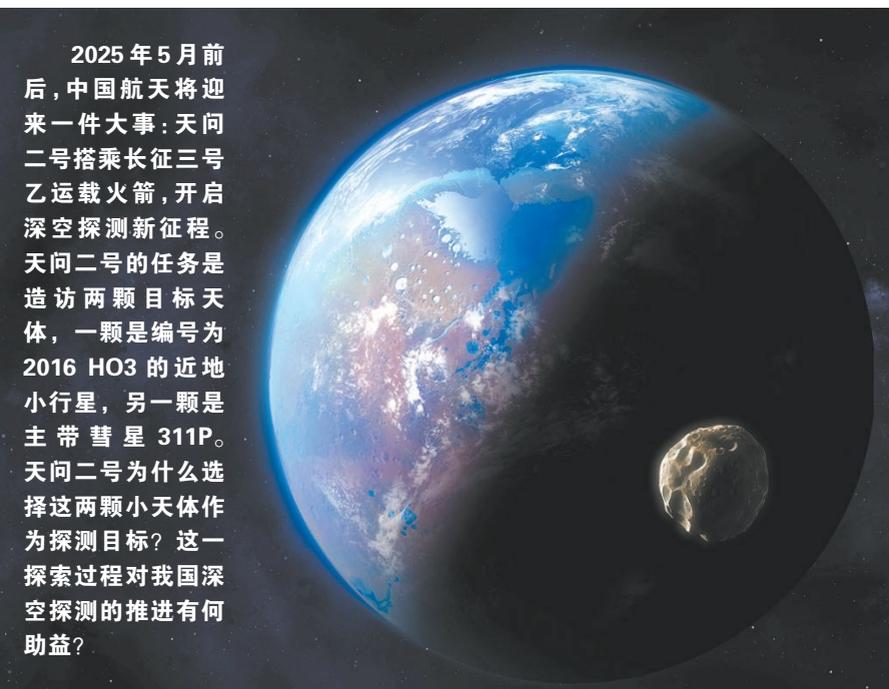


# “天问二号”将深度解密小行星



2025年5月前，中国航天将迎来一件大事：天问二号搭乘长征三号乙运载火箭，开启深空探测新征程。天问二号的任务是造访两颗目标天体，一颗是编号为2016 HO3的近地小行星，另一颗是主带彗星311P。天问二号为什么选择这两颗小天体作为探测目标？这一探索过程对我国深空探测的推进有何助益？

## ② 主带彗星或藏“天外来水”秘密

天问二号的第二个探测目标也十分特别。它是2013年8月27日由泛星计划望远镜发现的天体，编号为311P/PanSTARRS，运行在大部分小行星所在的主小行星带（简称“主带”）内，却拥有类似彗星的外观。

一般来说，主带内的小行星和常规的彗星是两种迥异的天体。主带在火星与木星轨道之间，阳光辐射较强，小行星的挥发物难以存留，因而以岩质为主。常规的彗星来自遥远寒冷的柯伊伯带或奥尔特云，保存有丰富的冰。

那么，这个运行在主带却长着彗尾的311P，到底是个什么天体？其实，311P不是第一颗具有彗尾的主带小行星。1996年，天文学家观测到，

1979年被发现并以普通小行星身份编目的7968号小行星运行到近日点时出现了彗尾，于是这颗小行星又被编为彗星133P。

天文学家把这种介于小行星和彗星之间的天体称为“主带彗星”，随着更多类似天体陆续被发现，它们又得名“活跃小行星”。这两个名字所指的都是同一类天体，只看要强调哪个方面：归为彗星，研究重点是它为何能存留在主带内；归为小行星，研究重点是它为何具有挥发物活动的特性。

研究主带彗星或活跃小行星的挥发物遗存，具有重要意义。人们一般认为，地球形成之初是个炽热干燥的岩质星球，不太可能留得住水，而

原始海洋的水主要是在地球冷却之后，由其他含水天体撞击带来的。由于彗星的冰储量丰富，它顺理成章地成了为地球供水的头号“种子选手”。但是通过分析彗尾中的氢同位素比率，科学家发现与地球海洋的数据差异很大，所以对“彗星运水说”的怀疑与日俱增。而活跃小行星的出现，为地球上水的来源提供了新思路。如果探测活跃小行星将冰或其他挥发物保留至今的机制，或可能改写旧有的认知。

311P的直径大约有480米，2018年4月的观测结果显示，它可能还有一颗卫星。如果属实的话，311P便是少有的双小行星系统，将为天问二号的探测任务提供额外的研究价值及技术挑战。

## ③ 着陆采样前为何需伴飞一年之久

2025年5月前后，天问二号搭乘长征三号乙运载火箭发射升空后，经过约一年的飞行将到达探测任务第一站：2016 HO3。不过，它需伴随这颗小行星飞行一年后，才能择机执行采样任务。

为什么需伴飞一年之久呢？一是因为要在着陆采样之前执行许多科学研究，二是因为对这颗小天体的了解还不够。2014年11月，欧洲空间局的“菲莱”号在楚留莫夫-格拉希门克彗星着陆时，就被卡在一道黑暗的裂缝中，因太阳能板供电不足而一度与地球失去联系。所以，在正式着陆前，探测器要对小行星进行详尽的测绘和地形分析，寻找最佳着陆地点。

着陆采样过程也与大家熟悉的月面采样不太一样。这颗小天体的引力几乎于无，在其表面着陆不会像在月球或火星着陆那样“短平快”，而更像是对接空间站，要轻柔地把探测器靠上去。假如小天体是一整块，那么落猛了有可能被弹飞；而若是松散的碎石堆，在极弱引力下，触感多半

像是儿童游乐场的彩球泳池或一桶爆米花，落猛了就容易陷入。2020年10月，美国的“奥西里斯王”号在贝努小行星采样时就有这种体验，短短6秒的接触中，探测器陷入小行星表面半米深，如果上升推进器晚开几秒，可能就出不来了。

天问二号会使用多臂协作式小天体附着取样机器人机械系统，将自己固定在行星表面再执行采样任务，目标是取得100克以上的小行星样品。采样完毕后，天问二号将样品交还地球需要大半年的时间。到了地球附近，天问二号会把装有小行星样品的返回舱丢下来，并借着地球来一次引力加速，将自己弹向下一站旅途。这次引力加速非常必要，因为311P运行在主小行星带，比火星轨道还要靠外，所以天问二号要克服太阳引力才能抵达。预计天问二号从地球飞到311P，需耗费7年时间。

中国小行星探测任务设计了五大类科学目标，分别是：1. 认知小天体、解密小天

体；2. 追溯小天体的前世和今生；3. 探索生命和地球水的起源；4. 揭示太阳对小天体的影响；5. 探究小天体对地球的危害。为此，天问二号配置了可见红外成像光谱仪、热辐射光谱仪、多光谱相机、探测雷达、磁强计、带电粒子与中性粒子分析仪、喷发物分析仪等10种载荷，以便对两颗目标小行星的形貌、表面物质、热辐射特性、次表层内部结构、磁场、轨道特征、运行轨道附近的空间环境等做一个全面“体检”。

除了这些就位探测之外，地面科研人员通过天问二号获取的样品，还将开展多项研究。例如，测定小行星样品的物理性质、化学成分和同位素组成，为小行星的起源乃至早期太阳系的形成与演化过程提供科学依据；测定和研究小行星样品的年龄，研究小行星的吸积形成、撞击分裂和行星际空间的运行历史；与陨石进行比较研究，建立返回样品与陨石、地面观测与遥感就位分析数据之间的联系，拓展、丰富小行星和太阳系起源与演化的研究。

## ① 研究地球“准卫星”性价比很高

根据目前的任务计划，天问二号升空后，会先到近地小行星2016 HO3，从其表面采样送回地球，但探测器本身不会返回地面，而是利用地球引力弹弓来一次加速，继续飞往主带彗星311P执行探测任务。

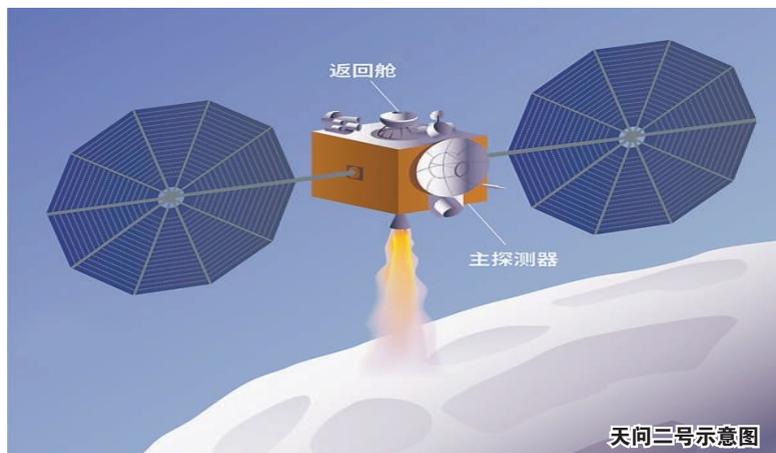
天文学家经过轨道观测与计算模拟发现，2016 HO3十分有趣，简直就像月球之外的第二颗天然地球卫星，大约在一个世纪前来到地球附近，每年围绕地球转一圈。它的公转周期是365.77天，和地球的365.25天非常接近。它半年运行在地球轨道的内圈时，会暂时跑得比地球快，而运行在地球轨道以外的另外半年，又会跑得比地球慢。此外，它的轨道与地球轨道有大约8°的夹角，如果把地球轨道面比作水面的话，那么2016 HO3就像海豚一样忽潜忽跃，为此还得了个夏威夷语的名字：Kamo'oalewa，意为“振荡天星”。

当然，我们不能把2016 HO3当成月球那样的真卫星。因为它围绕地球运动只是一种视觉效果，其本质是围绕太阳公转，是由太阳引力掌控而非地球引力操纵的结果。地球在伴行期间会对其轨道起到一些扰动作用，但它终将挣脱地球的拉扯，渐行渐远。到了2369年，它甚至会运行到地球轨道的对侧，隔着太阳与地球遥遥相望。

科学家给这类天体设了一个特别的归类，叫作“准卫星”。目前，地球附近的准卫星有5颗，其中就属2016 HO3距离最近、运行最稳定。

准卫星和地球轨道如此接近，使其成为研究价值很高的一种天体。作为小行星，本身就埋藏着太阳系诞生之初的原始信息，亿万年来几乎未受干扰。它在地球轨道附近运行，无论一开始就在这里，还是被各大行星的引力“搬运”来的，多多少少都反映了地球轨道附近的空间状况。它也有可能是地球/月球的撞击喷出物，蕴含着地月系的演化历史。从另一个角度来看，准卫星和地球距离较近，对地面测控要求相对较低，航天器接近它所需的能量也较小，因此，对它进行探测是个“性价比”很高的任务。

对2016 HO3已有的光学观测和光谱分析表明，它的尺寸在40米至100米之间，每28分钟自转一圈，物质构成以硅质为主，很可能是月球喷出物，也有可能是独立发育的S型小行星。天问二号计划对这颗准卫星进行伴飞、测绘、遥感、采样，获取它的热辐射状态、表面特征、密度、成分等信息。其研究结果有可能回答准卫星的起源以及轨道演化历史和未来趋势等科学问题，并为小行星乃至太阳系的形成和演化过程提供科学依据。



天问二号示意图

天问二号是我国的首次小行星探测任务，与以往各次探测任务差异很大，在国际上能够借鉴的经验也有限，因此面临着诸多方面的挑战。

首次探测小行星就要探测两个了解尚不透彻的天体，再加上目标与地球之间存在较大的通信延迟，因此，要求探测器的软硬件具有强大的现场自主决策与应变能力。而小行星的形状不规则、表面环境复杂、引力微弱，使探测器的附着和稳定停留十分困难，更加要求探测器的推进系统和机械装置精准运作、密切配合。

这次探测任务时长超过9年，到我国

口就跑”的模式，而天问二号执行的将是首个固定附着在小行星上采样的探测任务。

针对星表性状不明的未知风险，天问二号的采样系统准备了砂轮磨削和毛刷清扫两种方案。不管小行星表面是“一整块”还是“一大堆”，系统都不会被它难住。天问二号一对直径4.7米的太阳翼使用了圆形柔性的设计，就是为了在崎岖地形采样时不造成阻碍。

天问二号的动力推进系统使用的是离子电推进，和化学推进剂相比，所产生的力量虽小，却能持久，且占用的发射载荷较低，非常适用于漫长的空间旅行和抵达目的地后的精细操作。

## ④ 创新高精尖技术为天问二号护航

预期的2030年载人登月时，天问二号朝着第二个小行星还要再飞5年，这极大地考验着探测器的可靠性。另外，这次探测任务飞越了火星轨道，目标遥远且尺度极大，对测控与导航精度也提出了前所未有的要求。

所以，天问二号除了巩固已有的科技经验之外，还需在许多方面突破、拓展已有的科技边界。以采样系统为例，过去看到的嫦娥号采样，都是用“腿”着陆，再用“臂”采集月壤。对于小行星这样几无引力的地方而言，站着和挂着的区别并不大。天问二号开发团队设计的多臂协作式小天体附着取样机器人将腿和臂合为一体，可实现着陆缓冲、附着固定、取样、放样等多种功能。日本的“隼鸟2号”和美国的“奥西里斯王”号均采用“亲一

在远程测控方面，2024年12月27日，我国在日喀则和长白山启动了两座新的40米射电望远镜，使我国的甚长基线干涉测量(VLBI)网络从“四站一中心”升级到“六站一中心”，等效口径从3200公里扩到3800公里，在X波段的分辨率提高了18%，将为我国的深空探测提供更强的助力。升级后的VLBI网络，首先服务的就是天问二号的太空征程。

总之，天问二号任务选择地球准卫星和主带彗星为探测对象，在国际上尚属首次，将为国际小行星研究领域贡献中国智慧。未来，“天问家族”中的天问三号还会前往火星执行采样返回任务，天问四号则奔赴更遥远的木星，继续推动我国深空探测事业的发展。