



浪潮信息



清华全球产业院
Tsinghua IGI



GLOBAL
COMPUTING
INDEX

2023年7月

2022-2023
全球算力指数
评估报告



Contents

目录

核心观点	02
引言	04
数字经济持续增长, 全球逐渐步入数字化新阶段	
全球算力指数综合评估结果	08
全球算力指数显著提升, 领跑者国家保持优势, 起步者国家数量缩减	
行业算力发展水平评估	22
制造行业排名超越金融升至第二, 各行业积极探索AIGC领域	
算力的经济影响	30
算力指数与经济理论共同验证, 算力是数字经济时代的核心生产力	
算力的社会价值	39
算力助力社会资源优化、城市安全提升、生物育种优化和可持续发展	
行动建议	43
建议各国加大国家层面算力基础设施投资, 积极探索融合型算力服务	
附录	46

Core Views

核心观点

1

据多家分析机构预测，2023年全球GDP增长率仅为2%，但企业对数字技术的发展仍保持乐观，从IDC的全球高管调研来看，仅18%的高管表示会降低IT支出，而36%的高管表示会在未来经济形势不确定的情况下增加IT支出，IDC预测数字化转型（DX）技术的支出将继续保持强劲增长，预测2023年增长率为16.9%。

2

数字经济在过去几年快速增长，成为经济增长的重要推动力，2022年十五个样本国家整体的数字经济占GDP比重达50.2%。从趋势预测来看，未来数字经济将继续稳定增长，2026年这一比重将达到54.0%。

3

领跑者国家在计算能力和基础设施支持两大子项比其他梯队国家有显著优势，美国由于超大规模互联网企业在算力投入上的大幅增长，2022年算力指数从77分增长到82分；中国受阻于疫情反复，2022年算力投入有所放缓，但整体增速仍高于GDP，算力指数从70分增长到71分。追赶者国家阵营主要由欧洲国家、日韩以及新加坡组成，印度在2022年对算力及新兴技术投入大幅增加，也跻身追赶者国家阵营。

4

在定价合理的情况下加大算力投资可能带来一国（或地区）稳态经济增长率的跃升。算力先发国家或地区的优势会随着算力投资比重的增加进一步获得强化。最新评估结果显示，十五个样本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3.6%和1.7%。当算力指数达到40分以上时，国家的算力指数每提升1点，对GDP增长的推动力将提高到40分以下时的1.3倍；而当算力指数数值达60分以上时，国家的算力指数每提升1点，其对于GDP增长的推动力将提高到40分以下时的3.0倍，对经济的拉动作用变得更加显著。

5

根据对样本国家的IT支出与数字经济、GDP的分析，IT支出每投入1美元，可以拉动15美元的数字经济产出，同时也可以拉动29美元的GDP产出。在全球多个行业的Top30企业中，IT投入的增加，也会带来实际收益，IT每投入1美元，在互联网行业可拉动22美元的营收额与2美元利润产出；在制造行业可拉动45美元的营收额和6美元利润产出；在金融行业可拉动38美元的营收额与5美元利润产出；在电信行业可拉动28美元的营收额和3美元利润产出。

7

以生成式AI为代表的AI计算未来将呈现暴涨态势。在IDC的预测中，全球AI计算市场规模将从2022年的195.0亿美元增长到2026年的346.6亿美元，其中生成式AI计算市场规模将从2022年的8.2亿美元增长到2026年的109.9亿美元。生成式AI计算占整体AI计算市场的比例将从4.2%增长到31.7%。在AIGC领域，人工智能算法和技术被应用于各种领域和行业，如自动驾驶汽车、医疗诊断、金融预测等。

6

各行业计算力发展水平总体呈上升趋势。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行业还包括制造、金融、政府和电信。对比上一年度，制造行业排名超过金融行业，排名第二，政府行业超过电信行业，排名全球第四。

8

绿色计算发展受到各国普遍关注。在中国，液冷服务器2021年的出货量在整个服务器市场的占比不到1.0%，大部分是来自国家科研项目和互联网数据中心的部署，2022年开始出现较大的增量市场，同比增速达305.2%。越来越多的传统行业用户开始部署液冷数据中心，IDC预测，2026年中国液冷服务器在整体服务器出货量中的占比将会超过10%，成为增速最快的服务器子市场之一。

Preface

—.

引言

(一) 数字经济规模稳步提升, 助推全球经济复苏

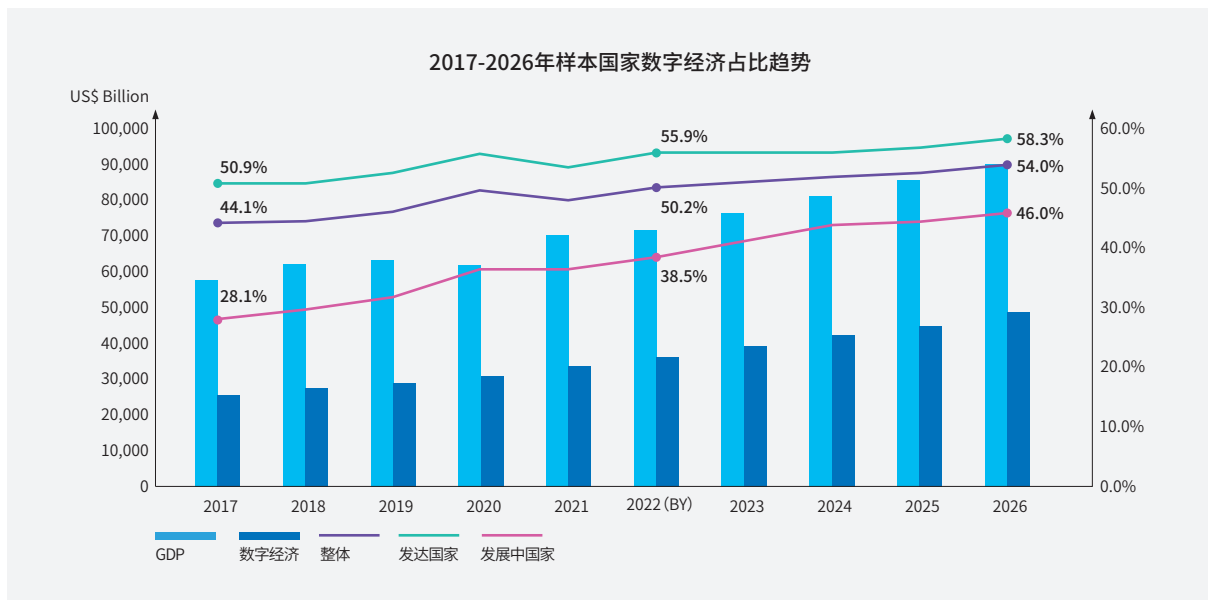
(二) 数字化优先成为企业核心战略

(三) 算力成为各行业科技创新的重要支撑

(四) 未来算力发展趋势

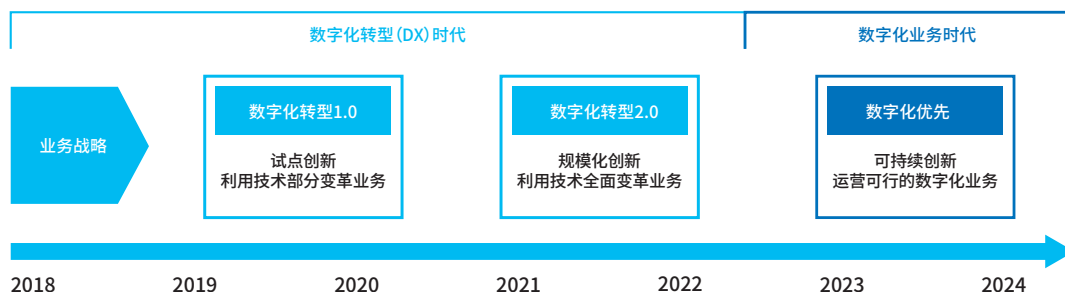
一 数字经济规模稳步提升，助推全球经济复苏

数字经济在过去几年快速增长，成为经济增长的重要推动力，2022年样本国家整体的数字经济规模占GDP比重达50.2%。从趋势预测来看，未来数字经济将继续稳定增长，2026年这一比重将达到54.0%。数字经济带来了跨国界的合作和全球市场的扩大，在全球范围内持续发展，并有望继续在经济复苏中发挥重要作用。然而，数字经济发展也面临一些挑战，如数据隐私和安全问题。因此，政府和企业需要制定适应数字经济发展的政策和战略，推动数字化技术的创新应用，以实现可持续的数字经济增长。



二 数字化优先成为企业核心战略

从2022年开始，全球企业在数字化转型的浪潮下开始加速数字化进程，2023年将是企业数字化转型的拐点，即企业从数字化转型时代进入到数字化业务时代，开始逐渐步入数字化新阶段。



数字化业务时代来临的标志是全球数字化发展已经进入普及的临界点。根据IDC的研究，到2023年底，全球数字化转型支出占总体企业ICT支出中的占比将达到52%，全球52%的软件应用支出也将是SaaS模式；到2024年，全球拥有数字化技能的员工将首次超过非数字化技能员工，占比到51%。领先的数字化企业已经采用数字化优先策略，从数字化转型时代进入到数字化业务时代。IDC预测全球数字化转型（DX）技术的支出将继续保持强劲增长，预测2023年增长率为16.9%。

数字化业务时代的核心是发挥数据要素的价值，实现数据的业务化。数字化转型1.0阶段是利用数字技术做试点创新，数字化转型2.0阶段是把各类数字技术融合起来支持业务的规模化创新，两个阶段的核心是业务的数字化，目的是把数字技术作为工具降本增效。而数字化业务时代的核心是数据的业务化，充分发挥数据作为生产要素的价值，实现业务流程创新、客户体验创新、产品服务创新、商业模式创新和社会责任创新，进而实现高质量发展。2022年底到2023年的生成式AI（AIGC）的持续火爆也是数据价值由量变到质变的体现。

数字化业务时代有4大关键特征。特征一是践行数字化优先战略，即一个组织为了实现业务目标能够优先考虑各类数字技术的部署和应用，进而不断满足客户需求，提升组织竞争力；特征二是数字化举措由CEO和业务高管支持和推动，因为数字化业务涉及所有部门，CEO与业务高管的协同与推进成为必须；特征三是利用数字技术进行竞争与创新；特征四是数字化创新举措可大规模交付业务价值。

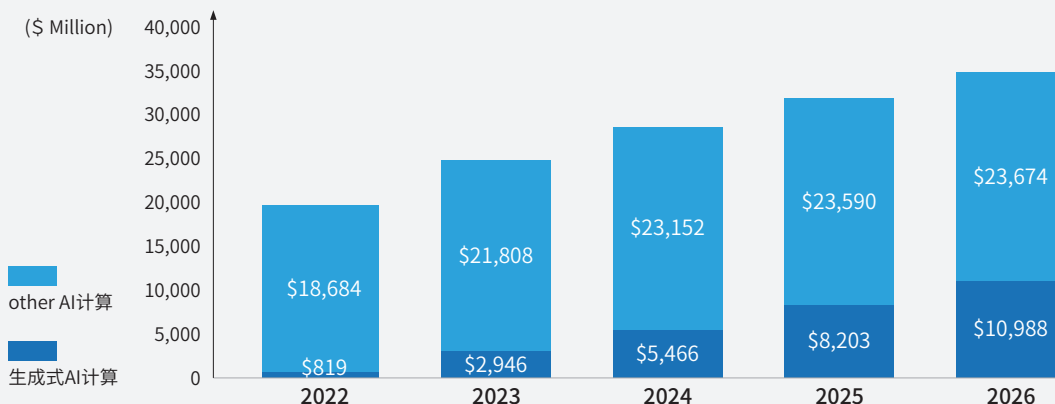
算力成为各行业科技创新的重要支撑

采用数字技术来推动业务变革，进而实现数字化转型已经成为企业发展的必由之路，随着数字技术的不断进步和发展，以及数据量的爆发性增长，强大的算力成为了实现创新和突破的关键要素。

人工智能受算力发展直接影响，在近期引起全球范围的广泛关注，尤其AIGC领域表现出强劲的市场潜力。在AIGC领域，人工智能算法和技术被应用于各种领域和行业，如自动驾驶汽车、医疗诊断、金融预测等。算力的发展不仅激发了数字技术的创新和突破，也推动了数字技术在各行各业的广泛应用与深度融合，为各行业能够实现科技创新提供了重要支撑。

在IDC的预测中，全球AI计算市场规模将从2022年的195.0亿美元增长到2026年的346.6亿美元，其中生成式AI计算市场规模将从2022年的8.2亿美元增长到2026年的109.9亿美元。生成式AI计算占整体AI计算市场的比例将从4.2%增长到31.7%。

全球生成式AI计算市场规模预测



④ 未来算力发展趋势

在数字经济时代，企业的未来越来越依赖于数据分析和应用所产生的价值。算力技术不断演进，围绕数据采集、传输、存储、管理、处理和利用等，能够帮助企业最大化释放数据价值，未来算力的发展具备以下主要发展趋势：

异构计算成为主流

企业需要为人工智能、机器学习和深度学习建设全新的IT基础架构，正在由CPU密集型转向搭载GPU、FPGA、ASIC芯片的加速计算密集型，且越来越多地使用搭载GPU、FPGA、ASIC等加速卡的服务器。协处理器能使企业拥有更高的并行计算和低延迟的计算能力，支持更大容量的内存，以满足当下实时负载增加的需求。此外，还可提供更多的外置硬盘插槽，并广泛支持NVMe/PCIe等协议，以满足数据洪流的需求。

边缘计算应用加深

随着物联网终端数量和数据量的爆发式增长，网络通信承受了巨大的压力。为了满足数据实时性、安全性以及大规模连接的业务需求，边缘计算成为云计算的重要补充。边缘计算将算力资源部署在离终端设备更近的位置，使得数据可以在本地进行处理，从而减少了数据传输到云端进行处理的延迟和网络带宽的压力。

智能网卡普及率扩大

在后摩尔时代，服务器CPU性能的提升放缓，跟不上对更快网络端口速度不断增长的计算需求。智能网卡有助于提高和加速网络中的服务器可用性、带宽性能和数据传输效率。AWS、Microsoft Azure和阿里云等超大规模云提供商正在使用智能网卡来实现价格和性能改进。数据中心对高带宽、低时延的网络服务器，以及高虚拟网络转发性能的迫切需求，驱动着智能网卡的发展，同时智能网卡的发展也能减轻服务器CPU的负担，提高整体系统的效率。

机架密度提升

数据的爆发式增长对数据中心容量提出新要求，鉴于数据中心的物理限制，提高每台机架的资源投入是非常实用的解决方案，因此提高机架密度成为数据中心设计的一个重要趋势。然而，这也对数据中心散热提出了新的挑战，采用新型液冷技术将是应对这一挑战的有效方式。相较于传统的风冷技术，液冷技术具有降低能耗、维持系统性能稳定以及支持更高功率处理器的优势。

未来基础架构将是以数据为中心的架构

在数字化业务时代，数据的业务化是企业创新的核心。在融合架构2.0阶段已经实现了CPU同各种加速单元的协同，提升了计算的性能，但普遍采用PCIe互联的方式，存在内存地址空间隔离、不支持缓存一致、延迟高等问题；在融合架构3.0阶段，将是以数据为中心的架构。在计算节点内部，实现CPU与加速器之间的缓存一致性高速总线互连，加速器与CPU之间可以共享内存数据、统一编址、协同工作。在跨节点级，通过智能数据处理单元（iDPU）和高速网络形成分布式互连交换，实现CPU、GPU、FPGA、各种加速芯片的算力协同以及内存池化、新型存储池化，节点间的数据访问延迟极低，支持高效弹性扩展。此外，还可以通过在互联处理单元中卸载控制平面，实现控制与计算分离，实现更为灵活的资源重构，为数据的挖掘与利用提供更加强大的算力支撑。

Global Computing Index Assessment Results

二 .

全球算力指数 综合评估结果

- (1) 全球算力指数评估体系更新
- (2) 全球算力指数综合评估结果分析
- (3) 全球算力指数子项评估结果分析

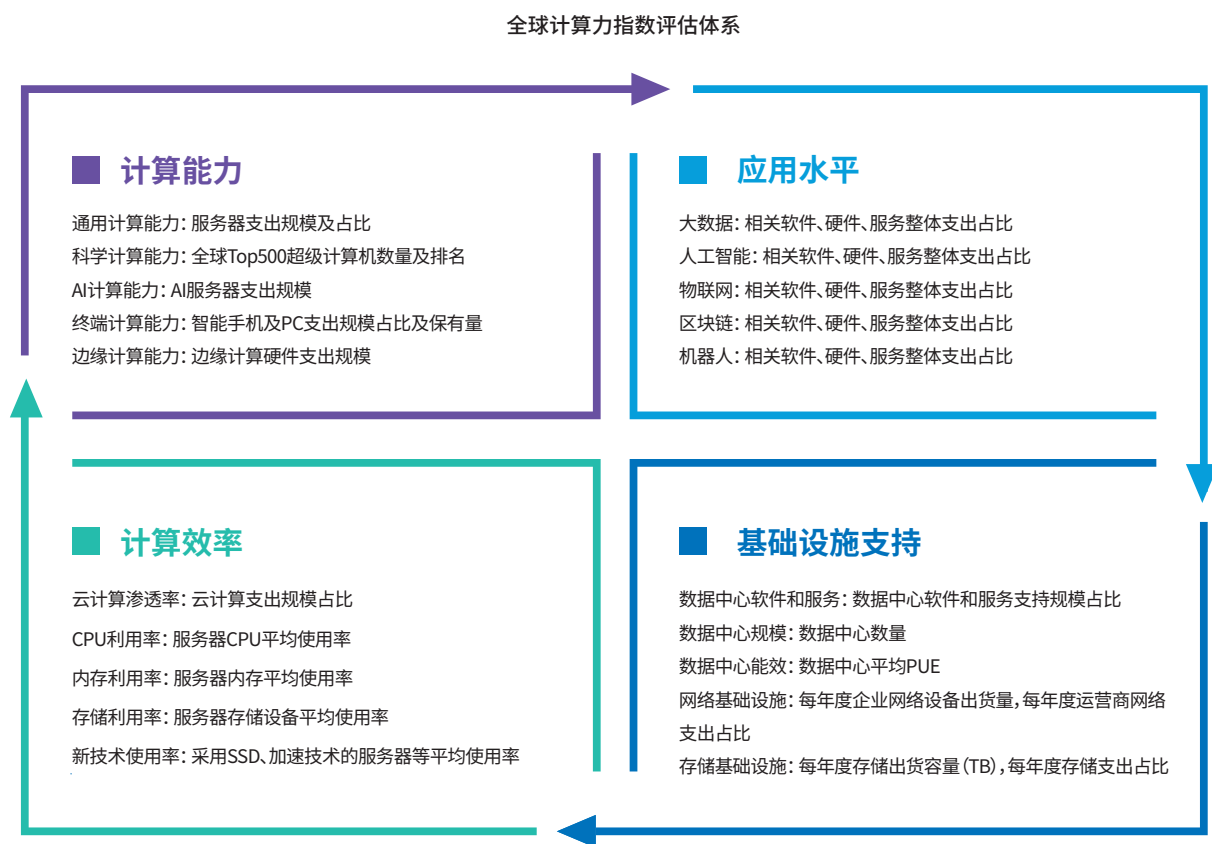
一 全球算力指数评估体系更新

全球算力指数是评估算力与GDP、数字经济相互拉动和共同发展的指数。本报告通过设定全球算力指数框架，构建算力与GDP、数字经济之间的相互关系，探讨算力体系与经济学指标间的联系，体现“算力即生产力”以及算力在经济发展中的重要性。

全球算力指数研究覆盖了六大洲的15个国家，包括：美国、中国、日本、德国、印度、英国、法国、加拿大、意大利、巴西、韩国、澳大利亚、爱尔兰、新加坡和南非（按2022年GDP排序）。

相较于上一年度，评估国家范围增加了新加坡与爱尔兰。爱尔兰的数字经济发展迅速，信息技术产业在国家经济中占据重要地位，在欧盟2022年的数字经济与社会指数（DESI）报告中，爱尔兰在欧盟27个国家中排名第5，并大幅超过平均水平；新加坡作为亚洲地区的商业和金融中心，聚集了许多全球前2000企业，拥有先进的数字技术和数字化实践经验，是亚洲地区数字经济的领军国家之一。

指标体系涵盖计算能力、计算效率、应用水平、基础设施支持四个维度。



全球算力指数综合评估结果分析

本次研究延续过去几年的评分体系，综合考虑样本国家的算力指数分值和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，将这些国家分成领跑者国家、追赶者国家和起步者国家三个梯队。

通过观察不同国家算力指数的分布，以及算力指数的提升对经济增长的影响，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。

	算力指数排名		算力指数	计算能力	通用计算能力		≥计算能力	科学计算能力	终端计算能力	边缘计算能力	计算效率	CPU利用率	内存利用率	存储利用率	新技术使用率	云计算渗透率	应用水平	人工智能	大数据	物联网	区块链	机器人	基础设施支持	数据中心规模	数据中心能效	数据中心软件和服务	存储基础设施	网络基础设施
美国	1	82	86	91	84	82	75	83	70	57	68	61	70	84	82	82	82	80	81	72	84	85	85	82	82	82		
中国	2	71	75	70	82	76	79	79	60	55	61	59	59	63	72	67	57	84	77	80	68	74	65	41	80	80		
日本	3	58	53	44	59	63	76	46	57	59	65	52	65	58	70	69	76	76	67	64	66	68	70	49	69	70		
德国	4	56	50	38	58	52	68	52	60	60	68	63	66	56	68	68	75	71	67	60	62	64	69	48	71	64		
新加坡	5	55	51	63	56	42	30	35	59	63	63	55	66	61	64	62	65	71	66	55	56	56	68	48	59	56		
英国	6	53	47	38	58	37	70	46	58	55	65	55	61	56	65	64	76	66	59	58	61	64	69	50	60	60		
法国	7	49	43	35	49	51	57	40	57	55	65	51	60	61	61	65	64	65	54	55	52	52	67	46	50	52		
印度	8	43	36	26	35	30	88	38	53	54	61	50	50	58	56	50	60	65	55	42	50	56	59	40	45	55		
加拿大	9	43	33	27	40	33	39	32	57	55	58	49	60	67	62	62	63	60	58	57	54	59	68	45	50	49		
韩国	10	43	35	28	49	31	55	33	58	56	61	60	64	57	58	58	50	60	57	65	51	52	68	40	55	45		
爱尔兰	11	42	35	31	46	28	32	35	58	55	62	62	60	59	55	55	50	60	57	58	47	46	69	40	45	41		
澳大利亚	12	41	33	26	48	28	40	28	57	50	58	53	62	62	53	52	58	51	55	51	54	64	68	42	43	53		
意大利	13	40	36	30	39	35	40	31	47	53	54	49	53	36	43	38	39	47	39	35	45	43	63	31	36	47		
巴西	14	36	34	23	38	24	50	35	42	48	45	34	38	45	34	36	27	39	25	24	38	42	53	29	33	35		
南非	15	30	26	21	22	20	34	22	39	45	45	36	33	36	30	23	27	35	25	23	36	34	52	25	30	35		
领跑者			81	81	83	79	77	81	65	56	65	60	65	74	77	75	70	82	79	76	76	80	75	62	81	81		
追赶者			42	36	50	40	56	39	57	56	63	55	61	60	61	61	64	65	60	57	55	58	68	45	55	55		
起步者			32	25	33	26	41	29	43	49	48	40	41	39	36	32	31	40	30	27	40	40	56	28	33	39		



本次研究结果显示，美国和中国依然分列前两位，同处于领跑者位置；追赶者国家包括日本、德国、新加坡、英国、法国、印度、加拿大、韩国、爱尔兰和澳大利亚；起步者国家包括意大利、巴西和南非。

2022年，全球经济面临巨大挑战，许多国家GDP增速显著放缓，在本次参与评估的十五个国家中，接近半数国家GDP甚至同比出现负增长。在这样的背景下，所有样本国家的ICT支出依然呈现正增长，算力指数也有所增加。

研究结果显示：起步者国家数量正逐渐减少，印度在2022年大幅增加算力及新兴技术的投入，已跻身追赶者国家阵营。此外，以欧洲国家为主的追赶者国家和领跑者国家的差距也在进一步缩小，这归因于较高的新兴技术应用水平带来了更多的算力需求。

领跑者国家：在计算能力和基础设施支持两大子项比其他梯队国家有显著优势，其中美国由于超大规模互联网企业在算力投入上的大幅增长，2022年算力指数从77分增长到82分；中国受阻于疫情反复，2022年算力投入有所放缓，但整体增速仍高于GDP，算力指数从70分增长到71分。



美国 算力指数同比增长6.5%，达到了82分。尤其是一级指标计算能力增长显著，包括通用计算能力和AI计算能力。从数据来看，2022年，美国服务器市场规模达到530亿美元，同比增长19.7%；人工智能服务器市场规模达到75亿美元，同比增长48.1%，是全球服务器市场增长的主要驱动力。同时，美国的五大新兴技术应用（人工智能、大数据、物联网、区块链和机器人）支出均呈现两位数增长，其中人工智能应用支出规模突破600亿美元，同比增长28.3%，表现尤为突出。得益于全球头部超大规模云服务提供商的高能效数据中心建设，美国整体PUE值进一步降低，保持在全球前列。



中国 算力指数同比增长1.4%，达到了71分，2022年第二季度的疫情反复给中国经济带来了阵痛，全年GDP增长低于预期，在这样的大背景下，中国整体服务器市场规模仍然保持6.9%的正增长，达到270亿美金，占全球市场25.0%，仅次于美国稳居第二。从服务器子市场来看，由加速服务器、边缘计算服务器和液冷服务器市场均呈现20.0%以上的增长。在新兴技术应用领域，中国也保持增长趋势，人工智能支出同比增长17.9%，大数据支出同比增长27.4%，物联网支出同比增长23.5%，区块链支出同比增长62.0%，机器人支出同比增长31.8%。

“能效提升和绿色低碳”是2022年中国算力发展的主旋律，随着全国一体化大数据中心体系完成总体布局设计，“东数西算”工程全面启动，从宏观层面优化算力基础设施布局，引导算力资源规模化、集约化和绿色化发展，中国算力产业自此由高增长期步入到高质量发展的新阶段，以技术创新和提升为驱动力，环境可持续性和能源效率优先成为主旋律。

以技术创新和提升为关键驱动力：高质量发展强调创新作为经济发展的主要驱动力。包括引入先进的硬件设备和新一代的数据中心架构和设计，人工智能、大数据、物联网等新兴技术的高投入。中国在应用水平子项上得分从70分增长为72分，全球仅次于美国。

环境可持续性和能源效率优先：2021年中国平均PUE为1.55，截至2022年底，中国累计建成153家国家绿色数据中心，规划在建的大型以上数据中心PUE降至1.30。在高质量发展战略中，绿色发展不可或缺。作为可持续发展的重要因素，数据中心的绿色节能是必然的趋势，企业在能效管理方面已经普遍有了更深的认知，无论从管理层面还是从技术应用与创新层面，都采取了一系列积极举措。企业已经开始积极规模部署模块化数据中心，采用以液冷为代表的新的冷却技术。随着可持续发展政策逐步落地，业内对液冷技术的认可度和供应链对液冷技术的支持度正在提升，液冷技术的使用范围有望快速扩大，除了过去的教科研和互联网领域之外，金融、电信行业也开始积极部署，液冷服务器市场将会迎来快速增长。

各项数据看中国算力市场发展

过去很长一段时间，中国算力市场缺乏足够的增长动力，技术创新缓慢。这一情况在2017至2018年开始发生改变，云计算的渗透，加上以人工智能、大数据和物联网为代表的新兴技术加速应用，为整体市场注入新的活力。数字化时代对挖掘数据价值需求强烈，催生了新算力平台：

ARM服务器 从未来趋势来看，ARM架构服务器是不容忽视的一个分支，ARM架构服务器日益成熟的生态为企业提供了更多的选项，从市场份额来看，2022年全球

ARM服务器市场份额已达到4.2%，而2021年这一比例仅2.0%，2020年仅1.5%。从市场增速看，IDC预计全球ARM服务器出货量在未来五年的平均增速将5倍于x86服务器。2022年中国ARM服务器市场规模已达14.8亿美元，同比增长达138%，尤其是在经历2021年零部件短缺的影响之后，最终用户的选择越来越倾向于多元化。

加速服务器 过去的工作负载大部分是CPU密集型，现在为了满足AI工作负载的需求，越来越多地使用搭载GPU、FPGA、ASIC等加速卡的服务器。根据IDC数据统计，2022年中国加速服务器市场规模达70.7亿美元，在整体服务器市场规模占比超过20%。2017至2022复合增长率达48.8%，增速全球第一。在2022年与2019年的市场增量对比中，中国加速服务器市场增长44.0亿美元，而中国整体服务器市场增长100亿美元，这意味着整体服务器市场增量的一半是来自加速服务器；IDC预测2027年中国加速服务器市场规模相比2022年还会有2倍以上的增长，预计超过160亿美元。

液冷服务器 对于数据中心而言，液冷技术无疑是未来的发展方向。在中国，液冷服务器2021年的出货量在整个服务器市场的占比不到1%，大部分是来自国家科研项目和互联网数据中心的部署，2022年开始出现较大的增量市场，同比增速达305.2%。越来越多的传统行业用户开始部署液冷数据中心，例如金融、电信等，IDC预测，2026年，中国液冷服务器在整体服务器出货量中的占比将会超过10%，成为增速最快的服务器子市场之一。目前，主流的液冷服务器形态分为冷板式和浸没式，在2022年增量市场中，冷板式服务器的占比达到94.9%。IDC全球调研显示，TCO优势、液冷系统的多样性是企业选择冷板式液冷技术的主要因素，从未来的增长看，冷板式液冷服务器预计将有更高增速。

追赶者国家：追赶者国家阵营包括日本、德国、新加坡、英国、法国、印度、加拿大、韩国、爱尔兰和澳大利亚。2022年印度算力指数从38分提高到43分，跻身追赶者国家阵营。普遍来看，追赶者国家具有较高的新兴技术应用水平，同时具备较为完善的基础设施支持，在数据中心能效方面也相对领先。在这样的基础上，追赶者国家计算能力显著提升，指数平均增幅超过5%。



日本 在本次评估中，日本保持第三，算力指数同比增长5.5%，达到了58分。日本政府将科技发展作为增长战略的第一支柱，并致力于实现科学技术立国的目标。为了在科技领域保持领先优势，日本采取了一系列措施，包括加强政策体制和增加科研投入。例如，日本政府推出了“社会5.0”计划，旨在实现人工智能、大数据、物联网等技术的融合，为经济注入新的活力。日本对人工智能的关注度十分高，科研机构、企业和政府都在积极投入研究和开发人工智能技术。以索尼、松下、丰田等为代表的日本企业在AI领域取得了显著成果。日本的AI算力和应用的整体投入在2022年分别增长了45.7%和35.5%，日本的AI应用水平更是达到69分，在该项评估中名列全球第二。



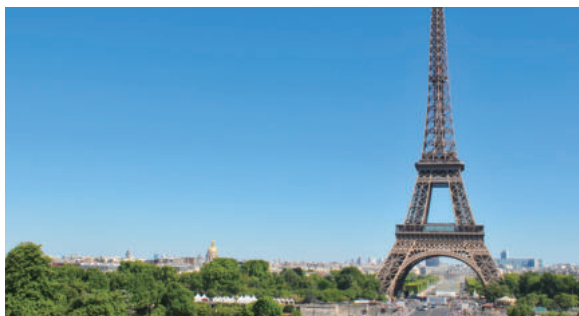
德国 受全球多重不稳定因素的影响，2022年德国数字化进程的发展有所放缓。但是德国政府和企业仍将数字主权视为拉动经济发展、保持创新力和竞争力的先决条件，经济和社会对数字化的需求持续扩大，计算能力建

设依然保持良好发展势头，整体算力指数达到56分，其中通用计算能力方面的投入同比增长15.7%。在数据中心市场，德国巩固了其仅次于英国的欧洲第二大市场地位，包括AWS、Azure、Google、IBM、Oracle在内的北美云服务提供商在德国均建设了数据中心，主要集中在法兰克福。德国的汽车、制药、工程和零售等行业积极拥抱AI/ML、机器人和边缘计算等先进技术，作为其工业4.0框架的重要组成部分，公共和私营部门都在增加对计算能力的投入，推动了数据中心市场的稳定增长。人工智能是德国政府和企业多年来致力于发展的新兴技术，2022年，德国对AI算力和应用的整体投入分别增长62.0%和36.7%，德国政府也开始为全国5个人工智能能力中心提供联邦层面的资助，以支持AI领域的基础研究突破、商业模式创新、技术成果转化以及专业技能人才培养。



新加坡 在本次评估中，新加坡算力指数为55分，在整体排名第5名，处于领先地位，尤其是新加坡的计算能力指标保持领先，其部署大量数据中心，并辐射到东南亚其他国家。基于数据中心的大量算力需求，新加坡的服务器采购规模也十分高，其通用计算能力子项得分为63，仅次于中美，位列该子项的全球第三位。新加坡致力于提升数字技术在各领域的普及和应用，推动企业的数字化转型升级；对外，加强数字产品和服务在全球流动，为企业“走出去”搭建平台和打造合作新规则。新加坡十分注重数字经济领域的双边或多边合作，其与新西兰、智利发起签署的《数字经济伙伴关系协定》是全

球首份关于数字经济合作的开放性国际协定，并将伙伴关系拓展到韩、澳与欧盟，使自身数字经济地位与影响力不断提升。



法国 法国是本次研究所覆盖的西欧国家中算力指数增长最快的国家，在全年GDP负增长5.9%情况下，在本次评估的各项重要指标中均表现优异。其中服务器市场规模同比增长24.1%，达到24亿美元，占GDP约0.9‰（低于美国的2.1‰和中国的1.6‰，但在追赶者国家中处在前列），人工智能服务器市场规模同比增长44.0%，法国企业的数据中心、云计算服务商、科研与教育机构等场景需要强大的算力支撑自身需求，因此服务器采购规模十分突出。法国人工智能总支出同比增长34.0%，大数据支出同比增长17.7%，区块链支出同比增长26.8%。法国政府从2018年起，累计投入超15亿欧元发展人工智能，用于鼓励科研创新项目及初创企业，促进了AI产业的发展。据初创企业组织平台“数字法国”统计，目前法国有超过500家人工智能初创企业，直接创造1.3万个工作岗位，为法国数字经济发展做出较大的贡献。在数据中心建设方面，法国拥有多个数据中心集群，主要数据中心位于巴黎、马赛、里昂、里尔和斯特拉斯堡等主要城市，他们都拥有先进的设备，建立了丰富的商业生态系统。同时，法国还拥有良好的能源来源和覆盖范围，能够满足数据中心的能源需求，2022年法国在数据中心规模和能效方面获得了显著提升，数据中心的平均PUE约为1.4，在追赶者国家中处于领先地位。



韩国 韩国是全球半导体、智能终端、电子材料及组件等行业的重要参与者，拥有多家全球领先的电子信息制造业集团以及大量优秀的配套企业。在这些大型企业和政府政策的拉动下，韩国从移动互联网早期就已成为全球数字经济发展的先锋，在经合组织数字政府指数（DGI）中，韩国被列为世界上政府数字化程度最高的国家。2022年，在相对领先的数字化基础之上，韩国政府围绕“短期内实现经济完全复苏、长期迈向领先型经济”发展目标，构建更为完善的数字基础设施，促进韩国“DNA”（数据、网络和人工智能）生态体系扩张，以求实现更为广泛的经济和社会结构数字化转型。随着各行各业践行第四次工业革命时代的数字创新，韩国算力指数稳步提升，达到43分，其中AI算力投入更是大幅提升44.1%，凸显出韩国对人工智能等战略性新兴产业的重视程度。本土互联网公司将AI技术融入搜索引擎及其他互联网服务并投资AI初创公司，大型电子集团建设AI算力基础设施，共同促进AI技术研发及产业化。另外，以汽车行业为代表的传统行业也在加快数字化转型，如采用混合现实（MR）和人工智能等技术来强化智能工厂的数字化优势，提高一线工人的生产效率、准确性和安全性。



爱尔兰 本次评估中，爱尔兰算力指数为42分，计算效率指标为其算力指数提升贡献了重要驱动力，尤其是云计算渗透率表现十分优异。爱尔兰数字环境优越，领先的科技公司如Google、Meta、Microsoft、Apple和AWS等均在爱尔兰设有办事处，使爱尔兰保持在数字生态系统发展的最前沿。爱尔兰政府十分注重本国整体数字化的发展。在2022年的数字化框架中提出包括：到2030年，所有爱尔兰家庭和企业实现千兆网络覆盖，人口密集地区实现5G覆盖；75%的企业制定包含云计算、人工智能和大数据在内的多项发展目标。爱尔兰的数字化框架旨在推动和实现爱尔兰整个经济和社会的数字化转型，并逐渐成为欧洲和全球数字发展的领导者。

起步者国家：从整体样本国家来看，随着数字经济的快速发展，起步者国家数量正逐渐减少。在本次评估中，意大利、巴西和南非虽然仍处在起步者阵营，但算力综合发展水平均取得不同程度的提高。然而，与领跑者和追赶者国家相比，这几个国家的应用水平仍差距较大。不过人工智能应用取得较大的提升，尤其是意大利和南非，在人工智能应用投入方面均呈现30%以上增长。

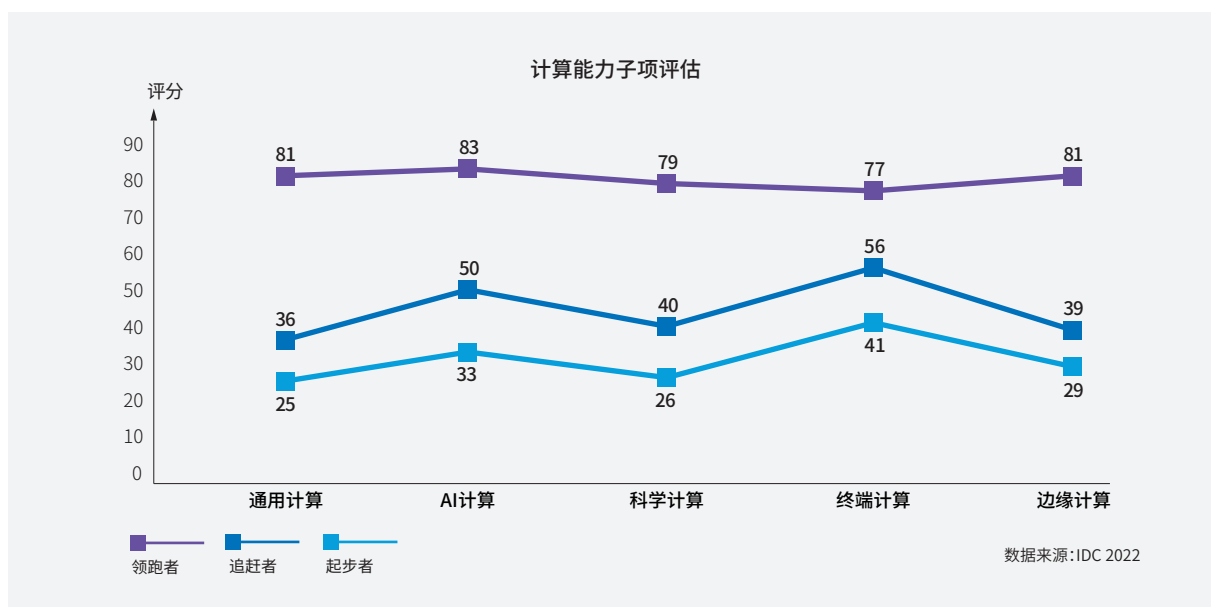


意大利 在起步者国家阵营中，意大利提升最为显著，其算力发展水平为40分，到达追赶者国家和起步者国家的临界值。2022年，意大利的服务器支出同比增长31.8%，人工智能服务器支出同比增长73.4%，人工智能应用总支出增长34.3%，区块链应用支出同比增长61.9%，各指标均显著增长。

一 全球计算力指数子项评估结果分析

1. 计算能力子项评估

计算能力评估的核心是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评估沿用去年子项设置方式，包含通用计算、AI计算、科学计算、终端计算和边缘计算。



同去年评估结果相比，领跑者和追赶者国家的AI计算子项保持快速增长，且与起步者的分差有所拉大，表明在了全球层面，以人工智能为代表的计算能力投入已经在领跑者和追赶者国家形成竞争优势和发展惯性。近来，随着AIGC在全球的兴起，各国对AI计算的投入越来越高。AIGC是一种基于大规模预训练模型和生成对抗网络的人工智能技术，一直以来，大模型的训练对算力的需求异常庞大，需要巨大的能耗和算力投入。根据谷歌公司的测算，在1000张英伟达V100 GPU上训练OpenAI GPT-3大模型，共需要14.8天，在数据中心PUE为1.1条件下，总能耗达到1287MWh，以2021年中国人均生活用电水平计算，单次大模型训练耗电量相当于一个中国人4年的生活用电总量，而ChatGPT是在大约10000个GPU上运行的。北美数据中心公司QScale联合创始人Martin Bouchard认为，ChatGPT单次搜索比传统搜索

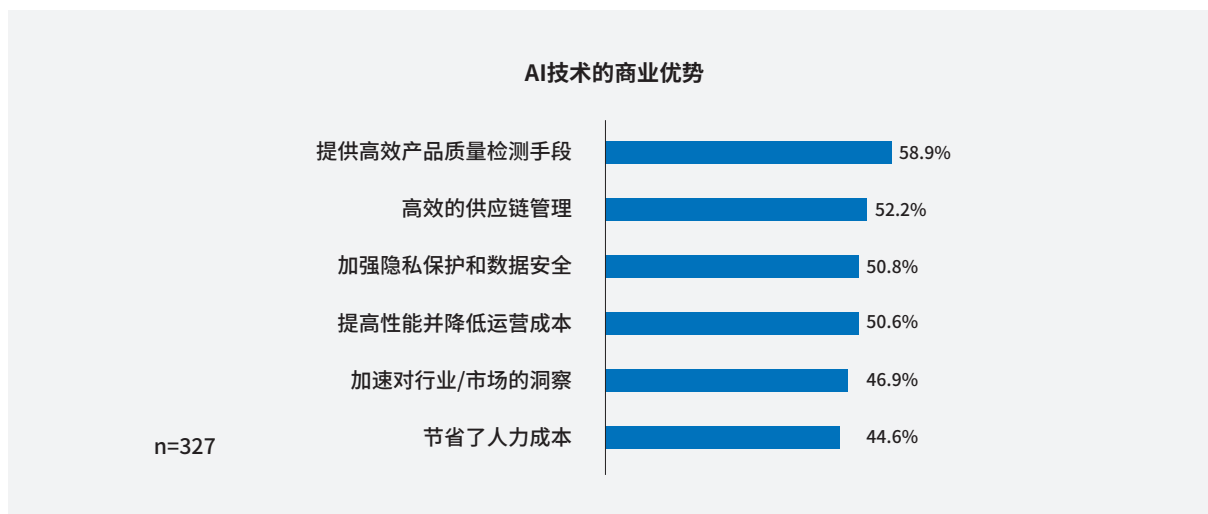
引擎需要至少4-5倍的额外算力开销，而Alphabet（谷歌母公司）董事长John Hennessy认为ChatGPT的搜索成本是传统基于文本形式搜索的10倍以上。

追赶者国家在AI计算子项中增长最为显著，德国、英国、法国、爱尔兰、新加坡、印度、日本和韩国的人工智能服务器市场规模同比增长均超过40%。从过去几年的评估结果看，追赶者国家的人工智能在应用层面较为领先，但在人工智能基础设施投入占比相对较小；高应用水平对基础设施的拉动作用开始体现，追赶者国家正在从AI计算能力方面拉近和领跑者国家差距。

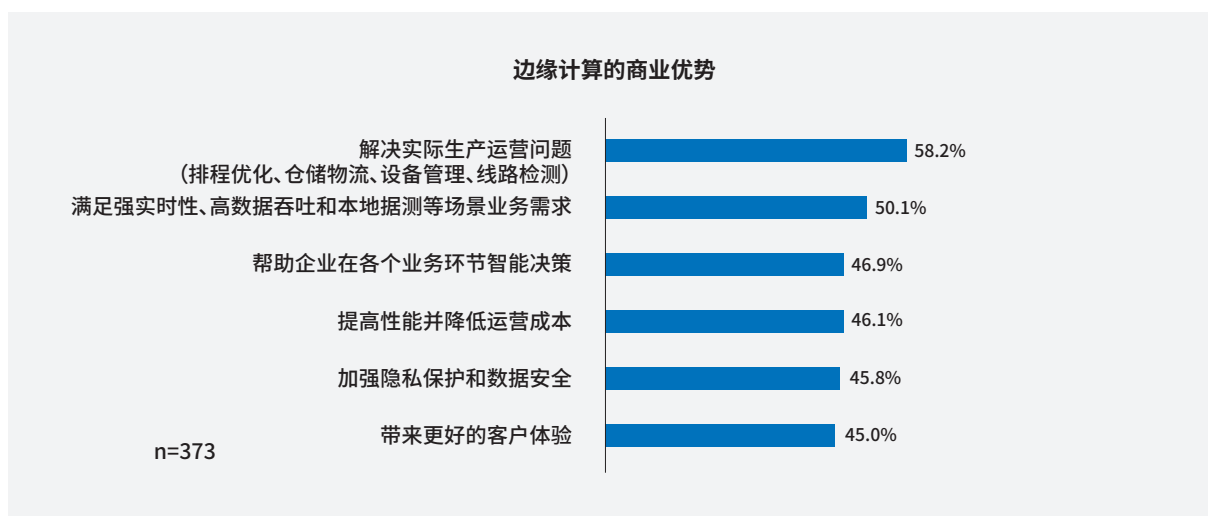
从商业优势出发，AI可以提供高效、精确、实时和智能的产品质量检测手段，帮助企业及时发现和解决生产中的质量问题，提高产品质量和生产效率。在IDC全球计

算力指数调研中，提供高效产品质量检测手段被认为是AI技术能带来的最主要商业优势，选择占比达58.9%。产品质量是企业保持竞争力的重要条件，利用深度学习、图像识别等AI技术，对产品进行智能化检测，及时

发现和报告任何潜在的质量问题，并采取相应的措施来防止问题的发生，从而帮助企业快速响应和解决问题，降低质量问题带来的风险，同时一定程度上减少检测环节的人力成本。

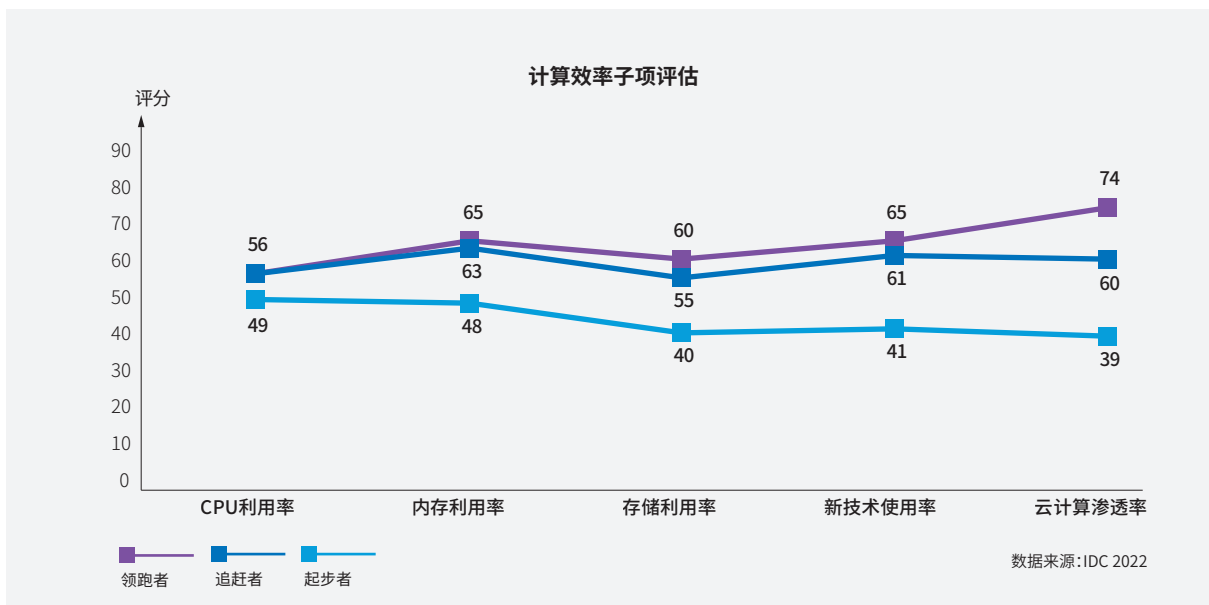


边缘计算的商业优势集中在业务层面，其中解决实际生产运营问题占比最高达58.2%。边缘计算可以将计算和数据处理推向物联网设备和传感器等边缘节点，帮助企业实时管理产品质量、库存、物流运输和订单需求等信息，及时帮助企业解决实际生产运营中的问题。



2. 计算效率子项评估

计算效率体现了一国的计算力利用水平，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各个国家的云计算普及率、新技术使用率以及CPU、内存和存储资源的利用率上。



在2022年的计算效率子项评估中，三个国家阵营得分均有提升，但在这一评估维度上，领跑者国家、追赶者国家和起步者国家的差距相较其他三个维度而言并不显著。一般而言，云计算、新技术渗透率和集约化数据中心建设是计算效率提高的重要因素，另外，由于GPU的平均利用率高于CPU平均利用率，性能利用率更高，加速服务器的CPU平均利用率也高于通用服务器，加速计算占比的提高对计算效率提高作用显著。

2022年，宏观经济的不确定性考验了企业的成本控制能力，如何提升数字基础架构资源利用率来优化IT资源TCO，是各国企业普遍面临的难题。尤其对于在世界各

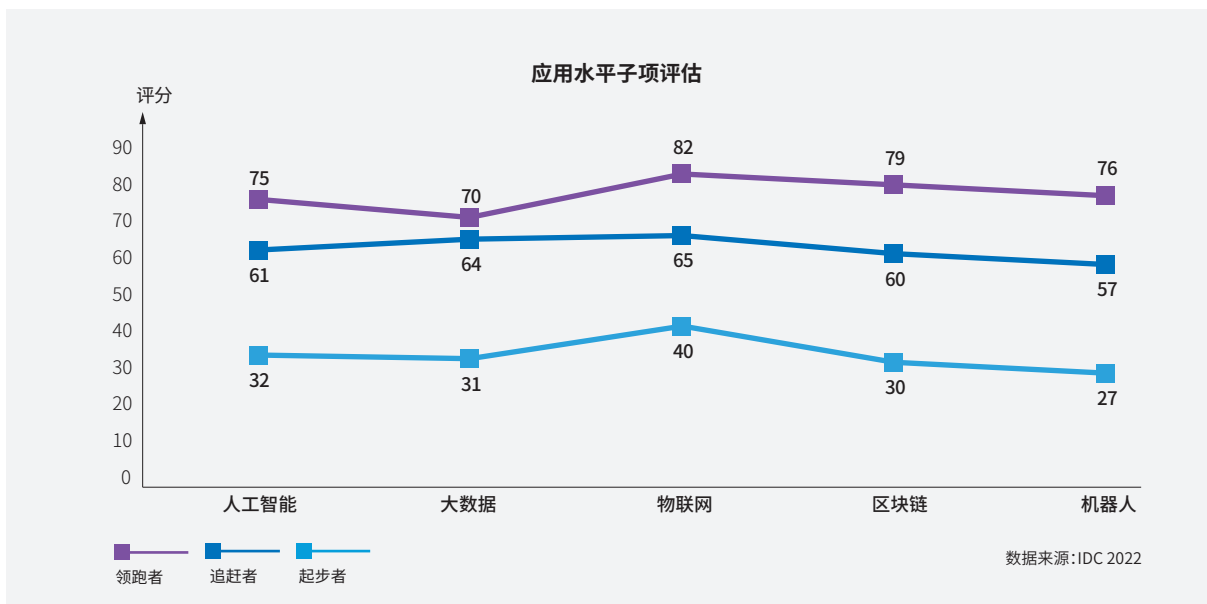
地拥有超大规模数据中心的云服务提供商来说，在相关基础设施普遍实现规模化之后，提升资源利用率水平就成为应对云计算市场竞争加剧的必由之路。

在中国，互联网行业经历了近十年的高速增长，人口红利消退，降本增效成为主旋律，企业在资源配置上从早期相对粗放式的业务需求导向模式转变为更为精细化的管理，头部企业同样进行了多年混部技术探索和工程化落地，目前相关工作已经从Tier1云服务提供商逐步下沉到Tier2，并且从核心机房延伸到边缘机房，最大限度挖掘基础架构TCO优化空间，以保障企业的健康稳定发展。

IDC调查结果显示，各行业数字基础架构的资源利用率水平仍有较大提升空间，其中互联网行业在基础架构资源利用水平上处于引领地位，容器化和混部技术是重要手段。从互联网行业的实践来看，现代大型数据中心广泛采用混部技术来提升服务器资源利用率并优化数字基础设施TCO，北美领先的云服务提供商都在数据中心开始了混部技术的实践，并取得了相应的成效。

3. 应用水平子项评估

在新兴技术应用层面，追赶者国家发展水平与领跑者国家相当，差距正逐渐缩小，但与起步者国家差距正在拉大，尤其是在人工智能应用上，这也反映了各个国家对新兴技术应用发展的重视程度差异。



AIGC开启大模型驱动的全新时代

2022年，ChatGPT在上线后迅速走红，仅用5天用户规模突破百万大关，2个月月活跃用户数更是达到1亿，被称为“史上用户增长速度最快的应用程序”。以ChatGPT为代表的AIGC技术极大地降低了内容生产的门槛，有望释放新的生产力革命。

然而，AIGC技术的广泛应用也对算力提出了更高要求。例如，GPT-3模型在微软提供的 Azure AI 超算基础设施上进行训练，总共消耗了约 3640 PF-days 的算力，相当于每秒进行一千万亿次计。

AI推动科学研究发展，算力是关键因素

AI4S代表"Artificial Intelligence for Science"，即面向科学的人工智能。在这个概念中，人工智能被应用于科学领域，以加速科学研究和推动科学进步。

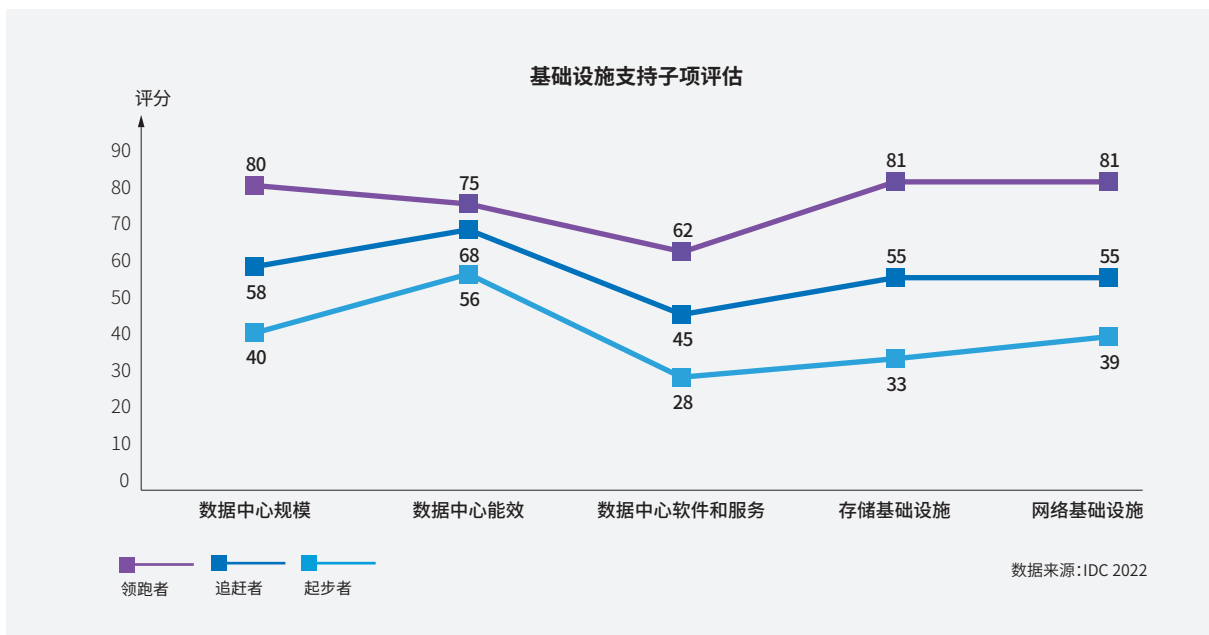
人工智能在科学研究中的应用场景非常广泛。在化学研

究领域加速化合物的合成和挑选，使用神经网络对化合物进行预测，合成新的有机分子；在材料科学研究领域帮助科学家预测不同的材料配置对材料性能的影响，开发更高性能的材料；在生物科学研究领域帮助科学家更好地了解细胞和生物分子之间的作用，使用深度学习算法对细胞图像进行分析，预测细胞的类型和发育阶段，有助于疾病的研究与治疗。

在AI4S应用场景中，算力发挥着关键作用。首先，算力支持训练复杂模型，如深度学习和神经网络，这些模型需要大量的参数和层级结构，需要大规模的计算资源来进行高效训练。其次，算力在处理大规模数据时至关重要，AI4S通常需要处理来自多个来源的大规模数据集，而强大的算力支持能够提供快速的计算、存储和分析能力。例如在模拟和仿真中，科学家可以进行复杂的数值模拟，研究天气模式、气候变化。在环境监测和灾害预警中，能够实时处理和分析数据，从而支持更迅速地决策。因此，算力的提升和发展为AI4S的应用提供了关键的基础，推动了科学研究和可持续发展的进步。

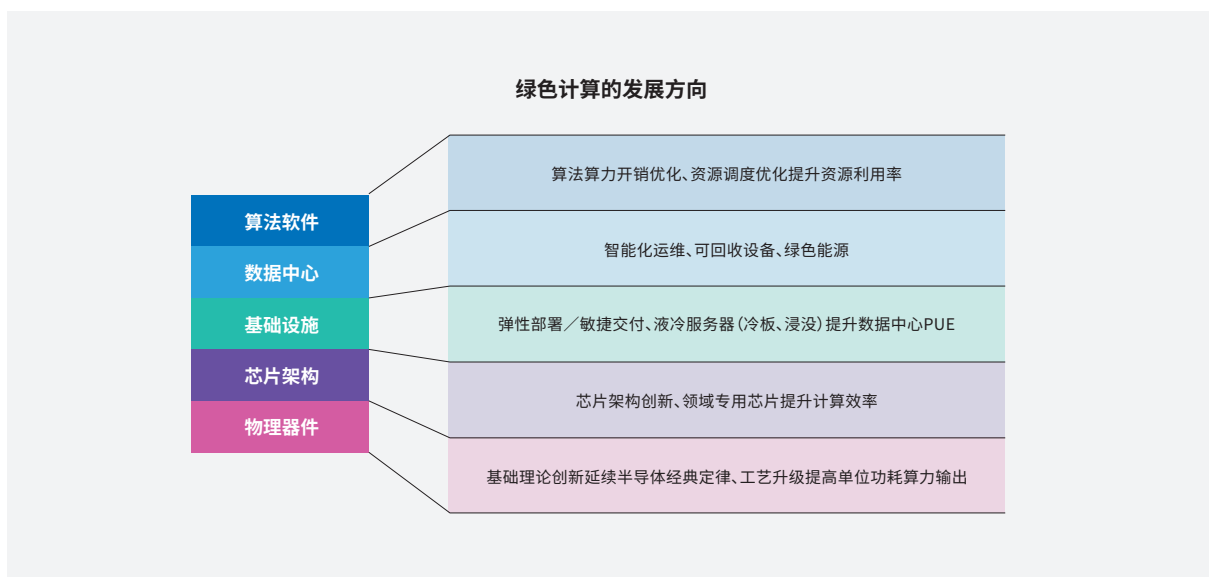
4. 基础设施支持子项评估

在基础设施支持子项中，数据中心规模、能效水平和存储/网络基础设施等在宏观层面为计算能力、计算效率和应用水平提供保障。本年度的评估结果显示，起步者国家阵营与领跑者、追赶者之间出现了差距拉大的趋势。



具体来说，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。领跑者国家超大规模数据中心的规模优势依然十分突出，美国是拥有超大规模数据中心最多的国家，北美头部云服务提供商在过去一年中维持了全球范围内的基础设施投资增长，数据中心建设分布更

加多样化。META、Microsoft、AWS等公司新建或规划的数据中心主要分布在新加坡、印度、印尼、马来和泰国等地，除了为避免宏观经济和地缘政治因素影响，亚洲地区的市场潜力、法规要求、可靠的基础设施以及激烈的云服务市场竞争，能够使他们在亚洲建设数据中心满足当地市场需求并提供更好的服务。



在政策引导下，中国数据中心发展迅速，从数据中心体量与布局方面不断优化，而追赶者国家和起步者国家在超大规模数据中心数量上差距显著。2022年，中国互联网服务和云服务提供商加大力度拓展海外市场，在北美、亚太、欧洲和中东等各地新建多座海外数据中心，来强化本地化产品和生态体系支持。印度等后发工业化国家在数据保护等方面的监管趋紧，引导外国科技公司在境内建设数据中心，以实现更大范围的本地化数据存储。

数据中心能效的得分高低代表其能效水平高低，数据中心能效评估在一个侧面表现了三个阵营的国家在践行绿色计算理念方面的进展，绿色计算本质上涉及计算体系的方方面面，包括物理器件、芯片架构、基础设施、数据中心和算法软件等多个层面。新的产品和技术的应用也能在很大程度上提高整体能效水平。

Assessment of Industry Computing Power Development

三.

行业算力 发展水平评估

- (一) 互联网:以高效算力支撑敏捷开发
- (二) 制造:数字化转型全面加速
- (三) 能源:挖掘数据价值,加速数字化转型
- (四) 交通:加快部署AI与边缘计算,全方位智能化发展
- (五) 医疗:AI辅助药物研发和诊疗

当前，全球已全面进入数字经济时代，在各行业涌现出大量的数字化转型需求，云计算、大数据、人工智能、5G等新兴技术正在成为驱动各行各业当下及未来创新发展的重要引擎，如互联网、金融、制造等行业当前5G的应用率普遍较高，而在未来3年计划部署的技术中，人工智能将会成为使用率较高的技术。数字化转型需要创新、灵活并持续专注于实现商业价值。算力作为数字经济时代的重要生产力，其发展水平已成为衡量行业数字化转型成效的重要标准之一。通过继续关注并试点新的数字干预措施，如基于物联网的传感器、人工智能、AR/VR、视觉分析和数据科学，将会使整个商业价值链的质量、客户参与、安全和可持续性得到改善。

当前，AIGC技术快速发展，互联网行业、金融行业、教育行业、医疗行业和制造业等各个领域都在探索应用该技术。

互联网行业是新兴科学技术渗透最快的，也是投资最高的行业。互联网行业对人工智能技术的研究和价值尤为重视，而AIGC在互联网行业的应用也十分广泛，在各个领域中都提供了重要支持。在某些领域，比如游戏开发、自媒体内容生成等，AIGC的应用非常突出。游戏开发中的角色生成、场景设计和任务生成等方面可以依靠AIGC技术。同样地，自媒体从业者可以利用AIGC生成文章、视频、音频等内容来提升创作效率和多样性。在电子商务领域，AIGC可以应用于个性化推荐系统、智能客服和自动化的营销策略等。在社交媒体领域，AIGC可以用于图像识别和处理、内容过滤和推荐、情感分析等。随着技术的不断发展和应用场景的拓展，AIGC有望成为未来互联网内容生产的重要支持和基础设施。

金融行业是另一个广泛采用AIGC技术的领域。在金融行业中，AIGC被广泛应用于自动编写金融资讯、提供虚拟客服咨询和辅助数据报告生成等方面。通过算法自动编写资讯，可以提高资讯生成的速度和时效性。虚拟客服可以降低人力时间成本，为客户提供个性化的服务。同时，AIGC还能够辅助分析师进行数据抓取、数据分析和报告生成，提高分析效率和准确性，降低人工成本。

教育行业也广泛采用AIGC技术，实现了一些创新功能，例如将2D教材转换为3D教学模型和合成虚拟教师等。通过图像处理和渲染技术，将传统的2D教材转化为3D教学模型，提升学生的学习兴趣 and 互动性。合成虚拟教师能够根据学生的提问和需求，自动生成相应的教学内容，提供个性化的教学服务。

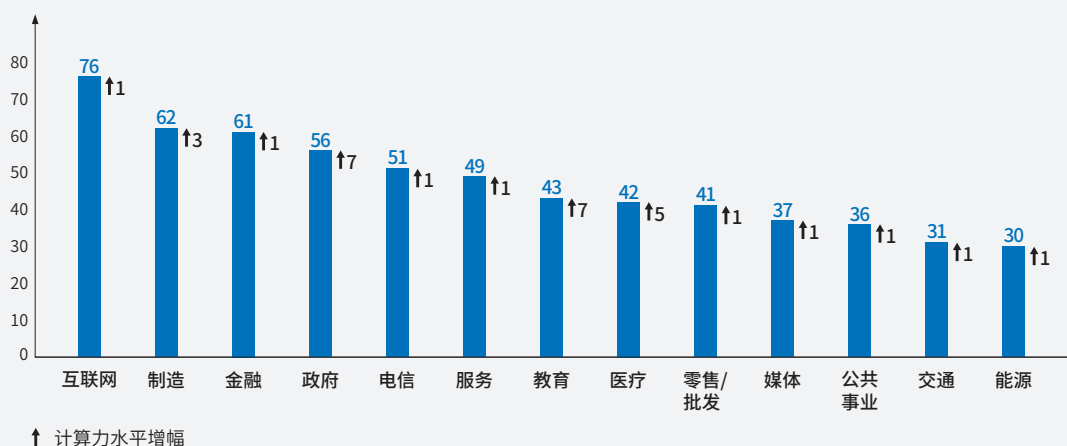
医疗行业利用AIGC技术来学习和结合不同类型/来源的数据，生成具有新特性或功能的内容，助力药物研发。生成式模型通过学习大量已知的药物结构和活性信息，可以生成具有潜在药物活性的新分子结构，提供潜在的候选药物、预测药物与生物分子之间的相互作用，能够帮助药物研发进行更精确的设计和优化，助力药物研发实现突破。市场上的企业开始致力于利用AI对复杂的数据处理和模型训练，随着更加复杂的模型出现，行业对算力的需求将持续提升。

此外，AIGC还在工业CAD设计中提供辅助功能。借助自动识别和优化算法，能够提高CAD设计的效率和准确性，降低人工成本。

IDC发现，各行业算力发展水平总体呈上升趋势。本次是IDC连续第三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，并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行业还包括制造、金融、政府和电信。对比上一年度，制造行业排名超过金融行业，排名第二，政府行业超过电信行业，排名全球第四。

行业算力水平评估



制造行业算力发展水平历年与金融行业接近，在2022年的评估中超过金融行业。从市场数据来看，2022年全球金融行业通用服务器投入规模达124.7亿美元，同比增速为26.3%；制造行业投入规模达125.8亿美元，同比增速为29.0%；从应用场景来看，在全球高度数字化的背景下，制造业面临着更激烈的全球竞争，市场变化也更迅速，同时二者的主要算力需求有所差异，金融业更注重数据的快速交互、高频交易，而制造业通常需要大规模处理实时数据、模拟生产、优化供应链等，对算力的需求更加多样化。

政府和教育行业在本次测评中，增长速度名列前茅。政府行业在业务及自身提升的驱动下，广泛采用新兴技术建设数字政府：云计算在政府行业的云化比率是继互联网之后最高的行业，在经济复苏与新基建的背景下，政务云由支持传统的政府办公、政务服务走向支持城市治理、城市安全运营等层面；大数据技术可以有效支撑数据的共享开放，盘活数据资源，提高数据的实时性、智能化和安全性。其使用场景也十分广泛，包括支撑城市

运行管理指挥中心、城市治理一网统管、政务服务一网通办、智慧交通、智慧水务、智慧应急等；人工智能推动城市智能化的发展，支撑着众多智能化场景，主要包括政务服务一网通办、政务业务一网协同、城市治理一网统管、城市运行管理指挥中心、智慧交通等。而教育行业为了让教育服务和支持更加符合时代的需求与学生的需求，各国鼓励学校采用先进的教育技术和数字化工具，例如中国的教育贴息政策、德国的"Exzellente Digitale Lehre"（卓越数字教学）计划等，都加速了教育行业的数字化进程，通过基于AI对教育数据的高效分析，为个性化学习与虚拟现实教学的出现提供更加全面的教育体验，推动了教育的创新和发展。此外，2022年医疗行业也实现快速发展。大数据分析在医疗行业的应用已经有效地提高了业务的持续增长。同时，5G技术的应用也为智慧医疗带来了新的机遇。通过5G技术，医学音视频数据的传输变得更加高效，医学影像等大数据量的医学数据的传输和运算也变得更加便捷。此外，5G技术还支持远程医学检查和手术等精细操作控制，为医疗行业带来了更多创新和发展的可能性。

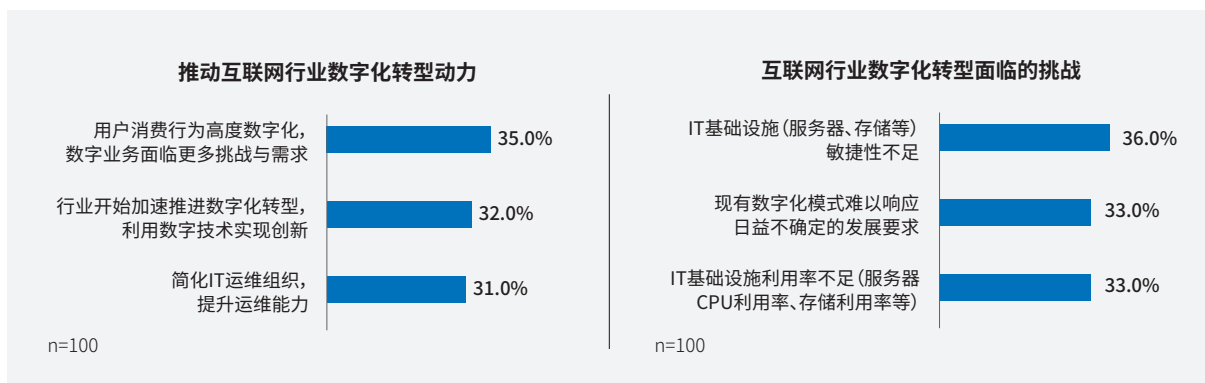
为深入践行“绿水青山就是金山银山”理念，大理市林草局围绕“山水林田湖草沙”一体化保护和系统治理，以苍洱一体化保护为重点，从2016年开始探索智慧林草系统建设，利用物联网、边缘计算、云计算、大数据、人工智能等数字技术，搭建从终端到边缘到中心的监测预警体系。

通过在苍山、洱海流域部署的50套双光谱火情监测系统、240套卡口人员智能识别系统、120套林下地表火监测系统、60套蓄水池监测仪、10套环境监测仪、5套虫情监测仪等物联网前端共同组成的智慧林草系统。使得监测面积覆盖面率达国土面积80%以上。其中双光谱火情监测系统的监控半径可达15km，系统具备AI深度学习的烟火识别引擎，一旦发现火焰或红外热点，即实时将数据回传到业务服务器，业务服务器将火情信息发送给对应的指控客户端，客户端产生相应告警信息。同时该视频调度系统通过自动设置巡航轨迹，能够实现24小时不间断巡查功能。监测半径范围内可监测1平方米的火点，并自动报警和定位火点位置，定位精度可达50米，15公里外的秸秆焚烧、生火做饭或其他野外用火都可以被监测到，形成广覆盖、全天候、高精度、智慧化的林火监测网络。大理市自1990年以来,首次实现防火期零火灾的目标。

智慧林草系统建设项目湿地保护率达95.43%，保护世界级和国家级濒危珍稀植物11种，动物18种，古树名木11种，助力打造绿色生态经济。实现森林资源和草原资源的高效利用和可持续发展，打造绿色生态经济，保护生态环境和促进生态文明建设。

1 互联网：以高效算力支撑敏捷开发

IDC的全球算力指数调研显示，互联网行业目前数字化转型的主要驱动力是：用户消费行为高度数字化、数字业务面临更多挑战与需求；与传统行业以改造为主不同，互联网行业的敏捷性强调的是迅速的迭代与升级，在转型过程中遇到的主要挑战是业IT基础设施（服务器、存储等）敏捷性不足。互联网作为数字原生先导行业，对于利用云计算、容器化、自动化等技术来快速搭建、部署和扩展系统的能力要求高，且互联网市场变化十分迅速，要求IT基础设施具备足够的敏捷性进行短期迅速地迭代以应对行业变化。



在本次评估中互联网仍然是算力发展水平最高的行业。互联网技术是连接经济社会和人、物、信息等资源的重要载体，其发展水平直接反映了一个国家在信息技术领域的整体实力。随着全球数字化进程发展，其影响将更加深度渗透到社会生活的方方面面，随着5G技术、人工智能、大数据新一代信息技术的成熟，也将融入到互联网应用中，这也将对算力的不断提升和优化产生需求。

② 制造：数字化转型全面加速

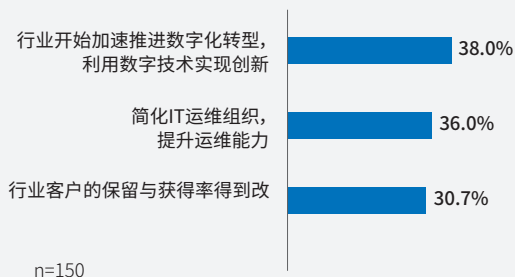
制造行业在本次评估中的增长幅度较大，成为继互联网之后算力发展水平第二高的行业。制造行业正处于数字化转型的关键时期，IDC的全球算力指数调研显示，近年制造行业增加IT投入的场景主要有：CRM、MES、CAE、ERP、办公系统(OA)；未来两年会主要增加投入的场景：MES、CAE、财务管理系统、供应链管理(SCM)等。

多重因素影响之下，全球制造业产业链格局正在从效率优先的全球化布局转向安全优先的区域化布局。发达国家通过行政手段和经济补贴实施“再工业化”战略，鼓励本国制造企业回流。同时，全球云服务提供商也开始进军智能制造领域，为制造业的算力增长注入活力。随

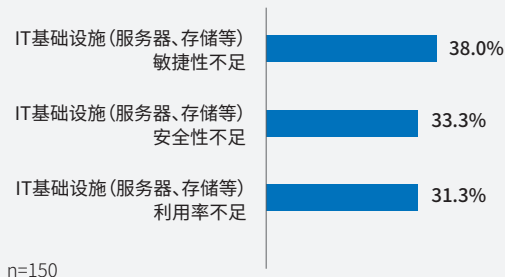
着越来越多的原生数字制造企业和原生数字工厂的出现，对算力的需求快速增长，并且应用场景的边界也在不断拓展。除了传统制造业IT方面的需求外，设计仿真、全域数字孪生、工业元宇宙、自动驾驶仿真、工业智能决策、AI视觉质检等场景也对算力提出了需求。

工业互联网、人工智能等技术的深度融合使得制造行业不断利用数字技术实现创新，整个行业的数字化进程也在加速。然而，目前制造行业面临一个主要挑战，即IT基础设施的敏捷性不足。现有的IT系统和硬件设备老化，信息孤岛问题严重，物理数据实时处理能力有待提升，这些问题亟需解决。

推动制造业数字化转型动力



制造业数字化转型面临的挑战



IT和OT之间的融合正在加速进行，而边缘计算被认为是实现两者融合的关键技术之一。根据IDC的研究，边缘智能、物联管控和软件定义工控和5G专网是工业边缘的主要发展方向。边缘计算通过高效地收集和处理工厂物联网设备的数据，能够及时检测异常情况并发出预警，

降低自动化工厂停机的风险，提升生产效率。此外，边缘计算还能实现智能运维，通过搭载AI芯片的边缘网关设备迅速处理常规运算需求，并将更复杂的运算决策交由云端人工智能处理。

吉利汽车集团是一家集汽车整车、动力总成和关键零部件设计、研发、生产、销售、服务于一体的汽车集团，现有员工7万余人，连续四年排名中国品牌乘用车销量第一，持续引领中国品牌自信向上。

2022年7月30日，吉利汽车集团建成了国内汽车行业第一个集云计算、大数据、人工智能、边缘计算等多元算力于一体的智算中心——星睿云·智算中心建设项目，总投资10亿元。该项目以云原生技术为底座，建设了统一的算力资源池，实现了算力资源的打通和共享。按照智能驾驶、智能网联、三电管理、车辆仿真等业务的上线顺序，逐步在云底座中注入人工智能、大数据、边缘计算等算力资源。同时，智算中心搭建了一套能够实现多元异构算力统一管理、科学调度、智能分发的算力资源管理调度平台，实现智算中心内多元异构算力的灵活申请和敏捷流转。此外，星睿云中还引入了液冷算力设备，建设了液冷数据中心，实现了传统算力资源的绿色化和低碳化。

星睿云·智算中心建设项目的建成使吉利在智算中心领域拥有领先行业3年的代际优势，云端总算力每秒81亿亿次，存储带宽每秒4.5TB，整体研发效率提升20%。智能驾驶业务实现L3级自动驾驶模型的有效性验证，智驾模型的训练时长从原先的3个月缩短到8小时，提升200倍，1天可以模拟10万公里的智能驾驶道路仿真测试。工业设备运算响应速度显著提高，吉利汽车试验试制工厂将工业设备的数据运算时间缩短到毫秒级，试验效率提升600倍。

③ 能源：挖掘数据价值，加速数字化转型

能源行业正加速数字化转型，以挖掘数据的价值并实现精细化管理。企业正在采取数字优先、智能嵌入式等数字战略，推动数字化转型并提高管理效率。

边缘计算技术在能源网络的管理和供应中发挥着关键作用。通过采集、汇总和智能分析业务侧数据，边缘计算有效提高了电网效率和供电可靠性。在全球可持续发展的目标下，边缘计算将在管理分布式能源资源方面发挥关键作用，如电动汽车、家用电池、太阳能电池板和风

电场，以促进电网弹性并加速能源转型进程。

根据IDC的预测，到2024年，50%的中下游参与者将部署AI/ML技术来自动化数据分析生命周期，释放数据资源并实施数据驱动的业务决策。利用人工智能可以充分发挥数据在能源行业中的价值，更好地管理客户数据、优化服务并提高客户体验，从而提高客户保留率。通过支持人工智能的实时视频监控，可以密切跟踪和标记工人的安全状况。

法国某能源企业，成立于20世纪20年代，是全球领先的石油和天然气服务公司，全球范围内拥有约10万名员工，业务覆盖超过120个国家和地区，年收入超过320亿美元。

该企业运用数字化油田技术，利用传感器和物联网技术，AI优化生产效率，减少运营成本。该企业在其海上油井中安装了传感器和监测设备，可以实时收集油井的温度、压力、产量和其他关键数据。这些数据通过物联网技术传输到集中的数据平台。而通过数据分析和机器学习，实时监测油井的状态和性能，检测到潜在的故障或异常情况，例如压力波动或设备故障。

基于这些数据和分析结果，该企业可以及时采取措施来预防和解决问题，确保油井的安全运行和最佳生产效率。

④ 交通：加快部署AI与边缘计算，全方位智能化发展

交通行业作为国民经济发展的重要组成部分，也在积极推进数字化转型，探索交通管理智能化、交通运行控制优化、车辆运行管理监控等是智慧交通建设的重点。近年来随着数字技术发展和交通运输需求变化，交通运输行业加快推进数字化转型发展，人工智能技术的应用推进了交通行业转型和智能化建设。交通行业的数据智能化分析对算力提出了高需求。

智能交通管理包括智能交通系统和车辆智能管理系统，主要应用于交通流信息采集、交电信号配时优化、停车场管理及交通应急指挥调度等领域。通过智能交通系统，可以实时掌握道路的通行情况，并为用户提供准确的路况信息，为车辆提供准确的行驶路线，从而缓解交通拥堵状况。智能交通控制是指对交通系统中的人、车、路、环境等进行智能化优化和协调，使之达到安全、快速、经济的目的。智能交通控制系统通过对城市路网进行全面的数据采集，通过对大数据进行分析，找出交通拥堵点，再结合实时路况对信号灯进行合理配时；智能车辆监控主要是利用智能摄像机来对路面上的

车辆进行识别，从而了解车辆的行驶情况。在城市里，为了避免出现堵车现象，所以需要智能摄像机能够对每辆车进行识别，并判断其是否正常行驶，如果出现问题则会发出警报，并且通知相关人员前来处理；目前国内的智能停车主要是以车牌识别、自动进出等方式为主，通过智能停车管理可以有效地缓解城市中停车难的问题。

智能交通作为一个庞大的系统工程，涵盖了车路协同、信号控制、无人驾驶、执法监控、道路养护等方面。在交通领域中，边缘计算通过基于对位置的应用，能够进行实时的位置状态处理和数据采集。边缘计算的应用提高了本地的数据处理能力，同时减轻了网络和云计算平台的处理压力和存储压力，满足交通领域对实时性的高要求，从而显著提高交通管理的智能化水平。与此同时，边缘计算在无人驾驶中也具有重要应用。智能交通正朝着融合场景的交通服务方向发展。通过汽车无线通信互联（V2X）技术，智能驾驶变得更加安全、高效和便捷。

中铁电气化局集团成立于1958年，承建了中国第一条电气化铁路--宝鸡至成都的宝成铁路。此后，集团发展成为集工程建设、勘察设计、工程监理、物流等为一体的大型企业集团，具有全国性的影响力，是中国电气化铁路建设的主要推动力量。

在2020年3月，中铁电气化局集团引入4C视觉智能分析系统，并在京沪高速铁路和全国至少30条其他线路上进行了试用，是AI首次大规模地应用于中国高速铁路的运营和维护中。截止到2022年，已有22条高速铁路正式采用该系统。

4C视觉智能分析系统有效解决了高铁行业检测分析的痛点和难题，提高了高铁的运营质量。部署该系统后，中铁集团节省了67%以上的分析员和人员的劳动成本，并精准地预防性维护，节省了约20%的整体运营和维护成本。

5 医疗：AI辅助药物研发和诊疗

2023年5月5日世界卫生组织宣布，新冠疫情不再构成“国际关注的突发公共卫生事件”，尽管新冠疫情的风暴已经过去，但在过去三年，医疗行业也经历了颠覆性的数字化转型，人们越来越关注利用人工智能/机器学习 (AI/ML) 从数据中获取智能洞察，尤其是对生成式人工智能有着明显兴趣。IDC预测，到2027年，全球70%的医疗保健组织将更关注数字优先策略，并追求建立互通的工作流程与数据平台，优化内部管理与资源分配，提升患者医疗体验与信任，优先考虑使用人工智能进行

预测、预防和个性化护理。

AI医学影像辅助系统应用将极大提升诊疗精度和效率。如脑卒诊断中，该系统可辅助精确完成梗死病灶的检出，并根据不同的医疗需求完成血供区域、分水岭区域和结构区域的自动化、智能化、快速分割，实现梗死病灶的快速定性和定量分析，多重区域同步分割模型的准确率达到97.5%，能够在3分钟内提供参考诊断报告。极大提高了诊疗时效。

美国某生物技术公司专注于合成生物学和人工智能领域，该企业通过对生成式AI的应用能够高效地进行大规模的细胞评估和药物序列变体分析。其专有的数据生成技术，能够实现每周评估多达100亿个细胞，其中每个细胞表达一个药物序列变体。

通过AI实现药物研发方向的突破，包括AI技术对抗体靶标结合强度进行定量预测，预测抗体和变体的亲和力，能够为完善和优化抗体设计提供参考。

除了药物研发，该公司还利用AI技术对抗体的自然安全性进行评分。这种评分系统可以帮助确定抗体的潜在风险，为后续的临床试验和制药开发提供重要的支持和参考。

数字技术和AI应用在生物技术领域具有重要的意义，在加速药物研发和优化抗体设计中发挥着关键作用，并为新药的开发和制造提供了更高效、精确的方法。

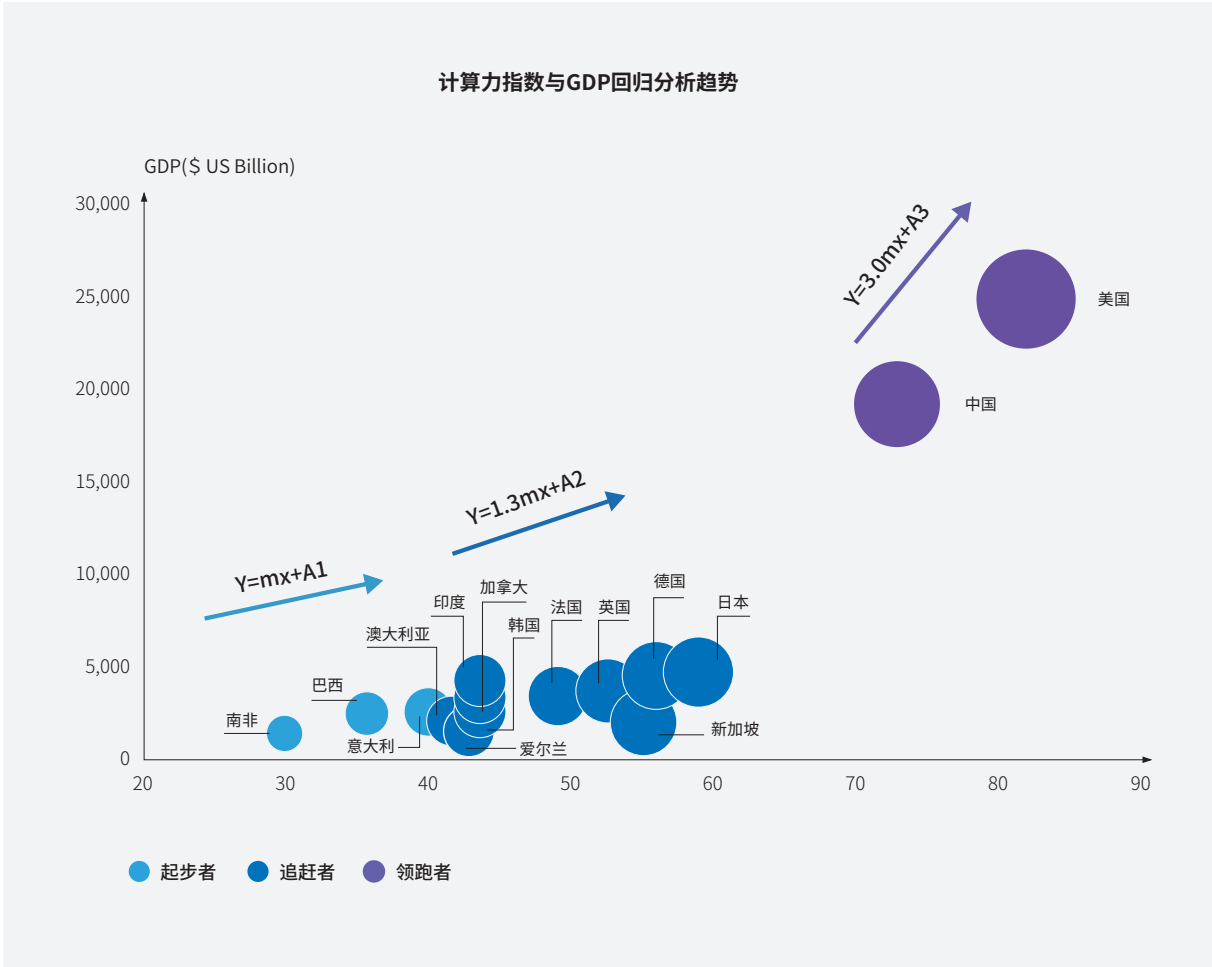
Economic Impact of Computing Power

四 .

计算力的经济影响

- (一) 算力指数角度:算力指数与经济指标相关性分析
- (二) 包含算力要素的内生经济增长模型
- (三) 算力资本投资促进经济长期增长
- (四) 算力与实际效益的投入产出比

在数字经济时代，算力是国家经济增长的关键驱动力之一。根据前述分析，算力的提高对一国经济增长的拉动效应非常显著，且随着算力指数的增加，提升效应会越来越明显。



① 算力指数角度：算力指数与经济指标相关性分析

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、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，模型的拟合度更高，因此以算力指数来预测数字经济与GDP比用后者来预测算力指数与实际情况更好，也更加吻合。

评估结果显示，十五个样本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3.6‰和1.7‰，预计该趋势在2023至2026年将继续保持。从本次结果来看，算力指数对数字经济的影响力上升，对GDP的影响力略有下降，显示出数字经济增长率、GDP增长率对算力指数的敏感程度不同。



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，IDC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增长的推动力将提高到40分以下时的1.3倍；而当计算力指数值达到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40分以下时的3.0倍，对经济的拉动作用变得更加显著。

② 包含算力要素的内生经济增长模型

1. 理论基础与模型设定

宏观经济理论中，经济长期发展中的核心问题是经济增长的动力来源，相关研究聚焦于能够促进经济实现稳定增长的影响因素及其作用机制。

新古典经济增长理论将生产函数设定为劳动力（L）和资本（K）的函数，技术进步（A）作为外生变量。在生产技术水平稳定的情况下，人口和资本的积累能够促进经济增长。然而，人口和资本存在边际生产率递减的特性，即人口与资本的积累会因为边际收益率递减而逐渐收敛于一个均衡稳态。那么，伴随人口和资本积累的边际生产率逐渐收敛至零，经济持续增长的动力会是什么就成为重要的理论与现实问题。

随后，内生经济增长模型将技术进步引入经济增长模型之中，得出了“技术进步是保持一国经济实现持续稳定增长的源泉”的经典结论，即内生的技术进步是保证经济实现长期稳定增长的核心动力。

数字经济时代，数据的爆发式增长和海量集聚蕴藏了巨大的价值，为经济的数字化发展带来了新的机遇。数据要素对提高生产效率的乘数作用不断凸显，成为最具时代特征的新兴生产要素。

伴随着数字经济的蓬勃发展，不断增加的数据量引发了对算力需求的增长，算力增加又产生了新的海量数据，进而带来了数据量与算力双向促进良性循环局面的出现，并由此引发全球范围的生产技术与经济发展模式的变革，引领新的内生经济增长。

从宏观视角来看，数字经济对算力的需求主要体现在两个方面：

一方面，在数字产业化进程中，通过对相关硬件的投资，可以建立满足数据处理、分析等需求的数据中心，以此来提供能够实现海量数据计算的算力服务。

另一方面，在产业数字化进程中，实体企业现有业务的

转型带来了硬件层面的需求，例如通过通用计算、AI计算、边缘计算等硬件设施，由实体企业自行搭建数据中心将算力引入生产过程等；同时也带来服务层面的需求，例如通过租赁公有云等算力服务实现生产数据的大规模存储与计算等功能。

立足于此，本次研究在借鉴Romer（1990）包含技术研发与更新的内生增长模型和Neil C. Thompson等（2022）包含算力硬件的内生增长模型的基础上，将算力作为一种新型生产要素引入内生增长模型之中，将算力抽象为算力资本和算力服务投入，纳入投资、生产、消费等经济活动中，建立起一个包含了“最终品厂商”、“中间品厂商”和“家庭部门”的三部门的封闭经济体的经济增长模型¹，以此刻画算力对一国（或地区）经济增长的长期影响机制。

在这一经济增长模型中，提供算力服务的中间品厂商和生产最终商品的最终品厂商属于生产部门，负责生产产品；居民隶属于家庭部门负责消费最终品厂商的产品，并将未消费的最终品进行储蓄投资。

生产部门中，“最终品厂商”抽象对应了实体经济产业，“中间品厂商”抽象对应了数字经济产业；最终品厂商引入算力资本和算力服务的生产要素进行生产的过程抽象对应了“产业数字化”转型过程，中间品厂商生产算力服务用于供给最终品生产的过程抽象对应了“数字产业化”发展过程。

考虑到研究聚焦于算力对经济增长的长期影响，本研究在模型设定中将劳动力要素标准化为1，只将非算力资本、算力资本和算力服务作为生产要素纳入生产过程，研究算力作为生产要素对经济增长的影响。

为更贴近产业数字化转型中对算力硬件和软件服务两个层面的需求实际，本研究将算力要素拆分为算力资本与算力服务。在此基础上，引入“中间品厂商”这一代表性生产部门，通过投资硬件设备来生产用于最终品生产所需要的软件服务。

藉此，本研究假设最终品生产过程中存在三种要素投入：非算力资本（K）、算力资本（H）和算力服务（X），

三种投入促进了经济的长期增长，最终品生产函数可以表示为三种生产要素的函数形式：

$$Y_t = f(K_t, H_t, X_t)$$

非算力资本是指为获取不包含计算能力在内的各种传统生产要素过程中所发生的投资，例如厂房、生产设备、原材料等方面的生产投资。

算力资本主要指与计算能力的形成和使用直接相关的各种投入。本研究将投资于算力的资本总量作为算力的替代指标，算力资本的投入能够同时作为生产最终品的生产要素和生产算力服务的生产要素进入生产过程。从投资流向来看，算力投资的角度来看可以分为两部分，一部分流向实体经济（最终品厂商），用于实现产业数字化转型过程中，直接参与最终生产过程，包含参与最终品厂商（对应经济中的实体经济企业）自身建设的数据中心相关的算力投入；另一部分流向数字产业（中间品厂商），用于中间品厂商生产算力服务。

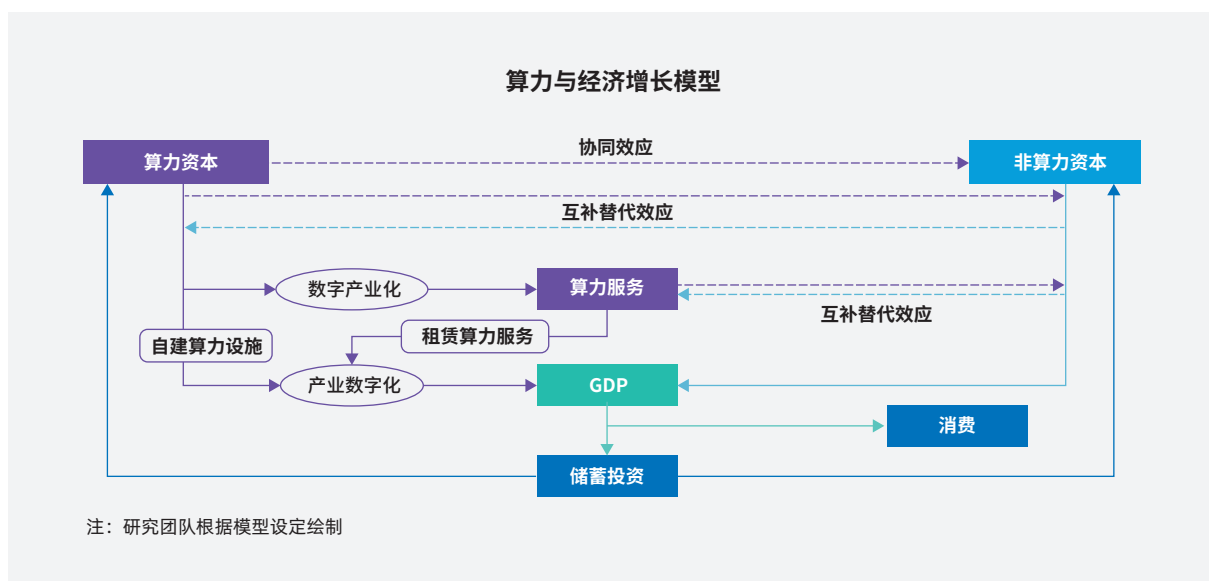
算力服务由中间品厂商提供，中间品厂商投资算力资本建立数据中心，并将相关算力服务（大数据、云计算、区块链等）租赁给实体经济用于生产最终品。为了便于模型分析，我们可以假设最终品生产过程中，算力服务均由中间品厂商生产并租赁给最终品厂商。

在最终品生产过程中，投入的算力资本与非算力资本之间存在两种效应：一方面，算力资本的直接投入促进了产业数字化转型的进程，在最终品生产过程中对非算力资本产生一定的互补和替代效应；另一方面，算力资本对非算力资本具有赋能、使能作用，例如在最终品生产过程中，算力资本的使用能够间接提升非算力资本的边际生产率，进一步提升最终品生产效率，二者具有一定的协同效应，会加大非算力资本的在最终品生产过程中的投入。

算力服务作为新型生产要素纳入生产过程，对资本使用具有一定的替代效应，即生产过程中，算力服务的使用会替代一部分资本的投入。

三种生产要素与闭环经济模型如下图所示。

¹ 经济学模型中，按照惯例，一般将GDP（或实体经济）抽象为最终品的消费与增长，那么最终品厂商代表的就是实体经济；本模型中，将数字产业的相关企业设定为中间品厂商，用以生产供给最终品厂商租赁的算力服务。



在此三部门经济体中，中间品厂商通过投资算力资本生产算力服务，用于供给最终品生产；最终品厂商通过投资非算力资本、算力资本和算力服务进行最终商品的生产，最终商品一部分卖给家庭单位的居民并获得相应收入用以购买生产要素，另一部分作为资本积累用于投资扩大再生产；家庭部门通过提供资本要素而获得收入用以购买最终品用于消费和储蓄投资。三部门共同形成了从生产到消费的经济闭环。

2. 模型结论

根据模型各部门的求解过程，可以得出以下结论：

（1）生产部门

生产部门生产用于家庭部门消费、储蓄的最终产品，以及用于生产最终产品的中间产品。本研究所构建的模型中生产部门包含了两个主体：生产最终品的最终品厂商和生产中间品的中间品厂商。其中，假设最终品厂商面临着完全竞争市场（Perfectly Competition Market），可以用一个价格接受者（Price Taker）的代表性厂商来代表所有的最终品厂商；生产算力服务的中间品厂商处于垄断市场（Monopoly Market），可以根据最终品厂商对算力服务的需求进行生产，并通过垄断定价获取超额利润（Excess Profit）²。

最终品厂商。通过设定最终品厂商的生产函数为柯布-

道格拉斯函数（Cobb-Douglas Function）形式，对各生产要素进行分析可以得出结论：

首先，算力资本的边际生产率递减，满足稻田条件（Inada Conditions）³，即随着算力资本的不断积累，算力资本的边际生产率逐渐收敛至零，经济实现稳态增长。

其次，算力服务的边际生产率递减，满足稻田条件，即伴随算力服务在生产过程中的不断深化，其边际生产率也不断降低，最终算力服务的边际生产率收敛至零，经济实现稳态增长。

中间品厂商。中间品厂商根据最终品厂商对算力服务的实际有效需求来供给算力服务。当经济处于稳态情况下，算力资本会根据最优比重进行分配，以同时实现生产部门之间的中间品厂商和最终品厂商的利润最大化的最优优化问题。

² 完全竞争市场（Perfectly Competition Market），意味着该市场中的所有厂商无法决定商品的价格，只能作为价格接受者，最终该市场中所有厂商都无法获取超额利润，其生产利润为0；垄断市场（Monopoly Market），意味着该市场中的厂商可以决定商品价格，从而获取不为0的超额利润。

³ 稻田条件（Inada Conditions）：是指当生产要素投入趋于0时，其边际生产率趋于无穷；当生产要素投入趋于正无穷时，其边际生产率趋于0，且生产函数满足： $f(0)=0$ 的初始条件。

(2) 家庭部门

根据家庭部门的效用 (Utility) 最大化问题求解，可以得出在经济稳态情况下，经济增长率与算力资本的增长率保持一致，即

$$g = g_c = g_K = g_H = \frac{1}{\sigma} \left\{ (1-\tau) \left(\frac{r}{\alpha} \right) + \tau \left[\frac{w}{\beta + (1-\alpha-\beta)^2} \right] - \delta - \rho \right\}$$

即算力资本的持续增长会带来稳态情况下的经济持续增长。进一步，将增长率对算力资本的投资占比 τ 求偏导数可得出

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = \frac{1}{\sigma} \left[\frac{w}{\beta + (1-\alpha-\beta)^2} - \frac{r}{\alpha} \right]$$

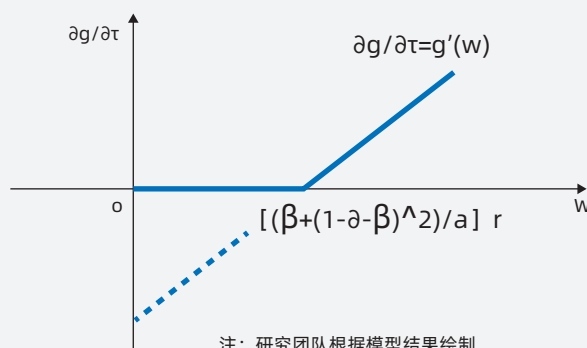
从上式可知，当算力资本的租赁价格 w 与实际利率 r 的关

系满足： $w > \frac{\beta + (1-\alpha-\beta)^2}{\alpha} r$ 时， $\frac{\partial g}{\partial \tau} > 0$ ，在此时的算力资本价格时，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。

从模型结果来看，算力资本的单位成本 w 存在一个临界值，使得当算力资本的单位成本高于临界值时，追加算力资本的投资比重 τ ，会进一步提升经济增长率。结合IDC数据回归结果与本研究模型结论来看，相比于领跑者国家而言，追赶者阵营国家的算力投资有效需求较低，追加算力投资对经济增长率的拉动作用相对较小。

经济模型结果求解及证明过程详见附录。

经济增长率与算力资本投资比重的关系



注：研究团队根据模型结果绘制。

③ 算力资本投资促进经济长期增长

通过构建起包含算力要素的内生增长模型，可以得出以下结论：

第一，引入算力作为新兴生产要素的经济会实现持续稳态增长。

根据模型的分析结果，与传统非算力资本的边际生产率类似，算力资本的边际生产率和算力服务的边际生产率也存在着边际生产率递减的情况。具体而言，数字经济时代，算力资本和算力服务的初始投资的边际生产率较高，例如云数据中心、智能计算中心等建立会明显拉动经济增长，但随着算力资本、算力服务的不断追加，算力资本和算力服务拉动经济增长的边际生产率逐渐降低，经济逐渐收敛至稳态，直到形成长期稳态增长。对应到各阵营国家，从总体上看，算力作为生产要素在稳态情况下依旧提升了各国经济的整体发展水平和经济增长率。

第二，加大算力投资可能带来一国稳态经济增长率的跃升。

根据模型的推导结果，通过分析稳态经济增长率中算力资本在储蓄投资中所占比例的影响表明，当算力资本的成本定价与实际利率之间满足一定的数量关系时，加大算力资本的投资比重会提升稳态经济增长率。这一结论表明，算力作为新兴生产要素，对经济发展的长期增长具有加速作用，在定价合理的情况下加大算力投资可能带来一国（或地区）稳态经济增长率的跃升。

第三，算力先发国家优势会随着算力投资比重的增加进一步获得强化。

算力作为新兴生产要素赋能产业数字化转型，算力资本的投入在一定程度上提升了传统生产要素的边际生产率。在产业数字化和数字产业化的初期阶段，算力资本和算力服务所带来的高边际收益率能够加快实体产业与数字产业的协调与融合，产业间的协调发展进一步优化了算力资本与算力服务在产业中的配置，形成了算力与产业间相互促进的双向正循环。对于领先者阵营国家而言，由于算力本身对经济的正向溢出效应，其进一步加大算力投资在总投资中的占比，将会获得相较于追赶者阵营国家更高的稳态经济增长率，这一结论表明算力先发国家或地区的优势会随着算力投资比重的增加进一步

获得强化，拉开与追赶者阵营后发国家或地区的差距。

第四，算力资本、算力服务协同互补，赋能产业数字化和数字产业化。

一方面，在产业数字化转型的进程中，算力资本的引入能够以创新的知识和技术提升非算力资本的边际生产率，进而提升资源利用效率，能够产生比单纯投入非算力资本更高的经济增长动力。对于实体经济企业而言，投入算力资本所形成的算力基础设施和数字化技术应用落地能够为企业自身生产活动带来产出增加和效率提升，进而促进传统产业和实体经济的数字化转型发展。另一方面，在数字产业化进程中，算力服务的产生需要一定量的算力资本投入，产生算力服务的相关产业覆盖了包括数字产品制造业、数字产品服务业、数字技术应用业等为产业数字化发展提供数字技术、产品、服务、基础设施和解决方案以及完全依赖于数字技术、数据要素的数字经济核心产业。这也将带动数字化产业化发展。

第五，追赶者阵营的国家要实现赶超，根本上要解决传统产业的数字化转型问题。

算力服务在生产本质上依然是算力资本的投入问题。根据模型的分析结果，算力服务所需的算力资本投入与实体经济生产所需的算力资本投入需要以固定比例进行分配，从而达到算力资本和算力服务的优化配置。从产业数字化的角度来看，算力服务的供给是以满足实体经济生产的实际需求为目的，经过优化配置后能够实现算力服务的市场出清⁴，此时数字产业实现了利润最大化目标，传统产业获得了数字化转型过程中所需要的算力服务。从数字产业化的角度来看，算力服务市场的优化配置与自动出清表明了数字经济的不断发展最终是要服务于实体经济的不断增长，数字产业发展要以满足实体经济的有效需求为目标，实现数字产业化发展与传统产业数字化转型的供需匹配。实体经济的数字化转型能够驱动数字经济产业发展，产业数字化发展所创造出的新兴数字需求开辟了数字经济产业新业态。因此，追赶者阵营的国家要实现赶超，根本上要解决的是传统产业的数字化转型问题，以实体经济数字化发展形成更高的有效需求，从而带动算力资本的投资比重，进而提升经济增长率。

⁴ 市场出清（Market Cleaning），意味着市场中商品的供需平衡。在出清的市场中，并没有资源闲置或资源短缺，也不存在超额供给或超额需求。

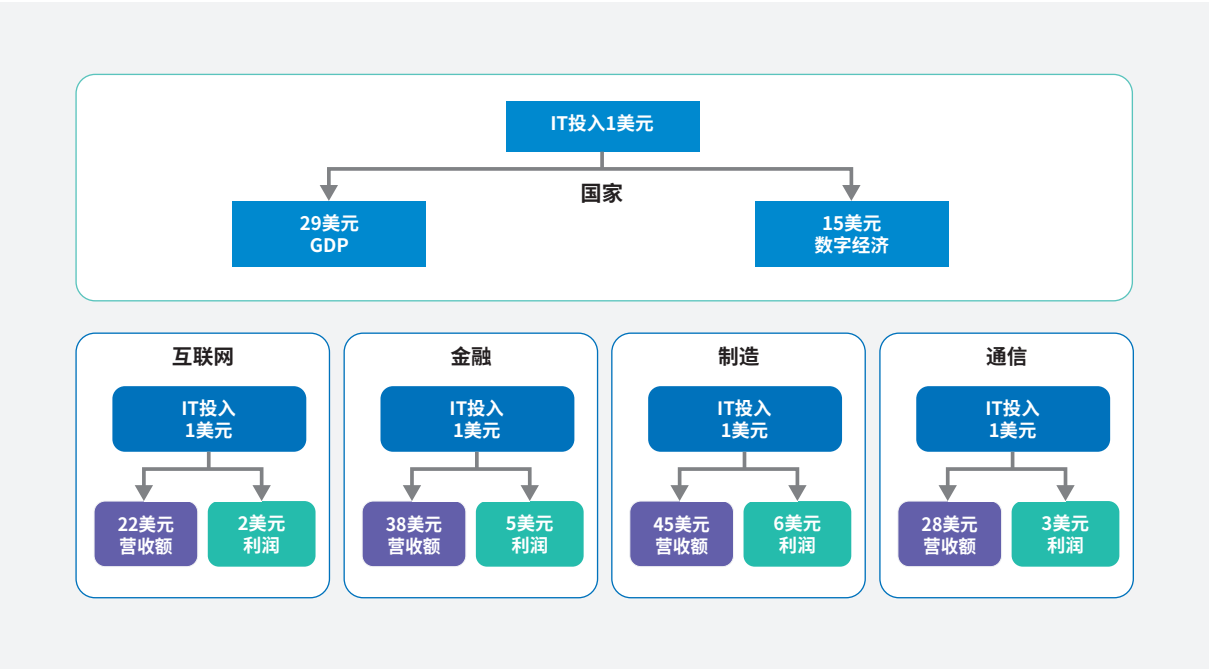
4 算力与实际效益的投入产出比

算力已经成为IT发展的重要基石。IT通常需要使用大量的计算资源和处理能力来支持各种业务。计算机和其他数字设备的速度和存储容量已大幅提高，IT产业因此能够更快地开发更强大的应用程序和系统，为用户提供更好的用户体验和业务效率。随着技术的发展，云计算、大数据和人工智能等技术需要大量的数据存储和处理能力，以支持实时分析和处理大数据集。

IDC通过对样本国家的IT支出与数字经济、GDP的投入产出比计算，IT支出每投入1美元资金，可以拉动15美元的数字经济产出，拉动29美元的GDP产出。

而在不同行业中，IT投入对企业营收额与利润的创造有所不同，以互联网、金融、制造算力发展领先的行业为例，通过分析各行业Top30企业的IT投入与产出，得到IT每投入1美元带来的实际效益参考：

在互联网行业全球Top30的企业中，IT每投入1美元，可以拉动22美元的营收额产出，2美元利润产出；	制造行业全球Top30的企业中，IT每投入1美元，可以拉动45美元的营收额产出，6美元利润产出。
金融行业全球Top30的企业中，IT每投入1美元，可以拉动38美元的营收额产出，5美元利润产出；	电信行业全球Top30的企业中，IT每投入1美元，可以拉动28美元的营收额产出，3美元利润产出。



制造和金融行业通常已经在市场上建立了牢固的基础，而互联网公司可能需要更多的时间和资源来扩大其市场份额和增长。因此，同样的IT投入在制造和金融领域中可能会更快地产生回报。互联网、电信属于数字原生企业，IT投入既要支撑自身的经营，同时支撑转型，投入占比较大。

尽管金融行业的IT投入通常普遍高，但制造行业的投入产出比表现要更好。当一个企业或行业的IT投入相对较低时，每增加一定数量的投入都能带来较大的生产效益和经济收益。但是随着投入的增加，IT对生产效益和经济收益的增加将逐渐减弱，最终可能出现边际产出递减的现象，这便是经济学中的边际效应。

在制造行业中，每增加一定数量的IT投入可以带来较大的生产效益和经济收益，边际效应比较高。而在金融行业中，由于资本和物质投入相对较少，IT投入的边际效应相对较低。此外，金融业的生产效益往往受到市场和政策的影响，IT的应用对于生产效益的提高和经济收益的增加影响相对较小。

投入产出比是一种基本的投资衡量标准，但需要注意的是，它只考虑了经济效益，而没有考虑其他因素，如风险、社会和环境效益等。因此，在做出投资决策时，还需要综合考虑其他因素。

Social Value of Computing Power

五. 计算力的社会价值

(一) 优化教育与医疗基本资源分配

(二) 提升智慧城市安全

(三) 助力环境保护与可持续发展

(四) 提升农业产品效益与市场竞争力

算力的提升能够积极推动社会和环境发展。在社会范围内，算力提升能够支撑科技的创新，并促进教育和健康等社会公平和公正建设的优化，有助于维持正常的社会运转。在环境方面，算力可以协助资源的可持续利用，推动能源转型和低碳经济的发展，积极促进可持续发展。

1 优化教育与医疗基本资源配置

医疗和教育被广泛认为是社会基本资源，对社会发展和人民福祉具有重要影响。算力的发展为优化教育和医疗资源配置提供了新的机遇。

在教育领域，算力的提升促进了教育方式的现代化。通过优化网络协议和算法等方面，提高了网络传输效率，强大的计算能力实现了更快的网络传输速度。这使得远程教育方式如视频会议、在线课堂得以普及。无论身处何地，学生都可以获得教育资源，避免受到地域和资源的限制。

在医疗领域，现代技术的支持使得医疗人员能够实施远程医疗。他们可以通过在线沟通和远程手术提供更加精密的观测和治疗条件。近年来，人工智能和机器学习等技术的应用提升了医疗机构的效率。医疗机构能够更快速、更准确地进行医疗诊断和治疗，帮助医疗机构更好地分配资源和管理患者。这不仅提高了医疗资源的利用效率，还有助于加速疫苗的设计和优化，提高疫苗的生产效率和质量。患者也能够 anywhere、anytime 接受高品质、高效的医疗服务，促进医疗服务的覆盖范围，为医疗机构节省了时间和成本。

2 提升智慧城市安全

智能安防监测和事件预警

智慧城市安全的核心在于利用高级监测技术和智能分析系统实时监测城市各个区域和关键设施。算力的提升能够使视频监控、传感器网络和无线通信等技术大范围、高精度识别异常行为、可疑物体和潜在威胁，提供实时的警报和预警。通过整合传感器数据、社交媒体信息和其他实时数据源，城市管理者可以快速识别和分析紧急事件，并做出及时的决策、资源调配和应急救援，建立高效的事件预警和应急响应机制。

数据安全与隐私保护

智慧城市涉及大量的数据采集、处理和共享，因此保护数据安全和隐私是至关重要的。城市管理者需要制定严格的数据安全政策和隐私保护措施，包括加密通信、访问控制、数据备份和灾难恢复等。这些措施能够确保数据的安全性，并提供更强大的识别能力，帮助城市当局及时发现和解决数据安全问题。

利用视频监控、人工智能和大数据分析等技术提升城市安全管理，包括智能安防监测、事件预警和应急响应等，以提高城市居民的安全感和减少犯罪率，是算力重要的社会价值之一。

③ 助力环境保护与可持续发展

随着算力投入的增加，大数据、人工智能等技术在解决环境保护和助力可持续发展方面，发挥越来越重要的作用。

助力绿色能源发展

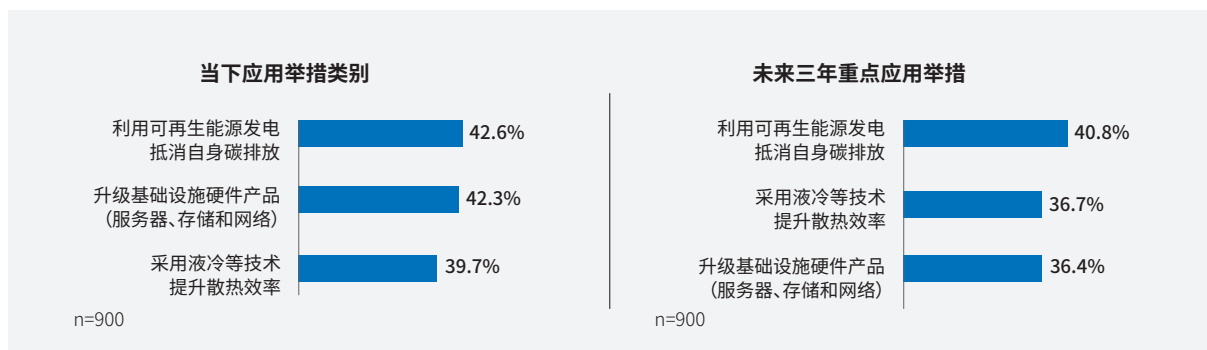
随着可持续发展的推进，越来越多的国家和地区开始转向低碳经济，采用可再生能源替代传统化石能源。一方面，算力可以帮助评估和规划新能源资源，例如利用前沿的计算和地理信息系统技术，可以对太阳能、风能、地热能等能源资源进行定量评估和预测，为绿色能源的规划和布局提供科学支持；在IDC的调研中，利用可再生能源抵消自身碳排放，是样本国家实施绿色计算选择率最高的一项，也是未来重点应用率最高的一项。

另一方面，算力也可助力新能源的设计和运营，提高能源的利用效率和可靠性。例如太阳能电池板和风力发电机等设备的效率和稳定性，可以利用前沿的计算技术进

行模拟和优化，降低能源的生产成本，提高可持续发展的经济性；算力也支持电网智能化，提高绿色能源的接入和利用效率。利用前沿的计算和人工智能技术，可以实现智能化的电网控制，对绿色能源的发电和消纳进行精细化的管理和优化，提高电网的可靠性和稳定性。

优化企业生产策略，推动可持续发展

后疫情时代，劳动力短缺的情况下，越来越多的企业意识到采用环境、社会和治理（ESG）理念的重要性。20世纪90年代，John Elkington的“三重底线”理论所描述的企业社会责任概念声称，人（社会）、地球（环境）和利润都很重要，任何企业都不能忽视。IDC调查发现，80%的企业将“在未来12至24个月内提供可持续的产品或服务”当作企业的头等大事。40%的企业正在实施可持续发展计划，46%的企业正在将可持续发展相关因素纳入其业务周期。



协鑫（集团）控股有限公司（以下简称“协鑫集团”）是一家致力于环境保护与可持续发展的全球化创新型领先企业。作为全球新能源500强企业中排名第2的企业，协鑫集团在风光储氢、源网荷储一体化、新能源、清洁能源和移动能源产业等领域具有领先地位，同时也在硅材料、锂材料、碳材料和集成电路核心材料等关联产业中实现了协同发展，为绿色低碳零碳科技的创新发展做出了重要贡献。此外，协鑫集团在中国企业500强新能源行业中也名列前茅。

在数字经济浪潮中，协鑫集团积极利用智能算力来推动环境保护和可持续发展。通过建立能源算力中心，并运用人工智能大模型技术，协鑫集团致力于调控电网、平衡电力供需、优化潮流分布以及支撑源网荷储的协同互动，以确保电力系统的安全稳定运行。这一举措不仅有助于提升新能源的主动支撑能力，还能深挖电力负荷侧的灵活性，提高充换电基础设施系统的综合效率，预计将实现超过35%的综合效益提升。协鑫集团计划在全球范围内建立15个能源算力中心，投资规模超过50亿元，并计划于2024年底前完成建设。目前，协鑫集团已在苏州启动了第一个人工智能算力中心的建设，并计划在年内建成4至6个人工智能算力中心，提供近2000P FLOPS的算力。通过这些举措，协鑫集团将为环境保护和可持续发展提供强有力的支持。

4 提升农业产品效益与市场竞争力

算力提升能够加速和优化育种过程，并提供更精确的预测和分析。生物育种利用遗传学、细胞生物学、现代生物工程技术等方法，培育新的生物品种。在全球各地，面临人口饱和、气候变化和资源限制等挑战的背景下，生物育种成为实现粮食安全、提高农作物产量和质量、改善环境可持续性的重要手段之一，受到全球的关注。无论是发展中国家还是发达国家，都对改善农作物和家畜的性状、适应性以及提高产量、质量和抗性有着较高的需求。在发展中国家，通过生物育种培育高产优质的作物品种，可以增加粮食供应量，改善粮食安全，并提高农民的收入。而发达国家更加注重提高农作物和家畜

的竞争力和可持续性，通过生物育种改进创新，培育适应性更强、产量更高、质量更好的新型农作物品种和优质的畜禽品种，以提升农业产品的竞争力。

算力的提升加速了数据分析和模拟、基因组学和基因编辑、机器学习和人工智能、建模和优化等方面的进展，为农作物和家畜的品种改良提供了有利条件。尽管发达国家和发展中国家在经济和技术上存在差异，但通过生物育种实现农业现代化、提高农民收入、改善粮食安全和推动农业可持续发展是所有国家都需要关注的重要议题。

德国某领先农业生物技术企业，运用算力进行大规模的基因组分析，收集并分析大量的农作物遗传数据。借助机器学习和数据挖掘技术，他们能够快速筛选出具有优良特性的基因组合，并利用基因编辑技术进行精确的基因改造。

通过算力的支持，对玉米基因组进行深入研究和分析，寻找与抗虫害、耐旱等重要农艺性状相关的基因。利用基因编辑技术，他们对玉米基因进行精确修改，以开发出更耐虫害、适应性更强、产量更高的玉米品种。这些生物技术解决方案帮助农民增加产量、改善农作物品质和抵抗力，从而提升农业的效益和市场竞争力。

Recommendations for Actions

六. 行动建议

- (一) 以算力发展助推经济高质量发展
- (二) 各国应加大国家层面的算力基础设施投资
- (三) 积极探索融合型算力服务
- (四) 企业应积极推进AI在业务场景中的深度应用
- (五) 各行业企业均需践行数字化优先原则
- (六) 积极推行绿色计算,考虑增加液冷服务器投入

① 以算力发展助推经济高质量发展

生产力的变革，必然引起生产关系、社会结构等发生相应的变化。伴随数字经济与实体经济深度融合发展，算力作为新兴生产要素将为一国（或地区）经济的长期稳定发展提供重要驱动力。从宏观维度来看，算力作为一种新兴生产要素能够优化生产要素配置，算力资本的投资比重在一定条件下正向影响经济稳态的长期增长；从中观维度来看，算力资本在实体经济与数字经济的优化配置有助于打破产业边界，促进数字技术与实体经济相融合，进一步促进产业结构的优化与升级；从微观维度

来看，算力资本促进了企业之间的协同与互补，尤其是数字产业中提供算力服务的平台企业与实体企业之间的协调配合，有利于实现不同产业企业之间的成本配置、生产规模等方面的优化配置。因此，对各阵营国家而言，加快本国的产业数字化转型和数字产业化发展，加快实体经济与数字经济融合协调发展，实现算力生产要素的软硬件优化配置，都将有助于经济实现更高的长期稳态增长率。

② 各国应加大国家层面的算力基础设施投资

对各阵营国家而言，以数据中心为代表的算力基础设施作为承载算力的重要载体，无疑是推动当前各国产业数字化转型，以及未来各国数字经济发展的基本保障和重要支撑。且无论对领先者、追赶者还是起步者阵营国家而言，算力作为新兴生产要素，对各国经济发展的长期增长均具有加速作用。根据IDC的数据，过去十年全球数据流量以每年45%的复合年均增长率增长。随着后疫

情时代各国数字经济的加速发展，全球范围内的数据量呈现爆发式增长，这进一步引发了各行业企业对更高规模数据存储和分析能力的需求增长。为了满足不断增长的算力需求，并支持国家数字经济的持续发展，各国有必要从国家层面上引导多元资本继续增加对算力基础设施的投资。

③ 应积极探索融合型算力服务

算力的发展与竞争不仅依赖于各国算力基础设施规模和发展，更依赖于其算力服务水平的发展。随着数字技术蓬勃发展和各类新技术融合应用的深入，全球范围内的算力服务供给已经不再局限于传统的云服务模式。为了更好地满足各行业企业的数字化转型需求，算力服务商应积极探索融合多种技术的新型算力服务。通过结合人工智能和大数据分析技术，企业可以实现智能化的数据处理和决策支持；利用机器学习算法，企业可以快速分析大规模用户行为数据，推动个性化推荐和精准营销。

融合多种技术的算力服务能够帮助企业更好地应对大规模数据处理和实时决策的挑战，提供个性化的服务，以在竞争激烈的市场中保持领先地位。在此趋势下，全球算力供应商都应积极探索并提供多种技术融合的算力产品和服务，同时创新交付模式，以满足各行业企业未来数字化转型中对算力服务的个性化需求。同时，国家层面应出台支持性政策，进一步强化以智能计算中心为代表的数据中心的算力服务功能，支撑各产业数字化转型，同时加大对各类算力服务龙头企业发展的支持。

④ 企业应积极推进AI在业务场景中的深度应用

计算能力子项评估显示，以人工智能为代表的算力投入已经在各行业企业中形成了发展的惯性和竞争优势，深度应用人工智能有助于推动企业的业务创新。在互联网领域，企业可以利用人工智能更好地理解用户需求，提供个性化的服务，进行舆情的智能分析并提供智能营销方案。在金融领域，人工智能可以帮助金融机构在风险管理、反欺诈、风险预警、客户服务等方面提供支持。同时，金融机构可以建立自己的数据科学团队，

利用机器学习和深度学习算法，创新上述应用以提高客户服务的效率和质量。在制造领域，企业同样可以基于人工智能的深度应用进一步提高数字化水平，利用机器学习和深度学习算法降低生产成本、提高生产效率。因此，不同行业的企业应结合自身的业务需求和行业特点，积极推动人工智能技术与自身业务场景的深度结合，充分利用人工智能技术的融合应用来提升企业的创新力。

⑤ 各行业企业均需践行数字化优先原则

如前文所述，企业的数字化转型不是一个终点，而是一个不断发展的旅程，它需要创新、灵活且持续专注于商业价值的实现。当前，各行业走在数字化转型前列的先行企业，大多已进入需要面对将数据资产转化为商业价值和业务收益的重要阶段。无论是传统企业还是如互联网企业一样的“数字原生企业”，都需要思考和尝试如何更多地挖掘数据价值。传统企业需要培养数据驱动的思维方式，将数据视为重要的资产，并建立挖掘数据价值的能力，这包括收集、存储、处理和分析数据的能力，以及利用数据来支持决策和自身产品与服务创新。

数字原生企业应持续关注最新的数字技术趋势，深化对数据价值的挖掘，不仅要能提供个性化的产品和服务，还要能创新数据交易、订阅等模式的业务创新，将数据资产转化为收益来源。在数字化业务时代，企业需要将数据视为重要的资产和核心驱动力，通过深挖数据商业价值和业务创新不断提升竞争力，实现持续的数字化转型和业务增长。

⑥ 积极推行绿色计算，考虑增加液冷服务器投入

当前全球已有超过130个国家或地区提出了碳中和目标。数据中心因高耗能的特点所带来的碳排放的问题，使得“绿色数据中心”发展近几年来得到了各国政府的普遍关注。根据本次评估结果，对于能效管理水平处于中下游位置的国家而言，其数据中心布局的合理性和集约化有进一步提升的空间，其国内企业应积极学习和借鉴欧美国家企业能效管理的有益经验。

首先，企业应制定明确的能效管理目标，并将目标细

化、分解、制度化、流程化，以达到可操作和可评估的程度。通过利用IT解决方案和技术创新等手段，实现对能效的闭环管理和持续改进，以实现节能减排目标。

其次，技术创新方面，液冷技术可以显著减少数据中心的能耗并有效缓解碳排放问题。尽管液冷服务器的前期投入相对较高，但在长期运营中可以降低数据中心的运营成本，并更好地保护环境，助力可持续发展。

Appendix

附录

- (一) 方法论
- (二) 数据口径
- (三) 包含算力的内生增长模型求解

1 方法论

全球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2026年的目标值进行对比。

如当年实际到达值与2026年相同，则该项得分为100分。如实际到达值与2026年不同，则根据各国家目标值情况，将指标数据进行标准化换算，得出各国指标分数。2026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 得分 * a_1 权重 + a_2 得分 * a_2 权重 + a_3 得分 * a_3 权重 +

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，以此获取一手调研信息。

全球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算力与经济、数字经济的全面的分析蓝图。全球算力指数得分的整体排名体现了全球经济及算力的现状，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值为各个国家算力指数值的同比增长率，b值则表示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 3σ 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。

2 数据口径

全球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计算、AI计算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Top500超级计算机中所占数量和排名，利用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	· 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Top500中排名加权得分
	AI计算能力	· AI服务器支出规模	· 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	· 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	· 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
	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
	数据中心能效	· 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
- 如某二级指标有多个三级指标, 则标“1”的三级指标为主要计分项, 标“2”的三级指标为参考项

③ 包含算力的内生增长模型求解

本文在研究算力如何推动经济增长机制模型中，以简化的三部门封闭经济体作为分析框架，借鉴Romer（1990）包含技术进步的内生增长模型和Neil C. Thompson等（2022）包含算力硬件的内生增长模型，构建了一个包括家庭部门居民、提供算力服务的中间品厂商以及生产最终商品的最终品厂商的三部门封闭经济体。

一、生产部门

生产部门生产用于家庭部门消费、储蓄的最终产品，以及用于生产最终产品的中间产品。本研究所构建的模型中生产部门包含了两个主体：生产最终品的最终品厂商和生产中间品的中间品厂商。其中，假设最终品厂商面临着完全竞争市场（Perfectly Competition Market），可以用一个价格接受者（Price Taker）的代表性厂商来代表所有的最终品厂商；生产算力服务的中间品厂商处于垄断市场（Monopoly Market），可以根据最终品厂商对算力服务的需求进行生产，并通过垄断定价获取超额利润（Excess Profit）。

假设生产要素包含资本要素和服务要素，其中资本要素可以分为非算力资本（K）和算力资本（H）两大类，生产最终商品的最终品厂商通过租赁（购买）非算力资本、算力资本和算力服务进行最终商品的生产，生产算力服务的中间品厂商通过租赁（购买）算力资本进行算力服务的提供。

（一）最终产品厂商

算力资本与非算力资本之间具有协同效应和互补替代效应，算力服务与资本要素之间存在互补替代效应。假设最终品厂商面临完全竞争市场，即最终产品厂商可以表示为一个具有代表性的价格接受者（Price Taker）厂商；假设生产函数满足柯布-道格拉斯函数

（Cobb-Douglas Function）：

$$Y_t = A_t (\bar{H} K_t)^\alpha H_t^\beta X_t^{1-\alpha-\beta}, \{\alpha, \beta, 1-\alpha-\beta\} \in (0,1)$$

其中，生产函数对算力资本求偏导：

$$\frac{\partial Y_t}{\partial H_t} = \beta \cdot A_t (\bar{H} K_t)^\alpha X_t^{1-\alpha-\beta} H_t^{\beta-1}$$

$$\begin{cases} \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\partial Y_t}{\partial H_t} \rightarrow \infty \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\partial Y_t}{\partial H_t} \rightarrow 0 \end{cases}, \beta - 1 < 0$$

上式表明算力资本满足稻田条件（Inada Conditions），即伴随算力资本的不断积累，算力资本的边际生产率不断下降，存在经济稳态的情况。在稳态情况下， $H_t = \bar{H}$ 于是有稳态情况下：

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\partial Y_t}{\partial H_t} \Big|_{H_t = \bar{H}} = \beta \cdot A_t K_t^\alpha X_t^{1-\alpha-\beta} \bar{H}^{\alpha+\beta-1} \rightarrow 0, \alpha + \beta - 1 < 0$$

生产函数对算力服务求偏导：

$$\frac{\partial Y_t}{\partial X_t} = (1 - \alpha - \beta) \cdot A_t (\bar{H} K_t)^\alpha H_t^\beta X_t^{-(\alpha+\beta)}$$

$$\begin{cases} \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\partial Y_t}{\partial X_t} \rightarrow \infty \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\partial Y_t}{\partial X_t} \rightarrow 0 \end{cases}, (\alpha + \beta) \in (0,1)$$

类似地，算力服务满足稻田条件，即算力服务的不断投入使用，算力服务的边际生产率递减，存在经济稳态的情况。

最终品厂商通过出售最终品获得收入，同时支付租赁相应生产要素的成本。本文假设最终产品的价格标准化为1，非算力资本的租赁价格为实际利率 r ，算力资本的租赁价格为 w ，算力服务的租赁价格为 p_x 。最终品厂商成本函数为：

$$cost = rK_t + wH_t + p_x X_t$$

将最终产品价格标准化为1，那么最终品厂商面临的利润最大化问题为：

$$\max_{K_t, H_t, X_t} \pi = Y_t - cost$$

要素投入趋于正无穷时，其边际生产率趋于0，且生产函数满足 $f(0)=0$ 的初始条件。即，

$$\max_{K_t, H_t, X_t} \pi = A_t(\bar{H}K_t)^\alpha H_t^\beta X_t^{1-\alpha-\beta} - rK_t - wH_t - p_X X_t$$

利润最大化时 $\pi=0$ ，对上述利润方程对非算力资本、算力资本和算力服务分别求偏导数得出最优化问题的一阶条件，并进一步可以得出非算力资本、算力资本和算力服务的需求函数：

$$\frac{\partial \pi}{\partial K_t} = \alpha \cdot A_t(\bar{H}K_t)^{\alpha-1} H_t^\beta X_t^{1-\alpha-\beta} - r = 0 \Rightarrow K_t = \frac{\alpha}{r} Y_t$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial H_t} = \beta \cdot A_t(\bar{H}K_t)^\alpha H_t^{\beta-1} X_t^{1-\alpha-\beta} - w = 0 \Rightarrow H_t = \frac{\beta}{w} Y_t$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial X_t} = (1-\alpha-\beta) \cdot A_t(\bar{H}K_t)^\alpha H_t^\beta X_t^{-(\alpha+\beta)} - p_X = 0 \Rightarrow X_t = \frac{1-\alpha-\beta}{p_X} Y_t$$

(二) 中间品厂商

对于生产算力服务的中间品厂商，由于生产独占性，假设中间品厂商处于垄断市场（Monopoly Market），用于生产算力服务的算力资本的产出转换系数为 $1/\eta$ 。假设算力服务的生产函数为：

$$X_t = \frac{1}{\eta} H_X$$

根据最终品厂商的利润最大化问题，可以从该最优化问题的一阶条件得出算力服务的逆需求函数（Inverse Demand Function）：

$$p_X = (1-\alpha-\beta)A_t(\bar{H}K_t)^\alpha H_t^\beta X_t^{-(\alpha+\beta)}$$

那么中间品厂商需求在满足最终品厂商对算力服务需求的基础上实现自身的利润最大化问题，

$$\max_{H_X} \pi_X = p_X X_t - w H_X$$

即，

$$\max_{H_X} \pi_X = (1-\alpha-\beta)A_t(\bar{H}K_t)^\alpha H_t^\beta X_t^{1-\alpha-\beta} - w H_X$$

根据垄断厂商利润最大化问题的定价准则（边际利润=边际成本），可以计算得出算力服务的单位租赁成本为：

$$p_X = \frac{\eta}{1-\alpha-\beta} w = \bar{p}$$

因此中间品厂商的利润最大化问题可以化为：

$$\pi_{max} = \bar{p} X_t - (1-\alpha-\beta)\bar{p} X_t = (\alpha+\beta)\bar{p} X_t$$

二、家庭部门

对于本封闭经济体而言，最终产品的一部分用于消费（ C_t ），没有消费的最终产品用于储蓄转化为投资（ I_t ），即 $Y_t = C_t + I_t$ 。

在总储蓄投资中，假设用于算力资本的投资比重为 τ （ $0 < \tau < 1$ ），用于最终商品厂商进行生产的非算力资本投资为（ $1-\tau$ ）；算力资本的投资中，假设用于中间品厂商生产算力服务的算力资本的比重为 γ （ $0 < \gamma < 1$ ），用于最终品厂商进行生产的算力资本比重为（ $1-\gamma$ ），因此各类资本之间的数量关系为

$$I_t = K_t + H_X + H_t = K_t + HT$$

根据生产算力服务的中间品厂商与生产最终品的最终品厂商对算力资本的需求可得：

$$\frac{H_X}{H_t} = \frac{\gamma}{1-\gamma} = \frac{(1-\alpha-\beta)^2}{\beta}$$

从上述关系式中可以得出，在经济处于稳态情况下，为满足最终品厂商生产中对算力服务的需求以及两部门实现利润最大化的优化问题，用于生产算力服务的算力资本和用于生产最终商品的算力资本会根据上述比例进行分配，算力服务市场会出清。

居民通过消费最终商品获得效用（Utility），假设通过消费获得的效用的最大化问题可以写为：

$$\max_{C_t} \int_0^{\infty} e^{-\rho t} u(C_t) dt$$

约束条件为

$$\begin{aligned} \dot{K} &= (1 - \tau)(Y_t - C_t) - \delta K_t \\ \dot{H} &= \tau(Y_t - C_t) - \delta HT \end{aligned}$$

其中， δ 为资本折旧率， ρ 为效用折现率， e 为自然对数， HT 为算力总资本。该优化问题的汉密尔顿方程（Hamilton Function）为

$$\mathcal{H} = e^{-\rho t} \frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + \lambda[(1 - \tau)(Y_t - C_t) - \delta K_t] + \mu[\tau(Y_t - C_t) - \delta HT]$$

其中， λ 和 μ 分别表示非算力资本和算力资本的影子价格， C_t 为控制变量（Control Variable）， K_t 和 HT 为状态变量（State Variables）。横截条件为

$$\begin{cases} \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda K_t \geq 0 \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \mu HT \geq 0 \end{cases}$$

最优一阶条件为

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial C_t} = e^{-\rho t} C_t^{-\sigma} - \lambda(1 - \tau) - \mu\tau = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial K_t} = \lambda \left[(1 - \tau) \left(\frac{r}{\alpha} \right) - \delta \right] + \mu\tau \left(\frac{r}{\alpha} \right) = -\dot{\lambda}$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial HT} = \lambda(1 - \tau) \left[\frac{w}{\beta + (1 - \alpha - \beta)^2} \right] + \mu\tau \left[\frac{w}{\beta + (1 - \alpha - \beta)^2} \right] - \delta\mu = -\dot{\mu}$$

将上述最优一阶条件进行化简可得

$$e^{-\rho t} C_t^{-\sigma} = \lambda(1 - \tau) + \mu\tau$$

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

$$[\lambda(1 - \tau) + \mu\tau] \left[\frac{w}{\beta + (1 - \alpha - \beta)^2} \right] - \delta\mu = -\dot{\mu}$$

由汉密尔顿方程对消费的一阶条件进行对时间 t 求导可得到欧拉方程（Euler Equation）：

$$\sigma \frac{\dot{C}_t}{C_t} + \rho = -\frac{\dot{\lambda}(1 - \tau) + \dot{\mu}\tau}{\lambda(1 - \tau) + \mu\tau}$$

在经济稳态的情况下，稳态经济增长率 g 与消费增长率 g_c 、非算力资本增长率 g_k 、算力资本增长率 g_H 保持一致，即

$$g = g_c = g_k = g_H = \frac{1}{\sigma} \left\{ (1 - \tau) \left(\frac{r}{\alpha} \right) + \tau \left[\frac{w}{\beta + (1 - \alpha - \beta)^2} \right] - \delta - \rho \right\}$$

在经济稳态情况下，经济增长率与算力资本增长率保持一致，即算力资本的持续增长会带来稳态情况下的经济持续增长。进一步，对算力资本占投资比重 τ 求偏导可得：

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = \frac{1}{\sigma} \left[\frac{w}{\beta + (1 - \alpha - \beta)^2} - \frac{r}{\alpha} \right]$$

从上式之中可知，要使 $\partial g / \partial \tau > 0$ ，那么算力资本的租赁价格与实际利率需要满足的数量关系为：

$$w > \frac{\beta + (1 - \alpha - \beta)^2}{\alpha} \cdot r$$

即只有当算力资本的租赁价格满足上述关系时，增加算力资本的投资比重会进一步提高稳态经济增长率。



全文下载

