

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2026.04.XX

近邻疏散星团候选体 CWN1142 的运动学分析

徐宇航^{1,2}, 邵正义^{1,3}

(1. 中国科学院 上海天文台, 上海 200030; 2. 上海科技大学, 上海 201210; 3. 上海师范大学 上海市星系与宇宙学半解析研究重点实验室, 上海 200234)

摘要: 随着 Gaia 等高精度天体测量与测光数据的发布和聚类算法的发展, 新的疏散星团候选体得以被大量发现。然而, 在近年多个聚类工作中, 均出现了空间分布对称性差、速度弥散偏大的星团候选体。本文以具有条状分布特征的年轻疏散星团候选体 CWN1142 为研究对象, 通过结构、质量与运动学分析, 评估该候选体的动力学特征以及物理束缚状态。基于成员星的三维空间分布特征, 我们将该候选体划分为三个相对独立的子结构; 通过等龄线拟合, 并且充分考虑了双星与潜在的小质量成员的影响, 估算了团的恒星总质量; 利用 Gaia 数据, 我们计算了各子结构的整体运动速度以及各自的内禀速度弥散, 并以此分析了 CWN1142 当前的动力学状态。结果显示, 尽管该候选体在空间位置、自行以及 CMD 的分布特征上均区别于场星, 并具有一定的星族特征和运动上的关联, 但其并不是一个稳定的恒星系统。三个子结构正沿着视线方向膨胀; 同时, 各个子结构自身也都属于非束缚状态。分析结果亦不能排除 DBSCAN 聚类方法将三个彼此无引力束缚的子结构识别为同一整体的可能性。由此可见, 在实施搜寻更多星团的策略时, 后续的分析与证认过程也是不可或缺的。

关键词: 疏散星团; 引力束缚; 运动学

中图分类号: P145.2 **文献标识码:** A

收稿日期: 2026-03-31; 修回日期: 2026-04-15

资助项目: 国家自然科学基金面上项目 (12273091)

通讯作者: 邵正义, zyshao@shao.ac.cn

1 引言

疏散星团是恒星形成的摇篮与银河系的重要组成部分, 通常形成于恒星形成活跃区域, 具有结构松散、形态不规则等特征。由于成员星起源于同一分子云, 其年龄与金属丰度具有良好的一致性^[1]。相较于球状星团, 疏散星团成员数量较少、引力势浅, 更易受到银河潮汐力及其他动力学过程的扰动, 从而在演化过程中逐渐瓦解。其在空间与速度上的聚集性, 以及在 CMD 中清晰的演化序列, 使其成为研究恒星演化、引力系统动力学及恒星形成过程的重要对象^[2]。此外, 疏散星团覆盖广泛的质量与年龄范围, 能够有效记录银河系盘的形成与演化历史; 其中年轻星团多分布于旋臂区域, 因此也是研究旋臂结构与动力学演化的理想示踪体^[3, 4]。

然而, 由于星际消光及视线方向上的场星污染, 疏散星团的观测与识别长期面临较大挑战。随着 Gaia 卫星的发射, 其提供的高精度的天体测量与光度数据^[5-7]极大提升了星团研究能力, 并推动了系统性搜寻工作的开展。同时, 信息技术的发展使聚类算法被广泛应用于星团识别, 其中基于密度的 DBSCAN 与 HDBSCAN 方法表现尤为突出^[8]。

随着观测数据与聚类方法的不断发展, 大量新的疏散星团被持续发现^[9-15]; 特别是在太阳邻域范围内, He 等人利用 DBSCAN 聚类法以及 Gaia EDR3 天体测量数据对视差大于 0.6 mas 的区域展开聚类搜寻^[16], 共识别出 886 个星团, 尤其在高银纬区域 ($|b| > 20^\circ$) 新增 46 个星团候选体, 使该区域疏散星团数量增长近三倍; Qin 等人^[17]基于 Gaia DR3 数据, 在太阳邻域 500 pc 范围内采用 HDBSCAN 聚类法新发现了 101 个疏散星团候选体, 使该区域疏散星团数量提升约 45%; 与此同时 Hunt & Reffert 利用 HDBSCAN 聚类法结合 Gaia DR3 天体测量数据, 进行迄今为止最大规模的疏散星团搜索工作, 他们共识别 7167 个疏散星团, 其中 2387 个为新发现的候选体^[18]。大规模的聚类搜寻工作使得数以千计的疏散星团候选体在巨大的数据海中被挖掘出来, 这显著提高了银河系疏散星团样本的完整性, 同时也进一步揭示了部分疏散星团的物理参数与复杂的结构特征^[19-21]。

然而数据精度与算法性能的提升并不意味着所有被识别的候选体都是真实的引力束缚系统。He 等人 2022 年的聚类结果^[16]显示, 部分疏散星团候选体呈现出明显的膨胀结构, 表明其可能处于瓦解状态; Hunt & Reffert 进一步指出^[22], 其先前识别的疏散星团中仅约 79% 处于引力束缚状态, 而在太阳邻域 250 pc 范围内, 该比例甚至仅约为 11%。这表明基于聚类算法得到的候选体仍存在显著的不确定性。从物理学上看, 气体驱散、内部弛豫及外部潮汐作用等过程均可能使年轻星团处于非束缚状态^[23]。因此, 我们认为仅依赖聚类算法识别出的疏散星团候选体可能不足以保证其物理真实性, 结合运动学特征与引力束缚状态对聚类得到的候选体进行进一步分析与验证, 显得尤为必要。

本工作后续的内容结构如下: 第 2 节介绍数据来源, 并从空间位置、自行和视差三个维度刻画 CWNU1142 及其子结构; 第 3 节阐述数据处理方法, 包括通过等龄线拟合估计年龄与质量并给出双星比例; 基于质量函数^[31]对小质量成员的质量进行外推, 以获得更完整的质量分布; 同时我们估计候选体及其子结构考虑误差影响的内禀速度弥散, 为后续计算运动学质量提供依据; 最后我们计算了每个子结构在三维空间上的相对速度, 以分析其膨

胀瓦解特征; 第 4 节在数据处理结果的基础上定量地分析了两两子结构之间的束缚情况以及三个子结构的运动学质量; 第 5 节对本文的结果进行分析与讨论。

2 数据来源

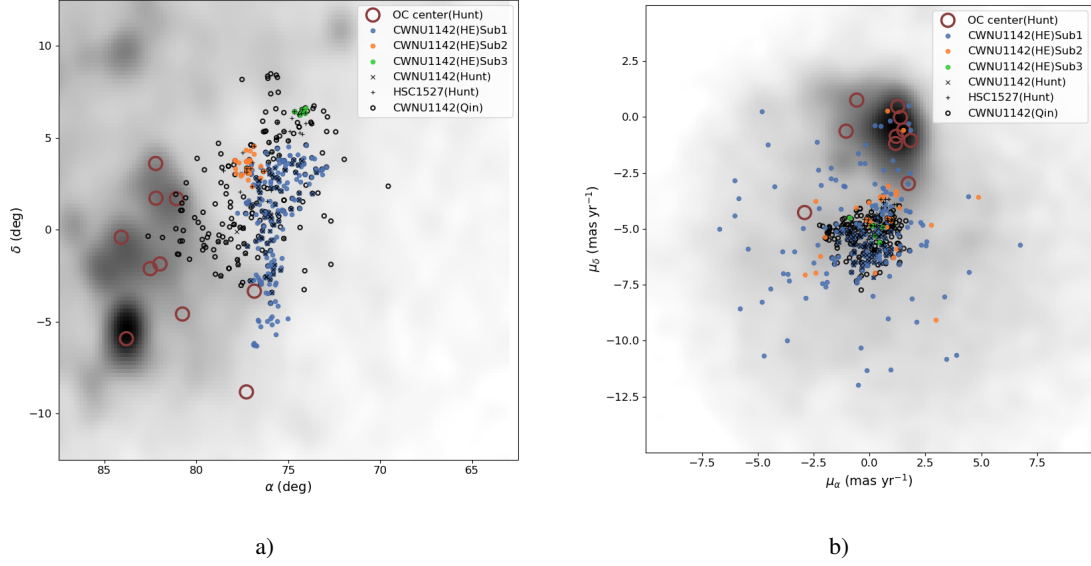
2.1 CWNUI142 及其子结构

本文研究的非对称条状疏散星团候选体 CWNUI142 来源于 He 等基于 Gaia EDR3 数据构建的 CWNUI 星团表 (He22b)^[16]。该工作选取视星等 $G \leq 18\text{mag}$ 且视差 $\varpi > 0.6\text{mas}$ 的恒星样本, 在位置、切向速度及视差构成的五维参数空间中进行 DBSCAN 聚类分析。其聚类参数采用自适应策略确定: 邻域半径 ε 基于第 k 近邻距离 (kNND) 分布, 通过双高斯拟合并取交点确定^[24]; 密度阈值 minPts 在 $k \in [5, 15]$ 范围内选取, 并结合聚类结果的统计稳定性进行评估。此外, 通过引入空间与运动学约束对结果进行筛选, 以确保结构的物理可靠性。值得注意的是, 观测上, 多个候选体中识别出明显的膨胀结构, 其中, CWNUI142 是一个典型的有着非对称条状结构的年轻疏散星团候选体, 如图 1 所示, 这鲜明的结构特征为研究疏散星团的运动学与动力学性质提供了理想条件。同时, 该候选体在多项基于不同聚类方法的研究中均被独立识别出来, 因此也为比较不同聚类算法可能引入的系统偏差提供了一个重要的实例。

CWNUI142 由 231 颗成员组成, 其整体五维参数为: $\alpha = 75.55^\circ$, $\delta = 1.71^\circ$, $\varpi = 3.40\text{ mas}$, $\mu_\alpha = 0.05\text{ mas/yr}$, $\mu_\delta = -5.25\text{ mas/yr}$ 。同时, 我们在 HR23^[18]与 Qin23^[17]中均匹配到该候选体, 表明其在不同研究中具有一致识别结果, 从而增强了其作为候选聚类结构的可信度。进一步比较不同样本, He 等人与 Hunt & Reffert 的成员重复率在 $G < 18\text{mag}$ 条件下约为 80%; 与 Qin 等人的重复率约为 44%。三项研究在位置与自行分布上总体一致, 但 He 等人基于 DBSCAN 得到的结构更为弥散, 而 Hunt & Reffert 与 Qin 等人基于 HDBSCAN 的结果在运动学上更为收敛。值得注意的是, He 等人与 Qin 等人的样本在成员数量和空间尺度上相近, 且均显著大于 Hunt & Reffert 的结果, 但 Qin 等人的自行分布相较于 He 等人的结果更为集中。此外, 图 1 中绿色恒星在 Hunt & Reffert 中被归为 HSC1527 的一部分, 而在 He 等人的结果中则被聚类为 CWNUI142 的子结构。总体而言, 除样本规模、投影效应及星等范围^[25]的影响外, 聚类方法及参数选择都会显著影响结果。

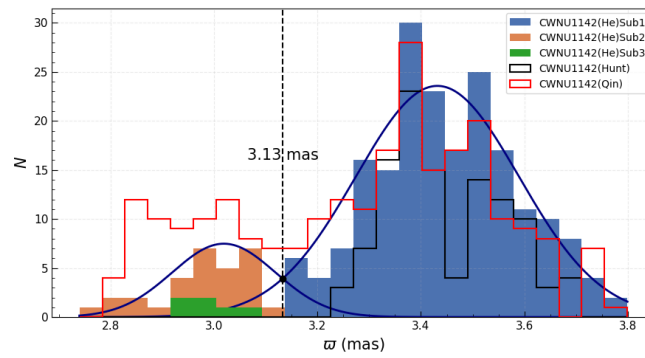
视差分布显示 He 等人样本呈现明显双峰, 如图 2 所示, 这表明该候选体可能包含两个空间独立的子结构, 而非单一整体结构。在疏散星团演化过程中, 整体结构分离形成多个子结构并不罕见^[26]。本工作首先从样本中提取出三个子结构。基于视差分布谷值将候选体划分为两个子结构, 并通过对左右峰值分别进行高斯拟合取交点, 得到视差分界值 $\varpi = 3.13\text{ mas}$ 。根据该标准, 距离较远的结构为子结构 2, 其包含约 36 颗成员星, 较近的结构为子结构 1, 其包含约 195 颗成员星, 两者在空间位置与自行分布上高度相似, 其分布见图 1。然而在三维空间中, 子结构 2 中有 6 颗成员明显偏离主体, 如图 5 (图片见后文 3.4 节), 二者中心尺度相差约 20 pc, 因此我们进一步在子结构 2 中分离出子结构 3。需要指出的是, 该子结构

划分依赖于视差分布的统计特征及空间分布形态，存在一定经验性，其具体划分方式可能随样本选择及方法不同而略有变化。



注：a) 为三个工作得到的候选体的空间分布；b) 为三个工作得到的候选体的自行分布。不同颜色的圆点代表 He22b 中 CWN1142 的三个子结构；× 为 HR23 中 CWN1142 样本；空心圆为 Qin23 中 CWN1142 样本；棕色圆圈代表在该区域与 HR23^[18] 星团表交叉匹配得到的其他星团中心；+ 为 HR23 中 HSC1527 的成员分布；数密度灰度为场星，场星选择范围为： $63^\circ < \alpha < 88^\circ$ ， $-16.3^\circ < \delta < 16.5^\circ$ ， $-10 \text{ mas/yr} < \mu_\alpha < 10 \text{ mas/yr}$ ， $-15 \text{ mas/yr} < \mu_\delta < 5 \text{ mas/yr}$ ， $2.4 \text{ mas} < \varpi < 3.9 \text{ mas}$ 。

图 1 候选体空间与自行分布



注：黑色边框的空心直方图为 Hunt & Reffert 样本的视差分布；红色边框的空心直方图为 Qin 等人样本的视差分布；其他颜色直方图为 He 等人样本中三个子结构的视差分布。

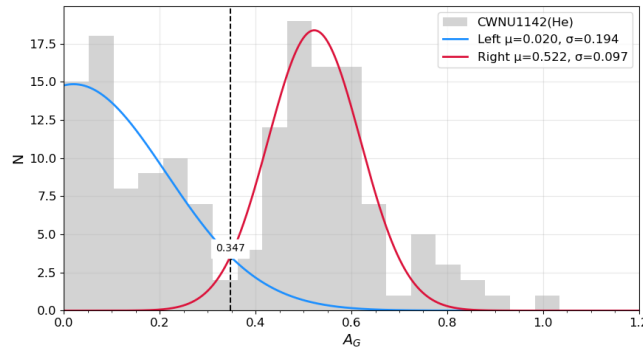
图 2 候选体视差分布

3 星团候选体的数据处理

3.1 候选体的拟合质量

本工作将拥有太阳金属丰度的 PARSEC 等龄线^[27]拟合到该疏散星团候选体的 CMD 上以确定候选体的质量。消光处理中, 我们的工作剔除了 $A_G > 1.2 \text{ mag}$ 的极端成员, 并发现剩余成员的消光值呈现双峰分布, 如图 3 所示。考虑到该候选体的距离较近, 尘埃消光效应并不明显, 且小质量恒星的消光值与红化值存在更大的系统偏差, 因此本文中采用亮星消光值的峰值 (蓝色曲线峰值) 作为该候选体的整体消光值, 其值 $A_G = 0.02 \text{ mag}$, 同时根据消光经验关系 $E(BP - RP) \approx 0.5A_G$ ^[28] 来确定本文的整体红化值。进一步利用每颗恒星的视差 ϖ 的倒数计算距离模数值, 并得到每颗恒星的绝对星等值 M_G , 以及对应的颜色修正值 $BP - RP$ 。

年轻疏散星团中双星比例通常较高。为此, 本文在单星等龄线拟合基础上, 考虑了双星对总质量的贡献。我们将质比 q 从 0.1 到 1.0 的十条双星序加入 CMD, 与等龄线一同进行线性拟合^[29], 通过目视比较确定候选体的年龄约 100 Myr, 而成员星在 CMD 上较为紧致的分布也表明其具有一定的星族特征。在进行线性拟合时, 首先计算每颗恒星到各理论序列的距离, 并选取距离最小的序列; 随后, 在该序列上确定与恒星距离最近的点, 通过线性插值获得该点对应的恒星质量, 并将其赋予相应成员星, 从而得到每颗恒星的拟合质量。拟合结果表明, 在 231 颗成员星中约有 75% 为双星系统, 总拟合质量约为 $240 M_\odot$ 。对应的颜色-星等图如图 4 所示。

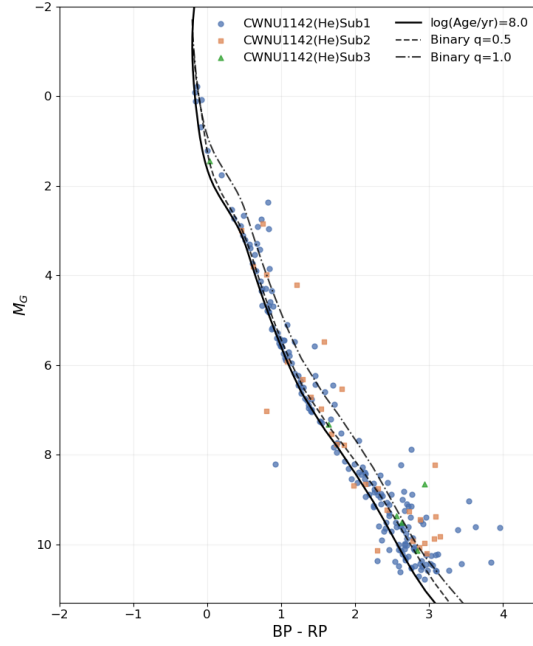


注: 横轴为候选体成员的消光值, 纵轴为恒星数目, 蓝色的曲线为亮星消光值的高斯拟合曲线, 红色曲线为暗星消光值的高斯拟合曲线。

图 3 消光值的双峰分布

3.2 暗星成员的质量

He 等人对其聚类数据进行了人为筛选, 他们的工作只选取了 $G \leq 18 \text{ mag}$ 的恒星, 因此其样本中缺少星等更暗 (质量更小) 的候选体成员, 然而这部分缺失成员的质量对本文后续的束缚能的计算以及运动学质量的比较可能会产生影响, 因此我们利用初始质量函数^[31]



注：横轴为修正的颜色，纵轴为修正的绝对星等；一个点代表一颗成员星，其中蓝色圆形为子结构 1，黄色方形为子结构 2，绿色三角形为子结构 3。由下往上的三条线分别为 $\log(\text{Age/yr})=8.0$ 的等龄线，质比 q 为 0.5 与 1.0 的双星序。

图 4 颜色-星等图

估计了这部分暗星的质量占比。在天文学中初始质量函数定量地描述了星团中恒星数目随质量的分布规律^[30]，我们假设了该候选体服从 Kroupa 分段质量函数的分布^[31]：

$$\xi(M) \propto \begin{cases} M^{-1.3}, & 0.08 M_{\odot} \leq M < 0.5 M_{\odot}, \\ M^{-2.3}, & 0.5 M_{\odot} \leq M \end{cases} \quad (1)$$

我们设定恒星的下限质量为 $0.08 M_{\odot}$ ，并根据上一节候选体质量拟合结果，得到拟合质量范围在 $0.29 M_{\odot}$ 到 $5.38 M_{\odot}$ ，据此我们考虑质量范围在 $0.08 M_{\odot}$ 到 $0.29 M_{\odot}$ 的恒星为原工作淘汰的暗端恒星。积分结果表明暗端恒星的质量约占候选体总质量的 27%。

3.3 内禀速度弥散值

疏散星团成员的内部运动通常通过速度弥散来刻画。然而，直接计算得到的速度弥散往往包含自行测量误差的贡献，因此仅反映观测弥散，不能真实表征星团的动力学状态。为获得其真实的运动学性质，需要对观测误差进行扣除，从而得到内禀速度弥散。在本工作中，我们提取了所有成员在赤经和赤纬两个方向上的自行数据及其对应的观测误差，并利用间接推算法计算各方向上的一维自行内禀弥散值^[33]：

$$\sigma_{\text{int}}^2 = \sigma_{\text{obs}}^2 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \epsilon_j^2 \quad (2)$$

其中 σ_{int} 为一维自行内禀弥散值, σ_{obs} 为一维自行观测弥散值, ϵ_j 为每颗星的自行观测误差。由于该候选体在空间上显著延展且整体视向速度约为 14.9 km/s, 因此进一步考虑视向速度引起的投影效应对我们研究的影响。基于 van Leeuwen 等人在 2009 年提出的一阶修正公式^[25], 对每颗恒星两个方向的自行进行投影效应的修正, 并在此基础上计算候选体及其子结构的修正切向速度内禀弥散值。结果显示, 对于整个候选体而言, 由于其主要沿赤纬方向延展分布, 因此我们主要讨论由赤纬方向的投影效应产生的额外速度弥散值, 其值约为 0.86 km/s。然而投影效应造成的速度弥散并不会显著改变 He 等人样本的一维切向速度的内禀弥散值。同时, 通过蒙特卡洛模拟传播自行以及视差的观测误差, 以评估一维切向速度内禀弥散的不确定性。综上所述, 在考虑投影效应的影响以及一维内禀速度弥散误差的情况下, 我们将该候选体及其子结构两个方向的修正自行内禀弥散以及修正切向速度内禀弥散结果列于表 1。

表 1 不同结构的一维自行内禀弥散及切向速度内禀弥散

类别	自行内禀弥散 (mas/yr)		切向速度内禀弥散 (km/s)	
	σ_{μ_α}	σ_{μ_δ}	σ_{v_α}	σ_{v_δ}
星团整体	1.93	2.00	2.66±0.02	2.75±0.02
主结构	1.96	2.00	2.70±0.02	2.76±0.02
子结构 1	1.64	1.77	2.56±0.03	2.78±0.05
子结构 2	0.45	0.30	0.73±0.05	0.52±0.07

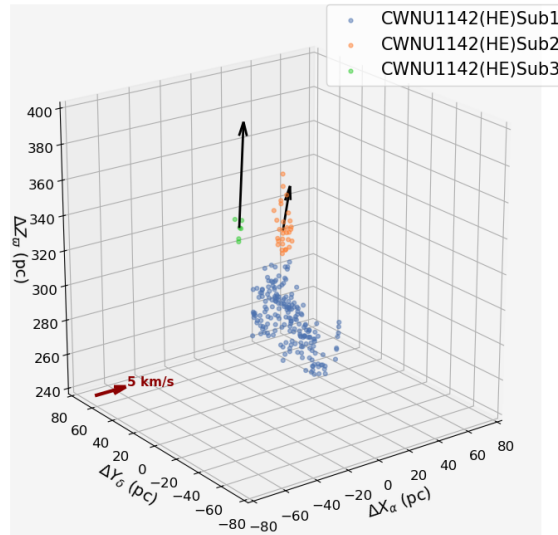
需要指出的是, 即便存在少量场星污染, 也可能会显著抬高速度弥散的估计值^[33]。因此我们仅将 He 等人样本的一维切向速度内禀弥散值作为初步判断候选体束缚状况的动力学依据; 相比之下, Hunt & Reffert 以及 Qin 等人所选取的候选成员在自行与空间分布上均表现出良好的集中性, 并呈现清晰的星族特征, 其对应的一维切向速度内禀弥散分别仅为 0.80 km/s 和 1.15 km/s, 因此, 这些成员样本大概率具有较高的可信度, 本文可采用上述两项工作得到的一维切向速度内禀弥散作为子结构运动学质量计算的输入参数。

对于成员数目在几百颗恒星的典型疏散星团而言, 其自行的内禀弥散值基本不超过 1 mas/yr^[33], 而年轻疏散星团切向速度内禀弥散的范围通常仅为 0.4-0.7 km/s^[32], 而本研究中的候选体及其部分子结构的切向速度内禀弥散达到了 2-3 km/s, 尽管这一数值明显小于场星^[37], 但也显著高于成员数量相当的年轻疏散星团, 这表明该星团候选体可能正在经历瓦解过程, 本文将在后续章节对该结论进行进一步验证。

3.4 子结构的相对速度

在三维空间分布中, 该候选体在视线方向上呈现出明显的条状延展结构, 这种直接的观测现象可能表明各个子结构在视线方向存在较大的速度差异。本小节我们对三个子结构的三维运动学状态进行了详细的分析。我们在以太阳为原点的观测笛卡尔坐标中对各个子

结构的三维相对速度进行了计算与刻画，如图 5 所示。



注：不同的颜色代表不同的子结构，黑色箭头代表各个子结构相对于星团整体的三维速度，由于子结构 1 与候选体整体的相对速度非常小，我们这里规定子结构 1（蓝色点）的相对速度为 0。

图 5 子结构三维相对速度分布

在观测笛卡尔坐标系中，Z 轴为距离（视线方向），赤经和赤纬分别对应 X 轴和 Y 轴，从而建立直角坐标系。坐标正方向取向赤经、赤纬及距离增大的方向；我们取候选体及各子结构在切向速度（两个方向）和视向速度上的中位值，作为其整体运动速度，并利用蒙特卡洛模拟估算了对应的速度误差。各子结构的三维速度减去候选体的三维速度，即得到子结构相对于星团的三维相对速度。计算结果显示，该候选体在视线上有明显的分离趋势，物理的运动学现象表明该候选体可能正在视线方向发生膨胀瓦解，但仍需进一步验证。为了进一步验证我们的猜想，我们详细计算了三个子结构在观测空间的位置以及三维速度（见表 2），得到了三个子结构两两之间的速度差值，并在下文基于此评估各个子结构之间的束缚状态。

表 2 子结构的空間位置以及空間速度

子结构名称	ΔX_α (pc)	ΔY_δ (pc)	ΔZ_ω (pc)	v_α (km s ⁻¹)	v_δ (km s ⁻¹)	v_ω (km s ⁻¹)
Main	-0.31	-4.35	290.27	0.08 ± 0.04	-7.31 ± 0.04	14.46 ± 0.42
Sub1	7.20	9.69	333.63	1.10 ± 0.10	-7.22 ± 0.02	19.78 ± 2.03
Sub2	-9.78	25.75	334.02	0.34 ± 0.11	-7.77 ± 0.05	28.67 ± 4.00

4 束缚状态分析

4.1 子结构之间的束缚状态

基于之前的分析, 2.1 节中已将该候选体划分为三个空间子结构; 3.1 节中基于等龄线拟合方法估算了候选体的总质量, 并考虑到聚类过程中的样本选择效应, 对低质量未观测成员进行了补充, 从而合理估计了暗端恒星的质量占比; 同时根据 3.4 节的内容, 我们可以估计两两子结构之间的相对速度与相对距离。在此基础上, 本文结合 Gaia 观测数据与上述参数的估计结果, 对各子结构之间的束缚能进行定量计算, 以评估其动力学束缚状态。具体计算公式如下:

$$E_b = -\frac{GM_1M_2}{r} + \frac{1}{2}\mu v^2, \quad \mu = \frac{M_1M_2}{M_1 + M_2} \quad (3)$$

其中 E_b 为任意两个子结构的束缚能。 M_1 和 M_2 分别为两个子结构的拟合总质量; r 为两个子结构的三维中心相对距离; μ 为两个子结构的约化质量; v 为两个子结构的相对三维速度 (在 3.4 节已详细计算)。结果显示, 两两子结构的相对动能比引力势能高出约 3 个数量级, 即使增加各个子结构 27% 的质量, 势能增加 60%, 但其不束缚的结果仍不会发生本质改变。因此在本文所采用的方法与参数假设下, 任意两个子结构之间均难以维持引力束缚关系, 基于目前的动力学计算结果, 该候选体整体很可能处于膨胀并逐步瓦解的演化阶段。

4.2 子结构的运动学质量

在第 4.1 节中, 本文讨论了三个子结构之间的引力束缚状态, 结果表明它们之间并不存在引力束缚。在此基础上, 本工作将进一步通过估算各子结构的运动学质量, 评估其自身是否能够维持引力束缚状态。评估疏散星团候选体是否引力束缚的有效途径之一, 是比较其运动学质量与光学质量: 若运动学质量显著大于光学质量, 说明系统的动能主导, 引力不足以维系其束缚, 星团将趋于膨胀瓦解; 反之则表明星团仍处于引力束缚状态。本文假设该候选体满足 Plummer 模型^[34], 而处于引力束缚状态的疏散星团应满足以下关系^[35]:

$$\sqrt{\frac{GM}{\eta r_{\text{eff}}}} \approx \sigma_{1D} \quad (4)$$

其中 G 为引力常数, η 为一个常数, 对于典型的星团, Hunt & Reffert 认为 η 值应该取 10, 而根据不同星团的空间结构不同, 这个值至高为 30, 至低为 5 左右^[22]; 而 $\eta = 10$ 应当对应于有效半径 r_{eff} 的经验质量的计算, 本文中, 我们首先详细推算每个子结构的三维半质量半径 r_{hm} , 根据 Plummer 模型的推导可知, 三维半质量半径与有效半径的经验关系为 $r_{\text{hm}} \approx 1.3r_{\text{eff}}$ ^[36]。

σ_{1D} 表示子结构的一维内禀速度弥散。本文假设各子结构在三个速度分量上满足各向同性分布, 因此采用赤经与赤纬方向切向速度内禀弥散的平均值来表征 σ_{1D} , 具体数值我们采用 Hunt & Reffert 以及 Qin 等人的一维切向速度弥散作为计算参数 (具体数值在 3.3 节)。然而, 即使采用这一相对保守的速度弥散值, 得到的所有的运动学质量仍比光学质量高出

约 2 个数量级。进一步考虑约 27% 的低质量成员贡献后，这一差异仍未得到显著缓解。从动力学角度看，各子结构均无法满足引力束缚条件，这些子结构大概率正处于持续膨胀并逐渐瓦解的状态。

5 结果与讨论

作为 DBSCAN 及 HDBSCAN 共同识别的疏散星团候选体，CWNU1142 与场星有着明显的区别。在空间分布上，该候选体较场星而言有着较好的聚集性；CWNU1142 的内禀速度弥散值仅为 2–3 km/s，远小于场星的速度弥散 (~ 15 km/s^[37])，这表明其在速度空间同样聚集；同时，从团成员在 CMD 上紧致度也说明它们有较为一致的星族特征。这些特性都支持了 CWNU1142 作为疏散星团候选体的真实性。然而在视差分布上呈现的双峰分布，结合坐标位置的非对称性，可以判断 CWNU1142 并非“单一”的结构，而是可以拆分为空间分布上相对独立的三个子结构。

运动学分析结果显示，CWNU1142 整体的速度弥散明显大于典型的疏散星团，意味着该候选体可能处于非引力束缚的状态；通过分析三个子结构的位置、相对速度和团恒星质量，我们发现子结构间的相对动能远大于引力势能，因而子结构之间无法维持束缚状态，子结构之间正在相互远离。同时，对各个子结构的运动学分析表明，三个子结构自身也都是处于非束缚状态，正在膨胀瓦解的过程中。

综上所述，本文的分析结果支持如下图景：相对于场星而言，尽管 CWNU1142 在空间、速度分布和星族上均呈现出明显聚焦的特征，但它并非处于稳定的引力束缚状态，而是一个正在膨胀的松散恒星系统，其内部子结构沿视线方向正在持续分离与瓦解。该结果不仅揭示了该候选体的真实动力学性质，也为理解年轻疏散星团的形成与演化过程提供了直接的观测证据。

尽管观测精度和聚类方法不断提升，疏散星团样本持续完善，但其可靠性仍高度依赖于方法与参数的选择。聚类方法的初始参数的过宽可能将空间相对独立且无引力束缚的多个结构聚类为同一结果。相比之下，Hunt & Reffert 以及 Qin 等人采用 HDBSCAN 得到的结果虽同样不具引力束缚，但在运动学上似乎更为收敛与合理。因此，在开展聚类工作时，谨慎选择聚类方法与聚类初始参数，并通过多组参数测试与严格验证，以确保最终候选体既最大限度保留真实成员，又能维持较高的可靠性；同时，候选体识别工作应在空间自行分布、视差和光度判据基础上引入运动学分析及是否引力束缚的约束，这有助于提高候选体的可靠性与可信度。

总之，本文的研究结果不仅加深了对年轻疏散星团演化机制的认识，也为聚类算法在疏散星团搜寻工作中的应用，进一步提供了星团验证的方法与案例。

参考文献：

- [1] 孙一鸣, 束成钢. 疏散星团的空间分布 [J]. 上海师范大学学报: 自然科学版, 2009 (4): 376-382.

- [2] Friel E D. Open clusters and their role in the Galaxy[M]//Planets, stars and stellar systems. Springer, Dordrecht, 2013: 347-391.
- [3] Xu Y, Hou L G, Wu Y W. The spiral structure of the Milky Way[J]. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2018, 18(12): 146.
- [4] Castro-Ginard, A., McMillan, P. J., Luri, X., et al. 2021, Milky Way spiral arms from open clusters in Gaia EDR3, *A&A*, 652, A162.
- [5] Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., et al. 2018, Gaia Data Release 2: Summary of the contents and survey properties, *A&A*, 616, A1.
- [6] Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., et al. 2021, Gaia Early Data Release 3: Summary of the contents and survey properties (Corrigendum), *A&A*, 650, C3.
- [7] Gaia Collaboration, Vallenari A, Brown A G A, et al., 2023. Gaia Data Release 3. Summary of the content and survey properties[J/OL].
- [8] Schubert E, Sander J, Ester M, et al. DBSCAN revisited, revisited: why and how you should (still) use DBSCAN[J]. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, 2017, 42(3): 1-21.
- [9] Liu L, Pang X. A catalog of newly identified star clusters in Gaia DR2[J]. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2019, 245(2): 32.
- [10] Sim G, Lee S H, Ann H B, et al. 207 new open star clusters within 1 kpc from Gaia data release 2[J]. *arXiv preprint arXiv:1907.06872*, 2019.
- [11] Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., et al. 2019, Hunting for open clusters in Gaia DR2: the Galactic anticentre, *A&A*, 627, A35.
- [12] Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., et al. 2020, Hunting for open clusters in Gaia DR2: 582 new open clusters in the Galactic disc, *A&A*, 635, A45.
- [13] Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., et al. 2022, Hunting for open clusters in Gaia EDR3: 628 new open clusters found with OCfinder, *A&A*, 661, A118.
- [14] Van Groenningen M G J, Castro-Ginard A, Brown A G A, et al. A machine-learning-based tool for open cluster membership determination in Gaia DR3[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2023, 675: A68.
- [15] Dias W S, Monteiro H. Discovery of 28 Open Clusters with Gaia DR3[J]. *Revista mexicana de astronomía y astrofísica*, 2025, 61(1): 3-13.
- [16] He Z, Wang K, Luo Y, et al. A blind all-sky search for star clusters in Gaia EDR3: 886 clusters within 1.2 kpc of the Sun[J]. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2022, 262(1): 7.
- [17] Qin S, Zhong J, Tang T, et al. Hunting for neighboring open clusters with Gaia DR3: 101 New open clusters within 500 pc[J]. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2023, 265(1): 12.
- [18] Hunt E L, Reffert S. Improving the open cluster census-II. An all-sky cluster catalogue with Gaia DR3[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2023, 673: A114.
- [19] Kounkel M, Covey K. Untangling the galaxy. I. Local structure and star formation history of the milky way[J]. *The Astronomical Journal*, 2019, 158(3): 122.
- [20] Chen J C, Mittal T, Kuchner M. VizieR Online Data Catalog: J[J]. *ApJS*/211/25, 2014.
- [21] Tarricq Y, Soubiran C, Casamiquela L, et al. Structural parameters of 389 local open clusters[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2022, 659: A59.
- [22] Hunt E L, Reffert S. Improving the open cluster census-iii. using cluster masses, radii, and dynamics to create a cleaned open cluster catalogue[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2024, 686: A42.
- [23] Cantat-Gaudin T, Jordi C, Wright N J, et al. Expanding associations in the Vela-Puppis region-3D structure and kinematics of the young population[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2019, 626: A17.
- [24] He Z H, Xu Y, Hao C J, et al. A catalogue of 74 new open clusters found in Gaia Data-Release 2[J]. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2021, 21(4): 093.
- [25] van Leeuwen F. Parallaxes and proper motions for 20 open clusters as based on the new Hipparcos catalogue[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2009, 497(1): 209-242.
- [26] Jia D, Yu H, Shao Z, et al. The Destiny of the Open Cluster NGC 6530: Past and Future[J]. *The Astronomical Journal*, 2024, 168(2): 79.
- [27] Bressan A, Marigo P, Girardi L, et al. PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code[J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2012, 427(1): 127-145.
- [28] Andrae R, Fouesneau M, Creevey O, et al. Gaia data release 2-first stellar parameters from apsis[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2018, 616: A8.
- [29] Niu H, Wang J, Fu J. Binary Fraction Estimation of Main-sequence Stars in 12 Open Clusters: Based on the Homogeneous Data of LAMOST Survey and Gaia DR2[J]. *The Astrophysical Journal*, 2020, 903(2): 93.

-
- [30] Salpeter E E. The luminosity function and stellar evolution[J]. *Astrophysical Journal*, vol. 121, p. 161, 1955, 121: 161.
- [31] Kroupa P. On the variation of the initial mass function[J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2001, 322(2): 231-246.
- [32] Harsha K H, Subramaniam A, Dhanush S R, et al. A kinematic and structural study of young open clusters in the Milky Way galaxy using Gaia DR3 catalogue: KH Harsha et al[J]. *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 2025, 46(2): 77.
- [33] 赵君亮. 关于星团内禀速度弥散度计算方法的讨论 [J]. *中国科学院上海天文台年刊*, 2008 (0).
- [34] Plummer H C. On the problem of distribution in globular star clusters[J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 71, p. 460-470, 1911, 71: 460-470.
- [35] Portegies Zwart S F, McMillan S L W, Gieles M. Young massive star clusters[J]. *Annual review of astronomy and astrophysics*, 2010, 48(1): 431-493.
- [36] Vitral E, Mamon G A. A precise analytical approximation for the deprojection of the Sérsic profile[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2020, 635: A20.
- [37] Bovy J, Rix H W, Hogg D W, et al. The vertical motions of mono-abundance sub-populations in the Milky Way disk[J]. *The Astrophysical Journal*, 2012, 755(2): 115.

Kinematic analysis of the nearby open cluster candidate CWNU1142

XU YuHang^{1,2}, SHAO Zhengyi^{1,3}

(1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China; 2. ShanghaiTech University, Shanghai 201210, China; 3. Shanghai Normal University, Key Laboratory of Galaxy and Cosmology, Shanghai 200234, China)

Abstract: With the release of high-precision astrometric and photometric data from missions such as Gaia, together with advances in clustering algorithms, a large number of new open cluster candidates have been identified; however, several recent studies have reported candidates characterized by asymmetric spatial distributions and relatively large velocity dispersions. In this work, we investigate the young open cluster candidate CWNU1142, which exhibits a filamentary spatial morphology, and assess its dynamical properties and physical boundedness through analyses of its structure, mass, and kinematics. Based on the three-dimensional spatial distribution of member stars, we divide the system into three relatively independent substructures; we estimate the total stellar mass via isochrone fitting while accounting for the effects of unresolved binaries and potential low-mass members; and, using Gaia data, we derive the bulk motions and intrinsic velocity dispersions of each substructure to evaluate the current dynamical state of CWNU1142. The results indicate that, although the candidate is distinguishable from field stars in terms of spatial distribution, proper motions, and color–magnitude diagram features, and shows certain population characteristics and kinematic coherence, it does not constitute a dynamically stable stellar system: the three substructures are expanding along the line of sight, and each of them is gravitationally unbound. Moreover, the possibility cannot be excluded that the DBSCAN method has grouped three mutually unbound substructures into a single system; this highlights that, in the search for new cluster candidates, subsequent detailed analysis and validation are essential.

Key words: open clusters; gravitational binding; kinematics