

具有后星暴活动的类星体*

褚张虎 顾秋生[†]

(南京大学天文与空间科学学院 南京 210046)

摘要 利用星族合成和合成谱能量分布的方法, 对 10 颗新的红移在 0.3 附近的后星暴类星体的宿主星系的星族年龄、黑洞质量以及爱丁顿比率的研究表明: 这些后星暴类星体的黑洞质量约 $10^8 M_{\odot}$, 热光度为爱丁顿光度的百分之几, 宿主星系的年龄介于几百 Myr 到几 Gyr 之间. 这一结果表明在并合触发的星暴活动和类星体被触发(或光学可见)之间存在着时间延迟. 后星暴类星体的合成谱能量分布显示其和极亮红外星系的联系密切, 推算出的红外光度也已经达到了亮红外星系的级别, 暗示这些光学光谱选择的类星体很有可能处于极亮红外星系向光学类星体演化的过程中.

关键词 星系: 星暴, 星系: 测光, 星系: 演化, 类星体: 普通

中图分类号: P158; **文献标识码:** A

1 引言

近年来随着多个大规模的多波段巡天项目 (例如最著名的地面斯隆数字化巡天项目, 简称 SDSS) 以及多波段空间望远镜深场观测的开展, 我们对星系形成和演化的了解不断深入. Toomre 等人第 1 次提出了两个质量相近的旋涡星系通过并合可以形成椭圆星系^[1]. 在这一过程中, 极亮红外星系 (ULIRGs) 向光学类星体的演化一直是其中的一项重要研究课题. 自从红外天文卫星 (IRAS) 发现极亮红外星系以来^[2], Sanders 等人发现大多数的极亮红外星系具有和赛弗特星系相似的光学光谱, 并且在形态上观测到最近发生并合的迹象, 他们第 1 次提出 ULIRGs 也许是从星系并合向类星体演化的一个过渡阶段^[3]. ULIRGs 向类星体演化的具体过程一直是一个未解之谜. 星暴活动和星系中心的黑洞活动都需要吸积物质来保持他们的活动性, 而且都需要这些物质从星系盘转移到星系中心区域. 无论是这些物质形成吸积盘来使得中心的黑洞质量增长, 还是作为分子云的一部分来触发星暴活动, 星系并合对他们的重要性不言而喻, 虽然其中的细致过程目前还不是很清楚. 星暴星系中的并合的高发生率表明并合是触发星暴活动的一个必要条件, 但是 Bergvall 等人提出星系并合往往只产生中等规模的恒星形成活动^[4].

数值模拟的研究结果表明富气体的主并合, 像 ULIRGs 中发生的那样, 将引起气体内流到核区, 触发恒星形成活动和黑洞吸积. 随后活动星系核 (AGN) 的反馈 (通过辐射

2015-04-01收到原稿, 2015-04-13收到修改稿

*国家自然科学基金项目(11273015 和 11133001)、973项目(2013CB834905)资助

[†]qsgu@nju.edu.cn

形成外流) 可能使周围的气体外流同时停止恒星形成和黑洞的吸积, 最后整个系统将完全弛豫成一个椭圆星系. 模拟结果表明星系合并以及随后的恒星形成活动和黑洞吸积可以再现观测中的黑洞质量和核球的速度弥散之间的相关关系; 同时, 这些模拟也再现了从晚型星系到早型星系的过渡过程. 然而这些模拟中的各种假设需要未来的观测来限制他们的参数空间, 合并主导的从 ULIRGs 到类星体 (QSOs) 的演化图景由 Sanders 第1次提出来, 到现在为止, 已经积累了大量的观测证据, 包括在从 ULIRGs 到 QSOs 的演化中间形态的发现, 例如一类同时显示出类星体和后星暴星族特征的天体 (后星暴类星体, PSQs) 的发现^[5].

在低红移的星系中寻找寄宿着的年轻星族和 AGN 活动为我们提供了一个机会去寻找在类星体阶段由合并触发的系统. Canalizo 等人选择了一个包含9个低红移的类星体样本^[6-7], 这些源在远红外的颜色-颜色图上正好位于 ULIRGs 和 QSOs 的中间位置, 这些源在最近的300 Myr都有很强的恒星形成活动. 他们提出这类天体的核区被尘埃像虫茧一样包裹着, 这样可以解释这些天体观测到的和推测出来的性质, 而这一想法和 Sanders 的想法不谋而合^[3]; 而且表明至少有些 ULIRGs 会演化成光学类星体, 或者有些类星体在 ULIRGs 的环境下形成, 但是他们的存在时标小于300 Myr, 所以将不会观测到类星体活动. Kawakatu 等人发现 I 型的 ULIRGs 是黑洞开始快速增长的时期, 同时中心类星体的活动正在被触发^[8].

Colina 等人认为高光度类星体是大质量盘星系合并的结果, 小质量的盘星系的并合会产生冷 ULIRGs, 而这些冷 ULIRGs 不会演化成 QSOs^[9]. Cales 等人通过哈勃空间望远镜 (HST) 的图像研究了后星暴类星体的形态^[10], 这些明亮的低红移的后星暴类星体来自于一个光谱选择的后星暴类星体的更大样本^[11], 并且他们的结果表明星系之间的相互作用或者本身的不稳定性是促使这些星系演化到后星暴星系的重要原因.

本文主要研究一类后星暴类星体, 包括宿主星系星族性质以及红外性质. 我们采用一种全新的方法挑选出 10 个新的后星暴类星体, 这些后星暴类星体具有类星体的光度以及后星暴星系才具有的光谱特征 (高阶巴耳末吸收线), 表明这些星系在最近的一段时间内没有恒星形成. 这些特征使得我们相信这些源很可能就是从超亮红外星系向类星体演化过程中的过渡阶段.

2 样本的选取

SDSS 是最成功的地面大型测光和光谱巡天项目^[12-13]. 基于 SDSS 第7次数据发布 (DR7)^[14], Schneider 等人挑选出一个包含105 783 个光谱认证的类星体样本^[15], 这一样本在过去的5 yr时间里被国际同行大量地研究和使用的.

因为类星体比其宿主星系明亮许多, 所以一般很难从类星体的光谱中发现后星暴星族的吸收特征. 为了解决这个难题, 我们采取以下的方法从 SDSS 的类星体样本中挑选出具有后星暴特征的类星体. 首先我们使用该样本中给出的类星体发射线红移作为系统红移, 挑选出那些红移小于0.4的类星体, 得到的类星体总数目是5188. 然后我们使用 Schneider 等人的工作中的发射线红移^[15]将类星体光谱修正到静止系, 并挑选出静止波长范围在4150~4250 Å 的连续谱信噪比大于10的类星体. 最后, 我们选择 PSQ SDSS J074621+335040 作为后星暴类星体的模板, 并计算该模板与我们将要选择的类

星体在静止波长范围在3740 ~4000 Å的皮尔逊矩相关系数 (Pearson product-moment correlation coefficient, 又称作PPMCC或PCC), 选取互相关系数大于0.6的类星体.

按照上述方法, 经过逐条光谱仔细的确认, 我们发现了10个新的后星暴类星体, 图1给出了我们选出的样本中的一个示例.

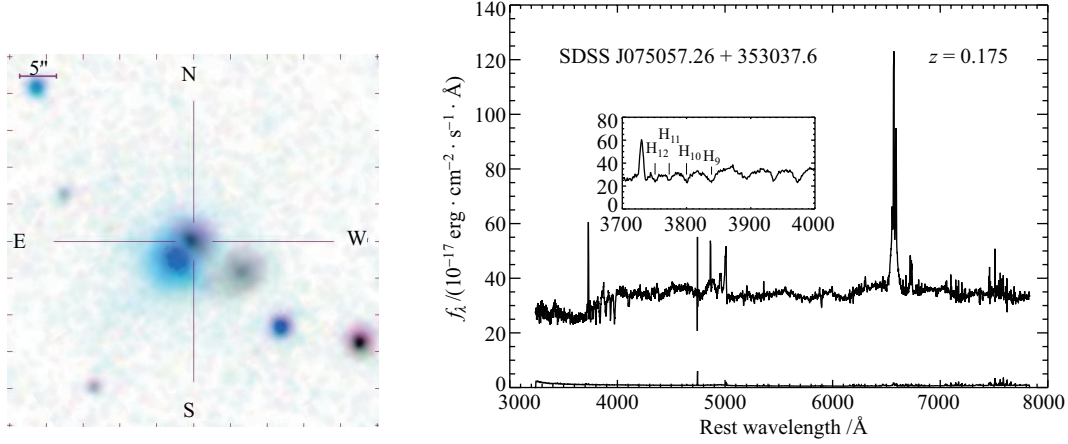


图 1 我们样本中的一个源的SDSS图像和SDSS光学光谱, 光学光谱中可以看到明显的后星暴星族特征.

Fig. 1 The SDSS image and spectrum of one PSQ sample, from which we can clearly see the feature of post-starburst stellar population.

3 数据处理

3.1 使用STARLIGHT程序进行星族合成

STARLIGHT是目前为止最成功和使用最多的通过拟合河外星系光学光谱获得星系星族组成的方法. Cid Fernandes等^[16]首次提出了该方法并提出了一个优化版本, 应用于SDSS光谱分析中^[17]. 该方法通过一系列的星族组合向量 ($\vec{x}$)、尘埃消光 (A_V)、速度偏离 (v_*)和速度弥散 (σ_*)来寻找符合观测光谱 (O_λ) 的最优解. 需要了解更详细的信息可以访问 www.starlight.ufsc.br.

我们决定使用该方法 (STARLIGHT) 获得这些后星暴类星体的恒星形成历史. 从最新的恒星光谱库中^[18], 我们选取了星族年龄从1 Myr到18 Gyr和金属丰度 $Z=0.0001, 0.0004, 0.004, 0.008, 0.02, 0.05$ 的150个星族模板, 并且加上了一个幂指数分布 ($\alpha_\lambda = -0.5$). Bruzual 和 Charlot 的研究表明这些恒星模板可以很好地重现 SDSS 中的星系属性, 比如恒星质量、年龄以及金属丰度等^[18].

图 2 给出了我们其中一个源 (SDSS J111147.47+191750.4) 的拟合结果.

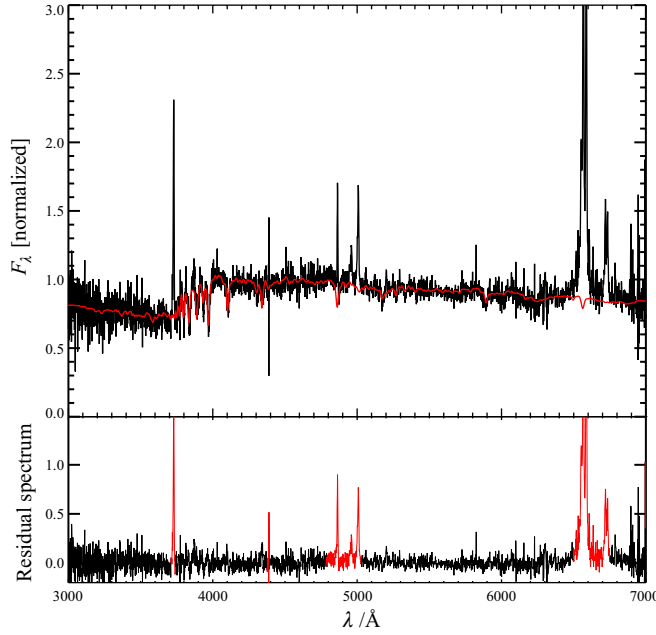


图 2 后星暴类星体 (SDSS J111147.47+191750.4) 的星族合成结果. 顶部图: 观测值 (黑色粗实线) 和模型拟合结果 (红色细实线). 底部图: 残差谱 (黑色) 和不参与拟合的区域 (红色).

Fig. 2 Spectral synthesis of the PSQ (SDSS J111147.47+191750.4) in our sample. Top panel: observed (thick black line) and model fitting (thin red line) spectra. Bottom panel: the residual spectrum (black) and the masked regions (red).

3.2 发射线拟合

当我们从类星体的光谱中扣除掉恒星成分以及幂指数分布的连续谱后, 可以比较准确地测量各种发射线性质. 本次研究中, 我们的关注点主要集中在 $H\alpha$ 和 $H\beta$ 以及他们周围的那些发射线. 对于 $H\alpha$ 和 $[N\text{ II}]$, 我们的拟合波长范围是 $6450\sim 6670\text{ \AA}$, 而对于 $H\beta$ 和 $[O\text{ III}]\lambda 4959, 5007$, 我们采用的方法类似于 $H\alpha$, 拟合的波长范围是 $4810\sim 5050\text{ \AA}$. 测量发射线参数最普遍的方法是采用简单的高斯函数来拟合发射线, 我们采用一个高斯函数来拟合半高全宽在 800 km/s 以下的窄发射线, 对于 $[O\text{ III}]\lambda 4959, 5007$ 的延展部分, 我们采用 Greene 等人的建议, 用两个高斯成分来拟合^[19]. 对于 $[O\text{ III}]$ 和 $[N\text{ II}]$, 我们在拟合过程中依照理论值固定了中心波长的比值、流量比和线宽比. 对于 $H\alpha$, 我们采用了一个窄的和一个宽高斯. 虽然采用一个高斯也可以拟合我们样本中的一部分, 但是为了更好地描述宽线的性质和得到更准确的物理参数, 我们采用了两个高斯成分来拟合 $H\alpha$ 以及 $H\beta$ 发射线.

3.3 AGN 的性质

我们可以从发射线的拟合结果中估算 AGN 的两个基本物理性质: 黑洞质量和爱丁顿比率. 我们的光谱在 $5100\text{ \AA}$ 处都有覆盖, 所以我们可以用幂指数分布拟合得到的 $5100\text{ \AA}$ 处的单色光度来推算出 AGN 光度. 我们采用 $H\alpha$ 宽成分的线宽和 $5100\text{ \AA}$ 处估算的

AGN 光度, 利用文献[20]中的关系:

$$\frac{M_{\text{BH}}(\text{H}\alpha)}{M_{\odot}} = (9.7 \pm 0.5) \times 10^6 \left[\frac{\text{FWHM}_{\text{H}\alpha}}{1000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} \right]^{2.06 \pm 0.06} \left[\frac{\lambda L_{\lambda}(5100 \text{ \AA})}{10^{44} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}} \right]^{0.519 \pm 0.07}, \quad (1)$$

推算黑洞的质量, 这个关系的不确定度约为 $0.4 \sim 0.5 \text{ dex}$.

已知 $5100 \text{ \AA}$ 处的单色光度和光度距离以及热光度改正因子 ($f = 8.1$)^[21], 通过以下关系:

$$L_{\text{bol}} = 4\pi D_L^2 f(1+z)\lambda F_{\lambda}(5100 \text{ \AA}), \quad (2)$$

我们就可以推算出总的热光度.

我们使用关系: $L_{\text{Edd}} = 1.51 \times 10^{38} (M_{\text{BH}}/M_{\odot}) \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[22], 推算爱丁顿光度, 进而得到爱丁顿比率.

表 1 整理了后星暴类星体的光学性质(第 2 列到第 8 列分别是红移、SDSS i 波段的绝对星等、热光度、[O III]光度、黑洞质量、H α 发射线的半高全宽和爱丁顿比率). 根据星族拟合得到的星族组合向量, 我们采用光度加权的方法得到了它们的宿主星系的星族年龄和金属丰度, 同时测量了 D4000 和 H δ 的等值宽度, 并将结果整理在表 2 中.

3.4 合成的光谱能量分布

高质量的合成光谱能量分布 (以下简称 SED) 可以帮助我们理解经典的类星体和后星暴类星体样本之间的联系. 利用广域红外线巡天探测卫星 (WISE) 的红外数据, 可以帮助我们更好地了解后星暴类星体的红外特征. 我们从 SDSS、 $2 \mu\text{m}$ 全天巡天 (2MASS) 和 WISE 测光数据构造我们样本的合成光谱能量分布.

Wei 等人的工作表明在中红外波段的后星暴类星体 SED 介于 ULIRGs 和光学类星体之间^[23], 这很好地表明了后星暴类星体是 ULIRGs 向光学类星体演化过程中的一个重要阶段. 我们希望通过研究从光学到中红外的整体 SED, 寻找到相似的演化迹象. 图 3 给出了我们样本和其他样本的对比.

类星体的 SED 中重要特征是在光学-紫外和红外波段都有谷峰, 我们将后星暴类星体的 SED 在 $1 \mu\text{m}$ 处归一化, 并采用算术平均的方法进行合成. 在图 3 中我们将这 10 个后星暴类星体的合成 SED, 同 Cales 等人的样本^[10]、Shang 等人工作中的射电宁静的类星体合成 SED^[24]以及 Donley 等人的工作中的 Arp220 的 SED^[25]相比较. 我们发现我们的样本同文献 [10] 样本中 SED 非常相似, 同经典的类星体的 SED 相比较来看, 差异很大. 尤其在光学波段, 我们的样本同 Arp220 这样的极亮红外星系很相似, 同时和经典类星体在 SED 的形状上差别很大. 同时我们比较了 Wei 等人工作中的合成中红外光谱, 发现这些中红外光谱和我们的样本在红外波段符合得很好, 间接证明了我们找到的这些后星暴类星体在红外的性质上和之前的研究中存在相同的地方.

由于我们的样本在合成 SED 上同极亮红外星系 (Arp220) 有很多相似的地方, 所以我们想知道这些后星暴类星体的红外光度处于一个怎样的水平. 为此我们将 WISE 第 4 个波段 ($22 \mu\text{m}$) 的测光数据 k 改正到静止波长 $24 \mu\text{m}$, 然后通过文献中提供的方法, 将 $24 \mu\text{m}$ 的光度转化成为红外总的辐射光度^[26]:

$$\lg(L(\text{TIR})) = (1.445 \pm 0.155) + (0.945 \pm 0.016) \lg(L(24)), \quad (3)$$

结果发现这些后星暴类星体的总的红外光度都大于 $10^{11} L_{\odot}$. 这么高的红外光度可能是极亮红外星系向光学类星体演化过程中, 红外光度逐渐降低, 光学紫外波段的能量逐渐增加, 最终将变成光学类星体, 而后星暴类星体则是极亮红外星系向光学类星体演化的过程中的一个过渡阶段. 这一图景可以很好地解释后星暴类星体不同寻常的红外光度. 这么高的红外光度同 Canalizo等人的结果^[27]互相印证.

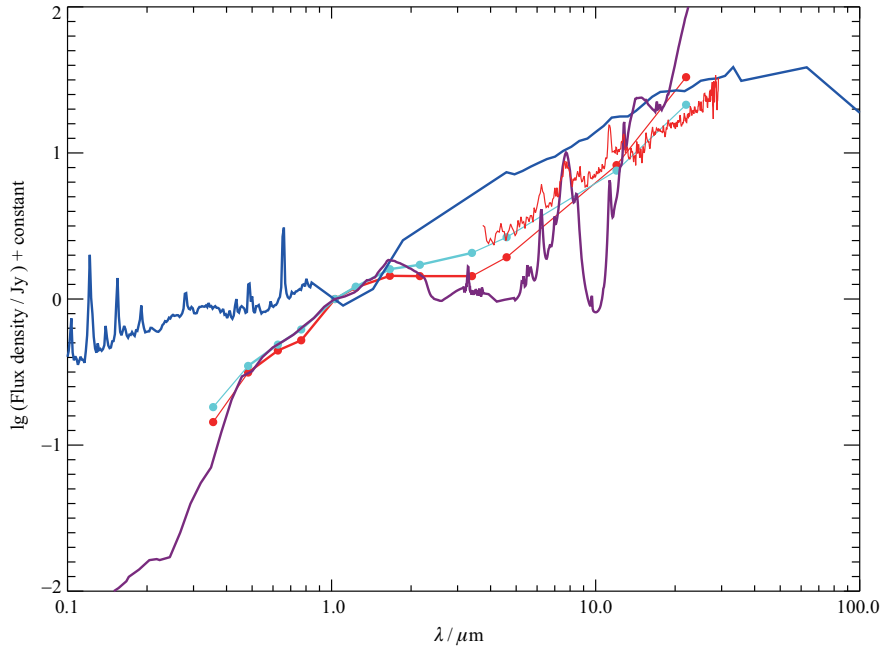


图 3 多个样本的合成谱能量分布: 我们的样本(红色的点), Cales等的样本^[10](青色的点), 蓝色的实线为Shang等人工作中的射电宁静的类星体样本^[24], 紫色的实线为Arp220的谱能量分布^[25], 红色的实线为后星暴类星体的中红外合成光谱.

Fig. 3 Composite SED of PSQs from our sample (red circles), Cales et al.^[10] (cyan circles), the QSO templates from the Shang et al.^[24] (blue line), the SED of the Arp220^[25] (purple line), and the composite MIR spectrum of PSQs (red line).

4 结果与讨论

图 4给出了类星体的星族平均年龄的光度加权分布和质量加权分布. 从图中可以得到中等年龄的星族贡献了后星暴类星体光度的绝大部分. 从质量分布上看, 年轻星族的质量分布所占的比例很小, 与光谱中有很强的高阶巴耳末吸收线 (A型星的特征) 相对应, 表明这些源在最近 1 Gyr已经没有新的恒星形成.

Hao等人给出了红外类星体和光学类星体的统计上的黑洞质量的平均值分别是 $4.9 \times 10^7 M_{\odot}$ 和 $2.1 \times 10^8 M_{\odot}$ ^[28], 我们得到的后星暴类星体的黑洞质量 M_{BH} 约为 $10^{7.5} \sim 10^{8.5} M_{\odot}$. 这证明了后星暴类星体可能是极亮红外星系向光学类星体演化的一个过渡阶段.

表 1 后星暴类星体的光学性质和总红外光度
Table 1 The optical properties and total IR luminosity of PSQs

Name (SDSS J)	Redshift	M_i/mag	$\lg(L_{\text{bol}}/(\text{erg} \cdot \text{s}^{-1}))$	$\lg(L_{[\text{O III}]}/(\text{erg} \cdot \text{s}^{-1}))$	$\lg(M_{\text{BH}}/M_{\odot})$	$\text{FWHM}_{\text{H}\alpha}/(\text{km} \cdot \text{s}^{-1})$	$L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}}$	$\lg(L_{\text{TIR}}/L_{\odot})$
J002815.78+004247.5	0.305	-23.2	45.33	41.05	...	620	...	11.84
J075057.26+353037.6	0.175	-22.3	45.14	41.38	8.26	3774	0.031	11.01
J085602.80+101325.5	0.223	-22.4	45.03	41.04	...	381	...	11.95
J094545.07+433615.7	0.367	-23.8	45.63	41.68	...	773	...	11.85
J094820.38+582526.4	0.351	-22.7	45.17	41.62	7.85	2338	0.141	11.95
J111147.47+191750.4	0.248	-22.6	45.10	41.37	8.59	5570	0.014	11.71
J122206.26+402651.4	0.312	-23.3	45.45	41.56	8.82	5840	0.013	11.68
J124013.05+310243.3	0.235	-22.7	45.09	41.82	8.42	4612	0.059	11.42
J131118.53+463502.2	0.271	-22.8	45.28	41.58	8.31	3677	0.044	11.91
J133706.93+051803.3	0.163	-22.3	45.03	41.84	7.58	1886	0.431	11.58

表2 后星暴类星体的星族性质

Table 2 The properties of stellar population of PSQs in our sample

Name (SDSS J)	$EW_{H\delta_A} / \text{\AA}$	D4000	Age/Myr	Z
J002815.78+004247.5	4.30	1.319	929	0.003
J075057.26+353037.6	3.41	1.307	243	0.007
J085602.80+101325.5	3.14	1.293	654	0.005
J094545.07+433615.7	5.71	1.296	481	0.019
J094820.38+582526.4	4.16	1.297	990	0.002
J111147.47+191750.4	2.84	1.309	1091	0.014
J122206.26+402651.4	4.18	1.335	1060	0.018
J124013.05+310243.3	4.98	1.529	1846	0.025
J131118.53+463502.2	3.15	1.307	1126	0.022
J133706.93+051803.3	5.49	1.576	2223	0.016

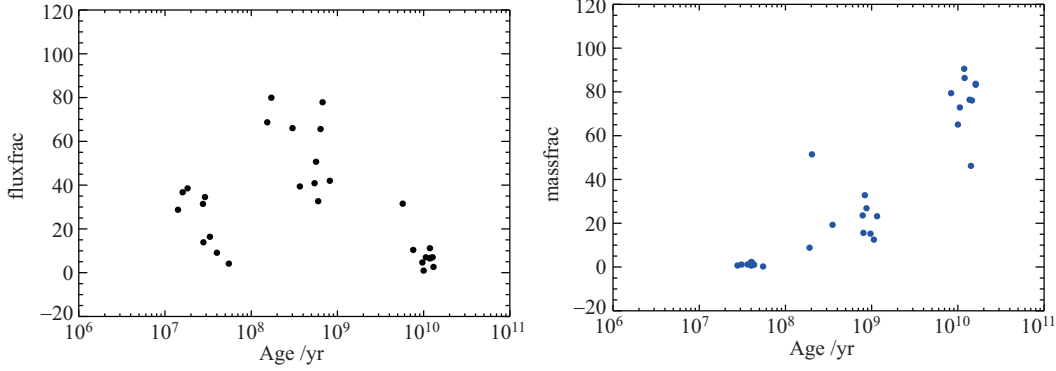


图 4 后星暴类星体的平均年龄的光度加权分布和质量加权分布

Fig. 4 The flux-weighted and mass-weighted distributions of the average ages of the host stellar populations

我们样本的星族年龄分布介于200 ~ 2000 Myr. 假设类星体的寿命在1 ~ 100 Myr^[29], 那么在并合触发的恒星形成和类星体被触发或者变得可见之间存在很明显的时间延迟, 我们的结果和前人研究保持一致. 例如 Canalizo和 Stockton发现了光学选择类星体星族年龄介于0.3 ~ 2.4 Gyr的中等年龄星族^[27], 同样地 Cales等也在光学上活动的星系中发现了中等年龄的星族^[30].

我们认为该结果对理解星系的演化图像有很大帮助. Sanders等提出的星系并合产生 ULIRGs 随后变成光学可见的类星体^[3], 这些模型预测当恒星形成的活动性达到峰值的时候^[31-33], 我们应该观测到一个尘埃包裹着的系统, 这个系统中孕育着被尘埃遮掩着的年轻星族 (ULIRGs阶段). 在这一期间, 类星体的活动性也许已经被触发, 但是由于处于尘埃的层层包裹中, 我们还无法直接观测到类星体. 当 AGN 的活动变得显著的时候, 伴随着 AGN 的反馈过程也将发挥作用, 这一过程的主要作用是移除周围的气体和尘埃, 最终缓慢地停掉恒星形成. 因此在Sanders等的演化图象中^[3], 当类星体变得可以直接探

测时, 类星体的宿主星系应该是以正在变老的星族 (例如中等年龄的星族) 为主.

一些前人研究^[34–36]同样发现在并合触发的恒星形成和AGN的活动性变得可见之间存在一个几百Myr到几Gyr之间的时间延迟, 而另外一些人的研究^[37–38]在 SDSS 光学 AGN 样本中发现了年轻的星族, 表明恒星活动和AGN的活动性是被同时触发的.

触发机制依赖于 AGN 光度可能是产生这些不一致结果的主要原因. Tadhunter等人在那些具有类星体光度($L_{[\text{O III}]} > 10^{35} \text{ W}$)的样本中找到了年龄小于0.1 Gyr的年轻星族, 亮度没有达到这一值的 AGN 中^[34,36]则发现了年龄介于 0.2~2 Gyr之间的中等年龄的星族. 我们的研究表明我们的样本的 $[\text{O III}]$ 光度低于这个标准, 再加上明显的中等年龄星族的贡献, 我们的结论支持星族的年龄同 $[\text{O III}]$ 的光度之间的关系. 在这些后星暴类星体中没有发现大量的年轻星族也不是那么令人奇怪的事情.

将我们的样本同 Cales等的样本^[10]结合起来, 将形成一个目前最大的后星暴类星体样本, 但是我们仍旧没有发现 AGN 和恒星形成活动性之间的相关性. 这也许令人很困惑, 如果星系并合触发恒星形成的机制同样也在触发类星体的活动性, 那么必然将会在两者之间产生某种联系. 这一明显的时间延迟也许表明AGN并没有直接影响恒星形成. 近期的理论工作^[39–42]提出: 在并合到后星暴演化过程中, AGN在停止恒星形成活动上也许不像我们之前认为的那样重要. 这些工作认为恒星形成活动的停止主要来自于恒星自身的反馈过程, AGN相关的反馈只是起到抑制低水平的恒星形成.

值得一提的是, Cen提出了一个新的星系和超大质量黑洞的协同演化图景^[41]. 在这一模型中, 星暴活动和AGN不是协同演化, AGN 不再是停止恒星形成的主要原因. 他们认为, 超大质量黑洞的主要增长发生在后星暴时期, 黑洞增长的物质供给则来自于恒星老化后所产生的气体^[43–44]. 我们计算出的爱丁顿比率和这一模型预测出来的很接近, 这使得我们相信这一模型也许可以解释后星暴类星体.

Sanmartim等人使用双子望远镜 (Gemini) 研究了 PSQ J0330–0532 的中心区域的恒星形成历史以及这一区域的气体动力学^[45]. 他们发现 AGN 相关的反馈活动并没有到达后星暴星族被观测到的区域, 于是他们认为在这个类星体中 AGN 并没有对恒星形成的停止产生影响.

Kriek等人通过对他们的 62 个后星暴星系的合成 SED 采用 Bruzual 和 Charlot 的简单星族模型进行拟合^[46], 推算出来的尘埃消光值 (A_V) 为 0.16. 我们的星族拟合结果得到的尘埃消光的平均值为 0.47, 这表明后星暴类星体的尘埃要多于后星暴星系. 从星暴星系向后星暴星系演化的过程中, 尘埃的消光是随着演化的进行而逐步降低的. 我们认为这一被尘埃包裹着的中等年龄的星族来源于高度红化的年轻星族 (例如ULIRGs), 这解释了为什么这些后星暴类星体的尘埃消光高于普通的后星暴星系. 同时, 我们发现这些低红移的后星暴类星体的爱丁顿比率同半解析模型预测的值符合得很好, 使得后星暴类星体在 ULIRGs 向类星体演化的过程中的地位愈发显得重要^[47–48].

5 总结

后星暴类星体的光谱性质表明这些星系在最近的一段时间内已经停止了恒星形成, 我们发现这部分的中等年龄的星族占了宿主星系质量的很大一部分. 我们在本篇文章中对 10 个后星暴类星体的光谱进行了星族合成研究, 并计算了宿主星系的星族年龄、黑

洞质量以及爱丁顿比率, 这些都有助于我们更好地了解 AGN 和宿主星系之间的演化.

本文主要结论总结如下:

(1)我们发现了 10 个新的后星暴类星体.

(2)我们的研究表明这些光学选出的后星暴类星体, 在红外具有很高的发射, 这同之前的研究互相印证. 同时也表明了后星暴类星体是连接 ULIRGs 和光学类星体的重要阶段.

(3)我们的样本的黑洞质量 M_{BH} 约为 $10^{7.5} \sim 10^{8.5} M_{\odot}$, 爱丁顿吸积效率大概在1% $\sim$ 10%.

(4)这些类星体的样本中缺少大量的年轻星族, 很有可能是这些年轻星族的形成受到 AGN 的光度的影响.

(5)后星暴类星体的星族中中等年龄的星族占主导地位, 年轻星族的质量比例处于很低的水平, 表明这些类星体的宿主星系已经没有新的恒星形成.

参 考 文 献

- [1] Toomre A, Toomre J. ApJ, 1972, 178: 623
- [2] Neugebauer G, Habing H J, van Duinen R, et al. ApJL, 1984, 278: L1
- [3] Sanders D B, Soifer B T, Elias J H, et al. ApJ, 1988, 325: 74
- [4] Bergvall N, Laurikainen E, Aalto S. A&A, 2003, 405: 31
- [5] Brotherton M S, van Breugel W, Stanford S A, et al. ApJL, 1999, 520: L87
- [6] Canalizo G, Stockton A, Brotherton M S, et al. AJ, 2000, 119: 59
- [7] Canalizo G, Stockton A. ApJ, 2001, 555: 719
- [8] Kawakatu N, Anabuki N, Nagao T, et al. ApJ, 2006, 637: 104
- [9] Colina L, Borne K, Bushouse H, et al. ApJ, 2001, 563: 546
- [10] Cales S L, Brotherton M S, Shang Z, et al. ApJ, 2011, 741: 106
- [11] Brotherton M S, Stoll R, Paul C, et al. BAAS, 2007, 39: 95
- [12] Gunn J E, Carr M, Rockosi C, et al. AJ, 1998, 116: 3040
- [13] Blanton M R, Lin H, Lupton R H, et al. AJ, 2003, 125: 2276
- [14] Abazajian K N, Adelman-McCarthy J K, Agüeros M A, et al. ApJS, 2009, 182: 543
- [15] Schneider D P, Richards G T, Hall P B, et al. AJ, 2010, 139: 2360
- [16] Cid Fernandes R, Gu Q, Melnick J, et al. MNRAS, 2004, 355: 273
- [17] Cid Fernandes R, Mateus A, Sodré L, et al. MNRAS, 2005, 358: 363
- [18] Bruzual G, Charlot S. MNRAS, 2003, 344: 1000
- [19] Greene J E, Ho L C. ApJ, 2005, 630: 122
- [20] Greene J E, Peng C Y, Kim M, et al. ApJ, 2010, 721: 26
- [21] Runnoe J C, Brotherton M S, Shang Z. MNRAS, 2012, 422: 478
- [22] Krolik J H. Active Galactic Nuclei: From the Central Black Hole to the Galactic Environment. Princeton N J: Princeton University Press, 1999: 120-131
- [23] Wei P, Shang Z, Brotherton M S, et al. ApJ, 2013, 772: 28
- [24] Shang Z, Brotherton M S, Wills B J, et al. ApJS, 2011, 196: 2
- [25] Donley J L, Rieke G H, Pérez-González P G, et al. ApJ, 2007, 660: 167
- [26] Rieke G H, Alonso-Herrero A, Weiner B J, et al. ApJ, 2009, 692: 556
- [27] Canalizo G, Stockton A. ApJ, 2013, 772: 132
- [28] Hao C N, Xia X Y, Mao S, et al. ApJ, 2005, 625: 78
- [29] Martini P, Weinberg D H. ApJ, 2001, 547: 12
- [30] Cales S L, Brotherton M S, Shang Z, et al. ApJ, 2013, 762: 90

- [31] Di Matteo T, Springel V, Hernquist L. *Nature*, 2005, 433: 604
- [32] Springel V, White S D M, Jenkins A, et al. *Nature*, 2005, 435: 629
- [33] Hopkins P F, Hernquist L, Cox T J, et al. *ApJS*, 2006, 163: 1
- [34] Tadhunter C, Robinson T G, González Delgado R M, et al. *MNRAS*, 2005, 356: 480
- [35] Davies R I, Müller Sánchez F, Genzel R, et al. *ApJ*, 2007, 671: 1388
- [36] Wild V, Heckman T, Charlot S. *MNRAS*, 2010, 405: 933
- [37] Heckman T M, González-Delgado R, Leitherer C, et al. *ApJ*, 1997, 482: 114
- [38] Tadhunter C, Holt J, González Delgado R, et al. *MNRAS*, 2011, 412: 960
- [39] Wild V, Walcher C J, Johansson P H, et al. *MNRAS*, 2009, 395: 144
- [40] Snyder G F, Cox T J, Hayward C C, et al. *ApJ*, 2011, 741: 77
- [41] Cen R. *ApJ*, 2012, 755: 28
- [42] Hayward C C, Lanz L, Ashby M L N, et al. *MNRAS*, 2014, 445: 1598
- [43] Norman C, Scoville N. *ApJ*, 1988, 332: 124
- [44] Ciotti L, Ostriker J P. *ApJ*, 2007, 665: 1038
- [45] Sanmartim D, Storchi-Bergmann T, Brotherton M S. *MNRAS*, 2014, 443: 584
- [46] Kriek M, Labbé I, Conroy C, et al. *ApJL*, 2010, 722: L64
- [47] 杨爱华. *天文学报*, 2014, 55: 8
- [48] Yang A H. *ChA&A*, 2014, 38: 375

The Stellar Population of Post-starburst Quasars

CHU Zhang-hu GU Qiu-sheng

(*School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing 210046*)

ABSTRACT We present a stellar population synthesis study of a sample of 10 post-starburst quasars (PSQs) at $z \sim 0.3$. These broad-lined active galactic nuclei (AGNs) possess the spectral signatures of massive intermediate-aged stellar populations, making them potentially useful for studying the connections between nuclear activity and host galaxy evolution. With the help of the stellar synthesis code STARLIGHT, we determine the ages of the host stellar populations, the black hole masses, and Eddington fractions of the AGNs. We find that the PSQs have $M_{\text{BH}} \sim 10^8 M_{\odot}$ accreting at a few percent of Eddington luminosity, and the ages of host stellar populations are several hundred Myr to a few Gyr old. The result may support a delay between the merger-induced starburst and the quasar being triggered/becoming visible. And the estimated total IR luminosity is greater than $10^{11} L_{\odot}$, which may reveal the connection between the Ultra Luminous Infrared Galaxies (ULIRGs) and the PSQs. We still find no significant correlations between AGN and starburst properties. It's very strange, especially if the triggering mechanism of starburst also triggered the AGN activity, bringing a kind of correlations between them. Maybe the selection effects limit our ability to see the correlations or there could be multiple types of triggering events. The unique spectral properties of PSQs hint that these objects are recently quenched starbursts. We find that virtually all of them have intermediate-age population comprising a significant fraction of the total mass of the host galaxies.

Key words galaxies: starburst, galaxies: photometry, galaxies: evolution, quasars: general