制作“火箭青年”可视化协同创新融合实验室
策划 邱晨辉 董佳莹 王伟童

乘“舟”向天宫

——天舟四号发射升空侧记

□ 黄国畅 中青报·中青网记者 邱晨辉

伴随着一阵山呼海啸般的巨响，火箭尾焰划破如墨的夜空，天舟四号货运飞船在长征七号遥五运载火箭的托举下一飞冲天。

5月10日凌晨，天舟四号在中国文昌航天发射场成功发射，2022年中国空间站在轨建造任务首战告捷。

观澜千年的古城紫贝，在这个夜晚，目睹了中国航天的又一次起航。

5月9日22时许，椰风习习，发射塔架处，灯光照射得分外明亮。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。

曾经，古人对天宫充满向往，那么如何到达天上呢？《博物志》中记载，银河和海相通，有个住在海边的人乘槎登天，形象生动地体现了先祖对于利用交通工具畅游天宫的渴望。

如今，神话传说从梦想走进现实，中国空间站被称为“天宫”，中国货运飞船是“天舟”，西昌卫星发射中心文昌航天发射场是中国空间站建造母港……

“去年以来，我们先后发射空间站天和核心舱、天舟二号和天舟三号货运飞船，圆满完成了空间站关键技术验证阶段发射任务。”西昌卫星发射中心主任邓洪勤说。

此次天舟四号任务是空间站在轨建造阶段的首次任务，也是长征七号火箭第5次、文昌发射场第17次航天发射。据他介绍，天舟四号货运飞船总长约10.6米，最大起飞重量13.5吨，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……

5月10日1时许，在人们注视下，发射塔架回转平台徐徐打开，火箭上的五星红旗和“中国载人航天”字样格外醒目。此时距离发射还有不到1个小时。

与发射塔架隔海相望处，是发射场铜鼓岭测控站。发射过程中，年轻的雷达岗位操作手们紧盯屏幕上两道短小的“杠杠”，这两道短小的“杠杠”，对他们而言，就是当前在空中响彻云霄的长征七号火箭和天舟四号货运飞船。

机房内，一个身影格外引人注目，他就是雷达技师管世磊。9年来，他见证了铜鼓岭测控站的建设发展，从光秃丘陵到繁荣翠绿，从一无所有到“万里海天第一棒”，管世磊参与了超过百次的航天测控任务，成功解决了试验任务中的10余种故障，被大伙亲切地称为“老管”。

5月7日，海南文昌，天舟四号货运飞船船箭组合体从总装测试厂房垂直转运到发射区。 人民视觉供图

然而9年来，管世磊却从未现场看过火箭发射，每次陪伴他的，只有火箭发射带来的轰鸣声和电脑屏幕上的“杠杠”。

机房里，大到一台仪器，小到一只扳手、一颗螺丝、一块抹布，都编上了专属号码，他们需要24小时不间断值班。每当极端天气发生时，收集、分发、交换，将天气背后的“小动作”快速捕捉，提前预警将数据快速上传，为火箭腾飞守护最佳“天窗”。

“各号注意，30分钟准备！”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。

在文昌航天发射场，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”、“天问”行星探测、空间站建造等“国字号”工程，这里已经成为优秀青年展现才智的舞台。

90后助理工程师庄佳泰因为儿时观看“神舟”发射新闻画面而倾心航天，如今成为文昌航天发射场气象团队中的“新星”。走上岗位仅两年多，他已经参与到了此次任务气象预报保障中。

从最初“预报考核连走麦城”到如今“任务预报会商侃侃而言”。其间是无数日夜与云图数据的博弈，更是无数次训练考核的摔打。每当顶着星星上班下班，庄佳泰在仰望星空时，总能感到星辰大海的梦想是那么真切。

应用浅层风预报技术保障船箭组合体垂直转运至发射区、生成数值技术定量化预报产品……为保障好此次任务，为船箭飞行提供更加精准的预报，是庄佳泰和气象团队同事们连续奋战好几周的心血。

这一夜，“天舟”第四次征途在他们手中开启。

“各号注意，15分钟准备！”

1时41分，伴随着倒计时口令，人们的神经再次紧绷。

当天执行的天舟四号任务，是2022年我国空间站建造阶段的首次任务，其成功发射，关系到后续空间站建造任务顺利完成，环环相扣、意义重大。

针对此次任务火箭测试发射流程，文昌航天发射场团队由原先的35天优化为27天，时间紧、任务重、挑战大。邓洪勤说，发射场系统立足“早”字抓好任务准备工作。

曾经，他们在长五B首飞任务中，成功排除射前3分钟故障；在探火任务中，打赢了“36小时攻坚”；在嫦娥五号任务中，顶住深度并行、7轮台风的空前压力；在天舟二号任务中，越是艰险越向前勇夺成功……一个个动人故事，诉说着中国航天人敢于战胜一切艰难险阻的浩瀚征程。

“各号注意，5分钟准备！”

“各号注意，1分钟准备！”

激动人心的时刻来了：指控大楼、测控点号、观光平台……人们屏住呼吸、心跳加速，一双双眼睛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，撼天动地的轰鸣响彻海天，长征七号火箭托举着天舟四号腾空而起，在夜空中划出一道绚丽的轨迹，飞向宇宙。

经久不息的掌声响起，欢呼声、喝彩声连成一片。当庆贺成功的“大红屏”亮起的那一刻，文昌航天发射场向世界宣布：2022年中国空间站建造任务首战告捷。

站在“大红屏”前，西昌卫星发射中心党委书记董重庆说，“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。”

此次任务后，文昌航天发射场今年还将执行问天实验舱、梦天实验舱和天舟五号货运飞船3次空间站建造任务，完成中国载人航天工程“三步走”战略。

“我的宝贝，当你醒来的时候，妈妈已经进场了，答应陪你过的生日，又失约了。亲爱的宝贝，不能陪伴见证你成长的快乐，妈妈心里同样遗憾，但是，妈妈选择了这项神圣的事业，已经做好了奉献的准备……”这是任务启动进场前，低温加注系统工程师郑艳写下的话。

这段话，郑艳没舍得让孩子看见，却让人们读懂了航天人忠诚奉献的心声。对航天人来说，工作上的苦不算苦，怕的是心里的那份苦，是对家庭的那份亏欠。可是他们却守着这份事业、这份梦想。

自2016年，长七、长五两型火箭成功首飞以来，中国航天人已陆续将“天问”“天和”“嫦娥”“天舟”成功送入太空。如今，天舟四号“泛舟”银河，相会“天宫”，拉开了新年度中国空间站建造任务的“大幕”。

这一刻，无数梦想再一次被火箭升腾的烈焰照亮。

三送天舟会天和：奏响“冰与火之歌”

中青报·中青网记者 邱晨辉

5月10日凌晨，伴随着震耳欲聋的轰鸣声，长征七号遥五运载火箭从团团白雾中喷薄而出，在天际划出一道金色曲线，成功将天舟四号货运飞船送入预定轨道。

这是中国空间站开启在轨建造以来，长征七号运载火箭第3次将天舟货运飞船送入太空。

“又一次携手奔赴空间站天和核心舱，‘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这一先进水平。”中国航天科技集团一院长征七号运载火箭总体主任设计师邵业涛说。

要把载有大批物资的货运飞船按时送入太空，就必须有运力足、“力气”大、可靠性高的运载火箭。长征七号运载火箭近地轨道运载能力达13.5吨，比采用传统燃料的运载火箭多出一半以上。作为一枚名副其实的“冰箭”，长征七号在南海之畔奏响一曲“冰与火之歌”。

一院总体部火箭设计专家徐利杰告诉记者，火箭是卫星等载荷通往太空的“专车”，对于这辆“专车”来说，自重越小越好，能提供动力的燃料越多越好。因为这样，就可以把尽可能多的“运量”留给“乘客”。

长征七号是个“钢筋铁骨”的大个子，总体重500余吨，但90%甚至更多都是燃料的重量，箭体外壳、电缆、仪器等重量加在一起只有50余吨。

徐利杰说，燃料在火箭总体重中比重越大，火箭的结构效率越高，说明设计越合理。火箭的外壳、电缆、仪器等重量被称为“死重”，要把这些部件尽可能设计得简洁、功能强大，以减轻重量。

值得一提的是，火箭喷射时的温度最高可达到3000摄氏度，发射瞬间形成的白雾正是发射塔架底部数十米深的导流槽里的水蒸发而成，水蒸气带走大量的热量为火箭降温。

“但喷水降温对低温火箭长征七号而言还远远不够。”徐利杰说，当火箭矗立在阳光下，箭体上的水像雨一样哗哗往下流，而在火箭舱体中，则是零下183摄氏度的低温。

这是因为长征七号的燃料中有液态氧。徐利杰说，液氧煤油发动机被誉为世界航天动力领域的珠穆朗玛峰，采用无毒无污染的液氧煤油做燃料，经济上比常规发动机推进剂便宜60%，并且可重复使用。其温度之低也会使长征七号表面出现水蒸气凝结现象。

低温燃料加注后，试验现场的发射塔就像一个“大冷库”，贮箱隔板外全是厚厚的霜，试验队员每次去检查，头发和眉毛上都会结一层厚厚的霜。

长征七号运载火箭动力系统总指挥邓新宇说，低温燃料不仅温度极低，且易燃易爆易蒸发。

“目前长征七号加注燃料后停放最长时间为24小时。”邓新宇说，在火箭研制之初，科研人员就把燃料加注后停放24小时作为一项设计标准纳入型号研制过程，为成功发射争取更多有利时间。

在“冰火两重天”的强烈反差下，长征七号如何练就一身防水“金钟罩”？

一院总体部火箭设计专家卢松涛说，长征七号对“水”的防护渗透到了每个设计细节中，比如在常规型号中，用来平衡整流罩内外压力的排气孔，在内陆发射时不需要做单独的防水，但是在长征七号上，排气孔也做了专门的防水措施。

他告诉记者，在防水设计中，科研人员遵循“能单机解决的，不在系统解决，能系统解决的，不在总体解决”原则，从“产品源头”解决防水问题。

除了一身防水“金钟罩”，长征七号的低温液氧贮箱表面还穿着一层厚厚的“棉衣”，主要起到隔绝热传导的作用。穿上“棉衣”之后，贮箱内部能够保持足够的低温环境，使得液氧推进剂不会因温度升高而大量挥发，贮箱外部温度也不会太低，以至于对外部仪器、人员等造成冻伤。

“厚棉衣”的主要组成成分是一种塑料泡沫。在棉衣制作过程中，需要使用发泡剂使泡沫膨胀成形，长征七号则使用了一种新型无氟发泡剂，不会对地球臭氧层造成危害。

卢松涛说，和以往相比，长征七号液氧贮箱所穿“棉衣”中取消了一层金属铝箔，并实现了自动喷涂泡沫和表面机加的自动化生产。这些改进不仅大大提高了低温液氧贮箱的“棉衣”生产效率，还使“棉衣”更为绿色环保、质地轻盈。

今年中国空间站首个“太空快递”都有啥

中青报·中青网记者 邱晨辉

兵马未动，粮草先行。

5月10日1时56分，太空“快递员”天舟四号货运飞船，在专属“物流车”长征七号遥五运载火箭的搭载下顺利升空，踏上空间站的货物运送旅途。

8时54分，天舟四号与空间站天和核心舱完成对接，成为2022年从地球前往中国空间站的第一位访客，并为其提供“送货”服务。

“航天员要在空间站长期驻守，吃、穿、用乃至呼吸所需的物资，都要由货运飞船及时送到空间站，空间站维持正确轨道所需的燃料也靠货运飞船送达。”中国航天科技集团五院货运飞船系统副总设计师党蓉说。

去年，长征七号火箭分别将天舟二号、天舟三号货运飞船送入太空，完成了空间站建造阶段的补给任务。此次天舟四号在神舟十四号航天员乘组入驻空间站前，再次向空间站提前运去物资。

党蓉告诉记者，作为空间站的地面后勤补给航天器，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。

这其中，天舟四号货运飞船为全密封货运飞船，承担着为神舟十四号飞行乘组提供物资保障、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。

那么，今年首件送达空间站的“太空快递”都有啥？

党蓉说，此次任务中，天舟四号装载了航天员系统、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750公斤，上行物资总重约6000公斤。

“这些将为神舟十四号飞行乘组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、航天医学试验等空间应用领域提供物资保障。”党蓉说。

她告诉记者，为保证货物安全快递到“太空之家”，天舟四号采用货包、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。

在天舟四号货运飞船之前，我国已成功发射三艘货运飞船并进行了在轨验证。在天舟货运飞船系统研制过程中，五院研制团队根据前几次航天员乘组的在轨使用意见，做了改进和优化——

为了查找货物更加方便和直观，天舟四号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，避免每次准确对位螺钉，天舟四号开始为适配板和对应货架增设搭扣带，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。

“这些巧妙的设计，让天舟四号货运飞船的后勤保障补给能力变得更强。”党蓉说。

发射现场的年轻人

中青报·中青网记者 邱晨辉

5月10日，长征七号运载火箭托举天舟四号货运飞船顺利升空，2022年中国空间站建造任务首战告捷。任务现场，年轻人的身影频频亮相。他们，犹如探索浩瀚宇宙长河中一朵朵奔腾的浪花，在逐梦太空的征途中发出青春光彩。

时间拨回一个月前，长征七号运载火箭总体设计师张博戎站在2022年载人航天工程空间站任务出征仪式的队伍里，他和全体队员一起宣誓，这一刻，他感受到肩上沉沉的责任。

从那天起，他正式成为执行我国空间站建造阶段首棒任务的队员。

一年前，他第一次接触试验队弹道设计岗位工作。他的师父马英常说，“弹道决定了一枚火箭的DNA，因此弹道设计一定要科学、精准。”

一开始，张博戎并没有十分理解这句话的含义。直到第二次独立执行岗位任务，当他发现，弹道设计使用的工作温度仅变化1度，就可能造成双组元推进剂匹配的极性改变，甚至造成运载能力出现大幅变化时，他才猛然意识到DNA这个比喻的精髓。

“作为一名弹道设计师，我们要做的并不仅仅是从一串输入数字计算得到一串输出数字，而应该从‘基因’中去发掘影响一枚火箭性能与可靠性的关键参数，进而加以重点分析。”张博戎说。

如今，他与师傅一同参与了弹道重规划的策略研究与算法实现。“如同师傅将弹道设计的一项项技能和方法传授于我一样，我也会让‘精准’的基因在长征七号运载火箭中永久延续。”张博戎说。

在发射大厅的庆祝和欢呼声中，测量系统设计师张昊阳和他的同事们簇拥在一起合照留念。

自2019年走进航天的大门，张昊阳连续参加了4次空间站阶段的长征七号火箭发射任务，经历过发射前的紧张和压力，也体会了成功的喜悦和激动，俨然是一位“老将”。

去年，长征七号遥三火箭连续两次推迟发射。“推迟了9天，最终将天舟二号货运飞船发射升空，那是我从事航天以来遇到的最紧急的一次发射。”张昊阳说。

在这推迟的9天时间里，他们轮班上岗，时刻在发射大厅待命，准备配合测试。经历了第二次推迟发射，现场原本紧张的氛围变得更加紧张，当时张昊阳累得什么都想不出，只有把自己能做到的都做好，配合好其他岗位的队友们。

“所幸，经历了这些挫折之后，我们的队伍更加默契和团结，也迎来了这次长七遥五发射的成功。”张昊阳说。

在发射现场，长征七号运载火箭总体设计师王儒文最常看到的景象是，技术人员们应对各种故障和异常驾轻就熟，大家各司其职、平稳有序地忙碌着。他也常常感慨，正是每个航天人的点滴努力，凝聚成了大家捍卫成功的底气。

“‘一年三百六十日，多是横戈马上行’，在一轮又一轮全力备战的日子里，时光虽能淡化其中交织的苦与乐，却改变不了我们心怀热忱、勇毅前行的足迹。”王儒文说。

旁人眼里，中国航天事业飞速发展像个奇迹，但在王儒文看来，所谓奇迹其实源于每个航天人一点一滴为兑现建成中国空间站庄严承诺所付出的努力，“哪有什么骨骼清奇，无非是拼尽全力。”

中国航天科技集团一院总体设计部供图