

我国人工智能核心软硬件发展战略研究

高蕾, 符永铨, 李东升, 廖湘科

(国防科技大学计算机学院, 长沙 410073)

摘要: 人工智能 (AI) 是推动全球数字化发展的重要赋能技术, 正在引领新一轮科技革命和产业变革; 加快培育和推进我国 AI 核心软硬件技术及产业发展, 对推动我国实现跨越式发展、产业优化升级、生产力整体跃升具有重要战略意义。本文围绕当前 AI 核心软硬件在技术、产业和政策等方面的发展情况, 梳理了国内外的发展现状, 分析了我国发展面临的问题, 指出了我国 AI 核心软硬件技术及产业的发展思路, 提出了面向 2025 年和 2035 年的 AI 核心软硬件发展战略目标, 从 AI 核心硬件、AI 核心软件、AI 相关基础技术 3 个方面凝练了今后发展的重点任务。研究建议, 将 AI 核心软硬件技术纳入国家科技创新顶层规划, 加大科研投入; 加强 AI 开源平台建设, 开展示范应用; 开展 AI 关键共性技术研发, 实现协同创新; 实施 AI 产业基础再造, 牵引产业链升级; 完善 AI 创新人才培养体系, 以期推动我国 AI 核心软硬件持续发展。

关键词: 人工智能; 核心软硬件; 人工智能芯片; 智能基础算法; 新型使能技术

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Development Strategy for the Core Software and Hardware of Artificial Intelligence in China

Gao Lei, Fu Yongquan, Li Dongsheng, Liao Xiangke

(College of Computer Science and Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Artificial intelligence (AI) is an important enabling technology for promoting global digital development, and it is leading a new round of technological revolution and industrial transformation. Promoting AI core software and hardware technologies and industry is strategically significant for the national development, industrial upgrading, and productivity improvement in China. In this study, we summarize the development status of AI core hardware and software in China and abroad from the aspects of technology, industry, and policy, and analyze the problems faced by China's development. Subsequently, we present the development ideas of China's AI hardware and software technology and industry, propose the strategic objectives for 2025 and 2035, and summarize the key tasks for future development from the aspects of AI core hardware, AI core software, and AI-related basic technology. To provide references for the sustainable development of AI core hardware and software in China, we suggest that AI core software and hardware technologies should be included in the national top-level planning for science and technology innovation to acquire increased scientific research investment; AI open source platforms should be constructed and demonstrated; the research and development of AI key generic technologies should be promoted to achieve collaborative innovation; the AI industrial base should be reengineered to upgrade the industrial chain; and the AI innovative talent training system should be improved.

Keywords: artificial intelligence (AI); core software and hardware; AI chip; basic intelligent algorithm; new enabling technology

收稿日期: 2021-03-28; **修回日期:** 2021-05-21

通讯作者: 廖湘科, 国防科技大学计算机学院研究员, 中国工程院院士, 研究方向为智能软件技术、系统软件工程等;

E-mail: xkliao@nudt.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“新一代人工智能安全与自主可控发展战略研究”(2019-ZD-01)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

随着人工智能（AI）成为引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术，世界各国正积极抢占人工智能竞争制高点，争相制定相关国家发展战略和规划，以抓住人工智能发展带来的新机遇，掌握国际科技竞争中的主导权。我国已将人工智能技术发展提升到国家战略层面，2017年，国务院发布《新一代人工智能发展规划》[1]，提出了面向2030年我国新一代人工智能发展的指导思想、战略目标、重点任务和保障措施，构筑了我国人工智能发展的先天优势；同时，明确提出要以提升新一代人工智能科技创新能力为主攻方向，构建开放协同的人工智能科技创新体系，全面支撑科技、经济、社会发展和国家安全。

近年来，我国人工智能技术和产业蓬勃发展，进入了新的发展阶段，但在人工智能基础理论与原始创新方面仍相对薄弱，核心智能芯片和基础元器件的自主研发生产能力与国际领先水平差距较大，存在关键环节受制于人的现象；在系统软件领域，缺乏超前研发布局，不利于国内企业参与国际竞争，也使国民经济和国家安全存在远期隐忧。随着中美贸易摩擦升级、逆全球化等国际环境变化，摆脱对国外技术的体系性依赖，实现关键技术、重要设备等的自主可控，刻不容缓。为此，我国一直努力从提升核心技术竞争力、加强国产制造能力、掌握新兴产业主导权等方面来推动国产化进程。2017年12月，工业和信息化部印发《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018—2020年）》[2]，提出实现神经网络芯片量产并在重点领域开展规模化应用，这对加速我国人工智能芯片自主研发、促进产业发展产生重大影响。2020年10月，十九届五中全会提出，把科技自立自强作为国家发展的战略支撑，到2035年，要在关键核心技术领域实现重大突破[3]，这是我国首次将科技自立自强提高到国家战略层面。科技创新在“十四五”时期将备受重视，同时通过科技创新和国产化自主发展，必将进一步推动人工智能技术的发展和應用，改变当前对国外技术依赖性强的被动局面。

软硬件是人工智能核心技术，影响人工智能深层次发展，同时也是未来我国角逐人工智能时代的重要内容。为进一步推动我国人工智能技术发展，

本文分析人工智能核心硬件技术的国内外发展现状，从技术、产业和政策等方面总结我国人工智能核心硬件自主发展面临的挑战，提出未来人工智能核心硬件发展的战略目标、重点发展任务，最后提出政策建议和保障措施。

二、人工智能核心硬件的国际发展现状

（一）政府规划方面

21世纪以来，人工智能发展迎来第三次浪潮，人工智能对科技、产业和社会变革带来的巨大发展潜力得到全球众多国家的普遍认同，美国、中国、欧盟、日本等国家和地区纷纷制定了人工智能国家发展战略或计划，围绕技术创新、人才培养、标准规范等开展全面布局，积极把握人工智能发展契机，抢占人工智能领域的发展主导权。

美国继2016年发布《美国人工智能研发战略计划》后，在2019年启动“美国人工智能倡议”，确保其在人工智能领域的主导作用。2017年7月，我国发布《新一代人工智能发展规划》；同年12月，发布《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018—2020）》，积极推进人工智能理论、技术与应用总体达到世界领先水平，力争成为世界主要人工智能创新中心。2019年，德国、日本、韩国、俄罗斯等都不断推动和更新国家人工智能发展战略，以更好迎接快速发展的人工智能科技创新和经济社会发展新形势；另外，至少还有18个国家正在筹备制定国家人工智能发展计划。

各国或地区推出的人工智能发展规划各有侧重、各具特色，在技术发展、创新性应用、数据互联互通、扶持创新企业、人才培育等方面都不尽相同。其中，中国、美国两国因具有开放的市场环境、海量数据资源、强有力的战略引领和政策支持、优秀的人工智能领域人才等多项优势，在人工智能发展的战略规划上更为全面；欧洲各国则将重心放在道德伦理标准制定与垂直行业应用方面[4]。随着各国或地区相关政策和发展战略的完善并落地，人工智能各领域发展逐步形成了颠覆性创新不断涌现的新格局，人工智能竞争态势或将发生新的变化。

（二）技术方面

在人工智能核心硬件方面，根据应用领域不

同，可以将智能芯片分为云端人工智能芯片、边缘人工智能芯片、新型人工智能芯片3类。在云端，通用图形处理器（GPU）被广泛应用于神经网络训练和推理；张量处理单元（TPU）等定制人工智能芯片使用专用架构实现了比同期中央处理器（CPU）和GPU更高的效率；现场可编程逻辑门阵列（FPGA）在云端推理应用中也占有一席之地，具有支持大规模并行、推理延时低、可变精度等特点。在边缘计算领域，智能手机是目前应用最为广泛的边缘计算设备，自动驾驶是未来边缘人工智能计算的最重要应用之一，为此，推理计算能力、功耗和成本是应用于边缘设备人工智能芯片关注的主要因素。目前，云端和边缘设备在各种人工智能应用中通常是配合工作的，随着边缘设备能力不断增强，越来越多的计算工作负载将在边缘设备上执行。新型人工智能芯片主要包括神经形态芯片、近内存计算芯片、存内计算芯片等，目前仍处于探索研发阶段。

在人工智能核心软件方面，智能计算框架软件呈现出龙头企业竞争进一步激烈的发展趋势，并以支持深度学习为核心向支持广泛人工智能领域扩展。同时，人工智能系统软件编译技术得到迅速发展，人工智能模型算法通用、易用与可移植水平也不断提高，在工业界和学术界涌现出许多优秀的深度学习专用编译器，用以解决不同上层应用在使用不同底层硬件计算芯片时的兼容问题，实现从单纯依赖定制基础库转变为与深度学习编译器协同发展。智能计算基础库为智能硬件提供智能计算基础算法加速库，逐渐成为智能硬件厂商的“标配”，目前已有多家企业推出了智能计算基础库。

（三）产业方面

目前，全球人工智能技术与产业持续高速发展，已经基本形成了由芯片、数据、开发框架、算法、应用组成的产业生态，在计算机视觉、自然语言处理、跨媒体分析推理、自适应学习、群体智能、自主无人系统、智能芯片、脑机接口等核心技术方面取得突破性进展，人工智能典型应用产业和场景遍布安防、金融、交通、教育、医疗、制造等领域，极大提高了社会自动化程度，提升了工业生产力，创造出了新的经济效益；同时，人工智能技术对未

来教育和劳动力转型也带来了新机会。预计到2030年，人工智能将为全球生产总值带来14%的额外提升[5]。

在人工智能核心硬件发展方面，全球整体水平处于技术和市场成熟的早期阶段，从通用型正逐步向定制化、专用化方向发展，产品主要涵盖云训练、云推理和终端推理3个领域，并在云计算、自动驾驶、智能安全、移动互联网等场景中得到了很好应用。2019年，全球人工智能芯片的市场规模为110亿美元；预计2025年，全球人工智能芯片市场规模将达726亿美元[6]。随着人工智能关键技术第五代移动通信（5G）、物联网、云计算和大数据等新兴技术领域不断取得突破性进展，未来人工智能应用市场前景将更加广阔，为人工智能加速完善创造发展空间。

在人工智能核心软件方面，国际上的人工智能龙头企业积极开展智能计算框架软件开发，呈现出群雄竞争、国外垄断的发展态势。智能计算框架软件作为人工智能技术的引擎，主要用于计算、数据分析和自动推理。美国目前是人工智能算法发展水平最高的国家，在国际上占有绝对优势。我国仅有少数几家科技龙头企业拥有人工智能算法的开放平台，在人工智能基础及技术层企业中的基础算法及软件平台公司数量仅占4%[7]。目前，主流的智能计算框架软件多为开源获取，随着国内科技优势企业主导的智能计算框架软件的进一步开源，我国开源市场将迎来更好的发展。

三、我国人工智能核心软硬件的发展现状及面临的问题

（一）发展现状

近年来，在国家多项政策和资金支持下，我国人工智能技术攻关和产业应用的发展势头迅猛，人工智能产业结构逐渐完善。①我国不断加大对机器视觉、智能交通等领域的投入，与智能教育、智能医疗、智能机器人相关的人工智能独角兽企业快速成长，领军型巨头企业在智能交通、智能医疗、智慧商务等垂直领域密集布局[8]。②我国人工智能领域在企业数量、专利数量、论文数量等方面都处于国际领先行列[9]，涌现出一批具有国际影响力

的创新性成果。③以华为技术有限公司、百度在线网络技术（北京）有限公司、阿里巴巴集团控股有限公司为代表的多家企业作为人工智能企业的发展代表，在人工智能领域技术和应用场景创新中的创新主体作用正在日益强化，成为人工智能技术研发投入的重要来源，在人工智能基础研究和前沿技术成果方面做出众多贡献，是我国加速人工智能产业化落地和技术迭代的重要推手。④我国自主研发的开源深度学习框架、开源工具集、开源应用软件、开源社区快速发展，在国际人工智能开源社区的贡献度已成为仅次于美国的第二大贡献国。

在人工智能核心硬件发展方面，我国正由通用型逐步朝定制化、专用化方向推进，从使用通用 CPU、GPU 转向定制研发人工智能芯片，相关产品涵盖云训练、云推理和终端推理等领域，推动我国人工智能产业链在广度与深度上得到了进一步提升，助力我国掌控人工智能时代主导权。2018 年以来，我国人工智能芯片加速发展，已推出云边端等十余款人工智能芯片产品并投入商业化应用，众多企业竞相布局人工智能芯片领域，发展前景较好（见表 1）。目前，我国人工智能硬件研发能力显著增强，独特的发展优势促进了国产人工智能芯片的技术创新：在芯片设计上，国内龙头企业大多采用自主设计指令集或体系架构，已达到国际先进水平；在芯片研制、代工、封测等方面部分达到国际先进水

平，实现了量产并在重点领域实现规模化应用。预计 2023 年，我国人工智能芯片市场规模将突破千亿元 [10]；随着 5G、物联网的发展，下游应用场景爆发，预计未来 3 年，我国人工智能市场规模仍将保持 50% 以上的迅猛增长速度 [11]。但是，部分上游基础技术仍严重依赖国外，芯片制造工艺与国外相比仍落后两代，其中用于生产芯片的光刻机是制约发展的重要短板。

在人工智能核心软件发展方面，我国已逐步在底层基础支撑、核心技术创新、上层行业应用之间建立了初步产业链。人工智能基础软件得益于独创性强、数据获取渠道广、行业应用场景丰富以及总体投资水平高等优势，在技术创新与快速商业化方面形成了良好的发展环境。我国在自主研发开源深度学习框架、开源工具集、开源应用软件等方面取得可喜成绩，可与国际高水平团队实现同台竞技。在智能计算框架软件方面，我国多家企业和研究机构推出了国产化智能框架软件并基本开源，推动了我国智能基础软件的发展；智能算法库是发挥智能芯片计算效能的重要支撑，我国主流智能芯片厂商都配套开发了相应的智能算法库。近年来，虽然国产自主研发的人工智能基础软件陆续推出，但普及推广力度不足，大部分企业仍较多使用国外开源的人工智能算法和智能计算框架，使国产产品发展受阻，市场竞争乏力。

表 1 我国人工智能核心软硬件主要进展

类别	分类	主要产品
人工智能基础软件	智能计算框架软件	支持训练与推理：百度飞桨 PaddlePaddle（国内首个开源深度学习框架软件）、旷视科技天元、华为 MindSpore 深度学习训练类框架软件：清华大学计图 深度学习推理类框架软件：腾讯 TNN
	智能算法库	华为昇腾 CANN 3.0 高性能算子库、寒武纪机器学习库（CNML）
人工智能基础硬件	定制 AI 芯片	华为昇腾 910 芯片采用达芬奇架构，整数精度（INT8）算力达到 512 Tera-OPS，最大功耗为 310 W，侧重高效计算 寒武纪思元 270 芯片峰值性能为 256 Tera-OPS，功耗为 70 W 百度昆仑芯片峰值性能为 260 Tera-OPS，功耗为 150 W 阿里含光 800 芯片峰值性能为 78 563 IPS，峰值能效比为 500 IPS/W，偏重推理 比特大陆城市大脑专用芯片 BM1684 芯片峰值性能为 17.6 Tera-OPS，功耗为 16 W，聚焦云端及边缘应用的推理 面向领域专用 AI 芯片：地平线征程 3 自动驾驶芯片、云天励飞 DeepEye1000 视觉分析芯片、云知声面向物联网的 AI 芯片 UniOne、依图科技 QuestCore 云端视觉 AI 芯片、启英泰伦智能语音芯片 CI110X 等
	类脑芯片	西井科技 DeepSouth 芯片 浙江大学达尔文类脑芯片 清华大学多模态混合神经计算芯片：Thinker 芯片

（二）面临的主要问题

“十三五”以来，我国人工智能核心软硬件技术和产业发展成效显著，但对比全球产业同期发展态势，应对未来国产自主发展需求，仍然存在着制约发展的一些问题。

1. 人工智能硬件核心技术受制于人，设计能力和制造能力失衡

与传统半导体产业相比，我国智能芯片产业与世界先进水平的差距较小，在总体上处于核心技术受制于人、产品处于中低端的状态。我国智能芯片设计能力已接近世界强国水平，但智能芯片设计企业对国外工具链的依存度较高，长期的芯片代工模式导致设计能力和制造能力失衡失配，产业链中核心关键环节的国产化水平难以与实际产业应用相对接，增加了产业供应链的不可控性和不安全性。

2. 人工智能软件对开源技术依赖性高，基础理论研究存在短板

我国在人工智能算法和软件方面对国外开源深度学习框架的依赖程度较深，相关产品虽在部分垂直领域有所突破，但引领优势不明显。人工智能基础理论缺乏重大原创科技成果 [12]，智能计算算法库与国外开源框架捆绑发展，跟踪创新趋势严重，自主可持续发展能力不足，严重限制了国产人工智能软件发展能力提升。

3. 人工智能产业生态体系不完整，持续发展动力不足

由于产业链布局不完备，我国人工智能软硬件企业间的合作和资源对接力度不足，未形成协同联动的完整产业生态体系 [12]，难以构建价值闭环。具体表现为，由于缺乏对产业特征和规律的深入理解，适应人工智能特征的政策尚不健全；在财政投入、知识产权保护、企业权益保障等方面扶持力度不足，人工智能初创企业难以形成自主发展能力，持续发展蒙受考验。

4. 人工智能基础创新环境不完善，产品协同创新机制亟待优化

目前，我国在人工智能核心技术引进方面缺乏统一的统筹管理，存在技术引进混乱、同质化竞争严重等问题；在相关技术和产品的安全可控方面，缺少评价标准以及缺乏相关政策法规的支撑。另外，我国企业缺乏对产业生态的主导权，协同创新和应用效果尚未显现，良性、共赢的产业环境仍需完善。

四、我国人工智能核心软硬件的发展思路、战略目标与重点任务

（一）发展思路

我国人工智能核心软硬件技术和产业未来的发展思路为：构建完整的人工智能软硬件技术体系，实现从智能硬件到智能软件的上下游协同创新的跨越式发展，推动人工智能技术及产业的自主可控与可持续发展。

一是以应用为牵引，构建完整的人工智能软硬件技术体系。以各领域智能应用为牵引，实现从算法、框架软件、元器件、部件到系统结构的人工智能核心软硬件的创新设计，把握核心关键技术突破和产业化应用的机会，注重人工智能软硬件技术研发与应用的自主创新，实现全产业链的整体技术突破。

二是走合作竞争之路，促进人工智能上下游协同创新，实现跨越式发展。汇聚国内优势科研力量，加强学科交叉，形成竞争性组合，激活潜能，提高效率，以竞争促合作、促创新、促超越。立足相对成熟的技术路线，夯实基础补短板，积极探索前沿技术路线，抢夺先机，实现跨越，推动我国人工智能软硬件技术从跟跑并跑向并跑领跑转变。

三是利用可控开源，形成自主生态体系，确保可持续发展。面向国家重点战略需求，基于可控开源的协同创新科研模式，着力打造“小核心、大外围”的人工智能软硬件技术创新生态环境，实施战略追赶，优先发展短板技术；同时，把握未来先进技术发展趋势，积累经验并积极探索创新，提升人工智能软硬件技术的可持续发展能力。

（二）战略目标

面向未来新一代人工智能技术发展与产业化需求，我国亟需在人工智能软硬件基础理论、核心关键技术等方面取得重大突破，建立起全产业链生产能力，实现人工智能产业整体跃升，建成更加完善的人工智能软硬件系统自主创新体系。为此，我国人工智能软硬件技术和产业的战略目标为：力争2025年在人工智能软硬件基础理论与核心关键技术方面取得重大突破，取得一系列人工智能软硬件标志性产品，在若干重点领域形成国际竞争优势，部分技术与应用达到世界领先水平；到2035年，融

合前沿人工智能技术，建成更加完善的人工智能软硬件自主创新体系，在人工智能软硬件理论、技术与应用方面总体达到世界领先水平，成为世界主要人工智能创新中心。

（三）重点发展任务

1. 人工智能核心硬件

面向推理、训练、感知、认知等多种智能计算需求，在人工智能核心硬件方面，重点发展任务是在人工智能芯片研发、智能感知设备设计、基于新型使能技术的智能硬件研制、智能计算系统评测与服务等方面取得重大核心关键技术成果，引领智能计算体系结构创新，夯实产业基础，壮大智能硬件产业规模，把握技术和研发的制高点，实现我国人工智能硬件市场的全自主供应和国产化替代，形成国内国际双循环相互促进的发展格局。

（1）人工智能芯片。在我国智能芯片标准指令集设计、智能计算芯片体系结构、支持新型使能领域算法的智能硬件加速结构设计、存算融合的智能芯片体系结构、智能芯片敏捷开发技术等方面取得重大进展，加强智能芯片研制重大基础设施建设，强化智能芯片国产全自主研制环境建设，建立智能芯片在云端和边缘计算等领域的应用示范项目，支撑未来国产全流程智能芯片研制；推进满足国产智能芯片型谱发展演进需要的芯片新型体系架构设计、智能计算增强技术、产业生态技术等方面的发展，加快促进新一代人工智能核心硬件的研发和产业化，实现可对标国际先进水平的智能芯片自主研发。

（2）智能感知设备。在多源异质智能传感设备设计、“人机物”协同交互技术、跨领域智能感知技术、传感器高度集成和低功耗技术等方面取得重大进展，加强多维人机交互硬件设计、跨领域智能感知、识别和预测等方面的研究，提升未来智能硬件在感知识别、知识计算、认知推理、运动执行、人机交互等方面的能力。

（3）基于新型使能技术的智能硬件。重点加强类脑芯片以及基于忆阻器、光子集成器件、纳米器件等使能技术的新型智能芯片研究，推动设立相关联合研究专项，在智能硬件的体系架构、工艺制造等方面取得变革性突破。

（4）智能计算系统评测与服务。重点开展智能

计算层次评估技术、智能硬件测控技术等方面的研究，推进人工智能硬件技术标准体系、评估体系、管理体系等综合基础体系的细化研究，提供涵盖广泛应用场景的智能核心硬件综合支撑服务。

2. 人工智能核心软件

为满足智能计算生态长远稳定发展需求，人工智能核心软件方面的发展重点为在智能计算基础软件、智能基础算法库、智能软硬件协同技术、创新智能理论研究等重大核心关键技术方面取得突破，坚持自主创新软硬件迭代滚动式发展，提升研发产品的竞争力，形成良好的智能计算软件竞争环境，确保在若干方向实现国际引领。

（1）智能计算基础软件。在国产智能计算框架软件、智能处理编程模型、智能异构计算软件栈、智能计算编译器、自然理解和大规模知识融合处理应用软件、多态感知信息融合应用软件、智能应用支撑环境等方面取得重大进展，加快推进国产人工智能基础软件的产业化进程，促进面向行业的国产智能基础软件的典型应用、推广与创新场景培育，提高在我国各行业领域应用中的普及率，实现相关产业的追赶突破。

（2）智能基础算法库。远期人工智能软件技术发展路径将沿着智能算法的研究主线向前发展，发展重点为在国产智能算法库、智能加速库、智能计算优化技术等方面取得突破性进展，探索面向深度学习和存储结构的智能计算体系结构优化技术，加强算法理论研究；推动人工智能核心算法和底层运算库的技术转化，促进智能算法和运算库的科研成果与实际工程应用相结合，从产业领域加快实现技术的成果转化。

（3）智能软硬件协同技术。在智能软硬件适配技术、“人机物”软硬件协同技术、智能系统安全防护技术等方面取得突破性进展，加强人工智能软硬件协同布局，发挥智能软硬件一体化技术优势，强化我国人工智能产业发展的顶层设计能力，促进国产智能基础软件和国产智能芯片及硬件的适配、性能优化和应用推广，完善我国自主知识产权的“基础软件+人工智能芯片”的产业体系，促进融合技术在各行业的应用推广。

（4）创新智能理论研究。突出研发部署的前瞻性，创新认知智能的机理研究，突破跨领域迁移学习等基础理论，在类脑智能、群体智能、混合智能

等领域取得重大突破，重视基础研究，发展原始创新能力，形成具有国际影响力的理论创新研究环境。

3. 人工智能相关基础技术

从中长期来看，人工智能的发展取决于理论、算法和芯片等基础层研究的突破创新，为此，亟需在新型使能技术、芯片制造技术、交叉学科领域研究等人工智能相关基础技术方面取得重大突破，以人工智能的基础性、前瞻性、源头性问题研究为突破口，在人工智能引领下实现相关技术的全面发展。

(1) 新型使能技术。加强前沿科技布局，推动人工智能与光子技术、超导技术、纳米技术、量子计算、生物 DNA 计算等新型使能技术的联合研究，重点在集成智能光子器件与网络、面向人工智能的光子控制技术、光电超导集成电路设计、基于超导或光子量子位的可扩展量子技术、纳米传感器等方面取得重要突破，夯实新型使能技术在人工智能领域的应用，抢占下一代信息技术至高点。

(2) 芯片制造技术。加强智能硬件高端制造设备、智能芯片先进封测技术等方面的研发工作，重点在极紫外光源发射器、高精密光学镜头、曝光对准技术、硅基光器件、异质异构三维集成技术等方面取得突破；加强顶层布局，政府相关部门加强统一领导，促进国内技术优势企业、科研院所开展精准合作，提升我国高端光刻机、硅光芯片全流程封装测试平台等高尖端设备的自主研发能力，促进人工智能核心硬件制造设备的国产替代。

(3) 交叉学科领域研究。推动人工智能与生命科学、哲学、心理学、神经科学、认知科学等学科领域的基础理论开展联合研究，促进材料、物理和数学等学科领域人工智能相关核心关键技术与应用的突破，充分发挥中国工程院、中国科学院等国家核心科研机构的战略引导作用，支持和推动重点前沿领域的探索与布局。

五、政策建议

(一) 纳入国家科技创新顶层规划，加大科研投入

将人工智能核心软硬件技术发展纳入国家发展战略布局中统筹考虑，在国家支持的重大研发计划中设立促进国产智能软硬件研制、面向行业应用的智能软硬件协同开发等研究专项，汇聚国家优势力

量，实现产业链中核心关键环节的国产化与实际产业应用精准对接，突破“引进—模仿”的被动循环状态与技术平台障碍。

(二) 加强人工智能开源平台建设，开展示范应用

加强建设我国人工智能自主可控的开源平台建设，发挥国内龙头企业和科研院所的领军作用，推动国产开源项目示范应用，有效规避依托国外开源平台存在的风险，推动从智能硬件到智能软件平台的全栈式产品研发体系，支撑更大的应用和模式创新空间，构建有利于创新的开放式、协作化、国际化的国产智能自主创新生态系统。

(三) 开展人工智能关键共性技术研发，实现协同创新发展

引导和支持国内企业和科研院所等开展人工智能关键共性技术与产品的研发，加强开展关系人工智能发展全局的科学问题的研究，布局相关重点项目，自觉探寻核心技术的研发方向与路径，突破难点瓶颈问题，推动关键共性技术、前沿引领技术、现代工程技术、颠覆性技术齐头并进，形成整线集成，实现全面发展。

(四) 实施人工智能产业基础再造，牵引产业链升级

充分发挥我国拥有的世界上最完整产业链的先发优势，由政府相关部门组织实施人工智能产业基础再造和产业链提升工程，带头应用人工智能国产化产品，引导人工智能基础设施建设，牵引龙头企业形成示范效应，引导人工智能软硬件整条产业链的壮大发展。

(五) 完善人工智能创新人才培养体系，构建持久领军世界的格局

以人工智能重大前沿技术研究为牵引，促进科研、教学与产业相结合，系统培养能深刻理解人工智能技术发展、掌握前沿理论方法、专注解决产业难题的学术领军人才。以人工智能领域国家重大任务为牵引，建立高等院校与企业联合育人机制，强化培养人工智能知识结构扎实全面、工程经验丰富、能把握产业发展方向、引领产业发展的工程领军人才。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知 [EB/OL]. (2017-07-20) [2021-4-22]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.
State Council of the People's Republic of China. State Council's notice on the development plan of new generation artificial intelligence [EB/OL]. (2017-07-20) [2021-4-22]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业和信息化部关于印发《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018—2020年)》的通知 [EB/OL]. (2017-12-13) [2021-04-22]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/kjs/wjfb/art/2020/art_08d153ee9e9d4676aa69d0a12676ca1.html.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Ministry of Industry and Information Technology's notice on *Three-Year Action Plan for Promoting the Development of New Generation Artificial Intelligence Industry (2018—2020)* [EB/OL]. (2017-12-14) [2021-04-22]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/kjs/wjfb/art/2020/art_08d153ee9e9d4676aa69d0a12676ca1.html.
- [3] 新华网. 中国共产党第十九届中央委员会第五次全体会议公报 [EB/OL]. (2020-10-29) [2021-04-22]. http://www.xinhuanet.com/politics/2020-10/29/c_1126674147.htm.
Xinhuanet. Communique of the 5th Plenary Session of the 19th Central Committee of the Communist Party of China [EB/OL]. (2020-10-29) [2021-04-22]. http://www.xinhuanet.com/politics/2020-10/29/c_1126674147.htm.
- [4] 中国科协创新战略研究院. 人工智能发展的国际比较: 中国、欧盟和美国 [R]. 北京: 中国科协创新战略研究院, 2020.
National Academy of Innovation Strategy. International Comparison on artificial intelligence development: China, Euro and the United States [R]. Beijing: National Academy of Innovation Strategy, 2020.
- [5] 中国科学院大数据挖掘与知识管理重点实验室. 2019年人工智能发展白皮书 [R]. 北京: 中国科学院大数据挖掘与知识管理重点实验室, 2020.
Key Laboratory of Big Data Mining and Knowledge Management of Chinese Academy of Sciences. White paper on artificial intelligence development in 2019 [R]. Beijing: Key Laboratory of Big Data Mining and Knowledge Management of Chinese Academy of Sciences, 2020.
- [6] 艾媒前沿科技产业研究中心. 2020上半年中国人工智能芯片行业研究报告 [R]. 广州: 艾媒集团, 2020.
iiMedia Frontier Technology Industry Research Center. Research report on China's AI chip industry in the first half of 2020 [R]. Guangzhou: iiMedia Group, 2020.
- [7] 前瞻产业研究院. 2018年中国人工智能100强研究报告 [R]. 北京: 前瞻产业研究院, 2019.
Prospective Industrial Research Institute. Research report of China's top 100 AI companies in 2018 [R]. Beijing: Prospective Industrial Research Institute, 2019.
- [8] 中国科学技术发展战略研究院. 科技部新一代人工智能发展研究中心. 中国新一代人工智能发展报告2020 [R]. 北京: 中国科学技术发展战略研究院, 科技部新一代人工智能发展研究中心, 2020.
Chinese Academy of Science and Technology for Development, New Generation Artificial Intelligence Development Research Center of Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. Report on new-generation artificial intelligence development in China 2020 [R]. Beijing: Chinese Academy of Science and Technology for Development, New Generation Artificial Intelligence Development Research Center of Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, 2020.
- [9] 袁野, 吴超楠, 李秋莹. 人工智能产业核心技术的国际竞争态势分析 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2020, 15(11): 1128—1138.
Yuan Y, Wu C N, Li Q Y. Analysis of international competition in the core technology of artificial intelligence industry [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2020, 15(11): 1128—1138.
- [10] 艾媒咨询. 2020中国人工智能产业白皮书 [R]. 广州: 艾媒集团, 2021.
iiMedia Research. 2020 China artificial intelligence industry white paper [R]. Guangzhou: iiMedia Group, 2021.
- [11] 国际数据公司, 浪潮集团. 2019—2020中国人工智能计算力发展评估报告 [R]. 北京: 国际数据公司, 浪潮集团有限公司, 2019.
International Data Corporation, Inspur Group Co., Ltd. Report on 2019—2020 China artificial intelligence computing power development evaluation [R]. Beijing: International Data Corporation, Inspur Group Co., Ltd., 2019.
- [12] 赛迪智库. 2019年中国人工智能产业发展形势展望 [R]. 北京: 中国电子信息产业发展研究院, 2019.
CCID Think Tank. Prospects for the development of China's artificial intelligence industry in 2019 [R]. Beijing: China Center for Information Industry Development, 2019.