

# 数字经济赋能下区域经济碳脱钩效应研究

## ——基于脱钩理论的面板数据分析

赵峰, 孙峰

(山东科技大学 经济管理学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:**采用 2013—2019 年中国 30 个省市数字经济的面板数据,利用脱钩模型测度区域经济碳脱钩水平,并通过面板计量模型和中介效应模型实证检验了数字经济对区域经济碳脱钩的影响和作用机理。研究发现:中国整体经济碳脱钩水平不断上升,东北地区存在较大碳脱钩阻力;中国数字经济发展水平由东南沿海向西部和北部地区逐级递减;数字经济能够显著促进区域经济碳脱钩,能源结构优化是数字经济促进经济碳脱钩的重要机制。未来国家应更加重视东北地区的数字经济发展,促进东北地区产业数字化转型;考虑到我国数字经济发展不平衡、数字人才、产业数字化水平较低的特点,应适当引导东部地区数字技术向西部、东北地区流动,发挥数字技术的后发优势,防止数字技术在区域上的脱节;鉴于数字经济可以通过改善能源结构促进区域经济碳脱钩,还需进一步加强数字经济和能源改革的深度融合。

**关键词:**数字经济;区域经济;碳脱钩;中介效应

中图分类号:F49;X321

文献标识码:A

文章编号:1008-7699(2023)03-0068-12

### 一、引言

当今世界气候变暖、冰川消融、海平面上升等极端现象频发,人类与环境的矛盾变得愈发突出。作为第一制造大国、第一温室气体排放国,中国在国际环境保护中扮演着重要的角色。然而,目前中国仍处于高碳排放阶段,经济对能源的依赖性较高,尽管 2020 年中国经济受新冠肺炎的冲击,增速放缓,但二氧化碳排放量仍然增加了 0.08%,达到了 102.5 亿吨,其中,电力、钢铁、水泥行业的碳排放量占全国总量的 60%。可见,制造业对能源的需求仍然处于不断上升的态势,这也导致了中国力争在 2030 年实现“碳达峰”目标面临长期压力。数字经济作为工业 4.0 和后工业经济的产物,能够有效驱动中国经济的可持续高速增长。同时,数字经济数字化、网络化、智能化的特点,能够极大促进信息的整合与传递、优化资源配置、降低社会交易成本,为我国区域经济碳脱钩工作提供新的动能。

关于能源结构对碳排放的影响,学者们进行了大量的研究,并取得了丰硕的成果。王锋、冯福根采用协整模型和马尔科夫链预测了中国 2011—2020 年的能源消费结构,并评估了能源结构变化对实现碳强度目标的影响,发现优化能源结构对碳强度目标的贡献潜力最大。<sup>[1]</sup>Palencia 等以发展中国家为例,同样验证了能源结构的转换是降低二氧化碳排放量的关键。<sup>[2]</sup>在环境恶化并对碳强度目标提出更高要求的背景下,王平等发现即使在理想状态下,仅依靠能源结构变化,碳强度目标也无法实现,需要实施其他的配套措施来减少碳排放。<sup>[3]</sup>张伟等则基于中国省域的研究进一步证明,产业体系的低碳化不能仅仅依靠能源结构优化,还需要低碳技术的支持。<sup>[4]</sup>低碳技术的广泛应用能够有效提高能源效率,在降低能源消费总量的同时,加速能源结构的低碳化进程。张希良等在探索实现碳中和目标的必要路径时也强调了低碳技

收稿日期:2022-09-16

基金项目:国家社会科学基金项目(22BTJ071)

作者简介:赵峰(1978—),女,山东青岛人,山东科技大学经济管理学院副教授,博士。

术的重要性,认为利用低碳技术提高能源利用率和优化能源结构将有助于我国低碳目标的实现。<sup>[5]</sup>

关于数字经济与碳减排之间的关系,也逐渐引起了学术界的关注,一些学者认为数字经济的发展不仅能够提高经济发展的质量,<sup>[6]</sup>也可以正向促进低碳产业的发展<sup>[7]</sup>。但 Salahuddin 等认为,在数字经济发展早期,相关基础设施的建设往往会导致电力消费的增加,从而引起区域二氧化碳排放量的增加。<sup>[8]</sup> Li 等也指出数字经济的早期发展会导致企业生产设备更迭,进而造成碳排放量的增加,但却认为在数字经济发展到一定水平时,数字化技术的应用会降低企业生产消耗,减少企业碳排放。<sup>[9]</sup> 缪陆军等利用多种计量模型研究数字经济与碳排放之间的关系,证明了数字经济与碳排放之间存在着倒 U 型关系。<sup>[10]</sup> 孔令英等则运用中介效应和门槛模型证明了数字经济对区域碳排放的显著抑制作用,同时市场化程度和城镇化水平作为门槛变量时会分别呈现出“倒 U 型”“倒 N 型”趋势。<sup>[11]</sup>

在数字经济对能源结构的影响方面,学者们也进行了大量的研究,主要表现为可通过数字技术提升能源的利用效率,改善能源结构。汪东芳等实证考察了互联网发展对地区能源效率的影响效应,指出互联网能够正向促进能源结构的优化。<sup>[12]</sup> 唐文虎等则分析了数字孪生技术对于智慧能源发展的可能性,认为数字技术能够对能源系统做出精准高效的反应,进而解决能源发展所面临的壁垒问题。<sup>[13]</sup> 一些学者对此持不同看法,认为数字经济的发展对能源消耗有一定的增长效应。Lange 等认为数字经济对能源消耗的影响存在两种效应:一是抑制效应,主要表现在数字经济能够提高能源利用效率;二是增长效应,主要表现在数字经济的大规模使用会增加能耗,会间接提高能源的消耗。<sup>[14]</sup> 樊轶侠等则通过对我国省份数据分析,验证了数字经济对能源结构的非线性影响特征,认为数字经济的发展会先促进能源结构的绿色化,但随着数字经济规模的扩大,会加剧能源的消耗。<sup>[15]</sup>

综上所述,学者们对数字经济与碳减排、数字经济与能源结构、能源结构与碳排放的影响进行了大量研究,但鲜有学者从经济增长对碳排放的依赖性角度出发研究碳减排。关于数字经济与能源结构如何影响碳脱钩? 直接与间接效应如何? 目前学术界对此也尚未有统一的定论。因此,本文采用中国 30 个省份 2013—2019 年的面板数据,实证检验我国数字经济、能源结构和区域经济碳脱钩之间的关系。本文的创新点主要体现在以下三个方面:第一,在研究视角上,从碳脱钩角度,结合中国五年规划构建脱钩模型,探索数字经济发展对区域经济碳脱钩的影响;第二,在指标构建上,从数字基础、数字技术、数字人才、经济贡献、产业数字化、数字金融六大维度,构建数字经济评价指标体系,综合对比分析中国四大区域数字经济发展状况、优势和短板;第三,在研究内容上,将能源结构作为中介变量,分析数字经济对区域经济碳脱钩的直接和间接影响效应,丰富了数字经济与碳脱钩领域相关研究。

## 二、理论分析与研究假设

本文旨在研究数字经济能否赋能区域经济碳脱钩。因此,本部分将分别就数字经济对区域经济碳脱钩的直接作用机制,以及数字经济对区域经济碳脱钩的间接作用机制进行理论分析,以阐明数字经济、能源结构与区域经济碳脱钩之间的关系。

### (一)数字经济对区域经济碳脱钩的直接作用机制

数字经济的快速发展导致要素资源的重组和经济结构的重塑,进而通过发挥经济带动效应、推动智能技术进步以及产业数字化升级促进区域经济碳脱钩。数字经济对区域经济碳脱钩的直接作用机制主要表现在以下三个方面。第一,经济带动效应。数字经济作为一种典型的高质量经济形态,可以通过提高人类处理信息的能力,大幅度降低交易的风险与成本,这样的经济形态可以突破传统经济生产要素的限制,提高人力、自然资本和物质资本的配置效率,极大地解放区域经济的发展潜力,为经济增长提供源源不断的动力,<sup>[16]</sup>减少经济发展对于能源的依赖,进而促进区域经济碳脱钩。第二,推动智能技术进步。数字经济是数字技术高度成熟和广泛应用的结果,<sup>[17]</sup>但在达维多定律影响下,数字经济自诞生以来就具有强内卷性,需要快速的技术更迭和不断的自我淘汰来争夺市场份额。这也使得数字产业加大研发投

人,进而提升了智能技术水平。智能技术应用在生产过程中,可以精准控制能源消耗,有效减少资源浪费,在二氧化碳排放源头降低碳排放,进一步推动区域经济碳脱钩。第三,促进产业数字化升级。数字经济的出现为传统产业的发展提供了新的可能,在数字技术赋能下,传统产业的生产效率大大提高,<sup>[18]</sup>新零售、定制服务、分包—众包平台合作等新型商业模式也应运而生,在为传统产业注入新活力的同时,也减少了产能过剩带来的碳排放,从而促进了区域经济的碳脱钩。基于此,本文提出如下假设。

假设 H1:数字经济能够直接促进区域经济碳脱钩。

## (二)数字经济对区域经济碳脱钩的间接作用机制

数字经济可以直接促进区域经济碳脱钩,也可以通过能源结构优化间接提高区域经济的碳脱钩水平。能源产业是碳排放的主要产业,也是我国实现“双碳”目标的重点改革对象<sup>[19]</sup>。因此,优化能源结构,提高清洁能源在能源消费中的占比,是我国经济碳脱钩进程中的关键一环。数字经济促进区域经济碳脱钩的间接作用机制主要体现在以下三个方面。第一,淘汰落后能源产业。数字经济的进一步发展给能源产业带来了新的挑战,导致落后、低效、高能耗的能源产业无法适应新的市场环境而被淘汰。这不仅解决了产能落后和产能过剩问题,也为未来能源结构的调整和经济的高质量发展奠定了基础,<sup>[20]</sup>进而提高了区域经济碳脱钩水平。第二,能源产业数字化升级。数字技术的应用可以促进能源产业的升级,为能源产业的精细控制和高效管理提供技术支持,提高能源利用率、降低产业运营成本、优化能源结构,使得能源产业绿色水平提高,降低经济增长对能源的依赖<sup>[21]</sup>。第三,构建碳交易平台。数字经济还通过构建碳交易平台,倒逼企业主动承担碳减排责任,推动产业能源结构改革。<sup>[22]</sup>这也有助于将我国庞大的碳数据库价值化、资产化,从而构建出完备的碳交易市场要素体系,并推进区域经济碳脱钩进程。鉴于此,本文提出如下假设。

假设 H2:数字经济可以促进能源结构优化。

假设 H3:数字经济能够通过能源结构优化间接促进区域经济碳脱钩。

## 三、模型构建与变量测度

### (一)模型构建

#### 1. 静态面板模型

为验证数字经济与区域经济碳脱钩之间的关系,本文针对数字经济对碳脱钩的影响机制建立如下基准模型。鉴于各项数据之间存在量纲差异,为降低数据的异方差性,对数据进行取对数处理:

$$\ln cari_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln dige_{it} + \alpha_2 \ln urban_{it} + \alpha_3 \ln inds_{it} + \alpha_4 \ln enec_{it} + \alpha_5 \ln gove_{it} + \epsilon_{it} \quad (1)$$

公式(1)中,  $cari_{it}$  代表  $i$  省市在  $t$  年的经济碳脱钩情况,  $dige_{it}$  表示区域数字经济发展水平,  $urban_{it}$  代表区域城市化水平,  $inds_{it}$  代表产业结构高级化,  $enec_{it}$  代表能源消费总量,  $gove_{it}$  表示政府环保力度,  $\epsilon_{it}$  表示随机干扰项。

#### 2. 中介模型

除了公式(1)体现的数字经济对于区域经济碳脱钩的直接影响,为了讨论数字经济与碳脱钩之间的能源结构的中介作用机制,需要分别构建数字经济对于能源结构,以及数字经济和能源结构对区域经济碳脱钩的回归方程,如公式(2)、(3)所示:

$$\ln enes_{it} = \theta_0 + \theta_1 \ln dige_{it} + \lambda CONTROL_{it} + e2_{it} \quad (2)$$

$$\ln cari_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln dige_{it} + \beta_2 \ln enes_{it} + \lambda CONTROL_{it} + e3_{it} \quad (3)$$

在公式(2)、(3)中,  $enes_{it}$  代表能源结构,  $dige_{it}$  表示区域数字经济发展水平,  $cari_{it}$  代表  $i$  省市在  $t$  年的经济碳脱钩情况,  $CONTROL_{it}$  代表控制变量,  $e2_{it}$ 、 $e3_{it}$  分别表示公式(2)、(3)的随机干扰项。

### (二)变量测度

#### 1. 区域经济碳脱钩水平测度

碳脱钩水平  $CD$  碳脱钩指数由经济合作与发展组织 (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) 最先提出, 主要用于衡量经济发展与环境之间的协调性问题, Tapio 在此基础上进行延伸, 建立 Tapio 脱钩模型, 该模型主要用于进一步衡量经济发展与碳排放的依赖性关系。但经济碳脱钩水平是一个长期的趋势量, 采用临近年度数据进行测算易受不稳定因素的影响, 无论是 GDP 还是碳排放量都会产生较大的波动。因此, 本文参考了孙睿的脱钩指数“两阶段滚动测算”模型,<sup>[23]</sup> 并在此基础上进行优化, 避免基期选择所带来的时间跨度问题。结合中国五年发展规划政策, 对我国 2013—2019 年 30 个省市的经济碳脱钩特征进行测算与细分, 模型如式(4)所示:

$$T_{i,t}^s = \frac{(C_{i,t} - C_{i,t-1})/C_{i,t-1}}{(GDP_{i,t} - GDP_{i,t-1})/GDP_{i,t-1}} = \frac{\Delta CO_2}{\Delta GDP} \quad (4)$$

公式(4)中,  $T_{i,t}^s$  表示  $S$  省市在  $t$  经济阶段第  $i$  年份的经济碳脱钩水平,  $C$  表示碳排放量,  $GDP$  表示区域经济发展水平,  $\Delta CO_2$  表示二氧化碳排放量变化率,  $\Delta GDP$  表示区域  $GDP$  的变化率。脱钩模型根据弹性指数的大小以及  $\Delta CO_2$  和  $\Delta GDP$  的符号, 以  $y=x$  为分界线, 将脱钩指数分为 6 类(见表 1)。碳脱钩指数由 3 个指标构成, 存在象限差异, 无法直接用数值大小进行优劣比较, 因此, 本文参考了王倩的做法, 用碳强度指标代替碳脱钩<sup>[24]</sup>。为确保碳脱钩趋势长期稳定, 要求

$$\frac{(C_{i,t} - C_{i,t-1})/C_{i,t-1}}{(GDP_{i,t} - GDP_{i,t-1})/GDP_{i,t-1}} < 1 \quad (5)$$

通过式(5), 可以推算出  $\frac{C_{i,t}}{GDP_{i,t}} < \frac{C_{i,t-1}}{GDP_{i,t-1}}$ , 即当碳强度保持长期下降趋势, 就能实现区域经济碳脱钩。因此, 在实证分析阶段, 本文以碳强度指标代替区域碳脱钩。

## 2. 数字经济发展水平测度

目前已有不少学者与机构对数字经济评价指标体系进行探讨, 总体来说可以分为两类: 一是直接测算法, 即在界定数字经济涵盖范围的基础上, 对其在各个领域上的贡献值进行加总分析, 从而得出数字经济的规模与体量; 二是对比分析法, 这也是当前学术界使用较多的方法, 即将数字经济分解成多个指标, 从多个维度出发全面构建数字经济评价指标体系, 从而计算出各区域之间的数字经济相对发展水平。本文参考了赵涛等对我国 222 个地级及以上城市的测算方法。<sup>[25]66</sup> 在此基础上, 将数字经济划分为 6 个维度 16 个指标, 同时兼顾数据的全面性、客观性、科学性等原则, 对区域数字经济发展水平进行测度, 各二级指标与指标含义如表 2 所示, 并采用熵权法对数字经济发展水平进行测度。

熵权法可以用于确定每个指标所占的权重, 进而计算出总指标的大小, 具有赋权客观、可信度高的优点<sup>[26]</sup>。具体计算过程如下。

熵权法可以用于确定每个指标所占的权重, 进而计算出总指标的大小, 具有赋权客观、可信度高的优点<sup>[26]</sup>。具体计算过程如下。

(1) 在对各指标进行归一化处理前, 需要先对数据进行无量纲化处理, 即正向指标:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij}, \dots, x_{nj})}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}}; \quad (6)$$

负向指标:

$$x'_{ij} = \frac{\min(x_{ij}, \dots, x_{nj}) - x_{ij}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (7)$$

(2) 分析数据的信息熵, 即

表 1 碳脱钩弹性指数分类表

类型	$\Delta CO_2$	$\Delta GDP(-\infty, 0)$	弹性指数 $T_{it}^s$
强脱钩	$< 0$	$> 0$	$(-\infty, 0)$
弱脱钩	$> 0$	$> 0$	$(0, 1)$
扩张负脱钩	$> 0$	$> 0$	$(1, +\infty)$
衰退型脱钩	$< 0$	$< 0$	$(1, +\infty)$
弱负脱钩	$< 0$	$< 0$	$(0, 1)$
强负脱钩	$> 0$	$< 0$	$(-\infty, 0)$

表 2 数字经济发展水平评价指标体系

一级指标	权重	二级指标	权重	具体指标	方向
数字基础	0.154 9	互联网普及	0.028 8	人均互联网宽带接入端口	正向
		互联网用户	0.100 1	人均移动电话用户数	正向
		信息传输	0.026 0	人均长途光缆线路长度	正向
数字技术	0.270 7	研究经费	0.078 1	人均 R&D 研究经费数量	正向
		项目数量	0.094 6	人均 R&D 研究项目数量	正向
		专利申请数	0.098 0	人均专利申请数	正向
数字人才	0.112 5	从业人员	0.094 2	研究人员占比	正向
		高等教育	0.018 3	高等教育在校生占比	正向
经济贡献	0.295 4	软件业收入	0.188 4	人均软件业收入	正向
		电信业务收入	0.107 0	人均电信业务收入	正向
产业数字化	0.288 4	计算机应用	0.042 8	每百人计算机使用	正向
		企业互联网	0.008 3	每百家企业拥有网站数	正向
		电商活动	0.027 1	有电商活动企业所占比重	正向
数字金融	0.088 3	数字化广度	0.032 3	数字金融覆盖广度	正向
		数字化深度	0.025 7	数字金融使用深度	正向
		数字化程度	0.030 3	数字金融数字化程度	正向

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln \left( \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}} \right), i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m, \quad (8)$$

其中,如果  $p_{ij} = 0$ ,则认为  $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

(3)对信息的效用值进行计算,并计算指标权重:

$$\omega_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m d_j}, j = 1, \dots, m. \quad (9)$$

(4)利用线性加权求和计算出中国 30 个省市的数字经济发展水平:

$$s_i = \sum_{j=1}^m \omega_j p_{ij}, i = 1, \dots, n. \quad (10)$$

### 3. 能源结构

关于能源结构的测度,本文借鉴了钟晓青等的测度方法,<sup>[27]</sup>将所有能源消费进行标准煤转换,然后利用煤炭消费与总能源的消费比值代表区域能源结构优化程度,比值越小代表煤炭在能源消费中的占比越小,能源结构优化程度也就越高。

### 4. 控制变量

考虑到影响经济碳脱钩的因素较多,为了更全面地分析数字经济对区域经济碳脱钩的影响,本文基于已有研究,设定可能对结果准确性产生影响的控制变量,主要包括以下变量。

城市化水平( $urban_{it}$ )。城市化水平越高,该地区单位面积的人口就越多。随着拥挤效应的加剧,碳排放也将增加,<sup>[28]</sup>但随着城市化水平的提高,该地区的经济发展速度也将加快,这会对区域经济碳脱钩造成正面影响。采用“人口密度”来衡量城市化水平。

产业结构高级化( $inds_{it}$ )。产业结构越高级,第三产业的比重就越高。作为环境友好型产业的一种,第三产业不仅消耗的能源远低于第二产业,单位碳排放的经济效应也远高于第二产业,<sup>[29]</sup>故采用“第三

产业和第二产业的比值”来表示产业结构高级化。

能源消费总量( $enec_{it}$ )。能源消费总量越高,碳排放量越大。因此,能源消费总量的增加会抑制区域经济碳脱钩。采用“所有能源折算成标准煤的加总”来衡量能源消费总量。

政府环保力度( $gove_{it}$ )。一方面,政府可以通过设置减排指标和建立绩效考核机制,直接影响碳排放主体;另一方面,政府也对市场未来的发展方向起到导向作用,引导企业积极改革以适应市场环境<sup>[30]</sup>。因此,政府环保力度会促进区域经济碳脱钩。采用“环保财政支出和总财政支出的比值”来表示政府环保力度。

## 四、实证分析

### (一)数据来源

鉴于港、澳、台以及西藏地区部分数据的缺失,本文主要针对中国 30 个省市开展研究,样本研究期间为 2013—2019 年。为了深入探究不同区域发展水平对数字经济和经济碳脱钩的影响,文章根据不同省市的地理位置和经济发展状况,参考国家统计局相关文件,<sup>①</sup>将中国的 30 个省市划分为东部、中部、西部和东北四个经济区进行对比分析。数据来源主要有《中国统计年鉴》(2013—2021)、《中国信息产业年鉴》(2013—2021)、《中国第三产业统计年鉴》(2013—2021)、北京大学数字普惠金融指数和 CEADs 碳排放数据库等。本文主要变量的描述性统计结果见表 3。

表 3 变量描述性统计结果

变量类型	变量代码	N	mean	p50	sd	min	max
被解释变量	$ln\text{cari}$	210	0.379	0.296	0.785	-1.611	2.498
解释变量	$ln\text{dige}$	210	-1.851	-1.862	0.578	-3.405	-0.464
中介变量	$ln\text{enes}$	210	-0.503	-0.506	0.233	-1.098	-0.012
控制变量	$ln\text{urban}$	210	5.472	5.680	1.297	2.068	8.278
	$ln\text{inds}$	210	0.135	0.0790	0.390	-0.558	1.643
	$ln\text{enec}$	210	9.090	9.047	0.620	7.332	10.28
	$ln\text{gove}$	210	-3.542	-3.554	0.308	-4.441	-2.686

### (二)区域数字经济发展水平分析

通过表 2 各项指标可以计算出中国 30 个省市 2013—2019 年的数字经济发展状况,采用 Arcgis10.8.1 软件对 2013 年、2016 和 2019 年中国各省市的数字经济发展水平进行可视化分析,<sup>②</sup>可以发现:从总体上看,近年来我国数字经济发展较快,从 2013 年到 2019 年数字经济水平提高明显,分布上呈现出由东南沿海向西北和东北递减的特征;从区域上看,数字经济发展存在不平衡的现象,东部地区的数字经济发展水平明显高于其他地区,而中部、西部、东北地区数字经济发展水平相当。从省份上看,北京、上海、广州和浙江四个省市数字经济发展水平最高,2013—2019 年一直保持领先水平,而黑龙江、山西、河南、广西和宁夏五个省的数字经济发展水平明显落后于周边地区。

为深入探索区域之间的差异性,本文将 16 个一级指标分为 6 大维度,并生成了四大地区的数字经济指数得分雷达图(见图 1)。从各项得分来看,东部地区数字经济各项得分均处于较高水平,但产业数字化和数字基础的得分相对较弱;中部地区各项得分较为均衡,其中,数字技术、数字金融和经济贡献的得分略高于其

① 根据国家统计局关于制度及分类标准进行经济地带的划分,具体参考:<http://www.stats.gov.cn/>,最后访问日期:2023 年 4 月 4 日。

② 限于文章篇幅字数,在正文中不再展示中国省市数字经济水平分布格局图,若读者需要可联系作者获取。

他项;西部和东北地区数字经济的经济贡献优势较为明显,但其他维度得分较低。就时间趋势而言,我国各区域数字经济在各维度上的指标都在稳步上升,其中经济贡献维度的增加最为明显,这说明数字经济对于区域经济发展的促进作用在不断增强;此外,东部地区的数字技术优势明显且上升速度较快,与之相邻的中部地区数字技术优势在2016—2019年也有一定水平的提高,但与之较远的西部地区和东北部地区的数字技术发展缓慢,自2013到2019年提高水平微乎其微。这说明数字技术可能存在一定的空间溢出效应,东部地区的数字技术优势可以通过空间溢出效应带动中部地区数字技术的发展。

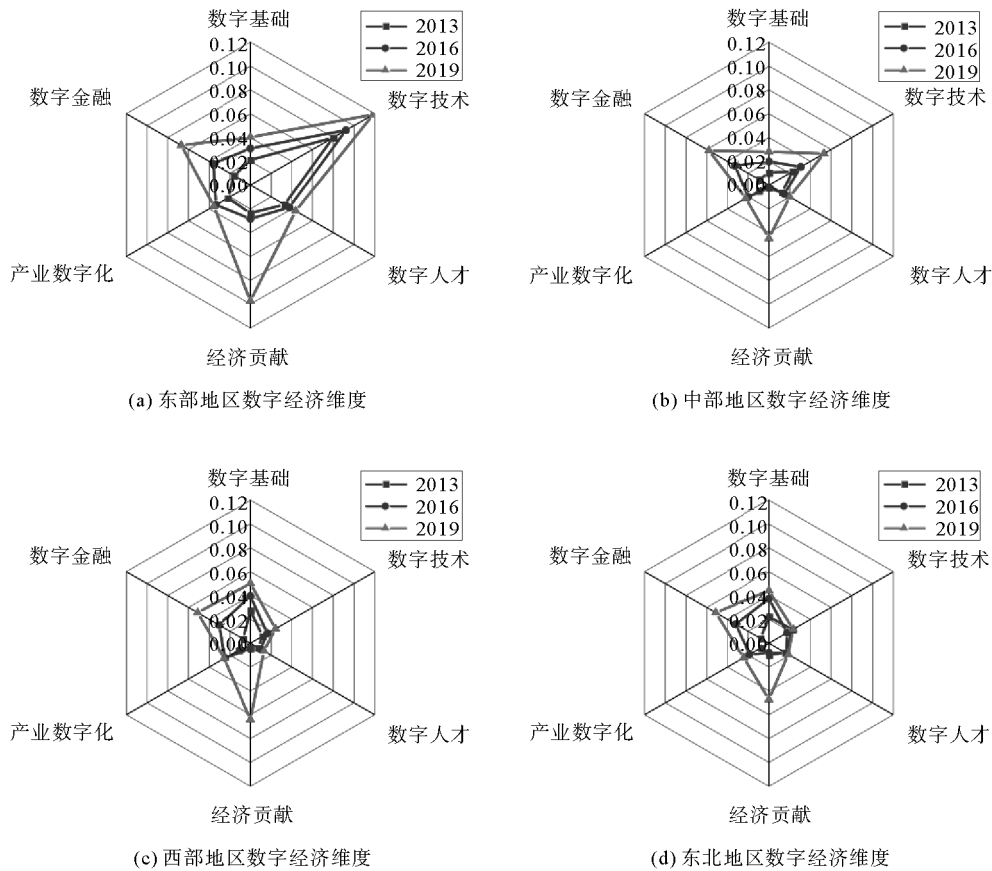


图1 中国四大区域数字经济的六大维度对比

### (三) 区域经济碳脱钩分析

鉴于碳脱钩是一个长期的过程,本文以中国五年发展规划作为经济发展阶段的判断标准,以五年作为时间跨度(2006—2010、2011—2015、2016—2020),并根据公式(4)计算出2013—2019年我国各地区经济碳脱钩水平的动态变化情况,结果如图2所示。由于中国GDP增速从2013年开始放缓,所以区域经济碳脱钩情况是由右往左进行变化。整体来看,我国区域经济碳脱钩水平处于弱脱钩水平,东部、中部、西部地区的经济碳脱钩演变状态存在相似性,东北地区则表现出“U”型发展的特

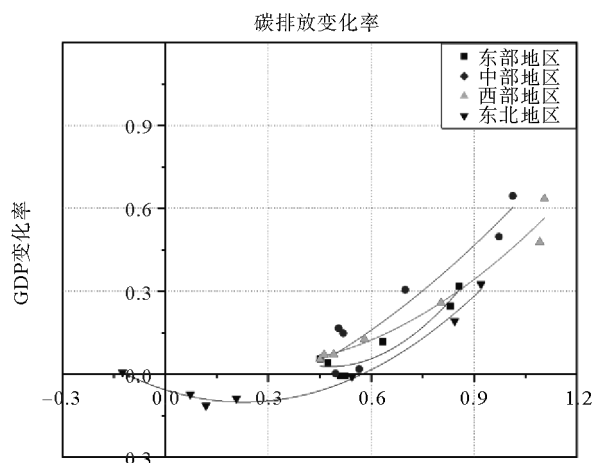


图2 中国四大区域经济碳脱钩状况变化图

征。

从图2中可以看出,东部、中部、西部地区的碳脱钩指数均在弱脱钩区间,且呈现出脱钩水平不断提高的趋势。其中,东部地区经济碳脱钩速度开始放缓,西部地区也开始呈现出将要放缓的态势,相反中部地区经济碳脱钩指数下降明显。主要原因是:东部地区经济发展速度放缓,低碳改革进入瓶颈期;西部地区随着大开发的逐步深入,高能耗产业比重不断上升;中部地区是原能源产业聚集地,由于我国近年来日益重视环境保护工作,成为最大受益地区。

此外,东北地区的碳脱钩指数呈现出“弱脱钩—强脱钩—强负脱钩”三阶段变化。主要是因为东北地区在“弱脱钩—强脱钩”阶段,积极进行产业结构优化,改革重工业,导致碳增长率下降明显。而后进入“强脱钩—强负脱钩”阶段,主要是由于东北地区没能实现替代产业的新突破,高能耗产业在占据重要地位的同时也在逐渐衰退,让东北地区陷入高污染和低效益的两难境遇。

#### (四) 区域经济碳脱钩检验

##### 1. 基准回归

数字经济与区域经济碳脱钩的线性回归结果如表4所示。在模型(1)中,核心解释变量数字经济(*dige*)的估计系数为负,表示数字经济能够降低碳强度,即促进区域经济碳脱钩,实证结果支持假设1。同时,在各控制变量中,城市化水平(*urban*)和产业结构高级化(*inds*)对碳脱钩起到显著促进的作用,表明城市化水平越高、产业结构越高级对于碳脱钩的促进作用越明显;能源消费总量(*enec*)与碳强度之间是显著正相关的关系,表明能源消费越多,碳脱钩就越困难,这与理论分析结果相一致;政府环保力度(*gove*)同样也对碳强度有着明显的抑制作用,说明政府对环保的支持力度越大,碳强度指标就越小,进而区域经济的碳脱钩水平也越高。

##### 2. 中介效应

前文从能源结构优化视角,理论分析了数字经济对区域经济碳脱钩的影响机制。为验证假设2、3,本文在模型(1)中,加入能源结构作为中介变量,验证能源结构在数字经济和经济碳脱钩之间的作用机制,回归结果如表5所示。在表5中,模型(2)是数字经济和能源结构的基准回归结果,可见数字经济发展对能源结构影响的估计系数显著为正,表示数字经济发展能够显著促进能源结构的优化,验证了假设2。最后,通过将中介变量能源结构放入模型(1)中,检验核心解释变量的显著性变化情况发现:在模型(3)中,数字经济对碳强度的影响系数较模型(1)有所下降,说明能源结构在数字经济和碳强度之间起到中介作用,且显著负向影响碳强度,即促进区域经济碳脱钩,该实证结果支持了假设3。

##### 3. 区域异质性分析

上述研究表明,数字经济可以显著促进区域经济碳脱钩。然而,由于不同地区的经济发展水平和生产资源要素不同,无论是数字经济发展程度还是区域经济碳脱钩水平,在地区分布上都会存在明显的异质性。因此,检验不同地区数字经济对区域经济碳脱钩的促进作用是否仍然成立?如果成立,那么不同地区数字经济对区域经济碳脱钩的促进作用是否存在差异?需要进一步探讨。

表4 基准回归结果

(1)	
变量	FE
<i>ln</i> <i>dige</i>	-0.240*** (0.0488)
<i>ln</i> <i>urban</i>	-2.572*** (0.575)
<i>ln</i> <i>inds</i>	-0.157* (0.0816)
<i>ln</i> <i>enec</i>	0.570*** (0.153)
<i>ln</i> <i>gove</i>	-0.125** (0.0489)
<i>Constant</i>	8.401*** (2.900)
<i>Observations</i>	210
<i>Number of bh</i>	30
<i>R-squared</i>	0.596
<i>Hausman</i>	13
<i>p-value</i>	0.0234

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%水平下显著,括号内为T值,下同。



表5 中介效应检验

	(1)	(2)	(3)
变量	ln <i>cari</i>	ln <i>enes</i>	ln <i>cari</i>
ln <i>dige</i>	-0.240*** (0.049)	0.104*** (0.022)	-0.186*** (0.051)
ln <i>urban</i>	-2.572*** (0.575)	0.140 (0.254)	-2.498*** (0.562)
ln <i>inds</i>	-0.157* (0.082)	0.113*** (0.036)	-0.098 (0.082)
ln <i>enec</i>	0.570*** (0.153)	-0.248*** (0.068)	0.440*** (0.155)
ln <i>gove</i>	-0.125** (0.049)	0.043** (0.022)	-0.102** (0.048)
ln <i>enes</i>			-0.525*** (0.167)
_cons	8.401*** (2.900)	1.315 (1.279)	9.092*** (2.838)
N	210	210	210
r <sup>2</sup>	0.596	0.564	0.617
r <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.517	0.480	0.540

表6 数字经济影响区域经济碳脱钩异质性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)
变量	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
ln <i>dige</i>	-0.210** (0.101)	-0.330*** (0.046)	-0.117* (0.091)	0.281 (0.266)
ln <i>urban</i>	-1.462** (1.162)	-4.995*** (1.482)	-3.559*** (1.288)	3.095 (2.011)
ln <i>inds</i>	-0.307* (0.191)	-0.195** (0.071)	-0.403** (0.163)	0.075 (0.217)
ln <i>enec</i>	0.134*** (0.271)	0.848*** (0.219)	0.789*** (0.260)	0.385 (0.435)
ln <i>gove</i>	0.012 (0.080)	-0.099* (0.051)	-0.324** (0.139)	0.156 (0.187)
_cons	8.054** (7.652)	20.650** (9.418)	8.010 (5.117)	-17.288* (8.677)
N	70	42	77	21
r <sup>2</sup>	0.604	0.960	0.570	0.340
r <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.503	0.947	0.464	-0.015

表6是数字经济影响区域经济碳脱钩异质性检验的结果。模型(1)、(2)、(3)的结果表明,东部地区、中部地区、西部地区的数字经济对区域经济碳脱钩均存在显著的促进作用。其中,在中部地区的促进作用最大,在东部地区的促进作用次之,在西部地区的促进作用最小。原因可能在于,中部地区的数字经济处于高速增长阶段,拉动经济快速增长,推动产业结构高速优化,进而有效促进区域经济碳脱钩;东部地区数字经济发展趋于成熟,经济增速开始放缓,产业的数字化升级也开始进入瓶颈期,因此,数字经济对东部地区经济碳脱钩的促进作用弱于中部地区;西部地区的数字经济还处于发展初期,无论是数字基础设施还是产业数字化程度都弱于东部和中部地区,因此,数字经济在西部地区的促进作用最小。模型(4)的结果表明,东北地区数字经济抑制区域经济碳脱钩,且该作用不显著。原因可能在于,一方面,东北地区过度依赖传统产业,导致碳强度指数居高不下;另一方面,没有顺应数字经济的发展浪潮,难以积极推动产业数字化升级,无法为传统产业注入新的活力。

#### 4. 稳健性检验

稳健性检验是为进一步检验数字经济对区域经济碳脱钩影响的稳定性,本文借鉴Zhu的做法,<sup>[31]</sup>先对回归模型的因变量(碳强度)进行替换分析,然后对核心解释变量(数字经济)进行替换分析,最后选取相应的工具变量检验模型的内生性问题。

(1)替换因变量。采用人均碳强度指标对碳强度指标进行替换,进而验证结论是否成立,实证结果如表7模型(1)所示,与前文结果相一致,说明结果是稳健的。

(2)替换核心解释变量。利用赵涛主成分分析法的测算结果与本文所采用的熵权法测算数字经济结果进行替换,<sup>[25]74</sup>回归分析结果如表7模型(2)所示,可以发现结果仍然成立,数字经济对碳强度呈现出显著的负向影响,即数字经济能够显著促进区域经济的碳脱钩水平。

(3)内生性检验。文章借鉴了黄群慧的方法,<sup>[32]</sup>选取各省市1984年每万人电话机数作为工具变量(由于重庆市于1997从四川省分离,以四川数据作为重庆数据)。主要是因为该变量同时满足工具变量选取的两个条件:一是内生解释变量相关性,电话通信是互联网通信的前身和基础,一个地区以前电话通信水平高,现在互联网通信水平也极可能高;二是变量排他性,有线电话通信渐渐退出历史舞台,无论是对于经济还是碳排放的影响都微乎其微,所以有线电话通信也不会对区域经济碳脱钩水平造成影响。考虑到工具变量为截面数据无法纳入模型进行分析,本文延续了Nunn等的做法,引入前一年(2012—2018年)互联网宽带接入用户数量构建交互项,<sup>[33]</sup>形成该年的数字经济工具变量。检验结果如表7模型(3)所示,可以看出,数字经济对碳脱钩的影响依然在1%的显著性水平下显著,证明了前文结果的稳健性。

表7 稳健性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	人均碳强度	主成分分析法	工具变量法
<i>lnDIGE</i>	-0.240*** (0.049)	-0.053*** (0.016)	-0.328*** (0.102)
<i>lnURBAN</i>	-3.572*** (0.575)	-3.315*** (0.597)	-0.330*** (0.0259)
<i>lnINDS</i>	-0.157* (0.082)	-0.241*** (0.078)	-0.694*** (0.145)
<i>lnENEC</i>	0.570*** (0.153)	0.571*** (0.165)	0.0233 (0.0761)
<i>lnGOVE</i>	-0.125** (0.049)	-0.132** (0.053)	0.00596 (0.118)
<i>_CONS</i>	5.664* (2.900)	12.912*** (2.818)	2.692*** (0.931)
<i>N</i>	210	182	210
<i>r<sup>2</sup></i>	0.638	0.483	0.441

## 五、结论与建议

本文基于2013—2019年中国30个省市数据,在分析各省市的经济碳脱钩动态演进的基础上,综合6大维度对中国各省市数字经济评价指标体系进行构建,采用构建基准回归模型、中介效应模型,实证检验数字经济对于区域经济碳脱钩的内在影响机制。通过深入研究,本文得出以下几点结论:第一,从经济碳脱钩上看,中国整体经济碳脱钩水平不断上升,东北地区存在较大碳脱钩阻力;第二,从数字经济指数得分上看,数字经济水平呈现出由沿海到西部逐级递减的特征,其中,东部地区在数字金融、数字技术方面具有较强优势,但就整体而言,我国在数字人才和产业数字化方面表现较弱;第三,从数字经济和碳脱钩的作用机制上看,数字经济的发展能够显著促进区域经济碳脱钩,同时能源结构这一中介因素的存在也得到了证明,表明数字经济和能源结构可以对区域经济碳脱钩形成推动合力。基于以上研究结论,本文提出以下几点政策建议。

首先,要重视东北地区的数字经济发展,促进东北地区产业数字化转型。东北地区是老重工业基地,现阶段面临着严重的环境和发展问题,同时东北也在全国经济碳脱钩中拥有重要的战略地位。推动东北地区产业数字化进程,利用数字经济的大势,加大互联网投资力度,在寻找新经济增长点的同时,推进低碳工程建设,这不仅有利于东北地区转型发展,也可以为今后其他区域工业转型提供借鉴。

其次,考虑到我国数字经济发展不平衡,数字人才、产业数字化水平较低的特点,应该适当引导东部地区数字技术向西部、东北地区流动,这有利于发挥数字技术的后发优势,防止数字技术在区域上的脱节。同时,数字人才储备是数字经济可持续发展的重要保障,因此,各区域要加大数字人才培养力度,积极推动数字技术在生产环境中的应用,提高产业的数字化水平,防止出现数字经济短板,全面提高区域数字经济发展水平。

最后,数字经济可以通过改善能源结构促进区域经济碳脱钩,因此,要加强数字经济和能源革命的进一步融合。一方面,通过数字智能技术优化能源结构,提高能源在消费环节的利用率;另一方面,通过大数据技术提高碳排放监测精度,结合政府政策完善碳交易平台,为我国碳减排事业寻找新的契机。

## 参考文献:

- [1] 王锋,冯根福.优化能源结构对实现中国碳强度目标的贡献潜力评估[J].中国工业经济,2011(4):127-137.
- [2] PALENCIA J C G, FURUBAYASHI T, NAKATA T. Analysis of CO<sub>2</sub> emissions reduction potential in secondary production and semi-fabrication of non-ferrous metals[J]. Energy policy, 2013, 52: 328-341.
- [3] 王平,刘致秀,朱帮助,等.能源结构优化对广东省碳强度目标的贡献潜力[J].中国人口·资源与环境,2013,23(4):49-54.
- [4] 张伟,朱启贵,高辉.产业结构升级、能源结构优化与产业体系低碳化发展[J].经济研究,2016,51(12):62-75.
- [5] 张希良,黄晓丹,张达,等.碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究[J].管理世界,2022,38(1):35-66.
- [6] 陈晓红,胡东滨,曹文治,等.数字技术助推我国能源行业碳中和目标实现的路径探析[J].中国科学院院刊,2021,36(9):1019-1029.
- [7] 邹彩霞,高媛.数字经济驱动低碳产业发展的机制与效应研究[J].贵州社会科学,2020(11):155-161.
- [8] SALAHUDDIN M, ALAM K. Internet usage, electricity consumption and economic growth in Australia: A time series evidence[J]. Telematics and informatics, 2015(4): 862-878.
- [9] LI X Y, LIU J, NI P J. The impact of the digital economy on CO<sub>2</sub> emissions: A theoretical and empirical analysis[J]. Sustainability, 2021(13).
- [10] 缪陆军,陈静,范天正,等.数字经济发展对碳排放的影响——基于278个地级市的面板数据分析[J].南方金融,2022(2):45-57.
- [11] 孔令英,董依婷,赵贤.数字经济发展对碳排放的影响——基于中介效应与门槛效应的检验[J].城市发展研究,2022,29(9):42-49+55.
- [12] 汪东芳,曹建华.互联网发展对中国全要素能源效率的影响及网络效应研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(1):86-95.
- [13] 唐文虎,陈星宇,钱瞳,等.面向智慧能源系统的数字孪生技术及其应用[J].中国工程科学,2020,22(4):74-85.
- [14] LANGE S, POHL J, SANTARIUS T. Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?[J]. Ecological economics, 2020, 176.
- [15] 樊轶侠,徐昊.中国数字经济发展能带来经济绿色化吗?——来自我国省际面板数据的经验证据[J].经济问题探索, 2021(9):15-29.
- [16] MARDONAKULOVICH B M, BULTURBAYEVICH M B. Economic growth: Quality and the digital economy[J]. Academia globe: Inderscience research, 2020(1):1-8.
- [17] 田秀娟,李睿.数字技术赋能实体经济转型发展——基于熊彼特内生增长理论的分析框架[J].管理世界,2022,38(5):56-74.
- [18] SALIMYANOVA I G, NOVIKOV A A, NOVIKOVA E V, et al. Economy digitalization: Information impact on market entities[J]. Journal of environmental treatment techniques, 2019(4): 654-658.
- [19] LI Y, YANG X D, RAN Q Y, et al. Energy structure, digital economy, and carbon emissions: Evidence from China[J]. Environmental science and pollution research, 2021(45): 64606-64629.
- [20] 康芸.加快传统产业企业数字化转型[J].宏观经济管理,2022(6):82-90.
- [21] LIU L, DING T, WANG H. Digital economy, technological innovation and green high-quality development of industry: A study case of China[J]. Sustainability, 2022(17).
- [22] MUNNINGS C, MORGENSTERN R D, WANG Z M, et al. Assessing the design of three carbon trading pilot programs in China[J]. Energy policy, 2016, 96: 688-699.
- [23] 孙睿. Tapio脱钩指数测算方法的改进及其应用[J].技术经济与管理研究,2014(8):7-11.
- [24] 王倩,高翠云.碳交易体系助力中国避免碳陷阱、促进碳脱钩的效应研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(9):16-23.
- [25] 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).
- [26] 孙步忠,范恒,黄士娟,等.基于趋优融合灰色熵权法的生态经济综合指数动态评价——以江西省为例[J].生态经济, 2017, 33(12): 77-82.
- [27] 钟晓青,吴浩梅,纪秀江,等.广州市能源消费与GDP及能源结构关系的实证研究[J].中国人口·资源与环境,2007(1): 135-138.

- [28] MUSAH M, KONG Y S, MENSAH I A, et al. The connection between urbanization and carbon emissions: A panel evidence from West Africa[J]. *Environment, development and sustainability: A multidisciplinary approach to the theory and practice of sustainable development*, 2021(8):11525-11552.
- [29] 苏方林, 黎文勇. 产业结构合理化、高级化对碳排放影响的实证研究——基于西南地区面板数据[J]. *西南民族大学学报(人文社科版)*, 2015, 36(11):114-119.
- [30] 王雪峰, 廖泽芳. 市场机制、政府干预与碳市场减排效应研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(8):9-17.
- [31] ZHU X W. Have carbon emissions been reduced due to the upgrading of industrial structure? Analysis of the mediating effect based on technological innovation[J]. *Environmental science and pollution research*, 2022(36):54890-54901.
- [32] 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.
- [33] NUNN N, QIAN N. US food aid and civil conflict[J]. *American economic review*, 2014(6):1630-1666.

## Carbon Emission Decoupling Effect in Regional Economy Under the Empowerment of Digital Economy: A Panel Data Analysis Based on Decoupling Theory

ZHAO Feng, SUN Yi

(College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** This paper adopts panel data of 30 provinces and municipalities in China from 2013 to 2019 to measure carbon emissions decoupling in regional economy using decoupling model, and empirically tests the effect and mechanism of digital economy on carbon emission decoupling in regional economy through panel measurement model and intermediary effect model. The results show that: (1) carbon emission decoupling in China's overall economy is rising, and there is large resistance against carbon emission decoupling in northeast regions; (2) the development of digital economy in China is gradually decreasing from the southeast coast to the western and northern regions; (3) digital economy can significantly promote carbon emission decoupling in regional economy, and energy structure optimization is an important mechanism for data economy to promote carbon emission decoupling. In the future, China should pay more attention to the development of digital economy in northeast regions and promote their digital transformation. In view of the unbalanced development of digital economy and the low level of digital talents and industrial digitization, we should direct the flow of digital technology from the eastern regions to the western and northeast regions, give full play to the potential advantages of digital technology, and prevent the disconnection of digital technology in the regions. Given that digital economy can contribute to carbon emission decoupling in regional economy by optimizing the energy structure, deeper integration of digital economy and energy revolution needs to be further strengthened.

**Key words:** digital economy; regional economy; carbon emission decoupling; intermediary effect

(责任编辑:魏 霄)