

数字经济对碳排放的影响研究

——以三大城市群为例

王可可

西南民族大学经济学院，四川 成都

收稿日期：2023年5月22日；录用日期：2023年7月4日；发布日期：2023年7月13日

摘要

温室气体的排放是引致世界气候恶化的的主要原因，同时也是各国亟待解决的重要问题之一。本文基于三大城市群2011~2019年的地市级数据，以数字经济发展为主要核心解释变量，对比考察分析数字经济对碳排放的影响效应。结果表明：数字经济发展与碳排放之间存在倒U型的影响效应，这种效应在不同的城市或存在屏蔽效应或遮掩效应；人口的聚集和城镇化的增高会促进二氧化碳的排放，这在发达城市中尤为明显；产业结构的高级化和合理化对抑制碳排放有着不同作用效果，本文认为与城市群的产业职能有关。

关键词

数字经济，碳排放，城市群，空间计量

Research on the Impact of Digital Economy on Carbon Emissions

—Taking the Three Major Urban Agglomerations as an Example

Keke Wang

School of Economics, Southwest Minzu University, Chengdu Sichuan

Received: May 22nd, 2023; accepted: Jul. 4th, 2023; published: Jul. 13th, 2023

Abstract

The emission of greenhouse gases is the main cause of global climate degradation, and it is also one of the important issues that countries urgently need to solve. This article is based on prefecture level data from three major urban agglomerations from 2011 to 2019, with the development

of the digital economy as the main core explanatory variable, to compare and analyze the impact of the digital economy on carbon emissions. The results indicate that there is an inverted U impact effect between the development of the digital economy and carbon emissions, which may have shielding or masking effects in different cities; the aggregation of population and the increase in urbanization will promote carbon dioxide emissions, which is particularly evident in developed cities; the advancement and rationalization of industrial structure have different effects on suppressing carbon emissions in different urban agglomerations, and this article believes that it is related to the industrial functions of urban agglomerations.

Keywords

Digital Economy, Carbon Emissions, Urban Agglomeration, Spatial Measurement

Copyright © 2023 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

二氧化碳的巨量排放是导致世界气候变暖和环境恶化的最重要原因之一，同时也是阻碍社会经济绿色循环发展的重要原因之一。我国作为能源生产和能源消费第一大国来说，部分地区的经济发展仍然主要依靠较为粗放的能源发展方式带动起来。从国家统计局的数据来看，我国清洁能源消费占能源消费的比重从 2017 年的 20.5% 到 2021 年的 25.5% 是稳步上升的¹，然而非清洁能源依旧占据着大比重。二氧化碳的巨量排放使得我国经济发展受限，为改善现状，2020 年我国在联合国大会上提出实现“双碳”目标，最终实现人与自然环境的和谐共生。那么在现代化社会中，如何做到有效减排的同时又能促进我国经济的稳步健康发展呢？我国数字经济发展速度快，且近几年我国数字经济发展规模全球领先。数字经济的飞速发展给经济带来了强大的推动力，可以说是萎靡大环境中的“星星之火”，本文考虑这是否能成为发展绿色经济的一大利器？同时考虑是否具有空间溢出效应？另一方面，随着经济学的发展和完善，基于城市群的理论也逐渐成立起来。1933 年，德国地理学家弗里德曼(Friedmann)提出的“经济增长引起的空间演化”和“支配的空间经济的首位城市”的增长极理论对城市群的形成和发展有着重要的指导意义，德国地理学家克里斯泰勒² (W. Christaller)在 1993 年提出的“中心地理学说”理论给接续的城市群的发展和实践产生了深远的影响。研究主要城市群的现状能够很大程度上反映研究阶段期内我国经济的发展状况以及相应的发展问题。

2. 文献综述

自“双碳”目标提出以后，各学者从不同角度提出减少碳排放的建议，实证验证不同变量对碳排放的影响程度。其中，Boletti V 等学者认为科技创新能够有效减少碳排放，新清洁能源的替代效应尤为明显[1]。金培振等人却认为在工业领域的科技创新带来的减排效应低于经济增长带来的二氧化碳的增长，并分析了在不同行业的减排效应不同[2]。徐佳等学者从 A 股上市公司中专利申请数据论证低碳城市的试点政策能够倒逼企业进行绿色技术创新，从而更有效的推动减排政策的落实与对行业政策的制定[3]。也

¹ 数据来源：国家统计局推送的《锚定高质量发展之路勇毅前行》，内容详见

https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MjM5Njg5MjAwMg==&mid=2651504539&idx=1&sn=4fe1db0c787b70e82a2a35a49f907058&scene=0。

² 数据来源：1933 年出版的《德国南部的中心地》一书，其开创了中心地理论。内容详见 <https://baike.baidu.com/item/克里斯泰勒中心地理论/12520097?fr=aladdin#reference-1-11867788-wrap>。

有大量学者探讨产业结构的变化对碳减排的影响大小。周迪从全国层面考虑二者的耦合度，认为我国省市级的耦合程度较低，失调和低水平是我国目前的现状，且存在时空格局的差距[4]。刘志华等认为我国东部地区的科技创新、产业结构升级与碳排放之间的互动关系基本实现了良性互动，中部次之，西部均未形成[5]。从全国范围来看，不同地区有不同的产业结构水平，这种差距也导致了不同的碳排放效率。另有学者从三次产业角度分析认为第二、三产业的比重与碳排放分别存在着负相关[6]、正相关[7]的关系。

与此同时，近几年数字经济的发展，让许多学者转向了对关于数字经济发展与碳排放的实证分析。谬陆军等学者考察全国地级市的样本，认为数字经济对碳排放具有非线性的倒U型关系，同时具有溢出效应[8]。徐维祥等认为数字经济发展具有空间异质性，但都对城市碳减排有着显著的作用[9]。谢云飞以省级面板数据论证了数字经济对区域碳排放有着显著的影响[10]。Li & Wang [11]的研究发现，数字经济对碳排放的抑制效用从长期看更加显著，且西部的经济发展会促进碳排放的效率，增加碳排放。其中也不乏有对国家和区域层面的城镇化发展水平对碳排放的影响，其中数字经济作为新的经济发展业态，对凝聚城市活力和吸引力发挥了关键的作用，提升城镇化水平的一方面，也增加了摊牌放的产生。这其中 York [12]、Cole [13] 和 Sadorsky [14] 等。

尽管目前关于数字经济对碳排放的影响研究已有不少，但主要集中在省级或者地市级的全国性数据，对于城市群的分析研究以及对比较少。且大量学者研究集中在数据易收集核算的省级面板。另一方面，随着城市群逐渐成为经济强劲发展的主力军，对于城市群内来说，各城市的数字经济发展与碳排放是线性还是非线性的关系？城市群内部的空间溢出效应如何？本文可能的边际贡献在于为城市群的碳减排提供一些方法和证据，并检验分析碳减排在不同城市群表现的共性和特性。

3. 理论机制及研究假设

3.1. 数字经济对碳减排的非线性影响

数字经济的蓬勃发展对全社会造成了深刻的影响。国务院印发《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》以及十三届全国人大四次会议《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中提出减少能源消耗，降低碳排放[15]和推动我国绿色经济的可持续发展[16]。数字经济发展主要是在应用大数据、云计算、物联网等技术层面进行，通过识别和筛选以此选择最优化的高质量经济发展模式。然而，改变生产发展方式需要一定的时间和成本，在转型期间企业仍然需要部分维持原有的生产和销售模式。首先，大多数企业会选择加大产品存货以及在更新期间加大产品的生产，以此来应对“空档期”。其次，随着数字化逐步完善，能源行业或通过更有效率的生产方式，加速对资源环境的破坏与废弃物的产生。最后，当地方或企业数字化达到一定水平时，通过大数据、云计算等分析，按照社会需求生产和销售，以此逐步降低污染物的产生，减少碳排放。这使得数字经济发展对碳排放呈现出先上升后下降的趋势影响。基于上述分析，本文提出如下假设 H1：

H1：数字经济与碳排放两者之间存在非线性的倒 U 型关系。

3.2. 数字经济发展对周边城市具有溢出效应

一方面，数字经济作为一种新的经济发展形式，背负的使命必然是促进经济的高质量发展。贸易与劳务的往来一方面促进两地或多地区资源的合理配置，另一方面在经济市场中能确定并发挥当地的优势产业形成强有力的吸引力和竞争力，与此同时互相借鉴弥补短板。另外，数字经济包含产业数字化和数字产业化。其中产业数字化是将传统产业链条赋能，转型优化生产发展方式；数字产业化是培育壮大人工智能、区块链、云计算等新兴产业。企业实现与数字经济的融合，让产业结构发生改变的同时，让数字经济落到实处，提升产业效率。基于上述分析，本文提出如下假设 H2：

H2: 数字经济通过扩大本区域的影响进而对周边区域有溢出效应。

3.3. 数字经济发展对产业结构的影响

从高级化角度来说。数字经济发展影响较大的是第二、三次产业结构的占比，即数字经济发展层次越深，第三产业的比重则会逐步扩大，第二产业的比重则会逐步缩小。据俞伯阳等学者的研究发现，总体来看数字经济发展下的人力资本红利有助于推动产业结构高级化进程。特别是对东部地区来说，数据要素的冲击对产业结构高级化呈现出积极影响[17]。从合理化角度来说。1) 横向结构。在社会经济发展遭受不可预期的冲击时淘汰了一批老旧型等竞争力弱的企业。各产业的生产发展供给要满足全社会的需求，优化存在的产能过剩问题。2) 纵向结构。产业园区的发展极大促进了产业的规模效应，除降低运输成本，研发成本和使用便利的配套基础设施外，更能组成技术关联，形成完整的产业链。孙焱林等学者在考察我国地级市的产业结构中发现，技术关联能够促进产业结构的合理化，并且呈现出正向的相关关系[18]。基于上述分析，本文提出如下假设：

H3: 数字经济对产业结构高级化有着促进作用，但对产业合理化的影响不显著。

4. 模型设计、变量选择与数据来源

4.1. 模型设定

为考察数字经济对碳排放的效应，采用 2011 年~2019 年间，京津冀地区、长三角地区和成渝地区的地级市面板数据进行实证分析。具体模型如下：

$$\ln co2_{it} = \alpha + \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} \ln co2_{jt} + \beta X_{it} + \gamma \sum_{j=1}^N W_{ij} X_{jt} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

模型中： i 代表各地市级， t 代表年份，被解释变量 $\ln co2_{it}$ 为各地级市的碳排放量，代表各地区的碳排放污染程度。 $digie$ 表示核心解释变量：数字经济发展程度， $digie^2$ 为平方项。 $Control$ 代表控制变量。 X 代表核心解释变量以及其他控制变量，包括数字经济发展、人口规模、城镇化率、环境规制、经济发展程度和对外开放水平。 α 为常数项。 W_{ij} 为空间权重矩阵，在本文中分别为基于经纬度的空间地理距离矩阵(W1)、基于 GDP 和经纬度的空间经济地理嵌套矩阵(W2)，其中 W2 为参考林光平等(2005)的做法，同时考虑了地理因素和经济因素的影响，具体使用地区间人均 GDP 的差额作为测度地区间“经济距离”的指标，引入经济空间权重矩阵， ρ 和 γ 代表空间权重矩阵的系数。 α_0 、 α_1 、 α_2 、 β 为各变量的系数，代表各变量对碳排放的影响程度。 μ_i 、 ν_t 、 ε_{it} 地区固定效应、时间固定效应以及随机扰动项。

4.2. 变量说明

被解释变量：二氧化碳排放量($\ln co2_{it}$)。为得到较为准确的地市级的碳排放量，本文参考 Chen 等学者的研究方法，采用粒子群优化反向传播(PSO-BP)算法统一 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 卫星图像的尺度，进而估算县级的碳排放量[19]，加总得到地市级的碳排放量，取对数处理。

核心解释变量：数字经济发展($digie$)。数字经济发展是近年来我国经济新的强劲增长点。围绕着数字经济的核算也很多，缺乏统一的标准和要求。本文参考黄慧群[20]与赵涛[21]等学者的做法，采用主成分分析法，对电信业务收入(万元)，信息传输计算机服务和软件业人数，互联网宽带接入用户数(万户)，移动电话用户数(万人)，普惠金融指数进行核算。

控制变量：为全面分析数字经济发展对碳排放的影响，增添其对可能产生影响的其他变量，具体有：产业结构高级化($indus_h$)，本文采用第三产业产值与第二产业产值之比作为产业结构高级化的度量。产业结构合理化($indus_re$)，借鉴于春晖等[22]的做法，对泰尔指数重新定义，若泰尔指数结果不为 0 则表

示产业结构偏离均衡状态。环境规制(*er*)，借鉴叶琴等学者的研究，计算废水、烟尘、 SO_2 三类污染物，并通过进行线形标准化，使用调整系数等进行核算[23]。经济发展程度($\ln gdp$)，用当地GDP的对数来表示。外商投资水平(*fdi*)，选用当地实际使用的外资金额，所得结果与当年的GDP的比值；人口规模($\ln potion$)，用常住人口的对数来表示；城镇化率(*roc*)，用城镇人口与常住总人口的比值来确定。

4.3. 数据来源与描述性统计

本文选择2011年~2019年三个城市群地区地级市数据。数字普惠金融指数来自北大数字金融研究中心，其余数据均来自《中国城市统计年鉴》以及各地市的统计年鉴和报表³。变量描述性统计如表1所示。

Table 1. Descriptive statistics of variables-Yangtze River Delta region

表1. 变量描述性统计 - 长三角地区

变量名	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
<i>lnco2</i>	243	3.530	0.795	1.758	5.424
<i>digie</i>	243	0.0212	0.0322	0.00142	0.305
<i>sqdigie</i>	243	0.127	0.0716	0.0377	0.552
<i>lnpotion</i>	243	6.073	0.612	4.301	7.293
<i>lngdp</i>	243	17.38	0.922	15.13	19.76
<i>indus_re</i>	243	0.178	0.178	0.00051	0.560
<i>indus_h</i>	243	6.775	6.775	5.995	7.488
<i>er</i>	243	0.0727	0.100	0.000698	0.657
<i>roc</i>	243	64.79	10.25	38.10	89.60
<i>fdi</i>	243	0.0313	0.0284	0.00198	0.367

在进行空间模型估计之前，以基于距离的空间权重矩阵(W1)为例，对普通最小二乘法结果的残差进行LM检验，其结果如表2所示。LM检验结果整体显著，在接下来进行LR检验以及WALD检验中均拒绝原假设，即空间杜宾模型不能退化为空间误差模型或空间滞后模型。随后在进行固定效应与随机效应的Hausman检验中结果显著拒绝原假设，故采用固定效应模型。最后分别进行时间固定、个体固定与双固定效应比较，LR检验中均拒绝原假设，故采用双固定效应的空间杜宾模型。

Table 2. Spatial correlation testing by region

表2. 各地区空间相关性检验

地区	Test	P-value
成渝地区	莫兰指数	0.000*** (42.439)
	LMerr 稳健检验	0.001*** (10.153)
	LMlag 稳健检验	0.056* (3.659)
京津冀地区	莫兰指数	0.000*** (26.549)
	LMerr 稳健检验	0.421 (0.649)
	LMlag 稳健检验	0.000*** (25.424)

³ 数据来源：根据2011~2019年《中国统计年鉴》和各地级市统计年鉴和报表整理而得。数字普惠金融数据来自<https://idp.pku.edu.cn/zsbz/515313.htm>。

Continued

长三角地区	莫兰指数	0.000*** (47.281)
	LMerr 稳健检验	0.000*** (24.980)
	LMlag 稳健检验	0.000*** (27.747)

注：1) ***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著；2) ()内为 t 值。

5. 实证回归模型分析

根据上述检验结果，采用空间杜宾模型对三大城市群进行回归，具体结果和解析见下述内容。

5.1. 成渝地区空间回归解析

成渝地区在两个空间权重矩阵下的回归结果如表 3 所示。在表 3 中，数字经济的平方项在各效应中至少在 10% 水平上显著，且一次项显著为正，说明成渝地区的数字经济发展与碳排放之间确实存在先促进后抑制的倒 U 关系，验证了本文提出的假设 H1, H2。

对于产业结构的高级化和合理化来讲，在地理距离权重矩阵(W1)下并不显著，本文认为主要原因是基于地理距离的权重矩阵并不完全符合现实的经济发展状况事实：成渝地区产业并非集中分布，以地理距离为基准的权重矩阵很难衡量产业对本市以及邻近地级市碳排放的影响，也就导致对碳排放不具有明显的作用。而在经济地理嵌套权重矩阵(W2)下皆通过了至少 10% 显著性检验，且符号为负，说明在促进碳减排的过程中，产业结构高级化起到了显著的抑制作用。但成渝地区合理化泰尔指数偏高意味地区内产业结构优化不理想，这反而具有明显的抑制效应，即较合理的产业结构却不能显著地抑制碳排放。本文认为主要原因四川盆地面积达 26 万平方千米，广阔的地理区域给当地带来丰富资源的同时也使得产业很难集中发展，加上多丘陵的山地地形，导致城市各自发展产业注重经济发展而忽视环境保护，促进了二氧化碳的产生和排放，

从 W2 权重矩阵下的回归结果来看，成渝地区的数字经济发展空间溢出效应显著性并不高，这也体现出成渝地区作为西部经济实力强区的不足。其原因是多方面的，一方面，成渝地区聚集在四川盆地，周围山地丘陵的包围使得在建设数字经济基础设施时带来了一定的困难，减缓了数字经济的发展速度，如达州市和雅安市；另一方面，旅游和食品产业集中在成都市、重庆市和乐山市等，工业区集中在绵阳市、德阳市和自贡市等，这使得四川盆地有明显的地级市职能划分，让城市之间的沟通合作信息不对称，也就使数字经济在不同城市的扩散效应减弱甚至不明显。

对其他控制变量来看，环境规制的作用并不显著，一定程度上说明成渝地区的碳排放或者环境保护的政策措施强度较弱。外商投资显著的溢出效应主要由成渝地区在引入外资时的技术溢出效应占据主导，而外商投资的直接效应符号为正(即使不显著)，我们认为是引入外商投资的规模效应和结构效应导致，即外商投资对地区的生产力或技术进步产生正向影响，但也加剧了地区的资源消耗，由此对碳排放产生了一负一正的作用效果，即不同大小的规模效应、结构效应和技术效应。

Table 3. Regression results in the Chengdu Chongqing region

表 3. 成渝地区空间回归结果

变量名	W1			W2		
	Direct	Indirect	Total	Direct	Indirect	Total
sqdigie 2	-3.690*	-20.12***	-23.81***	-9.012***	-14.13*	-23.14***
	(1.913)	(5.824)	(6.102)	(1.901)	(7.480)	(7.711)

Continued

	0.645*	3.896***	4.541***	1.650***	1.351	3.001*
<i>digie_2</i>	(0.391)	(1.159)	(1.182)	(0.380)	(1.617)	(1.637)
<i>Inpoton</i>	-0.250***	0.265	0.0144	-0.0368	0.695*	0.659*
<i>ln_gdp</i>	(0.0774)	(0.263)	(0.293)	(0.0709)	(0.355)	(0.368)
<i>ln_gdp</i>	0.0358	0.0312	0.0670	-0.0110	-0.0654	-0.0764
<i>indus_re</i>	(0.0360)	(0.118)	(0.117)	(0.0404)	(0.140)	(0.149)
<i>indus_re</i>	0.00885	-0.110	-0.101	-0.0587*	-0.223**	-0.281**
<i>indus_re</i>	(0.0255)	(0.0874)	(0.0976)	(0.0325)	(0.107)	(0.127)
<i>indus_h</i>	-0.0407	-0.0417	-0.0824	-0.196***	-0.532**	-0.727***
<i>indus_h</i>	(0.0422)	(0.125)	(0.129)	(0.0567)	(0.210)	(0.234)
<i>er</i>	0.000863	-0.00839	-0.00753	0.000275	0.00636	0.00664
<i>er</i>	(0.00121)	(0.00863)	(0.00802)	(0.00117)	(0.00447)	(0.00481)
<i>roc</i>	-0.0258***	0.0357**	0.00989	-0.0262***	0.0238	-0.00238
<i>roc</i>	(0.00611)	(0.0180)	(0.0180)	(0.00697)	(0.0240)	(0.0224)
<i>fdi</i>	0.0410	-0.492***	-0.451***	0.0610	-0.386*	-0.325
<i>fdi</i>	(0.0380)	(0.134)	(0.143)	(0.0455)	(0.209)	(0.235)
<i>Obs</i>	117	117	117	117	117	117

注：1) ()内为所对应的 Z 值，下同；2) ***、**、* 分别代表在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

5.2. 京津冀地区空间回归解析

京津冀地区的回归结果如表 4 所示。表 4 中，在地理距离权重矩阵(W1)和经济距离矩阵(W2)中数字经济二次项系数与一次项的直接效用和总体效用系数均在 1% 水平上显著，在符号上为一负一正，说明数字经济的发展对于京津冀地区存在着先促进后抑制的非线性关系，验证了本文的假设。从溢出效应来看，地理距离权重矩阵下的溢出效应至少在 10% 水平上显著，经济距离嵌套权重矩阵下则在 1% 水平上显著，验证本文数字经济发展具有显著溢出效应的假设。

我们发现产业结构并没有起到明显作用。合理化指标不显著，高级化反而促进了碳排放。究其原因，我们认为主要原因有两方面。一方面，从描述性统计来看，京津冀地区产业高级化水平核算结果最高，先天具有技术、资金和人才优势，这让本地区的数字经济发展开始就有较高的起点和速度，而为打造成为发挥产业职能在全国引领作用和示范作用的首都经济圈，需要不断加大对生产要素的投入来突破技术瓶颈，但随着边际报酬递减规律的作用，投入产出比相对较小，而产生的资源消耗较大，确实有可能造成碳排放的小幅上升；另外，我们在对京津冀地区产业结构优化与碳排放的关系中认为京津冀三地的产业结构高级化水平对不同地区的碳排放影响存在差异，而本文将北京市、天津市两个特大城市和河北省部分地级市集中分析，可能对整个地区的估算有偏差。

值得注意的是，从 W2 权重矩阵下的回归结果来看，京津冀地区的经济发展并非是以牺牲蓝天白云为代价。经济发展程度控制变量的符号为负，且在 1% 水平上显著，这表明京津冀地区经济发展对碳排放具有显著的抑制作用，而且，它的溢出效应也通过了 1% 显著性水平检验，更加验证了京津冀地区的经济建设道路是符合社会主义经济发展和时代要求的。外商投资对本地区的碳排放有显著的抑制效果，其直接效应与溢出效应均在 1% 水平上显著，也说明京津冀地区能够有效认识到外资这把“双刃剑”，并充分发挥技术效应，发展绿色循环经济的同时促进碳排放的减少。

Table 4. Regression results in the Beijing Tianjin Hebei region
表 4. 京津冀地区空间回归结果

变量名	W1			W2		
	Direct	Indirect	Total	Direct	Indirect	Total
<i>sqdigie_2</i>	-9.560*** (1.061)	-9.687** (3.795)	-19.25*** (4.049)	-8.291*** (1.098)	-11.26*** (3.673)	-19.55*** (3.867)
<i>digie_2</i>	3.236*** (0.495)	3.118* (1.823)	6.354*** (1.837)	2.965*** (0.514)	5.362*** (1.618)	8.327*** (1.698)
<i>Inpoton</i>	0.192 (0.193)	2.496** (1.019)	2.689** (1.118)	0.131 (0.143)	0.674 (0.649)	0.805 (0.690)
<i>lngdp</i>	-0.130*** (0.0421)	-0.205 (0.159)	-0.335* (0.184)	-0.158*** (0.0426)	-0.717*** (0.213)	-0.875*** (0.243)
<i>indus_re</i>	-0.0201 (0.0578)	0.242 (0.183)	0.222 (0.191)	-0.0168 (0.0563)	0.0580 (0.167)	0.0412 (0.185)
<i>indus_h</i>	0.178** (0.0742)	0.388 (0.267)	0.566** (0.225)	0.247*** (0.0636)	0.492* (0.260)	0.738*** (0.240)
<i>er</i>	0.000712 (0.00227)	0.0157** (0.00742)	0.0164** (0.00740)	0.00314 (0.00214)	0.0207*** (0.00733)	0.0238*** (0.00776)
<i>roc</i>	-0.00905** (0.00404)	-0.0216 (0.0169)	-0.0307* (0.0179)	-0.00590 (0.00399)	-0.0389** (0.0166)	-0.0448** (0.0183)
<i>fdi</i>	-0.900*** (0.304)	-1.258 (1.027)	-2.158* (1.206)	-1.137*** (0.346)	-5.030*** (1.451)	-6.166*** (1.710)
<i>Obs</i>	117	117	117	117	117	117

5.3. 长三角地区空间回归解析

长三角地区在不同空间权重矩阵下的回归结果如表 5 所示。表 5 中，数字经济发展二次项与一次项皆通过 1% 显著性检验，且符号符合预期，验证本文假设 H1。

从溢出效应来看，长三角地区数字经济发展的总体溢出效应并不明显，本文认为在长三角地区内由于上海市、南京市和杭州市等发挥着巨大的虹吸效应，导致数字经济无法向周边地级市扩散或效用较小，从而形成一道隐形边界。这个边界阻碍了一侧经济体对另一侧信息的获取，增加了信息的不对称，而由此产生的边界屏蔽效应对不同地级市存在差异，从而使得数字经济对碳排放的空间外溢具有边界效应，导致总体溢出不明显的结果。张争妍和李豫新采用空间模型对我国东部地区数字经济发展的溢出效应分析时同样认为数字经济的发展对不同城市碳排放的影响在不同经济圈层内存在差异，即空间外溢具有边界效应[24]。

衡量产业结构合理化的泰尔指数为正，且均通过了 1% 的显著性检验，说明泰尔指数与碳排放具有正向相关性，而泰尔指数越大表明产业结构越偏离均衡状态，即产业结构合理程度与碳排放呈负向相关：产业结构越合理，越能抑制二氧化碳的排放。从产业高级化系数来看，具有明显的空间溢出效应。结合长三角地区的实际情况来看，长三角地区是我国建设一体化高水平城市群较早的一批，从 2010 年提出，

已有十二年的发展史。不论从经济规模，覆盖范围还是开放程度来看，长三角一体化都是国内领先水平。同时长三角拥有重工业、轻工业以及高新技术产业，是综合性的工业基地，拥有配套的基础设施，相对完备的产业政策和完善的产业链条。加之地区内规模效应不断扩大，科技创新和人才等知识溢出明显，让氢能、光伏、新型环保建材和新能源汽车等得到充分开发和普及，极大程度降低了碳排放的产生，加速了对高消耗高污染能源的替代。产业结构高级化加深企业纵向深度，加速数字经济的赋能增效，其中供给侧改革发挥关键性作用，优胜劣汰，发展新兴产业，从粗放型发展向资源节约，环境友好型发展，进而减少碳排放。

在控制变量中，人口规模系数为正，表明现阶段人口带给了碳减排一定的压力，人口的增加意味着能源消耗、生活垃圾的增加，汽车的普及和高速铁路网络的建成加速扩大生活社交的范围，这也加速了碳排放的增加。经济发展程度具有明显的溢出效应，我们认为区域内部分城市的经济发展方式仍是粗放式，以高耗能高排放换取经济的发展。而外商投资显著的溢出效应则表现在近些年来地区为招商引资而让步的较低工业土地价格，一些高污染企业也可能转移进来，这才引致明显的加大碳排放的溢出效应。

Table 5. Regression results in the Yangtze River Delta region

表 5. 长三角地区空间回归结果

变量名	W1			W2		
	Direct	Indirect	Total	Direct	Indirect	Total
<i>sqdigie_2</i>	-0.973*** (0.293)	-6.373** (3.231)	-7.345** (3.358)	-0.975*** (0.305)	-2.507 (2.569)	-3.482 (2.707)
	0.483*** (0.176)	1.893 (1.629)	2.376 (1.692)	0.553*** (0.180)	-0.248 (1.256)	0.305 (1.317)
<i>lnpotion</i>	0.255*** (0.0896)	0.890 (1.315)	1.146 (1.381)	0.189** (0.0943)	-0.455 (1.063)	-0.266 (1.133)
	0.0209 (0.0370)	1.344*** (0.448)	1.365*** (0.475)	0.0362 (0.0404)	1.164*** (0.423)	1.200*** (0.454)
<i>indus_re</i>	0.144*** (0.0396)	0.696* (0.403)	0.840** (0.415)	0.150*** (0.0409)	0.402 (0.263)	0.552** (0.272)
	-0.0344 (0.0567)	-1.926*** (0.514)	-1.960*** (0.527)	-0.0847 (0.0541)	-1.147*** (0.312)	-1.231*** (0.320)
<i>er</i>	-0.0567* (0.0317)	0.494* (0.299)	0.437 (0.312)	-0.0678** (0.0317)	0.337* (0.203)	0.269 (0.212)
	0.00808*** (0.00224)	0.0412 (0.0368)	0.0493 (0.0384)	0.00665*** (0.00228)	-0.00116 (0.0276)	0.00549 (0.0292)
<i>fdi</i>	-0.0420 (0.241)	7.581*** (2.723)	7.539*** (2.872)	0.0497 (0.261)	6.286** (2.491)	6.336** (2.668)
	<i>Obs</i>	243	243	243	243	243

6. 政策建议

通过以上研究得出如下结论：1) 数字经济发展与碳排放之间存在倒 U 型关系，这种关系在不同城市之间存在屏蔽效应或遮掩效应。2) 人口的聚集和城镇化的提升会增加二氧化碳的排放，这在发达城市中尤为明显。3) 产业结构对碳排放的关系具有不确定性，以泰尔指数作为合理化的核算结果显示，本文的

三个城市群呈现出促进、减少碳排放以及两者不存在显著关系的结果。高级化也呈现出或促进或减少碳排放的关系。这其中与城市群的产业职能和任务有关。

基于此，提出以下建议：1) 充分发挥以大数据、云计算和工业互联为主的数字经济发展方式的强大力量。特别是以成渝地区为代表的西部地区，在数字经济发展上与发达城市群仍有较大差距，加快硬件铺设普及是首要任务。对长三角地区和京津冀地区要优化完善网络布局，加强对数字经济的创新性发展，强化对网络信息、数字赋能以及新基建等软硬件学科的投入，培养高精尖人才储备。不断注入数字经济新动力，发挥数字经济新力量。2) 立足实际，优化产业结构，促进数字产业赋能。上文提到产业结构对抑制碳排放有不同的显著作用，要根据区域内产业结构发展现状，制定产业短期发展目标，逐步优化升级。最重要的是发挥产业数字化和数字产业化的作用，以数字经济赋能促进城市经济绿色发展，同时有利于实现达到碳达峰碳中和目标。3) 要把人口集聚和城镇化率控制在适当水平，关注土地承载力问题。过量的城镇化人口易造成严重的城市病，要求发达城市要发挥卫星城市的作用，弱化不必要的虹吸效应，发挥技术和知识外溢的辐射作用。一方面，加强信息透明，建立信息市场自由化体制机制，转移非必要就业岗位，另一方面要加快落实科技创新实验成果，提升一体化水平。

基金项目

西南民族大学创新项目，项目编号：YB2023075，项目成果名称：数字经济发展对碳排放的影响——以三大城市群为例。

参考文献

- [1] Bosetti, V., Carraro, C., Galeotti, M., et al. (2006) Witch—A World Induced Technical Change Hybrid Model. *Hybrid Modeling*, **27**, 13-38. <https://doi.org/10.2139/ssrn.948382>
- [2] 金培振, 张亚斌, 彭星. 技术进步在二氧化碳减排中的双刃效应: 基于中国工业 35 个行业的经验证据[J]. 科学学研究, 2014, 32(5): 706-716.
- [3] 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.
- [4] 周迪, 王雪芹. 中国碳排放效率与产业结构升级的耦合度及耦合路径[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2305-2316.
- [5] 刘志华, 徐军委, 张彩虹. 科技创新、产业结构升级与碳排放效率——基于省际面板数据的 PVAR 分析[J]. 自然资源学报, 2022, 37(2): 508-520.
- [6] Zhang, Y.J., Liu, Z., Zhang, H., et al. (2014) The Impact of Economic Growth, Industrial Structure and Urbanization on Carbon Emission Intensity in China. *Natural Hazards*, **73**, 579-595. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1091-x>
- [7] Wang, Z., Zhang, B. and Liu, T. (2016) Empirical Analysis on the Factors Influencing National and Regional Carbon Intensity in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **55**, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.077>
- [8] 缪陆军, 陈静, 范天正, 吕雁琴. 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.
- [9] 徐维祥, 周建平, 刘程军. 数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J]. 地理研究, 2022, 41(1): 111-129.
- [10] 谢云飞. 数字经济对区域碳排放强度的影响效应及作用机制[J]. 当代经济管理, 2022, 44(2): 68-78.
- [11] Liz, G. and Wang, J. (2022) The Dynamic Impact of Digital Economy on Carbon Emission Reduction: Evidence City-Level Empirical Data in China. *Journal of Cleaner Production*, **351**, Article ID: 131570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131570>
- [12] York, R., Rosa, E. and Dietz, T. (2003) STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic Tools for Unpacking the Driving Forces of Environmental Impacts. *Ecological Economics*, **46**, 351-365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
- [13] Cole, M. and Neumayer, E. (2004) Examining the Impact of Demographic Factors on Air Pollution. *Population and Environment*, **26**, 5-21. <https://doi.org/10.1023/B:POEN.0000039950.85422.eb>
- [14] Sadorsky, P. (2014) The Effect of Urbanization on CO₂ Emissions in Emerging Economies. *Energy Economics*, **41**, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.007>

-
- [15] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[N]. 人民日报, 2021-03-13(001).
 - [16] 关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见[J]. 中国产经, 2021(8): 19-22.
 - [17] 俞伯阳, 丛屹. 数字经济、人力资本红利与产业结构高级化[J]. 财经理论与实践, 2021, 42(3): 124-131.
 - [18] 孙焱林, 林源榕. 产业关联与制造业产业结构优化升级——基于我国 287 个地级市数据的实证分析[J]. 城市问题, 2021(6): 72-82.
 - [19] Chen, J., Gao, M., Cheng, S., et al. (2020) County-Level CO₂ Emissions and Sequestration in China during 1997-2017. *Scientific Data*, 7, Article No. 391. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00736-3>
 - [20] 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.
 - [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] 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.
 - [23] 叶琴, 曾刚, 戴劭勍, 王丰龙. 不同环境规制工具对中国节能减排技术创新的影响——基于 285 个地级市面板数据[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 115-122.
 - [24] 张争妍, 李豫新. 数字经济对我国碳排放的影响研究[J]. 财经理论与实践, 2022, 43(5): 146-154.