

## 天文学家基于 LAMOST 构建了批量获取星系高精度距离的新方法

近期，国际学术期刊《自然·天文》在线发表了中国科学院国家天文台陈孝钿副研究员领衔完成的一项重要成果。研究团队基于 LAMOST 和 SDSS 数据，发现双周期的天琴座 RR 型变星是最好的标准烛光，利用它的两个周期来测量星系距离不再需要元素丰度的信息，这为批量测量星系的高精度距离构建了新方法，基于该方法测量的星系距离误差可以优化到 1%-2%。这一原创性成果将对星系和宇宙的距离标尺产生重要影响。

一百年前，美国天文学家爱德文·哈勃测量了第一个河外星系仙女座大星云的距离，从而确定了河外星系的存在，开创了星系天文学的研究。随着技术的发展，天文学家已经能测量数百亿光年之外的遥远星系的距离，我们也知道了银河系只是浩瀚宇宙中的一粒星尘。当前，天文学家关注的是如何更准确地获得一颗恒星、一个星系、甚至整个宇宙的距离。

当我们仰望星空，星星是如此遥远，测量它们的距离通常需要使用量天尺，即标准烛光。标准烛光就像一盏已知功率的灯，它的内在亮度是一致的，当我们离它越远，就会感觉它越暗。我们观测到的标准烛光的亮度随距离的平方逐渐降低（图 1）。恒星中有两种常用的标准烛光：年轻的造父变星和年老的天琴座 RR 型变星。它们的内在亮度分别是太阳的上万倍和一百倍。



图 1 标准烛光艺术图



图 2 本星系群的三维艺术图

如何获取这两类恒星的内在亮度呢？它们的亮度是随时间周期性变化的，并且周期与内在亮度之间存在着线性的周光关系。利用周光关系，天文学家就可以得到这两类恒星的内在亮度，然后通过内在亮度与观测亮度的比较计算出距离。使用这种方法天文学家可以得到一个误差为 5%-10%的天体距离，但如果想得到更准的距离，则需要判断标准烛光是否足够标准。天文学家发现恒星的内在亮度会受元素丰度的影响，即拥有不同重元素的恒星具有不同的内在亮度。

之前，要想获取更精确的天体距离，就需要测量这些标准烛光的元素丰度。元素丰度的测量成本较高，需要依靠光谱测量等，因此已知的距离误差小于 2% 的河外天体还不到 5 个。陈孝钿研究团队利用 LAMOST 和 SDSS 数据，首次发现了双周期天琴座 RR 型变星的两个周期与金属丰度之间的线性关系，进而建立了双周期天琴座 RR 型变星的周光关系，即首次建立了不受金属丰度影响的“量天尺”。基于该周光关系，星系距离的测量误差可以优化到 1%-2%。

不久的将来，利用该研究成果的方法，拥有高精度距离的星系样本将扩大至少 20 倍。届时，天文学家有望获取一张精细的本星系群的三维直观图像（图 2），并将进一步限制和更新哈勃常数。论文链接：<https://www.nature.com/articles/s41550-023-02011-y>

### 研究人员基于 LAMOST 数据搜寻和研究 S 型恒星

近期，国家天文台陈静博士、李荫碧副研究员、罗阿理研究员及合作者基于 LAMOST DR10 中分辨率光谱数据成功发现 2939 颗 S 型恒星，将已知 S 型恒星数量翻倍，并构建了目前最大的 S 型恒星星表。基于机器学习方法，团队重点研究和解决了是否能够使用中分辨率且没有锝 (Tc) 线特征的光谱，对 S 型恒星进行分类以及如何分类的问题。他们基于 LAMOST 光谱数据首次成功完成了批量 S 型恒星的分类，大幅增加了具有内禀和外赋分类标签的 S 型恒星数量。这项研究成果为进一步研究 S 型恒星物理性质和恒星的化学演化奠定基础。目前，该成果已发表在国际知名期刊《天体物理学报增刊》（2023, ApJS, 267, 5）。

中低质量的恒星演化到晚期，会进入渐近巨星支 (AGB) 阶段。AGB 阶段又分为早期 AGB 阶段和热脉冲 AGB 阶段，其中热脉冲 AGB 星阶段会将恒星内部产生的化学元素“挖掘”到恒星表面，当“挖掘”的化学元素含量满足一定条件时便产生了 S 型恒星。此类恒星光谱上最重要的特征是：具有明显的 ZrO 分子带（见图 3）。研究团队在 LAMOST DR10 的海量光谱中发现了 2939 颗 S 型恒星，这是目前发现 S 型星数量最多的工作。

S 型恒星又分为内禀和外赋两种：内禀 S 型星位于热脉冲 AGB 阶段，它们大气中慢中子俘获过程元素含量的增加（增丰）是通过内部挖掘过程实现；外赋 S 型恒星处于双星系统中，有一颗白矮星（前身是 AGB 星）伴星，慢中子俘获过程元素增丰是通过跟伴星“物质交换”产生的。目前，区分内禀和外赋 S 型恒星最直接和准确的方法是探测光谱中是否存在 Tc 线，然而这需要高分辨率和高信噪比光谱，这增加了 S 型恒星分类工作的难度。前人发现的 1347 颗 S 型星中，具有内禀和外赋分类结果的数量很少，极大地限制了 S 型恒星的进一步研究。

对于 LAMOST 数据中发现的 2939 颗 S 型恒星，研究团队首次探索了如何快速有效实现分类的方法，最终确定了基于机器学习算法的两种分类方法，均取得较好的分类准确率。

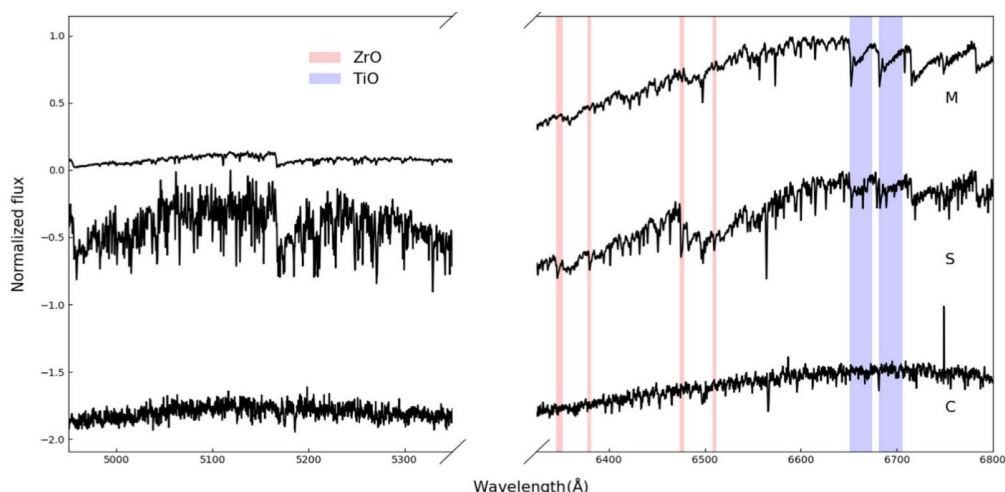


图3 从上到下依次为 M 型星、S 型星和碳星光谱，粉色展示了 S 型星光谱中四个 ZrO 分子带。

第一种方法使用了红外测光数据。研究团队收集了 2MASS、ALLWISE、AKARI 和 IRAS 四个巡天的测光数据，用它们各种可能的组合来训练机器学习模型，他们发现：同时使用 2MASS、AKARI 和 IRAS 数据（即“2MASS+AKARI+IRAS”组合）训练的机器学习模型的准确率最高，达到 95.52%。研究团队将该模型应用于 876 颗具有这三个巡天测光数据的 S 型恒星，成功将它们分类为 381 颗内禀和 495 颗外赋类型的 S 型恒星。此外，借鉴机器学习算法，研究团队提出了 6 个区分内禀和外赋 S 型恒星的色标标准，分类准确率达到 90%，较前人方法提高约 5% - 7%。

第二种方法使用了 LAMOST 中分辨率光谱。研究团队经过反复实验发现：同时使用 LAMOST 中分辨率蓝端和红端光谱（全谱）作为输入训练的模型分类准确率最高，达到 94.8%。通过分析算法给出的重要性排在前 30 的输入特征，研究团队从中整理出 4 个对区分内禀和外赋 S 型恒星非常重要的光谱区域，即 Zr I、Ne II、H $\alpha$  和 Fe I & C I，并发现：外赋 S 型星在这四个区域的等值宽度系统性高于内禀 S 型星。研究团队认为：外赋 S 型星经历的热脉冲次数多于内禀 S 型星，这是它们在 Zr I 线区域等值宽度系统性更高的原因。研究团队再次仅使用这四个光谱特征重新训练模型，使内禀和外赋的分类准确率达到 92.1%，尽管略低于使用全谱训练的模型的准确率，但充分说明：这四个区域对区分内禀和外赋 S 型恒星的重要性。研究团队将训练好的机器学习模型应用于此次发现的 2939 颗 S 型星，成功对它们进行分类，首次完成对大量 S 型星进行分类的工作，大幅增加了具有内禀和外赋分类标签的 S 型恒星的数目，为 S 型星的后续物理性质的研究奠定了基础。

不同于以往少量具有高分辨率高信噪比观测的 S 型星的分类，对于数量更多且只有中分辨率光谱观测的 S 型星分类问题，研究团队找到了快速有效的解决方案，对相关领域的研究起到了推动作用。论文链接：<https://arxiv.org/abs/2305.09294>



### 观测运行部工作情况

- ✓ 形成 LAMOST 观测室和小圆顶的改造方案并配合施工；
- ✓ CCD 集群硬件设备工作环境的配置和测试，以及软件的安装和调试；
- ✓ LAMOST 导星相机的维护和软件升级；
- ✓ 大屏幕软硬件更新和升级，原始数据服务器的数据备份整理；
- ✓ 小圆顶气象站环境参数标定等工作。

### 科学巡天部工作情况

- ✓ 开展 LAMOST 第三期巡天输入星表相关的准备工作；
- ✓ 更新和完善科学巡天相关的硬件设备及运行环境。

### 数据处理部工作情况

- ✓ 跟踪 LAMOST 用户使用数据情况和数据发布网站的使用情况；解决和回馈用户提出的数据方面的问题；
- ✓ 准备 DR11 v0 版本的第三批光谱数据的国内发布和 DR9 v2 版本数据集的国际发布事宜；
- ✓ 完成类星体光谱识别与测量模块（QM v2.0 版本）的升级与测试。

### 技术维护与发展部工作情况

**日常维护：** MB 子镜测试片反射率测量；6 块金基紫外增强型反射试验镜片清洁维护及反射率测量。MA、MB、焦面和中心楼日常清洁维护；现场供电设施、发电机组、MA 圆顶及焦面电梯等检查维护和日常安全巡检。

**夏季维护：** 完成 23 号 MB 子镜室和位移促动器的拆卸与重新安装；1 块备份 MB 子镜的镀膜；完成 11 块 MA 镜面分离、12 块 MA 子镜脱膜和重新镀膜（目前共完成 20 块）；MA 子镜钢垫检查，5 块脱胶子镜钢垫胶接；安装 MA 代子镜，进行力促动器维护、更换（共计更换 316 套）和线性测试。

更换 3 台光谱仪的新光纤，完成 3 号光谱仪狭缝调试；完成 6 台光谱仪共计 1500 个新更换光纤定位单元的安装，并对其余 10 台光谱仪的光纤定位单元进行检查维护和更换。

焦面 6、7 层水冷循环水路清洁维护和打压测试；完成光谱仪杜瓦抽真空测试，恢复 7 号离子泵运行；参考光纤更换，焦面旋转拍照测试；安装激光跟踪仪，并复核参考光纤位置测量结果等相关工作。



LAMOST 运行和发展中心

Center for Operation and Development of LAMOST Telescope