

# 算力部署与制造企业出口技术复杂度

尹琪 范黎波 谢枚玲

**摘要:**随着实体经济与数字经济的不断融合,算力作为关键支撑要素对制造业出口竞争力的影响愈发凸显。本文选取 2017—2023 年沪深 A 股上市制造企业数据,实证探究算力部署与制造企业出口技术复杂度之间的因果效应。研究发现,算力部署能够提升制造企业出口技术复杂度。机制分析表明,算力部署可通过优化劳动要素与吸引耐心资本、拓宽创新广度与突破核心技术、减少信息扭曲与精准对接需求的路径,驱动制造企业出口技术复杂度提升。异质性分析结果显示,在中外合资和私营企业、竞争性行业及公共数据开放地区,算力部署对制造企业出口技术复杂度的提升作用更为明显。本文的研究为制造企业优化算力部署、摆脱低技术含量与低附加值困境、实现全球价值链高端攀升提供了理论依据。

**关键词:**算力部署 出口技术复杂度 制造企业 耐心资本 核心技术 创新能力

**中图分类号:**F752.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-7636(2026)06-0049-14

## 一、问题提出

中国作为后发国家工业化进程的核心参与者,制造业在过去数十年间依托劳动力要素充裕和产业配套完善的初始禀赋,逐步建立起规模优势。然而,大而不强的结构性矛盾始终突出,部分企业长期锁定于加工组装、通用零部件生产等低附加值环节,在全球价值链分工中处于底端<sup>[1-2]</sup>。从价值分配看,中国制造业整体盈利水平偏低,2024 年规模以上制造业利润率仅为 4.63%,低于全球制造业均值。从技术供给看,高端芯片、工业母机、精密传感器、核心工业软件等关键领域国产化率偏低,核心零部件与先进工艺对外依存度高,成为制约产业升级的突出短板,出口产品技术复杂度有待提升。更为严峻的是,当前外部技术封锁、实体清单限制与贸易摩擦趋于常态化。在此背景下,提升制造企业出口技术复杂度已成为推动中国制造业迈向全球价值链中高端、实现经济高质量发展的迫切议题。

在数字经济时代,算力作为连接数据要素与算法模型的核心纽带,其供给能力直接影响数字技术的创新速度与应用深度,已成为实体经济高质量发展的新型生产要素<sup>[3]</sup>,为破解上述制造业发展困境提供了新的可能。中国算力产业在市场需求与政策引导下持续快速发展。截至 2024 年,中国在用算力中心标准机架数超过 880 万架,算力规模较 2023 年底增长 16.5%,位居全球第二。同时,国家层面先后启动“东数西算”

收稿日期:2025-10-15;修回日期:2026-05-23

作者简介:尹琪 对外经济贸易大学国际商学院博士研究生,北京,100029;

范黎波 对外经济贸易大学国际商学院教授、博士生导师,通信作者;

谢枚玲 中南财经政法大学会计学院博士研究生,武汉,430073。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

工程,出台《算力基础设施高质量发展行动计划》。2025年政府工作报告进一步强调“优化全国算力资源布局,打造具有国际竞争力的数字产业集群”,算力生态体系不断完善。其赋能价值已从传统技术支撑延伸至企业要素配置、技术研发、市场需求对接等生产经营环节,或可为破解制造业出口技术复杂度提升困境提供新契机。

现有研究基于省市级数据探讨了有效市场与有为政府对制造业出口技术复杂度的影响。从政策支撑维度看,知识产权保护政策<sup>[4-5]</sup>、国家信息化发展战略<sup>[6]</sup>和政府数据治理体系建设<sup>[7]</sup>为制造业技术高质量发展提供了明确引导。从市场交易机制维度看,市场分割程度<sup>[8]</sup>、市场化进程水平<sup>[9]</sup>,以及数字经济发展<sup>[10-11]</sup>、数字贸易推进<sup>[12-13]</sup>、大数据应用深化<sup>[14]</sup>,均对制造业出口技术复杂度变动具有解释力。从微观企业层面看,工业机器人进口<sup>[15]</sup>与人工智能技术应用<sup>[16]</sup>通过激发创新活力、优化要素配置效率等路径推动企业出口技术复杂度提升。尽管现有研究已较为丰富,但尚未充分揭示算力部署与制造企业出口技术复杂度之间的内在关联,对数字技术赋能出口技术复杂度的探讨多聚焦于人工智能、数字经济等宏观层面,未能对底层核心要素进行深入解构。作为支撑人工智能发展、驱动数字经济的核心底座,算力被视为中国中长期发展的新增长极和塑造国际竞争新优势的重要支撑,忽视其基础性作用可能导致对技术赋能机制的认知停留于表层。

当前学术界对算力的探讨多集中于理论层面,直接围绕算力的经验研究有限。许诺等指出,企业智算中心部署有助于提升全要素生产率,推动企业高质量发展<sup>[17]</sup>。从理论逻辑看,算力的效用正渗透至企业行为变革,其影响不仅涵盖本土生产经营活动,也对企业国际化进程中的资源配置效率与价值创造产生传导效应。在算力驱动下,企业经营逻辑转向依托计算资源实现精准赋能,推动整体技术体系向高集成度方向演进。这一转型推动算力部署企业实现两大关键跃迁:一是发展路径从依赖物理资产规模扩张的粗放模式转向以技术研发为核心的集约模式;二是盈利逻辑从要素投入驱动的低附加值模式转向产品附加价值提升的高增值模式。在算力持续赋能下,企业逐步构建起技术研发、产品升级与出口突破的良性生态,既能有效对冲外部技术封锁压力,也能实现从规模扩张到价值增值的关键转型。

基于上述分析,本文以2017—2023年沪深A股上市制造企业为研究样本,探究算力部署是否能提升制造企业出口产品技术复杂度。本文的边际贡献主要体现在两个方面。第一,扩展了出口技术复杂度的研究视角。现有关于出口技术复杂度影响因素的研究,多集中于数字经济、人工智能等相对宽泛的宏观领域。此类研究虽能在整体层面揭示人工智能对出口升级的驱动效应,但存在底层维度解构不足的局限。而算力作为衔接数据要素与算法模型的核心纽带,是支撑人工智能技术从实践赋能的底层基础。因此,本文引入更深层次的算力视角,揭示算力部署赋能出口升级的微观作用逻辑。第二,解构算力推动出口技术复杂度提升的完整传导路径。既有研究多局限于企业技术应用通过效率提升赋能出口升级的单一线性逻辑,未能充分关注其在实际运用过程中对产业链生态的内在依赖。对此,本文结合算力产业链特性,构建算力支撑传统要素充裕的基础支撑力机制、驱动技术充裕要素的计算驱动力机制、助力精准对接需求的发展牵引力机制,以此验证算力部署的传导路径。

## 二、理论分析与研究假设

### (一) 算力部署对企业出口技术复杂度的影响

当前经济社会的数据产生与积累规模呈快速增长态势,由此催生了指数级上升的算力需求。在微观企业层面,数据获取后需依托算力完成从收集、处理到价值创造的全流程转化,这一需求直接带动了以算力生产、调度、应用为核心的算力产业发展,逐步形成覆盖上游基础设施、中游服务调度、下游应用场景的完整产

业链,进而构建起以算力为核心驱动力的经济体系<sup>[18]</sup>。

从产业链视角具体分析,算力部署对制造企业出口技术复杂度的驱动作用体现在三个环节。首先,算力产业链上游的芯片、服务器等硬件设备,为企业提供算力运行的物质基础,其性能直接决定企业可承载计算任务的规模与复杂度。例如,芯动科技有限公司研发的国产全功能图形处理器(GPU)产品,可支撑制造企业运行复杂人工智能(AI)训练模型,助力精密零部件生产工艺优化,进而提高出口高端机械装备的技术含量与附加值;外资企业中,特斯拉在全球超级工厂部署的超算集群,依托高性能芯片构建的算力支撑体系,可高效处理智能驾驶相关训练数据,为其出口全球的智能电动车提供核心技术保障。与此同时,企业算力发展与应用所展现的高成长性和战略重要性,对劳动要素形成了更高的要求,对资本要素形成强大吸引力并触发虹吸效应,推动优质传统要素向算力产业加速聚集,为企业技术研发与产品迭代提供充足资金支持,由此形成出口技术提升的基础支撑力。其次,产业链中游的云计算平台,依托海量结构化关联数据,通过相似度计算、细粒度划分等算法构建可视化知识图谱,研发人员可高效预测有价值的知识组合,拓宽创新广度并实现核心技术突破,直接形成出口产品技术复杂度提升的计算驱动力。最后,在算力产业链下游,工业软件、行业解决方案等关键环节,通过将算力与企业具体业务场景深度绑定,能够为制造业企业释放数据价值搭建核心桥梁。以汽车制造企业为例,其可依托零部件采购、生产线设备运行参数、整车测试性能数据等,借助工业软件的算力,精准分析市场需求趋势,预测新能源汽车智能化功能的潜在市场机遇,并探索轻量化材料应用、能耗降低等创新方向<sup>[19]</sup>,成为出口产品技术复杂度提升的发展牵引力。

基于上述分析,本文提出假设1:算力部署能够提高企业出口技术复杂度。

## (二) 算力部署促进企业出口技术复杂度的具体作用机制

### 1. 基础支撑力机制

在产业链上游环节,算力部署可升级劳动要素和吸引耐心资本,实现传统要素升级,为企业技术复杂度提升提供基础支撑力。

从升级劳动要素来看,依据经济增长理论,经济产出水平取决于资本、劳动力与技术三大核心要素的投入效率。此前,中国企业主要依托丰富的劳动力资源与大规模资产建设参与国际分工,凭借低成本优势占据市场份额。传统制造企业中,劳动要素的价值创造多集中于生产制造和基础服务等全球价值链中低端环节,面临“微笑曲线”底部的价值挤压<sup>[20]</sup>。而算力依托其高效的数据处理能力与自动化执行特性,可实现对任务流程的标准化复刻,且具备低误差、高时效、可连续作业的优势,能对劳动要素中具备规则明确性、操作重复性、低技能依赖性特征的价值创造环节形成替代,能够降低企业在该类劳动环节的成本投入,导致低技能劳动需求规模缩减,倒逼该类劳动要素向具备基础数字技能的岗位转型<sup>[21]</sup>,推动劳动要素质的转型,从传统的手工和重复性劳动转变为知识密集型和创新驱动型劳动<sup>[22]</sup>,实现劳动要素升级。

从吸引耐心资本来看,当前中国资本市场整体呈现短期化倾向,传统资本与生产力模式已难以适配新发展需求,亟需引导更多中长期资金入市,为优质企业提供持续资金支持。而算力作为企业新质生产力的核心载体,兼具强创新性与前瞻性,既契合政府产业发展导向,也符合资本市场对行业趋势的判断逻辑,成为投资者评估企业未来成长性、预判业绩潜力的重要依据。这种属性不仅强化了市场对企业价值的正向解读,更使算力展现出对资本的强大吸引力,其高成长性与战略重要性能够触发虹吸效应,推动科技领域投资加速向算力产业聚集。以航空航天精密制造企业江苏迈信林航空科技股份有限公司为例,为支撑航空零部件AI设计、仿真检测及数字化生产转型,公司联合苏州市大数据集团共同投建苏州市人工智能(太湖)算力中心,依托算力中心产业布局与区域数字经济政策加持,公司获得地方产业资本的战略支持与长期资源赋能。这一案例表明,算力部署可有效缓解资本快进快出带来的融资渠道不稳定问题,引导传统生产要素向

具备长期竞争力的高技术出口型企业集聚,推动市场资源配置逻辑回归价值创造本源,进而保障企业技术研发项目的持续推进。

基于上述分析,本文提出假设2:算力部署通过升级劳动要素与吸引耐心资本,提升出口技术复杂度。

## 2. 计算驱动力机制

在产业链中游环节,算力部署可拓宽技术创新广度、实现核心技术创新,为企业出口技术复杂度提升提供计算驱动力。

从拓宽技术创新广度来看,算力部署可突破创新资源约束以拓展场景边界。首先,传统创新受限于数据处理能力与实验成本,仅能覆盖单一领域局部场景,而算力凭借海量数据实时处理与并行计算能力,可支撑创新主体对跨区域、跨行业的多源异构数据深度挖掘,使创新从小样本探索转向大规模数据驱动的全域分析;同时,算力驱动的虚拟仿真技术替代部分高成本实体实验,将创新探索延伸至深空探测、极端环境材料等高风险、难实现的场景,大幅拓宽技术创新的物理与应用边界。其次,企业部署算力能推动多领域技术融合以拓展交叉维度。算力作为通用技术载体,可整合不同领域的技术工具、数据标准与创新方法,构建统一的数字化创新体系,打破领域间技术壁垒<sup>[23]</sup>。例如在智慧医疗领域,算力整合医学影像、基因组学与临床诊疗数据,推动创新从单一病症诊断延伸至全流程精准医疗;且算力支撑下的创新成果具有一次研发、多域复用的特征,具有多维应用场景,从而拓宽技术创新广度。

从实现核心技术创新来看,算力部署可攻克复杂计算瓶颈以突破技术壁垒。首先,组织信息处理理论下知识是组织获取竞争优势的核心战略资源<sup>[24]</sup>。但受限于知识扩散的边界特性,不同技术门类间的差异易导致关键性知识识别出现困难与延迟,海量知识元素的隐性关联未被有效挖掘,知识组织与检索的效率难以匹配技术创新需求,对企业技术进步形成阻碍。此时,企业可依托于图表、数据库、语义网络等结构化数据,搭配聚类分析、关联分析等算法,构建强大的可视化知识图谱,将海量知识元素间的隐性关联转化为显性关系,提升知识分类的精细化程度及知识组织、检索效率<sup>[25]</sup>。在此基础上,研发人员不仅能高效预测有价值的知识组合,还可将检索到的知识精准嵌入对应知识模块,既深化了企业对原有领域知识的理解,又能从多元化视角挖掘既有知识组合重构的多种可能性,帮助研发人员突破思维惯性与范式认知,提升核心技术创新能力。其次,核心技术的研发常涉及海量数据处理与复杂模型运算,传统计算能力难以满足需求。算力凭借高性能计算集群与专用芯片,可支撑千亿参数大模型训练、复杂流体力学仿真等高强度计算任务,攻克芯片制程突破中的计算难题,助力突破外部技术封锁,实现核心技术创新。

基于上述分析,本文提出假设3:算力部署通过拓宽创新广度与突破核心技术,提升出口技术复杂度。

## 3. 发展牵引力机制

在产业链下游环节,算力部署可减少内外信息扭曲、精准对接需求,为企业技术复杂度提升提供发展牵引力。具体可从企业关系管理两方面展开:

在与协作方的关系管理层面,算力支撑下的大数据分析、机器学习等工具,可将原本单点、局部的分散数据,加工为兼具应用深度与广度的结构化数据,通过打通计划、库存、订单、财务等领域的全价值链数据,实现各物流环节的高效联动。这种数据与流程的协同,既能精准匹配供应商供货节奏与企业采购需求,又能优化企业的动态跨期决策,避免因信息不对称导致的存货频繁调整<sup>[17]</sup>,进而减少对产能稳定性的干扰,为技术研发与生产应用提供稳定的供应链支撑。

在与客户关系管理层面,企业通过算力驱动的分析模型挖掘海量数据,既能拆解客户业务本质、掌握产品运营状况,又能精准优化产品供给计划,具体可分为三个关键环节。首先,在合同录入阶段即对合同质量进行严格度量与管控,确保下游各环节能及时、准确获取所需数据。同时在全链条中对异常数据进行实时

监控,为企业洞察客户交互行为、提前捕捉运营机会提供可靠的数据支撑,从源头减少信息传递偏差。其次,在产品数据分析阶段,企业可依托数据统计平台获取消费者访问数据,把握用户访问的整体情况与趋势,再通过分析埋点数据深度解读终端用户偏好,既能有效避免技术资源浪费与产品研发方向偏差,又能驱动企业开发高功能集成度、复杂结构设计与高技术含量的产品,以满足市场对定制化、多样化乃至智能化的需求。此外,面对不同国家和地区差异化的技术规范、认证标准与功能偏好,算力赋予的精准需求对接能力,还能帮助企业制定差异化的出口战略,避免采用“一刀切”的低技术输出模式。多元化技术路径既提升了企业产品组合的技术复杂度均值,又拓宽了技术跨度,加速核心技术从实验室走向产业化的进程,进一步强化出口产品的技术竞争力。

基于上述分析,本文提出假设4:算力部署通过减少信息扭曲与精准对接需求,提升出口技术复杂度。

### 三、实证设计

#### (一) 样本选取与数据来源

首先,鉴于2017年之后全球及中国算力进入了高速发展阶段<sup>[17]</sup>,因此本文选取2017—2023年沪深A股制造业企业为研究样本,进行如下筛选:(1)剔除样本期间内被ST的企业,其财务数据不具备稳定性和有效性;(2)剔除数据缺失的企业样本。原始数据来自深圳希施玛数据科技有限公司CSMAR中国经济金融数据库和国务院发展研究中心信息网,企业财务数据来自深圳证券交易所、上海证券交易所网站。本文对所有连续变量进行上下1%水平的缩尾处理,最终得到18599个企业-年度观测值。

#### (二) 模型设定

为了检验算力部署对企业出口技术复杂度的影响,本文设定如下双向固定效应模型:

$$EXPY_{it} = \beta_0 + \beta_1 IDC_{it} + \mathbf{X}'_i \boldsymbol{\beta} + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $i$ 和 $t$ 分别表示企业和年份, $EXPY$ 代表企业出口复杂度, $IDC$ 表示企业算力部署, $\mathbf{X}'$ 为控制变量向量, $\gamma_i$ 和 $\lambda_t$ 分别为企业固定效应和年份固定效应, $\varepsilon_{it}$ 为残差项,并在企业层面聚类。

#### (三) 变量说明

##### 1. 被解释变量

企业出口技术复杂度( $EXPY$ )。借鉴盛斌和毛其淋<sup>[26]</sup>的研究,以各国人均国内生产总值加权平均计算产品出口技术复杂度,将HS96编码对应至国民经济行业2位码得到行业层面指标,再用LP法测算的企业全要素生产率对行业指标进行调整,最终得到企业层面的出口技术复杂度。

##### 2. 核心解释变量

算力部署( $IDC$ )。参考许诺等<sup>[17]</sup>的研究,采用企业是否拥有智算中心表征算力部署情况,若上市公司本身或其持股链条内公司持有互联网数据中心许可证,则 $IDC$ 取1,否则取0。

##### 3. 机制变量

第一,基础支撑力机制从优化劳动要素和吸引耐心资本两角度展开。以企业技术型员工比例( $TS$ )和大学以上学历员工比例( $MD$ )衡量劳动要素优化;参考胡海峰和张焱<sup>[27]</sup>的研究,以长期机构投资者持股比例与其过去三年持股比例标准差之比衡量耐心资本( $INVEST$ ),比值越高表明机构持股稳定性越强。

第二,计算驱动力机制从拓宽创新广度和突破核心技术两角度展开。以企业年度发明专利中涉及新知识领域数量占当年专利申请总量的比重衡量创新广度( $IB$ );将《产业基础创新发展目录》中1047项关键技术关键词与国际专利分类五级代码专利描述匹配<sup>[28]</sup>,加总得到企业年度关键核心技术专利申请数量,加1

后取自然对数度量核心技术创新水平(*CTI*)。

第三,发展牵引力机制从减少信息扭曲与精准对接需求两角度展开。以存货周转天数(*DSI*)的自然对数衡量精准对接需求程度,取值越小表明供需匹配程度越高;以企业生产波动与需求波动之比(*Bullwhip*)度量“牛鞭效应”引致的信息扭曲程度,作为高质量信息共享的反向指标。

#### 4. 控制变量

本文除控制企业规模、成立年限等基本特征以外,在企业财务状况和治理机制以及流动性方面选取其他控制变量,具体如表 1 所示。

表 1 变量定义

变量类型	变量名称	变量	变量说明
被解释变量	企业出口复杂度	<i>EXPY</i>	调整后的行业出口技术复杂度
解释变量	算力部署	<i>IDC</i>	企业持有 IDC 许可证
机制变量	劳动要素优化 1	<i>TS</i>	技术型员工比例
	劳动要素优化 2	<i>MD</i>	大学以上学历员工比例
控制变量	耐心资本	<i>INVEST</i>	长期机构投资者的持股比例/前三年持股比例的标准差
	创新广度	<i>IB</i>	涉及新知识领域的发明专利申请数比发明专利总申请量
	核心技术	$\ln CTI$	关键核心技术领域专利申请数量加 1 后取自然对数
	精准对接需求程度	$\ln DSI$	存货周转天数取自然对数
	信息扭曲程度	<i>Bullwhip</i>	企业生产波动与需求波动的比值
	企业规模	$\ln Employee$	员工总数取自然对数
	企业年龄	$\ln FirmAge$	观测年份与上市年份之差,加 1 后取自然对数
	总资产收益率	<i>ROA</i>	净利润/总资产
	总资产周转率	<i>Assetturn</i>	营业收入/总资产
	现金比率	<i>Cashflow</i>	经营活动产生的现金流量净额/营业收入
	两职合一	<i>Dual</i>	董事长与首席执行官(CEO)是否两职合一
	股权集中度	<i>Top1</i>	第一大股东持股数量除以总股数
	大股东资金占用	<i>Occupy</i>	为其他应收款占总资产的比例
	管理层持股比例	<i>Mshare</i>	管理层持股数/总股本
	托宾 Q 值	<i>TobinQ</i>	(流通股市值+非流通股股份数×每股净资产+负债账面值)/总资产

#### (四) 变量描述性统计

表 2 报告了变量的描述性统计结果。样本企业的出口技术复杂度(*EXPY*)最小值为 7.729 0,最大值为 13.160 0,标准差为 1.088 0,说明企业之间出口技术复杂度差异较大。企业算力部署(*IDC*)均值为 0.017 9,标准差为 0.133 0,表明大部分企业还未持有互联网数据中心许可证,企业算力部署仍有较大发展空间。

表2 描述性统计结果

变量类型	变量	样本量	最小值	最大值	均值	标准差
被解释变量	<i>EXPY</i>	18 599	7.729 0	13.160 0	10.170 0	1.088 0
解释变量	<i>IDC</i>	18 599	0	1	0.017 9	0.133 0
机制变量	<i>TS</i>	15 201	0.000 0	3.584 0	0.181 0	0.134 0
	<i>MD</i>	14 836	0.000 0	11.820 0	0.398 0	0.234 0
	<i>INVEST</i>	13 792	-9.686 0	11.420 0	1.562 0	1.721 0
	<i>IB</i>	18 256	0.000 0	1.000 0	0.216 0	0.330 0
	<i>CTI</i>	17 925	0.000 0	1 812.000 0	8.058 0	43.410 0
	<i>DSI</i>	16 966	14.800 0	831.500 0	153.300 0	138.100 0
	<i>Bullwhip</i>	18 561	0.038 8	1.713 0	0.573 0	0.188 0
	控制变量	<i>Employee</i>	18 599	165	47 405	3 927.000 0
<i>FirmAge</i>		18 599	7	36	20.150 0	5.729 0
<i>ROA</i>		18 599	-0.289 0	0.205 0	0.037 4	0.072 7
<i>Assetturn</i>		18 599	0.103 0	2.030 0	0.596 0	0.323 0
<i>Cashflow</i>		18 599	-0.154 0	0.239 0	0.051 4	0.067 2
<i>Dual</i>		18 599	0	1	0.371 0	0.483 0
<i>Top1</i>		18 599	0.086 4	0.714 0	0.320 0	0.138 0
<i>Occupy</i>		18 599	0.000 1	0.129 0	0.010 6	0.019 0
<i>Mshare</i>		18 599	0.000 0	0.701 0	0.181 0	0.210 0
<i>TobinQ</i>		18 599	0.873 0	8.633 0	2.003 0	1.232 0

## 四、实证结果与分析

### (一) 基准回归

表3报告了算力部署对企业出口技术复杂度影响的回归结果。列(1)为加入控制变量但未控制固定效应的回归结果,企业算力部署的回归系数在1%水平下显著为正。列(2)进一步控制企业固定效应与年份固定效应,算力部署的回归系数为0.306 1,在1%水平下显著为正,假设1得到验证,即算力部署能提升企业出口技术复杂度。从经济意义上看,在控制其他变量保持不变的情况下,进行算力部署的企业,其出口技术复杂度比未部署算力的企业平均高出约30.61%。

表3 基准回归结果

变量	(1)	(2)
<i>IDC</i>	0.317 5*** (3.518 3)	0.306 1*** (3.362 9)
<i>lnEmployee</i>	0.561 6*** (47.236 0)	0.568 6*** (47.811 6)
<i>lnFirmAge</i>	0.043 9 (1.125 8)	-0.028 6 (-0.699 2)
<i>ROA</i>	2.514 0*** (20.503 8)	2.613 6*** (20.906 0)
<i>Assetturn</i>	0.808 7*** (20.078 1)	0.817 3*** (20.3425 )
<i>Cashflow</i>	-0.601 4*** (-4.733 7)	-0.657 5*** (-5.128 4)
<i>Dual</i>	-0.021 8 (-1.047 7)	-0.032 0 (-1.535 3)
<i>Top1</i>	-0.345 4*** (-3.974 3)	-0.332 8*** (-3.833 7)
<i>Occupy</i>	1.068 3** (2.268 6)	1.731 9*** (3.614 2)
<i>Mshare</i>	-0.406 6*** (-7.360 6)	-0.420 8*** (-7.638 1)
<i>TobinQ</i>	-0.042 8*** (-4.942 7)	-0.041 5*** (-4.696 6)
常数项	5.514 6*** (37.839 9)	5.667 2*** (38.273 7)
企业固定效应	未控制	控制
年份固定效应	未控制	控制
观测值	18 599	18 599
$\overline{R^2}$	0.585 8	0.593 3

注：\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%水平下显著,括号内为*t*值,后表同。

## (二) 内生性分析

### 1. 工具变量法

本文构建份额移动工具变量(*Bartik*)检验基准模型可能存在的反向因果偏误与遗漏变量干扰问题,该工具变量由两部分构成:一是企业所在制造业细分行业在滞后一期(剔除本企业后)的算力部署均值,用以捕捉行业层面由历史因素决定的初始算力基础结构;二是全样本企业算力部署的年度增长率,用以反映宏观层面的算力技术扩散趋势。将二者相乘,即得到对企业算力部署的外生预测值。一方面,该变量蕴含样本企业的算力部署特征,满足相关性;另一方面,滞后一期的行业结构变量由过去的企业决策和行业特性决定,不受企业当期出口决策或技术复杂度的反向影响,且全样本增长率是宏观经济技术演进的系统性趋势,非单个企业所能控制,满足外生性。回归结果如表4所示。可以看出,可识别检验中 Kleibergen-Paap rk *LM* 统计量在1%显著性水平下拒绝原假设,即工具变量满足可识别性;弱工具变量检验中 Kleibergen-Paap rk Wald *F* 统计量大于1%显著性水平下的临界值,即工具变量通过弱工具变量检验。第一阶段的回归结果显示,工具变量的回归系数显著为正,表明工具变量具有较强的相关性。第二阶段的回归结果表明,在考虑内生性问题后,算力部署对出口技术复杂度仍具有明显的正向影响,佐证了基准模型的结论。

### 2. 倾向得分匹配(PSM)法

为了解决本文样本自选择偏误问题,根据企业是否进行算力部署分为两组,并选取控制变量作为协变量进行逻辑(logit)回归得出倾向得分值,同时借助这些协变量进行1:4近邻匹配,删除没有匹配上的样本,重新进行回归,结果如表4所示。可

以看出,算力部署的回归系数在1%水平下显著为正,这进一步说明了算力部署可以提升企业出口技术复杂度。

表4 内生性分析回归结果

变量	工具变量法		PSM法
	第一阶段	第二阶段	
<i>Bartik</i>	0.9854*** (431.6038)		
<i>IDC</i>		0.1697*** (4.4155)	0.3430*** (3.6196)
常数项	-0.0004 (-0.8482)	5.2058*** (61.1812)	4.7554*** (7.3136)
控制变量	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
观测值	11798	11798	652
$\overline{R^2}$	0.9995	0.6449	0.7197
Kleibergen-Paap rk LM	23.591		
Kleibergen-Paap rk Wald F	34.000		

### (三) 稳健性检验<sup>①</sup>

为检验基准回归的稳健性,本文采用多种方法进行稳健性检验,包括更换核心解释变量衡量方式、子样本回归、滞后处理效应检验以及动态效应检验,结果与基准回归结果基本保持一致,表明研究结论具有稳健性。

### (四) 机制检验

在前述研究中,理论分析和实证结果均表明算力部署能促进出口技术复杂度提升,本文进一步解析两者之间的作用路径。参考江艇<sup>[29]</sup>提出的两步法,本文设定如下机制检验模型:

$$M_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 IDC_{it} + X'_{it}\beta + \gamma_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $M_{it}$ 为机制变量,其余变量含义同模型(1)。

#### 1. 基础支撑力机制检验

本文从优化劳动要素、吸引耐心资本两个角度,检验算力部署赋能基础支撑力的作用路径,首先,分别以企业技术型员工比例(*TS*)和大学及以上员工比例(*MD*)衡量劳动要素优化,回归结果如表5所示。前两列的回归结果显示,算力部署的回归系数显著为正,说明算力部署有助于提升劳动要素质量。其次,计算长期机构投资者持股比例与其过去三年持股比例标准差的比值,构建得到耐心资本指标(*INVEST*),回归结果如表5所示。由第三列的回归结果可知,算力部署的回归系数显著为正,说明算力部署通过吸引耐心资本进而提升了出口技术复杂度。

<sup>①</sup>限于篇幅,具体稳健性检验结果省略,备索。

表 5 基础支撑力机制检验回归结果

变量	企业技术型员工比例	大学及以上员工比例	耐心资本
<i>IDC</i>	0.110 6*** (3.769 5)	0.016 0* (1.710 6)	0.198 1* (1.760 8)
常数项	0.627 3*** (13.703 4)	-0.104 4 (-1.135 5)	-2.334 7*** (-7.848 7)
控制变量	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
观测值	15 201	14 836	13 792
$\overline{R^2}$	0.071 6	0.854 5	0.226 3

2. 计算驱动力机制检验

本文从拓宽创新广度与突破核心技术两角度,检验算力部署赋能计算驱动力机制的作用路径,首先,使用涉及新知识领域的发明专利申请数与发明专利总申请量的比值衡量创新广度(*IB*),回归结果如表 6 所示。由第一列的回归结果可知算力部署的回归系数显著为正,说明算力部署有助于拓宽创新广度。其次,以关键核心技术领域专利申请数量(*CTI*)加 1 后取自然对数衡量核心技术创新,由第二列的回归结果可知,算力部署的回归系数显著为正,说明算力部署能通过突破核心技术从而促进出口技术复杂度提升。由此算力部署的计算驱动力机制得以检验。

3. 发展牵引力机制检验

本文从减少信息扭曲与精准对接需求角度,检验发展牵引力机制。以存货周转天数(*DSI*)的自然对数衡量精准对接需求程度,该指标取值越小,产品的供需匹配程度越高;以各企业生产波动与需求波动的比值(*Bullwhip*)测度信息扭曲程度。回归结果如表 6 所示。由最后两列回归结果可知,算力部署的回归系数均显著为负,说明算力部署能够通过精准对接需求与减少信息扭曲,提升企业出口技术复杂度。由此,算力部署的发展牵引力机制得以检验。

表 6 计算驱动力机制和发展牵引力机制检验回归结果

变量	创新广度	核心技术创新	精准对接需求程度	信息扭曲程度
<i>IDC</i>	0.059 9** (2.060 3)	0.820 0*** (4.377 3)	-0.144 7* (-1.916 9)	-0.132 3* (-1.725 7)
常数项	2.812 5*** (13.267 7)	-1.654 5*** (-6.978 8)	5.171 1*** (39.215 4)	5.139 1*** (37.921 9)
控制变量	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	18 256	17 925	16 966	18 561
$\overline{R^2}$	0.501 7	0.200 0	0.304 5	0.301 4

### (五) 异质性分析

算力作为典型的赋能型生产要素,其作用的有效发挥高度依赖主体吸收能力、场景适配条件与外部资源支撑,这决定了其对企业出口技术复杂度的提升效应必然存在情境异质性。本文从企业属性、行业类型与地区特征三个维度展开异质性分析,更精准地识别算力部署影响企业出口技术复杂度的场景依赖性。

#### 1. 企业属性

本文按照企业属性将样本企业分为中外合资企业、私营企业和国有企业三类,对算力部署影响企业出口技术复杂度的异质性进行分析,结果如表 7 所示。可以看出,在中外合资企业和私营企业样本中,算力部署的回归系数显著为正,国有企业样本中,该回归系数则不显著。这可能是因为中外合资企业依托外方股东的全球算力网络与技术协同体系,能低成本获取算力资源并与先进研发流程、海外市场技术合规要求直接对接,同时中方股东的本土资源可降低算力落地的制度性成本,强化算力对出口技术复杂度的赋能效果。私营企业凭借决策链条短、市场化导向强的优势,能快速响应出口市场的技术需求变化,对市场竞争的敏感性更强,更易通过算力投入构建出口技术优势。而国有企业的出口业务常与国家战略导向深度绑定,技术升级更依赖自上而下的战略规划,未能充分对接出口产品的核心技术研发需求,导致算力部署对其出口技术复杂度的影响不明显。

表 7 企业属性异质性分析回归结果

变量	中外合资企业	私营企业	国有企业
<i>IDC</i>	0.3523*** (2.6168)	0.2556** (2.5081)	-0.1280 (-0.2234)
常数项	5.0251*** (12.9338)	5.9346*** (34.1240)	6.6722*** (16.9205)
控制变量	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
观测值	2456	12446	3477
$\bar{R}^2$	0.6181	0.5409	0.5478

#### 2. 行业类型

本文将样本划分为管制性行业和竞争性行业两组子样本分别进行回归<sup>[30]</sup>,结果如表 8 所示。由前两列回归结果可以看出,在竞争性行业中算力部署的回归系数显著为正,在管制性行业该回归系数则不显著。究其原因,竞争性行业低准入壁垒、高市场竞争强度的特征为算力赋能出口技术复杂度提供了天然适配场景。激烈的市场竞争迫使企业持续投入技术创新以规避同质化竞争,算力作为提升研发效率、优化产品技术含量的核心工具,可直接作用于出口技术升级的关键环节;同时,竞争性行业市场化资源配置逻辑更灵活,企业可根据出口需求动态调整算力投入方向,放大了算力对出口技术复杂度的赋能效应。而管制性行业强政策约束、高准入门槛的制度属性从根本上限制了算力的赋能空间。算力应用场景被大幅限定,且技术创新多以满足政策标准为首要目标,企业对算力的投入更倾向于合规性保障而非突破性技术研发,导致算力与出口技术升级的核心需求脱节。

#### 3. 地区特征

本文按照地级市是否存在公共数据开放平台对样本进行分组检验,结果如表 8 所示。由后两列回归结果可以看出,当企业所在地级市存在公共数据开放平台时,算力对企业出口技术复杂度的提升作用明显,反之则不明显。可能的解释为,政府公共数据涵盖跨境贸易统计、产业技术标准和产业链协同信息等核心内

容,这些数据权威性高且覆盖面广。当公共数据开放时,企业可低成本、高效获取此类数据,使算力摆脱了无数据可算或算无效数据的困境。企业通过算力对数据进行深度挖掘与分析,精准识别海外市场的高技术产品缺口与技术偏好,推动核心技术的集成创新以提升出口产品的技术复杂度。而政府不设立公共数据开放平台会导致算力面临高质量数据供给短缺的核心约束,难以实现向出口技术复杂度提升的价值转化。

表 8 行业类型和地区特征异质性分析回归结果

变量	行业类型		地区特征	
	管制性行业	竞争性行业	存在公共数据开放平台	不存在公共数据开放平台
<i>IDC</i>	-0.035 0 (-0.119 0)	0.348 5*** (3.947 4)	0.321 5*** (3.443 2)	0.116 6 (0.778 7)
常数项	4.521 2*** (11.329 3)	5.636 9*** (36.641 8)	5.716 3*** (34.993 6)	1.590 9*** (3.212 5)
控制变量	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	2 178	16 421	14 674	1 580
$\bar{R}^2$	0.726 3	0.595 7	0.602 4	0.949 8

## 五、结论与建议

算力作为提升出口技术复杂度的核心支撑,是全球贸易竞争中企业突破技术壁垒、抢占价值链高端的关键引擎。本文基于 2017—2023 年沪深 A 股上市制造企业微观数据,使用双向固定效应模型实证探究企业算力部署与出口技术复杂度的因果关系。第一,算力部署能够提升企业出口技术复杂度,这一结论经过一系列内生性分析和稳健性检验后依然成立。第二,算力部署通过优化劳动要素与吸引耐心资本、拓宽创新广度与突破核心技术、减少信息扭曲与精准对接需求三条路径,跨越技术形成、应用和转化的瓶颈,驱动制造企业出口技术复杂度提升。第三,算力部署对制造企业出口技术复杂度的提升效应在中外合资和民营企业、竞争性行业及公共数据开放地区更为明显。

基于以上研究结论,本文提出如下政策建议:

第一,将算力部署纳入企业出口战略核心,完善算力产业链生态。企业需将产业链协同思维融入算力生态体系,以整体效能驱动出口技术复杂度提升。首先,建立算力与劳动和资本要素的联动机制。通过算力优化劳动要素配置,提升生产智能化水平,推动劳动要素向技能型和知识型转型;以算力应用展示技术创新的长期收益,吸引股权投资、产业基金等耐心资本参与技术研发,缓解短期盈利压力,加速资本向技术密集型领域倾斜。其次,将算力深度融入技术研发全流程。利用算力支撑的大数据分析与跨领域仿真技术,挖掘不同知识领域的技术关联,拓宽创新广度;在核心技术攻坚上,借助算力进行数据清洗、特征提取与关联分析,训练研发预测模型,预测最优研发路径,加速核心技术突破。最后,借助算力搭建全球化市场信息分析与需求响应体系,精准把握海外市场的技术标准、消费偏好与贸易壁垒,构建柔性化生产与定制化服务能力,实现出口产品与市场需求的精准匹配,由此形成算力驱动出口技术复杂度提升的完整机制。

第二,差异化布局算力资源,结合自身禀赋实现效能最大化。一方面,企业制定算力策略需依托自身禀赋选择适配路径。从企业所有制看,中外合资企业可借助外方的技术与管理经验搭建国际化研发算力平台,强化算力对出口技术升级的支撑;民营企业则应聚焦细分领域,采用高性价比的云算力服务,在特定技术环节实现单点突

破。从区域禀赋看,位于公共数据开放度高地区的企业,需主动整合外部数据红利与内部算力资源,充分释放算力减少信息扭曲、精准对接需求的功能,实现算力投资回报最大化。另一方面,各级政府需聚焦中外合资企业、私营企业和竞争性行业,通过融资便利与税收优惠等政策,助力其获取高性能算力;同时,推进公共数据有序开放与共享,打破“数据孤岛”,为企业算力应用创造良好外部环境,推动制造业出口技术复杂度整体提升。

#### 参考文献:

- [1] 杜传忠,张榕. 企业智能化转型能否突破全球价值链“低端锁定”困境——基于供应链协同创新的视角[J]. 国际经贸探索,2025,41(10):4-22.
- [2] 赵驰,陶嘉仪,杨建强,等. 新发展格局下创新驱动中国制造业全球价值链升级[J]. 科研管理,2025,46(6):44-53.
- [3] 徐宏潇.“算力即国力”:数智时代算力重塑国力博弈新态势及中国应对[J]. 浙江工商大学学报,2025(4):144-154.
- [4] 朱叶,孙明贵. 知识产权示范城市政策对出口升级的影响机制研究[J]. 科研管理,2025,46(11):183-192.
- [5] 章秀琴,施旭东. 知识产权司法保护与出口技术复杂度——兼论“双轨制”下知识产权行政保护的调节效应[J]. 国际商务(对外经济贸易大学学报),2023(6):113-132.
- [6] 李宏,乔越. 数字化转型提高了制造业出口技术复杂度吗?——基于国家信息化发展战略的拟自然实验[J]. 山西大学学报(哲学社会科学版),2021,44(5):108-118.
- [7] 陈晔婷,李正彪,何思源. 政府数据治理对制造业出口技术复杂度的影响研究[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2024,44(10):39-56.
- [8] 刘宏楠,陈光春,杨景院. 市场分割对制造业出口技术复杂度的影响——基于产业聚集和技术变革视角[J]. 经济与管理,2024,38(1):53-64.
- [9] 田晖,韦志文,宋清. 市场化进程、创新投入与出口技术复杂度——基于省际面板数据的中介效应分析[J]. 河南师范大学学报(哲学社会科学版),2022,49(1):82-89.
- [10] 潘爽,唐绅峰,叶德珠,等. 数字经济对出口技术复杂度的影响研究——基于城市面板数据的实证分析[J]. 财贸研究,2024,35(2):15-30.
- [11] 李俊久,姜美旭,张朝帅. 数字经济发展如何影响城市出口技术复杂度——理论模型与经验证据[J]. 国际经贸探索,2024,40(11):57-73.
- [12] 叶霖莉,薛襄稷. 数字贸易对制造业出口技术复杂度的影响[J]. 国际商务研究,2025,46(3):88-102.
- [13] 段丁允,冯宗宪. 数字贸易发展如何影响出口技术复杂度——来自中国城市面板数据的经验证据[J]. 经济体制改革,2025(2):57-66.
- [14] 周家正,赵家章. 大数据发展如何影响出口技术复杂度?——来自国家级大数据综合试验区的经验证据[J]. 首都经济贸易大学学报,2025,27(2):63-78.
- [15] 左瑞瑞. 工业机器人进口与企业出口技术复杂度[J]. 国际商务研究,2023,44(5):34-47.
- [16] 张兵兵,陈静,朱晶,等. 人工智能与企业出口技术复杂度提升[J]. 国际贸易问题,2023(8):143-157.
- [17] 许诺,毛聚,毛新述,等. 算力部署、数据跨域流动与企业全要素生产率——来自智算中心的证据[J]. 中国工业经济,2025(4):61-79.
- [18] 李平,邓洲,张艳芳. 新科技革命和产业变革下全球算力竞争格局及中国对策[J]. 经济纵横,2021(4):33-42.
- [19] 余东华. 算力:数字经济时代的新质生产力[J]. 财贸研究,2024,35(7):1-16.
- [20] 郭金花,朱承亮. 数字化转型、人力资本结构调整与制造业企业价值链升级[J]. 经济管理,2024,46(1):47-67.
- [21] 苑泽明,于翔,李萌,等. 数据资产促进了中国企业人力资本水平提升吗——基于文本分析法的经验证据[J]. 南开管理评论,2025,28(8):64-75.
- [22] 陈荣达,林祺,金骋路,等. 数据资产评估定价与新质生产力发展:演进逻辑与主要挑战[J]. 财贸经济,2024,45(8):33-51.
- [23] 王华,官裕凯. 算力基础设施建设与企业人工智能技术发展[J]. 统计与信息论坛,2026,41(2):42-55.
- [24] SHAMIM S, CANG S, YU H N. Impact of knowledge oriented leadership on knowledge management behaviour through employee work attitudes [J]. The International Journal of Human Resource Management, 2019, 30(16): 2387-2417.
- [25] 苑泽明,谢枚玲,黄灿. 数据资产、知识取回能力与企业风险承担[J]. 北京工商大学学报(社会科学版),2025,40(2):38-52.
- [26] 盛斌,毛其淋. 进口贸易自由化是否影响了中国制造业出口技术复杂度[J]. 世界经济,2017,40(12):52-75.
- [27] 胡海峰,张焯. 耐心资本赋能企业发展韧性提升:理论依据与经验事实[J]. 经济问题,2025(7):47-57.
- [28] 郑世林,汉馨语,郭锡栋,等. 国家战略科技力量与企业关键核心技术突破——来自国家和省级重点实验室的证据[J]. 中国工业经济,2024(9):62-80.
- [29] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济,2022(5):100-120.
- [30] 袁淳,肖土盛,耿春晓,等. 数字化转型与企业分工:专业化还是纵向一体化[J]. 中国工业经济,2021(9):137-155.

## Computing Power Deployment and Export Technological Sophistication of Enterprises

YIN Qi<sup>1</sup>, FAN Libo<sup>1</sup>, XIE Meiling<sup>2</sup>

(1. University of International Business and Economics, Beijing 100029;

2. Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073)

**Abstract:** Currently, China's manufacturing sector faces the pressing contradiction of being large but not strong: scale advantages do not align with quality and efficiency, whilst breakthroughs in core technologies in key fields lag behind the complete industrial chain. Against the backdrop of external technological blockades, entity list restrictions, and the normalization of trade frictions, the traditional development model reliant on factor inputs and scale expansion is no longer sustainable. Enhancing export technological sophistication (ETS) and accelerating industrial upgrading have become imperative. Simultaneously, with the rapid development of the digital economy and the continuous improvement of the computing power ecosystem, computing power has transformed from its past role as basic infrastructure into a crucial engine driving China's medium- to long-term economic growth. Continuously empowered by computing power, enterprises are gradually building a virtuous cycle ecosystem that spans technological research and development, product upgrades, and export breakthroughs. This not only helps cope with external technological pressures but also provides key support for China's manufacturing sector to climb to the higher end of the global value chain.

Based on data from China's A-share listed manufacturing enterprises from 2017 to 2023, this paper empirically investigates the causal effect between enterprise computing power deployment and ETS. The findings prove that computing power deployment enhances the ETS of manufacturing enterprises by providing foundational support, strengthening computational power, and creating developmental momentum. Mechanism analysis reveals that this positive effect operates through three paths: optimizing labor factors and attracting patient capital; broadening the scope of innovation and achieving breakthroughs in core technologies; and reducing information distortion and precisely matching demands. Heterogeneity analysis shows that the positive effect is more pronounced in joint ventures and private enterprises, as well as enterprises in competitive industries and regions with open public data.

The marginal contributions are as follows. First, this paper shifts focus from the macro-level digital economy and artificial intelligence to enterprise-level computing power deployment and reveals its micro-level mechanism in export upgrading, thereby filling the gap regarding the deconstruction of the foundational dimension. Second, this paper moves beyond the singular logic that technological application solely enhances efficiency. By integrating the characteristics of the computing power industry chain, it constructs mechanisms of foundational support, computational power enhancement, and developmental momentum, systematically explaining the complete transmission path through which computing power deployment enhances ETS.

**Keywords:** computing power deployment; export technological sophistication; manufacturing enterprise; patient capital; core technology; innovation capability

编校:李 叶;董启琛