

News & Highlights

韦伯太空望远镜终于发射升空

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

过去 30 年，哈勃太空望远镜（Hubble Space Telescope）带来了一场天文学革命。由哈勃太空望远镜拍摄的壮美宇宙图片让人惊叹不已，而其后继者詹姆斯·韦伯太空望远镜（James Webb Space Telescope, JWST）于 2021 年 12 月 25 日在法属圭亚那库鲁的航天中心，依靠阿丽亚娜 5 型（Ariane 5）运载火箭发射升空。科学家对韦伯太空望远镜抱有更大的期望（图 1）[1]。

美国加利福尼亚大学圣克鲁兹分校天文学、天体物理学教授 Garth Illingworth 说：“韦伯太空望远镜就是升级版的哈勃太空望远镜。”韦伯太空望远镜主镜比哈勃太空望远镜主镜大两倍以上，光子捕捉能力更是后者的 7 倍 [1]。研究人员预测，通过韦伯太空望远镜将会发现宇宙中最早形成的天体与星系，能更准确地测量宇宙膨胀的速度、扫描遥远行星大气层中是否含有生命所需的化学成分，以及进行其他前所未有的观测[2-3]。

韦伯太空望远镜由美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration, NASA）、欧洲航天局（European Space Agency）、加拿大国家航天局（Canadian Space Agency）共同出资研发。但是，韦伯太空望远镜因为研发成本过高、发射不断延期而差点没能进入发射台[4]。此外，韦伯太空望远镜能否实现设计目标，能否取得相应的科学成果，依然需要进一步观察。美国纽约州立大学石溪分校（Stony Brook University）天体物理学教授 Paul Sutter 称：“这是我们建造过的最复杂的天文台，也可能是我们向太空发射过的最复杂的设备。”为了部署这台

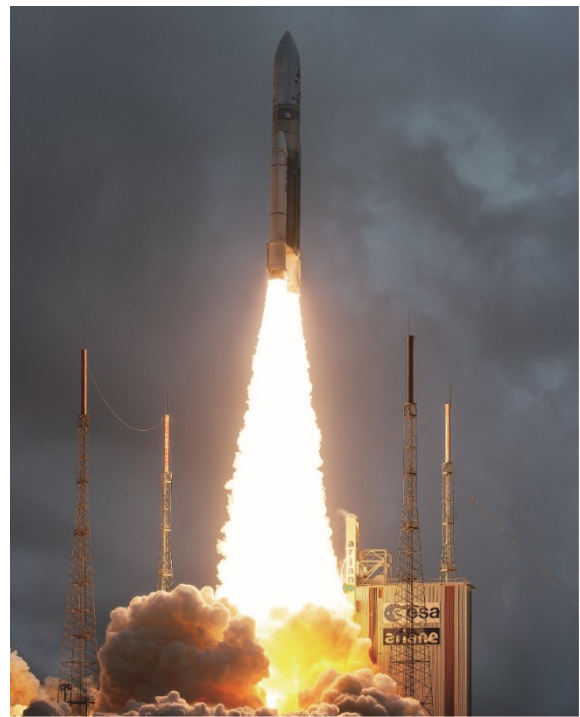


图 1. 2021 年 12 月 25 日，阿丽亚娜 5 型火箭搭载韦伯太空望远镜成功起飞。虽然发射前几周小事故不断发生，但最终发射非常成功。望远镜开始向距离地球 150 万公里的轨道位置前进。来源：NASA/Chris Gunn (CC BY 2.0)。

内部含有 100 万个可动部件的望远镜，并保证该望远镜上的各个仪器在距离地球 150 万公里的高度正常运行，需要无数的创新性工程设计方案。在这些方案中，有一部分无法在地表环境下进行测试[5]。使望远镜项目失败的潜在“单点故障”多达 344 个[6]。Illingworth 说：“风险非常大。”

35年前，哈勃太空望远镜还未进入太空，当时一部分研究人员就认为他们需要一台全新的太空望远镜。Illingworth便是其中之一。在思考月球基地等各种设施后，科学家最终选择了主镜直径为6.5 m的轨道红外望远镜。与用可见光观测相比，用红外线观测是有优势的。由于宇宙在不断膨胀，最遥远、最古老的星系离地球远去的速度如此之快，以至于它们的光都变成近红外线和红外线[7]。Illingworth说：“古老星系的红移程度非常高，哈勃太空望远镜完全无法对其进行观测。”红外望远镜与可见光望远镜不同，它还有一个优势：红外辐射可以透过尘埃遮蔽，进而观测到行星和其他星体形成的过程[8]。

韦伯太空望远镜的主镜由18块六角形镀金铍板组成[图2(a)]。韦伯太空望远镜的设计人员选择铍材料的原因是铍非常轻，每个铍板的质量仅为哈勃主镜同等面积镜板的1/10[7]。黄金镀层的反射性能极高，主镜捕捉到的辐射中有98%被反射到次镜，然后次镜将光子导入望远镜的4个仪器[9]。韦伯太空望远镜能够捕捉0.6~28 μm波长（覆盖电磁光谱红外区域的绝大部分）的光子[8]。在哈勃太空望远镜发射后，宇航员为其安装的红外相机可探测的波长最长可达2.5 μm，因此，哈勃太空望远镜的红外相机只对很小范围内的一部分红外线敏感。

为了辨别太空中微弱的红外信号，韦伯太空望远镜需要在极低的环境温度下工作——其中三个仪器的最佳工作环境温度为-236℃，而中红外光谱仪（mid-infrared instrument, MIR）的最佳工作环境温度为-266℃以下[10-11]。这就是韦伯太空望远镜为什么要在距离地球150万公里的第二拉格朗日点轨道上运行，而不像哈勃太空望远镜一样在地球上空几百公里处运行的原因[12]。这样的距离将使地球散发的热量不会影响望远镜的观测效果[7]。Illingworth说道：“太空简直就是一个大冰箱。”相较于哈勃太空望远镜的低轨道位置，第二拉格朗日点的位置更有利，原因是在一天中的一部分时间内，地球不会阻碍望远镜进行观测。

然而，即使在太空这个“大冰箱”里，太阳依然会使韦伯太空望远镜的温度升高。为此，工程师制定了两种方案，用于降低望远镜的温度。中红外光谱仪自带制冷机[11]。针对整个望远镜的冷却方案则是项目的标志性创新之一——5层遮阳板[图2(b)] [7]。风筝形遮阳板各层由一层富有光泽的耐热薄膜构成，并在耐热薄膜表面镀上铝层[13]。最外两层是太阳照射面，同样覆有特殊处理的硅材料，用于反射阳光[13]。5层遮阳板的厚度为0.025~0.05 mm，遮阳板吸收热量并将一部分热量传输至太空，实现了远超单层材料的防护效果[13]。因此，虽然望远镜太阳照射面温度可达120℃，但是望远镜镜面温度却可以

比照射面温度低300℃[7]。

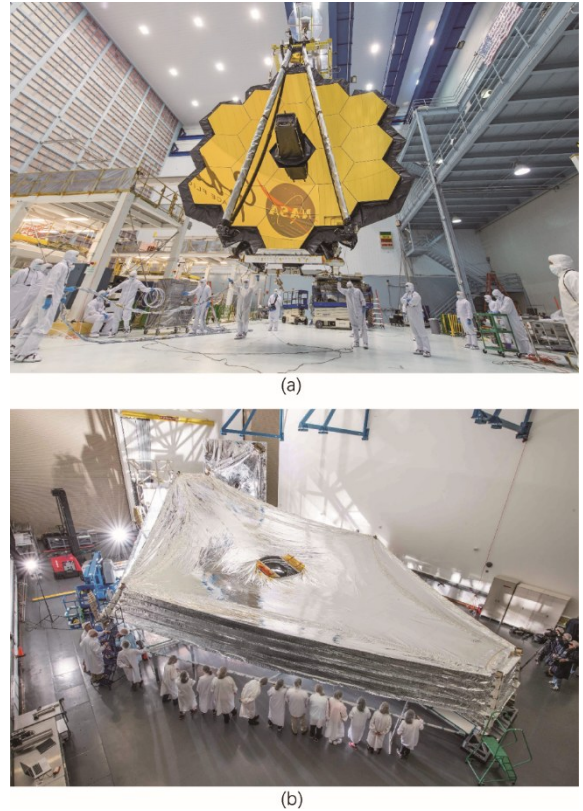


图2。(a) 技术人员制备的处于展开状态的望远镜主镜。主镜直径为6.5 m，质量为705 kg。(2) 遮阳板长21 m，宽14 m，发射时5层防护材料处于折叠状态。当望远镜进入太空后，遮阳板会展开成如图所示的形状。来源：(a) NASA/Desiree Stover (CC BY 2.0)；(b) NASA/Goddard/Chris Gunn (CC BY 2.0)。

由于主镜抛光不当，哈勃太空望远镜差点成为美国国家航空航天局最大的灾难。由于测试不足，在火箭发射前并没有发现这个问题[14]。相比之下，工作人员对韦伯太空望远镜进行了更全面的检查，部分原因是韦伯太空望远镜与地球的距离更远，不能像哈勃太空望远镜一样可以由宇航员进行维修[15]。美国犹他州立大学物理学教授J.R. Dennison带领他的团队用5年时间对望远镜的材料（包括很多组件都使用的碳纤维复合材料、遮阳板的聚酰亚胺，以及望远镜镜面上的一部分光学涂层材料）进行了测试，以研究这些材料在太空中的表现。

在后面的测试中，工程师用起重机吊起组装好的镜子，模拟失重环境。由此工程师可判断在发射期间保持折叠状态（图3）的18块铍板在太空中能否正确展开[16]。韦伯太空望远镜还在美国国家航空航天局位于得克萨斯休斯顿的37 m高的低温真空舱中经过了一系列航天适航性测试。测试环境温度最低可达-217℃[7]。

韦伯太空望远镜复杂的制造过程和烦琐的测试程序差



图3. 为了能装进火箭的整流罩，发射前对望远镜进行了折叠。来源：NASA/Chris Gunn (CC BY 2.0)。

点毁了这个项目。1996年，美国国家航空航天局预测该望远镜将于2007年起飞，成本仅为10亿美元——专家认为这个成本低得不切实际[17]。随着项目不断延期，项目成本也水涨船高，一路涨到现在的约100亿美元[18]。由于费用不断飙升和项目周期不断延长，2011年，美国下议院投票表决是否取消望远镜项目。经过一番激烈的游说（包括学校儿童写信请愿活动），美国政府才又开始投入资金[18]。并非只有美国政界对该项目进行批评。《自然》(Nature)杂志的一篇文章将该项目称为“吞噬天文学的天文望远镜”(the telescope that ate astronomy)，原因是该项目耗费了太多的资金、时间和精力[19]。Sutter对韦伯太空望远镜的价值也发出质疑：“我担心，50年后，当我们回顾这个项目时，我们会说，我们本可以更好地利用这些时间和金钱。”

既然韦伯太空望远镜已经升空，研究人员希望这些争议都能渐渐淡去。开始执行任务的第三天，望远镜开始展开它的遮阳板。为了能适配阿丽亚娜5型火箭的整流罩，韦伯太空望远镜的遮阳板和主镜一样，在发射时处于折叠状态。科学家对此很担心，因为在地球上无法模拟遮阳板在太空中的运动状态[7]。但是，只要同时运行107个制动器和90根电缆线，就能把遮阳板展开[20–21]。望远镜主镜的两翼也在2022年1月8日到位，望远镜在1月24日抵达第二拉格朗日点[22–23]。

美国图森亚利桑那大学的天文学教授Rodger Thompson曾担任哈勃太空望远镜红外相机的项目经理。他认为，假设不出故障，韦伯太空望远镜将极大地促进红外天文学的发展。Thompson说：“韦伯太空望远镜很大，工作环境温度很低，因此，它比哈勃太空望远镜接收的红外线的波长要长得多。”例如，他指出，通过韦伯太空望远镜，科学家可以观测来自宇宙首批星体（即135亿年前开始发光的星体）所在星系的光子[24]。Thompson称，目前为止，天文学家只能探测由这些早期星体残留物在后期形成的星体。“我们认为我们知道宇宙首批星体应该是什么样的，但是我们不确定。”

与哈勃太空望远镜相比，韦伯太空望远镜能将观测到的时间再向前追溯5亿年，还能观测到宇宙大爆炸两亿年后形成的天体[2]。借助韦伯太空望远镜，美国纽约罗切斯特理工学院(Rochester Institute of Technology)物理学、天文学副教授Jeyhan Kartaltepe及其同事研究了最古老星系的形成与演化。她与她的同事获得的韦伯太空望远镜的观测时间配额最大——10 000 h中的208 h——用于探测天空中一个区域内的所有星系。Kartaltepe称：“虽然研究人员对这些古老星系的认知十分有限，但是我们能观察大量的更远距离的星系，进而对其进行结构分析。”

韦伯太空望远镜还能帮助天文学家完善他们对宇宙膨胀的测量。美国伊利诺伊大学芝加哥分校(University of Chicago in Illinois)天文学、天体物理学教授Wendy Freedman及其同事利用哈勃太空望远镜对造父变星(cepheid)和红巨星(red giant)两种天体的观察结果，估算出宇宙膨胀速度为 $70 \sim 72 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ (Mpc表示百万秒差距)[26–27]。其他研究认为该数值高于 $74 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ [26]。然而，根据宇宙大爆炸残留微波辐射测量结果，宇宙膨胀速度大约为 $67 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ [27]。这个误差极为重要，因为宇宙膨胀速度高于理论预期，意味着有人类尚未了解的因素在加速宇宙膨胀[26]。韦伯太空望远镜极高的灵敏度让Freedman以及她的同事能更准确地测量造父变星和红巨星的数据，由此帮助解决误差问题。她说，望远镜“打开了一扇前所未有的窗户”。

在韦伯太空望远镜预期的10年的寿命里，这些项目仅是研究人员希望利用韦伯太空望远镜进行研究的其中几个主题。Dennison说：“韦伯太空望远镜将在很多领域掀起变革。”

References

- [1] Overbye D, Roulette J. James Webb telescope launches on journey to see the

- dawn of starlight [Internet]. New York City: New York Times; 2021 Dec 25 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.nytimes.com/2021/12/25/science/james-webb-telescope-launch.html>.
- [2] Clery D. First light machine [Internet]. Washington, DC: Science; 2021 Nov 12 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://dx.doi.org/10.1126/science.acx9595>.
- [3] McKie R. The James Webb Space Telescope: in search of the secrets of the milky way [Internet]. London: The Guardian; 2021 Nov 27 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.theguardian.com/science/2021/nov/27/james-webb-space-telescope-launch-delays-cost-big-bang>.
- [4] Roulette J. How NASA's biggest telescope beat loose screws, loose budgets and loose clamps [Internet]. New York City: New York Times; 2021 Dec 25 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.nytimes.com/2021/12/23/science/webb-nasa-launch-delay.html>.
- [5] Wolchover N. The Webb space telescope will rewrite cosmic history. If it works [Internet]. New York City: Quanta; 2021 Dec 3 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.quantamagazine.org/why-nasas-james-webb-space-telescope-matters-so-much-20211203/>.
- [6] Achenbach J. NASA's James Webb Space Telescope will open a new window on the cosmos—if everything goes just right [Internet]. Washington DC: Washington Post; 2021 Dec 25 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.washingtonpost.com/science/interactive/2021/webb-space-telescope-launch/>.
- [7] Pultarova T. James Webb Space Telescope: the engineering behind a 'first light machine' that is not allowed to fail [Internet]. New York City: Space; 2021 Dec 21 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.space.com/james-webb-space-telescope-engineering-challenges>.
- [8] Webb vs Hubble telescope [Internet]. Washington, DC: NASA; [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.jwst.nasa.gov/content/about/comparisonWebbVsHubble.html>.
- [9] Gohd C. NASA's James Webb Space Telescope has a shiny giant mirror made of gold hexagons. Here's why [Internet]. New York City: Space; 2021 Dec 14 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.space.com/nasa-james-webb-space-telescope-mirror-explained>.
- [10] Witze A. The \$11-billion Webb telescope aims to probe the early universe. *Nature* 2021;600(7888):208–12.
- [11] Webb innovations cryocooler [Internet]. Washington, DC: NASA; [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://webb.nasa.gov/content/about/innovations/cryocooler.html>.
- [12] 'L2' will be the James Webb Space Telescope's home in space [Internet]. Washington, DC: NASA; 2010 Jun 23 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.nasa.gov/topics/universe/features/webb-l2.html>.
- [13] About the sunshield [Internet]. Washington, DC: NASA; [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://webb.nasa.gov/content/observatory/sunshield.html>.
- [14] Capersand RS, NASALipton E., Perkin-Elmer share blame for Hubble flaw, sayspanel [Internet]. Baltimore: Baltimore Sun; 1990 Nov 26 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.baltimoresun.com/news/bs-xpm-1990-11-26-1990330097-story.html>.
- [15] Grush L. NASA's James Webb Space Telescope is about to transform into its final form [Internet]. New York City: The Verge; 2021 Dec 28 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.theverge.com/2021/12/28/22816310/nasa-james-webb-space-telescope-jwst-deployment-sequence>.
- [16] Amos J. James Webb Space Telescope's golden mirror in final test [Internet]. London: BBC News; 2021 May 12 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.bbc.com/news/science-environment-57078657>.
- [17] Grush L. Why NASA is struggling to get its most powerful space telescope off the ground [Internet]. New York City: the Verge; 2018 Aug 1 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.theverge.com/2018/8/1/17627560/james-webb-space-telescope-cost-estimate-nasa-northrop-grumman>.
- [18] Greenfieldboyce N. Why some astronomers once feared NASA's James Webb Space Telescope would never launch [Internet]. Washington, DC: NPR; 2021 Dec 22 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.npr.org/2021/12/22/1066377182/why-some-astronomers-once-feared-nasas-james-webb-space-telescope-would-never-la>.
- [19] Billings L. Space science: the telescope that ate astronomy [Internet]. London: Nature; 2010 Oct 27 [cited 2020 Jan 20]. Available from: <https://www.nature.com/articles/4671028a>.
- [20] Harwood W. James Webb Space Telescope sunshade deployment begins in critical milestone for \$10 billion mission [Internet]. New York City: CBS News; 2021 Dec 28 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.cbsnews.com/news/james-webb-space-telescope-sunshade-deployment-begins/>.
- [21] Amos J. James Webb Space Telescope: sun shield is fully deployed [Internet]. London: BBC News; 2022 Jan 5 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.bbc.com/news/science-environment-59873738>.
- [22] Zastrow M. James Webb Space Telescope successfully unfolds mirrors [Internet]. Waukesha: Astronomy; 2022 Jan 12 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://astronomy.com/news/2022/01/james-webb-space-telescope-unfolds-mirrors-completes-deployment>.
- [23] Witze A. Webb telescope reaches its final destination far from earth [Internet]. London: Nature; 2022 Jan 24 [cited 2022 Jan 25]. Available from: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-00128-0>.
- [24] Pultarova T. James Webb Space Telescope: the scientific mysteries no other observatory could resolve [Internet]. New York City: Space; 2021 Dec 24 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.space.com/james-webb-space-telescope-science-overview>.
- [25] Grush L. How astronomers decided where to point the most powerful space telescope NASA ever built [Internet]. New York City: the Verge; 2021 Dec 20 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.theverge.com/22789561/nasa-jwst-james-webb-space-telescope-priorities-astronomy-astrophysics-exoplanets>.
- [26] Wolchover N. New wrinkle added to cosmology's Hubble crisis [Internet]. New York City: Quartz; 2020 Feb 26 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.quantamagazine.org/new-wrinkle-added-to-cosmologys-hubble-crisis-20200226/>.
- [27] Strickland A. Red giant stars create new way to measure how quickly the universe is expanding [Internet]. Atlanta: CNN.com; 2019 Jul 16 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.cnn.com/2019/07/16/world/hubble-universe-expansion-rate-scn-trnd/index.html>.