

嫦娥五号探月任务特别报道之二

“嫦娥”回家 从月亮上起飞

本报记者 刘 晓

古有嫦娥奔月传说，今有“嫦娥”回家直播。顺利完成月球上的科学任务之后，嫦娥五号要回家了。

12月3日23时许，嫦娥五号上升器在月面点火起飞，携带着精心“打包”的月壤奔向环月飞行轨道，踏上了返回地球的征程。漫漫归途中，还有一场惊心动魄的月球轨道空间交会对接考验着嫦娥五号。

起飞离月宫 载人不是梦

嫦娥五号回家之旅顺利开启，标志着中国首次地外天体起飞的成功。

与奔月时借助长征五号运载火箭的力量不同，嫦娥五号在月面起飞面临着诸多考验和不确定因素。专家介绍，由于不具备成熟的发射塔架系统，上升器在月面起飞时，只能依靠在月球上“协同作战”的着陆器作为“临时塔架”；起飞过程中，由于月面环境复杂，上升器的起飞初始基准与起飞平台姿态不确定，还面临着发动机羽流导流空间受限、地月环境存在差异等问题；上升器起飞后，由于月球上没有导航星座，需在地面测控辅助下，借助自身携带的特殊传感器实现自主定位、定姿。时间窗口同样分秒必争。从12月1日着陆到12月3日飞离，嫦娥五号必须在月球白天的48小时内完成采样封装等科学任务，并在月球入夜、进入极端寒冷环境前离开月面。

因此，此次地外天体起飞的顺利实现，不仅跨越了嫦娥五号探月的一大难关，对于走向深空的中国航天而言意义更为深远。

中国航天科技集团党组书记、董事长吴燕生表示，嫦娥五号实现地外天体起飞，标志着中国首次掌握了地外天体起飞技术。中国人独立自主完成载人登月、建立月球空间站，甚至走向更为深远的太空将不再是梦。

在上升器点火返回前，嫦娥五号还准备了一个惊喜——着陆器在月面成功展示了一面“织物版”国旗，这是中国在月球表面首次实现国旗的“独立展示”。这并不是五星红旗第一次在月球出现，但这是一次独特和令人振奋的亮相。

2013年12月，嫦娥三号着陆器与玉兔号月球车成功互拍，让中国国旗首次出现在月球上；2018年12月，嫦娥四号探测器将耀眼的“中国红”带到了月球背面。与此前两次通过喷涂的方式展现国旗不同，嫦娥五号展示的五星红旗是一面真正的“旗帜”。

据了解，为了让国旗在月球极端恶劣的气候等环境条件下顺利亮相，相关研制团队用了超过1年的时间进行选材，最终选用了某新型复合材料。为了让国旗平整展示、让呈现效果更好、照片元素更丰富，科研团队采用了卷轴展开的形式，并将国旗尺寸定为2000毫米×900毫米。

着陆处女地 采得月壤归

在此次整装出发之前，嫦娥五号已在月球忙碌了近19个小时，实现了月面着陆和自动采样封装两大“壮举”。

嫦娥三号和嫦娥四号的登月经验，为嫦娥五号的月面着陆奠定了基础。与之相比，由于涉及月面采样和起飞，嫦娥五号的对于着陆位置的精度和平整度有更严苛的要求。为了实现“选址正确、落得准确”，嫦娥五号采用了嫦娥三号和四号验证过的“粗糙接力避障”方式，在制导导航与控制(GNC)系统的指挥下稳稳降落。

与嫦娥三号相比，嫦娥五号任务的着陆缓冲能力要求提高了30%，但着陆缓冲机构重量指标减少了5%，这对嫦娥五号的减重设计提出了极高要求。为此，在嫦娥三号和四号的基础上，嫦娥五号的四条“腿”（着陆缓冲机构）实现了强化升级，具备完全自主知识产权的“偏置收拢、自我压紧”式方案，保证收拢简单、展开可靠。

嫦娥五号即将带回的2千克月壤“纪念品”，取自于月球风暴洋地区，这里是人类探测器从来没有造访过的处女地。专家表示，月壤蕴藏着巨大的科学研究价

值，不仅涉及月球本身，还包含太阳系空间的物质和能量等重要信息。通过对月壤的研究，可以提供月球资源开发利用的重要信息，并为未来月球基地的选址提供科学依据。

作为时隔44年之后再度奔月取土的人类航天器，嫦娥五号为何选择在风暴洋地区采样“取土”？

从历史来看，上世纪六七十年代，美国和苏联先后实现了月球采样返回。美国通过6次登月计划，带回380多千克的月壤和月岩样品；苏联则在3次探月过程中采集了300余克样品。美苏月壤样品采集地历史更老，而嫦娥五号降落区域形成的地质年代较短，约为37亿年。如果嫦娥五号能够带回迄今为止最年轻的月壤样品，将有望在月球火山活动和演化历史研究等方面取得原创性的科学成果。

为此，嫦娥五号在挖土过程中“手脚并用”，用“表取”和“钻取”相结合的方式，既抓取了月球表面的月壤，又钻取了月表以下两米左右位置的月壤。专家表示，此举能够更加原汁原味地保留月表以下两米的月壤构造情况，让科学家们能够更加清楚地了解到月壤的构造和分布以及每一层的特征。

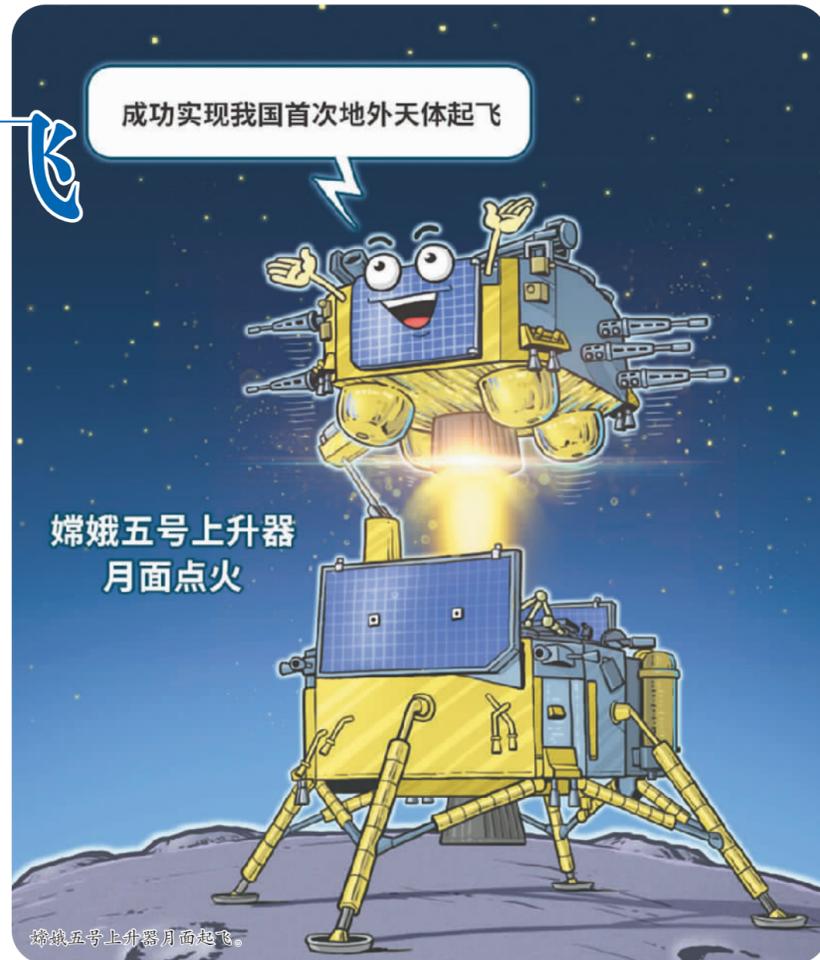
虽然嫦娥五号尚未“到家”，但月壤样品已“炙手可热”。不少国外科学家和航天机构提出，希望利用中国获得的月球样品开展研究。

交会对接后 嫦娥潇洒回

嫦娥五号从月面起飞，仅仅是重返地球的第一步。上升器经历垂直上升、姿态调整和轨道射入3个阶段进入预定环月轨道后，将与轨道组合体（轨道器和返回器）交会对接，把采集到的月壤转移到返回器中。

在38万公里外的月球轨道上进行无人交会对接，这在人类航天史上尚属首次。此前苏联实施过3次无人月球采样任务，均是月面起飞后直接返回地球。

从2011年至今，中国载人航天工程完成了多次交会对接任务，空间自主交会对接技术已经成熟。但此前的对接任务都是



嫦娥五号上升器月面起飞。

在地球轨道上完成的，有充足的地面站与人工卫星资源提供精准的测距、定位、导航服务。在月球轨道上实现“穿针引线”般的交会对接，可谓前无古人、挑战重重。

据专家介绍，上升器和轨道组合体交会时，两个航天器的相对位置误差不能超过5厘米。上升器重量为三四百千克，轨道组合体则重达近2000千克，如果采取碰撞式对接，一旦控制不好，重量和体积小一号的上升器就有被撞飞的风险。为此，科研人员设计了两个航天器在相对速度为零的状态下“搂紧”对接的方案，类似双臂拉住对方随后收紧。这对航天器的姿态、测控精度等提出了更高要求。

当完成接力、接到珍贵的样品后，轨道组合体将与上升器分离。而在距地球约5000公里时，返回器将再度同轨道器分离，独自踏上回家之路。在此阶段，返回器将以接近每秒11公里的第二宇宙速度奔向地球。为了不“超速”、更安全地回家，返回器将以“半弹道跳跃式”的再入返回方式在太空中“打水漂”——先高速进入大气层，再借助大气层提供的升力跃出大气层，随后再以每秒8公里的第一宇宙速度“扎入”大气层。经历惯性滑行、地球大气再入、回收着陆三个阶段，返回器将在内蒙古四子王旗预定着陆区域落地。



来自嫦娥五号的家书

亲人们：
你们美丽的嫦娥五号又飞行了！这一次从月面起飞，没有完善的发射场系统和保障团队，没有人为我喊倒计时，甚至连尾焰导流槽都没有，条件还真是简陋呢！
不过这可难不倒我，没有塔架，着陆器毛遂自荐，为此他在着陆时就为我选择了平坦的地形，提早进行了准备。
家人们也行动起来，根据之前获得的上升器姿态和位置等数据，提前计算了起飞时间、姿态轨道调整等参数，并远程注入了我的最强大脑——GNC系统中央控制单元。到了预定的月面起飞时刻，主发动机会自行点火，我就成了中国第一个在月面起飞的探测器了。
在起飞的最初一小段距离，我不进行姿态调整，之后迅速调整到竖直并快速上升，达到一定高度后，在GNC系统的指挥下，以一定角度转入轨道入射段，之后进入交会对接初始轨道。
月球之旅太短暂了，遗憾的是没有和三姐姐、四姐姐取得联系，但我一直能感受到她们的鼓励，这就是血脉相连的神奇力量吧。让着陆器代表我留在月球，嫦娥三姐妹，在月亮的不同位置，相互守望，祝福家人。
你们正冉冉上升的嫦娥五号
2020年12月4日
(航天科技集团五院供稿)

高端订制月宫“中国红”

唐明军 张保淑

在全球亿万民众的热切关注下，嫦娥五号上升器带着月球“土特产”顺利升空，踏上返航之旅。起飞前，嫦娥五号着陆器携带的一面“织物版”五星红旗在月面成功展开，这是中国在月球表面首次实现国旗的“独立展示”。

人们还得记，中国国旗元素首次亮相“月宫”是在2013年12月。彼时，嫦娥三号着陆器与玉兔号月球车完美互拍，记录下对

方上面的国旗图案。5年之后，嫦娥四号探测器将国旗元素带向月球背面，“中国红”又一次闪耀“月宫”。

与之前在月面呈现的喷涂的五星红旗图案不同，嫦娥五号着陆器上的这面五星红旗可谓“高端订制”的旗帜，其舒展的形态、亮丽的色彩中透着现代高科技智慧。据了解，它是由中国航天科工集团航天三江联合武汉纺织大学等单位克服了诸多困难，研制而成的。

选材花费时间超过1年

科研团队初期设计了多种国旗展示形式，有卷轴式展开的，也有折扇式展开的。高低温试验表明，卷轴式展开才能更好避免褶皱，保持平整。

月面环境极其恶劣，温差可达正负150摄氏度，这就决定了这面国旗必须选用特殊材质。研制团队发现，单一纤维和纺织工艺无法满足在恶劣环境下不能粘连的要求。

面对技术难题，研制团队摸着石头过河，一边地毯式查阅文献资料，一边广泛开展调研论证，携手国内优势单位开展关键技术联合攻关。他们“走出去”与大学和科研机构合作，咨询众多国内知名的纺织企业，寻找适合在月球上使用的纤维材料。

国旗展示系统技术负责人程昌表示，科研团队在选材上花费的时间就超过1年，最终挑选出了二三十种纤维材料，然后通过做包括热匹配性、耐高低温、防静电、防月球尘埃等在内的物理试验，科研团队最终决定采用某新型复合材料，这样既能满足强度要求，又能满足染色性能要求，从而保证国旗能够抵御月面恶劣的环境，做到不褪色、不串色、不变形。

“虽然只是一面薄薄的国旗，但科技含量很高。”国旗展示系统项目指挥马威表示。

整个系统重量控制在1公斤

国旗展示系统由月面国旗、压紧释放装置、展开

机构3部分组成，在折叠状态下长约半米多，重量只有1公斤，国旗本身的重量只有12克。马威表示，旗面尺寸大小是经过综合考虑后确定的，目的是尽量展示出理想的视觉效果，让相机拍出来的照片既能看到月表一部分，深空一部分，也能看到着陆器的一部分，如果国旗太大或太小，照片就无法呈现出丰富的元素。

减重是国旗展示系统面临的另一个难题，为此，研制团队选用耐高温、抗严寒的轻质材料，把相关部件尽量做薄、做小，并进行高度集成设计。

国旗展示系统使用的支架结构，在空间环境中要承受冷热交变、空间辐照、极低真空等恶劣环境考验，如果选材不当，可能会发生冷焊（即两块接触金属在太空极低真空环境下会粘连一起），由此带来的问题是，机构不能正常工作或打开。

国旗展示系统项目负责人李云峰表示：“为了避免出现冷焊问题，我们对系统所有的机构和关键位置都进行了防冷焊处理，以保证部件能满足太空环境和月表环境对温度的要求。可以说，我们为了将国旗展示系统的重量控制在1公斤，整个研制团队做出了不懈努力。”

多种试验确保国旗成功展开

保证可靠性是国旗展示系统的第一任务。据了解，国旗展示系统涉及解锁、支架展开、支架固定等步骤，如果支架无法在月球上成功展开，一切都将前功尽弃。

李云峰表示：“每一个动作都要确保工作正常，而且这一系列动作都必须在极短时间内完成。所以，我们的工作责任重大、使命光荣。”

火工品是整个国旗展示系统中最基础的一环，如果它无法起爆解锁，后续动作就无从谈起。因此，负责机构解锁的火工品起爆装置成为了关键。

程昌表示，国旗展示系统使用的火工品在国内同等用途和功能中属于最小之一。小，意味着它对环境适应性十分敏感，稍有不慎就可能失效，尤其是面对月球恶劣的温差环境，更需要保证地面给它指令时就能成功起爆。

面对这一难题，研制团队通过将火工品放在零下200摄氏度左右的液氮罐里和高温环境下进行了几十次试验，模拟它在月球极大温差环境下能否正常使用。

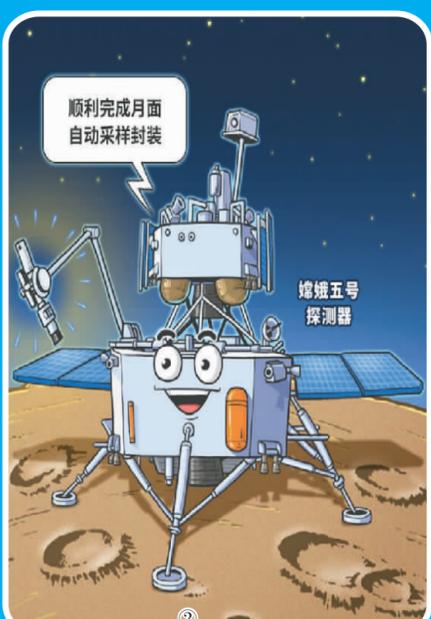
在国旗展示系统中，与火工品同样重要的2根扭簧则是机构支架展开的关键动力源。弹簧的弹性系数在零下5摄氏度到25摄氏度的范围内一般不会发生变化，如果超过100摄氏度或低于零下30摄氏度就会导致弹簧材料的强度降低，弹性系数也随之降低。

工业设备中常用的扭簧肯定无法满足国旗展示系统展开机构的要求，为此，研制团队找到弹簧生产厂家按照要求专门订制，然后在试验室里对其进行高低温、长期压紧、拉伸等试验，经常观察它的力学变化情况，以保证扭簧的可靠性。

嫦娥五号国旗展示系统经受了考验，在完成漫长的奔月旅程后，在环境恶劣的月面按计划成功启动，展开那面高端订制的五星红旗，诠释着一个国家和民族的探月梦想。



①嫦娥五号月面软着陆。
②嫦娥五号月面取土。
漫画均来自新华社



顺利完成月面自动采样封装

嫦娥五号探测器