

引用格式:于贵芳,张哲宇,王海芸,等.中美商业航天领域技术竞争态势比较研究——基于论文和专利数量的分析[J].技术经济,2026,45(10):35-49.

Yu Guifang, Zhang Zheyu, Wang Haiyun, et al. Comparative study on the technological competition situation in the commercial aerospace sector between China and the United States: Analysis based on the number of published papers and patents[J]. Journal of Technology Economics, 2026, 45(10): 35-49.

产业技术经济

中美商业航天领域技术竞争态势比较研究

——基于论文和专利数量的分析

于贵芳¹, 张哲宇², 王海芸¹, 杨 杰¹

(1.北京市科学技术研究院,北京 100089; 2.北京星辰未来空间技术研究院,北京 100080)

摘 要:全球商业航天领域竞争日趋激烈,中美作为主要参与国,其技术发展路径与创新模式备受关注。从创新链视角出发,聚焦基础研究和技术开发环节,基于商业航天领域的论文与专利数据,应用科学计量分析方法,从资助机构、学科方向、技术主题、创新主体和布局策略等维度系统比较分析了中美两国技术研发的现状与趋势。研究发现,中国在该领域的资助有近八成来自国家自然科学基金,来源相对单一,主要以基础/前沿技术研发为主。随着商业航天行动计划的出台,中国商业航天的资助格局呈现日益多元化的态势,技术发展更加注重与人工智能技术的融合,商业航天产业加速落地。相比之下,美国资助机构类型更为多元,通过多部门分散资助支持创新主体围绕不同需求开展研发,更加鼓励聚焦商业航天的太空资源开发等前沿领域开展研究,并积极进行全球化布局,在标准治理层面美国仍占据主导地位。基于对比分析,研究结论为中国商业航天应从加强前沿领域研究支持、加速大规模星座部署、深化国际合作三个方面着手,进一步提升中国商业航天技术的整体竞争力。

关键词:商业航天;中美对比;技术竞争;资助机构;技术主题;专利布局;创新主体;科学计量分析

中图分类号: G353; G306.3; G256 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2026)10-0035-15

DOI:10.12404/j.issn.1002-980X.J25112611

一、引言

当前,全球商业航天领域正经历迅猛发展与激烈竞争并存的阶段,各国均已将商业航天提升至国家战略层面。通过强化创新要素集聚,大力支持相关技术研发,并围绕火箭回收复用等关键核心技术展开激烈角逐,旨在抢占未来的“制高点”。近年来,中国高度重视并持续推动商业航天产业的创新发展。自2014年航天领域商业化进程正式启动以来,该产业已进入快速发展轨道。2024年3月,“商业航天”首次被纳入《政府工作报告》,明确将其定位为新的增长引擎之一。2025年3月,新发布的《政府工作报告》再次强调推动商业航天等新兴产业安全健康发展;同年6月,中国证监会出台新政,于科创板设立科创成长层,并将商业航天纳入第五套上市标准,助力尚未盈利的优秀创新企业对接资本市场;同年11月,国家航天局发布《国家航天局推进商业航天高质量安全发展行动计划(2025—2027年)》(以下简称商业航天行动计划),首次以国家文件形式将商业航天纳入国家航天发展总体布局,提出到2027年基本实现商业航天高质量发展的目标,其中的22项举措构成了系统性制度供给,标志着中国商业航天从鼓励探索进入系统治理的新阶段。

根据国内外研究及行业共识,不同于资金主要源于财政拨款并服从行政指令的国家主导航天事业,商

收稿日期:2025-11-26

作者简介:于贵芳(1987—),博士,北京市科学技术研究院副研究员,研究方向:科技政策和产业创新;张哲宇(1992—),博士,北京星辰未来空间技术研究院副院长,研究方向:商业航天和太空计算等;(通信作者)王海芸(1975—),博士,北京市科学技术研究院创新发展战略研究所研究员、副所长,研究方向:科技政策和产业创新;杨杰(1983—),硕士,北京市科学技术研究院助理研究员,研究方向:产业创新。

业航天一般指企业作为投资与风险承担主体,通过市场化方式为政府及商业客户提供航天资产、技术及服务,并以实现盈利为主要目标的航天活动。其业务覆盖卫星制造及发射、卫星运营、地面设备制造等多个环节,广泛应用于通信、导航、遥感、空间运输、载人航天、深空探测及远程医疗等多个领域。学者对商业航天领域的关注和研究大致可以划分为四个阶段。第一阶段(1986年至21世纪初期),相关学者从1986年开始关注商业航天的发展,重点关注美国、俄罗斯等国商业航天政策^[1-2]、市场竞争^[3]及其工业价值^[4]等。第二阶段(2004—2013年),中国学者意识到商业航天关乎各地区和各国利益,愈益演变为一个激烈竞争的领域,如不参与竞争,与欧美发达国家之间的差距将会更加悬殊,并开始了发射保险法律制度等领域的初探^[5]。由此,相关学者开始围绕中国商业航天发展的法律架构^[6]、中国商业航天如何提速^[7]等主题进行研究。第三阶段(2014—2019年),随着中国提出支持航天领域的商业化发展,一批商业航天企业陆续成立,关于商业航天研究的规模快速上升,并在2019年达到高潮。该阶段学者们进一步将研究聚焦到美国商业航天领域的代表性机构NASA^[8]、SpaceX^[9]等方面,尝试揭示美国商业航天发展的路径,提出促进中国商业航天发展的建议^[10]。第四阶段(2020年至今),学者们开始聚焦太空算力^[11]、火箭发射与回收^[12-13]、卫星设计与应用^[14]等具体技术主题方向开展研究。综合已有研究可以发现,学者在研究国外商业航天发展时重点关注的主要是美国,认为中国商业航天技术与美国尚存差距。然而,关于中美商业航天发展比较的研究却十分缺乏,仅郭文彧和崔彪^[15]对中美两国商业航天发展的脉络进行了对比。刘欢和张雨^[16]也仅基于专利信息对中美两国商业航天重点创新主体进行了比较研究,从技术角度对中美两国商业航天发展进行全面比较的文献尚处于空白。由于中美两国在商业航天产业对比研究领域存在数据壁垒、产业发展阶段差异以及技术复杂性等一系列困难^[17],目前全面比较中美商业航天发展的研究还相对较少,但随着两国在该领域的竞争与合作进一步深化,未来有望涌现出更多高质量、多维度的比较研究成果。

本文采用计量学的方法,基于中国和美国公开的商业航天领域论文和专利数据,分析近年来中美两国商业航天关联技术发展的整体情况和趋势,分析商业航天关联技术研发的现状、主要创新主体和热点主题。通过比较中国与美国商业航天关联技术研发主题的差异,整体比较中美两国在公开的商业航天领域的技术竞争态势,为中国进一步明确商业航天未来发展方向提供参考。可能的边际贡献在于,系统性地从基础研究(论文)与技术开发(专利)双重视角,对中美商业航天领域的关联技术竞争态势展开计量分析比较,通过构建涵盖资助机构、学科方向、(重点)研究主题、创新主体及专利布局的多维分析框架,不仅揭示出两国在研发投入、创新生态、技术热点与战略布局方面的结构性差异,更从创新链的视角明晰中国的技术转化与商业化路径上的阶段性特征与短板。具体而言,本文识别出中国在资助来源多元化、前沿领域布局、专利国际化程度等方面的相对不足,以及美国在多元化资助、应用导向研发与全球化专利策略上的显著优势。基于此,进一步从加强前沿领域支持、加速星座部署、深化国际合作三个方面提出具有针对性的政策建议,以期为中国商业航天技术的战略规划、资源优化与国际竞争提供分析依据与决策参考。

二、数据、方法与分析框架

(一)数据来源与方法介绍

在充分调研商业航天领域实际发展情况的基础上,参考商业航天领域已有相关文章^[17-18],并经过与航天领域的同行专家研讨,确定“航天运载器(space launch vehicle)、可重复使用运载火箭(recoverable rocket)、火箭液体发动机(rocket liquid engine)、商业卫星(commercial satellite)、低轨卫星星座(LEO satellite constellation)、卫星有效载荷(satellite payload)、先进遥感(advanced remote sensing)、航天导航(aerospace navigation)、卫星通信(satellite communication)、卫星测控(Satellite TT&C)、对地观测(earth observation)、地面站(ground satellite station)、航天发射场(launching site)、在轨服务(on-orbit servicing)、太空旅游(Space tourism)、太空采矿(space mining)、外星采矿(extraterrestrial mining)、太空碎片(space debris)”为商业航天发展所必需的关联技术主题检索主题词,以Web of Science核心合集数据库为论文数据源,不设置检索起始日期。截至2025年5月26日,在科学引文索引扩展版(网络版)和社会科学引文索引数据库共检索到英文论文27615篇。其中中国学者参与发表论文6742篇,受资助论文3987篇;美国学者参与发表论文4392篇,受

资助论文 1276 篇。同时,专利数据来源于北京合享智慧科技有限公司数据库。为提高专利样本的技术代表性与可比性,以中美两国已获授权的发明专利作为研究对象,不将专利申请、实用新型及外观设计专利三种类型的专利数据纳入分析,从而在样本层面尽可能过滤低稳定性和低技术含量专利。申请人国别分别限定为中国和美国,经同族合并后,共得到中国发明授权专利 10795 项,美国发明授权专利 5913 项。还需要说明的一点是,在进行国别文献统计时,主要依据第一作者或通信作者的机构归属。这种方法无法完全排除“A 国作者研究 B 国问题”的情况。因此,统计结果更多地反映了各国在商业航天关联技术主题的科研投入和产出活跃度,而非严格的研究对象国别分布。

(二) 分析框架

对国家之间技术竞争实力的比较应考虑从基础研究环节到技术产业化、商业化的创新链全周期的挖掘^[19]。然而,当前中国商业航天发展的首要任务是集中资源攻关关键核心技术,建立自主可控的技术底座,完成工程化定型,待技术成熟后再推进商业化,以提升投资效率与成功率。由此,本文重点关注商业航天创新链的基础研究和技术开发两个环节,以明确商业航天关键技术研究方向、统筹布局重点领域及相关国际战略举措等。基于论文和专利两种数据,通过两条技术路线,建立商业航天领域技术竞争态势比较分析的基本框架。第一条技术路线,为了使研究对于制定和优化商业航天技术研发投入政策更具参考价值,通过对中美两国学者已发表学术论文进行计量分析,比较分析当前商业航天领域的主要资助主体、学科方向、研究主题等情况,揭示商业航天技术的基础研发态势^[20]。第二条技术路线,通过专利分析从核心技术主题、创新主体类型、专利布局特征等多个维度,比较分析商业航天领域的技术开发情况^[21]。综合两条技术路线建立如图 1 所示的分析框架。

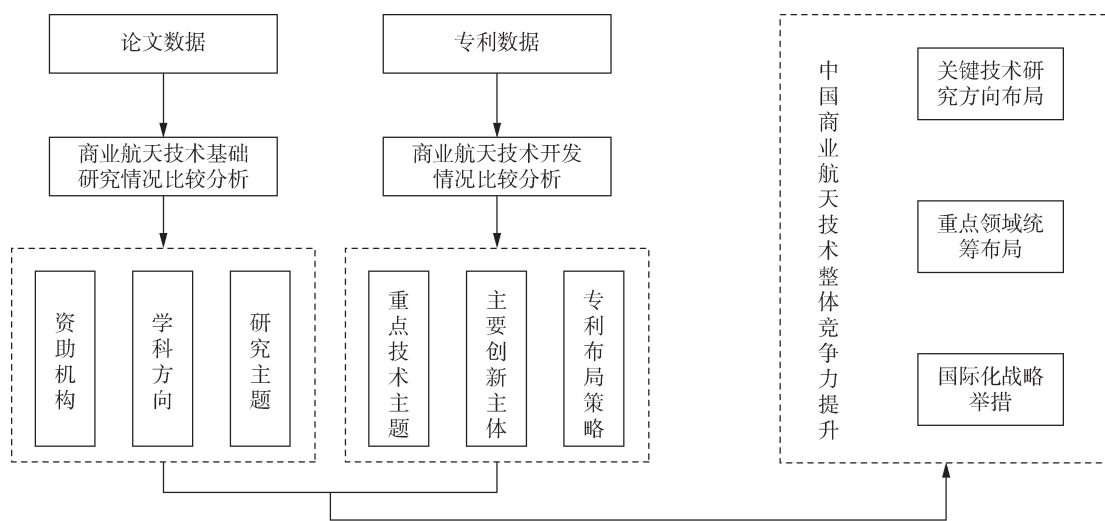


图 1 中美商业航天技术竞争态势比较分析框架

三、基于论文的中美商业航天技术竞争态势分析

现有文献普遍表明,政府科研资助对企业技术创新^[22]及产业价值^[23]具有显著的正向推动作用。同时,已有研究指出,通过对政府资助数据中的技术主题进行挖掘,可为政府、企业等制定科技创新发展战略和产业发展规划提供重要参考依据^[24]。基于此,进一步聚焦政府资助的视角,通过对已发表学术论文的计量分析,剖析中美两国在商业航天关联技术研发中的主要资助机构、学科侧重及重点领域的异同,进而对两国在该领域的基础研究竞争态势展开对比。

(一) 中美资助商业航天技术基础研究的主要机构

1. 中国资助商业航天技术基础研究的主要机构

中国资助商业航天技术基础研究的主要是国家自然科学基金委员会(NSFC),受资助的论文中有近 80%

由 NSFC 支持(表 1)。同时,国家层面还注重通过国家重点研究发展计划、中央高校基本科研业务费(代表教育部或财政部对高校基础研究的稳定支持)、国家重点基础研究发展计划、中国博士后科学基金、中国科学院、国家高技术研究发展计划等布局科研项目来牵引和支持高校、科研机构等围绕商业航天开展原始创新。此外,榜单中也出现了江苏省自然科学基金和北京市自然科学基金,表明近年来地方政府日益将商业航天作为发展的重点产业,通过地方财政支持商业航天领域开展基础研究。

2. 美国资助商业航天技术基础研究的主要机构

美国开展商业航天技术基础研究则更加凸显国际化、多元化等特征(表 2)。从国际化方面来看,美国商业航天基础研究活动注重在全球范围开展合作,不仅获得了美国国家科学基金会(NSF)、美国国家航空航天局(NASA)、美国国防部、美国能源部、空军科学研究所等本国机构的支持,还获得了中国国家自然科学基金委员会、欧盟、英国研究与创新署、英国自然环境研究理事会、欧洲航天局等国外机构的资助。从多元化方面来看,美国商业航天基础研究的资助主体既涵盖 NSF 这类偏向原创探索的机构,也包括 NASA 等兼具任务导向与研究职能的部门。美国国防部和美国能源部也对商业航天进行了资助,表明美国政府通过不同部门对商业航天进行战略性投资的特点,以及注重挖掘商业航天领域在军事、能源等多个领域的应用价值。

中美两国在商业航天基础研究资助机构类型与模式上的差异都有历史原因。中国商业航天的基础研究资助高度集中于 NSFC 的根本原因在于,中国基础研究经费主要依赖财政拨款,早期缺乏社会资本参与科研的渠道。在商业航天产业化起步阶段,NSFC 仍然充当了基础研究资助主力军的角色。美国在航天历史发展中已形成了以“政策立法—政府订单一技术转移—资本参与”为核心的多元化资助体系,政府以“购买服务”而非“直接研发”的方式向 SpaceX 等企业注入资金,NASA 向 SpaceX 开放专利技术、共享试验设备、派驻工程师现场指导等。值得注意的是,2025 年 11 月,中国国家航天局发布商业航天行动计划,明确提出“设立国家商业航天发展基金”,标志着中国资助格局也在向多元化转型。

(二)中美商业航天技术基础研究的学科方向

1. 中国资助商业航天技术基础研究的学科方向分布

中国资助商业航天技术基础研究的学科方向主要集中在“电气与电子工程”,在该学科上的资助比例超过七成(表 3)。其次是“通信工程”,反映出商业航天的核心应用之一即提供通信服务(如卫星互联网、卫星电话等),以及实现地面与航天器之间的稳定通信。“遥感”和“成像科学与摄影技术”则显示出商业航天在地球观测、地理信息获取、灾害监测、农业遥感等领域的应用。此外,随着“天数天算”概念的提出,以及各地相继布局算力星座,计算机科学在商业航天领域中的作用越来越重要。总体来看,中国在商业航天领域的基础研究并非仅仅关注“造星造箭”本身,而是注重探讨如何利用航天技术赋能行业发展,并且这些基础研究活动与人工智能等技术的结合日益紧密^[25]。

表 1 中国资助商业航天技术基础研究的主要机构

排名	资金来源	论文数(篇)	百分比(%)
1	国家自然科学基金委员会	3133	78.58
2	国家重点研究发展计划	651	16.33
3	中央高校基本科研业务费	401	10.06
4	中国博士后科学基金	242	6.07
5	国家重点基础研究发展计划	149	3.74
6	中国科学院	136	3.41
7	国家高技术研究发展计划	119	2.98
8	江苏省自然科学基金	111	2.78
9	中国留学基金管理委员会	103	2.58
10	北京市自然科学基金	68	1.71

表 2 美国资助商业航天技术基础研究的主要机构^①

排名	学科方向	论文数(篇)	百分比(%)
1	美国国家科学基金会	279	21.87
2	美国国家航空航天局	276	21.63
3	中国国家自然科学基金委员会	159	12.46
4	美国国防部	134	10.50
5	欧盟	94	7.37
6	英国研究与创新署	72	5.64
7	美国能源部	59	4.62
8	空军科学研究所	54	4.23
9	英国自然环境研究理事会	49	3.84
10	欧洲航天局	42	3.29

① 表 2 中百分比总和并非 100%。存在这一情况的原因是,单篇研究可能存在多项资助情况,故统计时占比总和大于 1。全文中其他类似表格中数据均为此原因。

2. 美国资助商业航天技术基础研究的学科方向分布

美国资助商业航天技术基础研究的学科方向与中国相比分布更加均匀(表4)。美国注重对“遥感”“环境科学”“成像科学与摄影技术”“电气与电子工程”“多学科地球科学”“航空航天工程”“通信工程”等多个学科方向上的资助,强调聚焦传统航天技术及应用场景开展基础研发活动。此外,美国还在“气象与大气科学”“天文学与天体物理学”等学科方向上给予了近20%的资助比重,这表明美国在太空资源开发方面的前瞻部署。

中美在商业航天关联技术研究在学科方向上的差异,是两国处在不同发展阶段、技术攻关模式差异化的具体体现。中国商业航天发展较晚,当前的核心任务是攻克火箭控制、卫星通信、测控应答机等电子系统的工程化难题,高度聚焦的模式具有“集中力量办大事”的效率优势,有助于快速打破商业火箭和卫星发展的核心技术瓶颈。美国商业航天技术研究领域分布更为均匀,根源在于技术领先者的多路径布局与科学探索型科研范式。美国在商业航天关联技术基础研究方面既重视支持传统技术持续性创新研究,也有资金鼓励和引导学者围绕太空资源开发等前沿领域开展新研究。

(三) 中美资助商业航天技术基础研究的研究主题

本部分使用基于概率模型的 LDA(latent dirichlet allocation)主题聚类算法,对中美商业航天技术资助的主要研究主题进行识别与比较。为体现资助机构的代表性与影响力,研究选取两国资助论文数量 TOP5 机构,分析中美商业航天技术基础研究的主题分布情况。

1. 中国资助商业航天技术基础研究的重点研究主题

综合中国资助商业航天领域基础研究 Top5 机构所支持的重点主题来看(表5),“卫星通信网络与低轨卫星系统”是各机构共同支持的优先资助领域。同时,也尤为注重对“遥感与地球观测技术、遥感测量与精

表 3 中国资助商业航天技术基础研究学科方向

排名	学科方向	论文数(篇)	百分比(%)
1	电气与电子工程	2887	72.41
2	通信工程	1811	45.42
3	遥感	1385	34.74
4	成像科学与摄影技术	1014	25.43
5	多学科地球科学	847	21.24
6	航空航天工程	802	20.12
7	计算机科学:信息系统	762	19.11
8	光学	524	13.14
9	环境科学	513	12.87
10	计算机科学:理论与方法	369	9.26

表 4 美国资助商业航天技术基础研究学科方向

排名	学科方向	论文数(篇)	百分比(%)
1	遥感	361	28.29
2	环境科学	275	21.55
3	成像科学与摄影技术	268	21.00
4	电气与电子工程	263	20.61
5	多学科地球科学	256	20.06
6	航空航天工程	178	13.95
7	通信工程	147	11.52
8	气象与大气科学	132	10.34
9	天文学与天体物理学	87	6.82
10	自然地理学	84	6.58

表 5 中国 Top5 机构资助商业航天技术基础研究的主题分布统计

序号	资助来源	主题	文献量(篇)	百分比(%)
1	国家自然科学基金委员会	卫星通信网络与低轨卫星系统	668	21.32
		遥感与地球观测技术	472	15.07
		遥感测量与精度提升	461	14.71
		空间碎片控制与清除技术	415	13.25
		深度学习与遥感目标检测	328	10.47
		卫星通信与天线设计	316	10.09
		航天任务调度与资源优化	275	8.78
		激光与空间环境影响研究	198	6.32
2	国家重点研究发展计划	卫星通信网络与低轨卫星系统	181	27.80
		遥感与地球观测技术	125	19.20
		遥感测量与精度提升	102	15.67
		卫星通信与天线设计	86	13.21
		深度学习与遥感目标检测	74	11.37
		航天任务调度与资源优化	33	5.07
		空间碎片控制与清除技术	31	4.76
		激光与空间环境影响研究	19	2.92

续表

序号	资助来源	主题	文献量(篇)	百分比(%)
3	中央高校基本科研业务费	卫星通信网络与低轨卫星系统	95	23.69
		卫星通信与天线设计	57	14.21
		空间碎片控制与清除技术	53	13.22
		深度学习与遥感目标检测	52	12.97
		遥感与地球观测技术	48	11.97
		遥感测量与精度提升	45	11.22
		航天任务调度与资源优化	33	8.23
		激光与空间环境影响研究	18	4.49
4	中国博士后科学基金	空间碎片控制与清除技术	43	17.77
		卫星通信网络与低轨卫星系统	42	17.36
		深度学习与遥感目标检测	37	15.29
		卫星通信与天线设计	33	13.64
		遥感测量与精度提升	31	12.81
		遥感与地球观测技术	30	12.40
		航天任务调度与资源优化	15	6.20
		激光与空间环境影响研究	11	4.55
5	国家重点基础研究发展计划	遥感与地球观测技术	52	34.90
		遥感测量与精度提升	41	27.52
		卫星通信网络与低轨卫星系统	18	12.08
		激光与空间环境影响研究	15	10.07
		卫星通信与天线设计	10	6.71
		空间碎片控制与清除技术	6	4.03
		航天任务调度与资源优化	5	3.36
		深度学习与遥感目标检测	2	1.34

度提升、空间碎片抑制与清除技术、深度学习与遥感目标检测、卫星通信与天线设计”等领域的资助。此外,相关资助机构对“航天任务调度与资源优化”的支持比例相对较低,这可能在一定程度上说明,当前中国商业航天的发展还未进入成本集约阶段,尚处于基础理论和技术创新突破阶段;对“激光与空间环境影响研究”主题的支持力度不够大的原因可能是,当前中国大规模卫星星座建设尚处于起步阶段,对于如何打通星间链路、加强星间通信还有待加快研究。

2. 美国资助商业航天技术基础研究的重点主题

美国商业航天基础研究资助机构间分工明确,体现出美国在商业航天基础研究领域的多元化战略和专业化布局^[26](表6)。NSF的资助主题较为均衡地分布在遥感测量与精度提升、卫星通信与天线设计、遥感与

表6 美国 Top5 机构资助商业航天技术基础研究的主题分布统计

序号	资助来源	论文所属主题	文献量(篇)	百分比(%)
1	美国国家科学基金会	遥感测量与精度提升	64	22.94
		卫星通信与天线设计	56	20.07
		遥感与地球观测技术	55	19.71
		空间碎片控制与清除技术	52	18.64
		激光与空间环境影响研究	27	9.68
		卫星通信网络与低轨卫星系统	18	6.45
		航天任务调度与资源优化	4	1.43
		深度学习与遥感目标检测	3	1.08
2	美国国家航空航天局	遥感与地球观测技术	98	35.51
		遥感测量与精度提升	80	28.99
		空间碎片控制与清除技术	41	14.86
		激光与空间环境影响研究	27	9.78
		卫星通信与天线设计	17	6.16
		卫星通信网络与低轨卫星系统	7	2.54
		深度学习与遥感目标检测	6	2.17

续表

序号	资助来源	论文所属主题	文献量(篇)	百分比(%)
3	中国国家自然科学基金委员会	卫星通信与天线设计	44	27.67
		遥感与地球观测技术	29	18.24
		遥感测量与精度提升	28	17.61
		空间碎片控制与清除技术	21	13.21
		卫星通信网络与低轨卫星系统	17	10.69
		深度学习与遥感目标检测	11	6.92
		激光与空间环境影响研究	5	3.14
		航天任务调度与资源优化	4	2.52
4	美国国防部	空间碎片控制与清除技术	56	41.79
		卫星通信与天线设计	25	18.66
		遥感测量与精度提升	21	15.67
		激光与空间环境影响研究	13	9.70
		卫星通信网络与低轨卫星系统	9	6.72
		遥感与地球观测技术	6	4.48
		航天任务调度与资源优化	2	1.49
		深度学习与遥感目标检测	2	1.49
5	欧盟	遥感与地球观测技术	38	40.43
		遥感测量与精度提升	34	36.17
		卫星通信与天线设计	9	9.57
		空间碎片控制与清除技术	6	6.38
		激光与空间环境影响研究	6	6.38
		卫星通信网络与低轨卫星系统	1	1.06

地球观测技术、空间碎片控制与清除技术等领域,资助领域相对广泛。NASA 是地球观测与应用的核心推动者,对遥感与地球观测技术和遥感测量与精度提升两大主题的资助比例合计超过 60%;空间碎片控制与清除技术是美国国防部最为重要的资助方向,资助比例超过 40%,表明美国致力于维护其在太空行动中的利益及其主导地位。此外,值得一提的是,美国在卫星数据处理领域的投入不足,或将成为未来的技术瓶颈。

中美 Top5 机构资助商业航天相关技术的差异体现在中国的技术主题高度重叠,而美国呈现出差异化分工。美国比中国更加多元化,且更重视国际合作,与中国、欧盟等国家或地区开展各具特色的合作研发。随着中国商业航天行动计划的发布,该计划明确支持低成本、可复用运载火箭,以及导航增强、高分遥感等多类型星座建设,并强调国际化发展等。这种多元化的引导,将有助于中国商业航天事业推动研究资源从单一赛道向外溢领域扩散,为技术引领期的到来储备多学科创新动能。

四、基于专利的中美商业航天技术竞争态势分析

现有研究表明,高价值专利在推动产业链与创新链深度融合^[27]、促进新兴技术企业成长^[28]等方面发挥着关键作用。基于此,进一步通过专利计量方法,对中美两国在商业航天关联技术应用开发阶段的竞争态势进行比较,研究将重点聚焦于双方各自关注的技术主题、参与创新的主体类型、所采取的专利布局策略和国际标准治理做法四个维度进行剖析。

(一)中美商业航天技术应用开发的重点主题

从发明专利总量来看,中国在商业航天领域授权的专利量为 10795 项,大幅度领先于美国的 5913 项。应用 LDA 方法,分别对中美两国商业航天领域发明授权专利的技术主题进行聚类。并结合相关研究^[29-31]发现,两国的商业航天技术开发均主要聚焦于七大主题,分别是智能无人系统与任务协同控制技术、运载火箭与推进系统结构设计、卫星通信与网络资源管理系统、遥感数据获取与智能信息处理技术、通信载荷与天线系统设计、航天建模与姿态控制算法研究和导航信号处理系统与优化。基于聚类结果,不同技术主题下中国和美国的商业航天技术的发明专利数量及占比情况见表 7。

整体来看,中国在七大技术主题的授权发明专利数量都显著高于美国,表明中国大量的创新资源在向商业航天关联技术开发方面集聚,并积累了较强的技术开发基础优势。从各技术主题专利数量占比来看,中

表 7 不同技术主题下中美商业航天领域发明专利数量及占比情况

序号	主题名称	专利数量(件)		占本国专利总量的比重(%)	
		中国	美国	中国	美国
1	智能无人系统与任务协同控制技术	1121	870	10.38	14.71
2	运载火箭与推进系统结构设计	1765	471	16.35	7.97
3	卫星通信与网络资源管理系统	2431	1111	22.52	18.79
4	遥感数据获取与智能信息处理技术	1584	1427	14.67	24.13
5	通信载荷与天线系统设计	1042	898	9.65	15.19
6	航天建模与姿态控制算法研究	1239	813	11.48	13.75
7	导航信号处理系统与优化	1613	323	14.94	5.46

国的商业航天关联技术主要集中在卫星通信与网络资源管理、运载火箭与推进系统结构设计、导航信号处理系统与优化三个技术主题,表明中国当前着重聚焦卫星网络架构、通信链路管理、运载火箭、发动机、高精度导航等核心技术主题开展攻关;美国则在遥感数据获取与智能信息处理技术、智能无人系统与任务协同控制技术和通信载荷与天线系统设计三个方向的专利布局占比较多,表明美国可能更侧重于通过软件管理、平台化、数据服务和高效运维来驱动商业航天的发展。可见,中国专利数量虽然显著高于美国,但当前中国商业航天更偏向于航天器设计、发射、基础导航等核心“硬件”和“基础能力”开发阶段,依赖于巨额资金投入,而美国商业航天当前则更侧重于发展数据分析、智能化应用和关键部件制造,已形成可盈利的商业化发展路径,中国需研究如何将“硬件”和“基础能力”尽快转化为商业价值。

(二)中美商业航天技术应用开发的主要创新主体

针对不同技术主题具体来看中美商业航天技术涉及的创新主体情况。

(1)综合七大技术主题看,中国在智能无人系统与任务协同控制技术主题下的发明专利数量相对较少,对于各类创新主体来说也并非重点方向。其中,首先是北京航空航天大学在该领域的布局比重相对较高,拥有授权发明专利 34 件,占该校发明专利总量的 13.4%;其次是国防科技大学,拥有授权发明专利 13 件,占比 9.7%。从两家单位布局的专利来看,均积极参与商业航天技术开发,如北京航空航天大学所研发的“人工智能程序员书写星上遥感任务规划 Agent 程序的方法”专利技术,能够减轻人工书写星上遥感任务规划软件的工作量,同时降低程序书写错误率,进一步保证商业卫星遥感任务的顺利进行。另外,无论美国的企业、联邦政府部门还是大学,在智能无人系统与任务协同控制技术方面的投入力度都更大。休斯网络系统有限责任公司在该领域布局的发明专利数量最多,有 56 件,占机构总量的比重为 22%;洛克希德·马丁公司、波音公司、卫讯公司在该领域的授权发明专利数量也超过了 20 件,均占各机构总数的 10%以上;美国海军部在该领域布局了 6 件发明专利,占机构总数的近 15%。

(2)中国在运载火箭与推进系统结构设计技术主题领域的主导力量仍然以国家队为主。主要包括中国运载火箭技术研究院(发明专利数量 78 件,占机构总量比重约 56%)、航天恒星科技有限公司(发明专利数量 52 件,占机构总量比重约 58%)、北京星河动力装备科技有限公司(发明专利数量 52 件,占机构总量比重约 68%)、中国人民解放军某部队(发明专利数量 25 件,占机构总量比重近 35%),以及哈尔滨工业大学(发明专利数量 63 件,占机构总量比重近 40%)、北京航空航天大学(发明专利数量 60 件,占机构总量比重近 24%)。如中国运载火箭技术研究院研发的“运载火箭环境适应性分析方法、系统、终端及介质”专利,提供了一种基于运载火箭全寿命周期时序进行环境适应性薄弱环节辨识的分析技术,将通过验证的环境适应性薄弱环节释放,解决商业航天中运载火箭的环境适应性评估对环境试验过度依赖的问题,避免地面试验的反复,节约研制成本。对于美国而言,高投入、高风险的运载火箭研制技术显然不是创新主体关注的重点,美国在该领域拥有的发明专利数量为 471 件,仅为中国在该领域拥有发明专利数量的 26%,这种现象可能说明当前美国商业航天领域运载火箭的研制主要集中在 SpaceX、波音公司、蓝色起源、火箭实验室等少数几个企业。

(3)中国在卫星通信与网络资源管理系统技术主题布局的发明专利数量在七大主题中最多,围绕该领域开展技术创新的主体以国家队为主。主要包括中国电子科技集团公司某所(发明专利数量 151 件,

占机构总量比重近 40%)、航天恒星科技有限公司(发明专利数量 52 件,占机构总量比重近 58%)、清华大学(发明专利数量 47 件,占机构总量比重 35%)、中国空间技术研究院(发明专利数量 41 件,占机构总量比重 28%)、国防科技大学(发明专利数量 35 件,占机构总量比重 26%)等。这表明中国卫星通信与网络资源管理的权限目前尚集中在国有资本,准入门槛较高,民营企业参与有限。美国在该领域的技术布局则以企业为主导,如卫讯公司在“卫星通信与网络资源管理系统”方向布局了 66 件发明专利,超过机构总量的 50%,这与其作为全球知名的卫星宽带通信提供商的业务高度吻合。休斯网络系统有限责任公司在该领域也布局了 31 项发明专利,占机构总量的比重超过 48%。美国海军部、美国国家航空航天局、陆军部等政府部门,以及麻省理工学院、加州理工学院、约翰·霍普金斯大学等,在该领域布局的发明专利数量均不超过 3 件。这表明美国政府围绕卫星通信与网络资源管理权限日渐形成了“政府引导+企业主导”的协同生态。

(4)虽然中国在遥感数据获取与智能信息处理技术主题领域布局的发明专利数量超过美国,但分布非常分散。在该领域布局发明专利数量最多的是北京航空航天大学,专利数量是 24 件,占机构总量的比重近 10%。其次是中国运载火箭技术研究院在该领域布局的发明专利为 14 件,占机构总量的比重为 10%。中国电子科技集团公司某所、哈尔滨工业大学在该领域布局的发明专利均为 12 件,国防科技大学在该领域布局的发明专利数量为 10 件,其余企业、高校院所在该领域布局的发明专利数量均在 10 件以下。美国在该领域的技术布局则较为集中,主要由霍尼韦尔国际公司、波音公司、休斯网络系统有限责任公司三大企业主导,三个企业在该领域布局的发明专利数量分别是 80 件、53 件、31 件,霍尼韦尔国际公司在该领域布局的发明专利数量占机构总量的比重近 60%。

(5)中美两国在通信载荷与天线系统设计技术主题领域的布局均较为集中,区别在于中国主要集中在国家队和高校院所,美国则以企业为主。具体来看,中国在该领域布局的发明专利数量最少,开展相关技术攻关的主要是中国电子科技集团公司某所(发明专利数量 83 件,占机构总量比重超过 20%)、西安电子科技大学(发明专利数量 28 件,占机构总量比重约 16%)、中国科学院国家空间科学中心(发明专利数量 13 件,占机构总量比重超过 40%)。美国在该领域布局的发明专利数量在七大技术主题中排名第三位,开展相关技术开发的主要是波音公司(发明专利数量 56 件,占机构总量比重超过 25%)、洛克希德·马丁公司(发明专利数量 40 件,占机构总量比重近 33%)、美国海军部(发明专利数量 12 件,占机构总量比重近 30%)。

(6)中美两国在航天建模与姿态控制算法研究技术主题领域的布局在七大主题中均居于第五位,该领域并非两国布局的最重点领域。具体看,中国在该领域布局发明专利的主要是高校院所,且分布较为分散。高校主要包括北京航空航天大学(发明专利数量 56 件)、国防科技大学(发明专利数量 28 件)、哈尔滨工业大学(发明专利数量 27 件)、西安电子科技大学(发明专利数量 21 件)等。以北京航空航天大学研发的“一种姿态控制系统设计方法”专利为例,它能够通过接收小型运载火箭飞行任务的任务参数,优化其姿态控制系统的设计方案,可有效解决现有技术中难以确定小型运载火箭姿态控制系统最优设计方案的难题,从而显著节约商业航天任务的科研成本,并缩短研发周期。相对而言,美国在该领域布局的发明专利主要集中在企业手中。波音公司在该领域拥有 29 件发明专利,洛克希德·马丁公司拥有 22 件,休斯网络系统有限责任公司和霍尼韦尔国际公司则均拥有 15 件。

(7)中国在导航信号处理系统与优化技术主题领域布局的发明专利数量在七大主题中排名第三,开展相关技术开发的主体以国家队和高校为主。例如,中国电子科技集团公司某所在该领域布局了 123 件发明专利,占机构总量的比重超过 30%;西安电子科技大学、北京航空航天大学和清华大学分别在该领域布局的发明专利数量为 53 件、50 件和 43 件。美国在该领域布局的发明专利数量在七大领域中最少,仅为中国的 20%,且较为分散地分布在各创新主体。其中,休斯网络系统有限责任公司在该领域拥有的发明专利数量最多,为 14 件;霍尼韦尔国际公司和波音公司分别为 11 件、10 件;其余创新主体在该领域布局的发明专利数量均在 10 件以下。

总之,中美商业航天技术应用开发的主要创新主体差异根植于两国不同的制度传统与产业基础。中国现阶段是“国家队承担重大战略任务、民营企业聚焦细分赛道”的分工格局,走的是“渐进开放、央地协同、政

策引导”的发展道路。中国民营商业航天企业还处于从“技术验证”向“规模化发展”的转变期,正在从“航天商业化”向真正的“商业航天”过渡。而美国民营企业发展更加成熟,如 Planet Labs 等遥感数据服务商通过标准化订阅服务形成稳定现金流,SpaceX 已实现从发射服务商向全球电信运营商的转型,星链星座成为其盈利增长的核心动力。因此,在“政府-科研机构-企业”深度协同的创新网络中,民营企业已成为美国商业航天的主导力量。

(三)中美商业航天技术应用开发的专利布局策略

在以上分析的基础上,进一步从技术布局视角对中美商业航天技术的专利布局策略进行比较分析。两国在七大技术主题上的专利技术布局情况见表8。

(1)围绕智能无人系统与任务协同控制技术主题,中国专利的技术分布较为分散,多分布在非电变量的控制或调节系统、一般的控制或调节系统、电数字数据处理,以及航空航天相关的宇宙航行器及其所用的飞行器或设备、喷气推进装置,更侧重于智能无人系统的通用控制理论、数据处理及与航天器推进的结合,倾向于从系统整体和硬件层面进行突破。而美国专利则相对集中于强调基于无线电技术的精确导航、定位和通信,以及无人系统在更广泛的航空航天领域的应用。同时,中国专利主要在国内进行申请和获得授权,而美国专利则除在国内申请外,在德国、加拿大、日本等也有一定布局,地域布局范围较广,且数量也较多。

(2)中国在运载火箭与推进系统结构设计技术主题的专利布局较多,主要集中在爆炸药、电数字数据处理、机器或结构部件的静或动平衡的测试,表明在运载火箭与推进系统结构设计上,中国更关注材料、数字化仿真和结构测试等基础与辅助技术。美国则主要布局在用于与航空器或宇航器配合或装到飞机上的设备、喷气推进装置和非电变量的控制或调节系统,更侧重于推进系统与飞行器的整体集成、喷气推进技术和相关控制系统。在国家布局方面,中国专利的申请和授权仍以国内为主。虽然美国在该技术主题上的专利数量较少,但在德国、奥地利等国家的专利局也有所布局。

(3)中国在卫星通信与网络资源管理系统技术主题上专利的技术分布较为集中,主要涉及传输、无线网络、数字信息的传输和数字数据处理等技术方向,美国专利也主要布局在以上技术方向,表明中美两国在卫星通信领域均有全面布局,涵盖基础的信号传输、无线网络技术到数字信息处理和数据传输。在国家布局方面,中国专利仍主要分布在国内,而美国专利则在德国、加拿大、日本等国家的专利局及欧洲专利局有大量的申请和布局,地域和数量分布均更广,体现其在国际市场上的竞争力和影响力。

(4)围绕遥感数据获取与智能信息处理技术主题,中美两国的核心技术分布均较为分散,中国在电数字数据处理、图像或视频识别理解、无线电定向及采用无线电波测距或测速检测等、一般的图像数据处理或产生和无线电天线多个领域均有数量大致相当的专利授权;美国在传输、数字数据处理、数字信息的传输、无线网络和无线电定向及采用无线电波测距或测速或检测等方面均有相对较多的专利布局。在国家布局方面,中国专利仍主要分布在国内,而美国专利在该领域除同样在本土市场进行了大量的专利布局外,也在奥地利、加拿大和日本等国家的专利局及欧洲专利局均有数量较多的申请和布局,地域和数量分布同样更广泛。

(5)中国在通信载荷与天线系统设计技术主题上主要集中在“波导、谐振器、传输线或其他波导型器件,电数字数据处理,一般的控制或调节系统”三个方向,表明中国更注重载荷的物理硬件组件(波导、谐振器)和内部的数字处理与控制。美国则主要布局在“传输,飞机及直升机,土层或岩石的钻进”这三个方向,更强调载荷的传输功能,以及与飞行器的集成。在国家布局方面,中国专利仍主要分布在国内,美国专利则除在本国申请和获得授权外,在奥地利、德国和日本等国家的专利局及欧洲专利局均有数量较多的申请和布局。

(6)围绕航天建模与姿态控制算法研究技术主题,中美两国在航天建模与姿态控制方面投入较大,均高度重视无线电定向、导航、测距和与航天器相关的控制技术的开发。两国均主要在“无线电定向及采用无线电波测距或测速或检测等,传输,测量距离、水准或方位、勘测、导航、陀螺仪等,宇宙航行器及其所用的飞行器或设备”四个方向有大量专利布局。在国家布局方面,美国在本土市场进行了大量专利布局,并在日本、德国等国家的专利局及欧洲专利局也获得了较多的专利授权。

(7)在导航信号处理系统与优化技术主题范畴下,中美两国除了在电数字数据处理、数字信息的传输等

领域均有大量布局外,中国主要集中在无线电定向、采用无线电波测距或测速或检测等无线通信网络的构建及应用等方面,表明中国在导航信号处理方面,强调无线电定位、网络通信和数字信息处理的结合,以优化导航性能。美国则主要布局在图像通信和一般编码、译码或代码转换,表明美国在导航信号处理方面,更侧重于数字处理、数字信息传输、图像通信和编码/译码技术。在国家布局方面,美国在本土市场进行大量专利布局的同时,在日本、德国、奥地利和加拿大也有相应的技术布局。

综合中美两国在商业航天七大技术主题上的专利布局情况进行比较发现,中国专利主要布局在卫星通信、遥感数据处理、航天建模姿态控制和导航信号处理等领域,更注重基础性、系统性的建设,涵盖从硬件、传输

表 8 中美两国在七大技术主题上的专利布局情况

序号	技术主题	中国商业航天技术专利布局情况				美国商业航天技术专利布局情况			
		主要 IPC 小类号及含义	专利数量 (件)	国家/地区	布局专利数量 (件)	主要 IPC 小类号及含义	专利数量 (件)	国家/机构	布局专利数量 (件)
1	智能无人系统与任务协同控制技术	G05D:非电变量的控制或调节系统	331	中国	1085	H04B:传输	378	美国	560
		G05B:一般的控制或调节系统	109	美国	16	G01S:无线电定向;无线电导航;采用无线电波测距或测速或检测等	135	德国	48
		G06F:电数字数据处理	80	南非	2	H04L:数字信息的传输	68	奥地利	46
		H04B:传输	71	越南	1	H04W:无线通信网络	42	加拿大	29
		G01C:测量距离、水准或者方位;勘测;导航;陀螺仪等	47	英国	1	H01Q:天线,即无线电天线	27	日本	28
2	运载火箭与推进系统结构设计	B64G:宇宙航行;及其所用的飞行器或设备	362	中国	1737	B64G:宇宙航行;及其所用的飞行器或设备	78	美国	325
		F02K:喷气推进装置	271	美国	11	B64C:飞机;直升飞机	47	德国	19
		F42B:爆炸装药,例如用于爆破;烟火;弹药	106	日本	3	F02K:喷气推进装置	36	奥地利	16
		G06F:电数字数据处理	93	新加坡	2	B64D:用于与飞机配合或装到飞机上的设备等	25	加拿大	15
		G01M:机器或结构部件的静或动平衡的测试	72	南非	2	G05D:非电变量的控制或调节系统	19	欧洲专利局	13
3	卫星通信与网络资源管理系统	H04B:传输	1142	中国	2333	H04B:传输	661	美国	639
		H04W:无线通信网络	546	美国	43	H04W:无线通信网络	125	德国	62
		H04L:数字信息的传输	422	日本	11	H04L:数字信息的传输	106	加拿大	50
		G06F:电数字数据处理	107	俄罗斯	7	H04J:多路复用通信	40	日本	46
		G06Q:专门适用于行政、商业、金融、管理或监督目的的信息和通信技术	36	欧洲专利局	5	H04Q:选择(开关、继电器、选择器入 H01H;无线通信网络入 H04W)	26	欧洲专利局	44
4	遥感数据获取与智能信息处理技术	H04B:传输	145	中国	1519	H04B:传输	196	美国	1038
		G06F:电数字数据处理	139	美国	15	G06F:电数字数据处理	142	奥地利	57
		G06V:图像或视频识别或理解	120	日本	3	H04L:数字信息的传输	122	加拿大	44
		G01S:无线电定向;无线电导航;采用无线电波测距或测速或检测等	108	奥地利	3	H04W:无线通信网络	121	欧洲专利局	42
		G06T:一般的图像数据处理或产生	104	澳大利亚	2	G01S:无线电定向;无线电导航;采用无线电波测距或测速或检测等	96	日本	34

续表

序号	技术主题	中国商业航天技术专利布局情况				美国商业航天技术专利布局情况			
		主要 IPC 小类号及含义	专利数量 (件)	国家/地区	布局专利数量 (件)	主要 IPC 小类号及含义	专利数量 (件)	国家/机构	布局专利数量 (件)
5	通信载荷与天线系统设计	H01Q: 天线, 即无线电天线	311	中国	1007	H01Q: 天线, 即无线电天线	265	美国	633
		H04B: 传输	209	美国	10	B64G: 宇宙航行; 及其所用的飞行器或设备	239	奥地利	34
		H01P: 波导; 谐振器、传输线或其他波导型器件	82	奥地利	4	H04B: 传输	70	欧洲专利局	29
		G06F: 电数字数据处理	32	日本	2	B64C: 飞机; 直升飞机	20	德国	25
		G05B: 一般的控制或调节系统	30	澳大利亚	1	E21B: 土层或岩石的钻进	19	日本	24
6	航天建模与姿态控制算法研究	G06F: 电数字数据处理	356	中国	1220	G01S: 无线电定向; 无线电导航; 采用无线电波测距或测速或检测等	227	美国	563
		G01S: 无线电定向; 无线电导航; 采用无线电波测距或测速或检测等	151	美国	10	H04B: 传输	151	日本	37
		G01C: 测量距离、水准或者方位; 勘测; 导航; 陀螺仪等	118	南非	2	B64G: 宇宙航行; 及其所用的飞行器或设备	133	德国	29
		H04B: 传输	88	卢森堡	1	H01Q: 天线, 即无线电天线	44	奥地利	24
		G06Q: 专门适用于行政、商业、金融、管理或监督目的的信息和通信技术	72	荷兰	1	G01C: 测量距离、水准或者方位; 勘测; 导航; 陀螺仪等	43	欧洲专利局	20
7	导航信号处理系统与优化	H04B: 传输	683	中国	1566	H04B: 传输	47	美国	212
		G01S: 无线电定向; 无线电导航; 采用无线电波测距或测速或检测等	269	美国	28	G06F: 电数字数据处理	45	日本	24
		H04L: 数字信息的传输	191	南非	2	H04L: 数字信息的传输	37	德国	13
		H04W: 无线通信网络	89	俄罗斯	2	H04N: 图像通信, 如电视	33	奥地利	11
		G06F: 电数字数据处理	51	加拿大	2	H03M: 一般编码、译码或代码转换	21	加拿大	10

到数据处理的整个链条。同时,由于中美航天商业化程度处于不同的发展阶段,中国商业航天技术还处于技术追赶与国产替代的关键期,尚不具备大规模参与国际市场竞争的能力,发明专利在美国、日本、奥地利和俄罗斯等地仅有少量申请和布局。美国专利在各技术主题中,更倾向于智能无人系统、卫星通信和遥感数据处理等领域,强调效率、精度和特定高级功能的实现,并在专利国家布局方面,基于技术领先优势与全球扩张需求,倾向于全球化布局,通过技术创新和专利保护来阻止竞争对手的轻易复制和模仿,维持其在关键技术主题的国际领先地位。

(四) 中美在商业航天技术国际标准治理方面的做法

除以上基于论文和专利数据的中美商业航天技术竞争态势分析外,本文也尝试从“国际标准”视角讨论二者的技术态势。具体而言,本部分通过国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)官网^[32]开放数据平台获取国际标准元数据,并以 ISO/TC 20/SC 14“空间系统与运行”和 ISO/TC 20/SC 13“空间数据与信息传输系统”两个分委会为基础,对涉及商业航天领域的国际标准进行筛选,共识别相关标准 750 项。在此基础上,进一步结合两类标准所属的委员会/分委会元数据及秘书处承担机构等信息,对其

标准制定的治理结构与主导格局进行分析。

分析结果表明,当前 ISO/TC 20/SC 14 与 ISO/TC 20/SC 13 的秘书处承担机构均为美国国家标准协会(ANSI),秘书处均设于美国。这说明,美国在商业航天相关国际标准的委员会治理、议程组织与规则协调层面占据明显优势,因而在该领域国际标准体系中具有较强的制度性主导地位。与此同时,中国国家标准化管理委员会(SAC)在上述两个分委会中均为 P 成员(participating member),即正式参与成员,享有参与标准制定、审议投票并积极参与委员会工作的权利,表明中国已进入商业航天国际标准制定的核心参与圈层,而非处于外围观察地位。

总体来看,在商业航天国际标准领域,美国凭借技术先发优势、产业生态成熟度,以及在 ISO 相关分委会中的秘书处控制地位,在标准治理层面总体处于主导位置;中国则已具备较强的制度参与能力和核心圈层属性,正由以往的相对被动跟随,逐步向部分细分领域的主动参与和局部突破转变。

五、结论、政策建议与研究展望

商业航天作为对国家长远发展具有战略意义的新兴领域,兼具技术密集、资本密集与高风险、长回报周期的显著特征。目前,中国商业航天产业仍处于起步阶段,与美国等领先国家相比,在整体技术水平上仍存在一定差距。系统梳理与对比中美两国在商业航天关联技术的基础研究与应用开发方面的竞争态势,能够为中国在该领域的技术突破与产业政策制定提供有价值的参考依据。

本文聚焦中美商业航天技术竞争态势,结合中国商业航天产业发展阶段和特征,从创新链的基础研究和技术开发两个环节出发,基于论文数据和专利数据比较分析发现:美国资助商业航天关联技术开展基础研究的机构分布和类型都更为多元,资助机构包括来自美国、中国、英国和欧盟等国家和地区,资助部门也呈现出更加多元的特征,注重开展应用导向下的基础研究;中国则主要停留于对商业航天技术的纯基础研究,资助机构主要是国家自然科学基金委员会。中国商业航天技术基础研究注重对行业发展的赋能,以及人工智能等前沿技术的应用,美国则更为鼓励聚焦商业航天的太空资源开发等前沿领域开展研究。从两国基础研究关注的重点主题看,中国越来越重视星间通信技术的研发,美国则投入不足。在商业航天技术专利布局方面,中国专利布局更注重基础性、系统性的建设,涵盖从硬件、传输到数据处理的整个链条。美国专利的布局更为强调效率、精度和特定功能的实现,并倾向于全球化布局,以维持其在关键技术主题上的国际领先地位。

为进一步提升中国商业航天技术的整体竞争力,本文提出三方面启示建议。第一,在关键技术研究方向布局方面,加大前沿研究支持力度。立足商业航天高质量发展需要,强化太空资源开发领域前沿研究政策支持与资源保障。加快制定国家层面太空资源开发战略规划,锚定技术自主化、应用场景化目标,将小行星采矿、月球资源勘探利用等关键技术纳入重点攻关清单,明确分阶段任务指标与验收标准,构建层级分明的技术攻坚体系。同步设立专项财政资金,定向支持太空资源勘探、提取、利用全链条技术研发,建立跨部门协调机制,引导高校、科研机构、龙头企业组建创新联合体,推动创新要素高效整合。第二,在重点领域统筹布局方面,加快大规模算力星座部署。强化顶层设计,实施国家“一盘棋”战略布局,设立国家级太空计算星座重大专项,明确专项抓总牵头部门与核心创新主体,厘清各方职责边界,建立高效协同的统筹推进机制。同时,立足各地产业基础、科研优势与算力需求,推动太空计算星座的地面配套设施、应用场景试点等环节差异化统筹布局,避免重复建设。通过顶层统筹与地方特色相结合,整合全国创新资源,构建天地一体、协同联动的算力星座体系,为中国抢占空天算力发展制高点提供坚实支撑。第三,在国际化战略举措方面,加强国际科技合作。一方面,鼓励各类创新主体开展全球化专利合作与布局,重点加强与美国相关机构的知识产权合作机制建设,深入研判目标国市场需求与制度规则特征,针对性深化并拓展在全球主要国家和地区的商业航天专利战略性布局,提升知识产权国际话语权;另一方面,大力支持创新主体出海发展,支持商业航天企业设立海外研发中心,积极吸纳国际顶尖航天人才参与核心技术研发,鼓励企业深度参与航天领域国际规则与标准制定。

总体看,本文综合运用文献计量与专利分析方法,对中美商业航天领域的技术竞争态势进行了剖析。

需要指出的是,技术竞争不仅反映在高水平学术论文与高质量专利中,也深刻体现于商业化应用进程。而本文主要从期刊论文和授权发明专利的数量、区域布局及技术主题等维度考察中美商业航天技术活动特征,尚未进一步纳入专利被引、维持年限、许可转化收益等更直接表征专利质量与商业价值的指标。后续研究可结合多源数据库,进一步构建高价值专利识别框架,以更全面地揭示中美商业航天技术竞争力差异。未来,随着中国商业航天产业日益成熟,从涵盖基础研究、技术开发到产业应用的全创新链视角开展比较研究,将有助于形成更为系统、全面的认识。

参考文献

- [1] 纪实. 美国新的商业航天政策[J]. 国际太空, 1991(6): 1.
- [2] 李志强, 李传宝, 林镛. 国外航天技术国际合作政策分析及对我国的启示[J]. 科技进步与对策, 2004(10): 34-36.
- [3] 林镛, 李志强, 邹珊珊. 商业航天发射寡头市场竞争策略研究[J]. 研究与发展管理, 2004(4): 14-18.
- [4] 《航天工业管理》编辑部. 美国商业航天工业价值达到610亿美元[J]. 航天工业管理, 2001(3): 44.
- [5] 尹玉海, 刘飞奇. 航天商业发射保险法律制度浅析[J]. 太平洋学报, 2008(6): 55-59, 66.
- [6] 薄守省. 中国航天活动商业化之法律架构[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2012, 14(3): 104-109, 131.
- [7] 杨日炎. 中国提速商业航天[J]. 瞭望, 2010(42): 49-51.
- [8] 《卫星与网络》编辑部. NASA授予三家商业航天公司立方星专用运载火箭研发合同[J]. 卫星与网络, 2015(9): 43.
- [9] 钱航. 美国商业航天中的三足鼎立[J]. 航天员, 2016(2): 68-71.
- [10] 张镛. 把商业航天的旗帜立起来[J]. 人民论坛, 2017(18): 37.
- [11] 陈岩, 宋文彬, 张平. 抢占太空算力战略制高点: 全球竞争态势与中国路径[J]. 中国科学院院刊, 2026, 41(5): 1028-1039.
- [12] 李斌, 李程, 高玉闪, 等. 重复使用运载火箭液体动力技术发展[J]. 火箭推进, 2024, 50(1): 1-11, 10002.
- [13] 牛枫, 王宸, 陈金宝, 等. 可重复使用运载火箭回收着陆装置研究进展[J]. 宇航学报, 2025, 46(5): 825-837.
- [14] 马翠廉, 杨少鲜, 杨柯巍. 中国航天经济卫星账户框架设计[J]. 统计与决策, 2026, 42(7): 43-49.
- [15] 郭文斌, 崔彪. 中美商业航天发展脉络对比分析[J]. 卫星应用, 2021(2): 26-31.
- [16] 刘欢, 张雨. 基于专利分析的中美商业航天重点创新主体情报研究[J]. 中国发明与专利, 2022, 19(9): 12-17.
- [17] 张志会, 马连铁. 20世纪末中美航天商业发射的合作与冲突[J]. 当代中国史研究, 2018, 25(3): 76-85, 127.
- [18] 张化照, 陈向东, 牛欣, 等. 基于模块体系的航空航天产品研发流程管理研究[J]. 技术经济, 2010, 29(10): 1-5.
- [19] KWON D W, MCGOVERN, M J, CAPOROSI P N. Migrating the development of complex aerospace systems toward commercial practices[J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2012, 27(8): 16-26.
- [20] 刘志迎, 闫天星, 古继宝. 工业软件关键核心技术国际竞争态势研究[J]. 科学学研究, 2025, 43(7): 1363-1374.
- [21] 韩军徽, 梁帅. 中国基础研究领域中中文发表研究成果的概况及启示: 基于国家自然科学基金基础研究知识库的分析[J]. 中国科技论坛, 2022(4): 9-16.
- [22] 侯二秀, 侯文丽, 尹西明. 大数据分析能力研究演进、理论框架与前沿展望[J]. 创新科技, 2023, 23(4): 1-21.
- [23] 李瑞茜, 白俊红. 政府R&D资助对企业技术创新的影响——基于门槛回归的实证研究[J]. 中国经济问题, 2013(3): 11-23.
- [24] 陈守明, 王杰. 政府资助对我国5G产业企业价值的影响——基于新冠疫情的事件研究法[J]. 软科学, 2021, 35(11): 25-31.
- [25] 李佳恒, 王萍, 凌茗, 等. 基于政府资助企业产品开发项目的技术主题识别研究[J]. 情报理论与实践, 2025, 48(10): 140-147.
- [26] 王刚, 刘靖东, 陈向东, 等. 大型航天企业复杂产品体系的关键技术选择[J]. 技术经济, 2010, 29(11): 19-23.
- [27] KRAUSE F C, RUIZ J P, JONES S C, et al. Performance of commercial li-ion cells for future NASA missions and aerospace applications[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2021, 168(4): 132-150.
- [28] 夏芸, 莫本森, 谢林伶. 高价值专利对产业链与创新链融合的影响研究[J]. 科技进步与对策, 2026, 43(8): 62-73.
- [29] 彭华涛, 祁伟, 潘月怡, 等. 高价值专利对于新兴技术企业成长的影响研究[J]. 科学学研究, 2025, 43(5): 1052-1063, 1076.
- [30] KUMAR G R, SATHISHKUMAR M, VIGNESH M, et al. Metal additive manufacturing of commercial aerospace components—A comprehensive review[J]. Journal Of Process Mechanical Engineering, 2023, 237(2): 441-454.
- [31] DIXIT S, RODRIGUEZ S. Leading-edge synthesis of large-scale, commercial-grade rhea coatings refractory high entropy alloys can be processed into powders and applied as high-performance coatings offering superior strength and corrosion resistance for aerospace, energy, and nuclear applications[J]. Advanced Materials & Processes, 2025, 183(5): 67-74.
- [32] 王治中, 刘辉. 商业航天与低空经济: 国家战略新兴产业的跨界融合与创新[J/OL]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 1-20[2026-08-10]. <https://link.cnki.net/urlid/11.5780.TB.20250919.1035.002>.
- [33] ISO. ISO deliverables metadata[EB/OL]. [2026-03-24]. https://www.iso.org/open-data.html#iso_deliverables_metadata.

Comparative Study on the Technological Competition Situation in the Commercial Aerospace Sector between China and the United States: Analysis Based on the Number of Published Papers and Patents

Yu Guifang¹, Zhang Zheyu², Wang Haiyun¹, Yang Jie¹

(1. Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100089; 2. Beijing Astro-future Institute of Space Technology, Beijing 100080)

Abstract: The competition in the global commercial aerospace sector is becoming increasingly fierce. As major participants, China and the United States have attracted significant attention for their technological development paths and innovation models. From the perspective of the innovation chain, the study focuses on the links of basic research and technological development. Based on data from published papers and patents in the commercial aerospace field, this paper systematically compares and analyzes the current situation and trends of technological research and development in China and the United States from the dimensions of funding institutions, discipline directions, technological themes, innovation subjects, and layout strategies by using scientometric analysis. The results show that China's funding sources in this field are relatively single, with a focus on pure basic research. With the introduction of the commercial aerospace action plan, the funding pattern of China's commercial aerospace industry has become increasingly diversified. Technology development has paid more attention to the integration with artificial intelligence technology, and the commercial aerospace industry has accelerated its landing. The patent layout is mainly concentrated domestically. In contrast, funding institutions in the United States are diverse and emphasize application-oriented basic research. The focus is more on frontier areas such as space resource development, and they actively pursue a global layout. In addition, the United States still plays a dominant role in standard governance. Based on comparative analysis, it is suggested that China's commercial aerospace industry should strengthen research support in frontier areas, accelerate large-scale constellation deployment, and encourage more international cooperation, in order to enhance the overall technological competitiveness of China's commercial aerospace field.

Keywords: commercial aerospace; comparison between China and the United States; technological competition; funding institutions; technological themes; patent layout; innovation subjects; scientometric analysis