

朱雀二号遥二运载火箭在中国酒泉卫星发射中心发射升空。

中国首枚液氧甲烷火箭成功入轨 挑战“星舰”？

技术上从0到1

2015年7月11日，中国第一个民用商业遥感卫星项目——“北京二号”遥感卫星星座，在印度孟加拉湾，搭乘印度太空研究组织的极地轨道运载火箭升空入轨。同年，《国家民用空间基础设施中长期发展规划（2015—2025年）》出台，蓝箭航天、零壹空间等中国第一批商业火箭公司相继注册成立。

2016年11月，“丽水一号”商业遥感小卫星星座，搭乘长征-11火箭，实现一箭多星入轨，为首个国家发射场与民营卫星公司的搭档发射。2021年12月，星河动力成功发射谷神星一号遥二固体运载火箭，将5颗商业卫星送入预定轨道，国内民营火箭公司开始独立探索连续发射、一箭多星的道路。

到2023年的朱雀二号遥二运载火箭发射成功，中国企业已实现中型液体运载火箭的完全自主研发。该箭箭体直径3.35米，总长49.5米，起飞质量219吨，起飞推力268吨。一级采用4台天鹊80吨液氧甲烷发动机并联；二级发动机采用单台天鹊80吨液氧甲烷发动机和天鹊10吨级游动液氧甲烷发动机（下称游机）。

蓝箭航天CEO张昌武在采访中称，朱雀二号承载着中国商业航天从0到1的过程。他介绍称，“从0到1”的门槛很高，企业需独立完成设计、工艺、制造、测试、发射等一系列链条，突破关键技术瓶颈，通过前期方案验证，向市场批量化交付，从而形成商业化回报。这一步即使迈过，未来还有可重复使用的门槛。朱雀二号此次完成了液氧甲烷火箭技术上的从0到1，而关于商业上的从0到1，蓝箭航天计划于2024年面向市场进行小批量交付，年产3至4发，2025年翻倍。将要进行的遥三火箭试验，将搭载有效载荷；可重复使用火箭项目也已启动，将在2025年试飞。

去年12月14日，朱雀二号遥一运载火箭试飞，过程中火箭二级飞行异常，未能达到入轨速度，最终再入大气层，发射任务失败。故障诊断为二级管路破裂，造成游机关机异常。

到今年3月，经蓝箭航天专项工作组多项措施的改进，通过地面试验、发动机试车等验证改进措施的有效性，火箭实现故障归零。张昌武表示，火箭天然地需要更长周期去验证产品方案，因此蓝箭的目标是通过遥一至遥三，三发以内验证产品的成功。

千域空天咨询有限公司创始人蓝天翼曾在航天一线工作多年，近年来从事商业航天市场调研。他向记者强调，朱雀二号的首要贡献在于，它证明了液氧甲烷推进剂的可行性。国际宇航联空间运输委员会副主席杨宇光表示，相比固体燃料，以及最为普及的液氧煤油、液氧液氢燃料，液氧甲烷技术的从0到1，意味着未来火箭大规模批量交付有了可能。

杨宇光分析说，首先从性能角度，固体燃料虽然有密度高、耐储存、推力强等优势，但单位燃料提供的动力（即比冲）太低，不适于轨道飞行。至于液氧煤油，其比冲与液氧甲烷相差无几，但由于煤油在发动机纷繁复杂的管路中燃烧，很容易积碳，难以清理，与可重复利用的目标相去甚远。液氧液氢虽然比冲更优、燃烧干净，但成本问题限制了其发展。

从成本角度，固体燃料开采成本远高于液体。煤油和甲烷都易得，但航天级别的煤油需提纯制备，比只需液化的天然气成本高。液氢的成本问题有两点，一是和液氧沸点相差悬殊，难以共同储存；二是密度太小，容积需求大，变相增加成本。同为可重复利用火箭燃料，液态甲烷相较液氢的优势为，其与液氧沸点近似，装配时可以共同储存，节约成本。

美国SpaceX的猎鹰9号系列火箭采用

液氧煤油发动机，起飞质量549吨，运载系数（有效载荷占火箭起飞总质量的比例）超4%，每公斤载荷发射成本2700美元。中国长征5号运载火箭主发动机采用液氢液氧，起飞质量859吨，运载系数近3%，每公斤载荷报价3万元人民币，折合超4100美元。在运载相同卫星入轨的前提下，前者成本缩减超过50%。

朱雀二号的每公斤载荷报价还没有公布，但此前有媒体预测，该数字有望低于猎鹰9号。而SpaceX公司的“星舰”，一级使用33台液氧甲烷猛禽发动机驱动，二级使用3台猛禽和3台猛禽真空。相比猎鹰9号的部分回收，马斯克称，星舰计划实现完全可回收，每公斤载荷发射成本报价将为10美元。

“基础科研能力是核心竞争力。”杨宇光指出，美国猎鹰9号的高性能与高成功率，很大程度上得益于铝锂合金工业的成熟。该合金在同样强度下，比传统铝合金轻得多。每添加1%的金属锂，其密度降低3%，该性能特质，在大体量的航天器外壳上表现显著。猎鹰9号舰体高达70米，全舰外壳使用铝锂合金。杨宇光表示，目前中国还缺乏生产这种大型构件的能力。

“朱雀二号虽然在发动机体量、可重复利用技术等方面仍有提升空间，但它确实实现了液氧甲烷的从0到1。它没有购买技术，自己走通了整条路。”蓝天翼说。

全产业链的商业模式

在蓝天翼眼中，朱雀二号发射成功的另一则意义，便证明了全产业链的商业模式有望走通。

艾媒咨询2022年研报显示，中国商业航天自起步以来，产业规模逐年增长，产值由2015年的3764亿元增长至2020年的10202亿元，2015—2021年中国商业航天产业保持着22.3%的年均复合增长率，预计2024年将突破2.3万亿元。商业航天产业平均单笔融资额从2014—2015年的0.02亿元，增长至2020—2021年的2.11亿元。

艾媒咨询称，商业航天的上游为火箭、卫星等制造业，以及原材料行业，被称为硬件层；中游包含了发射、地面设备等支撑层；下游则是应用及服务层，包括运营、卫星应用等。

蓝天翼认为，国内商业航天崛起的背后，是行业全产业链的发展探索。火箭制造与发射在前两层，前期投入非常大，企业很可能“倒在黎明前”。市场机制意味着，民营航天企业要首先证明自身实力，才能在下游应用服务层取得优势。

零壹空间自研的“重庆两江之星”火箭，是中国首枚“民营自研商用亚轨道火箭”，其采用固体燃料。蓝箭航天在朱雀二号前，也开发过基于固体燃料的朱雀一号，虽然入轨失败，却仍是中国首枚“民营轨道运载火箭”。

为什么民营企业都倾向于首发小固体火箭？杨宇光认为这取决于融资模式。固体和液体火箭有不同的市场，小型固体火箭发射灵活快速，更便于搭载微小卫星。而市场上的大规模批量交付，则是液体火箭的主场。企业要证明自己的上天实力，最快方式就是发射固体火箭，甚至直接从国企购买发动机，缩短研发周期，加速融资，以此为基础再进军液体火箭市场。

张昌武则表示，“先固后液”只是商业航天探索初期涌现的模式，并不是必要的。中国商业航天从技术上讲，不是直接选择走哪一条路，而是以产品的充分验证为导向，摸索前进。因此蓝箭航天投入大量精力，建设试车台、冷试系统、模态试验系统等，都是为了液氧甲烷这套产品的顶层需求服务的。这过程中，对于资源整合能力的要求极高。

“SpaceX的商业模式与中国民企不同，

它的成功是不可复制的。”杨宇光说，SpaceX接受了许多美国航空航天局（NASA）的运输订单，这是它前期的重要盈利模式。除了推进剂，国内还有很多要追赶的方向。中国处在商业航天模式探索初期，不能一蹴而就。

下游应用待发展

蓝天翼曾就职于东方红海特卫星有限公司，其为中国空间技术研究院下属微小卫星研制总体单位。他曾担任过多个航天预研项目的分系统设计师，现创办的千域空天则是一家航天咨询公司。

作为航天领域从业者，蓝天翼认为商业航天创业门槛较高。这体现在其产业链条长、跨度大等方面。过去一段时间，商业火箭最普遍的下游应用是卫星发射，其涉及许可证、火箭采购、协调接口、测控等多方面。“只从事具体某一制造业的人，很少关注下游应用。”蓝天翼说。

他举例称，如果下游想用某个频段的卫星，一个做载荷的研究人员，可能只负责搭载，并不关心这一频段的作用以及潜在干扰等。因此，通常从国有航天企业出来的一线航天从业者，要去完成一个行业从0到1的过程，其实是很困难的。

下游产品的迭代周期普遍较上游制造更快。以卫星为例，高轨卫星15年的迭代周期已跟不上通信的发展，因此商业航天也多瞄准低轨卫星。此次朱雀二号遥二箭进入的便是低轨道，即近地轨道。该轨道卫星的安置所需的能量最低，并能提供高带宽和低通信延迟。

2015年，马斯克首次提出星链计划，致力于在低轨道部署4.2万颗通信卫星。2020年，中国国家发改委提出“卫星互联网”战略性新兴产业，同年正式发布“GW”星座计划，预计发射近1.3万颗的卫星。蓝天翼表示，如今低轨卫星也有摩尔定律，即每18个月性能提升一倍，价格下降一半。在这样的速度下，卫星数量增多，发射成本需大幅下降，相应的火箭载荷需求日益提升。

去年11月举办的中国航天大会上，商业航天产业服务平台未来宇航研究院正式发布国内首个商业空间飞行器FutureX。它“像空间摆渡车一样”，长期在轨，有望实现卫星部署、多种实验载荷的携带、太空碎片清理等多种功能服务。

未来宇航研究院创始人牛畋告诉记者，2015年刚入行天使投资时，他便与蓝箭航天达成合作。他认为，火箭作为通往太空的唯一工具，必然是投资者的重要切入点。FutureX也是低轨火箭的有效载荷，旨在填补轨道间运输的空白，属于新开发的下游应用。而大规模批量交付后的可重复利用火箭更远的应用，还包括太空旅游、深空探测等。

蓝天翼表示，虽然可以预测商业航天的应用前景，但很难预测其出现的时间。因此，投资方“回归理性”，大家希望看到更低成本更高效的产品出现。究竟大规模批量交付局面能否在近期出现，仍需拭目以待。

“商业航天是个长跑项目，未来两年将依然是成果集中亮相的冲刺期。”蓝天翼分析说。中国商业航天发展的支持举措仍在不断出台。国务院发布的《2021中国的航天》白皮书，明确了促进商业航天快速发展的原则和举措，相关财税补贴、市场培育、产业开发等多形式发展政策落地。

“从国内目前对于航天发射活动的政策而言，从来没有人为设置的阻力，这个行业发展到现在，不论是面向市场端还是监管端，真正的短板从来都是企业自己。”张昌武说道。

据《中国新闻周刊》



7月12日9时整，中国民营航天企业蓝箭航天自主研制的朱雀二号遥二运载火箭，在酒泉卫星发射中心升空，顺利入轨并完成了飞行任务。这是全球首枚成功入轨的液氧甲烷火箭，标志着中国运载火箭在新型低成本液体推进剂应用方面取得重大突破。

今年，关于液氧甲烷火箭入轨，全球已有过两次尝试。4月20日，美国太空探索技术公司（SpaceX）的新型运载火箭“星舰”首次发射，以解体爆炸告终；更早的3月23日，美国相对论空间公司的“人族一号”火箭尝试首发，因二级点火失败而无缘入轨。7月10日，SpaceX创始人马斯克在推特上设想了“火星移民计划”：平均每3天发射50枚“星舰”，每年将超过100万吨有效载荷送入轨道，足以在火星上建造一座自给自足的城市。