

特色专题

“十五五”时期空间科学服务中国式现代化的战略路径

王赤, 曹松*, 宋婷婷, 李明, 周丽

摘要 空间科学兼具“顶天”与“立地”双重使命,是抢占空天科技制高点、培育新质生产力、服务中国式现代化的重要战略源头。本文在综述国内外空间科学发展实践及中国阶段性进展的基础上,分析了空间科学通过极限牵引、技术溢出和认知先行催生新动能的内在机制,指出当前中国仍面临重大空间科学任务供给不足、有效载荷能力存在短板以及转化生态不畅等关键约束。面向“十五五”时期,提出应围绕强化重大任务布局、提升关键载荷与基础能力、优化转化生态等方面,系统构建空间科学赋能新质生产力的战略通道,以期空间科学更好服务中国式现代化提供参考。

关键词 空间科学;“十五五”;极限牵引;技术溢出;认知先行

中国式现代化要靠科技现代化作支撑,实现高质量发展要靠科技创新培育新动能^[1]。2026年是“十五五”规划的开局之年,面对国际科技竞争加速演进、外部环境复杂多变以及国内经济转型升级任务日益紧迫的新形势,科技创新已成为塑造发展新优势、开辟发展新空间、增强发展主动权的关键变量。加紧培育壮大新动能,因地制宜发展新质生产力,推动科技创新和产业创新深度融合^[2],既是“十五五”时期经济社会高质量发展的内在要求,也是中国式现代化建设必须回答的重要命题。

在这一时代背景下,空间科学的战略意义愈显凸显。空间科学既面向宇宙与生命形成演化等基础前沿问题,承担着拓展人类认知边界的“顶天”使命;又通过对超高分辨率、超高精度和超高灵敏度探测以及复杂系统集成的持续牵引,带动核心器件、关键材料、先进工艺等关键技术进步,具有鲜明的“立地”属

性。空间科学早已超越单纯的基础研究领域,成为驱动前沿科学突破、关键技术跃升、未来产业培育和国家战略能力提升的重要源头,正日益成为抢占空天科技制高点的重要支撑力量。

近年来,中国空间科学进入发展的“快车道”,已经站上新的历史起点,正处于从能力积累迈向系统布局、从局部突破迈向整体跃升的关键阶段。然而也应看到,如何将中国空间科学的前沿探索优势,更有效地转化为科技竞争优势、产业发展动能和现代化建设支撑能力,仍是一个需要深入回答的重大课题。与传统意义主要将空间科学视为“认识宇宙”的学术活动不同,当前更需要从国家创新体系和现代化发展全局视角重新审视其价值:空间科学不仅能够通过重大科学问题的牵引,推动先进元器件、高端仪器设备、复杂系统工程和基础能力建设实现突破,还能够通过技术溢出、场景牵引和认知塑造,培育新质生产力,拓展未来产业发展空间,并在更深层次塑造国家面向未来空天竞争的战略主动。

中国科学院国家空间科学中心,北京 100190

收稿日期:2026-04-01;修回日期:2026-05-02

基金项目:国家自然科学基金专项项目(L2424301);中国科学院抢占科技制高点专项(GJ11050402)

作者简介:王赤,研究员,中国科学院院士,研究方向为空间物理与空间天气,电子信箱: cw@nssc.ac.cn;曹松(通信作者),正高级工程师,研究方向为空间科学战略,电子信箱: caosong@nssc.ac.cn

引用格式:王赤,曹松,宋婷婷,等.“十五五”时期空间科学服务中国式现代化的战略路径[J].科技导报,2026,44(12):123-131;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2026.04.00002

基于此,本文立足中国式现代化和“十五五”发展全局,在综述国内外空间科学发展实践及中国阶段性进展的基础上,从空间科学的前沿属性和战略价值出发,系统阐释其催生新动能的驱动机制,分析面向“十五五”时期的主要堵点与约束,并提出相应的战略路径,以期空间科学更好服务中国式现代化提供参考。

1 空间科学的前沿属性与战略价值

空间科学主要依托航天器平台,在太空中开展观测、实验和探测活动,研究宏观和微观现象及其规律,是一门前沿交叉学科。自20世纪60年代以来,空间科学持续催生基础研究领域的一系列重大原创成果,推动人类在空间天文、日球层物理、月球与行星科学、微重力物理与空间生命科学等方向不断突破认知边界^[3],已成为现代科学体系中最具前沿性、探索性和综合性的领域之一,是名副其实的“顶天”事业。空间科学的重要性,首先体现在其持续拓展人类认知边界、不断推动基础科学向未知领域深入的前沿属性。

空间科学之所以具有突出的前沿属性,在于它处于现代国家知识创造和科技竞争优势形成的上游。基础研究是整个科学体系的源头,是所有技术问题的总机关,决定着知识供给的深度和创新演进的潜力,而空间科学面向的正是基础研究中最前沿、最具挑战性的方向。无论是对宇宙起源、暗物质与暗能量、生命起源的持续追问,还是对太阳活动、空间天气和日地系统耦合规律的深入探索,都要求人类突破地面观测和实验条件的限制,将探测器、望远镜和实验平台送入太空,在摆脱地球引力束缚、打开大气屏蔽窗口并利用超大尺度宇宙“实验室”的条件下获取全新知识。正因如此,空间科学不仅意味着人类活动范围向地外延伸,更代表了人类知识体系和认知能力的整体拓展,也由此奠定了其作为各类太空活动认知基础和知识源头的独特地位。

与此同时,空间科学又绝非单纯意义上的“顶天”事业,而是具有鲜明“立地”属性的战略领域。正因为它指向未知边界,挑战极限能力,依赖高复杂度系统集成,空间科学天然成为大国科技竞争和战略博弈的重要制高点。国际空间科学发展的实践表明,重大任务布局不仅能够产生科学发现,更能够通过极限需求

牵引高端仪器、先进材料、精密制造、微弱信号探测、复杂系统控制和数据处理能力同步跃升,进而带动国家科技体系整体进步。谁能够在黑洞、引力波、暗物质和暗能量、系外行星、太阳活动规律等空间科学前沿率先实现突破,谁就更有可能在未来科技竞争中占据主动地位,并在全球科技议程设置中获得更强的话语权。

从国际经验看,美欧等科技强国的共同特征,不仅在于拥有若干标志性任务,更在于形成了“长期规划—持续投入—任务迭代—能力积累”的体系化发展路径。自20世纪60年代以来,美国已完成15个空间科学领域“十年调查”发展规划,指导了近500项科学任务的遴选与实施。依托这一相对稳定的战略规划和投入机制,美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)持续部署了一大批具有人类太空探索里程碑意义的空间科学任务,如旅行者号(Voyager 1&2)、哈勃空间望远镜(Hubble Space Telescope, HST)、詹姆斯·韦布空间望远镜(James Webb Space Telescope, JWST)和帕克太阳探测器(Parker Solar Probe, PSP)等,在推动重大科学发现的同时,也通过任务持续迭代和能力不断积累,在极限探测技术和系统集成能力等方面长期保持领先。欧洲同样形成了成熟而持续的空间科学中长期规划机制。欧洲航天局(European Space Agency, ESA)已先后制定了4版空间科学中长期规划,对重点方向和重大任务布局进行了持续谋划,相继实施了太阳和日球层天文台(Solar and Heliospheric Observatory, SOHO)、罗塞塔-菲莱彗星探测器(Rosetta-Philae)、普朗克卫星(Planck)和盖亚卫星(Gaia)等一批具有重要国际影响力的任务,在取得突出科学成果的同时,也有力凝聚了欧洲科学共同体和工业界,推动了较强的任务组织和能力积累体系的形成。

近年来,中国“悟空”“墨子”“慧眼”“天关”等空间科学卫星取得一批具有国际影响力成果^[4-7];“嫦娥”“天问”不断拓展人类对月球、火星和太阳系的科学认知^[8-9];作为“国家太空实验室”的中国空间站在空间生命科学与人体研究、微重力物理等领域取得了重要成果^[10-11];2024年发布的《国家空间科学中长期发展规划(2024—2050年)》,明确了中国空间科学未来的发展目标和重点方向^[12]。“十五五”期间,中国还将聚焦

宇宙起源、空间天气起源等重大前沿问题,组织实施太空探源系列科学卫星计划^[13]。这些进展表明,中国空间科学发展已经进入由点状突破向体系提升加快跃迁的关键阶段。在继续取得更多关键性、原创性和引领性科学成果的同时,需要深入思考如何把已有突破进一步转化为稳定的科学任务供给能力、关键技术攻关能力和未来发展塑造能力。换言之,中国空间科学发展的重点,正在从单项任务突破转向体系能力构建,并进一步提升为面向国家安全、技术主权和未来竞争的战略优势。

抢占空间科学这一制高点,关乎国家安全的底线、技术主权的高度和未来发展的空间。其战略性至少体现在3个相互联系的维度。首先,在国家空间安全层面,空间科学通过深化对太阳活动、空间环境、空间天气以及地月空间等关键领域的认识,为各类空间基础设施和空间资产安全运行提供认知底座;其次,在技术主权层面,空间科学通过前沿需求牵引基础材料、关键元器件、先进工艺、高端载荷和复杂系统能力突破,有助于推动一批市场机制难以自发形成的根技术和共性技术攻关;再者,在未来发展层面,空间科学不仅生产新知识,也为未来太空资源开发、空间基础设施拓展和空间经济成长提供先导性认知和技术储备。正是这3个维度的共同作用,决定了空间科学不是“有钱才做”的“奢侈品”,也不是“锦上添花”的“装饰品”,而是关系国家长远竞争力和现代化进程、“必须要做还要做强”的战略必需品。

因此,空间科学的重要性,并不只体现在其研究对象位于科学前沿、持续推动认知突破的前沿属性,更体现在其能够发挥技术牵引、能力塑造和未来布局作用的战略价值。也正是在这一意义上,空间科学不仅是认识宇宙的前沿研究,而且是抢占空天科技制高点、培育新质生产力、服务中国式现代化的重要战略源头。

2 空间科学催生新动能的三重驱动机制

面向“十五五”,中国空间科学发展的关键,已不只是持续取得若干前沿成果,而是如何把前沿探索进一步转化为技术突破、产业赋能和未来发展塑造能力。从作用机理看,空间科学之所以能够催生新动能,

主要在于其通过极限牵引、技术溢出和认知先行三重机制,分别作用于技术突破、产业赋能和未来发展格局,并由此形成从科学目标到现实动能的传导链条。

2.1 极限牵引:从“科学目标”到“技术突破”

空间科学面向的往往是最前沿、最具挑战性的科学目标,因此对核心技术突破具有极强的牵引作用。通过设定接近现有能力边界甚至超越既有能力边界的“极限目标”,空间科学能够倒逼一系列关键技术和关联技术集群实现突破^[14],这种牵引力往往是一般民用市场需求难以替代的。例如,为实现对数十光年外类地行星的直接成像与生命信号甄别,必须攻克皮米级光学稳定、超大面阵红外探测器等“工业皇冠上的明珠”;空间引力波探测需要在百万千米量级的距离上分辨出皮米级的位移变化;JWST的6.5 m主镜面形误差要求达到23.7 nm^[15];PSP的隔热系统则需要在朝向太阳一侧承受约1400℃的高温的同时,保持探测器内部工作环境稳定在约30℃^[16]。这些极限挑战不仅服务于科学发现本身,也系统性拉动先进材料、精密制造、量子传感、人工智能等领域实现跨越式进步。

这种牵引具有鲜明的“发令枪”效应。一旦科学目标确立,围绕科学目标展开的技术攻关便获得了清晰的方向、严格的约束条件和可检验的评判标准。“十五五”期间中国将实施的太空探源系列科学卫星计划,也是这种“极限目标”牵引机制的集中体现。无论是为探测宇宙黑暗时代而突破的超长波观测技术,为研究太阳磁活动周而攻关的高精度磁场、速度场测量技术,还是为寻找系外类地行星而研发的超高对比度成像技术,其意义都不止于服务具体科学目标本身,更在于通过前沿需求牵引,带动国家技术工业体系整体能力跃升。极限牵引的本质,是空间科学以极限目标为杠杆,推动一批市场机制难以自发形成、但对国家发展至关重要的关键核心技术实现突破。它不是简单修补短板,而是在更高层次上锻造长板。

2.2 技术溢出:从“太空技术”到“地面产业”

本文所指的“技术溢出”,是指为实现空间科学任务的目标而形成的关键技术、工艺方法和系统能力,在突破原有应用边界后,向地面产业和社会民生领域

扩散转化,并形成新的生产力增长点的过程。空间科学并不止于“顶天”的探索活动,其任务攻关过程中形成的数量高端技术能力,往往能够在更广泛的工业、医疗和信息产业中获得再应用,从而走出一条由前沿探索走向产业赋能的路径。

例如,为校正哈勃空间望远镜主镜误差而发展的超精密光学制造与检测技术,被应用于极紫外光刻机的原型开发,为更高精度集成电路制造奠定了基础^[17]。空间光学系统发展中的皮米级稳定技术,也有望进一步支撑原子级制造、高端芯片和精密仪器等产业方向。再以红外探测为例,空间科学任务所要求的新型红外探测器必须具备极高灵敏度和极低噪声水平,这类技术一旦成熟,不仅可提升自动驾驶在黑夜和雨雾条件下的感知能力,也可提高医疗影像设备对早期病灶的识别精度。又如,用于钱德拉 X 射线天文台(Chandra X-ray Observatory, CXO)等深空探测器的弯曲微通道板技术,已转化应用于医疗领域的正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)扫描仪,助力肿瘤检测与分析^[18]。为下一代 X 射线天文台开发的硅孔光学技术,也已被用于提升癌症放疗精度的劳厄(Laue)透镜研发,展现出从基础研究到医疗装备升级的直接转化潜力^[19]。

技术溢出的意义,不仅在于若干单项成果的“转民用”,更在于空间科学任务在长期攻关中积累形成的高标准设计理念、复杂系统集成能力和高可靠性工程能力,能够持续向更广泛的产业体系扩散。也正是在这一意义上,空间科学并非只消耗资源的前沿探索活动,而是能够通过技术扩散和能力外溢,为现实经济增长和产业升级不断注入新动能。

2.3 认知先行:从“探索未知”到“定义需求”

空间开发与利用的前提,不仅是技术可达,更是对空间环境、资源分布和运行规律的深入认知。认知先行的意义就在于,空间科学通过揭示未知、提供认知公共产品和基础规则依据,先于产业实践勾勒未来空间活动的可能边界,并由此塑造新的需求和赛道。它不是被动响应既有市场,而是通过拓展认知边界,主动定义未来发展方向。

例如,长期以来月球曾被视为一片干燥荒芜的世界,直到 21 世纪初多国探测器陆续发现月球极区存在水冰的间接证据,这一认知变化显著改变了人类对

月球资源条件和开发前景的判断。没有对月球、小行星等天体资源分布、形成机制和可利用条件的科学认知^[20],太空资源利用等产业设想便难以真正成立。类似地,“地月空间经济区”^[21]等愿景之所以可能提出,其前提恰恰是空间科学不断绘制和修正面向未来空间活动的“认知地图”。专家预测,2050 年前后,中国每年在地月空间经济区的总产值可达 10 万亿美元以上规模^[22]。空间科学在这里所提供的,不仅是知识本身,更是未来太空开发所必需的认知公共产品和源头技术供给。

再如,近年来卫星互联网快速发展,但其安全运行在很大程度上依赖对太阳活动、空间环境和空间天气的认知。以美国“星链”为代表的大规模星座运行实践已表明,太阳活动增强导致的空间环境变化,是影响卫星轨道衰减和运行安全的重要因素之一^[23]。如果缺乏对空间天气规律的长期积累和科学认知,卫星互联网、在轨服务和未来太空交通管理等新业态就难以获得稳定发展的基础条件。未来太空新经济形态所需要的空间天气预报、碎片预警、轨道安全评估和太空交通管理等公共服务,本质上都是将长期积累的空间科学认知转化为支撑未来产业发展的基础能力。再以人工智能为例,为空间科学任务所面临的特殊场景而发展的 AI 算法,也有望在具身智能等领域发挥作用。这种从科学认知到定义需求,再到业态引导,一旦形成可观的经济社会效益,将进一步增强政府和市场对空间科学持续投入的信心与能力,形成正向反馈和良性循环。

总体来看,极限牵引、技术溢出与认知先行之间并不是彼此孤立的,而是构成了前后衔接的链条:极限牵引以科学目标直接带动关键技术突破,技术溢出将任务攻关形成的能力扩散到产业体系,认知先行则通过提供认知公共产品,进一步塑造未来发展方向。这三重机制共同表明,空间科学的意义并不止于科学发现本身,更在于它能够持续转化为现实动能,并塑造未来发展优势。

3 面向“十五五”的主要堵点与约束

如果说前文所分析的极限牵引、技术溢出和认知先行,揭示了空间科学催生新动能的内在机制,那么

面向“十五五”，更需要进一步回答的是：这些机制在中国为何尚未充分释放？总体来看，当前制约空间科学催生新动能的关键约束，既包括重大科学任务供给和有效载荷能力等源头性、基础性短板，也包括评价导向、人才流动和资本支撑等转化生态层面的制度性约束。前者决定“三重驱动机制”能否真正启动并形成足够强度，后者则决定已有突破能否进一步扩散、放大并转化为持续的新动能。归纳起来，当前主要面临以下 3 个方面的堵点。

3.1 源头供给不足：重大空间科学任务尚未形成持续规模效应

空间科学催生新动能的逻辑起点，在于持续、稳定且具有一定规模的重大空间科学任务供给。每一项重大空间科学任务都不仅承载着科学目标，而且是技术突破的“发令枪”、产业溢出的源头和认知拓展的支点。只有当科学任务形成一定密度和连续性时，极限牵引才能由点状突破走向体系带动，技术溢出才能由个别案例走向规模释放，认知先行才能由局部探索走向对未来赛道的持续塑造。换言之，重大空间科学任务的数量、频度和连续性，直接决定了空间科学“三重驱动机制”的释放强度。

当前，中国空间科学领域虽然已取得长足的进步，但总体上仍处于由起步探索向体系布局过渡的阶段，与美欧相比，重大空间科学任务供给仍显不足，尚未形成持续、稳定的规模效应。截至 2025 年底，全球在轨科学卫星 152 颗（含深空探测器 49 个），约占所有民用航天卫星数量的 15%。其中，美国在轨科学卫星 83 颗（含深空探测器 24 个），约占其民用航天卫星数量的 30%；而中国在轨科学卫星任务 14 个，占比不到民用航天卫星数量的 5%^[24]。

除了投入不足导致空间科学卫星数量偏少，中国在凝练原创性科学目标、提出基于新原理新窗口的探测方案以及创新任务概念的能力仍有待加强。当前任务储备多源于跟踪国际热点，缺乏足以定义新方向的“领跑型”构想。这一差距不仅表现为数量上，更意味着中国空间科学在源头供给强度、任务迭代节奏和牵引能力持续性等方面，尚未形成足以支撑技术突破、产业溢出和未来布局的体系。源头供给不足并非单纯的“任务多少”问题，而是制约空间科学从前沿探索走向新动能生成的首要约束。

3.2 有效载荷存在代差：先进性不够，基础能力不足

如果说重大空间科学任务是空间科学催生新动能的源头，那么有效载荷则是这一源头能否真正产生高质量成果的关键所在。有效载荷不仅是空间科学卫星与深空探测任务的“眼睛”“耳朵”和“鼻子”，决定了科学发现的深度、精度和独创性，也往往是技术溢出最直接、最具价值的源头。其灵敏度、分辨率、稳定性、可靠性以及基于新原理的原创性设计水平，直接决定了极限牵引的强度、技术溢出的潜力和科学认知拓展的边界。

近年来，中国空间科学有效载荷能力取得了快速进步。但从总体上看，科学载荷的灵敏度、分辨率、可靠性以及原创性设计水平，与国际顶尖水平相比仍有明显差距。更深层次的问题在于，支撑有效载荷升级的一系列基础能力仍较薄弱，包括高性能元器件、关键原材料、精密工艺、测试定标与长期稳定性验证等方面仍存在短板。这种差距并不只体现在某一个指标落后，更表现为从原理设计、核心器件到系统集成和验证保障的整体能力仍不够强。

有效载荷能力短板对空间科学催生新动能的影响具有根本性。一方面，它直接制约重大原创科学发现的获取；另一方面，它也削弱了技术溢出的源头质量。只有在极高灵敏度、极高稳定性、极高可靠性等极限约束条件下形成的有效载荷技术，才可能对高端制造、精密仪器、医疗装备、先进传感和信息产业等产生真正有价值的外溢效应。由此可见，有效载荷能力的提升，既是实现科学目标的刚性需求，也是打通“三重驱动机制”的关键技术基础。

3.3 转化生态不畅：评价导向、人才流动与资本支撑之间缺少协同

与源头任务供给不足和有效载荷能力短板相比，评价、人才和资本问题更多属于空间科学催生新动能过程中的制度性和资源性约束。它们虽然不直接决定科学发现能否发生，却在很大程度上影响技术突破能否跨越实验室边界，进入工程化验证和产业化扩散阶段，并最终形成可持续的新动能。当前，这一转化生态仍存在明显不畅，主要表现为评价导向、人才流动与资本支撑之间缺少有效协同。

1) 评价导向仍以论文产出和纵向任务承担情况为主，而对技术突破、工程化验证和成果转化贡献的

认可仍显不足。长期以来,科研院所和高校的评价体系更多围绕高水平论文、项目数量和项目经费以及学术奖励展开,这一导向对于鼓励基础研究和前沿探索具有合理性,但在空间科学领域,也容易导致科研绩效与转化价值之间缺乏有效衔接,甚至产生评价体系的“二元对立”。空间科学任务周期长、风险高,许多关键贡献并不直接体现为论文数量,而体现为创新概念设计、预研攻关、定标测试和复杂工程实现。如果评价体系不能充分认可这类贡献,就难以形成对长期工程化攻关和成果转化工作的有效激励,科研人员也更可能倾向于选择回报路径更明确、风险更可控的研究方向。

2) 科研与产业之间的人才流动通道仍不够顺畅。空间科学成果要真正实现转化,往往离不开科研人员与企业之间的深度互动,包括兼职合作、双聘流动、联合攻关和创业转化等多种形式。但当前,科研人员向企业阶段性流动仍面临编制管理、社保衔接、知识产权归属和收益分配等现实约束。在空间科学领域,这一问题又往往因航天工程管理要求严格、成果归属复杂和责任边界敏感而更为突出。由于缺少稳定、合规、可操作的人才流动与合作机制,科研成果在跨越组织边界时面临较大阻力,企业也较难持续吸纳和利用来自科研一线的高水平人才与技术知识。

3) 资本支撑与空间科学成果转化周期之间仍存在明显错配。空间科学相关技术成果从原理验证走向样机研制、小批量试制乃至规模化应用,通常周期长、投入大、风险高,尤其在中试验证和工程放大阶段,往往需要持续稳定的资金支持。然而,传统风险投资更偏好回报周期较短、商业模式较明确的项目,而政府科研经费又主要覆盖前期研究和原理验证阶段,导致从实验室成果走向产业化的中间环节容易出现资金断档,形成典型的“死亡之谷”(valley of death)^[25]。对于空间科学这样一个技术链条长、验证成本高、跨界转化难度大的领域而言,耐心资本不足,不仅会削弱成果转化的成功率,也会影响科研人员和企业早期开展协同布局的意愿。

总体来看,评价导向、人才流动和资本支撑并不是分散的问题,它们共同决定了空间科学成果能否顺利走出实验室,并进一步形成持续的产业能力。评价体系决定科研人员是否愿意投身长期工程化和转化

活动,人才流动机制决定科研成果能否有效跨越组织边界,资本支撑则决定技术成果能否跨越从实验室到产业化的关键门槛。三者协同不足,意味着即便前端已经形成一定的科学突破和技术积累,后续的新动能释放仍可能被制度性摩擦和资源性约束所削弱。

4 构建空间科学赋能新质生产力的战略通道

面向“十五五”,应立足中国空间科学由点状突破迈向体系提升的关键阶段,围绕重大任务布局、关键能力建设和转化生态优化,系统构建空间科学赋能新质生产力的战略通道,加快把前沿探索优势转化为技术突破优势、产业发展优势和未来竞争优势。

4.1 强化重大任务布局,提升源头供给能力

针对当前重大科学任务供给不足、持续牵引效应尚未充分形成的问题,“十五五”期间应进一步强化国家层面的任务统筹布局,把空间科学前沿问题凝练、重大任务部署和中长期能力积累更加紧密结合起来,持续提升源头供给能力。

1) 加快实施太空探源系列科学卫星计划。围绕宇宙起源、空间天气起源、生命起源等重大前沿问题,持续形成面向极限目标的任务供给体系。通过重大任务带动超精密制造与测量、高精度光电成像与探测等关键技术持续突破,把科学需求进一步转化为高端技术体系升级能力。

2) 持续深化月球与深空科学探测。依托嫦娥七号、天问二号、载人登月等任务,深化对月球南极水冰、小行星物质组成和空间资源条件的科学认知,并在探测过程中带动月面资源勘测、原位利用和长期运行保障等关键技术,为未来地月空间开发利用奠定科学认知和技术储备基础。

3) 加强空间环境和空间基础公共服务能力建设。围绕商业航天、卫星互联网、低空经济等新业态发展需求,加快将长期积累的空间天气、轨道环境和空间碎片认知转化为空间天气预报、碎片预警、轨道安全评估等基础公共服务能力,为未来空间活动和相关产业发展提供稳定支撑。

同时,应在提升自主布局能力的基础上,更加积极参与和发起国际大科学计划,如推进国际子午圈大科学计划和国际月球科研站建设,以开放合作提升国

际影响力。

4.2 聚焦关键载荷与基础能力建设, 夯实技术牵引基础

空间科学能否真正形成强有力的极限牵引和高质量技术溢出, 关键取决于有效载荷及其相关基础能力是否足够先进。面向“十五五”, 应把关键载荷能力提升和基础支撑体系建设作为提升空间科学源头质量的重点方向, 加快补齐影响重大原创发现和高价值溢出的关键短板。

1) 聚焦高水平科学载荷攻关。围绕高灵敏度探测、高分辨率成像、高稳定度测量和基于新原理的原创性设计, 持续提升科学载荷的先进性、可靠性和系统集成水平, 推动在若干前沿方向形成具有国际竞争力的代表性载荷能力。只有载荷能力实现真正跃升, 空间科学任务才能在重大科学发现和技术外溢方面形成更强支撑。

2) 系统夯实相关基础支撑能力。围绕高性能元器件、关键原材料、精密制造工艺、测试定标与长期稳定性验证等关键环节, 加强共性基础能力建设, 推动形成从原理设计、核心器件到集成验证较为完整的能力链条。要更加重视那些短期内难以显现经济回报、但对长远发展至关重要的基础能力投入, 使空间科学任务不仅能够“发得出”, 更能够“看得清、测得准、用得稳”。

3) 强化任务牵引与产业外溢的协同设计。在重大任务立项和载荷研制过程中, 增强对潜在技术溢出路径的前瞻识别, 推动部分高价值技术在满足科学目标的同时兼顾向高端制造、医疗装备、先进传感和信息产业扩散转化的可能性, 从而更有效地放大空间科学对产业体系升级的带动作用。

4.3 优化转化生态, 打通创新链与产业链协同通道

空间科学成果从科学发现和技术突破走向现实新动能生成, 不仅取决于前端任务和载荷能力, 也取决于后端制度环境和资源配置能否有效支撑。面向“十五五”, 应围绕评价导向、人才流动与资本支撑等关键环节, 加快构建更有利于科技创新和产业创新深度融合的转化生态。

1) 完善分类评价与成果认定机制。针对空间科学任务周期长、技术贡献重、工程化特征强的特点, 推动建立更加多元的评价体系, 增强对关键技术突

破、载荷研制、工程化验证和成果转化贡献的制度认可。对不同类型团队实行差异化分类考核, 引导科研人员在坚持前沿探索的同时, 更积极地关注技术落地和产业外溢。

2) 健全科研与产业之间的人才流动机制。探索更加灵活的双聘、兼职、联合攻关和成果转化参与机制, 妥善解决编制管理、知识产权归属、收益分配和保密责任等现实问题, 推动科研人员、工程团队与企业主体之间形成更加稳定的合作关系。尤其在空间科学领域, 应在合规和安全前提下, 建立“任务共担、成果共享”的产学研协同机制, 提升成果跨越组织边界的效率。

同时, 应依托国家重大空间科学任务和重大平台建设, 一体推进教育、科技、人才协同发展, 持续培育空间科学、深空探测和未来空间产业所需的复合型高层次人才。

3) 培育与硬科技转化规律相适应的耐心资本。落实《国家航天局推进商业航天高质量发展行动计划(2025—2027年)》^[26], 围绕空间科学成果转化周期长、验证成本高的特点, 探索风险补偿基金、阶段接续支持和多元投融资联动机制, 引导社会资本进入战略价值高、短期回报不确定但长期带动作用显著的领域, 着力缓解成果从原理验证走向工程化和产业化过程中的“死亡之谷”问题。

总体上看, 构建空间科学赋能新质生产力的战略通道, 关键在于把重大任务布局、关键能力建设和转化生态优化统筹起来, 使空间科学不仅能够持续产出前沿成果, 而且能够更有效地转化为技术体系升级、产业形态演进和未来发展空间拓展的综合动能。

5 结论

中国式现代化需要以高水平科技自立自强为支撑, 而空间科学正是连接前沿探索、技术突破、产业赋能和未来布局的重要战略源头。本文从空间科学的前沿属性与战略价值出发, 分析了其通过极限牵引、技术溢出和认知先行催生新动能的内在机制, 进一步揭示了当前仍面临源头供给不足、有效载荷能力短板和转化生态不畅等关键约束, 并据此提出了面向“十五五”的战略通道。

回顾中国航天 70 年的发展历程可以看到,探索宇宙从来不只是拓展认知边界的科学事业,也是在更深层次上塑造国家科技能力、产业形态和发展空间的战略实践。面向“十五五”,只有把空间科学放在中国式现代化和现代化产业体系建设的全局中加以谋划,持续强化重大任务布局、关键能力建设和制度环境优化,才能真正把源于探索未知的科学突破,转化为支撑高质量发展的新质生产力,为国家未来发展注入更加持久而独特的太空动能。

参考文献 (References)

- [1] 习近平. 朝着建成科技强国的宏伟目标奋勇前进[J]. 求是, 2025(7): 4-10.
- [2] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要[EB/OL]. (2026-03-13) [2026-03-16]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202603/content_7062633.htm.
- [3] 王赤, 宋婷婷, 时蓬, 等. 关于中国空间科技现代化发展的初步思考[J]. 科技导报, 2024, 42(6): 6-15.
- [4] DAMPE collaboration. Observation of a spectral hardening in cosmic ray boron spectrum with the DAMPE space mission[J]. *Physical Review Letters*, 2025, 134: 191001.
- [5] Yin J, Cao Y, Li Y H, et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers[J]. *Science*, 2017, 356 (6343): 1140-1144.
- [6] Zhang H H, Xue W C, Li X B, et al. Measurement of neutral atmosphere density during the years of increasing solar activity using insight-HXMT data with the Earth occultation technique[J]. *The Astrophysical Journal*, 2025, 988(2): 233.
- [7] Li D Y, Zhang W D, Yang J, et al. A fast powerful X-ray transient from possible tidal disruption of a white dwarf[J]. *Science Bulletin*, 2026, 71(3): 538-546.
- [8] Guo Z Z, Fu H S, Cao J B, et al. Rapid response of Martian magnetotail to solar wind disturbance: Tianwen-1 and MAVEN joint observations[J]. *Geophysical Research Letters*, 2024, 51(24): e2024GL112399.
- [9] Zhang Q W L, Yang M H, Li Q L, et al. Lunar farside volcanism 2.8 billion years ago from Chang'e-6 basalts[J]. *Nature*, 2025, 643(8071): 356-360.
- [10] 中国载人航天工程办公室. 中国空间站科学研究与应用进展报告2024[EB/OL]. (2024-12-30) [2026-03-16]. https://www.cmse.gov.cn/xwzx/202412/t20241230_56187.html.
- [11] 中国载人航天工程办公室. 中国空间站科学研究与应用进展报告2025[EB/OL]. (2026-01-08) [2026-03-16]. https://www.cmse.gov.cn/xwzx/202601/t20260108_57194.html.
- [12] 中国科学院, 国家航天局, 中国载人航天工程办公室. 国家空间科学中长期发展规划(2024—2050年)[EB/OL]. (2024-10-16)[2026-03-20]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202410/content_6980618.htm.
- [13] Wang C, Song T T, Cao S. Current progress and future prospects of space science satellite missions in China[J]. *npj Space Exploration*, 2026, 2: 9.
- [14] 吴季. 技术创新是未来空间科学发展的关键因素[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(5): 891-898.
- [15] NASA. Webb's mirrors[EB/OL]. (2026-03-17)[2026-03-28]. <https://science.nasa.gov/mission/webb/webbs-mirrors/>.
- [16] 黄善杰, 林隽, 金振宇, 等. 帕克太阳探测器热防护系统研究及启示[J]. 天文研究与技术, 2020, 17(4): 538-547.
- [17] NASA. Ultra-Precision Optics[EB/OL]. (1999-01-01)[2026-03-18]. <https://spinoff.nasa.gov/spinoff1999/ip6.htm>.
- [18] NASA. Device for analyzing deep space could detect tumors, air particles[EB/OL]. (2023-01-31)[2026-03-18]. <https://spinoff.nasa.gov/Device-for-Analyzing-Deep-Space-Could-Detect-Tumors-Air-Particles>.
- [19] ESA. ESA science core technology development success story-game-changing European X-Ray optics technology [EB/OL]. (2022-08-01)[2026-03-18]. <https://space-economy.esa.int/article/154/esa-science-core-technology-development-success-story-game-changing-european-x-ray-optics-technology>.
- [20] 王赤. 嫦娥六号返回样品揭秘月球背面演化奥秘[J]. 科学通报, 2025, 70(32): 5465-5468.
- [21] 包为民, 汪小卫. 地月空间探索与开发的思考[J]. 宇航学报, 2022, 43(6): 705-712.
- [22] 观察者网. 我国力争本世纪中叶建成地月空间经济区 [EB/OL]. (2019-11-01)[2026-05-01]. https://www.guan-cha.cn/industry-science/2019_11_01_523571_s.shtml.
- [23] 罗冰显, 王荣兰, 刘卫, 等. “星链”卫星毁于地磁暴事件空间环境分析[J]. 国际太空, 2022(5): 35-39.
- [24] 王赤, 宋婷婷, 曹松, 等. 空间科学“十五五”: 战略突破、协同创新, 迈向航天强国新征程[J]. 科技导报, 2026, 44(3): 50-56.
- [25] Frank C, Sink C, Mynatt L A, et al. Surviving the "valley of death": A comparative analysis[J]. *The Journal of Technology Transfer*, 1996, 21(1/2): 61-69.
- [26] 国家航天局. 国家航天局推进商业航天高质量发展行动方案(2025—2027年)[EB/OL]. (2025-11-25)[2026-03-28]. <https://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758839/c10719382/content.html>.

Strategic Pathways for Space Science to Serve Chinese Modernization in China's 15th Five-Year Plan period

WANG Chi, CAO Song*, SONG Tingting, LI Ming, ZHOU Li

National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract Space science embodies the dual mission of exploring the frontiers of knowledge and generating broad societal value, making it an important strategic source for seizing the commanding heights of aerospace science and technology, fostering new quality productive forces, and supporting Chinese modernization. Based on a review of international practices and China's recent progress in space science, this paper analyzes three mechanisms through which space science generates new growth drivers: extreme-goal traction, technology spillover, and cognitive primacy. It argues that China still faces three major constraints: insufficient supply of major space science missions, shortcomings in payload capability, and an underdeveloped innovation-to-industry conversion ecosystem. Looking ahead to the 15th Five-Year Plan period, the paper proposes three strategic pathways: strengthening the layout of major missions, enhancing key payload and foundational capabilities, and optimizing the conversion ecosystem, so as to better translate space science from frontier exploration into technological, industrial, and strategic advantages.

Keywords space science; The 15th Five-Year Plan Period; extreme-goal traction; technology spillover; cognitive primacy ●



(责任编辑 王志敏)