

# 数字经济与绿色发展耦合协调的 时空格局及分异机理

肖沁霖<sup>1,2</sup>, 邓宗兵<sup>1,2</sup>, 王炬<sup>1,2</sup>

(西南大学 1. 普惠金融与农业农村发展研究中心, 重庆 400715; 2. 经济管理学院, 重庆 400715)

**摘要:**数字经济与绿色发展协同共进是高质量发展的题中之义。在厘清耦合协调机理基础上,运用耦合协调度模型、Markov链和时空地理加权回归模型(GTWR)等方法探析中国数字经济与绿色发展耦合协调的时空格局特征及其分异机理。结果发现:第一,研究期内全国及各地区的耦合协调度均不断提升,但仅有北京、上海、江苏、浙江、广东、四川6省市进入良好协调阶段。第二,从空间格局看,耦合协调度整体上表现为“东—中—西”梯式递减,省域上则表现出“低值集聚、高值分散”空间分布,且呈现以河南为中心的“东北—西南”走向演进趋势。第三,从动态演变看,耦合协调度的变动具有“路径依赖”效应,且因“与邻为善”和“以邻为壑”并重的空间溢出效应形成了“高拉动低、低抑制高”俱乐部收敛现象。第四,机理分析表明,人力资本和城镇化对各地区耦合协调发展均具有显著的促进作用,产业结构对西部地区的促进作用逐渐增强,科技创新则对东中部地区的赋能作用更明显。

**关键词:**数字经济;绿色发展;耦合协调度;时空格局;动态演变;GTWR模型

**中图分类号:**F299.24 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-9841(2024)05-0167-16

## 一、引言

党的二十大报告指出“推动绿色发展,促进人与自然和谐共生,是全面建设社会主义现代化国家的内在要求”<sup>[1]</sup>。党的二十届三中全会公报提出,“中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化,须完善生态文明制度体系,健全绿色低碳发展机制”<sup>[2]</sup>。数字经济逐渐成为国民经济增长的“新引擎”<sup>[3]</sup>。2022年,中国数字经济规模已达50.2万亿元,占GDP比重达41.5%。从理论上讲,数字经济凭借其高创新性、强渗透性和广覆盖性,势必将会引发从生产要素到生产力再到生产关系的全面绿色变革,实现对绿色发展的全方位赋能<sup>[4]</sup>,部分研究也证实了数字经济对绿色发展具有显著的积极作用<sup>[5]</sup>。数字经济所释放的大规模红利固然值得肯定,但也应认识到,数字经济涉及大量基于数字技术端的新型基础设施建设,如数字基站、5G网络等均为耗电大户,极有可

**作者简介:**肖沁霖,西南大学经济管理学院,博士研究生。

**通讯作者:**邓宗兵,西南大学经济管理学院,教授,博士生导师。

**基金项目:**教育部人文社会科学研究规划基金项目“中国农业地理集聚的生产率效应及其增强路径研究”(19YJA790005),项目负责人:邓宗兵;重庆市社会科学规划项目“基于农户视角的重庆农村基本公共服务水平提升研究”(2021NDYB058),项目负责人:邓宗兵;西南大学中央高校基本科研业务费专项资金项目“中国农业产业集聚的生产率效应及其增进研究”(SWU2009221),项目负责人:邓宗兵。

能会带来大量的能源消耗和碳排放。与之相应,《“十四五”国家信息化规划》强调“要深入推进绿色智慧生态文明建设,推动数字化绿色化协同发展”。因此,处理好数字经济与绿色发展的耦合协调关系,推动区域数字经济水平和绿色发展质量的“双重提升”就显得尤为必要且紧迫。

学术界从不同视角围绕数字经济与绿色发展问题展开了深入研究。在数字经济方面,相关研究在诠释数字经济理论内涵<sup>[3,6-7]</sup>基础上,主要从数字产业化、产业数字化等维度构建综合指标测度数字经济发展水平<sup>[8-9]</sup>,着重分析了数字经济对经济高质量发展<sup>[10]</sup>、碳减排<sup>[11]</sup>等的经济环境效应。在绿色发展方面,主要关注绿色发展的概念解析与理论演绎<sup>[12]</sup>、多尺度评估体系构建与测度方法选择<sup>[13-15]</sup>、时空格局与演化规律<sup>[14,16]</sup>、影响因素挖掘与驱动机理分析<sup>[17]</sup>,以及与经济增长动能转换<sup>[18]</sup>、新型基础设施建设<sup>[19]</sup>的耦合协调。而对于二者之间的关系,当前多为数字经济及其构成要素对绿色发展的单向影响研究。许宪春等指出蓬勃发展的大数据在资源整合、科学决策、环境监管等方面发挥着重要作用,为绿色发展提供了新动能<sup>[20]</sup>。韩晶等认为,数字经济主要通过要素融合及精准匹配带来的企业成长、产业优化赋能绿色发展<sup>[4]</sup>。在实证层面,已有研究表明数字经济显著促进了地区绿色发展水平提升<sup>[5]</sup>,产业结构调整、绿色技术创新是其中的重要途径,同时证实数字经济存在边际递减效应和空间溢出效应<sup>[21-22]</sup>。与此同时,部分研究却认为数字经济的快速发展不仅没有很好地改变生产消费过程中的资源偏好,还造成了对资源消耗的加剧,尤其是数字技术在促进经济发展的同时,也可能会因为过度耗电而导致碳排放大幅上升<sup>[23-24]</sup>,进而抑制绿色发展。可见,促进数字经济与绿色发展的协调共进很有必要。对此,少数学者评估了中国数字经济与绿色经济的协同发展关系,发现两者协同发展水平逐年趋好,呈现“东高西低”的空间分异格局,且空间差异随时间推移不断缩小最终趋于收敛<sup>[25]</sup>。

已有研究的贡献毋庸置疑,但仍存可拓展之处:一是现有研究多是单独考察数字经济或绿色发展问题,或是仅讨论数字经济对绿色发展的单向作用,针对两者之间双向影响及耦合协调关系的量化评估较少。虽有部分研究有所涉猎<sup>[25]</sup>,但未能有效结合时间属性与空间属性来剖析二者耦合协调的时空格局特征及动态演变规律,对其驱动因素的时空异质性研究则更为匮乏。二是现有关于数字经济与绿色发展影响因素研究<sup>[9,16]</sup>的方法多是基于时空均质性假设来探讨各影响因素对二者的作用强度,而该假设不仅与客观现实不符,也无法有效识别不同影响因素随时间与空间演变而变化的时空异质特征。

本文的边际贡献可能体现在以下几个方面:第一,从系统耦合视角将数字经济与绿色发展纳入统一框架,解构二者耦合协调机理并探讨其相互关系,回应高质量发展背景下数字经济与绿色发展耦合协调关系的学术关切,为“数字与绿色”关系研究的丰富拓展提供新视角。第二,从地理时空二维视角全面解读数字经济与绿色发展的耦合协调过程,洞悉其时空格局及动态演变,弥补既有研究忽略时空演变过程的缺陷。第三,引入时空地理加权回归模型,从局部动态视角阐释中国数字经济与绿色发展耦合协调时空分异的驱动机理,揭示各影响因素对二者耦合协调作用强度的时空异质特征,补充已有文献在影响因素时空异质性分析与研究方法方面的不足,继而探索推动区域数字经济与绿色发展协调并进的合理路径,以期促进数字经济与绿色发展耦合协调由表象到机理研究的有效衔接,为构筑“数字与绿色”共舞的高质量发展新格局提供参考依据。

## 二、机理分析

参照耦合理论,数字经济与绿色发展的耦合互动过程可以看作是某一区域内数字经济与绿色发展系统各要素间相互影响关系的客观表征,两系统均以实现高质量发展为最终目标相互赋

能、协同共进。

### (一)数字经济赋能绿色发展

数字经济促进绿色发展,是引领绿色发展的新动能。主要表现为:第一,打破时空界限,优化资源配置。数字经济时代,数字基础设施建设的不断完善,将有助于冲破跨时空交流阻隔,强化区际间联动,促进生产要素的网络化共享,降低地区的交易成本,优化要素资源空间配置,充分释放对经济社会运行效率提升的作用<sup>[4,19]</sup>,最终实现绿色增长与绿色财富的协调可持续。第二,缓解信息不对称,提高资源利用效率。在数字技术赋能下,能够高效整合区域内企业生产过程中的各类信息资源,缓解数据采集及开发方面的信息不对称问题,增强生产能力、提高管理水平、改善资源利用效率<sup>[20]</sup>,进而减少资源浪费,降低污染排放,为绿色发展提供动力支持。第三,催生新业态新模式,满足美好生活需要。数字技术在生活方面的应用,催生了互联网医疗、远程教育等一系列新业态新模式,大幅削减了因工作设施和通勤而带来的能源消耗<sup>[4]</sup>。不仅如此,还有助于打造绿色消费平台,促进如智能打车、绿色出行等“数字+”绿色消费模式的形成,以提高公众绿色消费获得感,增进绿色福利,最大化满足人民日益增长的美好生活需要。第四,促进产业升级,重塑生产方式。作为数字经济的核心产业,数字产业凭借自身高成长、高效率的发展特性将吸引更多优质生产要素、企业和机构进入该行业,带动国民经济重心由劳动密集型、资本密集型行业向技术密集型行业转移,促进产业结构优化升级<sup>[4]</sup>,减少对能源等传统生产要素的依赖。数字产业的发展还有助于打破产业链之间的壁垒,推动形成“网络协同式”产业链生态,重塑传统产业生产方式,实现智能绿色转型<sup>[26]</sup>,助力绿色发展。第五,推动政府监管手段革新,完善生态环保监管体系。数字经济的迅速发展推动了政府监管手段的革新,地方政府依托新兴数字技术能够对生态环境数据进行实时监测,由此利用平台数据对生态环境变化趋势作出准确预判<sup>[5,20]</sup>,完善生态环保监管体系,提高政府环境管理效率,保障绿色发展行稳致远。

### (二)绿色发展引导数字经济

绿色发展引导数字经济,是数字经济发展的根本要求。发展数字经济并非绝对意义上的低碳,尤其伴随数字技术应用的社会化、扩大化、产业化,可能会引致大量的电力能源需求和碳排放,形成“绿色悖论”<sup>[23]</sup>。绿色发展旨在运用绿色治理手段推动绿色增长、绿色福利、绿色财富三者协同共进<sup>[12]</sup>,从而引导和带动数字经济发展。主要表现为:第一,提供物质基础,扩大应用范围。绿色增长带来的经济与生态环境的协调可持续能够节省大量人力财力投入<sup>[19]</sup>,用以研发新型数字技术,培养数字人才,完善数字基础设施建设,为数字经济发展提供坚实的物质基础。同时,绿色增长模式也会引致发展思维、发展动能和发展方式的转变,利于新经济、新产业、新动能的培育<sup>[27]</sup>,牵引数字经济发展。第二,提供人才支撑,丰富应用场景。一方面,宜居的生态环境和广泛形成的绿色消费模式将驱使人们追求更高的生活质量,居民素养提高,环保意识增强<sup>[18]</sup>,可为数字经济发展提供人才支撑。另一方面,进入新时代,人民对美好生活的向往日益强烈,更加渴求优质的服务,这样一来,数字经济便为该目标的实现提供了重要契机,由此催生在线教育、互联网医疗等数字化应用,不断满足人们个性化、多样化的需求<sup>[28]</sup>。第三,提供数据要素投入,优化营商环境。数字经济发展的核心引擎是数据要素。而绿色财富作为生物生存和发展所依赖的一切自然资源的总和,不仅蕴藏着广阔的应用场景,还能够沉淀出海量生态环保数据。在此情形下,通过新一代信息技术对海量生态环保数据进行采集、储存与处理后,实现数据要素的扩散<sup>[28]</sup>,进而充分发挥对数字经济发展的驱动作用。而且,绿色财富提升意味着生态环境的改善,这既利于降低数字基建成本,也利于扩大数字经济规模、增加数字设备应用<sup>[27]</sup>,为数字经济发展

创造良好的营商环境。第四,提供制度保障,推动绿色数字化发展。绿色治理是一种由政府主导、企业和社会公众共同参与处理生态环境问题的公共事务活动<sup>[29]</sup>,可通过健全低碳数字的相关制度、完善低碳数字的激励措施、规范低碳数字技术的相关标准、推动多元协作等方式<sup>[30]</sup>,为数字经济的绿色低碳发展提供制度保障。

### 三、研究设计

#### (一) 指标体系

本文遵循指标选择的政策依据、理论依据和现实依据,构建了数字经济和绿色发展的评价体系(表1)。其中,政策依据是指依据中国信息通信研究院发布的《中国数字经济指数白皮书》、国家发展和改革委员会制定的《绿色发展指标体系》中涉及数字经济与绿色发展基本概念的阐释;理论依据是指前文所说的数字经济与绿色发展的耦合协调机理以及二者指标构建的相关成果<sup>[18,31]</sup>;现实依据是指依据指标数据的科学性、可测性和可得性原则,即指标数据定义清晰,能够贴切地反映数字经济和绿色发展的现实情况,且在研究时限和地域范围内无太多缺失值。具体如下:

对于数字经济子系统,从数字基础设施、数字化应用和数字产业发展三个维度进行评价<sup>[31]</sup>。数字基础设施是满足数字技术发展的硬件条件,重点考虑狭义数字基础设施<sup>[23]</sup>,从通信接入水平和宽带接入水平两方面进行衡量。数字化应用是指数字技术与实体经济深度融合所带来的产出增加和效率提升,参考以往研究<sup>[32]</sup>,主要从数字生产应用和数字生活应用两方面进行衡量。数字产业发展是指信息产业利用数字技术将数据、信息等转化为生产要素进而获取相应增加值的过程,主要从数字人才、数字资本、数字收入三方面<sup>[32]</sup>进行衡量。

对于绿色发展子系统,从绿色增长、绿色福利、绿色财富和绿色治理四个维度进行评估<sup>[14]</sup>。绿色增长是引导经济增长、产业结构与资源消耗、污染物排放相脱钩的生产方式,借鉴程钰等<sup>[17]</sup>的研究,从经济增长、节能减排和绿色产业三方面表征。绿色福利是对满足人民美好生活向往需求的完美诠释,反映了区域发展过程中人民生活福利的改善,主要从人类发展、生态宜居和绿色消费三方面表征。绿色财富反映了在经济社会系统作用下,生态环境系统的反馈情况,表现为资源环境承载力和生态环境容量,参考相关研究<sup>[18]</sup>,从绿色资源丰裕度、环境压力、生态环境质量三方面表征。绿色治理是政府针对生态破坏和环境污染开展的治理活动,借鉴侯纯光等<sup>[14]</sup>的研究,从绿色投资和环境治理两方面表征。在合理构建指标体系基础上,本文应用纵横向拉开档次法为数字经济和绿色发展的三级指标赋权并测算其综合水平值,具体计算公式见相关文献<sup>[33]</sup>。

表1 数字经济和绿色发展的评价指标体系

| 子系统  | 一级指标   | 二级指标            | 三级指标                      | 权重    | 指标方向 |
|------|--------|-----------------|---------------------------|-------|------|
| 数字经济 | 数字基础设施 | 通信接入水平          | 每平方公里长途光缆线路长度(m)          | 0.084 | +    |
|      |        |                 | 移动电话交换机容量(万户)             | 0.115 | +    |
|      |        | 宽带接入水平          | 互联网宽带接入端口(万个)             | 0.094 | +    |
|      | 数字化应用  | 数字生产应用          | 人均电信业务总量(元/人)             | 0.040 | +    |
|      |        |                 | 人均快递业务总量(件/人)             | 0.024 | +    |
|      |        | 数字生活应用          | 数字普惠金融指数                  | 0.186 | +    |
|      |        |                 | 互联网普及率(%)                 | 0.161 | +    |
|      | 数字产业发展 | 数字人才            | 移动电话普及率(%)                | 0.135 | +    |
|      |        |                 | 数字产业就业人员占城镇单位就业人员之比(%)    | 0.041 | +    |
|      |        | 数字资本            | 数字产业固定资产投资占全社会固定资产投资之比(%) | 0.087 | +    |
|      | 数字收入   | 数字产业收入占GDP之比(%) | 0.035                     | +     |      |

| 子系统            | 一级指标 | 二级指标                      | 三级指标                               | 权重    | 指标方向 |
|----------------|------|---------------------------|------------------------------------|-------|------|
| 绿色发展           | 绿色增长 | 经济增长                      | 人均 GDP(元)                          | 0.015 | +    |
|                |      |                           | 人均地方财政收入(元/人)                      | 0.010 | +    |
|                |      |                           | 单位 GDP 能耗(tce/万元)                  | 0.045 | -    |
|                |      | 节能减排                      | 单位 GDP 化学需氧量排放量(t/亿元)              | 0.044 | -    |
|                |      |                           | 单位 GDP 二氧化硫排放量(t/亿元)               | 0.048 | -    |
|                |      |                           | 单位 GDP 二氧化碳排放量(t/万元)               | 0.049 | -    |
|                |      |                           | 第三产业劳动生产率(元/人)                     | 0.016 | +    |
|                |      | 绿色产业                      | 第三产业增加值占 GDP 之比(%)                 | 0.020 | +    |
|                |      |                           | 第三产业固定资产占 GDP 之比(%)                | 0.020 | +    |
|                |      |                           | 社会保障和就业支出占财政支出之比(%)                | 0.017 | +    |
|                | 绿色福利 | 人类发展                      | 平均受教育年限(年)                         | 0.028 | +    |
|                |      |                           | 居民人均可支配收入(元)                       | 0.016 | +    |
|                |      |                           | 万人拥有执业医师数(人)                       | 0.018 | +    |
|                |      | 生态宜居                      | 人均公园绿地面积(m <sup>2</sup> )          | 0.026 | +    |
|                |      |                           | 建成区绿化覆盖率(%)                        | 0.032 | +    |
|                |      |                           | 城镇环境基础设施建设投资占 GDP 之比(%)            | 0.017 | +    |
|                |      |                           | 单位 GDP 用水量(m <sup>3</sup> /万元)     | 0.049 | -    |
|                |      | 绿色消费                      | 单位 GDP 用电量(kW·h/元)                 | 0.045 | -    |
|                |      |                           | 每百人私人汽车拥有量(辆)                      | 0.034 | -    |
|                |      |                           | 人均水资源量(m <sup>3</sup> /人)          | 0.007 | +    |
|                | 绿色财富 | 绿色资源丰裕度                   | 人均森林面积(m <sup>2</sup> /人)          | 0.011 | +    |
|                |      |                           | 人均耕地面积(m <sup>2</sup> /人)          | 0.012 | +    |
|                |      |                           | 单位辖区面积二氧化硫排放量(t/km <sup>2</sup> )  | 0.053 | -    |
|                |      | 环境压力                      | 单位辖区面积化学需氧量排放量(t/km <sup>2</sup> ) | 0.051 | -    |
|                |      |                           | 单位耕地面积化肥施用量(t/km <sup>2</sup> )    | 0.034 | -    |
|                |      |                           | 单位耕地面积农药使用量(t/千公顷)                 | 0.045 | -    |
|                |      |                           | 省会城市空气质量好于二级的天数(天)                 | 0.041 | +    |
|                |      | 生态环境质量                    | PM2.5 年均浓度(ug/m <sup>3</sup> )     | 0.037 | -    |
| 森林覆盖率(%)       |      |                           | 0.028                              | +     |      |
| 湿地面积占国土面积之比(%) |      |                           | 0.007                              | +     |      |
| 绿色治理           | 绿色投资 | 环境保护支出占地方财政支出之比(%)        | 0.001                              | +     |      |
|                |      | 工业污染治理投资额占工业增加值之比(%)      | 0.006                              | +     |      |
|                | 环境治理 | 人均造林面积(m <sup>2</sup> /人) | 0.007                              | +     |      |
|                |      | 污水处理率(%)                  | 0.046                              | +     |      |
|                |      | 生活垃圾无害化处理率(%)             | 0.052                              | +     |      |
|                |      | 国家级自然保护区个数(个)             | 0.015                              | +     |      |

## (二) 研究方法

### 1. 耦合协调度模型

借鉴物理学中的容量耦合系数模型,构建数字经济与绿色发展的耦合协调度模型<sup>[28]</sup>,用以测评两系统的耦合协调水平,公式为:

$$C = \{U_1 \cdot U_2 / [(U_1 + U_2) / 2]^2\}^{1/2} \quad (1)$$

$$D = \sqrt{C \times T}, T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (2)$$

式中:C 为耦合度;U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>分别为两系统的综合水平;D 为耦合协调度;T 表示两系统的综合协调系数;α、β 表示重要程度;参考以往研究<sup>[34]</sup>,将 α、β 分别赋值 0.500,将耦合协调度划分为 10 个等级:极度失调[0,0.100)、严重失调[0.100,0.200)、中度失调[0.200,0.300)、轻度失调[0.300,0.400)、濒临失调[0.400,0.500)、勉强协调[0.500,0.600)、初级协调[0.600,0.700)、中级协调[0.700,0.800)、良好协调[0.800,0.900)、优质协调[0.900,1]。

## 2. 马尔可夫链

通过构建马尔可夫链(Markov)转移概率矩阵来揭示中国数字经济与绿色发展耦合协调度分布的动态演变特征。Markov 链是一个随机过程  $\{m(t), t \in T\}$ , 令随机变量  $M_t = j$ , 则第  $t$  期的系统状态为  $j$ , 公式为:

$$P_{ij} = P\{M_t = j \mid M_{t-1} = i, M_{t-2} = i_{t-2}, \dots, M_0 = i_0\} = P\{M_t = j \mid M_{t-1} = i\} \quad (3)$$

$$P_{ij} = n_{ij} / n_i \quad (4)$$

式中: $P_{ij}$ 为某省份从  $t$  年第  $i$  种类型转移到  $t+1$  年第  $j$  种类型的概率; $n_{ij}$ 为观测期内耦合协调度由第  $i$  种类型转移到第  $j$  种类型的次数; $n_i$ 为第  $i$  种耦合协调度类型的总次数。若将耦合协调度划分为  $N$  种类型,可构造出  $N \times N$  阶的 Markov 转移概率矩阵,进而根据协调类型变化(提高、不变、下降)来定义其转移方向。在此考虑空间近邻因素的影响,则为空间 Markov 链,进一步将其分解为  $N$  个  $N \times N$  转移概率矩阵,分析在不同邻域背景下,各省份向上或下转移的概率。

## 3. 时空地理加权回归(GTWR)

时空地理加权回归综合考虑了时间和空间的非平稳性问题,可以直观展示局部参数在时空维度上的方向与强度,有助于明晰影响因素估计系数的时空动态特征。本文采用该模型来探寻中国数字经济与绿色发展耦合协调时空分异的驱动机理。公式为:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^o \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \epsilon_i \quad (5)$$

式中: $Y$ 为被解释变量,即耦合协调度; $X$ 为解释变量,即耦合协调度的各驱动因素; $(u_i, v_i, t_i)$ 为时空坐标, $u_i, v_i, t_i$ 分别为第  $i$  个样本地区的经度、纬度和时间点; $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$ 为估计系数, $k, o$ 分别为解释变量的序号和个数; $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ 为截距项; $\epsilon_i$ 为随机扰动项。

### (三)数据来源

考虑数据的可得性及连续性,选取 2011—2021 年中国 30 个省份(暂未含西藏及港澳台)的面板数据作为研究样本。原始数据源自历年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国电子信息产业统计年鉴》、各省市统计年鉴以及各省市环境公报。其中,GDP 数据以 2011 年不变价进行平减,个别缺失数据用插值法补齐。

## 四、数字经济与绿色发展的时空特征

由表 2 可得:①数字经济与绿色发展的变动趋势具有一致性。考察期内,全国、东中西三大地区以及各省份数字经济和绿色发展水平总体上均不断提高,其中全国均值由 2011 年的 0.125、0.591 上升到 2021 年的 0.483、0.681,时序特征呈现一定的正相关关系。②数字经济和绿色发展不充分问题突出,提升空间大,尤其是数字经济。2011—2021 年间,全国及三大地区数字经济水平均值分别为 0.312、0.379、0.277 和 0.271,绿色发展水平均值分别为 0.642、0.656、0.639 和 0.630,数字经济水平远低于绿色发展水平。③“数字鸿沟与绿色发展空间差距”相互交织。数字经济及绿色发展水平在空间上自东向西梯次递减,二者均呈现“东部>中部>西部”的分异格局,东部地区(0.379、0.656)明显高于全国平均水平,而中部(0.277、0.639)和西部(0.271、0.630)低于全国平均水平。省际差异同样显著,数字经济水平均值排名位居前五的为广东、北京、浙江、江苏、上海,后五为江西、甘肃、宁夏、青海、贵州;绿色发展水平均值排名位居前五的为北京、重庆、浙江、四川、云南,后五为山西、甘肃、青海、新疆、宁夏;二者的极差分别为 0.284、0.199。④数字

经济与绿色发展的空间失衡问题随时间推移得到缓解,表现出较为明显的收敛特征。通过计算全国数字经济与绿色发展水平的变异系数发现,二者分别由 2011 年的 0.495、0.077 降至 2021 年的 0.181、0.072。⑤数字经济的年均增速较之绿色发展更快,追赶效应明显,促使二者差距在演化过程中不断缩小。考察期内数字经济水平年均增速为 14.437%,绿色发展水平年均增速为 1.442%,二者之间差异从 2011 年的 0.465 缩小为 2021 年的 0.199。

表 2 数字经济与绿色发展的综合水平指数

| 地区   | 2011 年      | 2012 年      | 2013 年      | 2014 年      | 2015 年      | 2016 年      | 2017 年      | 2018 年      | 2019 年      | 2020 年      | 2021 年      |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 北京   | 0.274/0.663 | 0.338/0.677 | 0.375/0.675 | 0.409/0.693 | 0.441/0.691 | 0.430/0.742 | 0.480/0.767 | 0.565/0.778 | 0.594/0.790 | 0.622/0.792 | 0.665/0.795 |
| 天津   | 0.126/0.583 | 0.160/0.587 | 0.167/0.565 | 0.191/0.575 | 0.220/0.589 | 0.246/0.649 | 0.301/0.669 | 0.349/0.667 | 0.378/0.677 | 0.418/0.672 | 0.469/0.682 |
| 河北   | 0.135/0.581 | 0.187/0.588 | 0.226/0.552 | 0.243/0.564 | 0.277/0.588 | 0.325/0.621 | 0.384/0.632 | 0.417/0.639 | 0.458/0.643 | 0.490/0.645 | 0.518/0.646 |
| 辽宁   | 0.153/0.608 | 0.198/0.623 | 0.235/0.617 | 0.263/0.613 | 0.328/0.625 | 0.310/0.666 | 0.339/0.683 | 0.355/0.691 | 0.387/0.685 | 0.415/0.673 | 0.432/0.683 |
| 上海   | 0.210/0.526 | 0.282/0.574 | 0.309/0.560 | 0.324/0.595 | 0.347/0.610 | 0.363/0.681 | 0.401/0.704 | 0.464/0.710 | 0.516/0.720 | 0.541/0.730 | 0.577/0.743 |
| 江苏   | 0.191/0.613 | 0.248/0.624 | 0.292/0.614 | 0.319/0.620 | 0.394/0.633 | 0.422/0.653 | 0.478/0.663 | 0.566/0.668 | 0.619/0.667 | 0.640/0.679 | 0.657/0.682 |
| 浙江   | 0.224/0.642 | 0.278/0.658 | 0.327/0.645 | 0.351/0.651 | 0.433/0.661 | 0.450/0.691 | 0.524/0.697 | 0.577/0.706 | 0.610/0.709 | 0.617/0.722 | 0.628/0.718 |
| 福建   | 0.181/0.635 | 0.241/0.640 | 0.277/0.648 | 0.291/0.645 | 0.337/0.658 | 0.352/0.673 | 0.398/0.687 | 0.454/0.697 | 0.485/0.699 | 0.499/0.710 | 0.517/0.709 |
| 山东   | 0.153/0.596 | 0.198/0.607 | 0.242/0.584 | 0.267/0.594 | 0.322/0.591 | 0.356/0.634 | 0.400/0.648 | 0.439/0.656 | 0.481/0.650 | 0.511/0.649 | 0.534/0.655 |
| 广东   | 0.294/0.597 | 0.363/0.616 | 0.412/0.618 | 0.434/0.624 | 0.482/0.640 | 0.502/0.665 | 0.546/0.670 | 0.614/0.686 | 0.651/0.688 | 0.657/0.695 | 0.664/0.693 |
| 海南   | 0.091/0.609 | 0.130/0.632 | 0.157/0.628 | 0.172/0.630 | 0.231/0.631 | 0.251/0.667 | 0.299/0.681 | 0.334/0.692 | 0.366/0.693 | 0.382/0.696 | 0.440/0.702 |
| 东部地区 | 0.185/0.605 | 0.239/0.621 | 0.274/0.610 | 0.297/0.619 | 0.347/0.629 | 0.364/0.667 | 0.414/0.682 | 0.467/0.690 | 0.504/0.693 | 0.526/0.697 | 0.555/0.701 |
| 山西   | 0.099/0.562 | 0.145/0.576 | 0.190/0.563 | 0.205/0.572 | 0.245/0.589 | 0.260/0.617 | 0.297/0.617 | 0.334/0.628 | 0.373/0.631 | 0.414/0.609 | 0.442/0.612 |
| 吉林   | 0.095/0.583 | 0.144/0.582 | 0.173/0.586 | 0.208/0.600 | 0.236/0.624 | 0.257/0.675 | 0.326/0.661 | 0.344/0.699 | 0.343/0.694 | 0.411/0.700 | 0.379/0.705 |
| 黑龙江  | 0.112/0.555 | 0.154/0.571 | 0.193/0.596 | 0.241/0.597 | 0.263/0.617 | 0.304/0.680 | 0.342/0.681 | 0.376/0.700 | 0.388/0.704 | 0.418/0.676 | 0.444/0.707 |
| 安徽   | 0.082/0.605 | 0.126/0.621 | 0.162/0.614 | 0.183/0.617 | 0.240/0.634 | 0.265/0.661 | 0.312/0.662 | 0.357/0.676 | 0.389/0.673 | 0.432/0.676 | 0.466/0.679 |
| 江西   | 0.057/0.635 | 0.096/0.639 | 0.126/0.627 | 0.148/0.637 | 0.199/0.648 | 0.223/0.667 | 0.276/0.684 | 0.332/0.705 | 0.371/0.705 | 0.405/0.705 | 0.444/0.709 |
| 河南   | 0.092/0.558 | 0.134/0.565 | 0.183/0.551 | 0.217/0.566 | 0.266/0.571 | 0.303/0.617 | 0.348/0.636 | 0.395/0.645 | 0.434/0.657 | 0.477/0.653 | 0.506/0.658 |
| 湖北   | 0.111/0.576 | 0.159/0.595 | 0.195/0.601 | 0.218/0.616 | 0.257/0.624 | 0.277/0.665 | 0.310/0.679 | 0.356/0.686 | 0.398/0.690 | 0.421/0.691 | 0.445/0.700 |
| 湖南   | 0.088/0.597 | 0.129/0.609 | 0.172/0.606 | 0.190/0.620 | 0.231/0.640 | 0.254/0.671 | 0.318/0.679 | 0.358/0.687 | 0.405/0.687 | 0.437/0.685 | 0.460/0.688 |
| 中部地区 | 0.092/0.584 | 0.136/0.595 | 0.174/0.593 | 0.201/0.603 | 0.242/0.618 | 0.268/0.657 | 0.316/0.662 | 0.356/0.678 | 0.388/0.680 | 0.427/0.674 | 0.448/0.682 |
| 内蒙古  | 0.135/0.612 | 0.185/0.626 | 0.224/0.621 | 0.254/0.633 | 0.261/0.643 | 0.290/0.685 | 0.339/0.689 | 0.386/0.674 | 0.405/0.664 | 0.415/0.645 | 0.445/0.656 |
| 广西   | 0.091/0.598 | 0.128/0.625 | 0.160/0.619 | 0.189/0.628 | 0.222/0.643 | 0.248/0.672 | 0.323/0.682 | 0.379/0.688 | 0.411/0.692 | 0.454/0.693 | 0.465/0.683 |
| 重庆   | 0.076/0.666 | 0.128/0.668 | 0.169/0.661 | 0.187/0.668 | 0.229/0.679 | 0.253/0.712 | 0.307/0.714 | 0.351/0.726 | 0.384/0.716 | 0.409/0.730 | 0.432/0.734 |
| 四川   | 0.145/0.632 | 0.195/0.638 | 0.244/0.629 | 0.265/0.646 | 0.337/0.658 | 0.375/0.687 | 0.425/0.699 | 0.489/0.715 | 0.566/0.720 | 0.592/0.723 | 0.605/0.725 |
| 贵州   | 0.059/0.566 | 0.095/0.582 | 0.131/0.601 | 0.155/0.614 | 0.188/0.635 | 0.209/0.671 | 0.259/0.679 | 0.310/0.695 | 0.342/0.692 | 0.362/0.672 | 0.389/0.673 |
| 云南   | 0.082/0.637 | 0.121/0.647 | 0.163/0.647 | 0.181/0.656 | 0.211/0.659 | 0.252/0.683 | 0.277/0.696 | 0.324/0.712 | 0.356/0.708 | 0.378/0.710 | 0.402/0.713 |
| 陕西   | 0.112/0.631 | 0.159/0.642 | 0.192/0.639 | 0.223/0.650 | 0.257/0.663 | 0.287/0.677 | 0.321/0.683 | 0.365/0.685 | 0.392/0.689 | 0.427/0.700 | 0.461/0.700 |
| 甘肃   | 0.055/0.500 | 0.091/0.520 | 0.130/0.524 | 0.148/0.555 | 0.189/0.559 | 0.215/0.619 | 0.282/0.648 | 0.336/0.648 | 0.365/0.661 | 0.389/0.642 | 0.415/0.635 |
| 青海   | 0.059/0.548 | 0.101/0.544 | 0.130/0.516 | 0.156/0.526 | 0.224/0.536 | 0.236/0.602 | 0.278/0.615 | 0.321/0.627 | 0.342/0.646 | 0.329/0.651 | 0.355/0.637 |
| 宁夏   | 0.074/0.479 | 0.104/0.497 | 0.133/0.516 | 0.166/0.515 | 0.197/0.506 | 0.224/0.562 | 0.281/0.567 | 0.323/0.562 | 0.346/0.560 | 0.361/0.560 | 0.389/0.553 |
| 新疆   | 0.104/0.526 | 0.150/0.526 | 0.190/0.508 | 0.207/0.504 | 0.243/0.493 | 0.262/0.526 | 0.300/0.570 | 0.349/0.568 | 0.385/0.569 | 0.400/0.561 | 0.439/0.569 |
| 西部地区 | 0.090/0.581 | 0.132/0.592 | 0.170/0.589 | 0.194/0.600 | 0.232/0.607 | 0.259/0.645 | 0.308/0.658 | 0.357/0.664 | 0.390/0.665 | 0.411/0.662 | 0.436/0.662 |
| 全国   | 0.125/0.591 | 0.172/0.603 | 0.209/0.598 | 0.233/0.607 | 0.277/0.618 | 0.300/0.656 | 0.349/0.668 | 0.397/0.677 | 0.431/0.679 | 0.457/0.678 | 0.483/0.681 |

注:表中分子表示数字经济水平指数,分母表示绿色发展水平指数

## 五、数字经济与绿色发展耦合协调的时空格局及动态演变

### (一) 耦合协调度的时序发展特征

图 1 显示,在全国层面,考察期内耦合协调度均值逐年上升,由 2011 年的 0.512 增长至 2021 年的 0.755,协调等级大致经历了勉强协调(2011—2013 年)→初级协调(2014—2017 年)→中级

协调(2018—2021年)的阶段演变。表明,数字经济与绿色发展的相互促进、相互支撑作用不断增强。具体来看:①2011—2013年,勉强协调期:该阶段的典型特征是濒临失调消失,勉强协调逐渐占据主导。其中,勉强协调省份数量占比由2011年的40.000%升至2013年的66.667%,但协调性整体偏低。党的十八大以前,我国数字经济发展还不够成熟,各地多以单纯的信息化发展为主,加之长期以来的粗放发展,生态环境形势也不容乐观,导致耦合协调水平偏低。而党的十八大后,国家开始实施创新驱动发展战略与生态文明建设战略,促使协调性有所好转。②2014—2017年,初级协调期:这一时期,初级协调占比快速上升,由2014年的40.000%升至2017年的70.000%。随着“国家大数据战略”“新发展理念”的提出,各地加大数字基建和环保投入,积极推动数字化、绿色化转型升级,耦合协调度得以稳步提升。③2018—2021年,中级协调期:初级协调占比下降、中级协调占比上升、良好协调开始出现是该时期的主要特征。党的十九大以来,在“高质量发展”战略的统领下,各地更加重视数字经济的赋能作用,大力发展数字经济,推动“数实融合”发展,建设数字中国;同时,人民对优美生态环境的需求也更加强烈,倒逼经济社会全面绿色转型升级,使数字经济和绿色发展取得较大进步。

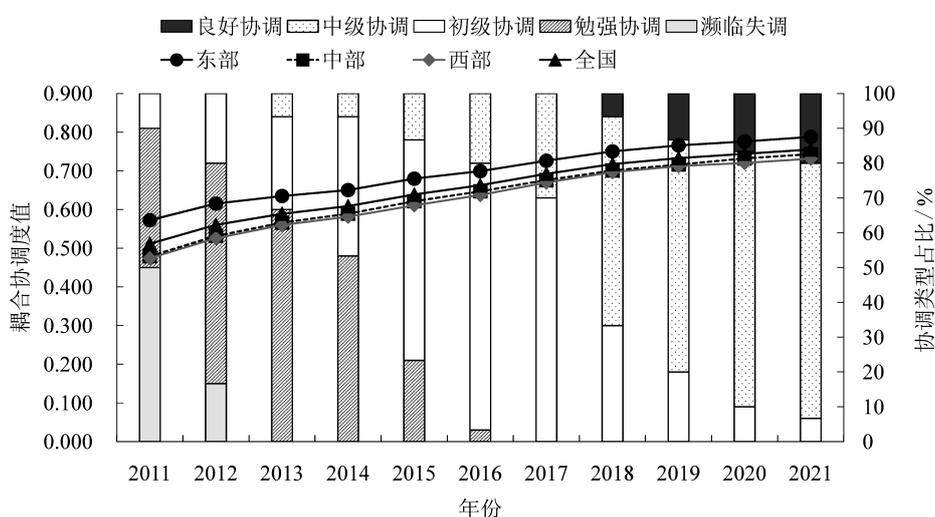


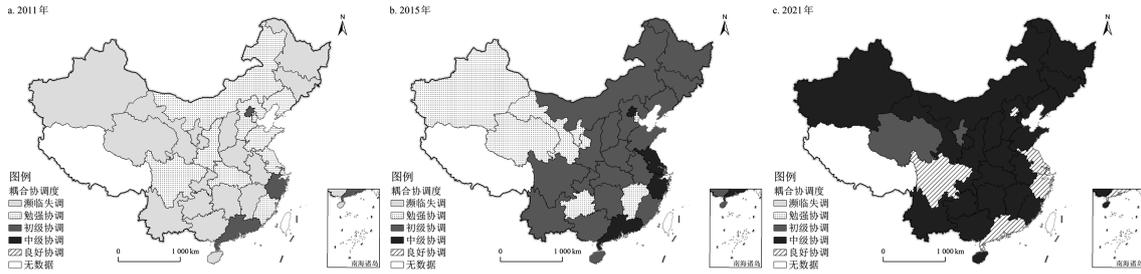
图1 2011—2021年数字经济与绿色发展耦合协调度变动趋势

在区域层面,各地区耦合协调度均呈现上升趋势(图1)。其中,东部地区由2011年的0.572上升到2021年的0.788,实现了从勉强协调到中级协调的转变;中西部地区分别由2011年的0.479、0.474上升到2021年的0.743、0.731,均经历了从濒临失调到中级协调的转变。但是,全国及三大地区耦合协调度的年均值都只达到了初级协调阶段,说明数字经济与绿色发展尚未形成良性互动,协调之路依旧漫长而艰巨。

## (二)耦合协调度的空间分布格局

从图2不难看出,中国数字经济与绿色发展耦合协调的非均衡性明显,总体呈现“低值集聚、高值分散”“东—中—西”梯式递减和“沿海高、内陆低”的特征,协调发展区域不断从沿海向内陆延伸。相比2011年,2021年各省份耦合协调水平发生了跨越式提升。其中,中西部大部分省份及东北地区省份摆脱了失调阶段,步入了中级协调阶段,处于该阶段的省份不断向内陆扩张,空间差异有所缓和。东部地区大多数省份进入了中级协调阶段,北京、上海、江苏、浙江、广东5省市表现亮眼,跨入了良好协调阶段,实现了高水平协调发展。这主要由于它们刚好处于“京津冀协同发展”“长三角一体化发展”“粤港澳大湾区”国家重大战略区域的覆盖范围,得到的国家扶持较多,且自身实力较强,拥有众多利于数字经济和绿色发展的优势条件,在虹吸效应作用下,吸引

周边省份大量优质生产要素聚集于此,使得二者耦合协调保持高水平状态。值得注意的是,四川也达到了中级协调阶段,有望成为引领西部地区“数绿”协调发展的增长极。



注:基于自然资源部标准地图服务网站 GS(2020)4619 号的标准地图制作,底图边界无修改。下同

图 2 中国数字经济与绿色发展耦合协调度的空间分布格局

### (三) 耦合协调度空间格局的演进趋势

为更好把握中国数字经济与绿色发展耦合协调度空间格局演进趋势,借助标准差椭圆分析法<sup>[35]</sup>进行刻画。由图 2 耦合协调度变动趋势可知,2011 年、2015 年和 2021 年全国整体分别处于不同的耦合协调阶段,因此下面主要基于这三个时点的截面数据来分析耦合协调度空间分布中心迁移轨迹(表 3、图 3)。

表 3 平均中心—标准差椭圆参数

| 指标                       | 2011                | 2015                | 2021                |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 平均中心坐标                   | 112.988°E, 34.077°N | 112.806°E, 34.028°N | 112.699°E, 34.005°N |
| 移动方向                     | —                   | 西偏南                 | 西偏南                 |
| 迁移距离(km)                 | —                   | 17.623              | 9.824               |
| 速度(km/a)                 | —                   | 3.525               | 1.403               |
| 沿 x 轴标准差(km)             | 1 032.085           | 1 032.281           | 1 034.320           |
| 沿 y 轴标准差(km)             | 1 117.924           | 1 119.923           | 1 117.275           |
| 方位角 q(°)                 | 28.439              | 31.567              | 32.265              |
| 椭圆面积(万 km <sup>2</sup> ) | 362.456             | 363.173             | 363.030             |

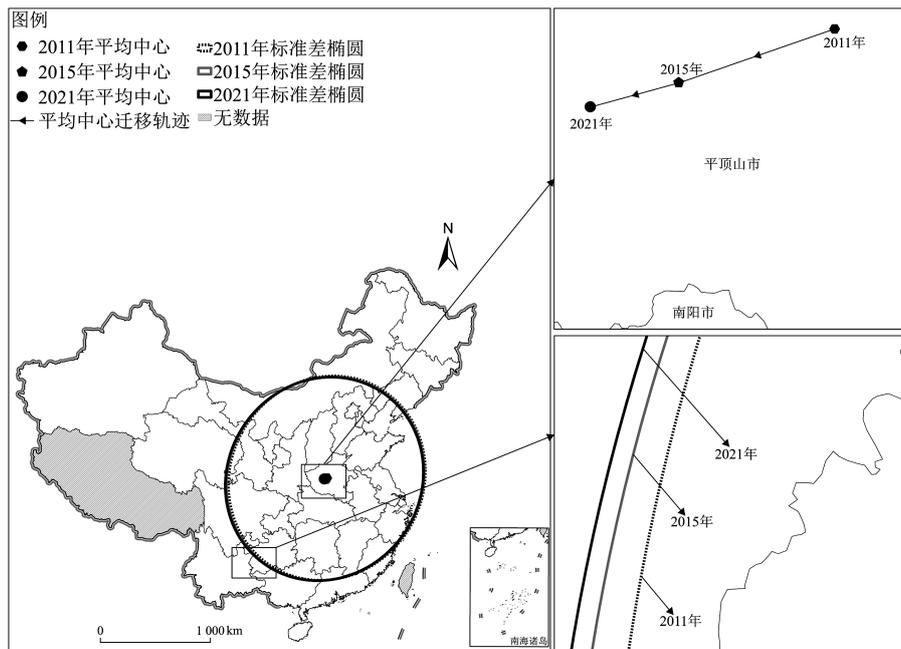


图 3 耦合协调度标准差椭圆及平均中心迁移轨迹

从平均中心迁移轨迹看,考察期内耦合协调度平均中心一直在河南省境内移动(表 3),但总体向西迁移。2015 年,中心迁移距离和速度最大,分别为 17.623 km、3.525 km/a。此阶段,东部沿海地区发展实力虽较为强势,但快速推进的城市化带来了一系列城市病,人地矛盾加剧,经济社会发展与资源环境产生冲突,贫富差距拉大,致使人民生活水平跟不上经济发展速度。而随着西部大开发和中部崛起战略的深入实施,中西部地区的耦合协调性不断优化,再加上中西部地区拥有资源禀赋和低成本优势,较之东部,对二者耦合协调度的拉动作用增强,故中心西移。至 2021 年,中心移动距离和速度有所降低,分别缩小至 9.824 km、1.403 km/a。从 2015 年网络强国战略和新发展理念被提出,再到 2017 年数字经济和绿色发展被提为国家战略,各地耦合协调度得到一定提升,但由于其间中国经济开始步入“增速换挡”的新常态,导致耦合协调度的增速放缓,中心向西迁移的速度放慢。

耦合协调度的标准差椭圆总体向偏东北-偏西南方向偏移且范围不断扩大(图 3、表 3)。从方位角看,呈现逐渐增大之势,但变化幅度较小,由 2011 年的  $28.439^\circ$  小幅增至 2021 年的  $32.265^\circ$ ,整体维持稳定的“东北—西南”格局,表明椭圆轴线西南方向省份耦合协调度增长速度快于东北方向。从椭圆分布范围看,主轴经历了“延伸—缩短”的变化过程,先从 2011 年的 1 117.924 km 延伸至 2015 年的 1 119.923 km,然后缩短至 2021 年的 1 117.275 km,说明耦合协调度在东西方向的空间分布经历了先扩散后极化的演变;而辅轴则呈现持续攀升之势,由 2011 年的 1 032.085 km 延伸至 2021 年的 1 034.320 km,表明耦合协调度在南北方向上的空间分布逐渐向扩散态势演变。可见,耦合协调度的空间分布在东北—西南方向趋于极化,在东南—西北方向趋于扩散。但鉴于考察期内主轴长度总体呈现增加趋势,可以确定,中国数字经济与绿色发展耦合协调在东西方向上的集聚程度总体呈现下降趋势,分布格局不断向西南方向扩散。这也意味着中西部与东部地区的耦合协调差距正在逐步缩小。

#### (四)耦合协调度的动态演变

运用四分位法将耦合协调度划分为低水平协调(VC)、中低水平协调(PC)、中高水平协调(MC)、高水平协调(HC)四种概率类型,据此分别计算了不考虑和考虑空间滞后因素时耦合协调度的 Markov 转移概率矩阵(表 4)。在不考虑空间滞后因素时,耦合协调演变呈现出如下特征:①主对角线上的概率值明显高于非对角线上的概率值,说明样本期内数字经济与绿色发展协调发展保持状态稳定的概率较高,存在向高水平收敛的可能性,同时也具有一定的“路径依赖”和“自身锁定”效应。②非对角线上的概率值不全为 0,均小于对角线上的概率值,且低水平协调、中低水平协调、中高水平协调、高水平协调四种类型跨级转移的概率均为 0,表明数字经济与绿色发展耦合协调度的类型转移通常发生在相邻等级之间递次转移,跨级转移难度大。

在考虑空间邻近因素影响后,具有以下规律:①耦合协调度演变存在“与邻为善”和“以邻为壑”并重的空间溢出效应。对于中高水平协调区(MC),当 MC 与 MC、HC 相邻时,其向上转移的概率分别为 0.317、0.389,当 MC 与 VC、PC 相邻时,其向上转移的概率分别为 0.375、0.286。可见,各省份耦合协调度与邻域类型紧密相关,表现为邻高提升、邻低下降,说明耦合协调度具有明显的空间溢出效应。②耦合协调度演变存在“空间俱乐部收敛”现象。某一省份若以耦合协调度低(VC)的省份为邻,其耦合协调度向上转移会受到限制,如  $P_{23/1} = 0.333 < P_{23} = 0.357$ 。反之,某一省份若以耦合协调度较高(MC)的省份为邻,那么其耦合协调度受到相邻省份的正向辐射作用,向上转移的概率将会增加,如  $P_{23/3} = 0.632 > P_{23} = 0.357$ ,此时邻域对省份状态起到正向作用,最终形成“高拉动低、低抑制高”的空间俱乐部收敛现象。

表 4 2011—2021 年耦合协调度的 Markov 链转移概率矩阵

| 空间滞后类型 | 类型 | <i>n</i> | VC    | PC    | MC    | HC    |
|--------|----|----------|-------|-------|-------|-------|
| 无滞后    | VC | 82       | 0.671 | 0.329 | 0.000 | 0.000 |
|        | PC | 84       | 0.000 | 0.643 | 0.357 | 0.000 |
|        | MC | 74       | 0.000 | 0.000 | 0.662 | 0.338 |
|        | HC | 60       | 0.000 | 0.000 | 0.017 | 0.983 |
| VC     | VC | 59       | 0.746 | 0.254 | 0.000 | 0.000 |
|        | PC | 15       | 0.000 | 0.667 | 0.333 | 0.000 |
|        | MC | 8        | 0.000 | 0.000 | 0.625 | 0.375 |
| PC     | HC | 0        | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|        | VC | 23       | 0.478 | 0.522 | 0.000 | 0.000 |
|        | PC | 49       | 0.000 | 0.755 | 0.245 | 0.000 |
|        | MC | 7        | 0.000 | 0.000 | 0.714 | 0.286 |
| MC     | HC | 8        | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
|        | VC | 0        | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|        | PC | 19       | 0.000 | 0.368 | 0.632 | 0.000 |
|        | MC | 41       | 0.000 | 0.000 | 0.683 | 0.317 |
| HC     | HC | 11       | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
|        | VC | 0        | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|        | PC | 1        | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
|        | MC | 18       | 0.000 | 0.000 | 0.611 | 0.389 |
|        | HC | 41       | 0.000 | 0.000 | 0.024 | 0.976 |

## 六、数字经济与绿色发展耦合协调时空分异的驱动机理

根据前文分析得知,中国数字经济与绿色发展耦合协调存在显著时空分异性。对此,本文将从局部动态视角研究揭示其背后的驱动机理。为合理甄选影响耦合协调时空分异的关键因素,结合数字经济和绿色发展影响因素的相关成果,选取产业结构(用三产和二产之比表征)<sup>[17]</sup>、人力资本(用普通高等学校在校学生数量表征)<sup>[9]</sup>、政府调控(用政府预算内支出占 GDP 比重表征)<sup>[34]</sup>、科技创新(用科教支出占财政支出比重表征)<sup>[36]</sup>、对外开放(用进出口总额占 GDP 比重表征)<sup>[34]</sup>、城镇化(用城镇人口占区域总人口比重表征)<sup>[19]</sup> 6 个因素进行分析。

### (一)模型选择

综合考虑耦合协调度在时序上的差异性及在空间上的正相关性,采用 GTWR 模型探寻耦合协调时空分异的驱动机理。在回归分析前,需评估模型设定的合理性。通过比较 GTWR 模型、OLS 模型、GWR 模型的拟合结果,发现 GTWR 模型的拟合优度 R<sup>2</sup>(0.975)明显优于 OLS 模型(0.692)和 GWR 模型(0.929),残差平方和 RSS 以及赤池信息准则 AICc(0.067、-1 599.440)也均低于 OLS 模型(0.829、-1 024.918)和 GWR 模型(0.195、-1 400.780),表明 GTWR 模型合理有效。但囿于篇幅,仅以 2011 年和 2021 年的截面数据为例,勾勒出中国数字经济与绿色发展耦合协调驱动因素的时空动态图景(图 4)。

### (二)回归结果分析

由图 4 可知,不同年份各驱动因素对耦合协调度的影响力均呈现显著的带状和片状空间分异特征。具体而言:

(1)产业结构。2011 年产业结构系数正值区主要分布在东中部地区,表现为自东向西递减的趋势(图 4a),到 2021 年正值区向西南和西北地区扩散,逐渐呈现出自西向东递减的分异态势(图 4b)。可见,产业结构在增强区域数字经济与绿色发展耦合协调性中的正向效应愈发明显。

究其原因,产业结构升级不仅有助于第三产业等配套服务业的完善,降低对资源环境的胁迫效应,推动绿色低碳发展,也能够促进资本、劳动、数据要素在部门间有序流动,提高要素配置效率,推动数字经济发展,进而使二者耦合协调度提升。东部地区经济技术实力雄厚、地理区位优势,众多有利条件促使区域产业结构较早得到了调整,但经济的迅速发展也带来了资源短缺、生态破坏等问题,产业升级压力增大,导致产业结构的正向效应随时间有所减弱。相反,西部地区经济技术虽落后,产业结构也无法比拟东部,但后发优势明显,产业结构调整潜力巨大,近年来通过积极承接东部的产业和技术转移,产业结构不断升级,因而对耦合协调的正向结构效应逐渐增强。

(2)人力资本。除2021年新疆的人力资本系数为负值外,其他省份的系数在考察期内都为正值。初期高值区主要分布在西北的新疆,末期高值区不断向西南、东北和京津冀地区扩散(图4c、4d)。总体而言,人力资本能为数字经济和绿色发展提供重要的人才要素支撑。一方面,在数字时代,新技术、新业态和新模式的相继出现,倒逼人力资本需求由“量”转向“质”<sup>[9]</sup>,发展数字经济迫切需要高素质人才;另一方面,高质量人才通过“干中学”产生的先进管理经验和技术,有助于提高生产效率,更新绿色清洁设备,减少污染物排放,促进绿色发展,进而助力数字经济与绿色发展实现交互耦合协调。对于西部地区而言,人力资本虽在初期产生较强促进效应,但在末期有所降低,这可能因为该地区多滞留于依靠数量的劳动密集型阶段,且地理位置相对闭塞,对人才的吸引力也不强,人力资本积累较差,存在较大优化空间,因而较难拥有相对持续长久的“人力资本”效应来增强数字经济与绿色发展的耦合协调性。

(3)政府调控。2011年政府调控系数呈现明显的“东部地区负值集聚、西部地区正值集聚”的空间分异(图4e),2021年西南大部分省份仍处于正值区,东北地区的政府调控效应逐渐增强,但负值区不断向中部、西北地区延伸(图4f)。原因在于,在分权体制下,政府调控先天优势突出,是可改变路径依赖的重要外生变量,政府通过产业发展指导、财税优惠政策、示范工程等手段,为“数绿”协调发展的路径创造指明方向。同时,合理适度的财政支出能为数字基建、绿色技术研发和人才引进等提供物质保障,有效促进了耦合协调度的提升。但是,政府过度干预可能会导致市场扭曲、创新受阻以及资源闲置现象加深,从而不利于二者协调发展。这与政府规模理论<sup>[37]</sup>相吻合,也一定程度上印证了党的十八届三中全会上提出的“使市场在资源配置中起决定性作用”这一观点的合理性。

(4)科技创新。2011年科技创新系数在华北和西北地区为负值,在其他地区均为正值,表现为自北向南递增的趋势(图4g),2021年科技创新系数负值区在西南地区有所扩张,增加了四川和云南,正值区则在华北地区连片扩张,总体呈现从东向西递减的趋势(图4h)。可见,科技创新对数字经济与绿色发展的耦合协调产生了显著正向影响,特别是在东部地区。潜在解释是:首先,科技创新不仅可以为经济社会发展带来新兴技术支持,也可以助力形成智慧决策、智能管理等技术服务应用体系,促进数字经济发展;其次,科技创新引致的技术效应有利于革新传统产业,淘汰落后产能,提高资源能源利用效率,推动经济集约高效发展,从而明显增强数字经济与绿色发展的耦合协调关系。云南、甘肃和青海等西部省份的科技水平较为落后,难为数字化、绿色化转型升级提供有力支撑,甚至受自身有限资源要素过度消耗的影响,反而阻碍了“数绿”协调发展。相对而言,东中部地区的科技实力更强,可更好地促进数字经济和绿色发展实现耦合协调。

(5)对外开放。2011年多数省份的对外开放系数为负值,仅有广东、湖北、湖南等9省份为正值,表现为自西南向东北递减的趋势(图4i),到2021年对外开放系数负值区省份有所减少,大体呈现数值由南至北递减的“南正北负”分化局面(图4j)。原因在于,区域对外开放程度与产业

参与经济全球化的深度紧密相关,产业可依托外商直接投资融入经济全球化浪潮,吸收借鉴国外先进技术和管理经验,引入高端人才,为本地产业发展注入强劲动力,进而推动“数绿”协调发展,但外资引入也可能会对本地投资产生挤出效应而影响产业发展,最终有碍于二者的协调共进。北方地区开放程度相比于南方地区较低,吸引外资能力相对较弱,不仅不利于资本、技术、数据等生产要素集聚,也不利于充分竞争市场体系的形成,进而抑制了二者协调发展。

(6)城镇化。城镇化的系数在考察期内皆为正值,2011年高值区主要集聚在西部地区(图4k),2021年则主要分布在东部地区(图4l),说明城镇化对数字经济与绿色发展耦合协调产生显著正向影响。原因是,区域城镇化的不断推进,能够引发资金、技术、人才等要素资源的集聚效应与空间溢出效应,促进数字产业与绿色产业、数字技术与绿色技术以及数字人才与绿色人才的融合协同发展,提高“数绿”要素资源的配置效率,由此助力数字经济与绿色发展在更高水平上实现交互耦合协调。西部地区城镇化发展相对滞后、改善空间较大,初期伴随城镇化的推进,对耦合协调度提升产生较强的促进效应,但受自身产业基础薄弱和经济技术实力不强等的影响,城镇化发展诱发的集聚效应有限,无法为数字经济和绿色发展提供持续稳定的要素资源,致使促进效应在末期有所弱化。而东部地区在经济实力和产业基础上优势明显,拥有相对雄厚且稳定的要素资源供给,城镇化发展带来的集聚效应也更为显著,正向促进效应稳步增强。

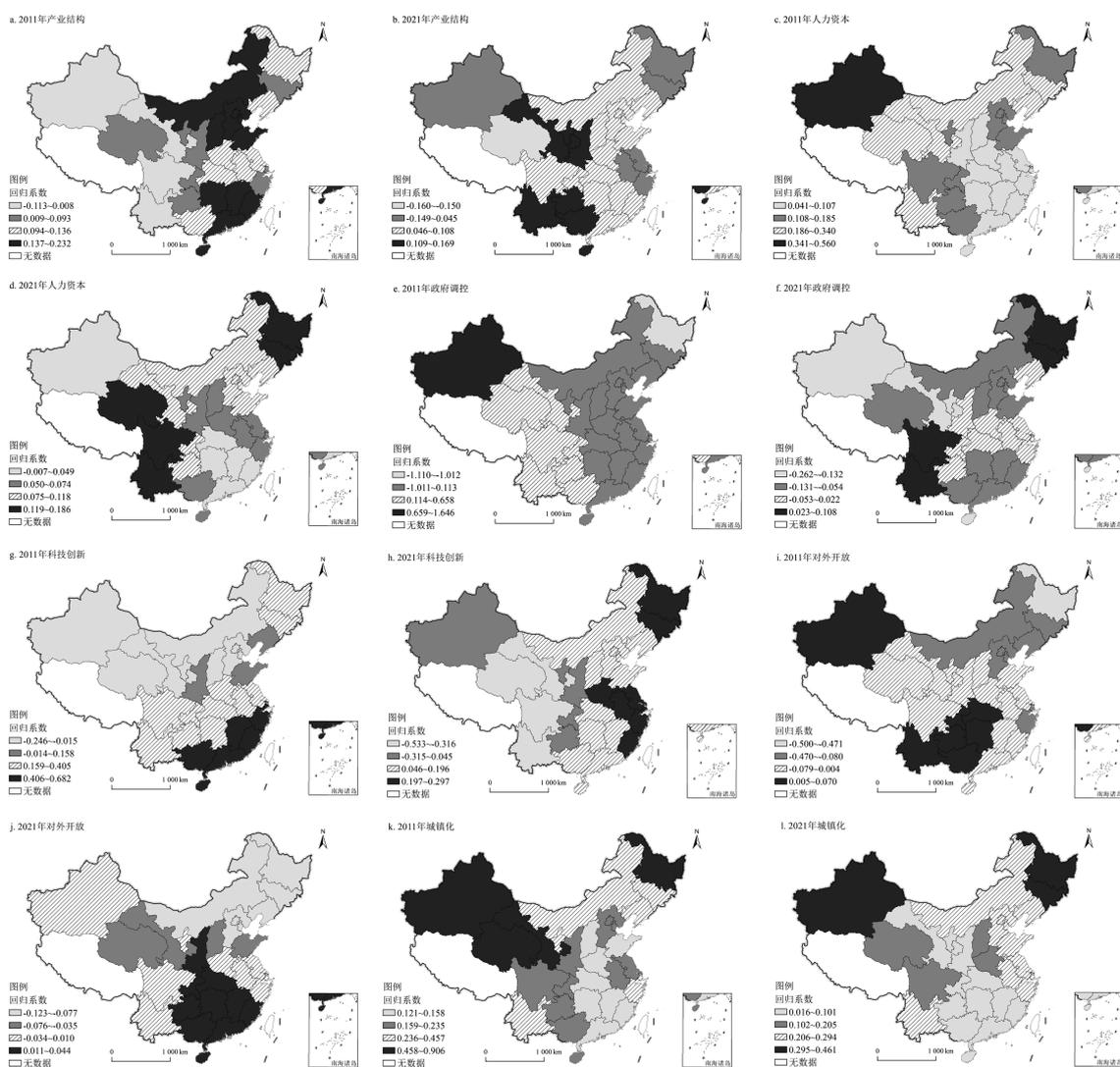


图4 中国数字经济与绿色发展耦合协调影响因素的时空格局

## 七、结论与政策启示

通过探究中国数字经济与绿色发展耦合协调的时空格局及分异机理,得出主要结论为:

(1)从时序发展看,2011—2021年,中国数字经济与绿色发展耦合协调度逐年稳步上升,协调等级实现了由濒临失调向中级协调的跨越,但全国及三大地区仍处于初级协调阶段,仅有北京、上海、江苏、浙江、广东、四川6省市进入良好协调阶段。

(2)从空间格局看,耦合协调度存在着较大的空间异质性,整体上表现为“东—中—西”梯式递减,省域上表现出“低值集聚、高值分散”不均衡分布;整体空间演进格局呈现以河南为中心的“东北—西南”走向,并不断由沿海向内陆扩散,促使中西部与东部地区之间的差距逐步缩小。

(3)从动态演变看,不考虑空间因素时,耦合协调度的变动具有“路径依赖”效应,各省份不易发生跨级转移。考虑空间因素时,邻域类型高低对耦合协调度变动产生影响,表现出较明显的“以邻为壑”和“与邻为善”并重的空间溢出效应,其中,高协调类邻域省份对耦合协调度提升发挥辐射带动作用,低协调类邻域省份则起到抑制作用,最终形成了“高拉动低、低抑制高”的空间俱乐部收敛现象。

(4)从驱动机理看,耦合协调时空分异是多个因素交互驱动的结果。产业结构对西部地区耦合协调度的正向效应随时间推移逐渐增强,但对东部地区及中部多数省份的正向效应逐渐减弱;政府调控对中西部地区一些省份的影响由正转负,对东部地区产生负向影响;科技创新对东中部地区耦合协调度的正向影响较之西部地区更加明显;对外开放对耦合协调度影响的“南北分化”现象逐渐显现;人力资本和城镇化均产生显著正向影响,且二者对西部地区耦合协调度的正向效应在初期较强,但随时间推移有所减弱。

针对实证结论有如下政策启示:

(1)创新协调发展思路,实现高质量协调发展。一要鼓励社会资本参与,加强数字人才培养,提升核心数字技术创新能力,为数字经济发展提供人才、资金及技术支撑,同时,要重视绿色发展理念的引领作用,提高数字经济水平。二要加快数字技术应用推广,推动传统产业智能化、低碳化改造,推动电力、煤炭等传统能源的清洁低碳转型,实现绿色发展提质增效。三要将绿色数字经济作为新发展阶段的战略重点,聚焦绿色数字经济战略产业发展、绿色数字经济核心技术研发及绿色数字经济人才引进。

(2)重视空间非均衡问题,实行以点带面、有所侧重的区域策略。一方面东部地区要在协调推进数字经济与绿色发展过程中发挥引领作用,着力打造以“北京—上海—浙江—江苏—广东”为主要节点的高协调示范区,形成可复制推广的发展经验,辐射带动中西部地区的协调发展;另一方面中西部地区应主动承接数字产业和绿色产业的梯度转移,还要注意“数字+绿色+行业知识”复合型人才的介绍和培养,为“数绿”协调发展注入强大的内生动力。

(3)增强空间联动,构建空间协同合力。一是建立无障碍区域数字经济与绿色发展协调推进的长效合作交流机制,突破行政区划界限,提高区域联动性,促进资源整合和产业融合,实现人才、资本、数据、技术管理及协调经验的互通有无,推动数字经济和绿色发展水平全面协同提升。二是加快建设全国统一大市场,促进高协调区与低协调区之间要素资源的优化配置,扩大高协调区的正向溢出效应,同时要合理引导要素资源向低协调区有序流动,形成互联互通、资源共享的空间协同合力。

(4)充分把握影响耦合协调时空分异的关键因素,寻求差异化发展路径。对于东部地区,要

用好科技创新优势,促进数字技术与绿色技术创新成果双向落地转化;也要适度减少财政支付转移,充分释放自身市场优势,助力数字经济与绿色发展协调推进。中部地区关键是要抓住新一轮科技革命的机遇,完善科技创新体制机制,提高科技创新能力。西部地区应立足自然资源禀赋,大力发展健康养生、旅游休闲、大数据等特色产业,推动产业结构优化升级。此外,三大地区均应以“人才强国战略”为抓手,加大教育投入力度,培养高素质专业人才,同时需不断完善综合交通网络,为城镇传递关键要素资源,放大城镇的集聚效应,推动数字经济与绿色发展同频共振。

#### 参考文献:

- [1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[N]. 人民日报,2022-10-26(1).
- [2] 中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定[N]. 人民日报,2024-07-22(1).
- [3] 陈晓红,李杨扬,宋丽洁,等. 数字经济理论体系与研究展望[J]. 管理世界,2022(2):208-224+13-16.
- [4] 韩晶,陈曦,冯晓虎. 数字经济赋能绿色发展的现实挑战与路径选择[J]. 改革,2022(9):11-23.
- [5] 魏丽莉,侯宇琦. 数字经济对中国城市绿色发展的影响作用研究[J]. 数量经济技术经济研究,2022(8):60-79.
- [6] TAPSCOTT D. The digital economy: Promise and peril in the age of networked intelligence[M]. New York: Mc Graw-Hill, 1996.
- [7] LANDEFELD J S, FRAUMENI B M. Measuring the new economy[J]. Survey of current business, 2001(3): 23-40.
- [8] 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.
- [9] 余运江,杨力,任会明,等. 中国城市数字经济空间格局演化与驱动因素[J]. 地理科学,2023(3):466-475.
- [10] 王军,刘小凤,朱杰. 数字经济能否推动区域经济高质量发展? [J]. 中国软科学,2023(1):206-214.
- [11] LI Z, WANG J. The dynamic impact of digital economy on carbon emission reduction: Evidence city-level empirical data in China [J]. Journal of cleaner production, 2022, 351: 131570.
- [12] 胡鞍钢,周绍杰. 绿色发展:功能界定、机制分析与发展战略[J]. 中国人口·资源与环境,2014(1):14-20.
- [13] GUO Y, TONG L, MEI L. The effect of industrial agglomeration on green development efficiency in northeast China since the revitalization[J]. Journal of cleaner production, 2020, 258: 120584.
- [14] 侯纯光,任建兰,程钰,等. 中国绿色化进程空间格局动态演变及其驱动机制[J]. 地理科学,2018(10):1589-1596.
- [15] 张国俊,邓毛颖,姚洋洋,等. 广东省产业绿色发展的空间格局及影响因素分析[J]. 自然资源学报,2019(8):1593-1605.
- [16] 岳立,薛丹. 黄河流域沿线城市绿色发展效率时空演变及其影响因素[J]. 资源科学,2020(12):2274-2284.
- [17] 程钰,王晶晶,王亚平,等. 中国绿色发展时空演变轨迹与影响机理研究[J]. 地理研究,2019(11):2745-2765.
- [18] 盖美,秦冰,郑秀霞. 经济增长动能转换与绿色发展耦合协调的时空格局演化分析[J]. 地理研究,2021(9):2572-2590.
- [19] 孔芳霞,刘新智,周韩梅,等. 新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的时空演变特征与影响因素[J]. 经济地理,2022(9):22-32.
- [20] 许宪春,任雪,常子豪. 大数据与绿色发展[J]. 中国工业经济,2019(4):5-22.
- [21] ZHANG Z, FU W K, MA L. The impact of digital economy on green development in China[J]. Frontiers in environmental science, 2022, 10: 1-13.
- [22] MA D, ZHU Q. Innovation in emerging economies: Research on the digital economy driving high-quality green development [J]. Journal of business research, 2022, 145: 801-813.
- [23] 史丹. 数字经济条件下产业发展趋势的演变[J]. 中国工业经济,2022(11):26-42.
- [24] SADORSKY P. Information communication technology and electricity consumption in emerging economies[J]. Energy policy, 2012, 48: 130-136.
- [25] 胡士华,黄天鉴,王楷. 数字经济与绿色经济协同发展:时空分异、动态演进与收敛特征[J]. 现代财经,2022(9):3-19.
- [26] 韩晶,陈曦. 数字经济赋能绿色发展:内在机制与经验证据[J]. 经济社会体制比较,2022(2):73-84.
- [27] 吕德胜,王珏,程振. 黄河流域数字经济、生态保护与高质量发展时空耦合及其驱动因素[J]. 经济问题探索,2022(8):135-148.
- [28] 郭哈,全勤慧. 数字经济与实体经济融合发展:测度评价与实现路径[J]. 经济纵横,2022(11):72-82.

- [29] 杨立华,刘宏福. 绿色治理:建设美丽中国的必由之路[J]. 中国行政管理,2014(11):6-12.
- [30] 李南枢,宋宗宇. 数字低碳与低碳数字:“双碳”目标下数字经济发展的反思与重构[J]. 中州学刊,2023(11):33-40.
- [31] 张帅,吴珍玮,陆朝阳,等. 中国省域数字经济与实体经济融合的演变特征及驱动因素[J]. 经济地理,2022(7):22-32.
- [32] 庞瑞芝,张帅,王群勇. 数字化能提升环境治理绩效吗?:来自省际面板数据的经验证据[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),2021(5):1-10.
- [33] 张峰,薛惠锋. 乡村振兴背景下要素错配与环境规制对承接产业转移的影响[J]. 软科学,2020(3):25-31.
- [34] 邓宗兵,宗树伟,苏聪文,等. 长江经济带生态文明建设与新型城镇化耦合协调发展及动力因素研究[J]. 经济地理,2019(10):78-86.
- [35] 李凤娇,刘家明,姜丽丽. 东北地区战略性新兴产业发展水平时空演变与影响因素研究[J]. 地理科学进展,2022(4):541-553.
- [36] 车磊,白永平,周亮,等. 中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析[J]. 地理科学,2018(11):1788-1798.
- [37] FOLSTER S,HENREKSON M. Growth effects of government expenditure and taxation in rich countries[J]. European economic review,2001(8):1501-1520.

### Spatial-temporal Pattern and Differentiation Mechanism of the Coupling Coordination between Digital Economy and Green Development

XIAO Qinlin<sup>1,2</sup>, DENG Zongbing<sup>1,2</sup>, WANG Ju<sup>1,2</sup>

(1. *Research Center for Inclusive Finance and Agricultural and Rural Development*,  
*Southwest University, Chongqing 400715, China*;

2. *College of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715, China*)

**Abstract:** Synergizing the digital economy with green development is essential for high-quality development. On the basis of clarifying the coupling coordination mechanism, this paper uses the coupling coordination degree model, Markov Chain and Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) model to analyze the spatial-temporal pattern and differentiation mechanism of the coupling coordination between China's digital economy and green development. The results showed that, firstly, during the research period, the coupling coordination degree between digital economy and green development of the whole country and various regions continued to improve, but only six provinces and municipalities including Beijing, Shanghai, Jiangsu, Zhejiang, Guangdong and Sichuan have entered the stage of good coordination. Secondly, from the spatial pattern, the overall coupling coordination degree shows a gradient decrease from “east-central-west”, and the provincial area shows a “concentration of low value, dispersion of high value” distribution, and presents a “northeast-southwest” trend with Henan as the center. Thirdly, from the dynamic evolution, the change of coupling coordination has a “path-dependent” effect, and the Club Convergence phenomenon of “high pull low, low inhibit high” is formed by the Spatial Spillover Effect of “being kind to neighbors” and “being troublesome to neighbors”. And fourthly, the mechanism analysis shows that human capital and urbanization have had significant impacts on the coordinated development between digital economy and green development in all areas, and industrial structure plays a gradually increasing role in promoting the Western Area, while scientific and technological innovation has a more obvious impact on the Eastern and Central Areas.

**Key words:** digital economy; green development; coupling coordination degree; spatial-temporal pattern; dynamic evolution; GTWR model

责任编辑 江娟丽

网 址: <http://xbbjb.swu.edu.cn>