

# 数字基础设施建设对碳排放强度的影响研究

周 黄, 杨 弘

湖北大学商学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年11月8日; 录用日期: 2024年12月2日; 发布日期: 2025年2月18日

## 摘 要

基于2011~2022年中国30个省市的面板数据, 构建数字基础设施建设指标体系, 使用熵值法计算数字基础设施建设水平, 运用空间自回归模型, 通过实证分析检验了数字基础设施建设对碳排放强度的直接影响, 并进一步探究数字基础设施建设对碳排放强度是否存在空间溢出效应。研究结果表明: ① 中国区域的碳排放强度存在高度的空间相关性。② 数字基础设施建设对碳排放强度存在显著的负向抑制作用, 经过一系列的稳健性检验, 该结论依然成立。③ 数字基础设施建设对碳排放强度存在显著的空间溢出效应。

## 关键词

数字基础设施建设, 碳排放强度, 空间溢出效应, 空间自回归模型

# Research on the Impact of Digital Infrastructure Construction on Carbon Emission Intensity

Huang Zhou, Hong Yang

Business School, Hubei University, Wuhan Hubei

Received: Nov. 8<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 2<sup>nd</sup>, 2024; published: Feb. 18<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

Based on panel data from 30 provinces and cities in China from 2011 to 2021, an index system for digital infrastructure construction was constructed. The entropy method was used to calculate the level of digital infrastructure construction, and a time autoregressive model was used. An empirical analysis was used to test the direct impact of digital infrastructure construction on carbon emission

intensity, and to further explore whether there is a spatial spillover effect of digital infrastructure construction on carbon emission intensity. The research results show that: ① There is a high degree of spatial correlation in carbon emission intensity in China. ② The construction of digital infrastructure has a significant negative inhibitory effect on carbon emission intensity, and this conclusion remains valid after a series of robustness tests. ③ The construction of digital infrastructure has a significant spatial spillover effect on carbon emission intensity.

## Keywords

Digital Infrastructure Construction, Carbon Intensity, Spatial Spillover Effect, Spatial Autoregression Model

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

自工信部于2020年首次明确指出数字基础设施涵盖的领域起,国家出台了相关政策促进数字基础设施建设的发展。2022年12月,中共中央、国务院印发《扩大内需战略规划纲要(2022~2035年)》,要求加快建设信息基础设施,全面发展融合基础设施,前瞻布局创新基础设施,实现对新型基础设施系统性布局。目前学术界关于数字基础设施建设的研究主要集中在以下几方面:一是数字基础设施建设指标体系的构建和发展趋势[1];二是数字基础设施建设的影响效应,部分学者以“宽带中国”政策的实施作为数字基础设施建设的代理变量,对它所带来的效应进行深入研究。如边志强(2024)从农业视角出发,发现数字基础设施的完善有助于提高土地使用的经济效益和环境效益,促使附着于土地上的生产活动实现增产和减污双重改善,从而显著提高土地绿色利用效率[2]。薛飞等(2022)认为数字基础设施建设主要通过促进绿色技术创新降低城市碳排放量[3]。向仙虹等(2023)认为“宽带中国”战略能够在规模上和效率上促进包容性低碳发展,数字基础设施建设是基于数字技术的基础设施,在赋能经济高速发展的同时,通过多种方式促进经济低碳发展[4]。还有部分学者是通过构建数字基础设施建设指标体系,测度数字基础设施建设水平,研究其影响效应。如董媛香等(2023)认为数字基础设施建设通过增强组织创新能力、提升高管团队环境注意力、深化绿色金融有利于企业降碳绿色转型[5]。

碳排放是当今一个重要的议题,而包含了碳排放量和GDP双指标的碳排放强度是其中一个研究热点,目前学术界对于碳排放强度的研究主要集中于影响因素、实现路径。现在关于数字基础设施建设与碳排放强度的关系及影响机制的研究较少,基于空间计量模型的实证研究就更少了,因而存在深入研究的必要性。那么数字基础设施建设能否助力“双碳”目标的达成?如果可以,数字基础设施建设影响碳排放强度是否存在空间效应?通过对现有文献的梳理,学术界对于碳排放的研究成果已经非常丰富,对数字基础设施建设的研究也在不断深入,但是关于二者关系的研究成果比较缺乏。

因此,本文尝试构建数字基础设施建设指标体系,测度数字基础设施建设水平,将数字基础设施建设、碳排放强度置于同一研究框架,深入探究数字基础设施建设对碳排放强度的影响,为中国低碳发展提供理论和现实依据。本文可能的贡献:第一,完善数字基础设施建设指标体系,为后续研究和学界相关研究提供方法论基础和数据支持。第二,从空间计量视角,探讨数字基础设施建设对碳排放强度的影响,现有研究相对较少。

## 2. 理论基础与研究假设

### 2.1. 数字基础设施建设的测度

关于数字基础设施的内涵, 2020年5月国家工业信息安全发展研究中心首次明确指出数字基础设施作为新基建的支柱, 是指能够体现数字经济特征的新一代信息基础设施, 涵盖了5G互联网、数据中心、人工智能、工业互联网等多个领域。目前, 关于数字基础设施建设的测度研究主要为单维指标测度和多维指标测度两个方面。① 单维指标测度。孙倩倩等(2023)以互联网普及度的对数度量城市数字基础设施建设水平[6]; 钞小静等(2021)、黄漫宇等(2024)通过收集与数字基础设施建设相关词汇在各区域政府工作报告中出现的频率表征数字基础设施建设水平[7][8]; 李云鹤等(2022)、温璐迪等(2024)用地区互联网宽带接入端口的对数来表示[9][10]。② 多维指标测度。冀雁龙等(2022)在参考焦帅涛等(2021)省际数字经济发展指数综合指标体系的基础上, 选择电话普及率、长途光缆路长度、互联网普及率、互联网宽带接入端口、互联网域名数这五个指标衡量数字基础设施建设水平[11][12]; 其他学者在此基础上对数字基础设施建设指标体系进行完善, 董媛香等(2023)增加了全国5G站布设数量指标[5], 梁健(2024)增加电信固定资产投资在总固定资产投资中的占比指标[13], 张恒硕等(2022)补充了每百家企业拥有网站数、每百人使用计算技术、互联网网页数这三个指标[14]。

### 2.2. 数字基础设施建设对碳排放强度的直接影响

数字基础设施建设对碳排放强度的直接影响。随着以5G、大数据中心、云计算、人工智能等为核心的数字基础设施快速建设, 数字基础设施建设在对降低碳排放方面起到了至关重要的作用。具体来说, 数字基础设施对碳排放强度的影响可以通过企业生产方式绿色化、居民生活方式低碳化、政府的有效监管三个方面来实现。首先, 从生产角度来看, 数字基础设施的完善有利于推动企业的数字化转型, 提升了数据的获取和处理的能力, 从而提高企业管理者决策的及时性和准确性, 降低碳排放强度。例如, 数字基础设施能够密切企业与市场和消费者的联系, 企业可以利用数据库、物联网等技术优化生产和销售流程, 降低生产成本与减少产品积压, 推动碳排放强度的降低。其次, 从生活角度来看, 数字基础设施建设的完善使得信息的获取和发布变得容易, 依托于互联网平台的共享经济实现了闲置物品的再利用, 减少资源的浪费; 依托于互联网平台的智能出行实现了交通效率的提升, 减少时间的浪费和能源消耗; 依托于互联网平台的线上缴费业务实现相关工作人员的精简以及居民的通勤, 从而减少能源使用。最后, 从政府碳管理角度来看, 目前, 我国碳排放核算统计的方式有很多, 但是各种方式各有其优缺点, 统计核算和检测体系还不够完善, 这使得政府对碳排放的有效管理难度增加, 而数字基础设施建设的推进使得碳排放的实测技术得到迅速发展, 在生产生活中的应用变得广泛, 碳核算的准确性增强, 为政府对碳的有效管理提供数据支持。综上所述, 本文提出以下假设:

H1: 数字基础设施建设对碳排放强度会产生负向影响。

### 2.3. 数字基础设施建设对碳排放强度的空间溢出效应

数字基础设施是依托5G、大数据、云计算、网络通信等数字技术的基础设施。数字技术的应用, 能够打破资源、要素在空间流动上的界限, 要素在不同地区间转移的范围不断扩大, 深度不断加深, 促进了创新生态的形成与发展, 影响当地和周边区域的绿色发展状况[15]。在国家前瞻性政策的牵引下, 当前数字技术得到迅速的发展和扩散, 数据的收集、传递、存储和处理的能力得到了很大程度地提高, 提升了市场信息透明化程度[16], 打破了各区域间信息壁垒, 在资源整合、科学决策、环境监管等方面发挥重要作用[17], 协同促进各区域低碳绿色发展。与此同时, 数字基础设施具备数字技术的相关特征, 数字基础设施建设将会加快要素在区域间的流动, 数据信息以更低的成本、更快速度在更大范围内扩散, 进而

推动我国经济发展方式的转变, 推动能源消费结构的改变, 进而对周边区域碳排放强度产生深远影响。综上所述, 本文提出以下假设:

H2: 数字基础设施建设通过空间溢出效应作用于邻地的碳排放强度。

### 3. 研究设计

#### 3.1. 研究方法

##### 3.1.1. 熵值法

熵值法是一种客观赋予指标权重的方法, 可避免专家赋权的主观性问题, 能够客观反映各指标在数字基础设施建设综合指标中的重要性。因此, 本文运用熵值法对数字基础设施建设各指标进行分析, 确定指标权重, 求得数字基础设施建设水平。

##### 3.1.2. 空间计量模型

(1) 空间自回归模型。考虑到该研究旨在深入探讨数字基础设施建设对碳排放强度的空间影响, 因此本文将空间地理因素纳入考虑, 以便更好地分析碳排放强度受数字基础设施建设的空间影响。目前, 空间计量模型可以分为三大类, 即 SDM 模型(空间杜宾模型)、SEM 模型(空间误差模型)和 SAR 模型(空间自回归模型)。本文通过后续分析得出运用空间自回归模型研究数字基础设施建设对碳排放强度的影响最为可靠。因此, 该研究构建的空间计量模型如下:

$$y = \beta_k * X + \rho * W_y + \mu$$

其中,  $W_y$  为因变量的空间滞后变量,  $X$  为一系列的自变量,  $y$  为因变量,  $\mu$  为扰动项。

(2) 权重矩阵。因为相邻地区在空间具有较强的互动性, 空间邻接矩阵是基于空间单元的地理邻接特性而构建的空间权重矩阵, 遂选择空间邻接矩阵作为本文的空间矩阵。具体公式如(3-1)所示:

$$W_{ij} = \begin{cases} 0, i\text{省与}j\text{省不相邻} \\ 1, i\text{省与}j\text{省相邻} \end{cases} \quad (3-1)$$

#### 3.2. 变量选取

被解释变量: 碳排放强度  $CI$ , 即碳排放总量/GDP, 碳排放数据来自于中国碳核算数据库(CEADS)。

解释变量: 数字基础设施建设  $DID$ 。本文参考相关研究[18][19], 选择单位面积光缆长度、信息化企业数、每万人 5G 基站数、国家新型工业产业化示范基地数量、新能源充电桩数、绿色数据中心数量 6 个维度的指标数据, 运用熵值法综合测度数字基础设施建设水平。

控制变量: ① 对外开放程度  $OU$ , 以进出口总值占 GDP 的比重表示。② 研发投入力度  $RI$ , 以 R & D 经费支出占 GDP 的比重表示。③ 投资水平  $IL$ , 以固定资产投资额占 GDP 的比重。④ 交通基础设施水平  $TI$ , 以公路里程数的对数表示。⑤ 劳动力转移规模  $LF$ , 以第一产业从业人数占全社会就业人数的比重表示。⑥ 外商直接投资水平  $FDI$ , 以外商直接投资占 GDP 的比重表示。

#### 3.3. 变量描述统计状况

为了更好地分析中国各省的数字基础设施建设对碳排放强度的空间影响效应, 考虑到数据的可得性和完整性, 本文选择除港、澳、台、西藏四省外的 30 个省市作为研究对象, 并选取这 30 各省的 2011~2022 年的相关数据。碳排放数据来自于中国碳核算数据库(CEADS), 2022 年碳排放强度数据通过前十年的平均增长率计算得到, 数字基础设施建设相关数据主要来自于《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》, 部分数据来自于政府网站。GDP 是以 2010 年的价格为基期计算, 消除价格因素的影响, 相关变量的描述性统计结果如表 1 所示。

**Table 1.** Descriptive statistical result of variables**表 1.** 变量的描述性统计结果

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>CI</i>	360	0.064	0.054	0.007	0.274
<i>DID</i>	360	0.078	0.104	0.000	0.658
<i>OU</i>	360	0.265	0.287	0.008	1.548
<i>RI</i>	360	0.017	0.012	0.004	0.068
<i>IL</i>	360	0.784	0.258	0.205	1.480
<i>TI</i>	360	11.702	0.853	9.400	12.913
<i>LF</i>	360	0.306	0.142	0.016	0.666
<i>DI</i>	360	0.018	0.015	0.000	0.095

## 4. 实证分析结果

### 4.1. 数字基础设施建设对碳排放强度的空间溢出效应分析

#### 4.1.1. 全局自相关分析

借助全局莫兰指数分别检验中国 30 个省市的数字基础设施建设水平与碳排放强度在空间邻接矩阵下的空间聚集程度, 结果如表 2 所示, 数字基础设施建设水平在邻接矩阵下莫兰指数均为正且除了 2011 年和 2012 年都通过 1% 显著性检验, 存在显著正向的空间自相关性; 碳排放强度的莫兰指数均为正值且在 1% 水平下通过了显著性检验, 适合进行后续的空间计量分析。

**Table 2.** The Moran index of the core variable**表 2.** 核心变量的莫兰指数

年份	<i>DID</i> 的莫兰指数	<i>CI</i> 的莫兰指数
2011	0.231**	0.316***
2012	0.244**	0.340***
2013	0.270***	0.270***
2014	0.292***	0.267***
2015	0.330***	0.283***
2016	0.324***	0.302***
2017	0.377***	0.323***
2018	0.358***	0.315***
2019	0.351***	0.343***
2020	0.376***	0.336***
2021	0.414***	0.323***
2022	0.436***	0.307***

注: \*, \*\*, \*\*\* 分别代表在 10%、5%、1% 的检验水平下显著。

#### 4.1.2. LM 检验

为了进一步判断应该选择何种空间计量模型进行后续研究, 本文运用 LM 检验来判断两变量是否存在

在空间效应, 相关检验结果见表 3。LM-Lag 与 Robust LM-Lag 均在 1%水平上通过检验, LM-error 与 Robust LM-error 则在 5%水平上通过检验, 表明空间自回归模型(SAR)更适合用于本文的研究。

**Table 3.** LM test results  
**表 3.** LM 检验结果

指标	统计量	P 值
LM-error	8.297	0.004
Robust LM-error	3.939	0.047
LM-lag	39.221	0.000
Robust LM-lag	34.863	0.000

#### 4.1.3. SAR 模型回归结果

为了确定后续分析应该运用随机效应模型还是固定效应模型, 以及单固定模型还是双固定模型, 本文基于 SAR 模型进行回归, 回归结果如表 4 所示。根据回归结果可知, 时间固定效应模型下的 Log-likelihood 最小, 为 663.778, 此时的碳排放强度在 5%显著性水平下显著, 且系数为负, 这说明数字基础设施建设对碳排放强度存在负向的影响。其他控制变量均在 1%的显著性水平下显著。因此本文选择基于时间固定效应的空间自回归模型研究数字基础设施建设对碳排放强度的影响。通过模型分析可知, 数字基础设施建设的系数显著为负, 即数字基础设施建设对碳排放强度会产生负向影响, 验证了假设 H1。

**Table 4.** SAR model estimation results  
**表 4.** SAR 模型估计结果

变量	随机效应	个体固定效应	时间固定效应	双向固定效应
<i>DID</i>	-0.007 (-0.54)	-0.014 (-1.14)	-0.080** (-2.08)	-0.035* (-1.84)
<i>OU</i>	0.002 (0.23)	0.008 (0.98)	-0.083*** (-5.45)	0.027*** (2.62)
<i>RI</i>	-0.447 (-1.04)	-0.061 (-0.14)	-1.483*** (-4.51)	-0.430 (-0.93)
<i>IL</i>	-0.021*** (-4.19)	-0.023*** (-4.84)	-0.061*** (-5.32)	-0.033*** (-5.86)
<i>TI</i>	0.012* (1.70)	0.016 (1.57)	-0.018*** (-6.41)	-0.014 (-1.18)
<i>LF</i>	-0.065*** (-3.67)	-0.059*** (-3.01)	-0.092*** (-3.27)	-0.003 (-0.12)
<i>FDI</i>	-0.003 (-0.04)	-0.039 (0.55)	-0.855*** (-5.11)	0.169** (2.28)
_cons	-0.066 (-0.75)			
rho	0.493*** (8.86)	0.470*** (8.39)	0.420*** (6.73)	0.335*** (5.06)
Log-likelihood	984.068	1078.665	663.778	1092.711
Sigma2_e	0.000*** (12.55)	0.000*** (13.12)	0.001*** (13.15)	0.000*** (13.25)

注: \*, \*\*, \*\*\*分别代表在 10%、5%、1%的检验水平下显著; 括号内为 t 值, 下同。

#### 4.1.4. 空间溢出效应分解

为了准确反映数字基础设施建设对本省份、邻近省份的碳排放强度的影响, 本文以邻近权重矩阵为

基础, 估计数字基础设施建设对碳排放强度的直接效应和间接效应和总效应。结果如表 5 所示。数字基础设施建设的直接效应和间接效应的回归系数分别在在 5% 和 10% 显著性水平下显著为负, 这说明本省份的数字基础设施建设水平的提升不仅可以降低本省份碳排放强度, 还可以促进邻近省份碳排放强度降低。因此, 数字基础设施建设对碳排放强度存在空间溢出效应, 验证假设 H2。

**Table 5.** Direct effects, spatial spillover effects, and total effects  
**表 5.** 直接效应、间接效应和总效应

变量	直接效应	间接效应	总效应
<i>DID</i>	-0.083** (-2.00)	-0.052* (-1.92)	-0.135** (-2.03)
<i>OU</i>	-0.088*** (-5.75)	-0.057*** (-3.60)	-0.145*** (-5.28)
<i>RI</i>	-1.530*** (-4.48)	-1.003** (-2.71)	-2.532*** (-3.79)
<i>IL</i>	-0.064*** (-5.42)	-0.041*** (-3.21)	-0.105*** (-4.71)
<i>TI</i>	-0.019*** (-6.54)	-0.012*** (-3.52)	-0.031*** (-5.53)
<i>LF</i>	-0.095*** (-3.30)	-0.062** (-2.50)	-0.157*** (-3.08)
<i>FDI</i>	-0.897*** (-5.16)	-0.574*** (3.73)	-1.471*** (-5.13)

#### 4.2. 稳健性检验

在进行稳健性检验过程中, 本文选择更换计算数字基础设施建设指标权重方法和地理权重矩阵来验证实验结果的稳健性。首先, 使用主成分分析法来计算数字基础设施建设各指标的权重, 得出数字基础设施建设水平, 该结果如表 6 模型(2)所示; 其次, 用反距离权重矩阵替换邻接矩阵, 结果如模型(3)所示。研究结果所示, 该模型中的核心解释变量显著性无明显变化, rho 值也显著。因此, 代表该模型产生的结果是稳定且可靠的。

**Table 6.** Robustness test results  
**表 6.** 稳健性检验结果

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)
<i>DID</i>	-0.080** (-2.08)	-0.125*** (-3.15)	-0.005** (-2.15)
<i>OU</i>	-0.083*** (-5.45)	-0.098*** (-6.18)	-0.083*** (-5.42)
<i>RI</i>	-1.483*** (-4.51)	-1.263*** (-3.66)	-1.383*** (-4.00)
<i>IL</i>	-0.061*** (-5.32)	-0.074*** (-6.25)	-0.060*** (-5.25)
<i>TI</i>	-0.018*** (-6.41)	-0.019*** (-6.49)	-0.018*** (-6.13)
<i>LF</i>	-0.0924*** (-3.27)	-0.077*** (-2.58)	-0.094*** (-3.33)
<i>FDI</i>	-0.855*** (-5.11)	-0.948*** (-5.39)	-0.876*** (-5.23)
rho	0.420*** (6.73)	0.471*** (13.29)	0.416*** (6.62)
R <sup>2</sup>	0.451	0.371	0.450

## 5. 结论

本文从选择单位面积光缆长度、信息化企业数、每万人 5G 基站数、国家新型工业化示范基地数量、新能源充电桩数、绿色数据中心数量 6 个指标测算数字基础设施建设水平, 基于空间自回归模型实证分析数字基础设施建设对碳排放强度的空间影响。本文得到如下结论: 第一, 中国区域的碳排放强度、数字基础设施建设均存在高度的空间相关性; 第二, 数字基础设施建设可以直接负向影响碳排放强度; 第三, 数字基础设施建设的减排效应存在空间溢出效应, 即本省份的数字基础设施建设水平的提升不仅可以降低本省份碳排放强度, 还可以促进邻近省份碳排放强度降低。

## 参考文献

- [1] 杨焕焕, 朱明江, 褚先行. 数字基础设施建设水平综合测度、时空演进及区域差异分析[J]. 统计与决策, 2024, 40(17): 114-119.
- [2] 边志强. 数字基础设施建设对城市土地绿色利用效率的影响——基于“宽带中国”示范城市建设的准自然实验[J]. 西部论坛, 2024, 34(2): 22-39.
- [3] 薛飞, 周民良, 刘家旗. 数字基础设施降低碳排放的效应研究——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 南方经济, 2022(10): 19-36.
- [4] 向仙虹, 张瀚月, 杨国歌. 数字基础设施建设对包容性低碳发展的影响——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 首都经济贸易大学学报, 2024, 26(4): 3-20.
- [5] 董媛香, 张国珍. 数字基础设施建设能否带动企业降碳绿色转型?——基于生产要素链式网状体系[J]. 经济问题, 2023(6): 50-56.
- [6] 孙倩倩, 鞠方, 周建军. 数字基础设施建设与城市创新: 基于技术分工视角的分析[J]. 中国软科学, 2023(7): 178-192.
- [7] 钞小静, 廉园梅, 罗鏊. 新型数字基础设施对制造业高质量发展的影响[J]. 财贸研究, 2021, 32(10): 1-13.
- [8] 黄漫宇, 王浩旸. 数字基础设施建设与全国统一大市场形成——兼论交通网络扩张的协同效应[J]. 财政研究, 2024(4): 53-68.
- [9] 李云鹤, 李杏. 数字基础设施建设与区域创新[J]. 统计与决策, 2022, 38(17): 73-77.
- [10] 温璐迪, 郭淑芬. 数字基础设施建设与后发城市经济追赶——基于城际创新合作的视角[J]. 城市问题, 2024(2): 67-78.
- [11] 冀雁龙, 夏青. 数字基础设施对旅游经济增长的非线性影响: 基于“数字化悖论”假说的检验[J]. 科学与管理, 2024, 44(1): 95-102.
- [12] 焦帅涛, 孙秋碧. 我国数字经济发展测度及其影响因素研究[J]. 调研世界, 2021(7): 13-23.
- [13] 梁健. 数字基础设施建设与中国式农业农村现代化——基于乡村产业多元化发展与数字素养的中介效应检验[J]. 经济经纬, 2024, 41(3): 28-41.
- [14] 张恒硕, 李绍萍. 数字基础设施与能源产业高级化: 效应与机制[J]. 产业经济研究, 2022(5): 15-27+71.
- [15] 肖静, 曾萍. 数字经济赋能地区低碳转型: 内在机制与空间溢出[J]. 现代经济探讨, 2023(7): 23-33.
- [16] 王永进, 匡霞, 邵文波. 信息化、企业柔性 with 产能利用率[J]. 世界经济, 2017, 40(1): 67-90.
- [17] 许宪春, 任雪, 常子豪. 大数据与绿色发展[J]. 中国工业经济, 2019(4): 5-22.
- [18] 余萍, 徐之琦. 数字新基建对战略性新兴产业绿色技术创新效率的影响[J]. 工业技术经济, 2023, 42(1): 62-70.
- [19] 何地, 赵炫焯, 齐琦. 中国数字经济发展水平测度、时空格局与区域差异研究[J]. 工业技术经济, 2023, 42(3): 54-62.