

doi:10.20270/j.cnki.1674-117X.2025.6008

# 长江经济带数字经济与绿色物流效率 协同演化及驱动因素研究

乔国通, 胡佳旭

(安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 基于2013—2022年长江经济带11个省(市)的面板数据,综合采用超效率SBM模型、熵权法、耦合协调模型、核密度估计等方法,计算长江经济带数字经济与绿色物流效率协调发展水平,分析其动态演变趋势,并利用地理探测器模型探究其驱动因子。研究发现:长江经济带绿色物流效率整体呈上升趋势,但各省(市)间绿色物流效率发展水平差异明显;长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调发展较好,其分布演化动态趋势表明,长江经济带总体及三大区域耦合协调水平均呈上升趋势,中游地区耦合协调水平出现较为明显的两极分化现象;城镇化水平是影响两系统协调发展的主要驱动因子,且各因子的交互项皆呈增强效应。据此,建议缩小区域绿色物流效率差异,注重数字经济发展,促进城镇化水平,调整产业结构,以推进长江经济带数字经济与绿色物流效率协同发展。

**关键词:** 长江经济带; 数字经济; 绿色物流效率; 耦合协调; 驱动因子

**中图分类号:** F259.2; F49      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1674-117X(2025)06-0073-10

## The Synergistic Evolution and Driving Factors of Digital Economy and Green Logistics Efficiency in Yangtze River Economic Belt

QIAO Guotong, HU Jiaxu

(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** Based on the panel data of 11 provinces and municipalities in the Yangtze River Economic Belt from 2013 to 2022, this paper employs a comprehensive methodology including the super-efficiency SBM model, entropy weight method, coupling coordination model, and kernel density estimation to assess the level of coordinated development between the digital economy and green logistics efficiency, analyze its dynamic evolution trend, and investigate the driving factors using a geographical detector model. The findings reveal three main insights. First, despite an overall upward trend in green logistics efficiency, significant disparities persist among its provinces and municipalities. Second, the coupling coordination between the digital economy and green logistics is improving across the Yangtze River Economic Belt and its three segments, despite notable polarization in the midstream region. Finally, urbanization level is the primary driving factor, with interactions between any two factors demonstrating a mutually enhancing effect. Therefore, it is suggested to narrow the regional disparities

收稿日期: 2025-08-20

基金项目: 安徽省科协决策咨询研究项目“数字经济赋能安徽省农业现代化路径研究”(2025jczx03)

作者简介: 乔国通, 男, 河南南阳人, 安徽理工大学副教授, 研究方向为管理决策。

in green logistics efficiency, prioritize the development of digital economy, promote the urbanization level, and adjust the industrial structure, thereby fostering the coordinated development of digital economy and green logistics efficiency in the Yangtze River Economic Belt.

**Keywords:** Yangtze River Economic Belt; digital economy; green logistics efficiency; coupling coordination; driving factors

随着全球气候变化挑战日益严峻及可持续发展理念深入人心，推动经济体系向绿色低碳模式转型已成为国际社会的核心议题。物流业是连接全球经济的重要纽带，但传统的物流运作模式使物流成为全球温室气体的主要来源之一。为实现行业可持续发展，绿色物流作为一种新的物流行业运营理念逐渐受到重视，其通过优化物流流程，能有效减少能源消耗、提高物流资源利用效率，进而实现物流产业与生态环境的和谐共生。数字经济通过提升信息透明度、优化资源配置效率、创新商业模式等方式为绿色物流注入新动能，并为解决物流发展与环境间的矛盾提供了新的技术路径和治理思路。同时，绿色物流理念与实践需求也反向驱动着数字技术在物流场景中的创新应用与迭代升级，为数字经济的深入发展开辟了广阔空间。中共二十大报告也强调，要加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合。因此，探究数字经济与绿色物流效率协调发展有助于我国物流业积极培育新发展动能、提升绿色物流效率，对建设美丽中国具有重要现实意义。

近年来，众多学者从多角度对绿色物流效率发展问题进行了研究并取得了丰硕的成果。在研究内容上，学者们多聚焦于绿色物流效率发展水平测度、绿色物流效率影响因素分析。在绿色物流效率发展水平测度方面，现有研究主要从静态和动态角度对区域物流业绿色效率值进行分析<sup>[1-2]</sup>。在绿色物流效率影响因素分析方面，部分学者探究经济水平、对外开放水平、产业结构、能耗水平等因素对绿色物流效率发展的影响<sup>[3-4]</sup>；部分学者认为，电商行业、创新驱动政策、绿色技术创新对绿色物流效率具有影响<sup>[5-7]</sup>。在研究方法上，多采用包含非期望产出的 Super-SBM 模型、GML 指数分解法、Tapio 脱钩效应模型和 LMDI 驱动因素分析法及 Tobit 模型<sup>[8-10]</sup>。数字经济的起源可以

追溯到 20 世纪 70 年代<sup>[11]</sup>，其作为一种新型经济形态被应用于多个领域，对各行业绿色转型的影响不容忽视。周茜基于基准回归模型，测算了数字经济对制造业绿色发展的影响和作用机制<sup>[12]</sup>。郭辰等从技术创新与产业优化视角，探究数字经济对绿色发展的促进效用及空间溢出性<sup>[13]</sup>。随着数字经济的蓬勃发展，众多学者开始思考数字经济与物流业之间的联系。有学者基于协同发展理念，指出数字经济对物流业高质量发展具有显著的积极影响<sup>[14]</sup>；也有学者运用中介效应、调节效应等模型，探究数字经济对物流业与现代农业融合发展的促进效用，发现数字经济能直接促进两业技术、产品、业务融合发展<sup>[15]</sup>。

综上所述，虽然现有研究对数字经济及绿色物流效率的研究角度与方法日益丰富，但仍存在以下不足：（1）现有研究多侧重数字经济对物流单一环节的促进作用，缺乏将数字经济与绿色物流效率发展视为有机整体，深入探究二者间动态耦合、协调演进的内在机制的系统性分析。（2）数字经济与绿色物流效率的协调发展受产业结构、政策环境、市场需求等多重因素交互影响，这些关键驱动因素识别尚未得到学界的充分关注和深入探讨。（3）现有研究多涉及全国、省域，对沿河沿江和生态环境脆弱地区的研究较少。因此，本研究基于 2013—2022 年长江经济带 11 省（市）的面板数据，构建数字经济与绿色物流效率综合评价体系，科学测度其耦合协调度，并系统识别关键影响因素及其作用机制，以期为优化区域协同政策、激发两业融合效能、促进长江经济带绿色低碳高质量发展提供理论支撑与实证参考。

## 一、研究区域概况及研究方法

### （一）研究区域概况

长江经济带覆盖上海、安徽、江苏、江西等

11个省(市), 承载了全国超过40%的人口和经济总量。长江经济带在流域经济发展格局中, 不仅承载着长江黄金水道沿线的产业核心功能, 更作为国家级经济走廊发挥着要素集聚效应, 该区域科技创新能力、文化产业辐射力等处于全国前列。但由于物流等行业粗放式发展, 长江经济带的生态环境遭受一定程度的破坏。因此, 探究长江经济带数字经济与绿色物流效率协同发展, 有利于促进区域协调发展, 完善区域绿色化建设体系, 对长江经济带高质量发展及我国社会经济绿色发展具有重要推动作用。

## (二) 研究方法

### 1. 非期望产出的超效率 SBM 模型

非期望产出的超效率 SBM 模型不仅解决了传统径向模型在效率评价过程中对松弛变量的忽视和决策单元排序问题, 还考虑到非期望产出对效率评价的影响, 能够更加精准地衡量决策单元的效率。因此, 本研究选取非期望产出的超效率 SBM 模型测算长江经济带绿色物流效率, 该模型计算公式如下:

$$\begin{aligned} \min \theta = & \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}^t}}{1 + \frac{1}{q+h} \left( \sum_{r=1}^q \frac{s_r^+}{y_{ro}^t} + \sum_{k=1}^h \frac{s_k^-}{b_{ko}^t} \right)}, \quad (1) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} x_{io}^t \geq \sum_{j=1, j \neq o}^n \lambda_j^t x_{ij}^t + s_i^-, \quad i = 1, 2, \dots, m; \\ y_{ro}^t \leq \sum_{j=1, j \neq o}^n \lambda_j^t y_{rj}^t - s_r^+, \quad r = 1, 2, \dots, q; \\ b_{ko}^t \geq \sum_{j=1, j \neq o}^n \lambda_j^t b_{kj}^t - s_k^-, \quad k = 1, 2, \dots, h; \\ \lambda_j^t \geq 0 (\forall j), \quad s_i^- \geq 0 (\forall i), \quad s_r^+ \geq 0 (\forall r), \quad s_k^- \geq 0 (\forall k). \end{cases} \end{aligned}$$

式中:  $\theta$  表示绿色物流效率值, 当  $0 < \theta < 1$  时, 表示决策单元是非有效的, 在投入与产出指标上有待改进;  $m$ 、 $q$ 、 $h$  分别表示投入指标、期望产出、非期望产出指标的数量;  $s_i^-$ 、 $s_r^+$ 、 $s_k^-$  分别表示各时期投入、期望产出、非期望产出的松弛变量;  $\lambda$  表示权重向量;  $t$  表示时期;  $j$  表示决策单元;  $o$  表示被评价的决策单元;  $x_i$  表示投入矩阵;  $y_k^t$  和  $b_k$  分别表示期望产出和非期望产出矩阵。

### 2. 熵权法

为了消除各系统指标度量尺度不同造成的影响, 首先对原始数据进行标准化处理。

$$\text{正向指标: } Y_{al} = \frac{X_{al} - \min(X_{al})}{\max(X_{al}) - \min(X_{al})}; \quad (2)$$

$$\text{逆向指标: } Y_{al} = \frac{\max(X_{al}) - X_{al}}{\max(X_{al}) - \min(X_{al})}. \quad (3)$$

式中:  $X_{al}$  表示第  $a$  年第  $l$  个单项指标的原始数据;  $Y_{al}$  为原始数据标准化后的数据。

基于标准化后的数据计算第  $l$  个指标的权重。

$$Z_{al} = \frac{Y_{al}}{\sum_{a=1}^n Y_{al}}, \quad (4)$$

$$e_l = -\frac{1}{\ln h} \sum_{a=1}^h Z_{al} \ln Z_{al}, \quad (5)$$

$$d_l = 1 - e_l, \quad (6)$$

$$W_l = \frac{d_l}{\sum_{l=1}^h d_l}. \quad (7)$$

式中:  $e_l$  表示第  $l$  个指标的信息熵;  $d_l$  表示第  $l$  个指标的信息熵冗余度;  $h$  表示指标数;  $Z_{al}$  表示第  $a$  年第  $l$  项指标的比重, 当  $Z_{al}=0$  时, 令  $Z_{al} \ln Z_{al}=0$ ;  $W_l$  为指标  $l$  的权重。 $0 \leq W_l \leq 1$ 。

根据各指标标准化后的结果和权重计算指标综合指数。

$$H = \sum_{l=1}^h (W_l \times Y_{al}), \quad (8)$$

式中:  $H$  表示综合发展指数。

### 3. 耦合协调模型

耦合度表征数字经济和绿色物流效率系统之间的相互影响关系, 反映两系统之间的相互依赖和相互制约程度。耦合度模型计算公式如下:

$$C = 2 \times \left[ \frac{(u_1 \times u_2)}{(u_1 + u_2)^2} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

式中:  $u_1$ 、 $u_2$  分别表示数字经济发展水平、绿色物流效率发展水平;  $C$  表示数字经济与绿色物流效率的耦合度, 其范围为  $0 \leq C \leq 1$ , 指标值越接近 1, 表示两系统耦合度越高, 子系统间关系越密切。

由于耦合度模型只能表示数字经济与绿色物流效率之间的耦合关系, 难以反映两系统之间的协调水平及各个系统的发展状况, 因此, 引入耦合协调度模型来进一步探究数字经济与绿色物流

效率之间的协调情况。耦合协调度公式如下：

$$T = \alpha u_1 + \beta u_2, \quad (10)$$

$$D = (C \times T)^{1/2}. \quad (11)$$

式中： $T$  表示两系统综合协调指数； $D$  为耦合协调度，取值范围为  $[0,1]$ ； $\alpha$ 、 $\beta$  表示数字经济与绿色物流效率两个系统协调度的重要程度，通常认为两个系统同等重要，因此这里  $\alpha$  和  $\beta$  取值均为 0.5<sup>[16-17]</sup>。一般情况下， $D$  值越高，对应的耦合协调度越高，表示两系统协调发展水平越高；反之，对应的耦合协调度越低，表示两系统协调发展越不和谐。借鉴相关学者的研究<sup>[18-19]</sup>，将耦合协调度划分为 4 个耦合协调类型、10 个耦合协调度等级，如表 1 所示。

表 1 数字经济与绿色物流效率耦合协调度类型划分

耦合协调类型	耦合协调度	耦合协调阶段
低水平耦合协调	(0.0, 0.1]	极度失调
	(0.1, 0.2]	严重失调
	(0.2, 0.3]	中度失调
中水平耦合协调	(0.3, 0.4]	轻度失调
	(0.4, 0.5]	濒临失调
	(0.5, 0.6]	勉强协调
高水平耦合协调	(0.6, 0.7]	初级协调
	(0.7, 0.8]	中级协调
	(0.8, 0.9]	良好协调
极高水平耦合协调	(0.9, 1.0]	优质协调

#### 4. 核密度估计

核密度估计作为一种非参数方法，用于估计数据的概率密度函数，不依赖于任何特定的概率分布假设，因此能够处理非正态的数据。参考相关研究<sup>[20-22]</sup>，本研究运用高斯核函数揭示长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调发展的空间分布形态和演变过程，公式如下：

$$f(x) = \frac{1}{Ng} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - \bar{X}}{g}\right), \quad (12)$$

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right). \quad (13)$$

式中： $N$  代表样本量； $g$  代表宽度； $X$  表示各省（市）数字经济和绿色物流效率耦合协调度； $K$  为高斯核密度。

#### 5. 地理探测器模型

地理探测器可用于揭示某一被解释变量值及其驱动因子的空间分异性，该方法无需线性假设。

本研究通过因子探测模块探析长江经济带数字经济及绿色物流效率协同发展的驱动因子，并借助交互探测模块进一步探究不同驱动因子之间的交互作用，具体公式<sup>[23-24]</sup>如下：

$$G = 1 - \frac{\sum_{V=1}^L F_V \sigma_V^2}{F \sigma^2}, \quad (14)$$

式中： $L$  表示分类数； $F_V$  和  $F$  分别表示第  $V$  层和全区的样本量； $\sigma_V^2$  和  $\sigma^2$  分别为第  $V$  层和全区的方差； $G$  表示各影响因子的解释程度，其取值范围为  $0 \leq G \leq 1$ 。

### （三）指标选取与数据来源

#### 1. 指标选取

本研究在参考已有文献<sup>[25-27]</sup>的基础上，同时遵循科学性、相关性、可获得性等原则，从投入-产出视角构建绿色物流效率综合指标体系（见表 2）。物流业从业人员是物流活动的主要参与者，资金是物流活动的物质基础，能源投入是物流活动顺利进行的重要保障，因此，本文选取资本、劳动、能源要素投入作为绿色物流效率的投入指标。在产出指标选取上，以规模产出、经济产出作为期望产出，碳排放量作为非期望产出。研究采用“自上而下”法，选取 8 种能源消耗量来计算物流业二氧化碳排放量，具体计算公式如下：

$$Q = \sum_{f=1}^8 E_f \times NCV_f \times CEF_f \times COF_f \times \frac{44}{12}, \quad (15)$$

式中： $Q$  表示物流业二氧化碳总排放量； $f$  为能源种类； $E_f$  表示能源消耗量； $NCV_f$  表示能源平均低位发热量； $CEF_f$  表示能源单位热值含碳量； $COF_f$  表示能源碳氧化率。

各能源系数如表 3 所示。

参考相关研究<sup>[28-30]</sup>，本文从基础设施、产业数字化、数字产业化 3 个维度构建指标体系（见表 4）。（1）基础设施，又称“数字基建”，以互联网发展水平、光缆长度、移动电话用户数、互联网宽带用户数表征；一套相对完整的基础设施是保证数字经济发展和创新的基础。（2）产业数字化，以电信业务规模、软件业务收入额、互联网从业人员数表征；产业数字化是数字技术应用的最终产出和成果体现，其指标直接反映数字经济发展的质量、效率和核心价值。（3）数字产业化，以网站数、电子商务销售额、数字普惠金

融发展表征; 数字产业化是数字经济发展的动力源泉。

表 2 绿色物流效率评价指标体系

类别	一级指标	二级指标
投入指标	资本投入	物流业固定资产投资
	劳动投入	物流业从业人员
	能源投入	物流业能源消耗量
期望产出	经济产出	物流业 GDP 增加值
	规模产出	货运周转量
非期望产出	碳排放量	物流业二氧化碳排放量

表 3 各能源系数

能源类型	折算标准煤系数	单位热值含碳量	碳氧化率
原煤	0.7143	26.37	0.94
原油	1.4286	20.1	0.98
焦炭	0.9714	29.5	0.93
煤油	1.4714	19.6	0.98
汽油	1.4714	18.9	0.98
柴油	1.4571	20.2	0.98
燃料油	1.4286	21.1	0.98
天然气	1.3300	15.3	0.99

表 4 数字经济评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
基础设施	互联网发展水平	互联网普及率
	光缆长度	单位面积光缆长度
	移动电话用户数	移动电话普及率
产业数字化	互联网宽带用户数	互联网宽带接入用户数
	电信业务规模	电信业务总量占比
	软件业务收入额	软件业务收入占比
数字产业化	互联网从业人员数	信息传输、计算机服务和软件从业人员占比
	网站数	每百家企业接有网站数
	电子商务销售额	企业电子商务销售额
	数字普惠金融发展	各省数字普惠金融指数

## 2. 数据来源

2013 年国务院发布了“宽带中国”战略及实施方案通知, 为长江经济带数字经济发展提供了关键政策驱动力, 同时考虑数据可获得性, 本研究选择 2013 年作为起始年份, 2022 年为结束年份。数据主要来源于《中国统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、国家统计局官网、各省统计年鉴及北京大学数字研究中心网站<sup>[31]</sup>。物流业二氧化碳排放量折算所需的各种燃料单位热值含碳量以及碳氧化率参考 2011 年发布的《省级温室气体清单编制指南(试行)》, 各种能源的平均低位发热量数据来源于《中国能

源统计年鉴》。

## 二、结果与分析

### (一) 绿色物流效率结果测算与分析

基于长江经济带 2013—2022 年 11 个省(市)绿色物流效率的相关数据, 结合含非期望产出的超效率 SBM 模型, 测算得到长江经济带绿色物流效率发展水平(见图 1)。长江经济带各省(市)绿色物流效率均值见图 2。

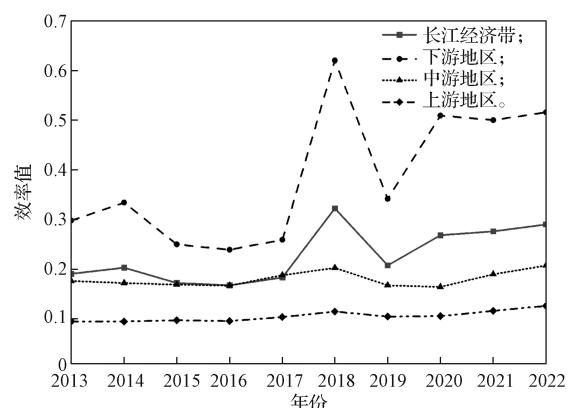


图 1 长江经济带绿色物流效率发展水平

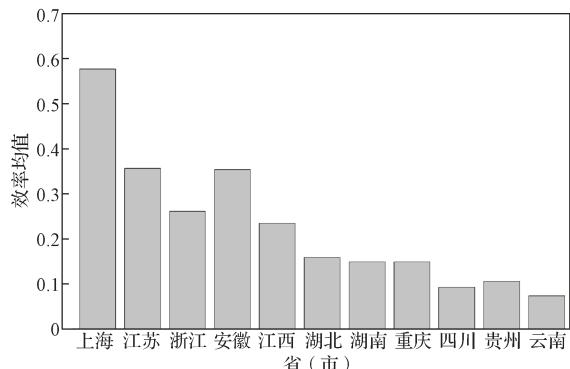


图 2 长江经济带各省(市)绿色物流效率均值

从整体区域来看, 研究期间, 长江经济带绿色物流效率发展水平均值在 0.168~0.323 之间波动, 整体呈上升趋势, 说明长江经济带绿色物流发展水平虽整体趋势较好, 但尚处于不稳定阶段。从省域层面看, 长江经济带 11 个省(市)2013—2022 年绿色物流效率的均值排名前 3 的省(市)分别为上海、江苏、安徽, 表明这 3 个省(市)的物流业绿色转型取得一定效果; 排名后 3 的省(市)分别为四川、云南、贵州, 说明这 3 个省(市)的物流业绿色转型成果较差, 物流业整体仍为粗放式发展。此外, 绿色物流效率发展水平最高的省(市)上海比最低的省(市)云南约高 0.503,

进一步表明长江经济带绿色物流发展不平衡。长江经济带应合理统筹物流业发展资源，注意资源倾斜，避免资源浪费，以缩小各省（市）间差距，推进区域协同发展。

根据地理位置和自然条件，将长江经济带划分为上、中、下游三大区域。各区域绿色物流效率均值如图1所示。从三大区域来看，绿色物流效率呈现梯度差异，下游区域绿色物流效率发展水平明显优于中、上游区域，造成这种格局的主要原因之一是区域间经济结构水平如产业及消费水平、绿色创新技术等存在差异。具体来说，研究期间，下游区域的绿色物流效率水平始终高于整体区域水平，而上游区域绿色物流效率水平则明显低于整体区域水平。从变动趋势来看，下游地区绿色物流效率与长江经济带整体变动趋势基本一致，且效率水平增长幅度较大。下游地区地理位置优越，绿色物流发展体系完善，所以绿色物流效率发展水平较高。中游区域在研究初期接近整体区域水平，2017年后低于整体区域水平，可能由于中游地区绿色物流基础设施较为薄弱，阻碍了其绿色物流效率发展水平的提升。上游地区绿色物流效率增长缓慢，发展水平明显落后于整体水平。这可能是因为上游地区能源利用效率低，绿色物流技术水平和发达地区存在差异。为了提高中、上游地区绿色物流效率发展水平，维持下游地区绿色物流效率稳定发展，应该加大绿

色物流投入，推进基础设施建设，完善绿色物流发展体系。

## （二）数字经济与绿色物流效率耦合协调度测算和分析

根据绿色物流效率、数字经济发展水平指数，结合耦合协调模型，测算得到长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调度，具体结果如表5所示。从整体区域来看，长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调度均值整体呈现上升趋势，2021年出现短暂下降，后继续上升。截至2022年，长江经济带平均耦合协调度处于勉强协调水平，与优质耦合协调还存在一定差距，具有较大的提升空间。从省域层面看，2022年，上海、江苏、浙江、安徽、重庆、四川处于高水平耦合协调阶段，其余省份则处于中水平耦合协调阶段，且各省（市）的变化趋势有所不同，除上海、江苏外，其他省（市）与长江经济带耦合协调度变化趋势基本一致，2021年出现下降。这可能是疫情影响绿色物流业和数字技术及经济发展，使绿色物流发展出现短暂停滞。江苏省2019年耦合协调度出现下降，可能是因为江苏省绿色物流发展平台及设备不完善；江西省在研究期间呈“M”型波动，耦合协调度整体呈上升趋势；上海市与四川省的耦合协调度均呈现出一定的波动性。具体而言，上海市的耦合协调度在2016年有所回落；四川省的耦合协调度则在2016年与2021年两度下降。

表5 长江经济带绿色物流效率与数字经济耦合协调度

地区	省(市)	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	均值
下游	上海	0.553	0.603	0.625	0.620	0.652	0.690	0.717	0.742	0.755	0.779	0.674
	江苏	0.507	0.514	0.518	0.520	0.546	0.658	0.593	0.574	0.575	0.597	0.560
	浙江	0.466	0.479	0.506	0.512	0.535	0.564	0.594	0.610	0.606	0.621	0.549
	安徽	0.319	0.347	0.386	0.406	0.436	0.460	0.488	0.503	0.473	0.507	0.433
中游	江西	0.279	0.310	0.337	0.333	0.364	0.397	0.421	0.442	0.410	0.406	0.370
	湖北	0.362	0.401	0.420	0.422	0.442	0.469	0.478	0.484	0.473	0.491	0.444
	湖南	0.317	0.340	0.351	0.360	0.380	0.406	0.419	0.437	0.416	0.430	0.386
	重庆	0.365	0.387	0.401	0.410	0.427	0.451	0.469	0.486	0.471	0.500	0.437
上游	四川	0.431	0.437	0.460	0.455	0.466	0.483	0.487	0.502	0.492	0.506	0.472
	贵州	0.293	0.305	0.325	0.335	0.371	0.409	0.417	0.431	0.375	0.387	0.365
	云南	0.300	0.312	0.332	0.336	0.372	0.407	0.424	0.440	0.410	0.408	0.374
	均值	0.381	0.403	0.424	0.428	0.454	0.490	0.501	0.514	0.496	0.512	0.460

## （三）数字经济与绿色物流效率耦合协调的动态演化

为了进一步展示长江经济带数字经济与绿色

物流效率耦合协调度的分布动态演化特征，采用核密度估计法，绘制长江经济带总体及上、中、下游三大区域两系统耦合协调度的三维核密度曲

线, 如图 3 所示。

由图 3a 可知, 长江经济带整体层面数字经济与绿色物流效率耦合协调度的分布动态演化表现出以下特征: (1) 分布位置。核密度曲线呈现整体右移的发展趋势, 说明长江经济带大部分省(市)数字经济与绿色物流效率耦合协调水平呈现提升态势。(2) 分布形态。波峰高度先上升后下降, 波峰宽度变大, 表明长江经济带内部两系统耦合协调水平离散程度逐渐扩大。(3) 分布延展性。核密度曲线存在显著的右拖尾现象, 说明区域内部分省份的数字经济与绿色物流效率耦合协调水平显著高于其他省份。(4) 波峰数量。研究初期, 长江经济带总体核密度曲线呈“单峰”特征, 但随着时间的推移, 核密度曲线开始出现双峰现象, 说明长江经济带两系统耦合协调水平开始出现两极分化现象。

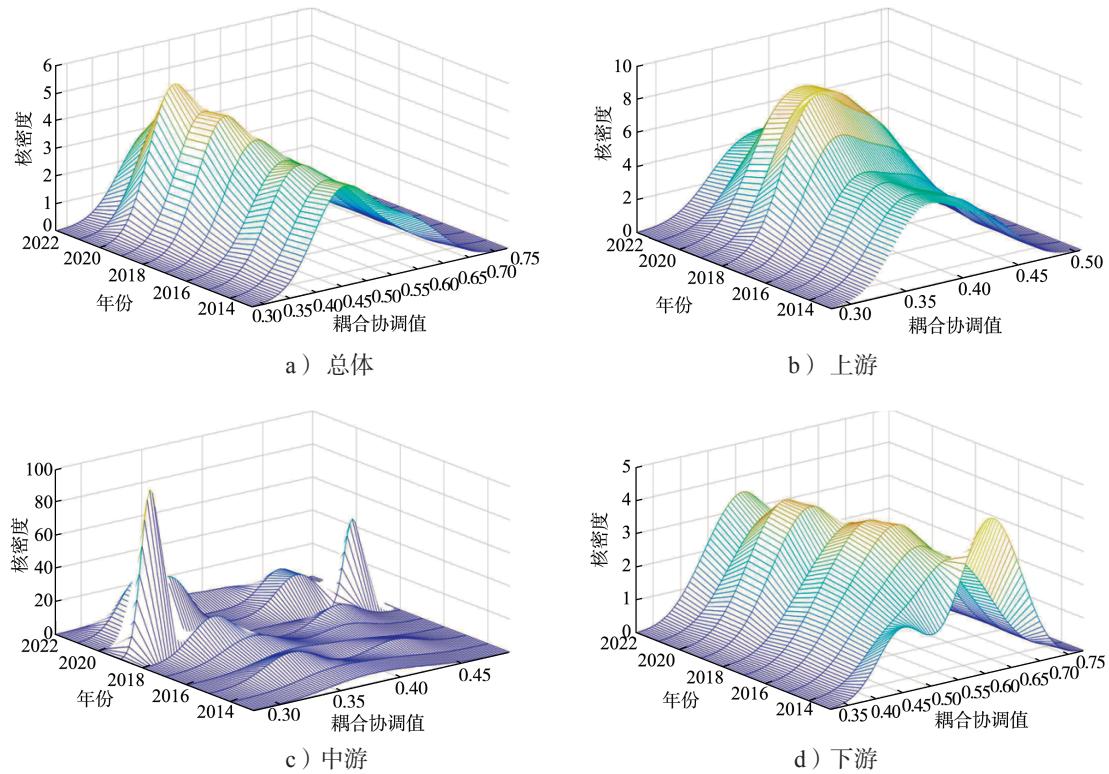


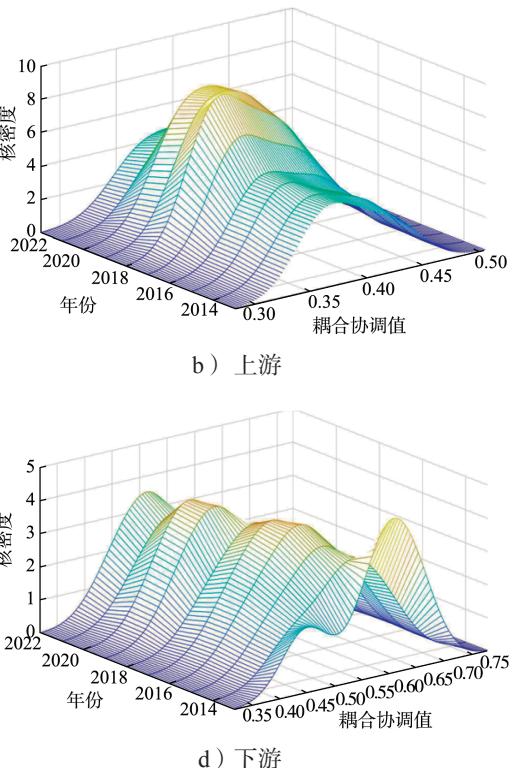
图 3 长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调发展动态演化

#### (四) 数字经济与绿色物流效率耦合协调水平的驱动因素分析

##### 1. 变量选择

数字经济与绿色物流效率耦合协调发展受到多方面因素的影响。(1) 环境规制强度。长江经济带承担生态保护战略使命, 严格的环境约束能倒逼物流企业优化能源结构, 推动绿色技术创新,

由图 3b~d 可知, 上、中、下游区域数字经济与绿色物流效率耦合协调水平的分布动态演化呈现出以下特征: (1) 分布位置。三大区域核密度曲线均呈现整体右移的发展趋势, 说明三大区域数字经济与绿色物流效率耦合协调水平均呈现提升态势。(2) 分布形态。上游区域波峰高度先上升后下降, 波峰宽度变大; 中游区域波峰高度出现两次“上升-下降”现象, 波峰宽度变大。这表明上、中游区域两系统耦合协调度离散程度逐渐扩大。(3) 分布延展性。长江经济带上、中游区域核密度曲线均有较明显的右拖尾现象, 表明上、中游区域均存在数字经济与绿色物流效率耦合协调度较高的省份。(4) 波峰数量。中游区域核密度曲线存在明显的双峰分布现象, 说明该区域的耦合协调水平在研究期间存在明显的两极分化现象。

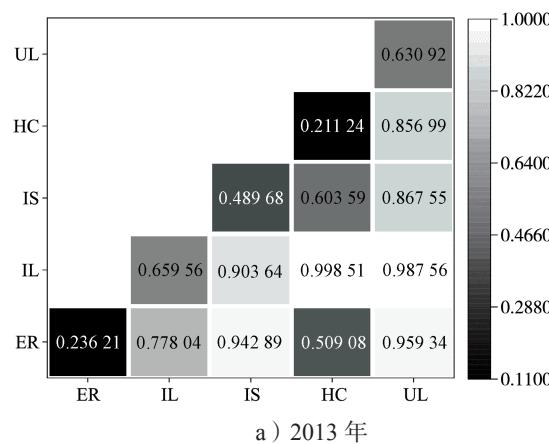


实现数字经济与绿色物流效率的统一发展。(2) 信息化水平。信息基础设施是数字经济发展的物理载体, 为绿色物流智能化发展提供技术支撑。(3) 产业结构。沿江区域制造业高端化与服务业数字化转型需求, 引致低碳化、定制化物流服务供给, 驱动物流业全要素生产率重构。(4) 人力资本水平。高素质劳动力是数字技术应用与绿色创新的

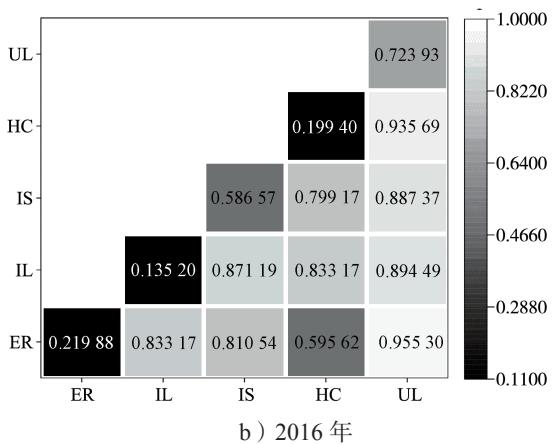
核心要素,直接影响绿色物流优化能力。(5)城镇化水平。城市群集聚效应能促进数字基础设施共享与绿色物流规模化运营,降低物流业能源能耗。借鉴已有研究<sup>[32-33]</sup>,选取环境规则强度、信息化水平、产业结构、人力资本水平、城镇化水平5项指标作为驱动因素(见表6),数据来自《中国统计年鉴》。

表6 驱动因素选取

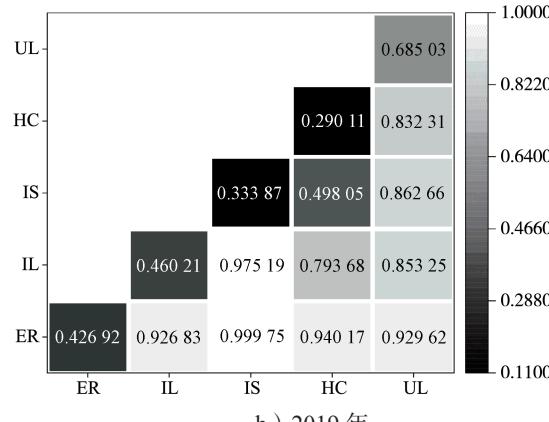
驱动因素	编号	指标含义			
环境规制强度	ER	工业污染治理完成投资额占第二产业增加值比例			
信息化水平	IL	邮电业务总量占地区生产总值比例			
产业结构	IS	第二、三产业增加值占地区生产总值比例			
人力资本水平	HC	高等教育在校人数占年末人口数比例			
城镇化水平	UL	年末城镇人口占总人口比例			



a) 2013年



b) 2016年



b) 2019年

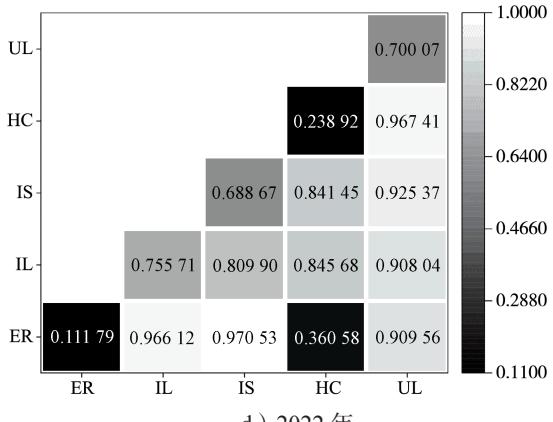
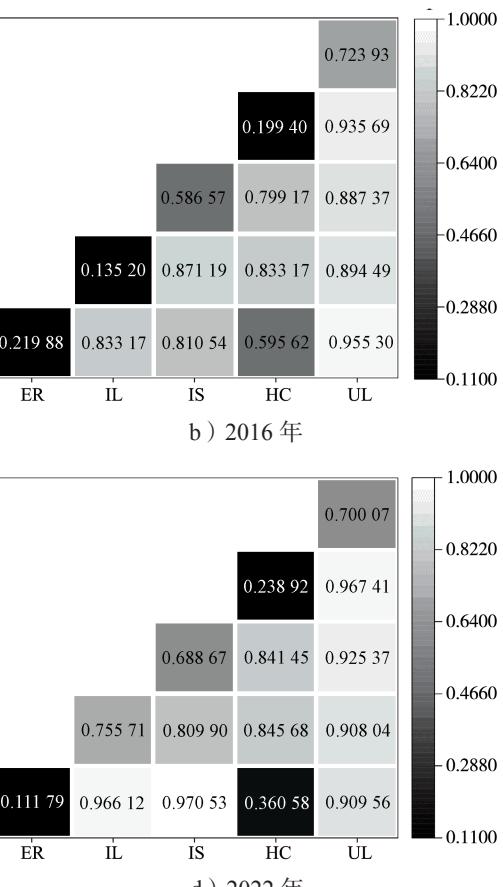


图4 耦合协调水平驱动因子探测结果

从各因子的交互作用结果来看,所有的交互项都呈双因子增强或非线性增强效应,说明任意两个因素的交互作用对数字经济与绿色物流效率耦合协调发展的影响都大于单个因素的影响效果,即长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调

## 2. 驱动因素分析

利用地理探测器模型对不同时期长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调发展进行因子探测和因子交互作用分析(结果见图4),两因子之间交互关系类型参考王劲峰等<sup>[34]</sup>的研究。由图4可知,单因子层面,研究期间排名前三的驱动因素分别为:信息化水平、城镇化水平、产业结构(2013年);城镇化水平、产业结构、环境规制强度(2016年);城镇化水平、信息化水平、环境规制强度(2019年);城镇化水平、信息化水平、产业结构(2022年)。可以看出,城镇化水平在4个研究期均处于前列,信息化水平和产业结构对两系统耦合协调发展的影响力数值在波动中提高,说明信息化水平和产业结构对长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调发展的影响同样处于高位。



发展并非5个驱动因素单独、直接作用的结果,而是5个驱动因素之间两两交互形成的增强效应的结果。具体来看,在4个研究期交互作用占主导地位的影响因子分别是:城镇化水平 $\cap$ 人力资本水平,城镇化水平 $\cap$ 环境规制强度,环境规制

强度 $\cap$ 产业结构,环境规制强度 $\cap$ 产业结构,表明环境规制强度与产业结构之间的交互作用已经逐渐成为影响长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调发展的主要因素。

### 三、结论及建议

#### (一) 结论

本研究采用非期望产出的超效率 SBM 模型对长江经济带 2013—2022 年绿色物流效率进行测算,并运用熵权法结合耦合协调模型对长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调水平进行分析,同时根据核密度模型研究长江经济带总体及上、中、下游三大区域数字经济与绿色物流效率耦合协调水平的分布动态演化特征,使用地理探测器模型探究长江经济带数字经济及绿色物流效率耦合协调发展的驱动因子。得到如下结论:

第一,从绿色物流效率测算结果看,研究期间长江经济带绿色物流效率发展水平均值在 0.168~0.323 之间波动,整体呈上升趋势,说明长江经济带绿色物流发展趋势较好;从省域层面看,绿色物流效率最高的上海比最低的云南约高 0.503,说明长江经济带各省(市)绿色物流效率发展差距明显。分区域来看,各区域绿色物流效率发展水平逐步增强,但发展不均衡问题依然存在,下游区域绿色物流效率发展水平明显优于中、上游区域。

第二,从数字经济与绿色物流效率协调发展水平看,长江经济带数字经济与绿色物流效率耦合协调度呈上升趋势,2021 年出现短暂下降,后继续上升,截至 2022 年,长江经济带耦合协调处于勉强协调水平,距离优质协调仍有显著差距,表明该区域仍有较大的发展潜力。其分布演化动态表明,长江经济带总体及三大区域耦合协调水平均表现出上升的态势,中游地区在研究期间出现较为明显的两极分化现象。

第三,从数字经济与绿色物流效率协调发展的驱动因子看,单因子层面,城镇化水平在 4 个研究期均处于前列,信息化水平和产业结构对两系统耦合协调发展的影响力在波动中提升;因子交互层面,驱动因子交互作用的结果皆呈现双因子增强或非线性增强特征,环境规制强度与产业结构之间的交互作用逐渐成为影响长江经济带数字

经济与绿色物流效率耦合协调发展的主要因素。

#### (二) 建议

一是缩小区域绿色物流效率差异,推进长江经济带整体协同发展。缩小区域差异是长江经济带持续健康发展的重要支撑。一方面,应发挥区域间的辐射和带动作用,促进周边区域绿色物流发展,如以下游地区尤其是以上海、浙江等经济实力雄厚、绿色物流发达的省市为依托,带动上、中游城市绿色物流发展。另一方面,应注意区域异质性,根据各区域发展差异特征,制定相应发展策略,引导各区域立足自身资源禀赋,推行新型绿色物流发展模式,发挥地区行业优势,促进区域间合作交流,实现经济区协同发展。

二是注重数字经济发展,推动数字经济与绿色物流协同发展。通过提升数字经济的创新能力与应用范围,积极推动人工智能、区块链、云计算等先进数字技术的开发与应用,助力物流行业转型升级。借助数字经济的数据和技术,打造绿色物流信息平台,推动物流行业资源和要素的有效聚集,避免资源浪费;利用数智技术和绿色技术改造提升传统物流产业,推动绿色物流智慧园区建设。

三是促进城镇化水平,调整产业结构,推进长江经济带数字经济与绿色物流效率协同发展。推进长江经济带城镇化建设,依据各区域资源、生态承载能力,确定区域城镇规模,加强基础设施建设,提升公共服务水平;合理调整数字经济与绿色物流行业产业结构,扶持新兴服务产品发展,推动传统产业模式升级改造;注重培养具备数字技能和绿色物流发展意识的创新型人才,以促进数字经济与绿色物流效率协同发展,实现社会经济绿色发展。

#### 参考文献:

- [1] 徐超毅,齐豫.我国区域物流业绿色发展效率测度和空间分析:以华东地区为例[J].生态经济,2023,39(4): 81-88.
- [2] 孙宇.西部陆海新通道绿色物流效率评价及影响因素研究[D].大连:大连交通大学,2023.
- [3] 孟珊珊,刘维忠,孙宇.生鲜农产品绿色物流效率空间差异及影响因素[J].商业经济研究,2024(19): 75-79.
- [4] 任晓丹.“一带一路”沿线省市物流业绿色效率评价

- 及影响因素分析 [D]. 西安: 长安大学, 2023.
- [5] 陈媛瑞. 创新驱动政策协同对物流业绿色效率的影响效应与作用机制: 来自国家自主创新示范区与创新型城市的证据 [J]. 商业经济研究, 2024(12): 99-102.
- [6] 鞠安琪, 宋波. 农村电商发展对生鲜农产品绿色物流效率的影响 [J]. 商业经济研究, 2024(5): 122-125.
- [7] 杨博, 王征兵. 绿色技术创新对生鲜农产品绿色物流效率的影响: 基于产业集聚的调节效应 [J]. 中国流通经济, 2023, 37(1): 60-70.
- [8] 何景师, 王术峰, 徐兰. 碳排放约束下我国三大湾区城市群绿色物流效率及影响因素研究 [J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(8): 30-36.
- [9] 韩旭馥. 绿色物流效率评价及其影响因素分析: 以东三省为例 [D]. 大连: 大连交通大学, 2023.
- [10] 李越. 低碳视角下川渝绿色物流效率及 Tapiol 脱钩效应研究 [D]. 重庆: 重庆理工大学, 2023.
- [11] 聂爱云, 潘孝虎. 数字经济能否提升地方政府治理能力?: 基于中国 275 个城市 2011—2019 年面板数据的实证检验 [J]. 经济社会体制比较, 2023(6): 109-120.
- [12] 周茜. 数字经济对制造业绿色发展的影响与机制研究 [J]. 南京社会科学, 2023(11): 67-78.
- [13] 郭辰, 李佳馨, 周婷婷. 数字经济对绿色发展的空间溢出效应研究: 基于技术创新与产业优化视角 [J]. 技术经济与管理研究, 2023(6): 25-30.
- [14] 胡丹丹, 张嘉伟. 数字经济与物流业高质量协同发展研究 [J]. 商业经济研究, 2024(19): 71-74.
- [15] 杨军鸽, 王琴梅. 数字经济对物流业与现代农业融合发展的影响 [J]. 中国流通经济, 2024, 38(8): 17-32.
- [16] 王璐, 方行明. 社会福利水平与资源消耗耦合协调的时空演化及驱动因素 [J]. 生态经济, 2025, 41(1): 185-194.
- [17] 檀菲菲, 赵雨萱. 中国数字经济与绿色创新的耦合协调评价: 兼论区域发展重大战略 [J]. 经济问题探索, 2024(12): 17-34.
- [18] 尹碧波, 尹萍, 欧阳昕彤, 等. 中国减污降碳与扩绿增长耦合协调度的时空特征及其驱动因素 [J]. 经济地理, 2024, 44(11): 122-131.
- [19] 朱小刚, 詹丽珍. 数字经济与农村物流的耦合协调关系测度研究 [J]. 南昌大学学报(人文社会科学版), 2024, 55(2): 57-71.
- [20] 董晓芳, 樊祥嘉. 中国八大综合经济区科技创新效率的区域差异及分布动态演进 [J]. 统计与管理, 2024, 39(6): 83-95.
- [21] 张文彬, 宋建波. 中国低碳经济协同效率的区域差异及其影响因素 [J]. 经济地理, 2024, 44(3): 22-32, 54.
- [22] 阮素梅, 邵恬恬. 长三角区域新质生产力发展水平、区域差异与时空演变特征 [J]. 经济问题, 2025(1): 113-123.
- [23] 赵林, 张春霆, 高晓彤, 等. 黄河流域绿色发展与共同富裕耦合协调水平变化及其影响因素 [J]. 经济地理, 2024, 44(8): 57-67.
- [24] 戴永务, 朱伟晗, 杨舒棋, 等. 长江经济带生态系统健康时空格局及其影响因素 [J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(1): 188-205.
- [25] 邓梦杰, 李义华, 吴露青, 等. 基于超效率 SBM-GML 指数模型的冷链物流绿色发展效率 [J]. 中南林业科技大学学报, 2024, 44(4): 189-200.
- [26] 文楚江. 数字贸易对我国物流业绿色效率的作用机制分析 [J]. 商业经济研究, 2024(5): 130-134.
- [27] 张效科. 创新驱动对物流业绿色全要素生产率的作用机制 [J]. 商业经济研究, 2024(17): 74-78.
- [28] 王金伟, 王启翔, 陆大道. 数字经济、旅游经济与新型城镇化时空耦合格局及影响因素: 以长三角地区为例 [J]. 地理研究, 2024, 43(12): 3301-3326.
- [29] 孟贵, 王开泳, 王甫园, 等. 长江经济带市域数字经济与城乡融合发展耦合协调格局及其作用机制 [J]. 经济地理, 2024, 44(11): 73-83.
- [30] 张耀, 曹俊杰, 韩世东. 省域数字经济与新型城镇化耦合协调关系及影响因素 [J]. 统计与决策, 2024, 40(6): 116-120.
- [31] 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.
- [32] 裴东慧. 粤港澳大湾区城市群物流效率测度及影响因素研究 [J]. 商业经济研究, 2023(18): 180-183.
- [33] 周楠, 陈久梅, 但斌, 等. 高质量发展下区域物流与区域经济时空耦合及影响因素: 以长江经济带为例 [J]. 软科学, 2022, 36(10): 84-92.
- [34] 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.

责任编辑: 徐海燕