫米波段的一氧化碳谱线的辐射信息,并结合中红外波段的数据对大质量恒星形成的早期阶段进行了观测研究;最后,基于GILDAS软件包中的CLASS软件,对FITS与CUBE数据的存储、处理和转换的方法进行了展示.

大质量恒星形成是目前天体物理学最受关注的研究课题之一.随着观测技术的发展,天文学家对大质量恒星形成区的研究基本上涵盖了从红外到射电几乎所有波段连续谱以及谱线的辐射信息,在观测上取得了很大的进展.尽管如此,仍有许多问题没有解决,其中一个最基本的问题就是大质量恒星是如何形成的.到目前为止,对这个问题主要存在两种观点:一种观点认为是类似于小质量恒星,通过盘吸积的方式形成的;而另一种观点则认为是通过小质量(原恒)星的碰撞并合的方式形成的.而通过对大质量恒星形成不同演化阶段进行多波段观测研究,能够帮助我们更好地理解大质量恒星的形成过程. $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线是一个重要的示踪恒星形成包层环境的探针.在过去的30年中,对巨分子云的大尺度的 $\text{H}_2\text{CO}$ 云的成图研究比较匮乏.

从2009年10月份到2011年1月份,我们利用南山25米射电望远镜对四个巨分子云的进行不连续的积分观测.通过长时间的积分观测与分析,我们获得了一些重要的结论:第一,对四个大质量恒星形成区W49, W3, DR21/W75和NGC2024/NGC2023 GMCs,我们通过9456分钟的积分,以大约 $10'$ 的波束宽度,搜寻了151个点,首次发现了46条 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线和12条 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线.特别地是,我们还对这四个巨分子云进行了大尺度的 $\text{H}_2\text{CO}$ 成图.第二,我们展示了 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线和 $\text{H}110\alpha$ 射电复合线的观测谱线和相关物理参数.所观测巨分子云的光深和柱密度的范围分别为: $0.007 < \tau_{app} < 0.188$ ,  $0.121 \times 10^{13} \text{cm}^{-2} < N(\text{H}_2\text{CO}) < 3.59 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ .另外, $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 之间的速度成分,线宽和强度的关系被详细地分析与比较.对于线宽和强度来说,我们发现在 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 之间存在着较好的相关性,由此可以猜测 $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 示踪着相似的物理环境.第三,在大尺度上,通过比较 $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $^{12}\text{CO}$ , 8.28微米的MSX数据和4.8 GHz的连续谱亮温度,我们发现它们在形态学上的分布比较一致.高的亮温度区域对 $\text{H}_2\text{CO}$ 有较

高的激发率. 然后在小尺度上,  $\text{H}_2\text{CO}$ 和 $^{12}\text{CO}$ 的峰值存在位置上的差异. 这可能是由于 $\text{H}_2\text{CO}$ 的分布强烈受限于背景连续谱, 而 $^{12}\text{CO}$ 受背景环境影响较弱. 第四, 我们还偶然发现了一些有意义的结果. 非热超新星遗迹W49B与热云W49A有三个相同的速度成分. 在W3 GMC的中间连接处, 我们没有探测到 $\text{H}_2\text{CO}$ 线, 然而此处存在有较强的 $^{12}\text{CO}$ 和MSX源. 在DR21/W75 GMC中存在着速度梯度, 这可能来自巨分子云的旋转运动. 在NGC2024/NGC2023 GMC的北部,  $\text{H}_2\text{CO}$ 线的激发可能来自微波背景辐射. 第五, 我们对所观测的 $\text{H}_2\text{CO}$ 吸收线的线宽与强度的关系进行了数据的统计, 我们发现, 大约85.21%的 $\text{H}_2\text{CO}$ 速度成分分布在此范围:  $-1.0 \text{ Jy} < \text{强度} < 0$  和  $1.206 \text{ km s}^{-1} < \Delta V < 5 \text{ km s}^{-1}$ .

FITS 是天文学界常用的数据格式, 它专门为在不同平台之间交换数据而设计. 我们介绍了FITS 数据格式的头文件信息和数据存储的标准. FITS文件由头文件和数据组成. 在头文件中存储有对该文件的描述, 如观测时间、观测对象、观测坐标、观测者等信息, 同时也可以头文件中注明观测时的视场、精度等, 便于后期数据分析之用. 而在数据存储单元中是二维、三维或者四维的数据. GILDAS 软件包是对分子谱线进行数据处理的主要工具. 为了方便于新疆天文台分子谱线小组氨分子巡天数据的存储与再处理, 我们将利用FITS 与CUBE 数据的转换进行数据存储与分析. 在此, 我们介绍了使用GILDAS 软件包的中CLASS 软件提取FITS 谱线信息的基本过程. 还罗列了将FITS 数据打包成CUBE 数据的全部过程, 并且还展示了抽取的FITS 数据全部谱线和单点谱线的基本命令. 然而单条谱线的抽取过程中, 存在着一些头文件信息的缺失, 因此, 我们在对数据进行转化时需要注意头文件信息的写入. 而对uao.lmv 文件中谱线的批量抽取不存在数据的损失.



## 附录 A 插图

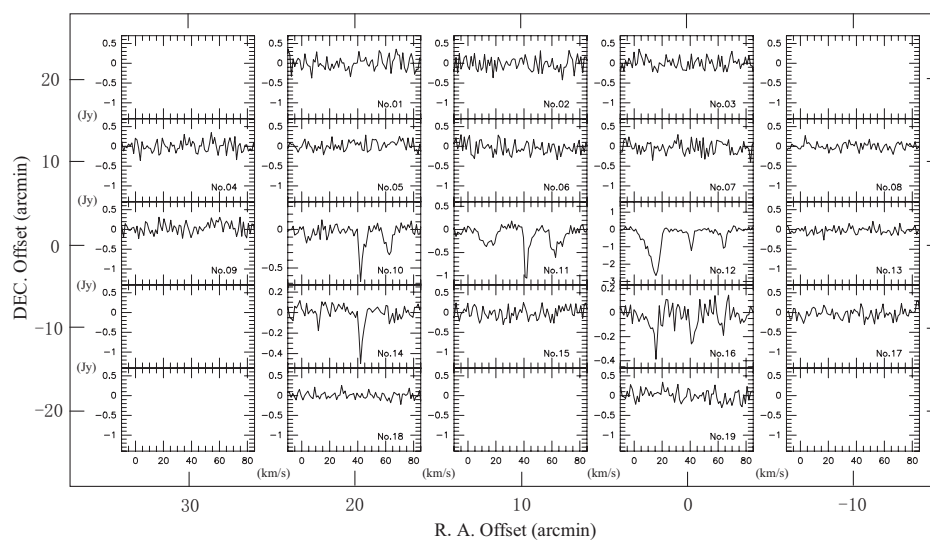


图 A.1: W49 GMC 的H<sub>2</sub>CO谱线

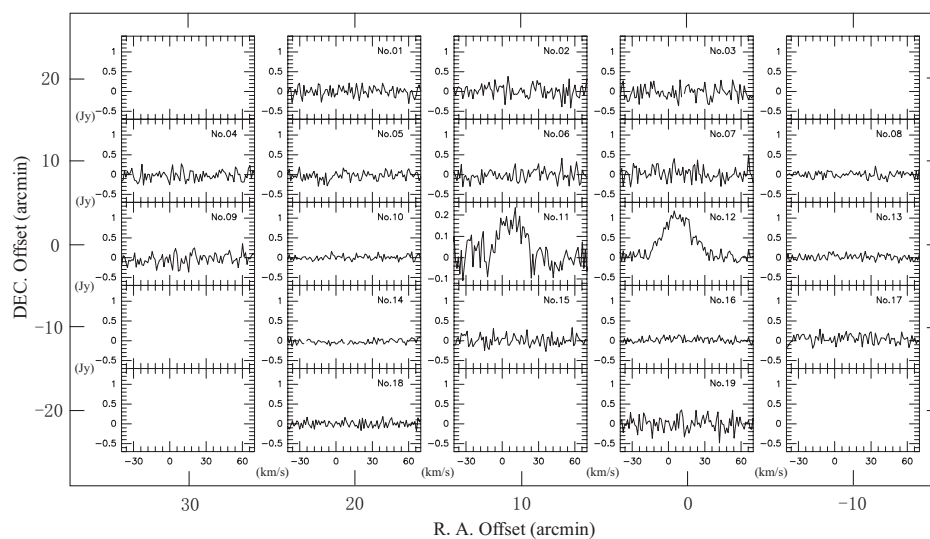
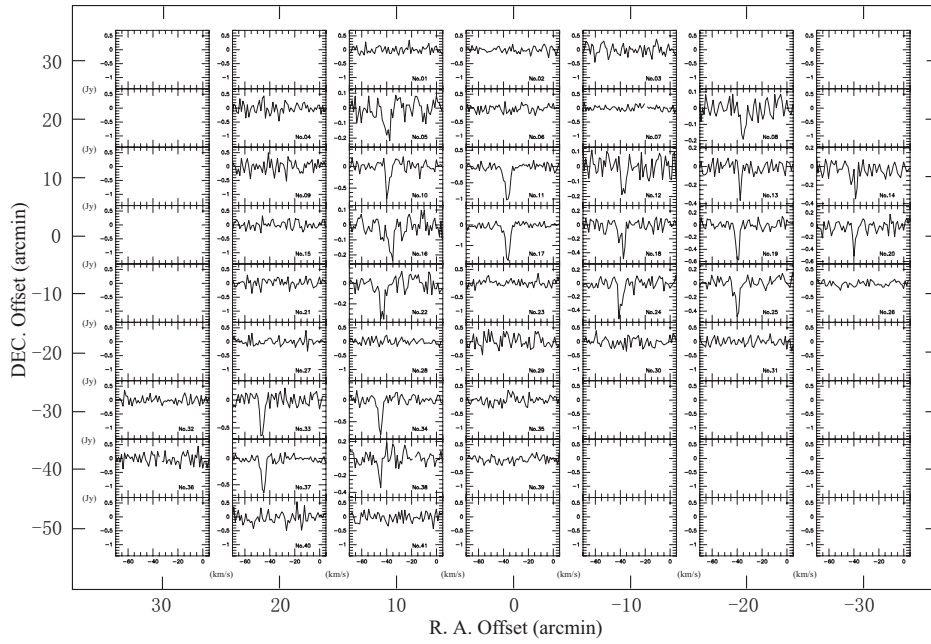
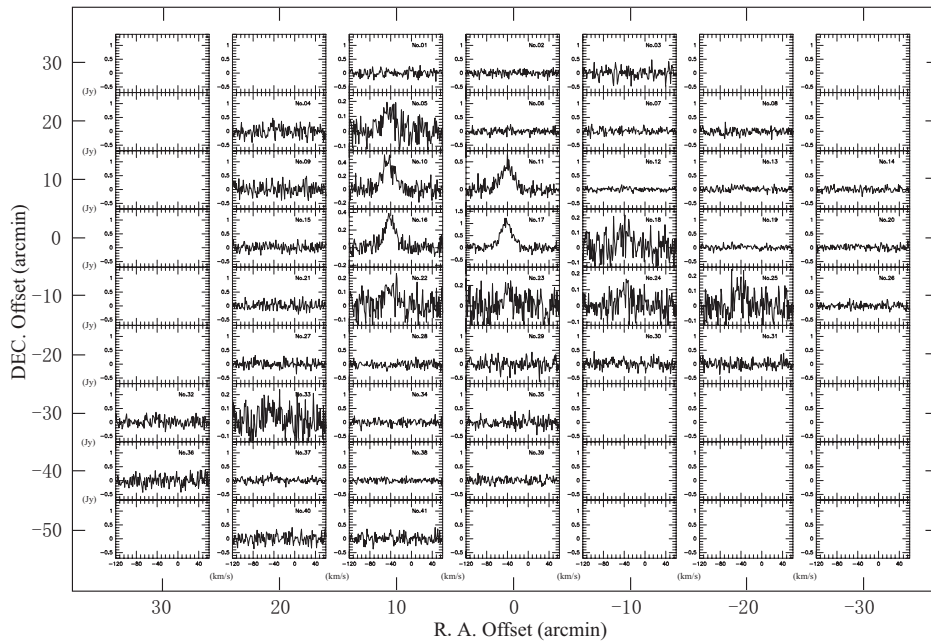
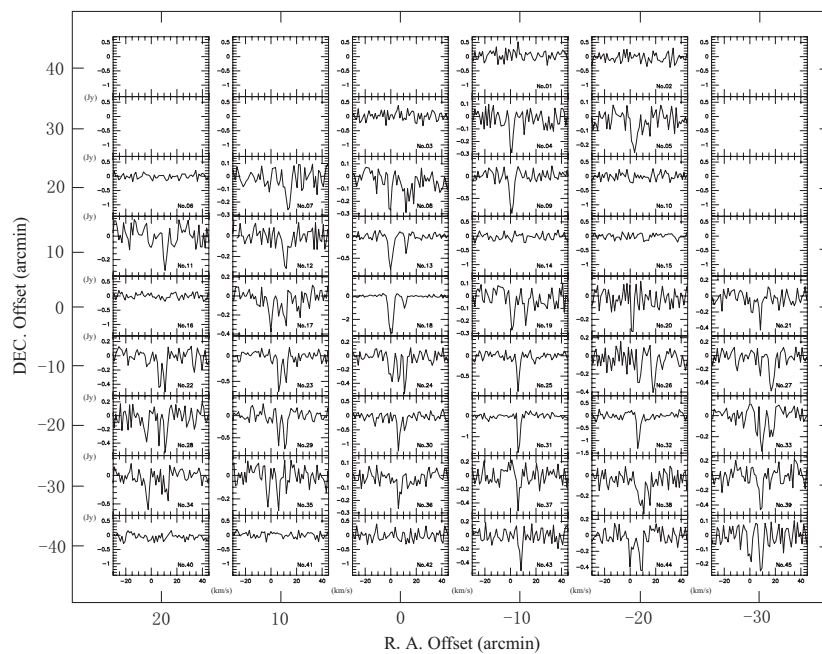
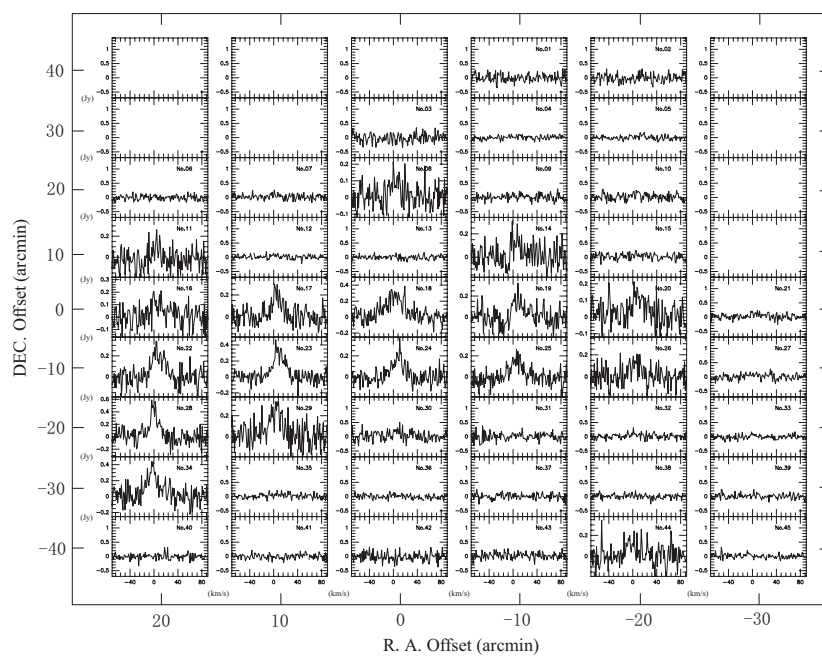
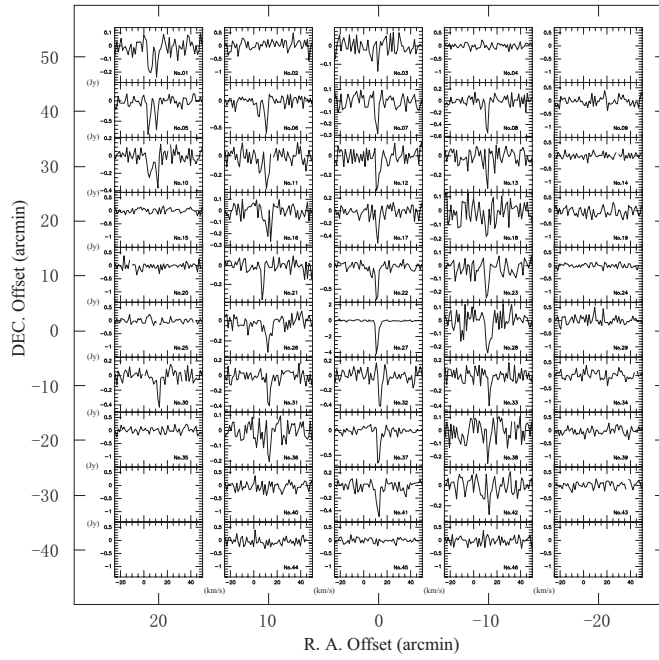
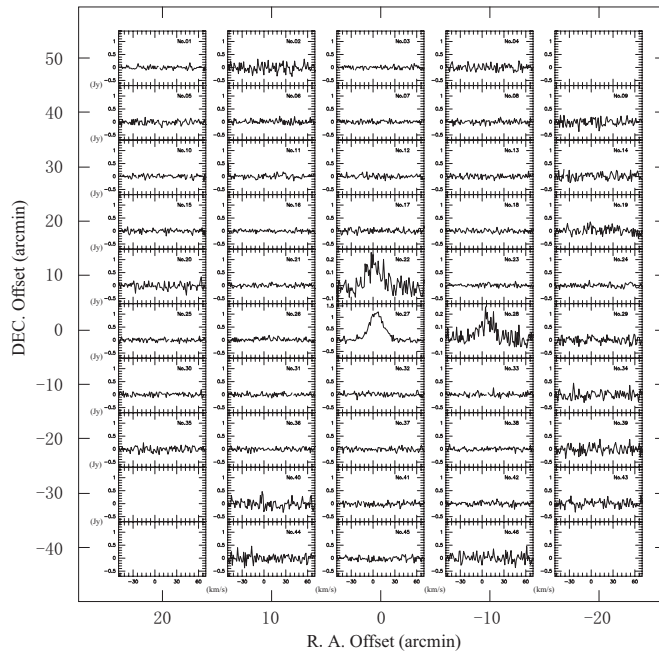


图 A.2: W49 GMC 的H110 $\alpha$ 射电复合线

图 A.3: W3 GMC 的 H<sub>2</sub>CO 谱线图 A.4: W3 GMC 的 H110 $\alpha$  射电复合线

图 A.5: DR21/W75 GMC 的  $\text{H}_2\text{CO}$  谱线图 A.6: DR21/W75 GMC 的  $\text{H}110\alpha$  射电复合线

图 A.7: NGC2024/2023 GMC 的  $\text{H}_2\text{CO}$  谱线图 A.8: NGC2024/2023 GMC 的  $\text{H}110\alpha$  射电复合线

## 附录 B 表格

表 B.1: W49 GMC 的观测与计算结果

W49		H <sub>2</sub> CO								H110 $\alpha$			
(1) ID (No.)	(2) Offset( $\alpha, \delta$ ) (arcmin)	(3) Flux (Jy km s <sup>-1</sup> )	(4) Velocity (km s <sup>-1</sup> )	(5) $\Delta V$ (km s <sup>-1</sup> )	(6) Intensity (Jy)	(7) $T_c$ (K)	(8) $\tau_{\text{app}}$	(9) $N(\text{H}_2\text{CO})$ (10 <sup>13</sup> cm <sup>-2</sup> )	(10) $N(\text{H}_2)$ (10 <sup>22</sup> cm <sup>-2</sup> )	(11) Flux (Jy km s <sup>-1</sup> )	(12) Velocity (km s <sup>-1</sup> )	(13) $\Delta V$ (km s <sup>-1</sup> )	(14) Intensity (Jy)
10	20, 0	-0.73(0.20) -1.72(0.15) -0.58(0.13) -1.75(0.20) -2.91(0.52) -0.84(0.41) -3.46(0.22) -2.84(0.49) -1.43(0.50) -11.51(2.03) -13.05(2.03) -3.67(0.31) -3.76(0.34) -0.26(0.14) -1.37(0.18) -1.10(0.41) -0.58(0.23) -1.14(0.23) -0.23(0.26) -0.36(0.23)	4.733(0.68) 42.18(0.11) 45.51(0.32) 62.09(0.30) 12.68(0.69) 18.64(0.45) 41.69(0.09) 61.50(0.39) 67.36(0.65) 10.49(0.81) 15.88(0.16) 40.86(0.11) 64.25(0.12) 11.99(0.57) 42.36(0.16) 12.54(1.92) 15.66(0.30) 41.93(0.43) 60.91(0.82) 63.63(0.70)	4.61(1.41) 2.37(0.25) 2.32(0.59) 5.05(0.66) 8.02(1.56) 2.94(1.12) 2.77(0.23) 5.00(0.77) 4.50(1.74) 9.67(0.90) 5.56(0.36) 2.88(0.30) 3.09(0.38) 1.39(0.71) 2.73(0.47) 8.99(4.15) 1.78(0.48) 4.15(0.92) 1.70(11.5) 1.74(0.87)	-0.14(0.036) -0.68(0.036) -0.23(0.036) -0.32(0.036) -0.34(0.073) -0.26(0.073) -1.17(0.073) -0.53(0.073) -0.29(0.073) -1.12(0.099) -2.20(0.099) -1.20(0.099) -1.15(0.099) -0.17(0.040) -0.47(0.040) -0.11(0.035) -0.30(0.035) -0.26(0.035) -0.13(0.035) -0.19(0.035)	0.406 0.406 0.406 0.406 2.060 2.060 2.060 2.060 2.060 5.705 5.705 5.705 5.705 0.102 0.102 0.414 0.414 0.414 0.414 0.414	0.012 0.058 0.019 0.027 0.013 0.010 0.045 0.020 0.011 0.020 0.039 0.021 0.020 0.018 0.051 0.009 0.025 0.022 0.011 0.016	0.503 1.286 0.418 1.270 0.978 0.274 1.181 0.954 0.468 1.779 2.028 0.568 0.584 0.236 1.302 0.766 0.417 0.841 0.171 0.257	0.403 1.029 0.334 1.016 0.782 0.219 0.945 0.763 0.374 1.423 1.622 0.454 0.467 0.189 1.042 0.613 0.333 0.673 0.137 0.206	N    3.03(0.44)    31.39(0.82)    N  N	7.52(1.47)    19.08(2.74)    7.54(0.35)    27.88(0.85)    1.06(0.104)	0.15(0.039)	

表 B.2: W3 GMC 的观测与计算结果

W3		H <sub>2</sub> CO						H110 $\alpha$					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
ID (No.)	Offset( $\alpha, \delta$ ) (arcmin)	Flux (Jy km s <sup>-1</sup> )	Velocity (km s <sup>-1</sup> )	$\Delta V$ (km s <sup>-1</sup> )	Intensity (Jy)	$T_c$ (K)	$\tau_{\text{app}}$	$N(\text{H}_2\text{CO})$ (10 <sup>12</sup> cm <sup>-2</sup> )	$N(\text{H}_2)$ (10 <sup>22</sup> cm <sup>-2</sup> )	Flux (Jy km s <sup>-1</sup> )	Velocity (km s <sup>-1</sup> )	$\Delta V$ (km s <sup>-1</sup> )	Intensity (Jy)
05	10, 20	-1.03(0.13)	-38.73(0.28)	4.37(0.62)	-0.22(0.069)	0.892	0.014	0.558	0.446	3.67(0.50)	-44.15(1.69)	24.82(4.10)	0.13(0.056) <sup>yr</sup>
08	-20, 20	-0.78(0.23)	-35.02(0.58)	3.90(1.29)	-0.18(0.022)	0.305	0.016	0.591	0.473	N			
10	10, 10	-2.04(0.27)	-39.37(0.18)	2.54(0.45)	-0.75(0.078)	2.269	0.027	0.644	0.515	11.87(0.69)	-44.66(0.80)	27.89(1.91)	0.40(0.080)
11	0, 10	-5.17(0.30)	-36.79(0.13)	4.66(0.33)	-1.04(0.104)	2.784	0.032	1.419	1.135	12.54(0.66)	-40.79(0.72)	27.79(1.74)	0.42(0.083)
12	-10, 10	-0.77(0.16)	-37.32(0.42)	3.73(0.73)	-0.19(0.031)	0.514	0.015	0.514	0.411	N			
13	-20, 10	-0.65(0.16)	-37.42(0.26)	1.70(0.39)	-0.36(0.002)	0.368	0.031	0.495	0.396	N			
14	-30, 10	-0.43(0.18)	-41.79(0.18)	1.20(3.01)	-0.34(0.001)	0.304	0.031	0.346	0.277	N			
		-0.73(0.17)	-38.25(0.20)	1.50(0.68)	-0.45(0.001)	0.304	0.041	0.576	0.461				
16	10, 0	-1.03(0.17)	-36.47(0.39)	4.45(0.95)	-0.21(0.035)	1.659	0.009	0.385	0.308	8.68(0.46)	-41.70(0.62)	24.30(1.59)	0.33(0.051)
17	0, 0	-7.26(0.38)	-36.57(0.09)	3.79(0.24)	-1.80(0.075)	5.850	0.031	1.103	0.882	28.59(0.95)	-41.97(0.42)	26.12(1.05)	1.03(0.121)
18	-10, 0	-0.64(0.18)	-40.86(0.31)	2.33(0.81)	-0.26(0.009)	0.957	0.016	0.340	0.272	3.09(0.56)	-38.81(2.50)	26.58(5.07)	0.11(0.065) <sup>yr</sup>
		-1.08(0.16)	-37.15(0.16)	1.86(0.38)	-0.54(0.009)	0.957	0.033	0.569	0.455	N			
19	-20, 0	-1.96(0.16)	-39.54(0.12)	2.91(0.28)	-0.63(0.048)	0.475	0.051	1.390	1.112	N			
20	-30, 0	-1.19(0.22)	-39.78(0.20)	2.24(0.54)	-0.49(0.070)	0.375	0.042	0.889	0.711	N			
22	10, -10	-1.55(0.23)	-43.49(0.30)	4.25(0.82)	-0.34(0.066)	1.013	0.020	0.790	0.632	3.59(0.54)	-40.71(2.10)	26.59(3.98)	0.12(0.063) <sup>yr</sup>
23	0, -10	N				0.844				2.66(0.71)	-38.45(1.84)	14.25(5.48)	0.17(0.080) <sup>yr</sup>
24	-10, -10	-0.61(0.26)	-40.93(0.29)	1.20(2.09)	-0.48(0.016)	0.660	0.034	0.385	0.308	2.29(0.42)	-39.34(1.91)	20.81(4.50)	0.10(0.062) <sup>yr</sup>
		-1.09(0.32)	-38.89(0.49)	3.15(0.82)	-0.32(0.016)	0.660	0.023	0.670	0.536				
25	-20, -10	-1.55(0.31)	-39.61(0.27)	3.00(0.87)	-0.48(0.049)	0.582	0.036	1.011	0.809	2.58(0.53)	-41.93(2.42)	21.30(4.02)	0.11(0.078) <sup>yr</sup>
33	20, -30	-2.38(0.26)	-46.30(0.18)	3.14(0.38)	-0.71(0.055)	1.000	0.042	1.241	0.993	3.19(0.79)	-46.05(4.29)	32.19(8.33)	0.09(0.077) <sup>yr</sup>
34	10, -30	-2.66(0.25)	-45.04(0.14)	3.04(0.34)	-0.82(0.054)	0.658	0.059	1.688	1.351	N			
37	20, -40	-2.43(0.20)	-45.14(0.14)	3.32(0.31)	-0.68(0.061)	0.948	0.041	1.290	1.032	N			
38	10, -40	-0.72(0.15)	-45.20(0.16)	1.64(0.64)	-0.41(0.016)	0.646	0.029	0.452	0.362	N			

表 B.3: DR21/W75 GMC 的观测与计算结果

DR21 (1)	(2) Offset( $\alpha, \delta$ ) (arcmin)	H <sub>2</sub> CO						HI10 $\alpha$					
		(3) Flux (Jy km s <sup>-1</sup> )	(4) Velocity (km s <sup>-1</sup> )	(5) $\Delta V$ (km s <sup>-1</sup> )	(6) Intensity (Jy)	(7) $T_c$ (K)	(8) $\tau_{\text{app}}$	(9) $N(\text{H}_2\text{CO})$ (10 <sup>13</sup> cm <sup>-2</sup> )	(10) $N(\text{H}_2)$ (10 <sup>22</sup> cm <sup>-2</sup> )	(11) Flux (Jy km s <sup>-1</sup> )	(12) Velocity (km s <sup>-1</sup> )	(13) $\Delta V$ (km s <sup>-1</sup> )	(14) Intensity (Jy)
04	-10, 30	-0.61(0.16)	0.74(0.31)	2.10(0.66)	-0.27(0.019)	0.680	0.019	0.372	0.297	N			
05	-20, 30	-1.26(0.24)	3.43(0.46)	4.84(1.10)	-0.24(0.025)	0.402	0.020	0.913	0.730	N			
07	10, 20	-0.69(0.19)	13.97(0.43)	2.09(0.84)	-0.31(0.052)	0.393	0.026	0.514	0.411	N			
08	0, 20	-0.73(0.16)	-0.60(0.24)	2.08(0.54)	-0.33(0.019)	0.476	0.026	0.514	0.411	2.09(0.47)	2.93(2.00)	17.76(4.62)	0.11(0.055) <sup>a</sup>
		-0.63(0.18)	11.90(0.26)	2.13(0.85)	-0.28(0.019)	0.476	0.022	0.445	0.356				
		-0.39(0.13)	14.86(0.15)	1.20(13.1)	-0.30(0.019)	0.476	0.024	0.269	0.215				
		-0.34(0.11)	17.68(0.27)	1.20(5.50)	-0.26(0.019)	0.476	0.021	0.233	0.186				
09	-10, 20	-2.94(0.30)	1.01(0.16)	3.16(0.35)	-0.87(0.034)	0.434	0.073	2.168	1.735	N			
11	20, 10	-0.85(0.20)	10.82(0.33)	2.65(0.63)	-0.30(0.027)	0.406	0.025	0.624	0.499	1.40(0.49)	4.70(1.79)	10.35(4.29)	0.12(0.086) <sup>a</sup>
12	10, 10	-1.11(0.21)	11.23(0.29)	3.12(0.73)	-0.33(0.017)	0.467	0.026	0.775	0.620	N			
		-0.27(0.16)	15.16(0.68)	2.06(1.19)	-0.12(0.017)	0.467	0.010	0.185	0.148				
13	0, 10	-2.72(0.18)	0.00(0.11)	3.45(0.26)	-0.74(0.026)	0.628	0.054	1.757	1.406	N			
		-0.73(0.11)	12.33(0.18)	1.44(0.50)	-0.47(0.026)	0.628	0.034	0.461	0.369				
14	-10, 10	N				0.591							
16	20, 0	N				0.931							
17	10, 0	-1.08(0.19)	-0.24(0.24)	2.86(0.63)	-0.35(0.058)	1.136	0.019	0.516	0.413	2.52(0.49)	5.49(1.64)	15.19(2.89)	0.15(0.097) <sup>a</sup>
		-0.49(0.18)	6.24(0.33)	2.09(1.12)	-0.22(0.058)	1.136	0.012	0.236	0.189	3.07(0.79)	6.42(3.59)	26.44(10.2)	0.10(0.070) <sup>a</sup>
		-0.92(0.18)	10.93(0.35)	2.91(0.64)	-0.29(0.058)	1.136	0.016	0.434	0.347	4.10(0.46)	4.73(0.96)	17.85(2.46)	0.21(0.069)
		-0.62(0.19)	21.82(0.51)	3.21(1.07)	-0.18(0.058)	1.136	0.010	0.296	0.237				
18	0, 0	-13.76(0.27)	0.26(0.03)	3.70(0.07)	-3.49(0.164)	3.128	0.103	3.590	2.872	9.74(0.73)	2.14(1.32)	34.96(3.10)	0.26(0.085)
		-2.69(0.22)	10.91(0.10)	2.33(0.20)	-1.08(0.164)	3.128	0.031	0.675	0.540				
19	-10, 0	-0.88(0.16)	1.63(0.26)	2.80(0.57)	-0.29(0.011)	0.996	0.017	0.447	0.358	3.20(0.53)	8.11(1.64)	17.51(3.27)	0.17(0.069) <sup>a</sup>
		-0.54(0.15)	12.18(0.28)	2.14(0.79)	-0.23(0.011)	0.996	0.013	0.271	0.217				
20	-20, 0	-0.77(0.12)	1.70(0.07)	1.20(2.55)	-0.60(0.000)	0.772	0.040	0.452	0.362	3.54(0.61)	9.73(2.22)	25.98(5.34)	0.12(0.054) <sup>a</sup>
21	-30, 0	-0.61(0.25)	1.77(0.34)	2.43(1.56)	-0.23(0.010)	0.724	0.016	0.356	0.285	N			
		-0.81(0.17)	8.22(0.22)	1.78(0.40)	-0.43(0.010)	0.724	0.029	0.491	0.393				
		-0.48(0.22)	-2.70(0.74)	2.99(1.25)	-0.15(0.021)	1.455	0.007	0.200	0.160	5.88(0.57)	6.96(1.18)	23.66(2.42)	0.23(0.067)
22	20, -10	-1.27(0.21)	6.49(0.16)	2.26(0.53)	-0.52(0.021)	1.455	0.025	0.528	0.423				
		-1.13(0.19)	10.60(0.18)	2.06(0.35)	-0.51(0.021)	1.455	0.024	0.472	0.378				



表 B.3: DR21/W75 GMC 的观测与计算结果(续)

23	10, -10	-1.78(0.15)	6.44(0.10)	2.17(0.17)	-0.77(0.049)	1.455	0.037	0.756	0.605	7.48(0.50)	8.86(0.71)	21.37(1.62)	0.32(0.064)
24	0, -10	-1.18(0.18)	11.55(0.13)	1.90(0.42)	-0.58(0.049)	1.455	0.028	0.496	0.397	4.33(0.46)	8.14(1.07)	20.52(2.67)	0.19(0.063)
		-1.40(0.19)	0.42(0.25)	3.64(0.50)	-0.36(0.045)	1.156	0.020	0.669	0.535				
25	-10, -10	-0.86(0.14)	6.36(0.16)	1.81(0.38)	-0.44(0.045)	1.156	0.024	0.408	0.326	3.68(0.46)	6.04(1.20)	20.14(3.06)	0.17(0.063) <sup>a</sup>
		-1.11(0.12)	11.21(0.11)	1.44(0.47)	-0.72(0.045)	1.156	0.040	0.535	0.428				
26	-20, -10	-1.93(0.17)	6.04(0.09)	2.06(0.19)	-0.88(0.030)	1.148	0.049	0.943	0.754	2.80(0.57)	4.51(2.09)	19.54(3.99)	0.13(0.072) <sup>a</sup>
		-1.00(0.22)	6.99(0.32)	2.76(0.66)	-0.34(0.053)	0.922	0.021	0.538	0.430				
27	-30, -10	-1.25(0.22)	18.41(0.26)	2.74(0.52)	-0.43(0.053)	0.922	0.026	0.677	0.542	N			
		-0.56(0.22)	7.88(0.39)	1.21(25.2)	-0.43(0.040)	0.649	0.031	0.349	0.279				
28	20, -20	-2.15(0.25)	17.17(0.22)	3.69(0.47)	-0.54(0.040)	0.649	0.039	1.343	1.074	7.20(0.71)	0.14(0.68)	14.87(1.97)	0.45(0.095)
		-1.16(0.32)	-4.09(0.44)	2.89(0.94)	-0.37(0.027)	1.964	0.015	0.396	0.317				
29	10, -20	-0.60(0.21)	6.11(0.36)	1.20(1.11)	-0.46(0.027)	1.964	0.018	0.205	0.164	6.41(0.90)	3.59(1.56)	23.39(4.18)	0.25(0.080)
		-1.23(0.28)	11.14(0.20)	1.98(0.59)	-0.58(0.027)	1.964	0.023	0.427	0.342				
30	0, -20	-1.28(0.21)	5.87(0.16)	1.75(0.25)	-0.68(0.013)	1.577	0.031	0.511	0.409	N			
		-2.07(0.26)	11.18(0.14)	2.31(0.36)	-0.83(0.013)	1.577	0.038	0.827	0.661				
31	-10, -20	-2.73(0.33)	6.17(0.11)	2.03(0.32)	-1.26(0.111)	1.111	0.072	1.369	1.095	N			
		-1.14(0.32)	11.15(0.25)	1.77(0.89)	-0.60(0.111)	1.111	0.034	0.558	0.446				
32	-20, -20	-3.91(0.23)	6.45(0.04)	1.47(0.42)	-2.49(0.105)	0.682	0.188	2.603	2.083	N			
		-3.36(0.30)	6.39(0.09)	2.28(0.28)	-1.38(0.126)	0.674	0.101	2.155	1.724				
33	-30, -20	-0.44(0.16)	5.36(0.15)	1.20(3.14)	-0.34(0.051)	0.523	0.026	0.296	0.237	N			
		-0.97(0.21)	9.57(0.30)	2.58(0.59)	-0.35(0.051)	0.523	0.027	0.655	0.524				
34	20, -30	-0.78(0.23)	16.97(0.58)	3.56(0.90)	-0.20(0.051)	0.523	0.015	0.514	0.411	7.54(0.88)	-2.69(1.15)	21.89(3.56)	0.32(0.085)
		-1.62(0.25)	-2.89(0.20)	2.51(0.46)	-0.60(0.115)	0.404	0.051	1.199	0.960				
35	10, -30	-1.09(0.24)	12.16(0.39)	2.71(0.60)	-0.37(0.115)	0.404	0.031	0.791	0.633	N			
		-0.62(0.15)	-2.49(0.29)	2.08(0.43)	-0.28(0.010)	1.064	0.016	0.310	0.248				
36	0, -30	-0.59(0.14)	5.64(0.24)	1.73(0.55)	-0.32(0.010)	1.064	0.018	0.295	0.236	N			
		-0.24(0.12)	12.31(0.29)	1.20(0.68)	-0.19(0.010)	1.064	0.011	0.121	0.097				
37	-10, -30	-0.62(0.17)	6.36(0.44)	2.33(0.92)	-0.25(0.067)	0.897	0.015	0.337	0.270	N			
		-0.95(0.23)	6.08(0.23)	1.71(0.46)	-0.52(0.009)	1.507	0.024	0.391	0.313				
38	-20, -30	-1.76(0.36)	8.12(0.57)	6.09(1.42)	-0.27(0.025)	0.890	0.017	0.957	0.765	N			
		-0.27(0.13)	10.66(0.49)	1.20(0.73)	-0.21(0.025)	0.890	0.013	0.146	0.117				
39	-30, -30	-0.56(0.13)	15.10(0.11)	1.20(1.55)	-0.43(0.025)	0.890	0.027	0.302	0.241	N			
		-1.44(0.28)	8.71(0.25)	2.61(0.63)	-0.51(0.037)	0.606	0.038	0.921	0.737				

表 B.3: DR21/W75 GMC 的观测与计算结果(续)

43	-10, -40	-1.15(0.26)	8.18(0.24)	2.08(0.53)	-0.52(0.015)	0.129	0.055	1.074	0.859	N			
44	-20, -40	-0.73(0.21)	0.11(0.24)	1.68(0.61)	-0.41(0.065)	0.000	0.049	0.769	0.616	3.03(0.75)	-2.61(2.80)	22.15(7.36)	0.12(0.075) <sup>a</sup>
45	-30, -40	-1.41(0.24)	8.59(0.24)	2.63(0.54)	-0.50(0.065)	0.000	0.060	1.477	1.182	N			
		-0.50(0.16)	0.18(0.48)	2.80(0.74)	-0.16(0.036)	0.094	0.017	0.450	0.360				
		-0.57(0.12)	8.91(0.09)	1.20(5.32)	-0.45(0.036)	0.094	0.049	0.551	0.441				

表 B.4: NGC2024/2023 GMC 的观测与计算结果

NGC2024		H <sub>2</sub> CO										HI10 $\alpha$			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)		
ID (No.)	Offset( $\alpha, \delta$ ) (arcmin)	Flux (Jy km s <sup>-1</sup> )	Velocity (km s <sup>-1</sup> )	$\Delta V$ (km s <sup>-1</sup> )	Intensity (Jy)	$T_c$ (K)	$\tau_{app}$	$N(H_2CO)$ (10 <sup>13</sup> cm <sup>-2</sup> )	$N(H_2)$ (10 <sup>22</sup> cm <sup>-2</sup> )	Flux (Jy km s <sup>-1</sup> )	Velocity (km s <sup>-1</sup> )	$\Delta V$ (km s <sup>-1</sup> )	Intensity (Jy)		
01	20, 50	-0.88(0.17)	5.40(0.35)	3.51(0.64)	-0.23(0.032)	0.058	0.026	0.842	0.674	N					
		-0.48(0.13)	10.99(0.26)	1.80(0.61)	-0.24(0.032)	0.058	0.027	0.451	0.361						
03	0, 50	-0.19(0.07)	7.49(0.29)	1.20(1.74)	-0.14(0.001)	0.024	0.016	0.180	0.144	N					
		-0.29(0.08)	12.27(0.21)	1.39(0.42)	-0.19(0.001)	0.024	0.022	0.284	0.227						
05	20, 40	-2.08(0.25)	4.01(0.14)	2.33(0.39)	-0.83(0.092)	0.095	0.092	2.016	1.612	N					
		-1.57(0.20)	10.68(0.14)	2.04(0.26)	-0.72(0.092)	0.095	0.079	1.521	1.217						
06	10, 40	-0.75(0.18)	4.13(0.19)	1.91(0.72)	-0.37(0.029)	0.060	0.041	0.742	0.594	N					
		-1.46(0.18)	10.61(0.14)	2.27(0.30)	-0.60(0.029)	0.060	0.068	1.449	1.159						
07	0, 40	-0.80(0.15)	11.28(0.26)	2.57(0.51)	-0.29(0.050)	0.038	0.033	0.796	0.637	N					
08	-10, 40	-1.31(0.15)	11.43(0.08)	1.82(0.36)	-0.67(0.002)	0.034	0.078	1.337	1.070	N					
10	20, 30	-1.15(0.22)	5.17(0.49)	4.54(1.10)	-0.23(0.028)	0.125	0.024	1.025	0.820	N					
		-0.73(0.25)	11.47(0.27)	1.20(34.1)	-0.56(0.028)	0.125	0.059	0.671	0.537						
11	10, 30	-0.55(0.17)	5.28(0.52)	2.66(1.18)	-0.19(0.040)	0.125	0.020	0.495	0.396	N					
		-1.11(0.18)	11.23(0.27)	3.16(0.58)	-0.33(0.040)	0.125	0.035	1.028	0.823						
12	0, 30	-1.14(0.20)	11.79(0.31)	2.91(0.69)	-0.36(0.099)	0.049	0.041	1.111	0.889	N					
13	-10, 30	-0.69(0.12)	11.46(0.08)	1.20(1.29)	-0.53(0.000)	0.092	0.058	0.654	0.523	N					
16	10, 20	-0.49(0.12)	11.48(0.13)	1.77(1.21)	-0.26(0.015)	0.180	0.026	0.431	0.345	N					
		-0.44(0.09)	14.74(0.14)	1.20(0.55)	-0.34(0.015)	0.180	0.034	0.383	0.307						
17	0, 20	-1.27(0.17)	11.79(0.16)	2.27(0.34)	-0.52(0.024)	0.201	0.052	1.100	0.880	N					
18	-10, 20	-0.53(0.17)	11.11(0.40)	2.41(0.97)	-0.20(0.023)	0.001	0.023	0.531	0.425	N					
21	10, 10	-0.78(0.12)	7.51(0.15)	1.73(0.44)	-0.42(0.005)	0.300	0.038	0.621	0.497	N					
22	0, 10	-0.62(0.17)	6.67(0.23)	2.02(0.74)	-0.29(0.008)	0.783	0.019	0.362	0.289	3.59(0.45)	1.08(1.28)	20.38(2.87)	0.16(0.067) <sup>a</sup>		
		-2.02(0.14)	11.26(0.08)	2.27(0.22)	-0.83(0.008)	0.783	0.056	1.185	0.948						
23	-10, 10	-0.79(0.15)	11.37(0.29)	2.80(0.57)	-0.26(0.018)	0.211	0.025	0.664	0.531	N					
26	10, 0	-0.85(0.29)	12.19(0.66)	2.72(1.66)	-0.29(0.081)	0.485	0.023	0.586	0.469	N					
27	0, 0	-10.49(0.27)	11.21(0.02)	2.18(0.08)	-4.51(0.292)	5.619	0.082	1.687	1.350	28.03(0.47)	4.69(0.18)	22.27(0.44)	1.18(0.080)		
28	-10, 0	-1.11(0.19)	12.53(0.40)	4.35(0.75)	-0.24(0.044)	0.603	0.018	0.716	0.573	3.69(0.39)	5.65(1.24)	22.77(2.88)	0.15(0.049)		
30	20, -10	-1.02(0.16)	12.68(0.12)	1.91(0.51)	-0.50(0.020)	0.254	0.047	0.850	0.680	N					
31	10, -10	-1.14(0.16)	12.82(0.17)	2.42(0.41)	-0.44(0.049)	0.305	0.040	0.908	0.726	N					

表 B.4: NGC2024/2023 GMC 的观测与计算结果(续)

32	0, -10	-1.17(0.16)	13.89(0.16)	2.15(0.38)	-0.51(0.041)	0.392	0.043	0.878	0.702	N
33	-10, -10	-0.71(0.15)	13.48(0.24)	1.51(0.68)	-0.44(0.004)	0.324	0.039	0.558	0.446	N
36	10, -20	-0.55(0.12)	13.01(0.28)	2.28(0.47)	-0.22(0.023)	0.249	0.021	0.442	0.354	N
37	0, -20	-1.83(0.15)	12.66(0.10)	2.26(0.24)	-0.76(0.102)	0.307	0.070	1.483	1.186	N
38	-10, -20	-0.47(0.14)	12.40(0.19)	1.20(28.9)	-0.36(0.000)	0.314	0.032	0.364	0.291	N
41	0, -30	-1.56(0.23)	12.34(0.22)	2.98(0.51)	-0.49(0.071)	0.313	0.044	1.240	0.992	N
42	-10, -30	-0.55(0.15)	13.13(0.29)	1.80(0.44)	-0.28(0.004)	0.371	0.024	0.406	0.325	N

## 参考文献

- [1] 孙锦, 李守中. 分子天体物理学基础. 北京师范大学出版社, 书号: 7-303-06410-9/O.254, 北京, 2003.
- [2] L. E. Snyder, D. Buhl, B. Zuckerman, and P. Palmer. Microwave Detection of Interstellar Formaldehyde. *Physical Review Letters*, 22:679–681, March 1969.
- [3] P. Palmer, B. Zuckerman, D. Buhl, and L. E. Snyder. Formaldehyde Absorption in Dark Nebulae. *ApJ*, 156:L147+, June 1969.
- [4] N. J. Evans, II. Cross sections for collisional excitation of interstellar formaldehyde. *ApJ*, 201:112–117, October 1975.
- [5] K. D. Tucker, G. R. Tomasevich, and P. Thaddeus. Laboratory Measurement of the 6-CENTIMETER Formaldehyde Transitions. *ApJ*, 169:429–+, October 1971.
- [6] A. Sume, D. Downes, and T. L. Wilson. Maps of Formaldehyde Absorption at 4.8 GHz in Three Dust Clouds. *A&A*, 39:435–+, March 1975.
- [7] D. Downes, T. L. Wilson, J. Bieging, and J. Wink. H110-alpha and H2CO survey of galactic radio sources. *A&AS*, 40:379–394, June 1980.
- [8] J. H. Bieging, T. L. Wilson, and D. Downes. Formaldehyde absorption measurements of selected galactic molecular clouds. *A&AS*, 49:607–630, September 1982.
- [9] E. Araya, P. Hofner, L. Olmi, S. Kurtz, and H. Linz. Arecibo Observations of Formaldehyde in L1551. *AJ*, 132:1851–1858, November 2006.
- [10] A. Piepenbrink and H. J. Wendker. The Cygnus X region. XVII - H 110-alpha and H2CO line surveys with the 100 m-RT. *A&A*, 191:313–322, February 1988.
- [11] M. I. Rodríguez, R. J. Allen, L. Loinard, and T. Wiklind. Anomalous H<sub>2</sub>CO Absorption toward the Galactic Anticenter: A Blind Search for Dense Molecular Clouds. *ApJ*, 652:1230–1239, December 2006.
- [12] M. I. Rodríguez, T. Wiklind, R. J. Allen, V. Escalante, and L. Loinard. A Comparison between Anomalous 6 cm H<sub>2</sub>CO Absorption and CO(1-0) Emission in the L1204/S140 Region. *ApJ*, 663:824–833, July 2007.

- [13] 曾琴, 毛瑞青, 裴春传. 天体物理中的微波谱线诊断. 中国科学技术出版社, 书号: 7-5046-4411-0, 北京, 2003.
- [14] P. G. Mezger. Star formation and its relation to free-free emission from ionized gas and far-infrared emission from dust. In R. Lucas, A. Omont, & R. Stora, editor, *Birth and the Infancy of Stars*, pages 31–75, 1985.
- [15] G. E. Miller and J. M. Scalo. On the birthplaces of stars. *PASP*, 90:506–513, October 1978.
- [16] M. A. Gordon and C. M. Walmsley. An observational study of millimeter-wave recombination lines. *ApJ*, 365:606–614, December 1990.
- [17] F. L. Schöier and H. Olofsson. Models of circumstellar molecular radio line emission. Mass loss rates for a sample of bright carbon stars. *A&A*, 368:969–993, March 2001.
- [18] W. B. Burton, M. A. Gordon, T. M. Bania, and F. J. Lockman. The overall distribution of carbon monoxide in the plane of the Galaxy. *ApJ*, 202:30–49, November 1975.
- [19] T. M. Bania. Carbon Monoxide Kinematics in the Inner Galaxy. In *Bulletin of the American Astronomical Society*, volume 8 of *Bulletin of the American Astronomical Society*, pages 334–+, March 1976.
- [20] N. Z. Scoville, P. M. Solomon, and A. A. Penzias. The molecular cloud Sagittarius B2. *ApJ*, 201:352–365, October 1975.
- [21] M. A. Gordon and W. B. Burton. Carbon monoxide in the Galaxy. I - The radial distribution of CO, H<sub>2</sub>, and nucleons. *ApJ*, 208:346–353, September 1976.
- [22] J. S. Young and N. Z. Scoville. Molecular gas in galaxies. *ARA&A*, 29:581–625, 1991.
- [23] L. Blitz and F. H. Shu. The origin and lifetime of giant molecular cloud complexes. *ApJ*, 238:148–157, May 1980.
- [24] L. L. Cowie. Cloud fluid compression and softening in spiral arms and the formation of giant molecular cloud complexes. *ApJ*, 245:66–71, April 1981.
- [25] J. Kwan. The mass spectrum of interstellar clouds. *ApJ*, 229:567–577, April 1979.
- [26] B. G. Elmegreen. The Origin and Evolution of Giant Molecular Clouds. In C. J. Lada & N. D. Kylafis, editor, *NATO ASIC Proc. 342: The Physics of Star Formation and Early Stellar Evolution*, pages 35–+, 1991.

- [27] C. J. Lada. The Unsolved Problem of Stellar Origins. In L. Blitz & P. J. Teuben, editor, *Unsolved Problems of the Milky Way*, volume 169 of *IAU Symposium*, pages 533–+, 1996.
- [28] A. Mizuno, T. Onishi, Y. Yonekura, T. Nagahama, H. Ogawa, and Y. Fukui. Overall distribution of dense molecular gas and star formation in the the Taurus cloud complex. *ApJ*, 445:L161–L165, June 1995.
- [29] N. J. Evans, II. Star formation - Observations. In D. L. Lambert, editor, *Frontiers of Stellar Evolution*, volume 20 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, pages 45–95, 1991.
- [30] F. H. Shu, F. C. Adams, and S. Lizano. Star formation in molecular clouds - Observation and theory. *ARA&A*, 25:23–81, 1987.
- [31] P. Andre, D. Ward-Thompson, and M. Barsony. Submillimeter continuum observations of Rho Ophiuchi A - The candidate protostar VLA 1623 and prestellar clumps. *ApJ*, 406:122–141, March 1993.
- [32] R. Bachiller. Bipolar Molecular Outflows from Young Stars and Protostars. *ARA&A*, 34:111–154, 1996.
- [33] F. H. Shu, A. Allen, H. Shang, E. C. Ostriker, and Z.-Y. Li. Low-Mass Star Formation: Theory. In C. J. Lada & N. D. Kylafis, editor, *NATO ASIC Proc. 540: The Origin of Stars and Planetary Systems*, pages 193–+, 1999.
- [34] F. Palla. The Evolution of Pre-Main-Sequence Stars. In C. J. Lada & N. D. Kylafis, editor, *NATO ASIC Proc. 540: The Origin of Stars and Planetary Systems*, pages 375–+, 1999.
- [35] J. Bally, N. Moeckel, and H. Throop. Evolution of UV-Irradiated Protoplanetary Disks. In A. N. Krot, E. R. D. Scott, & B. Reipurth, editor, *Chondrites and the Protoplanetary Disk*, volume 341 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, pages 81–+, December 2005.
- [36] R. C. Kennicutt, Jr. Star Formation in Galaxies Along the Hubble Sequence. *ARA&A*, 36:189–232, 1998.
- [37] E. Churchwell. Ultra-Compact HII Regions and Massive Star Formation. *ARA&A*, 40:27–62, 2002.
- [38] H. Zinnecker and H. W. Yorke. Toward Understanding Massive Star Formation. *ARA&A*, 45:481–563, September 2007.



- [39] C. R. Gwinn, J. M. Moran, and M. J. Reid. Distance and kinematics of the W49N H<sub>2</sub>O maser outflow. *ApJ*, 393:149–164, July 1992.
- [40] Y. Xu, M. J. Reid, X. W. Zheng, and K. M. Menten. The Distance to the Perseus Spiral Arm in the Milky Way. *Science*, 311:54–57, January 2006.
- [41] M. F. Campbell, D. Niles, R. Nawfel, M. Hawrylycz, W. F. Hoffmann, and H. A. Thronson, Jr. Far-infrared sources in Cygnus X - an extended emission complex at DR 21 and unresolved sources at S106 and ON 2. *ApJ*, 261:550–557, October 1982.
- [42] K. M. Menten, M. J. Reid, J. Forbrich, and A. Brunthaler. The distance to the Orion Nebula. *A&A*, 474:515–520, November 2007.
- [43] T. M. Dame, D. Hartmann, and P. Thaddeus. The Milky Way in Molecular Clouds: A New Complete CO Survey. *ApJ*, 547:792–813, February 2001.
- [44] N. Z. Scoville and P. M. Solomon. Molecular Clouds in W49 and W51. *ApJ*, 180:31–54, February 1973.
- [45] W. G. L. Poeppel, K. Rohlfs, and W. Celnik. Formaldehyde, cold neutral hydrogen and dust distribution in a globular filament in Taurus. *A&A*, 126:152–160, September 1983.
- [46] G. Westerhout. A survey of the continuous radiation from the Galactic System at a frequency of 1390 Mc/s. *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 14:215–+, December 1958.
- [47] J. W. Dreher, K. J. Johnston, W. J. Welch, and R. C. Walker. Ultracompact structure in the H II region W49N. *ApJ*, 283:632–639, August 1984.
- [48] C. G. de Pree, D. M. Mehringer, and W. M. Goss. Multifrequency, High-Resolution Radio Recombination Line Observations of the Massive Star-forming Region W49A. *ApJ*, 482:307–+, June 1997.
- [49] R. L. White and K. S. Long. Supernova remnant evolution in an interstellar medium with evaporating clouds. *ApJ*, 373:543–555, June 1991.
- [50] R. L. Shelton, D. P. Cox, W. Maciejewski, R. K. Smith, T. Plewa, A. Pawl, and M. Różyczka. Modeling W44 as a Supernova Remnant in a Density Gradient with a Partially Formed Dense Shell and Thermal Conduction in the Hot Interior. II. The Hydrodynamic Models. *ApJ*, 524:192–212, October 1999.
- [51] R. A. Chevalier. Supernova Remnants in Molecular Clouds. *ApJ*, 511:798–811, February 1999.

- [52] J. W. Keohane, W. T. Reach, J. Rho, and T. H. Jarrett. A Near-Infrared and X-Ray Study of W49 B: A Wind Cavity Explosion. *ApJ*, 654:938–944, January 2007.
- [53] C. L. Brogan and T. H. Troland. Very Large Array H I Zeeman Observations toward the W49 Complex. *ApJ*, 550:799–816, April 2001.
- [54] I. A. Lockhart and W. M. Goss. High-resolution mapping of the H I absorption lines in the direction of NGC 2024, Orion A, M17 and W49. *A&A*, 67:355–372, July 1978.
- [55] J. S. Greaves and P. G. Williams. Characteristics of ‘spiral arm’ clouds, from CS absorption line observations. *A&A*, 290:259–265, October 1994.
- [56] G. T. Ruch, T. J. Jones, C. E. Woodward, E. F. Polomski, R. D. Gehrz, and S. T. Megeath. Spitzer Observations of the Giant Molecular Cloud W3. *ApJ*, 654:338–346, January 2007.
- [57] C. J. Lada, B. G. Elmegreen, H.-I. Cong, and P. Thaddeus. Molecular clouds in the vicinity of W3, W4, and W5. *ApJ*, 226:L39–L42, November 1978.
- [58] M. Normandeau, A. R. Taylor, and P. E. Dewdney. A galactic chimney in the Perseus arm of the Milky Way. *Nature*, 380:687–689, April 1996.
- [59] M. S. Oey, A. M. Watson, K. Kern, and G. L. Walth. Hierarchical Triggering of Star Formation by Superbubbles in W3/W4. *AJ*, 129:393–401, January 2005.
- [60] P. L. Read. H I aperture synthesis observations towards galactic H II regions. II - W3. *MNRAS*, 194:863–878, March 1981.
- [61] H. R. Dickel, J. R. Dickel, W. J. Wilson, and M. W. Werner. The H II region-molecular cloud complex W3 - Observations of CO, CS, and HCN. *ApJ*, 237:711–733, May 1980.
- [62] H. A. Thronson, Jr. and S. D. Price. Infrared mapping of the galactic plane. III - The large-scale mid-infrared structure of W3, W4, and W5. *AJ*, 87:1288–1294, September 1982.
- [63] R. P. Garden, M. Hayashi, T. Hasegawa, I. Gatley, and N. Kaifu. A spectroscopic study of the DR 21 outflow source. III - The CO line emission. *ApJ*, 374:540–554, June 1991.
- [64] R. P. Garden and J. E. Carlstrom. High-velocity HCO(+) emission associated with the DR 21 molecular outflow. *ApJ*, 392:602–615, June 1992.
- [65] T. L. Wilson and R. Mauersberger. The internal structure of molecular clouds. I - C18O, C34S and NH3 maps of the DR 21/W 75 S region. *A&A*, 239:305–318, November 1990.

- [66] Y. L. Shirley, N. J. Evans, II, K. E. Young, C. Knez, and D. T. Jaffe. A CS J=5–4 Mapping Survey Toward High-Mass Star-forming Cores Associated with Water Masers. *ApJS*, 149:375–403, December 2003.
- [67] M. S. N. Kumar, C. J. Davis, J. M. C. Grave, B. Ferreira, and D. Froebrich. WFCAM, Spitzer/IRAC and SCUBA observations of the massive star-forming region DR21/W75 - II. Stellar content and star formation. *MNRAS*, 374:54–62, January 2007.
- [68] E. Kruegel, C. Thum, V. Pankonin, and J. Martin-Pintado. The structure of Orion B /NGC 2024/ - A recombination line and continuum map. *A&AS*, 48:345–353, June 1982.
- [69] L. F. Rodríguez, Y. Gómez, and B. Reipurth. A Cluster of Compact Radio Sources in NGC 2024 (Orion B). *ApJ*, 598:1100–1106, December 2003.
- [70] A. E. Visser, J. S. Richer, C. J. Chandler, and R. Padman. Submillimetre continuum images of the NGC 2024 star-forming ridge. *MNRAS*, 301:585–592, December 1998.
- [71] B. C. Matthews, J. D. Fiege, and G. Moriarty-Schieven. Magnetic Fields in Star-forming Molecular Clouds. III. Submillimeter Polarimetry of Intermediate-Mass Cores and Filaments in Orion B. *ApJ*, 569:304–321, April 2002.
- [72] R. A. Gaume, K. J. Johnston, and T. L. Wilson. High spatial resolution 1.3 centimeter imaging of the NGC 2024 star-forming region. *ApJ*, 388:489–494, April 1992.
- [73] M. J. Freyberg and J. H. M. M. Schmitt. ROSAT X-ray observations of the stellar clusters in NGC 2023 and NGC 2024. *A&A*, 296:L21+, April 1995.
- [74] R. J. Cohen, N. Matthews, R. W. Few, and R. S. Booth. Formaldehyde and OH in the Orion molecular clouds. *MNRAS*, 203:1123–1135, June 1983.
- [75] G. Wu, J. Esimbek, J.-J. Zhou, and X.-H. Han.  $1_{10}-1_{11}$  H<sub>2</sub>CO and H<sub>110 $\alpha$</sub>  observations towards the giant HII region in cloud complex W43. *RAA*, 11:63–70, January 2011.
- [76] 柯大荣, 赵永恒. *FITS* 基本格式及其扩展. <http://www.lamost.org/yzhao/doc/fits.html>, 北京, 1993.
- [77] 张智玉等. *AstroWiki*. <http://sfig.pmo.ac.cn/astrowiki/Gildas>, 南京, 2011.
- [78] Gildas Team. *A Gildas Software*. <http://www.iram.fr/IRAMFR/GILDAS>, France, 2006.

## 攻读硕士学位期间的研究成果

- [1] Chuan-Peng Zhang, Jarken Esimbek, Jian-Jun Zhou, Gang Wu, Zhi-Mao Du. Exploring morphological correlations among  $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $^{12}\text{CO}$ , MSX and continuum mappings.
- [2] Zhi-Mao Du, Jian-Jun Zhou, Jarken Esimbek, Xiao-Hong Han, Chuan-Peng Zhang. A  $\text{H}_2\text{CO}$  and  $\text{H}110\alpha$  survey of HII regions using 25-m radio telescope of of Nanshan Station. 2011, A&A, Accepted



## 致 谢

光阴似箭、时光流逝,转眼之间三年硕士研究生生活即将结束.回首过去,思绪万千.二十年的寒窗苦读,有过成功的喜悦,亦有过失败的沮丧,有太多的人和事值得记忆.首先,衷心感谢加尔肯·叶生别克老师对我的严格要求,衷心感谢周建军老师对我的淳淳教诲和悉心关怀.在我的学习过程中,从论文选题、试验设计及实施,到论文的撰写与修改,每一个环节中无不凝聚着他们的汗水和心血.他们国际化的视野,前沿而精髓的学术造诣,严谨勤奋的治学风格,从容、乐观、豁达、以身立行的做人风格不仅使我明白了如何看待事物,懂得了如何规划自己的人生,而且还明白了许多待人接物与为人处世的道理,深刻影响着我今后的工作和生活.

我要感谢北京大学的吴月芳老师,在北京学习基础课期间,是她把我领进了浩瀚宇宙的殿堂;我要感谢南京大学的郑兴武老师,在郑老师来访天文台期间,是他为我的课题指引了方向;我要感谢国家天文台的王俊杰老师,在我考博失利、即将远离天文的时候,是他留住了我,给了我继续科学研究的机会.

在即将毕业之际,非常感谢天文台的王娜、艾力·玉苏甫、孙正文、刘祥、艾力·伊沙木丁、陈卯蒸、丁国强老师,是他们为我提供良好的学术氛围.

感谢王梅芳、王石、刘爱霞、沈程程、马林、刘云、周虹、高雅思、侯疆齐、常欣、陆师傅、常师傅、古丽等老师及同事在管理与后勤上的精心指导与照顾.

感谢南山观测基地的李鹏、明亮、刘烽、李笑飞、陈勇、韩礼红、杨文军、张华、艾尔肯、陈晨雨、王仕强、石俊等观测人员认真、仔细、负责地为我观测数据.

感谢崔朗、袁建平、闫文明、宋华刚、王晶波、刘俊、胡会东、帕力旦木、刘进忠、聂俊、张明、李明帅、周霞、李光辉、王相峰等师兄和朋友在生活、科研以及论文撰写方面对我的无私帮助.

感谢2008级的杜芝茂、钱茂飞、陶国存、丁振、鄢淑平、王思秀、裴鑫、孙增武同学,就是这八个纯爷们不离不弃地陪我共同走过难忘的三年.

感谢韩晓红大姐为我们308办公室带来了欢声笑语,感谢吴刚师兄对我课题的细心指导,感谢汤新弟、纪伟光师弟与我共同讨论恒星形成的问题.感谢2009级的黄春苹、赵昆涛、李晶、李永江、刘晓红、张志斌、朱翠、贾良权同学,是你们给我带来了快乐,让我不再寂寞.

在即将完成学业之即,感谢我的家人多年来对我学业的理解和支持.如果没有他们,我无法想象自己将如何度过这段极具挑战性的学习生涯,衷心祝愿我的亲人们健康幸福!

谨以此文献给所有关怀、帮助、支持、鼓励我的亲人、师长、学友和朋友们!

谨把本文献给我最敬爱的父亲和母亲!