



“胖五”创新何其多

经济日报·中国经济网记者 余惠敏



长征五号是长征系列火箭中第一个直径达到5米的大胖子，被火箭研制者们亲切地称为“胖五”。想知道这个外表憨厚的“胖五”有哪些精巧有趣的技术创新吗？请看经济日报·中国经济网记者从中国文昌航天发射场发回的报道——

新型动力 绿色环保

“胖五”作为我国目前最大推力的运载火箭，其最大亮点就是拥有强大的绿色环保“中国芯”——三型两种新型火箭发动机。它们就是2001年立项的50吨级液氧发动机、2006年立项的9吨级膨胀循环液氧发动机和2000年立项的120吨级液氧煤油发动机。这是航天科技集团六院“长征五号”新动力研制人员历经20余年创新攻关交上的优秀答卷。

三型发动机各有特色。50吨液氧发动机是“胖五”的芯一级主动力，是我国首台大推力、高性能、地面起动力直接入轨的液氧发动机，由两台独立工作的单机通过机架并联构成，地面推力达100吨，具有完全自主知识产权，100%国产化，综合性能达到国际先进水平。它的研制成功，填补了我国大推力液氧发动机空白，使我国液体火箭推进技术的整体水平跨上一个大的台阶。

膨胀循环液氧发动机在工作过程中，全部推进剂都能无损失地燃烧产生推力，性能高，也因此被业内称为“最优动力循环”。作为“胖五”的芯二级主动力发动机，9吨级膨胀循环液氧发动机采用先进的闭式膨胀循环系统，且可以通过多次启动助推火箭进入地球转移轨道。它的研制成功，标志着我国上面级液氧发动机达到了世界先进水平，实现了重大技术跨越。研制过程中获得了超高转速液氧泵技术、主动引射高空模拟试车技术等为代表的一批具有自主知识产权的先进成果。

“胖五”的助推级采用了120吨级液氧煤油火箭发动机。这款发动机是我国单管推力最大、技术最先进、应用前途最广泛的新型动力装置，该发动机的研制，填补了我国补燃循环液氧发动机技术空白，使我国成为继前苏联之后第二个掌握高压补燃循环液氧煤油发动机技术的国家，实现了从常规有毒推进剂开式循环液体推进技术至绿色无毒推进剂闭式循环液体推进技术的巨大跨越。以液氧煤油发动机为主动力的长征五号新一代系列运载火箭，运载能力与国外最先进的“阿里安5”“宇宙神5”“德尔塔4”“安加拉”运载火箭达到同一水平。

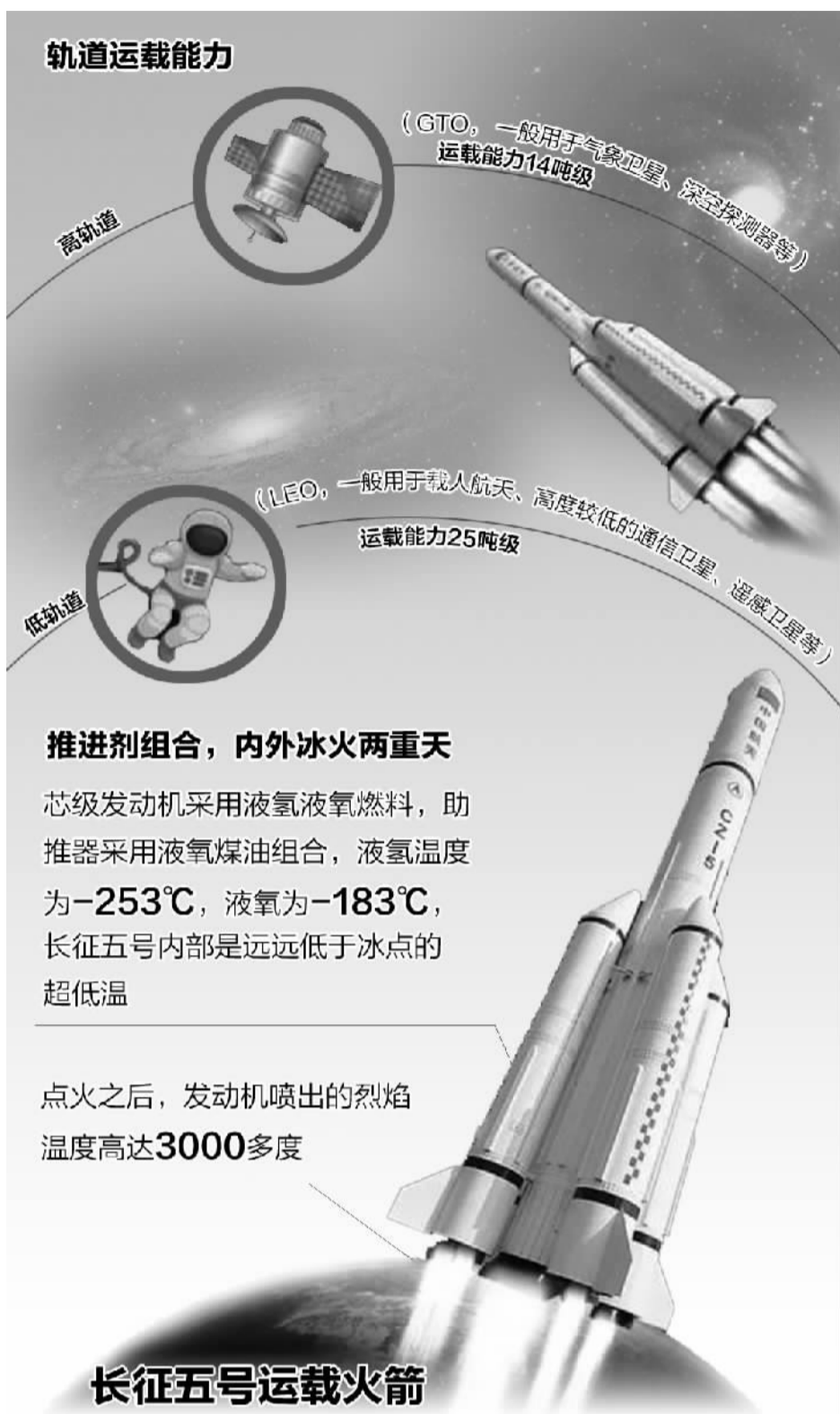
“薄皮大馅”坚不可摧

长征五号运载火箭这个大胖子，身高约57米，起飞时体重约870吨。大家肯定会觉得，“胖五”外壳必须特别厚重，才能足够坚固。可是你知道吗？火箭壳体“蒙皮”厚度是毫米级。

火箭的外壳专业术语称为“蒙皮”。“蒙皮”的主要材料为铝合金，这种材料强度高、耐腐蚀、重量轻、成本低，在长征三号甲系列、长征二号F等火箭飞行过程中综合性能最好，是做“蒙皮”的最佳选择。其中最重要的一点是，铝合金材料轻，可以为火箭减轻重量，人们形容火箭是“薄皮大馅”，“蒙皮”薄了，就可以装更多的燃料，“举”起更重的卫星。

火箭要外壳轻薄，更要坚不可摧。为此，航天科技集团中国运载火箭技术研究院的设计人员在设计时，会在“蒙皮”内部用一个个框环和桁条组成一个圆柱形的框架，把框架与蒙皮铆接在一起，组成火箭的壳体。该院火箭壳体结构设计师邵英翠介绍：“火箭‘蒙皮’很薄、很软，但根据受力分析进行科学计算、结构优化后，用铆钉把‘蒙皮’和框架固定，每一壳段有上千个铆钉，就保证了整体结构的强度和刚度。”

当然，如果“蒙皮”过薄，靠不断加密内部框架来保证坚固性的话，反而会使体重增加，达不到预期效果。因此，设计人员要计算出蒙皮和框环、桁条的最佳配比。随着技术不断进步，设计人员计算得越来越精确，火箭结构也越来越优化，“蒙皮”的厚



轨道运载能力

高轨道 (GTO, 一般用于气象卫星、深空探测器等) 运载能力14吨级

低轨道 (LEO, 一般用于载人航天、高度较低的通信卫星、遥感卫星等) 运载能力25吨级

推进剂组合，内外冰火两重天

芯级发动机采用液氢液氧燃料，助推器采用液氧煤油组合，液氢温度为-253℃，液氧为-183℃，长征五号内部是远远低于冰点的超低温

点火之后，发动机喷出的烈焰温度高达3000多度

长征五号运载火箭

度也随之变得越来越薄。

箭体结构设计人员李操说：“在满足箭体刚度和强度的前提下，火箭壳体薄了，整个火箭的重量就减轻了，既能保证有效载荷，也让火箭飞行得更完美。”

邵英翠说：“以‘长五’火箭为例，火箭整流罩的‘蒙皮’面板厚度只有0.3毫米，在相同刚度下，火箭壳段的重量将减少10%以上。”

“冰箭”不冷 三层防寒

“胖五”也称冰箭，因为它肚子里装满深低温液氢液氧燃料，其中液氢温度达零下253摄氏度、液氧达零下183摄氏度。

火箭体内90%以上都是这种深低温燃料，但火箭并不冷，外表面温度依然可以保持在0℃以上，这是因为火箭的燃料贮箱外都穿着“防寒服”，让火箭内部的仪器、设备、电缆等正常工作。

“防寒服”有里外面共3层，一共不到30毫米，却是给火箭保持体温的利器，“冰箭”不冷全靠它。“防寒服”中的“棉花层”不能直接涂在贮箱金属表面，因为贮箱受冷收缩时，“棉花”层因收缩性能比金属小会导致脱粘，影响保温效果。所以，它有“里”有“面”。

“防寒服”的“里”是一层胶粘剂，不到1毫米厚，比“棉花”层更适应金属材料的热胀冷缩，且摩擦大，能同时与金属材料的反应而成。航天科技集团中国运载火箭技术研究院703所隔热材料设计师申雄刚介绍，这近10种材料分成两组，都是液体，就像“哥俩好”胶水一样，一旦混合，会在10

秒钟之内发生发泡反应、固化成形。

“长五”火箭“棉花”层与其他火箭不同，因为选用了新型发泡材料，其他材料的比例等也变了。申雄刚说，材料研制人员为此做了千余次试验，研究新型“棉花”层的性能。

数字总装 自动合体

过去，我国运载火箭芯级的贮箱、箱间段“合体”靠手动完成。现在，“胖五”大火箭却实现了数字化总装、“自动”对接。

过去，我国现役运载火箭芯级的最大直径是3.35米，贮箱长10米左右，它们的贮箱、箱间段“合体”时，需要有人用肉眼辨别贮箱和箱间段的对接处是否吻合，再由多名总装工人手动调整贮箱和箱间段的位置和姿态。但“胖五”的贮箱直径5米、长20米、重5吨，“眼看、嘴喊、手工推”的老办法不管用了，不仅费时费力，难以实现精确对接，还可能给大火箭造成损伤。

2012年，航天科技集团中国运载火箭技术研究院所属的天津火箭公司成立了集合多名“精兵强将”的“智能制造总体技术组”，负责数字化总装对接装备的研制和技术攻关工作。

人们设想着：用测量系统代替人的眼睛观察箭体位置和姿态；用控制系统代替“喊号手”处理测量系统的数据，并向机械设备系统传送控制指令，让机械设备系统调整箭体位置、姿态，完成对接。

攻关开始后却冒出了“拦路虎”。数字化总装对接技术负责人李新友回忆说：“由于贮箱是‘弱刚性’部件，在停放和调姿时，可能会因机械设备系统的挤压而受损。同时，由于箭体质量重达5吨，研制人员还要考虑机械设备的承重问题。作为总装对接装备的‘大脑’，控制系统要向机械设备系统的各‘关节’发号施令，而每个‘关节’的动作又不相同，这就加大了控制系统的压力……”

技术组的研制人员一方面创新思路，一方面积极与相关科研院所、高校、生产单

位展开协同，最终成功“斩虎”。2013年底，他们完成了测量系统、控制系统、机械系统的生产及验收，并开展相应的试验和改进工作。

2016年春，长征五号首飞箭的总装工作全面铺开，经过反复“练兵”后，大火箭芯一级的数字化总装对接顺利完成。

李新友说：“大火箭芯一级贮箱告别‘手动合体’，让我们完成了火箭制造工艺的升级，标志着我国成为继美国等航天强国后又一个掌握数字化总装对接技术的国家。”

仿真试验 又快又省

“胖五”采用了全数字化三维设计方法，这让它的研制过程又快又省。

“台上一分钟，台下十年功”，研制人员通过先进的“数字试验”技术，在真实试验前，早已进行了成百上千次的“预演”。

一台投影仪、一个幕布……这种在会议室才常见的设备，却是技术人员进行“数字试验”设计演示的常用工具。试验件运输、吊装、装配……逼真的试验件、清晰的试验流程，“数字试验”呈现的是一组组视频动画。可有时不足一分钟的动画，却要花上试验人员好几个月的时间。

“关键在计算！要保证仿真试验的可信度。”航天科技集团中国运载火箭技术研究院的试验人员说。以前，试验准备经常是依赖经验、靠想象。可现在，全凭计算和仿真。试验怎么做，要像演电视剧一样，试验人员得提前“写剧本”。

技术人员说，长五火箭个头儿最大，它的很多地面试验几乎都是全新的。就拿长五火箭全箭模态试验来说，芯一级和助推器“进塔”不光是个力气活儿，更是个技术活儿。虽说全箭振动塔几乎是长五火箭“量身打造”，可火箭要想一次进塔成功，试验人员得巧妙地“排兵布阵”。

通过动画，能够看到1、2、3、4号助推器“四兄弟”谁先进、谁后进，得根据塔高、宽、长排序。甚至连助推器是“头”先进还是“尾”先进、吊装倾斜角度等这些细节，都要靠试验人员通过计算来确定。

真实试验中，长五火箭一次进塔成功。如果没有预先进行的“数字试验”，这一路不知会有多少磕磕碰碰，甚至反复。

技术人员说，“数字试验”不光是对试验进行预演，更重要的是还能“预见”试验可能发生的故障，让问题提前暴露，提前解决。在一次次试验预演、实战中，“数字试验”技术不断优化，为长五火箭等新研型号的地面试验“一次成”发挥了重要作用。

全景天窗 通讯畅通

过去，我国在役火箭的整流罩都是金属铝“三明治”结构，上下两层金属铝板，中间夹层是蜂窝结构，这使得内部的卫星信号受到金属“屏蔽”，卫星在里面无法与外界通讯，必须在整流罩上开个“天窗”，用其他透波材料打个“补丁”，才能保持卫星与地面通讯畅通。

而长征五号火箭整流罩，创新性地采用了全透波结构，让原来的“小补丁”变成了整个整流罩，就像给卫星信号开了“全景式天窗”。

航天科技集团中国运载火箭技术研究院长征五号火箭结构设计师戴政介绍，长征五号火箭整流罩直径5.2米，透波材料的泡沫层厚度只有近30毫米，全整流罩厚度必须控制精准，才能保证结构稳定性和可靠性。

这给生产带来了大难题。戴政比喻说，泡沫结构要在两个模具中填充成型，生产时，就好比要在两个摆起来的大勺子中填充奶油，要保证奶油厚度一致，两个勺子间间距控制必须精准，否则成形后的产品就不合格。为此，生产车间进行了几个月的攻关才完成生产，这也换来了卫星的高质量通讯。

不仅如此，戴政说：“过去，卫星不同，整流罩上‘开天窗’的位置、结构就不同，没有通用性，现在的‘全景式天窗’不用考虑‘开天窗’问题，通用性强，后续设计和生产效率都将得到提高。”

作为新一代火箭的奠基之作，“胖五”全身上下、里里外外都是“新”的。它应用的先进核心技术多达247项，记者所讲述的只是其中一小部分。正是因为有了这样永不满足的创新精神，在星辰大海的征途上，中国人的太空探索梦想才能一步步变成现实。

长征五号运载火箭首飞成功后，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，终于迈进近地轨道运载能力超过20吨级的国际主流现役大运载火箭“朋友圈”。

这个“朋友圈”里已经驻扎了哪些“老朋友”呢？

德尔塔4

德尔塔4型运载火箭来自美国，其近地轨道有效载荷约22吨，地球同步轨道有效载荷约13吨。制造商是波音(BDS)、联合发射联盟(ULA)。

德尔塔4型重型火箭是美国现役并已执行任务的最大型运载火箭，2004年12月首飞成功，今年6月完成了它的第10次发射。这种火箭可以将最多28.79吨的有效载荷送入低地轨道。另据报道，它还能将11吨重有效载荷送上月球，将8.8吨有效载荷送入火星轨道。德尔塔4型重型高235英尺(约合72米)，是美国现役最高的运载火箭。

宇宙神5

宇宙神5号火箭也来自美国，近地轨道有效载荷19.8吨，地球同步轨道有效载荷9吨。它又被译为阿特拉斯-5型运载火箭，是洛克希德马丁公司所研制的火箭(现由洛克希德马丁与波音公司研制，隶属联合发射同盟)，航空喷气公司则负责宇宙神5型运载火箭固态辅助火箭的研发及制造。

宇宙神5型运载火箭为宇宙神系列运载火箭中的最新型号，2002年首飞成功，迄今已发射超过30次，最多曾将25吨重的太空船送入太空。

阿丽亚娜5

阿丽亚娜5(也译为阿里安5)型火箭来自欧洲，包括基本型和改进型，近地轨道有效载荷可达21吨，地球同步轨道有效载荷可达10.5吨。

阿丽亚娜5型运载火箭根据商业发射市场和近地轨道开发利用的需要研制，是20世纪90年代由欧洲率先研制成功的世界上第一个“少级数、大直径”的大型运载火箭，是欧洲研制的一次性运载火箭阿丽亚娜系列火箭中的最新型号，主要作用是将来卫星发射到地球同步轨道或低地轨道。

阿丽亚娜5型火箭1996年6月首飞失败，1997年10月第二次鉴定发射获得成功。截至2012年8月共发射60次，成功56次，失败4次。

安加拉-A5

安加拉-A5火箭使用液氧煤油燃料，该火箭推力980吨，200公里近地轨道载荷25.8吨，地球同步轨道载荷2.8吨。它于2014年12月23日首飞成功。

安加拉是前苏联解体后俄罗斯研发的首个运载火箭系列，自1994年起由俄赫鲁尼切夫国家航天研究和生产中心负责研制，这一火箭系列包括轻、中、重型三个级别，目前可将1.5吨到25吨的有效载荷送入近地轨道，将最多约7吨有效载荷送入地球同步轨道。未来还可能研发有效载荷达到35吨的“安加拉-7”。

俄打算用“安加拉”逐步替代目前俄商业发射的主力——采用有毒燃料的“质子”运载火箭。

H-2B

H-2B运载火箭来自日本，近地轨道有效载荷19吨，地球同步轨道有效载荷8吨。

H-2B大型火箭由日本三菱重工业公司制造，是目前日本最大型的火箭。H-2B火箭是日本大型主力火箭H-2A的升级版。H-2B火箭长56.6米，重531吨，是使用液氧和液氢为推进剂的二级式火箭，2009年9月首飞成功，2013年、2015年两度发射无人货运飞船“鹤”前往国际空间站。

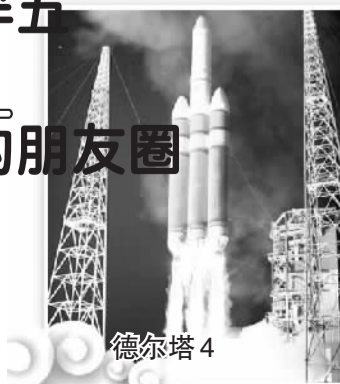
数完了“胖五”的朋友圈，你会发现，长征五号火箭已经将中国的大运载能力带入世界主流。“胖五”这个长征火箭家族中最大的大力士，将会帮助我国航天员完成嫦娥五号的探月采样返回、中国空间站建设、火星探测等需要大推力火箭的重大任务。

“胖五”之后，我们还将有更胖的“胖九”——我国正在论证的新一代重型火箭长征九号，目标是百吨级的近地轨道运载能力，与曾经完成过载人登月发射重任的美国土星5号运载火箭运力相近，将可能被用于中国未来的载人登月任务。

(余惠敏)

本版编辑 郎冰 闫静

胖五的朋友圈



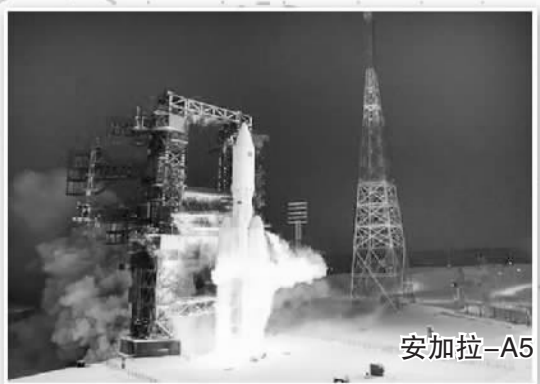
德尔塔4



宇宙神5



阿丽亚娜5



安加拉-A5



H-2B