现代宇宙学的兴起

红移带来了宇宙学研究的勃兴，但现代宇宙学的源头还得从牛顿宇宙学讲。

建立在牛顿力学基础之上的古典宇宙模型，原则上是一个无限空旷的宇宙空间。别看牛顿力学只涉及一个太阳系，可是它却预设了宇宙的无限性。这一点是由它的绝对时空观来保证的，因为无限的绝对空间是新物理学内在的必然要求。牛顿惯性定律说，一个不受外力的物体将保持其静止或匀速直线运动状态不变，那么，宇宙必须为一个自由运动粒子准备无限的空间以保持其匀速直线运动状态；牛顿的万有引力定律也暗含了以无限远处的引力势为零作为边界条件。无限宇宙论是新物理学的宇宙理论，是纯粹的观念革命的产物，但它为天文学走出太阳系进入恒星宇宙奠定了思想基础。

在望远镜的帮助之下，人类的视野冲出了太阳系，进入了恒星世界。前面讲过，大约在19世纪上半叶，天文学家就已经能够测定恒星离我们的距离。在此之前，利用望远镜发现了比从前肉眼所能见到的多得多的恒星。

对于一个无限的宇宙，我们还能对它说些什么呢？说实话，如果宇宙是无限的，我们原则上建立不了一门宇宙学。宇宙学首先要求能够将宇宙当作一个整体看待，一个无限的宇宙何以能够被结成一个整体呢？

事实上，自哥白尼革命以来，人们所谓“宇宙”体系大多指的是太阳系理论，对整个恒星宇宙则无话可说。整个18世纪，人们谈论最多的是太阳系的起源问题。这个世纪对宇宙的另一个新认识，是建立了银河系的概念。

随着望远镜越做越大，发现的恒星越来越多。越过银河系，外头肯定还有无数的星系。牛顿的世界图景既然已经给我们预设了一个无穷无尽的空间，我们当然就可以设想在银河系之外还有无数的象银河系一样的星系。19世纪流行着“宇宙岛”的说法，说太阳系、银河系和其他星系，就象无限宇宙海洋中的一个一个岛。在一个岛的外边，总还有别的岛。

幸好，我们人类认识宇宙的历史，并不是象不少“无限论者”设想的那样没完没了、单调无味的重复；并不只是望远镜越做越大，看到的恒星数目越来越多这么简单。19世纪诞生的光谱分析法被用于天文学之后，对恒星的认识方法开始发生了质的变化：不仅能够知道恒星的力学性质，还能进一步了解它的物理性质。天文学走向了天体物理学，人类关于宇宙的知识更加丰富多样。

就在思想界默认牛顿力学预设的这个无限空旷的空间时，也有人发现，这个预设其实并不是没有毛病。这些发现之中最著名的是所谓“夜黑佯谬”，又称奥尔伯斯佯谬，因为据说是德国人奥尔伯斯(1758-1840)于1820年最先提出来的。奥尔伯斯说，如果宇宙空间是无限的，如果恒星均匀的分布在这无限的空间之中，如果每个恒星都象太阳那样发光，那么，我们就不应该有黑夜，我们的黑夜就应该象白天一样亮，而太阳就应该陷于一片光亮的背景之中，不为我们看到。

理由是这样的：恒星虽然离我们远从而光度减小，但只要它们均匀的分布，那么越远的地方恒星的数目也会越多，光度的减少量正好能被它们数目的增加所弥补。这就象一个人站在一个大森林里，四目望去，到处都是黑压压的树一样。

可是我们的经验却分明是，一旦太阳下山，天空就开始变黑，如果没有月亮，有时甚至会变得伸手不见五指。这是怎么一回事呢？

还有一个与无限空间有关的悖论叫做“引力佯谬”，又称“西里格佯谬”，是德国人西里格于1894年提出来的。按照万有引力定律，对于某一给定点而言，离它越远的地方引力势（与距离成反比）越小，直至无限远处为零。这意味着牛顿理论得以适用的宇宙，实际上是一个有限的宇宙。如果无限宇宙中处处均匀地存在着恒星，那么，宇宙中任何一点的引力势都会成为无穷大，所有的物质都会在这样强大的引力中被撕个粉碎，而这显然是不可能的。

为了避免夜黑佯谬和引力佯谬，一个比较简单地解决办法是，承认空间虽然是无限的但天体却不是无限分布。它们围绕着一个中心逐级成团，越远离中心则物质密度越小。宇宙天体呈等级式分布。这个宇宙模型被称做等级式宇宙体系，也叫沙立叶模型，是由美国天文学家沙立叶于1908年提出的。这个模型能够避免夜黑佯谬和引力佯谬，因为只要随着距离的增加，星体的数目增加得不要太快，则就可以消除夜黑困难。同样，由于宇宙物质实际上集中在一个有限的范围之内，是有限的，引力困难也可以消除。等级式宇宙模型假定宇宙的物质分布是不均匀的，调和了牛顿力学与无限宇宙之间的矛盾。

夜黑佯谬和引力佯谬，引起了人们对宇宙无限性的重新思考。一个物理理论如何能够处理一个无限的“实体”呢？问题的解决需等待现代宇宙学。

现代宇宙学有两个来源，它的理论来源是爱因斯坦的广义相对论，它的观测方面的来源则是大尺度红移现象的发现。

在牛顿理论中，时间和空间只是一个空空如也的筐子，是用来装物质的。它因为完全是空的，所以丝毫不影响物质及其运动。另一方面，由于它是空的，物质及其运动也不会影响到它，所以，牛顿的时间和空间是绝对时间和绝对空间。

爱因斯坦在他的狭义相对论中，打破了时间空间的绝对性，将它们与运动相联系。在广义相对论中，爱因斯坦进一步将物质与时间空间相关联，提出空间弯曲的概念，认为物质的质量将决定空间的弯曲程度。所谓引力究其实质是空间发生的弯曲。行星在太阳引力作用下围绕太阳旋转，在广义相对论看来应该理解为，太阳引力使其附近的空间发生了强烈的弯曲和封闭，行星在弯曲了的空间中做直线运动，但实际上围绕着太阳转动。

爱因斯坦在得出了他的引力场方程之后，马上联想到将整个宇宙做为考虑对象。宇宙论在落寞了几百年后，又开始复活，这要归功于近代科学骨子里面的希腊基因。爱因斯坦像开普勒一样，相信宇宙间的神秘的和谐，相信整个宇宙一定是一个和谐的整体。他要重新恢复希腊的宇宙概念，即cosmos，一个和谐的整体。

爱因斯坦注意到牛顿理论用于一个无限的宇宙必定会引起上面提到的引力悖论，而等级式宇宙模型继续延用牛顿的空间与物质不相干的古典观念，不符合相对论精神。按照广义相对论，只要宇宙空间的平均物质密度不为零，它的大尺度空间就不可能是平直的欧几里德空间，空间必定发生弯曲。

爱因斯坦设想了一个最简单的情形，即封闭的球面模型。他解释说，我们的宇宙可能是这样一个三维的无界的但却封闭有限的几何结构。这个几何结构是一个非欧几里德几何空间，生活在这个空间里的人们可以知道自己是否处在一个弯曲的空间之中，这只需测量一下三角形的内角和是不是180度就够了。如果是180度，则说明空间没有弯曲；如果不是180度，则说明空间弯曲了。这就是爱因斯坦设想的一个有限无界的宇宙模型。

爱因斯坦的宇宙模型不仅是有限无界的，而且也是静态的。他当时相信，宇宙整体上应该是静态的，但他的引力场方程只能得出一个动态解，所以他人为地加了一个宇宙常数，以维持宇宙的静态。

爱因斯坦的广义相对论问世之后，马上就有许多人据此构造宇宙模型。几乎与爱因斯坦同时，荷兰天文学家德西特得出了一个膨胀的宇宙模型。1922年，苏联物理学家弗里德曼得出了均匀各向同性的膨胀或收缩模型。1927年，比利时天文学家勒梅特再次独立地得到这一模型。弗里德曼后来发现，满足广义相对论、只有引力存在的宇宙模型必定是不稳定的，基于爱因斯坦的引力场方程所得到的宇宙模型必定是动态的，或者膨胀，或者收缩，而且膨胀和收缩的速度与距离成正比。

以弗里德曼模型为代表的相对论宇宙学一开始并不为人重视，因为它主要是一些数学推导，看不到物理内容。到了1929年，情况发生了重要的变化。哈勃定律公布后，人们惊喜地发现，它所展示的宇宙大尺度膨胀现象正是弗里德曼模型所预言的现象。科学界一下子被震动了，原来研究整个宇宙的宇宙学确实是可能的，它的预言居然被证实了。作为相对论之鼻祖的爱因斯坦也为这一发现欢呼，认为自己在宇宙模型中人为地引进宇宙常数是犯下了一个大错误。

宇宙学变得热闹起来了。人们想到，既然宇宙是膨胀的，那么越往早去，宇宙体积就越小。在某一个时间之前，宇宙就应该极为密集，以致现有的天体都不可能以目前的状态存在。照哈勃当时提供的数据估计，这个时间大概是20亿年。

事有凑巧，当时的地质学已经能够利用放射性同位素来测定地球上岩石的年龄。初步估计，这个年龄当在20亿到50亿年之间。相比之下，宇宙膨胀的年限就显得太短了。这使许多宇宙学家感到很为难。爱因斯坦也表态了：“既然由这些矿物所测定的年龄在任何方面都是可靠的，那么，如果发觉这里所提出的宇宙学理论同任何这样的结果有矛盾，它就要被推翻。

为了既保留宇宙膨胀的观念，又回避年龄困难，英国天文学家邦迪（H. Bondi）、 戈 尔 德（T. Gold）和霍伊尔(F. Hoyle)在1948年分别提出了稳恒态宇宙模型。他们认为，宇宙虽然在不断膨胀，但其中的物质密度并不变小，因为有物质不断地凭空产生出来。由于物质密度不变，所以不存在一个宇宙的密集时期，因而也不存在星体的年龄上限问题。

稳恒态宇宙模型预言了一个极其微小的物质产生率，这个微小的产生率在地面实验室里无法验证，但可以通过天文观测检验。如果宇宙是稳恒的，那么恒星的分布密度应该是不变的。通过30年代的星系计数和60年代的射电源计数，人们发现天体的空间分布其实是不均匀的。这就是说，稳恒态宇宙模型有问题。

1948年，美国帕洛马山天文台建成了当时世界最大的光学望远镜，其口径达到5米，远远超过了此前哈勃使用的威尔逊山天文台的2.5米口径。天文学家利用新的望远镜继续证实了哈勃定律，但发现哈勃自己定出的常数有问题，因为哈勃对星系距离的估计都普遍偏小。到了1974-1976年，经认真仔细地校订，发现哈勃常数只有55，比哈勃当年估计的差不多小了10倍。按新的常数估计宇宙的年龄应当有200亿年，这样，星体年龄问题就迎刃而解了。

年龄问题解决之后，理论宇宙学家当即着手研究宇宙早期的密集状态。从40年代末开始，俄裔美籍物理学家伽莫夫（1904-1968）等人提出了热大爆炸宇宙模型。他们认为，宇宙起源于一次巨大的爆炸，之后不仅连续膨胀，而且温度也在由热到冷的逐步降低。在宇宙早期，不仅密度很高，而且温度也很高，所有的天体以及化学元素都是在膨胀过程中逐步生成的。

大爆炸模型有一个重要的预言，即随着宇宙的不断膨胀，温度不断下降，各类元素开始形成，但原初辐射与物质元素脱离耦合后仍保持黑体谱。黑体辐射的温度大约是5k。1964年，在贝尔电话实验室工作的射电天文学家彭齐亚斯（1933-）和威尔逊（1936-）果然意外的观测到了这种宇宙微波背景辐射。这次意外的发现，使大爆炸宇宙模型得到了广泛的认可，从而成为宇宙学界的标准模型。

现代宇宙论并未真正结束，即使是标准宇宙论也面临多方面的挑战。红移究竟能不能用多普勒效应来解释，一直富有争议。但是，由于大爆炸宇宙模型是如此的有魅力，又是如此的具有包容性，大多数宇宙学家们都倾向于把它作为一个基本的工作平台，而不再怀疑曾经作为它的实证基础的红移问题。如果说红移问题的新解释会对大爆炸模型提出挑战的话，那么，这样的挑战也将会轻而易举地被回避掉，因为大爆炸模型已经成了一个“原理”。对许多宇宙学家来说，大爆炸理论今天成了天体物理学的聚合力量，它使天体物理学与粒子物理学相关联，也使整个天文学成为一个统一的整体。所以，无论如何估计大爆炸模型对于今日天文学的意义都不过份。2随着天文观测的发展，哈勃常数的测定值一直在变化，随之宇宙年龄的估计量也在变化。