

# 数字经济对低碳经济发展的驱动效应研究

■ 胡颖 李倩男 新疆财经大学

**摘要:**低碳经济已经成为全球经济社会发展过程中关注的焦点。文章基于2013-2020年中国31个省域层面的面板数据,构建低碳经济发展水平及数字经济发展水平综合评价指标体系,对数字经济驱动低碳经济发展的经济效应进行检验。实证分析表明:数字经济对低碳经济发展具有显著的驱动效应;但数字经济对低碳经济发展的驱动效应呈现地区异质性差异。最后,文章提出应建立数字经济驱动低碳经济发展的配套机制以及推动低碳经济发展区域合作的相关对策。

**关键词:**低碳经济;数字经济;城市化率;熵权法

伴随全球工业化进程的加速,大量消耗能源化石所引起的气候灾变问题不容忽视,“绿色”低碳的经济社会发展模式应运而生。低碳经济的实质是以低能耗、低污染排放的经济形式实现经济、环境、社会发展的最大效益,而低碳经济得以发展的经济前提是产业结构的优化、能源领域的技术革新、工业污染的达标减排。在全球生态文明发展建设的大背景下,发展低碳经济也是中国经济高质量发展的迫切要求和战略选择。中国积极推动与践行低碳经济的发展,积极采取节能减排、降低工业有害物质排放、开发新能源等相关措施,为全球低碳经济事业的发展贡献一份力量。与此同时,伴随互联网、云计算、大数据等数字技术的深入应用,数字经济应运而生。疫情以来,数字技术被广泛使用,各行各业都开始了深度的数字化变革,数字经济正成为经济社会发展的新驱动力。促进数字经济与低碳经济发展的深度融合,助推低碳经济发展的技术革新,使中国低碳经济的发展走向高端数字化、智能化,是目前我国经济发展的重中之重。

## 一、文献综述

对于低碳经济发展指标体系构建层面,付加锋(2010)在研究探讨低碳经济概念的基础上,构建了以低碳产出、低碳消费、低碳资源、低碳政策和低碳

环境为维度的多层次区域低碳经济发展综合评价指标体系。庄贵阳等(2011)通过对低碳经济的概念分析,构建了以低碳产出、低碳消费、低碳资源和低碳政策为维度的评价指标体系。郑仕华(2013)从经济、社会、技术等几方面建立了我国省域低碳经济发展评价指标体系,并运用主成分分析和因子分析法对我国省域低碳经济发展水平进行了测算。对于低碳经济影响因素层面,学者们从多角度进行了探究。潘苏楠等(2019)以2008-2017年中国低碳经济发展作为实证分析对象,采用改进的熵值法,分析中国低碳经济可持续发展的关键制约因素,研究表明:能耗排放子系统成为中国低碳经济可持续发展的关键制约因素,能源消费弹性系数、煤炭消耗、恩格尔系数等,是中国低碳经济可持续发展的主要障碍因子。师帅等(2021)分析表明:在我国经济进入高质量发展时期,依然面临着“高碳”经济占主导地位、低碳经济制度有待完善等诸多挑战,需要促进低碳技术发展及提高能源利用率等方面的发展。牛宝春等(2022)基于1998-2019年中国30个省份的面板数据,通过基准模型估计、异质性分析以及空间面板模型的估计,系统考察了科技创新对低碳经济的影响,研究结果显示:科技创新会显著促进低碳经济的发展,降低能耗是科技创新影响低碳经济的重要机制。缪陆军等(2022)基于2011-2019年中国278个地级市面板数据,运用多种

[作者简介]胡颖(1973—),女,新疆财经大学国际经贸学院教授;研究方向:中国与欧亚国家经贸合作。李倩男(1996—),女,新疆财经大学国际经贸学院硕士;研究方向:中国与周边国家经贸合作。

计量模型系统探究数字经济发展对碳排放的影响及作用机制,研究表明:数字经济发展能够通过创新效率对碳排放产生间接影响,提高节能减排效率。

通过对现有文献的梳理发现,学者对低碳经济的研究比较丰富,但是研究多集中于科技水平、能耗等方面对低碳经济发展的影响与制约,少有研究数字经济与低碳经济发展之间的关系。鉴于此,本文的创新之处:其一,本文通过构建面板计量模型检验并分析数字经济对低碳经济发展的驱动效应。其二,以往文献中对低碳经济发展综合指标的测算多采用主成分分析法或因子分析法,主观性较强,本文采用熵权法(EWA)对低碳经济发展综合指标进行测算,利用客观赋权法,避免了人为因素带来的偏差,能够更好地解释所得的结果。

## 二、理论分析

数字经济的实质就是通过互联网、大数据及人工智能等实现经济发展过程中的技术革新。数字经济为经济社会的发展提供综合技术要素,因此本文将数字经济对低碳经济的驱动效应通过柯布-道格拉斯生产函数呈现:

$$Y = A * K^{\alpha} * L^{\beta} \quad (1)$$

其中,Y为低碳经济的总产值,A表示综合技术水平,K为资本要素投入,L为劳动要素投入。其中,数字经济可以实现低碳经济发展过程中的技术革新,提升低碳技术水平,为低碳经济发展注入新动能。此外,一国地区的经济发展水平也会影响低碳经济的发展水平,地区经济发展水平越高,越能够平衡在经济发展过程中出现的环境问题,更有能力解决发展过程中的碳排放、污染物排放等问题;地区的科技发展水平能够助力低碳技术的研发;合理的产业结构能够引导企业转型升级,实现经济高质量发展。

## 三、模型设定与变量选取

### (一)模型设定

基于上述理论分析,本文建立面板基准回归模型,实证分析数字经济发展水平对低碳经济发展的

驱动效应。考虑到不同量纲的数据波动较大,容易造成回归结果的不稳定性,本文对部分变量数据进行取对数处理,以解决异方差导致的模型估计有偏问题,基准模型设置如下:

$$lc\_economy_{it} = \alpha_0 + \beta_1 di\_economy_{it} + \beta_2 lur\_rate_{it} + \beta_3 \ln ap\_patent_{it} + \beta_4 \ln ti\_valueadded_{it} + \mu_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中:  $lc\_economy_{it}$  表示第  $i$  个省域第  $t$  年的低碳经济发展水平( $i$  和  $t$  的含义下同);  $di\_economy_{it}$  代表地区数字经济发展水平;  $lur\_rate_{it}$  代表地区经济发展水平;  $ap\_patent_{it}$  代表地区科技发展水平;  $ti\_valueadded_{it}$  代表地区产业结构。  $\alpha_0$  为截距项,  $\mu_i$  为省份固定效应,  $\sigma_t$  为时间固定效应,  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

### (二)指标构建

1. 低碳经济发展水平。低碳经济涉及领域较为广泛,不仅包含经济领域,更是对环境领域以及技术管理等领域的客观反映。目前,国内外学者并未对低碳经济发展水平评价指标体系给予统一的构建标准,文章结合已有的低碳经济理论研究成果及自身研究角度,从经济发展、环境发展、低碳技术三个方面测度低碳经济发展综合指标(见表1)。

第一,经济发展层面选取人均地区生产总值、城镇居民人均可支配收入作为二级指标,两个指标均为正向指标,表示该地区经济发展水平高低。第二,环境发展层面选取森林覆盖率、二氧化硫排放量作为衡量指标,其中森林覆盖率用于衡量低碳经济发展过程中自然生态的情况,为正向指标;二氧化硫排放量为逆向指标,用于衡量一国地区的污染物排放情况。第三,低碳技术层面选取生活垃圾无害化处理率、城市污水日处理能力作为衡量指标,两个二级指标均为正向指标,是对地区低碳技术水平的考量。

表1 省域低碳经济发展水平评价指标体系

	一级指标	二级指标	指标方向
低碳经济发展水平	经济发展	人均GDP(元)	正
		城镇居民人均可支配收入(元)	正
	环境发展	森林覆盖率(%)	正
		SO2排放量(万吨)	逆
	低碳技术	生活垃圾无害化处理率(%)	正
	城市污水日处理能力(万立方米)	正	

根据以上指标,本研究采用熵权法(EWA)构建低碳经济发展综合指标。步骤如下:

(1)数据标准化处理:

$$\text{正向指标 } X_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (3)$$

$$\text{负向指标 } X_{ij} = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (4)$$

(2)计算第*i*年第*j*项指标值的比重:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_i^m X_{ij}} \quad (5)$$

(3)计算指标信息熵:

$$e_j = -k \sum_i^m (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}) \quad (6)$$

(4)计算信息熵冗余度:

$$d_j = 1 - e_j \quad (7)$$

(5)计算指标权重:

$$W_{ij} = d_j / \sum_i^m d_j \quad (8)$$

(6)计算指标综合得分:

$$lc\_economy_{iu} = W_{ij} \times X_{ij} \quad (9)$$

其中,  $lc\_economy_{iu}$  表示低碳经济发展水平,该指数越高代表地区低碳经济发展水平越高。 $X_{ij}$  为第*i*个构成项的第*j*项指标的标准化值, $W_{ij}$  表示第*i*个构成项的第*j*项指标的权重, $m$ 为二级指标的要素个数。

2. 数字经济评价模型。首先,数字经济发展过程中,最直接的表现形式就是电子商务的发展,因此,电子商务发展水平是衡量数字经济发展水平的代表性指标。其次,电信通信发展水平是数字经济发展的基石,也是衡量数字经济发展的主要指标。最后,数字经济是以信息技术和产业为依托的新经济形态,是信息技术发展的必然产物,软件和信息技术行业的发展推动着数字经济的发展。文章结合已有的数字经济理论研究成果及自身创新点,从电子商务发展、电信通信发展、软件和信息技术行业发展三个层面测度数字经济发展水平综合指标(见表2)。

第一,选取每百人使用计算机数、每百家企业拥有网站数、有电子商务交易活动比重、电子商务销售额作为二级指标,衡量地区电子商务发展水平。

第二,选取互联网普及率、移动电话普及率作为二级指标,衡量地区电信通信发展水平。第三,选取信息技术服务收入、软件产品收入作为二级指标,衡量地区软件和信息技术行业发展水平。以上二级指标均为正向指标,指标值越大,对应的一级指标代表的发展水平越高。

表2 数字经济发展水平指标测度体系

	一级指标	二级指标	指标方向
数字经济发展水平	电子商务发展	每百人使用计算机数(台)	正
		每百家企业拥有网站数(个)	正
		有电子商务交易活动比重(%)	正
		电子商务销售额(亿元)	正
	电信通信发展	互联网普及率(%)	正
		移动电话普及率(部/百人)	正
	软件和信息技术行业发展	信息技术服务收入(万元)	正
		软件产品收入(万元)	正

根据以上指标,本文依然采用熵权法(EWA)测度数字经济发展水平综合指标,原理同上文所示步骤。经过熵权法测算,  $di\_economy_{iu}$  表示数字经济发展水平,该指数越高代表地区低碳经济发展水平越高。

3. 控制变量。基于上文理论分析,采用城市化率( $ur\_rate$ )表示地区经济发展水平,采用专利申请数( $ap\_patent$ )表示地区科技发展水平,采用第三产业增加值( $ti\_valueadded$ )衡量第三产业规模,反映地区产业结构。其中,城市化率为地区城镇人口(万人)与地区总人口(万人)的比值。

(三)数据来源

考虑数据的可获得性与完整性,本文选择中国31个省域作为研究对象(不包含中国港澳台地区),采用2013-2020年各省域的面板数据进行实证分析。文中的所有指标均来源于《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、国家统计局网站。所用变量的描述性统计如下表3所示。

表3 变量描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
lc_economy	248	0.342	0.134	0.0630	0.800
di_economy	248	0.197	0.152	0.0396	0.892
ur_rate	248	0.586	0.128	0.233	0.942
ap_patent	248	4.401	0.677	2.083	5.851
ti_valueadded	248	3.948	0.432	2.678	4.796

#### 四、实证结果分析

##### (一) 基准回归分析

本文依据(2)式对2013年-2020年我国31个省份进行回归分析,结果见表4。表4中的第(1)列为数字经济发展水平对低碳经济发展的回归结果,回归系数为正,且通过了1%的显著性水平检验,表明数字经济发展水平能够显著提升低碳经济的发展。在第(2)列中加入固定效应,回归结果显示数字经济指标显著为正,表明数字经济发展水平依旧

能够显著促进低碳经济的发展。第(3)(4)(5)列在固定效应回归的基础上,依次加入控制变量城市化率、科技发展水平、第三产业增加值,结果表明数字经济发展水平对低碳经济发展仍具有显著的正向驱动作用,其中城市化率、第三产业增加值的系数均显著为正,表明其对低碳经济发展均具有明显的驱动效应。

##### (二) 分样本回归结果

本文在核心指标构建过程中,虽然尽可能地控制综合评价指标体系,但是依然存在不可控的省域异质性的影响因素会干扰结果。同时,中国各省份

表4 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
di_economy	0.635*** (16.29)	0.231*** (13.82)	0.253*** (14.35)	0.251*** (13.97)	0.244*** (13.80)
ur_rate			0.168*** (3.30)	0.170*** (3.33)	0.114** (2.15)
ap_patent				0.006 (0.65)	0.007 (0.73)
ti_valueadded					0.118*** (3.19)
省份固定效应	否	是	是	是	是
时间固定效应	否	是	是	是	是
Observations	248	248	248	248	248
R-squared	0.519	0.994	0.994	0.994	0.994

注: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1, ( )内为系数标准误差。下同。

表5 分样本回归结果

变量	东部	东部	中部	中部	西部	西部
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
di_economy	0.213*** (9.58)	0.229*** (11.31)	0.165 (1.25)	0.091 (0.71)	0.161*** (3.11)	0.122* (2.00)
ur_rate		0.266*** (3.93)		0.162 (0.91)		0.271** (2.40)
ap_patent		-0.074*** (-3.33)		0.068*** (3.08)		0.105*** (2.89)
ti_valueadded		0.058 (0.71)		0.113* (1.78)		0.288*** (5.76)
省份固定效应	否	是	是	是	是	是
时间固定效应	否	是	是	是	是	是
Observations	88	88	80	80	80	80
R-squared	0.992	0.994	0.976	0.983	0.995	0.997

的低碳经济发展阶段也不相同,数字经济发展水平、发展潜力也存在较大差异,如北京、上海、广东等地区数字经济发展相对成熟,低碳经济发展阶段也相对较高,而中国西北等地区数字经济发展起步较晚,低碳经济发展也较为落后。不同地区的数字经济发展水平对低碳经济发展的影响力可能存在差异。因此,本文对中国31个省域进行了地区划分,分为东部地区、中部地区、西部地区三个子样本,回归结果见表5。

表5中,东部、中部、西部地区的第(1)列回归结果均为核心解释变量数字经济发展水平对低碳经济发展的回归结果,第(2)列回归结果均为核心解释变量以及全部控制变量对低碳经济发展的回归结果。东部地区回归结果显示,加入控制变量前后,数字经济发展指标系数均为正,且都通过了1%的显著性水平检验,表明东部地区数字经济发展水平对低碳经济发展起到了显著的驱动作用。中部地区加入控制变量前后的两次回归中,数字经济发展水平的回归系数均不显著,说明中部地区的数字经济发展水平未对该地区的低碳经济发展产生较大影响。西部地区在只有核心解释变量的回归结果中,数字经济发展指标通过了1%的显著性水平检验,表明西部地区数字经济发展水平对低碳经济发展具有明显的驱动作用;加入控制变量后,数字经济发展水平回归系数仅通过10%的显著性水平检验,驱动效果降低,但依然具有促进效应。

以上分析的原因可能有两个:第一,根据上文利用熵权法测算的各地区低碳经济发展综合指标可知,中国相对高碳区多集中于中部地区。中部地区中,安徽、吉林、广西、河南、山西等省份重工业比重较大,能源结构主要以煤炭为主,能源消耗量巨大且综合利用效率低,相对于其他地区而言污染物排放量较高,短时间内中部地区这种能源消耗局面并不会得到较大转变。故出现中部地区数字经济发展水平对地区低碳经济发展驱动效应不显著的结果。第二,西部地区虽然数字经济发展水平不高,低碳经济发展也起步较晚,但是西部地区拥有较为丰富的低碳资源,如森林覆盖率、太阳能发电、风力发电等,低碳经济发展相关指标年均增长率较高。在中国经济高质量发展阶段,西部地区的能源优势

逐步显现,拥有较大的发展潜力。

(三)稳健性检验

为了避免回归结果的偏差性,本文进行稳健性检验和内生性检验。表6中的第(1)列为核心解释变量数字经济发展指标的滞后项与低碳经济发展指标滞后项的回归结果,结果显示,数字经济发展指标滞后项系数显著为正,表明数字经济发展水平对低碳经济发展具有显著的驱动效应,与全样本分析结果一致。第(2)列为加入固定效应的各指标滞后项回归,结果依然与全样本分析一致。第(3)列为替换变量的回归结果,将全样本回归中的控制变量科技发展水平,替换成地区生产总值(GDP),也得出了与全样本回归相同的结论:数字经济发展水平可以有效驱动低碳经济的发展。以上结果均证明了本文实证结果的稳健性。

表6 稳健性检验与内生性检验

变量	(1)	(2)	(3)
di_economy	0.646*** (14.49)	0.222*** (12.27)	0.222*** (11.57)
ur_rate			0.107* (1.91)
GDP			0.014 (0.47)
ti_valueadded			0.118** (2.02)
省份固定效应	否	是	是
时间固定效应	否	是	是
Observations	217	217	217
R-squared	0.494	0.994	0.995

五、研究结果和建议

本文基于2013-2020年中国31个省域层面的面板数据,构建低碳经济发展水平及数字经济发展水平综合指标体系,采用固定效应回归模型对数字经济驱动低碳经济发展的经济效应进行检验。研究结果表明:第一,数字经济发展水平对中国各省域低碳经济发展的驱动效应较为显著。第二,首先,东部和西部地区的数字经济发展水平能够显著促

进其低碳经济的发展,但西部地区的驱动效应不如东部地区明显;其次,中部地区的数字经济发展水平对低碳经济发展不存在驱动效应。该结果可能是地区低碳经济发展阶段与数字经济发展潜力不同所致。根据以上研究结论,本文的政策建议如下:

(一)建立数字经济驱动低碳经济发展的配套机制。发展低碳经济,技术创新是核心,数字经济的发展可以为低碳经济注入技术创新活力。我国现发展阶段,能源消耗是必然选择,走低碳经济发展道路就必须提升企业生产过程中的能源综合利用效率,降低工业生产过程中的污染物排放,而这些都是与低碳技术密切相关的。因此,应结合低碳经济发展过程中的特点和需求,加大对数字经济发展过程中有关低碳技术的研发投入,提高能源综合利用效率,优化低碳经济发展的综合环境。

(二)推动低碳经济发展区域合作。中部地区低碳经济发展水平较低,而西部地区的数字经济发展水平也相对落后,在推进各地区经济全面发展过程中,除了资金支持,更应该鼓励相关产业的龙头企业搭建合作交流平台,同时鼓励有能力的企业到中、西部地区建设合作园区,并对该类企业进行一定年限的放宽政策支持,优化制度环境,带动中、西部地区产业的低碳技术革新,推动中部地区工业转型升级,实现产业经济发展的低碳化、智能化。▲

## 注释:

- ①国家统计局网站: <http://www.stats.gov.cn/>。
- ②东部地区包括:北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南。
- ③中部地区包括:山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南、广西。
- ④西部地区包括:重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

## 参考文献:

- [1]付加锋,庄贵阳,高庆先.低碳经济的概念辨识及评价指标体系构建[J].中国人口·资源与环境,2010(8):38-43.

- [2]庄贵阳,潘家华,朱守先.低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建[J].经济学动态,2011(1):132-136.
- [3]郑仕华.省域低碳经济发展评价指标体系构建及实证研究[J].城市问题,2013(11):61-66.
- [4]潘苏楠,李北伟,聂洪光.中国经济低碳转型可持续发展综合评价及障碍因素分析[J].经济问题探索,2019(6):165-173.
- [5]师帅,臧发霞,池佳.新时期我国低碳经济发展面临的机遇与挑战[J].理论探讨,2021(2):115-119.
- [6]牛宝春,崔光莲,张喜玲.科技创新对低碳经济的影响研究——基于省际面板数据的实证分析[J].技术经济与管理研究,2022(1):43-48.
- [7]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.
- [8]地级市的面板数据分析[J/OL].南方金融:1-14[2022-03-22].
- [9]刘鹏程,刘杰.信息化影响城市环境污染的机制与效应研究[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2020(2):27-34.
- [10]王锋正,刘向龙,张蕾,程文超.数字化促进了资源型企业绿色技术创新吗?[J].科学学研究,2022(2):332-344.
- [11]李强,董安然.长江经济带经济增长质量提升的环境效应研究[J].东北农业大学学报(社会科学版),2021(4):47-57.
- [12]郭彩霞.中国低碳经济发展的协同效应研究[J].管理世界,2021(8):105-117.
- [13]王树文,王京诚.城市生活垃圾与经济增长的非线性关系——基于环境库兹涅茨曲线的实证分析[J].中国人口·资源与环境,2022,32(2):63-70.
- [14]江三良,刘涵.技术进步对中国区域环境质量的影响研究——基于污染排放的视角[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2017(1):5-11.
- [15]解春艳,丰景春,张可.互联网技术进步对区域环境质量的影响及空间效应[J].科技进步与对策,2017(12):35-42.
- [16]董静,黄卫平.低碳经济:我国“绿色”发展的必由之路[J].现代管理科学,2017(11):15-17.
- [17]刘娟.促进低碳经济发展的公共政策研究——评《我国扶持低碳经济发展的公共政策整合问题研究》[J].当代财经,2020(6):2+149.
- [18]白璐,赵增锋.低碳经济发展评价指标体系构建及实证研究——以京津冀地区为例[J].江苏农业科学,2015(10):561-564.