

我国数字经济发展水平测度与分析

罗瑞雪

贵州大学经济学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年12月1日; 录用日期: 2023年12月20日; 发布日期: 2024年2月28日

摘要

数字经济是我国经济发展新常态、新结构, 党中央高度重视数字经济的发展, 党的十八大以来, 党中央非常重视数字经济的发展, 并将其视为国家的战略。党的二十大报告明确提出, 要加快数字经济的发展, 并打造具备国际竞争力的数字产业集群。本文参照技术-经济范式理论以“基础设施-技术-产业”为主线搭包含建四个一级指标: 数字化基础设施、数字经济技术创新能力、数字应用和数字产业的数字经济发展水平指标衡量体系, 利用熵值法对我国30个省份2014~2021年数字经济发展水平进行测度, 得出结论: 1、我国国内数字经济整体每年呈现上升发展的趋势, 但是数字经济整体发展水平仍然较低。2、按照八大经济带对我国省域进行划分, 我国沿海地区数字经济发展水平全国领先, 西南地区与大西北地区数字经济发展潜力巨大。3、应用聚类分析将我国30个省份分为数字经济发展高水平地区、数字经济发展较高水平地区与数字经济发展一般水平地区。政策启示: 针对我国不同区域之间存在的数字经济发展水平差异我国应该加大对数字经济基础设施投入、培养数字人才的“成长摇篮”以及政府因地制宜借鉴数字经济发展高水平地区, 制定适应的发展策略。

关键词

数字经济发展水平, 测度技术, 经济范式理论, 熵值法, 聚类分析

Measurement and Analysis of Our Country's Digital Economy Development Level

Ruixue Luo

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Dec. 1st, 2023; accepted: Dec. 20th, 2023; published: Feb. 28th, 2024

Abstract

The digital economy represents a new normal and structure for China's economic development.

文章引用: 罗瑞雪. 我国数字经济发展水平测度与分析[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(1): 418-425.

DOI: 10.12677/orf.2024.141039

The Central Committee of the Communist Party of China (CPC) attaches great importance to the development of the digital economy, considering it a national strategic priority since the 18th CPC National Congress. The 19th CPC National Congress explicitly outlined the acceleration of digital economy development and the creation of internationally competitive digital industry clusters as key objectives. This article, referencing the technological-economic paradigm theory with the main theme of “Infrastructure-Technology-Industry,” establishes a measurement framework comprising four primary indicators: digital infrastructure, innovation capacity in digital economic technology, digital applications, and the level of digital economic development in the digital industry. Utilizing the entropy method, the digital economic development levels of 30 provinces in China were assessed from 2017 to 2021, leading to the following conclusions: The overall trend of China’s domestic digital economy shows annual growth, but the overall development level remains relatively low. Based on the division of China’s provinces into eight economic belts, coastal regions lead in digital economic development, while the southwestern and northwestern regions exhibit significant potential for digital economic growth. Application of cluster analysis categorizes the 30 provinces into regions with high, relatively high, and average levels of digital economic development. Policy Implications: Given the regional disparities in the development of the digital economy in China, the country should increase investment in digital economic infrastructure, nurture a “cradle” for digital talent, and formulate region-specific development strategies by drawing inspiration from regions with high levels of digital economic development.

Keywords

Digital Economy Development Level, Measurement Technique, Economic Paradigm Theory, Entropy Method, Cluster Analysis

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

数字经济作为当代经济发展的引擎，以信息技术和互联网为支撑，对于推动创新、提高效率、促进可持续发展具有不可忽视的重要性。在中国，数字经济已成为经济增长的主要推动力，为 GDP 的稳健增长作出巨大贡献。其对就业市场的积极影响不仅体现在互联网和软件行业，更通过推动传统产业的转型升级，为社会创造了大量高质量的就业机会。此外，数字经济的快速发展在提升产业竞争力方面发挥着关键作用，通过数字化和智能化技术的广泛应用，推动了传统产业的技术升级，从而提高了整体产业的创新水平和竞争实力。最为重要的是，数字经济的普及改变了人们的生活方式，提高了信息获取的效率，深刻影响着社会的数字化转型。在这个背景下，深入研究数字经济的发展对于理解当代经济变革的深层机制以及未来经济走向具有重要意义。

2. 文献综述

数字经济的内涵在国内外得到了广泛而深刻的学术界关注。世界经济论坛将其定义为通过数字技术产生的经济活动，这些技术正在改变着产业、企业和社会的运作方式。国际电信联盟认为数字经济是通过数字技术和信息网络进行生产、分配和消费的经济体系。麻省理工学院的学者将数字经济理解为基于信息技术、网络和计算能力的新型经济形态，通过数字化和智能化手段推动经济社会发展。在中国，国家信息中心将数字经济定义为以数字技术为基础，通过信息化和智能化手段推动整体经济高质量发展的

新经济形态。这一观点得到了中国信息产业发展研究院的支持, 其将数字经济界定为以数字化、网络化、智能化为特征, 通过信息技术推动全球经济体系全面升级和深刻变革的新型经济形态[1]。斯蒂格利茨等学者强调数字经济是一个更加复杂和互动的经济体系, 其中信息的重要性远远超过传统的生产要素。这些观点共同之处在于认同数字经济是一种新的经济形态, 为我们提供了深入理解数字经济内涵的多层面视角, 为未来的研究和实践提供了坚实的理论基础。

关于数字经济的测度, 当前学界主要分为三类, 一是数字经济规模, 是衡量数字经济规模、结构和增长情况较为重要的指标; 二是数字经济发展水平与, 可以从更多角度来衡量数字经济的发展; 三是数字经济账户, 可以较好的刻画数字经济与其他经济之间的联系[2]。对于数字经济规模的测度, 现有的数字经济统计方法主要有两种: 一种是基于支出法测算, 一种是基于增加值法测算。支出法测算利用支出法测算国内生产总值中属于数字经济的部分。麦肯锡提出 iGDP 指标, 采用支出法测算互联网 GDP。iGDP 指标将传统支出法计算的国内生产总值中, 依托互联网实现的部分作为数字经济的规模。增加值法测算基于投入产出表, 测算属于数字经济的产业增加值或产品增加值[3]; 中国信通院基于增加值法测算数字经济规模的框架中, 将数字经济分为数字产业化(信息产业增加值)与产业数字化(数字技术与其他产业融合应用), 数字产业化分为四部分电子信息制造业、基础电信业、互联网行业与软件服务业四部分的增加值, 产业数字化即为 ICT 产品和服务在其他领域融合渗透带来的产出增加与效率提升, 产业数字化中将 ICT 投资分为计算机、通信设备和软件。对于数字经济规模测度较为准确的方法是构建数字卫星账户, 其是衡量数字经济实际发展规模以及其对整体经济贡献程度的可行方法, 目前有关国际组织、一些国家政府统计机构和有关学者已经开展了构建 ICT 卫星账户和数字经济卫星账户的相关研究, 在我国目前有杨仲山(2019) [4]等总体上以 OECD 的数字账户为基础, 以数字货物、数字产品和数字产业为核算对象, 以数字经济供给表、数字经济使用表、数字经济投资矩阵表、数字经济生产信息补充表为核心表式, 并设计静态总量指标与直接贡献指标; 张恪渝(2023) [5]等依据国家统计局《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》中对数字经济产业的分类标准, 基于全国投入产出表对数字经济相关活动进行剥离, 以数字经济特征识别关键活动在此基础上编制数字卫星账户。

对于数字经济发展水平的测度, 我国学者对数字经济概念进行界定并从不同的维度采用不同的指标体系来进行衡量。刘军(2020) [6]等利用线性无量纲法中的阈值法分信息化发展、互联网发展和数字交易发展三个维度构建了中国分省份数字经济评价指标体系; 焦帅涛(2021) [7]等通过指标无量纲化处理方法从数字基础、数字应用、数字创新和数字变革四维视角构建中国数字经济发展综合指标评价体系; 项慧(2022) [8]利用主成分分析法从数字基础设施、数字产业化、产业数字化、ICT 发展和持续发展五个方面建立了数字经济发展的指标评价体系; 杨承佳(2023) [9]利用熵权法构建了包含 8 个维度、60 个基础指标的数字经济综合评价指标体系, 从数字经济发展载体、数字经济发展环境、数字经济发展效益、数字产业化、产业数字化、数字化人才、数字化资本以及数字化消费八个维度进行衡量, 通过文献整理法, 我们得出目前学者对中国数字经济评价体系构建存在以下问题。首先, 不同学者和机构采用的指标体系存在不一致性, 导致评价结果难以比较。其次, 评价体系偏向定量指标, 缺乏对数字经济对社会、文化和人才培养等方面影响的全面考量。第三, 由于数字经济的迅速变革, 现有体系可能存在滞后性, 未能及时反映最新发展趋势。此外, 一些评价体系较为孤立, 缺乏综合性的研究方法, 未能充分融合多维度信息。地区差异在评价中未得到充分考虑, 忽视了不同地区数字经济发展水平的多样性。数据的可靠性和完整性问题也影响了评价体系的准确性。最后, 社会和环境可持续性的考量不足, 评价体系过度聚焦经济维度, 未能全面评估数字经济对社会和环境的影响。解决这些问题需要强调标准化、综合性、动态性和可持续性, 以期更准确、全面地评价数字经济的发展水平。这些问题的解决将有助于提高评价体系的科学性和实用性, 为决策者提供更可靠的指导。基于以上问题本文构建以“基础设施 - 技术 - 产业”为

主线搭建四个一级指标，二十一二级指标的数字经济发展水平评价体系。数字经济发展水平的评价体系可以为决策提供重要依据，促进可持续发展，提升国际竞争力，推动创新发展，并加强信息透明度和合作交流，有助于推动数字经济向更加健康、可持续的方向发展。

3. 理论基础

本文参照经济学家 Carlotta Perez 提出的技术 - 经济范式理论，范式一词最早由托马斯·库恩在《科学革命的结构》一书中提出，指行业共识的价值观、方法论和思维原则，在经济领域中的技术经济范式是用来描述一定类型的技术进步通过经济系统影响产业发展和企业行为的过程[10]。基于技术 - 经济范式理论，数字经济的多方面表现可以得到深刻解释。该理论强调技术创新作为经济发展的引擎，数字经济正是在这一理论框架下展现出多层次、多维度的特征。首先，技术范式的变迁在数字经济中得以显著体现，从传统的工业范式向以信息技术和网络为核心的数字化范式转变。这种技术范式的演变推动了数字技术在生产、管理和交易等领域的广泛渗透，对传统经济模式产生深远影响。其次，数字经济体现了技术与经济的紧密融合。在数字化范式下，信息技术不仅是一种生产手段，更成为经济增长的关键要素。数字技术的广泛应用促进了生产力的提升，推动了产业结构的升级，使企业在全局竞争中保持竞争优势。这种技术与经济的深度融合，使得数字经济呈现出高效、灵活、创新的特质。此外，数字经济在市场结构和商业模式上展现了新的特征。技术 - 经济范式理论指出，技术的引入将重塑市场结构，数字经济正通过数字平台、数据驱动的商业模式等方式，重塑着企业之间的竞争格局。平台经济的兴起、共享经济的发展等现象，都是技术 - 经济范式转变的体现，对传统商业逻辑和市场规则提出了新的挑战。最后，数字经济的发展还在一定程度上引发了社会结构和文化的变革。技术 - 经济范式理论认为，技术的演进将引起社会结构和文化的变迁，数字经济的崛起使得社会更加数字化、网络化，推动了信息社会的建设，对人们的生活方式、价值观念产生深刻影响[11]。综合而言，基于技术 - 经济范式理论，数字经济在技术范式的变革、技术与经济的融合、市场结构与商业模式的重塑以及社会结构与文化的变迁等方面都表现出丰富而多样的特征，为理解数字经济的发展提供了深刻的理论依据。

4. 数字经济发展水平体系构建

以技术-经济范式理论为基础本文参照以往文献中的数字经济指标体系构建方法，构建了全面的、系统的、完整的数字经济发展水平指标衡量体系，以“基础设施 - 技术 - 产业”为主线搭建四个一级指标包含：数字化基础设施、数字经济技术创新能力、数字应用和数字产业，二十一二级指标包含：光纤密度、互联网借入端密度、移动基站密度等。对于指标权重的确定方法，分为主观赋权法和客观赋权法；在主观赋权法中包含层次分析法、环比评分法、德尔菲法等，主观赋权法往往需要专家的参与，根据实际情况提高或降低某些指标的权重，能更加符合实际情况，缺点在于主观性过强；客观赋权法包含熵值法、变异系数法和主成分分析法，客观赋权法能够避免主观影响偏差。本文采用熵值法进行赋权，并计算出各省份数字经济发展水平。熵值法是一种客观赋权法，权重大小的确定不受到主观因素的影响；其内在原理是：用数据的离散程度大小来判断其权重的大小，数据的离散程度越大，指标的信息熵越小，在综合评价中的影响越大，权重越大。

具体步骤：

第一步，对数据进行标准化处理，对于正向指标数据采用处理公式为：

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}}$$

其中， X_{ij} 为第*i*个省(自治区、直辖市)的第*j*个指标的数据：

第二步，计算第项指标下第 i 个省(自治区、直辖市)值占该指标的比重：

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n P_{ij} X_{ij}^*}$$

第三步，计算第 i 项指标的信息熵，计算公式为：

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij})$$

第四步，计算第 j 项指标的差异系数，计算公式为：

$$d_j = 1 - e_j$$

第五步，计算各项指标权重，即对差异系数进行归一化处理：

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}$$

最后一步，计算各省份数字经济发展水平综合得分：

$$Digital_i = \sum_{j=1}^m w_j X_{ij}^*$$

通过熵值法[12]可以得到数字经济评价体系每个指标所占权重见表 1，其中数字化基础设施所占权重为 0.185，数字经济技术创新能力所占权重为 0.235，数字应用所占权重为 0.245，数字产业所占权重为 0.335。该指标体系中数据均来自国家统计局，其中数字普惠金融指数来自北京大学数字金融中心。

Table 1. Index system of digital economy development level

表 1. 数字经济发展水平指标体系

一级指标	二级指标	单位	权重	数据来源
数字化基础设施	光缆线路长度	万公里	0.029	国家统计局
	互联网借入端密度	户/个	0.015	国家统计局
	域名数	万个	0.063	国家统计局
	移动电话普及率	部/百人	0.015	国家统计局
	信息传输、软件以及技术服务城镇单位就业人员	万人	0.063	国家统计局
数字经济技术创新能力	规模以上工业企业 R&D 人员全时当量	人年	0.072	国家统计局
	规模以上工业企业 R&D 项目数	项	0.079	国家统计局
	国内专利申请受理量	项	0.084	国家统计局
数字应用(产业数字化)	企业每百人使用计算机台数	台	0.023	国家统计局
	信息化的企业数	个	0.042	国家统计局
	每百家企业拥有网站数	个	0.005	国家统计局
	人均快递数量	万件	0.083	国家统计局
	公共图书馆电子阅览室终端数	台	0.020	国家统计局
	人均移动互联网接入流量	GB/人	0.060	国家统计局
	数字普惠金融指数	%	0.015	北京大学数字金融中心
数字产业	电信业务总量	亿元	0.061	国家统计局
	电子商务采购额	亿元	0.075	国家统计局
	电子商务销售额	亿元	0.068	国家统计局
	有电子商务交易活动企业占总企业数的比重	%	0.013	国家统计局
	R&D 经费占地区 GDP 比重	%	0.021	国家统计局
	软件业务收入	万元	0.096	国家统计局

5. 我国数字经济发展水平测度结果与分析

(一) 基于时序特征对数字经济总体分析

通过上表对 2014~2021 年中国数字经济平均发展指数进行时间序列分析得到表 2，可以得知我国 30 个省份数字经济发展水平由 2014 年 0.093 发展至 2021 年的 0.230，平均增长率(14%)，中国的数字经济在过去几年一直保持着稳定增长的态势，但是数字经济发展水平指数 2021 年仅为 0.23，整体发展水平依然相对较差。原因在于：第一、我国数字经济发展正处于起步阶段，在数字经济基础设施投资方面还不够充分，数字经济的基础投入不足以支撑我国数字经济迅猛发展。第二、我国数字经济的关键技术问题亟待突破，突破关键技术问题才可实现数字经济高质量发展。第三、我国数字经济区域间发展不平衡，由于各地区数字经济基础设施、区位条件以及经济基础存在明显差异，中西部地区与东部沿海地区存在数字鸿沟，而那些相对落后的中西部地区则会拖累全国数字经济的发展水平。

Table 2. Overall analysis of digital economy based on temporal characteristics

表 2. 基于时序特征对数字经济总体分析

年度	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	平均值
数字经济指数	0.093	0.106	0.121	0.136	0.163	0.192	0.220	0.230	0.158
增长率%	/	14%	14%	13%	20%	18%	15%	4%	14%

(二) 基于空间特征对数字经济总体分析

按照八大经济带对我国省域进行划分，依次划分为东北地区经济带、东部沿海经济带、北部沿海经济带、南部沿海经济带、黄河中游经济带、长江中游经济带、西南地区经济带和大西北地区经济带八大经济带。如表 3 所示，八大经济带中数字经济发展水平最高的是北部沿海地区、其次为东部沿海地区，数字经济发展水平最低的是东北地区和大西北地区；同时年均增长率最快的地区为大西北地区与西南地区，由此可见我国沿海地区数字经济发展水平全国领先，而西南地区与大西北地区数字经济发展潜力巨大。沿海地区数字经济发展水平处于全国领先地位的原因在于：一、区位优势，沿海地段为其经济贸易发展提供先天优势，同时东部地区的对外开放程度较高，这对于吸纳和融合国外先进的数字经济理论和技术起着积极的作用。二、沿海地区政府营商环境好，利于企业创新发展。三、东部地区产业发展水平以及科技水平高，更加利于产业数字化以及数字产业化。

Table 3. Overall analysis of digital economy in China's provinces according to eight economic belts

表 3. 按照八大经济带对我国省域数字经济总体分析

地区	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	年均增长率
东北地区	0.182	0.2	0.223	0.25	0.284	0.338	0.378	0.374	0.108
东部沿海	0.564	0.637	0.715	0.788	0.885	0.985	1.116	1.232	0.118
北部沿海	0.662	0.733	0.815	0.881	1.016	1.103	1.339	1.41	0.114
南部沿海	0.455	0.514	0.613	0.726	0.865	1.015	1.091	1.141	0.140
黄河中游	0.238	0.275	0.319	0.358	0.454	0.553	0.627	0.628	0.149
长江中游	0.29	0.335	0.38	0.429	0.535	0.665	0.748	0.776	0.151
西南地区	0.274	0.326	0.382	0.446	0.569	0.734	0.859	0.86	0.178
大西北地区	0.114	0.144	0.167	0.189	0.259	0.324	0.391	0.426	0.207

(三) 基于省域对数字经济总体分析

对 2021 年 30 个省份数字经济发展水平该一级指标进行分层聚类分析与 K 均值分析。分层聚类是一

种传统的聚类方法；它首先计算每对样本之间的距离，然后构建 n 个初始类别，每个类别只包含一个样本；接下来，它将最近的两个样本合并为一个类别，并重新计算该类别与其他类别之间的距离；最后重复这个过程，直到最后所有的样本合并为一个类别。K 均值聚类是另一种不同的方法；它首先将样本分成 K 个初始类别；然后将每个样本分配到与其距离最近的均值类别中，并重新计算每个类别的均值；通过不断迭代这个过程，最终得到一个稳定的分类结果。通过系统聚类与 K 均值聚类，我们发现在以 3 类为分类目标的情况下，这两种聚类方法都得到了相同的分类结果见表 4，将我国 30 个省份分为数字经济发展高水平地区、数字经济发展较高水平地区与数字经济发展一般水平地区。

Table 4. Cluster analysis of China's provincial digital economy development level

表 4. 对我国省域数字经济发展水平聚类分析

分类	包含省份
数字经济发展高水平地区	广东省
数字经济发展较高水平地区	上海市、北京市、山东省、江苏省、浙江省
数字经济发展一般水平地区	云南省、吉林省、四川省、天津市、重庆市等剩余 24 个省份

6. 结论与政策启示

本文通过构建我国 30 个省份 2014 年~2021 年数字经济发展水平评价体系，运用熵值法得到各省份历年综合得分，对数据结果进行分析得到：我国国内数字经济整体每年呈现上升发展的趋势，但是数字经济整体发展水平仍然较低。按照八大经济带对我国省域进行划分，我国沿海地区数字经济发展水平全国领先，而西南地区与大西北地区数字经济发展潜力巨大。对 2021 年 30 个省份数字经济发展水平该一级指标进行分层聚类分析与 K 均值分析，将我国 30 个省份分为数字经济发展高水平地区、数字经济发展较高水平地区与数字经济发展一般水平地区。

基于以上结论，提出相应的几点建议：一、加大数字经济基础设施的投入(如移动基础设施、固定设施基础等)，尤其是在广大农村地区和中西部地区，强化信息资源深度融合，打通经济社会发展“大动脉”。二、制定数字经济人才战略，以全面培养数字技能为核心，注重跨学科、终身学习、创新创业等多方面的发展，以满足数字经济发展对多元复合型人才的迫切需求。三、对于数字经济发展一般水平地区，国家予以政策支持，政府因地制宜借鉴数字经济发展高水平地区，制定适应的发展策略。

参考文献

- [1] 何大安. 中国数字经济现状及未来发展[J]. 治理研究, 2021, 37(3): 5-15+2.
<https://doi.org/10.15944/j.cnki.33-1010/d.2021.03.001>
- [2] 许宪春. 数字经济发展给政府统计带来的挑战[J]. 统计与信息论坛, 2023, 38(10): 3-8.
- [3] 宫瑜. 数字经济对美国就业结构影响的实证分析[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2020.
<https://doi.org/10.27272/d.cnki.gshdu.2020.003171>
- [4] 杨仲山, 张美慧. 数字经济卫星账户: 国际经验及中国编制方案的设计[J]. 统计研究, 2019, 36(5): 16-30.
<https://doi.org/10.19343/j.cnki.11-1302/c.2019.05.002>
- [5] 张恪渝, 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.
<https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyc.2023.05.001>
- [6] 刘军, 杨渊堃, 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.
<https://doi.org/10.19626/j.cnki.cn31-1163/f.2020.06.008>
- [7] 焦帅涛, 孙秋碧. 中国数字经济发展的测度及分析[J]. 福州大学学报(哲学社会科学版), 2021, 35(6): 18-25.
- [8] 项慧. 我国数字经济发展水平测度及区域差异化研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北经贸大学, 2022.
<https://doi.org/10.27106/d.cnki.ghbj.2022.000248>
- [9] 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.

<https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyj.2023.09.001>

- [10] 王姝楠, 陈江生. 数字经济的技术-经济范式[J]. 上海经济研究, 2019(12): 80-94.
<https://doi.org/10.19626/j.cnki.cn31-1163/f.2019.12.009>
- [11] 杨青峰, 李晓华. 数字经济的技术经济范式结构、制约因素及发展策略[J]. 湖北大学学报(哲学社会科学版), 2021, 48(1): 126-136. <https://doi.org/10.13793/j.cnki.42-1020/c.2021.01.013>
- [12] 司小飞, 李麦收. 数字经济、就业结构与就业质量——基于中国省域数据的实证分析[J]. 西北人口, 2022, 43(4): 54-69. <https://doi.org/10.15884/j.cnki.issn.1007-0672.2022.04.005>