

十年磨一箭 开启新长征

经济日报·中国经济网记者 余惠敏

访
长征五号



长征五号遥一运载火箭11月3日发射成功了！这是我国运载火箭升级换代的里程碑工程，是我国由航天大国迈向航天强国的重要标志。这场成功的首秀背后，凝聚着多少汗水和故事？请看经济日报·中国经济网记者从中国文昌航天发射场传回的报道——

三十年，大火箭梦想成真

2006年长征五号火箭立项，距今发射成功经历了十年。这也是人们常说的长征五号“十年磨一箭”的由来。

但在2006年卸任的原国家航天局局长栾恩杰院士看来，中国的大火箭之梦，始于30年前。“在1986年3月启动的国家863计划中，中国科学家就提出了研究发展性能先进的大型运载火箭的目标。那时，我们就开始了大运载火箭的前期论证和攻关。”

为什么要发展大火箭？“大火箭意义巨大，大火箭时代的到来标志着中国航天的活动能力、活动范畴进一步扩大。”栾恩杰说，长五发射成功前，受到现役运载火箭3.35米箭体直径的限制，我国长征系列运载火箭地球同步转移轨道运载能力最大仅能达到5吨级，与12吨级的国际主流水平运载能力相比差距大，制约了我国空间技术发展。

“航天一甲子，长五三十年。老一代航天人眼光看得很远。”中国航天科技集团一院长征五号火箭副总设计师滕路亮说，今年是中国航天事业创建60周年，长征五号正是让航天人心心念念了30年的中国大运载火箭的奠基之作。

大火箭梦想从30年前开始，30年来，一代代航天人的智慧和汗水浇灌着这株梦想的幼苗，终于让它开花结果、美梦成真。

按照“发展航天、运载先行”“运载发展、动力先行”的原则，我国于2000年前后，先行启动了120吨级液氧煤油发动机和50吨级液氢液氧发动机研制攻关。

为提高我国运载火箭水平，提升自主进入空间能力，2006年国务院批准新一代运载火箭基本型长征五号立项研制。

据不完全统计，从2006年长征五号火箭立项至今的十年中，有上万航天人参与了长征五号的研制。

他们曾历经挫折，屡败屡战。

发动机是大火箭的心脏，对火箭的性能起决定作用。在长征五号火箭中，4台全新研制的氢氧发动机在一级和二级火箭上各装配了两台。8台全新研制的120吨液氧煤油发动机被装配在四个助推器上，产生的最高压强达500个大气压，相当于把上海黄浦江的水打到5000米高度的青藏高原。

“研制发动机的难度就像攀登珠穆朗玛峰。一些外国专家说，即使你们能设计出来，也不可能把它制造出来。”航天科技集团六院副院长周利民说。

面对全新的发动机，研制团队开始了夜以继日的科技攻关，几十种新材料、100多种新工艺一一被攻克。但让他们备受打击的是，发动机样机研制出来后，连着四次试车均遭失败：两次起爆爆炸，两次燃气系统烧毁。

之后，研制团队咬牙再战，经过近半年紧张艰苦的攻关，摸清了发动机试车失败的根源和发生爆炸的不同机理，通过仿真优化，选定了最理想的启动方案和程序，终于顺利完成试车。

他们矢志不渝，终获成功。

从发动机研制立项算起，历经16年艰苦奋战，长征五号完成全部关键技术攻关，研制生产各类产品近19000台套，累计开展近7000次、1000余项地面试验，全面提升了我军运载火箭的总体技术水平。

中国航天科技集团一院长征五号火箭副总设计师李东说，长征五号起飞推力超过1000吨，它的“首飞”成功标志着我国火箭的近地轨道运载能力达到25吨级、地球同步转移轨道运载能力达到14吨级、地月转移轨道运载能力达到8吨级，可与美、俄等航天强国的现役火箭最强运载能力媲美，把中国火箭送入世界主流火箭阵营。

大跨越，创新度高达九成

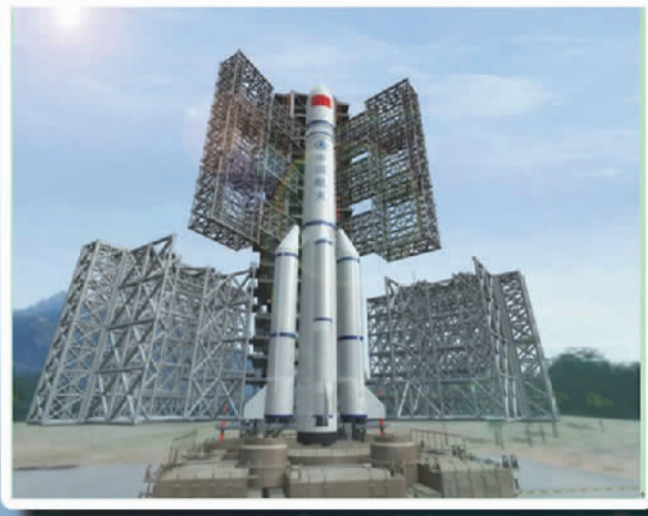
大块头有大力量。长征五号是我国体量最大的现役火箭，把我国的火箭箭体结构从过去的3.35米直径，一下子提升到5米直径。

这不是简单的增肥，而是意味着全面的创新。

总设计师李东告诉记者，长征五号运载火箭核心技术具有完全自主知识产权，全箭攻克了12大项、247个核心关键技术，新研产品比例达到90%，远超国际同

长征五号火箭研发大事记

- 2006年**
国务院批准新一代运载火箭基本型长征五号立项研制
- 2006年10月至2009年2月**
方案阶段（29个月）
- 2009年3月至2013年6月**
初样阶段（52个月）
- 2013年7月至2016年8月**
试样阶段
- 2015年9月至2016年1月**
长征五号运载火箭在文昌航天发射场开展发射场合练任务；
- 2016年8月**
长征五号遥一运载火箭完成出厂评审
- 2016年9月1日**
长征五号遥一运载火箭运抵海南
- 2016年11月3日**
长征五号遥一运载火箭在文昌航天发射场成功首飞



新一代大型运载火箭



类水平。“全新的总体方案、全新的设计结构、全新的动力系统，这么高的新研产品比例，不仅意味着研制工作量和研制难度的增大，更重要的是增大了风险。”李东说，“但我们必须攻克这些新技术，因为长征五号要实现运载火箭能力的跨越式发展，而不是小步提高”。

面对大跨越创新带来的高难度考验，航天人用耐心和智慧来应对。

长征五号采用无毒无污染的零下183℃的液氧和零下252℃的液氢作为推进剂，因此，它还有个形象的称谓——“冰箭”。这些超低温的液态推进剂分别贮藏在巨大的箭体贮箱之中，通过内部加压输送给发动机。

推进剂贮箱直径达5米，为减轻重量，箱体最薄的地方只有几毫米。研制这样直径的薄壁低温贮箱，对于中国航天人也是第一次，而且采用的铝合金材料也是全新的，这意味着以往小直径低温贮箱的研制经验无法复制。

2012年，长征五号研制团队遇到重大挫折，他们第一次做新研制的5米贮箱静力试验就遭遇失败。在给贮箱施加设计压力时，其焊接结构中出现了一道约300毫米的裂缝。

“如果飞行中出现这个破裂，整个箭体的结构会失稳，飞行就会失败，后果严重。”航天科技集团一院长征五号火箭副总设计师杨虎军说，研制团队经过长达三年的反复试验攻关，终于搞清了焊缝出现裂纹的机理和原因。通过改善受力设计和焊接工艺的综合办法，终于攻克了这个难题。

2015年4月，改进后的长征五号所有的低温推进剂贮箱都经过了压力考核，而且强度比原来提高了60%。

面对大跨越创新带来的高风险考验，忠诚和奉献精神熠熠生辉。

全新的火箭配套了全新的发射场。2007年8月，党中央、国务院决定在海南文昌建设我国新一代运载火箭发射场。2011年10月，首批创业者告别熟悉的工作环境，辗转千里奔赴海南，迎接他们的却是异常艰苦的环境。烈日高温、盐雾潮湿、台风暴雨、荒郊野路、毒蛇毒虫……困难再大，也无法阻挡参试人员追梦太空的脚步。他们很快适应了恶劣的环境，让一个个工程从图纸变成现实。

然而，参试人员面对的，不仅有巨大的艰苦，更有巨大的危险。长征五号火箭演

练任务中，在一次中止发射应急抢险时，火箭二级动力系统突发故障，氢箱测压管与箭上连接处有大量氢气喷出。白色气体在现场弥漫，氢浓度报警仪急促的报警声加剧了现场的紧张感。氢浓度测试值达到了100%，而氢气浓度超过4%即存在一触即爆的危险，即便微小的静电也可能引发爆炸。而此时火箭的液氢、液氧、煤油等燃料全部加注完毕，一旦爆炸必定场毁人亡，后果不堪设想。

指挥员下达在氢箱测压口安装堵头的命令。危急时刻，参试人员王磊和周仁坤冒着生命危险，迅速拆除氢箱测压管。管路拆除后，氢箱测压单向阀又泄漏大量氢气。王磊、周仁坤不顾个人安危，将氢排连接器手动拆除管路延长，一边对泄露处进行除霜，一边双手握紧金属堵头顶住向外喷射的氢气艰难地拧了上去。经过半个多小时艰难奋战，一场巨大的险情被成功化解。

新一代，目标是星辰大海

长征五号是一款面向未来的火箭。

中国工程院院士、运载火箭技术专家龙乐豪就对它的未来充满期待：“现役长征系列运载火箭的老祖宗是‘长征二号’，它是奠基性的，管了中国长征火箭将近半个世纪。长征五号是我们新一代长征系列运载火箭的奠基性型号，将来它也有资格成为老祖宗，也许它能管接下来半个世纪。”

这个老祖宗有哪些后辈呢？长征六号、长征七号火箭虽然首飞在长征五号之前，立项却在长征五号之后，是由长征五号工程牵引带动的。长征八号正在研制，未来的重型火箭长征九号也已开始验证。这一系列的火箭，都已经或将要受益于长征五号的研制。

国防科工局系统工程司副司长赵坚表示，长征五号严格按照“通用化、组合化、系列化”的设计原则开展工程各项工作，目前以120吨级推力液氧煤油发动机及3.35米、2.25米直径箭体模块为代表的多项新技术、新成果，有力支撑了长征六号、长征七号等新型运载火箭研制并首飞成功，还会推动我国现役3.35米直径运载火箭动力系统的升级换代。

作为新一代火箭的奠基之作，长征五号带来了新技术的广泛使用。

长征五号比以往任何一个型号的长征火箭都要复杂。以往长征火箭使用零部件

最多几个，而长征五号使用的零部件达十几万个。它的设计量是以往火箭的3.5倍以上。为应对这个新挑战，长征五号采用了全新的全数字化三维设计方法，细到每一个螺钉的大小和位置都能一目了然。“全数字化设计火箭不需要实物模装，在数字化三维模型上开展装配工作，又快又方便。”滕路亮说，包括数字化三维设计在内，长征五号采用的很多新技术、新材料、新工艺已用于长六长七，“一个型号研制成功，其他型号受益”。

作为新一代火箭的奠基之作，长征五号带来了火箭制造能力的全面提升。

在长征五号研制之初，我国当时已有的研制、试验以及发射场等地面基础设施已难以满足需求。为了长征五号的顺利研制，长征五号运载火箭工程队伍攻克了多项运载火箭大型地面试验技术难关，建成了亚洲规模最大的全箭振动塔、动力系统试车台、发动机试车台、中国文昌航天发射场及测控体系等多个大型地面设施，建立形成了集三维设计、先进制造、仿真试验、工程应用等诸多领域为一体的新型液体火箭及发动机研制能力和工业制造体系，为我国航天运载火箭领域创新发展奠定了坚实基础。

作为新一代火箭的奠基之作，长征五号也将让我国火箭走向更绿色、更经济的发展之路。

长征五号的50吨液氧火箭发动机采用液氢、液氧作为推进剂，燃烧产物为纯净水，是世界上排放种类最少、最绿色环保的发动机，是火箭先进性的重要体现。它的120吨液氧煤油发动机，也具备无毒环保、价格低廉的优势。

火箭的运载能力有多大，航天的舞台就有多大。长征五号正是新一代火箭的奠基者，它所带来的运载能力的提升，为我国航天事业提供了更广阔的空间。中国未来的载人空间站、探月工程三期以及火星探测，都将借助长征五号的巨大推力来实现。

中国航天人一直有着不断探索浩瀚星空的航天强国梦。60年前一穷二白开创中国航天事业时是这样，60年后的今天依然矢志不渝。栾恩杰院士说：“今年是长征胜利80周年，也是中国航天事业创建60周年。中国运载火箭以‘长征’为名，航天精神正是长征精神的延续和传承。”

长征五号这颗巨星登上了宇宙大舞台，将开启中国人探秘宇宙的新长征！

在中国文昌航天发射场的总装车间里，聚集着一群年轻人，他们或是负责火箭的装配与测试，不允许有一丝一毫的疏漏；或是负责把关火箭的质量安全，决定火箭能否出厂、能否飞天。他们以满腔热情投身国家的航天事业，为成为一名合格的航天人而不懈努力。

近日，“长征五号”运载火箭首飞试验队总装中队的年轻队员们接受《经济日报》记者的采访，讲述新一代大推力火箭背后的年轻力量。

8月26日上午，我国新一代运载火箭“长征五号”的首飞火箭集装箱全部登上远望号火箭运输船，从天津港解缆起锚，运往海南文昌航天发射场。

经过6个昼夜的航行和复杂海况环境的考验，火箭运输船于9月1日安全抵达海南文昌清澜港码头。随船而来的还有参与此次押船任务的“长征五号”火箭首飞试验队总装中队队员王津，“起航后，船就遇上了台风，巨大的风浪让我出现晕船症状。而除了领队，4名队员都是第一次参与押船，缺乏经验。多亏了带队老师的一路关心，用积极的心态感染着我们，鼓励我们要坚持完成此次押运任务。”王津说。

缺乏经验，一直是对年轻人最大的考验。负责火箭二级箭体组装工作的队员崔鑫，就对曾在文昌发射场靶场经历过的第一次火箭捆绑合练记忆犹新，“与现役火箭的捆绑方式不同，新一代火箭的装配工艺只能靠我们不断地尝试和摸索，积累经验。”相较于其他型号一般6至7个小时的捆绑时间，“长征五号”火箭的第一次捆绑合练持续了近24个小时。崔鑫回忆，“凌晨时分，大家仍在距离地面逾40米的位置进行高空作业，只有趁着工作间隙，队员们才能依偎着楼道的墙面稍作休息”。

“加油！加油！”响亮的口号此起彼伏，年轻的队员用鼓励的话语支撑着彼此。“大家很累，但当调换人员吃饭的时候，大家都不想走，咬着牙也要多分担一些。”崔鑫告诉记者，通过前期的摸索和试验，团队针对新一代火箭的捆绑用时已有效减少50%，专业水平显著提升。

火箭装配工作常常不分白昼与黑夜，队员们要和时间赛跑，为的就是“勤能补拙”。“从天津来到文昌发射场后，我们还专门邀请一些专家给队员们讲解火箭总装知识，就是为了帮助大家尽快成长。”队员秦晓飞向记者介绍，队里成员工作经历最长的不过四五年，大多数人都是刚从大中专院校毕业，直接被分配到火箭装配操作一线的，“最小的成员才22岁，他们在学校里学得技能，但对火箭知识的了解相对欠缺”。

除了业余时间的“补课”，中队的“晨会”每天风雨无阻。“无论天气好不好，我们都在一天的工作开始前召开晨会，指明当日工作的重点难点，强调团队纪律和安全，并把全天的工作任务有计划地安排下去。”中队调度主管刘庆龙说，“每天早晨7点，队员们赶到食堂吃上最早一餐饭，并坐上第一批班车前往基地，为的就是尽快开晨会，分配任务”。

“火箭总装工作不像流水线生产可以实行三班倒模式，火箭系统庞大而复杂，任何一次交接都可能造成质量的漏洞，因此，我们还安排了三检机制，通过自检、复检和专检环环相扣，保障火箭的质量安全。”刘庆龙介绍，每日工作结束后，团队还召开班后会，总结一天的工作。

“长征五号”运载火箭首飞试验队总装中队是一支年轻而有朝气的队伍，团队共81人，平均年龄还不到27岁。在中国火箭总装领域国家级技能大师崔鑫的眼中，这帮孩子吃过的“苦”，加快了他们从初步成为一名航天人的蜕变。他说：“中队人员多、经验少，而火箭的总装工作进度不断加快，难度有增无减，对这群孩子的要求自然越来越高。”

“还记得‘长征五号’火箭箭体运至海南清澜港卸船改走陆运时，突然一阵倾盆大雨，现场除了我们的队员，其他人能躲则躲，集装箱悬置在空中，距离运输车不到1米的距离。队员们依旧扶着箱子、拽着绳子，没有丝毫退缩。”谈起这段往事，崔鑫的话语里透着满满的肯定，“不到5分钟的时间，每个人都淋得像落汤鸡，当箭体全部安全落至车上后，大家才安心撤离”。

从2006年国家正式批准立项研制，到发动机试车、总装，再到运往发射场后的蓄势待发，“长征五号”运载火箭的每一步都牵动着国人的神经。10年过去，“长征五号”运载火箭工程组建了全新的研发队伍，并在老一辈科学家的悉心指导下，培养造就了一支新一代运载火箭技术研发创新和研制试验的高素质人才队伍，35岁以下的研制骨干占比近80%，为我国新一代运载火箭的快速健康发展注入了源源不断的生机活力。



海南文昌航天发射场内，长征五号运载火箭首飞试验队第四中队在接受采访。本报记者 郭静原摄