

# 载人航天战略“第二步”打响收官战

本报海南文昌4月20日专电(特派记者张晓鸣)千百年来,中国人从未停止过对浩瀚宇宙的探索。中国人在人类共同梦想的追逐道路上,不停追赶、不停超越,正朝着引领世界、引领人类的目标和方向迈出坚实步伐。1992年9月21日,中国正式开始实施载人航天工程。本次天舟一号货运飞船飞行任务就是其中具有里程碑意义的一战。这次任务既是空间实验室飞行任务的收官之战,也是载人航天工程“三步走”战略“第二步”的收官之战,标志着中国载人航天迈向“空间站时代”。

根据中国载人航天工程“三步走”战略,第一步,发射载人飞船,建成初步配套的试验性载人飞船工程,开展空间应用实验;第二步,突破航天员出舱活动技术、空间飞行器的交会对接技术,发射空间实验室,解决有一定规模的、短期有人照料的空间应用问题;第三步,建造空间站,解决有较大规模的、长期有人照料的空间应用问题。“第三步”的目标是在2022年前后建成空间站。

空间站是一种在近地轨道长时间运行,可供多名航天员巡访、长期工作和生活的载人航天器。历史上俄罗斯及美国都相继研制过自己的空间站,而目前唯一在轨运行的是多国联合研制的国际空间站。2011年9月和2016年9月中国相继发射了天宫一号、天宫二号空间实验室,而且都与神舟飞船实现了成功对接。

按照计划,未来我国的空间站基于当代最新技术成果设计建造,信息化程度更高、能力更强,这为今后开展更前沿的科学实验和太空探索提供了更新、更合适、更可靠的平台。而货运飞船也就成为了空间站以及空间站内的航天员能否长期在太空正常工作的关键。

按计划,天舟一号的四大任务目标是:与空间实验室配合,验证推进剂在轨补加技术;全面考核货运飞船功能和性能;在空间实验室配合下,开展货运飞船控制组合体、绕飞至前向交会对接、快速交会对接等试验;支持开展空间应用及技术试(实)验。这些任务完成之后,代表中国已经具备向空间站一次性运输大量物资以及太空“加油”的能力,未来建立的空间站不会面临“断炊”的困境,更不用担心会受制于人。

今年我国载人航天工程已经进入第25个年头,它带动了我国科技的全面、快速发展。中国载人航天已有2000余项技术成果被广泛应用于国民经济各个行业,据有关研究机构测算,投入产出比在1:10到1:12之间。载人航天还带动了原材料、微电子、机械制造、化工、冶金、纺织、通信等方面的技术创新、工艺创新和产业提升,拓展了科技成果向现实生产力转化渠道,为高科技产业发展注入了动力和活力。未来,在空间站发展中,中国将以更加开放的姿态在方案设计、设备研制、空间应用、航天员培养、联合飞行等方面拓展国际交流合作。

## 科普链接

## 多项空间科学实验将在轨开展

■本报驻京记者 郭超豪

天舟一号的主要任务是在天地间运送货物,不过它同时也发挥着空间科学实验平台的效能——随船搭载了数十台载荷设备,在轨开展十多项载荷试验,实现“一次飞行,多方受益”的目标。

据中科院空间应用中心负责人介绍,此次天舟一号货运飞船上将主要开展微重力(失重)对细胞增殖和分化影响研究、两相系统实验平台关键技术研究、非牛顿引力实验验证的关键技术验证、主动隔振关键技术验证等多项科学实验研究及技术验证试验。

此次天舟一号科学实验研究中最受关注的“微重力对细胞增殖和分化影响研究”项目,将研究微重力等环境对干细胞增殖分化、生殖细胞分化及骨组织细胞结构功能的影响。该项目包括8个研究课题,成果期望可应用于心脏病、肝脏疾病的治疗、器官移植、生殖健康,以及预防和治疗骨质疏松等疾病等方面。

清华大学医学院国家教授团队所做的“太空微重力环境下定向分化人类胚胎干细胞为生殖细胞”课题,将构建生殖细胞的特异性荧光报告载体,并将人类胚胎干细胞诱导为生殖细胞,继而将此诱导分化体系送入航天器空间生物技术实验平台。

纪家葵说,这项研究将有望克服太

空生殖研究中人体生殖细胞取样之困,对人类探索改善太空生育能力、实现空间移民和太空生育后代具有重要意义。

在微重力环境下,骨质疏松已成为人类探索太空的最大障碍之一。清华大学生命科学学院陈国强教授告诉记者,此次他们将在天舟一号上探究“3-羟基丁酸(3HB)对微重力环境下成骨细胞增殖的影响”。他表示:“3HB是哺乳动物体内酮体的主要组成之一,具有重要的生物学意义。前期研究表明,3HB有望开发成为抗骨质疏松的药物。”

华中科技大学引力中心所承担“非牛顿引力实验验证的关键技术验证”项目,是一个有关牛顿万有引力定律检验的空间基础物理实验,可为引力理论的研究提供重要的实验依据。该校周泽兵教授告诉记者,实验中最核心的关键技术是静电悬浮加速度计,这是一个非常精密的弱力测量装置,可在轨道量航天器的微小加速度,分辨率精确到小数点后第10位。

“目前国际上只有法国等一些发达国家掌握了这一尖端技术,并对我国高度保密,只能靠我们自主研发。”周泽兵说,此次试验结果将为空间站开展“空间等效原理实验验证”“非牛顿引力实验验证”“空间引力波探测”等相关理论与引力物理实验奠定技术基础。

(本报北京4月20日专电)

## 我国启动载人航天器型谱化设计

■本报特派记者 张晓鸣 许琦敏

天舟一号货运飞船发射成功,开启了我国载人航天器型谱化设计先河,让载人航天器的设计更规范化、更具有预见性。未来我国载人航天器将实现通用化、批量化、系列化发展。

据介绍,所谓型谱化,并不是将已有的不同规格的同类产品简单罗列、组合,或者不断改进现有产品的特性、功能,而是以最少数目的不同规格产品为标志的、能满足较长时期及一定范围内全部使用要求的产品系列。

从神舟一号到神舟十一号的设计中,设计师们聚焦“载人”这一最主要的特点,用十一战十一捷的成绩,打造了安全、可靠、稳定的载人飞船。但是,神舟系列飞船的设计理念,并不能称为“型谱化”。

针对运输货物的不同类型和需求,天舟系列货运飞船设计了“全密封”“半开放”“全开放”三种型谱。作为首发货运飞船,天舟一号设计为全密封型谱状态。

其中,全密封货运飞船主要用于

运输航天员消耗品、密封舱内设备与试验载荷;半密封货运飞船除了可以满足密封舱内货物外,还可以满足包括太阳能电池翼等舱外物资的运输需求;全开放货运飞船主要用于大型舱外货物的运输。

货运飞船由推进舱和货物舱组成,按照模块化思路搭建平台型谱,设计有推进舱模块、密封货物舱模块、半密封半开放货物舱模块和全开放货物舱模块。推进舱模块公用,货物舱模块则根据任务要求选择。不同的货物舱模块与推进舱模块组合,构成“全密封”“半开放”和“全开放”货运飞船。模块化设计提高了货运飞船任务适应能力,便于任务拓展,飞船建造类似于搭“积木”。模块间技术和产品实现共享和通用,降低了研制成本,缩短了周期,可以通过有限的飞行试验快速提高平台可靠性。

天舟一号的发射成功,巧妙解决了载人航天高风险、高标准、高要求与小尺寸之间的矛盾,以设计的高可靠性和安全性,务实地迈出了载人航天器型谱化设计的第一步。

(本报海南文昌4月20日专电)



4月20日19时41分,搭载天舟一号货运飞船的长征七号遥二运载火箭,在我国文昌航天发射场点火发射。天舟一号随船搭载了数十台载荷设备,将在轨开展十多项载荷试验。本报特派记者 谢震霖摄

## 天舟一号七大“独门功夫”

- 首次执行货运飞船飞行试验任务**  
天舟一号运载货物的质量与货运飞船船体本身的质量之比高达48%,高于日本、欧洲的货运飞船
- 首次在轨实施飞行器间推进剂补加**  
为我国空间站组装建造和长期运营扫清在能源供给问题上的最后障碍
- 首次以天基测控体制为主实施飞行控制**  
将原本在地面或海上的测量系统“搬”到了天上,实现了对航天器在轨飞行的关键事件的全程跟踪
- 首次大规模推动核心元器件自主可控**  
使用了七大类国产新研核心元器件,将未来空间站建设的关键命脉牢牢掌握在手中
- 首次开展全自主快速交会对接试验**  
将交会对接技术耗时从两天左右控制在几小时内
- 首次搭载多项空间应用与技术试(实)验载荷**  
随船搭载了数十台载荷设备,在轨开展十多项载荷试验,实现“一次飞行、多方受益”
- 首次实施主动离轨受控陨落**  
既避免自身成为太空垃圾、避开离轨过程中的不可控因素,又能为打造洁净、安全的太空环境作出自己的贡献

示意图  
制图:冯晓娟  
资料整理:许琦敏 张晓鸣

## 技术解读

# 身怀绝技,这位“快递小哥”不简单

## ——揭秘天舟一号货运飞船飞行任务特点

■本报特派记者 许琦敏 张晓鸣  
通讯员 孙维 刘峰  
顾帅华 苗鹏  
王一琳

今天19时41分,长征七号遥二火箭腾空而起,在“零窗口”将天舟一号货运飞船送入天宫二号的轨道面。身负与天宫二号多次交会对接、验证推进剂在轨补加技术、运送大量货物等重任,天舟一号被研发人员亲切地称为我国未来空间站的“快递小哥”。

天舟一号身高10.6米,体重3.35吨,体量与天宫二号空间实验室相当,是我国目前体积最大、重量最重的载人航天器。作为我国首艘货运飞船,天舟一号能运送超过6吨的物资——这个数字接近天宫一号载重能力的2倍,其上行载货性价比优于国际现役货运飞船。

从2011年项目立项,到产品运抵海南文昌发射场,过去6年间,天舟一号经历了上千小时的测试验证,经受了上百次大型试验考核。记者从中国航天科技集团公司了解到,这个由该公司五院载人航天总体部负责抓总研制的航天器,一方面继承了来自我国载人飞船以及空间实验室的成熟技术,另一方面则首创了多项绝技。

## 两大创新,使太空快递“大肚能容”

天舟一号货运飞船由大直径的货物舱和小直径的推进舱组成,货物舱用

于装载货物,推进舱则为整个飞船提供电力和动力及装载补加推进剂,作为太空快递的“大力士”,天舟一号物资承载能力很强,载货比要优于俄罗斯研制的进步号M型、美国的天鹅座飞船扩展型等国际上现役的货运飞船。

这位“快递小哥”何以“大肚能容”?研制人员历时6年,经历20余项试验,终于赋予了它两把最重要的“利器”。

第一把“利器”是简约而不简单的货架。表面上看,这货架和普通的书架类似,但其细节和构造却都经过了反复推敲和设计——货架采用一种基于蜂窝板、碳纤维立梁的梁板结构,形成大量标准装货单元。它们传力效果好,结构与货物重量比达到8%。

为了挑战承载极限,设计师还精心设计了一种大承载轻量化预埋结构,既能适应传统刚性结构安装,又能适应柔性束缚带的连接承载。经过测试,三个这种预埋结构就可以承载一台豪华轿车。

第二把“利器”则是适应多种货物的货包。由于天舟一号要运送的物资中有许多精密仪器设备和宇航员用品,发射段受力又大,生怕磕碰,因此只用高强度的货架可不行,还需要更多“软包装”或类似方法来实现装载、运送。

这种“软包装”包裹在泡沫或气囊袋里面,再一起固定在货架上,而不是直接与运载工具的内部货架结构相连接。由于“软包装”为装载对象提供了一个柔软的、高阻尼的、分布式系统的支撑,可以获得一个高度隔离减振的载荷环境,也为货物的上行运输提供了更

好的适应性和合理的货包绑扎方式。

## 十年攻关,确保“太空加油”严丝合缝

此行,天舟一号货运飞船最重要的一项任务,就是与正在太空运行的天宫二号空间实验室进行交会对接,验证推进剂在轨补加技术。这项俗称“太空加油”的技术,是后续我国空间站建设中实现长期驻留的必要条件。

“太空加油”既要保证它能准确对接,又能满足密封的要求,推进剂是绝对不能泄漏的——如果将天宫一号与神舟八号的对接精度,形容为“茫茫大海中的穿针引线”,那么推进剂补加的对精度要求,较此还要高出一倍。

目前,在轨飞行器补加技术只有少数几个国家掌握,航天科技集团六院801所研制团队前后历时10余年,研制的“太空加油”设备,突破了国外技术封锁,填补了中国航天领域的空白,实现了我国空间推进领域又一次技术跨越。

该团队在国内首创了推进和补加系统一体化设计方案,即将推进系统与补加系统之间连接起来,在不影响各自独立功能的前提下,实现两个系统的推进剂可相互“支援”,充分利用;而在某个系统故障时,又可及时隔离和切换,确保两种功能均可顺利完成。

推进系统一大故障为“漏”,为了确保飞行器顺利在轨运行,货运飞船在对接及浮动连接器插合完成后,需对货运飞船及空间实验室/空间站连接起来的补加管路系统进行检漏。801所设计团

队通过设计仿真及多轮地面试验验证,摸索出了检漏方法及评判指标,为在轨补加前检漏这一安全保障奠定了基础。

## 三度对接,从以天计缩短到几小时

这次,天舟一号最抢眼的任务之一,是三次与天宫二号交会对接;在天宫二号配合下,与其对接形成组合体飞行,验证货运飞船对组合体的控制能力;绕飞至天宫二号前向交会对接,完成空间科学实验;验证快速交会对接技术,与天宫二号三度对接。

快速交会对接这项空间站建设关键技术,由中国航天科技集团公司五院502所开发。顾名思义,其核心和难点就在于“快速”——从发射到具备交会对接条件的时间短,从以天计缩短到了仅仅几个小时,采用新技术,从发射到交会对接,飞船绕地球飞行圈数从30多圈减少到几圈。

以往我国神舟飞船的交会对接,从发射到具备交会对接条件大约需要2天时间,过程中还要有大量的人工参与。本次验证的快速交会对接,从入轨到对接成功只需要几小时,且以飞船的自主制导和控制为主。

这种“快速”有何意义?一是可缩短航天员在飞船狭小空间中滞留的时间,使载人太空飞行变得更加舒适、惬意;二是可保障科研用品,特别是生物制剂等无法经历长期运输的货品尽快送达空间站,这对某些试验可能是至关重要的。(本报海南文昌4月20日专电)

## 团队故事

# 确保天舟成功出征,他们挥洒汗水激情

■本报特派记者 许琦敏 张晓鸣

南海之滨,暮色初降。一道烈焰从碧海间刺入苍穹。今天19时41分,长征七号遥二火箭托举着我国首艘货运飞船天舟一号,在中国文昌航天发射场成功发射。约596秒后,天舟一号成功进入天宫二号轨道面。

发射场指挥控制大厅,里里外外,一片欢腾。拥抱、欢笑、合影……他们激动而欢欣,因为我国载人航天工程“三步走”战略“第二步”的收官之战,今天迈出了坚实一步。未来几个月内,推进剂在轨加注、快速交会对接等一项项为开启我国“空间站时代”奠定坚实基础的技术,将在太空中得以实现。

新的飞船、新的火箭、新的发射场、新的任务……从6年前天舟一号立项,航天人就开始了一段充满挑战的历程。

## 6年研制路,创新的每一步都充满艰辛

过去6年里,中国航天科技集团五院天舟一号机械部主任设计师贾东永只做了一件事——天舟一号的数字化总装研制。

2011年,作为天舟一号的抓总单

位,中国航天科技集团公司五院载人航天总体部就开始了在空间实验室、货运飞船、空间站等全部载人型号研制中,全面应用数字化协同研制模式。

从一出生,天舟一号就走上了数字化之路,这条路是贾东永之前的设计师都没有走过的。究竟怎么做?贾东永带领团队,开始了艰苦探索。这位来自北京理工大学仿生学博士,在型号任务必须万无一失的压力下,坚持将新技术、新手段应用到研制过程中。

6年来,他的团队在五院内首次实现了三维模型有效受控管理,将工作效率提高了约50%。接下来,他和同事们一起,要将三维数字化研制模式推广到所有分系统和所有载人型号中。

在天舟一号研制中,这样的故事比比皆是。上海801所总体一部飞船组,平均年龄只有33岁,却已完成了天宫二号推进剂在轨补加等相关任务,平均每人每年出差超过100天;天舟一号总装班组,作为敢于创新的工匠,自行设计了货物大型货物进舱安装辅助工装,这些设计方法和工艺手段,最后被采纳并固化到后续货物大型货物总装的标准方案;地处秦岭终南山麓的165所新一代火箭发动机试验区,为保证液氧煤油发动机

的吊装测试,参与人员几乎每天要在场地上跑两万步……

## 确保天舟一号发射,处处较真杜绝疏漏

海天之间,火箭直射苍穹,画面壮美而富有诗意。为了这完美的一瞬间,在文昌发射场,有无数人用专业、敬业的精神,消除着每一丝隐患,确保任务的万无一失。

“5、4、3、2、1,点火!”作为天舟一号发射任务的“01”指挥员,王光义是这次发射任务的“大管家”。别小看这几声口号,背后可是他对整个任务事无巨细的投入。本次任务中,王光义与各单位沟通,梳理出70多项状态变化,改进地面设备20余项,优化测试流程10余项。仅针对发射前6分钟可能出现的故障模式,就进行了3次8小时的讨论。

火箭吊车是关键设备,长5、长7两次首飞都出现了控制电缆断芯的问题。尽管没产生影响,王光义总是不放心。吊车高达80多米,在几十根100多米的电缆中寻找小小的断芯点,好比大海捞针。但他坚持连续几天排查,终于找到了断点,并在换芯后的

试运行中,解决了制动器开关跳闸等问题,为火箭和飞船的顺利吊装打下了坚实基础。

严谨细致,在天舟一号发射任务中随处可见。一次,工作人员发现空气供气管路的白绸布上有淡黄色物质,尽管气检合格,但供气系统指挥员陈吉伟却不肯放过。“我们必须百分之百的保证供给火箭的是绝对干净的空气。”于是,他们反复与空气“较劲”,终于找出了问题。接下来,他们连续一周从早上干到凌晨两三点,甚至通宵,白绸布上终于没有了淡黄色。

文昌发射场靠近大海,纬度又低,气象条件比内陆发射场要复杂得多。这里的发射站气象台队伍也格外敬业。就在天舟一号即将卸船的前夜,气象台的自动站终端出了问题。观测员唐安志一边启用应急观测,一边深夜冲入雨中,飞奔向200米外的观测场检修设备。他临时架设应急线缆,让数据更新恢复正常,确保了第二天航天器卸船进场重要节点的顺利进行。

带着为未来空间站探路的重任,天舟一号已奔赴太空。这样的航天队伍,是中国开启“空间站时代”的坚实保障。(本报海南文昌4月20日专电)