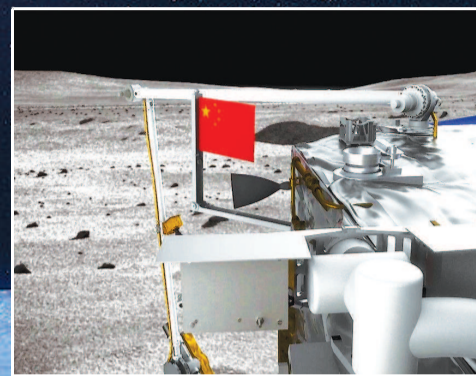
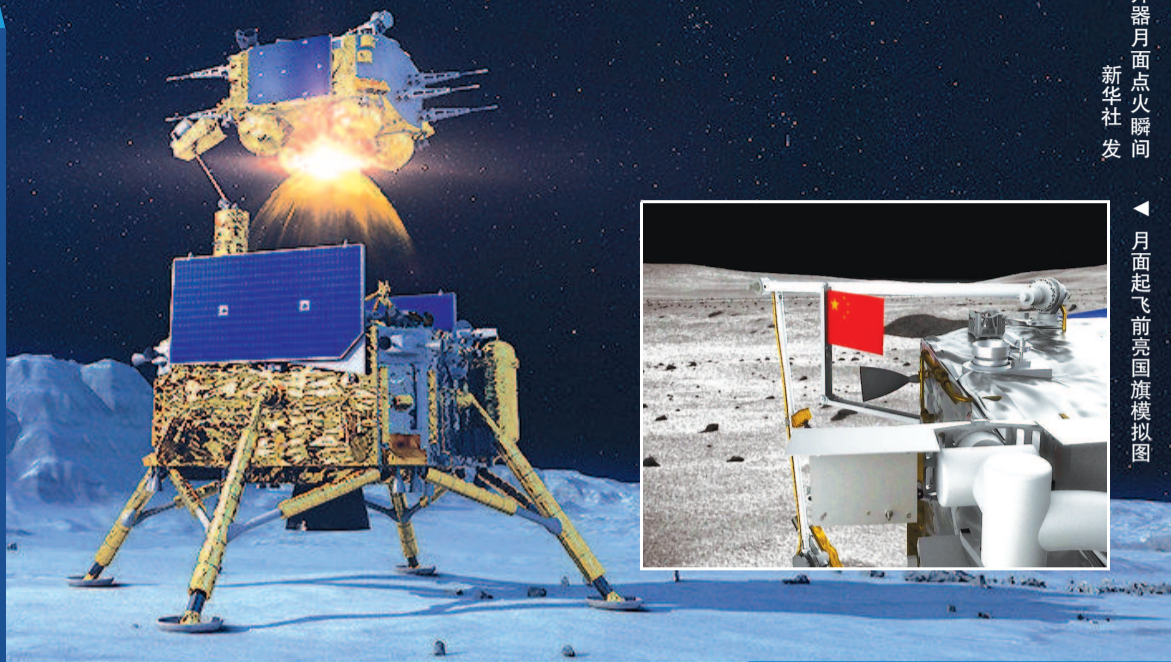


模拟图
嫦娥五号上升器月面点火瞬间
新华社发

月面起飞前亮国旗模拟图

五星红旗首次在月球“独立展示” 中国首次地外天体起飞成功



回家！嫦娥五号带着『土』特产启程

本报记者 叶薇

为了即将到来的无人交会对接

这支上海团队『白手起家』奋战十年

自2011年轨道器立项起，来自上海的中国航天科技集团八院探月工程团队“白手起家”，展开了攻坚研制之旅。七年研制、三年贮存，嫦娥五号轨道器是团队探月之路上经历时间最长、研制最为艰苦的一个航天器。

探月工程负责人张玉花，小名“秋月”，仿佛注定与月亮有缘。张玉花在载人航天干了18年，一纸调令来到探月，从嫦娥三号、嫦娥四号再到嫦娥五号，一步一个脚印。探月工程三期任务最引人瞩目的当属首次在月球轨道上交会对接，将装有月壤的样品容器从上升器转移至返回器中。2011年，对接机构与样品转移分系统的研制拉开帷幕，团队成立之初只有8个人，号称“八大金刚”。在方案确定之前团队非常纠结，探月项目状态复杂、继承性较弱，可参考的东西可以说只有“一页纸”。为了完成技术攻关，带头人胡震宇和郑云青带领年轻的团队成员广泛调研国内外对接机构设计，开展了4种对接方案设计，上升器“推”、轨道器“移”、返回器“拉”各3种。胡震宇介绍，通过多轮方案比较及关键技术攻关，最终确定了现在的抱爪式对接方案和连杆棘爪转移方案。为验证方案样机的功能，团队提出了吊挂式对接试验方案。初样研制两年半，迭代设计3连套图纸，研制了电性件、电测件、鉴定件等6大件。2017年，团队意外等来贮存的消息——由于发射计划调整，轨道器随探测器总体转入贮存。2019年，又迎来第二次贮存的消息。3年贮存期间，嫦娥五号经历5次加电自检，用沉甸甸的数据证明轨道器功能性能没有下降；经历多次发射窗口的变更与飞行程序的更改，团队成员对于每一个可能的发射窗口进行设计复核，制定详细方案，确保随时执行任务。

所有的等待都是值得的。期待嫦娥回家，是团队共同的心愿。
本报记者 叶薇 通讯员 王珺璠

21秒要完成“太空牵手”

着陆器与上升器组合体抵达月球，完成月壤样品的采集任务后，上升器携带样品从月面起飞，与等候在月球轨道的轨道器自主交会对接，并将携带的样品容器转移至返回器。

由中国航天科技集团八院研制的轨道器，就像一名太空快递小哥，从地球出发赶到38万公里外的月球轨道上，取一份来自月球的珍贵样品，再快递回地球。

实际上，从嫦娥五号发射升空时，这名快递小哥就忙碌不停。先是携带着陆器、上升器和返回器，完成地月转移、中途修正和近月制动。进入环月轨道后，轨道器与着陆器上升器的组合体分离，携带返回器留在轨道上等候“取件”。

据中国航天科技集团八院嫦娥五号探测器副总指挥张玉花介绍，嫦娥五号轨道器与上升器采用的对接方式，与我国载人航天采用的对接方式有很大区别。载人航天采用的是

“异体同构周边式对接机构”，两个航天器对接后形成80厘米左右的通道，航天员可以在其中穿行。嫦娥五号采用的是“抱爪式对接机构”，通过增加连杆棘爪式转移机构，实现对接与自动转移功能的一体化。这些设计理念均为世界首创，对接精度可以达到毫米级。

“所谓抱爪式，就像我们的手握棍子的动作，两个方向一用力，就可以把棍子牢牢地握在手中。”嫦娥五号轨道器技术副总负责人胡震宇解释说，“对接机构由3套K形抱爪构成，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。”

轨道器和上升器在环月轨道满足交会对接初始条件时，要求控制器在收到抓捕指令后1秒钟内控制抓捕机构完成抓捕，21秒内实现两器刚性连接。可以说，是在38万公里外的月球外眨个眼的工夫就要完成对接。

“取件”误差小于5微米

当轨道器和上升器对接完成后，需将上升器里装有月壤样品的容器转移到返回器。对接机构中对接环的运动位置精度和对中性是影响月球土壤封装成败的一个关键因素。中国航天科技集团有限公司八院149厂是参与研制生产嫦娥五号对接与样品转移机构的团队。

149厂首席技师、对接机构总装组组长王曙群介绍，这次对接样品转移机构是一种弱刚性结构，体积小、结构复杂，但功能一样没有减少，所以对于装配中的测量数量、精度等要求更高。在转移过程中，系统形成了一个封闭式的微型“隧道”，受到了产

品特性的六个自由度的限位限制。在研制过程中，团队的两位技师吴骏和顾京海发现，由于设计中六个自由度的限制，让本来就属于弱刚性的结构很容易受到外界压力后产生细微的形变。他们反复分析了整个系统的传递运动轨迹和路径，提出了将限位减少到两个自由度，即左右和旋转的自由度。

为此，他们将原本圆孔的限位装置改为“方孔+扁平轴”的限位装置，从而在确保产品装配精度要求的情况下，使得转移机构在运作中能流畅地完成每一个指令和动作，使各个位置的精度误差均不大于5微米。

“打水漂”式返回地球

那么，“五姑娘”的回家之路还有多久呢？据了解，嫦娥五号任务完成预计需要20余天。

对接完成并顺利将样品转移至返回器后，轨道器和返回器组合体将在月球轨道上择机实施月地入射，当轨道器和返回器组合体飞到距地球5000公里时，轨道器留在月球轨道；返回器则要带着来自月球的2公斤左右的宝贵样品，经历惯性滑行、地球大气再入、回收着陆三个阶段最终返回地球。

值得关注的是，返回器回家的最后一步，面临着巨大的风险和挑战。当返回器带着月壤向地球飞来，其飞行速度是接近每秒11公里的第二宇宙速度，一旦速度过猛，后果不堪设想，为此，研制人员创新提出了半弹道跳跃式再入返回技术方案，就像在太空“打水漂”一样，让返回器先是高速进入大气层，再借助大气层提供的升力跃出大气层，然后以第一宇宙速度重新扎入大气层，返回地面。

着陆器当“发射塔架”

在嫦娥“五姑娘”完成“挖土”工作后，她就要踏上“回娘家”的旅程。返回地球可不容易，第一步能否“迈好”至关重要，这就涉及中国航天史上另一个首次——月面起飞上升。

与地面起飞不同，嫦娥五号上升器月面起飞不具备成熟的发射塔架系统，着陆器相当于上升器的“临时塔架”。月面起飞没有“地勤”支持，一切都靠自己，且必须一次成功，难度极高。

上升器起飞存在起飞初始基准与起飞平台姿态不确定、发动机羽流导流空间受限、地月环境差异等问题；另外由于月球上没有导航星座，上升器起飞后，需在地面测控辅助下，借助自身携带的特殊敏感器实现自主定位、定姿。为了确保上升器能够顺利起飞上升，研制团队进行了大量的试验验证，并建立了一整套环环相扣的系统保证任务，最终保证了嫦娥五号迈出了回家的第一步。

月球上亮出“中国红”

在嫦娥五号探测器完成采样任务上升器起飞前，国旗展示系统成功在月面打开。

国旗从“静若处子”到“动若脱兔”，一面旗，一张图，一种能力，成功背后凝聚着航天人的不懈追求。犹记得2013年12月，嫦娥三号探月，嫦娥着陆器和玉兔月球车互相拍照，月球车“胸前”的五星红旗鲜艳夺目。月球上首秀“留影”，国旗是“静静躺在玉兔怀里”。如今，五星红旗真切地展示在月球上。

国旗展示系统布置在嫦娥五号着陆器舱外，热环境、空间环境等条件恶劣，需采取多种环境适应性措施确保其正常工作。五星红旗能够在月球上实现独立展示，主要依靠月面国旗展示系统辅助。该系统由月面国旗、压紧释放装置、展开机构三部分组成，长约半米。系统在折叠状态下随探测器升空，着陆月球后按照指令解锁打开。

与嫦娥三号、嫦娥四号以及玉兔月球车上的五星红旗采用喷涂方式不同，嫦娥五号这面“织物版”五星红旗是一面真正的旗帜。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，通过热匹配性、耐高低温、防静电、防月球尘埃等物理试验，最终决定采用某新型复合材料，既能满足强度要求，又能满足染色性能要求，从而保证五星红旗能够抵御月表恶劣的环境，做到不褪色、不串色、不变形。

嫦娥五号五星红旗平面运动包络将近2000mm×900mm，整个系统的重量只有1公斤。选择这样的旗面尺寸是研制团队经过综合考虑的结果，目的是尽量突出视场效果，让相机拍出来的照片既能看到月表、深空，也能看到着陆器；如果五星红旗太大或太小，照片均无法呈现出丰富的元素。

由于五星红旗展示系统的重量只有1公斤，研制团队围绕整个系统在减重问题上下了大量功夫，不仅材料要轻量化，而且还对结构优化设计，在选取耐高温、抗严寒材料的基础上尽量将支架臂做薄、做小。系统使用的支架结构在空间环境中能承受住冷热交变、空间辐照、极低真空等恶劣环境的考验。