

恒星形成区 IC 5146 中年轻星的搜寻和性质分析*

肖 帆^{1,2} 王小龙³ 王 凡^{1,2} 房 敏^{1,2†} 张淼淼^{1,2}

(1 中国科学院紫金山天文台 南京 210023)

(2 中国科学技术大学天文与空间科学学院 合肥 230026)

(3 河北师范大学物理学院 石家庄 050024)

摘要 证认恒星形成区中的年轻星对于全面了解恒星形成过程至关重要. 研究使用 Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) 天体测量数据对 IC 5146 恒星形成区中的年轻星进行证认和分析. 首先使用 Gaia 天体测量数据对该区域中已知的年轻星候选体进行检验, 确认其中 181 个候选体是可靠的成员星; 基于这 181 个确认的成员星的视差和自行分布, 结合颜色-星等图, 进一步对覆盖 IC 5146 的天区进行系统性搜寻, 共找到 290 个成员星候选体, 其中 167 个为已知成员星, 123 个为新发现的成员星候选体. 新证认的成员星候选体和已知成员星相比, 年龄相当(都为 1 百万年), 但星周盘比例较低(10% 比 41%), 有光变的比例也低(15% 比 51%). 在空间分布上, 已知成员星以成团分布为主, 而新证认的成员星候选体分布比较散, 反映了在 IC 5146 恒星形成区存在成团形成和孤立形成两种恒星形成模式.

关键词 恒星: 形成, 视差, 自行, 原行星盘, 赫罗图和颜色星等图

中图分类号: P152; **文献标识码:** A

1 引言

恒星形成于分子云核, 绝大部分恒星都是成团形成的. 年轻星 (Young Stellar Object, YSO) 是指已进入原恒星阶段, 但未演化到主序阶段的恒星^[1]. 通过对恒星测光数据进行分析, 可以获得相应的能谱分布 (Spectral Energy Distribution, SED), 并将 YSO 按照能谱分布特征划分为 4 种类型^[2]: Class 0^[3]、I、II 和 III 型星^[4], 分别对应于年轻星形成过程中的不同阶段. 星周盘是环绕在恒星周围的物质盘, 年轻星周围的气体尘埃盘被称为“原行星盘”, 它由分子云核塌缩成恒星时角动量守恒而产生^[5]. 随着年轻星的演化, 原行星盘会慢慢消散.

在恒星形成区中, 对 YSO 进行全面搜索认证, 对测量年轻星群体的统计特性和估计恒星形成率非常关键^[6-7]. 年轻星天体一般都有很强的 X 射线发射^[8], 部分还存在来自星周物质的发射^[9]. 前人常利用这两种观测特征来搜寻年轻星天体, 当缺乏距离测量时, 年轻星候选体会受到非 YSO 源的污染, 如宽线活动星系核 (Active Galactic Nucleus, AGN)、恒星形成星系和渐近巨支 (Asymptotic Giant Branch, AGB) 恒星等^[10-13]. 随着 Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) 卫星数据的释放, 近邻恒星形成区的大量年轻星都有了精确的距离和自行信息, 结合这些天体的距离和自行信息, 也可以更准确地证认未知年

2024-08-29 收到原稿, 2024-11-27 收到修改稿

* 国家重点研发计划 (2023YFA1608000) 资助

† mfang@pmo.ac.cn

轻星体.

IC 5146恒星形成区, 由一个被B0V恒星BD+463474照亮的HII区(也称茧状星云)以及两条向西延伸的平行丝状暗云所组成^[14]. 在Gaia数据发布之前, 前人利用UBV (Ultraviolet-Blue-Visual)光度测定、光谱、红外光度、现代校准的绝对星等和颜色等方法分别计算了IC 5146的距离, 但并无统一的答案^[15-17]. IC 5146受到了多波段的观测研究^[15-16, 18-21], 并在该区域发现了大量YSO^[17, 22]. Herbig等^[17]在2002年对该云区进行了研究, 找到了380个IC 5146中的主序前年轻星候选体. Harvey等^[22]利用Spitzer望远镜上的IRAC (The Infrared Array Camera)和MIPS (The Multiband Imaging Photometer)相机对IC 5146区域、包括其长丝状暗云进行了观测研究. 通过颜色-星等图(Color-magnitude diagram, CMD)和双色图(Color-Color Diagram, CCD)确定了202个年轻星候选体, 其主要成团分布在茧状星云和西北区域两个较小的星团中. 本工作将基于以上候选年轻星样本, 结合Gaia天测数据, 对IC 5146恒星形成区中的YSO做进一步研究.

在本文中, 我们使用Gaia天体测量法和测光法来确定IC 5146分子云中的候选成员, 特别是在3个星团之外的剩余云区, 并使用ZTF (Zwicky Transient Facility)巡天数据^[23]、2MASS (The Two Micron All Sky Survey)和WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer)数据来获取这些成员的恒星特性. 我们在第2节中描述了这项工作中使用的数据集, 并在第3节中描述了对已知成员星样本的纯化以及筛选新搜寻的成员星并分析其性质. 在文章最后给出了我们的讨论和总结.

2 数据

本工作中对样本数据的搜寻基于Herbig等^[17]文中表1的380个IC 5146中的候选年轻星和Harvey等^[22]文中表5-7得到的202个候选年轻星. 利用Gaia、ZTF巡天以及2MASS和WISE数据集, 搜寻和证认YSO并且分析恒星性质.

2.1 Gaia数据集

盖亚(Gaia)卫星^[24]是欧洲航天局(European Space Agency, ESA)的第2代空间天体测量卫星.

Gaia的科学测量包括3个主要领域^[25]: 天体测量(测量恒星的位置、视差和自行), 光度测量(测量多个不同波段和多个历元的光度等)和光谱观测(获取视向速度和天体物理参数). Gaia的第3次观测数据发布(Gaia Data Release 3, Gaia DR3)提供了天体的高精度三角视差和自行, 利用视差可以分辨在不同距离上的恒星, 由自行分布可以剔除运动有很大差异的场星; 此外, 卫星还获得了测光数据, 可以用等龄线的拟合来证认年轻星.

本工作先将Harvey文章中202个年轻星候选体的坐标(见文献^[22]中的表5-7), 与Gaia DR3交叉匹配, 匹配半径为 $2''$. 并通过限定重整化单位质量误差(Renormalized Unit Weight Error, RUWE), 对Gaia数据进行数据质量筛选, 选择的筛选范围为 $RUWE < 1.4$ ^[26-27]. 由上初步获得了123个已知成员的高精度视差Parallax、总自行(Proper motion, pm)、赤经自行分量 pm_{α} 、赤纬自行分量 pm_{δ} 、G波段平均亮度 G 、 G_{BP} 波段平均亮度 G_{BP} 、 G_{RP} 波段平均亮度 G_{RP} 等恒星参数.

同样, 将Herbig文章^[17]中380个主序前候选体与Gaia目录交叉匹配($RUWE < 1.4$), 得到了320个候选源的天测和光度测量数据. 基于纯化后的已知年轻星样本, 我们利用Gaia DR3的天测和测光数据对IC 5146整个天区(赤经RA: 325° - 329° , 赤纬DEC: 46.867° - 48.067°)^[22]进行了搜寻和选择. 由已知源的视差、自行参数, 将搜索到的近26万个样本源初步筛选为2321个.

2.2 ZTF数据集

ZTF^[23]是一个正在运行中的时域巡天项目. 从2018年开始, 它利用安装在帕洛玛天文台上的一个48英寸的施密特望远镜(P48)对北天进行了有效的巡天观测^[28]. 该望远镜配备了一个视场为 47 deg^2 , 并且包含16块CCD (每一块CCD都是 $6 \text{ k} \times 6 \text{ k}$)的相机. 本工作选用了第18次公开的ZTF发布数据(ZTF DR18), 此次发布在第17次数据发布的基础上增加了2个月的观测数据, 其中公共部分的观测数据截止到2023年5月7日. 产品包括4960万张单曝光图像、17.4万张叠加图像、包含从这些图像中提取的768亿个源探测结果的附带源目录文件以及从单曝光图像中构建的47亿条光变曲线. ZTF

提供了g、r和i波段的测光信息, 我们从测光数据中选取r波段的平均星等值和星等弥散值, 并由此判断样本星是否具有光变.

2.3 2MASS和WISE数据集

本工作将使用2MASS和WISE的测光数据确定YSO周围是否存在星周盘.

2MASS使用两台1.3 m口径的天文望远镜, 在3个近红外波段J、H、K_s做巡天观测, 覆盖了全天的99.998%^[29]. 2MASS项目中J、H、K_s 3个波段对应的波长分别为1.25 μm 、1.65 μm 、2.17 μm , 观测极限星等分别为15.8 mag、15.1 mag和14.3 mag, 未饱和亮源的测光精度约1%–2%, 位置定标精度约100 mas. 由2MASS公布的全天探测数据中包含了410万幅图片, 4.71×10^8 个点源, 还有约160万个展源.

WISE是一台红外波段的空间望远镜, 在4个波段: W1 (3.4 μm)、W2 (4.6 μm)、W3 (12 μm)、

W4 (22 μm), 对覆盖天空99%的区域进行了观测. 我们使用AllWISE (Wide-field Infrared Survey Explorer All-Sky Data Release)提供的星表^[30], 该星表包含超过7亿源的探测.

3 研究结果

3.1 已知成员星候选体样本的纯化

通过将已知的Harvey年轻星候选体星表^[22]与Gaia目录交叉匹配, 得到了123个年轻星候选体的天体测量和测光信息, 下文简称为Harvey样本. 图1展示了对该样本的纯化过程. 对这123个源的视差分布做高斯拟合, 得到视差均值 $\varpi=1.3184$ mas (对应距离760 pc), 标准差 $\sigma=0.1320$ mas. 将视差限制在 3σ 范围内: $0.9224 \text{ mas} < \varpi < 1.7144 \text{ mas}$, 以减少视线方向上距离目标区域较远的前景/背景星的污染, 得到102个年轻星候选体. 筛选后样本的视差分布如图1 (a)所示.

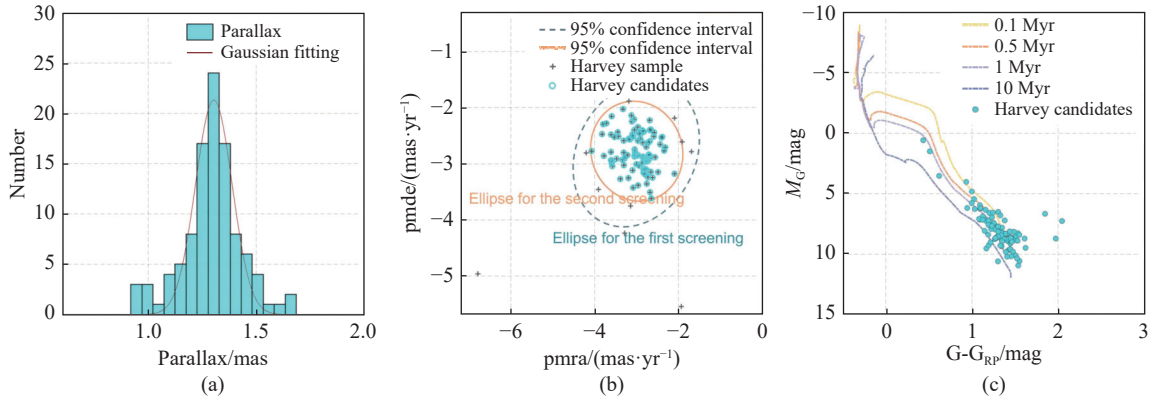


图 1 (a): 限定视差为 3σ 区间后, 样本(青色柱状)的视差分布直方图, 红色实线表示高斯拟合结果. (b): 筛选视差后样本(灰色十字)的自行分布, 蓝色虚线和橘色实线表示依次做二维高斯拟合的95%置信度椭圆, 取橘色椭圆内的源(青色圆圈)作为可靠成员. (c): 纯化后的年轻星候选源(青色圆点)的 $G - G_{RP}$ v.s. M_G 颜色星等图. 4条不同颜色的虚线代表PARSEC库的恒星等龄线^[31]. 大部分源都在10 Myr (深蓝色虚线)上方或附近.

Fig. 1 (a): histogram of the parallax distribution of the samples (cyan bars) after limiting the parallax to the 3σ interval, the red solid line indicates the Gaussian fitting result. (b): proper motion distribution of the samples (gray crosses) after screening the parallax, blue dashed line and orange solid line indicate the 95% confidence ellipse of the sequential 2D Gaussian fit, and the source within the orange ellipse (cyan circle) is taken as the reliable member. (c): $G - G_{RP}$ v.s. M_G CMD of the purified YSO candidates (cyan dots). The four dashed lines of different colors represent the stellar isochrones of the PARSEC library^[31]. Most of the sources are above or near 10 Myr (dark blue dashed line).

接下来依据自行来进一步识别可靠的星团成员^[2]. 图1 (b)为102个已知源的自行分布, 先对分布做二维高斯拟合, 利用均值、标准差和相关系数

构建95%置信椭圆, 初步剔除了椭圆外的4个源, 再对剩余源的自行分布做二维高斯拟合, 取2次拟合的95%置信椭圆中的91个源为可靠成员, 平均自行

由第2次高斯拟合的参数给出. 该过程排除了与星团具有较大运动差异的场星. 在图1 (b)中, 有91个成员的自行在95%置信椭圆区间范围内(图中的深蓝色虚线椭圆), 拟合得到的平均自行为: $\text{pmra} = -2.9891 \text{ mas} \cdot \text{yr}^{-1}$, $\text{pmde} = -2.7790 \text{ mas} \cdot \text{yr}^{-1}$, 将这些成员星的自行平均值作为星团的自行.

IC 5146恒星形成区的成员星大多处于主序前阶段, 本工作进一步利用等年龄线对91个已知年轻星候选体进行分析. 我们选择了由PARSEC库(the PAdova and tRieste Stellar Evolutionary Code)(Version2.0 S)^[31]提供的以Gaia DR3数据为基础的不同年龄阶段的理论等龄线. 选用Gaia DR3测光数据中的G和 G_{RP} 波段, 利用样本源的视差和视星等计算出G波段的绝对星等 M_G , 做出颜色($G - G_{\text{RP}}$)-星等(M_G)图, 选择0.1 Myr、0.5 Myr、1 Myr、10 Myr 4条等年龄线与样本源对比, 如图1 (c)所示. 从样本分布来看, 发现除了4个源外, 几乎所有已知年轻星候选体都在PARSEC恒星模型的10 Myr等龄线以上或附近. 需要注意的是这里的数据还没有进行消光改正, 考虑星际消光后样本在CMD上将会向坐标轴左上方偏移. 我们将在3.2节中对样本源的测光数据进

行消光校正.

将Herbig等^[17]主序前候选体星表与Gaia目录交叉匹配, 得到320个候选源的天体测量和光度测量信息, 下文简称Herbig样本. 从视差、自行、测光数据对该样本进行成员认证, 获得可信度更高的IC 5146成员星.

如图2所示, Herbig样本的自行、视差、年龄比Harvey样本更弥散, 说明该样本存在较大的污染, Harvey等^[22]使用红外超选出的年轻星候选体相比更加准确和可靠. 所以根据前文中对Harvey样本视差分布高斯拟合得到的视差均值 $\bar{\omega}$ 和标准差 σ , 保留Herbig星表中位于平均视差 3σ 范围内($0.9224 \text{ mas} < \omega < 1.7144 \text{ mas}$)的源, 将样本源筛选为170个. 保留自行在Harvey样本第2次高斯拟合的95%置信椭圆内的源, 恒星的自行分布如图2 (a)所示, 进一步将样本源缩小到127个, 样本视差分布如图2 (b)所示. 接着选用G和 G_{RP} 波段的测光数据, 算出绝对星等后做出颜色($G - G_{\text{RP}}$)-星等(M_G)图, 选择0.1 Myr、0.5 Myr、1 Myr、10 Myr 4条等年龄线, 如图2 (c)所示, 同样图中这些源也没有进行退红化处理.

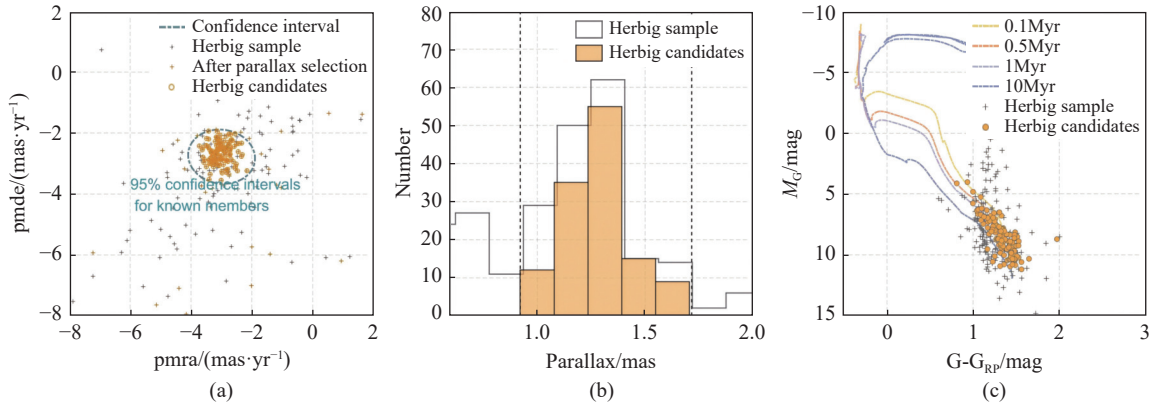


图 2 (a): 样本(灰色十字)的自行分布, 蓝色椭圆是95%置信度椭圆, 黄色十字是筛选视差后的源, 椭圆内的橙色圆圈是由自行挑选出的源. (b): 筛选视差、自行后的样本(黄色柱状)的视差分布, 两条虚线表示 3σ 区间, 灰色条形表示Herbig初始样本. (c): 纯化后样本星(黄色圆点)的 $G - G_{\text{RP}}$ v.s. M_G 颜色星等图. 4条不同颜色的虚线代表PARSEC^[31]理论等年龄线, 大部分候选源年龄小于10 Myr.

Fig. 2 (a): proper motion distribution of samples (gray crosses) after parallax screening, the blue ellipse is the 95% confidence ellipse, yellow crosses are sources after screening for parallax, and the orange circles inside the ellipse are sources selected by proper motion. (b): parallax distribution of the samples (yellow bars) after screening parallax and proper motion, the two dashed lines indicate the 3σ intervals, and the gray bars indicate the Herbig initial samples. (c): $G - G_{\text{RP}}$ v.s. M_G CMD of the sample stars (yellow dots) after purification. The four dashed lines of different colors represent the theoretical isochrones of PARSEC^[31], where most of the candidate sources are younger than 10 Myr.

最后将成员证认后的127个Herbig样本源与91个Harvey样本源进行合并, 得到181个样本源. 总的来说, 我们利用Gaia信息对Harvey等^[22]、Herbig等^[17]发布的IC 5146年轻星候选体进行了纯化, 最终得到该区域已知的181个候选YSO.

3.2 新成员星搜寻和成员星性质分析

在上一节中, 我们用Gaia目录交叉匹配了Herbig等^[17]和Harvey等^[22]发布的IC 5146年轻星星表, 获得了新的高精度天体测量和测光参数, 从而在视差、自行方面对YSO进行筛选, 得到了该区域中部分可靠的候选体. 但Harvey等^[22]利用Spitzer望远镜获得的YSO候选体星表参照了很多较早的研究成果, 是在一定的区域内对候选源进行搜索, 选源偏向于有星周盘的星体, 可能丢失了大量无盘的年轻星. 本工作利用Gaia数据, 重新对IC 5146整个天区开展系统性的搜寻, 寻找该区域

尚未被证认的年轻星天体.

我们选用IC 5146所在的整个矩形天区 ($325^\circ < \text{RA} < 329^\circ$, $46.867^\circ < \text{DEC} < 48.067^\circ$) 作为目标^[22], 并且限制 $\text{RUEW} < 1.4$, 利用Gaia DR3初步搜索得到约26万个源. 先利用已知成员星的视差分布范围, 对搜索到的样本的视差进行限制. 根据对Harvey样本视差分布高斯拟合得到的视差均值 $\bar{\omega} = 1.3184 \text{ mas}$ 和标准差 $\sigma = 0.1320 \text{ mas}$, 对于搜索到的样本, 限定视差均值的 3σ 范围 ($0.9224 \text{ mas} < \omega < 1.7144 \text{ mas}$), 将候选源筛选为24009个. 接着利用已知源的自行拟合参数, 对搜索到的源进行筛选. 选择保留 pmra 和 pmde 位于Harvey平均自行的95%置信椭圆范围内的2321个源, 其中有181个已知成员星候选体. 图3展示了对新搜索的源的初步筛选过程, 新候选源的自行分布如图3左图所示, 视差分布展示为图3右图.

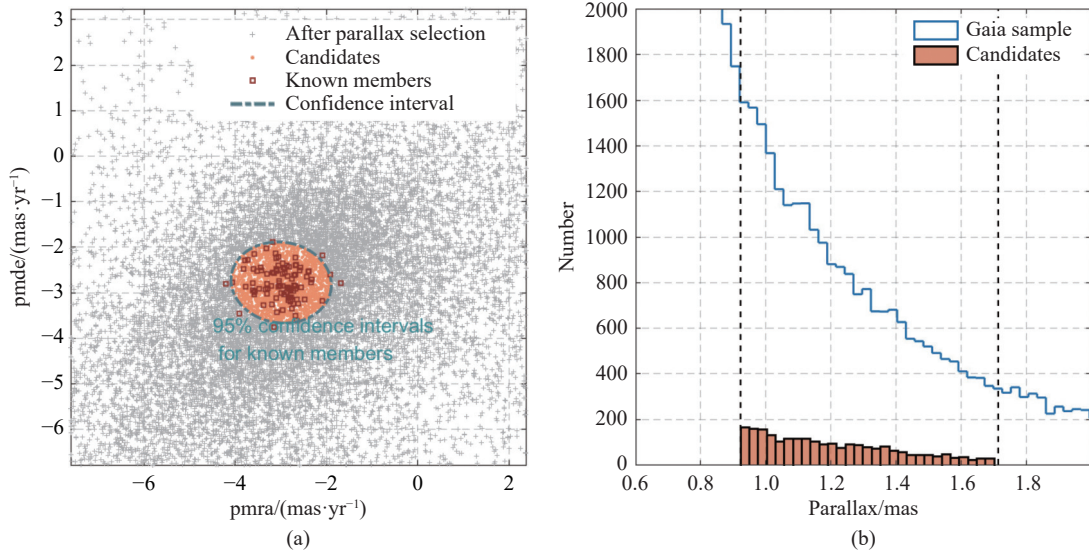


图 3 左: 筛选视差后样本(灰色十字)的自行分布, 蓝色椭圆是95%置信度椭圆, 橙色圆点是挑选出的源. 红色方块是纯化后的已知源. 右: 筛选视差、自行后的样本(棕色柱状)的视差分布, 两条虚线表示 3σ 区间, 蓝色直方图表示初始的Gaia样本源.

Fig. 3 Left: proper motion distribution of samples (gray crosses) after screening for parallax, blue ellipses are 95% confidence ellipses, orange dots are selected sources. Red squares are purified known sources. Right: parallax distribution of the samples (brown bars) after screening parallax and proper motion, the two dashed lines indicate the 3σ intervals, the blue histogram indicates the initial Gaia sample source.

光变也是年轻星的重要特征^[32-33]. 前人研究表明, YSO的光变比例高于主序星, 且有盘YSO比无盘YSO比例高^[30, 34-38]. ZTF时域巡天数据^[23]已经被

广泛用于研究大量样本的周期性光变^[39], 包括YSO的光变性质^[40]. 接下来, 我们将使用ZTF的多历元测光数据分析IC 5146分子云中恒星的光变特

性. 由于r波段测光比g波段好得多, 并且r波段的观测次数比g波段多, 因此本节中对样本的分析主要基于r波段测光.

我们提取了ZTF巡天在IC 5146天区的所有恒星的r波段光变曲线. 去除星表中快节奏(high-cadence)和catflags=32768 (排除云层影响或月光污染)的观测. 对于至少有20个测量值的源, 计算出r波段星等平均值 $\bar{r}$ 和标准偏差 σ_r . 将ZTF样本与搜索的样本(2140个候选源和181个已知源)交叉匹配, 得到1919个候选源和171个已知源的数据. 图4展示了样本源的光变曲线中平均星等 $\bar{r}$ 与星等弥散 σ_r 的关系, 背景灰度表示ZTF在IC 5146天区的所有源, 红色和蓝色分别表示新候选源与已知源. 接着将 $\bar{r}$ 划分为大小为0.32星等的不同星等仓, 计算出每个星等仓中所有恒星的 σ_r 的 3σ 区间内的平均值 $\bar{\sigma}_r$. 对不同 $\bar{r}$ 的 $\bar{\sigma}_r$ - $\bar{r}$ 关系进行内插, 在图4中青色实线表示星等弥散平均 $\bar{\sigma}_r$ 与平均星等 $\bar{r}$ 的趋势, 青色虚线表示 $2\bar{\sigma}_r$ - $\bar{r}$ 关系, 将 $\sigma_r > 2\bar{\sigma}_r$ 的恒星定义为有光变的源, 标记为图中实心符号(44个新源, 92个已知源).

星周盘受到中心恒星的加热从而发出红外辐射, 因而可以在红外波段观测到. 本项目选用WISE的W1、W2和2MASS的J、H波段进行红外超发射的认证, 从而估计星周盘比例^[41]. 将搜索到的样本(2140个候选源和181个已知源)与WISE和2MASS红外观测数据进行交叉认证, 使用的交叉半径为2", 得到样本源(179个候选源和100个已知源)在各波段的星等值. 此外样本源在WISE和2MASS数据中需要满足以下测光质量要求: W1、W2测光误差 σ_{W1} 、 σ_{W2} 小于0.2 mag, J、H测光误差 σ_J 、 σ_H 小于0.2 mag. 由Wang和Chen文中的table 3^[42], A表示消光星等, 下标为对应波段. 假设星际红化规律为 $A_J/A_V = 0.243$, $A_H/A_V = 0.131$, $A_{W1}/A_V = 0.039$, $A_{W2}/A_V = 0.026$. 在Pecaut和Mamajek文中表6提供了本征颜色^[43], 取光谱类型为M5型星, int表示本征颜色: $(J-H)_{\text{int}} = 0.70$ mag, $(H-W1)_{\text{int}} = 0.96$ mag, $(H-W2)_{\text{int}} = 1.52$ mag. 由红外色余: $E(H-W1)/E(J-H) = (A_H - A_{W1})/(A_J - A_H)$, 且 $E(J-H) = (J-H)_{\text{obs}} - (J-H)_{\text{int}}$, 可以得到M5型年轻星的红化方向, 即

消光规律线. 图5展示了挑选具有红外超辐射的源的方法, 消光线右边的恒星存在红外色余, 表明在这些波长的光球水平以上有大量多余的辐射, 这很可能是它们周围的圆盘发射的. 因此, 将这些源确定为带盘的恒星. 定义颜色测量误差 $\sigma_{H-W1} = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_{W1}^2}$ 同时满足下面条件的天体是带有盘的

$$\begin{cases} [H - W1] - \sigma_{H-W1} > \\ 0.82 \times ([J - H] + \sigma_{J-H}) + 0.39, \\ [H - W2] - \sigma_{H-W2} > \\ 0.94 \times ([J - H] + \sigma_{J-H}) + 0.86. \end{cases} \quad (1)$$

图5中右下角有些源被认为是没有盘的, 是因为没有同时满足(1)式中的两个条件. 在新找到的候选源中, 携带星周盘的成员占比为13/179. 在纯化后的已知样本中, 携带星周盘的成员占比为69/100.

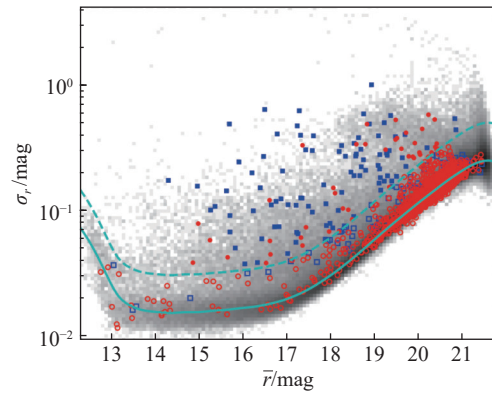


图4 光变曲线中平均星等与星等弥散的关系. 图中背景的灰度表示ZTF在IC 5146天区的所有源, 红色表示新找到的候选源, 蓝色表示已知源, 实心符号表示有光变的源, 空心符号表示没有光变的源. 图中青色实线表示没有光变的源的星等弥散与平均星等的趋势, 青色虚线表示我们用来挑选光变源的条件(实线表示的趋势乘以2).

Fig. 4 Mean magnitude versus magnitude dispersion in the light curve. The gray scale of the background indicates all the sources of the ZTF at IC 5146, the red color indicates the newly found candidate sources, the blue color indicates the known sources, the solid symbols indicate the sources with variables, and the hollow symbols indicate the sources without variables. The solid cyan line shows the trend of magnitude dispersion versus mean magnitude for sources without light variations, and the dashed cyan line shows the condition we used to select the light-variable sources (the trend shown by the solid line is multiplied by 2).

经过上述操作, 新搜索得到的Gaia样本在经

过视差和自行筛选后有2140个, 其中具有光变性质的源有44个, 携带星周盘的源有13个. 已知的源

有181个, 其中具有光变性质的源有92个, 携带星周盘的源有69个.

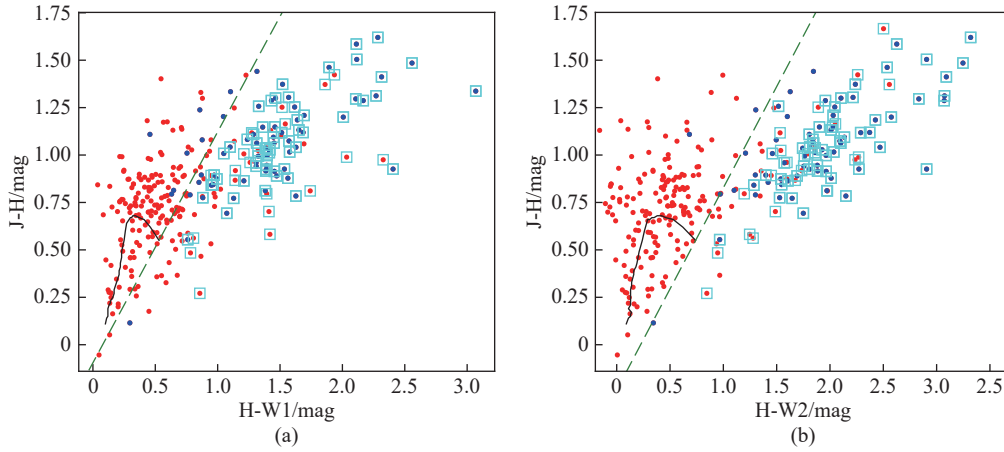


图 5 左: IC 5146 中年轻星候选体的 H-W1 v.s. J-H 双色图. 红点和蓝点分别表示新找到的候选源和已知源, 青色方框表示筛选出来的具有红外超射的年轻星候选体. 黑色实线是 Pecaut 和 Mamajek^[43] 的矮星位置, 绿色虚线对应于 Wang 和 Chen^[42] 的消光规律. 虚线作为盘状和无盘 YSO 之间的边界. 右: 与左侧相同, 但横坐标为 H-W2.

Fig. 5 Left: H-W1 v.s. J-H CCD of young star candidates in IC 5146. The red and blue dots indicate newly found candidates and known members, and the cyan boxes indicate screened YSO candidates with infrared excess emission. The black solid line is the dwarf position of Pecaut & Mamajek^[43], and the green dashed line corresponds to the extinction pattern of Wang & Chen^[42]. The dashed line serves as the boundary between disk and diskless YSO. Right: same as left, but with horizontal coordinates H-W2.

计算绝对星等后, 作出样本源的颜色 ($G_{\text{RP}}-J$)-星等 (M_G) 图. 接着利用 PARSEC^[31] 程序所提供的基于 Gaia 数据的不同年龄段的理论等年龄线进行拟合, 同上选择了 0.1 Myr、0.5 Myr、1 Myr 以及 10 Myr 的等年龄线数据. 如图 6 所示, 分别展示了已知源、光变源、有盘的源在 CMD 上的分布, 红色圆圈在图 6 (a) 中表示为重新搜索的 2140 个候选源, 在 (b) 和 (c) 中表示新源与已知源合并的 2321 个总样本源. 可以看出新找到的源大多位于 10 Myr 等龄线下方, 可能大部分是年老的场星. 在 3 个图中, 位于 10 Myr 上方的源在纯化后的已知年轻星候选体中有 95.6%, 在有光变性质的源中有 76.5%, 在有星周盘的源中有 95.1%.

根据上述样本占比在该等龄线上下方的较大差异性, 选取年龄 10 Myr 为分界线, 保留新候选源中位于等龄线右上方 (年龄 < 10 Myr) 的年轻源. 由于 PARSEC 恒星模型没有延伸到低于氢燃烧极限的质量, 我们人为地垂直扩展了 10 Myr 等时线, 以包括低质量的成员. 此外, 由于携带星周盘的一

些源在颜色上会受到吸积活动的影响而变蓝, 所以利用 CMD 选源时, 我们还保留了携带有星周盘的源, 由此一共选出 352 个源.

图 6 中显示的源并没有进行消光改正, 因此可能存在一定的偏差, 我们对选出来的源进一步进行消光改正, 以确定其是否为真的年轻星样本. 这些源基本都没有光谱数据, 这里我们利用多波段数据进行消光改正. 除了 Gaia DR3 的星表外, 我们搜寻了其在 2MASS、AllWISE、Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System) DR1 星表中的测光. 对于 Pan-STARRS DR1 星表中缺失的源或缺少某些波段测光的源, 我们进一步搜寻了 SDSS (Sloan Digital Sky Survey) DR16 星表测光和 Gaia DR3 合成星表中的 SDSS 的测光, 并利用 Tonry 等人给出的不同测光系统之间的转换关系, 将 SDSS 测光星等转换成 Pan-STARRS 的测光星等^[44]. 对于选出来的 352 源, 一共有 317 个源具有从光学到中红外的测光, 可以进行消光改正.

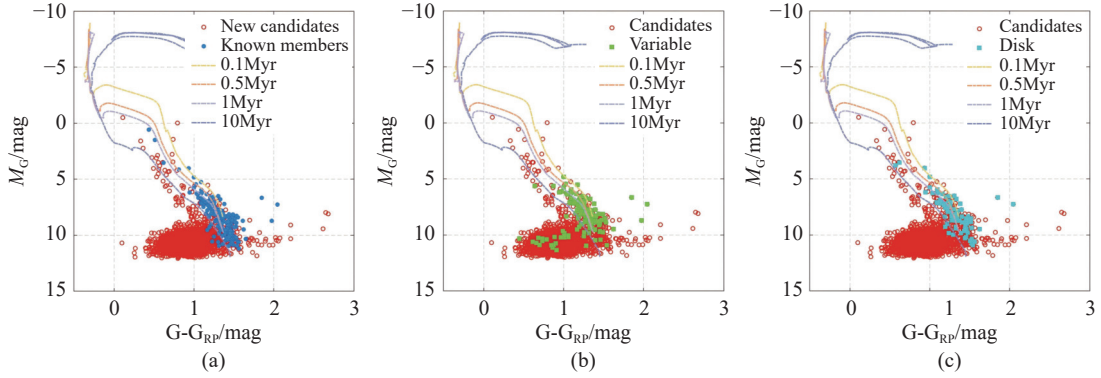


图 6 (a): 新搜索的2140个源(红色圆圈)与纯化后的已知源(蓝色圆点)的 $G-G_{RP}$ v.s. M_G CMD. (b): 总样本源(红色圆圈)与其中具有光变性质的源(绿色方块)的CMD. (c): 总样本源(红色圆圈)与其中具有星周盘的源(青色方块)的CMD. 4条虚线代表PARSEC库的恒星理论等年龄线.

Fig. 6 (a): $G-G_{RP}$ v.s. M_G CMD of the 2140 newly searched sources (red circles) v.s. the purified known sources (blue dots). (b): CMD of the total sample sources (red circles) v.s. those of them with light-variable properties (green squares). (c): CMD of the total sample sources (red circles) v.s. those of them with circumstellar disks (cyan squares). The four dashed lines represent the theoretical isochrones of the stars in the PARSEC library.

此外, 我们利用Pickles的恒星光谱库中的主序星光谱(主序星和主序前恒星的本征颜色比较接近^[45])生成不同消光值下, 观测到的颜色. 计算中, 我们一共使用了11组颜色, 包括 $G-G_{RP}$ 、 $J-G_{RP}$ 、 $H-G_{RP}$ 、 K_s-G_{RP} 、 $W1-G_{RP}$ 、 $W2-G_{RP}$ 、 $g_{ps1}-G_{RP}$ 、 $r_{ps1}-G_{RP}$ 、 $i_{ps1}-G_{RP}$ 、 $z_{ps1}-G_{RP}$ 和 $y_{ps1}-G_{RP}$. 通过比较单个源观测到的颜色和计算得到的颜色, 使用最小卡方法, 得到其最佳消光值. 对于存在星周盘的年轻星, 由于盘存在红外超发射, 会影响消光估计, 因此我们在估计拥有星周盘的年轻星的消光时只使用了8组颜色, 排除了 K_s-G_{RP} 、 $W1-G_{RP}$ 、 $W2-G_{RP}$ 、 $g_{ps1}-G_{RP}$ 4组颜色.

图7展示了消光改正后的CMD图. 可以看到, 消光改正后, 一些源移动到了10 Myr的等龄线的下方. 这些源里面有一些存在星周盘, 考虑到其测光可能存在很强的光变, 不同星表的观测时间并不一致, 利用其组合得到的颜色会由于光变产生很大的偏差, 得到消光值可能存在一定的问题. 此外, 当盘倾角较大时, 观测的天体发射主要来自于盘的散射, 其颜色偏蓝光度偏低. 因而在这篇文章中我们保留了这些源, 只排除了27个没有星周盘的源.

通过上述步骤, 我们最终得到的样本源数为290个, 其中新找到的候选成员有123个(红色圆点), 已知的年轻星候选成员167个(蓝色圆点). 在附录表A1中, 我们列出了这些候选年轻星的天体

测量(坐标、视差、自行)和光度测量(消光改正后的 G 星等及 $G-G_{RP}$ 颜色)信息, 表上还标注出了已知星表中的YSO和具有光变性质或具有星周盘的恒星.

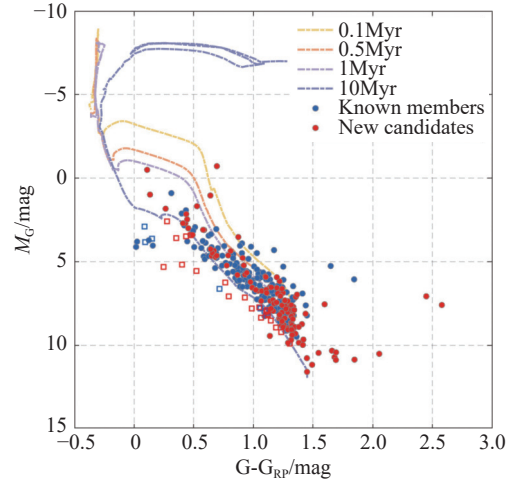


图 7 经过消光改正的 $G-G_{RP}$ v.s. M_G CMD. 红色代表新找到的候选源, 蓝色代表已知源, 实心圆点代表挑选出的年轻星, 空心方块代表舍弃的源. 挑选条件为: 位于10 Myr理论等年龄线右上方或具有盘.

Fig. 7 $G-G_{RP}$ v.s. M_G CMD after extinction correction. Red represents newly found candidates, blue represents known sources, solid dots represent selected YSO, and hollow squares represent discarded sources. Selection criteria are: being to the upper right of the 10 Myr isochron or having disk.

4 讨论

本项工作是基于Gaia点源星表对IC 5146的进一步详细研究. 通过成员资格评估, 我们对利用Gaia搜索IC 5146整个天区得到的近26万个样本进行了筛选, 最终找到290个年轻恒星候选源, 其中新找到的和已知候选成员分别为123个和167个. 将成员星在CMD上的位置与理论等年龄线进行对比, 从图7中可以看出大多数成员年龄分布在0.1–10 Myr之间. 图8中拟合了两个样本的平均年龄, 通过PARSEC库的等年龄线拟合, 如绿色实线所示, 我们估计新找到的候选源平均年龄约为1 Myr, 已知源平均年龄约为1 Myr, 两个样本的平均年龄基本相同. 由图8目视检查可知新找到的

YSO候选源年龄分布更加集中, 基本严格分布在0.5–10 Myr之间, 而已知成员的年龄更为弥散. 在新找的候选成员中, 10%(13/123)存在星周盘, 12%(15/123)存在ZTF光变. 已知的候选成员中, 上述比例分别为41%(69/167)和51%(85/167). 存在星周盘的年轻星更容易发生光变^[34–38], 这也反映在这两组样本的星周盘和光变比例的一致性上. 从比例上可以看出, 早期的成员星搜寻更偏向有星周盘的年轻星, 明显遗漏了无星周盘的年轻星样本, 我们的工作弥补了这一缺失. 还需要注意的是, 前文中认证的已知年轻星候选体有181个, 而最后搜索得到的290个YSO中只包含167个已知源, 是因为我们将消光改正后的CMD中年龄大于10 Myr且没有盘的14个源筛选除了.

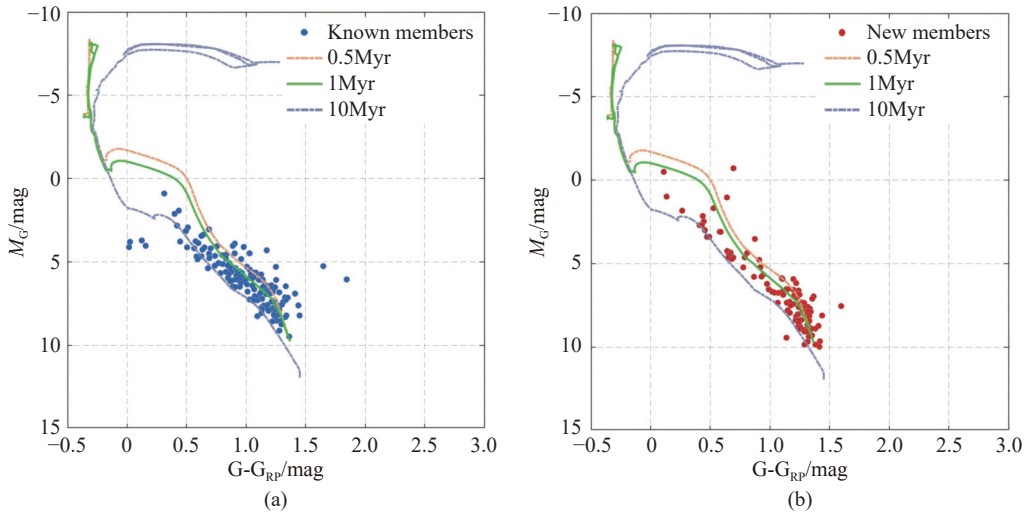


图 8 左: 由样本中已知源的CMD分布拟合得到的等龄线(绿色实线). 右: 由样本中新候选源的CMD分布拟合得到的等龄线(绿色实线).

Fig. 8 Left: isochrones obtained by fitting the CMD distribution of the known sources in the sample (green solid line). Right: isoarchies obtained by fitting the CMD distribution of the new candidate sources in the sample (green solid line).

图9展示了本工作得到的290个年轻星样本的空间分布, 背景为Planck 353 GHz强度图(对应恒星形成区的物质分布). 图中蓝色圆圈表示重新搜索得到的成员星候选体, 橙色表示纯化后的已知YSO成员, 红色加号表示具有光变性质的源, 青色方框表示携带星周盘的源. 图像左侧的YSO较为集中, 恒星在背景物质聚集区域以一个密集的星团形式分布. 图像右侧的YSO相对分散, 外围形成

了类似星系悬臂的结构, 且悬臂处的气体和尘埃较为稀疏. 在背景物质分布较为密集的区域, 除了3个前人已认证的星团外(图9中绿色方框), 还存在一个致密的核区域(暗红色方框区域), 目前尚不存在活跃的恒星形成活动. 可以看到, 相比较于前人的工作, 除了3个星团核心的可靠成员, 我们新认证的年轻星大部分位于星团的外围分子云区域, 以孤立的恒星形成为主.

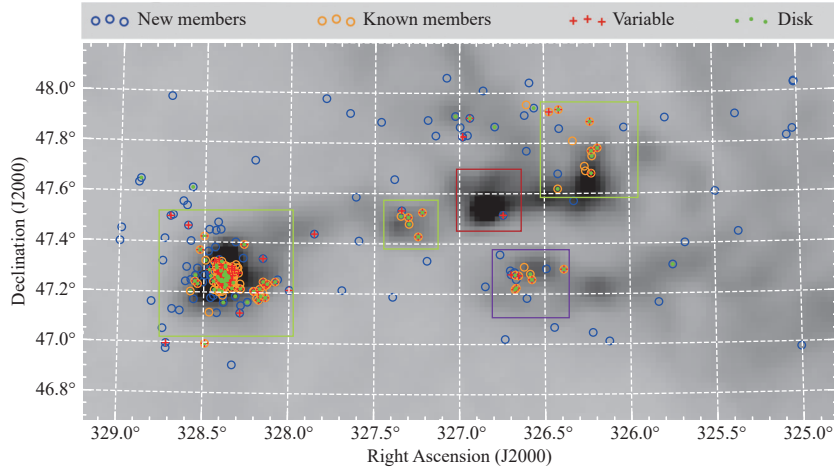


图 9 IC 5146 分子云中已知成员(橙色圆圈)和新候选成员(蓝色圆圈)的空间分布, 叠加在 Planck 353 GHz 强度图上. 图中红色加号标注了有光变性质的源, 绿色圆点表示有盘的源. 值得注意的是, 在本项工作中有大部分新候选成员分布在已知的 3 个年轻星团之外的整个云中.

Fig. 9 Spatial distribution of known members (orange circles) and new candidates (blue circles) of the IC 5146 molecular cloud, overlaid on the Planck 353 GHz intensity map. The red plus signs in the map mark the sources with variable properties, and the green dots indicate the sources with disks. It is noteworthy that most of the new candidates in this work are distributed throughout the cloud beyond the three known young clusters.

我们按照 Casertano 等^[46]的方法计算单个 YSO 的恒星表面密度

$$\Sigma = \frac{n-1}{\pi r_n^2}$$

其中 n 是第 n 个最近的恒星, r_n 是到第 n 个最近的恒星的距离. 我们采用 $n=6$ 作为表面密度参考, 与 Gutermuth 等^[47]使用的相同. 得到的两个 YSO 样本的恒星表面密度分布如图 10 所示. 已知成员和新候选成员的中位密度分别为 53.42 pc^{-2} 和 6.28 pc^{-2} . 已知成员的恒星表面密度比新找到的要高一些, 结合图 9 可以看出新找到的年轻星更加分散, 大多均匀地分布在分子云中. 而前人的搜索大多集中在该区域的星团上.

Gaia DR3 的星表可以完备到 $G \approx 19-20 \text{ mag}$ 的范围^[48-49], 采用 $G = 19 \text{ mag}$ 作为我们样本的完备星等, 考虑到分子云的距离约 760 pc, 这个亮度对应的绝对星等为 $M_G = 9.6 \text{ mag}$. 使用 PARSEC 恒星演化模型^[31], 并考虑到 IC 5146 中的 YSO 主要分布在 0.1 到 10 Myr 之间, 并且在大约 1 Myr 的地方有一个聚集(见图 7 中的 CMD), 这个绝对星等对应的恒星质量大约是 $0.1 M_\odot$. 使用 Chabrier^[50]文中的初始质量函数 (Initial Mass

Function, IMF), 将积分下限设为 $0.1 M_\odot$, 积分上限设为 $80 M_\odot$, 并且考虑到我们的样本中有 211 个源亮于 19 mag, 我们得到 IC 5146 中总的恒星质量为 $M_{\text{star}} \approx 178 M_\odot$. Johnstone 等^[51]通过消光的方法得到 IC 5146 分子云的质量为 $M_{\text{cloud}} = 16000 M_\odot$. 进而我们得到分子云中的恒星形成效率 (Star formation efficiency, SFE) 为 $M_{\text{star}} / (M_{\text{star}} + M_{\text{cloud}}) \approx 1.1\%$. 这个值大约是 Harvey 文章结果的 2 倍^[22], 这主要是因为我们证认了大量弥漫分布的 YSO, 大大增加了 IC 5146 中的 YSO 样本.

5 总结

我们利用 Gaia DR3 的天体测量数据、ZTF 时域巡天数据以及 AllWISE 红外观测数据, 对 IC 5146 分子云中的年轻星进行了搜索, 并计算了年轻星样本的光变和星周盘比例. 本工作也研究了已知年轻星和新认证的年轻星成员的年龄特征和空间分布差异. 本工作的主要结果总结如下:

(1) 基于 Harvey 等^[22]和 Herbig 等^[17]总结的 YSO 成员样本, 利用 Gaia 天体测量法对 IC 5146 分子云中的已知年轻星候选体进行了认证, 确定了 181 个可靠成员星. 该样本的平均视差为 1.3184

mas, 平均自行: $\text{pmra} = -2.9891 \text{ mas} \cdot \text{yr}^{-1}$, $\text{pmde} = -2.7790 \text{ mas} \cdot \text{yr}^{-1}$.

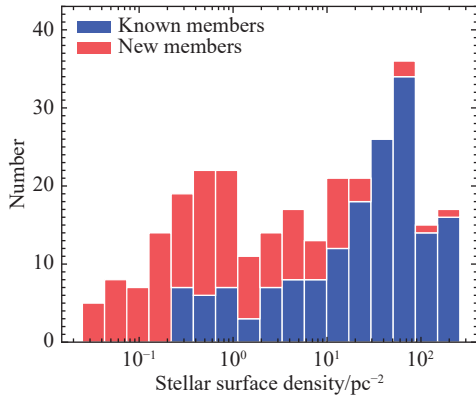


图 10 两个样本的恒星表面密度柱状图, 红色条形表示新的123个候选成员、蓝色条形表示167个已知成员. 两个样本加起来就是前人和本工作在 IC 5146 天区中找到的全部年轻星候选源.

Fig. 10 Histograms of the stellar surface densities of the two samples, with the red bars indicating the 123 new candidate members and the blue bars indicating the 167 known members. The two samples together represent the total number of YSO candidates found in the IC 5146 sky region by the previous and present work.

(2)通过Gaia DR3的高精度视差、自行、测光数据, 重新搜寻IC 5146整个云区并进行成员证认, 获得了290个具有共同的距离、运动和年龄的年轻星候选源(已知源167个, 新源123个).

(3)使用ZTF巡天, 由平均星等与星等弥散值的关系标记出100个具有光变性质的源. 结合AllWISE点源目录, 由红外超辐射标记出82个携带星周盘的源. 新源中具有更多无盘、无光变的恒星.

(4)对距离和消光校正后的颜色-星等分布拟合等年龄线, 结果显示两者平均年龄都近似为1 Myr, 新源年龄分布更加集中.

(5)观察样本源的空间分布, 发现前人的搜索大多集中在该区域的星团上. 结合恒星表面密度的计算结果, 已知成员的恒星表面密度比新找到的要高一些, 新找到的年轻星更加分散, 大多均匀地分布在分子云中.

(6)使用Chabrier^[50]文中的IMF, 计算出IC 5146区域的恒星总质量 $M_{\text{star}} \approx 178 M_{\odot}$. 根据Johnstone等^[51]的消光测量结果, 得到该分子云的

恒星形成效率约为1.1%, 是之前研究结果的2倍.

我们对IC 5146的研究结果表明, 除了我们已知的少量年轻星外, 可能有更多的候选成员未被观测到. 从统计上看, 相比之前Harvey等^[22]和Herbig等^[17]所发布的候选源(3个星团核心的可靠成员), 我们新证认的年轻星大部分位于星团的外围分子云区域.

在以前的YSO搜索工作中, 主要是根据红外超辐射来挑选出年轻星候选体, 但总会受到非YSO源的污染, 丢失了许多没有红外超辐射的年轻星. Gaia星表作为搜索年轻星、探索年轻星的演化状态的有力工具, 使得人们对于恒星形成有了进一步的了解.

致谢 感谢审稿人对文章提出的宝贵建议, 使得文章的质量有了显著的提高. 感谢Gaia数据库的协助.

参考文献

- [1] Schulz N S. From Dust to Stars. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 328-329
- [2] 谢安琪, 齐朝祥. 天文学进展, 2018, 36: 12
- [3] Andre P, Ward-Thompson D, Barsony M. *ApJ*, 1993, 406: 122
- [4] Lada C J. *ApJ*, 1984, 287: 610
- [5] Williams J P, Cieza L A. *ARA&A*, 2011, 49: 67
- [6] Young K E, Young C H, Lai S P, et al. *AJ*, 2015, 150: 40
- [7] Mercimek S, Myers P C, Lee K I, et al. *AJ*, 2017, 153: 214
- [8] Stelzer B, Preibisch T, Alexander F, et al. *A&A*, 2009, 537: A135
- [9] Harvey P, Merin B, Huard T L, et al. *AJ*, 2007, 171: 447
- [10] Astropy Collaboration, Robitaille T, Tollerud E, et al. *A&A*, 2013, 558: A33
- [11] Manara C F, Prusti T, Comeron F, et al. *A&A*, 2018, 615: L1
- [12] Herczeg G J, Kuhn M A, Zhou X, et al. *AJ*, 2019, 878: 111
- [13] Li Z H, Horowitz B, Cai Z, et al. *ApJ*, 2021, 916: L20
- [14] Lada C J, Lada E A, Dan P C, et al. *ApJ*, 1994, 429: 694
- [15] Walker M F. *ApJ*, 1959, 130: 57
- [16] Elias J H. *ApJ*, 1978, 223: 859
- [17] Herbig G H, Dahm S E. *AJ*, 2002, 123: 304

- [18] Sargent A I, van Duinen R J, Fridlund C V M, et al. *ApJ*, 1981, 249: 607
- [19] Wilking B A, Harvey P M, Joy M, et al. *AJ*, 1984, 89: 496
- [20] Dobashi K, Yonekura Y, Mizuno A, et al. *AJ*, 1992, 104: 1525
- [21] Forte J C, Orsatti A M. *ApJS*, 1984, 56: 211
- [22] Harvey P M, Huard T L, Jørgensen J, et al. *AJ*, 2008, 680: 495
- [23] Kulkarni S R. *ATel*, 201811266
- [24] Lindegren L, Perryman M A, Bastian U, et al. *A&AS*, 1996, 116: 599
- [25] Gaia Collaboration, The Gaia mission. *A&A*, 2016, 595: A1
- [26] Lindegren L, Klioner S. A, Hernández J, et al. *A&A*, 2021, 649: 35
- [27] Lindegren L, Hernandez J, Bombrun A, et al. *A&A*, 2018, 616: 25
- [28] Masci F J, Laher R R, Rusholme B, et al. *PASP*, 2019, 131: 18003
- [29] Skrutskie M F, Cutri R M, Stiening R, et al. *AJ*, 2006, 131: 1163
- [30] Wright E L, Eisenhardt P R M, Mainzer A K, et al. *IPAC*, 2019, 140: 1868
- [31] Bressan A, Marigo P, Girardi L, et al. *MNRAS*, 2012, 427: 127
- [32] Joy A H. *ApJ*, 1945, 102: 168
- [33] Joy A H. *PASP*, 1946, 58: 244
- [34] Carpenter J, Hillenbrand L, Skrutskie M, et al. *AJ*, 2001, 121: 3160
- [35] Makidon R B, Rebull L M, Strom S E, et al. *AJ*, 2004, 127: 2228
- [36] Morales-Calderón M, Stauffer J R, Hillenbrand L A, et al. *ApJ*, 2011, 733: 50
- [37] Rebull L M, Cody A M, Covey K R, et al. *AJ*, 2014, 148: 92
- [38] Park W, Lee J E, Contreras P C, et al. *ApJ*, 2021, 920: 132
- [39] Chen X, Wang S, Deng L, et al. *ApJS*, 2020, 249: 18
- [40] Hillenbrand L A, Kiker T J, Gee M, et al. *AJ*, 2022, 163: 263
- [41] Koenig X P, Leisawitz D T, Benford D J, et al. *AJ*, 2012, 744: 130
- [42] Wang S, Chen X. *ApJ*, 2019, 877: 116
- [43] Pecaut M J, Mamajek E E. *ApJS*, 2013, 208: 9
- [44] Tonry J, Stubbs W, Lykke K, et al. *ApJ*, 2012, 750: 99
- [45] Fang M, Kim J, Pascucci I, et al. *AJ*, 2017, 153: 188
- [46] Casertano S, Hut P. *ApJ*, 1985, 298: 80
- [47] Gutermuth R A, Megeath S T, Myers P C, et al. *ApJS*, 2009, 184: 18
- [48] Boubert D, Everall A. *MNRAS*, 2020, 497: 4246
- [49] Fabricius C, Luri X, Arenou F, et al. *A&A*, 2021, 649: 25
- [50] Chabrier G. *PASP*, 2003, 115: 763
- [51] Johnstone D, Ciccone S, Kirk H, et al. *ApJ*, 2017, 836: 132

Search and Property Analysis of Young Stellar Objects in the Star-forming Region IC 5146

XIAO Fan^{1,2} WANG Xiao-long³ WANG Fan^{1,2} FANG Min^{1,2} ZHANG Miao-miao^{1,2}

(1 Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210023)

(2 School of Astronomy and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

(3 Department of Physics, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024)

ABSTRACT The identification of young stellar objects in star-forming regions is essential for a comprehensive understanding of the star formation process. In this study, Gaia astrometric data are used to identify and analyze young stellar objects in the IC 5146 star-forming region. Firstly, the known YSO (Young Stellar Object) candidates in the region are examined using Gaia astrometric data, and 181 of them are confirmed to be reliable member stars. Based on the parallax and proper motion of these 181 confirmed stars, combined with the color-magnitude diagrams, further systematic searches are conducted in the sky region covering IC 5146, and a total of 290 member star candidates are found, of which 167 are known member stars and 123 are newly discovered member star candidates. Compared with the known member stars, the newly identified member star candidates are of comparable age (both 1 million years old), but have a lower proportion of circumstellar disks (10% v.s. 41%) and a lower proportion of light variables (15% v.s. 51%). In terms of spatial distribution, the known member stars are predominantly clustered, whereas the newly identified member candidates are scattered, reflecting

the existence of both cluster-forming and isolation-forming star-forming modes in the star-forming region IC 5146.

Key words stars: formation, parallaxes, proper motions, protoplanetary disks, Hertzsprung-Russell and C-M (color-magnitude) diagrams

附录

在表 A1 中列出了本工作得到的 IC 5146 分子云中 290 个年轻星候选体的性质.

表 A1 IC 5146 分子云中的年轻星候选体性质
Table A1 Properties of YSO candidates in the IC 5146 molecular cloud

DR3Name	RA (J2000)/°	DEC (J2000)/°	Parallax/mas	pmra/(mas yr ⁻¹)	pmde/(mas yr ⁻¹)	M_G /mag	G_{RP} /mag	Known	Var	Disk
1974520195393560064	328.3306323	46.91160344	1.3713	-2.518	-2.687	9.30751238	1.352227	N	N	N
1975977804212750720	328.7181171	46.97539103	1.346	-1.985	-2.855	8.435490299	1.240089	N	N	N
1977347800009206144	325.0038827	46.9806942	1.203	-2.803	-3.153	4.490330137	0.656027	N	N	N
1976024743919112960	328.7173983	46.99574179	1.3183	-2.101	-2.474	6.74534426	1.038658	N	Y	N
1977658927425534976	326.1231604	47.01143863	0.9482	-3.311	-2.823	10.42676975	1.693024	N	N	N
1974679285286834560	326.7335916	47.01994314	1.1251	-2.825	-3.288	7.880583623	1.31916	N	N	N
1977659236663438976	326.2195572	47.04596707	1.2018	-2.461	-2.828	10.774933	1.448359	N	N	N
1976025529887657216	328.739209	47.05425578	1.4348	-2.838	-2.673	9.68249984	1.316669	N	N	N
1977679165318483200	326.4446793	47.06704247	1.3261	-2.611	-2.434	1.828931375	0.26381	N	...	N
1974540746818849792	328.422474	47.11821297	1.2544	-2.832	-3.182	4.362362227	0.809045	N	N	N
1974542739683523584	328.2868608	47.11834384	1.3324	-2.628	-2.885	4.34195812	0.670216	N	Y	N
1976029515617471232	328.6405787	47.12622498	1.1646	-2.151	-2.795	7.819560929	1.272565	N	N	N
1976029721775901568	328.6856101	47.13188183	1.1264	-2.295	-3.302	8.715228209	1.319245	N	N	N
1974543388223619456	328.2827062	47.14812683	1.3218	-3.038	-3.042	8.91631674	1.249438	N	...	N
1974541807669173760	328.3840926	47.15973782	0.9453	-3.129	-2.701	7.887925289	1.341986	N	N	Y
1976028214252785280	328.8065661	47.16145025	1.2918	-2.722	-2.757	2.468498401	0.444688	N	...	N
1974543834893265152	328.2435929	47.16207716	1.7111	-2.829	-3.065	9.443806956	1.138253	N	N	Y
1977675450168278144	325.832818	47.1658017	1.2771	-2.439	-3.41	9.98161352	1.414129	N	N	N
1976042297439226752	328.559609	47.17185521	1.4796	-3.036	-2.26	8.382551613	1.263468	N	N	N
1974731683882359296	328.1728488	47.17369198	1.235	-2.909	-3.108	7.598829788	1.318251	N	N	N
1974731683885784576	328.1760955	47.17643309	1.6253	-2.472	-3.312	9.06935768	1.32083	N	N	N
1974542018129163264	328.4591266	47.17749939	1.3408	-2.559	-3.283	4.777052006	0.909629	N	N	N
1974544801267969152	328.3862444	47.17981606	1.2135	-2.444	-3.065	6.567907903	1.196793	N	N	N
1977687205497490816	326.605453	47.18281501	0.985	-2.113	-3.182	2.151239152	0.436513	N	N	N
1974543598677122688	328.3145135	47.18496181	1.2583	-3.918	-3.065	8.57289298	1.240224	N	N	Y
1974541910760250240	328.4422341	47.18666518	1.5114	-2.643	-3.632	5.660508089	0.944292	N	N	N
1974766898311943936	327.392154	47.1876956	1.3181	-2.03	-3.084	8.9768268	1.285641	N	N	N
1974544796966412032	328.3867458	47.19292483	1.3768	-3.025	-3.494	7.80799229	1.148437	N	N	N
1974541979467413376	328.4312941	47.20037367	1.6212	-3.227	-2.164	6.68885998	1.020349	N	N	N
1974544904343165568	328.4046304	47.20173137	1.2549	-3.4	-2.652	5.780091597	0.92927	N	N	N
1974731851378032384	328.2169845	47.20504238	1.3607	-2.3	-2.946	7.359384924	1.287537	N	N	N
1974731885737776896	328.1871373	47.20657298	1.0431	-2.975	-3.348	8.113975727	1.437452	N	N	N
1974729691017394304	327.9990529	47.21138275	1.3998	-3.052	-3.171	7.293418946	1.163628	N	Y	N
1974718348000911104	327.6904128	47.21275085	1.4535	-3.387	-3.174	8.048233181	1.232289	N	N	N
1974686118572605952	326.8490938	47.22992516	1.5216	-2.817	-3.278	9.0733555	1.288634	N	N	N
1974545213584824704	328.3932811	47.23273865	1.3293	-2.944	-2.478	7.550054024	1.597083	N	...	N
1974545900779588736	328.3546386	47.23339178	1.2938	-3.087	-2.385	2.700280734	0.409552	N	N	N
1976043676127951232	328.5069113	47.23908052	1.4098	-2.955	-2.827	7.350402531	1.065472	N	...	N
1976043122073165568	328.6090017	47.24276496	1.315	-3.218	-2.838	8.786382764	1.254343	N	N	N
1974545346722237056	328.4495692	47.24584541	1.2647	-2.421	-2.919	7.317747593	1.264577	N	N	N
197454599567094272	328.3700056	47.24891882	0.9667	-3.068	-2.125	8.90248959	1.380605	N	N	N

表A1 续
Table A1 Continued

DR3Name	RA (J2000)/°	DEC (J2000)/°	Parallax/mas	pmra/(mas yr ⁻¹)	pmde/(mas yr ⁻¹)	M_G /mag	G_{RP} /mag	Known	Var	Disk
1976042812835545472	328.5764221	47.24908937	1.1248	-3.102	-2.511	8.039109538	1.239525	N	N	N
1974730167751000832	328.0674338	47.25299899	1.3205	-2.7	-3.206	6.679094028	1.106631	N	N	N
1977687823972773376	326.6679734	47.2577658	1.4753	-2.364	-2.854	8.79776871	1.237702	N	N	N
1974545518528766720	328.4596908	47.26465917	1.1526	-2.48	-2.538	7.107083076	1.354802	N	...	Y
1976046699785036544	328.4969149	47.26579268	0.9613	-3.329	-2.744	6.617547712	1.23994	N	N	N
1974546106933956608	328.3702192	47.26661913	1.2981	-3.167	-2.712	-0.71580325	0.693829	N	...	N
1976043607415516672	328.5501062	47.26665989	1.4647	-3.258	-2.487	9.856070408	1.290384	N	N	Y
1974545557178166784	328.4658869	47.2694566	1.3132	-2.512	-2.462	6.82721037	1.22922	N	N	N
1977687961411725952	326.6976486	47.27727716	1.1575	-2.909	-2.496	3.090397998	0.57849	N	Y	N
1977688167570152192	326.677667	47.28593819	1.3467	-3.173	-2.64	8.812564301	1.323445	N	N	N
1974545763340730624	328.4683413	47.28968972	1.2577	-2.992	-2.153	7.511497305	1.172999	N	Y	Y
1977689645038902784	326.7025261	47.29329241	1.3548	-2.657	-2.484	7.60983194	1.240392	N	N	N
1976043912347325824	328.5390115	47.29492998	1.1743	-3.036	-2.213	8.390965304	1.216023	N	N	N
1976044049786783104	328.6023403	47.30023814	1.4825	-2.912	-3.642	9.09397151	1.312708	N	N	N
1974545832060207104	328.449305	47.30027257	1.2573	-2.77	-2.203	6.869362578	1.111316	N	N	N
1977691912781624448	326.4905713	47.30090367	1.1756	-3.179	-2.393	5.220360887	0.919632	N	N	N
1976047039086061440	328.4599528	47.30577304	0.9334	-2.899	-2.946	4.243356983	0.641233	N	N	N
1977727161573322624	325.7486115	47.31418742	1.3262	-3.547	-2.799	7.348464118	1.261124	N	N	Y
1976045114944564480	328.7427073	47.32321363	1.3103	-2.481	-3.014	8.925783705	1.322931	N	N	N
1974546828492514816	328.4123521	47.33036087	1.3228	-2.644	-2.43	4.625364931	0.788809	N	Y	N
1974778443188179456	327.1915458	47.33173172	1.0181	-2.846	-3.405	7.699424187	1.334015	N	N	N
1974736700404138624	328.1550946	47.33642309	1.3032	-3.429	-2.406	5.227997357	0.776338	N	Y	N
1974735016777091584	328.2713358	47.33728261	0.955	-3.512	-2.901	4.721542858	0.68106	N	N	N
1977690259216164864	326.7625356	47.35686069	1.2157	-2.53	-2.481	6.753001083	1.071074	N	N	N
1976048211620429184	328.4764171	47.3633678	1.3043	-2.935	-2.495	6.860163471	1.248372	N	N	N
1976235845846400256	328.4351194	47.38015378	1.1748	-3.075	-3.57	8.180249689	1.219195	N	N	N
1976040373295077376	328.9971995	47.40033905	1.2145	-2.408	-2.297	8.165881596	1.328951	N	N	N
1974735841410806656	328.3163215	47.40150473	1.3426	-2.273	-3.289	7.345810214	1.141318	N	N	N
1977740153855019520	325.6753596	47.40162144	0.9996	-2.942	-2.691	1.678378237	0.526851	N	N	N
1976048516553091200	328.5790242	47.40367721	1.1327	-2.792	-2.626	7.439728503	1.194445	N	N	N
1974770888344871936	327.5924425	47.41065678	0.9232	-2.322	-3.001	0.986000979	0.133128	N	...	N
1976046558048024064	328.7335021	47.41274092	1.4059	-2.582	-2.511	8.346185155	1.225123	N	N	N
1974747592441154816	327.8547744	47.43675975	0.9357	-3.195	-2.651	6.217861147	0.975249	N	Y	N
1977925352836037760	325.3600124	47.44321691	1.0891	-3.399	-3.256	10.45833579	1.546373	N	N	N
1976237087102012928	328.4330109	47.44638839	1.2828	-2.972	-2.42	6.771814756	1.229643	N	N	N
1976236636120437504	328.4718775	47.45004706	1.2933	-2.559	-2.748	8.981031388	1.32783	N	N	N
1976237014077505152	328.4039975	47.4509039	1.1047	-2.481	-3.286	8.99834977	1.322632	N	N	N
1976041301007716096	328.9894536	47.4516765	1.3779	-3.237	-3.187	9.8525765	1.3811	N	N	N
1976050410643825664	328.596825	47.4650348	1.3653	-2.916	-2.441	7.949755451	1.167345	N	Y	N
1976237357674970752	328.4195608	47.47982527	1.3534	-2.979	-1.929	7.665906861	1.281546	N	N	N
1976050719881476480	328.7013873	47.50192246	1.3826	-2.749	-2.573	6.552249763	0.989797	N	Y	N
1976050784296118144	328.6863756	47.50722794	1.3323	-2.239	-2.357	8.024413139	1.289068	N	N	N
1977789425719613312	326.7435517	47.51440834	0.9274	-2.086	-3.188	5.870642458	1.099712	N	Y	N
197478779336034304	327.3412075	47.53192132	1.2572	-3.734	-2.786	3.525633862	0.873559	N	Y	N
1976238839448962688	328.6047825	47.54521777	1.2949	-2.655	-2.716	8.673092154	1.313507	N	...	N
1976238972582787200	328.6268887	47.56174756	1.2127	-2.218	-2.635	8.906496888	1.347447	N	N	N
1977710634539069184	326.327563	47.57063427	1.5581	-3.897	-2.597	6.90759264	1.203775	N	N	N
1974799338208564352	327.610207	47.58523695	1.0531	-3.782	-2.632	4.659952064	0.64899	N	N	N
1977933805332006656	325.4924272	47.60378358	1.0012	-2.152	-3.368	7.590996205	2.57986	N	N	N
1976240037743746176	328.5735368	47.61723943	1.3682	-2.948	-2.173	8.43460793	1.330416	N	N	Y
1976058175945161728	328.8914871	47.63532644	0.9886	-3.811	-3.168	2.708008031	0.429608	N	N	N
1976058931859393920	328.880504	47.64997141	1.3407	-3.566	-2.934	3.393590047	0.471684	N	N	Y

表A1 续
Table A1 Continued

DR3Name	RA (J2000)/°	DEC (J2000)/°	Parallax/mas	pmra/(mas yr ⁻¹)	pmde/(mas yr ⁻¹)	M_G /mag	G_{RP} /mag	Known	Var	Disk
1974791809126646784	327.3836443	47.65618952	1.141	-3.182	-2.515	7.581876222	1.262591	N	N	N
1977759807622435072	326.4200013	47.67841174	0.9509	-3.208	-3.564	10.51463624	2.055033	N	N	N
1976258939884443008	328.2067813	47.72802316	1.4398	-3.234	-3.563	10.32930085	1.658516	N	N	N
1977807425924761856	326.6051443	47.76936176	1.0805	-3.178	-2.678	6.971538856	1.365472	N	N	N
1977948786177282816	325.0631831	47.82256859	1.3785	-2.814	-3.08	11.16817585	1.49217	N	N	N
1977810763117336192	326.9829676	47.82681562	1.3683	-2.875	-3.275	5.919864635	1.104722	N	Y	N
1977810758823391360	326.9819868	47.82687719	1.2508	-3.093	-3.188	4.640439363	0.692366	N	Y	N
1977800558275246464	327.1409562	47.83047568	1.2438	-2.886	-3.458	6.538585762	1.149835	N	N	N
1977810793177472000	326.9536831	47.83188652	1.2143	-3.176	-3.128	7.877356975	1.332049	N	N	N
1977995790312328832	325.0287691	47.84796203	1.1042	-3.899	-2.922	10.86331171	1.847651	N	N	N
1977765060366800512	326.4121233	47.85841406	1.3598	-3.571	-2.424	8.276572184	1.317881	N	N	N
1977773895114656512	326.028001	47.86239278	0.9321	-3.4	-3.579	9.65984854	1.419361	N	N	N
1977811239859851648	326.9969542	47.86456738	1.3837	-2.474	-3.141	9.0195897	1.333813	N	N	N
1977809796746710784	326.7920703	47.8661012	1.5977	-2.928	-3.504	8.73853918	1.406945	N	N	Y
1977821586435592192	327.4632611	47.88416795	0.971	-2.826	-2.964	3.39383715	0.490397	N	N	N
1977801073671313280	327.1870462	47.89212138	1.2023	-2.876	-3.218	6.526403236	1.138756	N	N	N
1977961808520646528	325.7845188	47.89979107	1.1172	-2.556	-3.111	10.71564764	1.6805	N	N	N
1977815259939059584	326.9393561	47.9008004	1.1946	-2.875	-3.376	5.931640552	1.196526	N	Y	Y
1977812201928161920	327.0244596	47.90801646	1.0655	-2.935	-2.512	7.05980527	1.226255	N	N	Y
1977953081155315584	325.3674186	47.91108081	1.0089	-2.373	-2.854	3.10312861	0.586872	N	N	N
1977856186693255040	326.6163992	47.91132433	1.3167	-3.204	-3.344	6.170293178	1.219819	N	N	N
1974825176732066944	327.6477651	47.91852004	1.2087	-3.291	-3.491	1.038622611	0.639366	N	...	N
1977859446568653952	326.5598688	47.9408071	1.6819	-3.334	-3.043	9.38406485	1.324962	N	N	Y
1974826516758412416	327.7894732	47.97651915	1.4983	-2.087	-2.612	11.5924999	1.4499	N	N	N
1976266155441361536	328.7063499	47.97889615	0.9803	-3.836	-3.127	7.071720013	2.449389	N	N	N
1977863642756822784	326.8604381	48.00992084	1.2406	-2.736	-3.103	5.794476884	0.866193	N	N	N
1978002146858330624	325.0158011	48.03284299	1.1125	-2.335	-2.206	10.8814701	1.691717	N	N	N
1978002142564326144	325.0142844	48.0365695	1.2726	-2.087	-2.875	5.890601595	1.099197	N	...	N
1977862199647380992	326.5871828	48.04105326	1.1065	-2.361	-2.544	-0.497038909	0.109107	N	...	N
1977817875583308032	327.0759541	48.06061966	1.1562	-2.809	-3.313	2.997886825	0.454236	N	N	N
1974527449600010240	328.4895994	46.99564276	1.2788	-2.708	-2.836	3.780211138	0.445819	Y	Y	Y
1974540609379899136	328.4662913	47.11998003	1.2268	-2.827	-2.43	0.897688837	0.31195	Y	...	N
1974544010993825536	328.1781226	47.17033332	1.2237	-2.617	-3.248	4.2667058	0.633276	Y	Y	Y
1974544041051707904	328.1892889	47.1777222	1.0082	-2.731	-2.955	6.906185466	1.411256	Y	N	N
1974726078941910272	328.1385236	47.1807073	1.4052	-2.729	-3.241	7.379154706	1.224091	Y	Y	Y
1974731752601834240	328.1656991	47.18625587	1.1289	-2.677	-3.507	6.636780365	1.215337	Y	...	Y
1974544801268791040	328.3893404	47.18800731	1.4643	-2.685	-2.906	6.114418312	0.884027	Y	N	N
1974731954457230720	328.1507773	47.19897753	1.3892	-2.961	-3.385	7.411260873	1.3102	Y	N	N
1974544934405366272	328.4113373	47.20159671	1.3565	-2.558	-2.885	6.50688899	0.908627	Y	N	N
1974731786961571072	328.1780428	47.20251436	1.2966	-2.767	-3.104	5.533470086	0.9136	Y	Y	N
1976042404824692736	328.5782508	47.2026854	1.2482	-2.682	-2.401	2.827647891	0.419817	Y	N	Y
1974544900045628288	328.3928059	47.20295306	1.4338	-2.831	-3.113	6.84426988	1.123487	Y	N	Y
1974731821321311104	328.2065196	47.204874	1.2724	-2.486	-3.15	6.646496302	1.067733	Y	Y	Y
1974731855681049600	328.2091841	47.20568006	1.3709	-2.657	-3.144	5.968861882	0.847888	Y	Y	N
1974544900053012736	328.3987872	47.20730623	1.2976	-3.108	-2.247	4.60877218	0.808087	Y	N	N
1974544938706921216	328.4103938	47.20860737	1.363	-2.846	-2.875	6.348112279	1.007203	Y	Y	Y
1974542361726544384	328.4385233	47.20975763	1.2873	-2.827	-2.912	1.925264846	0.434162	Y	N	Y
1974545071854157568	328.358949	47.21327365	1.2434	-3.202	-2.995	7.983002315	1.236129	Y	N	N
1974544419015796992	328.285972	47.21328791	1.3547	-2.685	-2.856	6.003298654	1.049249	Y	Y	N
1974544968765107840	328.3845235	47.21364957	1.1007	-2.717	-2.57	7.943787832	1.250104	Y	...	N
1974731993119999616	328.1718329	47.21446471	1.2377	-2.784	-2.898	4.642904955	0.739357	Y	Y	Y
1974544423310687360	328.2852075	47.21487172	1.0868	-2.852	-2.881	6.405988149	1.212568	Y	Y	Y

表A1 续
Table A1 Continued

DR3Name	RA (J2000)/°	DEC (J2000)/°	Parallax/mas	pmra/(mas yr ⁻¹)	pmde/(mas yr ⁻¹)	M_G /mag	G_{RP} /mag	Known	Var	Disk
1974545866419852160	328.3348321	47.2160765	1.2519	-3.302	-3.027	5.605105197	0.873926	Y	Y	Y
1974544457666525568	328.3042087	47.21807413	1.6805	-3.147	-2.91	8.54343858	1.291045	Y	N	N
1974685328298277632	326.6750776	47.21810991	1.3072	-2.683	-2.6	8.078756196	1.128905	Y	Y	Y
1974545179225087360	328.3766003	47.22049643	1.3039	-3.575	-2.965	2.117630427	0.398897	Y	Y	Y
1977687716595229568	326.6677997	47.22443167	1.2997	-2.436	-2.654	4.773951595	0.691522	Y	Y	Y
1974545179225086848	328.3884585	47.2281436	1.2005	-3.036	-2.834	4.044184822	0.887875	Y	Y	N
1974545866419849088	328.327195	47.22822401	1.5907	-3.123	-3.045	5.677520405	0.785081	Y	N	N
1974545247940518656	328.3666026	47.22915744	1.1803	-3.264	-3.108	6.067075036	1.139794	Y	Y	Y
1974732783393977856	328.1360121	47.22948588	1.2819	-2.094	-3.178	3.444157738	0.624943	Y	Y	N
1974545243643018880	328.3733624	47.2295511	1.1009	-3.175	-2.985	7.220084359	1.134421	Y	N	N
1974545247944562048	328.3734004	47.23172415	1.3008	-3.609	-2.789	3.873013641	0.598749	Y	Y	Y
1976043435616831872	328.536669	47.23263622	1.2778	-2.59	-2.515	4.681654419	0.58322	Y	Y	Y
1974545381081972096	328.4146095	47.2331986	1.302	-3.049	-2.47	7.302660921	1.092356	Y	N	N
1974545213584824832	328.3949034	47.23345239	1.2223	-3.135	-2.614	5.658938059	0.964138	Y	Y	N
1974545385379481344	328.4267234	47.2334842	1.1915	-2.723	-2.729	7.432535233	1.24323	Y	N	N
1974545900779587328	328.3383539	47.23403879	1.2486	-3.177	-2.68	5.286926653	1.00546	Y	N	N
1974544663829001728	328.2877825	47.23437918	1.2922	-3.421	-2.484	5.745750684	0.854909	Y	N	N
1974732852113453312	328.1281685	47.23511329	1.2612	-2.831	-3.161	3.14789581	0.49523	Y	Y	Y
1974546003858803968	328.3623286	47.2370317	1.449	-3.167	-2.818	6.526044927	1.243223	Y	N	N
1974545213580783360	328.3995186	47.2372841	1.4026	-2.943	-2.712	7.856181173	1.219372	Y	Y	N
1974545900779586688	328.3437433	47.2381798	1.3418	-3.317	-2.893	5.078549938	0.859629	Y	Y	N
1974545935135270016	328.3270848	47.2389648	1.2508	-3.214	-2.847	6.027068363	1.123786	Y	N	Y
1974545900779586560	328.3446878	47.23989452	1.2416	-3.281	-2.901	6.47803452	1.17402	Y	Y	N
1974545209283283072	328.3998877	47.2421177	0.964	-3.382	-3.003	7.38519317	1.214331	Y	N	N
1976043534392726656	328.5524391	47.24314692	1.5933	-3.095	-3.116	8.261466781	1.094557	Y	Y	Y
1974545965197527552	328.3356333	47.24328313	1.3418	-3.379	-2.549	7.289046938	1.099921	Y	N	N
1974545419739218944	328.4439925	47.24330517	1.2909	-3.053	-2.398	6.058498004	1.844537	Y	Y	Y
1974545282300254464	328.3827929	47.24346747	1.1422	-2.534	-3.09	5.714933779	0.948481	Y	N	Y
1974732817753715712	328.152481	47.24354619	1.3029	-2.866	-2.991	4.48940542	0.903767	Y	Y	Y
1974545213580780672	328.3984525	47.24366091	1.1215	-3.254	-2.756	5.64838439	1.081873	Y	N	Y
1974727217116377216	328.0816894	47.2438959	1.3343	-2.783	-2.962	5.83653443	0.918037	Y	Y	Y
1974545278002759936	328.3877778	47.24414863	0.9296	-2.34	-2.767	6.726701575	1.170018	Y	Y	Y
1974545282304297856	328.3771268	47.24554553	1.3569	-3.045	-2.744	6.106103212	0.993919	Y	Y	Y
1974546003858801920	328.3638929	47.2473489	1.2664	-3.334	-2.929	5.632146509	1.056538	Y	Y	Y
1974545969495003776	328.3355691	47.24908012	1.367	-3.5	-2.407	8.75012057	1.296803	Y	Y	N
1974545591541945600	328.4092472	47.24971876	1.3921	-3.156	-2.568	4.845002167	0.592419	Y	Y	Y
1974545282300253312	328.3948513	47.25044783	1.3419	-3.204	-2.275	4.036240764	0.156556	Y	Y	Y
1974545969499061504	328.3473901	47.25079242	1.3984	-3.632	-2.553	7.985607076	1.243544	Y	N	N
1974545282300248704	328.3821133	47.25113652	1.46	-2.975	-3.312	7.808074279	1.126475	Y	N	N
1974545278002762496	328.3921884	47.25263227	1.2566	-2.712	-2.695	7.567185277	1.300761	Y	N	N
1974546003858801152	328.3655796	47.25319151	1.2736	-3.005	-2.858	4.592916252	0.799207	Y	Y	Y
1974546068276745472	328.3474963	47.25345991	1.3254	-3.141	-2.545	7.577695831	1.25714	Y	...	N
1974546038218539776	328.3720284	47.25412538	1.2901	-2.907	-2.474	7.058178876	1.073277	Y	Y	Y
1974545278012590976	328.390675	47.25600824	1.0688	-3.725	-2.426	8.32051523	1.328353	Y	N	N
1974546003858800640	328.3657309	47.25635802	1.3896	-2.843	-2.101	6.273209027	0.953708	Y	N	N
1974545660261420928	328.4094356	47.25698934	1.0827	-2.551	-3.156	6.859438684	1.221716	Y	N	N
1974545591541944960	328.4169015	47.25723778	1.293	-2.579	-2.442	3.718102624	0.123743	Y	Y	Y
1977688472509596800	326.5756075	47.25735055	1.2791	-2.802	-3.094	4.119095495	0.016249	Y	Y	Y
1974546068276747008	328.3541337	47.25829087	1.1926	-2.795	-3.19	6.078174025	1.107177	Y	Y	Y
1974546033917013120	328.3707314	47.25843098	1.3658	-2.936	-3.034	6.150677542	0.866489	Y	Y	N
1974546171355962880	328.3241674	47.2600122	1.0681	-3.199	-2.692	6.935662575	1.167231	Y	N	N
1974546038214484864	328.3704919	47.26043541	1.2325	-3.183	-2.555	5.75905464	1.126432	Y	Y	N

表A1 续
Table A1 Continued

DR3Name	RA (J2000)/°	DEC (J2000)/°	Parallax/mas	pmra/(mas yr ⁻¹)	pmde/(mas yr ⁻¹)	M_G /mag	G_{BP} /mag	Known	Var	Disk
1974546175657489280	328.3331924	47.26106892	1.2279	-3.104	-2.447	6.060405997	0.919111	Y	N	N
1974546416175662464	328.3921396	47.26107908	1.2227	-2.849	-3.289	5.360965561	0.866754	Y	Y	N
1974545690319625472	328.4167418	47.26115822	1.4977	-3.302	-2.919	8.22105715	1.448893	Y	N	N
1974546171365783936	328.3295604	47.26138519	1.1055	-3.486	-2.18	9.12855073	1.279942	Y	N	N
1974546102643597696	328.3659563	47.26170657	1.2248	-3.447	-2.439	4.487411888	1.029392	Y	Y	Y
1974545625901682816	328.4203736	47.26175499	1.166	-2.783	-2.933	4.191107752	0.701937	Y	Y	Y
1974546072578275840	328.3600372	47.26197016	1.3644	-2.965	-2.348	4.831330554	0.958493	Y	Y	Y
1974546411874131968	328.3906621	47.26284123	1.1464	-2.954	-2.543	7.293999887	1.331612	Y	N	N
1974545655959887744	328.4121018	47.26329558	1.6905	-3.245	-2.886	8.395898876	1.24484	Y	N	N
1974546171355964032	328.3276318	47.26378065	1.4595	-2.824	-2.475	5.598183497	0.829865	Y	N	N
1974546274435179392	328.3395523	47.26398654	1.1535	-3.171	-2.129	6.810613994	1.132069	Y	N	N
1974546072578275584	328.3576177	47.26427973	1.2986	-2.965	-2.848	3.358936993	0.643369	Y	Y	Y
1974546102643626368	328.3694918	47.26437132	1.2445	-3.432	-2.514	6.465554505	1.333163	Y	...	N
1974546033917010304	328.3799706	47.2643844	1.3252	-3.321	-2.791	8.22211714	1.338072	Y	...	N
1974546038214486400	328.3869317	47.26493957	1.47	-3.37	-3.355	8.177301674	1.266959	Y	N	N
1974546175657488256	328.3317931	47.26746538	1.2976	-3.156	-2.696	6.493755184	1.141836	Y	Y	N
1974546411874133120	328.3922809	47.2676871	0.9763	-3.607	-2.479	4.307560447	1.173	Y	Y	N
1974546038218538368	328.3837286	47.26772023	1.1226	-3.079	-2.515	5.733083189	1.041234	Y	Y	Y
1974545660257366784	328.4026479	47.26785947	1.4477	-2.511	-3.017	9.48851287	1.362054	Y	N	N
1974546102636490112	328.3645866	47.26939541	1.3131	-3.048	-2.87	4.788223007	0.829759	Y	Y	N
1974546274435180544	328.3557551	47.26990332	0.9832	-3.383	-2.961	6.890083349	1.118835	Y	N	N
1974546274435180928	328.3516336	47.27007362	1.4244	-3.045	-2.068	7.780466825	1.222754	Y	N	N
1974546106938013824	328.3703379	47.27042023	1.2978	-3.306	-2.59	3.903165849	0.904513	Y	...	Y
1974546102636488832	328.3761657	47.27042191	1.4062	-2.971	-2.543	7.64428547	1.174352	Y	N	N
1974546416171604736	328.3840465	47.27046376	1.0999	-2.689	-2.486	5.62402901	0.936342	Y	Y	N
1974546033926834304	328.3826907	47.27078044	1.3438	-2.909	-2.56	6.364785184	1.157199	Y	Y	Y
1974546411874134784	328.3879349	47.27195995	1.2171	-3.059	-3.052	6.418722312	1.052305	Y	Y	N
1977688094560217088	326.6533834	47.27292272	1.4406	-2.965	-2.591	7.252945052	1.044732	Y	Y	N
1974546416175660672	328.3968628	47.27301043	1.2377	-3.104	-2.518	5.557320955	0.931328	Y	Y	N
1977688133210415616	326.6741088	47.27579681	1.4892	-2.717	-2.622	6.479745138	0.888421	Y	Y	Y
1974546274435182976	328.3517854	47.27643156	1.3352	-2.754	-3.356	5.131894618	0.802912	Y	Y	N
1974733882905737728	328.2975249	47.27730986	1.2059	-2.335	-2.331	5.377833476	0.910801	Y	Y	N
1974546446233874944	328.4145766	47.27818519	1.0693	-3.375	-2.835	4.135903834	0.649526	Y	Y	N
1974546274435183872	328.3445638	47.2784897	1.2962	-3.143	-2.155	8.179724086	1.232943	Y	N	N
1974546484891075072	328.3825714	47.27887676	1.6729	-3.556	-2.872	7.86961191	1.278317	Y	N	N
1974546274435184128	328.3513824	47.27973642	1.159	-3.108	-2.556	6.75514418	1.225402	Y	N	N
1977688713023490432	326.5852665	47.27994098	1.3617	-2.766	-2.701	7.118607187	1.093089	Y	N	Y
1974545694621155584	328.4208745	47.2809675	1.2684	-2.814	-2.483	4.508389167	0.688851	Y	Y	N
1974546484895134720	328.3767791	47.28155719	1.3544	-3.053	-2.51	6.187003726	0.988675	Y	Y	Y
1974546102636492800	328.3729518	47.28210285	1.1617	-2.552	-2.018	5.466693947	1.030484	Y	N	N
1974545793406505984	328.4363931	47.28362401	1.3015	-2.16	-3.239	8.52954286	1.257623	Y	N	N
1974546484895135104	328.3899507	47.28460708	1.2983	-3.135	-1.946	3.051654285	0.688779	Y	N	N
1974546480593615488	328.3871655	47.28503052	1.3645	-2.84	-2.705	6.4913987	0.948074	Y	Y	N
1974546343154690560	328.3393836	47.28508673	0.9358	-2.664	-2.218	8.5753832	1.219827	Y	N	N
1974546450535397376	328.4006098	47.28514727	1.213	-2.741	-2.355	4.061970004	0.755559	Y	Y	Y
1974546446233877376	328.4183557	47.28704421	1.2712	-2.977	-2.826	7.32821442	1.059226	Y	N	N
1974733917265469568	328.321454	47.28853691	1.2568	-2.955	-2.525	5.56332386	0.944017	Y	Y	N
1974546553610558592	328.4239389	47.28875655	1.2192	-3.073	-3.068	7.85472177	1.181457	Y	N	N
1974546514953355136	328.3989812	47.28975894	1.6426	-2.826	-3.199	7.87222809	1.132818	Y	N	N
1974546553610556160	328.425455	47.29194496	1.2952	-2.641	-2.246	7.135850179	1.326909	Y	N	N
1974546480593617664	328.3917735	47.29288931	1.1284	-2.789	-2.309	5.941671387	1.062337	Y	N	N
1974734016042333056	328.3378155	47.29413172	1.1792	-3.056	-2.181	7.940924353	1.1883	Y	Y	N

表A1 续
Table A1 Continued

DR3Name	RA (J2000)/°	DEC (J2000)/°	Parallax/mas	pmra/(mas yr ⁻¹)	pmde/(mas yr ⁻¹)	M_G /mag	G_{RP} /mag	Known	Var	Disk
1974546377514402944	328.3614749	47.29576021	1.1995	-3.339	-2.639	7.627128262	1.148223	Y	N	N
1974546553614612352	328.4245225	47.29730783	1.3295	-2.683	-2.226	4.552536708	0.832552	Y	Y	Y
1974546514963173760	328.4045861	47.29781502	1.0358	-2.474	-3.242	5.96418053	0.938856	Y	N	N
1974733981682595200	328.3063961	47.2981659	1.7126	-3.42	-2.198	7.2573877	1.029911	Y	N	N
1977686582719759616	326.3876564	47.29865448	0.9584	-2.845	-2.629	4.126964025	0.504283	Y	Y	Y
1974733981682167040	328.301036	47.2987018	0.965	-3.194	-2.887	5.974041567	1.032564	Y	N	N
1974546514963174272	328.4079026	47.29915224	1.0801	-2.449	-2.611	6.83025983	1.278594	Y	N	N
1974546686752048768	328.3743542	47.30116757	1.414	-3.161	-2.41	3.800648047	0.024657	Y	Y	Y
1974546381811849216	328.3599062	47.30123323	1.6723	-2.61	-2.94	8.529144949	1.239201	Y	...	N
1974546381815916416	328.3614009	47.30208944	1.2806	-2.741	-2.425	2.931530487	0.510842	Y	N	N
1974734020344683776	328.3336001	47.30324378	1.3075	-3.013	-2.46	6.165414488	0.957845	Y	Y	N
1974546755471526784	328.3744077	47.30649772	1.116	-2.871	-2.612	6.715306973	1.132027	Y	Y	Y
1974546622334087936	328.4271808	47.30693035	1.2924	-2.944	-2.45	5.569963747	0.926784	Y	Y	Y
1977689125340476288	326.6209024	47.30740478	1.0556	-2.387	-2.522	5.297338908	1.250154	Y	N	N
1974546725413300480	328.4006482	47.3100155	1.3809	-2.695	-2.046	5.071955148	0.768388	Y	Y	N
1974734084761848576	328.3130347	47.31111448	1.369	-3.044	-2.275	7.741665241	1.132428	Y	N	N
1974546618044304384	328.4121034	47.31228947	1.2585	-2.744	-2.028	7.577356099	1.180303	Y	N	N
1974546652393653888	328.4368684	47.32212557	1.0979	-3.11	-2.381	7.732440925	1.131026	Y	N	N
1974546656693925632	328.4386986	47.32304718	1.2794	-2.921	-2.244	6.785896732	1.012416	Y	Y	N
1974546892910481664	328.3964507	47.32343886	1.1532	-2.508	-2.36	5.88838317	0.961096	Y	N	Y
1976047073443830912	328.4915372	47.32631659	1.3843	-2.659	-2.389	7.153207094	1.349663	Y	N	Y
1976048344759443840	328.5253654	47.36810621	1.3314	-3.097	-2.48	5.383363763	0.679468	Y	Y	Y
1974738418391182592	328.2666072	47.39186188	1.3136	-2.861	-2.405	3.149951699	0.49298	Y	Y	Y
1976236399907257216	328.5014266	47.42284395	1.0942	-2.403	-2.533	5.258114552	1.648167	Y	Y	Y
1974784937178972160	327.2438045	47.42855587	1.5734	-3.779	-2.861	5.23407873	0.737237	Y	Y	Y
1974785491233567744	327.2976449	47.47840295	1.1527	-3.591	-2.993	4.181036466	0.563627	Y	N	Y
1974786345929903488	327.3019125	47.50528535	1.5254	-4.07	-2.774	6.07781271	1.121689	Y	Y	Y
1974786998763274752	327.3453915	47.50999039	1.3567	-3.387	-3.272	8.086839125	1.276171	Y	N	Y
1974789476963203456	327.2192463	47.52526855	1.3669	-3.578	-3.042	4.106912718	0.980059	Y	Y	Y
1977711218654799744	326.4209268	47.61863947	1.6749	-3.792	-2.296	6.76224341	1.151542	Y	N	Y
1977762006649434496	326.2228765	47.68003636	1.339	-3.608	-2.938	6.441216885	1.202605	Y	Y	Y
1977762075368911616	326.2563083	47.68957294	1.3825	-2.648	-3.619	6.0863597	1.251988	Y	N	N
1977762174145804672	326.2624595	47.70812422	1.4219	-3.079	-3.426	4.662567271	0.625327	Y	N	N
1977763239298613888	326.2179487	47.74863895	1.4539	-3.526	-2.524	7.87304268	1.254996	Y	N	Y
1977763479815998336	326.2218352	47.76870917	1.2481	-3.121	-2.138	5.218234916	0.845719	Y	Y	Y
1977775269508426880	326.1853162	47.7804899	1.4979	-3.59	-2.154	3.765851104	0.576051	Y	Y	Y
1977764514906516224	326.3318689	47.80928259	1.3705	-3.821	-2.472	8.077479199	1.245208	Y	N	N
1977776197221515904	326.2285919	47.8855437	1.3036	-3.719	-2.281	5.562503759	0.925681	Y	Y	Y
1977859927605721344	326.4706284	47.92516068	1.2161	-3.058	-2.207	7.616893442	1.439133	Y	Y	N
1977860069343334272	326.413903	47.93430235	0.9968	-3.322	-2.026	7.337700147	1.240942	Y	Y	Y
1977860893977387136	326.6048324	47.95370611	1.2045	-3	-3.008	6.896228022	1.203548	Y	N	N