

基于非期望产出超效率SBM模型与Malmquist-Luenberger指数的长江经济带绿色物流效率评价研究

刘 杭, 刘文昌*

辽宁工业大学经济管理学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2025年6月25日; 录用日期: 2025年8月2日; 发布日期: 2025年8月14日

摘 要

在全球化和区域一体化以及“双碳”目标的推动下, 长江经济带作为我国关键经济区域, 其绿色物流效率的评价对资源优化和区域发展至关重要。本文聚焦2012~2022年长江经济带11个省市, 构建包含能源和二氧化碳排放的投入产出指标体系, 运用非期望产出超效率SBM模型与Malmquist-Luenberger指数, 从静态和动态视角评估绿色物流效率。研究发现, 长江经济带的绿色物流效率整体呈现波动上升趋势, 存在下游领先、中游居中、上游滞后的明显区域差异; 全要素生产率也在增长, 主要由技术进步推动, 但技术效率提升有限。基于此, 提出构建梯度协同的区域发展体系、深化技术与管理双轮驱动机制等建议, 以期为推动该区域物流业高质量可持续发展提供科学决策支持。

关键词

长江经济带, 绿色物流效率, 非期望产出超效率SBM模型, Malmquist-Luenberger指数, 区域差异

Research on the Evaluation of Green Logistics Efficiency in the Yangtze River Economic Belt Based on the Unanticipated Output Super-Efficiency SBM Model and the Malmquist-Luenberger Index

Hang Liu, Wenchang Liu*

School of Economics and Management, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

*通讯作者。

文章引用: 刘杭, 刘文昌. 基于非期望产出超效率 SBM 模型与 Malmquist-Luenberger 指数的长江经济带绿色物流效率评价研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(8): 122-133. DOI: 10.12677/sd.2025.158227

Abstract

Driven by globalization, regional integration and the “dual carbon” goals, the Yangtze River Economic Belt, as a key economic region in China, the evaluation of its green logistics efficiency is of vital importance to resource optimization and regional development. This paper focuses on 11 provinces and municipalities in the Yangtze River Economic Belt from 2012 to 2022, constructs an input-output index system including energy and carbon dioxide emissions, and uses the non-expected output super-efficiency SBM model and the Malmquist-Luenberger index to evaluate the efficiency of green logistics from both static and dynamic perspectives. The research finds that the green logistics efficiency of the Yangtze River Economic Belt shows an overall fluctuating upward trend, with obvious regional differences such as leading in the lower reaches, being in the middle reaches, and lagging in the upper reaches. Total factor productivity is also increasing, mainly driven by technological progress, but the improvement in technological efficiency is limited. Based on this, suggestions such as constructing a gradient collaborative regional development system and deepening the dual-wheel drive mechanism of technology and management are proposed, with the expectation of providing scientific decision support for promoting the high-quality and sustainable development of the logistics industry in this region.

Keywords

Yangtze River Economic Belt, Green Logistics Efficiency, Unexpected Output Super-Efficiency SBM Model, Malmquist-Luenberger Index, Regional Differences

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在经济全球化浪潮与区域一体化进程加速推进的背景下，物流行业作为区域经济发展的关键支撑，其效率水平直接关系到产业链的协同运转与资源的优化配置。长江经济带作为我国重要的经济走廊，横贯东、中、西部，覆盖上海、江苏、浙江等 11 个省市，人口规模和经济总量均占据全国重要份额，是推动国家区域协调发展的关键战略区域，该区域经济的蓬勃发展，高度依赖于高效、畅通的物流体系。然而，传统的物流发展模式在创造经济效益的同时，也引发了能源消耗和碳排放等环境问题。因此，科学、准确地评价绿色物流效率，对于优化资源配置、提升区域经济整体效能具有重要的理论和实践意义。

从现实情况来看，长江经济带作为物流中心，2022 年货运量占全国 40% 以上，但面临能源结构和碳排放问题，急需改变传统物流模式。所以说提高绿色物流效率不仅是对国家低碳发展战略的响应，也是长江经济带实现“生态优先、绿色发展”的必经之路。目前，研究者在传统物流效率评估领域取得了显著进展，主要专注于物流效率的测量、时空变化及影响因素分析。他们发现，中国区域物流效率总体呈上升趋势，但增长不均，区域差异较大。更有部分学者对绿色物流效率进行了初步探索，尝试将环境因素纳入物流效率评估体系，以反映物流活动对资源环境的压力。然而，这些研究大多聚焦于单一时间点的静态分析，缺乏从时间序列角度对绿色物流效率动态变化的深入探讨。此外，针对长江经济带这一特定区域，绿色物流效率的研究尚显不足，未能充分揭示该区域在绿色发展转型过程中物流行业的效率

特征及存在的问题。

因此, 本研究通过构建非期望产出超效率 SBM 模型和 Malmquist-Luenberger 指数, 对长江经济带 2012~2022 年 11 个省市的绿色物流效率进行静态和动态评估, 为推动该区域物流业的高质量、可持续发展提供科学的决策支持。

2. 文献综述

在全球经济一体化的大环境下, 世界各地的联系日益紧密, 各区域间的相互依存性持续增长。区域经济的繁荣与物流行业的高效运转紧密相连。物流效率作为评价物流行业运行成效的关键指标, 始终是学术界和实务界关注的焦点。在物流效率领域, 研究主要集中于区域、产业物流效率的测量评价以及物流效率影响机制分析。如杨一帆等(2025)、臧家根等(2025)、张瀚引等(2024)、裴东慧(2023)、龚瑞凤等(2022)分别针对长江经济带、淮海经济区、西部陆海新通道沿线省份、粤港澳大湾区城市群及中国各省份进行物流效率测定, 认为中国区域物流效率发展非均衡特征比较明显, 在时间和空间上都存在着明显的分异与差距[1]-[5]。

近年来, 随着物流业对环境的负面影响受到关注, 绿色物流效率的概念逐渐进入人们的视野, 它强调在追求物流效率的同时, 也要注重环境保护和资源节约。部分学者从不同角度对绿色物流效率进行了研究, 提出了多种评价方法和指标体系。在绿色物流领域, 薛阳等(2022)和张旭等(2024)通过构建三阶段 DEA 模型分别对黄河流域九省和中国 30 个省(市)进行投入产出效率评价, 并分析地区绿色物流效率差异[6] [7]。高珊(2025)基于非期望产出的超效率 SBM 模型, 对沿海省份 2007~2022 年的绿色物流效率进行测算[8]。钟代立等(2025)将物流行业碳排放量作为非期望产出引入超效率 SBM 模型中, 对长江经济带各省市的绿色物流效率测度, 发现长江经济带不同省市间的绿色物流发展存在显著差距, 发展趋势也大不相同[9]。严房鑫(2024)采用数据包络分析法中的非期望产出 Super-SBM 模型, 对长三角地级市的绿色物流效率进行测算, 发现长三角地区各城市的绿色物流效率存在显著差异, 表现出发展水平不均衡、多级分化严重的现象[10]。薛阳等(2023)、何景师等(2021)和涂建等(2021)和运用非期望产出的超效率 SBM 模型、Malmquist 指数模型从静态视角下分别对黄河流域九省、三大湾区城市群以及全国 30 个省市的绿色物流效率测度, 发现我国绿色物流效率整体水平不高, 但总体呈上升趋势, 区域差异特征明显[11]-[13]。徐超毅等(2023)运用超效率 SBM-DEA 模型构建投入产出体系, 测度物流业绿色发展静态效率值, 利用全局参比 Malmquist 指数研究绿色物流动态变化趋势[14]。居水木(2024)采用包含非期望产出的 SBM 模型、Malmquist-Luenberger 指数和相关指标研究长三角 2011~2021 年的绿色物流效率, 发现从总体看, 长三角绿色物流效率水平仍然相对较高; 三省一市绿色物流效率的表现各不相同[15]。

现有文献主要研究物流效率和绿色物流效率, 虽取得了一些成果, 但也存在不足。首先, 很少有研究考虑物流活动中的非期望产出。其次, 动态研究多使用传统 Malmquist 指数, 但该指数不适合评估包含非期望产出的物流效率。针对长江经济带的绿色物流效率评价, 特别是在考虑碳排放等非期望产出方面, 研究还不够全面。

3. 评价模型介绍

3.1. 非期望产出超效率 SBM 模型

传统 DEA 模型通常是径向的, 只能同比例调整投入产出, 忽略了松弛变量, 可能导致效率值偏差。相比之下, 基于松弛变量的非径向 SBM 模型考虑了非期望产出, 但处理多个决策单元效率值为 1 时排序困难。基于此, 本文参考 Tone (2002)提出的包含非期望产出的 Super-SBM 模型[16], 具体公式如下:

$$\rho^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}}{1 + \frac{1}{r_1 + r_2} \left(\sum_{s=1}^{r_1} \sum_{k=1}^{r_1} \bar{y}^d / y_{sk}^d + \sum_{q=1}^{r_2} \bar{y}^u / y_{qk}^u \right)}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j, \\ \bar{y}^d \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{sj}^d \lambda_j, \\ \bar{y}^u \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{qj}^u \lambda_j, \lambda_j > 0, j = 1, 2, 3, \dots, n; j \neq 0, \\ \bar{x} \geq w_i^-, i = 1, 2, \dots, m, \\ \bar{y}^d \leq y_k^d, s = 1, 2, \dots, r_1, \\ \bar{y}^u \geq w_q^u, q = 1, 2, \dots, r_2. \end{cases}$$

在上述模型中, x 为投入指标; y^d 为期望产出; y^u 为非期望产出; m 为投入指标数量; r_1 和 r_2 分别为期望产出和非期望产出指标数量; ρ^* 为各决策单元的效率值, 该值大于 1, 值越大, 绿色物流效率越高; w^- 为投入产出的松弛变量; w^u 为非期望产出的松弛变量。

3.2. ML 指数

由于超效率 SBM 模型计算的效率是静态的, 不适用于研究生产率变化。因此, 本研究采用 ML 指数分析长江经济带的绿色物流效率动态变化趋势, 以支持对非期望产出的分析。基于此, 构建考虑非期望产出的超效率 SBM 模型。公式如下:

$$\text{ML}^{t+1}(x^t, y^t, b^t, y^{t+1}) = \left[\frac{E^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t)} \times \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{EC} = \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^t, y^t)}$$

$$\text{TC} = \left[\frac{E^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{E^t(x^t, y^t)}{E^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{ML}^{t+1} = \text{EC} \cdot \text{TC}$$

生产率的变化主要由技术效率变化和技术进步两个独立的因素引起。为了探究绿色物流效率改变的原因, 本文将 ML 指数分解为技术效率指数(EC)和技术进步指数(TC), EC 衡量对最佳实践边界追赶带来的技术效率变化, 若其值大于 1, 则表明技术效率有所提升; 等于 1 则意味着没有效率提升; 小于 1 则说明技术效率有所下降; TC 则反映了技术进步导致的技术边界变化, 其值大于 1 表示技术进步存在, 等于 1 则表示没有技术进步。

若 ML 指数 > 1, 则表明在 t 至 $t+1$ 年间, 绿色物流全要素生产效率增长;

若 ML 指数 = 1, 则表明在 t 至 $t+1$ 年间, 绿色物流全要素生产效率保持不变;

若 ML 指数 < 1, 则表明在 t 至 $t+1$ 年间, 绿色物流全要素生产效率下降。

4. 指标选取与数据来源

4.1. 指标选取

目前, 国内物流业分类标准不明确, 缺乏独立统计。考虑到交通运输、仓储和邮政业在我国物流产业中占有主要份额, 且多数研究者将这三个领域视为物流业的核心。因此, 本文采用统计资料中“交通运输、仓储和邮政业”的数据作为物流行业的研究参考, 构建投入与产出两个维度的指标体系, 形成绿色物流效率评价指标体系。如表 1 所示。

Table 1. Green logistics efficiency input-output indicators

表 1. 绿色物流效率投入产出指标

指标类型	一级指标	二级指标	指标属性
投入指标	设施投入	运输路线长度(公里)	+
	劳动投入	交通运输、仓储和邮政业城镇单位就业人员(万人)	+
	资本投入	交通运输、仓储和邮政业固定资产投资额(亿元)	+
	能源投入	交通运输、仓储和邮政业能源消耗总量(万吨)	-
产出指标	交通运输、仓储和邮政业增加值(亿元)		+
	期望产出	货运量(万吨)	+
		货物周转量(亿吨/公里)	+
	非期望产出	交通运输、仓储和邮政业 CO ₂ 排放量(万吨)	-

4.2. 数据来源

本文选取 2012~2022 年长江经济带上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州和云南 11 个省份作为 11 个 DMU 研究分析。数据均来源于《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及各相关省市的官方统计局等。

鉴于我国物流行业能源消耗的结构和数据的可获取性, 选取了原煤、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气以及电力这七种能源的数据。结合能源标准煤折算系数和能源消耗量, 将其转换成统一单位下的能源消耗数据, 得出能源消耗总量。具体公式如下:

$$E = \sum_i^n C_i \times E_i$$

式中: E 为能源的消耗总量, i 表示物流业能源消耗类别, C_i 为第 i 种能源的折算标准煤系数, E_i 为第 i 种能源的消耗量。

鉴于国内缺乏对物流业二氧化碳排放量标准化的统计方法及规范化的统计数据, 本文基于选用 IPCC 提出的碳排放系数法, 并参考高珊等二氧化碳排放计算方法, 测算各年份物流业二氧化碳排放量[8]。具体公式如下:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^n co_{2,i} = \sum_{i=1}^n E_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times \frac{44}{12} + E_7 * \gamma$$

式中: E_7 表示电力消耗量; γ 表示电力排放因子; NCV_i 表示第 i 种能源的平均低热值; CEF_i 表示第 i 种能源的单位热值的含碳量; COF_i 表示第 i 种能源的碳氧化因子; $NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times \frac{44}{12}$ 表示第 i 种能源

的 CO₂ 排放系数。

此外，电力是一种二次能源，本身不会直接排放二氧化碳，但鉴于物流行业对电力的大量需求，电力生产过程中又对一次性能源的大量消耗，这间接对环境造成了影响。为确保碳排放的计算结果更加接近真实情况，本文依据《能源消耗导致的温室气体排放计算工具》，通过将各地区的电力消耗量与电力排放系数相乘，计算出相应的二氧化碳排放量。本文采用生态环境部和国家统计局公布的 2022 年全国电力平均二氧化碳排放系数，即 0.5366。如表 2 所示。

Table 2. Table of main energy consumption series in the logistics industry
表 2. 物流业主要消耗能源系数表

能源类型	平均低位发热量 (NCV)	单位热值含碳量 (CEF)	碳氧化因子 (COF)	二氧化碳排放系数	折算标准煤系数
原煤	20908 KJ/Kg	26.37 (t-c/TJ)	0.94	1.9003 kg-CO ₂ /kg	0.7143 kgce/kg
汽油	43070 KJ/Kg	18.9 (t-c/TJ)	0.98	2.9251 kg-CO ₂ /kg	1.4714 kgce/kg
煤油	43070 KJ/Kg	19.5 (t-c/TJ)	0.98	3.0179 kg-CO ₂ /kg	1.4714 kgce/kg
柴油	42652 KJ/Kg	20.2 (t-c/TJ)	0.98	3.0959 kg-CO ₂ /kg	1.4571 kgce/kg
燃料油	41816 KJ/Kg	21.1 (t-c/TJ)	0.98	3.1705 kg-CO ₂ /kg	1.4286 kgce/kg
天然气	38931 KJ/m ³	15.32 (t-c/TJ)	0.99	2.1622 kg-CO ₂ /m ³	1.3300 kgce/m ³
电力	-	-	-	0.5366 kg-CO ₂ /kwh	0.1229 kgce/kwh

注：系数来源于《IPCC 国家温室气体清单指南》。

5. 实证分析

5.1. 长江经济带绿色物流效率测度与分析

采用包含非期望产出的超效率 SMB 模型和相应指标，利用软件 SBMRUN 对长江经济带 11 个省市 2012~2022 年绿色物流静态效率进行分析，结果见表 3 和图 1。

Table 3. Green logistics efficiency values of 11 provinces (municipalities) in the Yangtze River economic belt from 2012 to 2022
表 3. 2012~2022 年长江经济带 11 个省(市)绿色物流效率值

年度	下游				中游			上游			
	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2012 年	2.478	1.115	0.811	1.329	1.017	0.396	0.773	0.426	0.296	0.457	0.175
2013 年	2.501	1.085	0.508	1.438	0.486	0.276	0.385	0.245	0.257	0.294	0.174
2014 年	1.523	1.063	1.056	1.447	1.006	0.308	0.603	0.304	0.266	1.090	0.147
2015 年	2.399	1.079	1.056	1.301	0.765	0.519	0.748	0.479	1.007	1.089	0.230
2016 年	2.312	1.081	1.078	1.328	0.781	0.478	0.782	0.498	0.353	1.084	0.224
2017 年	2.364	1.075	1.080	1.307	1.104	0.505	1.020	0.501	0.355	1.072	0.229
2018 年	2.507	1.045	1.034	1.406	1.006	0.441	0.463	0.390	0.254	0.297	0.270
2019 年	2.608	1.046	1.075	1.319	1.006	0.458	0.335	0.400	0.257	0.249	0.244
2020 年	2.750	1.070	1.077	1.353	0.568	0.396	0.313	0.394	0.225	0.228	0.225
2021 年	2.767	1.062	1.077	1.349	1.014	0.458	0.319	0.416	0.218	0.248	0.247
2022 年	2.692	1.072	1.071	1.299	1.070	0.569	0.354	0.441	0.215	0.271	0.322
均值	2.445	1.072	0.993	1.352	0.893	0.437	0.554	0.408	0.337	0.580	0.226

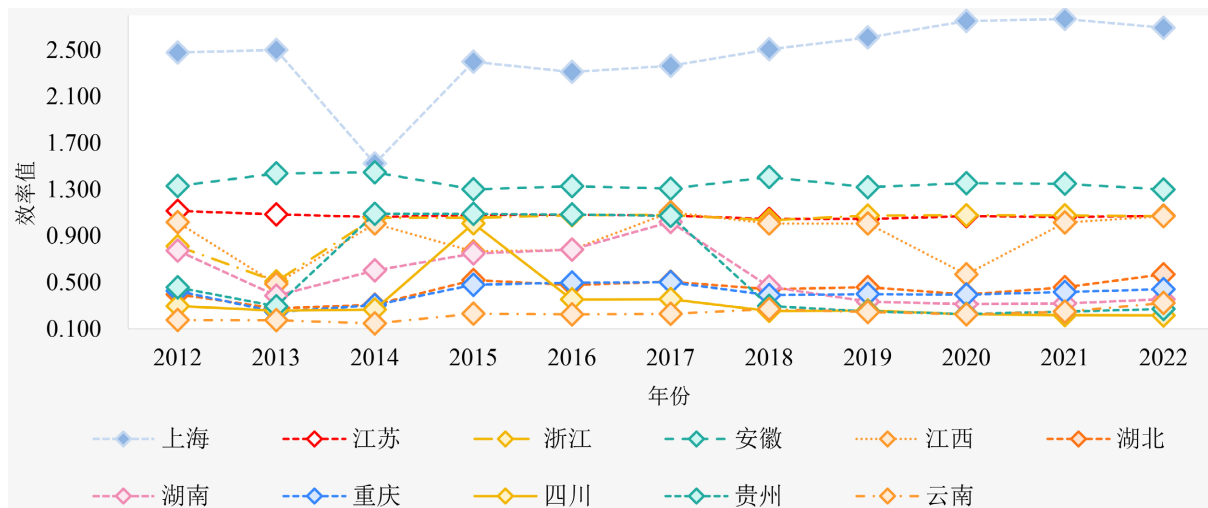


Figure 1. Showing the changing trend of green logistics efficiency in 11 provinces (municipalities) along the Yangtze River economic belt from 2012 to 2022

图 1. 2012~2022 年长江经济带 11 个省(市)绿色物流效率变化趋势

根据表 3 和图 1 研究结果, 2012 年至 2022 年期间, 长江经济带各省份的绿色物流效率总体上呈现出波动性增长的趋势。具体而言, 长江经济带下游地区的效率值普遍较高, 而中上游地区的效率值则相对较低。在 2012 年至 2015 年期间, 效率值经历了显著的增长, 从 0.843 提升至 0.970。然而, 在 2016 年至 2022 年期间, 尽管存在轻微的波动, 效率值整体上保持在 0.8 至 0.9 的区间内。在此阶段, 特别是 2013 年效率值的显著下降至 0.695, 以及 2018 年至 2020 年效率值从 0.828 降至 0.782。在对长江经济带 11 个省市的绿色物流效率均值进行分析后发现, 上海、安徽、江苏和浙江在绿色物流效率方面处于领先地位。具体而言, 上海以 2.445 的均值显著领先, 安徽和江苏紧随其后, 效率值分别为 1.352 和 1.072。浙江的效率值为 0.993, 位居第四, 这反映了下游地区在绿色物流效率方面的明显优势。下游地区的绿色物流效率均值为 1.215, 占据了前四名的位置, 显著高于中游(江西、湖北、湖南)和上游(重庆、四川、贵州、云南)地区的绿色物流效率均值, 分别为 0.628 和 0.388。

从现实情况来看, 下游地区在绿色物流方面领先, 得益于其经济实力、完整产业链和先进技术。特别是长三角的上海和江苏, 依托数字化物流和自贸区等政策红利, 在绿色物流领域取得了显著成果。中游部分省份在承接东部产业转移过程中, 效率经历先降后升的态势, 交通枢纽建设及多式联运体系的完善对提升效率起到了积极作用。上游地区绿色物流效率低, 主要受限于经济基础弱、地理条件复杂和基础设施不足影响, 尤其是云贵川地区, 复杂地形导致物流成本高。此外, 生态保护政策的推行也对部分地区的绿色物流效率产生了不容忽视的影响。

根据图 2 所示, 从空间看, 2015~2022 年 11 个省(市)平均效率值为 0.706, 其中, 上海效率值最高, 为 2.445; 云南效率值最低, 为 0.226。根据表 4 和图 3 所示, 从时间看, 11 个省(市)历年平均效率值为 0.845 左右, 其中, 2015 年 11 省效率值最高, 为 0.970; 2013 年效率值最低, 为 0.695。

Table 4. Showing the average green logistics efficiency of 11 provinces (municipalities) in the Yangtze River economic belt from 2012 to 2022

表 4. 2012~2022 年长江经济带 11 个省(市)绿色物流效率均值

地区/年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
11 个省市	0.843	0.695	0.801	0.970	0.909	0.965	0.828	0.818	0.782	0.834	0.852

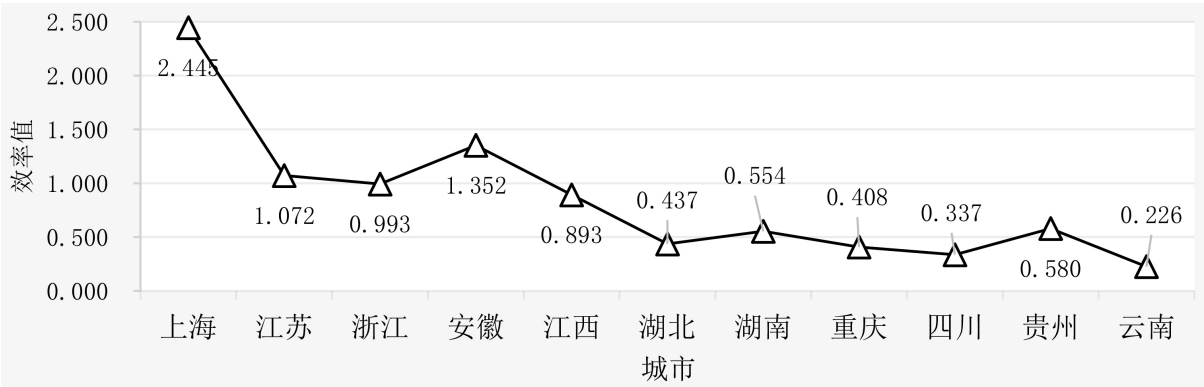


Figure 2. Showing the average green logistics efficiency of 11 provinces (municipalities) in the Yangtze River economic belt from 2012 to 2022

图 2. 2012~2022 年长江经济带 11 个省(市)绿色物流效率均值

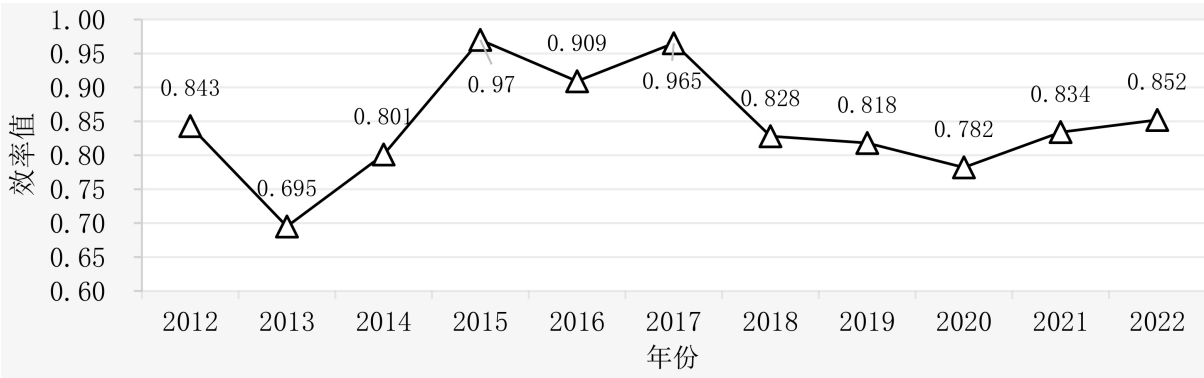


Figure 3. Showing the trend of green logistics efficiency in the Yangtze River economic belt from 2012 to 2022

图 3. 2012~2022 年长江经济带绿色物流效率变化趋势

5.2. 使用 Malmquist-Luenberger 指数分析效率动态变化规律

为更直观地动态研究全要素的变化情况，并考察长三角绿色物流效率的动态发展，本文采用 Malmquist-Luenberger (ML) 指数法，分析长江经济带绿色物流发展相对效率的动态变化，从动态视角揭示隐藏在绿色物流发展背后的深层次原因。结果见表 5。

Table 5. ML index of green logistics efficiency in the Yangtze River economic belt from 2012 to 2022 and its decomposition
表 5. 2012~2022 年长江经济带绿色物流效率的 ML 指数及其分解

年份	EC	TC	ML
2012~2013	0.681	1.376	0.938
2013~2014	1.409	0.798	1.124
2014~2015	1.321	0.672	0.888
2015~2016	0.908	0.997	0.906
2016~2017	1.065	1.040	1.108
2017~2018	0.785	1.282	1.006
2018~2019	0.955	0.967	0.923

续表

2019~2020	0.913	1.057	0.965
2020~2021	1.089	1.080	1.176
2021~2022	1.067	0.977	1.042
均值	1.019	1.025	1.008

根据表 5 所示,2012~2022 年间,长江经济带绿色物流发展全要素生产率(ML 指数)的平均值为 1.008,表明该地区在观察期内全要素生产率整体呈现年均 0.8% 的增长态势。其中,技术效率变化指数的均值为 1.019,年均增长 1.9%;技术进步指数的均值为 1.025,年均增长 2.5%。这一结果表明,长江经济带绿色物流效率的提升主要得益于技术进步的正向推动,而尽管技术效率有所改善,但其增长幅度相对有限,表明资源配置和管理优化方面仍然存在提升空间。

在观察期内,ML 指数增长的年份包括 2013~2014 年、2016~2017 年、2017~2018 年、2020~2021 年以及 2021~2022 年,这些年份的增长期占全部 10 个年段的 50%。在这些增长期内,GML 指数的提升主要源于技术进步指数的显著增长,尤其是在 2020~2021 年间,ML 指数的增幅达到了最高的 17.6%,这表明该时段内绿色物流技术的进步具有显著作用。然而,值得注意的是,在 2015~2016 年和 2018~2020 年期间,ML 指数出现了下降,这可能与技术效率的下降或技术进步放缓密切相关。

根据图 4 所示,从变化趋势看,ML 指数与技术进步指数呈现较强的一致性,在 2012~2013 年 TC 大幅上升时 GML 接近增长,2017~2018 年 TC 较高时 GML 也小幅增长,而 2014~2015 年 TC 骤降导致 ML 显著下降。这表明技术进步是驱动全要素生产率变化的关键因素,长江经济带绿色物流技术的创新和应用直接影响整体效率水平。同时,技术效率指数波动较大,反映出技术效率的提升不稳定,可能受限于现有物流系统的资源配置或管理能力。全要素生产率是衡量长江经济带绿色物流效率动态变化的重要指标。在图 5 中,2012 至 2022 年间,11 个省(市)的全要素生产率呈现出波动的趋势。值得注意的是,尽管在某些年份全要素生产率有所下降,但总体上呈现出上升的趋势,这得益于技术进步的不断推动以及技术效率的逐步提升。然而,不同省(市)之间的全要素生产率存在差异,这可能与各地的经济发展水平、产业结构、技术创新能力和资源配置效率等因素有关。

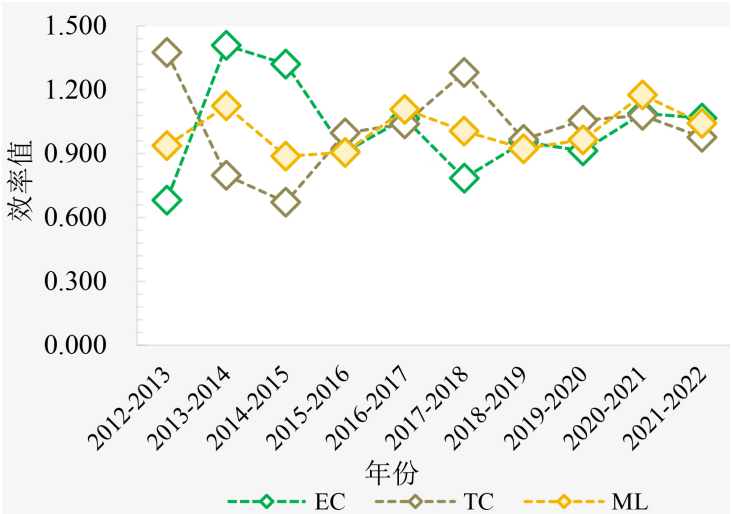


Figure 4. Showing the dynamic trend of efficiency value in the Yangtze River economic belt from 2012 to 2022
图 4. 2012~2022 年长江经济带效率值动态变化趋势

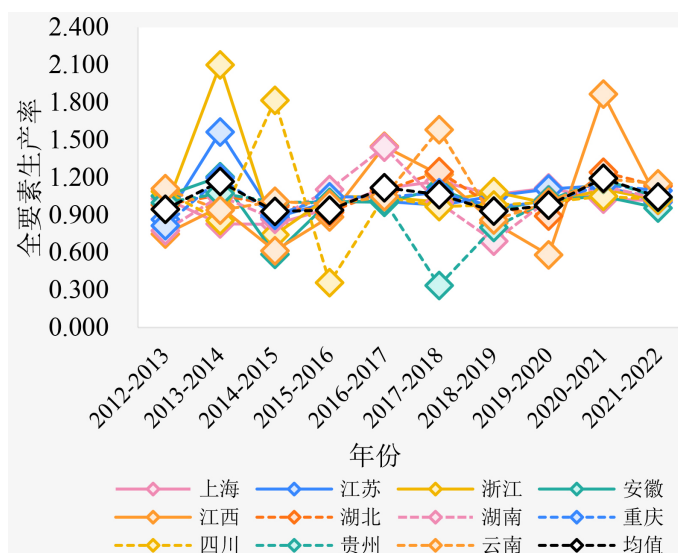


Figure 5. Showing the trend of total factor productivity in 11 provinces (municipalities) from 2012 to 2022
图 5. 2012~2022 年 11 个省(市)全要素生产率趋势图

长江经济带部分省市的技术效率、技术进步波动较稳定, 部分效率指标水平起伏较大。观察图 6 各省市的技术效率发现: 在 2012~2016 年时间段内, 四川、贵州两个省份的技术效率浮动较大, 四川省技术效率指标最大值达到 3.786, 最低谷 0.351, 贵州技术效率值最大 3.711, 最低谷 0.643。观察图 7 各省的技术进步发现: 除了江苏、湖南、贵州三个省份的浮动较大, 其他省份在 2012~2022 年时间段内保持相对稳定状态。其中, 江苏省技术进步指数最大值达到 5.231, 最低谷为 0.546, 显示出较大的波动幅度。湖南省的技术进步指数最大值达到 4.127, 而最低值仅为 0.439, 同样表现出显著的波动。贵州省虽然在技术效率上有较大浮动, 但在技术进步方面, 其指数最大值达到 3.987, 最低值则为 0.765, 也呈现出较大的波动。相比之下, 上海、浙江、安徽、江西、湖北、重庆、云南等省份的技术进步指数在考察期间内相对稳定, 波动幅度较小。

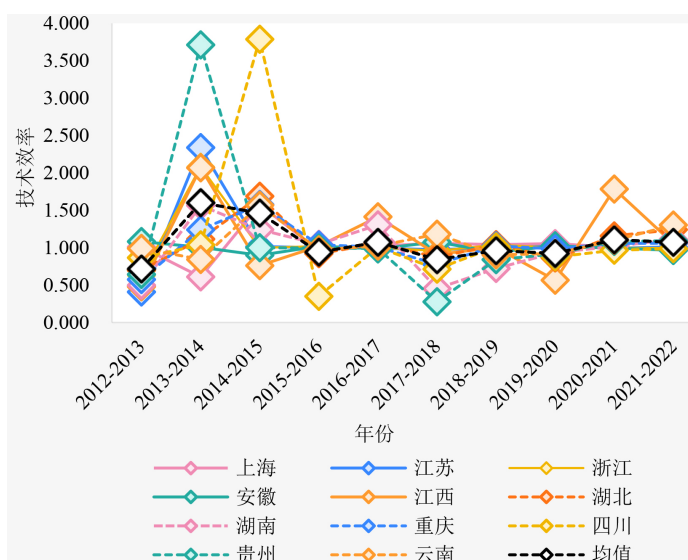


Figure 6. Trend chart of technological efficiency index of 11 provinces (municipalities) from 2012 to 2022
图 6. 2012~2022 年 11 个省(市)技术效率指数趋势图

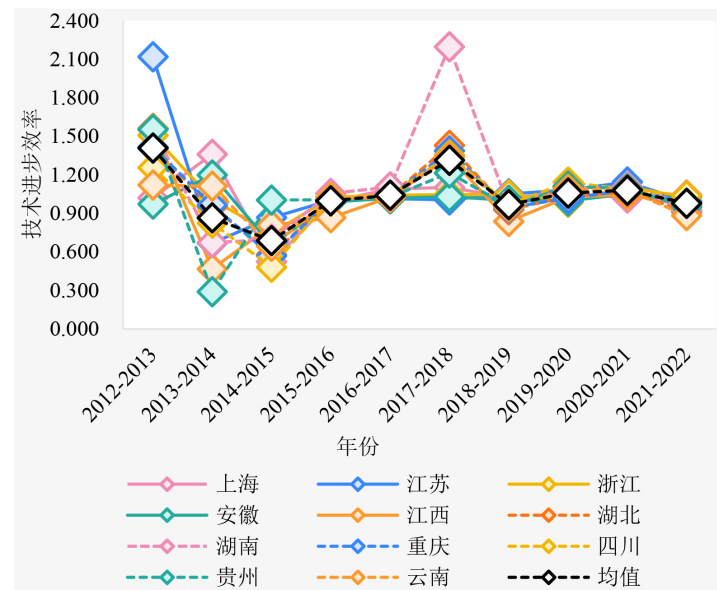


Figure 7. Trend chart of technological progress index of 11 provinces (municipalities) from 2012 to 2022
图 7. 2012~2022 年 11 个省(市)技术进步指数图趋势图

6. 结论建议

6.1. 结论

本文采用基于非期望产出的超效率 SBM 模型、ML 指数和相关指标对 2012~2022 年长江经济带绿色物流效率进行静态和动态分析，从而得出以下结论：

1) 基于非期望产出超效率 SBM 模型

长江经济带绿色物流静态效率呈现明显的阶梯式分布格局，整体表现为下游领先、中游居中、上游滞后的特征，区域差异显著。下游省市凭借完善的数字物流体系、产业链协同优势及政策红利支撑，效率水平显著领跑；中游地区受产业转型期资源错配制约，效率波动较为明显；上游省市受复杂地形、基础设施薄弱及能源结构高碳化等因素制约，物流成本居高不下，绿色物流效率较低。

2) 基于 ML 指数

经动态分析显示，长江经济带的绿色全要素生产率总体呈现上升趋势，其增长主要由技术进步的持续推动所驱动。然而，技术效率的改善不足反映出资源配置优化与管理能力提升的滞后性，成为制约整体效能的关键短板。阶段性波动分析表明，绿色技术的应用能够显著提升效率，但外部冲击易导致效率的回落。在省际层面，部分区域技术指标的剧烈波动凸显了创新试点与资源配置的稳定性不足，而成熟区域则表现出更强的抗风险能力与发展韧性。

6.2. 建议

1) 构建梯度协同的区域发展体系

针对下游、中游、上游效率分化的结构性矛盾，需实施差异化区域策略。下游地区应强化数字供应链技术外溢，通过共建低碳物流示范区辐射中上游；中游地区重点优化产业承接中的资源匹配，依托多式联运枢纽降低中转能耗；上游省市亟需突破地形与基建制约，加大交通网络投入，探索光伏仓储、氢能运输等山地特色绿色模式，缩小区域发展代差。

2) 深化技术与管理双轮驱动机制

为解决技术进步主导而技术效率改善不足的核心短板, 需同步推进技术创新与制度优化。技术层面设立绿色物流专项基金, 加速无人配送、碳捕集等关键技术落地; 管理层面建立跨省碳排放交易市场与物流资源云调配平台, 破除行政壁垒导致的资源配置低效, 推动技术红利向全要素生产率转化。

参考文献

- [1] 杨一帆, 闫磊. 基于超效率 SBM-Malmquist 模型的长江经济带物流效率评价研究[J]. 物流科技, 2025, 48(10): 103-107.
- [2] 臧家根, 费晴怡. “双碳”背景下淮海经济区物流业效率评价研究[J]. 物流科技, 2025, 48(12): 76-84.
- [3] 张瀚引, 刘云龙. 西部陆海新通道沿线省份物流效率的测算、演进与收敛性分析[J]. 商业经济研究, 2024(24): 91-94.
- [4] 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.
- [5] 龚瑞凤, 薛俭, 刘汝丽. 中国区域物流效率测度及其时空特征分析[J]. 统计与决策, 2022, 38(10): 141-145.
- [6] 薛阳, 李曼竹, 王健康, 等. 黄河流域九省区绿色物流效率评价研究——基于三阶段 DEA 模型[J]. 环境科学与管理, 2022, 47(2): 67-72.
- [7] 张旭, 李沛凝, 胡小慧, 等. 高质量发展下区域绿色物流效率评价研究[J]. 环境科学与管理, 2024, 49(4): 5-10.
- [8] 高珊. 低碳转型视阈下我国沿海省份绿色物流效率多维度评价[J]. 物流技术, 2025, 44(6): 13-24.
- [9] 钟代立, 陈辰. 长江经济带地区新质生产力与绿色物流效率时空耦合协调发展研究[J]. 荆楚理工学院学报, 2025, 40(2): 47-57.
- [10] 贾县民, 徐蓉, 谭佳信. “一带一路”沿线省份绿色物流效率及影响因素研究[J]. 供应链管理, 2024, 5(2): 58-70.
- [11] 薛阳, 王健康, 李曼竹. 低碳环境下黄河流域九省区绿色物流效率测度及对策研究[J]. 内蒙古统计, 2023(1): 11-14.
- [12] 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.
- [13] 涂建, 梅艺华. 基于非期望产出超效率 SBM-Malmquist 模型的我国绿色物流效率研究[J]. 无锡商业职业技术学院学报, 2021, 21(1): 16-20+86.
- [14] 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.
- [15] 居水木. 长三角地区绿色物流效率评价——基于超效率 SBM 模型与 Malmquist-Luenberger 指数分析[J]. 湖州师范学院学报, 2024, 46(4): 73-79.
- [16] Tone, K. (2002) A Slacks-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 143, 32-41. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(01\)00324-1](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(01)00324-1)