

# 哈勃空间望远镜的宇宙寻踪

李正映<sup>1,2</sup> 魏勇<sup>1,3</sup> 王誉棋<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院大学 101408; 2. 中国环境科学研究院大气环境研究所 100012;  
3. 中国科学院地质与地球物理研究所 100029)

文明诞生之初,人类对宇宙的认知仅限于视觉和想象力。1609年,意大利天文学家、物理学家伽利略·伽利雷将改进的光学望远镜转向天空,发现木星的卫星没有围绕地球旋转,有力地支持了哥白尼的“日心说”,为从“地心说”向“日心说”转变的天文革命添上了浓墨重彩的一笔。到18世纪时,望远镜已经成为研究宇宙不可或缺的工具,全世界都在建造口径更大更精密的望远镜,因而肉眼看不见的恒星、行星和星云得以被记录下来。此外,摄影、光谱和光测量的进步也丰富了望远镜的功能性和灵敏度,使其探测能力更上一层楼。1990年,美国宇航局的哈勃空间望远镜(Hubble Space Telescope, HST)由发现号航天飞机携带升空,这标志着天文学史上的又一次革命。

哈勃空间望远镜是美国空间计划与欧洲航天局合作开发的,其轨道距离地球表面340英里。由于哈勃望远镜远离地面,高挂于太空之中,避免了大气散射的背景光,能够比地面观测站更精确、更详细地观测和记录天文现象。哈勃望远镜所携带的相机和光谱仪可以观测到遥远的恒星形成的星系,这些星系可以追溯到宇宙形成的初期。另外,哈勃望远镜在发现和描述神秘的暗能量方面发挥了关键作用,其观测结果改变了我们对宇宙的基本理解,让我们有幸能够触碰亿万光年之外的神秘。

## 1. 哈勃空间望远镜的故事

### 1.1 关于天文学家爱德温·哈勃

20世纪初,大多数天文学家认为目前可观测到

的宇宙是由一个星系(银河系)组成的,认为我们所在的银河系就如同一个在浩瀚太空中的绿洲。直至1924年,美国天文学家爱德温·哈勃利用胡克望远镜,研究了一批造父变星的亮度以后断定,造父变星和它们所在的星云距离地球几十万光年,远超当时测得的银河系的直径尺度,因而确认了河外星系,开创了星系天文学,建立了大尺度宇宙的概念。爱德温·哈勃对天文系的贡献不止于此,他通过研究遥远星系的谱线红移现象,得出了宇宙正在膨胀的结论,并进一步发现星系退行速度与星系的距离比值为一常数,二者之间存在线性关系,这一关系被称为哈勃定律。哈勃定律的提出促使现代宇宙学的诞生,打破了“宇宙是静止”的这一观念。

### 1.2 太空望远镜的提出

1923年,德国科学家赫尔曼·奥伯斯(与罗伯特·戈达德和康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基一起)出版



图1 爱德温·哈勃站在帕洛玛天文台的48英寸望远镜旁

了《迪·拉克特·祖登行星》(火箭进入行星空间),其中提到了如何用火箭将望远镜推进地球轨道。1946年,普林斯顿天体物理学家莱曼·斯皮策写下了望远镜在地球湍流大气层之上的科学益处。

1957年苏联人造卫星发射后,刚刚起步的美国国家航空和航天局(NASA)成功地将两个轨道天文观测站(Orbiting Astronomical Observatories, OAOs)送入轨道,他们利用这两个轨道天文观测站成功地进行了多次紫外线观测,为未来空间观测站的制造和发射铺好了道路,提供了学习经验。

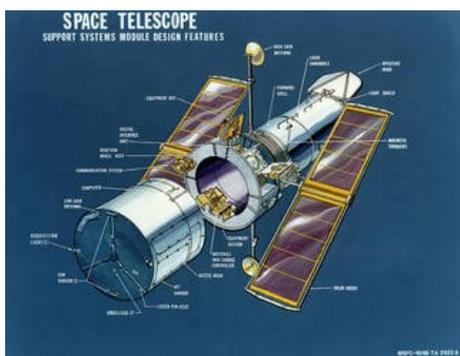


图2 1980年,哈勃及其支持系统模块的原始设计特征图

与此同时,科学、政府和工业团体计划下一步超越 OAO 计划。斯皮策收集了其他天文学家对“大型轨道望远镜”的支持,并解决了批评者的担忧。1969年,美国国家科学院批准了大型太空望远镜(Large Space Telescope, LST)项目,听证会和可行性研究仍在继续。

1969年阿姆斯特朗在月球上实现了“人类的巨大飞跃”之后,美国宇航局太空项目的资金开始减少,使 LST 计划处于危险之中。LST 规划师不得不在预算限制下设计望远镜,考虑若干减负措施,例如减小主镜的尺寸、减少科学仪器、制造和测试备件的数量。最终,主镜的尺寸从 120 英寸减小到 94 英寸。

### 1.3 哈勃空间望远镜的诞生

为了维护和升级太空望远镜,NASA 计划进行在轨维修任务,而不是将望远镜送回地球,在地面上进行维修翻新。这一理念的提出既是一种创新,

也可以减少预算,更容易获得美国国会的批准。在这种革新精神的推动下,太空望远镜更名为哈勃空间望远镜(HST),以纪念天文学家爱德温·哈勃对宇宙膨胀学说的贡献。到 1985 年,望远镜已经组装完毕,准备发射。

然而,在 1986 年灾难袭来。“挑战者”号事故迫使美国宇航局将航天飞机机队停飞两年。HST 项目利用这段时间对望远镜进行了进一步细致的安全排查和仪器检查工作。太阳能电池技术的进步使得其上所携带的太阳能电池板得到了改进。船尾罩(容纳科学仪器的望远镜的末端)经过修改,使仪器维修和更换更加容易。另外,太空望远镜接受了进一步的压力测试,计算机和通信系统也得到了产品升级,为适应恶劣的升空和太空条件做足了准备。



图3 技术人员检查哈勃空间望远镜的主镜

1990年4月24日,“发现”号航天飞机从地球上升空,哈勃空间望远镜安全地安放在它的货舱摇篮里。次日,哈勃被送入预定轨道,准备窥视浩瀚未知的太空,一瞥遥远而奇异的宇宙海岸。然而,当哈勃望远镜开始将科学数据返回地球时,天文学家们没有看到清晰的、点状的恒星图像,反而是被巨大的、模糊的光晕包围着的亮团。他们很快意识到,望远镜主镜出现了问题,主镜无法将光线聚焦到一个点上。经过反复确认,美国宇航局发现哈勃主镜在制造过程中由于设备校准不当,使镜子比设计厚度多了 20 纳米,导致光线无法聚焦到主镜上,无法进行有效观测。

虽然工程师设计哈勃望远镜时设计了很多可更换的组件,但主镜并不在设计师的考虑范围之



图4 1990年5月,哈勃望远镜的“第一张”图像

内。在美国宇航局发射哈勃望远镜之前,工程师们正努力为太空望远镜制造一个改进的第二代相机。这种仪器称为宽场行星相机2(WFPC2),是供宇航员在未来安装的。光学专家很快意识到,他们可以将校正光学器件构建到该摄像机中,以抵消主镜中的缺陷。与此同时,哈勃望远镜的科学家和工程师设计了一套空间望远镜光轴补偿光学仪器(COSTAR),并由奋进者号的宇航员们将其带给哈勃望远镜。该仪器相当于一副眼镜,能够弥补主镜对其他科学仪器的影响,得到更加精细的成像。

图5显示了哈勃空间望远镜在第一次哈勃服务任务之后对宇宙观测的显著改善。图5(a)是哈勃在1993年11月27日,即在STS-61服务任务前几天广域模式下从哈勃原始的WFPC-1相机中留影的。哈勃望远镜8英尺长的主镜反射模糊了光线,很多细节无法展示,限制了望远镜看到微弱结构的能力。图5(b)拍摄于1993年12月31日,来自维修任务期间安装的宽场和行星相机(WFPC-2)。较新的图像表明,校正光学技术完全弥补了哈勃主镜的异常,

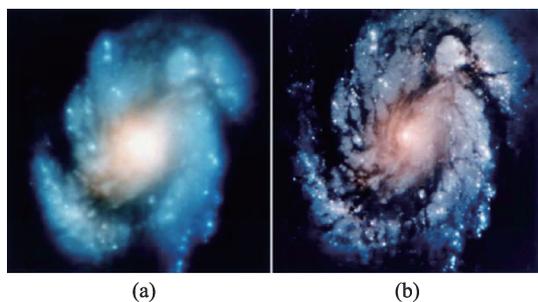


图5 1993年12月,银河系M100核心的对比图像

使望远镜首次能够干净地窥见数千万光年外星系中长达30光年的微弱结构。

#### 1.4 后期维修任务

哈勃望远镜设计的目的之一是便于宇航员定期在太空中进行维修和更新换代,因此哈勃望远镜主体由模块化组件构成,这使得望远镜在1993年至2009年的五次维修任务中配备了当时最新的、最先进的科学仪器和设备。

1993年12月,第一个服务团(SM1)来到哈勃望远镜的身旁,安装了新的仪器,如WFPC2和COSTAR,它们抵消了主镜形状缺陷的影响。

1997年2月,美国航天局进行了第二次维修任务(SM2),此次任务更换了新的仪器,如空间望远镜成像光谱仪(STIS)、近红外照相机和多目标光谱仪。STIS分离了望远镜所接受的光线,并“解剖”了它,以便分析其组成、温度、运动和其他特性。有了近红外摄像机及多目标光谱仪(Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer, NICMOS),天文学家可以从近红外波长上看到宇宙的第一个清晰视图。

哈勃的第三次维修任务最初被设想为维护任务,但当陀螺仪(空间望远镜中的陀螺仪用于测量望远镜的移动速度,以确保望远镜能在观测中保持稳定的姿态和正确的方向)第四次失败时,NASA将任务分成两部分:1999年12月飞行的3A(SM3A)和2002年3月的3B服务任务(SM3B)。在SM3A期间,宇航员用新的陀螺仪替换了所有六台陀螺仪,并安装了更快、更强大的主计算机、下一代固态数



图6 宇航员凯瑟琳·桑顿在1号任务中为哈勃望远镜工作

据记录器、新的发射机、新的绝缘材料和其他设备。在SM3B期间,宇航员安装了一种新的科学仪器——高级测量相机(ACS)。ACS可观测的波长从可见到远紫外,其输出结果远远优于原来的“暗天体相机”(FOC)。

2009年5月,服务团4(SM4)对哈勃望远镜进行了第五次访问。宇航员安装了两种新的科学仪器:宇宙起源光谱仪(COS)和第三代广域相机(WFC3)。太空望远镜成像光谱仪(STIS)和高级测量相机(ACS)通过首次在轨仪器维修而复活。为了延长哈勃望远镜的寿命,宇航员还替换了其他部件,包括新的电池、新的陀螺仪和一台新的科学计算机。此外,望远镜底部还附有一个装置,以便于望远镜最终退役时脱离轨道。

每一项服务任务都对哈勃的成功和长寿至关重要。维修任务增强了望远镜的科学能力,让哈勃望远镜观测到更多关于宇宙的迷人新发现。

### 1.5 今日的哈勃

起初,哈勃的任务是用至少15年时间探索宇宙中最远、最微弱的一个点。目前,哈勃望远镜的寿命已经远远超过了这个目标,其运行和观察宇宙超过30年。在进入轨道期间,望远镜进行了150多万次观测,天文学家利用这些数据发表了18000多份广泛主题的同行评审科学出版物。

如我们所知,世界上任何一台有30岁工龄的机器都存在一些老化的部件,因而很多人选择不再安排维修任务来修理或更换哈勃望远镜上的设备和仪器。但是,一个由工程师和科学家组成的专业团队正在不断努力,以尽可能长时间地保持哈勃望远镜的运行。例如,哈勃望远镜的工程师们已经想出了一种方法,利用航天器上的其他类型的传感器来弥补已经失败的陀螺仪,使望远镜可以继续只用一个陀螺仪观测宇宙。接下来几年里,这些创新性设想和方法将会得到进一步探索,以延长哈勃望远镜的寿命。

迄今为止,哈勃望远镜在其职业生涯中取得了

前所未有的成绩,其观测有力地推动了人类对星系的发展和生长、大多数星系中黑洞的存在、恒星的诞生以及太阳系外行星的大气组成等问题的了解。哈勃望远镜的探索从根本上改变了我们对宇宙的看法,并将继续揭示宇宙的奥秘。

## 2. 哈勃空间望远镜的重大发现

哈勃望远镜的升空真正拓展了人类的知识疆界,透过它,天文学家以前所未有的视角窥见宇宙深处,追溯宇宙过往。

### 2.1 失控的宇宙

观测发现,随着时间的推移,我们的宇宙越来越大。近一个世纪前,埃德温·哈勃测量了宇宙的膨胀速度,该值被称为哈勃常数,是决定宇宙的年龄、大小和命运所必需的基本参数。在哈勃望远镜发射之前,哈勃常数的数值是不精确的,因而对宇宙年龄只能做一个粗糙的估测。当时大多数天文学家认为当今宇宙的年龄从100亿到200亿年不等。现在,天文学家通过从哈勃望远镜获得的更好的星系距离测量来逐渐完善了对宇宙当前膨胀速度的估计,并将这些值与其他望远镜获得的最佳星系速度测量相耦合,使其更加准确。科学家通过比较我们银河系中已知物体(如恒星或爆炸恒星)的亮度与遥远星系中类似物体(如造父变星)的亮度来测量距离,计算出目前最准确的宇宙年龄为137亿~138亿年。

出人意料的是,哈勃望远镜的观测以及地面观



图7 天文学家利用Cepheid恒星亮度的周期性变化来确定天文距离(箭头指向哈勃望远镜观测到的仙女座星系中的一颗塞菲德星)

测站的观测结果表明,宇宙不仅在膨胀,而且在加速膨胀——这一发现获得了2011年诺贝尔物理学奖。许多科学家认为,这种加速是由弥漫宇宙的“暗能量”引起的。暗能量可以被看作是一种“反引力”,它正以越来越快的速度伸展空间,将星系推开。天文学家们估计它占整个宇宙质量和能量的70%左右,这种暗能量的性质目前来说完全是一个谜。尽管当前的检测技术不能直接测量暗能量,但暗能量可以影响可见物质,因此可以通过观察可见物质在一段时间内的变化来描述暗能量的行为,天文学家们也可以更好地了解暗能量是什么以及它如何影响宇宙的未来。

## 2.2 识别太阳系以外的世界

在1990年哈勃望远镜发射时,天文学家还没有发现任何太阳系以外的行星。科学家现已确认存在的4000多颗太阳系外行星,其中大部分是由美国宇航局开普勒太空观测站和地面望远镜发现的,而哈勃望远镜为这场“狩猎”做出了一些独特的贡献。

天文学家利用哈勃望远镜对太阳系外行星的大气成分进行了首次测量。哈勃望远镜的观测已经确定了有些系外行星中含有钠、氧、碳、氢、二氧化碳、甲烷和水蒸气等成分。迄今为止研究的大多数行星体对于我们所认知的生命来说太热了。但哈勃望远镜的观测表明,在围绕其他恒星运行的行星上可以探测到形成生命的基本有机成分。目前,天文学家有足够的证据能够支持绘制出一张详细的全球外行星地图,描绘出大气中不同层的温度,以及其水蒸气的数量和分布。

天文学家们还利用另一种叫做引力微透镜的技术,结合哈勃望远镜证实了类土星质量的系外行星围绕着两颗微弱的小恒星在紧密的轨道上运行。当移动前景恒星的引力弯曲并放大背景恒星的光线时,就会发生引力微透镜,该背景恒星沿着我们的视线暂时与它对齐。增亮特征的细节揭示了前景恒星及其可能拥有的任何行星的性质的线索。同时,哈勃望远镜的紫外光测量能力被用来揭

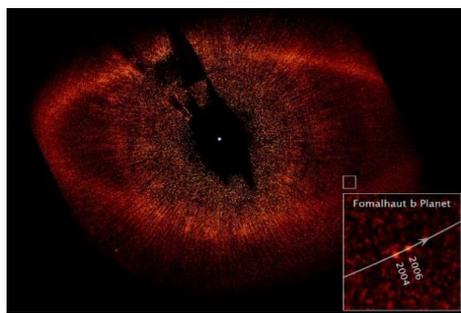


图8 天文学家们用哈勃望远镜拍摄了一团不断扩散的尘埃云的可见光照片

示围绕附近恒星运行的行星上巨大的氢气云。

## 2.3 在暗物质上闪耀光芒

暗物质是一种无形的物质形式,它构成了宇宙的大部分质量,并创造了其基础结构。暗物质的引力驱动着正常物质(气体和尘埃)收集并积聚成恒星和星系。虽然天文学家看不到暗物质,但它们可以通过观察包含暗物质的巨型星系团的引力来探测暗物质的影响,这些星系团扭曲位于星团后面的较远星系的光,这种现象被称为引力透镜。

天文学家利用哈勃望远镜独特的敏锐视觉结合引力透镜效应绘制出暗物质在太空中的分布图。大型星系团同时包含暗物质和正常物质。天文学家通过观察大型星系团周围的区域,可以识别扭曲的背景星系,并通过逆向工程以揭示物质密度最大的位置。模拟的结果显示,宇宙的暗物质似乎是普通物质的五倍,并且似乎围绕着随着时间而增长的巨大暗物质丝网而形成成片区域。在这些细丝的交叉处,可以发现巨大的可见结构,如星系团。

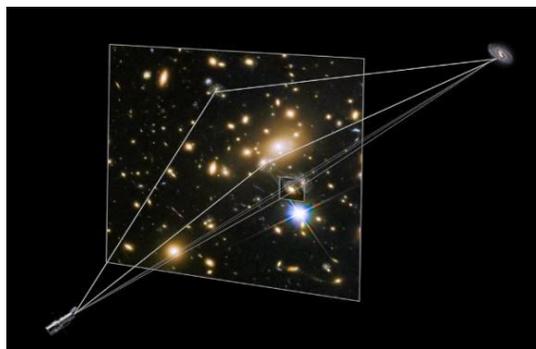


图9 引力透镜现象

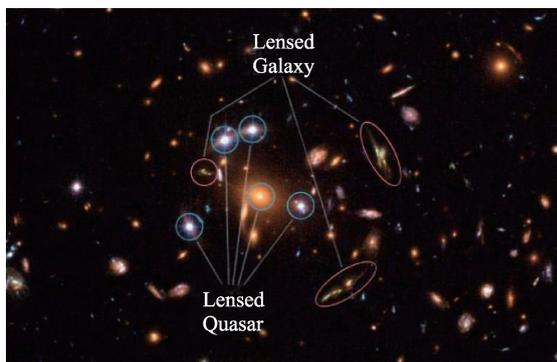


图10 引力透镜效应下看到的三张同背景星系(红圈)的扭曲图像以及五张相同背景类星体(蓝色圆圈)的图像

## 2.4 无处不在的黑洞

哈勃望远镜为证明大多数星系的中心都包含巨大的黑洞提供了有力的证据。星系中心的黑洞质量相当于数百万甚至数十亿颗恒星质量。黑洞几乎存在于每个星系中,它们的大小也与星系质量相对应。哈勃望远镜对星系的普查表明,黑洞的质量取决于其宿主星系中恒星膨胀的质量,星系越大,黑洞越大。这种对应的关系可以作为黑洞与其星系一起生长的佐证。哈勃望远镜还首次向天文学家提供了在大型平面圆盘中环绕黑洞的物质视图,以及以接近光速飞行的亚原子粒子黑洞驱动喷射的详细图像。

## 2.5 太阳系内的行星的研究

哈勃望远镜目睹了太阳系中小天体对木星的影响。1994年,哈勃望远镜观测了21块 Shoemaker-Levy9 彗星的碎片连续轰炸木星,每次撞击都会在木星的云层中留下一个暂时的黑色、烟尘疤痕。这是天文学家第一次目睹这样的事件。哈勃望远镜观测到的最新碰撞发生在2009年,当时一颗疑似小行星坠入木星大气层,留下太平洋大小的临时暗面特征。

太阳系中的木星以其大红斑而闻名,而大红斑是一场与地球大小大致相当的巨型风暴。据观测,从19世纪后期开始大红斑就存在,但随着观测的进行,这场巨型风暴的规模正在逐渐缩小。天文学家现在定期使用哈勃来测量红斑的大小,并研究为什

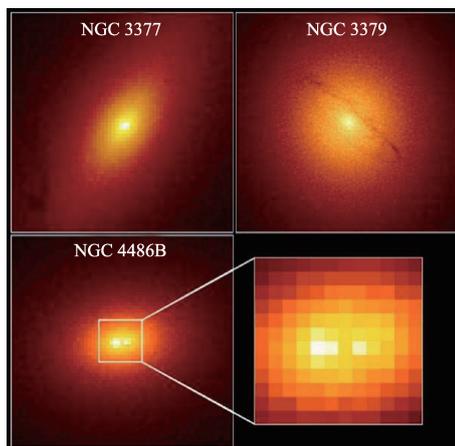


图11 NGC3377星系和NGC3379星系的黑洞,以及NGC4486B星系黑洞的内核为双核

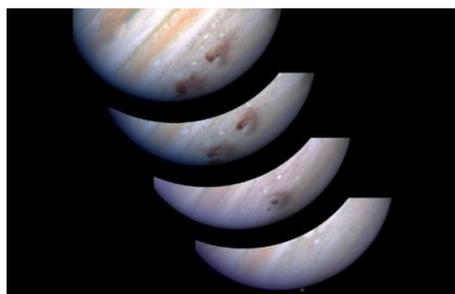


图12 1994年,“舒梅克-利维9号”彗星碎片与木星连续相撞么它正在慢慢消失。

哈勃望远镜还首次在土星和木星的南北两极拍摄到了明亮的极光现象。极光是出现在有磁场的行星的高层大气中的发光现象。当被困在磁场中的带电粒子高速向南北磁极移动并撞击高层大气时,它们会激发那里的原子和分子,极光就会形成。

木星的卫星也为寻找地球以外的生命带来了重要的线索。哈勃通过探测甘尼梅德(Ganymede)

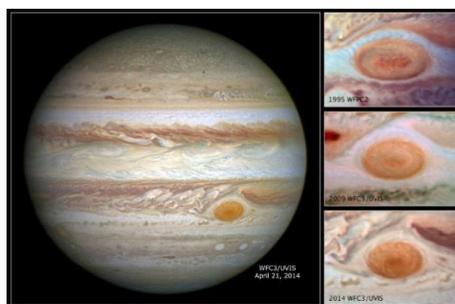


图13 木星的标志性大红斑是一场以每小时300英里的速度旋转的风暴

自身极光中的相关活动,为太阳系中最大的卫星 Ganymede 存在地下咸水海洋提供了迄今为止最好的证据。这个地下海洋被认为比地球上所有的海洋总和都大。哈勃望远镜还记录了木星卫星欧罗巴表面大气层瞬时变化的现象,天文学家揣测这种大气层的扰动是由从地下海洋中排出的气体流引起的。

## 2.6 探索恒星的诞生

哈勃望远镜的红外探测器可以穿透巨大的、湍急的气体云和尘埃,数以万计的恒星正在这些云层中爆炸。这些星云的视图揭示了一个由年轻的、异常明亮的恒星辐射“雕刻”而成的奇异景观。观测表明,恒星的诞生是一个剧烈的过程,这个过程产生强烈的紫外线辐射,辐射清除恒星孕育云中的空腔,并侵蚀巨大气柱中的物质,而这些气柱可以孕育新的恒星。

哈勃望远镜还以前所未有的细节捕捉到了年轻恒星的高能量气体喷射。这些喷射气流是气体旋转成新恒星的副产品,其中一些被磁场引导,以相反的方向从旋转恒星的两极射出。由于哈勃望远镜的运行寿命很长,天文学家们已经看到这些喷射气流的运动和形状随着时间漫游而变化。



图14 “神秘山”,在它冷氢气塔与灰尘的花边,被视为上升沿星云的墙壁。在顶部,一根三光年高的气体和灰尘柱子正被附近恒星的明亮光线和风刮走。柱子也被推开内部,因为埋在里面的婴儿星会发射出气体喷射,从山峰的尖端可以看到左右流动

## 2.7 记录恒星的死亡阵痛

哈勃望远镜揭示了前所未有的细节,有些恒星已

经进入了他们生命中的死亡阵痛。地面观测图像表明,许多这些被称为行星状星云的天体(虽然它们与行星无关)具有简单的球形。然而,哈勃望远镜看到的形状更加复杂丰富,有些看起来像小指,有些像蝴蝶,还有一些像沙漏。透过这些图像,研究人员能深入了解恒星在坍塌形成白矮星之前的复杂动力学。

哈勃望远镜在做以上观测的同时将目光聚焦在了更巨大的恒星爆炸死亡后的残骸上。对超新星 1987A 的观测,揭示了环绕这颗恒星的三个神秘物质环。望远镜探测到中环内侧的亮点是由爆炸中不断膨胀的物质波撞击到中间环的内侧区域造成的。同样,哈勃望远镜观察了 M1 蟹状星云,揭示了大爆炸之后仍处在其核心、快速旋转的脉冲星的某些细节。

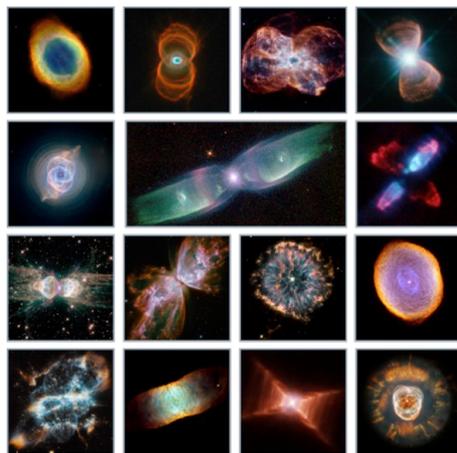


图15 哈勃望远镜揭示了恒星星云惊人的多样性和惊人的复杂性

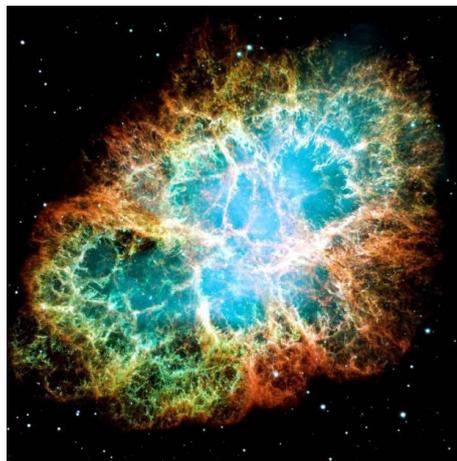


图16 M1 蟹状星云是公元1054年恒星的爆炸残余