

# 光学选类星体光度函数的演化\*

黄克谅

(南京大学天文系)

## 提 要

本文评述了光学选类星体光度函数演化的研究方面取得的进展。文中介绍了最新的巡天资料和各种演化模型,并对研究结果进行了讨论。

## 一、序 言

类星体的光度函数定义为单位体积单位(绝对)星等间隔(或单位光度间隔)内的类星体数目。光度函数对星等积分,即为单位体积内类星体的总数。显然,光度函数是空间坐标的函数。按照流行的观点,类星体的红移可解释为宇宙学红移,因而可用红移  $Z$  来代替空间坐标。如果采用标准宇宙模型,红移  $Z$  又同宇宙时直接联系起来。类星体光度函数的演化就是指光度函数随红移或宇宙时的变化。

类星体的光度函数为什么具有这样或那样的形状,光度函数又怎样随红移而变化,这些显然取决于类星体诞生时的条件和类星体本身的物理特性。对类星体光度函数的研究无疑将为了了解类星体和星系的形成和演化以及它们的物理本质提供重要的线索。另外,为了了解星系际介质的电离平衡从而对星系际介质进行深入研究,为了了解 X 射线和  $\gamma$  射线背景辐射的性质,也需要深入研究类星体的光度函数及其演化。

光度函数是类星体的一种统计特征,光度函数的研究自然离不开类星体样品的选取。绝大部分类星体是通过光学方法发现的。近年来已积累了大量光学选类星体的资料,出现了好几个光学选类星体的完备样品。我们关于类星体光度函数及其演化的知识主要来自光学选类星体样品。本文只讨论光学选类星体。第二节将简要介绍几个主要的光学巡天结果。第三节讨论类星体光度函数演化的证据。第四节介绍光度函数及其演化的数学描述。最后一节是简短的讨论。

## 二、类星体的光学巡天

光学巡天是发现类星体的最有效的手段。光学巡天最主要的方法是颜色方法和无缝光谱技术。前者是通过两色或多色测光,从颜色上把类星体同通常的恒星区别开来,以发现类星体。后者则是通过搜寻有发射线的恒星状天体来发现类星体和具有长而平的连续谱(long and flat

1988年11月19日收到。

\* 国家自然科学基金会资助项目。

continuum)特征的紫外超天体。

### 1. 颜色选类星体样品

目前积累的颜色选类星体完备样品主要有:

**帕洛玛亮类星体巡天(BQS):** BQS是Palomar-Green(PG)巡天的一部分[1]。该巡天采用两色方法,搜寻紫外超类星体。颜色判据是 $U - B \leq -0.44$ 。巡天的面积达10714平方度,共发现114个类星体,其中的22个可能是Seyfert I星系或低光度类星体。样品的极限 $B$ 星等为16.16等。由于搜寻的是紫外超天体, $Ly\alpha$ 线的影响使得此样品不可能包含 $Z \geq 2.2$ 的类星体。对这个样品的完备性进行过比较详细的研究。Schmidt和Green[1]认为,不完备性可能主要由Mg II发射线和“3000 Å 隆起”的影响而遗漏了一些 $0.6 \leq Z \leq 0.8$ 的类星体。他们估计,不完备性大约为12%。然而,Wampler和Ponz[2]估计,BQS的不完备性可能达到25%。这个样品在研究类星体光度函数的演化中非常重要,因为它提供了亮端的资料。

**AB样品和BF样品** AB样品是第一个完备的紫外超类星体样品。它是根据Braccesi等人[3]编辑的一个包含175个紫外超天体的表选取的。巡天面积为36平方度,颜色判据为 $U - B < -0.30$ ,共有18个类星体,极限星等为 $B = 18$ 等。BF样品是根据Formiggini等人[4]给出的候选天体表选取的。巡天面积为1.72平方度,选取UVX类星体,颜色判据为 $U - B \leq -0.40$ 。大部分分光工作由Marshall[5]完成。BF样品共包含35个类星体,其中一部分与AB样品重复。极限星等为 $B = 19.80$ 等。

**中等亮类星体样品(MBQS)** 这个样品是Mitchell等[6]根据一份由半定量的三色测光方法选取的紫外超天体表[7-10]而得到的。巡天共包含5个天区,面积约110平方度。共发现31个类星体,极限星等分别为17.6等(对其中的4个天区)和17.2等(对另一个天区)。

**DHM样品** 这也是一个紫外超类星体样品[11]。巡天区域包括6个高银纬星场,约120平方度,最新发表的观测资料已证实了420个类星体。巡天的极限星等为 $B = 20.9$ 。采用两色方法。文献[11]详细讨论了这份巡天样品的各种不完备性,指出DHM样品的不完备性约为10%。

**Koo和Kron的暗类星体巡天** 这是用UJFN四色测光做的深度巡天。巡天的区域为北银极(SA57)附近的0.29平方度天区。选星的标准是在颜色图(如 $U - J, J - F$ )上选取那些偏离正常恒星颜色的类星状天体[12,13]。共发现30个类星体,极限星等为 $B = 22.6$ 等。这个样品是迄今所有的完备样品中极限星等最暗的,它提供的暗类星体样品决定了计数-星等曲线的暗端。这个巡天由于采用了四色测光,样品中包含了一些红移 $Z > 2.2$ 的类星体,最大红移达3.12。Koo和Kron[13]估计,样品的不完备性小于20%。

**SA94类星体样品** 这个样品是建立在几个独立的巡天所提供的类星体候选者表的基础上的。巡天包括物端棱镜巡天[14,15,16]和UVX天体巡天[10,17]。巡天的面积约40平方度,迄今已证认了100个类星体,其中82个位于中心10平方度区域内,构成一个完备样品,极限星等为 $B = 19.0$ 等[18]。由于有物端棱镜巡天提供的资料,这个样品包含一些 $Z > 2$ 的类星体。

### 2. 无缝光谱技术

物端棱镜巡天的优点是能够发现大量的类星体。特别是,当用Ⅲ.J底片时,能够非常有效地发现 $1.8 < Z < 3.5$ 的类星体。然而,物端棱镜巡天是搜寻有发射线,特别是 $Ly\alpha$ 发射线

的天体。在搜寻过程中,发射线的等值宽度起了决定性的作用。因此,为了估计样品的不完备性,必须知道发射线等值宽度的内禀分布及随红移的变化。但这一点却有很大的不确定性。由于对物端棱镜巡天样品,特别是小红移部分的完备性研究得很不够,在分析类星体光度函数时一般都不直接利用这些样品。可是,物端棱镜巡天提供了大量的类星体样品,较好地反映了类星体按红移的分布,特别是对于  $Z > 1.8$  的分布。因此,物端棱镜样品可用来检验各种光度函数演化模型。

早期的工作如 Hoag 和 Smith [19] 的样品,巡天是用 4 米镜上的透射光栅-棱镜组合系统得到无缝光谱,从而选取类星体候选天体并最终证认了 [20] 66 个类星体,其中 42 个的  $Z > 2$ , 3 个的  $Z > 3$ 。Osmer 和 Smith [21] 用 Curtis Schmidt 望远镜进行了物端棱镜巡天,发现了 80 个类星体,其中 80 个  $2 < Z < 3$ , 6 个  $3 < Z < 4$ 。近年来发表了更多的无缝光谱巡天结果。Kunth 和 Sargent [22] 巡天 110 平方度,极限星等约 19.5 等,发现了 76 个类星体,其中 59 个的  $Z > 1.6$ 。Harzard 等 [23] 巡天 612 平方度,找到了 50 个红移在  $2.57 < Z < 3.34$  间的类星体。Crampton、Cowley 和 Hartwick [24] 利用 CFHT 进行了小天区 (4.1 平方度) 的深空无缝光谱巡天,探测到 163 个类星体,极限星等为 20.5,红移最高达 3.4。APM 巡天 [25] 的目标是发现 1000 个以上的类星体,以研究类星体的物理性质和宇宙演化。目前已在室女团方向 102 平方度天区内证认出 192 个类星体。PFUEI 巡天 [26,27] 是用 5 米望远镜进行的深空无缝光谱巡天。这个巡天的一个明显结果是没有探测到  $Z > 3$  的类星体。可是,在随后的巡天工作中, Schmidt 等 [28] 又探测到一些  $Z > 3$  的类星体。高红移类星体的探测对于研究光度函数的演化极为重要,加之自 Osmer [29] 预言存在着  $Z \approx 3.5$  的红移截断以来,的确很少发现大红移类星体,不少的物端棱镜巡天都致力于发现  $Z > 3$  的类星体。近年来在这方面也已取得了很大的成功 [30, 31, 32]。

### 三、光度函数的演化

#### 1. 光学选类星体计数

计数是研究空间分布的重要手段。计数的结果直接反映了空间密度是否均匀,或者随距离有否系统的变化。早年对河外射电源的计数就表明,河外射电源的分布是不均匀的,射电源随  $Z$  而演化。对类星体的计数结果成为类星体光度函数演化的第一个证据。

在平直空间,  $\frac{d \lg N(<B)}{dB} \sim 0.6$ ,  $N(<B)$  为星等小于  $B$  的星数。对于 Friedman 宇

宙,计数依赖于光度函数  $\Phi(M, Z)$ 。如果光度函数不演化,即  $\Phi(M, Z) = \Phi(M, 0)$ ,且  $M$  与  $Z$  无关,则有

$$N(<B) = \frac{\Omega}{4\pi} \int_0^{M_0} \Phi(M, 0) dM \int_0^{Z_{\max}} \frac{dV}{dZ} dZ \quad (1)$$

$\Omega$  为巡天区域,  $V$  为红移  $Z$  处包含的体积,  $Z_{\max}$  则由下式决定:

$$M = B - 5 \lg A(Z_{\max}) + \text{const.} \quad (2)$$

$A(Z)$  为光度距离,上式中不考虑  $k$  改正。 $M_0$  为常数,对应于类星体的最小光度。只要给定了宇宙模型和  $\Phi(M, 0)$ , 不难算出计数曲线  $N(<B) \sim B$ 。

对于计数曲线的亮端, 可观测的体积  $V$  很小, 计数曲线的斜率应与平直空间下的斜率相近。Braccesi 等人[33]的计数结果表明, 斜率  $\sim 0.86$ , 远大于 0.6。这表明类星体的空间密度随  $Z$  很快的上升。图 1 是由各巡天结果得到的计数—星等图; 表明 No Evo 的曲线是  $q_0 = 0$  时类星体均匀分布(不演化)下的理论曲线, 假定  $\Phi(M, 0)$  为文献[1]所给的形式。这表明观测到的计数远陡于不演化时的理论曲线。合理的解释是类星体的数密度随  $Z$  而增大, 或者, 下面将要看到, 光度随  $Z$  而增加。

## 2. $V/V_{\max}$ 检验

计数结果的解释强烈地依赖于光度函数。Schmidt [34] 提出了一种方法能更直接地检验类星体空间分布的均匀性, 称为  $V/V_{\max}$  检验。后来, Avni 和 Bahcall[35] 发展了这种检验。按照  $V/V_{\max}$  检验, 对于一个以极限星等(流量)表征的完备样品, 如果空间分布是均匀的, 则  $V_i/V_{\max, i}$  为  $[0, 1]$  间均匀分布的随机变量, 因而其平均值  $\langle V_i/V_{\max, i} \rangle = 0.5$ 。其中  $V_i$  为第  $i$  个类星体所占据的空间体积,  $V_{\max, i}$  为该类型星体所能占据的最大体积, 即该类星体远离到仍属于该完备样品(此时类星体的视星等将等于该完备样品的极限星等)时所占据的体积。这个检验十分有效。对很多完备样品, 如 BQS [1], MBQS[36] 等等, 都进行了  $V/V_m$  检验。结果表明, 所有样品的  $\langle V/V_m \rangle$  都大于 0.5。这说明类星体的空间分布是不均匀的, 且空间密度随  $Z$  而增加。

## 3. 红移分布

原则上红移分布也可用来考察类星体的空间分布。对于 Friedman 宇宙, 空间均匀分布的类星体将有如下的按红移的分布:

$$N(Z) = \frac{4\pi c^3}{H_0^3} \frac{[Zq_0 + (q_0 - 1)(\sqrt{2q_0Z + 1} - 1)]^2}{q_0^4(1+Z)^3(2q_0Z + 1)^{1/2}} n_0 \quad (3)$$

其中  $n_0 = \int \Phi(M) dM$  为共动体元的数密度。这种分布与观测样品的红移分布相差甚远, 预示着类星体的光度函数存在着强烈的演化。

## 4. 不同红移处的光度函数

如果有足够多的类星体样品, 我们可以按不同的红移区间求出各自的光度函数。这将是光度函数演化的最直接的证据。图 2 是利用一些完备样品求出的结果[11], (a) 为 DHM 样品; (b) 为 DHM 样品加 BF 样品; (c) 为 (b) 再加上 BQS 样品; (d) 为 EQS 样品加 BF 样品。图中的曲线为演化模型给出的光度函数。图 2 明显地说明, 不同  $Z$  处的光度函数的确是在演化。

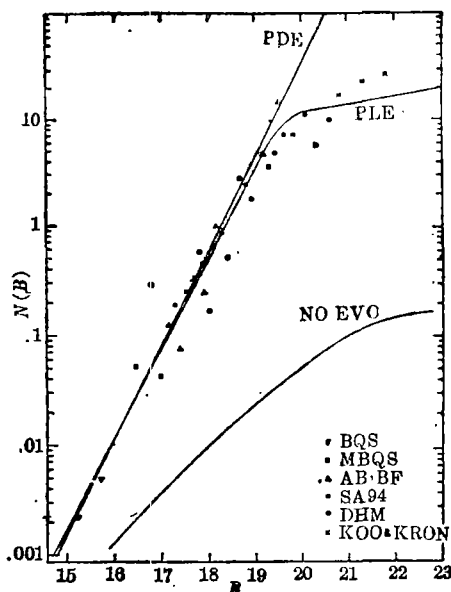


图 1

#### 四、光度函数演化的数学描述

目前对光度函数的研究主要是描述。也就是说,从分析观测资料入手,建立一些模型来拟合观测资料,求出光度函数的形式及其演化方式。已提出的演化模型有:

##### 1. 纯密度演化

这是 Schmidt<sup>[34]</sup> 最早提出的演化模型。按照这种模型,类星体的光度函数可写为

$$\Phi(M, Z) = f(Z)\Phi(M, 0) \quad (4)$$

$\Phi(M, 0)$  为本地 ( $Z=0$ ) 光度函数,  $f(Z)$  为演化函数。在纯密度演化情形,光度函数按  $M$  的形状不随  $Z$  而变,但共动坐标系里的类星体的数密度随  $Z$  而演化。 $f(Z)$  的数学形式通常假设为  $(1+Z)^k$  或  $[V(Z)]^k$ ,  $k$  为常数。 $k$  取适当的数值,可以使计算出来的计算曲线与  $B < 19$  等的观测资料拟合得很好。但是,深度巡天的结果,特别是 Koo 等人<sup>[13]</sup> 的资料表明,计数曲线在  $B \geq 20$  等时变平了,与纯密度演化预言的结果不符。图 1 清楚地表明了这一点 (PDE 曲线)。

##### 2. 纯光度演化

这种模型是假设类星体光度函数的形状及类星体数密度不随  $Z$  变化,但类星体的光度随  $Z$  而变。光度函数可写为:

$$\Phi(M, Z) = \Phi(M_0 - \Delta M(Z), 0) \quad (5)$$

$M_0$  是  $Z=0$  时的绝对星等。不少研究者采用纯光度演化解释类星体计算,如文献<sup>[33, 37, 38]</sup> 等。

纯密度演化实质上是假定  $Z$  处的光度函数相对于  $Z=0$  处光度函数沿纵轴 (数密度) 移动了  $(1+Z)^k$  倍;纯光度演化则是假定  $Z$  处的光度函数相对于  $Z=0$  处光度函数沿横轴 (光度或绝对星等) 移动了  $\Delta M(Z)$ 。正如文献<sup>[34]</sup> 所指出的,如果光度函数是光度的幂谱形式,则纯密度演化与纯光度演化是等价的。如果光度函数不是幂谱,在解释计数曲线方面可能有很大差别。

对于近年来出现的完备样品,利用纯光度演化模型可以较好地拟合观测资料<sup>[5, 11, 13]</sup>。图 1 表明,在纯光度演化的假定下,计数曲线在  $B \simeq 20$  附近开始变平 (PLE 曲线)。

光度演化的数学形式常取为

$$M = M_0 - 2.5k \log(1+Z) \quad (6a)$$

或 
$$M = M_0 - 1.086k\tau(Z) \quad (6b)$$

$\tau(Z)$  为光行时间或后视时间,以宇宙年龄为单位。前种形式意味着光度演化正比于  $(1+Z)^k$ , 后者则正比于  $e^{k\tau}$ 。然而,Marshall<sup>[40]</sup> 对 BQS 和 BF 样品的研究,Boyle 等<sup>[11]</sup> 对 DHM 样品的研究表明,指数形式的光度演化应予排除,因为在拟合观测资料时不可能得到很高的置信度。

##### 3. 依赖于光度的密度演化

Schmidt 和 Green<sup>[1]</sup> 在研究 BQS 样品时发现,不同光度的类星体的演化速率不一样,高光度类星体演化得更强烈一些。因此,不可能用同一个演化规律来描述全部类星体样品。在纯密度演化的基础上他们提出了依赖于光度的密度演化,其具体形式为

$$\Phi(M, Z) = \Phi(M, 0) e^{(kM_0 - M)\tau(Z)} \quad (7)$$

$\tau(Z)$  为光运行时间,  $k, M_0$  为常数。为确保高光度类星体演化得快, 要求  $M < M_0$  时  $k > 0$ , 而对极低光度的类星体 ( $M > M_0$  时),  $k = 0$ 。

#### 4. 混合演化

这种模型既考虑光度演化, 又考虑密度演化, 具有多个参数。例如, Heisler 和 Qetriker<sup>[41]</sup> 为了拟合现有的观测资料, 特别是 BQS<sup>[1]</sup> 和微弱类星体巡天<sup>[13]</sup>, 提出如下形式的光度函数:

$$\Phi(M, Z) = n_0 \frac{\exp[j\tau(Z)(M_* - M)]}{l^{0.7}(1+l)^{3.8}} \quad (8)$$

式中  $M_* = M_0 - 1.086k\tau$ ,  $M_0 = -22.55$ ,  $l = L/L_* = 10^{-0.4(M - M_0)}$ ;  $n_0, j, k$  为常数。 $j = 0$  对应于纯光度演化, 演化是指数形式的, 演化的总量为  $\Delta M = 1.086k\tau(Z)$ ;  $j \neq 0$  大体上对应于依赖于光度的密度演化, 与其略有不同的是  $M_*$  还随  $Z$  而变。分母中的指数 0.7 和 3.8 分别是为了拟合本地光度函数的暗端和亮端。这种混合演化模型在解释现有的巡天资料方面较为成功, 但模型的自由参数更多。

此外, 在讨论光度函数演化时, 还需考虑某些因素对演化问题的影响, 如, Wampler 和 Ponz 讨论了观测中的选择效应产生的影响等。这类问题的深入研究与光度函数演化问题的研究有着密切的联系。

## 五、结果与讨论

1. 由于光度函数的演化, 不同  $Z$  处的光度函数是不同的。但在各个  $Z$  处的资料并不很多, 直接拟合观测资料以求得光度函数的形状是困难的。光度函数的形状与模型有关。现有的分析表明, 光度函数肯定不能用  $M$  的单一的幂律谱来表示。在高光度端, 光度函数很陡; 在低光度端, 较平。粗略地说, 可以用两个幂谱来表示。图 2 是纯光度演化模型得到的结果<sup>[11]</sup>。图 3 是 Koo 和 Kron<sup>[13]</sup> 利用暗类星体巡天及有关资料得到的结果。两张图都明确地说明, 光度函数的暗端较平, 亮端较陡。同时, 由平到陡的转折点随着红移的增加而逐渐向亮端移动。Heisler 和 Ostriker<sup>[41]</sup> 的混合演化模型也有类似的结果。这种现象是光度演化的直接结果。在图 2 的情形, 各种光度的类星体“均匀地”演化, 光度演化的速度只决定于  $Z$ 。在图 3 的情形, 低光度类星体几乎不演化, 而高光度类星体的光度急剧演化。

计数一星等曲线是对各种演化模型最重要的检验。纯密度演化模型肯定可以排除。其他各种模型预言的计数一星等曲线在  $B \lesssim 19-20$  区域没有显著差别, 都与观测资料拟合得很好, 而且都预言了在  $B \gtrsim 20$  时曲线变平。但在考虑了全部观测资料后, 差别就显示出来了。文献<sup>[41]</sup> 考查了各种模型, 要求模型能拟合 BQS 及 Koo 和 Kron 的资料。混合演化模型、纯光度演化模型和依赖于光度的密度演化模型下的计数一星等曲线在微弱星等 ( $B > 20$ ) 处都变平了; 但相比之下, 依赖于光度的密度演化模型预言的计数曲线最陡, 纯光度演化预言的最平。纯光度演化要能拟合 Koo 和 Kron 的资料, 在亮端 ( $B < 16$ ) 却预言了过多的类星体。依赖于光度的密度演化虽然可以同时较好地拟合暗端和亮端, 但与中等亮度的计数结果偏离较大。统计检验表明, 出现这两种情况的概率都小于 1%。只有混合演化模型能较好地拟合计数一星等曲线, 出

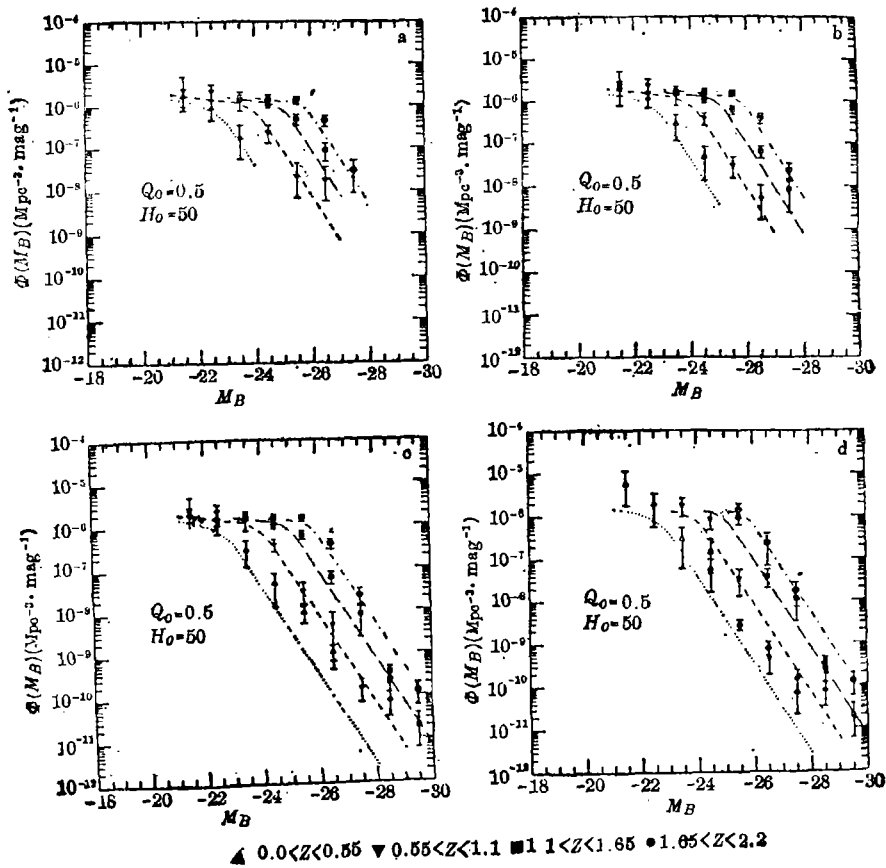


图 2

现这种情况的概率为35%，可以接受。不过，所有这些讨论都是在(8)式这种具体的光度函数形式下得到的。

2. 在确定了演化方式以后，本地光度函数可以很容易确定。因此，原则上说，本地光度函数可以作为对演化方式的一种检验。另一方面，如果已知本地光度函数，自然会对演化规律产生制约。

小红移类星体很少，难于从观测直接求出本地光度函数。通常用活动星系核特别是 Seyfert 星系核的光度函数作为类星体的本地光度函数。Cheng 等[42]、Veron[43]、以及 Marshall[44]都在不同的假设下求得 Seyfert 星系核的光度函数。考虑到各种不确定性，各种模型求出的本地光度函数同 Seyfert 星系核的光度函数是相容的。

3. 红移分布是检验类星体演化模型的另一重要手段。对于  $Z < 3$  的分布，纯光度演化模型(如[11]，[40])很好地再现了观测资料。图 4 引自文献[11]，可以作为一个很好的例子。混合演化模型[(8)式]也能很好地拟合观测资料[41]。但依赖于光度的密度演化模型在解释观测资料方面有困难[41]。

严重的问题出现在  $Z > 3$ 。早年 Osmer [29]的研究表明， $Z > 3$  的类星体很少，并由此提出

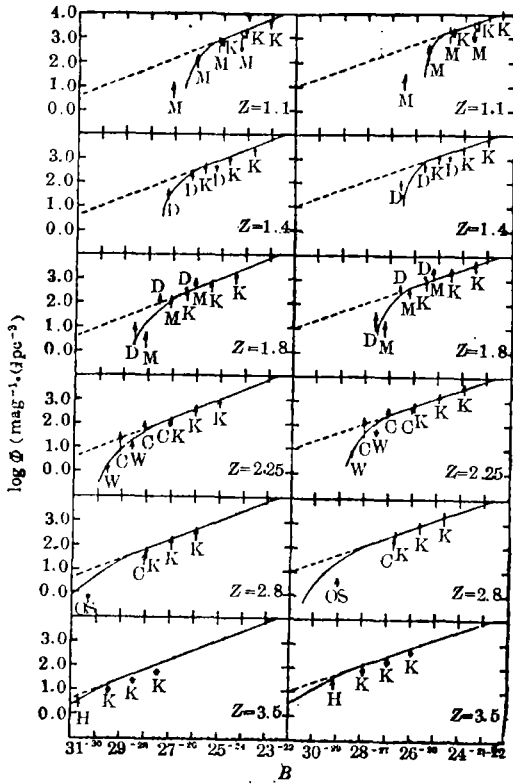


图 3

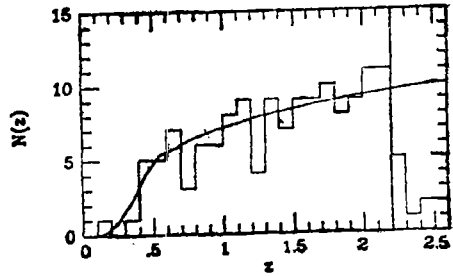


图 4

红移截断问题。之后的许多观测(如[23—28])似乎证实了 Osmer 的结果,或者并不矛盾。特别是, Koo 和 Kron[13] 的深度多色巡天也只发现了很少的高红移类星体。可是,各种演化模型,包括纯光度演化和混合演化模型,都不能拟合观测资料,模型预言的  $Z > 3$  的类星体数目远大于实际观测到的数目。特别是对于微弱星等更是如此。文献[41]指出,调整宇宙模型的参数  $q_0$  和演化模型的参数都不可能解决这个矛盾。这是现在各种演化模型碰到的基本困难。Heisler 和 Ostriker[52] 认为,如果考虑插入尘埃星系的消光作用,这个矛盾可得以解决。

近年来在探测大红移类星体方面取得了不少进展,相继发现了一些  $Z > 3.5$  的类星体,如文献[28, 30—32, 45—46]等,特别是在 1988 年初,发现了  $Z = 4.42$  的目前最大红移的类星体。其中,有些巡天结果与以前的结论并不矛盾,有些巡天结果并不构成完备的样品。估价这些巡天的意义尚需做进一步研究。

4. 光度函数演化的物理意义是什么?演化对类星体模型有什么限制?观测上能找到对演化模型的支持吗?在光度函数的研究方面,这些都是极为重要的问题。

基本的演化模型是纯密度演化和纯光度演化。对于密度演化,类星体在共动坐标系里的数密度随  $Z$  有很大的变化。这就要求类星体一定是短时标现象。由于宇宙较早期的类星体空间密度远大于目前时刻的密度,一定会有大量的已经“熄灭”了的类星体。如果类星体的时标为  $10^7 - 10^8$  年,其能源是黑洞吸积,吸积率每年  $0.1 - 1 M_{\odot}$  那么,在相当多的“正常”星系(假定类



星体是星系核活动现象)中都应有 $10^7-10^8 M_{\odot}$ 的黑洞。目前观测上还很难找到支持或反对星系中心存在大黑洞的证据。如果类星体是短寿命的,它们可能产生于宇宙发展的不同时刻,而且不同的时刻诞生率也不同。Yee 和 Green[47]发现,常可在富星系团附近找到  $Z > 0.55$  的射电类星体,但小红移类星体都没有这种现象。这似乎说明不同红移的类星体产生于不同的条件,因而是对密度演化的间接支持。

纯光度演化意味着类星体可能是长寿命现象,它们也许在大致相同的时刻产生,然后逐渐变暗。在这种情形下,类星体的寿命应为  $10^9-10^{10}$  年。如果能源仍为黑洞吸积,那么,在即将熄灭的类星体的中心应有质量达  $10^8-10^{10} M_{\odot}$  的大黑洞。就是说, Seyfert 星系核心可能有大量质量黑洞。NGC4151 的 IUE 观测资料的分析表明,这个 Seyfert 星系中心的致密天体的质量达  $0.5-1.0 \times 10^8 M_{\odot}$ 。这似乎是对此理论的支持。当然,观测资料太少了,而且很不确定。另外,“燃料”的补充也有问题。Crampton 等[48]对 CHFT 巡天的类星体样品的分析表明,最邻近间距与红移没有明显的关系。这似乎说明,空间密度不随  $Z$  变化,有利于光度演化模型。

光度函数的演化同类星体物理特性的演化的内在联系目前尚不清楚,对各种演化模型的直接观测证据还很少,有待于今后进一步研究。

5. X 射线背景对光度函数演化模型的选取施加了限制。反之,若对光度函数的演化有正确的描述,将促进我们更深刻地理解 X 射线背景。

类星体是强 X 射线源。文献[49]首先提出,空间上未分解开的遥远类星体对观测到的 X 射线背景有重要贡献。知道了类星体的光度函数以及光学辐射和 X 射线辐射的性质以后,就可以估计类星体对 X 射线背景的贡献。Schmidt 和 Green [50]在假定密度演化的条件下估计了类星体和活动星系核对 X 射线背景的贡献。他们发现,类星体和高光度活动星系核的贡献在合理的范围内;但低光度 ( $M > -21.5$ ) 活动星系核的贡献太大,超过观测到的背景强度。这对纯密度演化不利。Tucker 和 Schwartz[51]采用形如(6a)的纯光度演化模型,估计  $Z < 3$  的类星体的 X 射线辐射占背景的 80%;但(6b)形的纯光度演化模型得到的背景辐射值太大,这种光度演化模型应予排除。文献[11]的研究证实了上文的结论。文献[41]估计了纯光度演化、依赖于光度的密度演化和混合演化((8)式)模型对 X 射线背景的贡献后发现,依赖于光度的密度演化模型预言的 X 射线背景超过观测值,而其他两个模型的预言值在合理的范围内。上述结果不难理解,纯密度演化和依赖于光度的密度演化模型预言的计数-星等曲线在暗端太陡了,光学上微弱的类星体太多,而低光度类星体的光学-X射线“谱指数” $\alpha_{OX} = \frac{1}{2.6} \lg(L_{2500}/$

$L_X)$  ( $L_{2500}$  和  $L_X$  分别为 2500 Å 和 2keV 处的单色光度)反而较小。

### 参 考 文 献

- [1] Schmidt, M. and Green, R. F., *Ap. J.*, **269** (1983), 352.
- [2] Wampler, E. J. and Ponz, D., *Ap. J.*, **298** (1985), 119.
- [3] Braccési, A., Formigini, L. and Gondolf, E., *A. Ap.*, **5** (1970), 264.
- [4] Formigini, L., Zitelli, V., Bonoli, F. and Braccési, A., *A. Ap. Suppl.*, **39**(1980), 129.
- [5] Marshall, H. L. et al., *Ap. J.*, **283** (1984), 50.
- [6] Mitchell, K. J., Warnock, A. and Usher, P. D., *Ap. J.*, **287** (1984), L3.

- [ 7 ] Usher, P. D., *Ap. J. Suppl.*, **46** (1987), 117.
- [ 8 ] Usher, P. D., Mattson, D. and Warnock, A., *Ap. J. Suppl.*, **48** (1982), 51.
- [ 9 ] Usher, P. D. and Mitchell, K. J., *Ap. J. Suppl.*, **49** (1982), 27.
- [ 10 ] Huang, K. L. and Usher, P. D., *Ap. J. Suppl.*, **56** (1984), 393.
- [ 11 ] Boyle, B. J., Fong, R. Shanks T. and Petarson, B. A., *MNRAS.*, **227** (1987), 717.
- [ 12 ] Koo, D. C., Kron, R. G. and Cudworth, K. M., *PASP*, **98** (1986), 285.
- [ 13 ] Koo, D. C. and Kron, R. G., *Ap. J.*, **325** (1988), 92.
- [ 14 ] Barbieri, C. and Cristiani, S., *A. Ap. Suppl.*, **63** (1986), 1.
- [ 15 ] Barbieri, C., Iovimo, A., Cristiani, S. and Nota, A., *A. Ap. Suppl.*, **67** (1987), 551.
- [ 16 ] Huang, K. L. and Huang, J. H., *A. P. S. S.*, **125** (1986), 85.
- [ 17 ] Cristiani, S. et al., *A. Ap. Suppl.*, (1988) (in press).
- [ 18 ] Barbieri, C., Preprint (1988).
- [ 19 ] Hoag A. A. and Smith, M. G., *Ap. J.*, **217** (1977), 362.
- [ 20 ] Osmer, P. S., *Ap. J. Suppl.*, **42** (1980), 523.
- [ 21 ] Osmer, P. S. and Smith, M. G., *Ap. J. Suppl.*, **42** (1980), 333.
- [ 22 ] Kunth, D. and Sargent, W. L. W., *A. J.*, **91** (1986), 761.
- [ 23 ] Harzard, C., Morton, D. C., McMahon, R. G., Sargent, W. L. W., Terlevich, R., *M. N. R. A. S.*, **223** (1987), 129.
- [ 24 ] Crampton, D., Cowley, A. P. and Hartwick, F. D. A., *Ap. J.*, **314** (1987), 129.
- [ 25 ] Foltz, C. B. et al., *A. J.*, **94** (1987) 1423.
- [ 26 ] Schmidt, M., Schneider, D. P. and Gunn, J. E., *Ap. J.*, **306** (1986), 411.
- [ 27 ] Schmidt M., Schneider, D. P. and Gunn, J. E., *Ap. J.*, **310** (1986), 518.
- [ 28 ] Schmidt, M., Schneider, D. P. and Gunn, J. E., *Ap. J.*, **316** (1987), L1.
- [ 29 ] Osmer, P. S., *Ap. J.*, **253** (1982), 28.
- [ 30 ] Anderson, S. F. and Margon, B., *Nature*, **327** (1987), 125.
- [ 31 ] Hanzard, C., McMahon, R. G. and Sargent, W. L. W., *Nature*, **322** (1986), 38.
- [ 32 ] Warren, S. J. et al., *Nature*, **325** (1987), 121.
- [ 33 ] Braccetti, A., Zitelle, V., Bónoli, F. and Formiggini, L., *A. Ap.*, **85** (1980), 80.
- [ 34 ] Schmidt, M., *AP. J.*, **151** (1968), 393.
- [ 35 ] Avni, Y. and Bahcall, J. N., *Ap. J.*, **236** (1980), 694.
- [ 36 ] Huang, K. L., in proceedings of the Third China- Japan Workshop on Galaxies, **68**, (1987).
- [ 37 ] Mathez, G., *A. Ap.*, **53** (1976), 15.
- [ 38 ] Cheney, J. E. and Rowan-Robinson, M., *M. N. R. A. S.*, **185** (1981), 497, 831.
- [ 39 ] Longair, M. S. and Scheuer, P. A. G., *M. N. R. A. S.*, **151** (1970), 45.
- [ 40 ] Marshall, H. L., *Ap. J.*, **299** (1985), 109.
- [ 41 ] Heisler, J. and Ostriker, J. P., *Ap. J.*, **325** (1988), 103.
- [ 42 ] Cheng, F. Z., Danese, L., de Zotti, G. and Franceschini, A., *M. N. R. A. S.*, **212** (1985), 857.
- [ 43 ] Veron, P., *A. Ap.*, **78** (1979), 46.
- [ 44 ] Marshall, H. L., *A. J.*, **94** (1987), 628.
- [ 45 ] Schmidt, M., Schneider, D. P. and Gunn, J. E., *Ap. J.*, **321** (1987), L7.
- [ 46 ] Warren, S. J., Hewett, P. C., Osmer, P. S. and Irwin, M. J., *Nature*, **330** (1987), 453.
- [ 47 ] Yee, H. K. C. and Green, R. F., *Ap. J.*, **319** (1987), 28.
- [ 48 ] Crampton, D., Cowley, A. P. and Hartwick, F. D. A., *Ap. J.*, **314** (1987), 129.
- [ 49 ] Rowan-Robinson, M. and Fabian, A. L., *M. N. R. A. S.*, **170** (1975), 199.
- [ 50 ] Schmidt, M. and Green, R. F., *Ap. J.*, **305** (1986), 68.

- [51] Tucker, W. H. and Schwartz, D. A., *Ap. J.*, **308** (1986), 53,  
[52] Heisler, J. and Ostriker, J. P., *Ap. J.*, **332** (1988), 543.

(责任编辑 刘金铭)

## Evolution of the Luminosity Function of Optically Selected Quasars

Huang Keliang

(*Department of Astronomy, Nanjing University*)

### Abstract

This paper reviews the progress on studies of the cosmic evolution of the luminosity function of optically selected quasars. Survey data obtained in recent years and models of cosmic evolution are introduced and results discussed.