

星系团的光学研究 (I): 星系团表、大尺度分布、团的一般性质

卞 毓 麟

(中国科学院北京天文台 北京 100080)

摘 要

星系团研究涉及面极广, 此处仅简介光学研究的若干方面。全文分为两篇, 本篇中介绍星系团表、星系团的大尺度分布、星系团的一般性质; 第二篇中将介绍团星系的演化、环境与星系形态, 并作简要的展望。

关键词 星系: 团 — 星系: 基本参数 — 星系: 距离和红移 — 星系: 光度函数 — 星系: 运动学和动力学 — 宇宙大尺度结构

1 引 言

星系团是宇宙中确知具有动力学束缚特征的最大结构, 是宇宙大尺度结构的重要指示, 也是星系与环境相互作用及经历各种演化过程的重要场所, 因而常被视为河外天文学和宇宙学研究的“实验室”。20 世纪 70 年代以来, 星系团受到天体物理学家们与日俱增的关注。探测设备的发展, 促使星系团光学性质的研究加速前进; 强有力的射电望远镜和 X 射线卫星获得的资料使人们对星系团的认识渐趋完善。在 20 世纪 90 年代的天体物理学中, 星系团是一个非常活跃的前沿研究领域。

星系团及更大尺度上的超团, 虽然至今尚无严格划一的定义, 但就实际目的而言, 大体可以认为: 星系团乃是至少在其中中心部分已达到位力平衡的引力束缚系统; 超团则是虽然具有已经位力化的亚结构、但在整体上仍处于动力学年轻状态的某种比星系团更大的体系, 它们可能仍随着宇宙的膨胀而(以较小的速率)膨胀着。

星系团研究涉及的问题极多, 本文 (I , II) 中仅简介光学研究的若干方面: 文 (I) 中介绍星系团表 (第 2 节)、星系团的大尺度分布 (第 3 节)、星系团的一般性 (第 4 节);

国家自然科学基金资助项目, 并获中国科学院天文委员会资助

本文据作者在“星系团专题讨论会”(1993 年 10 月 20-23 日, 浙江镇海)上的综述报告扩充、更新而成。

1994 年 8 月 1 日收到

文(II)中介绍团星系的演化(第1节)、环境与星系形态(第2节),最后(第3节)作一简要的展望。

总的说来,本文中侧重星系团的集体行为,而不对个别的团作详细介绍。此外,某些很有意义的专题,如星系团的引力透镜效应,亦未能悉数顾及。

2 星系团表

从观测上搜寻星系团的传统方法是:寻找均匀背景上星系面数密度的增大,具体判据则往往视研究者的具体目的和要求而异^[1,2]。星系团表是系统地研究星系团的基本资料。下面分别简介若干最重要的“经典”星系团表和“机编”星系团表。

2.1 “经典”星系团表

我们把基于人眼直接审察照相巡天底片而编制的各种星系团表统称为“经典”星系团表。其中被最为广泛地引证和应用的有: Abell 的富星系团表^[3], Zwicky 等人的“星系和星系团表”^[4], Schectman 的星系团表^[5], 以及 Abell、Corwin 和 Olowin 的全天富星系团表(通常简称为 ACO 表)^[6]。不少文献已或详或简地介绍过这类表的特点与编纂史,例如见文献[1,2,29], 此处不再赘述。

“经典”星系团表都存在一个共同的问题:它们都是人眼审视照相底片的产物;这种方法不仅历时弥久,而且必不可免地带有相当的主观性,从而在精度、极限星等以及完备性诸方面造成难以预测又难以改正的人为偏差。为此,就产生了对较为客观的“机编”星系表和星系团表的需求。

2.2 “机编”星系团表

“机编”星系团表是自动底片测量机与计算机技术发展的产物。诸如 COSMOS 和 APM 之类的高效自动底片测量机能够快速而精确地测定巡天底片上天体像的位置、亮度和形状参数,并克服许多由人眼造成的选择效应。因此,“机编”表必将成为最受欢迎和应用最为广泛的星表。下面介绍业已完成的两组机编星系表和星系团表。

(1) Edinburgh/Durham 南天星系表(简称 EDSGC)和星系团表 EDSGC 是第一个大规模的机器扫描星系表,它由以南银极为中心的 60 个 UK Schmidt 望远镜巡天天区(约 1400 平方度)中的 1.5×10^6 个星系的 COSMOS 机数字化扫描参数构成,极限星等约为 $b_j \sim 20.5$ 。该表的完备性高达 95%,残余恒星污染率低于 10%。星系计数的均方根误差仅为 3%,每张底片的测光定标精度达 0.05mag。详见 Heydon-Dumbleton 等人^[7]和 Collins 等人^[8]的原始文献。

以 EDSGC 为基础, Lumsden 等人^[9]又发展了一套算法,供计算机自动搜索星系团。选团判据与 Abell 的判据基本相同,但将团的 Abell 半径由 $3h_{50}^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 减为 $2h_{50}^{-1} \cdot \text{Mpc}$,以减小投影效应可能造成的影响。最后完成的星系团表共列有 737 个星系团。

(2) APM 星系表和星系团表 APM 星系巡天用了 185 张 UK Schmidt 望远镜巡天天区底片,覆盖天区面积为 4300 平方度 ($\delta < -20^\circ$, $b \leq -40^\circ$)。APM 机测量了该天区范围内亮于 21.5mag 的 2×10^7 个像的位置、星等和亮度轮廓,从中探测到 2×10^6 个星系。在 $17\text{mag} < b_j < 20.5\text{mag}$ 亮度范围内,该星系表的完备性达 90%—95%,恒

星污染率为 5%—10%。像的位置精度为 $1''$ ，等光星等 (isophotal magnitude) 精度达 0.1—0.2mag，底片残余零点的均方根误差为 0.04mag。详见 Maddox 等人的原始论文 [10,11,37]。

以 APM 巡天星系表为基础，Dalton 等人 [12] 又完成了 APM 星系团表。其主要步骤有二：一是用渗透法将角距离小于 0.7 倍星系平均距离的星系联通成片，以确定星系较密集之处，并选出含 20 个以上星系的群作为候选团。二是对每个团定义一个特征星等 m_x 和富度 R 。该算法将团的计数半径减为 Abell 半径之半，即 $1.5h_{50}^{-1} \cdot \text{Mpc}$ ，从而提高了相对于背景的反差，并减少了星系团重叠造成的问题。此外，用 m_x 代替 Abell 的 m_{10} 可使估计的距离与团的富度几乎无关，这是 APM 星系团的又一优点。

这两组星系表和星系团表在星系和宇宙学研究中已经起了很大的作用，而它们的潜力则仍有待于更充分地发挥。

3 星系团的大尺度分布

Bahcall [13] 曾详细评述星系团的空间分布及其对宇宙大尺度结构的含义；此后不同的研究者对此也时有讨论。在该研究领域中，富星系团因具有很高的面密度并拥有大量的亮星系，故能在甚远的距离上被证认，且能有效地循踪大尺度结构而分外受到重视。

3.1 一些重要结果

Bahcall [13] 之图 9(a) 和 9(b) 分别综合了迄 1988 年止不同研究者得到的团—团空间两点相关函数和两点角相关函数。它们表明，根据不同星系团表、不同选团判据、不同红移和富度范围确定的相关函数在总体上相互吻合。这有力地支持了团—团相关的真实性与普适性。富团的空间相关函数和星系的相关函数具有相同的幂律形式 $\xi(r) \sim r^{-\alpha}$ ，以及大致相同的幂指数 $\alpha \sim 1.8$ ；但在任何给定的尺度上，富团相关函数的幅度都比星系相关函数大得多。同时，团的相关函数还延伸到比观测到的星系相关尺度更大的距离。迄 20 世纪 80 年代末基于“经典”星系团表所得的团—团相关尺度 (即相关函数值为 1 处的尺度) 约为 $25h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ ，星系的相关尺度则为 $5h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 。富团的相关函数延伸到星系相关函数在 $\sim 15h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 处的间断点以外，表明宇宙中存在着 $\geq 15h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 的大尺度结构。

90 年代以来，基于 APM 和 EDSGC 两组星系团表，已得到若干新的统计结果。Dalton 等人 [12] 测量了 173 个 APM 富团的红移，由此构成的团样本平均空间密度约

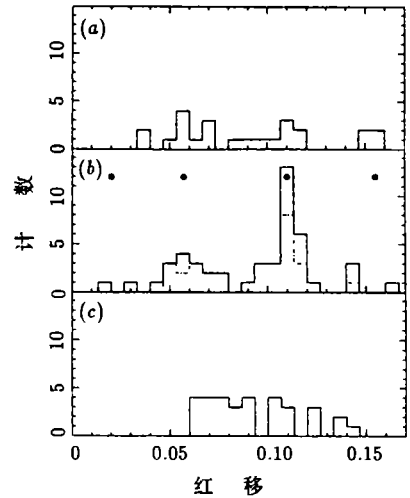


图 1 三个赤经范围内的星系团红移分布直方图。(a) $21^{\text{h}.5} \leq \alpha \leq 23^{\text{h}.4}$ ；(b) $23^{\text{h}.4} \leq \alpha \leq 1^{\text{h}.2}$ ；(c) $1^{\text{h}.2} \leq \alpha \leq 3^{\text{h}.5}$ ；(b) 中的黑点代表 Broadhurst 等人的红移周期峰值。虚线代表对团按富度作某种更严格的挑选的结果 [15]

4 倍于 $R \geq 1$ 的 Abell 团平均空间密度。该样本的团—团空间两点相关函数可表为 $\xi_{cc}(r) = (r/r_0)^{-2}$ ，且 $r_0 = 12.9 \pm 1.4h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 。对于该样本中的 93 个最富的团，相关长度则为 $r_0 = 14 \pm 4h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 。Nichol 等人^[14] 基于 EDSGC 星系团表中 79 个团的红移测量（对 80% 的团均在其核心方向上测了约 10 个星系的红移），构成一个统计样本。其中团的富度介乎 Abell 富度级 0 与 1 之间。由此得出的相关长度 $r_0 = 16.4 \pm 4.0h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 。在 $\sim r_0$ 的尺度上，由该样本得到的红移方向与切向之间相关函数的非各向同性，在已发表的所有结果中乃是最小的；该文作者据此认为，先前在确定相关性时见到的强各向异性不太可能起因于真实的视向成团性、或起因于很大的团本动速度。1994 年底，Dalton 等人^[38] 发表了扩充到 364 个 APM 星系团的红移测量结果，其有效采样体积达 $10^7 h^{-3} \cdot \text{Mpc}^3$ 。由该样本求得的富星系团空间两点相关函数与文献^[12] 的结果非常吻合，可表示为 $\xi_{cc}(r) = (r/r_0)^{-2}$ ，且 $r_0 = 14.3 \pm 2.35h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ (2σ 误差)。

Guzzo 等人^[15] 根据对 ~ 100 个 EDSGC 富星系团的 ~ 800 个星系的红移测量，得到一个非常引人注目的结果，即这些富星系团的红移分布峰值与 Broadhurst 等人^[41] 于 1990 年发表的星系红移分布周期性峰值非常吻合（见图 1），其中尤以集中在 $z \sim 0.11$ 处的 ~ 20 个系统给人的印象最为深刻。这对 Broadhurst 等人的上述著名发现乃是非常有力的支持。

3.2 理论解释问题

迄今在理论上尚难成功地统一解释宇宙中的（如由团—团相关所表征的）大尺度结构、（如由星系—星系相关所表征的）较小尺度的结构，以及微波背景辐射之几乎全无结构。任何关于结构形成的理论模型均需对某些基本参数作一定的假设：如密度参数值 Ω ；宇宙学常数值 Λ ；暗物质的本质（重子、还是热暗物质、冷暗物质、不稳定的暗物质、抑或数者兼而有之）；原初密度扰动之起源和性质（是暴胀与高斯型扰动还是宇宙弦与非高斯型扰动，绝热扰动还是等温扰动，是否为幂律谱以及斜率为何值等等）；在模型中可能起主导作用的非引力过程——诸如爆发之类的影响；光是否示踪质量，是否存在某种偏倚而使观测结果之解释变得更为复杂？此类偏倚的行为和实质又如何？Bahcall^[13] 曾按下述分类作了极为扼要的概括：

- (1) “标准”高斯型扰动模型：重子物质、冷暗物质 (CDM)、热暗物质 (HDM)；
- (2) 非高斯型扰动模型：宇宙弦；
- (3) 爆发。

在关于结构形成与演化的诸多模型中，冷暗物质方案在 80 年代后期曾独领风骚，但在 90 年代初遇到了新的有力挑战。前面提及的机编星系团表分析中，Dalton 等人^[12] 得到的 ξ_{cc} 在 $\leq \sim 10h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 的尺度上与由标准冷暗物质模型预期的 ξ_{cc} 幅度相符；但在 $\geq \sim 10h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 的尺度上，他们得出的星系团成团趋势大于标准冷暗物质模型的预期值。Guzzo 等人^[15] 则着重指出，星系团红移巡天为检验宇宙学模型提供了某种坚实的观测参考框架，它们在原则上应对各种胞状或泡沫状的大尺度结构模型作出鉴别。例如，在为解释 Broadhurst 等人发现的星系红移分布周期性而提出的各种模型中，van de Weygaert^[16] 的 Voronoi 胞模型与 Guzzo 等人给出的富星系团红移分布实况相洽，另

一些模型则明显地应该予以排除。

这里还应提及的是, Dalton 等人 [38] 将他们在 90 年代中期得到的 APM 富团空间两点相关函数与冷暗物质类模型的无耗散 N 体模拟理论预言作了比较。他们考虑了三类模型: (a) 标准冷暗物质模型 (即在一个 $h = 0.5$ 的临界密度宇宙中的尺度无关的初始涨落), 记作 CDM; (b) 低密度冷暗物质模型 ($\Omega = 0.2$, $h = 1$, 且具有为使宇宙在空间上平坦而引入的非零宇宙学常数), 记作 LCDM; (c) $h = 0.5$ 的混合暗物质模型 (其中冷暗物质的贡献为 $\Omega_{\text{CDM}} = 0.6$, 轻中微子的贡献为 $\Omega_{\nu} = 0.3$, 重子的贡献为 $\Omega_{\text{B}} = 0.1$), 记作 MDM。据此作 N 体模拟的详情可参阅文献 [39, 40]。比较的结果表明, 在 2 到 $50h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ 的所有尺度上, APM 富团的 ξ_{cc} 均高于标准 CDM 模型作出的预言 ($\sim 3\sigma$ 水平); LCDM 模型和 MDM 模型则与观测到的团相关函数匹配得相当好, 而且 MDM 模型与观测相符的程度又比 $\Omega h = 0.2$ 的 LCDM 更好些。但是, 作者同时指出, Ωh 值更小些 (例如 $\Omega h = 0.15$) 的 LCDM 模型尚可与观测更好地符合。

总之, 在完满地对星系团的大尺度分布 (以及有关结构形成与演化的其他问题) 作出解释方面, 理论家们面临的形势依然相当严峻。

4 星系团的一般性质

这里主要介绍星系团的总体特征、形态分类、成员判定、光度函数以及结构与动力学等问题。

表 1 描述星系团物理的基本变量

变 量	富团的典型值
$m < m_3 + 2$ 的成员星系数	30-200
成员星系总数	300-10000
形态型	
(a) Abell	规则, 不规则
(b) Zwicky	致密, 中密, 疏散
(c) Bautz-Morgan	BMI, BMII, BMIII
(d) Rood-Sastry	cD, B, L, C, F, I
特征线尺度	
(a) Abell 半径 R_A	3Mpc
(b) 星系分布的核半径 r_c	150-500kpc
(c) 星系际气体分布的核半径 a	200-700kpc
(d) 射电晕大小	500-1000kpc
光度	
(a) 光学 L_{opt}	$5 \cdot 10^{12} - 10^{14} L_{\odot}$
(b) X 射线 L_X	$10^{35.5} - 10^{37.5} \text{W}$
(c) 射电 P_{408}	$10^{22} - 10^{26}$
星系的相对成分 E:S0:Sp	从 1 : 2 : 3 到 1.5 : 2 : 1
中心星系密度	200-1000 星系 / Mpc^3
中心星系际气体密度	$10^{-4} - 10^{-2}$ 原子 / cm^3
星系际气体温度	$10^7 - 10^8 \text{K}$

4.1 总体特征

Dagkesamanskii 和 Konyukov^[17] 曾将描述星系团物理的基本变量概括如表 1, 它们在后面的叙述中将会经常用到。

4.2 形态分类

人们可以利用星系团各种不同的性质对它们进行形态分类。令人惊奇的是, 不同的分类体系往往彼此高度相关, 且可将不同形态的团表示为某种从规则团到不规则团的一维序列。表 2 概括了不同的形态分类方案, 详见 Sarazin 的专著^[2]。

表 2 星系团的形态分类性质

性质	规则团	中介团	不规则团
Zwicky 型	致密	中密	疏散
Bautz-Morgan 型	I, I - II, II	II, II - III	II - III, III
Rood-Sastry 型	cD, B, L, C	L, C, F	F, I
星系成分	富椭圆星系	贫旋涡星系	富旋涡星系
E:S0:Sp	3:4:2	1:4:2	1:2:3
Morgan 型	ii	i - ii	i
Oemler 型	cD, 贫旋涡星系	贫旋涡星系	富旋涡星系
对称性	球对称	中介	不规则
中聚度	高	中	低
亚结构	罕见	中等	显著
富度	富	富 - 中等	富 - 贫

如表 2 所示, 规则团的形状高度对称, 具有星系高度聚集的核, 几乎没有亚结构。不规则团则几乎不具有对称性或中聚度, 且往往呈现明显的亚结构。这表明规则团演化得较充分, 在某种意义上是动力学弛豫的系统; 不规则团经历的动力学演化则微乎其微, 大致保留了它们形成时的分布特征。

规则团的一些特征——致密 (Zwicky 型)、Bautz-Morgan I 至 II 型、Rood-Sastry 型 cD 或 B、Morgan 型 ii、Oemler 贫旋涡星系团或 cD 团——彼此相关, 表明团的动力学状态与星系成分存在着某种联系。另一方面, 一个星系团的形态与其富度则无一对应的相关性: 规则团总是富的, 不规则团则既可以是富的, 也可以是贫的。但是, 正由于规则团是富团而较为致密, 所以其中心星系密度总是高于不规则团。

4.3 成员判定

从巡天资料中挑选星系团, 以及成员星系之证认, 是两个既有联系又有区别的问题。事实上, 如何剔除前景与背景场星系的“污染”, 历来是星系团研究中的一大难题, 至今也尚未妥善解决。

用于鉴别团成员的观测判据通常有星系的视位置、视星等、颜色—星等图, 以及视向速度。早期多用视位置和视星等作为成员判定的依据, 这对剔除场星系不十分有效。利用颜色—星等图区分团星系和场星系则对旋涡星系不很有效, 且易将较蓝的团星系误认为场星系。因此, 为了更准确地判定团的成员, 视向速度 (红移) 测量乃是非常重要的。但是, 由于星系团成员星系的视向速度有相当的弥散, 所以即使一一测出星系团所在天区中所有星系的红移, 也还是很难将具有较大正视向本动速度的前景场星系或具有较大负视向速度的背景场星系与团成员断然区分开来。

近 10 余年来, 随着星系红移资料的积累, 利用星系视向速度观测值来判定团成员日益受到重视, 有时还兼及星系的视位置 (例如见 Kent 和 Gunn^[18])。不同作者运用这一判据的具体方法不尽相同。赵君亮等人^[19,20]提出一种以视向速度为判据、按最大似然原理确定星系团成员的统计方法。其数学模型认为团星系视向速度服从一维正态分布、场星系服从 $k(\geq 1)$ 个一维正态分布, 它们彼此重叠。将该方法应用于 Coma 团和 Virgo 团成员的视向速度分析, 获得了较好的效果。

团星系红移测量分析的进展可参阅 Giovanelli 和 Haynes 的评述^[21]。其中特别值得提及的有 Dressler 和 Shectman^[22,23] 测量的 15 个团中的 1268 个红移, 以及 Zabludoff 等人^[24] 对 69 个近邻 Abell 团中 3250 个星系红移值 (其中新测定的有 359 个) 的分析。

多缝和多光纤分光观测设备的问世, 为高效地研究星系团核心区较密集的星系提供了极佳的机会。由此, Colless 和 Hewett^[25] 测量了 14 个南天富团中的 604 个视向速度 (14000 至 $44000\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)。Teague 等人^[26] 在 10 个南天星系团中测量了 1034 个红移 (其中团成员 805 个)。Guzzo 等人^[27] 用 ESO 的 EFOSC 摄谱仪 (多缝模式) 和 AAT 的 Autofib 多光纤系统, 致力于 150 个 EDSGC 团的红移巡天, 旨在建立一个包含 2000 多个星系红移的样本。星系团红移数据库的快速成长, 不仅将会加深人们对星系团结构、动力学以及演化的了解, 而且能更牢靠地确定宇宙在最大尺度上的成团性质。

4.4 团星系的光度函数

星系团成员星系的光度函数给出团星系光度的数分布。Binggeli 等人^[28] 列出了自 1974 年以来已测定光度函数的 47 个富星系团。潘容士等人^[29] 已对团星系光度函数的拟合形式及拟合参数作了简明扼要的介绍, 此处不再重复。总的说来, 无论是团星系还是场星系, 光度函数都具有相似的形式和几乎相同的参数值。这种普适性表明, 决定星系光度的过程对密度、温度等局部条件并不敏感; 或者说, 早先这些条件对于日后形成团的区域和日后形成场的区域并无太大差异。80 年代中期以来, 研究的重点开始转向光度函数在一阶普适性下的二阶差异, 即因团而异的具体细节。结果表明, 这种变化即使存在, 显著性也是很低的。一些数值模拟还表明, 团的动力学过程 (例如吞并、潮汐效应等) 也会对团星系光度函数的形式造成一定的影响。

4.5 结构与动力学

星系团的结构与动力学性质与初始条件密切相关, 亚结构及分层效应则是它的两项重要观测特征。

亚结构的存在及其随红移的演化, 可以对各种宇宙学模型作出检验。Cavaliere 和 Colafrancesco^[30] 主张团的亚结构演化缓慢, 经过一个哈勃时间后仅有一小部分团呈弛豫状态; West^[31] 则强调大多数 Abell 团内缺乏显著的亚结构, 这表明它们现时是动力学弛豫的系统。总的说来, 存在亚结构的观测证据正在日益增多。Lucey 等人^[32] 基于 Centaurus 团中 180 个成员的红移指出, 某个投影结构其实可分成位于 $\langle cz \rangle = 3041\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $\langle cz \rangle = 4570\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 处的 2 个亚结构, 每一亚结构中各有一个大椭圆星系位于其动力学中心附近。这似乎表明有两个相应的团块正在互相吞并。Bothum 等人^[33] 证明了 Cancer 团由 5 个分立的群组成, 但它们可能是非束缚的。甚至充分弛豫的 Coma 团也表现出团中心存在亚结构的迹象^[34,35]。

视向速度信息对团结构和动力学研究至为重要。在 Dressler 和 Shectman^[22,23] 的著名样本中, 15 个团中 11 个有亚结构证据。据此, 他们认为也许在整个哈勃时间内团的形成有几个分立的吸积阶段。Sandage^[36] 则对现时仍在形成星系团的证据作了评述。

某些团内可能正发生着动力学解耦过程, 即一族星系因动力学摩擦而速度减慢, 从而束缚于某个 cD 星系, 且最终为后者所吞并。该效应的表现形式之一是 cD 星系的速度与整个团的速度不甚协调。例如 Zabludoff 等人^[24] 发现 9 个 cD 星系中有 8 个具有显著不同于团平均值的速度。这表明为妥善阐明团的动力学状态, 大红移样本是多么重要。

分层效应常有两种表现形式: 空间分层和速度分层, 它们均可用团星系的不同特征——如形态、质量、光度等——加以分析。潘容士等人^[29] 已对此作过评述。文(II)中第 2 节介绍环境与星系形态时, 将对形态分层作进一步的讨论。

团的演化还可通过团星系成分的变化来评估, 这在文(II)的第 1 节中还会再次谈及。

参 考 文 献

- [1] Bahcall N A. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1977, 15: 505
- [2] Sarazin C L. *X-ray emission from clusters of galaxies*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1988
- [3] Abell G O. *Ap. J. Suppl.*, 1958, 3: 211
- [4] Zwicky F, Herzog E, Wild P, Karpowicz M *et al.* *Catalogue of galaxies and clusters of galaxies*. Vols. 1-6. Pasadena: Calif. Inst. Technol., 1961-1968
- [5] Shectman S A. *Ap. J. Suppl.* 1985, 57: 77
- [6] Abell G O, Corwin H G Jr, Olowin R P. *Ap. J. Suppl.*, 1989, 70: 1
- [7] Heydon-Dumbleton N H, Collins C A, MacGillivray H T. *M. N. R. A. S.*, 1989, 238: 379
- [8] Collins C A, Nichol R C, Lumsden S L. *M. N. R. A. S.*, 1992, 254: 295
- [9] Lumsden S L, Nichol R C, Collins C A *et al.* *M. N. R. A. S.*, 1992, 258: 1
- [10] Maddox S J, Efstathiou G, Sutherland W J *et al.* *M. N. R. A. S.*, 1990a, 242: 43p
- [11] Maddox S J, Sutherland W J, Efstathiou G *et al.* *M. N. R. A. S.*, 1990b, 243: 692
- [12] Dalton G B, Efstathiou G, Maddox S J *et al.* *Ap. J.*, 1992, 390: L1
- [13] Bahcall N A. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1988, 26: 631
- [14] Nichol R C, Collins C A, Guzzo L *et al.* *M. N. R. A. S.*, 1992, 255: 21p
- [15] Guzzo L, Collins C A, Nichol R C *et al.* *Ap. J.*, 1992, 393: L5
- [16] van de Weygaert R. *M. N. R. A. S.*, 1991, 249: 159
- [17] Dagkesamanskii R D, Konyukov M V. In: Kuz'min A D ed. *Clusters of galaxies and extragalactic radio sources*. New York: Nova Science Publishers, 1990. 1
- [18] Kent S M, Gunn J E. *A. J.*, 1982, 87: 945
- [19] 赵君亮, 潘容士, 黄松年, 何燕萍. *天文学报*, 1988, 29: 359
- [20] 赵君亮, 潘容士, 黄松年, 何燕萍. *天体物理学报*, 1990, 10: 315
- [21] Giovanelli R, Haynes M P. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1991, 29: 499
- [22] Dressler A, Shectman S A. *A. J.*, 1988a, 95: 284
- [23] Dressler A, Shectman S A. *A. J.*, 1988b, 95: 985
- [24] Zabludoff A I, Huchra J P, Geller M J. *Ap. J. Suppl.*, 1990, 74: 1
- [25] Colless M, Hewett P. *M. N. R. A. S.*, 1987, 224: 453
- [26] Teague P F, Carter D, Gray P M. *Ap. J. Suppl.*, 1990, 72: 715
- [27] Guzzo L, Nichol R, Collins C *et al.* *ESO Messenger* 1990, (60): 45
- [28] Binggeli B, Sandage A, Tammann G A. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1988, 26: 509

- [29] 潘容土, 赵君亮, 刘汝良. 天文学进展, 1991, 9: 211
- [30] Cavaliere A, Colafrancesco S. In: Oegerle W R, Fitchett M J, Danly L eds. Clusters of galaxies. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. 43
- [31] West M J. In: Oegerle W R, Fitchett M J, Danly L eds. Clusters of galaxies. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. 65
- [32] Lucey J R, Currie M J, Dickens R J *et al.* M. N. R. A. S., 1986, 222: 427
- [33] Bothum G D, Geller M J, Beer T C *et al.* Ap. J., 1983, 268: 47
- [34] Fitchett M J. In: Oegerle W R, Fitchett M J, Danly L eds. Clusters of galaxies. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. 111
- [35] 赵君亮, 潘容土, 何燕萍. 天体物理学报, 1993, 13: 116
- [36] Sandage A. In: Oegerle W R, Fitchett M J, Danly L eds. Clusters of galaxies. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. 201
- [37] Maddox S J, Efstathiou G, Sutherland W J. M.N.R.A.S., 1990c, 246: 433
- [38] Dalton G B, Croft R A C, Efstathiou G *et al.* M. N. R. A. S., 1994, 271: L47
- [39] Croft R A C, Efstathiou G. M. N. R. A. S., 1994a, 267: 390
- [40] Croft R A C, Efstathiou G. M. N. R. A. S., 1994b, 268: L23
- [41] Broadhurst T J, Ellis R S, Koo D C, Szalay A S. Nature, 1990, 343: 726

(责任编辑 刘金铭)

Galaxy Clusters in Visible Light (I): Catalogues, Large-scale Distribution, and General Properties

Bian Yulin

(Beijing Astronomical Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

While the nature, behaviour, and evolution of galaxy clusters is a such wide research field, only some of their optical properties are underlined in the present review. The whole article is divided into two parts, of which this is the first one, contributed to cluster catalogues, large-scale distribution, and some general characteristics of galaxy clusters. The evolution of cluster galaxies and relations between environmental conditions and morphological types of member galaxies of clusters, together with a brief prospect for further studies in this field will be showed in the next part.

Key words galaxies: clusters of galaxies: fundamental parameters—galaxies: distances and redshifts—galaxies: luminosity function—galaxies: kinematics and dynamics—large-scale structure of Universe