

徐婧雅, 宋周莺. 全球数字经济与可持续发展的时空耦合关系 [J]. 地理科学, 2025, 45(1): 164-175. [Xu Jingya, Song Zhouying. Spatial-temporal coupling between the global digital economy and sustainable development. Geographical Science, 2025, 45(1): 164-175.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.20231200; cstr: 32176.14.geoscien.20231200

全球数字经济与可持续发展的时空耦合关系

徐婧雅, 宋周莺

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 中国科学院大学
资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 从数字基础设施、数字经济环境、数字经济市场 3 个维度构建数字经济评价指标体系, 结合联合国可持续发展目标, 分析全球数字经济与可持续发展的耦合协调态势和交互关系, 探讨其耦合动力机制。研究发现: ① 全球数字经济和可持续发展的整体水平稳步提升, 但地区间存在明显的“数字鸿沟”和可持续发展差异; ② 数字经济和可持续发展之间高度相关, 耦合协调度从初级协调发展至中级协调阶段, 大部分国家和地区数字经济发展相对滞后; ③ 数字经济和可持续发展的协同共进是系统内各要素增强型交互作用的结果, 可持续发展目标 1(无贫穷)和数字基础设施的交互尤为关键; ④ 耦合动力机制包括内部的数据生产力、数字技术变革力和破坏力、自然资源支撑力, 以及外部的市场拉动力和失衡力、政府调控力和阻碍力。

关键词: 数字经济; 可持续发展; 耦合协调度; 地理探测器; 耦合动力机制

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2025)01-0164-12

近年来, 全球经济的快速发展伴随着贫富差距扩大和环境退化等挑战。为了应对人地关系日益突出的矛盾, 人们正在寻找一条人口、经济、社会与环境、资源相协调的可持续发展道路^[1]。各国政府和国际机构于 2015 年共同通过了《变革我们的世界: 2030 年可持续发展议程》^[2], 确定了 17 项全球可持续发展目标(SDGs)。同时, 随着信息和通信技术(ICT)发展, 数字经济已成为继农业经济、工业经济之后的主要经济形态。受国际政治形势和公共卫生事件等事件影响, 实现可持续发展目标面临严峻挑战; 而区块链、人工智能等数字经济技术的迅猛发展, 正为社会经济发展带来深刻变革。在此态势下, 世界各国既要应对数字经济的崛起, 又要致力于实现可持续发展目标, 两者间的互动关系日益引发关注。

国内外关于数字化和可持续发展相互关系的文献不断涌现, 大多聚焦于数字化对可持续发展的作用。一些学者肯定了数字经济对推动可持续发展有积极作用^[2], 但也有观点指出数字经济带来的不利影响, 如数字鸿沟扩大、互联网红利获取不平衡、能源消耗剧增等^[3-4]。最近有研究开始探讨 2 个系统间的交织互动, 例如长江中游城市群数字经济和可持续发展的耦合关系^[5]。

总体而言, 以往文献主要关注数字经济对可持续发展的单方面影响, 或聚焦某种形式

收稿日期: 2023-12-27; **修订日期:** 2024-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(72441005)、中国科学院海外科教合作中心部署项目(162GJHZ2022004MI)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (72441005), Program for Oversea Cooperation Center of Chinese Academy of Sciences (162GJHZ2022004MI).]

作者简介: 徐婧雅(1998—), 女, 河南信阳人, 博士研究生, 主要研究方向为经济地理、区域发展和数字化等。
E-mail: xujy.20s@igsrr.ac.cn

通信作者: 宋周莺。E-mail: songzy@igsrr.ac.cn

① <https://www.un.org/zh/documents/treaty/A-RES-70-1> [2023-06-01]

的可持续性,缺少对数字经济和可持续发展耦合的理论逻辑、交互关系和耦合动力机制的探讨。另外,2030年可持续发展议程作为全球最重要的可持续发展指导目标,已有与数字经济相关的研究较为有限。基于此,本文首先梳理数字经济和可持续发展的耦合关系理论,然后定量探讨2者的耦合协调度和交互关系,进一步解析其耦合动力机制,以期为不同区域数字经济发展及实现可持续发展目标提供参考。本文的主要贡献,一是引入“元耦合”概念,梳理数字经济和可持续发展的耦合关系;二是从2030年可持续发展议程出发,评估数字经济和17项目标之间的耦合协调情况,确定当前哪些要素及其交互作用对系统的耦合更加重要;三是基于人地关系视角探讨数字经济和可持续发展的耦合动力机制。

1 数字经济与可持续发展耦合关系理论分析

全球可持续发展目标是新时代人地关系理论的具体实践形式^[6]。数字经济与可持续发展耦合的实质,是将数据等关键要素融入劳动、资本、土地、知识等要素,推动生产力发展和生产关系转变,重塑人地关系^[7]。本文借鉴元耦合框架,从内部耦合、近程耦合、远程耦合的视角探讨数字经济和可持续发展的耦合关系。

内部耦合揭示数字经济和可持续发展耦合的本质和过程,关注单一空间尺度。数字经济引入数据资源、数字技术、数字基建、数字平台和应用等新要素,有效突破地理空间限制,实现时空压缩,并推动供需两侧的结构性的改革。在政府、非政府组织、个人、企业等不同行动者的协作下,数字经济催生了一系列特定地域的新兴实践,比如淘宝村、盒马村、智慧城市等^[8-10],有助于实现消除贫困、经济增长、缩小不平等、保障就业、低碳发展等可持续发展目标。另一方面,可持续发展为数字经济创造了良好的硬环境和软环境,基础设施完善、创新氛围良好的地区有利于数字产业集群出现,推动当地数字经济发展^[11]。然而,即使在同一淘宝村内部,不同群体从互联网市场获得的数字红利也有所区别^[3],因此,当地政府需要基于各群体的反馈,遵守可持续发展的公平性、共同性、持续性原则,制定数字经济约束框架,以缩小数字鸿沟、实现地区包容性增长。

在“流空间”作用下,信息技术主导的虚拟空间和传统地理学意义实体空间相互融合,使数字经济系统和可持续发展系统的近、远程耦合成为可能。这2种耦合和内部耦合本质相似,区别在于系统间的交互距离。近程耦合一般定义在城市群尺度,远程耦合则超出该距离^[12]。在耦合过程中,物质流、数据流、信息流等在不同距离进行实时交换和互动^[13]。如数字经济系统发送的数字商品和服务贸易流跨越不同国家和地区,提高接收地ICT产品可获得性同时,其隐含的碳排放也可能对区际外可持续发展系统造成压力^[14];有些国家和地区将电子垃圾非法出口到发展中国家和地区,造成当地空气、水和土壤污染,对公众健康产生深远影响^[15]。耦合过程还会产生溢出效应,对其他地区或系统产生间接影响^[16]。如智慧城市建设时可能将污染转移到周边地区,影响其可持续发展^[17];中国与亚洲邻国和地区间更加频繁的半导体贸易活动也将影响区域外美国和欧盟半导体产品出口贸易流^[18]。

综上,作为2个复杂开放巨系统,数字经济和可持续发展的耦合涉及多个要素的相互作用,以及不同尺度的相互关联。数字经济作为新时代的引擎,不仅推动经济发展模式的革新,同时也受到可持续发展目标的支撑和约束。这种相互制约、相辅相成的关联性在推动经济、社会 and 环境的共同繁荣方面发挥着关键作用。

2 研究设计

2.1 指标构建与研究方法

1)数字经济测算。数字经济测算方法主要分为2种:一是通过投入产出分析直接核算

数字经济规模^[19]，主要聚焦于贸易领域，难以全面反映其对经济社会的影响。二是构建综合指标体系，以更全面地评估数字经济，这也是本文所采用的测算方法。国际组织等已从多个维度对全球数字经济发展水平进行评估，包括 ICT 发展指数(IDI)、网络就绪指数(NRI)、电子政务发展指数(EGDI)、数字经济和社会指数(DESI)、全球数字经济发展指数(TIMG)等。此外，学者们也对“一带一路”国家和地区、欧盟、中国各省份等不同地域尺度的数字经济发展情况进行深入研究^[20-22]。

基于已有文献^[23-25]及数据可得性，从数字基础设施、数字经济环境、数字经济市场 3 个方面构建指数，全面覆盖 2016—2021 年全球 106 个主要经济体的数字经济发展情况(表 1)。参考中国社会科学院全球数字经济发展指数测算方法^[26]，使用等权重法给各指标赋权，通过极差法对初始数据进行无量纲处理，再根据各指标权重计算数字经济得分。

表 1 全球数字经济测算指标体系

Table 1 Indicators for measuring the digital economy

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性	得分权重
数字基础设施 (权重得分 1/3)	覆盖范围	固定宽带普及率	+	1/18
		移动蜂窝普及率	+	1/18
	使用价格	数字价格(主要考虑移动宽带和固定宽带的 ICT 价格可承受性)	-	1/9
数字经济环境 (权重得分 1/3)	使用程度	互联网使用率	+	1/9
	创新环境	ICT 前沿技术就绪指数	+	1/18
		高等教育入学率	+	1/18
	监管环境	ICT 监管指数	+	1/9
	服务环境	在线服务指数	+	1/18
数字经济市场 (权重得分 1/3)	商品贸易	电子参与指数	+	1/18
		ICT 产品出口占比	+	1/6
	服务贸易	ICT 服务出口占比	+	1/6

注: ICT 为信息和通信技术。

2) 可持续发展目标指数(SDG Index)。17 项可持续发展目标(SDGs)可以划分为经济、社会和环境 3 个维度^[27]。根据联合国发布的《2016 年可持续发展目标指数和指示板》^①，各国的可持续发展目标指数由 17 项可持续发展目标得分求算术平均值获得。其中，经济维度包括: SDG1 为无贫穷，SDG2 为零饥饿，SDG3 为良好健康和福祉，SDG8 为体面工作和经济增长，SDG9 为产业、创新和基础设施; 社会维度包括: SDG4 为优质教育，SDG5 为性别平等，SDG10 为减少不平等，SDG11 为可持续城市和社区，SDG16 为和平、正义和强大机构，SDG17 为促进目标实现的伙伴关系; 环境维度包括: SDG6 为清洁饮水和卫生设施，SDG7 为经济适用的清洁能源，SDG12 为负责任消费和生产，SDG13 为气候行动，SDG14 为水下生物，SDG15 为陆地生物。

3) 耦合度和耦合协调度模型。耦合(coupling)可以描述 2 个或 2 个以上系统之间的相互联系和相互作用，本文用耦合度(C)来评估数字经济和可持续发展之间相互影响的关联程度，并通过耦合协调度(D)深入了解系统间的协同效应^[23]。耦合度(C)的取值范围为 $[0,1]$ ，当 C 越接近于 1，说明 2 个系统间的耦合度越强; 反之，则越弱。

本文通过计算耦合协调度(D)来探讨数字经济和可持续发展之间的协调发展水平。为推动协调发展，本文设置数字经济(u_1)和可持续发展(u_2)的协调效应权重均等。结合相关划分方法^[28]， $0 < u_2/u_1 \leq 0.9$ 表示可持续发展滞后型， $0.9 < u_2/u_1 \leq 1.1$ 表示同步发展型，

① <https://sdgtransformationcenter.org/reports/sdg-index-2016> [2023-06-15]

$u_2/u_1 > 1.1$ 表示数字经济滞后型。具体的耦合协调度等级划分见表 2。

4) 地理探测器。地理探测器可以探测空间分异性及其背后驱动力^[29]。本文主要运用因子探测和交互探测, 识别数字经济和可持续发展耦合协调度的影响因子。探测因子得分取值范围为 $[0, 1]$, 数值越大表明该因子对耦合协调度的解释力越强。交互探测可以评估 2 个因子交互后能否增强或减弱对耦合协调度的解释力, 包括非线性减弱, 单因子非线性减弱, 双因子增强, 非线性增强, 相互独立。

2.2 研究数据

本文的可持续发展数据来自联合国的可持续发展目标指标数据库 (SDG Indicators Database)^①, 呈现了 2016—2021 年全球 157 个国家和地区的可持续发展目标 (SDGs) 数据。为使研究尽可能覆盖数字经济领域, 本文采用多个权威数据源, 包括国际电信联盟^②、联合国贸发会议数据库^③、世界银行^④、联合国电子政务调查报告^⑤。此外, 2020—2021 年前沿技术就绪指数根据过往数据^⑥进行预测, 2021 年的 ICT 监管指数取 2020 年和 2022 年平均值, 在线服务指数和电子参与指数每 2 a 发布 1 次, 对于中间年份的缺失, 本文采取中间值的处理方法。考虑到一些国家和地区存在数据缺失, 研究范围主要涵盖 106 个国家和地区^⑦。

3 全球数字经济和可持续发展指数总体水平分析

3.1 数字经济发展情况

2016—2021 年, 数字经济指数整体呈逐年上升趋势, 表明全球数字经济整体上不断发展壮大 (图 1)。其中, 2016—2020 年数字经济发展呈现出较快的增长态势, 综合值从 0.43 上升至 0.49; 而 2020—2021 年数字经济发展相对前一阶段基本持平。从具体指标看, 数字基础设施从 2016 年的 0.62 稳步上升至 2021 年的 0.70, 表明全球数字基础设施不断完善; 数字经济环境从 2016 年的 0.56 上升到 2020 年的 0.63, 尽管 2021 年略有下滑, 但总体呈现上升趋势。但数字经济市场处于相对较低水平, 基本保持在 0.12~0.15, 这主要是由于国际贸易中 ICT 相关的商品贸易和服务贸易份额相对较小, 但 2016—2020 年有小幅度提升。

2016—2021 年, 全球数字经济的空间格局整体上未发生较大变化, 但呈现出巨大的数字鸿沟。其中, 北欧和西欧处于领先地位, 北美、东亚、大洋洲的发展水平较高, 东南亚、中东欧和拉丁美洲等区域次之, 而南亚和撒哈拉以南非洲的发展水平则相对落后。具体来看, 爱尔兰、新加坡、芬兰、韩国等在数字经济发展中表现最好。数字经济发展水平最差的国家和地区主要分布在撒哈拉以南非洲和东南亚的落后地区, 如埃塞俄比亚、莫桑比克、刚果、老挝、缅甸等, 在数字基础设施、数字经济环境、数字经济市场方面的建设均较为滞后。美国、中国虽然在全球数字经济投资和创新上表现活跃, 但鉴于两者疆域辽阔, 相较于其

表 2 数字经济和可持续发展的耦合协调度等级划分

Table 2 Classification of the coupling coordination degree between digital economy and sustainable development

耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级
[0,0.1)	极度失调	[0.5,0.6)	勉强协调
[0.1,0.2)	严重失调	[0.6,0.7)	初级协调
[0.2,0.3)	中度失调	[0.7,0.8)	中级协调
[0.3,0.4)	轻度失调	[0.8,0.9)	良好协调
[0.4,0.5)	濒临失调	[0.9,1.0]	优质协调

① <https://unstats.un.org/sdgs/dataportal/database> [2023-05-20]
② 国际电信联盟. <https://datahub.itu.int/> [2023-03-01]
③ 联合国贸发会议数据库. <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/> [2023-03-05]
④ 世界银行. <https://data.worldbank.org.cn/> [2023-02-27]
⑤ 联合国电子政务调查报告. <https://www.un-ilibrary.org/content/periodicals/2411829x> [2023-03-08]
⑥ 前沿技术就绪指数根据过往数据. <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.FTRI> [2023-03-07]
⑦ 106 个国家和地区. https://pan.baidu.com/s/11G_s1QQZwxGI5sHaAgPPQQ?pwd=p16s [2025-01-08]

他国土面积小的发达国家和地区,其整体发展水平略显不足。这一时期,中国数字经济迅速崛起,从2016年的第38位快速攀升至2021年的第19位,但距全球前列仍有距离。而且中国拥有全球最大的互联网人口,但空间差异悬殊、东西部差距较大^[24]。从具体指标看,中国在数字基础设施上得分较低,这说明未来需要进一步改善西部、乡村等落后地区的数字基础设施建设,以提升国家和地区整体数字经济发展水平。

3.2 可持续发展情况

2016—2021年,全球可持续发展目标指数从64.84缓慢上升至67.17,发展水平较低。具体指标显示,气候行动、负责任消费和生产、优质教育和无贫穷等领域得分相对较高;产业、创新和基础设施、零饥饿、促进目标实现的伙伴关系等目标均值仍低于60分,亟须改进。从各指标变化情况看,水下生物、负责任消费和生产、产业、创新和基础设施等指标增长迅速;但受气候变化、世界公共卫生事件等影响,一些指标出现显著下降,特别是清洁饮水和卫生设施、无贫穷、促进目标实现的伙伴关系。由此可见,无论是在经济、社会还是环境维度,全球都面临着相当大的可持续发展挑战。

全球可持续发展目标指数呈现明显的空间分异。2016年,高水平国家和地区主要位于欧洲,尤其是北欧,如瑞典、丹麦、芬兰、挪威。其次,北美、大洋洲的国家和地区及东亚的日本等也取得了较高得分。低水平国家和地区主要分布在撒哈拉以南非洲、东南亚和南亚地区,如中非共和国、乍得、刚果、柬埔寨、缅甸、印度等,这些国家和地区大多社会经济发展较为落后或者人口规模庞大。2021年,全球可持续发展目标指数的空间格局未发生明显变化,但总体得分有所提升。得分超过80的国家和地区从10个增长到13个;得分在73~80的国家和地区也增加至34个。而低于60分的国家和地区数量由20个降至14个,得分低于54分的国家和地区均位于撒哈拉以南非洲,包括莫桑比克、贝宁、刚果等。

4 数字经济与可持续发展的耦合关系及其动力机制解析

4.1 总体演化特征

2016—2021年,全球数字经济与可持续发展目标指数的耦合度均值始终高于0.970,表现出高水平的耦合关系,说明数字经济与可持续发展的关联程度较强。然而,高水平耦合不能代表这2个系统间的协调水平(图2)。同期,数字经济与可持续发展目标指数的耦合协调度整体呈现上升态势,保持在0.69~0.74。其中,2016—2017年由初级协调迈向中级协调;2017—2021年,耦合协调度缓慢增长,但与实现优质协调仍有距离。分维度来看,数字经济与可持续发展经济、社会、环境3个维度都处于中级协调水平,其中经济维度的耦合协调度最好,其次是环境维度,而社会维度较低。从趋势上看,数字经济与可持续发展在经济、社会维度的耦合协调度呈上升态势,环境维度在2021年略有下降,这说明数字经济与可持续发展不同维度的耦合协调水平存在差异,应注重提升数字经济与可持续发展社会、环境维度的协调水平。

4.2 空间差异

全球数字经济与可持续发展的耦合协调度存在巨大差异(表3)。2016年,良好协调、

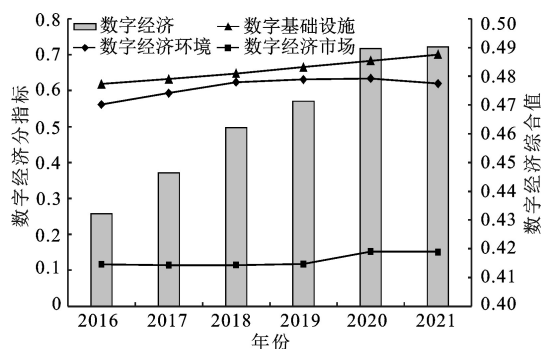


图1 全球数字经济及其分指标的得分

Fig.1 Scores of global digital economy and sub-indicators

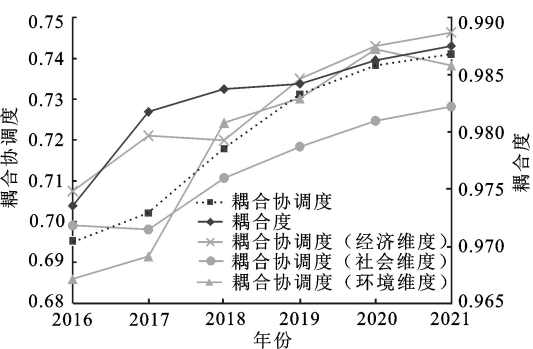


图2 数字经济和可持续发展的耦合度及各维度耦合协调度

Fig.2 Coupling degree between digital economy and sustainable development and the coupling coordination degree of various dimensions

处于濒临失调状态。从相对发展情况来看,大部分国家和地区属于数字经济滞后型,即数字经济发展水平滞后于该国的可持续发展水平;其次是同步发展型,即相互促进,实现系统的优化;而可持续发展滞后型国家和地区较少。2016年,数字经济滞后型、同步发展型和可持续发展滞后型的国家和地区数量分别为86个、13个和7个。其中,良好协调的国家和地区中只有新加坡属可持续发展滞后型,其余均为数字经济滞后型;而在中级协调的40个国家和地区中,仅科威特为可持续发展滞后型,中国、以色列、阿联酋、菲律宾和巴林为同步发展型。2021年,数字经济滞后型的国家和地区数量进一步增加到88个,同步发展型为12个,可持续发展滞后型为6个。丹麦虽然迈入了优质协调,但数字经济仍然相对滞后;在40个良好协调国家和地区中,仅新加坡和越南属于同步发展型。可以发现,大部

中级协调、初级协调、勉强协调、濒临失调、中度失调的国家和地区分别有25个、40个、19个、11个、10个、1个。其中,良好协调的国家和地区主要位于欧洲和北美,特别是北欧和西欧,芬兰、爱尔兰、瑞典、丹麦等的耦合协调度处于全球领先水平;而撒哈拉以南非洲的部分国家和地区仍处于失调状态,刚果得分最低,处于中度失调状态。2021年,整体耦合协调度有所改善,芬兰由良好协调迈向优质协调,良好协调国家和地区数量增至40个,大部分仍位于欧洲和北美,中级协调、初级协调、勉强协调的国家和地区数量分别降为35个、17个和10个,刚果从中度失调迈入濒临失调,另外撒哈拉以南非洲的莫桑比克和贝宁也

表3 全球7大区域的国家和地区耦合协调度等级数量

区域(国家和地区数量/个)	中度失调	濒临失调	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调
2016年							
中亚和南亚(8)	0	0	1	6	1	0	0
东亚和东南亚(13)	0	0	3	2	5	3	0
欧洲和北美(38)	0	0	0	1	17	20	0
拉丁美洲和加勒比地区(15)	0	0	1	8	6	0	0
北非和西亚(12)	0	0	0	1	11	0	0
大洋洲(2)	0	0	0	0	0	2	0
撒哈拉以南非洲(18)	1	10	6	1	0	0	0
2021年							
中亚和南亚(8)	0	0	0	4	4	0	0
东亚和东南亚(13)	0	0	1	4	4	4	0
欧洲和北美(38)	0	0	0	0	7	30	1
拉丁美洲和加勒比地区(15)	0	0	0	4	9	2	0
北非和西亚(12)	0	0	0	0	10	2	0
大洋洲(2)	0	0	0	0	0	2	0
撒哈拉以南非洲(18)	0	3	9	5	1	0	0

注:区域分组参照联合国可持续发展目标地区分组(<https://unstats.un.org/sdgs/indicators/regional-groups/> [2023-07-20])。

分国家和地区数字经济发展相对于可持续发展较为滞后,这种不平衡影响了耦合系统高质量互动。

4.3 数字经济和可持续发展的耦合交互关系

数字经济和可持续发展的动态关联和协调发展受到各系统及其要素变化的复杂影响。本文通过地理探测器探讨 2 个系统的要素相互作用关系,共有 16 个探测因子通过了 1% 的显著性检验(表 4),这说明数字经济和可持续发展的协同发展受到多个因子的作用。排名前 3 位的驱动因子是无贫穷、数字基础设施与良好健康和福祉。

表 4 数字经济和可持续发展耦合协调度的驱动因子(q)探测结果

Table 4 Driving factors detection for coupling coordination degree between digital economy and sustainable development					
探测因子	q	P值	探测因子	q	P值
数字基础设施(X1)	0.838	0.000	SDG8	0.600	0.000
数字经济环境(X2)	0.746	0.000	SDG9	0.759	0.000
数字经济市场(X3)	0.184	0.250	SDG10	0.231	0.010
SDG1	0.861	0.000	SDG11	0.574	0.000
SDG2	0.510	0.000	SDG12	0.682	0.000
SDG3	0.770	0.000	SDG13	0.468	0.000
SDG4	0.743	0.000	SDG14	0.076	0.337
SDG5	0.414	0.000	SDG15	0.139	0.144
SDG6	0.620	0.000	SDG16	0.576	0.000
SDG7	0.722	0.000	SDG17	0.192	0.386

注:SDG1为无贫穷;SDG2为零饥饿;SDG3为良好健康和福祉;SDG4为优质教育;SDG5为性别平等;SDG6为清洁饮水和卫生设施;SDG7为经济适用的清洁能源;SDG8为体面工作和经济增长;SDG9为产业、创新和基础设施;SDG10为减少不平等;SDG11为可持续城市和社区;SDG12为负责任消费和生产;SDG13为气候行动;SDG14为水下生物;SDG15为陆地生物;SDG16为和平、正义和强大机构;SDG17为促进目标实现的伙伴关系。

对显著性因子进行交互探测,所有因子在交互后的得分均高于各因子的单独作用,呈现双因子增强(图 3),说明系统的协同发展不是单个因子独自发挥作用,而是两两因子交互作用的结果。其中,SDG1 和 X1 的交互作用位于核心位置;其次是 SDG9 和 SDG1 的交互(0.907),SDG6 和 SDG1 的交互(0.906),SDG5 和 SDG1 的交互(0.906)。

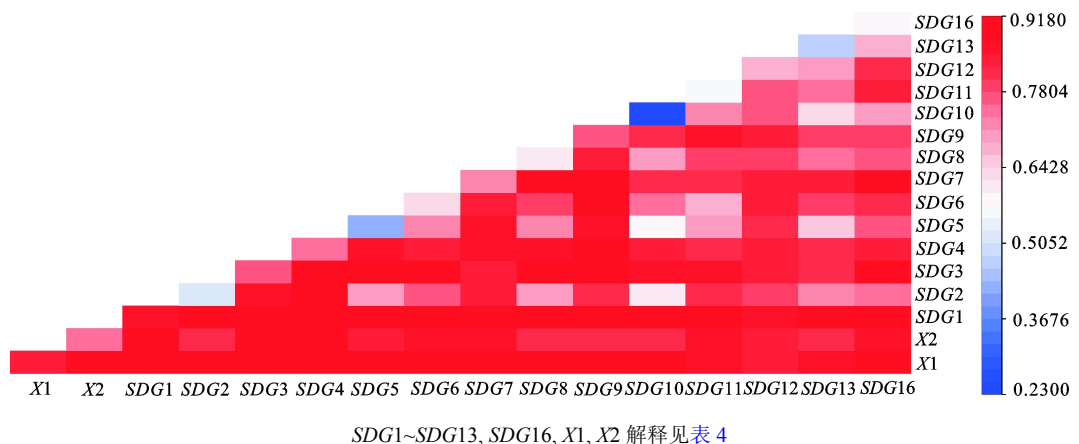


图 3 数字经济和可持续发展耦合协调度驱动因子的交互探测结果

Fig.3 Interaction results of driving factors for coupling coordination degree between digital economy and sustainable development

具体来看, $X1$ 与 $SDG1$ 的交互在系统中起到了主导作用。数字基础设施是数字经济发展的基石与核心生产力。欠发达地区存在数字基础设施建设落后的问题, 数字鸿沟不仅限制居民参与数字经济的机会, 还会削弱他们在就业、消费、教育、健康等领域做出多样化选择的能力, 导致不平等扩大。经济可持续发展是协同发展的物质基础, $SDG1$ 不仅是驱动力最强的单因子, 在得分较高的交互因子中也多次出现。改善贫穷人口的经济状况可以提升其对 ICT 的可负担力, 同时有助于他们融入数字经济市场。社会可持续发展中, 优质教育, 和平、正义和强大机构, 可持续城市和社区, 性别平等, 减少不平等目标的实现为协同发展提供了成长土壤。例如, 优质教育可以提升居民的数字素养, 并且促进数字技术广泛应用。环境可持续发展中, 经济适用的清洁能源, 负责任消费和生产, 清洁饮水和卫生设施, 气候行动等目标构成了协同发展的环境约束, 它引导系统朝绿色、低碳、环保的方向发展。另外, 不能忽视可持续发展经济、社会、环境目标之间的复杂联系^[25], 尤其是 $SDG1$ 和 $SDG9$ 、 $SDG6$ 、 $SDG5$ 的交互作用, 也会对系统的协同发展进程产生显著的影响。

4.4 数字经济和可持续发展的耦合动力机制

从人地关系视角出发, 解析数字经济系统和可持续发展系统的内部、外部耦合动力机制, 以进一步深化数字时代人地关系协同发展的思考。

内部耦合动力机制推动系统的自我调整和发展, 主要包括数据生产力、数字技术变革力和破坏力、自然资源支撑力。一是数据生产力。人地关系演化过程受到生产力水平的影响^[30], 数据作为数字时代新的生产力, 突破了传统生产要素对经济增长的限制^[31], 推动生产力和生产关系的根本性变化。同时, 数据流可以克服有形生产要素的流动障碍, 实现地区、国家、全球等不同尺度即时且广泛的联系, 为全球化时代的可持续发展搭建重要桥梁。二是数字技术具有变革力和破坏力。其变革作用提升了全要素生产率, 形成全球马赛克、地理集聚和虚拟集聚协同发展格局, 并通过空间溢出效应影响邻近地区的技术创新, 推动区域间互动和经济增长^[32-34]。数字技术也能提供可持续环境发展的技术解决方案, 改善碳排放情况、推动智慧城市和可持续城市建设^[10,35]。然而, 数据密集型技术的广泛应用也可能带来高能耗和碳排放增加等问题, 激化人地矛盾, 对可持续环境发展造成破坏^[36]。三是自然资源支撑力。人类活动离不开“地”的供给, 数字经济时代虚拟空间高度繁荣, 但数据的储存、使用和流动仍依赖实体空间的数字基础设施建设, 包括数据中心、通信电缆等, 而数据中心等在规划和布局建设仍会受到气候条件、水源等的影响^[37]。

外部耦合动力机制影响系统的外部环境和发展方向, 主要包括市场拉动力和失衡力、政府调控力和阻碍力。一方面, 市场主体由企业和消费者组成, 受利益驱动和供求关系影响, 推动资源优化配置和效益最大化。网络效应下, 互联网用户规模指数级增长^[38], 引发多元化市场需求, 激发数字技术和产品创新。随着共享经济市场规模扩大, 通过数字平台连接全球用户, 拉动循环经济和可持续消费生产^[39]。然而, 市场缺乏规范可能导致数据要素市场分割^[40], 扩大数字鸿沟且加剧发展失衡。另一方面, 各级政府具有行政权, 可以调控数据、资本等要素流向相对落后地区和群体, 以确保数字经济成果惠及更多人群。然而, 出于对数据主权和国家地区安全的考量, 政府也会在一定程度上阻碍数据要素的跨境流动、建立数字贸易壁垒, 实施数字技术脱钩等。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文综合评估了 2016—2021 年全球数字经济与可持续发展水平, 并对其耦合关系进行深入分析, 得出 4 个主要结论。首先, 全球数字基础设施和数字经济环境不断改善, 数

字经济市场发展仍相对滞后,数字鸿沟问题突出;可持续发展目标指数缓慢提升,但距实现经济、社会、环境维度的可持续发展目标仍有较大距离。其次,数字经济与可持续发展之间相互关联的程度较高,但耦合协调水平距实现优质协调仍有很大距离;大部分国家和地区的数字经济发展水平滞后于可持续发展水平。第三,数字经济和可持续发展系统中各要素的交互作用推动了系统协同发展,无贫穷和数字基础设施交互后的影响最为显著。最后,数字经济和可持续发展的耦合演化受到数据、数字技术、自然资源、政府、市场等多种内、外部作用力的交织影响。

5.2 讨论

传统经济发展模式带来了巨大的环境问题和社会贫富差距,通过梳理数字经济和可持续发展耦合系统的演化过程、交互关系和耦合动力机制,本文提出以下建议,以推动数字经济发展,并助力 2030 年可持续发展议程的实现。首先,要缓解数字经济发展滞后问题。全球存在显著的数字鸿沟,且大部分国家和地区的数字经济发展相对滞后于可持续发展。在拥有相对完善数字基础设施和数字经济环境的地区,可以进一步推动数字经济市场繁荣;然而,在撒哈拉以南非洲、南亚等地区,应着重完善数字基础设施、普及数字技术,以确保这些落后地区不会被数字鸿沟边缘化。其次,激发数字经济为可持续发展赋能。整体上,数字经济与可持续发展社会维度的耦合协调水平不及经济、环境维度,未来可以提供广泛的数字素养培训,加强数字治理,以促进数字社会包容性;同时,进一步落实数字技术在生态环境保护治理中的应用,将环境可持续发展要求纳入数字经济的发展指向中。第三,数字经济和经济、社会、环境可持续发展之间是相互影响、彼此关联的。在政策制定时,国际组织和各国政府应特别关注减贫措施,以及完善落后地区的数字基础设施。最后,本文对耦合动力机制进行了定性分析,随着研究数据的丰富,未来可以进一步量化各种作用力的影响程度,并深入探讨它们之间的相互作用,以更清晰地揭示耦合动力机制的复杂性和具体作用路径。

参考文献(References):

- [1] 申玉铭. 论人地关系的演变与人地系统优化研究 [J]. 人文地理, 1998, 13(4): 34-38. [Shen Yuming. A study on the evolution of Man-Earth relationship and optimization of Man-Earth system. Human Geography, 1998, 13(4): 34-38.]
- [2] Delgosha M S, Saheb T, Hajiheydari N. Modelling the asymmetrical relationships between digitalisation and sustainable competitiveness: A cross-country configurational analysis[J]. Information Systems Frontiers, 2021, 23: 1317-1337.
- [3] 邱泽奇, 张树沁, 刘世定, 等. 从数字鸿沟到红利差异——互联网资本的视角 [J]. 中国社会科学, 2016(10): 93-115, 203-204. [Qiu Zeqi, Zhang Shuqin, Liu Shiding et al. From the digital divide to the connectivity dividend difference: A connectivity capital perspective. Social Sciences in China, 2016(10): 93-115, 203-204.]
- [4] Imran M, Liu X, Wang R et al. The influence of digital economy and society index on sustainable development indicators: The case of European Union[J]. Sustainability, 2022, 14(18): 11130.
- [5] 杨水根, 何松涛. 数字经济对可持续发展的影响及其耦合关系——基于长江中游城市群的实证分析 [J]. 华东经济管理, 2023, 37(5): 73-84. [Yang Shuigen, He Songtao. The impact of digital economy on sustainable development and its coupling relationship: An empirical analysis based on the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River. East China Economic Management, 2023, 37(5): 73-84.]
- [6] 赵文武, 刘月, 冯强, 等. 人地系统耦合框架下的生态系统服务 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(1): 139-151. [Zhao Wenwu, Liu Yue, Feng Qiang et al. Ecosystem services for coupled human and environment systems. Progress in Geography, 2018, 37(1): 139-151.]
- [7] 甄峰, 秦萧, 席广亮. 信息时代的地理学与人文地理学创新 [J]. 地理科学, 2015, 35(1): 11-18. [Zhen Feng, Qin Xiao, Xi Guangliang. The innovation of Geography and Human Geography in the information era. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(1): 11-18.]
- [8] 陈国军, 王国恩. “盒马村”的“流空间”透视: 数字农业经济驱动下的农业农村现代化发展重构 [J]. 农业经济问题, 2023(1): 88-107. [Chen Guojun, Wang Guoen. Perspective of Hema Villages from the space of flows: A development reconstruction of modernization of agriculture and rural areas driven by digital agricultural economy. Issues in Agricultural Economy, 2023(1): 88-107.]

- [9] 杨忍. 珠三角地区典型淘宝村重构过程及其内在逻辑机制 [J]. *地理学报*, 2021, 76(12): 3076-3089. [Yang Ren. The actor-network perspective on the reconstruction process and internal mechanism of typical Taobao Villages in the Pearl River Delta region. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(12): 3076-3089.]
- [10] Liu Q, Yang L, Yang M. Digitalisation for water sustainability: Barriers to implementing circular economy in smart water management[J]. *Sustainability*, 2021, 13(21): 11868.
- [11] 匡爱平, 汪明峰, 张英浩. 数字化重塑全球-地方互动的研究进展与展望 [J]. *地理科学进展*, 2023, 42(2): 380-391. [Kuang Aiping, Wang Mingfeng, Zhang Yinghao. Research progress and prospects of digital restructuring of global-local interactions. *Progress in Geography*, 2023, 42(2): 380-391.]
- [12] 马恩朴, 蔡建明, 韩燕, 等. 人地系统远程耦合的研究进展与展望 [J]. *地理科学进展*, 2020, 39(2): 310-326. [Ma Enpu, Cai Jianming, Han Yan et al. Research progress and prospect of telecoupling of Human-Earth system. *Progress in Geography*, 2020, 39(2): 310-326.]
- [13] 沈丽珍, 甄峰, 席广亮. 解析信息社会流动空间的概念、属性与特征 [J]. *人文地理*, 2012, 27(4): 14-18. [Shen Lizhen, Zhen Feng, Xi Guangliang. Analyzing the concept, attributes and characteristics of the attributes of space of flow in the information society. *Human Geography*, 2012, 27(4): 14-18.]
- [14] 李富佳. 区际贸易隐含碳排放转移研究进展与展望 [J]. *地理科学进展*, 2018, 37(10): 1303-1313. [Li Fujia. Progress and prospects of research on transfer of carbon emission embodied in inter-regional trade. *Progress in Geography*, 2018, 37(10): 1303-1313.]
- [15] Shinkuma T, Huong N T M. The flow of E-waste material in the Asian region and a reconsideration of international trade policies on E-waste[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2009, 29(1): 25-31.
- [16] Liu J, Dou Y, Batistella M et al. Spillover systems in a telecoupled Anthropocene: Typology, methods, and governance for global sustainability[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018, 33: 58-69.
- [17] 张荣博, 钟昌标. 智慧城市试点、污染就近转移与绿色低碳发展——来自中国县域的新证据 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(4): 91-104. [Zhang Rongbo, Zhong Changbiao. Smart city pilot projects, nearby pollution transfer, and green and low-carbon development: New evidence from Chinese counties. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(4): 91-104.]
- [18] 任亚文, 杨宇, 王云, 等. 全球半导体贸易结构演化及其依赖关系 [J]. *地理学报*, 2023, 78(2): 371-385. [Ren Yawen, Yang Yu, Wang Yun et al. Evolution of the global semiconductor trade geography and its dependencies. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(2): 371-385.]
- [19] 杨晓娟, 李兴绪. 中国数字贸易投入产出表的编制思路与分析框架 [J]. *统计与决策*, 2022, 38(8): 32-37. [Yang Xiaojuan, Li Xingxu. Compilation and analytical framework of input-output table of China's digital trade. *Statistics & Decision*, 2022, 38(8): 32-37.]
- [20] 张伯超, 沈开艳. “一带一路”沿线国家和地区数字经济发展就绪度定量评估与特征分析 [J]. *上海经济研究*, 2018(1): 94-103. [Zhang Bochao, Shen Kaiyan. Quantitative evaluation and characteristics of the development readiness in digital economy for “the Belt and Road” countries. *Shanghai Journal of Economics*, 2018(1): 94-103.]
- [21] 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, 42(7): 22-32. [Zhang Shuai, Wu Zhenwei, Lu Chaoyang et al. Spatio-temporal evolution characteristics and driving factors of the integration between digital economy and real economy in China. *Economic Geography*, 2022, 42(7): 22-32.]
- [22] Milošević N, Dobrota M, Rakočević S B. Digital economy in Europe: Evaluation of countries' performances[J]. *Zbornik Radova Ekonomski Fakultet u Rijeka*, 2018, 36(2): 861-880.
- [23] 化祥雨, 金祥荣, 吕海萍, 等. 高质量发展耦合协调时空格局演化及影响因素——以浙江省县域为例 [J]. *地理科学*, 2021, 41(2): 223-231. [Hua Xiangyu, Jin Xiangrong, Lyu Haiping et al. Spatial-temporal pattern evolution and influencing factors of high-quality development coupling coordination: Case on counties of Zhejiang Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(2): 223-231.]
- [24] 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. [Wang Binyan, Tian Junfeng, Cheng Lisha et al. Spatial differentiation of digital economy and its influencing factors in China. *Scientia Geographic Sinica*, 2018, 38(6): 859-868.]
- [25] Wu X, Fu B, Wang S et al. Decoupling of SDGs followed by re-coupling as sustainable development progresses[J]. *Nature Sustainability*, 2022, 5(5): 452-459.
- [26] 王喆, 陈胤默, 张明. 测度全球数字经济发展: 基于 TIMG 指数的特征事实 [J]. *金融评论*, 2021, 13(6): 40-56, 118-119. [Wang Zhe, Chen Yinmo, Zhang Ming. Measuring the development of the global digital economy: Stylized facts based on TIMG Index. *Chinese Review of Financial Studies*, 2021, 13(6): 40-56, 118-119.]
- [27] Kostoska O, Kocarev L. A novel ICT framework for sustainable development goals[J]. *Sustainability*, 2019, 11(7): 1961.
- [28] 赵建吉, 刘岩, 朱亚坤, 等. 黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素 [J]. *资源科学*, 2020, 42(1): 159-171. [Zhao Jianji, Liu Yan, Zhu Yakun et al. Patiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and

- coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin. *Resources Science*, 2020, 42(1): 159-171.]
- [29] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望 [J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [30] 李小云, 杨宇, 刘毅. 中国人地关系的历史演变过程及影响机制 [J]. *地理研究*, 2018, 37(8): 1495-1514. [Li Xiaoyun, Yang Yu, Liu Yi. The evolution process and its mechanism of man-land relationship in China. *Geographical Research*, 2018, 37(8): 1495-1514.]
- [31] 孙克. 数字经济时代大幕开启 [J]. *世界电信*, 2017(3): 2-9. [Sun Ke. The curtain of the digital economy era opens. *World Telecommunications*, 2017(3): 2-9.]
- [32] 荆文君, 孙宝文. 数字经济促进经济高质量发展: 一个理论分析框架 [J]. *经济学家*, 2019, 2(2): 66-73. [Jing Wenjun, Sun Baowen. Digital economy promotes high-quality economic development: A theoretical analysis framework. *Economist*, 2019, 2(2): 66-73.]
- [33] 黄利秀. 人工智能对经济地理影响研究 [J]. *现代经济探讨*, 2021(10): 14-21. [Huang Lixiu. Research on the impact of artificial intelligence on economic geography. *Modern Economic Research*, 2021(10): 14-21.]
- [34] 徐星, 惠宁, 崔若冰, 等. 数字经济驱动制造业高质量发展的影响效应研究——以技术创新效率提升与技术创新地理溢出的双重视角 [J]. *经济问题探索*, 2023(2): 126-143. [Xu Xing, Hui Ning, Cui Ruobing et al. Research of the influential effect on the high-quality development of manufacturing industry driven by digital economy—From the dual perspective of the enhancement of technological innovation efficiency and the geographical spillover of technological innovation. *Inquiry into Economic Issues*, 2023(2): 126-143.]
- [35] 徐维祥, 周建平, 刘程军. 数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应 [J]. *地理研究*, 2022, 41(1): 111-129. [Xu Weixiang, Zhou Jianping, Liu Chengjun. The impact of digital economy on urban carbon emission: Based on the analysis of spatial effects. *Geographical Research*, 2022, 41(1): 111-129.]
- [36] Yang Y, Cai J. Carbon emissions and the development of digital economy: A perspective of spatial evolution[J]. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 2022, 23(1): 409-416.
- [37] Li C, Yu X, Zhao W X. An integrated approach to site selection for a big data center using PROMETHEE-MCGP methodology[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2021, 41(6): 6495-6515.
- [38] 谢富胜, 吴越, 王生升. 平台经济全球化的政治经济学分析 [J]. *中国社会科学*, 2019(12): 62-81,200. [Xie Fusheng, Wu Yue, Wang Shengsheng. A political economy analysis of the globalization of platform economics. *Social Sciences in China*, 2019(12): 62-81,200.]
- [39] Kristoffersen E, Blomsma F, Mikalef P et al. The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies[J]. *Journal of Business Research*, 2020, 120: 241-261.
- [40] 戚聿东, 刘欢欢. 数字经济下数据的生产要素属性及其市场化配置机制研究 [J]. *经济纵横*, 2020(11): 63-76,2. [Qi Yudong, Liu Huanhuan. A study on the factor property and the market-oriented allocation mechanism of data in digital economy. *Economic Review Journal*, 2020(11): 63-76,2.]

Spatial-temporal coupling between the global digital economy and sustainable development

Xu Jingya, Song Zhouying

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In the era of information, the digital economy is not only a crucial driving force for social and economic development, but also an important support in resource management and environmental preservation. Currently, an increasing number of scholars are delving into the intricate dynamics between digital economy and sustainable development. However, previous literature has overlooked a thorough examination of the theoretical logic, interactions, and coupling dynamics. Under this background, this paper first leverages the concept of metacoupling to explore the theoretical relationship for coupling the digital economy with sustainable development at various scales. It then constructs an index system for the digital economy that includes three key dimensions: digital infrastructure, digital economic environment, and digital economic market. Subsequently, the study examines the coupling coordination degree between the digital economy and sustainable development across 106 countries, using Geodetector to explore the interactive relationship among these factors. Finally, it investigates the coupling dynamics of the two from the perspective of the human-land relationship. The study reveals that: 1) The overall level of the global digital economy and sustainable development has been steadily improving, yet distinct “digital divides” and differences in sustainable development persist among regions. 2) There is a strong correlation between the digital economy and sustainable development, with the level of coupling coordination progressing from an initial stage of primary coordination to an intermediate stage. 3) The level of coupling coordination of the digital economy and sustainable development shows significant spatial clustering. Despite an increase in the number of countries achieving high-quality and good coordination, the majority still grapple with the issue of lagging digital economic development. 4) Interaction analysis shows that all factors show two-way enhancement. Among them, SDG1 (No Poverty) and digital infrastructure play the most critical roles in the coupling coordination. 5) Internal and external coupling dynamics are intertwined and jointly drive the coupling evolution, including internal data productivity, digital technology transformation and destruction, and natural resource support, as well as external market pulling and imbalance forces, and government regulatory and hindering forces.

Key words: digital economy; sustainable development; coupling coordination degree; Geodetector; coupling dynamics