



9天上演绝地反击

天舟二号两度推迟发射始末



5月29日20时55分，搭载天舟二号货运飞船的长征七号遥三运载火箭在我国文昌航天发射场成功发射。

郭文彬/摄

中青报 中青网记者 邱晨辉
通讯员 刘莎莎 董佳莹

5月29日晚，长征七号遥三运载火箭点亮中国文昌航天发射场的夜空，成功发射天舟二号货运飞船。在经历了推迟发射的波折后，中国人终于迎来了这份稳稳的幸福。

5月19日21时许，中国载人航天工程办公室发布消息称，计划5月20日凌晨1时许发射天舟二号货运飞船。然而，几个小时后，人们在5月20日凌晨收到任务推迟的消息：天舟二号货运飞船发射任务，因技术原因推迟实施，发射时间另行确定。

作为中国空间站在轨组装建造的第二发任务，天舟二号货运飞船承上启下，将与此前发射的天和核心舱实现交会对接，为空间站提供物资运输和燃料补给，迎接神舟十二号载人飞船的到来。其意义之重大可见一斑。

然而，一切都随着发射推迟的消息戛然而止，椰林深处的文昌航天发射场塔架逐渐暗淡，只留下轻抚沙滩的海浪，以及依然在现场忙碌奋战的科技人员身影。

推迟发射的原因，究竟是什么？发射推迟的9天，中国航天人又经历了一场怎样的磨难？

记者近日走近航天科技集团所属中国运载火箭技术研究院(以下简称火箭院)试验队。

1个异常：意外不期而至

5月19日下午1时许，长征七号遥三运载火箭进入负12小时发射流程。

煤油加注、液氧加注，发射任务依规程有序进行，传话筒中的一句句“正常”不时传来，每一名试验队员各司其职，忙而不乱。当时，很多试验队员认为他们正在一步步向最后的成功迈进。

直到当天晚上21时许，一个异常出现了。

那时，距离发射不到4个小时，发射指控大厅中的数据信息显示：一个压力值参数异常，已经不能满足发射的指标要求。瞬间，发射大厅现场陷入一片寂静。

出问题了！这不是我们想要看到的！火箭院型号办工作人员任京涛说。

说起发射当晚的情形，火箭设计师王浩苏沉默了片刻，当时就有一种说不出的心痛，根本没有想到。说到这里，他垂着头，手不停地翻动着桌子上的报告。

和王浩苏同样失落的，还有增压输送系统的十几名后方保障人员，他们从5月19日开始，就一直和发射场同事保持连线，以便在火箭发射前出现异常情况时，第一时间进行数据分析和提升。

但他们中的任何一人都不希望这种情况真的发生。

当时没有时间想那么多，大家很快调整状态，一心想着解决问题，不能让空间站建造任务受到影响。任京涛告诉记者：那时，谁也不知道，这枚低温火箭竟会经历了一场9天的严酷考验，试验队员也将面对连续80多个小时的煎熬。

两个不眠之夜：再撤弦之上前

究竟是火箭的哪个部位出了问题？是阀门的问题，还是零部件的问题？这是异常出现后，试验队员最关心的问题。

火箭院总体设计部当即牵头部署，他们一方面组织试验队员紧急进舱排查，另一方面与后端紧密配合，希望尽快查出故障。

邵业涛告诉记者，今年，文昌航天发射场与北京远程测试大厅实现了前后方数据

的实时互联互通。北京的技术保障人员得知前方故障信息后，第一时间成立后方保障工作组，查验过往数据，开展仿真试验、推演诊断，同步配合发射场故障快速排查与定位。

后端通宵达旦地忙碌着，前方的排放同样紧锣密鼓。

彼时，火箭箭体已完成加注，尾舱内一直处于热蒸气吹除状态，以防湿气进入管路。这意味着试验队员必须要带呼吸面罩进舱。当时，火箭院211厂天津火箭公司工艺员国冰正在发射塔9层确认整流罩最后状态。

一听说有问题，他来不及等电梯就跑到发射平台。国冰说，确认队友要进舱排查后，他二话没说就去取抢险物资，扛着40斤的气瓶在楼梯间爬上爬下。

随即，两名火箭总装人员换好服装、戴好面罩，从50公分见方的舱门钻进箭体。舱内一片漆黑，气体吹除的声音震耳欲聋，密闭空间的憋闷、零下183℃的严寒，一切都无暇顾及，他们攀爬在箭体结构件上，摸索着检漏点。

找到了！试验队员两次核查后，锁定了问题。然而，正当他们准备松了一口气时，后方传来消息，这并不是凶凶。

5月19日深夜，距离发射预定时间还有不到两小时，型号领导一致决定：推迟发射。

失落占据了试验队员的心情，很多人感到心凉了半截。

任京涛说，其实很多人心里也清楚，这是任务指挥部经过慎重研究的结果，不让火箭带一丝隐患上天，这是铁的纪律，是底线，不可动摇。

5月20日凌晨1时许，推迟发射的消息公布了。发射任务因技术原因推迟实施。关注航天的网友们纷纷留言：没事不着急，我们等着。理解理解，不要带着问题上天。没事，我们要稳稳的幸福。

然而，这一天，负8小时液氧补加之后，异常再次出现，发射再度推迟。

当发现测量曲线出现问题时，我们就觉得不对劲了。火箭增压输送系统设计师张立强回忆道，同一个问题再次出现，也让大家认识到事情绝没有想象中那么简单。

又是一夜无眠。

那一晚，火箭院总体设计部部长张兵安慰同事，不能让火箭带着问题上天，推迟是为了更好的发射。要科学严肃对待，尽快找出问题所在。

距离下一个发射窗口还有几天，火箭燃料两加两泄，高温高湿高盐雾之中，一枚火箭要经历怎样的磨练？这，注定是一场鏖战。

4天归零：冰火两重天的坚守

看日出，看日落，看星星闪烁。火箭院211厂天津火箭公司57车间副主任赵鸿飞在朋友圈中这样写道。她说，对每一个试验队员来说，第一次推迟，是难免的失落，第二次推迟，则是沉重的打击。

但他们没有别的选择，必须重整旗鼓。发射推迟后，型号队伍调整状态，倒排计划，开始为期4天的归零。

试验队员樊宇说，为了进一步摸排故障，他们仍然要一批批进舱。舱内低温、憋闷，一名试验队员刚出舱便吐了一地。然而，连续48小时作业，没有人喊苦叫累。

舱外，箭体上的水哗哗往下流，樊宇被浇了个透。他时不时探着大半个身子钻进舱体，观察队友们的状态。作为一名守舱人，这样的动作他做了不止一次。

长征七号是名副其实的“冰箭”。火箭第一次推迟发射后，试验队员发现，箭体出现结冰现象。赵鸿飞说，火箭在大量的低温燃料加注后暴露这么长的时间，这在中国航天史上还是第一次。

5月的海南，酷暑难耐，室外温度36℃，湿度达到90%以上。然而，冰箭之中，却是零下183℃的低温。冰火两重天，考验着中国火箭，也考验着每一名身处前线的试验队员。

赵鸿飞说，箭体上，冰块一个接一个，大的足足有30-40厘米长，10厘米厚，10厘米宽。队员们用工具小心翼翼地凿冰，有人拿着刀子接冰，唯恐冰块伤到产品。

按照负12小时的正常流程，总装人员会按照时序拆除可能影响飞行或者分离动作的防水。历经两次发射推迟，拆防水、补防水的工作量可想而知。反反复复中，试验队员不眠不休。

这批天津火箭的总装团队里，90后的年轻人占了90%以上。赵鸿飞说，最难忘队员眼睛里熬出了血丝，双腿起满了痱子，嘴上却说：我们能行。最难忘危急时刻，队员们心怀大爱，说：我们怎么都行，别把

产品弄坏了。艰难关头，大家彼此之间没有抱怨，唯有体恤和鼓励。为了赶时间、追进度，塔架下送来的绿豆汤，没有人来得及喝一口。

这群第一批见到火箭、发射现场，最后一批撤离的火箭青年，再次用实际行动续写了“后墙不倒”的铮铮誓言。危急面前，他们冲在前，担大任，让青春在奋斗中绽放出绚丽的火花。

深夜的发射场，静谧清幽，椰林和着风，偶尔沙沙作响。塔架上的点点灯影下，中国航天人忙碌的身影熠熠闪耀，成了这个5月最美的画面。

两地联动：为火箭疗伤

千里之外的北京，一拨接航天人同样牵挂着这枚待发的火箭。

5月20日凌晨1时，北京，火箭院211厂23车间员工宋征的手机突然响了起来。产品出问题了！

放下老组长的电话，宋征悬着一颗心，跨上摩托车就往单位赶。

车间里，工艺人员、质量人员、生产人员全都在场。短暂的会议后，每个人按照各自任务立即行动。宋征需要乘坐第一班飞机赶往文昌航天发射场更换产品。

这是他第一次进航天发射场，也是第一次目睹火箭的真容。当看到高大帅气的长征七号遥三火箭矗立在发射塔架上，一股莫名的激动在他的心里升腾。但他知道，此时的火箭“生病”了，他一定要出一分力。

同一时间，火箭院703所余小军也正在赶往海南，他的工作任务是配合拆除覆盖在某产品外的绝热层。这一产品与火箭其他重要产品距离很近，只有包裹上绝热层才得以正常运行。因此更换产品前，绝热层必须要首先拆除。

狭小的空间里，余小军生怕把箭体内的某个部件踩坏了，两只脚踩在两个固定的支撑点上，一踩就是10多个小时。

产品周边结构复杂，凹凸不平，余小军拒绝对绝热层时，连每一个螺钉上的铅封丝都不能放过。由于特制工具无法运抵海南，余小军只能拿着水果刀一点点儿往下挖。

他的同事透露，为了更细致地作业，余小军不能戴手套，因而手上密密麻麻留下了许多道划痕，用酒精布一擦，生疼。

等到余小军清理完，就轮到宋征上场了。

产品的装配，宋征再熟悉不过了，然而

上塔装配还是头一回。为了万无一失完成任务，他提前3次上箭模拟操作，在宿舍反复思考各种可能，最终五进五出，连续作战18个小时，完成了全部更换。

舱内的他，几乎全程单脚站立，汗水一次次浸透衣背。

5月24日早上9时整，是出舱的时间，那一刻，宋征只有扶着扶手才得以站稳。他告诉记者，也是那一刻，他深切地感受到，自己与火箭是如此亲近。

张兵说，每逢重大发射任务，火箭研制团队都会集中各型号、各专业的精英强将，在前方和后方两地联动保障。

发射推迟后，总体设计部再次派出精英强将赴文昌航天发射场参与归零工作。这支应急保障队伍包含长征七号、长征八号等新一代运载火箭的主管设计师。中国航天大力协同的传统精神再一次体现得淋漓尽致。

9天磨砺：时间后墙前的绝地反击

归零工作是煎熬的。分析人员、试验人员都憋着一股劲，一定要尽快完成问题定位。张兵说，大家也愈发深刻地认识到：航天工程是一个复杂的系统工程，绝不能头痛医头，脚痛医脚。

动力总体工程组组长胡久辉告诉记者，每一天，研制人员都要进行更全面的数据分析，以求尽快定位故障原因。研制人员通过大量的仿真试验模拟箭上状态，分析故障模式，进行故障复现。

24小时都在单位连轴转，大家都想尽快找出问题。胡久辉说。

和他们一同进入“归零”作息时间的，还有负责质量、结构系统的其他火箭抓总研制人员。增压输送系统设计组组长吴俊峰说，每个人平均每天也就休息三四个小时吧。

5月25日，归零工作接近尾声，天空湛蓝，云朵洁白。

发射塔架上，有的试验队员擦拭着火箭整流罩的罩衣，有的用毛巾一丝不苟地擦拭着箭体。塔架上的暴雨，连续的熬夜，不少人的脸庞变得黧黑。

火箭院长征七号火箭总指挥孟刚很清楚：长征七号遥三发射任务是空间站建造承上启下的关键之战，研制队伍经历了长达9天的高负荷工作，面对等不及的“时间后墙”，每一个设计人员心中都紧紧绷着一根弦。

天舟二号发射任务迫在眉睫，牵一发而动全身。孟刚说，它关系着空间站天地运输走廊，能否顺利搭建，更关系着后续载人航天计划能否顺利实施。发射任务环环相扣，已到了绝地反击的紧要关头。

面对试验队员，孟刚不断打气鼓励：我们都是真正的强者，经得起考验和磨练，抱着必胜的信心，放下心理包袱，全神贯注，全力以赴，最后的胜利一定属于我们！

5月26日，模拟发射演练。

5月27-28日，加注准备。

透过现象，把真实的问题找出来。这是张立强在这次归零中最大的感悟。中国航天绝不带疑点和隐患上天，必须背水一战，干掉所有隐患，尤其在重大工程任务面前丝毫不可打折扣。

如今历时9天磨砺，长征七号和天舟二号终于携手归来，再度踏上太空征途。

5月29日，推进剂加注，当晚，成功发射！

火箭院长征七号火箭型号总师程堂明说：这是空间站建造承上启下的关键之战，我们的目标有且只有一个，我们追求的就是稳稳的成功。

星河滚烫，天舟穿梭。当火箭的尾焰划破寂静的夜空，天舟二号这位中国最强“快递小哥”准确进入预定轨道。

一场鏖战，留下的是一次刻骨铭心的经历。火箭院党委书记李明华感慨道：我们天生具有打逆风球、走上坡路的能力，没有什么风雨波折能够阻挡我们前进的步伐！

火箭升空之后，与地面的联系就依靠晶体元器件产生的频率信号，航天科工研制了一系列配套晶体元器件产品，它们像火箭的“脉搏”一样，为此次发射任务的成功提供了可靠的时间频率基准，成为地面指挥人员衡量飞行状态的重要参考指标。

四是航天器“强筋健骨”。航天器由若干个系统组成，此次任务中，航天科工提供了系列产品，为航天器打通“任督二脉”。比如，为长征七号配套的锌银蓄电池及地面充放电设备，可为火箭控制系统、测量系统仪器设备提供能源保障。

专家表示，火箭发动机燃料管路大部分由硬管组成，但局部常会出现热胀冷缩、振动、位移等不利影响。航天科工研制的金属软管能消除这些不利因素，并可使燃料可以在管路系统中自由奔放。

揭秘送

天舟背后的

中青报 中青网记者 邱晨辉

5月29日，天舟二号货运飞船发射升空，次日与中国空间站天和核心舱完成交会对接。至此，天舟货运飞船和长征七号运载火箭组成的空间站货物运输系统，完成了第一次应用性飞行。

这背后有哪些鲜为人知的黑科技？中国航天科工集团专家对此进行了解读。

一是打造舒适的“太空之家”。此次任务中，航天科工特别研制的太空按摩仪、环控生保系统等作为在轨生活物资随天舟二号升空，为后续航天员使用作好准备。

可进行太空按摩的神经肌肉刺激仪，其主机、刺激和通讯电缆随天舟二号升空，是太空医院系列产品之一。它主要用于对航天员进行电脉冲刺激，协助航天员进行肌肉疲劳恢复和肌肉力量训练，防止长期飞行试验造成的肌肉萎缩。

专家透露，在天舟货运飞船运送的物资中，某些关键的医疗检测和保障物资等具有较敏感的温度敏感性，需要存储在特制的能隔热保温的“太空冰箱”中。为满足材料足够轻、且能达到出众保温效果的要求，航天科工通过特殊工艺将气凝胶材料“真空化”，制备成真空绝热板，即技术团队戏称的“VIP”材料。

二是促成美妙的“太空之吻”。交会对接航天器调整时，需要利用加速度计精确测量天和核心舱与天舟货运飞船的相对位置变化信息。航天科工研制的微波雷达产品在本次任务中继续担任测量重任。

专家打了个比方，在微重力环境下观测飞行器姿态调整时的加速度，就如同观测用一只蚂蚁的力量去推动一头悬浮在真空环境里的大象所产生的影响一样，极难观测。

航天科工为此研制了一种检测加速度的精密惯性传感器，能高精度感知飞行器的相关状态，为“太空之吻”这一过程提供精确的加速度测量信号。

三是与航天器“心心相印”。航天科工利用多种地面测控设备、固定式脉冲测量雷达、晶体元器件产品等，承担了测发控信号实时监测、外弹道测量、通信保障、提供可靠的时间频率基准等相关任务。

火光中，执行天舟二号货运飞船发射任务的长征七号遥三运载火箭朝预定轨道奔去，航天科工二院23所两部固定式脉冲测量雷达一路护航。四年前，这两部雷达也在同样的地方护送天舟一号奔赴“天宫”。

这两部固定式脉冲测量雷达主要用于运载火箭发射上升段的外弹道测量，为文昌发射场指控中心实时提供火箭距离、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。火箭飞到哪里，雷达就像“眼睛”一样，看到哪里，时刻关注飞行安全。

火箭升空之后，与地面的联系就依靠晶体元器件产生的频率信号，航天科工研制了一系列配套晶体元器件产品，它们像火箭的“脉搏”一样，为此次发射任务的成功提供了可靠的时间频率基准，成为地面指挥人员衡量飞行状态的重要参考指标。

四是航天器“强筋健骨”。航天器由若干个系统组成，此次任务中，航天科工提供了系列产品，为航天器打通“任督二脉”。比如，为长征七号配套的锌银蓄电池及地面充放电设备，可为火箭控制系统、测量系统仪器设备提供能源保障。

专家表示，火箭发动机燃料管路大部分由硬管组成，但局部常会出现热胀冷缩、振动、位移等不利影响。航天科工研制的金属软管能消除这些不利因素，并可使燃料可以在管路系统中自由奔放。

科学咖啡馆

太空再现 万里穿针 成就浪漫之吻

中青报 中青网记者 邱晨辉

太空再次上演浪漫之吻。

5月30日5时01分，飞向太空不久的天舟二号货运飞船，来不及停歇，便与天和

核心舱完成了全自主快速交会对接，万里穿针技术再现太空。

所谓交会对接，是指两个航天器在空间轨道上，会合并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，复杂度高、精度高、自主性要求高、安全性要求高，其难度被形象地称为“万里穿针”。

中国航天科技集团五院天舟二号货运飞船副总设计师党睿告诉记者，我国是世界上第三个独立掌握太空交会对接技术的国家。自2011年11月3日对接机构首次亮相以来，我国共实施了10次空间交会对接，圆满实现了首次无人/载人交会对接，并验证了在轨补加技术，为空间站建设打下了坚实的基础。为掌握这项技术，五院502所研制人员前赴后继奋斗了近30年。

党睿说，天舟二号与核心舱的此次交会对接是我国在轨进行的第二次快速交会对接，与2017年天舟一号与天宫二号的交会对接相比，此次又实现了新的技术升级。相较于天舟一号，天舟二号增加了全相位全自主交会对接方案。

所谓“全相位”，就是无论目标飞行器在入轨时和空间站的相对位置有1/4圈、半圈、哪怕整圈，天舟都可以以最快速度或者在规定时间点实现对接，而不用专门

根据空间站的位置来选择飞船发射时间，真正实现了全天候发射；全自主，则是从飞船入轨到交会对接成功，全程不需要人工干预，船上控制器自主规划完成。

党睿说，天舟一号在远距离段是需要人工辅助把飞船引导到距离天宫二号一定的位置，然后由飞船自主完成近距离交会对接。天舟二号增加了远距离自主引导，飞船可以利用北斗导航的位置信息来实现远距离的全自主的导航计算及其制导与控制。

换句话说，以后天舟飞船对空间站的造访，过程中人只负责监视，整个交会和对接过程完全自主完成。

手控交会对接和自动交会对接是空间交会对接系统的左右手，互为备份，是系统可靠性的重要保障。神舟载人飞船从研制之初就按照不同的逻辑分别分为两套系统设计了相对独立的系统。

党睿说，天舟二号是货运飞船，但是它也装备了手控系统，在货运飞船与空间站交会对接的最后平移靠拢段，手控是重要的控制手段之一，具备支持空间站内航天



天舟二号货运飞船与天和核心舱交会对接模拟图。

中国航天科技集团五院供图