

分类号 \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_

UDC \_\_\_\_\_

编号 \_\_\_\_\_

# 中国科学院研究生院 博士学位论文

大质量恒星形成区和恒星SiO脉泽的谱线观测研究

陈曦

指导教师 沈志强 研究员  
中国科学院上海天文台

申请学位级别 博士 学科专业名称 射电天体物理

论文提交日期 2006年9月 论文答辩日期 2006年10月

培养单位 中国科学院上海天文台

学位授予单位 中国科学院研究生院

答辩委员会主席 杨戟 (研究员 中国科学院紫金山天文台)



# Spectral Line Observations of Massive Star Forming Regions and Circumstellar SiO Maser

**Xi Chen**

Supervisor:

Prof. Zhi-Qiang Shen

Shanghai Astronomical Observatory  
Chinese Academy of Sciences

December, 2006

*Submitted in total fulfilment of the requirements for the degree of Ph.D.  
in Astrophysics*



## 致 谢

值此论文完成之际, 谨在此向多年来给予我帮助、鼓励和支持的人们表示衷心的感谢!

本文是在我的导师沈志强研究员的悉心指导下完成的. 沈老师严谨的科研思路、富于创新的科学精神、实事求是的治学态度、渊博的学识、为人师表的品格、敬业的精神、对科研工作敏锐的洞察能力是我毕生学习的楷模, 并时时鞭策我努力工作, 在科学研究的道路上奋发向上. 沈老师在繁忙的工作之余, 耐心而细致的指导我的学习和工作. 与他经常性的讨论和交流, 大大拓宽了我的知识面, 使我受益匪浅. 可以说本篇论文的每个细节无不渗透着沈老师的努力和心血. 在此, 对沈老师在我学术上的精心指导与生活上的关怀表示最崇高的敬意和最衷心的感谢.

同时, 我要非常感谢徐焯老师多年来对我的学业及生活上的关心和帮助. 正是在他的指导下, 我进入了大质量恒星形成区这一活跃的研究领域. 在科研工作和发表文章过程中他给予了我大量宝贵的指导意见和论文修改意见. 我还要感谢日本鹿儿岛大学Imai教授及日本国立天文台Kamohara博士, 他们在谱线VLBI数据处理与分析及脉泽研究领域给予了我宝贵的意见和经验. 并感谢紫金山天文台青海观测站全体工作人员对我在德令哈观测期间给予的大力支持和帮助. 特别感谢杨戟研究员, 巨秉刚和逯登荣工程师对我在单天线谱线数据处理与分析过程中给予的指导.

忠心感谢蒋栋荣研究员与洪晓瑜研究员在VLBI专业知识与数据处理软件的学习和应用上给予的耐心指导. 还要感谢在学业上给予我指导和帮助各位老师: 赵君亮、景益鹏、曹新伍、侯金良、尤峻汉、邵正义、陈力、林伟鹏、王家骥、宋国玄、赵东海、常瑞香等.

感谢顾敏峰博士、安涛博士、王伟华博士、刘怡博士、张波博士等在学习和科研工作中给予我的指导与帮助. 感谢蔡宏兵、吴庆文、李晶晶、路如森、刘文泼、冯士伟、黄磊、吴忠祖、孙传好、赵薇等同学在理论学习上的帮助. 感谢多年来在学习和生活上给予我极大鼓励和帮助的同学和朋友们: 孙祖尧、王威、冯天厚、刘宇、毛银盾、陈艳玲、陈竹、常英立、葛先辉、常加峰、范忠辉、谢桂颖、李化南、王向华、温文、冯文侠、高建云等.

感谢人教处彭玉琴、钱建明、陈鼎等老师在学习和生活上的关心和照顾. 感谢科技处商琳琳在我学习和工作中给予的帮助. 感谢计算机中心陈肖老师在计算机维护和数据下载时给予的帮助. 感谢图书馆的老师在查阅文献和复印时给予的帮助.

我要特别感谢的是我的父母和家人. 感谢父母多年的养育之恩, 感谢他们对我学习和科研工作的一贯支持与理解. 感谢我的哥哥、嫂子多年来对父母的照顾. 由衷感谢我的女友对我生活上细心的关怀与照顾, 使我能专心投入到学习和科研工作中.

最后, 向所有在我人生旅途中给予我帮助的人们再一次致以诚挚的谢意!

谨把本文献给我最敬爱的父母! 并祝愿他们健康长寿!

## 摘 要

本篇论文利用中国紫金山天文台青海观测站的13.7米口径毫米波望远镜和美国国立射电天文台的甚长基线干涉阵(VLBA)对大质量恒星形成区的CO分子和恒星SiO脉泽进行了谱线的观测与研究。

大质量恒星形成的研究目前是一个十分活跃的领域。人们对大质量恒星形成的了解相对于小质量星是十分贫乏的。对于大质量星形成过程目前主要有两个观点：类似于小质量星形成的吸积方式和由中、小质量原恒星并和形成方式。如果大质量星是通过吸积方式形成，那么大质量恒星形成过程可分为几个演化阶段：巨分子云→星前核→热核→UC H II区。因此通过比较不同演化阶段的分子云核与外流的物理性质，会帮助我们更好地理解大质量恒星的形成过程。我们利用紫金山天文台青海站的13.7 m毫米波望远镜，对处在不同环境下的九个大质量恒星形成区进行了 $^{12}\text{CO}$  ( $J=1-0$ )， $^{13}\text{CO}$  ( $J=1-0$ )和 $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J=1-0$ )的成图观测。样本中7个源探测到了 $^{13}\text{CO}$ 云核，5个源探测到 $\text{C}^{18}\text{O}$ 云核。只探测到2个源有明显的外流结构，且伴有 $\text{C}^{18}\text{O}$ 云核及水脉泽。首次在HII区S152/S153内探测到可能与红外源IRAS 22566+5828成协的 $^{12}\text{CO}$ 分子外流。并采用典型的LTE方法给出了这些云核与外流的物理参量。观测结果表明只有当恒星形成演化到一定的阶段，使得气体密度足够高时，才会形成 $\text{C}^{18}\text{O}$ 云核，而同时出现 $\text{C}^{18}\text{O}$ 云核和 $\text{H}_2\text{O}$ 脉泽时形成外流的可能性极高。

天体脉泽作为一种极端的非热平衡现象，为我们提供了研究一些特殊的天文环境，特别是小尺度环境的物理和动力学条件的最好工具。谱线甚长基线干涉(VLBI)技术在脉泽的观测中得到了广泛的应用，它为研究脉泽源的空间分布、视尺度以及运动学提供了有力的手段。我们在文中介绍了目前关于脉泽的最新研究进展和应用领域，同时也总结了谱线VLBI基本原理及其数据处理流程。

我们利用VLBA在1999年4-5月份期间对M-型半规则变星VX Sgr拱星包层中的43 GHz  $v=1$ ,  $J=1-0$  SiO脉泽进行了三个历元的观测。这些高分辨的VLBA观测揭示了在时间间隔为1个月的观测时间里，VX Sgr的SiO脉泽的分布几乎没有发生明显的变化，都呈相似的环型结构，其半径为3个恒星半径( $R_*$ )，这个结果与晚型星SiO脉泽分布于恒星表面2-4  $R_*$ 的典型值相一致。另外，与前期VLBI观测结果相比，SiO脉泽分布的整体形态发生了明显的变化，SiO脉泽的

主要辐射区域从1992和1994年的西南方向变化到我们观测时(1999)的东北方向,这暗示着在从1992/1994年到1999年的~5-7年的时间里, VX Sgr的主要质量损失流的方向也从西南方向变化到了东北方向. 通过对脉泽“spot”的两点相关函数分析, 我们得到在两个尺度范围0.03-0.25 mas和0.5-20 mas上, SiO脉泽“spot”有很强的成团性. 幂率谱的中断处0.25 mas表明由脉泽“spot”形成脉泽“feature”的角直径为0.5 mas. 通过比较成图流量密度比(即VLBI的互相关流量密度与单天线的流量密度的比值), 发现在我们观测时的SiO脉泽大小明显要小于1992年的观测结果. 这可能与由恒星活动性引起的SiO脉泽的突然爆发现象有关. 通过对42个在三个历元上都存在的脉泽“feature”的“脉泽对运动尺度”(即每对脉泽间在不同历元上距离的差值)分析, 我们得到在假定VX Sgr距离为1.7 kpc时, SiO脉泽壳层在以 $4 \text{ km s}^{-1}$ 的速度内落收缩. 这个内落运动速度值基本与声速同一量级, 很容易通过引力加速拱星尘埃壳层的物质来获得. 利用SiO脉泽自行的统计视差分析, 我们估算VX Sgr的距离为 $1.58 \pm 0.15 \text{ kpc}$ . 这个距离值与利用水脉泽自行测定的距离值是一致的. 在此距离上VX Sgr可以被证认为是红超巨星.

**关键词:** 恒星形成—外流—脉泽—红超巨星(VX Sagittarii)—谱线VLBI



## Abstract

In this dissertation, we report spectral line observations of CO molecular of massive star forming regions and circumstellar SiO masers, using the 13.7 m millimeter wave telescope at Qinghai station of Purple Mountain Observatory, China and Very Long Baseline Array (VLBA) of National Radio Astronomy Observatory, USA, respectively.

The study of massive star formation is very active at present. The understandings of forming processes of massive stars are not clear relative to that of low mass star formation. Now there are two models regarding the massive star formation: infall and accretion model as does the low-mass star formation, and the collision or merging of low- or intermediate-mass stars model. If massive stars could form via accretion, their forming processes could be separated into following different phases: giant molecular clouds→prestellar cores→hot cores→UC H II regions. Therefore, a direct comparison of the physical properties of molecular cores and outflows at different phases would be helpful to better understand the evolution of high-mass star formation. The  $^{12}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ),  $^{13}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) and  $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J=1-0$ ) emissions in 9 massive star forming regions, which are believed to be at different stages of massive star formation, were mapped with the 13.7 m millimeter wave telescope at Qinghai Station of Purple Mountain Observatory. Of the observed 9 sources,  $^{13}\text{CO}$  cores were detected in seven of them, and  $\text{C}^{18}\text{O}$  cores in five of them. And only two sources associated with  $\text{C}^{18}\text{O}$  cores and  $\text{H}_2\text{O}$  masers showed the extended structures and strong outflows. This is the first detection of outflow associated with IRAS 22566+5828 in the observing filed of S152/S153. The physical parameters of cores and outflows for these sources, derived from Local Thermal Equilibrium (LTE) analysis, are presented. These results suggest that the  $\text{C}^{18}\text{O}$  cores will appear only when the gas density is high enough, and the probability to have an outflow is very high when the clumps show the  $\text{C}^{18}\text{O}$  core and  $\text{H}_2\text{O}$  maser simultaneously.

As an extreme nonthermal equilibrium phenomena, astronomical masers

provide the best tool for us to study physical and dynamical conditions for some peculiar astronomical circumstance, especially for the smaller scale circumstance. Spectral line very long baseline interferometry (VLBI) technology being widely applied in the observations of astronomical masers offers a powerful means to study the spatial distributions, apparent size and kinematics of masers. We give an introduction to the newest research progress and its application in astrophysics, and summarize the fundamental theory as well as the data reduction of the spectral line VLBI in this dissertation.

The 43 GHz  $v=1$ ,  $J=1-0$  SiO maser emission toward M-type semi-regular variable star VX Sagittarii (VX Sgr) was observed at 3 epochs during 1999 April–May using the VLBA. Our observations confirmed a persistent ringlike structure of SiO masers with a projected radius of about 3 stellar radii ( $R_*$ ), which is consistent with the typical 2-4  $R_*$  for late-type stars. Moreover, by comparing with the previous VLBI observations, we find that the overall morphology has changed significantly with the majority of masers appearing in North-East (NE) of the star in 1999, compared to that lying to the South-West (SW) direction in 1992 and 1994, suggesting that the direction of the major mass loss has also changed from the SW to NE over  $\sim 5-7$  years from 1992/1994 to 1999. The two-point correlation function of spots shows the maser spots are strongly clustered on scales of 0.03-0.25 mas and 0.5-20 mas. The break of the power-law at 0.25 mas suggests an angular diameter of 0.5 mas for clustering of spots to make a feature. We also find that the apparent size of maser features in 1999 is distinctly smaller than that observed in 1992, by comparing their fractions of total power imaged. This may be related to stellar activity that caused a large SiO flare during our observations. Analysis of “pairwise separation” of 42 matched features appearing in all the three epochs suggests that the maser shell contracts toward VX Sgr with a velocity of about  $4 \text{ km s}^{-1}$  at a distance of 1.7 kpc to VX Sgr. Such a velocity is on the order of the sound speed, and can be easily explained by the gravitational infall of material from the circumstellar dust shell. We estimate a distance to VX Sgr of  $1.58 \pm 0.15$  kpc with statistical parallax analysis for SiO masers proper motions, which is consistent with that based on proper motions of H<sub>2</sub>O masers, at which VX Sgr is indeed a red supergiant.