

政策建议

商业航天浪潮中的中国运载火箭发展对策

高磊, 付中梁, 胡浩德*, 康焱

摘要 系统分析了全球低成本高效空间进入能力的发展趋势及其对航天产业格局、太空安全与未来空间经济的深远影响, 重点聚焦于可重复使用运载火箭技术的突破带来的成本革命。通过对 SpaceX 等国际领先企业技术路径、经济效益和战略部署的评估, 指出美国已在该领域, 形成“入轨成本数量级下降—市场主导权增强—产业链重构”的正循环。目前中国运载火箭在人才、技术储备及商业路径上面临较大差距, 尤其是在重型火箭与可重复使用技术方面。进一步评估了中国当前商业运载火箭发展态势, 认为中小型火箭虽然蓬勃发展, 但尚未在成本结构与技术路径上实现突破, 难以支撑星座组网和未来空间产业的高频发射需求。基于此, 提出发挥新型举国体制优势、推动央企民企协同创新、提前布局下一代航天运输工具及开拓国际空间信息服务出口 4 方面建议, 旨在构建具有全球竞争力的空间进入能力体系。

关键词 运载火箭; 商业航天; 可重复使用; 技术经济性; 入轨成本

当前, 全球航天活动呈现高速发展态势, 人类开发利用太空的广度和深度持续拓展。在这一进程中, 航天活动的内在驱动力逐渐从政府投资推动演变为以商业需求为核心的商业利益驱动。航天活动规模较小时的研发成本和生产成本无法通过规模效应进行摊薄, 高昂的成本始终是航天商业化进程中的主要制约因素, 导致在很长一段时间内航天活动经费完全依靠政府投资。

航天活动的规模化推动航天产业从量变演化为质变, 规模效应

下边际成本递减显著提高了航天活动的经济性, 催生市场化发展浪潮。成本降低释放出潜在市场需求, 形成了供给优化和需求牵引的正向循环。卫星互联网星座是商业航天蓬勃发展的典型代表, 美国企业太空探索技术公司(SpaceX)、英国一网公司(OneWeb)、加拿大通信卫星公司(Telesat)均推出数量超万颗的低轨互联网星座计划, 中国企业也推出千帆星座、星网星座等巨型卫星星座。商业航天浪潮下, 航天活动的显著增加对低成本高效空间进入提出了巨大需求。

在巨型卫星星座发射需求牵引下, 未来数 10 年全球运载火箭

发射次数和入轨质量将大幅增长。低成本高效空间进入能力是商业航天的发展基石, 同时将对太空安全、空间产业发展产生重要影响。SpaceX 开发了可重复使用运载火箭以降低发射成本, 发射次数和入轨质量快速增长, 此外还在不遗余力研发一级、二级均可重复使用的重型运载火箭“星舰”。主要航天国家和商业航天企业也纷纷加快布局低成本运载火箭及相关技术。本文系统分析运载火箭发展态势, 特别是低成本高效空间进入能力的技术路径、产业影响和政策需求, 对于支撑中国商业航天高质量发展、完善空间产业

收稿日期: 2025-02-21; 修回日期: 2025-07-09

作者简介: 高磊, 高级工程师, 研究方向为航天系统工程, 电子信箱: gaolei918@sohu.com; 胡浩德(通信作者), 高级工程师, 研究方向为航天系统工程, 电子信箱: huhao@126.com

引用格式: 高磊, 付中梁, 胡浩德, 等. 商业航天浪潮中的中国运载火箭发展对策[J]. 科技导报, 2026, 44(9): 124-131; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2025.02.00212

政策体系具有重要意义。

1 低成本高效空间进入能力的战略价值

1.1 有力推动天地一体化网络建设

卫星互联网是未来天地一体化信息网络的重要组成部分,也是万物互联时代实现广域覆盖、实时通信和远程协同的重要基础设施。智能车、智能船舶、智能无人机等均可通过卫星互联网实现通信导航和自主运行。各国认识到其重大的经济社会价值后,不断鼓励商业公司建设卫星互联网星座。当前低轨卫星互联网建设,可视为天地一体化通信、感知、计算和信息处理系统的早期探索。有学者对卫星互联网星座发射服务研究分析后认为,低成本可重复使用的运载火箭是卫星互联网建设的核心竞争力^[1]。SpaceX 敏锐地察觉到了未来天地一体化网络发展趋势后,在空间运输端推动入轨成本革命性降低,在卫星端推动工业化批量生产,匹配空间运输能力的大幅提升。

当前,大规模商业卫星互联网星座主要集中在近地轨道,原因之一是近地轨道通信时延较低、组网成本相对可控,且更适合通过批量发射实现快速部署。随着低成本高效空间进入能力持续提高,以及通信、星间链路、在轨服务和星座协同控制等技术不断进步,分布式卫星星座的轨道布局可能由近地轨道向中轨道,乃至更高轨道拓展,轨道资源和频率资源竞争也将进一步加剧。

与此同时,卫星发展并不会局限于小型化方向。低成本发射能力既可以支持小卫星大规模组网,也可能推动单星质量增加、载荷能力增强和平台功能复杂化,形成由小型化星座、大型高功能卫星和多轨道协同系统共同构成的新型空间网络。由此,卫星互联网竞争将不只是单纯的卫星数量竞争,而是逐渐转向轨道频率资源、空间运输能力、星座运维能力、终端生态和数据服务能力的综合竞争,先发优势和规模效应可能进一步放大行业集中趋势。

1.2 加剧太空安全格局失衡

运载火箭和卫星互联网均是典型的军民两用技术产品。星链已经在俄乌冲突中应用于军事服务,为乌克兰提供通信服务,帮助建立指挥信息系统。美国军方在分析星链的应用价值后提出“星盾计划”,以期提升美军空间态势感知、遥感侦察和天基防御打击能力。低成本高效空间进入能力将大大加速“星盾计划”的实施。

分布式星座还可能改变太空安全领域的攻防效费比。传统反卫星手段往往针对少量高价值空间资产,而大规模低轨星座通过数量冗余、网络重构和快速补网提高体系韧性,可能削弱部分传统反卫星手段的作战效能^[2]。当卫星制造成本和补网发射成本持续下降时,攻击方需要付出更高代价才能造成持续性体系瘫痪,太空攻防关系将从“摧毁单一高价值目标”转向“破坏大规模分布式体系”。

与此同时,大量卫星在轨运行和寿命到期,也将催生失效卫星清理、在轨服务、轨道转移和空间目

标接近操作等技术需求。这些技术有助于提升轨道资源利用效率、降低空间碎片风险,但其在轨接近、捕获、拖曳和处置能力也具有潜在两用属性,可能对太空安全稳定带来新的挑战。

因此,低成本高效空间进入能力可能导致太空领域军事实力失衡,对世界政治、军事、经济格局产生深远影响。其催生的太空霸权,可能继海洋霸权之后成为阻碍人类命运共同体构建的又一不利因素。

1.3 助力空间未来产业发展

低成本高效空间进入能力对于推动空间未来产业发展具有深远影响,将大幅降低进入空间的门槛,拓宽商业应用的边界,加速空间技术创新,促进空间旅游、空间制造、空间农业等未来空间产业发展。

在空间资源方面,开发利用将变得经济可行,商业企业可以探索空间制造、空间农业等未来产业形态,丰富空间经济内涵。在科学研究方面,更多科学家有机会进入空间开展科学实验,推动基础科学和应用科学的发展,同时将促进月球和深空探测、空间科学探测等事业发展。在空间旅游等方面,随着空间旅游成本降低和普及性提高,公众将有机会亲身体验空间之旅,牵引生命支持系统、空间医疗、空间居住环境等技术的创新发展,推动企业为空间旅游提供丰富的配套服务和产品。

总体来看,低成本高效空间进入能力是空间产业多元化发展的前提条件。它不仅能够支撑卫星互联网、商业遥感等现有航天应用扩大规模,也可能推动空间经济从“卫星应用主导”向“在轨服务、

空间制造、空间旅游、深空开发等多场景协同发展”转变。

1.4 可重复使用技术是低成本高效空间进入能力的关键

在传统一次性运载火箭使用成本中,一级火箭质量和成本占火箭整体 70% 以上^[3]。火箭一级回收难度大大低于二级,因此,如果能够对火箭一级进行回收并重复使用,就能够使运载火箭整体成本大幅下降。以营利为第一目标的 SpaceX 出于成本考虑,研发了“猎鹰 9 号”可重复使用运载火箭,火箭一级能够回收并重复使用。

对“猎鹰 9 号”运载火箭的成本分析表明,在火箭一级重复使用 4 次后,火箭单次发射成本将降为一次性使用时的 50%;在重复使用 18 次后,运载成本接近一次性使用时的 30%,并趋于稳定^[3]。这表明,复用次数越高,火箭制造成本在多次任务中的摊薄效应越明显。

从全寿命周期费用看,可重复使用运载火箭的经济性取决于制造费用、研制费用、推进剂费用、发射操作费用、发射场管理费用、地面技术支持费用和回收翻修费用之间的比例关系。有研究表明,推进剂费用、发射前操作、发射场管理和地面技术支持等操作费用占制造费用的比例越低,火箭单枚单次发射平均全寿命周期费用低于制造费用所需要的发射次数越少^[4]。因此,大型运载火箭由于制造费用占比较高,更容易通过多次复用降低硬件成本;小型运载火箭由于操作费用占比相对较高,复用带来的经济性提升可能并不显著。由于运载火箭一级质量占比超过火箭整体的 70%,火箭一级相

对于火箭二级而言是“大型火箭”,火箭二级则是“小型火箭”,对火箭一级进行回收利用的经济性高于火箭二级。不过随着火箭整体规模的增大,二级规模的增大使得对二级进行回收并重复使用的经济性也在提高。以上研究表明,复用次数是经济性核心决定因素^[5-6]。

对可重复使用技术经济性的深刻认识,驱使 SpaceX 全力研发一级、二级均能重复使用的重型星舰。首先,火箭整体规模增大使得采用可重复使用技术后能够大幅降低全寿命周期内的单次发射费用。其次,火箭二级质量的大幅增加导致二级的回收利用也会使全寿命周期内的单次发射费用显著降低。因此,一级、二级均可重复使用的星舰相比“猎鹰 9 号”运载火箭能进一步降低入轨成本。随着可重复使用次数的增加,维修费用、回收费用及操作费用占运载火箭全寿命周期费用比例会显著上升,而研制费用和制造费用所占比例会显著下降。因此,可重复使用技术是低成本运载能力的关键因素。若星舰研发成功入轨成本能降低至 200 美元/kg 左右,年入轨质量有可能从当前的千吨提高至近万吨。

2 全球运载发射格局重构

2.1 美国 SpaceX 公司凭借低成本发射优势一家独大

2025 年,全球发射次数 330 次,入轨质量约为 3216 t,其中,美国发射 198 次,入轨质量约为 2818 t,入轨质量占全球比重的 85%;中国发射 93 次,入轨质量约为 318 t,

入轨质量占全球比重的 10%。而美国 SpaceX 公司的发射入轨质量从 2020 年的 300 t 提高至 2025 年的 2700 t,入轨质量全球占比从 2020 年的 56% 提高至 2025 年 83%,全球航天发射格局演化为一家独大^[7-8]。

在全球主力运载火箭中,美国“宇宙神 5”近地轨道发射成本约为 8600 美元/kg,“德尔塔 IV”运载火箭近地轨道发射成本约为 12500 美元/kg,“阿里安 5”近地轨道发射成本约为 13000 美元/kg,俄罗斯“联盟 2”近地轨道发射成本为 9700 美元/kg^[9]。据 SpaceX 官网报价及公开信息,在不重复使用的情况下,“猎鹰 9 号”运载火箭近地轨道发射服务价格约为 4000 美元/kg,而“猎鹰”重型运载火箭近地轨道发射服务价格约为 2300 美元/kg,不到国际主流发射价格的 1/2。

有学者对 SpaceX“猎鹰 9 号”运载火箭发射成本进行了分析^[10],结果表明,一枚全新“猎鹰 9 号”运载火箭成本约为 4500 万美元,当重复使用次数超过 10 次时,一枚火箭平均成本降低 62%,达到 1700 万美元;对发射服务价格和重复使用成本分析表明,相比一次性使用火箭,在重复使用次数达到 10 次的条件下,火箭成本降幅高达 81%,成本仅为一次性使用火箭的 19%,单位入轨成本约为 1500 美元/kg,是国际主流一次性运载火箭的 1/5。而在 2026 年 3 月,SpaceX 已经创造了 34 次重复使用记录。根据发射服务价格对比,可重复使用的“猎鹰”重型单位入轨质量成本仅约为 900 美元/kg,是国际

主流一次性运载火箭的 1/10 左右。

在商业策略上,成本优势使得 SpaceX 掌握了运载发射服务的定价权,将发射服务价格设定为国际主流商业发射服务定价的一半,从而迅速在国际发射市场上将竞争对手淘汰出局。入轨成本数量级的降低,是支撑 SpaceX 入轨质量由 2020 年 300 t 迅速增长到 2025 年 2700 t 的关键因素。

2.2 主流航天大国积极研发大型运载火箭

美国、俄罗斯、欧洲在积极研发新一代大型和重型运载火箭。美国蓝色起源公司对标“猎鹰 9 号”,积极研发“新格伦”运载火箭,近地轨道运载能力 45 t,其芯一级可重复回收使用,发动机为可重复使用液氧甲烷发动机,未来主要用于低轨卫星星座建设和太空商业旅游服务^[11]。2025 年 11 月,“新格伦”运载火箭成功发射并实现一级火箭回收,蓝色起源成为全球第 2 家成功实现轨道级火箭一级回收的公司。美国传统火箭研发中坚力量联合发射联盟(United Launch Alliance, ULA),为应对航天发射服务市场激烈的商业竞争研发了“火神”运载火箭,其最大近地轨道运载能力为 26 t。2024 年 1 月,该火箭实现首飞,芯一级采用蓝色起源公司的液氧甲烷发动机,未来计划通过伞降方式回收芯一级发动机^[12]。

欧洲阿里安集团为应对商业竞争,研发了“阿里安 6”运载火箭,主要瞄准地球同步轨道大型通信卫星发射市场,并没有采用可重复使用技术,主要通过优化研发制造、组织运行等方面的流程来提高效率降低成本^[13]。“阿里安 6”

运载火箭于 2013 年立项研制^[13],当时 SpaceX 的可重复使用火箭尚未成熟,对国际商业发射市场并未形成冲击。未使用重复使用技术的“阿里安 6”成本很难使欧洲获得低成本高效空间进入能力。

俄罗斯研发“安加拉”系列运载火箭作为未来的主力火箭^[14],并计划在此基础上研发重型运载火箭^[15]。2024 年 4 月,“安加拉 A5”火箭首飞成功,其近地轨道运载能力达 25 t。同时,俄罗斯还通过中小型火箭积极探索可重复使用技术^[16]。

在重型火箭方面,美国太空发射系统(Space Launch System, SLS)和星舰是目前仅有的 2 款重型运载火箭。SLS 火箭于 2022 年 11 月成功首飞,首飞型号 SLS-I 近地轨道和地月转移轨道运载能力分别为 97 和 27 t,后续改进型可提升至 130 和 46 t^[17]。SpaceX 星舰以快速迭代的模式完成了多次试飞,在一次性使用模式下近地轨道运载能力可达 300 t,在重复使用模式下的运载能力可达 180 t^[18-19]。

2.3 美国运载火箭技术形成跨代领先优势

美国早在 20 世纪 60 年代就研发了“土星五号”重型运载火箭,实施了“阿波罗”载人登月工程,在冷战中取得了极大的政治和社会效益。为低成本高效进入空间,美国又发展了可重复使用的航天飞机,但受限于技术条件尤其是热防护技术,航天飞机使用成本并未有效降低,其可靠性和安全性也低于预期。不过航天飞机仍然执行了国际空间站建设、“伽利略号”木星探测器发射、“哈勃”太空望远镜发射等一系列重大任务。由于航天飞机未达预期,美国持续

投资开发低成本可重复使用航天运输工具,如“X-34”可重复使用飞行器。与此同时,美国还出台了一系列政策鼓励社会资本投资研发低成本航天运输工具,向社会资本开放“阿波罗”载人登月工程、航天飞机相关资料。

美国在 1984 年就出台了《商业航天发射法》(《Commercial Space Launch Act of 1984》),2003 年出台了《商业航天法》(《Commercial Space Transportation Act of 2003》)和《航天现代投资法》(《NASA Modernization Act of 2003》),2013 年出台《国家航天运输政策》(《National Space Transportation Policy, 2013》),2015 年出台《商业航天发展竞争力法》(《U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act of 2015》),2019 年出台《简化商业利用航天的监督》(《Space Policy Directive-2: Streamlining Regulations on Commercial Use of Space》)^[20],不断鼓励商业航天和商业运载火箭的发展。除了政策鼓励,美国还通过技术和资金支持商业运载火箭企业。美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)向商业运载火箭公司转让技术,美国军方通过较高的发射任务执行价格支持 SpaceX 等商业公司^[10]。对于关乎重大工程实施及国家安全的重型运载火箭,美国在商业重型运载火箭取得突破前仍投资研发 SLS 重型运载火箭。2026 年 4 月, SLS 火箭成功发射升空,执行了美国“阿尔忒弥斯 2 号”载人绕月任务。

通过持续投资,美国建立了丰富的技术储备,培养了大量技术人才。“猎鹰 9 号”运载火箭正是在

这一系列资源和政策的支持下从众多商业运载火箭中脱颖而出的,星舰通过多次试飞迭代取得了显著进展。美国数十年投资孵化出的可重复使用运载火箭对其他国家形成跨代领先优势,迅速改变了全球航天运载发射格局。

2.4 美国积极投资不同技术路线航天运输工具研发

即使当前取得了显著领先优势,美国仍然在不断投资创新型运载火箭研发企业,以低成本高效空间进入能力提升为总目标,推动采用不同技术路线的企业进行竞争,探索下一代航天运输工具技术路线,以期在未来持续保持领先。

在军事方面,美国发展“X-37B”空天飞机,执行快速响应的空间运输、快速机动、空间打击等任务^[21]。在商业方面,美国鼓励发展新型运输工具,如蓝色起源公司的载人太空旅游“新谢泼德”系统,其一级火箭可回收重复利用,二级类似于载人飞船;维珍银河公司开发的由“白骑士二号”载机和“太空船二号”亚轨道飞行器组成的载人飞行系统,一级是水平起降的飞机,二级是可水平降落的飞行器。蓝色起源公司的“新格伦”运载火箭、联合发射联盟的“火神”运载火箭、火箭实验室公司的电子运载火箭均采用了不同于SpaceX的回收技术。

3 中国运载火箭技术面临差距越来越大的风险

3.1 中国运载火箭研发人才和相关技术储备较薄弱

中国运载火箭研发基础较薄

弱,火箭技术长期处于追赶中。在全球现役大型主力火箭中,“宇宙神5”“阿里安5”“质子M”等运载火箭均在20世纪末或21世纪初首飞服役,而美国在航天飞机服役期间还研发了近地轨道运载能力达20t的“大力神”系列运载火箭,用于发射不适宜航天飞机完成的任务。虽然中国技术与美国有差距,但得益于中国完整的工业体系及较低的劳动力成本,中国“长征”系列运载火箭入轨成本低于世界上其他火箭^[9],但运载火箭军民两用性导致美国出台《考克斯报告》(《Cox Report》)、《国际武器贸易条例》(《International Traffic in Arms Regulations, ITAR》)、《沃尔夫条款》(《Wolf Amendment》)等一系列法案,阻碍中国运载火箭走向国际发射市场^[22]。

中国在2006年立项研发“长征五号”大型运载火箭,2016年实现首飞并跻身世界先进水平。但随着美国突破可重复使用火箭技术后,差距再次被拉开,而且面临逐渐扩大的风险。2015年国家鼓励社会资本参与航天产业,不少民营企业开始研发运载火箭。但相比美国,中国运载火箭研发人才和相关技术储备较薄弱,民营火箭研发起步时间短,现在尚处于掌握运载火箭技术的起步阶段,与国外同行存在一定差距。

3.2 中小型商业运载火箭蓬勃发展,大型可重复使用运载火箭研发步伐尚需加快

为推动空间产业规模化发展,中国在2015年出台了《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025年)》,首次明确鼓励

社会资本参与航天事业,2016年《中国航天白皮书》鼓励民营资本进入航天领域,2019年印发《关于促进商业运载火箭规范有序发展的通知》^[23],2024年政府工作报告中将商业航天列为新增长引擎。在一系列政策鼓励下,不少民营企业开始研制运载火箭,以期在未来高密度的发射任务中通过提供发射服务取得盈利。

北京星际荣耀空间科技股份有限公司研发了“双曲线一号”运载火箭,北京星河动力航天科技股份有限公司研发了“谷神星一号”运载火箭,北京天兵科技有限公司研发了“天龙二号”运载火箭,北京中科宇航探索技术有限公司研发了“力箭一号”运载火箭。其中,蓝箭航天空间科技股份有限公司研发了“朱雀二号”运载火箭,近地轨道运载能力达6t左右,是民营运载火箭研发企业迄今运载能力最大的液体运载火箭,同时也是国内第一款液氧甲烷运载火箭。东方空间科技有限公司研发了“引力一号”运载火箭,近地轨道运载能力最大为6.5t,是国内最大的固体运载火箭^[24]。航天科技集团面向商业航天市场推出了“捷龙三号”固体运载火箭,2023年12月成功实现首飞,500km太阳同步轨道运载能力为1.5t。航天科工集团有限公司推出了“快舟”系列运载火箭,主要面向小型、微型卫星组网和补网发射,700km太阳同步轨道运载能力达200kg。

不过,当前国内商业运载火箭总体仍以中小型运载火箭为主。对民营企业而言,中小型运载火箭技术门槛相对较低、研发周期较

短、市场切入较快,是突破火箭总体设计、发动机研制、发射组织和型号管理能力的重要路径。传统运载火箭研发央企在商业航天新形势下快速反应,成立以利润为导向的商业化运营团队或子公司对运载火箭进行商业化运营。民营企业的“鲶鱼效应”刺激传统央企改革内部组织管理,优化火箭生产运营成本。“长征八号”和“长征六号”应运而生,在市场上的竞争力不弱于民营运载火箭。“长征八号”运载火箭在箭体结构制造方面探索了低成本快捷制造技术,从材料、工艺、设计等多个维度进行了低成本研发,力图有效降低火箭制造成本并缩短生产周期^[25]。

民营运载火箭企业目前大多还处于发展初期,发射数量少、运载能力低、火箭可靠性尚未得到充分验证,同时面临央企成熟运载火箭的商业化竞争,并无足够的资源投入可重复使用技术等能够显著降低发射入轨成本的关键技术攻关。虽然商业运载火箭公司也在积极计划研发大型运载火箭,但大多停留在概念层面,研发进展缓慢。

3.3 技术积累不足制约可重复使用大型运载火箭突破

目前国内民营运载火箭企业的骨干研发力量均来自传统运载火箭研发央企,运载火箭技术直接来源于国内现有成熟技术,民营企业本质上通过技术复制在短时间内研发出运载火箭,但运载火箭的入轨成本并没有显著降低。目前民营企业研发的运载火箭大多是中小型火箭,由于中国已掌握“长征五号”大型运载火箭技术,假以时日商业运载火箭公司也能获得

相关技术人才。因此,研发出大型运载火箭只是时间问题,但并不意味着中国低成本高效运载火箭技术取得突破。

传统航天产业是以政府投资为主且不以营利为第一导向的封闭系统。民营企业利用国家技术储备研发运载火箭,但技术的复制并未带来变革性技术进步,在生产无显著变化条件下以营利为导向改变了生产关系,主要体现在提高了内部运营效率,从而在一定程度上间接降低了运载火箭发射成本。可重复使用火箭能显著降低发射成本,国内相关技术储备薄弱,因此目前国内企业研发可重复使用运载火箭进展缓慢。

综上所述,在运载火箭研发领域,中国处于跟跑位置,和美国相比在人才规模、技术储备、资金投入、研发历史等方面存在差距,在现阶段难以通过鼓励商业航天发展的政策孵化出类似 SpaceX 这样能和国家队抗衡的航天新势力。因此,需要在当前差距被拉大的严峻形势下,制定符合中国现实条件和资源禀赋的运载火箭发展路线和相关政策,尽快赶上世界先进水平。

4 对策建议

1) 发挥新型举国体制优势,加快掌握低成本高效空间进入能力。低成本高效空间进入能力对于空间产业的蓬勃发展和国家太空安全均具有重大战略影响,不仅是构建未来空间基础设施的基石,更是确保国家在太空领域持续竞争力的核心要素。当前中国与美国在运载火箭的发展模式、商业

化路径以及固有资源禀赋方面存在显著差异。鉴于中国运载火箭商业化发展尚处于起步阶段,短期内难以仅靠市场机制快速掌握具备国际竞争力的低成本高效空间进入能力。因此,应充分发挥中国新型举国体制的独特优势,聚焦资源持续投入,尽早突破大型低成本可重复使用运载火箭的关键技术瓶颈,奠定未来空间产业发展与空间安全保障的技术基础。

2) 鼓励央企民企优势互补,构建协同创新研发体系。央企应凭借其雄厚的研发实力、深厚的产业积累和丰富的工程经验发挥“头雁”作用,将核心资源聚焦于研发大型/重型低成本可重复使用运载火箭,承担国家重大战略需求任务,形成与民营企业的差异化竞争格局。通过战略分工有效减少运载火箭研发领域重复投资,优化资源配置。同时,鼓励并支持央企和民企根据市场多元化需求研发不同量级的低成本运载火箭,形成梯次分明、功能互补的运载火箭谱系,以更有效地满足不断增长的空间产业发展需求。在此基础上,建立健全知识产权保护制度,确保创新成果的合法权益,激发研发主体积极性,形成研发投入与经营所得相互促进的良性循环,最终构建能够持续促进技术进步、实现协同共赢的研发体系。

3) 积极布局面向未来的低成本高效航天运输工具。面对未来空间活动的复杂性和多样性需求,研究探索新概念低成本高效航天运输工具。可设立专项引导基金鼓励央企和民企对不同技术路线的关键技术开展预先研究与技术

攻关,加速形成核心技术储备,在下一代航天运输工具研发中占得先机,为未来航天运输系统的迭代升级奠定基础,确保中国在未来空间竞争中占据技术领先地位。

4) 积极拓展航天领域国际合作,鼓励出口技术服务。鉴于当前复杂的国际地缘政治格局,尤其在美国等国家长期施加的限制性政策下,中国的国际发射服务出口、卫星整星出口等传统航天贸易领域长期处于相对被动局面。为拓展国际市场,应积极鼓励国内企业探索出口空间信息服务和数据产品服务,通过向国外用户提供高质量空间通信服务、遥感数据产品、导航定位服务,以及其他增值空间信息服务,采用“需求侧拉动”模式促进中国空间产业发展,形成对低成本高效运载工具的内生需求,推动运载工具技术进步。

参考文献(References)

- [1] 赵凯,王志远,张贺,等.大规模卫星互联网星座发射服务探讨[J].军民两用技术与产品,2022(8): 5-11.
- [2] 黄志澄.从乌克兰战场看商业航天的军事价值[J].国际太空,2023(4): 12-17.
- [3] 朱坤,杨铁成,周宁.从低成本角度探讨航天运载器技术发展路线[J].飞航导弹,2021(6): 1-6,13.
- [4] 庄方方,汪小卫,吴胜宝.可重复使用运载火箭全寿命周期费用分析[J].导弹与航天运载技术,2016(6): 82-85.
- [5] Kartasheva E A. On the economic viability of reusable space-rocket systems use to deliver payloads to satellite orbit[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. Cham: Springer, 2019: 723-731.
- [6] Snead J M. Cost estimates of near-term, fully-reusable space access systems[C]//AIAA Space 2006 Conference. San Jose, California: AIAA, 2006: 7209.
- [7] 刘洁,褚洪杰,董婧.2024年全球航天发射活动总结[J].中国航天,2025(1): 19-27.
- [8] 肖武平,何慧东.2025年全球航天发射统计分析[J].国际太空,2026(2): 4-7.
- [9] 乔夏君,商显扬,罗恒,等.国内外运载火箭发射服务价格分析及启示[J].中国航天,2022(8): 37-41.
- [10] 朱雄峰,刘阳,刘鹰,等.猎鹰-9运载火箭发射成本研究[J].国际太空,2023(11): 35-40.
- [11] 杨青格,张帆.“新格伦”火箭和猎鹰-9火箭对比分析[J].国际太空,2022(9): 29-34.
- [12] 陈允宗,杨开,王瑞.“火神”火箭首飞任务分析[J].中国航天,2024(2): 53-59.
- [13] 范瑞祥,马忠辉,容易,等.阿里安6运载火箭方案及对中国运载火箭发展启示[J].导弹与航天运载技术,2014(6): 27-30.
- [14] 曹世博.俄试飞重型“安加拉”5火箭[J].中国航天,2015(2): 40-41.
- [15] 李虹,吴小宁,张秀刚.俄罗斯新一代火箭发展研究[J].飞航导弹,2020(8): 69-73,96.
- [16] 杨青格,林倩,吴小宁.俄罗斯可重复使用火箭最新发展[J].中国航天,2022(6): 53-57.
- [17] 张绿云,才满瑞,杨开,等.美国“航天发射系统”重型火箭成功首飞及其发展分析[J].中国航天,2022(11): 35-41.
- [18] 龙雪丹,杨开,王林,等.“超重-星舰”第八次综合飞行测试失利情况分析[J].中国航天,2025(3): 61-67.
- [19] 宋国梁.“星舰”第三飞落下帷幕,SpaceX有望再次颠覆航天发射市场[J].国际太空,2024(4): 6-9.
- [20] 宋歌,孙艺,李晶.浅析大航天时代下的商业航天产业发展[C]//第八届中国(国际)商业航天高峰论坛论文集.北京:中国宇航学会,2022: 121-125.
- [21] 康开华,付丽.美国军用空天飞机作战应用研究[J].飞航导弹,2021(12): 104-110.
- [22] 彭小波,季海波,谢红军,等.中外商业运载火箭发展概况[J].国际太空,2022(9): 14-19.
- [23] 杨毅强.再论美国商业航天及对我国的启示[J].卫星与网络,2020(6): 18-26.
- [24] 丁淼,白彦军,晁侃.全球最大推力、首型全固体捆绑式运载火箭成功首飞[J].固体火箭技术,2024,47(1): 1-3.
- [25] 杨瑞生,陈友伟,王婧超,等.商业化液体火箭箭体结构低成本快捷制造技术[J].深空探测学报(中英文),2021,8(1): 70-79.

Analysis of the development of carrier rocket in the context of commercial aerospace

GAO Lei, FU Zhongliang, HU Haode*, KANG Yan

Lunar Exploration and Space Engineering Center, Beijing 100190, China

Abstract This paper systematically analyzes the global development trend of low-cost and efficient space access capabilities and their profound impacts on the aerospace industry landscape, space security, and the future space economy, with a focus on the cost revolution driven by reusable launch vehicle technologies. By evaluating the technical paths, economic efficiency, and strategic deployment of leading international companies such as SpaceX, it identifies that the United States has established a generational advantage in this field, forming a virtuous cycle of "order-of-magnitude reduction in launch cost—enhanced market dominance—industrial chain restructuring." In contrast, China faces significant challenges in talent, technological reserves, and commercialization pathways, particularly in the areas of heavy-lift rockets and reusable technologies. The paper further assesses the current development status of China's commercial launch vehicles and concludes that although small- and medium-sized rockets are developing rapidly, they have yet to achieve breakthroughs in cost structure and technological models, making it difficult to support the high-frequency launch demands of satellite constellations and future space industries. Based on these findings, the paper proposes four policy recommendations: leveraging China's unique national system, promoting coordinated innovation between state-owned and private enterprises, planning ahead for next-generation space transportation systems, and expanding international space information service exports. These aim to build a globally competitive space access capability framework.

Keywords carrier rocket; commercial aerospace; reusable; technical-economic efficiency; launch-to-orbit cost ●



(编辑 黄文光)