

送“天问一号”奔火，“长五人”还在奔跑

本报记者 郑蔚

来自国家航天局的最新消息，10月9日23时，“天问一号”探测器主发动机点火工作480余秒，顺利完成深空机动。此次轨道机动在距离地球大约2940万千米的深空实施。

茫茫宇宙中，“天问一号”还将飞行4个月才能抵达火星轨道，它孤独吗？中国航天科技集团一院总

体设计部长征五号运载火箭主任设计师黄兵告诉记者：“将‘天问一号’送上奔火轨道的长五遥四火箭芯二级，在火箭分离后，如同送子远行后依依不舍的亲人，仍伴随在其身后，一起奔向浩瀚宇宙的深处。”

长五遥四的芯二级也将造访火星吗？

“‘天问一号’抵近火星引力圈后，会按预定奔火计划主动制动减速，从而为火星轨道所俘获，开始绕火飞行，为着陆火星做准备。而芯二级将继续沿着椭圆轨道绕太阳飞行。如果不意外，预计每隔两年，它都会在我们最近的距离大约200万-300万公里的太空与我们遥遥相望。”

“成功是差一点点失败，失败是差一点点成功”

长五遥四运载火箭从文昌发射场腾空而起，飞越蓝天白云的壮丽画面，宣示了中国的行星探索之旅启程，这一刻将永远镌刻在中国航天史上。

航天人比我们更懂得成功的来之不易。黄兵对记者说，我们所有的航天人都知道这句话：“成功是差一点点失败，失败是差一点点成功。”这不是绕口令，一点点，就是这么一点点，就是成败的分界线！

这是对航天事业高风险的真切描述。惟其如此，航天人才能胜不骄，败不馁，才能始终如履薄冰，敬终如始，精心再精心，严谨复严谨。

黄兵是2006年加入长五研发团队的那人，长五正式研制刚刚起步。

15年来，“长五人”经历了无数次的曲折、坎坷。每次坎坷、每次失利，都让他们刻骨铭心，不敢忘怀。

2016年11月3日，海南文昌发射场，终于迎来了长五遥一首发。

注入液氢液氧后，数据突然显示发动机预冷未能达到要求。01指挥员立即启动应急机制，发射中心和长五团队一起分析研判，很快找到了问题的原因，决定排除故障。

当时，距原定的发射“零窗口”只有3.5小时，何况发射燃料已注入，再要派技术人员登上发射塔架排故，所有人都捏着一把汗。

“长五人”义不容辞地站了出来：一定要以最快速度解决操作问题。

指挥员果断决定：发射推迟，立即排故。

当晚，南海夜空升起一道璀璨的轨迹，宣示长五首飞成功。

2017年的春天，长五团队抱着必胜的信念，再次奔赴海南。此行计划于7月2日，由长五遥二运载火箭将搭载的实践十八号卫星送上太空。

此次，黄兵更觉重担在肩——首次担任正式发射任务航天一院的01指挥员。为了确保航天发射成功，01指挥员历来实行的“一职双岗”：一岗由发射中心的专家担任；二岗由运载火箭研制单位的专家担任。他们在发射中相互协作，互为替岗，及时沟通，在最短的时间里做出正确的决策。

之前，长五运载火箭总指挥王珏、总设计师李东将此决定告知黄兵时，反复叮嘱他作为01指挥员要把握全局，胆大心细，不仅要对整个大系统的所有制约条件了然于胸，还要时刻掌握长五的测试状态。

黄兵自然不敢懈怠。7月2日发射之前，长五遥二走过的所有测试和作业流程，都非常顺利。

7月2日19时23分，长五遥二发射，相对“零窗口”时间只晚了10秒钟。大屏幕上，发射工位烈焰奔腾，长五遥二冉冉升起。

170秒，4台助推器按计划分离。280秒，整流罩分离，长五遥二已经飞出大气层。航天专家最担心的是运载火箭在大气层内飞行时受各种因素干扰，一旦火箭飞出大气层，外界干扰风险大大降低。此刻，大家感觉已胜利在望。

突然，黄兵发现传输回来的数据出现偏差：长五遥二的速度增加量开始偏离，高度也逐渐偏离，火箭实际飞行轨迹与测控指挥中心大屏幕上显示的理论飞行轨迹渐渐岔开，出了什么问题？

原本气氛热烈的测控指挥控制中心大厅，突然鸦雀无声，所有的目光都聚焦在那分岔越来越明显的曲线上。

航天发射所有的应急处置预案，就在01指挥员座位的后面，足有半人高。但火箭发射后是按事先装订的数据飞行，地面无法掌控。

火箭仍在加速，但方向不是预定的轨道，而是转向地面急坠！

346秒，传回来的各种信号均显示：长五遥二发射失利。

火箭都已经飞出大气层了，都346秒了，最令人痛惜的失败，就是那差一点点成功的失败！

黄兵告诉记者，“长五是我国航天研制的首个大型运载火箭，它不仅承担着火星探测发射任务，而且还肩负着中国探月工程三步走‘绕落回’迈出最关键的一步，也就是‘嫦娥五号’的月壤和月岩的采样并返回地面的使命；同时，我国首个空间站的建设任务，依然要用长五发射来完成。长五遥二原因不明的失利，将直接影响中国航天一系列重大工程的进展。”

长五运载火箭总指挥王珏告诉记者：“长五的近地轨道能力是25吨级，就是22吨到25吨；地球同步转移轨道能力达到14吨级，也就是12吨到14吨。而执行探火任务，火箭速度必须略大于第二宇宙速度，也就是速度值要达到每秒11.5—11.7公里，才能将5吨重的‘天问一号’探测器送到奔火轨道，而长五火箭是国内能满足这一要求的唯一选择。5吨级的运载指标，也是目前世界现役火箭能达到的满足奔火要求的最大能力。”

航天业内有个不成文的规矩，一个新火箭的新技术运用通常不超过30%，一旦超过30%，面临风险太大。长五从动力系统、箭体结构到控制系统、测量系统以及地面发射支持系统等大量采用全新技术，其使用的新技术多达95%。

所以，从传统的以长三甲系列和CZ-2F火箭为代表的中型运载火箭到长五大型运载火箭，是跨越式发展。长五从总体设计到分系统设计，再到单机研制，通过大量的各级试验验证，逐渐可靠成熟，最后实现了整个火箭的集成研制，历经坎坷。



▲2020年7月23日中午，“天问一号”搭乘长征五号遥四运载火箭，在文昌发射场顺利升空，开启了中国人的首次火星之旅。（除署名外，均新华社发）

行轨迹与测控指挥中心大屏幕上显示的理论飞行轨迹渐渐岔开，出了什么问题？

原本气氛热烈的测控指挥控制中心大厅，突然鸦雀无声，所有的目光都聚焦在那分岔越来越明显的曲线上。

航天发射所有的应急处置预案，就在01指挥员座位的后面，足有半人高。但火箭发射后是按事先装订的数据飞行，地面无法掌控。

火箭仍在加速，但方向不是预定的轨道，而是转向地面急坠！

346秒，传回来的各种信号均显示：长五遥二发射失利。

火箭都已经飞出大气层了，都346秒了，最令人痛惜的失败，就是那差一点点成功的失败！

难忘那908天，含泪跑过“至暗时刻”

“当时，我们谁都不敢肯定问题出在哪里！”黄兵说。

整整两天三夜，长五团队不分昼夜地在发射中心查找火箭故障的原因，但扑朔迷离，迷雾团团。

直到后来才查明，这次故障隐藏得特别深。发生故障的遥二火箭芯一级液氢液氧发动机的某个部件，与首次成功发射的遥一火箭使用的部件完全相同。同样的部件，遥一成功了，在遥二发射前地面所进行的几秒试车时也经受住了考验，其“完美”的状态导致现有的预警机制都未能激活，从而躲过了所有可能的改进尝试。

也许，这里只是一个概率问题。毫无疑问，它再真切不过地诠释了航天事业的“成功是差一点点失败，失败是差一点点成功”！

而航天一院人的信念是：运载火箭必须不帶任何隐患上天，我们交出的必须是精品火箭！

“长五人”带着重重疑问回京，步履沉重地走下航班的舷梯。出人意料的是，航天一院领导们依然到首都机场来迎接他们。与遥一首发成功回京一样，院领导们依然带来了长五团队信心的信任：别灰心，相信你们一定能找出失利的原因！

“当时我们的压力确实太大了！”

总指挥王珏说：“长五采用4个助推器，每个助推器有2台120吨推力的发动机，芯一级有2台77型发动机，芯二级有2台75D型发动机。这总共12台低温发动机，3个低温模块，它的飞行时序动作是我国现有的运载火箭中最复杂的，整个飞行动作要经过2200多个，进入到发射程序里面的关键设备达到数百台，箭上设备的数量，也是我国目前运载火箭最多的，达到数千台，零件、元器件达到数十万件。”

长五为什么一定要采用低温发动机？有“金牌火箭”之称的长三甲系列主要采用的是常温发动机，技术不是已经十分成熟了吗？

黄兵说：“推进剂通过发动机燃烧释放出来的能量比，称之为发动机的‘比冲’。使用液氢液氧低温发动机的比冲可以达到450s，而使用偏二甲肼、四氧化二氮等常规燃料的发动机比冲仅为270s，前者的比冲要高出自



▲两位“01指挥员”王光义和黄兵（右）在发射成功后合影。史啸摄

者近70%。而且液氢液氧无毒环保，不会对大气造成污染，对环境人友好。这就是现在世界主流的大型、重型火箭都使用低温发动机的原因。”

“遥二失利后回到北京后的3个月，我们团队几乎是没日没夜地查找故障原因。”黄兵说，“那时，我几乎天天看遥二最后的影像资料，每次都看得触目惊心，内心痛苦万分，但看着看着，觉得每次都不一样。”

分析、仿真、复现、验证……那3个月，长五团队几乎没人回家，每天晚上大家都工作到一两点钟，然后就在单位安排的宿舍休息，一早醒来又接着再干。

直到2018年三四月间，终于实现了长五发动机故障“归零”。但“归零”之后，还必须验证，于是用了好几台发动机进行点火试验。点火试验进行了4000-5000秒，都很顺利。

“2019年4月上旬，谁也没想到就在计划的发动机验证试验快结束时，我们突然发现某个振动数据有点复杂，不太‘干净’。当时就决定把它拆开，果然发现某个部件有极微小的肉眼都无法发现的裂纹。但谁也不知道一旦火箭高速飞行时，这个微小的扩展速度有多快。”黄兵说，“这个微小的裂纹对我们的打击太大了，我们不能带着一丝隐患上天。原定5月份队伍就要再赴海南，准备长五遥三的发射，这下发射又要推迟了。”

危难时刻，航天一院党委书记李明华临危受命，担任长五火箭的“第一总指挥”。这一岗位只有在航天任务面临巨大挑战时，才会增设。

经过大量的仿真分析和故障排查，2019年5月3日，研制人员终于找到了发动机问题的症结——一种复杂的类共振现象。要解决这个难题，就必须从结构上大改。

长五的研制，已经走过了10多年的历程。再要进行结构上的大改，谈何容易！第一总指挥李明华面对着艰难的抉择：推倒重来的大改就意味着重新设计、验证、生产，肯定能解决问题，但至少需要两年时间，将导致多项重大工程任务推迟；而局部改进的小改虽然省时间，但面临复杂机理，谁都没有百分之百的把握能彻底解决问题，这如何是好？

究竟大改还是小改？专家意见都不一致，研制再遇瓶颈。在方案讨论会上，通过对问题的仔细分析和综合权衡，第一总指挥李明华一锤定音——采用局部针对性改进的方案。他果决地说：“这件事是我定的，出了问题我负责；但是谁要是仍执行，谁就要对我

负责。”

在确定改进方案后，憋着一口气的长五团队真的“拼”了。仅用了28天，他们就拿出了原本需要半年时间的试验产品，并顺利通过了第一次考核。

2019年12月27日，长五遥三成功发射。真的演绎了一幕现实版的“王者归来”！

黄兵说：“现在回过头去换个角度想一想，去年4月发现的那道裂纹，真是老天对我们的眷顾。要是它也躲过了所有的地面试车，一旦正式发射了怎么办？侥幸心理是航天发射任务的大忌。”

发现了隐患不可怕，没有发现隐患才可怕！

发射成功了，没有太多时间庆祝

在重庆涪陵长大的黄兵，少年时代是调皮的，有时玩高兴了也会做出不着调的事情。初二那年，部队出身的父亲找他谈了一次意味深长的话，神情异常严肃。父亲没有打他，但当时的情景，他至今记得。“好男儿志在四方。”父亲顿了顿，“你这样下去怎么办？将来别立志在四方到外面去发展，就是在涪陵可能都难以立足，谁要你啊。”

就这么两句话，点醒了懵懂少年郎。从此他开始发奋学习，2002年他考上了中国航天科技集团第一研究院的研究生，正式踏进航天事业。

从我国的运载火箭研制史来看，动力系统试车是很少一次能够成功的。前些年，长五芯一级火箭氢氧模块首次试车。芯一级的直径是5米，长度超过30米，固定在试车台上，加注完成后，指挥员下令“点火！”发动机瞬间喷出长长的火焰，温度高达1000多摄氏度。

意想不到的，熊熊大火把发动机下面的“防火裙”点着了，现场很多人面面相觑，不知如何是好。会不会爆炸？李总很镇定，说：“继续！”但防火裙上的火烧越旺了，连外单位来考察观摩的领导都有些坐不住了，频频扭过头朝指挥席上看起来。

“我当时坐在李总边上，就问了一句：火势不小，继续还是关机？一般情况下，大概率会考虑关机。没想到平时温文尔雅的李总超镇定，说：‘坚持下去！’预定的400多秒试车计划终于如期完成。”黄兵告诉记者，“试车一结束，我们赶紧跑过去看防火裙和火箭尾焰，防火裙有好多层，里面的几层和火箭尾焰完好无损。如果我们紧急关机，整个大计划势必推迟。”

不畏难，不放弃，既要迎难而上，又要沉得住气。

今年7月23日，长五团队再次迎来历史性的时刻：将“天问一号”探测器送入奔火轨道。

黄兵仍是航天一院认定的长五遥四发射的火箭系统01指挥员。23日凌晨2点41分，“天问一号”发射启动-10小时倒计时。

-2小时左右，装有600吨左右的液氢、液氧燃料和助推剂的长五遥四，开始对发动机进行氢系统预冷。

发动机为什么要“预冷”？当天，海南文昌最高气温为34℃，当时发动机是常温状态的，也是34℃左右。这个34℃，是相对于我们“常温状态”的环境而言，但它相对于-183℃液氧和-253℃的液氢来说，可不是“常温状态”，而是如同烧红的铁板一样是“高温状态”。一盆水泼到烧红的铁板上会发生什么情况？水会瞬间汽化。-253℃的液氢，已经接近绝对温度，如果发动机不预冷，那在发动机点燃的瞬间，-253℃的液氢和-183℃液氧冲进“高温状态”的发动机，液氢液氧就会瞬间汽化，不仅发动机根本无法正常工作，甚至会直接影响箭体的安全。

-10分钟，低温推进剂继续补加，脱开整流罩的空洞管路。

-10秒，文昌发射场01指挥员王光义开始倒计时：“10、9、8、7……”

有网友说，“这发射程序其实计算机都算好了，即使最后01指挥员不喊‘点火’，不按按钮，火箭一样会发射。真是这样吗？”

“火箭的飞行诸元确实已经输入，但点火按钮仍是必须按的。”黄兵说，“否则，如果倒计时过程中，出现异常情况怎么办呢？”

随着“点火！”一声令下，长五遥四芯一级2台发动机和8台助推火箭发动机同时点燃。喷薄而出的烈焰为860多吨重的长五遥四火箭腾飞积蓄起巨大的能量，9秒后，近1070吨的巨大推力将火箭徐徐举起。

这激动人心的时刻，发射指挥大厅里的01指挥员在关注什么？

“我只能通过大屏幕看到火箭起飞后的数据，但仍能感受到从发射工位地面传来的微微颤抖。我们更关注影响火箭发射成功的‘必保参数’的状态。”黄兵说：“也就是长五的速度、高度，以及发动机的转速等等，这些关键数据都会传递到我们桌前的屏幕上，我们持续关注着这些数据是否正常。”

1分钟后，长五遥四消失在发射基地人们的肉眼视线里，只留下雷鸣般的轰鸣依然在回荡在海洋之上。

测控中心指挥大厅正中的大屏幕上，实时显示着火箭运行中的重要信息：2167秒，星箭成功分离，芯二级将“独闯天涯”的“天问一号”探测器送入奔火轨道。

在这长五遥四成功发射之夜，长五总设计师李东激情难抑，诗兴澎湃：我有擎天箭，巍峨刺青天。锋傲冲日月，铮鸣动河山。傲然临南海，磅礴天地间。今朝雷霆起，叱咤云端巅。昂首冲霄汉，腾身绝尘寰。赤焰卷八荒，吟啸九重天。扶摇十万里，巡看五千年。屈子曾何问，列星安陈星？今朝换日月，我辈愿先贤；欲考上下形，求索看航天，星河路虽远，我有中国箭！

“失败了，我们没有时间悲伤；成功了，也只能高兴一会儿，没有太多的时间庆祝。”李东说。

“天问一号”发射成功后，长五团队马不停蹄，又投入将在今年年底进行的嫦娥五号任务和明年年初中国空间站核心舱段的发射准备工作。

正在为新的发射而紧张准备的黄兵告诉记者：“长五的成功，意义不仅如此。中国航天科技集团已经开始研制长征八号运载火箭和长征九号重型火箭，使用的都是液氢液氧低温发动机。长五的成功，可为这两款新型运载火箭提供可借鉴的经验。”

长征九号，作为我国第一款重型火箭的推力有多大？

“重型火箭在地面的推力将会超过3000吨。”黄兵说。超过3000吨的推力，约长五推力1070吨的3倍，这让我们对它的威力和使命充满想象。

而长征八号，有望突破“可重复使用”的难关，使其发射成本在国际市场更有竞争力。

运载火箭的威力有多大，中国航天事业的舞台就有多大，中国航天事业的舞台就有多大。

成功打出了第二宇宙速度的“长五人”，不仅含泪跑出了“至暗时刻”，而且没有停下脚步，依然在向前的高度奔跑……

（谨向航天一院袁振、王伟童同志对本报的支持致以衷心感谢。）

制图：邢千里

