

寻找AKARI/FIS观测到的长寿命 原行星盘*

刘 琼^{1,2†} 刘 尧^{3‡}

(1 中国科学技术大学天文学系 合肥 230026)

(2 中国科学院星系宇宙学重点实验室 合肥 230026)

(3 中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

摘要 基于日本红外卫星AKARI/FIS的年轻恒星候选体样本, 通过匹配Hipparcos (High Precision Parallax Collecting Satellite) 的数据库共计得到21个太阳系附近的年轻恒星候选体, 可靠性为90%. 恒星的光谱类型从B型到M型星. 利用Hipparcos精确的三角视差测量, 定出源在赫罗图位置分布, 进而与理论的演化轨迹等时线比较估算恒星的年龄. 结果发现样本中存在两个年龄大于10 Myr的年轻恒星体. 光学至红外能谱分布表明这两个源是II型年轻恒星体, 即有原行星盘. 通过进一步的能谱拟合表明这两个源的年龄分别为 (14.1 ± 4.2) Myr和 (16.8 ± 4.4) Myr. 长寿命原行星盘与行星形成关系紧密, 是理想的原行星诞生地.

关键词 恒星: 前主序星, 原行星盘, 三角视差

中图分类号: P144; **文献标识码:** A

1 引言

恒星的早期演化阶段是指从恒星际介质的高密区形成分子云, 再分裂成更高密度的云核, 云核在自引力作用下坍缩形成原恒星(Protostar), 直到主序之前的演化阶段. 原恒星最初被很厚的包层物质覆盖, 中心天体不断吸积周围的物质使包层逐渐变小, 中心天体逐渐变为可见, 这时候成为主序前(Pre-Main Sequence, 简称PMS)恒星. 上述演化过程的恒星系统, 统称为年轻恒星体(Young Stellar Object, 简称YSO)^[1]. 从包层覆盖到吸积周围物质形成吸积盘阶段, YSO都有强的红外辐射. 因此红外是探测和研究恒星形成区和YSO的一个最为直接的波段. 至今已有人利用红外望远镜, 比如IRAS (Infrared Astronomical Satellite), Spitzer, WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer)和Herschel (Herschel Space Observatory)做了大量相关工作.

2014-09-23收到原稿, 2014-10-23收到修改稿

*江苏省青年科学基金项目(BK20141046)资助

[†]jonecy@mail.ustc.edu.cn

[‡]yliu@pmo.ac.cn

AKARI是目前唯一具有波长大于 $100\ \mu\text{m}$ 的全天巡天的红外望远镜^[2]. 恒星早期的演化即主序前的演化, 在原恒星形成到行星形成期间中心天体不断吸积包层物质, 形成的盘称为原行星盘, 行星形成并不是演化的必然阶段. 其红外探测器FIS (Far-Infrared Surveyor instrument)的远红外尤其是波长大于 $100\ \mu\text{m}$ 的数据有助于研究这类盘的冷尘埃辐射. AKARI释放的亮源表BSC (Bright Source Catalog), 简称AKARIBSC, 是目前公开的唯一一个无偏的波长超过 $100\ \mu\text{m}$ 的全天区点源数据库^[3]. 基于这个测光数据库, Tóth等人做了一个YSO的样本, 简称AKARI/FIS YSO候选体样本. 他们的目的是寻找AKARI/FIS 的数据库中的YSO候选体^[4].

本文将Tóth的AKARI/FIS YSO候选体的样本与高精度视差测量卫星Hipparcos的星表匹配, 经过排除其它非YSO源, 最终得到21个YSO候选体. Hipparcos是一个全天的望远镜, 共有超过11 000颗高精度测光和准确的天体测量如三角视差、自行等的恒星^[5]. 运用三角视差, 可以定恒星的距离, 从而得到它们在赫罗图上的位置, 进而与理论的演化轨迹等时线比较估算恒星的年龄. 结果发现样本中存在年老的源(大于10 Myr). 另一方面, 从光学到红外的能谱分布表明这些年老的源属于II型YSO (中红外谱指数满足 $-1.5 < \alpha_{\text{IR}} < 0$ ^[6]), 即带有原行星盘, 盘的年龄一般会长于6 Myr^[7]. 然而盘存活时间久更有利于行星形成, 因此长寿命原行星盘是寻找原行星形成的理想地^[8].

2 数据匹配与处理

2.1 AKARI/FIS的YSO候选体样本

日本红外卫星AKARI是一个全天的望远镜, 其远红外探测器FIS涵盖 $65\ \mu\text{m}$ 、 $90\ \mu\text{m}$ 、 $140\ \mu\text{m}$ 和 $160\ \mu\text{m}$ 4个波长^[2]. AKARI释放亮源表AKARIBSC^[3]后, Tóth等人利用WISE和FIS数据选出一个包含44 001个YSO候选体的样本, 具体的选择标准参见他们的文章^[4]. 他们做这个样本的目的在于研究银河系恒星形成.

2.2 AKARI/FIS的YSO候选体样本与Hipparcos的匹配

本文采用的恒星数据库是1997年的The Hipparcos and Tycho Catalogues^[9]. 接下来将AKARI/FIS的YSO候选体样本与Hipparcos星表匹配, 由于AKARI/FIS分辨率有限, 且YSO在天区分布疏密不同, 统一的匹配半径并非理想选择. 本文采用依照源的面密度分布自适应选取匹配半径的办法, 参见我们以前的工作^[10]. 在保证足够可信度(这里采用的是90%)的基础上, 尽可能放大匹配半径以找到更多源. 具体选源过程为: 首先, 计算每个YSO候选体所在位置的Hipparcos星密度; 其次, 按面密度大小将44 001个源分成了3组: 高密度区、中密度区及低密度区. 最后, 对3个区分别做匹配, 并估计随机源的个数.

(1)低密度区(每平方角秒 $n < 7.5 \times 10^{-7}$, 共12 550个源), 10角秒内匹配得21个源, 随机源个数为2; 检查这些源, 排除了3个不是YSO的源: 1个行星状星云(HIP 19395), 1个红巨星(HIP 27989)和1个碳星(HIP 56551). 最后还剩下18个源作为下一步的研究对象.

(2)中密度区(每平方角秒 $7.5 \times 10^{-7} \leq n \leq 1.5 \times 10^{-6}$, 共31 399个源), 2角秒内匹配得4个源, 随机源个数为0.4; 其中1个源是行星状星云(HIP 78034), 需要排除. 由于源密度略大, 放大匹配半径将导致假源个数增加迅速, 无法达到90%的真实性.

(3) 高密区(每平方角秒 $n > 1.5 \times 10^{-6}$, 共52个源), 没有匹配到源.

由此, 共计得到21个源, 其相关参数列于表1. 其中第1列为源的名字(以HIP序号命名), 右上角注释为SIMBAD上查阅的源类型: a为Herbig Ae/Be star, b为YSO, c为pre-main sequence star, d为pulsating star, e为star, f为symbiotic star, g为emission-line star, h为Wolf-Rayet star. 在这21个源之中, 标注为a、b或c的源属于年轻恒星体. 第2列表示源所在区域(0为低密度区, 1为中密度区), 第3列为B-V颜色, 第4列为绝对V星等(由三角视差和V视星等计算得来), 第5到7列为2MASS的J、H和K_s星等, 第8到11列为WISE的W1、W2、W3和W4星等, 第12到15列为AKARI/FIS的65 μm 、90 μm 、140 μm 和160 μm 的流量, 第16列为恒星光谱型.

3 结果与讨论

3.1 赫罗图分布

样本源在赫罗图的分布见图1, 绝对星等和B-V颜色来自于表1. 圆形是低密度区的18个源, 五角星是中密度区的3个源. 由图可见源的分布涵盖早型B型星到晚型K型星. 根据源在赫罗图的位置, 与理论上恒星的演化轨迹对比可以大致定出恒星的年龄, 从而得知盘的年龄.

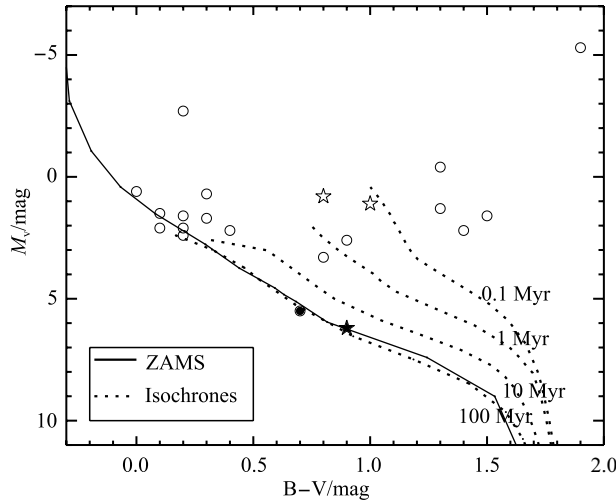


图1 AKARI/FIS和Hipparcos匹配得到的21个YSO候选体在赫罗图的分布. 21个源如圆形和五角星所示, 点线为等年龄线(来自DM97), 文中介绍已经将其转化为 M_v 与B-V的图. 实线为零龄主序(Zero-Age Main Sequence, 简称ZAMS)线.

Fig. 1 The evolutionary H-R diagram for the 21 YSO candidates found through cross-correlating Hipparcos catalog with AKARI/FIS YSO catalog. These 21 sources are plotted as circles and stars. The dotted lines are the isochrones of DM97, which have been transformed to M_v and B-V as described in the text. The solid line is the Zero-Age Main Sequence (ZAMS).

本文采用的演化轨迹来自D'Antona和Mazzitelli^[11](简称DM97). 计算时选取的是太阳丰度, 质量范围涵盖 $0.02 \sim 3 M_{\odot}$. 为了方便同观测做比较^[12], 本文将DM97的赫罗图由光度和有效温度坐标转换为绝对星等 M_v 和B-V颜色. 具体的转换方法参考Flower的

文章^[13]. 有效温度转化为B-V, 并通过经验关系得到热改正BC. 绝对星等计算公式如下: $M_v = M_b - BC$. 其中热星等 $M_b = M_{\text{bsun}} - 2.5 \lg (L_{\text{star}}/L_{\text{sun}})$. DM97提供的等年龄线共计16条, 涵盖0.07 Myr到100 Myr. 在图中画出的4条线对应年龄分别为0.1 Myr、1 Myr、10 Myr、100 Myr.

本文采用的等年龄线模板没有覆盖到大质量端, 故暂无估计大质量星的年龄. 我们在低质量端找到两个较为年老的源(大于10 Myr), 如黑色实心圆(HIP 26295) 和实心五角星(HIP 78317) 所示, 它们是拥有长寿命盘的候选体. 其中HIP 78317 (又名RY Lup) 是一个金牛T星(T Tauri Stars)^[14], Manset等人的工作中给出它的年龄为 (12 ± 4) Myr^[15].

3.2 长寿命盘候选体的能谱分布

除了远红外AKARI/FIS的数据, 本文还搜集了其它的红外数据, 目的在于构建样本源的能谱分布. 中红外是一个非常重要的波段, 依据中红外能谱的谱指数可以对YSO进行分类^[6]. 谱指数为红外K波段(2.2 μm)到N波段(10 μm) SED斜率:

$$\alpha_{\text{IR}} = \frac{\Delta \lg (\lambda F_{\lambda})}{\Delta \lg \lambda}, \quad (1)$$

YSO可以分为: I型YSO $\alpha_{\text{IR}} > 0$, II型YSO $-1.5 < \alpha_{\text{IR}} < 0$.

本文采用的近红外数据来自2MASS全天巡天星表(2MASS All-Sky Point Source Catalog^[16]), 中红外数据来自全天望远镜WISE^[17]的数据库AllWISE Source Catalog. 表1中列出了近、中红外2MASS、WISE的测光和远红外AKARI/FIS 的测光数据. 由于这些源具有比较全的从光学到远红外的观测数据, 我们依据Liu等^[18]工作中计算的能谱模型数据库对其观测能谱做了细致拟合(如图2所示), 得到了中心星的光度与有效温度, 再通过插值Siess等^[19]的前主序演化轨迹得到了中心星的质量和年龄. 其中HIP 26295的中心星质量为 $(1.72 \pm 0.51) M_{\odot}$, 年龄为 (14.1 ± 4.2) Myr; HIP 78317的中心星质量为 $(1.24 \pm 0.35) M_{\odot}$, 年龄为 (16.8 ± 4.4) Myr, 与Manset等^[15]给出的结果一致.

4 总结与展望

本文利用Hipparcos数据库匹配了日本红外卫星AKARI/FIS的YSO候选体样本^[4], 采用依据源的面密度自适应调整半径的匹配方法, 经过排除其它非YSO的源, 最终得到了21个太阳系附近的YSO候选体. 由Hipparcos的三角视差, 可以得到这些源的距离和绝对光度, 从而定出源在赫罗图的位置, 进而与理论的演化轨迹等时线比较估算恒星的年龄. 最终得到2个年龄大于10 Myr的YSO候选体, 它们在远红外有强辐射, 光学到红外的能谱分布表明它们是II型YSO, 处于恒星早期演化中比较晚的阶段, 即中心恒星吸积包层物质形成原行星盘的阶段. 利用Liu等^[18]的理论模型对这两个源做能谱拟合, 得到了中心星的光度和有效温度, 继而利用Siess等^[19]的前主序演化轨迹得出这两个源的年龄分别为 (14.1 ± 4.2) Myr和 (16.8 ± 4.4) Myr. 盘存活时间长更有利于行星形成, 长寿命原行星盘是寻找原行星形成的理想地^[8].

表 1 AKARI/FIS和Hipparcos匹配得到的21个YSO候选体的基本参数
 Table 1 The parameters of 21 YSO candidates found through cross-correlating Hipparcos catalog with AKARI/FIS YSO catalog

Parameter	Area	B-V/ mag	M_v / mag	J/ mag	H/ mag	Ks/ mag	W1/ mag	W2/ mag	W3/ mag	W4/ mag	F65/ Jy	F90/ Jy	F140/ Jy	F160/ Jy	Sp-type
HIPID															
21479 ^b	0	1.5	1.6	-2.652	-3.732	-4.227	0.97	0.19	-2.91	-5.68	205.64	107.37	31.42	25.45	M8e
22925 ^a	0	0.8	3.3	7.199	6.558	5.990	5.07	4.24	2.58	-0.10	9.89	8.80	10.23	8.88	G2IIe
23143 ^a	0	0.2	2.1	6.865	6.262	5.527	4.91	3.73	1.61	0.08	10.17	11.73	11.85	10.68	A2
23633 ^b	0	0.2	1.6	7.092	7.027	6.982	6.90	6.94	5.82	3.29	0.95	1.72	2.73	0.41	A2
24052 ^e	0	0.1	1.5	7.279	7.346	7.299	7.27	7.32	6.21	2.66	3.75	4.20	3.70	0.93	B9
25793 ^a	0	0.3	1.7	7.221	6.560	5.804	4.60	3.56	2.12	-0.17	20.80	18.25	8.71	13.39	A3
26295 ^a	0	0.7	5.5	7.926	7.060	6.173	5.32	4.32	1.84	-0.79	15.89	16.25	10.30	5.60	A7IVe
27321 ^e	0	0.2	2.4	3.669	3.544	3.526	3.66	3.00	2.67	0.05	15.72	12.10	5.88	2.95	A3V
28582 ^a	0	0.0	0.6	8.475	7.528	6.635	5.63	4.63	2.42	0.05	4.25	6.05	7.96	5.55	A0
28816 ^f	0	0.2	-2.7	2.904	2.105	1.671	3.45	1.54	-1.31	-2.12	10.63	5.72	3.95	0.20	Apshell
54413 ^a	0	0.4	2.2	7.267	6.665	5.491	5.02	4.30	1.40	-1.31	71.36	66.04	49.58	53.67	A0pshe
64569 ^d	0	1.3	1.3	-0.356	-1.606	-2.003	2.08	1.19	-2.46	-3.88	52.12	23.02	5.83	4.25	M7III
67419 ^d	0	1.4	2.2	-1.737	-2.689	-3.215	1.49	0.51	-2.76	-5.54	166.98	82.06	32.66	24.31	M7e
77542 ^c	0	0.1	2.1	6.872	6.861	6.821	6.68	6.47	4.81	1.85	6.52	3.92	3.91	3.10	B9
77662 ^g	1	0.8	0.8	9.017	8.082	7.572	6.07	4.47	0.28	-1.52	13.21	10.52	4.74	0.81	F5III
78317 ^a	1	0.9	6.2	8.546	7.690	6.976	6.20	5.27	3.64	1.39	4.76	5.15	6.27	5.19	G0V
80704 ^d	0	1.3	-0.4	-0.955	-1.850	-2.134	2.25	0.92	-2.46	-2.96	15.68	10.28	3.26	0.12	M6III
80763 ^e	0	1.9	-5.3	-2.850	-3.725	-4.100	0.87	0.46	-2.54	-5.18	90.63	36.95	10.61	12.46	M1Ib
90701 ^e	0	0.3	0.7	8.119	8.113	8.033	7.85	7.87	7.96	8.53	1.49	2.31	14.41	21.30	B9.5III
91477 ^d	0	0.9	2.6	7.859	7.632	7.362	7.04	6.89	5.22	-0.02	19.10	16.20	7.16	5.59	A3:Ia
94289 ^b	1	1.0	1.1	8.578	8.179	7.732	7.12	6.57	4.70	0.49	26.23	28.61	16.75	8.82	WN...

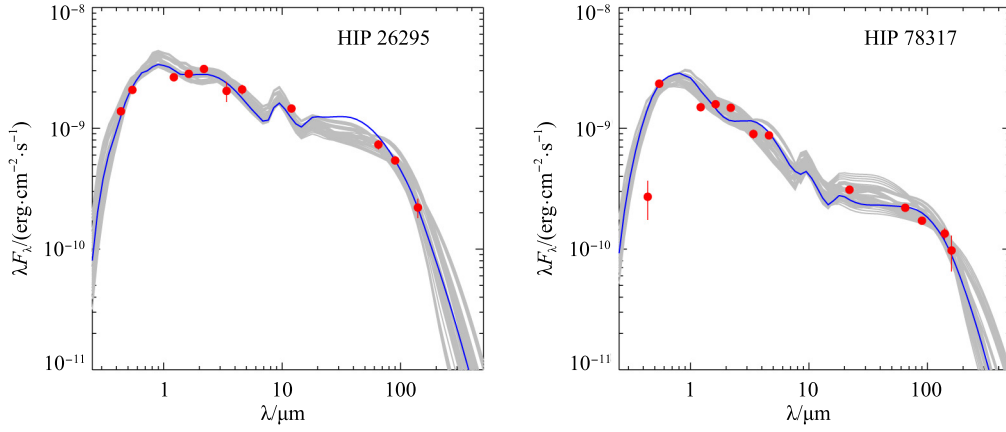


图 2 长寿命原行星盘候选者HIP 26295 和HIP 78317的能谱分布图. 图中用灰色线表示的模型反映了源的质量和年龄的拟合误差.

Fig. 2 The spectral energy distributions of HIP 26295 and HIP 78317 with long-lived protoplanetary disks. The mass and age errors of central objects are calculated with the models plotted as gray lines.

参考文献

- [1] Schulz N S. From Dust to Stars. Chichester: Praxis Publishing, 2005: 113-140
- [2] Kawada M, Bara H, Barthel P D, et al. PASJ, 2007, 59: 389
- [3] Yamamura I. cosp, 2010, 38: 2496
- [4] Tóth L V, Marton G, Zahorecz S, et al. PASJ, 2014, 66: 17
- [5] Bessell M S. PASP, 2000, 112: 961
- [6] Armitage P J. 2007, arXiv: astro-ph/0701485
- [7] Haisch K E, Lada E A, Lada C J, et al. ApJ, 2001, 553: 153
- [8] Lawson W A, Lyo A R, Muzerolle J. MNRAS, 2004, 351: 39
- [9] Perryman M A C, Lindegren L, Kovalevsky J, et al. A&A, 1997, 323: 49
- [10] Liu Q, Wang T G, Jiang P. AJ, 2014, 148: 1
- [11] D'Antona F, Mazzitelli I. MmSAI, 1997, 68: 807
- [12] Favata F, Micela G, Sciortino S, et al. A&A, 1998, 335: 218
- [13] Flower P J. ApJ, 1996, 469: 355
- [14] Liseau R, Lindroos K P, Fischerström C. A&A, 1987, 183: 274
- [15] Manset N, Bastien P, Ménard F, et al. A&A, 2009, 499: 137
- [16] Skrutskie M F, Cutri R M, Stiening R, et al. AJ, 2006, 131: 1163
- [17] Wright E L, Eisenhardt P R M, Mainzer A K, et al. AJ, 2010, 140: 1868
- [18] Liu Y, Madlener D, Wolf S, et al. RAA, 2013, 13: 420
- [19] Siess L, Dufour E, Forestini M. A&A, 2000, 358: 593

Hunting for Long-lived Protoplanetary Disks Observed with AKARI/FIS

LIU Qiong^{1,2} LIU Yao³

(1 Department of Astronomy, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

(2 Key Laboratory for Research in Galaxies and Cosmology, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230026)

(3 Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

ABSTRACT Twenty-one YSO (Young Stellar Object) candidates in the solar neighbor have been identified through cross-correlating Hipparcos catalog with AKARI/FIS YSO catalog. The reliability of the match is over 90%. The central objects cover spectral types from B to M. The Hipparcos parallaxes enable us to place the objects in the H-R diagram, which can be used to determine their ages by isochrones. Among these objects, two YSOs have been found whose ages are larger than 10 Myr. The optical to infrared spectral energy distributions (SEDs) of these two YSOs are consistent with those of type II YSOs with protoplanetary disks. Furthermore, from the SED fitting, the ages of these two sources are constrained to (14.1 ± 4.2) Myr and (16.8 ± 4.4) Myr, respectively. Therefore, two YSO candidates with long-lived protoplanetary disks have been detected in AKARI/FIS. The presence of long-lived protoplanetary disks has significant implications for the formation of planets and their host stars.

Key words stars: pre-main sequence, protoplanetary disks, parallaxes