第 51 卷 第 2 期 天 文 学 报 Vol.51 No.2
2010 年 4 月 ACTA ASTRONOMICA SINICA Apr., 2010

PGC54 等三维旋涡星系盘等效厚度的测定*

李 港 [1] 罗志全 [1†] 彭秋和 [2]

(1 西华师范大学理论物理研究所 南充 637002)
(2 南京大学天文系 南京 210093)

摘要 利用改进的 Peng 的方法，对 Sloan Digital Sky Survey (SDSS) 最新发布的旋涡星系的图像进行了处理和旋臂拟合，得到了 73 个旋涡星系的等效厚度和旋臂的切向角，这些物理量对以后星系性质的进一步研究非常重要.

关键词 星系：旋涡，星系：统计学，技术：图像处理
中图分类号： P 157; **文献标识码**： A

1 引言

随着科学技术的进步，观测方法的不断改进使天文学家能够研究非常暗弱的天文现象，其中大量的未知星系得以观测. 现在，在可以观测的宇宙中，星系的数目约为 10^{11}，如此多的星系并不是杂乱无章的. 在对大量观测资料处理和整理的基础上，天文学家通过对星系形态的研究，对星系进行了分类. 其中最广泛采用的是 Hubble 提出的分类方案，简称 Hubble 分类. 它将星系分为：椭圆星系、透镜星系、正常旋涡星系、棒旋星系和不规则星系. 从 1978 年起， Peng 等 [1−9] 利用密度波理论，对星系的动力学性质进行了研究. 结果表明：具有相同的旋臂数目且旋臂的紧卷程度相同时，星系盘愈厚的星系，其旋臂分布的禁区半径愈大；对于椭圆星系，由于盘的等效厚度太大，使密度波能够存在的区域半径大于星系盘的可见半径，即在椭圆星系内无法存在旋涡结构. 所以，Peng 等 [1−9] 得到的一个重要结论是：盘的等效厚度是椭圆星系和旋涡星系形态差异的重要原因. 另外，盘的等效厚度是星系盘三维模型中最基本和最重要的参量.

利用星系盘的等效厚度，可以得到星系盘径向和垂直于星系盘面的 z 向自引力，以及研究星系盘的局域稳定性和密度波的群速度. 如果能得到较多旋涡星系盘的等效厚度，就可以从统计上修正一些星系动力学的理论结果. 目前得到了盘的等效厚度的星系数量还很少，所以，得到更多的旋涡星系盘等效厚度的工作是非常重要的. 望远镜技术的提高，特别是 CCD 成像技术的发展，使我们现在可以得到更加清晰的星系图像，从而得到

2009-08-24 收到原稿， 2009-09-28 收到修改稿
* 国家自然科学基金 (10778719) 资助项目
† zqluo@tom.com

更加精确的星系的等效厚度. 在前期工作的基础上 [10], 本文继续利用改进的 Peng 的方法对星系图像进行处理和拟合，得到了 73 个旋涡星系的等效厚度以及旋臂的切向角.

2 基本理论

星系的等效厚度可以通过研究扰动引力势的严格解得到 [11−12]

$$\eta=\frac{V_{\alpha}(\alpha,m,\Lambda,r_0)}{V_{\alpha\to\infty}(m,\Lambda)}=\mathrm{Re}\{e^{i\Lambda\ln 2}\frac{\Gamma[(1+m+i\Lambda)/2]}{\Gamma[(1+m-i\Lambda)/2]}\int_0^{\infty}J_m(x)\frac{e^{-i\Lambda\ln x}}{x[1+x/(\alpha r_0)]}\mathrm{d}x\}\sqrt{m^2+\Lambda^2}\,, \tag{1}$$

η 为在同一旋涡星系相同的参数条件下，有限厚度星系盘在旋臂禁区半径 r_0 处的扰动引力势 $V_{\alpha}(\alpha,m,\Lambda,r_0)$ 对比无限薄盘的扰动引力势 $V_{\alpha\to\infty}(m,\Lambda)$ 时减小或下降的程度因子. Γ 和 J_m 分别代表 Gamma 函数和 Bessel 函数. $\alpha(=2/H)$ 为星系盘厚度因子, H 就是我们所要求的星系盘的等效厚度, m 是星系旋臂的数目. 对于大多数旋涡星系，旋臂的数目一般为 2. Λ 代表星系旋臂的紧卷参数，可由对数螺线拟合旋臂得到.

在星系平面上，旋臂的对数螺线形式很简单

$$r=r_0e^{\frac{m}{\Lambda}(\phi-\phi_0)}\,, \tag{2}$$

其中 (r,ϕ) 为星系平面极坐标, (r_0,ϕ_0) 是旋臂向内延伸到最内点位置的极坐标. 在此坐标位置处, η 为 0. 利用 Galfit 软件扣除核和盘的影响后可求得 r_0.

旋臂的切向角 μ 和倾角 γ 分别为 [13]

$$\mu=\arctan\frac{m}{\Lambda}\,, \tag{3}$$

$$\gamma=\arccos\sqrt{1.042(\frac{b}{a})^2-0.042}+0.052\,, \tag{4}$$

a 和 b 分别是视长轴和视短轴，其值来自 RC3 星表 (The Third Reference Catalogue of Bright Galaxies). 拟合旋臂时，需要倾角 γ 等基本参数，然后利用 IRAF 和 IDL 软件，通过反复耐心地调节，得到与旋臂形状相符合的拟合结果，进而得到星系的等效厚度.

3 η 的分析

在无限薄星系盘的假设下，密度波理论认为：扰动引力势的振幅在星系中心附近仍然相当强，密度扰动与引力势的扰动是自洽的. 这样相应的旋臂图样从星系盘的外区向内延伸，可以一直到达星系中心；对有限厚盘，我们可以把它看成由若干近似无限薄的平行平面层组成. 以银河系为例，在离银道面一定距离而且平行于银道面的另一层盘面上，不同位置 (r 不同) 的物质，由于距银道面中心的距离不同，所以当密度扰动时，这些物质在银盘中心附近产生的扰动引力势的位相也是不同的，密度波的干涉效应将导致位于银盘中心附近内区的扰动引力势明显地减弱. 具体的数值计算表明: η 值随 α 的减小而降低. 即愈厚的盘, η 值愈小 [14].

通过有限厚星系盘扰动引力势的 Poission 方程的严格解 [3−4] 可以知道，当有限厚盘扰动引力势的振幅降低到无限薄盘值的 1/2 时，即 η= 0.5 (对应的位置为 r_0), 其相应能量 (正比于引力势振幅的平方) 只有无限薄盘情形的 1/4. 这时引力势的扰动与密度的扰动绝不可能是自洽的. 在星系盘中心附近的内区，自洽的密度波将消失而不复存在. 相应地，在内区也不可能呈现旋臂图样. 我们称这个内区为 (自洽) 密度波的禁区，半径用 r_0 表示，称为禁区半径.

但是, 上述仅仅是纯理论的猜想而已, 是否正确应以实际观测为依据. 到目前为止，对于非侧向旋涡星系而言，只有银河系和仙女座大星云 (M31) 这两个星系盘的等效厚度可以用其它可靠的方法获得. 对这两个星系， Zhao 等 [15] 根据已知的盘的厚度值 (或 α) 得到了 η 值.

4　误差分析和讨论

本文的误差公式取自 Hu 等 [11−13], 误差主要来源于： (1) 旋臂起始点位置确定时的误差； (2) 确定星系中心位置时的误差； (3) r_0 确定时的误差. 通过 IRAF 软件细致地调节星系的灰度，可以得到比较精确的旋臂的起始点和星系中心的位置，即得到比较准确的禁区半径，使误差大大减小.

5　结果与分析

图 1 是星系 PGC56784 在处理前、处理后和拟合后的图像. 对于每一个星系，SDSS

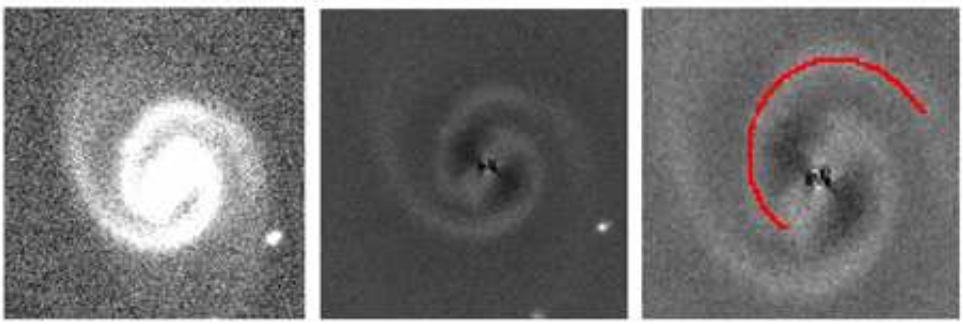

图 1　星系 PGC56784 处理前、处理后及拟合后的图像

Fig. 1　PGC56784's original, processed and fitted images

进行了 g 、u 、r 、i 和 z 共 5 个波段的观测. 经过细致的观察和认真的处理, 发现基于 5 个波段的图像得到的结果基本相同, 其中 g 波段的图像最为清晰. 为了方便处理，我们只处理了 g 波段的图像. SDSS 数据中图像的每个像素对应于 0.369″. 1929 年， Hubble 的研究结果表明：星系红移参量 Z 与到星系的距离 D 成正比, 即著名的 Hubble 关系, 满足 D=CZ/H_0. 这样, 已知 Z 就可以求出距离 D. 本文采用的哈伯常数为 75 $\mathrm{km\cdot s^{-1}\cdot Mpc^{-1}}$.

其中 Z 从 NED (NASA/IPAC EXTRAGALACTIC DATABASE) 表中得到.

表 1 列出了得到的 73 个旋涡星系参数. 本文中选用的旋涡星系具有两条旋臂 (m=2). 最大的星系等效厚度是半径为 560 kpc 的 PGC30616 的 2.962 kpc, 最小的星系等效厚度是半径为 1.6 Mpc 的 PGC35268 的 0.050 kpc. 这些等效厚度数据与 Ma 等 [16−22] 及 Hu 等 [11−12] 得到的其它星系的等效厚度具有相同的数量级.

表 1 73 个星系的等效厚度值

Table 1 The equivalent thicknesses of 73 spiral galaxies

Name	D(Mpc)	$\gamma(^\circ)$	r_0(kpc)	$\mu(^\circ)$	Λ	H(kpc)
PGC54	116.15	33.32	5.16	84.84	0.18 ± 0.055	2.387 ± 0.678
PGC55	63.75	48.34	1.74	20.79	5.27 ± 0.903	0.699 ± 0.241
PGC507	100.76	26.34	3.78	21.07	5.19 ± 0.815	0.846 ± 0.287
PGC2357	56.77	46.73	3.77	8.31	13.70 ± 4.020	0.532 ± 0.159
PGC2726	148.01	5.18	7.04	64.65	0.47 ± 0.174	2.880 ± 0.490
PGC5916	71.08	11.50	1.17	13.11	8.59 ± 2.920	0.841 ± 0.160
PGC8188	166.14	2.65	8.39	17.72	6.26 ± 1.621	2.582 ± 1.015
PGC9938	55.25	26.34	4.86	68.38	0.79 ± 0.227	2.927 ± 0.523
PGC10215	85.11	26.34	6.61	60.21	1.15 ± 0.430	2.226 ± 0.452
PGC10315	106.98	73.64	4.73	16.98	6.55 ± 2.038	1.233 ± 0.264
PGC10574	111.27	72.99	6.35	5.38	21.26 ± 2.884	0.468 ± 0.213
PGC12418	97.56	26.34	4.14	81.78	0.29 ± 0.040	2.952 ± 1.242
PGC13639	123.23	8.36	7.02	84.17	0.21 ± 0.062	2.646 ± 0.443
PGC22446	9.55	3.42	0.13	42.87	2.16 ± 0.473	0.109 ± 0.022
PGC22921	55.53	16.24	1.19	29.32	3.56 ± 0.357	0.566 ± 0.165
PGC22922	70.18	6.89	2.96	40.00	2.39 ± 0.410	1.183 ± 0.388
PGC23599	78.88	23.50	2.35	16.70	6.67 ± 2.518	0.558 ± 0.096
PGC23774	84.04	23.50	3.75	64.21	0.97 ± 0.256	2.858 ± 0.508
PGC26501	19.83	46.09	0.70	83.55	0.23 ± 0.091	0.610 ± 0.245
PGC26606	101.36	36.87	5.22	6.83	16.71 ± 6.605	0.531 ± 0.179
PGC27521	119.46	3.76	3.72	3.61	31.72 ± 4.824	0.085 ± 0.035
PGC27620	88.90	23.50	5.11	3.93	29.13 ± 3.148	0.250 ± 0.090
PGC29156	110.80	28.86	3.02	21.30	5.13 ± 2.004	0.393 ± 0.068
PGC29671	48.62	16.24	1.39	50.96	1.62 ± 0.250	1.186 ± 0.203
PGC30616	129.31	23.50	6.95	89.95	0.01 ± 0.001	2.962 ± 0.942
PGC31474	90.69	16.24	4.27	89.43	0.02 ± 0.008	2.130 ± 0.822
PGC31651	111.41	23.50	3.43	5.76	19.83 ± 4.957	0.297 ± 0.055
PGC32007	10.38	4.47	2.57	7.53	15.13 ± 4.340	0.274 ± 0.029
PGC33257	118.00	26.34	6.44	9.50	11.96 ± 4.628	0.575 ± 0.212
PGC33876	115.66	20.23	6.03	7.15	15.95 ± 4.149	0.580 ± 0.124
PGC34374	83.48	33.24	3.44	6.60	17.31 ± 5.118	0.363 ± 0.046
PGC35268	15.42	5.95	1.33	3.32	34.52 ± 4.831	0.050 ± 0.012
PGC35302	84.19	7.95	6.29	25.10	4.27 ± 1.394	0.668 ± 0.191
PGC35581	78.44	10.79	3.61	52.87	1.52 ± 0.182	2.412 ± 0.631
PGC36294	42.96	20.23	2.55	49.31	1.72 ± 0.514	1.396 ± 0.622
PGC36706	92.68	10.79	8.46	4.80	23.82 ± 4.146	0.748 ± 0.096
PGC37429	85.23	16.24	5.10	8.31	13.70 ± 1.778	0.791 ± 0.112

表 1 续

Table 1 (continued)

Name	D(Mpc)	$\gamma(^\circ)$	r_0(kpc)	$\mu(^\circ)$	Λ	H(kpc)
PGC37521	82.48	10.79	8.65	4.16	27.53 ± 5.711	0.476 ± 0.091
PGC37646	86.85	28.86	7.30	15.91	7.02 ± 2.383	2.135 ± 1.233
PGC37775	117.08	16.24	6.10	32.83	3.10 ± 0.766	1.273 ± 0.239
PGC39587	104.40	26.34	0.89	85.10	0.17 ± 0.026	1.596 ± 0.699
PGC39738	31.73	5.95	1.99	42.44	2.19 ± 0.389	1.139 ± 0.243
PGC40632	94.62	23.50	3.93	90.01	0.01 ± 0.001	1.700 ± 0.805
PGC41827	79.07	26.34	1.06	48.87	1.75 ± 0.195	0.549 ± 0.180
PGC43726	94.21	16.24	8.37	79.46	0.37 ± 0.137	2.767 ± 1.175
PGC45196	115.19	38.72	1.57	81.86	0.29 ± 0.055	1.702 ± 0.555
PGC45795	34.94	8.36	2.11	17.37	6.40 ± 0.867	0.600 ± 0.140
PGC46647	64.46	20.23	2.41	33.73	3.00 ± 1.062	0.668 ± 0.308
PGC47339	91.77	46.03	3.48	84.98	0.18 ± 0.062	2.133 ± 0.924
PGC47425	23.56	7.84	1.26	58.37	1.23 ± 0.304	0.621 ± 0.144
PGC48189	91.90	28.86	5.57	3.92	29.21 ± 3.682	0.296 ± 0.093
PGC48521	14.20	71.16	0.96	34.16	2.95 ± 0.437	0.191 ± 0.109
PGC49333	164.82	23.50	9.07	3.16	36.21 ± 4.606	0.348 ± 0.065
PGC49431	62.12	26.34	2.80	44.13	2.06 ± 0.321	1.575 ± 0.162
PGC49468	18.33	10.79	2.39	85.79	0.15 ± 0.045	1.916 ± 0.473
PGC51736	70.01	20.23	4.98	8.46	13.45 ± 4.369	0.253 ± 0.109
PGC55708	137.56	26.34	6.28	33.56	3.02 ± 0.446	1.969 ± 0.357
PGC55800	54.60	31.24	5.13	29.95	3.47 ± 0.602	0.465 ± 0.207
PGC56784	142.06	16.24	3.54	37.56	2.60 ± 0.689	2.410 ± 0.315
PGC57145	156.34	10.79	9.90	37.69	2.59 ± 0.847	2.250 ± 0.543
PGC57199	57.88	23.50	4.03	88.67	0.05 ± 0.007	2.350 ± 1.071
PGC57562	121.47	20.23	8.00	72.89	0.62 ± 0.074	2.940 ± 1.141
PGC58970	123.95	20.23	7.23	23.92	4.51 ± 0.658	1.059 ± 0.304
PGC59370	96.67	28.86	3.66	4.59	24.93 ± 6.445	0.350 ± 0.105
PGC59817	122.22	23.50	4.36	6.41	17.80 ± 4.452	0.423 ± 0.089
PGC66343	66.52	26.34	2.42	3.73	30.70 ± 11.700	0.163 ± 0.047
PGC67891	125.19	33.24	3.12	42.18	2.21 ± 0.693	1.938 ± 0.206
PGC69172	60.48	20.23	6.20	9.58	11.86 ± 4.601	0.573 ± 0.132
PGC70020	96.79	20.23	9.00	13.95	8.06 ± 1.739	1.738 ± 0.187
PGC70608	156.60	26.34	3.48	11.58	9.77 ± 1.670	0.239 ± 0.024
PGC72397	64.78	16.24	2.06	53.10	1.50 ± 0.544	0.525 ± 0.125
PGC72770	68.13	10.79	6.10	13.23	8.51 ± 2.639	1.111 ± 0.135
PGC73021	64.71	23.50	4.83	89.94	0.01 ± 0.001	1.395 ± 0.442

致谢 本研究使用了 IRAF 和 Mathematics 软件对数据进行处理. IRAF 隶属于美国国家光学天文台 (NOAO), 由 IRAF 团组负责其编写和管理; Mathematics 是美国 Wolfram 研究公司开发的符号计算系统. 特别感谢 de Vaucouleurs 等人编写的 RC3 星表以及 Madore Barry 和 Steer Ian 汇编的星系距离列表.

参 考 文 献

[1] 彭秋和，黄寅亮. 天文集刊， 1978, 1: 32
[2] 彭秋和，黄克谅，黄介浩，等. 天文集刊， 1978, 2: 49
[3] 彭秋和，黄克谅，黄介浩，等. 天文学报， 1978, 19: 182
[4] 彭秋和，李晓卿，苏洪钧，等. 中国科学 A 辑， 1979, 3: 274
[5] 童彝，郑学塘，彭秋和. 天文学报， 1981, 22: 285
[6] Tong Y, Zheng X T, Peng Q H. ChA&A, 1982, 6: 319
[7] 童彝，吴圣国，彭秋和. 天体物理学报， 1982, 2: 30
[8] Tong Y, Wu S G, Peng Q H. ChA&A, 1982, 6: 76
[9] Peng Q H. VA, 1988, 31: 569
[10] Li G, Luo Z Q, Peng Q H. RAA, 2009, 9: 883
[11] Hu T, Peng Q H, Zhao Y H. A&A, 2006, 446: L5
[12] Hu T, Shao Z Y, Peng Q H. ChJAA, 2006, 6: 175
[13] Hu T, Peng Q H, Zhao Y H. ChJAA, 2006, 6: 43
[14] Peng Q H, Luo X L, Peng F, et al. PABei, 2001, 19: 397
[15] Zhao Y H, Peng Q H, Wang L. ChJAA, 2004, 4: 51
[16] Ma J, Peng Q H, Chen R, et al. A&AS, 1997, 126: 503
[17] Ma J, Peng Q H, Gu Q S. ApJ, 1997, 490: L51
[18] Ma J, Peng Q H. ScChA, 1998, 41: 557
[19] 马骏，彭秋和，李卫东，等. 天文学报， 1998, 39: 28
[20] Ma J, Peng Q H, Gu Q S. A&AS, 1998, 130: 449
[21] 马骏，赵君亮，张飞鹏，等. 天文学报， 2000, 41: 172
[22] Ma J, Zhao J L, Zhang F P, et al. ChA&A, 2000, 24: 435

Measurements of the Equivalent Thicknesses of Three-dimensional PGC54-like Spiral Galactic Disks

LI Gang[1] LUO Zhi-quan[1] PENG Qiu-he[2]
(1 *Institute of Theoretical Physics, China West Normal University, Nanchong 637002*)
(2 *Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract Based on the improved Peng's method, the equivalent thicknesses of 73 spiral galactic disks have been derived through processing images and fitting spiral arms. The improved Peng's method is built on the Poission equation's exact solutions of the galactic disk's gravitational potential perturbation. The images are from the latest spiral images released by the Sloan Digital Sky Survey (SDSS). These data are important for further researches on spiral galaxies.

Key words galaxies: spiral, galaxies: statistics, techniques: image processing