

# 长三角国家算力枢纽节点赋能制造业数字化转型的机理与路径

刘业政<sup>1,2</sup>, 黄丽华<sup>3</sup>, 朱扬勇<sup>4</sup>, 孙见山<sup>1,5</sup>, 宋靖达<sup>1</sup>

1. 合肥工业大学管理学院, 安徽 合肥 230009;
2. 大数据流通与交易技术国家工程实验室, 上海 201203;
3. 复旦大学管理学院, 上海 200433;
4. 复旦大学计算机科学技术学院, 上海 200438;
5. 网络空间行为与管理安徽省哲学社会科学重点实验室, 安徽 合肥 230009

## 摘要

长三角作为先进制造业最集聚、发展基础最雄厚、创新型经济最活跃和最具潜力的国家级创新策源地,“东数西算”工程国家算力枢纽节点的建设,对加快推动长三角先进制造业实现升级转型具有重要意义。因此,结合当前制造业数字化转型过程中遇到的困境与问题,探寻长三角国家算力枢纽节点赋能制造业数字化转型的逻辑机理、现实挑战和实现路径,以期推动制造业转型升级和长三角区域一体化绿色高质量发展。

## 关键词

东数西算; 算力网络; 数据中心; 制造业转型升级; 数字化转型

中图分类号: F424, F49

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2023059

## *Mechanism and path of the national computing hub in the Yangtze River Delta enabling digital transformation of the manufacturing industry*

LIU Yezheng<sup>1,2</sup>, HUANG Lihua<sup>3</sup>, ZHU Yangyong<sup>4</sup>, SUN Jianshan<sup>1,5</sup>, SONG Jingda<sup>1</sup>

1. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China
2. National Engineering Laboratory for Big Data Distribution and Exchange Technologies, Shanghai 201203, China
3. School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China
4. School of Computer Science, Fudan University, Shanghai 200438, China
5. Key Laboratory of Philosophy and Social Sciences for Cyberspace Behaviour and Management, Hefei 230009, China

## Abstract

The Yangtze River Delta is the source of national innovation with the most concentrated advanced manufacturing industry, the solidest development foundation, and the most active and potential innovative economy. The construction

of a national computing hub node in the "Channel Computing Resources from the East to the West" project is great significance to accelerate the upgrading and transformation of the advanced manufacturing industry in the Yangtze River Delta. Therefore, this paper explored the logical mechanism, practical challenges and development path of the digital transformation of manufacturing industry enabled by the national computing hub node in the Yangtze River Delta based on the current difficulties and problems encountered in the digital transformation of the manufacturing industry, with a view to promoting the transformation and upgrading of manufacturing industry and the green and high-quality development of the Yangtze River Delta region.

### Key words

Channel Computing Resources from the East to the West, computing network, data center, transformation and upgrading of manufacturing industry, digital transformation

## 0 引言

2022年2月7日,国家发展改革委等部门正式同意在长三角地区启动建设国家算力网络枢纽节点,并在长三角生态绿色一体化发展示范区和芜湖分别规划设立了两个数据中心集群。长三角枢纽围绕这两个数据中心集群优化算力布局,积极承接长三角中心城市实时性算力需求,引导温冷业务向西部迁移,并构建长三角地区算力资源“一体协同、辐射全域”的发展格局<sup>[1]</sup>。此外,根据2022年3月上海市人民政府合作交流办公室发布的消息,长三角枢纽今后将被打造为面向长三角、辐射全国的信息港<sup>[2]</sup>。因此从地区角度来看,长三角枢纽需要满足区域内对海量规模数据的集中处理,以支撑工业互联网、远程医疗、金融证券、人工智能等高频实时交互型的业务需求。从全国角度来看,长三角枢纽围绕数据中心的集群化进行建设,可以推进东西部国家算力枢纽节点间、城市内部与周边区域间的数据中心协调发展,为参与构建高效、平衡、绿色的国家算力网络体系发挥示范和带动作用。

除了作为国家算力枢纽节点,长三角地区也是我国先进制造业发展高地。凭借其

自身的区位优势、丰富的科教科创资源,以及良好扎实的工业基础,长三角地区近年来一直加快产业数字化来赋能制造业,三省一市先后出台了相关政策文件,积极推动制造业转型升级。例如上海市发布了《上海市先进制造业发展“十四五”规划》,浙江省发布了《浙江省全球先进制造业基地建设“十四五”规划》,江苏省发布了《江苏省“十四五”制造业高质量发展规划》,安徽省则印发了《安徽省“十四五”制造业高质量发展(制造强省建设)规划》。这些举措极大地促进了长三角地区先进制造业集群的快速发展,孵化和培育了众多新兴产业,使其成为国家先进制造业集聚发展的中心区域。根据工信部公布的国家先进制造业集群名单显示,2021年长三角地区先进制造业集群上榜数量占全国总数的40%<sup>[3]</sup>。因此,长三角地区作为全国工业经济发展发达地区之一,其制造业今后进行数字化转型、智能化升级的趋势不会减弱,对新一代信息技术、工业互联网等数字化转型应用的需求也不会降低。长三角枢纽作为国家“东数西算”工程中提供超级算力的关键信息基础设施,将促进一体化制造业、算力算法、科技创新相融合,不断打造先进制造业中心。而长三角区域内的制造业企业势必也可以从这一发展进程中直接获益,从而加快长三角制造业转型升级。

综上所述,长三角建设全国一体化算力网络枢纽节点,是推进我国算力基础设施化的关键环节,同时也是国家数字化基础设施建设的重要组成部分。制造业作为实体经济的主体,采用加速产业数字化转型升级的方式,为推动制造业高端化、智能化、绿色化发展,实现实体经济的高质量、创新型发展注入新动能。因此,本文结合制造业数字化转型中存在的实际问题,试图剖析长三角国家算力枢纽节点赋能制造业数字化转型的逻辑机理,探究当前其在赋能制造业数字化转型过程中面临的挑战,并提出其赋能制造业数字化转型的实现路径。

## 1 制造业数字化转型中存在的问题

由于数字技术、网络技术、计算技术、安全技术的迭代发展,不断涌现出的先进技术被应用于制造业的各个领域,并且诞生了数字化设计、智能工厂、赋能中心、转型服务商等诸多新业态和新场景。随着先进技术在制造领域的加速渗透扩展,数字化转型对数据的采集精度、传输速度、存储空间、计算能力等方面的要求也不断提高。在此过程中,概括起来主要有先进数字技术应用浅层化、碎片化,跨行业、跨企业数据难以联通共享,制造业全链条上数字化转型的广度、深度规模不一,以及转型中产生的算力需求亟待满足等方面的问题。

### 1.1 先进数字技术应用浅层化、碎片化,数字化转型效果有限

先进数字技术作为数字化转型的重要因素,在推进制造业数字化转型的实际进程中,往往存在先进数字技术应用浅层

化、碎片化的问题,导致技术的落地应用与收益产出无法形成良性循环,从而限制了转型效果。已经开始实施数字化转型的企业也大多仅实现了传统信息技术、自动化技术的应用,先进数字技术渗透应用水平不高,数据要素价值潜力有待开发<sup>[4]</sup>。具体来说,一是由于工业设备种类繁多,应用场景复杂,数字技术建设和业务使用水平之间本身存在差异,导致贯穿生产制造全流程中的各要素、各环节未能实现动态感知,进而制约了工业设备数字化率和设备联网率的提升,使其不能及时、有效、真实地提取数据,并直接影响了数据采集的质量,最终导致生产车间出现生产数据不透明、产品不可追溯、设备利用率低下等问题。而纯度不够、价值不高的数据即便再进行分析处理,对先进数字技术的支持也将大打折扣。二是由于制造业数字化转型的整体技术架构能力不足,在推进数字化转型时采用的手段也比较单一,并且从事生产的工业产品大多集中在中低端市场,导致对先进数字技术实现推广复用的难度变高,最终导致技术应用所需的资本投入可能变得过大。这一点在高端工业软件、工业5G芯片、底层操作系统、平台开发工具等涉及基础应用产品的领域上体现得尤为明显。在与数字技术相关的核心基础零部件(元器件)、关键基础材料、先进基础工艺等方面自主化程度较低,是导致当前数字经济“大而不强、快而不优”的直接原因<sup>[5]</sup>。由于缺乏自主知识产权,国产化率低且大部分被国外垄断,使得相关产品对进口的依赖性较强而可替代选择较少。因此,在全产业链上实现先进数字技术应用,所需要的成本则相对较高。但是,如果只对产业链上某个环节应用先进数字技术赋能转型,而没有链上其他环节的配合加入,最终也无法实现有效的转型。

## 1.2 各类数据孤岛问题横生，数字化转型受到阻碍

制造业的数字化并非仅限于产品的加工制造环节和产品本身，而是包括制造组织全领域、产品生命周期全过程、供应链全链条以及商业生态等各方面的数字化<sup>[6]</sup>。那么，算力枢纽节点赋能制造业数字化转型的前提应该是整个产业链的数据要素实现高效流通，做到真正把数据“盘活”，让数据价值得到充分释放。然而，随着制造业的行业分工逐渐细化，产业生态逐渐多样化，导致其行业边界越来越模糊，行业门槛也开始逐渐降低，使得行业内部的竞争合作关系日趋复杂。由于产业层面多元制造主体数字化协同能力欠缺以及整体层面开放共享不够充分，制造业的数字化转型受到制约<sup>[7]</sup>。因此，在现实情况中，制造业转型面临的数据流通困境仍然严峻，“数据孤岛”问题仍然普遍存在。具体来说，生产制造过程中各业务系统缺乏统一的架构标准，产生的数据又分布在不同的应用系统上，使得统一化的数据标准规范难以落实；工业设备标准化数据协议普及率低且外部通信硬件接口形式多样，而不同设备采用的通信连接协议标准又不统一，并且数据接入的格式、标准、协议也各不相同，导致设备间通过异构工业网络实现信息共享和数据互联互通的难度较大；工业设备数据采集和传输过程的成本高、时延高，导致当面对不同的数字化应用需求任务时，无法对业务进行有效的整合分析，进而对后续数据的存储使用和分析处理造成壁垒；受限于工艺技术落后、生产效率低和管控能力弱等，设备、系统与平台之间的数据流通不畅，缺乏对产品信息全生命周期的数据管控，进而导致数据

在实时分析与科学决策方面难以发挥作用；产业链上下游之间具备的信息化和数字化水平程度不一致，使得针对各自生产制造流程提供的数据服务也存在很大差别，进而对产业上下游间进行的业务协作造成困难。

## 1.3 产业链内部数字化基础差距较大，数字化转型难度较大

沿着全产业链向各个环节、各个领域依次进行延伸，则企业为最小的节点单元。虽然行业整体数字化转型程度在逐年提高，但不同行业之间差别很大，大型企业的数字化进程比中型企业推进程度更高<sup>[8]</sup>。与处在智能化改造中的大型工厂不同，中小企业中的大多数仍处于数字化发展的初期阶段。企业进行数字化转型能够显著提升全要素生产率，而且资本密集型行业企业和民营企业能获得更大的生产率提升效应<sup>[9]</sup>。因此，产业链整体尚不具备较高的数字化水平，而且产业链上下游企业之间并未实现数据打通，不同层级的产业平台在服务功能方面还可能存在着交叉重叠和竞争关系，不能很好地发挥相互协作、相互补充的作用，自然也无法为算力枢纽节点赋能数字化转型进程提供数据支撑，使得算力枢纽节点难以在全产业链上实施赋能转型。具体来说，一是中小企业本身数字化基础薄弱，甚至很多中小企业暂时还不具备数字化能力，尤其是对设备、生产线、车间等的数字化改造升级不彻底，缺少覆盖产品全生命周期管理的数据链，导致一些共性技术不能及时落地应用，进而无法实现产品优化和效益提升；二是中小企业主要聚集在产业链的中低端，其本身供给能力的稳定性较差，再加上无法对企业的运行状态进行实时监测，如果受到来自产业链的被动挤压，则在短期内其

推进数字化转型的成本、技术门槛、部署业务量都将明显增加,使得其从节点枢纽数据中心获取资源和应用服务变得更加困难,容易在赋能与转型之间造成脱节,导致其与重点企业间的能力差距进一步拉大。

#### 1.4 多方算力需求亟待满足,数字化转型动能支撑较弱

当前制造领域企业正在运用其在技术、数据、平台等方面的优势,向生产制造、配套供应、运营物流等链条进行不断延伸,尝试探索数字化转型的模式。在此过程中,算力基础设施以提供算力资源的方式为数字化转型注入充沛动能。但是,在算力消费者与算力供应方之间却常常出现供需不对等,甚至供不应求的情况。具体来说,一是以大数据、人工智能、区块链为代表的新一代信息技术持续集成创新,而算力水平作为限制技术发展的牵引瓶颈,不仅能决定数据的存储和利用程度,还能影响算法模型训练部署及其转化应用的速度。因此在制造业领域,当面对越来越多的新兴应用场景时,将产生的海量数据从数据中心扩散至网络边缘,利用边缘节点和云服务器的共同协作来处理移动终端设备上的任务,成为提高通信和计算效率、避免算力资源浪费的有效手段<sup>[10]</sup>。二是信息技术与制造技术之间的深度交叉融合使得其在不断衍生出新的应用方向的同时,也在不断扩大算力业务的作用边界。依托传统基础设施和全国一体化大数据中心体系等的新型数字基础设施,算力业务的覆盖实现从软硬件、信息安全产品到产业平台资源要素的整合重构,并对算力应用服务的商业模式提出了多样化、个性化的挑战。例如在构建基于工业互联网平台的数字化转型过程中,生产过程控制、设备

实时监测与预测性维护、智能巡检等9类工业互联网智能应用场景,其中控制类的工业智能任务大部分对时延要求极高而对算力的要求不高,其他类的工业智能任务则有些对算力的要求很高<sup>[11]</sup>。因此,根据不同制造任务的要求,利用算力网络对计算资源和通信资源进行统一管理和运营,既要提升调度的智能化水平和算力服务效率,还要实现算力与生产制造的高效适配,以满足实际应用中对数据传输、存储和计算的需求。

## 2 长三角国家算力枢纽节点赋能制造业数字化转型的机理

截至2022年,我国规模以上工业企业关键工序数控化率达55.3%,数字化研发工具的普及率达74.7%,开展网络化协同的企业比例达38.8%<sup>[12]</sup>。当前,我国制造业的数字化和网络化水平正在不断提升,制造业数字化转型呈现出良好的发展态势。在“东数西算”工程全面实施的大背景下,长三角地区应充分利用地区枢纽节点优势,赋能制造业数字化转型,继续领跑我国制造业高质量发展。具体来看,长三角算力枢纽节点将通过完备制造业数字化转型的基础条件,以及加速助推制造业数字化转型进程这两方面发挥赋能效应。

### 2.1 算力枢纽节点完备制造业数字化转型基础条件

#### 2.1.1 算力网络对接制造业算力规模需求

在数字经济时代,数据成为新的生产要素,算力成为释放数据价值和推动数字化转型的关键驱动力。随着制造业各领域

中技术应用的加速落地, 万企千园的智能制造设备产生的数据将呈现爆发式增长的态势, 那么相应数据资源在存储、传输、计算、处理等方面的需求也将迅猛增长。在实施数字化转型的过程中, 不论是量大面广的中小微企业还是大型企业, 都面临缺数据的问题, 而数字化转型的核心是建立企业的数据能力, 主要体现在数据资产、数据员工、数据运用等方面<sup>[13]</sup>。通过推进公共算力基础设施的建设, 可以实现计算能力和计算效率的提升, 有利于实现智能工厂和数字化车间的建设, 促进制造业数字化转型。因此, 对制造业数字化转型赋能的过程离不开规模化、普惠型的公共算力基础设施的支持。2021年5月, 由国家发展改革委等四部委发布的《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》指出我国东西部算力资源存在供需不平衡的问题<sup>[14]</sup>, 东部地区的算力需求比中西部地区增长更快, 故可能出现较大的算力资源缺口。特别是我国东部发达的一线城市地区, 呈现较为明显的算力资源供给不足的局面, 而中西部地区则呈现算力资源供给过剩的局面<sup>[15]</sup>。因此, 统筹布局建设全国一体化算力网络国家枢纽节点, 打通国家枢纽节点之间的网络传输通道, 实现跨区域调动调度算力, 能够充分扩展和释放算力网络在算力服务、数据流通、数据应用等方面的增长空间, 从而有效降低东部地区包括长三角地区各行各业的算力需求压力。算力网络以算力为中心连接用户和数据, 通过输出算力供需匹配服务, 为制造业各领域提供高质量、低时延、低成本的算力。具体来说, 算力网络区别于传统零散单个数据中心提供算力的服务形式, 以数据中心集群和云计算平台为基础, 推动多云之间、云和数据中心之间、云和网络之间进行资源联动, 打造云网边高速互联的智能网络, 实现异地算力与网络的协同工作。类

比于工业经济时代的电力基础设施化, 算力也要像电力网一样实现基础设施化, 才能真正促进数据高效流动和价值创造, 才能真正实现数字经济与实体经济的融合发展<sup>[16]</sup>。对于长三角枢纽节点而言, 算力网络不仅要实现各个国家枢纽节点之间、节点地区内数据中心集群和主要城市之间数据中心直连网络的定向高速互联, 还要实现对同一枢纽节点内多个数据中心集群间的网络组织进行优化升级, 从而保障数据的高效流通和算力的统筹利用, 满足制造业各领域终端场景的算力需求。

### 2.1.2 新型数据中心夯实制造业数字底座

目前长三角地区在国家枢纽节点数据中心集群布局范围的基础上, 建设了上海超算中心、无锡超算中心、昆山超算中心、合肥先进计算中心等一批大型数据中心, 同时加快对老旧小散数据中心的改造升级和迁移整合, 以更好地配合长三角枢纽节点建设, 通过推进数字基础设施体系建设并深入具体应用场景, 可以为制造业数字化转型奠定坚实的基础。2021年7月, 由工信部印发的《新型数据中心发展三年行动计划(2021—2023年)》明确了新型数据中心的定义及其建设任务<sup>[17]</sup>。其中提及的云边协同工程和数云协同工程, 强调了在以国家枢纽节点、省内数据中心、边缘数据中心的新型数据中心梯次布局下, 支持开展基于工业互联网等重点应用场景的边缘数据中心应用。同时, 文件还指出要鼓励相关企业加快建设数字化云平台, 推动企业深度上云用云, 支撑工业等重点领域加速数字化转型。通过依托基础电信企业、交换中心网络节点, 推动边缘数据中心间、边缘数据中心与新型数据中心间的网络互联交换<sup>[18]</sup>, 在提升云计算与边缘计算协同水平的同时, 提升算力赋能应用水平。

事实上,将产业核心业务云化以及对多个新型数据中心进行整合,不仅可以实现服务集成和数据集成,提升应用敏捷和业务智能的体验,还能促进算力资源的高效利用。一方面,新型数据中心作为数字经济时代新基建的基石,能够满足5G、云计算、边缘计算、大数据、人工智能、区块链等技术和应用的发展需求。另一方面,云让计算无处不在,云计算与数据中心在计算基础设施化的发展上相辅相成,云原生让业务生于云长于云,而上云也是数字化转型的重要标志。因此,加快推动长三角国家枢纽节点各数据中心、云之间的协同,强化新型数据中心、云平台、数据之间的一体化关系,通过构建支撑数字化转型的产业数字底座,可以更好地服务于各行各业的数字化场景应用需求。对于制造业而言,行业上云可以利用云平台弹性扩缩容的特点来获取计算资源,同时还可以进行数据汇聚,通过对智能制造、集成开发、数字内容生产等技术进行整合,构建数字底座、云底座以提高计算效率。具体来说,围绕人工智能、区块链、元宇宙等新一代信息技术应用,推动智能计算中心、边缘计算中心与云计算服务的边云协同发展,打破跨地域、跨领域不同数据源间的“数据孤岛”,构筑互联互通的数据要素流通生态,有利于建设融合行业知识的赋能应用平台、专用行业云等数字化转型基础设施。

## 2.2 算力枢纽节点助力制造业数字化转型进程加速

### 2.2.1 先进数字技术与制造业的深度融合

由于数字技术本身具有连接性和融合性,对知识的获取、转化和利用可以构建形成数字化知识网络<sup>[19]</sup>。当产业主体本

身的数字化能力不足时,通过对数字技术的推广应用,可以为汇聚的共享数据和共用资源提供技术支持。因此,数字技术是赋能制造业数字化转型过程的重要环节,可以指导制造业在不同领域不同区域的数字化应用。而长三角地区不仅是我国制造业高水平的代表性区域,还拥有隶属于3个综合类国家技术创新中心之一的长三角国家技术创新中心。其立足于长三角一体化发展,基于共建的长三角产业链区域联动机制,聚焦关键核心技术问题,开展联合技术攻关与成果转化共享。国家统计局全国科技经费投入统计公报显示,2021年长三角地区研发投入总额达到8422.2亿元,约占全国总额的30%。因此,借助长三角科创领域多中心的产业基础,通过推动5G、人工智能、云计算、物联网、AR/VR、区块链、量子计算等先进数字技术与制造业的融合应用,实现制造业向更高层次的数字化管理能力和数字化生产水平进行升级转型。具体来说,首先先进数字技术与产业的融合将链接到更多来自不同地区、不同领域的企业,需要匹配的计算能力也更加庞大,而长三角算力枢纽能够承接庞大的业务算力需求。其次,技术与场景的融合将激活更多新兴的智能业务需求,带来更多新兴的智能应用场景,那么就需要提出相应端到端的场景化解决方案,从而实现对产业数字化转型的深度赋能。以5G技术为例,在对产业数字化转型进行赋能时,可以通过“5G+工业互联网”“5G+人工智能”“5G+边缘云”等融合方式,对多个工业应用场景进行覆盖,然后借助算力枢纽为行业内企业提供算力下沉、算力应用、算力连接等服务。最后,数字化基础设施可以为技术与产业领域的融合提供重要支撑,从而加速其对制造业数字化转型的渗透。2021年12月江苏省发布的《江苏省新型数据中心统筹发展实施

意见》中提到,通过积极招引大数据、云计算、区块链、人工智能等企业以及数据中心产业链上下游企业入驻<sup>[20]</sup>,打造新型工业化产业数据中心,加快数据要素流通共享,促进先进技术聚集,实现产业协同发展,强化算力赋能产业转型。因此,长三角算力枢纽节点在以数据中心为核心基础设施的支持下,实现网络与计算的一体融合,并不断提升算力服务水平,通过与不同领域进行协同联动,推动先进数字技术与产业的深度融合应用,从而进一步加快制造业数字化转型。

### 2.2.2 工业互联网建设与制造业协同发展

根据国家统计局发布的信息,2022年7月全国“5G+工业互联网”的在建项目已经超过3 100个<sup>[21]</sup>,培育的较大型工业互联网平台超过150家,并为超过160万家工业企业提供了平台服务<sup>[22]</sup>。作为制造业企业数字化、网络化、智能化转型的重要抓手,工业互联网平台能够有效集成海量工业设备与系统数据<sup>[23]</sup>。工业互联网及其平台汇聚产业各领域主体产生的相关数据,对数据资源的标识使用、开放共享等过程进行管理。随着工业互联网及其平台设施建设的规模不断扩大,长三角工业互联网平台体系也不断得到完善,并在智能制造领域取得成效。截止到2022年,长三角三省一市共计新培育177个省(市)级工业互联网重点平台、工信部新一代信息技术与制造业融合发展示范项目51个,占全国的26.3%;工业互联网平台创新领航应用案例49个,占全国的35%<sup>[24]</sup>。因此,为了更好地发挥长三角地区在制造业协同发展、资源整合、集群培育等方面具有的引领作用和区域优势,长三角算力枢纽节点通过构建数据中心集

群,在支持工业互联网业务需求的同时,推动制造业协同发展。具体来说,首先长三角算力枢纽节点依托新型数据中心集群聚集发展,通过推进网络一体化建设,打通节点间网络传输通道,打造数据可信流通环境,促进工业互联网平台实现对数据资源的高效流通及价值释放。其次,长三角算力枢纽节点基于算力基础设施不仅可以为工业互联网平台提供算力服务,提升平台对云端开发、部署、运维等全生命周期的管理能力,还能为工业互联网大数据中心建设提供计算技术支持,通过强化云计算、信息通信、智能制造等技术间的融合与集成,推动设备网络化、监管可视化、质量透明化等应用模式向制造业流程的延伸和覆盖,从而提升工业互联网平台的服务输出能力。最后,面向不同的产业优势及发展需求,在保证算力部署的前提下,通过结合算力调度方法并以算力按需供给的原则,搭建跨行业跨领域的综合型平台、面向重点行业和区域的特色型平台,以及面向特定技术领域的专业型平台<sup>[25]</sup>,打造垂直行业的工业互联网应用平台体系,从而有效地整合产业资源和制造能力,优化行业内跨区域跨领域间信息交互的渠道,拓宽工业互联网平台的服务能力。

## 3 长三角国家算力枢纽节点赋能制造业数字化转型面临的挑战

算力枢纽节点依托数据中心体系承载先进数字技术,提供澎湃的算力,并利用算力整合、算网融合等方式统筹算力资源,利用算力感知、算力编排等方式协同算网调度,利用算力交易、算力服务等方式强化算网运营,通过构建算力网络产业应用流程赋能制造业数字化转

型。在此过程中主要面临以下3个方面的挑战。

### 3.1 算力赋能制造业数字化转型过程中, 算力业务保障不足

算力资源可按资源节点算力种类的多样性分成基础算力、智能算力和超算算力<sup>[26]</sup>, 算力枢纽节点以集群化模式部署算力资源, 可以为制造业的数字化转型提供基础、智能、超算等各类算力产品。在此过程中, 需要在业务层面上保证算力的供需匹配和精准对接, 否则就会造成枢纽内算力基础设施的算力闲置和浪费。现阶段尽管有研究提出了一种基于算力标识的算力服务需求匹配方案<sup>[27]</sup>, 但面向制造业实现多层级的算力业务需求供需匹配, 形成灵活、高效、可持续的长效动力机制, 仍然是有待探究的重要研究方向。一方面, 由于制造业各个生产区域各不相同, 进而导致出现多个相互独立且覆盖不同生产区域的业务网络。为了避免各部分设备之间出现混用的情况, 需要对业务平台进行统一规划, 实现分区管理、分区连接。因此, 在进行算力需求匹配任务时, 不仅要考虑为所有关键业务的核心设备及链路提供精准可靠的算力产品, 也要为数据传输、容灾、备份、安全可靠等其他方面的业务提供相应需求的算力服务。另一方面, 在制造业中数据的获取依赖于生产过程, 数据无法取代关键生产技术, 只能以畅通信息流、提高决策效率等方式降低生产成本<sup>[28]</sup>。相比于服务业和流通业对高度用户黏性海量数据的抢占所产生的颠覆式效果, 数据对制造业生产运营和优势竞争的影响程度相对不明显。因此, 在智能调度各类算力, 解决计算资源不足的同时, 更要注重对算力需求匹配的高效满足, 使算力资源的分配达到最优。

### 3.2 算力赋能制造业数字化转型过程中, 算力应用场景待优化

算力枢纽作为全国一体化算力网络的关键节点, 要求数据在进行跨节点存储流通时网络时延很低。但若具体到某个行业的数智化生产场景, 则对云边端算力节点协同要求更高<sup>[29]</sup>。在智能化生产、网络化协同、个性化定制、服务化转型4类制造业应用场景模式中, 其涵盖了生产方式、产品模式、特定场景、服务模式等智能产品价值链的全过程。针对复杂的制造业业务场景应用, 算力枢纽需要与AI厂商、云厂商等展开多方合作, 实现对制造业数字化的算力赋能。目前已有研究就算力网络在工业视觉检测场景上的落地应用进行了阐述<sup>[30]</sup>, 按照售前、售中、售后、应用4个阶段, 给出了一体化安全工业视觉检测实施方案。该方案利用算网大脑的算力封装、算网感知、算力解耦、算力调度等能力, 通过视频采集、实时传输、分析识别、判断预警实现工业企业对安全生产的需求, 提升在生产过程中的安全监管水平。但需要注意的是, 算力枢纽在赋能制造业数字化转型的过程中, 一方面通过与各厂商的合作以算力网络体系为支撑构建算力大脑, 加强算力感知、算力编排、算力调度等能力; 另一方面要结合大量的行业服务经验, 根据算力供给方、需求方、运营方的实际意见, 不断优化落地应用方案, 探索更多能够推广商用的算力应用场景, 而针对以上问题的解决方案还有待进一步的研究。

### 3.3 算力赋能制造业数字化转型过程中, 算力交易机制不清

算力枢纽节点赋能制造业数字化转

型离不开算力交易平台的支持,其间需要经过算力的需求匹配、价值评估、价格确定、交易撮合、交易结算等活动。在此过程中,制造业作为算力需求方应根据实际业务应用场景寻找性价比最佳的算力,算力枢纽节点作为算力供应方应追求实现算力变现价值的最大化,算力交易平台应该在尽可能多地提供算力的同时降低算力的使用价格,从而保证满足供需双方对算力服务的要求。在云市场中,3个基本定价策略以及相应的各类云定价模型组合产生了复杂且丰富的云定价方案,从而帮助云服务提供商和云客户做出关键决策以获得竞争优势或有效管理云资源<sup>[31]</sup>。而算力要像水电一样实现“一点接入、随取随用”的服务模式,则需要解决算力定价、交易规则、权属界定等基础性问题。其中,算力度量不仅是探讨算力定价问题的前提条件,也在算力网络业务感知和资源调度中发挥重要作用<sup>[32]</sup>,但该领域目前还缺乏相当数量的研究和总结。另外,针对实现交易主体身份可信、交易双方协议可信、交易订单可信、交易账单可信、交易分成可信的贯穿算力交易全过程的可信保障体系<sup>[33]</sup>,还有待进一步深入研究。虽然国内首个算力交易平台已于2023年2月24日在宁夏银川发布并正式上线运营<sup>[34]</sup>,但是目前算力交易平台总体上还处于起步发展阶段,在算力资源度量标准、定价策略、权属界定等方面尚未形成针对各类场景的交易机制。在学术界,现有研究将算力交易与定价问题视为一个两阶段的Stackelberg博弈过程<sup>[35-36]</sup>,另外还有研究结合智能合约与区块链技术,提出了一种去中心化、去平台化的算力交易机制<sup>[37]</sup>,但是都没有从算力资源的角度在理论上总结、设计有效的算力交易机制。

## 4 长三角国家算力枢纽节点赋能制造业数字化转型的实现路径

长三角国家算力枢纽节点担负承接本地区中低时延业务的算力需求和引导本地区中高时延业务迁移到西部的任务。而不同时延要求的业务既对应着不同性能的算力满足,也对应着制造业企业在各自数字化转型中不一致的算力需求。因此,长三角枢纽节点将结合算力和业务需求的解决方案,针对不同场景的数据中心组合方案,通过构建算力交易机制,发挥全国算网一体化基建作用的方式赋能制造业数字化转型。

### 4.1 结合业务与算力需求,打造数字化转型解决方案

对照超级计算、智能计算和大数据处理系统这3种计算模式,算力可分为超算算力、智能算力和基础算力3种类型。从2016年到2020年,智能算力在我国算力结构中的占比由3%提升至51%,而超算算力在整体算力中的占比则一直稳定在2%左右<sup>[38]</sup>。智能算力作为目前算力体系的主要构成部分,其增长态势反映了时下对智能计算和智能化应用任务需求的增加。因此,长三角算力枢纽节点的建设也应该侧重于面向应用智能计算的终端场景。此外,根据业务对网络时延的要求,可将业务分成热业务、温业务、温冷业务和冷业务。从数据应用需求的角度来看,约5%~10%的应用为10 ms以内业务时延需求的低时延热数据,可在本地或进场部署;约65%~70%为10~30 ms时延需求的温业务,可部署在区域或城市及其周边位置;约20%~30%是业务时延需求超过30 ms以上的、对时延不敏感的冷

数据<sup>[39]</sup>，可在西部数据中心部署。因此，热业务支持更多偏向实时落地的业务场景，温业务支持更多算力资源需求偏高且服务复杂的大规模业务场景，而温冷业务则更多支持后台加工、离线分析、存储备份、开发测试等非实时算力需求的业务场景。长三角枢纽节点既要承接其地区中心城市上海及其周边都市带/圈的算力需求，也要充分发挥龙头城市对产业环境发展的带动作用，利用长三角枢纽节点集群的产业基础优势，设计打造围绕产业领域需求导向的转型方案，对生产线和车间进行数字化、智能化改造，加快建设智能制造示范工厂。具体来说，一是打造高性能计算网络平台解决方案，通过加快超级算力、智能算力的部署，提升基于CPU、GPU等的异构算力，支持对时延不敏感的温冷业务需求，为制造业中仿真、渲染、建模等数据密集型计算任务提供“大模型+大数据+大算力”的服务；二是打造智能计算网络平台解决方案，通过推进云计算中心、边缘计算中心的建设，支持温业务和热业务的应用需求，为制造业中工业互联网、AR/VR、远程控制等低时延需求计算任务提供实时算力服务。

#### 4.2 针对制造业不同场景，匹配多元合理算力供应

长三角算力枢纽节点围绕数据中心进行算力组网，通过推动云网、算网间的协同融合，统筹算力资源和网络资源，搭建服务平台化的算网调度框架，满足制造业各类不同场景的数字化转型需求服务。因此，以上海、南京、杭州、合肥等城市为核心，依靠沪苏浙皖各自在航空航天、新能源汽车、电子信息、生物医药、互联网、有色金属、建材化工等领域的突出实力，结合三省一市国家智能制造优秀场景典型

案例，探索算力与智能制造的融合应用场景，加强培育具有先发优势和区域特色的产业转型示范地。具体来说，对于支撑模型训练、数据存储备份、数据离线分析、数据标注清洗加工等实时性要求较低的业务，所匹配的算力供应应满足统一运维、安全和云网协同等要求，并注重提供非实时性算力保障服务，如部署在西部地区的数据中心集群。对于支撑即时通信、物联网、智能制造等实时性要求较高的业务，所匹配的算力供应应满足多云化、多地多中心、高可用、高并发等要求，如部署在东部地区的数据中心集群。对于支撑服务本地、规模适度、具有地方特色等超低延迟要求的业务，所匹配的算力供应应满足小规模基础设施建设、多样化资源并高效利用、一站式运维等要求，如在省内部署的数据中心或者部署在热点城市周边区域的数据中心。而当聚焦于数字化研发、数字化生产、数字化营销、数字化运营等制造业场景时，首先应该结合产业链上下游来分析在制造业数字化转型全景上包括的关键环节，并梳理其涉及的核心业务；其次，根据不同应用场景需求方向，分区域分领域进行构建业务对象信息网络，实现业务基础信息从研发到运营的纵向集成贯通；最后，围绕长三角一体化算力网络的供需分配和智能调度方法，推动数字化业务与算力之间的适配，从而制定满足个性化场景应用需求的算力布局方案。

#### 4.3 依托算力交易平台，构建算力交易机制服务制造业转型

算力资源是将来自不同算力基础设施的算力经过整合后得到的，包括计算、存储和网络三大部分。算力资源具有多维异构、来源复杂、动态变化的特点，使得对

算力的度量难以进行,从而影响算力资源参与交易和调度的过程。因此,需要事先明确衡量算力资源的价值标准。具体来说,首先,对各类算力资源在产生阶段、流通阶段、调度阶段的权利让渡关系进行分析,通过构建算力资源标识解析体系,设计算力资源确权标识方案,制定算力资源权利认证标准规范,实现对算力资源的权属确认。其次,从算力资源本身的特征出发,分析影响其价值的因素,建立算力资源价值评估体系,选择成本法、收益法等方法建模算力资源价值评估方法。最后,根据实际交易场景的价格结构和市场发展阶段,构建算力资源的定价模型,以数据验证的方式对模型进行优化调整,并结合算力资源和算力交易市场生命周期中不同的阶段组合,最终给出相应的定价策略。接着依托算力交易平台,在数据流通、供需匹配、安全可信、信息共享、计费机制完善的算力交易市场基础上,构建算力交易机制赋能制造业数字化转型。首先,明确算力资源的确权属性、算力价值、定价要求,通过协同算网供需双方及生态伙伴,制定算力资源交易标准规范。其次,以区块链技术为核心支撑,制定算力交易合同签订、执行、验证的流程机制,以保障交易的安全性和交易流程的可溯性。最后,基于异构算力适配技术、异构算力网络调度技术,实现整体算力资源的最优化配比,利用一体化算力网络搜寻最优算力,在超算互联网上完成算力服务的交易与交付。

#### 4.4 深化东西部协作联动,发挥算网一体化赋能作用

算力基础设施赋能数字化转型的过程中数据驱动是引领,平台体系是关键,算力网络是核心。反映在制造业领域中,与

工业互联网平台体系直接面向数字化转型不同,算力网络通过“东数西算”工程设立的八大枢纽节点和十大数据中心集群,逐步实现算力与网络从协同到融合,进而为平台体系今后的创新发展提供基础条件。具体来说,首先,除了建立长三角集群及其城区周边两级算力布局下云边端协同的泛在算力网络,还要按照全国一体化大数据中心体系协同布局的要求,选择以贵州、内蒙古、甘肃、宁夏、成渝节点为代表的西部,与京津冀、长三角、粤港澳大湾区节点代表的东部,建设快速传输、安全可靠的数据中心直连网,实现各枢纽节点和集群间的互联互通。同时,设计建立基于数据中心直连网的云网协同运营机制,保障节点间传输费用的合理性和访问质量的稳定性。其次,统筹开放各个国家枢纽节点的网络资源和算力资源,将以5G为代表的通信设施和以云计算为代表的信息设施的融合发展作为基础,构建基于云网融合的算力大脑架构,设计建立算力一体化联通机制,实现对算力的全域感知、高效调度、组合编排、统一管控。最后,建立基于算网融合的算力服务平台,利用通信网络对算力的资源需求感知,在云网边端间实现传输、存储、计算资源的精确供给,为用户提供算力类型匹配、算力规模合适和算力性价比最优的应用服务,从而满足不同行业不同数字化转型场景的算力需求。对于制造业企业而言,经过对工业设备的联网控制、生产制造过程的动态感知以及数字化车间的建设后,此时无须再自建大规模的算力基础设施,可以考虑根据当前的算力业务需求,购买相应种类的算力服务套餐,借助算力服务平台的方式接入算力网络,通过获取模型、算法、数据的最终计算结果,并根据产品反馈实施智能化决策管理,从而实现数据驱动的智能生产制造。

## 5 结束语

本文在“东数西算”工程的大背景下,总结分析了当前制造业进行数字化转型时存在的现实问题,并在此基础上探讨了长三角国家算力枢纽节点赋能制造业数字化转型的逻辑机理、面临挑战和实现路径。首先,在制造业形态发生深刻变革、智能化趋势已逐渐成为主流制造范式的大环境下,概括了其在转型过程中存在的4个主要问题。其次,从算力枢纽节点拥有先天优势的角度分析了其能够进一步完备制造业数字化转型基础条件的两个原因,并在此基础上说明了长三角枢纽节点能够助力加速数字化转型过程的两个关键着力点。然后,结合长三角枢纽节点提供赋能的作用特点,考虑算力网络现阶段发展情形,分析得出长三角节点赋能制造业数字化转型面临的3个挑战。最后,根据长三角节点对制造业数字化转型的促进作用,以及节点中数据中心集群与制造业转型实际业务需求的对应关系,列举了4条长三角算力枢纽节点赋能制造业数字化转型的可行路径。

## 参考文献:

- [1] 国家发展改革委,中央网信办,工业和信息化部,等. 国家发展改革委等部门关于同意长三角地区启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函[Z]. 2022.  
National Development and Reform Commission, Office of the Central Cyberspace Affairs Commission, Ministry of Industry and Information Technology, et al. The National Development and Reform Commission and other departments on consent to the Yangtze River Delta region to start the construction of a national integrated computing network of national hub nodes[Z]. 2022.
- [2] 上海市人民政府合作交流办公室. 长三角将启动建设国家算力枢纽节点[Z]. 2022.  
Shanghai Municipal People's Government. The Yangtze River Delta will start building a national computing hub[Z]. 2022.
- [3] 工业和信息化部. 工业和信息化部公布45个国家先进制造业集群名单[Z]. 2022.  
Ministry of Industry and Information Technology. Ministry of Industry and Information Technology announces list of 45 advanced manufacturing clusters[Z]. 2022.
- [4] 陈楠,蔡跃洲,马晔风. 制造业数字化转型动机、模式与成效——基于典型案例和问卷调查的实证分析[J]. 改革, 2022(11): 37-53.  
CHEN N, CAI Y Z, MA Y F. Motivations, models and benefits of digital transformation in manufacturing: empirical analysis based on case studies and questionnaire surveys[J]. Reform, 2022(11): 37-53.
- [5] 贾利军,陈恒焜. 数字技术赋能制造业高质量发展的关键突破路径[J]. 教学与研究, 2022(9): 26-39.  
JIA L J, CHEN H X. Key breakthrough paths of digital technology enabling the high-quality development of manufacturing in China[J]. Teaching and Research, 2022(9): 26-39.
- [6] 李晓华. 制造业数字化转型与价值创造能力提升[J]. 改革, 2022(11): 24-36.  
LI X H. Digital transformation of the manufacturing industry and enhancement of its value creation capacity[J]. Reform, 2022(11): 24-36.
- [7] 孔存玉,丁志帆. 制造业数字化转型的内在

- 机理与实现路径[J]. 经济体制改革, 2021(6): 98-105.
- KONG C Y, DING Z F. The internal mechanism and realization path of manufacturing industry digital transformation[J]. Reform of Economic System, 2021(6): 98-105.
- [8] 王鑫鑫, 韩啸, 张洪. 制造业企业数字化转型的特征及对策——基于上市企业年报的文本分析[J]. 经济纵横, 2022(9): 95-103.
- WANG X X, HAN X, ZHANG H. Characteristics and countermeasures of digital transformation of manufacturing enterprises—textual analysis based on annual reports of listed companies[J]. Economic Review Journal, 2022(9): 95-103.
- [9] 任志成, 赵梓衡. 数字化转型对制造业全要素生产率提升的影响——来自上市公司的微观证据[J]. 工业技术经济, 2022, 41(11): 23-30.
- REN Z C, ZHAO Z H. The impact of digital transformation on total factor productivity improvement in manufacturing—micro evidence from listed companies[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2022, 41(11): 23-30.
- [10] REN J, YU G, HE Y, et al. Collaborative cloud and edge computing for latency minimization[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68(5): 5031-5044.
- [11] 杨帆, 宋闻萱, 许方敏, 等. 工业互联网算网一体技术研究[J]. 无线电通信技术, 2023, 49(1): 63-71.
- YANG F, SONG W X, XU F M, et al. Research on the application of computing force network technology in industrial internet of things[J]. Radio Communications Technology, 2023, 49(1): 63-71.
- [12] 国务院新闻办公室. 携手构建网络空间命运共同体白皮书[R]. 2022.
- The State Council Information Office. Jointly build a community with a shared future in cyberspace[R]. 2022.
- [13] 叶雅珍, 朱扬勇. 数字化转型服务平台: 面向新竞争格局的企业竞争力建设[J]. 大数据, 2023, 9(3): 3-14.
- YE Y Z, ZHU Y Y. Digital transformation service platform: enhancing enterprise competitiveness in a new competitive situation[J]. Big Data Research, 2023, 9(3): 3-14.
- [14] 国家发展改革委, 中央网信办, 工业和信息化部, 等. 关于印发《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》的通知[Z]. 2021.
- National Development and Reform Commission, Office of the Central Cyberspace Affairs Commission, Ministry of Industry and Information Technology, et al. Guiding opinions on accelerating the construction of a national integrated big data center collaborative innovation system[Z]. 2021.
- [15] 易成岐, 窦悦, 陈东, 等. 全国一体化大数据中心协同创新体系: 总体框架与战略价值[J]. 电子政务, 2021(6): 2-10.
- YI C Q, DOU Y, CHEN D, et al. The National integrated big-data center collaborative innovation system: overall framework and strategic value [J]. E-Government, 2021(6): 2-10.
- [16] 于施洋, 郭明军, 郭巧敏, 等. 数字城市“新市政”: 城市算力网的总体架构及实施路径研究[J]. 电子政务, 2022, 240(12): 2-12.
- YU S Y, GUO M J, GUO Q M, et al. Digital city “new municipal”: research on the overall architecture and implementation path of urban computing power network[J]. E-Government, 2022, 240(12): 2-12.
- [17] 工业和信息化部. 工业和信息化部关于印发《新型数据中心发展三年行动计划(2021-

- 2023年)》的通知[Z]. 2021.
- Ministry of Industry and Information Technology. Circular on the issuance of the three-year action plan for the development of new data center (2021-2023)[Z]. 2021.
- [18] 上海市通信管理局. 上海市通信管理局关于印发《新型数据中心“算力浦江”行动计划(2022-2024年)》的通知[Z]. 2022.
- Shanghai Communications Administration. Circular on the issuance of the plan of action for the new data center “Arakpo river” (2022-2024) [Z]. 2022.
- [19] KOHLI R, MELVILLE N P. Digital innovation: a review and synthesis[J]. Information Systems Journal, 2019, 29(1): 200-223.
- [20] 江苏省工业和信息化厅. 省工业和信息化厅关于印发《江苏省新型数据中心统筹发展实施意见》的通知[Z]. 2021.
- Industry and Information Technology Department of Jiangsu. Circular on the issuance of the opinion on the integrated development of the new data center in Jiangsu[Z]. 2021.
- [21] 国务院新闻办公室. 国新办举行2022年上半年工业和信息化发展情况发布会[Z]. 2022.
- The State Council Information Office. SCIO held conference on industrial and information technology development in the first half of 2022[Z]. 2022.
- [22] 人民日报. 1—2月份, 全国规模以上工业增加值同比增长7.5%——工业生产延续回升态势[N]. 2022.
- People's Daily. In January-February, the value added of industry above the national scale increased by 7.5% year-on-year - industrial production continued its upward trend[N]. 2022.
- [23] 付宇涵, 马冬妍, 催佳星. 工业互联网平台推动下中国制造业企业两化融合发展模式探究[J]. 科技导报, 2020, 38(8): 87-98.
- FU Y H, MA D Y, CUI J X. The development mode of integrating industrialization and informatization of China's manufacturing enterprises on the industrial internet platform[J]. Science & Technology Review, 2020, 38(8): 87-98.
- [24] 浙江省人民政府. 完善基础设施体系打造数字经济高地——长三角携手迈向“数三角”[Z]. 2022.
- The People's Government of Zhejiang Province. Improving infrastructure systems to build a digital economy highland - the Yangtze River Delta moves towards “number triangle”[Z]. 2022.
- [25] 工业和信息化部. 关于印发《工业互联网创新发展行动计划(2021-2023年)》的通知[Z]. 2020.
- Ministry of Industry and Information Technology. Circular on the issuance of the industrial internet innovation development action plan (2021-2023) [Z]. 2020.
- [26] 中国信通院. 中国算力发展指数白皮书(2022年)[R]. 2022.
- China Academy of Information and Communications Technology. White paper on China's computing power development index (2022)[R]. 2022.
- [27] 周舸帆, 雷波. 算力网络中基于算力标识的算力服务需求匹配[J]. 数据与计算发展前沿, 2022, 4(6): 20-28.
- ZHOU G F, LEI B. Computing service demand matching based on computing power identification in computing power network[J]. Frontiers of Data & Computing, 2022, 4(6): 20-28.
- [28] 石先梅. 制造业数字化转型的三重逻辑与路径探讨[J]. 当代经济管理, 2022, 44(9): 48-56.
- SHI X M. Discussion of the triple logic and path of manufacturing digital transformation[J]. Contemporary Economic Management, 2022, 44(9): 48-56.

- [29] 王丽莉. 算力网络部署方案分析[J]. 电信科学, 2022, 38(6): 172–180.  
WANG L L. Construction scheme analysis of computing force network[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(6): 172–180.
- [30] 叶沁丹, 范贵生, 黄衡阳. 算力网络一体化支撑方案及应用场景探索[J]. 数据与计算发展前沿, 2022, 4(6): 55–66.  
YE Q D, FAN G S, HUANG H Y. Study on integrated support solution and application scenarios of computing power network[J]. Frontiers of Data & Computing, 2022, 4(6): 55–66.
- [31] WU C, BUYYA R, RAMAMOCHANARAO K. Cloud pricing models: Taxonomy, survey, and interdisciplinary challenges[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2019, 52(6): 1–36.
- [32] 柴若楠, 郜帅, 兰江雨, 等. 算力网络中高效算力资源度量方法[J]. 计算机研究与发展, 2023, 60(4): 763–771.  
CHAI R N, GAO S, LAN J Y, et al. Efficient computing resource metric method in computing-first network[J]. Journal of Computer Research and Development, 2023, 60(4): 763–771.
- [33] 郑歆凤, 王建均, 黄敬彬, 等. 基于区块链技术的“三体五信”算网运营体系研究[J]. 数据与计算发展前沿, 2022, 4(6): 38–54.  
ZHENG X F, WANG J J, HUANG J B, et al. Research on “Three-System and Five-Trust” computing power network operation system based on blockchain technology[J]. Frontiers of Data & Computing, 2022, 4(6): 38–54.
- [34] 中国证券报. 国内首个一体化算力交易调度平台上线[N]. 2023.  
China Securities Journal. China’s first integrated computing trading and scheduling platform was launched [N]. 2023.
- [35] 吴雨芯, 蔡婷, 张大斌. 移动边缘计算中基于Stackelberg博弈的算力交易与定价[J]. 计算机应用, 2020, 40(9): 2683–2690.  
WU Y X, CAI T, ZHANG D B. Computing power trading and pricing in mobile edge computing based on Stackelberg game[J]. Journal of Computer Applications, 2020, 40(9): 2683–2690.
- [36] REN X, QIU C, WANG X, et al. AI-Bazaar: a cloud-edge computing power trading framework for ubiquitous AI services[J]. IEEE Transactions on Cloud Computing, 2022.
- [37] 吕航, 李佳聪, 雷波, 等. 基于智能合约与区块链的算力交易机制[J]. 中兴通讯技术, 2022, 28(4): 52–57.  
LYU H, LI J C, LEI B, et al. Computing power trading mechanism based on smart contract and blockchain[J]. ZTE Technology Journal, 2022, 28(4): 52–57.
- [38] 艾瑞咨询. 2022年中国算力网络全景洞察白皮书[R]. 2022.  
iResearch. White paper on 2022 China’s computing network panorama insight[R]. 2022.
- [39] 国家发展改革委. “东数西算”工程系列解读之六: “东数西算”推动我国新型算力网络体系构建[Z]. 2022.  
National Development and Reform Commission. Interpretation of the “national computing network to synergize east and west” project series VI: “national computing network to synergize east and west” project promotes the construction of China’s new computing network system[Z]. 2022.

## 作者简介



刘业政(1965-),男,博士,合肥工业大学管理学院教授,主要研究方向为网络空间行为与管理、大数据开发及应用。



黄丽华(1965-),女,博士,复旦大学管理学院教授,主要研究方向为信息系统、数据流通与管理、电子商务、数字化转型。



朱扬勇(1963-),男,博士,复旦大学计算机科学技术学院教授,主要研究方向为数字化转型、数据财政、数据资产、数据自治与数据跨境等。



孙见山(1987-),男,博士,合肥工业大学管理学院副教授,主要研究方向为商务智能与大数据分析、网络空间行为与管理。



宋靖达(1998-),男,合肥工业大学管理学院硕士生,主要研究方向为个性化推荐系统。

收稿日期: 2023-03-30

通信作者: 孙见山, sunjs9413@hfut.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No.72241427, No.72271083)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.72241427, No.72271083)