

中国数字化与绿色化耦合协调发展的演变特征研究

程刚^{1,2}, 刘昊昱¹

(1. 安徽财经大学 管理科学与工程学院, 安徽 蚌埠 233030;
2. 淮南师范学院, 安徽 淮南 232038)

[摘要] 中国数字化与绿色化耦合协调发展是实现经济增长与“双碳”目标的重要引擎。文章构建数字化与绿色化的评价指标体系,借助熵值法分别测度了2012—2021年我国数字化与绿色化水平,在此基础上采用耦合协调模型测算我国的数字化与绿色化耦合协调发展水平,最后利用核密度估计法考察了我国五个区域及东、中、西、东北四大板块的数字化与绿色化耦合协调发展的分布动态。研究发现:我国数字化水平和绿色化水平均有一定程度的提升;东部地区的耦合协调水平最高,年均增长速度最快,与中、西和东北部之间存在显著差异,在空间上整体表现出“东部高,东北部低”的分布格局;全国整体,东、西部数字化与绿色化耦合发展水平在样本考察期内呈现多极化形态,而中部与东北地区表现出单极化特征。

[关键词] 数字化;绿色化;耦合协调;动态演进

doi:10.3969/j.issn.1673-9477.2024.02.005

[中图分类号] F062.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-9477(2024)02-0036-11

随着全球环境问题的日益凸显,数字化与绿色化的协调发展成为了全球范围内的重要课题。特别是在中国这样一个人口众多、资源消耗巨大的国家,实现数字化与绿色化的协调发展对于经济增长和可持续发展具有重要意义。“十四五”规划明确强调,“加快数字化发展”“推动绿色发展”。数字化与绿色化的同时呈现,必然有其根本性的大势规律。在人民对美好生活的向往、经济社会高质量发展强烈需求的共同驱动下我国数字化与绿色化协调发展步伐不断加快,取得明显成效。但是“双化”协调体系的建立离不开系统思维和标准化的保障,而目前我国面临“双化”协调标准缺口大、发展不平衡、不充分^[1]等弊端。

因此,本文深入研究中国数字化与绿色化耦合协调发展的时序特征与规律,刻画各地区之间数字化与绿色化耦合协调的绝对差异,从而为高效配置数字化与绿色化协调发展的资源、推动形成优势互补的数字化与绿色化协调的高质量发展格局的政策制定和决策提供科学依据和参考,促进中国数字化与绿色化的协调发展,实现经济增长与环境保护的良性循环。

一、文献回顾

2022年1月26日,习近平总书记主持中共中央

政治局第三十六次集体学习时强调,“要紧紧抓住新一轮科技革命和产业变革的机遇,推动互联网、大数据、人工智能、第五代移动通信(5G)等新兴技术与绿色低碳产业深度融合”。数字化与绿色化协调发展作为中国社会发展的重要战略内容,一直是学界关注的热点问题。纵观其研究的演化历程,学者们主要围绕数字化与绿色化协调发展的内涵特征^[2-3]、理论逻辑^[4-5]、影响机理^[6-7]和推广路径^[8-9]进行研究。后期随着研究方法多样化和基础数据丰富化,学者们逐渐转向对数字化与绿色化协调的实证研究,这为本文研究提供了思路借鉴和逻辑起点,主要集中在以下三个层面。

(一) 围绕数字化的相关研究

潘为华等(2021)^[10]从数字经济基础设施、数字产业化、产业数字化、数字化治理四个层面考察了2012—2019年中国31个省份的数字经济发展的时空演化和分布动态;张英浩等(2022)^[11]采用熵权法考察了2011—2019年中国城市的数字经济对城市绿色全要素生产率的影响水平。

(二) 围绕绿色化的相关研究

田时中和周晓星(2020)^[12]建立思维评价指标

[投稿日期] 2024-01-06

[基金项目] 国家社会科学基金项目(编号:22BJY262);安徽财经大学研究生科研创新基金项目(编号:ACYC2022151)

[作者简介] 程刚(1966-),男,安徽巢湖人,博士,教授,研究方向:区域经济。

体系、构建空间杜宾模型,得出技术进步显著促进长江经济带绿色化发展的结论;戴翔和杨双至(2022)^[13]通过模型构建实证检验了制造业企业可以依托数字赋能,减少污染、降低能耗,实现绿色化转型。

(三) 围绕数字和绿色耦合协调关系的相关研究

赵卉心和孟煜杰(2022)^[14]以中国271个城市为研究对象构建数字经济与绿色技术耦合协调指标体系,分析耦合协调度的时空特征;裴潇等(2023)^[15]基于耦合协调度模型测度了长江经济带11个省份绿色发展与数字经济的耦合协调度;徐振华等(2023)^[16]利用耦合协调度模型测算2011—2021年我国31个省份三个系统的耦合协调水平,从时空二维角度评价两者耦合协调演化特征。

综上所述,已有研究为分析中国数字化与绿色化协调发展奠定了良好的基础,但仍存在可拓展之处。具体表现:首先,在空间尺度的选取上,近年来学者多以省域、东、中、西部或者南北区域为尺度,囿于研究对象全而散,对处在国家战略内部的城市群个性化特征揭示不够,难以作到因域献策。少量文献关注到长江经济带等国家战略区域内单个省份在数字化或绿色化的动态演进^[17-18],对本文具有一定的启发意义,但因研究对象单一、缺乏评价基准和横向比较,也留有研究结论难以推广应用的遗憾。基于上述问题,本文结合重大国家战略区域和四大板块,以30个省份为研究对象探讨中国数字化和绿色化的耦合协调。这对推动形成区域间融合互动、融通补充和优势互补的高质量发展格局具有重要现实价值。其次,在研究范畴上,现有研究普遍侧重于围绕单个具体产业的数字化转型或绿色化转型展开研究,抑或数字化对绿色化的影响机制进行探索。无论是在当前巩固拓展大数据成果同绿色生态建设有效衔接的关键时间节点,还是在未来全面实现“双化”转型和“双碳”目标的长期战线上,高度重视和系统研究数字化与绿色化耦合协调问题无疑有重大的现实意义。

二、研究设计

(一) 指标体系构建

考虑到数字化与绿色化耦合协调的复杂性和交互性,本文基于数字化和绿色化的评价指标体系的构建方面的已有研究,遵循科学性、系统性、代表性、可操作性、数据可获得性原则,分别构建数字化和绿色化的评价指标体系。

数字化是指以数字基础设施为基石提供转型发展保障,以人才为支撑激发转型活力源泉,以研发投入为驱动培育数字化转型动能,同时反映了数字化转型发展成果,是表征数字化转型发展行动社会价值的主要依据。2016年7月,《国家信息化发展战略纲要》明确指出“推进物联网设施建设,优化数据中心布局”“统筹规划海底光缆和陆地光缆建设”。因此,本文在指标体系构建时选取光缆线路长度和每百家企业拥有电脑数。人才作为科技创新的第一主体,是衡量一个国家综合国力的重要指标,在促进数字化转型和数字化与绿色化耦合协调的过程中,人才的培养、引进、使用是关键。2021年9月,习近平总书记在中央人才工作会议上强调,新时代必须深入实施人才强国战略,加快建设世界重要人才中心和创新高地,所以本文选取数字产业从业人数占比这一指标。此外,研发投入是集聚创新要素、承担创新功能的重要平台;没有研发投入的指引,创新资源就无法得到合理配置。研发是创新要素供给的集聚地,更是直接或间接参与到数字化转型发展过程中的主要技术承载者。故在参考已有文献的基础上,本文遴选研究人员全时当量和研发经费投入强度构建数字化测度指标体系。各行各业通过数字化转型实现经济效益的提高和业务总量的增加,而经济效益的提升和业务总量的扩大则是数字化转型结果的一种体现,是表征产业数字化发展绩效的主要依据。本文在测度数字化水平时,选择电子商务销售额和电信业务总量来衡量。数字化水平的测度指标不仅体现在基础设施、政府支持、研发投入、经济效益等微观层面,而且体现在经济金融发展的普惠性等宏观均衡层面。因此,本文选取北京大学数字金融研究中心整理编制的《北京大学数字普惠金融指数(2011—2021)》第四期数据。

《2030年碳达峰行动方案》中明确指出,要发挥政府在绿色低碳创新行动中规划布局、政策引导等方面的积极作用。政府不仅是资源配置的参与者,也是资源配置过程中的调控者,政府财政支持是绿色化转型发展的重要经济保障。本文选取环保支出占公共预算支出比重和环境污染治理完成投资纳入指标体系来衡量绿色化水平。绿色化是以资源的高效循环利用为核心,从而实现资源消耗的减量化、废弃物循环利用的高度化、碳排放的去增化;减量化旨在以较少的资源投入获取较高的产出效益,从源头节约资源;高度化旨在废弃物以较高的利用率或处理率进行再循环利用活动;去增化旨在“双碳”愿景的指引下加快降低碳排放步伐。故选取水资源消耗

强度体现减量化;选取固体废物综合利用率衡量资源再利用和再循环情况;选取碳排放增长率表征碳排放的去增化。绿色化成果不仅仅只有环境效益,也应包括转型活动产生的知识成果。而转型过程中的知识信息体现在各类文献中,特别是专利文献。专利的授权为知识成果的学习、交流、共享提供了有效渠道,提高了知识成果的传播效率,促使了绿色化成果转化。

因此,本文在构建绿色化评价指标体系时增加绿色发明专利申请数这一指标。绿色化是一个综合性的概念,既直指转型发展的过程,又涵盖转型发展的结果,同时还以生态文明为基石。在绿色化发展水平的测度中,不可忽略生态本底指标,其中,建成区绿化覆盖率指在城市建成区的绿化覆盖面积占建成区的百分比。在城市建设中,建成区绿化覆盖率标准的实施对保护环境和改善城市品质起着至关重要的作用;耕地保有率是报告期末耕地总面积与报告期初耕地总面积的比值,可以较好地表征农业绿色发展能力。基于此,将上述2个指标纳入绿色化测度指标体系。

表1 数字化与绿色化发展测度指标体系

准则层	一级指标	指标属性	权重
数字化	光缆线路长度	+	0.122
	每百家企业拥有电脑数	+	0.073
	数字产业从业人数占比	+	0.169
	研究人员全职当量	+	0.151
	研发经费投入强度	+	0.137
	电子商务销售额	+	0.138
	电信业务总量	+	0.122
	中国数字普惠金融指数	+	0.090
	环保支出占公共预算支出比重	+	0.084
	环境污染治理完成投资	+	0.134
绿色化	固体废物综合利用率	+	0.085
	水资源消耗强度	-	0.083
	碳排放增长率	-	0.116
	单位GDP SO ₂ 排放量	+	0.084
	绿色发明专利申请数	+	0.195
	建成区绿化覆盖率	+	0.150
	耕地保有率	+	0.153

(二) 研究方法

1. 熵值法

熵值法在社会经济研究中广泛使用,属于客观赋权法的一种,通过指标数据的差异程度确定权重,方法简洁且不损失信息量,能够避免受到主观人为的影响,减少对指标权重赋值时的偏颇,更好地反映指标综合指数。另外,由于选取的各个指标来源于不同层次,量纲

与数量级之间具有显著差异,因此,要将这些指标进行无量纲化处理。具体步骤参见李旭辉等(2023)^[19]。

2. 修正的耦合协调模型

传统的耦合协调模型存在较多的误区,导致最终计算的耦合协调度使用效率不足,其过于强调两个子系统的自身发展,难以充分表征耦合协调水平。本文参考王淑佳等(2021)^[20]的研究,采用修正的耦合协调模型来测度中国30个省份数字化与绿色化的耦合协调关系,耦合协调度的计算公式:

$$C = \sqrt{[1 - (U_2 - U_1) \times \frac{U_1}{U_2}]}$$
 (1)

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 (\alpha + \beta = 1)$$
 (2)

$$D = \sqrt{C \times T}$$
 (3)

其中, U_1 、 U_2 分别代表数字化与绿色化水平; C 为耦合度; T 为数字化与绿色化系统的综合协调指数; D 为耦合协调度; α 、 β 为数字化与绿色化对二者耦合协调的贡献率,考虑到中国经济社会的发展现状,二者均取为0.5。

参考现有研究^[21],本研究采用均匀分布函数确定中国30个省份数字化与绿色化的耦合协调等级划分标准,具体划分见表2。

表2 耦合协调度等级划分标准

耦合协调度 D	协调等级	耦合协调度 D	协调等级
$0 < D \leq 0.3$	严重失调	$0.6 < D \leq 0.7$	初级协调
$0.3 < D \leq 0.5$	轻度失调	$0.7 < D \leq 0.8$	中级协调
$0.5 < D \leq 0.6$	勉强协调	$0.8 < D \leq 1$	极度协调

3. Kernel 密度估计方法

Kernel 密度估计是一种估计随机变量概率密度并将随机变量的分布状态通过密度曲线的分布位置、分布形态、分布延展性和极化现象等特性描述出来的分析方法。该方法的三维核密度曲线函数绘制公式如下:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - \bar{X}}{h}\right)$$
 (4)

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$$
 (5)

(三) 研究对象及数据来源

本文以重大国家战略的五个区域和东、中、西、东北四大板块30个省级单位为研究对象,鉴于数据可得性,粤港澳地区不涉及香港、澳门,西部地区不涉及西藏自治区。各指标数据分别取自《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》、各省份统计年鉴,其中,碳排放数据来源于碳核算数据库发布的碳排放清单,《北京大

学数字普惠金融指数(2011—2021)》数据来源于北京大学数字金融研究中心。样本考察期为2012—2021年,针对数据缺失问题,采用自回归预测法和均值插补法补充。

三、结果分析

(一)数字化发展测度及事实描述

通过获取2012—2021年中国30个省份数字化水平指标的原始数据,经过预处理和熵值法算出组合权重,得出2012—2021年我国各省份数字化发展水平测度结果,如表3所示。为了更好地揭示数字化发展水平的态势,本部分从全国和区域角度分别对数字化水平进行分析。

1. 全国数字化发展水平分析

表3报告了考察期内中国30个省份数字化发

展水平的年度值和综合指数。从全时期综合测度指数看,综合指数排在前三名的省份为广东(0.519)、江苏(0.502)、浙江(0.453),后三名的省份为甘肃(0.210)、吉林(0.216)、青海(0.219)。根据各省份全时期综合指数总和计算均值结果为0.292,即变异系数达0.292,超过了0.2,表明我国数字化水平存在显著差异。样本考察期内,从变动趋势上看,中国数字化发展指数呈现波动上升的态势,年均增长9.42%,且在2017年呈现明显的大幅提升。究其原因,党的十九大报告提出,推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合,建设数字中国,同时党的十九大报告中首次将“建设数字中国”写入党和国家的纲领性文件,对数字化水平的发展起到至关重要的推动和促进作用。

表3 2012—2021年我国各省份数字化发展水平测度结果

省份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	综合指数	综合排名
北京	0.233	0.251	0.270	0.293	0.305	0.344	0.361	0.381	0.403	0.420	0.326	6
天津	0.227	0.255	0.274	0.300	0.291	0.281	0.344	0.391	0.443	0.394	0.320	7
河北	0.161	0.184	0.196	0.212	0.220	0.254	0.303	0.353	0.391	0.363	0.264	16
山西	0.161	0.174	0.185	0.196	0.198	0.223	0.269	0.314	0.348	0.326	0.239	21
内蒙古	0.152	0.171	0.182	0.202	0.204	0.233	0.276	0.342	0.384	0.353	0.250	20
辽宁	0.176	0.197	0.210	0.221	0.225	0.254	0.299	0.339	0.371	0.356	0.265	15
吉林	0.141	0.156	0.169	0.183	0.180	0.197	0.244	0.286	0.316	0.291	0.216	29
黑龙江	0.150	0.166	0.176	0.190	0.188	0.219	0.246	0.287	0.315	0.284	0.222	27
上海	0.264	0.294	0.343	0.374	0.374	0.407	0.481	0.556	0.615	0.570	0.428	4
江苏	0.318	0.356	0.384	0.420	0.431	0.479	0.564	0.653	0.722	0.691	0.502	2
浙江	0.266	0.299	0.332	0.374	0.380	0.425	0.517	0.614	0.672	0.647	0.453	3
安徽	0.165	0.189	0.207	0.226	0.238	0.274	0.336	0.397	0.437	0.422	0.289	12
福建	0.196	0.220	0.236	0.253	0.255	0.290	0.353	0.411	0.449	0.442	0.311	8
江西	0.150	0.166	0.180	0.198	0.200	0.250	0.310	0.373	0.419	0.373	0.262	17
山东	0.225	0.258	0.279	0.311	0.334	0.382	0.438	0.462	0.522	0.501	0.371	5
河南	0.164	0.194	0.213	0.234	0.247	0.269	0.319	0.360	0.399	0.376	0.277	14
湖北	0.174	0.199	0.216	0.236	0.246	0.278	0.328	0.385	0.428	0.403	0.289	11
湖南	0.176	0.200	0.219	0.242	0.240	0.291	0.362	0.420	0.498	0.408	0.305	9
广东	0.325	0.357	0.381	0.410	0.430	0.493	0.607	0.688	0.751	0.747	0.519	1
广西	0.144	0.158	0.168	0.183	0.188	0.208	0.254	0.311	0.357	0.341	0.231	23
海南	0.143	0.156	0.164	0.184	0.178	0.205	0.258	0.303	0.337	0.302	0.223	26
重庆	0.159	0.184	0.204	0.226	0.231	0.265	0.329	0.396	0.449	0.403	0.285	13
四川	0.166	0.190	0.209	0.231	0.236	0.281	0.337	0.401	0.457	0.419	0.293	10
贵州	0.132	0.150	0.160	0.178	0.182	0.212	0.274	0.345	0.399	0.343	0.237	22
云南	0.143	0.159	0.175	0.199	0.192	0.226	0.288	0.361	0.411	0.369	0.252	19
陕西	0.161	0.182	0.196	0.211	0.211	0.231	0.270	0.353	0.408	0.371	0.259	18
甘肃	0.130	0.148	0.158	0.172	0.171	0.193	0.237	0.281	0.315	0.299	0.210	30
青海	0.130	0.146	0.154	0.171	0.165	0.195	0.255	0.305	0.347	0.324	0.219	28
宁夏	0.136	0.151	0.161	0.179	0.177	0.208	0.262	0.319	0.364	0.333	0.229	24
新疆	0.148	0.165	0.176	0.187	0.186	0.207	0.258	0.310	0.342	0.299	0.228	25

2. 重大国家战略区域数字化发展水平分析

从综合排名看,由于粤港澳大湾区只统计了广东省的数据,而广东作为我国改革开放的最前沿,在构建数字化新发展格局方面具有良好的基础和条件,拥有多个先进产业集群。同时,广东省还先后出台了《广东省制造业数字化转型实施方案及若干政策措施》《广东省数字经济促进条例》等多项促进型政策,由表3可见,其在粤港澳地区的综合排名位列第1;长三角地区是中国经济发展最活跃、开放程度最高、创新能力最强的区域之一,其所属省份的排名均在前列,如上海(排名第4)、江苏(排名第2)、浙江(排名第3)、安徽(排名第12);京津冀战略区域拥有独特的区位优势,是着眼全球的数字化创新聚集地,可为数字化转型发展提供核心支撑力量,其所属省份(北京、天津、河北)的排名分别为第6位、第7位和第16位;长江经济带作为中国数字化发展的重要引擎,数字化赶超乏力,原因在于其所属省份分级现象严重,江苏、浙江、上海等高水平省份呈现出明显的虹吸效应,与其他省份的数字化水平差距持续拉开;黄河流域内只有山东省排名第5,其他排名均在平均值位次以后。

从演变趋势上看,与2012年相比,2021年京津

冀地区、长三角地区、长江经济带、黄河流域以及粤港澳大湾区的数字化发展增幅分别达到46.31%、67.10%、73.80%、73.73%和82.27%,水平显著提高。对比重大国家战略区域的数字化发展水平,2012—2021年,粤港澳大湾区产业数字化发展水平为0.519,在五个重大国家战略区域中处于领先地位,长三角地区次之(0.418),其高于平均水平(0.293)。然后是长江经济带和京津冀地区(0.327、0.303),两者数字化发展水平相差较小,数字化发展水平最低的是黄河流域(0.258)。2012—2021年,长江经济带、黄河流域、长三角地区、粤港澳大湾区和京津冀地区的数字化发展水平的年均增长率分别是10.16%、9.75%、9.70%、9.68%、7.38%,粤港澳大湾区数字化发展水平均值始终高于长三角,但两者年均增长速度几乎无异,可见未来仍然是粤港澳地区遥遥领先。长江经济带与京津冀的数字化发展水平相差不多,但长江经济带的年均增长速度远超京津冀地区,呈现出明显的反超趋势;黄河流域的数字化发展水平最低,增长速度也不高,将在很长一段时期内持续处于重大国家战略区域范围内数字化水平的末端。综合以上分析,重大国家战略区域的数字化发展水平在时序特征上存在明显差异。

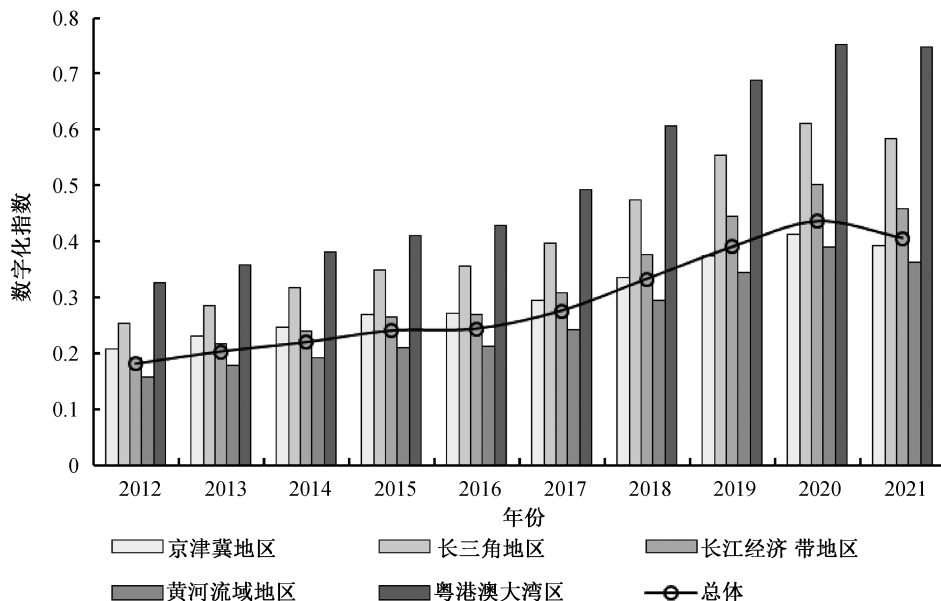


图1 2012—2021年重大国家战略区域数字化水平的发展趋势

(二) 绿色化发展测度及事实描述

依据前文指标体系,本文收集了2012—2021年绿色化的相关测度数据,利用熵值法对指标数据进行测算,得出2012—2021年中国绿色化水平的综合测度值,并得到最终排名,如下表4所示。

1. 全国绿色化发展水平分析

表4报告了中国30个省份绿色化发展水平的

统计分析结果。从样本考察期的最终平均观测值看,北京(0.550)排名最高,新疆(0.265)排名最低,二者的绿色化指数相差相当于新疆的1.08倍。各省份绿色化的变异系数为0.130,说明中国绿色化发展存在差异。图2反映了2012—2021年全国总体和五大重大国家战略区域绿色化发展指数均值及其演变特征。从时序变动来看,全国总体的绿色化指

数均值呈现稳步增长的趋势,但整体变化幅度不大,相对稳定,年均增长率仅为1.84%,增长幅度为17.87%,说明我国绿色化发展总体上呈现稳健良好的发展态势。2012—2021年间,绿色化发展水平的

年均增长率在2018年达到峰值,原因可能在于习近平总书记在党的十九大报告中指出要践行绿色发展的新理念,倡导绿色、低碳、循环、可持续的生产生活方式,形成绿色化的空间格局和产业结构。

表4 2012—2021年我国各省份绿色化发展水平测度结果

省份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	综合指数	综合排名
北京	0.433	0.469	0.497	0.486	0.537	0.571	0.589	0.621	0.636	0.659	0.550	1
天津	0.326	0.337	0.340	0.346	0.349	0.376	0.342	0.441	0.363	0.402	0.362	26
河北	0.410	0.409	0.440	0.466	0.456	0.485	0.469	0.502	0.498	0.475	0.461	12
山西	0.359	0.384	0.395	0.406	0.395	0.389	0.414	0.432	0.440	0.437	0.405	24
内蒙古	0.425	0.442	0.433	0.446	0.436	0.417	0.421	0.436	0.441	0.439	0.434	22
辽宁	0.413	0.415	0.424	0.447	0.435	0.440	0.443	0.451	0.444	0.440	0.435	21
吉林	0.424	0.447	0.446	0.467	0.460	0.430	0.474	0.474	0.527	0.492	0.464	10
黑龙江	0.456	0.485	0.473	0.521	0.496	0.531	0.542	0.552	0.572	0.544	0.517	3
上海	0.313	0.318	0.351	0.346	0.356	0.381	0.408	0.393	0.404	0.401	0.367	25
江苏	0.403	0.419	0.439	0.455	0.466	0.497	0.504	0.493	0.515	0.567	0.476	6
浙江	0.457	0.463	0.475	0.485	0.501	0.514	0.534	0.537	0.537	0.552	0.506	4
安徽	0.390	0.403	0.424	0.439	0.450	0.479	0.490	0.485	0.484	0.497	0.454	16
福建	0.444	0.449	0.440	0.476	0.497	0.472	0.475	0.499	0.496	0.499	0.475	8
江西	0.450	0.409	0.437	0.442	0.462	0.468	0.474	0.477	0.490	0.497	0.461	14
山东	0.420	0.464	0.430	0.440	0.455	0.462	0.454	0.454	0.460	0.462	0.450	18
河南	0.420	0.423	0.398	0.441	0.444	0.463	0.490	0.478	0.476	0.485	0.452	17
湖北	0.394	0.449	0.424	0.437	0.443	0.450	0.484	0.480	0.471	0.467	0.450	20
湖南	0.441	0.456	0.461	0.449	0.462	0.471	0.496	0.500	0.521	0.489	0.475	7
广东	0.459	0.484	0.468	0.485	0.515	0.557	0.619	0.623	0.621	0.629	0.546	2
广西	0.434	0.446	0.462	0.477	0.462	0.464	0.468	0.453	0.475	0.464	0.460	15
海南	0.409	0.418	0.418	0.428	0.448	0.422	0.474	0.459	0.572	0.453	0.450	19
重庆	0.447	0.469	0.427	0.455	0.465	0.450	0.470	0.464	0.476	0.499	0.462	11
四川	0.424	0.444	0.452	0.471	0.477	0.486	0.501	0.464	0.487	0.499	0.470	9
贵州	0.390	0.412	0.424	0.424	0.429	0.434	0.458	0.447	0.446	0.456	0.432	23
云南	0.444	0.461	0.472	0.485	0.473	0.470	0.484	0.517	0.488	0.490	0.478	5
陕西	0.414	0.449	0.440	0.460	0.461	0.475	0.476	0.477	0.472	0.484	0.461	13
甘肃	0.299	0.303	0.331	0.353	0.359	0.391	0.385	0.385	0.392	0.380	0.358	27
青海	0.337	0.336	0.359	0.345	0.359	0.353	0.345	0.389	0.376	0.294	0.349	28
宁夏	0.316	0.324	0.333	0.343	0.336	0.311	0.366	0.334	0.338	0.341	0.334	29
新疆	0.221	0.233	0.244	0.255	0.250	0.251	0.281	0.287	0.308	0.316	0.265	30

2. 重大国家战略区域绿色化发展水平分析

从排名看,考察期内,粤港澳区域内的广东省一直排在前5位。广东省毗邻香港、澳门,拥有天然的地理优势,形成了与国际接轨的大湾区绿色化标准体系,汇聚了大批绿色低碳前沿技术,为进一步推动绿色化发展迸发活力。长三角地区优势明显,其中浙江和江苏的排名均在全国前10,分别位列第4和第6。这主要得益于长三角三省一市具有完备的产业集群、数字能源、智能制造、绿色建筑等绿色低碳产业,对其绿色化发展水平的提高产生深远的促进

作用。黄河流域中仅有陕西排名第13,山东排名第18,其余省份绿色化水平的排名均在后10名之内,说明黄河流域绿色化发展仍有较大的提高空间。原因在于,黄河流域横贯中国东西,大部分省份的地理位置位于我国的西北部,其绿色产业基础薄弱,资源集聚能力欠缺,绿色化发展基础不够夯实,尚未形成推动绿色化高质量发展的格局。

从变化趋势来看,2012—2021年,重大国家战略区域绿色化发展水平的年均增长率由高到低依次为粤港澳大湾区(3.54%)、京津冀地区(3.08%)、长三

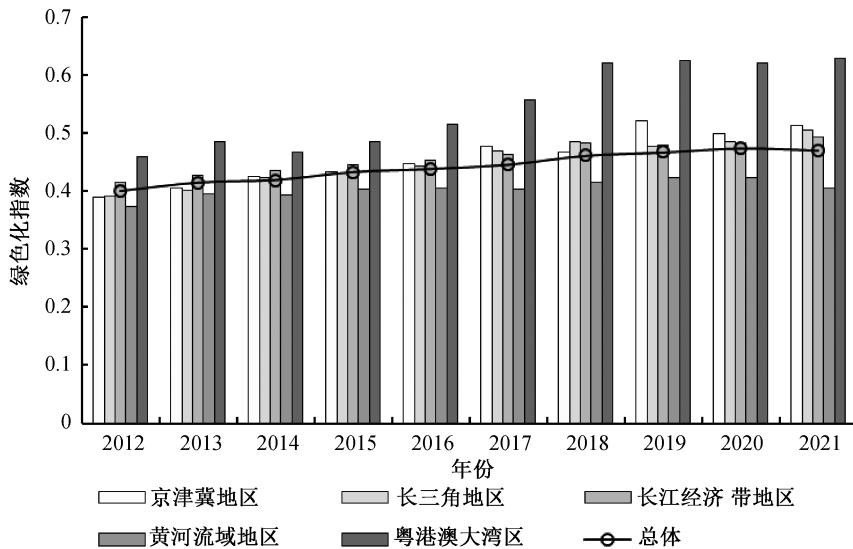


图2 全国及重大国家战略区域绿色化水平发展趋势

角地区(2.87%)、长江经济带(1.94%)和黄河流域(0.89%)。此外,各区域内部各省份绿色化发展水平最大值和最小值之间均相差较大,京津冀内部各省份绿色化发展的变异系数为0.28,长江经济带和黄河流域的产业绿色化发展的变异系数次于京津冀地区,但也都超过了0.2,长三角区域各省份的变异系数最小,也达到了0.17。这一结果表明,重大国家战略区域绿色化发展的时序特征存在明显的内部非均衡。另外,粤港澳绿色化发展水平均值始终高于其他区域,且年均增长速度最快;长三角和京津冀产业绿色化发展表现为水平较高,增速较快;长江经济带和黄河流域则表现为水平低,增速慢,这一结果表明,缩小重大国家战略区域之间的绿色化发展差异是协同提升绿色化发展水平刻不容缓的挑战。

(三) 我国数字化与绿色化耦合协调发展分析

前文基于全国和重大国家战略区域,分别对数字化和绿色化发展水平进行分析。社会的发展必须要顺应新发展理念的要求,为了促进区域经济协调发展,国家提出了“东部率先、西部开发、东北振兴、中部崛起”的区域发展布局。因此,本部分以四大板块为视角揭示中国数字化与绿色化的耦合协调规律,为“十四五”时期探索出一条具有协调性、平衡性的数字化与绿色化协调发展路径提供理论依据和现实支撑。

1. 数字化与绿色化的耦合协调

图3报告了30个省份划分成四大板块的数字化与绿色化的耦合协调指数及年均增长率。在考察期内,全国整体的耦合协调度以年均2.35%的增长速度从0.524提升至0.646,从勉强协调过渡到初级

协调,说明中国的数字化与绿色化协调工作正稳步有序的进行,取得了明显的成效。其中增长速度位列第1的是广东(3.15),考察期内的10年间,广东省的耦合协调水平一直位列第1,在2012年就达到了初级协调,更甚在2021年跃升到极度协调;增长速度最慢的是黑龙江,年均增长仅1.66%,不论是考察期初还是考察期末,均与全国数字化与绿色化耦合协调指数均值存在一定的差距;值得注意的是安徽,以2.94%的增长速度,由2012年的0.513稳步攀升至2021年的0.667,从一开始低于全国平均水平到反超全国平均水平,从接近轻微失调发展到初级协调,说明安徽在其周边协调指数高水平省份的带动下,实现了数字化与绿色化耦合协调的飞跃。从区域层面看,东部地区的耦合协调指数明显领先,在考察期末数字化与绿色化耦合协调指数突破了0.6,是唯一超过全国平均水平的区域;西部地区与全国的耦合协调指数变化态势基本一致,其数字化绿色化耦合协调水平一直位列最后;中部地区与东北地区的协调水平相近,但2012—2021年间,中部地区以年均2.37%的增长速度实现对东北地区的反超,但二者的耦合协调指数仍很接近。

值得注意的是,2012—2021年间,东部地区始终处于领先地位,中部地区位次低于东部地区,西部地区与东北地区都处于落后位置。在地区内部也存在相似的现象,例如,在2012年,东部地区内部耦合协调指数排名前3的分别是广东(0.649)、江苏(0.620)和浙江(0.598),在考察期末,依旧是广东(0.879)、江苏(0.834)和浙江(0.807)位列前3。这表明不管是在地区间还是地区内都存在明显的分级

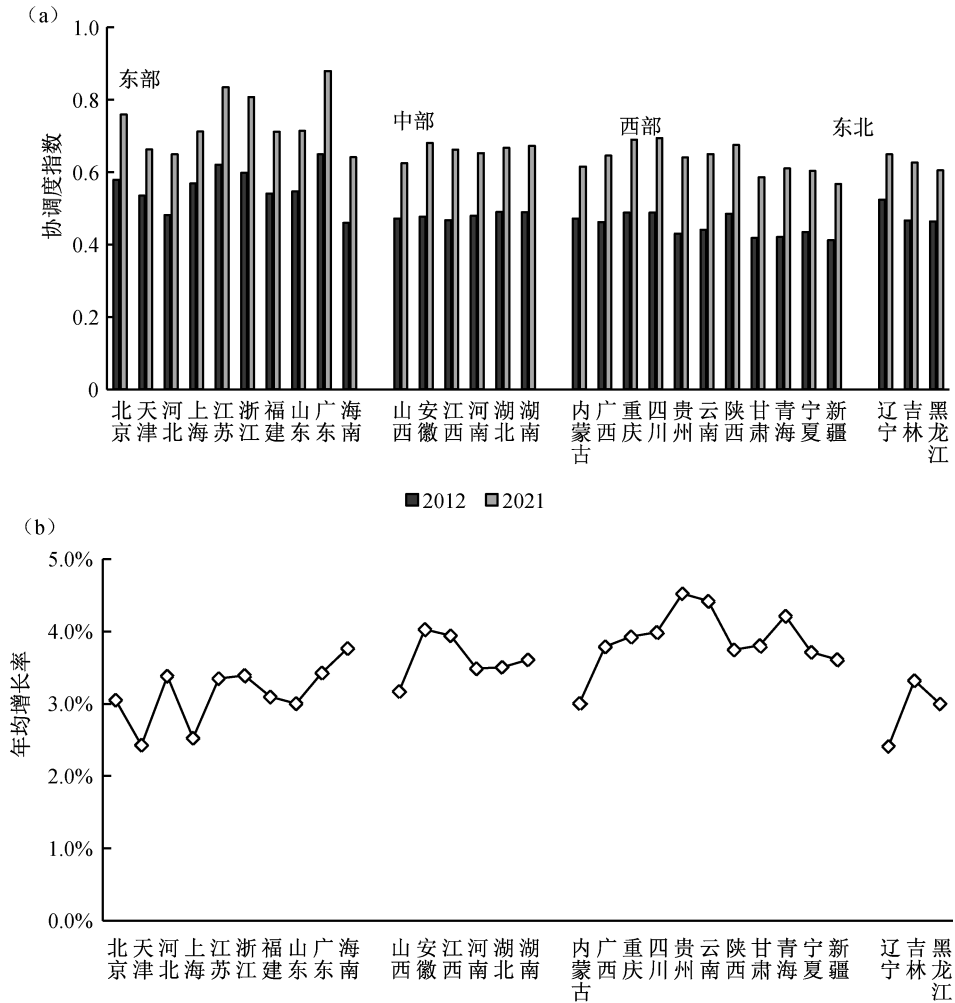


图 3 2012—2021 年中国省域数字化绿色化耦合协调度指数及年均增长率

效应和非均衡现象。因此,本文对四大板块展开进一步的研究,探寻差异存在的主要原因。

2. 数字化与绿色化融合的动态演进

为了进一步揭示数字化与绿色化耦合协调度的动态演进特征,本文借助 Matlab 软件绘制高斯核密度图,重点关注分布位置、分布形态、分布延展性和极化现象四个关键属性,表征了中国整体和四大板块数字化与绿色化耦合协调的绝对差距变化。

图 4(a)展示了全国整体数字化与绿色化耦合协调发展的动态演进趋势。从分布位置看,总体分布曲线的演进脉络呈现右移态势,表明中国数字化与绿色化的协调水平有一定程度的提升,这一特征与前文客观事实相印证;从分布形态看,主峰和侧峰高度均略有下降,宽度略有扩大,表明我国各省份之间的数字化绿色化耦合协调差异在考察期内不降反增;从分布延展性看,曲线右侧存在“右拖尾”现象,说明在各省份之间出现“俱乐部”效应,耦合协调水平高的省份仍然保持领先优势,并与其他低水平省份之间的差距持续拉大;从极化现象看,在考察期

内,整体曲线保持两极化特征,主峰与侧峰之间的距离逐渐扩大,意味着全国各省份之间两极分化现象进一步加深,打破区域壁垒,缩小各省份之间数字化与绿色化协调发展差异是高质量发展过程中所面临的不容小觑的挑战。

图 4(b)—图(e)分别刻画了 2012—2021 年四大板块数字化与绿色化耦合协调发展的分布动态特征。就东部而言,数字化与绿色化耦合协调指数的分布曲线逐年向右移动,呈现“右拖尾”现象,主峰高度波动下降,于 2017 年降至最低点,同时宽度有所扩张,由两极分化过渡到多极分化,表明东部耦合协调水平有所上升,但区域内各省份呈现分散化状态,绝对差异增大,极化现象相对减弱;就中部地区而言,核密度曲线中心由 0.476 右移至 0.662,未出现“拖尾”与“多峰”现象,宽度略微扩大,意味着中部地区各省份耦合协调水平分布均匀,在均值附近,差异较小;就西部而言,数字化与绿色化协调发展水平的变化区间呈现明显的右移态势,分布曲线在考察期内始终保持单极化分布特征,波峰高度总体呈现

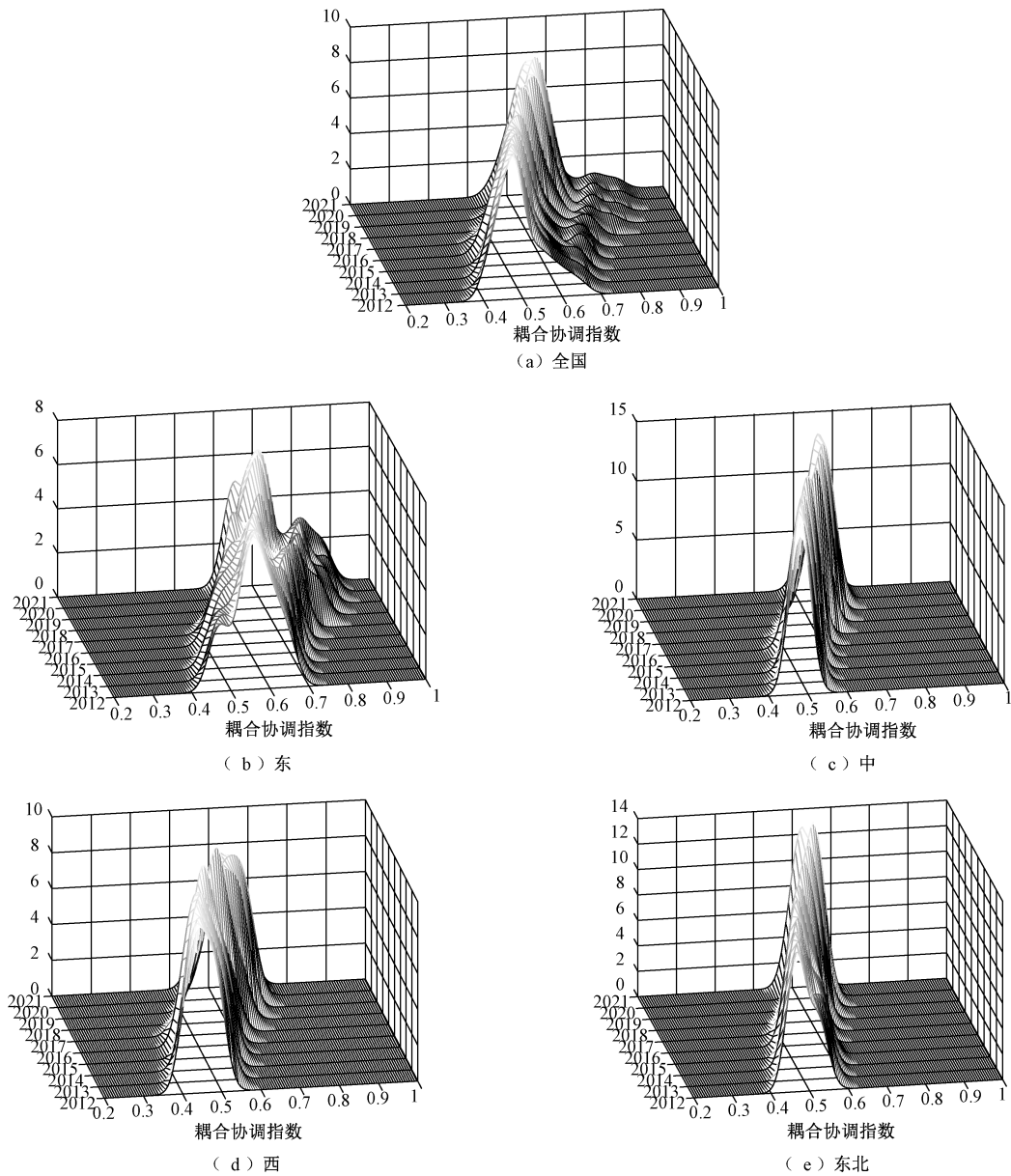


图4 2012—2021年全国整体及四大板块数字化与绿色化耦合协调分布动态

下降状态,且宽度变窄,说明其内部离散程度有所降低;就东北部而言,分布曲线由“一主一侧”向单峰逐步演变,表明东北三省的数字化与绿色化协调发展水平呈集中化趋势,绝对差异呈现缩小趋势。

四、结论与对策

(一) 结论

1. 从测度结果看,在考察期内我国数字化水平、绿色化水平均有不同程度的提升,但提升速度有差异,存在显著的空间非均衡性。

2. 从重大国家战略区域视角看,粤港澳地区数字化水平和绿色化水平均处于领先地位,同时黄河流域均处于落后位置。2012—2021年间,长江经济

带完成对京津冀数字化水平的赶超,但其绿色化水平被京津冀地区反超;长三角地区的数字化水平和绿色化水平均保持稳定,末期的排名较初期相比无变化。

3. 样本考察期内,全国的数字化与绿色化耦合协调水平呈现向好状态,完成从勉强协调到初级协调的转变。

4. 从四大板块视角看,东部地区的耦合协调指数和年均增长率均处于四大区域之首;东北地区受到地理位置的影响均处于四大区域之尾。其中,东部是唯一超过全国耦合协调指数平均水平的地区;西部地区从轻微失调过渡到初级协调;中部地区与全国总体耦合协调水平的增速基本保持一致;东北

地区位于初级协调的边缘。

5. 2012—2021年全国整体及四大板块数字化与绿色化耦合协调水平的核密度图均呈现“曲线中心右移,明显的右拖尾”特征。同时,中部、西部和东北地区的分布极化具有较强的稳定性,长期呈现单极化形态;全国整体和东部均呈现多极化状态。

(二) 对策

1. 加快产业数字化升级,推动生产生活方式绿色化转变

文中研究发现,我国数字化水平和绿色化水平在考察期内取得明显成效,但未来仍存在很大的提升潜力。因此要抢占数字发展的先机,补足数字技术短板,对传统产业进行全方位、多维度的数字化转型升级,实现能源与技术的精准配置与高效对接,强化科技创新策源功能,加快推动数字产业绿色低碳发展,推动数字技术赋能绿色化转型,发挥绿色化转型对数字化发展的鞭策作用,形成数字化与绿色化良性循环,带动新的技术进步、引领新的发展方式,形成数字化与绿色化耦合协调的高质量发展格局。

2. 关注落后地区数字化和绿色化耦合协调水平,充分发挥高水平城市群的空间溢出效应

由于在区域间存在“俱乐部趋同”和“马太效应”,区域内部存在分级现象,数字化与绿色化耦合协调水平高的地区应高度重视对落后地区的辐射带动作用,借助物联网、互联网技术,加强地区间的交流与合作,形成多地区的网络集群,有效引导高水平地区对邻近地区的正向拉动作用,高效联通区域间资源合理、有效配置,实现先发展带动后发展,发挥沿海地区城市群的稳健发展优势以及中部地区强势崛起优势,贯通南北、连接东西,从而更好地促进我国数字化与绿色化耦合协调一体化发展。

3. 发挥政府调控作用,打破阻碍资源要素流动的机制障碍

社会经济的发展同社会的有序运行和规范化管是相辅相成的,这种秩序离不开政府制定政策进行有效调控。政府作为“有形的手”,是把握发展差距过大和资源壁垒最基本的“底线”和兜底保障。因此,政府要加大宏观政策调控力度,健全协调机制,促进各类政策科学配合,形成共促数字化与绿色化耦合协调发展合力,使得资源配置实现基于优势互补的跨区域流动,借助政策的导向作用促进数字化与绿色化耦合协调的高质量发展,弥补粗放型发展

遗留的区域发展失衡、资源分配不公、关键领域要素冗余或缺失等问题。

参考文献

- [1]张虎,张毅,韩爱华.我国产业链现代化的测度研究[J].统计研究,2022,39(11):3-18.
- [2]邓宗兵,肖沁霖,王炬,等.中国数字经济与绿色发展耦合协调的时空特征及驱动机制[J].地理学报,2024,79(4):971-990.
- [3]丁志帆.信息消费驱动下的传统产业变革:基本内涵与内在机制[J].经济学家,2020(3):87-94.
- [4]许吉黎,黄耿志,张虹鸥,等.可持续性转型视角下区域新兴产业形成的研究进展与展望[J].经济地理,2022,42(12):142-151.
- [5]金碚.工业的使命和价值——中国产业转型升级的理论逻辑[J].中国工业经济,2014(9):51-64.
- [6]吴康,刘骁啸,姚常成.产业转型对中国资源型城市增长与收缩演变轨迹的影响机制[J].自然资源学报,2023,38(1):109-125.
- [7]叶光亮,程龙,张晖.竞争政策强化及产业政策转型影响市场效率的机理研究——兼论有效市场与有为政府[J].中国工业经济,2022(1):74-92.
- [8]祝合良,王春娟.“双循环”新发展格局战略背景下产业数字化转型:理论与对策[J].财贸经济,2021,42(3):14-27.
- [9]巴曙松,郑军.中国产业转型的动力与方向:基于新结构主义的视角[J].中央财经大学学报,2012(12):45-52.
- [10]潘为华,贺正楚,潘红玉.中国数字经济发展的时空演化和分布动态[J].中国软科学,2021(10):137-147.
- [11]张英浩,汪明峰,崔璐明,等.数字经济水平对中国市域绿色全要素生产率的影响[J].经济地理,2022,42(9):33-42.
- [12]田时中,周晓星.长江经济带绿色化测度及其技术驱动效应检验[J].统计与信息论坛,2020,35(12):39-49.
- [13]戴翔,杨双至.数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J].中国工业经济,2022(9):83-101.
- [14]赵卉心,孟煜杰.中国城市数字经济与绿色技术创新耦合协调测度与评价[J].中国软科学,2022(9):97-107.
- [15]裴潇,袁帅,罗森.长江经济带绿色发展与数字经济时空耦合及障碍因子研究[J].长江流域资源与环境,2023,32(10):2045-2059.
- [16]徐振华,慈福义,张佳文.数字经济、绿色创新与新型城镇化时空耦合分析[J].统计与决策,2023,39(15):94-99.
- [17]毛丰付,高雨晨,周灿.长江经济带数字产业空间格局演化及驱动因素[J].地理研究,2022,41(6):1593-1609.
- [18]曾萍,肖静.长江经济带发展战略能否提升地区绿色创新能力——基于准自然实验的证据[J].统计研究,

- 2023,40(6):91-104.
- [19]李旭辉,王经纬,吴权,等.“双碳”目标下中国五大重点区域工业绿色发展水平差异及成因识别[J].经济地理,2023,43(8):103-112.
- [20]王淑佳,孔伟,任亮,等.国内耦合协调度模型的误区及修正[J].自然资源学报,2021,36(3):793-810.
- [21]黄婧涵,蓝庆新,展金泳.“一带一路”沿线国家经济环境耦合协调水平评价研究[J].中国软科学,2023(2):202-213.
- [责任编辑 李 新]

Research on Evolutionary Characteristics of the Coupled and Coordinated Development of Digitization and Greening in China

CHENG Gang^{1,2}, LIU Haoyu¹

(1. School of Management Science and Engineering, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu, Anhui 233030, China;
2. Huainan Normal College, Huainan, Anhui 232038, China)

Abstract: The coupled and coordinated development of digitization and greening in China is an important engine for realizing economic growth and the goal of “double carbon”. This paper constructs an evaluation index system of digitization and greening, measures the level of digitization and greening in China from 2012 to 2021 with the help of the entropy method, and then adopts the coupling coordination model to measure the level of coupled and coordinated development of digitization and greening in the whole country, and finally examines the dynamics of the distribution of the coupled and coordinated development of digitization and greening in China and the four major sectors with the help of the Kernel Density Estimation (KDE) method. The study finds that: China’s digitization and greening levels have both increased to a certain extent; the eastern region has the highest level of coupling coordination, the fastest average annual growth rate, and significant differences with the central, western and northeastern parts of the country; the overall spatial distribution takes on the characteristics of “high in the east and low in the northeast”; It is also found that the development level of digitalization and greening coupling in the country as a whole, in the east and west regions, shows a multi-polar pattern during the sample period, while the level in central and northeastern regions shows unipolar characteristics.

Key Words: digitalization; greening; coupled coordination; dynamic evolution