

[DOI] 10.19653/j.cnki.dbcjdxxb.2023.03.003

[引用格式] 王开科,李彬,章贵军.数智化如何赋能新发展阶段的工业经济提质增效?[J].东北财经大学学报,2023(3):26-37.

# 数智化如何赋能新发展阶段的工业经济提质增效?

王开科<sup>1,2</sup>, 李彬<sup>1</sup>, 章贵军<sup>3</sup>

(1. 山东财经大学 统计与数学学院, 山东 济南 250014; 2. 山东财经大学 数字经济研究院, 山东 济南 250014; 3. 福建师范大学 数学与统计学院, 福建 福州 350117)

**[摘要]** 数字经济时代的工业高质量发展,不仅需要数字化,还需要智能化。研究包含数字化和智能化的数智化影响机制及影响效应,是新发展阶段中国工业高质量发展路径探索的重要主题。本文围绕新发展阶段的工业经济提质增效问题,梳理数智化赋能工业经济发展的影响机制,并基于中国277个地级市数据验证影响机制的作用形式和作用效果。结果显示:数智化显著推动了工业经济提质增效,其中,技术创新的赋能机制起到了关键作用;数智化提升了工业信息化水平,也改善了工业产业链结构;在数智化推动工业经济提质增效的进程中,东部地区和中部地区技术创新赋能机制显著,但西部地区尚不显著。本文基于实际数据探究新发展阶段中国工业数智化战略问题,为推动中国工业数智化进程提供更具针对性的政策建议。

**[关键词]** 数字经济;数智化;技术创新;工业经济提质增效

**中图分类号:** F42; F222 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-4096(2023)03-0026-12

## 一、引言

工业经济提质增效是新发展阶段深化供给侧结构性改革的主要阵地,亦是促进工业高质量发展的重要任务之一。“打造数字经济新优势”“推动产业数智化”“提升产业链供应链现代化水平”等高频语句出现在政府工作报告、有关政策文件中,这些无不向人们展示着数智化革命正在向中国工业领域加速渗透,工业数智化已成为经济发展的核心方向。

数字化强调的是数据的获取、汇聚以及大数据分析与管理,而数智化则在数据的接入、汇聚和管理的基础上,突出机器学习、人工智能等核心要素,围绕业务流程将大数据、人工智能、云

收稿日期: 2023-04-13

基金项目: 国家社会科学基金青年项目“我国固定资本服务核算的理论、方法及其实证研究”(20CTJ003);山东省自然科学基金青年项目“资产效率模式选择与中国的生产性资本存量核算问题研究”(ZR2020QG029)

作者简介: 王开科(1986—),男,河南禹州人,副教授,博士,主要从事经济统计研究。E-mail: lingnan07wkk@163.com  
李彬(通讯作者)(1997—),女,山东聊城人,硕士研究生,主要从事经济统计研究。E-mail: 2455758920@qq.com  
章贵军(1978—),男,湖北监利人,副教授,博士,主要从事经济社会统计研究。E-mail: gj\_zhang3417@sina.com

计算、物联网、先进生产方法等前沿技术与生产业务相结合,打通不同层级与行业间的数据壁垒,强调从数据中找寻潜在规律和关联性,形成知识并作用于生产过程,以实现人工智能与实体经济的融合。简言之,数智化是一个更加综合和深入的范畴,不仅体现在数智技术的发展上,还表现为生产过程中要素机制、组织体系等的全方位转型,以及支撑产业数智化所需的经济、社会体系等外部环境的全方位转变<sup>[1]</sup>。

具体到工业发展领域,传统工业数字化、网络化、智能化水平的提高,可以看作是信息技术在不同产业中的创新扩散,而基于信息技术的新模式、新业态,本质上都是对技术创新的利用<sup>[2]</sup>。数智化打通了行业内部与行业之间的数据壁垒,通过数据要素与其他要素、经济形态的有效融合<sup>[3]</sup>,促进工业新模式和新业态的创新发展。以数字智能科技为支撑,以数据为关键要素,以价值释放为核心,以数据赋能为主线,对工业链上下游全要素进行数智化升级、转型和再造,真正推动技术创新赋能工业经济提质增效,是工业数智化发展的关键。鉴于工业生产的规模性和消费者个性化需求的冲突,数智技术在工业经济领域的应用主要停留在采购、物流和内部决策管理的信息化应用环节,与工业生产技术和个性化定制等方面的融合不足,本文讨论数智化与工业经济提质增效之间的内在关联,在理论机制研究的基础上,基于中国277个地级市面板数据实证检验数智化的成效,及其影响工业经济提质增效的实际表现。

## 二、理论分析与研究假设

### (一) 数智化赋能机制分析

#### 1. 产融结合中的创新性渗透

以人工智能、云计算、物联网等为主的数智技术打破行业壁垒,模糊产业边界,加速产业融合,推动着基础行业转型升级<sup>[4]</sup>;信息技术不仅有利于三次产业内部结构优化,还推动了制造业向高技术产业转变<sup>[5]</sup>。相比于其他产业,信息技术对农业和工业的结构优化作用更为显著<sup>[6]</sup>。同时,技术战略促进了传统服务业转型升级<sup>[7]</sup>,互联网分享经济模式实现传统服务业供需瞬时精准匹配<sup>[8]</sup>,分享经济平台创造了新消费和新供给机制<sup>[9]</sup>。数智技术驱动传统服务业变革已成为全球经济增长新动能<sup>[10]</sup>。数智技术在传统产业的渗透应用,加速了产业融合,带来的技术创新和效率提升共同推动工业经济提质增效。

数智技术通用性带来了创新的广泛渗透,对数字产业化而言,信息与通信产业(ICT)对三次产业发展具有较强的带动效应和感应度<sup>[11-12]</sup>,其所具有的联动、扩散和溢出效应对工业企业转型升级有着正向的影响。随着信息与通信产业在国民经济其他产业中的不断渗透,其对整个产业结构升级的作用也越来越关键<sup>[13]</sup>,尤其在2010年以后,推动作用更加显著<sup>[14]</sup>。作为一种新兴技术,人工智能、物联网、区块链等与实体经济深度渗透融合,不断拓展实体经济的技术延展空间,全面促进生产效率提升和经济增长<sup>[15-16]</sup>。可以看出,数智化的重要特点在于,数智技术以一种通用技术的形式广泛渗透到经济发展的多个环节,在这种渗透过程中实现产业融合,期间伴随着大量技术创新<sup>[17]</sup>。在数智化驱动经济体不断实现技术创新的过程中,工业发展质量、经济效率等不断得到改善。

#### 2. 产业组织决策的模式转换

在数智化时代,数据作为第五大生产要素,其资源属性不断增强,逐渐居于核心地位。互联网的发展应用夯实了信息化的基础,将传统的决策模式从“人与信息对话”导向“人与数据对话”,并试图实现“数据与数据对话”<sup>[18]</sup>。而这种决策模式的转变依赖于技术创新,随着数智技术

的不断渗透与发展,其自生长性的特点使不同组织和个体在不同场景的应用过程中引发技术创新。

海量数据强化了数据分析对经营决策的支持,提升了决策制定的效率与准确性。数据的冗杂对企业自身技术有着更高的要求,促使企业应用数智技术的同时不断完善与创新来支持对海量数据的处理与模型修正,进而提高分析结果的精确度。对程序性业务而言,企业具有较为完善的流程与模式,通过计算机等技术进行智能化运营,从而降低人工失误所造成的信息误差,实现业务效率的大幅提升;企业通过对数据进行实时分析实现对业务流程的监督,及时发现经营过程中的异常。同时,企业可以通过数据挖掘技术发现业务流程中的低效以及冗余环节并及时修正与重组进而促进整个产业的效率提升。对非程序性业务而言,企业在结合经典理论与主观经验的同时,应发挥创造性思维,积极推动技术创新提高决策准确性进而促进效率提升。随着数智技术的不断创新与完善,企业在数据获取、存储、分析等方面的能力均得以增强,并且创造了可观的销售业绩。在数智化管理和资产组合管理等方面,创新能力强的企业普遍表现出更为积极的姿态<sup>[19]</sup>。数智化背景下技术创新提升了企业的生产效率,进而驱动工业经济效益的提升。

## (二) 数智化赋能路径分析

### 1. 供给需求对接路径

在传统经济模式下,消费者一直是被动接受的一方,缺乏对产品设计的话语权,数智技术的应用重构了消费者与企业之间的关系,进而催生了“定制+服务+网络协同”的新型化、智能化产业制造模式<sup>[20]</sup>。这既提高了供需之间的连接和匹配,使传统产业的价值创造从以供给为导向逐渐转到以消费者需求为中心,产品制造和创新的方向更加明确。首先,企业通过互联网平台和数智技术对用户产生的数据进行分析,制定满足消费者多样化需求的方案,并实时根据需求变化作出合理调整,提升了供给效率、降低了无效产能。其次,企业基于智能制造,以柔性化生产有效满足消费者个性化定制,增强了用户体验。最后,消费者基于互联网平台直接参与产品设计,通过将自身需求、感受、经验、建议等及时反馈进而给企业提供了创新指引,促进企业不断升级产品与服务,创新成果显著。随着企业经营的重心从供给侧转向需求端,传统的大规模生产模式逐渐被个性化定制的批量生产模式所替代,通过需求端倒逼供给侧的品质提升,促进了工业企业高质量发展,有效对接中国当前供给侧结构性改革的主要思路。

### 2. 要素配置效率提升路径

数智技术的引进与应用提升了企业组织能力,优化了其他生产要素的效率、数据要素与其他生产要素之间的配比,通过投入结构优化提升了整体效率<sup>[21]</sup>。首先,物联网、大数据和虚拟现实等技术将线下资产信息进行数智化处理,线上线下资产信息得以完整呈现,激活了企业的闲置资产。企业间的数智化连接解决了企业之间信息的不对称问题,实现了对闲置要素的企业共享,这样在提升要素利用效率的同时,也有利于增量供给压力的缓解<sup>[19]</sup>。其次,传统产业所构建的高度互联互通的网络化结构为各类要素的创造、集聚、转移和应用创造便利条件,实现要素供需精准匹配<sup>[22]</sup>。最后,企业通过数智技术实现信息的实时获取,及时了解产品的需求变化,并通过数据分析对产品生产量、价格区间等进行调整,进而形成物流、信息流和价值流的协同,有助于降低产业发展所面临的不确定性,避免产能过剩。

传统工业高技术化本质上是科技、经济、社会的相互作用过程<sup>[23]</sup>。这种相互作用,使得数智技术改造传统工业的过程中伴随着技术、管理、人员素质、社会需求等因素在内的技术共同体的重新组合。企业间的数智化连接打破了时空限制,不同区域的创新主体能够进行实时交流<sup>[15]</sup>,使创新主体间的合作更加紧密,技术、人才、资源等要素的流动更加自由高效,从而不断提升企业技术水平和创新效率。对中小企业而言,数智技术为其挖掘市场需求、参与市场竞争提供了更为



便捷的路径,降低了其进入市场的壁垒,极大地开发了中小企业的创新能力<sup>[21]</sup>。

### (三) 数智化赋能模式分析

#### 1. 优化生产过程知识结构

数智化为传统工业带来了新技术,新技术的应用更新了传统工序技术进而对传统工业的制作工艺,包括工艺方法、过程和设备进行改造<sup>[23]</sup>。许多传统工业因新技术的渗透,增加了知识在成本中的比重,其在产业结构中的比重也越来越大。新技术、新模式替代了落后的生产技术和生产模式,使传统的资源劳动密集型产业向知识技术密集型产业转变,传统工业的生产模式转变为技术进步推动型模式,促进全要素生产率的提升<sup>[24]</sup>,实现了工业企业的效益提升。另外,技术创新为传统工业提供了以生产新的最终产品为目的的产品技术,实现了对原有产品的改造升级,使得产品功能增强,附加值提高,从而打开新的销路,扩大市场份额。数智技术对传统工业的注入,不仅可以促使产品的升级换代,而且有利于传统工业向高技术产业的方向发展,从而加速了工业经济提质增效的进程。

#### 2. 催生新的工业生态模式

率先取得技术突破,或受技术创新影响更大的产业,将进入快速增长和规模报酬递增阶段,而且由于技术创新的某种“偶然性”在不同产业中的分布是不均衡的,这就使不同产业有可能进入交替增长的“自然演化”过程<sup>[25]</sup>。数字产业和深受数字经济影响的高技术产业就是典型的代表。数智技术在快速推动传统产业数字化、网络化、智能化的同时,催生了新的经济增长点,催生了众多新业态,并且通过纵向和横向的产业分化,形成庞大的业态群落<sup>[26]</sup>。集成电路、大数据、人工智能、云计算等动力产业,智能终端、软件与信息服务、电子商务、数字内容、智能制造等先导产业,未来智能网络、卫星网络、移动通信网络等关键基础设施产业,融入数智技术的生产生活中的各类引致性产业,共同构成了数字经济的完整产业体系。在这些新兴产业迅速发展的同时,一部分传统产业将走向消亡。例如,随着新材料制造技术的发展,传统的材料制造产业正逐渐萎缩。这就使整个产业的结构格局发生了变化,数字产业与高技术产业对应着更为高级的新的技术规范和生产要素配置,因而使工业结构向高级化方向迈进。

在数智化背景下,产业的基本单位不再是企业,而是企业之间以用户价值为出发点建立合作关系而形成的数智化生态<sup>[27]</sup>。维基百科将数字化生态定义为:一种分布式、适应性、开放的社会技术系统,具有自组织、可扩展性和可持续性的特点。产业生态是由多边合作伙伴组成,通过多方之间的协作,实现共同的价值主张<sup>[28]</sup>。因此,平台化与生态化的产业组织由基于产业链的中心化、层级式、规模化的专业分工的商业模式向基于互联网的分布式、协同化、定制化的资源共享与服务协同模式转变<sup>[29]</sup>。

#### 3. 重构工业组织竞争模式

数智化将重构工业组织竞争模式,进而构建产业高质量发展的动力机制。企业之间建立的数智化连接不仅为跨界发展创造了新机遇,还消除了行业壁垒,企业不得不面临来自其他领域的更为激烈的竞争。数智化生态之间的竞争关系将发生在产业组织内部的生态之间、生态内部的参与者之间以及产业组织内部的生态与产业组织外部的生态之间。创新是企业建立竞争优势的关键,也是促进产业创新升级的重要驱动力<sup>[30]</sup>。因此,无论竞争发生在哪个层次,都是对产业生态中核心企业与辅助者的挑战。对核心企业而言,需要加强在用户连接、碎片化价值整合、价值供给上的综合能力且不断更新升级生态内部所共享的重要技术来提升竞争优势。对辅助者而言,在核心企业的引导下创造能够满足用户预期的碎片化价值并且与其他参与者之间实现业务的高效协同,是培育竞争优势的关键。

数智化重构了产业组织的竞争模式，增强了竞争机制，有助于提升资源利用效率、促进收益公平分配、推动工业组织竞争模式持续优化，经济效益不断提升。数智化时代的本质是以数智技术驱动的一轮经济社会变革，技术创新向物质生产领域、劳务生产领域乃至整个经济领域和管理层渗透，改造着经济增长的技术基础，重塑着生产方式与社会生产力，进而使工业发展质量不断提升，人类逐步迈向平台经济与智能算法社会。

基于以上分析，本文提出如下假设：

**H1：**数智化能够显著推动工业经济提质增效。

**H2：**数智化通过技术创新赋能工业经济提质增效。

### 三、研究设计

#### (一) 模型设定

为验证数智化对中国工业经济提质增效的影响，本文构建如下模型：

$$IQI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DAI_{it} + \sum \gamma_k Control_{kit} + \delta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， $i$ 表示省份， $t$ 表示时间， $IQI$ 表示工业经济提质增效指数， $DAI$ 表示数智化进程指数， $Control$ 表示控制变量， $\delta_i$ 和 $\eta_t$ 分别表示个体和时间效应， $\varepsilon_{it}$ 表示随机扰动项。

在理论上，数智化的意义不仅在于提供更多数字化与智能化产品，其更是一种内在驱动力，通过技术创新赋能促进企业创新与变革，使要素投入、生产模式、供需匹配机制等多个方面得到提升，进而改变经济体的内在运行机制，在更深层次上促进工业经济高质量发展。因此，数智化的发展会对企业技术创新产生影响。为检验这一效应，本文构建如下模型：

$$TECH_{it} = \beta_0 + \beta_1 DAI_{it} + \beta_2 DAI_{it}^2 + \sum \gamma_k Control_{kit} + \delta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中， $TECH$ 表示技术创新。考虑到数智化对技术创新的影响可能是非线性的<sup>[31]</sup>，在模型中引入二次项 $DAI^2$ 。

为了进一步检验技术创新效应的传导路径，结合理论分析中赋能机制、路径与模式的分析，本文构建如下模型：

$$Stru_{it}/INL_{it} = \theta_0 + \theta_1 TECH_{it} + \sum \gamma_k Control_{kit} + \delta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中， $Stru$ 表示制造业技术结构指数，参考张宇和蒋殿春<sup>[32]</sup>的研究，将规模以上工业企业新产品开发投入分解，构造产品结构指数（ $PRD$ ）与产业链结构指数（ $CHN$ ）； $INL$ 表示信息化水平，用国际互联网用户数的自然对数衡量。

#### (二) 变量选择

##### 1. 被解释变量

本文被解释变量为工业经济提质增效指数（ $IQI$ ），用工业劳动生产率，即规模以上工业总产值与工业从业人员数的比值（元/人）衡量。

##### 2. 解释变量

本文解释变量为数智化进程指数（ $DAI$ ），数智化是数字化与智能化的融合与应用，结合数字化以大数据为中心和智能化以人工智能为核心要素的特点，参考李丫丫和潘安<sup>[33]</sup>、孙早和侯玉琳<sup>[34]</sup>、宣彤和张万里<sup>[35]</sup>等的研究，从智能化设备投入、软件应用情况、数据处理与存储、信息平台运营与维护、信息资源采集能力五个方面构建了数智化进程指数（ $DAI$ ）。

##### 3. 机制变量

本文机制变量为技术创新（ $TECH$ ），参考严太华和朱梦成<sup>[36]</sup>的研究，用城市创新创业指数中

专利授权数量得分情况衡量,数据来自北京大学企业大数据研究中心。

4. 控制变量

参考郭炳南等<sup>[37]</sup>、陈小辉等<sup>[38]</sup>的研究,本文的控制变量包括:经济发展水平(*pgdp*),用人均地区生产总值衡量,取自然对数形式;外商直接投资(*fdi*),用各城市实际外商直接投资额衡量,取自然对数形式;经济政策(*gov*),用地方财政一般预算支出与GDP的比值衡量;劳动力水平(*emp*),用城镇单位从业人员期末人数衡量,取自然对数形式;社会消费(*soc*),用社会消费品零售总额与GDP的比值衡量,取自然对数形式;金融发展(*fin*),用各城市存贷款余额与GDP的比值衡量;社会效益(*sob*),用各城市单位GDP电力能源消耗情况衡量。

(三) 数据来源及描述性统计

本文剔除了数据缺失率较高的部分城市,最终选取2011—2019年中国277个地级市为研究样本,数据来源为国家统计局网站、《中国统计年鉴》《中国信息产业统计年鉴》《中国电子信息产业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》《中国第三产业统计年鉴》《中国工业经济统计年鉴》和各省统计年鉴,缺失数据利用线性插值法补齐。本文主要变量的描述性统计如表1所示。

表1 变量的描述性统计

变量名称	变量符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
工业经济提质增效指数	<i>IQI</i>	2 493	5.188	0.679	1.422	8.278
数智化进程指数	<i>DAI</i>	2 493	0.148	0.120	0.010	0.733
技术创新	<i>TECH</i>	2 493	0.365	0.311	0.000	1.000
经济发展水平	<i>ln (pgdp)</i>	2 493	10.730	0.587	8.842	15.675
外商直接投资	<i>ln (fdi)</i>	2 493	10.032	1.890	1.099	14.941
经济政策	<i>gov</i>	2 493	0.197	0.097	0.007	0.916
劳动力水平	<i>ln (emp)</i>	2 493	3.653	0.849	1.739	6.895
社会消费	<i>ln (soc)</i>	2 493	0.387	0.111	0.000	1.013
金融发展	<i>fin</i>	2 493	2.420	1.214	0.046	21.301
社会效益	<i>sob</i>	2 493	0.062	0.074	0.001	1.435

四、实证分析

(一) 基准回归分析

经过豪斯曼检验,本文采用固定效应模型进行回归,基准回归结果如表2所示。

表2 基准回归结果

变 量	(1)	(2)	变 量	(1)	(2)
<i>DAI</i>	2.490** (0.394)	2.108*** (0.337)	<i>sob</i>		-0.304 (0.330)
<i>ln (pgdp)</i>		0.320** (0.154)	常数项	4.788** (0.045)	5.337*** (1.654)
<i>ln (fdi)</i>		0.016 (0.012)	地区固定效应	控制	控制
<i>gov</i>		-0.946** (0.380)	时间固定效应	控制	控制
<i>ln (emp)</i>		-0.991*** (0.099)	样本量	2 493	2 493
<i>ln (soc)</i>		-0.923*** (0.239)	R <sup>2</sup>	0.363	0.502
<i>fin</i>		-0.028 (0.024)			

注:括号内数字为稳健标准误,\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,下同。

由表2可知,数智化的回归系数在1%水平上显著为正,说明数智化显著推动了工业经济提质增效,H1得以验证。在控制变量中,经济发展水平对工业经济提质增效的回归系数显著为正,经济政策、劳动力水平和社会消费的回归系数则显著为负。经济发展水平较高的地区能够吸引高层次生产要素,有助于工业质量提升。劳动力水平的提高反而阻碍了工业发展,这说明当前劳动力质量与工业结构不适应。

### (二) 内生性检验

为了克服内生性问题,参考陈文和吴赢<sup>[39]</sup>、向云等<sup>[40]</sup>的研究,构造滞后一期的数智化进程指数( $L.DAI$ )与上一年全国互联网上网人数( $Per$ )对数值的交互项 $L.DAI \times \ln(Per)$ ,采用两阶段最小二乘法进行回归<sup>①</sup>,结果如表3所示,数智化对工业经济提质增效具有显著正向影响,与基准回归结果一致。

表3 工具变量的回归结果

变 量	第一阶段	第二阶段	变 量	第一阶段	第二阶段
	$DAI$	$IQI$		$DAI$	$IQI$
$L.DAI \times \ln(Per)$	0.068*** (0.002)		$\hat{fin}$	-0.005*** (0.002)	-0.034 (0.023)
$DAI$		1.774*** (0.412)	$sob$	0.011 (0.008)	-0.352 (0.333)
$\ln(pgdp)$	0.010** (0.004)	0.288** (0.144)	地区固定效应	控制	控制
$\ln(fdi)$	0.005*** (0.001)	0.020 (0.012)	时间固定效应	控制	控制
$gov$	0.062*** (0.017)	-0.840** (0.386)	样本量	2 216	2 216
$\ln(emp)$	0.005 (0.003)	-0.960*** (0.097)	$R^2$		0.505
$\ln(soc)$	-0.069*** (0.015)	-0.851*** (0.238)			

### (三) 稳健性检验

本文利用替换被解释变量、替换核心解释变量、区分城市规模和城市等级等方式进行稳健性检验。稳健性检验如表4所示。

表4 稳健性检验

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	$IQI1$	$IQI$	100万人以下	100万人以上	删除直辖市	普通地级市
$DAI$	2.240*** (0.368)		1.885*** (0.398)	1.441*** (0.535)	2.212*** (0.363)	2.334*** (0.403)
$DAI1$		0.755*** (0.163)				
常数项	5.372*** (0.816)	0.059 (1.512)	0.890 (1.406)	8.698*** (1.254)	5.240*** (1.700)	5.028*** (1.843)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	2 493	2 493	1 629	864	2 457	2 178
$R^2$	0.498	0.506	0.520	0.588	0.502	0.519

第一,利用规模以上工业企业个数与工业从业人员数的比值( $IQI1$ )重新衡量工业发展情况,如表4列(1)所示。第二,参考鲜祖德和王天琪<sup>[41]</sup>等的做法,结合国家统计局公布的《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》和《国民经济行业分类(GB/T4754—2017)》,结合各省42部门投入产出表利用投入产出法对数字经济规模进行测算,重新构造数智化进程指数( $DAI1$ ),如表4列(2)所示。第三,按照人口规模将全部样本分为100万人以下和100万人(含)以上两组,考

① 第一阶段F统计量值大于经验法则的临界值,工具变量与数智化变量存在显著的正相关,说明工具变量对内生变量存在较强的解释力。Cragg-Donald Wald统计量F与Kleibergen-Papp LM统计量的值分别为2 356.712和41.867,通过了弱工具变量检验以及不可识别检验。



察不同规模城市的数智化对工业经济提质增效的影响,如表4列(3)和列(4)所示。第四,进一步考虑到不同城市层级差异的影响,本文分别对剔除直辖市后的样本和仅利用普通地级市的样本进行回归,如表4列(5)和列(6)所示。由结果可知,数智化的回归系数均显著为正,与基准回归结果一致,说明本文的结论具有稳健性。

(四) 机制分析

基于数智化赋能机制分析,为验证数智化通过技术创新赋能工业经济提质增效,本文利用式(2)进行数智化对技术创新的实证分析,技术创新效应的估计结果如表5所示,技术创新路径检验结果如表6所示。

表5 技术创新效应的估计结果

变 量	(1)	(2)
<i>DAI</i>	1.248*** (0.236)	0.871*** (0.230)
<i>DAI</i> <sup>2</sup>	-1.692*** (0.397)	-1.448*** (0.389)
常数项	0.149*** (0.019)	-0.541 (0.156)
控制变量	不控制	控制
地区固定效应	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
观测值	2 493	2 493
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.473	0.489

表6 技术创新路径检验结果

变 量	<i>PRD</i>	<i>CHN</i>	信息化水平
<i>TECH</i>	0.00004 (0.000)	0.169** (0.074)	0.191** (0.088)
常数项	0.007*** (0.001)	1.265*** (0.308)	10.807*** (0.561)
控制变量	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
观测值	2 493	2 493	2 493
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.295	0.660	0.741

由表5可知,数智化的回归系数为1.248,并在1%水平上显著;加入控制变量后,数智化的回归系数变为0.871,仍在1%水平上显著。因此,回归结果基本证实了技术创新对工业经济提质增效的促进作用<sup>[42]</sup>。数智化发展促进了技术创新水平的提高,进而促进了工业经济提质增效,即技术创新作为数智化赋能工业经济提质增效的作用机制,在数智化影响工业经济提质增效的过程中发挥着关键作用,H2得以验证。

由表6可知,技术创新对产品结构指数的回归系数并不显著。相比产品结构指数,技术创新对产业链结构指数的促进作用更明显,技术创新更新了传统工艺,提高了知识占比,使产品附加值得到提升,进而使制造业产业链结构指数提高,产品与产业链向高端化迈进,促进工业向高质量发展。由于信息化水平的提高是工业高质量发展的关键内容,技术创新能够显著促进信息化水平,进而推动工业经济提质增效。

(五) 异质性分析

本文进一步将277个地级市划分为东部地区、中部地区和西部地区,探讨不同地区数智化对工业经济提质增效影响的异质性,异质性检验结果如表7所示。

由表7列(1)、列(3)和列(5)可知,东部、中部和西部地区的数智化回归系数分别为1.142、3.915和2.773,呈现“东部地区→西部地区→中部地区”逐渐增强的影响趋势。中部地区和西部地区整体数智化进程慢于东部地区,使得开展数智化改造的边际提升效果要更加显著。进一步的技术创新赋能效应分析如列(2)、列(4)和列(6)可知,东部地区依然呈现“倒U型”关系,中部地区和西部地区呈现的是线性关系。总体来看,东部地区 and 中部地区存在数智化赋能工业经济提质增效的技术创新机制,而西部地区技术创新赋能机制尚未形成。东部地区经济发展基础好,工业数智化改造条件较为完备,工业企业的创新投入与工业发展质量都处于较高的水平。但数智化进程与技术创新之间的“倒U型”也揭示出,东部地区应重点在数智核心技术攻关方面实



现新的突破，从而加快企业技术进步、生产效率进一步提升。中部地区数智化与技术创新呈正向线性影响，说明需要结合区域经济发展特点，进一步加大数智化改造力度，提升数智化对工业经济提质增效的影响效应。关于西部地区数智化影响技术创新效应不显著的问题，需要加强工业数智化改造基础条件建设，为数智化影响工业经济提质增效提供基础前提。

表 7 异质性检验结果

变 量	东部地区		中部地区		西部地区	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>IQI</i>	<i>TECH</i>	<i>IQI</i>	<i>TECH</i>	<i>IQI</i>	<i>TECH</i>
<i>DAI</i>	1.142*** (0.437)	0.857** (0.344)	3.915** (1.215)	1.239** (0.501)	2.773* (1.548)	0.024 (0.385)
<i>DAI</i> <sup>2</sup>		-1.722*** (0.521)				
常数项	6.777*** (1.529)	-0.629** (0.287)	2.345 (1.787)	-0.747** (0.361)	6.843*** (2.442)	-0.380** (0.176)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	900	900	882	882	711	711
R <sup>2</sup>	0.564	0.541	0.726	0.553	0.440	0.418

## 五、研究结论与政策建议

### (一) 研究结论

本文基于 2011—2019 年中国 277 个地级市数据，实证分析了数智化对工业经济提质增效的影响效应。得出以下结论：数智化显著推动了工业经济提质增效，其中技术创新的赋能机制起到了关键作用；在数智化赋能路径识别方面，数智化进程对产业链结构的赋能效应要强于产品结构，提升了工业信息化水平；数智化对工业经济提质增效的影响效应存在异质性，除了边际效应影响差异外，主要体现在技术创新的赋能成效上，东部和中部地区数智化进程中的技术创新赋能效应显著，但西部地区不显著。

### (二) 政策建议

首先，强化数智技术与传统工业的融合发展。第一，巩固和推进数字经济基础设施建设。数字经济基础设施是数字经济发展的载体，其本质具有基础性、公共性、系统性、长周期性和规模经济等属性，应科学部署数字经济基础设施建设，可以通过全方位统筹数字经济建设、对数字经济基础设施建设加强顶层设计等措施发展数字经济。第二，加强数字经济核心技术的自主创新。工业经济的发展是不断淘汰传统工业的过程，要充分发挥科技创新的引领作用，就需要大力发展数字经济领域前沿核心技术，构建多层次、多维度的核心技术创新共同体，大力建设数字经济实验室和基地，有效解决数字经济产业化中的技术难题，起到强链、补链的作用，进一步提升工业的科技含量，推进如建材、化工等传统产业的改造与升级。第三，加快培育大数据、云计算、人工智能以及区块链等新兴数字产业的发展，切实发挥数字经济对新能源、新材料等高精尖产业的经济效率提升作用。在数智技术不断发展的基础上，促使产业在生产模式和组织形态等方面全面

变革,不断提升产业链和价值链,从而实现工业经济提质增效。

其次,拓宽数智化促进工业经济提质增效的作用渠道。第一,强化企业技术创新主体地位,提高技术创新研发能力,优化市场环境,使企业在公平竞争环境中进行技术创新。第二,在数智化背景下,善于将数智技术与多维度创新融合,塑造工业企业转型升级的新动能。利用大数据的共享性、可复制性不断增强区域创新主体的联系,充分发挥数智经济无时空限制的优势,推进科技创新成果的共享性。第三,针对技术开发创新与管理,在数智技术应用和智能化推广的过程中,注重人力资本的数字素养培育,促进国民素质与工业技术创新并行,改善人力资本与工业结构间的不匹配现象,提升劳动生产率和经济效率,为工业企业转型升级和智能化改造提供人力资本支持。第四,大力发展服务工业数智化改造的金融科技创新,深化金融市场化改革,缓解企业创新面临的“融资难、融资贵”问题,为企业开展数字创新提供更加便捷的融资环境。

最后,实施区域间优势互补的“阶梯式”数智化发展道路。政府应该根据当地的发展条件与水平,有针对性地明确工业经济领域数智化发展重点,大力释放数智化赋能优势,推动工业经济提质增效。特别是中部地区和西部地区,因地理位置与资源集聚优势不足,需要加快数字经济基础设施补短板建设,推动网络提速以及工业互联网平台等数字基础设施建设发展,围绕地方经济特色推进数智化进程,使数字经济成为区域经济发展的新引擎。政府应因地制宜,分类施策精准驱动工业经济高质量发展。具体到城市层面,应根据工业特有的行业属性、区域属性、专业属性、经济属性及其自身发展规律,加大创新投入与政策扶持,巩固大型城市在关键领域和重点行业的技术创新优势,提升中等规模城市的创新指向性以及大型城市的创新互补性,小城市则应重点围绕地区经济实际,探索地区特色突出的数智化发展道路,整体形成区域间优势互补的“阶梯式”数智化发展道路。

#### 参考文献:

- [1] 祝合良,王春娟.“双循环”新发展格局战略背景下产业数智化:理论与对策[J].财贸经济,2021(3):14-27.
- [2] OECD. Oslo manual: guidelines for inllecting and interpreting innovation data[M]. Paris: OECD publishing, 2005.
- [3] 黄群慧.如何推进“数据要素”市场化配置[N].广州日报,2020-05-26(16).
- [4] MANYIKA J, CHUI M, BROWN B, et al. Big data: the next frontier for innovation, competition, and productivity [R]. Mckinsey global institute, 2011.
- [5] 昌忠泽,孟倩.信息技术影响产业结构优化升级的中介效应分析——来自中国省级层面的经验证据[J].经济理论与经济管理,2018(6):40-50.
- [6] 张敏,马泽昊.信息化、产业结构与区域经济增长——基于中国省际面板数据的经验分析[J].财政研究,2013(8):39-42.
- [7] MATHEWS J A, CHO D S. Tiger technology: the creation of a semiconductor industry in East Asia [J]. Journal of Asian studies, 2002, 61(1): 193-194.
- [8] PISNO P, PIRONTI M, RIEPLE A. Identify innovative business models: can innovative business models enable players to react to ongoing trends [J]. Journal of entrepreneurship research, 2015, 5(3):181-199.
- [9] WONG C, LAI K, CHENG T C E, et al. The role of IT-enabled inllaborative decision making in inter-organizational information integration to improve customer service performance [J]. International journal of production economics, 2014, 159(C): 56-65.
- [10] 谭洪波,郑江淮.中国经济高速增长与服务业滞后并存之谜——基于部门全要素生产率的研究[J].中国工业经济,2012(9):5-17.
- [11] 朱春红.信息产业发展与产业结构升级的关联性研究[J].经济与管理研究,2005(9):67-69.
- [12] HEO P S, LEE D H. Evolution of the linkage structure of ICT industry and its role in the economic system: the case

- of Korea [J]. Journal of information technology for development, 2019, 25(3): 424-454.
- [13] 王宏伟. 信息产业与中国经济增长的实证分析[J]. 中国工业经济, 2009(11): 66-76.
- [14] 郭美晨, 杜传忠. ICT提升中国经济增长质量的机理与效应分析[J]. 统计研究, 2019(3): 3-16.
- [15] YEOW A, SOH C, HANSEN R. Aligning with new digital strategy: a dynamic capabilities approach [J]. The journal of strategic information systems, 2017, 27(1): 43-58.
- [16] VIAL G. Understanding digital transformation: a review and a research agenda [J]. The journal of strategic information systems, 2019, 28(2): 118-144.
- [17] 宋洋. 数字经济、技术创新与经济高质量发展: 基于省级面板数据[J]. 贵州社会科学, 2020(12): 105-112.
- [18] 何大安. 互联网应用扩张与微观经济学基础——基于未来“数据与数据对话”的理论解说[J]. 经济研究, 2018(8): 177-192.
- [19] 肖旭, 戚聿东. 产业数智化的价值维度与理论逻辑[J]. 改革, 2019(8): 61-70.
- [20] 陈晓红. 数字经济时代的技术融合与应用创新趋势分析[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2018(5): 1-8.
- [21] 王开科, 吴国兵, 章贵军. 数字经济发展改善了生产效率吗[J]. 经济学家, 2020(10): 24-34.
- [22] 马中东, 宁朝山. 数字经济、要素配置与制造业质量升级[J]. 经济体制改革, 2020(3): 24-30.
- [23] 宋泓明. 中国产业结构高级化分析[D]. 北京: 中国社会科学院, 2001: 52.
- [24] ZAKI M. Digital transformation: harnessing digital technologies for the next generation of services [J]. Journal of services marketing, 2019, 33(4): 429-435.
- [25] 周叔莲, 王伟光. 科技创新与产业结构优化升级[J]. 管理世界, 2001(5): 70-78, 89, 216.
- [26] 张路娜, 胡贝贝, 王胜光. 数字经济演进机理及特征研究[J]. 科学学研究, 2021(3): 406-414.
- [27] ANDER R. Match your innovation strategy to your innovation system [J]. Journal of Harvard business review, 2006, 84(4): 98-107.
- [28] ANDER R. Ecosystem as structure: an actionable construct for strategy [J]. Journal of management, 2017, 43(1): 39-58.
- [29] EISENMAN T, PARKER G G, VANALSTYNE M. Strategies for two-sided markets [J]. Journal of Harvard business review, 2006, 84(10): 92-101.
- [30] SCHERER F M. Corporate inventive output, profits, and growth [J]. Journal of political economy, 1965, 73(3): 290-297.
- [31] 郭吉涛, 梁爽. 数字经济对中国全要素生产率的影响机理: 提升效应还是抑制效果? [J]. 南方经济, 2021(10): 9-27.
- [32] 张宇, 蒋殿春. 双向跨境投资协调下的“收入漏出”与制造业技术结构升级[J]. 财贸经济, 2021(4): 130-148.
- [33] 李丫丫, 潘安. 工业机器人进口对中国制造业生产率提升的机理及实证研究[J]. 世界经济研究, 2017(3): 87-96, 136.
- [34] 孙早, 侯玉琳. 工业智能化如何重塑劳动力就业结构[J]. 中国工业经济, 2019(5): 61-79.
- [35] 宣旻, 张万里. 产业智能化、收入分配与产业结构升级[J]. 财经科学, 2021(5): 103-118.
- [36] 严太华, 朱梦成. 技术创新、产业结构升级对环境污染的影响[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2021(12): 1-15.
- [37] 郭炳南, 王宇, 张浩. 数字经济、绿色技术创新与产业结构升级——来自中国282个城市的经验证据[J]. 兰州学刊, 2022(2): 1-20.
- [38] 陈小辉, 张红伟, 吴永超. 数字经济如何影响产业结构水平? [J]. 证券市场导报, 2020(7): 20-29.
- [39] 陈文, 吴赢. 数字经济发展、数字鸿沟与城乡居民收入差距[J]. 南方经济, 2021(11): 1-17.
- [40] 向云, 陆倩, 李芷萱. 数字经济发展赋能共同富裕: 影响效应与作用机制[J]. 证券市场导报, 2022(4): 2-13.
- [41] 鲜祖德, 王天琪. 中国数字经济核心产业规模测算与预测[J]. 统计研究, 2022(1): 4-14.
- [42] 惠树鹏, 王绪海, 单锦荣. 中国工业高质量发展的驱动路径及驱动效应研究[J]. 上海经济研究, 2021(10): 53-61, 76.

## How can Digital Intelligence Empower the Industrial Economy in the New Stage of Development to Improve Quality and Efficiency?

WANG Kai-ke<sup>1, 2</sup>, LI Bin<sup>1</sup>, ZHANG Gui-jun<sup>3</sup>

(1. School of Statistics and Mathematics, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China;

2. Digital Economy Research Institute, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China;

3. School of Mathematics and Statistics, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

**Summary:** Improving quality and efficiency of industrial economy is the key for a country to build new development advantages in the new round of industrial transformation. It is the main battlefield for deepening supply-side structural reform in the new development stage and also one of the essential tasks to promote high-quality industrial development. Words such as 'creating new advantages in the digital economy', 'promoting the digital intelligence of industries', and 'improving the modernization of the industrial and supply chains' frequently appear in the reports on the work of the government and relevant policy documents. The digital intelligence revolution is accelerating its penetration into China's industrial sector, and industrial digital intelligence has become the core direction of economic development. Therefore, clarifying the impact of digital intelligence in the process of industrial transformation and upgrading in China in the new development stage has positive guiding significance for further promoting China's industrial digital intelligence.

In the era of the digital economy, the high-quality development of industry requires not only digitization but also intelligence. This study, focusing on 'improving quality and efficiency' of industrial economy in the new stage, examines the impact mechanism of digital intelligence on industrial economic development based on data from 277 prefecture-level cities in China. The results are as follows. Digital intelligence has significantly improved quality and efficiency of industrial economy, among which technological innovation plays a key role. Digital intelligence has enhanced the level of industrial informatization and also improved the industrial chain structure. In the process of improving quality and efficiency through digital intelligence, the impact of technological innovation is significant in the eastern and central regions but not in the western region.

The main contributions of this study are as follows. This study elucidates the connotation of digital intelligence from the perspective of innovation empowerment, and based on urban data, tests that digital intelligence can improve industrial quality through technological innovation. We have sorted out the theoretical mechanisms of digital intelligence in improving the quality of the industrial development from three dimensions of mechanism, path, and mode. This study has identified the technological structure path and information path of digital intelligence driving the improvement in quality and efficiency of industrial economy and conducted heterogeneity analysis from the perspective of spatiotemporal differences. In addition, we have explored differentiated empowerment paths for digital intelligence innovation in different regions and provided targeted policy recommendations for the precise implementation of regional-level digital intelligence development strategies.

This study integrates digital intelligence and technological innovation into a unified theoretical analysis framework. It also elaborates on the connotation of digital intelligence and its mechanisms of empowering the industrial economy to improve quality and efficiency. Based on actual data, we explore the strategic issues of digital intelligence in China's industrial development in the new stage, providing more targeted policy recommendations for promoting the process of digital intelligence in China's industry.

**Key words:** digital economy; digital intelligence; technological innovation; improving quality and efficiency of industrial economy

(责任编辑: 尚培培)