

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.04

基于 LAMOST 光谱巡天的 Be 星搜寻

林建争, 陈 力, 钟 靖

(中国科学院 上海天文台, 星系与宇宙学重点实验室, 上海 200030)

摘要: 郭守敬望远镜 (LAMOST, 大天区面积多目标光纤光谱望远镜) 是一架新类型的大口径兼具大视场望远镜, 巡天观测源预计会超过 1×10^7 个, 其中包含了恒星、星系及类星体。第一次数据释放在 2015 年并公开, 包含了约 2.2×10^6 个天体, 接着第二及第三次数据释放新增各约 1.5×10^6 个天体。第一次数据释放中约九成被分类为恒星, 本次工作中从中指认出典型的 B 型发射线 (Be) 星。基于 Be 星几个明显的特征谱线, 如 He I $\lambda 4387$, He I $\lambda 4471$, Mg II $\lambda 4481$ 吸收线, 以及 H β $\lambda 4861$ 和 H α $\lambda 6563$ 发射线, 在第一次数据释放里一共找到 192 颗 Be 星, 其中有 12 颗是已知的 Be 星, 新增加的 Be 星将已知的 Be 星样本增加了 8% 的数量。新发现的 Be 星大多分布在反银心方向, 主要是由于 LAMOST 的观测策略造成的。其中仅有两个 Be 星属于星团成员星, 因此可以得知年龄为 15.8 Ma 及 398 Ma。

关 键 词: 发射线星; 光谱巡天; 星团; 恒星演化

中图分类号: P111.2 **文献标识码:** A

1 引 言

郭守敬望远镜 (LAMOST, 大天区面积多目标光纤光谱望远镜) 是一架新类型的大口径兼具大视场望远镜^[1, 2], 建于中国科学院国家天文台兴隆观测站。主镜为 6.67×6.05 m 的拼接式球面镜, 及 5.72×4.40 m 的反射施密特改正板, 和一直径为 1.75 m 焦面所组成。球面主镜及焦面固定在地基上, 由反射施密特改正板作为定天镜跟踪天体的运动, 望远镜在天体经过中天前后时进行观测。焦面上放置的光纤, 将天体的光分别传输到光谱仪的狭缝上, 然后通过光谱仪后的 CCD 探测器同时获取天体的光谱。LAMOST 采用并行可控的光纤定位技术, 在 5° 视场的焦面上放置 4 000 根光纤, 可同时获得 4 000 个天体的光谱, 目前已经成为世界上光谱获取率最高的望远镜。

LAMOST 巡天观测是 5 年涵盖整个北天区, 预计会超过 1×10^7 个星体, 图 1 显示目前 LAMOST 三年多时间观测的天区, 一般每次观测信噪比大于 10 的星体可达约 18 mag。本文

资助项目: 台湾青年访问学者计划 (2015TWMB3); 国家自然科学基金 (11373054, 11503066); 中国科学院战略性先导科技专项 B 类 (XDB09010100)

通讯作者: 林建争, cclin@shao.ac.cn

发表时 LAMOST 观测已经进入第四年第三季, 内部释放数据包含三年。第一年数据于 2014 年中公开发布^[3, 4] (以下简称 DR1), 包含先导数据一共约有 2.2×10^6 条光谱, 其中约八成被分类为恒星, 其余是星系及类星体。其数据还包括一个约 1×10^6 条恒星光谱参数星表, 至此已经是世界上最大的恒星光谱参数星表。随后的第二年和第三年数据也分别于 2014、2015 年底发布并供给国内外合作者使用。

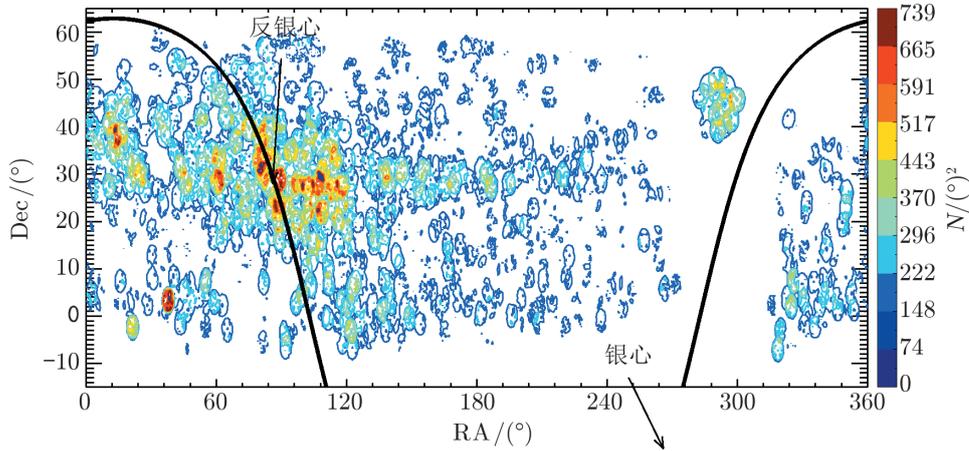


图 1 LAMOST 三年多观测涵盖天区数据密度分布

本次工作主要基于 LAMOST DR1 来寻找 Be 星。Be 星泛指 B 型恒星具有或曾被观测有巴耳末系发射线, 其特别之处在于它是所有主序星发射线星中数量占比最大的星体^[5]。一般认为其发射线源主要来自其星周盘的物质, 而星周盘的形成主要因它自转速度接近或超过 75% 的解体速度^[6, 7], 但其高速旋转的机制却尚未完全解释清楚; 另外, Be 星在星团内与 B 型星的比值随着离银河系中心越远而越高^[8], 这是否显示其数量跟星团金属丰度有关; 而现有的 Be 星大多不在恒星形成区附近, 究竟这些 Be 星如何形成, 是我们想要理解的一部分。目前寻找 Be 星的方法大多靠 $(H\alpha)$ 波段成像为主^[9], 但并非所有的 Be 星氢发射线都足够强烈, 因此现有的样本数还不足以完整解释上述问题。利用 LAMOST 大量的恒星光谱, 可以更高效地选出新发现的 Be 星, 这些新的 Be 星样本将有助于我们进一步了解 Be 星在银河系中的分布及其在星团中的形成和演化。

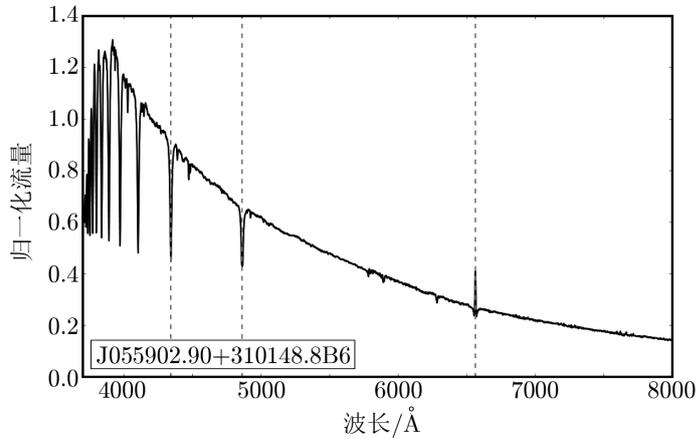
2 Be 星搜寻与结果

判断 B 型星最主要的依据是氢巴耳末系吸收谱线加上中性氢吸收线, 以及游离镁的吸收线。而 Be 星的判断依据主要是在 $H\alpha$ 及 $H\beta$ 上有发射线的特征, 其在剩下的巴耳末系线中逐渐不明显。因此本次工作主要从 LAMOST 里面挑选出具有以下性质的星为 Be 星候选源: 吸收线 $He\ I\ \lambda 4387$, $He\ I\ \lambda 4471$ 和 $Mg\ II\ \lambda 4481$, 发射线 $H\beta\ \lambda 4861$ 及 $H\alpha\ \lambda 6563$ 。可以同时利

用 LAMOST 观测到的已知 Be 星来估算这些谱线的等值宽度 (EW_λ), 其定义如下:

$$EW_\lambda = \int (1 - f_i/\bar{f}_c) d\lambda, \quad (1)$$

其中, f_i 是谱线的流量, \bar{f}_c 是对每个谱线以 140 \AA 的宽度来拟合连续谱线的流量, 每条谱线以 40 \AA 做积分估算其等值宽度。我们总结了 23 颗在 DR1 里已知 Be 星的几条吸收线和发射线的等值宽度, $EW_{\text{He I } \lambda 4387} \approx 0.387 \text{ \AA}$ 、 $EW_{\text{He I } \lambda 4471} \approx 0.663 \text{ \AA}$ 、 $EW_{\text{Mg II } \lambda 4481} \approx 0.291 \text{ \AA}$ 、 $EW_{\text{H}\alpha} \lambda 6563 < 0.50 \text{ \AA}$ 、 $EW_{\text{H}\beta} \lambda 4861 < 0.33 \text{ \AA}$ 。一旦 LAMOST 恒星光谱中 He、Mg 吸收线的等值宽度与已知接近, 而 $\text{H}\beta \lambda 4861$ 和 $\text{H}\alpha \lambda 6563$ 的等值宽度分别小于 0.33 \AA 及 0.50 \AA , 即被判定为 Be 星候选源。图 2 展示了一个在 DR1 里新发现的 Be 星候选源, 由于此星有氢吸收线加上明显 $\text{H}\alpha$ 发射线, 因此被判定为 Be 星。

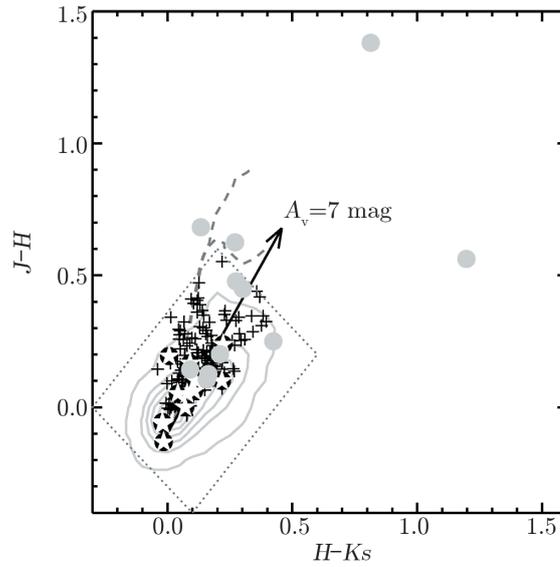


注: 虚线从右至左分别为 $\text{H}\alpha$ 、 $\text{H}\beta$ 、 $\text{H}\gamma$ 线。

图 2 新发现的 Be 星 LAMOST 光谱

另一方面, 为了减少其他非典型 Be 星的污染, 如 B[e] 或年轻 Herbig Ae/Be 星, 可利用恒星颜色来选取更可信的 Be 星样本。恒星颜色同样依赖现有的 Be 星表^[10], 与 2MASS 巡天数据^[11] 匹配的近红外颜色, 即 $J-H$ 与 $H-K_s$, 来决定选取范围。如图 3 所示, 灰色等密度线最外圈涵盖现有 Be 星约 99% 的数量。假设大多数的 Be 星都有相同的近红外颜色, 因此可以选取一个虚线方框以剔除 Be 星候选源的污染。最后有 192 颗 Be 星被挑选出来, 其中 12 颗是已知的 Be 星。

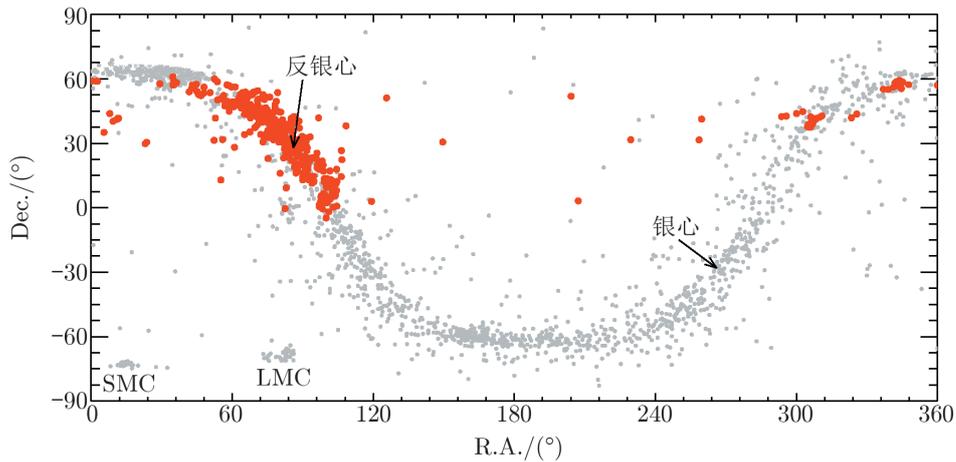
虽然目前已知的 Be 星约有 3 000 多颗^[9, 10, 12], 然而仅有 23 颗不足 1% 在 LAMOST 的输入星表。其中能重新再被挑选出来的有 12 颗, 剩下有 5 颗是信噪比太低 (小于 5), 另外有 4 颗星的光谱红蓝两端校正有问题而无法判断, 以及 1 颗已知 Be 星 (又名 GSC 02342-00359) 是年轻恒星, F0-G4 型星, 在近红外颜色图上被排除是 Be 星, 最后 1 颗无法判定为 Be 星主要原因是其镁吸收线不明显而被排除。综上所述, 扣除低信噪比以及光谱校正有问题的 LAMOST 谱线, 本工作的方法对于 Be 星的准确度可以达到约 85%。这些 LAMOST 发现的



注: 黑色虚线上面是巨星, 下面是矮星。黑色箭头表示红化方向图中以红化值为 7 mag。等密度线图显示已知的 Be 星分布, 虚线方框包含了大多数的 Be 星。黑色十字是 Be 星候选源, 白星型及灰色圆是已知 Be 星, 分别表示被 LAMOST 重新挑选出来和没挑出来的结果。

图 3 2MASS 巡天近红外颜色图

新 Be 星将现有的 Be 星表扩增了约 8%, 虽然有一些新发现的 Be 星以前曾被判定为发射线星^[13], 然而它们的恒星类型并未被分类, 借由 LAMOST 光谱, 能够进一步确认他们是 Be 星。对于这些新的 Be 星, 从空间分布上可以发现大多位于反银心方向 (见图 4), 这是由于 LAMOST 前两年观测策略以反银心方向为主。



注: 灰色点是已知的 Be 星^[9, 10, 12], 红色点是 LAMOST DR1 发现的 Be 星, 大小麦哲伦、银河中心及反银心方向均有标示。

图 4 Be 星的空间分布

一般判断恒星是否为星团成员,可以依据恒星在位置空间、颜色-星等图上的分布,以及自行空间的分布加以判定^[14],如果 Be 星属于星团成员,其距离及年龄便可估计。依此方法,192 颗 Be 星仅有 2 颗位于星团内。其中 1 颗是疏散星团 Kronberger 18 的成员,年龄约 15.8 Ma,距离约 2.7 kpc^[15];另外 1 颗属于疏散星团 FSR 1025,星团年龄约 398 Ma,距离约 2.1 kpc^[15]。目前已知 Be 星存在的最年老星团 NGC 6268 是 316 Ma^[8],此 Be 星似乎因某种原因而存活更久一些,不过也可能是疏散星团中心形成的二代星族。

3 总结与展望

Be 星在主序星中的高比例,让我们进一步从中研究这类大质量恒星在演化过程中所扮演的角色。本次工作利用 B 型星的吸收谱线及 Be 星的氢发射线特性,从 LAMOST 第一年约 2×10^6 条光谱数据中,挑选出 192 颗 Be 星,其中有 12 颗是已知的 Be 星,而仅有 2 颗 Be 星存在于疏散星团中。随着 LAMOST 未来几年约 1×10^7 条光谱数据的公开,除了可以用来大量搜寻 Be 星,也可以结合最新的 SDSS-IV APOGEE 巡天在红外波段的高分辨率光谱数据,来估计 Be 星的旋转速度及化学组成,并利用泛星巡天 (Pan-STARRS) 的数据库来估计在星团中 Be 星的参数如年龄、距离和红化等。LAMOST 银河系光谱巡天是目前世界上恒星光谱观测数量最多的巡天观测,极限星等于 R 波段可以达到 18.5 mag,相当于可以看到 B 型星在 $(0.1 \sim 1) \times 10^5$ pc 的距离,从反银河系方向已经涵盖了整个银河系的范围,而其分辨率 ($R \simeq 1800$) 也足以分辨出在 $H\alpha$ 波长附近是否有单峰发射线或是双峰值。而从 LAMOST DR1 的初步分析结果显示,除了已知的 3 000 多颗 Be 星外,还能找出新的 Be 星 (新增约现有的 8%),因此,从 LAMOST 五年巡天数据 (千万条光谱) 中,我们可以预期能找出更多 Be 星,比以往数量增加约多 50% 以上。

参考文献:

- [1] Cui X Q, Zhao Y H, Chu Y Q, et al. RAA, 2012, 12: 1197
- [2] Zhao G, Zhao Y H, Chu Y Q, et al. RAA, 2012, 12: 723
- [3] Luo A L, Zhang H T, Zhao Y H, et al. RAA, 2012, 12: 1243
- [4] Luo A L, Zhao Y H, Zhao G, et al. RAA, 2015, 15: 1095
- [5] Kogure T, Leung K C. The Astrophysics of Emission-Line Stars. Astrophysics and Space Science Library, 2007: 342
- [6] Porter J M, Rivinius T PASP, 2003, 115: 1153
- [7] Mathew B, Subramaniam A, Bhatt B C. MNRAS, 2008, 388: 1879
- [8] McSwain M V, Gies D R. ApJS, 2005, 161: 118
- [9] Raddi R, Drew J E, Steeghs D, et al. MNRAS, 2015, 446: 274
- [10] Zhang P, Chen P S, Yang H T. New Astronomy, 2005, 10: 325
- [11] Cutri R M, Skrutskie M F, van Dyk S, et al. yCat, 2003, 2246: 0
- [12] Neiner C, de Batz B, Cochard F, et al. AJ, 2011, 142: 149
- [13] Kohoutek L, Wehmeyer R. Astronomische Abhandlungen der Hamburger Sternwarte, 1997, 11: 1

[14] Yu P C, Lin C C, Chen W P, et al. *AJ*, 2015, 149: 43

[15] Kharchenko N V, Piskunov A E, Schilbach E, et al. *A&A*, 2013, 558: A53

Identification of Be Stars from LAMOST

LIN Chien-Cheng, CHEN Li, ZHONG Jing

(Key Laboratory for Research in Galaxies and Cosmology, Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

Abstract: The Large Sky Area Multi-Object fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST, also called the Guo Shou Jing Telescope) is a spectroscopic survey that will eventually collect 10 million spectra of stars, galaxies and QSOs. The first year data contains 2.2 million objects was public released in 2015. The next three-year observations additionally add about three million objects. About 90% objects are classified to be stars, from these objects we have identified B-type emission-line (Be) stars in LAMOST DR1. A total of 192 objects (12 previously known Bes) were identified as Bes with prominent He I $\lambda 4387$, He I $\lambda 4471$ and Mg II $\lambda 4481$ absorption lines, as well as H β $\lambda 4861$ and H α $\lambda 6563$ emission lines. These candidates significantly increase the currently known sample of Bes by about 8%. Most of the Be candidates are distributed near the Galactic Anti-Center due to the observing strategy used for LAMOST. Only two Bes are in star clusters. These two Bes have ages of 15.8 and 398 Ma, respectively.

Key words: emission-line star; spectroscopic survey; stellar clusters; star formation