

星系团 Abell 2199 的动力学子结构

李峰, 袁启荣

(南京师范大学物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 近年来 Sloan 巡天的光谱观测使近邻富星系团 Abell 2199 的成员星系数目增加了近两倍. 基于该星系团 $1.5 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$ 范围内的 366 颗成员星系的位置和红移信息, 对其动力学结构进行了分析. 计算出中心 cD 星系的本动速度为 $(189 \pm 45) \text{ km s}^{-1}$, 说明 cD 星系在星系团完全维力化之前就形成了. 从这些星系的空间分布和局域视向速度分布中, 发现了三个明显的子团. 这些子团的并合现象表明, 星系团 Abell 2199 远未达到动力学平衡状态, 从而支持了星系团形成的等级模型.

[关键词] 星系团, cD 星系, 动力学子结构

[中图分类号] P157.8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2006)01-0039-05

Dynamical Substructures of Galaxy Cluster Abell 2199

Li Feng, Yuan Qirong

(School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: The spectroscopy by the recent Sloan Digital Sky Survey triples the number of member galaxies in the nearby rich cluster of galaxies Abell 2199. Based on the position and redshift information of 366 member galaxies within $1.5 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$, the dynamical structure of this cluster is analyzed. The peculiar velocity of the central cD galaxy is estimated as $(189 \pm 45) \text{ km s}^{-1}$, indicating that the cD galaxy was formed before the complete virialization. From the spatial distribution and localized velocity variation, three subclusters are found. The merging picture of these subclusters suggests that the galaxy cluster Abell 2199 is far from the status of dynamical equilibrium, thus supports the hierachical model of cluster formation.

Key words: clusters of galaxies, cD galaxies, dynamical substructures

0 引言

作为宇宙中较大的引力束缚系统, 人们对星系团的关注越来越多^[1-2]. 根据宇宙大尺度结构的等级模型理论, 大的星系团是由诸多较小的星系团并合形成. 由于邻近富星系团 Abell 2199 ($z = 0.030$) 的中心主导星系 NGC 6166 是一颗巨椭圆星系 (简称 cD 星系), 并且其周围存在红移相近的星系团 (如 Abell 2197)、射电源 (如 3C 338) 和一些 X-ray 辐射源 (如 NRGs 396, NRGs 388 和 NRGs 385), 因此 Abell 2199 一直是进行近邻星系团的多波段观测的重要目标^[3-6]. 总的来说, 针对 Abell 2199 的观测研究主要分为两类: 一类是根据该星系团在某波段的观测特征, 探讨该星系团的整体结构或者与周围星系团的动力学演化过程^[3-8]; 另一类则重点分析其小尺度核区 (半径 $r < 100 \text{ kpc}$) 的动力学演化性质与其中心 cD 星系 NGC 6166 之间的演化联系^[9-11].

星系团 Abell 2199 的空间结构和视向速度分布最早被 Zabludoff 等人^[7] 研究, 当时在一个 Abell 特征半径 (即 $1.5 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$) 内只发现了 71 颗亮于 16.0 星等的成员星系. Oegerle 和 Hill 近年来对 25 个近邻 cD

收稿日期: 2005-06-22.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10273007).

作者简介: 李峰, 1970—, 硕士研究生, 主要从事天体物理的学习与研究. E-mail: lfastro@163.com

通讯联系人: 袁启荣, 1968—, 教授, 主要从事天体物理的教学与研究. E-mail: yuanqirong@njnu.edu.cn

星系团 ($z < 0.095$) 进行了光谱巡天,旨在测量这些星系团中心的 cD 星系相对于星系团整体的本动速度^[8,10]. 其中,他们将 Abell 2199 的成员星系数目增加到 139 颗,测得该星系团的中心 cD 星系具有最大的相对本动速度,这意味着该星系团尚未达到动力学平衡,且中心 cD 星系在子团并合时期已经形成了^[4]. 值得关注的是,刚刚释放的 Sloan 数字巡天(Sloan Digital Sky Survey, 简称 SDSS)观测资料完全覆盖了星系团 Abell 2199,贡献了大量在 r 波段的视星等大于 17.77 的星系视向速度信息^[12],使得在距离 cD 星系 $1.5 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$ 的范围内的成员星系数目达到了 366 颗. 该成员星系样本在 r 波段的绝对星等 M_r 亮于 -17.75 的范围内具有较高的完备性 ($>92\%$),非常适合于星系团动力学方面的研究.

本文旨在利用这一样本研究近邻富星系团 Abell 2199 的动力学结构. 我们使用的宇宙模型是 $\Omega_m = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7$ 和 $H_0 = 70 \text{ kms}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, 该星系团对应的距离模数是 35.53, 其空间比例尺为 0.604 kpc/arcsec .

1 成员星系的速度分布

由于 SDSS 的最新数据已经被河外数据库 NED (NASA/IPAC Extragalactic Database) 所收录,因此我们从 NED 中获取了 Abell 2199 中心位置 ($16^{\text{h}}28^{\text{m}}37.0^{\text{s}}$, $+39^{\circ}31'28''$, J2000.0) 附近 59.13 arcmin (对应于 $\sim 1.5 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$) 天区范围内的所有河外源的信息,扣除其中没有红移信息的河外源以及 74 颗类星体,我们获得了 590 颗星系的样本. 图 1 给出了这 590 颗已知红移的星系样本的视向速度分布直方图,我们发现 366 颗星系 (约占 62%) 的视向速度集中在 $6000 \text{ kms}^{-1} < cz < 12000 \text{ kms}^{-1}$ 的范围内. 这些星系应该属于星系团 Abell 2199 的成员,该样本中来自北面 $\sim 1.3^\circ$ 邻居星系团 Abell 2197 ($z = 0.0308$) 的混淆基本上可以忽略不计 (参见文[4]中图 2).

我们使用 ROSTAT 软件^[13] 对这 366 个成员星系的视向速度分布进行分析,得到其 biweight 位置 (相当于中心值) 和尺度 (相当于弥散度) 分别为 $C_{\text{BI}} = (9115 \pm 40) \text{ kms}^{-1}$ 和 $S_{\text{BI}} = (763 \pm 31) \text{ kms}^{-1}$, 其最佳高斯拟合的中心值和速度弥散分别是 $\mu_{cz} = 9141 \text{ kms}^{-1}$ 和 $\sigma = 752 \text{ kms}^{-1}$. 我们发现,成员星系的速度分布严重偏离高斯分布,其偏离高斯分布的 K-S 检验显著度水平达到了 95%. 文[4]将中心 cD 星系相对于星系团整体的本动速度定义为 $v_{pr} = v_{cd} - C_{\text{BI}}$, 其对应的本动速度相对显著度定义为 $S_r = |v_{pr}| / \sqrt{\varepsilon_{cd}^2 + \varepsilon_{cl}^2}$, 其中 $\varepsilon_{cl}^2 = S_{\text{BI}}^2 / N_{\text{BI}}$. 取中心 cD 星系 NGC 6166 的视向速度为 $v_{cd} = (9304 \pm 20) \text{ kms}^{-1}$ ^[8], 我们可以计算出其本动速度为 $v_{pr} = (189 \pm 45) \text{ kms}^{-1}$, 其显著度 $S_r = 4.23$. 与文[4]相比,我们获得的星系团整体的速度中心值 9115 kms^{-1} 高于他们的统计值 8948 kms^{-1} , 因而导致 cD 星系的本动速度要小些. 由于我们的样本更深, 因此我们的值更具参考价值.

2 动力学子结构

根据星系并合理论^[14], 由于星系团 Abell 2199 的 cD 星系具有显著的本动速度, 而且星系团的整体速度分布严重偏离高斯分布, 这说明该 cD 星系在星系团尚未达到维力化之前已经形成, 而且该 cD 星系应该处在某子团的引力势阱中心, 并且与其他的子团正在相互并合. 从图 1 的速度分布图可以发现, 视向速度处在 8800 kms^{-1} 左右的成员星系数目相对高斯分布有显著的超出. 为了更好地研究该星系团的动力学子结构, 我们在图 2 中给出了这些成员星系的空间分布以及面密度的等强度图, 图中我们采用了宽度为 2.5 arcmin 的高斯平滑窗, 面密度轮廓对应的值为 0.05、0.09、0.13、0.17、0.21 和 0.25 arcmin^{-2} . 从图 2 我

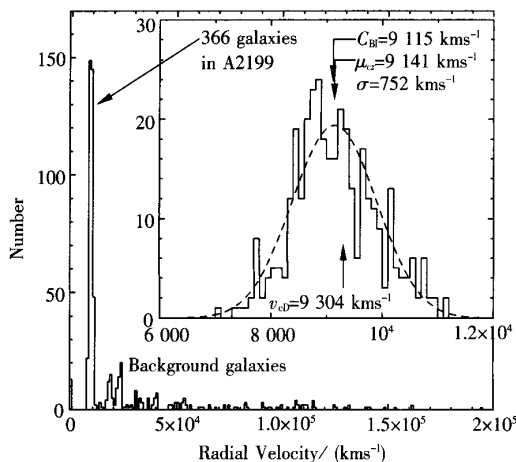


图 1 与 cD 星系的投影距离小于 59.13 arcmin 的 590 颗已知红移的星系样本的视向速度分布直方图 (大窗口); 视向速度集中在 $6000 \text{ kms}^{-1} < cz < 12000 \text{ kms}^{-1}$ 范围内的 366 颗星系的视向速度分布直方图 (小窗口)

们可看到,星系的二维分布并非球对称,其面密度梯度沿东北方向较小,且距中心区域东北方向较远处(约 32 arcmin)有明显的面密度子结构。

为了探讨这 366 颗成员星系在速度空间的子结构,我们采用文[15]中的 κ -test 方法来量化速度分布的局域变化.该方法中定义了统计量

$$\kappa_n = \sum_{n=1}^N -\log[P_{ks}(D > D_{\text{obs}})],$$

其中 n 、 N 分别是局域星系数和星系团中的成员星系总数, $P_{ks}(D > D_{\text{obs}})$ 是 K-S (Kolmogorov-Smirnov) 统计检验中 D 大于其观测值 D_{obs} 的概率. κ_n 越大,表明邻居数目为 n 的局域速度分布与整体速度分布的差异程度越大.为了定量描述这种差异的显著度水平,我们用蒙特卡洛法(Monte Carlo technique)模拟出 1000 组成员星系样本,每组样本中含有 366 颗星系,其空间位置与真实星系分布一致,只是每颗星系的视向速度被随机分配,但样本的总体速度分布和观测分布(见图 1)一致.图 3 给出局域星系数目 $n = 6$ 时的泡泡图(bubble plot),泡的中心正是该星系的位置,泡直径正比于 $-\log[P_{ks}(D > D_{\text{obs}})]$,因而越大的泡表示该星系处的局域视向速度分布与整体速度分布之间的差别越大.随后的蒙特卡洛模拟表明,当局域星系数目取 $3 < n < 18$ 时,在随机产生的 1000 组星系样本中没有发现一组样本的统计量 κ_n 大于真实样本的统计值 κ_n^{obs} ,这说明星系团 Abell 2199 的局域速度分布和星系团整体速度分布有非常显著的差异,即该星系团的动力学演化远远没有达到完全的维力化。

从图 3 中可以发现,在相对中心位置北偏东约 18.3°、距离 8.0 arcmin 的 A 处,在北偏东约 9.5°、距离 15.2 arcmin 的 B 处,以及在北偏东约 55.8°、距离中心位置约 30.5 arcmin 的 C 处有明显的泡泡成团现象,而且每个成团区域含有至少 10 颗星系.我们提取出 A、B、C 三处的成员星系分别进行视向速度分析,发现这三处的星系的确构成了显著的动力学子结构.表 1 列出了各个子团的成员星系名称、位置和视向速度信息. A、C 两个子团的视向速度的中心值 C_{BI} 分别为 $(8442 \pm 106) \text{ km s}^{-1}$ 和 $(8676 \pm 68) \text{ km s}^{-1}$,明显小于星系团整体的速度中心值 $C_{\text{BI}} = (9115 \pm 40) \text{ km s}^{-1}$,更小于团中心 cD 星系的视向速度 $v_{\text{cD}} = (9304 \pm 20) \text{ km s}^{-1}$,而 B 团的视向速度的中心值则高达 $C_{\text{BI}} = (9536 \pm 177) \text{ km s}^{-1}$.这些动力学子结构表明该星系团仍处在子团合并阶段,远远没有达到动力学平衡。

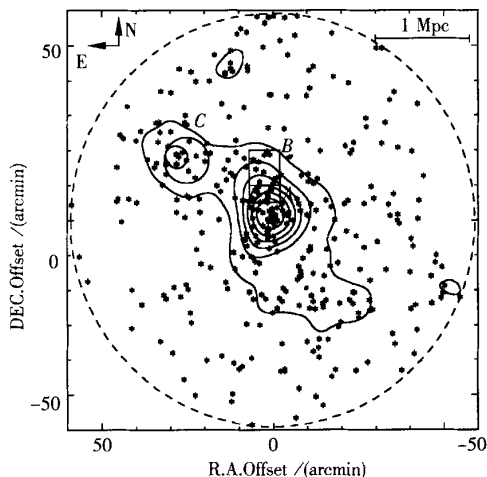


图 2 366 颗成员星系的空间分布及面密度等强度图

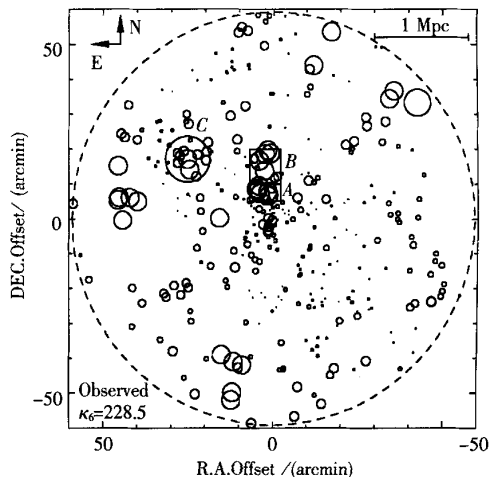


图 3 显示局域速度分布与整体速度分布偏离程度的泡泡图

表 1 子团 A、B、C 的成员星系的动力学数据

子团 速度分布	星系名称	赤经(J2000)/ hh mm ss. s	赤纬(J2000)/ dd mm ss	视向速度/ (km/s)
子团 A($n=13$): $C_{BI}=(8\,442\pm106)\text{ kms}^{-1}$ $S_{BI}=(361\pm141)\text{ kms}^{-1}$	MCG +07 -34 -071	16 28 45.9	39 36 35	7 956
	MCG +07 -34 -072	16 28 46.2	39 39 21	8 122
	SDSS J162907.46 +393738.6	16 29 07.4	39 37 39	8 155
	2MASX J16285980 +3941015	16 28 59.8	39 41 02	8 373
	NSC J162902 +393939	16 29 01.9	39 39 39	8 424
	2MASX J16284043 +3940169	16 28 40.4	39 40 17	8 470
	2MASX J16290396 +3940106	16 29 03.9	39 40 10	8 490
	MCG +07 -34 -068	16 28 44.4	39 38 21	8 587
	2MASX J16284450 +3938199	16 28 44.5	39 38 20	8 615
	SDSS J162845.37 +393811.0	16 28 45.4	39 38 11	8 628
	2MASX J16285800 +3938505	16 28 58.0	39 38 51	8 673
	MCG +07 -34 -074	16 28 49.4	39 36 57	9 209
	2MASX J16291290 +3936557	16 29 12.9	39 36 55	9 262
子团 B($n=11$): $C_{BI}=(9\,536\pm177)\text{ kms}^{-1}$ $S_{BI}=(542\pm231)\text{ kms}^{-1}$	SDSS J162841.70 +395014.8	16 28 41.7	39 50 15	8 955
	2MASX J16283115 +3943409	16 28 31.2	39 43 41	9 263
	2MASX J16283731 +3941559	16 28 37.3	39 41 56	9 325
	2MASX J16285724 +3942299	16 28 57.2	39 42 30	9 346
	2MASX J16285118 +3945199	16 28 51.2	39 45 20	9 623
	SDSS J162845.99 +395111.4	16 28 46.0	39 51 11	9 626
	2MASX J16290685 +3948466	16 29 06.9	39 48 47	9 640
	2MASX J16285887 +3948115	16 28 58.9	39 48 11	9 677
	SDSS J162902.68 +394603.7	16 29 02.7	39 46 04	9 907
	KUG 1627 +399	16 28 50.2	39 50 06	10 701
	SDSS J162835.88 +394311.2	16 28 35.9	39 43 11	11 114
子团 C($n=14$): $C_{BI}=(8\,676\pm68)\text{ kms}^{-1}$ $S_{BI}=(243\pm121)\text{ kms}^{-1}$	SDSS J163019.25 +395042.4	16 30 19.2	39 50 42	7 360
	UGC 10429	16 30 33.3	39 49 51	7 433
	SDSS J163045.02 +394536.1	16 30 45.0	39 45 36	8 344
	SDSS J163035.12 +394341.1	16 30 35.1	39 43 41	8 386
	CGCG 224 -061	16 30 54.0	39 50 51	8 439
	2MASX J16311954 +3947253	16 31 19.6	39 47 26	8 635
	CGCG 224 -064	16 31 03.3	39 47 35	8 652
	CGCG 224 -064 NED01	16 31 02.7	39 47 33	8 666
	2MASX J16311763 +3947383	16 31 17.6	39 47 38	8 743
	USGC U769	16 31 00.0	39 49 33	8 767
	WBL 619	16 30 48.2	39 48 36	8 784
	SDSS J163044.25 +395359.7	16 30 44.2	39 54 00	8 797
	GIN 595	16 30 20.1	39 48 16	8 814
	CGCG 224 -065	16 31 03.4	39 50 18	9 127

3 讨论

应该指出,本文第一次从光学观测上揭示了 Abell 2199 的动力学子结构,而且这些子团的空间分布和动力学图像正好与近年来对星系团 Abell 2199 的 X-ray 观测研究相吻合.天文卫星 ROSAT 的 PSPC 数据给出了 Abell 2199 天区 $2^{\circ}\times2^{\circ}$ 的 X-ray 图像,图像清楚地显示了团内气体沿东北-西南方向的延展^[3]. Rines 等选择 95 deg^2 的大天区对 Abell 2199 及周围的星系团进行了研究,表明 Abell 2199 和 Abell 2197 及 X-ray 群(NRGs 396, NRGs 388 和 NRGs 385)沿东北-西南方向大致在一条直线上,这种直线排列也许是巧合,但或许揭示了星系或暗物质线性排列的存在^[5].

这些子团的存在恰好和中心 cD 星系本动速度显著的发现相一致,从另一个方面支持了该星系团正处在剧烈的动力学演化阶段. 由于子团 A 和 B 在投影平面上靠得很近,但它们的视向速度相差约 $1\,100\,\text{kms}^{-1}$,因而在真实的三维空间中重叠在一起的概率非常小,假如这些子团正在向星系团中心聚集,那么子团 A、C 应该比子团 B 距离观测者近些.

[参考文献]

- [1] Abell George O. The distribution of rich clusters of galaxies[J]. *Astrophysical Journal Supplement*, 1958, 3:211—288.
- [2] Bahcall N A. *Clusters and Superclusters of Galaxies in Formation of Structure in the Universe* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999: 135.
- [3] Siddiqui H, Stewart G C, Johnstone R M. An X-ray analysis of the cD cluster Abell 2199[J]. *Astronomy and Astrophysics*, 1998, 334:71—86.
- [4] Oegerle W R, Hill J M. Dynamics of cD clusters of galaxies. IV. Conclusion of a survey of 25 Abell cluters [J]. *Astronomical Journal*, 2001, 122(6):2858—2873.
- [5] Rines K. X-ray emitting groups in the infall region of Abell 2199 [J]. *Astrophysical Journal*, 2001, 555(2):558—562.
- [6] Rines K, Mahdavi A, Geller M J, et al. Mass profile of the infall region of the Abell 2199 supercluster [J]. *Astronomical Journal*, 2002, 124(3):1266—1282.
- [7] Zabludoff A I, Huchra J P, Geller M J. The kinematics of abell clusters [J]. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 1990, 74:1—36.
- [8] Hill J M, Oegerle W R. Dynamics of cD clusters of galacxies. III. Redshift data for 11 Abell clusters [J]. *Astronomical Journal*, 1998, 116(4):1529—1540.
- [9] Owen F N, Eilek J A. The complex core of Abell 2199: The X-ray and radio interaction [J]. *Astrophysical Journal*, 1998, 493:73—80.
- [10] Naomi K. Chandra X-ray spectral analysis of cooling flow clusters, 2A 0335 + 096 and Abell 2199 [J]. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 2003, 55(3):585—592.
- [11] Johnstone R M, Allen S W, Fabian A C, et al. Chandra observations of Abell 2199 [J]. *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 2002, 336(1):229—308.
- [12] Strauss M A. Spectroscopic target selection in the Sloan Digital Sky Survey: the main galaxy sample[J]. *Astronomical Journal*, 2002, 124(3):1810—1824.
- [13] Beers T C, Flynn K, Gebhardt K. Measures of location and scale for velocities in clusters of galaxies – a robust approach [J]. *Astronomical Journal*, 1990, 100:32—46.
- [14] Hausman M A, Ostriker J P. Galactic cannibalism. III – The morphological evolution of galaxies and clusters[J]. *Astrophysical Journal*, Part 1, 1978, 224:320—336.
- [15] Colless M, Dunn A M. Structure and dynamics of the coma cluster [J]. *Astrophysical Journal*, 1996, 458:435—454.

[责任编辑:丁蓉]