读+
周刊
8 长江日报
2026年8月4日 星期二
责编:马梦娅 美编:陈昌
版式:陈笑宇 责校:正杰

清华大学博士、宇石空间创始人唐文:

火箭快速回收复用,商业航天才能跑通闭环

□长江日报记者翟晓林



2026年7月10日,长征十号乙运载火箭一子级在海南成功回收。 新华社记者邢广利 摄

2026年年中,太平洋两岸各迎来一场商业航天行业的重磅事件。

6月15日,SpaceX(美国太空探索技术公司)表示,公司通过首次公开募股(IPO)筹得约857亿美元,创全球纪录。其上市后市值一度冲破2万亿美元,回调后仍超1.4万亿美元。

7月10日,长征十号乙运载火箭(以下简称"长十乙")将卫星送入预定轨道后,火箭一子级成功回收。这是我国首次成功实施运载火箭一子级可控回收,也是全球首次实现运载火箭海上网系回收。中国成为美国之后第二个掌握火箭回收技术的国家。

距SpaceX首次成功回收一级火箭和中国进入商业航天"元年",已经过去了11年。11年前在中国运载火箭技术研究院关注着SpaceX的唐文,2018年离开"国家队"进入商业火箭领域,2024年创办了商业火箭公司宇石空间,现已造出AS-1型号中型火箭,正等待发射排期。

经历了中国商业航天发展全历程的唐文清醒地认识到,要尽快抢占太空主动权,发展商业航天,首先必须在火箭快速回收复用上破局。



宇石空间创始人、首席执行官唐文。 宇石空间供图

太空资源有限,要及时"卡位"

我们生活在地面,但一直享受着卫星等太空基础设施提供的服务,如通信、定位、授时、导航、救援……

今年7月,受台风持续影响,遭遇特大暴雨,南宁横州市一些乡镇陷入"断路、断电、断网"的极端状态。最早一批抵达灾区的,是搭载信号设备的翼龙-2应急通信无人机。在地面网络彻底瘫痪时,卫星通信成为唯一不受影响的天基通道,为受灾群众和救援人员搭建起"通信生命线"。

太空的频轨资源又是有限的。据《人民日报》今年4月披露的数据,我国在轨卫星数量超过1200颗。而在最热门的、离我们500公里高度的近地轨道,3年内SpaceX已经用猎鹰9号火箭发射了超过10000颗卫星。

太空资源极具战略价值,若不及时"卡位",就会丧失主动权。

按照国际电信联盟申报规则,卫星频轨资源"先到先得"。去年底,我国一次性提交了超20万颗卫星频轨资源申请,但唐文说:"运力严重不足。"

他认为,可回收火箭的低价快速复用是破局的关键。"首先,能发射多少卫星取决于我们有多少火箭、多大运力。其次,卫星业务最后实际能做多少,取决于火箭发射成本和星座建设成本的平衡。所以对于火箭公司来说,价格要足够便宜、运力足够大。跨过这两点,才能真正让卫星业务也爆发,也赚钱。"

工程师创业,直奔心目中的"最优解"

"我们公司的底色是工程师文化。造火箭的人,其实就是宇宙的工程师。"不同的箭体结构、动力燃料与回收方式,可以组合出多种造火箭路径,将唐文、田继超和朱新文三人聚到一起创业的,是SpaceX星舰示范出的那一条:不锈钢火箭+液氧甲烷动力+"筷子臂"捕获回收方案。

这不是盲目跟随,而是通过严密业务逻辑得出的、他们心中的最优解。

埃隆·马斯克的儿子曾问,打造星舰的原材料是什么?马斯克回答:"是不锈钢,跟造锅造铲用的材料没什么两样。"为什么用不锈钢?唐文解读,将铝合金换成不锈钢,造火箭更便宜,也可以把产量和运力做得更大。

不锈钢材料价格仅为航空航天级高端铝合金的1/4,熔点也更高,有更高的高温强度极限。不锈钢材料的工业化体系成熟,适合量产,也有利于把火箭做大。SpaceX基于不锈钢路线,把火箭做到9米级直径,验证了这一路线。

运载火箭的推进剂有固体和液体两种,液体推进剂的主流方案是液氧煤油和液氧甲烷。液氧煤油燃烧后会形成积碳结焦,清理发动机后火箭才能继续使用;而液氧甲烷燃烧后在发动机上的残留物极少。

液氧甲烷与不锈钢箭体组合,还能让火箭变得足够轻、足够薄:甲烷在液体状态下的温度为零下100多摄氏度,此时不锈钢的强度会比常温下显著提高且不易断裂,因此可以将不锈钢的厚度适当地做薄。

成熟的火箭回收方案主要有两种,与猎鹰九号的着陆腿回收方式比起来,星舰的机械臂捕获——"筷子夹火箭"(也称"筷子臂"捕获)成本优势明显。着陆腿方案,因火箭全程携带着陆腿,大约会损失4吨运力。"筷子臂"使用次数不少于1000次,单次使用成本约2万元;着陆腿制造成本平均1200万元,使用次数约20次,单次使用成本为"筷子臂"的30倍。根据星舰的验证情况,"筷子臂"复用速度可达到小时级,而着陆腿回收涉及复杂的检修维护,复用速度难以突破20天。此外,着陆腿只实现了一级火箭回收,而星舰的"筷子夹火箭"已成功回收一级火箭,未来还有清晰的回收二级火箭的计划,成本将进一步压缩。"筷子夹火箭"方案的唯一缺点,是技术难度太高。

2024年创立宇石空间前,唐文、田继超和朱新文三个人同时认定了"不锈钢火箭+液氧甲烷动力+'筷子臂'捕获回收方案"这条技术路径,想直奔心目中的"最优解"。但当时的商业火箭公司已有成熟路线,转向很难,也无法同时投注两条路线。他们决定自己干。

直面商业逻辑,提供一流太空基建服务

宇石空间的三位创始人,两个"80后",一个"90后"。唐文本人是清华大学本硕博,曾完整经历长征5号、长征7号研制,是动力和结构工程师。田继超是不锈钢火箭总体设计专家,"90后"朱新文熟悉不锈钢火箭结构和捕获臂技术。

进入商业航天领域,考验的不只是科研能力,还有工程化水平。

比较典型的是开发方式上的区别。"国家队"模式是严谨的线性、顺序型开发,前一阶段完全结束后,才能进入下一阶段;SpaceX选择的是迭代设计;宇石空间走的是两者混合路径。

唐文说,不锈钢材料原本就更适合迭代设计。"火箭的某个部位,我们完成设计后,在测试时发现这里有问题,可以随时打补丁随时改,让整个测试继续往前走,而不用一切推倒重来。"但非不锈钢的部分,目前还是适合线性设计。

商业航天,最重要的是"商业",唐文始终认为,运力基础设施没有做好时,无法去谈未来的场景。

他分析,今天中国大火箭的运力成本,大概在每公斤五六万元人民币,小火箭更高。一年发射几千颗卫星的目标在这种运力成本下难以实现。

这让他想起学生时代用宽带,1兆流量就要花约1元钱,大家的付费意愿不高,所以那时它形成不了大规模的商业应用,商业模式就跑不通。

他认为,未来5年,如果能把运力成本降到2万元/公斤,中国版的互联网通信卫星就具备了真正商业闭环的基础。未来5到10年,运力成本进一步下降到5000元/公斤,就可以开始做太空算力。未来10年左右,运力成本能够进一步下降到500元/公斤,深空探测、太空采矿就会真正进入商业化阶段。

唐文说:"从物理规律来看,移民火星不是天方夜谭,没有什么不可突破的规律限制。不过从公司的愿景来看,我们目前还没有想得那么远,更切近的愿景是'提供一流的太空基建服务'。"

为了这一目标,宇石空间正按计划推进AS-1火箭的首飞,并争取在2028年将火箭发射价格做到2.5万元/公斤。

『你咋还不上天呢』

□王永芳

两年前《读+》曾报道中国空间站"越住越大",我们曾戏谑发问"你咋不上天呢?"那时"上天"像举国托举的远行,是航天员与科学家们的专属。那时,我们关心"天上的家"能住几个人、能做多少实验,关心"感觉良好"和"北京明白"的一问一答。

2026年再问这句话,语境有点不一样了。火箭——目前唯一能把人类送出大气层的交通工具——有了新的进展。

今年上半年,中国航天发射44次,其中商业发射任务占30次,商业火箭发射17次。到7月10日,长征十号乙在海南商业航天发射场成功首飞,并实现一子级海上网系回收,这是全球首次采用网系捕获方式完成火箭回收。中国商业火箭,拿到了可重复使用的"入场券"。

"上天",正从少数人达成的梦想,变成全民可以展望的愿景。

太平洋彼岸,SpaceX正在建造一个"iOS"式的太空帝国。从火箭发动机到卫星芯片,全部自研自产——封闭、垂直、一体化。

而中国商业航天的起点不同。据统计,截至2026年,中国具备火箭总体设计与研制能力的公司共50家,没有谁拥有垄断性优势。

于是,一条截然不同的道路浮现出来——"太空安卓"。

提出这个比喻的,是商业火箭公司宇石空间创始人唐文。这位清华博士、曾完整经历长征五号和长征七号研制的"国家队"成员,在2024年创业时选择了这样一条路——构建一个开放、共享的低成本太空运输基础平台。简单地说,就是让火箭像安卓系统一样,成为一个开放的底座,让产业链上的每一家都能参与、受益、共建,最终让太空基础设施像智能手机一样普惠可用。

SpaceX的模式是"什么都自己造",供应商很难参与核心环节。而"太空安卓"的模式是:火箭公司做系统集成和总体设计,把大量核心部件交给产业链上的合作伙伴来做。如果每个火箭公司都要从头研发发动机、航电、材料,整个行业的发展会慢如蜗牛。开放供应链,意味着大家可以共用成熟的工业底座,把精力花在系统集成和差异化创新上。

一句话总结:SpaceX是"我把所有事都做了,你只管付钱";"太空安卓"是"我搭好台子,大家一起唱戏"。

唐文说,移民火星不是天方夜谭,没有什么不可突破的规律限制。不过公司更切近的愿景是"提供一流的太空基建服务"。为了这一目标,宇石空间争取在2028年将火箭发射价格做到2.5万元/公斤。

两年前我们畅想"天上的家",今天的商业火箭企业正努力降低"车票"的价格。

如果说"国家队"做的"航天"主要是使命,那么,商业公司做的"航天"偏重于生意。而生意需要的是价格、效率和开放。商业跑通了,生意挣钱了,"上天"也就容易些了。

这或许是"你咋还不上天呢"这个问题的新答案。

访谈

要让太空基础设施像智能手机一样普惠可用

把火箭从科研项目做成运力基础设施

读+:您为什么会进入商业火箭行业?

唐文:一方面是因为看到了SpaceX(美国太空探索技术公司)的成功。

2015年,SpaceX首次成功回收一级火箭,对我有很大的触动。当时在国内,基于过去航天飞机带来的历史经验(指美国国家航空航天局的航天飞机项目,它想实现"可重复使用"路线,但因其昂贵的成本和极低的可靠性,给全球航天业留下了惨痛教训和心理阴影,记者注),大家对火箭回收这件事半信半疑,觉得并不能达到降低成本、高频次发射的目标。这种态度到2017年发生了改变,因为SpaceX真正实现了轨道级火箭复用,朝着既定目标稳步推进。

另一方面是源于一种很朴素的认识:去商业火箭领域,会做出跟在"国家队"时不一样的东西——这意味着我可以跳出传统模式,挑战把火箭从单纯的科研项目做成运力基础设施,挑战从优秀的工程师变成卓越的工程师。商业航天是一片"一切皆有可能"的蓝海。

那几年,我国从政策层面放开,鼓励民间资本进入航天领域(2014年11月,国务院发布《关于创新重点领域投融资机制鼓励社会投资的指导意见》,首次明确鼓励民间资本参与国家民用空间基础设施建设,记者注),可以清楚地看到:时代机遇已经到来。

读+:当时您怎么看待SpaceX?

唐文:我们所熟悉的"国家队"模式是严谨的"瀑布式开发"(经典的线性、顺序型开发模型,将项目划分为若干严格串行的阶段,前一阶段完全结束后,经评审把关,才能进入下一阶段,流程如同瀑布逐级下落、不可逆,记者注)。这种模式服务于一个明确的目标:一次成功,因为我们做科研不能浪费国家的经费。

SpaceX是"异类"。它的目标是快速推向市场、快速迭代,所以它做大量试验,不断地试错,在失败中完善。

长十乙回收后能否复用更值得关注

读+:为什么航天飞机很早就可以往返天地,而火箭回收很难?

唐文:首先,航天飞机借助了火箭的助推上天,它要回收的部分与火箭要回收的部分相比,体量要小得多。此外,航天飞机有翅膀,可以自己滑回来;回收火箭,我们要控制的是细长的圆杆,难度完全不一样。它们是设计思路和形态完全不一样的两种产品。

在SpaceX以前,也有人尝试把火箭要回收的部分做成三角锥的形状,没有做成。但试错是有价值的,证明了此路不通。有了这些经验,后来者才会去找新的路径。

读+:SpaceX的火箭回收是"从0到1"的创新还是工程创新?

唐文:火箭和火箭回收都是工程问题,只有一小部分涉及科研,很难说它完全是"从0到1"的创新。马斯克真正厉害的地方在于他有足够的洞见,能看到火箭回收和快速复用这件事,并且真的去做了。

读+:这种洞见是怎么产生的?

唐文:不能否认天赋的存在,有一些是无法复制的。能学习的是他作为工程师的一些方法论,比如"Less is more(结合'第一性原理',可理解为'简即是优',记者注)"——砍掉任何不必要的东西。

读+:大家重点关注的"筷子臂"捕获、着陆腿和网系捕获三种箭体回收方式,从运力损耗、周转周期、环境容错等维度评判,哪种更先进或更有前景?

唐文:从运力损耗的角度,着陆腿方案的损耗最大,"筷子臂"和网系捕获损耗小。

从周转周期看,理论上"筷子臂"的周转周期最短,网系捕获次之,着陆腿最长。但这是从设计目标来看,最终结果要看验证数据。

从环境容错看,着陆腿方案和网系捕获受海况、气象条件影响较大,但容错率比"筷子臂"高。

读+:对长征十号乙运载火箭一子级回收的成功,此前是否有预期,如何评价?

唐文:我们很早以前就预判,国家队最先实现回收的概率最大,因为它的人才密度和厚度足够。

网系捕获是很好的解题路径,它降低了回收的工程难度。但是,它同时也会增加回收的成本和回收设施的适应性。因为网系捕获需要一艘巨大的船,在船上再搭一个巨大的架子和网。如果未来火箭变大,就意味着要持续地造更大的船。这也是工程里面的一种平衡。

读+:这次成功回收,是否意味着我国商业航天产业也将迎来关键拐点?

唐文:长十乙的成功回收是一个里程碑,给全行业注入了许多信心。它能不能成为技术上的拐点,要看回收后能否重复使用。

我们没有火箭回收后重复使用的工程经验,只能基于推导设想出一些边界或约束。真实飞行后,如果实际情况突破了这些边界和约束,也许这一版就不能重复使用,还要改进设计。7月31日,长十乙一子级箭体已通过海运运抵天津航天长征火箭制造总装基地,正式开启箭体全面检测、翻修、复用改造工作。实际情况怎样,还要看后续大规模分析、检查的结果。

读+:可重复使用火箭的四大关键技术——落得准、接得稳、用不坏和修得快,目前国内各环节成熟度如何,未来攻关重点在哪里?

唐文:长十乙这次的网系回收实现了落得准和接得稳,但从工程验证的角度,还要积累更多子样(一枚火箭完成一次完整的飞行试验,就构成一个"子样",即一次飞行试验所对应的整套技术状态样本,记者注)才能验证它能够持续落得准、接得稳。用不坏和修得快目前没有进展。未来这四个方面都需要攻关,只是有些环节是可以同时做的,比如现阶段业内已经开始研究回收火箭的检修问题。

美国确实先行一步,但我们可以用巧劲

读+:对商业航天而言,今年是个怎样的年份?有哪些对您触动较大的标志性事件?

唐文:我们仍处于技术和产品研发的早期阶段。我个人判断,技术和产品的突破会在2027年到2028年完成。但要真正跨越鸿沟,做到发射成本下降,发射量有跨越式的提升,可能要到2029年到2030年。

对我触动很大的标志性事件是长十乙网系回收成功。触动的点在于,我们发现只要选择了一条合适的路径来做回收,原来不像之前预想的需要那么多时间和子样。

打个比方,在AI(人工智能)行业,在DeepSeek(深度求索)出来之前,大家觉得唯一的解题路径就是像OpenAI(美国开放人工智能公司)那样去狂堆算力。但如果有一些工程化的方法和手段,其实并不需要那么多算力,可以用巧劲。我们知道网系捕获的容错率更高,但是也没有预计到能够一次就成功。

读+:从从业者的角度看,SpaceX上市的意义是什么?怎样理解和看待埃隆·马斯克说的"SpaceX价值会超过地球所有财富"?

唐文:SpaceX的上市让商业火箭在二级市场有了一个定价。不过,SpaceX能做到让星链、人工智能和火箭等多种业务融合在一起,中国的商业火箭公司很难做到。大家所处的环境不一样。SpaceX有能力像iOS那样做一家独大的封闭系统,而中国的商业火箭公司更接近"太空安卓"——以低成本可复用火箭为底层驱动,以开放共享的运力平台为生态底座,最终让太空基础设施像智能手机一样普惠可用,催生"万物太空"的新经济时代。

SpaceX的价值来自它作为一个巨型基础设施公司的本质——星链是通信的基础设施,火箭是发射星链的基础设施,XAI是算力基础设施,囊括了太空环境里所有的基础设施。它基本处于垄断地位。巴菲特曾提到,一家理想的企业应该有很强的定价权,处于垄断或近乎垄断的地位,站在这个角度就比较容易理解马斯克这句话。

读+:中国商业航天发展已超过10年,相比SpaceX有哪些突破?

唐文:在技术和产品上,我们还在它的示范下摸索,离SpaceX还有10年以上的差距。但中国商业航天现在以百花齐放的态势发展,这本身就是突破。新能源汽车行业有了百花齐放的发展,才能最终把整个行业的竞争力、产品力提升上来,我觉得中国商业航天的发展也会是这样一个脉络。

本社社址:湖北省武汉市江岸区金桥大道113号新长江传媒大厦 | 邮政编码:430013 | 长报传媒集团印务分公司承印 | 印刷质量监督电话:027-85888888