

### 郭守敬望远镜与盖亚卫星巡天数据联手揭示银河系早期最清晰演化图像

# 时间尽头看银河，还原百亿年尘封“成长史”

## 天文大数据 “重塑”银河系考古

千百年来，人们为了认识这广袤银河和浩瀚宇宙，从未停止过探索的脚步。如今，一只只瞄向宇宙的“观天巨眼”帮助科学家逐步看清了银河系早期的形成演化历史，翻开了银河系史册的重要篇章。作为盘星系的普通代表，银河系史册将成为天文学家理解星系形成和演化，追溯从极早期宇宙一直到今天所发生的精彩故事的经典之作。

此次，助力天文学家揭示银河系尘封历史的“功臣”有两位：一位是我国自主研发、中科院国家天文台运行的国家重大科技基础设施郭守敬望远镜（LAMOST），另一位则是欧洲空间航天局天体测量卫星盖亚望远镜（Gaia）。它们一个是地面望远镜，一个是空间卫星，就是这样的天地牵手、珠联璧合，才有了今天刷新银河系认知的新突破。

天文学家正逐步打破“只缘身在此山中，不识庐山真面目”的限制，不断认清银河系的全貌和银河系形成与演化的秘史。LAMOST与Gaia的强强联手，将使天文学家迎来重塑银河系历史真相的黄金时期。

## 两把大数据“密钥” 开启银河系尘封历史

银河系是星系考古学研究的重点实验室，而恒星又是银河系考古的天然化石——恒星表面的化学元素含量完整记录了其诞生时的银河系星际环境的化学组成；恒星运动相似性也为天文学家破解恒星起源问题提供了重要线索。因此，实现对银河系集成和演化全面认识的关键，在于需要获取银河系中数量足够多、分布足够广、足够有代表性的恒星位置、运动、年龄及化学组成等信息。

LAMOST开展的银河系光谱巡天项目，是目前世界上正在运行的最大的恒星光谱巡天项目。过去10年间，它已获取上千万条光谱数据，为揭示银河系结构和演化提供了史无前例的光谱数据基石。而欧空局于2013年12月发射的Gaia卫星，则为天文学家提供了14亿颗恒星的高精度位置和移动地图。这成为天文学家开启银河系尘封历史的宝贵密钥。

## 大样本精确恒星年龄 LAMOST展现看家本领

作为银河系考古学的前提，恒星年龄的精确测定至关重要。但由于恒星年龄无法直接测量，只能通过将实测恒星参数与理论恒星演化模型进行对比的方式来估算，因此它又是最难以精确获取的信息，也可以说是天文学领域最精确测定的物理量之一。

近年来，大规模光谱巡天观测提供的大样本恒星年龄，促使银河系考古学研究得到了迅速发展，而LAMOST光谱巡天则是该方向的主要探索者之一。

尽管如此，过去研究所获取的大样本恒星年龄绝大多数误差在20%以上，而年龄误差小于10%的恒星样本则少得可怜。而且，样本的空间和参数范围也十分受限。

亚巨星是一种处于由主序演化阶段向红巨星演化阶段短暂过渡演化过程的恒星。在亚巨星的演化阶段，恒星的观测参数，尤其是亮度，对于其初始质量和年龄较为敏感，因此这些恒星的年龄相对容易被精确测定。

但是，由于恒星在亚巨星阶段的演化十分迅速，导致可观测到的亚巨星数量相当稀少。因此，筛选和构建大样本的亚巨星，就需要大规模的巡天观测普查，而这正是LAMOST的看家本领。近年来，LAMOST的大规模光谱巡天观测提供了大样本恒星年龄，促使银河系考古学研究得到了迅速发展。



LAMOST与Gaia 图源/LAMOST运行和发展中心

## 探寻银河系儿时伙伴 期待望远镜更多宝藏数据

向茂盛博士和汉斯·瓦尔特·瑞克斯教授依托LAMOST巡天光谱数据获取了700万颗恒星的高精度大气参数，并利用Gaia巡天数据得到高精度的恒星亮度和运动信息，在此基础上筛选和构建了一个包含25万颗亚巨星的精确恒星年龄样本，平均年龄精度为7%，金属丰度覆盖范围从-2.5（太阳金属含量的1/300）到0.5（太阳金属含量的3倍），空间覆盖范围达3万光年。

这是首次在银河系中如此大的空间范围和如此广的金属丰度范围获取目前最精确的大样本恒星年龄，这幅银河系恒星年龄“巨型图”称得上银河系考古学研究的宝藏数据。

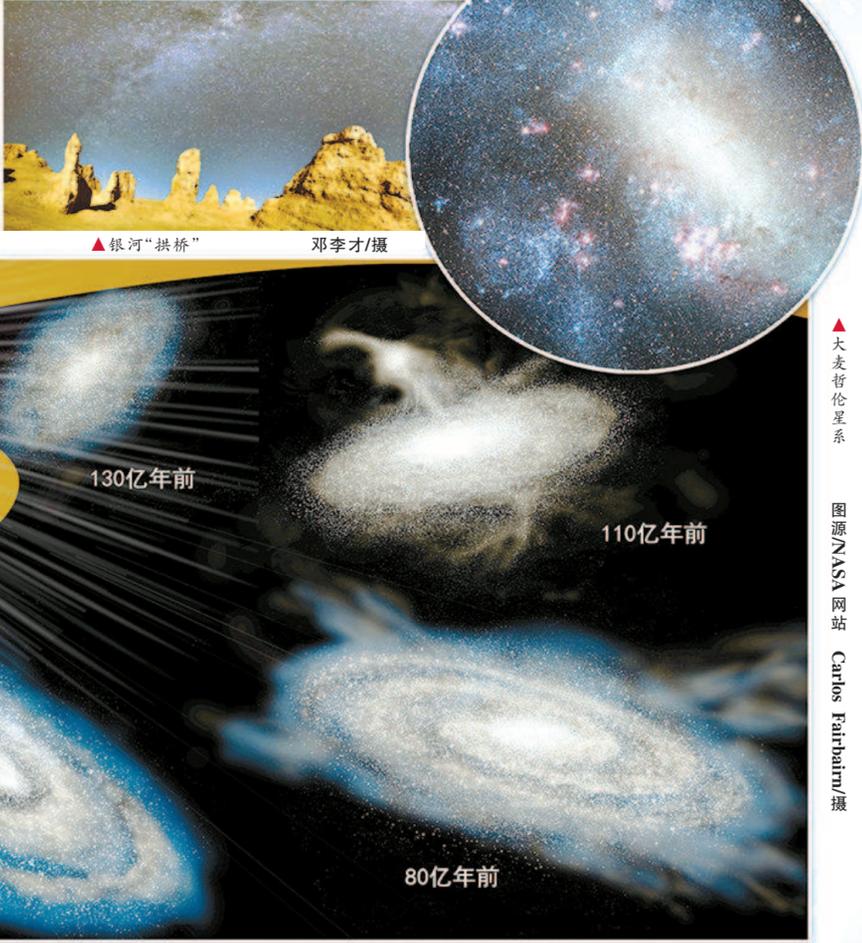
以它们作为研究对象，天文学家刻画出了这幅清晰的早期银河系形成和演化图像，从老年厚盘到银晕，再到失心薄盘的银河成长历程在时光的流转中逐一被还原。

然而，我们目前还不清楚在极其遥远的宇宙深处，是否普遍存在跟早期银河系类似的星系，即那些早已失散的银河系“儿时伙伴”。或许不久的将来，正在地日拉格朗日点L2轨道上开展紧密封鼓测试的詹姆斯·韦布望远镜将会给出答案。

**编者按** 人类所在的银河系是无数字宇宙中一个普通星系的代表，和其它类似星系一样，它在过去的一百多亿年间集结了上千亿颗恒星。

如今已是百亿年高龄的银河系，当年是如何开疆拓土，逐步壮大到今天这般规模的？在它的生命历程中何时、何地、发生了什么，才形成了如今的银晕、厚盘、薄盘等这一系列结构？

高悬夜空的璀璨银河，重重谜团待解。随着天文大数据时代的到来，人类有望逐步翻开厚重的银河系史册，从它的瑰丽姿态中追溯其长达百亿年的成长足迹。就在上周，天文学家揭示了迄今最为清晰的银河系幼年 and 青少年期成长史，为人类构建恢弘的银河系史册写下了序章。



大麦哲伦星系 图源/NASA网站 Carlos Fariñas/摄

▲银河系形成历史示意图：宇宙大爆炸—厚盘出现—银晕形成—厚盘显著成长—厚盘形成停止—薄盘开始形成并持续至今

绘图/喻京川 制图/冯晓瑜

### 李双 黄京一

3月24日，国际著名学术期刊《自然》杂志以封面文章形式发布了一项研究成果：德国马普天文研究所的研究人员向茂盛博士和汉斯·瓦尔特·瑞克斯教授利用中国科学院国家天文台运行的郭守敬望远镜（LAMOST）和欧洲空间航天局天体测量卫星盖亚望远镜（Gaia）的巡天观测数据，获取了迄今最为精确的大样本恒星年龄信息，按照时间序列清晰还原了银河系幼年和青少年时期的形成演化图像，刷新了人们对银河系早期形成历史的认知。这一发现让我们有幸可以追溯到时间的起点，一探银河的成长足迹。

如今波澜壮阔的银河系全貌？

传统认知通常认为，我们的银河系在婴儿时期经历了相当动荡的成长过程——首先是大量的贫金属气体塌缩，或是富含气体的星系间相互碰撞并合，形成了银河系的银晕；接下来，气体逐渐冷却，形成了早期银盘即银河系厚盘地带；最后，气体进一步冷却，开始形成银河系薄盘，这一过程从大约80亿至100亿年前开始，一直持续至今。

不过，这些成长历程的描述主要来自数值模拟，以及人们对碎片化观测证据的推测。近年来，随着天文观测大数据的涌现，天文学家得以逐步还原更加清晰而真实的银河系演化图像，开启银河系尘封历史的时代已经到来。

这篇以《自然》封面形式发表的最新研究成果，刻画了一个时间轴上迄今最清晰的银河系幼年和青少年的成长史。它如同一个穿越时空的使者，揭开了银河系尘封已久的过往，翻开了那些不为人知的秘史。

根据观测数据分析，天文学家将银河系的成长历史从总体上分成两个明确的阶段：130亿年前到80亿年前的早期阶段，形成了银河系的厚盘和银晕；80亿年前至今的晚期阶段，形成了银河系薄盘。

激动人心的星系吞并、川流不息的恒星迁徙、持之以恒的星系扩张……银河系的百亿年秘史充满戏剧性的跌宕起伏。

### 幼年期：厚盘初成

#### “共同富裕”的恒星“伊甸园”

138亿年前，大爆炸之后宇宙诞生，随着时间的推移，银河系雏形慢慢出现。此时，古老的恒星开始聚集，形成了银河的厚盘地带。从现在的巡天观测数据来看，这里的恒星“居民”基本上是清一色的“土著老星”。

那么，这些厚盘老星究竟寿高几何？研究人员通过分析获取的清晰演化图像发现，银河系厚盘恒星于130亿年前就已经开始形成，这距离宇宙大爆炸仅仅过去8亿年——与美国哈勃空间望远镜目前能够探测到的最遥远星系所出现的时间相当。

这样看来，居住在银河系厚盘区域那些最古老的恒星“居民”，要比银晕内部的大多数恒星光年长约20亿岁。也就是说，相较于今天我们看到的银河系中主要的银晕结构，早期厚盘要早20亿年开始形成。

这一发现刷新了天文学家对银河系早期形成历史的认知。2018年以前，大多数天文学家认为，银晕的出现要早于厚盘。直到2018年，基于欧空局盖亚卫星的一项发现，人们才对此产生怀疑，推测在银晕形成之前银河系已经存在。但当时人们对早期银河系知之甚少。此次研究终于发现，在银晕主体结构形成之前的20亿年里，早期银河系厚盘已经存在。

此次研究还发现，银河系厚盘的形成从130亿年前一直持续到80亿年前。在这段大约50亿年的时间长河中，厚盘中的星际介质和恒星的金属元素含量增加了约30倍。同时，厚盘恒星金属丰度和年龄具有出奇的一致性。也就是说，在这50亿年中任何时刻、任何位置出生的厚盘恒星，都具有近乎相同的金属元素含量。这表明厚盘的恒星可能都诞生于高度湍流的气体环境，因此恒星死亡所产生和抛射出的金属元素会被迅速扩散到整个厚盘的各个角落。不得不承认，在银河系厚盘的地界里，恒星们实现了“共同富裕”，实在是其乐融融。

### 少年期：动荡银晕

#### “兼容包并”吸纳矮星系“移民”

2018年，一项基于盖亚卫星巡天和地面光谱巡天数据的研究发现，银河系中大多数银晕恒星都来自一个矮星系。这引出了银河系历史上一段不为人知的动荡过往。这个矮星系名叫“百手巨人恩塞拉都斯矮星系”（GSE）。在距今110亿年前，它与正在开疆拓土、迅速成长中的银河系发生了碰撞，随后被银河系吞并吸收，变成了银河系的一部分——形成了银晕主体。

这段历史的发现充满了曲折。在这之前，天文学家就认为银河系外晕中有很大一部分恒星并不是银河系的本土居民，而是来自数量众多的矮星系“移民”——银河系通过吸积并合，吞并了不少矮星系，从而不断壮大自己。但天文学家仍然认为内晕由“本地恒星”主导，直到人们发现GSE碰撞银河系为银河系内晕贡献了大约2/3数量的恒星。因此，这次碰撞事件足以成为载入银河系成长史册的一次重大事件。

然而，一直令天文学家难以确定的，是这次矮星系撞击银河系的确切时间。过去很多研究推测，GSE与银河系的碰撞大约发生在距今80亿至100亿年前。比如，2019年西班牙加那利天体物理研究所的一项研究，推测GSE是在大约100亿年前与银河系相撞的。

这次的最新研究获取的银河早期演化图像，给出了碰撞事件更准确的时间点——大约是在110亿年前。这比之前认为的早了10亿年。

过去的研究采用的恒星年龄误差较大且样本很小，而这项最新研究使用的是迄今最为精确的大样本恒星年龄，并提出了一种确定GSE碰撞时间的新方法。

GSE碰撞导致一部分原本在银河系厚盘的恒星被撞出去，其运动从银盘轨道变成银晕轨道，但是其“身份证”（金属元素含量）仍旧显示它们的厚盘出身。研究人员分析了被撞出去的这部分恒星的年龄分布，发现绝大部分比110亿年老。也就是说，撞击事件必须是发生在这个时间点之前，否则，应该能看到比110亿年更年轻的厚盘恒星也被撞出去。

更为有趣的是，在这项研究中，研究人员还测定了厚盘的恒星形成活动也在110亿年前达到峰值。这个时间与矮星系GSE撞击早期银河系的时间高度吻合。论文作者认为，这绝非偶然巧合，而是暗示了厚盘的恒星形成活动受到了GSE撞击事件的显著激发。

### 青年期：年轻薄盘

#### 恒星“迁徙” 80亿年川流不息

厚盘的形成过程虽然持续了50亿年，但是厚盘中的大多数恒星主要形成于110亿年前的一次集中爆发。而薄盘的形成却与厚盘大不相同，这是一个长达80亿年的偏于平稳枯燥的动力学过程。

在银河系中，相对年轻的薄盘从80亿年前开始逐渐长成今天的形状——像夹心饼一样向两端不断变大、变宽。尽管总体平静，但其中也不乏精彩的成长故事，最精彩的可能当数银河系内部的恒星大迁徙。正所谓，夹心薄盘风华正茂，万千恒星川流不息，为银河系的千秋伟业拓土开疆。

过去80亿年间，那些形成于更靠近银河系中心的内部薄盘恒星，经过漫长的迁徙，到达今天的太阳邻域空间（距离银河系中心约2.5万光年）。

由于内部银盘的恒星形成与演化活动更加活跃，因此这些形成于内部银盘的恒星有着异常高的金属含量。它们“腰缠万贯”地搬迁到新区域，与“当地”恒星差别相当大。所以，天文学家很容易通过观测数据将这些恒星“移民”识别出来。

同样，太阳邻域也有相当一部分恒星“移民”来自外部银盘区域。相比本地恒星，这些来自外部的恒星金属含量更低，相对“贫困”的它们也比较容易被识别出来。

此外，在这80亿年间，银河系并合其它矮星系的故事也一直在上演。其中，最为广为人知的并合遗迹要数人马座星流，大麦哲伦星系也将会在不久的将来被银河系吞噬和消化。但整体而言，这些大概只能算得上是小并合事件，其影响恐怕难以跟早期的GSE撞击事件相提并论。

尘封的过往，崭新的认识。一个时间轴上较为清晰的银河系早期形成和演化图像终于得以建立，这也是目前天文学家从时间轴上刻画的最为精确和完整的银河系形成历史。天文学家翻开了银河系幼年和青少年时期成长秘史的序章。未来，随着天文仪器和科学技术的进一步发展，天文学家终将能获得一部丰富完整的银河系史册，实现对我们身处的这个美丽星系前世今生的清晰认识。

（作者单位：中国科学院国家天文台。审核人为论文作者、德国马普天文研究所向茂盛博士）



该成果登上《自然》杂志封面。