

哈勃及其科学成就

——纪念星系红移现象发现 80 周年

李 洁

美国天文学家哈勃（图 1）在星系研究领域做出了一系列杰出的贡献。他确定了我们所处的银河系以外还存在河外星系，并证明了宇宙处于不断的膨胀之中，这使爱因斯坦修改了他的宇宙学方程，最终引出了关于宇宙起源的“大爆炸”理论。从 1929 年哈勃发现星系的红移现象到现在已经整整 80 周年了，它的建立使天文学成为理论与观察空前统一的现代科学，因此撰此文以纪念之。



图 1 美国天文学家哈勃

一、生平及主要科学贡献

埃德温·鲍威尔·哈勃(Edwin Powell Hubble, 1889 ~ 1953), 1889 年 11 月 20 日出生于美国密苏里州马什菲尔德的一个律师家庭。哈勃从小就喜欢读书, 在他 12 岁时给爷爷写的一封信中, 就谈及了他对火星的猜想, 表现出奇特的想象力以及对天文学的浓厚兴趣。中学时代的哈勃在学业和体育两方面都才能出众, 不仅学习成绩名列前茅, 而且对田径项目也十分擅长, 还曾经打破了伊利诺伊州跳高项目的纪录, 是一名深得老师喜爱的学生。1906 年, 哈勃中学毕业后就读于芝加哥大学天文系。在那里他深受物理学家密立根(Millikan)和天文学家海尔(Hale)的影响, 尤其是后者激起了他对天文学的热爱。1910 年他大学毕业并获理学士学位, 同年, 他获得了一笔奖学金, 赴英国牛津大学攻读罗马和

英国法律, 且于 1912 年获文学士学位。1913 年哈勃回到美国取得律师资格, 在肯塔基州路易斯维尔开了一家律师事务所, 工作了一年时间(也有些人说在这一年期间哈勃没有做律师的工作, 而是在给学校当篮球教练和给公司做翻译工作)。也正是在这个时期, 他毅然决定放弃法律而投身天文学。1914 年, 哈勃返回芝加哥大学攻读天文学博士学位, 成为著名天文学家弗罗斯特(E.B.Frost)的研究生, 并于 1917 年获博士学位。他的学位论文的题目是“暗星云的照相研究”。在论文中考虑了星云的分类, 他推断行星状星云可能位于我们这个恒星系统之中, 而那些很大的漩涡状星云则位于其外。在毕业的前夕, 哈勃接到了加州威尔逊山天文台的海尔的邀请, 请他到天文台工作。但适逢美国向德国宣战, 哈勃暂时放弃了成为一名天文学家的机会, 毅然奔赴战场。他致电海尔, 表示退伍之后便会接受威尔逊山天文台的职位。哈勃于当年 5 月 15 日报到, 开始了一名军人的历程。他在军队中是一个遵守纪律、直率而又幽默的人, 由于他的表现突出, 成为“黑鹰”师的一名少校。但是还没等哈勃在战争中显露身手, 战争就结束了。1919 年哈勃退伍回到威尔逊山天文台, 开始了他的天文学研究, 并在那里一直工作到晚年(除第二次世界大战期间曾在美国军队中参与弹道学研究, 并在马里兰州阿伯丁试验场超声风洞试验室担任领导)。1953 年 9 月 28 日, 当哈勃准备前往帕洛马山进行观测时, 突然死于脑血栓, 终年 64 岁。为表彰并纪念这位伟大的天文学家, 美国于 1990 年将一架当时世界上最大最先进的空间望远镜命名为“哈勃太空望远镜”。

哈勃一生的科学贡献有很多, 这使得他与赫歇耳一样, 被称为自伽利略、开普勒和牛顿时代以来最伟大的天文学家之一。他一生的科学贡献主要有: 确定银河系之外存在的河外星系; 提出星云的分类体系, 建立星系形态的哈勃序列; 提出哈勃定律; 确定对众多立体角取平均后, 在不同距离上的星系分布是均匀的, 等等。

哈勃的成就使他赢得了许多褒奖和荣誉。他 38 岁成为美国科学院最年轻的院士，英国皇家天文学会聘他为外籍会员。1935 年 6 月他获得了美国科学院授予的巴纳德奖章，是获此奖章的第一个美国人和第一位天文学家。1938 年，哈勃获富兰克林金质奖章，1939 年又获得英国皇家学会金质奖章。1948 年，牛津大学女王学院选举他为荣誉研究员。哈勃晚年担任威尔逊山和帕洛玛山天文台研究委员会主席。1949 年末，帕洛玛山口径为 5 米的反射天文望远镜正式投入观测，它的第一位使用者就是哈勃。

二、走出银河系

几个世纪以来，有关“星云”本质问题的争论一直悬而未决。1923 年，哈勃观察到仙女座“星云”中有许多造父变星，并通过它们的周光关系计算出了与地球之间的距离。在此基础上，哈勃第一次证明了在银河系之外还存在河外星系。这一发现导致星系天文学的诞生。

宇宙范围之争 伽利略曾经提出过“银河其实不过是聚集成团的恒星的一个大星团。无论望远镜指向它的哪一部分，许许多多的恒星都会立即呈现在视野中。它们之中有许多显得相当大和十分亮，而较小恒星的数量远超出计算。”从伽利略的话中可以看出，他当时对于银河系的界定也并不清楚，那么银河系是否就是宇宙的全部呢？

最早开始思考这个问题的人有英国建筑学上颇有声望的雷恩爵士。在 1675 年担任格雷舍姆学院天文学教授的就职演讲中，他猜想，未来天文学家也许会发现，“每个在无限远处，以似乎是别的某个世界的苍穹出现的云雾状天体，都埋没于天体间广阔无垠的真空深渊之中”。虽然这句话说得也不是很明确，但是已经有了“星云”可能是银河外的恒星系统的想法。

1755 年，康德经过一系列大胆而又直觉的推敲，首次明确提出在银河系外的宇宙空间中，存在着无数个与银河系相类似的天体系统。他还明确指出，在 1612 年发现的仙女座大星云就是这样的天体系统。康德把宇宙比作广袤的海洋，认为这些天体系统就像是“大海中的岛屿”。这就是早期的“岛宇宙”说法。

虽然康德已经提出在银河系外还有同它相似的天体系统，但是由于当时人们对星云结构还不够了解，是把它当作是银河系内的云状天体、还是银

河系外的恒星系统，人们还没有办法作出判定。赫歇耳认为，恒星的暗淡意味着其距离的遥远，如果观测中的这些星云同银河系一样，是恒星大量聚集的话，那么他们则在银河系外边，其中有些“在宏观尺度上也许完全胜过我们的银河系。”他认为如果能用望远镜把星云分解为一颗颗的恒星，那么星云就应该是星系，否则只能认为这些星云是银河系内的天体，只是其外形、组成和结构与恒星不一样而已。但最后赫歇耳的观测显示，在观测的星云中有一部分可以分解为一颗颗的恒星，其余一部分则不能分解，这使他陷入了困境之中（由于当时实验条件比较差，赫歇耳所观测到的可以分开的星云其实是河内星团，而不能分开的则是河外星云和河外星系）。

1864 年，英国天文学家哈金斯（Huggins）研究了某些星云的光谱，推断它们是一团发光的气体。这正确地揭示了银河系内星云的本质，但是他对漩涡星云却无法做出解释。一方面，这些星云的光谱与普通恒星的光谱十分相似；另一方面，即使使用相当大的望远镜，也不能分辨出单个的恒星。

1920 年 4 月，美国科学院举办了一次“宇宙的尺度”辩论会。在会上，以柯蒂斯（Curtis）为首的一方认为，一部分星云实际上是位于河外的庞大的恒星系统——河外星系。而以沙普利（Shaply）为首的另一方则持相反的立场，他认为银河系就是整个宇宙，“岛宇宙”理论只是一种幻想而已。这就是天文学史上有名的“沙普利—柯蒂斯之争”（又称“岛宇宙之争”）。争论的双方各持一些证据证明自己的观点，他们都认为自己的结论是正确的，而且也不肯听取对方的观点，所以都无法说服对方。要解决“岛宇宙之争”，关键点在于如何正确测定这些星云的距离。如果星云的距离远大于银河系的尺度，而且又可分为一颗颗的恒星，那么河外星系的存在就可以确定下来了，否则他们便没有超出银河系的范围。

观河外星系 哈勃早在 1914 年攻读博士学位的时候就开始在叶凯士天文台作研究。从 1914 年 10 月~1916 年 5 月这段学习期间，他本该使用叶凯士天文台复杂的仪器，来进行太阳物理的研究，各种天体的测微观测与拍照工作。但是哈勃却几乎没有使用这些复杂的仪器来做这些，而是把精力都用在了与星云和恒星相关的工作上。在叶凯士天文台的大多数时间里，哈勃都独立在定日镜室，用里奇

制造的 24 英寸（约 61 厘米）的反射望远镜来对暗弱星云做独立的照相研究。从在叶凯士天文台工作开始，哈勃就认为星云中含有关于距离和宇宙物质分布的主要线索，这是研究问题的关键所在。

第一次世界大战结束后，哈勃退伍回到威尔逊山天文台。他于 1919 年 9 月 3 日加入了威尔逊山太阳观测台的员工行列，10 月就开始了他的首次轮班观测。1923 年 10 月 4 日，当哈勃用 100 英寸（2.54 米）的反射望远镜观测时，发现仙女座大星云的底片上出现了一颗可疑的新星，这引起了他的好奇。第二天他又重复了前一晚的工作，不仅证实了这颗新星的存在，而且经过再次检查底片，他发现了另外两颗新星的存在。为了进一步的研究，哈勃搜寻出沙普利、赫马森、里奇和他自己过去拍的天文底片档案，很快便发现在这三颗新星中有一颗是具有周期性的，这颗新星依次变亮和变暗。这颗具有周期性的新星其实就是造父变星（造父变星是一种周期性脉动的变星，它们变化十分有规律。在确定的周期内，光度从最小增亮到最大，然后再恢复到最小，周而复始，非常有规律，同时也极易被识别）。由于造父变星在一个周期内的平均光度越大，它的光变周期就越长（周光关系），所以只要对某颗造父变星进行一段时间的监测，便可以得知它的光变周期，并由此确定它的平均光度。最后把这个光度与变星的平均观测亮度进行比较，便不难推算出该造父变星的实际距离。在这之后，哈勃在仙女座大星云和三角座漩涡星云中又发现了一批造父变星。在进行了多次观测研究之后，1925 年元旦在美国天文学会和美国科学促进会召开的会议上，他宣布了他的观测结果。根据哈勃的推算，这两个星云与我们的距离约为 90 万光年，远远超出当时银河系的范围——10 万光年。

哈勃的发现使他得到了美国科学促进会这次会议设立的最佳论文奖。不仅如此，他的研究成果也使人们认识到，我们生活的银河系并不构成整个宇宙，在银河系之外还存在着河外星系，从而使人类走出了银河系的范围。

三、哈勃定律

1929 年是天文学历史上的一块重要里程碑。哈勃在威尔逊山天文台发现星系光谱都有普遍红移现象，离我们越远退行速度越快，并且有确定的线性关系。天文学从此成为理论和观察空前统一的现代科学，霍

金也称哈勃定律为“20 世纪最伟大的智慧革命”。

前人的研究 从观测上说，英国天文学家哈金斯早在 1868 年就曾把多普勒效应应用于天体光线的传播上。通过多普勒效应可推算出恒星的视向速度，哈金斯据此首次测得天狼星的视向速度为 46 km/s，并且证明它正在远离地球而去。

1912 ~ 1916 年，施里弗(Slipher)对星系的光谱做了大量的观测工作。他发现所拍摄的 46 个星系光谱中的谱线波长，大多数都比实验室中观测到的要长一些（只有两个星系例外）。也就是说“星云”（当时还不知有河外星系存在，都称为星云）的光谱都具有多普勒红移，它们在朝远离我们的方向运动，其中最大的星系退行速度为 1100 km/s。

1921 年，德国天文学家维尔茨(Wirtz)寻找了星云的速度和其他性质之间的关系。他发现对已有观测资料适当地取平均之后，“可以看到速度与视星等存在着某种近乎线性的依赖关系”，“离我们最近的漩涡星云向外运动的速度低于遥远漩涡星云的速度”。

从理论上说，1917 年爱因斯坦运用广义相对论得出了一个“静态、有限、无界”的宇宙模型。1922 年苏联科学家弗里德曼首次在广义相对论基础上考虑非静态宇宙，把空间曲率视为时间的函数，论证了宇宙随时间膨胀的可能性。1927 年比利时天体物理学家勒梅特找到一个新的广义相对论场方程解，即在理论上得到宇宙正在随着时间而膨胀的结论。

哈勃定律的确立 从星系本质之谜被揭开之后，天文学家们纷纷转向星系的观测研究。哈勃本人从 1920 年后期更是全力以赴从事这方面的工作，其中包括遥远星系的光谱观测和距离测定。在了解前人工作的基础上，哈勃猜想，在天体视向速度和距离之间一定存在着什么关系。他认为一个“星云”的退行速度应该是它距离的指示，那么处在宇宙深处的“星云”距离便可以根据它的红移量而推导出来。

经过多年的努力，1929 年哈勃获得了 46 个星系的光谱，结果发现这些光谱都表现出普遍的谱线红移现象，都处在远离地球的运动状态。这种情况与银河系内恒星的谱线位移不同，银河系内恒星光谱中有红移也有蓝移，这说明恒星相对地球的运动有的朝向地球，有的在远离地球，而且由多普勒效应反映的运动速度也要比星系小得多。同时他使用

一切可以用的数据，包括星系上的造父变星、最亮恒星、可辨认的各类恒星、新星等的光度数据，对它们的距离作了比较合理的估计，最后推算出 24 个星系的距离。

虽然哈勃得到的数据不是很准确，但是从这些数据还是可以显示出速度与距离之间的线性关系。哈勃惊讶地发现，这些星系中距离地球越远，其谱线红移也越大，而且星系的视向退行速度 (v) 与星系的距离 (r) 之间可表述为简单的正比例函数关系： $v = H_0 r$ (H_0 是哈勃常数)，这就是著名的哈勃定律。后来，在哈勃指导下的另一位天文学家赫马森 (Humason) 又获得了 50 多个星系的观察资料，这一关系得到了更深一步的证实。

由哈勃定律可知，天体的视向速度与距离成线性关系 (参见图 2)。在哈勃常数已知的情况下，只要测出天体的视向速度，便可根据哈勃定律求出天体的距离。而用测量谱线红移的方法得到天体的视向速度，比起其他测量远方距离的方法都更加简单有效。于是哈勃定律成为科学家深入到宇宙深处不可缺少的“量天尺”。另外，哈勃定律也使我们看到了一个正在膨胀的宇宙。如果将时间倒退，整个宇宙在以前的某个时间点必定被压缩在一个极小的范围里，密度

极大，温度也极高。这一点就是宇宙的起点，在这一时刻发生的“宇宙大爆炸”，启动了宇宙的膨胀。哈勃定律证明了比利时天体物理学家勒梅特的宇宙大爆炸假说。

四、结语

在哈勃一生的诸多贡献中，发现河外星系和确立哈勃定律对天文学产生了深远的影响。但是哈勃自己却不愿接受“星系”这个词，所以在他所写的论文和报告中一直坚持使用“河外星云”来称呼河外星系。在他所有的著作中均未评论哈勃定律具有线性形式的重要性，也没有讨论过宇宙膨胀与宇宙开端的任何联系，甚至对哈勃常数的意义都没有做出明确解释。

关于哈勃定律，现在还存在两个问题需要说明，一个是哈勃常数的确定，另一个为类星体的红移现象。

由于 $1/H_0$ 具有时间量纲，如果确定了 H_0 的大小，那么便可以知道宇宙的年龄，所以天文学家自从发现哈勃定律以后花了几十年的时间来解决这个问题，希望能准确地测量出哈勃常数的大小。早在 1929 年，哈勃自己得出的 H_0 大小为 $500 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$ ，随后根据哈勃已和许多天文学家不断修正，哈勃常数不断减小。到了 2003 年，由美国发射的威尔金森各向异性探测器所取得的观察资料，得出 H_0 为 $73 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$ (当时认为是最可靠的数据)。由 2006 年 8 月的一项最新研究指出，可能哈勃常数比上述值还要小。由此可见，要得到哈勃常数的准确值，还需要进一步的测量。在哈勃定律发现以后，类星体的红移问题一直受到关注。大多数天文学家认为类星体的红移是宇宙学红移，即是宇宙膨胀的结果，按照哈勃定律，红移反映了距离。而另外一些天文学家则认为，类星体的红移不止有宇宙红移，还存在非宇宙红移的部分。为此天文学家作了大量研究工作，并注意到类星体应该是活动星系核，与星系一样，红移起源于宇宙膨胀。为了解释观察资料，对类星体和活动星系核，人们提出了黑洞模型。虽然这个模型还不够完善，但是却能很好地解释观察资料。在这之后，类星体红移的争论才算基本结束，天文学家可以放心地在宇宙学框架下处理与类星体有关的问题。但是，还有一些天文学家对此仍持怀疑态度，他们还在孜孜不倦地寻找非宇宙学红移的证据。

(首都师范大学物理系 100048)

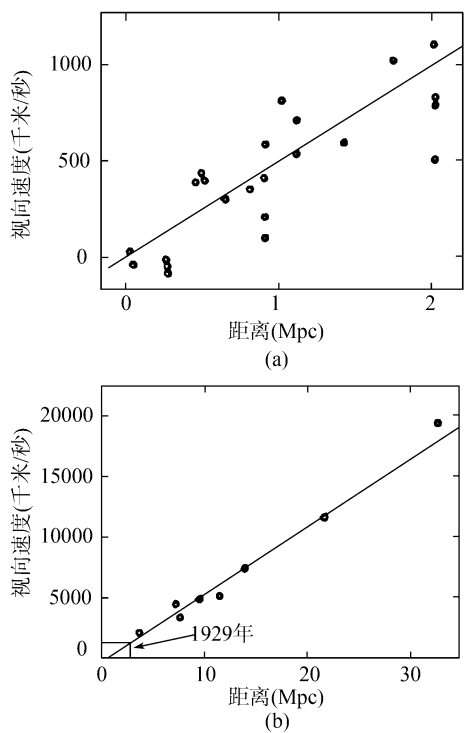


图 2 星系的视向速度-距离关系

(a) 给出 1929 年取得的结果；(b) 为 1931 年的结果，左下方标出了 1929 年资料所涉及的范围