

# 银河系中心区域的研究进展

束成钢 赵君亮

(中国科学院上海天文台, 上海 200030)

## 提 要

本文对银河系天文学中最活跃的领域——银心区的近期研究情况作了简单的回顾。我们对一些重要的观测结果作了总结, 分析了银心区所特有的物理状况(物质分布和运动), 并对人们十分感兴趣的 IRS16 和 Sgr A\* 以及银心区大质量黑洞问题进行了简单的讨论。

## 一、引 言

对银河系中心区域(以下简称银心区)的观测和研究, 是了解银河系起源、结构及演化的重要方面。过去, 人们的观测局限于光学波段。太阳位于银道面附近且离银心大约为银盘半径三分之二的地方, 而银道面附近又集中了大量的消光物质, 因此进行银心区的观测和研究是十分困难的。长期以来, 对银心区的许多认识是通过河外星系中心区的观测(与银河系具有类似旋涡结构)得到的。虽然这种方法能提供给我们许多有益的信息<sup>[1-12]</sup>, 但是它们一般地说来只能代表这类旋涡星系中心区的普遍情况, 而未必反映银心区所特有的物理条件和各种物理性质。

银心方向在光学波段上的星际消光非常严重 ( $AV \approx 30 \text{ mag}$ )<sup>[13]</sup>, 而在近红外区只有 2—3 mag, 在远红外和射电波段则几乎减小到零<sup>[13]</sup>。对高能辐射(X射线、 $\gamma$ 射线)而言, 由于其穿透力甚强, 也是观测银心区的良好窗口, 因此对银心区的直接观测只能在X射线、 $\gamma$ 射线、红外以及射电波段进行。空间科学的迅速发展, 使得天文学进入了全波段研究时代。随着VLA、VLBI、VLBA技术以及IRAS卫星、X射线卫星的应用, 近年来关于银心区的研究取得了很大的进展。本文的目的是要对银心区研究的近期状况作一简要介绍和评述。由于内容之丰富以及篇幅所限, 关于这方面研究的更详细情况, 可参阅其他评述性文章<sup>[3-8]</sup>。

我们所说的银心区通常是指距银心 1kpc 内的空间范围。本文中提到的太阳银心距这一概念, 是指太阳到银心的距离。目前对这一银河系基本参量的确定仍在改进中。为方便起见, 对有关问题的讨论我们统一以  $R$  表示银心距,  $R_0$  表示太阳银心距, 引进无量纲因子  $r_{10} = R_0/10 \text{ kpc}$ 。对  $R_0$  的值目前一般估计在 7—9kpc 之间。在 1988 年召开的 IAU 大会第 20 次会议上, 建议取  $R_0 = 8.5 \text{ kpc}$ 。而最近的研究表明, 可能有  $R_0 \lesssim 8 \text{ kpc}$ <sup>[10-12]</sup>。

## 二、一些重要的观测结果

### 1. 星 团

在银心区不仅存在丰富的气体和分子云, 也还有大量的恒星。特别是在红外源 IRS16 和非热复合源 SgrA\* 附近存在一个恒星密集度很高的年轻热星团<sup>[14-19, 112, 113]</sup>。本文中常常提到 SgrA 和 SgrA\*, SgrA 是指  $R \lesssim 10\text{pc}$  范围的银心中央区, SgrA\* 是指在 SgrA 中目前仍不能分辨的非常小的区域。对银心区内恒星的进一步研究发现, 许多恒星是年老的, 但其金属丰度却比一般球状星团高。这一结果不仅对于探索银核的形成和演化具有重要意义, 而且对银心区恒星各种性质的研究, 以及对建立银心区恒星与银心区外恒星之间的联系也有着十分重要的作用<sup>[20-22]</sup>。对上述星团中恒星的研究表明<sup>[14-19]</sup>: 这些恒星大部分是 M、K 型恒星, 表面温度  $\sim 4000\text{K}$ , 星团内恒星空间分布形态与 Sanders 和 Lowinger<sup>[16]</sup> 所假设的一般球状星团质量分布模型一致。测光观测发现<sup>[11, 14, 15, 24]</sup>, 在  $1^\circ (180\text{pc})$  到  $0''.5 (0.025\text{pc})$  角范围内该星团的光度分布律为  $d^{-0.75}$ ,  $d$  是恒星离团中心的距离。在假设银心区外恒星的质光关系和一般星团的内禀性质在该星团中仍然成立的前提下, 从团的面亮度观测可推得该星团的恒星数密度正比于  $d^{-1.8 \pm 0.1}$ , 这个结果与绝热星团模型的  $d^{-2}$  规律很相似<sup>[25-27]</sup>。关于该星团核半径的确定目前仍有许多分歧, 这主要是由于所取银心位置的不同而产生的<sup>[13-15, 28]</sup>。目前该半径一般的估计范围在  $0.05\text{pc} \cdot r_{10} - 1\text{pc} \cdot r_{10}$  之间<sup>[23, 29]</sup>。

### 2. 射电连续谱观测

银心区的射电连续谱观测提供了大量有关银心区结构的信息<sup>[30-37]</sup>。观测结果表明, 除了 SgrA 外, 最显著的是弧状(arc)结构, 还有在  $l^{II} = 0.18$  处垂直于银道面的叉臂(Spur)结构, 以及连接叉臂与 SgrA 晕的桥(bridge)。Yusef-Zadeh 等<sup>[30]</sup>用 VLA 对银心区高分辨率成图发现, 叉臂和桥大部分是由纤维状和片状结构的物质组成。有人认为, 由对称性的要求来看, 在相反的方向上也应有叉臂存在, 这一现象在后来的观测中也得到了证实<sup>[33, 34]</sup>。观测发现, 两个叉臂的非热连续谱形态很不正常, 这可能是由于存在垂直于银道面的大尺度磁场引起的。Sofue 和 Handa<sup>[33]</sup>认为这两个叉臂是同一结构, 而且是由银核区最近的一次爆发(总能量  $\geq 10^{51}\text{erg}$ )引起的。Uchida 等<sup>[35]</sup>则认为这两个叉臂是因磁场加速气体, 使之离开银道面而产生的。

1992 年, Mehringer 等<sup>[114]</sup>利用 VLA 首次对 SgrB 区的 SgrB1 和 G0.6—0.0 进行高分辨率的观测和研究。他们认为 SgrB1 有一个长约  $6\text{pc}$  的电离气体棒结构, 这样一种形状和尺度的东西目前在恒星形成区域还没有发现过。发射线是从扩展的壳状结构中发出的。对 SgrB1 的复合线观测表明, SgrB1 在运动学上分成两个不同的部分, 而 G0.6—0.0 正处于这两个部分之间, 并至少含有 4 个复合源。近期, Liszt<sup>[115]</sup>对 VLA 技术对银心的观测作了很好的总结。

银心区还存在着大量的气体和分子云<sup>[18, 34, 36-48]</sup>, 射电连续谱观测取得了大量的结果。观测发现<sup>[18, 36, 37]</sup>, 在 SgrA 周围几百个 pc 内的分子云与  $R$  远达几千 pc 的分子云相比, 其物理状况表现为高温( $T \sim 50-100\text{K}$ ), 高密度( $n_{\text{H}_2} \sim 10^4\text{cm}^{-3}$ )以及具有宽的谱线( $\Delta v_{\text{BWHM}} \sim$

$20-40\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ )。气体温度较高而尘埃温度( $T_d\sim 20-30\text{K}$ )<sup>[43,44]</sup>较低这一观测事实说明<sup>[42]</sup>, 气体的加热不是由于气体尘埃的碰撞, 而是另外某种形式直接相互作用的结果, 如宇宙线的作用或分子云端动耗散等。目前对银心区分子云观测结果的一般认识是<sup>[47]</sup>, 这些分子云因银河系潮汐力的作用而处于瓦解过程中, 并正以每年几十个  $M_{\odot}$  的速率向内跌落。

对分子云的观测还得到另一个很重要的结果<sup>[47]</sup>, 即在银心区内发现一个红外源集团, 它主要由 5 颗恒星组成, 空间范围很小。这些恒星的辐射都表现为强偏振, 颜色很红, 而且有很深的 Si 吸收带和 CO 振动带。现在一般认为它们应该是银心区中新形成的年轻恒星<sup>[47]</sup>。

### 3. SgrA

SgrA 的结构非常复杂, 是一个强的红外源和强的射电源。<sup>[2,8,14,28,30,45,48-58]</sup>通过射电观测, 传统上把这个区域划分成非热的壳层源 SgrAE 和热源 SgrAW, 两者之间大约相距  $1.5$ <sup>[45,50,51]</sup>。但是, 最近 Yusef-Zadeh 等<sup>[30,33]</sup>的观测提到了可能存在第三个成分, 即在 SgrAE 和 SgrAW 周围一个尺度为  $10'$ ( $30\text{pc}$ ) 的晕将两部分包围起来。他们还发现<sup>[30,33]</sup>从银心发出的垂直于银道面的  $160\text{MHz}$  发射线, 并认为这是电离气体沿角向磁场运动的标志。

通常认为 SgrAE 是一个非热的壳层源, 可能产生于一次超新星爆发, 或者是一个光度非常低的射电源的一部分<sup>[9,59]</sup>。前一种观点已为分辨率  $0.6\text{pc}$  的 VLA 在  $33\Omega\text{MHz}$  频率上对 SgrA 的观测所证实<sup>[60]</sup>。

$R\leq 8\text{pc}$  的情况如图 1 所示。从热射电辐射空间分布形态上可见, SgrAW 像一个小旋臂<sup>[46,64]</sup>, VLA 的观测也表明了这一点<sup>[60,61]</sup>。在小旋臂中心附近有一个非热强射电源<sup>[36]</sup>。高空间分辨率的观测发现<sup>[2]</sup>, 小旋臂非常薄, 大致呈长纤维状或弧形(宽度  $< 0.1\text{pc}$ ), 并呈现分节形状。对 OH 气体吸收线观测的结果, 明显地与 SgrAE 的壳层状结构不一致, 但与 SgrAW 的空间结构并不矛盾<sup>[62]</sup>。这可能表明所被观测到的气体云正处于这两个成分之间, 即在 SgrAW 之后, SgrAE 前。

特别有趣的是, 对 SgrA\* 的观测表明<sup>[63,116]</sup> 这是与我们所知的任何恒星一类天体都不相同的射电源。它与河外星系核很相似, 现在已肯定它不可能是银心区星团的核, 而可能是一个大质量的黑洞。

对尘埃和气体的观测也是令人兴奋的<sup>[14,28,57,58]</sup>。从热尘埃中发出的中、远红外连续辐射同样位于 SgrAW 中央<sup>[14,28,57]</sup>。其  $5-30\mu\text{m}$  的射电连续辐射与旋臂的辐射极为相似<sup>[14,28,57]</sup>。观测表明<sup>[58]</sup>, SgrA 之内有一个由尘埃构成的环状物, 尺度约为  $1.7\text{pc}$ , 在该区域内, 是少量的电离气体, 几乎不存在其他尘埃和气体。因此,  $R\leq 1.7\text{pc}$  内的区域可以认为是一个中央空腔<sup>[58]</sup>。

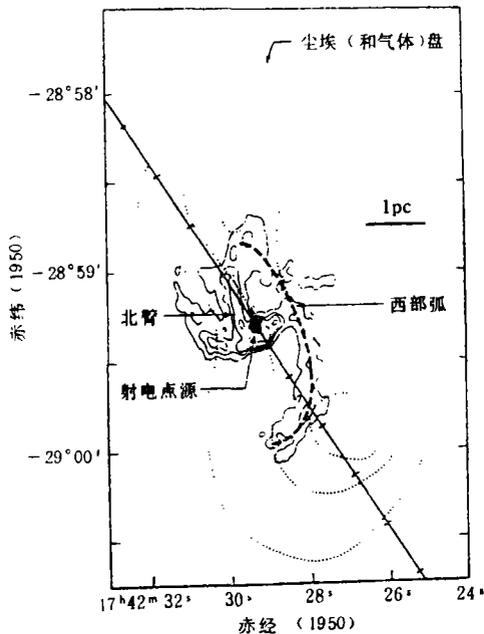


图 1 银心区  $R\leq 8\text{pc}$  范围内的射电观测图

#### 4. X 射线和 $\gamma$ 射线观测

通过 Einstein 卫星的 X 射线观测发现<sup>[64]</sup>, 在  $R$  小于几个 pc 的范围内有一个低能 X 射线源; 在这个源附近还有一个高能 X 射线源, 但目前对其位置还不太清楚, 也不能肯定该 X 射线源是否与 Sgr A W 有联系。考虑到星际吸收, 该源在  $2-6\text{keV}$  的光度估值为  $1.5 \times 10^{35} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot r_{10}^3$ <sup>[64]</sup>。在 Einstein 卫星工作期间, 没有发现上述银心区 X 射线源强度有明显变化<sup>[64]</sup>。如果假设全部 X 射线辐射都是星际气体的热轫致辐射的话, 则可以推出温度  $T \sim 10^8 \text{K}$ , 电子密度  $\langle n_e^2 \rangle^{1/2} \sim 5[f/0.1]^{-1/2} \text{cm}^{-3}$ , 其中  $f$  是体积充满因子(volume filling factor)<sup>[64]</sup>。

值得特别提出的是, 观测发现在  $R$  约为几度范围内存在着一个随时间变化的  $e^+e^-$  湮没源<sup>[64-70]</sup>。该源在 1970 年的发射很强(最强时为  $10^{37} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 但 30 年代初在时标  $\tau \sim 10^3 \text{s}$  内突然减弱甚至隐匿不见了<sup>[65,66]</sup>。最后一次观测是在 1984 年, 发现这个源仍然保持着这一状态<sup>[65,66]</sup>。目前一般认为该源的尺度  $\lesssim 0.3 \text{pc}$ <sup>[65,66]</sup>。有关这个源的研究已给我们提供了大量关于气体运动等方面的知识<sup>[64-70]</sup>。

1991 年发射升空的 GRO 卫星, 对 X-ray 和  $\gamma$ -ray 的观测又更进一步。Mattox 等<sup>[117]</sup>在银心区观测到一个高能的(30MeV-3dTeV)X-ray 源, 但是它的强度变化并不显著, 光度估计为  $6 \times 10^{39} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ , 他们认为这很可能就是 Sgr A\* 黑洞引起的。另外, Purcell 等<sup>[118]</sup>亦对 511keV 的电子湮灭源和  $^{26}\text{Al}$  的 1.809MeV 衰变谱进行了观测。

#### 5. 其他一些观测结果

银心区磁场的情况对研究该区域物理状况十分重要。观测发现<sup>[71]</sup>, 银心区存在尺度为 200pc、强度为  $10^{-4} \text{G}$  的磁场; 在 Sgr A 中, 磁场把 IRS8 和 IRS1 联系起来。有关 Sgr A 区中红外源的情况, 可见图 2; Sgr A 中的尘埃环中亦存在与环平行的磁场等等。另外, 如同许多 AGN 一样, 在银心区也观测到了喷流现象<sup>[71,72]</sup>, 喷流长约 4kpc, 方向垂直于银盘, 其机制目前尚不清楚。

### 三、银心区的物理状况

#### 1. 物质分布

银心区物质分布状况的确定对于进行动力学研究很重要, 并能直接验证中心区是否存在大质量黑洞的问题。对此, 我们将从以下三方面来进行讨论: (1) 如果银心区外部的质光关系在银心区仍能成立, 则从恒星的亮度分布可知其质量分布; (2) 若银心区气体是绕银心转动的, 则可通过对星际气体速度的分析来研究物质的分布; (3) 假定一种相对简单的恒星分布律, 则可以从恒星的运动速度来研究质量的分布。

##### (1) 恒星光度分布

把观测到的  $2\mu\text{m}$  亮度分布当成是由恒星产生的, 则观测发现, 核区亮度在离银心 1 至几百 pc 范围内的变化要比线性快<sup>[1,14,15]</sup>, 在银心区星团核半径(0.1—1pc)内, 亮度变化更快<sup>[1,15]</sup>。若采用合理的质光关系, 则可以从观测推得质量的分布。如 Becklin 等<sup>[1]</sup>所用的质光关系为  $M/L \sim 3M_{\odot}/L_{\odot}$ , 这是因为他们认为 M31 中  $2\mu\text{m}$  的亮度分布和总的近红外光度与银心区情况非常类似, 而在 M31 中得到的质光比为  $M/L \sim 3M_{\odot}/L_{\odot}$ 。由此推得物质分布的

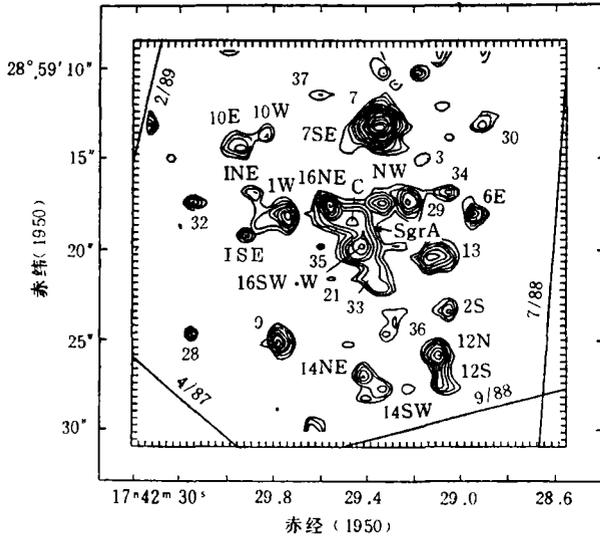


图 2 银心区中央红外源分布情况

情况是，在  $R$  为 1 至几百 pc 范围内的质量将按  $R^{1.2}$  关系增加；在银心区星团核半径内，即 0.1~1pc 间，质量增加更为迅速（正比于  $R^2$  或  $R^3$ ）。这方面的研究以 Sanders 和 Lowinger<sup>[16]</sup> 的工作最为出色，他们的数学模型比 Becklin 等<sup>[11]</sup> 的模型更合理，更严格。

(2) 星际气体动力学

在距银心 10 至几百 pc 的范围内，虽然存在着许多大分子云，但是它们本身有很大的随机运动速度 (50—100 km·s<sup>-1</sup>) 而无转动迹象<sup>[37,41,73]</sup>。因此，对这个区域的分子云，应用星际气体动力学来研究物质分布就遇到了很大的困难。近期研究表明<sup>[37,41,73]</sup>，在  $R=10-100$

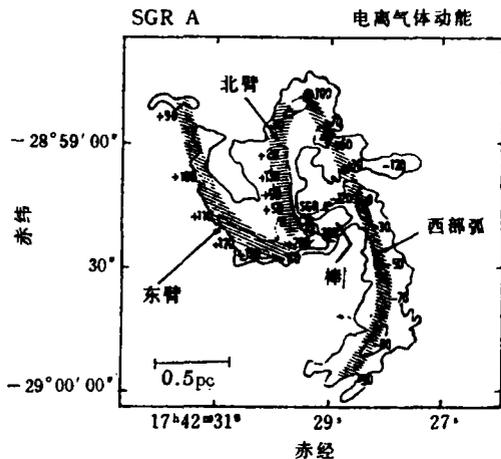


图 4 银心区中央电离气体转动速度图

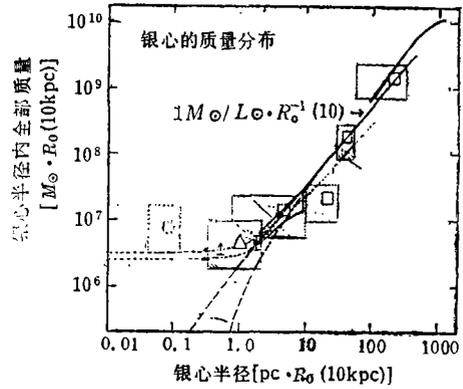


图 3 银心区物质分布状况

- (1) 粗黑线是从 HI 区转动曲线得出的结果
- (2) 黑点线是从  $R \leq 1.7$  pc 电离气体观测估计出的结果
- (3) 2 根较淡的黑线是从  $2\mu\text{m}$  表面亮度观测推得的结果
- (4) 中间方框的方形表示从 OH-IR 星速度弥散估计出的质量分布
- (5) 中间三角形是从 6 颗有  $2\mu\text{m}$  发射恒星的 速度弥散估计的结果
- (6) 左边一根点线是从中央物质  $3.0 \times 10^6 M_\odot$ 、质光关系  $M/L = 0.6 M_\odot/L_\odot$  模型导出的结果
- (7) 右边一根点线是从中央物质  $2.5 \times 10^6 M_\odot$ 、质光关系  $M/L = 1 M_\odot/L_\odot$  模型得到的结果
- (8) 点线方块是从 IRS16 附近高速运动的 电离气体估计出的结果

pc 范围内由气体运动所反映的银河系自转曲线是平坦的，目前对其机制仍不清楚。

另一方面，在离银心  $R=1.7-10$  pc 的范围内，观测发现，气体作圆周运动这一假设看来是正确的<sup>[7]</sup>。图 3 表示由这类观测导出的质量分布与由其他途径得到的数据所作的比较，可以看出不同方法所得结果符合得很好<sup>[1,3,55,74,75]</sup>。这些结果能较好地满足光度分布，并有质光关系  $M/L \sim 0.8-1.0 M_\odot/L_\odot \cdot r_{10}^{-1[7]}$ 。

现在进一步讨论  $R=0.1$  至  $\sim 1.7$  pc 范围内的情况。如图 4 所示，目前研究表明，在  $R \leq$

1.7pc 范围内物质的平均转动速度随银心距的减小而增大, 即从 1.7pc 处的  $100\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  到 0.7pc 处的  $150\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ , 从 0.3pc 处的  $260\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ , 直到 0.1pc 处的  $700\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ , 且这些气体转动轴又是平行于银道面的<sup>[54,55,76-80]</sup>。假设可用位力定理来解释这一现象的话, 那么必然导致在 IRS16/SgrA\*0.1pc 范围内必须集中有  $1\times 10^6 - 4\times 10^6 M_{\odot}\cdot r_{10}$  质量的物质<sup>[55,76,81,82]</sup>。关于这方面的工作做了很多<sup>[54,55,76-82]</sup>。如 Serabyn 和 Lacy<sup>[55]</sup> 认为在  $R < 0.5\text{pc}$  范围内必须有  $2\times 10^6 - 4\times 10^6 M_{\odot}$  的质量存在。目前普遍认为在银河系中心存在一个大质量天体, 而正是由于这个大质量天体的存在, 使得分布在  $R < 1.7\text{pc}$  内的气体具有随银心距减小平均转动速度增长极快的现象, 这个大质量天体的质量估计为  $10^6 M_{\odot}$  量级<sup>[54,55,76-82]</sup>。

### (3) 恒星动力学

关于银心区恒星运动的速度资料, 主要有 Habing 等<sup>[83]</sup>, 在  $R < 200\text{pc}$  范围内的大约 55 颗 OH-IR 星, 以及 Sellgren 等<sup>[75]</sup>, 在  $R < 2\text{pc}$  范围内的 5 颗 M 型巨星和 IRS7 超巨星。有人认为,  $R \geq 50\text{pc}$  的 OH-IR 星能很好地代表银核中的老年星<sup>[83]</sup>。但在另一方面, Winnberg 等<sup>[84]</sup> 的 OH-IR 星样本, 在  $R = 1-50\text{pc}$  范围内是年轻的大质量星。利用目前已知样本来推算物质分布的方法是先计算样本的速度弥散度, 然后应用位力定理来求物质分布。如图 3 中的“□”就是 Sellgren 等<sup>[75]</sup> 的研究结果。由于现在恒星样本太少, 这样做所得结果的可靠性也就值得怀疑了。目前这个方向亦是研究热点<sup>[85-87]</sup>。

## 2. $R \leq 4\text{pc}$ 范围内的能量和物理条件

在这一区域范围内, 由热尘埃微粒发出的远红外连续谱光度约为  $3\times 10^6 L_{\odot}\cdot r_{10}^{2[7]}$ 。由于观测波段的限制, 可以估计 SgrA 发出的全部远红外光度大概要比这个值大 3—10 倍<sup>[7,88]</sup>。考虑低密度云吸收等因素后, 可以估计出该区域总的 Lyman 连续光子发射数目大概应为  $2\times 10^{50} - 4\times 10^{50}\text{s}^{-1}\cdot r_{10}^{2[4,45,82,88]}$ , 现在发现红外高电离态的精细结构谱线强度很弱, 这说明紫外辐射场的有效温度应该较低<sup>[55,77,89]</sup>。上述三个有关能量方面的结论是完全自治的, 也就意味着银心区内禀紫外光度约为  $10^7 L_{\odot}\cdot r_{10}^2$ , 其中大部分为尘埃微粒吸收并转化成远红外辐射<sup>[7,77,89]</sup>。

目前, 关于紫外辐射场是否是由一群 O、B 型星提供, 或者是由中心可能存在的大质量天体造成的问题, 尚不能给出明确的答复。但是, 紫外辐射场可以从一个先假定了特定条件的较热的星团中发射出来, 这个假定条件应包括, 早期 O 型星, 而紫外辐射场有效温度低这一事实又排除了这种可能性<sup>[7]</sup>。对于这一矛盾, 有人认为缺乏早型的 O 型星, 可能是由  $10^7$  年前恒星形成时超新星等的爆发产生的结果<sup>[7,58]</sup>。现在的研究基本上都支持这一看法<sup>[29,76]</sup>。

这一区域的其他物理条件可以总结为以下几点<sup>[4,7,55,58,90]</sup>: 大部分光度是由以 IRS16/SgrA\* 为中心几个角秒范围内产生的; 尘埃的温度从离银心 3pc 至 0.5pc 范围内是持续上升的, 特别是在中心区域的电子温度可达  $12\ 000\text{K}$ , 明显地高于弧和叉臂的温度 ( $\approx 5\ 000\text{K}$ ); 另外, 电子温度在该区域内明显地存在某种梯度分布。

最近对该区域的研究又有了新的进展。Maloney 等<sup>[119]</sup> 在假设 LTE 条件下得出的结论为: 当  $r = 0.25\text{pc}$  时, 电子温度  $T_e \sim 50\ 000\text{K}$ , 光度约为  $10^7 L_{\odot}$ 。对此结果, 他们认为是合理的。他们的看法是:  $uv$  光子不可能维持高于  $10^4\text{K}$  的温度; 虽然 X 射线和激波加热可以达到较高的温度 (如对 X 射线,  $T_e \sim 30\ 000\text{K}$ ; 对激波:  $T_e \sim 10\ 000\text{K}$ ), 但是仍然无法解释

$T_e \sim 50\,000\text{K}$  的高温。为此，他们对  $T_e \sim 50\,000\text{K}$  的结论有怀疑。按照他们的看法， $T_e \sim 8\,000\text{K}$ ，光度约为  $7 \times 10^4 L_\odot$ 。但是 Eckart 等<sup>[120]</sup>和 Robert 等<sup>[121]</sup>仍然支持  $T_e \sim 50\,000\text{K}$ 。

### 3. 星际物质

由于银心区物质形态大部分是星际物质，因此研究星际物质便成为有关银心区研究工作的另一个非常重要的基本问题。

#### (1) 中性气体环 ( $R = 2-8\text{pc}$ )

通过对氧  $63\mu\text{m}$  精细结构线、受激氢分子  $2\mu\text{m}$  振动线、氢原子  $21\text{cm}$  线以及 CO 的  $2.6\text{mm}$  线等的观测发现<sup>[28,40,68,91-98]</sup>存在着一个内边沿银心距  $2\text{pc}$ 、外边沿银心距  $8\text{pc}$  且大致与银道面平行的中性气体环。其内边沿是很薄的环状电离区，环的平均密度至少要比位于  $R \lesssim 1.7\text{pc}$  区域内的中性气体密度高 10 倍<sup>[54,55]</sup>。研究表明<sup>[96]</sup>， $R = 2-5\text{pc}$  范围内的中性气体总质量为几百万太阳质量。特别是在该中性环中，温度和密度会随银心距的增大而迅速下降。如在  $R = 2\text{pc}$  处，温度  $T \gtrsim 400\text{K}$ ，密度为  $5 \times 10^4 \text{cm}^{-3}$ ；而到  $R = 4.5\text{pc}$  处，温度已减小到  $T \lesssim 300\text{K}$ ，密度下降到  $1.5 \times 10^4 \text{cm}^{-3}$ <sup>[96-98]</sup>。对这一区域的研究可以得出其体积充满因子约为  $0.05-0.1$ <sup>[96-98]</sup>，环物质是呈块状分布。体积充满因子低表明从中心来的紫外辐射能穿过该区域而到达更远的地方。

红外和微波观测为环区中性气体提供了详细的资料<sup>[40,98-100]</sup>。观测表明<sup>[40,98-100]</sup>：环整体的大尺度径向膨胀运动速度小于  $30\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ，但其中有些云块的运动看起来与圆运动有很大差别。另外，Gatley 等<sup>[98]</sup>的研究认为，环的向外膨胀速度约为  $50\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ，而且绕银心的转动速度是银心距的函数，不过在  $R = 2-4\text{pc}$  范围内却大致保持不变 ( $v_{\text{rot}} \approx 110\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ )。在  $R = 4\text{pc}$  处的速度分布是非常复杂的，这一复杂性表现在速度场具有双成分 [ $-110\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $-80\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ]<sup>[99]</sup>，而对于其中哪一个成分对应银河系自转速度尚不清楚。目前，对该环进行研究的最好模型是盘状环流模型，加之以转动因素为强扰动<sup>[7,55]</sup>。但是这一模型仍有一些不能克服的困难<sup>[7]</sup>。

正是由于上述的强扰动，才使得环得以维持<sup>[7]</sup>。中性气体中热的分子和原子云可能的加热机制来源于扰动引起的云际激波和因光电效应而释放出的紫外辐射<sup>[99,100]</sup>。

#### (2) 电离气体

在离银心  $1.7\text{pc}$  范围以内，绝大部分是电离气体，虽然可能仍然会有一些中性气体存在<sup>[98]</sup>。在电离气体中，电子的密度差异很大<sup>[55,77,80,82,89,101,102]</sup>。从自由-自由发射比例以及  $[\text{Ne II}]$  线和红外复合线的比例可以推出<sup>[55,77,101]</sup>，在叉臂中电子密度可达  $10^4-10^5 \text{cm}^{-3}$ 。而从另外一些谱线观测导出的其他一些地方具有相同温度的电子密度都不超过  $40\text{cm}^{-3}$ <sup>[56,80,82,89,102]</sup>。

关于银心区电离云的情况在一些评述文章中已有了很详细的介绍<sup>[1-8]</sup>。这里，我们仅指出该区域电离云最重要的两个性质：(i) 银心区电离云，如 SgrAW 中的 H II 区，与通常情况下的 H II 区在许多方面有明显的差别<sup>[4,54,57,58,77,101,103]</sup>，如尘埃的平均温度较高 ( $T_d = 200-300\text{K}$ )，缺少内禀的硅酸盐吸收，总的红外光度只比  $L_\alpha$  光度略大等等。关于这方面的问题，目前存在着好几种解释<sup>[54,57,77,101,103]</sup>；(ii) 电离云的空间分布和速度场<sup>[45,54,55,88,100]</sup>，如 SgrAW 延伸到中性环的内边沿，电离云的径向速度随银径的改变呈线性变化等等。

### (3) 径向流动

关于星际物质朝银心方向流入和流出的问题, 现在仍然是一个非常热门的研究课题。由于中性环内部气体的碰撞, 低角动量物质会向银心下落。在银心附近小区域内测得的物质运动速度证实了这一点<sup>[54,55]</sup>。目前, 从空腔中的物质质量导出的物质向银心的流入率约为  $10^{-3}$ — $10^{-2} M_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1}$ , 与中性环对环外物质的吸积率不一样<sup>[4,45,54,100]</sup>。许多人结合银心区的物理结构对这一问题作了深入的研究<sup>[2,54,55,104-106]</sup>。另一方面, 人们对物质从银心附近向外流出的状况也做了不少工作<sup>[73-80]</sup>。如 Hall 等<sup>[78]</sup>在现有观测基础上得到银心朝外的物质流出率为  $\sim 4 \times 10^{-3} M_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1}$ 。

## 四、IRS16 和 SgrA\* : $R \leq 0.1 \text{pc}$ 的物理状况

图 5 是 IRS16 中心  $10^{11}$  ( $0.5 \text{pc}$ ) 范围内的  $2.23 \mu\text{m}$  图和 SgrA\* 的射电复合图。图中“■”代表 SgrA\* 的位置; “●”代表 IRS16 的中心; “▲”代表 IRS16NW; “x”代表 IRS7; “+”代表变化的  $2 \mu\text{m}$  源。这方面的讨论在银心区研究中最为热烈<sup>[2,54,55,90,103,107,108]</sup>。Becklin<sup>[58]</sup>用月掩星法测量后指出, IRS 16 的西南端和中心区是致密的, 而 IRS 16 东北端是在离其中心  $C'' .5$  的距离上。Lo<sup>[2]</sup>指出中心致密源朝东西方向延伸, 长短轴之比大约是 2:1, 其性质与 M81 和 M104 中的核很相似。由于过去认为 SgrA\* 与 IRS16 的中心是重合的, 使得 IRS16 曾成为银心大质量黑洞最初的候选者。现在已经非常清楚, IRS16 和 SgrA\* 的中心并不重合<sup>[103,109]</sup>。Becklin<sup>[58]</sup>测量了 SgrA\* 相对于类星体的可能运动, 发现 SgrA\* 任何内禀的运动都小于  $40 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 这使得 SgrA\* 在银心附近并是一个大质量黑洞的可能性大大提高了。目前关于 SgrA\* 是否为大质量黑洞仍不能确定。Allen 和 Sanders<sup>[103]</sup>指出 SgrA\* 不是一个大质量黑洞, 而 Stein 和 Forrest<sup>[110]</sup>的观点认为 SgrA\* 的确是一个大质量黑洞。

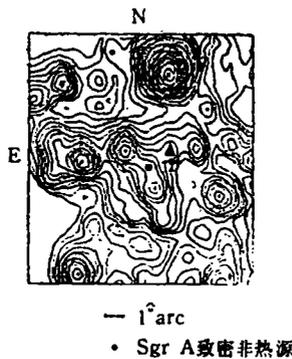


图 5 以 IRS16 为中心  $10^{\circ}$  范围的射电复合图

近期, Mastichiadis 和 Ozernoy<sup>[122]</sup>的研究却认为, 银河中心黑洞的质量不可能超过  $10^3 M_{\odot}$ 。为此, 人们仍在努力确定 SgrA\* 的准确位置并分析其他因素, 以便对这两种观点作出正确的判断。

## 五、结 束 语

随着本文开头提到的空间科学的不断发展, 有关银河系的研究又重新成为天体物理上研究的热点。对银心区外的银河系研究情况, 我们已经另文予以简单回顾<sup>[111]</sup>。虽然目前对银心区的研究在观测和理论上都取得了可喜的成绩, 但在天文学家面前仍然摆着许多问题。如银心区  $e^+e^-$  湮灭源的进一步观测; 银心区分子云速度分布的复杂性; 中心气体环中电子气体在复合线强度方面的疑难; 银心区气体转动速度随银心距减小而快速增大的可能机制问

题, IRS16 和 SgrA\* 结构的进一步观测; 银心是否一定有大质量黑洞存在问题等, 都等待我们今后努力去完成。古老的银河系其神秘之处确实是太多了。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Becklin, E. E. and Neugebauer, G., *Ap. J.*, 151 (1968), 145.
- [ 2 ] Lo, K. Y., *Science*, 233 (1986), 1394.
- [ 3 ] Oort, J. H., *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 15 (1977), 295.
- [ 4 ] Lacy, J. H., Townes, C. H. and Hollenbach, D. J., *Ap. J.*, 262 (1982), 120.
- [ 5 ] Townes, C. H. et al., *Nature*, 301 (1983), 661.
- [ 6 ] Brown, R. L. and Liszt, H. S., *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 22 (1984), 223.
- [ 7 ] Genzel, R. and Townes, C. H., *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 25 (1987), 377.
- [ 8 ] Riegler, G. R. and Blandford R. D., (eds.), *The Galactic Center*, AIP Conf. Proc. No. 83., New York: Am. Inst. Phys. (1982).
- [ 9 ] Frenk, C. S. and White, S. D., *M. N. R. A. S.*, 198 (1982), 173.
- [ 10 ] Glass, I. S. and Feast, M. W., *M. N. R. A. S.*, 198 (1982), 199.
- [ 11 ] Reid, M. J. ed al., in *IAU Symp. No. 115*, p. 554, (1987).
- [ 12 ] Reid, M. J., in *IAU Symp. No. 136*, p. 37, (1989).
- [ 13 ] Becklin, E. E. et al., *Ap. J.*, 219 (1978), 121.
- [ 14 ] Becklin, E. E. and Neugebauer, G., *Ap. J. Lett.*, 200 (1975), L71.
- [ 15 ] Allen, D. A., Hyland, A. R. and Jones, T. J., *M. N. R. A. S.*, 204 (1983), 1145.
- [ 16 ] Sanders, R. H. and Lowinger, T., *Ap. J.*, 177 (1972), 292.
- [ 17 ] Lebofsky, M. J., *A. J.*, 84 (1979), 324.
- [ 18 ] Güsten, R., Walmsley, C. M. and Pauls, T., *Astron. Astrophys.*, 103 (1981), 197.
- [ 19 ] Hiromoto, N. et al., *Astron. Astrophys.*, 139 (1984), 309.
- [ 20 ] Frogel, J. A., Terndrup, D. M. et al., *Ap. J.*, 353 (1990), 494.
- [ 21 ] Frogel, J. A., in *IAU Symp. No. 136*, p. 55, (1989).
- [ 22 ] Rich, R. M., in *IAU Symp. No. 136*, p. 71, (1989).
- [ 23 ] Backer, D. (ed.), *Proceedings of the Symposium on the Galactic Center in Honor of Charles. H. Townes*, New York: Am. Inst. Phys., (1987).
- [ 24 ] Bailey, M. E., *M. N. R. A. S.*, 190 (1980), 217.
- [ 25 ] Sellgren, K., in *IAU Symp. No. 136*, p. 477, (1989).
- [ 26 ] Haller, J. W. and Rieke, M. J., in *IAU. Symp. No. 136*, p. 485, (1989).
- [ 27 ] Matsumoto, T., Hayakawa, S. et al., in *The Galactic Center*, ed. by Riegler, G. R., Blandford, R. D., p. 48, New York, (1982).
- [ 28 ] Rieke, G. H., Telesco, C. M. and Harper, D. A., *Ap. J.*, 220 (1978), 556.
- [ 29 ] Rieke, G. H. and Lebofsky, M. J., in *Proceeding of the Symposium on the Galactic Center in Honor of Charles. H. Townes*, ed. by Riegler, G. R., Blandford, R. D., New York, p. 194, (1987).
- [ 30 ] Yusef-Zadeh, F., Morris, M. and Chance, D., *Nature*, 310 (1984), 557.
- [ 31 ] Seiradakis, J. H. and Lasenby, A. et al., *Nature*, 317 (1985), 697.
- [ 32 ] Tsuboi, M. et al., *A. J.*, 92 (1986), 819.
- [ 33 ] Sofue, Y. and Handa, T., *Nature*, 310 (1984), 568.
- [ 34 ] Liszt, H. S., *Ap. J. Lett.*, 293 (1985), L65.
- [ 35 ] Uchida, Y., Shibata, K. and Sofue, Y., *Nature*, 317 (1985), 699.
- [ 36 ] Liszt, H. S., Burton, W. B. and Vander Hulst, J. M., *Astron. Astrophys.*, 142 (1985), 237.
- [ 37 ] Snell, R. L. and Bally, J., *Ap. J.*, 303 (1986), 683.
- [ 38 ] Güsten, R. and Downes, D., *Astron. Astrophys.*, 87 (1980), 6.
- [ 39 ] Armstrong, J. T. and Barrett, A. H., *Ap. J. Suppl.*, 57 (1985), 535.
- [ 40 ] Lugten, J. B. et al., *Ap. J.* 306 (1986), 691.
- [ 41 ] Stark, A. A. et al., *NASA. Tech. Memo.*, p. 73, (1986).
- [ 42 ] Günten, R. et al., *Astron. Astrophys.*, 142 (1985), 381.
- [ 43 ] Gatley, I. et al., *Ap. J.*, 220 (1978), 822.
- [ 44 ] Hildebrand, R. H. et al., *Ap. J. Lett.*, 219 (1978), L101.
- [ 45 ] Ekers, R. D. et al., *Astron. Astrophys.*, 122 (1983), 143.

- [ 46 ] Ho, P. T. P. et al., *Ap. J.*, 288 (1985), 575.
- [ 47 ] Yusef-Zadeh, F., Telesco, C. M. and Decher, R., in IAU Symp. No. 136, p. 287, (1989).
- [ 48 ] Simons, D. A., Hodapp, K-W. and Becklin, E. E., *Ap. J.*, 360 (1990), 106.
- [ 49 ] Sandqvist, A., *Astron. Astrophys.*, 223 (1989), 293.
- [ 50 ] Ekers, R. D. et al., *Astron. Astrophys.*, 43 (1975), 159.
- [ 51 ] Sandqvist, A., *Astron. Astrophys.*, 33 (1974), 413.
- [ 52 ] Harrey, P. M., Campbell, M. F. and Hoffmann, W. F., *Ap. J. Lett.*, 205 (1976), L69.
- [ 53 ] Yusef-Zadeh, F. et al., *Ap. J. Lett.*, 300 (1986), L47.
- [ 54 ] Lo, K. Y. and Klaussen, M. J., *Nature*, 306 (1983), 647.
- [ 55 ] Serabyn, E. and Lacy, J. H., *Ap. J.*, 293 (1985), 445.
- [ 56 ] Lo, K. Y. et al., *Nature*, 315 (1985), 124.
- [ 57 ] Gezari, D. Y. et al., *Ap. J.*, 299 (1985), 1007.
- [ 58 ] Becklin, E. E., Gatley, I. and Werner, M. W., *Ap. J.*, 258 (1982), 134.
- [ 59 ] Lacy, J. H. and Achtermann, J. M., *Ap. J.*, 395 (1992), 166.
- [ 60 ] Pudritz, R. E., in IAU Symp. No. 136, p. 345, (1989).
- [ 61 ] Killcen, N. E. B. and Lo, K. Y., in IAU Symp. No. 136, p. 453, (1989).
- [ 62 ] Sandqvist, A., Karlsson, R. and Whiteoak, J. B., in IAU Symp. No. 136, p. 421, (1989).
- [ 63 ] Geballe, T. R. and Lugten, J. B., in IAU Symp. No. 136, p. 533, (1989).
- [ 64 ] Watson, M. G. et al., *Ap. J.*, 250 (1981), 242.
- [ 65 ] Niel, M. et al., *Ap. J. Lett.*, 356 (1990), L21.
- [ 66 ] Riegler, G. R. et al., *Ap. J. Lett.*, 248 (1981), L13.
- [ 67 ] Brown, B. L. and Leventhal, M., *Ap. J.*, 319 (1987), 537.
- [ 68 ] Bussard, R. W., Ramaty, R. and Drachman, R. J., *Ap. J.*, 228 (1979), 928.
- [ 69 ] Zurek, W. H., *Ap. J.*, 289 (1985), 603.
- [ 70 ] Skibo, J. G., Ramaty, R. and Leventhal, M., *Ap. J.*, 397 (1992), 135.
- [ 71 ] Yusef-Zadeh, F., in IAU Symp. No. 136, p. 462, p. 243, p. 457, (1987).
- [ 72 ] Fujimoto, M. and Sofue, Y., in IAU Symp. No. 140, p. 377, (1990).
- [ 73 ] Zylka, R., Mezger, R. G. and Wink, J. E., *Astron. Astrophys.*, 234 (1990), 133.
- [ 74 ] Sinha, R. P., *Astron. Astrophys.*, 69 (1978), 227.
- [ 75 ] Sellgren, K. et al., *Ap. J.*, 317 (1987), 881.
- [ 76 ] Sellgren, K. et al., *Ap. J.*, 359 (1990), 112.
- [ 77 ] Lacy, J. H. et al., *Ap. J.*, 241 (1980), 132.
- [ 78 ] Hall, D. N. B., Kleinmann, S. G. and Scoville, N. Z., *Ap. J. Lett.*, 260 (1982), L53.
- [ 79 ] Geballe, T. R. et al., *Ap. J.*, 316 (1987), 138.
- [ 80 ] Geballe, T. R. et al., *Ap. J.*, 284 (1984), 118.
- [ 81 ] Crawford, M. K. et al., *Nature*, 315 (1985), 467.
- [ 82 ] Mezger, P. G. and Wink, J. E., *Astron. Astrophys.*, 157 (1986), 252.
- [ 83 ] Habing, H. J., *Astron. Astrophys.*, 128 (1983), 230.
- [ 84 ] Winnberg, A., *Ap. J. Lett.*, 291 (1985), L45.
- [ 85 ] Frail, D. A., Cordes, J. M. and Diamond, P. J., *Ap. J.*, 396 (1992), 686.
- [ 86 ] Van Langevelde, H. J. et al., *Astron. Astrophys.*, 261 (1992), L17.
- [ 87 ] Lindqvist, M., Habing, H. J. and Winnberg, A., *Astron. Astrophys.*, 259 (1992), 118.
- [ 88 ] Allen, D. A., Hyland, A. R. and Hillier, D. J., *M. N. R. A. S.*, 244 (1990), 706.
- [ 89 ] Watson, D. M. et al., *Ap. J. Lett.*, 241 (1980), L43.
- [ 90 ] Henry, J. P., Depoy, D. L. and Becklin, E. E., *Ap. J. Lett.*, 285 (1984), 27.
- [ 91 ] Harvey, D. M., Campbell, M. F. and Hoftmann, W. F., *Ap. J. Lett.*, 241 (1981), L183.
- [ 92 ] Lester, D. F. et al., *Ap. J. Lett.*, 248 (1981), 109.
- [ 93 ] Genzel, R. et al., *Ap. J.*, 276 (1984), 551.
- [ 94 ] Gatley, I., Jones, T. J. and Hyland, A. R., *M. N. R. A. S.*, 210 (1984), 565.
- [ 95 ] Liszt, H. S. and Vander Hulst, J. M., *Astron. Astrophys.*, 126 (1983), 341.
- [ 96 ] Genzel, R. et al., *Ap. J.*, 297 (1985), 766.
- [ 97 ] Harris, A. I. et al., *Ap. J. Lett.*, 294 (1985), L93.
- [ 98 ] Gatley, I. et al., *M. N. R. A. S.*, 222 (1986), 299.
- [ 99 ] Serabyn, E. et al., *Astron. Astrophys.*, 169 (1986), 85.
- [ 100 ] Güsten, R. et al., *Ap. J.*, 318 (1987), 124.

- [101] Brown, R. L., Johnston, K. L. and Lo, K. Y., *Ap. J.*, 250 (1981), 155.  
[102] Herter, T. et al., *Ap. J. Lett.*, 287 (1984), L15.  
[103] Allen, D. A. and Sanders, R. M., *Nature*, 319 (1986), 191.  
[104] Aitken, D. K. et al., *M. N. R. A. S.*, 218 (1986), 363.  
[105] Lebofsky, M. J. et al., *Ap. J.*, 263 (1982), 672.  
[106] Quinn, P. J. and Sussman, G. J., *Ap. J.*, 288 (1985), 377.  
[107] Phinney, E. S., *Nature*, 348 (1990), 12.  
[108] Jauncey, D. L. et al., *A. J.*, 98 (1989), 44.  
[109] Storey, J. W. V. and Allen, D. A., *M. N. R. A. S.*, 204 (1983), 1153.  
[110] Stein, W. A. and Forrest, W. J., *Nature*, 323 (1986), 232.  
[111] 赵君亮, 束成钢, *天文学进展*, 11(1993), 224.  
[112] Cotera, A. S. et al., *Bull. Am. Astron. Soc.*, 24 (1992), 1262.  
[113] Cotera, A. S. et al., *Ap. J. Lett.*, 382 (1991), 19.  
[114] Mehringer, D. M. et al., *Ap. J.*, 401 (1992), 168.  
[115] Liszt, H. S., *Ap. J. Supp.*, 82(1992), 495.  
[116] Serabyn, E., Carlstron, J. E. and Scoville, N. Z., *Ap. J.* 401 (1992), L87.  
[117] Mattox, J. R. et al., *Bull. Am. Astron. Soc.*, No. 24, 1296(109, 05), (1992).  
[118] Purcell, W. R. et al., *Bull. Am. Astron. Soc.*, No. 24, 1296(109, 06), (1992).  
[119] Maloney, P. R., Hollenbach, D. J., Townes, C. H., *Ap. J.*, 401 (1992), 559.  
[120] Eckart, A. et al., *Nature*, 335 (1992), 526.  
[121] Robert, D. A. et al., *Ap. J.*, 366 (1991), L15.  
[122] Mastichiadis, A. and Ozeroy, L. M., *Bull. Am. Astron. Soc.*, No. 24, 1296(109, 04), (1992).

(责任编辑 舒似竹)

## Recent Progress in the Center Region of the Galaxy

Shu Chenggang Zhao Junliang

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academia of Sciences, Shanghai 200030)

### Abstract

A brief review of the recent studies on the most active field in Galactic astronomy, the Galactic center, is given. In this paper, we describe some important observational results and analyse the physical conditions (distribution and kinematics of the matter) in the central region of the Galaxy. Interesting problems about IRS16 and SgrA\* as well as the massive black hole in the region are also discussed briefly.