



人工智能终将走向实体空间

□ 陈云霁

人工智能是新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量，具有推动新质生产力生成和生产关系变革的巨大潜力。习近平总书记高度重视人工智能的发展，明确指出要“促进其同经济社会发展深度融合，推动我国新一代人工智能健康发展”，并强调“加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合”。基于此，我国人工智能的发展应紧密围绕这一战略部署，全面赋能数字经济与实体经济，通过体系化的科技创新，探索出一条促进两者深度融合、协同发展的新路径，为构建现代化经济体系注入强劲动力。

当前人工智能的发展主要面向数字经济

当前人工智能发展的主流科技根基，是以西方为主、面向数字经济建立的数字空间人工智能科技体系。数字空间人工智能的核心科学基础，是数字空间中互联网大数据所呈现的概率性统计规律。在产出上，数字空间人工智能主要服务数字经济，生成概率性满足用户需求的文本、图片、语音和视频数据等数字产品应用。

数字空间人工智能最具代表性的成果是OpenAI公司的GPT系列大模型。随着算力、数据、算法的不断发展，大模型在数字空间中的关键应用正在显效，生态模式逐步浮现，行业壁垒开始形成，持续推动数字经济的新业态和新模式快速涌现。

目前，数字空间人工智能已经广泛应用于文书编写、自动编程、广告推荐、智能教育、智能客服、文化创意的多种场景，并在这些场景下达到了人类相当的水平。例如，OpenAI的GPT-4o在多模态数据的生成与理解、情感分析等领域表现优异，作答语文、英语、历史、政治等文科科目高考试卷的成绩超过人类考生的平均水平。OpenAI的o1模型能解决国际奥林匹克数学竞赛中83%的问题，并且在物理、生物和化学问题的基准测

试上超越了人类博士水平的准确率。

支撑实体经济的高质量发展，尚需人工智能科技的体系性创新

我国始终坚持数字经济与实体经济协同发展，既发挥了数字经济的引领作用，又能筑牢实体经济的根基。在我国成为世界第二大经济体的发展道路上，这一策略已取得显著成效。

数字经济与实体经济在人工智能需求上存在显著差异，这主要源于数字空间和实体空间在可逆性上的本质区别。数字经济侧重于利用人工智能生成满足用户需求的数字产品，这类生成行为在数字空间内完成，不会直接影响实体世界，具有高度的可逆性和无限迭代的能力。用户可以随时随地根据自己的想法和反馈进行调整和优化。即使用户不满意人工智能生成的数字产品，还可以反复生成。例如，一位文员可以用数字空间人工智能反复生成并优化发言稿，直至完全符合个人期望。因此，只要数字空间人工智能能博闻强识，即便产生的数字产品有一些疏忽纰漏，人们也能够一定程度上容忍。

实体经济对人工智能的核心需求在于辅助或替代人类在实体空间中的操作，如机械组装、清洁、建筑及驾驶等。由于实体空间中的动作具有不可逆性，任何微小的瑕疵或误差都可能带来严重的安全事故。如洗碗时的失误导致碗碎，不可能补救。自动驾驶中的错误判断，可能导致交通事故甚至人类的伤亡。这些后果是实体经济无法承受的。因此，实体经济要求人工智能在操作实际物体时必须达到精准、稳定、可靠的基准。

目前，主流的数字空间人工智能能较好地满足数字经济的人工智能需求，但是和实体经济的人工智能科技需求之间，在本质特征、发展模式等方面存在巨大的鸿沟，无法通过延长线式的科技进步来弥合。

发展实体空间人工智能，促进实体经济和数字经济的深度融合

面向我国实体经济高质量发展的需求，需要创新发展可支撑现实世界生产力变革、科学发现、技术创新、人类认知进步的实体空间人工智能科技体系。

实体空间人工智能系统能够通过传感器感知周围的环境，并通过执行器对环境进行操作和改变。实体空间人工智能不是“只说不做”的“缸中之脑”、“反应迟缓”的静态系统、“学习困难”的封闭框架。实体空间人工智能不仅要能够和数字空间人工智能一样运用和产生具体数据，还需要能学习、运用和产生抽象精确科学知识，因此能与现实世界进行精准交互。

通过构建实体空间人工智能，人工智能将不仅可以赋能数字经济，还能广泛赋能各种实体经济应用场景。比如，在工业制造领域，通过精确的数学、物理和化学建模计算，工业机器人能准确地完成各种精密的组装和加工，整条产线也能完成生产过程的自我优化；在家居服务领域，通过实时、高效、精准的模式识别和运动控制，服务机器人能完成清洁、整理、烹饪、维修等家务，极大地方便人类的生活；在智慧交通领域，安全、可靠、稳定的自动驾驶技术不仅能提高出行效率，还能方便人类的日常出行。

实体空间人工智能主要有两个特点。一是基础架构强化数据和知识的“双轮驱动”，相较于数字空间人工智能单纯依赖数据驱动的模式，实体空间人工智能更深入地融合了现实世界中的抽象科学知识，从而能够利用科学知识进行逻辑推理和计算，产生确定、精准、稳定、可控的响应。二是科技发展注重“高效节能”，可方便和持续性地注入各行各业的抽象科学知识，避免不必要的数据样本训练，从而降低人工智能的训练和使用成

本，大幅提高行业赋能的便利性。

目前，国际上人工智能的研究已经临近了从数字空间到实体空间的相变点。OpenAI的o1模型凭借其运用复杂思维链进行逻辑推理的能力，在实体空间人工智能的发展中展现出巨大的潜力，或可成为该领域的重要基石之一。实体空间人工智能的应用也正在蓬勃发展。在集成电路领域，我国有关科研机构在国际上首次实现完全由人工智能全自动设计的CPU芯片“启蒙1号”。在自动驾驶领域，多家企业的自动驾驶服务平台已积累了庞大的订单量和测试里程，展现了该技术的广泛应用潜力。

人工智能的“中点”与“终点”

纵观世界科技发展史，新兴信息技术总是不断地从“数字空间的概念理论”走向“实体空间的场景实践”，从而真正实现对人类社会生产力的全面变革。以计算机技术为例，20世纪40年代计算机兴起时，最初仅是数字空间的计算工具。通过几十年发展，计算机能效以及性价比不断提升，最终走进大量的工厂、教室、家庭，推动了工业制造、交通运输等实体产业的自动化升级，加速了产业转型和变革。

从历史发展角度看，聚焦于生成文本、图片、语音和视频数据等数字产品生成的数字空间人工智能尚处于人工智能发展的“中点”而不是“终点”。抢占实体空间人工智能体系化发展的制高点，才能进一步推动数字经济和实体经济深度融合，使我国成为真正的人工智能强国。

（作者系中国科学院计算技术研究所副所长，处理器芯片全国重点实验室主任）



今年7月，我国科学家首次在青藏高原海拔超过4700米的纳木错深水区，于93.3米深处开始钻探，并成功采集到了长度总计为951.12米的湖底岩芯，这是第二次青藏科考2024年重大标志性科考活动之一，也是迄今为止国际大陆科学钻探计划（ICDP）中海拔最高的钻探项目，更是全球古气候研究领域的重大突破，将助力人类通过珍贵的“岩芯胶囊”还原古气候变迁的历史，为应对未来气候变化提供科学依据。

为何在纳木错钻取湖“芯”

青藏高原作为世界屋脊、亚洲水塔和地球第三极，既是我国重要的生态安全屏障和战略资源储备基地，也是全球气候变化的驱动器和地球系统科学研究的天然实验室。它吸引着全球地球科学、生命科学及环境科学等多领域的科学家前来探索。青藏高原的古环境古气候研究尤为关键，它是全球古气候研究的重要一环，与南北极、深海及中国黄土的古气候研究共同构成了地球系统科学研究的国际前沿与热点。

20世纪60年代以来，全球古气候研究以南极冰芯、格陵兰冰芯、深海沉积物及中国黄土堆积为核心介质，取得了显著进展，极大地推动了地球科学的发展。这些研究将地球气候变化的历史追溯至千万年前，还揭示了气候系统演化的周期性及其背后的控制因素，特别是太阳辐射量对轨道尺度气候变化的影响，有效衔接了构造尺度上地貌格局演化与轨道尺度气候变化的联系。这些成果不仅深化了人类对地球自然变迁的理解，更为应对当前及未来气候变化提供了坚实的科学基础。

青藏高原的隆升，作为地球演化史上的重大事件，对亚洲乃至全球气候与生态环境产生了深远影响，尤其是促进了亚洲季风系统的形成。因此，探索古季风在不同时间尺度上的演化规律，以及西风环流与季风间的相互作用机制，成为了古气候研究领域的热点。青藏高原大量内陆湖泊是开展此研究的天然地质档案，其沉积物中蕴藏着丰富的古气候信息，提供了开展高分辨率连续古气候研究的绝佳材料。相较于海洋钻探，湖泊钻探虽在规模与时间尺度上有所局限，但其分布广泛、覆盖多样的气候区域，使得在研究全球气候变化时空差异方面具有独特优势。在众多湖泊中，纳木错以其独特的地理位置、广阔的面积和深邃的水体脱颖而出，成为青藏高原内陆湖泊研究的典范。

钻取过程

自2005年中国科学院青藏高原研究所在纳木错设立观测站以来，该区域已成为国家级高寒湖泊研究基地。2014年，纳木错ICDP项目应运而生，聚焦于挖掘其深水区厚达700余米的沉积物，旨在揭示百万年古气候信息，项目迅速成为世界级钻探焦点。历经数年筹备与国际合作，项目于2020年启动。面对国际局势变化挑战，项目组坚持自主创新路线，从钻探平台、拖船到岩芯采样管，再到施工队伍，全部以国产制造和国内组织为主，确保了项目的顺利推进。

2024年5月，项目进入实施阶段。经过紧张筹备，钻探平台下水，科考营地建立，70余名队员投入作业。经过42天的连续奋战，项目团队成功钻探至510.2米深，总进尺达1413米，岩芯总长951.12米，创造了我国湖泊钻探深度与岩芯长度的双项新纪录，达到国际领先水平。过程中，团队克服了设备调试、程序磨合、特殊地层处理等难题，同时应对高海拔、恶劣天气等自然挑战，展现了中外科学家团结协作和勇于探索的精神。

此次科考成功得益于ICDP推动，汇聚中国、德国、瑞士、英国、美国等多国科学家，以中国力量为主，特别是科考中使用的水上钻探平台和技术人员主要来自中国，采集的岩芯在国内进行初步研究并永久保存。ICDP自成立以来，已在全球贝加尔湖、马维拉湖、死海等湖进行了钻探，推动了地球科学领域的国际合作。中国作为ICDP创始国之一，已成功开展多个钻探项目。如松辽盆地的“松科二井”，以7018米深度成为全球首例钻穿白垩系的科学钻井，彰显我国在该领域的世界领先地位。此次纳木错湖芯采集项目的实施，不仅有助于我国赢得更多的科学话语权和影响力，更为解开青藏高原及全球古气候变迁之谜提供关键线索。

纳木错湖底岩芯可以解锁什么

□ 王君波

重大科学意义

纳木错近千米湖芯的成功获取，标志着历时十年之久的纳木错ICDP钻探项目完成了关键性一步，不仅有利于提升我国科学家牵头的国际团队在国际湖泊钻探领域的影响，也是青藏高原古气候研究领域的里程碑式的进展，对青藏高原地球科学研究具有深远影响。

该湖芯的钻探深度达510.2米，结合沉积物地震剖面测量与既有研究，其记录可追溯至60万年前甚至更早，从而将青藏高原湖泊的连续沉积序列研究从10万年尺度提升至百万年尺度。从大尺度空间视角审视，贝加尔湖至孟加拉湾、土耳其凡湖至中国南海及印度尼西亚托武蒂湖，均已科学钻探记录。纳木错，坐落于青藏高原中部，恰为南北钻探路径的交汇区，是科学钻探的空白区。纳木错ICDP钻探项目成功填补了这一空白，为全球古气候研究贡献了来自青藏高原核心地带的新证据，彰显了其独特的科学价值。

通过纳木错湖芯，科学家可深入研究该地区的气候变化机制、印度季风与西风环流相互作用、冰期-间冰期旋回及其转换特征，以及水生生物对环境变化的响应与适应，乃至本地物种的演化。此外，与南北极、北大西洋等典型地区的古气候序列对比，将揭示第三极地区与其他地区气候变化的异同及相互影响机制，为理解青藏高原在地球环境演化中的角色提供重要依据，推动古气候研究的深入发展。

未来展望

纳木错ICDP项目组将继续沿着既定的研究方案，开展联合攻关，解决湖泊沉积物百万年时间尺度上的年代确定难题，建立该岩芯的精确年代框架，从而建立该区域的“标准”年代标尺，为开展全方位环境变化及全球对比研究打下坚实的基础。

科学研究主要通过湖芯的多指标综合分析开展，包括建立反映气候环境变化多方面特征连续序列，如冷暖干湿变化、冰期-间冰期特征及气候状况的年均温和年降水定量重建等。古气候数值模拟是开展大尺度气候变化研究的有效工具，能够获取全球尺度网格化的气候参数，是连接过去、现在和未来气候变化的重要科学手段。古气候模式的精确表达和计算离不开地质记录数据的校验，纳木错千米湖芯代用指标曲线填补了该区域的地质记录空白，有望为气候模式提供精确的验证数据，从而为全球古气候研究提供来自青藏高原这一关键区域的证据，为地球系统科学研究作出重要的科学贡献。

（作者系中国科学院青藏高原研究所研究员）



如何真正跨越“达尔文死海”

□ 钱勇 陈艺文

党的二十届三中全会对加快布局建设一批概念验证、中试验证平台作出部署，以加快推进科技成果转化。然而，当前科技创新实践中却面临如何跨越“达尔文死海”这一阻碍科技成果向现实生产力转化的现实障碍。“达尔文死海”是指从科学理论研究走向产品市场化过程中的空白地带，犹如鱼虾水草都无法生存的“死海”，用来形容技术研发与市场生产的脱节。数据显示，2023年，我国有效发明专利产业化率仅39.6%，远低于预期与发达国家水平，凸显了科技成果转化机制的矛盾与不足。

在此背景下，加快现代化中试能力建设刻不容缓。中试作为产品量产前的关键一环，既是创新链与产业链深度融合的桥梁，更是跨越“达尔文死海”的必经之路。实践证明，经过现代化中试的科技成果转化率达80%，而未经中试的则仅为30%。这一对比，充分展示了中试验证在提升科技成果转化效率中的关键作用。因此，需将现代化中试能力建设作为提高科技成果转化和产业化水平的重点，通过完善体系、创新机制、优化环境，降低风险与成本，实现从科技创新突破到广泛产业化的进程。

积极引导，强化现代化中试体系建设。遵循现代产业发展规律，

坚持需求导向和场景牵引，聚焦中试熟化的核心功能，超前建设一批中试平台基地，重点扶持建设一批综合性中试的专用设备和专业设施，构建数字化、网络化、智能化概念验证体系，促进企业市场敏感性与科研创新要素有机结合。明晰中试的市场化应用目标，突出以企业为创新主体的中试能力建设，建设试验检测、设计试制和质量管理等硬能力，培育技术熟化、试验验证和研用结合等软能力，推进新技术新产品市场化应用。突出中试的科技成果转化重点，加大政府资源投入力度，坚持高质量发展导向，强化技术创新、科技成果转化和产业化等重点环节，聚焦技术熟化、工程化放大和可靠性验证功能等重点任务，完善现代化中试技术体系。明确中试的主要服务任务，以突破产业链供应链“堵点”“断点”为重点，围绕产业共性技术成果转化，提供跨行业、跨领域的高水平中试服务，满足企业技术创新和产品多样化的需求。细分中试领域，深耕细作专业优势领域技术，建设特色明显、优势突出的专业化中试平台，深度挖掘专精特新技术市场价值，以“专而精”服务专业市场。

大胆实践，创新现代化中试体制机制。探索建立现代化中试体制

机制，建立新型研发组织，以企业需求为牵引，引导高等院校、科研院所和企业等多元主体，联合设立具备独立法人资格的中试平台，建立健全资金、设备、人才和运行管理机制。发挥市场配置资源决定性作用，协作分工开展知识、技术、人才、信息和资金等资源交流转化，推动科学家与专业团队高效协同，适配科技成果与市场需求。建设公共服务机构，组建“高校院所底层创新能力+企业技术研发能力”攻关组合，推动科技资源合理配置和利用，无缝衔接创新链与产业链。壮大公共服务规模，明确服务收入标准，建立市场化利益分配机制，提升孵化企业回报率，形成交互式、开放式的产业合伙人资源生态体系。创新考核方式，建立开放共享的激励引导机制，用好存量中试资源，面向社会提供中试服务，共享大型专业试验设备、应用场景和人才队伍，提升中试资源利用效率，满足不同行业创新实践。培育专业队伍，锻造一支技术经理人队伍，培育专业能力和资源整合能力，以“小而美”服务专业市场，促进科技成果商品化。

系统推进，构建现代化中试发展生态。完善服务网络，统筹中试资源，围绕创新挖掘、方案设计、技术研发、概念验证、技术熟化、

试验验证、测试评价、工业设计、企业孵化和产业培育等综合服务，加强信息网络基础设施建设，完备中试配套基础条件，融合新一代信息技术。完善中试服务布局，以产业园区为依托，建立以企业为牵引的产学研技术开发体系，建设辐射范围大、转化能力强、发展机制好的中试中心，支撑科技创新成果对接和转化服务。推动多元投入，强化各类银行技术熟化的金融产品设计，推进监管、产业和资本多方协作，建立风险共担、收益共享的投资融资模式，引导天使、创业和产业等投资基金流向中试环节。以共同创造价值为核心推进联盟建设，组建战略性区域和行业的中试联盟等，推动信息互换、人员互通、共建共享和协同创新，实现供给侧和需求侧信息、资源及时高效互换，摊薄设备、技术人才和信息资源等投入成本。发挥行业协会组织作用，打造智能化行业信息平台，推进重大设备共建共享，组织制定行业标准和计量标准等，推动现代化中试标准体系建设，促进创新链与产业链要素协同。

