射电类星体黑洞质量和射电特性的研究*

熊定荣 张 雄[†] 郑永刚 黄邦蓉 毛李胜 刘文广 (云南师范大学物理与电子信息学院 昆明 650092)

摘要 收集了 117 个类星体 (20 个射电宁静类星体和 97 个射电噪类星体)的红移、热光度、 H_{β} 发射线宽度、5 100 Å 的单色光度、射电噪度.利用反响映射法计算了样本的 黑洞质量和爱丁顿比,利用总的 5 GHz 流量密度计算出射电光度.分析了它们之间的相关性,得到的结论如下: (1)射电宁静类星体的黑洞质量和热光度、射电噪度、射电光度之间具有强 相关性; (2)射电宁静类星体热光度和射电光度、5 100 Å 的单色光度之间具有弱的相关 性,而射电噪类星体热光度和射电光度、5 100 Å 的单色光度之间具有弱的相关 性,而射电噪类星体热光度和射电光度、5 100 Å 的单色光度之间具有弱的相关 性, 前射电噪类星体的黑洞质量、发射线宽度和爱丁顿比分布有差异.基于这些结果 得到:射电宁静和射电噪类星体发射线宽度的差异可能是导致它们黑洞质量不同的原因; 射电宁静和射电噪类星体本质的不同是由于内乘物理性质的不同造成的;黑洞质量、黑洞 自旋、爱丁顿比和寄主星系形态是解释射电噪度起源和双峰状分布的重要参量;射电喷流 和盘的吸积率之间具有紧密的关系.

关键词 星系:活动,类星体:普通,黑洞物理,射电连续谱:星系 中图分类号: P158; 文献标识码: A

1 引言

类星体的射电辐射和其它波段的辐射相比有很大差别,按照射电辐射强度的不同可 以将类星体分为射电噪类星体和射电宁静类星体,它们之间的射电辐射强度相差几个数 量级. 一般来说,用射电噪度 R = 10 或 5 GHz 射电光度等于 10^{24} W·Hz⁻¹·Sr⁻¹ 来区分 射电噪类星体和射电宁静类星体, R 大于 10 或 5 GHz 射电光度大于 10^{24} W·Hz⁻¹·Sr⁻¹ 称为射电噪类星体,反之称为射电宁静类星体 ^[1-2].射电噪度 R 是指 5 GHz 流量密度与 4 400 Å 流量密度的比,即 $\frac{f_{5GHz}}{f_{4400}}$ ^[3-5]. Strittmatter 等 ^[6] 提出射电类星体分布呈双峰状, 这一结论后来被 Kellermann 等 ^[7] 证实,并且 Miller 等 ^[8] 证实了射电宁静类星体的数量 是射电噪类星体数量的 5 ~ 10 倍.最近的研究表明类星体的射电噪度分布在一个很宽的 范围,其双峰状分布的结论受到质疑 ^[9-14].通常射电宁静和射电噪类星体射电辐射强度 的差异可能的解释是射电噪类星体的射电辐射起源于喷流,射电宁静类星体起源于吸积 盘,然而本质的原因仍然不清楚 ^[15-16].对于射电宁静和射电噪类星体,许多人已经研究

²⁰¹²⁻⁰³⁻¹³ 收到原稿, 2012-05-14 收到修改稿

^{*} 国家自然科学基金项目 (11163007) 、云南省引力理论创新团队及云南省高校高能天体物理创新团队资助

[†] ynzx@yeah.net

了黑洞质量和射电噪度或射电光度的相关性,一些研究结果支持它们之间具有相关性, 而一些研究没有得到它们之间具有相关性^[2,15,17-25]. 然而研究射电类星体的黑洞质量和 射电噪度或射电光度的相关性,用黑洞质量来区分射电宁静或射电噪类星体,将黑洞质 量作为射电噪度或射电光度区分的主要参数,对了解射电喷流的起源和类星体的本质具 有十分重要的意义^[26-33]. 另外对射电和光学光度之间相关性的研究能够很好地限定射 电辐射机制和辐射模型^[4,34]. 基于以上的研究背景,我们利用反响映射法获得了 117 个 天体的黑洞质量,用一元线性回归分析的方法对黑洞质量、热光度、射电噪度、 5 GHz 射电光度、波长为 5 100 Å 的单色光度之间的相关性进行研究,对 H_{β} 发射线宽度和爱 丁顿比的分布进行研究,得到了一些有意义的结果,并对结果的物理意义进行讨论.

2 黑洞质量与射电特性的关系

2.1 用反响映射法估算黑洞质量

假设宽线区中的气体受中心黑洞引力场的影响,绕黑洞旋转,那么中心黑洞的维里 质量 $M_{\rm BH} = R_{\rm BLR} \nu^2 G^{-1[30-32]}$,其中 $R_{\rm BLR}$ 是宽线区到黑洞中心的半径, ν 是宽线区中 气体的旋转速度, G 是引力常数,而 $\nu = f \times \nu_{\rm FWHM}$, $\nu_{\rm FWHM}$ 是发射线宽度 (一般取 H_β 发射线宽度), $f = \sqrt{3}$.假设宽线区运动是随机的,反响映射的黑洞维里质量是

$$M_{\rm BH} = 1.464 \times 10^5 \times \left(\frac{R_{\rm BLR}}{\rm It-days}\right) \left[\frac{\nu_{\rm FWHM}}{10^3 \rm \ km \cdot s^{-1}}\right]^2 M_{\odot} \,. \tag{1}$$

由于用反响映射法求宽线区半径 $R_{\rm BLR}$ 是个复杂的过程,许多研究者已经注意到 $R_{\rm BLR}$ 和紫外或者光学光度相关 ^[26-28,31],在最近的研究中发现波长为 5 100 Å 处有 $R_{\rm BLR} \propto \lambda L_{5100}^{0.7}$ ^[28-29,33],因此可以得到

$$R_{\rm BLR} = (32.9^{+2.0}_{-1.9}) \left[\frac{\lambda L_{\lambda}(5100)}{10^{44} \,\,{\rm erg} \cdot {\rm s}^{-1}} \right]^{0.700 \pm 0.033} {\rm It - days}\,, \tag{2}$$

其中 $\lambda L_{\lambda}(5100)$ 是 5 100 Å 的单色光度,单位是 erg · s⁻¹, It – days 是光日 (光 1 d 内传播 的距离).

为了很好地研究射电宁静和射电噪类星体的黑洞质量和射电特性, 样本选择标准为: (1) 已知总的 5 GHz 流量密度; (2) 已知热光度、光学 5 100 Å 的单色光度和 4 400 Å 的 流量密度; (3) 为了计算黑洞质量,已知发射线宽度; (4) 为了减少样本的选择效应, 样 本的红移、热光度和黑洞质量应该有很大跨度范围.基于以上的选择标准,我们收集了 117 个类星体 (20 个射电宁静和 97 个射电噪类星体) 的红移值、波长为 5 100 Å 的单色 光度、 H_{β} 发射线的宽度 (FWHM)、热光度、射电噪度、 5 GHz 流量密度,记录在表 1 中,利用一元线性回归的方法分析了各个量之间的相关性,并将结果记录在表 2 中.表 1 各项包括: (1) 样本名称; (2) 样本类型 (RQQ 为射电宁静类星体, RLQ 为射电噪类 星体); (3) 红移值:分布范围 0 ~ 2.2; (4) 热光度以 erg·s⁻¹ 为单位 (利用能谱拟合的方法 得到):分布范围 10^{44.0} ~ 10^{47.7} erg·s⁻¹; (5) 热光度的参考文献; (6) 黑洞质量以 M_{\odot} 为 单位 (利用反响映射法 (1) ~ (2) 式计算获得的黑洞质量与 Woo 等 ^[19] 得到的结果一致): 分布范围 $10^{6.5} \sim 10^{10} M_{\odot}$; (7) 波长为 5 100 Å 的单色光度以 erg · s⁻¹ 为单位; (8) H_{β} 的 发射线宽度以 km · s⁻¹ 为单位,其中 * 表示 H_{α} 的线宽; (9) 波长为 5 100 Å 的单色光度 和 H_{β} 发射线宽度的参考文献; (10) 射电噪度 R; (11) 射电噪度 R 的参考文献; (12) 总 的 5 GHz 流量密度 S_{t} 以 Jy 为单位; (13) 流量密度 S_{t} 的参考文献.

表 1 射电类星体样本

 Table 1
 The samples of radio quasars

Name	Type	z	$\lg L_{\rm bol}$	Ref	$\lg M$	$\lg(\lambda L_{\lambda})$	$\nu_{ m FWHM}$	Ref	$\lg R$	Ref	$\lg S_{\rm t}$	Ref
			$(\mathrm{erg}\cdot\mathrm{s}^{-1})$		(M_{\odot})	$(\mathrm{erg}\cdot\mathrm{s}^{-1})$	$({\rm km}\cdot{\rm s}^{-1})$				(Jy)	
0026 + 129	RQQ	0.142	45.39	19	7.58	44.8451	1860	35-36	0.03	37	-2.292	7
0052 + 251	$\mathbf{R}\mathbf{Q}\mathbf{Q}$	0.155	45.93	19	8.41	44.8129	5200	35-36	-0.62	37	-3.131	7
$0157 {+} 001$	RQQ	0.164	45.62	19	7.7	44.8597	2140	35-36	0.33	37	-2.097	7
0804 + 761	RQQ	0.1	45.93	19	8.24	44.8195	3070	35-36	-0.22	37	-2.623	7
0844 + 349	$\mathbf{R}\mathbf{Q}\mathbf{Q}$	0.064	45.36	19	7.38	44.2355	3800	35-36	-1.52	37	-3.509	7
0923 + 201	RQQ	0.19	46.22	19	8.94	45.1099	7310	35-36	-0.85	37	-3.602	7
0953 + 414	RQQ	0.239	46.16	19	8.24	45.0755	3130	35-36	-0.36	37	-2.721	7
$1012 {+} 008$	$\mathbf{R}\mathbf{Q}\mathbf{Q}$	0.185	45.51	19	7.79	44.73	2640	35-36	-0.3	37	-3	7
1116 + 215	RQQ	0.177	46.02	19	8.21	45.2101	2920	35-36	-0.14	37	-2.553	7
1202 + 281	RQQ	0.165	45.39	19	8.29	44.6503	5010	35-36	-0.72	37	-3.081	7
$1307 {+} 085$	$\mathbf{R}\mathbf{Q}\mathbf{Q}$	0.155	45.83	19	7.9	44.7218	5320	35-36	-1	37	-3.456	7
1351 + 640	RQQ	0.087	45.5	19	8.48	44.6415	5660	35-36	-0.64	37	-1.876	7
1402 + 261	RQQ	0.164	45.13	19	7.29	44.4099	1910	35-36	-0.64	37	-3.208	7
1411 + 442	RQQ	0.089	45.58	19	7.57	44.5119	2670	35-36	-0.89	37	-3.215	7
1426 + 015	$\mathbf{R}\mathbf{Q}\mathbf{Q}$	0.086	45.19	19	7.92	44.6117	6820	35-36	-0.55	37	-2.917	7
1444 + 407	RQQ	0.267	45.93	19	8.06	45.2	2480	35-36	-1.1	37	-3.796	7
1613 + 658	RQQ	0.129	45.66	19	8.62	44.8426	8450	35-36	0	37	-2.519	7
1617 + 175	RQQ	0.114	45.52	19	7.88	44.3747	5330	35-36	-0.14	37	-2.963	7
1700 + 518	RQQ	0.292	46.56	19	8.31	45.433	2210	35-36	0.37	37	-2.143	7
$2130 {+} 099$	$\mathbf{R}\mathbf{Q}\mathbf{Q}$	0.061	45.47	19	7.74	44.3345	2330	35-36	-0.49	37	-2.688	7
0022 - 297	RLQ	0.406	44.98	19	7.91	43.9777	4200	35-36	4.4	18	0.0128	39
0056 - 001	RLQ	0.717	46.54	19	8.71	45.5441	3000	35-36	3.58	18	0.1461	39
0114 + 074	RLQ	0.343	44.02	19	6.8	43	2515	35-36	5.05	38	-0.174	40
0133 + 207	RLQ	0.425	45.83	19	9.52	44.8325	13500	35-36	3.56	18	0.0334	39
0134 + 329	RLQ	0.367	46.44	19	8.74	45.4472	3360	35-36	3.53	18	0.7226	39
0135 - 247	RLQ	0.831	46.64	19	9.13	45.6435	4500	35-36	3.34	18	0.2304	39
0153 - 410	RLQ	0.226	44.74	19	7.56	43.7404	3385	35 - 36	4.1	38	-0.027	40
0159 - 117	RLQ	0.669	46.84	19	9.27	45.8388	4500	35 - 36	3.03	18	0.143	39
$0221 {+} 067$	RLQ	0.51	44.94	19	7.29	43.9395	2118	35-36	4.56	38	-0.114	40
0237 - 233	RLQ	2.224	47.72	19	8.52	46.7202	931	35-36	3.18	18	0.5315	39
0327 - 241	RLQ	0.888	46.01	19	8.6	45	4007	35 - 36	3.98	38	-0.137	40
0336 - 019	RLQ	0.852	46.32	19	8.98	45.3222	4876	35 - 36	2.48	18	0.4564	39
0403 - 132	RLQ	0.571	46.47	19	9.07	45.4771	4780	35-36	3.67	18	0.4594	39
0405 - 123	RLQ	0.574	47.4	19	9.47	46.3998	3590	35-36	2.47	18	0.2923	39
0420 - 014	RLQ	0.915	47	19	9.03	46	3000	35-36	3.43	18	0.1644	39
$0454 {+} 066$	RLQ	0.405	45.12	19	7.42	44.1139	2128^{*}	35-36	3.92	38	-0.357	40
$0502 {+} 049$	RLQ	0.954	46.36	19	8.88	45.3598	4184	35-36	3.76	38	-0.097	40
0518 + 165	RLQ	0.759	46.34	19	8.53	45.3404	2840	35-36	4.04	18	0.6138	39

表1 续 Table 1 (continued)

Name	Type	z	$\lg L_{\rm bol}$	Ref	$\lg M$	$\lg(\lambda L_{\lambda})$	$\nu_{ m FWHM}$	Ref	$\lg R$	Ref	$\lg S_{\rm t}$	Ref
			$(\mathrm{erg}\cdot\mathrm{s}^{-1})$		(M_{\odot})	$(\mathrm{erg}\cdot\mathrm{s}^{-1})$	$({\rm km}\cdot{\rm s}^{-1})$				(Jy)	
$0538 {+} 498$	RLQ	0.545	46.43	19	9.58	45.4298	8924	35 - 36	3.97	18	0.9191	39
0602 - 319	RLQ	0.452	45.69	19	9.02	44.6902	8500	35 - 36	3.74	18	0.0969	39
0607 - 157	RLQ	0.324	46.3	19	8.68	45.301	3518	35 - 36	3	18	0.2601	39
0637 - 752	RLQ	0.654	47.16	19	9.41	46.1599	4082	35 - 36	3.26	18	0.7672	39
0723 + 679	RLQ	0.846	46.41	19	8.67	45.4099	3178	35 - 36	3.63	18	0.1206	39
$0736 {+} 017$	RLQ	0.191	45.97	19	8	44.9685	2820	35-36	2.95	18	0.2989	39
0738 + 313	RLQ	0.631	46.94	19	9.4	45.9395	4800	35-36	3.2	18	0.3962	39
0809 + 483	RLQ	0.871	46.54	19	7.96	45.5403	1259	35 - 36	4.06	18	0.6454	39
0838 + 133	RLQ	0.684	46.23	19	8.52	45.2304	3090	35-36	3.64	18	0.143	39
0906 + 430	RLQ	0.668	45.99	19	7.9	44.9912	1833	35-36	3.95	18	0.2553	39
0912 + 029	RLQ	0.427	45.26	19	7.72	44.2553	2678	35-36	3.85	38	-0.337	40
0921 - 213	RLQ	0.052	44.63	19	8.14	43.6335	7238*	35-36	2.56	38	-0.377	40
0923 + 392	RLQ	0.698	46.26	19	9.28	45.2601	7200	35-36	4.48	18	0.941	39
0925 - 203	RLQ	0.348	46.35	19	8.46	45.3502	2611	35-36	2.75	38	-0.155	40
0953 + 254	RLQ	0.712	46.59	19	9	45.5899	4012	35-36	3.56	18	0.2601	39
0954 + 556	RLQ	0.901	46.54	19	8.07	45.5403	1432	35-36	3.81	18	0.3579	39
1007 + 417	RLQ	0.612	46.71	19	8.79	45.7101	2860	35-36	2.79	18	-0.149	39
1016 - 311	RLQ	0.794	46.63	19	8.89	45.6304	3416	35-36	3.21	38	-0.187	40
1020 - 103	RLQ	0.197	44.87	19	8.36	43.8692	7920	35-36	2.08	38	-0.31	40
1034 - 293	RLQ	0.312	46.2	19	8.75	45.1987	4116	35-36	2.92	38	0.179	39
1036 - 154	RLQ	0.525	44.55	19	7.8	43.5441	5216	35-36	4.98	38	-0.108	40
1100 + 772	RLQ	0.311	46.49	19	9.31	45.49	6160	35-36	2.51	18	-0.114	39
1101 - 325	RLQ	0.355	46.33	19	8.61	45.3304	3135	35-36	2.81	38	-0.137	40
1106 + 023	RLQ	0.157	44.97	19	7.5	43.9685	2632*	35-36	3.27	38	-0.301	40
1107 - 187	RLQ	0.497	44.25	19	6.9	43.2553	2361*	35-36	5.04	38	-0.301	40
1111 + 408	RLQ	0.734	46.26	19	9.82	45.2601	13500	35-36	3.45	18	-0.102	39
1128-047	RLQ	0.266	44.08	19	6.72	43.0792	2186^{*}	35-36	4.88	38	-0.046	40
1136 - 135	RLQ	0.554	46.78	19	8.78	45.7803	2670	35-36	3.11	18	0.3243	39
1137 + 660	RLQ	0.656	46.85	19	9.36	45.85	4950	35-36	2.91	18	0.0253	39
1150 + 497	RLQ	0.334	45.98	19	8.73	44.9777	4810	35-36	3.23	18	0.0492	39
1200-051	RLQ	0.381	46.41	19	8.41	45.4099	2361	35-36	2.6	38	-0.337	40
1202 - 262	RLQ	0.789	45.81	19	9	44.8129	7500	35-36	4.04	18	-0.004	40
1211 + 143	RLQ	0.085	45.81	19	7.49	44.6928	1860	35-36	-0.72	37	-0.804	7
1226 + 023	RLQ	0.158	47.35	19	7.22	45.8089	3520	35-36	3.06	37	1.6325	39
1237 - 101	RLQ	0.751	46.63	19	9.28	45.6294	5392	35-36	3.59	18	0.1173	39
1250 + 568	RLQ	0.321	45.61	19	8.42	44.6128	4560	35-36	3.56	18	0.0253	39
1253 - 055	RLQ	0.536	46.1	19	8.43	45.1004	3100	35-36	4.6	18	1.1761	39
1254 - 333	RLQ	0.19	45.52	19	8.83	44.5185	7800	35-36	2.92	38	-0.268	41
1302 - 102	RLQ	0.286	45.86	19	8.3	44.8573	3400	35-36	2.28	18	0.0682	39
1309 + 355	RLQ	0.184	45.63	19	8	44.8899	2940	35-36	1.26	37	-1.268	7
1352 - 104	RLQ	0.332	45.81	19	8.15	44.8129	2814	35-36	3.4	38	-0.009	40
1354 + 195	RLQ	0.72	47.11	19	9.44	46.1099	4400	35-36	2.8	18	0.1931	39
1355 - 416	RLQ	0.313	46.48	19	9.73	45.48	10170	35-36	2.73	18	0.1584	39

表1 续 Table 1 (continued)

Name	Type	z	$\lg L_{\rm bol}$	Ref	$\lg M$	$\lg(\lambda L_{\lambda})$	$\nu_{ m FWHM}$	Ref	$\lg R$	Ref	$\lg S_{\rm t}$	Ref
			$(\mathrm{erg}\cdot\mathrm{s}^{-1})$		(M_{\odot})	$(\mathrm{erg}\cdot\mathrm{s}^{-1})$	$(\mathrm{km}\cdot\mathrm{s}^{-1})$				(Jy)	
1359 - 281	RLQ	0.803	46.91	19	8.07	45.1903	1889	35-36	3.67	38	-0.174	40
1450 - 338	RLQ	0.368	43.94	19	6.46	42.9542	1824^{*}	35-36	5.1	38	-0.268	40
1509 + 022	RLQ	0.219	44.54	19	7.99	43.5441	6551	35 - 36	4.03	38	-0.268	40
1510-089	RLQ	0.361	46.38	19	8.65	45.3802	3180	35 - 36	3.17	18	0.4886	39
1545 + 210	RLQ	0.266	45.86	19	8.93	44.8573	7030	35 - 36	3	18	-0.143	7
$1546 {+} 027$	RLQ	0.412	46	19	8.72	45	4700	35 - 36	3.55	18	0.1614	39
1555 - 140	RLQ	0.097	44.94	19	7.25	43.9395	2001*	35 - 36	3.08	38	-0.081	40
1611 + 343	RLQ	1.401	46.99	19	9.57	45.9899	5600	35 - 36	3.85	18	0.4265	39
1637 + 574	RLQ	0.75	46.68	19	9.18	45.6803	4620	35-36	3.31	18	0.1523	39
1641 + 399	RLQ	0.594	46.89	19	9.42	45.8899	5140	35-36	3.57	18	1.0334	39
1642 + 690	RLQ	0.751	45.78	19	7.76	44.7796	1845	35-36	4.13	18	0.143	39
$1656 {+} 053$	RLQ	0.879	47.21	19	9.62	46.2101	5000	35-36	3.03	18	0.3222	40
1704 + 608	RLQ	0.371	46.33	19	8.23	45.5514	6560	35-36	2.81	37	0.0899	39
1706 + 006	RLQ	0.449	44.01	19	6.63	43	2086^{*}	35-36	5.06	38	-0.42	40
1721 + 343	RLQ	0.206	45.63	19	8.04	44.6335	2880	35-36	2.73	18	-0.032	39
1725 + 044	RLQ	0.293	46.07	19	8.07	45.0682	2090	35-36	3.03	18	0.0934	39
1828 + 487	RLQ	0.691	46.78	19	9.85	45.7803	9159	35-36	3.85	18	0.7917	39
1928 + 738	RLQ	0.302	46.68	19	8.91	45.6803	3360	35-36	3.27	18	0.5237	39
1954 - 388	RLQ	0.626	46.31	19	8.63	45.3096	3293	35-36	3.38	18	0.3139	39
2004 - 447	RLQ	0.24	45.32	19	7.48	44.3201	1939	35-36	3.41	38	-0.187	40
2059 + 034	RLQ	1.012	46.84	19	9.13	45.8401	3815	35-36	3.29	38	-0.125	40
2120 + 099	RLQ	0.932	45.75	19	8.19	44.7482	3083	35-36	4.13	38	-0.301	40
2128 - 123	RLQ	0.501	46.76	19	9.61	45.7597	7050	35-36	2.77	18	0.316	39
2135 - 147	RLQ	0.2	46.17	19	8.94	45.1703	8460	35-36	2.79	18	0.1492	39
2141 + 175	RLQ	0.213	46.23	19	8.74	45.2304	4450	35-36	2.57	18	-0.466	41
2143 - 156	RLQ	0.698	46.65	19	7.68	45.6503	836	35-36	3.04	18	-0.086	40
2155 - 152	RLQ	0.672	45.67	19	7.59	44.6702	1650	35-36	3.51	18	0.1987	40
2201 + 315	RLQ	0.298	46.62	19	8.87	45.6201	3380	35-36	2.73	18	0.3655	39
2216-038	RLQ	0.901	47.17	19	9.24	46.1703	3300	35-36	3.4	18	0.1761	39
2247 + 140	RLQ	0.237	45.47	19	7.59	44.4771	2520	35-36	3.12	18	0.0086	39
2251 + 158	RLQ	0.859	47.27	19	9.17	46.27	2800	35-36	2.6	18	1.2405	39
2255 - 282	RLQ	0.926	46.96	19	9.16	45.96	3600	35-36	3.28	18	0.238	40
2311 + 469	RLQ	0.741	46.55	19	9.3	45.5502	5884	35-36	3.12	18	-0.137	39
2329 - 415	RLQ	0.671	46.22	19	8.93	45.2201	4952	35-36	3.32	38	-0.328	40
2344 + 092	RLQ	0.673	47.07	19	9.31	46.0697	3900	35-36	2.81	18	0.1553	39
2345 - 167	RLQ	0.576	45.92	19	8.72	44.9191	4999	35-36	3.9	18	0.5635	39

2.2 黑洞质量和热光度的相关性

图 1 和图 2 分别是射电宁静类星体和射电噪类星体黑洞质量和热光度的关系图,我 们利用一元线性回归的方法分析了两类类星体的黑洞质量和热光度之间的相关性,并将 结果记录在表 2 中,从表 2 中可以得出:射电宁静类星体的黑洞质量和热光度之间具有 弱相关性,而射电噪类星体的黑洞质量和热光度之间具有强相关性.



图 1 射电宁静类星体黑洞质量对热光度

Fig. 1 The black hole mass versus bolometric luminosity for RQQs



图 2 射电噪类星体黑洞质量对热光度

Fig. 2 The black hole mass versus bolometric luminosity for RLQs

Table 2 The results of linear regression											
Type	X	Y	Α	B	r	P	N	SD			
RQQ	$\lg M$	$\lg L_{\rm bol}$	41.86	0.48	0.58	0.006	20	0.30			
RLQ	$\lg M$	$\lg L_{ m bol}$	38.74	0.86	0.80	< 0.0001	93	0.51			
RQQ	$\lg M$	$\lg R$	-1.83	0.17	0.15	0.52	20	0.48			
RLQ	$\lg M$	$\lg R$	7.133	-0.43	-0.50	< 0.0001	93	0.58			
RQQ	$\lg M$	$\lg L_{5 \mathrm{GHz}}$	17.96	0.45	0.31	0.19	20	0.62			
RLQ	$\lg M$	$\lg L_{5 \mathrm{GHz}}$	22.17	0.41	0.48	< 0.0001	94	0.59			
RQQ	$\lg L_{5GHz}$	$\lg L_{\rm bol}$	40.46	0.24	0.42	0.06	20	0.34			
RLQ	$\lg L_{5GHz}$	$\lg L_{\rm bol}$	28.84	0.67	0.64	< 0.0001	93	0.64			
RQQ	$\lg(\lambda L_{\lambda})$	$\lg L_{\rm bol}$	24.98	0.43	0.49	0.026	20	0.29			
RLQ	$\lg(\lambda L_{\lambda})$	$\lg L_{\rm bol}$	1.03	0.99	0.99	< 0.0001	91	0.004			

表 2 线性回归分析结果

注: $A \cap B$ 分别是回归方程 Y = A + BX的截距和斜率, r是相关系数, P是置信度水平, N是样品的个数, SD是回归方程的标准偏差.

2.3 黑洞质量和射电噪度的关系

在图 3 中我们做了射电宁静和射电噪类星体的黑洞质量与射电噪度的统计分析,从 图 3 中可以得出:射电宁静类星体的黑洞质量小于 10⁹ M_{\odot} ,而黑洞质量大于 10⁹ M_{\odot} 的 类星体几乎全是射电噪类星体,这与其他研究者的结果是相符的^[17].图 4 和图 5 分别是 射电宁静类星体和射电噪类星体的黑洞质量与射电噪度的关系图,利用一元线性回归的 方法可以得到:射电宁静类星体黑洞质量和射电噪度之间具有弱相关性,如图 4 所示. 而射电噪类星体的黑洞质量与射电噪度之间具有强的反相关性,如图 5 所示.





2.4 黑洞质量与射电光度的关系

假定哈勃常数 $H_0 = 70 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$,物质密度参量 $\Omega_{\text{m}} = 0.27$,真空能密度参量 $\Omega_{\Lambda} = 0.73^{[42]}$,射电谱指数 $\alpha_R = 0.5$,我们计算出总的 5 GHz 射电光度 ^[43],并做出了黑 洞质量与总的 5 GHz 射电光度的关系图 6. 从图 6 中可以得出总的 5 GHz 射电光度等 于 10²⁴ W·Hz⁻¹·Sr⁻¹ 可以用来区分射电噪和射电宁静类星体,这与其他研究者的结果 相符 ^[8],与采用射电噪度 *R* 方法来区分射电宁静和射电噪类星体所得结果是一致的 (见 图 3).图 7 和图 8 分别是射电宁静类星体和射电噪类星体的黑洞质量与射电光度的关系 图,利用一元线性回归的方法可以得到:射电宁静类星体黑洞质量和 5 GHz 射电光度之 间有弱相关性,而射电噪类星体的黑洞质量与 5 GHz 射电光度之间具有强相关性.









luminosity



2.5 黑洞质量与 H_{β} 发射线宽度 (FWHM) 的相关性

图 9 和图 10 分别是射电宁静和射电噪类星体的黑洞质量和 H_{β} 发射线宽度的关系 图. 从图 9 可以看出射电宁静类星体的发射线宽度范围为 1800 ~ 8500 km·s⁻¹, 从图 10 可以看出射电噪类星体的发射线宽度范围为 800 ~ 14000 km·s⁻¹. 因此我们可以得到射电宁静和射电噪类星体发射线宽度的分布有差异,并且这种差异可能是导致射电宁静和射电噪类星体黑洞质量分布不同的原因.



图 9 射电宁静类星体的黑洞质量对 H_{β} 发射线宽度 Fig. 9 The black hole mass versus FWHM for RQQs



图 10 射电嗓类星体的黑洞质量对 H_{β} 发射线宽度 Fig. 10 The black hole mass versus FWHM for RLQs

2.6 射电类星体的射电光度和热光度之间的相关性

图 11 和图 12 分别是射电宁静和射电噪类星体的总的 5 GHz 射电光度和热光度的关系图,利用一元线性回归分析得到:射电宁静类星体总的 5 GHz 射电光度和热光度之间具有弱相关性,射电噪类星体总的 5 GHz 射电光度和热光度之间具有强相关性.



Fig. 11 The radio luminosity versus bolometric luminosity for RQQs



图 12 射电噪类星体射电光度和热光度

Fig. 12 The radio luminosity versus bolometric luminosity for RLQs

2.7 射电类星体的热光度与 5 100 Å 的单色光度间的相关性

图 13 和图 14 是两类类星体热光度和波长为 5 100 Å 单色光度的关系图,我们利用 一元线性回归的方法对它们之间的相关性进行研究,并将统计结果记录在表 2 中,从表 2 中可以得到:射电噪类星体的热光度和波长为 5 100 Å 的单色光度之间具有很显著的 相关性,回归方程为 lg $L_{\text{bol}} = 1.03 + 0.99 \log(\lambda L_{\lambda})$,这与其他研究者的结果相符^[2],而射电 宁静类星体的热光度和波长为 5 100 Å 的单色光度之间具有弱相关性.







图 14 射电噪类星体热光度对 5 100 Å 单色光度 Fig. 14 The bolometric luminosity versus monochromatic luminosity at 5100 Å for RLQs

2.8 射电类星体爱丁顿比分布

根据吸积盘模型 ^[28] 可知辐射效率与爱丁顿吸积率有关,爱丁顿比等于热光度比爱 丁顿光度,即 $L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}}$,而 $L_{\text{Edd}} = \frac{4\pi GMm_{\text{P}}c}{\sigma_{\text{T}}} = 1.3 \times 10^{38} (\frac{M}{M_{\odot}})$ erg·s⁻¹,利用表 1 中 的第 4 和第 6 列计算出样本的爱丁顿比.图 15 和图 16 是射电宁静和射电噪类星体的 爱丁顿比的分布图,从爱丁顿比的分布图可以得到:射电宁静类星体爱丁顿比的范围是 $0.1 \sim 1.8$,射电噪类星体爱丁顿比的范围是 0 ~ 9,并且射电宁静类星体爱丁顿比的平均 值 $< L_{bol}/L_{Edd} >_{RQQs} = 0.6$,射电噪类星体爱丁顿比的平均值 $< L_{bol}/L_{Edd} >_{RLQs} = 0.68$. 因此可以得出射电宁静和射电噪类星体的爱丁顿比的分布有差异.



RLQs

讨论 3

射电宁静和射电噪类星体本质的不同是由于取向效应还是内秉物理性质的不同, 目前还在研究中,这也是构造活动星系核统一结构和演化模型时所遇到的最大问题之一 [17,44-46]. 在这篇文章中,我们分别对射电宁静和射电噪类星体的主要参量进行研究,得 到: (1) 射电宁静类星体的黑洞质量和热光度、射电噪度、射电光度之间具有弱相关性, 而射电噪类星体黑洞质量和热光度、射电噪度、射电光度之间具有强相关性; (2)射电宁 静类星体热光度和射电光度、 5 100 Å 的单色光度之间具有弱的相关性, 而射电噪类星 体热光度和射电光度、 5 100 Å 的单色光度之间具有强的相关性; (3) 射电宁静和射电 噪类星体的黑洞质量、发射线宽度和爱丁顿比分布有差异. 从这些结果中可以得到射电 宁静和射电噪类星体本质的不同是由于内秉物理性质的不同造成的.

Sikora 等^[15] 通过对一个包含 Seyfert 星系、LINER、宽线射电星系、PG 类星体和 射电噪类星体的样本进行研究得到: 在射电噪度和爱丁顿比的关系图中, 活动星系核形 成了两个不同的序列,一个是射电噪序列,一个是射电宁静序列,寄主是椭圆星系的活动 星系核 (射电噪序列) 的射电噪度比寄主是盘星系的活动星系核 (射电宁静序列) 的射电 噪度大;射电噪度取决于爱丁顿比(射电噪度增加而爱丁顿比减小);黑洞自旋能很好解释 这种射电噪度的不同. Chiaberge 等^[16] 在对 AGNs 的射电噪度起源进行研究得到: 黑洞 质量和黑洞自旋是解释射电噪度起源的两个重要参量;寄主星系的合并对射电噪 AGNs 的产生具有重要作用. Ho 等^[47] 对 Seyfert1 和 PG 类星体的核光度和射电噪度进行研 究得到: Seyfert1 星系的核射电噪度的分布范围是 1~100, 并且大部分的 Seyfert1 星系 是射电噪的 AGNs, 这个结果质疑了通常认为的 Seyfert1 星系是射电宁静 AGNs; 射电和 光学光度的相关性暗示射电喷流和盘的吸积率之间具有紧密的关系.本文中,通过对射 电宁静和射电噪类星体的黑洞质量、爱丁顿比的分布研究得到:射电宁静类星体的黑洞 质量小于 10⁹ M_☉, 而黑洞质量大于 10⁹ M_☉ 的类星体几乎全是射电噪类星体;射电宁静 和射电噪类星体爱丁顿比分布有差异.这个结果说明黑洞质量和爱丁顿比是理解射电噪 度起源和双峰状分布的重要参量.基于以上的讨论,我们得到:黑洞质量、黑洞自旋、爱 丁顿比和寄主星系形态是解释射电噪度起源和双峰状分布的重要参量.

最后我们得到射电宁静类星体热光度和射电光度、 5 100 Å 的单色光度之间具有弱的相关性,而射电噪类星体热光度和射电光度、 5 100 Å 的单色光度之间具有强的相关性.这个结果支持了 Ho 等 ^[47] 得到的结论,并且说明射电喷流和盘的吸积率之间具有紧密的关系.根据相对论的聚束模型,由于聚束效应的影响,对观测到的 Blazar 热光度应进行 Doppler 修正得到内秉的热光度,即 $F^{obs} = F^{in}\delta^{3+\alpha}$,其中 F^{in} 是内秉流量密度, F^{obs} 是观测的流量密度, α 为谱指数, δ 为多普勒因子 ^[48].因此,对于射电噪类星体中的平谱射电类星体 (FSRQ) ($\alpha < 0.5$)的热光度应进行 Doppler 修正,然而由于观测的限制,样本中的许多 FSRQ 的 Doppler 因子不能获得,我们没有用内秉的热光度进行研究,这可能对真实热光度的统计结果造成影响.

4 结论

通过对射电类星体黑洞质量和射电特性的研究,得到的结论如下: (1)射电宁静类 星体的黑洞质量和热光度、射电噪度、射电光度之间具有弱相关性,而射电噪类星体黑 洞质量和热光度、射电噪度、射电光度之间具有强相关性; (2)射电宁静类星体热光度和 射电光度、5100Å的单色光度之间具有弱的相关性,而射电噪类星体热光度和射电光 度、5100Å的单色光度之间具有强的相关性; (3)射电宁静和射电噪类星体的黑洞质 量、发射线宽度和爱丁顿比分布有差异; (4)射电宁静和射电噪类星体发射线宽度的差 异可能是导致它们黑洞质量不同的原因; (5)射电宁静和射电噪类星体本质的不同是由 于内秉物理性质的不同造成的; (6)黑洞质量、黑洞自旋、爱丁顿比和寄主星系形态是解 释射电噪度起源和双峰状分布的重要参量; (7)射电喷流和盘的吸积率之间具有紧密的 关系.

参考文献

- [1] Lacy M, Laurent-Muehleisen S A, Ridgway S E, et al. ApJ, 2001, 551: L17
- [2] McLure R J, Jarvis M J. MNRAS, 2004, 353: L45
- [3] Stocke J T, Morris S, Weymann R J, et al. ApJ, 1992, 396: 487
- [4] Visnovsky K L, Impey C D, Foltz C B, et al. ApJ, 1992, 391: 560
- [5] Kellermann K I, Sramek R A, Schmidt M, et al. AJ, 1994, 108: 1163
- [6] Strittmatter P A, Hill P, Pauliny I I K, et al. A&A, 1980, 88: 12
- [7] Kellermann K I, Sramek R, Schmidt M, et al. AJ, 1989, 98: 1195
- [8] Miller L, Peacock J A, Mead A R G. MNRAS, 1990, 244: 207
- [9] Condon J J, Cotton W D, Greisen E W, et al. AJ, 1998, 115: 1693
- [10] Croom S M, Smith R J, Boyle B J, et al. MNRAS, 2001, 322: L29
- [11] Laor A. ApJ, 2003, 590: 86
- [12] Cirasuolo M, Celotti A, Magliocchetti M, et al. MNRAS, 2003, 346: 447

- [13] Cirasuolo M, Magliocchetti M, Celotti A, et al. MNRAS, 2003, 341: 993
- [14] White R L, Becker R H, Gregg M D, et al. ApJS, 2000, 126: 133
- [15] Sikora M, Stawarz L, Lasota J P. ApJ, 2007, 658: 815
- [16] Chiaberge M, Marconi A. MNRAS, 2011, 416: 917
- [17] Laor A. ApJ, 2000, 543: L111
- [18] Liu Y, Jiang D R, Gu M F. ApJ, 2006, 637: 669
- [19] Woo J H, Urry C M. ApJ, 2002, 579: 530
- [20] Franceschini A, Vercellone S, Fabian A C. MNRAS, 1998, 297: 817
- [21] McLure R J, Kukula M J, Dunlop J S, et al. MNRAS, 1999, 308: 377
- [22] Ho L C. ApJ, 2002, 564: 120
- [23] Wang J M, Luo B, Ho L C. ApJ, 2004, 615: L9
- [24] Greene J E, Ho L C. ApJ, 2006, 641: L21
- [25] Panessa F, Barcons X, Bassani L, et al. A&A, 2007, 467: 519
- [26] Koratkar A P, Gaskell C M. ApJ, 1991, 370: L61
- [27] Kaspi S, Smith P S, Maoz D, et al. ApJ, 1996, 471: L75
- [28] Kaspi S, Smith P S, Netzer H, et al. ApJ, 2000, 533: 631
- [29] Vestergaard M. ApJ, 2002, 571: 733
- [30] Krolik J H, Horne K, Kallman T R, et al. ApJ, 1991, 371: 541
- [31] Wandel A, Peterson B M, Makkan M A. ApJ, 1999, 526: 579
- [32] Krolik J H. ApJ, 2001, 551: 72
- [33] McLure R J, Jarvis M J. MNRAS, 2002, 337: 109
- [34] Condon J J, O'Dell S L, Puschell J J, et al. ApJ, 1981, 246: 624
- [35] 鲍玉英,张雄,陈洛恩,等.天文学报, 2008,49:123
- [36] Bao Y Y, Zhang X, Chen L E, et al. ChA&A, 2008, 32: 351
- [37] Boroson T A, Green R F. ApJS, 1992, 80: 109
- [38] Oshlack A, Webster R, Whiting M. ApJ, 2002, 576: 81
- [39] Cao X W, Jiang D R. MNRAS, 1999, 307: 802
- [40] Drinkwater M J, Webster R L, Francis P J, et al. MNRAS, 1997, 284: 85
- [41] Feigelson E D, Takashi I, Kembhavi A. AJ, 1984, 89: 1464
- [42] Komatsu E, Smith K M, Dunkley J, et al. ApJS, 2011, 192: 18
- [43] Zhang L, Cheng K S, Fan J H. PASJ, 2001, 53: 207
- [44] Antonucci R. ARA&A, 1993, 31: 473
- [45] Urry C M, Padovani P. PASP, 1995, 107: 803
- [46] Marecki A, Swoboda B. A&A, 2011, 525: 6
- [47] Ho L C, Peng C Y. ApJ, 2001, 555: 650
- [48] Xie G Z, Zhou S B, Liang E W. AJ, 2004, 127: 53

The Black Hole Mass and Radio Characteristics of Radio Quasars

XIONG Ding-rong ZHANG Xiong ZHENG Yong-gang HUANG Bang-rong

MAO Li-sheng LIU Wen-guang

(College of Physics and Electronics, Yunnan Normal University, Kunming 650092)

ABSTRACT In this paper, we collect the redshift, bolometric luminosity, full-width at half maximum (FWHM), monochromatic luminosity at 5100Å, radio loudness of 117 quasars, including 20 radio quiet quasars and 97 radio loud quasars. Then we calculate the black hole mass and Eddington ratio with the reverberation mapping method, and calculate the radio luminosity using total 5 GHz flux density. By analyzing the relations among them, our conclusions are as follows: (1) there are weak correlations between black hole mass and bolometric luminosity, between black hole mass and radio loudness, and between black hole mass and radio luminosity for radio quiet quasars (RQQs), while there are strong correlations between black hole mass and bolometric luminosity, between black hole mass and radio loudness, and between black hole mass and radio luminosity for radio loud quasars (RLQs); (2) there are weak correlations between bolometric luminosity and radio luminosity, and between bolometric luminosity and monochromatic luminosity at 5100Å for RQQs, while there are strong correlations between bolometric luminosity and radio luminosity, and between bolometric luminosity and monochromatic luminosity at 5100Å for RLQs; (3) the distributions of black hole mass, FWHM and Eddington ratio between RQQs and RLQs are different. From these results we suggest that the difference in black hole mass between RQQs and RLQs is predominantly due to the difference in FWHM between RQQs and RLQs; the difference between RQQs and RLQs is not due to the difference in orientation, but due to the difference in intrinsic property; the black hole mass, spin of black hole, Eddington ratio and morphology of host galaxy play an important role in explaining the origin of radio loudness and the radio loudness "bimodality"; there is a close link between the disk accretion rate and the generation of the relativistic radio jet.

Key words galaxies: active, quasars: general, black hole physics, radio continuum: galaxies