

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202407038



# 中国省域数字经济发展水平测度与时空差异及影响因素分析

刘珂, 吕书龙, 刘文丽, 黄文彬

(福州大学 数学与统计学院, 福建 福州 350108)

**摘要:** 基于 2015—2021 年中国的 30 个省(自治区、直辖市)面板数据,从数字基础设施、数字创新环境、数字治理、数字产业化、产业数字化 5 个维度构建综合评价指标体系;用熵值法客观测算各省数字经济发展水平,采用核密度估计和泰尔指数进行时空差异分析,以最优分层构建地理探测器对数字经济发展水平进行影响因素分析。结果表明:各省数字经济发展水平及分维度指标均明显增长;数字经济发展龙头地区在中国的东部,且低水平省份占比有下降趋势;与 2015 年相比,2021 年 30 个省(自治区、直辖市)数字经济发展水平的总体差异、区域内差异、区域间差异均显著降低;考察期内数字经济发展水平分层异质性的影响因素按平均解释能力由强到弱依次为政府投入、经济水平、城镇化水平、人力资源及产业结构。

**关键词:** 数字经济; 时空差异; 影响因素; 地理探测器

**中图分类号:** F 49; O 213

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-5013(2024)06-0789-11

## Analysis on Measurement, Spatiotemporal Differences and Influencing Factors of Digital Economy Development Level in Chinese Provinces

LIU Ke, LÜ Shulong, LIU Wenli, HUANG Wenbin

(College of Mathematics and Statistics, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** Based on panel data from 30 provinces (autonomous regions, municipalities directly under the Central Government) in China from 2015 to 2021, a comprehensive evaluation index system is constructed from the five dimensions of digital infrastructure, digital innovation environment, digital governance, digital industrialization, and industrial digitalization. The entropy method is employed to objectively measure the development level of the digital economy in each province. Kernel density estimation and Theil index are employed to analyze the spatial and temporal differences. The influencing factors of the development level of digital economy are analyzed by constructing the geographic detector with the optimal stratification. The results show that the development level of the digital economy and sub-dimension indicators in each province have increased significantly. The leading regions of digital economy development are in the eastern part of China, and the proportion of provinces with low-levels is declining. Compared with 2015, the overall difference, intra regional difference, and inter regional difference in the level of digital economy development in 30 provinces (autonomous regions, municipalities directly under the Central Government) in 2021 have significantly decreased.

**收稿日期:** 2024-07-27

**通信作者:** 吕书龙(1977-),副教授,主要从事统计计算和应用统计的研究。E-mail: wujispace@fzu.edu.cn。

**基金项目:** 国家统计局重点项目(2022LZ12);福建省本科高校教育教学改革项目(FBJY20230035);福州大学研究生院教学改革项目(0480-00489499, 0480-00488503);中国康复医学会科技发展项目(KFKT-2022-022)

During the investigation period, the influencing factors of hierarchical heterogeneity in the digital economy development level, in order of average explanatory power from strong to weak, are government investment, economic level, urbanization level, human resources, and industrial structure.

**Keywords:** digital economy; spatiotemporal difference; influencing factor; geographical detector

数字经济<sup>[1]</sup>是指以使用数字化的知识和信息作为关键生产要素、以现代信息网络作为重要载体、以信息通信技术的有效使用作为效率提升和经济结构优化的重要推动力的一系列经济活动。数字经济自1996年Don Tapscott首次提出以来,备受各国政府、权威机构及研究学者的关注<sup>[2-3]</sup>。然而,全球数字经济发展非常不均衡,中国的在数字经济发展过程中也存在不平衡问题。

目前,对数字经济发展水平的测度方法主要有增加值法、卫星账户法和综合评价指标体系法等。通过文献梳理,发现增加值法的测算结果具有较大的差异性<sup>[4-5]</sup>;尽管卫星账户法可利于国际间的比较,但相关理论研究还不够充分<sup>[6-7]</sup>;相比于增加值法和卫星账户法,综合评价指标体系法更加灵活,不仅可以进行个体间纵向比较,也可以对综合评价指数分维度进行横向分析<sup>[8-10]</sup>。对数字经济发展水平的时空差异分析主要采用核密度估计、基尼系数分解、聚类分析、空间相关分析、社会网络分析等。梳理发现时空差异分析方法丰富,但研究期限有待进一步跟进<sup>[10-12]</sup>。对数字经济发展水平的影响因素的判定主要采用空间计量模型、二次指派程序(QAP)、地理加权回归(GWR)、地理探测器模型等。已有文献指出,空间计量模型不可避免会受到变量间多重共线性的影响,因此,模型选择也会受到影响<sup>[10,13]</sup>。QAP分析可以克服多重共线性,但其主要用于研究关系方阵之间的相关性<sup>[14]</sup>;GWR也会受到自变量间共线性的影响<sup>[15]</sup>;而地理探测器模型不需要构建线性回归方程,没有过多的前提假设,而且不会受因素间共线性的影响<sup>[16]</sup>,但模型效果依赖于数值型因子分层方法的选择。

为弥补上述不足,本文对2015—2021年中国的30个省(自治区、直辖市)(不含西藏和港澳台)数字经济发展水平展开探索,采用熵值法、核密度估计、泰尔指数对研究区域的数字经济发展水平进行综合测算和时空差异分析,以最优分层构建地理探测器,找出数字经济发展水平的显著影响因素。

# 1 指标体系构建与研究方法

## 1.1 数字经济发展水平指标体系的构建

对相关文献进行总结,发现构建的评价指标体系多包含数字基础设施、数字产业化及产业数字化维度<sup>[17-20]</sup>,但仍不够全面。焦帅涛等<sup>[9]</sup>认为数字经济是一种伴随着数字技术不断创新的一种新经济形态,数字经济的发展需要数字化创新的加大和助力。而徐振剑等<sup>[10]</sup>认为数字化治理与公共服务等是数字经济的重要组成部分,贯穿数字化生产力与生产关系发展的始终。受上述文献的启发,根据科学性、系统性、全面性、代表性原则,从数字基础设施、数字创新环境、数字治理、数字产业化、产业数字化5个维度出发,同时考虑到指标数据的可得性,构建指标体系,如表1所示。

表 1 数字经济发展水平指标体系  
Tab. 1 Indicator system for development level of digital economy

一级指标	二级指标	单位	属性
数字基础设施	长途光缆线路长度 $y_1$	万公里	正向
	移动电话基站数 $y_2$	万个	正向
	互联网宽带接入端口数 $y_3$	万个	正向
	移动电话普及率 $y_4$	部·人 <sup>-1</sup>	正向
	互联网宽带接入普及率 $y_5$	户·人 <sup>-1</sup>	正向
	互联网域名数 $y_6$	万个	正向
	互联网网页数 $y_7$	万个	正向
	IPv4 地址数 $y_8$	万个	正向
数字创新环境	规模以上工业企业 R&D 人员全时当量 $y_9$	人年	正向
	规模以上工业企业 R&D 经费 $y_{10}$	亿元	正向
	国内专利申请授权量 $y_{11}$	项	正向
	技术市场成交额 $y_{12}$	亿元	正向

续表

Continue table

一级指标	二级指标	单位	属性
数字治理	政府一体化政务服务能力指数 $y_{13}$	—	正向
	政府科学技术财政支出 $y_{14}$	亿元	正向
数字产业化	软件业务收入 $y_{15}$	亿元	正向
	电信业务总量 $y_{16}$	亿元	正向
	互联网百强企业数量 $y_{17}$	家	正向
产业数字化	实物商品网上零售额占社会消费品零售总额比例 $y_{18}$	—	正向
	有电子商务交易活动的企业数比例 $y_{19}$	—	正向
	每百人使用计算机数 $y_{20}$	台	正向
	每百家企业拥有网站数 $y_{21}$	个	正向

数字基础设施是数字经济正常运转的前提条件。其中,以长途光缆线路长度、移动电话基站数、互联网宽带接入端口数反映基础硬件设施;以移动电话普及率、互联网宽带接入普及率反映硬件设施应用水平;以互联网域名数、互联网网页数、IPv4 地址数反映基础软件设施。

数字创新环境为数字经济持续发展提供新活力。其中,以规模以上工业企业 R&D 人员全时当量、规模以上工业企业 R&D 经费反映创新投入;以国内专利申请授权量、技术市场成交额反映创新成果。

数字治理是推动数字经济、数字生活安全健康可持续的重要环节。其中,以政府一体化政务服务能力指数反映政府数字服务能力;以政府科学技术财政支出反映数字治理支出力度。

数字产业化对应于数字经济核心产业,是数字经济发展的基础。以软件业务收入、电信业务总量、互联网百强企业数量反映数字产业化。

产业数字化是数字技术与实体经济的融合,给传统产业带来效率提升和产出增加。其中,以实物商品网上零售额占社会消费品零售总额的比例、有电子商务交易活动的企业数比例反映产业数字化交易;以每百人使用计算机数、每百家企业拥有网站数反映产业数字化经营。

1.2 数据说明

基于数据的可获得性及部分数据缺失较多,选取 2015—2021 年中国的 30 个省(自治区、直辖市)(不含西藏和港澳台,下略)为研究对象。表 1 中的  $y_5, y_{18}$  指标通过计算得到,属性均为正向。原始数据来源于国家统计局、《中国统计年鉴》、国家行政学院电子政务研究中心、中国互联网协会。

1.3 研究方法

1.3.1 熵值法 熵值法<sup>[11]</sup>是一种客观赋权法,根据指标的信息熵确定权重,权重越大,说明指标的影响越大。熵值法可以对多个指标进行综合、分维度测算,且其客观赋权的特点能充分体现数字经济发展的实际水平。因此,采用熵值法对数字经济发展水平进行客观综合评价,具体计算步骤参照文献[16]。

1.3.2 核密度估计 核密度估计是通过连续的密度曲线描述随机变量分布形态的一种非参数估计方法。核密度曲线可以清晰直观地展示变量分布的位置、形态及延展性。核密度估计对模型的依赖性较弱,具有稳健性,是研究不均衡分布的常用方法<sup>[21]</sup>。因此,参考文献[21-23],采用高斯核函数进行核密度估计,以期对数字经济发展水平分布的动态演变进行探索。

1.3.3 泰尔指数 泰尔指数<sup>[24]</sup>可以衡量地区间目标变量的差异性,其值为 0,意味着变量在空间上为绝对均衡,其值越大,则变量在空间上不平衡的程度越大。泰尔指数不仅可以衡量整体上的差异,也可以分解测算区域内差异、区域间差异对总差异的贡献。因此,为进一步量化数字经济发展水平的空间分布差异及对差异的动态发展展开探索,采用泰尔指数及其分解方法。泰尔指数及其分解公式分别为

$$T = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_k} \frac{y_{k,j}}{\mu} \ln \left( \frac{y_{k,j}}{\mu} \right) = \sum_{k=1}^K \frac{n_k \mu_k}{n \mu} \left( \frac{1}{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \frac{y_{k,j}}{\mu_k} \ln \left( \frac{y_{k,j}}{\mu_k} \right) \right) + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K n_k \frac{\mu_k}{\mu} \ln \left( \frac{\mu_k}{\mu} \right) = T_{\text{WR}} + T_{\text{BR}},$$
$$T_{\text{WR}} = \sum_{k=1}^K \frac{n_k \mu_k}{n \mu} \left( \frac{1}{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \frac{y_{k,j}}{\mu_k} \ln \left( \frac{y_{k,j}}{\mu_k} \right) \right),$$
$$T_{\text{BR}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K n_k \frac{\mu_k}{\mu} \ln \left( \frac{\mu_k}{\mu} \right),$$

$$T_k = \frac{1}{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \frac{y_{k,j}}{\mu_k} \ln \left( \frac{y_{k,j}}{\mu_k} \right)。$$

上式中: $K$  为区域数; $n$  为省(自治区、直辖市)数; $n_k$  为  $k$  区域所含省(自治区、直辖市)数; $y_{k,j}$  为  $k$  区域内  $j$  省(自治区、直辖市)数字经济发展水平; $\mu, \mu_k$  分别为整体和  $k$  区域数字经济发展水平均值; $T_{WR}$  为区域内泰尔指数; $T_{BR}$  为区域间泰尔指数; $T_k$  为  $k$  区域泰尔指数; $T$  为总泰尔指数。

区域内差异贡献率  $R_{WR}$ 、区域间差异贡献率  $R_{BR}$  及  $k$  区域差异贡献率  $R_k$  的计算公式分别为

$$R_{WR} = \frac{T_{WR}}{T}, \quad R_{BR} = \frac{T_{BR}}{T}, \quad R_k = \frac{n_k \mu_k}{n \mu} T_k。$$

1.3.4 地理探测器 地理探测器是一种统计量,用于测量和识别数据中的空间分层异质性<sup>[25]</sup>。相比于其他模型,地理探测器不需要构建线性回归方程,没有过多的前提假设,而且不会受因素间共线性的影响,其中,因子探测可以探测单个因子对因变量分层异质性的解释能力,交互探测则可以探测双因子的交互作用。因此,应用因子探测和交互探测进行数字经济发展水平的影响因素分析。

因子探测器是地理探测器的核心部分,刻画了因变量在整个空间与分层之间的离散方差,表达式为

$$q = 1 - \frac{\sum_{l=1}^L n_l \sigma_l^2}{n \sigma^2} = 1 - \frac{S_{SW}}{S_{ST}}。$$

上式中: $L$  是一个因子的分层数; $\sigma^2$  和  $\sigma_l^2$  为所有省份和  $l$  分层数字经济发展水平的方差; $S_{SW}$  为分层内方差之和; $S_{ST}$  为研究区域总方差。 $q$  的取值在  $[0, 1]$ , 值越大,说明数字经济发展水平分层异质性越明显,此因子对数字经济发展水平分层异质性的解释力越强,反之越弱。

交互探测器<sup>[26]</sup>是通过比较两个单因子  $q$  值和它们交互作用的  $q$  值来探测相互作用。交互探测器探测 5 种交互作用,包括非线性减弱、单因子减弱、双因子增强、独立和非线性增强<sup>[27]</sup>。

使用的熵值法、核密度估计、泰尔指数均通过 Stata17 软件实现,地理探测器分析通过 R4.3.3 软件实现,检验显著性水平均为 0.05。

2 数字经济发展水平及时空差异分析

2.1 数字经济发展水平初步分析

通过熵值法得到 2015—2021 年中国的 30 个省(自治区、直辖市)的数字经济发展水平,如图 1 所示。2015—2021 年中国的 30 个省(自治区、直辖市)的数字经济发展水平均值依次为 0.101 3, 0.112 4, 0.122 5, 0.140 2, 0.160 3, 0.175 8, 0.177 3。从时间变化看,30 个省(自治区、直辖市)数字经济发展水平均值逐年增长,各省也呈稳步增长趋势。其中,2015—2021 年数字经济发展水平始终高于均值的地区包括北京市、上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省,集中在中国的东部。

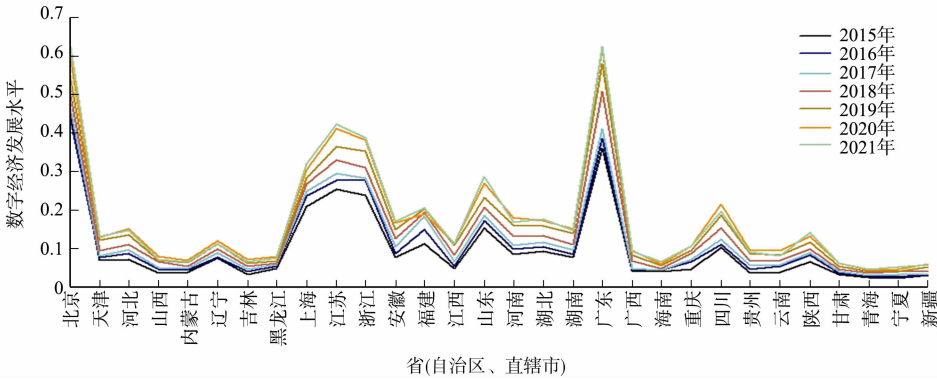


图 1 中国的 30 个省(自治区、直辖市)的数字经济发展水平

Fig. 1 Digital economy development level in 30 provinces (autonomous regions, municipalities directly under the Central Government) of China

中国的 30 个省(自治区、直辖市)的数字经济发展分维度水平,如图 2 所示。由图 2 可知:2015—

2021 年各地区数字基础设施、数字创新环境、数字治理、数字产业化及产业数字化维度水平均有提升, 但各维度水平分布不平衡, 水平较高的地区仍集中在中国的东部。

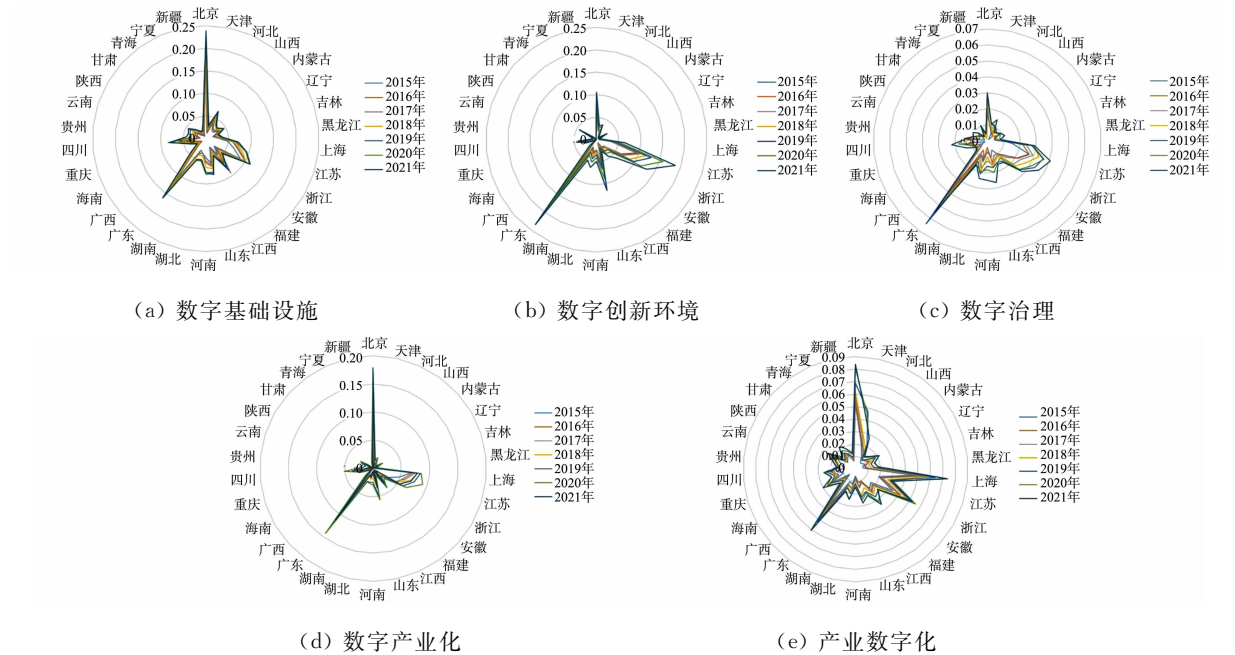


图 2 中国的 30 个省(自治区、直辖市)的数字经济发展分维度水平

Fig. 2 Sub-dimensional level of digital economy development in 30 provinces

(autonomous regions, municipalities directly under the Central Government) of China

进一步考察 30 个省(自治区、直辖市)的数字经济发展水平年段均值, 并从高到低排序后平均分成第 1 梯队、第 2 梯队、第 3 梯队, 如表 2 所示。由表 2 可知: 30 个省(自治区、直辖市)的数字经济发展水平年段均值的平均水平约为 0.141 4, 北京市、广东省、江苏省、浙江省、上海市、山东省、福建省及四川省年段均值均超过平均水平。

表 2 2015—2021 年中国的 30 个省(自治区、直辖市)的数字经济发展水平年段均值

Tab. 2 Mean value of digital economy development level in 30 provinces (autonomous regions, municipalities directly under the Central Government) of China from 2015 to 2021

分组	省(自治区、直辖市)	年段均值	分组	省(自治区、直辖市)	年段均值	分组	省(自治区、直辖市)	年段均值
第 1 梯队	北京市	0.527 6	第 2 梯队	安徽省	0.125 9	第 3 梯队	广西壮族自治区	0.067 9
第 1 梯队	广东省	0.498 2	第 2 梯队	湖南省	0.115 1	第 3 梯队	黑龙江省	0.063 3
第 1 梯队	江苏省	0.336 4	第 2 梯队	河北省	0.114 5	第 3 梯队	山西省	0.059 9
第 1 梯队	浙江省	0.318 9	第 2 梯队	陕西省	0.103 9	第 3 梯队	内蒙古自治区	0.054 7
第 1 梯队	上海市	0.266 6	第 2 梯队	天津市	0.101 0	第 3 梯队	吉林省	0.053 1
第 1 梯队	山东省	0.215 6	第 2 梯队	辽宁省	0.098 0	第 3 梯队	海南省	0.051 0
第 1 梯队	福建省	0.176 8	第 2 梯队	江西省	0.083 7	第 3 梯队	甘肃省	0.047 6
第 1 梯队	四川省	0.155 3	第 2 梯队	重庆市	0.083 0	第 3 梯队	新疆维吾尔自治区	0.043 5
第 1 梯队	湖北省	0.136 1	第 2 梯队	云南省	0.068 6	第 3 梯队	宁夏回族自治区	0.037 4
第 1 梯队	河南省	0.133 3	第 2 梯队	贵州省	0.068 6	第 3 梯队	青海省	0.036 2

中国的 30 个省(自治区、直辖市)数字经济发展水平分维度分区域年段均值平均水平, 如表 3 所示。表 3 中: 东部包括北京市、天津市、河北省、辽宁省、上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省、海南省; 中部包括山西省、吉林省、黑龙江省、安徽省、江西省、河南省、湖北省、湖南省; 西部包括内蒙古自治区、广西壮族自治区、重庆市、四川省、贵州省、云南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区。

由表 3 可知: 各个维度东部年段均值平均水平均高于中部、西部及 30 个省(自治区、直辖市)的平均水平, 而中部、西部均低于 30 个省(自治区、直辖市)的平均水平。



表 3 中国的 30 个省(自治区、直辖市)数字经济发展水平分维度分区域年段均值平均水平  
Tab. 3 Average level of digital economy development level in 30 provinces (autonomous regions, municipalities directly under the Central Government) of China in different dimensions and regions

分维度	年段均值平均水平			
	东部	中部	西部	30 个省(自治区、直辖市)
数字基础设施	0.080 2	0.037 8	0.029 4	0.050 3
数字创新环境	0.060 2	0.021 8	0.009 8	0.031 5
数字治理	0.020 3	0.012 1	0.007 5	0.013 4
数字产业化	0.050 2	0.010 2	0.008 4	0.024 2
产业数字化	0.035 0	0.014 4	0.014 6	0.022 0

2.2 数字经济发展水平时空差异分析

2.2.1 核密度分析 2015—2021 年数字经济发展水平核密度曲线,如图 3 所示。由图 3 可知:30 个省(自治区、直辖市)核密度曲线呈右移趋势,说明整体数字经济发展水平逐年提高;主峰下降说明低水平地区占比减少;而曲线均有多个波峰,从左边起第 1 个波峰表明中国的数字经济发展水平较低地区占比仍然最高,多个波峰也反映出中国的数字经济发展水平存在多处极化现象;同时,由曲线尾部的延展性可知,近年来龙头地区与低水平地区的差距进一步拉大。分区域来看,东部区域数字经济发展水平差距最大;中部区域仍存在 2 处极化现象,但有明显缓解;西部区域整体水平最低,其右拖尾特征表明区域内差距也进一步扩大。

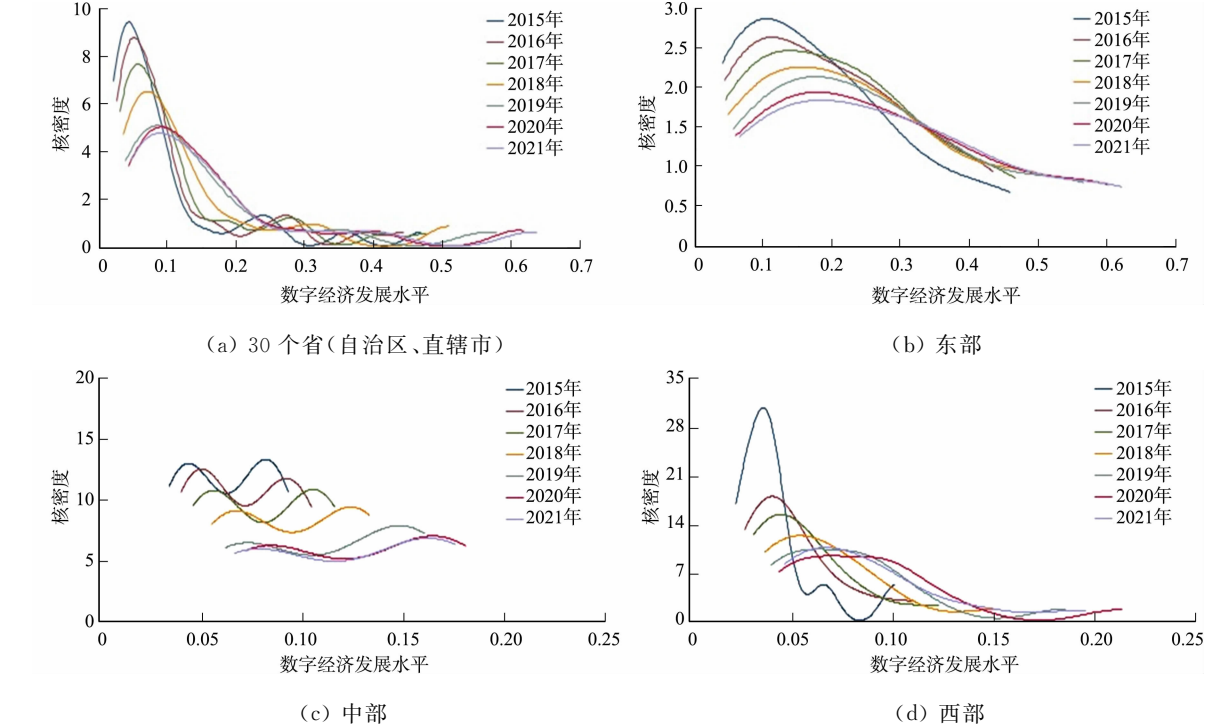


图 3 2015—2021 年数字经济发展水平核密度曲线  
Fig. 3 Kernel density curves of digital economy development level from 2015 to 2021

2.2.2 泰尔指数分析 为定量研究数字经济发展水平空间分布差异,将研究区域分为东部、中部和西部 3 个区域。2015—2021 年数字经济发展水平泰尔指数及其贡献率,如表 4 所示。

由表 4 可知:2015—2021 年总体泰尔指数显著下降,表明中国的 30 个省(自治区、直辖市)数字经济发展水平的总差异缩小;2021 年区域内和区域间泰尔指数与 2015 年相比均有下降,表明区域内、区域间差异均得到缩小;进一步地,东部、中部区域泰尔指数前期均有下降,但近年来均有上升,说明近年来东、中部区域内差异均有增加;而西部区域泰尔指数自 2016 年起呈上升趋势,到 2021 年开始下降,说明西部区域内差异自 2016 年起持续扩大,到 2021 年有所减小。

从在总泰尔指数中的贡献率看,2015—2021 年区域内差异贡献率显著上升,区域间差异贡献率显

著下降,且近年来区域内差异贡献率大于区域间差异贡献率,说明近年来区域内差异对总差异的影响更大;进一步看,东部区域内差异贡献率始终大于中部和西部,说明较中部、西部而言,东部区域内差异对总差异影响更大。

表 4 2015—2021 年数字经济发展水平泰尔指数及其贡献率

Tab. 4 Theil index and its contribution rate of digital economy development level from 2015 to 2021

指标	年份						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
总体泰尔指数	0.385 8	0.339 4	0.324 5	0.307 5	0.287 9	0.281 2	0.298 0
区域内泰尔指数	0.183 2	0.157 9	0.152 3	0.153 0	0.149 3	0.150 9	0.153 2
区域间泰尔指数	0.202 6	0.181 5	0.172 1	0.154 5	0.138 7	0.130 3	0.144 8
东部区域泰尔指数	0.231 3	0.199 8	0.192 4	0.196 6	0.187 9	0.192 1	0.193 6
中部区域泰尔指数	0.062 4	0.057 2	0.057 5	0.053 8	0.064 4	0.060 2	0.069 1
西部区域泰尔指数	0.103 4	0.094 9	0.097 2	0.099 4	0.107 3	0.110 3	0.100 6
区域内差异贡献率	0.474 8	0.465 3	0.469 5	0.497 7	0.518 4	0.536 6	0.514 1
区域间差异贡献率	0.525 2	0.534 7	0.530 5	0.502 3	0.481 6	0.463 4	0.485 9
东部区域差异贡献率	0.405 7	0.389 2	0.386 8	0.407 3	0.405 8	0.419 6	0.408 2
中部区域差异贡献率	0.026 7	0.028 3	0.031 1	0.031 8	0.042 5	0.041 2	0.042 9
西部区域差异贡献率	0.042 4	0.047 8	0.051 7	0.058 5	0.070 0	0.075 8	0.062 9

### 3 数字经济发展水平的影响因素分析

#### 3.1 变量选择

通过时空差异分析,发现中国的数字经济发展水平在空间上分布不平衡,因此,构建地理探测器进行影响因素分析。已有研究结果显示,政府支持<sup>[10]</sup>、产业结构优化<sup>[16]</sup>、人才投入<sup>[28]</sup>等是数字经济发展水平的影响因素,但仍需进一步验证及丰富指标的选择。因此,考察的影响因素有政府投入、产业结构、城镇化水平、人力资源及经济水平共 5 个方面,因变量为数字经济发展水平。

政府投入方面,政府对科学技术的支出有助于数字创新<sup>[17]</sup>,因此,采用地方财政科学技术支出占一般公共预算支出的比例  $x_1$  来衡量。产业结构方面,数字产业化和产业数字化是数字要素与传统产业融合演变的结果,而以电子商务为代表的第三产业在数字经济中具有重要的地位<sup>[8]</sup>,因此,采用第三产业增加值占地区生产总值的比例  $x_2$  来衡量。城镇化水平方面,城镇化建设推动数字基础设施需求增加从而影响数字经济的发展,因此,采用城镇化率  $x_3$  来衡量。人力资源方面,数字经济的发展需要信息等专业技术人才的支撑<sup>[16]</sup>,因此,采用信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人数占城镇单位总就业人数的比例  $x_4$  来衡量。经济水平方面,高经济水平地区集聚着大量物质财富,为数字经济提供更加优越的物质基础,从而促进数字经济的发展,因此,采用人均地区生产总值  $x_5$  来衡量。

#### 3.2 基于最优分层的地理探测器分析

根据地理探测器的原理,因子变量必须为定性变量,但数值型数据转为定性数据的方法有多种,而数值型数据可划分的层数也不唯一。考虑到目前相关研究直接选择自然间断点法<sup>[16]</sup>,忽视了分层方法和层数对模型结果的影响,因此,采用  $k$  均值聚类、等间隔法、分位数法、自然间断点法共 4 种分层方法和 4~8 层数,基于因子探测  $q$  值最大化找出最优分层及最优分层下的显著影响因子。2015—2021 年最优分层组合,如表 5 所示。由表 5 可知:自然间断点法不是所有因子共有的最佳分层方法,说明寻找最优分层组合是必要的。

最优分层组合下的因子探测  $q$  值及检验  $p$  值,如表 6 所示。由  $q$  值均值可知,对因变量分层异质性的平均解释能力由强到弱的影响因素依次为政府投入、经济水平、城镇化水平、人力资源及产业结构。由  $q$  值的检验显著性  $p$  值可知,2015—2021 年始终显著的影响因素为政府投入、城镇化水平及经济水平,而发展到 2021 年时,5 个影响因素均具有统计学意义,说明在数字经济发展前期,政府投入、经济水平和城镇化水平是主要影响因素,而随着数字化时代的高速发展,对人力资源的需求及产业结构的要求愈发凸显,最终也成为显著影响因素。

表 5 地理探测器的最优分层  
Tab. 5 Optimal layering of geographical detector

年份	选择	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
2015	分层方法	分位数	$k$ 均值聚类	分位数	分位数	$k$ 均值聚类
	层数	6	7	8	8	7
2016	分层方法	等间隔	$k$ 均值聚类	分位数	分位数	$k$ 均值聚类
	层数	5	5	8	7	8
2017	分层方法	自然间断点	分位数	分位数	分位数	$k$ 均值聚类
	层数	8	7	8	8	6
2018	分层方法	自然间断点	分位数	分位数	分位数	$k$ 均值聚类
	层数	6	7	8	8	4
2019	分层方法	$k$ 均值聚类	$k$ 均值聚类	分位数	分位数	$k$ 均值聚类
	层数	7	8	5	8	4
2020	分层方法	自然间断点	$k$ 均值聚类	分位数	分位数	$k$ 均值聚类
	层数	7	8	5	8	4
2021	分层方法	等间隔	$k$ 均值聚类	等间隔	分位数	等间隔
	层数	5	6	7	7	6

表 6 最优分层组合下因子探测  $q$  值及检验  $p$  值  
Tab. 6 Factor detection  $q$  values and testing  $p$  values under optimal hierarchical combination

年份	$q$					$p$				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
2015	0.817 1	0.446 5	0.584 8	0.364 0	0.676 9	0.000 0	0.274 8	0.028 0	0.293 2	0.010 0
2016	0.751 6	0.392 6	0.597 6	0.475 6	0.703 1	0.000 4	0.253 7	0.022 7	0.061 5	0.008 3
2017	0.807 9	0.362 9	0.597 7	0.543 8	0.699 6	0.000 2	0.186 9	0.022 6	0.049 1	0.003 3
2018	0.870 6	0.317 9	0.593 3	0.554 3	0.661 7	0.000 0	0.265 7	0.024 3	0.049 6	0.003 1
2019	0.864 7	0.502 7	0.622 7	0.635 5	0.635 7	0.000 0	0.225 4	0.001 0	0.014 1	0.005 5
2020	0.888 2	0.518 8	0.629 9	0.509 5	0.610 9	0.000 0	0.180 9	0.000 8	0.080 7	0.009 7
2021	0.721 7	0.691 7	0.593 2	0.591 9	0.635 5	0.000 7	0.013 3	0.049 3	0.010 1	0.021 6
均值	0.817 4	0.461 9	0.602 7	0.525 0	0.660 5	—	—	—	—	—

进一步对所有因子进行交互探测,2015,2018 及 2021 年最优分层下 5 因子交互作用类型,如图 4 所示。由图 4 可知:部分因子之间交互探测的  $q$  值大于各相应单因子的  $q$  值(即图中的双因子增强),说明部分因子的交互作用对数字经济发展水平分层异质性具有更强的解释力,如 2021 年政府投入与人力资源的交互作用解释力达 0.919 0。

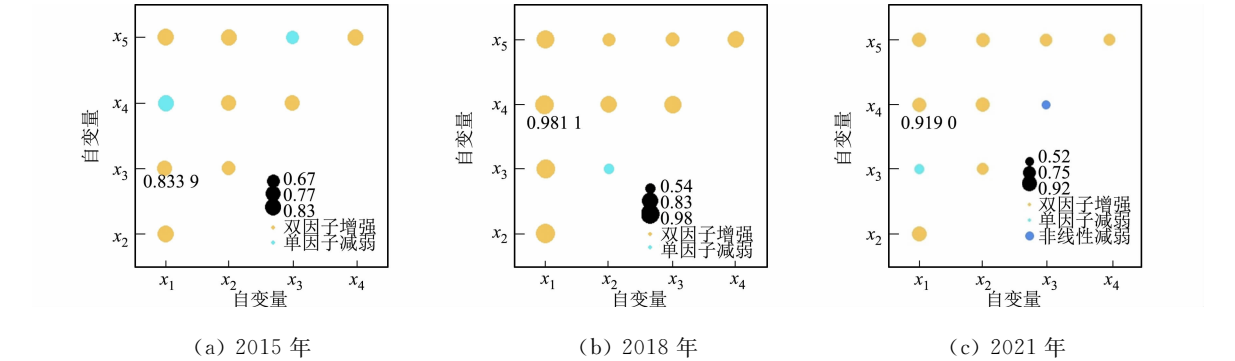


图 4 2015,2018 及 2021 年最优分层下 5 因子交互作用类型  
Fig. 4 Type of interaction of five factors under optimal stratification in 2015, 2018 and 2021

## 4 分析与讨论

研究表明,2015—2021 年中国的省域数字经济发展水平稳步前进,但区域内及区域间发展不平衡,并由此寻找到其显著影响因素。



自数字经济被提出以来,国家先后颁布了《网络强国战略实施纲要》《数字经济发展战略纲要》等一系列政策,将数字经济上升为国家战略,可见各省积极发展数字经济并取得了稳定增长的良好态势。但在发展初期中、西部省域物质资源、人才技术等重要条件相对匮乏,导致中、西部数字经济发展水平相对落后,而东部的北京市、上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省有着更高的经济发展水平、更强的科技研发实力等良好基础,使得数字经济发展处于领先地位。2015—2021年,各省数字经济发展水平及分维度水平的差距依然存在,表现出明显的“马太效应”<sup>[16]</sup>。值得一提的是,除了以上东部7省,四川省在这7年里的平均发展水平超过了30个省(自治区、直辖市)的均值,这可能是因为西部大开发战略、“西三角经济圈”等政策促进了四川省数字经济的发展<sup>[18]</sup>。而中、西部数字基础设施、数字创新环境、数字治理、数字产业化及产业数字化维度的年段均值平均水平均低于东部平均水平,表明中国的区域数字基础设施、数字创新等发展的不平衡和不充分问题仍然需要解决。

无论是30个省(自治区、直辖市)整体还是东、中、西部区域核密度曲线,都显示出低水平地区占比逐步减少,尤其是西部区域减少幅度较大,这与“一带一路”等一系列国家战略和政策及各省重视发展数字经济的程度密切相关,如2017年陕西省建设数字经济试点示范区,2019年四川省、重庆市启动了“国家数字经济创新发展试验区”建设工作等。而西部核密度曲线右拖尾特征愈加明显,这是因为存在着少数数字经济发展水平相对较高的省份,如四川省等,其波峰宽度的变大也揭示了西部数字经济发展水平的差距变大。西部区域因较为落后的经济水平、有限的资源限制了其发展,低发展水平省份如何借助水平较高的邻近省份发展,较高发展水平的省份(如四川省)如何持续有效带动周边省份的发展,这些问题仍需重视。而中部数字经济发展水平两处极化现象得到显著缓解,这可能是因为中部各省在发展初期自身条件不同,但随着各省重视及周边较高数字经济发展水平省份的带动作用<sup>[19]</sup>等因素,加速了它们的发展,但差距明显变大。同样,东部数字经济发展水平的差距也有扩大。

30个省(自治区、直辖市)的数字经济发展水平的总体差异、区域内差异及区域间差异均显著缩小,究其原因可能是为数较少的高发展水平省进一步提升发展的速度较为缓慢,而大多数为非高发展水平的省不断完善数字要素从而发展较快,由此缩小了差异。需要指出的是,2017—2021年东、中、西部区域内差异均表现出波动上升的趋势,这可能是由于位于东部的辽宁省是中国的重要重工业基地,为适应数字时代的高速发展必须做出产业数字化转型,但由于数字人才缺乏和转型难度大,使得数字经济发展较慢,从而与东部高发展水平省的差距拉大,且超过了中、西部区域内的差距;位于中部的吉林省和黑龙江省同样是重工业基地,面临着相同的问题,而如安徽省处于长三角经济圈,近年来与东部高发展水平省密切合作,数字经济发展势头强劲<sup>[14]</sup>,使得中部区域内差异也在扩大;位于西部的新疆、青海等受限于地理位置和经济水平等因素,数字经济发展缓慢,而四川省、重庆市及陕西省等与其东部较高发展水平省的合作更加便捷,由此加快了它们的发展,使西部区域内差异增大。然而,区域间差异贡献率与区域内差异贡献率均不低,可见中国的数字经济发展水平空间上存在非均衡性,不仅区域间需要协同发展数字经济以进一步缩小差距,而且区域内也需解决发展不平衡问题,尤其是传统产业数字化转型的问题有待突破。

2015—2021年,始终显著影响数字经济发展水平的因素依次为政府投入、经济水平及城镇化水平,且平均解释力均超过0.6,可见这3个因素对中国的数字经济发展水平的分层起着重要作用。事实上,中国的东部的北京市、上海市、江苏省、浙江省等经济水平全国领先,政府科技创新投入占比和城镇化率更高,强大的经济实力促使其具备更完善的数字基础设施,更高的政府投入加快数字创新,高城镇化率进一步增加数字基础设施建设,由此,数字经济起步更高、发展更快。相反,西部的新疆、青海等在政府投入、经济水平及城镇化水平上更为落后,造成数字基础设施和数字技术等较为欠缺,进而数字经济起步低、发展慢,也因此出现了中国的数字经济发展水平的分层。到2021年时,人力资源及产业结构也发展为显著影响因素,原因可能是随着数字要素对社会生活重要性提升,各行各业对数字人才的需求增大,同时数字经济主要与以电子商务为代表的现代服务业融合发展<sup>[14]</sup>,对第三产业的发展水平要求更高。例如,中国东部的上海市、广东省等现代服务业发达,人才聚集,而中国中、西部的部分省则相对落后,从而导致数字经济发展水平的分层。政府投入与人力资源等一些组合因素可以对分层产生更强的解释力,由此启示,数字经济发展落后的省可以同时推动多个影响因素,达到更快发展数字经济的目的。

5 结 论

近年来,数字经济深刻影响人们的生活,改变传统生产经营方式,但中国的数字经济发展水平分布不平衡。以 2015—2021 年中国的 30 个省(自治区、直辖市)为研究区域,选取数字基础设施、数字创新环境、数字治理、数字产业化、产业数字化 5 个维度建立数字经济发展水平指标体系;利用熵值法客观测算 30 个省(自治区、直辖市)数字经济发展水平后,对整体和分区域进行时空差异分析;以最优分层构建地理探测器进行影响因素分析。研究得到以下 4 点结论。

1) 2015—2021 年中国的 30 个省(自治区、直辖市)数字经济发展水平及分维度水平均有增长趋势,但高于均值的地区主要集中东部。同时发现北京市、广东省、江苏省、浙江省、上海市、山东省、福建省及四川省年段均值均超过 30 个省(自治区、直辖市)年段均值平均水平。

2) 2015—2021 年中国的 30 个省(自治区、直辖市)及东、中、西部区域数字经济发展水平核密度曲线结果显示,30 个省(自治区、直辖市)整体数字经济发展水平逐年提高;龙头省分布在东部;西部区域整体水平最低,但低水平省占比呈下降趋势。

3) 2015—2021 年泰尔指数及其分解结果表明,30 个省(自治区、直辖市)数字经济发展水平的总体差异显著缩小,区域内、区域间差异均得到缩小,但近年来东、中、西部区域内差异均有增加,且东部区域内差异较中、西部而言对总差异的影响更大。

4) 2015—2021 年对数字经济发展水平分层异质性的平均解释能力由强到弱的影响因素依次为政府投入、经济水平、城镇化水平、人力资源及产业结构,同时部分因素的交互作用对分层异质性具有更强的解释力。

综上,提出以下 3 点建议。

1) 从数字经济发展水平看,数字经济发展较为落后的省需要加强和完善物联网、数据中心等数字基础设施建设;进一步提高经济水平及城镇化率也有助于数字经济的发展。数字经济发展较为缓慢的省应结合自身产业结构特点,加快推进数字产业化和产业数字化发展,培育和发展数字产业集群,如电子信息制造、软件和信息技术服务、人工智能、大数据、云计算等产业,推动制造业、农业采用数字化技术、智能设备等提高生产效率,实现产业数字化转型;加大数字人才的培养和吸引解决数字技术难题;政府应加大科学技术的资金投入助力数字创新。

2) 从数字经济发展水平空间分布差异看,数字经济协同发展对缩小差距至关重要。对于区域间差异,应鼓励东部数字产业向中西部投资兴业,促进东部与中、西部数字技术协作和数字人才输出。对于区域内差异,各省之间也要加强数字经济合作,互补产业可以建立合作机制;各区域内数字经济发展水平较高的省(如西部的四川省)应带动周边省共同发展,共享、共建数字基础设施,加强与周边省的通信网络互通以提高区域内数据传输效率,还可以将优势产业向周边省延伸以带动周边产业的发展。

3) 从数字经济发展水平的影响因素看,各省应高度重视政府投入、经济水平、城镇化水平、人力资源及产业结构因素对自身数字经济发展的限制,因地制宜采取组合政策,充分发挥组合影响因素对数字经济发展带来的更大促进作用。

参考文献:

[1] 中华人民共和国互联网信息化办公室. 二十国集团数字经济发展与合作倡议[EB/OL]. (2016-09-29)[2024-04-08]. [http://www.cac.gov.cn/2016-09/29/c\\_1119648520.htm](http://www.cac.gov.cn/2016-09/29/c_1119648520.htm).

[2] BOWMAN J P. The digital economy: Promise and peril in the age of networked intelligence[J]. Choice Reviews Online, 1996, 33(9): 69-71.

[3] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展研究报告(2023 年)[R/OL]. (2023-04-27)[2024-04-08]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202304/P020240326636461423455.pdf>.

[4] 鲁春丛.《2018 年中国数字经济发展和就业白皮书》解读[EB/OL]. (2018-04-12)[2024-04-08]. [http://www.caict.ac.cn/sytj/201804/t20180412\\_172812.htm](http://www.caict.ac.cn/sytj/201804/t20180412_172812.htm).

[5] 许宪春,张美慧. 中国数字经济规模测算研究: 基于国际比较的视角[J]. 中国工业经济, 2020(5): 23-41. DOI:10.19581/j.cnki.ciejournal.2020.05.013.

[6] 罗良清,平卫英,张雨露.基于融合视角的中国数字经济卫星账户编制研究[J].统计研究,2021,38(1):27-37. DOI:10.19343/j.cnki.11-1302/c.2021.01.003.

[7] 张格渝,武晓婷.基于投入产出表的中国数字经济卫星账户构建[J].统计与决策,2023,39(5):5-9. DOI:10.13546/j.cnki.tjyc.2023.05.001.

[8] 王彬燕,田俊峰,程利莎,等.中国数字经济空间分异及影响因素[J].地理科学,2018,38(6):859-868. DOI:10.13249/j.cnki.sgs.2018.06.004.

[9] 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. DOI:10.13778/j.cnki.11-3705/c.2021.07.002.

[10] 徐振剑,吕拉昌,辛晓华.中国城市数字经济发展空间分异及其影响因素[J].经济纵横,2023(8):71-79. DOI:10.16528/j.cnki.22-1054/f.202308071.

[11] 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. DOI:10.13546/j.cnki.tjyc.2023.09.001.

[12] 刘英恒太,杨丽娜.中国数字经济产出的空间关联网络结构与影响因素研究[J].技术经济,2021,40(9):137-145.

[13] 程筱敏,邹艳芬.我国数字经济发展水平测度及空间溢出效应[J].商业经济研究,2022(23):189-192.

[14] 胡艳,栗明钰,唐睿.长三角数字经济网络结构特征及影响因素[J].华东经济管理,2022,36(12):26-34. DOI:10.19629/j.cnki.34-1014/f.220707003.

[15] 钟业喜,毛炜圣.长江经济带数字经济空间格局及影响因素[J].重庆大学学报(社会科学版),2020,26(1):19-30. DOI:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2019.05.002.

[16] 蔡绍洪,谷城,张再杰.中国省域数字经济的时空特征及影响因素研究[J].华东经济管理,2022,36(7):1-9. DOI:10.19629/j.cnki.34-1014/f.211219002.

[17] 苏冰杰,卢方元,朱峰,等.中国数字经济发展水平:时空特征、动态演化及影响因素[J].运筹与管理,2022,31(9):161-168. DOI:10.12005/orms.2022.0300.

[18] 吕雁琴,范天正.中国数字经济发展的时空分异及影响因素研究[J].重庆大学学报(社会科学版),2023,29(3):47-60. DOI:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2023.04.002.

[19] 王凯利,李欣儒,贺超城,等.城市群数字经济发展水平测度及空间分异研究[J].统计与决策,2023,39(23):127-131. DOI:10.13546/j.cnki.tjyc.2023.23.023.

[20] 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. DOI:10.3969/j.issn.1004-910X.2023.03.006.

[21] 杨明海,张红霞,孙亚男.七大城市群创新能力的区域差距及其分布动态演进[J].数量经济技术经济研究,2017,34(3):21-39. DOI:10.13653/j.cnki.jqte.2017.03.002.

[22] 伍国勇,庞国光,汤钧惠,等.中国乡村数字经济发展水平的测度、区域差异及时空演变[J].湖南农业大学学报(社会科学版),2022,23(4):15-27. DOI:10.13331/j.cnki.jhau(ss).2022.04.002.

[23] 李洁,王琴梅.数字经济发展水平测度及时空演变[J].统计与决策,2022,38(24):73-78. DOI:10.13546/j.cnki.tjyc.2022.24.014.

[24] 成祖松,解亚森.安徽数字经济发展的区域差异及收敛性分析[J].技术与市场,2023,30(3):135-139,143. DOI:10.3969/j.issn.1006-8554.2023.03.034.

[25] WANG Jinfeng,ZHANG Tonglin,FU Bojie. A measure of spatial stratified heterogeneity[J]. Ecological Indicators,2016,67:250-256. DOI:10.1016/j.ecolind.2016.02.052.

[26] SONG Yongze,WANG Jinfeng,GE Yong,*et al.* An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: Cases with different types of spatial data[J]. GIScience Remote Sensing,2020,57(5):593-610. DOI:10.1080/15481603.2020.1760434.

[27] WANG Jinfeng,LI Xihu,CHRISTAKOS G,*et al.* Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science,2010,24(1):107-127. DOI:10.1080/13658810802443457.

[28] 付争江,郑之琦,屈小娥.数字经济高质量发展指标体系构建及实证分析:来自陕西省的经验证据[J].统计与决策,2023,39(13):28-32. DOI:10.13546/j.cnki.tjyc.2023.13.005.

(责任编辑:黄晓楠

英文审校:陈婧)