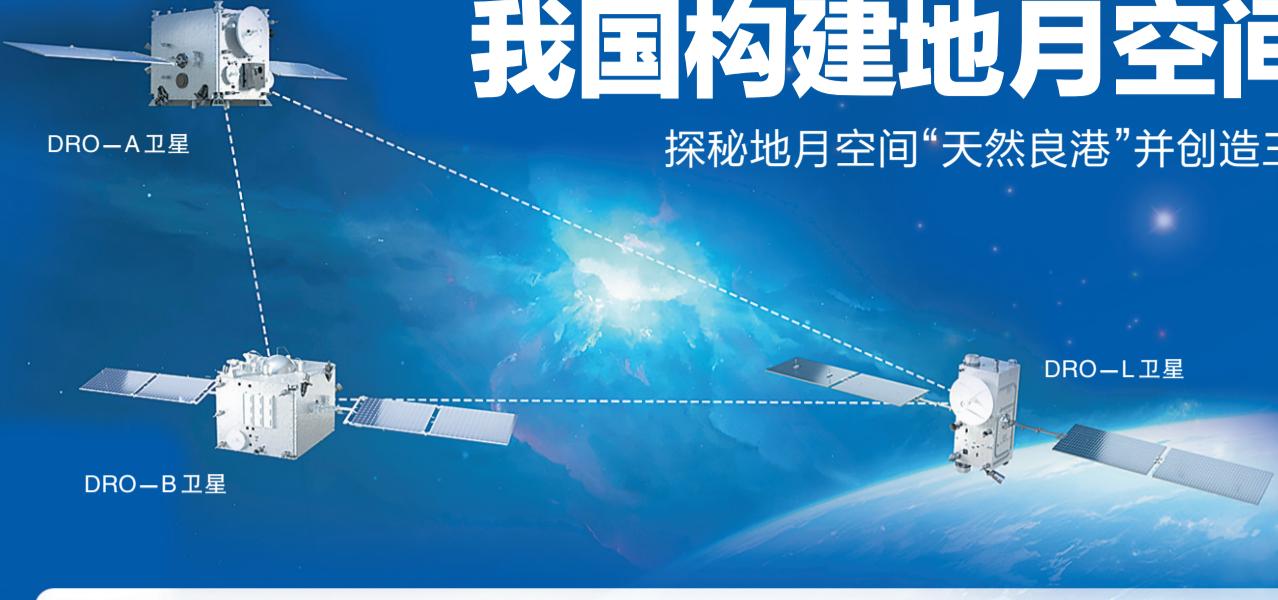


# 我国构建地月空间三星星座

探秘地月空间“天然良港”并创造三个“全球首次”



## 为何探索地月空间DRO?

地月空间是人类拓展活动空间的新领域。地月空间从地球低轨道延伸至距地球约200万公里,开发利用如此广袤的空间,人类需要在太空中找到一些“天然良港”作支撑。

地月空间DRO就是这样的“天然良港”。地月空间DRO是与月球公转方向相逆的绕月轨道,其中典型的一族DRO距离月球约7万至10万公里,距离地球约31万至45万公里,特殊的引力环境使其具备一系列独特属性。

“航天器可以在地月空间DRO稳定‘停泊’几十年甚至上百年;从这个‘天然良港’出发,航天器可以低能耗到达地月空间任何区域。”中国科学院空间应用工程与技术中心研究员王文彬介绍。

“基于这些独特属性,地月空间DRO有望成为部署空间应用基础设施的新高地,在助力空间科学探索、服务支援空间飞行器、支持载人深空探测等方面可发挥重要作用。”中国科学院空间应用工程与技术中心副主任王强说。构建地月空间三星星座,旨在深入探索地月空间DRO规律特性、试验验证相关技术,为开发利用地月空间“天然良港”提供科技支撑。

## 抢救回“星坚强”

三星星座构建过程并非一帆风顺。DRO-L卫星于2024年2月3日成功进入预定轨道,此后发射的另外两颗卫星却遭遇了发射异常。

2024年3月13日,DRO-A/B双星组合体发射升空后,运载火箭一二级飞行正常,上面级飞行异常,卫星未能进入预定轨道。面对发射异常,工程团队并未放弃,而是立即展开一场太空救援。团队实施了多次近地点轨道机动补救控制,历经123天飞行,航程近850万公里,两颗“星坚强”最终准确进入预定轨道,并顺利开展了后续的在轨测试。

2024年8月30日,三颗卫星两两之间成功构建K频段微波星间测量通信链路,地月空间三星星座成功实现在轨部署。

“对两颗卫星的太空救援,充分展示了我国在深空故障恢复和自主导航技术上的突破。”中国科学院微小卫星创新研究院正高级工程师张军说。

据介绍,三星互联组网后,已开展了多项前沿科学实验及新技术试验,推动地月空间DRO探索研究取得一系列重要进展。

“未来,我们将持续探索地月空间环境演化规律,推动地月空间和平开发利用,同时利用地月空间DRO的长期稳定性,部署更多天基科研平台,支持量子力学、原子物理等领域前沿科学问题研究。”王强说。

延伸

## 三个“全球首次”

国际上首次实现航天器DRO低能耗入轨。中国科学院空间应用中心科研团队在多年地月空间航天动力学与空间探索研究基础上,创新性提出以飞行时间换取更大载荷重量和应急处置裕度的设计理念,并在先导专项中得到验证,最终消耗传统手段五分之一的极少燃料,即完成了地月转移及DRO低能耗入轨,这是我国航天器首次实现低能耗地月转移。这一突破显著降低了地月空间进入成本,为大规模地月空间开发利用开辟了新路径。

国际上首次验证 117

万公里K频段星间/星地微波测量通信链路,取得了地月空间大尺度星座构建核心技术。

国际首次验证地月空间卫星跟踪卫星定轨导航新质能力。面对月球及深空探测任务中地基测控手段定轨精度不足、实施代价高、效率低等突出问题,中国科学院先导专项成功验证了卫星跟踪卫星的天基测控新体制,通过在轨卫星3小时星间测量数据,即实现了2天地基跟踪测量数据的定轨精度。这一突破显著降低了地月空间进入成本,大幅提升了运行效率,为航天器高效运行开辟了新路径。

链接

## 神二十近日飞天

神舟二十号计划近日择机实施发射,船箭组合体16日已转运至发射区。

据中国载人航天工程办公室介绍,4月16日晚,神舟二十号载人飞船与长征二号F遥二十运载火箭组合体已转运至发射区。目前,发射场设施设备状态良好,后续将按计划开展发射前的各项功能检查、联合测试等工作,计划近日择机实施发射。

此外,目前神舟十九号乘组进驻中国空间站已经超过5个月,航天员蔡旭哲、宋令东、王浩泽身心状态良好,各项空间科学实验和试验任务进展顺利。按计划,神舟十九号乘组将于五一前后返回地球家园。

## 月球上建“广寒宫”,要过几重难关?

近日,中国工程院院士、中国探月工程总设计师吴伟仁表示,正在研制的“嫦娥八号”有一个重大任务,就是研究如何在月球上盖房子。他还透露,我国已研制出世界上第一台“月壤打砖机”。这些成果使大众又一次对月球基建畅想焕发了热情和憧憬。

那么,航天员和机器人想登上月球搞基建,需要解决哪些难题呢?半个多世纪以来积累的各国探月经验表明,月球的岩土地质条件与地球存在一定的相似之处,但在地球上搞基建的经验显然不能完全照搬到月球上。

有研究指出,月球地下熔岩管将是未来月球基地的理想选址,有望为航天员和设备提供必要的防护,抵御宇宙辐射和微流星体的威胁,甚至有可能保存着古老生命遗迹。

当前,人类对月球地下熔岩管了解不多,有必要开展大规模勘探活动,比如出动配备三维成像装置和导航系统的机器人,详细测绘其入口和内部环境。接下来,航天员和机器人需要合理规划利用、改造天然地形,适当“挖洞”,还要选择合适材料填补“缝隙”,完善空间利用率和增压气密性。

不过,地下基地更适合人类

在月球生活的早期阶段,而生理构造和精神需求决定,人类始终向往生活在可见天日的建筑内。这就要求在月表修建房屋,必然会大量使用“月壤砖”。

事实上,能否通过烧制、粘合等方式获得大量合格的“月壤砖”,暂时仍是未知数,科研人员需要从多方面开展深入研究。

一方面,月壤相关研究不时出现新成果,也意味着,科研人员对月壤结构成分乃至月球环境的认知仍有待深化。而目前“月壤砖”样品主要诞生于近地轨道空间站或地面模拟月球实验室,未来更多实验、试制工作有必要在月球表面开展。

另一方面,烧制“月壤砖”必须解决持续供能问题。粘合“月壤砖”需要通过反复尝试确定复杂的配方成分,加上必不可少的“月壤砖”有效寿命检测,同样离不开长期月面实验。

成功制取合格的“月壤砖”后,怎样确保其大量供应月球基建工程呢?答案是发展月球建筑工厂。

但是,出于成本和技术难度考虑,最强大的运载火箭也不可能一次性将完整的建筑工业体系和大量建筑物资投送到月球表面。换句话说,航天员、机器人和

各种必要的物资、设备初期不得不通过多次发射任务前往月球,还要将一些科研生产成果送回地球,那么地月空间运输成本就成了不容忽视的问题。

未来,往返于地月空间的载人/货运火箭有必要借助重复使用设计、材料和结构技术革新等,降低综合成本,使包括月球基建在内的探月任务与航天产业形成良性循环,成为负担得起的可持续性活动。

解决运输成本问题后,航天员、机器人和各种设备将批量抵达月球,兴建工厂就此提上日程。这无疑是庞大的工程,涉及导航定位、完善通信、工厂选址勘探、精准安装机器、维持能源供应、修筑月面道路等,由人工智能支持的各种机器人更有可能担当主力。

值得注意的是,为了减小地月空间运输负担,至少早期在月球上使用的机器设备应当追求轻便实用。等到月球工业体系初具雏形后,生产能力更强的重型机器设备更有希望在月球上迎来“用武之地”。

在此过程中,月球表面能源供应问题有可能会困扰科研人员和建设者。如果暂不考虑实用化仍相当遥远的核聚变反应堆,预计解决月表供能问题主要会通过两种方式:小型核裂变反应堆和太阳能。