



# 长五,这两年你经历了什么?

□ 本报记者 黄希

2017年7月2日

## 失利,猝不及防

娄路亮比规定的时间更早一些到位,今天他的工作岗位是在指控大厅。

作为长五副总师,他已经在发射场工作了60个日夜。长五遥二火箭在发射场的各项工作进展都很顺利,再加上有首飞成功作为托底,他对这次发射很有信心。

火箭点火前,娄路亮特意和身边的火箭副总师李东握了一下手,给了彼此一个鼓励的眼神。

一切都顺利,晚上7点23分,火箭按时点火,娄路亮长舒了一口气。对于一个新研型号而言,“点火”时的那团熊熊火焰,意味着发动机顺利“点着火”了,最大的不确定因素得以排除。此前长五遥一的成功首飞,证明团队把惊心动魄的发动机预冷问题攻克了。

随后火箭起飞、助推器分离、整流罩分离,无论是参数还是大屏幕显示的火箭飞行轨迹,一切都在向着“完美的结局”奔去。

然而,意外出现了。当火箭飞行至346秒时,大屏幕上的参数突然出现跳变,数据显示:有一台发动机突然熄火了。

娄路亮的心一紧,大脑瞬间闪过多种故障模式,他感觉时间都已经停滞了。他脑海里始终盘旋着一个疑问:发动机是肇事者还是受害者?

此刻,大厅里的人已经聚集在“两总”周围了。由于一台发动机熄火,另一台发动机仍在工作,给了火箭加速下降的动力。火箭的飞行形成了加速向下的曲线,很快,火箭就掉了下来,坠入海底。

事后有专家分析,如果火箭再坚持飞行50秒,还是有机会入轨的。很多人入职不久的“90后”在现场悲伤地目睹了这一场景,见证了航天发射失利的残酷。

2017年7月~2018年4月

## 归零,艰难前行

搞航天的人都会“谈归零色变”。“归零”意味着失败,意味着“地毯式搜查”……对于长五这项国家重大型号而言,“归零”只会严上加严。

从7月4日开始,长五团队开始了为期100天的归零工作。说“归零”之前,可以简单说一下长五发动机的构成和作用。

长五起飞重量为800吨,相当于540辆奥迪小汽车,火箭点火时需要将这个庞然大物送出大气层,靠的就是自身的动力系统。

长五的飞行靠12台发动机提供推力,点火时,8台液氧煤油发动机为4个助推提供动力,两台YF-77发动机为芯一级提供动力,10台发动机同步点火。火箭飞行170秒后,4个助推分离,由两台YF-77发动机继续工作,为火箭飞行提供动力。

飞行约500秒时,YF-77发动机使命完成,关机,此刻芯一级和火箭分离,芯二级里的YF-75D发动机工作。第一次工作350秒左右,关机后火箭滑行一段时间,之后再次点火工作约350秒后关机,直至把航天器送入预定轨道。

火箭飞行成功与否,动力系统至关重要。很多人都知道长征五号火箭是在2006年年底立项,却鲜有人知道YF-77发动机的立项比火箭立项还要早4年,这说明了作为火箭核心关键系统的发动机的重要性和复杂性。这也就不难想到,为什么火箭一出问题,很多人首先想到的就是“会不会是发动机出了问题”?

长五遥二的问题在随后100天的归零工作中逐步得到了聚焦:一台YF-77发动机出了问题。简单说,就是为泵输送燃气做功的通路堵了,影响了氧燃料的正常输送,缺少燃料的发动机自然很快就宕机了。

找到了问题,接下来就要找原因,然后对症下药,去找到解决问题的方法。

为什么会出问题?出问题的发动机产

晚上8点多的文昌,暑气渐渐消退,此刻已经完全被夜幕笼罩。很快,长五试验队队员陆续回到了大本营。长五质量主管杨慧留意到,往日常熙攘攘的食堂此刻没有一个人说话,给“两总”留的饭桌空空荡荡,不见一人。原本等着庆功的烟花被孤零零地堆放在食堂门口。此刻,再多看一眼都让人觉得悲伤。

娄路亮和其他“两总”饭都没吃就直接从指控大厅回到会议室,一起判读数据,分析原因。

通过初步分析,大家的意见很一致:问题出在火箭芯一级的发动机——YF-77发动机身上。可是,导致出现问题的原因是什么?是诱因还是自身出了问题?

这批次的发动机在地面试车从未出现过类似问题,首飞前3万秒的地面考核全部通过。

会不会还有其他的问题没有发现?大家前后方通力合作,紧急排查,初步定位是发动机本身的原因。当娄路亮他们再次从会议室出来,已经是天亮了。经历了一天一夜的紧张工作,再加上失败情绪的冲击,娄路亮感觉自己走路时双腿都发软了。

7月3日,火箭核心团队迅速处理完发射场的工作,7月4日就乘坐第一班海口飞北京的航班回京。当乘坐的大巴驶出发射场大门时,看着远处空荡荡的长五塔架,杨慧没忍住,眼泪终于落下来了。

回到北京的第一站,大家不是回家,而是直接前往会议室。

此刻,后方的数据已经同步分析出来了,证实了大家的判断是正确的。大家迫不及待地想抓住这个“鬼”——火箭发动机的故障出自哪里?

品最后是什么样子的?搞了一辈子发动机研制工作的长五火箭总指挥王珏百思不得其解。2017年10月,由国防科工局协调国家海洋局甚至还派出了蛟龙号,打算在发动机入海的海域进行打捞,让科学家们看到断裂后的氧涡轮泵轮的“真容”。很可惜,“大海捞针”没有成功。

看不到实物,只能靠大量的地面仿真和试验参数来进行验证。

航天科技集团六院北京11所的发动机专家王维彬是长五团队里的另一位副总师,主要分管YF-77发动机的研制工作。他对遥二的失败表示“不可思议”。在遥二飞行之前,YF-77发动机已经经过了地面大大小小的试车考核,全部过关,从未出现过类似的问题。无数次的“彩排”从未有过差错,却怎么恰恰在正式演出时“掉链子”呢?

这是一个个案,还是一个批次问题呢?他的脑子里始终琢磨这个问题。

2017年10月2日,YF-77发动机故障定位工作完成;经过半年的改进,2018年4月,长五火箭完成归零评审。其间,YF-77发动机连续经历了14次试车考核,其中前13次为长程试车。试验很成功,大家都很高兴。

与此同时,火箭总体也加紧了对其其他分系统、单机的200余项改进升级工作。YF-77的失利,让很多人感到头上都悬着一把无形的“达摩克利斯之剑”,同时也对长五这个复杂巨系统更加充满了敬畏之心。

虽然这半年对很多人来说是昏天黑地、没日没夜。但成功找到了“拦路虎”,大家又有了前进的方向。瞄着让火箭尽快出厂、矗立在发射塔架上的目标,他们收拾行装,准备再次出发。

在中国航天60多年的发展史上,从未有这样一枚火箭让人如此关注、如此揪心。

有人说,它的成功,至少关系中国航天未来20年的发展。

它就是我国目前运载能力最大的火箭——长征五号运载火箭。

从2017年7月2日长五遥二失利,到2019年12月27日长五遥三任务发射成功,908个日夜,对于长五研制团队这支钢铁之师而言,究竟经历了什么?

从失败到成功,这背后又要经历哪些“不可承受之重”?

2018年11月30日

## 意外,再次降临

2018年秋冬时节,长五遥三火箭总装工作已经进入尾声,火箭即将出厂,要去发射场执行任务的试验队员已经开始做出差的排期了。就在这个时候,位于北京云岗的试车台突然传来让大家震惊的消息。

11月30日,有一台发动机试车出现了故障!从数据来看,故障参数和遥二非常接近。

在座的所有人都“感觉不好了”。此刻,和这台故障发动机同批次的产品已经有两台安装在即将出厂

的遥三火箭上!

直觉告诉王维彬,这说明过去为“遥二”开的药方还没有开准,或者说,还有问题大家没有找到。

这让很多人再次惊出一身冷汗。这意味着,火箭如果就这样出厂进入发射程序了,后果不堪设想。

“对于长五这个复杂巨系统工程,我们还有问题没有吃透,没有找准。”王珏总指挥和李东总师立即上报集团公司,建议暂停发射计划,火箭重新进行归零,决不能带着隐患上天。

2019年4月4日

## 发射,再次暂缓

2019年4月4日——这一天,对王维彬来说是一个比自己生日还要记得清楚的日子。

交付后续飞行的发动机已经经过了地面考核,性能参数全部正常,不出意外的话将执行任务。但是细心的设计人员在分辨振动数据时,发现了一条异常频率线。

绝不带疑点和隐患上天,是中国航天的一条铁律。接下来的分解检查,大家发现发动机依然存在着隐患。

这个问题绝对不是偶然,YF-77发动机氧涡轮泵出问题原因究竟是什么?

这让所有人陷入沉思,火箭副总指挥曲以广觉得似乎总有一种无形的力量一直在牵制整个研制工作。大家要找的那个“鬼”还隐藏在黑暗深处,正虎视眈眈地看着他们。

大家迅速回到厂房,把所有之前经历过试车考核的YF-77发动机全部找出来,采用新手段进行加严检测。结果发现在同一个位置,多台发动机都产生了微小裂纹。

随着一次次暴露问题,长五研制

团队对发动机问题的认识更深入了,也越来越逼近真相。“这就等于之前所有的药都是强身健体,但没有根除病根。”王维彬说,这次终于击准要害了。

找到遥二失利的原因之后,火箭团队发现产品状态再也回不去了。一方面是亟待破解的“发动机之困”,一方面又是等不及的“时间后墙”。长五团队再次到了绝地反击的紧要关头。

一院党委书记李明华临危受命,被任命为长五遥三火箭的第一总指挥。在他的记忆中,这是中国航天20多年的发展历程中,第二次启动“第一总指挥”的模式。历史就是这样巧合,两次都是他来担任。他也被很多人称为“救火队员”。

李明华把自己的工作总结为“把方向、出方法、调资源”。当务之急,他急需带领团队找到解决问题的方法,重拾信心,带领大家冲出重围。

6月24日,李明华把王珏等一众核心人员叫到了他的办公室,集中破解难题。

此刻火箭装配工作已经完成了80%,装配师傅需要把火箭尾段进行拆解,让“整体变成部件”。

发动机专家们再次回到原点,对发动机的结构进行强化,确保发动机在火箭高温、强振动的“恶劣飞行工况”时能够“岿然不动”,全面提高发动机的可靠性。

随后发动机经历了两次试车考核,全部过关。遥三火箭再次准备出海,瞄着2019年年中进行发射的窗口来进行准备。

大家围绕3种解决办法迅速进行讨论。

一种方法是“加强”,扛过去。可是加强到什么程度,上限在哪里?未知!

一种方法是“躲过去”。可是大家发现面对长五这个“复杂巨系统工程”,技术状态一直在修正,根本回不到过去。

“躲过去”不可能!还有一种方法就是“改”,“大改”还是“小改”?“大改”肯定时间不允许。只能“小改”!

大家很快就“小改”的方向达成一致。最终通过结构设计优化的方式来提高发动机的可靠性,将发动机的性能再提高一个数量级。

一个月后,修正后的YF-77发动机再次被拉到了试车台。7月31日,紧张的试车工作再次展开,大家都知道“背水一战”意味着什么。

经过一系列试车考核后,王维彬向大家宣布:试车成功。所有的人都欢呼起来,掌声雷动。这个答案,他们已经等待了太久。

2019年8月~10月

## 后墙,确保不倒

中国航天一向秉承“质量至上”的理念。在“进度”和“质量”的天平上,一定是毫不犹豫地偏向后者。

7月底,发动机的顽疾才被真正破解,此刻暗藏着12月31日的发射窗口,时间不足5个月。除去发射场两个月的准备流程,留给长五的时间只有3个月了。

此刻,还有这些工序需要完成——需要拆卸原来带有质量隐患的YF-77发动机;

需要将发动机运至天津上箭装配检测;

火箭从整体恢复到“运输状态”;

已经两年多没有执行任务的发射场地面设备进行检修恢复;

中国航天60多年沉淀的“大力协同”的精神在长五遥三这里体现得淋漓尽致。

火箭“打包运输”;

……

对“长五”这个约57米高的“巨无霸”而言,可谓是“牵一发而动全身”。这其中还有多次评审会的流程,以及与外协单位的沟通配合。

遥二期间负责长五质量工作的杨慧此时开始负责长五的计划调度工作。为了确保长五的时间进度,她们把对长五的管理精确到小时,把每一道工作的责任都落实到每一个人,一分一秒抢时间。而集团公司上下也以空前的力度全力保障长五遥三发射。

杨慧举了一个例子,发动机加工时需要的螺栓,按照正常的加工进度,产品交付需要3个月的周期。在长五这里,3天拿货!设计师几乎是拿着刚下线的产品,第一时间飞抵北京。

产品到手,会被迅速送到总装厂房。“大国工匠”高凤林师傅早已等候一旁。焊接一气呵成,完美!很快又进入下一个操作程序,一环扣一环,一分钟也不能耽搁。

中国航天60多年沉淀的“大力协同”的精神在长五遥三这里体现得淋漓尽致。

9月26日,第一台YF-77发动机如期上箭装配。按照李东总师的建议,首次采取了“垂直上箭”的操作方式,3天后,发动机就装配完成。

10月6日,第二台YF-77发动机上箭装配。

10月14日,发动机测试工作完成。

10月16日,芯一级箭体恢复至运输状态。同一天,远望号抵达天津港。

10月17日~21日,完成装船。

10月22日,装有长征五号的两艘远望号从天津港出发。

长五遥三火箭,这次终于踏上了征程!

为长五而战的勇士们,此时已经集结!

当听到远望号那声清脆的汽笛声时,到港送船的人群中有人默默擦拭着眼泪。

遭遇失败时,没有哭;

归零没日没夜时,没有哭;

一波三折看不到希望时,没有哭。

而当目送着长五远去的时候,很多人才发现,这些年,投入到长五这项“国之重器”的航天工程中的,不仅仅是时间、智慧、精力、心血,还有对她深沉的爱。



本版摄影 记者 宿东

四川航天南火工技术... 中国航天有限公司(原川南航械厂) 专业专注 精细卓越

河南航天液压气动... 技术有限公司(COSIC) 诚信 坚韧 精细 和谐

中国运载火箭技术... 研究院18所 诚信 坚韧 精细 和谐

航天恒星科技... 有限公司(503所) 走自主创新之路,引领卫星应用发展

四川航天长征装备制造... 有限公司 特别爱国 智慧兴国 军民融合 航天强国

中国航天科工... 二院二部 全局 奉献 求实 创新

航天科技集团四院41所 精准求实 继承创新 铸造精品