



杨志远 摄

# 乘“舟”腾飞向“天宫”

## 天舟四号货运飞船发射侧记

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 黄国畅 屠海超 胡煦勤

深夜的文昌航天发射场发射塔架处，灯光将这里照射得分外明亮。远远望去，长征七号遥五运载火箭在塔架“包裹”下呼之欲出，天舟四号货运飞船进入发射倒计时。

这是我国载人航天工程的第22次发射任务，是空间站建设从关键技术验证阶段转入在轨建造阶段的首次发射任务，也是长征系列运载火箭的第420次飞行。

在人们的注视下，发射塔架回转平台徐徐打开。

“各号注意，30分钟准备！” 5月10日1时26分，发射任务01指挥员王宇亮的口令响彻发射场。

天舟一号任务一级动力系统箭上小组长、天舟二号任务01指挥员、天舟三号任务01指挥员……一路走来，王宇亮与“天舟”结下不解之缘，年轻的他伴随着这座年轻的发射场共同成长。

在这里，像王宇亮一样年轻有为的航天人还有很多：马亚奇、廖国瑞、符一行、肖建、周承钰……依托“嫦娥”、行星探测、空间站建造等“国字号”工程，文昌航天发射场已经成为优秀青年展

现才智的舞台。

“天舟四号货运飞船总长约10.6米，最大起飞重量13.5吨，主要为空间站上行运输和在轨存储、补给物资，支持开展适应货运飞船能力的空间运用和技术试验。”西昌卫星发射中心主任邓洪勤说。

此次任务中，由中国航天科技集团有限公司第五研究院研制的天舟四号货运飞船，搭载了航天员系统、空间站系统、空间应用领域、货运飞船系统共计200余件(套)货物，其中包括货包货物和直接安装货物，携带补加推进剂约750kg，上行物资总重约6000kg，将为神舟十四号乘组3人6个月在轨驻留、空间站组装建造、开展材料科学、微重力、航天医学实验等空间应用领域提供物资保障。

“各号注意，15分钟准备！” 1时41分，伴随着倒计时口令，大家的神经再次紧绷。

天舟四号任务是今年我国空间站建造阶段的首次任务，能否成功发射，关系到后续空间站建造任务能否顺利完成，环环相扣、意义重大。

西昌卫星发射中心党委针对此次任务火箭测试发射流程，立足“早”字抓好任务准备工作，牢牢把握“天发射、疫情防、安全稳定”三个重中之重，系统谋划，扎实准备，紧前落实，为任务成功奠

定坚实基础。

据中国航天科技集团有限公司所属中国运载火箭技术研究院长征七号运载火箭主任设计师邵业涛介绍，本次是长征七号运载火箭与天舟系列货运飞船第四次携手奔赴太空，“快递小哥”与它的“乘客”已十分默契，火箭总体技术状态也逐渐趋于稳定，飞行可靠性评估值达0.9838这一国际先进水平。

“本次任务中，火箭共有射前流程优化和可靠性提升等17项技术状态变化。”邵业涛说，其中包括，在发射日并行加注液氧煤油，减少了射前准备时间，降低了对人员设备气象保障等条件的要求，提高了发射可靠性；合并第一次总检查与真增压匹配测试，确保测试覆盖性的同时，减少重复性测试；部分箭上器件装箭后运往发射场，部分测试项目出厂前进行……通过这一系列举措，火箭测试发射周期由原来的31天缩减到27天，这也是长征七号运载火箭首次实现在一个月完成测试发射。

“各号注意，5分钟准备！” “各号注意，1分钟准备！” 指挥控制大楼、测控点号、观光平台……人们紧紧盯着即将腾飞的火箭。

“5、4、3、2、1，点火！”1时56分，烈焰喷薄而出，撼天地鸣响响彻海天，长征七号运载火箭托

举着天舟四号腾空而起。

当庆祝成功的“大红屏”亮起那一刻，文昌航天发射场向世界郑重宣布：2022年中国空间站建造任务首战告捷！

在长征七号运载火箭带着焰尾拔地而起的几分钟内，极具视觉震撼的同时，也存在诸多风险。

为护航火箭发射安全，中国电子科技集团有限公司研发了国内首部大口径雷达遥测一体化系统(以下简称测量雷达)，承担了火箭主动段外轨道测量任务，从点火的那一刻开始，就像一双“鹰眼”紧盯火箭飞翔的足迹，为发射场指控中心实时提供火箭距离、方位、俯仰等精确坐标信息和径向速度数据，一旦火箭出现状况，即刻就能发现。

“相比受限天气的光学跟踪，依赖火箭上设备的遥测系统，测量雷达不管火箭是否正常运行，它都能‘看’到，对于上升段的探测将会更安全、更可靠。”中国电子科技集团有限公司首席专家谢浩介绍。

“航天报国，航天强国是航天人的初心使命，我们强化使命担当，勇于创新突破，在一次次追梦奋斗中不断创造更多中国奇迹。”站在“大红屏”前，西昌卫星发射中心党委书记董重庆说。

乘“舟”腾飞向“天宫”，5月10日凌晨，文昌航天人拉开了新年度中国空间站建造任务的大幕。

## “货运小哥”亮点多

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 庞丹 王希斌

5月10日，天舟四号货运飞船顺利完成与空间站核心舱后向对接，正式开启了中国空间站全面建成的大幕。

天舟四号任务是空间站建造阶段的揭幕之战，也是全面完成空间站建设，实现载人航天工程“三步走”的宏伟战略目标的关键之战，将为稳步推进我国空间站工程任务，打造国家太空实验室奠定坚实基础。

天舟四号货运飞船由中国航天科技集团有限公司五院(以下简称航天科技集团五院)研制，作为空间站的后勤补给船，天舟货运飞船采用型谱化方案，设计了满足不同货物运输需求的全密封、半密封半开放、全开放3个货物舱模块，与通用推进舱模块组合形成全密封货运飞船、半密封半开放货运飞船和全开放货运飞船3种型谱。其中，天舟四号货运飞船为全密封货运飞船，是现阶段货物运输能力最大、在轨支持能力最全面的货运飞船，承担着为神舟十四号乘组提供物资保障、空间站在轨运营支持和空间科学实验的任务，停靠空间站期间将实施货物补给、推进剂补加，开展空间科学实验。

为保证货物安全快速到“太空之家”，天舟四号货运飞船采用货包、支架、贮箱等多种货物装载方式，货物种类、数量可根据空间站需求动态配置；同时，还具备承担空间站姿态轨道控制、并网

供电以及空间站遥测、数据传输支持等空间站运营支持任务的能力以及空间科学实验支持能力。

据了解，航天科技集团五院在天舟货运飞船系统研制过程中，秉承持续改进和优化的原则，根据航天员乘组在轨使用意见，为了查找货物更加方便和直观，天舟四号货运飞船通过标签和提手的色彩设计，增加了货包色彩标识；为方便航天员在轨操作装货适配板，天舟四号货运飞船为适配板和对应货架增设搭扣，实现在轨期间便捷防漂；为减小缓冲包装材料的在轨空间占用，便于收纳存储，对货包内的缓冲泡沫进行分块小型化优化设计，并增气柱缓冲方案以减重。

天舟四号货运飞船进入太空后，由航天科技集团五院西安分院研制的中继终端在第一时间开机，随后，中继终端与天链中继卫星实现“太空握手”，建立星间链路，从而搭建了从天舟四号货运飞船中继终端到中继卫星再到地面的“太空天路”，实现对天舟四号货运飞船的远程操控，确保天舟四号货运飞船在绝大部分时间都保持着与地面的实时通信。

为完成此次“送货”服务，一次性找到“太空新家”天和核心舱并完成对接，天舟四号货运飞船必须与地面建立联系，搭建各种指令及通信信号通道，在地面测控站准确引导下，与空间站天和核心舱“会面”，航天科技集团五院西安分院为天舟四号货运飞船量身定制的天线网络，通过提供专门的测控与通信信号传输通道，为其与地面建立起高速、畅通无阻的指挥和反馈信息通道。

## 打造三重安全防护网

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 王雪姣

作为载人航天工程副总指挥单位，我国测控通信系统主体研制单位，在每年的发射任务中，中国电子科技集团有限公司(以下简称中国电科)共有30余家成员单位，提供了80%以上的测控通信设备，以及数十万只国产元器件，为我国空间站建设提供核心技术支撑。

在今年6次发射、2次返回任务中，中国电科从火箭发射、飞行器入轨、交会对接、航天员出舱、返回等每个阶段，都提供核心技术支撑，以优异稳定的性能，为每一次发射保驾护航。

火箭在发射阶段具有一定的风险，也直接关系到整个航天发射过程的成败，尤其是在载人飞船任务中，最大限度地保障航天员安全是头等大事。

为了让火箭能够被实时“看”到，中国电科为火箭及周边打造了三重安全防护举措，确保安稳地踏上太空之旅。

火箭上的安全防护设备——脉冲相参应答机。在发射任务中，中国电科为运载火箭安装了脉冲相参应答机，它不仅可以与地面雷达协同，“看”到运载火箭的实时航迹，实时传送火箭的精确位置、速度信息，还能智能研判飞行是否正常，保障火箭将飞船送入预定轨道。

火箭上升的安全监测利器——精密测量雷达，与受限天气的光学跟踪、依赖火箭上设备的遥测相比，精密测量雷达不管火箭是否正常运行，它都能“看”到，对于上升段的探测将会更安全、更可靠。

在空间站发射任务中，中国电科研制配备了国内首部大口径雷达遥测一体化系统，可实现对火箭精密跟踪，同时承担火箭遥测信号下行接收与解调工作，对火箭的安全飞行具有重要的意义。该雷达突破了多项关键技术，技术水平国内领先。

航天员生命安全的“保险绳”——安控系统。在每一次“神舟”系列飞船载人任务中，都要用到中国电科研制的安控系统，确保航天员生命安全。

系列安控系统包括地面安控系统、地面逃逸安控系统、车载逃逸安控系统和车载机动统一测控系统等，用于发射任务的主动段，通过对火箭发射过程中的数据进行实时动态监控，来分析判断火箭的状态执行关键弧段的安控、测控、逃逸任务，一旦飞行出现异常，这些安控设备将通过发送特殊指令启动自毁装置，最大程度避免火箭坠地造成的危害。

其中，逃逸安控系统是载人航天发射任务的最后一道安全屏障，在紧急情况下可发送逃逸指令，帮助航天员安全逃逸，为航天员生命安全提供万无一失的保障。



图为天舟四号船箭合体垂直转运。

杨志远 摄

## 两双“眼睛”确保稳定飞行

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 李乔

5月10日，当天舟四号货运飞船搭载长征七号遥五运载火箭一飞冲天，中国航天科工集团有限公司二院23所(以下简称23所)两双“眼睛”一路密切观察，全程确保稳定飞行。

这两双“眼睛”是两部固定式脉冲测量雷达，主要用于运载火箭发射上升段的外弹道测量。雷达屏幕上，一个小点不断跳动闪烁，画出线条，并实时显示观测数据，这些数据为发射场指控中心提供火箭距离、方位、俯仰等精确坐标信息和径向速度，以便掌握火箭上升段运行状态，为安控系统提供重要信息，同时为其他设备提供引导信息。

今年1月，23所保障团队到现场对文昌两套雷达设备进行巡检检修，并逐一检测了发射机、天线伺服、信号处理等分系统。在确认各项技术指标满足要求、设备技术状态平稳可靠

后，保障团队返回驻地，通过电话回访关注设备状态。

随着载人航天发射任务愈加频繁，为进一步提升雷达系统高可靠性，保障发射测量任务圆满完成，23所针对文昌发射场雷达机械单脉冲体制的特性，在不改变原系统工作状态的情况下，于今年年初研制交付了一套分系统备份设备，将有效提高雷达系统的可靠性。

在天舟四号货运飞船发射前夕，围绕此次任务特点，23所保障团队还专门制定了跟踪捕获方案，进一步完善《故障风险预想及故障应急处置措施》。与此同时，结合此前任务数据，团队成员再次优选参数装订及跟踪策略，并始终密切关注设备使用状态，24小时待命，确保能够第一时间响应来自发射场的需求。

自2016年文昌航天发射场启用以来，这两部雷达参加了长征七号首飞、长征五号首飞、“嫦娥五号”“天舟一号”“天问一号”等百余次国家重大发射保障任务。

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 王伟童

为满足未来空间站运营需求，由中国航天科技集团有限公司所属中国运载火箭技术研究院(以下简称火箭院)研制的长征七号遥五运载火箭对发射前流程进行优化，将测试发射周期减少4天，由原来的31天缩减到27天。

“将火箭测发周期减少4天，这是长征七号运载火箭一项重大流程改进任务，不仅挑战长征七号运载火箭的综合性能，也考验发射队员在高压工作环境下的应变能力。”火箭院长征七号运载火箭总指挥孟刚说。

火箭院长征七号运载火箭副总设计师范虹介绍，地面设备恢复，是火箭进场的第一项工作。“对于多型通用的地面设备来说，保质保量压缩流程、精简项目需要统筹规划，要脱离本发任务，与前一发、后一发联动起来，让流程‘活’起来。”范虹说。经过团队对地面设备恢复阶段的工作优化、合并，节省测试时间约25天。

4月10日下午，长征七号运载火箭开启产品出箱工作。据长征七号运载火箭总装技术负责人崔继介绍，为达到优化流程的目标，助推器自检、火箭芯级出箱工作以及整流罩出箱工作，首次在不同工作厂房并行开展。至4月12日下午，总装团队将3天工作压力压缩至2天，全面完成产品出箱工作。

“在保证测发产品安全、可靠的前提下，缩减发射场测试有效时间，研制团队必须将积累多年的测发经验转换为稳妥、高效的发射流程管控能力。”火箭院长征七号运载火箭结构系统指挥员周宁说。

为了精准实现长征七号运载火箭结构自检流程的冗余时间，在出发前，研制团队就对发射场工作细则做了多轮更改，对每个操作环节的执行时间都进行梳理，将流程时间误差精确到10分钟以内。

火箭产品出箱，面对箭体和整流罩两线作战，难免有不协调事项，周宁熟悉技术状态与流程，冷静应对。经过连续5天高强度工作，长征七号运载火箭比以往提前一天完成垂直总装。

“本次发射任务，长征七号运载火箭将进行液氧-煤油并行加注，将发射日12小时流程缩减至8小时，这是一项极具挑战的工作。”火箭院长征七号运载火箭主任设计师邵业涛说。

在加注并行流程方案的制定过程中，难的是优化出一个协同性最佳的并行加注流程。流程中每一个环节，火箭设计的所有分支专业都需要参与讨论，按时序进行状态梳理，识别耦合项是否干扰，干扰项是否冲突，冲突项能否协同。在方案设计之初，大家就要尽最大可能考虑全面，同时充分借鉴会合与发射任务中验证过的发射区组织方案，全面应用到并行流程中，做到万无一失。

## 护航产品千锤百炼

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 杨庆

在本次发射任务中，中国航天科工集团有限公司(以下简称中国航天科工)研制的一系列产品，成功护航天舟四号货运飞船开启太空之旅。

中国航天科工三院33所研制的石英挠性加速度计，出色完成了微重力环境下加速度的测量任务，帮助飞船精准把握速度和位置。加速度计作为一种能够精准测量速度变化的仪器，并不是航天的“独门武器”，它伴随着我们生活的方方面面，大到汽车的姿态感应，小到手机的运动传感，加速度计为我们的生活提供了重要助力。可是，要成为一支能够上太空的加速度计，却并非易事。

据研制团队专家魏超介绍，随着航天器飞行高度的增加，空气越来越稀薄，最终接近于真空。在这样的微重力环境下，测量航天器姿态调整所产生的细微加速度将十分艰难。

“如果地表重力环境下测量加速度的难度，好比观察一个铁球落在地面产生的影响，那么在微重力环境下测量加速度就相当于观察一根头发丝落在地面产生的影响。”魏超说。

除了精度更高的要求外，复杂的太空环境也会让“敏感”的加速度计“闹脾气”，温度、压力等条件不合适都有可能导致任务失败。为此，每一支想要“上天”的石英挠性加速度计都必须经过千锤百炼。温度循环、振动冲击、低气压、离心实验等模拟太空苛刻环境下的实验验证必不可少，加速度计“航天员”们既要穿上一套密封不透风的“航天服”，保证内部气体会不会泄漏，又要带上保证温度的“保暖宝”精准控温，为石英挠性加速度计在真空环境中工作提供坚实屏障。

此外，中国航天科工航天江南所属航天电器为天舟四号货运飞船提供了数百台套连接器、继电器等产品。其中，热控风机作为飞船的关键单机，扮演着“中央空调”的角色，主要用于驱动空气循环，实现仪器设备的散热并保证飞船环境舒适性。中国航天科工三院306所研制的真空绝热板，应用在飞船的“低温锁柜”上，为具有强温度敏感性的关键物资提供隔热保护。



图为技术人员开展火箭吊装。

屠海超 摄