



清华全球产业院  
Tsinghua IGI

浪潮信息

# 中国算力发展 观察报告

2023年12月

# 前言

## Preface

当前,数字经济作为一种新的经济形态,已经成为中国经济高质量发展的重要动力。相关统计数据显示,2022年中国数字经济规模达到50.2万亿元,总量稳居世界第二,占GDP比重达到41.5%。数字经济的崛起和繁荣,赋予了经济社会发展的新领域和新动能。数字经济产业范围包含数字产业化和产业数字化两部分,其中数字产业化涉及到计算机制造、软件开发、信息技术服务、信息技术设施建设、数据资源与产权交易等产业门类,是数字经济发展的重要动力之一;产业数字化涉及到制造业、农业、交通业等传统产业的数字化转型升级,体现了数字技术与实体经济的融合。

数字经济时代的算力(以下简称“算力”)不仅是计算能力的概念,而是包含了硬件设备计算能力、数字技术运用能力、软件服务使用能力等硬件、技术、软件、服务的综合能力。一方面,各行业对数据处理和分析的需求快速增长,需要更为强大的算力来支撑。另一方面,人工智能技术的落地需要高效的算法和超强的算力支持。总体而言,在数字经济时代,算力已成为支撑各行业智能化升级和数字经济发展的核心驱动力,成为衡量一国综合竞争力的重要指标。未来,随着数字经济的不断深入发展,算力的重要性将进一步凸显。

本报告聚焦于算力作为推动数字经济发展的关键引擎和支撑动力这一议题,首先,构建起包含了算力投资与算力服务的内生增长模型,分析了算力在数字经济时代作为新兴生产要素推动经济增长的基本原理与作用机制;其次,报告从分析算力如何推动各产业数字化转型升级视角,分析了算力在推动互联网、金融、制造、医疗、电信、能源、交通等企业重塑竞争优势,以实现可持续增长方面发挥的积极作用,并列举了各领域代表企业基于算力基础设施,推动自身数字化、智能化建设的典型案例;再次,报告从算力供需平衡、算力全生命周期碳排放、算力标准与生态建设、企业智能化变革等方面,提出未来算力高质量发展行动建议,为我国政府制定政策及企业数智化转型提供参考,推动算力产业和经济社会实现高质量发展。



# 目录

## Contents

---

<b>前言</b>	<b>01</b>
-----------	-----------

---

<b>算力与数字经济发展</b>	<b>03</b>
· 我国数字经济发展进入新阶段	
· 算力成为数字经济时代的新兴生产要素	
· 算力投资推动经济长期增长	

---

<b>我国算力基础设施建设与发展</b>	<b>10</b>
· 算力总规模持续扩大, 呈现区域差异化发展特点	
· 智能算力需求增速显著, 智算中心加速布局	

---

<b>算力赋能产业智能化升级</b>	<b>15</b>
· 从数字化转型到智能化发展	
· 不同行业算力需求和应用分析	

---

<b>行动建议</b>	<b>28</b>
· 把握算力投资短期与中长期需求变化, 以系统设计为核心, 全面提升算效	
· 进一步鼓励加大算力基础设施投入, 关注算力全生命周期碳排放	
· 标准开放促进生态繁荣, 实现算力可持续	
· 算力层面上的数实融合应更侧重于实体经济	
· 加快推动传统企业数字化转型	

---

<b>参考资料</b>	<b>31</b>
-------------	-----------

---

<b>附录: 包含算力生产要素的内生增长模型</b>	<b>33</b>
----------------------------	-----------

# 算力与数字经济发展

数字经济是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重要推动力的经济形态<sup>①</sup>。数字经济时代,生产、交换、分配、消费等经济与社会活动中的原始数据流以及对此处理过程中产生的新数据,共同构成了数据资源池。对数据资源池的分析与利用,需要强大的算力与先进的算法体系作支撑。正因如此,“算力”水平成为数字经济时代一国综合竞争力的重要体现。

## 我国数字经济发展进入新阶段

近年来,我国数字经济发展迅速,已成为经济实现稳步增长的重要动力(如图1)。从2005年至2022年,我国数字经济规模由2.6万亿元增长到50.2万亿元,规模增长约为19.3倍,年平均增长率约为19.0%,数字经济规模占GDP比重从14.0%增长到41.5%,相较于2005年提升了27.5个百分点<sup>②</sup>。

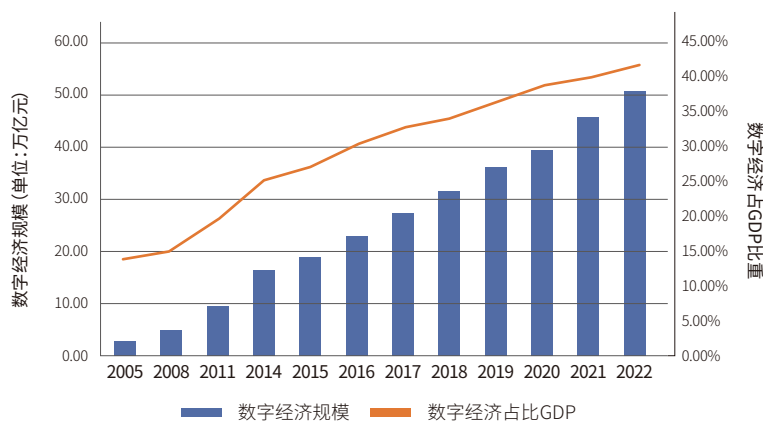


图1 2005-2022年我国数字经济规模发展宏观概况

注:研究团队根据公开数据绘制

①国家统计局:《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,2021。

②数据来源于万得数据库-宏观经济数据库。其中,年均增长率采用平均复合增长率计算方式,由研究团队根据原始数据计算得出。2005年至2022年我国数字经济规模数据中,数据库中统计数据缺失了2006、2007、2009、2010、2012、2013年的数据,坐标轴中删掉了数据缺失的对应年份。

当前,我国数字经济发展的特点和趋势包括:

## ■ 数字经济与实体经济融合发展不断加快

数字经济和实体经济融合发展的本质是借助数字经济部门的数字技术、数字产品和服务,推动实体企业的数字化转型升级、实体经济的全方位变革和高质量发展。一方面,数字化转型已经由消费领域全面向生产领域扩展。我国各行业正在加快推进数字化转型,数字技术在生产、分配、流通、消费各环节的应用不断深化;同时,大数据、物联网、云计算等数字技术加速向政务服务、社会治理等领域全面渗透。另一方面,数字化技术手段与组织系统不断推动各类要素资源在产业间加速流动,提高资源配置效率,实现产业链和价值链的重塑。

## ■ 数据要素价值进一步凸显

作为数字经济时代最重要的生产要素之一,数据要素借助强大算力的高效分析、处理、传输和应用,被挖掘出其蕴含的巨大经济价值,进一步推动数据资源向数据资产转型。具体而言,在企业发展层面,数据能够为企业带来新的价值增量。通过数据的资源化、资产化、要素化,企业得以发现新的市场机会、开发新的产品和服务、推动自身的技术创新和转型升级,进而实现企业的可持续发展。在产业和经济发展层面,精准农业、智能制造等背后都有数据支撑,数据正在转化为产业和经济发展的全新驱动力;在社会治理层面,政府可以通过对公共数据的收集、分析和利用,更好地了解社会需求,从而更科学地制定相关政策、提升社会治理能力。

同时,数字经济与实体经济的深度融合,也在推动数据要素市场化配置改革提速。数据资源的开发利用、交易和流通,将为经济社会发展带来巨大价值。算力及相关产业的高质量发展也将有效促进数据要素流动,推进统一要素市场的建设。

## ■ “产业数字化”对数字经济发展的拉动作用进一步凸显

根据国家统计局发布的《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,数字经济可以分为数字产业化和产业数字化两个组成部分。其中,“产业数字化”部分,指应用数字技术和数据资源为传统产业带来的产出增加和效率提升,是数字技术与实体经济的融合;“数字产业化”部分作为数字经济的核心产业,是指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、数据要素的各类经济活动。

根据相关统计数据,中国数字产业化和产业数字化规模近年来都呈现逐年上升趋势。如图2所示,2015年至2022年,我国产业数字化规模从13.8万亿元上升到41.0万亿元,整体规模不断扩大,年均增长率约为16.9%;产业数字化在数字经济中的占比持续上升,由2015年的74.3%增长到了81.7%,上升了7.4个百分点。2015年至2022年,我国数字产业化规模从4.8万亿元增长到9.2万亿元,年平均增长率为9.8%<sup>①</sup>;数字产业化在数字经济中的占比略有下降,由2015年的25.7%下降至18.3%,下降了7.4个百分点。

<sup>①</sup>数据来源于万得数据库-宏观经济数据库。年均增长率采用复合增长率的计算方式,由研究团队根据原始数据计算得出。

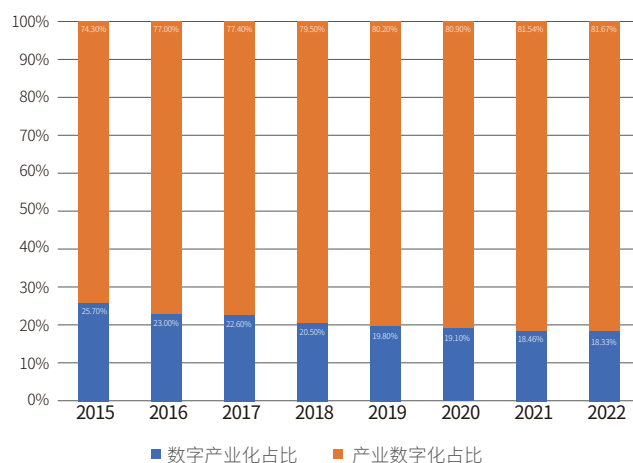


图2 数字经济中数字产业化和产业数字化结构占比

注：研究团队根据公开数据绘制

以上数据显示，无论是规模还是增长率，中国的产业数字化发展在过去几年超过了数字产业化。随着大数据、人工智能、云计算等技术在实体经济中的应用不断深化，包括智慧农业、智能制造、智能交通、智慧物流、数字金融、数字商贸、数字社会、数字政府等在内的“产业数字化”发展，对数字经济发展的拉动作用还将进一步凸显。

## 算力成为数字经济时代的新兴生产要素

数字经济时代，数据的爆发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生产要素，是数字经济深化发展的核心引擎。全球范围内不断增加的数据量引发了对计算需求的增长，进而产生了更多的数据。算力作为新科技革命和产业变革中的新兴基础能力，正在引领新一轮的内生经济增长。

宏观经济理论中，研究经济长期发展的核心问题是经济增长的动力来源，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中，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征，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。

但是，稳态情况下经济仍可以实现长期稳定增长。那么，伴随人口和资本积累的边际生产率逐渐收敛至零，经济实现持续增长的动力是什么？内生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。各个国家和地区经济发展的实践也表明，经济保持长期稳定增长，源自于内生技术的不断进步。

本报告将算力作为一种新兴生产要素引入内生增长模型(见附录),将算力抽象为算力资本投资和算力服务投入,纳入投资、生产、消费等经济活动中,建立起一个包含了三部门的封闭经济体的经济增长模型,从经济理论角度刻画算力与经济增长之间的关系,探讨算力对经济增长的作用机理和影响路径。

从宏观视角来看,数字经济下的算力主要体现在两个方面:

一方面,数字产业化进程中,需要对相关硬件进行投资,建立数据处理、分析等数据中心,来生产能够实现海量数据计算的算力服务。

另一方面,产业数字化进程中,需要满足各实体产业生产过程中的算力需求。实体企业生产部门的算力需求,既包含了对硬件层面的需求,例如通过通用服务器、AI加速服务器或存储设备等硬件设施,由实体企业自行搭建数据中心将算力引入生产过程等;又包含了对服务层面的需求,例如通过租赁公有云、算法服务、数据服务等算力服务实现生产数据的大规模存储与计算等功能。

在上述需求细分的基础上,本文尝试构建起一个包含算力因素影响的内生增长模型来刻画算力对一国(或地区)经济增长的长期影响机制。

第一,考虑到研究聚焦于算力对经济增长的长期影响,本文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。

**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。从投资流向来看,算力投资可以分为两部分,一部分流向实体经济(最终品厂商<sup>①</sup>),用于投资建设算力相关基础设施、购买算力设备等,直接参与最终生产过程,实现企业数字化转型;另一部分流向数字产业(中间品厂商),用于购买算力设备,生产算力服务,供给实体经济部门用于生产最终品。

**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实际生产过程。

第二,本研究在借鉴Romer(1990)包含技术研发与更新的内生增长模型和Thompson等(2022)包含算力硬件的内生增长模型的基础上,构建了一个包含算力资本、算力服务的三部门封闭经济体的内生增长模型。其中,模型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。

<sup>①</sup>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。

第三,模型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:

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

其中,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,会加大非算力资本在最终品生产过程中的投入。

算力服务作为新兴生产要素纳入生产过程,对资本使用具有一定的替代效应,即在生产过程中,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图3所示。

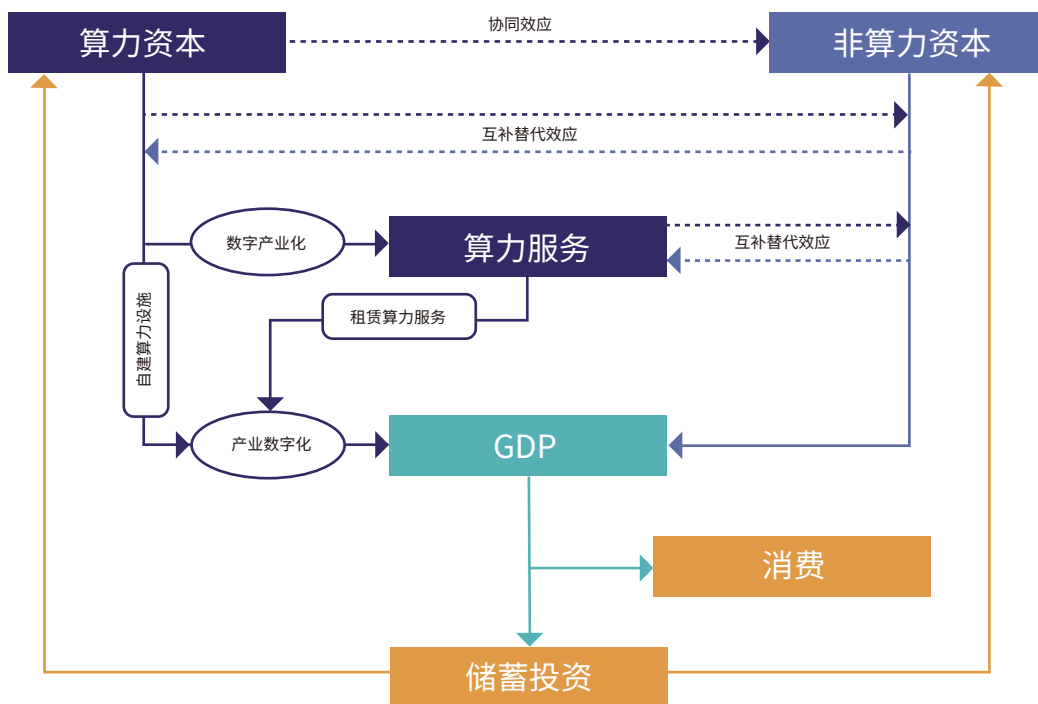


图3 算力与经济增长模型

注:研究团队根据模型设定所绘制



## 算力投资推动经济长期增长

上述包含算力在内的经济增长模型,将算力作为生产要素抽象为算力资本投资和算力服务引入经济模型之中,从经济理论层面剖析算力作为数字经济中的核心生产要素,并探究其影响经济增长的内在机制,得出以下结论:

### ■ 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,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。

### ■ 加大算力投资或带来稳态经济增长率的跃升

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,算力资本的投资比重对经济稳态下的长期增长率具有正向溢出效应。

因此,发达地区进一步加大算力投资在总投资中的占比将会获得相较于欠发达地区更高的稳态经济增长率。这一结论表明,算力先发地区的优势会随着算力投资比重的增加进一步获得强化,拉开与后发地区的差距。

### ■ 算力资本与传统非算力资本形成协同和互补替代效应

首先,算力资本作为一种新兴生产要素能够与传统非算力资本形成协同效应。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,进而提升资源的利用效率,能够产生比单纯投入非算力资本更高的经济增长动力。对于实体企业而言,投入算力资本所形成的数字基础设施和解决方案能够帮助企业借助云计算、大数据和人工智能等技术手段,对传统物质资本进行改造和升级,提高生产效率、优化资源配置、创新商业模式,增强企业的竞争力,促进实体经济的数字化转型发展。

其次,算力资本的投资使用与传统非算力资本产生互补替代效应。从资本积累的角度来看,产业数字化转型过程中,算力资本的投资在一定程度上挤出了传统非算力资本在实际生产中的投资,形成了互补替代效应。同时,算力资本作为一种新生产投入,可以催生出新的产业、业态和发展模式,提升传统资本的利用效率,激发传统资本的创新活力。这种创新活力能够推动经济的持续发展和进步,实现产业结构的优化升级。

此外,由算力资本衍生的算力服务在实际生产中的使用,对资本生产要素形成了互补替代效应。从数字产业化方面来看,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。

## ■ 算力赋能产业数字化与数字产业化

算力作为新兴生产要素能够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。此外,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,形成了算力发展与产业间协调发展相互促进的双向正循环。

# 我国算力基础设施建设与发展

我国加快算力顶层政策设计，陆续出台《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）》、《算力基础设施高质量发展行动计划》、《“十四五”信息通信行业发展规划》、《“十四五”数字经济发展规划》等一系列文件为算力基础设施建设指明方向。在政策和需求双重驱动下，我国算力基础设施迈向高质量发展阶段。

## 算力总规模持续扩大，呈现区域差异化发展特点

近年来，面对复杂严峻的国际环境，我国充分发挥超大规模市场优势，实现了算力规模和供给水平的大幅提升。围绕加快算力基础设施建设应用，从中央到地方出台了一系列重要政策举措，实施了一大批重大工程项目，推动我国算力产业实现快速发展。“十四五”规划提出要加快构建全国一体化大数据中心体系，建设若干国家枢纽节点和大数据中心集群，对算力资源跨区域发展进行统筹部署；工信部联合多部门先后印发了《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）》、《算力基础设施高质量发展行动计划》、《数字中国建设整体布局规划》等，对算力基础设施高质量发展进行了系统规划。

根据IDC相关统计数据测算，2022年中国通用算力规模达54.5 EFLOPS，智能算力规模达259.9 EFLOPS，预计到2027年通用算力规模将达到117.3 EFLOPS，智能算力规模将达到1117.4 EFLOPS<sup>①</sup>。据工信部相关统计数据，截止2022年底，我国对外提供的公共基础算力规模超18EFLOPS，为公众提供服务的数据中心机架数达81.8万个，比2021年末净增8.4万个。

整体而言，算力规模与数据中心数量、部署规模和区域分布密切相关。算力规模越大，相应的数据中心数量越多，分布越广泛；同时，数据中心的分布和部署规模也会影响算力的供给质量和应用效率。如果数据中心分布合理，算力供给类型和规模符合市场需求，可更好地提高算力资源的利用效率，否则或导致算力资源的浪费。

结合“东数西算”工程数据枢纽及数据中心布局和由IDC统计的服务器出货量及预测数据来看（如图4），京津冀地区、长三角地区和粤港澳地区仍然是未来几年内服务器需求占据前三的地区，其中京津冀地区对服务器需求占据所有数据

<sup>①</sup>IDC，浪潮信息：《2023-2024中国人工智能算力发展评估报告》，2023。

枢纽和数据中心首位；西部地区由于数据枢纽和数据中心规划对服务器需求有所增加，但总体相较东部地区需求规模尚小，不足其他三个地区的十分之一。

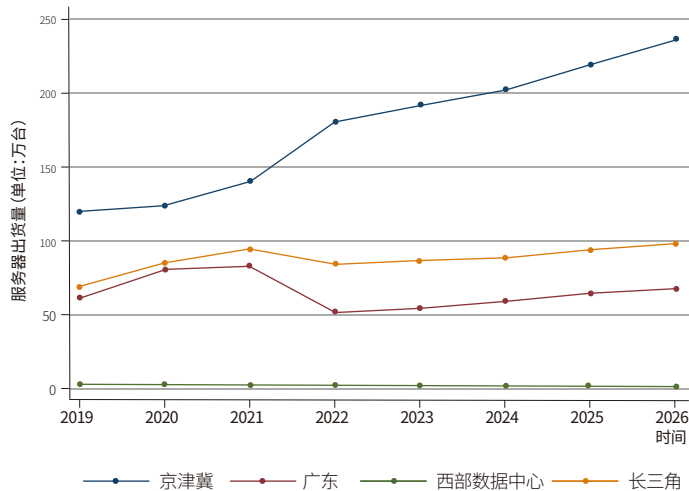


图4 2019年至2026年分地区服务器出货量及预测<sup>①</sup>

注：研究团队根据公开数据绘制

结合目前各地区经济发展水平及数据中心建设情况，京津冀、长三角与粤港澳大湾区等经济发展水平相对较高区域的数据中心建设起步较早，已建成投入使用或正在建设的数据中心也多分布于东部地区。

从时间趋势来看，依托于数据中心的规划建立，各区域对服务器的需求量保持相对平稳增长。2019年至2022年，京津冀地区服务器需求保持稳定增长，预计2026年京津冀地区对服务器年需求量将达到236.7万台，2019至2026年均复合增长率约为10.2%；长三角地区和广东省服务器出货量整体呈现持续增长态势，预计到2026年长三角地区和广东省对服务器的年需求量将分别达到98.0万台和67.4万台，2019至2026年均复合增长率分别约为5.2%和1.2%；西部地区整体需求相对平稳，需求规模相对于京津冀、长三角和粤港澳地区整体较小，预计到2026年对服务器的需求量将达到1.6万台，相较2019年的服务器出货量2.4万台，对服务器的需求量有所降低。

总体来看，当前我国数据中心分布与算力硬件需求方面依旧呈现“东高西低”、“东密西疏”的地域分布特征。其中东部经济较为发达的地区与省份在算力硬件需求方面呈现平稳增长的趋势，数据中心建设对算力硬件的需求拉动作用相对显著，需求增长的年均复合增长率较为稳定；反观西部数据中心建设，对算力硬件需求方面提升效果有限，整体算力硬件需求保持稳定，并未因数据中心建设规划而增加算力硬件需求的预期。

<sup>①</sup>数据来源于IDC。其中，京津冀地区数据为北京市、天津市、河北省三个省市数据加总；长三角地区数据为江苏省、上海市、浙江省三个省市数据加总；粤港澳大湾区数据采用广东省数据代表；西部数据中心包含了内蒙古自治区、甘肃省、宁夏回族自治区、四川省、重庆市以及贵州省共六省市数据加总。

2022年后,我国算力建设全面开启区域协调、绿色节约发展新方向。从区域分布来看,位于中国西部的数据中心按照“东数西算”工程对数据中心的规划,负责处理对网络要求不高的业务,如后台加工、离线分析、存储备份等;位于中国东部的数据中心则负责处理对网络要求较高的业务,如工业互联网、金融证券、灾害预警、远程医疗、视频通话、人工智能推理等。

## 智能算力需求增速显著,智算中心加速布局

2023年10月,工信部等六部门联合印发《算力基础设施高质量发展行动计划》提出,到2025年,算力规模超过300 EFLOPS,智能算力占比达到35%。

智能算力需求的大幅增长,一方面源于传统行业数字化转型对智能算力的需求增长。例如,在智能制造领域,智能算力能够为生产线上的设备实时监测、故障诊断、预测性维护等服务的实现提供支撑,提高企业生产效率、降低成本,同时智能算力也能够支持对生产数据的实时分析和预测,为生产决策提供支持;再如,在自动驾驶、智慧医疗等新兴领域,智能算力能够支撑大量数据的分析和处理,助力企业为客户提供更加精准、高效的服务。另一方面,智能算力需求的增长也源于国内面向人工智能领域企业快速拓展算力资源服务相关业务,如国内电信运营商、ICT企业、互联网头部企业等今年纷纷布局大模型产业, AI大模型的训练和推理需要智能算力提供更高效、更灵活的计算资源。

据IDC对中国智能算力评估数据(如图5),2022年中国智能算力规模达259.9EFLOPS,2023年将达到414.1EFLOPS,预计到2027年将达到1117.4 EFLOPS。2022至2027年,中国智能算力规模年复合增长率预计将达到33.9%<sup>①</sup>。

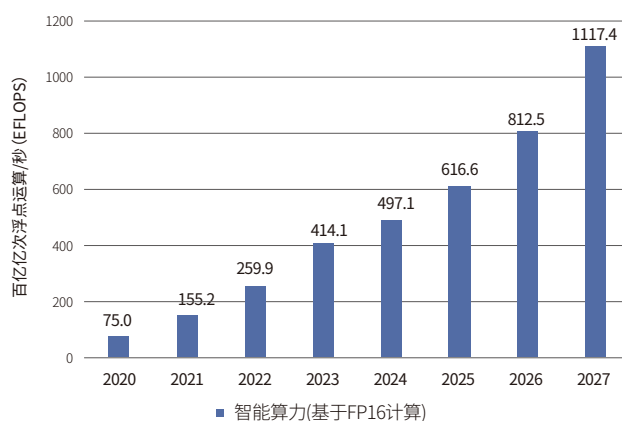


图5 2020年至2027年中国智能算力规模及预测

注:研究团队根据IDC数据绘制

①IDC,浪潮信息:《2023-2024中国人工智能算力发展评估报告》,2023。

人工智能计算中心(以下简称“智算中心”)是基于最新人工智能理论,采用领先的人工智能计算架构,提供人工智能应用所需算力服务、数据服务和算法服务的公共算力新型基础设施,通过算力的生产、聚合、调度和释放,高效支撑数据开放共享、智能生态建设、产业创新聚集,有力促进AI产业化、产业AI化及政府治理智能化<sup>②</sup>。

截至2023年2月,我国目前已投入运营和在建的智算中心数量达到23个。其中,12个智算中心位于京津冀、长三角等东部地区省份;中部地区拥有智算中心6个;西部和东北地区的智算中心数量分别为3个和2个;有超过30个城市正在建设或已规划建设智算中心(如表1)。

结合智算中心的地理分布状况,智算中心的数量与区域经济发展水平具有较强的正相关性。一方面,经济发展水平较高的地区更有能力承担智算中心的建设;另一方面,科研机构、企业相对聚集于经济发展水平较高的地区,对智能算力需求较高,其科学研究及业务发展需要智能算力基础设施的支撑。

**表1 我国部分省市智算中心建设项目情况**

地区		项目名称	建设进度	时间
北京市	朝阳区	北京数字经济算力中心	在建	2022.04
天津市	河北区	天津人工智能计算中心项目一期	竣工	2022.12
	武清区	中国电信京津冀大数据智能算力中心	投入使用	2022.12
河北省	廊坊市	河北人工智能计算中心	在建	2022.02
江苏省	南京市	南京鲲鹏·昇腾人工智能计算中心	投入使用	2022.04
	苏州市	吴淞江智能计算中心	在建	2022.08
		昆山智能计算中心	试运行	2022.09
	无锡市	太湖量子智算中心	在建	2023.01
甘肃省	庆阳市	全国一体化算力网络国家枢纽节点(甘肃庆阳)智算中心项目	在建	2023.01
浙江省	杭州市	杭州人工智能计算中心	在建	2022.05
	丽水市	浙江省青田县元宇宙智算中心	在建	2022.11
	宁波市	宁波人工智能超算中心	在建	2023.01

<sup>②</sup>国家信息中心信息化和产业发展部,浪潮信息:《智能计算中心规划建设指南》,2020.

地区		项目名称	建设进度	时间
安徽省	宿州市	淮海智算中心	在建	2022.07
广东省	广州市	广州人工智能公共算力中心	投入使用	2022.06
		中国智算中心	投入使用	2022.12
四川省	成都市	成都智算中心	投入使用	2022.05
辽宁省	沈阳市	沈阳人工智能计算中心	投入使用	2022.08
	大连市	大连人工智能计算中心	投入使用	2022.12
黑龙江省	哈尔滨市	哈尔滨人工智能先进计算中心	投入使用	2022.12
海南省	三亚市	海南人工智能计算中心	在建	2022.11
广西省	南宁市	中国-东盟人工智能计算中心	在建	2022.09
湖南省	长沙市	长沙人工智能创新中心(算力中心)	在建	2022.02
山东省	青岛市	青岛人工智能计算中心	在建	2022.02

注:研究团队根据公开信息整理

当前,国内新一代智算中心的建设依然面临着诸多问题,包括建设思路和方案缺乏统一的方向、建设方向和建设需求错位、高性能智能算力供给不足、高耗能问题、算力系统的初期应用效率偏低导致无法完全支撑全面的智能化应用场景需求,等等。2023年10月发布的《算力基础设施高质量发展行动计划》提出,将进一步推动算力结构多元配置,结合人工智能产业发展和业务需求,重点在西部算力枢纽及人工智能发展基础较好地区集约化开展智算中心建设,逐步合理提升智能算力占比。未来,普惠灵活、开放包容以及创新融合、安全可信、绿色高效等,将成为智算中心的建设标配。

# 算力赋能产业智能化升级

2023年10月,工信部等六部门联合印发《算力基础设施高质量发展行动计划》,从算力、运载力、存储力以及应用赋能四个方面提出了到2025年发展量化指标。应用赋能方面,行动计划提出将围绕工业、金融、医疗、交通、能源、教育等重点领域,各打造30个以上应用标杆。

算力对于各行业企业数字化转型及智能化升级的支撑作用主要体现为:基于算力基础设施,企业得以应用物联网、大数据、云计算、数字孪生等技术,改造传统业务流程、提升生产效率、降低运营成本、创新业务模式,助力企业智能化发展。随着AI技术应用的不断成熟,边缘算力建设,以及“云边端”算力泛在分布、协同发展,将进一步支撑各行业企业对于低时延业务应用需求,进一步提升传统行业的智能化水平。

数字技术在不同行业中的多样化应用场景,使得各行业企业对算力的需求具有一定的特殊性。本章选取互联网、金融、制造、医疗医药、电信、能源、交通运输七个具有代表性的行业,结合行业数据和典型案例,分析在算力基础设施支撑下,各行业企业智能化发展的特征和趋势。

## 从数字化转型到智能化发展

### ■ 算力支撑产业融合发展

一方面,算力发展推动了上下游产业链的融合。各行业企业数字化平台的构建,将产业链上下游企业连接在一起,实现信息共享、资源共享和数据共享,提高企业间的沟通和协作效率,提升整个产业的效率和竞争力。例如,在优化供应链管理方面,产业链上下游企业通过数字化技术实现各主体,如供应商、生产商、服务商等之间的数字化对接,从而提高供应链的透明度和协作效率,从而实现供应链的优化管理。另一方面,算力发展支撑不同行业的融合。数字技术的快速发展令不同行业之间的互动和协作变得更加紧密。例如,基于数字化技术应用,制造业和服务业不断融合,实现制造业的服务化转型<sup>①</sup>,提升制造业的附加值和竞争力。

### ■ 行业间智能化水平差距逐步缩小

<sup>①</sup>“十四五”规划和2035年远景目标纲要指出:“发展服务型制造新模式,推动制造业高端化智能化绿色化。”制造服务化,即制造企业为了获取竞争优势,从微笑曲线中较低价值的组装、制造环节向更高价值的设计、研发和服务环节移动。



不同行业间的数字化、智能化水平一直以来都存在较大差异。一般而言,数字化、智能化程度较高的行业,如金融、零售等,通常是那些对数智化技术依赖程度较高、市场竞争激烈、创新速度较快的行业,这些行业在数字化能力建设上的起点较高。而智能化程度较低的行业则通常为传统行业,如农业、能源等。

在智能化程度较高的行业中,企业通常更加注重数智化技术的研发和应用,拥有更加完善的战略规划和更加成熟的商业模式。这些企业通常也更注重数据的采集、分析和利用,拥有更加完善的数据治理体系和数据应用能力。这些行业的领先企业通过引入新技术和商业模式,进一步提升自身的数智化水平和行业竞争力。例如,金融业通过引入大数据、区块链、人工智能等,推动业务的自动化和智能化,提高服务效率和安全性;零售业通过引入新零售模式实现线上和线下的融合,提升消费者体验和销售业绩。在智能化程度较低的行业,企业相对更注重传统业务的运营和管理,对数智化技术的认知和应用程度也相对较低。

随着不同行业数字化转型的全面铺开,不同行业整体的智能化水平差距正在缩小。一些传统行业,如能源、农业等也开始加快数字化转型的步伐,通过引入新兴技术和商业模式,提高生产效率和服务质量。例如,能源企业通过引入智能电网技术实现能源的优化配置和高效利用;农业企业通过引入农业物联网技术实现农业生产的智能化和精细化,等等。后发行业相对于先行者而言,可以借助已经出现的各种数字化技术和工具,少走弯路,减少试错成本;同时还可以直接购买已经成熟的数字技术和工具,降低技术研发成本和时间。

## ■ 智能化应用场景全面拓展

随着数字化场景支撑智能化应用作用更加凸显,智能化场景的层级也将由单元级全面拓展至生态级。

企业的智能化场景通常从单一部门或单一业务单元的数字化应用开始。例如,财务部门的数字化财务系统,人力资源部门的数字化招聘和培训系统等。当多个部门或业务单元之间开始需要进行数据共享和业务协同时,就出现了板块级数字应用场景。例如,在企业的不同部门之间,或者在产业链的不同环节之间,需要实现数据的互通和业务的协同。

当企业整体推动数字化转型时,就需要构建企业级的智能化应用场景。这通常涉及到企业核心业务系统的数字化,以及不同系统之间的数据共享和业务协同。如企业的资源计划(ERP)制度,供应链管理制度(SCM)等。随着数字经济的发展,很多企业开始构建自己的数字化平台,以支持更广泛的智能化应用场景。这些平台可以支持多种类型的数字应用场景,包括消费者服务平台,企业内部管理系统等。最终,企业内部的全场景智能化还将逐步拓展到行业上下游及产业生态圈。在这一层面,企业需要考虑如何与生态系统内的其他企业进行合作,共同构建数字化应用场景,以实现共同发展。

## ■ 行业领军企业迈入全面智能化阶段

数字化转型当前已在所有行业全面启动。但在各行业中,广泛实施数字化转型,具有成功样本,并处于推广和深化阶段的企业仍然是少数。而相较于不同行业间数字化转型成熟度差距的不断缩小,行业内数字化转型领先企业已经凭借转型带

来的竞争优势,与行业内其他竞争对手拉开差距,正在迈入全面智能化阶段。

首先,数据驱动的智能应用成为行业领军企业数字化转型的创新方向。通过人工智能等技术,企业实现数据驱动的智能应用,提高生产效率、优化客户服务、提升用户体验等,实现企业的持续创新和发展。

其次,数据驱动战略决策成为行业领军企业数字化转型的重要一环。领先企业制定明确的数据战略,包括数据的收集、存储、处理和分析等方面。其数据战略与企业的业务战略相结合,以确保数据资产能够为业务增长提供支持。这种趋势包括从数据中获取洞察,以支持更科学、更明智的业务和战略决策,以及使用数据来优化运营,提高企业的战略规划和执行效率,并积极构建数据驱动的商业模式。

再次,领先企业纷纷放眼于企业外部,积极推动数智化产业协同。以“数字化+智能化”为核心的数智化转型,已成为促进供应链、产业链高效协同和资源优化配置的有效手段。领先企业主动推动与产业链上下游企业的数字化协同平台建设,建立合作共赢的生态圈,共同推动产业的创新发展。

## 不同行业算力需求和应用分析

因行业特点、业务需求及应用场景的不同,不同的行业企业对算力的需求在计算精度、计算速度、数据处理量等方面存在一定差异。如互联网行业需要处理大量的用户数据和流量数据,金融业因数据安全要求对安全类算力服务的需求潜力较大,交通行业尤其是自动驾驶领域对边缘计算需求较高。

当前,各行业对人工智能算力的需求与日俱增。从智能算力需求量来看,如图6所示,2022年中国人工智能(AI)加速服务器市场出货量排名TOP 5的行业(领域)分别为互联网、服务、政府、教育和金融。随着人工智能技术的不断应用拓展,不同行业的算力需求结构也将随之演化。

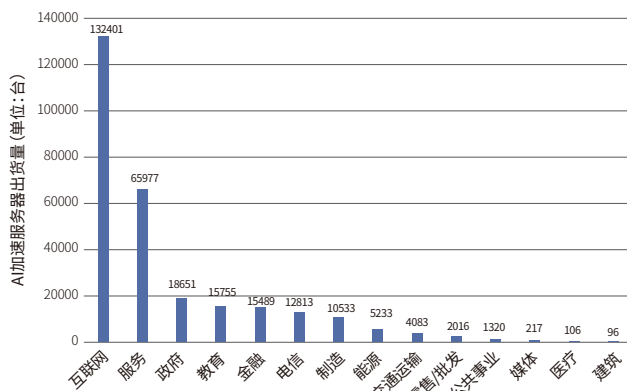


图6 2022年各行业AI加速服务器出货量

注:研究团队根据IDC数据绘制

## ■ 互联网:算力需求和供给领头羊

当前,国内互联网行业是对算力需求最大的领域。从智能算力需求看,IDC的AI加速服务器出货量数据显示,2019年下半年至2021年上半年,互联网行业对智能算力的需求增长率保持在30%至40%之间平稳波动。在未来一段时间内,互联网行业仍是算力资源的主要需求方。

从产业发展进程来看,一方面,互联网企业在不断拓展业务领域的过程中,需要处理大量的数据。例如,图像识别、智能客服等应用场景需要大量的算力支持;另一方面,随着以资本和流量为主导的消费互联网发展至高位,互联网企业的目光转向稳定性和持久性更优的产业互联网。头部互联网企业抢抓产业互联网的新机遇,纷纷转型为云服务商,为各行业企业提供超大规模高性能算力服务,进入了服务实体经济的阶段。

当前,互联网公司普遍强调大数据、云计算、区块链以及人工智能等数字技术的发展和应用,如基于人工智能技术为用户提供个性化推荐、广告和物流服务,通过图像识别技术和人脸识别技术实现身份验证和智能监控等。此外,互联网头部企业在自然语言处理、知识图谱、大数据识别、计算机视觉、深度学习等技术领域和应用场景都有较大的投资和积累。

此外,以ChatGPT为代表的人工智能大模型正在引领新一轮全球人工智能技术发展浪潮,近两年来,互联网企业纷纷围绕通用大模型以及行业大模型,展开行业数据的争夺和行业客户的开发。

## 【企业案例】

### 百度智能云:云智一体赋能千行百业

根据IDC数据,2022年AI公有云服务市场整体增速达到80.6%。其中,百度智能云连续第四年占据市场份额第一,增速达69.7%。而在大模型最核心的技术——自然语言处理市场,百度智能云同样位列第一。

百度智能云于2015年正式对外开放运营,致力于为企业和开发者提供领先的人工智能、大数据和云计算服务及易用的开发工具。以“云计算为基础”支撑产业数字化转型,以“人工智能为引擎”深入产业生产的关键场景,为企业的数字化转型和智能化升级提供新型支持,百度智能云称之为“云智一体”。

目前,百度已实现人工智能的多方面布局,从底层支撑性基础技术(包括计算平台、大数据、操作系统、芯片)到人工智能核心技术(包括AI平台百度大脑),形成了移动生态、智能云、自动驾驶等多引擎增长格局。

发展人工智能,算力基础设施建设是重中之重。百度智能云近年来积极参与“东数西算”相关枢纽节点项目规划,和各地政府以及企业合作,目前已经在阳泉、福州、盐城、雅安、沈阳等地建设了区域智算中心,面向人工智能应用场景,为政府和行业客户提供普惠算力、算法模型和数据服务的人工智能基础设施。

在数字政府领域,以2021年湖北省宜昌市点军区创建的百度智能云-昆仑芯智能生态中心为例,中心包括由百度昆仑芯片搭建的人工智能算力中心、城市级视频中台、数据中台系统、核心物联网通信系统、大规模图谱分析体系,以及超过270类不同人工智能算法模型。

宜昌点军区依托百度昆仑芯片,融合视联网感知平台以及升哲科技物联网终端技术,围绕城市治理、社会关怀、智慧水务、消防安全、环境监测等打造出新型智慧城市的统一“数据底座”,实现物联感知和视觉感知双重融合,可实时对整个区域进行全息感知和数字化、可视化监测,助力区域治理的智能化转型升级。一系列前期合作成果已经应用于当地城市治理和乡村治理下的各类场景。

例如,通过百度智能云视联网感知平台,点军区农业农村局管理关键卡口的高清摄像头,可监测建筑材料的运输过程,实现从源头打击违章建筑;基于物联网加持的智能床垫,可以监测老人夜间的身体情况,为老年群体提供更多健康保障。在消防车无法立即赶到的广大农村地区,点军区应急消防局大规模架设物联网专网,布设传感器系统,火情出现时秒级预警,消防安全建设实现飞跃。非法捕捞行为的人工智能模型,结合智能识别,锁定非法捕捞群体,宜昌市渔政局实现智能化的生态保护。

2023年9月,百度智能云发布了基于大模型重构的数字政府解决方案“九州”及其背后的政务大模型原生产品体系,在通用大模型的基础上,通过政务领域知识增强,在多个技术领域和行业方向,形成一套政务大模型,继续拓展大模型应用的空间。

注:案例基于公开资料整理

## ■ 金融:算力推动数智交易和服务升级

金融业具备天然的数字属性。近几年来,金融机构将信息技术与金融服务深度融合,构建了“数字金融”这一新型的服务模式。很多银行业、保险业企业正在积极打造新型数据服务能力,不断推动数据资产化、业务化、服务化、产业化。算力基础设施为金融企业的数字化、智能化升级提供了重要支撑,成为承载金融企业业务稳健运行的基石。

在银行业,诸如智能客服、智慧网点、云上网店等应用场景不断铺开,在简化业务流程的同时提高业务处理效率,为客户带来更好的用户体验。此外,算力服务在金融风险控制与评估、金融信用评级等应用场景的不断深化。企业运用数字化工具更加精准识别潜在金融风险,更智能地评估信用评级,显著降低金融活动的事前风险。

在保险业,客户票据、交易记录影像资料等海量数据需要进行大规模计算。例如,在保险核保过程中,需要从各种不同的报表、检验单中准确筛选出需要的病种和检验项目,以备后续投保核保使用。很多企业正在利用基于人工智能的深度学习框架,对于需要辨识的表单特征,通过学习历史样本建立相应的辨识模式。这一过程涉及图像的分类和认知,图像和文本之间的转换、认知(OCR),文本的阅读、理解、分析,以及为了得到核保结论而进行的机器评估等。

从未来趋势看,金融业数字化转型需要完整的数据处理能力提供支撑。金融领域的人工智能技术,已经成为金融领域最重要的资源和核心竞争力,算法、数据和计算能力成为企业增强行业竞争力的法宝。

## 【企业案例】

### 深圳平安金服:数字员工在金融行业的智能支付解决方案

深圳平安金融服务有限公司是平安集团子公司,为平安集团子公司及其机构提供远程咨询、财务共享等服务,为国内外企业客户提供智慧解决方案。近年来,深圳平安金服资金支付业务的支付媒介网银卡保管数量大,管理员卡、查询卡和交易卡在作业操作中需要来回调换,且每月均需要对三类卡进行盘点。而且资金业务支付工序复杂,人工操作频次高,据统计平安金服每年累计工作操作近7万次,且日、周、月均为重复操作手工。

针对资金支付的特点,企业创新应用RPA在资金支付业务的应用,将线下手工操作线上化、自动化,同时配套创新RPA智能管理体系,启用自动巡检的模式前置发现网络异常、交易异常,极大的降低了交易风险;并且通过可视化拟态管理RPA智能机器人,保证了自动化场景的效率实时监控的需求。

企业应用AI、RPA、OCR等技术对流程进行自动改造。首先,网银卡物理集中,实现云端调用,利用RPA+网银卡集中箱模式,实现近2万张网银卡云管理和远程调用,实现资金支付无固定场所办公模式。其实,实现资金自动支付,通过RPA、OCR、规则引擎、流程引擎等多元技术叠加,打造资金全链路智能解决方案。此外,构建智管体系及风险体系。通过RPA+AI组合,对支付状态、网银操作界面、账户状态等异常监控巡检,达到100%系统异常预警、支付超期100%监控、重点拦截场景100%监控,有效管控资金风险。

智能支付解决方案现目前已推广应用至平安集团金融、智慧城、房地产等五大生态圈,其中在银行端、保险端、证券端、投资等金融板块应用最为突出,现已覆盖近2万张网银卡和1.5万个账户,月均调用5000次网银卡,涉及资金吞吐量超万亿,交易笔数超十亿。同时,为防止因银行网页异常、系统异常等系统风险而引发的资金风险,资金巡检机器人有效的通过自动触发工作指令,24小时对多网页进行异常排查,对100%的系统异常进行前置预警、重点人工拦截场景100%系统监控。

## ■ 制造业:算力赋能新型工业化建设应用

以数字经济和实体经济的深度融合推进新型工业化是我国在工业化后期深化工业化进程的重要战略选择。数字经济与传统工业实体深度融合,是实现新型工业化的重要路径。当前,算力是制造业迈向工业4.0和工业互联网时代的重要新兴动力。大量制造业新场景的运转需要强大的算力支撑。

在制造行业,数以亿计的智能制造设备产生的海量数据需要存储和处理,最终为生产决策、工艺提升等提供参考;工业互联网、数字孪生以及5G技术的深化应用都带来了企业对边缘端算力的巨大需求。例如供应链优化、产品研发和工艺规划、生产计划预测、视觉化质检、制程连接与追溯、设备参数实时控制和优化、设备故障远程监控和运维、智能客服等大量制造业场景都需要强大的算力支撑。在算力加持下,复杂工业技术、经验、知识等实现数字化、模块化,促进各类创新的工业智能应用落地。工业数据的价值加速释放,制造业企业得以在复杂生产环境中更为快速、准确识别场景参数,提高生产效率,优化设备产品性能,进而优化生产资源、重构生产流程,提高制造业生产力。

在算力需求方面,人工智能技术的应用是制造业走向智能制造和工业4.0的重要引擎。当前,人工智能技术在制造业的主要应用场景包括:质量管理体系、维修及生产检测自动化、供应链管理自动化,等等。根据IDC预计,到2023年底,中国有50%的制造业供应链环节将采用人工智能技术,效率提升可达15%<sup>①</sup>,这将使得企业能够在复杂生产环境和市场环境中更贴合市场需求的同时降低成本,把控市场风险。

## 【企业案例】

### 浪潮信息:基于JDM模式的云数智转型

浪潮电子信息产业股份有限公司(以下简称“浪潮信息”)作为IT基础设施产品、方案和服务提供商,拥有8个研发中心、10个生产基地、26个分支机构,业务遍及120多个国家和地区。在为行业企业提供算力基础设施的同时,浪潮信息也在推动企业自身的数字化云数智转型。

在生产环节,智能化装配领域,一方面,企业广泛引入5G+智能装配、5G+智能巡检、5G+工业视觉质检平台、5G+AR远程协作方案、物联网、数字孪生等设备和技術,解决物料信息采集、过程力反馈控制等技术难题,并创造数字孪生技术在部件装配领域的虚拟现实技术突破与首个应用落地案例,另一方面,将数字化工艺系统与APO、PLM、MES深度融合,应用模块化BOM数据,自动识别工艺位置和安装逻辑,下单即完成工艺的自动化解析,实现由粗放化向精细化、透明化的工艺变革。相比于传统生产方式,制造人员配备减少了50%,生产效率提升了30%,产能提升了近4倍。

在供应链环节,浪潮信息以工业互联网为基础构建云数智供应链平台,构建数字化合作伙伴生态协同体系。例如,企业利用AI、云计算、边缘计算、数字孪生、大数据等技术,运用Heuristics启发式、Optimizer优化器、CTM能力匹配等算法及模型构建供应链计划大脑智能引擎,完成智能合同管理、智能物料补货、智能排产、智能物流调度等智能化应用。再如,企业利用数字孪生、大数据、AI、云计算、边缘计算等技术构建智能商业分析平台,开发市场预测、采购、库存控制塔、进出口、信用贷款、生产、质量、供销平衡等大数据智能分析和决策辅助工具。基于这些实践,浪潮信息交付周期从10天缩短至6天,月度可节约工时43000+。实现信息获取效率提升9倍,库龄减少30天,整体交付周期缩短30%,避免呆滞20亿,保障突发订单50亿,按需交付率提升10个百分点至96%。

在运营环节,浪潮信息针对服务全场景进行AI深度赋能,打造全链条统一的智能化服务生态。例如,智能客服方面持续迭代大模型,引入混合神经网络MixedNN预测模型,实现连续回合对话且拟人对话的仿真数字人;智能在线管理方面以SaaS服务为媒介,基于在线设备状态数据,结合百万次现场维护经验,融合GAN、XGBoost、PCCs等算法搭建智能诊断、智能预测等最优模型,持续进行设备状态监控与预测性分析,全面实现预测性主动服务;智能服务调度和智能备件供应链方面,持续优化Croston模型以及纠错、分区、排线等智能算法,力争实现无人值守运营;智能服务现场方面,利用智能AR眼镜及数字孪生技术等技術,实现服务现场-后台研发-上游伙伴多方云端会诊,打造故障零距离式的虚拟现场服务,提升问题即时解决效率。浪潮信息基于这些探索,实现全链条统一的智能化服务生态,服务运营成本降低20%。

<sup>①</sup>IDC,浪潮信息:《2022-2023中国人工智能计算力发展评估报告》,2022。



## 宝钢股份:智能铁水运输系统实现钢铁界面智能化

钢铁工业作为国民经济的基础产业,为经济社会发展建设做出了重要贡献。当前,钢铁企业积极推进数字化、智能化等新一代信息通信技术与钢铁制造全流程的深度融合。宝山钢铁股份有限公司(以下简称“宝钢股份”)是宝武集团旗下的最大钢铁股份公司。2015年起,宝钢股份全面开展全流程智能制造工作,结合各类新技术发展趋势和钢铁行业特征,重点围绕智能装备与感知、生产过程控制、全流程质量管控、智能决策等方面进行创新,实现生产作业与过程控制的自动化、全流程质量的数字化管控、生产制造及供应链决策智能化。

为实现铁钢界面数字化管控、上下游工序智慧协同生产,2021年12月,宝钢股份自主研发、实施了全球首套智能铁水运输系统(简称SmartHIT)。系统突破传统的鱼雷罐混铁车使用机车火车头牵引的运行方式,首次研制具备纯电力自驱动装置的灵巧鱼雷罐车(简称SmartTPC),无人驾驶自动运行,无需等待牵引机车,实现“需要才开、满罐即走”,可使单台鱼雷罐混铁车周转率提高2.5倍,有效减缓铁水降温和燃油消耗。

同时该系统以铁路微机联锁系统为基础,结合宝钢液态高温铁水运输安全性、及时性等特殊要求,开发SmartRail子系统,实现自动进路、全自动充电、全场景设备状态监控等智能无人场景应用,可安全感知铁路线路和道口系统,保障了对SmartTPC的安全控制和高效运行。

智能铁水运输系统SmartHIT采用基于工业互联网架构的宝联登平台来构建云边端一体化的全场景生产管控系统,以大数据集成为数据支撑、智能化的管控模型为控制中枢、全图形化操作应用为核心UI界面,赋能钢铁厂生产制造流程的数字化转型和智能化升级,契合当前“智能化、节能化、环保化”时代发展要求。此外,该系统结合物联网识别(RFID、格雷母线、激光等技术)、卫星定位、视频AI识别、eLTE网络、大数据建模等技术进行应用创新。

该系统投用企业的混铁车周转率平均达6.5以上、铁水温降损失减少20°C以上、每年可节约标煤4000吨、减少二氧化碳排放量11万吨、产生经济效益近5000万元/年,为智慧制造的铁水物流运输树立了标杆,具有推广应用的示范效应。

## ■ 医疗医药行业:算力助力医疗模式升级和医药研发

目前新型计算技术与医疗、医药领域交叉发展,正加速改变整个医疗医药行业。在医疗领域,算力服务的引入正在加速医疗行业由传统医疗模式向互联网医疗模式的转型进程,大数据、云服务、人工智能等数字技术的应用促使疾病诊断和治疗的模式发生转变,带动医疗行业信息化的全面升级。在医药领域,算力服务的应用深化也正在促进医药研发、基因工程等需要庞大数据支撑的科研活动的进行,通过临床数据结合算力进行模拟,加速相关科研项目的研发进程,获取更加精确的实验数据结果。此外,医药行业也在积极推动智能供应链管理,通过应用各类新技术,对药品的生产、存储、运输、销售等环节进行实时监控、优化和追溯,提高供应链的效率,确保药品的质量和安全。

在人工智能的应用方面,结合IDC在人工智能(AI)加速服务器方面的统计数据来看,当前医疗行业整体对人工智能加速服务器的需求规模相对较小,目前只有较小规模的医疗人员参与人工智能应用的开发,应用场景主要包含了电子病历的文字识别与知识图谱、医疗影像的辅助筛查与识别以及生物医药的数据计算与挖掘等。

未来,人工智能技术在医疗服务领域具有巨大潜力,在医学影像、辅助诊断、药物研发、健康管理、疾病预测、医院管理、虚拟助理、医疗机器人和医学研究平台等场景将展开深度应用。例如,在药品研发领域,通过对生物学数据挖掘分析、模拟计算,以及仿真临床试验等,提升新药物的发现效率,推进开发高价值首创新药的研发进程、提升临床试验成功率。由于医疗医药行业的特殊性,在技术应用、流程重构、商业模式创新,以及新的产业形态形成的过程中,还需要相关政策法规及管理制度的同步升级。

## 【企业案例】

### 广州医药:智能化应用加速药品流通高质量发展

医药流通行业是国家医药卫生事业和健康产业的重要组成部分。广州医药股份有限公司(以下简称“广州医药”)是以医药供应链服务为主导的医药流通企业。为满足未来广东10年千亿(1000亿)销售规模配套的物流业务,广州医药在2021年正式启用了广州医药智慧物流中心。物流中心在两年多的运营过程中不断优化升级,通过智能软硬件、物联网、智能算法等技术手段,提高了物流系统智能化分析决策和自动化操作执行能力,实现医药物流各环节动态化、精细化、可视化管理。

为提高仓库规划和建设的合理性和科学性,广州医药智慧物流中心引入人工智能智慧仓储三维流程仿真系统,该系统基于人工智能及智能算法技术,实现对物流仓库作业的建模、仿真、流量瓶颈检测、运营效率分析,以及智能模型参数调优,逐步优化物流仓库中心的布局方案及流线设计,得出最优的智能高效物流仓储规划方案。

医药行业容错率很低,为满足医药行业无差错拣选的需求,广州医药智慧物流中心引入机器人视觉拣货、五方扫描智能识别系统、在线读码系统、影像复核系统等。例如,3D视频拆垛机器人在大模型加持下能实现多品规药品的轻松识别;再如,影像复核系统通过模型多层部署推理机制,不仅可以识别药品细微差别,而且保证整个系统的响应速度,提高识别效率,实现药品高精度复核,无差错拣选。

物流中心引入EWM仓库管理系统对拣选面动态管理,实现敏捷的货位调整,最大化适配作业订单特性需求。EWM将周期性通过EIQ分析计算拣选频率靠前的A类品种,优先安排在拣选面位置存放,并根据EIQ的分析结果不断微调拣选面品种;EWM可根据对业务订单进行智能算法分析,将需存放与拣选面的品种货位进行调整,频率高的品种置于最近作业人员的位置,以缩短人员行走距离,节约拣货时间。

不同的药品及医疗器械有不同的储存要求,广州医药智慧物流中心还搭建了多温区温控商品管理平台,采用温湿度感知设备、通讯模块等设备与物联网监控平台互联互通,组成具备动态监控、在线管理、数据分析、远程报警、联动控制等功能的远程管理系统,实现不同地域、不同环境的温湿度情况监管作业,远程在线一体化监控管理。

目前,广州医药智慧物流中心日最大处理订单20万行、日最大收发药品10万件,实现全省终端配送4小时服务响应目标,支撑每年900亿药品配送规模,年吞吐能力达到2400万箱,成为华南地区网络最全、服务最优、地位领先的现代医药物流枢纽。



## ■ 电信行业:加速算力网络建设,助力行业数字化转型

在算力产业中,电信运营商们是推动算力网络建设的主力军,算力相关技术已成为电信行业不可或缺的重要技术。5G技术的应用丰富了电信行业在各产业之中的应用场景,以算力服务为支撑进行数据分析和网络优化进一步提升了电信行业的生产效率。

当前,三大运营商积极参与国家“东数西算”工程,搭建泛在算力基础设施体系。过去几年,运营商都将算力基建作为今后资本开支的重点来确定,纷纷加大算力基础设施的建设。同时,运营商也在积极构建AI算法平台,推出通用及行业大模型,打造智算资源调度和服务平台,助推算力广泛应用,赋能千行百业数字化转型,并积极组建联盟来做大算力生态。

此外,三大运营商云业务营收在2022年均实现了超过一倍的增长,其各自的云业务也在向算力网络方向升级,建设算网基础设施保,构建“连接+算力+能力”新型信息服务体系,引领算力网络从概念原型进入产业实践。

行业数字化改造提速也给运营商带来了巨大的成长空间。从IDC的AI加速服务器出货量数据来看,2019年至2020年电信行业对AI加速服务器的需求快速增加,2020年下半年AI加速服务器在电信行业的出货量相较于2019年上半年翻了3.5倍;从数据趋势来看,电信行业未来对智能算力的需求空间依旧存在较大潜力,需求增速迅猛。

### 【企业案例】

#### 中移物联网:云上物联赋智,构建电信业新一代网络费控平台

随着全球站点和频段数进一步扩大,运营商面临业务多元化发展和网络成本精细化管控的双向挑战。为积极应对新时代、新业务、新场景下对网络成本科学管理的新挑战,中移物联网公司近几年以数智化赋能降本增效和风险防控为信息化建设目标,同各应用单位逐年一同开展了业财风控、网络运维等相关的组织、流程、平台多方面的数智化工作。

这一项目以东数西算工程为代表的云基础设施(呼和浩特数据中心)为载体,规划设计了新一代全国型高效能治理、高科技引擎的面向电信业网络成本管理的费控体系及数智化管理平台,在大数据、人工智能、算力应用、云能力等领域充分发挥了运营商算网融合的先天气势。平台通过集约化的云基础设施和云技术架构,降低了各项数字化技术的融合应用难度,避免企业集中化管理效能从中心到边缘的“衰退”效应,实现“一平台两级用好”的长期系统目标。

此外,平台有效地融合了物联网、大数据、人工智能等多项数字化技术,按照统一管理标准和技术标准向用户提供易于使用、易于拓展的企业管理应用,同时积极推动全国各级数据策略化上云,在统一的云资源池上分级构建多级资源池,分别用于全国标准化应用和各省属地化数据创新试点,这种模式有效平衡了局部创新和全局统筹的难题。

作为平台的主要研发承建单位,中移物联网公司同全国各省公司共同推动可持续化运营。例如,中移物联网公司和内蒙古

公司在多个管理场景联合创新,积极应用物联能力和云能力,解决电信业历年网络成本管理难题。在对费用的过程管理中,平台应用物联网泛接入能力,广泛感知企业经营业务中“物和业务”的真实情况(资源资产实际信息、基站机房实际耗能、运维现场作业等),并按照企业行业所在的费用管理特点,同原业财信息交叉验证以及早识别潜在风险、积极应对。双方通过平台这一载体,有效地将管理场景创新和财务、战略、业务和审计等多部门的管理目标有效结合;在对费用的评估分析中主要应用基于云能力的大数据智能搜索能力,创新自研了内置电信业网络成本管理知识的分析机器人,以管理人员提问为分析的入口,数据结论可视化为分析的出口,持续释放管理团队人力资源,为生产运营管理一线“赋能减负”。

目前,该平台每日自动化运行超百余项风控模型和分析指标,帮助企业及时、精准地定位费用风险、管理过程、拉通流程,从而切实地推进了费用的前置业务(网络规划、建设、优化及维护)精益管理,阶段性实现了业财融合的价值,总体在保障网络质量的基础上实现了亿元级降本增效。

## ■ 能源行业:支撑新型能源互联网建设

能源行业的转型升级是助力碳达峰、碳中和目标实现的重要一环。传统能源行业转型升级的一个重要路径就是数字化和智能化。

能源行业是数字化成熟度相对较低的行业。一方面,能源行业是一个非常复杂的庞大系统,涉及到大量的设备和数据。数据采集和传输难度较大,需要克服许多技术难题。另一方面,能源行业数字化转型需要大量的投资成本,且对于保障能源系统的安全性和稳定性的要求更高,需要更高的网络安全防护能力和风险管理水平。

近年来,传统能源行业纷纷借助数字化转型降低资源消耗,提高生产力和经营效益。煤炭、油气、电力等能源行业根据不同的需求和发展条件,在提高生产工艺、降低成本、提高效率、增加安全性等方面,积极探索数字化技术应用和产业数字化改造,在包括研发设计、生产制造、运维管理、能耗监测、风险预警,消费服务等各个环节的应用和融合越来越深入。

从IDC的统计数据来看,2019年至2022年能源行业对AI加速服务器的需求快速增加,整体出货量保持稳定增长。从需求增长率的计算结果来看,2019年至2020年能源行业的智能算力的需求增长率波动性较大,2020年之后需求增长率基本保持在40%附近逐渐稳定,基本实现稳定增长<sup>①</sup>。

以油气领域为例,当前自动化、数字化建设在大型油气田企业中都得到了不同程度的实施。从勘探和开发、生产运营、炼化和销售到油气安全和环保,都需要实时监控、优化调度、应急响应等复杂计算和管理的场景。这些都需要强大、高效的算力支撑。具体地说,企业可利用各种传感和计算设备,收集、汇总、分析油气井、管道、油气处理、加工、储运设备的多种数据,帮助企业提升远程监控、资产跟踪管理和远程服务水平,提高产量和设备效率,进行管道、设备等预测性维护、降低员工安全作业风险。

<sup>①</sup>数据来源于IDC。年均增长率采用复合增长率的计算方式,由研究团队根据原始数据计算得出。

## 【典型案例】

### 气电集团:驱动全产业链数字化转型

中海石油气电集团有限责任公司(简称“气电集团”)是中国最大的液化天然气进口运营商。因全产业链业务领域涉及液化天然气接收站、天然气发电、天然气管网、天然气加注、天然气贸易销售等,产业链较长,气电集团一直以来存在信息化部署难、一体化整体运营难度大等挑战。

为解决这些难题,2021年起,气电集团聚焦天然气能源行业运行监测管理、人员与设施安全管理等核心需求,通过物联网、大数据、智能硬件等新兴技术与产品,构建覆盖液化天然气接收站、电厂、管道、城市燃气、加注等业务板块的物联采集平台,目前已实现内外部关键生产数据采集和汇聚,实时掌握生产现场运行状态。这也是国内天然气领域物联网服务平台首次实现北斗短报文在能源领域的成功应用,体现了“北斗+物联网”技术特色。

基于气电集团自研的北斗物联网设备在安装,平台实现了关键业务数据统一监控,覆盖液化天然气全产业链的数据应用,包括接收站储罐实时数据、罐存数据等;电厂板块各机组运行状态,关键设施运行状态数据等;管道板块各综合站、阀室、分输站设备状态数据等;各加注站储罐状态、各加注机设备状态,各站点生产实时数据等;城燃板块各门站设备运行状态、门站进气量累计、各企业输气量累计数据等。

此外,平台还接入外部行业数据,如融会行业内外数据资源,车、船、码头、航道等交通大数据、天然气行业重要市场数据资源等。依托交通大数据,平台目前构建了涵盖全国2.4万辆槽车、2万+用气终端、700+LNG运输船、600万+重卡、30000+内河船舶的市场数据库,日数据更新量超过1亿条。例如,北斗能源物联网平台通过对国道等交通干线车流量分析,加气站点选址的精确性显著提升;通过对珠江水域船只流量分析,为绿色航运项目船舶加注选址提供科学的数据支撑依据。

目前,团队已全面建成基于北斗技术天然气领域能源物联网平台。未来,气电集团计划将物联网平台升级为行业级能源物联网平台,进一步扩大数据接入类型与规模,实现油、气、电等能源领域的“产、储、运、销、供”全要素、全链条数据信息的泛在互联,建设完成能源物联大数据中心。

## ■ 交通运输行业:加速推动交通智能化

基于算力网络的智慧交通是一个极为复杂的信息交互场景。我国的智慧交通体系建设目前仍处于起步阶段。交通行业数字化转型的方向主要包括智能化交通基础设施、平台化运营管理、自动驾驶等。

以无人驾驶为例,当前无人驾驶已大量应用于园区接驳车、清扫车,干线物流车乃至工业用车等各类交通运输场景,需要道路无人驾驶感知融合技术、规模化运营智能调度技术及智能协同控制技术,匹配高满足自动驾驶高计算性能的无人驾驶计算平台。无人驾驶车辆的运行数据、路侧监控数据、移动目标数据等被实时采集后,需要经无线网络,交互至基于

边缘计算的分布式算力单元,结合高精度地图,进行数据融合分析。随着5G时代的到来,边缘计算成为自动驾驶系统中新的业务增长点。

此外,人工智能在交通运输、交通管理范畴的运用正在变得越来越普遍。例如,人工智能在智慧物流的仓储、转运、分拣、客服等方面已有广泛应用,推动企业建立智慧物流服务系统,提升经营管理效率。再如,在智慧交通领域,人工智能技术的一个重要应用是通过对车辆和路况数据的分析预测,实时进行交通智能调度和控制,提高交通网络的运行效率。

从IDC相关统计数据来看,交通运输行业对AI加速服务器的出货量波动性较为明显,2019年至2020年间的AI加速服务器出货量激增,但2021年出货量有所下降;2021年下半年开始交通运输行业对AI加速服务器的需求逐渐回升。从需求增长率的计算结果来看,交通运输行业对智能算力的需求呈现波动上升的趋势,伴随人工智能在交通运输行业应用深度和应用广度的扩大,行业整体对智能算力的需求将实现稳步增长。

## 【典型案例】

### 广东省机场集团物流:无人驾驶融入机场物流体系

广东省机场集团物流有限公司是亚太地区最大航空运输企业之一,为解决伴随业务增长而凸显的传统运输业务模式问题,提升自身航空物流综合能力、效益以及响应行业数字化转型的政策方针,广东省机场集团物流有限公司引入驭势科技的无人驾驶牵引车,开展国内、国际货物的进、出港货物运输,覆盖室内及室外不同作业环境,通过引入无人驾驶技术打造现代化、智能化、数字化的大型国际空港智慧物流园区,从而为民航业提供更加最优质的物流服务。

在实际运营场景中,无人驾驶牵引车搭载激光雷达、DGPS和摄像头等多类传感器,可以完成在货物过磅区的自主精准停靠,待货物顺利完成过磅后自主启动并完成全流程作业。在遇到安检闸口时,无人驾驶牵引车还能自主列队,待货物检查完毕后自主通过并完成剩余货流程。

目前,项目中无人驾驶牵引车的“高精度多源定位融合算法技术”,突破了在复杂环境下的高鲁棒性厘米级精准定位,实现了对高安全多场景L4级自动驾驶系统的技术突破。此外,多车协同系统及轻量级多车智能驾驶仿真系统,满足了物流运输场景部署时间快、成本低的要求。

使用无人驾驶牵引车代替人工驾驶,广东省机场集团物流有限公司在降低人力和管理成本的同时,提升了货物运输的安全性。截至2022年9月,无人驾驶牵引车累积行驶里程超3700公里,带货总重量约30000吨,其中,国际线路运输货物超8500板,国内线路运营货物超2000板,运营服务航班超1000架次。

# 行动建议

算力之所以被视为推动经济高质量发展的重要引擎,是因为其作为数字经济的核心生产要素,对一国经济的长期增长具有长期正向的拉动作用。从产业生命周期视角来看,当前我国算力相关产业的发展整体上处于成长期,与算力紧密相关的新一代信息技术应用正在走向成熟和稳定,算力产品和服务开始呈现出多样化、差异化特点,算力相关产业吸引大量厂商和投资者进入,产业集中度正在提高之中,高资金投入、高培育风险、高投资回报的产业特征较为明显。立足于此,当前及未来一段时间,中国需要大力推进算力,尤其是高质量算力的建设,推动算力向高算效、高效率、可持续、可获得、可评估的方向发展,实现经济社会高质量发展。

**高算效:**面向不同应用场景实测性能与资源利用率的双重提升。

**高效率:**在最低碳排放前提下实现最大化算力输出。

**可持续:**供应链完备、技术兼容、服务可替代。

**可获得:**普适应用场景、普惠使用成本。

**可评估:**准确、有效评估和比较不同硬件或系统的计算能力特性。

把握算力投资短期与中长期需求变化,以系统设计为核心,全面提升算效

算力资本和算力服务的初始投资的边际生产率较高,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会逐渐降低,直到形成长期稳态增长。立足于此,短期内我国在算力领域进行适度超前布局的同时,还需要从国家层面动态把握算力产品/服务的需求量和需求结构和算力相关产业结构匹配和协调的规律,立足长期发展,高度关注全国算力投资的整体统筹规划,加大对关键核心技术研发的扶持力度,避免出现因中长期算力供给中低端总量严重过剩而高端总量不足的情况,提前预知并部署解决在算力产品或服务的技术结构、产品结构上可能出现的不合理问题,同时关注算力中心整体资源的利用水平,即在较长时间周期内(如一年内)实际监测到的平均资源利用率,避免仅算力堆砌及大量资源闲置,着力减少算力大发展进程

中的资源浪费。此外,要从全局考量,除了关注理论上每秒运算次数以外,更应关注具体应用场景下实测性能,如单位时间内处理的Token数量、运行时延、模型训练时间、数据处理质量等指标。以应用为导向,以系统设计为核心,围绕算力的生产、聚合、调度、释放形成完整的体系,进一步提升算效。

## 进一步鼓励加大算力基础设施投入,关注算力全生命周期碳排放

算力投入与传统资本投入相互促进,加大对数据中心等算力基础设施的投资,可以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。这些效应能够提高一国生产物品和服务的能力,并提升数字经济在国民经济中的比重,最终促进GDP增长并提升经济发展水平。

从产业政策制定视角来看,在算力相关产业发展初期,政府需要采取合理的措施来鼓励和引导相关资源向算力领域聚集,包括制定明确的产业政策和规划,引导投资方向和规模,并通过提供财政支持、税收优惠、贷款贴息等政策,鼓励企业和投资者将资金投入算力产业领域;加大对核心技术产业化的政策支持力度,制定产业扶持政策,明确支持算力产业核心技术领域的发展方向和目标;制定研发经费补助、税收优惠、技术创新奖励等财政补贴和奖励计划,鼓励算力企业加大对核心技术开发和产业化的投入。为推动算力相关产业的健康发展,在加大算力投入的同时,企业应关注绿色采购、绿色设计、清洁生产、绿色包装和运输、绿色运营、回收处理的算力全生命周期碳排放,持续挖掘节能潜力,推进全产业链节能减排。

## 标准开放促进生态繁荣,实现算力可持续

随着人工智能、机器学习、深度学习等技术的快速发展,对计算能力的要求越来越高。这些技术需要进行大量的计算和数据处理,而现有的单一算力已经无法满足,需要积极推动先进技术标准的制定,完善核心部件、专用芯片、电子元器件、基础软件、应用软件全产业链生态,各生态参与方紧密合作,协同创新,加强技术交流和合作,持续优化产业链布局,大幅提升高质量算力、高质量数据供给支撑能力。此外,推动技术的分层解耦和标准开放,同时消除单一技术路线依赖,从而推动算力技术向“前”兼容,向“后”持续迭代升级,实现算力可持续。

## 算力层面上的数实融合应更侧重于实体经济



算力服务的生产本质上依然是算力资本的投入问题。根据模型分析结果，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之间会存在一个比例分配，从而达到算力资本和算力服务的优化配置。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，经过优化配置后不会产生冗余的算力服务，能够实现算力服务的供需均衡。

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。从产业数字化转型的角度来看，实体经济的数字化转型所创造出的新兴数字需求，开辟了数字经济产业新业态，推动了数字经济的持续发展。因此，算力层面上的数实融合应更侧重于推动实体经济发展。

## 加快推动传统企业数字化转型

数字化转型是传统产业实现质量变革、效率变革、动力变革的重要途径。各行业的数字化转型需要完善的基础设施支持。政府部门可以加强数字化基础设施建设，为传统企业数字化转型提供支撑。同时，政府部门可以制定相关鼓励政策，例如提供财政支持、税收优惠等，以降低传统企业进行数字化改造的成本；设立数字化转型专项资金，加大对传统行业数字化改造的投资力度。还可以选取一些在数字化转型方面做得比较好的企业，建立数字化转型示范基地，通过实地考察、经验分享等方式，引导其他传统企业进行数字化转型。

在传统行业中，相比于大型企业，中小企业数字化、网络化和智能化的基础普遍薄弱，在转型升级时面临更大的试错成本和风险，比如高成本制约、人才储备不足等难题现实地摆在眼前。因此，充分释放中小企业的创造力和生产力需要把算力的使用成本和门槛降下来作为首要任务，需要在面向中小企业提供普惠的算力资源和服务的同时，针对中小企业数字化转型资金、人才和技术等方面的重点问题精准施策，从人才储备、数据集成、平台赋能、产业链协同等方面创新路径，引导中小企业规划适合自身特点和发展需求的转型路径，加快推进中小企业的数字化转型。

# 参考资料

[1]蒋升阳,钟自炜,喻思南,邓剑洋.共赴数字之约 描绘数字未来[N/OL].人民网,中国共产党新闻网,2023年4月30日,<http://cpc.people.com.cn/n1/2023/0430/c64387-32676492.html>

[2]国家统计局.数字经济及其核心产业统计分类(2021)[R/OL].中华人民共和国中央人民政府网站,2021年5月27日,[http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content\\_5625996.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5625996.htm)

[3]王定祥,吴炜华,李伶俐.数字经济和实体经济融合发展的模式及机制分析[J].改革,2023(07):90-104.

[4]中国新闻网.国新办举行介绍2022年工业和信息化发展情况新闻发布会[R/OL].2023年1月18日,<https://www.chinanews.com/shipin/spfts/20230117/4604.shtml>

[5]王明卿,王玲,王海燕.美国联邦政府数据中心建设经验及对我国的启示[J].全球科技经济瞭望,2022,37(10):9-16+24.

[6]刁生富,彭钰舒.新基建背景下我国数据中心建设的问题与对策[J].中国管理信息化,2022,25(15):101-103.

[7]陈健,陈志.从规模增长走向价值增长——新基建背景下大数据中心产业发展的问题与思考[J].科技中国,2021, No.283(04):60-63.

[8]何宝宏.构建更高质量的新型数据中心产业生态[J].中国电信业,2021(S1):1-4.

[9]樊轶侠,孙怡乐,彭聪.“新基建”浪潮下数据中心产业发展痛点及相关政策思路[J].财会月刊,2021, No.897(05):128-133.DOI:10.19641/j.cnki.42-1290/f.2021.05.019.

[10]唐卓.“东数西算”战略布局的重大意义[J].人民论坛,2022,(15).

[11]杨晶,李哲.大国博弈背景下加强我国数据资源布局的思考[J].全球科技经济瞭望,2022,37(09):43-47.

[12]李直,吴越.数据要素市场培育与数字经济发展——基于政治经济学的视角[J].学术研究,2021,(7).



[13]孙凝晖,张云泉,张福波.算力的英文如何翻译?[J].中国计算机学会通讯,2022,18(8)

[14]任保平,李培伟.以数字经济和实体经济深度融合推进新型工业化[J/OL].东北财经大学学报:1-10[2023-11-07].

[15]王于鹤,王娟,邓良辰.“双碳”目标下,能源行业数字化转型的思考与建议[J].中国能源,2021,43(10):47-52.

[16]盛戈峰,钱勇,罗林根等.面向新型电力系统的数字化电力设备关键技术及其发展趋势[J].高电压技术,2023,49(05).

[17]赵浩,毛开江,曲业明等.我国露天煤矿无人驾驶及新能源卡车发展现状与关键技术[J].中国煤炭,2021,47(04):45-50.

# 附录:包含算力生产要素的内生增长模型

本研究在借鉴Romer (1990) 和Neil C. Thompson等(2022)的内生经济增长模型的基础上,构建了一个包含算力生产要素的三部门封闭经济内生增长模型:家庭部门居民,生产算力服务的中间品生产厂商,以及生产最终商品的最终品厂商。其中,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。

在此三部门经济体中,假设生产要素仅包含资本要素,分类为算力资本和非算力资本,生产算力服务的中间品厂商租赁算力资本提供算力服务;生产最终品的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。

## ■ 模型设定

### (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)<sup>①</sup>。

#### 1. 最终产品厂商

面临完全竞争市场中作为价格接受者的最终品厂商可以使用一个代表性厂商来表示。假设最终品厂商生产函数为柯布-道格拉斯函数(Cobb-Douglas Function),可以讲最终品厂商的生产函数表示为以下形式:

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

其中,  $t$  表示时间的变量,  $Y_t$  表示在时刻下最终产品的产出量,  $A_t$  表示在  $t$  时刻下的外生技术创新水平;  $\bar{H}$  为封闭经济体中的算力资本平均存量,  $K_t$  表示  $t$  时刻下生产最终品所使用的物资资本量,  $(\bar{H} K_t)$  用以表示经济体中的算力资本对非算力

<sup>①</sup>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的无法获取超额利润,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。

资本所产生的协同效应;  $H_t$  表示  $t$  时刻下生产最终品所使用的算力资本量,  $X_t$  表示  $t$  时刻下生产最终品所使用的算力服务; 参数  $\{\alpha, \beta, (1-\alpha-\beta)\} \in (0,1)$  分别表示非算力资本、算力资本、算力服务的产出弹性。

生产函数中同时体现了算力资本的协同效应和互补替代效应, 对算力资本求偏导数可以得出算力资本的边际生产率为:

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

从上式中可知, 伴随算力资本的不断积累, 经济体中的算力资本平均存量不断增加,  $(\bar{H}K_t)$  所产生的协同效应不断增加; 由于  $\beta \in (0,1)$ , 即  $\beta-1 < 0$ , 算力资本的边际生产率递减, 满足稻田条件 (Inada Conditions)<sup>①</sup>, 因此可知算力资本与非算力资本对经济增长的影响机制类似, 即当算力资本投资总量较少时, 算力资本的边际生产率较高, 而算力资本的不断积累, 其边际生产率也不断降低, 最终算力资本的边际生产率收敛至零, 经济实现稳态增长。

同样, 对算力服务求偏导数可以得出算力服务的边际生产率为:

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

从上式中可知, 算力服务的边际生产率递减, 同样满足稻田条件 (Inada Conditions), 因此可知当算力服务投入生产较少时, 算力服务的边际生产率较高, 而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。

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, 单位生产要素的非算力资本、算力资本和算力服务—最终产品价格为单位的价格, 即非算力资本的租赁价格为实际利率  $\gamma$ , 算力资本的租赁价格为  $\omega$ , 算力服务的租赁价格为  $\rho x$ 。

根据完全竞争市场中最终品厂商的利润最大化问题可以求得最终品厂商对非算力资本、算力资本和算力服务的需求函数。

## 2. 中间品厂商

对于生产算力服务的中间品厂商而言, 由于生产产品的独占性, 本文假设中间品厂商处于垄断市场, 其根据最终品厂商对算力服务的需求来租赁算力资本用以生产满足最终品生产的算力服务。假设算力资本产出算力服务的产出系数为  $1/\eta$ , 设定其生产函数形式为:

<sup>①</sup>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。

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

其中,  $X_t$  为  $t$  时刻下最终品厂商对算力服务的需求,  $H_X$  为  $t$  时刻下为满足算力服务需求所需要投入的算力资本。对中间品厂商而言, 租赁算力资本的价格与最终品厂商租赁算力资本的价格相等, 否则对于家庭部门的居民而言存在资本套利机会。根据垄断市场的厂商定价准则 (边际利润等于边际成本), 可以求得算力服务的单位租赁成本为:

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

其中,  $\omega$  为算力资本的单位租赁价格。

## (二) 家庭部门

对于本模型中, 家庭部门的居民属于消费和储蓄部门。最终产品的一部分用于居民的消费 ( $C_t$ ), 未被消费的部分用于储蓄转化为投资 ( $I_t$ ), 即  $Y_t = C_t + I_t$ 。在总投资中, 假设用于算力资本的投资比重为  $\tau$  ( $0 < \tau < 1$ ), 用于非算力资本投资的比重为  $(1 - \tau)$ 。在算力资本投资中, 用于中间品厂商生产算力服务租赁的算力资本的比重为  $\gamma$  ( $0 < \gamma < 1$ ), 用于最终厂商进行生产最终品租赁的算力资本的比重为  $(1 - \gamma)$ 。因此算力资本的总量为  $HT = H_t + H_X = \tau I_t$ , 物资资本的总量为  $K_t = (1 - \gamma) I_t$ 。

根据生产算力服务的中间品厂商与生产最终商品的最终品厂商对算力资本的需求可得:

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

上式结果表明, 当经济处于稳态情况下算力资本会根据上述比例自动进行分配, 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化问题。

假设资本的折旧率为  $\delta$  ( $0 < \delta < 1$ ), 那么非算力资本、算力资本总量的资本预算约束条件为:

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

居民通过消费来获得效用 (Utility)。假设居民为经济理性人 (Rational Individuals), 通过消费来实现效用的最大化问题。本文假设居民通过消费获得的效用函数 (Utility Function) 为:

$$u(C_t) = \frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma}$$

其中, 参数 $\sigma \in [0, \infty)$ 为相对风险规避系数, 该效用函数的相对风险规避系数为常数 $\sigma$ ;  $C_t$ 为 $t$ 时刻下的家庭单位的居民消费总量。

根据本文模型的设计, 在时刻 $t$ 没有被消费的最终产品转化为储蓄投资进入到新的生产过程中, 一部分投资用于投资算力资本, 进入算力服务生产的中间品厂商和最终品生产的最终品厂商中; 另一部分投资用于投资非算力资本。

居民面临的效用最大化问题可以写为:

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

其中,  $\rho$ 为效用折现率,  $e$ 为自然对数。该效用最大化问题表示从 $0$ 时刻开始到无限时刻的效用折现最大化, 消费 $C_t$ 为控制变量 (Control Variable), 非算力资本 $K_t$ 和算力资本总量 $H_t$ 为状态变量 (State Variable)。

## ■ 模型求解

通过求解该模型可得在经济稳态情况下, 经济增长率与算力资本增长率保持一致,

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

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

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

从上式可知, 当算力资本的租赁价格 $\omega$ 与实际利率 $r$ 的关系满足:  $\omega > \frac{\beta + (1-\alpha-\beta)^2}{\alpha} r$ 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。

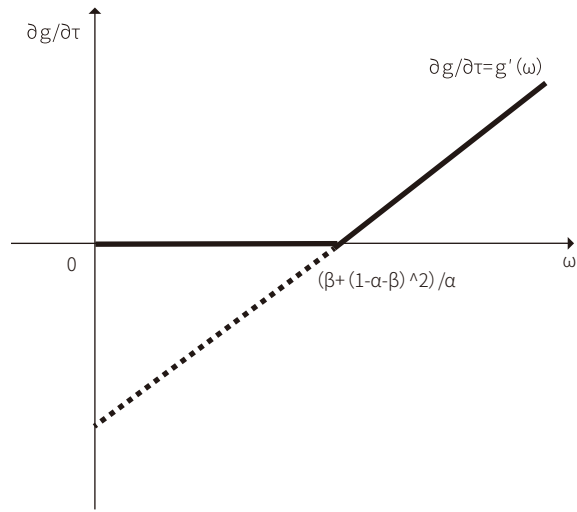


图7 经济增长率与算力资本投资比重的关系

注：研究团队根据模型结果绘制。

