

数字经济赋能人与自然和谐共生的现代化*

——基于城市层面经济与环境协调视角

黄 珊¹，蒋金荷^{1,2}，李均超¹

(1. 中国社会科学院大学应用经济学院，北京 102488；
2. 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所，北京 100732)

摘 要：发展数字经济、推进人与自然和谐共生的现代化是实现高质量发展的重要举措。基于城市层面数字经济发展水平的测算结果，结合地理遥感数据，采用耦合协调度模型、Dagum 基尼系数以及双向固定效应模型等，本文探究了 2010—2021 年数字经济对经济发展与环境保护协调水平的影响效应及内在机制。研究发现：(1) 全国及八大综合经济区的经济与环境耦合协调度均表现为整体上升态势。(2) 数字经济能够显著推动城市经济与环境耦合协调发展，并经过 Bartik IV、广义随机森林模型等一系列稳健性检验后依然成立。(3) 数字经济的赋能效应可以通过刺激绿色产业发展、提高绿色全要素生产率以及助力绿色金融发展等机制实现。(4) 在区位禀赋较弱、资源错配程度较高以及金融贷款规模较低的地区，该赋能效应更为突出。对此，应因势利导充分发挥数字经济的赋能作用，加快推进发展方式绿色转型，以高品质生态环境支撑高质量发展。

关键词：数字经济；人与自然和谐共生的现代化；耦合协调

中图分类号：F124;F062.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1006-2912(2025)03-0086-20

一、引 言

新发展阶段下，加快推进人与自然和谐共生的现代化，以高品质生态环境支撑高质量发展，是中国全面建设社会主义现代化的重要任务。长期以来，中国以大量资源投入的粗放型发展方式为主，虽取得显著成效，在一定程度上有效减轻了人民日益增长的物质文化需要与落后社会生产力之间的矛盾，但也带来了严峻的环境问题，引致新时代下人民日益增长的美好生活需要与优美生态环境供给不足之间的矛盾日益凸显（严成樑等，2024）^[1]。基于此，党的二十大报告强调，未来应“加快发展方式绿色转型，推动形成绿色低碳的生产方式和生活方式”。在党的二十大报告精神引领下，如何加快构建经济发展与生态保护互为支撑、相互协调的可持续发展格局，成为中国亟待解决的重大理论与实践议题。数字经济的出现为解决上述问题提供了新思路。凭借高创新性、

作者简介：黄珊，中国社会科学院大学应用经济学院博士研究生，研究方向：数字经济与绿色转型；蒋金荷（通讯作者），中国社会科学院数量经济与技术经济研究所研究员，中国社会科学院大学应用经济学院教授、博士生导师，研究方向：绿色经济、全球气候治理；李均超，中国社会科学院大学应用经济学院博士研究生，研究方向：数字经济。

* **基金项目：**国家社会科学基金重大项目“统筹推进碳达峰碳中和与扩大内需战略研究”（24VRC030），项目负责人：张友国。

强渗透互补性、广覆盖性、无限复制共享等特性，数字经济不仅能够引发生产范式改进和产业联动效应（Heo & Lee, 2019）^[2]，激活经济新动能，还有利于转变发展方式，优化资源要素配置效率，减少对环境资源的依赖、消耗和污染（余典范等，2023）^[3]。有鉴于此，本文结合宏观数据与地理遥感数据，试图从城市层面考察数字经济能否有效促进经济发展与环境保护的协同，并进一步探讨其作用机制，以期为有效发挥数字经济效能、实现人与自然和谐共生的现代化提供经验证据和政策参考。

纵观已有文献，一方面，学界已从多角度分析了经济发展与环境保护之间的协调关系。从全国层面来看，2008—2018年30个省（区、市）生态可持续性与经济高质量发展耦合协调度呈上升的态势，且已步入基本协调水平（魏振香和史相国，2021）^[4]。从城市群来看，西北地区、长江经济带、珠江三角洲、京津冀地区、黄河流域的经济发展与生态环境保护耦合协调度均表现出稳步上升的态势，但仍有较大的提升空间（程广斌等，2018；李建新等，2020；张国俊等，2020；徐军委，2023；郝智娟等，2023）^[5-9]。另一方面，多数学者已从人力资本投资与外商直接投资（隋建利和陈豪，2021）^[10]、绿色金融发展（武英涛等，2024）^[11]、物流业发展（王军和宋纪薇，2023）^[12]、环境规制（张鑫等，2022）^[13]、创新水平（王培鑫和吕长江，2023）^[14]等方面，探究了经济与环境保护协调发展的驱动因素。

近几年，随着国家对数字经济的重视程度愈加突出，关于数字经济的影响效应研究屡见不鲜，所涉范围也极为丰富，涵盖收入差距（洪俊杰等，2024）^[15]、区域经济协调（田瑶和郭立宏，2024）^[16]、企业高质量发展（黄勃等，2023）^[17]、企业出口表现（蔡宏波和韩金镛，2024）^[18]、碳排放（邓若冰和吴福象，2024）^[19]、新型城镇化（李琳等，2024）^[20]等方面。部分学者围绕数字经济如何影响经济与环境协调发展也进行了初步探讨，典型如江永红等（2023）^[21]运用省级面板数据测算发现，数字化能够有效促进经济增长与生态环境协调发展；张彦彦和胡善成（2023）^[22]指出数字普惠金融及其分指数均可以显著推动经济发展与生态环境保护的协同。

以上文献为本文展开深入分析提供了丰富而深刻的见解，但仍存在可改进之处，第一，当前关于数字经济的衡量方式主要存在两种思路，一种是从国民经济核算的视角出发，对数字经济相关产业进行估算（Barefoot et al., 2018；许宪春和张美慧，2020；陈梦根和张鑫，2022）^[23-25]，另一种是构建数字经济指标体系，这种思路在城市层面的研究中使用较为广泛（赵涛等，2020）^[26]。然而，数字经济近几年辐射范围之广、渗透速度之快，前所未有。当下地级市层面数字经济的研究中所采用的指标与覆盖范围相对受限，难以更全面刻画地级市数字经济特征及发展水平。第二，已有文献中关于环境保护的刻画多从“三废”排放、市政建设、污染物处理率等环境治理指标出发，难以客观反映出该地区植被覆盖、水网密度、物种多样性等生态质量情况。城市层面环境类指标的不足，导致经济与环境协调关系的测算多聚焦于省级或城市群层面，相关研究难以细化到全国地级市层面。第三，作为稳增长、促绿色的重要引擎，目前对于数字经济如何作用于经济发展与环境保护相协调这一方面的研究是颇为不足的。具体体现为城市层面上对二者关系的探究相对较少，二者内在作用机制的分析也较为不足。

与已有研究相比，本文可能的边际贡献在于，第一，本文在数字经济“四化”内涵基础上进行拓展，从数字基础设施建设、数字产业化、产业数字化、数字创新创业、数字治理五个维度综合刻画了城市数字经济发展水平，相较以往研究更具全面性；第二，选用颗粒度更高的地理遥感数据——夜间灯光强度以及生态环境质量指数，测算了城市经济发展与生态环境协调程度，突破了以往仅限于省份或城市群层面的研究框架，且指标相较于传统衡量方式更具有客观性；第三，本文探讨了城市数字经济发展对经济与环境耦合协调发展的影响效应，并从刺激绿色产业发展、提高绿色全要素生产率以及助力绿色金融发展等路径对数字经济赋能效应的作用机理进行深刻剖析，既丰富了已有文献，又为数字经济赋能人与自然和谐共生的中国式现代化提供了实证支撑。

二、理论分析与假说提出

数字经济已成为推动经济发展方式由要素投入型转向绿色、循环、效率增进型的“加速器”。首先，数据要素作为一种新型生产要素，拓宽了生产可能性边界，优化了社会生产力的结构与布局（钟成林和胡雪萍，2024）^[27]，缓解了中国当前要素投入型经济增长空间有限的难题（杨汝岱等，2023）^[28]，强化了经济增长的内生动力。而数据要素的投入在一定程度上也可替代传统生产要素，促进自然物料投入轻量化与利用效率提高（陈伟雄等，2023）^[29]，以更低的生态成本实现更大的价值创造。其次，大数据技术的广泛应用有助于市场主体进行最优生产经营、消费决策，协助政府提高政策制定的科学性和实施效率（刘治彦和王谦，2024）^[30]，促进经济价值的增值（刘成杰等，2023）^[31]。同时，数字经济也为全国统一大市场的建设提供了有力抓手，显著放大了要素资源在各部门之间的流通效率和优化配置能力（江小涓和靳景，2022）^[32]，在中国庞大的市场体量下，可大规模降低无效生产带来的资源浪费与污染排放。最后，数字经济与实体经济的深度融合有利于驱动产业全方位全链条向高端化、智能化、绿色化、融合化改造升级，赋能环境污染治理、监测预警、生物多样性保护以及生态产品价值实现（Martin et al., 2018）^[33]。此外，数字经济带来的共享单车、在线支付、新零售、居家办公等生活方式的革命性变化，也为塑造绿色低碳消费模式提供了契机（韩晶和蓝庆新，2022）^[34]，大幅减少了消费端的碳足迹与生态占用，并正向反馈推动供给侧绿色低碳转型。

基于此，本文提出假说1：数字经济有助于实现经济与环境的耦合协调发展。

数字经济能够刺激绿色产业发展，进而有利于经济与环境耦合协调发展。从供给侧看，数字经济的网络外部性、高效性、便捷性、链接性等特性便于知识、经验、技术实现快速积累与消化吸收，无疑在很大程度上为清洁生产技术、新能源开发、新材料创造、污染治理技术等绿色产业技术的诞生和应用提供了强大助力（张彧，2024）^[35]，创造了良好的绿色产业发展外部条件。从需求侧看，数字经济赋能产业结构升级、全产业链整合协同、智慧城市建设、新业态新模式的创造等，背后均离不开数据中心、海量算力等大规模数字基建。这意味着需要大量电力消耗进而引致直接与间接碳排放、环境污染甚至不可再生能源使用增加（张义和黄寰，2023）^[36]，在中国高碳、高耗能行业仍占比较大的现实条件下，迫切需要先进绿色设备、绿色材料、绿色能源、绿色技术交易等多领域的绿色产业发展提供辅助支持。在应对气候变化日益成为全球各国关注焦点的大背景下，绿色产业的培育与发展能够从根源上解决环境问题（周正柱和张明，2023）^[37]，提高在国内国际两个大局中的绿色核心竞争力，稳步助力中国“双碳”目标的实现，有利于构建经济发展与生态环境互为支撑、相互促进的协同发展格局（李晓萍等，2019）^[38]。

数字经济能够提高绿色全要素生产率，进而赋能经济与环境耦合协调发展。从企业自身来看，数字技术的广泛渗透不仅可以实现从原材料采购、生产加工、产品包装、销售与售后服务、库存与仓储管理等各个环节的有机衔接，避免人力、物力等资源的无端浪费，还能够帮助企业建立循环、低碳的清洁生产体系，实时监测并及时管控污染排放降低生产负外部性，以达到日益严苛的环境规制要求，进而提高绿色全要素生产率（何凌云和祁晓凤，2022）^[39]。从要素配置来看，数字经济有利于发挥市场“无形的手”的作用，优化要素资源在企业之间的配置，淘汰落后产能和改变市场结构（Bessen, 2020）^[40]，倒逼企业通过产品、技术、服务创新等方式加快绿色转型步伐（Ritter & Pedersen, 2023）^[41]，有利于绿色全要素生产率的提高，赢得经济效益的“里子”与环境社会责任的“面子”（解学梅和朱琪玮，2021）^[42]。绿色全要素生产率的提高意味着以更少的劳动、资本、能源等要素投入，更低的环境代价，获得更高的经济产出，更加注重经济与生态的协调发展（李诚浩和任保平，2023）^[43]。

数字经济能够助力绿色金融发展，为经济与环境的耦合协调发展提供资金保障。在现代化大数据技术迅速发展的背景下，数字与金融的结合能够在短时间内完成海量个体数据信息的收集、

清洗、计算、匹配，将原本杂乱无序甚至隐性的企业数据转化为动态关联的显性数据，对绿色融资企业进行精准画像（方锦程等，2023）^[44]，并能够及时识别企业违约、“染绿”、“漂绿”、口号环保等不规范行为，在一定程度上起到破除绿色金融供需双方信息壁垒的作用，最终实现绿色资金有效供给。数字经济的普惠性也可以吸引和整合闲散、优质的绿色金融资源，并促使更多金融知识匮乏、难以接触到绿色金融的群体获得投融资机会，提高绿色金融资源配给的均衡性（陈华和沈悦，2022）^[45]。然而全产业链绿色转型、绿色技术研发、绿色基础设施布局等绿色项目的推进，具有投资周期长、不确定性风险高、公益性强、财务回报较低等特点，传统融资方式往往难以获得投资者的青睐，而绿色金融与发展绿色、高效、可持续经济直接挂钩（张振华等，2024）^[46]，极大缓解了绿色项目融资约束，为经济与环境的耦合协调发展提供多元化的资金保障（王修华等，2021）^[47]。

综上，本文提出假说2：数字经济可能通过刺激绿色产业发展、提高绿色全要素生产率以及助力绿色金融发展推动经济与环境的耦合协调发展。

三、研究设计

（一）模型构建

1. 耦合协调度模型。本文采用耦合协调度模型测算经济与环境的协调发展程度：

$$C_{it} = 2 \times \frac{\sqrt{U_{it} \times W_{it}}}{(U_{it} + W_{it})} \quad (1)$$

$$T_{it} = \alpha U_{it} + \beta W_{it} \quad (2)$$

$$y_{it} = \sqrt{C_{it} \times T_{it}} \quad (3)$$

其中， C_{it} 为城市 i 在 t 年份的经济-环境耦合度， U_{it} 为城市 i 在 t 年份的经济发展水平， W_{it} 为城市 i 在 t 年份的生态环境保护水平。 T_{it} 为综合发展指数，本研究将经济发展与生态环境保护视为具有同等重要地位，因此， α 和 β 均设定为 0.5。 y_{it} 为城市 i 在 t 年份的经济-环境耦合协调度。

2. Dagum 基尼系数及其分解。本文借鉴 Dagum(1997)^[48] 提出的 Dagum 基尼系数，将研究样本的经济-环境耦合协调度差异分解为组内差异、组间净差异以及组间超变密度，揭示其差异性来源，组间基尼系数具体计算方法如下：

$$G_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^{n_i} \sum_{b=1}^{n_j} |y_{ia} - y_{jb}|}{n_i n_j (\bar{y}_i + \bar{y}_j)} \quad (4)$$

其中， i 、 j 分别代表两个区域， n_i 、 n_j 为相应区域内拥有的城市数目， y_{ia} 为 i 区域城市 a 的经济-环境耦合协调度， y_{jb} 同理。 \bar{y}_i 、 \bar{y}_j 分别为区域 i 和区域 j 的所有城市经济-环境耦合协调度的均值。根据公式可以看出，若 $i=j$ ，则计算的是区域 i 的组内基尼系数 G_{ii} ；若将研究的所有样本城市视为一个区域，则可以获得总体 Dagum 基尼系数 G_0 。

$$G_w = \sum_{i=1}^k G_{ii} \rho_i s_i \quad (5)$$

$$G_{nb} = \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} G_{ij} (\rho_i s_j + \rho_j s_i) D_{ij} \quad (6)$$

$$G_t = \sum_{i=2}^k \sum_{j=1}^{i-1} G_{ij} (\rho_i s_j + \rho_j s_i) (1 - D_{ij}) \quad (7)$$

$$G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (8)$$

$$D_{ij} = \frac{d_{ij} - \theta_{ij}}{d_{ij} + \theta_{ij}} \quad (9)$$

$$d_{ij} = \int_0^\infty dF_i(y) \int_0^y (y - m) dF_j(m) \quad (10)$$

$$\theta_{ij} = \int_0^{\infty} dF_j(y) \int_0^y (y - m) dF_i(m) \quad (11)$$

其中, G_w 为区域内差异的贡献, G_{nb} 为区域间差异的净贡献, G_t 为区域间超变密度的贡献。 k 为区域总个数, ρ_i 、 ρ_j 分别为区域 i 和区域 j 拥有的城市数占样本总城市数的比重, $s_i = \rho_i \bar{y}_i / \bar{y}$, s_j 同理, D_{ij} 为区域 i 和区域 j 之间相对影响程度。

3. 回归模型。为考察数字经济对经济与环境协调发展的影响, 本文构建模型如下:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Digital_{it} + \psi X_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

其中, y_{it} 为城市 i 在 t 年份的经济-环境耦合协调度, $Digital_{it}$ 为数字经济发展水平, X_{it} 为一系列的控制变量, μ_i 、 δ_t 分别为城市固定效应与年份固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。

(二) 变量说明

1. 核心被解释变量。近几年, 夜间灯光数据凭借数据颗粒度高、空间可比性强、准确性较高等优势, 被广泛作为客观指标应用于衡量地方经济发展状况 (张丹丹和沈菊琴, 2022)^[49], 因此, 本文选用美国国家海洋与大气管理局 (NOAA) 提供的全球夜间灯光数据, 取对应城市栅格的均值衡量城市经济发展水平。关于各地级市的生态环境状况, 本文选用国家地球系统科学数据中心提供的中国高分辨率生态环境质量数据集 (CHEQ)^①, 取对应城市栅格的均值衡量城市生态环境保护水平。该数据集与中国生态环境部提供的环境指数高度一致, 可以有效反映区域内生态破坏、植被覆盖、生物丰度、土地胁迫、水网密度以及污染物负荷等情况, 能够对区域内的生态环境质量提供客观表征 (Xu et al., 2021)^[50]。结合耦合协调度模型计算获得中国城市层面的经济-环境耦合协调度 (GE)。

2. 核心解释变量。本文结合中国国家统计局《数字经济及其核心产业统计分类 (2021)》、中国信息通信研究院《全球数字经济白皮书 (2023 年)》关于数字经济内涵的阐释, 并借鉴赵涛等 (2020)^[26] 的经验做法, 从数字基础设施建设、数字产业化、产业数字化、数字创新创业、数字治理五个维度对城市数字经济发展水平进行测算。其中, 数字基础设施建设主要体现数字基础设施建设配置情况, 采用移动电话普及率、互联网普及率等指标进行衡量; 数字产业化主要凸显数字信息产业的发展情况, 采用工业互联网企业数、5G 企业数、人工智能企业数等指标进行衡量; 产业数字化主要囊括传统产业的数字化转型情况, 采用电子商务企业数、新零售企业数、数字农业企业数、数字普惠金融指数等指标进行衡量; 数字创新创业主要表征数字技术创新水平与数字企业创业活跃度, 采用数字经济专利申请数、上市公司数字经济专利被引次数、数字软著发表数、每年新成立的数字企业数等指标进行衡量; 数字治理主要表征公共服务数字化情况, 采用是否为信息惠民试点、是否为电子政务试点、是否为公共数据开放试点等指标进行衡量。

本文利用主客观结合赋权法将数字基础设施建设、数字产业化、产业数字化、数字创新创业、数字治理合成各城市数字经济发展综合指数 ($Digital$), 其中, 对数字基础设施建设、数字产业化、产业数字化、数字创新创业四个分维度分别采用熵值法合成成分指数; 由于数字治理涵盖的三个指标均为 0 或 1 变量, 本文各赋权为 1/3, 合成数字治理分指数; 此外, 本文认为五个维度都同等重要, 因此对五个维度分别赋同等权重 0.2, 最终获得数字经济发展综合指数。指标体系见表 1。

表 1 中国城市数字经济发展水平指标评价体系

	指标	权重
数字基础设施建设	移动电话普及率 (%)	0.410
	互联网普及率 (%)	0.590

① 数据来源: 国家地球系统科学数据中心. <http://www.geodata.cn>.

续表 1

	指标	权重
数字产业化	工业互联网企业数 (个)	0.269
	5G 企业数 (个)	0.275
	人工智能企业数 (个)	0.456
产业数字化	电子商务企业数 (个)	0.286
	新零售企业数 (个)	0.353
	数字农业企业数 (个)	0.288
	数字普惠金融指数	0.073
数字创新创业	数字经济专利申请数 (件)	0.263
	上市公司数字经济专利被引次数 (次)	0.255
	数字软著发表数 (件)	0.315
	每年新成立的数字企业数 (个)	0.166
数字治理	是否为信息惠民试点	0.333
	是否为电子政务试点	0.333
	是否为公共数据开放试点	0.333

3. 控制变量。为了排除区域自身因素的可能影响, 本文结合相关研究对重要变量进行控制, 控制变量包括: 人口密度 (*Population*), 采用单位面积人口数的自然对数表征; 开放水平 (*Trade*), 采用地区进出口总额的自然对数表征; 创新水平 (*Innovation*), 采用发明专利申请数加一的自然对数表征; 产业结构 (*Industrial-str*), 采用三次产业加权平均值表征; 科技支出 (*Tech-expenditure*), 采用地方政府科技支出占 GDP 比重表征; 人力资本 (*Talents*), 采用每万人在校大学生数加一的自然对数表征。

(三) 数据来源

本文采用 2010—2021 年共 283 个地级及以上城市的面板数据作为研究样本, 除夜间灯光数据和生态环境质量数据外, 信息惠民试点数据根据国家发展改革委等有关部门发布的《关于同意深圳市等 80 个城市建设信息惠民国家试点城市的通知 (发改高技 [2014] 1274 号)》整理获得, 电子政务试点数据根据中央网信办等有关部门发布的《关于开展国家电子政务综合试点的通知》整理获得, 公共数据开放试点数据参考国家信息中心和复旦大学 DMG 数字与移动治理实验室发布的《中国地方政府数据开放报告 (城市)》的相关数据整理获得。数字普惠金融指数来源于北京大学发布的数字普惠金融指数。每年新成立的数字企业数, 按照国家统计局发布的《数字经济及其核心产业统计分类 (2021)》数字经济核心产业分类, 基于天眼查企业工商注册信息搜索获取。其余数字经济发展指标主要来源于企研社科大数据库、CNRDS 数据库。其他城市层面的数据均来自《中国城市统计年鉴》。缺失数据参考各城市统计年鉴、公报或插值法补齐。此外, 为统一量纲、消除异方差影响, 在不改变数据整体趋势的情况下部分指标进行了加一取自然对数处理。变量的描述性统计见表 2。

表 2 描述性统计

变量名称	变量符号	观测值数	均值	标准差	最小值	最大值
经济-环境耦合协调度	<i>CE</i>	3396	0.450	0.126	0.000	0.820
数字经济发展综合指数	<i>Digital</i>	3396	0.069	0.074	0.011	0.752
人口密度	<i>Population</i>	3396	5.727	0.937	1.619	8.058

续表 2

变量名称	变量符号	观测值数	均值	标准差	最小值	最大值
开放水平	<i>Trade</i>	3396	13.969	2.110	3.210	19.822
创新水平	<i>Innovation</i>	3396	6.348	1.767	1.386	11.945
产业结构	<i>Industrial-str</i>	3396	2.298	0.193	1.831	9.684
科技支出	<i>Tech-expenditure</i>	3396	0.003	0.003	0.000	0.063
人力资本	<i>Talents</i>	3396	4.680	1.103	0.000	7.244

四、经济-环境耦合协调度的时空特征分析

(一) 整体分析

为了全面掌握经济-环境耦合协调度的发展形势，本文按照国务院发展研究中心划分标准，将 283 个样本城市分为东北地区、北部沿海、东部沿海、南部沿海、黄河中游、长江中游、大西南、大西北八大综合经济区。

图 1 是 2010—2021 年中国经济-环境耦合协调度变化情况。从变化趋势来看，全国及各综合经济区的经济-环境耦合协调度均呈现整体上升态势，表明中国经济发展与环境保护协调共进能力逐渐提高。具体到年均增长率，全国年均增长率为 1.65%，大西南最大，达到了 2.16%，其后依次为长江中游（2.13%）、南部沿海（2.07%）、大西北（1.7%）、东部沿海（1.42%）、北部沿海（1.39%）、黄河中游（1.34%）、东北地区（0.68%），可见超过全国平均增速的有大西南、长江中游、南部沿海以及大西北。

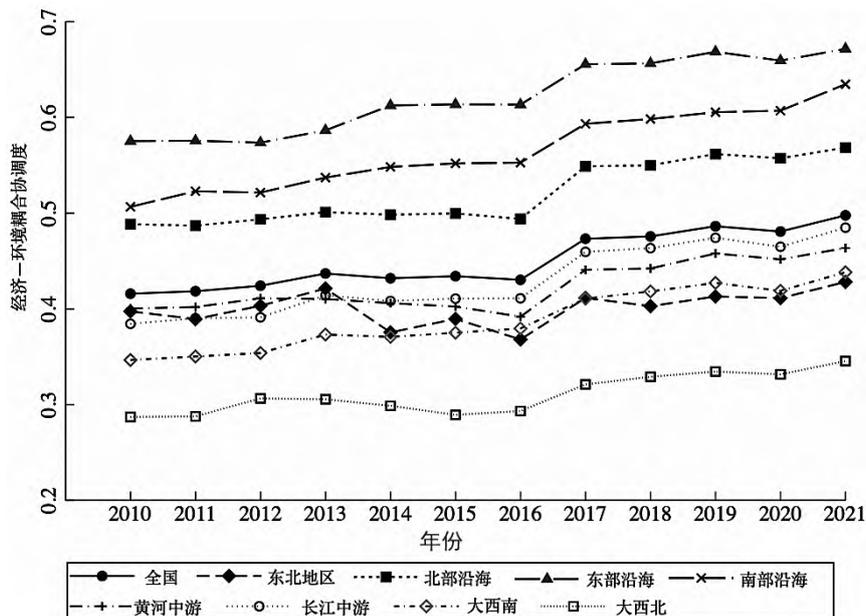


图 1 2010—2021 年中国经济-环境耦合协调度变化趋势

从具体数值来看，本文结合徐军委（2023）^[8]、郝智娟等（2023）^[9]的研究成果，考虑到极端值较少，将耦合协调的类型按递进式分布函数划分为 $GE < 0.3$ 为重度失调、 $0.3 \leq GE < 0.4$ 为中度失调、 $0.4 \leq GE < 0.5$ 为轻度失调、 $0.5 \leq GE < 0.6$ 为初级协调、 $0.6 \leq GE < 0.7$ 为中级协调、 $GE \geq 0.7$ 为良好协调，共计 6 个标准。全国总体水平位于 0.4—0.5 之间，处于轻度失调状态，在 2021 年为 0.498，接近于 0.5 的失调与协调的临界水平，有望在不久的将来迈入协调行列。八大综合经济区中有三个已经进入经济与环境协调发展的行列，其中东部沿海的经济-环境耦合协调度在样本期内一直保持遥遥领先，东部沿海和南部沿海由 2010 年的初级协调提升至 2021 年的中级协调，

而北部沿海从最初的轻度失调逐渐转变为初级协调。黄河中游、长江中游、大西南、东北地区从中度失调提高至轻度失调。大西北的经济-环境耦合协调度一直位于八大综合经济区的最低水平，但是也在不断地进步，由样本期初的重度失调攀升至中度失调，说明中国各个地区均在努力实现经济与环境耦合协调发展。

(二) 经济-环境耦合协调度的空间差异分析

1. 总体差异及区域内差异分析。本文使用 Dagum 基尼系数测算了全国以及八大综合经济区 2010—2021 年的经济-环境耦合协调度的组内差异。结果见表 3。

从全国结果来看，中国经济-环境耦合协调度的总体基尼系数整体上呈现出波动趋势，从 2010 年的 0.153 先下降至 2013 年最低点 0.139，然后又涨至 2016 年最高点 0.167，后又逐步回落至 2021 年的 0.143，样本期内均值为 0.153，相较分地区的结果处于较高水平，说明中国城市经济-环境耦合协调度之间存在较为明显的不平衡现象。

具体到八大综合经济区来看，其一，除大西北以外，各综合经济区域内的基尼系数逐年均小于等于全国水平，说明各综合经济区内部的不平衡程度相对较小，样本城市的整体差异主要来自于区域间差异。其二，各综合经济区内的基尼系数在考察期内的演变走向与全国总体变动趋势类似，均整体上呈现出先下降后上升再下降的波动趋势。其三，各综合经济区内的基尼系数表现出相对明显的差异化，大西北的均值位于所有综合经济区之首，为 0.167，其后依次为黄河中游 (0.144)、南部沿海 (0.121)、东北地区 (0.113)、长江中游与大西南并列 (0.103)、东部沿海 (0.071)、北部沿海 (0.067)。这可能是因为，大西北综合经济区虽只涵盖甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区、西藏自治区五个省 (区)，但是其占全国陆地总面积的 43% 左右，在气候、地理区位、资源分布、基础设施建设、政策导向等方面具有显著的不同，导致了区域内各城市在生态环境、产业结构、科技基础、经济水平等形成较大的差异性。因此，可能造成大西北经济-环境耦合协调度的差异程度相对突出。

表 3 八大综合经济区经济-环境耦合协调度区域内差异

年份	全国	东北地区	北部沿海	东部沿海	南部沿海	黄河中游	长江中游	大西南	大西北
2010	0.153	0.097	0.068	0.079	0.133	0.137	0.106	0.108	0.174
2011	0.152	0.094	0.067	0.076	0.130	0.138	0.106	0.106	0.167
2012	0.145	0.096	0.064	0.070	0.124	0.126	0.103	0.101	0.157
2013	0.139	0.087	0.063	0.073	0.120	0.126	0.092	0.094	0.148
2014	0.166	0.134	0.076	0.081	0.135	0.151	0.115	0.114	0.195
2015	0.162	0.128	0.077	0.080	0.136	0.154	0.115	0.113	0.162
2016	0.167	0.133	0.079	0.082	0.136	0.154	0.112	0.117	0.198
2017	0.155	0.118	0.065	0.063	0.115	0.154	0.100	0.104	0.172
2018	0.155	0.127	0.065	0.067	0.113	0.151	0.100	0.101	0.172
2019	0.152	0.122	0.061	0.057	0.111	0.152	0.099	0.102	0.164
2020	0.149	0.115	0.059	0.061	0.106	0.142	0.096	0.093	0.154
2021	0.143	0.110	0.058	0.057	0.092	0.140	0.093	0.088	0.145
平均水平	0.153	0.113	0.067	0.071	0.121	0.144	0.103	0.103	0.167

2. 区域间差异分析。本文利用组间基尼系数测算了国家八大综合经济区经济-环境耦合协调度区域间差异的变化情况，并分别选取了 2010 年、2012 年、2015 年、2018 年以及 2021 年 6 个典型年份展示区域间差异的整体变化趋势。结果见图 2。从整体变化趋势来看，图中的阴影面积呈现出波动特征，在 2015 年左右阴影面积达到最大，即各区域之间的经济-环境耦合协调度分化较为严重，然后到 2021 年逐渐收缩，区域之间的不平衡程度减弱，说明随着中国对发展方式绿色转型

意识的不断提升，结合近几年新能源等绿色技术的突破式成长、产业结构的升级迭代、数字经济的迅猛发展态势，各地区在经济高质量与环境高保护之间齐头并进，但是一些地区也不可避免囿于历史发展基础和条件导致进展相对缓慢。具体到各区域之间差异大小来看，东部沿海、南部沿海分别与大西北地区之间的差异性最为显著，年均值分别达到了 0.210、0.205。沿海地区的差异性最小，北部沿海与东部沿海、北部沿海与南部沿海、东部沿海与南部沿海之间的差异年均值分别为 0.087、0.103、0.103。

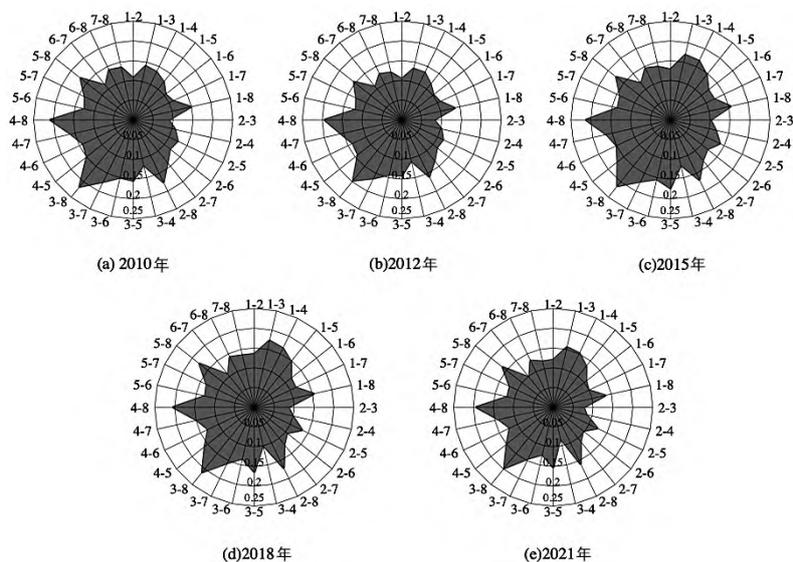


图 2 国家八大综合经济区经济-环境耦合协调度区域间差异的变化情况

注：图中 1 代表东北地区，2 代表北部沿海，3 代表东部沿海，4 代表南部沿海，5 代表黄河中游，6 代表长江中游，7 代表大西南，8 代表大西北，1-2 代表东北地区与北部沿海经济-环境耦合协调度的区域间差异，其他含义一致。

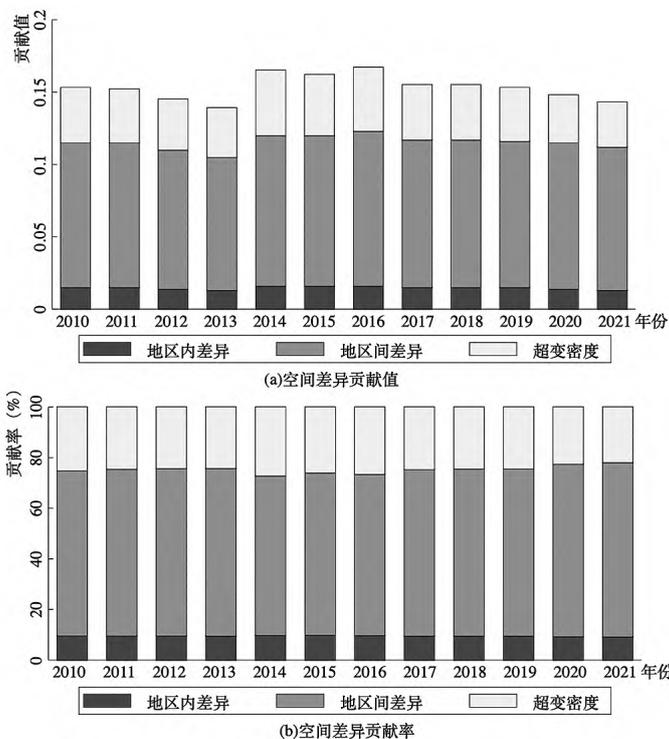


图 3 经济-环境耦合协调度的空间差异及其来源

3. 总体差异分解及贡献率。图3展示了样本期内经济-环境耦合协调度的地区内差异、地区间差异以及超变密度。可以看出,经济-环境耦合协调度的总体差异主要来源于地区间差异,地区间差异的基尼系数年均值为0.101,相应的平均贡献率为65.83%,贡献率随着时间整体上呈现出递增的变动趋势,从2010年的65.26%增长至2021年的68.94%。超变密度次之,样本期内绝对年均值为0.038,相对贡献率年均值为24.61%,整体上呈现为递减趋势,从2010年的25.1%降低至2021年的21.87%,相当于地区间差异的三分之一左右,这意味着,八大综合经济区内经济-环境耦合协调度交叉重叠部分占比较小,本文选用八大综合经济区划分样本显示出较强的合理性。地区内差异最小,年均值仅为0.015,贡献率在9.56%左右。

(三) 中国数字经济与经济-环境耦合协调度的典型事实分析

基于上述理论分析,本文预期数字经济会对经济与环境协调发展产生积极影响,因此,在深入辨析经济-环境耦合协调度时空演变特征的基础上,进一步探究了其与数字经济之间的时空关联。

图4汇报了2010—2021年中国经济-环境耦合协调度与数字经济指数平均变动趋势。可以看出,经济-环境耦合协调度与数字经济指数在时间维度上均呈现出上升态势,且增长趋势较为一致,二者表现为“同进同退”的潜在趋势。同时,本文将所有样本城市按照前述耦合协调度6个划分标准进行归类,然后计算出各类别的经济-环境耦合协调度与数字经济指数均值,为了更明晰表征二者的变动情况,对数字经济指数取相反数,结果见图5。可以看出,经济-环境耦合协调度高的地区,数字经济发展水平往往也较高,这意味着,数字经济的发展可能会促进地区经济发展与环境质量提升的“双赢”。

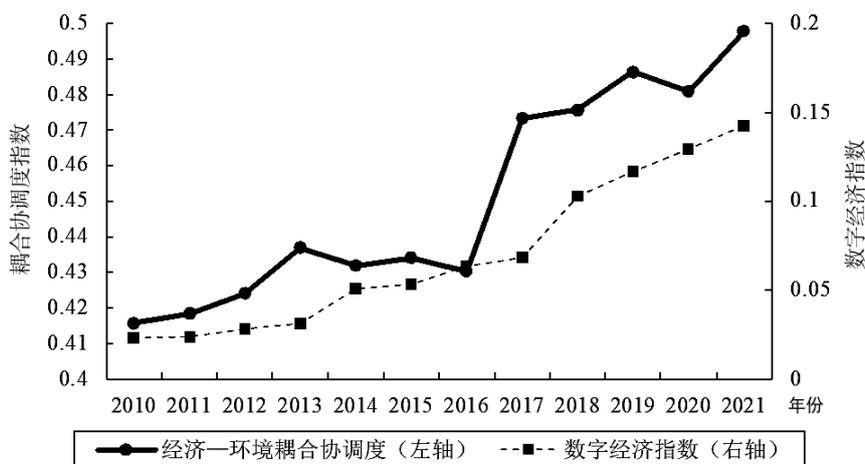


图4 时间维度下经济-环境耦合协调度与数字经济指数变动趋势

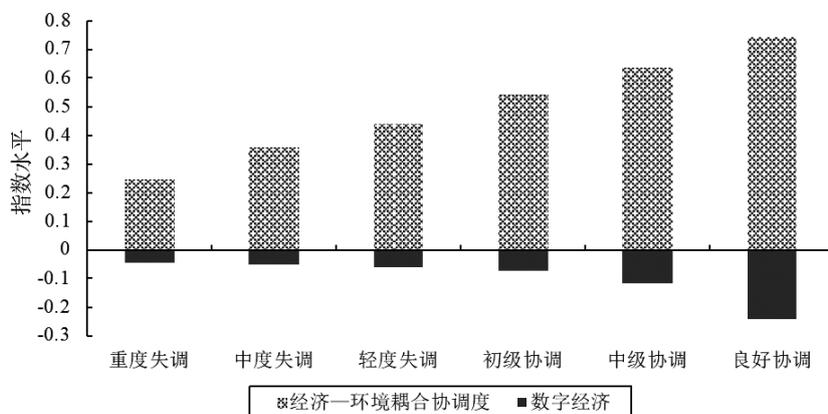


图5 空间维度下经济-环境耦合协调度与数字经济指数变动趋势

五、实证分析

(一) 基准回归分析

为了进一步探讨数字经济与经济-环境耦合协调度之间是否具有因果关系,本文采用双向固定效应面板模型展开详细分析,回归估计结果见表4。表4列(1)为只考虑年份固定效应和城市固定效应的回归结果,可以看出,数字经济发展与城市经济-环境耦合协调度的回归系数为0.092,在1%的水平上显著,表明当数字经济发展指数每提升1单位,城市的经济-环境耦合协调度会提高0.092个单位。列(2)为进一步加入人口密度、进出口贸易、创新水平、产业结构、科技支出以及人力资本水平等控制变量后的回归结果,此时数字经济发展指数的回归系数依然在1%的水平上显著,回归系数值为0.067,且各控制变量的回归系数也均显著。因此,在保证其他条件不变的前提下,数字经济能够有效提高城市的经济-环境耦合协调水平,实现经济增长与生态环境质量提升的协调发展。假设1得到验证。数字经济带来的生产方式、生活方式、治理模式的深刻变革打破了“经济发展必须以牺牲生态环境质量为代价”的谬论。

表4 基准回归估计结果

变量	GE	GE
	(1)	(2)
<i>Digital</i>	0.092*** (0.026)	0.067*** (0.022)
<i>Population</i>		0.042* (0.023)
<i>Trade</i>		0.004*** (0.002)
<i>Innovation</i>		0.007*** (0.001)
<i>Industrial-str</i>		0.007* (0.004)
<i>Tech-expenditure</i>		0.657** (0.330)
<i>Talents</i>		0.005* (0.003)
年份固定效应	是	是
城市固定效应	是	是
Obs	3396	3396
R-squared	0.693	0.712

注: *、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平上显著;()内为稳健标准误。下同。

(二) 稳健性检验

1. 内生性讨论。考虑到数字经济发展与经济-环境耦合协调之间可能存在双向因果关系,即经济与环境双系统发展越协调的地区,越具有能力前瞻性布局数字经济建设,以及可能存在的遗

漏变量、测量误差等内生性问题，导致面板固定效应模型出现估计偏误。本文采用 Bartik IV 以及机器学习算法，进一步验证基准结果的稳健性。

首先，参考易行健和周利（2018）^[51] 的研究做法，以滞后一期的数字经济指数与时间维度上的一阶差分的交乘项构造 Bartik IV，该工具变量与各对应城市的数字经济发展水平具有高度的相关性，但是对当期的经济-环境的耦合协调关系影响甚微，因此理论上 Bartik IV 是有效的。采用工具变量的两阶段最小二乘模型估计结果见表 5 列（1）-（2）。列（1）为第一阶段回归结果，回归系数在 1% 的水平上显著为正，且 KP 检验 F 统计量为 72.64，显著大于 10% 的临界值，因此拒绝“存在弱工具变量”的原假设，说明 Bartik IV 与内生变量存在显著的正相关性，且不存在弱工具变量问题。列（2）为第二阶段回归结果，可以看出，在考虑内生性的情况下，数字经济发展依然可以显著提高经济-环境耦合协调度，验证了基准回归的稳健性。

表 5 两阶段最小二乘估计结果

变量	<i>Digital</i>	<i>GE</i>
	(1)	(2)
<i>Bartik IV</i>	6.393*** (0.750)	
<i>Digital</i>		0.087*** (0.025)
控制变量	是	是
年份固定效应	是	是
城市固定效应	是	是
Obs	3113	3113
R-squared		0.693

其次，分别以“智慧城市”政策试点、“宽带中国”战略试点作为城市发展数字经济的准自然实验，采用机器学习算法进一步探讨基准回归结果的稳健性。

鉴于协变量可能随时间发生变动和分布不平衡、样本组无法满足随机抽样条件等问题，双重差分模型、倾向得分匹配法等传统因果推断模型的回归结果，可靠性难以得到保证（胡尊国等，2022）^[52]。因此，本文借鉴 Athey et al. (2019)^[53]、胡尊国等（2022）^[52] 的研究思路，选用广义随机森林模型估计政策处置效应，该模型不仅可以大幅提高政策效应评估的可靠性，其估计量还满足一致性与渐进正态性（Athey et al., 2019）^[53]。广义随机森林模型的处置效应估计形式为：

$$\hat{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i(x) [Y_i - \hat{m}^{(-i)}(X_i)] [D_i - \hat{e}^{(-i)}(X_i)]}{\sum_{i=1}^n \alpha_i(x) [D_i - \hat{e}^{(-i)}(X_i)]^2} \quad (13)$$

其中， $\hat{\tau}$ 为给定协变量 X_i 的条件下平均处置效应， $\alpha_i(x)$ 为适应性核函数， $\hat{m}^{(-i)}(X_i)$ 为包外（out-of-bag）在给定协变量 X_i 的条件下政策效果 Y_i 的预测值， $\hat{e}^{(-i)}(X_i)$ 为包外在给定协变量 X_i 的条件下个体接受处置的概率， D_i 为处置变量。

表 6 的列（1）-（2）、列（4）-（5）显示，在不考虑个体差异的前提下，基决策树的数量无论选择 1000 还是 4000，“智慧城市”“宽带中国”对城市经济-环境耦合协调度的平均处置效应均在 1% 的水平上正向显著，且分别稳定在 0.019 和 0.043 左右，表明基决策树的数量选择能够满足估计结果准确度的条件。列（3）、列（6）给出了进一步控制个体差异的估计结果，可以看出，两

个政策试点的实施仍然显著促进城市经济-环境耦合协调度的提升，且平均处置效应并未发生较大变动。此外，各列的稳健标准误差均明显小于 Bartik IV 法和基准回归，表明广义随机森林模型具有较高的估计准确度。综上分析，说明了城市数字化水平的提高有利于促进经济与生态环境的协调发展，与基准回归分析一致。

表 6 广义随机森林模型估计结果

变量	“智慧城市”政策			“宽带中国”战略		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>GE</i>	<i>GE</i>	<i>GE</i>	<i>GE</i>	<i>GE</i>	<i>GE</i>
<i>Treatment</i>	0.019*** (0.003)	0.019*** (0.003)	0.020** (0.008)	0.043*** (0.003)	0.043*** (0.003)	0.038*** (0.008)
树的数量	1000	4000	4000	1000	4000	4000
控制变量	是	是	是	是	是	是
控制个体差异	否	否	是	否	否	是
Obs	3396	3396	3396	3396	3396	3396

2. 替换核心解释变量。本文利用 R 语言获取 2010—2021 年各地级市政府工作报告中数字经济相关词汇的数量^①，通过计算数字经济相关词频占报告中总词汇的比例，作为城市数字经济发展程度的代理变量，估计结果见表 7 列 (1)。此外，本文以 2010 年为基准年份，结合 IFR 六大行业工业机器人存量数据，参考许健等 (2022)^[54] 的计算方式，测算了各年份各城市的工业机器人渗透度，作为另外一种城市数字经济发展程度的替代变量进行稳健性检验，工业机器人渗透度越高意味着城市的智能制造水平越高，数字化水平可能越高，具体的估计结果见表 7 列 (2)。可以看出，无论是选用数字经济词频占比还是城市工业机器人渗透度度量城市数字经济发展程度，回归系数均呈现出显著的正相关关系，验证了基准回归结果的稳健性。

替换核心被解释变量。本文借鉴江永红等 (2023)^[21]、谢婷婷 (2024)^[55] 关于经济发展、生态环境质量的衡量方式，根据城市层面数据的可得性，生态环境质量从生态环境状态、生态环境压力、生态环境治理三个维度构建指标体系，其中生态环境状态采用人均绿地面积、建成区绿化覆盖率衡量，生态环境压力采用工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟粉尘排放量衡量，生态环境治理采用生活垃圾无害化处理率、工业固体废物综合利用率衡量，利用熵值法合成城市生态环境质量指数，城市经济发展水平用人均地区生产总值衡量，进一步测算出二者的耦合协调度，作为核心被解释变量进行回归，估计结果见表 7 列 (3)。结果显示，回归系数在 1% 的水平上显著为正，表明基准回归结果具备可靠性和有效性。

3. 调整样本。根据数字经济发展指数与经济-环境耦合协调度两个指数的测算结果，区域间在两个指标上差距较大，具有明显的不平衡现象。为了避免极端值干扰，保证结果的稳健性，本文采用 5% 和 95% 水平的缩尾，表 7 列 (4) 汇报了估计结果。另外，考虑到直辖市以及计划单列城市可能在政策倾斜、产业基础、科研实力、人才集聚等方面具有独特的优势，导致结果估计的偏误，因此，本文将样本城市剔除掉 4 个直辖市以及 5 个计划单列城市，重新进行估计，表 7 列 (5) 给出了估计结果。可以看出，调整样本后数字经济发展仍能够显著提高城市的经济-环境耦合协调水平，说明基准结果具有稳健性。

4. 省份聚类与分位数回归。同一省份不同城市在地理区位、文化背景、公共政策等方面可能

^① 数字经济相关词汇主要有：数字经济、数字技术、智能化、智慧化、大数据、区块链、5G、物联网、工业互联网、数据服务、数据共享、数据治理、智慧城市等。

存在诸多相似之处，本文进一步计算了省份层面聚类的估计结果，见表7列(6)。在进一步考虑了省份聚类的情况下，回归系数在5%的水平下依然显著为正，不改变基准回归结论。另外，前文分析关注的是数字经济发展对经济-环境耦合协调度的平均影响以及变动趋势分析，并未验证不同水平下的经济-环境耦合度，数字经济的影响效应可能存在差异性，因此，本文采用分位数回归模型，结合马尔科夫链蒙特卡洛方法(MCMC)，抽样1000次，分别计算了25%、50%、75%三个分位数水平下数字经济的影响效应，结果见表7列(7)-(9)，可以看出，在不同分位数水平下，数字经济发展对经济-环境耦合协调度均具有显著的正向影响，说明基准结果具有稳健性。

表7 稳健性检验结果

变量	替换核心变量			调整样本		省份聚类	分位数回归		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<i>Digital</i>	2.125*** (0.583)	0.0002*** (0.0001)	0.066*** (0.025)	0.151*** (0.027)	0.100*** (0.023)	0.067** (0.032)	0.192*** (0.003)	0.239*** (0.003)	0.335*** (0.002)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Obs	3396	3384	3396	3396	3288	3396	3396	3396	3396
R-squared	0.710	0.713	0.826	0.699	0.718	0.712	-	-	-

(三) 机制分析

经过初步的理论分析，数字经济对经济-环境耦合协调度的赋能效应可能存在三条影响路径，分别为刺激绿色产业发展、提高绿色全要素生产率以及助力绿色金融发展，本部分借鉴江艇(2022)^[56]的机制检验方法，下面将逐个验证。假说2得到验证。

1. 刺激绿色产业发展。本文选用绿色产业创业活跃度、绿色产业创新活跃度反映一个区域发展绿色产业的积极性。为了克服城市规模的差异，本文以城市每万人中新创绿色产业企业数作为绿色产业创业活跃度的代理指标，以城市每百人中绿色产业专利的申请数作为绿色产业创新活跃度的代理指标，数据来源于中国公共政策和绿色发展研究数据库(CPPGD)。表8的列(1)-(2)给出了估计结果。可以发现，列(1)-(2)的回归系数均显著为正，表明数字经济的发展程度越高，城市的绿色产业创业活跃度、绿色产业创新活跃度越高。上述结果意味着，数字经济为绿色产业创新创业主体提供了便捷的数据、资金、知识、合作伙伴等资源获取渠道，催生的新业态、新商业模式为绿色产业创新创业塑造了广阔的空间，加速了绿色产业创新创业进程，因此可以通过激发绿色产业发展，促进城市实现经济与环境的耦合协调发展。

2. 提高绿色全要素生产率。本文测算了各地级市绿色全要素生产率，将资本、劳动、能源作为投入指标，以2010年作为基期，其中资本投入采用9.6%的折旧率和永续盘存法获得，劳动投入采用年末单位从业人数。考虑到城市层面能源数据的可得性，采用全社会用电量、人工煤气和天然气供气总量、液化石油气供气总量，按照相应的折算系数计算出标准煤数量作为能源投入。将经平减后实际GDP作为期望产出，工业二氧化硫排放量、工业废水排放量以及工业烟粉尘排放量作为非期望产出，运用SBM-GML指数模型测算了规模报酬不变条件下的城市绿色全要素生产率，并进行回归。表8的列(3)汇报了估计结果，结果显示数字经济能够显著提高城市绿色全要素生产率水平，在一定程度上发挥了市场“无形的手”优化了资源在城市内部的配置，数字技术的渗透和推广降低了资源的耗损以及污染物排放。验证了数字经济通过提高绿色全要素生产率带动经济-环境耦合协调度提升的作用渠道成立。

3. 助力绿色金融发展。由于目前绿色金融相关数据主要是省级层面，城市层面难以获得，对

此，一方面，本文参考张琦等（2019）^[57] 的做法，采用上市企业年报中披露的与环保、绿色生产相关的投资支出作为企业的绿色投资水平，根据上市企业注册地，匹配加总到城市层面获得各城市各年份的绿色投资水平，作为绿色金融的代理指标。另一方面，借鉴诸多学者采用除六大高耗能产业外的工业产业利息总支出衡量省级层面绿色金融水平的思路，由于各地级市的工业产值数据缺失较为严重，本文采用各地级市的地区生产总值占所在省份地区生产总值的比重与六大高耗能产业外的工业产业利息总支出相乘获取各地级市的绿色金融发展水平。表 8 的列（4）-（5）给出了相应的估计结果。可以看出，数字经济的发展能够显著促进企业的绿色投资和城市的绿色金融发展，数字经济能够在短期内收集存储海量信息，可以为企业或投资对象进行精准画像，降低了绿色投资双方信息不对称，有利于实现绿色金融资源有效分配，进而为经济与环境的协调发展提供资金保障。机制三得到验证。

表 8 中介机制检验结果

变量	机制一		机制二	机制三	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	绿色产业创业活跃度	绿色产业创新活跃度	绿色全要素生产率	企业绿色投资	绿色金融水平
<i>Digital</i>	2.568** (1.142)	1.226*** (0.169)	1.140*** (0.375)	2.032*** (0.508)	0.433* (0.252)
控制变量	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
Obs	3396	3396	3372	2940	3384
R-squared	0.501	0.527	0.223	0.469	0.623

六、进一步讨论

本文进一步从区位禀赋水平、资源配置水平、金融贷款规模三个方面展开异质性分析。

（一）区位禀赋异质性

根据前文分析发现，东部沿海、南部沿海、北部沿海三个区域已迈入协调行列，其他区域仍处于失调状态，这可能是由于相较其他地区，沿海地区有着天然的区位禀赋优势，不仅毗邻港口、产业基础雄厚，而且气候适宜、生态环境条件优越，对于实现经济发展与环境质量提升的协调推进有着良好的基础，因此，数字经济的赋能效果因区位禀赋差异可能存在异质性。对此，本文进一步将三个已迈入协调行列的区域内城市归于区位禀赋优势组，其余城市归于区位禀赋弱势组，分别进行相应估计，估计结果见表 9 列（1）-（2）。*Digital* 的估计系数在区位禀赋弱势组显著为正，但在区位禀赋优势组并不显著，说明数字经济的促进效应主要表现在区位禀赋较弱的城市。这些城市多分布于中西部地区和东北，数字经济在一定程度上弥补由于地理区位导致的经济发展与环境质量提升之间的失衡问题，发挥了“旱苗得雨”效应。特别是近几年来中西部地区凭借广阔的土地、丰富的绿电为全面深度推进数字经济“落地、生根、开花”提供了舒适的“土壤”。以“东数西算”工程为牵引，改善了当地经济发展动力不足以及环境保护技术落后的积弊，显现出显著的后发优势。

（二）资源配置异质性

根据帕累托最优理论，在完全竞争的市场中，各生产要素的有效配置能够实现产出的最大化，但是现实中往往因为信息流通不畅、市场失灵、技术限制等因素难以实现资源的最优配置，或多或少会存在资源错配的现象，导致经济效率的损失与资源的浪费，不利于实现经济与环境的耦合

协调发展。因此，本文参考刘诚和夏杰长（2023）^[58]的做法，以2010年为基期，结合C-D生产函数，测算了研究样本城市各年份的资源错配指数，该指数原理是将要素的边际产出偏离其价格程度看作市场资源配置的错位。其中，产出采用各地级市的GDP表征，资本存量通过永续盘存法获得，资本价格设定为10%（5%的实际利率与5%的折旧率），劳动力数量与价格分别采用年末单位从业人数和平均工资表征。在此基础上，将高于资源错配中位数的城市划分为资源错配程度高组，其余城市划分为资源错配程度低组，分别进行回归，估计结果见表9列（3）-（4）。可以看出，在资源错配程度高的地区数字经济的回归系数在1%的水平上显著为正，但是资源错配程度低的地区回归系数为正并不显著，这意味着，数字经济能够很好地弥合资源配置扭曲导致的经济与环境发展不协调问题，数字经济的出现打破了时空约束，建立了极具灵活性的线上市场，强大的算法可以引导资源在生产、消费系统中合理的流动，提高了资源的配置效率。

（三）金融贷款规模异质性

考虑到促进绿色金融发展、提高金融便捷是数字经济影响经济-环境耦合协调度的一个核心渠道，本文根据人均金融贷款余额核算对应城市样本期内的金融贷款规模，将高于金融贷款规模中位数的城市划分为高金融贷款规模组，其余城市划分为低金融贷款规模组，分别回归，估计结果见表9的列（5）-（6）。可以发现，数字经济对两类城市均具有显著的正向影响，但是在金融贷款规模低的城市，估计系数更大，也更为显著。这意味着数字经济的发展有利于弥合金融资源不足导致的经济与环境发展失衡，特别是数字普惠金融的出现使得金融信贷能够以更低成本、更快速度触达传统金融体系难以覆盖的行业和群体，辅助验证了数字经济能够通过促进绿色金融发展实现经济环境耦合协调的重要机制。

表9 异质性分析结果

变量	地理区位禀赋		资源错配程度		金融贷款规模	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	区位优势	区位禀赋弱势	高资源错配	低资源错配	高金融贷款规模	低金融贷款规模
<i>Digital</i>	-0.029 (0.027)	0.080*** (0.027)	0.086*** (0.031)	0.036 (0.027)	0.049* (0.026)	0.098*** (0.036)
控制变量	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
Obs	1008	2388	1692	1692	1692	1704
R-squared	0.843	0.684	0.743	0.699	0.737	0.731

七、结论与政策建议

本文以2010—2021年中国283个地级及以上城市为研究对象，运用耦合协调度模型、Dagum基尼系数等方法探讨了中国经济发展与环境保护耦合协调度的时空变化特征，并进一步构建双向固定效应模型考察了数字经济对经济发展与环境保护协调关系的影响效应及作用机制。研究发现：首先，全国及八大综合经济区的经济-环境耦合协调度均整体上呈现出上升态势，数值表现为由东向西递减的空间格局，东部、南部、北部沿海地区已迈入初级协调甚至中级协调行列。空间差异分析显示，区域内经济-环境耦合协调度存在较为明显的不平衡现象，尤其是大西北综合经济区内差异程度相对明显；各区域间差异尽管分化较为严重，但近几年呈现收缩态势；超变密度较小，说明本文选用八大综合经济区划分样本显示出较强的合理性。二是数字经济能够显著推动城市经济与环境耦合协调发展，并经过Bartik IV、广义随机森林模型等一系列稳健性检验后，结论依然成立。三是数字经济能够通过刺激绿色产业发展、提高绿色全要素生产率以及助力绿色金融发展

等机制，提升城市经济发展与环境保护的协调水平。四是异质性分析表明，数字经济的赋能效应在区位禀赋较弱、资源错配程度较高，以及金融贷款规模较低的地区更为突出，在一定程度上弥补由于地理区位、资源错配、金融低效导致的经济发展与环境质量提升之间的失衡问题。

基于以上研究结论，本文提出以下政策建议：

第一，应因势利导差异化部署政策，深化区域协调发展机制。沿海地区虽然经济与环境协调发展水平位于前列，但明显提高动力不足。这类地区拥有良好的经济与技术条件，但也伴随着较大的资源供给缺口与用地紧张，应深耕集群式海上风电、分布式建筑光伏等领域新能源开发，鼓励高耗能产业向可再生能源丰富地区有序迁移，大力培育平台经济、共享经济、智能经济等新兴产业，引领经济业态的集约式发展，并加快向其他地区提供技术转移与转化。中西部等地区经济与环境耦合协调度尽管处于较低水平，但增长速度明显，其优势在于避免了产业转型的“沉没成本”，应着力发挥后发优势，借助本地资源禀赋，大力发展特色生态产业，充分布局建设风电光伏和规模化电力外送通道，在本轮产业转移中抓住契机。加快实现“东技西送”“绿电贯西东”等东西部双向互济、协调发展的良好局面。

第二，数字经济作为当下城市经济“领跑者”，应着力发挥其在促进经济环境耦合上的积极作用。各城市应凭借本地区应用场景适度布局数字基础设施建设，依托“东数西算”工程，加快宽带网络、云计算中心、数据中心等在中西部地区的落地，提供高速、稳定的数字连接环境，支持数字经济的发展。同时，要合理布局偏远地区和中小城市的数字基础设施建设，避免因数字基础设施建设不均衡和“重建轻用”问题导致数字空间效益非均衡以及由此引起环境效益低下。此外，应特别关注资源错配问题严重的地区，利用数字经济的高效资源配置能力，支持数字经济与相关产业的深度融合，加速数据要素对传统资源的替代和赋能，促进经济与环境的协调发展。

第三，强化数字经济促进经济与环境耦合的中介效能。一是应大力推动绿色产业项目的孵化和发展，提升绿色产业发展的需求适配性，做强绿色制造业与壮大绿色服务业，为建立健全绿色低碳循环发展经济体系提供强大的辅助支撑。二是在保证经济适度增长的同时，鼓励企业在生产各环节中积极引入和应用节能环保的生产设备和技术，加速传统优势产业的业务调整和绿色化转型，提高资源利用效率，实现源头、末端污染治理并重。三是发挥好绿色金融的牵引作用，拉长做深绿色金融服务链条，加强绿色金融产品的监管和评估，确保绿色金融产品的质量和效益，以绿色金融持续助力绿色生产力发展。

参考文献：

- [1] 严成樑,赵扶扬,牛欢. 环境目标责任制、环境治理与内生经济增长[J]. 经济研究,2024,59(04):133-152.
- [2] HEO P S,LEE D H. Evolution of the linkage structure of ICT industry and its role in the economic system:The case of Korea[J]. Information Technology for Development,2019,25(3):424-454.
- [3] 余典范,龙睿,王超. 数字经济与边界地区污染治理[J]. 经济研究,2023,58(11):172-189.
- [4] 魏振香,史相国. 生态可持续与经济高质量发展耦合关系分析——基于省际面板数据实证[J]. 华东经济管理,2021,35(04):11-19.
- [5] 程广斌,陈曦,蓝庆新. 丝绸之路经济带中国西北地区经济发展与生态环境耦合协调度分析——基于 DEA-熵权 TOPSIS 模型的实证研究[J]. 国际商务(对外经济贸易大学学报),2018(05):96-106,118.
- [6] 李建新,梁曼,钟业喜. 长江经济带经济与环境协调发展的时空格局及问题区域识别[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(12):2584-2596.
- [7] 张国俊,王珏晗,吴坤津,等. 中国三大城市群经济与环境协调度时空特征及影响因素[J]. 地理研究,2020,39(02):272-288.

- [8]徐军委.“双碳”目标下经济高质量发展与生态环境保护协同发展研究——以京津冀地区为例[J].经济体制改革,2023(01):61-69.
- [9]郝智娟,文琦,施琳娜,等.黄河流域城市群社会经济与生态环境耦合协调空间网络分析[J].经济地理,2023,43(12):181-191.
- [10]隋建利,陈豪.生态足迹视域下环境与经济增长协调发展路径研究[J].财贸经济,2021,42(06):54-70.
- [11]武英涛,张云,倪道涵.绿色金融能够实现城市生态效益与经济效益的双赢吗?——基于环境规制与资本配置的双重视角[J].上海财经大学学报,2024,26(05):46-59.
- [12]王军,宋纪薇.物流业对经济增长与生态环境协调发展的影响研究[J].北京交通大学学报(社会科学版),2023,22(01):90-101.
- [13]张鑫,张心灵,袁小龙.环境规制对生态环境与经济发展协调关系影响的实证检验[J].统计与决策,2022,38(02):77-81.
- [14]王培鑫,吕长江.环境保护与经济发展能否和谐共进——来自创新的经验证据[J].南开管理评论,2023,26(01):67-83.
- [15]洪俊杰,李研,杨曦.数字经济与收入差距:数字经济核心产业的视角[J].经济研究,2024,59(05):116-131.
- [16]田瑶,郭立宏.数字经济与地区共享发展——基于区域经济协调发展的视角[J].经济问题探索,2024(02):1-16.
- [17]黄勃,李海彤,刘俊岐,等.数字技术创新与中国企业高质量发展——来自企业数字专利的证据[J].经济研究,2023,58(03):97-115.
- [18]蔡宏波,韩金睿.数字技术应用与企业出口表现——以中关村国家自主创新示范区企业为例[J].管理世界,2024,40(05):58-75.
- [19]邓若冰,吴福象.数字经济对城市碳排放的影响研究:效应与机制[J].南京社会科学,2024(05):37-48.
- [20]李琳,郭东,乔璐.数字经济如何影响新型城镇化:机制与检验[J].经济问题探索,2024(03):17-36.
- [21]江永红,刘梦媛,杨春.数字化对经济增长与生态环境协调发展的驱动机制[J].中国人口·资源与环境,2023,33(09):171-181.
- [22]张彦彦,胡善成.数字普惠金融对经济与环境协调发展的影响研究——创新驱动的中介效应[J].软科学,2023,37(09):23-30.
- [23]BAREFOOT K, CURTIS D, JOLLIFF W A, et al. Defining and Measuring the Digital Economy [R]. BEA Working Paper, 2018.
- [24]许宪春,张美慧.中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角[J].中国工业经济,2020(05):23-41.
- [25]陈梦根,张鑫.中国数字经济规模测度与生产率分析[J].数量经济技术经济研究,2022,39(01):3-27.
- [26]赵涛,张智,梁上坤.数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J].管理世界,2020,36(10):65-76.
- [27]钟成林,胡雪萍.数字经济对共同富裕的非对称影响[J].郑州大学学报(哲学社会科学版),2024,57(02):72-79.
- [28]杨汝岱,李艳,孟珊珊.企业数字化发展、全要素生产率与产业链溢出效应[J].经济研究,2023,58(11):44-61.
- [29]陈伟雄,李宝银,杨婷.数字技术赋能生态文明建设:理论基础、作用机理与实现路径[J].

当代经济研究,2023(09):99-109.

[30]刘治彦,王谦.数据要素对经济增长的影响——基于科学决策的中介效应分析[J].当代经济管理,2024,46(09):9-19.

[31]刘成杰,苏虹,高兴波,等.数字经济发展与城市韧性提升——水平测度和影响机制分析[J].城市问题,2023(11):94-103.

[32]江小涓,靳景.数字技术提升经济效率:服务分工、产业协同和数实孪生[J].管理世界,2022,38(12):9-26.

[33]MARTIN C J, EVANS J, KARVONEN A. Smart and sustainable? Five tensions in the visions and practices of the smart-sustainable city in Europe and North America[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 133:269-278.

[34]韩晶,蓝庆新.新发展阶段绿色发展的理论逻辑与实践路径[J].北京师范大学学报(社会科学版),2022(02):5-16.

[35]张彧.数字新基建、绿色技术进步与低碳经济转型[J].经济经纬,2024,41(01):57-69.

[36]张义,黄寰.数字经济发展对碳排放不公平的影响[J].资源科学,2023,45(06):1223-1238.

[37]周正柱,张明.绿色产业政策量化与减排效果研究——以长三角区域为例[J].长江流域资源与环境,2023,32(11):2254-2272.

[38]李晓萍,张亿军,江飞涛.绿色产业政策:理论演进与中国实践[J].财经研究,2019,45(08):4-27.

[39]何凌云,祁晓凤.环境规制与绿色全要素生产率——来自中国工业企业的证据[J].经济动态,2022(06):97-114.

[40]BESSEN J. Industry concentration and information technology[J]. The Journal of Law and Economics, 2020, 63(3):531-555.

[41]RITTER T, PEDERSEN C L. Digitization capability and the digitalization of business models in business-to-business firms: Past, present, and future[J]. Industrial Marketing Management, 2020, 86:180-190.

[42]解学梅,朱琪玮.企业绿色创新实践如何破解“和谐共生”难题? [J]. 管理世界, 2021, 37(01):128-149, 9.

[43]李诚浩,任保平.数字经济驱动我国全要素生产率提高的机理与路径[J].西北大学学报(哲学社会科学版),2023,53(04):159-167.

[44]方锦程,刘颖,高昊宇,等.公共数据开放能否促进区域协调发展? ——来自政府数据平台上线的准自然实验[J].管理世界,2023,39(09):124-142.

[45]陈华,沈悦.绿色金融助推数字经济发展的新思路[J].甘肃社会科学,2022(02):218-225.

[46]张振华,陈曦,汪京,等.绿色金融改革创新试验区政策对碳排放的影响效应——基于282个城市面板数据的准实验研究[J].中国人口·资源与环境,2024,34(02):32-45.

[47]王修华,刘锦华,赵亚雄.绿色金融改革创新试验区的成效测度[J].数量经济技术经济研究,2021,38(10):107-127.

[48]DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. Empirical Economics, 1997, 22(4):515-531.

[49]张丹丹,沈菊琴.基于夜间灯光的经济集聚与环境绩效协同发展研究[J].软科学,2022,36(10):1-8.

[50]XU D, YANG F, YU L, et al. Quantization of the coupling mechanism between eco-environmental quality and urbanization from multisource remote sensing data[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 104

321:128948.

[51] 易行健,周利. 数字普惠金融发展是否显著影响了居民消费——来自中国家庭的微观证据[J]. 金融研究,2018(11):47-67.

[52] 胡尊国,顾金鑫,陈颖.“倾斜性”政策、生产部门变迁与南北地区发展差异——来自机器学习的因果推断[J]. 财经研究,2022,48(01):93-107.

[53] ATHEY S, TIBSHIRANI J, WAGER S. Generalized random forests[J]. The Annals of Statistics, 2019,47(2):1148-1178.

[54] 许健,季康先,刘晓亭,等. 工业机器人应用、性别工资差距与共同富裕[J]. 数量经济技术经济研究,2022,39(09):134-156.

[55] 谢婷婷. 国家重点生态功能区如何实现环境保护与经济平衡[J]. 世界经济,2024(05):34-63,2.

[56] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济,2022(05):100-120.

[57] 张琦,郑瑶,孔东民. 地区环境治理压力、高管经历与企业环保投资——一项基于《环境空气质量标准(2012)》的准自然实验[J]. 经济研究,2019,54(06):183-198.

[58] 刘诚,夏杰长. 线上市场、数字平台与资源配置效率:价格机制与数据机制的作用[J]. 中国工业经济,2023(07):84-102.

(编辑校对:殷惠艳)

Digital Economy Enables the Modernization of Harmonious Coexistence Between Man and Nature: Based on the Perspective of Coordination Between Economy and Environment at the City Level

HUANG Shan, JIANG Jinhe, LI Junchao

Abstract: Developing the digital economy and comprehensively promoting the modernization of harmonious coexistence between man and nature are important measures to achieve high-quality development. Based on the measurement results of the digital economy development level at the city level, combined with geographical remote-sensing data, and by using models such as the coupling coordination degree model, Dagum Gini coefficient, two-way fixed-effects model, this paper explores the impact effect and internal mechanism of the digital economy on the coordination level between economic development and environmental protection from 2010 to 2021. The results show that: (1) The coupling coordination degree of the economy and environment of the whole country and the eight comprehensive economic zones showed an overall upward trend. (2) Digital economy significantly promotes the coupling and coordination level of urban economy and environment, and after a series of robustness tests such as Bartik instrumental variable (IV) and generalized random forest model, the conclusion is still valid. (3) Mechanism analysis shows that the promotion effect of the digital economy can be achieved by stimulating the development of green industries, improving green total factor productivity, and facilitating the development of green finance. (4) Heterogeneity analysis shows that this promoting effect is more prominent in regions with weaker geographical endowments, higher degree of resource mismatch, and lower scale of financial loans. In this regard, we should take advantage of the situation to give full play to the enabling role of the digital economy, accelerate the green transformation of development mode, and support high-quality development with a high-quality ecological environment.

Keywords: Digital economy; Modernization of harmonious coexistence between man and nature; Coupling coordination