

材料与结构：从智能到智慧

□ 冷劲松

习近平总书记指出,“整合科技创新资源,引领发展战略性新兴产业和未来产业,加快形成新质生产力”。纵观人类文明发展史,材料科学的每一次重大突破都推动了社会生产力的跨越式发展。新材料是支撑战略性新兴产业发展和重大工程建设的重要物质基础。传统材料往往功能单一,主要满足承载等基础性能需求。随着人工智能与材料科学的深度融合,现代新材料已超越传统物质实体的范畴,实现从“主动响应”到“自主决策”的范式变革,呈现出复合化、多功能化、智能化、智慧化的显著特征,有望在航天航空、生物医疗和机器人等领域催生颠覆性创新成果,推动新质生产力快速发展。

智能材料与智能结构：感知与响应的革新

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》在第五章“前沿技术”中指出,“智能材料与智能结构是集传感、控制、驱动(执行)等功能于一体的机械或智能结构系统”。“十三五”规划纲要强调,大力推进智能材料等12个新兴前沿领域创新和产业化,形成一批新增长点。与传统“静的”材料不同,智能材料(Smart Materials)是一类能够“动的”材料,主要包括形状记忆聚合物及其复合材料、电致活性聚合物及其复合材料、形状记忆合金、压电材料及电/磁流变材料等。智能材料具备主动可控变形、变性能和变功能等特点,可为航天航空、生物医疗、增材制造和柔性电子等领域带来变革性和颠覆性的创新。

基于智能材料构建的智能结构与系统能够适应外界环境变化,实现性能优化,革新了高端装备领域的设计理念。在航天领域,空间展开智能结构相较传统展开机构,具有简单可靠、轻质、低冲击等优势,为载人航天、深空探测等重大航天工程的实施提供了支撑。例如,与传统刚性太阳能电池相比,基于智能材料结构的柔性太阳能电

池具有高比功率、高收纳比、高可靠性、低成本等优势,可广泛应用于商业航天卫星等领域。在航空领域,基于智能结构的变体飞行器可以根据不同的飞行条件改变气动构型,达到综合性能最优,是跨域飞行器、大飞机、超声速客机、天地往返空天飞机等先进飞行器发展的必由之路。例如,与传统客机相比,光滑连续变体客机可以提高升阻比,节省燃油8%—12%,降低噪声40%左右,具有巨大的经济效益和社会效益。在生物医疗领域,采用智能材料增材制造的4D打印可植入医疗器件,具有个性化定制、微创植入、远程驱动及可控降解等优势,为组织再生和精准医疗提供了突破性的解决方案。

智慧材料与智慧结构：类生命体的演进

在智能材料的基础上,我国首次提出了“智慧材料(Wise Materials)”的概念。通过对智能材料进行人工智能训练和学习,智慧材料能够实现“类生命”自主决策与响应,具有强生存、强适应、强自主、自生长等特性。例如,当感知到温度、湿度或光照变化时,智慧材料内部“分子开关”被激活,分子基团能在特定刺激下重构交联网络,实现类似生物组织的持续性生长。智慧材料能够感知外部环境并提取有效信息,通过建立深度学习模型进行理解和判断,从而自主作出相应的决策和行动。基于智慧材料的智慧结构与系统,将赋予高端装备“环境感知、自主决策、自主执行任务”三位一体的能力,将彻底颠覆未来高端装备的设计理念,将引领航天航空、生物医疗和机器人等领域迈入智慧化新时代。

材料与结构从智能到智慧的发展

材料与结构的智能化发展。20世纪80年代,我国开始研究光纤传感器、形状记忆合金、形状记忆聚

合物和压电陶瓷等智能材料技术。随着国家政策支持和应用需求的增加,智能材料与结构的自主创新成果持续涌现。以哈尔滨工业大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、浙江大学等为代表的科研机构,在智能材料研究方面取得重大进展,并在智能结构设计及其在航天航空等领域的工程应用上实现系列突破,多项原创成果达到国际领先水平。北京航空航天大学设计研发的宽温域超弹性形状记忆合金器件已应用于嫦娥五号、嫦娥六号等国家重大型号任务。南京航空航天大学将压电陶瓷传感器应用于大尺寸复杂飞机结构的健康监测和寿命预测。浙江大学首次实现了自带能源的软体机器人在深海里自主游动。哈尔滨工业大学将基于光纤传感器的结构健康监测技术广泛应用于桥梁结构、船舶结构、风电叶片等先进结构,保障了其运行安全;研制的智能国旗展开结构应用于我国“天问一号”火星探测器,成功实现了中国国旗的可控动态展开,在火星上打上“中国标识”,为建党100周年献礼,使我国成为世界上首个将形状记忆聚合物智能结构应用于深空探测工程的国家。2020年,哈尔滨工业大学获教育部批准建设全国首个智能材料与结构新工科本科专业,此后,智能材料与结构系统学会和智能材料产业技术创新联盟也相继成立。上述历程充分彰显了我国在该领域从技术跟跑、并跑到局部领跑的跨越式发展。

材料与结构的智慧化演进。当前,我国正推动智能材料与结构向更智慧的下一代体系迈进。智慧材料与结构能够如生命体般动态适应复杂多变的外部环境,并进行自主决策与执行,实现物质、信息和生命的高度融合,将带来战略性、引领性和颠覆性的变革。我们设想:在航天领域,基于智慧结构的航天器能够适应极高温、极低温、强辐射等极端环境,融合原位资源利用技术,为月球/火星建筑提供自展开、自密封、自防护和自修复等强生存能力,建立长期宜居的月球/火星城市;在航空领域,基于智慧结构的变体飞行器可以根据不同飞行

任务和环境实时动态调整飞行策略,实现像鸟一样的类生命“感知—反馈—执行”的复杂行为,极大提升飞行效率,具备强适应能力;在生物医疗领域,基于智慧结构的新一代医疗器械,结合人体微环境响应机制,具备自诊断、自生长和自降解的类生命特性,构建诊断—治疗—监测的智慧医疗新生态;在人形机器人领域,智慧结构与脑机互联技术深度融合,将赋予机器人自主学习、自然交互和人机协作等强自主能力,细腻呈现姿态、动作、面部表情、眼神交流等人体行为,构筑人机共融的智能社会。

习近平总书记指出,“必须坚持守正创新。我们从事的是前无古人的伟大事业,守正才能不迷失方向、不犯颠覆性错误,创新才能把握时代、引领时代”。一代材料,一代结构,一代装备。材料与结构从智能到智慧的创新发展,是科学与技术不断突破边界的探索历程。材料作为装备的物质基础,首要突破材料的智慧化,进而实现结构的智慧化,最终推动装备的智慧化。在材料与结构从“主动响应”到“自主决策”的范式变革中,我国既是原创技术的策源地,也是全球最大的应用场景试验场。面向未来,我们需要以前瞻性战略布局为引领,加强跨学科复合型人才培养,重点突破原创性基础研究瓶颈,打破多学科科技交叉融合壁垒,深化国际科技创新合作,通过“技术突破—场景反哺”双向赋能,构建“智慧材料+”全球标杆体系,推进产学研合作,为航天航空、生物医疗、人形机器人、新能源、智能制造、舰船、汽车和人工智能等领域的未来高端装备提供关键物质基础,服务未来产业,服务未来社会,为实现中华民族伟大复兴贡献力量。

(作者系中国科学院院士、哈尔滨工业大学未来技术学院院长)



推动数字技术在社会治理中良性发展

□ 付新惠

当前,以人工智能、大数据、区块链等为代表的数字技术方兴未艾,引领生产方式和生活方式发生深刻变革,也推动着社会治理模式更迭和重塑。加强和创新社会治理,必须紧紧抓住数字时代的机遇,将数字技术全链条、全周期融入社会治理,不断释放数字技术的新动能,推动社会治理数字化持续发展。数字技术在社会治理场域的广泛应用,已经成为破解社会治理难题的重要技术手段。但是,我们也要清醒认识到,数字技术作为新生事物,如果不加以规范和引导,可能会带来新的风险与治理困境。

在数字技术赋能社会治理进程中,暴露出一些问题。首先,治理思维偏差导致本末倒置。部分地区奉行“技术治理”“数字至上”等片面思维,过度依赖数字技术,重技术形式而轻治理目标,忽视风险防范与群众诉求。其次,制度建设存在一定滞后性。制度建设滞后于社会治理数字化转型,对数字技术应用关键要素缺乏统一规范的制度体系,在数据产权、安全隐私保护等方面的法律法规亟待进一步完善。再次,碎片化建设形成数据壁垒。平台重复建设现象出现,缺乏系统谋划与统筹管理,政务APP繁多,资源浪费较大。同时,各部门数据共享不足,受职责权限等差异限制,“信息孤岛”未打破且有扩大趋势,影响数据价值发掘。最后,治理手段程式化催生形式主

义。社会治理数字化追求标准化,却容易忽略社会治理需求的多样性与环境差异性,过度依赖技术所提供的程式化结果,缺乏结合实际情况和现实需要进行针对性的研究,导致灵活性和精准性不足;大量技术应用而使治理主体疲于应付,出现过度留痕。这些问题都在不同程度上制约着数字技术在社会治理中的有效应用与良性发展。

社会治理数字化是一个技术赋能社会治理的系统工程,而非简单的技术应用过程。当下亟须聚焦数字技术赋能社会治理的现实困境,找准切入点和突破口,在有效防范技术风险的前提下更好地发挥数字技术对社会治理的推动作用。

一要坚持以人为本的治理理念。坚持技术向善,将以人为本的治理理念植入社会治理数字化实践中,满足社会公众的利益需求。坚持以人为本的数据安全理念,强化对个人数据安全与隐私的保护,严格规范数据采集、使用与共享流程,防止个人信息泄露,让群众真正安全地享受数字服务。树立“数字包容”理念,把数字公平、数字信任和数字安全等价值要素作为社会治理数字化的重要内容,提高数字技术的普惠性,缩小数字鸿沟,针对不同群体的数字化需求,开发多样化的数字产品与服务,为老年人打造适老化数字平台,为残障人士提供无障碍数字应用,确保数字技术发展成果全民共享。此外,畅

通群众参与数字治理的渠道,通过在线意见征集、数字治理监督平台等方式,鼓励群众积极反馈数字治理中存在的问题,将群众智慧转化为优化数字治理体系的实际举措,真正实现数字治理服务人民、依靠人民、成果由人民共享。

二要构建系统集成的规范体系。只有为数字技术定好标准、划清边界,才能跑出社会治理的“加速度”。一方面,完善制度设计。加强对数字技术发展的规范与引导,进一步健全和完善数字治理领域的法律法规,不断完善宏观层面的政策措施,细化相关的实施方案、技术标准、安全规范等,着力构建科学严密、务实管用的制度规范体系,最大限度避免技术的不当应用从而偏离社会治理的初衷。另一方面,健全风险预警防控机制。坚持总体国家安全观,聚焦采集使用、数据安全、隐私保护、网络安全等重点领域和关键环节,大力推进数字技术介入风险监管体系建设,加强风险动态感知,健全风险防范机制,强化敏感数据监测管理,切实筑牢安全底线。

三要加强统筹协调的数字建设。要做好功能兼容的“加法”。大力推进数字平台“一体化”建设,积极构建统一规范、高效集成的综合平台,深化基础数据库应用,推动各类数字平台共建共享共用。加强统筹谋划,打破部门壁垒,统筹推进数字基础设施、应用服务系统

等设施建设,避免一拥而上、多头建设、重复建设,同时,大力清理和精简不能发挥作用的政务APP。要做好数据共享的“乘法”。健全数据共享开放机制,完善数据共享通道,加大部门间的信息互动共享力度,安全有序稳妥开放公共基础信息数据,加强数据信息跨地区、跨领域、跨系统的深度融合和高效运用,打破“信息孤岛”,释放数据红利,将海量的“数据存量”转变为社会治理的“效能增量”。

四要打造多元参与的共治格局。增强政府、企业、社会组织、公众等多元主体的整体互动,形成齐抓共管、密切配合、运转高效的共治格局,凝聚起破解社会治理难题的强大合力。政府及其职能部门要明晰不同主体的参与方式、权责义务等,大力推进数字技术领域相关政策措施的落实落地,加强监管和执法力度,推动数字技术规范运行;企业和社会组织要加强行业自律,强化对从业人员的教育培训,积极降低技术风险,规范参与社会治理,保护数据安全和个人隐私;公众要进一步提高数字素养,增进对社会治理数字化的理解和支持,提高参与社会治理的主动性,积极反馈意见、提供建议,做社会治理数字化的参与者和建设者。



2025年4月19日,全球首场人形机器人半程马拉松在北京亦庄盛大开幕。这场全球瞩目的赛事,不仅集中展示了当前人形机器人的技术水平,更以北京人形机器人创新中心“天工”机器人夺冠为标志,印证了我国在这一前沿领域取得的显著进展,可谓一次关键的“单点突破”。然而,放眼全球,新一轮科技革命和产业变革方兴未艾,人工智能正深度参与经济社会发展,日益成为未来产业重构的核心力量。在此背景下,亦庄的这场“首跑”不仅是一次竞技,更是一个引人深思的起点:如何把握历史机遇,实现从“单点突破”到“多点开花”继而“持续领跑”进而“从容领跑”的实质性跃变,不仅关乎人形机器人产业的未来发展,更深切关系到怎样在新一轮科技竞争中掌握主动权,赢得先手棋。“何以领跑”这一兼具本质性、时代性、历史性的宏大命题,需要我们必须从科技、产业、机制、安全等多个创新维度开展战略性、系统性、纵深性的谋划与探索。

深化前沿创新,是实现持续领跑的发动机。人形机器人是人、机、物构成的智能信息物理系统的前沿载体。在人工智能的强力赋能下,这一体系正经历代际跃迁:“人”的角色日益体现为更强自主性的多智能体,“机”由传统网络升级为泛在智能的算力网络,“物”则从简单的互联设备演进为以机器人为代表的复杂智能交互终端。同时,“人、机、物”的边界日益模糊,一个高度整合的智能形态呼之欲出。无论是赛场表现还是现实应用,人形机器人在“智能”层面仍有巨大潜力待挖掘,其核心挑战在于如何将先进的“灵魂”(如大模型、决策智能)与灵活的“皮囊”(如运动控制、环境交互)实现更高水平的协同划一。在AI快速迭代的背景下,前沿创新态势呈现高度不确定性,而数字孪生技术的兴起,为人机物的深度融合提供了关键路径。通过数字孪生技术,可以在虚拟空间中对技术解决方案(如多智能体可抽象为口袋智能体簇)进行低成本、高效率的迭代验证,大幅提升科技创新效率。因此,在筑牢高性能算力、高质量数据、高水平算法的基础上,应坚持高水平科技自立自强,进一步通过数字孪生技术强化软硬件协同进化,实现人形机器人从“能动”到“慧动”的本质跨越,为其领跑未来奠定强大的技术基础。

锚定需求创新,是驱动产业价值跃升的离合器。当前人形机器人展示的跑、跳、舞等能力固然吸睛,但技术的发展更应紧密围绕经济社会价值的需求导向。从以需求为牵引、以场景为驱动、以情境为目标的基本立足点出发,人形机器人如何在工业制造升级、危险环境作业、应急救援、医疗康养、家庭服务等国家重大需求和民生关切领域,有效替代高风险、高强度、重复性的劳动,或提供高品质、人性化的服务,势必要求人形机器人从掌握单一技能的“专才”,向具备多场景适应能力和任务泛化能力的“通才”转变。人形机器人马拉松恰是这一转变的缩影。通过极限环境的实际验证,可挖掘出不同机器人的差异化优势——如天工Ultra的速度适合远距离探索,有些机器人虽速度较慢但韧性较强,适合城市巡逻;有些则在情感交互方面具备优势,可发展为陪伴型机器人。产业化过程就是寻找技术与场景最佳匹配点的过程。相应评价体系也应超越单纯的技术指标,开展面向实际应用的重构、重塑,进而实现从“加快”到“加速”转变的目标——“加快”只是比过去更快,而“加速”则意味着有明确量化标准和评估体系。结合存量发展模式,宜从传统的能力水平评价转向解决实际问题的任务型评价,以机器人在真实场景中解决问题的效率、可靠性与经济性为“指挥棒”,赋能“真金白银”的产业价值提升。

推动组织创新,是激发多元主体活力的传动轴。人工智能的加速发展正以前所未有的速度催生科研新范式与产业新形态,传统的组织创新模式亟待重构。在人形机器人马拉松中,不同团队采用了不同的技术路线,比如,利用前导视觉引导,或是通过路线规划独立奔跑,又或是整合大模型进行决策,技术路线的多样性充分体现了组织创新多元化。未来的科技创新将呈现三种典型模式:原子级创新、裂变式创新和聚变式创新。原子级创新以个体单元为主,以DeepSeek为代表的“超级个体”能够迅速突破特定领域;裂变式创新则是从单点突破向多点拓展,形成技术矩阵;聚变式创新则是多元主体协同,释放巨大的创新能量。面向未来,我们既要继续发挥有组织科研在攻克重大核心技术、服务国家战略目标上的独特优势,集中力量办大事;也要整合优质资源,积极构建更加开放、协同、包容的创新生态,以不确定性的量子态叠加保障确定性、掌握主动权。应主动调整优化组织机制与流程体系,打造更具适应性和初

人形机器人何以「领跑」

□ 翟立东

性的组织形态,促进大中小企业、高校院所、创新平台等各类创新主体的资源共享、能力共用与应用共创,形成既能统一攻关又能百花齐放的创新格局,为从从容领跑提供不竭的动力源泉。

强化安全创新,是护航产业行稳致远的保险杠。人工智能技术的广泛应用,始终伴随潜在的安全风险与伦理挑战。赛场上机器人可能出现的失控、摔倒等状况,在现实应用中可能演化为更复杂的安全问题。推进人工智能及其相关产业发展,兼顾发展和安全的关系,确保科技发展向善、可控可用,要求固有安全理念实现深刻转变:从传统的安全措施往往滞后于技术发展转向强调在技术和系统规划、设计、建设的初始阶段就充分融入安全考量,将安全内化为技术和系统的固有属性,真正实现安全与发展的同步规划、同步建设、同步使用;加快健全相关法律法规、伦理规范和技术标准体系,加强治理能力建设;将安全考量贯穿人形机器人设计、研发、测试、部署和运维的全生命周期。随着人形机器人向多场景扩展,安全创新需要构建包括硬件安全、算法安全、网络安全、数据安全和伦理安全的全维度防护体系。尤其在新型智能形态尚未出现的背景下,应建立动态调整的安全标准和评估框架,确保技术发展始终在可控范围内,确保人形机器人产业行稳致远,让人工智能更好地服务于经济社会发展,保障健康可持续发展的领跑态势。

从“首跑”迈向人形机器人产业的全面“领跑”目标,是一项艰巨复杂的系统工程,必须前瞻布局,从点线面体四个维度系统施策,构建合力。“点”上,要做强关键环节,集中资源支持已取得领先优势的技术和团队。对于具有突破性技术的企业,政府应不拘一格,加大扶持力度,提升“头雁”效应,打造具有全球影响力的创新标杆,带动更多创新联合体共同发展。“线”上,要畅通路径堵点,加快产业循环。通过健全应用场景、完善商业模式,促进人形机器人从技术验证走向商业落地,加速技术研发、场景应用与市场反馈的良性循环,奋力打通商业化路径,畅通内循环、外循环、大循环。“面”上,应拓展发展基础,加大基础设施投入。正如马拉松需要良好赛道,持续加大对基础研究和基础设施的投入,夯实长远发展根基,由国家实验室等战略科技力量统筹推进。“体”上,应建设生态示范,推动区域协同发展。发挥产业集聚和辐射带动作用,促进区域协同发展,以“全国一盘棋”的着眼点,积极构建开放合作、互利共赢的产业生态,形成国家层面的整体创新合力。人形机器人领域的突破是我国前沿科技创新的积极开端,应通过科技创新、产业创新、机制创新和安全创新的战略思考,有序促进点线面体的协同发展,实现以人形机器人为代表的未来产业从单点领跑迈向多点点领跑,进而实现持续领跑和从容领跑,在全球前沿科技竞争格局中占据领先地位。

