

CCiD



2021

先进计算

先进计算产业发展白皮书（2021）

中国电子信息产业发展研究院（赛迪）

2021年9月

前 言

计算是现代信息产业的基础和核心，是经济社会演化升级的技术源动力。当前，全球计算产业进入新一轮技术迭代、应用加速、产业链创新链深度调整的变革期，快速密集的计算技术创新带来产业格局重塑机遇。计算技术基础理论、架构加速酝酿突破，分布式计算、异构计算等新型计算技术多路演进，存算一体、量子计算、类脑计算等前沿和颠覆性计算架构不断取得突破，新型计算终端产品不断涌现，E级超算、人工智能计算中心、一体化大数据中心等算力基础设施加快形成，算力体系向高速泛在、集约高效、智能敏捷方向加速演进，计算技术的密集迸发将推动全球产业格局变迁，传统技术存量变革和新技术增量崛起，正是我国先进计算产业打破低端锁定、实现弯道超车的历史机遇期。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出要推进产业基础高级化、产业链现代化，加快制造强国、网络强国、质量强国建设，到 2035 年建成现代化经济体系。当此背景下，经济社会发展和国家治理现代化对计算和数字化转型的要求全面升级，生产端、流通端对算力资源的共性需求规

模化增长，先进的计算机软硬件系统产品供给体系、算法算力平台体系化建设、计算赋能应用，将推动现代产业体系构建、经济社会数字化转型，实现先进计算领域高水平科技自立自强。发展先进计算产业是落实十四五经济社会发展目标的重大举措，是提升我国经济发展活力、增强社会前进动力，实现高质量发展的必然选择。

当今世界处于百年未有之大变局，国际产业分工体系加快重塑，产业面临前所未有的压力和挑战，也孕育着摆脱依赖的重大机遇。赛迪研究院预测，到 2025 年，国内通用算力¹、AI 算力²以及其他算力总量将突破 2100 EFlops。我国计算产业须把握这一重大历史机遇，加强统筹谋划和前瞻布局，加快构建基础强韧、多元生态、融合支撑、绿色低碳、安全可控的先进计算产业生态体系。为此，中国电子信息产业发展研究院（赛迪）在工信部电子信息司指导下撰写了《先进计算产业发展白皮书（2021 版）》，承接 2020 版白皮书对“先进计算”概念及产业范畴的体系化界定，从系统视角梳理了全球先进计算产业在技术迭代演进、产业发展态势、应用落地实践三大维度的最新进展，对我国当前及未来算力规模进行了测算，构建了适用于现阶段

¹ 通用算力用单精度浮点数计算能力评估。

² 人工智能算力测算单位为 FP16（半精度算力），结果折算至 FP32（单精度算力）。

行业统计分类的先进计算产业统计体系，为计算技术未来创新策源方向、产业集聚和生态竞争力提升提供方向参考。

本白皮书撰写团队主要由赛迪研究院电子信息研究所研究人员及企业支撑专家组成。白皮书中数据源自市场行研机构发布报告并经赛迪智库整理。内容和观点如有不当之处，欢迎业界予以指正。

赛迪研究院电子信息研究所

编写组成员：

温晓君 中国电子信息产业发展研究院 电子所 所长

余雪松 中国电子信息产业发展研究院 电子所 副所长

张金颖 中国电子信息产业发展研究院 电子所 室主任

徐子凡 中国电子信息产业发展研究院 电子所 研究员

联系方式：温晓君，010-68209529

电子邮件：wenxiaojun@ccidthinktank.com

目 录

第一章 先进计算技术创新演进方向..... - 1 -

（一）计算基础器件：多元化、异构化成为设计热点..... - 1 -

（二）计算体系架构：软硬协同、集成化设计成为发展主流..... - 2 -

（三）算力基础设施：云边端算力协同拓展、灵活部署..... - 3 -

（四）系统集成设计：高能效比驱动绿色计算技术创新..... - 4 -

（五）计算基础软件：统筹多样化计算方式的软件生态加速发展

..... - 5 -

第二章 先进计算产业发展趋势..... - 6 -

（一）全球个人计算机市场迎来量价齐升小高潮..... - 6 -

（二）国产服务器市场迎来全新发展机遇..... - 7 -

（三）多样性算力发展引发计算技术体系化创新..... - 9 -

（四）行业数字化转型引发 AI 算力指数级需求..... - 10 -

（五）融合型场景应用释放计算产业潜能..... - 11 -

（六）产业 AI 化发展处于爆发前期..... - 11 -

第三章 先进计算融合应用及创新实践..... - 13 -

（一）先进计算+智能制造：工业领域智能化转型加速器 - 13 -

（二）先进计算+城市大脑：普惠性、感知性的城市治理智慧中枢

..... - 14 -

（三）先进计算+智能网联汽车：L4/L5 级系统的必由之路 . - 17 -

（四）先进计算+超高清视频：产业能级跃升的有力补充 - 18 -

（五）先进计算+其他行业应用..... - 19 -

第四章 我国先进计算产业发展面临的机遇和挑战.... - 23 -

机遇一：数字经济发展、行业数字化转型对优质算力的需求为计

算产业提供广阔成长空间	23 -
机遇二：多技术路线并行演进为计算产业自主发展提供机遇	24 -
机遇三：计算底层技术演进和新兴生态建设推动计算机软件短板加 快突破	25 -
挑战一：我国计算产业面临的外部技术封锁和供应链风险依然严 峻	25 -
挑战二：现有算力供给与复杂行业数字化转型需求尚无法精准匹 配	26 -
第五章 我国先进计算产业发展五大“主航道”	26 -
（一）以计算技术体系化布局构筑发展新高地	26 -
（二）以新型计算产品和成熟计算系统锻造新优势	27 -
（三）以赋能多领域产业数字化转型激活新动力	29 -
（四）以生态主导型企业培育和公共服务配套打造产业新生态 ..	30 -
（五）以强化要素支撑和开放合作营造发展新环境	30 -
附件一：算力规模测算	32 -

赛迪研究院电子信息研究所

第一章 先进计算技术创新演进方向

（一）计算基础器件：多元化、异构化成为设计热点

随着摩尔定律和登纳德缩放定律逐渐放缓与停滞，市场对算力器件和能效的要求日益提升，多元化、异构化芯片设计成为产业界关注的前沿热点。计算芯片设计方面，芯片的微架构创新至关重要，须持续加大 Chiplet 架构、NOC、Cache 及内存子系统、关键应用加速指令等设计，更需通过编译优化、加速库创新、面向应用的仿真/协同优化、能效管理创新充分释放芯片系统算力。计算芯片架构方面，在 5G 和 AI 场景驱动下，异构计算正在逐渐成为主流的芯片架构，芯片大厂纷纷通过多种计算单元（CPU、AI 加速器、FPGA 等）异构整合提升计算芯片整体效能。计算芯片封装方面，不同工艺节点、衬底材料、功能进行混封是未来计算芯片发展的重要趋势之一。例如，Chiplet 封装通过插入器、硅通孔（TSV）技术将各类裸芯片进行垂直堆叠和组合封装，能够在更高性能、功能水平上实现芯片复杂度、系统功能度、制造成本、可靠性和研发可控性之间的平衡，支撑高性能计算、可重构/神经拟态等计算形态发展。

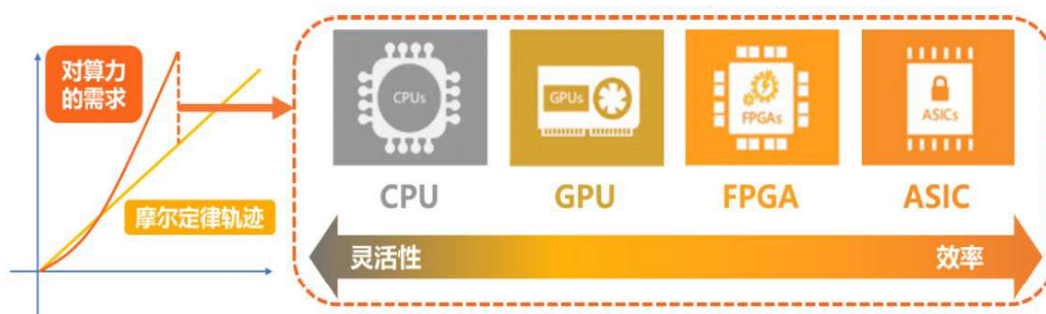


图1 AI时代的四种异构芯片选择

赛迪智库整理，2021年9月

（二）计算体系架构：软硬协同、集成化设计成为发展主流

先进计算体系架构通过软硬融合、高速互联、架构突破等方式提升运算单元算力和集群算力，推动计算系统向高速高效、智能敏捷、绿色低碳方向加速演进。**软硬融合方面**，算力充足、低功耗、高灵活性的计算方案设计更为优化，计算软件框架、高效语言编译、基础算法库等计算生态体系持续优化，对算法、指令集、编译工具、芯片的软硬协同设计持续强化。**系统架构创新方面**，面向 AI、HPC、云渲染等场景的集群架构创新技术蓬勃发展，关于集群系统计算、网络、存储及能源协同架构、多样性算力系统架构、以内存为中心的计算架构创新提速。**高速互联方面**，极致低时延的新型网络互联拓扑和新一代高性能和低延时转发模型持续创新，国内自主芯片互联标准正在制定，智能网卡作为可在云数据中心服务器上提供网络、存

储、安全、管理全功能卸载的异构计算资源，由于高性能且能大幅降低总成本（TCO）的特点，已逐步被亚马逊、微软、阿里、华为等全球公有云龙头企业和 Google、Facebook 等互联网厂商接受并大规模部署。以可编程智能网卡为基础衍生出的 DPU 等新型数据处理器，已成为以数据为中心的计算模型中的核心关键技术。

（三）算力基础设施：云边端算力协同拓展、灵活部署

基于云边端深度协同的算力网络加速构建，边缘算力部署大面积铺开，用于云端算力的芯片、功耗技术持续演进，支持端侧推理的计算技术加速突破。**边缘资源整合水平持续提升**。边缘托管服务趋向成熟，可针对节点网络环境、机型及稳定性不一致的资源形态统一建模提供服务；协同整合边缘节点、跨节点迁移、边缘伸缩等能力持续提升。**云端技术向高拓展性方向发展**。例如云端架构方面，无服务器计算兴起，使用容器和云托管的通用应用程序为系统管理提供极大灵活性，云服务方面，针对跨应用和服务的互联复杂性问题，自动化云编排和优化技术将成重要发展方向。**任务部署能力下沉至终端**。通过虚拟机监视器（Hypervisor）或容器（Container）等，使终端上同样大小存储空间支撑更多容器化的应用和业务，推动云端数据处

理能力下沉，创新应用分发方式，实现端侧资源动态共享和调度，确保资源的弹性和最大化利用。

专栏一：先进计算算力测算

先进计算算力是计算产业新发展阶段的算力指代，不包含端侧算力。根据计算器件的主要用途，将先进计算算力划分为通用算力和 AI 算力及其他算力。其中通用算力指基于 CPU 的算力，AI 算力指基于 GPU、NPU、TPU、IPU 等加速器的算力。

先进计算算力=通用算力+AI 算力+其他

（四）系统集成设计：高能效比驱动绿色计算技术创新

伴随摩尔定律推动芯片系统性能每两年翻倍而来的散热和耗电挑战日益严峻，算力基础设施对算力集群部署、能效比优化等相关技术的要求不断提升。**散热方面**，当芯片功耗小于 500W 时，风冷占据绝对的性价比优势，然而面对大于 500W 的高功耗芯片风冷散热性能达到极限，液冷将成为芯片散热的主流方向。**供电方面**，相较于不间断电源（UPS），高压直流输电（HVDC）在备份、工作原理、扩容以及蓄电池挂靠等方面存在显著的技术优势，因而具有运行效率高、占地面积少、投资成本和运营成本低的特点。**能效比优化方面**，从机房侧液冷下沉到设备侧液冷，

提升直接液冷占比，可实现数据中心最低 PUE。随着 AI 处理器运算占比和服务器密度的增加，液冷将成为替代风冷的必然选择，目前国内已有华为、联想、浪潮、中科曙光、绿色云图等企业涉足液冷领域。

表 1 数据中心液冷与风冷比较

优势	指标	风冷	冷板式液冷	浸没式液冷
节能	PUE	1.6	1.3以下	1.2以下
	数据中心总能耗单节点均摊	1	0.67	0.58
成本低	数据中心总成本单节点均摊（量产后）	1	0.96	0.74
	功率密度（KW/机柜）	10	40	200
节地	主机房占地面积比例	1	1月4日	1月20日
	CPU可靠 核温（℃）	85	65	65
机房环境	温度、湿度、洁净度、腐蚀性气体（硫化物、盐雾）	要求高	要求高	要求低

赛迪智库整理，2021 年 9 月

（五）计算基础软件：统筹多样化计算方式的软件生态加速发展

当前先进计算面临多样化的计算方式所引发的编程语言不统一、跨算力编程挑战大等问题。算力的集中化建设，软件的云化、智能化、微服务化、函数化开发成为未来发展方向。通用计算软件方面，解决 BMC、BIOS、OS、DB、加速库、编程语言&编译器等技术难点是未来重要课题。AI 计算软件方面，支持千亿及以上参数模型的超大规模计算系统软件加快突破，AI 系统软件、AI 框架、AI 可

信和训练推理平台持续优化。未来，多样性计算软件体系将成为生态主导，统一的编程语言、异构编译器与加速库持续演进，智能调度框架与分布式多样性计算框架与算力高度协同，推动算力能级跃升和协同效应释放。

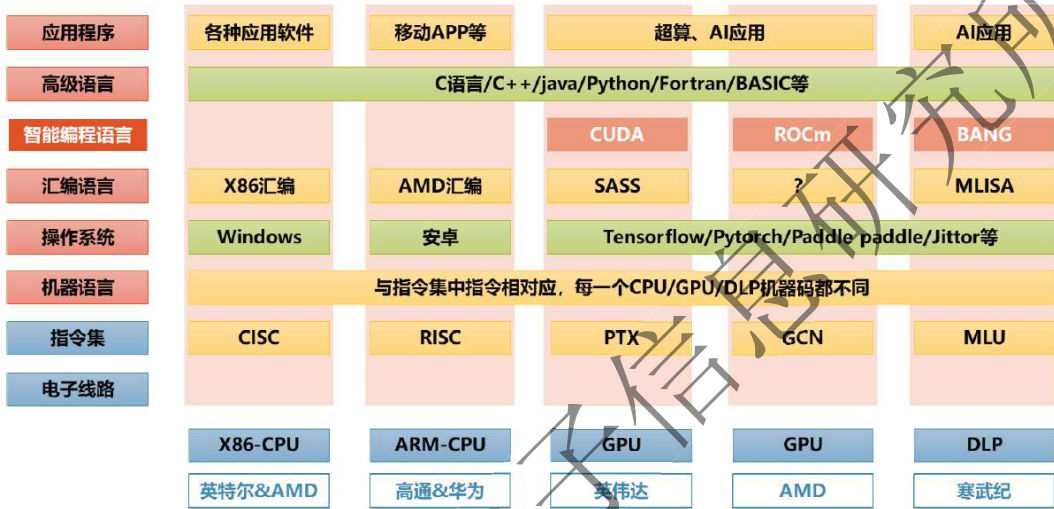


图 2 以 CPU/GPU/DLP 为基础的计算系统所对应的体系结构以及各软件层编程语言

赛迪智库整理，2021 年 9 月

第二章 先进计算产业发展趋势

（一）全球个人计算机市场迎来量价齐升小高潮

2020 年我国电子计算机全年产量 4.05 亿台，同比增长 16%，计算机制造业营业收入同比增长 10.1%，利润同比增长 22.0%。近年来计算机产品产量出口增速下降、消费市场增长乏力的颓势得到明显改观。今年上半年，国内微型计算机设备产量超 2.1 亿台，同比增长 19.4%，笔记

本电脑出口更是增长 48.2%。这一方面是疫情背景下，在线办公、远程教育等“新经济”形态对全球 PC 市场形成大幅提振，另一方面也反映出我国计算机企业在加强供应链成本管控、加快新技术应用迭代、积极开拓行业市场、推动服务化转型等诸多努力后，转型升级、高质量发展的成效逐步显现。该轮小高潮即使在疫情逐渐趋缓之后仍有望延续一段时期。

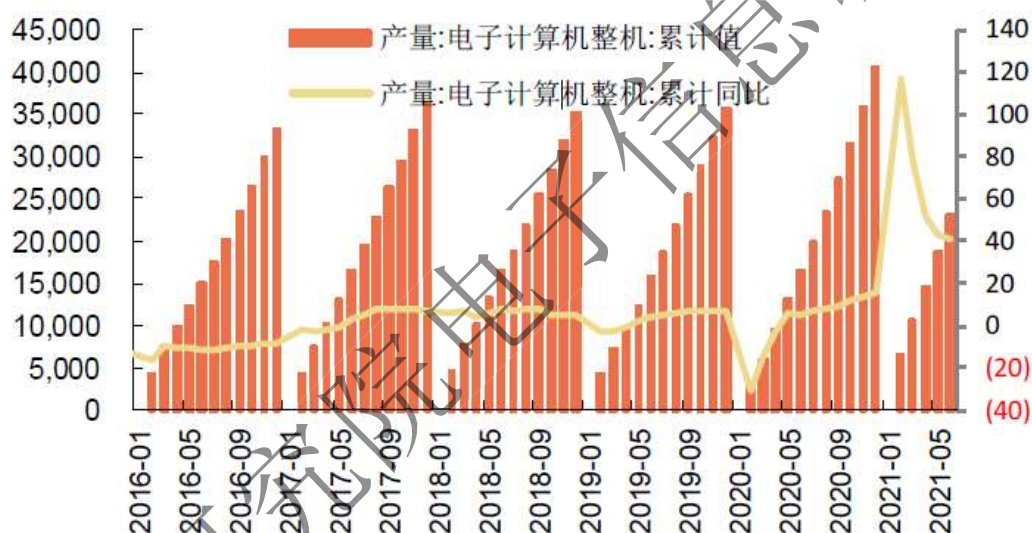


图 3 中国电子计算机整机产量及同比增速（万台，%）

数据来源：Wind，赛迪智库整理，2021 年 9 月

（二）国产服务器市场迎来全新发展机遇

根据 IDC 数据，2020 年我国服务器市场规模达到 216.49 亿美元，同比增长 19%，服务器出货量约为 350 万台，同比增长 9.8%，浪潮、华为、新华三、联想作为国产

服务器代表厂商稳居国内服务器市场份额前五，服务器市场实现高速发展。一方面互联网、电信、政府、金融和服务等行业服务器采购国产化比例不断提高，国内大小企业业务和办公线上化趋势明显，上云需求明显增加且具备惯性，加速国产服务器发展。另一方面，多元化应用场景唤醒服务器市场新动能。面对人工智能、自动驾驶、工业互联网等产业蓬勃发展以及产业数字化转型加速，算力需求正在走向细分化和差异化，服务器定制化、AI服务器、边缘服务器将成为未来发展新趋势。赛迪智库根据我国近6年服务器出货量及服务器平均算力进行测算，2020年我国通用算力达到77 EFlops，到2025年，我国通用算力将达到300 EFlops。

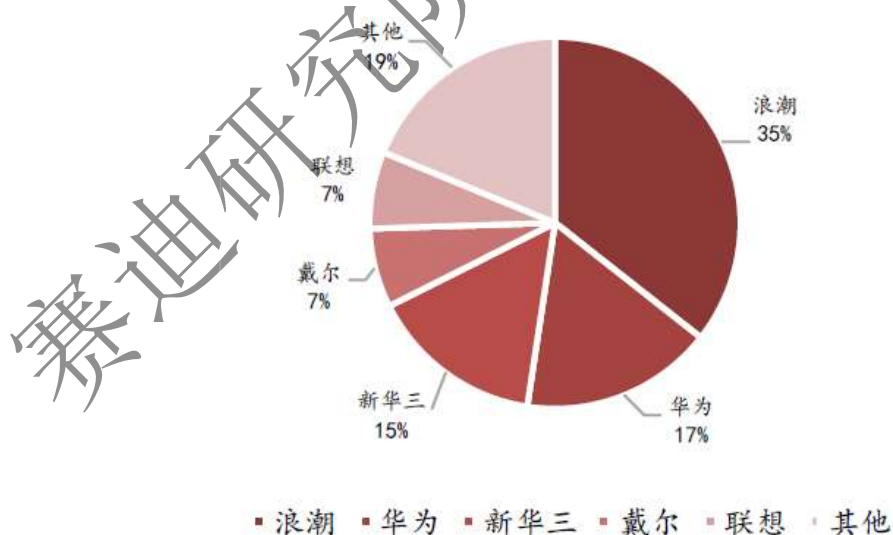


图4 2020年国内服务器市场份额

数据来源：IDC，赛迪智库整理，2021年9月

（三）多样性算力发展引发计算技术体系化创新

当前，海量、异构化、实时性的数据处理对算力提出更高的要求，促使算力器件、算法平台到计算模式形成体系化创新，突破“内存墙”、“功耗墙”等传统计算瓶颈。加速器有望取代通用处理器成为数据中心主算力；多元、混合异构的芯片设计成为算力器件发展的重点；以CPU为中心的計算模式向以内存为中心的存内计算、存算一体转变；开源软件平台和开源社区成为趋势；边缘算力部署大面积铺开，基于云边端深度协同的算力网络加速构建。随着信息科学、生命科学、材料科学等多学科进一步交叉融合，量子计算、类脑计算、光计算、生物计算等前沿计算技术加快演进，有望引发未来产业的颠覆式革命。

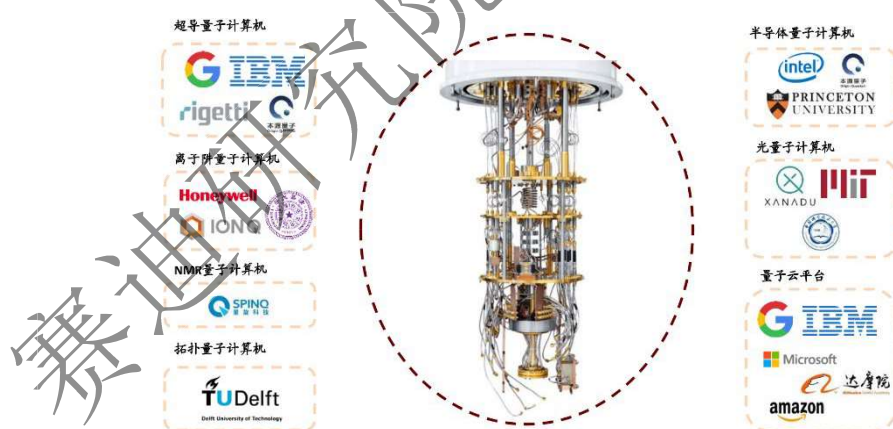


图5 主要科技巨头在量子计算的布局

赛迪智库整理，2021年9月

（四）行业数字化转型引发 AI 算力指数级需求

随着数字经济的迅速发展，算力密集、数据密集型的计算需求陡增，人工智能计算在海量数据、实时响应、极端条件等场景下相较通用计算优势愈发明显，将在超算、数据中心、城市大脑、国防军事等领域数字化转型和效率提升方面起到显著支撑效用。**AI 芯片性能方面**，在浮点运算能力、多线程并行能力、计算能效方面具有比较优势和更高的计算功耗性能比。**AI 算力赋能方面**，2020 年 TOP500 超算中对 AI 加速器的使用率超过 70%。互联网及云数据中心方面，应用需求带动 AI 训练推理芯片市场年复合增长率超过 30%。国防军事方面应用大大提升了军用雷达的信息处理、图像识别分类、运动检测、编码等能力。赛迪智库根据摩尔定律演进、市场规模态势进行测算，2020 年我国 AI 算力为 56.23 EFlops，预测到 2025 年我国 AI 算力将超过 1822.6 EFlops。

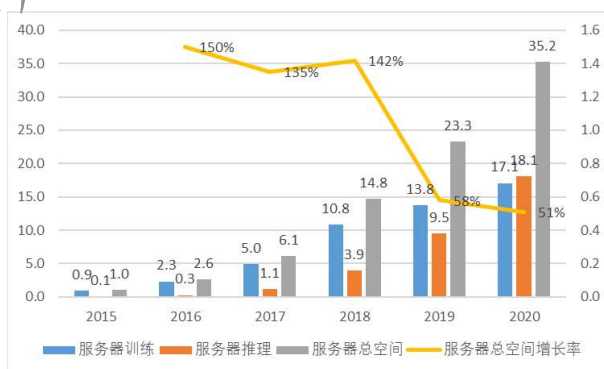


图 6 中国 AIDC 市场空间

赛迪智库整理，2021 年 9 月

（五）融合型场景应用释放计算产业潜能

就我国而言，5G+AI+VR+行业应用的融合型场景是算力算法算据大展拳脚的应用舞台，将为计算产业带来提质性拉动。例如在自动驾驶场景中，车载智能计算平台赋予汽车强大的感知、通信、计算和决策能力，使出行更安全便捷、城市交通管理更智能高效。再如虚拟现实领域，VR/AR设备通过端云算力协同，可承担生产生活中网络入口、信息交互、控制中枢等多重功能，有望在未来成为继PC、智能手机之后的下一代计算平台。

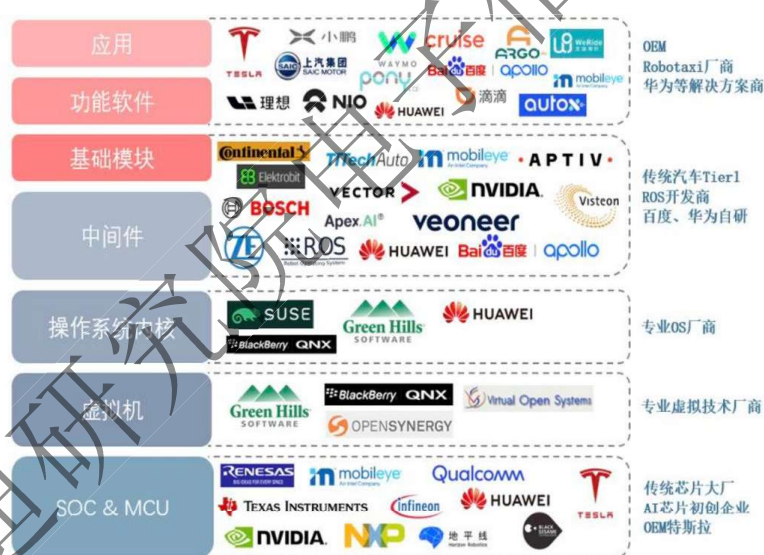


图7 车载智能计算平台生态

赛迪智库整理，2021年9月

（六）产业AI化发展处于爆发前期

人工智能计算市场快速发展驱使人工智能芯片、框架、

模型快速迭代和演进。计算芯片正经历由 CPU 到 GPU 进而向 NPU 演进的新发展阶段，人工智能异构加速芯片不断向着专用化方向发展。人工智能框架方面，互联网企业基于自身业务特点和需求开发出 10 余款主流框架，通过迭代更新和开源角逐业界标准。人工智能模型从 2012 年至今已累计发布超过 1000 个，OpenAI 发布了 GPT-3 自然语言处理模型，大幅度加快了语言预测方面的应用。对于计算机视觉、NLP 自然语言处理、跨领域多任务 AI 模型的探索都在不断加速中。当前，人工智能计算在行业中渗透率约为 4%，未来 5 年云边端市场空间复合增长率有望达到 18~33%，迎来爆发式增长。

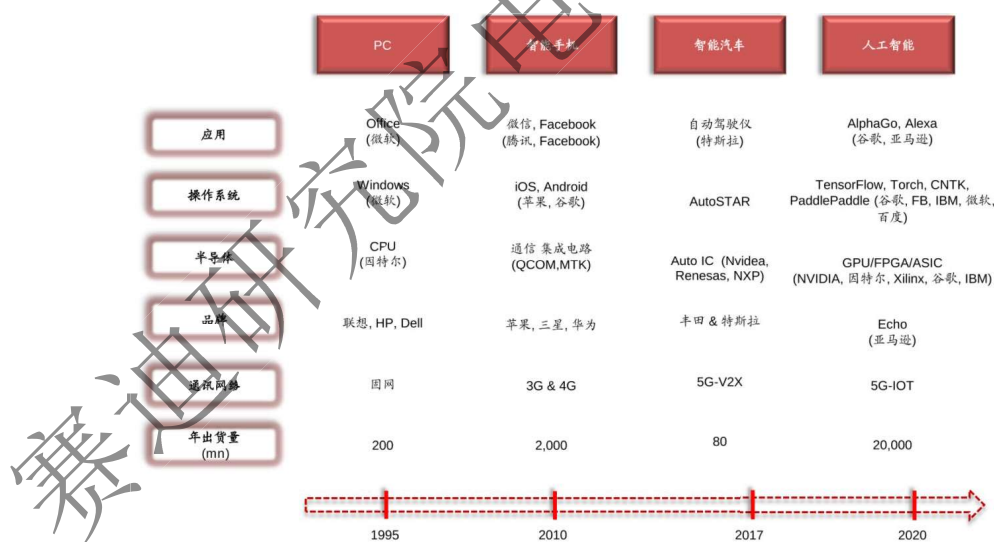


图 8 人工智能将成为下一代通用计算平台

赛迪智库整理，2021 年 9 月

第三章 先进计算融合应用及创新实践

（一）先进计算+智能制造：工业领域智能化转型加速器

智能制造的本质是借助硬核计算技术实现对内提质降本增效。利用 AI 技术、机器视觉替代并提升人类对于图像信息的收集和处理能力，具有自感知、自决策、自执行能力的智能装备，利用边缘计算、数字孪生等先进计算技术精准企业智能化决策等，已经在汽车、半导体、新能源、光伏等制造领域释放出提质降本增效的巨大价值。

专栏二：先进计算+智能制造应用案例

1、研发设计：仿真技术驱动设计提升研发效率

以 SpaceX 的火箭弹射分离实验为例，传统火箭发射后废弃的捆绑火箭，靠爆炸螺栓和主火箭连接，到一定高度后引爆螺栓爆炸释放卫星，但贵重的金属结构爆炸不能回收使用。马斯克想用机械结构的强力弹簧弹射分离实现回收火箭。这项实验利用了 NASA 大量的公开数据，在计算机上做建模仿真分析强力弹簧的弹射、弹射螺栓，没有做过一次实物验证试验，最后弹射螺栓分离成功，火箭外壳的回收大幅降低了 SpaceX 的发射价格。

2、生产制造：深度学习赋能机械臂助力装配产线

商汤智能机械臂助力家电企业配重块抓取和装配。重约 15 公斤

的配重块堆放于来料框中，滚筒洗衣机外筒置于生产线工装上，人工搬运和装配不仅速度慢，作业安全要求高，且长时间负重也会造成身体疲劳。智能机械臂基于深度学习的 3D 视觉感知技术以及机械臂运动规划技术驱动，可以通过视觉引导机械臂将配重块从来料框中取出，并装配于洗衣机外筒上，使得外筒定位柱准确插入配重块定位孔，这一过程将工人从繁重、重复的装配产线上解放出来，提高作业安全性的同时提升装配产线效率。

3、检验检测：依托机器视觉技术提升质检效率

华为与合作伙伴共同发布了昇腾智造解决方案。昇腾智造是面向制造行业打造的一站式、交钥匙的人工智能质检解决方案。针对质检效率低、柔性差、精度不足等制造企业痛点问题，昇腾智造解决方案基于华为南方工厂 AI 应用的成熟实践，面向电子器件组装错漏检测、工业 OCR 文字识别、标签印刷缺陷检测等典型场景，通过制造行业 SDK 帮助合作伙伴和客户提升 AI 应用开发效率，降低开发门槛，该方案已在南方工厂 190+产线实现了稳定高效运用。

（二）先进计算+城市大脑：普惠性、感知性的城市治理智慧中枢

城市大脑是先进计算技术与城市建设相结合的产物，在人类智慧和机器智能的共同参与下，在大数据、人工智能、边缘计算和数字孪生等先进计算技术的支撑下，通过

城市一体化计算平台、城市数据资源平台和人工智能开放服务平台，实现城市运行态势一屏统揽、城市运行体征的全局监测和智能预警，全面赋能城市治理手段、治理模式和治理理念创新，提升城市治理和公共服务现代化、科学化、精细化水平。

专栏三：先进计算+城市大脑应用案例

1、治理中枢：实现城市运行体征的全局监测

华为与合作伙伴共同发布了昇腾智城解决方案。昇腾智城是面向智慧城市，通过人工智能加速视频分析，帮助城市治理更聪明、更精细化的解决方案。昇腾智城解决方案从城管、应急、水务等城市治理、智慧导办、智慧热线、智慧审批、智慧问答政务服务等方面提升城市治理效率，赋能智慧城市演进。与此同时，通过 MindX SDK 套件的开放，有效降低 AI 应用开发门槛。目前，该方案已全面接入智慧龙岗 2.0 建设，助力龙岗民生服务、城市管理等领域智能化升级。

2、智慧税务：多渠道跨平台自助办税

长城信息以规范自助办税体系建设、完善自助办税管理机制为核心目标，基于 XFS 规范制定税务自助办税硬件统一接入标准，构建跨平台自助办税系统。业务管理方面：统一建设税务自助办税业务，规范化，标准化管理自助办税业务功能。接入管理方面：①制定税务硬件标准规范发布和中间适配服务的开发；②接入并测试验收税务各

大自助设备厂商设备，覆盖所有存量设备。运行管理方面：围绕"办税设备"以设备生命周期管理和运维服务闭环管理、数字化业务运营为核心，建立高效集中的自助办税运营管理中心，全面保障办税服务质量，缩短问题解决周期，实现高效智能全面化运行管控。同时基于跨平台系统的扩展与管理能力，拓展税务+N 的互联自助办税服务，并为支撑办税服务厅转型升级打下良好基础。

3、智慧交通：提升全天候通行能力

华为与合作伙伴共同发布了昇腾智行解决方案。昇腾智行是面向智慧交通的解决方案，用人工智能技术对车辆、轨迹等进行智能分析，针对高速公路自由流收费、收费稽核、视频云联网、车路协同等典型交通 AI 应用场景，构建昇腾智行解决方案。高速公路自由流收费、收费稽核帮助高速路网通行效率提升高达 5 倍，大幅减少收费异议，实现精准计费。视频云联网助力高速公路交通监测管控效率的全面提升。该方案已部署在京珠南、广深、广惠等 20 多条高速公路路面、收费站、门架等实时视频；车路协同通过多元信息采集融合感知处理，实时监测高速车辆行驶状态，实现车辆编队行驶、路面异常预警、网联信息发布，全面使能交通优化和管控。

（三）先进计算+智能网联汽车：L4/L5 级系统的必由之路

智能网联汽车搭载先进传感器等装置，运用人工智能等技术，具有自动驾驶功能，逐步向智能移动空间和应用终端转变。业界厂商围绕单车智能、车路协同和车路协同，采用多元异构的硬件架构打造多模式通信/多模式定位/智能网关一体化的新型智能车载计算平台。通过多种操作系统运行具有不同功能安全和信息安全等级的环境感知，路径规划和车辆控制算法，依托我国庞大的路网和 5G 通信规模以及国际领先水平的北斗卫星导航定位系统，统筹车、路、人以及实时交通的动态信息互联互通。当前，我国智能网联汽车的量产正在从 L2 向 L3 级过渡，L2 级智能网联汽车呈现平稳上升的趋势，L4 级别自动驾驶技术正处于研发测试阶段。

专栏四：先进计算+智能网联汽车案例

1、自动驾驶：超级计算机加入自动驾驶系统研发队伍

特斯拉自研全新超算 Dojo，专为自动驾驶而生。近日，在特斯拉 2021 年计算机视觉和模式识别会议（CVPR 2021）上，来自特斯拉人工智能与自动驾驶视觉总监 Andrej Karpathy 公布了新型超级计算机，就每秒浮点运算（Flops）而言，它是世界上排名第五的超级计算机。

新机器是特斯拉的第三个超级计算机集群，为还未发布的超级计算机 Dojo 的开发原型版本。Dojo 将配合无监督学习算法（unsupervised learning），即无需人工对训练数据集进行标注，系统可以自行根据样本间的统计规律对样本集进行分析，在纯视觉自动驾驶方法下改进自动驾驶 AI 实现足够的可靠性。

2、智能座舱：实现“车、路、人”全面智能化

华阳集团以汽车电子为核心，提供整车智能座舱配套式解决方案。对车智能方面，汽车智能座舱通过与驾驶员及乘客通过语音、手势交互等方式进行互动，感知用户行为，了解用户需求，对人智能方面，利用内置智能硬件设备，如车载芯片对电子器件反馈的数据进行计算，了解汽车形式状态及各种参数指标，对车辆进行最佳状态适配。对路智能方面，依托 V2X 对道路状况信息进行感知和收集，并将数据传输至云端进行计算和路线智能规划。

（四）先进计算+超高清视频：产业能级跃升的有力补充

超高清视频产业在端侧编解码优化和云端内容渲染处理制作上展现出对计算技术的多样化需求。业界厂商利用边缘计算平台创新，融合云主机、容器等虚拟化技术，推动 5G+4K/8K+全景声的云内容渲染制作能力、AI 音频修复能力、AI 音视频生成能力、工业模型三维协同设计

能力云上部署，实现超高清视频在广播电视、工业制造、智慧城市等多领域规模化应用。

专栏五：先进计算+超高清视频案例

1、智能剪辑：语音图像识别技术大幅缩短剪辑时间

咪咕通过人工智能、语音图像识别技术准确识别进球、射门、角球等 7 大场景和世界杯所有球队、球员，模拟人工剪辑师进行工作精彩内容剪辑，将短视频的剪辑速度，从 10 分钟缩短至 10 秒以内。其中，由 AI 剪辑的 C 罗进球短视频，短短一天内，在咪咕视频手机客户端的观看人次就突破了 1 亿次。

2、画面还原：利用人工智能算法实现画面高清还原

北京华录自主研发超高清 4K/8K 视频增强应用平台，使用 AI 技术，通过 AI 超分算法和深度学习模型，提升低质视频的品质，做到分辨率放大、修复。通过 AI 视频增强技术，实现了标清视频转超高清视频和超高清内容 2D 和 3D 的互转，提升老片的分辨率，使其变得更清晰、明亮，提升用户的观影体验。

（五）先进计算+其他行业应用

先进计算作为产业数字化的底层支撑力量已经与社会经济生活高度绑定，大数据、云计算、边缘计算、人工智能、语音图像识别、自动驾驶等计算技术对能源、金融、医疗、物流、媒体等多个传统产业进行智能化改造，结合

业务的大数据采集、存储、算法模型、计算技术加速产业要素数字化进程，软硬融合的智能化装备持续优化传统产业工序和流程，区块链的共识算法、加密算法、分布式账本等核心技术为产业数据提供私密保障。先进计算技术与传统行业应用深度融合，以新技术推动产业模式变革。

专栏六：先进计算+其他行业应用案例

1、智慧能源：全场景 AI 让巡检更安全高效

华为与合作伙伴共同发布了昇腾智巡解决方案。昇腾智巡是面向能源电力行业智慧巡检解决方案，用人工智能的分析取代了传统的人工巡检，让巡检更安全，效率更高，为输电线路、变电站、配电房等场景提供 AI 智能感知。输电线路巡检效率相比传统方案提升 80 倍；电网站房巡检更加实时和精准，人工巡检工作量大幅降低，供电可靠性显著提高。

2、智慧金融：构建金融服务新业态、新模式

在金融科技的推动下，长城信息构建了一套以“安全”、“创新”为目标的 5G 智能网点建设解决方案，提高银行网点安全性，提升金融服务效率和客户体验，降低金融运营成本，构建金融服务新业态、新模式。5G 智慧网点融合 5G、云计算、AI、生物识别、区块链、物联网、音视频等新一代技术，硬件设备具有“能听、会说”的智慧能力，软件系统智能化、智慧化，软硬一体共同加速推进银行软硬件数字化

网点转型。长城信息构建自主研发的信息技术底层构架和标准，打造了一体化安全防护体系，打造安全可控的 PKS 体系软硬件集成解决方案。

3、智慧医疗：算力、算法、算据共筑现代化医疗服务

(1) 新药及疫苗研发：算力加速筛选、分析和研发进程

2020 年疫情期间，阿里云向全球公共科研机构免费开放一切 AI 算力，加速新药和疫苗研发：提供阿里云高性能计算、SCC 超级计算机群和 CPU 集群用于病毒、蛋白质等结构计算，靶点作用模拟和设计药物筛选实验，QD 量子动力学药物研究；提供阿里云超算用于对病毒植株和染病 DNA 进行基因组、基因组学计算；提供阿里云通用平台用于全球范围大规模文献分析和筛选；提供阿里云人工智能平台和阿里云超算用于在 MD、MM、QD 基础上做虚拟筛选。

(2) 体温监测：AI 技术实现快速筛查异常体温

旷视科技发布名为“明骥”的 AI 提问检测系统，采用人体识别+人像识别技术，配合红外/可见光双传感器的解决方案，同时基于自主研发的人工智能平台 Brain++完成对戴口罩帽子检测算法的优化，使得在人流密集型的场景下也可以快速识别，而不需要被识别者脱帽或者摘掉口罩，子啊提升同行效率的同时，避免疾病的传播。前端红外相机鉴别人流中的高温人员，再根据疑似发热者的人体、人脸信息，AI 技术可以辅助各类公共场所在高密度人员流动场景下帮助工作人员快速筛查提问异常者，实现非接触密集型人流 AI 辅助温感检测。

(3) 痊愈判定：AI 算法模型提供治疗判定辅助

“假阴性”增多给疫情防控带来挑战。因为症状不明显、医生经验不足等情况出现病例遗漏，将极大增加疫情不可控的风险。推向科技的 AI 产品通过全自动前后片对比和疗效评估等功能进行更为深入、细微的观察，对医生判断新冠肺炎患者的病情进展，进行针对性的治疗提供更多辅助。

4、智慧物流：新技术带来的物流和供应链变革

中储智运基于大数据平台打造了丰富的大数据产品，已经开发了决策报表、价格指数、信用体系、风控体系、线路规划、运力规划、智能调度、智能匹配、商品流向、智能定价等多个产品，基本涵盖智慧物流的各个环节。“精准匹配、智能推送”通过大数据对车型、历史承运记录、常跑路线、当前位置、司机画像、货主画像、货源属性等多达十几个维度，以及每个维度的不同变量进行数据建模，将货源与司机进行精准匹配，从而极大提高运输效率。同时，中储智运“智能定价”模型采用机器学习方法，基于物价(油价、过路费等)、货品、距离、天气、时间、位置等 8 个维度 60 几个变量，从不同角度来预测每笔订单的运费价格。基于区块链技术实现物流运输过程的信息数据全部上链，实现数据共享、链上智能对账，将会大幅度提升物流运输效率。

5、智慧媒体：人工智能技术强化媒体产出能力

人工智能的介入，在很多环节已经极大地提升了新闻内容的生产

效率。新华社发布“媒体大脑”，媒体可调用智能媒体生产平台、新闻分发、采蜜、版权监测、人脸核查、用户画像、智能会话、语音合成八个模块服务内容，对包括线索、策划、采访、生产、分发、反馈在内的全新闻链路提供协助。

热点线索的智能捕捉系统鹰眼不仅能自动抓取新浪微博的热门内容，还能实时捕捉明星或大V的微博动态，对即将发生的热点话题进行预判。比如男女明星账号之间的互动突然变得频繁，或是与某个事件相关的关键词热度快速升高，鹰眼系统就能嗅探出可能即将发生的新闻，并进行针对性的处理，从而先于热点出现，提前捕捉线索，预先做好内容的组织准备。通过机器+人工，形成一张辐射社会生活各领域的热点嗅探网络，新浪得以实现超前一步发掘热点，在新闻发生的第一时间，就能以最快速度完成反应。在此基础上，新浪新闻通过人工筛选把关处理的方式，弥补AI不足，确保了新闻内容的真实、准确、深入；再通过全媒体矩阵的信息分发，最终让热点内容在第一时间实现了最有效的用户触达。

第四章 我国先进计算产业发展面临的机遇和挑战

机遇一：数字经济发展、行业数字化转型对优质算力的需求为计算产业提供广阔成长空间

在5G、人工智能、物联网、云计算等技术融合发展的背景下，数字经济快速增长，经济社会智能化发展进程全

面加速，使得计算需求无处不在，计算量迅猛增长。我国具有全球体量最大的、用户最活跃的数据应用市场。计算作为新型生产工具已经渗透至经济社会各个环节，数字化转型进程离不开计算赋能，计算力就是生产力成为产业共识。例如，金融科技的核心是信息处理与分析，大数据、云计算、人工智能甚至量子技术的应用可提供金融风险分析评估、产品设计、市场预测等大算力服务。再如，智能电网边缘算力提供需要布置众多的传感和终端设备，云端需要强大的计算、存储以及海量数据处理能力，都离不开计算产业的加持赋能。

机遇二：多技术路线并行演进为计算产业自主发展提供机遇

当前，计算体系呈现多样化，x86、ARM、RISC-V等多路线共存演进，催生全球计算技术和产业的大变局。苹果、亚马逊等国际巨头基于ARM架构的相关产品已投入市场，RISC-V生态也在紧锣密鼓加紧构建中。面对计算产业前所未有的大变局，国内企业加快多种技术路线布局，密切跟进量子、光子、类脑等颠覆式计算技术理论创新。在坚持科技自立自强底线思维和双循环新发展格局中谋求自主化发展和弯道超车的可能性。

机遇三：计算底层技术演进和新兴生态建设推动计算软件短板加快突破

作为智能社会的主导经济形态，计算底层技术已经成为主要国家发展和竞争的重要方向。综合判断，我国凭借集中力量办大事的优势和在数字化转型、政府重大应用的强大的市场资源，以及几十年来积累的软件技术发展基础等优势，软件产业将会存在 5~7 年赶超发展的窗口期，我国可能在以开源为主导的软件领域产生重大底层技术和产业突破。

挑战一：我国计算产业面临的外部技术封锁和供应链风险依然严峻

当前国内计算产业芯片、器件以及算法软件等多个环节对外依存度依然较高，与此同时，美国等主要发达国家对华企业技术封锁围堵持续升级，对高端计算芯片、人工智能、超算等领域技术管制大面积收紧，为计算技术迭代和产业供应链安全带来严峻挑战。本质上，我国计算技术的难点、堵点与电子信息产业短板环节高度重合，计算技术短板如不尽快攻克，将大大影响我国实现基础高级化目标实现进程。

挑战二：现有算力供给与复杂行业数字化转型需求尚无法精准匹配

从历史进程看，计算经历了分布式向集中式、单核向多核的转变，但目前主流的集中式计算局限性愈发明显，而多核也出现了核数瓶颈。进入 5G 时代，工业互联网场景对“高带宽、大时延、高速率、大连接”算力要求日益提高，受存储介质调用、操作系统与应用软件等限制，制造领域算力始终无法做到全通量输出，也无法满足大数据量实时处理的应用场景需要。此外，超算算力对行业数字化转型的支撑力、对技术进展和市场变化的企业服务的响应力仍需加强，利用率普遍较低。目前人工智能计算中心尚需一套与建设进度相匹配的建设规范和标准。只有做好顶层设计，在算力需求、技术路线、商业模式等方面积极探索，才能充分发挥计算产业的赋能作用，促进经济社会良性发展。

第五章 我国先进计算产业发展五大“主航道”

（一）以计算技术体系化布局构筑发展新高地

强化产业共性技术创新，面向大规模数据处理、内存计算、智能化计算引擎、高并发高吞吐计算、科学计算等共性需求，通过“揭榜挂帅”、科技重大专项等方式，推动基础材料、核心器件、计算芯片、算法软件、体系架构的

整体性突破。**推动基础理论创新**，围绕量子计算、类脑计算、光子计算、生物计算领域，加大对基础算法、计算模型、计算体系结构等基础理论研究，加快计算科学与量子信息科学、脑科学、生命科学等领域的融合创新，积极储备量子计算、光计算、类脑计算、生物计算等前沿计算技术标准和专利。**深化成果应用创新**，探索量子计算模拟机、原型机在基础科学、生物医药、商业加密等领域应用，强化类脑计算与脑机融合技术应用，面向5G、AR/VR，超高清、智能驾驶、智能制造、智慧城市、智慧能源等应用领域，打造具有国际竞争力的行业级计算产品，强化软硬件融合创新、计算整机与器件协同创新、衔接计算需求的供给创新，抢占先进计算未来发展制高点和增长点。

（二）以新型计算产品和成熟计算系统锻造新优势

构筑新型计算产品体系。加快发展PC、服务器、专用机等整机产品，推动路侧单元、车载终端等V2X（车辆与外界信息交换）产品体系建设，发展智能控制、智能理解等人工智能终端，培育具备复杂环境感知、智能人机交互等功能的智能工程机械终端产品，促进视频图像身份识别系统、智能家居、移动智能终端等产品研发和产业化培育，发展高分辨率、低功耗的虚拟现实终端产品。鼓励硬件生产厂商、软件开发公司组建产品开发与应用联合体，通过

合资合作等方式联合打造应用场景。**强化成熟工艺硬件的计算系统**。面向政府、金融、能源等行业需求，依托国家超算中心和重点软硬件企业，加快发展基于成熟工艺的计算技术及系统，持续优化计算系统性能指标、软硬融合能力、软硬件兼容适配能力，充分发挥计算系统对科研任务和重点行业应用的支撑作用。着力发展应用于人工智能深度学习模型开发、模型训练和模型推理等场景的人工智能计算中心。

专栏七：打造成熟工艺下整机与集群系统竞争力

对通用计算芯片算力产生影响的指标主要包括微架构、能效管理、编译优化、裸芯片面积、晶体管工艺、散热等关键因素。当前裸芯片面积、晶体管工艺、散热等工艺相关因素对通用算力、AI 算力影响仍为重要因素，但处理器微架构、能效管理、编译优化等单芯片技术创新，以及软硬协同、系统架构创新等整机与集群性能优化创新对算力的综合影响日益突出且仍有较大突破空间，对 AI 算力的影响更甚。

通用服务器短期内采取多核以高打低，坚持内存带宽优势，内置网络 SOC，支持多 P/SMT/低功耗，维持竞争力同代领先。**AI 服务器**通过算力微架构创新、大带宽直连、多机多卡、大带宽内存来提升整机性能。**HPC 集群**通过网络架构创新使能计算性能提升，围绕液冷、

高密提供高能效竞争力，围绕全栈系统架构创新提升集群资源利用率，打造 TCO 性价比优势。**渲染**在单芯片算力无优势下，通过云协同实现集中计算，打造整机和集群性价比优势。

（三）以赋能多领域产业数字化转型激活新动力

推动计算与智能制造融合发展，围绕智能制造装备、流程、平台等产业环节，挖掘制造业转型算力需求，鼓励装备制造商研制具有自感知、自决策、自执行功能的智能制造装备，推动现有装备产品向智能化、成套化和系统化转型升级。**推动计算与智能网联汽车融合发展**，围绕单车智能、车间智能和车路协同，建立多模式通信、多模式定位、智能网关一体化的新型车载计算平台，推广车规级高端集成芯片、智能车载终端共性硬件平台和整车在线固件升级通用方案及相关系统基础软件。**推动计算与超高清视频融合发展**，围绕端侧编解码优化和云端内容渲染处理制作需求，强化编解码芯片研发能力，提升行业编解码能力，优化高码率视频传输，基于不同的计算密度的需求来部署边缘节点并进行负载均衡，解决目前超高清视频内容在计算、时延、体验感等方面存在的问题。**推动计算与航空航天领域融合发展**，围绕航空发动机、空间态势感知和卫星技术，突破航空发动机核心技术，应用 AI 算力加速航空

发动机仿真设计，推动利用大数据对发动机制造工艺升级。融合 AI 计算、边缘计算、大数据等先进计算技术，加大对空间态势感知技术研发投入，提升飞机设计仿真能力。

（四）以生态主导型企业培育和公共服务配套打造产业新生态

加快梯次化优质主体培育，培育一批有国际竞争力、创新能力突出的先进计算生态主导型企业，鼓励龙头企业开放技术能力、供应链资源，支持创新型先进计算中小企业围绕细分领域向价值链高端延伸，围绕大企业生产需求提升配套能力，丰富服务种类，创新商业模式，形成融合发展的先进计算领域产业梯队。完善计算产业配套服务，围绕先进计算重点领域布局一批国家级、省级创新中心，打造一批支持检验检测、标准认证、中试熟化、成果转化的公共服务平台。布局人工智能开源开放平台，建立健全开源运营机制，鼓励企业开放源代码、硬件设计和应用服务。

（五）以强化要素支撑和开放合作营造发展新环境

加强产业链协同与央地协同，引导地方构建差异化的发展目标，并与国家整体先进计算发展规划布局相契合，推动区域间产业链分工协作，加速央地产业链协同效应释放。推动多路径计算架构生态合作企业凝聚共识、协同行

动。**强化资金支持**，引导社会资本向计算领域倾斜，加快对研发创新的孵化支持，重点投入针对指令集、微架构设计、编译器、工具链等研发、兼容性测试、多样化应用场景开发解决方案产品和设计等。**强化产业人才储备培优**，建立完善产业专业人才和专家库，鼓励产学研用相结合的人才培养模式，围绕先进计算若干重点方向，设立国家重点实验室、国家工程技术研究中心、国家工程研究中心、国家工程实验室以及国家级企业技术中心、博士后科研工作站等，建立产业人才培养教育基地。**推动国际开放合作**，主动融入全球创新网络，加强计算基础研究和技术创新的开放合作，积极参与全球标准活动及开源生态建设，推进落实一批跨国合作重大项目，合作打造全球化创新平台。

附件一：算力规模测算

1、算力指标定义【略】

2、测算逻辑【略】

3、主要结论

根据赛迪智库测算,2020年我国通用算力为 77 EFlops, AI 算力为 56.23 EFlops。根据 AI 芯片性能在摩尔定律演进下的增长,结合未来五年加速卡芯片的出货量增长,预测到 2025 年,我国基础算力将达到 300 EFlops, AI 算力总量将超过 1822.6 EFlops。

赛迪研究院电子信息研究所

中国电子信息产业发展研究院

CHINA CENTER FOR INFORMATION INDUSTRY DEVELOPMENT

地址: 北京市海淀区紫竹院路66号

电话: 010-68209537

邮箱: xuzifan@ccidthinktank.com

网址: www.ccidgroup.com

