

算力，即计算能力，是信息时代的核心动力。从古代的结绳记事、算筹、算盘，到如今云计算每秒百亿亿次的超凡计算能力，算力大小直接影响着数据处理的速度和效率。从智能手机的每一次触屏响应，到人工智能的颠覆性突破；从气象预测的精准模拟，到智慧城市的高效运转——算力，如同工业时代的电力，渗透到社会运转的每一个角落。截至2025年6月底，我国算力总规模位于全球第二，已经建设高质量数据集超过3.5万个，总体量超过了400PB。那么，算力如何推动千行百业数字化转型？又如何重塑国家竞争实力？

算力的跨越式发展：从实验室到基础设施

人类第一台通用电子计算机ENIAC诞生于1946年的美国，这台使用了17468个真空电子管、占地170平方米、耗电174千瓦的“庞然大物”，每秒仅能完成5000次加法运算。而如今，美国E级超算“酋长岩”（ElCapitan）的运算速度已达每秒270亿亿次浮点运算。不到80年，算力增长超500万亿倍，远超摩尔定律的预测。从全球超级计算机性能发展数据来看，计算机的性能每10—11年提升1000倍，如今最快的计算机已跨越百亿亿次门槛。一块小小的芯片，算力便能超越过去占据数百平方米机房的巨型计算机的水平，堪称人类科技史上的奇迹。

更重要的是，算力已成为社会基础设施，如同人们熟悉的运力（火车、汽车等交通能力）和电力（衡量发电量与消耗量的能源能力），其发展经历了几个阶段：20世纪50—60年代的主机时代，仅少数大机构能用，因机器昂贵需“人围着机器转”避免浪费；70年代的小型机时代，进入学校供学生大量使用；70年代末—80年代起的微机时代，走入千家万户，个人开始拥有计算能力；当前的算网融合时代，计算融入各行各业、万物互联，无需到机房操作，通过互联网即可按需使用数据与算力，这正是基础设施的核心特征。

中国超算的突围之路：从“卡脖子”到世界领先

20世纪六七十年代，美国、日本超算技术迅猛发展，1976年世界第一台亿次超算“克雷一号”问世，可以快速完成其他计算机难以胜任的大规模复杂运算，而我国因缺乏高性能计算机，科学研究、经济发展和国防建设受到严重制约。当时，我国石油部门想买美国1亿次计算机被拒，只能

算力：数字时代的“发动机”

□ 钱德沛



钱德沛，中国科学院院士，北京航空航天大学教授，长期从事计算机体系结构和高性能计算系统研究，主持研发了国家高性能计算环境CNGrid，提出了改善众核并行编程的系统性方法，促进了高性能计算的普及应用。作为高性能计算方向国家重大项目总体组长，他带领团队确立了高性能计算机的体系结构和技术方案，实现了高性能计算机的跨越发展，两次获得国家科技进步奖二等奖。

算力赋能千行百业：上天入地，无处不在

如今，算力已从“高岭之花”变为服务社会的“基础设施”，在“上天、入地、下海”各领域大显神通。“上天”包括气象预报、卫星轨道及数据处理、飞行器与飞机研制、遥感图像处理等；“入地”涵盖石油及各类矿藏勘探，被国家地质调查局广泛应用；“下海”则服务于海洋研究、船舶设计等国家海洋发展战略；更重要的是“算人”，这涉及基因排序、基因功能计算、新药研发及精准医疗技术研发等领域。

在科研与战略领域，超算为节能减排提供数字依据。超算通过地球系统模拟，将陆地、海洋、大气等自然圈层与人类活动、化学等圈层纳入模型，可精准预测百年尺度的气候变化规律。这为全球气候谈判中我国平衡发展与碳排放控制提供了数据支撑，也是我国提出2030年前碳达峰、2060年前碳中和目标的重要依据。

在民生保障领域，算力让天气预报越来越精准，已能实现小时级预报，数值预报准确率从传统经验预报的21.8%提升至90%。我国灾害频发，洪涝、风暴、寒潮等灾害造成严重经济损失，高精度短临及中长期预报可有效减少损失。例如，广东省气象局与国家超算中心研发的一公里级高分辨率气象模式，能快速更新未来6小时天气，提前3天预报90%以上台风生成，精度超过欧洲中期天气预报中心；清华大学等团队利用“神威·太

湖之光”实现全球3公里分辨率数值预报，正推进中国区域一公里级海陆气多圈层耦合预报系统，支撑气候预测与精准天气预报。

在产业升级领域，算力成为行业转型的“加速器”。飞机设计中，过去飞机设计依赖物理风洞，需制作缩小模型进行吹风实验，不仅耗电多、成本高，还受限於模型制作等流程；如今通过计算机数值模拟（即数值风洞）研究飞行器外形及气动性能，虽不能取代物理风洞，但能大幅减少实验次数，显著提升设计速度与质量。飞机设计涉及外形优化、噪声控制、结冰应对、发动机燃烧模拟等多学科领域，各学科间存在耦合影响，这种综合优化过程高度依赖高性能计算，若无强大算力，反复迭代优化将耗费大量时间。我国最新飞机设计借助算力实现加速，如运-20仅用5年便成功上天，较国外同类机型缩短3年，这与算力支撑密不可分。高铁通过算力分析影响寿命的关键因素，在保障安全的同时提升运行效率，每年节省数百亿元维修费。在汽车研发中，传统汽车安全性定型需进行上百次实体碰撞试验，通过在车中安装假人和传感器，加速撞击墙体后收集数据以判断汽车安全性、变形程度及气囊打开时间等。如今，计算机碰撞模拟程序可大幅优化这一过程：模拟实验成本低（仅耗电）、更精细，能灵活调整碰撞速度、车辆状态及假人状态等，实现实体实验难以完成的场景组合设置。这不仅为企业节省成本，更重要的是缩短了设计周期，提升了安全性和生产效率。仿真设计让压缩机

高效节能，鼓风机、压缩机等大型流体机械（如南水北调的抽水机、输油用压缩机）耗电量占工业用电的30%—40%，其能耗每降低1%，每年可为国民经济节约超1500亿元（近10年前数据，当前节省额更高）。

在新能源与健康领域，算力同样不可或缺。中国新能源产业已实现从追赶至全球领先的跨越，20年间风力发电装机容量跃居世界前列。风力发电机的叶片设计、风场选址等均高度依赖计算，需综合长期气象数据与地形地貌确定最优方案。例如，无锡超算与远景能源合作的格林威治智慧风场项目，12天即可完成全国两年风资源测算，效率大幅提升；广州超算依托“天河二号”支撑远景能源风光场业务，其全球可再生能源服务平台将风电场投资效益提升20%，直接经济效益超220亿元。药物研发中，模拟计算让药物研发更加精准。传统活性化合物筛选需使用高纯度化合物实验，成本极高——如购买数百种化合物实验需32亿美元。而计算机模拟通过分子化合物库匹配靶标，优势显著：筛选范围广，开源库降低成本，还能实现传统实验难以完成的观察。



学习时报与央视中国经济大讲堂合办

例如，“天河二号”一天内即可完成4200万种已知结构小分子化合物的虚拟筛选，为埃博拉病毒等药物研发提速，这在过去难以想象。

挑战与展望：算力竞争是未来的关键战场

尽管成就显著，算力发展仍面临严峻挑战。一方面，算力增长趋缓，2013年后超算性能每10年增长从1000倍降至不足100倍，能耗约束是重要原因——当前超算最大功耗达四五十兆瓦，若增至数百兆瓦相当于小城市用电量，难以靠扩大规模提升性能。美国规划的“星际之门”智能超算系统，预计2028—2030年建成，投资约1000亿美元，含100万个计算芯片，功耗达5000兆瓦（每小时耗电500万度），接近长江三峡电站四分之一的发电量。可见，未来算力竞争实质是能源竞争。另一方面，人工智能的爆发式增长对算力需求呈指数级攀升。以1.8万亿参数的GPT4为例，其算力需求增长68倍，用2.5万个英伟达A100卡训练一次需90—100天，大模型训练对算力消耗极大。在此背景下，算力提供形式发生变化，除传统超算中心外，出现了面向人工智能的智算中心，以及需要大容量内存和虚拟化设备、服务通用数据的云算中心（通算中心），算力需求愈发多样化。

应对这些挑战，中国需走出自主创新之路：推动智算融合双向赋能，实现领域内“通专结合”；在关键技术上另辟蹊径，突破处理器依赖；建立软硬件协同的敏捷设计验证能力；更重要的是推动模式创新，以应用为导向普及算力，让算力从专家资源变为全民可及的基础设施。未来，我们要建设覆盖社会每个角落的“算力网络”，如同电网、路网般支撑国家创新。这需要将外部压力转化为芯片自主的动力，改变“重硬轻软”的现状，发展自主科学计算与工业软件，推动计算与AI深度融合，让经济社会运行从粗放走向精准，形成普惠的计算服务生态，建成强大算力，以支撑数字化转型与创新型国家建设。

总之，算力是数字时代的“发动机”，夯实算力底座，才能推动数字化转型，支撑创新型国家建设，让我国在新一轮科技革命和产业变革中占据主动。



更多精彩内容扫码看视频

要防范『机器幻觉』 人工智能赋能科学研究

□ 邱慧丽

在当下科技创新浪潮中，人工智能驱动的科学发现（AI for Science，即AI4S）正在重塑科研范式，大数据与机器学习技术的深度融合为物理学、生命科学、材料科学等传统学科提供了新的研究工具和方法。数据驱动型的科学发现模式和人机协作的研究方法正逐渐成为科研的新常态。随着以大型语言模型为代表的人工智能技术的快速发展，科学界对“机器幻觉”这一潜在风险的担忧日益加剧。如何在发挥AI赋能作用的同时，有效规避“机器幻觉”风险，已成为保障科研诚信与提升创新质量的关键议题。

人工智能技术，特别是深度学习，凭借其处理高维数据和复杂系统的能力，正在重塑科研方法和流程。在药物研发领域，AI可加速分子筛选、优化分子结构并预测药理活性，从而显著缩短药物研发周期和成本。在气候建模中，AI通过处理大规模气候数据，提升了预测精度。然而，大语言模型在生成内容时常常出现“机器幻觉”。“机器幻觉”通常是指人工智能系统生成的虚假或不准确的信息，虽然这些信息在表面上看似合理，但实际上并无事实依据或支持。由于其隐蔽性较强，科研人员往往难以及时识别，从而导致实验设计偏差或结论误导。“机器幻觉”正在成为制约AI科研可靠性的关键问题。

在AI4S环境下，“机器幻觉”已从隐匿的技术隐患，演变为制约科研可靠性、威胁学术诚信与创新质量的显性挑战。“机器幻觉”对科学研究的影响主要体现在科研人员与AI系统的互动过程中，从数据管道偏差到算法训练缺陷，再到推理过程误导，

其影响贯穿科研全流程，对科研生态的系统性冲击不容小觑。首先，数据管道偏差是AI幻觉的重要来源之一。它源自训练数据的不准确、偏见或错误信息，将影响科研结论的可信度和可重复性。具体而言，错误信息型幻觉将导致虚构或不准确的科学结论；偏见型幻觉会放大社会偏见，限制科研方向的多样性；而知识边界型幻觉则由于模型对自身知识边界的不清晰认知，容易生成与事实不符的内容。科研人员若过度依赖AI生成的知识而忽视验证，将形成代际认知断层。其次，算法训练各阶段的系统性缺陷也构成风险。预训练阶段若仅基于单一数据源，将导致模型对复杂问题理解不足；监督微调阶段的数据偏差会通过“误差放大效应”降低模型性能；强化学习阶段中如果人类反馈与科研严谨性不协调，将导致以追求效率而牺牲准确性的后果。最后，推理过程中的“机器幻觉”可能误导实验设计、影响学术交流的准确性，并引发知识传播的链式偏差。在AI4S快速发展的背景下，各阶段问题相互交织形成“黑箱风险链”，从理论失准到资源浪费，最终导致科学发现的系统性漏洞、公众认知的误导，人机系统的复合损伤，正在重塑科研风险新格局。“机器幻觉”正在从技术挑战演变为制度性风险，亟须构建系统性防范机制。

在AI4S重塑科研范式的进程中，全球人工智能治理正经历一场深刻的范式转型，其核心特征是从早期的宏观原则倡导转向对前沿AI引发的高阶、系统性风险进行多维度协同治理。在AI4S加速发展的背景下，需要

从技术体系、伦理规范、科研文化三个维度构建协同治理机制，防范“机器幻觉”引发的系统性风险。

一是构建“风险—过程—追溯”三位一体的技术治理体系。首先，根据研究活动对人类健康、基础权利、环境安全和社会稳定的影响，建立风险分级机制，例如将药物发现、临床决策等高风险领域划为高风险等级，而基础物理数据分析等低风险领域则可适当降低风险等级。其次，在模型开发阶段，采用高质量、无偏见的训练数据和测试数据，并借鉴“数据沙盒”理念，构建受控测试环境，强化数据流转与模型迭代的安全边界，确保数据安全与模型稳定性。同时，进行严格的性能测试与逻辑一致性验证，尤其对需要遵循物理或化学规律的模型，加强模型行为的可解释性与可验证性。对于医疗诊断等高风险应用，应从设计阶段即集成可解释性技术，确保决策过程透明、可追溯、可验证。此外，技术文档与日志记录是实现问责与持续改进的基础。每个AI4S项目，尤其是高风险项目，应建立详尽的技术文档与自动生成的日志，记录数据来源、预处理方法、模型架构、训练过程、验证结果及局限性，以实现模型运行与决策的可追溯、可解释与可问责。

二是构建既能防范“机器幻觉”风险又能激发创新活力的科技伦理治理体系。近年来，我国在AI伦理治理方面取得显著进展，逐步从政策倡导走向制度实施，但仍面临挑战。当前，我国已形成以法规和规范性文件为核心的多层次制度框架，尤其在脑机接口（BCI）等高风险领域，已建

立前置审查机制，要求提交详尽材料并接受伦理委员会预审。然而，AI4S领域的技术特性（如算法黑箱性、跨学科数据融合）使得“机器幻觉”风险呈现隐蔽性、扩散快的特点。当前对“机器幻觉”的治理短板主要集中在两个层面：一方面，在“规范制定”层面，需加快制定针对“机器幻觉”风险的专项条款，建立动态化、可操作的审查标准；另一方面，全国性动态监测平台建设滞后，导致风险识别与响应存在“时间差”，亟须构建跨学科专家参与的实时评估网络，同时开发基于区块链的AI4S实验数据溯源系统（实现数据全生命周期的不可篡改记录），以实现从风险预警到治理行动的无缝衔接。

三是培育负责任创新的AI4S科研文化。当前，我国正依托国家战略引导与高校、科研机构探索，分阶段推进负责任创新科研文化体系建设，形成“理念引领—制度保障—实践落地”的推进路径。在AI素养教育普及能力建设层面，国家通过《教育强国建设规划纲要（2024—2035年）》等顶层设计，已推动人工智能通识教育在高校逐步普及。在风险治理与伦理规范建设层面，构建融合“动态风险评估、结论可复现性、过程透明度”于一体的治理体系，其必要性已达成广泛共识，但相关实践探索尚处于起步阶段。在未来人才培养维度，我国已将复合型人才培养置于战略高度，清华大学、浙江大学等众多顶尖高校率先启动“AI+X”交叉学科培养项目，通过设计“人工智能+科学方法论+科研伦理”等课程，致力于培养既掌握前沿AI技能，又具备深厚科学素

养与高度伦理自觉的新一代科研人才。展望未来，我国在AI4S领域的负责任创新文化建设，仍需在以下关键方向上持续攻坚：其一，推动风险治理从理念共识走向体系化实践，将伦理考量无缝嵌入立项、数据采集、模型训练、成果发布等科研全生命周期；其二，积极参与全球AI治理标准制定，分享中国在数据治理、算法透明度等领域的实践智慧，为全球AI4S治理贡献中国方案；其三，深化复合型人才培养模式改革，确保未来的科研主力军既能驾驭技术，更能引领价值方向。

总之，发挥AI赋能科学研究功能，构建AI4S时代的科研可信保障体系，需将AI幻觉治理纳入人工智能风险治理的优先事项清单。通过技术、伦理、夯实三维治理路径的深度融合，既能守住“机器幻觉”的风险底线，防止其对科研诚信的侵蚀和创新质量的损耗，又能充分释放AI赋能科学研究的潜力，推动数据驱动的科研范式迈向更可信、更高效的新境界。唯有如此，才能在AI4S的浪潮中构建起安全可靠、富有活力的科研新生态，为高水平科技自立自强筑牢AI时代的坚实根基。

（作者系清华大学科学技术与社会研究中心研究员）

