



黄金眼: 詹姆斯·韦布空间望远镜

郑玮^{1*}, 江林华^{2,3*}

1. Department of Physics and Astronomy, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218, USA;

2. 北京大学科维理天文与天体物理研究所, 北京 100871;

3. 北京大学物理学院天文学系, 北京 100871

* 联系人, E-mail: wzheng@jhu.edu; jiangKIAA@pku.edu.cn

2022-01-24 收稿, 2022-02-18 修回, 2022-02-18 接受, 2022-02-21 网络版发表

国家自然科学基金(11721303, 11890693)资助

摘要 詹姆斯·韦布空间望远镜(简称韦布望远镜)于2021年12月25日顺利升空. 这台6.5 m口径望远镜是人类有史以来建造的最强大、最复杂的天文设备. 尽管曾面临前所未有的技术挑战并导致发射日期一再推迟, 但它目前已成功部署到遥远的日-地-拉格朗日-2轨道上, 预计使用寿命可达10年以上. 韦布望远镜的红外观测灵敏度大约是哈勃空间望远镜的100倍, 其卓越的成像和光谱能力将为天文学多个领域带来重要突破. 例如, 它将首次探测来自宇宙大爆炸后年轻恒星和星系的第一束光, 研究星系在宇宙学时标上的形成和演化, 观测形成中的恒星-行星系统, 寻找太阳系外行星存在生命的证据, 等等. 本文回顾了韦布望远镜的历史、发展和特点, 介绍了有关的科学计划和前期科学观测项目, 并展望了与其他望远镜联合观测的前景.

关键词 航天器, 天文仪器, 宇宙学, 星系, 红外波段

詹姆斯·韦布空间望远镜(James Webb Space Telescope, JWST, 简称韦布望远镜)由美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)、欧洲航天局和加拿大国家航天局联合开发研制. 前不久, 它的成功发射引起了全世界的瞩目. 要了解韦布望远镜的重要性, 还要从哈勃空间望远镜(Hubble Space Telescope, HST, 简称哈勃望远镜)谈起. 1990年4月, 美国发现号航天飞机将哈勃望远镜送入近地轨道, 开辟了天文学的新篇章. 天文学不同于其他科学, 它不是实验性的, 它的发展主要取决于望远镜及其仪器的性能. 19世纪末, 最大的(折射式)望远镜主镜口径(直径, 下同)为1 m级别. 20多年后, 哈勃(Edwin Hubble)发现银河系外天体和宇宙膨胀, 使用的是当时世界上最大口径为2.5 m的反射望远镜. 20世纪末, 世界上最大的地基光学望远镜是10 m级, 代表了一个世纪以来

尺度上一两个数量级的功能进步. 20世纪60年代起, 众多科学卫星的成功为哈勃望远镜的设计和建造铺平了道路. 哈勃望远镜以一个中型大小镜面(2.4 m), 竟然能比地基大型望远镜观测得更暗、更远, 充分显示了空间望远镜具有高清晰度和低背景的优越性.

早在哈勃望远镜升空之前, 美国空间望远镜研究所(Space Telescope Science Institute, STScI)所长贾科尼(Riccardo Giacconi)就把开发下一代望远镜提上日程^[1], 因为他知道大型空间项目的建造至少需要15年的时间. 下一代空间望远镜的最早原型是8~16 m口径的紫外-光学-红外望远镜. 由于成本和技术的限制, 设计逐渐转向6~8 m红外望远镜. 这样的望远镜将比哈勃望远镜灵敏约100倍, 比2003年发射的0.85 m口径的斯皮策空间望远镜(Spitzer Space Telescope, 简称斯皮策望远镜)灵敏数千倍. 2002年, 下一代空间望远镜改名,

引用格式: 郑玮, 江林华. 黄金眼: 詹姆斯·韦布空间望远镜. 科学通报, 2022, 67: 834–841

Zheng W, Jiang L H. Goldeneye: James Webb Space Telescope (in Chinese). Chin Sci Bull, 2022, 67: 834–841, doi: [10.1360/TB-2022-0124](https://doi.org/10.1360/TB-2022-0124)

以纪念主管阿波罗登月计划的詹姆斯·韦布。韦布望远镜的建造历时20余年,耗资超过100亿美元。尽管面临极其复杂的挑战,但有关的部署取得了成功。

1 韦布望远镜的特点

红外天文学的主要困难是天空背景的亮度。地球及其大气层的温度大约300 K,它的辐射峰值波长大约在 $10\text{ }\mu\text{m}$ 。波长从 $1\text{ }\mu\text{m}$ 增加到 $5\text{ }\mu\text{m}$,地面的背景亮度增加了大约100万倍^[2]。因此,红外望远镜必须背对地球或远离地球。此外,望远镜本身必须冷却以避免自身的热辐射。除了通常的空间技术挑战外,韦布望远镜还必须特别屏蔽阳光并将其红外仪器保持在非常低的温度($\sim 40\text{ K}$)。其巨大的遮阳伞由5层镀铝的聚酰亚胺(Kapton)薄膜构成。这种材料强度高,在航天应用上已有数十年的耐用记录。尽管这个“船帆”状遮阳伞有网球场那么大(图1),每层薄膜的厚度却比头发丝的直径还要小。整个遮阳系统在总装过程中呈折叠状,发射以后才逐步打开。它面向太阳一侧的温度高达358 K,而反面温度大约40 K。也就是说,大约99.98%的太阳能被挡住了。

以前的大部分红外望远镜都是低地轨道的。为了

避开地球辐射,它们的观测区域有限。日-地-拉格朗日-2轨道(Lagrange-2,即L2)已被证明是一个具有稳定性、热条件和通讯距离的理想位置。需要指出的是,地球在L2周围投射了一个微小的阴影。任何望远镜实际上都要避开这个阴影,以便它们的太阳能电池板持续工作。此外,L2是亚稳态,那里的航天器会逐渐漂移。韦布望远镜配备有喷气装置,使望远镜保持在围绕L2的光晕轨道上(位置保持),并控制其自旋(角动量转移)。多年运行后,它的推进剂将耗尽,这为韦布望远镜设下了最后的寿命极限。望远镜的工程师曼泽尔(Mike Menzel)最近对发射进行分析后表示,韦布望远镜似乎有足够的燃料运行20年,远超过设计的5~10年指标。

韦布望远镜的镀金表面引人注目,被新闻界称为“黄金眼”(图1)。大多数望远镜(包括哈勃望远镜)的镜面镀铝,因为铝的反射率在可见光和紫外波段非常好。但是,在红外波段,金的反射率比铝高。金的反射率在可见光波段中间急剧下降,决定了望远镜的最短工作波长 $0.6\text{ }\mu\text{m}$,这兼顾了可见光波段的红端。韦布望远镜的光学系统是三镜面反射式,有效焦距为131 m(图2)^[3]。主镜有效口径6.5 m,由18片六角形镜面合成,其中6片



图1 (网络版彩色)位于NASA戈达德空间飞行中心的韦布望远镜实体模型。在实际运行中,望远镜处在遮阳伞的阴影中。来源: NASA

Figure 1 (Color online) Mock JWST model at the Goddard Space Flight Center of NASA. In real operation, the telescope is under the sunshield's shadow. Source: NASA

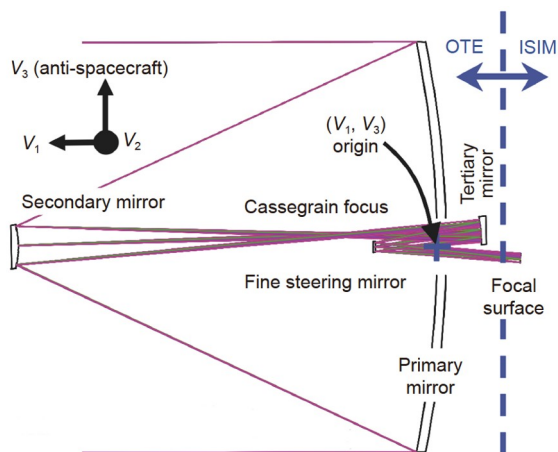


图2 (网络版彩色)JWST光学系统。 V_1 ~ V_3 代表三维坐标。虚线代表焦平面。OTE: 光学望远镜单元; ISIM: 集成科学仪器模块。来源: STScI

Figure 2 (Color online) JWST optical layout. V_1 ~ V_3 denote three dimensions. Dash line denotes the focal plane. OTE: Optical telescope element; ISIM: Integrated science instrument module. Source: STScI

呈折叠式,发射后才打开。每片镜面宽1.32 m,表面精度约25 μm ,背后有7个高精度微调器。次镜是圆形,口径0.74 m,背后有6个微调器。它在发射时也呈折叠状,然后由3根7 m多长的连杆打开。三镜位于主镜的背面,光路后面还有一个转向微调的平面镜,将入射光导向焦平面上的科学仪器。由于镜面材料采用强度高、重量轻的铍,韦布望远镜的发射重量(6.5 t)只有哈勃望远镜的60%。

韦布望远镜配备了4台科学仪器:3台近红外和1台中红外,分别为近红外相机NIRCam、近红外光谱仪NIRSpec、近红外成像和无缝光谱仪NIRISS、中红外仪器MIRI。它们都提供成像和光谱功能。在2.5 μm 波长以下,NIRCam可提供约60毫角秒的空间分辨率,优于哈勃望远镜。NIRSpec可提供的光谱分辨本领约2700。它采用一系列微型快门,大大减少了天空背景并可以同时观测多个目标。为了防止在长期操作中某些仪器的部分功能丢失,近红外仪器的功能在设计上有所冗余,这样的设计提高了望远镜的整体可靠性。中红外仪器需要一个额外的冷却泵,但其他仪器可以在没有它的情况下工作。这类似于斯皮策望远镜在耗尽冷却剂后可以进入“温暖任务”阶段。斯皮策望远镜的温度保持在27 K左右,其中一个仪器IRAC的两个短波通道在冷却剂耗尽后额外工作了10多年。

韦布望远镜的建造明显偏离了惯例:大多数科学航天器使用成熟的技术来确保成功和可靠性,而韦布

望远镜大量采用了新技术。另外的常规操作是在地面上进行了全面测试和调整,然后投入运行。但韦布望远镜包含数百个可移动部件,允许其发射后进行配置展开并多次调整以实现其卓越的品质^[4]。如果多达344个后续步骤中的任何一个失败了,任务就可能失败。毫不夸张地说,这是一项高风险的任务。

2 韦布望远镜的科学能力

巨大的主镜和先进的科学仪器赋予了韦布望远镜在光学与红外波段前所未有的观测及科学能力^[5]。这些能力表现在多个方面。首先是探测暗弱天体的能力,或称为探测极限星等。天文学的发展很大程度上表现为探测暗弱天体能力的进步。除科学仪器外,影响望远镜探测能力的因素主要包括主镜口径的大小、天光背景的高低、空间分辨本领(对点源尤其重要)等,其中空间分辨本领与主镜尺度成正比。韦布望远镜在这几个因素上都超过甚至远超以前的望远镜,它在2.5 μm 波段探测点源的能力是哈勃望远镜的100倍,是地基10 m级望远镜的200~5000倍。这使得韦布望远镜可以探测到更遥远、更暗弱的天体(图3)。打个比方:如果有只蜜蜂在 4×10^5 km(月-地距离)的远处,韦布望远镜也能探测到它的热辐射。

韦布望远镜的强大能力主要表现在红外领域,这也是它的设计初衷。韦布望远镜从光学波段红端起,覆盖近红外和中红外波段至28 μm 左右。虽然它没有像斯皮策望远镜那样覆盖更长的波段,但由于它那大得多的主镜口径,其探测能力远超斯皮策。红外观测在天文上有两大独特优势,这也与韦布望远镜科学目标紧密相连。其一是能发现非常遥远(即高红移)的天体。由于宇宙膨胀导致的宇宙学红移,遥远天体发出的光在到达地球时的波长变成了原来的 $(1+z)$ 倍,其中 z 是红移的值。这就意味着极高红移天体发出的紫外和光学波段的光已红移至近红外和中红外波段。其二是减少尘埃遮蔽的影响。宇宙中有很多区域,比如形成中的产星区、恒星和行星系统等,被厚厚的尘埃包裹着,在紫外和光学波段很难被探测。而波长更长的红外光子能穿透尘埃,所以韦布望远镜能对这些区域进行深入研究。

韦布望远镜的独特还表现在其强大的红外摄谱能力上。尽管哈勃望远镜也有近红外(<1.6 μm)摄谱能力,但那是很低光谱分辨率的无缝光谱,具有背景天光高和天体光谱重叠两大明显缺陷。韦布望远镜不仅具有无缝光谱能力,还配备了类似地基望远镜的多目标光



图 3 (网络版彩色)哈勃望远镜超深场与模拟的韦布望远镜深场观测的比较. 上方是哈勃超深场和其中一个星系的放大图像; 下方是同一天区的模拟韦布深场图: 更深、更清晰. 来源: STScI

Figure 3 (Color online) Comparison of the ultra deep field (UDF) of the HST and simulated JWST image of the same field. The upper panels: HST UDF and the close-up image of a galaxy field. The lower panels: Simulated JWST deep images of the respective fields, which are deeper and clearer. Source: STScI

谱仪和积分视场光谱仪(近红外光谱仪和中红外仪器), 主要通过“微型快门”这一创新性设计来完成. 观测时成千上万个微型快门通过即时的开与关对准目标, 光谱覆盖范围为 $0.7\sim 28\ \mu\text{m}$. 因此, 韦布望远镜能对暗弱天体进行精细的光谱观测.

韦布望远镜还具有其他的强大功能. 例如, 它的中红外仪器还配备了星冕仪, 能遮挡太阳系外恒星-行星系统中的恒星, 从而对暗弱得多的行星进行直接观测.

3 重点科学目标

得益于不同仪器的不同功能, 韦布望远镜在科学上是一位多面手, 它既能探测遥远宇宙中的第一代星系, 也能描绘太阳系中的行星. 目前韦布望远镜主要科学目标大致可以归为4类, 包括宇宙第一缕曙光、星系在宇宙学时标上的形成和演化、恒星及其行星系统的形成和演化、太阳系外行星.

韦布望远镜的首要任务是探索“宇宙黑暗时代”后的第一缕曙光(图4). 标准冷暗物质宇宙学理论表明, 现在的宇宙年龄约137亿年. 宇宙大爆炸后38万年至约1.5亿年间, 宇宙经历了所谓的“黑暗时代”, 那时没有发光

天体. 在这黑暗时代末期, 宇宙大尺度结构在暗物质引力作用下开始显现, 带来了第一代恒星和星系的诞生. 第一代恒星形成于大爆炸后约1.5亿年, 而第一代星系在随后的1亿年左右形成, 同时最早的大质量黑洞种子也开始诞生和成长. 这些天体发出的电离光子重新“点亮”宇宙, 即宇宙再电离. 该电离过程持续数亿年, 是宇宙早期演化的最重要时期之一. 研究宇宙再电离和探测早期天体发出的“第一缕曙光”是下一代地基和空间大型光学红外望远镜的主要科学目标之一. 由于这些遥远天体发出的光抵达地球时信号极其微弱, 目前的望远镜很难对它们进行细致研究.

韦布望远镜将实现革命性突破, 大致表现在以下几方面. 首先, 它将发现更遥远的星系. 现在已知的最遥远星系的红移约为11, 那时的宇宙年龄大约是4亿年. 得益于强大的红外观测能力, 韦布望远镜将发现红移15以上的星系, 甚至是宇宙中第一代星系. 事实上, 现在人们还不是很清楚第一代星系究竟是什么样的, 或者说怎样才能算第一代星系, 韦布望远镜将通过不同手段首次来回答这个问题, 包括测量光度函数、分析金属丰度和星族成分等. 其次, 韦布望远镜将解密最早

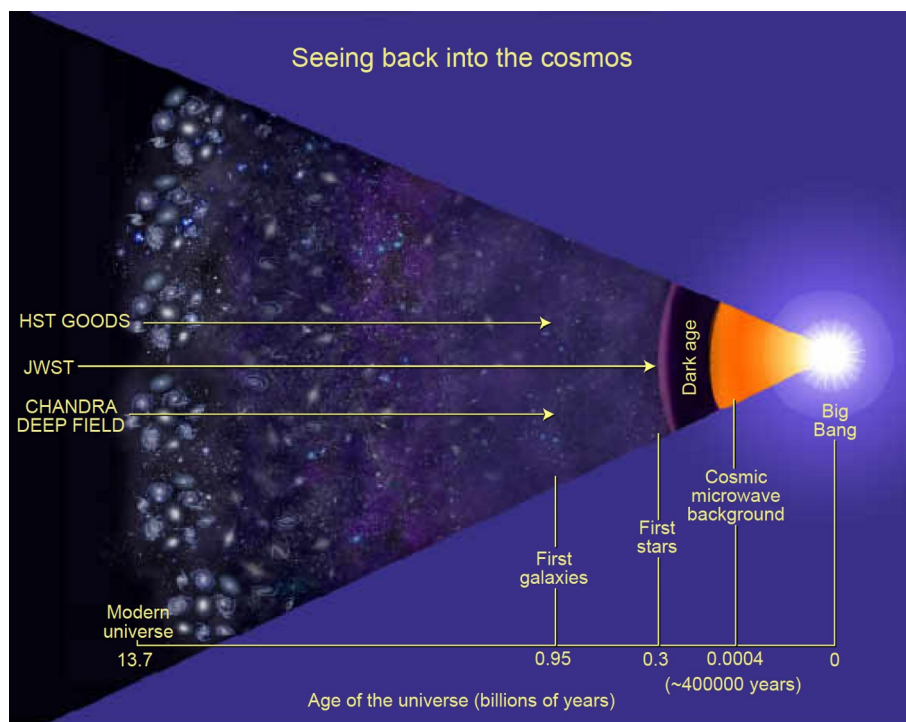


图4 (网络版彩色)早期宇宙和目前的大望远镜观测极限。韦布望远镜的首要目标之一是大爆炸后的第一代星系。来源: STScI

Figure 4 (Color online) Early Universe and the exploration limits of large telescopes. One of the main JWST goals is to probe the first generation of galaxies after the Big Bang. Source: STScI

的超大质量黑洞种子是怎么诞生和成长的。观测表明,红移6~7的类星体就有质量达数十亿太阳质量的黑洞,这些黑洞是怎样诞生和增长的,还是一个未解之谜。韦布望远镜未必能直接捕获到这些种子黑洞的诞生,但有望探测到它们的早期成长过程。韦布望远镜还有望帮助我们了解宇宙中最早的恒星,尽管现在还不清楚最早的恒星究竟是什么样的。单个恒星或者星团不太可能被直接探测到,因为它们太暗弱了。即使是由理论上没有金属成分的星族III组成的星团也很难探测,原因是它们的主要辐射在远紫外波段,会被星系际气体吸收掉。但它们演化末期产生的超新星爆发可以被韦布望远镜探测到,进而间接研究第一代恒星。另外,韦布望远镜将通过观测以上这些极高红移天体,帮助我们理解宇宙再电离发生的时间、过程等。

韦布望远镜还将研究星系在宇宙学时标上的形成和演化。星系是构成宇宙的基本单元,星系的形成和演化是现代天文学的核心内容之一,它庞大而复杂。近年来,随着观测技术和设备的进步及大规模图像和光谱巡天的快速发展,人们对中低红移星系的认识取得了长足进步。另外,大规模计算机模拟已能重现大部分时期的物质密度场及其演化过程,为研究星系形成和演

化提供了有力的理论框架。但人们还远未能就星系的宇宙学演化刻画一幅全景图像:即各种类型星系在整个宇宙学时标上的形成、演化和性质。这对红移2以上星系的理解尤为明显,因为它们相对低红移星系更加暗弱,且大量特征谱线红移到了红外波段。韦布望远镜将在该领域做出重要贡献,通过深度多色成像和红外光谱观测,韦布望远镜将试图回答一系列问题,例如,搜寻和完善红移2以上星系族群(如有严重尘埃红化的星系等)、星系的结构与形态及哈勃音叉图的成因、星系在宇宙学时标上的演化及对环境的依赖,以及大质量黑洞和星系的协同演化等。

韦布望远镜的另一大科学目标是深入研究太阳系外行星并探索这些行星存在生命的可能性(图5)。近20多年来,开普勒和TESS空间望远镜及大量地基望远镜的观测已发现数千颗系外行星。随着该领域的蓬勃发展,人们开始从发现模式向深入研究方向转变。韦布望远镜的红外能力无疑将做出重要贡献。一般来说,行星的光比它们的母恒星弱太多。在光学波段中,对比度约1:10亿或更小。但在红外波段,行星的热辐射可能会增加数十万倍,从而提高行星/恒星的亮度比。另外,韦布望远镜配备的星冕仪将遮挡住母恒星发出的绝大部分

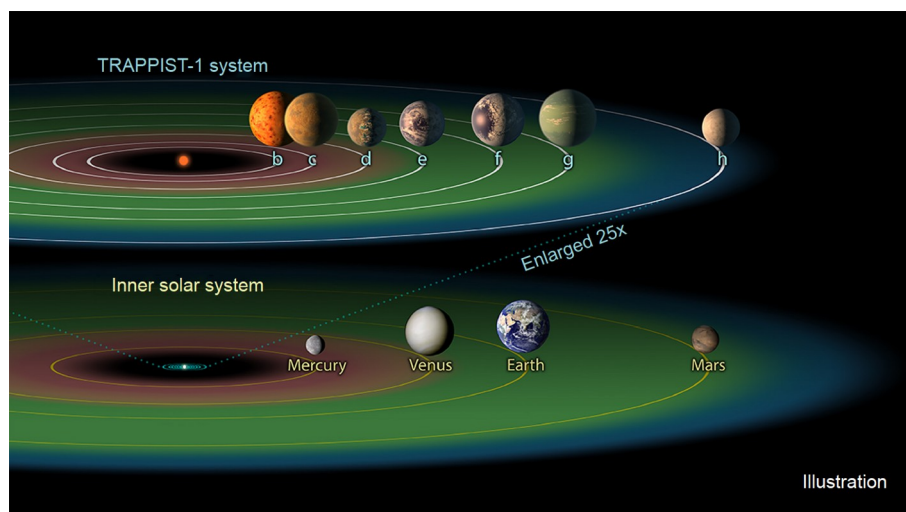


图5 (网络版彩色) 太阳系外行星示意图。上方是红矮星TRAPPIST-1和它周围7个已知的行星系统, 下方是它们与太阳系内行星的比较。韦布望远镜有望在这些系外行星中发现生命的线索。来源: NASA/喷气推进实验室/加州理工学院

Figure 5 (Color online) Comparison of exoplanets. The upper part: The seven planets around red dwarf star TRAPPIST-1. The lower part: Comparison with inner Solar planets. It is hopeful that JWST may find evidence for life in these exoplanets. Source: NASA/JPL/Caltech

光, 使直接探测行星变得可行。人们最期望的是韦布望远镜分析行星大气成分的能力。当行星经过母恒星表面时, 其大气将在恒星光谱中留下印记。通过分析光谱中这些印记, 将得出行星大气的化学成分和物理参数, 判断是否有水蒸气、一氧化碳和甲烷等可能与生命存在活动相关的分子。

韦布望远镜的重要科学目标还包括形成中的恒星系统。这些系统中心的原恒星及周围由气体和尘埃组成的冷盘往往深埋在更大范围的气体 and 尘埃中。它们的温度很低, 主要辐射在红外波段, 加上尘埃消光影响, 光学波段的观测很难在这里有用武之地。亚毫米波望远镜阵列ALMA在该领域做出了重要贡献, 而韦布望远镜将在红外波段给我们展示更多的恒星与行星形成时的细节。

4 早期科学观测项目

与哈勃望远镜类似, 韦布望远镜的主要科学观测项目也是先由全球科学家提出申请, 然后由STScI组织进行统一匿名评审。此类项目统称为普通观测(General Observer)项目。目前第一轮(称为Cycle 1)成功的普通观测项目已经公布。除此之外, 还有另外4类观测项目, 包括早期释放(Early Release Science)项目、保证时间(Guaranteed Time Observations)项目、所长机动(Director's Discretionary)项目、仪器校准项目。其中, 仪器校准项目用来测试仪器和帮助用户改善校准数据, 这里

不多做介绍。下面简单介绍一下另外4类项目。

早期释放观测项目的设立是帮助科学家尽快熟悉韦布望远镜的科学数据, 这些数据没有保护期, 观测一旦完成, 任何一位学者都可以立即使用。早期释放项目的筛选于2017年11月完成, 科学上共分6大类, 包括13个小项目, 这些大类和包含的项目数(括号内)分别为: 星系与星系际介质(4)、大质量黑洞和寄主星系(2)、行星与行星形成(2)、太阳系(1)、恒星物理(3)、恒星性质(1)。早期释放项目的观测预计在韦布望远镜开始科学观测的5个月内完成, 它们尽可能地使用了各种科学仪器的各种观测模式。例如, 在第一大类星系与星系际介质的4个项目中, 使用了所有4个仪器的绝大部分观测模式。

保证时间项目是将部分观测时间奖励给为韦布望远镜的硬件和软件开发及科学目标设计做出重要贡献的团队和个人, 这与很多其他的大型望远镜和仪器项目类似。韦布望远镜保证时间项目将占其前三轮总观测时间的16%左右, 这些数据和普通观测项目一样设有保护期(一般为12个月)。第一轮的保证时间项目早已公布, 即在普通观测项目申请发布之前发布, 以便于申请者避开同样的项目。另外, 约10%的观测时间由美国空间望远镜研究所所长机动掌握, 主要用于超新星爆发这样的突发事件或者科学价值无法事先确认的探索项目。当年哈勃深场和超深场的观测就是用的这些机动时间。

普通观测项目是韦布望远镜观测项目的主体。第一轮批准的普通项目共286项, 包括不占用观测时间的存档数据研究(Archival Research)。它们总用时约6000 h (全年观测时间的2/3), 分为小型(用时少于25 h)、中型(用时大于25 h但小于75 h)和大型(用时大于75 h)项目。它们从科学上分为8大类, 包括系外行星(70)、星系(75)、星系周和星系际介质(3)、宇宙大尺度结构(9)、太阳系(22)、恒星物理(42)、恒星星族和星系介质(36)、活动星系核与大质量黑洞(29)。这些项目基本涵盖了各种尺度的观测目标, 包括太阳系内行星和小天体, 银河系内恒星、行星系统及其他天体, 近邻星系, 星系团, 高红移星系和类星体等。其中, 星系和系外行星占比最高, 这也很好地反映了天文学的发展现状, 即星系是天文学最大的领域, 而系外行星是近年来发展最为迅速的领域。进一步考察可以发现, 星系类的近一半项目聚焦于红移6以上星系, 体现了韦布望远镜探测遥远星系方面的优势。

5 联合观测

随着天文学进入多信使时代, 不同望远镜之间的合作与联合观测变得越来越重要。联合观测不仅有助于对天体的全面了解, 还能大大提高单个望远镜的利用效率。这对韦布望远镜尤为重要, 因为其观测视场较小而使用寿命有限。高效的联合观测能将它宝贵的观

测时间发挥到极致。一方面, 未来大型多色巡天项目将给韦布望远镜提供稀有的重要天体目标进行深入研究。这些大型项目包括2 m口径的中国空间站工程巡天望远镜CSST^[6]、1.2 m口径的欧洲航天局Euclid空间望远镜、2.4 m口径的美国国家航空航天局Roman空间望远镜、地基的8.4 m口径Rubin巡天项目等。这些项目都将覆盖1/3~2/3的天空, 计划在未来5年内陆续开始发射或者运行。另一方面, 韦布望远镜也将提供大量重要天体目标给下一代巨型天文望远镜, 如25 m口径的巨型麦哲伦望远镜、39 m欧洲极大望远镜、中国参与的30 m TMT望远镜等。这些天文设备预计10年后开始运行。

6 总结

韦布望远镜是有史以来最复杂的科学设备之一。尽管它已顺利发射和部署, 但那只是它成功的第一步。加州大学伊凌沃斯教授(Garth Illingworth)是韦布望远镜的元老。他从项目的最初设想开始, 已经为其工作了30余年。他说, 该望远镜在建造过程中多次遇到下马、失败的可能, 但如果项目最后变得轻而易举, 说明我们最初的雄心还不够大。韦布望远镜将打开人类认识宇宙的新篇章, 我们期望它在研究从近至地球邻居、远至宇宙中第一代星系的广阔领域发挥不可替代的作用。诚然, 就如哈勃望远镜的成就一样, 科学上最有价值的发现和突破也许是不可预测的, 我们将拭目以待。

参考文献

- 1 Illingworth G. The early days of JWST. STScI Newsletter, 2016, 33: 1–5, https://www.stsci.edu/files/live/sites/www/files/home/news/newsletters/_documents/2016-volume033-issue01.pdf
- 2 Leinert C, Bowyer S, Haikala L K, et al. The 1997 reference of diffuse night sky brightness. *Astron Astrophys Suppl Ser*, 1998, 127: 1–99
- 3 Gardner J P, Mather J C, Clampin M, et al. The James Webb Space Telescope. *Space Sci Rev*, 2006, 123: 485–606
- 4 McElwain M W, Feinberg L D, Kimble R A, et al. Status of the James Webb Space Telescope Mission. In: Lystrup M, Perrin M D, Batalha N, et al., eds. *Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave*. Proc SPIE, 2021, 11443: 114430T, doi: 10.1117/12.2562425
- 5 Witze A. The \$11-billion Webb telescope aims to probe the early Universe. *Nature*, 2021, 600: 208–212
- 6 Zhan H. The wide-field multiband imaging and slitless spectroscopy survey to be carried out by the Survey Space Telescope of China Manned Space Program (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2021, 66: 1290–1298 [詹虎. 载人航天工程巡天空间望远镜大视场多色成像与无缝光谱巡天. 科学通报, 2021, 66: 1290–1298]

Summary for “黄金眼：詹姆斯·韦布空间望远镜”

Goldeneye: James Webb Space Telescope

Wei Zheng^{1*} & Linhua Jiang^{2,3*}

¹ Department of Physics and Astronomy, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218, USA;

² Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics, Peking University, Beijing 100871, China;

³ Department of Astronomy, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China

* Corresponding authors, E-mail: wzheng@jhu.edu; jiangKIAA@pku.edu.cn

James Webb Space Telescope (JWST) was launched on December 25, 2021. This 6.5-m space telescope is the most powerful and sophisticated astronomical instrument ever produced. Its concept study started in the 1980s as the Next Generation Space Telescope, before the launch of the Hubble Space Telescope (HST). To achieve its ambitious science goals, its unconventional design employs many cutting-edge technologies. A large multi-layer sunshield blocks emission of the Sun, Earth and Moon, and keeps the telescope at a cryogenic temperature (~ 40 K). The primary mirror consists of 18 hexagonal segments made of gold-coated beryllium. Every mirror segment is supported by actuators for fine adjustments, to ensure the finest image quality. Major mirror components and the sunshield were folded into the launch vehicle, to be deployed in space.

Despite unprecedented technical and budgetary challenges, JWST has been successfully deployed on to a remote Lagrange-2 orbit, which offers a stable thermal environment and other operational advantages. The latest estimate anticipates a lifetime considerably longer than 10 years.

JWST is equipped with one mid-infrared and three near-infrared instruments, offering superior imaging and spectroscopic capabilities with ample redundancy. It is approximately one hundred times more sensitive than HST and one thousand times more powerful than ground-based telescopes and previous space infrared telescopes, enabling a broad range of breakthroughs in astronomy. JWST will play a key role in detecting “the first light” after the Big Bang because the prominent features of such light are redshifted ($z \sim 20$) into the infrared bands and because infrared light can penetrate through dust around young objects. In addition, it will study the galaxy formation and evolution across the cosmic time, observe the birth of stars and planetary systems, find evidence of life beyond the Solar system, etc.

The first batch of science data will be released shortly after six months of instrument calibrations. For the first year of JWST operation, 286 science programs have been selected after competitive reviews, taking two-thirds of the available time. Approximately a half of these programs are for distant galaxies and nearby exoplanets. To maximize the JWST science returns, several infrared and optical survey projects will become operational in the near future and provide valuable targets. It is anticipated that the joint observations of JWST and the next-generation ground-based large telescope will lead to a golden era of astronomy.

space vehicles, astronomical instruments, cosmology, galaxies, infrared band

doi: [10.1360/TB-2022-0124](https://doi.org/10.1360/TB-2022-0124)