

数字经济、绿色创新绩效提升与产业结构升级

冯小玉

贵州大学经济学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年10月14日; 录用日期: 2025年2月24日; 发布日期: 2025年2月28日

摘要

利用2011~2020年中国30个省份的面板数据, 探讨了数字经济对产业结构升级的影响效应。研究发现: 数字经济对产业结构升级具有显著的促进; 绿色创新绩效提升是数字经济推动产业结构升级的重要机制; 门限检验表明, 数字经济与产业结构升级之间存在边际效应递增的非线性关系; 异质性检验结果显示, 数字经济对产业结构高级化的促进作用在各区域都得到了体现, 但对产业结构合理化的影响则仅在部分地区显著。因此, 应充分释放数字经济在产业结构升级中的红利, 继续提升绿色创新绩效来实现产业结构升级。此外, 实行差异化的数字经济发展战略, 以更加有效的方式促进产业结构升级。

关键词

数字经济, 绿色创新绩效提升, 产业结构升级

Digital Economy, Improvement of Green Innovation Performance and Industrial Structure Upgrading

Xiaoyu Feng

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Oct. 14th, 2024; accepted: Feb. 24th, 2025; published: Feb. 28th, 2025

Abstract

Using panel data from 30 provinces in China from 2011 to 2020, this study explores the impact of the digital economy on industrial structure upgrading. Research has found that the digital economy has a significant promotion on industrial structure upgrading; the improvement of green innovation performance is an important mechanism for promoting industrial structure upgrading in the digital economy; the threshold test shows that there is a non-linear relationship between the digital

economy and the upgrading of industrial structure with increasing marginal effects; the heterogeneity test results show that the promoting effect of the digital economy on the upgrading of industrial structure has been reflected in various regions, but its impact on the rationalization of industrial structure is only significant in some regions. Therefore, it is necessary to fully unleash the dividends of the digital economy in industrial structure upgrading, and continue to improve green innovation performance to achieve industrial structure upgrading. In addition, implementing a differentiated digital economy development strategy to promote industrial structure upgrading in a more effective way.

Keywords

Digital Economy, Improving Green Innovation Performance, Industrial Structure Upgrading

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

改革开放四十多年以来,我国经济发展取得了举世瞩目的成就。但与此同时,产业结构升级困难、地区发展不平衡、创新能力不足等问题仍较为突出,依然是制约我国经济高质量发展的重大障碍。当前,我国经济已从高速增长阶段转向高质量发展阶段。中国要实现经济绿色高质量发展,就必须推动绿色创新、转变发展方式、优化经济结构、促进结构潜力释放。推动产业结构向中高端迈进是我国实现经济高质量发展的重要前提和核心动力,数字经济不仅是绿色创新和产业结构转型升级的催化剂,还是高质量发展的驱动力。我国正处于产业结构调整和经济结构新旧动能转换的关键阶段,数字经济为我国产业结构转型升级和经济高质量发展带来了新的机遇。在学术研究上,数字经济与产业结构升级二者之间的关联也是我国经济学领域研究的重点。数字经济已然成为产业结构升级的新动能,但我国数字经济发展影响产业结构升级背后的具体经济机制是什么、绿色创新绩效是否在其中发挥了积极作用、效应又呈什么特征?这些问题的探索,不仅有利于深度挖掘数字经济发展在促进产业结构升级过程中的价值与潜力,而且对于产业结构升级相关政策的制定和推动我国经济高质量发展具有重要的战略意义。

从现有文献看,学者们对数字经济的产业结构升级效应进行了探讨,并取得了丰富的研究成果。陈晓东和杨晓霞(2021) [1]认为数字经济已成为我国产业结构升级的动力源泉,无论是数字产业化还是产业数字化均对产业结构升级有重要影响,但是产业数字化对产业结构升级的促进效应更为显著。唐文进等(2019) [2]认为,落后地区的产业结构升级具有后发优势,数字普惠金融能有效促进滞后地区的产业结构升级,提出增加数字普惠金融服务供给和提升数字化程度是促进滞后地区产业结构升级的强有力手段。刘翠花(2022) [3]通过研究发现数字经济能够显著推动产业结构升级,优化了三次产业在国民经济中的比重和提升了产业间的协调程度,认为数字经济发展可以通过深化社会分工、促进科学技术创新,助力产业结构升级和创业增长。焦帅涛和孙秋碧(2021) [4]认为在高城镇化地区和高人力资本地区,数字经济对产业结构升级的促进作用更加显著,同时,数字经济发展能够通过促进地区创新最终实现产业结构升级。刘洋和陈晓东(2021) [5]通过研究发现人力资本和科技创新是数字经济影响产业结构升级的机制变量,提出教育体制改革、数字化智能和技能培训以及培养信息技术专业人才等措施可以促进数字经济对人力资本和科技创新的影响,进而推动产业结构升级。姚维瀚和姚战琪(2021) [6]通过研究发现,数字经济可以通过影响研发投入强度来促进产业结构升级。刘洋(2023) [7]通过实证分析发现,数字经济具有显著的“消

费激励”效应，可以通过促进消费结构优化间接推动产业结构升级。秦建群等(2022) [8]通过实证分析发现数字经济能够显著促进城市产业结构升级，两者之间存在着倒“U”型的非线性关系，且数字经济通过技术创新和金融发展等路径能够显著促进城市产业结构升级。

综上所述，既有研究为深入探究数字经济与产业结构升级奠定了较好的基础，但就厘清数字经济促进产业结构升级的驱动机制而言仍有可突破之处。已有文献大都直接讨论数字经济和产业结构升级之间的关系，也有文献探讨了数字经济促进产业结构升级的具体机制，但是更多从创新创业、人力资本、居民消费水平、资源配置、营商环境等角度方面进行分析，罕有文献基于绿色创新绩效提升视角深入探讨数字经济推动产业结构升级的传导机制。鉴于此，本文采用 2011~2020 年我国 30 个省份面板数据，实证检验了绿色创新绩效在数字经济促进产业结构升级过程中发挥的中介效应。与已有文献不同，本文可能的边际贡献包括：第一，本文将数字经济、绿色创新绩效和产业结构升级三者放入统一分析框架，论证并得出数字经济发展通过提升绿色创新绩效，从而对产业转型升级产生积极影响的结论；第二，运用省级层面的面板数据，分别从产业结构合理化和产业结构高级化两个维度实证分析数字经济对产业结构升级的影响，并进行了内生性分析和稳健性检验，丰富了研究内容；第三，理论研究上，不仅深入探讨了内部作用机制，还评估了数字经济发展可能具有的非线性影响效应；第四，基于区域、数字经济发展水平实证分析了数字经济对产业升级影响的异质性，进而采取差异化的策略，最大限度地发挥数字经济对产业升级的推动作用。

2. 理论分析与研究假设

(一) 数字经济对产业结构升级的直接影响

数字经济作为一种新型经济形态，以信息技术为基础，以数据为主要生产要素，正推动着我国产业结构优化升级。首先，数字经济以数据为核心资源，依托数字技术的不断突破与创新，正成为推动产业变革的核心动力。数字经济通过传统产业深度结合，孕育出众多新业态和新模式，从而引领产业结构向更高端、更智能、更环保的方向转型升级[9]。其次，数字经济作为一种新兴的经济形态，正以其高度渗透性深刻影响着社会经济的各个方面。数字经济不仅能够有效缓解市场信息不对称问题，还极大地提升了交易效率，从而为我国产业结构的高级化发展提供了强有力的动力[10]。最后，数字经济以其高度的融合性和广泛的扩散性，与各行各业紧密融合，为生产要素的创造和流动提供了便利性，有利于促进区域间技术、资本与人才的自由流动，通过优化产业间的资源配置，数字经济显著提高了资源的使用效率，增强了产业的竞争力，并助力于推动产业结构的优化升级[11]。

因而，提出以下假设：

H1：数字经济发展可以促进产业结构升级。

(二) 数字经济、绿色创新绩效与产业结构升级

(1) 数字经济对绿色创新绩效提升的影响机理

首先，数字经济时代，生产要素的数字化打破了传统生产要素(如信息、资源、人才)供给的时空局限性，使得资源配置更加灵活，创新主体可以更加便捷地获取所需资源，为创新提供了更多可能性，有利于推动协同和融合创新[12]。其次，数字经济为绿色创新提供了丰富的数据资源和强大的计算能力。通过大数据分析、人工智能等技术手段，绿色企业可以更加精准地把握市场需求，优化产品设计，提高技术创新的针对性。同时，云计算等技术手段为企业提供了强大的计算能力，使得企业在研发过程中可以进行大量的模拟仿真实验，降低实际试验成本，提高绿色研发效率。再次，数字经济推动了绿色创新的开放化和协同化。数字经济推动了知识产权保护的完善和创新成果的共享，有助于激发绿色企业创新的积极性。同时，通过互联网、物联网等技术手段，绿色企业可以与产业链上下游企业、科研机构、政府部门

等形成紧密的合作关系,实现技术创新的协同攻关[13]。最后,数字经济通过畅通资金渠道影响绿色创新绩效。数字金融的发展不仅能够增强金融资源配置的力度与精准度,还能有效解决地区产业在绿色、低碳转型过程中面临的资金供求失衡问题,从而为绿色创新绩效的提升提供有力支撑[14]。

(2) 绿色创新绩效对产业结构升级的影响机理

首先,绿色创新具有绿化效应。通过绿色技术创新,可以研发出更加节能、环保的产品和生产方式,提高资源利用效率,减少环境污染和碳排放[15]。如新能源汽车、高效节能家电、绿色建筑等都是绿色技术创新的产物,这些产品在节能、环保、低碳等方面具有明显优势,能够有效促进产业升级和转型。其次,绿色创新具有联动效应。就前向产业关联效应而言,上游行业采用绿色技术进行生产,通过绿色技术效应促进了行业绿色化转型,这种转型将影响供应链下游行业的产品和服务,进而直接影响下游行业的能源消耗强度和污染排放强度。反之,下游行业采用绿色技术进行生产,会通过“需求引致效应”使得上游行业降低能源消耗强度[16],这种内在的绿色技术创新联系增强了产业间的联动性,并带来环境正外部效应,促进整个产业系统的绿色升级发展。最后,绿色创新绩效具有倒逼效应。实现绿色化和低碳化发展已经成为当今发展趋势。传统产业在面临绿色化和低碳化约束时,不得不在生产工艺、生产方式和生产设备等方面下功夫以实现清洁化改革,为此,将会投入更多生产要素来推动自身绿色发展升级[15],这样一来,绿色技术将渗透到传统产业中,并替代原有的高污染、高能耗的生产要素,有利于推动传统产业向绿色化和清洁化方向发展。因而,提出以下假设:

H2: 数字经济通过提升绿色创新绩效进而推动产业转型升级。

(3) 数字经济对产业结构升级的非线性影响

在数字经济发展初期,由于数字技术水平较低,基础设施建设不完善,创新主体获取信息成本较高,很难形成网络效应和规模经济[17],此时数字经济对产业结构升级的促进效应范围较小且强度较弱。而随着基础设施逐步完善和数字技术的发展与推广,互联网的普及程度和应用范围逐渐扩大,创新主体获取信息边际成本逐步下降,网络的正外部性效应逐渐显现,使得数字经济的增长效应呈现几何式增长[12],产业部门得以更低的成本实现产业转型升级[18],且随着数字经济水平的提高,其促进作用可能愈发显著,即数字经济在促进产业结构升级的过程中存在“梅特卡夫法则”,当数字经济跨越过门槛值后,对产业结构升级的影响会越发显著。据此研究假设:

H3: 数字经济对产业结构升级存在边际效应递增的门槛效应。

3. 研究设计

(一) 模型构建

为验证研究假设1,本文构建如下分析模型:

$$Indus_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Dig_{it} + \sum \alpha_c Control_{it} + \lambda_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

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,为验证绿色创新绩效提升是否为数字经济与产业结构升级之间的传导机制,本文设定如下中介效应模型进行检验:

$$Gte_{it} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{it} + \sum \beta_c Control_{it} + \delta_i + \mu_{it} \quad (2)$$

$$Indus_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 Dig_{it} + \gamma_2 Gte_{it} + \sum \gamma_c Control_{it} + \varphi_i + \xi_{it} \quad (3)$$

其中, Gte_{it} 代表中介变量绿色创新绩效提升。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中介因素影响产业结构升级。

在理论分析和研究假设部分,本文就数字经济对产业结构升级的影响进行了探讨,并提出了数字经

济对产业结构升级存在边际效应递增的门槛效应的观点。为了稳健地检验这一观点,设定如下面板门槛模型进行检验:

$$Indus_{it} = \sigma_0 + \sigma_1 Dig_{it} \times I(Adj_{it} \leq \theta) + \sigma_2 Dig_{it} \times I(Adj_{it} > \theta) + \sum \sigma_c Control_{it} + \nu_i + \zeta_{it} \quad (4)$$

式(4)中, Adj_{it} 为数字经济和绿色创新绩效等门槛变量, $I(\cdot)$ 为指示函数, 函数值取决于门槛变量 Adj_{it} 与门槛值 θ 之间的大小关系。当 $Adj_{it} \leq \theta$ 时, 函数值为 1, 反之为 0。式(4)为单门槛模型, 可以通过对样本数据进行计量检验扩展至多门槛情形。

(二) 变量测度与说明

(1) 被解释变量

产业结构优化升级主要包括产业结构的合理配置和产业效率的提升[19], 产业结构合理化是指在当前技术水平和资源条件下, 能够实现生产要素的合理配置和促进各产业之间的协调互动, 产业结构高级化可以概括为产业结构从较低水平向更高层次发展的演进过程。借鉴干春晖等(2011)[20]的研究思路, 从产业结构合理化和产业结构高级化两个角度对产业结构升级进行研究。

产业结构合理化(IR)用泰尔指数衡量, 其具体公式为:

$$TL = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_i}{L_i} / \frac{Y}{L} \right) \quad (5)$$

其中, TL 为泰尔指数, Y 为产值, L 为就业人数。泰尔指数是逆向指标, 其值越大, 产业结构越偏离均衡状态, 当 $TL = 0$ 时, 要素资源在产业间的配置是有效率的, 即产业结构是合理的。为便于后续分析, 将 TL 取倒数后做对数处理, 其值越大, 说明产业结构越合理, 越有利于产业结构升级。反之, 则产业结构越不合理, 越不利于产业结构升级。

随着互联网技术在制造业生产中的广泛应用, 以服务性为代表的第三产业的增长率明显要快于第二产业的增长率, 服务性产业的产值比重不断提高, 产业形态逐渐向第三产业转变, 本文参考已有文献, 用第三产业产值与第二产业产值的比值度量产业结构高级化(IH), 这一度量能够更好地反映产业结构的变迁的方向。

(2) 解释变量

目前学术界关于数字经济发展水平的测度标准并未达成一致, 本文借鉴赵涛(2020)[21]、黄群慧(2019)[22]、李宗显和杨千帆(2021)[23]等指标选取方式, 从互联网普及率(每百人互联网用户数)、互联网从业人数(计算机服务和软件从业人员占比)、互联网相关产出(人均电信业务量)、移动电话普及率(每百人移动电话用户数)、数字金融发展(数字普惠金融指数)五个维度构建数字经济评价指标体系, 并运用主成分分析法测算数字经济发展指数。

(3) 中介变量

绿色创新与传统创新不同, 它通过借助新知识和新技术来实现降低环境污染的目标, 同时企业也能够从中获得经济效益, 实现经济和环境的协调发展[24]。绿色创新还被称为“环境创新”、“生态创新”、“可持续创新”等[25], 这些称呼强调了绿色创新的目标和意义。因此, 在绿色创新过程中, 需要同时兼顾创新效率和绿色效益, 创新效率指绿色创新在提高产业竞争力和经济效益方面的能力, 通过引入新技术、新产品和新模式, 重污染行业可以实现资源的高效利用和能源的低碳排放, 从而提高生产效率和降低成本, 绿色效益则强调在创新过程中减少对环境的负面影响。因而本文借鉴王彩明和李健(2019)[26]的指标选取方式, 从绿色创新投入和绿色创新产出两个维度构建了绿色创新绩效评价指标体系, 具体指标见下表 1。在诸多度量投入产出效率的方法中, 数据包络分析(DEA)方法具有明显的优势, 这种方法可以有效地避免人为主观因素对估计结果的影响。因此, 本文采用这一方法对绿色创新绩效(Gte)进行测算。

Table 1. Green innovation performance evaluation index system
表 1. 绿色创新绩效评价指标体系

主指标	一级指标	指标分类	二级指标
绿色创新绩效	绿色创新投入	人力资本	研发人员全时当量 R&D 经费内部支出 新产品开发经费
		资本投入	技术引进及改造经费 环境污染治理经费
		能源投入	工业能源消耗总量 有效发明专利数
		经济效应	新产品销售收入 工业增加值
			工业废水排放量
	绿色创新产出	环境效益	废气排放量 固体废弃物排放量

(4) 控制变量

为了更全面地探究数字经济发展对于产业结构升级的影响，减少遗漏变量造成的估计偏误，本文参考相关研究(方岚，2022 [27]；刘翠花，2022 [3]，左鹏飞等，2020 [28])，尽可能控制对产业结构升级有潜在影响的变量，具体变量如下：① 城镇化率(*Urb*)，用存在人口与总人口的比值表示；② 经济发展水平(*lnPgdp*)，用人均 GDP 进行衡量，回归中取对数处理；③ 人力资本水平(*Human*)，用人均平均受教育年限表示；④ 对外开放程度(*Open*)，用进出口总额占 GDP 比重表示；⑤ 外商直接投资水平(*Fdi*)，用外商直接投资额与 GDP 比值衡量；⑥ 固定资产投资水平(*Invest*)，用全社会固定资产投资总额占 GDP 比重衡量；⑦ 市场化水平(*Mar*)，用市场化指数表示。

(三) 数据来源和描述性统计

Table 2. Descriptive statistical results
表 2. 描述性统计结果

	Symbol	Variable	N	Mean	SD	Max	Min
被解释变量	<i>LnIR</i>	产业结构合理化	300	1.8036	0.7967	4.8036	-0.0416
	<i>IH</i>	产业结构高级化	300	1.3245	0.7287	5.2440	0.5271
解释变量	<i>Dig</i>	数字经济	300	0.5950	0.0653	0.8859	0.4859
中介变量	<i>Gte</i>	绿色创新绩效	300	0.8586	0.3603	4.2232	0.1198
	<i>lnPgdp</i>	经济发展水平	300	10.7913	0.4391	12.0086	9.6818
	<i>Urb</i>	城镇化率	300	0.5901	0.1222	0.8960	0.3500
控制变量	<i>Fdi</i>	外商直接投资	300	0.0203	0.0186	0.1210	0.0001
	<i>Open</i>	对外开放程度	300	0.2743	0.2898	1.4640	0.0080
	<i>Mar</i>	市场化指数	300	7.9253	1.8901	12.1067	3.3600
	<i>Human</i>	人力资本	3000	9.2983	0.8750	12.7009	7.6794
	<i>Invest</i>	固定资产投资水平	300	0.8405	0.2877	1.5965	0.2109

本文针对 2011~2020 年中国内地 30 个省份(西藏除外)展开研究,形成了 300 个省份-年的均衡面板数据。原始数据主要来自国家统计局网站、《中国市场化指数数据库》《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》和《中国统计年鉴》等,对于个别缺值采用线性插值法填补。表 2 是本研究所涉及各个变量的描述性统计结果。

4. 实证分析

(一) 基准回归分析

表 3 为数字经济影响产业结构升级的基准估计结果。模型(1)、模型(3)显示,在未加入控制变量情况下,数字经济对产业结构合理化和产业结构高级化的影响系数均显著为正,说明数字经济发展有助于推动产业结构升级。模型(2)、模型(4)是纳入了控制变量后的结果,数字经济的估计系数依然显著为正,说明考虑不同省份经济发展水平、城镇化率、外商直接投资等影响因素的情况下,数字经济仍对产业结构升级存在正向促进作用,且数字经济发展水平每提升 1%,将会带来产业结构合理化和产业结构高级化分别增加 12.96%和 3.85%。该基准回归结果验证了研究假设 1。

Table 3. Benchmark regression results

表 3. 基准回归结果

变量	产业结构合理化		产业结构高级化	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Dig	6.052*** (8.72)	12.956*** (3.91)	4.199*** (10.48)	3.850*** (3.90)
_cons	-1.798*** (-4.35)	10.767** (2.32)	-1.174*** (-4.93)	1.879 (0.70)
控制变量	No	Yes	No	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	300	300	300	300
拟合优度	0.445	0.507	0.723	0.791

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

(二) 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。一方面,影响产业结构升级的因素有很多,控制变量可能没有完全覆盖影响产业结构升级的所有经济因素,仍可能存在遗漏变量问题。另一方面,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,本文采用两种工具变量来解决可能出现的计量偏差,并运用两阶段最小二乘法进行回归分析。首先,参考王雅琦等(2020) [29]的做法,构造滞后一期的数字经济发展水平(IV1)作为工具变量。其次,借鉴黄群慧等(2019) [22]和赵涛等(2020) [21]的思路,将各地区 1984 年各省份邮局数量与上一年互联网投资额相乘构建交互项(IV2)作为数字经济发展水平的工具变量。表 4 回归结果显示,数字经济对促进产业结构升级的促进作用依然在 1%的水平下显著,进一步证明了数字经济能够促进产业结构升级这一结果的稳健性。此外,研究结果显示, Kleibergen-Paaprk 的 LM 统计量和 Kleibergen-Paaprk 的 WaldF 统计量分别拒绝了“工具变量识别不足”和“弱工具变量”的原假设,证明了选取滞后一期的数字经济发展水平(IV1)和 1984 年各省份邮局数量与上一年互联网投资额的交互项(IV2)作为工具变量是合理的。

Table 4. Estimation results using instrumental variable method
表 4. 工具变量法估计结果

变量	IV1		IV2	
	产业结构合理化	产业结构高级化	产业结构合理化	产业结构高级化
	(1)	(2)	(3)	(4)
Dig	16.531*** (3.95)	4.162*** (5.98)	8.837** (2.31)	9.139*** (5.99)
_cons	14.884*** (2.88)	5.602*** (3.55)	4.377 (0.99)	11.676*** (5.21)
Kleibergen-PaaprkLM 统计量		53.780 [0.000]		31.729 [0.000]
Kleibergen-PaaprkWaldF 统计量		409.056 {16.38}		45.083 {16.38}
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	270	270	300	300
拟合优度	0.822	0.976	0.821	0.964

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

(三) 中介效应分析

Table 5. Mechanism inspection
表 5. 机制检验

变量	绿色创新绩效	产业结构合理化	产业结构合理化	产业结构高级化	产业结构高级化
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Dig	3.029** (2.47)	12.956*** (3.91)	12.804*** (3.90)	3.850*** (3.90)	3.644*** (3.79)
gte			0.050 (1.01)		0.068** (2.75)
_cons	-3.932 (-1.63)	10.767** (2.32)	10.963** (2.35)	1.879 (0.70)	2.147 (0.81)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	300	300	300	300	300
拟合优度	0.133	0.507	0.507	0.791	0.796

表 5 报告了数字经济影响产业结构升级作用机制的检验结果。模型(2)和模型(4)属于基准回归。模型(1)为数字经济对绿色创新绩效的影响。回归结果显示数字经济确实能够提升绿色创新绩效。模型(3)的回归结果显示，绿色创新绩效提升对产业结构合理化具有正向影响，但并未通过显著性检验，说明数字经济未通过绿色创新绩效这一渠道推动产业结构合理化。其可能的原因在于，当前中国数字化转型的初期

阶段存在着数字核心技术匮乏、缺乏战略目标和发展路径、“数据孤岛”现象广泛存在等问题[29],致使数字技术应用的滞后和绿色创新绩效对要素资源合理配置的潜在巨大价值无法得到释放。因此,在短期内,绿色创新绩效提升对产业结构合理化的推动作用可能难以有效发挥。然而,随着数字化转型的深入推进和绿色创新效率的提升,推动产业结构合理化的作用将会逐渐显现。模型(5)回归结果显示,绿色创新绩效提升对产业结构高级化的影响效应为正且在 1%的置信水平上显著,但系数与基准回归模型相比略有下降,依据系数判定法,表明绿色创新绩效提升确实是数字经济发展促进产业结构高级化的作用机制。

(四) 门槛效应分析

本文在研究假设部分提出了数字经济对产业结构升级的影响可能存在非线性的影响效应,本节验证此假设。首先对数字经济指数、产业结构合理化、产业结构高级化依次进行了单一门槛、双重门槛和三重门槛的存在性检验。通过 bootstrap 自助法进行 300 次反复抽样后,发现均通过了单一门槛的检验,但未通过双重门槛和三重门槛检验。从表 6 模型(1)和模型(3)不难发现,当数字经济发展水平处于较低阶段时(分别小于门槛值 0.7 和 0.456),数字经济发展对产业结构升级具有显著的促进作用;当数字经济发展水平处于较高阶段时(分别大于 0.7 和 0.456),数字经济发展对产业结构升级的促进作用更明显也更强。即数字经济对产业结构升级的影响效应呈现出边际效应递增的非线性特征;模型(2)和模型(4)进一步将绿色创新绩效作为门槛变量进行回归,结果显示数字经济对产业结构合理化和产业结构高级化的促进作用是持续增强的,绿色创新绩效提升在数字经济与产业结构升级之间起到了一个调节作用。数字经济与绿色创新绩效提升之间的积极互动,进一步促进了产业结构升级。假设 3 得到了验证。

Table 6. Regression results of threshold model

表 6. 门槛模型回归结果

	产业结构合理化		产业结构高级化	
	(1)	(2)	(3)	(4)
门槛变量	Dig	Gte	Dig	Gte
门槛值 θ	0.700	1.097	0.546	0.614
Dig*I ($\text{Adj} \leq \theta$)	9.651** (2.55)	10.682*** (3.86)	3.868*** (4.43)	3.675*** (3.74)
Dig*I ($\theta < \text{Adj}$)	10.699*** (3.20)	11.153*** (3.92)	4.147*** (4.55)	3.757*** (3.80)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	300	300	300	300
拟合优度	0.547	0.535	0.812	0.795

(五) 异质性分析

由于经济发展水平、区位条件、资源禀赋、市场发育、政策背景等因素差异,我国各地区发展程度出现了分化。这可能导致数字经济发展对产业结构升级的影响呈现出非均衡特征,为了细致考察数字经济发展对不同地区产业结构升级的差别影响,本文对各区域样本进行了分类,尝试从区位、数字经济发展水平两个角度进行异质性分析。具体来说:一是按照所处区域将省域样本划分为东部和中西部两类;二是按照数字经济发展水平的中位数,将省份样本分为两组,即高水平发展组和低水平发展组。

(1) 分区域的异质性检验

表 7 模型(1)~(4)为区域异质回归结果。从模型(2)和模型(4)中可见,数字经济均促进了两大区域产业结构高级化,但从回归系数大小看,中西部影响效应明显要大于东部地区。可能的原因是:中西部地区

在数字经济发展和产业结构高级化方面相对滞后,但随着国家“中部崛起”和“西部大开发”等政策的不断推进(特别是近年来川渝贵等地区大力发展数字化产业),数字经济的发展速度加快,产业结构从传统的低端产业向技术含量更高、附加值更大的服务业和高科技产业升级,因此对产业结构高级化的促进作用更加明显。模型(1)和模型(3)估计系数显示数字经济对东部地区产业结构合理化具有显著影响,对中西部地区产业结构合理化虽存在正向影响但并不显著。对此可能的解释是,由于地理位置、资源禀赋和经济发展水平等原因,中西部地区存在产业结构单一、产业链条短、产业布局不合理和产业互补性不强等问题,导致产业发展不协调,数字经济对产业结构合理化的潜在影响效应在短期内没有充分彰显。但随着数字经济的快速发展,互联网、物联网等技术打破了地域和行业壁垒,实现了产业间的互联互通,有助于推动中西部产业布局的优化,促使产业链上下游企业紧密协作,形成合理的产业生态。因此,中西部地区应继续加强数字经济建设,进一步挖掘数字经济对产业结构合理化的拉升作用。

(2) 数字经济发展水平异质性

本文首先将省域样本分为高数字经济发展水平(中位数以上)和低数字经济发展水平(中位数以下)两类,然后再分别进行检验,回归结果见表7列(5)~(8)所示。列(6)和列(8)均说明了数字经济有利于促进产业结构高级化。模型(5)和模型(7)估计系数显示数字经济对高发展水平组产业结构合理化具有显著影响,对低发展水平组产业结构合理化虽存在正向影响但并不显著。可能的原因在于数字经济发展水平低的一般为不发达地区,数字经济发展起步较晚,数字经济对要素资源的合理配置作用还未显现,对产业结构合理化影响的红利可能还未得到释放,需要更高的数字经济发展水平作为支撑。

Table 7. Heterogeneity of regional and digital economy development levels
表 7. 区域和数字经济发展水平异质性

	区域异质性				数字经济发展水平异质性			
	东部		中西部		低发展水平组		高发展水平组	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	lnIR	IH	lnIR	IH	lnIR	IH	lnIR	IH
Dig	21.225*** (4.31)	2.328* (2.05)	4.004 (1.05)	4.383* (2.09)	2.397 (0.69)	4.126** (2.18)	21.626*** (4.42)	2.278*** (2.87)
_cons	27.508** (2.29)	-3.999 (-0.86)	6.140 (1.63)	5.633** (2.21)	3.758 (1.35)	4.240** (2.30)	31.061** (2.65)	-4.049 (-1.56)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	110	110	190	190	150	150	150	150
拟合优度	0.483	0.876	0.730	0.776	0.749	0.767	0.463	0.882

(六) 稳健性检验

(1) 变量替换

本文采用邓慧慧等(2020) [30]的方法,通过结合使用结构偏离度指标和模糊数学中的 Hamming 贴近度评价方法重新构建产业结构合理化指标,该指标的计算公式如下:

$$IR = 1 - \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \left| \frac{Y_i}{Y} - \frac{L_i}{L} \right| \tag{6}$$

产业结构高级化指数用第三产业增加值占地区生产总值比重衡量，具体公式如下：

$$IH = \frac{Y_3}{Y}$$

(7)

式(6) (7)中，IR 越大，产业结构合理化程度越高，IH 越大，产业结构高级化程度越高，其他变量含义与式(5)一致。回归结果见表 8 模型(1)~(2)，数字经济发展仍能够促进产业结构升级，且显著性较前文均没有发生明显变化，证实结果稳健可靠。

(2) 纳入多维交互固定效应

数字经济发展水平较高的地区，其互联网也会优先发展，导致本文实证部分面临内生性问题。数字经济在不同地区呈现出多样化的趋势。因此，基于前文所建立的模型，纳入省份与年份的交互项，以缓解省级层面宏观系统性环境的不可观测效应。表 8 模型(3)~(4)结果表明，在控制了宏观系统性环境后，数字经济促进产业结构升级的结论依然稳健。

(3) 剔除直辖市

相较于其他地区，直辖市的数字经济发展相对处于领先地位，纳入直辖市样本可能会放大数字经济对产业结构的赋能效果。因此，本文剔除直辖市(北京、天津、上海、重庆)样本后进行重新估计。模型(5)~(6)的结果显示，数字经济对产业结构升级的促进作用仍然显著，且剔除直辖市样本后，数字经济的估计系数略有下降，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) 剔除异常值

为有效消除样本中的异常值对基准检验结果的可靠性产生影响，本文对变量进行 1%水平上的缩尾处理。检验结果见表 8 模型(7)~(8)，结果显示，估计系数和显著性均没有发生明显变化，可见，基准回归结论稳健。

Table 8. Robustness test
表 8. 稳健性检验

	替换被解释变量		控制固定效应		剔除直辖市		缩尾处理	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	IR	IH	lnIR	IH	lnIR	IH	lnIR	IH
Dig	0.488*** (3.11)	0.408** (2.34)	12.963*** (3.92)	3.854*** (3.88)	5.820** (2.15)	3.595** (2.43)	10.505*** (3.29)	3.597*** (3.32)
_cons	0.967*** (3.82)	0.675 (1.44)	20.258 (0.70)	6.298 (0.26)	10.923** (2.25)	5.662 (1.61)	5.047* (2.03)	1.555 (0.56)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	300	300	300	300	260	260	300	300
拟合优度	0.534	0.773	0.506	0.790	0.737	0.777	0.458	0.784

5. 结论与启示

本文立足于数字经济极大地促进了产业结构升级这一典型事实，采用我国 2011~2020 年 30 个省份的平衡面板数据，通过构建数字经济发展指标和产业结构升级指数，运用面板固定效应模型、中介效应模

型及门槛效应模型进行实证分析,深入探讨了数字经济对产业结构升级的推动作用及其内在作用机制。主要结论如下:第一,数字经济有力地推动了产业结构升级,成为新时代我国全面推动产业结构升级的关键驱动力,通过采用工具变量等稳健性检验,该结论依然成立。第二,中介效应检验证实了绿色创新绩效的提升在数字经济促进产业结构高级化过程中起到了明显的中介作用,但对产业结构合理化的促进作用还需进一步显现。第三,数字经济对产业结构升级存在边际效应递增的门槛效应。第四,异质性检验结果显示,无论是区域异质性还是数字经济发展水平异质性,数字经济均能有效促进产业结构高级化,但对产业结构合理化的正向促进作用只有在中西部地区和数字化发展水平较高的区域才显著,各地区在制定数字经济战略时应各有侧重。

基于上述结论,为巩固和释放数字经济对产业结构升级的红利优势,本文认为可以从三方面入手:

第一,全面推动数字经济发展。首先,加大数字基础设施建设力度。加大5G网络建设投入、加快数据中心建设、加强物联网技术研发投入、完善工业互联网技术体系,在数字基础设施建设等领域全面发力,持续巩固数字经济赋能产业结构升级的红利,助力产业结构升级。其次,深化数字技术的应用,促进传统产业的数字化转型。利用大数据、云计算、人工智能和物联网等技术,加速传统产业的数字化进程,提高传统产业的数字化和智能化水平,优化数据和信息技术等生产要素的配置,利用新兴技术实现传统产业补链扩链强链,赋能传统产业转型升级。最后,大力推进数字产业化。数字产业等新兴产业有利于产业结构优化升级,要大力推进数字产业化进程,把握我国数字产业发展的新趋势,推动数字信息及相关产业的蓬勃发展,努力打造数字经济产业链和产业集群,推动我国数字产业向中高端迈进。

第二,数字经济通过提升绿色创新绩效促进了产业结构升级,要重视对绿色创新绩效的提升。首先,要加强绿色创新的技术研发,在数字技术应用的基础上,研发出更加环保、节能的技术产品和服务。其次,要加强绿色创新的政策支持。政府可以通过制定相关的政策和法规(如提供税收优惠、资金支持等激励措施),鼓励企业进行绿色创新的研发和应用。最后,加强绿色创新的人才培养。培养具有绿色创新意识和技能的人才,以及提高现有员工的绿色创新能力。可以通过开设相关的课程和培训项目、引进具有绿色创新背景的人才来提高员工和企业的绿色创新能力。最后,加强绿色创新的应用推广。将绿色创新的产品和服务推广到更广阔的市场,让更多的消费者了解和使用绿色创新产品和服务。一方面,可以通过媒体宣传、线上线下活动等方式,推广绿色创新的产品和服务。另一方面,也可以通过建立绿色创新的示范区,让消费者亲身体验绿色创新的产品和服务。

第三,要因地制宜,制定差异化的数字经济发展战略。数字经济对中西部地区产业结构升级的推动作用更明显,东西部地区可以抓住数字经济发展机遇推动产业结构升级实现弯道超车。因此,要根据当地的区位条件和数字经济发展水平差异制定推动数字经济发展的政策规划。一方面,加大对中西部地区数字基础设施的建设投入。由于中西部地区的经济发展水平相对较低,数字基础设施的建设相对滞后,这无疑给数字经济的发展带来了一定的困难。因此,应当加大对数字基础设施的投入,提高数字经济的可及性和可达性。另一方面,加强人才培养,提高中西部地区的数字技能水平。数字经济的发展需要大量的专业人才,而这些人才大多集中在东部沿海地区。因此,应当通过各种方式,如设立专项资金、提供优惠政策等,吸引更多的人才到中西部地区发展。总之,推动产业结构升级需要政府建立一套完善的数字经济政策体系,为数字经济的发展提供有力的政策支持,同时也需要各地区根据自身的优势和特色,制定符合自身发展的数字经济发展策略。只有这样,才能真正实现数字经济可持续发展,为我国经济社会发展注入新活力。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 唐文进, 李爽, 陶云清. 数字普惠金融发展与产业结构升级——来自 283 个城市的经验证据[J]. 广东财经大学学报, 2019, 34(6): 35-49.
 - [3] 刘翠花. 数字经济对产业结构升级和创业增长的影响[J]. 中国人口科学, 2022(2): 112-125+128.
 - [4] 焦帅涛, 孙秋碧. 我国数字经济发展对产业结构升级的影响研究[J]. 工业技术经济, 2021, 40(5): 146-154.
 - [5] 刘洋, 陈晓东. 中国数字经济发展对产业结构升级的影响[J]. 经济与管理研究, 2021, 42(8): 15-29.
 - [6] 姚维瀚, 姚战琪. 数字经济、研发投入强度对产业结构升级的影响[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2021, 41(5): 11-21.
 - [7] 刘洋. 数字经济、消费结构优化与产业结构升级[J]. 经济与管理, 2023, 37(2): 68-75.
 - [8] 秦建群, 赵晶晶, 王薇. 数字经济对产业结构升级影响的中介效应与经验证据[J]. 统计与决策, 2022, 38(11): 99-103.
 - [9] 宋亚琼. 数字经济对城市绿色消费的影响——基于产业结构升级作用机制分析[J]. 商业经济研究, 2024(20): 59-62.
 - [10] 任保平, 李培伟. 数字经济背景下中国经济高质量发展的六大路径[J]. 经济纵横, 2023(7): 55-67.
 - [11] 黄鑫昊, 李迪. 数字经济、科技创新与产业结构优化升级[J]. 经济纵横, 2024(5): 120-128.
 - [12] 吴昱, 张峰. 数字经济对区域绿色创新效率的影响研究——基于中介效应和门槛效应的双重视角[J]. 生态经济, 2024, 40(10): 47-57.
 - [13] Gorodnichenko, Y. and Talavera, O. (2017) Price Setting in Online Markets: Basic Facts, International Comparisons, and Cross-Border Integration. *American Economic Review*, **107**, 249-282.
<https://doi.org/10.1257/aer.20141127>
 - [14] 王岚, 李男. 数字经济、技术吸收能力与绿色创新绩效[J]. 现代管理科学, 2024(3): 167-176.
 - [15] 韩先锋, 李佳佳, 徐杰. 绿色技术创新促进地区产业升级的动态调节效应——基于经济增长目标约束的新视角[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(8): 44-53.
 - [16] 戴翔, 杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济, 2022(9): 83-101.
 - [17] 李雪, 吴福象, 竺李乐. 数字经济与区域创新绩效[J]. 山西财经大学学报, 2021, 43(5): 17-30.
 - [18] 陈永强, 张昕钰. 数字经济发展对地区产业结构优化的影响机制——基于 2011~2019 年省级面板数据的实证分析[J]. 财经论丛, 2023(4): 14-23.
 - [19] 丁守海, 徐政. 新格局下数字经济促进产业结构升级: 机理、堵点与路径[J]. 理论学刊, 2021(3): 68-76.
 - [20] 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.
 - [21] 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.
 - [22] 黄群慧, 余泳泽, 张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济, 2019(8): 5-23.
 - [23] 李宗显, 杨千帆. 数字经济如何影响中国经济高质量发展? [J]. 现代经济探讨, 2021(7): 10-19.
 - [24] 吴超, 杨树旺, 唐鹏程, 吴婷, 付书科. 中国重污染行业绿色创新效率提升模式构建[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 40-48.
 - [25] 王彩明, 李健. 中国区域绿色创新绩效评价及其时空差异分析——基于 2005-2015 年的省际工业企业面板数据[J]. 科研管理, 2019, 40(6): 29-42.
 - [26] 方岚. 数字技术如何赋能产业结构升级: 异质性分析与机制检验[J]. 云南财经大学学报, 2022, 38(12): 33-47.
 - [27] 左鹏飞, 姜奇平, 陈静. 互联网发展、城镇化与我国产业结构转型升级[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(7): 71-91.
 - [28] 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.
 - [29] 李政, 周希祺. 数据作为生产要素参与分配的政治经济学分析[J]. 学习与探索, 2020(1): 109-115.
 - [30] 邓慧慧, 杨露鑫, 潘雪婷. 高铁开通能否助力产业结构升级: 事实与机制[J]. 财经研究, 2020, 46(6): 34-48.