

2020年12月7日 星期一

责编/张静 校对/龙师群 版式/张文莉

揭秘地外天体起飞

嫦娥五号月面起飞有多难？

00

12月3日23时10分，嫦娥五号上升器月面点火，3000牛发动机工作约6分钟后，顺利将携带月壤的上升器送入到预定环月轨道，成功实现我国首次实现地外天体起飞。从月面起飞，嫦娥五号上升器面临哪些难点呢？

难点1

要求地势平坦

落月过程也是选择“发射场”的过程

12月3日20时07分，嫦娥五号上升器进入起飞准备模式。这是我国首次在地外天体实施航天器起飞。

火箭在地球表面起飞有完备的发射塔架支持系统。相比之下，月面起飞条件则简陋得多。两天前，嫦娥五号着陆器驮着上升器降落月球。现在，它摇身一变，充当起上升器的发射塔架。

起飞地形很重要。早在落月之前，来自航天科技集团五院总体部的嫦娥五号探测器系统主任设计师舒燕就曾表示，一个担忧便是着陆器会降落在斜坡上，“月球表面环境复杂，着陆器不一定是四平八稳的状态，很有可能落在斜坡上或者凸起、下凹处。这会给起飞带来很大难度。”

经过大量地面试验，科研人员最终确保上升器即便落在20多度的斜坡上，也能够顺利起飞。

理想的状态是落区平坦。考虑到采样后上升器要在月面起飞，嫦娥五号落月的过程也是为上升器选择“发射场”的过程。为了给上升器起飞创造更好的条件，相较于嫦娥三号、四号，嫦娥五号对于着陆点的位置精度和平整度要求更高。

12月1日23时11分，在GNC系统的精准操控下，嫦娥五号探测器成功着陆在月球正面西经51.8度、北纬43.1度附近的预选着陆区。从着陆影像图来看，地势平坦。测试数据显示，探测器只倾斜了两度，上升器几乎是完美的起飞姿态。地面飞控人员长舒了一口气。

难点2

发射窗口期短

必须按时起飞不然生死考验

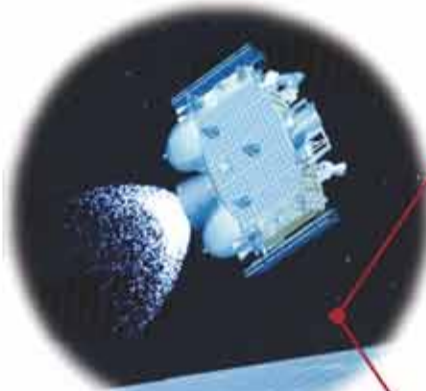
嫦娥五号上升器在等待起飞窗口的到来。

根据着陆器、上升器的位置姿态和等候在月球上空的轨道器、返回器组合体实际飞行情况，地面飞控人员已经计算出上升器最佳的飞行路线，让上升器以最省燃料的方式飞向轨道组合体。

嫦娥五号用于起飞的燃料需要自给自足——从38万公里外的地球携带过去。长途跋涉的艰辛让嫦娥五号难以过多负重，所以，科研人员要为上升器规划一个最省燃料的月面起飞

对接合体

接下来，嫦娥五号上升器将择机与正在环绕月球运行的轨道器组合体对接。



起飞状态

采用类似人工智能的技术，提升自主性，助力其平稳度过上升起飞期。



发射地势

理想的状态是地势平坦。

点火发射

增加隔热屏防护方案，避免发动机周围的产品不被高温烤坏。

难点3

发动机的高温

采取增加隔热屏的热防护方案确保周围的产品不被烤坏

23时10分，上升器的3000牛发动机点火，紧接着，姿控发动机启动。气流反推，上升器腾空而起，月球上升起一枚“微缩版的运载火箭”。

21台空间发动机互相配合，为上升器提供动力、把控方向、调整姿态。其中，3000牛发动机提供起飞的主要动力，20台姿控发动机维持姿态方向。

3000牛发动机深嵌在探测器内部，工作时不断向四周辐射高温热浪。如何避免器上设备受到影响？研制人员采取了增加隔热屏的热防护方案，确保周围的产品不被烤坏，进而保证顺利完成任务。

发动机喷出的气流是另外一大隐患。通常，火箭在大气层内喷出的气流称为尾焰，在大气层外喷出的气流称为羽流。

火箭在地面起飞时，发射台下都有一个特别大的导流槽，发动机尾部喷出的极高温火焰通过开敞的空间排走，不会“拥堵”在发动机出口从而影响发动机功能。但是，上升器从月面起飞，作为起飞平台的着陆器不可能像地球发射塔架那样配置导流槽。

嫦娥五号上升器推进子系统主任设计师赵京介绍，3000牛发动机安装在上升器的底部中心位置，喷管离着陆器顶板仅20厘米。为了在这20厘米的空间内将羽流排出去，科研人员巧妙地设计了一个小型导流锥。

为了解决这个核心难题，科研人员开展了嫦娥五号全尺寸羽流导流综合验证试验。该试验被列为探月三期的重大专项试验之一，主要验证典型工况条件下上升器发动机月面点火起飞时，火焰羽流产生的综合力、热效应及发动机与羽流导流装置的相容性，试验系统复杂、技术难度大、安全风险高。

难点4

起飞状态控制

采用类似人工智能的技术助力其平稳度过上升起飞期

在3000牛发动机点火的第二秒，GNC系统开始对上升器进行控制，考虑到38万公里的地月距离带来的信号时延，控制指令早已写好，并注入程序。因此，发动机一旦启动，探测器需要自主完成整个上升过程。这个时候，GNC系统将发挥核心作用。

月面上升时，重力场、发动机的推力、指向、敏感器的测量等都会存在一定误差，这就需要GNC系统设计出冗余。502所嫦娥五号探测器系统GNC分系统副主任设计师杨巍介绍，在起飞过程中，GNC系统就像上升器的“最强大脑”，通过采用类似人工智能的技术，提升自主性，助力其平稳度过上升起飞期。在GNC系统的调控下，各种型号的发动机和星敏感器、陀螺仪等互相配合。发动机为上升器提供动力，并帮助其调整姿态；星敏感器用来测姿态；陀螺仪用来测速度。就像开汽车一样，司机始终要知道自己的位置、速度和目标，不断地优化调整，最终到达目的地。

除了正常的飞行程序，GNC系统的另一个重要作用是备好故障预案。月面起飞条件苛刻，必须依靠自主定位定姿方法确定起飞的状态。如果在起飞过程中出现故障，也要迅速拿出解决方案。比如，在起飞过程中，万一3000牛发动机出现故障，GNC系统将迅速启动其他发动机继续工作，保障上升器顺利进入月球轨道。“上升过程不可逆，出现任何异常地面都无法补救。因此，除了加强探测器的可靠性设计外，我们还开展了大量的地面试验。”舒燕研制上升器十年，12月3日，看着这个小家伙从月面“翩翩起飞”，如同在欣赏一幅绝美画面。

(综合新华社)

完美的“拥抱”

——揭秘嫦娥五号交会对接背后的故事

12月6日凌晨，嫦娥五号上升器成功与轨道器返回器组合体交会对接，并将月球样品容器安全转移至返回器中。这是我国航天器首次实现月球轨道交会对接。其中，通过远程导引和近程自主控制，轨道器返回器组合体逐步靠近上升器，以抱爪的方式捕获上升器，完成交会对接。那么，什么是“抱爪方式”？此次交会对接又有哪些看点？

设计理念世界首创

“抱爪机构具有重量轻、捕获可靠、结构简单、对接精度高等优点。因此，我们在嫦娥五号上采用了抱爪式对接机构，通过增加连杆棘爪式转移机构，实现了对接与自动转移功能的一体化，这些设计理念都是世界首创。”中国航天科技集团八院嫦娥五号探测器副总指挥张玉花说。

“所谓的抱爪，形象地说，就像我们手握棍子的动作，两个方向一用力，就可以把棍子牢牢地握在手中。”中国航天科技集团八院嫦娥五号轨道器技术副总负责人胡震宇介绍，探测器采用的对接机构就是由3套K形抱爪构成的，当上升器靠近时，只要对准连接面上的3根连杆，将抱爪收紧，就可以实现两器的紧密连接。

捕获、收拢、转移，看似简单的过程，但在38万公里之外高速运行的飞行器上实现却没有那么简单。

“月球轨道相对于地球轨道有时延，时间走廊较小，这就对时效性要求非常高，必须一气呵成完成对接与转移任务。”中国航天科技集团八院对接机构与样品转移分系统技术负责人刘仲解释：“对接全步骤要在21秒内完成，1秒捕获、10秒校正、10秒锁紧。为此我们做了35项故障预案，从启动开始到交会对接，全部采用自动控制。”

“对接助手”可靠给力

此次，由中国航天科工集团二院25所研制的嫦娥五号交会对接微波雷达，作为中远距离测量的“助手”，成功引导完成了嫦娥五号的交会对接任务。

微波雷达是一组对产品，由雷达主机和应答机组成，分别安装在嫦娥五号的轨道器和上升器上。当轨道器、上升器相距约100公里时，微波雷达开始工作，不断为导航控制分系统提供两航天器之间的相对运动参数，并进行双向通信，两航天器根据雷达信号调整飞行姿态，直至轨道器上的对接机构捕获、锁定上升器。随后，上升器中的月壤样品转移至返回器中。

交会对接微波雷达总工程师孙武介绍，此前的任务中，我国航天器在近地轨道进行过多次交会对接，都应用了该微波雷达，优异的表现证明，我国已经成功掌握交会对接技术。但不同的是，这次交会对接是在38万公里之外的月球轨道，难度更大。“与近地轨道相比，月球轨道环境更复杂，要克服月球引力影响，所以自动交会对接对微波雷达提出的要求极为苛刻。为此，研制团队攻克了一系列关键技术。”孙武说。

嫦娥五号的轨道器和上升器交会对接，是体量相差巨大的“大追小”复杂受力过程，需要微波雷达的测角精度更高。微波雷达项目主任设计师贺中琴介绍，微波雷达主要作用在100公里到20米的中远程范围，精度的提高大幅提升了精准对接的胜算。

此外，装有对接用应答机的上升器在落月时难免形成扬尘，这些肉眼不可见的干扰将会严重影响测角精度。

为确保安全度过月球之旅，设计师们在应答机上安装了特殊材料制成的防尘罩，“就像戴上了护目镜，嫦娥的‘千里眼’就不会变成近视眼。”25所设计师纪博说。

减轻每一克重量都意义重大

事实上，25所研制团队为这次交会对接打造的微波雷达，不仅是“千里眼”，更是“顺风耳”，升级后的它更小巧、更强大、更可靠。

微波雷达在保证交会对接测量“本职工作”的同时，还开发了航天器之间双向空通信的“第二职业”，从雷达与应答机之间“一问一答”的传输方式，升级至轨道器与上升器之间的“沟通对话”，实现了遥控指令和遥测参数的双向传输。

“以前就像老师上课点名，雷达发消息，应答机答到。现在，它们还要负责上升器和轨道器之间的信息传递。”贺中琴说。

同时，在此前交会对接微波雷达已经实现减重一半的基础上，这次又进一步开展了轻量化改进。“每一克重量的减轻，对嫦娥五号任务的意义都是重大的。”孙武说。

(新华社北京12月6日电)