

天舟五号发射成功 创世界最快交会对接纪录

◎本报记者 付毅飞

据中国载人航天工程办公室消息，北京时间2022年11月12日10时03分，搭载天舟五号货运飞船的长征七号遥六运载火箭，在我国文昌航天发射场准时点火发射。12时10分，天舟五号采取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，中国航天员首次首次在空间站迎接货运飞船来访。

此次发射任务从点火发射到完成交会对接，全程仅用2个小时，一举改写了2020年10月14日俄罗斯联盟号MS-17与国际空间站的3小时3分交会对接纪录。快速交会对接技术成功在轨实施，标志着我国航天交会对接技术取得了新突破。

交会对接从6.5小时到2小时

“快”，是天舟货运飞船的显著特点，也是核心技术难点。五院的飞船制导与控制(GNC)系统研制团队为此开展了多年艰苦攻关。

2017年9月12日，我国利用天舟一号成功开展与天宫二号空间实验室的6.5小时快速交会对接在轨试验，成为世界上第三个掌握近地快速交会对接技术的国家。2021年以来，天舟二号、天舟三号、天舟四号在与天和核心舱交会对接时，均采用自主快速交会对接方案。

与6.5小时交会对接相比，此次之所以能实现2小时交会对接，研制团队主要从两方面对天舟五号进行了调整。一是优化了交会对接的控制制导策略，将远距离引导过程由多圈压缩为不到一圈，将多次变轨压缩为两次综合机动，因此该部分用时由原来的4个多小时减少到约1个小时。二是在近距离自主控制段，减少了多个用以确认飞船状态的停泊点，与动车组减少经停车站数量类似，加快了接近速度，因此该阶段时长由2个多小时缩短为约40分钟。

五院520所交会对接首席专家解永春表示：“2小时交会对接并不是我们为天舟五号增加的新功能，之前的天舟货运飞船也有该功能，只是因为该模式对飞船飞行状态要求较高，所以之前未曾进行在轨实施。”

也就是说，2小时交会对接只是飞船交会对接GNC系统的一个选项，飞船的GNC系统可以根据火箭入轨的情况，自主选择不同时长的交会对接模式，其中2小时快速交会对接是目前速度最快的模式，此外还可以选择3小时、5小时和6.5小时等方案。

我国首台空间应用燃料电池升空

◎本报记者 付毅飞

11月12日，天舟五号货运飞船发射成功，开启了我国空间站“T”字构型完成后的首次货运任务。飞船上搭载了由中国航天科技集团五院529厂自主研发的燃料电池发电系统载荷，计划开展我国首次燃料电池空间在轨试验。

随着我国载人航天任务的发展，载人探月任务会面临月夜长时间无太阳光照等情况。如果采用传统储能发电系统，会造成探测器重量的大幅增加，无法满足载人探月任务的能源系统需求。因此，亟须研究并采用新的能源系统，支撑载人航天任务的正常实施。

2小时快速交会对接技术的突破，对于中国空间站的长期在轨运营具有重大现实意义。这不仅意味着向空间站运输货物的时间大大缩短，使运输特殊鲜活试验品成为可能，还能够极大增强太空紧急救援能力。

“神经中枢”实现信息分类传递

为了顺利完成此次任务，一次性与空间站天和核心舱完成对接，天舟五号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”。因此，五院为天舟五号研制了天线网络，通过提供专门的测控与通信信号传输通道，为天舟五号与地面建立起高速、畅通的指挥和信息反馈通道，确保任务顺利完成。

天线网络是属于测控与通信分系统中连接应答机和天线的关键产品，虽然是飞船上一个小型信号转发器，但也是实现信息传输的“神经中枢”。当天舟五号接收到地面的通信信号或测控指令信号时，天线网络会智能地将其进行分类、分通道传输到应答机；反之，它也会把来自应答机不同通道的各类信号汇总后送往对地天线，通过天线发出后送达地面。

在此次任务中，天舟五号将以天基测控为主实施在轨飞行控制，天线网络作为“神经中枢”，将主要完成飞船测控指令信号的上传和下达，天舟五号货运飞船执行对接等在轨任务，需要确保各项操作指令实时准确，“神经中枢”的高可靠性将成为该任务的重要保障之一。

天舟五号将带来这些好物

作为空间站的地面后勤补给航天器，天舟货运飞船与通用推进舱模块组合形成全密封货运飞船、半密封货运飞船和全开放货运飞船3种型谱。其中，天舟五号为全密封货运飞船，是世界现役货物运输能力最大、在轨支持能力最全面的货运飞船。

此次天舟五号上搭载了航天员系统、空间站系统以及空间应用领域的货物共计约5吨，携带补加推进剂约1.4吨，将为神舟十五号乘组3人6个月在轨驻留、空间站组装建造和空间应用领域提供物资保障。同时，天舟五号还充分利用货运飞船上行运力资源，搭载多项试验载荷，支持开展空间科学与技术试验，具备承担空间站姿态轨道控制、并网供电，以及空间站遥测、数据传输支持等能力。

天舟五号的对接目标，是达到80吨量级的

空间站组合体。此次任务的成功，充分证明了货运飞船对接机构对大吨位目标的适应性。同时，此次任务是在中国空间站有人驻留的情况下进行的首次货运飞船交会对接。为了进一步提高近距离交会对接过程的可靠性，天舟五号还具备故障情况下手控遥操作交会对接的能力。交会对接完成后，航天员可以很快进入飞船，“签收”来自地面的“包裹”。

天舟五号上，搭载了五院529厂自主研发的燃料电池发电系统载荷，计划开展我国首次燃料电池空间在轨试验。此外，天舟五号上还搭载了五院航天东方红卫星有限公司抓总研制的“澳门学生科普卫星一号”。不久后，这颗卫星将从天舟五号上放飞，再次为我们带来“太空科普大片”。

天舟货运，使命必达

有了货运飞船，人类太空长期驻留才成为可能。根据中国载人航天“三步走”发展战略，为了满足空间站任务需要，我国于2011年启动天舟货运飞船研制工作，历经数年艰苦攻关终获成功。

2017年4月，我国成功发射的天舟一号货运飞船，全长10.6米，最大直径3.35米，最大装载状态下重量达13.5吨，一次能运送6吨多的货物上天，其体积、重量均创下当时我国航天器之最。

从天舟二号起，货运飞船要面向空间站建造和在轨运营任务需要，为这座“太空家园”运输和存贮货物，运输和补加推进剂，并将废弃物收集、存放等。

2021年5月29日、2021年9月20日、2022年5月10日，天舟二号、天舟三号、天舟四号先后成功发射，与天和核心舱顺利对接后，在轨进行了一系列拓展应用试验。2022年3月31日、2022年7月27日，天舟二号、天舟三号在完成在轨使命、交出圆满答卷后，先后受控离轨再入大气层。2022年11月9日，天舟四号顺利撤离空间站组合体，转入独立飞行阶段，后续将择机受控再入大气层。

为了满足密集的发射需要，天舟货运飞船实行组批生产的方式，同一批次的外形、功能相似或相近。据天舟货运飞船总设计师白明生介绍，天舟三号、天舟四号、天舟五号一批生产出来；天舟六号到天舟十一号是另外一批。从天舟六号开始，将进行系统升级，如对货物舱进行比较大的改进，大幅度增强密封舱的货物运输能力等，这样给航天员提供的物资将可以支撑更长的时间。

(素材来源：中国航天科技集团五院)

◎尚 驰 本报记者 付毅飞

看长七从『货运专列』变身『货运高铁』

11月12日，由中国航天科技集团一院抓总研制的长征七号(以下简称长七)遥六运载火箭成功将天舟五号货运飞船送入预定轨道。

2016年6月25日，我国新一代中型运载火箭长七首飞圆满成功，标志着中国载人航天工程空间实验室任务顺利开启。

几年来，“五送天舟”的长七火箭已经成为中国载人航天工程当之无愧的“货运专列”。

从发射场流程优化到高密度发射，再到可以实现天舟飞船2小时快速交会对接，通过研制团队的不断优化调整，长七火箭一次次刷新着“送货”速度，“货运专列”向着“货运高铁”华丽升级。

“不但要投进，还得是个漂亮的空心球”

本次任务发射前，长七火箭主管弹道设计师张博戎被问到火箭能否精准入轨，帮助天舟五号货运飞船实现2小时快速交会对接，他的回答充满自信：“如果是在长七遥一运载火箭发射时，这个问题我不敢这么说，但现在我可以肯定地告诉你，可以！”

长七火箭实现高精度入轨，是天舟货运飞船与空间站组合体能够快速交会对接的基础。

空间站建造阶段11次发射任务环环相扣，交会对接任务对火箭发射入轨精度本身就有着很高的要求。对长七火箭而言，把货运飞船送到预定轨道后，绕地球飞行一周的周期大约是5400秒，而长七火箭的入轨精度偏差不能超过4秒，在我国现役运载火箭中入轨精度要求最高。

为此，长七火箭采用高精度激光陀螺和光纤陀螺惯性测量组合的设计方法。在飞行过程中，控制系统能够快速为火箭规划出最佳飞行路线，“迭代制导技术”还可以帮助火箭提前预见偏差，实时修正，保证入轨精度。

长七遥五运载火箭发射成功后，研制团队接到了要执行2小时快速交会对接任务的技术需求。对于此次任务，张博戎形容：“以前要准确投进，现在不但要投进，还得是个漂亮的空心球。”

经过近3个月的数据分析和偏差修正，研制团队最终将火箭各系统综合性能再次提升，以优异的表现完成了任务。

“从质量到流程，我们都要精益求精”

今年5月10日凌晨，长七遥五运载火箭从海南文昌发射场升空，拉开了我国空间站建造大幕。那次任务让发射试验团队的队员们感触颇深。

“以前是发射前12个小时进入发射流程，而我所在的岗位则要连续工作13个半小时，高负荷连续工作对大家的体能是个不小的考验。”火箭供气系统主管设计师陈山说，得益于发射场流程优化，他那次在岗时间缩短了4小时。工作时间的减少让大家轻松了不少。

同样在那次任务中，火箭研制团队通过射前流程优化和可靠性提升等17项技术状态变化，让测试、发射周期由原来的31天缩减到27天，长七火箭首次实现在一个月之内完成测试、发射任务。

长七火箭低温模块多，发射前流程复杂。火箭总体主任设计师邵业涛说：“打一发进步一发，是我们一直以来坚持在做的事。长七火箭的发射流程从首飞时的40多天缩短到一个月之内完成，得益于研制团队对每一次测试发射数据的不断积累和分析研判。”

地面系统恢复节省时间2.5天，火箭产品出箱工作流程由3天压缩至2天，测试流程时间误差精确到10分钟以内，发射日流程压缩4小时……时间在压缩，发射的可靠性、测试的覆盖性不变。“从质量到流程，我们都要精益求精。”邵业涛说。

在11月12日实施的长七遥六运载火箭发射任务中，研制团队同样在不到一个月的时间里完成了测试发射流程。收集好这次的发射数据，他们又开始了下一次发射的流程优化分析，未来要用更快的速度、更高的可靠性将“快递”稳稳送到空间站。

无惧高密度发射考验

当长七遥六运载火箭一飞冲天时，千里之外的天津火箭公司总装测试厂房里，长七遥七运载火箭已经在进行出厂前的总装测试了。

长七火箭是我国现役火箭中模块最多、总装流程最复杂的火箭，从4到6个月装一发箭，到现在的2个月装一发箭，总装测试团队也在全力奋战。

为给火箭总装提速，长七火箭总装车间全体成员梳理总结出130项测试总装要点，并针对不同项目对全员总装技能进行打分，由得分高的人对得分较低的人进行培训，大家共同进步，不断提高操作熟练程度。

“提高操作熟练程度是一方面，工艺流程优化、数字化手段的应用也必不可少。”火箭总装工艺组组长国冰介绍，从成立专门的物资组，到多项流程并行、细化分工、数字化扫描取样……一项项措施让长七火箭总装测试不断提速。“我们正在论证建设专业化生产线，建成后能给总装速度带来很大提升。”他说。

进入空间站运营阶段后，长七火箭还将保持每年至少2次的发射频次。同时它将携手具备高轨发射能力的长七甲火箭，成为中国未来航天发射任务的“主力军”。面对高密度发射考验，研制团队将在更快、更强、更可靠的道路上不断前行。