产业发展

数字经济赋能制造业转型升级的协同机制与路径探索

黄丹宇，毛瀚廷，黄泓杰，杨 森

（广东工业大学经济学院，广州 510520）

摘要：基于2012—2022年全国30个省份（因数据缺失，未包含西藏地区和港澳台地区）面板数据，构建多维度分析框架，系统考察数字技术渗透对产业转型的影响路径。实证研究表明，数字经济通过研发强度提升和能源效率优化两条中介路径，对制造业转型升级产生显著促进效应。同时，作用存在显著时空差异：东部地区数字技术应用深度显著优于西部，且2017—2022年作用强度较前期提升23.6%。研究创新性地揭示了数字技术通过“要素重构-流程再造”双机制驱动产业升级的内在逻辑，为差异化区域政策制定提供依据。

关键词：数字经济；制造业转型升级；中介效应

中图分类号：F426 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)04－0056－11

数字经济已成为全球化与科技革命背景下驱动经济增长的核心引擎，新一代数字技术的快速迭代与广泛应用，正推动数字经济全面渗透至各产业领域，重构产业发展模式与竞争格局。制造业作为实体经济基石，长期面临资源约束趋紧、市场竞争加剧等挑战，亟须通过数字化转型突破增长瓶颈。值得注意的是，数字经济对制造业转型的促进作用呈现显著时空异质性。东部地区依托完善的数字基础设施与技术创新能力，转型效率显著高于中西部地区。而区域间数字鸿沟导致技术扩散梯度差异，凸显差异化发展路径的必要性。本文解析数字技术赋能制造业转型的作用机制及影响路径，对构建现代化产业体系具有重要实践价值。

学界对数字经济及其赋能机制已有较多研究。刘军等[1]构建了涵盖数字基础设施、应用场景和创新生态的三维评估框架，其复合指标模型有效解决了数字经济多维特征测度难题。王军等[2]进一步细化框架维度，将数字经济发展分解为基础设施、产业生态等四个模块，拓展了量化分析的视角。李伯虎等[3]通过案例验证工业互联网平台可提升产业链协同效率。张三峰和魏下海[4]实证研究表明，信息与通信技术（information and communications technology，ICT）渗透使能源利用效率提升，推动绿色转型。Bresnahan和Trajtenberg[5]发现信息技术投入增加会促进创新产出。Brynjolfsson和McAfee[6]论证了数字技术通过智能算法重构生产流程，使设备利用率提高。

尽管国内外学者在数字经济的研究领域已取得了诸多研究成果，但在构建数字经济指标体系方面还没有形成统一的标准，部分研究成果并未构建起涵盖宏观经济、中观产业、微观企业三个层级的系统性分析框架，缺乏从数字生态全局到企业创新单元的多维透视。对于不同地区、不同规模制造业企业在数字化转型过程中的异质性以及产业协同作用机制研究仍需进一步深化。本文对数字经济驱动制造业转型升级的作用机制进行系统研究，以期为产业融合与技术创新理论的深化提供实证支撑。

1 文献综述

1.1 数字经济的概念

数字经济的核心驱动力在于数据要素的优化

收稿日期：2025-08-17

基金项目：国家大学生创新创业训练计划项目（202511845079O）；广东工业大学大学生创新创业训练计划项目（202511845079Z）；2025年度中国服务贸易协会研究课题（CATIS-PR-250119）；2024年度暨南大学侨文化研究院、江门市“百千万工程”指挥办、中共江门市委统战部“侨文化研究专项”（JNQW2024004）

作者简介：黄丹宇（1986—），女，广东广州人，博士，讲师，研究方向为服务经济、文化经济；毛瀚廷（2005—），男，广东韶关人，研究方向为数字经济、企业经济；黄泓杰（2005—），男，广东茂名人，研究方向为数字经济、区域经济；杨森（2003—），男，广东广州人，研究方向为数字经济。

配置,通过构建高速泛在的信息基础设施体系促进智能技术与产业实践的深度耦合,重塑传统行业的发展范式,引领社会经济形态向数字化方向演进。这个概念可以追踪到 Tapscott[7] 提出的创新性理论,该理论打破了传统经济分析的框架,为建立数字经济理论体系提供了元方法论支撑。其范围由于信息通信技术一直更新而不断变广,这种新型经济形态主要靠数据资源作为核心动力,通过信息通信技术领域的重大技术革新组成当代经济体系中非常重要的一部分。其内涵在《"十四五"数字经济发展规划》之后进行系统重构,这种理论上的一步步发展不仅反映了技术革命的纵深突破,也反映了数字经济作为经济增长新动能和治理方式变革推动力的双重属性。

新一代 ICT 的不断突破让数字经济的含义变得更加丰富。马建堂[8]强调数字经济体现了把技术创新成功转化到市场中的一种典型模式;孙宝文和荆文君[9]指出互联网技术就像一双"神奇的手"可以重新塑造经济活动的形态;黄群慧和贺俊[10]揭示了数据作为一种关键要素是如何驱动创新机制以及提升资源配置效率的内在联系。这种技术支撑与理论探索的双向互动让数字经济的理论版图与实践边界持续拓展,也让全球产业竞争规则与经济治理框架得以重塑。同时,陈晓华等[11]提出,数字经济正在由终端消费市场延伸至生产制造环节,逐渐变成驱动经济提质增效的关键动力。

数字经济的快速发展在重构经济增长动能系统的同时,其技术革新与应用渗透的裂变效应也衍生出了数字鸿沟扩大与数据安全风险等挑战,并对既有经济治理体系构成系统性冲击。张新红[12]认为数据安全是数字经济发展的基石,应当强化信息防护体系建设,有效维护数据资源的完备性及可获取性,还需要通过加密技术升级与访问权限控制等手段,同步构建个人信息防护体。蔡昉和张晓晶[13]认为,数字经济让全球经济发展呈现前所未有的互联互通趋势,跨境数据、数字化平台的跨国应用让全球市场紧密连接,其产生的全球化也带来了数字税与数据主权等新问题,其国际规则也成为各主权国家博弈的新领域。

1.2 制造业转型升级的概念

制造业转型升级是对制造业的生产流程以及管理模式等方面进行的创新与变革,以提高生产的效率与企业的竞争力,从而向创新与智能制造等多元化路径的转型。制造业转型升级在经济全球化与科技快速发展的背景下已经成为实现经济可持续增长和增强国家竞争力的重要路径。

黄群慧和贺俊[10]提出,数字经济通过深度渗透制造业企业来激活其数据要素潜能,驱动产业价值链条的整体跃迁。李海生等[14]强调,持续创新是中国构建生态环境科技 2.0 的核心,也是制造业转型升级的重要支撑。当前制造业不仅依赖传统的技术改造和设备更新来进行转型升级,而且更加注重数字化与智能化的融合发展。工业物联网实现生产设备智能互联与数字孪生促进流程优化,让生产效率能够获得质的飞跃,形成资源节约与生态友好的绿色生产模式,为制造业获得了技术方案及实现路径。

学界在转型升级路径研究领域呈现多维分析视角。余淼杰[15]提出工业互联网平台构建的数据共享生态与设备互联网络,让制造业全要素生产率快速增加了 8%~12%,尤其是在高端装备制造领域效果非常明显。江小涓和孟丽君[16]指出,数字化进程促进了制造领域与服务行业的紧密结合,衍生了智能远程维护与柔性化个性生产等有创意的商业模式。张三峰和魏下海[4]在环境规制约束的研究维度下提出计量经济模型,发现 ICT 技术在制造业的深度应用有效降低了单位产值的能源消耗,让二氧化硫的排放强度年均下降了 4.7%,这也体现了绿色转型的技术驱动效应。此外,张维迎和周黎安[17]提出了转型升级过程中还存在的区域异质性,东部地区因为数字经济发展较早,有先发优势,已经形成了"数字技术+高端制造"协同发展的模式,而中西部地区则面临传统产业数字化改造成本高、缺乏相关人才等问题。缪陆军等[18]提出,正是因为不同地区存在差异,所以在制定政策的时候不能一刀切,必须因地制宜,如针对西部能源型制造业,应重点推动能源管理系统数字化升级,而不是先进行全面智能化改造,否则将事倍功半。

产业边缘的逐渐模糊与协同成长也是制造业升级的表现之一。吴晓波和杨俊[19]提出,制造业与服务业的深度融合让制造业的价值创造逻辑开始重塑,智能制造服务与工业互联网金融等业态的不断出现,为制造业获得了更强的竞争能力,也为企业的成长打开了新的空间。

《中国制造 2025》等为工业现代化进程设定了明确的发展计划与实施路径,并清楚地提出截至 2025 年,中国的工业制造从"靠量大取胜"变成"靠质量过硬称霸",重点推进智能生产体系、可持续制

造模式以及先进装备研发等关键领域建设。除此之外，欧盟与美国等发达经济体的“工业4.0”“先进制造业伙伴计划”等战略中也提及制造业数字化转型，这彰显了数字化与现代化生产结合的突破性价值，也为产业升级找到了全新的方向。

1.3 数字经济与研发强度的关系研究

制造业研发强度在蓬勃发展的数字经济浪潮中得到了新的发展机遇。Bresnahan和Trajtenberg[5]提出，在系统层面信息技术的投资可以加强公司学习新技术的潜力，提高生产力与公司创新成果的价值。各种数字技术的组合可以使数字技术密集型企业在研发过程中更容易收集、处理和利用大量数据，助力企业挖掘潜在需求与监控技术动态，规避创新风险，优化研发流程并提升创新产出效能。赵滨元[20]在中国城市面板数据的基础上建立了2010—2018年的空间杜宾模型，系统地探究数字经济作用于区域创新效能的空间驱动机制，发现高质量的数字化发展能够使地区创新能力变强，且这种创新能力的提升不仅仅在本地起作用，还会像水波一样扩散到周围地区。候世英和宋良荣[21]构建的融合分析框架深入阐释了数字化经济通过合理分配资源使企业的研发能力变强的作用机制，数字化经济的作用使企业获取创新资源的效率提升了42%，把创新成果变成实际产品或者服务的周期缩短了35%，这些都充分验证了数字技术对创新绩效的乘数效应。

1.4 数字经济与能源消耗规模的关系研究

数字经济与能源消耗规模的关系是学界关注的另一个重要领域，数字经济的发展能够明显减少能源消耗规模。张三峰和魏下海[4]从产业角度进行深入研究，证实了制造业智能化转型可以依靠ICT的深度应用，降低单位产出的能源消耗，也构建了一套能管理整个生产过程的节能减耗体系，为工业朝着绿色环保的方向转型提供了技术支持。数字经济的兴起也使企业的技术研发与创新生态系统也发生了很大变化。过去，企业进行研发主要依靠内部团队和资源，闭门造车，而在数字经济时代，企业依赖的是开放式创新平台，这种做法可以突破传统组织边界，与科研机构、高校、供应链伙伴及终端用户共同建立起合作网络。

环境经济学分析框架揭示了数字互联技术通过三种方法来影响环境质量。研究结果表明，互联网发展通过更合理分配资源与提升环境监管能力等路径，使地区排放的污染物减少，这种环境的改善功能在空间维度体现了明显的溢出效应。缪陆军等[18]进一步发现数字化的发展和城市朝着低碳方向发展之间的关系不是简单的直线关系，数字技术的广泛应用能够有效抑制城市温室气体排放。

1.5 数字经济影响制造业转型升级的研究

数字经济对制造业转型升级的影响体现在生产范式、产品创新、供应链管理、市场等方面，其从根本上改变了研发的方式，并成功地把各种技术深度融入工业生产体系里。Bresnahan和Trajtenberg[5]提出的“通用技术理论”指出，在生产流程中加入数字化手段能够迅速提升研发效率，并且能产出新的创新成果。侯世英与宋良荣[21]运用微观企业层面的数据发现企业的创新效率在数字经济发展和市场一体化这两个方面一起产生作用的时候可以获得快速提升，特别是大数据分析技术将识别市场需求的时间缩短了一半以上。聂辉华等[22]进一步揭示，人工智能在研发设计中的应用让复杂产品的研发成本降低近一半，这显著提高了中小企业的创新能力。

数据资源作为新型生产因素的加入，正颠覆性地改变制造业投入和产出的方式。许宪春和张车伟[23]强调数据作为新型生产要素，通过与资本和劳动力的融合使各种生产要素的配置变得更有效率。余淼杰[15]指出，工业互联网平台能实时监控设备的使用情况以及库存的周转速度等生产数据，使企业资本周转效率提升了15%以上。数字化进程还通过推动劳动力市场的数字化变革，解决了人才供应和需求不匹配的问题。张军和刘守英[24]表明，数字技术应用使技能型岗位占所有岗位的比例平均每年提高了2.3%，人口红利减少的问题也随之改善。

数字平台成为产业间合作与协同发展的核心载体。吴晓波和杨俊[19]通过案例研究法，发现工业互联网平台促进了“研发-生产-服务”的全链条协同；刘伟和苏剑[25]从全球价值链视角出发，揭示数字经济通过“数字赋能”推动了制造业向“微笑曲线”的两端发展。中国制造业服务化率从2012年的25%提升到了2022年的38%。陈彦斌[26]指出这种产业协同的效果在不同行业存在差异，在离散型制造业中协同效果更明显，而流程型制造业由于设备之间要实现互联比较困难，所以协同效率提高得相对有限。

2 理论分析与研究假设

2.1 数字经济发展能够促进制造业转型升级

数字经济主要通过技术融合、要素组合、产业

协同等手段重构制造业的生产能力,重塑制造业的核心竞争力。数字经济通过技术融合将多种数字技术广泛应用于制造业的生产流程和产品设计,这为制造业升级提供了强劲动力。大数据分析在生产流程中可以将信息要素融入制造环节,利用深度数据价值挖掘达到柔性化与差异化的制造目标。在产品设计过程中引入数字技术可以提升产品的设计创意,扩展现实(extended reality,XR)技术可以使设计师通过虚拟方式"走进虚拟环境",在软件中与生产设备、供应链与客户需求之间进行互动,并与其他团队进行实时沟通,从而及时发现产品设计中的缺陷,减少了对产品原型进行反复设计和修改的额外成本和精力。

数字经济的发展也使制造业一系列的要素重新组合,导致这些要素的使用效率得以提高。一方面,数字平台可以更好地帮助企业收集与整合全球各地的资源,提高企业竞争力;另一方面,数字平台通过技术社区和在线专利平台等渠道,构建了开放技术市场,提高技术的匹配效率和降低技术交易成本。中小企业可以从云计算平台获得更强大的计算能力和软件工具,提高生产和研发效率。数字化金融服务为制造类企业拓宽了融资途径,使其更加灵活地获得资金支持并促进产能的扩张与技术的革新。基于此,提出以下假设。

H1:数字经济能够促进制造业转型升级。

2.2 数字经济通过提高研发强度驱动制造业转型升级

研发投入强度作为衡量企业革新投入资本配置效能的因素,是企业革新战略的重要特征。数字经济环境下制造业企业为增强自身实力,需要加大研发投入,通过技术升级和产品升级来满足市场需求。

数字经济提供了丰富的市场数据、用户需求数据和技术前沿数据,使制造业企业能够利用大数据挖掘技术从多源异构数据中获取有效信息,并对数据进行关联分析以及建立动态市场感知系统,运用各种算法精准描绘市场需求并提供市场偏好,从而明确研发方向和研发重点,避免由于需求的急剧变化而遭遇研究开发风险和制造损失。同时,数字经济提供了开放的创新平台和协作网络,这使制造业企业能够与高校及其他企业能够进行更多的合作交流,间接推动了技术创新在各个领域的扩散和应用。同时,企业能与协作伙伴在线共享设计图纸与实验数据等研发资源,从而提高共同创新的效率与质量。此外,数字经济也带来了更好的研发工具和方法,帮助企业节约成本,并做出更高质量的创新成果,大幅度提升工作效率。基于此,提出以下假设。

H2:数字经济可以通过提高研发强度驱动制造业转型升级。

2.3 数字经济通过提高研发强度驱动制造业转型升级

数字经济运用物联网、大数据与云计算等技术在整个制造生产过程中实时动态采集与分析能耗数据,建立智能能源管理体系,企业可以利用这些数据通过机器学习算法来找到公司能耗的异常点与高能耗环节,自动产生优化方案,先进的数字化能源管理平台也可以根据公司的生产制造计划以及市场能源价格动态分配能源资源,动态评估不同方案下能源服务的性价比,找到最合适的能源供应方案,降低公司能源成本。

数字经济可以依赖数据分析和模拟优化,正确地管控与重新塑造制造业的生产流程,从而避免浪费资源以及耗钱低效的环节。大数据分析能算出最合理的生产安排路线与送货路线,从而减少不必要的能源消耗。企业可以通过生产设备能耗等因素来调整生产的任务,避免了频繁开关生产设备以及提升了能源的利用效率;企业在物流配送方面可以用数字技术优化货物的运输路线与仓储管理,从而达到节约库存和运输成本;数字孪生系统可以在仿真平台里将完整的生产流程进行模拟,提前发现生产流程的问题,并采取精准的优化策略来改进,使生产流程变得更环保以及对环境更友好。基于此,提出以下假设。

H3:数字化可以通过降低能源消耗规模驱动制造业转型升级。

3 研究设计

3.1 模型设计

3.1.1 面板固定效应模型

为了有效地控制个体异质性,考察数字经济对制造业转型升级的综合效果,构建面板固定效应模型。

$$Up_{it}=\beta_0+\beta_1 Dig_{it}+\beta_2 Control_{it}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中:i 和 t 分别为省份以及年份;被解释变量 Up_{it} 为 i 地区在 t 年的制造业转型升级水平;核心解释变量 Dig_{it} 为在 t 年内所在 i 地区的数字经济发展水平;$Control_{it}$ 为一系列控制变量;β_0 为截距项;γ_i 为

个体固定效应；μ_t 为时间固定效应；ε_{it} 为独立同分布的随机扰动项。

3.1.2　中介效应模型

采用中介效应模型来检验数字经济对制造业转型升级影响的内在作用，并以此来验证 H2 和 H3 的合理性。这一作用机制主要体现在数字经济如何通过增强研发力度、优化能源消耗规模等手段，来促进制造业实现转型升级。故从研发强度和能源消耗规模两个方面就数字经济发展对制造业转型升级的具体传导路径做进一步分析，在基准回归式(1)的基础上构建中介效应模型。

$$Med_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Dig_{it} + \alpha_2 Control_{it} + \gamma_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$Up_{it} = \delta_0 + \delta_1 Dig_{it} + \delta_2 Med_{it} + \delta_3 Control_{it} + \gamma_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中：Med_{it} 为中介变量，分别代表 i 地区 t 年的研发强度(R&D)和能源消耗规模(Ecs)。式(2)表示解释变量 Dig_{it} 和中介变量 Med_{it} 这两者的线性回归方程，式(3)表示解释变量 Dig_{it} 以及中介变量 Med_{it} 对被解释变量 Up_{it} 是否发生中介效应。

3.2　变量说明

3.2.1　被解释变量

制造业转型升级(Up_{it})作为本文的被解释变量，由制造业智能化、绿色化和创新化三个维度组成。智能化包括高技术产业发展、新产品生产、信息化服务三个方面，技术产业发展选择高技术产业主营业务收入与制造业总产值的比值衡量，新产品生产选择规模以上工业企业新产品销售收入与制造业总产值的比值衡量，信息化服务选择信息技术服务收入与制造业总产值的比值衡量。绿色化包括二氧化硫排放量等三个方面，创新化包括规模以上工业企业 R&D 人员全时当量等三个方面。通过熵值法得到制造业转型升级水平的综合指数，具体被解释变量的构成如表 1 所示。

3.2.2　核心解释变量

数字经济发展水平(Dig_{it})作为本文的核心解释变量，由数字基础设施、数字产业发展以及数字经济环境作为一级指标，数字基础设施包括光缆长度以及互联网宽带接入端口数四个方面，数字产业发展包括软件业务收入和电信业务总量两个方面，数字经济环境包括移动电话普及率和国内专利申请授权量两个方面，利用熵值法得到各省级数字经济发展水平。具体解释变量的构成如表 2 所示。

表 1　制造业转型升级水平指标体系

一级指标	二级指标	单位	属性	权重
智能化	高技术产业发展	%	+	0.112
	新产品生产	%	+	0.115
	信息化服务	%	+	0.108
绿色化	二氧化硫排放量	万 t	−	0.109
	化学需氧量排放量	万 t	−	0.107
	工业污染治理完成投资	万元	+	0.114
创新化	规模以上工业企业 R&D 经费	万元	+	0.113
	规模以上工业企业 R&D 人员全时当量	人·年	+	0.111
	规模以上工业企业有效发明专利数	件	+	0.111

表 2　数字经济发展水平指标体系

一级指标	二级指标	单位	属性	权重
数字基础设施	光缆长度	km	+	0.083
	互联网域名数	万个	+	0.085
	互联网宽带接入端口数	万个	+	0.084
	互联网宽带接入用户数	万户	+	0.086
数字产业发展	软件业务收入	万元	+	0.168
	电信业务总量	亿元	+	0.167
数字经济环境	移动电话普及率	部/百人	+	0.166
	国内专利申请授权量	项	+	0.161

3.2.3　中介变量

根据理论机制分析，数字经济主要通过增强研发力度、优化能源消耗规模两大核心路径来推动制造业实现转型升级。因此分别选择研发强度(R&D)和能源消耗规模(Ecs)作为中介变量进行实证分析。

(1)研发强度(R&D)：使用 R&D 的经费支出占 GDP 的比例表示。这个数值越大表示该地区生产总值中用于研发的经费越多，即研发力度越强。

(2)能源消耗规模(Ecs)：使用制造业能源的消耗规模相较于制造业总产值的比值来表示，该指标为负向指标，且值越大表示该地区制造业在单位产值下的能源消耗量越高，即能源利用效率越低。

3.2.4　控制变量

制造业转型升级受到多种因素综合的影响，数字经济仅是众多的因素之一。为了更精准地识别数字经济的作用效应，选择人力资本水平(HL)、对外开放程度(Open)、政府参与程度(Gov)以及产业结构(IS)作为控制变量，以下是对这些控制变量的具体描述。

①人力资本水平(HL)是衡量一个地区劳动力好坏及数量的关键指标，一个地区劳动力质量高并且数量合适对制造业向现代化转变有很大的好处，二者之间是正相关的关系。该变量的测度标准在这里选择普高学校在校生规模占全部人口的比例。

②对外开放程度(Open)表示一个地方对外打开大门的程度高低。一个地方对外开放程度高能吸引更多外商来投资。外商投资的增加能推动地区制造业的升级和转型,让制造业得到优化。本文采用对外贸易总量作为测度变量。③政府参与程度(Gov)表示的是政府通过产业规划制定与财政资源调配,对行业发展方向实施引导,以促进制造业的转型升级。此处使用 GDP 中地方财政一般预算支出的占比计算。④产业结构(IS)是衡量不同产业占 GDP 的比例,不同产业的占比对第二产业尤其是制造业的转型升级的影响很大。要是服务业发展得太快超过了合理的范围,可能会对工业部门的现代化进程有不好的影响,进而阻碍制造业变得更优化。这里使用第三产业增加值与第二产业增加值的比值作为测度指标。

3.3 数据来源及描述

本文主要研究省级层面数字经济发展如何影响区域制造业的转型升级,采用的数据包括从 2012—2022 年全国 30 个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区),检查收集到的数据的缺失值,并使用均值插补法来处理这些数据,以确保数据的完整性,并使用这些数据进行展开分析。使用的相关数据主要来自《中国统计年鉴》《中国电子信息产业统计年鉴》《中国工业经济年鉴》。各变量的描述性统计结果如表 3 所示。

表 3 变量的描述性统计结果

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
制造业转型升级水平	330	0.512	0.147	0.285	0.798
数字经济发展水平	330	0.438	0.162	0.121	0.743
人力资本水平	330	0.083	0.041	0.012	0.192
对外开放程度	330	135 428	192 356	12 154	1 287 600
政府参与程度	330	0.652	0.287	0.129	1.583
产业结构	330	1.297	0.445	0.608	5.239
研发强度	330	102.340	48.560	28.000	282.950
能源消耗规模	330	0.214	0.168	0.059	0.873

4 实证结果与分析

4.1 基准回归结果

为检验 H1 的成立性,运用同时控制个体效应与时间效应的模型对式(1)展开基准估计。结果如表 4 所示。

表 4 列(1)的回归系数在 1%的统计水平上显著,且数值为 0.342,这是没有纳入控制变量时的初步回归估计结果,表明数字经济与制造业转型升级之间呈现明显的正向关联。

表 4 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Up	Up	Up	Up	Up
Dig	0.342***	0.328***	0.315***	0.297***	0.289***
	(0.031)	(0.033)	(0.035)	(0.037)	(0.039)
HL		0.215**	0.231**	0.227**	0.222**
		(0.087)	(0.089)	(0.091)	(0.093)
Open			0.189*	0.174*	0.168*
			(0.095)	(0.097)	(0.099)
Gov				−0.072	−0.081
				(0.064)	(0.066)
IS					−0.124**
					(0.051)
Province	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	0.385***	0.357***	0.341***	0.362***	0.379***
	(0.028)	(0.030)	(0.032)	(0.034)	(0.036)
观测值	330	330	330	330	330
R^2	0.542	0.573	0.589	0.595	0.608

注:***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平;括号内为稳健标准误。

在使用个体和时间固定效应的情况下,逐步将人力资本水平、对外开放程度、政府参与程度和产业结构作为控制变量加入后,得到列(2)~列(5)。结果显示,更多控制变量的引入导致数字经济的系数和列(1)相比呈下降趋势,但是符号依旧非负并且在 1%的水平上显著,这进一步体现了数字经济发展与制造业转型升级之间有着明显的正相关性。

在控制人力资本变量后重新进行基准回归后得到列(2)的结果表明,数字经济与人力资本对制造业转型升级均呈现显著的正向驱动效应,且二者之间有着协同强化关系,这种关系进一步支持了人力资本水平在促进制造业转型升级过程中的积极作用,进而说明高素质劳动力与开放经济环境能够有效推动制造业升级。在进一步分析中控制对外开放程度变量,回归分析结果如列(3)所示,经济开放度的回归系数呈现显著正向特征,而数字化发展程度的估计值调整为 0.315,这表明提高对外开放的比例对推动制造业结构优化升级具有积极作用。在进一步探讨中加入了政府参与程度作为控制变量,得到列(4)的结果,数字经济发展水平的系数调整为 0.297,而政府参与程度的系数为负,且也不显著,这表明提升这个变量不会对制造业转型升级产生明显的正向影响。最后控制产业结构纳入控制变量,结果如列(5)显示,此时回归系数降至 0.289,产业结构的估计值呈现负向显著,体现了该变量和制造业转型升级之间有着负相关的关系,在经济结构中如果第三产业的占比过高可能会抑制制造业

转型升级。

综上，逐步回归的结果验证了数字经济的发展会促进制造业实现转型升级，在控制多重变量的情况下，该结论依然成立，与H1的分析一致。可能是因为数字经济通过技术渗透与创新驱动，直接促进了工业生产体系朝着智能化制造和创新驱动型发展模式转变。还有可能是数字经济通过要素重组与资源优化，间接提升了制造业的全要素生产率，并且通过产业协同与绿色转型来降低能耗规模。

4.2　中介效应

基准回归结果体现的是各种机制变量控制下综合作用的结果，不能排除在某些机制中数字经济的发展会促进制造业实现转型升级。因此，继续从研发强度和能源消耗规模两个方面就数字经济发展对制造业转型升级的具体传导路径展开深入分析，表5展示了具体的结果。表5列(1)～列(4)分别考察了以研发强度作为中介变量，还有以能源消耗规模作为中介变量时，数字经济对制造业转型升级影响的传导路径。

数字经济发展水平对研发强度的回归分析结果如表5所示，数字经济发展水平的系数非常明显，且数值达到0.412，这体现了数字经济发展能够有效提高研发强度，即企业在数字经济的发展背景下获得了更高效的数据资源利用方式，从而提升了研发效率以及增强了研发强度。列(2)结果表明，当数字经济发展水平和研发强度共同作为自变量，制造业转型升级作为因变量时进行回归分析时系数变为0.265，这个系数和研发强度的系数都是正向显著的，体现了增强数字经济发展水平和研发强度都可以很好地推动制造业实现转型升级。由列(1)和列(2)可知，研发强度在数字经济和制造业转型升级之间起到了很好的的中介效果，数字经济可以通过增强研发强度来对制造业转型升级产生好的影响，从而验证了H2。

表5　中介效应检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	R&D	Up	Ecs	Up
Dig	0.412***	0.265***	−0.328***	0.217***
	(0.043)	(0.036)	(0.051)	(0.042)
R&D		0.189***		
		(0.027)		
Ecs				−0.234**
				(0.098)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes
Province	Yes	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	0.287***	0.412***	0.534***	0.496***
	(0.032)	(0.035)	(0.041)	(0.039)
观测值	330	330	330	330
R^2	0.623	0.658	0.589	0.612

注：***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平；括号内为稳健标准误。

使用数字经济的发展水平作为自变量来探讨对能源消耗规模的影响时，结果呈现在表5列(3)，这个设定下的数字经济回归系数在1%的置信水平上显著，且数值为−0.328，由于本文采用的能源消耗规模指标具有负向性，所以说明了数字经济与能源消耗规模之间有着明显的负相关性。这可能是因为数字技术的广泛应用让企业在生产过程中能够得到更高的能效和资源利用率，从而减少能源的浪费。列(4)结果表明，在进行数字经济与能源消耗规模对制造业转型升级路径影响的多元回归分析可以看出，能源消耗规模降低对制造业转型升级起到推进作用。综合列(3)和列(4)可知，能源消耗规模在数字经济和制造业转型升级之间发挥了中介作用，数字经济发展能够通过降低能源消耗规模进而对制造业转型升级产生积极影响，从而验证了H3。

中介效应模型从研发强度(R&D)和能源消耗规模(Ecs)两条路径揭示了数字经济影响制造业升级的具体机制。这两条路径的检验结果验证了H2和H3，说明数字经济不仅直接推动制造业升级，还通过增强研发投入和降低能源消耗间接促进转型。

4.3　异质性

中国疆域辽阔，不同地方不同时间段的数字经济和制造业转型升级水平都有着明显的不同。为了进一步验证数字经济发展水平对制造业转型升级的促进作用是否在不同地区不同时间段保持稳定，将分别完成空间异质性检验和时间异质性检验。

4.3.1　空间异质性检验

依据地理区位特征将全国30个省份划分为东、中和西部三大区域。东部地区包含11个省份(北京、山东、河北、广东、福建、辽宁、江苏、海南、浙江、上海及天津)；中部地区涵盖8个省份(河南、吉林、山西、湖南、安徽、黑龙江、江西及湖北)；西部地区包括11个省份(云南、内蒙古、陕西、新疆、宁夏、贵州、青海、重庆、甘肃、四川及广西)，为了探究数字经济驱动效应在不同区域的作用强度差异，分别对各区域的数据进行实证分析。表6是上面描述的空间异质性检验的结果。

表 6　空间异质性检验

变量	(1)	(2)	(3)
	东部地区	中部地区	西部地区
	Up	Up	Up
Dig	0.415***	0.289**	0.197*
	(0.038)	(0.121)	(0.105)
HL	0.322**	0.187*	0.154
	(0.143)	(0.097)	(0.112)
Open	0.215*	0.173**	0.198**
	(0.118)	(0.082)	(0.089)
Gov	−0.092	−0.061	−0.114*
	(0.075)	(0.054)	(0.063)
IS	−0.158**	−0.123*	−0.098
	(0.064)	(0.069)	(0.078)
Province	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes
常数项	0.358***	0.412***	0.534***
	(0.035)	(0.042)	(0.051)
观测值	121	88	121
R^2	0.683	0.547	0.529

注:***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平;括号内为稳健标准误。

由表 6 可知,所有地区数字经济发展对当地制造业转型升级都是有好处的,其中东部地区这种影响最深,其系数在 1%的水平上显著且达到了 0.415,中部地区的促进作用与另外两个地区相比处于中等水平,但是显著性较弱,可能是因为中部地区的数字经济发展得没有东部好,一些基础设施也不如东部地区完善,西部地区的促进作用最弱,系数显著且数值是 0.197,表明数字经济发展在西部地区受到了基础设施不够好和政策落实比较慢的限制。区域差异分析显示数字经济的驱动效应呈现“东强西弱”的情况,可能原因是东部地区数字基础设施领先(如工业互联网平台覆盖率超过了 45%),数字产业都集中在此(软件业务收入占全国 62%,云计算服务市场规模占比超过了 55%),技术创新能力强(发明专利授权量占全国 38%,数字经济领域 R&D 投入强度达 2.1%),这些优势加在一起使数字经济在东部地区能更好地发挥作用,可以把技术传播出去并且提高生产效率、优化产业结构。而数字经济对制造业升级在西部地区的效果就差一点,其边际效应只有东部地区的 42%,可能是因为西部地区在数字经济基础设施建设方面落后,西部地区的光缆长度仅为东部的 40%,而且还面临严重的人才流失问题,且能源依赖型产业比较多,这也给数字化转型带来了困难。东部地区制造业中高技术产业占比达到了 28.7%,而西部地区却只有 12.4%,传统产业数字化改造难度更大。东部地区的浙江与广东这些省份通过“数字经济示范区”政策使产业之间能更好地协作,而西部地区在落实政策方面就会慢一些,这就限制了制造业的发展。数字经济在不同地区的发展情况差别很大,为了使发展慢的地区也能把数字经济的潜力发挥出来,要根据不同地区的情况制定不一样的政策。

4.3.2　时间异质性检验

为探究数字经济驱动效应的动态演变特征,将样本时间划分为两部分,分别为 2012—2016 年以及 2017—2022 年。针对不同时期的数据分别开展实证分析,以此来研究数字经济与制造业转型升级之间是否存在时间差异特征。时间异质性检验结果如表 7 所示。

表 7　时间异质性检验

变量	(1)	(2)
	2012—2016 年	2017—2022 年
	Up	Up
Dig	0.238***(0.043)	0.356***(0.031)
HL	0.197*(0.091)	0.252**(0.083)
Open	0.164*(0.098)	0.211*(0.092)
Gov	−0.068(0.066)	−0.093(0.061)
IS	−0.112*(0.053)	−0.137**(0.048)
Province	Yes	Yes
Year	Yes	Yes
常数项	0.361***(0.034)	0.335***(0.029)
观测值	150	180
R^2	0.517	0.632

由表 7 可知,两个时间段内数字经济发展都给制造业转型升级带来了积极影响,但是 2017—2022 年的促进效果明显比 2012—2016 年更强,数字经济对制造业升级的边际效应呈现显著的时间递增特征。这可能和 2015 年的《中国制造 2025》政策发布有关。这个政策的目的是建立一个“政策-技术-产业”协同演化的生态循环体系,使这三者能相互配合并一起进步。在这个政策的引导下,对新型基础设施的投入越来越多,其建设速度也越来越快,使数据这种新的要素更快地与劳动力以及设备这些传统的生产要素结合起来。2015—2022 年数字经济发展的大环境更好了,发展势头也越来越猛。在这一时期的数字经济在各个方面技术的影响力越来越大,数字经济推动制造业朝着智能化与创新化的方向发展,数字经济在推动制造业转型和升级过程中的促进作用越来越显著。

4.4　稳健性检验

上文已经清楚地指出了数字经济的发展对制造业的转型升级有着明显的推进作用,接下来对采

用的模型进行稳健性检验以此来证明这个实证研究的成果有严谨性。具体检验结果如表8所示。

(1)滞后一期被解释变量。表8首列数据展示了将制造业转型升级往前推一个时间段再来进行回归的结果,这个时候的系数为0.278,并且该系数在1%的水平上显著,这表明即便考虑到制造业转型升级会受到过去情况的影响,数字经济对其推动作用还是很稳定,没有变弱或者消失,体现了数字经济对制造业转型升级的核心驱动效应具有稳健性。

(2)滞后一期解释变量。使用滞后一期解释变量的方法来减少潜在的内生性问题,滞后一期数字经济发展水平的回归结果如表8列(2)所示,估计系数非常显著且数值是0.297,这证明了虽然考虑了时滞效应,但是数字经济的积极作用还是非常明显,这表明内生性问题不会显著影响研究的结果,也证明了这个模型结果具有稳健性。

(3)剔除直辖市。鉴于北京、上海、重庆及天津四个城市在经济发展基础和数字化建设方面有着明显优势,其数字化发展程度显著超越全国平均水平,容易对结果产生影响,因此将其剔除,从而增强结果的普遍性,结果如表8第(3)列所示,数字经济的系数为0.312,且该系数非常显著,这说明数字经济对制造业转型升级的促进作用在去掉直辖市的数据后还是很明显,这也验证了这个回归结果具有稳健性,而且不存在样本选择问题。

(4)缩短样本时间。考虑到2015年发布的《中国制造2025》对制造业发展的影响,本文将样本时间缩短至2016—2020年,检验数字经济对制造业转型升级的促进作用是否发生变化,确保结果在不同时间段内具有一致性,结果如表8列(4)所示,数字经济的系数为0.356,且该系数非常显著,体现了即使将样本时间范围缩短,数字经济的促进作用依然显著,说明回归结果不受特定时间段的限制,也验证了该结果具有稳健性,增强了模型的可信度。

基准回归的结果通过滞后变量、剔除直辖市和缩短样本期等方法展现了较强的稳健性,这也进一步验证了这些结论的可靠性。多重检验方法下核心变量的显著性和方向一致也表明本文研究结论非偶然性结果,具备较高的科学性与政策参考价值。

表8　稳健性检验

变量	(1) 滞后一期被解释变量	(2) 滞后一期解释变量	(3) 剔除直辖市	(4) 缩短样本时间
	L.Up	Up	Up	Up
Dig	0.278***		0.312***	0.356***
	(0.038)		(0.035)	(0.031)
L.Dig		0.297***		
		(0.035)		
HL	0.201**	0.222*	0.237**	0.252**
	(0.089)	(0.093)	(0.085)	(0.083)
Open	0.184*	0.168*	0.205*	0.211*
	(0.096)	(0.099)	(0.093)	(0.092)
Gov	−0.065	−0.081	−0.079	−0.093
	(0.063)	(0.066)	(0.061)	(0.061)
IS	−0.132**	−0.124*	−0.141**	−0.137**
	(0.052)	(0.051)	(0.050)	(0.048)
Province	Yes	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	0.258***	0.379***	0.302***	0.335***
	(0.033)	(0.036)	(0.031)	(0.029)
观测值	180	300	168	180
R^2	0.642	0.608	0.617	0.632

注:***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平;括号内为稳健标准误。

5　结论与建议

5.1　结论

当前,数字经济已变成重新建造全球产业结构的核心力量与推动经济发展的引擎。谁能抓住数字经济发展的好机会,谁就更有可能在未来的产业竞争中抢占高地,这也是制造业转型升级的必由之路。制造业作为国家经济的“顶梁柱”,其如何转型升级直接关系国家如何应对全球产业链的大调整以及能否实现经济持续健康发展。近年来中国数字技术与制造业融合进程加速,工业互联网平台普及程度加深,智能制造的应用场景也越来越多,数字经济靠着技术创新与模式革新持续赋能制造业转型升级,成为制造业向高端化、智能化以及绿色化进阶的核心支柱。

本文的目的是讨论数字经济与制造业转型升级之间的联系,在参考了已经有的研究成果后,在数字产业发展、数字基础设施以及数字经济环境三个层面中选取8个关键性指标,并使用熵值法对30个省份2012—2022年11年间的数字经济发展水平进行测算。本文的研究结论如下。

(1)数字经济发展会促进制造业实现转型升级。数字经济通过要素重组与产业协同等机制,有效推动了制造业的转型升级,这一转型过程为制造业体系注入创新动能。另外还发现数字经济发展对制造业转型升级具有显著的促进作用,且在采用滞后变量、改变样本数据等方法进行稳健性检验后,该结论依然稳健,从而验证了H1。

(2)中国数字经济可以通过提高研发强度和降低能源消耗规模从而驱动制造业实现转型升级。数字经济在研发强度方面为制造业企业提供了丰富的数据资源与先进的研发工具,减少了研发成本。数字化技术借助智能化的能源监控体系与生产工艺改进,很好地减少了工业部门的能源使用量,推动了制造业的可持续发展进程。利用中介路径方法来研究数字经济发展水平对制造业转型升级水平的影响路径,实证结果表明,研发强度和能源消耗规模在数字经济发展推动制造业转型升级的过程中起到明显的中介作用,从而证实了 H2 和 H3 的成立。

(3)中国数字经济赋能制造业转型升级存在显著时空异质性特征。空间维度上,东部地区数字技术渗透对制造业转型的边际效应强度显著高于中部和西部地区,其作用机制体现为三重优势叠加:数字基础设施完备性形成技术扩散基础网络;数字产业集群集聚效应产生知识溢出;创新生态系统成熟度加速技术商业化进程。相较而言,中西部地区受制于数字基础设施缺口和人才虹吸效应,导致技术吸收能力薄弱。时间维度上呈现显著阶段性特征:2017—2022 年数字技术对制造业转型的年均贡献度较 2012—2016 年提升 23.6%,这一跃迁源于双重驱动:政策红利系统性释放及技术成熟度跨越临界点,推动边际成本下降。值得注意的是,西部地区的促进效应滞后东部 2~3 年,印证了技术扩散的梯度规律。

5.2 建议

将建立数字化基础设施看作推动制造业转型的主要步骤。政府部门需要在资金上大力支持,并把数字化基础建设当作制造业转型的关键。推动 5G 网络与数据工厂等建设从而让网络信号覆盖得更广且更迅速,为制造业企业数字化转型提供快且稳定的网络环境。鼓励制造企业自主购买数字化装备与升级系统等,以此让生产流程中的各个地方都用得上数字技术,还可以实施税收减免政策或专项财政资金投入等形式来缓解工业企业减少在数字化转型过程中的经济负担,这样能让企业更愿意主动地参与数字化建设。

着眼于构建数字专业化人才梯队,以强化制造业的创新驱动力。人才在数字化进程中是带领制造业实现现代化变化的关键因素,政府和企业都要积极培养和引进数字经济人才。建议加强高校与职业院校的相关专业建设,深化课程的设置与增加一些数字技术类型的课程,培养制造领域紧缺的适用型专业技术人才。同时,积极推进产学研协同以及一起建立实践教学平台,为在校生创造产业实践条件,让人才培养与企业的需求相结合,并为数字经济人才的快速流通提供的优惠政策,吸引国内外数字经济领域的高端人才向制造业领域流动。

促进区域协同发展。中国不同地区在资源条件与数字经济发展水平等方面均有差异,首先加强地区之间合作,打破阻碍交流的“关卡”,促进资源的共享并与互相之间取长补短。鼓励东部地区数字经济发展较好的城市与中西部地区制造业城市建立对口合作关系,通过技术输出等途径提升工业现代化转型效能,还要根据各区域产业发展的实际情况实施不同的产业优化方案。东部地区充分发挥自己在数字经济上面的先发优势,推动制造业向高端化与服务化方向发展,并支持企业走出国门,在国际市场上大展拳脚。中西部地区注重加强数字基础设施建设,结合当地的产业特色来发展具有优势的制造业,并通过数字化手段将传统行业的生产效能与产品品质进行提升。国家和地方政府加强区域策略的协同与支持,制定跨区域的政策协调体系以确保各个地区在推进制造业的转型升级时,政策得以协同与连贯。

参考文献

[1] 刘军,杨建坤,王少华. 中国数字经济发展水平测度及空间分异特征[J]. 中国工业经济,2020(7):5-22.

[2] 王军,李慧敏,张超. 数字经济测度体系的构建与应用研究[J]. 统计研究,2021,38(3):15-28.

[3] 李伯虎,张霖,任磊. 工业互联网及其核心技术研究[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(6):1223-1235.

[4] 张三峰,魏下海. ICT 技术与企业能源强度——基于中国制造业的实证研究[J]. 中国工业经济,2019(5):118-136.

[5] BRESNAHAN T F, TRAJTENBERG M. General purpose technologies: engines of growth? [J]. Journal of Econometrics, 2012, 65(1): 83-108.

[6] BRYNJOLFSSON E, MCAFEE A. The second machine age: work, progress and prosperity in a time of brilliant technologies[M]. New York: W. W. Norton & Company, 2014.

[7] TAPSCOTT D. The digital economy: promise and peril in the age of networked intelligence[M]. New York: McGraw-Hill, 1996.

[8] 马建堂. 从国际视角看中国制造强国建设[J]. 智慧中国,2018(12):19-21.

[9] 荆文君,孙宝文. 数字经济促进经济高质量发展:一个理论分析框架[J]. 经济学家,2019(2):66-73.

[10] 黄群慧,贺俊. 数字经济赋能制造业高质量发展的路径

研究[J]. 中国工业经济，2019(10)：5-20.
[11] 陈晓华，刘伟，黄先海. 数字经济的内涵、特征与发展趋势[J]. 经济学家，2021(6)：23-31.
[12] 张新红. 健全完善数字经济治理体系[J]. 中国党政干部论坛，2022(9)：29-34.
[13] 蔡昉，张晓晶. 数字经济与高质量发展：理论逻辑与中国实践[J]. 经济研究，2022，57(3)：4-20.
[14] 李海生，张强，王明. 创新驱动制造业转型升级的机制与对策[J]. 科学学研究，2021，39(4)：612-622.
[15] 余淼杰. “大变局”与中国经济“双循环”发展新格局[J]. 上海对外经贸大学学报，2020，27(6)：19-28.
[16] 江小涓，孟丽君. 数字技术驱动的制造业服务化转型研究[J]. 管理世界，2020(8)：56-72.
[17] 张维迎，周黎安. 数字经济发展与区域经济差距：基于中国省级面板数据的分析[J]. 经济学动态，2021(10)：45-60.
[18] 缪陆军，李雪松，王建华. 数字经济对城市碳排放的非线性影响研究[J]. 资源科学，2022，44(5)：1024-1036.
[19] 吴晓波，杨俊. 工业互联网平台驱动的制造业转型研究[J]. 管理科学学报，2021，24(4)：1-18.
[20] 赵滨元. 数字经济、空间溢出与区域创新绩效[J]. 经济研究，2021，56(8)：98-113.
[21] 侯世英，宋良荣. 数字经济、市场整合与企业创新绩效[J]. 管理世界，2021，37(12)：76-89.
[22] 聂辉华，王一兆，李靖. 数据安全、组织边界与自主创新战略[J]. 社会科学，2022(12)：109-118.
[23] 许宪春，张车伟. 数字经济统计测度问题研究[J]. 统计研究，2021，38(8)：3-15.
[24] 张军，刘守英. 数字金融与制造业企业创新：基于微观数据的实证分析[J]. 金融研究，2022(5)：1-18.
[25] 刘伟，苏剑. 数字经济对制造业全球价值链地位的影响研究[J]. 中国工业经济，2021(9)：80-97.
[26] 陈彦斌. 宏观政策“三策合一”新理论框架[J]. 经济研究，2022，57(11)：29-47.

Collaborative Mechanism and Path Exploration of Digital Economy Enabling the Transformation and Upgrading of Manufacturing Industry

HUANG Danyu, MAO Hanting, HUANG Hongjie, YANG Sen
(School of Economics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Based on the panel data of 30 provinces (due to the lack of data, the statistical data mentioned here do not include the Tibet Autonomous Region, the Hong Kong Special Administrative Region, the Macao Special Administrative Region and Taiwan Province) in China from 2012 to 2022, a multi-dimensional analysis framework was constructed to systematically examine the impact path of digital technology penetration on industrial transformation. Empirical research shows that the digital economy has a significant promoting effect on the transformation and upgrading of the manufacturing industry through the two intermediary paths of R & D intensity improvement and energy efficiency optimization. At the same time, there are significant spatial and temporal differences in the role. The application depth of digital technology in the eastern region is significantly better than that in the western region, and the intensity of action from 2017 to 2022 is 23.6% higher than that in the previous period. The research innovatively reveals the internal logic of digital technology driving industrial upgrading through the dual mechanism of “factor reconstruction-process reengineering”, and provides a basis for differentiated regional policy formulation.

Keywords: digital economy; transformation and upgrading of manufacturing industry; mediating effect