

文章编号: 1673 - 9620 (2008) 01 - 0070 - 05

## 用新的测光红移方法研究星系团 Abell 2199<sup>\*</sup>

李 峰<sup>1</sup>, 袁启荣<sup>2</sup>, 江兴方<sup>1</sup>, 杨雁宾<sup>3</sup>

(1. 江苏工业学院 数理学院, 江苏 常州 213164; 2. 南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097; 3. 中国科学院 国家天文台, 北京 100012)

**摘要:** Sloan 数字巡天第 4 批数据的释放 (SDSS DR4) 提供了新的星系团观测数据。采用最新研究的测光红移技术对 Abell 2199 没有光谱红移的星系进行了测光红移估计, 挑选出了一批暗的成员星系候选体, 使得样本的数量比单独用 NED 的样本增加了近 1/4。通过对样本中 470 个成员星系运用  $t$ -test 所得到的结果分析得出, 原来确定的各子团星系的数目有所增加, 但 biweight 位置和尺度与原来研究的各子团 biweight 位置和尺度值相比没有太大的变化。通过对团星系的空间分布和方位角的估算, 可看出从核区到  $\sim 5.5$  的特大尺度, 由于引力作用而显示出线性排列方式, 揭示了一个延展到  $8.0 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$  由星系或暗物质组成的纤维状结构, 进一步支持了星系形成的等级结构模型。

**关键词:** 星系团; Abell 2199; cD 星系; 动力学子结构; 形态

中图分类号: P 157.8

文献标识码: A

## Study of Galaxies Cluster Abell 2199 Using New Photometric Redshifts Technique

LI Feng<sup>1</sup>, YUAN Qi - rong<sup>2</sup>, JIANG Xing - fang<sup>1</sup>, YANG Yan - bin<sup>3</sup>

(1. School of Physics and Mathematics, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China; 2. School of Physical Science & Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 3. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** With the fourth data of Sloan Digital Sky Survey (SDSS DR4) being released, more and more data of galaxies clusters become available. The photometric redshifts (PRs) estimation of galaxies cluster Abell 2199 which have no spectroscopic observation are performed using the recent PR technique. A number of faint member galaxy candidates are selected. There is one fourth increase in the number of member galaxies compared with those only from NED. 470 newly selected galaxies are analyzed using  $t$ -test. There is no remarkable change between this analysis and early results for biweight location and scale of this cluster. From the spatial distribution and the shape of Abell 2199, the ellipticity and position angle coincides remarkably with those in previous studies from a very small core region to a very large area ( $\sim 5.5$ ). Some neighboring groups and clusters beyond the virial region of A2199 are roughly colinear, suggesting the presence of an extended ( $8.0 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$ ) filament of galaxies and/or dark matter. The identification of this filament provides a direct support for hierarchical model of structure formation.

**Key words:** galaxies cluster; Abell 2199; cD galaxy; dynamics subcluster; morphology

\* 收稿日期: 2007 - 04 - 25

作者简介: 李峰 (1970 - ), 男, 江苏睢宁人, 硕士。

星系团是宇宙中较大的引力束缚系统, 是宇宙大尺度结构的重要示踪物, 也是星系和星系、星系和环境之间相互作用的重要场所, 常被视为河外天文学和宇宙学研究的“实验室”。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。而对星系团的子结构特征和动力学演化的分析, 有助于进一步认识星系在高压环境下的形成和演化问题, 对富星系团系统的动力学研究还可为大尺度的形成和演化提供观测依据<sup>[1]</sup>。Abell 2199 是典型的邻近富星系团, 其中心星系的红移  $\sim 0.030$ , 中心主导星系 NGC 6166 是一颗巨椭圆星系 (中心是射电源 3C 338), 并且其周围存在着红移相近的星系团 (如 Abell 2197) 和一些 X - ray 辐射源 (如 NRGs 396, NRGs388 和 NRGs385), 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<sup>[2~5]</sup>。Oegerle 和 Hill 近年来对 25 个近邻 cD 星系团 ( $z < 0.095$ ) 进行的光谱巡天测量了这些星系团中心的 cD 星系相对于星系团整体的本动速度<sup>[6]</sup>。他们挑选出 Abell 2199 的 139 个成员星系, 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<sup>[3]</sup>。近期基于美国的河外星系数据库 (NED; NASA/ IPAC Extragalactic Database) 中有关 Abell2199 观测数据进行的研究表明, 在距离该星系团系统中心一个 Abell 半径范围内 (即  $1.5 h^{-1} \text{Mpc}$ , 在 Abell 2199 的距离上对应着  $59.13 \text{ arcmin}$  的天区范围) 发现了 3 个子团。通过对这 3 个子团的视向速度进行分析, 发现这些子团正在并合<sup>[7]</sup>。但是对星系团动力学研究的结论是否准确, 就必须知道更多的成员星系的样本。可是由于极限星等的限制, 很多较暗星系的光谱暂时还得不到。因此, 测光红移 (PR, Photometric Redshift) 方法就成为获得较大较深的星系团成员星系样本的一个可行方法。Sloan 数字巡天 (SDSS; Sloan Digital Sky Survey) 第 4 批数据的释放 (DR4) 提供了新的星系团测光数据, 于是采用 Yang 和 Yuan 等人最新研究的测光红移技术对 Abell 2199 星等范围在  $r < 18.0$ 、 $18.0 < r < 19.0$  和  $r > 19.0$  的没有光谱红移的星系进行了测光红移估计, 对该星系团的形态和动力学进一步进行了研究。

本文旨在利用这一新增样本研究邻近富星系团 Abell 2199 的动力学结构和形态。本文使用的宇宙模型是  $\Omega_m = 0.3$ ,  $\Omega_A = 0.7$  和  $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1}$

$\text{Mpc}^{-1}$ , 该星系团对应的距离模数是 35.53, 其空间比例尺为  $0.604 \text{ kpc/arcsec}$ 。

## 1 研究方法和成员星系的选取

Yang 和 Yuan 等从 DR4 下载了赤经范围在  $162^\circ \sim 202^\circ$  和赤纬范围在  $-1.25^\circ \sim 1.25^\circ$  的天区亮于的 1 347 009 个星系, 得到了 459 584 个星系的光谱表, 加上 NED 里有图像观测的红移的 1 586 个星系, 总共有 461 170 个已知光谱红移的星系的样本, 利用 SDSS 五个波段的测光数据研究星系的测光红移。为提高测光红移的精确度, 他们将几种方法综合使用, 诸如模板拟合、颜色 - 星等 - 红移相关及二次改正等。通过对大约 46 000 个已知光谱红移 (SRs) 的星系的检验, PR 的不确定度只有  $\sigma_{PR} \sim 0.022$ 。

采用这一最新研究的测光红移技术对星系团 Abell2199 星等范围在  $r < 18.0$ 、 $18.0 < r < 19.0$  和  $r > 19.0$  而且没有光谱红移的星系进行了测光红移估计, 图 1、图 2 和图 3 分别给出了这 3 个星等范围的星系的测光红移分布图。

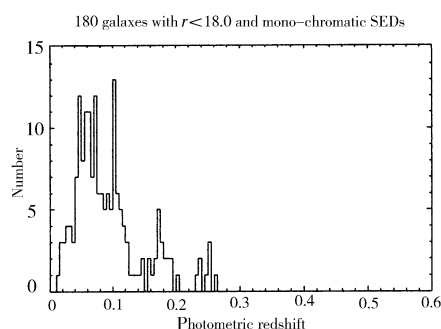


图 1 对  $r < 18.0$  且没有光谱红移的 180 个星系测光红移估计分布图

Fig 1 Distribution of estimated photometric redshifts for 180 galaxies with  $r < 18.0$  which have no spectroscopic redshifts

将 Abell 2199 天区内的 503 个已知光谱红移信息的星系进行测光红移估计, 然后将两种红移测量值进行比较, 可看到测光红移和光谱红移比较接近, 但二者之间还是存在一定的差异 (如图 4)。为确定成员星系在测光红移中的范围, 由已知光谱红移星系的红移分布范围可认为光谱红移在  $0.02 \sim 0.04$  之间的星系为成员星系, 然后将测光红移小于 0.1 的星系按测光红移分成 10 个红移间隔, 每一个红移间隔中成员星系的数目占该红移段所有星系的百分比如表 1 所示。图 5 给出了这几个星等段中已知光谱红移的成员星系个数占该段所有星系个数的比例图。

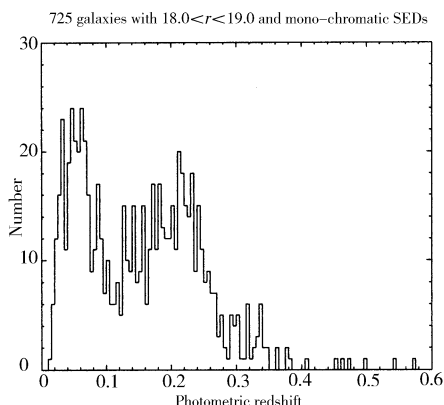


图2 对  $18.0 < r < 19.0$  且没有光谱红移的 725 个星系测光红移估计分布图

Fig. 2 Distribution of estimated photometric redshifts for 725 galaxies with  $18.0 < r < 19.0$  which have no spectroscopic redshifts

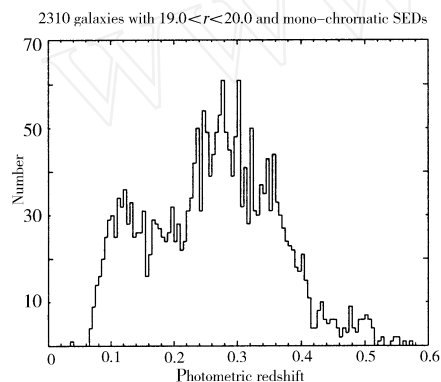


图3 对  $19.0 < r < 20.0$  且没有光谱红移的 2310 个星系测光红移估计分布图

Fig. 3 Distribution of estimated photometric redshifts for 2310 galaxies with  $19.0 < r < 20.0$  which have no spectroscopic redshifts

表1 已知光谱红移的星系在各个测光红移段成员星系所占的比例

Table 1 Fraction of member galaxies in each photometric redshift span

红移范围	0 ~ 0.03	0.03 ~ 0.04	0.04 ~ 0.05
百分比/ %	100	94.7	87.7
红移范围	0.05 ~ 0.06	0.06 ~ 0.07	0.07 ~ 0.08
百分比/ %	74.7	68.2	58.8
红移范围	0.08 ~ 0.09	0.09 ~ 0.10	
百分比/ %	62.5	46.2	

从表1和图5可以看出,当测光红移小于0.09时,各红移段成员星系所占的比例均超过50%。于是,将没有光谱红移测量值,且满足测光红移 $<0.09$ 、 $r < 19.0$ 的星系作为成员星系的候选体。图1中 $r < 18.0$ 的180个星系测光红移小于0.09的星系有103个,说明其中相当大比例的星系是Abell 2199的成员星系;图2中 $18.0 < r < 19.0$ 的725个星系测光红移小于0.09的有251个;由于图3中的星系较暗,且绝大多数星系的测光红移大于0.09,所以在 $r > 19.0$ 星等范围的几

乎没有什么成员星系,在新增样本中对 $r > 19.0$ 的星系不予考虑。这样,加上原来的具有光谱红移的367个成员星系的样本(称为样本一),就分成两个样本分别进行研究:一个是 $r < 18.0$ 的470(367+103)个成员星系(称为样本二);另一个是 $r < 19.0$ 的721(367+103+251)个成员星系(称为样本三)。

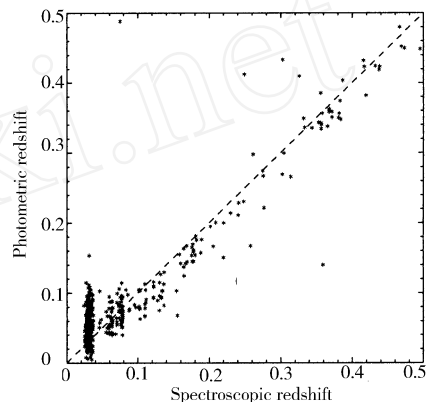


图4 503个已知光谱红移的星系的测光红移和光谱红移的比较

Fig. 4 Comparison between photometric redshift and spectroscopic redshift for 503 galaxies with known spectroscopic redshifts in Abell 2199 region

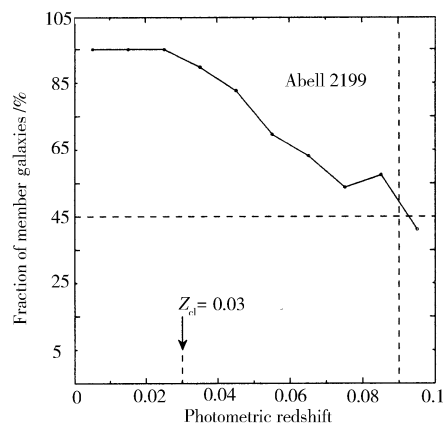


图5 503个已知光谱红移的星系在各个红移段成员星系所占的比例

Fig. 5 Fraction of member galaxies in each redshift span for 503 galaxies with known spectroscopic redshifts in Abell 2199 region

## 2 星系团的动力学子结构

采用宽度为2.5角分的高斯平滑窗,画出样本二中470个星系的空间分布和面密度等强度图,图中的面密度轮廓对应的值为0.05,0.09,0.13,0.17,0.21和0.25  $\text{arcmin}^{-2}$ 。从图6可看到,样本二的星系二维分布和样本一没有太大的改变,依然是非球对称分布,其面密度梯度沿东北方向较小,且在距中心区域东北方向约32 arcmin有明显

的面密度子结构。图 6 的星系空间分布和面密度等强度图似乎显示了几处明显的成团现象，但这种成团有可能是一种投影效应，而要判断其是否是真正意义上的物理成团，必须结合星系的视向速度分布中的子结构信息，可采用文献 [8] 中的  $n$ -test 方法来量化速度分布的局域变化<sup>[8]</sup>。该方法定义了统计量

$$n = \frac{N}{n=1} - \log [P_{KS} (D > D_{obs})]$$

其中  $n$ 、 $N$  分别是居于星系数和星系团中的成员星系总数， $P_{KS} (D > D_{obs})$  是 K-S (Kolmogorov - Smirnov) 统计检验中  $D$  大于其观测值  $D_{obs}$  的概率。 $n$  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。

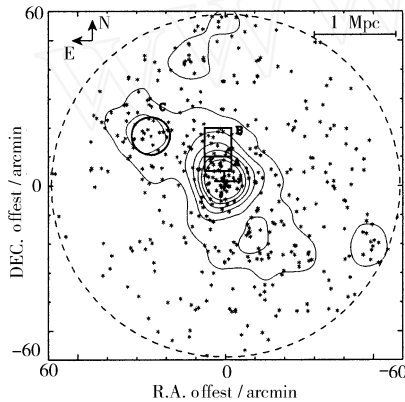


图 6 样本二中包括 103 个新挑选的成员的 470 个成员星系的空间分布图

Fig. 6 Spatial distribution for 470 member galaxies including 103 new selected members in Sample 2

表 2 给出了对 470 个成员星系运用  $n$ -test 所得到的结果，在所有情形下用于模拟的星系数目均为 1 000。从表 2 可以看出，探测该星系子结构的有效尺度是 8。图 7 给出了由每个星系周围 8 个最邻近星系构成的局域视向速度分布与整体分布之间的偏离程度。由于每个星系处的泡泡大小正比于  $-\log [P_{KS} (D > D_{obs})]$ ，因而，越大的泡表示该处的局域视向速度分布与整体分布之间的偏离越大<sup>[8]</sup>。

表 2 Abell2199 470 个新挑成员星系  $n$ -test 表

Table 2 Results of  $n$ -test for 470 new member Galaxies of Abell 2199

$n$	3	4	5	6	7	8	9~13
$P (n > n_{obs})$	3.4 %	0.85	1.2 %	0.8 %	0.6 %	0.3 %	0

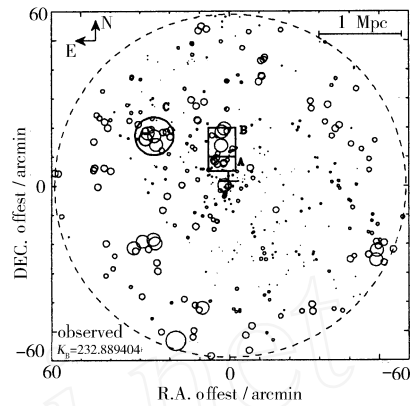


图 7 样本二中显示局域速度与整体速度分布偏离程度的 470 个成员星系的泡泡图

Fig. 7 Bubble plot showing the degree of difference between the local velocity distribution and the overall distribution of the 470 galaxies in Sample 2

通过对样本二的数据分析，子团 A 区域的星系增加到 18 个，Biweight 位置和尺度分别是  $C_{BI} = 8\,621 \pm 112 \text{ km s}^{-1}$  和  $S_{BI} = 498 \pm 104 \text{ km s}^{-1}$ ；子团 B 区域的星系增加了 1 个，Biweight 位置和尺度分别是  $C_{BI} = 9\,564 \pm 180 \text{ km s}^{-1}$  和  $S_{BI} = 582 \pm 277 \text{ km s}^{-1}$ ；子团 C 区域的星系增加到 18 个，Biweight 位置和尺度分别是  $C_{BI} = 8\,623 \pm 138 \text{ km s}^{-1}$  和  $S_{BI} = 560 \pm 381 \text{ km s}^{-1}$ 。这和原先单独用 NED 数据列出的各子团 Biweight 位置和尺度值相比没有太大的变化，说明原来发现的子结构依然存在，只用 NED 数据得出的结果也是可信的。

在星系空间面密度分布等强度图（图 6）上的西偏南方向  $\sim 60^\circ$ 、距离团中心  $\sim 18 \text{ arcmin}$  附近有星系的成团现象，在图 7 上却并没有显示出局域速度分布和整体分布的差异，说明该处的成团是一种投影效应，并不是真正意义上的物理成团。位于西偏南方向约  $\sim 24^\circ$ 、距离团中心  $\sim 54 \text{ arcmin}$  附近有 14 个星系，这些星系显示了一定的局域速度和整体平均速度的差异，其最佳高斯拟合的中心值和速度弥散分别是  $\mu_z = 14\,582 \text{ km s}^{-1}$  和  $\sigma = 5\,809 \text{ km s}^{-1}$ ；Biweight 位置和尺度分别为  $C_{BI} = 14\,158 \pm 1\,764 \text{ km s}^{-1}$  和  $S_{BI} = 6\,272 \pm 860 \text{ km s}^{-1}$ 。考虑到测光红移误差，这 14 个星系有一半的星系红移远远大于星系的中心红移，使得速度弥散很大，因此很难由此判定是真正意义上的成团，这有待于更深一步的光谱观测来弄清楚这个问题。

由于样本三后来挑选的 251 个星等范围在  $18.0 < r < 19.0$ ，星系的测光红移误差较大，就没有对其进行  $n$ -test 检验。

### 3 星系团的形态

明显的子结构可能会影响星系团的形状<sup>[9,10]</sup>。为对 Abell 2199 团的形状进行定量分析, 根据 Carter & Metcalfe 的方法<sup>[11]</sup>对星系团的椭圆率和方位角进行了计算。对样本一: 椭圆率 0.21, 方位角  $2.08 = 29^\circ$ ; 对样本二: 椭圆率 0.227, 方位角  $2.17 = 34^\circ$ ; 对样本三: 椭圆率 0.202, 方位角  $2.25 = 39^\circ$ 。与 X-ray 热气体的大尺度形状相比, 这一计算结果表明, Abell 2199 的发光物质 (即成员星系) 和团内热气体的椭圆率和方位角是基本一致的, 说明这两种物质形态是耦合在一起的, 这是在星系团尺度上维里化的结果。另外还可以看到 cD 星系的这种“线性效应”, 即 cD 星系的晕沿着星系大尺度结构方向的延展, 说明了星系的空间分布是各向异性的, 子团沿着星系空间分布密度较大的方向 (即椭圆主轴方向) 并合说明了 cD 星系形成于团的早期, 星系围绕 cD 星系并合成现在看到的团。

特别需要指出的是, Rines 等人研究了 Abell 2199 (包括 Abell 2197) 的引力下落区域的 X 射线发射群问题, 得到了 95 平方度的大面积红移巡天数据。将该文章中图 2 的 NRGs396、Abell 2197E、Abell 2199、NRGs388 和 NRGs385 的椭圆率和方位角进行了计算, 发现由这些点所构成的分布椭圆的椭圆率是 0.99, 方位角  $\sim 32^\circ$ , 说明这些星系团基本在同一条直线上, 而且和 Abell 2199 的成员星系分布形态一致。方位角如此的相似似乎预示了从核区 ( $\sim 30$  以内) 到  $\sim 5.5$  的特大尺度由于引力作用而呈线性排列, 其中 Abell 2199 是这个线性结构中质量较大的一个结点 (knot)。两个 X 射线群 NRGs385 和 NRGs388 和 Abell 2199 基本上在一条直线上, 可看出并不是像 Rines 等人指出的那样纯属分布上的巧合, 而是与结构形成的等级理论一致, 恰恰揭示了一个由星系、热气体和暗物质组成的延展的 ( $\sim 8.0 h^{-1} \text{Mpc}$ ) 纤维状结构的存在。

### 4 讨论与结论

本文采用 Yang 和 Yuan 等人最新研究的测光红移技术对星等范围在  $r < 18.0$ 、 $18.0 < r < 19.0$  和  $r > 19.0$  较暗的星系进行的测光红移估计, 得出了  $r < 18.0$  的 103 个新增星系的测光红移样本。

通过对样本二中 470 个成员星系运用  $\chi^2$ -test, 原来确定的子团的数目有所增加, 但 biweight 位置、尺度和原来的研究相比没有太大的变化。

对 Abell 2199 团的形状进行定量分析, 发现在一个 Abell 特征半径内, 团星系的分布椭圆率和方位角与以往研究的从核区到大尺度的椭圆率和方位角显著的一致。将这些数据和 Rines 等人研究的 Abell 2199 (包括 Abell 2197) 的引力下落区域的 X 射线发射群中星系团的椭圆率及方位角进行对比, 发现这些星系团基本在同一条直线上。方位角如此的相似似乎预示了从核区到特大尺度 ( $\sim 5.5$ ) 由于引力作用而形成的线性排列方式, 揭示了一个延展到  $8.0 h^{-1} \text{Mpc}$  的纤维状结构和暗物质的存在, 从而进一步支持了星系形成的等级结构模型。

### 参考文献:

- [1] Zabludoff A I, Huchra J P, Geller M J. The kinematics of Abell clusters [J]. *ApJSS*, 1990, 74: 1 - 36.
- [2] Siddiqui H, Stewart G C, Johnstone R M. An X-ray analysis of the cD cluster Abell 2199 [J]. *A & A*, 1998, 334: 71 - 86.
- [3] Oegerle W R, Hill J M. Dynamics of cD clusters of galaxies. conclusion of a survey of 25 Abell cluters [J]. *ApJ*, 2001, 122 (6): 2 858 - 2 873.
- [4] Rines K, Mahdavi A, Geller M J, et al. X-ray emitting groups in the infall region of Abell 2199 [J]. *ApJ*, 2001, 555 (2): 558 - 562.
- [5] Rines K, Geller M J, Diaferio A, et al. Mass profile of the infall region of the Abell 2199 supercluster [J]. *AJ*, 2002, 124 (3): 1 266 - 1 282.
- [6] Hill J M, Oegerle W R. Dynamics of cD clusters of galaxies. redshift data for 11 Abell clusters [J]. *AJ*, 1998, 116 (4): 1 529 - 1 540.
- [7] 李峰, 袁启荣. 星系团 Abell 2199 的动力学子结构 [J]. *南京师大学报 (自然科学版)*, 2006, 29 (1): 39 - 43.
- [8] Colless M, Dunn A M. Structure and dynamics of the coma cluster [J]. *ApJ*, 1996, 458: 435 - 454.
- [9] Davis D S, Mushotzky R F. X-ray substructure in A1656 and A2256 [J]. *AJ*, 1993, 105 (2): 409 - 416.
- [10] West M J, Jones C, Forman W, et al. Substructure: Clues to the formation of clusters of galaxies [J]. *ApJL*, 1995, 451: L5 - L8.
- [11] Carter D, Metcalfe N. The morphology of clusters of galaxies [J]. *MNRAS*, 1980, 191: 325 - 337.