

数字经济赋能产业结构升级：影响效应与作用机制

冯小玉

贵州大学经济学院，贵州 贵阳

收稿日期：2024年11月5日；录用日期：2024年11月19日；发布日期：2025年1月15日

摘要

数字经济作为经济增长的新引擎，为赋能产业结构升级提供了良好契机。本文选取2012~2022年中国30个省级数据，实证检验了数字经济对产业结构升级的影响效应及作用机制。研究表明：数字经济显著促进了产业结构升级；绿色技术创新和环境规制是数字经济赋能产业结构升级的重要机制；异质性检验发现，在东部地区、产业数字化维度和数字经济低水平发展阶段，数字经济对产业结构升级的促进作用更加显著。上述结论为我国数字经济发展背景下如何有效推动产业结构升级提供了重要参考。

关键词

数字经济，产业结构升级，绿色技术创新，环境规制

Empowering Industrial Structure Upgrading with Digital Economy: Impact Effects and Mechanisms

Xiaoyu Feng

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Nov. 5th, 2024; accepted: Nov. 19th, 2024; published: Jan. 15th, 2025

Abstract

The digital economy has become a new engine of economic growth, providing a good opportunity to empower the upgrading of industrial structure. This article selects data from 30 provinces in China from 2012 to 2022 to empirically test the impact and mechanism of the digital economy on industrial

structure upgrading. Research has shown that the digital economy has significantly promoted the upgrading of industrial structure. Green technology innovation and environmental regulation are important mechanisms for empowering industrial structure upgrading in the digital economy. Heterogeneity testing found that in the eastern region, the dimension of industrial digitization, and the low-level development stage of the digital economy, the promotion effect of the digital economy on industrial structure upgrading is more significant. The above conclusion provides important reference for how to effectively promote industrial structure upgrading in the context of China's digital economy development.

Keywords

Digital Economy, Industrial Structure Upgrading, Green Technology Innovation, Environmental Regulations

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

产业结构优化升级不仅是实现经济高质量发展的关键，也是我国经济社会发展的重要课题。当前，全球经济正面临百年未有之大变局，国际经济格局发生巨大调整，新一轮科技革命和产业变革加速推进。在这个大背景下，我国经济发展也正处于转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，产业结构优化升级尤为重要。2020年10月，党的十九届五中全会明确提出，要加快发展现代产业体系，推动经济体系优化升级。2023年4月，中共中央政治局会议也同样强调，要加快建设以实体经济为支撑的现代化产业体系。如何促进产业结构升级，实现经济高质量发展？“十四五”规划明确提出，要充分发挥数字经济新优势，促进数字技术与实体经济深度融合，赋能传统产业转型升级，催生新产业、新业态、新模式，壮大经济发展新引擎。

根据中国信息通信研究院发布的《中国数字经济发展报告(2022年)》，2022年我国数字经济规模达到50.2万亿元，占GDP的41.5%，其中数字产业化和产业数字化的规模分别为9.2万亿元和41万亿元，占数字经济比重分别为18.3%和81.7%。其中，三二一产数字经济渗透率分别为44.7%、24.0%和10.5%，同比分别提升1.6、1.2和0.4个百分点。可见，发展数字经济是实现产业结构升级的可行路径。数字经济可以通过促进传统产业数字化转型、新兴产业的培育和发展、创新能力的提升、产业链的整合和优化来实现产业结构转型升级。虽然对数字经济在产业升级中发挥的关键作用有了深入的认识，但还需要进一步探究其具体的作用机理，这不仅有利于挖掘数字经济在促进产业结构升级过程中的价值与潜力，还能为我国制定更有效的产业调整政策提供重要参考。

数字经济的相关研究主要从三个方面展开：一是数字经济概念的研究，1996年，Don Tapscott首次提出了数字经济的概念，为后续有关研究奠定了基础^[1]。2016年中国杭州G20峰会《G20数字经济发展与合作倡议》明确了数字经济的定义，强调了数字化知识和信息在其中的核心作用，以及互联网作为其发展的重要媒介。数字经济是通过激发网络信息技术的促进作用来提升工作效率和优化经济结构的各种经济行为¹。二是数字经济的统计分类与测度，大多学者基于国际比较视角^[2]、投入产出视角^[3]、广义

¹G20峰会. 二十国集团数字经济发展与合作倡议[EB/OL]. <http://www.g20chn.org/index.html>, 2016-09-04.

界定视角[4]、数字经济的内涵和外延视角[5]、生产网络视角[6]等视角对数字经济进行统计和测度。三是数字经济的影响研究，多集中在数字经济与经济高质量发展[7]-[9]、全要素生产率[10]-[12]、创新创业[13][14]等视角。

关于产业结构升级，学者们进行了大量研究。信息网络地位[15]、新基建投资[16]、数字贸易发展[17]、电商发展[18]、工业智能化[19]、扩大进口和消费需求[20]、地区司法水平[21]等因素均有利于促进产业结构升级。政府可以通过实施综合性政策，同时从供给和需求两侧对数字经济的发展给予强有力的支撑，从而有效地推动产业结构升级[22]。财政分权能对产业结构升级产生积极的推动作用，且这种作用会通过技术创新在相邻地区之间产生正向的空间溢出效应[23]。

现有关于数字经济促进产业结构升级作用路径的研究主要集中于要素配置、创新、碳排放、劳动技能结构、消费。罗双成[24]基于产业结构变迁理论，从资源配置的视角深入分析了数字经济在产业结构升级中的促进作用。研究发现，数字经济能够通过优化区域内以及区域间的资源配置来增加研发人员和资本投入、提升市场一体化程度，从而有效推动产业结构优化升级。左喜梅和夏冰倩[25]通过实证研究发现数字经济对产业结构升级有显著的促进作用，同时区域创新水平在这一过程中起到了中介作用。林春雷和崔琳婧[26]通过实证研究发现，数字经济对流通产业结构升级的部分影响是通过提升技术创新能力实现的，即技术创新在数字经济影响流通产业结构升级过程中起到了部分中介作用。吕子苑[27]通过研究发现，数字经济可以通过影响碳排放间接促进产业结构升级。张姝和王雪标[28]认为，劳动技能结构的优化对数字经济推动产业结构升级具有关键作用，随着劳动技能结构的提升，数字经济对产业结构升级的作用呈现非线性的边际效应递增特征。肖娜和高晓鹏[29]认为数字经济能通过改变消费需求结构促进产业结构升级。

综上所述，学者们对数字经济、产业结构升级以及数字经济与产业结构升级二者之间的关系进行了探讨，为本文探讨数字经济赋能产业结构升级的影响效应与作用机制提供了有益借鉴。但已有研究多局限于数字经济或产业结构升级的单一维度，忽视了二者之间的关系，也有文献已经深入探讨了数字经济和产业结构升级之间的影响机制，但这些研究大多是从传统的角度出发，例如要素配置、碳排放、劳动技能结构和消费等方面。鲜有研究基于绿色技术创新和环境规制视角探讨二者之间的关系。为了填补这一研究空白，本文尝试分别构建数字经济与产业结构升级的评价指标体系，着重探讨二者间的关系，可能的边际贡献有：1) 本文不仅从理论上分析了数字经济对产业结构升级的积极影响，还从数字基础设施、数字产业化和产业数字化等多维度进行实证研究，深入揭示了数字经济赋能产业结构升级的影响效应。2) 本文探讨数字经济以何种路径赋能产业结构升级，评估并支持了数字经济通过绿色技术创新和环境规制间接影响产业结构升级的作用机制，深化已有文献；3) 对数字经济的不同维度、区域异质性进行了检验，有助于明确不同维度、不同地区在数字经济推动产业结构升级过程中的贡献程度，为促进平衡发展、缩小地区差距政策的制定提供了重要依据。

2. 理论分析与研究假设

2.1. 数字经济对产业结构升级的直接效应

数字经济主要通过数字产业化和产业数字化来推动产业结构升级。一方面，数字经济以数字技术为基础，以数据资源为关键生产要素的新型经济形态，不仅改变了传统产业的运作方式，还不断催生出新产业、新业态、新模式，即数字产业化，为传统产业注入了新的活力，推动了产业结构升级。另一方面，产业数字化，即在现代信息通信技术的支持下，通过对数据资源的深度挖掘和广泛应用，推动传统产业向数字化、网络化、智能化和自动化转型升级。1) 数字产业化。数字产业化是指以数字技术为核心，以信息技术为支撑，将数字经济发展与传统产业深度融合，形成新的产业体系和发展模式，其中包括电子

信息制造业、信息通信业、软件服务业等²。随着互联网、大数据、人工智能等技术的不断创新，制造业与服务业之间的边界日益模糊。在此基础上，涌现出了一批以智能制造、工业互联网、平台经济等为代表的新产业、新业态，有利于推动产业结构逐步向高技术、高附加值领域倾斜，从而促进产业结构升级。

2) 产业数字化。产业数字化是指在数字化技术的基础上，对传统产业进行改造和升级，实现产业的生产、管理、服务等各个环节的数字化、网络化和智能化。产业数字化的着力点包括数据驱动、科技平台支撑、品牌价值赋能、生态融合共生和深化场景应用，其作用在于解决创新、效率和信用问题，重构生产力和生产关系[30]，有利于对传统产业进行全链条改造，进而促进产业结构升级。因而，提出以下假设：

H1：数字经济有利于促进产业结构升级。

2.2. 数字经济赋能产业结构升级的传导机制

2.2.1. 绿色技术创新效应

数字经济对绿色创新的影响机理。绿色发展作为一种可持续发展理念，有利于实现经济发展与环境保护和谐共生。而绿色技术创新作为绿色发展的重要支撑，对于推动我国经济转型升级、实现绿色发展具有重要意义。随着数字经济的蓬勃发展，数字经济为绿色技术创新提供了强大的驱动力。1) 数字经济的发展对人才的需求提出了新的要求，个体需要通过教育和学习提高自身的数字化知识和技能，以适应数字经济带来的新环境和新业态，从而推动人力资本的高级化[31]，为绿色技术创新提供创新要素。2) 数字经济打破了绿色创新的时空限制。一方面，数字经济缩短了绿色技术创新的时间周期。在传统模式下，绿色技术的试验、测试和优化需要经过长时间的迭代过程。数字经济环境下，通过大数据分析、人工智能模拟等技术手段，可以在较短时间内对技术进行多次优化，从而显著缩短技术成熟周期。另一方面，数字经济的发展极大地拓展了绿色技术创新的空间范围。在过去，绿色技术的研发和应用往往局限于特定的地理区域内，地域性特征明显。然而，随着数字技术的普及，创新主体可以跨越地域限制，通过网络平台实现信息的即时交流，共享研发资源。3) 数字经济能够有效降低绿色技术创新成本。在传统模式下，绿色技术创新往往面临着高昂的研发成本、设备投入成本以及人才培训成本等问题。而数字经济通过提高创新要素的利用效率，可以大幅度降低这些成本。例如，通过在线平台，企业可以以较低的成本获取到先进的绿色技术知识，节省了研发投入；同时，数字技术的应用还可以提高生产效率，降低能源消耗，进一步降低绿色技术的实施成本。

绿色技术创新对产业结构升级的影响机理。1) 绿色技术创新可以倒逼传统产业转型升级。传统产业往往以重工业、高能耗、高污染严重为特征，而绿色技术创新有助于驱动其向绿色化、清洁化方向转型。通过引入绿色创新技术，传统产业可以降低能耗、减少污染，实现可持续发展。例如，钢铁、化工等传统产业，在绿色技术创新的推动下，正在进行着生产工艺、产品结构的调整，逐步实现绿色化、低碳化。2) 绿色技术创新通过关联效应促进产业转型升级。随着生产分工的细化，产业间的联系变得更加紧密。绿色创新技术的应用不仅影响企业自身的绿色转型，进而促进产业结构升级，还可能影响同一产业链上的其他企业，带动其他产业升级。即绿色创新技术通过增强企业间的经济和技术联系，促进绿色转型的互动和协同，从而对整个产业链产生积极影响，带动整个产业链升级。3) 绿色技术创新通过加速设备更新促进产业转型升级。随着绿色创新技术的不断发展和应用，继续依赖旧有的生产机器和技术进行生产将可能导致企业在产品更新换代和市场竞争中处于不利地位。因此，制造业企业为了适应技术进步趋势，必须不断更新其生产设备，以满足绿色创新技术需求。这不仅意味着企业将加快其生产资本的更新换代步伐，更表明企业将通过采用更加先进且环保的机器设备来提高生产效率，并促进减排，最终达成企业

² 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展白皮书(2017 年) [R/OL]. 2017-07-13.
http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201804/t20180426_158452.htm, 2020-11-20.

整体的绿色转型，促进产业结构升级。因而，提出以下假设：

H2：数字经济通过绿色技术创新促进产业结构升级。

2.2.2. 环境规制效应

数字经济对环境规制的影响。1) 数字经济在推动绿色环保理念传播方面具有独特优势。数字媒介可以向公众有效地传播绿色环保理念，激励他们积极参与自然保护，形成绿色的生活方式[32]，进而提升环境规制的效果。2) 数字技术能够实时监测企业在生产过程中的污染物排放，从而有效地减轻企业废弃物对大气、水和环境的污染程度[33]。大数据、人工智能等技术的应用可以帮助企业更精准地监测环境状况，预测和防范环境风险，从而实现更加高效的环境管理。例如，通过数据分析，可以优化能源使用，减少浪费；智能监控系统能够实时跟踪污染源，及时采取措施减少污染。3) 数字经济的蓬勃发展极大地加快了信息的流通速度，减少了在信息收集、传递和验证过程中的相关成本。这为政府提供了更加高效的环境监管途径，增强了监管的透明度，有效避免了由信息不对称带来的风险，制约了企业可能采取的环保策略调整，促使企业转向积极的生产结构调整和技术创新，加速企业绿色发展步伐[34]，提升环境规制效果。

环境规制对产业结构升级的影响。1) 严格的规制增加了污染密集型企业进入市场的成本，导致这类企业数量减少，而清洁型企业数量增加。这种由环境规制政策产生的“绿色壁垒”，最终推动了产业结构向更清洁、更环保的方向优化升级[35]。2) “创新补偿假说”认为，企业在面对外部环境变化和竞争压力时，会通过创新来提高自身的竞争优势。这种创新可以是产品创新、工艺创新、组织创新等。在创新补偿效应的激励下，企业为追求最大化利润，会主动采取措施提升生产技术水平，加大研发投入，以适应更为严格的环境标准，这不仅能够增强企业自身的市场竞争力，还能够提升整个行业的技术水平[36]。3) 环境规制政策会促使企业减少对高耗能、高排放化石能源的消费，推动消费者购买绿色商品，从而产生消费替代效应，而消费作为产业结构升级的驱动力，会促使企业加大研发投入，推动产业结构向更高端、更绿色、更可持续的方向发展。因而，提出以下假设：

H3：环境规制是数字经济促进产业结构升级的有效路径。

数字经济对产业结构升级的具体影响路径见图1。

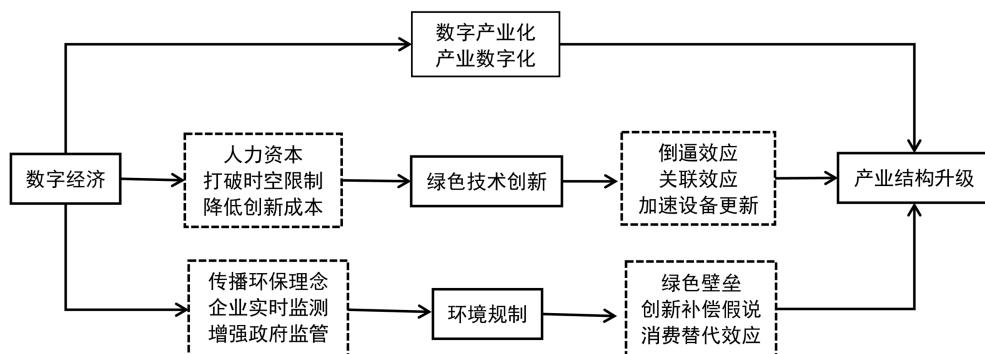


Figure 1. Impact mechanism of digital economy on industrial structure upgrading

图 1. 数字经济对产业结构升级的影响机制

2.2.3. 数字经济赋能产业结构升级的异质性

数字经济的发展带来了积极的影响毋庸置疑，然而，由于互联网技术的接入、使用在不同地区、不同群体间存在不均衡现象，形成了“数字鸿沟”。这种鸿沟不仅限制了信息资源的均衡分配，也对经济社会的全面发展产生了不利影响。陈梦根和周元任[37]认为数字鸿沟现象加剧了社会不平等，使得数字经

济发展中的“优势群体”在享受互联网技术革命带来的发展机会和红利效应方面远远超过“弱势群体”，从而进一步扩大了两者之间的差距，并加剧了整个社会的不平等现象。樊轶侠等[38]认为数字经济发展初期缩小了城乡收入差距，但受限于城乡、区域发展不平衡，数字鸿沟的出现可能导致城乡收入差距再次扩大。张学超[39]通过实证研究发现数字鸿沟会对经济高质量发展产生显著的负面影响。可见，数字经济的影响效应可能存在异质性。

首先，数字经济的不同维度赋能效果可能存在异质性。当前，关于数字经济的测算框架尚未形成统一标准，但梳理文献后发现，研究大多聚焦于数字基础设施的建设、数字产业化的推进以及产业数字化的深化等领域，且不同地区数字经济各维度的发展程度存在明显的差异。郭贝贝[40]在研究数字经济不同维度对经济高质量发展的影响时发现，相较于数字基础设施和产业数字化，数字产业化对经济高质量发展的空间影响作用更为显著。此外，陈晓东和杨晓霞[41]通过研究发现，在产业数字化和数字产业化两个维度中，产业数字化对产业结构升级的促进作用更显著。由此可见，数字经济各维度对产业结构升级的影响可能并不相同，存在一定的差异性。

其次，数字经济发展存在区域异质性。由于我国各地区地理环境、经济发展基础、政策支持力度以及人才储备等方面存在一定程度的差异，我国在数字化发展道路上仍面临一道明显的“数字鸿沟”难题。这道鸿沟不仅横亘在城乡之间，而且存在于不同省份之间，严重地制约了我国数字经济的均衡发展。当前，我国东部地区数字经济发展速度较快，发展水平相较于中西部地区有显著的优势，尽管近年来国家在政策上对中西部地区给予了大力支持，比如通过“数字西部”战略和一系列扶持政策，但短期内要缩小与东部地区的差距仍然面临巨大挑战，这意味着数字经济赋能产业结构升级的影响效果也会存在差异。

再次，不同发展水平的影响可能存在异质性。钱海章等[42]通过对城镇化率和物质资本进行分位数划分，发现不同分位数下数字金融对经济增长的影响存在差异。杨慧梅和江璐(2021)[43]通过研究发现数字经济对全要素生产率具有不同分位数影响。杨文溥[44]发现数字经济具有明显的阶段性特征，不同阶段数字经济对经济高质量发展的影响存在差异。因此，发展水平不同，数字经济对产业结构升级的影响效应可能并不一致。因而，提出以下假设：

H4：数字经济对产业结构升级的影响效应因数字经济维度、地区、发展水平不同而存在异质性。

3. 研究设计

3.1. 模型构建

为验证研究假设 1，本文构建如下分析模型：

$$\ln \text{Indus}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{Dig}_{it} + \sum \alpha_c \ln \text{Control}_{it} + \lambda_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中， Indus_{it} 为产业结构升级水平， Dig_{it} 代表数字经济发展水平， Control_{it} 为一组控制变量； λ_i 为个体固定效应， ε_{it} 表示随机扰动项。此外，为验证数字经济赋能产业结构升级的作用机制是否存在，本文设定如下中介效应模型进行检验：

$$\ln \text{GT}_{it} / \ln \text{ER}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{Dig}_{it} + \beta_c \text{Control}_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln \text{Indus}_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln \text{Dig}_{it} + \gamma_2 \ln \text{GT}_{it} / \ln \text{ER}_{it} + \sum \gamma_c \ln \text{Control}_{it} + \varphi_i + \xi_{it} \quad (3)$$

其中， GT_{it} 和 ER_{it} 分别代表中介变量绿色技术创新和环境规制。首先判断系数 α_1 是否显著，若显著，再根据系数 β_1 和 γ_2 的显著性判断中介效应是否存在，若存在，则说明数字经济通过绿色技术创新和环境规制影响产业结构升级。

3.2. 变量测度与说明

3.2.1. 被解释变量：产业结构升级(Indus)

产业结构升级指一个国家或地区的经济结构从传统的、低附加值的产业向现代的、高附加值的产业转变的过程，本文参考曹张龙[45]的指标选取方式，用第三产业增加值与 GDP 之比衡量产业结构升级。

3.2.2. 解释变量：数字经济(Dig)

目前学术界关于数字经济发展水平的测度标准尚未达成一致，本文借鉴王军和肖华堂[46]、赵涛[47]等的指标选取方式，从数字基础设施、数字产业化和产业数字化三个维度测度数字经济发展综合水平。具体指标见表 1。最后用熵权法算出我国各地区数字经济发展综合指数。

Table 1. Evaluation system of digital economy indicators

表 1. 数字经济指标评价体系

一级指标	二级指标	度量方式	方向
移动电话普及程度		移动电话基站密度(个/平方千米)	+
		移动电话普及率(部/百人)	+
		互联网域名数(万个)	+
数字基础设施	互联网普及程度	互联网宽带接入用户数(万户)	+
		互联网宽带接入端口数(万个)	+
	信息传输广度	单位面积长途光缆长度(公里/平方公里)	+
电子信息制造业发展水平		信息技术服务收入占 GDP 比重(%)	+
		电信业务总量占 GDP 比重(%)	+
		人均电信业务总量(元/人)	+
数字产业化	软件和信息技术服务业	软件业务收入占 GDP 比重(%)	+
		信息传输、软件和信息技术服务业从业人数(万人)	+
		快递量(万件)	+
邮电业发展水平		人均邮政业务总量(元/人)	+
		企业电子商务交易额(亿元)	+
		企业每百人使用计算机数(人)	+
企业数字化发展程度		每百家企拥有网站数(个)	+
		电子商务交易活动企业比例(%)	+
		数字普惠金融	+
		数字普惠金融指数	+

3.2.3. 中介变量

1) 绿色技术创新(GT)。参考肖涵月[48]，采用绿色专利授权数衡量；2) 环境规制强度(ER)。参考尹礼汇和吴传清[49]，采用政府工作报告中“环保”一词出现的词频占整篇报告中字数的比重来衡量。

3.2.4. 控制变量

1) 财政支出水平(Gov)。政府通过对战略性新兴产业和高新技术产业的扶持和引导，推动传统产业改造升级，促进产业结构优化调整。本文用财政支出与GDP比值进行衡量。2) 人力资本水平(Human)。人力资本是指人们通过教育、培训和经验积累所获得的技能、知识和能力。随着经济的发展和技术的进步，对劳动力的要求也越来越高。人力资本丰富的劳动力能够更好地适应新的技术和工艺，从而推动产业结构的升级。本文用高等学校在校生数与总人口之比表示。3) 工业化水平(Industry)。工业化虽然为国家经济发展提供了坚实的基础，但过度依赖工业化可能会导致产业结构升级困难。在追求经济效益的过程中，一些地区和企业可能会忽视环境保护，导致生态环境恶化，产业结构升级受到严重影响。本文采用工业增加值与地区生产总值之比表示。4) 研发强度(Invent)。在当前科技日新月异、竞争激烈的市场环境下，研发可以帮助企业掌握核心技术，提高产品附加值，从而推动整个产业向更高端、更环保、更智能的方向发展。本文采用R&D经费内部支出与GDP的比值进行衡量。

4. 实证分析

4.1. 基准回归分析

数字经济影响产业结构升级的基准估计结果见表2。其中，列(1)是未加入控制变量的情况下数字经济对产业结构升级的影响。研究结果表明，数字经济与产业结构升级之间存在显著的正相关关系，假设H1得到验证。列(2)~(5)是将控制变量逐个纳入回归的结果。列(5)中，数字经济的系数为0.062，相较于列(1)的系数0.135有所下降，表明若不考虑控制变量，仅分析数字经济对产业结构升级的影响，可能会高估数字经济的赋能效果。

从列(5)控制变量看：财政支出水平估计系数为正且影响效应显著，表明财政支出水平对产业结构升级有显著的推动作用，财政支出通过对基础设施、教育和科研、环境保护等进行投资来促进产业结构升级；人力资本估计系数为0.108，且通过了显著性检验，表明人力资本在产业结构升级过程中发挥了积极作用，人力资本是推动科技创新和经济发展的重要因素，人力资本水平直接决定了科技创新能力和产业竞争力。高水平的人力资本能够促进新技术、新工艺的发明和应用，推动传统产业的升级和新兴产业的发展；工业化水平显著为负，表明工业化不利于产业结构升级，在工业化进程中，大量的资源消耗和废弃物排放导致环境污染，给生态环境带来巨大压力，制约了产业结构优化升级；研发强度回归系数为正但影响效应并不显著，应加大研发投入，促进研发与产业的紧密结合，从而更好地发挥研发对产业结构的优化调整作用。

Table 2. Benchmark regression results

表2. 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	lnIndus	lnIndus	lnIndus	lnIndus	lnIndus
lnDig	0.135*** (10.43)	0.130*** (9.94)	0.119*** (7.77)	0.064*** (4.43)	0.062*** (4.17)
		0.103* (2.01)	0.120** (2.05)	0.228*** (6.05)	0.226*** (5.88)
lnHuman			0.047 (1.05)	0.107*** (3.28)	0.108*** (3.28)

续表

lnIndustry			-0.338*** (-7.79)	-0.339*** (-7.71)
lnInvent				0.010 (0.82)
常数项	-0.389*** (-12.99)	-0.249*** (-3.38)	-0.067 (-0.31)	-0.205 (-1.61)
固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	330	330	330	330
拟合优度	0.638	0.653	0.655	0.823

注：***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平；括号内为t值。下同。

4.2. 中介效应分析

数字经济影响产业结构升级的机制检验结果见表3。列(1)是数字经济对产业结构升级影响的总效应模型。其中，列(2)和(4)分别检验了数字经济对绿色技术创新和环境规制的影响。结果显示，绿色技术创新估计系数为0.659，环境规制估计系数为0.137，二者均通过了显著性检验，表明数字经济对绿色技术创新和环境规制有显著影响，即数字经济提升了绿色技术创新水平和环境规制强度。且Sobel检验的Z值均大于1.65，P值均小于0.01，Bootstrap检验的置信区间未包含0，证实了中介效应的存在，说明绿色技术创新和环境规制符合作为中介变量的条件。列(3)和列(5)分析了数字经济和中介变量(绿色技术创新、环境规制)对产业结构升级的影响。列(3)显示，数字经济和绿色技术创新水平的估计系数显著为正，即数字经济可以通过提升绿色技术创新水平间接影响产业结构升级，技术创新在数字经济促进产业结构升级的过程中起到部分间接促进作用。绿色技术创新的中介效应为0.020，数字经济的直接赋能效应占比为67.74%，数字经济通过绿色技术创新推动产业结构升级的中介效应占比为32.26%，假设H2得到验证。列(5)显示，当中介变量是环境规制时，数字经济的估计系数为0.061，且通过了显著性检验，说明环境规制是数字经济影响产业结构升级的有效路径。假设H3得到验证。

Table 3. Analysis results of mediation effect test

表3. 中介效应检验分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	lnIndus	lnGT	lnIndus	lnER	lnIndus
lnDig	0.062*** (4.17)	0.659*** (6.79)	0.042** (2.74)	0.137** (2.39)	0.061*** (4.10)
			0.031*** (2.80)		
lnER				0.006 (0.54)	

续表

Sobel 检验		7.680		2.956
		(0.0000)		(0.0031)
Bootstrap 检验		[0.0316, 0.0617]		[0.0102, 0.0481]
常数项	-0.168 (-1.26)	19.012*** (14.75)	-0.752*** (-2.83)	-4.780*** (-6.65)
固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	330	330	330	330
拟合优度	0.823	0.818	0.835	0.028
				0.823

注：Sobel 检验报告 Z 值及 P 值，Bootstao 报告 95% 置信度下置信区间。

4.3. 内生性处理

在基准回归过程中，虽然已对相关变量进行了控制，但仍可能存在内生性问题，理由如下：一是尽管考虑了财政支出水平、人力资本水平、工业化水平、研发强度等控制变量，但仍可能存在遗漏变量问题。二是数字经济与产业结构升级之间可能存在反向因果关系。

为克服上述内生性问题，本文采用三种工具变量来解决可能出现的计量偏差问题，并运用两阶段最小二乘法进行回归分析。首先，借鉴岳宇君和马艺璇[50]的思路，选择互联网普及率(IV1)、移动电话普及率(IV2)作为数字经济的工具变量。其次，参考王雅琦等[51]的做法，用数字经济发展水平的滞后一期(IV3)作为工具变量。具体回归结果见表 4，不难发现，数字经济对产业结构升级的影响仍显著为正，进一步证明了基准回归结果的稳健性。此外，研究结果显示，Kleibergen-Paaprk 的 LM 统计量拒绝了“工具变量识别不足”的原假设，Kleibergen-Paaprk 的 Wald F 统计量拒绝了“弱工具变量”的原假设，证明了选取互联网普及率(IV1)、移动电话普及率(IV2)和滞后一期的数字经济发展水平(IV3)作为工具变量是合理的。

Table 4. Instrumental variable test regression results
表 4. 工具变量检验回归结果

变量	(1) IV1	(2) IV2	(3) IV3
	lnIndus	lnIndus	lnIndus
lnDig	0.128*** (11.00)	0.133*** (9.18)	0.098*** (7.92)
常数项	-0.482*** (-3.65)	-0.517*** (-3.74)	-0.323*** (-3.04)
Kleibergen-paap rk	80.159	56.615	49.455
LM 统计量	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]
Kleibergen-paap rk	174.482	108.489	55.891

续表

Wald F 统计量	{16.38}	{16.38}	{16.38}
固定效应	控制	控制	控制
样本量	330	330	300
拟合优度	0.933	0.931	0.944

注: []数值为 P 值, {}内数值为 Stock-Yogo 弱识别检验 10% 水平上的临界值。

4.4. 稳健性检验

4.4.1. 变量替换

参考于春晖等[52]的研究方法, 从产业结构高级化和产业结构合理化两个角度对产业升级进行度量。产业结构高级化(Dh)用第三产业产值占第二产业产值的比重进行衡量。产业结构合理化(Dr)用泰尔指数衡量, 该指数越小表明产业结构越合理。回归结果见表 5 列(1)~(2), 不难看出, 当替换被解释变量后, 数字经济发展仍能够促进产业结构升级, 证明基准回归结果稳健可靠。

Table 5. Robustness test results

表 5. 稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(4)	(5)
	lnDh	lnDr	lnIndus	lnIndus
lnDig	0.117*** (3.70)	-0.179* (-1.85)	0.055*** (3.90)	0.067*** (4.43)
常数项	1.137*** (4.74)	-6.376*** (-6.81)	-0.225 (-1.35)	-0.182 (-1.33)
固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	330	330	286	330
拟合优度	0.864	0.644	0.841	0.818

4.4.2. 纳入多维交互固定效应

不同地区数字经济发展水平不同, 发展水平较高的地区网络技术的发展往往更为迅速, 这可能导致本文面临内生性问题。因此, 基于前文所建立的模型, 纳入省份与年份的交互项, 以缓解宏观环境因素带来的不可观测影响。具体回归结果见表 5 列(3), 结果表明, 在控制了宏观系统性环境后, 数字经济能促进产业结构升级的结论依然稳健。

4.4.3. 剔除直辖市

直辖市作为我国行政体系中的特殊区域, 其数字经济发展水平相对较高, 将直辖市纳入研究样本可能会夸大数字经济对产业结构的促进作用。因此, 本文剔除直辖市样本后再进行估计。回归结果见表 5 列(4), 结果显示, 数字经济仍然能够促进产业结构升级, 但估计系数有所下降, 表明直辖市较高的数字经济发展水平可能会使得数字经济对产业结构升级的影响效应被高估, 即本文结果稳健可靠。

4.4.4. 剔除异常值

本文对变量进行1%水平上的缩尾处理，以消除样本中异常值对基准检验结果的可靠性产生影响。回归结果见表5列(5)，可以看出，数字经济对产业结构升级的影响依然显著，可见，基准回归结论稳健。

5. 异质性分析

5.1. 分维度异质性

本文分别将数字基础设施、数字产业化和产业数字化与产业结构升级进行回归，以考察数字经济各维度对产业结构升级的影响是否存在差异。结果见表6列(1)~(3)。结果显示，数字经济各维度均显著促进了产业结构升级，但从估计系数大小看，数字经济各维度对产业结构升级的影响存在差异，产业数字化对产业结构升级的影响效应最大，其次是数字基础设施，最后是数字产业化。综上，数字经济不同维度的赋能效应存在异质性，产业数字化对产业结构升级的影响作用更大，这与陈晓东和杨晓霞(2021)的研究结论一致。

Table 6. Dimensions of digital economy and regional heterogeneity testing

表6. 数字经济维度和区域异质性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	lnIndus	lnIndus	lnIndus	lnIndus	lnIndus	lnIndus
lnDig1	0.087*** (5.25)					
lnDig2		0.024** (2.64)				
lnDig3			0.113*** (6.00)			
lnDig				0.100*** (5.82)	0.065*** (3.99)	0.041* (1.84)
常数项	-0.337** (-2.20)	0.118 (0.88)	-0.428*** (-3.08)	0.292 (1.11)	-0.260 (-1.24)	-0.267 (-0.79)
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	330	330	330	121	88	121
拟合优度	0.845	0.796	0.855	0.838	0.933	0.799

5.2. 区域异质性

为考察数字经济对产业结构升级的区域异质性影响，本文将研究样本按地理位置划分为东部、中部、西部三组分别进行回归。回归结果见表6列(4)~(6)。不难看出，三大地区数字经济均显著促进了产业结构升级，但作用强度存在差异。东部地区数字经济对产业结构升级的影响效应最强，其次是中部、最后是西部。原因可能有：其一，东部地区创新氛围浓厚。东部地区拥有众多高校、科研院所和创新型企业，

形成了良好的创新环境。在数字经济领域，东部地区不断涌现出一批具有全球竞争力的创新型企业，如阿里巴巴、腾讯等，为东北地区数字经济发展作出了巨大贡献；其二，东部地区政策支持力度较大，政府出台了一系列政策措施，鼓励和支持东部地区发挥优势，先行先试。东部地区政府也积极响应，加大投入，完善数字基础设施，推动数字产业化和产业数字化，为数字经济发展创造了有利条件；其三，东部地区经济基础雄厚，发展水平较高。长期以来，东部地区在基础设施、人才、技术等方面具有明显优势，为数字经济发展提供了有力支撑。在东部地区，互联网、大数据、人工智能等新兴技术得到了广泛应用，推动了传统产业的升级转型，催生了众多新兴产业，进一步释放了数字经济的红利。

5.3. 不同发展水平的异质性

不同分位数上数字经济对产业结构升级影响的估计结果见表7。不难看出，数字经济对产业结构升级有积极的促进作用，但这种作用在不同产业结构水平中表现出差异性。数字经济对产业结构升级的正向影响在各个分位数上均显著，尤其是在较低分位数时，数字经济的赋能效果更显著。然而，随着分位点的增加，数字经济的影响呈现递减趋势。即数字经济发展初期对产业结构升级的推动作用更明显，对产业结构升级赋能的边际效应越大。原因可能是：产业结构水平较高省份一般为较发达地区，数字化基础设施较完善，数字经济对产业结构升级的积极影响已基本处于饱和状态，产业结构升级的空间较小。而在低产业结构水平地区，数字经济产生的边际效应更大，产业结构升级的空间也更大。因此，经济发展落后地区应充分利用数字技术优势，加快产业结构转型升级，缩小与发达地区之间的差距。

Table 7. Quantile regression results

表7. 分位数回归结果

变量	(1) Q10	(2) Q25	(3) Q50	(4) Q75	(5) Q90
	lnIndus	lnIndus	lnIndus	lnIndus	lnIndus
lnDig	0.0630*** (4.17)	0.0625*** (6.12)	0.0621*** (8.78)	0.0617*** (7.01)	0.0614*** (5.33)
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	330	330	330	330	330

6. 结论与启示

本文基于2012~2022年中国30个省域的平衡面板数据，在测算数字经济、产业结构升级综合指数的基础上，实证检验了数字经济对产业结构升级的影响效应及内在作用机制。主要结论如下：第一，基本事实表明，数字经济显著促进了产业结构升级，经过一系列稳健性检验后该结论依然成立。第二，从中介传导机制来看，数字经济赋能产业结构升级的过程中，绿色技术创新和环境规制发挥了中介作用。第三，从异质性来看，东部地区、产业数字化维度和低水平阶段，数字经济对产业结构升级的赋能效果更显著。

结合上述结论，本文提出如下政策启示：

第一，基于数字经济能够促进产业结构升级的基本事实，不断完善数字基础设施，推进数字经济的快速发展。我国各省份之间数字经济发展水平存在较大差异，其主要原因在于数字基础设施的不均衡发展。应加强数字技术与农业、制造业、服务业深度融合，持续巩固数字经济赋能产业结构的红利优势。

第二，数字经济通过绿色技术创新和环境规制赋能产业结构升级，证明绿色技术创新、环境规制已成为

数字经济促进产业结构升级的内在动力，应加大绿色技术创新投入，引导企业研发绿色技术，完善环境法规体系，强化环境执法力度，确保环保政策得到有效执行，为数字经济全面推动产业结构升级提供不竭动力。第三，实施差异化的数字经济战略。数字经济在赋能产业结构升级的过程中呈现出明显的区域差异性。具体来看，东部地区及低发展水平地区的数字经济赋能效果更为显著。因此，各地区在制定相关政策时，应充分考虑自身比较优势，实施具有针对性和差异化的数字经济战略。高发展水平地区一般数字化基础较好，应加大投入，推动数字技术与传统产业深度融合，促进产业向自动化和智能化方向发展；低发展水平较地区一般数字化基础较薄弱，应重点加强基础设施建设，培育壮大新兴产业。

参考文献

- [1] Tapscott, D. (1996) *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*. McGraw-Hill.
- [2] 许宪春, 张美慧. 中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角[J]. 中国工业经济, 2020(5): 23-41.
- [3] 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.
- [4] 吴翌琳, 王天琪. 数字经济的统计界定和产业分类研究[J]. 统计研究, 2021, 38(6): 18-29.
- [5] 李英杰, 韩平. 中国数字经济发展综合评价与预测[J]. 统计与决策, 2022, 38(2): 90-94.
- [6] 张红霞. 生产网络视角下中国数字经济规模及其结构——基于时序投入产出表的实证研究[J]. 中国人民大学学报, 2022, 36(3): 76-91.
- [7] 程显宏, 姜国刚. 数字经济、区域创新与经济高质量发展——基于空间杜宾模型的分析[J]. 技术经济与管理研究, 2024(4): 45-50.
- [8] 王洁洁, 马晓君, 范祎洁. 数字经济与科技创新的协同效应对经济高质量发展的影响研究[J]. 统计与信息论坛, 2024, 39(4): 46-62.
- [9] 钱小静, 王宸威, 王灿. 数字经济推动经济高质量发展的理论机制与实现路径[J]. 经济纵横, 2024(3): 108-117.
- [10] 熊玮, 金雪, 田舒涵. 数字经济、价值链协同创新与流通业全要素生产率[J]. 商业经济研究, 2024(8): 119-122.
- [11] 郑玉. 数字经济、要素市场扭曲缓解与企业全要素生产率[J]. 经济体制改革, 2024(1): 88-96.
- [12] 王卫, 李雨晴. 数字经济、两业融合与中国制造业全要素生产率[J]. 上海对外经贸大学学报, 2024, 31(1): 5-22.
- [13] 袁航, 朱承亮. 数字经济、交易成本与中国区域创新创业[J]. 科研管理, 2023, 44(4): 19-28.
- [14] 周云, 杨诗雨. 数字经济背景下的创新创业问题——评《数字经济与创新创业管理实务——跨界融合(第二版)》[J]. 国际经济合作, 2023(2): 95.
- [15] 施炳展, 张瑞恩. 信息网络地位与产业结构升级[J]. 东北师大学报(哲学社会科学版), 2024(3): 55-69.
- [16] 龙海明, 刘子欣, 程漠怡. 新基建投资影响产业结构升级的空间效应研究[J]. 系统工程理论与实践, 2024, 44(10): 3115-3129.
- [17] 林晨. 数字贸易发展对产业结构升级的影响——基于不同经济体的异质性分析[J]. 商业经济研究, 2024(6): 173-176.
- [18] 张梅, 王月迪. 电商发展对产业结构升级和消费结构升级的动态效应研究[J]. 商业经济研究, 2024(4): 172-175.
- [19] 柴正猛, 张培铎, 韩先锋. 工业智能化能成为产业结构升级的新动能吗[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(19): 56-66.
- [20] 柳凯, 冯伟. 扩大进口、消费需求与产业结构升级[J]. 价格月刊, 2024(3): 70-78.
- [21] 袁淳, 耿春晓, 从澜匀, 肖土盛. 地区司法水平与产业结构升级——来自巡回法庭设立的证据[J]. 经济研究, 2023, 58(9): 171-189.
- [22] 张欣艳, 谢璐华, 肖建华. 政府采购、数字经济发展与产业结构升级[J]. 当代财经, 2024(3): 43-55.
- [23] 贾敬全, 陶冶. 财政分权对产业结构升级的空间效应研究[J]. 统计与决策, 2023, 39(15): 151-155.
- [24] 罗双成. 数字经济、要素配置效应与产业升级[J]. 南方金融, 2024(1): 37-49.
- [25] 左喜梅, 夏冰倩. 区域创新视角下数字经济赋能产业结构升级研究[J]. 金融理论与实践, 2023(10): 44-53.
- [26] 林春雷, 崔琳婧. 数字经济发展、技术创新与流通产业结构升级[J]. 商业经济研究, 2023(4): 119-122.
- [27] 吕子苑. 数字经济对产业结构升级的影响——以碳排放为中介变量[J]. 商业经济研究, 2023(14): 98-102.

- [28] 张姝, 王雪标. 数字经济对产业结构升级影响的实证检验[J]. 统计与决策, 2023, 39(3): 15-20.
- [29] 肖娜, 高晓鹏. 数字经济发展的多维产业结构升级效应: 基于需求结构演变视角[J]. 商业经济研究, 2022(12): 181-184.
- [30] 任保平. 以产业数字化和数字产业化协同发展推进新型工业化[J]. 改革, 2023(11): 28-37.
- [31] 李梦娜, 周云波. 数字经济发展的人力资本结构效应研究[J]. 经济与管理研究, 2022, 43(1): 23-38.
- [32] 梁琦, 肖素萍, 李梦欣. 数字经济发展提升了城市生态效率吗?——基于产业结构升级视角[J]. 经济问题探索, 2021(6): 82-92.
- [33] 陈松, 韩璐, 徐懋. 数字经济对城市生态环境的影响机理及异质性分析[J]. 苏州大学学报(哲学社会科学版), 2023, 44(4): 138-148.
- [34] 宋美喆, 柒江艺. 数字经济背景下环境规制对绿色全要素生产率的影响——基于城市面板数据的分析[J]. 中国流通经济, 2023, 37(6): 14-26.
- [35] 郭然, 原毅军. 环境规制、研发补贴与产业结构升级[J]. 科学学研究, 2020, 38(12): 2140-2149.
- [36] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济, 2020(12): 178-196.
- [37] 陈梦根, 周元任. 数字不平等研究新进展[J]. 经济学动态, 2022(4): 123-139.
- [38] 樊轶侠, 徐昊, 马丽君. 数字经济影响城乡居民收入差距的特征与机制[J]. 中国软科学, 2022(6): 181-192.
- [39] 张学超. 金融集聚、数字鸿沟与实体经济高质量发展[J]. 技术经济与管理研究, 2023(9): 74-80.
- [40] 郭贝贝. 数字经济驱动经济高质量发展的影响效应与时空差异[J]. 统计与决策, 2023, 39(17): 95-100.
- [41] 陈晓东, 杨晓霞. 数字经济发展对产业结构升级的影响——基于灰关联熵与耗散结构理论的研究[J]. 改革, 2021(3): 26-39.
- [42] 钱海章, 陶云清, 曹松威, 曹雨阳. 中国数字金融发展与经济增长的理论与实证[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(6): 26-46.
- [43] 杨慧梅, 江璐. 数字经济、空间效应与全要素生产率[J]. 统计研究, 2021, 38(4): 3-15.
- [44] 杨文溥. 数字经济促进高质量发展: 生产效率提升与消费扩容[J]. 上海财经大学学报, 2022, 24(1): 48-60.
- [45] 曹张龙. 数字经济驱动产业结构升级的理论机制及其门限效应[J]. 统计与决策, 2023, 39(22): 18-23.
- [46] 王军, 肖华堂. 数字经济发展缩小了城乡居民收入差距吗? [J]. 经济体制改革, 2021(6): 56-61.
- [47] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
- [48] 肖涵月, 孙慧, 王慧, 辛龙. 从“试点”到“扩散”: 低碳城市试点的包容性低碳增长效应分析[J]. 产业经济研究, 2022(3): 28-40.
- [49] 尹礼汇, 吴传清. 环境规制与长江经济带污染密集型产业生态效率[J]. 中国软科学, 2021(8): 181-192.
- [50] 岳宇君, 马艺璇. 数字经济发展与区域环境质量改善——来自省级面板数据的证据[J]. 中国环境管理, 2023, 15(6): 94-104.
- [51] 王雅琦, 邱亦霖, 张勋. 上游产能能够缓解供给冲击的影响吗?——金融危机视角的实证分析[J]. 南开经济研究, 2020(5): 150-170.
- [52] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, 46(5): 4-16, 31.