

我国产业数字化发展水平测度及时空演变特征研究

祝思进

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年3月12日; 录用日期: 2024年3月28日; 发布日期: 2024年7月26日

摘要

本文从农业数字化、工业数字化、产业数字化、综合数字化程度以及产业数字化基础5个维度选取24个相关指标来构建我国产业数字化发展水平评价指标体系。基于2013~2021年中国31个省份(市、区)的面板数据, 结合熵权法确定权重以及测度我国产业数字化发展水平, 分别通过Dagum基尼系数、核密度法以及Moran's I指数法对其时空演变特征进行研究。结果显示: 我国产业数字化发展水平整体呈现持续上升的趋势, 但各地区差距明显; 空间上, 东部整体发展水平远高于中部、西部以及东北地区; 四大地理分区尽管总体差异基本保持不变, 但差距依然显著。在影响总体差异的因素中, 区域间差异起到了主要作用, 而超变密度的影响则相对较小; 区域间有正向的空间相关性, 东部部分地区省份(市、区)呈现“高高”集聚, 其他地区基本表现为“低低”集聚。

关键词

产业数字化, Dagum基尼系数, 核密度, Moran's I指数, 发展态势, 空间分布

Research on the Measurement of the Level of Industrial Digital Development in China and the Characteristics of Spatiotemporal Evolution

Sijin Zhu

School of Management of Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Mar. 12th, 2024; accepted: Mar. 28th, 2024; published: Jul. 26th, 2024

Abstract

In this paper, 24 relevant indicators were selected from five dimensions: agricultural digitalization, industrial digitalization, industrial digitalization, comprehensive digitalization degree and industrial digitalization foundation to construct the evaluation index system of China's industrial digitalization development level. Based on the panel data of 31 provinces (cities and districts) in China from 2013 to 2021, combined with the entropy weight method to determine the weights and measure the level of industrial digitalization in China, the spatiotemporal evolution characteristics of the Dagum Gini coefficient, kernel density method and Moran's I index method were studied. The results show that the overall level of industrial digitalization development in China continues to rise, but there is an obvious gap between regions. Spatially, the overall development level of the eastern region is much higher than that of the central, western and northeastern regions. Although the overall differences between the four geographical regions remain basically the same, the differences are still significant. Among the factors influencing the overall difference, the inter-regional difference played a major role, while the influence of supervariable density was relatively small. There is a positive spatial correlation between regions, and the provinces (cities and districts) in some eastern regions show "high and high" agglomeration, while other regions basically show "low and low" agglomeration.

Keywords

Industrial Digitalization, Dagum Gini Coefficient, Kernel Density, Moran's I Index, Development Trends, Spatial Distribution

Copyright © 2024 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

目前,世界已经全面步入了数字经济时代,我国的数字经济发展状况更是在世界上处于领先地位。2021年我国在全球数字经济领域中的规模已经连续多年位列第二。《数字中国发展报告(2023年)》也明确表示,2022年我国的数字经济规模已经突破了50.2万亿元,占我国GDP的41.5%。正是因为我们在数字经济发展上取得的成就,我国在经济发展上更加注重数字经济的重要性。党的二十大报告强调,要加速数字经济的发展,推动数字经济与实体经济的深度融合。在传统产业上融入数字经济,即在数字经济的进步过程中,产业的数字化扮演着关键的角色。《中国数字经济发展报告(2023)》揭示,我国的产业数字化总额已经突破37.2万亿元,相较于去年,其实际增幅为17.2%,这一部分的GDP也已经达到32.5%。显然,在我国的高质量发展过程中,产业的数字化扮演着至关重要的角色。

随着互联网、5G、人工智能等数字技术的快速发展,企业运用这些技术的成本正在逐步降低,企业运用技术进行数字化转型的程度更加深入,产业数字化发展水平也因此提高。在国务院颁发的《“十四五”数字经济发展规划》中明确指出产业数字化已经是国家明确的政策方向。

2. 文献综述

由于产业数字化与数字经济的内在联系,大多数学者对产业数字化的研究都是建立在对数字经济的

由美国学者 Tapscott 所提出,并发展出了新的相关概念,如数字技术和现代信息网络等。现有的研究发现,数字经济的理念最适合描述自信息科技革新以来的经济模式,其核心特性在于利用数字化技术进行生产[1];数字技术不仅能够通过与实体企业融合来深化实体经济数字化转型[2],也可以通过赋能农业高质量发展[3]、促进服务业生产率提升[4]以及提高制造业企业的创新效率[5]加快各行业进行数字化转型;随着数字技术的不断发展,以数字技术为支撑的数字化经济已经转变为对全球资源配置、行业结构和国际分工产生重大影响的关键因素。

已有文献对数字经济做了大量的研究,首先,在数字经济理论基础的研究上,翟云等(2021)在其研究中,从四个方面,即高效性、增值性、全局性和开放性,深入分析了数字化转型如何推动国家治理的现代化[6]。陈晓红等(2022)则以内涵特征“现实表现-核心理论-方法体系”的学理链为基础,构筑了一个完整的数字经济理论框架[7]。其次,在对数字经济水平测度的研究上,刘军等(2020)将数字经济指数拆分为信息化进步指标、网络发展指标以及数字交易进步指标三个方面,并采用 NBI 指数权重确定方法进行了赋权[8]。赵涛等(2020)则利用城市相关的数据,从网络发展和数字金融普及两个角度对数字经济的整体发展水平进行了评估[9]。最后,在对数字经济发展趋势的研究上,王军等(2021)利用泰尔指数、自然间断点分级法、莫兰指数等方法对数字经济发展的时空演变进行了深入剖析[10],余海华(2021)运用了引力模型和网络分析法对我国数字经济空间关联以及其驱动因素进行了分析[11]。

在构成数字经济的各个部分中,产业数字化是占比最大的一部分,产业数字化转型的价值主要体现在四个方面:提高产业效率、促进产业跨领域融合、重塑产业组织的竞争方式以及赋予产业升级能力[12]。一方面,数字经济与实体经济的深度融合促进了实体产业的振兴和转型,能够通过促进产业技术创新,提高生产效率、实现产业转型升级等方式来推进我国整体产业数字化水平[13];另一方面,从我国不同区域之间的发展来看,其打破了以行政区划分布的区域发展格局,产业数字化形成向主要城市群集聚的分布格局,虹吸效应进一步增大,欠发达地区发展难度也随之增大[14]。在对产业数字化的研究方面,研究其对外部因素的影响文献较多,例如,高杰等(2022)对我国产业数字化进程进行了测算,并研究了其对消费总量和结构的影响以及其内在的作用机制[15]。王桂军(2022)基于数理分析、机器学习、文本量化等方法,发现产业数字化可以显著地促进企业创新[16]。宋清华等(2022)利用投入产出法测算 2007~2019 年中国制造业的产业数字化水平,发现产业数字化显著提高了企业全要素生产率[17]。

目前对产业数字化的研究多聚焦于产业数字化与外部因素的协调发展上,对产业数字化本身发展的指标评价体系构建并不全面,且在对其的发展趋势以及区域差异的研究上,多数文章是以定性的方式进行理论上的分析,缺乏定量的分析。因此,本文研究聚焦到产业数字化发展身上,通过结合定量和定性的方式,对其发展水平进行测度,并研究其时空变化特征。本文可能的边际效益有以下几点,首先,本研究构建了一个针对产业数字化的评估指标体系,并从农业数字化、工业数字化、服务业数字化等 5 个主要指标和 24 个次级指标进行了详细分类,使其结果更具说服力;二是本文对产业数字化发展水平进行了测度,并且从时间和空间上对我国 31 个省(区、市) 2013~2021 年的发展情况进行了分析;三是着重对产业数字化发展的时序演变以及空间效应进行了研究,使用 Dagum 基尼系数法对不同区域之间的差异进行了研究,通过测算 Moran's I 指数研究了其空间分布状态。

3. 指标体系、数据及方法说明

3.1. 指标体系构建

产业数字化,就是在最新的数字科技的支持和引导下,将数据作为核心元素,以价值的释放为中心,以数据的赋能作为主导,对整个产业链的各个环节进行数字化的提升、改变和重塑的过程。在《“十四五”数字经济发展规划》中,政府对目前产业数字化的发展现状以及内涵进行了阐述,其中明确提到其

在农业数字化、工业数字化以及服务业数字化方面取得了一定的成就，并且在信息基础设施建设方面，我国已经达到了全球领先的地步。在未来的数字化发展上，要把握新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局，持续加强数字化建设，推动产业数字化转型迈上新台阶。因此，在构建二级指标方面，本文基于《“十四五”数字经济发展规划》与王军等(2021) [10]的研究，从工业数字化、农业数字化、服务业数字化、综合数字化程度以及产业数字化基础五个方面来界定产业数字化的内涵。在构建三级指标体系的过程中，本文受姜奇平等(2023) [18]以及万晓榆(2019) [19]的研究启发，充分权衡了系统的可获取性与完整性两大核心要素，经过深入分析与筛选，最终确定了 24 个细分指标，具体指标如表 1 所示。这些指标的选取旨在确保评价体系的全面性和准确性，为后续的分析 and 研究提供了基础。

Table 1. Evaluation index system for industrial digital development
表 1. 产业数字化发展评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	计算说明
产业数字化	工业数字化	规模以上工业企业有效发明专利数	个
		模以上工业企业开发新产品经费	万元
		规模以上工业企业利润总额	亿元
		实物商品网上零售额	亿元
	农业数字化	农业互联网普及率	%
		农村邮政网点平均服务人口	万人
		农林牧渔业人均产值	万元
		淘宝村数量	取对数
		人均农业机械总动力	千瓦/人
	服务业数字化	信息服务业从业人数	万人
		信息服务业产值	亿元
		电信业务量	亿元
		数字普惠金融指数	-
	综合数字化程度	每百家企业拥有网站数	个/百家
		有电子商务交易活动的企业个数	个
		每百人使用计算机数	个/百人
		高新技术产业企业数	个
		高新技术产业利润	亿元
	产业数字化基础	域名数	万个
		网页数	万个
		长途光缆线路长度	万里
		移动电话普及率	部/百人
		互联网上网人数	万人
		移动电话基站数	万个

3.2. 数据来源及说明

本文以我国 31 个省、市、区(基于数据的可获得性，剔除了港、澳、台地区的数据)产业数字化水平

为研究对象,如表1所示,其中二级指标数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》《中国工业经济统计年鉴》《中国第三产业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》以及各省、区、市的统计年鉴;其中,淘宝村数量来自阿里研究院发布的《中国淘宝村研究报告》;北京大学金融研究中心与蚂蚁科技集团研究院的合作团队共同构建了数字普惠金融的发展指标,具体过程详见郭峰等(2020)的研究。针对其中某些年份的缺失情况,本文采用了插值法予以补充。

3.3. 方法说明

为有效减少主观方面的影响,本文采用熵权法对数据进行处理;通过熵权法得到的综合得分,后续分别采用了 Dagum 基尼系数及其分解法以及 Moran's I 指数法对其进行了研究分析。

3.3.1. 熵权法

熵权法是依据各个指标变异程度通过信息熵来计算所需要指标熵权大小,然后确定各个指标权重大小:

步骤1:将原始数据去量纲化,对正、负指标分别采用式(1)和式(2)进行处理。

$$a_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

$$a_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

其中, x_{ij} 指的是第 i 个指标中第 j 个原始数据, a_{ij} 指的是去量纲化后的数据。

步骤2:构建规范型矩阵以及计算第 i 项信息熵:

$$e_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_{ij}} \ln \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_{ij}} \right) \quad (3)$$

其中, m 指的是指标所对应的样本总数; e_i 指的是第 i 个指标的信息熵。

步骤3:计算各个指标权重:

$$w_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n (1 - e_i)} \quad (4)$$

其中, w_i 指的是第 i 个指标的权重。

步骤4:计算产业数字化综合评分:

$$y_i = \sum_{j=1}^m (w_i \times a_{ij}) \quad (5)$$

3.3.2. Dagum 基尼系数及其分解法

Dagum 基尼系数是衡量某个地区内收入分配不平等的一种指标, Dagum 基尼系数及其分解法是将总体基尼系数(G)分解为区域内差异(G_w)、区域间差异(G_{nb})以及超变密度贡献(G_t)三个部分,具体公式如下:

$$G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (6)$$

$$G = \frac{1}{2\bar{y}n^2} \sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{i=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}| \quad (7)$$

$$G_{jj} = \frac{1}{2\bar{y}n^2} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}| \quad (8)$$

$$G_{jh} = \frac{1}{n_j n_h (\bar{y}_j + \bar{y}_h)} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{jr}| \quad (9)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (10)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jj} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (11)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jj} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (12)$$

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - p_{jh} s_j}{d_{jh} + p_{jh} s_j} \quad (13)$$

$$d_{jh} = \int_0^\infty dF_j(y) \int_0^y (y-x) dF_h(x) \quad (14)$$

$$p_{jh} = \int_0^\infty dF(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x) \quad (15)$$

其中, k 指的是研究中的区域数量; n 指的是区域中的样本数量; n_j 和 n_h 分别指的是不同区域内的样本数量, y_{ji} 和 y_{hr} 分别指的不同区域各样本的产业数字化发展水平, $\bar{y}$ 指的是所有样本的均值。

3.3.3. 核密度估计

核密度估计作为一种非参数估计方法, 不用对数据排列的特征进行提前假设, 而是利用连续的密度曲线对数据的分布特征进行描述, 因其的稳健性强以及依赖性弱等优点被学者们广泛运用到各个研究领域之中去。其具体公式如下:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - x}{h}\right) \quad (16)$$

其中, N 为观测值的数量; h 为带宽; X_i 为独立分布的观测值; x 为观测的均值; K 为核密度函数。核密度函数具体如下:

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad (17)$$

3.3.4. Moran's I 指数法

Moran's I 指数法分为全局莫兰指数(Global Moran's I)和局部莫兰指数(Local Moran's I), 是研究空间自相关性与聚类 and 异常值分析的重要工具, Moran's I 指数分布在-1 到 1 之间, 当 Moran's I 指数大于 1 时, 说明产业数字化存在空间正相关性, 其值越大, 说明相关性也越强; 当其数值低于 1 时, 这表明空间上存在负相关关系; 当其数值较低时, 意味着空间上的差异更为显著; 当 Moran's I 指数趋近于 0 时, 则其空间相关性越弱。下面是全局莫兰指数与局部莫兰指数的相关公式:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{j=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (18)$$

$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (19)$$

其中， n 指的是研究中的区域总数； y_i 指的是区域 i 的产业数字化综合得分； $\bar{y}$ 指的是所有区域综合得分的均值； w_{ij} 指的空间权重矩阵中的元素，且其中 $i \neq j$ ；本文使用的矩阵为空间地理临接矩阵与经济地理嵌套矩阵。

4. 中国各省产业数字化评价结果

依据表 1 所构建的产业数字化评估指标体系，并结合熵权法的应用，我们能够明确 2013~2021 年间我国各个省份在产业数字化方面的发展状况和其独特的发展特点：

- 1) 从全国的视角上看，我国产业数字化平均水平逐年上升，产业数字化变化区间为 0.0908~0.2217，如表 2 所示，2021 年，我国产业数字化平均水平达到了 0.2217，相较于 2013 年的 0.0908，上升了 2.44 倍，这说明我国产业数字化正在稳步推动且成效显著，在后续的发展当中，仍然有一定的发展空间。
- 2) 我国四大地理分区的产业数字化水平呈现出显著的区域差异。具体而言，东部地区的产业数字化程度明显超过了全国的平均标准，而中部、西部和东北地区的数字化水平则相对较低。根据表 2 的数据，我们可以清晰地看到四大地理区的产业数字化水平均值与全国平均水平的对比情况。在 2013 年至 2021 年间，东部地区的产业数字化水平持续保持在较高水平，其变化范围在 0.1617 至 0.3757 之间，远超过全国平均线。相比之下，中部地区的产业数字化水平虽然有所提升，但整体上仍略低于全国平均水平，其变化区间为 0.0693 至 0.2020。西部地区和东北地区的产业数字化水平则更为滞后，其变化范围分别为 0.0485 至 0.1285 和 0.0668 至 0.1328，均明显低于全国平均水平。

Table 2. Comprehensive scores of industrial digitalization in the country and in various regions
表 2. 全国及各地区产业数字化综合得分

类别	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	均值
全国	0.0908	0.1058	0.1232	0.1352	0.1705	0.1708	0.1942	0.2175	0.2217	0.1589
东部	0.1617	0.1909	0.2199	0.2410	0.2619	0.2927	0.3265	0.3591	0.3757	0.2698
中部	0.0693	0.0801	0.1003	0.1109	0.1271	0.1510	0.1770	0.2020	0.1998	0.1353
西部	0.0485	0.0559	0.0644	0.0714	0.0824	0.0946	0.1102	0.1285	0.1267	0.0870
东北	0.0668	0.0731	0.0823	0.0865	0.0981	0.1092	0.1232	0.1328	0.1319	0.1004

5. 实证结果分析

5.1. 基于 Dagum 基尼系数及其分解法的区域差异分析

根据对 31 个省(区、市)的产业数字化程度的深度评估，我们有能力更深入地探讨中国产业数字化水平在不同地区的差异性。表 3 展示了具体的结果，其发展的主要特点是：

- 1) 整体来看，中国产业数字化发展的区域差异在 2013 至 2021 年间先呈现出上升趋势，之后逐渐减小。尽管如此，整体差异依然保持在较高水平。表 3 数据显示，基尼系数从 2013 年的 0.285 持续上升至 2016 年的 0.368，随后在 2016 年至 2018 年间开始缓慢下降至 0.359，这可能受到我国“十三五”时期相关政策的影响，使得产业差距有轻微降低。然而，自 2018 年起，受新冠疫情影响，基尼系数出现明显下

降趋势，降至 2021 年的 0.293。在基尼系数的构成中，区域间的差异贡献率一直维持在 72.04%~78.24% 的范围内，这一比例明显高于区域内差异(18.20%~20.52%)和超变密度(3.56%~7.44%)的贡献率，表明区域间的不平衡性是导致整体差异的主要原因。

2) 从区域内差异来看，东部地区的基尼系数为 0.275，明显高于中部地区的 0.113、西部地区的 0.172 和东北地区的 0.068。这反映出东部地区内部产业数字化发展的不均衡程度更为严重。尽管东部地区如北京、广东、浙江等省市的数字化水平较高，但海南、天津、河北等省市未能充分利用高水平区域的“溢出效应”，导致发展断层现象。相比之下，东北地区内部的基尼系数演变态势较为平稳且均值最低，表明该区域内部协同发展水平相对较高。

3) 在四大地理分区之间，产业数字化水平差异总体上保持稳定。表 3 数据显示，2013 年至 2021 年间，东西部之间的差异基尼系数均值为 0.531，东部与东北之间的差异基尼系数均值为 0.471，东部与中部之间的差异基尼系数均值为 0.383，均高于全国平均水平(0.354)。而西部地区与东北地区、中部地区与东北地区、中部地区以及西部地区之间差异基尼系数均值分别为 0.161、0.164、0.245，相对较低。这反映出东部地区与其他区域的数字化发展差异较为显著，优质资源更多地集中在东部发达地区。

Table 3. Decomposition of regional differences in the level of industrial digitalization development in China's four major geographical regions from 2013 to 2021

表 3. 2013~2021 年我国四大地理分区产业数字化发展水平的区域差异分解

类别	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	均值	
总体 G	0.354	0.366	0.364	0.368	0.354	0.352	0.347	0.336	0.347	0.354	
区域内差异 G_w	0.064	0.067	0.067	0.069	0.067	0.069	0.07	0.069	0.069	0.068	
区域间差异 G_{nb}	0.277	0.284	0.283	0.282	0.269	0.263	0.253	0.242	0.255	0.268	
超变密度 G_t	0.013	0.015	0.014	0.017	0.018	0.021	0.023	0.025	0.022	0.019	
区域内基尼系数 G_{ij}	东	0.268	0.271	0.272	0.273	0.269	0.283	0.285	0.276	0.28	0.275
	中	0.087	0.118	0.107	0.123	0.121	0.122	0.124	0.115	0.104	0.113
	西	0.146	0.158	0.161	0.177	0.173	0.167	0.184	0.194	0.184	0.172
	东北	0.089	0.08	0.063	0.072	0.066	0.063	0.063	0.056	0.057	0.068
区域间基尼系数 G_{jh}	东 - 中	0.42	0.431	0.403	0.403	0.385	0.371	0.351	0.331	0.352	0.383
	东 - 西	0.544	0.555	0.555	0.553	0.533	0.526	0.512	0.491	0.512	0.531
	东 - 东北	0.434	0.463	0.471	0.486	0.47	0.475	0.469	0.476	0.496	0.471
	中 - 西	0.202	0.217	0.246	0.255	0.248	0.257	0.268	0.26	0.254	0.245
	中 - 东北	0.097	0.111	0.126	0.154	0.157	0.182	0.205	0.222	0.219	0.164
	西 - 东北	0.189	0.183	0.172	0.169	0.159	0.147	0.147	0.144	0.14	0.161
贡献率 (%)	区域内差异	18.20	18.36	18.37	18.71	18.96	19.54	20.23	20.52	19.88	19.20
	区域间差异	78.24	77.62	77.73	76.59	75.93	74.61	73.01	72.04	73.70	75.49
	超变密度	3.56	4.03	3.91	4.70	5.12	5.85	6.76	7.44	6.42	5.31

5.2. 基于核密度的时间演进特征分析

1) 全国整体层面

图 1 从整体上描述了我国产业数字化发展水平在考察期 2013 年~2021 年的演进趋势。首先，从图 1

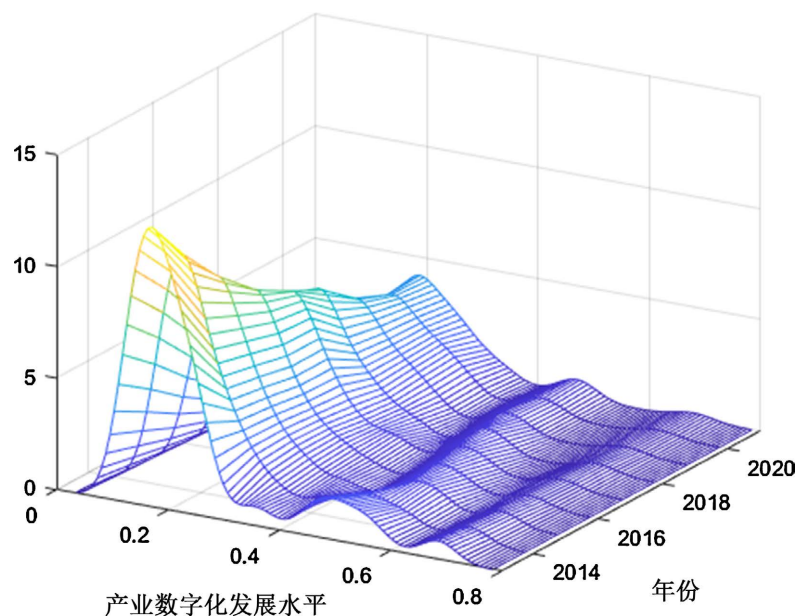


Figure 1. Kernel density map of China's industrial digital development level
图 1. 我国产业数字化发展水平核密度图

中可以观察到,考察期内我国总体分布曲线呈现单峰状态,且其高度主要表现为先下降,而后又小幅上升的变化趋势,这说明我国产业数字化发展水平呈现发散的特征,差异持续增大,直至2018年之后主峰有上升趋势,原因可能是新冠疫情导致部分地区产业数字化发展速度减缓;其次,考察期内我国总体分布曲线中心点向右移动,这表明我国整体产业数字化发展水平趋于上升趋势,传统产业进行数字化转型的效果显著;再次,从图中可以明显观察到,全国整体产业数字化发展水平分布曲线持续存在显著的右拖尾现象,这说明我国产业数字化发展领先地区与产业数字化发展劣势地区之间存在着较大差异;最后,从图中还可以发现,我国产业数字化发展曲线主要存在一个主峰和一个较低的侧峰,这表明全国产业数字化发展具有一定的梯度效应,存在较弱的两极分化情况。

2) 四大区域层面

图2分别描述了东部、中部、西部和东北四大区域产业数字化发展水平在考察期2013年~2021年的演进趋势。图2(a)展示了东部地区产业数字化发展水平的演进趋势,东部地区整体发展处于较高水平,且其只存在一个单峰,因此不存在多级分化的情况;其单峰峰值呈现“快速下降-缓慢上升-缓慢下降”的发展趋势,单峰宽度也有变大趋势,说明除开个别年份,东部地区产业数字化发展水平差异有扩大的趋势;考察期内东部地区分布曲线不存在“拖尾”效应,这说明东部地区不存在个别省份发展脱节或大幅领先的情况。图2(b)展示了中部地区产业数字化发展水平的演进趋势,中部地区分布曲线中心整体向右移动,这说明中部地区产业数字化发展水平逐步增高,其主峰峰值呈现“快速下降-缓慢上升-缓慢下降-缓慢回升”的发展趋势,说明中部地区产业数字化发展差异先增大后趋于稳定;其波峰形态由“单峰”逐步变为“一主一侧”,后又变为“单峰”,表明其发展先逐步呈现微弱的两极分化情形,而后该极化现象又有所减弱;考察期内中部地区没有明显的“拖尾”效应,整体发展水平仅次于东部地区。图2(c)展示了西部地区产业数字化发展水平的演进趋势,西部地区分布曲线中心整体缓慢向右移动,说明西部地区产业数字化发展水平有缓慢上升趋势,其主峰峰值先快速下降,而后缓慢上升,说明西部地区产业数字化发展产业先快速增大,而后有所减小,但其整体差异仍然较大;其波峰形态主要为“一主一侧”状态,且曲线右侧有明显的“拖尾”现象,说明西部地区存在着两极分化的现象,在某些省份,产业的

数字化进程发展得相当迅速；图 2(d)揭示了东北地区在产业数字化方面的发展趋势，其波峰形态在考察期间由“单峰”逐渐演化为“一主一侧”而后回到了单峰，其中心点整体向右移动，这说明了东北地区产业数字化发展有上升趋势，但在时间上有所差异，部分地区发展较快，使其呈现了两极分化态势，随着劣势地区后续发展，该两极分化态势也被消除。

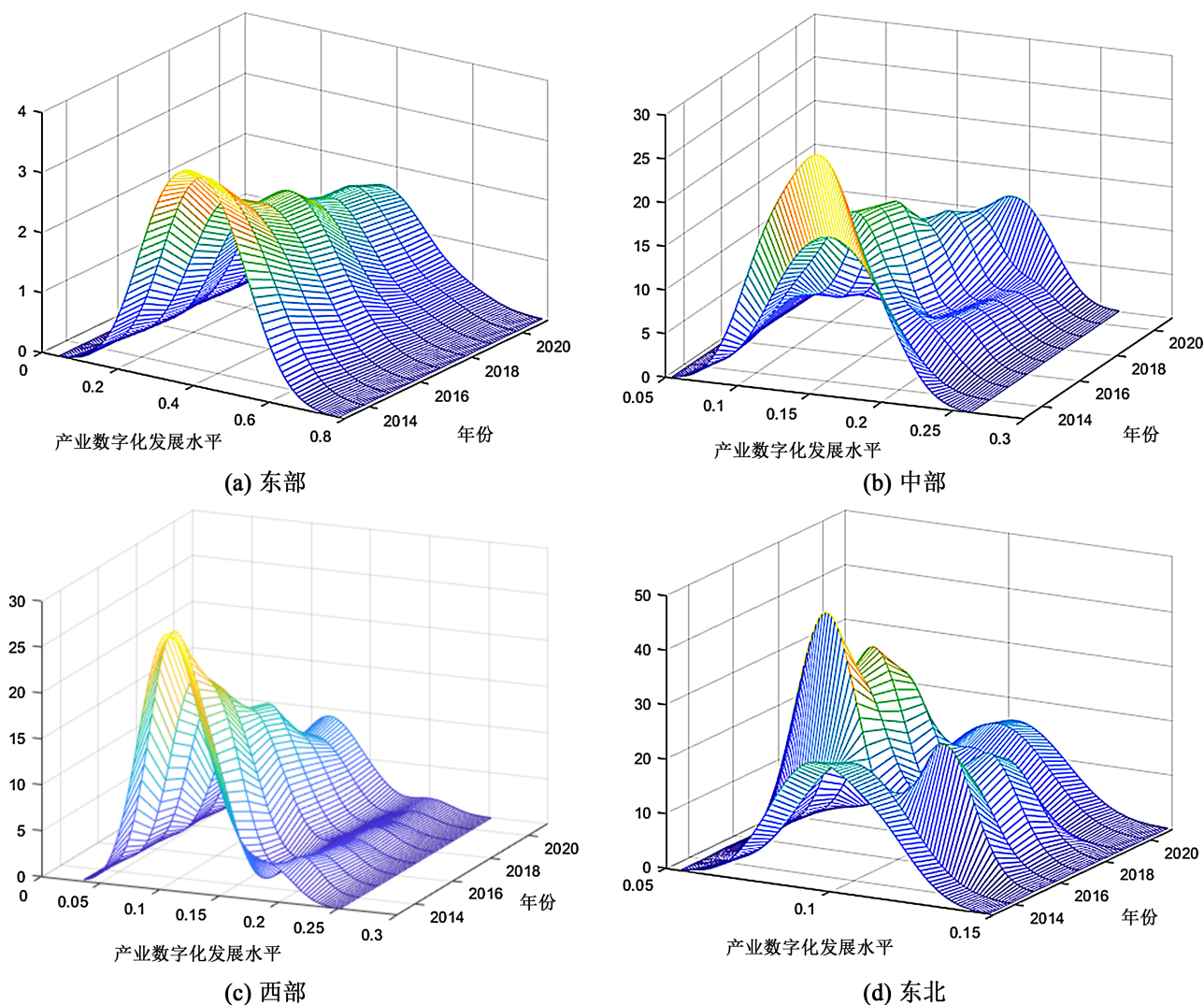


Figure 2. Kernel density map of industrial digital development level by region

图 2. 各地区产业数字化发展水平核密度图

5.3. 基于 Moran's I 的空间演变趋势

5.3.1. 基于全局 Moran 空间相关性分析

为了对 2013 年至 2021 年我国的产业数字化发展水平进行全方位和精确的空间关联性评估，我们分别使用了基于地理邻接权重和经济地理嵌套矩阵的全局 Moran's I 进行了检验。检验结果如表 4 所示。研究表明，在考虑地理距离权重矩阵的情况下，全局 Moran's I 的值在考察期间都大于 0，而且多数年份的 P 值小于 0.05。然而，在最后三年，P 值呈现出上升趋势，这意味着在大多数年份，尽管我国的产业数字化进程在空间上呈现出明显的正相关性，但当考察期结束时，这种正相关性逐渐减弱。同时，在经济地

理嵌套矩阵的考量下，全局 Moran's I 值同样保持正值，且 P 值均低于 0.01，这进一步证明了我国产业数字化发展水平在经济地理嵌套矩阵下存在强烈的正相关性。进一步的时间维度分析显示，从考察期初到考察期末，不管是依赖地理邻接权重矩阵还是基于经济地理的嵌套矩阵，Moran's I 值均呈现出先上升后下降的趋势，且均在 2017 年达到峰值，这显示出该时期产业数字化发展水平的空间相关性最强。这背后的原因可能在于，随着国家产业数字化相关发展战略的实施，政府机构进行了改革，放权力度加大，产业数字化发展的自由度得以提高。同时，各种激励政策的出台也激发了各区域产业数字化发展的内在动力，进一步强化了产业数字化发展的空间关联性。然而，随着时间的推移，这种关联性可能受到多种因素的影响，导致其在考察期末出现减弱的趋势。

Table 4. The results of the spatial correlation test of the level of industrial digital development from 2013 to 2021
表 4. 2013~2021 年产业数字化发展水平空间相关性检验结果

年份	地理邻接权重			经济地理嵌套		
	Moran's I	Z 值	P 值	Moran's I	Z 值	P 值
2013	0.178	1.855	0.032**	0.228	2.988	0.001***
2014	0.174	1.827	0.034**	0.232	3.041	0.001***
2015	0.184	1.908	0.028**	0.230	3.015	0.001***
2016	0.194	1.998	0.023**	0.238	3.104	0.001***
2017	0.201	2.070	0.019**	0.254	3.308	0.000***
2018	0.153	1.680	0.046**	0.223	2.990	0.001***
2019	0.134	1.521	0.064*	0.201	2.784	0.003***
2020	0.140	1.577	0.057*	0.181	2.549	0.005***
2021	0.146	1.623	0.052*	0.201	2.777	0.003***

注：***、**、*表示在 1%、5%、10%的水平显著。

5.3.2. 基于局部 Moran 空间相关性分析

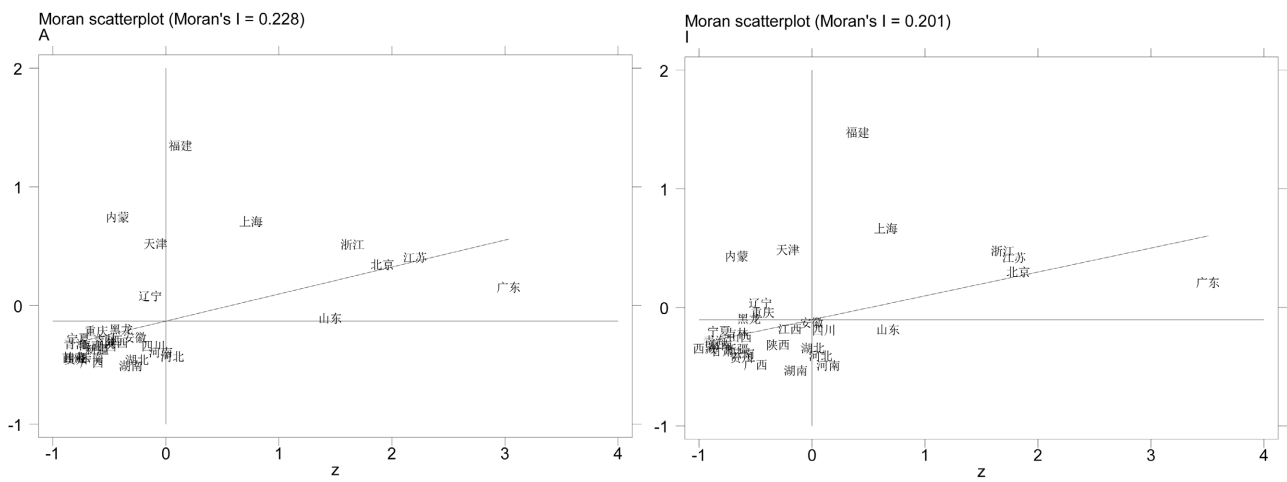


Figure 3. Spatial distribution map of local Moran's I of industrial digital development level in 2013 and 2021
图 3. 2013 与 2021 年产业数字化发展水平局部 Moran's I 空间分布图

通过对比 2013 年与 2021 年我国产业数字化发展水平的局部 Moran's I 空间分布图(图 3)，可以清晰

地观察到我国 31 个省(市、区)在考察期内的发展特点。大部分的省份主要集中在第一和第三象限,只有少数省份位于第二和第四象限,这揭示了我国在产业数字化方面存在着明显的空间聚集趋势。更具体地说,大部分省份在产业数字化的发展上呈现出“高高”(HH)和“低低”(LL)的空间分布模式,即多数省区市与其邻近地区在产业数字化发展上呈现正相关关系,而少数地区则表现为负相关。进一步分析,东部地区如北京、江苏、浙江、上海、广东等地是“高高”(HH)集聚的主要区域,它们在考察期内持续位于第一象限,形成了我国产业数字化发展的领军梯队。相反,中西部地区如湖南、湖北、广西等则长期位于第三象限,呈现出“低低”(LL)集聚的特征,构成了我国产业数字化发展的基础力量。这一现象充分揭示了我国产业数字化发展在空间上的局部集聚特性,同时也暴露出区域间产业数字化发展水平的不均衡性。值得注意的是,尽管整体空间集聚模式在考察期内保持稳定,但仍有部分省市如黑龙江、重庆、河南等出现了“跃迁”现象。因此,对于长期处于“低低”(LL)集聚区的湖南、湖北、广西等省区,应深入研究政策机制的有效性,以弥合与先进地区的数字鸿沟,推动其向“高高”(HH)集聚区靠拢,从而实现全国产业数字化发展的均衡与协同。

6. 结论

本研究选择了农业数字化、服务业数字化、工业数字化、综合数字化程度和产业数字化基础这 5 个方面,并挑选了 24 个具体的指标来构建产业数字化发展水平的评价指标体系。本研究基于 2013~2021 年中国 31 个省(市、区)的面板数据,运用熵权法来确定指标的动态权重,以此来衡量我国产业的数字化发展水平,并利用 Dagum 基尼系数及其分解法来分析各区域之间的差异,基于核密度分析其时间上的发展态势,通过 Moran's I 对其空间关联性和聚集特性进行分析,本文得出了几个关键结论:

1) 从发展测度视角来看,我国产业数字化发展水平虽然始终保持稳步增长的态势,但整体差异过大。东部地区在产业数字化方面的发展水平显著超过了其他区域,呈现东部最强,中部其次,东北第三,西部最后的发展趋势,尤其是西部地区发展明显低于全国平均水平。

2) 从 Dagum 基尼系数及其分解法的视角来看,中国产业数字化发展的区域差异水平总体呈现先增大后减小的趋势,但其整体差异仍然较大。在对总体差异的贡献中,区域间差异贡献率最大,达到了 75.49%,东部地区与其他地区之间的差异是造成区域间差异的主要因素;在所有因素中,超变密度的贡献率是最低的,仅为 5.31%。在区域内的差异中,东部地区最大,接着依次是西部地区、中部地区和东北地区。

3) 从核密度的时间演进特征的视角来看,我国产业数字化总体分布曲线中心点向右移动,表明我国整体产业数字化发展水平趋于上升趋势,我国产业数字化发展水平在考察期内呈现发散特征,差异持续增大。全国整体产业数字化发展水平分布曲线持续存在显著的右拖尾现象,表明领先地区与劣势地区之间存在较大差异。同时,四大区域产业数字化发展水平也呈现不同的演进趋势,东部地区整体发展处于较高水平,中部地区逐步增高,西部地区有缓慢上升趋势,而东北地区有上升趋势。这意味着我国的产业数字化进程总体上呈现出一个上升的态势,但在不同区域之间还存在明显的差距。

4) 从 Moran 指数空间相关性的角度来看,在两种权重矩阵的衡量下我国产业数字化发展水平呈现空间正相关性,且这种空间集聚的特征相对稳定。具体来说,“低低”(LL)聚集区主要集中在中西地区,而西部地区则更多地表现为“高高”聚集(HH)区域。值得注意的是,在考察期内,仅有少数地区发生了“跃迁”现象。

参考文献

- [1] 李长江. 关于数字经济内涵的初步探讨[J]. 电子政务, 2017(9): 83-92.

-
- [2] 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): 56-71.
 - [3] 杨建利, 郑文凌, 邢骄阳, 靳文学. 数字技术赋能农业高质量发展[J]. 上海经济研究, 2021(7): 81-90, 104.
 - [4] 李帅娜. 数字技术赋能服务业生产率: 理论机制与经验证据[J]. 经济与管理研究, 2021, 42(10): 51-67.
 - [5] 杜传忠, 姜莹. 数字技术对制造业创新效率的影响机制与效应研究[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2022, 25(3): 71-82.
 - [6] 翟云, 蒋敏娟, 王伟玲. 中国数字化转型的理论阐释与运行机制[J]. 电子政务, 2021(6): 67-84.
 - [7] 陈晓红, 李杨扬, 宋丽洁, 汪阳洁. 数字经济理论体系与研究展望[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 208-224, 13-16.
 - [8] 刘军, 杨渊望, 张三峰. 中国数字经济测度与驱动因素研究[J]. 上海经济研究, 2020(6): 81-96.
 - [9] 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.
 - [10] 王军, 朱杰, 罗茜. 中国数字经济发展水平及演变测度[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(7): 26-42.
 - [11] 余海华. 中国数字经济空间关联及其驱动因素研究[J]. 统计与信息论坛, 2021, 36(9): 23-34, 44.
 - [12] 肖旭, 戚聿东. 产业数字化转型的价值维度与理论逻辑[J]. 改革, 2019(8): 61-70.
 - [13] 刘凌波, 刘军. 产业数字化: 内涵、测度及经济效应[J]. 经济问题, 2023(10): 36-43.
 - [14] 王娟娟. 产业数字化与我国区域发展格局演变[J]. 甘肃社会科学, 2022(4): 204-214.
 - [15] 高杰, 王军. 产业数字化转型对居民消费的影响研究[J]. 学习与探索, 2022(8): 113-120.
 - [16] 王桂军, 李成明, 张辉. 产业数字化的技术创新效应[J]. 财经研究, 2022, 48(9): 139-153.
 - [17] 宋清华, 钟启明, 温湖炜. 产业数字化与企业全要素生产率——来自中国制造业上市公司的证据[J]. 海南大学学报(人文社会科学版), 2022, 40(4): 74-84.
 - [18] 姜奇平, 刘宇洋, 许滨鸿. 产业数字化转型与居民消费结构升级——效应、路径与机理[J]. 产业经济评论, 2023(4): 67-89.
 - [19] 万晓榆, 罗焱卿, 袁野. 数字经济发展的评估指标体系研究——基于投入产出视角[J]. 重庆邮电大学学报(社会科学版), 2019, 31(6): 111-122.