

引用格式: 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. 中国科学院院刊, 2026, 41(5): 1028-1039, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20260205002.

Chen Y, Song W B, Zhang P. Seizing strategic high ground of space computing power: Global competition landscape and China's path. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2026, 41(5): 1028-1039, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20260205002. (in Chinese)

抢占太空算力战略制高点: 全球竞争态势与中国路径

陈岩¹ 宋文彬^{1*} 张平²

1 北京邮电大学 经济管理学院 北京 100876

2 北京邮电大学 信息与通信工程学院 北京 100876

摘要 人工智能与商业航天的深度融合, 正推动太空算力从概念探索加速迈向工程验证, 成为构建空天地一体化信息基础设施的重要方向。文章围绕太空算力的战略价值、全球发展格局、产业链短板及推进路径展开分析。研究发现: 太空算力的核心价值并非替代地面数据中心, 而是聚焦网络覆盖盲区、数据回传受限及高时效性场景, 提供“在轨计算+天地协同”的新型供给范式。当前, 全球已进入工程验证与商业布局并行阶段, 美国依托成熟商业体系确立先发优势, 欧洲以绿色新政和数字主权为导向主推地外数据中心, 中国则在新型举国体制驱动下加速天地一体化信息网络布局。针对我国面临的发射成本与高性能芯片生态等规模化门槛、卫星制造与星间通信等性能上限约束, 以及地面设施与应用生态等商业闭环挑战, 文章提出应发挥新型举国体制优势统筹国家与商业航天协同发展, 系统补齐产业链短板以构建自主可控生态, 抢占频率轨道资源战略制高点以提升国际话语权, 并通过创新商业模式培育应用生态、打通价值闭环, 同时建立动态评估机制以确保风险可控, 从而推动太空算力产业稳健高质量发展。

关键词 太空算力, 商业航天, 卫星计算, 数据中心

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20260205002

CSTR 32128.14.CASbulletin.20260205002

*通信作者

资助项目: 国家自然科学基金管理科学部应急管理项目 (72541020), 2025年度通信软科学研究项目面上项目 (2025-R-15), 中国工程院院地合作项目 (2025NMZD-01), 中国工程院学部重点项目 (2025-XZ-18), 中国工程院院地合作项目 (2025BEL01004)

修改稿收到日期: 2026年5月12日

1 需求驱动下的范式重构：太空算力的核心价值与战略位势

《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》明确提出，“加快新能源、新材料、航空航天、低空经济等战略性新兴产业集群发展”。在此背景下，我国商业航天技术日趋成熟，工程化与产业化部署进程显著提速。推动算力与航天技术深度融合，已成为拓展地面算力边界、赋能空天融合应用、支撑载人航天及深空探测的关键战略路径^[1]。太空算力是指将计算设施部署于轨道，通过星载载荷实现海量数据的在轨处理、存储与传输；其本质是将人工智能（AI）嵌入卫星体系，推动卫星从单一“感知平台”向“智能节点”演进，构建集通、导、遥、算于一体的天基智能基础设施^[2]。该体系涵盖中心云（集中式大模型训练）、边缘云（高时效推理）及端节点（实时预处理）3级架构，通过与6G天地一体化网络深度融合，有望突破地面资源瓶颈，构建绿色低碳的全球泛在智能计算新范式^[3]。

1.1 通智融合驱动下的在轨计算新范式与需求爆发

新一轮科技革命驱动大模型与AI智能体向高阶复杂场景演进，对算力基础设施的时效性与能效提出严苛要求^[3]。国际能源署（IEA）预测，2024—2030年全球数据中心能耗将激增逾1倍，碳排放持续攀升^①，传统地面算力体系正面临能耗剧增、散热成本高企及环境承载极限等多重瓶颈。与此同时，卫星遥感分辨率提升与星座规模化扩张导致天基数据生成量激增，预计2032年在轨遥感卫星将超2 300颗，日均产出达230 PB^②。然而，受限于星地链路带宽、地面站覆盖及下行窗口，约90%的原始数据因无法及时回传而失

效，“天感地算”模式已难以支撑天基系统规模化运行。随着第三代合作伙伴计划（3GPP）在5G网络增强演进形态（5G-Advanced）及向6G演进中逐步完善非地面网络（NTN）架构，卫星被纳入天地一体化网络体系并承担星载接入网功能，在轨计算已从效率优化手段跃升为天基信息处理的关键能力。在此背景下，通过在轨节点实施数据筛选、推理与语义提取^[4]，以“星上智算”压缩传输负荷、提升信息效用，成为突破链路瓶颈、重构天基信息处理范式的重要路径。

1.2 地面算力的场景边界与天基算力的战略补位

理解太空算力的战略价值，关键在于厘清不同任务情境下算力部署的适用边界。在现有“云—边—端”协同体系中，地面数据中心虽在网络覆盖完善、时延容忍度高的场景中具备规模经济优势，但在广域覆盖缺失或强时敏决策场景下，往往难以有效响应。

（1）**突破空间覆盖的物理盲区。**地面通信基础设施主要集中于人口稠密和经济发达地区，极地、深海、荒漠等广域区域长期处于通信覆盖薄弱状态，而这些区域恰恰是海洋监测、极地科考等任务的重要应用场景^[5]。在灾害应急情境下，地面通信基础设施的损毁也会导致局部通信中断。上述场景中，相关数据既难以及时回传也难以依托本地边缘节点实现就近处理，单纯依赖扩充地面算力难以突破通信覆盖不足与数据传输受阻所形成的算力部署瓶颈^③。

（2）**跨越星地链路的时延瓶颈。**低轨卫星单次过境窗口仅持续数分钟，“星地回传—地面处理—指令上行”的传统处理模式受星地链路带宽限制传播时延本身已达数百毫秒。更关键的是，若当次过境窗口内未能完成处理闭环，则须等待下一轨次过境，间隔可长达数十分钟乃至数小时。对于要求分钟级决策响应

① 到2030年AI数据中心电力需求将翻番. (2025-04-14) [2026-03-10]. <http://www.news.cn/tech/20250414/ac0db8495e5f4dcc9d9d81cad4a3e887/c.html>.

② 算力星网专家谈. (2026-02-09) [2026-03-10]. <https://mp.weixin.qq.com/s/iV6GvY0iHREaGwYUU0o8Qg>.

③ Samaddar D P. Data centres in space?. (2025-12-23) [2026-03-10]. <https://readon.substack.com/p/data-centres-in-space>.

的灾害监测、目标识别等场景，上述延误已使数据丧失时效价值。然而，这一瓶颈并非源于地面算力规模不足，而是由轨道运行条件与天地信息传输机制所决定，亟须通过在轨计算实现过境窗口内的即时闭环^④。

因此，太空算力与地面数据中心并非替代关系，而是基于任务情境形成功能互补的协同格局。地面算力在网络覆盖完善、时延容忍度高的场景中，仍保有显著的规模经济与成本优势；而在广域覆盖盲区或强时敏任务中，通过将计算与决策能力“前移”至轨道节点，可有效规避星地链路往返时延与过境窗口约束。这种“天地协同、按需部署”的范式，不仅确立了太空算力作为天地一体化信息基础设施核心组件的地位，更从底层逻辑上夯实了其不可替代的战略必要性。

2 全球太空算力：发展图景、竞争格局与战略价值

当前，全球太空算力布局加速演进，美欧相继启动专项计划，我国亦在“三体计算星座”“天算星座”等项目中取得关键突破。然而，受限于轨道与频谱资源的天然稀缺性，国际空天竞争日趋白热化。在此背景下，发展太空算力已超越单纯的技术演进范畴，成为我国抢占未来空天战略制高点、构建大国竞争新优势的核心举措。

2.1 商业赋能与战略抢跑：美国加速构建太空算力霸权

美国太空算力战略由三大因素驱动：地面AI算力需求激增与电力供给的矛盾、SpaceX公司可重复使用

火箭技术确立的成本优势，以及科技巨头拓展新增长极的商业诉求。目前，美军已依托星链星座在乌克兰战场通信及导弹预警中验证实战效能。企业布局方面呈现加速态势：① SpaceX公司与xAI公司合并，2026年2月，SpaceX公司宣布收购xAI公司，并同步向美国联邦通信委员会（FCC）提交部署最多100万颗轨道数据中心卫星的申请，目标是以太空算力满足AI训练的长期能耗需求^④。马斯克预计“2—3年内，太空将成为成本最低的AI算力平台”，但具体在轨验证时间表尚未公开披露。② Google公司“逐日者计划”（Project Suncatcher），该计划于2025年11月启动，拟于2027年联合Planet Labs发射首批双星验证分布式AI任务可行性；目标于2030年在650 km太阳同步轨道（SSO）部署81颗卫星，构建GW级AI计算集群，并配备单向800 Gbps商业激光通信链路^⑤。③ Starcloud太空计算初创公司，2025年11月，其首颗搭载NVIDIA H100 GPU服务器的卫星成功入轨并运行Google公司的Gemma模型，标志着太空AI时代正式开启；计划于2026年10月发射集成Blackwell芯片的“Starcloud-2”卫星，功率提升逾10倍，并携手Crusoe Cloud公司打造轨道公共云服务^⑥。

2.2 从战略愿景到实体落地：欧盟绿色主权导向下的太空数据中心建设

欧洲太空算力发展聚焦“绿色可持续”与“数据主权”双重战略诉求。受限于地面数据中心严苛的能耗管制、环境评估及碳排放政策，欧盟于2023年启动ASCEND项目，旨在通过将算力基础设施向轨道延伸，突破地面能源与环境瓶颈，重塑未来数字基础设

④ SpaceX acquires xAI in bid to develop orbital data centers. (2026-02-02)[2026-03-10]. <https://spacenews.com/spacex-acquires-xai-in-bid-to-develop-orbital-data-centers>.

⑤ Exploring a space-based, scalable AI infrastructure system design. (2025-11-04) [2026-03-10]. <https://research.google/blog/exploring-a-space-based-scalable-ai-infrastructure-system-design>.

⑥ Starcloud 1 (Lumen 1). (2026-01-31)[2026-03-10]. https://space.skyrocket.de/doc_sdat/starcloud-1.htm; GeekWire. Starcloud plans its next power plays after training first AI model in space. (2025-12-22)[2026-03-06]. <https://www.geekwire.com/2025/starcloud-power-training-ai-space>.

施形态，其技术路线图相当明确^⑦。**近期验证（2031年）**：发射单星功率达50 kW的试验星，通过在轨机器人组装技术完成关键技术演示，部署轨道为1 400 km太阳同步轨道（SSO）。**中期组网（2036年）**：部署由13个构建块（building block）在轨编队构成的首个空间数据中心最小可行产品（minimum viable product, MVP），单个构建块容量800 kW，MVP总容量达10 MW，各构建块间通过高速光学链路互联。**远期规模（2050年）**：通过模块化持续扩展，实现GW量级总算力容量，目标覆盖2030年全球数据中心预测需求（约23 GW）的约4%^⑧。

ASCEND项目致力于利用太空连续太阳能优势，打造零排放云服务，以强化欧洲数字独立性并减少碳足迹。法国Thales Alenia Space公司主导的可行性研究指出，该方案在技术上尚依赖发射成本降低与辐射防护等关键技术突破，但其在提供兼具主权保障与低碳属性的数据托管服务方面具有一定战略价值。

2.3 新型举国体制赋能：中国太空算力全产业链的体系化跃迁

中国太空算力发展呈现“国家战略牵引、产业体系协同”的鲜明特征，旨在支撑天地一体化信息网络建设、拓展算力基础设施空间形态，并在新一轮空天竞争中抢占战略制高点。当前，国家战略科技力量、高校院所及国有与商业航天企业多方联动，工程验证与初期部署同步推进。

政策环境实现跨越式升级：商业航天连续2年（2024年和2025年）写入《政府工作报告》；党的二十

届四中全会公报首增“航天强国”表述；“十五五”规划建议明确将航空航天列为战略性新兴产业集群。2025年11月，国家航天局设立“商业航天司”，统筹发射审批、频轨资源及运营牌照等关键环节^⑨；同期发布《推进商业航天高质量发展行动计划（2025—2027年）》，确立2027年基本实现高质量发展的目标^⑩。

技术验证取得阶段性突破：2025年，我国在轨算力验证取得阶段性突破。首批计算卫星正式进入组网阶段，实现了多星分布式协同计算的工程化验证。星座集群在轨算力达到POPS（每秒千万亿次运算）量级，单星最高算力达744 TOPS；各卫星节点通过星间激光链路实现互联，通信速率最高可达100 Gbps，星上同时搭载数十亿参数量级的天基大模型，具备对多类遥感数据进行在轨AI推理的能力，为6G天地一体化网络奠定技术基石^⑪。

发展路径清晰明确：航天科研机构提出在700—800 km晨昏轨道建设GW级集中式太空数据中心，并分3阶段实施。2025—2027年突破能源与散热瓶颈，建成百千瓦级试验星座；2028—2030年攻克在轨组装与降本技术；2031—2035年实现批量组网。

国企担当：大型国有航天企业承诺5年内构建GW级空间数字智能基础设施，打造融合算力、存储与带宽的“空间云”体系。

商业协同：产学研深度融合，2025年多家企业签署了战略协议，计划在5年内部署大规模的算力星座^⑪。

⑦ ASCEND. Activities. [2026-03-10]. <https://ascend-horizon.eu/activities>.

⑧ Thales Alenia Space. Thales Alenia Space dévoile les résultats de l'étude de faisabilité ASCEND dédiée au déploiement de data centers dans l'espace. (2024-06-27)[2026-03-10]. <https://www.thalesaleniaspace.com/fr/press-releases/thales-alenia-space-devoile-les-resultats-de-letude-de-faisabilite-ascend-dediee-0>.

⑨ 国家航天局设立商业航天司持续推动商业航天高质量发展. (2025-11-29)[2026-03-10]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202511/content_7049879.htm.

⑩ 国家航天局. 推进商业航天高质量发展行动计划(2025—2027年). (2025-11-01)[2026-02-01]. <https://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758839/c10719382/content.html>.

尽管起步稍晚，但凭借紧凑的部署窗口与明确的GW级目标，中国正加速构建具备国际竞争力的太空中心云设施。

2.4 重构天基秩序：全球太空算力竞争格局深度研判

综合美国、欧洲、中国三方的战略布局可以发现，全球太空算力发展的核心逻辑是依托轨道侧计算部署与空间太阳能供给条件，推动算力基础设施由地面集中承载向天地协同配置演进。从技术演进趋势看，降低发射成本并实现规模化在轨部署，仍是推动太空算力进入工程化应用阶段的关键条件。

SpaceX公司通过可重复使用火箭和星座化部署持续推动运载成本下降，其产业路径表明：①通过高度垂直整合的供应链体系显著压缩关键零部件成本并提升系统集成效率；②以高频工程迭代替代传统航天体系“首次即正确”（First Time Right）的研发模式，通过持续试验与快速修正加速技术成熟度积累；③以星链星座部署所形成的稳定商业需求作为技术验证与研发投入的重要资金来源，从而形成需求牵引型的技术进化路径。以“猎鹰9号”（Falcon 9）运载火箭为例，其一级火箭从首次回收试验到实现多次稳定复用经历了持续数年的密集工程迭代，多次回收失败均被转化为关键工程数据并推动后续技术改进。与此同时，推进剂成本在单次发射总成本中的占比不足5%，复用带来的经济收益主要来源于结构制造与测试成本的摊薄，而非燃料节约，这一成本结构认知也进一步推动了SpaceX公司向完全可重复使用运载体系的技术路线选择。

上述经验对我国商业航天与太空算力产业发展具有一定借鉴意义。①在工程体系层面逐步构建以快速迭代为特征的技术验证机制。我国传统航天体系所形成的高可靠性工程文化在国家重大任务中具有显著优势，但在商业化太空算力卫星规模化部署场景下，过长的设计定型周期可能导致技术演进节奏与产业需求

之间出现错位，因此适度引入容错机制与快速迭代模式，是推动产业化发展的重要制度条件。②以明确的规模化应用需求锚定长期研发投入。SpaceX的技术突破并非单纯依赖工程攻关，而是以星链星座的大规模部署需求作为成本下降的内生动力。对于我国而言，太空算力产业同样需要识别能够支撑持续投入的早期刚性应用场景。例如，国防遥感、极地环境感知和6G NTN等，以需求侧牵引供给侧技术成熟与产业生态形成。③建立面向商业航天的发射成本动态评估机制。当前我国可重复使用火箭总体仍处于工程验证阶段，2027—2028年可能成为关键技术窗口期。若在这一阶段能够实现稳定复用并将近地轨道发射成本降低至约1万元/千克以内，则太空算力的经济可行性有望由技术预期逐步转化为工程现实，并进一步重塑卫星制造、算力载荷与空间通信等产业链环节的投资逻辑与产业结构。

3 产业链分析：太空算力的关键瓶颈与制约因素

太空算力作为复杂系统工程，产业链可分为上游基础支撑、中游系统集成，以及下游运营服务三大环节。当前，全球太空算力产业链呈现“技术验证先行”“关键环节分化”“生态尚未成熟”的特征（图1）。

各环节仍面临严峻的性能瓶颈与工程制约：上游，受制于高昂的入轨成本与星载芯片的“性能鸿沟”；中游，面临能源供给受限、极端热耗散管理及在轨维护缺失等工程瓶颈；下游，商业闭环模式尚不清晰，天地协同调度复杂度极高。

上述短板既是技术攻关的“深水区”，更是决定我国太空算力能否实现商业化突围的胜负手。本章将沿产业链全貌逐层剖析，精准识别制约我国太空算力规模化部署的关键堵点。

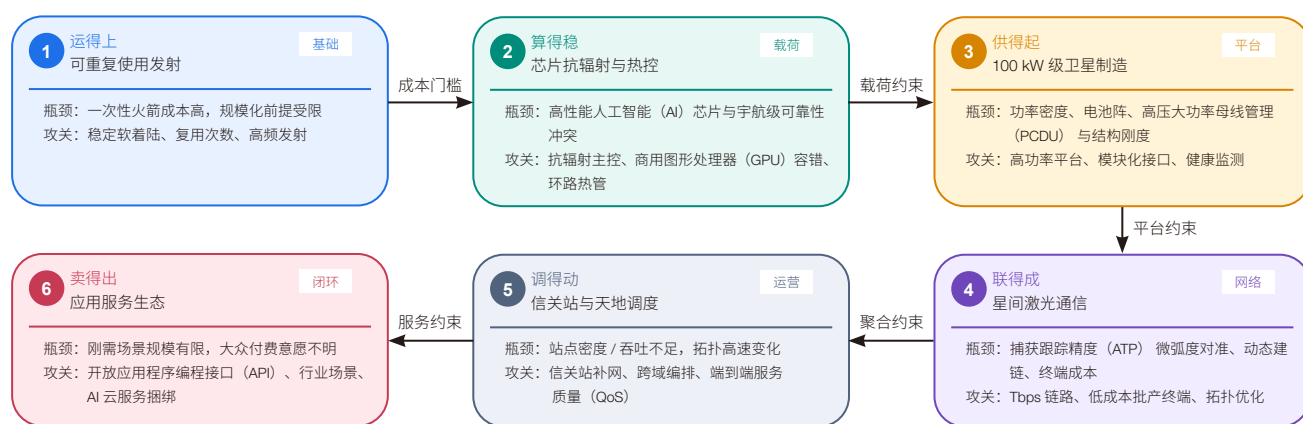


图1 太空算力产业链短板分析
Figure 1 Bottlenecks analysis in space computing power industry chain

3.1 航天发射：可重复使用技术是产业规模化的先决条件

太空算力的经济性高度依赖发射成本。传统一次性运载火箭的单次发射成本高达数千至数亿美元，低地球轨道 (LEO) 单位入轨成本约为 8 000—15 000 美元/千克，难以支撑大规模空间数据中心的建设需求。

国际标杆与成本演进：SpaceX 公司凭借“猎鹰 9 号”运载火箭的一级回收复用技术，已将单位入轨成本降至约 2 700 美元/千克^①；其正在研发的“星舰” (Starship) 采用完全可重复使用架构，目标是将成本进一步压缩至数百美元/千克。这一数量级的成本下降，是其规划部署 100 GW 级太空算力基础设施的核心前提。

国内现状与挑战：我国现役长征系列火箭仍以一次性构型为主，单位入轨成本因型号和目标轨道差异较大，约为 5 万—15 万元/千克（约合 7000—22000 美元/千克）^②。2025 年 12 月，商业航天企业蓝箭航天的“朱雀三号”与国家队“长征十二号”甲相继开展入

轨级可复用火箭飞行试验，验证了深度变推力发动机点火、再入制导与姿态控制等回收关键环节，但两型火箭的一子级均未实现软着陆。相关试验在真实飞行条件下获取了关键工程数据，并识别出具体技术故障节点。2026 年 2 月，“长征十号”运载火箭完成低空演示验证飞行，一级箭体按程序受控溅落并成功打捞，验证了再入制导、高空二次点火及着陆前悬停点火等回收段技术流程，但尚未实现垂直软着陆复用。

总体来看，我国在复用次数、发射频次与工程成熟度方面与国际领先水平仍存在差距。当前，多型可复用火箭正处于密集飞行与回收验证阶段，能否实现稳定软着陆并逐步积累工程复用经验，将直接决定我国太空算力从技术验证走向商业规模化部署的运力成本基础^⑧。

3.2 算力芯片：抗辐射加固与高性能计算的博弈

太空环境中的电离总剂量 (TID)、单粒子效应 (SEE) 及表面充放电效应，对电子元器件构成严峻挑战。传统宇航级芯片虽通过工艺加固与冗余设计确保了高可靠性，却以牺牲性能与集成度为代价，其算力

① Choucair C. How much does it cost to launch a rocket?. (2023-08-16)[2026-03-10]. <https://spaceinsider.tech/2023/08/16/how-much-does-it-cost-to-launch-a-rocket>.

② 中国商业航天 2026: 从上天到落地. (2026-02-27)[2026-03-10]. <https://mp.weixin.qq.com/s/Pl8udMqiEN6kFz7nNuIoEw>.

往往仅为地面同代商业芯片的1/100—1/1 000,且存在成本高昂、供货周期长等弊端^[5]。面向AI大模型训练与推理的太空算力部署,对芯片性能和能效提出了远高于传统航天载荷的要求,迫切需要引入高性能商业芯片,但由此带来的在轨可靠性风险尚无成熟解决方案。除电子特性外,散热亦是制约芯片性能的物理极限。地面数据中心可依托风冷、水冷等高比热容介质散热,而太空仅能依靠“传导至星表—辐射至深空”的单一路径。在微重力环境下,气液两相流行为异常,散热路径中的工质驱动与相变控制难度极大;高性能AI芯片(如H100/B200)热流密度已达50—80 W/cm²量级,对环路热管等先进热控技术提出了极高要求。

当前业界普遍采用“抗辐射主控+高性能商用计算”的混合架构。**① 系统稳态保障:**利用抗辐射芯片负责飞控、电源管理等关键任务,确保平台生存能力;**② 算力核心承载:**部署非抗辐射的高性能商业芯片(如GPU)承担核心计算负载;**③ 软性容错机制:**通过软件冗余、错误检测与纠正(EDAC)等算法手段,弥补硬件抗辐射能力的不足。

我国航天芯片领域长期面临“卡脖子”困境:宇航级芯片虽实现自主可控但性能滞后,难以满足AI算力需求;高性能AI芯片主要依赖进口,且面临日益严峻的出口管制风险。尽管中科天算、国星宇航等企业已启动商业芯片的太空环境适应性验证,但距离大规模工程化应用仍有较长周期。

3.3 卫星制造:功率跃升与模块化设计的双重挑战

卫星功率越高,热管理复杂度越高,系统失效概率随之上升,卫星制造的核心约束在于高功率密度需求与长期在轨可靠性之间的工程权衡。功率层面,当前主流LEO小卫星功率处于数百瓦至数千瓦量级,生

成引擎优化(GEO)大型通信卫星已达10—30 kW;而太空数据中心要求单星功率突破100 kW乃至更高^⑬,与现有商业卫星相比存在1—2个数量级的跨越,且该目标在超大面积柔性太阳能电池阵设计、高压大功率母线管理(PCDU)及大尺度展开结构的在轨刚度保持等方面逼近现有航天工程的技术边界。

可靠性层面,太空数据中心受制于在轨维修能力有限的约束,算力载荷一旦失效通常难以恢复,只能通过整星退役并补发替代卫星加以替换^⑭。在大规模星座运行条件下,共性硬件缺陷可能由单星故障演化为批量失效,进而影响星座整体稳定性。当星座规模扩展至数万乃至百万颗时,此类系统性风险的潜在影响将进一步放大。目前在轨维修与寿命延长技术(on-orbit servicing, OOS)仍处于早期工程验证阶段,尚难为大规模算力星座提供可靠保障。国际主流技术路径的分化,正是在这一双重约束下各自取舍的结果。

国际主流技术路径:**① 大规模分布式算力路线(SpaceX公司)。**SpaceX公司于2026年1月向FCC申请部署最多100万颗轨道数据中心卫星,目标是每吨载荷产生100 kW算力,通过海量卫星的并行计算聚合为百GW量级的总算力。单颗卫星功率目标在百kW量级,采用太阳同步轨道以最大化太阳能采集时间,并通过星间光学链路与星链星座互联。该路线的核心技术挑战在于高功率密度卫星平台的热管理、大面积柔性太阳能电池阵的在轨展开与姿态稳定,以及百万量级星座的系统性、可靠性管控。**② 分布式编队路线(Google)。**“Suncatcher”项目采用100—200 m间距的密集编队飞行,通过多星协同构建分布式AI计算集群,规避了单体结构的功率极限,但对编队轨道控制、动态碰撞规避及高精度自由空间光学(FSO)链

^⑬ Starlink. [2026-03-10]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink>.

^⑭ Data Center Dynamics. Just how resilient are satellites?. (2021-05-07)[2026-03-10]. <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/just-how-resilient-are-satellites>.

路对准提出了极高要求^⑮。③ **在轨组装路线 (ESA)**。“Ascend”项目由 13 个构建块 (building block) 在轨机器人组装构成 10 MW 级 MVP，该路线在设计层面预留了模块化扩展与局部替换接口，但需攻克模块自主对接、大功率电力互联及复杂热管理等关键技术^⑯。

国内现状与差距：我国已发射的算力卫星功率仍处于 kW 级，与国际先进水平存在显著代差。之江实验室、北京邮电大学等机构的试验星主要聚焦于分布算力协同验证，单星算力与功率承载能力有限。

攻关方向：为实现规模化部署，我国亟须在大功率卫星平台架构设计（包括超大面积柔性电池阵与高压母线管理）；轻量化大尺度展开结构的在轨展开与刚度保持；在轨智能组装与模块化对接技术以及面向太空数据中心的在轨健康监测体系与快速补发机制建设等关键领域加大攻关力度，填补从“kW 级”向“100 kW 级”跨越的技术鸿沟，同时为大规模星座的可靠运营奠定工程基础。

3.4 通信链路：星间激光通信是算力聚合的关键瓶颈

太空数据中心的核心价值观在于将分散的卫星节点聚合成统一的逻辑算力池，这对星间通信提出了亚毫秒级时延与 TB/s 级带宽的严苛要求^⑰。传统射频通信 (Gbps 级) 已无法满足大模型训练需求，星间激光通信 (ISL) 虽具备 100 Gbps 至 Tbps 的传输潜力，但其工程化部署仍面临四大核心挑战：① **捕获跟踪精度 (ATP)**。激光链路对准需达到微弧度级精度，极易受卫星姿态抖动、热变形等扰动影响，导致链路中断。② **动态建链时延**。在高速相对运动下，链路建立耗时数秒至数十秒，有效通信窗口受限，难以匹配实时算

力调度需求^⑱。③ **大气信道衰减**。虽低轨星间链路不受大气影响，但星地激光链路严重受制于云层遮挡与大气湍流，可靠性大幅降低。④ **高昂成本壁垒**。单台激光终端造价高达数十万至数百万美元，难以支撑大规模星座的低成本组网。

高带宽星间激光通信是实现轨道算力聚合的关键通信支撑技术。Google 公司“太阳捕手”计划 (Project Suncatcher) 通过实验室台式验证装置已实现单对收发器单向 800 Gbps、双向合计 1.6 Tbps 的自由空间光传输。然而，工程实现极其复杂：以 Google 公司提出的 81 颗卫星密集编队 (间距 100 m) 为例，若采用全互联拓扑，需构建 3 240 条激光链路 (81×80/2)，其载荷重量、功耗及控制复杂度随节点数平方增长；若采用部分互联或星形拓扑，虽降低了硬件负担，却导致通信跳数增加、路径变长，进而引入不可接受的传输时延，削弱算力聚合效率。

我国星间激光通信技术已完成初步在轨验证，但尚未形成面向大规模星座部署的低成本批量化制造体系。更为关键的是，捕获跟踪指向控制、动态建链算法，以及高集成度激光终端等核心环节均依赖高端光电器件与精密制造能力，而相关技术成熟度与产业供应链完备性在国内仍有待提升。

3.5 地面设施：信关站布局与天地协同调度是系统效能的关键

太空算力的商业价值需通过地面用户端实现。地面信关站网络作为天地链路的关键节点，承担星地数据传输、任务调度、算力分配等核心功能，其布局密度与调度智能化水平直接决定太空算力系统的整体效能。

^⑮ Exploring a space-based, scalable AI infrastructure system design. (2025-11-04) [2026-03-10]. <https://research.google/blog/exploring-a-space-based-scalable-ai-infrastructure-system-design>.

^⑯ Starcloud 1 (Lumen 1). (2026-01-31)[2026-03-10]. https://space.skyrocket.de/doc_sdat/starcloud-1.htm.

^⑰ Exploring a space-based, scalable AI infrastructure system design. (2025-11-04) [2026-03-10]. <https://research.google/blog/exploring-a-space-based-scalable-ai-infrastructure-system-design>.

(1) **地面信关站：物理连接的带宽瓶颈。**信关站是连接天基算力与地面网络的咽喉要道，其部署密度、单站带宽及覆盖范围直接决定了太空算力的可用性与服务质量。SpaceX公司已建成覆盖全球的150个信关站网络^⑮，支撑超千万用户终端的高速接入，形成了成熟的天地互联基础设施。我国地面信关站建设相对滞后，站点密度不足、单站吞吐能力有限，难以满足未来大规模太空数据中心的高并发、低时延回传需求，亟需加速补网扩容。

(2) **算力调度系统：动态拓扑下的资源编排挑战。**比硬件建设更为关键的是天地协同调度系统。该系统需综合任务需求、卫星星历、链路状态及地面负载等多维变量，实现算力资源的动态最优配置。传统地面云计算调度架构无法直接复用。太空场景具有拓扑高速动态变化、星地链路间歇性中断、任务对时延极度敏感等特征，要求调度算法具备极强的实时响应与容错重构能力。亟需攻克分布式动态调度算法、跨域资源统一编排、端到端服务质量（QoS）保障等关键技术。

目前，我国在天地一体算网融合方向已有初步探索。中国移动已发射“中国移动01星”（搭载星载5G基站）和“星核”卫星（搭载面向6G的星载核心网系统），开展空天地一体算网融合的在轨技术验证^⑯。然而，相较于成熟的商业应用需求，现有系统在算法成熟度、工程化验证及大规模并发处理能力上仍有较大提升空间，是实现太空算力从“概念验证”走向“规模商用”的最后一道关卡。

3.6 应用服务：商业模式重构与生态培育是产业闭环的破局关键

太空算力的终极价值取决于应用场景的落地与商业模式的闭环。当前，太空算力产业面临“需求明确

但规模受限”与“市场广阔但付费意愿不明”的双重困境。① **垂直领域。**遥感数据处理、应急通信及科学计算等场景需求刚性，但市场规模相对有限，难以支撑庞大的星座运营成本。② **大众消费。**手机直连、全球云服务等潜在市场巨大，但在地面5G/光纤网络已提供高带宽、低时延服务的背景下^⑰，用户缺乏为太空算力支付显著溢价的动力。除非太空算力在全球无死角覆盖、特定场景成本优势或极致低时延（如近地轨道边缘计算）方面形成不可替代的差异化竞争力，否则难以撬动消费市场。

SpaceX公司依托星链星座计划已建立的千万级用户基数与全球网络架构，具备从“连接服务”向“算力服务”平滑演进的天然生态基础。Google公司凭借其在云计算与AI领域的深厚积累，极可能推行“太空算力+AI大模型服务”的捆绑策略，通过软硬一体化解决方案锁定高端客户。

我国在应用生态建设上尚处于起步阶段，亟需降低开发门槛，构建开放的太空算力API接口与标准化开发环境。通过政策引导与产业基金扶持，吸引垂直行业企业与开发者共同参与场景创新，加速从“技术验证”向“商业造血”的跨越。

4 顶层设计与实施路径：推动太空算力高质量发展的政策方略

太空算力作为融合航天工程、AI、能源技术的战略性新兴产业，是我国在新一轮科技革命和产业变革中实现“换道超车”的重要机遇。建议以新型举国体制为牵引，以关键技术攻关为突破口，以产业生态构建为支撑，以应用场景培育为抓手，以国际规则塑造为保障，推动太空算力从技术验证走向工程实施、从试验示范走向规模商用，夯实航天强国与数字中国战

^⑮ Starlink ground station locations (2025). [2026-03-10]. <https://starlinkinsider.com/starlink-gateway-locations>.

^⑯ 发射成功!“中国移动01星”“‘星核’验证星”顺利入轨! . (2024-02-03)[2026-03-10]. https://www.10086.cn/aboutus/news/groupnews/index_detail_48881.html.

略基石。

(1) 深化新型举国体制，构建“国家队主导+商业航天协同”的双轮驱动格局。发挥我国制度优势，统筹国家航天与商业航天差异化发展，形成互补共生生态。国家队主导“集中式”重资产建设，聚焦高投入、高风险及国家安全领域。由国企牵头建设GW级天基中心云，承担高密度算力任务；攻关可重复使用火箭、大功率卫星平台、抗辐射芯片等“卡脖子”技术；配合主管部门推进国际电信联盟（ITU）频轨申报，抢占最优轨道资源；建设全国地面信关站网与统一调度平台，实现天地算力池化；通过政府采购托底，确保商业模式探索期的基本盘稳定。商业航天主攻“分布式”敏捷创新，聚焦技术成熟度高、产业化前景明确的领域。鼓励社会资本参与分布式边缘云建设，主攻实时推理、手机直连、物联网等时延敏感应用；利用市场化机制快速迭代，降低成本，提升工程化水平。建立融通机制，推动“国家队”开放基础设施与技术成果，降低商业航天准入门槛；建立数据共享与算力互济机制，实现天基中心云与边缘云的协同联动。

(2) 实施产业基础再造，构建自主可控的全链条生态。设立太空算力国家重大科技专项，推行“揭榜挂帅”与“赛马制”，集聚优势资源突破核心瓶颈。补齐产业链短板，针对“倒三角”产业结构，制定关键部件国产替代清单，逐步降低对进口器件的依赖。筑牢生态安全防线，高度警惕英伟达公司等巨头通过AI-RAN联盟构建生态垄断的风险。加速国产GPU/NPU服务器在太空场景的适配验证，构建自主可控的全栈技术体系，打造并行于西方的第二技术路线。强化创新底座，将太空算力试验装置纳入国家重大科技基础设施，建设开放共享的公共测试验证平台；前瞻布局颠覆性技术，储备长期竞争选项。

(3) 抢占频轨资源战略制高点，提升国际规则制

定话语权。频轨资源“占位先行”：组织国家队与商业航天联合行动，借鉴国际大规模低轨星座的申报经验，采用“分阶段部署、滚动申报”策略，在ITU大规模申报550—1 200 km等优质轨道资源，最大化资源获取。技术标准“结盟突围”：发挥我国5G应用领先优势，依托IMT-2030、GTI等平台，联合欧洲、东南亚及拉美国家组建技术标准联盟，平衡美国Next G及AI-RAN联盟在6G与AI无线网络标准议题上的主导性影响。规则制定“主动发声”，在轨道碎片缓解、辐射评估、太空交通管理等国际规则制定中积极提案；向“一带一路”共建国家输出太空算力服务，构建需求联盟，扩大规则影响力。

(4) 创新商业模式，打通“需求牵引-应用落地”价值闭环。聚焦刚性需求场景，优先布局地面算力无法覆盖的领域，如国防遥感实时处理、极地/深海感知、6G NTN星上基带处理等，以此作为早期技术验证与产业化的突破口。培育政企示范市场，依托国家重大专项，在遥感智能处理、应急通信、科学计算等领域部署示范工程，利用政府采购机制培育初期市场。构建开发者生态，借鉴5G“建网—终端—应用”协同发展经验，通过开源平台与标准化工具链降低开发门槛，吸引多元主体参与，逐步构建天地一体化算力网络，实现资源协同与融合服务。

(5) 建立动态评估与调整机制，确保战略柔性 with 风险管控。针对技术路径未收敛、商业模式不确定的现状，避免“一哄而上”与“路径锁定”。动态调整策略，建立两年一度的系统评估机制，根据技术进展、竞争态势及商业可行性，灵活调整投资方向与技术路线；鼓励多路径并行验证，“小步快跑、快速迭代”。全域风险预警，针对轨道碎片、太阳风暴、网络安全及数据主权等风险，建立监测预警与应急响应体系。国际合作风控，对涉及核心技术与合作项目建立严格的安全审查机制，针对潜在的技术依赖制定备

用方案, 确保产业链、供应链安全。

参考文献

- 1 王丹, 宋政吉, 穆京京. 太空试验场的概念和内涵. 航天器环境工程, 2022, 39(4): 419-426.
Wang D, Song Z J, Mu J J. Concept and connotation of space test range. Spacecraft Environment Engineering, 2022, 39(4): 419-426. (in Chinese)
- 2 郭亮. 算力星网 空天地一体化的算力革命新范式. 通信世界, 2026, (1): 29-30.
Guo L. Computing power star network: A new paradigm of computing revolution with space-air-ground integration. Communications World, 2026, (1): 29-30. (in Chinese)
- 3 陈晓红, 曹廖滢, 汪阳洁, 等. 算力基础设施碳排放估算: 方法、进展与展望. 中国科学院院刊, 2025, 40(10): 1777-1791.
Chen X H, Cao L Y, Wang Y J, et al. Carbon emission estimation for computing infrastructure: Methods, progress, and prospects. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(10): 1777-1791. (in Chinese)
- 4 张平, 马楠, 许晓东, 等. ComAI: 通信与智能深度融合新范式. 无线电工程, 2025, 55(7): 1367-1375.
Zhang P, Ma N, Xu X D, et al. ComAI: A new paradigm of deep integration of communication and intelligence. Radio Engineering, 2025, 55(7): 1367-1375. (in Chinese)
- 5 Liu Y, Han Y, Li H, et al. Computing over space: Status, challenges, and opportunities. Engineering, 2025, 35(4): 102-115.
- 6 董梦如, 黄朝峰, 杨柠屹, 等. 关于扩展商业航天市场应用场景的建议. 中国科学院院刊, 2025, 40(11): 1914-1925.
Dong M R, Huang C F, Yang N Y, et al. Suggestions on expanding application scenarios of commercial aerospace market. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(11): 1914-1925. (in Chinese)
- 7 左启耀, 文毅, 李应, 等. 天仪研究院第20次太空任务: 一箭六星主要参数及功能. 全球变化数据学报(中英文), 2025, 9(2): 123-135.
Zuo Q Y, Wen Y, Li Y, et al. The 20th space mission of Spacety: Main parameters and functions of one rocket with six satellites. Journal of Global Change Data & Discovery, 2025, 9(2): 123-135. (in Chinese)
- 8 刘硕, 续锐鹏, 郭文芳, 等. 卫星互联网星间链路技术分析. 信息通信技术, 2025, 19(6): 46-52.
Liu S, Xu R P, Guo W F, et al. Analysis of inter-satellite link technology for satellite internet. Information and Communications Technology, 2025, 19(6): 46-52. (in Chinese)

Seizing strategic high ground of space computing power: Global competition landscape and China's path

CHEN Yan¹ SONG Wenbin^{1*} ZHANG Ping²

(1 School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2 School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications,
Beijing 100876, China)

Abstract The deep integration of artificial intelligence and commercial aerospace is accelerating the transformation of space computing power from conceptual exploration to engineering verification, becoming a key direction for building an integrated space-air-ground information infrastructure. This study delves into its strategic value, global landscape, industrial chain bottlenecks, and advancement paths. The research reveals that the core value of space computing power does not lie in replacing ground data centers, but rather in focusing on network coverage blind spots, data transmission limitations, and high-timeliness scenarios, providing a new supply model of “in-orbit computing + space-ground collaboration”. Currently, the world has entered a parallel stage of engineering verification and commercial layout. The United States has established a first-mover advantage by leveraging its mature commercial system, while Europe is promoting extraterrestrial data centers under the guidance of the Green Deal and digital sovereignty. China, driven by the new national system, is accelerating the layout of an integrated space-air-ground information network. In response to the challenges China faces, such as the high launch costs and the performance limitations of high-performance chip ecosystems, satellite manufacturing, and inter-satellite communication, as well as the commercial closed-loop challenges of ground facilities, and application ecosystems, this study proposes that China should leverage the advantages of the new national system to coordinate the development of national and commercial aerospace, systematically fill industrial chain gaps to build an independent and controllable ecosystem, seize the strategic high ground of frequency and orbit resources to enhance international discourse power, and foster application ecosystems and close the value loop through innovative business models. At the same time, a dynamic assessment mechanism should be established to ensure risk control, thereby promoting the stable and high-quality development of the space computing power industry.

Keywords space computing power, commercial aerospace, satellite computing, data center

陈 岩 北京邮电大学经济管理学院教授。主要研究领域：战略绩效与创新、科技创新政策。E-mail: chen_yan@bupt.edu.cn

CHEN Yan Professor of School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications (BUPT). His research focuses on strategic performance and innovation, science & technology innovation policy. E-mail: chen_yan@bupt.edu.cn

宋文彬 北京邮电大学经济管理学院博士研究生。主要研究领域：数字化战略与创新、科技创新政策。
E-mail: songwenbin@bupt.edu.cn

SONG Wenbin Ph.D. candidate, School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications. Her research focuses on digital strategy and innovation, science & technology innovation policy. E-mail: songwenbin@bupt.edu.cn

*Corresponding author

■责任编辑：文彦杰