高技术前沿

据报道，今年9月1日，我国国星宇航公司举行“星算”计划02组首批8颗计算卫星出征仪式。这8颗卫星搭载自主可控算力模块，入轨后将与01组在轨卫星协同组网，进一步完善天地一体化算力网络。按照规划，“星算”计划将于2035年前完成2800颗卫星组网，到时将建成一个覆盖全球的太空数据中心。

1个月后的10月1日，太平洋彼岸的谷歌公司依托SpaceX猎鹰9号火箭，将“捕日者”计划首颗原型卫星送入近地轨道。据悉，该卫星搭载4颗自研TPU芯片，在轨开展芯片抗辐射、真空散热、AI推理验证试验。该计划将部署81颗卫星组成的星座，打造太阳能驱动、星间激光互联的分布式天基AI算力集群。

无论是我国“星算”计划，还是美国“捕日者”计划，均瞄准同一新兴赛道：在太空建设数据中心。苍穹之上，一个面向未来的“超级大脑”正加速成形，一场重塑全球算力格局的竞赛，也已悄然开启。

把数据中心建到太空去

■黄嫣艳 方世敏 黄永勤



破局地面瓶颈，开启“天数天算”新篇章

简单地说，数据中心就是集中存放服务器、日夜不停处理数据的“超级机房”。而建太空数据中心，就是把地面上的机房和服务器搬到卫星或空间站上，让数据中心直接在天上处理数据，只把最关键的结果传回地面。

人们日常生活中使用导航软件、刷视频、向大模型提问等，背后都离不开这个“超级机房”支撑。

那么，为何要把“超级机房”送上太空？

太空数据中心的出现，源于地面算力面临的现实瓶颈。随着人工智能、大数据、云计算技术的加速迭代，人类社会的数据总量正以前所未有的速度膨胀，地面数据中心也越来越“吃力”。据联合国预测，到2030年，现有的全球地面数据中心用电需求预计将达到945太瓦时，约占全球电力需求的3%；用水量将相当于13亿人一年的基本生活用水需求；土地占用面积将超过14500平方公里……占用土地面积大、能耗庞大、散热成本高昂，成为地面数据中心面对的三重瓶颈。

相比之下，宇宙中充沛的太阳能与超低温真空环境，为突破算力瓶颈提供了绝佳的天然方案——一方面，太空中有源源不断的太阳能源，太空数据中心可以直接利用太阳能，且不受昼夜和天气干扰；另一方面，太空数据中心不占用地面空间，节省土地资源；此外，与如今传统的“星上采集、地面处理”的运行模式相比，太空数据中心的建立，将帮助卫星实现在轨计算，实现从“天数地算”到“天数天算”的升级，把运行结果直接传回地面，大幅降低传输延迟和对地面带宽的依赖。

打个比方，过去“星上采集、地面处理”的运行模式，好比“把成捆的麦子运回家脱粒”，如今依靠太空数据中心处理数据则相当于“使用收割机在田里直接打出麦粒”。对比之下，太空数据中心处理数据时省去了数据输送环节，从根源上破解了星地传输在带宽、时延和效率上的诸多短板。

跨越四道关口，规模化应用还有多远

太空数据中心发展前景广阔，但目前全球绝大多数相关研究仍处于试验验证阶段，距离大规模应用还有多重关口需要跨越。

——冲破云霄的“天价成本”。

太空数据中心的部署高度依赖运载火箭，要想把成百上千台服务器、存储设备、散热系统、电源模块全部送入预定轨道，仅仅在运费这一方面就是一笔天文数字。尽管目前可回收火箭等技术的进步将不断降低发射成本，但只有当在轨算力设施带来的收益显著超过其建设与运维成本时，太空数据中心才能从试验项目走向规模化应用。

——抢占紧张的“位置资源”。

太空中的空间虽大，太空数据中心建设可用的近地轨道资源也十分有限。有专家测算，随着大规模低轨卫星加速部署，轨道位置和频谱资源正变得越来越紧张。卫星数量激增，不仅会占用大量轨道与频段，还会带来太空碎片增多、碰撞风险上升、天文观测受干扰等问题。

——穿透芯片的“隐形暗箭”。

太空中存在内辐射带质子、银河宇宙线与太阳高能粒子等，这些粒子虽然看不见、摸不着，却容易毁坏太空数据中心芯片电路、篡改存储数据。目前，航天级芯片抗辐射能力强，但算力偏低、价格昂贵；而商用芯片算力高，却容易受太空辐射影响，难以适配太空中的复杂环境。

——破解芯片的“散热难题”。

太空中的真空环境，使芯片无法像地面那样靠冷风、冷水带走热量。太空数据中心的芯片功耗高、热流密度大，热量只能经由散热面板辐射到深空。若散热面板的散热能力不足，芯片就会过热降频、性能衰减乃至损坏。

散热能力大小由散热面板的面积大小决定。太空数据中心算力规模庞大，这就必须要求散热面板的面积足够大。而这将增加散热面板的整体质量，进而增加发射成本。

前景广阔，多国竞相布局角逐新赛道

太空数据中心与地面数据中心的联动组网，未来将拓展多元应用新场景。

在民生与经济领域，太空数据中心发展潜力较大。应急救灾场景中，太空数据中心可实时识别灾害点位、研判灾情态势，快速搭建灾区临时通信计算网络，将应急响应时间从小时级压缩至分钟级。在海洋与极地监测场景中，太空数据中心可实现全天候、全覆盖监测，支撑海洋资源开发、极地生态保护等工作。

当前，构建低延迟、高算力、广覆盖的天基算力体系，已经成为世界航天与科技强国竞相布局的前沿赛道。

美国太空数据中心建设呈现商业主导、巨头角逐、加速落地的态势。SpaceX公司联合英伟达公司，共同致力研发名为“星际大脑”的太空数据中心，拟在近地轨道部署卫星，通过高带宽激光链路实现互联，接入星链网络，打造在轨AI算力集群；初创企业星云公司将把搭载英伟达H100芯片的卫星送入轨道，在轨完成AI模型训练与推理验证，计划未来建成一座太空数据中心；蓝色起源公司提出“日出计划”，拟通过卫星组网构建太空数据中心，以应对人工智能应用激增带来的算力与电力需求；英伟达公司正式推出为太空轨道环境设计的计算模块，目的是为太空数据中心提供关键算力支撑。

欧盟的技术路线更趋稳健，关注系统的可靠性与在轨安全评估。其“先进太空云”项目聚焦零碳算力与数据主权，计划于2031年开展在轨试验，2050年完成整体太空数据中心建设。

阿联酋通过投资和国际合作，快速推进太空数据中心项目。日本、英国、印度目前均以技术验证为主，通过小型试验卫星进行在轨测试。

我国太空数据中心建设坚持自主可控、稳步迭代，依托商业航天与科研体系的协同赋能，推动多条技术路线并行发展，目前关键技术不断取得突破，已从理论论证、单星技术试验阶段，迈入星座组网验证与规模化发展阶段，整体水平已跻身全球第一梯队。

作为全球首个空天计算在轨试验平台，我国天算星座已初步构建起“天上有星、地上有站、中间有智算”的空天计算试验体系。之江实验室牵头发射“三体计算星座”首批12颗计算卫星，标志着国内首个整轨互联的太空计算星座进入组网阶段。

上海先后推出“星枢计划”和“明珠星座计划”，四川也启动“熊猫太空算力星座”建设。武汉、深圳、合肥等地相继设立空天信息产业园区，集聚卫星制造、星载芯片、激光通信等上下游企业，推动天地协同算力服务落地。工信部明确表示，将支持开展太空算力技术前瞻性研究，有序推动太空算力产业发展。

从单星试验到星座组网，从“天数地算”到“天数天算”，太空数据中心的诞生，既是算力技术的突破，也是人类探索太空、利用太空的全新里程碑。未来，随着量子通信、星间链路与能源技术的成熟，太空数据中心将成为数字基础设施的新节点，为人工智能、深空探测、全球互联提供澎湃算力。浩瀚宇宙，正成为数字文明发展的新疆域。

上图：太空数据中心搭建天地一体化算力网络，实现数据的在轨存储与处理。 作者供图

新看点

不用开刀，精准读懂大脑的『意图』

■李灿堃

躺在磁共振舱里，无需动手，也不必开口，只要在脑中想象一个动作，眼前屏幕上的光标就会随之移动——这不是科幻电影里的超能力，而是磁共振脑机接口技术呈现的真实场景。

今年8月，在天津举行的全国首届磁共振脑机接口大会上，我国科研团队发布全球首个磁共振脑机接口全栈式解决方案，有助于解决磁共振与脑机接口设备深度融合的难题。

相较于传统脑机接口技术而言，磁共振脑机接口技术的优势十分明显：全程无创伤无植入，仅凭磁共振成像即可精准区分不同脑区的功能活动，超高的空间分辨率堪比对大脑的全方位“高清扫描”。

很多人会好奇：磁共振脑机接口是如何精准地读懂大脑的“意图”的？磁共振脑机接口技术并非指将磁共振设备和脑机接口设备简单拼凑，而是以磁共振成像为核心的感知与反馈中枢，在同一技术框架内实现“读脑—写脑—验证”的全新技术路径。

在这一技术路径中，磁共振成像设备捕捉的并非神经电脉冲，而是大脑活动时的“血氧印记”。大脑运转时，活跃区域的血流量和含氧量会相应增加，磁共振成像设备捕捉的正是这种变化，并以此间接反映神经活动。

事实上，实现磁共振成像设备与脑机接口的深度适配并不容易。磁共振成像设备依靠强磁场与射频脉冲工作，常规电子设备进入强磁场环境后，信号会受到严重的干扰，甚至直接失效；脑机接口设备需要持续采集信号、实时输出指令、精准实施调控，在磁共振的强磁场中同样会受到干扰。

长期以来，二者的结合始终停留在“事后成像、离线解码”的阶段，无法实现实时交互与闭环调控，整个神经活动的研究过程如同一个“黑箱”——输入输出靠观测，中间过程靠推测。

据悉，研究人员解决了设备互扰的难题，并整合了超声、电刺激等多模态神经调控技术，实现调控过程与成像系统的实时联动，构建起“成像—解码—调控—评估”的完整链路，形成了读懂大脑、调控大脑、验证效果的完整闭环。

目前，这类系统仍主要作为科研和临床试验工具，为抑郁、焦虑、帕金森等疾病提供全新诊疗思路。

此外，这项技术走向普及仍面临诸多挑战，信号延迟、解码精度、设备便携性都是需要持续攻坚的关卡。但可以确定的是，人类对大脑的认知每前进一步，人与技术的边界就会被重新定义一次。而这，恰恰是研究脑机接口技术的价值所在。

下图：脑机交互定制化磁共振平台。 资料图片



AI+军事

从“信息挖掘”到“智能研判”——

AI时代，数据分析人员需具备哪些能力

■钟晓东 钟 琪

当前，人工智能技术的快速发展给数据分析领域带来了深刻的影响。面对汹涌的数据洪流，数据分析人员正经历着一场从“信息挖掘”向“智能研判”的转型。AI时代，数据分析人员的核心竞争力不再体现为对信息的优先占有，而转向对大模型结论的深度驾驭。

——准确定义细化问题的能力：在认知迷雾中校准分析靶标。

所谓定义问题，就是首先要在复杂变量中锁定主要矛盾，校正分析样本和目标。传统数据分析人员常从数据占有的角度出发，如今想要借助大模型进行智能研判，则必须把起点前移，明确“要解决什么问题”。

如果直接对大模型抛出模糊困惑，那么即便大模型再强也只是在模糊甚至错误的靶标上精确发力。例如，当大模型应用于目标识别场景中，若把任务笼统设为“发现可疑活动”，系统则容易把集市、节日聚集等活动误判为兵力集结；若细化为界定具体行为特征、时空窗口、强度阈值和排除规则，算力才会从漫无边际的扫描中找到真正有价值的判断。

——人机对话的翻译能力：构建跨越两种语境的桥梁。

人机协同的核心障碍，常常不是接口不通，而是语义不通。数据分析人员如同决策层与大模型之间的“双语者”：向上要听懂指挥员的战略关切，向下要说清技术约束，可以这样说，翻译能力的强弱直接决定人机协同效能。

这种翻译是双向的。一是“意图编码”，这是指把决策层抽象、模糊的研判需求，解构为大模型可执行的任务参数。例如，当指挥员发布“评估对手下一步动向”的指令时，数据分析人员要将其转化为信息抽取字段、异常阈值、时间粒度等专业数据。二是“结果解码”，这是指把模型输出的概率、权重等专业数据，重新转译成决策者能看懂的结论。若数据分析人员只会汇报“A模型准确率达到92%”，却不能说明这92%的准确率在何种样本、何种对抗条件下成立，决策者仍无法据此下定作战决心。好的翻译者既要懂业务逻辑，也要懂模型机理，还要警惕算法误读等小样本事件。

——质疑与验证的能力：在算法迷宫中植入批判性罗盘。

当前，大模型仍具有一定的风险。统计模型天然受训练样本和假设条件约束，当大模型结论披着量化、图表和逻辑链条的外衣时，如果不加审视的全盘接受，可能掉进智能研判最危险的陷阱。质疑与验证，不是数据分析人员的附加动作，而是必备的能力。

大模型研判本质上是对历史模式的拟合，容易放大群体共识，甚至被投毒数据牵着走。例如，美国微软Tay聊天机器人上线后迅速被用户恶意交互“教坏”的公开案例说明，数据来源一旦失守，模型会把污染当成规律。只有经过多轮批判审视，才能把大模型给出的“半成品”结论锻造成经得起检验的过硬结论。

——整合与重构的能力：将信息碎片整合成决策图景。

大模型输出的，往往仍是点状、离散的事实碎片或概率判断。把它们转化为决策者所需的全局洞见，还需依靠跨域整合、逻辑重构和情景推演，这也是数据分析人员从分析走向研判的“最后一公里”。

一方面，数据分析人员要在看似毫无关联的孤立事件中，捕捉到彼此间的内在联系；另一方面，数据分析人员还要把杂乱信息按时间、因果、动机等方面重新拼图，回答“发生了什么、缘何发生、将如何演变”。最后，将研判结论转化为决策者可直接感知、介入和检验的情景剧本，在不同方案下推演对手反应模式等，给出可预、可控、可选的行动空间。

不过，在这场人与机器的深度交互中，人始终处于核心地位。人对研判结论负最终责任，在关键节点保留介入权与否决权；同时，人也在使用中校准模型、在复盘中沉淀经验，让人机协同效能越来越高。唯有如此，数据分析人员才不只是技术的驾驭者，更成为认知战场的谋略家，在算法辅助下洞穿博弈迷雾，作出科学决策。