

詹姆斯·韦布太空望远镜的首批科学成果

(中国科学院国家天文台 杨隽、苟利军 编译自 Keith Cooper. *Physics World*, 2023, (4): 33)

詹姆斯·韦布太空望远镜(JWST)仅发射升空了一年多, 天文学家们就已经开始利用这款具有突破性的望远镜来揭示宇宙的奥秘。英国的科学记者 Keith Cooper 为我们呈现了 JWST 最初的一些科学成果亮点。

经过近 25 年的研发, 美国航天局(NASA)的 JWST 望远镜于 2021 年的圣诞节搭乘阿丽亚娜 5 型火箭顺利进入太空。此次发射是在克服技术难题、预算超支、超出时限, 甚至美国国会临时取消项目的情况下取得的胜利。因此, 随着发射台倒计时逐渐逼近零, 现场情绪非常激动。

“当时非常紧张”, 美国巴尔的摩太空望远镜科学研究所(Space Telescope Science Institute, STScI)的 JWST 项目科学家 Susan Mullally 承认道。“我简直不敢相信这是真的”, Naomi Rowe-Gurney 补充说, 她是 NASA 戈达德太空飞行中心(Goddard Space Flight Center)的 JWST 保证时间观测(Guaranteed

Time Observations)博士后, 负责支持行星系统团队, “我原本以为会再次出现某种形式的延误, 觉得它永远不会发射。”

这个项目的发展断断续续, 部分原因在于望远镜的复杂性不断增加。该望远镜特点是一个拼接的 6.5 m 主镜和一个易碎的、网球场大小的五层隔热遮阳罩。这两个部件被折叠压缩放置在火箭整流罩之内, 需要像折纸一样能够展开。展开的过程需要 30 天左右, 与此同时, 望远镜也抵达了太阳和地球的拉格朗日 2 点(L2), 这时太阳和卫星分别在地球的两侧, 卫星距离地球 160 万公里。

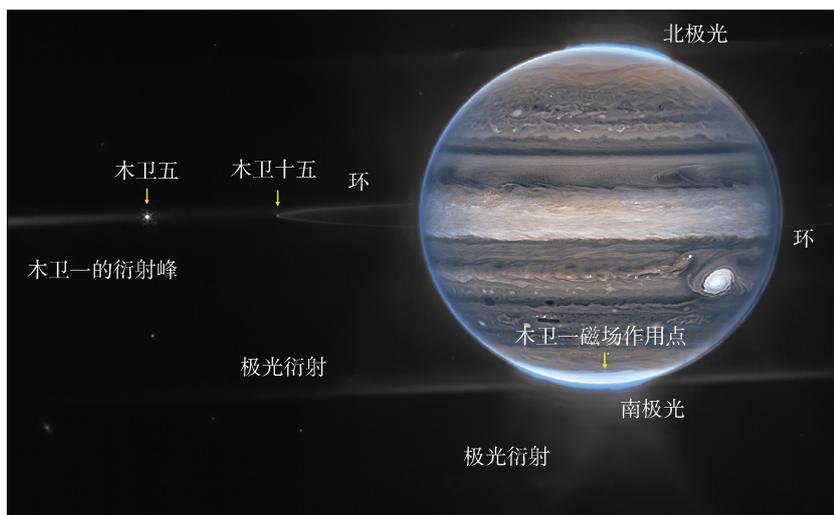
L2 是一个不稳定的拉格朗日点, 在此处围绕太阳运动的物体所

受的离心力会与地球和太阳对其的引力达到平衡, 但大约每 23 天平衡就会被打破。处于这个位置的望远镜需要使用推进器进行定期的轨道和姿态修正来保持其位置——对此 JWST 已经准备充分, 携带了足够的推进剂。然而, L2 距离地球太远, 以至于无法像哈勃太空望远镜那样(距离地球 547 km), 在 1993 年出现光学问题时接受宇航员的帮助。如果 JWST 的镜面在部署过程中出现问题, 天文学家们只能得到一个漂浮在深空、价值百亿美元的废物。Rowe-Gurney 说: “最初的那 30 天令人非常紧张, 因为任何问题都是一个单点故障, 意味着我们将失去这台望远镜。”

在寒冷的真空环境中, 总共有 344 个可能导致失败的点, 因此望远镜错综复杂的活动部件需要准确无误地运行。最后, 它们也的确做到了。

“当那主臂、次镜成功展开时, 我明白它真的可以运行, 意味着我们真正拥有了这个望远镜”, Rowe-Gurney 说, “即使后续的部署没有成功, 我们也能捕捉到光, 并将其输入到仪器中。”

在两个镜面都展开后, 下一步是对主镜的 18 个六角形镜片进行对焦, 分为七个阶段完成。最初时每个部分产生一个不同的失焦图像, 所以第一阶段是识别各个图像分别属于哪个六角形镜片, 让每个镜片粗略地对齐, 使 18 个图像都聚焦。



木星景观。JWST 的 NIRCam 对木星的成像, 不仅显示出了木星大气层的精细结构, 还有暗淡的卫星、尘埃环甚至极光

在此之后，镜片进一步调整，使它们开始聚焦在同一点上。

接下来是各种程度的微调，确保焦点落在不同仪器的视场范围内。然后进行一系列校正，确保各个部分相互对齐，差距在50 nm以内。经过三个月的处理，望远镜最后完成对焦。

完成了以上所有步骤后，接下来是对单个仪器进行校准：近红外摄像机(NIRCam)、近红外光谱仪(NIRSpec)以及中红外设备的整套探测器(MIRI)。这个过程是在2022年4月中旬，在MIRI冷却到其工作温度7 K (-266 °C)之后才开始，并持续了大约两个月。

突破极限速度

在看起来一成不变的深空背景下，太阳系内的天体是在运动的。为了跟踪和拍摄它们，JWST必须物理性地转动航天器。为了确保图像清晰，望远镜的跟踪速度上限最初被设定为30 mas/s，其中1角秒为1/3600°

“速度上限是基于火星的运动，这大致意味着对望远镜而言，任何比火星更靠近太阳的天体运动速度都太快了”，马里兰大学的Michael Kelley说。

Kelley研究太阳系内的小天体，即小行星和彗星，它们经常运行到火星轨道之内。特别是对彗星的观测，它们对与太阳的距离非常敏感，因为它们会被太阳的热量所影响，导致表面的固态物质升华成气体。Kelley说：“距离太阳1个天文单位(约1.5亿公里)的彗星与距离太阳3个天文单位的彗星之间的表现可能有所不同，这完全是由接收到的光度不同所引起的。”然而，火

星位于约1.5个天文单位处，因此当JWST尝试观测火星轨道以内的彗星时，会受到上限30 mas/s的速度限制。

幸运的是，进入太空后，JWST团队就意识到将速度上限设定为30 mas/s过于保守。

负责收集移动目标和散射光的数据、调试仪器的Rowe-Gurney表示：“我们测试了跟踪速度能达到多快，发现实际上可以让他更快。”

几个月后，增加的追踪速度派上了用场。在事后被*Physics World*评为2022年度突破的“双小行星重定向测试”(DART)任务中，JWST观测了距地球1100万公里外，小行星迪莫弗斯(Dimorphos)受到撞击后的情况。此时JWST能够以比30 mas/s限制快三倍的速度进行追踪，捕捉到了从撞击中喷射出的碎片，同时保持小行星在视场中清晰可见。

实际上，望远镜已经可以达到最高120 mas/s的跟踪速度。然而，速度越快，跟踪效率就越低，从而需要找到一种折中的平衡。Rowe-Gurney说：“在明年，安全跟踪速度将提高到75 mas/s，比当前的速度上限高出一倍多，这样我们就能在不损坏望远镜的前提下跟踪太阳系内更多的物体。”

额外的伪像

除了镜面对准、仪器校准和跟踪限制外，JWST科学家还需要考虑望远镜独特的成像效果。当



“靶心”。围绕双星系统WR 140(沃尔夫-拉叶星和O型星)的同心圆环

JWST盯着一个明亮的物体(一颗行星、一颗恒星，甚至是一个遥远的类星体)时，一些过亮的光会形成衍射图案。这导致JWST的许多图像中前景恒星周围会出现“尖峰”，虽然很漂亮，但它会掩盖科学细节。幸运的是，每台望远镜独特的衍射图案都可以描述为点扩散函数，通过为JWST及其仪器研究这种特定的扩散模式，天文学家可以在必要时从图像中去除多余的光。

一个典型的例子是JWST拍摄双星系统WR 140的图像。WR 140距离我们5000光年，由一颗沃尔夫-拉叶(Wolf-Rayet)星和一颗O型星组成，质量分别约为10倍太阳质量和30倍太阳质量。O型恒星是最热、质量最大的恒星类型，而沃尔夫-拉叶星是一种接近生命终点的O型恒星，它会产生强大的星风，将大量气体推入太空。

当JWST首次拍摄到这个双星系统时，天文学家惊讶地发现该双星周围有17个同心圆环。起初，这些圆环被认为是望远镜成像产生的伪影，但在去除点扩散函数后仍然可见。基于模拟的进一步研究表明，当双星处在一个高度椭圆轨道上且相互靠近时，它们的星风会相



宇宙悬崖。这幅图像看上去像是月光下的嶙峋山峰，实际上它展示的是船底座星云NGC 3324的边缘，是一个离我们很近的年轻恒星形成区。通过由JWST上的NIRCam捕捉到的图像，揭示了之前被遮蔽的恒星诞生区

互碰撞、压缩气体、形成尘埃，从而导致尘埃环的产生。更重要的是，模拟环的图案与WR 140周围的图案完全一致，甚至在环中出现的线状特征(由于我们视线方向上的红外辐射增强而产生)也和模拟结果相符。WR 140周围的这些环就像树干的年轮一样，标志着恒星围绕彼此的轨道，周期为8年的时间。

对WR 140的观测首次绘制出了双星周围星风碰撞的三维结构图像。如果天文学家没有首先对进入望远镜的散射光的图案进行建模以便去除它，就不可能辨别出观测结果所传达的信息。

天文学家的新玩具

WR 140的例子表明，在进行观测的同时了解望远镜有多么重要。“这是个需要经常考虑的事情，”Mullally说，“在每一步，你都希望你的团队里有一个专家，对这个仪器或者这类观测的方法了解得越多越好。”

正因如此，JWST的“早期释放科学”计划(Early Release Science, ERS)——在科学运行的前5

个月，立即公开观测结果——背后的一个动机就是先帮助部分天文学家熟悉望远镜及其仪器，使他们能够在后续的观测周期中带领其他人。“这就像一个新玩具”，Rowe-Gurney说，“我们投入了很多精力来了解和掌握如何处理和校准数据，以确保其可靠性。”

幸运的是，JWST运行十分顺利。Mullally谈到：“仪器科学家可能会说，他们仍在了解各自的仪器以及如何去除数据中的小系统误差、人为干扰等问题，但我从大家那里得到的整体印象是望远镜表现得非常出色。”

到目前为止，JWST的运行只有一个需要注意的问题：微流星体撞击从而造成损伤。望远镜的镜面平均每月就会被足够大的物体击中一次，从而影响到波前传感，即检测望远镜光学系统对齐误差的能力。波前传感能力的降低可能表现为光线的相位偏移，导致图像清晰度下降。

这种撞击在发射前就已经预料到了，并且预计不会对望远镜的使用寿命构成威胁。然而，在2022年5月，其中一片镜面就已经遭受了比典型撞击更大的撞击，留下了约30 cm的伤口，使望远镜的总波前误差从50 nm增加到了59 nm。这个影响很严重，因为如果波前误差达到150 nm，望远镜将不再具备实现其科学目标的灵敏度，这意味着只要再有类似规模的10次撞击，

JWST就将提前“游戏结束”。

由于对前景有些担忧，NASA组建了一个微陨石工作组来研究这一风险。L2点的微陨石数量众所周知，尚不清楚的是撞击的动能与波前传感性能下降之间的关系。像去年5月发生的那种大规模撞击是极其罕见的，JWST仅仅是不走运吗？还是望远镜将比预期更频繁地遭受严重的撞击呢？

在工作组给出答案之前，望远镜的管理者鼓励天文学家合理安排观测时间(在尽可能的情况下——对于时间敏感的观测除外)，以确保望远镜不会指向微陨石“雨”，由此来降低风险。

如果合理安排观测时间这个方法有效，或者工作组对于撞击概率给出了令人放心的答案，那么JWST的使用寿命还很长。得益于完美的发射，以及前往L2点的过程中仅需要最小程度的航向修正，望远镜携带的推进剂足够支持其继续执行任务至少27年。

根据任务前12个月所展示的情况来判断，这台卓越的设备应该会在接下来的27年里产生大量激动人心的新观点和数据，很有可能改变天体物理学、系外行星研究、宇宙学等领域。实际上，已经有两场重要的科学会议——2022年12月在美国巴尔的摩太空望远镜科学研究所举行的JWST首次科学成果会议，以及2023年1月在美国西雅图举行的美国天文学会第241次会议——展示了JWST的潜力，以及许多令人着迷的新发现，而这些只是它所能实现的冰山一角。JWST发射过程中过山车般的经历已经结束，真正令人激动的部分才刚刚开始。