

智算基础设施发展研究报告

(2024 年)

中国信息通信研究院产业与规划研究所

2024年9月

版权声明

本报告版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。

前 言

当前人工智能技术及生态迭代加快，对智能算力提出更强更大规模的需求。作为关键环节与核心底座，以智算中心为代表的智能算力基础设施，在 AI 落地破局与赋能新型工业化进程中，被赋予更重要的定位。智算基建成为支撑人工智能技术及产业发展的重要基石。本报告重点聚焦智算基础设施的供需布局、能力要求、赋能模式，梳理业界最新动态与发展趋势。

供需布局方面，聚焦区域智算基建布局场景，通过分析基础大模型与行业模型在训练端与推理端对智算的需求，明确城市布局智算中心应综合考虑区域内 AI 训练与推理需求，提出应做好智能算力资源的统筹，将行业大模型落地赋能，作为地方智算基建的主攻方向，避免地方政府“一窝蜂”导致大量算力的浪费。

能力要求方面，着力回答“智算基础设施需要什么能力”这个关键问题，提出推进智算集群构建应重视算力有效性、集群稳定性、绿色低碳性、服务易用性四个核心能力，引导行业层面强化标准规范体系建设，推出智算集群引导性规范。

赋能模式方面，关注我国智算基建商业运营赋能机制，重点梳理总结国内典型智算基础设施的商业运作模式与典型案例，为国内智算基建推进科学运营赋能提供重要参考。

当然，报告仍有诸多不足，恳请各界批评指正。

目 录

一、智算基础设施发展概述.....	1
二、智算基础设施的供需布局.....	4
（一）基础大模型训练推动大规模智算集群强增长.....	4
（二）模型推理应用将构成智算基建第二条增长曲线.....	6
（三）区域智算基建布局综合考虑训练与推理需求.....	8
（四）跨区域调度协同强力支撑智算基建供需对接.....	10
三、智算基础设施的能力要求.....	12
（一）算力有效性是核心.....	12
（二）集群稳定性是保障.....	14
（三）绿色低碳性是前提.....	16
（四）服务易用性是亮点.....	18
四、智算基础设施的赋能模式.....	19
（一）产研合作行业大模型.....	20
（二）龙头引领联合创新.....	20
（三）央国企示范应用发展.....	21
（四）超智融合算力生态.....	22
五、发展建议.....	22
（一）投资布局要分类引导，分级建设.....	23
（二）服务能力要标准先行，强化引导.....	23
（三）要素资源要联合创新，直击场景.....	24

一、智算基础设施发展概述

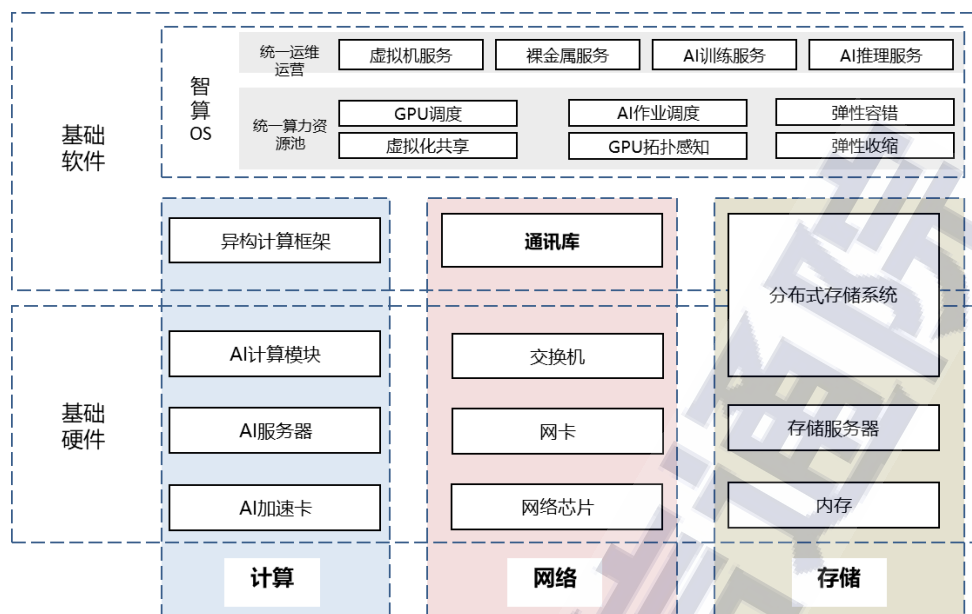
智算，即人工智能算力，是用于支撑加速人工智能算法模型训练与推理的算力，其部署层级分为芯片级、单服务器节点级、多服务器集群级。在芯片级，依托 GPU、NPU、FPGA 和 ASIC 等加速芯片用于 AI 模型训练与推理加速，当前 GPU 在国内市场中占据主导地位。华为、天数、海光、寒武纪等本土企业在该领域积极研发布局，如华为已经推出了昇腾系列全栈自主、性能优良的产品，能够实现对智能计算的良好支撑。在单服务器节点级，以“CPU+XPU”异构计算范式为主的 AI 异构服务器，加强 CPU 与 XPU 协同，主流服务器产品相对更丰富，浪潮、戴尔等传统服务器厂家基于英特尔 CPU+英伟达 GPU 的组合推出了 AI 服务器产品，华为及生态伙伴基于其自主研发的 AI 芯片推出了国产系列 AI 服务器产品。在多服务器集群级，AI 应用中数据、模型的大型化趋势对智能算力的扩展性提出高要求，资源需要以集群模式部署以提供并行计算能力，高性能无损网络+高性能存储为单服务器节点级和多服务器集群级的算力突破提供了重要支撑。



来源：中国信息通信研究院

图 1 人工智能算力的部署层级

智算基础设施，即人工智能算力基础设施，是基于人工智能专用算力芯片及加速芯片等组成异构计算架构，以智能计算设施为核心设施，以智能算力集群为核心载体，面向人工智能应用场景，提供所需算力服务、数据服务和算法服务的公共算力基础设施。智算基础设施需要统筹协同计算、网络、存储等核心技术。大模型参数量和训练数据复杂性快速增长，对 AI 算力平台的建设提出了新的要求，即需要从数据中心规模化算力部署的角度，统筹考虑大模型分布式训练对于计算、网络和存储的需求特点，并集成平台软件、结合应用实践，充分关注数据传输、任务调度、并行优化、资源利用率等，设计和构建高性能、高速互联、存算平衡可扩展集群系统，以满足 AI 大模型的训练需求。首先，大模型的训练推理需要大量的加速卡并行计算，并且需要使用分布式训练和推理来提高效率。同时，大模型对存储的需求也很高，因为模型需要存储大量的参数和梯度信息。此外，大模型对网络的需求也很高，因为需要快速传输数据和同步梯度信息。整体来看，智算基础设施的部署涉及计算、网络、存储三大维度的横向协同，也需要兼顾软件平台与硬件资源的纵向协同。



来源：中国信息通信研究院

图 2 智算基础设施技术体系

各方主体积极推进布局智算基础设施。以提供公共普惠的智能算力服务为基本原则，地方政府（地方国投产投平台投资）、央国企（电信运营商投资）、AI 云厂商（阿里云、华为云、百度智能云等投资）是我国智算基础设施的投建主体。从总体定位看，智算基础设施成为地方发展人工智能产业、发展产业数字化的重要创新载体，具有重要价值。从落地运营看，智算基础设施是加快 AI 产业化和产业 AI 化的重要战略支撑。智算中心与 AI 云，是当前智算基础设施的两种主要形态。智算中心一般由地方政府或电信运营商主导建设，定位于服务区域层面的产业创新与科研创新。据团队不完全统计，截止 2024 年 7 月底，纳入监测的智算中心（含已建和在建）已达 87 个¹。AI 云一般由公有云计算厂商进行区域范围的建设布局，并提供统筹的调度运营，依托云计算模式，将 AI 部署能力开放给用户，为其不同场景所

¹ 数据来源：中国信息通信研究院产业与规划研究所监测。

需要的 AI 算力、算法以及数据，提供规模化、高效率、低成本的支撑能力。目前，华为云、百度智能云、阿里云、腾讯云等厂商占据国内 AI 公有云市场份额近 94%²，平台效应凸显。

二、智算基础设施的供需布局

供需匹配与区域布局，是智算基础设施发展的关键问题。国家层面，由国家发改委、国家数据局、工信部等部委密集出台政策，指引智算基础设施科学布局发展，全面推动通用算力、智能算力、超级算力一体化布局。地方层面，各地围绕智算基础设施推出相关文件，引导区域层面加快智能算力资源汇聚，深度赋能实体经济。对区域而言，布局智算基建应综合考虑基础大模型训练与行业模型推理需求，以及跨区域智算调度协同。

（一）基础大模型训练推动大规模智算集群强增长

大模型的参数规模与对算力的消耗成正比，参数规模越大，对算力的需求越大。根据 OpenAI 公司《适用于神经语言模型的尺度定律（Scaling Laws for Neural Language Models）》论文观点显示，训练阶段算力需求与模型参数数量、训练数据集规模等有关，且为两者乘积的 6 倍：训练阶段算力需求=6×模型参数数量×训练集规模。本报告对目前公布了详细技术参数的主流大模型，进行训练算力资源的估算，根据计算公式进行归一化处理，估算出训练阶段大模型对智能算力的需求。

² 数据来源：IDC《中国人工智能公有云服务市场份额，2023》。

表 1 主流大模型对智能算力的需求³

模型名称	模型参数规模 (个)	训练集 (Token 数)	训练完成所需算力估算 (PFLOPS)	1000P 智算中心耗时 ⁴ (天)	100P 智算中心耗时 ⁵ (天)
文心一言	2.60E+11	1.00E+12	1.56E+09	45	401
GPT3	1.75E+11	3.00E+11	3.15E+08	9	81
ChatGPT	1.75E+11	4.10E+11	4.31E+08	12	111
GLM-130B	1.30E+11	4.00E+11	3.12E+08	9	80
盘古	1.00E+11	3.00E+12	1.80E+09	52	463
LLaMA-65B	6.50E+10	1.40E+12	5.46E+08	16	140
BloombergGPT	5.00E+10	7.08E+11	2.12E+08	6	55
LLaMA-7B	7.00E+09	1.00E+12	4.20E+07	1	11

来源：中国信息通信研究院

推进基础预训练大模型（千亿级以上参数）需要大规模智算集群支撑。随着模型参数量从千亿迈向万亿，模型能力更加泛化，大模型对底层算力的诉求进一步升级，万卡集群成为这一轮大模型基建军备竞赛的标配，万卡集群将有助于压缩大模型训练时间，实现模型能力的快速迭代。万卡集群是指由一万张及以上的加速卡（如 GPU、NPU、TPU 或其他专用 AI 加速芯片）组成的高性能计算系统，用以训练基础大模型。美国一直在引领万卡集群建设进程，诸如 Google、Meta、微软、亚马逊、特斯拉等科技巨头，正利用超万卡集群推动其在基座大模型、智能算法研发，以及生态服务等方面的技术创新。如 Google 推出超级计算机 A3 Virtual Machines，拥有 26,000 块 Nvidia H100 GPU；Meta 在 2022 年推出拥有 16,000 块 Nvidia A100 的 AI 研究超级集群 AI Research Super Cluster，2024 年初又公布了 2 个 24576 块 Nvidia

³ 数据来源：中国信息通信研究院产业与规划研究所测算。⁴ 预估 1000P 智算中心的算力有效比例为 40%。⁵ 预估 100P 智算中心的算力有效比例为 45%。

H100 集群，支持下一代生成式 AI 模型的训练⁶。

国内大型 AI 企业、头部互联网厂商、电信运营商等均在万卡集群的建设和使用过程中不断推动技术革新。字节跳动、阿里巴巴、百度为代表的互联网公司在积极推进万卡集群的建设。其中，字节跳动搭建了一个 12288 卡 Ampere 架构训练集群，研发 MegaScale 生产系统用于训练大语言模型⁷。大型 AI 研发企业基于万卡集群加速模型研发，如科大讯飞 2023 年建设成首个支持大模型训练的万卡集群算力平台“飞星一号”。运营商作为算力基础设施建设的中坚力量，正加速推进超万卡集群智算中心的建设。目前，中国移动已投产呼和浩特万卡智算中心，共部署了近 2500 台智算服务器，单体算力规模可达 6.7EFLOPS，同时正在规划建设 2 个超万卡国产算力集群⁸。此外，中国电信于今年 3 月宣布，天翼云上海临港国产万卡算力池正式启用。

（二）模型推理应用将构成智算基建第二条增长曲线

随着 AI 大模型的应用落地，推理智算需求正迎来爆发。随着 Llama 等开源框架的广泛应用，将加速大模型在各行业各领域落地生成式 AI 应用，行业模型的推理算力需求也将快速增长。据中信建设证券数据显示，2024 年-2027 年全球大模型推理的峰值算力需求量的年复合增长率为 113%，远高于训练的 78%。另据 IDC 调研数据显示，2026 年云端训练需求与云端推理需求比由 2022 年的 58.5%-41.5%变

⁶ 案例来源：通信产业网

<https://www.ccidcom.com/yaowen/20240514/lfZA1rtFgLoX3R8yM1axamawxlo04.html>

⁷ 案例来源：字节跳动论文《MegaScale: Scaling Large Language Model Training to More Than 10,000 GPUs》。

⁸ 案例来源：国资委官网。

为 37.8%-62.2%。此外，英伟达和英特尔今年都在公开场合多次强调了 AI 推理的重要性和巨大潜力，且英伟达 2024 财年 Q4 财报直接显示其数据中心 40% 的收入来自推理。可见，随着基础通用大模型市场趋于饱和，训练增长曲线逐渐放缓，大模型技术逐步进入融合赋能落地阶段，推理应用的智算需求可能比预期中的发展速度要更快。

大模型推理应用对智算基建的低成本性、实时性、稳定性提出更高要求。随着人工智能大模型逐步进入广泛投产模式，推理应用阶段对于单位算力的性价比、成本高度敏感。以 Sora 为例，据相关机构测算，基于扩散（diffusion-based）模型生产 1530 万到 3810 万分钟的视频后，在推理上花费的计算量将超过训练环节。此外，推理的使用场景多在产业一线，对于底层算力的所处的位置、端应用服务是否能够快速连接等要求比较高，这就要求算力供给主体具备海量的可扩缩容的高性能算力，并且这些算力能够稳定交付。应对不同的推理场景，智算基建在加速卡选型方面有针对性的方案。**针对大模型推理场景**，智算基建需要选用训练卡支撑推理，或部署训推一体机方案，根据推理工作负载的需求，动态调整算力资源，通过“削峰填谷”的方式，来实现推理算力资源的高效利用，实现智算资源的错峰利用。**针对实时性要求较高的小模型推理场景**，智算基建也需要选用训练卡支撑推理。**针对实时性要求较低的小模型推理场景**，智算基建选用推理卡支撑推理。

部分主体开始布局推理智算基建，通过建设推理集群满足区域或客户推理业务需求。四川电信下的云锦天府与立昂科技联合建设千卡

GPU 推理集群——云锦天府·立昂领算云平台，主要支撑大模型推理应用，能够有效适配数字人场景下的渲染、建模、自然语言识别和语音合成等需求，同时平台还满足云渲染、虚拟直播和三维建模的场景需求，支持 AI 制药、自动驾驶、基因测序和工业仿真等个性化算力定制。宜昌市点军区与燧原科技共建点军智算中心，一期 300P 的算力资源中，包含 250P 的推理算力以及 50P 的训练算力，训推算力比为 1:5，除了为大模型推理和微调任务提供算力支撑外，还为宜昌市智慧城市应用场景提供 AI 视频智能化解析，与智能摄像头等场景应用联动，同时为文旅、金融、科教等行业提供生成式 AI 服务。另外，该智算中心还将对接外省市的算力调度需求，实现异地异构算力跨省市对接，以支撑各省市、区域、行业的应用实践创新。

（三）区域智算基建布局综合考虑训练与推理需求

国内智算中心单体算力规模分为三个层次，与布局区域特点高度协同。目前智能算力主要分布和林格尔、贵阳、芜湖等国家算力枢纽节点，以及北京、上海、深圳等 AI 超一线城市，已布局不少单节点规模大于 1000PFLOPS 的大型算力中心，用于支撑通用基础大模型训练及高并发推理应用。人工智能发展基础较好的城市，布局 300 至 1000PFLOPS 规模的中型算力中心，可满足行业大模型对海量数据和复杂计算的需求。与此同时，各地市、区也在积极发展 40 至 300PFLOPS 规模的小规模算力中心，以适应本地不同行业和场景下的多样化计算需求，形成对大中型算力中心节点的有力补充。

从重点城市来看，我国已初步形成三级智能算力基建布局体系。

一是**核心区域**，以北京、上海、深圳为典型代表，智能算力基础设施基础扎实，人工智能产业应用方面拥有绝对的领先优势，可为全国需求地区输送智能算力能力与服务。二是**重点区域**，以武汉、广州、成都、南京、合肥等为典型代表，是国家算力枢纽节点或国家新一代人工智能创新发展试验区覆盖地区，以人工智能为主导产业并且经济基础良好，能够带动周边区域发展，满足周边区域智能算力需求。三是**活力区域**，以大连、沈阳、青岛、福州等为典型代表，具有一定人工智能基础或将人工智能产业作为重点发展方向积极推动的地区，先期建设主要满足本地智能化业务发展需求。

城市布局智算中心综合考虑区域内 AI 训练与推理需求。截至 2024 年 7 月底，我国地方国资公司主导投资建设的智算中心有 55 个，底层加速卡以华为昇腾智算为主，大部分智算中心首批规划建设算力峰值在 100-300PFLOPS（FP16）之间，平均智算规模为 150PFLOPS（FP16），可满足 AI4S、行业大模型、大模型微调及推理的算力需求。而基础大模型则需要更大规模的算力集群支撑。因此，核心区域城市聚焦人工智能大模型技术创新与产业创新，多布局大智算集群用以支撑通用基础大模型训练；重点区域城市聚焦人工智能应用技术创新与应用示范，多布局中型智算中心用以支撑行业模型训练与推理；活力区域城市聚焦人工智能应用赋能与数智化转型，布局智算中心用以支撑区域传统产业人工智能融合推理应用。沈阳人工智能计算中心联合本地高校、科研院所、头部企业等主体，积极投入开展行业模型研发，

在工业质检、化工工艺、网络安全、智能招聘、智慧医疗等领域均有创新应用。

（四）跨区域调度协同强力支撑智算基建供需对接

电信运营商智算基建跨区域调度能力较为突出。依托全国的智算布局体系，电信运营商自主研发算力调度平台，提供 IaaS、PaaS、TaaS 等多层次智算服务，全面推进智能算力一体化管控调度。中国移动打造“百川”算力并网平台，已接入社会算力近 5EFLOPS，和自有算力形成优势互补，总共具备超 10EFLOPS 的算力供给能力，同时依托移动云算网大脑，支持东数西算、智算超算、数据快递等 100 多种算网业务，实现日均调度东西部资源上千万次。中国联通推出“星罗”先进算力调度平台，结合全国 200+骨干云池及 AI 边缘一体机提供一键分发的“中训边推”服务，实现京津冀、大湾区、粤港澳等重点区域间毫秒级超低时延。中国电信推出算力互联互通平台“息壤”，单集群调度性能每秒超过 2000+实例，打造通智超一体化智算加速平台“云骁”与一站式智算服务平台“慧聚”。

地方层面多元异构算力互联互通调度平台持续涌现。安徽省算力统筹调度平台（长三角枢纽芜湖集群算力公共服务平台）承担省级算力统筹调度平台职能，集通算、智算、超算、量算“四算合一”，围绕“管、排、调、营、测”五位一体，构建资源管理、交易服务、编排调度、监控运维 4 大能力中心，是算力使用省级财政补助政策的唯一指定承载平台，已与沪苏浙地区相关平台实现互联互通。“东数西算”长三角算力调度中心承载了中国电信天翼云 4.0 算力分发网络平台-

“息壤”平台，已对接全国 100 多个算力资源池节点，支持智算、超算、通算等异构算力的统一接入、统一封装、统一调度，服务苏州 10 个产业集群、30 条产业链组成的“1030”体系。深圳市智慧城市算力统筹调度平台，通过标准化接口汇聚全市多元异构算力，通过算网大脑实现算力的弹性分配，提供具有公信力、安全性和普惠性的算力供给服务，实现超高可靠、极低时延、极速带宽、极高性能、绿色低碳的算力调度体系，预计 2024 年年底前调度规模达 30000PFLOPS。

为应对当前 AI 预训练超大模型对 AI 算力的巨量需求，智算资源跨区域协同研究正在同步推进。从发展规律看，为应对超大模型的算力巨量需求，主要是通过提升单体智算中心集群能力来实现，但构建(十)万卡集群技术难度高、投入成本极大。当前部分主体探索通过多智算中心资源协作，依托算网融合将离散的智算中心资源进行整合，构建跨区域跨主体互联的智算基础设施，共同协作支撑大模型训练。在跨区域智算基础设施互联协同中，时延是当前关键卡点，集群内节点高速互联时延在微秒级（服务器内部是纳秒级），但互联网骨干网平均时延在毫秒级。通信时延，使得在推进跨区域智算基础设施互联协同时，分布式并行训练面临严重的瓶颈，拉低整体训练性能。鹏城实验室研发了面向云际协同训练场景的深度学习统一训练框架，在算力共享、模型共享和大模型服务层面进行了探索和实验，支持在低带宽网络环境下，利用不同算力集群的异构算力进行大模型的跨云训练。

三、智算基础设施的能力要求

近年来大模型飞速发展，需要具有基于模型需求自顶向下一体化设计的、计算网络存储等跨域协同的智算基础设施来支撑，做到计算、通信、存储紧密交织耦合，支撑统一编程、统一开发、统一调度、统一管理，因此其能力要求也愈加严苛复杂。从行业实际需求来看，智算基础设施着重关注算力有效性、集群稳定性、绿色低碳性、服务易用性这四个能力要素。

（一）算力有效性是核心

智算基础设施的算力有效性，主要指集群算力利用率，其决定了智算基础设施最终的有效算力供给能力。模型计算利用率（MFU，Model FLOPS Utilization）是集群算力性能的核心指标之一，用于评估人工智能加速器在模型训练期间利用程度，它表示在模型训练期间实际使用的浮点运算数（FLOPS）与理论上可用的 FLOPS 之间的比率。高 MFU 表明加速器在模型训练中被充分利用。从业界实践调研结果看，智算基础设施算力有效性能普遍不高，达到 40-50% 属于较为优秀。部分主体在特定条件探索，可超过 50%。芯片存储量和片间互联带宽，二者共同决定了整个训练任务多久才能完成。在智算基础设施的构建过程中，要尽可能的降低 AI 加速卡协同过程中的算力损耗，从而提升集群整体的有效算力。高带宽存储、高速互连网络等技术用于解决智算基础设施推进分布式并行训练中的“存储墙”与“通信墙”，尽力提升智算集群算力利用率。

高速互联网络用于解决“通信墙”问题，涉及多卡互联与多机互联。芯片层面，单服务器内 chip-to-chip 互联场景。英特尔等牵头成立 CXL 联盟并最新推出 CXL 2.0-3.0 规范，用于 AI、高性能计算等场景中 CPU 与 GPU 等的互联。以英伟达为典型代表，专门设计用于点对点链路高速互联的网络方案 NVlink，实现 GPU to GPU 的高速连接。开放加速规范（OAM）由 OCP 下设的 OAI 小组推动制定，该标准主要用于指导 AI 硬件加速模块和系统设计。目前有燧原科技、壁仞科技、浪潮信息等 10 余家 OAI 小组成员已经陆续开发了 10 余种符合开放加速规范的 OAM 模块，提供高速的卡间互联。设备层面，推进多服务器节点间的多卡互联。当前 RDMA（远程直接数据存取）协议已成为大模型时代智算基础设施的底层通信技术，业内主要使用的是 Infiniband、RoCE（基于融合以太网的远程直接内存访问）。英伟达解决集群性能瓶颈的方式是引入 InfiniBand 网络，并将 C2C 场景下应用的 NVLink 延伸至设备间互联。依托构建基于 RDMA 的高速互联网络，国内厂商在构建智算集群方面正缩小与英伟达 Nvlink+IB 网络方案的差距，不过 RDMA 相关通信芯片存在卡脖子问题。华为创造性设计和建立了总线体系，以一种可扩展至数据中心规模的计算机总线，打破服务器物理边界，实现计算集群以一台计算机的方式完成数据中心的通信、资源管理和功能调用，另外华为昇腾 910 集成了 HCCS、PCIe4.0 和 RoCEv2 接口，为构建横向扩展（ScaleOut）和纵向扩展（ScaleUp）系统提供了灵活高效的方法。浪潮 SuperPod 集群采用低延迟、高带宽的 RDMA 网络，并针对并行训练算法的通信模

式进行组网拓扑优化，实现集群间任意 AI 芯片间的 RDMA 互联，消除混合并行算法的潜在通信瓶颈。

提高算力芯片的单片存储和片间带宽有利于提升计算效率，从而解决“存储墙”。单加速卡的内存无法加载千亿级参数大模型，往往需要上百张卡才可以支持。为破除存储墙，一般会引入流水线并行，将模型不同的层放到不同的节点的显卡内进行计算。提高算力芯片的单片存储有利于减少整体芯片数量，从而提高计算效率。大模型需要缓存上千亿的参数量，单个芯片的存储量越大，整个集群所需要的芯片数量就越少，传输时间就相应地会更低，从而更有利于提高整个集群的计算效率。在提高算力芯片的片间带宽方面，HBM(High Bandwidth Memory，高带宽内存)突破了内存容量与带宽瓶颈，被视为新一代 DRAM 解决方案。从技术角度看，HBM 促使 DRAM 从传统 2D 加速走向立体 3D，充分利用空间、缩小面积，契合半导体行业小型化、集成化的发展趋势。业界认为是 DRAM 通过存储器层次结构的多样化开辟一条新的道路，革命性提升 DRAM 的性能。

（二）集群稳定性是保障

AI 大模型训练面临智算基础设施稳定性、可用度挑战。大模型的训练过程比传统的分布式训练复杂，训练周期长达数月。而集群计算效率低、故障频发且处理复杂，会导致训练中断后不能及时恢复，从而会降低成功率，也会使训练成本居高不下。模型训练效率的保障需要硬件、系统、软件、驱动等各个部分的持续稳定运转，一旦出现问题，整个训练过程都将停摆。而集群是全机大应用，涉及器件数百

万/千万级，而单器件故障就会触发整体集群训练中断，大模型训练全流程时间较长，根因定位定界复杂。以 Meta 训练大模型的实践来看，大模型平均稳定的集群训练时长仅为 2.8 天左右，但处理故障的时间就需要 1 天起，极端情况可能达到 30 天，严重拉低大模型训练效率。

网络的可用性决定着智算基础设施算力的稳定性，网络故障引发的影响具有放大效应。在超大网络集群中，一个网络节点的故障或将影响数十个甚至更多计算节点连通性。故障时需要容错替换等方式处理故障，并重新排布提升效率。网络故障影响体现在以下几方面：首先网络故障域大。相比单点 GPU 故障只影响集群算力的千分之几，网络故障会影响数十个甚至更多 GPU 的连通性，只有网络稳定才能维持系统算力的完整性。其次网络性能波动影响大。相比单个低性能 GPU 或服务器容易被隔离，网络作为集群共享资源，性能波动会导致所有计算资源的利用率都受影响。在 AI 大模型场景下，网络故障收敛时间越长，算力损失越大，性能敏感业务体验也越差。然而可靠性再高的网络仍然不可避免出现链路级以及节点级的故障，网络规模越大，出现故障的概率越大。在大规模网络环境中，网络节点和链路数量激增的同时也带来了故障事件的增加。如何提升网络在故障场景中的收敛性能是当前网络亟待解决的问题之一。

国内 AI 头部厂商推出集群稳定性方案。华为昇腾 AI 计算集群推出计算网络存储协同优化技术，提升集群 MTTR（平均故障恢复时长），打造最佳断点续训。在算网协同方面，实现集合通信建链优化，缩短训练任务恢复时长；在算存协同方面，提供 NDS 算存直通技术，

实现数据免内存拷贝，同时提供异步 CKPT 技术，使得 Checkpoint 保存到计算内存后，训练任务马上可以继续，不用等待 CKPT 写入存储过程，从而有效减小 CKPT 保存过程中训练中断的时间，有效缩短训练任务恢复时长。以昇腾芯片和昇思框架构建的 AI 集群在 2048 卡规模训练 2000 亿参数盘古大模型时，在非故障停机前连续稳定训练 25 天。浪潮信息推出大模型智算软件栈 OGAI，软件栈调度平台层 AIStation 针对大模型训练中常见的训练中断难题，能够做到训练异常快速定位，断点自动续训。利用 AIStation 内置的监控全面的监控系统和智能运维模块，可以快速定位芯片、网卡、通讯设备异常或故障。摩尔线程夸娥千卡集群支持长时间连续稳定运行，支持大规模 AI 分布式训练下全栈稳定性诊断与性能分析，结合断点续训，以及高性能网络和存储，异步检查点（Checkpoint）读写少于 2 分钟，大幅提升集群算力利用率和有效训练时长。

（三）绿色低碳性是前提

智算中心自身能耗和碳排放将带来不小挑战，当前最为先进的智算基础设施单柜能耗已达 50+kw。超大规模预训练模型的出现和快速迭代，智算基础设施的电力成本和设备成本均显著增加。据相关智库测算，使用英伟达 GPU 集群组成的微软超算数据中心的训练一次 GPT-3 模型消耗的电量约为 19 万度，按照全国电力平均二氧化碳排放因子 0.5568kg CO₂/kWh⁹ 计算，相当于间接排放二氧化碳 105,792kg。大型智算基础设施耗电量更是惊人。以 10 万 GPU 集群为例，功率超

⁹ 数据来源：2024 年 4 月《生态环境部、国家统计局关于发布 2021 年电力二氧化碳排放因子的公告》。

过 150MW，一年的耗电量近 16 亿度。此外，据 Llama 3 团队公开信息显示，训练过程中一大挑战就是电力，数万张 GPU 卡同时高负荷运行会给数据中心电力带来极强的压力，有时候其电力需求甚至高达数十兆瓦，超出了电网的极限。

推进部署高集成性智算液冷整机柜，是当前智算基础设施应对高能耗的先进解决方案之一。智算基础设施正规规模化、产品化引入高集成性液冷集群方案，在液冷总线、电源总线、网络总线方面实现能耗节约。液冷总线方面，高集成性智算液冷整机柜可实现数字化控制、按需制冷、盲插高可靠，能够缩短液冷硬件交付周期 75%以上，安装时间从 2 周缩短至 3 天，整柜功耗降低 10%。电源总线方面，实现全局池化爆发供电，超高电源转换效率，能够减少业务峰值配电需求 20% 以下，提升市电利用率 20%以上，系统电源转化效率达 97%。网络总线方面，实现分层解耦，可支持标准交换机，柜内 100%免光模块，机柜内互联成本降低 90%，整柜功耗降低 3%，网络部署时间缩短 87.5%，单柜部署由 8 小时降至 1 小时。不过，液冷部署和运维也面临着冷量按需供给的精确液冷挑战，基础设施改造升级的工程化部署挑战，以及机房系统整体的高可靠挑战。

构建智能化能耗管控平台，实现自动化按需制冷，也是智算基础设施推进低碳减排的重要手段。部分智算中心建立了运行数据实时采集、分析与控制平台，利用人工智能技术优化温控供电模式，实现智能化精确制冷，推动制冷耗电量下降 8%~15%，从而保障智算中心的安全稳定与低碳运行。通过构建 AI 能耗管控平台，融合末端空调按

需自动调控技术和冷冻水系统多点自动联控技术，通过海量数据采集、AI 模型训练、AI 数据推理、实时评估等手段，对 IT 设备、基础设施跨域联动，诊断高能耗原因，输出调优方案，确保能效最大化。浪潮推出算力基础设施 AI 能耗管控平台，以机房空调节能为例，依托 7 类数据模型和 6 大 AI 核心能力，全面感知环境变化、精细采集电量走势、孪生仿真机房温场，综合考虑室内外环境、IT 负荷、空调输出等实时状况构建“一房一策”，解决机房制冷过剩和温湿度控制难等问题，实现制冷量“精准够用”。

（四）服务易用性是亮点

智算基础设施提供云化服务趋势明显。云化服务是智算基础设施能力触达广大中小企业及个人开发者的重要渠道，智算云服务平台需要与下层智算基础设施形成强耦合协同关联。云化服务下，用户可以随时随地进行计算资源的访问和应用，无需进行高额的硬件投入或维护。这大大降低了 AI 技术的使用门槛，使更多的企业和开发者能够享受到智能算力的便利。云化服务平台作为用户和智算基础设施之间的桥梁，需要将上层的需求和下层的资源紧密结合。平台应通过与下层智算基础设施的深度集成和优化，实现资源的动态调度和管理，为用户提供高效、稳定、安全的计算服务。云化服务，轻量级的硬件部署，是智算基础设施提供服务的重要发展方向。

全栈式技术能力是智算基础设施生态构建的基础。智算基础设施应构筑全栈技术能力，方便用户使用智能算力，全栈生态服务是智算基础设施能否为用户提供优质 AI 服务的重要标志之一。全栈生态服

务包括从数据采集、数据处理、模型训练到模型部署和推理的全过程。为了提供全栈生态服务，需要打造一个涵盖硬件、软件、算法、数据等各个方面的生态系统。这样可以确保用户能够获得一站式的服务支持，从而提高开发效率、减少开发成本。全栈式的服务可以扩展潜在客户的范围，也能够增加服务客户的深度，从而增加客户粘性。

普惠泛在的智算服务是智算基础设施服务发展趋势。AI 大模型以“大规模预训练+微调”为主，前期预训练工作量大，且需要高性能大算力 AI 芯片支撑，算力需求呈现周期性，后期推理算力对芯片计算能力要求相对较低。智算中心的算法模型、AI 架构定制化程度高，其他场景难以复用。据 IDC 调研，超过 80% 的受访组织表示会考虑购买预先训练好的人工智能模型，但未来 2-3 年私有化部署仍将是整个智算市场的主流。由于当前国内高性能芯片受限、智能算力建设及使用门槛高等原因，借助平台调度实现算力错峰使用，并整合数据集、组件、算法模型提供平台级服务，可实现全社会算力服务普适、普惠和高效利用，因此成为业界运营智算中心的趋势。

四、智算基础设施的赋能模式

作为关键环节与核心底座，以智算中心为代表的智能算力基础设施，在 AI 落地破局与赋能新型工业化进程中，被赋予更重要的定位。目前国内一批智算基础设施积极探索运营赋能新模式，涌现出一批卓有成效的赋能落地案例。

（一）产研合作行业大模型

部分智算基础设施将创新重心放在“AI for Science”，积极联合科研院所与头部 AI 厂商，深度参与行业大模型应用创新，输出智算资源、算法资源、研发资源等，开展行业大模型的研发，并着力推进产业化落地。大连人工智能计算中心联合中国科学院大连化学物理研究所、华为，共同研发了智能化工大模型。该大模型可开展化工知识的快速检索及化工流程工艺的自主设计和优化，实现甲醇制丙烯 (DMTP) 等工艺过程的反应动力学自动生成，缩短化工工艺流程的研发周期，推动实验室成果快速走向商用。在研发过程中，大连人工智能计算中心不仅提供 20P 训练算力维持 7 个月训练，还整合大连理工大学软件学院算法资源进行模型训练调优处理，提升模型训练效率，更是积极组织化工场景相关企业进行供需对接，助力模型产业化落地。西安人工智能计算中心已共同推出西安电子科技大学“秦岭·西电遥感脑大模型”、西北工业大学“秦岭·翱翔流体力学大模型”等多个大模型，联合西北工业大学成立陕西省智能流体力学重点实验室，与上海商飞、深圳比亚迪、第一飞机设计院等头部企业合作，持续推进智能流体力学产业落地。

（二）龙头引领联合创新

部分智算基础设施牵头整合 AI 创新全要素资源，囊括算力、模型、算法、数据、场景等核心要素，联合相关领域核心科研机构、高校以及产业链上下游企业等共同发起成立人工智能全要素创新联合体，推动 AI 技术突破和应用普及，加快人工智能赋能新型工业化建

设。阿里云、华为云、腾讯云、百度云、京东云等云计算大厂均已经推出了 MaaS 服务，该模式的出现为云厂商提供了新的增长空间，同时，基于数据训练模型，让行业客户、开发者和 ISV 等角色都聚拢在一起协同创新，降低成本，加速了云厂商自身的生态构建，为自身大模型落地提供更强的配套支撑。广州人工智能计算中心联合广州数据集团、华为、中国移动、中国信通院规划所等主体，以及低空经济、医疗、家居等行业龙头企业伙伴，共同成立了广州人工智能算力及应用创新联合体，将协作研究 AI+行业应用全要素创新联合体创新范式、工作框架及保障机制，着力推进低空经济、医疗、家居、教育等领域 AI 应用落地。武汉人工智能计算中心依托中科院“紫东太初”大模型，在武汉成立多模态人工智能产业联合体，吸引近百家企业，已在智能制造、智慧城市、智慧文旅等数十个行业中孵化出近 60 个创新应用，产生了极强的产业集聚效应。

（三）央企示范应用发展

部分智算基础设施着力面向央企主体支持全栈 AI 应用发展，积极响应国资委“人工智能+”专项行动要求，依托智能计算基础软硬件方案，推进央企主体 AI 应用全栈方案部署，确保性能先进与自主可控。沈阳人工智能计算中心底座均采用自主创新的基础软硬件平台搭建，助力企业、高校、科研院所进行信创转型适配，支持中煤科工集团机器人科技有限公司借助国产化机器人软硬件平台，打造 AI 智能机器人，完成首款昇腾 AI 智能矿用机器人的研发，2023 年完成首款昇腾 AI 智能机器人及固定场景视觉识别解决方案的产品发布。

该机器人搭载昇腾 Atlas 500 Pro 硬件，在实现安全可靠的同时达到更高的能效比和计算性能。目前，该项目已在内蒙古寸草塔煤矿等矿井实现落地使用。

（四）超智融合算力生态

部分智算基础设施以智能超算中心的模式进行赋能，可同时提供智能计算和高性能计算两种技术路线的算力服务，在社会治理、科学研究、生产制造、智能感知、区域治理等方面，都具有更高的算力适配和算法匹配优势，并延伸更为广阔的应用场景及便捷服务。宁波人工智能超算中心将智算与超算融合建设，大大的提升了覆盖应用场景的广泛性，减少了建设成本，并为同一家单位或同一个任务对两种类型算力的需求提供了更多的可能性，也为未来探索从底层技术架构实现融合发展奠定了基础。宁波大学信息学院研发团队使用智算、超算算力进行“风华·苍鹭”视频理解大模型研发训练等，通过借助超算资源实现了计算能力的大幅提升，加快了模型的迭代优化速度。北航宁波创新研究院科研团队将智算、超算引入飞行器气体燃料模拟中，计算速度比传统详细机理计算方法快 25 倍，比传统超算中心提速两三倍。

五、发展建议

从产业实践看，我国智算基础设施发展仍面临着不少问题。布局方面，地方层面智算基础设施建设运营主体繁多，发展定位不够清晰。能力方面，现有智算基建底层支撑能力不够扎实、技术创新能力不够突出、运营保障能力不够全面，且缺乏统一的赋能能力引导规范。赋

能模式方面，当前智算基建提供的服务普遍较为浅层，数据、算法、场景等要素聚合不足、协同度不够，使得智算基建难以有效释放自身优势。因此亟需有序引导，推进智算基础设施科学赋能。

（一）投资布局要分类引导，分级建设

基础通用大模型的训练推理，需要大规模智算集群的支撑，技术门槛高、投资规模大。目前我国只有国家层面统筹推进或互联网大厂自身具备相应的技术能力与算力资源，因此对于基础通用大模型发展应当政策引导有序建设。支持头部厂商与先进地区共同投入，面向基础通用大模型，打造并授牌3-5个国家级超大规模智算中心。同时，鼓励头部智算集群推进跨域资源互联协同研发，持续开展通用基础大模型训练场景验证。

行业大模型研发及落地赋能，技术门槛略低，个性化程度高，适宜作为地方智算基建的主攻方向。对于地方政府主导建设的智算中心，目前以单体算力规模的中小型的智算中心为主，应将发展重点放在行业模型相关的业务领域。要做好智能算力资源的统筹，重点聚焦合规性管控和集约化建设，把握好节奏，避免“一窝蜂”导致大量算力的浪费。

（二）服务能力要标准先行，强化引导

重视智算基础设施建设运营的标准化规范化。行业层面应强化标准规范体系建设，推出智算基础设施赋能能力引导性规范。引导地方政府以及金融、通信、能源等行业用户关注智算基础设施核心能力指标，重点关注算力有效性、集群稳定性、绿色低碳性与服务易用性。

以四个核心能力为主体推进智算基础设施相关的行业标准的制定，为算力协同、算网融合等做好准备。

持续推进智算基础设施能力体系构建与完善。围绕底层支撑能力、技术创新能力、运营保障能力，细化智算基建的能力评估指标，丰富指标维度。引导业界对齐智算基础设施算力有效性认知，并明确技术差距，包括单卡性能、芯片互联、服务器互联等。积极引导市场应用绿色低碳智能算力。

（三）要素资源要联合创新，直击场景

支持智算基础设施运营方牵头 AI 全要素联合创新，鼓励多种模式探索组建人工智能全要素创新联合体。面对 AI 系统创新，要充分发挥企业科技创新主体作用，重点支持领军企业牵头、创新平台支撑、任务场景驱动三种组建模式，打造央企国企、民营企业、高校及科研院所等广泛参与的，融合 AI 全要素环节的创新联合体。

鼓励先进省市先行先试，组建智算基建全要素创新组织。优先支持区域内智算基建运营主体，与有较好数据基础的行业龙头企业、场景需求方、专业数据服务商、软件解决方案服务商合作，组建智算基建全要素创新组织，协同推进区域内行业大模型构建与落地。

中国信息通信研究院 产业与规划研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-68021375

传真：010-68033959

网址：www.caict.ac.cn

