

## Seyfert 1 星系黑洞质量与辐射压的研究\*

熊定荣 张雄† 郑永刚 黄邦蓉 毛李胜 刘文广 茶永娟

(云南师范大学物理与电子信息学院, 云南 650092)

(2012年3月31日收到; 2012年6月13日收到修改稿)

从斯隆数字巡天 (SDSS) 收集了 214 个 Seyfert 1 星系, 其中 147 个窄线的 Seyfert 1 星系 (NLS1s), 67 个宽线的 Seyfert 1 星系 (BLS1s), 对其黑洞质量、核球速度弥散、爱丁顿比、5100 Å 光度、红移进行了研究, 得到以下结论: 1) 在进行黑洞质量估算时, 应考虑辐射压的影响, 特别是窄线 Seyfert 1 星系; 2) 在考虑辐射压的情况下, 窄线 Seyfert 1 星系满足近距正常星系的  $M_{\text{BH}}-\sigma$  关系, 其吸积未超爱丁顿极限吸积; 3) 在大样本下 Seyfert 1 星系从窄线 Seyfert 1 星系到宽线 Seyfert 1 星系演化, 与他人用其他方法获得的结果是一致的。

关键词: 辐射压, 黑洞质量, Seyfert 1 星系, 特性

PACS: 98.62.Dm, 98.62.Ck, 98.54.Cm, 98.62.-g

## 1 引言

研究表明 Seyfert 星系中心超大黑洞质量的演化与其寄主星系的演化密切相关<sup>[1-5]</sup>, 准确的估算出中心超大黑洞质量对这种演化关系的研究具有重要意义. 目前有很多方法可以用来估算活动星系核的中心黑洞质量, 在这些方法中, 反响映射法是较可靠的方法. 但由于观测上的限制, 不能得到大的黑洞质量样本, Kaspi 等在进行反响映射研究时得到宽线区半径  $R_{\text{BLR}}$  和 5100 Å 单色光度的经验公式<sup>[6]</sup>, 利用这个经验公式和维里理论能得到大的黑洞质量样本. 在进行黑洞质量估算时, 尺度因子  $f(M_{\text{BH}} = f\Delta\nu^2 R_{\text{BLR}} G^{-1})$  是影响黑洞质量估算的一个主要因素, Onken 等<sup>[7]</sup>、Vestergaard 等<sup>[8]</sup>、Woo 等<sup>[9]</sup> 利用反响映射法得到的数据和  $M_{\text{BH}}-\sigma$  的关系修正了尺度因子  $f$ . 在最近的研究中, Marconi 等<sup>[10]</sup> 得到辐射压对宽线区气体云的运动有重要影响, 在进行黑洞质量估算时应考虑辐射压的影响<sup>[11]</sup>.

Seyfert 1 星系按照  $H_{\beta}$  发射线宽度 (FWHM) 的不同分为宽线 Seyfert 1 星系 (BLS1s) 和窄线 Seyfert 1 星系 (NLS1s),  $H_{\beta}$  发射线宽度大于  $2000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$

称为宽线 Seyfert 1 星系, 小于  $2000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  称为窄线 Seyfert 1 星系<sup>[12]</sup>, 与宽线 Seyfert 1 星系相比, 窄线 Seyfert 1 星系具有更小的黑洞质量, 有接近或超爱丁顿极限吸积<sup>[10]</sup>. 研究发现对于近距正常星系黑洞质量与其寄主星系核球速度弥散之间有很好的关系, 即  $M_{\text{BH}}-\sigma$  关系, 宽线 Seyfert 1 星系也很好地符合这一关系, 但是窄线 Seyfert 1 星系却偏离了这一关系<sup>[2,13-16]</sup>.

我们收集了 214 个 Seyfert 1 星系 (147 个窄线的 Seyfert 1 星系, 67 个宽线的 Seyfert 1 星系), 对辐射压与黑洞质量的关系、窄线 Seyfert 1 星系的低质量和超爱丁顿极限吸积、Seyfert 1 星系的演化规律进行研究, 得到较好的结果, 由此支持了他人用其他方法获得的结果<sup>[12,17]</sup>.

## 2 方法和数据

## 2.1 黑洞质量的估算方法

宽线区半径  $R_{\text{BLR}}$  和 5100 Å 光度之间的经验公式为<sup>[6]</sup>

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

\* 国家自然科学基金 (批准号: 11163007)、云南省引力理论创新团队和云南省高校高能天体物理创新团队资助的课题.

† E-mail: ynzx@yeah.net

假设  $H_\beta$  的发射线宽度反映了宽线区绕中心黑洞的开普勒运动, 可以用以下公式估算黑洞质量:

$$M_{\text{BH}} = \frac{f R_{\text{BLR}} \text{FWHM}^2 G^{-1}}{4}, \quad (2)$$

在 (1) 和 (2) 式中 It-days 为光天,  $G$  为引力常数, FWHM 为  $H_\beta$  的发射线宽度, 尺度因子  $f = 3$  [6].

Vestergaard 等 [8] 矫正的黑洞质量估算公式为

$$M_{\text{BH}} = 10^{6.7} \left( \frac{\text{FWHM}}{1000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} \right)^2 \times \left( \frac{L_{5100}}{10^{44} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}} \right)^{0.6} M_\odot. \quad (3)$$

当考虑辐射压时, 黑洞质量的估算公式为 [11]

$$M_{\text{BH}} = 10^{6.13} \left( \frac{\text{FWHM}}{1000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}} \right)^2 \left( \frac{L_{5100}}{10^{44} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}} \right)^{0.5} \times M_\odot + 10^{7.72} \left( \frac{L_{5100}}{10^{44} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}} \right) M_\odot. \quad (4)$$

## 2.2 Seyfert 1 星系的数据

表 1 中, (1) 为样品名称; (2) 为样品类型 (NLS1s 为窄线 Seyfert 1 星系, BLS1s 为宽线 Seyfert 1 星系); (3) 为红移值; (4) 为 5100 Å 光度取对数, 以  $\text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$  为单位; (5) 为  $H_\beta$  的发射线宽度以  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$  为单位; (6) 为从 [OIII] 的 FWHM 估算的核球速度弥散取对数 ( $\sigma = \text{FWHM}/2.35$ ), 以  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$  为单位; (7) 为参考文献 (对于窄线 Seyfert 1 星系第 (7) 列为第 (4)、第 (5)、第 (6) 列的参考文献, 对于宽线 Seyfert 1 星系为第 (4)、第 (5) 列的参考文献); (8) 为利用 (1) 和 (2) 式估算

的黑洞质量取对数, 以  $M_\odot$  为单位; (9) 为利用 (3) 式估算的黑洞质量取对数, 以  $M_\odot$  为单位; (10) 为利用 (4) 式估算的黑洞质量取对数, 以  $M_\odot$  为单位; (11) 为未考虑辐射压下爱丁顿比, 计算的公式为  $L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}}$ , 其中  $L_{\text{bol}} \approx 10L_{5100} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $L_{\text{Edd}} \approx 1 \times 10^{38} (M/M_\odot) \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$ . 利用 (3) 式估算得到黑洞质量  $M$ . 在大样本下我们做出利用 (1) 和 (2) 式得到的黑洞质量与利用 (3) 式得到的黑洞质量的关系图 1, 结果表明利用 (1) 和 (2) 式得到的黑洞质量与利用 (3) 式得到的黑洞质量是一致的, 但是对于窄线 Seyfert 1 星系和宽线的 Seyfert 1 星系, 利用 (1) 和 (2) 式得到的黑洞质量与利用 (3) 式得到的黑洞质量有一个小的系统偏差. 这可能的解释是: (3) 式是利用反响映射法和  $M_{\text{BH}}-\sigma$  的关系矫正尺度因子  $f$  后得到的黑洞质量估算公式, (3) 式中的尺度因子和 (1)、(2) 式得到黑洞质量的尺度因子  $f$  是不同的, 这可能是黑洞质量有一个小的系统偏差的原因, 同时也说明尺度因子  $f$  是影响黑洞质量估算的一个重要参数.

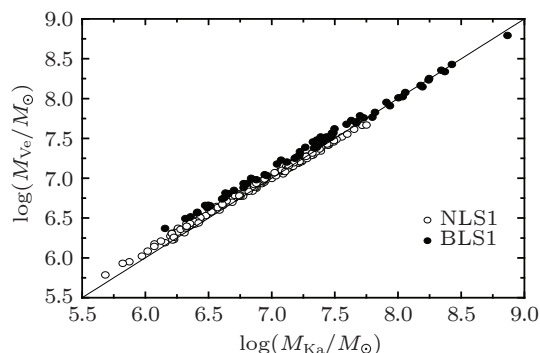


图 1 利用 (1) 和 (2) 式得到的黑洞质量与利用 (3) 式得到的黑洞质量的关系图

表 1 Seyfert 1 星系样品

Name	Type	Z	$\log L_{5100}$	FWHM	$\sigma_{[\text{OIII}]}$	ref	$\log M_{K\alpha}$	$\log M_{V_e}$	$\log M_{M_a}$	$L/L_{\text{Edd}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
J000109.14-004121.5	NLS1s	0.417	44.11	1209	2.21	15	6.92	6.93	7.84	1.51
J000834.72+003156.2	NLS1s	0.263	44.38	1351	2.36	15	7.21	7.19	8.11	1.55
J001327.31+005232.0	NLS1s	0.363	44.56	1742	2.36	15	7.56	7.52	8.3	1.1
J002213.00-004832.7	NLS1s	0.214	43.35	1429	2	15	6.54	6.62	7.12	0.54
J002233.27-003448.6	NLS1s	0.504	44.26	1388	2.38	15	7.15	7.14	8	1.32
J002305.03-010743.5	NLS1s	0.166	43.57	1157	2.15	15	6.51	6.57	7.31	1
J002752.39+002615.8	NLS1s	0.205	43.87	1830	2.31	15	7.12	7.15	7.63	0.53
J003024.94+000254.5	NLS1s	0.288	43.72	743	2.25	15	6.23	6.27	7.45	2.79

表 1 续

Name	Type	Z	$\log L_{5100}$	FWHM	$\sigma_{[\text{OIII}]}$	ref	$\log M_{K\alpha}$	$\log M_{V_e}$	$\log M_{M_a}$	$L/L_{\text{Edd}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
J003238.20-010035.2	NLS1s	0.092	43.4	639	1.95	15	5.87	5.95	7.13	2.81
J003431.74-001312.7	NLS1s	0.381	44.42	1314	2.47	15	7.21	7.19	8.15	1.7
J003711.00+002128.0	NLS1s	0.235	43.85	617	2.35	15	6.16	6.19	7.58	4.56
J004052.14+000057.3	NLS1s	0.405	44.49	1278	2.6	15	7.24	7.21	8.22	1.92
J004338.54-005814.7	NLS1s	0.559	44.45	1122	2.39	15	7.1	7.07	8.18	2.4
J005446.16+004204.1	NLS1s	0.234	43.78	1225	2.11	15	6.71	6.74	7.52	1.09
J005921.37+004108.9	NLS1s	0.423	44.08	1625	2.48	15	7.16	7.17	7.83	0.81
J011357.93-011139.8	NLS1s	0.754	44.72	1842	2.6	15	7.72	7.66	8.46	1.14
J011703.58+000027.4	NLS1s	0.046	43.16	975	2.19	15	6.07	6.17	6.91	0.97
J011712.81-005817.5	NLS1s	0.486	44.2	1937	2.28	15	7.4	7.39	7.95	0.64
J011929.06-000839.7	NLS1s	0.09	43.44	900	2.34	15	6.2	6.27	7.18	1.47
J013046.16-000800.8	NLS1s	0.253	43.63	1648	2.44	15	6.86	6.91	7.39	0.52
J013521.68-004402.2	NLS1s	0.098	43.45	1181	2.48	15	6.44	6.51	7.2	0.86
J013842.05+004020.0	NLS1s	0.52	44.24	1035	2.48	15	6.88	6.87	7.97	2.32
J013940.99-010944.4	NLS1s	0.194	43.71	1091	2.26	15	6.56	6.6	7.45	1.28
J014234.41-011417.4	NLS1s	0.244	43.96	1607	2.07	15	7.07	7.09	7.71	0.74
J014412.77-000610.5	NLS1s	0.359	43.66	1041	2.28	15	6.48	6.53	7.4	1.35
J014542.78+005314.9	NLS1s	0.389	43.86	1255	2.41	15	6.78	6.81	7.6	1.11
J014559.45+003524.7	NLS1s	0.166	43.43	1075	2.49	15	6.35	6.42	7.17	1.02
J014644.82-004043.2	NLS1s	0.083	43.22	1164	2.03	15	6.27	6.36	6.98	0.72
J014951.66+002536.5	NLS1s	0.252	43.7	563	2.03	15	5.97	6.02	7.43	4.78
J015652.43-001222.0	NLS1s	0.163	43.67	1324	2.31	15	6.7	6.75	7.42	0.84
J020431.64+002400.5	NLS1s	0.171	43.29	1077	2.05	15	6.25	6.34	7.04	0.89
J021610.56+000538.4	NLS1s	0.384	44.17	1467	2.53	15	7.13	7.13	7.91	1.08
J021652.47-002335.3	NLS1s	0.304	44.06	854	2.37	15	6.59	6.6	7.79	2.89
J022205.37-004948.0	NLS1s	0.525	44.54	1571	2.26	15	7.45	7.42	8.27	1.33
J022756.28+005733.1	NLS1s	0.128	43.09	773	2.16	15	5.82	5.93	6.83	1.44
J022841.48+005208.6	NLS1s	0.186	43.64	990	2.31	15	6.42	6.48	7.38	1.46
J022923.43-000047.9	NLS1s	0.558	44.4	1386	2.3	15	7.25	7.22	8.13	1.5
J023057.39-010033.7	NLS1s	0.649	44.56	1947	2.26	15	7.65	7.61	8.3	0.88
J023211.83+000802.4	NLS1s	0.432	44	1746	2.45	15	7.17	7.18	7.75	0.65
J023414.58+005707.9	NLS1s	0.269	43.75	1381	2.24	15	6.79	6.83	7.5	0.83
J024037.89+001118.9	NLS1s	0.47	44.19	1789	2.21	15	7.32	7.32	7.94	0.74
J024651.91-005931.0	NLS1s	0.468	45.02	1504	2.11	15	7.75	7.67	8.75	2.26
J025501.19+001745.5	NLS1s	0.36	43.77	904	2.2	15	6.43	6.47	7.5	1.98
J030031.31+005357.2	NLS1s	0.198	43.55	1536	2.28	15	6.74	6.8	7.31	0.56
J030417.78+002827.4	NLS1s	0.044	43.05	1321	2.06	15	6.26	6.37	6.82	0.48
J030639.57+000343.2	NLS1s	0.107	43.7	1525	2.34	15	6.84	6.89	7.46	0.65
J031427.47-011152.4	NLS1s	0.387	44.45	1812	2.34	15	7.51	7.49	8.19	0.92
J031542.64+001228.7	NLS1s	0.207	43.73	870	2.6	15	6.37	6.42	7.46	2.06
J031630.79-010303.6	NLS1s	0.368	44.12	1226	2.39	15	6.94	6.95	7.85	1.48

表 1 续

Name	Type	Z	log $L_{5100}$	FWHM	$\sigma_{[\text{OIII}]}$	ref	log $M_{K\alpha}$	log $M_{V_e}$	log $M_{M_a}$	$L/L_{\text{Edd}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
J032255.49+001859.9	NLS1s	0.384	44.49	1621	2.48	15	7.45	7.41	8.23	1.19
J032337.65+003555.7	NLS1s	0.215	44.15	1490	2.55	15	7.13	7.14	7.89	1.03
J032606.75+011429.9	NLS1s	0.127	43.52	686	2.35	15	6.02	6.08	7.25	2.73
J033027.21+005433.7	NLS1s	0.443	44.34	1315	2.21	15	7.16	7.14	8.07	1.58
J033059.06+010952.1	NLS1s	0.557	44.15	1946	2.41	15	7.37	7.37	7.9	0.6
J033429.47+000611.0	NLS1s	0.347	44.67	1316	2.34	15	7.39	7.34	8.4	2.14
J033854.25+005339.7	NLS1s	0.279	43.81	1314	2.39	15	6.79	6.82	7.55	0.97
J033923.66-002310.3	NLS1s	0.369	43.94	1437	2.14	15	6.96	6.98	7.68	0.91
J034131.59-000933.0	NLS1s	0.223	43.53	897	2.39	15	6.26	6.32	7.27	1.61
J034326.51+003915.2	NLS1s	0.499	44.32	1315	2.24	15	7.14	7.13	8.05	1.55
J034432.03-005842.7	NLS1s	0.287	43.89	786	2.63	15	6.4	6.42	7.62	2.92
J094857.33+002225.5	NLS1s	0.584	44.56	1342	1.78	15	7.33	7.29	8.29	1.86
J095859.80+004718.9	NLS1s	0.235	43.75	1190	2.35	15	6.66	6.7	7.49	1.12
J100405.00-003253.4	NLS1s	0.289	44.14	582	2.58	15	6.31	6.31	7.86	6.7
J101314.86-005233.5	NLS1s	0.276	44.29	1578	2.63	15	7.28	7.27	8.03	1.05
J102059.72+010034.3	NLS1s	0.588	44.64	1715	2.38	15	7.6	7.55	8.38	1.22
J102450.52-002102.4	NLS1s	0.322	44.17	1382	2.13	15	7.08	7.08	7.91	1.22
J103031.41-001902.6	NLS1s	0.562	44.22	1787	2.37	15	7.34	7.34	7.97	0.77
J103222.58-000345.6	NLS1s	0.559	44.19	1707	2.04	15	7.28	7.28	7.94	0.82
J103457.29-010209.0	NLS1s	0.328	44.49	1394	2.19	15	7.31	7.28	8.22	1.61
J104132.35-003512.2	NLS1s	0.135	43.15	1316	2.03	15	6.33	6.43	6.92	0.53
J104210.03-001814.7	NLS1s	0.115	43.15	628	1.85	15	5.68	5.79	6.88	2.31
J104230.14+010223.7	NLS1s	0.116	43.41	1012	2.37	15	6.28	6.36	7.15	1.13
J104331.51-010732.9	NLS1s	0.362	44.05	1756	2.35	15	7.21	7.22	7.8	0.68
J104449.28+000301.2	NLS1s	0.443	44.07	1176	2.51	15	6.87	6.88	7.8	1.54
J105932.52-004354.7	NLS1s	0.155	43.37	1451	2.39	15	6.57	6.65	7.14	0.53
J110312.83+000012.5	NLS1s	0.276	43.89	1450	2.34	15	6.93	6.96	7.64	0.86
J111022.39-005544.5	NLS1s	0.257	43.88	1934	2.26	15	7.17	7.2	7.65	0.48
J111300.73+003210.4	NLS1s	0.346	44.16	976	2.36	15	6.77	6.77	7.89	2.43
J113102.28-010122.0	NLS1s	0.242	43.49	1928	2.18	15	6.9	6.96	7.28	0.34
J113541.20+002235.4	NLS1s	0.175	44.03	1165	2.16	15	6.84	6.85	7.76	1.51
J115023.59+000839.1	NLS1s	0.127	43.49	1136	2.1	15	6.44	6.5	7.24	0.97
J115306.95-004512.7	NLS1s	0.357	43.98	1102	2.2	15	6.75	6.77	7.71	1.61
J115412.77+010133.4	NLS1s	0.49	44.31	945	2.45	15	6.85	6.84	8.04	2.97
J115533.50+010730.6	NLS1s	0.197	43.76	1628	2.59	15	6.94	6.98	7.52	0.6
J115755.47+001704.0	NLS1s	0.261	43.97	1762	2.44	15	7.15	7.17	7.72	0.63
J115832.81+005139.2	NLS1s	0.591	44.54	1035	2.17	15	7.09	7.05	8.27	3.06
J121415.17+005511.4	NLS1s	0.396	44.3	1981	2.32	15	7.49	7.47	8.05	0.67
J122102.95-000733.7	NLS1s	0.366	44.17	517	2.38	15	6.23	6.23	7.89	8.73
J124432.40-002731.4	NLS1s	0.157	43.76	1308	2.19	15	6.75	6.79	7.5	0.93
J124519.73-005230.4	NLS1s	0.221	43.53	1730	2.2	15	6.83	6.89	7.3	0.43

表 1 续

Name	Type	Z	$\log L_{5100}$	FWHM	$\sigma_{[\text{OIII}]}$	ref	$\log M_{K\alpha}$	$\log M_{V_e}$	$\log M_{M_a}$	$L/L_{\text{Edd}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
J125337.36-004809.6	NLS1s	0.427	44.31	1416	2.71	15	7.2	7.19	8.05	1.32
J125943.59+010255.1	NLS1s	0.394	44.3	1459	2.77	15	7.22	7.21	8.04	1.24
J130023.22-005429.8	NLS1s	0.122	43.58	1018	2.14	15	6.4	6.46	7.32	1.31
J130707.71-002542.9	NLS1s	0.45	44.18	1475	2.51	15	7.15	7.15	7.92	1.08
J130855.18+004504.1	NLS1s	0.429	44.06	1851	2.09	15	7.26	7.27	7.81	0.62
J131108.48+003151.8	NLS1s	0.429	44.54	1642	2.66	15	7.49	7.45	8.28	1.22
J132231.13-001124.5	NLS1s	0.173	43.61	1861	2.19	15	6.95	7.01	7.39	0.4
J133031.41-002818.8	NLS1s	0.24	43.6	1216	2.26	15	6.57	6.63	7.35	0.93
J133741.76-005548.2	NLS1s	0.279	43.69	873	2.51	15	6.35	6.4	7.42	1.97
J135908.01+002732.0	NLS1s	0.257	43.95	1282	2.24	15	6.86	6.89	7.69	1.16
J141234.68-003500.0	NLS1s	0.127	43.21	1098	2.08	15	6.21	6.31	6.96	0.8
J141519.50-003021.6	NLS1s	0.135	43.34	1186	2.29	15	6.37	6.45	7.09	0.77
J141820.33-005953.7	NLS1s	0.254	43.72	831	2.27	15	6.33	6.37	7.45	2.23
J142441.21-000727.1	NLS1s	0.318	44.23	1201	2.22	15	7	7	7.96	1.71
J143030.22-001115.1	NLS1s	0.103	43.07	1744	2.34	15	6.51	6.63	6.88	0.28
J143230.99-005228.9	NLS1s	0.362	43.99	1559	2.72	15	7.06	7.08	7.74	0.81
J143624.80-002905.3	NLS1s	0.325	44.34	1857	2.69	15	7.46	7.44	8.09	0.79
J144735.25-003230.5	NLS1s	0.217	43.65	1105	2.01	15	6.52	6.58	7.39	1.18
J144913.51+002406.9	NLS1s	0.441	44.08	944	2.45	15	6.69	6.7	7.81	2.41
J144932.70+002236.3	NLS1s	0.081	43.24	1072	2.02	15	6.21	6.3	6.99	0.86
J145123.02-000625.9	NLS1s	0.139	43.43	1122	2.18	15	6.38	6.46	7.18	0.94
J145437.84-003706.6	NLS1s	0.576	44.28	1328	2.41	15	7.13	7.11	8.01	1.46
J150629.23+003543.2	NLS1s	0.37	44.19	1861	2.18	15	7.36	7.35	7.94	0.69
J151312.42+001937.5	NLS1s	0.159	43.6	1697	2.32	15	6.86	6.92	7.37	0.48
J151956.57+001614.6	NLS1s	0.115	43.61	1716	2.17	15	6.88	6.94	7.38	0.47
J153911.17+002600.8	NLS1s	0.265	44.1	539	2.31	15	6.22	6.22	7.82	7.53
J164907.64+642422.3	NLS1s	0.184	43.47	759	2.2	15	6.07	6.14	7.2	2.13
J165022.88+642136.1	NLS1s	0.407	44.02	1152	2.46	15	6.82	6.83	7.75	1.53
J165338.69+634010.7	NLS1s	0.279	44.25	1848	2.55	15	7.39	7.38	8	0.74
J165537.78+624739.0	NLS1s	0.597	44.4	1271	1.81	15	7.17	7.15	8.13	1.79
J165633.87+641043.7	NLS1s	0.272	43.74	1139	2.42	15	6.61	6.66	7.48	1.21
J165658.38+630051.1	NLS1s	0.169	43.47	1466	2.11	15	6.64	6.71	7.23	0.57
J165905.45+633923.6	NLS1s	0.368	44.2	1359	2.41	15	7.09	7.09	7.94	1.3
J170546.91+631059.1	NLS1s	0.119	43.41	1657	2.01	15	6.71	6.78	7.19	0.42
J170812.29+601512.6	NLS1s	0.145	43.42	1094	2.27	15	6.35	6.43	7.17	0.98
J170956.02+573225.5	NLS1s	0.522	44.5	1329	2.14	15	7.28	7.25	8.23	1.79
J171033.21+584456.8	NLS1s	0.281	43.88	652	2.28	15	6.23	6.26	7.61	4.2
J171207.44+584754.5	NLS1s	0.269	44.18	1708	2.41	15	7.27	7.27	7.93	0.81
J171540.92+560655.0	NLS1s	0.297	44.01	1752	2.51	15	7.18	7.19	7.76	0.66
J171829.01+573422.4	NLS1s	0.101	43.55	1322	2.35	15	6.61	6.67	7.3	0.75
J172007.96+561710.7	NLS1s	0.389	43.84	1221	2.35	15	6.74	6.78	7.58	1.16
J172206.04+565451.6	NLS1s	0.426	44.39	1579	2.45	15	7.35	7.33	8.13	1.15
J171756.86+581206.0	NLS1s	0.414	43.96	1742	2.43	15	7.14	7.16	7.71	0.63

表 1 续

Name	Type	Z	$\log L_{5100}$	FWHM	$\sigma_{[\text{OIII}]}$	ref	$\log M_{K\alpha}$	$\log M_{V_e}$	$\log M_{M_a}$	$L/L_{\text{Edd}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
J172800.68+545302.8	NLS1s	0.246	44	1583	2.48	15	7.08	7.1	7.75	0.8
J172823.61+630933.9	NLS1s	0.439	44.3	1750	2.43	15	7.38	7.37	8.04	0.86
J173404.85+542355.1	NLS1s	0.685	44.42	1163	2.42	15	7.11	7.08	8.15	2.17
J173721.14+550321.7	NLS1s	0.333	44.22	1256	2.24	15	7.03	7.03	7.95	1.55
J232525.53+001136.9	NLS1s	0.491	44.27	1921	2.35	15	7.44	7.43	8.02	0.69
J233032.95+000026.4	NLS1s	0.123	43.55	956	2.29	15	6.33	6.39	7.29	1.44
J233149.49+000719.5	NLS1s	0.367	44.25	1708	2.53	15	7.32	7.32	7.99	0.86
J233853.83+004812.4	NLS1s	0.17	43.48	1011	2.04	15	6.33	6.4	7.22	1.21
J234050.53+010635.6	NLS1s	0.358	44.02	729	2.11	15	6.42	6.44	7.75	3.82
J234141.50-003806.7	NLS1s	0.319	44.38	1871	2.4	15	7.49	7.47	8.12	0.81
J234150.81-004329.2	NLS1s	0.251	43.66	1817	1.99	15	6.96	7.01	7.43	0.44
J234216.71+000224.1	NLS1s	0.185	43.31	917	2.13	15	6.12	6.21	7.05	1.26
J234229.46-004731.6	NLS1s	0.316	43.72	1857	2.08	15	7.02	7.07	7.49	0.45
J234725.30-010643.7	NLS1s	0.182	43.74	1667	2.09	15	6.94	6.99	7.5	0.57
SDSSJ1152-0005	BLS1s	0.275	43.89	3640		12	7.73	7.76	7.75	0.14
SDSSJ1157-0025	BLS1s	0.178	44.15	6602		12	8.43	8.43	8.16	0.05
SDSSJ1307-0036	BLS1s	0.188	43.69	2838		12	7.37	7.42	7.52	0.19
SDSSJ1059-0005	BLS1s	0.283	43.97	3208		12	7.67	7.69	7.79	0.19
SDSSJ1342-0053	BLS1s	0.129	43.37	4195		12	7.49	7.57	7.38	0.06
SDSSJ1307+0107	BLS1s	0.26	44.26	4874		12	8.24	8.23	8.14	0.11
SDSSJ1341-0053	BLS1s	0.17	43.51	2653		12	7.18	7.25	7.35	0.18
SDSSJ1344+0005	BLS1s	0.276	44.05	6478		12	8.34	8.35	8.08	0.05
SDSSJ1013-0052	BLS1s	0.327	44.51	4627		12	8.37	8.34	8.35	0.15
SDSSJ1057-0041	BLS1s	0.087	42.72	2864		12	6.7	6.85	6.73	0.08
SDSSJ0117+0000	BLS1s	0.245	43.53	2653		12	7.2	7.26	7.36	0.18
SDSSJ0112+0003	BLS1s	0.074	42.62	2221		12	6.41	6.56	6.55	0.11
SDSSJ1344-0015	BLS1s	0.141	43.48	2097		12	6.96	7.03	7.28	0.28
SDSSJ1519+0016	BLS1s	0.233	44	4874		12	8.06	8.08	7.93	0.08
SDSSJ1437+0007	BLS1s	0.179	43.87	2406		12	7.36	7.39	7.66	0.31
SDSSJ1659+6202	BLS1s	0.31	44.32	4319		12	8.18	8.16	8.17	0.14
SDSSJ0121-0102	BLS1s	0.36	44.64	3393		12	8.19	8.15	8.42	0.31
SDSSJ1719+5937	BLS1s	0.174	44.14	5415		12	8.25	8.25	8.07	0.08
SDSSJ1717+5815	BLS1s	0.279	44.32	3678		12	8.04	8.02	8.13	0.2
SDSSJ0037+0008	BLS1s	0.362	44.44	2961		12	7.94	7.91	8.22	0.34
SDSSJ2351-0109	BLS1s	0.252	43.81	3640		12	7.67	7.71	7.68	0.13
SDSSJ2349-0036	BLS1s	0.046	42.33	3023		12	6.47	6.66	6.46	0.05
SDSSJ0013+0052	BLS1s	0.239	44.11	4195		12	8	8.01	7.97	0.13
SDSSJ1720+5540	BLS1s	0.055	43.3	4134		12	7.43	7.51	7.32	0.06
SDSSJ0256+0113	BLS1s	0.081	42.83	3887		12	7.04	7.18	6.95	0.04
SDSSJ0135-0044	BLS1s	0.335	44.93	5861		12	8.87	8.79	8.76	0.14
SDSSJ0140-0050	BLS1s	0.146	43.36	2776		12	7.12	7.2	7.23	0.14
SDSSJ0310-0049	BLS1s	0.206	43.76	4997		12	7.91	7.95	7.74	0.06
SDSSJ0304+0028	BLS1s	0.368	44.08	3455		12	7.82	7.83	7.91	0.18
SDSSJ01059+0105	BLS1s	0.198	43.57	3270		12	7.41	7.47	7.45	0.13
SDSSJ0233-0107	BLS1s	0.177	43.42	3578		12	7.38	7.46	7.35	0.09

表 1 续

Name	Type	Z	$\log L_{5100}$	FWHM	$\sigma_{[\text{OIII}]}$	ref	$\log M_{K\alpha}$	$\log M_{V_e}$	$\log M_{M_a}$	$L/L_{\text{Edd}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
SDSSJ0409-0429	BLS1s	0.081	43.62	3270		12	7.45	7.5	7.5	0.13
SDSSJ0937+0105	BLS1s	0.108	43.16	2468		12	6.88	6.98	7.03	0.15
SDSSJ0323+0035	BLS1s	0.186	44.5	2406		12	7.8	7.76	8.26	0.55
SDSSJ0107+1408	BLS1s	0.216	43.75	2591		12	7.34	7.38	7.56	0.24
SDSSJ0322+0055	BLS1s	0.09	42.81	2097		12	6.49	6.63	6.69	0.15
SDSSJ0150+1323	BLS1s	0.037	42.94	5985		12	7.5	7.62	7.28	0.02
SDSSJ0904+5536	BLS1s	0.039	42.04	2653		12	6.16	6.37	6.19	0.05
SDSSJ0351-0526	BLS1s	0.075	43.5	2776		12	7.22	7.29	7.35	0.16
SDSSJ1203+0229	BLS1s	0.093	43.56	3332		12	7.42	7.48	7.45	0.12
SDSSJ1246+0222	BLS1s	0.078	43.66	3023		12	7.4	7.46	7.51	0.16
SDSSJ0839+4847	BLS1s	0.024	42.9	5491		12	7.39	7.52	7.19	0.02
SDSSJ1042+0414	BLS1s	0.08	42.87	2283		12	6.61	6.74	6.76	0.14
SDSSJ1349+4014	BLS1s	0.033	42.39	3455		12	6.64	6.81	6.58	0.04
SDSSJ1223+0240	BLS1s	0.072	42.91	2775		12	6.81	6.93	6.86	0.1
SDSSJ0832+4614	BLS1s	0.061	42.9	2283		12	6.63	6.75	6.79	0.14
SDSSJ0840+0333	BLS1s	0.053	42.66	4627		12	7.08	7.23	6.93	0.03
SDSSJ1510+0058	BLS1s	0.036	43.34	4874		12	7.59	7.68	7.42	0.05
SDSSJ0110-1008	BLS1s	0.078	43.73	3085		12	7.47	7.51	7.57	0.16
SDSSJ0142-1008	BLS1s	0.031	43.3	4380		12	7.48	7.57	7.35	0.05
SDSSJ1535+5754	BLS1s	0.062	43.09	3887		12	7.22	7.33	7.13	0.06
SDSSJ1654+3925	BLS1s	0.042	42.56	2591		12	6.5	6.66	6.56	0.08
SDSSJ0042-1049	BLS1s	0.058	42.59	2283		12	6.41	6.57	6.54	0.1
SDSSJ2058-0650	BLS1s	0.09	42.62	2097		12	6.36	6.51	6.53	0.13
SDSSJ1300+6139	BLS1s	0.052	42.97	4504		12	7.27	7.39	7.12	0.04
SDSSJ0752+2617	BLS1s	0.095	42.81	2159		12	6.52	6.65	6.69	0.14
SDSSJ1139+5911	BLS1s	0.085	43.19	2591		12	6.94	7.04	7.07	0.14
SDSSJ1345-0259	BLS1s	0.028	42.64	3332		12	6.78	6.93	6.74	0.05
SDSSJ1118+5803	BLS1s	0.061	43.4	3887		12	7.44	7.52	7.37	0.08
SDSSJ1105+0745	BLS1s	0.074	42.89	5121		12	7.33	7.46	7.15	0.03
SDSSJ0830+3405	BLS1s	0.07	43.34	5491		12	7.7	7.78	7.48	0.04
SDSSJ0857+0528	BLS1s	0.038	42.42	2344		12	6.32	6.49	6.41	0.08
SDSSJ1613+3717	BLS1s	0.059	42.97	4997		12	7.36	7.48	7.18	0.03
SDSSJ1300+5641	BLS1s	0.072	43.15	2221		12	6.78	6.88	6.99	0.18
SDSSJ1538+4440	BLS1s	0.041	42.58	3763		12	6.84	7	6.76	0.04
SDSSJ1342+5642	BLS1s	0.073	42.7	2776		12	6.66	6.81	6.69	0.08
SDSSJ1554+3238	BLS1s	0.049	43.24	5491		12	7.63	7.72	7.42	0.03

### 3 Seyfert 1 星系特性的研究

#### 3.1 窄线 Seyfert 1 星系 (NLS1s) 的黑洞质量与核球速度弥散 $\sigma$ 的关系

图 2 为考虑辐射压的黑洞质量与不考虑辐射压利用 (3) 式得到的黑洞质量之比与发射线宽度的关系图, 从图 2 可以得到: 对于宽线 Seyfert 1 星系,

两种质量比分布在  $\log(M_{M_a}/M_{V_e}) = 0$  的实线附近 ( $M_{M_a}$  为考虑辐射压的黑洞质量,  $M_{V_e}$  为不考虑辐射压利用 (3) 式得到的黑洞质量), 而窄线 Seyfert 1 星系与  $\log(M_{M_a}/M_{V_e}) = 0$  的实线偏离很大, 这说明了辐射压对窄线 Seyfert 1 星系的黑洞质量有很大影响, 而对于宽线 Seyfert 1 星系的黑洞质量影响很小.

图 3 为窄线 Seyfert 1 星系黑洞质量与核球速度弥散的关系图, 空心三角型为不考虑辐射压利用 (3) 式得到的黑洞质量与核球速度弥散的关系, 实心三角型为考虑辐射压利用 (4) 式得到的黑洞质量与核球速度弥散的关系, 实线为 Tremaine 等 [13] 研究了 31 个近距正常星系得到的  $M_{\text{BH}}-\sigma$  关系的表达式:

$$M_{\text{BH}} = 10^{8.13} (\sigma / (200 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}))^{4.02}. \quad (5)$$

从图 3 可以得到: 未考虑辐射压的情况下, 窄线 Seyfert 1 星系 (空心三角) 不遵循 (5) 式的  $M_{\text{BH}}-\sigma$  关系, 而在考虑辐射压的情况下, 窄线 Seyfert 1 星系 (实心三角) 却能与这一关系相符.

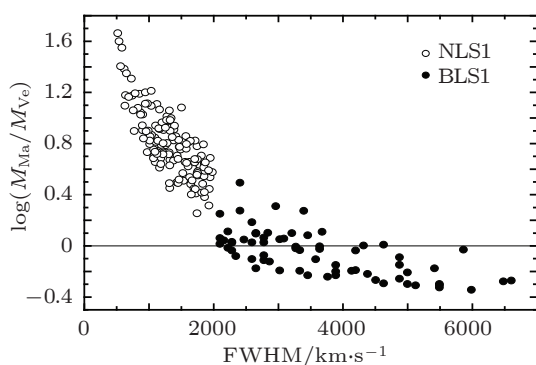


图 2 两种质量之比与发射线宽度

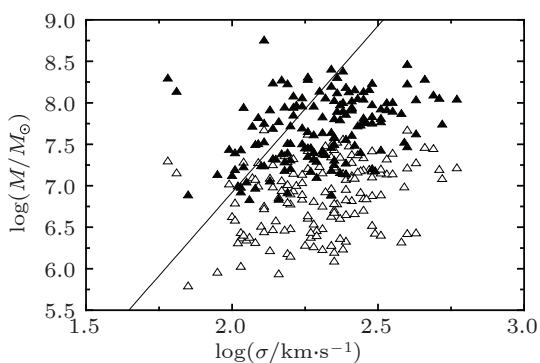


图 3 窄线 Seyfert 1 星系黑洞质量与核球速度弥散

### 3.2 考虑辐射压窄线 Seyfert 1 星系 (NLS1s) 爱丁顿比的研究

图 4 为未考虑辐射压与考虑辐射压的爱丁顿比分布, 上图为未考虑辐射压的爱丁顿比分布, 下图为考虑辐射压的爱丁顿比分布. 从图 4 可以得到: 未考虑辐射压的情况下, 有部分窄线 Seyfert 1 星系

的爱丁顿比大于 1, 即处于超爱丁顿极限吸积, 当考虑辐射压的情况下, 样本中没有一个窄线 Seyfert 1 星系的爱丁顿比大于 1, 其吸积未超爱丁顿极限吸积.

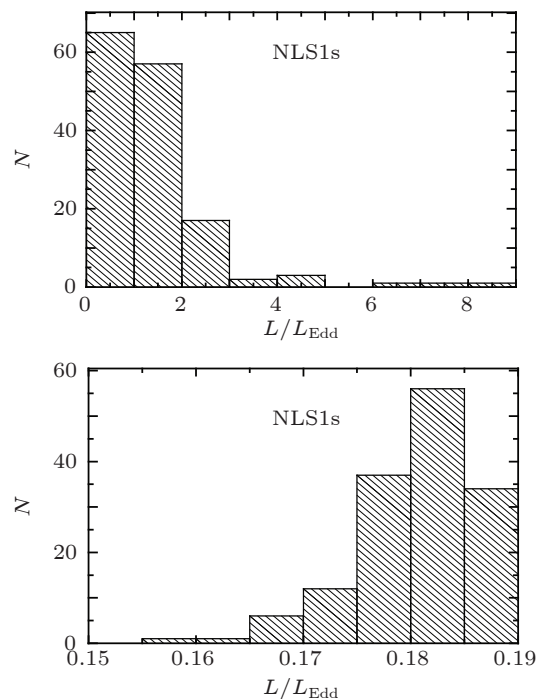


图 4 未考虑辐射压与考虑辐射压的爱丁顿比分布

### 3.3 窄线 Seyfert 1 星系 (NLS1s) 和宽线 Seyfert 1 星系 (BLS1s) 的关系

图 5 为未考虑辐射压的窄线和宽线 Seyfert 1 星系黑洞质量的分布图 (利用 (3) 式得到的黑洞质量), 从图 5 中可以看出宽线 Seyfert 1 星系黑洞质量分布在  $10^{6.2}-10^{8.7} M_{\odot}$ , 窄线 Seyfert 1 星系黑洞质量分布在  $10^{5.6}-10^{7.6} M_{\odot}$ ; 宽线 Seyfert 1 星系峰值对应的黑洞质量大于窄线 Seyfert 1 星系峰值对应的黑洞质量, 即窄线 Seyfert 1 星系的黑洞质量平均比宽线 Seyfert 1 星系的黑洞质量小.

图 6 为未考虑辐射压的宽线 Seyfert 1 星系的爱丁顿比分布图, 与图 4 的上图 (未考虑辐射压的爱丁顿比分布) 比较得到宽线 Seyfert 1 星系爱丁顿比主要分布在 0—0.4, 窄线 Seyfert 1 星系爱丁顿比主要分布在 0—3; 窄线 Seyfert 1 星系峰值对应的爱丁顿比大于宽线 Seyfert 1 星系峰值对应的爱丁顿比, 即窄线 Seyfert 1 星系爱丁顿比平均大于宽线 Seyfert 1 星系的爱丁顿比.



红移、光度与演化有关<sup>[18-20]</sup>, 我们可以按照天体红移和光度的关系来确定天体的演化. 图 7 为两类 Seyfert 1 星系红移与 5100 Å 光度的关系图, 利用 Allometric 非线性曲线拟合得到相应的演化曲线 (Allometric 非线性曲线拟合方程为  $y = 44.8x^{0.01}$ , 相关系数  $r = 0.89$ , 置信度  $P = 0.95$ ), 从图 7 和演化曲线可以得到: 具有高红移和高光度的窄线 Seyfert 1 星系出现在宇宙的早期, 随着演化的进行, 窄线 Seyfert 1 星系慢慢向宽线 Seyfert 1 星系演化, 当演化进行到一定阶段, 窄线 Seyfert 1 星系过渡到宽线 Seyfert 1 星系.

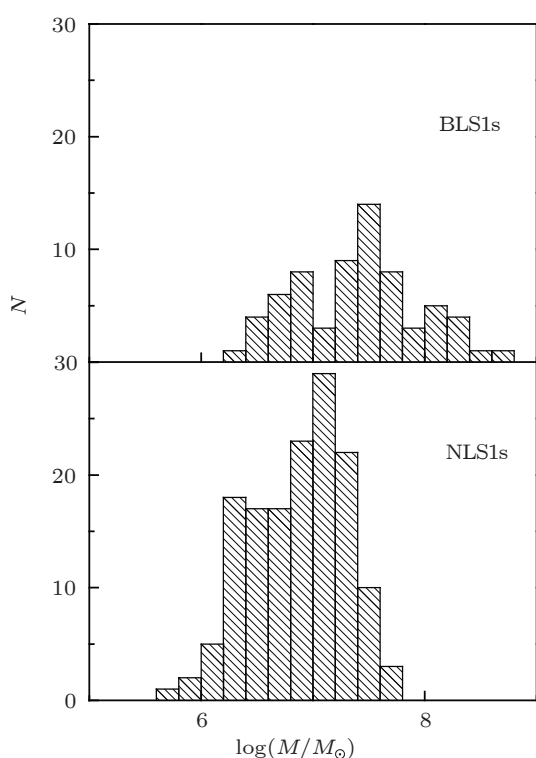


图 5 未考虑辐射压两类 Seyfert 1 星系的黑洞质量分布

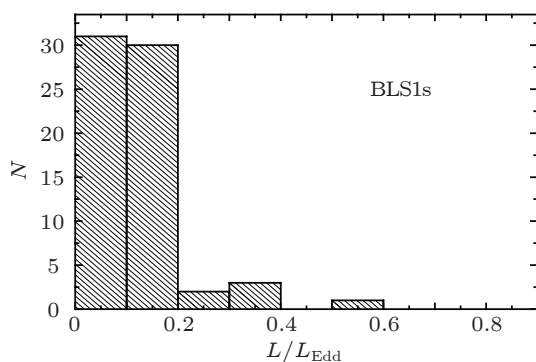


图 6 未考虑辐射压宽线 Seyfert 1 星系的爱丁顿比分布

## 4 结论和讨论

通过对黑洞质量、核球速度弥散、爱丁顿比、5100 Å 光度、红移的研究, 得到以下结论:

1) 在进行黑洞质量估算时, 应考虑辐射压的影响, 特别是窄线 Seyfert 1 星系; 2) 在考虑辐射压的情况下, 窄线 Seyfert 1 星系满足近距正常星系的  $M_{\text{BH}}-\sigma$  关系, 其吸积未超爱丁顿极限吸积; 3) 在大样本下 Seyfert 1 星系从窄线 Seyfert 1 星系到宽线 Seyfert 1 星系的演化, 与文献 [12, 17] 中用其他方法得到的结果是一致的.

Onken 等 [7]、Vestergaard 等 [8]、Woo 等 [9] 利用反响映射法得到的数据和  $M_{\text{BH}}-\sigma$  的关系确定了尺度因子  $f$ , 得到了较可靠的维里黑洞质量的估算, Marconi 等 [10,11] 提出在进行维里黑洞质量评估时, 应考虑辐射压的影响, 我们收集了 SDSS 的宽线和窄线 Seyfert 1 星系的数据, 对辐射压与黑洞质量的关系进行研究, 得到的结论支持了 Marconi 等 [10,11] 的观点.

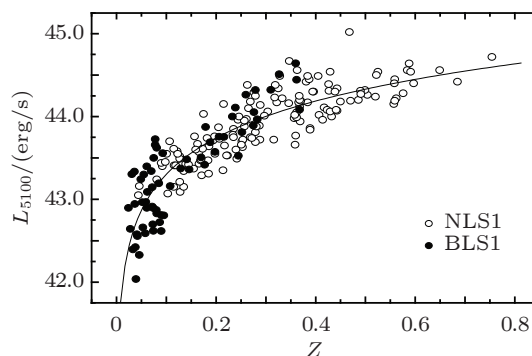


图 7 红移与 5100 Å 光度的关系图

窄线的 Seyfert 1 星系和正常 Seyfert 1 星系的关系仍然在研究中, 许多研究者在进行窄线的 Seyfert 1 星系的研究中发现, 比起正常 Seyfert 1 星系, 窄线的 Seyfert 1 星系具有更小的黑洞质量, 超爱丁顿极限吸积, 低于近距正常星系  $M_{\text{BH}}-\sigma$  的关系. 我们在考虑辐射压对黑洞质量有影响的情况下, 得到窄线 Seyfert 1 星系满足近距正常星系的  $M_{\text{BH}}-\sigma$  关系, 其吸积未超爱丁顿极限吸积. 这个结果说明考虑辐射压对黑洞质量有影响的情况下, 能解决窄线 Seyfert 1 星系低黑洞质量, 超爱丁顿极限吸积, 低于近距正常星系的  $M_{\text{BH}}-\sigma$  关系的问题, 同时暗示了窄线的 Seyfert 1 星系和正常 Seyfert 1 星系本质上是相同的, 由此也进一步表明考虑辐射压在黑洞质量等参数计算中的重要性.

我们对 Seyfert 1 星系的黑洞质量、爱丁顿比、5100 Å光度、红移进行了研究, 得到窄线 Seyfert 1 星系到宽线 Seyfert 1 星系的演化序列, 结果表明窄线 Seyfert 1 星系出现在演化的早期, 具有高的吸积率、小的黑洞质量, 随着演化的进行, 黑洞通过对周围物质的吸积不断长大, 吸积率也慢慢下降, 当演化进行到一定阶段过渡到宽线 Seyfert 1 星系. 这一结果与文献 [12,17] 中用其他方法获得的结果是一致的. Zhu 等在对宽线区的双成分模型进行研究时也支持窄线 Seyfert 1 星

系到宽线 Seyfert 1 星系的演化序列, 并且得到黑洞质量和尘埃环的分级演化结构<sup>[12]</sup>, 本文中, 我们研究了窄线和宽线 Seyfert 1 星系的黑洞质量与爱丁顿比, 得到窄线 Seyfert 1 星系的黑洞质量比宽线 Seyfert 1 星系的黑洞质量小, 而窄线 Seyfert 1 星系的爱丁顿比却比宽线 Seyfert 1 星系的大, 同时利用红移与 5100 Å光度的关系, 拟合出演化曲线, 支持了窄线 Seyfert 1 星系到宽线 Seyfert 1 星系的演化, 这个结果也支持了文献 [12] 中的双成分模型.

- [1] Croton D J, Springel V, White S D M, DeLucia G, Frenk C S, Gao L, Jenkins A, Kauffmann G, Navarro J F, Yoshida N 2006 *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **365** 11
- [2] Ferrarese L, Merritt D 2000 *Astrophys. J.* **539** L9
- [3] Marconi A, Hunt L K 2003 *Astrophys. J.* L21
- [4] Graham A W, Driver S P 2007 *Astrophys. J.* **655** 77
- [5] Granato G L, DeZotti G, Silva L, Bressan A, Danese L 2004 *Astrophys. J.* **600** 580
- [6] Kaspi S, Smith P S, Netzer H, Maoz D, Jannuzi B T, Giveon U 2000 *Astrophys. J.* **533** 631
- [7] Onken C A, Ferrarese L, Merritt D, Peterson B M, Pogge R W, Vestergaard M, Wandel A 2004 *Astrophys. J.* **615** 645
- [8] Vestergaard M, Peterson B M 2006 *Astrophys. J.* **641** 689
- [9] Woo J H, Treu T, Barth A J, Wright S A, Walsh J L, Bentz M C, Martini P, Bennert A N, Canalizo G, Filippenko A V, Gates E, Greene J, Malkan M A, Stern D, Minezaki T 2010 *Astrophys. J.* **716** 269
- [10] Marconi A, Axon D J, Maiolino R, Nagao T, Pastorini G, Pietrini P, Robinson A, Torricelli G 2008 *Astrophys. J.* **678** 693
- [11] Marconi A, Axon D J, Maiolino R, Nagao T, Pastorini G, Pietrini P, Robinson A, Torricelli G 2009 *Astrophys. J.* **698** L103
- [12] Zhu L, Zhang S N, Tang S 2009 *Astrophys. J.* **700** 1173
- [13] Tremaine S, Gebhardt K, Bender R, Bower G, Dressler A, Faber S M, Filippenko A V, Green R, Grillmair G, Ho L C, Kormendy J, Lauer T R, Magorrian J, Pinkney J, Richstone D 2002 *Astrophys. J.* **574** 740
- [14] Greene J E, Ho L C 2006 *Astrophys. J.* **641** L21
- [15] Bian W, Zhao Y 2004 *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **352** 823
- [16] Komossa S, Xu D 2007 *Astrophys. J.* **667** L33
- [17] Wang J M, Zhang E P 2007 *Astrophys. J.* **660** 1072
- [18] Xie G Z, Zhou S B, Liang E W 2004 *Astron. J.* **127** 53
- [19] Bao Y Y, Zhang X, Chen L E, Zhang H J, Peng Z Y, Zheng Y G 2008 *Acta Astron. Sin.* **49** 123 (in Chinese) [鲍玉英, 张雄, 陈洛恩, 张皓晶, 彭朝阳, 郑永刚 2008 天文学报 **49** 123]
- [20] Pei Y C 1995 *Astrophys. J.* **438** 623

# Black hole mass and radiation pressure of Seyfert 1 galaxies\*

Xiong Ding-Rong Zhang Xiong<sup>†</sup> Zheng Yong-Gang Huang Bang-Rong  
Mao Li-Sheng Liu Wen-Guang Cha Yong-Juan

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

(Received 31 March 2012; revised manuscript received 13 June 2012)

## Abstract

We collect 214 Seyfert 1 galaxies (147 narrow line Seyfert 1 and 67 broad line Seyfert 1) and research black hole mass, bulge velocity dispersion, Eddington ratio, luminosity at 5100 Å and redshift. Our conclusions are follows: (1) when computing black hole mass, we should consider the effect of radiation pressure, especially for the narrow line Seyfert 1 galaxies; (2) when the effect of radiation pressure is considered, narrow line Seyfert 1 galaxies meet  $M_{\text{BH}}-\sigma$  relation of normal galaxies and are in sub-Eddington accretion; (3) in a large samples, the evolution of Seyfert 1 galaxies is from narrow line Seyfert 1 galaxies to broad line Seyfert 1 galaxies, which is consistent with other results obtained in different ways.

**Keywords:** radiation pressure, black hole mass, Seyfert 1 galaxies, characteristics

**PACS:** 98.62.Dm, 98.62.Ck, 98.54.Cm, 98.62.—g

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11163007), the Gravitational Theory Innovation Team of Yunnan Provincial of China and High Energy Astrophysics of University Innovation Team of Yunnan Provincial of China.

<sup>†</sup> E-mail: ynzx@yeah.net