



## 中国新一代火箭长征七号A复飞记

## 逆风飞翔的361天

第一作者

中青报 中青网记者 邱晨辉

成了!整个现场一片沸腾!

2021年3月12日1时51分,随着一道绚丽的尾焰划过天际,我国新一代中型高轨火箭长征七号改(又名长征七号A)成功发射。

中国航天科技集团一院长征七号改火箭总指挥孟刚告诉中青报 中青网记者,在文昌航天发射场指控大厅,面对大屏幕上火箭飞行的完美曲线,试验人员的掌声经久不息,成功的喜悦洋溢在每个人的脸上,有的人难掩激动,笑着笑着就哭了。

一年前,也是在这个指控大厅,他们中的很多人目睹了长征七号改首飞任务的失利。孟刚说,那种失利之痛,至今回想起来仍然揪心。

从首飞到复飞,从失利到成功,在过去300多个日日夜夜,中国航天人开启一场寻找首飞任务失利答案的旅程。在这将近一年的时间里,他们是如何面对失利阴霾,又如何重整行装、披荆斩棘的?

前不久,中青报 中青网记者走近了这支研制队伍。

## 猝不及防的失利

2020年3月16日是长征七号改火箭首飞的日子。

火箭发射前,试验队组织了抢险队,在室外场地随时待命,以应对发射前的各种突发状况。考虑到指挥调度第一次执行任务,长征七号系列型号办公室副主任田玉蓉有些不放心,也盯在抢险队现场。

当看到发动机点火正常后,抢险队的任务结束了,田玉蓉缓缓松了一口气,火箭飞得挺好。

那一刻,她信心满满。

因为火箭还要飞行一段时间,田玉蓉就和同事一起赶回指控大厅。半路上,她的手机响了,电话那头传来噩耗:火箭的飞行曲线好像有问题。

田玉蓉的心一下子揪了起来,脑子一片空白,抬起腿就往指控大厅跑。本来没多远的路,那一刻,她却觉得那么漫长,仿佛怎么也跑不到头。

此刻,指控大厅里的人已经聚集在型号两总(总指挥、总设计师)周围,大家的表情凝重,他们怎么也想不明白,在点火后的162秒内,火箭飞行曲线非常完美,无论是飞行的高度还是速度,都与理论值几乎完全符合,怎么突然就出问题了呢?

田玉蓉告诉记者,当时的现场一片沉寂,试验队员热闹的讨论声、发射时的欢呼声和喜悦声突然消失了,发射大厅里瞬间鸦雀无声。

猝不及防的失利,让时间定格在2020年3月16日21时34分。

需要尽快拿到所有的遥测数据。跑到大厅后,田玉蓉就赶紧联系发射场的同事,在深夜一点左右拿到了所有数据。

那一夜,对现场所有试验人员来说,注定是一个紧张而又伤感的不眠之夜。

我甚至有一种感觉,好像我半年的生命都没了。长征七号改火箭副总设计师马忠辉说,从跟产、到发射,他将大半年的心血都花在了长征七号改遥一火箭上。

失利的打击对她来说是沉痛的,但她当时无暇顾及这些,只能和时间赛跑,和专家在会议室一遍又一遍地看视频,判



长征七号改火箭部分研制试验人员。

中国航天科技集团一院供图 吴桐小雨/摄

数据,分析原因,型号两总组织各个单位确定各自产品的工作状态。

通过连夜分析,大家发现了一个现象,长征七号改的助推器氧箱发动机入口处压力不足。

为什么会会出现这个现象,它是真凶吗?

## 痛定思痛后的归零

陈二锋是中国航天科技集团一院总体设计部二室仿真组的副组长,火箭失利后,他连夜构建整个输送路的流体仿真模型,两天后,他有了初步的结论。

火箭助推器氧箱出口发生了空化现象,这可能会导致泵入口压力降低,不满足发动机工作的下限要求。

简单来说,火箭的动力系统出了问题。

在此基础上,陈二锋继续开展仿真分析,用了一周时间,将输送路的空化发展过程及泵入口压力下跳现象进行了仿真复现,最终定位了故障。

当故障问题越来越明朗,并逐渐聚焦到动力系统时,动力总体专业的年轻设计师们心里五味杂陈,有的人一晚一晚地坐在机房里看数据,反复问自己为什么没有考虑到空化问题?

长征七号改火箭总设计师范瑞祥见此情景,便劝他们:这是专业认识的问题,是大家都没有认识到的深层次问题,跟个人没有关系,要正确看待它。

归零时间紧迫,总体副主任设计师邵业涛与动力总体设计师王铁岩用了10天时间,完成了通常要一个月才能做完的缩比试验,对理论分析的结果进行了验证。结果圆满,试验过程却百般曲折。

邵业涛告诉记者,当时受新冠肺炎疫情影响,很多高校因为学生没有返校,或者工厂停工停产,不具备做试验的条件,他们就四处联系,最终在外地找到了能够承接试验

的高校。

可是,试验系统怎么搭,试验方法如何制定,因为缺乏相关的经验,这些难题又摆在了他们的面前。邵业涛和王铁岩摸着石头过河,一边做试验,一边分析数据,同时还要不断调整试验方案,把时间无限细分,把效率不断提升。

王铁岩说,在那段不分昼夜的归零日子里,团队的每个人都在超常付出。

出差文昌的试验队回到北京后,按照当时的疫情防控政策,需要居家隔离14天。但时间不等人,型号队伍提出了集中隔离的要求,将40多名核心人员安排在长征宾馆住下,并在仿真楼安排了独立的办公室供他们使用。

自此,这群年轻的科技人员搭乘班车,每天往返于长征宾馆与仿真楼之间,过着两点一线的生活。

谁也不曾想到,逆风飞翔的361天就这样开始了。

## 巨压之下开展复飞

这是马忠辉参加工作十几年来第一次遇到归零。

归零最重要的是找到造成故障的原因,它并不意味着否定了以前的工作,而是将技术上做得不到位的地方补上。马忠辉说,

通过观看录像分析数据,研制人员发现,首飞过程中,火箭在一级飞行段末期,距离一级分离仅剩几秒钟时出现异常。作为箭体结构设计师的姚瑞娟,熟悉这一技术,因此主动报名参与归零工作。

她告诉记者,参与归零任务后,每天判读数据,开会讨论,这样的技术会议一开通常是一天,有时要忙到后半夜才能结束。

按照一院总体部三室强度组组长吴浩的说法,试验系统既庞大又复杂,如果出现什么破坏,没有时间再做新的试验件,会直接影响火箭复飞。

经过紧锣密鼓的缩比试验和全尺寸试

验,研制团队在不到10天的时间里就完成了原本需要一个月才能完成的试验,15天左右就拿到归零结论。

2020年4月初,在完成故障定位后,型号两总提出,要组织长征七号改火箭复飞任务,在2020年年底,完成产品准备,让火箭具备出厂条件。

范瑞祥说,这是顶着巨大的舆论压力和生产压力作出的决定,复飞任务至关重要,必须全力以赴。

听到这个消息后,田玉蓉先是高兴,但很快皱起了眉头。她找到两总,说出了自己的担心:研制团队同时承担着长征七号的任务,这一任务影响着2021年空间站的建造,不能有半点耽误和闪失。在不到一年的时间里,又加一长征七号改的任务,难度太大了。

听完两总的想法,她明白了:失利之后,只有尽快完成复飞,才能鼓舞队伍的信心,让队伍从失利的阴影中走出来,扭转被动的局面。

这时,工作进度成了摆在研制队伍面前的最大难题。

生产一发箭,从头开始到具备发射条件,需要两年时间。现在要让我们在不到一年的时间里就生产一发火箭,压力还是很大的。田玉蓉说。

让她欣慰的是,听到要复飞的消息后,一线人员都干劲十足。

长征七号改火箭伺服系统型号主任设计师陈克勤说,生产一发箭,伺服产品从生产齐套、装配、装调到验收交付通常需要半年的时间,但为了满足型号复飞的进度要求,一线人员加班加点,这次只用了3个月的时间。

在2020年4月至6月期间,伺服机构装配员赵建华没有休过周末,一直奋战在一线。他告诉记者,因为经历了失利,工作中更加细心,凡事都要做到让自己放心。

2020年12月30日,一枚崭新的长征七号改火箭出炉,完成了出厂评审。

这一天,田玉蓉多了几分感慨,她希

## 揭秘长征七号改火箭:

## 更苗条的高轨新兵

## 高轨新兵 VS 货运专列

范瑞祥说,长征七号改是为了满足高轨道发射能力而研制的一型火箭。所谓高轨道通常指的是近地点200公里、远地点3.6万公里地球同步转移轨道。北斗导航卫星、通信卫星都是这个轨道上的常客。目前我国除了长征七号改运载火箭外,长征三号甲系列和长征五号运载火箭都具备高轨发射能力。

相比之下,长征七号运载火箭则是为载人航天工程发射货运飞船而研制的一型火箭。长征七号运载火箭发射轨道是近地点200公里、远地点400公里的近地轨道。神舟飞船、天宫实验室和我国未来的空间站都在这个轨道上工作。和长征七号火箭一样,我国的长征二号F运载火箭、长征五号B运载火箭也都具备近地轨道的发射能力,而且也都是支撑我国载人航天工程建设而研制的火箭。

范瑞祥说,长征七号运载火箭是我国新一代运载火箭里中型运载火箭的代表,于2016年完成首飞。尤其是在2017年4月20日,长征七号遥二运载火箭成功发射了我国第一艘货运飞船,所以长征七号也有载人空间站 货运专列 的称号。

其实,长征七号改和长征七号最大的不同就是发射的载荷功能不同、轨道不同。一个是填补运载能力空白的高轨新兵,一个是我国载人空间站的 货运专列。

## 三级半 更苗条

乍一看,长征七号改与长征七号在外

形上没有什么不一样,都是外表清秀的大个子,但是仔细一对比,长七改比长征七号的确高了不少。长征七号改全长60.1米,而长征七号53.1米。

范瑞祥说,长征七号是一型两级半构型的火箭,而长征七号改是一型三级半构型的火箭,多出了一个第三级。多出的芯三级模块,主要是为了给长征七号改火箭提供能够往更高轨道飞行的动力。这也是长七改作为高轨专列的重要原因之一。

在外形上,长征七号改和长征七号还有一个不同就是整流罩柱段的高度。长征七号改火箭的整流罩柱段高度为5.5米,长征七号火箭的整流罩柱段高度为8米。个头高的反而头部矮了一点,这里的原因主要是,由于火箭的有效载荷由货运飞船变为了卫星,为了更好的适应未来高轨卫星的发射任务,整流罩相应也作出了调整。

虽然构型不一样,外形也有一些差别,但是这哥俩儿,在外观上也还有很多相同的地方。比如,他们的芯一级、芯二级都是3.35米直径,助推器也都是2.25米直径,所以在外观上,确实有很多相似的地方。

## 助推器 不分离

据范瑞祥介绍,火箭通过燃烧燃料释放推力来飞行,这些燃料储存在助推器和芯级的储箱中,火箭点火升空后,燃料不断燃烧减少,燃料燃烧完后,就需要按控制程序,使没有燃料的助推器、芯级从箭体上分离,从而使火箭轻装前行。

通常,火箭的助推器主要实现助推的功能,工作时间较短,一般在火箭点火后几

望 斩钉重铸之日,正是王者归来之时。

## 一场漂亮的翻身仗

2021年1月16日是三九的最后一天。在长征七号改遥二火箭发射任务的出征仪式上,孟刚说了这样一句话:决胜飞试、誓夺成功的发令枪已经打响,长征七号改复飞,只能成功,不能失败。

吴浩听后热血沸腾。那时的她,关于长征七号改遥一火箭的失利飞行视频,已经看了上百遍。这些历历在目的情节,她不允许再次上演。

她告诉记者,刚开始,试验模型十分庞大,计算一次需要24小时,时间太长,她就不断重建、细化模型,10天之内开展了近百次的分析,甚至出现了鼠标手的症状,最终将模型计算时间从24小时缩减到3-4个小时。通过仿真分析,她提出二级发动机机架在异常三级工况下存在破坏的风险。

一石激起千层浪,这个结论一出,就遭到了很多专家的质疑。

我心里也打鼓,但既然发现了潜在的问题,就要打破砂锅问到底。吴浩说,走别人没走过的路,就意味着要逢山开路、遇水搭桥。

发动机载荷工况众多,全部因素组合起来高达近百种,而以前试验的原始工况也就十几种。吴浩通过仿真将近百种工况缩减到10种,最终用14天完成了一般需要两三个月才能做完的试验,而且仿真结果与试验符合度高达98%。

如今,她所在的研制队伍,经过300多个日日夜夜的奋战,重整行装再出发,终于踏上复飞新征程。

组装完毕的长征七号改火箭挺拔高大,在完成一系列的总装测试后,就进入发射前的垂直转运程序。在转运路的尽头,巨大的发射塔架,张开双臂等着将长征七号改遥二火箭揽入怀中。

看着高耸的火箭,再次担任试验队01指挥员的马忠辉感慨万千,在这300多天的时间里,她和其他团队成员一直坚持在自己的岗位上,翘首期盼这一天的到来。

3月12日1时51分,发射时间到了。

5、4、3、2、1,点火!

紧随发射口令,巨大的轰鸣声、空气的撕裂声和观众的欢呼声交织在一起,火箭发动机喷出的尾焰在暗夜中划出了优美曲线,整个发射场为之震颤。

马忠辉坐在测试发射大厅正中央,尽管一夜未眠带来深深倦容,脸上还是难掩兴奋。

30多分钟过去,跟踪结果表明器箭分离正常,大厅内顷刻间掌声如雷,欢呼声一浪高过一浪,所有人都早已忘了一夜未眠。此时,马忠辉向后靠上椅背,脑中紧绷了一年多的弦终于慢慢舒展开来。

至今,她也忘不了长征七号改首飞失利后,坐在回北京的飞机上,一种难以言说的不安和难过涌上心头。她说,航天发射是一个高风险的行业,任何一个细小的失误都会影响成千上万人的工作。这些工作看似平凡,实则不简单,正是这看似平凡的工作托举起了中国新火箭的成功复飞。

失败不是魔咒,而是推动中国航天发展的催化剂,逆境不是绝境,而是磨砺意志的试金石!马忠辉说。

她告诉记者,火箭升空,就像放飞自己的孩子一样,心里有千般不舍,又有万般惦念。但当她和同事们共同分享着成功带来的喜悦,一起刷新进军太空的中国高度时,那种不负众望不辱使命的喜悦,真正甜到了自己的心头。

## 一样的创新基因

虽然,长征七号改和长征七号这哥俩儿,功能、外形、助推器分离方式都不太一样,但骨子里的创新基因确是一样的。范瑞祥说,长征七号和长征七号改一样,同属长征七号系列火箭家族。长征七号火箭的研制历时8年,2016年首飞成功,仅初研研制阶段,研发人员就做了1600多项研制试验,大型地面试验达360多项。长征七号也是我国第一枚数字化火箭,也是首枚在文昌发射场发射的火箭,全部采用先进的无毒无污染液氧煤油推进剂,将我国火箭的运载能力提升了1.6倍。

实际上,创新也是长征火箭大家族共同的家风。范瑞祥说,早在航天事业诞生之初,航天人就靠着自力更生开创了两弹一星历史伟业。同样通过几代航天人的大胆创新,中国航天相继取得了载人航天、月球探测、北斗工程等多项受人瞩目的壮举。

后续,长征七号改火箭还将根据任务需求研制更大直径的整流罩构型。范瑞祥说,中国将以长征七号改火箭为基础,通过增加上面级等方式,实现零度轨道倾角卫星发射任务,执行探月、探火和小行星探测等深空探测任务,为航天强国建设提供坚实保障。



垂直转运中的长征七号改火箭。

中国航天科技集团一院供图 吴桐小雨/摄

## 零距离

中青报 中青网记者 邱晨辉

3月12日1时51分,由中国航天科技集团所属中国运载火箭技术研究院抓总研制的长征七号改遥二运载火箭成功发射。



穿在身上的显示器。

复旦大学供图