

中国航天 直挂云帆济星辰

9月20日,天舟三号货运飞船在我国文昌航天发射场发射成功。这意味着这艘“太空货运专列”不仅将为中国空间站注入动力,而且推动中国载人航天工程“三步走”的“第三步”更加稳健有力。

自1992年9月中央决策实施载人航天工程,并确定我国载人航天“三步走”发展战略以来,29年间,我国载人航天工程将5艘无人飞船、7艘载人飞船、3艘货运飞船和2个空间实验室送入太空;护航12名中国航天员、17人次完成太空之旅;实现从1人飞天到多人飞天,从在轨1天到驻留3个月。

从首问苍穹到二次出舱漫步,中国载人航天工程实现了从0到1的华丽蜕变,这些耀眼的成就,离不开全国千余家研制单位密切协同、数十万参研参试人员的共同努力。29年里,我国载人航天工程科研队伍接续奋斗,在浩瀚太空不断书写振奋人心的故事。

文昌航天发射场跨越式成长

□ 本报记者 陈丽平 廉颖婷
□ 本报通讯员 黄国畅 胡煦

近几年,文昌航天发射场见证了一个又一个历史性时刻——

2017年4月20日,我国首艘货运飞船天舟一号发射升空,与天宫二号空间实验室先后进行3次交会对接和3次推进剂在轨补给。

今年4月29日,空间站天和核心舱从这里一飞冲天,我国正式迈入空间站时代。

1个月后的5月29日,天舟二号扬帆起航,与“天和”成功牵手,再次创造中国奇迹。

从天舟一号到天舟三号,这座我国最年轻的航天发射场综合测试发射能力不断跃升,已形成新一代运载火箭高密度发射能力。

运载能力是一个国家航天实力的重要体现,按照我国运载火箭的发展规划,运载能力更大、可靠性更高、更绿色环保的长征五号和长征七号两型新一代运载火箭将在我国未来航天发射中扮演重要角色。

两型火箭的研制并投入使用,需要配套建设与其相适应的航天发射场,而我国现有的酒泉、太原、西昌三个航天发射场,其地理位置在大直径火箭运输,火箭飞行残落区安全等方面均无法满足新一代运载火箭要求,文昌航天发射场正是在这种条件下应运而生。

2007年8月,经研究决定,我国批准在海南文昌建设新一代运载火箭发射场,西昌卫

星发射中心承担起建设、管理、使用的重任。2014年,经过将近6年的艰苦奋战,文昌发射场两个发射工位顺利通过验收,其他项目也陆续竣工。

2016年6月25日20时00分,长征七号遥一运载火箭从距离海边约800米的发射平台上腾空而起,首次发射圆满成功,文昌发射场也一举成名。

“从长征七号首次试验飞行,到天舟三号顺利升空,6年时间,仅够一个呱呱坠地的婴儿成长为儿童,但文昌航天发射场却跨越式成长为举世闻名的‘天舟’母港。”西昌卫星发射中心党委书记董重庆说。

经过这些年的建设发展,文昌航天发射场从无到有建成了国内最大最先进的航天低温加注系统,培养了一支经验丰富的指挥操作队伍,形成了一套行之有效的使用和管理经验,实现了加注全流程的自动化和智能化,实现了测试发射的信息化和集约化。目前,已经具备多型火箭和航天器并行测试发射的能力。

在发射火箭升空中,一批批技术精湛的优秀人才在文昌航天发射场脱颖而出,出现了最年轻分系统女性指挥员周承钰,85后01指挥员王宇亮等一批青年才俊。

文昌航天发射场科技工作者平均年龄30.9岁,博士学历占比3.4%,硕士学历占比32.6%,形成一支学历高、方位全、层次多、梯次齐的人才队伍方阵。

北京飞控中心创新飞控手段

□ 本报记者 陈丽平 廉颖婷
□ 本报通讯员 宋星光

这几天,作为北京航天飞行控制中心(以下简称北京飞控中心)天舟三号任务总工程师,邹雪梅无暇享受神舟十二号任务成功的喜悦。人船一返回,她就赶紧坐到工位上,天舟三号任务的合练几乎无缝衔接。

一切就绪,9月20日,邹雪梅取下右臂上神舟十二号任务的臂章,换上印着“天舟三号”飞行任务的臂章。

9月20日15时20分,船箭分离,2分钟后,帆板解锁,在各个节点密集的汇报后,天舟三号任务北京总调度温旭峰的声音在飞控大厅响起:“各号注意,我是北京,根据北京实时遥测数据监视判断,天舟三号货运飞船太阳帆板展开正常,后续工作按正常计划实施。”

走进北京飞控中心办公大楼,通知显示屏上的内容满满当当:神舟十二号返回任务,天舟二号绕飞任务,天舟三号,神舟十三号任务相关会议,联试、合练安排及场所使用等,就连左上角的角落,显示的都是月球背面持续工作的玉兔二号行驶里程、工作时间。

“近几年来,中心承担的航天任务高度密集,从天和核心舱发射,天问一号着陆火星,到神舟十二号航天员入住核心舱以及平安返回,每个关键时刻都能体会到党和国家对我们寄予的厚望,这既是鞭策也是激励。”北京飞控中心党委书记刘惠斌说。

“这个系统一开始大家都有点嫌弃,结果用了不到两周,大家就用顺手了。”北京飞控中心空间站任务主任设计师朱峰说,他口中的系统就是该中心研发的分布式指挥决策支持系统,有了它,各类文书都能够通过中心内部网络连接进行信息化流转和传递,大大提高了分布式工作期间试验文书的会签和审批效率。

分布式飞控模式也是空间站运行控制

的一种工作模式,与之相对应的是集中式飞控,后者是在各种关键重大事件期间的工作模式,例如航天器的发射、交会对接、航天员出舱等,日常的长期在轨飞行期间,就转换为分布式飞控模式。这也是适应空间站长期在轨现状的一种合理选择。

空间站建造将持续两年时间,其间,核心舱、飞船、货船、实验舱的型号多,任务密度空前之高,对飞控系统快速构建、技术状态管控、联调联试验证、试验场所保障等能力都提出更高要求。

“空间站建成后,中心将承担未来10至15年的运控任务,其间,地面需要24小时不间断提供运控支持。系统的长期安全运行、自动化监控、故障诊断和地面操控人员的综合素质、应急响应处置能力都要随之达到新的高度。”北京飞控中心主任李剑说。

为此,北京飞控中心在任务准备前期,就开展了组织模式研究和方案系统设计,他们从任务组织结构、指挥体系、飞控准备流程、运控工作模式等各个方面细化设计,创新出一套标准化的方案。

智能化任务规划在北京飞控中心实验室的精心设计中应运而生,在大量试验任务中磨炼成了试验任务的金刚钻。

北京飞控中心轨道专家组有两位大师,一位是擅长深空任务的刘勇,一位是以载人任务见长的李革非。原本两大工程的轨道不同,轨道方面的交叉很少,但在去年刚刚圆满完成返回的嫦娥五号任务中,他们的专业就实现了交互。嫦娥五号实现的中国首次月球轨道交会对接,所采用的对接方案,就是以李革非在载人任务中设计的方案为基础。

“经历过这两年的任务考验,我们可以感受到飞控工作流程更加标准化了,各个团队在能力提升上也实现了快速高效,任务准备周期大大缩短。”北京飞控中心总工程师刘剑锋说。

返、交会对接、航天员中长期驻留等关键技术的突破。要全面迈入空间站时代,空间货物运输系统是必不可少的基础工程,研制货运飞船也成为航天人的又一使命。

2010年多,我国启动货运飞船工程立项论证工作,航天科技五院递交了精心准备的一套飞船研制方案参与竞标。

对航天科技五院来说,他们有着神舟飞船和天宫一号的研制历程和丰富经验,为货运飞船的设计建造奠定了深厚的技术基础,最终,五院航天人接过了设计建造我国首艘货运飞船这一重任。

历时6年多,我国首艘货运飞船亮相。



图1 天舟三号发射瞬间。
图2 天舟三号整装待发。
图3 航天科工203所晶体元器件技术人员正在生产作业。
图4 科研团队在半刚性太阳能电池阵生产现场。
图5 火箭水平测试中。
图6 煤油加注系统指挥员何平在远程控制室关注加注现场状况。
图7 北京航天飞行控制中心工作人员。
图8 天舟三号一飞冲天。

2017年4月20日晚,天舟一号货运飞船在长征七号遥二火箭的托举下升空,进入预定轨道,奔向早已等待在太空的天宫二号。

这是我国空间货物运输系统的首次飞行试验,标志着我国载人航天“三步走”战略第二步的收官之战正式打响,空间站时代大幕正式开启。

时隔4年,今年5月29日,由航天科技五院抓总研制的天舟二号货运飞船发射成功。

天舟二号货运飞船系统副总设计师党睿说,对于货运飞船而言,难度比较大的是推进剂补给技术,也就是俗称的“太空加油”技术。这项技术已经在天舟一号和空间实验室阶段得到验证,使货运飞船在交会对接后成为组合体的“加油站”。

在此基础上,科研团队对天舟二号又做了一项技术改进,使货运飞船可以进行整个组合体的姿态控制和轨道维持。形象地说,就是“大脑”在空间站核心舱里边,发动机和

使用的推进剂在货运飞船这边,货运飞船更像是一个“动力舱”。

此次,在充分继承天舟二号货运飞船研制和飞行成果基础上,科研团队对天舟三号货运飞船开展了系统优化设计,简化平台配置,提高运输效率,推动元器件自主可控,因而具有贮箱动态调整、持续提高元器件国产化率和优化设备配置三个显著的任务特点。

据航天科技五院天舟三号总指挥冯永介绍,天舟三号携带的货物主要包括航天员生活物资、航天饮水、气体补给、卫生用品、应急储备物资、出舱消耗品、维修备件和实验载荷等,与天舟二号基本一致。

“与天舟二号货运飞船相比,天舟三号装载的货包数量增加了25%,而且经过优化设计等‘精装修’,天舟三号货舱‘外墙面’更加舒适、美观,给航天员提供了更加舒适的环境。”航天科技五院天舟三号货运飞船系统主任设计师杨胜说。

航天科工守护天舟三号

□ 本报记者 陈丽平 廉颖婷
□ 本报通讯员 杨 庆

在天舟三号发射任务中,中国航天科工集团有限公司(以下简称航天科工)研制的一系列产品和技术,再次为飞行任务的顺利实施提供了坚强保障。

位于海南文昌发射场的两部固定式脉冲测量雷达,是观测天舟三号发射的第一双“眼”,点火后的数分钟内,雷达屏幕上一个小点跳动闪烁,画出线条,记录天舟三号平稳奔向大气层。

这两部测量雷达由航天科工二院23所研制,主要用于运载火箭发射上升段的外弹道测量,为发射场指控中心实时提供火箭距、方位、俯仰等精确坐标信息和径向速度数据。一旦火箭飞行出现偏移轨道的状况,即刻就能发现。自文昌发射场启用以来,这两部雷达完成了90多次测量任务。

为保障通信清晰传回地面,天舟三号上还有23所研制的声表产品提供服务。这些不足指尖大的声表滤波器和扼流圈,为接收机、电源等关键部位提供通信保障服务。声表滤波器用于滤除高次谐波、镜像信息、发射漏泄信号以及各类寄生杂波等干扰信号,保障通信清晰传回地面,扼流圈则用于抑制因环境变化引起的设备电路电流突变,提升设备抗电磁干扰能力,保障设备可靠性。

在天舟三号发射任务中,是如何做到飞行状态全程可控的?

航天科工二院203所发射任务配套了一系列优质晶体元器件产品。晶体元器件产品是空间站任务的关键部件,利用石英晶体的压电效应和频率特性,晶体元器件像脉搏一样不停跳动,产生稳定的频率信号,为运载火箭的发射、测控、通信,以及飞船在轨飞行、交会对接、返回地面等过程提供稳定的时间频率基准,确保航天飞行任务能够“看得见”“听得清”。此前,这些晶体元器件曾经受住了太空中严苛的环境考验,圆满地完成了为

神舟十二号“天地一体化保障”的使命。

飞船在发射和飞行过程中温度变化大、机械冲击大,加上太空环境复杂,意味着对晶体元器件的可靠性和稳定性的要求相当高。同时,为应对空间站任务推进过程中对频率信号传输不断提出的更高要求,203所晶体元器件团队通过技术攻关不断提高产品性能,每个上天的晶体元器件都通过极端环境试验扛住了千锤百炼,确保产品足够稳定可靠以满足型号使用要求。

航天器的正常运行离不开众多分系统、组件的可靠工作,飞船上的石英挠性加速度计可谓“功勋神器”。

作为我国神舟、天舟、探月以及火星探测等任务的“全系统标配”,航天科工三院33所研制的石英挠性加速度计屡立功勋。它身量不高,却拥有国内顶尖的性能,能够在太空微重力环境下提供精准的加速度测量,从而帮助飞行器实时把握姿态。

其实,33所研制的石英挠性加速度计经过反复设计试验和迭代优化,设计和工艺已经比较成熟。但是,在航天企业全员零缺陷质量意识中,成功不代表成熟,成熟不代表可靠。

以加速度计上安装的电路为例,地面产品的电路无法确保能够耐受太空中的辐射,有可能出现参数上的不稳定,这将对飞船的准确操控埋下不可预估的风险。技术人员坚决采取措施,确保电路绝对满足辐射条件下的应用需求。

此外,为了做到全过程精细化,哪怕是涂覆用胶甚至一小节导线等细小辅料,技术人员都事先称重、记录后再使用。

“太空中测量交会对接阶段的加速度,就如同观察一只蚂蚁去推一头悬浮在真空环境里的大象所产生的影响一样,对产品的精度要求很高,我们的工作也像蚂蚁一样,从各种细小的角度去观察和思考,并把可能出现的不利因素一个一个地搬离。”技术人员许中生说。

中国电科护航“送货”

□ 本报记者 陈丽平 廉颖婷
□ 本报通讯员 王雪姣 李燕茹

作为载人航天工程副总指挥单位,中国电子科技集团有限公司(以下简称中国电科)用自主程度更高、性能更稳定的技术手段,确保了空间站重要货物安然到达。

针对本次天舟三号发射任务,中国电科在原设备基础上进行升级,采用大规模自主研发生产设备,安全可靠再上一个台阶。

搭建天地信息传输“高速公路”,针对卫星通信系统进行全新升级:中国电科在多地新建卫星通信站,并对现有卫星通信设备进行升级改造。在新建和升级后的系统中,用自主研发生产的大功率功放和高速调制解调器,大幅提升了卫星站的传输能力,增强了对任务数据传输的保障。

天链一号地面终端站的设立,是为了让天地传输从“羊肠小道”升级为“信息高速公路”。为适应空间站任务需求,中国电科对天链一号地面终端站进行升级改造,采用自主研发的国产化平台监控系统,提高了任务运行的可靠性,缩短了任务准备和故障处置时间。

为了“太空快递”按时抵达“太空之家”,中国电科以新升级的太阳能电池阵产品为航天器注入能量。

如何推动货运飞船这个庞然大物安全稳定地一飞冲天?作为航天飞行器的“飞行翅膀”,太阳能电池阵的核心是能量充沛、安全稳定。针对天舟三号的大体格,中国电科采用国内独创的半刚性太阳能电池阵技术,作为一款高电压、千瓦级的大功率太阳能电池阵产品,创新研发了太阳能电池阵组装技术,不仅大大提高了性能,还能降低太阳能电池阵的工作温度。

在运送过程中,为了实时捕捉、监控“快递员”天舟三号的运送轨迹,提供全方位、无

死角的视觉盛宴,中国电科为火箭发射、飞行器入轨、交会对接等全过程提供了多种类型的核心器件。

火箭在发射阶段具有一定风险,也直接关系到整个航天发射过程的成败。中国电科研制的地面安全监控系统(以下简称安全系统)和遥测雷达,犹如给火箭发射增加了“安全锁”,确保发射万无一失。其中,安全系统是火箭发射的必要条件,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状态。一旦飞行出现异常,这些安全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。

无线电波雷达,可对火箭主动段外弹道轨迹进行测量。相比与受限天气的光学跟踪,依赖火箭上设备的遥测,雷达监测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。在此次发射任务中,中国电科研制的雷达遥测综合测量系统是国内首部大口径雷达遥测一体化系统,该雷达突破了多项关键技术,技术水平国内领先。

在运载火箭送飞行器入轨的过程中,多型号统一测控系统、遥测系统,系列测控通信设备,编织成高效可靠的“空地信息高速公路网”,通过接收和发送指令,精确测量火箭和飞行器的速度、距离、飞行姿态和角度,为火箭发射和天舟三号成功入轨提供精确数据,控制飞行器按照预定轨迹飞行。

为了在交会对接过程中进行地面控制及综合展示,中国电科配备的三维综合立体显示系统,通过三维可视化技术,展示实际任务的整体流程和实时场景,使任务过程更加直观可控,方便地面指挥中心对在轨飞行及交会对接进行控制,为任务执行提供有效依据。

航天科技研制“快递小哥”

□ 本报记者 陈丽平 廉颖婷
□ 本报通讯员 母国新

货运飞船是中国载人航天工程中的“快递小哥”,担负着为空间站运输、存贮货物、运输、补给推进剂,并将废弃物收集、存放带回大气层销毁的任务。

提到此次发射任务的主角天舟三号,就不得不提它的研制单位——中国航天科技集团有限公司五院(以下简称航天科技五院)。

在中国载人航天工程“三步走”战略的实施进程中,我国先后实现了载人天地往

苑方磊 摄
胡煦助 摄
航天科工供图
尹冬宁 摄
胡煦助 摄
都鑫豪 摄
撒亚佳 摄
郭凯 摄