

数字经济对长江经济带物流业能源效率的影响

罗 清

(南通理工学院商学院, 江苏 南通 226002)

摘要: 基于 2014—2021 年长江经济带 11 省市面板数据, 构建数字经济发展评价指标体系, 运用熵权-TOPSIS(逼近理想解排序)法测算数字经济综合发展指数, 再结合基准回归模型、空间计量模型及中介效应模型, 探究数字经济对物流业能源效率的影响。研究发现: 研究期内长江经济带及各区域的数字经济发展水平平均呈现出稳步上升的趋势, 流域内数字经济发展水平均值呈现出下游>上游>中游的空间差异特征; 长江经济带物流业能源效率存在正向的空间溢出效应, 数字经济对当地物流业能源效率提升有显著的正向促进作用, 但对周边地区物流业能源效率的促进作用尚不显著; 区域异质性分析显示, 数字经济对物流业能源效率的促进作用呈现下游-上游-中游逐渐递减的趋势; 中介效应结果显示, 数字经济能够通过技术创新、物流业产业结构合理化、物流业产业结构高级化渠道促进物流业能源效率的提升。基于上述结论, 提出促进长江经济带数字经济发展和物流业能源效率提升的对策建议。

关键词: 数字经济; 物流业能源效率; 空间计量模型; 中介效应

中图分类号: F49; F259.27 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)05-0017-09

2020 年我国提出要实现“双碳”目标, 力争在 2030 年前实现碳达峰, 2060 年前实现碳中和。2021 年中央明确把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设规划中, 优化能源结构、提升能源效率迫在眉睫。作为国家重要的支撑带战略之一的长江经济带, 是横跨我国东、中、西部三大区域、产业规模最大的“黄金经济带”, 以物流业为支柱产业推动了长江经济带经济快速发展, 但与此同时其环境问题也层出不穷。物流业作为我国重要的能源消耗和碳排放行业, 在“双碳”背景下, 推动物流业能源效率的提升, 乃至推动经济社会绿色、环保、可持续发展已然成为一项重要任务。

伴随着新一轮科技革命和产业变革的不断推进, 数字经济已成为最具活力、最具创新性、辐射最广泛的经济形式, 成为国民经济核心增长极之一。在新的经济发展格局下, 数字经济能否促进物流业能源效率的提升, 其作用机制是什么? 效果如何? 对这些问题展开研究, 有利于充分发挥数字经济的作用, 驱动物流业能源效率提升, 对物流业高质量发展具有重要的理论价值和实践价值。

1 文献综述

从既有研究来看, 与本研究密切相关的文献主要包括以下 3 个方面。

(1) 数字经济方面的研究。数字经济的相关理论最早是由 Tapscott^[1] 提出, 随后由美国商务部推广了数字经济这一概念, 20 国峰会对数字经济进行了定义: 数字经济是指以使用数字化知识和信息作为关键要素、以现代信息网络作为重要载体、以信息通信技术的有效使用作为效率提升和经济结构优化的重要推动力的一系列经济活动。刘军等^[2] 从信息化发展、数字交易发展和互联网发展 3 个维度评价数字经济发展指数。纪圆圆和朱平芳^[3] 从基础设施水平、互联网发展水平、数字化产业发展和数字化交易发展 4 个维度评价数字经济发展。

(2) 数字经济对全要素能源效率的影响研究。夏子惠和古丽娜尔·玉素甫^[4] 运用双固定面板模型、中介效应模型和门槛效应模型检验了数字经济对能源效率的影响及其作用机制。程云洁等^[5] 使用超效率(slacks-based measurement, SBM)模型测算我国绿色能源效率, 并使用系统高斯混合模型(Gaussian mixture model, GMM)实证分析数字经济对我国绿色能源效率的影响。李思琦^[6] 对数字经济影响中国工业能源效率的作用机制进行了定性分析。赵巍^[7] 研究了数字经济对绿色全要素生产率影响的作用机制与门槛效应。李涛和沙玮华^[8] 采用

收稿日期: 2023-10-30

基金项目: 2023 年中国物流学会、中国物流与采购联合会研究课题计划(2023CSLKT3-259); “十四五”江苏省工商管理重点学科项目(SJYH2022-2/285)

作者简介: 罗清(1986—), 女, 湖北荆州人, 硕士, 讲师, 研究方向为物流工程、区域经济。

Tobit、GMM 实证回归检验了数字经济对能源效率的作用机制和影响渠道。

(3)关于物流业能源效率影响方面的研究。黄超然和周国华^[9]基于超效率 SBM 模型测算了我国物流业能源效率。王燕和刘婷^[10]对我国区域物流能源效率的影响因素进行了研究,发现物流产业规模、能源价格与物流业能源效率之间存在负向关系,而优化能源消耗结构能够推动物流业能源效率的提升。张瑞等^[11]对我国物流业能源生态效率的影响因素进行了研究,发现地区经济水平和政府投入与物流业能源效率之间存在显著的正相关关系。陈奋^[12]基于 2003—2020 年我国省级面板数据,研究进出口贸易对中国物流业能源效率的影响。车国旺和杨淑萍^[13]研究了我国贸易自由化对物流业能源经济效率的影响,重点考察了总体影响效应及分段式影响效应。廖名岩和田焯^[14]用全国 2010—2020 年省级面板数据,运用基准回归、空间计量模型以及门槛回归探讨数智化发展对物流业碳排放量的影响。

通过对已有文献的梳理发现,物流业能源效率的影响研究较少,大多集中在对物流业能源效率的测度及其直接影响研究上,对于物流业能源效率的作用机制方面的研究不多。另外,探讨数字经济对物流业能源效率的影响研究的相关文献较少,已有研究多是聚焦于数字经济对物流业高质量发展方面。与已有研究相比,本研究的边际贡献主要体现在:在研究视角上,以数字经济为研究对象,探讨数字经济对物流业能源效率的线性和非线性特征;从研究内容上,采用中介效应和空间计量模型系统研究数字经济对物流业能源效率的影响机制。

2 数字经济发展水平测度

2.1 数字经济评价指标体系的构建

影响数字经济发展水平的因素有很多,鉴于目前对于数字经济评标体系的构建及其测算方法并未统一,考虑到数字经济评价指标选取的全面性、可得性及科学性原则,借鉴纪圆圆和珠平芳^[3]及李思琦^[6]的思路构建数字经济的评价指标体系,从数字经济基础设施、数字产业化以及产业数字化 3 个维度测算数字经济发展水平(表 1)。

2.2 数据来源

以长江经济带沿线 11 省市作为研究对象,具体包括上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州以及云南,基础数据主要来源于 2014—2021 年《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》以及各省市统计年鉴,部分缺失数据采用线性插值法计算。

表 1 数字经济综合发展水平的评价指标体系

一级指标	二级指标	单位	属性
数字经济基础设施	单位面积光缆线路长度	km/km ²	正向
	移动电话交换机容量占有率	户/人	正向
	每万人拥有域名数	个/万人	正向
	每人拥有网页数	个/人	正向
	互联网宽带接入端口数	个/人	正向
	移动电话普及率	部/百人	正向
数字产业化	人均电信业务总量	万元/人	正向
	人均软件业务收入	万元/人	正向
	软件业嵌入式系统软件收入占软件业务收入比重	%	正向
	信息传输、软件和信息技术服务业固定资产投资	亿元	正向
	信息传输、软件和信息技术服务业就业人数占比	%	正向
	信息传输、软件和信息技术服务业城镇非私营单位就业人员平均工资	元	正向
产业数字化	企业每百人使用计算机数	台	正向
	每百家企业拥有网站数	个	正向
	有电子商务交易活动企业占比	%	正向
	电子商务销售额	亿元	正向
	电子商务采购额	亿元	正向
	规模以上企业有效发明专利数与 R&D 人员全时当量比值	件/人年	正向
	规模以上企业新产品销售收入	万元	正向
	R&D 经费	万元	正向

2.3 测度方法

现有文献对数字经济发展水平的综合评价方法有很多,包括主成分分析法、层次分析法、最大方差权数法、熵权法和逼近理想解排序(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)法等。通过方法的比较分析,采用熵权-TOPSIS 法来测算数字经济发展水平。具体实现步骤如下。

(1)假设有 n 个评价对象, m 个评价指标, y 个年份,那么 x_{kij} 为第 k 年第 i 个评价对象的第 j 个评价指标值。

(2)运用极差变化法对数据进行标准化处理。

$$\begin{cases} \text{正向指标: } x'_{kij} = \frac{x_{kij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \\ \text{负向指标: } x'_{kij} = \frac{x_{\max} - x_{kij}}{x_{\max} - x_{\min}} \end{cases} \quad (1)$$

(3)熵权法确定评价指标权重。

计算第 i 个评价对象的第 j 项指标所占比重 P_{kij} 。

$$P_{kij} = x'_{kij} / \sum_{k=1}^y \sum_{i=1}^n x'_{kij} \quad (2)$$

计算第 j 项指标的信息熵值 e_j 和效用值 g_j 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^y P_{kij} (\ln P_{kij}), g_j = 1 - e_j \quad (3)$$

式中: $k = 1/\ln(y_m) > 0$ 。

计算第 j 项指标权重 w_j 。

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^m g_j \quad (4)$$

(4)TOPSIS 法计算数字经济发展水平。

确定正理想解 x^+ 和负理想解 x^- 。

$$\begin{cases} x^+ = \{x_1^+, x_2^+, \dots, x_m^+\} = \{(\max(x_{kij} | j \in J_1), \\ \min(x_{kij} | j \in J_2) | 1 \leq k \leq y, 1 \leq i \leq n)\} \\ x^- = \{x_1^-, x_2^-, \dots, x_m^-\} = \{(\min(x_{kij} | j \in J_1), \\ \max(x_{kij} | j \in J_2) | 1 \leq k \leq y, 1 \leq i \leq n)\} \end{cases} \quad (5)$$

式中: J_1 为正向指标; J_2 为负向指标。

计算评价对象到正理想解的距离 D_i^+ 和负理想解的距离 D_i^- 。

$$\begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^y \sum_{j=1}^m [\omega_j (x_{kij} - x^+)^2]}, i = 1, 2, \dots, n \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{k=1}^y \sum_{j=1}^m [\omega_j (x_{kij} - x^-)^2]}, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (6)$$

计算各评价对象的相对贴近度 C_i^* 。

$$C_i^* = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-), i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

C_i^* 值即为数字经济发展水平的综合评价价值, 该值越大表示数字经济发展水平越高。

2.4 测度结果及分析

利用上述方法对 2014—2021 年长江经济带 11 省市的数字经济发展水平进行测度, 结果如图 1、图 2 所示。从图 1 可以看出, 2014—2021 年长江经济带及各区域的数字经济发展水平平均呈现出稳步上升的趋势, 下游区域的数字经济平均发展水平远高于长江经济带整体的发展水平, 中游和上游地区均低于长江经济带的平均水平, 流域内数字经济发展水平平均值呈现出下游 > 上游 > 中游的空间差异特征。从图 2 可以看出, 长江经济带各省市之间数字经济发展水平存在着“数字鸿沟”问题, 数字经济的发展存在较为严重的“两级分化”问题。下游的江浙沪 3 省市区位优势明显, 良好的社会经济基础为其数字经济发展提供了强有力的支撑, 3 省市的数字经济发展水平在长江经济带流域内最高。上游重庆市和四川省的成都市作为泛成渝城市圈的核心城市, “虹吸效应” 给其周边地区带来了大量的人力、物力和财力, 从而大力推动了两省市的数字经济发展, 而云南和贵州的社会经济基础相对比较薄弱, 且数字技术起步较晚, 所以其数字经济发展状况在流域内表现欠佳。安徽省借助长三角一

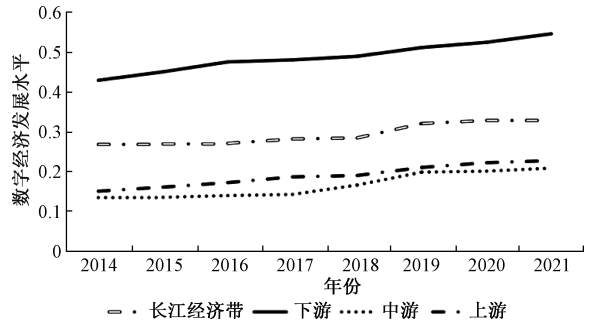


图 1 2014—2021 年长江经济带及其上、中、下游数字经济发展水平均值

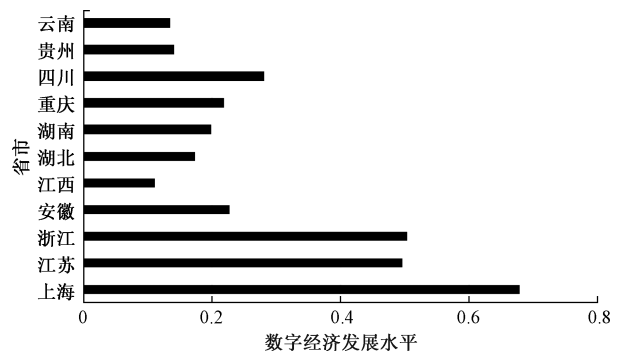


图 2 2014—2021 长江经济带各省市的数字经济水平年均值

体化发展优势, 其数字经济发展水平处于中等水平。中游的赣湘鄂 3 省, 社会经济基础较好, 但其高新技术产业基础薄弱、数字资源配置不合理导致其数字经济发展水平在流域内相对靠后。

3 变量选取与模型设定

3.1 变量选取

(1)被解释变量: 物流业能源效率 (LE)。综合反映长江经济带 11 省市物流业能源效率指标。借鉴 Tone^[15] 的方法构建非期望产出的超效率 SBM 模型来测算长江经济带的物流业能源效率, 指标体系包括投入和产出两部分, 投入指标主要从劳动力、资本和能源 3 个方面考虑, 产出指标包括期望产出 (物流业增加值) 和非期望产出 (物流业 CO₂ 排放量) 两部分。

(2)核心解释变量: 数字经济发展水平 (DE)。用 2.4 节测算出的结果来表征。

(3)中介变量。借鉴夏子惠和古丽娜尔·玉素甫^[4] 的思路, 从技术创新、物流业产业结构合理化和物流业产业结构高级化 3 个方面探讨数字经济对物流业能源效率的机制作用。

技术创新 (INN) 用发明专利授权量占专利授权总量的比值来表征。物流业产业结构合理化 (TS) 用各地区产业结构偏离度来衡量。产业结构偏离

度体现的是各产业产值比重与就业比重的一种差异程度,是衡量产业结构与就业结构是否协调的一个重要指标。对产业结构偏离度取绝对值进行比较,偏离度越趋向于 0,说明产业结构与就业结构的关系越合理,值越大说明产业结构就越不合理。

$$\text{物流业产业结构偏离度} = \frac{\text{物流业增加值} / \text{GDP}}{\text{物流业就业人数} / \text{总就业人数}} - 1 \quad (8)$$

物流业产业结构高级化(LTC)是指产业结构重心从第一产业向第二、三产业的逐步转移。从产业分类的角度,为第一、二、三产业赋予各异权重,然后与各自比重水平加权总值相乘,得到产业结构高级化指标。

(4)控制变量。影响物流业能源效率的因素较多,借鉴廖名岩和田炜^[14]的研究思路,选择经济发展水平、物流业规模、城镇化水平、政府支持、对外开放程度、环境规制和人力资本水平作为控制变量。经济发展水平(PGDP)用各地人均 GDP 来表征,物流业规模(LS)用物流业增加值占 GDP 比重来表征,城镇化水平(UR)用地区城镇人口比重表征,政府支持(GOV)用政府交通运输支出占地区 GDP 比重表征,对外开放程度(OPEN)用各地区进出口总额表征,环境规制(ER)用各地区工业污染治理完成投资额表征,人力资本水平(HCI)用中、高等院校在校学生数表征。

3.2 模型设定

3.2.1 基准回归模型

为了检验数字经济发展对物流业能源效率的影响,同时考虑除数字经济外,物流业能源效率还受其他因素的影响,构建如下面板模型:

$$LE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DE_{it} + \beta X_{it} + \mu_i + \delta_t + \xi_{it} \quad (9)$$

式中: i 为省份; t 为年份; LE_{it} 为第*i*省份第*t*年的物流业能源效率; DE_{it} 为第*i*省份第*t*年的数字经济发展水平; X_{it} 为一系列控制变量; α_1 反映了数字经济对物流业能源效率的影响程度; μ_i 为省份个体固定效应; δ_t 为时间固定效应; ξ_{it} 为随机扰动项; α_0 为常数项。

3.2.2 空间面板模型

参考已有文献可知,全要素能源效率存在一定的空间相关性,而上述基准回归模型中并未探讨物流业能源效率在空间因素上的影响,如果忽略空间相关性,对系数的估计可能会造成一定的偏差,所以引入空间面板模型进一步探讨空间因素上的影响。其模型为

$$\begin{cases} LE_{it} = \alpha_0 + \rho \sum_{i=1}^n W_{ij} LE_{it} + \beta X_{it} + \theta \sum_{i=1}^n W_{ij} X_{it} + \omega_{it} \\ \omega_{it} = \sigma \sum_{i=1}^n W_{ij} \omega_{it} + \xi_{it} \end{cases} \quad (10)$$

式中: W_{ij} 为空间面板权重; ρ 、 σ 为空间自回归和空间自相关系数; β_{it} 为回归系数; ω_{it} 为空间误差自相关项。如果 ρ 和 θ 不为 0 但 σ 为 0,则模型为空间杜宾模型(SDM);如果 ρ 不为 0 但 σ 和 θ 为 0,则模型为空间滞后模型(SLM);若 ρ 和 θ 为 0 但 σ 不为 0,则模型为空间误差模型(SEM)。

3.2.3 中介效应模型

为了验证数字经济可能通过技术创新(INN)、产业结构合理化(LTS)和产业结构高级化(LTC)3种传导机制提升物流业能源效率,建立如下中介效应模型:

$$\begin{cases} LE_{it} = \alpha + \alpha_1 DE_{it} + \alpha_2 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \xi_{it} \\ INN_{it} = \beta_0 + \beta_1 DE_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \xi_{it} \\ LE_{it} = \eta_0 + \eta_1 DE_{it} + \eta_2 INN_{it} + \eta_3 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \xi_{it} \end{cases} \quad (11)$$

式中: α_0 、 β_0 、 η_0 为常数项; α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 、 η_1 、 η_2 、 η_3 为回归系数。

上述模型考察技术创新在数字经济与物流业能源效率之间的中介效应。

$$\begin{cases} LTS_{it} = \beta_0 + \beta_1 DE_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \xi_{it} \\ LE_{it} = \eta_0 + \eta_1 DE_{it} + \eta_2 LTS_{it} + \eta_3 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \xi_{it} \end{cases} \quad (12)$$

上述模型考察产业结构合理化的中介效应。

$$\begin{cases} LTC_{it} = \beta_0 + \beta_1 DE_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \xi_{it} \\ LE_{it} = \eta_0 + \eta_1 DE_{it} + \eta_2 LTC_{it} + \eta_3 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \xi_{it} \end{cases} \quad (13)$$

上述模型分析产业结构高级化的中介效应。

4 实证结果与分析

4.1 描述性统计与共线性检验

变量描述性统计见表 2。表 2 显示,2014—2021 年物流业能源效率的最大值为 1.064,最小值仅为 0.117,能源效率平均存在较大差异。多重共线性检验结果显示,样本数据的 VIF(方差膨胀因子)平均值为 4.51,低于 10,说明样本数据不存在严重的多重共线性问题。

4.2 数字经济对物流业能源效率影响的总体分析

对样本数据进行 F 检验、BP 检验以及 Hausman 检验,检验结果显示样本数据适用固定效应回归模型,总体回归结果见表 3。由表 3 可知,加入控

表2 变量描述性统计

变量类型	变量	最小值	最大值	均值	标准差	中位数	样本量
被解释变量	物流业能源效率 LE	0.117	1.064	0.519	0.212	0.483	88
核心解释变量	数字经济发展水平 DE	0.023	0.118	0.060	0.024	0.055	88
控制变量	经济发展水平 lnPGDP	9.945	12.065	10.974	0.500	10.928	88
	物流业规模 LS	2.221	8.943	4.223	1.166	4.182	88
	城镇化水平 lnUR	3.695	4.492	4.086	0.192	4.068	88
	政府支持 GOV	0.005	0.050	0.014	0.009	0.012	88
	对外开放程度 lnOPEN	5.929	10.861	8.620	1.280	8.385	88
	环境规制 lnER	9.936	13.525	11.963	0.804	11.927	88
	人力资本水平 lnHCI	12.824	14.563	13.817	0.424	13.866	88
中介变量	技术创新 INN	0.046	0.313	0.146	0.056	0.144	88
	产业结构合理化 LTS	-0.485	1.455	-0.022	0.367	-0.105	88
	产业结构高级化 LTC	0.667	2.766	1.260	0.409	1.171	88

制变量之后模型的显著性有明显提高,可见加入控制变量进行分析是必要的,不仅可以提高模型的估计精度,还能够对数字经济的影响效应进行修正。另外无论是否加入控制变量,核心解释变量数字经济发展水平的回归系数均为正,说明长江经济带数字经济发展对物流业能源效率的提升有显著的促进作用。数字经济的快速发展不断完善物流业的资源配置,数据要素的投入、高新技术的推广应用,不断提高物流业的数字化联动水平,形成物流服务智能化、精准化,从而提升物流业发展效率;数字技术的应用可以对物流全过程进行优化,减少物流生产过程中的碳排放和能耗,从而达到节能、减排、增效的目的。另外,从控制变量的回归结果可知,地区经济发展水平与物流业能源效率有显著的正向相关关系,经济发展水平较好的地区,政府对于节能减排的意识更强,物流企业在运输、装卸搬运等能源消耗较大的环节更倾向于用清洁能源替代煤炭等高污染的能源,也更重视物流技术的创新和应用,从而改善物流业的能源结构,减少能源消耗和碳排放,提升物流业的能源效率。物流业规模对物流业能源效率有显著的正向促进作用,物流业增加值占GDP比重越大,对物流业能源效率的促进作用越显著。政府干预和环境规制对物流业能源效率提升具有显著的抑制作用。

4.3 区域异质性分析

参考已有研究可知,数字经济的发展以及其对能效的转化及影响会因为区域经济发展水平的不同而存在差异。为研究数字经济对长江经济带不同区域物流业能源效率的影响,进一步对长江经济带上、中、下游流域进行区域异质性检验。检验结果见表4。

表3 总体回归结果

变量	未含控制变量	含控制变量
DE	0.411* (2.716)	0.327** (4.302)
lnPGDP		0.344* (1.997)
LS		0.679** (3.638)
lnUR		-0.486 (-0.848)
GOV		-0.295* (-1.170)
lnOPEN		0.141 (0.542)
lnER		-0.255** (-1.736)
lnHCI		0.281 (1.604)
常数项	0.286* (4.485)	0.314** (9.350)
时间效应	Yes	Yes
个体效应	Yes	Yes
R ²	0.165	0.177

注:**、* 分别代表系数的显著性水平5%、10%;括号内为t值。

表4 数字经济对不同区域物流业能源效率的影响

变量	长江下游	长江中游	长江上游
DE	0.664* (2.070)	0.152* (1.002)	0.163* (2.242)
lnPGDP	1.108** (3.047)	0.406** (1.926)	0.795** (3.149)
LS	0.700** (20.887)	0.564** (6.156)	0.783** (14.435)
lnUR	-3.750** (-3.612)	0.327 (0.990)	-0.887** (-2.864)
GOV	-0.541** (-5.144)	0.113* (2.185)	-0.197 (-2.016)
lnOPEN	-0.140 (-0.384)	-0.017 (-1.506)	0.001 (0.005)
lnER	-0.209** (-5.358)	0.115 (1.159)	0.016 (0.700)
lnHCI	3.252** (6.865)	0.140 (1.442)	0.102 (1.485)
常数项	0.299 (1.282)	-0.418* (-2.288)	0.261* (2.503)
时间/个体效应	Yes	Yes	Yes
R ²	0.884	0.839	0.958
样本量	32	24	32

注:**、* 分别代表系数的显著性水平5%、10%;括号内为t值。

回归结果显示,长江经济带上、中、下游区域数字经济对其物流业能源效率提升均产生了正向的促进作用。根据不同区域数字经济的回归系数可知,下游地区数字经济发展对提升物流业能源效率的正向促进作用最大,上游次之,中游的促进作用最弱,与前文测算出的数字经济发展水平结果一致。主要是因为下游地区的江浙沪数字经济发展迅猛,数字基础设施完善,拥有丰富的数字创新技术、人才和雄厚的资金支持,从而驱动数字经济更好地赋能物流业高质量发展;上游区域以成渝经济圈为核心,通过一系列国家区域发展战略的实施,使得川渝数字经济发展水平快速提升,对物流业能源效率的影响略高于中游地区。

4.4 空间自相关分析

4.4.1 空间权重矩阵设定

从数字经济发展水平测算结果及物流业能源效率的测算结果可知,区域经济越发达的地区,其对应的数字经济发展水平和物流业能源效率也相对较高,所以 0~1 空间权重矩阵难以真实地反映出长江经济带 11 省市数字经济及物流业能源效率之间的相互联系和影响,因此从经济距离 d_{ij} 的角度来构建空间权重矩阵。

$$d_{ij} = |y_i - y_j|, w_{ij} = 1/d_{ij} \quad (14)$$

式中: y_i, y_j 为各区域的经济发展水平,采用人均 GDP 来衡量。

4.4.2 空间自相关检验

在进行空间效应分析之前,需要先对物流业能源效率和数字经济这两个关键变量的空间相关性进行检验,一般用全局莫兰指数(Moran's I)检验结果来衡量,见表 5。2014—2021 年,物流业能源效率和数字经济发展水平的 I 值均为正数,且均通过了 10% 和 5% 的显著性水平检验,所以样本数据均存在一定的空间正相关性,可以进行空间效应分析。

4.4.3 模型选择

在通过 Moran's I 检验后,还需要进行 LM (Lagrange Multiplier) 检验和稳健的 LM 检验来选择具体的空间计量模型,检验结果见表 6。除 RLM-error (Robust LM-error) 未通过显著性检验之外,其余均通过显著性检验,选择空间滞后模型进行分析。再进行 Wald 检验和 LR 检验,发现结果均不显著,说明观察数据不适合空间杜宾模型进行分析。Hausman 检验统计量为 19.73, P 为 0.014,最终选空间滞后模型(SLM)来探讨数字经济对物流业能源效率的影响。空间滞后模型的回归结果见表 7。

表 5 2014—2021 年物流业能源效率与数字经济 Moran's I

年份	LE		DE	
	Moran's I	P	Moran's I	P
2014	0.329	0.028	0.327	0.035
2015	0.384	0.018	0.190	0.172
2016	0.363	0.022	0.302	0.042
2017	0.382	0.017	0.261	0.067
2018	0.391	0.016	0.312	0.041
2019	0.224	0.056	0.273	0.062
2020	0.380	0.020	0.268	0.059
2021	0.390	0.018	0.249	0.065

表 6 LM 和 RLM 检验结果

变量	Moran's I	空间误差模型(SEM)		空间滞后模型(SLM)	
		LM-error	RLM-error	LM-lag	RLM-lag
统计量	4.156	9.658	2.431	7.705	0.479
P	0.024	0.002	0.119	0.006	0.048

表 7 空间滞后模型回归结果

变量	直接效应	间接效应	总效应
DE	0.69** (2.51)	0.106 (0.74)	0.796** (2.31)
lnPGDP	0.485** (2.36)	0.082 (0.68)	0.567** (2.04)
LS	0.103*** (5.06)	0.018 (0.78)	0.121*** (3.04)
lnUR	-1.074 (-1.48)	-0.193 (-0.62)	-1.267 (-1.37)
GOV	-4.518 (-0.97)	-0.741 (-0.5)	-5.259 (-0.95)
lnOPEN	-0.107 (-1.23)	-0.02 (-0.61)	-0.127 (-1.15)
lnER	-0.047* (-1.95)	-0.007 (-0.67)	-0.054* (-1.83)
lnHCI	-0.048 (-0.52)	-0.003 (-0.13)	-0.051 (-0.48)
ρ	0.126** (0.8)		
对数似然函数值	99.416 1		
组内 R^2	0.512 9		

注:***、**、* 分别代表系数的显著性水平 1%、5%、10%,括号内为 t 值。

从表 7 可知,空间自回归系数 $\rho = 0.126$,且通过了 5% 的显著性检验,表明物流业能源效率存在正向的空间溢出效应,与全局莫兰指数检验结果一致,即某一区域物流业能源效率不仅受到本区域的相关因素影响,也受到与之经济距离近的区域物流业能源效率的影响。另外通过空间回归模型偏微分的方法,将各解释变量对物流业能源效率的空间效应分解为直接效应、间接效应和总效应。分解的

结果表明,从总效应来看,数字经济发展水平对物流业能源效率的提升具有显著的促进作用,总效应为0.796,且通过5%的显著性水平。从直接效应来看,数字经济发展对当地的物流业能源效率的提升具有显著的促进作用,当本地的数字经济发展水平每上升1个单位,就会促进当地物流业能源效率提升0.69个单位。从间接效应看,数字经济发展对周边地区物流业能源效率提升呈现正向促进作用,但未通过显著性检验,说明目前数字经济发展对物流业能源效率的正向促进作用仅限于本地,尚未表现出显著的空间溢出效应。控制变量对物流业能源效率的空间效应与上述基准回归结果相似,此处不再赘述。

4.5 数字经济对物流业能源效率的作用机制分析

为了分析数字经济对物流业能源效率的作用机制,在基准回归的基础上,分别引入技术创新、物流业产业结构合理化、物流业产业结构高级化这3种中介变量进行中介效应模型回归,从而检验数字经济能否通过这3种渠道来提升物流业能源效率。回归结果见表8。表8中第(1)列检验了数字经济对中介变量技术创新的影响,其回归系数为0.365,在5%的水平上显著,说明数字经济对技术创新有显著的正向促进作用。第(2)列检验了数字经济、技术创新同时对物流业能源效率的影响,从技术创新的回归系数可以看出数字经济可以通过技术创新渠道来提升物流业能源效率。第(3)列中数字经济对产业结构合理化的回归系数为-0.155,在10%的水平上显著,说明数字经济能够提高物流业产业结构合理化水平。第(4)列中物流业产业结构合理化对物流业能源效率的回归系数为-0.023,在5%的水平上显著,说

明物流业产业结构合理化水平的提升有利于物流业能源效率的改善,与此同时数字经济仍对物流业能源效率有显著的正向促进作用,说明数字经济能够通过改善物流业产业结构合理化水平间接的促进物流业能源效率的提升。需要说明的是,产业结构合理化指数越小,产业结构越合理,数字经济就越能够通过提高产业结构合理化水平来间接促进物流业能源效率的提升。第(5)列检验了数字经济对物流业产业结构高级化的影响,回归系数为0.439,在5%的显著性水平下通过检验,说明数字经济能够提高物流业产业结构高级化水平。第(6)列检验了数字经济、物流业产业结构高级化同时对物流业能源效率的影响,物流业产业结构高级化的回归系数为0.116,在10%的显著性水平通过检验,说明物流业产业结构高级化对物流业能源效率有显著的正向促进作用,数字经济的回归系数仍然为正,表明数字经济能够通过提高物流业产业结构高级化水平间接地促进物流业能源效率的提升。

5 结论与建议

基于数字经济的视角,选取2014—2021年长江经济带11省市的面板数据为样本,从数字基础设施、数字产业化、产业数字化3个维度出发,构建数字经济发展水平的评价指标体系,利用熵权-TOPSIS法测算各省市的数字经济发展水平,再进一步结合基准回归模型、空间面板模型及中介效应模型探讨了数字经济对物流业能源效率的影响及作用机制。研究结论发现,2014—2021年长江经济带及各区域的数字经济发展水平平均呈现出稳步上升的趋势,流域内数字经济发展水平平均值呈现出下游>上游>中游的空间差异特征。基准回归结果

表8 中介效应检验结果

变量	技术创新		产业结构合理化		产业结构高级化	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	INN	LE	LTS	LE	LTC	LE
DE	0.365** (5.482)	0.246** (3.133)	-0.155* (-2.245)	0.323** (5.435)	0.439** (7.923)	0.276** (3.243)
INN		0.222** (2.725)				
LTS				-0.023** (-4.066)		
LTC						0.116* (1.464)
常数项	0.290** (8.957)	0.400** (8.866)	0.291** (9.565)	0.159** (3.746)	0.135** (5.506)	0.343** (8.84)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R ²	0.124	0.243	0.055	0.368	0.422	0.197
F	12.124	13.659	5.04	24.741	62.774	10.447

注:**、* 分别代表系数的显著性水平5%、10%;括号内为t值。

显示,长江经济带数字经济发展对物流业能源效率的提升具有显著的正向促进作用,同时地区经济发展水平、物流业规模对物流业能源效率提升有显著的正向促进作用,而政府干预和环境规制对物流业能源效率提升有明显的抑制作用。区域异质性分析表明,长江经济带上游、中、下游区域数字经济对其物流业能源效率提升均产生了正向的促进作用,且数字经济对长江经济带下游区域物流业能源效率提升作用远高于上游和中游。空间自相关分析的结果表明,长江经济带物流业能源效率存在正向的空间溢出效应,结合空间效应分解结果,从总效应和直接效应来看,数字经济对物流业能源效率的提升有明显的促进作用,从间接效应来看,数字经济对周边地区物流业能源效率提升的促进作用并为通过显著性检验,说明数字经济对物流业能源效率提升的促进作用仅限于本地,尚未表现出显著的空间溢出效应。作用机制分析结果显示,长江经济带数字经济对技术创新、物流业产业结构合理化及物流业产业结构高级化3种中介变量均具有显著的正向促进作用,检验了长江经济带数字经济能够通过技术创新、物流业产业结构合理化、物流业产业结构高级化渠道间接促进物流业能源效率的提升。研究结论对推进长江经济带区域数字经济发展及提升物流业能源效率具有重要的参考价值。基于本文的研究,提出如下政策建议。

(1)加大力度推进5G基站、大数据中心等数字基础设施建设,激发数字要素发展潜能,实施动态化、差异化的数字经济发展战略,因地制宜,缩小“数字鸿沟”,助力物流业低碳、绿色转型。长江经济带下游区域,社会经济水平高,人力资源丰富,技术创新动力强,在政策制定方面应着力于数字核心技术突破,聚焦于数字技术与物流产业的深度融合,推动物流系统全链条数字化运营。长江经济带上、中游区域可依托城府支持和政策引导加快发展新型数字基础设施建设,建立数字化的物流信息平台,加强数字技术在物流业内部各环节的应用,充分发挥政策优势助力数字经济促进物流业能源效率提升。

(2)优化物流业产业结构,打通物流业能源效率提升渠道。政府应积极出台相应政策,推动物流企业与数字经济的深度融合,实现物流业提质增效

的目标;同时结合长江经济带各区域经济发展规律,找准其物流业发展定位,合理制定相对应的政策措施,推进数字经济集群发展,促进物流业产业结构向着高级化、智能化方向发展。

(3)增加技术研发投入,激发技术创新发展潜力,为打造可视化、集成化、智能化的物流生态系统创造条件。为推动物流业技术创新发展,政府应在资金、人才以及制度等方面予以大力支持,主动牵头,进行资源整合,共同打造资源共享、协同发展的数字产业生态圈。

参考文献

- [1] TAPSCOTT D. The digital economy: promise and peril in the age of networked intelligence [M]. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [2] 刘军, 杨渊璧, 张三峰. 中国数字经济测度与驱动因素研究[J]. 上海经济研究, 2020(6): 81-96.
- [3] 纪圆圆, 朱平芳. 数字经济赋能产业结构升级: 需求牵引和供给优化[J]. 学术月刊, 2022(4): 63-77.
- [4] 夏子惠, 古丽娜尔·玉素甫. 数字经济对中国绿色能源效率的影响: 基于中介和门槛效应的分析[J]. 技术经济与管理研究, 2022(10): 3-9.
- [5] 程云洁, 张志芳, 刘娴. 双碳目标下数字经济对中国绿色能源效率的影响[J]. 商业研究, 2023(2): 65-72.
- [6] 李思琦. 数字经济对中国工业能源效率的影响研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2022.
- [7] 赵巍. 数字经济与城市绿色全要素生产率: 作用机制与门槛效应[J]. 中国流通经济, 2022(11): 15-26.
- [8] 李涛, 沙玮华. 数字经济对地区全要素能源效率的影响研究: 基于市场贸易的中介效应分析[J]. 财经理论与实践, 2022, 43(3): 120-127.
- [9] 黄超然, 周国华. 碳约束下省域物流能源效率空间关联效应及其影响因素[J]. 科技管理研究, 2022, 42(24): 184-191.
- [10] 王燕, 刘婷. 碳排放约束下我国区域物流能源效率及影响因素研究[J]. 生态经济, 2018, 34(10): 14-18.
- [11] 张瑞, 胡彦勇, 鄯晓彤. 中国物流业能源生态效率与其影响因素的动态响应研究[J]. 经济问题, 2021(8): 9-17.
- [12] 陈奋. 进出口贸易对物流业能源效率影响研究[J]. 价格理论与实践, 2022(7): 199-202.
- [13] 车国旺, 杨淑萍. 我国贸易自由化对物流业能源经济效率的影响[J]. 商业经济研究, 2022(2): 126-129.
- [14] 廖名岩, 田炜. 数智化对物流业碳排放的影响研究[J]. 吉林工商学院学报, 2023, 39(1): 30-37.
- [15] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.

The Impact of Digital Economy on Energy Efficiency of Logistics Industry in the Yangtze River Economic Belt

LUO Qing

(School of Business, Nantong Institute of Technology, Nantong 226002, Jiangsu, China)

Abstract: Based on the panel data of 11 provinces and cities in the Yangtze River Economic Belt from 2014 to 2021, an evaluation index system for the development of the digital economy is constructed. The entropy weight TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) method is used to calculate the comprehensive development index of the digital economy. Then, a benchmark regression model, spatial econometric model, and intermediary effect model are combined to explore the impact of the digital economy on the energy efficiency of the logistics industry. The results showed that during the research period, the average level of digital economy development in the Yangtze River Economic Belt and various regions showed a steady upward trend, and the average level of digital economy development in the basin showed a spatial difference characteristic of downstream > upstream > midstream. There is a positive spatial spillover effect on the energy efficiency of the logistics industry in the Yangtze River Economic Belt. The digital economy has a significant positive promoting effect on the improvement of energy efficiency in the local logistics industry, but the promoting effect on the energy efficiency of the logistics industry in the surrounding areas is not yet significant. The analysis of regional heterogeneity shows that the promoting effect of the digital economy on energy efficiency in the logistics industry is gradually decreasing from downstream to upstream to midstream. The intermediary effect results show that the digital economy can promote the improvement of energy efficiency in the logistics industry through technological innovation, rationalization of the logistics industry structure, and upgrading of the logistics industry structure. Based on the above conclusions, countermeasures and suggestions are proposed to promote the development of digital economy and the improvement of energy efficiency in the logistics industry in the Yangtze River Economic Belt.

Keywords: digital economy; energy efficiency of logistics industry; spatial econometric model; mesomeric effect