

筑梦“太空之家”——中国空间站建设记⑩

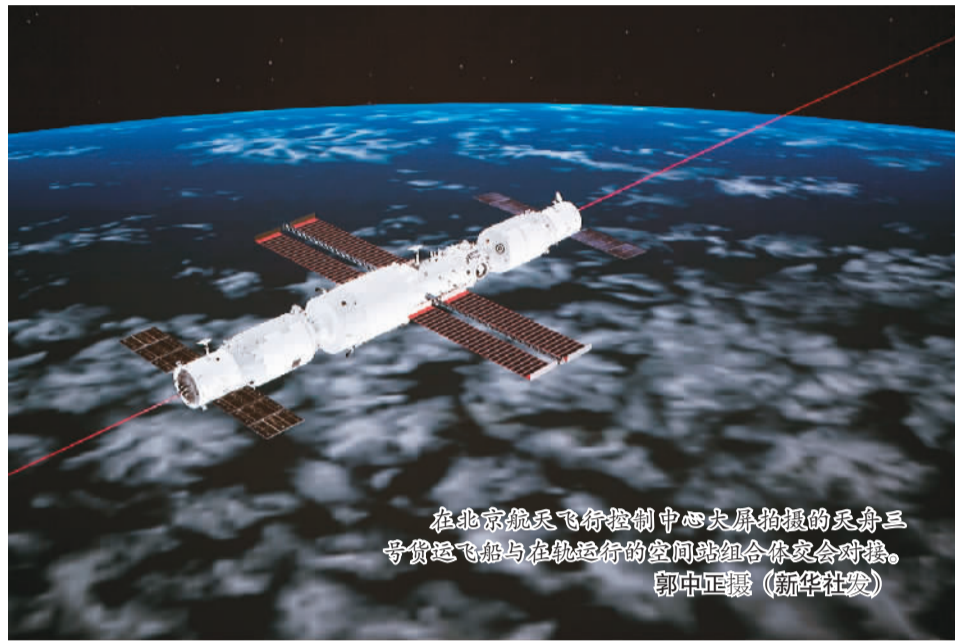
天舟三号对接——

“货运专列”入太空

刘 晓 董佳莹

9月20日，长征七号遥四运载火箭在海南文昌航天发射场托举天舟三号货运飞船驶入太空，将其送入预定轨道。随后，天舟三号货运飞船采用自主快速交会对接模式，成功对接于空间站天和核心舱后向端口。

不久之后，神舟十三号载人飞船将载着新一批航天员入住天宫。作为中国空间站核心舱送出的第二件太空“包裹”，天舟三号满载航天员太空生活所需，将静静等待下一批“太空住客”的光临。



在北京航天飞行控制中心大屏拍摄的天舟三号货运飞船与在轨运行的空间站组合体交会对接。郭中匡摄（新华社发）

两艘货运飞船同时在天运行

作为神舟十二号和神舟十三号载人飞船之间的发射任务，天舟三号是中国空间站关键技术验证和建造阶段货物运输系统的第二次应用性飞行，也是空间站建造阶段承上启下的关键之战。

为了让天舟三号与空间站顺利对接，在神舟十二号任务期间功勋卓著的天舟二号货运飞船特地“让了位置”——完成绕飞并与空间站的前向端口交会对接。

天舟二号为何要挪位？航天科技集团五院天舟二号货运系统总体主任设计师杨胜说，除了为天舟三号腾出后向接口外，天舟二号到前方还可以为神舟十三号的径向对接创造条件。后续天舟二号还将配合机械臂的转位试验，为实验舱转位进行先期技术验证；同时还将配合航天员进行手动遥操作试验，对货运飞船自身的备份控制系统进行控制能力验证。

“整个货运飞船的所有技术，基本上在天舟二号任务中能够得到全方位的验证，包括空间站组装建造的一些关键技术验证。”杨胜说。

在太空中，同时对接在天和核心舱的两端的两艘货运飞船，形成了“一”字形构型。专家表示，两艘货运飞船同时在天运行，这在中国载人航天史上是第一次。

当神舟十三号航天员抵达空间站并“签收”货物后，两艘天舟货运飞船才会分离。杨胜说，当天舟二号完成所有任务之后，会择机脱离空间站核心舱。离轨前，天舟二号还会将废弃物“打包”带走，在落回地球的过程中在大气层中燃烧销毁。

货物装载优化改进

与天舟二号相比，天舟三号的外形、功能相近相似，与天舟二号一样采取同时在地面进行控制或者自主控制。不过，天舟三号多了一项本领——增加北斗导航系

统，提升了飞行控制的精度和安全系数。

在太空中工作和生活，航天员在空间站的吃、穿、用乃至呼吸所需的物资以及空间站维持正确轨道所需的燃料都要靠货运飞船运送。在货物装载方面，天舟三号货运飞船充分继承了天舟二号货运飞船的经验，并进行了持续优化和改进。

其一是装载的货物更充足、密度更大。天舟二号需要保证3名航天员在轨飞行3个月的物资需求，天舟三号则要保证3人在轨驻留6个月的饮食，装载的货物数量更多。为此，天舟三号取消了4个推进剂储罐，扩容了货舱空间。

其二是包裹的包装更“多彩”、更科学。天舟二号装载的包裹统一为米白色包装，航天员可以通过扫描二维码获得货物的位置信息和产品信息。为了各类物资更好识别、更易寻找，天舟三号对不同物资采用了不同颜色的包裹，再配上标识和二维码，方便航天员取用。

当然，天舟三号中也有航天员熟悉的“老朋友”，如气瓶、水囊以及航天员出舱活动的战袍——舱外航天服等。

“货运专车”防热防雨防风

按照空间站在轨建造任务规划，到2022年底，中国将连续实施11次发射任务，其中4次货运飞船发射都是由长征七号运载火箭“承运”。长七火箭因此也被称为天舟飞船的“御用”火箭。为了保障“太空快递”在运输过程中的安全，研制人员将长七打造成为防热、防雨、防风的载人航天“货运专车”。

火箭飞行过程中，芯级发动机会喷出巨大的火焰。此时，助推器后过渡段要承受喷焰回卷的强热流，其热防护设计如果不够就会造成结构烧蚀，而过度设计又会影响火箭的运载能力。

为此，火箭设计师创新防热材料应用和安装方式，将一条特制防热毛毡“披”在火箭助推器上。“防热服”不仅重量轻，防热效率也更高。它采用耐高温的材

料制成，安装时从靠近火箭芯级的一侧开始“披”上，在远离芯级的外侧开口，就像“开衫”一样包裹着助推器，使后过渡段免受大火“烤”验。

天舟三号货运飞船发射当天，海南文昌航天发射场蓝天白云、天气晴好。事实上，即便遇到中雨天气，长七火箭也“不怵”，这是因为新一代运载火箭做足了防水设计。

火箭发射要防的不只是雨水。很多看过火箭发射的人都见过加注后的火箭受低温推进剂的影响，箭体表面温度降低，冷凝水像下雨一样顺着箭体流下来，这也是火箭要防的水。为此，火箭设计人员从“产品源头”解决防水问题。

据航天科技集团所属中国运载火箭技术研究院设计人员介绍，新一代运载火箭设计之初，防水功能尽量通过结构设计实现，例如在部件对接处加装密封胶、在细小孔径和缝隙涂硅橡胶、在分离面设计密封胶等，起吊附件、箭体盖板等配置了密封胶；在排气孔处，设置了内置导流罩，实现排气防水双功能并举；针对低温液体贮箱加注后无法避免的冷凝水聚集问题，采取封堵与疏导相结合的思路，在贮箱前短壳与绝热层平齐的位置开设排水孔……

目前中国国内主要的4个发射场中，除文昌发射场外，其他的发射场都在内陆，风速随距地面高度的变化不大。但在文昌发射场，距地面五六百米高的位置，风速要远高于地面风速。

“为了提升抗风能力，我们给长七火箭穿上了‘防风减载装置’。即使遇到8级大风的天气，长七火箭依旧可以转场，它的抗风能力超过现役火箭。”中国运载火箭技术研究院长七火箭总设计师程堂明说，“防风减载装置”采用可伸展的桁架结构，一端固定在活动发射平台的脐带塔上，展开以后另一端与火箭二级发动机机架接头对接，这样在垂直转场过程中将火箭与脐带塔连接起来，能够显著降低火箭受到的风载。

9月17日，神舟十二号载人飞船返回舱在东风着陆场成功着陆，执行此次飞行任务的航天员聂海胜、刘伯明、汤洪波安全顺利出舱，中国空间站阶段首次载人飞行任务取得圆满成功。回顾神舟十二号任务，多个“首次”创造历史。

首次实施载人飞船自主快速交会对接

所谓交会对接，是指两个航天器在空间轨道上会合，并在结构上连成一个整体，这是载人航天活动的三大基本技术之一，是实现空间站和空间运输系统的装配、回收、补给、维修、航天员交换及营救等在轨服务的先决条件。交会对接复杂度高、精准度高、自主性要求高、安全性要求高，被形象地称为“万里穿针”。

6月17日，神舟十二号载人飞船采用自主快速交会对接模式，成功对接于天和核心舱前向端口，与此前已对接的天舟二号货运飞船一起构成三舱（船）组合体，整个交会对接过程历时约6.5小时。随后，航天员聂海胜、刘伯明、汤洪波从神舟十二号载人飞船顺利进驻天和核心舱，中国人首次进入了自己的空间站。

6.5小时有多快？此前，神舟八号到神舟十一号飞船与天宫一号、天宫二号交会对接时，通常需要约两天的时间。短时间、高效率的交会对接，使航天员飞行体验有了很大提升，全自主的交会对接模式也大大减少了地面飞行控制人员的工作量和工作时间。

快速交会对接是中国载人航天矢志创新、不断突破的缩影。为了满足航天员在轨驻留期间的应急救援需要，长二F火箭系统进行了108项技术状态的更改，增加了故障检测和逃逸系统，以确保航天员在发射过程中的安全。同时，神舟十二号团队还开创了天地结合的应急救援任务模式，即携带两艘飞船进场，由一艘船作为发射船的备份，成为遇到突发情况时航天员的生命救援之舟。

空间站阶段首次出舱活动

7月4日，神舟十二号乘组航天员刘伯明开启天和核心舱节点舱出舱舱门，刘伯明、汤洪波先后出舱，经过约7小时的出舱活动，安全返回天和核心舱，中国空间站阶段的首次出舱活动成功实施。

这是继神舟七号航天员翟志刚于13年前首次出舱后，中国航天员再一次出舱。此次出舱历时约7小时，圆满完成了舱外活动相关设备组装、全景相机抬升等任务，首次检验了中国新一代舱外航天服的功能性能，首次检验了航天员与机械臂协同工作的能力及出舱活动相关支持设备的可靠性与安全性。

8月20日8时38分，神舟十二号航天员聂海胜、刘伯明再次出舱，约6小时后返回天和核心舱，比原计划提前了约1小时。

比起神舟七号，神舟十二号的出舱任务从时长、难度和工作量上都数倍增加。中国在核心舱机械臂、舱外维修与辅助工具、天地通信系统等领域取得一系列技术突破，为出舱活动顺利实施提供了有力保障。未来，随着神舟十三号载人飞船的发射，更多技术过硬的中国航天员将走出舱门，展现出最美的“太空漫步”，为人类和平利用太空作出开拓性贡献。

首次实现长期在轨停靠

神舟十二号载人飞船在轨停靠3个月，完成了在轨组装建造、维护维修、舱外作业、空间应用、科学试验以及空间站监控和管理等一系列任务，进一步验证了载人天地往返运输系统的功能性能，在轨验证航天员与机械臂共同完成出舱活动及舱外操作的能力。

与此同时，航天员乘组在轨工作和生活3个月，为考核验证生物再生式生命保障技术、空间站物资补给、航天员健康管理等航天员长期太空飞行的各项保障技术提供了充足的时间；吃穿住行的太空生活点滴和细节，展示了一个真实和奇幻的太空世界，为更多普通人了解太空提供了一扇窗口。

为适应空间站复杂构型和姿态带来的复杂外热流条件，神舟团队对返回舱、推进发动机和贮箱等热控方案以及船站并网供电方案进行了专项设计，使飞船具备了供电、热环境保障的适应性配套条件。

接下来，神舟十三号的航天员将按计划将在轨驻留6个月。载人航天工程办公室总体技术局主任设计师周亚强说，神舟十三号在轨的主要工作是进一步验证空间站建造和运营的关键技术，为空间站建造和运营积累更丰富的经验。

首次绕飞空间站并与空间站径向交会

9月16日，神舟十二号载人飞船撤离后，与空间站组合体完成了绕飞及径向交会试验，成功验证了径向交会技术，为后续载人飞行任务奠定了重要技术基础。

神舟十二号具有复杂的交会对接飞行模式，具备与空间站核心舱进行前向、后向、径向对接和分离的功能。接下来飞往太空的神舟十三号将与空间站进行径向的交汇对接，因此神舟十二号的试验为下一趟“太空专列”做好了铺垫。

与天舟二号和神舟十二号采用的后向对接和前向对接不同，径向对接是从核心舱的下方来接近，飞船和核心舱在轨道高度上存在偏差，难度有很大的提升。由于不同高度的速度不同，在对接过程中需要连续的轨道控制，不断调整姿态。为此，研发人员通过提高动态情况下传感器的测量精度和稳定性来解决这一难题。

首次具备从不同高度轨道返回东风着陆场的的能力

在神舟十二号之前，载人飞船都从固定的轨道返回地球。空间站任务中，空间站为了节省推进剂的消耗，轨道位置会随着不同时间节点而进行相应的调整，以满足长期停靠的要求。为此，神舟团队对返回轨道重新进行了适应性的设计，使载人飞船返回高度从固定值调整为相对范围，并改进返回的算法，提高载人飞船返回适应性和可靠性。

9月17日，神舟十二号载人飞船返回舱在东风着陆场成功着陆，这也是东风着陆场迎回的第一艘载人飞船。从此以后，“东风”将成为中国载人飞船出发与回归的“母港”。为了这一目标，着陆场系统进行了20多项技术改造，构建了多专业搜救力量体系。神舟十二号的顺利回归，首次检验了东风着陆场的搜救救援能力。未来，这里将成为中国航天员进入太空可靠、安全、温暖的航天港。

神舟十二号荣归

多个『首次』创历史

立 风



点亮航天梦

神舟十二号任务圆满成功、天舟三号顺利奔赴太空——中国航天的新成就激发了青少年走进航天、了解航天的热情，鼓励他们探索未知、敢于创新。图为河北省邯郸市邯山区实验小学老师通过模型给学生讲解航空航天知识。李 昊摄（人民视觉）



9月17日，神舟十二号载人飞船返回舱在东风着陆场成功着陆，航天员聂海胜（中）、刘伯明（右）、汤洪波安全顺利出舱。新华社记者 连 振摄