

云计算白皮书



中国信息通信研究院
2021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

对于云计算产业来说，过去一年称得上是“风云变幻”的一年。**一是**新冠疫情的出现，加速了远程办公、在线教育等云服务发展，也加快了云计算应用落地进程，中央深改委第十二次会议就提出要鼓励运用云计算等数字技术在新冠疫情分析、病毒溯源、防控救治、资源调配等方面发挥作用。**二是**全球数字经济背景下，云计算成为企业数字化转型的必然选择，以云计算为核心，融合人工智能、大数据等技术实现企业信息技术软硬件的改造升级，创新应用开发和部署工具，加速数据的流通、汇集、处理和价值挖掘，有效提升了应用的生产率。**三是**随着新基建的推进，云计算承担了类似“操作系统”的角色，是通信网络基础设施、算力基础设施与新技术基础设施进行协同配合的重要结合点，也是整合“网络”与“计算”技术能力的平台。这些都为云计算产业带来了新机遇和新格局。

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7次发布云计算白皮书。白皮书在前几版基础上，基于行业研究和调查报告，总结过去一年来云计算在市场、技术、架构、安全、管理、软件、赋能等方面的发展特点，并对各发展特点进行详细阐述，最后对云计算未来发展给出展望，旨在帮助从业者更好地了解云计算产业发展动态。

目 录

一、过去一年，云计算产业呈现七大特点.....	1
（一）市场方面，全球增速首放缓，我国逆势上扬	1
（二）技术方面，云原生持续落地，行业应用加速	4
（三）架构方面，云网融合需求强，边缘侧潜力大	5
（四）安全方面，能力提升受关注，信任体系兴起	6
（五）管理方面，用云面临新挑战，优化需求凸显	8
（六）软件方面，研发流程重定义，新格局渐形成	9
（七）赋能方面，助力数字化转型，成熟度待提升	10
二、云原生技术生态完备市场活跃，进入黄金发展期.....	11
（一）云原生生态持续完善，向体系化应用演进	11
（二）云原生技术采纳率攀升，用户侧需求旺盛	14
（三）云原生虹吸效应初现，融合应用时代已来	17
三、云网边一体化不断加深，重新定义算力服务方式.....	19
（一）5G、物联网等推动云网边一体化加深	19
（二）云边协同提供更广泛的算力基础设施	21
（三）云网融合提供更便捷的算力调度方式	22
四、云计算打破安全边界，新一代信任体系亟待建设.....	24
（一）云计算基础设施面临更多的信任危机	24
（二）应对云计算信任危机的安全理念兴起	26
（三）新兴安全理念助力企业信任体系建设	29
五、深度用云加速优化需求，云管理服务迎来新窗口.....	30
（一）企业用云持续加深，云管理面临新的挑战	30
（二）云优化服务应运而生，提升企业用云效率	32
（三）多方布局云优化市场，工具能力有待提升	34
六、云模式变革软件工程新业态，打造云软件新格局.....	35
（一）云软件架构全新升级，重构开发和运维模式	35
（二）云测试打破效能瓶颈，助力软件工程高质量	36

(三) 云上系统稳定性遭挑战，混沌工程应运而生	37
七、云平台成数字化底座，能力成熟度为企业量体裁衣.....	39
(一) 多方力量汇聚，企业数字化转型已成必然	39
(二) 云平台全面赋能企业业务单元数字化转型	41
(三) IOMM 双曲线方法论加速企业拥抱数字化.....	42
八、总结与展望.....	45



图目录

图 1 全球云计算市场规模及增速	1
图 2 中国公有云市场规模及增速	2
图 3 中国私有云市场规模及增速	2
图 4 中国公有云细分市场规 模及增速	3
图 5 2020 年中国公有云 IaaS 市场份额占比	4
图 6 云原生用户行业分布情况	5
图 7 2020 年中国企业对云网融合场景需求情况	5
图 8 2020 年中国企业边缘计算使用情况	6
图 9 企业云环境网络防御产品升级策略	7
图 10 企业云支出使用情况	8
图 11 企业关注的云管理服务能力	9
图 12 中国企业数字化战略和数字化文化建设程度	10
图 13 云原生关键技术栈及市场采纳周期双曲线	12
图 14 云原生技术生态热点开源项目分布	13
图 15 容器技术采纳情况	15
图 16 微服务架构技术采纳情况	15
图 17 2018-2020 年招标文件中提及云原生的频率	16
图 18 云边协同全局管理框架	21
图 19 对云充分感知的的算力调度方式	23
图 20 数字化时代以云计算为承载的 IT 架构	24
图 21 零信任安全架构	27
图 22 全因子信任安全架构	29
图 23 国内零信任主要产品和服务	30
图 24 云管理服务范围	32
图 25 混沌工程平台技术架构	39
图 26 中国数字化转型相关政策	40
图 27 IOMM 六大能力和六大价值	43

图 28 IOMM 数字化发展曲线45

表 目 录

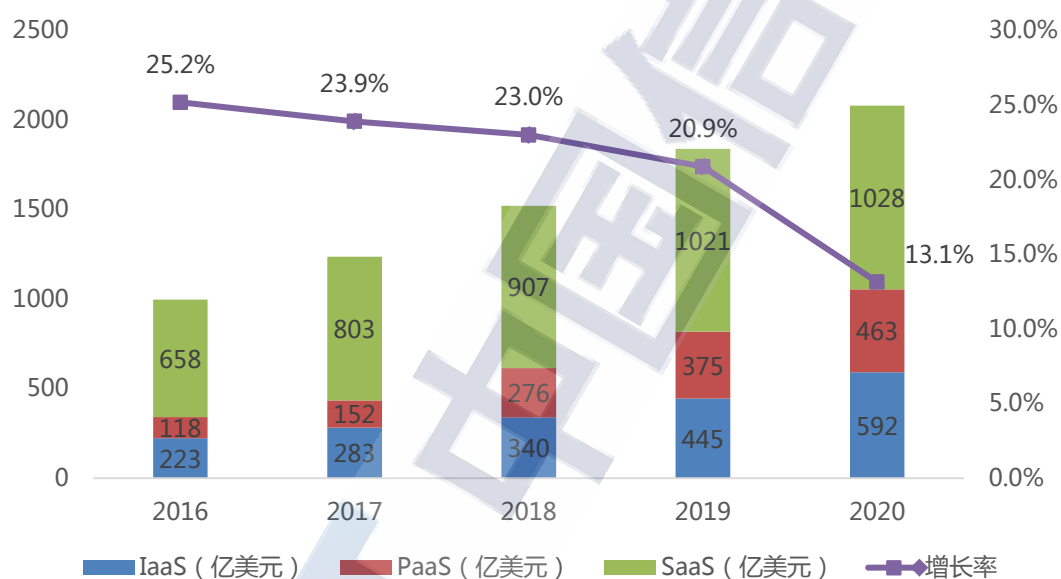
表 1 2019-2020 年中国云原生领域公司融资情况 16



一、过去一年，云计算产业呈现七大特点

(一) 市场方面，全球增速首放缓，我国逆势上扬

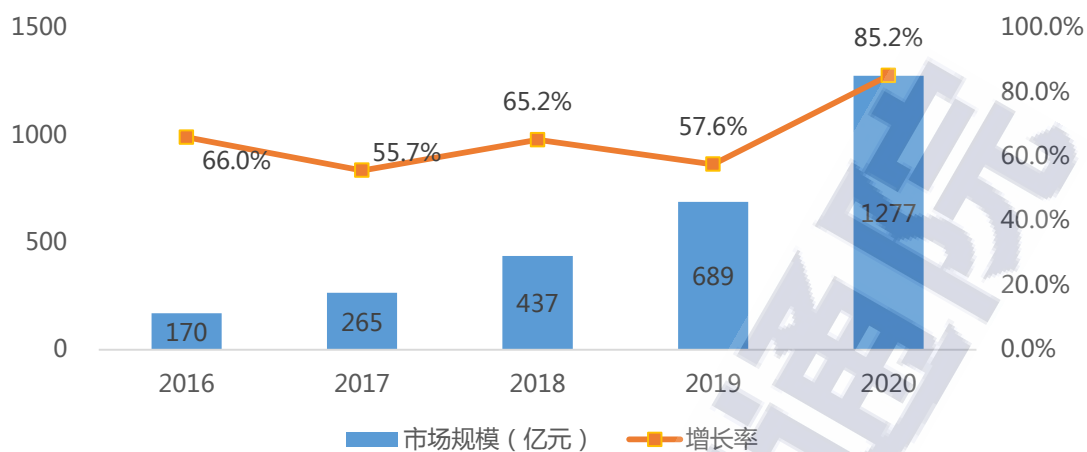
全球云计算市场增速明显滑坡。过去几年，全球云计算市场保持稳定增长态势。2020年，全球经济出现大幅萎缩，以 IaaS、PaaS 和 SaaS 为代表的全球云计算市场增速放缓至 13.1%，市场规模为 2083 亿美元。



数据来源：Gartner，2021年4月

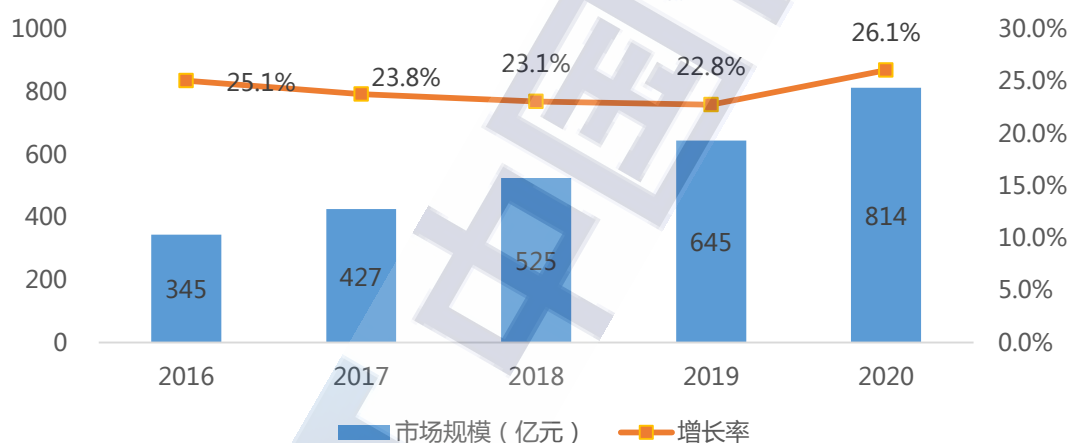
图1 全球云计算市场规模及增速

我国云计算市场呈爆发式增长。2020年，我国经济稳步回升，云计算整体市场规模达 2091 亿元，增速 56.6%。其中，公有云市场规模达 1277 亿元，相比 2019 年增长 85.2%；私有云市场规模达 814 亿元，较 2019 年增长 26.1%。



数据来源：中国信息通信研究院，2021年5月

图2 中国公有云市场规模及增速

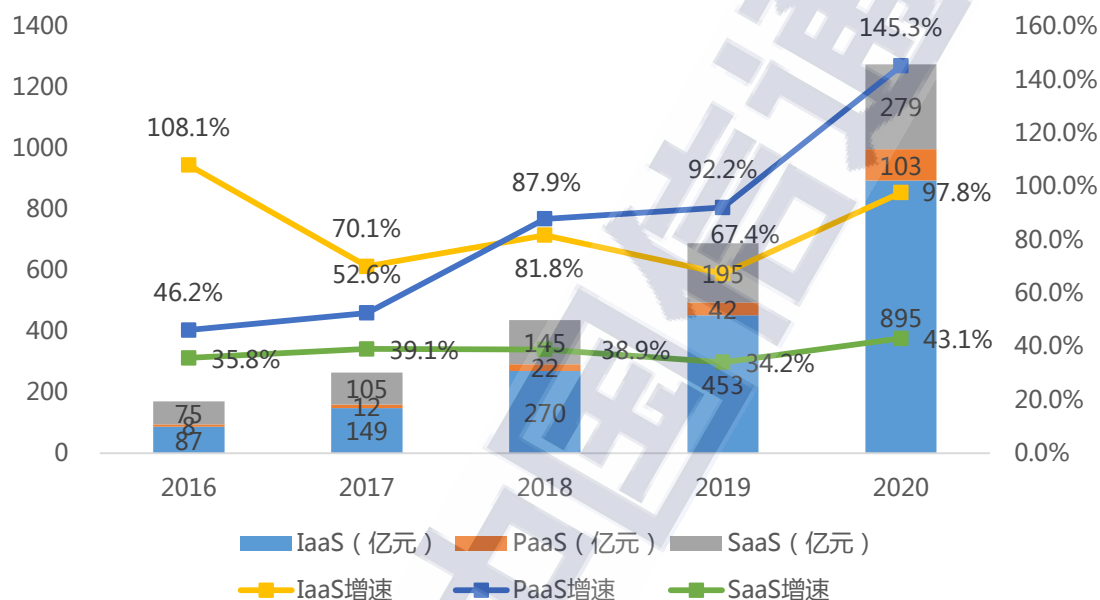


数据来源：中国信息通信研究院，2021年5月

图3 中国私有云市场规模及增速

我国 SaaS 市场稳定增长，IaaS、PaaS 迎突破。2020 年，我国公有云 SaaS 市场规模达到 278 亿元，较 2019 年增长了 43.1%，受新冠疫情对线上业务的刺激，SaaS 市场有望在未来几年迎来增长高峰；公有云 PaaS 市场规模突破 100 亿元，与去年相比提升了 145.3%，随着数据库、中间件、微服务等服务的日益成熟，PaaS 市场仍将保

持较高的增速；公有云 IaaS 市场规模达到 895 亿元，比 2019 年增长了 97.8%，随着云计算在企业数字化转型过程中扮演越来越重要的角色，预计短期内企业将继续加大基础设施投入，市场需求依然保持旺盛。



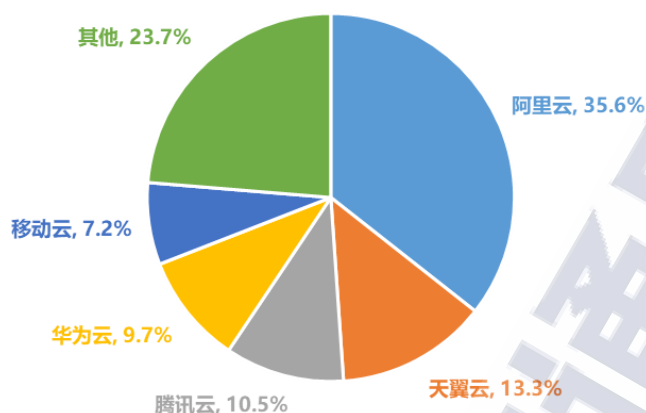
数据来源：中国信息通信研究院，2021 年 5 月

图 4 中国公有云细分市场（IaaS, PaaS, SaaS）规模及增速

厂商市场份额方面。据中国信息通信研究院调查统计¹，阿里云、天翼云、腾讯云、华为云、移动云占据公有云 IaaS 市场份额前五²；公有云 PaaS 方面，阿里云、腾讯云、百度云、华为云仍位于市场前列。

¹市场规模为 2020 年的统计，主要依据企业财报、人员访谈、可信云评估、历史公开数据等得出。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。

²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，所以 IaaS 市场统计不包括 CDN（云分发）收入，只统计计算、存储、网络（不包括 CDN）、数据库等纯基础资源服务的收入。



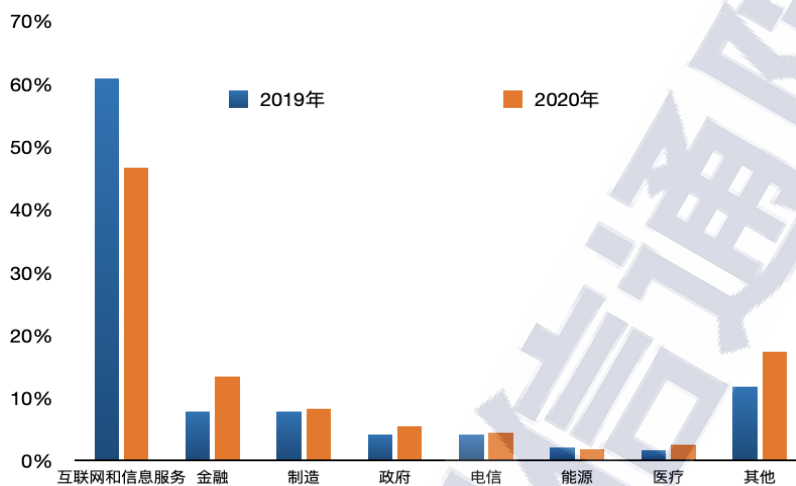
数据来源：中国信息通信研究院，2021年5月

图 5 2020 年中国公有云 IaaS 市场份额占比

（二）技术方面，云原生持续落地，行业应用加速

当前，我国云原生发展呈现出几大特征：**一是互联网和信息服务业应用占比显著下降，垂直行业快速崛起。**中国信息通信研究院的云原生用户调查报告显示，2020年我国互联网和信息服务业云原生应用占比同期下降14.11%，金融、制造、服务业、政务、电信等行业的应用占比则有所攀升，行业数字化转型的带动效应初步显现。**二是云原生技术价值进一步为用户所接受。**云原生技术在提升资源利用率、弹性效率、交付效率，以及简化运维系统和便于现有系统的功能扩展等方面的价值认可较前一年全面提升，分别为14.59%、13.98%、28.83%、37.57%和23.02%。**三是采用云原生架构的生产集群规模显著提升，但规模化应用带来的安全、性能和可靠性等问题仍需考虑。**用户生产环境中中小集群规模（100节点内）同比下降明显，百节点以上规模占比全线上升，规模化应用持续。与此同

时，云原生技术栈在规模化应用时的安全性、连续性及性能等因素成为用户侧落地的主要顾虑（同比增长 14.59%）。

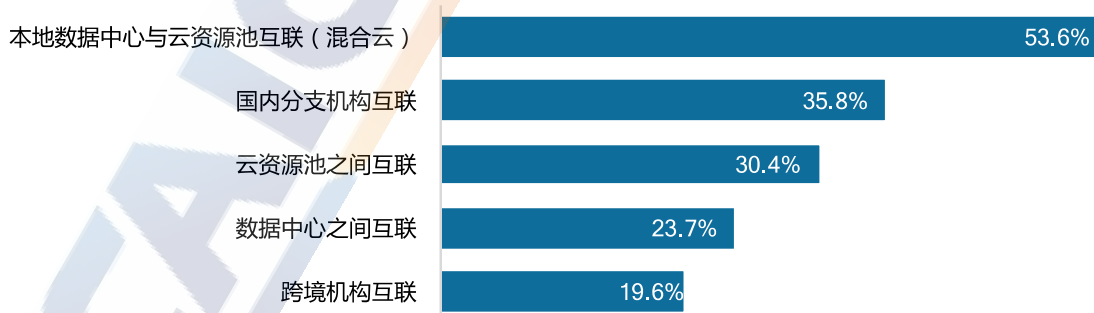


数据来源：中国信息通信研究院，2021年5月

图6 云原生用户行业分布情况

（三）架构方面，云网融合需求强，边缘侧潜力大

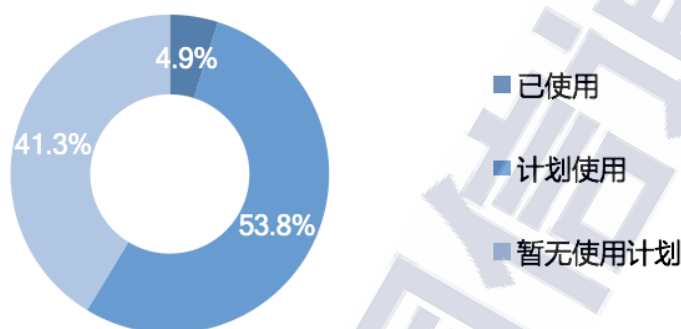
企业上云扩大云网融合需求。随着我国各行业上云进程不断加快，用户对云网融合的需求日益增强。中国信息通信研究院的云计算发展调查报告显示，2020年超过半数的企业对本地数据中心与云资源池间的互联需求强烈。



数据来源：中国信息通信研究院，2021年5月

图7 2020年中国企业对云网融合场景需求情况

边缘计算需求潜力巨大。随着国家在 5G、工业互联网等领域的支持力度不断加深，边缘计算的市场需求也在快速增长。中国信息通信研究院的云计算发展调查报告显示，2020 年我国已经应用和计划使用边缘计算的企业占比分别为 4.9%、53.8%。

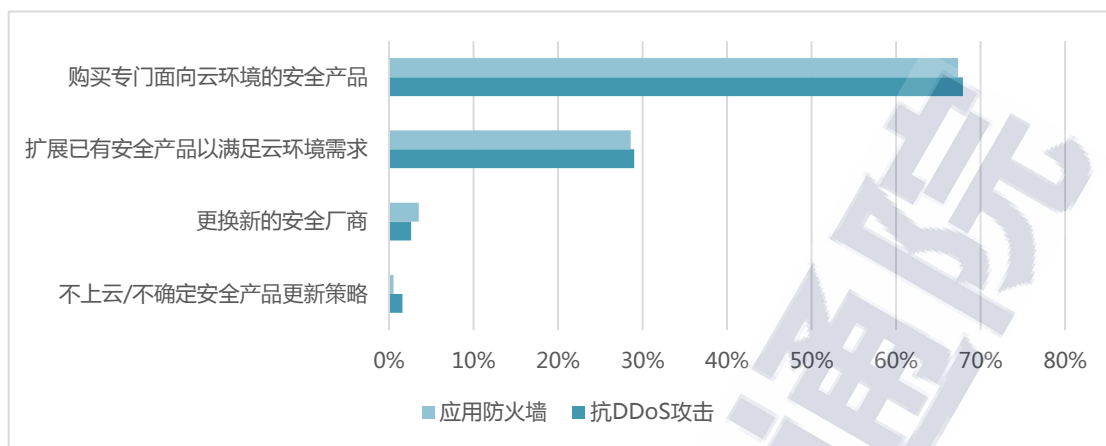


数据来源：中国信息通信研究院，2021 年 5 月

图 8 2020 年中国企业边缘计算使用情况

（四）安全方面，能力提升受关注，信任体系兴起

云计算安全能力提升备受关注。随着企业上云进程的不断深化和云安全态势日益严峻，传统安全架构已无法满足企业需求，改造或升级安全架构以应对云环境威胁挑战成为企业的首要选择。IDC《Internet Defense for Cloud Environments in 2020》统计显示，超 65% 的企业将会重新部署专门面向云计算环境的抗 DDoS 攻击解决方案和应用防火墙，超 28% 的企业将对已有安全解决方案进行升级以适应云计算环境的网络安全需求。



数据来源：IDC，2020年

图9 企业云环境网络防御产品升级策略

以信任机制为突破的安全体系开始兴起。国际上，Forrester、Gartner、NIST 等纷纷定义零信任理念或架构，CSA 提出软件定义边界（SDP）模型，打破边界安全理念中网络位置和信任间的默认关系，以适应云计算网络边界模糊状态下的安全需求。Gartner 认为，向云计算快速迁移仍是目前最大的安全挑战之一，零信任网络访问（Zero-trust network access, ZTNA）将会是企业更安全的选择³；IDC 预测，随着应用从集中式数据中心向边缘的 IaaS/PaaS/SaaS 迁移，到 2022 年，遵循零信任规则的软件定义安全访问解决方案预算将成倍增长⁴。在国内，工信部发布的《关于促进网络安全产业发展的指导意见（征求意见稿）》，将“零信任安全”列入需要“着力突破的网络安全关键技术”。

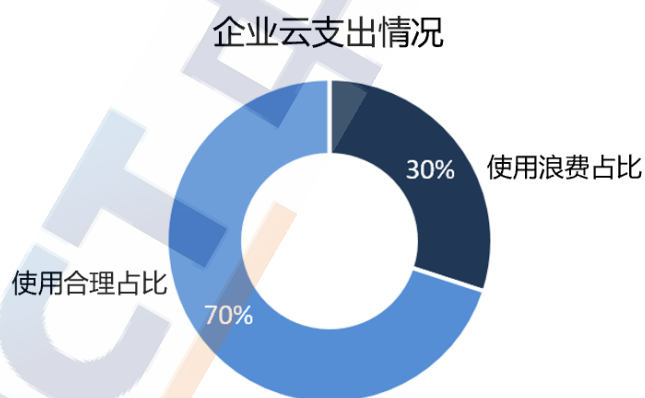
³ 《Top 9 Security and Risk Trends for 2020》，Gartner

⁴ 《Worldwide Future of Trust 2021 Predictions》，IDC

（五）管理方面，用云面临新挑战，优化需求凸显

企业用云程度加深引发新问题。早期，企业用户主要关注如何上云，需求通常来自咨询规划、迁移实施和资源管理等。随着用云程度加深，企业面临新的问题：**一是上云后云上支出浪费严重。**

Flexera 2021 年云状态报告数据显示，企业上云后平均浪费了 30% 的云支出，云成本预算处于失控状态。**二是上云后部分业务性能下降。**中国信息通信研究院的云 MSP 服务发展调查报告显示，接近 50% 的企业在上云后存在系统性能下降的情况，性能优化成为必然。**三是上云后业务与安全结合不深。**随着原生安全理念的兴起，云服务商开始以原生的思维构建云安全产品及解决方案，而上云企业并未将自身业务场景与云上安全产品进行很好的结合。

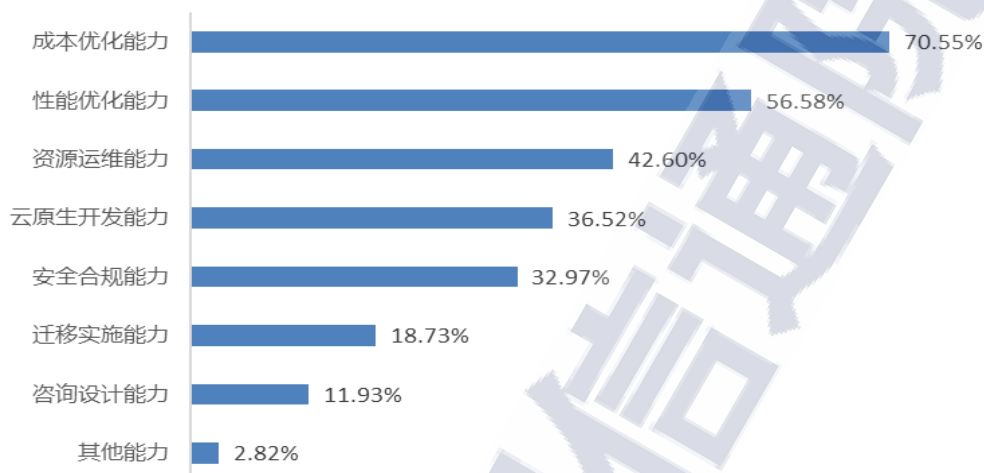


数据来源：Flexera，2021 年 1 月

图 10 企业云支出使用情况

云优化成为企业最关注的云管理服务。根据中国信息通信研究院的云 MSP 服务发展调查报告，云优化能力成为企业选择云管理服务商时考虑的重要因素。其中，容量和成本优化、云上应用性能优

化成为企业云管理的首要需求。面对企业用云需求的后移，云管理服务提供商也将自身服务范围外延，积极探索建设优化服务能力。



数据来源：中国信息通信研究院，2021年6月

图 11 企业关注的云管理服务能力

（六）软件方面，研发流程重定义，新格局渐形成

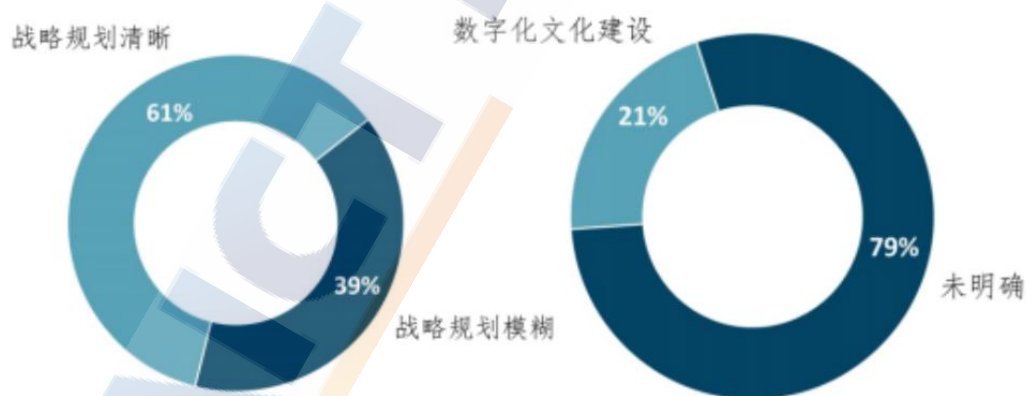
云计算正在重新定义软件研发流程。在疫情影响全球背景下，软件作为链接我们日常生活与全球经济的新命脉显得更为重要。传统软件开发时间长、迭代更新慢、灵活性差。云计算的发展促进了软件开发流程的改革，DevOps 理念从项目管理、应用开发、软件测试、运维运营对软件的全生命周期进行了规范，为云上开发具备多云部署能力、可移植性、可扩展性和高可用性的软件应用提供了清晰的实践流程。

云软件新格局逐步形成。随着数字化转型的推进，各行业头部企业都已经开始云上软件开发实践，并形成了良好的带头和示范作

用。随着实践不断深入，云架构重塑了开发和运维模式、云测试打破了效能瓶颈进而提升软件质量、混沌工程保障了云上系统的稳定性。云软件工程正从技术架构升级、软件质量提升、系统稳定性保障三个维度打造云软件新格局。

（七）赋能方面，助力数字化转型，成熟度待提升

云计算成企业数字化转型的充分必要条件。以云计算为承载，融合大数据、人工智能、区块链、数字孪生等新一代数字技术于一体的平台底座，是当前企业数字基础设施数字化转型发展的重要方向。2021年3月，国有资产管理监督委员会发布的《关于发布2020年国有企业数字化转型典型案例的通知》中，30多个优秀案例均使用了云计算技术建立系统平台，提升生产运营数据价值，提高工作生产流程自动化水平和工作效率，为企业创造了显著的经济效益。



数据来源：清华大学全球产业研究院，2020年12月

图 12 中国企业数字化战略和数字化文化建设程度

企业数字化转型成熟度有待提升。随着数字经济发展的深入，

数字化转型已经成为各企业未来发展的“必选项”。目前，企业数字化转型的整体成熟度，以及数字化转型在企业的战略高度均有提升，但整体企业数字化发展仍有很大的上升空间。《中国企业数字化转型研究报告》显示，中国有近四成的企业还未提出明确的数字化转型战略，仅两成的企业能够制定数字化文化建设方案并推进落地。

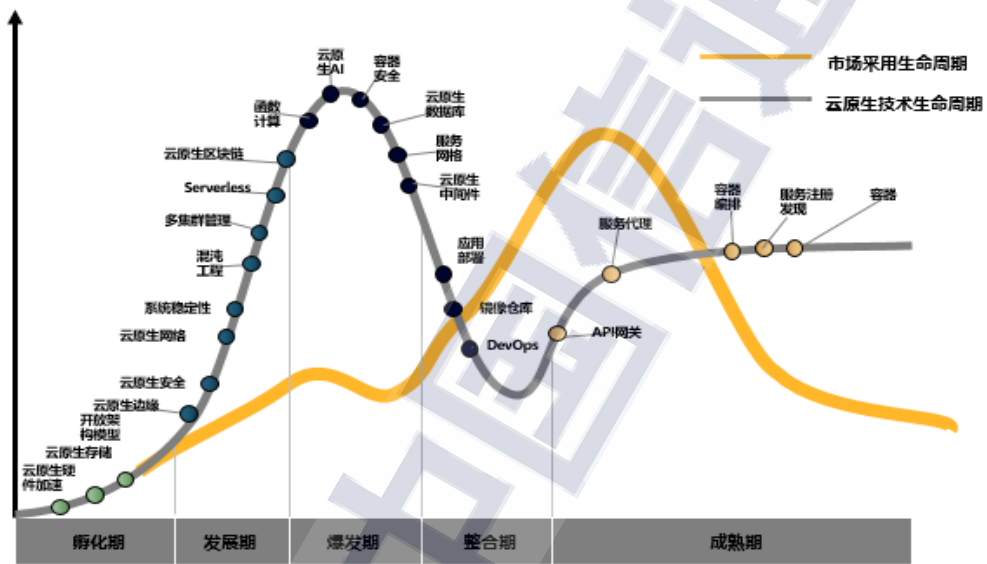
二、云原生技术生态完备市场活跃，进入黄金发展期

（一）云原生生态持续完善，向体系化应用演进

云原生底层核心技术趋于成熟，细分领域的衍生技术呈井喷式爆发。容器、微服务、DevOps 三大云原生核心技术中，通用的容器与容器编排技术已进入技术成熟期、市场采纳度高，在深化应用中诞生的边缘容器、多集群管理和容器安全均处于技术发展爆发期；微服务技术领域，服务注册发现与服务代理技术已进入技术成熟期，新一代微服务架构-服务网格也即将从技术爆发期进入整合期；DevOps 处于技术整合期，市场采纳度初步攀升。另外，随着用户对云原生技术应用便捷化、免运维、一体化等需求增多，云原生中间件、无服务器架构的代表技术函数计算，以及云原生应用融合类技术如云原生 AI、云原生区块链技术研究热度高涨，进入爆发期。云原生技术进入生产环境后，其安全性和稳定性成为应用关注的重点，系统稳定性、混沌工程、云原生安全技术等开始发展。

还有一些细分领域的新技术正处于技术孵化期，包括有状态应用存储需求催生的新存储形态-云原生存储技术，追求低消耗的硬件

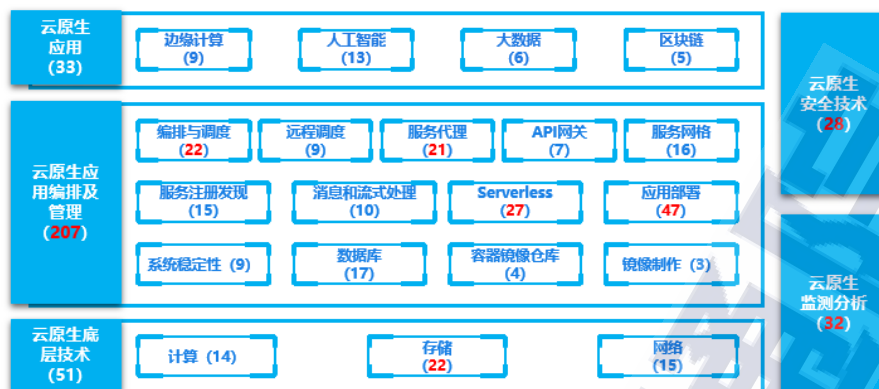
加速技术，以及面向应用层统一编排的开发架构模型。具体的云原生关键技术栈及市场采纳度可见下图，图中横轴表示技术生命演进周期，从孵化期、发展期、爆发期、整合期到成熟期，纵轴表示技术研究热度和市场采纳程度。



数据来源：公开资料整理

图 13 云原生关键技术栈及市场采纳周期双曲线

据国际主要基金会的公开项目数据统计，云原生技术生态的热点开源项目已超 300 个，涵盖技术能力的各个方面，包括云原生底层技术、云原生应用编排及管理、云原生应用、云原生安全技术以及云原生监测分析等五大模块。同时，云原生核心技术的稳固也为跨领域的融合技术繁荣发展夯实了基础，云原生化的大数据、AI、区块链等技术正在成为趋势，以云原生为核心的融合应用发展迅速。



数据来源：公开资料整理

图 14 云原生技术生态热点开源项目分布

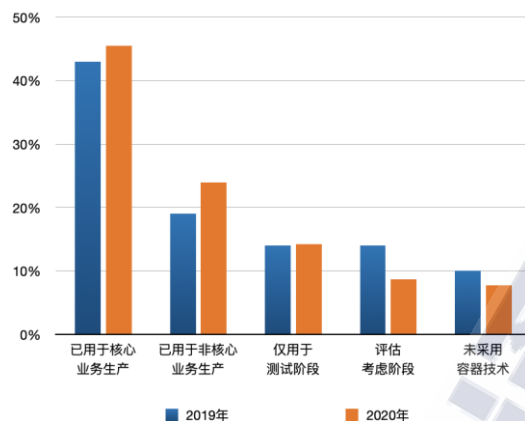
云原生实践走向深水区，用户从单点服务尝试向体系化应用演进。用户需求虽繁杂多变，但云原生建设总体可归纳为三个视角：**技术架构**、**业务应用**和**架构安全**。**技术架构**建设视角着眼于服务全局的技术架构技术路径和全景能力规划，**业务应用**建设视角着眼于业务应用拆分解耦，充分融合底层架构技术实现应用韧性，**架构安全**建设视角着眼于新形态技术架构下的端到端安全防护能力构建。用户选择的技术栈虽不同，但都是为了尽可能地实现云原生的五大核心特性：弹性、高可用、自动化、自愈性和可观测性，只是不同技术栈实现核心特性的水平不同，即云原生落地成熟度不同。随着成熟度的增加，云原生技术架构从容器化、微服务化、体系化、规模化向智能化发展，云原生业务应用从架构弹性、服务解耦、应用自愈向持续优化演进，云原生架构安全从基础层云安全、容器安全、应用安全、研发运营安全向全链条云原生安全及领先的云原生安全设计理念深化。用户可结合企业业务与发展需求，灵活选择对应的

云原生技术栈，并制定企业云原生化建设演进路线。

（二）云原生技术采纳率攀升，用户侧需求旺盛

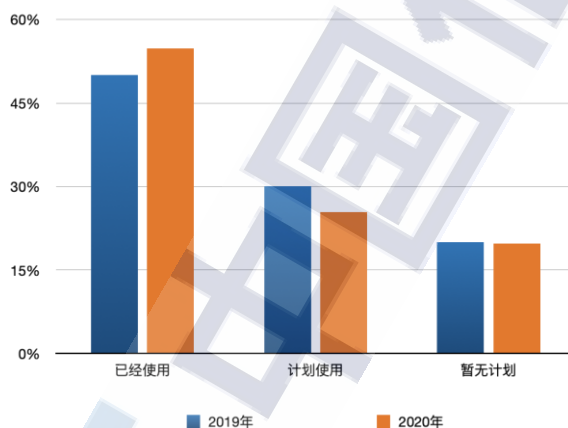
云原生行业用户占比显著上升。需求的不断变化、业务规模的持续上涨，促使各行业积极寻求变革、拥抱新技术。银行业从传统网点模式走向互联网金融模式，制造业依托工业互联网走向“智造”，交通业大力推广“智慧交通”走向真正的互联互通。云原生在行业转型升级过程中提供众多可灵活组合的标准能力，呈现降本增效、弹性伸缩、敏捷迭代、高可用性等多重价值。互联网和信息服务行业是云原生技术实践最成熟的行业，技术受众较多，但随着垂直行业对云原生技术的价值认同逐渐加深，行业用户占比同比上升明显。云原生有力推动了各行业的创新性发展，行业用户范围不断扩展，呈现多元化格局。

云原生在生产环境的采纳率同比攀升。云原生作为构建云上业务应用的最优模式集合，提供计算、编排、存储、安全、可观测等灵活多样的技术方案。云原生理念贯穿系统的开发、测试、发布、运维等全链路，引导传统业务逐步过渡到全新的建设模式，搭建起一整套体系化的云原生架构，最大化云原生技术的叠加效应。云原生核心技术已成为云上业务技术选型的优先项，中国信息通信研究院的云原生用户调查报告显示，容器化改造依旧是主流趋势，将容器技术投入核心业务生产的受访用户同比增长 2.48%；微服务架构应用持续受到业界重视，已使用的用户同比增长近 5%。



数据来源：中国信息通信研究院，2021年5月

图 15 容器技术采纳情况

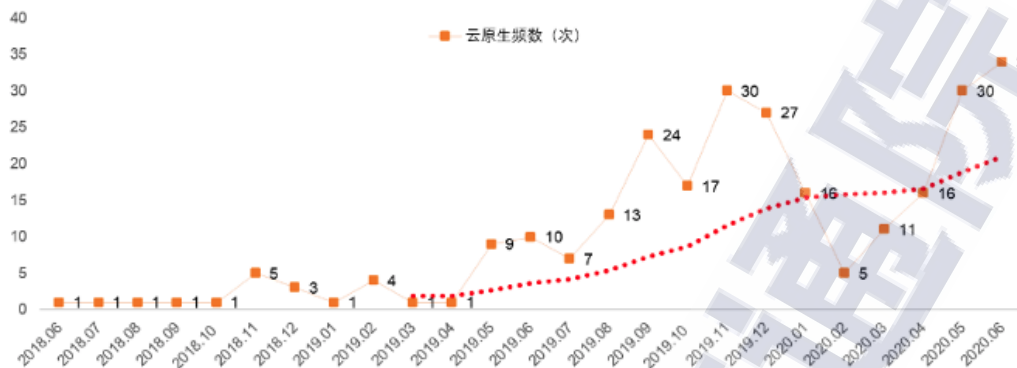


数据来源：中国信息通信研究院，2021年5月

图 16 微服务架构技术采纳情况

云原生技术领域市场活跃，需求旺盛进一步加速市场繁荣。过去几年容器、微服务等云原生关键技术越来越多的出现在项目招标文件中。2018年云原生在招标文件中开始被零星提及；2019年下半年云原生相关的招投标项目数量快速增长，单月频率高达30余次；2020年初由于受到疫情影响，国内经济市场整体低迷，云原生招投标数量偏低；随着经济复苏，2020年年中针对云原生的招投标项目

再次实现高增长。



数据来源：中国采招网、天风证券研究所

图 17 2018-2020 年招标文件中提及云原生的频率

过去两年，我国云原生领域资本市场活跃度较高。至少 16 家云原生领域的公司获得融资，涉及容器、编排、运维、PaaS 平台、消息系统、云原生安全等细分领域。除了贝塔斯曼、晨兴、红杉、高瓴、IDG 等风险投资公司外，阿里巴巴、腾讯、字节跳动等企业也加入投资者行列，云原生细分领域的市场潜力与商业价值可见一斑。

表 1 2019-2020 年中国云原生领域公司融资情况

序号	公司简称	融资轮次	融资金额	融资时间
1	精灵云	A+轮	千万级 RMB	2019 年 12 月
2	谐云科技	战略投资	千万级 RMB	2020 年 4 月
3	飞致云	C+轮	未披露	2020 年 4 月
4	滴普科技	A+轮	5000 万 USD	2020 年 5 月
5	科探信息	A 轮	千万级 RMB	2020 年 6 月

6	零米信息	Pre-A	千万级 RMB	2020 年 7 月
7	小佑科技	天使轮	千万级 RMB	2020 年 8 月
8	原流科技	Pre-A 轮	百万级 USD	2020 年 8 月
9	才云科技	并购	--	2020 年 8 月
10	智领云	A 轮	千万级 RMB	2020 年 9 月
11	博云	D 轮	未披露	2020 年 9 月
12	听云	C 轮	亿元级 RMB	2020 年 9 月
13	安畅网络	D1 轮	亿元级 RMB	2020 年 10 月
14	时速云	B 轮	千万级 RMB	2020 年 10 月
15	睿云智合	首轮	千万级 RMB	2020 年 10 月
16	雅克云	天使轮	千万级 RMB	2020 年 12 月

数据来源：根据公开资料整理

（三）云原生虹吸效应初现，融合应用时代已来

云原生技术带来架构、效能和效益红利，带动用户云原生化改造。云原生应用可以实现快速的构建、发布和部署，并结合云计算的特点，实现底层硬件和操作系统解耦，满足用户在扩展性、可用性、可移植性等方面的要求，推动技术架构深度融合；云原生通过极致的弹性伸缩能力、高效的故障自愈能力、应用开发的高速迭代

能力，实现业务短期迭代、产品快速更新、应用弹性伸缩，极大地释放了云计算效能；云原生技术通过与人员、流程和工具更好的结合，降低了企业信息系统维护成本，提升信息系统稳定性和安全性，提供了极高的经济效益。随着云原生技术的不断普及，云原生的虹吸效应初现，推动技术、行业、场景的云原生化改造。传统底层技术、编排及管理技术、安全技术、监测分析技术逐步开始云原生化改造，形成了基于云原生的全生命周期技术链，同时细分领域的技术也趋于多元化发展；传统行业用户逐步对外围系统、次核心系统、核心系统进行不同程度的云原生化改造，完成上云效能提升；越来越多面向边缘、云网融合、物联网、工业互联网的场景开始基于云原生进行构造和实践。

云原生降低技术门槛，深化交叉集成，推动云数智深层次融合。云原生成为云上数据产品的技术底座。当前，遵循云原生理念设计的数据产品已经与云生态紧密结合，生于云上，长于云上，云原生技术简化了数据产品的部署和交付流程，用户无需关注底层基础设施，按需索取、按量使用，聚焦数据与业务逻辑，提供优质的用户体验，推进数据技术在全行业的广泛应用。**云智技术交叉集成，推动智能化应用价值凸显。**传统的人工智能（Artificial Intelligence, AI）开发过程复杂，涉及数据处理、模型开发、训练加速硬件资源、模型部署服务管理等多个环节，落地困难。同时，伴随着人工智能产业应用数据规模的膨胀，数据格式的多样化、算法模型的复杂化

对计算能力、调参速度的要求逐步提高。云计算依托自身强大的弹性计算能力、海量数据的存储能力，能够快速满足人工智能对基础设施的效能要求。基于云原生技术的人工智能产品体系在简化 AI 开发流程、智能化 AI 数据管理、强化 AI 处理性能等方面卓有成效，加速实现人工智能在各行各业的落地创新，促使人工智能发挥更大的社会经济价值。云原生推动高性能计算应用呈现快速上升势头。云原生在科研及学术机构、生物、制药等领域率先得到应用，例如欧洲核子研究中心（CERN）、中国科学院上海生命科学研究院、中国农业大学、华大基因等单位都已经将传统的高性能计算业务升级为云原生架构。此外，为了更好的支撑高性能计算场景，各云计算厂商也纷纷推出专门面向高性能计算的云原生解决方案。

三、云网边一体化不断加深，重新定义算力服务方式

（一）5G、物联网等推动云网边一体化加深

随着物联网、工业互联网等行业应用的核心模块都已完成云计算平台的部署，5G 网络促使无线接入侧能力大幅提升，边缘侧业务场景逐渐丰富，各类型应用也将根据流量大小、位置远近、时延高低等需求对整体部署架构提出更高的要求，因此传统上相对独立的云计算资源、网络资源与边缘计算资源不断趋向融合，即需要在云计算、边缘计算以及网络之间实现云网融合、云边协同，才能实现算力服务的最优化。

从云的一体化来看，分布式云满足了多样性计算需求。算力的

分布式部署是云计算从单一数据中心向不同物理位置多数据中心部署、从中心化架构向分布式架构扩展带来的新模式。在该模式下，中心-区域-边缘的算力处理能力深入到传统集中式计算处理模式无法覆盖到的边缘应用场景，并通过多种算力基础设施的协同，为各种计算场景提供有针对性的算力。一方面，利用多种计算架构解决多样性数据处理的问题。如计算密集型应用需要中心计算平台执行逻辑复杂的调度任务，而数据密集型应用则需要边缘计算高效地完成多样性数据接入及海量数据处理。另一方面，“云计算+边缘计算”的新型算力处理模式逐步代替集中式算力处理模式。如 CPU、DSP、GPU、FPGA 等算力服务开始从云端向边缘侧扩展，通过提高边缘侧算力处理能力和云边协同能力，达到算力服务分布式发展的最终目标。

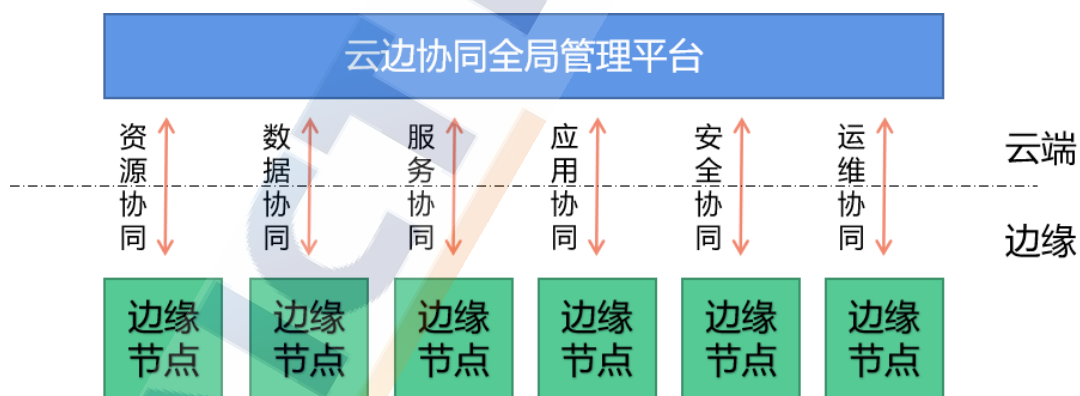
从网的一体化来看，网络虚拟化技术加速云内-云间-入云网络的一体化构建。云网边一体化将云计算、边缘计算以及含广域网在内的各类网络资源深度融合在一起，并根据实际部署位置与应用类型采用集中处理或者分布式调度方法，将原本分散的云内、云间、入云的网络资源进行协同，通过网络虚拟化技术与大型二层交换技术，将算力连接以服务的形式开放给用户，使得云内网络与云间网络边界逐渐模糊，网络结构进一步趋于扁平化，减轻运维复杂度，增加网络灵活性。

从边的一体化来看，云边协同最大化体现云计算与边缘计算的

应用价值。利用容器、微服务等技术快速部署和升级应用，并对边缘应用进行管理和运维；通过云端训练-边缘推理的模式实现云边协同的 AI 处理，支持多种模型发布、更新、推进，形成完整的模型闭环；提供边缘业务高可靠性机制，保证边缘节点应用数据安全传输到云端等。云边协同技术的使用，使得云计算与边缘计算发挥各自优势，在越来越丰富、越来越复杂的应用场景中落地实践。

(二) 云边协同提供更广泛的算力基础设施

在云网边一体化的趋势下，大量的、分散的边缘计算节点接入云端，通过搭建云边协同全局管理平台，对边缘计算节点进行统一纳管，从资源、数据、服务、应用、安全、运维等方面实现云端与边缘计算节点间的协同，将边缘侧算力与云端算力相结合，为 5G 时代下各应用场景提供更广泛的算力基础设施。



来源：中国信息通信研究院

图 18 云边协同全局管理框架

云边协同扩展边缘侧算力应用范围。得益于物联网、5G 等技术的蓬勃发展，云边协同已经从最初的中心云与边缘云协同扩展到覆

盖中心云、边缘云、边缘设备、物联网设备在内的“云边端”综合性技术架构体系。该架构体系能够提供高效灵活的部署方式，使云边协同在更多复杂的场景中应用，进而推动云网边一体化应用在不同边缘场景中落地。

云边协同提升边缘侧算力应用能力。一方面，以容器为代表的云原生技术向边缘侧下沉，利用轻量化、部署简单、规范统一、多环境兼容、快速启动、易扩容、易迁移等特点，为边缘应用在边缘环境资源紧张、边缘设备异构严重、服务管理需求复杂等环境提供了新的部署方式。另一方面，边缘侧积极拥抱开源技术，以开源框架的形式聚集产业各方力量，吸纳广大从业者参与到相关技术、平台、社区、生态的研究和运营工作中来。以 Kubernetes 为主的容器编排技术框架，可以通过构建云边数据通道，对应用进行统一分发、管理和升级，有效支持分布式计算、边缘自治、负载均衡等云边协同、边边协同场景下的业务需求。

（三）云网融合提供更便捷的算力调度方式

在云网边一体化的趋势下，业务的分布式部署促使云内、云间和入云网络的网络能力以服务的形态被封装出来，同时要求底层网络基础设施对云计算保持充分的感知性，使得算力的调度可以根据网络的性能与业务的类型得到更好的保障，云网融合能够为各级算力的调度管理提供更为便捷的方式。

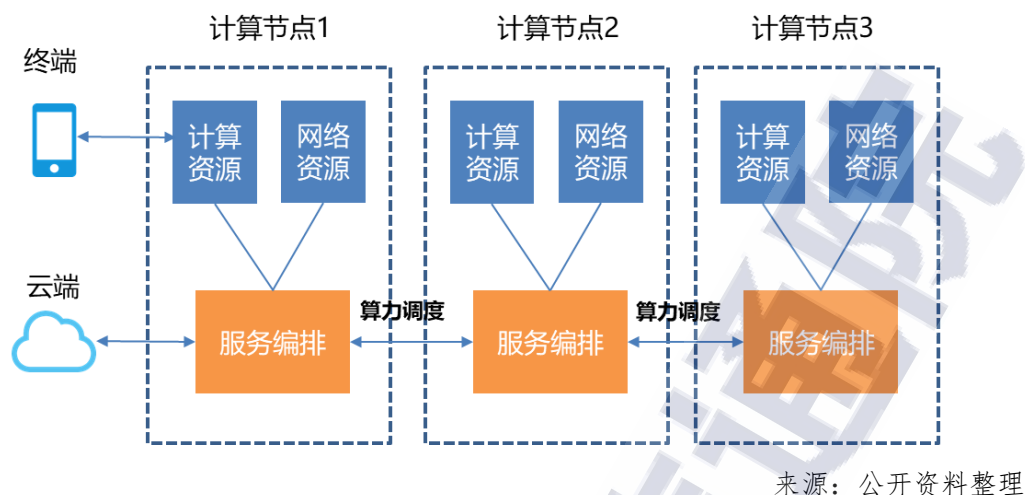


图 19 对云充分感知的的算力调度方式

云网融合增强网络连接过程中的算力提供。初期承载网元设备的数据中心产生的算力是为了连接网络而存在，网络的价值多体现于连接个体设备，绝大多数算力只分布在云网两级架构，集中化的特点明显。依托NFV/SDN技术，现阶段电信网元的虚拟化与智能化管理编排逐步成熟，同时，随着5G的建设与边缘计算的发展，边缘云拓展了云计算的边界，呈现云网边三级分布式架构，算力下沉到分散的用户侧，因此云网融合为算力服务的价值在于连接不同位置、不同层级的计算节点。结合网络切片、动态编排、租户隔离等技术，使传统的“应用适配网络”转变为“应用定义网络”，全面提升算力服务的连接水平。

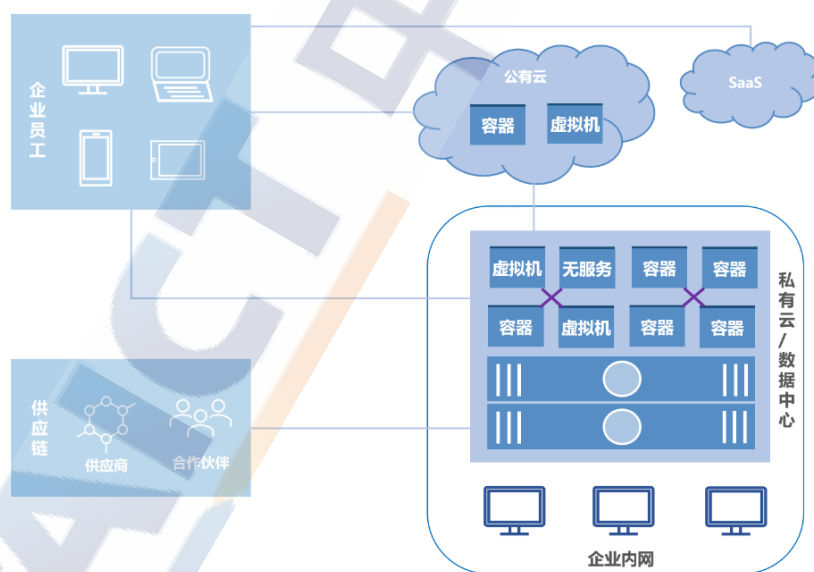
云网融合为算力服务提供端到端的确定性业务保障。算力服务从中心云向外推送，发展路径是自顶向下，由内而外。分布式技术将算力和存储向外拓展和延伸，依托各层级节点网络控制中心实现

了网络架构对业务的感知,进而提升网络的端到端确定性服务能力。即通过高带宽保障、确定性时延、有界时延抖动等,并基于应用类型、用户对连接数量、带宽资源、PaaS资源、IaaS资源等的需求,提供可管可控高质量的算力服务。

四、云计算打破安全边界,新一代信任体系亟待建设

(一) 云计算基础设施面临更多的信任危机

随着企业数字化转型进程的不断深化,IT架构从以传统数据中心为核心向以云计算为承载,融合大数据、人工智能、区块链等新一代技术的数字基础设施转变,多云、混合云成为主要形态,以数据中心内部和外部进行划分的安全边界被打破,IT架构面临更多安全信任危机。



来源: 公开资料整理

图 20 数字化时代以云计算为承载的 IT 架构

资源暴露面增大,工作负载可信程度难保障。传统 IT 架构下,

应用、数据、工作负载（物理服务器、虚拟机、容器等）等资源位于企业数据中心内网，仅对互联网开放有限端口，企业对资源的安全管理和把控能力强。随着多云、混合云成为企业 IT 建设的主要选择，资源分布于云端，不再处于数据中心边界的防护屏障内，如何保证工作负载及其承载数据、应用的可信将成为难题。**一是海量攻击和威胁对安全防护能力提出更高要求**，企业公有云、私有云、传统数据中心等环境中的工作负载需进行频繁的交互，跨云的连接和数据传输使得暴露面增大，面临更多来自互联网的规模化、多样化威胁，安全防护能力需不断提升；**二是工作负载分散难以有效的统一安全管理**，公有云、私有云、传统数据中心等环境内的工作负载在属性、物理位置、网络等方面均可能存在差异，企业安全管控能力变弱，难以确保所有资源处于可信任状态。

分布式应用架构导致东西流量激增，默认可信的风险大。传统安全防护认为企业内网可信，侧重在内网边界针对南北向（外部）流量进行检测和防护。但随着虚拟化、容器等技术的发展，工作负载粒度从物理服务器，向虚拟机、容器，以及无服务方向细粒度演化，为应用由单体架构向微服务分布式架构升级带来契机。分布式架构中各微服务间需进行频繁的交互，导致负载间的东西向（内部）流量大幅度增加，若默认东西向流量可信，一旦外部威胁突破内网防护边界，将在内部横行无阻，带来不可估量的损失。

数字化工作空间扩展，终端和身份可信状况需把控。数字化时

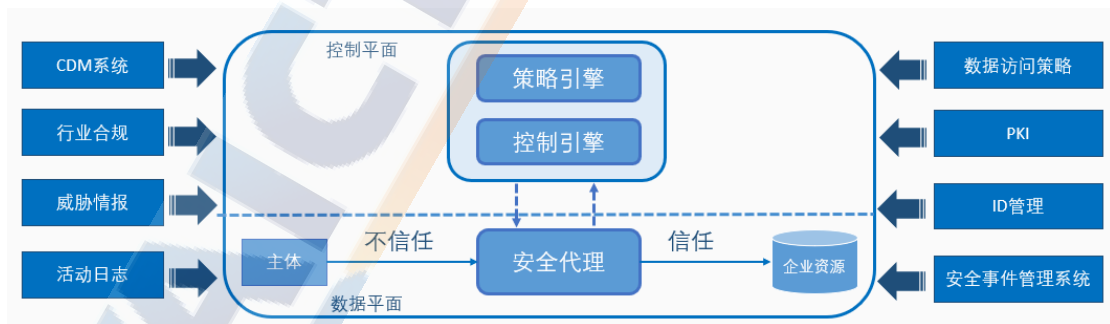
代远程办公和供应链协作成为趋势。一方面，企业员工使用自有设备（Bring your own device, BYOD）远程访问企业资源的频率增多，办公类 SaaS 让人们随时随地接入成为可能，员工不再局限使用企业设备内网办公；另一方面，供应链上下游企业进行信息共享和工作协同，企业内部资源面临频繁的外部访问，数据跨云交互和融合。工作空间扩展带来更多的终端和身份不可信挑战。一是网络接入位置和时间多变，用户不可控性增多，外网连接占比增多，时间从集中变得分散，大量外网访问行为中可能混杂着黑客行为，判断用户身份是否合法的难度提升；二是设备种类复杂导致风险要素增多，与企业设备相比，BYOD 软硬件环境的安全状态更加难以预测，同时，供应链各企业安全管理机制有差异，接入设备和系统的安全能力参差不齐。

（二）应对云计算信任危机的安全理念兴起

在以传统数据中心为核心的 IT 架构中，企业通过在安全边界部署安全产品实现防护，形成以安全边界为核心的安全体系。但该体系存在如下问题：一是过度信任，网络位置与信任存在潜在默认关系；二是与 IT 架构相对割裂，各安全产品间协同性低，防护性能存在瓶颈。为应对云计算带来的信任危机，企业安全架构亟待变革，零信任、原生安全等理念的兴起，为建设新一代安全信任体系提供了指引。

零信任理念默认一切不可信任，网络边界不再是安全边界。在

零信任理念下，不为任何对象（用户、终端、资源等）预置信任条件，通过实行动态的身份验证和最小权限授予、持续的安全防护原则缓解信任危机，实现资源的安全可信访问。**一是默认不可信阻断东西向风险的快速传播**，任何访问主体对资源的访问都需要进行认证和授权，即使是来自企业内网的访问主体，异常的东西向流量将被有效阻断；**二是身份认证与授权机制屏蔽终端和身份的潜在威胁**，通过多源数据对访问主体进行信任评估，覆盖用户身份、终端信息、行为信息等多个方面，某些信息未知或不可信，将影响信任评估结果，无法获取资源的访问权限；**三是持续的安全防护尽可能确保所有资源处理安全状态**，通过漏洞扫描、病毒管理、态势感知、数据防泄露等多种手段，保证企业内基础设施、应用、数据、终端等资源的安全性。基于零信任理念，安全架构通过安全代理、策略引擎和控制引擎三大核心逻辑组件，结合内外部多源数据，对访问主体和访问资源之间的每一个行为进行持续动态的身份认证和权限判定。



来源：NIST

图 21 零信任安全架构

原生安全理念提倡安全产品原生化，增强安全防护能力。在原

生安全理念中，原生化的安全产品能够内嵌融合于以云计算为承载的数字基础设施，充分了解和利用云平台，最大限度发挥安全防护能力，极大程度提升企业体验。原生安全产品优势主要体现在：**一是部署应用更加便捷高效**，以组件形式虚拟化、容器化部署，或以 SaaS 形式交付，统一配置和管理，能够按需使用，安全防护能力弹性扩展，底层资源利用率高；**二是与 IT 架构深度融合**，避免传统安全架构与 IT 架构割裂的问题，能够获取和整合 IT 架构的各类数据信息，深入挖掘潜在安全风险，同时适应 IT 架构特性，解决 IT 架构面临的特有安全问题；**三是开放协同**，安全产品间进行信息共享和联动，协同处置安全事件，对数字基础设施进行更有力的控制。

零信任理念和原生安全理念拥有各自的优势，结合两者的**全因子信任安全架构能够保证构成 IT 架构的所有因子⁵处在可信任状态或具备恢复至可信任状态的能力**。一方面，**组件开放协同和数据共享**，策略引擎的数据源更加丰富，能够更有效对访问主体进行信任评估；另一方面，**基于云计算实现高性能**，安全防护能力弹性扩展，多节点分布式部署能够让不同网络位置的访问主体就近接入安全代理，提升用户体验；最后，**管理平面实现统一纳管**，安全管理子组件通过管理平面进行跨云资源管理、多种类终端管理和安全策略管理，有效应对资源、终端设备和安全组件分散复杂难题。

⁵ 所有因子包括静态因子和动态因子，静态因子指数据、网络、应用系统、服务器、终端设备等物理和虚拟资源，动态因子指 IT 架构运营中的所有活动，如静态因子间的访问、操作等。



来源：中国信息通信研究院

图 22 全因子信任安全架构

（三）新兴安全理念助力企业信任体系建设

目前，零信任和原生安全已从概念走向实施应用阶段，产品生态不断丰富，逐渐在用户侧得到认可，为行业用户建立新一代信任体系提供支撑。

零信任产业生态初步形成。云服务商、大型安全厂商、初创安全服务商等围绕自身安全技术优势形成各有特色的零信任解决方案，覆盖身份安全、网络安全、终端安全、应用安全、数据安全、安全管理、工作负载安全、安全网关等多个领域，解决企业数字化转型不同场景下的安全需求。

公司	产品名称	是否具备 SaaS版	优势特点
腾讯云	腾讯零信任安全管理系统iOA	√	以身份安全、终端安全和链路安全三大核心能力，为企业内网安全和应用上云打造统一、安全和高效的访问入口。
蔷薇灵动	蔷薇灵动蜂巢自适应微隔离安全平台		将安全能力与工作负载紧密结合，实现跨平台统一安全管理、业务与安全同步交付。
深信服	零信任访问控制系统 aTrust		以流量身份化和动态自适应访问控制为核心，实现可信访问、智能权限和极简运维。
天融信	天融信零信任体系		以身份安全为核心，对数据和功能两大核心资产的访问行为进行精细化访问控制。
白山云	应用可信访问 (Access)		以身份认证、访问控制、应用统一管理和全面审计作为核心能力
绿盟科技	SAG & UIP		聚焦与业务应用安全和数据安全，实现端到端的网络/数据安全防护。
阿里云	云安全访问服务CSAS	√	聚焦身份安全，基于云原生架构建立安全能力触达边缘的办公安全统一管控平台
华为云	华为云应用信任中心	√	围绕用户应用打造的安全服务，通过构建应用安全威胁全景拓扑，实现细粒度访问控制。
青云	SD-NaaS	√	以身份、网络、终端和网关安全为核心，为开发者服务的安全云原生网络即服务平台。
奇安信	零信任基础架构		将身份安全与零信任能力结合，实现端到端应用与数据的细粒度访问。

来源：公开资料整理

图 23 国内零信任主要产品和服务

零信任融合原生安全，云服务模式成为趋势。私有化部署是零信任发展初期的主要模式，随着零信任解决方案的不断成熟和用户接受度的提升，基于云计算的零信任服务因其具备原生安全优势，成为产业的主要发展趋势。云服务商凭借在云资源方面的天然优势，已率先开展探索，例如腾讯云、青云、华为云、阿里云等服务商均发布了 SaaS 版零信任服务。

五、深度用云加速优化需求，云管理服务迎来新窗口

（一）企业用云持续加深，云管理面临新的挑战

企业用云日益复杂化和多元化。一方面，企业上云应用逐渐由外围系统过渡到核心系统，上云的应用越来越复杂，且云上的数据日益增多，如何有效使用和管理云资源，保护云上数据安全成为企业的难点。另一方面，企业开始拥抱多云混合部署模式，《中国混合

云用户调查报告（2021年）》数据显示，用户平均用云数量达到4.3个，多云模式在帮助提升工作效率、实现工作负载灵活的同时也带来了异构资源管理难等新挑战。

云支出浪费严重，用云成本难以掌控。虽然云计算具有弹性按需的优势，但是不当的用云策略往往会浪费更多的资源。企业常常在云上购买了不需要的云服务，导致底层云资源对上层业务盲目支撑，资源浪费的同时还要为未使用的资源买单，费用预算通常超出预期，用云成本难以控制。例如，某食品快消连锁企业用云过程中每月云资源消耗递增，大幅超出IT及各业务部门的年度预算，IDC+多云的部署模式导致云账单复杂，每个月需要花费大量时间和精力进行对账，这些问题都大大提高了企业的云成本支出。

应用上云后性能下降，如何优化成难题。近年来，企业上云后系统性能下降的案例比比皆是，导致性能下降的原因一方面由于云环境与传统IT环境具有差异，直接搬迁上云可能适得其反。另一方面由于云服务商的产品或服务不断的推陈出新，需要持续的进行优化调整找到最佳方案。例如，在某医院用云案例中，采用整机搬迁的部署方式将核心系统迁移至云端，导致应用系统响应缓慢，整体延时严重，客户体验较差，导致业务性能下降的原因可能存在于应用请求的各个环节，需要定位具体原因做针对性的优化。

云安全日益复杂，云管理服务安全事故频出。云上的安全建设进一步复杂化，一方面由于深度用云导致企业无法厘清与云服务商

的责任边界，另一方面企业云安全建设需要将云服务商的云原生安全能力深度融入到自身业务场景中。近年来，云管理服务安全事故频出。国外某企业自动化运维失效导致宕机，两大可用区中的计算引擎停运 93 分钟；国内某企业云硬盘发生故障，导致部分用户的数据全部丢失，且不能完全恢复。这些安全问题给云管理服务商和用户都带来了巨大的损失。

（二）云优化服务应运而生，提升企业用云效率

云管理服务商的服务范围延伸至云上优化。随着企业上云进程的不断深入，基础的管理服务如对云资源进行安全及性能监控，提供实时告警、运维等方面的服务已无法满足企业需求。企业用云需求从初期的稳定运行逐步延伸到充分借助云计算优势为业务赋能的阶段。相应地，云管理服务也从基础设施的管理维护扩大至云上全面优化服务，包括资源成本优化、应用性能优化、云上安全优化等方面。



来源：中国信息通信研究院

图 24 云管理服务范围

成本优化帮助企业合理使用云预算。云经常使企业预算处于失控的状态，成本优化可以从三方面帮助企业管控云费用：**一是基于资源优化的成本节约**，对业务系统近一段时间内资源使用情况进行分析并提出调整计划，例如关闭闲置或低利用率资源、调整资源的存储策略等。**二是基于账单优化的成本可视**，云厂商的计费方式复杂、账单文件繁琐，且缺乏多云视角，很难掌握每个细分维度的确切成本。账单优化可以按照公司、部门、项目或者云厂商的维度对企业多云账单进行拆分和整合，清晰的展示云资源和费用，提高账单的可读性。**三是连接账单与 IT，使成本可控**，可以从配额管理、审批管理、预警订阅等方面连接云费用账单与运维系统，使管理人员可以动态掌握云支出与云预算，提前对云费用使用做出调整。

性能优化可以使应用与云深度融合，从而更好地发挥云特性。云管理服务提供商通过适配云平台与企业应用，从参数、资源和架构等多个方面进行优化。**参数优化方面**。由于云环境与传统 IT 环境的差异，应用上云后需要针对配置参数进行优化。通常可以包括操作系统参数优化、应用程序配置参数优化、中间件配置参数优化以及缓存参数的优化等。**资源优化方面**。主要优化由于云资源使用不当导致的应用性能瓶颈问题。资源使用不当导致性能下降的原因可能存在于应用请求的各个环节，如数据库、磁盘、网络 I/O 等方面，需要定位具体原因，做针对性的优化。**架构优化方面**。充分利用云平台的 PaaS 和 SaaS 服务，配合 IaaS 资源，基于云平台能力优化应

用系统架构。通过应用模块拆分、应用无状态改造、应用网络吞吐优化以及应用的容器化改造和微服务拆分等方式优化云应用的架构部署。

安全优化结合业务场景完善企业安全防护体系。随着用云程度的加深，企业云安全防护越来越重要，云管理服务商需要协助企业针对云环境安全进行优化。一方面，针对服务器、中间件、应用系统等进行安全基线加固、安全漏洞修复等基本操作。另一方面，可以基于云服务商构建的云原生安全产品及解决方案，结合企业业务场景建立从咨询、检测、防护到测评的安全解决方案，应对混合多云环境下的各种安全威胁，为企业提供服务保障。

（三）多方布局云优化市场，工具能力有待提升

云管理服务市场开启新的竞争局面。一方面，云管理服务商在原有业务基础上开始拓展优化能力，服务范围扩展至云上成本优化、云上应用开发等。国内外云管理服务公司通过收购或者自研的方式，相继推出云优化相关产品或工具。另一方面，非云管理服务商纷纷进入云优化领域，例如金融财务相关公司开始关注于云上的成本优化，信息安全类公司开始关注于云上安全优化，技术类研发公司专注于应用的原生上云优化，云网服务类公司从云和网深度融合优化的角度提供云上管理方案等。

云优化工具尚处于发展阶段。标准化的工具可以屏蔽各种底层差异，用来支持不同的云环境，帮助企业规范管理能力和提升管理

效率。目前，云优化工具还处于发展初期。成本优化方面，工具主要聚焦于对云上资产的监控、发现云环境中的低效率资源和对云账单的管理及分析。性能优化方面，主要以专家服务的方式为主，相应的工具产品还比较少。同时，一些服务商已开始着手成本和安全工具的研发，随着工具服务能力的完善和标准化，基于工具进行云优化管理将成为未来发展趋势。

六、云模式变革软件工程新业态，打造云软件新格局

（一）云软件架构全新升级，重构开发和运维模式

云计算带来全新软件产业架构，软件工程迎来新一轮变革。纵观过去的三四十年里，软件产业经历了多次重大变革，从大型机向小型机迁移、从 C/S 架构到 SOA、从互联网兴起到移动互联网的爆发、从软件的本地化开发部署到云上开发时代的来临，每一次的 IT 产业架构变革，都带来了巨大的商业机遇和行业洗牌的挑战。云计算带来了全新的基础设施和流程上的自动化，对软件工程进行了由内而外、从软件开发形式到企业组织文化的变革，如软件代码正逐渐从本地服务器被托管到云端、云上容器集群正替代虚拟机成为新的应用载体、传统集中式数据库正在被分布式云数据库取代、微服务分布式架构逐渐替换掉单体应用架构、分布式监控系统逐渐替代了传统监控产品、传统软件安全再也无法描述云原生安全的要求。云计算尤其是云原生技术的不断丰富，使软件的开发更为高效便捷，

应用部署更具弹性，同时具有多平台间的可移植性，实现了云时代软件工程的改革。

云原生技术重构软件开发和运维模式。以容器、微服务、DevOps为代表的云原生技术，重构了软件开发和运维模式，用户可以构建容错性好、易于管理和具有可观测性的应用。容器提供了一致性的应用环境；微服务架构提供了松耦合的应用开发框架，提供了应用独立迭代、部署等能力；DevOps提供了一站式的应用开发运维平台，在软件编码、托管、构建、集成、测试、发布、部署和运维全生命周期中实现自动化，缩短了软件开发周期，提高软件迭代效率；在容器和微服务分别实现了资源和应用的细粒度区分之后，Serverless将服务细化到函数级别，通过函数的封装与编排快速实现应用软件的开发生态，实现更加灵活的应用软件开发。

（二）云测试打破效能瓶颈，助力软件工程高质量

云计算时代的软件工程广泛采用 DevOps 为企业全方位立体化地提供软件开发和交付的路径，提高软件的质量和效率。业务价值的持续交付逐渐成为企业的核心诉求，而在整个持续交付流程中，测试环节由于自动化比例低、测试用例难以全面覆盖等原因，可能对迭代效率造成严重影响，已成为企业效能提升的极大瓶颈。云化的 DevOps 解决方案可帮助推进测试的执行和革新，有效提升软件质量。

持续测试保障软件研发质量，让软件交付流水线更好更快运行。

将测试与持续构建、持续集成、持续运维等集成，融入持续交付流水线；提高自动化测试水平，快速反馈、提高迭代效率；锚定精准测试，提升测试效率；分别将测试活动向需求、开发等环节“左移”，向生产环境“右移”，覆盖软件开发和交付的全过程。

运维测试加强软件运行质量，运维链路准确性成关键因子。容器化带来的极致弹性对应用运维提出了新的挑战，需在测试环境中对扩缩容模型进行充分演练和验证，以保证模型达到预期效果。随着应用的发展，可观测性面临监控失效或过度监控、误报等问题，需对其制定相应测试方案，筑牢自动化运维、故障自恢复的基石。

测试服务化提高软件测试质量，丰富持续集成工具的能力。随着 DevOps 在企业的落地实践，迭代速度日益提升，随之产生大量复杂的测试过程、测试环境、测试数据等已透支传统持续集成工具的效能。将测试基础设施与 DevOps、持续交付等有机结合，将服务化的测试工具集成到持续交付流水线上，能够有效提升软件测试质量。

测试智能化高效高质量交付软件应用，开拓软件测试领域新方向。随着人工智能和机器学习的快速发展，基于人工智能的测试技术和测试工具应运而生，推动测试活动向智能、高效加速前进，提升测试准确性、测试覆盖率、产品迭代速度，降低测试时间及人力成本，提升软件交付效能，确保卓越的用户体验。

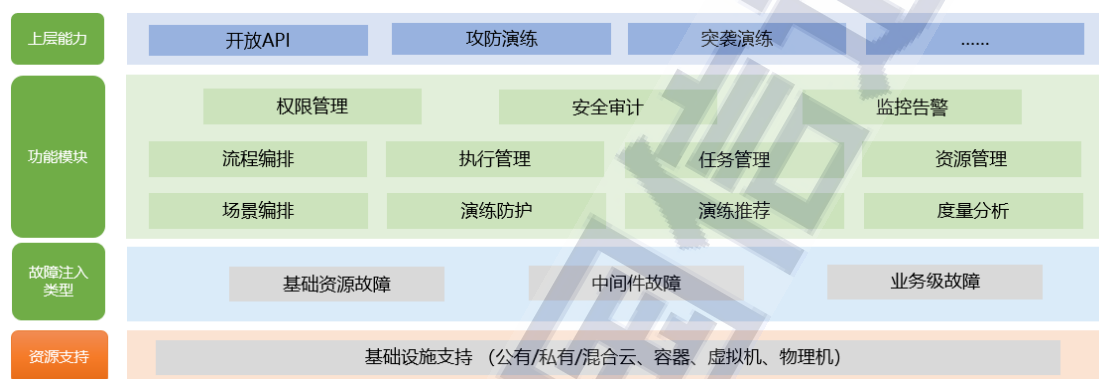
(三) 云上系统稳定性遭挑战，混沌工程应运而生

云上软件工程实践逐渐深入，系统稳定性遭遇新挑战。随着云计算技术的发展，传统的技术架构进一步向云原生架构演进。云原生的应用架构带来很多优势：多可用区架构能够提供更优越的容灾能力；中间件服务可以提供更高效的安全能力，减轻运维压力；容器化的部署提升了系统弹性和扩容能力；微服务体系的引进成功解耦应用模块，避免了单点故障。但是，云原生带来诸多优势的同时，在系统稳定性方面也引入了新的挑战。当前，分布式系统及微服务场景相对于单体应用，服务链路更长且更复杂，任何一个异常都有可能引起整个系统的不良反应。传统的单元测试、集成测试、回归测试、性能测试、代码审查、语法扫描等方式已经无法完全保证系统的稳定性。

分布式系统下故障类型更多样，故障后果不可预见。云上分布式系统架构、多元的业务场景下故障变得不可避免。故障层次呈现多样性。随着云原生化改造的升级，分布式系统下遭遇的故障类型也逐步多样化，可以划分为基础资源故障、中间件故障以及业务级故障。系统调用链复杂，故障后果更加难以预见。尤其是微服务架构下，级联依赖和持续的增量变更，使得任务的调用、数据的流转更加复杂，系统无法预计某些超出设计初衷的故障场景所带来的后果。

混沌工程为系统稳定性保驾护航。混沌工程本质上来讲是一种适应大规模分布式系统的测试手段：通过主动制造故障，验证系统

面对不同压力的反应，识别并修复故障，建立对系统承受生产环境中湍流条件能力的信心，以更复杂、更有预见性的手段提高技术架构弹性能力。在此背景下，中国信息通信研究院牵头编写了《混沌工程平台技术要求》标准，该标准旨在指导云厂商及用户构建混沌工程测试平台，积极推动混沌工程技术在我国的落地应用。



来源：中国信息通信研究院

图 25 混沌工程平台技术架构

除此之外，混沌实验要求实时监控服务接口的错误率，使用分布式系统的可观测性技术（如链路追踪、指标监控、日志分析等）能很好的满足混沌实验的监控需求。**可观测性技术**为混沌工程提供了生产系统中发现故障的抓手，同时在准生产系统随机注入故障，通过可观测性探寻系统动作变化，扩宽团队对系统的认知，也为可观测性提供更精准和更具参考价值的监控指标。

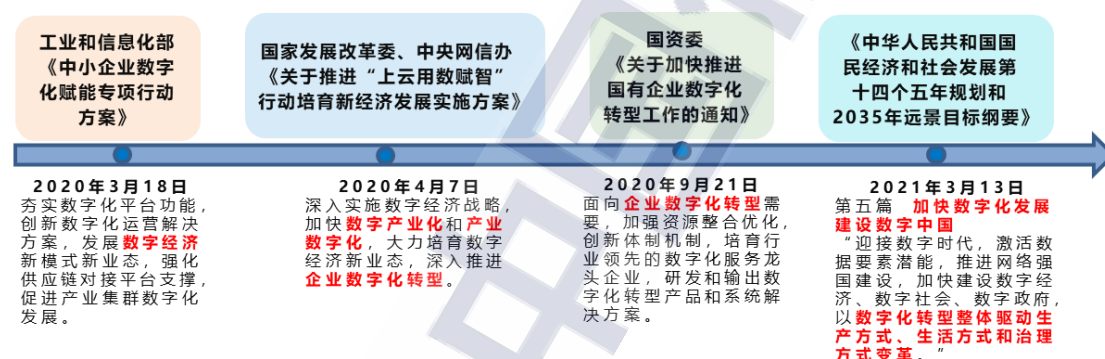
七、云平台成数字化底座，能力成熟度为企业量体裁衣

（一）多方力量汇聚，企业数字化转型已成必然

数字化宏观发展环境得天独厚。政策升级、技术突破、市场需

求重塑等多重变革力量交织汇聚，共同推动数字化发展浪潮螺旋式上升，2020年更是数字化爆发元年，企业数字化转型已成必然趋势

从政策来看，国内企业数字化转型政策集中出台，为企业提供转型指导意见并作出重要部署。2020年，国家发改委、中央网信办和国资委相继发布《关于推进“上云用数赋智”行动培育新经济发展实施方案》和《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》，对企业数字化发展提供了具体推进举措，2021年3月的“十四五”规划更是为建设数字中国明确了发展方向。



来源：公开资料整理

图 26 中国数字化转型相关政策

从技术来看，云计算、大数据、边缘计算、物联网、区块链、人工智能、5G 等新一代数字技术的持续发展突破，为企业数字化转型发展奠定了坚实的基础。云计算技术作为新技术基础设施之一，是构建“数据中台”、“业务中台”等新型 IT 架构的承载技术，为建设敏捷高效可复用云计算平台底座，打造 IT 数字化基础能力，基于云平台，借助以容器、微服务、DevOps 为主的云原生技术，对传统

商业套装软件进行拆分解构，灵活构建松耦合的信息系统，快速响应场景化业务需求。

从市场需求来看，全球经济、市场、商品等多方面一体化发展促进各行业业务量增长、业务模式创新，推动制造业、物流业、金融业等重点行业加快数字化转型进程，通过不断创新数字化生产管理模式和商业模式，应对日渐激烈的竞争环境和随时到来的市场机遇。新冠疫情“黑天鹅”事件，更是倒逼各行业市场对数字化的迫切需求，开启了数字化的全方位赋能，数字化转型已经从过去某个环节或某个场景的部分需求发展为行业的整体性需求。

（二）云平台全面赋能企业业务单元数字化转型

信息化时代企业更加注重单个业务应用的实现，而数字化时代企业的发展趋势是通过深化运用数字技术发挥体系化平台的力量，实现数字技术与企业业务的深度融合，驱动实现以客户为中心价值链的最短路径，以及各个环节的协同和整体化。

企业 IT 底座整体向一体化云平台发展。数字基础设施一体化平台将云计算、大数据、人工智能、区块链等新一代数字技术融合集成，形成的企业 IT 底座成为当前企业数字基础设施建设的重要基础方向。数字基础设施一体化平台能通过有效整合资源，实现数字化基础设施能力的组件化、模块化封装，为企业业务创新提供高效、低成本的一体化服务支撑，满足海量多样化客户群体的个性化需求。

业技融合推动企业价值链转型重塑。业务层面的数字化转型应围绕企业价值链开展，通过将独立业务解构拆分、跨业务单元的协同合作，深化运用云计算、大数据、人工智能等数字化技术，实现业务与技术的深度融合，最终打造内外部业务流程打通、企业内部管理和外部业务流程全生命周期全覆盖的数字化业务平台，优化企业业务链、价值链。

以客户为中心的数据价值化驱动运营创新。探索以客户为中心的服务运营体系建设成为企业数字化转型的核心。利用完备的数字化平台底座，有效整合多方资源和多赢共享，通过汇聚数据，分析数据，实现数据价值化，为企业内外客户提供更加精准、个性化、多元化、定制化、生态化的智能化服务。

价值提升成为衡量企业数字化的重要考量因素。所有的转型都应应以效果和价值为导向，综合考虑成本效益等方面，符合企业当下的综合情况，给业务等客户部门带来更好的满意度和业务贡献度，不断地为组织、客户和其他利益相关者共同创造价值。

（三）IOMM 双曲线方法论加速企业拥抱数字化

标准体系是数字化生态的衡量标尺与重要保障。数字化浪潮下，企业纷纷寻求可信数字化发展路径。中国信息通信研究院联合数十家行业的龙头企业，共同研究建立面向各行业企业的可信数字化标准体系，助力企业清晰规划数字化路径，实现安全可信的数字化发展。**依托企业 IT 数字化能力和运营效果成熟度标准体系（IT and**

Operation Maturity Model, IOMM), 将企业 IT 数字化转型成熟度分类分级, 帮助企业定位自身数字化水平, 明确未来发展方向。标准体系将云智平台化、能力组件化、数据价值化、运营体系化、管理精益化、风控横贯化定为企业数字化转型 6 大能力目标, 明确了以智能敏捷、效益提升、业务创新、质量保障、风控最优和客户满意为核心的 6 大数字化转型效果。



来源: 中国信息通信研究院

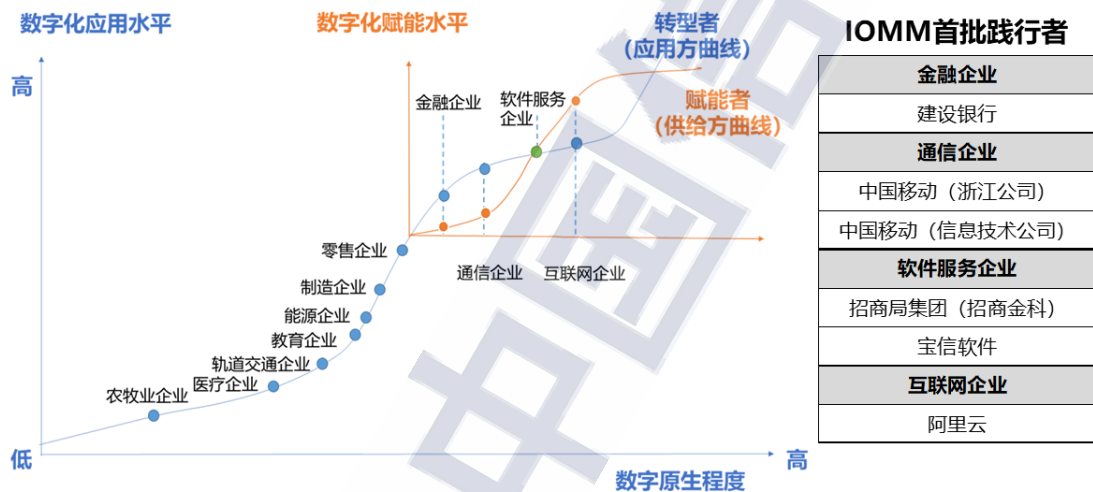
图 27 IOMM 六大能力和六大价值

价值效益提升是企业数字化的重要考量因素。企业数字化发展始终以价值为导向, 每一项数字化活动都围绕价值效益提升展开, 从根本上推动其价值体系创新和重构, 不断打造新动能, 创造新价值, 实现数据价值最大化。一是加强企业内部数字化技术和能力积累, 提升数字化技术的可复用性, 实现智能敏捷、风险可控; 二是不断创新产品服务, 转变价值创造和获取方式, 稳定获得企业数字

化发展成效，实现业务创新、质量保障；**三是**推动业务全价值链数字化变革，扩大数字化业务，开放企业价值生态，赋能上下游合作伙伴，实现客户满意、效益提升。例如某集团公司信息技术部门将数字化技术运用到架构集中性改造中，使计算资源硬件投入减少15%，故障提前发现率提升到95.8%；通过将数据和能力沉淀到平台组件，开放数字化平台能力，实现IT能力的稳定对外输出，赋能企业上下游合作伙伴，年收入超亿元。

企业数字化是转型和赋能交替发展的旅程。企业因其在数字化进程中对数字化技术的应用程度不同，处于不同阶段并扮演不同的角色。农牧、制造、交通等传统行业企业因其自身IT研发能力较弱，目前正处于通过深化运用数字化技术开展自我转型的阶段，**转型者属性明显**。以制造业为例，目前我国制造业数字化转型呈现层次不齐的状况，虽然少量头部企业已将技术、人才、资金等优势融合到数字化平台之中，打造“黑洞工厂”“无人车间”等标杆案例，但大部分中小型制造业企业内部信息化基础薄弱，数字化转型工作处于起步阶段。金融、通信等行业的企业多以经营数字化产品和服务为主营业务，在通过数字化技术实现自我转型的同时，已具备将相关能力沉淀并向外输出，**兼备转型者和赋能者角色**。以金融行业为例，目前包括工行、建行、农行等在内的12家上市银行相继成立融科技公司，加快金融科技布局，加大对金融科技资金和人员投入，加快金融科技资源整合，在依托金融科技推进自身数字化进程的同时，

积极对外输出相关服务能力，赋能其他行业升级转型。互联网企业生来具备强烈数字化基因，是天生的**赋能者**，但同样不得忽视自身的持续转型发展。目前，中国建设银行、宝信软件、阿里云、招商局集团、中国移动（浙江公司）和中国移动（信息技术公司）等企业，已经作为 IOMM 方法论的首批践行者，完成数字化进程评估，具体数字化转型发展水平如下图所示。



来源：中国信息通信研究院

图 28 IOMM 数字化发展曲线

八、总结与展望

展望“十四五”，伴随着经济回暖，全球云计算市场增长率将出现反弹，到 2025 年市场规模将超过 6000 亿美元，我国云计算市场保持快速发展态势，预计“十四五”末市场规模将突破 10000 亿元。立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局，云计算随着市场发展也将呈现出新的发展趋势，具体为：

云原生技术融合化。伴随云原生技术的快速更迭，业务需求进一步得到挖掘，以云原生为基底的融合信息技术成为刚需。未来，云原生细分生态将持续完善，技术边界将从云上延展至边缘，服务形态趋于多元，云原生将成为整合人工智能、大数据、区块链等技术服务能力的调度中枢，为加速用户业务创新持续赋能。

云网边架构一体化。随着 5G、物联网等的发展，边缘侧业务场景不断丰富，对算力处理能力、算力处理位置、算力处理时效等提出更高要求，推动传统上相对独立的云计算资源、网络资源与边缘计算资源在部署架构上不断趋向融合。未来，随着云网边一体化的进程不断加快，资源部署将更加全局化、分布式化，为各类场景提供有针对性的算力服务。

云安全信任体系化。传统安全体系通过部署各类安全产品，以应对网络安全、数据安全等问题，各安全产品功能定位明确，但彼此之间较为孤立和分散，作用局限效率低，难以应对数字化时代日益复杂的安全风险。未来，随着零信任理念和原生安全理念的融合，云安全架构中各模块高效协同，最大限度保障数字基础设施中各资源和动态行为的可信。

云管理服务工具化。当前，多云管理工具标准化程度仍较低且需要大量的定制开发，咨询设计和迁移工具功能也较为单一。未来，云管理工具将进一步完善和标准化，结合大数据、人工智能等新一代数字化技术，把智能决策融入到产品中，为企业提供标准化的决

策支撑辅助工具，助力企业提升云管理服务效率。

云软件工程标准化。在企业数字化转型的大潮下，快速发展的业务类型和爆发增长的业务量对于应用软件的开发提出了更高的诉求。未来，围绕云计算开展的应用软件工程化体系将逐渐向标准化发展，从云原生技术构建软件产业架构、先进云测试技术保障软件质量、混沌工程及可观测性等方法提升软件系统稳定性等三个维度构建云上软件工程的事实标准。

云平台赋能业务化。随着数字化发展的不断深入，企业数字基础设施将融合云计算、大数据、人工智能等新一代数字化技术，搭建一体化云平台底座，为企业上层业务数字化转型整合有效资源，提供高效、低成本的全方位支撑。未来，企业将在数字基础设施一体化云平台转型的基础上，推进上层业务应用的数字化转型，重点关注围绕自身价值链，推进人力资源、财务管理、供应链等通用管理业务以及各行业核心业务应用的数字化转型，从而实现企业整体数字化转型发展，为企业持续提供价值创造新动力。

“长风破浪会有时,直挂云帆济沧海”。我们相信，随着云计算不断成熟，其必将承担起数字化发展的重担，助力数字中国的建设！

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

