



浪潮信息



清华全球产业院
Tsinghua IGI

GLOBAL COMPUTING INDEX

2021-2022
全球算力指数
评估报告

目录

Contents

核心观点	02
-------------	-----------

引言	05
数字经济与实体经济加速融合, 推动疫后经济复苏	

全球算力指数评估结果	08
全球算力竞争白热化, 头部效应显著, 领跑者国家优势进一步扩大	

行业算力发展水平评估	19
互联网行业算力水平全球领先, 各行业发力人工智能等新兴领域	

算力的经济影响	25
算力指数和内生经济理论共同验证, 算力是数字经济时代的关键生产力	

算力的社会价值	31
算力助力新药(疫苗)研制、疫情防控、绿色减排、和谐共生...	

行动建议	37
建议国家加强算力网络顶层设计, 引导多元资本投入算力基建和运营等	

附录	40
-----------	-----------

核心观点 Core Views



- 新冠疫情加速全球数字化进程，数字经济与实体经济加速融合。从2016-2025年的整体趋势及预测来看，各个国家的数字经济占GDP的比重持续提升，预计2025年占比将达到41.5%。
- 本次研究中算力指数与经济指标的回归分析结果显示，国家算力指数与GDP的走势呈现出了显著的正相关。评估结果显示十五个重点国家的算力指数平均每提高1点，国家的数字经济和GDP将分别增长3.5‰和1.8‰，预计该趋势在2021-2025年将继续保持。
- 算力作为数字经济时代的关键生产力要素，已经成为挖掘数据要素价值，推动数字经济发展的核心支撑力和驱动力。算力资本可与传统资本形成互补效应和协同效应，一个国家或地区增加对算力相关的投资可以带来经济的增长，且这种增长具有长期性。同时，一国投资总量中算力投资比重的增加会进一步提高稳态经济增长率。
- 算力指数国家排名结果显示，美国和中国分别以77分和70分位列前两位，同处于领跑者位置；追赶者国家得分在40分到60分区间，包括日本、德国、英国、法国、加拿大、韩国、澳大利亚；得分低于40分的为起步者国家，包括印度、意大利、巴西、俄罗斯、南非和马来西亚。
- 评估结果显示，全球各国间的算力竞争愈加白热化，除南非外，其余国家算力评分均有所提升，其中中国算力水平增幅最大，达到13.5%。各样本国家所属阵营的划分较上一年并未发生变化，一定程度上反映出全球各国算力竞争格局已初步形成。美国和中国作为领跑者阵营国家，在全球算力领域的主导地位进一步得到了增强。

- 领跑者国家依托计算能力供给、应用市场空间和基础设施支持的增长进一步扩大领先优势,中国市场是主要驱动力量;追赶者国家相比起步者国家的优势在于更高的计算效率、广泛的新兴技术应用以及相对健全的基础设施支撑;起步者国家以发展中国家为主,算力市场空间和后发优势突出,辅以不断完善的基础设施建设,正在不断缩小与追赶者国家之间的差距。
- 综合15个国家来看, AI算力支出占总算力支出从2016年的9%增加到12%, 预计到2025年将达到25%。其中, 中国AI算力发展领跑全球, AI服务器支出规模同比大幅增长44.5%, 并首次超过美国位列全球第一。在过去5年15个国家AI算力支出的增长中, 近60%来自中国。
- 样本国家边缘计算能力发展水平普遍提升, 除中美两国表现较为突出外, 以德国、英国为代表的发达国家加大边缘计算布局力度, 发展节奏明显快于发展中国家。IDC预计到2025年, 全球边缘计算服务器支出占总体服务器比重将从14.4%提升到24.9%。
- 本次全球算力水平TOP 3行业分别是互联网行业、金融行业、制造业, 金融业在计算能力和以人工智能、大数据为代表的总投入、增长速度均高于制造业, 在算力水平评估的排名升至第二。疫情爆发后, 收益率降低、坏账率增加等诸多挑战促使多数金融机构加速智能化平台建设, 提升风险管控能力, 并进一步创新服务模式。
- 算力的社会价值正不断凸显。算力建设能够辅助疫苗和药物开发, 极大提高药物发现效率、降低平均研发成本并减少临床失败风险, AI计算辅助药物发现近年来成为全球市场热点。绿色算力将保障社会可持续发展, 应对气候变化, 实现净零排放的目标。算力正在向绿色化和集约化方向加速演进, 同时算力能够帮助企业应对减排压力, 并助力企业在数字化转型中取得商业先机。

引言 Preface



新冠疫情加速全球数字化进程, 数字经济与实体经济加速融合

自2020年新冠肺炎爆发之后, 全球经济形势变得复杂严峻, 各国出现不同程度的经济增速下滑。为应对新冠疫情带来的经济冲击, 加快经济复苏, 全球各国政府加快政策调整, 聚焦数字基础设施建设、产业链数字化重塑、中小企业数字化转型、数字化绿色化协同发展, 加速推动传统行业与数字技术的进一步融合, 推进产业数字化转型, 大力发展“数字经济”。

疫情期间, 数字技术为实体经济提供了重要保障。人工智能、5G、物联网、云计算等新兴技术加速与传统行业的融合, 高效地拉动生产力水平, 为各国应对经济下滑冲击提供了缓冲空间。在强大算力支撑下, 与数字经济息息相关的新兴产业迅速发展, 工业互联网、智能制造、两化融合、车联网、平台经济等融合型新产业、新业态持续发力, 算力也间接成为推动经济稳定复苏的重要因素。

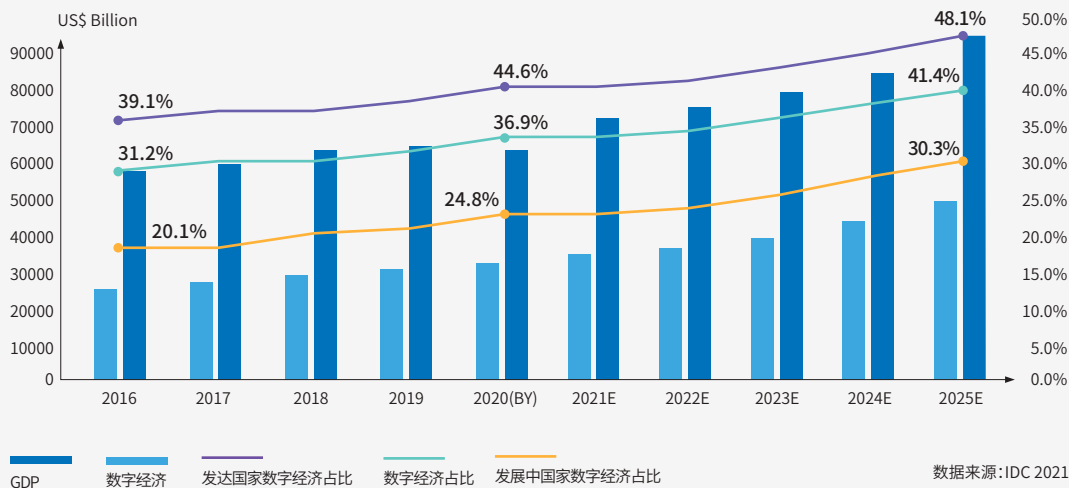
数字经济持续稳定增长, 发展中国家增速高于发达国家

随着数字化进程的加速, 数字经济将成为未来全球经济复苏和增长的主要驱动力。从2016-2025年的整体趋势及预测来看, 各个国家的数字经济占GDP的比重持续提升, 预计2025年占比将达到41.4%。在新冠疫情的冲击下, 全球经济发生衰退, 而数字经济仍保持增长。最新数据显示其中发达国家的数字经济占GDP比重43.9%, 明显高于发展中国家的24.8%, 发展中国家数字经济占比GDP的增速为4.7%, 略高于发达国家的2.4%。本次评估

新加入的部分国家(加拿大、意大利、马来西亚、韩国和印度)数字经济与GDP的比值较低, 使得整体数字经济在GDP中的占比降低。但整体占比趋势仍然保持增长。

在未来, 数字经济作为经济发展的中流砥柱, 有望迅速拉动经济复苏, 疫情期间数字化转型成为全球重点关注的方向, 无论是发达国家还是发展中国家, 都持续重视数字经济。

2016-2025年样本国家数字经济占比趋势



数字技术行业应用场景迸发,为数字经济提供原动力

数字技术发展催生更多应用场景。以5G和人工智能为代表的技术进步和产品创新快速演进,加速与垂直行业深度融合,场景应用不断得到优化与创新。

人工智能加速与其他数字技术融合,改进优化了操作流程,并提供了超高的学习能力,极大提升生产效率;边缘计算提升解决方案的效能,为程序提供了更快的响应以及更高的自主运行能力;5G技术通过部署无限网络满足更低延迟的通信需求;机器人在生产、危险工作环境操作、疫情防控中起到大范围的协助作用。在数字经济中,数据成为生产的关键要素,互联网是基本载体,算力则是提高生产力重要工具。随着数字技术的创新以及人们对数字经济发展的认识的不断深入,对新技术的应用程度越来越深,数字经济在新技术的深度融合下迎来高速发展的契机。

全球围绕数字经济关键领域加快部署,如美国以“人工智能”为主题聚焦前沿技术和高端制造业;中国加快数字产业化、产业数字化的融合发展,数字技术和实体经济深度融合,形成具有国际竞争力的数字产业集群;英国以产业数字化转型为战略,欲将自身打造为全球人工智能与数据驱动的创新中心;韩国聚焦智能工厂、日本聚焦工业互联网等等都展现出各国对数字技术的重视程度进一步提高,数字经济也成为了各国大力推动的对象。

数字技术走向大规模应用的决定性因素是算力,每一项新技术的落地应用,背后都是庞大的算力资源做支撑。随着全球数字经济持续增长,在经济的比重越来越高,算力作为数字经济的核心生产力,增长必然更加迅猛。

全球计算力指数 评估结果

Evaluation Results
of Global Computing
Index



全球计算力指数评估体系更新

全球计算力指数是评估计算力与GDP、数字经济相互拉动,共同发展的指数。

本报告通过设定全球计算力指数框架,构建计算力与GDP和数字经济之间的相互关系,探讨计算力体系与经济学指标间的联系,体现“计算力即是生产力”以及计算力在经济发展中的重要性。

全球计算力指数研究覆盖了六大洲的15个国家,其中发达国家包括美国、加拿大、日本、韩国、澳大利亚、英国、法国、德国、意大利,发展中国家包括中国、印度、马来西亚、巴西、俄罗斯和南非。相较于上一年度,评估国家范围增加了加拿大、意大利、马来西亚、韩国和印度。指标体系中,计算能力部分增加边缘计算二级指标,更全面地展现了各国计算能力的算力形态和发展层次;计算效率新增新技术(SSD/SCM等)使用率子项,结合计算、内存、存储等资源利用率,对评估计算力的利用水平会更加有效;基础设施支持增加数据中心软件及服务子项,从而提高计算力支撑要素的丰富程度。

全球计算力指数评估体系

■ 计算能力

通用计算能力: 服务器支出规模占比、服务器出货量
 科学计算能力: 全球Top500超级计算数量及排名
 AI 计算能力: AI计算硬件(服务器)支出规模占比及出货量
 终端计算能力: 智能手机及PC的支出规模占比及出货量
 边缘计算能力: 边缘计算支出规模占比

■ 应用水平

大数据: 相关软件、硬件、服务整体支出占比
 人工智能: 相关软件、硬件、服务整体支出占比
 物联网: 相关软件、硬件、服务整体支出占比
 区块链: 相关软件、硬件、服务整体支出占比
 机器人: 相关软件、硬件、服务整体支出占比

■ 计算效率

云计算渗透度: 所有服务器中安装有云管理软件的服务器占比(调研数据)、服务器支出中云计算相关占比
 CPU利用率: 服务器CPU平均使用率(调研数据)
 内存利用率: 服务器内存平均使用率(调研数据)
 存储利用率: 服务器存储设备平均使用率(调研数据)
 新技术利用率: SSD/SCM等技术平均使用率(调研数据)

■ 基础设施支持

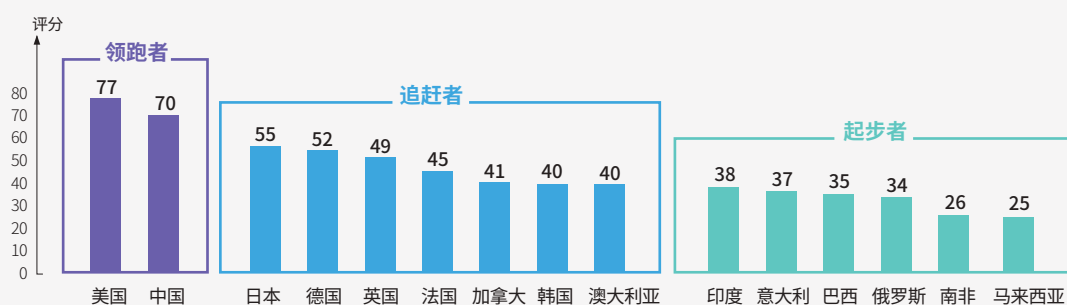
数据中心软件和服务: 数据中心软件和服务支持规模占比
 数据中心规模: 数据中心数量(统计数据)
 数据中心效率: 数据中心平均PUE(调研数据)
 网络基础设施: 每年度企业网络设备出货量,每年度运营商网络支出占比
 存储基础设施: 每年度存储出货容量(TB),每年度存储支出占比

全球算力指数综合评估结果分析

本次研究基于各个国家的算力指数分值、各子项指标的聚类分析、指数的单位增长对于数字经济和GDP带来的推动力等因素，将这些国家划分成了三个梯队，分别是领跑者国家、追赶者国家和起步者国家。

通过观察不同国家算力指数的分布，以及由算力指数的提升所带来的经济增长情况，我们发现三个梯队国家算力指数的划分点分别出现在60分和40分。报告将评分在60分以上的国家归类为领跑者国家，评分在40-60分之间的国家归类为追赶者国家，评分在40分以下的国家则被归类为起步者国家。

各国算力指数及排名



国家	美国	中国	日本	德国	英国	法国	加拿大	韩国	澳大利亚	印度	意大利	巴西	俄罗斯	南非	马来西亚
算力发展水平涨幅%	5.0	13.5	6.4	5.9	5.4	4.6	6.5	6.6	3.1	2.0	4.8	8.4	8.2	-3.5	8.4

数据来源: IDC 2021

本次研究结果显示，美国和中国分列前两位，同处于领跑者位置；追赶者国家包括日本、德国、英国、法国、加拿大、韩国、澳大利亚；印度、意大利、巴西、俄罗斯、南非和马来西亚则属于起步者国家。

全球各国间的算力竞争愈加白热化，除南非外，其余国家算力评分均有所提升。各样本国家所属阵营的划分较上一年并未发生变化，一定程度上反映出全球各国算力竞争格局已初步形成。但对比上一年数据，起步者阵营和追赶者阵营国家算力指数平均分的差值在缩小，而领跑者阵营与追赶者阵营、起步者阵营的差距则进一步拉大。这从侧面反映出美国和中国作为领跑者阵营国家，在全球算力领域的主导地位进一步得到了增强。

领跑者国家：依托计算能力供给、应用市场空间和基础设施支持的增长扩大算力指数的领先优势，其中中国算力水平增幅最大，达到13.5%，成为推动领跑者国家阵营算力增长的主要驱动力。



美国 美国算力水平同比增长5.0%，达到77分，在新冠疫情对整体宏观经济形成负面影响，以及市场体量和发能级已经较为突出的情况下，美国在部分二级指标得分依然取得明显增长，其中边缘计算服务器支出增长13.6%，云计算发展水平提升4.3%，人工智能、大数据、物联网和区块链等新兴技术应用更加成熟，指标增幅领先全球平均水平；美国超大规模数据中心进一步扩大了规模优势，维持全球第一地位；在全球头部超大规模云服务提供商的推动下，美国数据中心整体能效实现提升，但相比超大规模数据中心，美国企业级数据中心能效水平依然有较大提升空间。



中国 为引导数字经济深化发展，实践创新驱动发展战略，中国高度重视新型基础设施建设、行业数字化转型以及前沿科技创新，政府、产业和科研机构对数字化技术和产品的投资持续扩大，创新能力进一步增强。2021年企业研发经费增长15.5%，数字经济与实体经济加速融合，高技术制造业增加值增长18.2%。在此背景下，中国算力同比增长13.5%，达到70分，在计算能力、应用水平和基础设施支持发展水平中均实现长足进步。最新评估结果显示，中国大部分指标延续了过去几年的高速

增长，且增长幅度均高于美国，其中在计算能力方面，中国AI计算发展领跑全球，AI服务器支出规模同比大幅增长44.5%，首次超过美国位列全球第一；在计算效率方面，中国云计算普及水平紧跟美国，虽然中国云计算的渗透率较低，但近年来中国互联网企业在公有云上的投入不断扩大，推动了超大规模数据中心的快速发展。而中国的新技术（SSD/SCM/异构）使用率仍有较大进步空间；在应用水平层面，中国应用成熟度与美国的差距进一步缩小，在机器人应用方面支出位列全球第一，在人工智能应用、大数据应用增速均高于美国；在基础设施支持层面，中国数据中心规模稳居全球第二，但数据中心能效水平有待提升。

追赶者国家：算力优势不在于算力体量，而是更高的计算效率、广泛的新兴技术应用以及相对健全的基础设施支撑。追赶者阵营共7个国家，且均是发达国家，其中日本、德国、英国位列算力指数排名3-5位，韩国、加拿大、日本增幅最快。追赶者国家阵营的数据中心数量合计约占15个国家的33%，且PUE指标普遍处于全球领先水平，尤其是欧洲国家将循环经济实践作为优先事项，预计到2023年，欧洲将在数字化技术使能的可持续发展方面投入超过600亿美元。同时，由于欧洲企业愈发重视数字优先发展战略，欧洲国家的算力实现稳定增长。从具体国家的评估表现来看：



德国 德国工业基础雄厚，在2013年就提出了“工业4.0”概念，抢抓新一轮工业革命先机，在全球工业数字化转型中起到引领性作用。德国工业通过长期的数字化投入，在新冠疫情期间展现出韧性，成为德国经济实现快速复苏的关键。评估结果显示，在行业数字化转型需求的带动下，德国边缘计算支出增长29.3%，物联网和区块链领域支出同样快速增长，推动德国在算力应用水平方面实现16.1%的大幅提升。



日本 日本与欧洲国家类似，尽管缺少大型的互联网服务等IT企业，但日本同样是全球制造业强国，在基础电子、集成电路、材料、汽车、装备等高端制造领域，日本均处于世界一流行列。近年来，日本制造业充分利用数字技术来巩固全球领先优势，构筑企业竞争新壁垒，尤其是新冠疫情爆发之后，日本政府陆续出台和实施了大规模经济刺激方案，以计算力为基础的数字化转型已经成为后疫情时期日本促进产业升级及拉动经济复苏的重要抓手。从评估结果看，日本计算能力整体水平增长12.7%，日本的医疗器械、半导体等细分制造业企业积极利用人工智能等数字技术应用全面赋能业务创新，AI计算能力发展取得明显进步，在发达国家中表现较为突出。



法国 另外，法国计算力综合发展水平提升4.6%，主要由应用水平子项贡献，其中AI应用支出实现32.7%的大幅增长。

起步者国家：以发展中国家为主，算力市场空间和后发优势突出，辅以不断完善的基础设施建设，正在不断缩小与追赶者国家之间的差距。本次计算力水平评估结果显示，起步者阵营中不同国家根据自身资源禀赋特点在不同的细分指标中取得突出表现：



意大利 意大利是起步者阵营中唯一的发达国家，尽管GDP规模排名靠前，但相比于其他西欧国家，意大利数字经济占比相对较低，在计算、人工智能等新技术投入以及存储、网络等基础设施支持方面仍有较大提升空间。

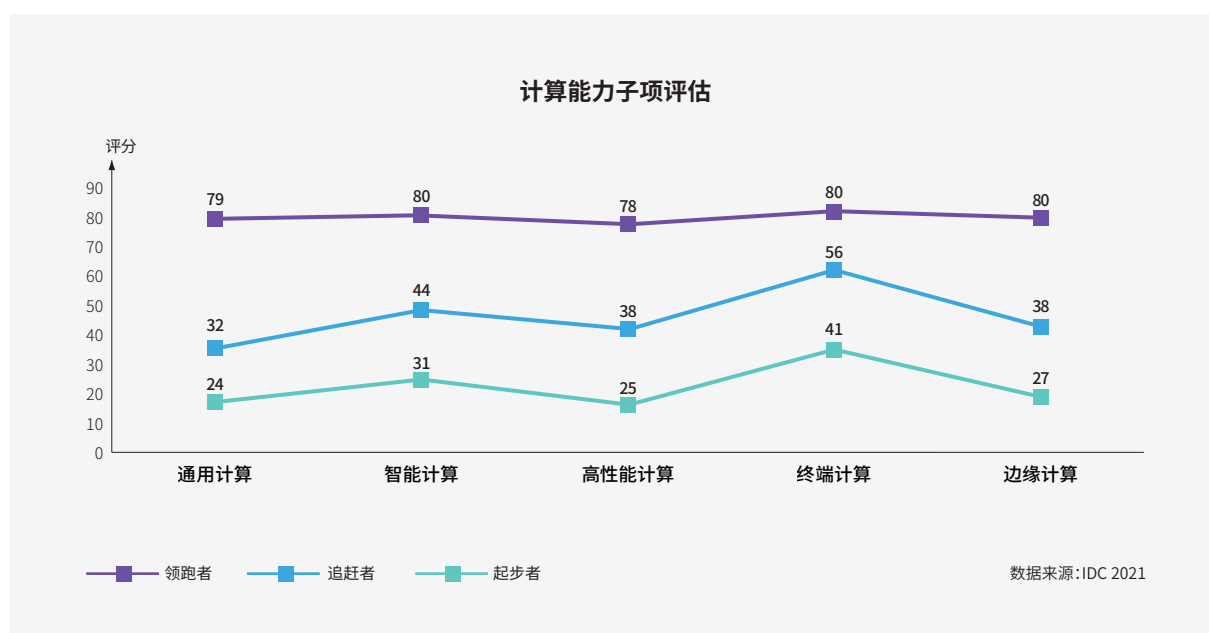


印度 印度计算力综合发展水平得分达到38分，其中在计算能力方面，印度AI计算和边缘计算发展实现较大提升，移动计算和桌面计算市场是全球结构性增长点，终端市场保有量、支出规模和增速全球领先；另外，印度在存储、网络基础设施方面支出实现快速增长，增幅全球第一。尽管新冠疫情爆发一定程度影响了印度计算力增长势头，但印度计算力发展水平与追赶者阵营差距仅为2分，凭借细分算力市场的快速发展，其整体算力水平在未来几年仍具有较大的上升潜力，有望跻身至追赶者国家梯队。

全球计算力指数子项评估结果分析

■ 计算能力

计算能力是计算力指数的核心组成部分,通过评估各类服务器及终端设备的数量和投入占比来反映不同国家在算力投入上的整体水平和侧重点。本年度国家计算能力子项评估在通用计算能力、AI计算能力、科学计算能力和终端计算能力之外,新增边缘计算能力,以求更全面地展现各国计算能力的算力形态和发展层次。



随着全球各国产业数字化转型加速,算力需求激增,应用场景愈发复杂多元。人工智能引入了全新计算模型,算法结构日益复杂、参数和样本规模扩大的趋势并未减弱,尤其是训练对计算资源的消耗持续增加,且AI训练和泛在化的推理场景对数值精度和算力水平各不相同,从算力芯片类型、系统架构和发展范式等各个层面影响算力市场的供需格局,领域专用芯片、AI服务器、智能计算中心等成为市场关注重点。另外,大量的边缘场景长尾需求尚未得到满足,面向边缘计算的硬件、软件、服务和通信基础设施投资正在加速,边缘计算从产品形态到底层架构都在走向多样化,定制服务器产品或成为边缘计算基础设施的主力军。

受到新冠疫情爆发及结构性经济发展失衡等因素影响，多个国家服务器整体支出规模出现下滑，但大部分国家依然维持了边缘计算领域的高速增长。

边缘计算创新并拓展了核心数据中心的功能和范畴，已经成为驱动全球企业级基础架构市场增长的重要力量。

本年度研究显示，15个国家在边缘计算能力发展水平上普遍取得提升，除中美两国表现较为突出外，德国、英国等发达国家加大边缘计算布局力度，发展节奏明显快于发展中国家。作为平台型技术，边缘计算为5G、物联网、机器人、人工智能等新兴技术提供重要的承载能力。IDC预计未来5年，全球对边缘位置的算力投资增长速度将远快于核心位置，到2025年，全球边缘计算服务器支出占总体服务器比重将从14.4%提升到24.9%。

边缘计算的价值在于从物理空间上将计算资源移动到数据创建的位置，从而大幅提高了获取数据洞察价值的效率，并在核心IT环境之外实现业务流程和决策智能的即时启用。根据IDC全球边缘支出指南，企业和服务提供商在边缘解决方案硬件、软件和服务上的支出预计将在未来几年保持高速增长，到2025年将达到近2740亿美元。

欧洲国家重点通过行业价值链重构、强需求用例探索以及宏观性战略引导提升边缘计算区域竞争力。

欧洲国家和企业将边缘计算视为整个欧洲数字化转型的关键驱动力，近年来不断加速边缘计算基础设施部署，近30%的欧洲企业计划在未来两年内开始使用边缘计算技术，交通/物流、制造和能源是领先的行业门类，部分企业已经越过试验进入成熟部署阶段。分布式是边缘计算的本征特点，面向特定的用例场景，跨行业和跨系统协同是影响边缘计算部署的重要因素。欧洲电信运营

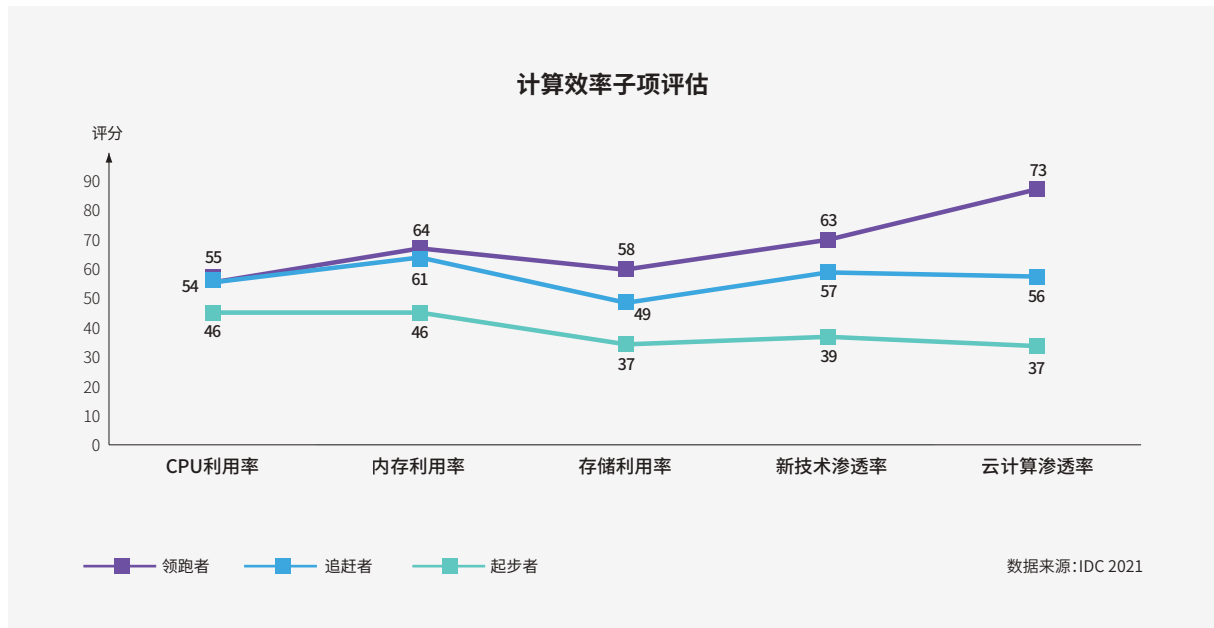
商、解决方案供应商和垂直行业企业加强产业协作及业务能力整合，以持续完善的生态体系建设向千行百业赋能，成功在德国实现自动驾驶跨运营商网络的无缝切换，有效保障碰撞警告系统等关键移动业务的连续性质量。在多个垂直行业，欧洲企业积极挖掘和实践强需求应用场景，如零售行业的用户购物行为实时分析、复杂任务管理、后台流程和运营的自动化，医疗行业的AR辅助手术和远程成像诊断等。另外，以满足欧洲企业和公共管理部门对敏感类别数据处理的刚性需求为目标，欧盟成立了工业数据、边缘和云联盟，作为欧洲数据战略的重要组成部分，旨在提高欧洲在工业数据方面的领导地位。

AI计算反映一国最前沿的计算能力，中国AI计算发展水平快速提升。

AI计算正在不断拓展能力范畴，从互联网业务、行业数字化转型到基础研究都在发挥重要价值，具备AI能力的企业也将更有竞争力。综合15个国家来看，AI算力支出占总算力支出从2016年的9%增加到了12%，预计到2025年将达到25%，其中，中国的拉动作用最为显著，过去5年15个国家AI算力支出的增长中，近60%来自中国。作为新兴产业，过去几年中，中国AI算力市场实现高速发展，在包括基础理论、计算芯片/系统、算法模型/编程框架、行业赋能解决方案等层面均取得了长足的进步，但也存在底层技术研发与实际需求脱节现象，理论和实践存在一定鸿沟。随着数字化发展不断深入，AI算力的产品能力、工程化落地效率、为客户产生实际价值已经成为评判算力产品的重要标准。

■ 计算效率

计算效率体现了一国目前的计算力利用水平，部分国家由于在云计算等方面的采用率较高，对于计算能力的挖掘也更加有效。计算效率评估集中在针对各个国家的云计算普及率、新技术应用率以及CPU、内存、存储资源的使用率上。



面向云计算的基础架构支出持续增长，起步者国家在云计算的整体投入比例较低。

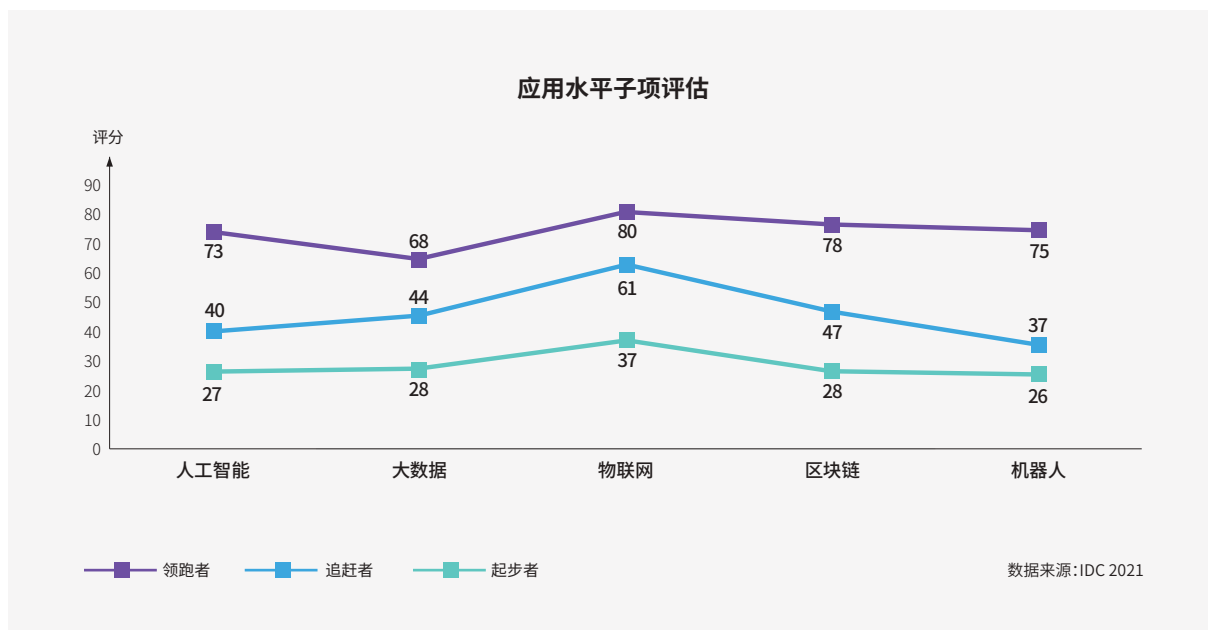
云计算是企业在数字化转型过程中弥补传统架构局限性并提高计算效率的理想解决方案，云计算渗透率很大程度上影响了一国的整体计算效率。经过十余年的发展，云计算已经从1.0时代进入到以多云、混合云为核心的2.0时代，在基础架构支出的细分市场中可以看到，虽然传统数据中心仍然是最大的组成部分，但公有云和私有云市场明显具有更高的增速，且这一趋势在未来几年仍将延续。本次研究中，起步者国家云基础架构投入在整体IT基础架构的平均占比均仅有20.4%，而领跑者国家和追赶者国家的该项平均占比分别达到60.7%和31.7%。

SSD/SCM等新技术应用持续拓展，起步者国家尚有较大发展空间。

从整体市场发展来看，新冠疫情大流行影响下形成的分布式经济范式转变和云化算力需求，为SSD、SCM等数据存储新技术应用创造出积极市场环境，出货量和容量都实现强劲增长，且部署在超大规模/云数据中心的存储容量首次超过传统数据中心。从地理分布上看，新技术采纳情况与国家经济发展水平基本保持一致，领跑者和追赶者国家新技术渗透率平均达到34.6%，而起步者国家仅为22.3%。

■ 应用水平

大数据、人工智能、物联网、区块链、机器人等新兴技术的应用是未来IT支出的核心驱动力，同时也将在一定程度上反映一个国家的经济发展潜力和综合国力，尤其是人工智能和物联网应用对国家以及各行各业的贡献十分显著。



此次评估中，中国和美国人工智能应用总支出处在最前列，分别达到34.7%和27.9%的高速增长，并有望在未来5年维持这样的增长水平。

人工智能是国家战略前沿技术，全球各国加大对人工智能的布局力度。日本政府为了更好地实现“Society 5.0”的畅想，出台了一系列相关政策以促进人工智能的技术发展和社会应用，如《第2期战略性创新推进计划(SIP)》《人工智能技术战略》等。法国政府出台“人工智能国家战略”新计划，以提高法国人工智能竞争力，使法国成为嵌入式人工智能和可信人工智能领域的领导者，加快人工智能在经济领域的应用，在原有基础上追加投资22亿欧元，重点明确了人工智能在医疗保健、环境、交通和国防

4个方面的应用。中国政府高度重视以人工智能为代表的新一代信息技术发展，并将人工智能作为“十四五”期间国家迈向高质量发展的重要抓手，中国围绕人工智能发布一些列相关政策文件，包括《新一代人工智能发展规划》《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2020年)》《关于促进人工智能和实体经济深度融合的指导意见》等，同时也在多份国家级宏观政策中为人工智能技术创新、生态构建、行业赋能等方面提出阶段性目标和任务。

以分布式计算系统为基础，大规模预训练模型在众多AI任务中展现出前所未有的性能水准，不断刷新业界对深度学习模型能力边界的预期。目前，通过微调大规模预训练模型来服务于特定下游AI任务，而不是从头开始进行模型训练，已经逐步成为业内共识。伴随着应用场景的不断丰富，数据量飞速增长，大模型或许成为规模化创新的基础。全球各国AI企业都在大力布局大规模预训练模型技术开发及其商业化。在美国，OpenAI、谷歌、微软、脸书等机构形成了GPT-3、Switch Transformer、MT-NLG等千亿或万亿参数量的大模型。在中国，浪潮、中科院、阿里达摩院等陆续推出源1.0、紫东太初、M6等。其中，浪潮“源1.0”巨量模型，参数量和数据集分别达到2457亿和5000GB，相比于美国GPT-3，源1.0参数规模高40%，训练数据集规模领先近10倍。大模型是通过大算力和大数据相结合得以实现的，将收集到的海量信息，通过强大的算力支撑与训练，而得出的基础的、具有通用性的、综合的大模型。这些特性可以使人工智能具备处理语言、视觉、机器人、推理、人际互动等各类相关任务的能力。因此这类模型将赋能各行各业，加快传统行业的智能化转型，在法律、医疗、教育等领域都会带来积极影响。

人工智能商业价值获得广泛认可, 全球AI应用支出快速增长, 中国市场表现最为突出。

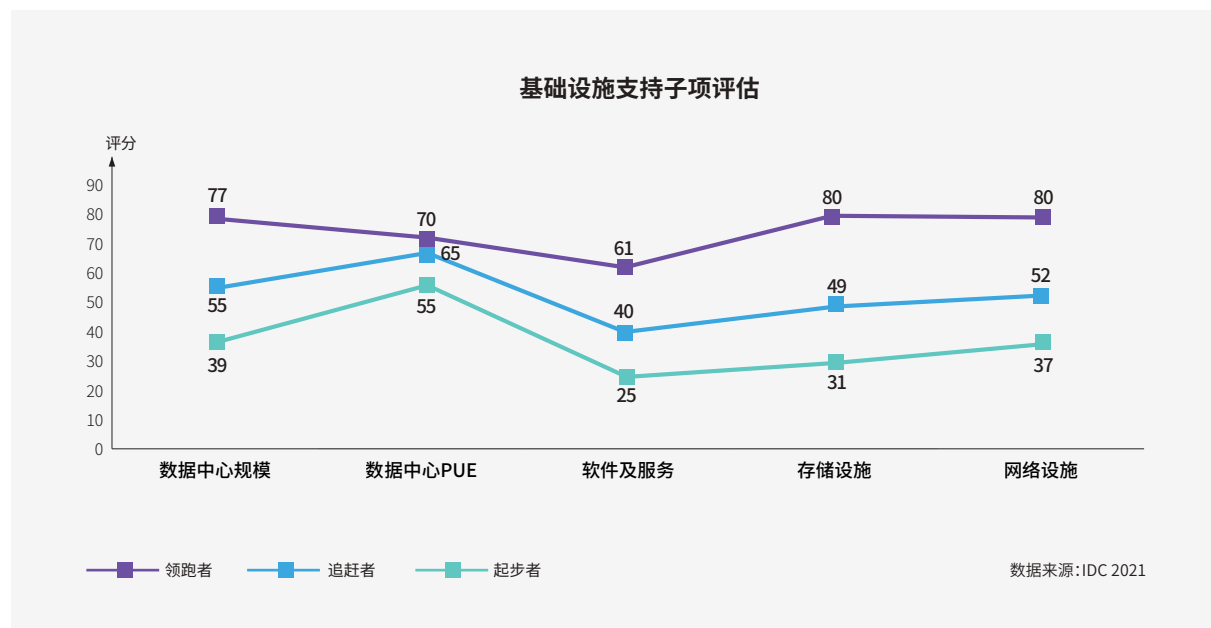
中国人工智能产业化应用在过去5年间已经取得显著的成效, AI支出规模和增速都处于全球前列, 行业用户对于AI价值的认知、技术供应商在AI落地的方法论与实践方面日趋成熟, 在制造业, 中国企业将AI技术融入到产品生产流程、加工工艺优化等环节, 如工业质检/巡检等工业视觉智能技术在汽车、半导体和基础电子等行业应用落地较快, 企业正在通过AI算力投入降低传统质检人力成本, 提高良品率并降低漏检率。南非企业在积极尝试人工智能技术, 农业作为南非的支柱产业之一, 创新技术对农业现代化和改善大型农业社区的生计越来越重

要。美国将大量的人工智能技术应用于遗传综合症、肺癌、乳腺癌、创伤后应激障碍等多种疾病的治疗和诊断, 同时还利用其进行蛋白质折叠体结构的研究、抗菌耐药性基因的检测和识别以及新药的开发。韩国各大医院也正在战略性地设立自己的影像大数据数据库, 借助AI技术准确解读医学影像, 协助医师从超过10万张的X光照片中准确诊断乳癌和肺结核, 并利用组织切片的影像认识、译码疾病。人工智能技术将助力全球传统企业的转型升级, 随着人工智能底层技术的开源化, 传统企业将加快掌握人工智能技术, 并依托其积累的行业数据资源, 实现人工智能与实体经济的深度融合。

IDC预计, 到2024年, 全球人工智能软件平台市场将增长到134亿美元, 复合年增长率为31.1%。人工智能软件平台将进一步促进人工智能模型和应用程序的开发。软件的增长来自于对话技术、自然语言处理、图像和视频分析、深度学习、机器学习和预测分析等技术的采用。

基础设施支持

数据中心体量、能耗水平、存储/网络基础设施支持在宏观层面为计算能力、计算效率和应用水平提供保障。在国家算力的基础设施支持方面, 本年度研究重点评估了数据中心数量、软件及服务、数据中心PUE、存储和网络基础设施等相关因素。



数据中心是国家各产业进行数字化转型的基本保障，一国数据中心规模及能效水平将会影响未来算力水平的发展进程。

领跑者国家阵营超大规模数据中心的规模优势十分突出，合计体量在15个国家中占比超过50%，美国依然是拥有超大规模数据中心最多的国家，几乎是中国的四倍，主要得益于亚马逊、谷歌、微软等全球头部云计算和互联网服务提供商对基础设施的持续建设。在云计算持续快速发展以及新基建政策的推动下，中国超大规模数据中心数量展现出较好增长势头，为国家整体数字经济发展、数字技术和实体经济深度融合提供坚强的后盾。同时，中国积极发挥体制机制优势，对数据中心建设进行国家层面的一体化布局，相继发布《“十四五”国家数字经济发展规划》、《“十四五”国家信息化规划》、《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》、《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》、《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》等政策，加快构建算力、算法、数据、应用资源协同的全国一体化大数据中心体系。中国将建设全国一体化算力网络国家枢纽节点作为重点，统筹建设面向区块链和人工智能的的算力和算法中心，引导全国数据中心适度集聚、集约、绿色发展。中国计划分两批在8个地区建设全国一体化算力网络国家枢纽节点，并在枢纽节点内规划设立10个数据中心集群，划定了物理边界，并明确了绿色节能、上架率等发展目标。另外，面向AI应用对算力的庞大需求，政府层面推动智能计算中心有序发展，打造智能算力、通用算法和开发平台一体化的新型智能基础设施，主要面向政务服务、智慧城市、智能制造、自动驾驶、语言智能等重点新兴领域。企业层面积极构建集约高效的智能计算中心这一新型算力生产供给形态。以南京智能计算中心为例，已运营系统的AI计算性能达每秒80亿亿次，仅南京当地可与算力中心构成生态的企业就超过300个，核心产业规模超过60亿元，带动相关产业规模近800亿元。

在基础架构能效水平方面，越来越多的企业开始采用模块化数据中心，液体冷却等技术降低数据中心PUE值，同时利用大数据挖掘与分析、人工智能技术或虚拟仿真技术进行能效管理。根据最新研究结果，包括美国、德国、英国、法国、澳大利亚、加拿大等发达国家计算基础设施的能效水平在15个国家中普遍表现更好，平均PUE达到1.4。美国谷歌公司的电力消耗几乎占据全球0.01%，多年来致力于将可持续性纳入公司运营、提升基础设施运行效率并降低数据中心碳排放。谷歌是全球最大的非公共事业门类的可再生能源企业买家，仅在欧洲就运营着13个可再生能源项目，目前谷歌数据中心PUE平均水平已经达到1.1。

数据中心是提供云服务、连接和应用的平台，是数字经济的重要组成部分，这些因素要求在网络、计算和存储方面对IT进行重新架构，并将加速企业从本地部署向云和混合数据中心的转移，为这些设施创造一个强大且不断增长的市场。因此，超大规模数据中心开发的建设热潮在很大程度上归因于最终用户对数字产品和服务的需求激增，阿里巴巴、AWS、谷歌、微软和腾讯等云服务提供商已承诺在未来五年内建设数百座新设施。与此同时，发展中国家的国家电信公司在总体市场中表现良好，电信运营商在提供最后一公里数据中心服务方面发挥着重要作用，物联网（IoT）、移动设备、智慧城市、智能家居和大量居家办公的人群正在推动对边缘数据中心的需求。IDC预测，到2025年，全球数据中心的平均增长率将达到10%。

与此同时，数据中心的快速增长将带来能耗、环境和气候的挑战，未来，超大规模数据中心将发挥举足轻重的作用。超大规模数据中心能够提供足够且价格合理的计算能力，以满足企业变革和创新的需求，由于效率更高，超大规模数据中心将极大的提高能源使用率，更好的实现数据中心发展的可持续性。除此之外，超大规模数据中心还可以更高效地机进行工作负载分配和自动化运维、更好地开发和实施可再生能源和水资源利用等优势，推动数据中心现代化建设。

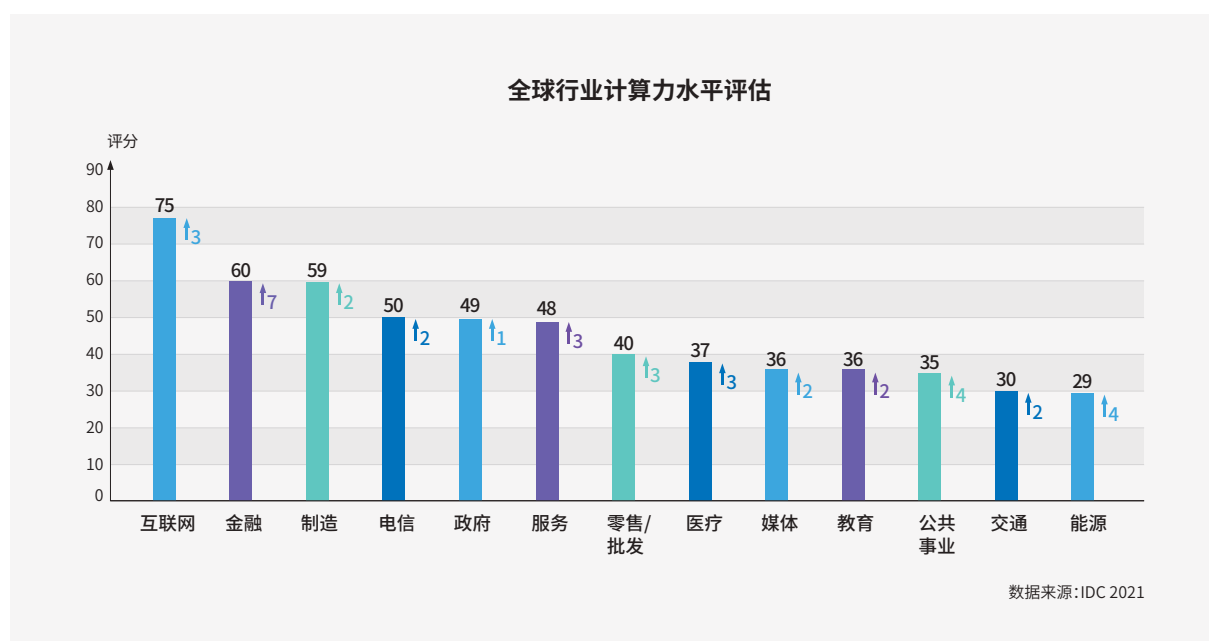
行业计算力 发展水平评估

Evaluation Results of
Computing Development
Levels of Major Industries



数据和智能代表着创造不可估量的价值的独特机会，来自物联网、移动设备和其他边缘设备的实时数据，结合历史数据、企业内部系统和全球信息，使得数据量以前所未有的速度高速增长。数据与人工智能和机器学习正在不断结合，越来越多的企业把人工智能应用部署从过去的核心-端侧，扩展至核心-边缘-端侧，实现数据价值最大化。在这个趋势下，行业用户正在加大以人工智能算力为代表的算力投入，评估发现，对于算力投入较大的行业同样在新技术的应用上投入靠前，其中互联网、金融和制造在算力投资和AI投资中均位前列。算力作为全球企业数字化转型的基石任重道远，不仅是各行业进行数字化转型的硬实力，还将担当重塑行业的使命。

本次是连续第二年进行全球行业算力水平评估，综合考量了各个行业的通用算力投入、AI算力投入、边缘算力投入、新兴技术应用成熟度等因素，基于最新的数据和针对最终用户的调研，全球算力投资行业分布如下图所示。整体来看，互联网行业依然在全球算力水平中领先于其他传统行业，TOP5行业还包括金融、制造、电信和政府，其中金融超过制造，排名第二。



过去几年，金融都在不断加大算力的投入，尤其是用于人工智能应用场景的异构计算服务器的投入。疫情之后，大部分金融机构面临收益率降低，坏账率增加的挑战，也促使其加速对于智能化平台的建设，提升风险管控能力，并进一步创新服务模式。从本次研究结果来看，金融业在计算能力和以人工智能、大数据为代表的总投入、增长速度均高于制造业，尤其在人工智能应用的投入在2021年同比增长超过20%，占全球人工智能总支出的四分之一左右，在计算能力水平评估上也超过制造，排名升至第二。

互联网：积极拥抱新兴技术，领先全球计算力水平

作为数字原生的企业，互联网对于云计算、大数据、人工智能等新兴技术的采用最为开放，领先于其他传统行业。首先，互联网企业对于云的态度相比传统行业更加积极，目前几乎所有的互联网企业都已经采用了云计算，主要驱动力来自对弹性的计算和网络的需求，尤其在电子商务、视频类、云游戏等应用。根据IDC数据统计，2021年，互联网企业采购的IT基础架构中，超过九成被应用于云计算部署方式，而这一占比在其他传统行业还不到五成。除此之外，互联网与人工智能、大数据等新兴技术的结合也催生了对海量计算能力的需求。根据本次报告的数据显示，互联网在全球人工智能、大数据、物联网、区块链这几项应用支出的占比均处在前列。目前，从互联网数据中心的体量来看，中国和美国依然处在第一梯队，中美两国的数据中心服务器保有量占全球整体服务器保有量六成以上，近年来互联网行业在亚太区的增

长颇为突出，这主要源于疫情之后在线需求的增加，以及亚太地区经济的复苏。与中国过去两年类似，超大规模云服务提供商，无论是本地还是全球的超大规模云服务提供商均加大数据中心的部署，更多中小企业青睐于采用订阅云服务的方式。根据IDC统计，2021年全球服务器支出接近三成来自于互联网行业，预计这一趋势仍将持续。



电信：利用算力投入优化内部管理、赋能业务创新

数字经济时代，电信走在数字化转型的一线，凭借新一代信息通信技术成为赋能诸多行业实现数字化发展的中坚力量。随着5G、云计算等技术的落地，电信运营商对内面临着业务增长压力，需要更好地支撑BSS系统以期增加客户黏性、优化OSS系统来提升运维效率等；对外需要为智慧交通、智慧零售、车联网、游戏娱乐、AR/VR应

用等增值业务提供支撑。不论内外，新创建数据的飞速增长以及越来越多的数据创新的业务场景对数据快速访问的需求凸显，无一不要求电信运营商的数据中心有承担数据高并发、低延迟传输、保证业务永续的能力，这对基础设施的性能和稳定性提出超高要求。

研究发现，目前电信运营商的设备很多都存在老化、过保的问题，设备故障率高、性能不足等问题凸显；且传统数据中心占地多、能耗高、维保费用高，带来高昂的OPEX费用支出；面对关键业务并发量的增长，如计费、CRM等业务对计算和需求量的急剧增加，电信运营商对新型IT基础设施的采购意愿增加，期待借助提供高效的算力可加速老旧设备整合替换，实现IT系统的现代化改造，同时大幅优化基础架构投资，让电信行业可以从容面对业务增长，保证业务增效。



金融：智能化加速，有力支撑金融业务创新发展



随着移动互联场景的普及，金融行业（包含银行、保险和证券）的数字化业务迅猛发展，呈现出线上化、智能化、无接触等特征，数字银行、个人财富管理、数字化借贷、全渠道支付等新兴金融场景层出不穷。随着数字化和信息化进程的加速，基础设施的高可用性成为金融行业关注的重点，同时，金融行业对业务的及时响应需求较高，移动互联业务增多和规模扩展、高并发、超高峰值场景成高频化趋势发展，越来越多的企业依赖稳定、高效、安全、弹性的IT基础设施达成业务目标和战略规划。

从全球范围来看，金融行业很早便开展对人工智能的使用，发展到如今已获得验证并迅速从大型金融机构普惠到中小型金融机构。金融机构对于人工智能的使用主要

集中在智能客服和风险管控两大方面，其中智能客服采用时间较早，也更为成熟。金融对于智能客服的使用主要集中在人工协同、机器人问答、人力服务以及数据与服务监管四大优化上，金融银行领域聊天机器人（Chatbot）、智能客服和虚拟助手，支持用户通过文本或语音对话的形式，提供精准、个性化的咨询和服务，大大节省了呼叫中心人工坐席成本。通过自主学习用户喜好与习惯，精准识别潜在需求，大幅提升用户粘性及转化率。放眼海外，全球几大银行，包括美国银行（BOA）、摩根大通（JPMorgan Chase）、第一资本银行（Capital One）、万事达卡（Master Card）、运通卡（American Express）全部采用了 Chatbot 来优化银行数字服务，而国内的几大国有银行和股份商业银行也同样拥抱了智能对话体验，让 AI 充当 24×7 智能客服或智能投资理财顾问的角色。AI 客服发展至今，语音识别已由平均 55% 的识别率提高到 85% 以上。银行针对企业客户推出了 AI 虚拟助理，以更好满足客户资金业务结算的需求，客户通过简单咨询即可获取账户余额等相关信息。AI 虚拟助理将在电脑端、手机 App 以及语音虚拟助理设备平台运行，未来可能进一步开发主动功能，如电话通知延迟支付的客户。

摩根大通 —— AI 虚拟助理的创新应用

摩根大通针对企业客户推出了 AI 虚拟助理，以更好满足客户资金业务结算的需求。由于企业客户多账户、多币种的特性，企业用户往往要从门户多达 1,200 多个网页中进行查询翻阅或导出账户资料，进而获取账户信息，进行资金结算和汇款。AI 助理不仅会从客户的交流中不断学习，而且会将获得的问题进行归类总结，以便很快找到相应的答案。最终这一助理能够做出主动行为，例如向可能推迟支付的客户提前打电话通知。AI 虚拟助理所在的平台将囊括电脑端、手机 App 以及语音虚拟助理设备，为客户提供了高效且便捷的使用体验。

制造：实现智能制造，推动数字工厂建设

制造业是实体经济发展的核心支撑力量，也是全球算力水平最高的传统行业之一，2021年算力支出占全球12%，是仅次于金融，算力投入最大的传统行业。制造业在推进数字化转型过程中，不仅要支撑大型ERP系统的运转，还要兼顾物联网、传感器等新技术的应用。从全球角度来看，制造是物联网和机器人两项新兴技术投入占比最大的行业，2021年，制造业物联网支出占全球物联网支出37%，机器人支出占比超过60%，除此之外，在人工智能、大数据、区块链等新兴技术使用上，制造业也领先于大部分传统行业。



在实现“智能制造”、“高端制造”的过程中，出现了越来越多的优秀企业实践，以欧洲某大型制造工厂为例，该

工厂用例实验室下的新工厂拥有前代工厂两倍的反应速度，自投产以来，低价值任务的自动化已使工厂运营成本下降了11%。从其五大用例获得的收益来看，智能工厂从概念到实现减少了45%的设计实践；全自动进货物流减少了29%单个产品的间接劳动力；数字化的在线视觉化质检减少了17%单产品的间接劳动力；制程连接和追溯减少了接近100%消除材料使用错误；智能人员匹配提高了3%的OEE（设备综合效率OEE=可用率*表现指数*质量指数）。这些收益都离不开算力作为支撑。中国制造业数字化进程虽然相对较慢，但在龙头企业带动下正加速这一进程，并采用了诸多新兴技术。例如为实现工厂的数字化，通过5G技术实时监控设备的开机率和作业率。将工厂深度数字化之后，再根据孪生建设实体工厂，可以大大缩短产品交付周期，实现高效运转。根据IDC数据统计，2021年，中国制造业IT相关支出占全球市场的占比已提升至15%左右，虽然与中国制造对全球制造业所贡献的接近三成的比重仍有差距，但未来五年增速将处于领先地位，年复合增长率将达到16.6%，显著高于全球其他地区，预计到2025年，中国制造业IT相关支出占全球市场将达到20%左右。

一汽集团 —— 数字驱动生产

一汽集团是中国最大的汽车制造商之一。一汽集团凭借60多年的汽车发展，为中国和世界各地的广大客户开发了全面的产品阵容。作为国内在品牌价值、生产规模和盈利能力方面的领导者，汽车制造商继续承担着振兴中国汽车工业的历史责任。为了确保其地位，一汽集团已经将建立数字化转型(DX)作为其核心战略之一。一汽集团以“数据驱动的美妙旅游”为主题，将其核心业务的数字化、价值和创新融入其内部数字平台。利用该平台，一汽集团保持行业领先地位，实现业务授权、产品和生态系统智能和价值实现。在研发过程中，一汽集团建立了一个基于3D模型的协作设计和仿真平台，为其制造环节建立了一个5G工业互联网平台。一汽集团还围绕整个客户旅程，开发了覆盖用户、经销商、市场营销、管理等利益相关者的统一客户生态系统云平台，并利用该平台进行大数据分析和应用，构建其数据中间平台。通过部署红旗营销云、红旗智能云项目和数字双生技术，引入云计算、大数据、工业互联网、5G、人工智能和其他技术，显著降低了企业成本。

医疗：进一步加大算力投入，推动信息化平台建设

除了五大行业之外，疫情之后医疗行业的数字化进程尤其值得关注。近年以来，随着全球人口老龄化趋势明显，人们对健康标准不断提高，全球的大健康产业会在相当长的时期内保持对生物技术与制药、医疗信息化等领域的高投入，对ICT基础设施的采购呈现积极增长的态势。目前，医疗行业数字化发展以初现成效，并初步形成以计算平台为核心的综合信息系统，在医院范围内部基本形成数据互联互通、区域协同、分级诊疗和健康服务的体系。



聚焦到场景，医疗机构正致力于建立统一的健康信息平台，希望为患者在区域内以及跨区域的情况下提供更好的诊疗服务。随着5G、AI、IoT、云计算等新技术的发展和落地，大数据赋能医疗行业智能化升级将是下一个发展目标。伴随着医院数字化转型的深入，公共应用服务系统、临床信息系统、协作交互系统、电子病历系统等业务系统数量攀升，数据量增加，集中管理、分享、分析数据资源的需求愈加明显，加大算力的投入可有效保障业务系统运行，提高关键业务运行能力和连续性，帮助医院更从容应对就诊高峰时段系统响应需求，提高系统高可用性和高安全能力；此外，通过梳理系统架构，建立更为联动的数据关系，实现数据的互联互通、高效协同，可提升医疗信息化水平，支撑数据架构，为患者提供更顺畅的就医体验提供坚实基础，为医院大数据平台建设、核心系统运行，以及公共卫生和社区治理等应用场景提供有效支撑。

强生医疗 —— 面向人机协作的智能平台，使大流行后时代的医疗保健和生命科学能够高效运行

强生医疗致力于为患者提供优质的产品和服务，并致力于引进最新的医疗技术和设备。主要产品应用于微创开放手术、心电、骨科、整形外科、以及其他医疗设备。在后疫情时代，随着医疗器械行业对批量采购的持续需求，企业在市场切入、分销商管理和内部运营方面面临各种挑战。传统的人工操作模式使业务需求难以满足。为了解决这一难题，强生医疗采用了智能自动化、光学字符识别、业务分析等先进的数字技术，以提高跨部门和领域的生产力，并在业务中实现高效的人机协作。

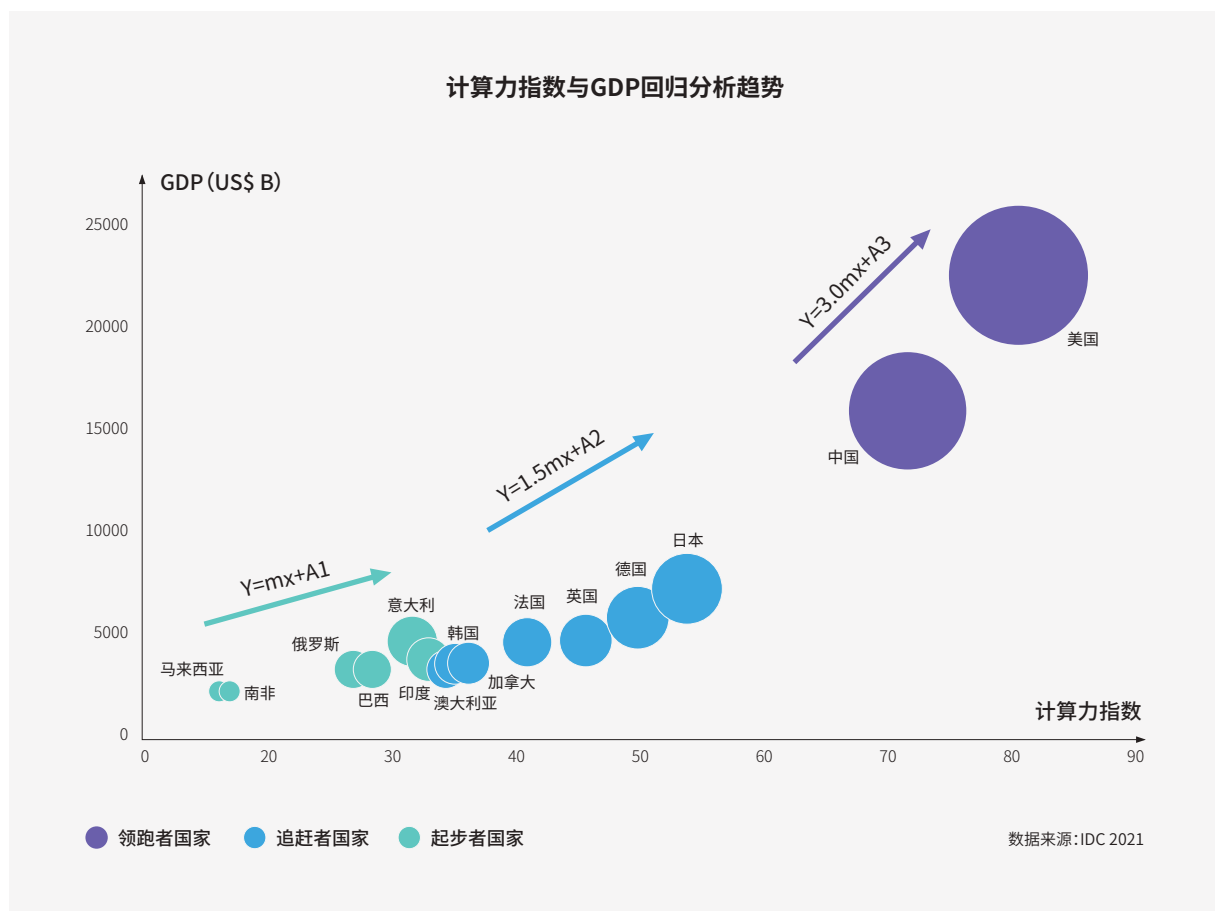
通过智能流程自动化项目，强生医疗制定了新的战略，以应对后疫情时代急剧增长业务量。强生创造性地整合了众多数字技术，开发了一种适合后疫情时代的工作模式。到目前为止，该项目为团队节省了4500个工作小时。预计到2022年，将再节约2.5万个工作小时，投资回报率超过300%。

计算力的 经济影响

The Economic Impact of Computing

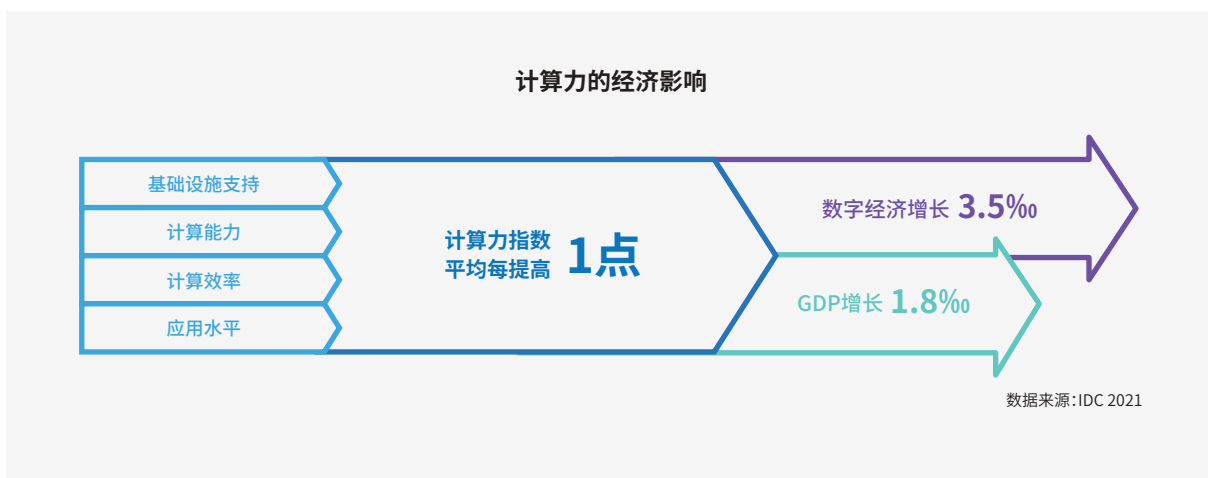
从计算力指数看算力对经济增长的影响

从定量的角度，计算力对国家的宏观经济发展具有不可忽略的影响。本次研究中计算力指数与经济指标的回归分析结果显示，国家计算力指数与GDP/数字经济的走势呈现出了显著的正相关。在进行线性回归拟合度检验上，当计算力指数作为自变量，数字经济与GDP作为因变量时，模型的拟合度相对于计算力指数作为因变量，后二者作为自变量时更高，因此以计算力指数来预测数字经济与GDP比用后者来预测计算力指数与实际情况更好，也更加吻合。



评估结果显示，十五个重点国家的计算力指数平均每提高1点，国家的数字经济和GDP将分别增长3.5%和1.8%，预计该趋势在2021-2025年将继续保持。同时，通过针对不同梯队国家的计算力指数和GDP进行进一步的回归分析后，研究发现：当一个国家的计算力指数达到40分以上时，国家的计算力指数每提升1点，其对于GDP增长的推动力将增加到1.5倍，而当计算力指数达到60分以上时，国家的计算力指数每提升1点，其对于GDP增长的推动力将提高到3.0倍，对经济的拉动作用变得更加显著。

前文中提到, 算力指数的增加很大程度上得益于计算能力和新兴技术的应用水平, 即当算力投入在底层为新兴技术应用发展提供基本保障的同时, 也被新兴技术应用带来的需求进一步拉动, 从而使整体经济的增长呈现倍增效益。



从经济理论看算力对经济增长的影响

在数字经济时代, 算力已经成为拉动国家经济增长的核心引擎。从以上的定量分析可以看出, 一个国家算力的提升对其经济的拉动作用十分显著, 且算力指数越高, 提升作用越明显。基于此, 本研究尝试构建经济增长模型来刻画算力与经济增长之间的关系, 并进一步分析算力对一国长期经济增长的影响。

■ 内生技术进步带来经济持续增长

经济增长理论关注的核心在于经济增长的力量源泉, 研究经济增长的影响因素及其作用机制。新古典经济增长理论认为, 经济增长是劳动和资本投入的函数, 技术进步的作用是外生的。假定科技水平不变, 经济增长将随着劳动和资本投入量的增长而增长。但是, 后来的经济实践显示出, 劳动和资本数量的稳定增长并不能带来经济的持续增长, 因为劳动和资本等要素投入存在着边际收益递减效应。

随着经济实践中创新的作用越来越重要, 技术进步因素进入理论发展的视野, 由此催生出内生增长理论。其核

心思想认为, 经济能够不依赖外力推动实现持续增长, 内生的技术进步是保证经济持续增长的決定因素。而诸多经济体发展历程与理论研究也表明, 推动经济持续增长、实现经济增长方式转变均离不开技术进步。

在数字经济时代, 算力是一种全新的技术进步力量, 带来巨大的**技术变革与赋能作用**, 因此, 我们将算力作为一种**关键技术进步因素**, 进而构建内生增长模型, 刻画算力与经济增长之间的关系, 从理论层面探讨算力对经济增长的作用机理和影响推进。

■ 算力成为数字经济时代的关键生产力要素

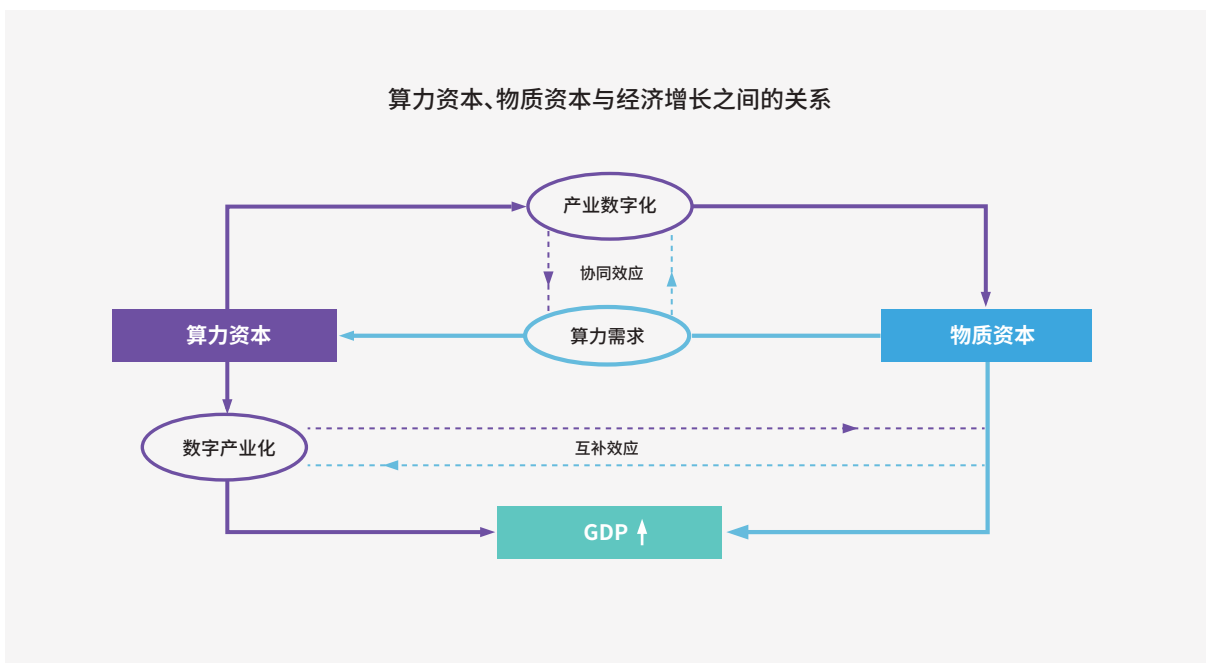
技术革命带来新的生产力，催生新的经济形态。一系列新兴信息数字技术的兴起与广泛应用，造就了具有高创新性、强渗透性、广覆盖性特征的数字经济。这种以数据资源作为关键生产要素、以现代信息网络作为重要载体、以信息通信技术的有效使用作为效率提升和经济结构优化的新兴经济形态的发展水平，正日渐成为国家竞争力的重要标志。

在数字经济的发展进程中，数据要素构成核心生产要素，在所有产业部门的竞争力中发挥着越来越重要的作用。世界各国数字经济规模在经济中的比重持续增加，全球信息数据量增速惊人，进而带来超大规模数据存储和数据计算需求的迅猛增长。在此背景之下，**算力作为一种新技术进步因素脱颖而出，成为挖掘数据要素价值，推动数字经济发展的核心支撑力和驱动力。**全球范围内算力需求与数据量增长出双向循环式提升的局面正在形成。

立足于此，我们尝试以建构一个简化模型的方式来刻画算力对国家或地区经济增长的影响作用。首先，在模型的设定中，我们用**投资于算力的资本总量**作为衡量算力的替代指标。其次，我们建立一个只列入算力资本和

传统物质资本两大投入要求的简化模型。这里的**算力资本**主要指与**计算能力的形成直接相关的各种投入，包括数据、算力、算法等**。从算力的角度而言，包括建设以数据服务器、运算中心、数据存储阵列等为核心，实现数据的计算、存储、传递、加速、展示等功能的数据中心、智能计算中心等算力相关的资金投入；**物质资本**主要是指为获取各种传统生产要素而发生的各种投入，如在**厂房、生产设备、原材料等上的资金投入**。

与已有研究一致，本研究选择**柯布—道格拉斯生产函数**进行推导分析。具体地，假定生产中存在两种生产投入，即算力资本投入与传统物质资本投入，两种投入促进了经济的长期增长。其中，算力资本一方面产生直接的投入，如与数字产业化相关的资本投入，这部分与传统物质资本对经济增长的作用一致，两者产生互补性；另一方面，算力资本对物质资本具有赋能、使能作用，如算力资本投入有利于物质资本的数字化转型，从而使得资本运营效率的提升，同时传统物质资本数字化转型需求进一步带动算力资本的投入，因而两者具有协同效应。具体的模型设定如式(1)所示。两种生产要素与经济增长的关系图如下。



■ 经济模型

我们以简化的两部门经济体作为分析框架,假设经济体中只包括居民和厂商两类个体。其中,厂商属于生产部门,负责生产产品;居民属于家庭部门负责消费厂商生产的产品。在两部门经济体中,厂商通过购买生产要素(我们将其简化为算力资本和物质资本)来生产产品,生产的产品一部分卖给居民并获得相应收入用以购买生产要素,另一部分生产的产品用于投资扩大再生产。家庭部门通过出售生产要素获得收入并向厂商购买产品用于消费。

· 生产部门

考虑到计算力正从资本深化和技术创新等维度切实拉动国家经济的快速发展,本文将计算力的作用分解成互补效应和协同效应。一方面,算力资本作为一种新生产要素,其与传统物质资本具有互补效应,可用 $(H_i)^{1-\alpha}$ 进行刻画,其中 H_i 表示第 i 个企业的人均算力资本存量。另一方面,计算力正在成为ICT投资的先锋力量,加大算力投资将会产生明显的正网络外部性效应和溢出效应,提高一国生产物品和服务的能力,最终促进潜在GDP增长并提升整体经济发展水平;因此,算力会对与传统资本产生协同效应,提升传统资本的边际收益,可用 $(\bar{H} K_i)^\alpha$ 进行刻画,其中 K_i 表示第 i 个企业的人均资本存量, $\bar{H}$ 为经济体算力资本的平均存量。

根据以上描述可知,企业 i 的生产函数形式可写成如下形式:

$$Y_i = A(\bar{H} K_i)^\alpha (H_i)^{1-\alpha}, 0 < \alpha < 1.$$

其中, A 为外生技术进步效应,代表的是当前的技术发展程度。描述算力的 H 是一种内生技术效应。 $\bar{H}$ 为算力资本的平均存量,稳态时 $\bar{H} = H_i$, $1-\alpha$ 为算力资本的产出弹性, Y_i 表示第 i 个企业的人均产出。公式(1)中两个括号内的式子综合体现了技术生产力的作用。由上式可知,算力资本的边际产出 $\partial Y_i / \partial H_i = (1-\alpha)A(\bar{H} K_i)^\alpha / H_i$ 不会随着算力资本的增加而下降,稻田条件(Inada Conditions)不成立,即经济存在长期增长。该模型也暗示着算力资本存在着正的外部性。

企业 i 销售最终产品获得收入,同时支付相应生产要素的使用成本。假设最终产品的价格都标准化为1。因此,单位生产要素 K 和 H 的成本是以最终产品为单位的实际价格,分别用 r 表示实际利率, w_H 表示算力资本的价格。企业以利润最大化为目标即可求得两类生产要素的需求函数。

· 家庭部门

经济体中生产部门的总产出 Y 一部分用于消费 (C), 另一部分用于投资 (I), 即 $C+I=Y$ 。总投资 I 中, 用于算力资本投资的占比为 τ ($0 < \tau < 1$), 剩余 $(1-\tau)I$ 用于物质资本投资。假设资本的折旧率为 δ , 其中 $0 < \delta < 1$ 。家庭通过消费获得效用, 消费量的大小取决于购买产品给消费者带来的心理满足感。当消费者购买的产品使得其心理满足感达到最大时, 停止消费, 此时的消费量即为最优消费量。我们采用经济学研究中被广泛采用的效用函数 $U(C) = \frac{C^{1-\theta}-1}{1-\theta}$ 来度量消费者购买产品带来的心理满足感。消费者通过求解以下最大化问题决定其最优消费量。

消费者的目标函数是最大化其在各个时期消费获得的总效用, 具体形式如下所示:

$$\max_c \int_0^\infty e^{-\rho t} \frac{C^{1-\theta}-1}{1-\theta} dt$$

效用最大化所面临的资本预算约束条件为:

$$\dot{H} = \tau(Y-C) - \delta H, \quad \dot{K} = (1-\tau)(Y-C) - \delta K.$$

通过求解可得到稳态的经济增长率 g :

$$g = g_C = g_K = g_H = \frac{[(1-\tau)\frac{r}{\alpha} + \tau\frac{w_H}{1-\alpha} - \rho - \delta]}{\theta},$$

由以上公式可知, 稳态经济增长率与算力资本增长率保持一致, 即算力资本的增长可以带来经济的长期增长。为了进一步分析总投资中算力资本所占的比例对稳态经济增长率的影响, 我们需要将稳态增长率 g 对算力资本投资的占比 τ 求导, 具体结果为:

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = \frac{1}{\theta} \left(-\frac{w_H}{1-\alpha} - \frac{r}{\alpha} \right)$$

由上式可知, 当算力资本的价格与实际利率之间满足 $w_H > \frac{1-\alpha}{\alpha} r$ 时, $\frac{\partial g}{\partial \tau} > 0$, 即增加对算力资本的比重会进一步提高稳态经济增长率。经济模型结果证明详见附录(三)。

■ 投资算力将带来经济长期增长

通过构建“含有算力资本的内生增长模型”，并对模型进行推导验证，我们得出以下结论：

第一，算力资本可与传统物质资本形成互补效应和协同效应。算力资本作为一种新生产投入能够与传统物质资本形成互补效应。这种互补性体现在资本积累方面，即算力作为一种新技术进步因素需要进行大量的产业化投资，这种投资与传统资本投入相一致，需要进行软硬件方面的建设。从数字产业化方面来看，算力相关产业覆盖到了包括数字产品制造业、数字产品服务业、数字技术应用业以及数字要素驱动业在内的数字经济的核心产业。算力相关产业的快速发展正在加速推动数字技术创新，催生出了新的产业、业态和发展模式。另一方面，算力资本有利于传统物质资本的提升，从而产生协同效应。这种协同效应体现在，算力资本能够以创新的知识和技术改造物质资本，促进资源的利用效率或者劳动利用效率进一步提升，进而提升传统资本的边际收益，能够产生比传统物质投入对经济增长更为强大的推动力。从产业数字化方面来看，算力的构建不仅会形成自身庞大的新兴产业体系，其相关产业也在为传统产业提供数字技术、产品、服务、基础设施和解决方案，为传统企业带来产出增加和效率提升，进而成为其他产业数字化转型的基础，推动数字技术与实体经济的融合。

第二，算力资本增长会产生正网络外部性效应和溢出效应。一方面，一个国家或地区增加对算力的投资可以带

来经济的不断增长。传统经济增长理论认为传统的劳动和资本虽然可以对经济起到拉动作用，但其拉动作用会导致边际产出递减，并将导致一个国家经济增长停滞在一个稳定增长点。相比之下，加大算力投资将会产生明显的正网络外部性效应和溢出效应。从基础设施的角度而言，加大对数据中心、智能计算中心等算力基础设施的投资，将进一步增强算力资本与传统物质资本之间的互补效应和协同效应，提高一国生产物品和服务的能力，提升数字经济在国民经济中的比重，最终促进潜在GDP增长并提升整体经济发展水平。在算力不断迭代的前提下，一个国家的经济将出现长期增长的可能。这一结论不仅验证了实证结果所得出的各国算力指数提升能够对该国数字经济和GDP产生拉动作用的结论，还进一步得出其对经济的拉动作用具有长期性。

第三，算力资本对经济发展具有倍增效应。模型中，通过分析总投资中算力资本投资所占的比例对稳态经济增长率的影响，一国增加对算力的投资比重会进一步提高稳态经济增长率。这表明，算力资本在经济增长的投入构成中，与传统物质资本相比，是起着关键作用的资本种类。这一结论也表明，算力作为一种新技术进步因素，其对经济发展的影响具有加速作用。加大算力的投资可能带来一国经济发展水平的跃升。这一结论验证了实证结果分析中，算力指数分值较高的国家（60分以上），其算力指数提升对其GDP增长的推动力相比于分值较低国家（40分以下）更加显著。

■ 领跑者阵营国家全球领先地位有望进一步加强

生产力的变革，必然引起生产关系、社会结构等相应发生变化。随着新一代信息与通讯技术的突破与创新，数字经济与实体经济的深度融合发展，算力作为一种新技术进步因素将为一国或地区经济的高质量发展提供重要驱动力。这种驱动力主要体现在宏观、中观和微观三个层面。宏观层面，算力作为一种新生产力要素，促进要素配置效率与全要素生产效率的提高；中观层面，算力资本有助于突破产业边界，促进产业创新与融合，有利于产业结构的优化与升级；微观层面，算力资本促进了企业之间的协同与互补，尤其是平台企业与实体企业的融合，有利于企业实现成本降低与生产的规模与范围经济。正如前文所分析的，无论对于起步者阵营国家、追

赶者阵营国家还是领跑者阵营国家，投资算力都将促进该国潜在GDP的增长，并将为该国经济的长期持续增长带来拉动作用。但一个值得关注的事实是，生产力加速进步，也将促使生产关系加速演进，进而驱动经济社会加速发展。对于领跑者阵营国家而言，由于算力对经济增长的正外部性和溢出效应以及算力本身所具有的累积性，领先国家进一步加大算力投资在总投资中的比重，对其经济增长相比于其他国家将产生更大的贡献率。这意味着**算力先发国家或地区的优势可能将进一步加强，而后发国家或地区的落后情况可能更为明显**。这也从一个侧面印证了算力评估指数变化呈现出的领跑者阵营与其他阵营国家算力水平差距进一步拉大的趋势。

计算力的 社会价值

The Social Value of Computing



算力建设助力疫苗(新药)研制和疫情防控

■ 疫苗(新药)研制

近年来,新型冠状病毒肺炎(COVID-19)、严重急性呼吸综合征(SARS)、高致病性禽流感(H5N1、H7N9)、甲型流感(H1N1)、中东呼吸系统综合征(MERS)和埃博拉(EBOV)等新发传染性疾病在世界各地接连出现,其具有传染性强、传播速度快、传播范围广等突出特点,且爆发早期的不可预见性导致大部分新发传染性疾病无有效药物和疫苗储备,严重危害全球人类生命健康、影响社会稳定和经济发展,并对世界各国公共卫生系统构成严峻考验,快速实现疫苗和药物从无到有的突破,是新发传染性疾病防控战役中迫切需要解决的问题。



算力建设能够辅助疫苗和药物开发,极大提高药物发现效率、降低平均研发成本并减少临床失败风险。新冠疫情全球大流行进一步加强了公众和行业对药物开发的重视程度。新药研发是一个非常复杂和耗时的过程,通常情况下,一款新药上市往往需要花费10年以上的时间以及高达25亿美元的经费,各大制药企业高度重视各类新技术在新药研发中的应用,从传统“手工试错”向计算辅助模式转变,最大化缩短研发周期,加速有效药物投入使用。在全球范围内,基于计算的药物发现与设计(Computational Drug Discovery and Design)发展了40余年,已经广泛应用于药物发现研究中。如借助并行计算机集群实现高通量虚拟筛选(High Throughput Virtual Screening, HTVS)等技术应用,在短时间内获得候选化合物,大幅提高药物分子设计效率和成功率,有效解决创新药物研发进程缓慢的问题。

AI计算辅助药物发现近年来成为全球市场热点。新药研发一般包括靶点选择和验证、化合物筛选和优化、临床前研究、临床试验等几个主要环节。AI技术发展为新药研发提供全新技术手段,助力生物医药行业加快数字化和智能化转型。据 Deep Pharma Intelligence 统计,截至2020年,全球共有240家AI新药研发企业。辉瑞、葛兰素史克和诺华等全球主要大型制药公司均已布局AI+新药研发,包括靶点选择和验证、先导化合物筛选和优化等研发环节是热门方向。

靶点选择和验证: 通过AI技术对多组学数据集和真实数据集(RWD)进行检索分析,包括海量文献、专利和临床试验报告等非结构化数据库,挖掘与目标疾病相关联的潜在机制,提出新的可供测试的假说,并从新颖性、成药性和安全性等方面对靶点进行评估。某AI医药研发初创企业建立药物发现平台,包括靶点发现和多组学数据分析、AI分子生成和设计和临床试验结果预测等功能,通过在并行计算机集群上开展AI辅助药物发现,仅用18个月和260万美元的投入便研发出特发性肺纤维化疾病新靶点,而传统靶点药物研发一般要超过4年。

化合物筛选和优化: 利用 AI 技术生成小分子化合物库,建立虚拟药物筛选模型,实现更快的检索速度和更广的覆盖范围,减少研发新药的时间和成本,加速先导化合物的发现和优化,以及候选药物分子的产生。某全球领先计算药物研发企业基于Transformer AI模型和GPU计算集群进行化合物评估,为超高通量先导化合物生成提供AI算力支持,可在几分钟内评估数十亿种化合物,显著优于传统基于物理的评估手段,有效加速药物发现。

临床前研究和临床试验: 利用AI算力支持实现临床数据快速分析处理并对试验进程进行全局调整优化,提升临床试验质量、效率和风险控制能力。美国某大学使用AI模型从包括电子病历(EMR)在内的大量未开发的数据集中提取信息,目标是将患者映射到临床试验,预测危及生命的状况以实现及时干预,并使用这些数据为临床决策支持系统(CDSS)提供输入。

■ 疫情防控

新冠疫情爆发以来, AI计算在防疫抗疫等方面发挥了重要作用。

在疫情期间我国的防控措施主要有以下几个步骤, 疫情显现、查找源头、严密封锁、广泛筛查、锁定密切接触者、隔离高风险人员, 精准划分出“中风险地区”、“高风险地区”, 并根据疫情形势的变化, 对风险区的划分和防控措施进行动态调整, 力争精准识别、隔离风险人群, 阻断病毒传播链条。AI计算在整个防控过程中有着不可或缺的重要作用:

——在人群筛查方面, 通过AI图像识别和红外热成像技术的结合, 在公共场所及封闭社区进行人员辅助监测, 对发热人群迅速完成筛选、测温及追踪监测;

——在舆情分析方面, 通过抓取新闻媒体、各地有关部门发布的报告和新闻, 对文本数据进行筛选分析后, 用定向数据收集来获知潜在流行传染病爆发和扩散的线索;

——在传染防控方面, 通过AI算法优化资源配置, 提升宝贵的公共资源的利用效率; 通过智能语音, 控制设备的运转, 减少直接接触从而切断传染途径, 避免潜在感染风

险; 通过智能外呼对经过高风险地区的人员进行追踪并督促相关人员进行核酸检测。

——在疫情监测分析方面, 通过AI计算监测不同类型人员的情况, 包括确诊者、无症状感染者、疑似者、密切接触者、高风险者等, 监测这些人员的数量、分布区域、经过场所、相互转化率等, 评估疫情发展态势, 提出针对性预防措施。

AI计算加速对疑似病例的基因测序分析, 显著缩短溯源时间。

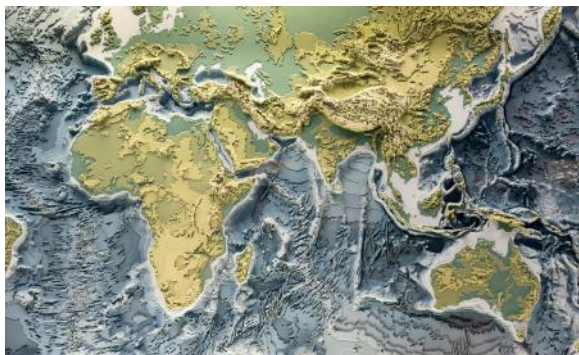
基因测序已经成为当前病毒导致的流行性传染疾病防控的重要手段, 通过对病原微生物的基因测序, 可以在第一时间获取新发未知病毒的基因组序列信息, 揭示病原相关特性、分析病毒的进化来源、研究病毒的致病病理机制等, 为突发疫情的防控和后续研究提供帮助。一次基因测序所产生的数据量超过10TB, 仅凭人或者通用计算方式是没办法对如此巨量的数据进行分析的, AI有效地解决了这一问题, 并且通过与边缘计算相结合, 进一步提高检测速度, 打破了实验地点和环境的制约, 对于微生物、病毒和人类基因的测序能力和效率有巨大提升作用。

绿色算力保障社会可持续发展

算力能够帮助企业应对减排压力，并在数字化转型中

取得商业先机。

石油和天然气企业正在探索将枯竭的地下油气田及水库作为碳储存地点，图形计算技术赋能地理信息系统（GIS）、3D建模和成像，可帮助企业实现高效的目标地点评估。有色金属企业利用边缘计算和智能计算技术推动冶金工艺升级、优化钻机运行和负荷调峰，保障安全生产并提升资源使用效率。装备制造企业对设备系统进行整合，提升设备自动化和智能化程度，监控、分析和优化工厂用能情况，为资产管理和生产工艺提供数据支持。汽车企业通过高性能计算加速汽车产品仿真和研发，利用AI算力优化充电站分布，优化车辆运营商的车队组合、路线和资源分配，以减少碳足迹。电网利用边缘计算和物联网技术控制电力输配，在不增加碳足迹的情况下提高输电效率，通过传感器和智能电表收集各环节数据，借助人工智能、大数据分析给出优化用电建议。



应对气候变化以实现净零排放需求拉动，算力正在向

绿色化和集约化方向加速演进。

随着云计算的发展，现代数据中心承担了大量的计算和存储任务，尤其是AI技术快速发展和加速计算应用的普及，持续推动处理功耗

（CPU为270/280W+，GPU为500W+）呈指数级增长，已成为高效数据中心系统设计的严重瓶颈。减少数据中心碳足迹、减少温室气体排放、将节能整合到日常运营中、降低运营支出以及降低电力使用效率（PUE）等挑战，正成为解决方案提供商和数据中心所有者的关键考虑因素。



从绿色化角度，以构建绿色数据中心为目标，业内正在

实践多种降低数据中心碳排放的举措，包括使用液冷等技术来提升散热效率，引入风电、光伏等新能源技术，通过AI/ML技术升级运维管理流程，采用全新芯片架构实现更高的单位功耗算力输出等。全球领先云计算公司正在提高新能源使用率，AWS在西班牙、苏格兰、瑞典、爱尔兰等多个国家建设太阳能发电和风力发电厂，为其数据中心供电；谷歌从2010年开始大规模购买可再生能源，在欧洲就运营着13个可再生能源项目，2019年谷歌数据中心平均PUE已经达到1.1。在数据中心内部，第三方数据中心头部公司Equinix通过部署液冷和ML/AI等运营技术，推动数据中心基础设施管理和自适应控制系统智能化升级，目前全球年度平均PUE已经逐步降低到1.5。

液冷技术可分为直接液体冷却和浸入式冷却两大类，冷板式液冷是直接液体冷却方案的主要形式，其对有机架系统架构进行直接升级，实现更高效的散热，特别是对于高计算能力/高功耗处理器；浸入式冷却，散热效率优于冷板解决方案，但成本更高。

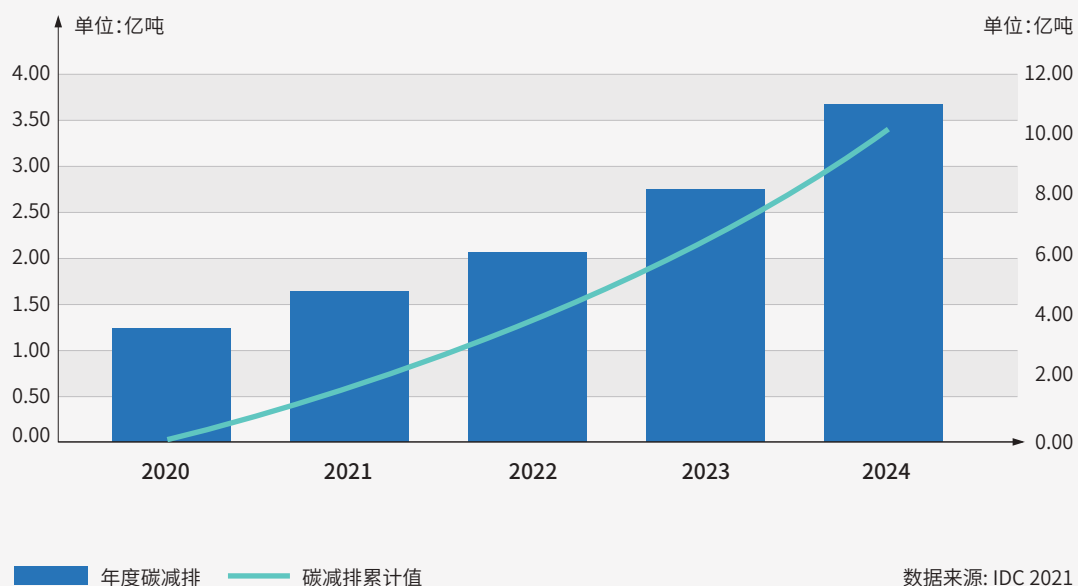
在所有各种液冷解决方案选项中, IDC认为, 得益于成本效益和基于现有冷却系统和数据中心基础设施的可升级性, 直接液体冷却解决方案将在数据中心市场得到更广泛的应用, 特别是企业用户。对于浸入式冷却, 考虑到数据中心系统、机架、地板等设施的重新设计/重组, 以及与数据中心建设和运营 (capex-/opex) 相关的成本等因素, 这类解决方案将更适合已经运行大规模系统和数据中心的云服务提供商等企业。

目前, 液体冷却解决方案仍处于早期发展阶段, 主要应用于加速计算系统和超大规模数据中心, 随着数据中心系统对绿色节能的要求不断提高, IDC认为, 液体冷却解决方案将在数据中心市场得到更广泛的采用, 到2023年数据中心中至少有约40%高算力系统将配备液冷技术解决方案。

从集约化的角度, 减少碳排放的关键因素之一是提高计算资源的密度, 从而达到更高的效率。据IDC研究, 企业数据中心平均PUE为2.8, 而云服务提供商普遍在1.1-1.3的PUE水平。大型云服务提供商和数据中心运营商也是太阳能、风能和水力发电等清洁能源应用的领先企业, 过去几年在美国国家环境保护局 (EPA) 绿色能源伙伴全国100强清单中一直名列前茅。通过将离散的企业数据

中心的计算资源聚集到更大规模的数据中心, 可以更有效地管理电力容量、优化冷却设施、并提高服务器利用率, 从而使IT资源的利用能效比达到最高, 达到减少排放的目标。IDC《全球云计算二氧化碳减排预测, 2021-2024》报告显示, 从2021年到2024年, 持续采用云计算可以减少超过10亿吨二氧化碳的排放。

全球云计算二氧化碳减排预测 (2020-2024)



算力促进人与自然和谐共生

计算力正在为以往社会、经济和环境中的紧迫问题提供前所未有的创新解决方案。亚洲象是世界自然保护联盟(IUCN)列出的濒危物种,在中国,亚洲象主要栖息于西双版纳热带雨林中,由于对雨林及亚洲象种群保护不断加强,野生亚洲象数量从80年代的170多头恢复到300头。随着亚洲象数量增加,其活动范围也开始不断扩大,频繁进入村庄及城市“肇事”,人象冲突频发。而传统靠护林员人工跟踪,或者借助无人机追踪野象都无法保证24小时的全天候观察和预警,而且雾天、雨天常会出现漏判、误判的情况,监测人员安全也会面临风险。面对人工监测预警不准确、不及时的问题,西双版纳国家级自然保护区管护局将红外相机、摄像头、无人机等终端采集设备部署在雨林中,实现全天候图像及影像数据实时采集,边缘计算设备对实时回传的图像和视频流进行毫秒级的精准辨识,秒级预警,预防人象冲突的发生。同时,经过边缘计算设备清洗后的数据会同步到云侧计算中心,进行亚洲象AI识别模型训练、优化,数据汇集、数据挖掘等。目前亚洲象生态保护系统已成功预警2900余次,有效预防了人象冲突事件的发生。同时基于系统收集到的26万张观测影像,夜间影像模糊不清与亚洲象残缺影像识别等技术难题被先后攻克,亚洲象AI识别精准度从国际平均的60%跃升到99%。



在计算力的支撑下,不仅可以缓解人与野生动物的活动轨迹的冲突,还能实现更加高效的濒危物种监测与栖息地保护。在人工智能、云计算和大数据等技术的支持下,亚洲象研究专家们不再需要去翻山越岭,又期待又害怕的去寻找濒危物种的足印、粪便、吃剩的食物残渣,只需登录亚洲象生态保护系统的数据汇集平台,专家们就可以对象群数量、生活状态、食物链上下游、亚洲象分布与迁徙规律、雨林湿度、温度等展开深入的研究分析,也为开展深层次的物种保护及生物多样性研究,提供更加丰富和立体的数据参考。

行动建议

Proposals for Action



作为衡量一个国家数字经济发展水平的重要指标之一。算力对于各国在新科技革命和产业变革下提升国家竞争力起着基础支撑作用，其战略意义已在世界范围内得到公认。算力的获得和提升需要持续的巨额投资，同时又面临较高的技术研发和落地应用风险。这些特征决定了全球范围内的算力竞争必然是大国间的竞争。

在当前复杂多变的国际政治经济局势下，世界各国都在加快算力产业本土化的进程。无论是领跑者国家、追赶者国家还是起步者国家，都应基于本国国情、发展阶段和资源禀赋，在算力发展的顶层设施、算力基础设施建设、算力相关人才培养等方面综合借鉴国际上其他各国的有益经验，摸索出自身构建算力网络生态体系的可行路径，同时积极寻求与其他国家在数字基建等领域的合作空间。

加强算力网络构建的顶层设计和战略部署

以美国、中国、日本为代表的算力水平领先国家在参与全球算力竞争中，一直高度重视算力发展的顶层设计，通过国家战略和政策引导，出台和实施建设算力基础设施、促进算力应用开发的各类政策。当前，全球算力竞争格局已初步形成，各阵营国家应深入分析自身算力发展的核心诉求，做出战略性的规划和系统性的行动部署，加强科技和产业政策的协调整合。

领跑者阵营国家，在参与全球算力竞争过程中，应持续发挥算力在提升国家综合竞争力中的支撑作用，从国家层面统筹和制定算力产业发展战略规划，全面布局算力发展方向，构建完整的国家算力网络体系，提升已有算

力基础设施的综合利用效率和为全社会提供算力基础服务的外溢作用，推动算力产业生态体系的建设。追赶者和起步者阵营国家则更需要充分预判本国算力增长的结构性需求，形成多元化、集约化的算力供给梯度，在关注算力规模增长的同时，要着重协调各区域间的算力资源，做好项目的统筹，避免算力资源结构性失衡等问题。对于资源和能力有限的国家可采取跟随的研发和产业布局策略。政府层面需要加大人工智能新型基础设施建设，如以智能计算中心为代表的算力基础设施，以巨量模型为代表的算法基础设施等等；然后由政府引导，从战略意识、技术理解、案例分享等多个方面帮助传统产业建立系统化的认识和能力。

鼓励各国加大对算力基础设施的投资

发达国家普遍更为重视算力投入，经济体量大的国家，算力支出占GDP比重也更大，本次研究的15个国家中，美国服务器支出占GDP比重达到1.9%，而除中国外的发展中国家平均仅为0.5%。报告中通过实证分析和理论模型构建，证明了算力建设对国家的宏观经济发展具有不可忽略的影响。算力建设已经成为拉动国家经济增长的核心引擎。因此，首先，对各阵营国家而言，应充分发挥算力投入的正网络外部性效应和溢出效应，进一步加大对算力相关产业，尤其是数据中心、智能计算中心等算力基础设施的投资。对于追赶者和起步者阵营国家而

言，算力提升更是促进传统产业数字化转型的重要手段。

其次，高效的计算能力、广泛的新兴技术应用以及健全的基础设施支撑是发达国家在算力发展水平方面领先的重要因素，起步者国家应在加大算力投入的同时，积极利用各类新技术提升算力使用效率，并推动计算、存储和网络基础设施协同发展。此外，追赶者和起步者阵营国家还需要警惕基础设施建设，如数据中心建设的产能过剩和竞争过度问题，把握参与国际竞争与自我需求的平衡，避免重复投资、发展不均的问题。

积极引导多元资本投入算力基建和运营

算力基础设施无论是投资建设还是运营、维护及升级，都耗资巨大，只能依靠政府和超大企业。对追赶者和起步者阵营国家来说，在推进算力基础设施建设方面，利用增量优势弥补存量差距需要一定时间。以美国为代表的领跑者阵营国家，在推进数字基础设施建设，尤其是在解决基础设施融资难题方面采取了一系列值得其他

国家借鉴的举措。各国政府应充分学习借鉴，采取积极的策略，拓展多元渠道，将更多的创新主体引入数字基建投资领域，引导和鼓励地方政府和私营资本进入算力基础设施的建设中，通过公私合营等方式建立全新的投资收益和算力运营模式。

加快算力相关人才培养和储备

算力产业的发展归根到底要依靠专业人才。由于算力领域涉及诸多交叉学科专业应用，对专业复合型人才需求较大。当前，世界各国，包括美国在内，都面临算力领域复合型专业人才稀缺的难题。一些国家出现了技术人才断层。相关人才的培养速度远远难以满足产业需求，尤其是人工智能、数据挖掘和分析等领域专业性高技术人才极为紧缺，且这种情况短期内还存在加剧的趋势。各国在招引全球算力领域相关人才的同时，应了解各自发

展算力产业的人力资源需求和现有的人才状况，积极借鉴美、日等国在增强基础研究、产学研合作、和人才培养方面的经验，推动算力基础研究和应用研究的深度融合，增强对算力领域交叉学科复合型人才的培养和储备力度，使人才培养更加面向市场应用需求与技术研发前沿。此外，随着数据中心等算力基础设施的大规模增长，还应同时注重对算力基础设施运维和技术服务专业化人才的培养和储备。

加强算力领域的国际合作和共享发展

数字经济开放合作是全球各国整体对外开放的重要组成部分。当前，国际政治风险对各国在算力产业链的协同与合作带来一定冲击。无论是领跑者阵营、还是追赶者、起步者阵营国家，都应该积极寻求与其他国家在数字经济领域的合作空间，尤其是推动在算力领域的国际合作与共享发展。虽然当前相关国际合作在跨境信息的开放与流动、算力基础设施本地化、互联网国际监管与治理等方面面临很多现实挑战。但领跑者阵营国家在构建本国算

力产业生态的进程中，有必要担负起构建数字经济驱动的全球化新机制的责任；促进算力领域形成多元、多层次的国际合作交流机制，打造国际化的开源开放平台，参与制定国际标准体系和数据治理机制，加强算力领域人才国际培训和研究合作，引导算力行业绿色发展，共同为全球提供数字基建公共产品，推动完善全球数字经济治理体系。

附录

Appendix

方法论

全球计算力指数由计算能力、计算效率、应用水平和基础设施支持四大子项加权计算得出。每个子项得分由该子项下各指标得分加权计算得出。其中，每个指标具体得分计算方式如下：

- 每个指标总分为100分；
- 每个国家在该指标的得分为当年数值与2025年的目标值进行对比。如当年实际到达值与2025年相同，则该项得分为100分。如实际到达值与2025年不同，则根据各国目标值情况，将指标数据进行标准化换算，得出各国指标分数。2025年目标值计算根据业界各领域权威组织、机构及企业数据，由项目组专家调研及分析设定

子项A得分 = $a_1 \text{得分} \times a_1 \text{权重} + a_2 \text{得分} \times a_2 \text{权重} + a_3 \text{得分} \times a_3 \text{权重} + \dots$

本次研究数据来源参考业界各领域权威组织、机构及企业，如IDC，EIU，IMF，世界银行，国际电信联盟（ITU），中国信通院，Ookla等。本次研究同时进行了总计900个样本的电话调研，覆盖本次研究范围内的15个国家，及各国电信、互联网、金融、制造、能源、交通、公共事业、政府、医疗、批发零售、专业服务等行业，来以此获取一手调研信息。

全球计算力指数是一套全面、丰富、完整的指标体系，通过完善的模型体系以及可信的数据来源，为组织和个人提供了计算力与经济、数字经济的全面的分析蓝图。全

球计算力指数得分的整体排名体现了全球经济及计算力的现状，也为今后十年ICT的发展和演进提供建议。

本次研究通过对计算力指数与经济发展状况进行回归性分析，得出两者之间的影响度，同时对不同国家计算力指数进行归类呈现，并提供未来发展建议。

从定量的角度来看，IDC通过有方向性的回归分析，使用线性回归来定量分析了计算力指数与经济指标的关系。线性回归假设两个变量之间的关系可用一条直线表明，以公式 $y = a + b(x)$ 呈现：

- y 代表因变量，可理解为被预测的变量
- x代表自变量，可理解为预测变量
- b代表直线的斜度。b的幅度表示x每单位变化所导致的y的变化，也可理解为，x每增加一个单位，y会有b个单位的变化
- a表示y轴截距，也就是当 $x = 0$ 时，直线与y轴的相交点

y值为各个国家GDP或数字经济的同比增长率，x值为各个国家计算力指数值的同比增长率，b值则表示计算力指数每个单元的变化所导致的国家GDP总量的变化。本次分析对结果可靠性进行了检验，根据正态分布和3 σ 法则，有95%可能性分布在 $(-2\sigma, 2\sigma)$ 之间即表明本次分析结果有95%的可信度，换句话说，分析的结果至少充分解释了95%的样本，与样本反应的实际情况一致。

数据口径

全球计算力指数评估模型涵盖4个一级指标和20个二级指标,对全球15个重点国家的算力发展水平和未来发展潜力进行评估。四大一级指标为计算能力、计算效率、应用水平和基础设施,指标维度相互独立,同时也具有紧密的关联性,其中计算能力反映了一个国家理论上的算力最大值,是整个评估体系的核心部分,在这四个维度中占有最高的权重;计算效率则体现了该国家目前的计算力利用水平,部分国家由于在云计算、虚拟化等方面的采用率较高,对于计算能力的挖掘也更加有效;应用水平与计算能力、计算效率相辅相成,一个国家的计算能力和效率是支撑新兴技术应用落地的基本保障,同时新兴技术的应用在很大程度上也将促进国家未来的算力发展,因此应用水平可以在一定程度反映出一个国家未来算力发展的潜力;基础设施支持则在更加宏观的层面为计算能力、计算效率和应用水平提供保障。一个国家只有四个维度均衡发展,相互拉动,才能更好地提升整体计算力指数并获得更大的经济效益。

计算能力涵盖了通用计算、AI计算、边缘计算、科学计算和终端计算,通过评估各类服务器及终端设备的数量和投入占比来反映不同国家在算力投入上的整体水平和侧重点。其中,通用计算、AI计算和边缘计算的统计口径分别为通用、AI和边缘计算服务器的数量和支出占比;科学计算则通过评估各个国家的超级计算机在全球TOP

500超级计算机中所占数量和排名,通过加权算法统计出该国的综合科学计算能力;终端计算能力的统计口径为智能手机和PC的数量及支出规模。

计算效率包含CPU、内存和存储利用率,新技术使用率以及云计算渗透率,反映的是目前计算能力的利用水平。虚拟化是云计算的基础,通过把资源池化实现按需计算,从而有效提高对软硬件资源的使用效率,因此,云计算渗透率对于提升现有计算能力的利用水平起到了重要的作用,该指标在计算效率维度中具有较高的权重。

应用水平重点考量各个国家在人工智能、大数据、物联网、机器人、区块链这几项新兴技术的应用。在这五项新兴技术中,人工智能、物联网和大数据在产业的应用最为成熟,在本次评估中具有较高的权重。

基础设施支持从数据中心规模、数据中心软件和服务、数据中心能效(PUE)、存储基础设施、网络基础设施等维度衡量一个国家未来算力发展的可持续性。服务器支出已经占整体硬件支出规模的70%左右,是基础设施支出中最核心的组成部分,存储和网络支出的均衡性对于未来算力的发展同样重要,因此,在这一维度里也针对存储和网络基础设施进行了充分评估。

一级指标	二级指标	三级指标	计算口径
计算能力	通用计算能力	· 服务器支出规模 ¹	· 服务器支出规模/该国当年GDP总量
	科学计算能力	· 全球TOP500超级计算机数量及排名	· 该国所有超级计算机在全球TOP 500中排名加权得分
	AI计算能力	· AI服务器支出规模 ¹	· AI服务器支出规模/该国当年GDP总量
	终端计算能力	· 智能手机及PC支出规模 ¹ · 智能手机及PC保有量 ²	· 智能手机及PC支出规模/该国当年GDP总量 · 智能手机及PC的保有量
	边缘计算能力	· 边缘计算硬件支出规模 ¹	· 边缘计算硬件支出规模
计算效率	新技术使用率	· 新技术使用率 ¹	· 新技术(SSD/SCM/异构) 平均使用率
	云计算渗透度	· 云计算渗透度	· 云计算支出规模/该国当年GDP总量
	CPU利用率	· 服务器CPU平均利用率	· 服务器CPU平均利用率
	内存利用率	· 服务器内存平均使用率	· 服务器内存平均使用率
	存储利用率	· 服务器存储设备平均使用率	· 服务器存储设备平均使用率
计算应用水平	大数据	· 相关软件、硬件、服务整体支出规模	· 支出规模/GDP总量
	人工智能		
	物联网		
	区块链		
	机器人		
基础设施支持	数据中心软件和服务	· 数据中心软件和服务支出规模	· 数据中心软件和服务支出规模/该国当年GDP总量
	数据中心规模	· 超大规模数据中心数量	· 超大规模数据中心(机架数10000+) 数量
	数据中心效率	· 数据中心平均PUE	· 数据中心平均PUE值
	网络基础设施	· 网络支出规模 ¹ · 电信支出规模 ²	· 网络支出规模/该国当年GDP总量 · 电信支出规模/该国当年GDP总量
	存储基础设施	· 存储设备支出规模 ¹ · 存储出货量(TB) ²	· 存储设备支出规模/GDP总量 · 存储设备出货量TB

- GDP: IMF统计各国名义GDP
- 数字经济: 结合信通院统计的各国数字经济进行修订补充

经济模型结果证明

生产部门

企业以利润最大化为目标,生产部门面临的利润函数如下:

$$\pi_i = A(\bar{H}K_i)^\alpha (H_i)^{1-\alpha} - rK_i - w_H H_i \quad (1)$$

其中, r 为实际利率, w_H 为算力资本的价格。

最终产品市场具有充分竞争性。因此,利润极大化要求每一个要素的边际收益等于其边际成本,即 $\frac{\partial \pi_i}{\partial H_i} = 0$, $\frac{\partial \pi_i}{\partial K_i} = 0$ 。由利润极大化条件可推导出企业对两类生产要素的需求函数:

$$(1-\alpha) \frac{Y_i}{H_i} = w_H, \quad (2)$$

$$\alpha \frac{Y_i}{K_i} = r \quad (3)$$

生产部门对两类生产要素的总需求为:

$$H = \sum_i H_i L_i = (1-\alpha) \frac{Y}{w_H} \quad (4)$$

$$K = \sum_i K_i L_i = \alpha \frac{Y}{r} \quad (5)$$

其中, L_i 表示第 i 个企业的劳动力数量, $Y = \sum_i Y_i L_i$ 是生产部门的产品总供给量。

家庭部门

消费者的目标函数是最大化其在各个时期消费获得的总效用,具体形式如下所示:

$$\max_c \int_0^\infty e^{-\rho t} \frac{C^{1-\theta}-1}{1-\theta} dt \quad (6)$$

效用最大化所面临的资本预算约束条件为:

$$\dot{H} = \tau(Y-C) - \delta H, \quad (7)$$

$$\dot{K} = (1-\tau)(Y-C) - \delta K \quad (8)$$

通过构建汉密尔顿函数可以解决以上优化问题,汉密尔顿函数如下所示:

$$H(C, H, K) = e^{-\rho t} \frac{C^{1-\theta}-1}{1-\theta} + \lambda[(1-\tau)(Y-C) - \delta K] + \mu[\tau(Y-C) - \delta H] \quad (10)$$

其中,消费 C 为控制变量,算力资本 H 和物力资本 K 为状态变量, λ 和 μ 为协态变量分别表示 K 和 H 的影子价格。横截条件为:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda K \geq 0, \quad (9)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mu H \geq 0, \quad (10)$$

汉密尔顿函数的最优条件为:

$$C^{-\theta} e^{-\rho t} = \lambda(1-\tau) + \mu\tau \quad (11)$$

$$[\lambda(1-\tau) + \mu\tau] \frac{r}{\alpha} - \delta\lambda = -\dot{\lambda} \quad (12)$$

$$[\lambda(1-\tau) + \mu\tau] \frac{w_H}{1-\alpha} - \delta\mu = -\dot{\mu} \quad (13)$$

(11) 式对时间 t 求导,可得欧拉方程为:

$$\theta \frac{\dot{C}}{C} + \rho = - \frac{\dot{\lambda}(1-\tau) + \dot{\mu}\tau}{\lambda(1-\tau) + \mu\tau} \quad (14)$$

由公式 (11) - (14) 可得,稳态的经济增长率 g :

$$g = g_C = g_K = g_H = \frac{[(1-\tau) \frac{r}{\alpha} + \tau \frac{w_H}{1-\alpha}] - \rho - \delta}{\theta}, \quad (15)$$

由公式 (15) 可知,稳态经济增长率与算力资本增长率保持一致,即算力资本的增长可以带来经济的长期增长。

为了进一步分析总投资中算力资本投资所占的比例对稳态经济增长率的影响,我们需要将公式 (15) 对算力资本投资的占比 τ 求导,具体结果为:

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = \frac{1}{\theta} \left(\frac{w_H}{1-\alpha} - \frac{r}{\alpha} \right) \quad (16)$$

由公式 (16) 可知,当算力资本的价格与实际利率之间满足 $w_H > \frac{1-\alpha}{\alpha} r$ 时, $\frac{\partial g}{\partial \tau} > 0$,即增加对算力资本的投资比重会进一步提高稳态经济增长率。