

# 双活动星系核寄主星系的光谱合成分析

汪梦欣<sup>1,2</sup>, 罗阿理<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院光学天文重点实验室(国家天文台), 北京 100101
2. 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要** 星系并合会产生不同尺度距离的星系对甚至双活动星系核, 同时在过程中会触发星暴以及超大质量黑洞的活动。在光谱上, 当两个星系并合到 kpc 尺度时, 其两个核的相互绕转在总光谱上会表现出窄线双峰谱线轮廓。以这个观测特性为起点, 从郭守敬望远镜巡天的第四次释放数据(LAMOST DR4)中系统的搜寻带有窄发射线双峰特征的双 AGN 候选体。AGN 的发射线光谱轮廓由发射线的若干种不同的动力学成分构成, 主要可以分为三类, 窄线成分( $H\beta$ ,  $[OIII]$ ,  $H\alpha$  and  $[NII]$ ),  $[OIII]$  的线翼、以及宽的 Balmer 发射线。基于 LAMOST DR4 河外光谱数据, 应用了一套搜寻流程, 在初始筛选(涉及到发射线的信噪比、等值宽度和红移)及目视检查挑选之后, 通过建立的多高斯拟合模型挑选出在发射线的流量、半高全宽、窄线双峰之间速度分离程度等一系列参数上符合我们限制要求的样本, 并借助于 Baldwin-Phillips-Terlevich (BPT) 图来鉴别每个成分的来源, 确定出了 28 个双 AGN 候选体。为了获取更准确的星族成分并发现这类双 AGN 候选体样本的共有特性, 对 28 个双 AGN 候选体的光谱流量用一个低阶多项式重新进行了修正并采用传统的统一插值和中值方法对其进行合并得到一条高信噪比光谱, 并以目前已有的来源于 LAMOST 星系光谱数据的 II 型 AGN(单 AGN)的复合光谱作为对照样本, 采用 STARLIGHT 软件分别拟合了合并的双 AGN 和对照的单 AGN 的光学光谱中的吸收线和连续谱。通过研究它们的星族特性及两者间的异同, 发现与单 AGN 复合谱相比, 双 AGN 候选体样本的合并谱具有更多中等年龄及老年星族的贡献, 反映出更剧烈的中心黑洞。在金属丰度方面, 单 AGN 的主导星族为太阳金属丰度的星族  $Z_{\odot}$ , 而双 AGN 候选体合并谱中贡献较多的星族为亚太阳金属丰度星族  $0.2 Z_{\odot}$  和富金属丰度星族  $2.5 Z_{\odot}$ , 表现出了差异性特征, 也预示着这类样本中恒星形成历史更加复杂, 呈现出了多样化。在幂律谱成分贡献方面在单、双 AGN 中老年星族都贡献了其大部分质量, 但单 AGN 复合谱中幂律成分占比为 8.2%, 明显高于双 AGN 候选体合并谱中幂律成分的贡献。

**关键词** LAMOST; 双活动星系核; 光谱合成; 星族分析

**中图分类号:** P141.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)01-0290-04

## 引言

在冷暗物质宇宙学模型中, 存在着星系的等级式成团理论, 星系并合会产生不同尺度距离的星系对<sup>[1]</sup>间的并合过程会触发星暴以及超大质量黑洞活动的触发条件及结果也取决于并合星系的类型和气体含量等。当两个星系并合到 kpc 尺度时, 两者的核球还是相互独立的, 并合促使两者围绕着新的质量中心旋转, 旋转速度约几百  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 来自于两个并合源窄线区的窄发射线在视线投影方向会分别出现蓝移和红移现象, 当这个速度差足够大, 并且我们用一个光谱仪狭缝

或者光纤在合适的倾角下去捕捉这个并合源的光, 在光谱上会表现出窄线双峰的特征<sup>[2]</sup>。过往的研究也表明在大样本光谱巡天中去搜寻带有双峰窄发射线特征的星系是一种找到双活动星系核(AGN)候选体的有效办法<sup>[3-4]</sup>。

所谓星族, 顾名思义就是在年龄、化学成分、空间分布及运动学特征方面非常接近的大量恒星的集合, 星系的星族成分表征了其内部恒星的形成及化学增丰历史, 为研究星系形成与演化提供了宝贵的信息。而星族合成就是基于星系的积分特征(如光谱、谱线指数)来确定其内部恒星构成的方法。

我们将基于郭守敬望远镜(LAMOST)的 DR4 巡天的河

收稿日期: 2018-11-04, 修订日期: 2019-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(11603042)资助

作者简介: 汪梦欣, 女, 1986年生, 国家天文台工程师 e-mail: mxwang@nao.cas.cn

外光谱数据, 构建一组双 AGN 候选体样本, 并对这批样本的寄主星系的特性进行分析, 了解这批特殊样本其宿主星系的物理特性。

## 1 双 AGN 候选体的构建

我们的样本来源于 LAMOST DR4 星系和类星体数据集, 约 153 000 条光谱数据。基于 LAMOST 光谱数据特点, 筛选出在重要发射线波段处表现出窄线双峰特征的目标。在初始阶段, 通过对这批样本光谱信噪比、红移以及发射线等值宽度这些值的挑选, 得到一批高质量的发射线星系样本, 并对这些样本进行人眼筛选, 挑出其中在关键的发射线  $H\alpha$  [ $O_{III}$ ]  $\lambda\lambda 4959, 5007$  以及  $H\beta$  [ $N_{II}$ ]  $\lambda\lambda 6548, 6584$  谱线轮廓上均表现出趋势相对一致的双峰结构或者强不对称性的光谱。

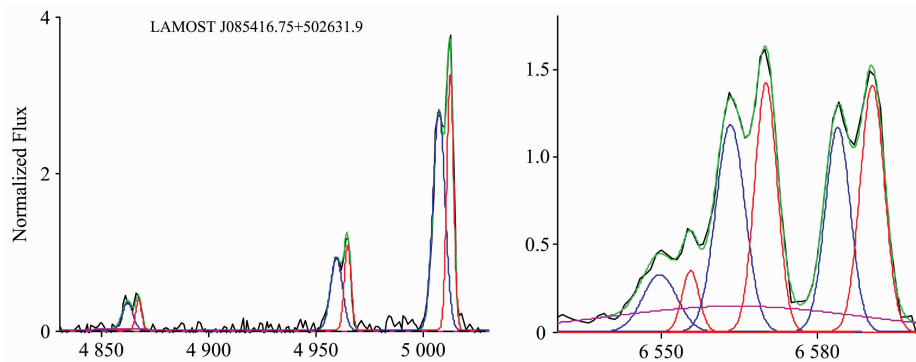


图 1 窄线双峰星系光谱多高斯拟合示例

Fig. 1 Example of the multi-gaussian fitting of a double-peaked emission-line galaxy

窄线双峰中的红移和蓝移成分可能由于不同光源的电离所激发, 因此我们借助 BPT 图来鉴别每个成分的来源, 对这 325 个源的红移和蓝移成分进行了 BPT 分类。图 2 给出了这 325 个双峰源的 BPT 分类图。我们采用 Kewley 等 2001 年提出的恒星形成星系和 AGN 的分界线<sup>[6]</sup>, 以及 Cid Fernandes 等 2010 年提出的 Seyfert II 与 LINER 的区分标准<sup>[7]</sup>,

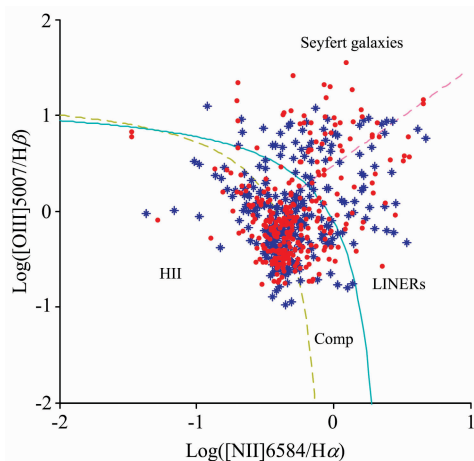


图 2 325 个窄线双峰源的 BPT 分类

Fig. 2 The BPT classification for 325 double-peaked emission-line sources

LAMOST 光谱中不仅包含有来自于星系核区的光, 还有来自于寄主星系的恒星光。为了能对发射线谱线进行更精确的测量, 我们对样本进行了星族合成 STARLIGHT 软件<sup>[8]</sup>重构其中的恒星成分。纯发射线光谱轮廓由发射线的若干种不同的动力学成分构成, 主要可以分为三类, 窄线成分 ( $H\beta$ , [ $O_{III}$ ],  $H\alpha$ , [ $N_{II}$ ]), [ $O_{III}$ ] 的线翼, 宽的 Balmer 发射线。为了对这三类动力学成分进行区分并判断其谱线是否存在红蓝偏移的双成分, 构建了三种高斯模型来描述。采用非线性最小二乘方法进行拟合, 并以卡方最小的拟合模型作为最优解。我们检查每个拟合, 找出其中谱线轮廓拟合适用于多高斯模型的光谱。我们最终确定了 325 个源, 表现出明显的窄线双峰或者强不对称性的轮廓结构。图 1 给出其中一个源的拟合结果作为示例。

最终确定了在这 325 个目标中共 28 个源其红移蓝移双成分均落在 BPT 图的 II 型 AGN 区内, 为我们的样本中最可能的双 AGN 样本。

## 2 双 AGN 候选体的光谱合成

为了对 LAMOST 中的双 AGN 候选体这批特殊目标的寄主星系的物理特性有更深入的了解, 我们将其星族合成结果与 LAMOST 的普通 II 型 AGN 的星族合成结果进行了对比, 寻找两者的异同。这里选用的对照样本来源于 Wang 等 2018 年对 LAMOST DR4 的星系样本特征分类后构造的 II 型 AGN 源的复合谱<sup>[8]</sup> (我们称为单 AGN 复合谱)。我们的 28 个双 AGN 候选体其原始光谱在 pipeline 处理时都经过了天光背景扣除、大气吸收带扣除、波长定标。接着对其所有光谱进行了银河系消光改正, 将其移回静止波段, 并将所有光谱插值为统一的波长步长, 波长范围为  $3\ 701\sim 8\ 500\ \text{\AA}$ 。我们采用传统的选取中值方法将 28 条双 AGN 候选体的光谱进行了合并, 这样可以更直观的了解各个类型星系样本的星族成分, 同时提高了光谱的信噪比。接着选用 STARLIGHT 软件分别对单 AGN 复合谱和我们的双 AGN 候选体样本的并合谱来进行星族合成。我们选用了 BC03<sup>[9]</sup> 模型中的 45 条简单星族 (SSP), 覆盖了 15 个不同年龄和 3 种金属

表 1 单 AGN 复合谱和双 AGN 候选体并合谱中的星族贡献百分比

Table 1 The contribution of stellar populations in single AGN composite and the combined spectra from dual AGN candidates

SSP	年龄				金属丰度 $Z/Z_{\odot}$			
	年轻	中等年龄	年老	幂律	0.2	1.0	2.5	幂律
对照样本复合谱	17.0	48.8	26.1	8.2	8.1	70.1	13.6	8.2
双 AGN 候选体并合谱	15.4	49.7	34.1	0.8	32.0	24.1	43.1	0.8

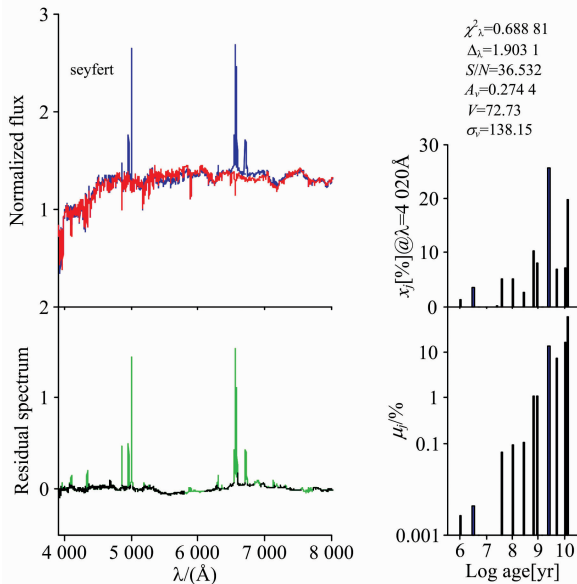


图 3 单 AGN 复合谱的拟合结果

Fig. 3 The fitting result for single AGN composite

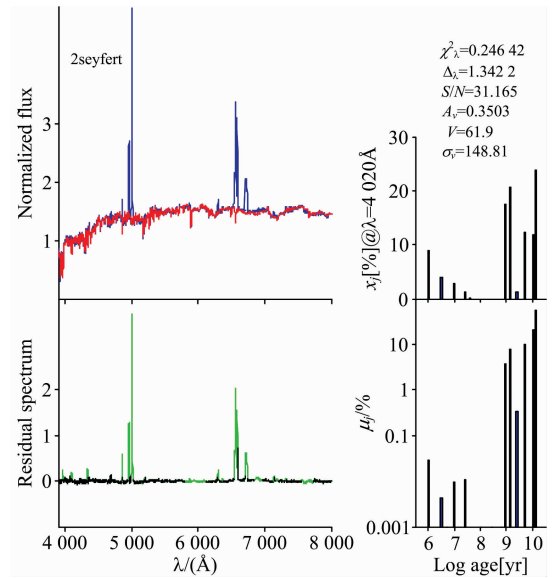


图 4 双 AGN 候选体并合谱的拟合结果

Fig. 4 The fitting result for combined spectra from dual AGN candidates

丰度。在拟合时，针对 II 型 AGN 光谱中的非恒星成分，我们还添加了一个幂律谱。图 3 和图 4 分别给出了两者的结果。这两个图有相同的布局排列和标志含义。图中的左侧两个小图绘出了输入谱、合成谱以及残差谱，也就是纯发射线谱，右侧两个小图给出了星族信息，分别画出了每条 SSP 对总合成谱的光度贡献百分比(右上小图)以及质量贡献百分比(右下小图)。

### 3 星族合成结果对比

为了对相关星族信息有一个更易理解更直观化的分析，我们按照 Fernandes 等采用的划分标准<sup>[5]</sup>，将 15 个年龄的 SSP 分为老年星族(年龄  $\geq 1 \times 10^{10}$  yr)、中等年龄星族( $6.4 \times 10^8$  yr  $\leq$  年龄  $\leq 5 \times 10^9$  yr)及年轻星族(年龄  $\leq 5 \times 10^8$  yr)，表 1 中列出了每个量化的年龄区域中的 SSP 对光度贡献的百分比。结合表 1 及图 3 和图 4，我们对两者的异同进行分析，

### References

- [1] Blecha L, Loeb A, Narayan R. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2013, 429: 2594.
- [2] Comerford J M, Gerke B F, Stern D, et al. Astrophysical Journal, 2012, 753: 42.
- [3] Müller-Sánchez F, Comerford J M, Nevin R, et al. Astrophysical Journal, 2015, 813: 103.
- [4] Comerford J M, Pooley D, Barrows, et al. Astrophysical Journal, 2015, 806: 219.

针对不同年龄星族的贡献，两者中占主导的星族均为中等年龄星族，年轻星族贡献的很少，这个结论也与我们预想的一致，因为 II 型 AGN 是被认为由核活动主导，其中的恒星活动强度很弱。相比于单 AGN 复合谱，双 AGN 候选体样本合成的并合谱中具有更多的来自于中等年龄及老年星族的贡献，反映出更剧烈的中心黑洞。在金属丰度影响方面，对照样本占主导的星族为太阳金属丰度的星族  $Z_{\odot}$ ，而双 AGN 候选体并合谱中贡献较多的星族为亚太阳金属丰度星族 0.2  $Z_{\odot}$  和富金属丰度星族 2.5  $Z_{\odot}$ ，表现出了异性特征，也预示着这类样本中恒星形成历史更加复杂，呈现出了多样化。在幂律谱成分贡献方面，对照样本中幂律谱成分占比为 8.2%，明显高于双 AGN 候选体并合谱中幂律成分的贡献。观察图 3 和图 4 中描绘质量贡献百分比的右下小图我们发现，对于两个光谱而言，老年星族贡献了其大部分质量，这个原因可能要归因于年轻的大质量性比老年星要演化的快很多。

- [5] Fernandes R C, Mateus A, Sodré L, et al. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2005, 358: 363.
- [6] Kewley L J, Dopita M A, et al. Astrophysical Journal, 2001, 556: 121.
- [7] Cid Fernandes R, Stasinska G, Schlickmann M S. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2010, 403: 1036.
- [8] Wang L L, Luo A L, Shen S Y, et al. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2018, 474: 1873.
- [9] Bruzual G, Charlot S. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2003, 344: 1000.

## Spectral Analysis of Host Galaxy from Possible Dual AGNs

WANG Meng-xin<sup>1, 2</sup>, LUO A-li<sup>1, 2</sup>

1. Key Laboratory of Optical Astronomy, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract** The merger of massive galaxies can also invoke a series of phenomena such as the starburst and SMBH activities, besides galaxies pairing and dual AGNs. When two galaxies merger to kiloparsec (kpc) scale and begin to co-rotate with each other, and the adjacent narrow line regions are sensed by a single spectrograph slit or fiber, double-peaked emission lines would appear in the integrated spectra. In this paper, starting from this observation characteristic, we systematically search for dual AGN candidates whose spectra display double-peaked narrow emission line features in the Data Release 4 of LAMOST survey (LAMOST DR4). The profiles of emission lines of AGN spectra are composed of several different dynamic components, which can be divided into three types including narrow line components ( $H\beta$ ,  $[O III]$ ,  $H\alpha$  and  $[N II]$ ), wings of  $[O III]$  lines, and broad Balmer emission lines. Based on LAMOST DR4 extragalactic spectra, we apply a set of search process, after the initial screening (involving the signal-to-noise ratio, the equivalent width and redshift cuts) and visual check and selection, we establish a sample with double-peaked narrow emission lines, which meets with our criteria of fluxes, full-width-half-maximum and velocity gap between two narrow components in their multi-gaussians fitting. Based on the Baldwin-Phillips-Terlevich (BPT) diagnosis, we finally detect 28 dual AGN candidates. In order to obtain more accurate and find the common characteristics of this kind of dual AGN candidates, we re-correct the spectral flux of these 28 objects with a low-order polynomial and combine them with the traditional interpolation and median method to obtain a high signal-to-noise ratio spectrum. We also take a composite spectra constructed from single type II AGNs in LAMOST DR4 as the control sample. The software STARLIGHT is carried out to fit these two spectra, and the contributions of stars of different ages and metallicities are quantified for more direct comprehension. We find that dual AGN candidates will host more contributions from the middle age and the old populations than the single AGN composite, indicating a more intense central black hole activity. As for the metallicity effects, the dominant stellar population of single AGN is the population with solar metallicity  $Z_{\odot}$ , while the spectra from dual AGN candidates show a significant contribution from populations with metallicities  $0.2 Z_{\odot}$  and  $2.5 Z_{\odot}$ , showing a heterogeneous feature and revealing a more complicated star formation history encodes in these possible dual AGNs than it exists in corresponding regular sample. A power-law is considered when we conduct the fitting, and the contributions of this featureless continuum component in single AGN account for 8.2%, which is significantly higher than that in the dual AGN candidates.

**Keywords** LAMOST; Dual AGNs; Spectral synthesis; Stellar population analysis

(Received Nov. 4, 2018; accepted Mar. 20, 2019)