**耗资100亿美元打造的詹姆斯韦伯空间望远镜究竟能干啥？**

作者：王吉（俄亥俄州立大学）

编辑：王曦

**导读：詹姆斯韦伯空间望远镜于2021年圣诞成功发射，宣告人类天文探索史翻开全新篇章。从立项研发到成功发射，“韦伯”耗时近30年，耗资约100亿美元，其相当于相当于中国航天研究一年的总预算（包括探月和探火工程）。这笔钱花得值吗？**

2021年圣诞，耗时20年耗资100亿美元的詹姆斯韦伯空间望远镜（以下简称韦伯）终于在法属圭亚那航空发射中心成功发射。在经历了一个月的旅程后，韦伯目前已经到达她的最终目的地，距离地球一百五十万公里的拉格朗日点。

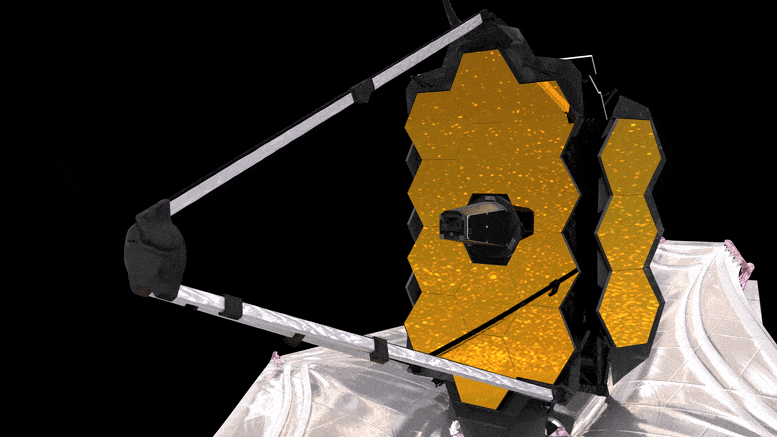
在韦伯即将开启她的科学征程之时，很多人或许还不知道为何她的建造会让世界最顶尖的航空工程师们呕心沥血，鞠躬尽瘁？为何她的发射会让全球天文学家们屏息凝视，翘首以盼？更不知道在未来她将带来怎样的壮丽画卷，颠覆和刷新全世界对整个宇宙的认知！如果你想了解，请听我一一细数。

**Q:原计划于21世纪初发射的“韦伯”，为何推迟了20年才成功发射？**

**A1:建造难度极高，工程师耗尽心血**

“韦伯”于上世纪正式立项，原计划于21世纪初发射。但是由于种种原因，实际发射日期距原定发射日期相差了几乎20年。这其中的主要原因之一，就是极高的建造难度。

首先，为了能够看得更远，“韦伯”的主镜比她的上一代哈勃空间望远镜要大了几乎3倍——她6.5米的望远镜主镜必须通过折叠的方式才能放进阿丽亚娜重型火箭的发射仓中。为了解决这个问题，韦伯的主镜是由18块1.3米的六边形镜片组成，方便折叠和展开（图一），但考虑到外太空超远程运作，这样的设计方案也对工程结构稳定性和可靠性提出了近乎苛刻的要求。

[](https://scitechdaily.com/james-webb-space-telescope-primary-mirror-deployment-has-begun/)

图一：Webb Space Telescope Primary Mirror Deployment. Credit: NASA’s Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab

其次，“韦伯”的主镜材料是稀有轻金属铍。由于原子序数只有4，铍是最轻的碱土金属元素，具有密度低，熔点高，弹性模量大，拉伸强度大，热性能优异，尺寸稳定性好等诸多优异性能。在宇宙极端的温度环境下，铍的热膨胀系数低的特性可以使其尽可能的减小由温度变化所造成的形变，因此是非常理想的空间材料——要知道曾经的“哈勃”就是因为发射后出现的主镜形变而造成了“近视”，要不是空间站的宇航员后来给“哈勃”补装了“眼镜”，我们看到的哈勃照片都是模糊的。而如果主镜材料不过关，再要给“韦伯”装眼镜可就太不容易了，因为“韦伯”所到达的位置比“哈勃”可要远了750倍。

再次，韦伯主镜的镀膜是金，所以看上去金灿灿的。采用镀金工艺也和“韦伯”的红外观测波段紧密相关，因为金在红外、特别是中红外的反射率是所有金属中最高的；此外，金也是最不易反应的惰性金属之一，所以在宇宙的极端环境下这层金膜仍可以长久保持，无须操心重新镀膜的问题。当然，比起“韦伯”的制造天价，镀膜所需要的金的价格可以不值一提，韦伯主镜25平方米的金膜只使用了48克金。

最后，为了进一步保障“韦伯”观测的准确性，还必须聊聊“韦伯”的隔热和制冷问题。由于宇宙最初的光会因为宇宙膨胀而红移到红外波段，经过130亿年的宇宙膨胀，早期宇宙的可见光已经变成了现在的红外光子。

【要理解宇宙红移，建议大家找一个气球（代表早期宇宙），在上面用记号笔画一条线，这条线的长度可以当做是早期宇宙光子的波长。然后把气球吹大10倍（代表现在宇宙的尺度），看看记号笔线现在的长度，这就是光子经过宇宙膨胀后的波长。】

而说到红外光子，大家应该都不陌生。任何物体都在不停的辐射出红外光子，人体不例外，“韦伯”当然也不例外。（这些红外光子在夜间通过红外夜视仪可以清晰观测到）。正常情况下，“韦伯”在宇宙中自己产生的红外光子会和宇宙初期的微弱的红外光子混在一块，导致观测者无法分辨——毕竟光子可不像人一样，都有自己的名字，他们只有两个性质：波长和相位。——因此，为了避免“韦伯”自身的红外光子和宇宙光子混淆不清，部分“韦伯”的仪器必须要冷却到零下260多度。只有这样极低的温度，才能确保这“韦伯”释放的红外光子数远远低于宇宙光子数，进而保障观测少受干扰和影响。

所以，在浩瀚的宇宙空间中，“韦伯”必须要有一把“遮阳伞”来隔热，还要有一台“冰箱”来制冷。我们先来说说遮阳伞（板），这个遮阳板要有一个网球场那么大。为了节省发射重量和空间，遮阳板不是一块材质坚硬的板，而是一层薄膜。要知道在太空中展开一个网球场已经很不容易了，更何况这样的遮阳板还要有五层，才能确保“韦伯”冷却到零下230度。而要到达零下260多度，剩下的就必须依靠 “冰箱”了。“韦伯”自身装载的冷却系统耗资超过1.5亿美元，这个“冰箱”也许是世界上最贵的冰箱了。

**A2:意外事故频出，人力成本高居不下**

实际上，1997年“韦伯”立项时的原定发射日是在2007年，而当时的预算也仅为5亿美元。但是因为种种原因，发射日期一拖再拖，最终发射的时间比原定计划足足晚了14年。这期间，刨除不可抗力的技术原因和政治原因，频繁的试验差错所导致的修正复工以及始终高举不下的人力成本，也成为了“韦伯”发射“难产”的主因。

首先，在“韦伯”跨度20余年的研发和制作过程中，经历的种种奇葩事故和实验失误不胜枚举。其中最让笔者乍舌的一次，是在“韦伯”发射前的几乎最后一次抗震试验中，居然还发生了关键设备的螺丝和螺帽被震了出来的“突发事故”，以一种近乎滑稽与惨烈并存的方式，导致“韦伯”升空再度难产。

此外，足足14年的拖延所导致的人力成本叠加可以称得上是天文数字。要知道，这14年项目要养活的，是一个超过1000个科学家和高级工程师的庞大团队！据不完全统计，至2021年“韦伯”成功发射，项目开销已从最初的5亿美元预算被生生推高到了97亿美元！

至2021圣诞，全球的天文学家们翘首以盼终于等到了韦伯的顺利发射。但这还仅仅是开始，因为在地球上发现什么错误还可以修正，还可以重新来过；真正让人焦虑、辗转反侧的是，“韦伯”一旦到了太空中，再出现问题就没有补救的办法了。

就笔者了解的情况来看，从发射升空到“韦伯”最后抵达既定目标的拉格朗日点，中间有344个有可能导致发射失败的关键节点，其中有百分之七十五的失败节点都在韦伯的网球场大的太阳伞（遮阳板）上；而就算是把每个节点反复打磨到尽善尽美，使节点成功率达到百分之九十九，无限接近百分之百，韦伯望远镜抵达拉格朗日点并顺利运作的成功率也只有百分之三……因此，在过去的一个月里，用着急上火却又爱莫能助、“有心无力”来形容关注“韦伯”的天文学家们是最贴切不过的了。

**Q:发射“韦伯”的代价如此巨大，为何还要坚持建造？“韦伯”究竟会为人类发展带来怎样的影响？**

从地球之外的生命迹象勘测到宇宙边缘的原初星系探索，韦伯将在以下四个科学方向上做出卓越贡献，带来巨大的科学回报——

**A1：大幅推进原初星系探索，让人类见到“宇宙第一道光”**

让我们从最远的原初星系说起：“韦伯”6.5米的主镜是哈勃的三倍，这意味着通过“韦伯”我们可以看见更早期的宇宙——宇宙年龄大概有140亿年，通过“哈勃”能够观测到宇宙年龄几百万年阶段的样子，而通过“韦伯”却能观测到宇宙只有一百万年左右的样子——可千万不要小瞧了这几百万年的时间差别，正是在“哈勃”所看不到的这几百万年间，宇宙从黑暗演变出了光明！而原初星系就是照亮整个宇宙的光！因此，通过“韦伯”近一步观测原初星系，可以说是我们人类看见宇宙第一道光的唯一的希望，是人类探索宇宙奥秘历史的全新里程碑！

**A2：加速星系形成的研究进程，使人类坐上“宇宙时光机”**

原初星系形成之后，经过140亿年的演化，变成了我们目前周围所熟悉的星系：像银河系一样的螺旋星系和像室女座A星系一样的椭圆星系。但是从早期的宇宙到现在的宇宙，星系究竟是如何演化的呢？这是“韦伯”的第二个主要科学命题。

探索这个问题说难也不是太难，就像研究一个婴儿怎么成人一样，我们只需要收集她从小到大，成长历程的照片，就可以窥见其生长的端倪。“韦伯”也需要做类似的事情，收集不同年龄星系的照片，帮助科学家们从中找出星系形成和演化的规律。

但是问题来了，对比漫长的宇宙年龄，人类的历史也仅有短短的几百万年而已，又怎么可能苦等一百多亿年去观察星系的成长呢？这个问题在宇宙这么大的尺度下其实很容易解决，因为光速是有限的。比如我们现在看到的最近的恒星——比邻星，其实是它4.2年前的样子，因为地球和比邻星之间的距离是4.2光年；那么当我们把眼光放得更远，我们现在看到的宇宙其实是更加早期的宇宙。从这个角度来说，宇宙就是一个时光机——我们可以观测的距离越远，所观测到的星系的年龄就越年轻。当我们通过“韦伯”观测不同距离的星系，就相当于通过她在观察各种星系在不同年龄的样子。通过这样的方式，我们就可以找到星系演化的答案了。

**A3：穿透恒星形成的层层迷雾，带人类走进“孕育恒星的地方”**

每个星系都是由亿万颗恒星组成的，而“韦伯”要解答的下一个关键问题，就是恒星的形成了。你可能会问，我们周围这么多恒星，难道我们还不够了解它们吗？负责任的说，确实如此。人类对于恒星，尤其是“婴儿期”的恒星，仍然存在太多的未知——我们周围的恒星都是成熟甚至是衰老的恒星，想要研究恒星究竟是怎么孵化的，我们就必须要穿越层层迷雾到达恒星形成的区域。（在这些区域里，“层层迷雾”可不是一个比喻，而是真实的状况，因为恒星就是在非常致密的分子云和尘埃里面形成的。）

在这个过程中（穿越星际迷雾），“韦伯”可以看到的红外波段的优势就充分显现出来了。我们知道，波长越长，就越容易穿越障碍物——未见其人，先闻其声，说的就是因为声波的波长比可见光的波长要长得多，所以我们往往是先听到人的声音，后见到人；另外一个日常生活的例子就是我们平常看到的红彤彤的日落，并不是因为太阳光是红色的，而是因为红光的波长要比其他可见光的波长更长，所以更加容易穿过地平线的大气和尘埃。根据这个原理，“韦伯”所装载的红外相机和光谱仪就可以为我们拨云见日，带我们走进孕育恒星的地方。

**A4：探索地外生命的迹象，引领人类找到“下一个地球”**

韦伯的最后一个主要科学目标就是寻找地外生命的迹象。在目前已知的几千颗地外行星中，有相当数目的地外行星均分布于在星际宜居带中。这就意味着在这些宜居行星的表面有可能存在着液态水——水是生命之源，这是目前科学界的共识。不管是类似地球的生命，或者是那些未知的生命现象，他们的存在都离不开水。

那么除了水之外，是否还有其他的生命信号呢？如果我们要寻找类似地球的生命，“韦伯”还可以帮助我们寻找行星大气里的氧气和甲烷[1]——要知道在我们地球上，绝大部分的氧气和甲烷都是由生命产生的，而这两种气体又非常容易产生化学反应并互相消耗，所以氧气和甲烷的同时存在往往是生命存在的重要信号。此外，如果我们跳出常规，跳出类似地球生命的条条框框，氨气也很有可能是另外一种显示生命迹象的气体[2]。

因此，不管是氧气和甲烷，抑或是氨气，“韦伯”都可以帮助我们探测到它们的光谱信号。这些气体都有它们独特的分子吸收光谱，就像人类的指纹具有鲜明的标志性和独一性那样，通过“韦伯”在行星中搜索它们独特的光谱，也就可能找到它们的存在，而找到了它们，也就意味着人类距离找到真正的地外生命前进了一大步。当然，这些分子的“指纹”几乎都在红外波段，而且它们的吸收信号又极其的微弱，所以目前所有的望远镜里面，有也仅有 “韦伯”才有可能承担起搜寻宜居行星大气中生命信号的大任。

所以说，从早期宇宙，到星系演化，到恒星形成，再到地外生命，“韦伯”的肩上承载了几乎所有领域的几代天文学家们寄予的厚望，也难怪“韦伯”的建造和发射牵动着全球天文学家的心。现在“韦伯”已经就位，让我们饱含期待，尽情享受它所将带来的宇宙饕餮盛宴和天文科学革命吧！

作者简介：王吉，俄亥俄州立大学天文学系助理教授。2006年毕业于中科大天体物理系。2012年在佛罗里达大学获得天文学博士学位，2012年到2018年在耶鲁大学和加州理工学院从事博士后研究。2018年在俄亥俄州立大学任教。2022年获得美国自然科学基金（NSF）早期职业奖（Early Career Development Awards)。研究领域是地外行星和地外生命。

参考文献：

1. “Exoplanet Biosignatures: A Review of Remotely Detectable Signs of Life”, Schwieterman, Edward W. et al. 2018, Astrobiology, Volume 18, Issue 6, 2018, pp.663-708
2. “Detecting Biosignatures in the Atmospheres of Gas Dwarf Planets with the James Webb Space Telescope”, Phillips, Caprice L.et al. 2021, The Astrophysical Journal, Volume 923, Issue 2, id.144, 15 pp.