数字经济与绿色物流耦合关系的空间异质性

吴红霞，吴新颖

（华北理工大学经济管理学院，唐山 063210）

摘要：在“双碳”目标与数字中国建设的战略背景下，探究数字经济与绿色物流的耦合协调关系及其空间分异特征，对推动区域可持续发展具有重要意义。基于2013—2022年中国省级面板数据，构建数字经济与绿色物流综合评价体系，运用耦合协调度模型、空间自相关模型分析两系统之间的协调程度及其空间异质性。研究发现：二者耦合协调度整体呈稳步上升趋势，但长期处于失调阶段，区域间差距明显，呈现“东部＞中部＞西部”的时空格局；二者耦合协调度均存在显著的正空间自相关性，并且二者的耦合协调度存在显著的空间异质性，上海、江苏、广东等地一直处在“高-高”集聚区域，低值区多分布于西北、西南省份。

关键词：数字经济；绿色物流；耦合协调；空间自相关

中图分类号：F259.2 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)01－0105－09

在全球数字化浪潮与“双碳”目标双重驱动下，物流业作为关键的碳排放领域，其碳排放量约占全国总量的15%。因此物流产业成为减排重点，亟须向绿色低碳转型。《“十四五”现代物流发展规划》明确要求到2025年，基本建成供需适配、内外联通、安全高效、智慧绿色的现代物流体系。而数字经济以其强大的渗透性和创新性，正深刻重塑物流产业格局，推动绿色物流成为实现可持续发展的关键路径。

本质上，数字经济是绿色物流发展的新动能，反过来，绿色物流又为数字经济的发展提供广阔的应用场景。随着工业化和全球化进程加速，中国作为全球最大电商市场，快递量突破1 300亿件，包装废弃物达1 000万t。然而，随着数字化进程的快速推进，物流业在促进商品流通、扩大市场规模的同时，传统物流模式也带来了显著的资源消耗与环境污染的双重压力。因此，亟须实现数字经济与绿色物流的结合。

随着数字经济的发展，数字经济不断应用到物流业中，进而引发学者的不断探讨，从内涵、评价测度到绿色效应都有研究。《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》中指出数字经济是一种新型经济形态，它基于互联网基础设施实现资源配置，并通过信息技术与经济的深度融合创造价值。而当前学者在测度数字经济发展水平时，主要采用了增加值核算法[1]、指标体系构建法[2]、卫星账户编制法等[3]。随着全球气候环境问题的不断加剧，数字经济对绿色发展也产生了积极的效应，数字技术赋能企业的绿色化转型，降低企业的能源消耗强度和污染排放强度[4]。并且数字经济还在绿色经济效率[5]、绿色创新[6]、产业结构升级[7]等方面具有积极的影响。

绿色物流不仅具有重要的经济价值，更能推动环境保护与经济可持续发展。目前对绿色物流的分析主要集中在评价测度和发展路径等方面。一方面是构建综合评价指标体系，主要有熵值法[8]、熵权TOPSIS(technique for order preference by similarity to ideal solution，逼近理想解排序)法[9]等；另一方面，绿色物流的发展聚焦物流环节的资源节约与环境友好，通过降碳增效支撑可持续发展，其与数字经济深度融合，数字技术可提高物流效率以减少浪费，绿色物流则为数字经济提供可持续的发展环境[10]。

关于二者的研究多集中在作用关系和协调评价上，一是数字经济对绿色物流的赋能，数字经济通过技术创新和居民收入的提升，促进绿色物流的发展[11]，二是绿色物流对数字经济的支持，绿色物流的不断推进对实现经济可持续发展的目标具有有利的影响[12]。此外，从整体上看，绿色物流水平的提升对经济的高质量发展具有显著的促进作用[13]。研究显示，数字经济与绿色发展存在协同互

收稿日期：2025-07-07

作者简介：吴红霞(1977—)，女，河北石家庄人，教授，硕士研究生导师，研究方向为城镇化管理与创新、区域经济；通信作者吴新颖(2000—)，女，河北唐山人，硕士研究生，研究方向为智慧物流。

促的耦合效应，该关联在物流领域已引发初步探讨[14]。例如，田维艳[15]探究了绿色物流与农村电商耦合协调关系；张蓉[16]采用耦合协调度模型分析了数字经济与绿色物流耦合协调度的时空变化。

综上所述，现有围绕二者的研究已取得一系列重要成果，但仍有以下可拓展的领域：二者的发展不在各自进行或者单向推动，而是相互协调，但鲜有学者关注二者的相互作用机制，尤其对二者的耦合协调发展有待进一步厘清；以往研究都没有考虑空间层面上对二者耦合关系的影响，仅停留在对二者的定量描述上。鉴于此，通过对数字经济和绿色物流内在机理的梳理，构建数字经济和绿色物流相关指标体系，并进行耦合协调度和空间自相关研究，进而去揭示二者耦合关系的空间异质性。本文可能的贡献如下：突破传统研究对二者单向作用或孤立分析的局限，构建了数字经济与绿色物流“双向耦合-协调演进”的理论机制模型；通过构建空间自相关模型，突破传统研究忽视空间关联性的局限，识别出省域耦合协调度的空间异质性。

1　数字经济与绿色物流的耦合协调机理

1.1　数字经济促进绿色物流发展

数字经济对绿色物流的促进作用主要体现在以下 4 个方面：①数字基础设施。数字基础设施是数字经济发展的重要支撑[17]，数字基础设施如物联网、云计算和大数据技术为绿色物流提供了实时监控和智能管理的物理支撑，有助于优化物流资源的配置，降低仓储冗余和能源浪费，进而支持物流信息系统低碳化运行。②数字产业发展。数字产业发展如人工智能和数字化技术，可以提高传统物流的效率，减少人工能耗，降低碳排放等，还可以提高区块链与供应链的透明化程度。③产业数字融合。通过制造业和物流业协同发展，可以重塑绿色供应链生态，提高供应链的绿色水平。④数字金融环境。数字普惠金融通过拓宽融资渠道和降低融资成本增强物流业创新能力，有助于推动绿色物流示范区建设和绿色技术应用，助力物流业绿色转型升级[18]。

1.2　绿色物流助力数字经济增效

相应地，绿色物流也能反哺数字经济的发展，主要体现在以下 3 个方面：①绿色发展实力。绿色物流的发展能拉动对数字经济的需求，智慧化物流调度月台、数字孪生平台及 AI 摄像头等新设备的应用是绿色物流发展的关键，由此产生的数字化设备需求增长，为数字经济发展提供了重要动力[19]。②绿色环境支撑。绿色物流环境通过减少碳排放促进数字经济发展，重构数字经济成本结构，促进数字经济绿色化，并以场景实践驱动其发展质量提升[20]，催生低碳数字经济新业态，最终实现环境治理与经济发展的“双收益”。③绿色能源利用。绿色能源利用可以保障数字经济的可持续能源供给，降低数字经济的碳强度，为数字经济的可持续发展提供坚实的能源保障。数字经济和绿色物流的作用机理如图 1 所示。

2　指标体系、研究方法与模型构建

2.1　评价指标体系构建

基于数字经济和绿色物流的内涵，从数字基础

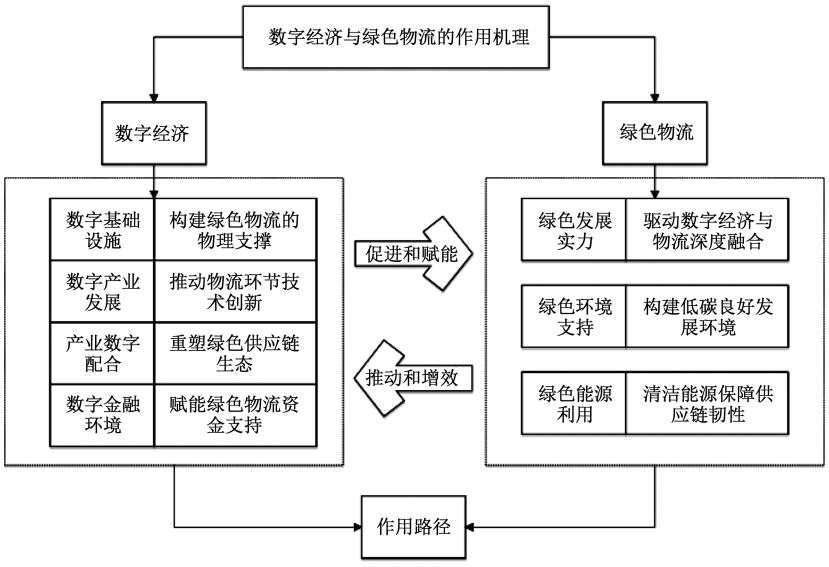


图 1　数字经济与绿色物流的作用机理

设施[11]、数字产业发展[17]、产业数字融合[17]、数字金融环境[21]4 个维度构建数字经济的指标体系。绿色物流指标体系从绿色发展实力[22]、绿色环境支撑[23]、绿色能源利用[24]3 个方面进行构建,见表 1 和表 2。

根据选取指标的完整性和可获得性,从 4 个方面构建数字经济评价指标体系。通过阅读相关文献,选取互联网普及率、光缆线路密度等指标表示数字基础设施,光缆线路密度用某省份光缆线路总长度除以该省份面积表示。数字产业是融合技术、应用与硬件的核心体系,其发展是经济转型的"加速器",主要通过电信业务总量,信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人员,软件业务收入 3 个指标来表示。在刻画产业数字融合时重点从快递包裹数量、电子商务销售额、有电子商务交易活动的企业数目占比来表示[25]。最后用数字普惠金融指数来表示数字金融环境[21]。

表 1　数字经济评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	指标属性
数字经济	数字基础设施	互联网普及率	%	正向
		移动电话普及率	部/百人	正向
		每百人互联网宽带接入端口数	(个/百人)	正向
		光缆线路密度	km/km²	正向
	数字产业发展	电信业务总量	亿元	正向
		信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人员	万人	正向
		软件业务收入	万元	正向
	产业数字融合	快递包裹数量	万件	正向
		电子商务销售额	亿元	正向
		有电子商务交易活动的企业数目占比	%	正向
	数字金融环境	数字普惠金融指数	—	正向

表 2　绿色物流评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	指标属性
绿色物流	绿色发展实力	公路里程	万 km	正向
		人均物流业增加值	元/人	正向
		人均货运量	t	正向
		货物周转量	亿 tkm	正向
		全体居民人均消费支出	元	正向
		快递业务收入	万元	正向
		经营单位所在地进出口总额	千美元	正向
	绿色环境支撑	物流业氮氧化物排放量	万 t	负向
		物流业二氧化碳排放量	万 t	负向
		生活垃圾无害化处理率	%	正向
	绿色能源利用	物流业能源消耗总量	万吨标准煤	负向
		物流业电力消耗总量	亿 kW·h	正向

绿色物流主要从以下3个方面建立指标体系,其中,绿色发展实力是物流行业转型的核心竞争力,它是支撑和驱动物流系统向绿色方向转型的基础能力、规模效应和结构性条件。公路里程反映物流基础设施网络的覆盖广度、连接密度和物理可达性,为绿色运输提供基础的保障。人均物流业增加值反映了绿色物流效率的提升。人均货运量上升反映经济活动的活跃程度、城市化水平以及物流需求的规模强度,它体现了物流系统需要服务和支撑的经济体量。因此,绿色物流实力主要从公路里程、人均物流业增加值等方面来评估。绿色环境支撑主要从物流业氮氧化物排放量、CO_2 排放量等方面来反映。根据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》,物流领域 CO_2 排放总量可由各类能源消耗对应的 CO_2 排放量累加计算得出。其中,每种能源的 CO_2 排放量等于其消耗量、平均低位发热量与单位热值含碳量这 3 项参数的乘积[26]。绿色能源利用用物流业能源消耗总量和物流业电力消耗指标表示,在物流业增加值构成中,交通运输、仓储与邮政业贡献了 85%的份额。基于此,以交通运输、仓储和邮政业作为物流业的典型代表行业。选取这 3 个行业中消耗量最大的原煤、油品以及天然气作为能源指标。利用标准煤折算系数,将各类能源的实际消耗量统一换算为标准煤当量,进而汇总得出各区域物流业的能源消耗总量。

2.2　数据来源

选取 2013—2022 年中国 30 个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区)的数据。所用数据主要来源于国家统计局发布的官方统计资料,具体包括《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》及其各省级行政区的统计年鉴等,对数据的部分缺失值运用 stata 软件线性插值法进行插值处理。

2.3　研究方法

2.3.1　熵权 TOPSIS 法

熵权 TOPSIS 法是一种结合了 TOPSIS 和熵权法的多属性决策分析方法。其核心思想是通过熵权法客观确定各评价指标的权重,再结合 TOPSIS 方法对方案进行排序,最终选择综合表现最优的方案。

(1)数据标准化处理。

正向指标:

$$x'_{ij}=\frac{x_{ij}-\min x_{ij}}{\max x_{ij}-\min x_{ij}} \tag{1}$$

负向指标：

$$x'_{ij}=\frac{\max x_{ij}-x_{ij}}{\max x_{ij}-\min x_{ij}} \tag{2}$$

式中：i 为年份；j 为具体指标；x'_{ij} 为标准化处理后的值；x_{ij} 为原始数据；$\min x_{ij}$、$\max x_{ij}$ 分别为指标数据的最小值和最大值。

(2)计算第 i 年第 j 项指标所占的比重 P_{ij}。

$$P_{ij}=\frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}x'_{ij}} \tag{3}$$

(3)计算第 j 项指标的信息熵 e_j。

$$e_j=-k\sum_{i=1}^{m}P_{ij}\ln P_{ij} \tag{4}$$

式中：$k=\frac{1}{\ln(mn)}$，且 $k>0$，使得 $e_j\geqslant 0$。

(4)计算第 j 项指标信息熵的冗余度 d_j。

$$d_j=1-e_j \tag{5}$$

(5)计算第 j 项指标的权重 w_j。

$$w_j=\frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n}d_j} \tag{6}$$

(6)计算加权矩阵 Z_{ij}。

$$Z_{ij}=x'_{ij}w_j \tag{7}$$

(7)计算欧氏距离。

$$D_i^{+}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(Z_{ij}-Z_j^{*+})^2} \tag{8}$$

$$D_i^{-}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(Z_{ij}-Z_j^{*-})^2} \tag{9}$$

式中：D_i^{+}、D_i^{-} 分别为正负理想解距离；Z_j^{*+}、Z_j^{*-} 分别为正负理想解。

(8)计算综合发展指数 C_i。

$$C_i=\frac{D_i^{-}}{D_i^{+}+D_i^{-}} \tag{10}$$

2.3.2　耦合协调度模型

耦合协调模型中包括耦合度和耦合协调度两个基本度量指标。耦合协调度评价模型是一种用于量化多个系统或要素之间相互作用关系的综合评价方法，重点关注系统间的相互作用强度和良性互动水平。选择耦合协调模型刻画数字经济和绿色物流的二系统协调发展水平的演化规律。计算过程如下。

(1)计算耦合度 C。

$$C=2\sqrt{\frac{X_1X_2}{(X_1+X_2)^2}} \tag{11}$$

式中：X_1 和 X_2 分别代表数字经济和绿色物流系统得分。

(2)计算两系统综合协调指数 T。

$$T=aX_1+bX_2 \tag{12}$$

式中：a 和 b 为相应权重，参考已有研究，均取值为 0.5。T 可反映系统整体的协调程度。

(3)计算耦合协调度 D。

$$D=\sqrt{CT} \tag{13}$$

通过文献阅读对耦合协调度类型进行 10 个等级的划分，见表 3。

表 3　数字经济与绿色物流耦合协调度类型划分

协调度区间	协调类型	协调度区间	协调类型
(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]	优质协调

2.3.3　Kernel 密度估计

采用核密度模型分析二者耦合协调度的分布态势，具体公式为

$$f(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}K\left(\frac{x_i-\bar{x}}{h}\right) \tag{14}$$

$$K(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \tag{15}$$

式中：n 为省份数；x_i 为各省的绿色物流和数字经济耦合协调度观测值；$\bar{x}$ 为观测值的平均值；$K(\cdot)$ 为密度估计函数，使用高斯核函数；h 为平滑带宽。

2.3.4　空间自相关模型

全局 Moran's I 指数能够对数字经济与绿色物流耦合协调度发展在空间是否存在集聚效应进行分析，莫兰散点图可可视化局部空间关联模式，结合二者，可全面理解空间数据的分布特征。具体计算公式为

$$I=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}w_{ij}(x_i-\bar{x})}{s^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}w_{ij}} \tag{16}$$

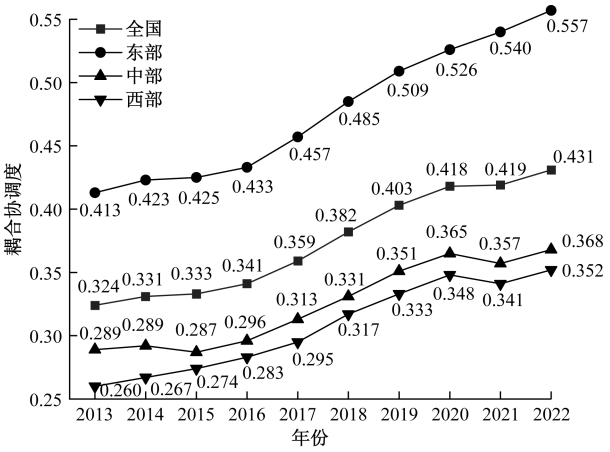
式中：s^2 为样本方差。

3　实证分析

3.1　耦合协调测度分析

3.1.1　时序变化特征

如图 2 所示，数字经济与绿色物流耦合协调度表现为除极个别年份耦合协调度下降外，总体耦合协调度呈上升趋势，均值为 0.374，表现为轻度失



因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区

图 2　2013—2022 年数字经济与绿色物流耦合协调度的时序变化

调,仍未迈入协调发展阶段。2013—2016 年,耦合协调度由 0.324 到 0.341,年均增长率为 1.72%,这一阶段处于轻度失调阶段。这是因为各地数字基础设施建设不完善、产业结构差异明显,物流转型成本高,仍以传统制造业和资源型产业为主,尚未形成绿色物流产业链。2017—2019 年,耦合协调度由 0.359 到 0.403,年均增长率为 5.95%,协调类型也开始转变。这是因为政府政策的支持,并且数字经济不断发展和创新,其与物流业逐渐融合,不仅丰富了数字经济的应用范围,更推动了物流业低碳绿色发展,耦合协调度水平不断提升,但是还没有达到更高质量的耦合。2020—2022 年,耦合协调度由 0.418 到 0.431,年均增长率为 1.54%,整体上协调类型达到濒临失调。

3 大区域内的耦合协调度变化基本与全国耦合协调度的变化保持一致。3 大区域耦合协调度稳步上升,东部地区领跑全国,是国家数字经济创新试验、绿色物流示范区的主要承载地。东部集聚了全国 60%以上的高新技术企业,并且高校和科研机构密集,吸引了大量人才。2013—2022 年东部耦合协调度由 0.413 到 0.557。经历了从濒临失调到勉强协调的转变,其耦合协调度远高于中西部地区。中西部地区耦合协调度分别由 2013 年的 0.289 和 0.260 上升至 2022 年的 0.368 和 0.352,耦合协调类型由中度失调向轻度失调变化。中西部数字经济和绿色物流的发展能力不足,并且面临人才外流问题,地形复杂也制约了二者的协调发展。总体而言,东部地区 10 年间耦合协调度稳步增长,已进入协调发展阶段,中西部地区耦合协调度有向好态势,但始终处于失调状态。

3.1.2　空间分布特征

根据 2013—2022 年各省份数字经济与绿色物流耦合协调度,选取其中 2013 年、2016 年、2019 年、2022 年 4 年的数据,见表 4。整体上东部最高,中部次之,西部最低,区域间差距显著,呈现“东部>中部>西部”的梯度格局。中西部省份受制于经济发展水平低、数字基础设施建设不完善、技术研发投入少、人才资源匮乏等因素,数字经济与绿色物流未能实现良性的耦合协调。2013 年,东部地区形成以北京为辐射极,广东、浙江、江苏和上海为辐射核的“一极多核”结构。东南沿海地区以及北京作为经济领先区域,依靠其完善的基础设施、丰富的高端人才资源以及强大的创新能力,抢占了数字经济与绿色物流发展的先机,推动二者同步推进,在 30 个省级区域中,广东省以 0.602 的耦合协调度居于首位。处于初级协调发展类型。2016 年,省域还是以中度失调为主要发展类型,占比达到 50%,广泛分布于东北、西北和中部地区。由于数字经济缺乏

表 4　2013 年、2016 年、2019 年、2022 年东中西部地区耦合协调度

地区	省份	2013 年	2016 年	2019 年	2022 年
东部	上海	0.507	0.582	0.679	0.757
	北京	0.501	0.496	0.583	0.639
	天津	0.304	0.328	0.381	0.415
	山东	0.412	0.427	0.499	0.585
	广东	0.601	0.633	0.787	0.840
	江苏	0.501	0.514	0.602	0.661
	河北	0.371	0.344	0.417	0.416
	浙江	0.448	0.464	0.578	0.646
	海南	0.212	0.267	0.295	0.351
	福建	0.321	0.347	0.409	0.443
	辽宁	0.368	0.361	0.375	0.376
中部	吉林	0.244	0.264	0.294	0.306
	安徽	0.311	0.324	0.391	0.411
	山西	0.270	0.281	0.335	0.362
	江西	0.252	0.270	0.333	0.355
	河南	0.348	0.351	0.410	0.414
	湖北	0.298	0.325	0.392	0.411
	湖南	0.302	0.289	0.357	0.367
	黑龙江	0.282	0.264	0.299	0.314
西部	云南	0.275	0.281	0.339	0.334
	内蒙古	0.281	0.299	0.342	0.365
	四川	0.343	0.347	0.417	0.447
	宁夏	0.224	0.271	0.297	0.323
	广西	0.244	0.268	0.328	0.347
	新疆	0.292	0.281	0.318	0.336
	甘肃	0.229	0.251	0.300	0.319
	贵州	0.215	0.258	0.323	0.321
	重庆	0.257	0.296	0.352	0.398
	陕西	0.295	0.313	0.374	0.382
	青海	0.210	0.250	0.276	0.297

活力，难以充分发挥其在绿色物流方面的放大、叠加与倍增效应，因而成为整体协调发展的“低洼区域”。2019 年，全国耦合协调度上升。广东省耦合协调度为 0.787，已达到中级协调水平。东部沿海地区仍然保持领先，长三角、珠三角、北京等地都迈进协调区。但中西部的城市仍处于失调状态。2022 年，全国耦合协调度水平又达到新高度，东部向中级协调和良好协调演进，中西部也实现了协调度的跨越，只有青海还处在中度失调的状态，其余各省份耦合协调度水平都在向好发展。东部地区的数字经济发展水平较为领先，能够更有效地应对绿色物流在发展过程中遇到的压力和能力挑战。与此同时，绿色物流体系对数字技术的需求也极为强烈，二者之间形成了良性互动的双向推动。在国家一系列政策相继实施的背景下，中西部地区的数字经济也展现出快速增长的趋势。例如，“东数西算”工程充分利用四川和重庆丰富的土地资源，满足其算力需求，同时，中西部地区也在积极推动全面绿色转型。总体来说，从空间上来看，在 2013—2022 年，两系统整体协调度呈现东部地区 ＞ 中部地区 ＞ 西部地区的特征。

3.1.3　核密度分析

选取 2013—2022 年其中 4 年的数据，对其耦合协调度绘制核密度分布图，如图 3 所示。2013 年、2019 年和 2022 年，核密度峰值均在 5 左右，而 2016 年核密度峰值将近 7 左右。这说明 2016 年数字经济和绿色物流的耦合协调度更加集中，2016 年“互联网＋”行动计划等政策的驱动，使二者耦合协调度短期趋同。2013 年、2019 年和 2022 年的核密度峰值说明耦合协调度的分布逐渐分散，系统协调性从高度集中转向多样化或波动状态。随着时间的变化，曲线整体向右偏移，二者耦合协调性提升，从 0.3 左右到 0.4 左右。新基建投资和碳达峰目标的提出成为绿色物流和数字经济耦合协调度提升的推动力。虽然整体进步，但低耦合协调度并存，尤其是西部，可再生能源丰富，但缺乏数字化调度能力年并且会受到绿色物流成本的约束，西部企业承受力不足。2013 年耦合协调度集中在 0.3 左右，而 2022 年耦合协调度集中在 0.4 左右，并且在 2016 年、2019 年和 2022 年曲线均出现“双峰”，双峰的本质是高协调组和低协调组的断层，这是由于东中西部长期能力缺口与区域战略分化导致了双峰的出现，表明绿色物流和数字经济耦合协调度空间差异显著。

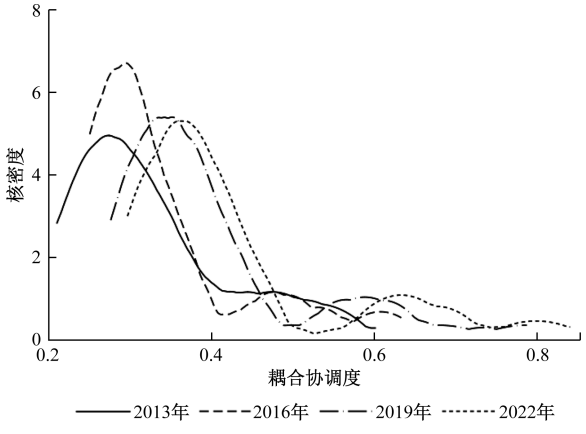


图 3　绿色物流与数字经济耦合协调度核密度估计

3.2　空间自相关分析

3.2.1　全局变化特征分析

2013—2022 年数字经济与绿色物流耦合协调度的全局莫兰指数如图 4 所示。研究期间，其全局莫兰指数均为正，且通过 5%显著性检验，空间分布呈现出显著的正向自相关。观察 10 年数据，莫兰指数呈现明显的上升趋势，从 2013 年的 0.135 上升到 2022 年的 0.204。这说明数字经济和绿色物流耦合协调度的空间集聚效应在持续增强，区域间的空间依赖性和溢出效应越来越显著。2013—2015 年，全国莫兰指数初期快速上升，从 0.135 上升到 0.174。这反映了在数字经济和绿色物流发展初期，东部沿海、一线城市等核心区域率先发力。2016—2019 年，莫兰指数介于 0.149～0.160，2020—2022 年，全局莫兰指数加速上升，从 2020 年的 0.166 显著跃升至 2022 年的 0.204。造成这一结果的主要原因是国家战略的强烈驱动，还有基础设施和技术人才的空间集聚。近年来，一些外部冲击作为催化剂，迫使全社会包括物流行业加速拥抱数字化，强化了数字基础设施的重要性，可能拉大了拥有良好数字基础区域的优势，进一步强化了这种空间集聚格局。

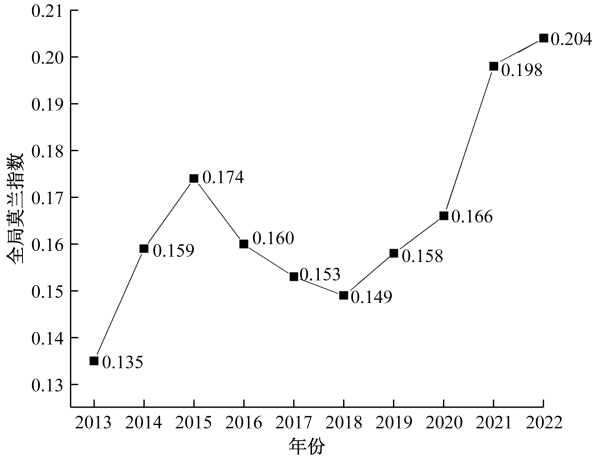


图 4　2013—2022 年绿色物流与数字经济耦合协调度的全局莫兰指数

3.2.2　局部变化特征分析

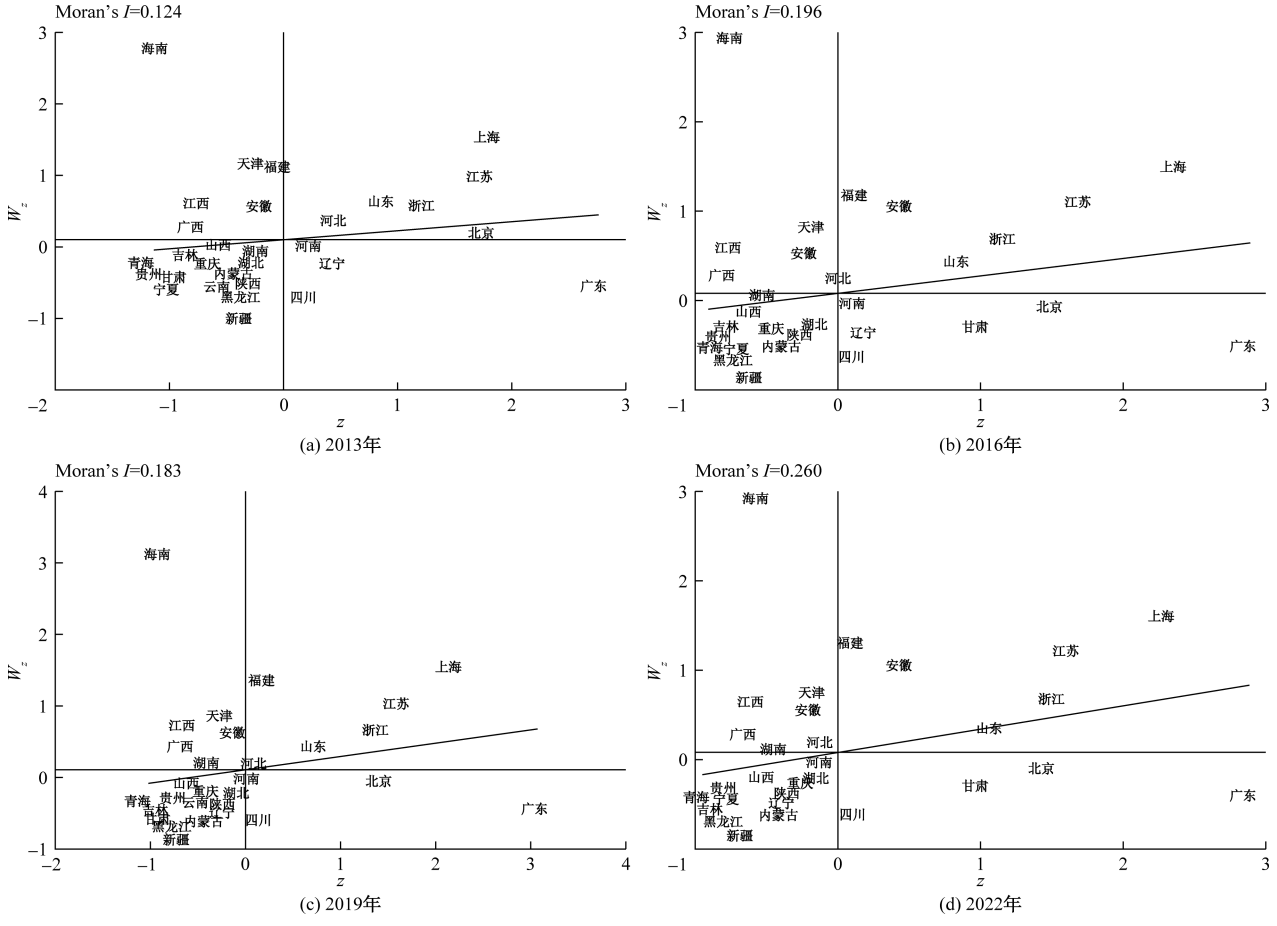
从2013—2022年中选取4年的绿色物流和数字经济的耦合协调度进行局部自相关分析,得到莫兰散点图,如图5所示,大部分省份都处在Ⅰ、Ⅲ象限,耦合协调性分布存在集聚性。在第Ⅰ象限的典型省份有山东、浙江等,造成该分布的原因可能是国家战略如长三角一体化等推动跨省数字化与绿色物流合作,并向周边扩散,形成产业链联动效应。第Ⅲ象限的典型省份有西北地区的甘肃、青海、宁夏,西南地区的重庆、云南等。受西北西南地区资源的约束,数字基建覆盖率低、传统能源经济主导、数字经济与绿色物流转型滞后等导致了其出现在"低-低"集聚区。第Ⅱ象限是"低-高"异常区,最主要的特点是欠发达省份被发达邻居包围,如江西,虽邻近高值区,但未能有效承接产业转移,还有政策梯度差异,毗邻省份享受自贸区政策,本地缺乏配套支持。第Ⅳ象限属于"高-低"异常区,典型代表是四川省和广东省,主要原因是四川山区地形阻碍技术以及基础设施向邻省扩散,广东省虹吸数字产业和物流等资源,但辐射能力未覆盖邻近省份。除个别省份外,大部分省份的位置没有发生变化。北京市在2013年处于"高-高"集聚区,到2016年、2019年、2022年,北京市却处于"高-低"异常区,这可能是由于发达城市北京市被欠发达邻居河北省包围。

4　研究结论与建议

4.1　结论

(1)整体上数字经济和绿色物流发展耦合协调水平由2013年的0.324提升至2022年的0.431,呈现出年均增长3.221%的攀升趋势,从轻度失调水平转变为濒临失调水平。3大区域耦合协调度稳步上升,从空间上来看,在2013—2022年,二者耦合协调水平的空间异质性明显,两系统整体协调度呈现东部地区 > 中部地区 > 西部地区的发展格局。

(2)2016年数字经济和绿色物流的耦合协调度更加集中,核密度峰值将近7左右。2013年、2019年和2022年,核密度峰值均在5左右,耦合协调度的集中程度减弱,耦合协调度的分布逐渐分散,随着时间的变化,曲线整体向右偏移,绿色物流和数字经济的耦合协调性提升,并出现"双峰"特征。



(a) 2013年　(b) 2016年　(c) 2019年　(d) 2022年

图5　2013年、2016年、2019年、2022年莫兰散点图

(3)各省份的数字经济与绿色物流耦合协调度其全局莫兰指数均为正,空间分布呈现出显著的正向自相关。2013—2022年,莫兰指数呈现明显的上升趋势,年均增长率为4.694%。并且二者的耦合协调度存在显著的空间异质性,上海、江苏、广东等地一直处在“高-高”集聚区域,低值区多分布于西北、西南省份。

4.2 建议

(1)推动基础设施建设,加强技术创新。建立跨区域的数字基础设施共享平台,为绿色物流提供技术支撑。未来应该继续加强跨省基础设施共建,核心省负责攻关前沿技术,轴带省承接成熟技术,腹地省推广基础应用。并利用数字平台实现供应链全流程绿色可追溯,减少资源浪费和排放。

(2)促进区域协调发展。东部侧重技术突破与全球竞争力提升,中西部实施能力跃升工程,产业链捆绑考核及人才逆向流动激励保障实施,最终构建“基建-产业-人才“三维攻坚体系”,以长三角等高耦合省份为核心节点,推动高耦合省份从“单点领先”转向“网状辐射”,最终实现全国数字经济和绿色物流的梯度跃升与均衡发展。

(3)攻坚低洼短板,精准破解空间分异。对山东、浙江等“高-高”集聚区,强化长三角一体化等国家战略的产业链联动效应,推动数字技术向邻省扩散,同时建立反哺机制抑制虹吸效应;对甘肃、青海等“低-低”集聚区,重点突破资源与地形约束,布局“物流专用数字基建”;对江西等“低-高”异常区,着力填平政策梯度差,复制自贸区政策至毗邻地带,让发达省份定向释放物流订单以激活产业承接能力;对四川、广东等“高-低”异常区,通过山地无人机联运枢纽破解地形阻隔与虹吸失衡,强制产业资源向周边疏解。

参考文献

[1] 陈伟光,张嘉渭,刘彬. G20国家数字经济发展水平测度及中国的提升策略[J]. 亚太经济,2023(5):11-21.

[2] 万晓榆,罗焱卿. 数字经济发展水平测度及其对全要素生产率的影响效应[J]. 改革,2022(1):101-118.

[3] BRIDGMAN B, HIGHFILL T, SAMUELS J. Introducing consumer durable digital services into the BEA digital economy satellite account[J]. Telecommunications Policy, 2024, 48(1): 102-114.

[4] 戴翔,杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济,2022(9):83-101.

[5] 刘强,马彦瑞,徐生霞. 数字经济发展是否提高了中国绿色经济效率?[J]. 中国人口·资源与环境,2022,32(3):72-85.

[6] 韦施威,杜金岷,潘爽. 数字经济如何促进绿色创新:来自中国城市的经验证据[J]. 财经论丛,2022(11):10-20.

[7] 汪晓文,陈明月,陈南旭. 数字经济、绿色技术创新与产业结构升级[J]. 经济问题,2023(1):19-28.

[8] 马玉萍,双海军. 数字贸易与绿色物流耦合协调度的时空演变特征研究[J]. 商业经济研究,2023(12):67-71.

[9] 李晓华,柴一,叶爱山,等. 中国物流业与数字经济融合水平时空分异及影响因素研究[J]. 科技和产业,2023,23(18):80-88.

[10] 李义华,邓梦杰. 数字经济赋能冷链物流绿色化发展机理与路径研究[J]. 财经理论与实践,2024,45(6):131-138.

[11] 王春娟,郭凯歌. 数字经济赋能绿色物流高质量发展效应分析[J]. 华东经济管理,2024,38(2):53-63.

[12] JU C, LIU H, XU A, et al. Green logistics of fossil fuels and E-commerce: implications for sustainable economic development[J]. Resources Policy, 2023, 85: 103991.

[13] 李向荣,张琳,吕洲. 绿色物流发展水平与区域经济高质量发展:内在机制与经验证据[J]. 云南财经大学学报,2024,40(12):31-44.

[14] 邓宗兵,肖沁霖,王炬,等. 中国数字经济与绿色发展耦合协调的时空特征及驱动机制[J]. 地理学报,2024,79(4):971-990.

[15] 田维艳. 碳中和视域下绿色物流与农村电商发展的耦合协调关系分析[J]. 商业经济研究,2023(16):79-82.

[16] 张蓉. 我国省域数字经济与绿色物流协同发展探讨[J]. 商业经济研究,2023(18):90-94.

[17] 陈永伟,陈志远,阮丹. 中国省域数字经济的发展水平与空间收敛性分析[J]. 统计与信息论坛,2023,38(7):18-31.

[18] LI M, MENG M, CHEN Y. The impact of the digital economy on green innovation: the moderating role of fiscal decentralization[J]. Economic Change and Restructuring, 2024, 57(2): 1-33.

[19] 赵泽旭. “双碳”背景下数字经济与绿色物流耦合协调关系[J]. 中国航务周刊,2024(45):58-60.

[20] 张旭,张春雪,王晓玉,等. 绿色物流-数字经济-高质量发展系统耦合协调及时空演化研究[J]. 资源开发与市场,2024,40(7):1029-1038.

[21] 郭峰,王靖一,王芳,等. 测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征[J]. 经济学季刊,2020,19(4):1401-1418.

[22] 朱芳阳,赖靓荣. 产业结构升级、技术创新与绿色物流:基于PVAR模型的实证研究[J]. 现代管理科学,2022(3):40-50.

[23] 黄爱玲,马瑞晨,王佳美,等. “双碳”目标下中国省域绿色物流发展时空演变分析[J]. 科技导报,2023,41(22):47-57.

[24] 李敏杰,陈毅辉,吴桐雨. “双碳”背景下数字经济与绿色物流耦合协调发展的时空特征及组态路径[J]. 环境

科学,2024,45(1):1-18.
[25] 金灿阳,徐蔼婷,邱可阳. 中国省域数字经济发展水平测度及其空间关联研究[J]. 统计与信息论坛,2022,37(6):11-21.
[26] 张立国. 中国物流业二氧化碳排放变化驱动因素分析[J]. 中国流通经济,2016,30(12):29-39.

Spatial Heterogeneity of Coupling Relationship between Digital Economy and Green Logistics

WU Hongxia, WU Xinying
(School of Economics and Management, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: Under the strategic background of the "dual carbon" goal and the construction of digital China,it is of great significance to explore the coupling and coordination relationship between the digital economy and green logistics and their spatial heterogeneity to promote the regional sustainable development. Based on the panel data of provinces and cities in China from 2013 to 2022,a comprehensive evaluation system of digital economy and green logistics is constructed, and the coupling coordination degree model and spatial autocorrelation model are used to analyze the coordination degree and spatial heterogeneity between the two systems. The results show that the coupling coordination degree between the two systems shows a steady upward trend overall but remains in a state of maladjustment over the long term. Regional disparities are significant, showing a spatial-temporal pattern of "East>Widdle>West". The coupling coordination degree between the two systems exhibits significant positive spatial autocorrelation and significant spatial heterogeneity. Areas like Shanghai, Jiangsu, and Guangdong consistently belong to the "high-high"agglomeration areas. Low-value areas are predominantly distributed in Northwestern and Southwestern provinces.

Keywords: digital economy; green logistics; coupling coordination; spatial autocorrelation