



学科交叉融合： 推动科技创新的新支点

□ 周 济



周济，清华大学材料学院教授，中国工程院院士，长期从事信息功能材料的研究。发明了高性能低温烧结陶瓷电磁介质材料，解决了无源电子元器件片式化和集成的关键技术难题，推动了我国片式电感器和无源集成产业的形成和发展；提出了超材料与自然材料融合的思想，基于该理念设计出了一系列具有奇异物理特性和应用功能的新型材料。先后获国家自然科学奖二等奖、国家技术发明奖二等奖等奖励，荣获全国优秀科技工作者等称号。

当前，学科之间的交叉与融合受到了前所未有的关注和重视。近年来，一系列旨在促进学科交叉融合的国家战略举措相继出台，如国家自然科学基金委员会成立了交叉科学部，国务院学位委员会将“交叉学科”列为第14个学科门类等。2021年，国内首个以推动学科交叉融合的专业学术团体——北京交叉科学学会正式成立。我一直在思考一个问题：在全球新一轮科技革命和产业变革的大背景下，从国家战略层面上推动学科交叉的意义何在？换句话说，学科的交叉融合这样一个学术共同体内部的行为在驱动创新、引领国家发展方面能够发挥怎样的作用？

交叉科学有望为新一轮科技革命提供源头

新一轮科技革命和产业变革将重构全球创新版图、重塑全球经济结构，成为未来若干年世界各国发展所面临的最大机遇与挑战。然而，关于这一轮科技革命的源头却缺乏共识。人类历史上经历过的三次科技革命和产业变革均以重大科学突破主要是物理学的重大突破为科学源头——第一次科技革命的基础是牛顿力学，第二次科技革命的基础是电磁理论，第三次科技革命的基础是量子力学。因此，研判新一轮科技革命和产业变革的基本特征和发展路径，无法绕开其发生的科学基础。目前流行的观点认为，新一轮技术变革以数字化、智能化以及万物互联等为主要特征，我个人认为这种观点值得商榷。因为从科学基础上看，数字化、智能化技术依然是第三次科技革命，即信息技术革命的延展和成果应用。近一百年来物理学领域未能出现可与牛顿力学、电磁理论及量子力学比肩的重大科学突破，其他领域的重大突破也寥若星辰，单一学科的新突破似乎难以支撑像前三次科技革命那样重大的科技变革。相比之下，各大科学领域、各个学科间的交叉融合则存在着巨大的潜力。例如，在物质科学、信息科学和生命科学三大领域之间的交叉融合基础上产生了人工智能、基因组学、脑

机融合、人机融合等前沿科技，有可能成为第四次科技革命和产业变革的突破口，进一步引发的新科技有望深刻改变人类文明进程乃至人类本身。从这一意义上讲，抓住了学科交叉融合，就有望把握住新一轮科技革命的源头。

学科交叉融合为科学研究范式变革提供了新路径

科学研究的范式变革往往是重大科技创新的重要标志。而按照“范式”这一概念的提出者、美国科学哲学家库恩的观点，科学研究的范式变革往往是在旧的范式出现危机的时候发生，而这样的机会是随机的、可遇而不可求的。如何通过有组织的科研去推进科学研究的范式变革？我认为，学科间的交叉融合提供了一种可能性。现代科学中学科的划分导致了不同科学领域独立发展，形成了各自

迥异的研究范式。而学科间的交叉融合则可能为不同学科间范式的相互借鉴，进而实现学科范式的变革提供了一种路径。材料科学领域的新分支超材料可提供一个典型案例。材料科学是实验科学，其研究的主流范式是先制备出材料，然后去研究材料的性质，再进一步改进材料的组成和制备方法进而改善材料的性质，并在此基础上建立材料组成—结构—性质的关系。本世纪初，超材料这一概念在科学界出现。超材料是通过人工结构获得的、具有自然界所不具备的新的性质的人工结构，其研究范式很类似于电子学，即通过已知功能的单元构筑系统，超材料早期的研究者主要来自于电子学和物理学领域，这种研究范式对于他们来说是习以为常的。而作为最早从材料领域进入超材料研究的研究者，我们深刻认识到，超材料不仅代表了一系列新材料，也给出了一种构筑材料的新范式，因此致力于开发超材料的方法论价值，提出了超材料与常规材料的融合的思想。基于这

种思想，不仅率先研制出了介质超材料等具有优异特性的新材料，也为常规材料性能的突破提供了新的思路。

学科交叉融合是破解“卡脖子”问题的捷径

“卡脖子”问题的出现从表象上看是大国博弈背景下设置技术壁垒的后果，其本质上反映出的是在解决复杂技术问题上对国外已有技术的路径依赖。事实上，解决这样一些复杂问题往往不只有一条道路。而沿用单一学科或已有技术体系给出的解决问题方式，寻找新的道路往往比较困难。通过学科的交叉，引入新的解决问题思路，则可能另辟蹊径去解决这些问题。我们在20年前攻克的片式电感器技术就是一个很好的例子。电感器的片式化是上世纪末国际无源电子元件领域的重要突破之一，其核心技术是用铁氧体与金属导线结构实现共烧，需要具有低温烧结特性的软磁铁氧体

材料。20世纪90年代，我国开始从国外引进这类新元件的生产装备，但关键材料却遭遇国外封锁，成为当时制约国内电子元器件发展的“卡脖子”问题。在“九五”国家863计划的支持下，我们开展了片式电感器关键材料的研发工作，通过材料学、物理学和化学的深度融合，率先将物理学和化学的一些原理引入到陶瓷材料设计和烧结工艺，不仅成功绕开了国外的专利封锁，还获得了当时国际上性能最高的兼具高性能和低温烧结双重优势的软磁铁氧体材料，为此后我国片式电感器产业的迅速崛起提供了关键支撑条件。

学科交叉融合是构建创新文化、培养高素质创新型人才的重要途径

创新文化的氛围、科学精神的土壤是形成创新型国家、建设科技强国的必要条件，是源源不断地产生思想

活跃、能够跳出惯性思维的科技创新人才的基本保证。而学科的交叉融合，对创新文化的形成、科学精神的培育以及创新型人才的培养有着重要意义。通过学科交叉融合，跨越学科界限，有助于形成新的思维维度，提升科技工作者乃至全社会的科学素养、探索热情、想象力和创造力。特别值得指出的是，在科学高度分化、学科间壁垒越来越高的今天，跨学科教育对于让学生建立全景式知识系统、提升思维能力方面尤为重要。北京地区作为全球最活跃的创新区域之一，有着雄厚的科研资源、齐全的学科专业，高校和科研机构云集并在空间上也比较集中，是推动学科交叉融合、构建创新文化的理想之地，我们期待能够通过我们的努力，使北京成为学科交叉融合的学术高地，为建设首都国际科技创新中心、成为我国自主创新的重要源头和原始创新的主要策源地尽我们的微薄之力。

另外需要补充的一点是，学科的交叉融合是一个动态过程，不宜人为划定哪些学科属于交叉学科。事实上，任何学科的发展往往都需要借鉴、融合其他学科的知识和方法，学科交叉也发展出成熟的新学科，如物理化学、生物物理学等，而几乎所有工程科学都是融合若干基础科学的基础上发展的。因此，对交叉学科的支持也应该有所取舍、有所侧重，应重点关注尚未形成学科交叉或尚待成熟的交叉领域。有鉴于此，我们提出关注“大交叉”，如自然科学和社会科学的交叉、科技与艺术的交叉、生命科学与物质科学的交叉等。

学科的交叉融合有望成为推动科技创新的重要抓手，将学科交叉融合纳入国家科技强国战略意义重大。期待有更多支持、扶植、推动交叉学科发展的新战略、新举措出台。



探索生成式人工智能的治理新境

□ 陆欣宇 宫宇彤



今年以来，多个国家和地区纷纷致力于人工智能治理框架的构建与迭代。其中，3月14日，欧盟在法国斯特拉斯堡正式通过了全球首个全面的人工智能法律框架——《人工智能法案》，这一举措标志着人工智能领域法规制定的里程碑。面对大模型应用的迅猛增长，欧盟理事会连续三次对通用型人工智能模型提出了多项更新的合规要求。5月7日，中法两国基于《中法联合声明》进一步发布了《中法关于人工智能和全球治理的联合声明》，这份声明涵盖了“智能向善”的宗旨、加强国际合作、缩小数字鸿沟以及提升发展中国家的人工智能能力等十点共识。这些共识不仅体现了两国在人工智能领域的共同愿景，也为全球人工智能治理提供了重要参考。自ChatGPT等生成式人工智能技术出现以来，新兴技术在算力设施、算法模型以及功能应用等方面均取得了显著进步。然而，这一进步也凸显了传统人工智能治理框架的局限性。面对这些挑战，全球各治理主体积极寻求治理理念的革新和治理路径的创新，为新时期新兴数字技术的治理提供了宝贵经验。

生成式人工智能发展之“快”

纵观ChatGPT问世至今的一年半时间，生成式人工智能技术已取得了质的飞跃。这一“快”不仅体现在技术进步的速度上，更体现在其广泛而深远的影响上，为各行各业带来了前所未有的变革。

在算力基础方面，今年6月2日，英伟达展示的最新量产芯片Blackwell引人注目，其集成了高达2080亿颗晶体管，并采用了统一内存架构与双芯配置。这一创新使得训练算力飙升至惊人的20000TFLOPS，相较于第一代AI芯片的19TFLOPS，实现了高达1000倍的显著提升。市场分析预测，

2024年AI芯片的市场规模将超过650亿美元，并且会有更多定制化芯片部署需求。我国亦在算力基础设施方面积极布局，根据《算力基础设施高质量发展行动计划》，预计到2025年，智能算力将占据35%的比重，而重点行业核心数据、重要数据的灾备覆盖率将达到100%，展现了我国在算力发展上的坚定决心和前瞻布局。

在模型算法方面，OpenAI于5月14日推出的全新旗舰模型GPT-4o备受瞩目。这里的“o”寓意着“omni”，即全能，它不仅能够处理传统的文本或语音模式，还擅长多任务处理，接受多模态任意组合输入，并能实时输出图文、音频等多种内容。国内学界与业界在模型技术方面同样取得了实质性突破。商汤科技发布的“日日新SenseNova5.0”、阿里云推出的“通义千问2.5”，以及字节跳动发布的“豆包大模型”，都在语言、知识、推理、代码等方面有显著提升，标志着我国在大模型技术研发方面正迈向国际先进水平。

在功能表现上，生成式人工智能在图文、代码生成、音视频创作、科学研究等方面均获得了重大的能力提升。例如，OpenAI今年2月发布的Sora能够生成长达一分钟的高清视频，不仅远超先前的生成模型，而且生成的视频细节丰富且可编辑，为行业树立了新的标杆。此外，基于国产大模型打造的“Kimi智能助手”在迭代升级后，成为全球首个支持输入200万汉字的大模型应用，展现了国产技术的强大实力。

在行业应用上，生成式人工智能的应用逐步扩散至不同行业，在生物医药、法律、金融、制造、教育和娱乐等行业，真正实现了针对用户诉求的定制解决方案。例如，美国初创公司哈维为英国安理律师事务所提供的生成式人工智能服务，不仅协助实现法律文件的起草和客户案例研究自动化，并针对不同律师事务所和不同案例开发定制分析系统，极大地提高了工作效率。当前，越来越多的企业正积极运用生成式人工智能模型，以助力组织提高生产效率、优化工作流程，进而实现改进用户体验的目标。

传统人工智能治理模式之“难”

生成式人工智能蕴含的通用性、动态性、涌现性等技术特性，势必会对传统治理模式带来相应挑战。

一是硬性监管难。一方面，传统硬性监管主要以风险事前规避为技术进路，通过制定法律法规为监管部门提供执法依据。虽然硬性监管为人工智能的设计、开发、部署和使用明确划定了“发展红线”与“合规底线”，但却无法平衡安全与效率。硬性监管的机械性和片面性，在一定程度上限制了生成式人工智能的创新和应用，这使得关注新兴技术与变革为初衷的科技初创企业在产品开发和业务运营之初往往较难承担繁重的监管合规义务，以事前治理为导向的硬性监管措施或一定程度上阻碍人工智能初创公司的技术创新能力和市场竞争力。另一方面，硬性监管政策难以应对生成式人工智能快速迭代的技术创新，依照摩尔定律判断，科技更新换代速度平均为1.5年，而GPT1到GPT4.5共用时5年，已完成六次迭代，但生成式人工智能迭代更快而且仍在加速，硬性法律法规出台速度与技术发展很难实现同步。

二是分散治理难。面向多元治理主体，分散治理的特点强调独立自主、各司其职；面向单一治理主体，分散治理主张针对独立对象和场景专门化地制定措施。对前者而言，传统人工智能模式聚焦实现特定功能，有着数据需求小、通用能力差、相应治理未完全突破部门和地区边界等特点，运用分散治理有利于权责溯源。对后者而言，分散治理面向生成式人工智能，一方面难以回应模型治理需求，另一方面无法处理整体性风险和发展失衡。由于生成式人工智能汇聚算法、数据和信息，同时其预训练、指令微调、对齐和专门化的模型炼制路线环环相扣，场景拓展能力也持续增强，因此分散治理将无法避免地踏入“注意力失焦”的困境。一年以来，生成式人工智能已跨越式地将全球利益相关方拉入同一个治理框架，在应对算法歧视、人权保护、发展失



衡、制度非中性等整体性风险和问题上，早已超越了分散治理的单边行动。

生成式人工智能治理路径之“新”

近一年来，全球主要经济体和国际组织在传统治理手段的基础上，对生成式人工智能的治理策略进行了积极创新。

首先，从硬性监管逐步过渡至包容审慎，不同于命令型控制型的硬性监管，包容审慎监管旨在追求效率与安全的动态平衡，要求治理主体给予数字经济新业态必要的发展时间与试错空间，并根据公共风险大小进行适时适度干预。在我国，这一趋势尤为明显。我国的《生成式人工智能服务管理暂行办法》明确提出对生成式人工智能服务实行包容审慎监管，旨在激发创新活力与确保行业健康发展的平衡。欧盟的《人工智能法案》同样强调以人为本的理念，在促进人工智能发展与创新的同时构建监管体系。英国不希望繁重的合规义务打击企业的创新意愿，没有专门针对人工智能立法，而主要通过发布指南等非监管措施为企业提供指导，主张建立“支持创新”“合比例”的监管框架，以期对投资者、企业和公众提供信心。除此之外，英国还采用了创新性政策工具“监管沙盒”来最大限度降低监管

对创新的阻碍，通过划定适用范围、明确豁免规则、限定适用时间等措施使企业无需担心创新与监管规则发生矛盾时可能遭遇的监管障碍或承担不必要的监管负担。

其次，治理策略从分散治理向整体治理转变。整体性治理旨在解决治理碎片化和分散化造成的复杂和效率低下的问题，主张用整合、协同和网络化的理念回应，以提高治理的效率和效果。一方面，生成式人工智能治理本质为模型治理，需要依据模型类别和产业结构构建分层级的治理体系。以欧盟《人工智能法案》为例，该法案采取了基于风险将生成式人工智能以系统为单位纳入监管范围，包括了四个风险级别：不可接受的风险、高风险、有限风险和极低风险，每个风险级别都有相应的应用场景和监管措施，同时法案允许监管机构不断将新的应用领域纳入现有的风险级别，兼具了确定性与灵活性。另一方面，随着生成式人工智能在全球社会生活中的渗透，参与治理的主体更为多元，生成式人工智能治理成为全球治理的重要议题。比如，针对技术霸权和发展失衡问题，《全球人工智能治理倡议》中提到，面向他国提供人工智能产品和服务时，应尊重他国主权，严格遵守他国法律；《布莱切利宣言》指出，应帮助发展中国家加强人工智能能力建设，发挥人工智能的有利作用，支持可持续增长和缩小发展差距。