

星系团的光学研究 (II): 团星系演化、环境与形态、简要的展望

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, 前一篇中已介绍了星系团表、星系团的大尺度分布、星系团的一般性质; 本篇中则介绍团星系的演化、环境与星系形态, 并作简要的展望。

关键词 星系: 团 — 星系: 演化 — 星系: 相互作用 — 星系: 结构 — 星系: 基本参数

1 团星系的演化

1.1 概 述

观测宇宙学的主要目标之一, 是测量正常星系的积分光谱能量分布随回顾时间的详细变化。这种变化既由正常的恒星演化所致, 其作为红移函数之定量形式又可对星系年龄、星系中的恒星形成史、乃至对宇宙学模型作出限制。可是, 星系究竟是如何演变为今日这种状态的, 人们在观测上却几乎一无所知。人们并不清楚: 星系究竟是不是同一时代的产物、且具有相似的演化史? 抑或即使在如今十分相似的那些系统中, 恒星也是在大不相同的时代形成的?

借助于一定的模型, 观测上可有多种办法测量星系的演化。其中最常用的有两种方法。第一种是建立测光选择的暗场星系大样本, 将宽带颜色和光度分布的变化与红移相联系, 以定出无偏样本的总体演化行为。对此的描述和评论, 例如可参见 Ellis 的文章^[1]。但由于某些较复杂的问题, 此法并未成为了解星系演化的主要观测手段。

第二种方法是考察可在很大红移范围内证认的某一族星系的均匀样本。例如, 富团中的早型星系就是很好的考察对象。已有很好的证据表明, 这族星系在近邻星系团中的均匀性(例如见 Bower 等人的文章^[2,3])。在各种红移上考察妥善定义的团星系族, 或许能更直截了当地

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日—10月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

对星系演化作出定量描述。下面先介绍团星系演化中的一个重要课题 Butcher-Oemler 效应, 然后再回过头来讨论富团中早型星系的演化问题。

1.2 Butcher-Oemler 效应

远富星系团中, “蓝”星系(或“活性”星系)的数目在全部成员星系数中所占的比例, 明显高于近距富团中的相应值。这种演化现象就是所谓的“Butcher-Oemler 效应”, 通常简称“B-O 效应”。它最初是 Butcher 和 Oemler^[4] 于 1978 年提出的; 10 余年来, 对该效应的探究已带动了有关星系团成分和演化的大量实测和理论研究。卞毓麟和刘健^[5] 专文详细介绍了该效应的方方面面。典型文献例如可参阅文献 [6—11]。此处不再赘述。

1.3 “红包络”与早型星系的演化

1.3.1 红包络 (red envelope)

最初人们观测非常遥远的星系, 是为了研究宇宙的大尺度结构、特别是估计减速参数 q_0 , 后者和哈勃常数 H_0 共同决定着 Friedmann 宇宙的开闭和年龄。为此采用的经典方法是确定视星等 m 对红移 z 的依赖关系。然而, 对 $z \gtrsim 0.2$ 的天体必须对星等资料作许多重要的改正(如对红移、采样、孔径、演化效应等等的改正)。由此带来的困难致使用这类方法确定较可靠的 q_0 进展相当缓慢。

20 世纪 80 年代中期开始, 人们试用高红移亮星系的颜色或其他光谱特征来估计这些星系的年龄, 且据此对 H_0 和 q_0 作出限制。这类方法的优点是可以免除给 $m \sim z$ 方法造成麻烦的某些改正。为将光谱—年龄测定法用于宇宙学研究, 应选择恒星形成开始得尽可能早的系统; 另一方面, 技术上的考虑又要求这些系统在相当早的时候就完成了恒星形成, 或在至少在较近的时期内它们的恒星形成活动实际上微乎其微。

80 年代后期, 人们已颇为肯定, 在直到 $z \sim 0.7$ 的所有红移处, 星系的颜色分布存在着某种相当明确的上限, 即所谓的“红包络”(red envelope)。 $z = 0$ 时, 红包络出现在 $(B-V) \sim 1.0$ 处; $z \sim 0.3$ 时, 由于 K 改正, 红包络移至实验室参考系中的 $(B-V) \sim 1.7$ 处。极少有天体位于该包络的红侧。在低红移处, 红包络为最亮的 E/cD/SO 星系所占据。在中等红移处, 最亮的天体也倾向于落在红包络附近, 人们设想它们同样是 E/cD/SO——尽管通常并不能直接获得实际的形态信息。然而 $z \gtrsim 0.4$ 时, 最亮的团星系却表现出各种相当不同的颜色。人们既不清楚它们是否皆系 E/cD/SO, 也不清楚它们与红包络系统的联系。

当不存在诸如非热辐射、尘埃、或特别高的金属丰度等异常情况时, 有理由假定: 在红移既定的样本中, 就过去数十亿年间的恒星形成而言, 构成红包络的天体乃是最不活跃的。因此, 它们很适于探究前述的宇宙学问题。为了确定这些天体是否在某一颇早的时候已完成恒星形成、并在此后一直保持宁静, 则需仔细分析它们的光谱性质。就此而论, 切题的累积光谱性质是连续谱的斜率(或颜色)、连续谱的间断、吸收线的强度等等, 我们可用某种指数 Q 来标记它们。若某星系族诞生后不再有新的恒星形成过程, 则 Q 的演化常可近似表为^[12]:

$$Q(\text{mag}) = a + b \cdot \log t(\text{Gyr})$$

此处 Q 用星等表示, a 和 b 是常数, t 是以 Gyr 为单位的该星系族的年龄。对于 $t \geq 1\text{Gyr}$, 上式是很好的近似; 即使对于 $t \geq 0.1\text{Gyr}$, 上式也相当不错。由该式知, 在较早的时候(0.1—1.0Gyr) 指数 Q 要比较晚时刻($t \geq 3\text{Gyr}$) 演化得更快。故除非系数 b 相当大(对光学/红外波段的多数指数而言实际上 b 都不大), 否则古老星系族的测光演化都是相当缓慢的。

概而言之, 及至 90 年代初, 红包络和 B-O 效应共同给出的团星系图景是: 静止参考系颜色 (或颜色—光度) 图上的红包络主要为团核区早型星系 (其光谱性质上推至 $z \approx 0.5$ 仍基本不变) 所布居, 此外则另有一个正在形成恒星的蓝星系族 (可参见文献 [5])。

1.3.2 早型星系的演化

红包络的本质与 E 星系的演化史密切相关。不少证据表明在近邻 E/S0 星系中显著的恒星形成一直继续到 5—8Gyr 以前; 持批评意见者则把存在于较高红移处的红包络作为反对证据。O'Connell^[12] 认为, 红包络并未使 E 星系的后期演化图景失效, 理由是: (1) 在恒星形成终止之后的头 3Gyr 中颜色快速演化, 这意味着今日 E/S0 的祖先可能在一定时期内已轻而易举地完成了从中等红移的“蓝星系族”向 $z = 0$ 的红包络的转变。倘若当时普遍存在着吞并或其他强环境作用, 那就可望发生这种“猝灭”式的演化过程; (2) 3Gyr 以后缓慢的颜色演化, 加上测光误差以及演化模型中残余的不确定性, 使中等红移处的红包络可与许多不同的演化解释相容, 包括与 E 星系的后期演化模型相容。

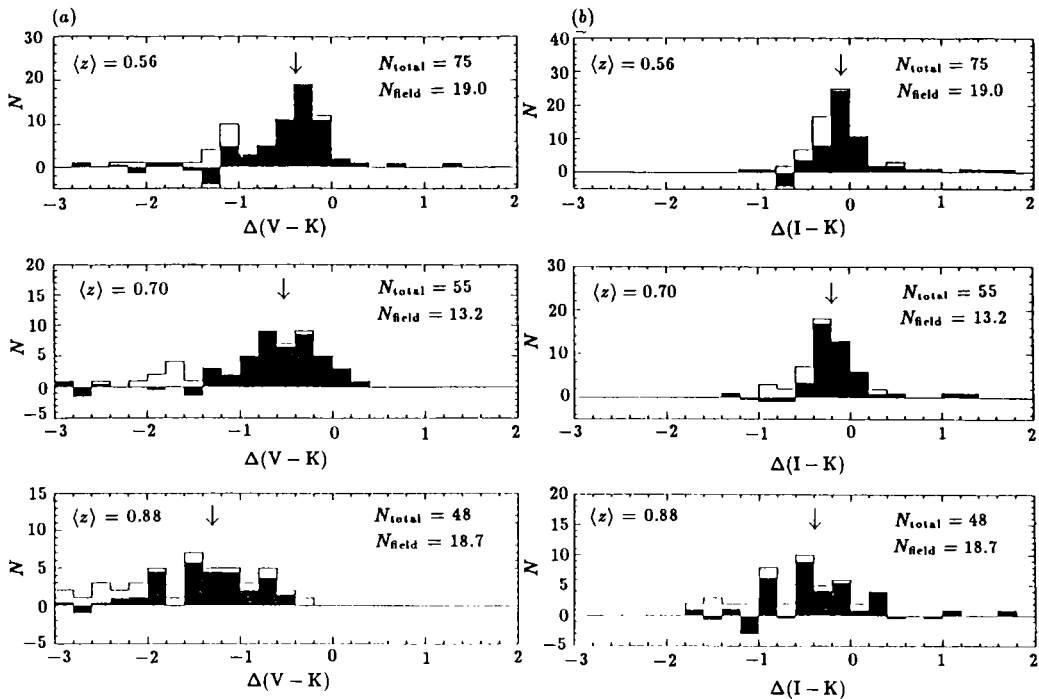


图 1 (a) 将 10 个团按红移相近归为 3 组后的 (V-K) 颜色分布

白、黑两种直方图分别相应于未作和已作场污染改正的计数结果。诸小图中的 N_{total} 为未作场改正的天体总数, N_{field} 为场天体期望数。(b) 为 (I-K) 的颜色分布, 余同 (a)^[13]

重要的问题是: 红包络究竟一直保持到多大的红移? 其随红移演化的趋势如何? 由于 $z > 0.2$ 时基本上已难直接从形态上来选择早型星系, 而由光学光度和颜色来选择又可能会不自觉地偏向于选取正在经历短期恒星形成的星系, 因此有必要以某种更恰当的方式建立不同红移处各类星系的相对比例保持不变的统计样本。

Aragón-Salamanca 等人^[13] 指出, 今天各类星系在近红外波段的光谱能量分布非常相

似, 在 $z < 1$ 的红移范围内红外 K 改正实际上与星系的形态无关, 所以在 K 波段选择团样本可在相当大的红移范围内保持不同类型的星系按均匀的比例组合。这些作者对红移范围为 $0.5 < z < 0.9$ 的 10 个团作了光学-红外研究 (V、I、K 色); 经场星系改正后, 团星系的颜色分布呈随红移的单调变化, 其主要特征为 (见图 1):

(1) 在高红移处红包络明显向蓝移动。在 $z \sim 0.9$ 处, 不存在像今天的 E 那样红的星系。这表明演化趋势不能仅用 B-O 效应来解释, 它表征了显著的颜色变化。

(2) 长波处的颜色, 即 (I-K) 的分布具有窄的峰, 对不同的团都有这种趋势。由于 (I-K) 对早先在恒星形成的主要阶段中形成的老年星敏感, 故此结果可能表明存在某个非常均匀的星系族, 其成员均在某个短暂的时期内形成, 即它们具有共时性。(I-K) 的整体分布相对较窄, 可能还表明不同团内不同星系中恒星的长期演化性质相当均匀。也就是说, 最简单的图景乃是在某一共同时期内形成的源之自然老化。

(3) 星系颜色分布的“蓝尾”随红移的增大而更趋明显, 表明正在经历恒星形成的星系比例增大。这也许与在较低红移处所见的 B-O 效应有着直接的联系。

总之, 红包络的颜色随红移变化的趋势可直接解释为某古老星族的自然老化。该星族在 $z = 2$ 之前 (且可能在 $z = 5$ 之后; $H_0 = 50$) 曾有一场一次性的暴发式恒星形成, 这与对近距椭圆星系精确测光导出的结论相符。目前限于观测资料, 类似文献 [13] 的工作还极鲜见; 但可以预期, 90 年代中、后期将会涌现出有关红包络的更多研究结果。

无论是 B-O 效应还是红包络, 都涉及环境对不同类型星系演化的影响。在下一节中我们将再次谈到这一点。

2 环境与星系形态

人们早就知道场星系多为旋涡星系 (S) 和不规则星系 (Irr), 团星系则拥有较多的椭圆星系 (E) 和透镜状星系 (S0)。该现象的本质对了解所有形态的星系起源与演化均十分重要。Oemler^[14] 曾就环境对星系形态的影响作了很好的评述。现择要介绍如下。

2.1 形态 — 环境关系

2.1.1 不同形态星系的相对数量

表 1^[14] 列出各种环境下不同形态星系数百分比。随着从场到团的环境变化, 起初 S 的减少恰与 S0 的增加相抵, 但在团环境下 E 的比例增高, 某些情况下 E 的数目甚至可超过 S0。

表 1 各种环境下不同形态星系相对数量的典型值

环境	百分比		
	E	S0	S
场	10	20	70
贫群	10	20	70
富群	10	30	60
团	20	40	40

不仅如此, 即使在单个富团内也有类似的趋势: 不同形态的星系数比例随着团中心距而发生明显的变化。S0 的比例朝向团心而增长, 近团心处 E 的比例则增长得更快。另外, 若以

星系在团内分布的局域面密度 S_{gal} 作为自变量, 则 S 的比例是 S_{gal} 的减函数, S_0 的比例为 S_{gal} 的增函数。与表 3 所示的情况相似, E 的比例起初无大变化, 仅当 S_{gal} 变得足够大时才明显上升, 此后则增长得很快。

上述三类统计结果彼此相洽。它们一致表明 S_0 的比例随团的富度和 / 或环境密度逐渐递增, E 的比例则以某种更为非线性的方式增长。但在具体运用这类结果时必须谨慎, 因为对于较暗的星系, 形态分类往往容易出错。

2.1.2 不同次型旋涡星系的相对数量

有证据表明不同次型旋涡星系的相对数量亦随环境而变, 且变化方式与上面 (1) 中所述相仿: 随着环境从场到致密团的变化, S_c 的相对数目迅速减少, S_b 的减少较慢, S_a 的比例大致不变, S_0 的比例则迅速上升。Giovanelli 等人^[15] 研究了英仙-双鱼超团中的星系, 发现晚型 S 随 S_{gal} 的增加而迅速减少, 中介型 S 的比例大致不变, 早型 S 的比例则在较密的环境中稍有增加。

由于沿哈勃形态序列由晚型向早型过渡时, D/B(星系盘与核球的相对大小) 的平均值减小, 故上述结果与早先 Dressler^[16] 发现的“在较密环境中 S 星系的 D/B 减小”相符。Solanes 等人^[17] 证明在 Dressler 的资料中, 对于同一次型的 S 并不存在 D/B 随环境而变的趋势, 因此在 Dressler 的数据范围内, D/B 随 S_{gal} 变化的整体趋势必系不同次型 S 的相对比例发生变化所致。

2.1.3 星系的颜色

表 2^[14] 概括了旋涡星系和不规则星系的颜色随环境而异的情形。就表 4 列出的所有形态而言, 群成员星系与场星系的颜色均无可识别的差异, 团星系则明显地较红。另一方面, E/ S_0 的颜色随环境变化的情况则不易肯定。Caldwell 和 Oemler 曾发觉团内 E/ S_0 的颜色在富 S 环境中要比在其他地方更蓝, Eder 则发现 Coma 团的 S_0 较场 S_0 稍红些。

表 2 不同环境下旋涡星系和不规则星系颜色的典型值

哈勃型	颜 色 (B-V)		
	场	群	团
Sa	0.77	0.78 ± 0.01	0.94 ± 0.02
Sb	0.69	0.68 ± 0.04	0.87 ± 0.03
Sc	0.57	0.57 ± 0.02	0.78 ± 0.04
Irr	0.45	0.49 ± 0.08	0.61 ± 0.07

前述 (1) 至 (3) 的三种趋势 (S 的比例、晚型 S 的比例以及每种形态的平均颜色三者随环境的变化) 的累积效应, 造成了星系颜色随环境而变的强烈趋势。图 2 概括了群或团中蓝星系所占比例 f_B 随富度变化的趋势。图中的曲线拟合虽有很大的随意性, 定性结果却很清楚: 团和富群中蓝星系的比例要比贫群和场中的少得多。

Bian 等人^[18] 首次基于机编星系表 (EDSGC)、结合 UK Schmidt 望远镜的 R 色巡天, 探讨了团星系颜色随团心距的变化。样本是 UK Schmidt 巡天 349 天区内的 4 个富团, 统计结果表明在星系团中心附近蓝星系比例 f_B 较低, 由团中心往外 f_B 呈上升趋势; 在团的最外围部分 f_B 又有所下降。这也许可解释为当星系向团中心内落时, 受到团中心气体的冲压作用而诱发了恒星形成, 从而导致蓝星系系数增多。最外围的星系几乎尚未受此作用的影响, 故 f_B 并不很高; 另一方面, 太接近团中心的地方, 内落星系中的气体已基本耗尽, 无法再形成大量恒星, 故 f_B 亦不高。预期当 UK Schmidt 的 R 巡天资料更丰富时, 这项尝试性的研究尚可

推广到更大的天区。Bian^[19] 则指出红星系成团性较强的特征可望有助于寻找中等红移的候选星系团。

2.1.4 旋涡星系的气体含量

场星系和团星系的气体含量有着系统的差异。Haynes^[20] 和 Kenney^[21] 均对此作过评述。以某一光学等光线内的 H I 气体面密度作为原子气体含量的量度, 可知至少某些团内的某些星系气体含量远少于同形态场星系的气体含量。Coma 团和另一些富度与之相仿的致密团核区的许多旋涡星系, 原子氢的含量不超过同型场星系的 1/10。气体含量显著较少的星系数所占的比例、以及含量减少的平均值皆随团心距的减小而增长。另一方面, 在 2—3 个 Abell 半径以外则探测不到气体含量的明显减少。再者, 气体含量减少的平均值又随哈勃型而异: S0 和早型 S 最为显著, 晚型 S 和 Irr 则最不显著。值得注意的是, 气体含量之减少似乎仅限于原子气体, 且仅限于星系的外围部分。分子气体的含量并无显著变化, 这意味着 H I 减少并非因其转化成了分子。对 Virgo 团星系的高分辨成像观测业已表明, 气体之丧失并非同时发生在整个星系盘内, 而只是发生于星系的最外围部分。

2.1.5 环境影响的主要效应

通常认为有 4 种效应可导致环境对星系形态的上述种种影响:

- (i) 在许多团的中心区, 旋涡星系的原子气体盘往外延展遭到截止;
- (ii) 许多团旋涡星系的恒星形成率低于同型场星系;
- (iii) 在较富和 / 或较密的环境中, 盘星系的形态分布偏向前端 (S0 端);
- (iv) 椭圆星系比例的增大、以及盘星系 D/B 平均值的减小表明, 在密和 / 或富的环境中, “盘”和“球”的相对光度函数朝有利于“球”的方向移动。

这 4 种效应的具体情况错综复杂, 可参见 Oemler^[14] 的评述。

2.2 形态—环境效应的可能机制

星系的上述性质 (D/B、气体成分、光谱能量分布) 均与哈勃型相关; 上述的各种效应又均在同样的意义上起作用, 即在较富 / 较密的环境下星系的性质向哈勃序列的前端 (E/S0 端) 移动。因此, 人们希望能以某种统一的框架一举解释所有与此有关的现象。例如认为团星系的哈勃型、气体含量、D/B 等等都像颜色那样随宇宙时而变化; 或者认为应能找到某种可阐明所有观测效应的物理过程。当然, 实际情况却未必那么简单。

一般说来, 对于星系形态起源与演化有着三类模型, 即 (1) 后期演化模型, 假设所有星系均有类似的初始条件; (2) 初始条件起主导作用的模型; (3) 初始条件与后期演化并重的模型, 其中初始条件 (或甚早期演化) 决定了高密度区中起主导作用者是以核球为主的星系, 后期演化则对星系形态的变化、尤其是对终止盘的发展起主要作用。

欲理解不同形态之间的变迁, 关键在于查明 S0 星系的本质; 可是, 人们迄今仍无法确切

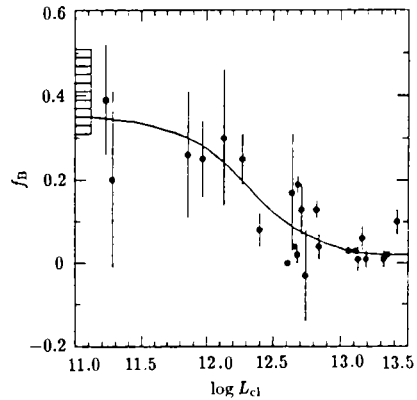


图 2 星系群和团中蓝星系所占比例 f_B 随系统的富度 (由该系统中所有星系的累积光度 L_{c1} 表征, 以太阳光度为单位) 变化的趋势。

左侧的阴影区代表场的 f_B 值^[14]

地回答 S0 究竟是与 S 还是与 E 有着共同的祖先。

按后期演化模型, S0 曾是正常旋涡星系, 后因碰撞、潮汐相遇、或与团内介质相互作用而导致气体剥离, 遂使 S 演化为 S0。但气体剥离机制仅在富团中心才明显起作用, 而 S0 却在场中也存在, 故该机制似难从根本上解释 S 与 S0 的差别。

在初始条件模型中, 星系形成时的环境是关键参量, 故 E、S 和 S0 最初就属不同类型。但也有事实表明, 至少在某些环境中正在进行的某些过程很可能影响最终形成的形态。

初始条件与后期演化并重的模型中, 恒星形成由气体库提供“燃料”。S0 就是很早即失去燃料供应的 S 星系, 接下来的恒星形成耗尽了所有残余的星际气体。气体库的瓦解机制与后期演化中的剥离相似。潮汐“搅拌”足以瓦解在像疏散星系群那样的低密环境下易于破碎的气体盘外围部分。

对“S0 源于被剥离气体的 S”这一想法, 支持证据^[22]有: (1) 团星系的形态分层, (2) 存在贫气旋涡星系, (3) 团中有充足的星系际介质; 反对证据^[22]则有: (1) 场中也有 S0, (2) 形态—密度关系对各类团几乎一致, (3) S 的 D/B 比 S0 大得多。流行的气体剥离机制则可归纳为表 3。

综上所述, 星系在各种环境下都存在形态—密度关系, 这给“S 被剥离气体形成 S0”的想法(即强调后期演化)带来了困难; 同时, 不同形态星系数的相对比例随密度变化缓慢, 则说明形态变化很可能发生在密度变化范围尚不很大的较早时期。但另一方面, 初始条件模型则难解释已观测到的形态对后期演化的依赖关系。初始条件与后期演化并重的模型能解释很多事实, 故颇具潜力, 其缺憾则是多少有失于简单性。总之, 星系环境—形态关系的本质(具体的物理机制和过程)问题, 当前似尚难一举攻克。

表 3 流行的星系气体剥离机制

气体剥离机制	星系内	星系风
	部起因	无气体补充的恒星形成
	星系外	星系—星系相互作用(碰撞、潮汐相遇、并合)
部起因	星系—星系团相互作用	星系—团内介质相互作用(热蒸发、冲压、湍流粘滞剥离)

3 简要的展望

展望未来, 人们无疑应在下述诸方面作出巨大努力:

(1) 进一步建立和完善各种机编星系团表, 以最终建立更均匀的全天团样本。

(2) 为了更明确地回答诸如“什么是星系团”或“星系团是什么”这样基本的问题, 必须大幅度地增加星系的红移测量。新一代的多目标光谱巡天设备将为此作出巨大贡献。

(3) 将团的观测和证认推向更高的红移。一方面要证认更多 $z \geq 0.5$ 的星系团, 另一方面要突破现有的星系团红移记录 $z \sim 1$ 。这可望对宇宙中结构的形成和演化、星系的形成和演化作出更严格的限制。

(4) 高红移团星系和场星系的形态观测, 至今仍是严重缺失的一环。这将有助于查明星系颜色和光谱的演化与形态演化的关系, 特别是与盘和核球之形成的关系; 有助于查明星系并合所起的作用, 以及星暴星系的确切形态等等。这应是空间望远镜的重要任务。

(5) 建立包括从紫外到近红外光谱和颜色资料的、更大更好的团样本。这不仅可确定演化趋势的可靠性, 而且可据此寻找因团而异的二级效应。对 $z \sim 1$ 的星系团而言, 8—10m 级的望远镜将起到很关键的作用。这些望远镜还将取得成批重要天体的高分辨高信噪比光谱, 以对恒星形成史模型给出更有说服力的证据。

(6) 建立更有代表性的、在各种环境下的高红移星系样本。例如, 在一个天区中完备地挑选场星系、团星系、以及超团星系, 进行横向和纵向的比较研究。不过, 这需要占有大量的望远镜观测时间。

(7) 强化不同波段、尤其是射电—光学—X 射线波段的综合性研究。90 年代大批空间天文观测设备投入运行, 必将为此带来新的福音。

(8) 星系团理论与宇宙学理论的整体性进展密不可分, 目前难以对此确切预言。但当上述 (1)—(7) 皆取得显著进展之时, 新的理论突破就可能随之到来。

在展望中特别值得提及的是, 现有的“经典”和“机编”星系团表之原始观测依据都是施密特望远镜巡天底片, 因此它们都不能摆脱照相观测固有的局限性。90 年代以来, 随着 CCD 探测器和多光纤光谱测量技术的迅速发展, 新一代的数字化星系红移测量“工程”便提到了议事日程上。当前的光谱巡天计划中, 最先进的如有美国普林斯顿大学、芝加哥大学等单位合作的 Sloan Digital Sky Survey (简称 SDSS) 计划。它用一架 2.5m 的望远镜, 可配备 600 多根光纤成批测量天体光谱。该镜视场约 7 平方度, 被测天区范围约 1 万平方度。它用图像的数字信号取代照相底片, 为数据的传递和计算机操作提供了极大的方便。该巡天计划预期将在 20 与 21 世纪之交完成, 届时将可获得暗至 18.7mag 的 10^5 个星系 (以及大量恒星和其他天体) 的光谱, 并得出它们的红移值。这对星系天文学和观测宇宙学家的诱惑力乃是不言自明的。

21 世纪初, 在 SDSS 计划之后, 我国天文学家目前正在筹划的“大天区面积多目标光纤光谱望远镜” (Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopy Telescope, 简称 LAMOST) 计划可望成为现实。LAMOST 是一架中星仪装置的卧式反射施密特望远镜, 其有效通光口径 4m, 焦距 20m, 视场达 21 平方度, 在常规观测程序下可测量暗至 20.7mag 的星系光谱, 同时使用的光纤可达 4000 路以上。即使仅用设备设计能力的 1/3, 天体光谱获得率仍可达: 低、中分辨率光谱每 3 年 10^7 个, 高分辨率光谱每 3 年 10^6 个。这将大大推进我国在恒星、银河系、星系、星系团、宇宙大尺度结构等各个天文层次的研究工作, 并在国际竞争中形成一定的优势。

LAMOST 巡天产生的星系红移表, 将可由妥善定义的自动算法来挑选星系团。由此获得的大而完备的星系团表, 可与深度较小的 (例如 SDSS 的) 星系团表相互比较, 以确立由不同巡天建立的星系团表和团样本之间的符合性和连续性。选团的算法需具体研究和发展, 但现行的各种办法可供直接使用和借鉴。例如, matched filter 算法 (如参见文献 [23]), 或 “friends-to-friends” 算法及其变种之类的更经典的技术。由此得到的星系表中, 除红移外尚可求得星系团的速度弥散与次结构、以及星系成分等重要特征。

LAMOST 巡天结果可供研究直到红移 ~ 0.5 的团演化。前已谈及, 在 $z \sim 0.3$ 处已出现团内星系成分的强烈演化 (如 B-O 效应); LAMOST 巡天则可系统地阐述该问题而直至 $z \sim 0.5$ 。又如, 宇宙中结构形成的不同模型对于团的平均数密度随红移的变化有着不同的预言 [24], 利用 LAMOST 红移巡天资料建立的团样本将成为检验这些模型的重要依据。该红移巡天还可用来研究星系团的富度分布、次级成团性、以及星系成分等随红移的变化; 团的各

种性质之间的相关性随红移的变化则对研究团的演化具有特别重要的意义^[25]。

如何有效地估计暗至 LAMOST 巡天极限 (20.7mag) 的星系团数目? SDSS 报告针对他们自己的计划说道: “我们预期有多少个团? 在本光谱巡天的极限 (18.7mag) 处, 所能获得的最亮团星系红移约可到 $z \sim 0.3-0.4$, 一个 L_* (平均光度) 团星系的红移亦可到 $z \sim 0.1$ 。因此, 在 $z \sim 0.2$ 处, 本 3 维巡天至少将能获得几个 ($\sim 3-5$ 个) 团星系的红移。按照 Abell 团表的比例, 这样的团的数目, 对于富度 $R \geq 1$ 约为 1000, 对于 $R \geq 0$ 则约为 2000。对于 $z \leq 0.4$, 至少能测到最亮成员星系红移的星系团数增加到 $\sim (3-4) \times 10^3$ 。本巡天中的富团 ($R \geq 1$) 面密度, 对于 $z \leq 0.2$ 预期为每平方度 $\sim 0''.1$ 。据此相比似可认为, LAMOST 巡天将能得到不少于 $\sim 5 \times 10^3$ 个星系团。

参 考 文 献

- [1] Ellis R S. In: Kron R G ed. Evolution of the universe of galaxies: Edwin Hubble centennial symp., ASP Conf. Ser. 10, San Francisco: ASP, 1990: 248
- [2] Bower R G, Lucey J R, Ellis R S. M. N. R. A. S., 1992a, 254: 589
- [3] Bower R G, Lucey J R, Ellis R S. M. N. R. A. S., 1992b, 254: 601
- [4] Butcher H, Oemler A Jr. Ap. J., 1978, 226: 559
- [5] 卞毓麟, 刘健. 天文学进展, 1993, 11: 13
- [6] Koo D C. Ap. J., 1981, 251: L75
- [7] Dressler A. In: Faber S M ed. Nearly normal galaxies. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 276
- [8] Gunn J E. In: Frenk C S, Ellis R S, Shanks T *et al* eds. Dordrecht: Kluwer, 1989. 167
- [9] Dressler A, Gunn J E. In: Kron R G ed. Evolution of the universe of galaxies: Edwin Hubble centennial symp., ASP Conf. Ser.10, San Francisco: ASP, 1990: 200
- [10] Trevese D. In: Flin P, Duerbeck H W eds. Morphological cosmology. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 71
- [11] Lavary R J. In: Wieden R ed. Dynamics and interactions of galaxies. Berlin: Springer-Verlag 1990. 30
- [12] O'Connell R W. In: Kron R G, Renzini A eds. Towards understanding galaxies at large redshift. Dordrecht: Kluwer, 1988. 177
- [13] Aragón-Salamanca A, Ellis R S, Couch W J *et al*. M. N. R. A. S., 1993, 262: 764
- [14] Oemler A Jr. In: Fabian A C ed. Clusters and superclusters of galaxies. Dordrecht: Kluwer, 1992. 29
- [15] Giovanelli R, Haynes M P, Chincarini G L. Ap. J., 1986, 300: 77
- [16] Dressler A. Ap. J., 1980, 236: 351
- [17] Solanes J M, Salvador-Solé E, Sanromà M. A. J., 1989, 98: 798
- [18] Bian Yulin, Liu Jian, Zou Zhenlong. In: Börner G, Buchert T eds. Proc. of the 4th Max-Planck Society and Chinese Academy of Sciences workshop on high energy astrophysics, MPA/P8, 1993: 183
- [19] Bian Yulin. In: Sato H, Nakamura T eds. Proc. of the sixth Marcel Grossman meeting on general relativity, Singapore: World Scientific, 1992: 958
- [20] Haynes M P. In: Oegerle W R, Fitchett M J, Danly L eds. Clusters of galaxies. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. 177
- [21] Kenney J D P. In: Thronson H A, Shull J M eds. The interstellar medium in galaxies. Dordrecht: Kluwer, 1990. 151
- [22] Haynes M P. In: Dickey J M ed. The Minnesota lectures on clusters of galaxies and large-scale structure. San Francisco: ASP, 1988. 71
- [23] Gunn J E. In: Oegerle W R, Fitchett M J, Danly L eds. Clusters of galaxies. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 341
- [24] Peebles P J E, Daly R, Juskiewicz R. Ap. J., 1989, 347: 563
- [25] Dressler A. Annu. Rev. Astron. Astrophys., 1984, 22: 185

(责任编辑 刘金铭)

Galaxy Clusters in Visible Light (II): Evolution Environment and Morphology with a Brief Prospect

Bian Yulin

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

Abstract

While the nature, behaviour, and evolution of galaxy clusters is such a wide research field, only some of their optical properties are underlined in the present review. The whole article is divided into two parts. The first part is contributed to discuss cluster catalogues, large-scale distribution, and some general characteristics of galaxy clusters and has been published in *Progress in Astronomy*. In this second part, the evolution of cluster galaxies, relations between environmental conditions and morphological types of member galaxies of cluster are discussed and finally a brief prospect for further studies in this research field is given.

Key words galaxies: clusters of—galaxies: evolution—galaxies: interaction—galaxies: structure—galaxies: fundamental parameters