

云计算白皮书

(2023 年)

中国信息通信研究院

2023年7月

版权声明

本白皮书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白皮书文字或者观点的，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

党的二十大报告提出，要构建新一代信息技术等一批新的增长引擎，打造具有国际竞争力的数字产业集群。云计算是信息技术发展和服务模式创新的集中体现，是信息化发展的重大变革和必然趋势，是信息时代国际竞争的制高点和经济发展新动能的助燃剂。云计算引发了软件开发部署模式的创新，成为承载各类应用的关键基础设施，并为大数据、物联网、人工智能等新兴领域的发展提供基础支撑。加快推动云计算创新发展，顺应新一轮科技革命和产业变革趋势，是推进中国式现代化进程的关键。

过去一年，全球和我国云计算产业保持快速发展，并呈现出以下特点：

一是云计算战略价值在全球范围内持续提升。美国继“云优先”（Cloud First）、“云敏捷”（Cloud Smart）之后，又出台多个战略文件，将云计算应用至相关领域，并明确提出通过云战略获取全球优势，以确保其在经济、军事、科技等领域的领先地位。欧洲、亚洲等主要国家纷纷发布国家战略或计划，推动云计算在各行业的应用布局，深度挖掘云计算产业价值。我国政策指引云计算应用创新，持续推动云计算与实体经济融合走深。

二是全球云计算市场稳定增长，我国保持快速发展。2022 年，全球云计算市场规模为 4,910 亿美元，增速 19%，预计在大模型、算力等需求刺激下，市场仍将保持稳定增长，到 2026 年全球云计算

市场将突破万亿美元。2022 年，我国云计算市场规模达 4,550 亿元，较 2021 年增长 40.91%。相比于全球 19% 的增速，我国云计算市场仍处于快速发展期，预计 2025 年我国云计算整体市场规模将超万亿元。

三是云计算产业环境日益激烈，新一轮竞争全面开启。全球各国将云计算看作抢占新一轮科技革命制高点的关键环节。云计算巨头厂商在全球化布局基础上，纷纷调整发展重心，并聚焦热点区域、热点领域和热点方向，试图在市场上抢得先机。

四是云计算技术不断推陈出新，助力产业高质量发展。随着上云进程持续加深，企业需求逐步向用云转移，效率、性能、安全等成为用户关注点，应用现代化、一云多芯、平台工程、云成本优化、系统稳定性、云原生安全等新技术层出不穷，满足用户多样性场景需求，助力产业数字化升级。

在此背景下，中国信息通信研究院继《云计算白皮书（2012 年）》之后第 9 次发布云计算白皮书。本白皮书聚焦过去一年多来云计算产业的新发展新变化，总结梳理国内外云计算政策、市场、技术、应用等方面的发展特点，并对未来发展进行展望。

目 录

一、全球云计算发展概述	1
（一）各国加速推进云计算战略，聚焦云计算赋能行业价值	1
（二）云市场进入稳定增长阶段，行业巨头进一步扩大领先优势	3
（三）云计算产业竞争全面升级，云服务商开启新一轮角逐	5
二、我国云计算发展概述	9
（一）国家政策指引云计算创新发展，地方积极推进企业上云用云	9
（二）云计算市场处于快速增长阶段，运营商引领新一轮市场增长	12
（三）云计算技术不断推陈出新，满足多样性场景需求助力产业升级	15
（四）行业上云用云呈阶梯状分布，中小企业成影响上云进程关键	22
三、云计算正向数字世界操作系统转变	26
（一）数字应用方式与算力资源供给的变革，推动云计算作用转变	26
（二）云计算管理方式不断革新，向下定义算力资源使用新方式	27
（三）云计算持续发挥创新孵化效用，向上定义数字应用新界面	30
四、云计算加速催生算力服务新范式	32
（一）架构方面，云计算支撑算力服务以数据为中心	32
（二）功能方面，云计算持续驱动算力服务创新发展	34
（三）模式方面，云计算重构算力服务供需新模式	35
五、总结与展望	37

图 目 录

图 1 全球云计算市场规模及增速（亿美元）	3
图 2 2022 年全球各区域云计算市场规模占比	4
图 3 2022 年全球主要厂商的云计算业务营收（亿美元）	5
图 4 中国云计算市场规模及增速（亿元）	13
图 5 中国云计算细分领域市场规模及增速（亿元）	14
图 6 2022 年中国公有云 IaaS 厂商市场占比	15
图 7 应用现代化架构图	16

表 目 录

表 1 2022-2023 年中国部分省市云计算相关政策	11
------------------------------------	----

一、全球云计算发展概述

（一）各国加速推进云计算战略，聚焦云计算赋能行业价值

美国继“云优先”（Cloud First）、“云敏捷”（Cloud Smart）之后，又出台多个战略文件，将云计算应用至相关领域，旨在确保其在经济、军事、科技等方面的领先地位。2021 年 5 月，美国国防部公布美国本土以外（OCONUS）的战术边缘云战略，明确提出将通过云战略获取全球优势。美国国立卫生研究院（NIH）表示将在 2023 年实施新的数据管理政策，促进更多的研究人员使用云计算。此外，美国在 2022 年 9 月发布了《国家竞争力面临的十年中期挑战》，其中提到通过发展云计算等高新科技，健全数字基础设施，以扩大其在经济、军事、科技等方面的竞争优势。

欧盟强调数字主权发展，发布一系列计划和准则，在主权云、可信化监管等方面进行了重点部署。欧盟高度重视云计算行业发展，鼓励成员国政府部门率先使用云计算，在公共服务部门推广云服务，带动云计算产业发展。2020 年 7 月，欧盟基于“欧洲云”概念，提出 GAIA-X 云计划，旨在通过保证透明度、安全性和隐私性来增加云服务的可信度。2021 年 5 月，欧盟通过了《欧盟云行为准则》，为云服务商如何遵守欧盟的隐私法规提供了详细指导。2021 年 5 月，法国政府发布《国家云战略》，通过促进和支持对主权云服务的访问来帮助公共和私营部门进行数字化转型。该战略基于三大支柱：“可

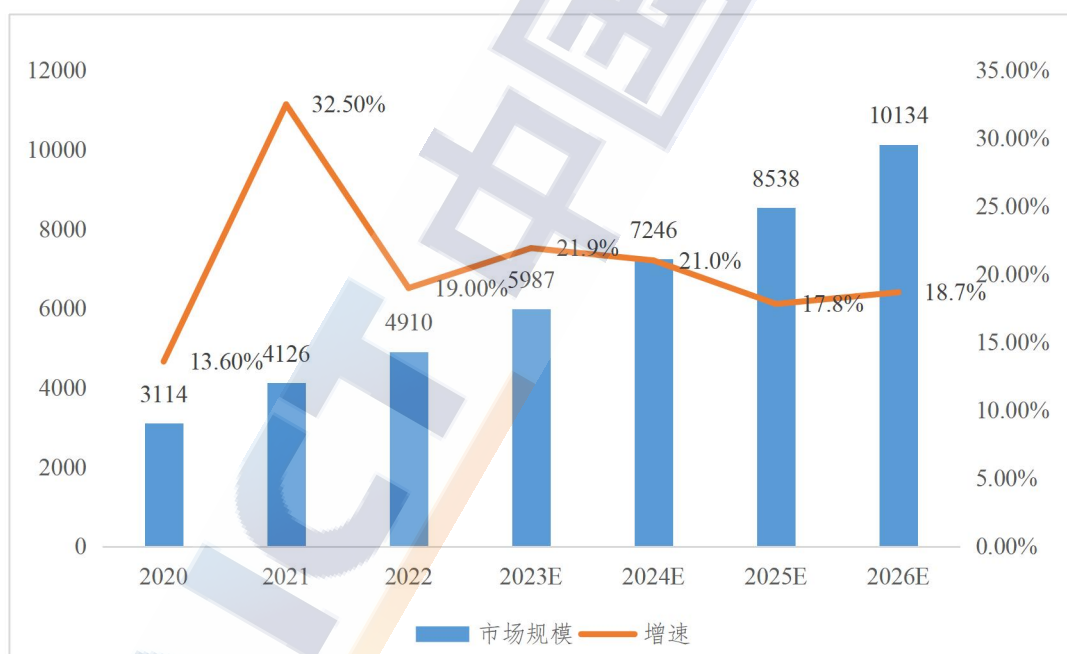
信云”认证、“云中心”政策和工业战略。2021 年 6 月，意大利政府宣布了云计算的国家战略，创建存储所有公共部门应用程序和公民数据的国家级云计算系统，并将相关数据向“国家云”转移。

英国和澳大利亚政府发布国家战略，深度挖掘云计算的产业赋能价值。在政府云战略（G-Cloud）基础上，英国国防部在 2023 年 2 月又发布了《国防云战略路线图》，该路线图明确定义了到 2025 年的云愿景和战略成果，提供了建立国防云的实施路径，大力推动云计算在英国国防现代化转型变革中的应用与扩展，明确了云是实现国防数字骨干和数据战略的关键推动因素。澳大利亚明确云计算是推进产业数字化转型的必由之路，在 2021 年 12 月份先后更新和发布了其“数字政府”战略和首个《2023-2025 年数据战略》，将通过统一的云计算架构和基础设施提升数据应用价值和安全性。

日本发布多个计划，积极推动云计算在政务领域的深度应用。日本政府于 2021 年 9 月份成立数字厅，同年 10 月开始导入政府云服务，计划于 2025 年之前构建所有中央机关和地方自治团体能共享行政数据的云服务，2026 年 3 月份前实现全国各市町村的基础设施与云服务互联互通。2022 年 12 月，日本政府将云应用程序确定为经济安全的 11 个关键领域之一，其工业部留出了 200 亿日元预算用于与云有关的研究和推进活动。

（二）云市场进入稳定增长阶段，行业巨头进一步扩大领先优势

从整体来看，全球云计算市场规模增速放缓。Gartner 数据显示¹，2022 年以 IaaS、PaaS、SaaS 为代表的全球云计算市场规模为 4,910 亿美元，增速 19%，较 2021 年同比下降 13.5%。虽然受通胀压力和宏观经济下行的双重影响，2022 年云计算市场增速下降明显，但对比全球整体经济仅 3.4% 的增长，云计算仍然是新技术融合和业态发展的重要手段。预计在大模型、算力等需求刺激下，市场仍将保持稳定增长，到 2026 年全球云计算市场将突破万亿美元。

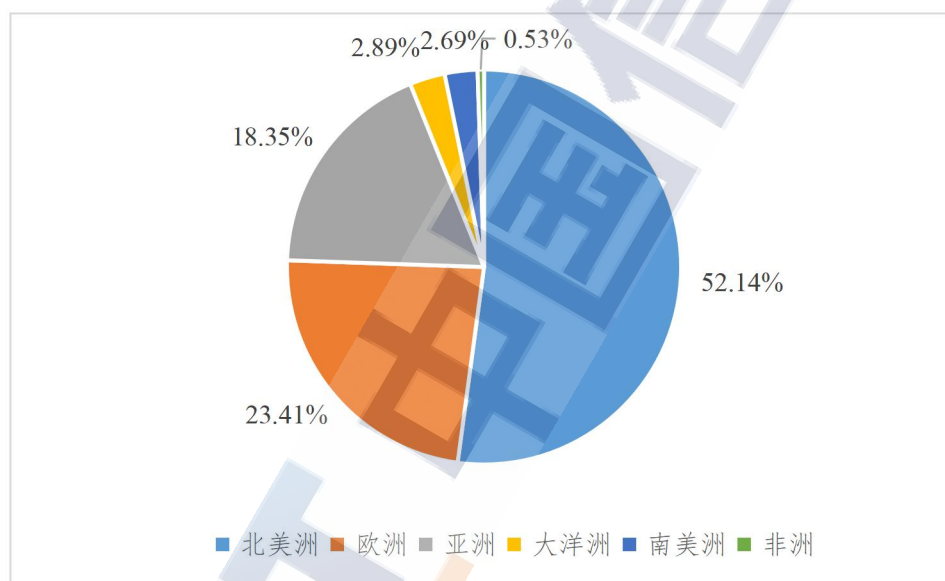


来源：Gartner，2023 年 4 月

图 1 全球云计算市场规模及增速（亿美元）

¹ 《Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud End-User Spending to Reach Nearly \$600 Billion in 2023》，Gartner，2023 年 4 月

从区域层面来看，全球云计算发展呈现“一超多强”态势。2022 年，北美洲占据了全球 52.14% 的公有云市场规模，较 2021 年增长 20.4%。欧洲、亚洲位列市场占比二三位，分别为 23.41%、18.35%。大洋洲、南美洲、非洲均处于“云发展中”，三大洲占比总和仅 6.1%。得益于东南亚地区可用区数量不断增长以及核心云计算技术发展迅速，亚洲市场增速超 30% 达到欧洲的两倍，将成为全球云计算市场竞争的下一个主战场。

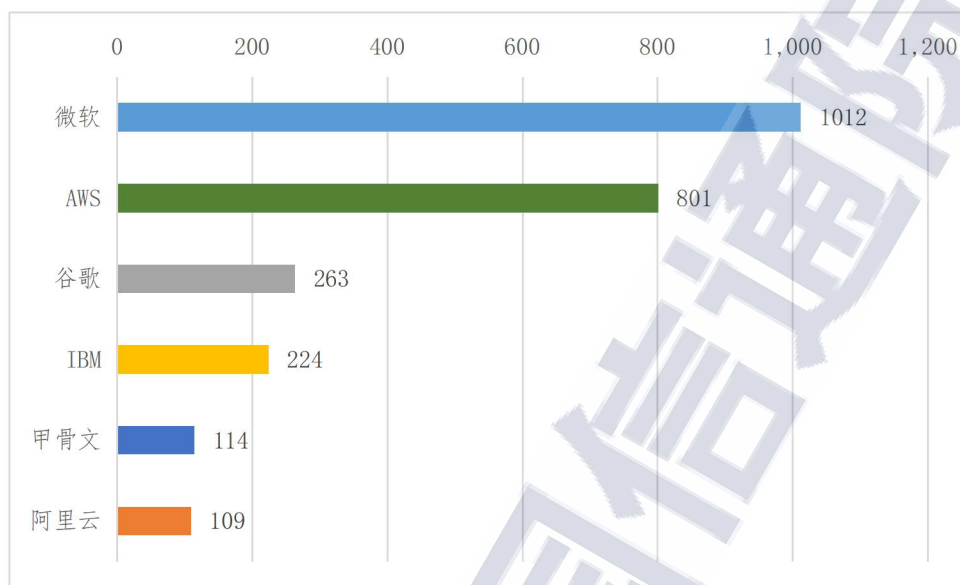


来源：Gartner，2023 年 4 月

图 2 2022 年全球各区域云计算市场规模占比

从厂商层面来看，云计算巨头借助云+AI 等技术优势不断扩大领先地位。AWS、微软凭借投入时间早、地区布局广、云+AI 等技术优势，长期稳居全球云计算市场第一梯队。两家巨头厂商在体量很大的情况下，仍保持快速增长。财报数据显示，2022 年 AWS 和微软营收分别达到 801 亿美元、1012 亿美元，同比增长均超过 25%。

相反，处于第二梯队的谷歌、IBM、阿里云并没有维持住前几年高速增长的气势，与第一梯队的差距被拉大。



来源：公开资料整理

图 3 2022 年全球主要厂商的云计算业务营收（亿美元）

（三）云计算产业竞争全面升级，云服务商开启新一轮角逐

产业布局方面，亚太地区成为全球云服务商争夺的新焦点。经过十余年的发展，美国和欧洲的云计算市场已趋于成熟，根据麦肯锡等研究机构的数据，目前美国企业上云率达到 85% 以上，欧盟企业上云率也在 70% 左右。亚太地区虽然目前整体上云率不高，但在政策推动和数字化转型的作用下，云服务市场潜力巨大。从需求侧来看，2022 年亚太地区的云服务支出已占 IT 以及商业服务支出的 84% 以上，是全球所有地区中最高的。以印度为例，2022 年其云支出增长了近 22%，与欧洲地区几乎持平。同时，印度有 91% 的基础

设施决策者已至少使用一种云部署模型，有 46% 的应用程序项目已部署在云上，预计 2023 年这一比例将上涨到 58%。从供给侧来看，目前，AWS、微软、谷歌等云服务商均有 1/3 以上的可用区部署在亚太地区。以 AWS 为例，其在印度、新加坡、澳大利亚、日韩等地已建设 40 余个可用区，并计划在东南亚、新西兰等地再新建 12 个可用区，建成之后亚太地区的可用区占全球比例将超 50%。

服务能力方面，效率和性能成为云服务商竞争的新手段。随着用云程度持续加深，用户对云服务的要求从能用转变为好用，促使云服务商更加关注优质云能力的供给。**一是更注重敏捷迭代，提升效率。**用户对加速创新，缩短研发周期，提高迭代效率的需求日益增大，以 Serverless（服务器无感知）、低/无代码为代表的技术能够屏蔽复杂的底层基础设施，让用户以最低学习成本、最小使用代价最大化释放云的生产力，实现快速创新。AWS 贯彻全面 Serverless 化战略，提供计算、存储、数据库等全领域的 Serverless 服务。微软发力低/无代码领域，其发布的 Power Platform 已经与 Office 365、Dynamics 365 以及 Azure 三大生态充分打通，形成完整的技术生态。**二是更注重软硬协同，优化性能。**在算力多样化、节点高密化、载体细粒度化等诉求下，底层硬件在云计算的驱动下也因云而变。2022 年 6 月，阿里云发布 CIPU（Cloud infrastructure Processing Units，云基础设施处理器），其是一套全新的计算架构体系，能够在通用计算、大数据、人工智能等场景中展现更好的性能。2022 年 12 月，AWS

发布第五代虚拟化芯片 Amazon Nitro v5 为云服务提供底层支持，应用程序可获得与运行在裸金属服务器上相近的性能。三是更注重跨域融合，创新发展。传统业务模式不断创新，需要先进数字技术持续交织发展放大赋能效用，以满足多样化用户群体的个性需求。云计算充分发挥数字基础设施作用，全球厂商正积极基于云底座提供全新的大数据、区块链、人工智能服务。2022 年谷歌提出开放、可扩展的“数据云”愿景，构建信息统一化的“数据云”平台。百度智能云践行“云智一体”发展路线，充分结合 AI 能力与自身云基础设施能力，发布全栈自研的 AI 大底座。

安全防护方面，云原生安全成为厂商抢占市场的新赛道。近年来，云原生采纳率大幅攀升，据 Gartner 预测，到 2025 年超过 95% 的应用将会采用云原生技术。与此同时，用户对云原生安全的需求日渐加强，各大厂商建设重心向高效、灵活、全面的云原生安全转变。云厂商方面，大力发展云原生安全能力保障云上安全。云原生的微服务架构、容器化部署等特性对传统安全提出了新的挑战，为保障云上安全，AWS、微软、阿里云等头部云厂商积极布局云原生安全体系，完善云原生安全能力。目前，AWS 已上线 Amazon Inspector、AWS Security Hub 等云原生安全产品，并持续在 AWS WAF、AWS Guard Duty 等产品中部署云原生安全组件；微软推出 Microsoft Defender for cloud 并持续更新云原生安全组件，为云原生安全提供一体化保护平台；阿里云上线云安全中心、Web 应用防火墙等多个

云原生安全服务。安全厂商方面，多维度聚焦云原生安全产品建设。随着云原生安全市场的扩张，传统安全厂商开始大规模转向云原生安全产品建设，云原生安全初创厂商不断涌现。Palo Alto 目前已部署基于 Prisma Cloud 的全方位云原生安全产品；Trend Micro 在容器防护、API 安全等领域推出了 Cloud One、Deep Security 等产品；Fortinet 推出整套云原生保护策略，包含云原生安全态势管理、DevSecOps、云原生防火墙等。初创安全厂商 Lacework 凭借其在云原生应用保护、容器安全等领域的云原生安全产品，已获得近 20 亿美元风险投资。此外，在素有“全球网络风向标”之称的 RSAC 沙盒大赛十强中，近两年涌现出多家云原生安全初创厂商，引起了业界的广泛关注。

生态建设方面，合作伙伴成为云服务商扩大市场的新方式。合作伙伴作为连接云厂商与企业的桥梁，是云厂商长期稳定发展的保障。过去一年，全球主流云服务商积极汇聚伙伴生态、变革伙伴合作模式、坚持伙伴优先战略，合作伙伴生态被提升到新高度。一是云服务商关注到上云企业对 ISV 等合作伙伴依赖突出，通过“赢得伙伴”的战略赢得市场。随着数字化转型进入深水区，企业上云着重于把数字技术与企业业务、运营、管理等深入结合，获得端到端的解决方案和服务，这离不开细分领域解决方案提供商的深度支持。AWS 推出全新合作伙伴计划，谷歌云公布八大合作战略以加强合作伙伴的布局。二是云服务商加强合作伙伴认证与培训，通过汇聚生

态进而赢得市场。AWS 提出“ISV 加速赢计划 2.0”，关注 ISV 面向企业应用的全链交付能力；微软全新推出 MCPP（微软云合作伙伴计划）取代 MPN（微软合作伙伴网络），重新定义六大技术领域认证，对合作伙伴业务和服务能力全面评估。三是云合作伙伴拓展服务边界，云服务商更加关注全栈生态伙伴。单一化的能力难以满足企业客户多元的云化需要，云合作伙伴开始兼任渠道分销、ISV、技术伙伴等多重身份，创新求变，发展自身差异化优势。在原有赛道之外，发展出新的增长潜能。

二、我国云计算发展概述

（一）国家政策指引云计算创新发展，地方积极推进企业上云用云

随着数字化转型进程的深入，数字经济已逐渐发展成为国民经济增长的重要驱动力，数字中国建设上升为国家重要战略目标。过去一年，国家及地方政府陆续出台了一系列数字产业相关政策，云计算作为新兴数字产业之一，为数字经济发展提供强有力的基础支撑，成为“十四五”期间重点发展产业之一。

国家层面，政策指引云计算应用创新，全面推动信息产业融合发展。2022 年 10 月，党的二十大报告强调，推动战略性新兴产业融合集群发展，构建新一代信息技术等一批新的增长引擎。云计算作为新型数字基础设施，已成为新一代信息技术的核心引擎。2022 年 12 月，国务院发布《扩大内需战略规划纲要（2022-2035 年）》，提出

要加快建设信息基础设施，推动云计算广泛、深度应用，促进“云、网、端”资源要素相互融合、智能配置。2023 年 1 月，工业和信息化部等六部门出台《关于推动能源电子产业发展的指导意见》，明确指出要加快云计算技术推广应用。2023 年 4 月，工业和信息化部等八部门发布《关于推进 IPv6 技术演进和应用创新发展的实施意见》，鼓励推动 IPv6 与云计算等技术的融合创新，促进云计算和网络协同发展。

地方层面，各地结合上云用云现状，持续推动云计算与实体经济融合走深。为推动实体经济数字化转型和创新发展，各省市根据自己的上云用云情况，纷纷出台了适用地方发展的相关政策，如北京市、重庆市均明确加快云计算在制造行业的应用创新，加快实体企业数字化转型进程；江苏省和上海市鼓励利用云计算推动跨境电子商务等数字贸易，促进国际贸易的增长；浙江省提出利用云计算为直播平台等企业赋能，发展数字文娱产业；广东省鼓励推动云计算与各行业融合，催生产业新形态，创新经营新模式。此外，为落地实施国家云计算发展战略，进一步推进云计算在企业的渗透率，各省市还出台了相应的激励政策，在资金方面为企业上云提供支持。例如，北京、上海、深圳等地企业购买云服务后，政府按合同金额或上云费用进行一定比例的消费券或资金补贴；浙江、四川等则采用对优秀上云企业直接发放不同级别资金的方式进行奖励。

表 1 2022-2023 年中国部分省市云计算相关政策

省市	时间	相关政策	重点内容
北京	2023.3	《2023 年北京市支持中小企业发展资金实施指南》	对“专精特新”中小企业上云上平台项目,且验收合格的合同额累计超过 10 万元(含),按照不超过合同额的 30%,给予最高 30 万元的补助。
	2023.2	《北京市推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见》	加快云计算等新一代信息技术在制造业、服务业的创新应用,培育一批智能经济新业态等。
上海	2023.5	《上海市助力中小微企业稳增长调结构强能力若干措施》	加强平台服务赋能。推动 25 万家中小企业上平台上云。对中小企业与数字化服务商签订的服务合同给予不超过合同金额 30%的支持。
	2022.6	《上海市数字经济发展“十四五”规划》	培育数据新要素,推动形成数字贸易引领优势,大力发展云服务、数字服务、跨境电子商务等数字贸易;提升数字新基建,大力发展云原生产业。
广东 (深圳)	2023.5	《深圳经济特区质量条例》	推动移动互联、大数据、云计算、物联网等与各行各业相融合,催生产业新形态,创新经营新模式。
	2023.4	《2023 深圳宝安区上云上平台企业补贴标准》	对上云上平台的企业,按照平台或工业软件当年度收取费用的 30%给予最高 5 万元的消费券补贴。
江苏	2022.9	《江苏省推进数字贸易加快发展的若干措施》	突出数字产业化方向,加快推进通信、大数据、人工智能、云计算、区块链等技术的跨境贸易。

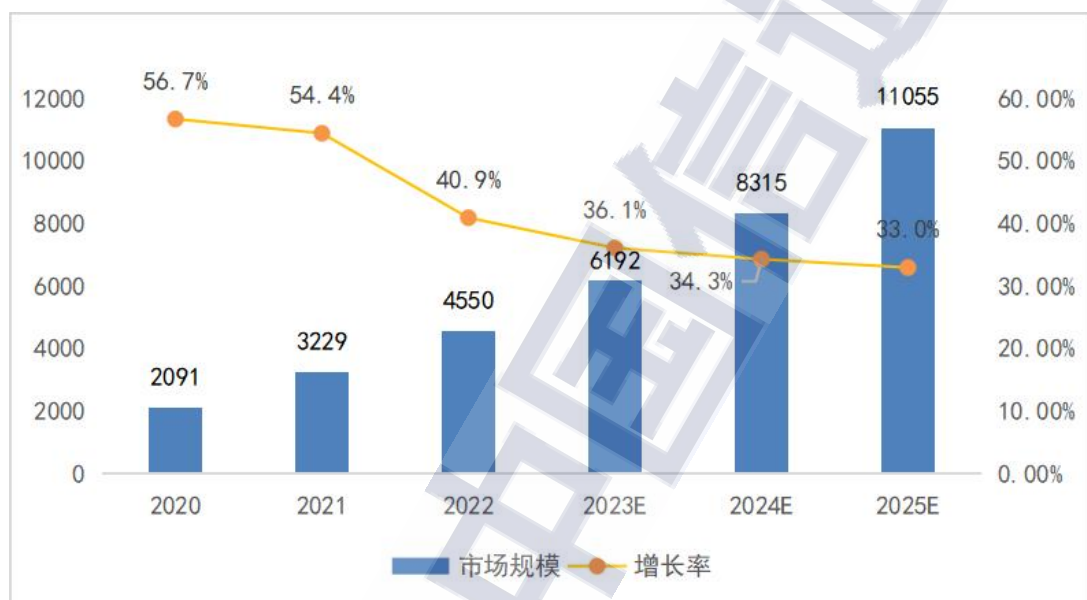
浙江	2023.3	《2023 年宁波市中小企业发展专项资金因素法分配专项资金海曙区使用管理办法》	完成市对区上云任务考核,对获评省级制造业“云上企业”给予 15 万元的奖励,其中已评为省级标杆上云企业的减半奖励。
	2022.6	《加强科技创新助力经济稳进提质的若干政策措施》	支持平台企业技术创新。支持平台企业组织开展科研攻关,力争在云计算等领域取得一批重大标志性成果,推动科技对直播平台等平台经济业态的赋能。
四川	2022.10	《关于加快推进新时代体育强省建设的实施意见》	运用互联网、大数据、云计算、物联网等信息技术,推进体育资源整合、数据共享、互联互通。
	2023.4	《2023 年成都高新区支持企业数字化智能化技术改造申报对象范围和补贴政策》	鼓励企业“上云用数赋能”,对评为四川省五星级、四星级、三星上云企业称号的,分别奖励 20 万元、10 万元、5 万元。
重庆	2023.3	《关于印发推动川南渝西地区融合发展总体方案的通知》	以电子信息、智能装备、新材料产业为引领,推动战略性新兴产业融合集群发展,加快传统产业改造升级,协同发展智能终端、云计算等产业。

来源：根据公开信息整理

（二）云计算市场处于快速增长阶段，运营商引领新一轮市场增长

从整体来看，我国云计算市场保持高速增长。据中国信息通信

研究院统计，2022 年我国云计算市场规模达 4,550 亿元，较 2021 年增长 40.91%。其中，公有云市场规模增长 49.3%至 3,256 亿元，私有云市场增长 25.3%至 1,294 亿元。相比于全球 19%的增速，我国云计算市场仍处于快速发展期，在大经济颓势下依旧保持较高的抗风险能力，预计 2025 年我国云计算整体市场规模将突破万亿元。

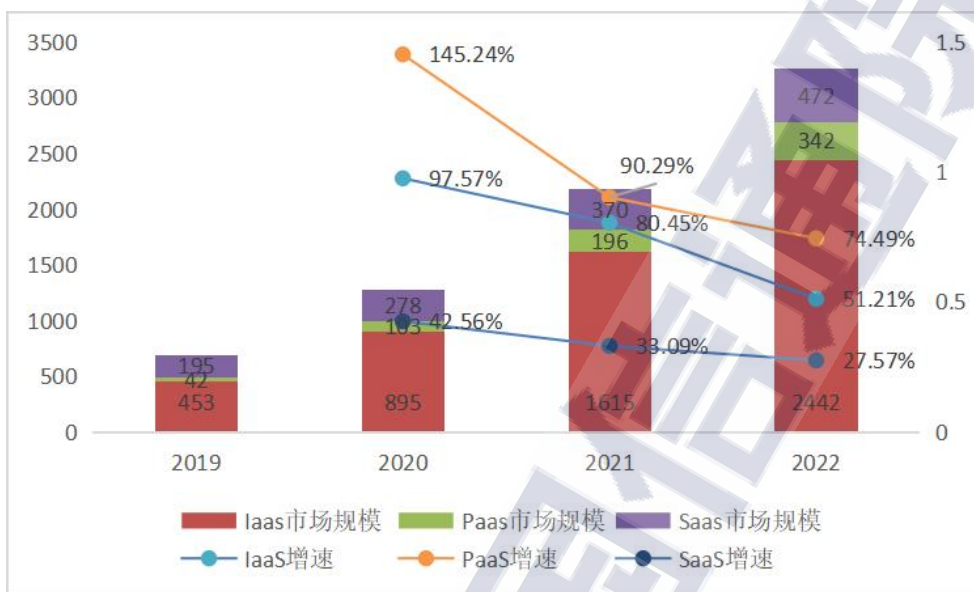


来源：中国信息通信研究院，2023 年 5 月

图 4 中国云计算市场规模及增速（亿元）

从细分领域来看，PaaS、SaaS 增长潜力巨大。2022 年，IaaS 市场收入稳定，规模在 2442 亿元，是 PaaS+SaaS 的 3 倍，增速达 51.21%，较 2021 年同比下降 29.24%，预计长期增速将趋于平稳；PaaS 市场受容器、微服务等云原生应用带来的刺激增长强势，总收入 342 亿元，增长 74.49%，结合人工智能大模型等发展趋势，预计未来几年将成为增长主战场；SaaS 市场保持稳定增长，营收 472 亿元，增速

27.57%，作为中小型企业上云的典型模式，在政策对中小企业数字化转型驱动下，SaaS 市场预计将迎来一波激增。



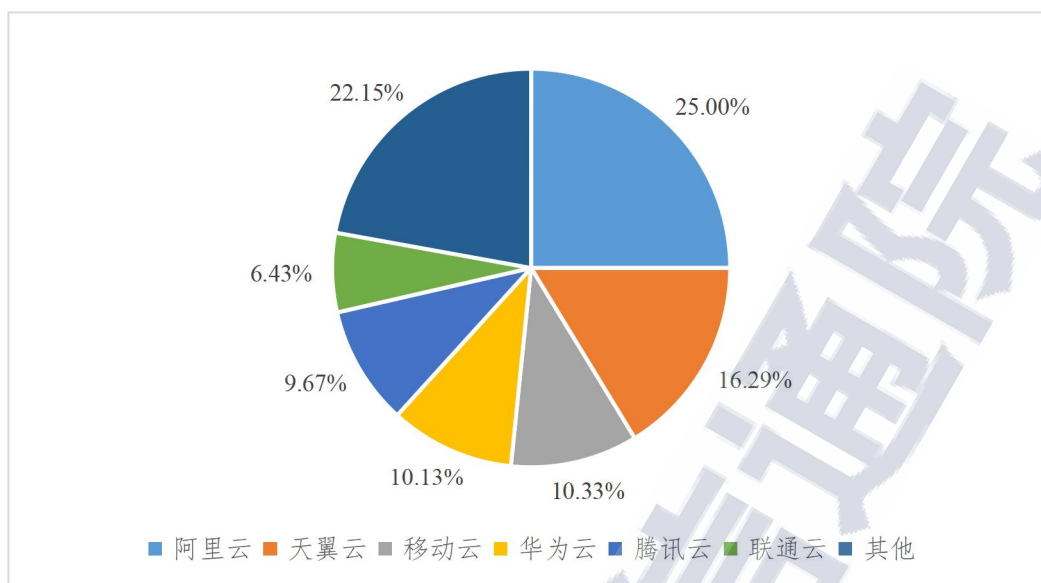
来源：中国信息通信研究院，2023 年 5 月

图 5 中国云计算细分领域市场规模及增速（亿元）

从厂商层面来看，运营商强势增长引领新一轮市场发展。财报数据显示，2022 年电信运营商云计算市场增长迅猛，天翼云、移动云、联通云分别营收 579 亿元、503 亿元和 361 亿元，增速均超 100%，远超行业平均水平。据中国信息通信研究院调查统计²，阿里云、天翼云、移动云、华为云、腾讯云、联通云占据中国公有云 IaaS 市场份额前六³；公有云 PaaS 方面，阿里云、华为云、腾讯云、天翼云、百度云处于领先地位。

² 市场规模为 2022 年全年数据统计，主要依据企业财报、人员访谈、可信云评估、历史数据等得出。对于市场数据不明确的领域，只发布头部企业整体情况，不做具体排名。

³ 因为 IaaS 和 CDN 是两种业态，需要分别获得互联网资源协作服务业务牌照和内容分发网络业务牌照，所有 IaaS 不包括 CDN 收入，只统计计算、存储、网络等基础资源服务收入。



来源：中国信息通信研究院，2023 年 5 月

图 6 2022 年中国公有云 IaaS 厂商市场占比

（三）云计算技术不断推陈出新，满足多样性场景需求 助力产业升级

模式层面，应用现代化赋能全场景应用，加速产业数字化升级。应用现代化是一个长期的、持续演进的，通过应用的现代化建设不断贴近从而最终实现业务价值、达成企业战略目标的过程，涵盖旧应用的现代化改造和新应用的现代化构建。云原生是云时代背景下构建现代化应用的最典型技术方案，但应用现代化并非单纯依靠技术手段达成，需要完整的建设方法论，具体包含五个方面，如图 7 所示：**一是**应用架构现代化，依据分而治之、开放设计、统一风格三重设计原则，通过微服务、Serverless、事件驱动和命令职权分离等先进架构升级应用范式；**二是**数据架构现代化，以云原生为底座优化数据摄取、数据存储、数据分析、数据消费、数据治理等能力，

充分挖掘数据价值等；三是技术架构现代化，从资源管理、运维保障、研发测试、应用服务等方面构建通用的对上赋能的技术底座；四是组织流程现代化，通过工作思维、管理方式、协作模式的革新，从组织、人员层面适配现代化发展思路；五是用户体验现代化，重视用户诉求，打通需求与供给之间的最后一公里，提升技术对应用的直接价值。目前，华为云、道客等企业已初步形成应用现代化方法体系。



来源：中国信息通信研究院

图 7 应用现代化架构图

架构层面，一云多芯既可以贴合多元算力新需求，又能够支撑业务场景多形态。一云多芯作为云计算的全新技术架构，通常指用一套云操作系统来管理不同类型芯片、架构、接口、技术栈等硬件服务器集群。在如今算力需求爆炸的 AI 时代，一云多芯为各行各业践行数字化转型提供了有力支持。一方面，它可以提供统一管理、

灵活便捷的算力资源，一定程度上解决了不同类型芯片的共存问题；另一方面，它可以满足单一通用云平台无法支撑的复杂业务形态，从而满足不同场景的用户需求。例如，阿里云、腾讯云、京东云等厂商均在金融领域有落地实践，通过灵活调度云资源，保障多样化金融业务在云上平滑运行；中国电子云、天翼云、移动云、联通云、华为云等厂商均在政务领域有落地实践，利用一云多芯技术打造具有安全性和高效性的政务云平台。同时，一云多芯已逐渐完成从底层硬件至上层云原生应用的多芯全栈式适配兼容。作为 IT 产业发展承上启下的关键环节，一云多芯不仅可以对底层各种异构资源统一调度，还可以实现对上层应用和软件的适配操作，同时保证云平台性能高效稳定。

硬件芯片方面，通过屏蔽底层芯片差异实现资源池化，从而满足对各种芯片的统一调度，这不仅包含对飞腾、鲲鹏、龙芯、海光等芯片兼容，还包含不同指令集架构的 CPU，以及除 CPU 以外的专有芯片的兼容，如 GPU、DPU 等。

软件应用方面，一云多芯能够适配各种操作系统、虚拟机、容器数据库、中间件等，同时还能够支撑虚拟化和云原生应用形态。

性能调优方面，一云多芯可以对不同芯片进行调优适配，提升平台整体性能。通过虚拟化产品性能调优、内核调优和部署架构优化，将性能指标差异控制在有效区间，从而释放极致算力。

流程层面，平台工程以产品化、自助式的开发者平台，满足多场景下应用研发需求。平台工程是一种自助式内部开发者平台的技

术架构和运营管理模式，为云时代的软件工作组织提供应用交付和管理服务。平台工程师提炼出一套可复用的组件服务和业务流程，工程化运作成为平台产品，平台产品随着组织变化而演进，其各个组件可根据实际使用情况来升级扩展。这类集成产品通常被称为内部开发者平台，是工程团队已经部署的技术和工具之上的全新一层。

演进路线方面，容器云平台为开发者构建和运行分布式应用带来了便利，但同时将复杂资源暴露给了开发者，知识门槛高，并且开发者难以从众多资源中定位业务故障。而容器云平台及传统 PaaS 等经过平台工程化，可演进为面向开发者的一站式平台，灵活组合 Backstage、Grafana、KubeVela 等云原生能力，对接算力、Kubernetes 等差异化基础设施，屏蔽其复杂性，使开发者可以专注于业务需求。

技术架构方面，实施平台工程的关键技术包括对业务应用、中间件服务、外部服务等统一管理、统一建模；对平台能力进行标准化建模、使其跟随需求和技术的变化和发展灵活扩展升级；对 PaaS 服务、算力资源、Kubernetes 资源等基础设施进行统一抽象封装；面对多样化平台能力需求，平台 UI 交互层可按需启用、模块化管理，提供良好的用户体验等。

产业落地方面，目前，阿里云、腾讯云等均积极落地平台工程，通过平台工程优化开发者体验、提升云应用的研发效能，并将平台能力赋能金融等行业，满足多场景规模化的研发需求。

管理层面，FinOps 理念逐步落地，云成本优化技术满足多样化

场景需求。FinOps 是 Finance 和 DevOps 的综合体，在云成本优化过程中将 DevOps、财务和业务进行整合，组成一套跨越组织内多角色的云成本优化全周期运营管理体系，助力企业提高优化意识、建设流程规范、加强团队协作。FinOps 理念的逐步落地，使企业云成本优化关注重点从单纯的减少资源浪费延伸至云成本分账、预测、计费等多种场景。相应的，云成本优化技术也从基础的资源监控治理能力扩大至更加全面的场景化成本优化能力。**首先**，在云成本分账场景下，二次分账技术可以对复杂的多云成本账单按照组织、系统、时间等维度进行二次分账，使其与企业分账周期进行匹配，将零散的云成本进行汇总并合理分配至每一个成本中心，提升云成本账单在企业财务层面的可见性。**其次**，在云成本预测场景下，智能预测技术结合企业云成本及资源使用和成本支出历史数据对未来云资源费用情况进行智能化预测，通过机器学习、AI 等技术生成可供企业参考的云成本优化建议，帮助企业提前规划并控制云成本支出。**第三**，在云成本计量计费场景下，虚拟计费技术能够帮助企业对自建私有云等资源进行虚拟计费，通过自定义计费策略及支出模式，为企业内部规划统一完整的云成本体系架构。目前，阿里云、腾讯云等企业已开展 FinOps 理念落地实践，并通过云成本优化技术和工具赋能用云企业，满足企业多样性场景需求，提升企业云管理与优化治理成效。

稳定性层面，云上系统稳定性挑战持续存在，系统稳定性保障

体系不断完善、技术不断创新。云上系统自带“分布式”属性，各模块之间依赖关系错综复杂，给服务性能分析、故障定位、根因分析等带来了诸多困难；云上系统故障率随设备数量的增加而呈指数级增长，单一节点问题可能会被无限放大，日常运行过程中一定会伴随“异常”发生；同时，节点分布范围更广，节点数量更多，对日常运维过程中的日志采集、变更升级等都带来了新的挑战。基于以上挑战，系统稳定性保障领域呈现以下特点：**一是“稳保体系”创新促进业务稳定运行。**稳定的业务系统保障了企业的连续运营、用户体验和客户满意度，逐步成为企业业务持续领先的“关键要素”。应综合考虑技术、机制和组织人员情况，采用多种技术手段，如混沌工程、全链路压测、可观测性技术、变更管控和应用多活等，从事前、事中、事后，全流程确保系统稳定运行。目前，国内云计算厂商对稳定性保障体系的建设均已有较完善的实践，如阿里云的“1-5-10 机制”、华为云的“确定性运维”、腾讯云的“混沌蓝军机制”。**二是可观测性成系统“中枢神经”。**可观测性提供了实时监测和系统分析的能力，完善的系统可观测性相当于人体的“神经系统”，感知系统状态、定位系统故障，协助进行容量治理及性能调优，并通过建立基线模型和监测系统的行为模式，来检测和预测异常情况，实现自动化运维和自愈能力。**三是机器学习与人工智能提升稳定性保障的建设成效。**人工智能和机器学习技术将在系统稳定性保障技术体系中发挥越来越重要的作用，并进一步提升落地成效。通过对

数据进行智能分析，可以实现故障预测、自动诊断、场景演练和自动修复；结合人工智能大模型，指导知识库和专家系统进行更多维度分析预测，从而提高系统的稳定性和可靠性。

安全层面，云原生革新云上软件架构与应用模式，加速云安全向云原生安全演进。云原生经过多年发展，已实现全行业高质量规模化落地。云原生革新了传统用云方式，驱动传统应用充分享受云原生红利，也给传统安全防护体系带来了新的挑战。同时，云原生轻量敏捷、高可靠、可编排的技术优势又为传统安全注入了新的活力，为安全与基础设施、业务应用的深度融合提供了可能。云原生安全已成为云上安全防护的最佳路径，并呈现以下态势：**一是云原生安全体系日趋成熟。**当前，云原生安全产业生态日趋完善，技术创新和应用实践不断。从容器安全至今，云原生安全已经形成完整的安全防护体系，覆盖承载云原生架构的底层基础设施安全，以容器为核心的云原生基础架构安全，以 API 安全为重点面向微服务、Serverless 等多种应用形态的云原生应用安全，蕴含安全左移思想的研发测试安全，以及云原生安全管理与运营。**二是云原生安全从单点防护向全流程一体化防护转变。**云原生安全体系的成熟推动了安全产品和防护模式的优化升级，云原生安全正在从过去使用单点安全工具，或将多个解决方案组合解决安全问题的模式，向全流程一体化防护的模式转变。代表的解决方案是云原生应用保护平台（CNAPP），它的安全防护覆盖云原生应用的全生命周期，实现了所有相关安全工具的

一体化管控和安全风险的一体化监测响应，包括奇安信、小佑、默安等厂商均陆续推出了 CNAPP 相关产品。三是云上安全需要精细化的云原生安全治理。搭建了云上安全防护体系但安全问题仍然层出不穷是不少用云企业面临的难题。一方面是因为企业的战略理念和组织管理没有跟上企业信息系统的变革，另一方面是因为缺乏资产可见性、安全配置不当和缺乏运营机制等原因，使得安全防护体系失效、出现问题难定位。因此，云上安全不仅是技术体系的建设，还需要精细化、原生化的安全治理。首先，需要企业从战略顶层设计、组织文化上接受云原生安全理念，变革组织管理和人才培养体系，提倡责任共担和安全内嵌。其次，正确的安全配置是安全防护的前提，持续的安全运营才能充分发挥安全效能。

（四）行业上云用云呈阶梯状分布，中小企业成影响上云进程关键

从行业应用来看，我国云计算应用已从互联网拓展至政务、金融、电信、工业、交通、能源等传统行业，但各行业应用水平参差不齐，应用深度呈现阶梯状分布。

第一梯队行业上云用云处于成熟期，已从全面上云过渡到深度用云，如政务、金融、电信等行业。上云已经成为各地政府、金融机构和电信运营商数字化转型的必选项。整体来看，我国第一梯队行业云计算应用发展态势呈现出以下三个特点：一是推进信息技术生态兼容，搭建云计算可信生态。安全是政务、金融、电信行业云

平台建设的重中之重，随着上云程度不断加深，越来越多的企业基于安全性等因素将更加关注云平台的生态兼容程度。**二是从建云用云向持续云优化治理过渡。**随着政务、金融、电信等行业业务上云的快速发展，企业云资源、架构越发复杂、冗余，云成本浪费、资源效益低下等问题开始显现，第一梯队企业开始探索云的优化和治理，从体制机制、技术要求、管理规范等多个方面统筹建设治理机制。**三是实现高效低碳运行，推动云运营绿色发展。**在国家提出碳达峰、碳中和战略后，云计算绿色发展理念得到持续关注。第一梯队行业充分响应国家相关低碳环保政策与规范，应用低碳创新技术，优化算力算法，推动云平台的高效低碳运行和绿色发展。

第二梯队行业上云用云处于成长期，企业上云热度持续攀升，如工业、交通、医疗等行业。过去几年，我国工业制造、汽车、轨道交通、医疗等云市场呈现出爆发式增长态势。整体来看，第二梯队行业上云用云具有以下特点：**一是用云方面，平台建设由外部服务系统向内部生产控制等系统过渡。**第二梯队行业企业相较于政务、金融等领域上云用云起步较晚，上云业务以外部服务和支撑系统为主。但近年来，工业制造、轨道交通、航空运输、医疗机构等领域企业上云逐渐延伸至生产、制造、管理等核心系统。**二是生态服务方面，一体化综合解决方案开始兴起。**随着企业上云用云深度全面的推进，第二梯队行业对于云厂商一体化综合解决方案的需求越来越高，比如制造类企业、轨道交通企业等，开始设立数字化转型部

门，全面负责云平台建设工作，云厂商也相继提出一体化上云用云解决方案，加速推动第二梯队企业上云用云实施落地。

第三梯队行业上云用云处于探索期，云平台建设与应用处于规划和发展阶段，如石油化工、钢铁冶金、煤矿、建筑等行业。第三梯队行业上云一般具有业务流程长且复杂、数据来源多且流通差、IT 技术储备不足等特点，具体表现为：**一是应用系统多样复杂，难以云化改造。**当前，第三梯队行业信息化整体程度较低，系统技术依赖性强、二次开发难度高，难以实现应用现代化改造，如石油化工涉及生产维护、炼化生产、供应链协调等多个系统，整合改造门槛高。**二是存在数据孤岛现象，云上安全流通受阻。**传统工业数据生成速度快，管理难度大，来源包括生产各个环节的传感器、监测设备、计量仪表等设备，需边缘计算、大数据等技术融合应用管理，成本高难度大。同时，上下游经销商业务数据敏感，数据难以在云上安全流通。**三是人才储备严重不足，用云管云难度大。**第三梯队涉及的行业在 IT 技术方面沉淀较少，企业人才配置更侧重于业务方向，亟需低成本实现业务运行实时监测和云平台智能高效管控，上云企业均需云厂商提供人员驻场服务，帮助企业用云管云。

从企业规模来看，央国企是发展数字中国的主力军，而中小企业类型多、数量大，是影响整体上云进程的关键。两类企业在上云用云过程中呈现出不同的特点。

央国企上云覆盖率较高，深度用云和丰富云上生态是其发展重

点。根据国务院国资委数据，中央企业上云覆盖率达到 86%。上云后的用云建设是央国企云当前的重点内容。一是从简单云化到云上改造。一方面，VMware、OpenStack 等私有云向全栈式专有云改造。当前，传统私有云越来越难以满足央国企对安全、合规、可运营运维等多要素的需求，专有云成为满足央国企多重需求的重要解决方案，如国家电网、建设银行等大型央国企已开展专有云建设。另一方面，信创产品异构兼容性改造。随着信创产品功能、性能不断提升，央国企逐渐引入信创产品到自身云平台中，天翼云、中国电子云依托良好的信创兼容能力推动央国企云信创改造。二是禀赋要求引领行业云生态建设。央国企作为我国市场经济的“顶梁柱”，业务覆盖面广，涵盖产业链上下游多个环节，因此央国企云需建设丰富的云上应用生态，通过构造行业云的方式满足产业链条中各角色用云需求，承担好“链长”职责，不断赋能行业数智升级。

中小企业是上云用云的主力军，SaaS 服务模式成为其上云首选。中小企业是我国数量最大、最具活力的企业群体，在促进经济增长、保障就业等方面发挥重要作用。提升数字化发展水平是提高中小企业竞争力的重要举措之一。在政策指引下，中小企业上云意识和积极性显著提升，上云进度不断加快，应用程度不断加深。当前，SaaS 服务模式成为中小企业上云用云的主要选择。一方面，SaaS 服务能够满足中小企业多样化上云需求。中小企业对于云服务功能的要求差异化较大，需要的业务应用服务较为丰富，涵盖采购、研发、生

产、营销、财务、人力资源、办公等企业价值链的各个环节。近几年，我国 SaaS 服务市场保持 30% 左右增速，产品丰富度不断增加，可满足中小企业业务上云需求。另一方面，SaaS 服务模式能够契合中小企业轻资产上云路径。与传统应用相比，SaaS 服务具有投入资源少、技术要求低、灵活扩展等优势。中小企业借助 SaaS 可以实现轻资产上云、低成本用云，从而快速便捷完成数字化转型，提高生产力。德勤数据显示，近十年我国中小企业 SaaS 支出占其整体 IT 支出的比重保持年均 10% 的稳定增长，可见 SaaS 正逐步成为中小企业数字化转型的突破口。

三、云计算正向数字世界操作系统转变

数字世界通过数字记录、描绘并模拟现实世界，是现实世界的数字映射。数字技术实现了对现实世界的数据采集、存储，并能提供分析处理数据所需的算力。云计算作为链接数字世界计算资源与数字应用的纽带，能够有效整合海量、泛在的算力资源，加速数字应用的感知、判断和执行。

（一）数字应用方式与算力资源供给的变革，推动云计算作用转变

人工智能大模型的快速发展，引发数字应用使用方式和算力资源供给的双向变革，加速了云计算向面向大体量分布式应用体系化、工程化创新的操作系统演进。

向下来看，算力资源呈现出计算异构、算网融合的特点。以 GPT-4 为例，其模型训练借助公有云能力在通用 CPU 的基础上整合上万个 GPU 芯片，通过云计算平台实现 GPU 集群和 CPU 集群的标准化封装，保障训练任务可以直接下发到大规模计算集群。同时在数据处理方面，模型训练涉及 PB 级的存储数据集、中间结果和训练好的模型参数等，且数据类型各异，也需要云计算平台提供的存储方案，实现复杂数据的统一调度和处理。计算芯片多样化、异构数据复杂化也加速云计算向能够一体化调度、处理计算、网络、存储资源的操作系统方向演进。

向上来看，数字应用呈现出分布式、多模态、超大量级的特点。以 ChatGPT 为例，ChatGPT 的模型参数已达千亿，且模型训练数据涉及文本、图片、音视频等多个模态，基于分布式训练框架实现了超大规模量级的并行计算，这对部署模型的云计算平台提出新的需求。云计算的焦点不仅仅在提升单点应用的研运效能，更要发挥出面向大规模分布式应用协调、分发、部署的中枢管控能力。模型构建的复杂性限制了技术的普惠发展，基于云计算构建开箱即用的大模型服务也成为刚需。

（二）云计算管理方式不断革新，向下定义算力资源使用新方式

云计算技术的出现和成熟，如今已经不局限于算力资源的云化，更是向网络、存储等多维度资源云化进行延伸，同时通过纳管、编

排、部署等管理方式的不断升级，在算力资源的接入、调度和分发等方面产生新的促进作用，具体表现为：

接入方面，云计算纳管能力持续加强，使多样性算力资源提供成为可能。传统数据中心以提供通用算力为主，随着科学计算、自然语言处理、视频渲染、知识图谱等计算需求的增长，通用算力资源已不能满足这些超强计算型应用的需要，而云计算逐渐发展出多样性算力资源池的能力，高性能计算云平台（HPC）、FPGA 云主机、GPU 云主机、智算平台等多样性算力资源均通过云的方式统一接入，极大地丰富了科研机构、企业、高校以及个人触达算力的便捷性与普惠度。同时，东数西算、大模型训练等场景带来了多样性数据，也催生了可高效满足不同业务诉求的多样化计算架构，如 ARM、RISC-V 等通用计算技术路线，以及 GPU、DPU、NPU 等融合架构计算平台，云计算使得不同架构、不同类型算力资源的统一感知、调度成为可能。例如，阿里云飞天平台通过公共云或专有云模式，可运行在多种芯片类型的服务器上，支持多种处理器混合部署、统一调度，为用户提供计算服务；天翼云云骁平台将通用算力、智能算力、超算算力融合在一起通过云的方式提供，使用户可一站式获取多样性算力资源。

调度方面，云计算编排能力不断升级，使算力资源跨区域跨架构调度成为可能。一是云计算资源池化技术为物理资源池提供算力规模弹性空间，支撑算力调度模式由“按量”发展为“按需”。传统

算力调度模式，多以算力规格作为调度内容。云计算资源池化技术实现算力资源根据用户需求动态分配，充分满足用户多样算力使用场景。**二是**算力资源使用时，调度要素由“单一类型”走向“复合类型”。传统算力调度要素仅考虑算力这种单一类型资源的调度，云计算中虚拟化技术使得算力、网络、存储等多种资源可在同一个应用场景下被协同管理、编排、调度。例如，电信运营商依托网络基础设施优势，综合评估算力、网络、存储等复合资源状态，推出能够提供融合统一调度服务的“算网大脑”，通过实现“算”和“网”资源的拉通、编排调度层的拆解、标识、感知、映射等能力，结合调度算法，提供算网融合类的业务支撑。**三是**分布式云技术推动算力资源全局调度能力发展，实现算力调度跨域融合。在传统调度方式中，单一的云平台由于调度范围有限，难以满足算力随取随用的需求，导致算力资源的全局调度能力受限。随着分布式云的发展，产业逐步演变出基于云边端的分布式操作系统，它能够实现跨地域算力资源互联互通，具备多层次算力资源的统一纳管、智能调度、全局优化等能力。当前，电信运营商、云服务商已开展跨域算力调度能力的建设，如曙光参与推出“一体化算力服务平台”、天翼云发布“息壤”算力网络分发平台等。此外，各地方政府也开始自发建设算力平台或调度中心，如北京算力互联互通验证平台、上海市人工智能公共算力服务平台、粤港澳大湾区算力调度平台、甘肃算力资源统一调度平台等。

分发方面，云计算声明式部署方式推动算力资源分发模式新变革。传统的算力分发方式是面向流程的，以分发命令为核心，分发结果取决于分发命令的精确程度及执行程度。传统分发方式下，算力资源主要依靠运维团队手动部署和维护，一个机房的搭建通常需要 4 人以上的运维团队至少一周的工作量，涉及算力、网络设备等软硬件的安装、设备和场地的管理以及安全能力的部署。但传统分发方式也存在着显著的可扩展性差、效率低的问题，难以支持用户算力需求突增的场景。伴随着云计算的发展，算力资源也从最初的物理机部署发展为容器化部署，实现了算力分发从命令式到声明式的转变，即以分发结果为核心，分发过程交付给容器化部署技术自动执行，**一方面**在保证分发结果的同时排除人为操作引入的异常，极大降低出错概率与人力成本；**另一方面**将用户的精力从资源运维集中到业务开发，进一步降低了云计算的使用门槛和时间成本。阿里云公开数据显示，其云上容器服务产品基于开源的声明式算力分发方式进行改进，可以实现几十秒内完成 1000 个算力节点的部署。

（三）云计算持续发挥创新孵化效用，向上定义数字应用新界面

云计算抹平了数字世界的技术认知鸿沟，提供了统一的数字应用创新基座，将数字技术对应用的价值提升到全新高度。主要体现在以下三个方面：

应用范式方面，云计算支撑应用从混乱无序到标准化的重塑。

传统云计算借助集约化模式为应用供给庞大的算力资源，解决了基础设施的标准化问题。然而单纯的资源上云只是将应用的运行环境从本地搬到云上，应用的构建、部署、交付模式并未发生本质变化，价值增益有限。云原生作为新一代云计算的技术内核，通过容器、微服务、DevOps、服务网格、Serverless 等核心技术方案解决了应用的标准化封装与交付、应用间的标准化交互问题，统一了云上应用的底层语言，充分剥离复杂底层环境对上层应用的影响，将视角真正地聚焦到应用侧。以 ChatGPT 为例，得益于云原生技术对多元异构数据的统一接入，对单一维度应用的统一部署，模型的信息集成、处理效率、计算精度和能力输出实现显著提高，使得其智能化水平走在同类产品的前列。

工程模式方面，云计算助推应用从单点创新到体系化创新的突破。云计算提供了数字时代的标准化沟通语言，软件、硬件等各领域正持续围绕云生态演进，相互割裂的单领域维度的散点创新借助云计算这一超级操作系统实现交融、互促、发展。云计算充分发挥孵化器效用，激发并连接各领域的创新，各领域的创新又以云上服务的形式反哺于云，生于云长于云的数字应用天然就能够享用云及其配套生态，实现更高维度的创新。以大模型为例，传统 AI 为应对不同场景需针对性进行开发、训练、调参，碎片化的场景阻碍了 AI 的体系化创新，云计算强大的算力与标准化服务能力显著降低了大模型的训练成本，多场景创新迸发叠加效用，体系化提升 AI 模型的

应用价值。

商业形式方面，云计算放大生态合作价值推动应用可持续演进。新业态新场景持续涌现，各行各业的数字应用需求存在较大差异。单个云服务商的能力不可能覆盖全部诉求，只有转变商业拓展思路，持续完善以云计算为底座的产业生态，才能触达更大的用户群体。

一类企业通过合作形式，密切连接生态伙伴，发挥各自优势，通过组合拳服务好目标客户的应用需求。以华为云为例，2020 年其伙伴收入增速达 188%，高于自身 168% 的增速。截至 2022 年底，华为云已拥有超过 4 万伙伴企业，生态伙伴收入同比增长超 55%。

另一类企业则通过技术投资形式，补齐战略规划版图。以微软为例，从 2019 年开始其陆续向 OpenAI 投资 130 亿美元，在资金与独家算力的支持下 OpenAI 得以开展模型训练与算法优化，并逐步对外输出产品能力，微软将在 Azure、Office 等产品中融合 OpenAI 沉淀的相关能力，快速提升智能化水平。

四、云计算加速催生算力服务新范式

随着人工智能大模型、全真互联等应用发展，产业对多样性异构算力、高质量确定性网络的需求不断提升。在云计算的持续推动下，算力服务加速发展，并在架构、功能、模式等方面衍生出全新范式。

（一）架构方面，云计算支撑算力服务以数据为中心

现阶段计算架构仍以 CPU 为中心，但在算力需求飞速增长与摩

尔定律放缓的背景下，CPU 正面临算力算效进一步提升的瓶颈，与当前对其需求日益提升的矛盾逐渐显著，以数据为中心的理念应运而生。

以数据为中心的计算体系，面向管理流计算提供专用计算设备，将 CPU 从复杂的管理流数据处理中解放出来，以更好的让 CPU 在其擅长的计算领域发挥作用效能，从而实现整体算力提升。云服务商替用户完成管理流与数据流的计算分离，支撑以计算为中心向以数据为中心过渡。当前，产业各界逐渐开始探索以数据为中心的落地方案，如阿里云发布云基础设施处理器 CIPU，并将其定位为代替 CPU 承担云计算服务管理和加速的关键处理器；云豹智能发布云霄 DPU，提出可编程通用 DPU 框架理念，并落地多个应用场景；中科驭数发布 DPU 芯片 K2，能够实现 1.2 微秒低时延和最高 200G 网络带宽。

以计算为中心向以数据为中心这一过渡变化，促使算力服务形成全新架构，体现在三个方面：**一是**调度对象方面，面向任务的调度逐渐取代面向资源的调度，用户的计算需求将贯穿算力服务始终；**二是**能力结构方面，算力管理与计算解耦，灵活性进一步提升，形成相辅相成、共同发展的局面；**三是**产业格局方面，算力服务生态进一步丰富，数据处理芯片等设备厂商的比重增大，为算力服务的发展注入新动能。

（二）功能方面，云计算持续驱动算力服务创新发展

算力服务中，算力资源从接入到分发给用户产生计算价值，已经形成较为清晰的算力分配链条。云计算的发展促进算力分发链条中感知接入、路由转发和融合调度等方面创新升级。

感知接入方面，云计算助推异构算力泛在接入，加速算力并网演进。随着应用场景的不断丰富，通用计算已难满足日益增长的用户诉求，智算、超算等异构资源需求高涨，如何实现广泛、高效地泛在异构资源调用，成为算力服务演进道路上亟需解决的新问题。在此发展趋势下，产业依托云计算技术加快发展算力并网，通过引入区块链等技术，开发统一规范化的资源接口，实现对于跨地域、跨服务商、跨层级的算力资源的全局纳管与感知接入，打破资源提供商之间的壁垒，形成算力资源一张网，有效促进算力资源的流动。

路由转发方面，云计算打破网络与应用的边界，支撑可编程网络实现算力路由的精准度量。当前，云网业务模式下的算力和网络仍然相对独立，无法完成统一交付，造成大量的资源浪费。以 SRv6 为代表的网络可编程路由技术能够将业务需求与算力信息随数据包携带进入网络，改变了传统网络只能基于 IP 地址的转发模式，充分发挥网络在云边端多级算力资源分布环境下的调度优势，推动算网深度融合。**一是提高网络调度精度**，网络充分感知业务与资源信息，将需求解构匹配合适的算力资源节点，提高网络基于算力的度量精度；**二是优化网络转发路径**，结合 SDN 管控与编排能力制定基于全

局信息的网络转发策略，实现网络路径可视、可管、可控，提升端到端的网络服务质量；**三是增强网络内生算力**，网络同时作为计算节点保障业务数据传递效能。网络可编程能力提高了网络计算的颗粒度，实现网络功能的快速调用，提高资源协同效率，支撑算网一体化编排调度。

融合调度方面，云计算屏蔽基础设施架构差异，促进算力服务实现单一资源调度跃升为跨资源协同调度。在全行业数字化转型的浪潮下，围绕单一类型资源提供的服务已经不足以满足企业的要求，算力服务也已经不仅仅局限于算力、网络、存储资源供给如何转变为服务供给，而是逐步发展为一个算力、网络、云计算相关软、硬件技术高度融合、协同运作的新形态。其发展分为两个阶段，**第一阶段**云计算技术实现了同类型资源内异构基础设施的统一输出，打破了软、硬件一体化的技术壁垒，支撑单一资源灵活调度；**第二阶段**算力服务以云计算技术为依托，综合考虑用户计算需求、算力、网络等多样资源状态，构建全域一体、算网融合的多要素融合编排体系，完成调度从单一资源到多样资源的跃迁，如中国移动“九天·算网大脑”通过对计算任务、算网资源状态等综合判断形成算网融合编排方案。

（三）模式方面，云计算重构算力服务供需新模式

传统云服务交易模式，主要以使用方与云厂商之间进行“一对一”租赁模式为主，在云计算演进过程中，这种模式的弊端逐渐显

露。传统模式下，使用方依靠自身能力决定所选择的云服务类型，云服务商提供资源进行部署，使用方无法感知到周围可能存在的其他更加高效的算力资源。随着云计算的发展，资源提供方与使用方逐渐产生新的诉求，资源提供方更加关注如何使算力资源得到充分利用，而资源使用方则更加关注在多重诉求之下，获得最优算力资源。在此背景之下，全新的算力交易模式应运而生。

交易形式方面，多方参与带来全新交易业态。算力服务更需要一种能够集中各类算力资源并进行统一出售的平台来解决泛在算力资源无法提前感知的问题。平台需要负责多方算力资源的统一接入、编排调度、计费结算等核心环节，是云服务向算力服务演进过程中的全新角色。在此多方参与的模式下，算力交易产业链将会涉及更多的角色，除企业、服务商、个人等成为算力供给方或需求方之外，提供调度、安全、连接等能力的技术提供商也将参与进算力交易产业链中，为算力交易带来全新业态。

提供方式方面，编排调度技术成熟促进计费模式走向“后付费”。以往云服务交易方式多采用为用户提供指定规格计算资源，使用者先付费购买，后进行使用，在此模式之下，由于资源使用者对云计算了解程度、使用程度参差不齐，易出现所购资源利用不充分，闲置资源不能及时释放、调度等问题，从服务质量方面来看，易导致使用成本高但使用效率低。随着云边端部署方式的发展，以及算力调度、资源弹性伸缩等技术的成熟，目前资源提供方式开始从提

供固定规格计算资源的形式走向依据具体任务场景，灵活调整资源使用量的方式。并随之出现按照资源消耗量、资源占用时间、或当日当月峰值等进行计费结算的新型交易模式，此种模式更加关注资源的弹性伸缩与高效利用，能够有效提高算力基础设施的利用率。

交付内容方面，算力资源云化部署程度加深，促进交付内容由资源转变为结果。随着算力资源上云用云、云化部署程度加深，算力服务交付内容开始逐渐在交付算力资源的基础之上，转变至根据使用者的计算任务交付计算结果的新模式。算力交易平台通过对计算任务的拆解、标识、度量，对计算资源的感知、调度、池化等操作，能够将任务调度至目标算力节点完成计算，向使用者直接交付计算结果。在此模式之下，由算力交易平台完成任务度量、资源度量、资源匹配等操作。对于使用者来说，无需关注底层资源，交易过程更加直观便捷；对于资源提供方来说，算力资源释放回收更加及时，从多方角度都能够有效提升算力交易的服务质量与体验，促进算力交易商业模式走向智能化、合理化。

五、总结与展望

数字中国建设持续加深，云计算作为数字时代推进中国式现代化的重要引擎技术之一，成为构筑国家竞争新优势的关键技术底座。随着云计算技术在企业数字化转型中的不断内生，以及云计算作用逐渐在从数字化技术底座向数字世界操作系统的演进中得以深化，将在支撑实体经济发展、社会生产力变革、精神文明需求等国家综

合实力要素方面持续发挥重要作用。

战略上，全球主要国家云计算谋篇布局将更加深入。随着中美两国数字战略的持续升级，欧洲、亚洲等主要国家也纷纷提升数字战略布局。在数字经济全球大势之下，云计算的战略意义被以美国为首的主要国家提升至前所未有的高度，其战略内涵从增加机构运行效率升至增加国家综合实力，成为“兵家必争之地”。**未来**，随着全社会数字化速率的非线性抬升，云计算将经历一场自上而下的战略深化，各国将持续释放云计算政策红利，海内外头部云厂商将从前瞻性技术、应用能力、生态运化等多维度加速云计算全球化布局，云计算市场将开启第二增长曲线。

路径上，我国云计算发展“以终为始”，将更加关注对用户的实际赋能水平。经过十余年的发展，云计算本质已经发生根本改变，实现了由最初虚拟化技术向数字世界操作系统转变，完成了从以服务 and 资源交付向云原生价值赋能的升华。云计算已经越过了以技术为核心，需求向下满足供给的发展阶段，走向以应用为核心，供给向上满足需求的发展阶段。**未来**，云计算技术的关注点将持续上移，松耦合、可组装、易操作的应用现代化能力将成为关注重点；云计算的发展重心将从上云走向用云管云，成本优化、系统稳定性、云原生安全将成为发展要点；云计算的兼容能力将会愈发提升，一云多芯、一云多态将支撑云计算更好更快的适应于复杂的应用场景和业务需求；云计算 SaaS 服务生态不断丰富，将更加关注垂直行业

SaaS 服务能力，持续赋能中小企业数字化转型。

价值上，云计算作为向下打通算力使用新方式，向上实现应用能力现代化的关键技术，将对社会发展发挥更强更深的作用。当前，云计算作为数字经济的技术底座，对企业数字化转型持续发挥动能，如何无感知的面向用户提供多样化、可组装、易操作的现代化应用能力已经成为技术供给的重要目标，云原生的统一调度分发服务能力、多维应用部署等能力正在为大规模算力供给提供持续便利。未来，在东数西算、边缘计算、大模型计算等关键场景的计算需求下，实现跨架构、跨服务商、跨地域的异构算力资源接入、感知、调度变为刚需，利用云计算实现资源接入与一体化调度将成为算力互联互通的重要实现手段，为社会发展持续提供新型生产力资源池。

模式上，云计算将深度融合算力服务，推动数字经济高质量发展。随着人工智能发展步入大模型时代，智能驾驶、全真互联等应用场景加速创新，打通异构算力壁垒、提供高质量确定性网络的算力发展需要正在从架构、技术、模式等方面冲击现有算力服务。而云计算技术和理念正成为算力服务发展的解决方案之一，推动算力服务向以数据为中心转化，促进关键技术创新升级，重塑供需对接商业模式，为算力产业发展提供多维保障。未来，云计算将与算力服务深度融合，其对屏蔽资源异构性，提供算力服务统一分发资源池，实现一体化感知、汇聚、调度、计量的模式价值将愈加凸显，数字经济乘数效应将在二者融合创新中不断放大。

“风鹏正举海天阔，更扬云帆立潮头！”云计算正向着数字世界操作系统的核心角色全力进化，将在未来数年以自身的跨越式发展，加速中国式现代化进程！

中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300072

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn

