

数字技术创新驱动制造业转型升级的空间效应研究

汪 盟, 李 婧

南京邮电大学经济学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年3月13日; 录用日期: 2025年3月25日; 发布日期: 2025年4月23日

摘 要

研究数字技术创新驱动制造业转型升级的作用机制对社会生产力飞速跃升有重要意义。文章建立空间计量模型实证检验数字技术创新影响制造业转型升级的空间效应。结果发现: (1) 全国制造业转型升级在空间上存在正向相关关系, 以低高集聚和低低集聚模式为主; (2) 数字技术创新对制造业转型升级具有直接促进作用, 对邻近地区表现出负向空间溢出效应, 产业链现代化水平、劳动生产率和出口技术复杂度在创新驱动转型升级过程中起正向调节作用; (3) 产业结构和虚拟集聚达到一定的阈值, 促进作用显著加强。

关键词

数字技术创新, 制造业转型升级, 空间效应, 门槛效应, 调节效应

Research on the Spatial Effects of Digital Technology Innovation Driving the Transformation and Upgrading of the Manufacturing Industry

Meng Wang, Jing Li

School of Economics, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 13th, 2025; accepted: Mar. 25th, 2025; published: Apr. 23rd, 2025

Abstract

Studying the mechanism by which digital technological innovation drives the transformation and

upgrading of the manufacturing industry is of great significance for the rapid rise of social productivity. This paper establishes a spatial econometric model to empirically test the spatial effect of digital technological innovation on the transformation and upgrading of the manufacturing industry. The results show that: (1) There is a positive spatial correlation in the transformation and upgrading of the manufacturing industry across the country, mainly in the form of low-high and low-low agglomeration patterns; (2) Digital technological innovation has a direct promoting effect on the transformation and upgrading of the manufacturing industry, and shows a negative spatial spillover effect on neighboring regions. The modernization level of the industrial chain, labor productivity, and the complexity of export technology play a positive moderating role in the process of innovation-driven transformation and upgrading; (3) When the industrial structure and virtual agglomeration reach a certain threshold, the promoting effect is significantly strengthened.

Keywords

Digital Technological Innovation, Transformation and Upgrading of the Manufacturing Industry, Spatial Effect, Threshold Effect, Moderating Effect

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国制造业凭借高效、低成本及规模优势,已成为全球制造业的重要支柱,但仍面临战略性资源供给波动、结构调整受阻及关键技术受限等挑战。在科技革命与产业变革加速、中国经济转型的关键时期,传统制造业亟待转型,以适应技术与市场变革。传统制造业应加快数字化转型,提升高端化、智能化、绿色化水平。数字技术创新,以大数据、云计算、人工智能等为核心,正为制造业转型提供新动能。紧抓科技革命机遇,推动数字技术与传统制造业融合,成为转型升级的关键。然而,关于数字技术创新对制造业转型的具体机制,研究尚显不足。本文拟深入探究数字技术创新驱动制造业转型升级的理论机制,构建综合评价指标体系测度转型水平,运用空间计量分析实证检验数字技术创新的空间效应。

2. 理论分析与研究假设

数字技术创新运用涵盖了信息、计算、沟通与连接等多类数字技术组合,聚焦于降本增效、协同合作、组织结构调整和商业模式创新等维度。从降本增效的角度来看,数字技术的渗透有效破解了企业部门间的信息壁垒,驱动组织架构向智慧化方向演进。基于新兴技术赋能的创新实践能够重构企业运行机制,形成分布式协作体系和去中心化决策网络。这种技术驱动的组织变革催生了弹性化运营范式,通过压缩垂直管理链条和优化信息交互通道,实现决策层与执行端的实时协同,从而显著降低组织内部的治理成本与响应时滞[1];从协同合作的角度来看,协同效应能够加快数字化进程,企业绩效得到提升,并向产业层面溢出,最终推动产业转型升级;从组织结构角度来看,数字技术在企业组织内部往往作为辅助模块嵌入至业务层面的运营架构中,用于实时监测生产工具的利用情况以及生产单元的产出效率[2];从商业模式角度来看,数字技术创新能够带动消费结构转变,能够催生更加多样的服务业形态,形成数字产业化的乘数效应,加快制造业转型升级。根据上述分析,提出以下假设:

H₁: 数字技术创新能直接促进制造业转型升级。

数字技术创新具有灵活的流动性,其应用在某一地区或企业取得成功后,其成功经验和模式往

往会通过技术转移、人员流动、企业合作等方式向周边地区或企业扩散,促进了本地区的技术进步和产业升级,并带动周边地区的技术提升和产业发展。此外,一个地区的数字技术创新能形成创新网络,帮助邻近地区制造业企业共享创新资源、知识和技术,促进技术研发和产品创新,从而产生了正向的空间溢出效应。综上,提出研究假设:

H₂: 数字技术创新对制造业的转型升级具有正向空间溢出效应。

制造业转型升级与产业结构具有密切关系,我国城市之间产业发展仍存在差距,一二线城市产业结构与其他地区的产业结构明显不同。而制造业服务化是第二产业向第三产业转型的一种重要路径,会引起要素结构变动,通过高端要素的集聚效应和资金创造效应,为产业结构转型升级提供要素基础和资金基础;信息化催生了新一轮的产业变革,而这种产业变革下的新型产业组织形态均与虚拟集聚有关。虚拟集聚是推动大数据、人工智能与制造业深度融合的新路径,能够推动制造业转型升级。据此,提出以下假设:

H₃: 产业结构和虚拟集聚超过一定的门槛值,能加速实现制造业转型升级。

新一代数字技术通过充当制造业产业链上的“标准化”流通媒介,将制造业产业链上的产品、信息等生产要素高效地连接起来,推动制造业产业链发生重构,有助于建成完整的现代工业体系,为制造业转型升级提供良好的环境。随着新一代数字技术的加速更迭,其成果更多地应用到企业管理与生产中,劳动生产率得以提升,从而创造出更大的经济价值,推动制造业的转型升级。出口技术复杂度主要衡量出口产品中包含的技术和知识产权,而数字技术创新成果在制造业出口贸易中的应用,可以提升制造业的出口技术复杂度,产品竞争力和创新机会增多,促使制造业转型升级。综上,提出以下假设:

H₄: 产业链现代化、劳动生产率和出口技术复杂度的提高强化了数字技术创新对制造业转型升级的正向影响。

3. 中国制造业转型升级的统计测度方法

参考罗序斌提出的从“四化”视角测度中国制造业高质量转型升级水平[3],并根据 2024 年两会上提出的“促进产业高端化、智能化、绿色化”的理念相结合,构建了包括智能化、绿色化、高端化以及融合化四个维度,共包括 18 个具体指标的制造业转型升级的综合评价体系,并利用熵值法测算出 2013~2022 年各省制造业转型升级水平。在具体指标选取方面,综合借鉴江小国[4]、缪信林[5]等人的研究,完善并构建了具体指标。由于篇幅所限,综合指标体系及测算结果将在附录展示。

4. 研究设计

4.1. 空间自相关检验

1. 全局空间自相关检验

使用 Moran's I 来检验制造业转型升级的空间自相关性:

$$\text{Moran's I} = \frac{N}{\sum_{ij} w_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (MTU_i - \overline{MTU})(MTU_j - \overline{MTU})}{\sum_i (MTU_i - \overline{MTU})^2} \quad (1)$$

式(1)中, w_{ij} 为各省份 i, j 之间的空间地理权重矩阵, $\overline{MTU}$ 为制造业转型升级水平的均值。

2013 年至 2022 年制造业转型升级水平的全局 Moran's I 指数如表 1 所示,结果均显著大于 0,反映我国制造业转型升级空间分布存在正相关。

Table 1. Global Moran's I of manufacturing industry transformation and upgrading level from 2013 to 2022
表 1. 2013~2022 年制造业转型升级水平的全局 Moran's I

全局 Moran's I				
year	I	SD(I)	Z	P-value
2013	0.0417	0.0338	2.2191	0.0265
2014	0.0344	0.0341	1.9877	0.0468
2015	0.0430	0.0343	2.2239	0.0262
2016	0.0446	0.0344	2.2667	0.0234
2017	0.0466	0.0343	2.3273	0.0199
2018	0.0585	0.0343	2.6739	0.0075
2019	0.0483	0.0343	2.3800	0.0173
2020	0.0615	0.0343	2.7675	0.0056
2021	0.0478	0.0340	2.3833	0.0172
2022	0.0422	0.0340	2.2212	0.0263

2. 局部空间自相关检验

根据 Moran's I 刻画散点图, 并分为 4 个象限, 即第一象限(高 - 高)、第二象限(低 - 高)、第三象限(低 - 低)和第四象限(高 - 低)。2013、2016、2019、2022 年局部 Moran's I 散点图见图 1。

总体来看, 位于 1、4 象限的省域不多, 大多数位于 2、3 象限, 说明我国制造业转型升级水平主要以低高集聚和低低集聚模式为主。在考察期内, 仅有安徽、湖北等少数省份发生跃迁, 制造业转型升级水平的局部空间集聚模式并未发生明显改变, 空间相关性较为稳定。

各省际区域的空间相关模式见表 2。

从各省际区域的空间相关模式可知: 其一, 东部各省份大多落在高值集聚区, 中西部省份较多落在低值集聚区, 省域差异和区位优势突出。其二, 北京尤为特殊, 在高 - 高集聚区和高 - 低集聚区波动。这是因为, 北京凭借区位优势以及政策、资源等优势, 吸引了周边地区的人才、投资等资源向其集中, 出现虹吸效应, 加剧了边缘省份的不平等现象, 如河北处于低 - 高集聚区, 说明京津冀地区协调性仍待改善。其三, 广东始终位于高 - 低集聚区, 华南地区其他省份如广西长期处于低 - 低集聚区, 存在不均衡发展态势, 需加强区域间的合作与协调。

综上所述, 我国在制造业转型升级上区域发展不平衡态势明显。当务之急是对处于低水平集聚区的省份提供更多政策支持, 尽可能缩小省域之间制造业转型升级水平的差距和鸿沟。

4.2. 空间计量模型

在进行空间计量分析之前, 需要度量各省份区域之间的空间距离。设区域 i 与区域 j 之间的地理距离为 d_{ij} , $\varnothing x$ 和 $\varnothing y$ 分别为某个省会的纬度和经度, Δr 为两个省份之间的经度之差, R 为地球半径。 d_{ij} 的计算公式为:

$$d_{ij} = \arccos[(\sin \varnothing x \times \sin \varnothing y) + (\cos \varnothing x \times \cos \varnothing y \times \cos(\Delta r))] \times R \quad (2)$$

空间权重为 $W_{ij} = 1/d_{ij}$, 则空间权重矩阵的具体形式如下:

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & \cdots & W_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & \cdots & W_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/d_{11} & \cdots & 1/d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/d_{n1} & \cdots & 1/d_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

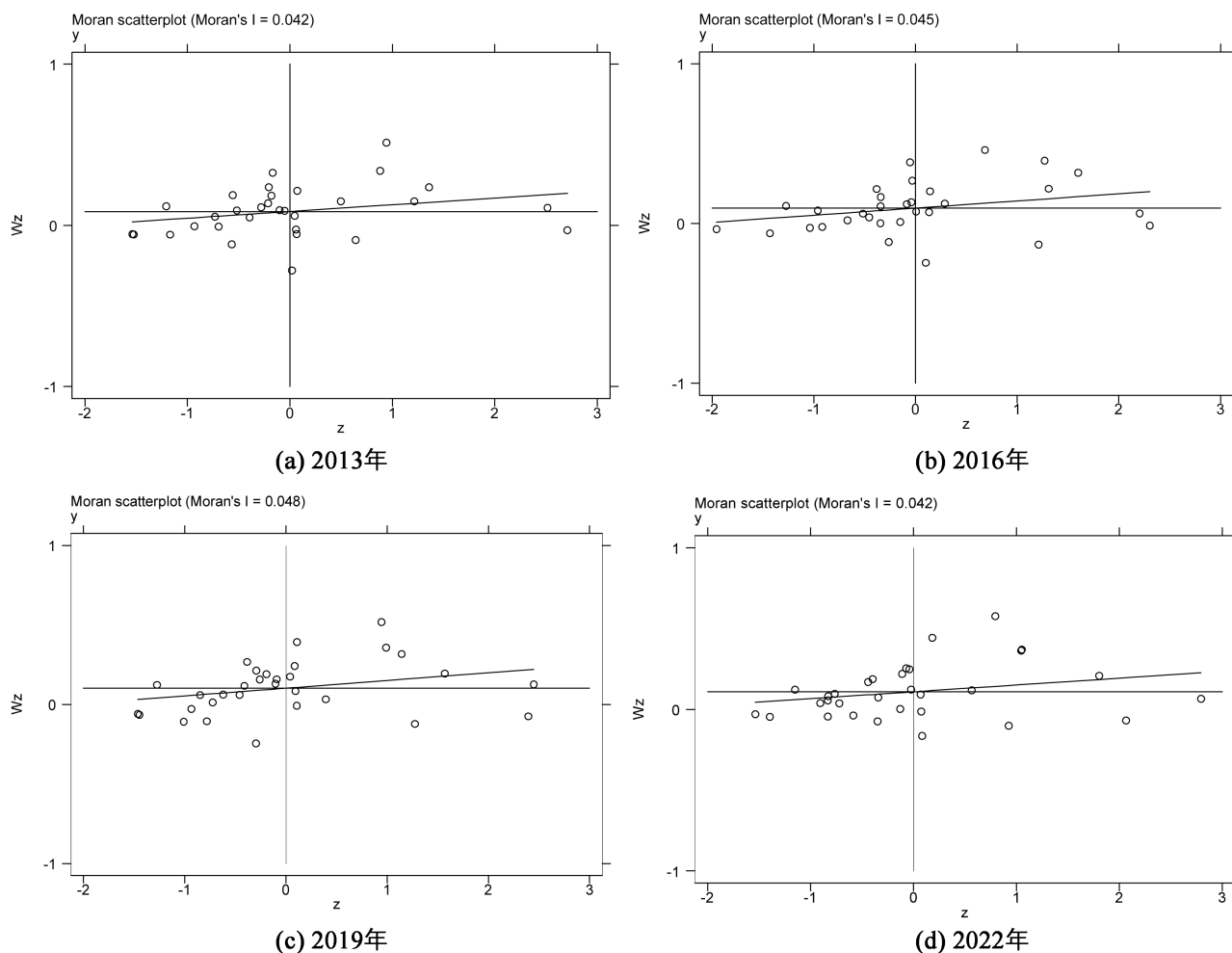


Figure 1. Scatter plot of Moran's I index for some years

图 1. 部分年份局部 Moran's I 指数散点图

Table 2. Spatial correlation patterns of manufacturing transformation and upgrading levels among inter provincial regions

表 2. 制造业转型升级水平各省际区域的空间相关模式

年份	HH	LH	LL	HL
2013 年	江苏、浙江、上海、天津、北京、山东、海南	内蒙古、江西、安徽、福建、河北、广西、辽宁、吉林、湖南、湖北	西藏、新疆、甘肃、宁夏、贵州、云南、陕西、山西	广东、重庆、青海、四川、黑龙江、河南
2016 年	江苏、浙江、上海、天津、山东、海南	内蒙古、安徽、福建、江西、河北、广西、湖北、湖南	西藏、新疆、甘肃、云南、宁夏、陕西、山西、黑龙江、四川、贵州、吉林	北京、广东、重庆、青海、河南
2019 年	江苏、浙江、上海、天津、北京、安徽、山东、江西	内蒙古、福建、辽宁、黑龙江、河北、湖南、湖北、海南	西藏、新疆、青海甘肃、宁夏、云南、贵州、陕西、广西、山西	广东、重庆、吉林、四川
2022 年	江苏、浙江、上海、天津、安徽、湖北	内蒙古、河北、湖南、福建、山东、江西、辽宁	西藏、新疆、云南、甘肃、宁夏、黑龙江、山西、贵州、陕西、吉林、海南	北京、广东、重庆、青海、四川、河南

经典的空间滞后模型主要包括以下三种形式:

(1) 空间滞后模型(SLM):

$$MTU_{it} = \rho WMTU_{it} + X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

被解释变量 MTU 为 $n \times 1$ 的列向量, ρ 为空间自回归系数, 度量相邻地区之间被解释变量的影响程度; W 为 $n \times n$ 的空间权重矩阵; X 为 $n \times k$ 阶的解释变量矩阵; β 则为 $k \times 1$ 阶的回归系数矩阵; ε 为随机误差项矩阵,。

(2) 空间误差模型(SEM):

$$\begin{cases} MTU_{it} = X_{it}\beta + \mu_{it} \\ \mu_{it} = \lambda W\mu + \varepsilon_{it} \end{cases} \quad (5)$$

λ 为空间误差相关系数, 反映出邻近地区被解释变量的误差冲击对本地区的影响, 并且 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$ 。

(3) 空间杜宾模型(SDM):

$$MTU_{it} = \rho WMTU_{it} + X_{it}\beta + WX_{it}\theta + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

ρ 是空间自回归系数, 表示邻接地区因变量对本地区因变量的影响。 θ 是外生交互效应的系数, 当 $\theta = 0$ 时, 模型退化为空间滞后模型(SLM), 当 $\theta = \rho\beta$ 时, 模型退化为空间误差模型(SEM)。

(4) 门槛回归模型:

$$MTU_{it} = \beta_1 + \beta_2 DTI_{it} I(int_{it} \leq \gamma) + \beta_3 DTI_{it} I(int_{it} > \gamma) + \beta X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

int 是门槛变量, γ 为估计的阈值, $I(\cdot)$ 是示性函数; 其他变量定义不变。

(5) 空间调节效应模型:

$$MTU_{it} = \rho WMTU_{it} + X_{it}\beta + \gamma M_{it} + \delta WM_{it} MTU_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

其中, M 为调节变量, 其他变量定义不变。

4.3. 变量选取

被解释变量: 制造业转型升级(MTU)。以熵值法测度结果为被解释变量。

核心解释变量: 数字技术创新(DTI)。根据数字经济核心产业分类与国际专利分类参照关系表(2023)的界定范围, 参照《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表(2018)》, 确定对应的国际专利分类号, 得到 31 个省份 2013~2022 年的数字经济专利数, 并将其取对数作为核心解释变量。

控制变量:

(1) 经济发展水平(ECO): 经济发展水平会影响一个地区的制造业转型升级发展, 实力雄厚的地区具备更为先进的基础设施, 更有利于制造业的转型升级。(2) 政府参与程度(GOV): 财政支出是我国政府宏观调控的重要手段, 对制造业发展有推动作用。参考黄颢琳[6]的做法, 以政府一般预算支出占 GDP 的比值表示政府参与程度。(3) 外贸依存度(TRA): 外贸依存度反映一个国家或地区与国际市场联系的程度, 其值越高意味着制造业产品更多地面向国际市场, 从而推动企业提高产品的附加值和竞争力, 促进转型升级。以进出口总额占 GDP 比重表示, 其中进出口总额按照历年人民币汇率年平均价格折算成人民币。(4) 人力资本(HR): 人工智能与大数据驱动制造业转型, 亟需引进高知识技术人才以铸就核心竞争力。因此参考孙勇[7]的研究, 以普通高校在校生数占年末总人口数比重来表示人力资本。(5) 能源结构(ENE): 电力是制造业生产过程中的重要能源, 其消耗水平直接影响资源利用效率。高电力消耗增加生产成本, 加剧资源短缺, 不利于制造业绿色化转型。以电力消耗占总能源消耗比重来衡量能源结构。

其他变量：在处理模型的内生性问题时采用工具变量法，选取工具变量为城镇化率，以城镇常住人口占总人口的比重表示。门槛变量为产业结构(*IS*)和虚拟集聚(*VA*)，分别以第三产业产值占 GDP 比重、软件业务收入占 GDP 的比重表示。调节变量为产业链现代化(*IC*)，借鉴张虎[8]、张毅[9]等人的研究数据；劳动生产率(*LP*)，以人均制造业产出表示；出口技术复杂度(*ETC*)借鉴李福柱等人的测度数据。

4.4. 数据来源与处理

数字技术创新数据来源于全球科创大数据平台。制造业转型升级及其他变量数据，来源于《中国高技术产业统计年鉴》《中国工业统计年鉴》、各省统计年鉴、国际机器人联盟 IFR，Wind 数据库等，部分缺失数据采用插值法填补。

各变量的描述性统计结果见表 3。全样本的 31 个省份制造业转型升级水平的均值为 0.27，标准差为 0.0763。数字技术创新的均值为 8.592，标准差为 1.746。

Table 3. Descriptive statistics of main variables
表 3. 主要变量描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>MTU</i>	310	0.2700	0.0763	0.1190	0.5760
<i>DTI</i>	310	8.5920	1.7460	1.0990	11.8700
<i>ECO</i>	310	0.2830	0.2410	0.0083	1.2950
<i>GOV</i>	310	0.0218	0.0155	0.0030	0.0676
<i>TRA</i>	310	0.0993	0.1410	0.0000	0.7700
<i>HR</i>	310	0.0212	0.0059	0.0089	0.0436
<i>ENE</i>	310	0.0324	0.0235	0.0006	0.0947
<i>Uber</i>	310	0.9145	0.0568	0.6477	0.9866
<i>VA</i>	310	0.0493	0.0709	0.0000	0.5407
<i>IS</i>	310	0.5110	0.0840	0.3470	0.8390
<i>LP</i>	310	3.5710	1.8114	0.3649	9.9247
<i>ETC</i>	310	11.0280	0.2087	10.5983	11.4786
<i>IC</i>	310	0.2380	0.0627	0.1460	0.5360

5. 数字技术创新促进制造业转型升级的空间计量分析

5.1. 基准回归

经 LM 检验和 Hausman 检验，采用时间固定效应的空间滞后模型(SAR)合适。逐步加入控制变量后的回归结果见表 4。

逐步加入控制变量后，结果显示，数字技术创新与制造业转型升级存在正相关性，并通过 5%的显著性检验。这说明数字技术创新直接影响制造业转型升级的过程和速度，验证了假设 1。从控制变量的影响系数上看，经济发展水平(*ECO*)、政府参与程度(*GOV*)、外贸依存度(*TRA*)、人力资本(*HR*)对制造业转型升级的影响在 1%的条件下均显著为正，能源结构(*ENE*)的影响系数显著为负。空间滞后系数($\rho = -0.675$)说明相邻地区的制造业转型升级对本地区存在一定的滞后性或抑制作用。可能是由于附加值较低的制造业过度集聚造成恶性竞争，制造业在空间上存在资源过度错配的现象，表现出空间负效应，这与王业强的

理论研究分析结果一致[10]。

Table 4. Benchmark regression results
表 4. 基准回归结果

	(1) <i>MTU</i>	(2) <i>MTU</i>	(3) <i>MTU</i>
<i>DTI</i>	0.026*** (9.843)	0.012*** (5.047)	0.007** (2.466)
<i>ECO</i>	0.062*** (3.409)	0.024 (1.569)	0.153*** (6.105)
<i>GOV</i>		2.830*** (12.060)	1.998*** (8.030)
<i>TRA</i>			0.094*** (4.851)
<i>HR</i>			1.561*** (2.908)
<i>ENE</i>			-0.965*** (-4.765)
ρ	-0.092 (-0.497)	-0.567*** (-3.095)	-0.675*** (-3.746)
R^2	0.5636	0.6860	0.7458

5.2. 空间效应分解

全国 31 个省份数字技术创新对制造业转型升级影响的空间效应见表 5。

Table 5. Results of spatial effect analysis
表 5. 空间效应分析结果

变量	被解释变量：制造业转型升级(<i>MTU</i>)		
	(1) 直接效应	(2) 间接效应	(3) 总效应
<i>DTI</i>	0.007** (0.01)	-0.003** (0.03)	0.004** (0.02)
<i>ECO</i>	0.155*** (0.00)	-0.063*** (0.00)	0.092*** (0.00)
<i>GOV</i>	2.023*** (0.00)	-0.829*** (0.00)	1.194*** (0.00)
<i>TRA</i>	0.098*** (0.00)	-0.040*** (0.00)	0.058*** (0.00)
<i>HR</i>	1.575*** (0.00)	-0.653** (0.01)	0.922*** (0.00)
<i>ENE</i>	-0.976*** (0.00)	0.396*** (0.00)	-0.580*** (0.00)

结果显示，直接效应和总效应在 5%条件下显著为正，而间接效应显著为负，表明本地区的数字技术创新水平会对邻近地区的制造业转型升级产生负向的空间溢出效应，违背了假设 2。参考郑威[11]的研究，是鉴于地理距离对信息传播效率的制约，创新驱动的空间溢出效应通常局限在相对较小的地域范围内，呈现出显著的局部性特征。而数据具有更为显著的供给侧规模经济、范围经济和需求侧网络效应，市场上会出现“赢家通吃”的现象，导致数字技术创新出现较高的空间垄断性及集聚性。从控制变量上看，直接效应和总效应检验结果显示，经济发展水平(*ECO*)、政府参与程度(*GOV*)、外贸依存度(*TRA*)、人力资本(*HR*)在 1%的水平下均对制造业转型升级存在显著正向影响，而能源结构(*ENE*)对制造业转型升级存在显著负向影响。对此的解释是，随着技术的进步和制造业的转型升级，企业通常会寻求更高效、更环保的生产方式，以降低能源消耗和减少环境污染；间接效应的检验结果显示，前四项控制变量在 1%水平下均存在负向空间溢出效应，其原因与上述数字技术创新负向空间溢出效应解释相同。而能源结构(*ENE*)对制造业转型升级存在正向空间溢出效应，这可能是因为邻近地区的电力消费水平过高将受到政府的警告或管控，本地区引以为戒、及时调整，从而加速制造业转型升级。

5.3. 稳健性检验与内生性处理

为评估模型的稳健性和处理遗漏变量可能带来的偏误影响，采用替换空间权重矩阵和更换样本周期进行检验，运用工具变量法处理内生性问题，结果见表 6。

Table 6. Robustness test and endogeneity treatment
表 6. 稳健性检验与内生性处理

	(1) 替换空间权重矩阵	(2) 更换样本周期	(3) 工具变量法
	<i>MTU</i>		
<i>DTI</i>	0.006** (2.182)	0.0068** (2.367)	0.037*** (5.232)
<i>ECO</i>	0.171*** (6.474)	0.156*** (5.878)	0.069** (1.960)
<i>GOV</i>	1.832*** (7.103)	2.064*** (7.458)	0.607* (1.722)
<i>TRA</i>	0.099*** (4.711)	0.094*** (4.476)	0.069*** (2.862)
<i>HR</i>	1.128** (2.054)	1.177** (2.023)	-1.439 (-1.491)
<i>ENE</i>	-1.136*** (-5.371)	-1.016*** (-4.621)	-1.260*** (-5.109)
ρ	-0.078* (-1.776)	-0.708*** (-3.552)	-0.763** (-2.331)
<i>N</i>	310	248	310
<i>R</i> ²	0.7426	0.7502	

首先，将空间地理距离权重矩阵变换为空间邻接权重矩阵，发现数字技术创新对制造业转型升级仍

具有显著且稳健的正向影响, 其他控制变量的系数变化也较小, 说明该空间计量模型是稳健的。其次, 考虑到 2017 年国家对《国民经济行业分类》进行第四次修订, 故删减 2017、2018 年的样本数据对模型重新估计, 结果显示, 数字技术创新对制造业转型升级的影响在 1%条件下仍然是显著正向, 验证了模型的稳健性。最后, 考虑到数字技术创新与制造业转型升级之间可能存在互为因果的关系, 且影响制造业转型升级的因素众多, 降低遗漏变量带来估计偏误, 将城镇化率作为工具变量 GS2SLS 的回归结果表明在考虑内生性之后, 数字技术创新促进制造业转型升级的效应仍旧成立。

5.4. 异质性分析

根据“胡焕庸”地理曲线, 将全国样本划分为人口密度大和人口密度小的区域进行空间效应分析, 见表 7。

Table 7. Heterogeneity regression results
表 7. 异质性回归结果

	(1) 人口密度大			(2) 人口密度小		
	基准回归	直接效应	间接效应	基准回归	直接效应	间接效应
<i>DTI</i>	0.003 (0.704)	0.004 (0.719)	-0.001 (-0.571)	0.013*** (3.831)	0.014*** (3.744)	-0.004 (-1.520)
<i>ECO</i>	0.096*** (2.690)	0.096*** (2.770)	-0.027** (-1.980)	-0.083 (-1.583)	-0.088* (-1.675)	0.022 (1.087)
<i>GOV</i>	2.078*** (5.939)	2.134*** (5.890)	-0.647** (-2.127)	2.143*** (3.255)	2.250*** (3.468)	-0.647 (-1.518)
<i>TRA</i>	0.075*** (3.620)	0.075*** (3.788)	-0.023* (-1.893)	0.829*** (8.099)	0.845*** (8.626)	-0.239* (-1.723)
<i>HR</i>	2.149*** (3.086)	2.179*** (3.222)	-0.656* (-1.924)	-3.223*** (-3.981)	-3.318*** (-4.237)	0.948 (1.584)
<i>ENE</i>	-0.288 (-0.960)	-0.281 (-0.973)	0.071 (0.789)	-0.775** (-2.400)	-0.774** (-2.349)	0.236 (1.360)
ρ	-0.433** (-2.214)			-0.431 (-1.614)		
<i>N</i>		180			130	
<i>R</i> ²		0.7170			0.6262	

结果得出: 人口密度小的区域数字技术创新显著促进制造业转型升级, 而人口密度大的区域虽起到正向影响但并不显著。根据空间效应的分解结果可以发现, 两大区域的数字技术创新均直接促进制造业转型升级, 该效应在人口密度大的地区更为显著。观察间接效应结果发现, 两大地区均表现为负向空间溢出效应。

两者差异化的影响可以解释为, 过去我国制造业凭借丰富且廉价的劳动力优势, 获取巨大的市场份额, 但随着工资的持续提高, 人口密度大的地区面临着人口红利削弱、生产成本上升的局面, 侧面影响了企业对数字技术创新的资金投入, 导致制造业转型升级速度放缓。

5.5. 门槛效应分析

为进一步探讨数字技术创新与制造业转型升级之间的非线性特征，将产业结构(IS)和虚拟集聚(VA)作为门槛变量，表明产业结构和虚拟集聚均只通过单一门槛检验，门槛值分别为 0.7412 和 0.2 (见表 8)。

Table 8. Threshold test for industrial structure
表 8. 产业结构门槛检验

门槛	F 值	P 值	Crit10	Crit5	Crit1	是否存在	门槛值
单一门槛	84.67	0.000	26.8359	32.417	42.4821	Yes	0.7412
单一门槛	84.67	0.000	24.0032	27.770	39.6053	Yes	0.2

门槛回归结果见表 9，当产业结构和虚拟集聚未达到门槛值时，数字技术创新对制造业转型升级的影响系数均为负，且并不显著。当超过门槛值时，回归系数快速上升到 0.11817，且通过了 1%的显著性检验。可见数字技术创新对制造业转型升级的影响存在产业结构和虚拟集聚的门槛效应，验证了假设 3。

Table 9. Regression results of industrial structure threshold
表 9. 产业结构门槛回归结果

变量	MTU
$DTI_{it}I(IS_{it} \leq 0.7412)$	-0.00047 (-0.14)
$DTI_{it}I(IS_{it} > 0.7412)$	0.11817*** (24.86)
$DTI_{it}I(VA_{it} \leq 0.2)$	-0.00047 (-0.2)
$DTI_{it}I(VA_{it} > 0.2)$	0.11817*** (8.76)
控制变量	控制
$Con(IS)$	0.17789*** (5.34)
$Con(VA)$	0.17789*** (8.07)
R^2	0.2583
N	310

在产业结构达到门槛值前，制造业可能主要满足传统、低附加值的市场需求。超过门槛值后，市场需求发生变化，制造业需要向高级、更复杂的产品和技术领域发展，进而促进制造业转型升级。随着虚拟集聚水平的提升，数据和信息能够更加高效地在产业链中流动和交换，降低了交易成本，促进了知识的溢出和规模经济、范围经济的形成，从而推动了制造业的转型升级。

5.6. 调节效应分析

为了甄别数字技术创新影响制造业转型升级的路径，构建了中心化后的调节变量与数字技术创新的交互项，借此检验产业链现代化水平、劳动生产率和出口技术复杂度的调节作用。结果见表 10。

从直接效应来看，产业链现代化、劳动生产率和出口技术复杂度的调节效应均显著为正，表明三者

在数字技术创新促进制造业转型升级的过程中均起正向调节作用；而间接效应的交互项回归系数均显著为负，说明三者均强化了数字技术创新的负向空间溢出效应。

Table 10. Results of moderation effect test
表 10. 调节效应检验结果

		(1)			(2)	
		直接效应			间接效应	
<i>c.DTI</i>	0.012*** (4.52)	0.014*** (3.16)	0.016*** (4.87)	-0.004*** (-2.92)	-0.006*** (-2.58)	-0.007*** (-3.57)
<i>c.IC</i>	0.551*** (7.75)			-0.175*** (-3.25)		
<i>c.DTI*c.IC</i>	0.053** (2.55)			-0.017** (-2.20)		
<i>c.LP</i>		-0.000 (-0.25)			0.000 (0.21)	
<i>c.DTI*c.LP</i>		0.003** (2.23)			-0.001* (-1.94)	
<i>c.ETC</i>			-0.228*** (-3.75)			0.093*** (3.25)
<i>c.DTI*c.ETC</i>			0.023*** (3.21)			-0.010*** (-2.59)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	310	310	310	310	310	310

对直接效应的解释是，依托互联网、大数据、人工智能等数字技术，形成了高效链接、紧密协同的产业链条，能够实现更宽领域、更深层次、更高水平的发展；数字技术创新的成果可以促使制造业企业更多地应用智能化生产，提高了劳动生产率，生产效率得以提升，推动产业升级和成本优化；产业的创新活动越多，代表其研发能力越强，则出口技术复杂度越高，产品竞争力和创新机会增多。对间接效应的解释是，先进的技术和模式会迅速传播到其他地区或产业链环节，导致竞争加剧，使得原本具有竞争优势的地区或企业面临更大的挑战；高劳动生产率及高技术复杂度的企业，对其他地区企业产生成本和技术压力。

6. 结论与建议

对我国制造业转型升级进行测度及构建空间计量模型实证考察数字技术创新对制造业转型升级的影响研究，主要结论如下：

- (1) 观察期内我国制造业转型升级水平呈上升趋势，整体差异显著扩大，组间差异是总体差异的主要来源。东部地区的转型升级水平相较于中西部地区处于领先地位，呈现微弱的下行趋势，亟需寻找新的动力以突破当前的发展瓶颈。(2) 在全国范围内，制造业的转型升级在空间分布上呈现出显著的正向相关性，主要表现为低高集聚与低低集聚的两种模式。(3) 数字技术创新在我国制造业转型升级过程中发挥着

直接的推动作用。对于邻近地区的制造业转型升级, 呈现出负向的空间溢出效应。产业链现代化水平、劳动生产率的提升以及出口技术复杂度的增强, 在创新驱动的转型升级过程中, 均发挥了正向的调节作用。(4) 当产业结构与虚拟集聚水平达到特定的门槛时, 数字技术创新对制造业转型升级的推动作用将得到显著增强。

基于上述结论, 提出如下建议:

第一, 深入实施区域协同发展战略, 制定特色化转型升级政策。设立专项资助资金, 支持东部地区产学研合作。加强国家战略腹地建设, 深入实施西部大开发、中部地区加快崛起等战略, 提升中西部地区承接产业转移能力。

第二, 推进关键核心技术协同攻关, 坚持产业链人才链出口供应链一体部署。完善针对数字技术创新的反垄断法规政策, 打造全域范围内的数字技术产业链体系, 实现全域范围内的数字资源共享, 促进区域协调发展。运用新一代信息技术来改进数字基础设施, 优化产业链结构; 引入先进的技术和管理模式, 优化生产流程, 提高劳动生产效率; 提升出口产品的技术含量和附加值, 增强企业的国际竞争力, 逐步实现制造业的转型升级。

第三, 建立国有经济布局优化和产业结构调整指引制度, 深化大数据、人工智能应用。鼓励传统产业向高附加值、技术密集型产业转移, 优化产业结构; 加强企业间的网络合作, 搭建数字化平台, 促进信息、技术和资源的共享与交流, 提高地区虚拟集聚水平。

参考文献

- [1] 宋林, 李柯, 高强. 数字技术创新对企业出口国内附加值率的影响——来自中国制造业的经验证据[J]. 国际经贸探索, 2025, 41(3): 4-21.
- [2] 黄勃, 李海彤, 刘俊岐, 等. 数字技术创新与中国企业高质量发展——来自企业数字专利的证据[J]. 经济研究, 2023, 58(3): 97-115.
- [3] 罗序斌, 黄亮. 中国制造业高质量转型升级水平测度与省际比较——基于“四化”并进视角[J]. 经济问题, 2020(12): 43-52.
- [4] 江小国, 何建波, 方蕾. 制造业高质量发展水平测度、区域差异与提升路径[J]. 上海经济研究, 2019(7): 70-78.
- [5] 廖信林, 杨正源. 数字经济赋能长三角地区制造业转型升级的效应测度与实现路径[J]. 华东经济管理, 2021, 35(6): 22-30.
- [6] 黄骥琳, 秦淑悦, 张雨朦. 数字经济如何驱动制造业升级[J]. 经济管理, 2022, 44(4): 80-97.
- [7] 孙勇, 樊杰, 张亚峰, 等. 知识产权产业创业时空分布及影响因素研究——以黄河流域为例[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(17): 51-60.
- [8] 张虎, 韩爱华, 杨青龙. 中国制造业与生产性服务业协同集聚的空间效应分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2017, 34(2): 3-20.
- [9] 张虎, 张毅, 韩爱华. 我国产业链现代化的测度研究[J]. 统计研究, 2022, 39(11): 3-18.
- [10] 王业强, 魏后凯, 蒋媛媛. 中国制造业区位变迁: 结构效应与空间效应——对“克鲁格曼假说”的检验[J]. 中国工业经济, 2009(7): 44-55.
- [11] 郑威, 陆远权. 创新驱动对产业结构升级的溢出效应及其衰减边界[J]. 科学学与科学技术管理, 2019, 40(9): 75-87.

附 录

制造业转型升级综合指标体系:

一级指标	二级指标	指标解释	属性
智能化	智能技术应用水平	工业机器人安装密度(件/万人)	+
	智能制造回报率	智能制造业主营业务收入/制造业主营业务收入(%)	+
	智能产品产值比重	规模以上智能制造企业的产值/制造业主营业务收入(%)	+
	智能制造国际竞争力	规模以上制造业营业收入中的智能化设备出口额所占比重(%)	+
绿色化	煤炭消耗占比	制造业煤炭消耗量/制造业能源消耗量(%)	-
	污染治理投资完成率	工业污染治理完成投资/工业增加值(%)	+
	废气治理投入	废气治理设施数量(个)	+
	废水治理投入	废水治理设施数量(个)	+
	单位增加值能源消耗量	制造业能源消耗量/制造业增加值万吨/亿元(%)	-
高端化	高端制造业劳动生产率	高端制造业产成品/高端制造用工人数亿元/万人(%)	+
	高端制造业占比	规模以上高端制造业产成品/规模以上制造业企业产成品(%)	+
	高技术制造业主营业务收入水平	高技术制造业主营业务收入/规模以上制造业主营业务收入(%)	+
	制造业结构高端化	高端制造业企业个数/制造业企业个数(%)	+
	制造业人才高端化	高端制造业从业人数/规模以上制造业从业人数(%)	+
	制造业技术高端化	高新技术(制造业)研发人员全时当量/规模以上制造业从业人数(人年/万人)	+
融合化	两业融合水平	用物理耦合度表示: $C = \frac{\sqrt{\mu_1 + \mu_2}}{\mu_1 + \mu_2}$ (%)	+
	信息化融合水平	制造业信息化投入/制造业投资收益(%)	+
	制造业数实融合水平	制造业数字化产成品/有电子商务活动的制造业企业数(万元/个)	+

本文测算的 2013~2022 年全国制造业转型升级水平:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
北京	0.378	0.394	0.395	0.406	0.436	0.455	0.461	0.490	0.549	0.576
天津	0.295	0.307	0.313	0.303	0.336	0.364	0.344	0.360	0.372	0.386
河北	0.235	0.246	0.246	0.234	0.249	0.261	0.257	0.254	0.264	0.273
山西	0.224	0.230	0.235	0.226	0.237	0.236	0.236	0.221	0.213	0.233
内蒙古	0.181	0.186	0.177	0.171	0.183	0.180	0.173	0.169	0.172	0.202
辽宁	0.230	0.240	0.248	0.257	0.253	0.249	0.249	0.256	0.267	0.309
吉林	0.217	0.227	0.233	0.222	0.250	0.298	0.302	0.292	0.305	0.299
黑龙江	0.248	0.250	0.241	0.234	0.250	0.265	0.252	0.243	0.247	0.239
上海	0.292	0.310	0.328	0.343	0.355	0.343	0.348	0.372	0.387	0.411

续表

江苏	0.309	0.339	0.346	0.345	0.368	0.376	0.393	0.403	0.464	0.482
浙江	0.317	0.324	0.329	0.365	0.343	0.346	0.360	0.371	0.401	0.410
安徽	0.236	0.236	0.245	0.253	0.269	0.279	0.280	0.295	0.311	0.328
福建	0.234	0.244	0.238	0.255	0.249	0.244	0.242	0.252	0.276	0.304
江西	0.215	0.215	0.231	0.231	0.251	0.256	0.275	0.289	0.292	0.301
山东	0.249	0.261	0.264	0.266	0.279	0.272	0.278	0.283	0.298	0.307
河南	0.247	0.257	0.268	0.266	0.285	0.299	0.279	0.295	0.304	0.318
湖北	0.240	0.246	0.249	0.254	0.262	0.261	0.265	0.279	0.315	0.365
湖南	0.242	0.250	0.260	0.251	0.252	0.257	0.264	0.265	0.263	0.269
广东	0.388	0.404	0.406	0.412	0.435	0.443	0.456	0.466	0.490	0.507
广西	0.234	0.233	0.229	0.234	0.240	0.238	0.224	0.218	0.229	0.232
海南	0.271	0.286	0.273	0.276	0.270	0.251	0.240	0.240	0.261	0.279
重庆	0.279	0.317	0.353	0.339	0.377	0.365	0.370	0.371	0.389	0.399
四川	0.248	0.246	0.243	0.247	0.261	0.268	0.280	0.284	0.294	0.318
贵州	0.206	0.210	0.220	0.192	0.200	0.200	0.206	0.210	0.216	0.225
云南	0.196	0.198	0.200	0.195	0.199	0.200	0.200	0.209	0.215	0.232
西藏	0.163	0.178	0.119	0.125	0.131	0.133	0.160	0.157	0.162	0.179
陕西	0.208	0.208	0.218	0.212	0.214	0.216	0.216	0.225	0.231	0.243
甘肃	0.183	0.184	0.177	0.187	0.186	0.185	0.194	0.200	0.227	0.256
青海	0.246	0.248	0.250	0.264	0.258	0.251	0.249	0.227	0.270	0.319
宁夏	0.215	0.237	0.211	0.239	0.223	0.207	0.211	0.232	0.267	0.278
新疆	0.164	0.170	0.163	0.160	0.162	0.157	0.159	0.157	0.160	0.165