

# 中国制造业数字化水平、区域差异及分布动态演进

刘 瑞, 杨承佳

贵州大学经济学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年11月3日; 录用日期: 2025年11月18日; 发布日期: 2025年12月15日

## 摘 要

文章构建了包含3个维度、9个基础指标的综合测度指标体系, 利用熵权法测算了中国制造业数字化水平, 并运用Dagum基尼系数及其分解方法、分析了中国制造业数字化水平的地区差异及非均衡性。研究结果表明: 中国制造业的数字化水平呈上升趋势, 但数字化水平仍然较低; 数字化条件和应用表现较好, 而数字化效益的问题较为突出; 中国制造业的数字化水平存在显著的区域不平衡, 呈现出从东部到中部再到西部的阶梯性分布; 中国制造业数字化水平的区域差异主要源自区域间的差异, 且呈逐渐缩小态势; 全国及三大区域制造业数字化水平的不平衡呈现波动上升趋势, 全国呈现出极化格局。

## 关键词

制造业数字化, 区域差异, 熵权法, Dagum基尼系数, Kernel密度估计

# The Digitalization Level, Regional Differences, and Dynamic Evolution of Distribution in China's Manufacturing Industry

Rui Liu, Chengjia Yang

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: November 3, 2025; accepted: November 18, 2025; published: December 15, 2025

## Abstract

The article constructs a comprehensive measurement index system consisting of three dimensions and nine fundamental indicators, and calculates the digitalization level of China's manufacturing industry using the entropy weight method. It also employs the Dagum Gini coefficient and its de-

composition method to analyze regional differences and the imbalance in the digitalization level of China's manufacturing industry. The findings indicate that the intelligent level of China's manufacturing industry is on the rise, but the overall digitalization level remains low. While digitalization conditions and applications are performing well, issues related to the benefits of digitalization remain prominent. There is significant regional imbalance in the intelligent level of China's manufacturing industry, showing a stepwise distribution from the eastern to the central and western regions. The regional differences in the intelligent level of China's manufacturing industry primarily stem from inter-regional disparities, and these differences are gradually narrowing. The imbalance in the intelligent level of manufacturing across the country and three major regions exhibits a fluctuating upward trend, with a polarized pattern emerging nationwide.

## Keywords

Manufacturing Digitalization, Regional Differences, Entropy Weight Method, Dagum Gini Coefficient, Kernel Density Estimation

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

数字经济的发展是推动新发展格局构建的核心驱动力,亦是实现中国式现代化的必由之路,同时,它还在全球竞争中为我国赢得了发展的先机。新发展格局的构建,关键在于加快国内经济大循环的畅通和国内国际双循环的无缝衔接,而数字技术凭借其天然的优势,为打破经济瓶颈、消除阻滞、推动统一大市场建设及畅通双循环提供了强有力的支持[1]。通过互联网共享经济平台,数字经济实现了供给与需求之间的精准对接,不仅提升了匹配效率,也显著降低了消费者的信息获取成本,从而增强了其边际消费倾向。此外,数字技术的应用还促进了产业链上下游企业的协同合作,助力生产要素的精准配置与即时匹配,从而提升了全要素生产率[2]。因此,数字经济在贯通生产、分配、流通与消费各个环节中的作用不可小觑,它不仅是构建新发展格局的关键引擎,也是建设现代化经济体系和增强国家竞争优势的重要动力源泉。

目前,关于制造业数字化的研究已经取得了显著进展,相关成果涵盖了多个重要领域。大部分研究集中于探讨制造业数字化的概念内涵[3][4]、测度方法[5]-[8]以及推动数字化转型的影响因素[9]-[12]等方面。然而,尽管取得了诸多成果,关于制造业数字化的内涵,学术界尚未达成一致意见,相关理解仍存在一定程度的模糊性与局限性。因此,为客观、精准地描述中国制造业数字化的发展水平,并对各省份的数字化水平进行比较分析,本文首先在已有研究成果的基础上,构建了一个适用于我国制造业数字化发展的评价指标体系。随后,运用熵值法对2013至2020年间中国制造业的数字化水平进行量化测算。接着,借助Dagum基尼系数,分析了该水平在区域之间的差异性及其演变趋势。最后,本文通过Kernel密度估计方法,对中国制造业数字化水平的时间、空间以及状态演变趋势进行了深入探讨。

## 2. 研究设计

### 2.1. 指标体系构建

制造业数字化转型的本质是通过新一代信息技术与制造技术的融合,实现资源要素、生产方式、业

务模式等方面的变革和创新,进而提升制造业的生产经营效率和核心竞争力,推动制造业迈向绿色创新的高质量发展阶段。简单来说,制造业转型首先是利用现有的数字化条件与生产技术深度融合,其次是将数字化应用辐射到产业链各个环节,最终带来制造业经济、绿色、创新等方面的效益提升。因此,本文按照《“十四五”数字经济发展规划》《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》制定的发展目标与评估原则从数字化条件、数字化应用、数字化效益三个维度构建贵州制造业数字化转型升级评价指标体系,参考已有研究,并考虑数据的真实可靠性,选取9个三级指标,如表1所示。

**Table 1.** Comprehensive measurement index system for the digitalization level of China's manufacturing industry  
**表 1.** 中国制造业数字化水平综合测度指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标测度	方向
制造业数字化转型	数字化条件	数字化基础设施建设	光缆线路长度/省域面积	+
		数字化人才储备	信息服务业从业人数	+
		数字化技术投入	信息传输、软件和信息技术制造业固定资产投资额	+
	数字化应用	数字化管理	(软件产品收入 + 嵌入式系统软件收入)/制造业主营业务收入	+
		数字化设备	智能制造装备数/装备总台数	+
		数字化服务	信息技术服务收入/制造业主营业务收入	+
	数字化效益	经济效益	规模以上工业企业利润总额/制造业主营业务收入	+
		绿色效益	能源消耗总量/GDP	-
		创新效益	规模以上工业企业专利申请数取对数	+

## 2.2. 研究方法

### 2.2.1. 熵值法

在深入探究中国各省份制造业数字化转型升级的进程中,本研究采纳了熵权法作为核心测算手段,具体计算过程如下:

首先需要对指标进行标准化,确保所有数据均处于0到1的取值范围内,以消除不同量纲之间的影响。设有 $m$ 个时期和 $n$ 个指标,令 $X_{ij}$ 表示第 $i$ 个时期第 $j$ 项指标的数值(其中 $i=1,2,\cdots,m$ ;  $j=1,2,\cdots,n$ )。

由此可构建原始数据矩阵 $Z=(X_{ij})_{m \times n}$ 。

$$Z_{ij} = \begin{cases} (X_{ij} - \min X_{ij}) / (\max X_{ij} - \min X_{ij}), & X_{ij} \text{ 为正向指标} \\ (\max X_{ij} - X_{ij}) / (\max X_{ij} - \min X_{ij}), & X_{ij} \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (1)$$

值得注意的是,标准化后可能会产生零值,为避免这种情况导致数据失去意义,我们将数据整体右移一个单位,定义 $Y_{ij} = Z_{ij} + 1$ 。

接着计算每个指标的比重,以反映各研究对象在特定指标上的相对重要性:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

随后计算每个指标的熵值,以充分考虑指标的信息量和相互关联度,避免主观因素的干扰及多指标变量的信息重叠。具体公式为:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, k = \frac{1}{\ln m} \quad (3)$$

接着, 根据熵值计算信息权重, 公式如下:

$$\omega_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \quad (4)$$

其中,  $k$  是玻尔兹曼常数,  $E_j$  代表第  $j$  项指标的熵值;  $\omega_j$  为第  $j$  项指标的信息熵权重值。

最后, 通过加权求和, 我们可以计算出样本的综合评价值  $U$ :

$$U = \sum_{i=1}^m Y_{ij} \times \omega_j \quad (5)$$

### 2.2.2. Dagum 基尼系数与分解

本文运用 Dagum 基尼系数方法对中国各省制造业数字化转型升级水平的差异进行深入分析。根据 Dagum 的按子群分解基尼系数的方法, 我国人均 GDP 的基尼系数可用以下公式定义:

$$G = G_w + G_b + G_t \quad (6)$$

其中,  $G$  代表总体差异的基尼系数。通过该方法, 我们可以将中国划分为  $K$  个区域和  $n$  个省,  $n_j$  和  $n_h$  分别表示第  $j$  和第  $h$  省区域内所包含的省份数量, 而  $y_{ji}$  和  $y_{hr}$  则表示这两个省内任意地区的数字化转型指标均值,  $\bar{y}$  表示中国各省数字化转型的均值。

首先需计算各省的数字化转型均值并进行排序, 表示为:

$$\bar{y}_j, j = 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

接下来, 基于各省的均值, 可将总体基尼系数细化为组内基尼系数  $G_w$ 、组间基尼系数  $G_b$  以及超变密度  $G_t$  三部分, 进一步将总体差异进行分解。式(2)表示第  $j$  区域的数字化水平基尼系数  $G_{jj}$ ; 式(3)表示该区域的组内差异对总体差异的贡献率  $G_w$ ; 式(4)反映  $j$ 、 $h$  的区域间基尼系数  $G_{jh}$  的计算公式; 式(5)表述区域间净值差异对总体差异的贡献率  $G_{nb}$ ; 式(6)刻画了超变密度的贡献  $G_t$

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

$$G_w = \sum_{j=1}^K G_{jj} p_j s_j \quad (9)$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\bar{Y}_j + \bar{Y}_h)} \quad (10)$$

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

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

### 2.2.3. Kernel 密度估计

为描绘出中国各省份制造业数字化转型升级水平的分布形态与动态演变趋势, 本文采用 Kernel 密度估计法进行研究, 进而揭示转型升级过程中的集群效应与离散程度。

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (13)$$

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (14)$$

其中,  $\hat{f}(x)$  是制造业数字化水平  $x$  的概率密度函数,  $n$  是样本数量,  $K(x)$  是核密度函数,  $h$  是带宽, 控制核函数的扩散程度, 其选择会直接影响估计的准确性。较小的带宽会导致较尖锐的密度估计, 而较大的带宽会导致较平滑的密度估计。

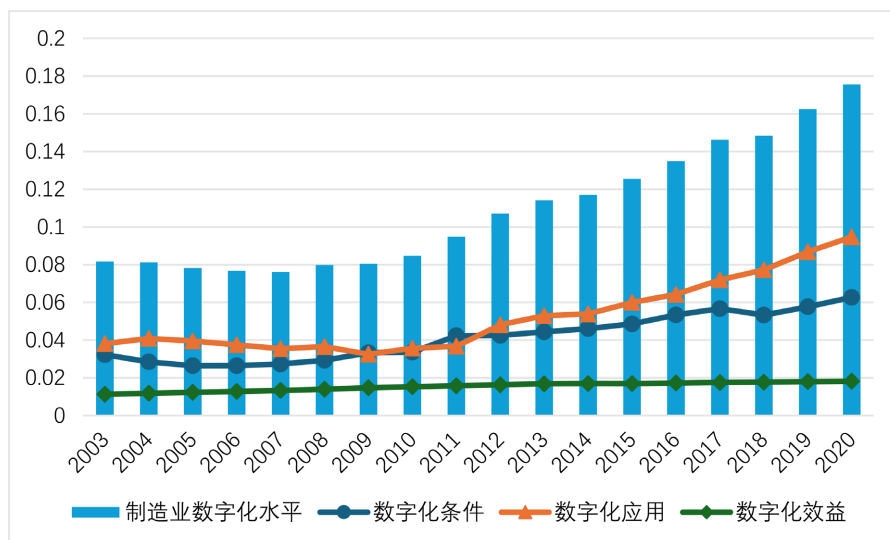
### 2.3. 数据来源

本研究中所采集的数据主要来源于多个权威渠道, 包括国家统计局官网、工业和信息化部官网, 以及各省级统计年鉴。此外, 还参考了《中国电子信息产业统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国经济普查年鉴》和《中国科技统计年鉴》等系列文献。这些资料为我们的研究提供了坚实的数据基础。然而, 在数据收集过程中, 部分数据出现了缺失。为了解决这一问题, 本文参考已有研究[13]-[15]采用线性插值法等统计学方法, 对缺失的数值进行了合理的填补, 从而确保了数据的完整性和准确性。

## 3. 制造业数字化水平测度结果分析

### 3.1. 全国制造业数字化水平及维度发展态势

根据图 1 的数据, 中国制造业的数字化水平从 2003 年的 0.0817 提升至 2020 年的 0.1756, 增长幅度约为 114.94%。尽管如此, 整体数字化水平仍然偏低。从各个维度来看, 尽管数字化效益相对较低, 但呈现出稳定的上升趋势, 样本期内的累计增长为 61.59%。这一变化表明, 制造业的高质量发展正在以数字化为契机, 推动着新一轮的技术创新, 并实现数字技术与制造全流程的深度融合, 进而引领产业的转型升级。这一过程更加注重经济效益、绿色效益与创新效益的提升。在数字化应用方面, 除 2004 年出现了轻微的下降外, 整体趋势是持续上升, 尤其是在 2010 至 2020 年间, 增长率高达 165.11%。这一趋势反映了制造业在数字化管理、数字化装备以及数字化服务方面的持续进步。至于数字化条件的变化, 整体呈现出波动上升的态势。2003 至 2006 年间, 数字化条件呈下降趋势, 年均下降率为 9.51%。然而,



**Figure 1.** The trend of changes in the digitalization level and dimensional indices of China's manufacturing industry from 2003 to 2020

**图 1.** 2003~2020 年中国制造业数字化水平及维度指数变化态势

自 2007 年起, 数字技术的开发与应用受到了更大的关注, 显著推动了新一代信息技术在先进制造技术中的应用, 有效提升了全国范围内的数字化水平。

### 3.2. 三大地区制造业数字化水平的变化态势

从图 2 的数据可以看出, 三大地区制造业的数字化水平呈现出与全国总体趋势相似的变化走势。尽管东部地区在 2004 年出现了短暂的下降, 但整体上, 三个地区均显示出数字化水平稳步提升的态势。这一现象反映了我国制造业发展的积极前景。进一步分析三大地区的差异, 可以发现, 东部地区的制造业数字化水平均值介于 0.1406 和 0.2632 之间, 明显高于全国和中西部地区的水平。相比之下, 中部地区的数字化水平虽然低于东部和全国平均水平, 但其数字化水平均值(0.0482~0.1207)仍高于西部地区。西部地区在制造业数字化方面的水平较为滞后, 与东部地区之间仍存在较大差距。

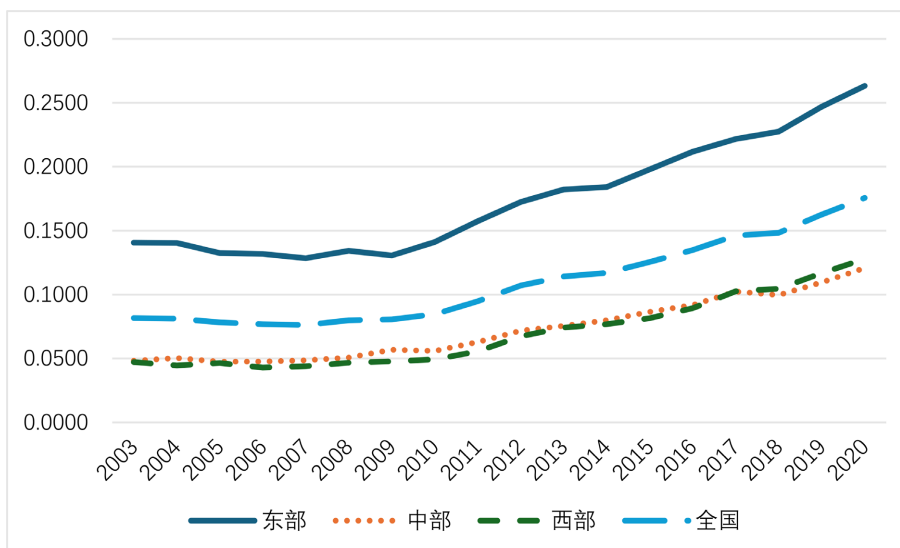


Figure 2. The trend of digitalization level in national and three major regional manufacturing industries from 2003 to 2020

图 2. 2003~2020 年全国及三大地区制造业数字化水平变化态势

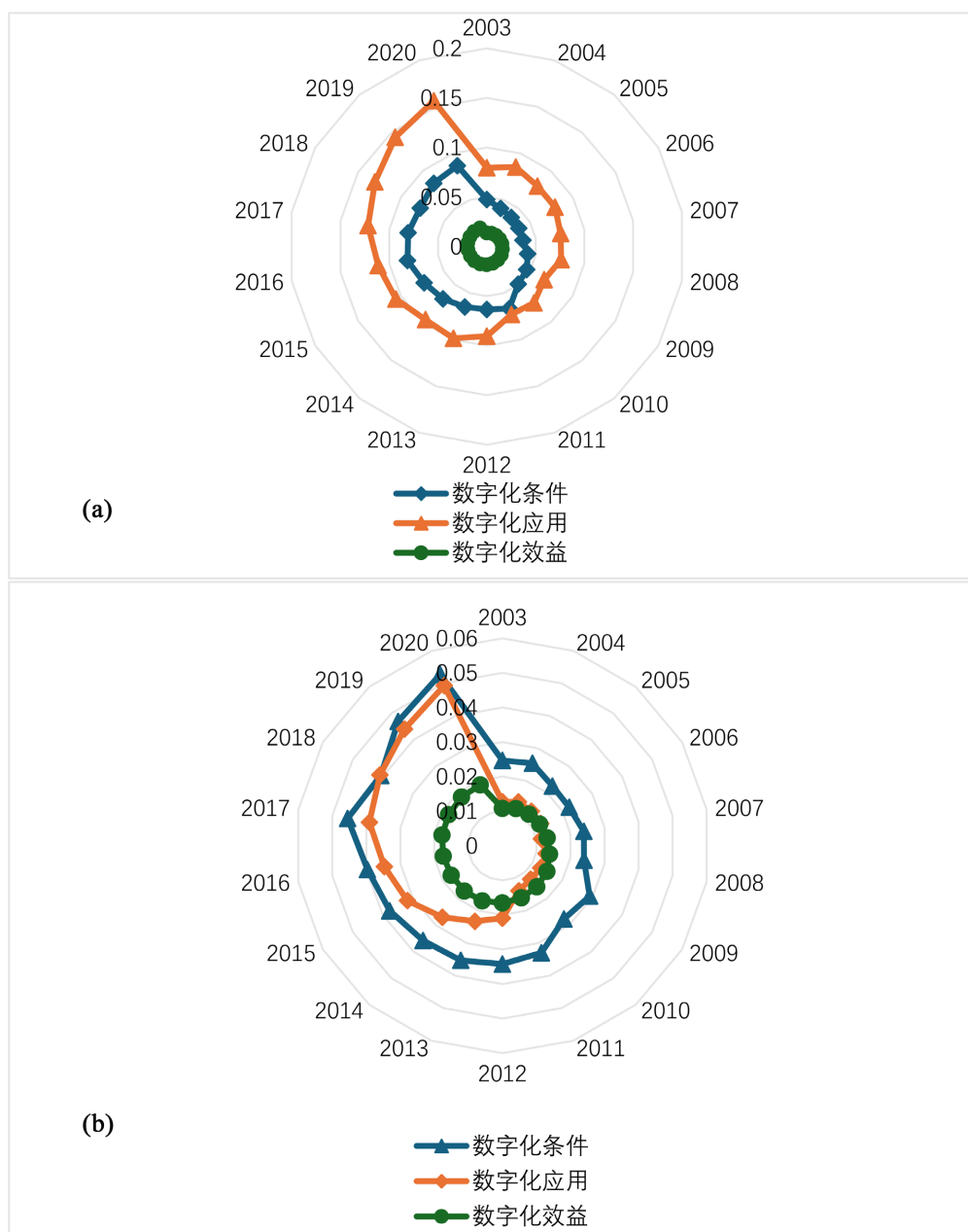
由图 3(a)可知, 东部地区 3 个维度的分布较为均匀, 考察期内均值最高的是数字化应用(0.0969), 数字化条件次之(0.0603), 最低的为数字化效益(0.0175)。由图 3(b)可知, 中部地区 3 个维度在考察期内均值最高的是数字化条件(0.0334), 数字化应用次之(0.0237), 最低的为数字化效益(0.0154)。由图 3(c)可知, 西部地区 3 个维度在考察期内均值最高的为数字化应用(0.0287), 数字化条件次之(0.0283), 最低的为数字化效益(0.0133)。综上所述, 东部地区的数字化转型在应用、条件和效益三个维度上较为均衡且优势明显; 中部地区在数字化条件上领先, 但应用和效益提升仍显不足; 西部地区在数字化应用上已有突破, 但条件和效益的滞后表明其转型尚处初期阶段。

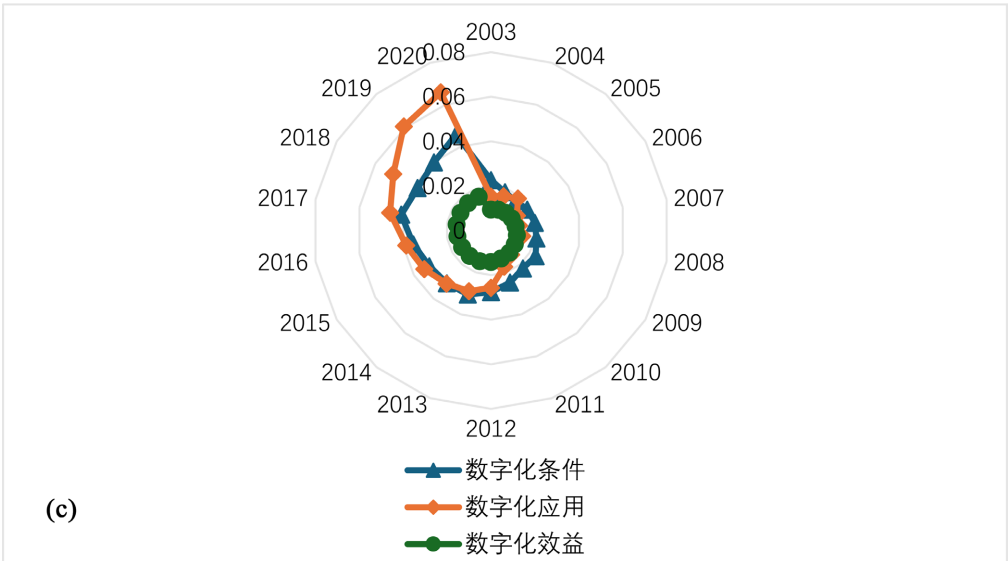
### 3.3. 省域制造业数字化水平分析

由图 4 可知, 2020 年中国各省份制造业数字化水平介于 0.0228~0.4472, 均值  $E$  为 0.1092, 标准差  $SD$  为 0.0881, 各省份差异较为明显。借鉴文献[13][14], 将水平值大于  $E+0.5SD$  (0.1532)的省份归结为深入型省份; 将水平值小于  $E-0.5SD$  (0.0652)的省份归结为落后型省份, 将水平值大于 0.1092 小于 0.1532 的省份归结为起飞型省份, 将水平值大于 0.0652 小于 0.1092 的省份归结为追赶型省份, 具体数值如表 2 所示。

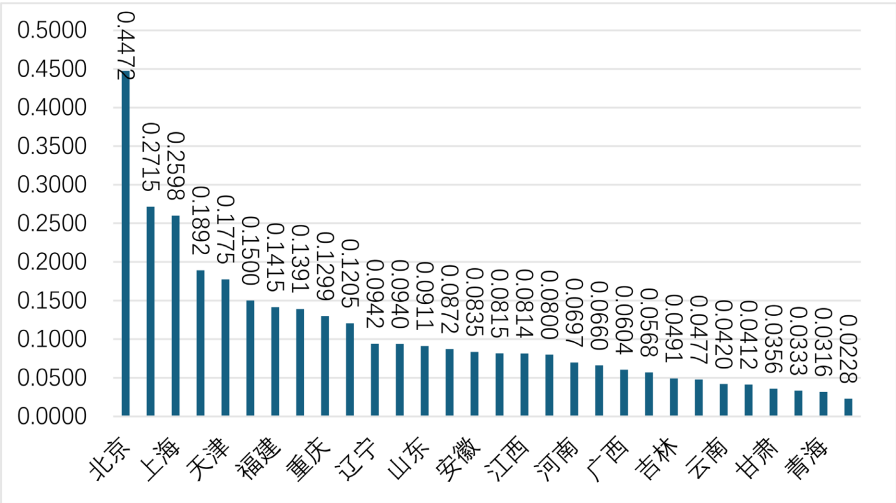


由图4可知,制造业数字化水平达到0.4192以上的深入型省市有5个,从高到低分别是北京、广东、上海、江苏、天津,这些省市的制造业数字化发展成绩较为明显,北京处于领先地位;制造业数字化水平大于0.1092小于0.1532的起飞型省市有5个,从高到低分别是陕西、福建、四川、重庆、浙江,这些省市在制造业转型发展过程中注重制造业数字化,但仍有一定的上升空间;制造业数字化水平大于0.0652小于0.1092的省份有10个,从高到低分别是辽宁、湖北、山东、贵州、安徽、海南、江西、湖南、河南、山西,这些省份制造业数字化水平低于均值,不够重视制造业数字化发展,仍然存在较大的追赶空间;另外的10个落后型省份和自治区制造业数字化水平小于0.0652,占考察省份和自治区总数的30%,这些省份和自治区制造业数字化水平还需要加快提升,特别是新疆、青海、内蒙古和甘肃,均低于0.04,这些省份和自治区应更加重视发展数字化转型。





**Figure 3.** The characteristics of each dimension of digitalization manufacturing in the three major regions. (a) Eastern Region; (b) Central Region; (c) Western Region  
**图 3.** 三大地区制造业数字化各维度特征。(a) 东部; (b) 中部; (c) 西部



**Figure 4.** Ranking of the digitalization level of manufacturing industry in each province in 2020  
**图 4.** 2020 年各省份制造业数字化水平排名

**Table 2.** Ranking of each dimension of intelligent manufacturing in provinces, cities and autonomous regions in 2020  
**表 2.** 2020 年各省市、自治区制造业数字化各维度排名

排名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
数字化条件	北京	上海	广东	江苏	天津	陕西	浙江	四川	贵州	江西
	0.1759	0.1297	0.1271	0.1034	0.0887	0.0855	0.0756	0.0742	0.0726	0.0717
数字化应用	北京	广东	重庆	上海	四川	江苏	天津	陕西	浙江	福建
	0.6737	0.2207	0.1873	0.1757	0.1477	0.1436	0.1398	0.1385	0.1051	0.0787
数字化效益	广东	江苏	浙江	安徽	山东	福建	湖北	上海	河南	湖南
	0.0243	0.0233	0.0228	0.0212	0.0210	0.0206	0.0205	0.0204	0.0202	0.0202



续表

排名	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
数字化条件	安徽	湖北	重庆	辽宁	山东	福建	湖南	河南	海南	山西
	0.0709	0.0638	0.0596	0.0595	0.0566	0.0544	0.0516	0.0494	0.0492	0.0466
数字化应用	山东	安徽	湖北	江西	辽宁	贵州	河南	广西	湖南	山西
	0.0739	0.0683	0.0681	0.0675	0.0602	0.0568	0.0561	0.0559	0.0522	0.0492
数字化效益	四川	江西	北京	重庆	河北	天津	陕西	辽宁	云南	贵州
	0.0201	0.0198	0.0198	0.0191	0.0187	0.0186	0.0180	0.0177	0.0176	0.0171
排名	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
数字化条件	云南	宁夏	青海	黑龙江	河北	吉林	甘肃	内蒙古	广西	新疆
	0.0420	0.0402	0.0402	0.0358	0.0349	0.0319	0.0276	0.0273	0.0261	0.0084
数字化应用	海南	云南	青海	宁夏	吉林	甘肃	新疆	内蒙古	河北	黑龙江
	0.0404	0.0368	0.0336	0.0305	0.0254	0.0189	0.0098	0.0097	0.0093	0.0075
数字化效益	广西	吉林	黑龙江	山西	甘肃	新疆	内蒙古	青海	海南	宁夏
	0.0169	0.0164	0.0159	0.0154	0.0151	0.0143	0.0142	0.0132	0.0119	0.0118

由表 2 可知：在数字化背景下，各省市、自治区的数字化发展存在显著差异。根据 2020 年相关数据显示，(1) 数字化条件，数字化条件指数的全国平均值为 0.0627。12 个省市、自治区的数字化水平高于这一均值，而其余 18 个省市、自治区则低于均值，尤其是甘肃、内蒙古、广西和新疆四地，指数均低于 0.03。这与北京的数字化水平相差甚远，表明不同地区在数字要素的投入上存在明显的不均衡。北京和上海在这一领域的投入尤为突出，二者的数字化基础设施和数字化条件相对领先，表现出较强的技术优势。(2) 数字化应用，2020 年数字化应用指数的全国均值为 0.0947，表明智能技术的应用水平整体偏高。超过 0.1 的省份有 9 个，约占全国的 30%。这一数据揭示了新一代信息通信技术与先进制造业的深度融合，已成为大多数省份亟需重点关注的议题，智能技术的广泛应用与落地实施成为推动各地发展的关键因素。(3) 数字化效益，2020 年全国数字化效益指数的均值为 0.0182，反映出当前的数字化效益仍处于较低水平。仅有 16 个省份(广东、江苏、浙江、安徽等)处于均值以上，占总数的 53.33%，其余 14 个省份则低于均值。尤其在数字经济的推动下，制造业数字化的重点逐渐转向生态环境质量的改善与劳动效率的提升，成功摆脱了过去依赖低效模式(如先污染后治理、先低端后高端、先粗放后集约)的发展路径，走向更加可持续和高效的发展方向。

#### 4. 中国制造业数字化水平的区域差异

本文通过 Dagum 基尼系数分解法来对全国及东、中、西三个区域制造业数字化水平的区域差异及其贡献率进行测度，结果见表 3。

1) 数字化水平的区域差异性总体趋势。在表 3 所示数据中，我国制造业的数字化水平呈现出区域差异逐渐缩小的趋势，其基尼系数在考察期内下降了约 16.6%。这一现象的背后可能有几个关键因素：首先，国家政策的积极推动无疑是重要原因之一。近年来，政府通过出台如《信息化和工业化深度融合发展规划(2016~2020 年)》等政策，以及实施财政补贴和税收优惠等措施，极大促进了低数字化地区的技术提升和产业转型。其次，技术的进步与成本的降低，使得更多中小型企业也能够逐步进行数字化升级。云计算、大数据和人工智能等技术的普及，降低了技术应用的门槛，助力了中小企业的转型。再者，激

烈的市场竞争促使企业加大数字化投入，从而提升了整体生产效率并缩小了区域间的差距。综上所述，这些因素共同推动了我国制造业数字化水平区域差异的不断缩小。

**Table 3.** Regional differences and contribution rates of the digitalization level in China’s manufacturing industry  
**表 3.** 中国制造业数字化水平的区域差异及其贡献率

年份	总体 G	区域内差异			区域间差异			贡献率(%)		
		东部	中部	西部	东 - 中	东 - 西	中 - 西	区域内	区域间	超变密度
2003	0.4559	0.3736	0.1299	0.3980	0.5335	0.5703	0.3179	26.94	58.26	14.80
2004	0.4413	0.3494	0.1402	0.3430	0.5228	0.5764	0.2820	25.52	62.08	12.40
2005	0.4410	0.3499	0.1536	0.3831	0.5219	0.5555	0.3080	26.49	57.92	15.59
2006	0.4456	0.3584	0.1239	0.3822	0.5172	0.5731	0.3045	26.24	60.35	13.41
2007	0.4375	0.3593	0.1168	0.3820	0.5030	0.5593	0.3083	26.61	58.88	14.51
2008	0.4239	0.3660	0.1047	0.3418	0.4949	0.5427	0.2700	26.97	60.07	12.97
2009	0.3820	0.3186	0.1007	0.3329	0.4193	0.5076	0.2715	26.45	62.49	11.06
2010	0.3928	0.3101	0.0915	0.3555	0.4417	0.5145	0.2913	25.85	64.13	10.02
2011	0.3887	0.3117	0.0981	0.3367	0.4421	0.5087	0.2787	25.91	64.23	9.97
2012	0.3901	0.3284	0.0992	0.3626	0.4295	0.4924	0.3114	27.30	58.41	14.29
2013	0.3973	0.3403	0.1030	0.3864	0.4326	0.4887	0.3319	28.10	55.32	16.58
2014	0.3810	0.3104	0.1111	0.3786	0.4135	0.4744	0.3280	27.43	55.94	16.63
2015	0.3767	0.3086	0.1149	0.3672	0.4101	0.4740	0.3120	27.38	57.15	15.47
2016	0.3692	0.3063	0.1230	0.3462	0.4147	0.4601	0.2928	27.47	57.05	15.47
2017	0.3688	0.3338	0.3564	0.1238	0.4497	0.3947	0.3011	29.24	51.39	19.37
2018	0.3706	0.3308	0.3334	0.1454	0.4414	0.4202	0.2999	28.81	53.72	17.47
2019	0.3740	0.3401	0.3528	0.1507	0.4435	0.4132	0.3030	29.61	52.08	18.31
2020	0.3803	0.3774	0.3376	0.1632	0.4448	0.4172	0.2950	30.79	49.15	20.06

2) 数字化水平的区域内差异。从表 3 中的数据来看，东部地区在考察期内的演变趋势呈现“波浪式”变化。具体而言，2003~2006 年间该地区的数字化水平出现小幅下降，随后在 2007 至 2009 年略有回升，接着在 2011~2013 年再次回落，并在 2016 年达到了考察期内的最低点。之后，该地区的数字化水平小幅回升，并略高于初始值。中部地区则呈现出另一种波动性变化，2003 至 2005 年间表现出缓慢增长，随后的几年则出现了急剧的下降，并在 2012 年达到低点，随后有了显著的上升趋势。西部地区在 2003~2016 年期间整体呈现出相对稳定的变化趋势，虽然存在一定幅度的下降，但总体上波动较小，直到 2017 年出现急剧下降，并在随后的几年中逐步回升。由此可见，东部地区的制造业数字化水平差异性较为显著，远高于中部和西部地区。

3) 数字化水平的区域间差异。从表 3 的数据可以看出，东部与中部之间的数字化水平差异经历了波动式的下降。具体而言，2003 至 2009 年该区域差异迅速缩小，之后的两年出现了小幅回升，直到 2012 至 2015 年再次表现为缓慢下降，最终在 2016 年略有回升。整体来看，东中部差异呈现出逐步缩小的趋势，降幅约为 16.63%。东部与西部的差异也显示出下降的趋势，降幅为 26.85%。而中部与西部的差异则呈现出较为复杂的波动模式，2003 至 2010 年期间波动下降，直至 2011 年降至最低值后，在 2020 年有

所回升。整体来看, 区域间差异显现出持续缩小的态势。根据基尼系数均值的差异排序, 制造业数字化水平的区域间差异按大小排列依次为东 - 西部、东 - 中部和中 - 西部。

4) 数字化水平区域差异的贡献分析。从表 3 的相关数据分析来看, 区域内差异的贡献率波动幅度较小, 但总体呈现上升趋势, 增幅约为 14.29%。区域间差异的贡献率则表现为“倒 U”型波动, 2003 年至 2011 年间呈现出持续上升的趋势, 之后逐步下降, 并在 2020 年达到最低值, 整体下降幅度为 15.64%。另外, 超变密度的贡献率则呈现出“U”型的波动趋势, 从 2003 年到 2011 年逐步下降, 之后在 2011 年达到最低点, 之后再次回升, 直到 2020 年达到最高点, 整体增幅约为 35.54%。在三者的贡献率中, 区域间差异的贡献最大, 平均为 57.70%, 其次是区域内差异(平均为 27.40%), 而超变密度贡献较小, 平均为 14.91%。

5. 中国制造业数字化水平的分布动态演进

图 5 展示了全国及三大地区制造业数字化水平的分布位置、演进态势、延展性以及极化态势。

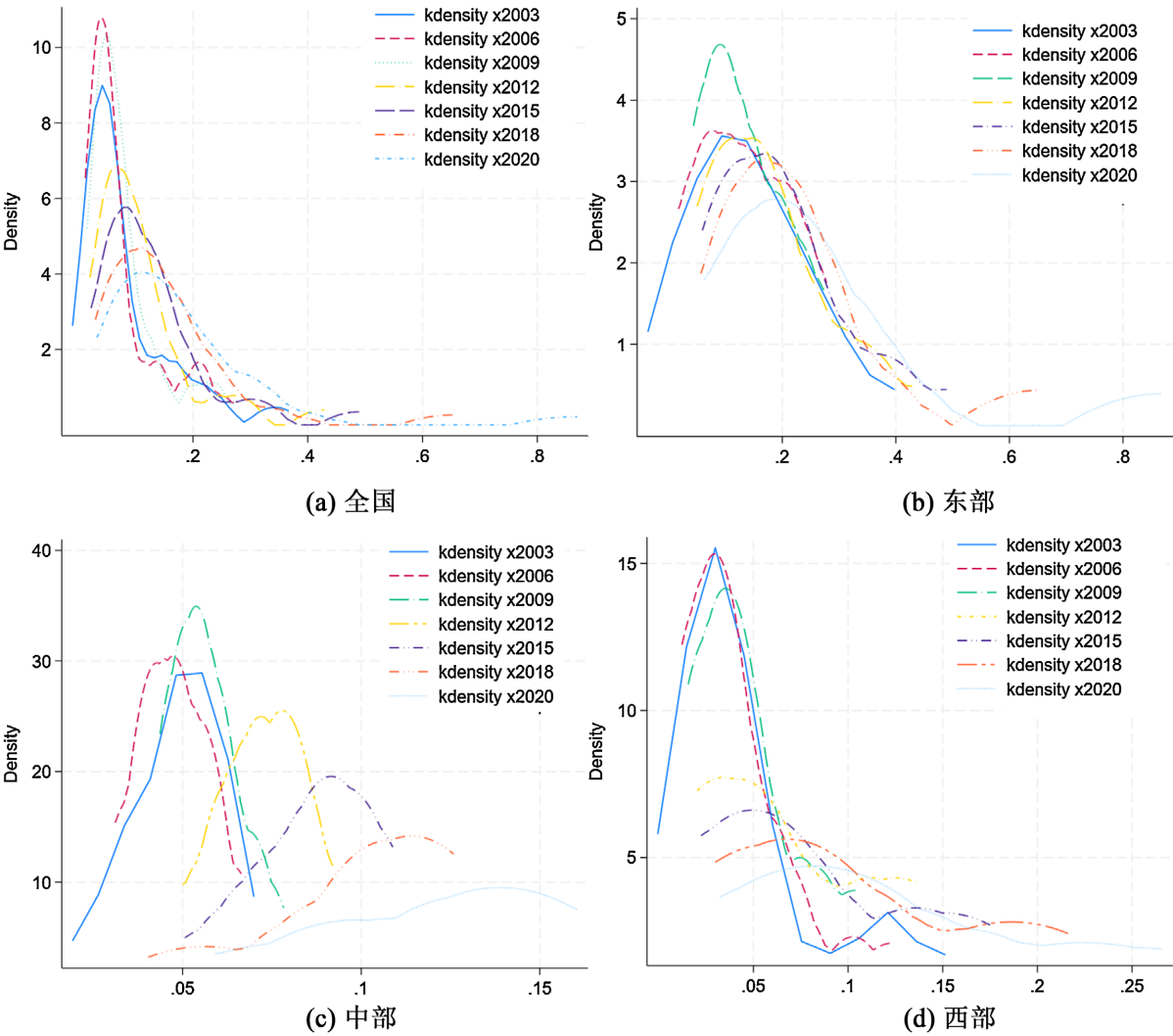


Figure 5. Kernel density distribution curve of the digitalization level of manufacturing industry nationwide and in the three major regions

图 5. 全国及三大地区制造业数字化水平 Kernel 密度曲线分布图

由图 5(a)可知, 在分布位置方面, 主要的变化过程为先向左偏移, 再向右偏移, 这就是说, 全国制造业数字化不平衡性在 2003~2020 年出现了非均衡性在考察期内出现了先降后加大的变化情况; 而在分布形态方面, 曲线主峰高度持续下滑(除 2006、2009 年以外), 从曲线的形态来看, 高度逐年变低, 而宽度则逐年变宽, 表明全国省际制造业数字化水平非均衡性在 2003~2020 年表现出上升趋势。在分布延展性方面, 曲线拖尾特征非常的明显, 这种情况逐年变得显著, 表明全国省际制造业数字化水平的非均衡性在 2003~2020 年表现出上升趋势, 也就是说, 高低省份差距越来越大; 在极化现象方面, 考察期内主要呈现“单主峰、多侧峰”的形态, 表明中国产业数字化水平存在极化现象。然而, 右侧的峰值低于左侧峰值, 右侧波峰逐渐向平均水平收敛, 说明产业数字化水平差异有所改善。

根据图 5(b)所示, 东部地区在研究期间的 Kernel 密度曲线展现出“主峰显著上升 - 急剧下降”的变化趋势, 伴随主峰宽度的变动表现为“轻微收窄 - 显著扩展”。这意味着, 在 2003 至 2020 年间, 东部地区制造业数字化水平的不均衡性经历了先下降后上升的过程。同时, 从曲线中心位置的变化来看, 整体呈现向右移动的趋势, 表明该地区制造业数字化不平衡性在此期间有了明显的上升。而自 2018 年起, 东部地区的 Kernel 密度曲线出现了明显的拖尾现象, 揭示了各省份制造业数字化水平存在显著的梯度差异。

图 5(c)显示, 中部地区在考察期内的 Kernel 密度曲线表现出主峰高度的变化特征为“急剧下降 - 轻微上升 - 再次明显下降”, 而主峰宽度则连续扩大, 表明该地区制造业数字化水平的不均衡性呈上升趋势。曲线中心的整体右移同样反映了 2003 至 2020 年间中部地区制造业数字化不均衡性的上升。值得注意的是, 尽管该地区的分布有所扩展, 但并未出现显著的拖尾现象, 这表明中部地区在此期间不存在明显的梯度差异。

至于图 5(d), 西部地区的 Kernel 密度曲线表现出“显著上升 - 大幅下降”的主峰高度变化趋势, 同时, 主峰宽度呈现出“轻微收窄 - 显著拓宽”的特点, 表明该地区制造业数字化水平的非均衡性经历了先下降后上升的过程。曲线中心位置的连续右移进一步表明西部地区制造业数字化不均衡性正在扩大。从分布的延展性来看, 自 2012 年以来, 西部地区的 Kernel 密度曲线显现了明显的拖尾现象, 这主要源于四川、重庆等省市的制造业数字化水平显著高于其他省市, 揭示了该地区各省市之间制造业数字化水平存在显著的梯度差异。

## 6. 结论

本研究依据制造业数字化评估指标体系构建的逻辑框架, 设计了涵盖数字化条件、数字化应用及数字化效益三个维度、九个基础指标的综合评估体系, 用于衡量中国制造业的数字化发展水平。通过熵权法, 本文对 2003 至 2020 年间中国制造业数字化水平进行了量化分析。研究表明: (1) 中国制造业的数字化发展呈现持续增长的态势, 但数字化水平仍较为滞后。具体来看, 数字化水平介于 0.0817 与 0.1756 之间, 从 2003 年的 0.0817 增至 2020 年的 0.1756, 增长率达 114.94%。在各维度中, 数字化应用和条件的表现相对较好, 而由于数字化转型效应的滞后性, 数字化效益相对较低。(2) 中国制造业的数字化水平存在显著的区域差异, 呈现出东部、中部与西部之间的阶梯式分布特征。具体来说, 东部地区的数字化水平平均值介于 0.1406 至 0.2632, 中部地区的数字化水平平均值在 0.0482 到 0.1207 之间, 西部地区则显示出较为滞后的数字化水平。(3) 中国制造业数字化水平的区域差异主要来源于区域之间的不平衡, 且这一差距正在逐渐缩小。从差异贡献率来看, 区域间差异占最大份额, 达到 64.23%, 其次是区域内差异(30.79%), 而超变密度对差异的影响最小, 为 9.97%。(4) 通过核密度估计分析可以看出, 中国各省之间的制造业数字化水平的不均衡性呈逐年加剧的趋势, 并显示出两极分化的特征。而对于东、中、西部三大区域而言, 尽管存在一定的不均衡性, 但未见明显的极化现象。

## 基金项目

贵州省理论创新课题: 贵州深化实体经济和数字经济融合发展路径研究(GZLCLH-2025-10)。

## 参考文献

- [1] 邹玉坤, 谢卫红, 郭海珍, 等. 数字化创新视角下中国制造业高质量发展机遇与对策研究[J]. 兰州学刊, 2022(1): 38-52.
- [2] 罗佳, 张蛟蛟, 李科. 数字技术创新如何驱动制造业企业全要素生产率?——来自上市公司专利数据的证据[J]. 财经研究, 2023, 49(2): 95-109+124.
- [3] 王喜文. 工业 4.0、互联网+、中国制造 2025 中国制造业转型升级的未来方向[J]. 国家治理, 2015(23): 12-19.
- [4] 蔡呈伟, 戚聿东. 工业互联网对中国制造业的赋能路径研究[J]. 当代经济管理, 2021, 43(12): 40-48.
- [5] 刘明, 邓志慧, 王一凡. 中国制造业数字化发展水平的测度、区域差异及动态演进[J/OL]. 兰州财经大学学报, 1-20. <https://link.cnki.net/urlid/62.1213.f.20250314.0909.002>, 2025-10-13.
- [6] 王和勇, 姜观尚. 我国区域制造业数字化转型测度及其影响机制[J]. 科技管理研究, 2022, 42(2): 192-200.
- [7] 温馨, 陈俊洪, 殷艳娜. 基于序参量-TOPSIS 法的制造业数字化转型能力评价与调优[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(18): 50-60.
- [8] 余昕民. 制造业数字化转型升级能力测度及提升策略研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西财经大学, 2023.
- [9] 王和勇, 何泓漫. 区域制造业数字化转型评价及影响机制研究[J]. 工业技术经济, 2023, 42(7): 40-47.
- [10] 李健旋. 中国制造业数字化程度评价及其影响因素研究[J]. 中国软科学, 2020(1): 154-163.
- [11] 张林刚, 戴国庆, 熊焰, 等. 中国制造业数字化转型评价及影响因素——基于模糊集定性比较分析[J]. 科技管理研究, 2022, 42(7): 68-78.
- [12] 童雨. 中国制造业数字化转型的影响因素研究[J]. 技术经济与管理研究, 2022(3): 124-128.
- [13] 杨承佳, 李忠祥. 中国数字经济发展水平、区域差异及分布动态演进[J]. 统计与决策, 2023, 39(9): 5-10.
- [14] 杨承佳. 中国制造业数字化水平、区域差异及分布动态演进[J]. 统计与决策, 2024, 40(6): 104-109.
- [15] 项肖, 范巧, 黄依洁. 中国工业数字化水平测度及其时空演变研究[J]. 工业技术经济, 2023, 42(7): 14-22.