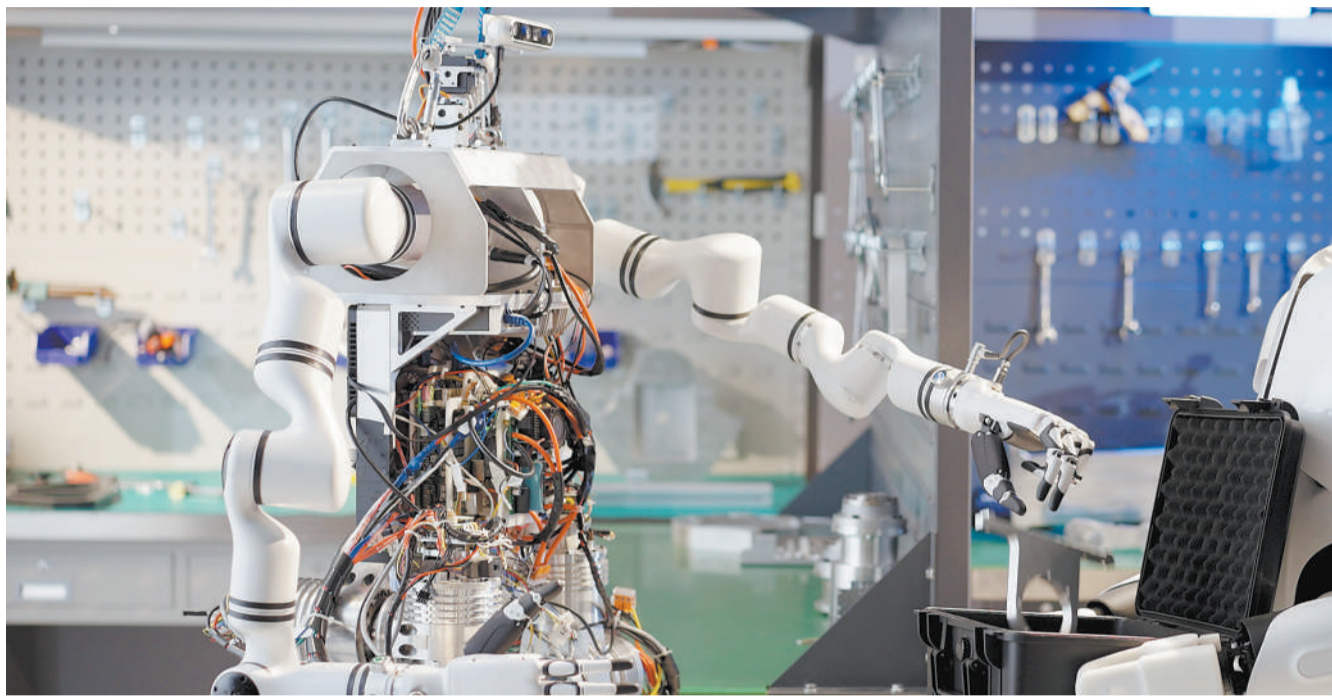


人形机器人

用高精尖技术塑造人类的新伙伴



人形机器人在智能制造场景下，自主协同完成工具收纳任务。中国科学院自动化研究所供图

◎本报记者 陆成宽

近日，一条“人形机器人进厂‘打工’”的视频引发网友热议。视频中，人形机器人顺利完成汽车门锁质检、安全带检测、车灯盖板质检等工作，还以柔顺的动作将其流畅地贴好了车标。整个过程中，人形机器人展现出精巧的身体控制能力。

这只是人形机器人走向实际应用的一个案例。近年来，人形机器人技术加速演进，已成为科技竞争的新高地，经济发展的新引擎。“头脑”聪明，“四肢”灵活的人形机器人正成为未来产业的新赛道。公开数据显示，到2035年，人形机器人市场有望达到1540亿美元。

为什么要大力发展人形机器人产业，人形机器人与其他机器人有什么不同，实现人形机器人产业高质量发展还需要解决哪些难题？带着这些问题，科技日报记者采访了相关专家。

重塑全球产业发展格局

智能机器人作为新兴技术的重要载体和现代产业的关键装备，是引领产业数字化、智能化发展，不断孕育新产业、新模式、新业态的战略方向，是重塑我国制造业竞争优势的重要工具和手段，是加快我国工业转型升级的现实选择。

“人形机器人是人工智能在物理空间的重要体现和关键装备，是实体通用人工智能系统的典型代表。它是继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性平台产品，将成为引领产业数字化发展、智能化升级的新质生产力，有望持续催生新产业、新模式、新业态。”2月28日，全国政协委员、中国科学院院士、中国科学院自动化研究所研究员乔红在接受记者采访时表示。

作为一种模仿人类外观、形态和行为能力的智能机器人，人形机器人可以无缝使用人类所有基础设施和工具，融入人类社会，通过AI赋能，可实现自然的语言交互与行为动作。其形态、交流、工作能力均像工人。因此在航空航天、智能制造、农业生产、家庭服务等不同领域、不同场景中均有广泛的应用前景，有望颠覆一些领域现有的发展格局。“这是人形机器人区别于其他专用型工业机器人的显著特征。”中国科学院自动化研究所博士钟山林说。

相比普通的工业机器人和服务机器人，人形机器人在结构设计、硬件构成、控制算法、核心性能要求以及零部件选择方面，都有很大的差异。“比如，普通工业机器人的关节数量一般在6个左右，而人形机器人关节数量在40个以上。通常人形机器人的每个关节需要一台伺服电机，部分与行走平衡相关的关节对电机的高爆发力响应和稳定力矩输出提出了极高的要求。”钟山林举例说。

2023年底，为推动人形机器人产业高质量发展，培育新质生产力，高水平赋能新型工业化，工业和信息化部印发《人形机器人创新发展指导意见》(以下简称

《指导意见》)。

《指导意见》提出，到2025年，人形机器人创新体系初步建立。“大脑”“小脑”“肢体”等一批关键技术取得突破，确保核心部件安全有效供给，整机产品达到国际先进水平，并实现批量生产；在民生服务等场景得到示范应用。到2027年，人形机器人技术创新能力显著提升，形成安全可靠产业链和供应链体系，构建具有国际竞争力的产业生态，综合实力达到世界先进水平。

业内专家认为，高科技、高效能、高质量是新质生产力的重要特征，其核心标志是全要素生产率的大幅提升。通过自主创新突破实体通用人工智能系统基础理论与关键技术，将人工智能与人形机器人深度融合，打通“大脑—小脑—肢体”环路，对推动实体经济各产业优化升级、解决新质生产力落地应用所面临的行业多、场景多、任务多等复杂问题具有积极意义。

诸多技术难题需要攻克

当前，人形机器人产业智能化趋势明显，产业化进程加速，应用领域日益广泛，更多的行业标准和开放平台也在逐步建立。

在看到成绩的同时，我们也要清楚地认识到，我国人形机器人产业发展还面临多重挑战。

“人形机器人从研发走向广泛应用，需要达到高性能、低成本、批量化三个要求。”中国科学院自动化研究所研究员刘禹说，一方面，高性能和低成本是相互制约的两个因素。如何让具有40多个自由度、平均体积与人相当的复杂人形机器人系统精准完成各类任务，同时将整机成本控制在25万元以内，是一个重要挑战。另一方面，批量化与稳定性相互制约。在如此多类型、多组件的复杂系统中，如何克服由于各类零部件制造误差造成的不确定性，使批量生产的系统能够稳定工作，也是一个关键难点。

目前，减速器、伺服电机、控制器等核心零部件占机器人整机成本的70%以上。“我们需要攻克轻量化骨骼、高强度本体结构、高精度传感、全身协调运动控制和手臂动态抓取灵巧作业等技术，以满足人形机器人高动态、高爆发和高精度等运动性能需求，打造具有高安全、高可靠、高环境适应性的人形机器人本体结构。这是我国当前在核心零部件方面需要着力突破的关键瓶颈。”刘禹说。

与人类一样，人形机器人也有“大脑”和“小脑”。刘禹表示：“当前，我们还需要面向人形机器人复杂地通过全身协同精细作业等任务需求，攻克控制人形机器人运动的‘小脑’关键技术群；同时增强人形机器人的环境感知、行为控制、人机交互能力；攻克支撑人形机器人全场景落地应用的‘大脑’关键技术群。”

在系统集成方面，如何将感知、认知、决策、控制等软件算法与传感、机械、材料等硬件系统有机融合，形成整体性

能高于单元器件性能的软硬件一体化综合系统，也是国内外人形机器人相关研究人员面临的共同挑战。

在刘禹看来，人脑信息处理方式以及人体运动结构机理，对于在有限传感精度和有限本体精度条件下，构建高性能人形机器人系统具有重要借鉴意义，能够有效弥补我国在人形机器人硬件系统方面的不足。

未来产业应用前景广阔

总体来看，我国有良好的制造业基础和完整的产业链，既有能力为人形机器人的发展提供技术保障，又有能力为人形机器人提供广阔的应用场景。

近日，在中国科学院、工业和信息化部、北京市政府的支持下，中国科学院自动化研究所人形机器人攻关团队自主研发，突破了高爆发一体化关节、AI赋能设计、机器人模型、类人柔顺控制等核心技术。团队还成功研制出人形机器人硬件设计和软件开发“大工厂”，通过它可以快速设计构建人形机器人硬件和软件系统，大幅度缩短现有研发周期，进而向抢占实体通用人工智能系统科技制高点迈出坚实一步。中国科学院自动化研究所人形机器人攻关团队技术骨干李睿表示：“通过软硬融合的方式研发核心零部件，是攻克人形机器人卡脖子技术、打造实体通用人工智能系统的关键。”

目前，北京等地已组建了人形机器人创新中心。这些创新中心充分发挥科研机构、企业等的优势融合发展，将有助于培育我国人形机器人这一新质生产力，为新型工业化提供高水平支撑，并推动人形机器人产业实现高质量发展。

同时，在政策支持下，我国人形机器人在工业制造、医疗、服务、救援等众多领域展现出巨大的潜力。未来人形机器人必将成为人类的得力助手和伙伴，为人类带来更多便利。

乔红认为，未来人形机器人产业生态首先将聚焦3C、汽车等制造业重点领域，通过提升人形机器人工具操作与任务执行能力，打造人形机器人示范产线和工厂，在智能制造典型场景实现深度应用。

其次，人形机器人产业生态将面向恶劣条件、危险场景作业等需求，在要地警戒守卫、民爆、救援等特殊环境下，通过强化人形机器人本体安全防护能力、复杂任务智慧生成与高精度操作能力，大幅度降低作业人员的危险性。

最后，通过提升人形机器人人机交互可靠性和安全性，还可以拓展人形机器人在医疗、家政等民生领域的应用，并推动人形机器人在农业、物流等重点行业应用落地。

随着日新月异的技术迭代，未来人形机器人将变得更加低成本和实用化。未来几年内，可以感知、理解环境以及与人进行自然语言互动的人形机器人将出现在我们身边。

乔红委员：强化技术“中腰”推动产业发展

K 新期待

◎本报记者 陆成宽

“人形机器人是新一代颠覆性平台型产品，是未来经济发展的重要新动能。发展人形机器人产业是推动信息技术和社会经济融合发展的迫切需求。”2月28日，全国政协委员、中国科学院院士、中国科学院自动化研究所研究员乔红告诉科技日报记者。

打通人形机器人创新链与产业链，充分发挥产学研用各主体的效能，推动多主体的协同创新发展，是更好促进人形机器人产业发展、加速培育新质生产力的重要途径。

为此，乔红建议，夯实关键核心技术的“中腰”，为打通“学术—技术—应用”创新链产业链奠定基础。对人形机器人产业来说，在大脑、机器肢与机器人技术群等关键技术方面取得突破，做好通用性能，形成技术“中腰”，对推动产业发展至关重要。

“一方面，打通创新链‘学术—技术’的部分，让极具创新力的学术和技术结合起来。另一方面，打通产业链‘技术—应用’的部分，稳定的技术能够支撑新兴产业、未来产业的验证和实现，有助于加速形成新质生产力。”乔红说。

“同时，我们还要加快建立国家高水平学术—技术—产业协同机制，提升产学研融合水平。”乔红认为，当前人形机器人正处于蓬勃发展期，学术界、产业界均投入大量人员进行研发。这就需要从总体层面统筹设计，建立高水平学术—技术—产业协同创新的新平台新模式。特别是要鼓励学术人才投入到关键技术“中腰”的突破中，把机器人技术性能做得更好，规避产业公司可能出现的学术



受访者供图

前瞻性理解不足、开放性有限的风险。

在乔红看来，开放行业应用典型示范场景，打造行业定制化解决方案应用标杆，有助于推动人形机器人产业发展。

未来，人形机器人在智能制造、农业生产、家庭服务、航空航天等不同领域、不同场景中的落地应用，需要政策机制引导。应用方主动推动典型行业场景的首台套示范应用，是人形机器人技术更快落地和发展的有效路径。

例如，在公共安全领域，可加快推进人形机器人在危险环境下对人的替代。在特大城市安全生产与应急管理领域典型应用场景中，人形机器人可提供电力巡检、轨道维护、危化品巡检、应急救援等服务；在深空探测等人类难以到达的场景，或者战场等危险场景中，人形机器人“大工厂”可以自组装、自构建形成机器人集群，从而完成需要多机器人协作的复杂任务。

乔红说，随着技术底蕴不断积累，人形机器人将进一步刺激我国相关产业链裂变发展，激活巨大的新增市场潜力，重新定义工业、农业生产模式和人民生活方式，为实现高质量发展提供革命性内生动力。

关键技术持续突破 产业规模不断扩大
人形机器人“走”向高性能低成本

K 新亮点

◎本报记者 陆成宽

人形机器人是多学科高端技术的综合体。其发展进步需要核心零部件、运动控制和人工智能等基础理论的有机融合，多领域单元技术、软硬件一体化协同发展。

从全球范围看，人形机器人技术近年来迅猛发展。世界一流人形机器人，如意大利理工学院的iCub和日本本田公司的ASIMO等，都已具备稳定行走、上下楼梯、跑、跳等运动技能。

国内的一些高校、科研院所和头部企业也相继推出了自主研发的人形机器人系统，其功能、版本不断迭代。中国科学院自动化研究所人形机器人攻关团队形成了基于“环境吸引域”高精度作业和类脑智能机器人理论等原始创新积累，推出了谱系化人形机器人Q系列，并将机器人大模型与人形机器人融合，实现了与人的自然交互、多任务协同工作以及突发情况应对，初步完成了面向不同场景的技术验证。深圳市优必选科技有限公司也发布了面向工业场景的人形机器人Walker-S，并展示了其行走、指关节活动、自主安装灵巧手(磁吸式)、握锤等能力。上海傅里叶智能科技有限公司研制的通用型人形机器人GR-1正式预售，打响了国产人形机器人量产的第一枪。星动纪元、智元机器人等新世代人形机器人公司相继成立，不断为人形机器人行业注入新活力。

过去一年里，我国在人形机器人领域单元技术方面取得诸多突破性进展。在核心零部件方面，基于三次谐波减速原理的谐波减速器实现扭转刚度、传动精度大幅度提升；小体积、低能耗、大扭矩的空心杯电机为研制轻量化末端执行器奠定了技术

基础；高性能力矩电机、伺服系统、控制器等核心零部件迈入批量生产阶段，涌现出一批掌握关键核心技术的高新企业。

在运动控制方面，除了常用的全身姿态控制与模型预测控制等传统控制方法外，强化学习、运动基元等新算法持续取得新突破。由此，人形机器人实现了更自然的拟人步态、更健壮的行走能力以及爬坡、上楼梯等高动态运动能力。通过精简零部件、简化整体框架和创新制造工艺，千元级仿人机械臂与轻量化仿人五指灵巧手进入市场，为进一步降低人形机器人整机成本、赋能类人灵巧操作能力提供了重要基础。

在智能认知与决策方面，人形机器人视觉技术的发展与成熟提升了其对动态开放环境的感知与认知能力；多模态大模型的技术加持进一步强化了人形机器人与自然交互的能力、理解并执行多类复杂任务的能力，使其逐步向身智能演化迈进。

近年来，我国人形机器人技术持续突破，产业规模不断扩大，呈现出星火燎原、百花齐放之势。同时，新技术突破不断推动人形机器人向高性能、低成本、可批量制造的方向发展，规模化应用将逐步为产业发展赋能。

2023年11月27日，人民网研究院发布的《人形机器人技术专利分析报告》显示，中国已成为全球申请人形机器人技术专利最多的国家，累计申请数量达到6618件。这些专利为实施进一步产业布局与大规模应用打下坚实基础。

未来，中国科学院自动化研究所人形机器人攻关团队将继续面向国家重大需求，紧密围绕构建人形机器人技术和产业创新链的总体目标，持续攻关实体通用人工智能系统关键技术；不断培育重点系统、拓展场景应用、营造产业生态、强化支撑能力，从而提升我国人形机器人产业的国际竞争力和影响力。