文章编号：1003-1421(2026)05-0084-10
引用格式：张年，张志坚，谢京霖．“双碳”背景下长江经济带绿色物流效率评价与影响因素分析[J]. 铁道运输与经济，2026，48(5)：84-93.
ZHANG Nian，ZHANG Zhijian，XIE Jinglin. Evaluation of Green Logistics Efficiency and Analysis of Influencing Factors in Yangtze River Economic Belt under Background of “Carbon Peaking and Carbon Neutrality” [J]. Railway Transport and Economy，2026，48(5)：84-93.

“双碳”背景下长江经济带绿色物流效率评价与影响因素分析

张 年，张志坚，谢京霖

(华东交通大学 交通运输工程学院，江西 南昌 310013)

摘 要：选取2013—2022年长江经济带11个省份的相关数据，运用非期望Super-SBM模型和Malmquist模型，分析长江经济带绿色物流效率的变动趋势，并利用Tobit模型对其影响因素进行回归分析。研究表明：2013—2022年长江经济带绿色物流效率整体呈上升趋势，但平均效率值小于1，存在各地区绿色物流效率发展不平衡问题；长江经济带绿色物流全要素生产率大于1，其主导因素为物流技术进步，绿色物流全要素生产率呈现先增长后降低再增长的趋势；基础设施利用率、环境规制强度、科技创新水平会对绿色物流效率产生显著的正向影响关系；经济发展水平、能源消耗强度会对绿色物流效率产生显著的负向影响关系；而地区产业结构、政府物流财政投入和长江经济带绿色物流效率不存在显著相关性。针对研究结果，提出了相应的对策建议。

关键词：长江经济带；绿色物流效率；Super-SBM模型；Malmquist模型；Tobit模型
中图分类号：U-9；F061.5；F252.2 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20251015002

Evaluation of Green Logistics Efficiency and Analysis of Influencing Factors in Yangtze River Economic Belt under Background of “Carbon Peaking and Carbon Neutrality”

ZHANG Nian，ZHANG Zhijian，XIE Jinglin

(School of Transportation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 310013, Jiangxi, China)

Abstract: Based on the relevant data of 11 provinces in the Yangtze River Economic Belt from 2013 to 2022, the undesirable Super-SBM model and Malmquist model were applied to analyze the changing trend of green logistics efficiency in the Yangtze River Economic Belt, and the Tobit model was used to conduct regression analysis on its influencing factors. The results show that the overall green logistics efficiency in the Yangtze River Economic Belt from 2013 to 2022 shows an upward trend, but the average efficiency value is less than 1, and there is a problem of unbalanced development of green logistics efficiency among various regions. The total factor productivity of green logistics in the Yangtze River Economic Belt is greater than 1; its dominant factor is the progress of logistics technology, and the total factor productivity of green logistics shows a trend of initially increasing, then decreasing, and

收稿日期：2025-10-15 **修订日期**：2025-12-30
基金项目：教育部人文社会科学研究规划基金项目(22YJAzH159)；国家自然科学基金地区项目(72362015)

increasing again. The infrastructure utilization rate, environmental regulation intensity, and scientific and technological innovation level have a significant positive impact on green logistics efficiency; the economic development level and energy consumption intensity have a significant negative impact on green logistics efficiency; while the regional industrial structure, government financial input in logistics, and green logistics efficiency of the Yangtze River Economic Belt have no significant correlation. Based on the research results, corresponding countermeasures and suggestions were proposed.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; Green Logistics Efficiency; Super-SBM Model; Malmquist Model; Tobit Model

0　引言

长江经济带作为“一带一路”倡议与我国区域协调发展战略的重要交汇区域，依靠黄金水道与综合交通体系，已经成为我国经济高质量发展的重要支撑。近年来，由于物流需求的增加，物流业规模快速扩张，使得资源消耗、环境压力与绿色发展之间的矛盾逐渐加剧。2020年9月，我国明确提出“双碳”目标，即力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值，2060年前实现碳中和。“双碳”目标的提出，不仅对我国绿色物流的发展提出了更高的要求，更成为长江经济带物流产业向低碳、高效、可持续发展的核心驱动力。《长江经济带发展规划纲要》[1]明确提出长江经济带要构建绿色低碳物流产业体系，但区域间物流基础设施衔接不畅、物流过程碳排放较高等问题，制约着长江经济带物流整体效率的提升。当前，传统的物流发展模式已经难以满足长江经济带可持续发展的需求，因此，如何在“双碳”目标下，平衡物流效率与生态环境，系统探究长江经济带绿色物流效率的演变规律、影响因素与优化路径，是长江经济带物流业可持续发展亟需解决的问题。

在绿色物流效率的研究方面，国内外学者展开了丰富的研究与探索。国外学者多从企业物流或行业物流的角度来探讨物流效率问题，如Markovits-Somogyi等[2]采用DEA-AHP模型对欧洲多国的物流效率进行了系统分析；Holubek等[3]研究如何通过优化交通运输系统来提升物流效率；Petrović等[4]等运用三阶段数据包络法(Data Envelopment Analysis，DEA)和模糊层次分析法对塞尔维亚10家物流企业的物流效率展开了评价及对比分析。国内学者对于绿色物流效率的研究主要可分为2个方向：一是对某个地区绿色物流效率的测算，如于丽静等[5]采用随机前沿分析(Stochastic Frontier Analysis，SFA)对全国30个省份的物流效率进行了测算；何景师等[6]通过Malmquist模型和超效率SBM模型分析了我国三大湾区城市群绿色物流效率的变动趋势；徐超毅等[7]以华东地区“六省一市”的物流业作为研究对象，运用超效率SBM-DEA模型测度其物流业绿色发展静态效率；许菱等[8]以16个沿海开放城市为研究对象，运用三阶段数据包络法和Malmquist模型对其低碳物流效率进行测度；孟珊珊等[9]应用超效率SBM模型对我国农产品绿色物流效率进行了评价分析。二是对影响绿色效率的动因进行分析，如龚瑞风等[10]利用灰色关联模型分析湖南省生鲜农产品物流效率影响因素；毕延超[11]采用Tobit回归分析测算了外部环境对我国绿色物流效率的影响；涂建[12]利用面板Tobit模型探究了产业结构升级、经济发展水平和对外开放程度对绿色物流效率水平的影响；柳键等[13]研究得出对绿色物流效率贡献率最大的是第三产业，其次是第二产业，总体上产业结构调整促进低碳物流效率；杨博等[14]研究发现绿色技术创新与生鲜农产品绿色物流效率呈“U”型非线性关系，产业集聚对生鲜农产品绿色物流效率具有正向促进作用；郭茜等[15]通过回归分析得出京津冀绿色物流效率随着“公转铁”政策实施力度增强而不断提升。

综上所述，既有研究对象多为省或市，评价模型多为超效率SBM，集中于绿色物流效率的静态分析，较少进行物流效率动态研究。长江经济带作为我国经济发展和生态文明建设的先行示范带，已成为推动我国经济高质量发展的主力军，其绿色物流效率发展水平直接影响长江经济带的可持续发展。目前，对于长江经济带城市可持续发展研究较多聚焦于协同发展问题[16-17]，针对长江经济带绿色物流效率开展评价研究的文献较少，尤其是对区域间的

绿色物流效率差异及影响因素实证分析的研究亦显不足。研究结合长江经济带11个省份2013—2022年的统计数据，应用非期望Super-SBM模型、Malmquist模型及Tobit回归模型，在对我国长江经济带绿色物流效率展开静态研究的基础上，进一步揭示其动态演变过程和发现影响绿色物流效率的关键驱动因素，以期为长江经济带物流业的可持续发展指明方向。

1　研究方法与指标数据选取

1.1　绿色物流效率测算方法

1.1.1　非期望Super-SBM模型

DEA方法是一种对多指标输入、输出的同类型决策单元(Decision Making Unit，DMU)进行相对效率评价的系统分析方法。传统的DEA模型当存在投入过度或者产出不足会导致高估DMU的效率值。同时，在考虑非期望产出的情况下，可能存在多个有效决策单元同时达到效率值为1的情况，导致难以对这些效率值同为1的决策单元进行进一步区分和排序。非期望产出的Super-SBM模型可精准剥离环境成本(如碳排放污染)对绿色物流效率的影响，避免传统模型高估效率的问题。采用非期望产出的Super-SBM模型[18]测算长江经济带绿色物流效率。

$$\min\rho=\frac{1+\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{S_i^{a-}}{x_{ik}}}{1-\frac{1}{q_1+q_2}\left(\sum_{r=1}^{q_1}\frac{S_r^{+}}{y_{rk}}+\sum_{t=1}^{q_2}\frac{S_t^{b-}}{z_{tk}}\right)} \tag{1}$$

$$\text{s.t.}\sum_{j=1,\,j\neq k}^{n}x_{ij}\lambda_j-S_i^{a-}\leqslant x_k \tag{2}$$

$$\sum_{j=1,\,j\neq k}^{n}y_{rj}\lambda_j+S_r^{+}\geqslant y_{rk} \tag{3}$$

$$\sum_{j=1,\,j\neq k}^{n}z_{tj}\lambda_j-S_t^{b-}\leqslant z_k \tag{4}$$

$$1-\frac{1}{q_1+q_2}\left(\sum_{r=1}^{q_1}\frac{S_r^{+}}{y_{rk}}+\sum_{t=1}^{q_1}\frac{S_t^{b-}}{z_{tk}}\right))>0 \tag{5}$$

λ，s^-，$s^+\geqslant 0$；$i=1,2,\cdots,m$；$r=1,2,\cdots,q_1$；$t=1,2,\cdots,q_2$；$j=1,2,\cdots,n(j\neq k)$

式中：ρ表示决策单元的效率值，ρ越大，代表该地区物流业绿色发展效率值越大；m代表投入指标个数；q_1代表期望产出指标个数；q_2代表非期望产出指标个数；x_i，y_r，z_t分别代表投入指标、期望产出指标、非期望产出指标；s^{a-}，s^{b-}分别表示投入和非期望产出的冗余量；s^+代表期望产出的不足量。

1.1.2　Malmquist-Luenberger指数模型

由于Super-SBM模型只能测算决策单元的相对效率，即对各地区的绿色物流效率进行静态描述，进一步结合Malmquist-Luenberger (*ML*)指数模型，测算长江经济带绿色物流效率值的动态变化。*ML*指数模型支持通过面板数据而非静态界面数据来测算决策单位，揭示其动态的变动趋势，模型所得到的ML指数可以更全面地反映长江经济带绿色物流效率的变化趋势，其表达式如式(6)—(9)所示。在假设规模报酬不变的情况下，*ML*指数可以细分为*MLEC*和*MLTC*2个部分。*ML*指数等于1，表示该地区绿色物流效率值没有发生变化；若大于1，表示效率值同比有所提升，若小于1，则同比下降。

$$ML_C^{t+1}=MLEC_c\cdot MLTC_c \tag{6}$$

$$ML_C^{t+1}(x^t,\ y^t,\ z^t x^{t+1},\ y^{t+1},\ z^{t+1})=\left[\frac{E_c^t(x^{t+1},\ y^{t+1},\ z^{t+1})}{E_c^t(x^t,\ y^t,\ z^t)}\cdot\frac{E_c^{t+1}(x^{t+1},\ y^{t+1},\ z^{t+1})}{E_c^{t+1}(x^t,\ y^t,\ z^t)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{7}$$

$$MLEC_c=\frac{E_c^{t+1}(x^{t+1},\ y^{t+1},\ z^{t+1})}{E_c^t(x^t,\ y^t,\ z^t)} \tag{8}$$

$$MLTC_c=\left[\frac{E_c^t(x^{t+1},\ y^{t+1},\ z^{t+1})}{E_c^{t+1}(x^{t+1},\ y^{t+1},\ z^{t+1})}\cdot\frac{E_c^{t+1}(x^t,\ y^t,\ z^t)}{E_c^{t+1}(x^t,\ y^t,\ z^t)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

式中：*MLEC*为全局技术效率变化指数，反映了从时间t到t+1期间，决策单元接近最优生产前沿面的程度，通常与行业内的协调、组织和管理能力提升相关；*MLTC*为全局技术进步指数，描述了从时间t到t+1期间技术变化情况，通常反映了行业的创新发明、特殊技能和专业知识的增强。

1.1.3　Tobit回归模型

选用Tobit回归模型，对影响绿色物流效率的相关因素进行实证检验，模型的数学表达公式如式(10)所示。

$$Y=\begin{cases}\alpha X+\mu & Y^*>0\\ 0 & Y^*\leqslant 0\end{cases} \tag{10}$$

式中：Y为被解释变量，表示长江经济带绿色物流效率；Y^*为所截断的因变量；X为解释变量；α为回归系数；μ表示随机误差扰动且服从$\mu\sim N(0,\ \sigma^2)$。

1.2　指标选取及数据来源

物流效率评价投入指标主要包括劳动力、资本和土地3个方面[4]，产出指标主要包括物流业增加值、货运量和货物周转量。其中，劳动力投入、资本投入、土地投入分别通过物流业从人员数量、固定资产投资额及交通基础设施投入额来衡量。由于现有统计年鉴没有单独统计物流业，故一般采用交通运输、仓储和邮政业的相关数据。同时，在绿色物流效率评价体系中，能源使用效率与碳排放强度常作为核心观测指标。如张诚等[19]以劳动力投入、固定资产投资作为期望投入指标，能源消耗作为非期望投入指标，以物流业增加值、货运量作为产出指标；何景师等[6]以劳动力、资本、基础设施和能源作为投入指标，以物流业增加值、货运量和货物周转量作为期望产出指标，以碳排放量作为非期望产出指标；秦小辉等[20]以物流业固定资产投资额、物流业从业人员数、运输线路里程作为投入指标，以物流业增加值、货运量和货物周转量作为产出指标。公路运输相比铁路运输碳排放量高，且各省公路运输里程约占当地运输总里程的91.5%以上，因此基础设施投入主要参考公路运输总里程数。

综上，在遵循科学性、代表性和可得性原则的基础上，根据文献分析，从人力资源、资本投入、基础设施投入及能源消耗4个纬度构建投入指标体系，将物流业增加值、货运量和货物周转量作为期望产出指标，同时将碳排放量设定为非预期产出指标。数据样本为2013—2022年长江经济带11个省份的面板数据，数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国物流统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及国家统计局等官方资料，并对相关数据进行了整理，绿色物流效率评价指标体系如表1所示。

表1　绿色物流效率评价指标体系

Tab.1　Evaluation index system of green logistics efficiency

一级指标	二级指标
投入指标	物流业从业人员/万人
	物流业固定资产投资/亿元
	公路运输总里程/万km
	能源消耗/万t
期望产出指标	物流业增加值/亿元
	货运量/万t
	货物周转量/(亿t·km)
非期望产出指标	碳排放量/万t

2　基于Super-SBM模型的长江经济带绿色物流效率评价

2.1　综合效率分析

采用非期望产出的Super-SBM模型，将2013—2022年长江经济带11个省份输入指标和输出指标数据带入式(1)，计算得到长江经济带绿色物流综合效率值，长江经济带2013—2022年绿色物流综合效率值及排名如表2所示。

由表2数据可以看出，从时序上看2013—2022年长江经济带绿色物流效率整体呈现“波动调整-稳步恢复-加速提升”的阶段性特征。绿色物流效率从2013年的0.431逐步增长至2022年的0.624，年均提升约4.4%，表明长江经济带近十年的绿色物流发展已取得一定成效。其中，2013—2016年为波

表2　长江经济带2013—2022年绿色物流综合效率值及排名

Tab.2　Comprehensive efficiency values and rankings of green logistics in Yangtze River Economic Belt from 2013 to 2022

省份	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	均值	排名
上海	0.533	0.644	0.526	0.490	0.567	0.650	0.715	1.037	1.026	1.088	0.727	2
江苏	0.624	0.572	0.437	0.420	0.491	0.560	0.600	0.698	1.033	1.017	0.645	4
浙江	0.507	0.510	0.507	0.543	0.584	0.678	0.766	0.673	0.906	1.030	0.670	3
安徽	1.069	1.045	0.821	0.825	0.861	0.955	0.905	0.878	1.053	1.059	0.947	1
江西	0.490	0.478	0.424	0.443	0.520	0.552	0.486	0.454	0.628	0.690	0.516	5
湖北	0.304	0.328	0.331	0.311	0.361	0.396	0.413	0.371	0.508	0.546	0.387	6
湖南	0.361	0.365	0.336	0.348	0.386	0.406	0.254	0.218	0.261	0.305	0.324	7
重庆	0.223	0.244	0.229	0.237	0.248	0.303	0.297	0.303	0.348	0.390	0.282	8
四川	0.230	0.190	0.190	0.163	0.171	0.191	0.186	0.184	0.197	0.206	0.191	11
贵州	0.209	0.223	0.203	0.206	0.237	0.258	0.189	0.188	0.226	0.228	0.216	10
云南	0.193	0.185	0.187	0.190	0.208	0.239	0.209	0.203	0.262	0.302	0.218	9
长江经济带均值	0.431	0.435	0.381	0.380	0.421	0.472	0.456	0.473	0.586	0.624	0.466	—

动调整期，绿色物流效率值在0.38至0.435间徘徊，2015年跌至最低点0.381，可能与经济增速放缓导致物流资源浪费加剧有关；2017—2019年进入恢复期，效率回升至0.456，但年均增速仅1.8%，反映出绿色物流技术推广初期成本高、政策落地存在滞后性；2020年后效率加速突破，3年内从0.473跃升至0.624，尤其是2021年同比激增24%，这主要得益于“双碳”目标的实施和疫情后供应链绿色转型提速。值得注意的是，2022年绿色物流效率虽达峰值，但仍未达到理论最优水平(1.0)，说明长江经济带区域内仍存在能源消耗偏高、多式联运衔接不足等瓶颈。

分省份来看，长江经济带绿色物流效率呈现一定的区域不均衡性，多数省份绿色物流效率值逐年提升，但增速和稳定性差异显著。安徽省绿色物流效率均值达0.947，位列第一，其变化呈现“先降后升”的特点；上海、江苏、浙江等东部省份绿色物流效率均值分别为0.727，0.645和0.670，排名靠前但增速较慢；四川、贵州、云南等西部省份绿色物流效率长期偏低(均值≤0.218)，2022年仍处于0.206~0.302区间，这可能是由于基础设施不足和高碳路径依赖导致其转型滞后。

对长江经济带涵盖的11个省份，根据其地理位置和经济发展特点，可以划分为上游、中游以及下游3个不同的区域，表2数据进一步整理，可得出长江经济带上游、中游和下游地区的绿色物流效率，2013—2022年长江经济带上中下游地区绿色物流效率的时序数据如图1所示。

如图1所示，长江经济带绿色物流效率的区域发展呈现“下游领跑、中游追赶、上游滞后”的梯

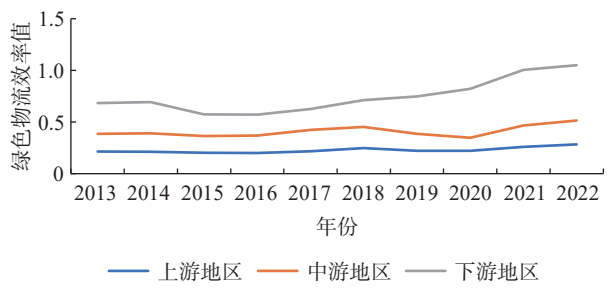

图1　2013—2022年长江经济带上中下游地区绿色物流效率的时序数据

Fig.1　Time series data of green logistics efficiency in upstream, midstream, and downstream regions of Yangtze

度特征。下游地区(上海、江苏、浙江、安徽)的绿色物流效率值从2013年的0.683持续提升至2022年的1.048，且2021年首次超过理论最优值(1.0)，表明其通过应用智慧物流技术及清洁能源、推广多式联运，已实现资源利用与碳排放的高效协同，成为绿色转型的标杆。尤其在2020年后，下游效率增速显著加快，这应主要得益于“双碳”目标下的政策引领。中游地区(湖北、湖南、江西)的绿色物流效率值从0.385波动上升至0.514，但过程起伏明显。2019年效率骤降至0.348，2021年后回升至0.514，反映技术适配性增强与物流网络韧性提升。上游地区(四川、重庆、云南、贵州)的绿色物流效率长期处于低位，2013—2016年始终低于0.22，2022年仅升至0.282，年均增速不足3%。其低效的主要原因可能是交通设施分散、高碳产业依赖及绿色技术投入不足。尽管2020年后政策支持推动上游地区绿色物流效率小幅增长，但增速远落后于下游，这一情况反映出地理条件与产业结构仍是物流业绿色化转型的主要制约。

2.2　投入产出松弛值分析

在效率评价过程中，若投入项的松弛值大于0，则意味着投入量需缩减，即存在投入冗余；若产出项的松弛值大于0，则表明产出量需提升，即存在产出不足；若非期望产出项的松弛值大于0，则表示非期望产出量需降低，即存在产出冗余。以2022年长江经济带11个省份的各指标松弛值为例，进一步揭示长江经济带在绿色物流发展上的投入产出现状，2022年长江经济带11个省份各指标松弛值如表3所示。

由表3可知，投入项方面，重庆市物流从业人数冗余达4.841万人，说明其在物流人力资源投入上存在过剩问题，需精简人力配置，优化人力资源结构；江西、湖南、重庆、四川、贵州、云南等省份在公路总里程上存在冗余问题，其中四川省公路总里程冗余最多，达34.475万km，需优化路网结构；湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南等省份在物流业固定资产投资上存在冗余问题，其中四川省物流业固定资产投资过剩最多，达5 751.981亿元，说明这些地区都存在资本效率低下的问题，需要优化资金配置，提高资本效率；江西、湖南、湖

表3　2022年长江经济带11个省份各指标松弛值

Tab.3　Slack values of various indicators of 11 provinces in Yangtze River Economic Belt in 2022

DMU	投入冗余				产出不足			产出冗余
	物流业从业人员/万人	物流业固定资产投资/亿元	公路总里程/万km	能源消耗/万t	货物周转量/(亿t·km)	物流业增加值/亿元	货运量/万t	碳排放量/万t
上海	0	0	0	−155.976	−1963.117	−182.342	0	−467.365
江苏	0	0	0	0	0	−238.663	0	0
浙江	0	0	0	0	0	−277.544	0	0
安徽	0	0	0	−67.009	0	−141.061	0	−243.923
江西	0	0	6.479	104.662	3 302.943	0	81 485.242	286.411
湖北	0	1 312.497	0	420.544	7 723.775	0	198 541.097	1 225.789
湖南	0	1 718.717	15.128	550.579	11 609.515	0	65 079.120	1 605.811
重庆	4.841	1 784.740	16.481	17.267	5 143.685	0	164 352.149	0
四川	0	5 751.981	34.475	77.192	21 311.801	0	0	85.738
贵州	0	1 373.390	19.885	358.056	5 902.719	0	145 307.449	1 050.753
云南	0	3 207.911	5.700	472.362	7 197.561	0	96 183.568	1 413.290

北、重庆、四川、贵州和云南等省份在能源消耗上存在冗余问题，其中湖南省能源消耗过剩最多，达550.579万t，需同步控制资本投入并提高能源利用效率，积极引进绿色物流技术，优化运输方式，降低能源消耗。

产出项中，江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南等省份在货物周转量上存在产出不足的问题，其中四川省货物周转量显著不足，为21 311.801亿t·km，需要提升每公里货运量，提高运输工具的利用率；江西、湖北、湖南、重庆、贵州、云南等省份在货运量产出上存在不足，其中湖北省货运量产出不足最大，达198 541.097万t，需要进一步提升物流运输能力，优化运输路线和运输方式，以增强物流效率。

非期望产出方面，江西、湖北、湖南、四川、贵州和云南等省份在碳排放量非期望产出上存在冗余问题，其中湖南省碳排放量过剩最多，达1 605.811万t，显示出这些地区在物流活动中对环境造成了较大压力，应加大对绿色物流的投入，推广低碳运输方式，减少化石燃料的使用，从而降低碳排放。

3　基于ML指数模型的绿色物流全要素生产率分析

为进一步对长江经济带的绿色物流全要素生产率进行测量，采用ML指数模型，将2013—2022年长江经济带11个省份输入指标和输出指标数据带入式(2)，计算得出2013—2022年长江经济带绿色物流全要素生产率平均值，2013—2022年长江经济带绿色物流全要素生产率如表4所示，长江经济带绿色物流全要素生产率变化趋势如图2所示。

表4　2013—2022年长江经济带绿色物流全要素生产率

Tab.4　Total factor productivity of green logistics in Yangtze River Economic Belt from 2013 to 2022

时间段	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模效率	全要素生产率
2013—2014年	0.996	1.027	0.978	1.019	1.023
2014—2015年	1.041	0.932	1.014	1.027	0.970
2015—2016年	0.990	1.012	0.975	1.016	1.002
2016—2017年	1.038	1.059	1.009	1.029	1.099
2017—2018年	1.009	1.112	1.027	0.983	1.122
2018—2019年	0.979	1.047	0.998	0.981	1.025
2019—2020年	0.949	1.029	0.994	0.955	0.977
2020—2021年	1.022	1.131	0.999	1.023	1.156
2021—2022年	1.101	0.949	1.019	1.081	1.045
均值	1.014	1.033	1.001	1.013	1.046

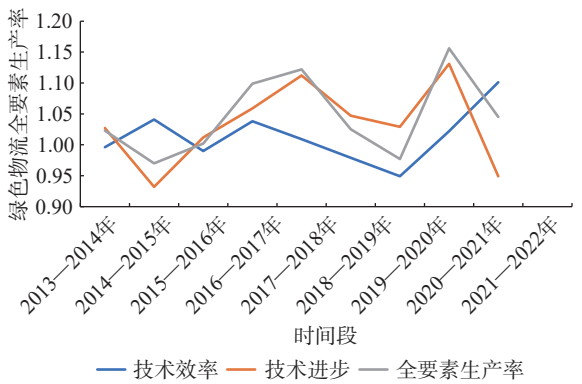

图2　长江经济带绿色物流全要素生产率变化趋势

Fig.2　Changing trend of total factor productivity of green logistics in Yangtze River Economic Belt

分析表4，在碳排放约束下，2013—2022年间长江经济带11个省份绿色物流全要素生产率均值为1.046，技术效率和技术进步分别为1.014，1.033，说明长江经济带绿色物流全要素生产率的增长是技术效率和技术进步共同推动的结果。另一方面，结合图2发现2013—2022年间长江经济带绿色物流全要素生产率呈现波动式增长状态，年均增长率为0.24%。从时序来看，2013—2022年间长江经济带绿色物流全要素生产率波动周期可以分为3个阶段。①2013—1018年绿色物流全要素生产率整体呈现上升趋势，2013—2017年《长江经济带发展规划纲要》的实施促进了跨区域物流网络建设，政策统筹推动绿色物流全要素生产率稳步提升，且该阶段绿色物流全要素生产率的增幅与技术进步趋于一致，其增长呈现“技术进步主导”特征。②2018—2020年绿色物流全要素生产率转为下降态势，纯技术效率在2018—2019年、2019—2020年这2个阶段下滑且低于1，说明物流管理能力和技术水平开始滞后于规模扩张，因而该阶段绿色物流全要素生产率呈现下降趋势。③2020—2022年绿色物流全要素生产率呈现波浪式回升，其中技术进步在2020—2021年达到最高值1.131，技术效率由0.949回升至1.101，说明物流管理能力和技术水平开始紧跟物流规模扩张，也凸显出环境规制对技术创新的倒逼作用，同时，2020年后国家推进“新基建”工程后，5G网络、数据中心等数字化设施加速布局，数字基建降低了跨省协作成本，驱动绿色物流全要素生产率回升，然而2021—2022年技术进步骤降至0.949，引起绿色物流全要素生产率小幅度回落，反映出绿色物流技术落地仍存在瓶颈。

4　绿色物流效率影响因素分析

4.1　绿色物流效率影响因素选取

通过采用Super-SBM模型和ML指数方法对长江经济带绿色物流发展水平的测算，发现该区域上游-中游-下游存在显著的发展差异，并且各省份之间的效率值差距较大。这说明可能有多种因素在影响长江经济带物流业的绿色转型。选择Tobit回归模型对长江经济带11个省份2013—2022年的相关面板数据进行回归检验。集合相关文献研究[21-23]对绿色物流效率成因的分析和指标整理，选取经济发展水平、基础设施利用率、产业结构、能源消耗强度、环境规制强度、政策支持力度等因素作为解释变量，绿色物流效率作为被解释变量，绿色物流效率影响因素如表5所示，数据主要来源于2014—2023年的《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及国家统计局、国家知识产权局等官方资料。

表5　绿色物流效率影响因素

Tab.5　Influencing factors of green logistics efficiency

影响因素	衡量指标
经济发展水平/(万元/人)	人均GDP
基础设施利用率/(万t/km)	公路货运量/公路运输线路长度
产业结构/%	第三产业增加值/地区生产总值
能源消耗强度/(万t/亿元)	能源消耗量/物流业增加值
环境规制强度/%	环境污染治理投资/GDP
政府物流财政投入/%	交通运输业财政支出/财政总支出
科技创新水平/万件	绿色专利授权数(绿色发明专利数+绿色实用新型专利数)

4.2　构建回归模型

根据选取的影响因素，构建Tobit回归模型。

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \alpha_6 X_6 + \alpha_7 X_7 + \mu \tag{11}$$

式中：Y代表绿色物流效率；X_1代表经济发展水平；X_2代表基础设施利用率；X_3代表产业结构；X_4代表能源消耗强度；X_5代表环境规制强度；X_6代表政府物流财政投入；X_7代表科技创新水平；α_1，α_2，α_3，α_4，α_5，α_6，α_7为各解释变量的系数；μ为随机误差项。

4.3　回归分析

对上述模型进行回归分析，Tobit回归模型似然比检验结果如表6所示，Tobit回归分析结果汇总如表7所示。p值低于0.05，这表明本次建模过程中所引入的解释变量具备统计学上的有效性，因此该模型的构建具有实际意义。

根据表7可知，共有7项解释变量，而绿色物流效率是作为被解释变量进行Tobit回归分析，得到的模型为

表6　Tobit回归模型似然比检验结果

Tab.6　Likelihood ratio test results of Tobit regression model

模型	-2倍对数似然值	卡方值	*df*	p值	AIC值	BIC值
仅截距	22.084					
最终模型	-193.761	215.845	7	0.000	-177.761	-156.158

表7　Tobit回归分析结果汇总

Tab.7　Summary of Tobit regression analysis results

项	回归系数	标准差	z值	p值	95% CI
Constant	0.841**	0.154	5.453	0.000	0.539 ~ 1.143
X_1	−0.035**	0.010	−3.373	0.001	−0.056 ~ −0.015
X_2	0.117**	0.009	13.279	0.000	0.100 ~ 0.135
X_3	−0.071	0.329	−0.217	0.828	−0.717 ~ 0.574
X_4	−0.490**	0.052	−9.367	0.000	−0.593 ~ −0.388
X_5	13.141**	3.475	3.782	0.000	6.330 ~ 19.952
X_6	−0.884	0.639	−1.383	0.167	−2.135 ~ 0.368
X_7	0.162**	0.024	6.610	0.000	0.114 ~ 0.210
log(Sigma)	−2.300**	0.067	−34.110	0.000	−2.432 ~ −2.168

注：*代表p<0.05，**代表p<0.01。

$$Y = 0.841 - 0.035X_1 + 0.117X_2 - 0.071X_3 - 0.490X_4 + 13.141X_5 - 0.884X_6 + 0.162_5X_7 \quad (12)$$

经济发展水平的回归系数值为−0.035，呈现出0.01水平的显著性，意味着经济发展水平会对绿色物流效率产生显著的负向影响。根据环境库兹涅茨曲线理论，造成这种现象的原因可能是长江经济带各省份经济状况总体来说还未达到绿色化转型的临界点，仍需通过规模扩张来提升产值，拉动经济增长。

基础设施利用率的回归系数值为0.117，呈现出0.01水平的显著性，意味着基础设施利用率对绿色物流效率产生显著的正向影响关系，说明进一步完善基础设施，降低运载车辆的空载率，能有效提高绿色物流效率。

产业结构的回归系数值为−0.071，p>0.05，未呈现出显著性，意味着当前产业结构并不会对绿色物流效率产生显著影响，原因可能是长江经济带横跨上游、中游、下游三大区域，其中下游地区如上海、江苏、浙江等地，现代服务业和先进制造业高度集聚，物流需求大且对绿色物流效率的要求较高，绿色物流效率较高；而中上游地区如贵州、云南等地，产业结构仍以传统制造业和农业为主，物流需求相对单一，绿色物流效率偏低，这导致整个长江经济带绿色物流效率差异显著，削弱了长江经济带产业结构与绿色物流效率的联动效应。

能源消耗强度的回归系数值为−0.490，呈现出0.01水平的显著性，意味着能源消耗强度会对绿色物流效率产生显著的负向影响关系，每增加1单位的能源消耗强度，绿色物流效率将减少0.490个单位。因此要进行绿色转型，通过应用新能源运输工具或推广多式联运，优化能源使用效率。

环境规制强度的回归系数值为13.141，呈现出0.01水平的显著性，意味着环境规制强度会对绿色物流效率产生显著的正向影响。说明提升环境污染治理投资占地区生产总值的比例，有助于提高物流企业对绿色转型的重视程度，加大绿色物流技术的投入和研发，可以有效提升绿色物流效率。

政府物流财政投入的回归系数值为−0.884，p>0.05，未呈现出显著性，说明当前政府在物流领域的财政投入对绿色物流效率影响并不显著，但是值得注意的是系数为负，政府在长江经济带的物流投入多集中于基础设施建设，如道路、港口等硬件设施，而对绿色物流技术的研发、新能源设备的购置、物流信息化建设等方面投入相对较少，政府需要优化其财政投入。

科技创新水平的回归系数值为0.162，呈现出0.01水平的显著性，意味着科技创新水平会对绿色物流效率产生显著的正向影响，表明物流业要加大绿色技术的研发与应用，优化运输结构和方式，提高绿色物流效率。

5　结论与建议

5.1　结论

本研究选取2013—2022年长江经济带11个省份的相关数据，运用非期望Super-SBM模型和Malmquist模型，分析长江经济带绿色物流效率的变动趋势，并利用Tobit模型对其影响因素进行回归分析，得出以下结论。

（1）长江经济带绿色物流效率整体呈上升趋势但未达到DEA最优。长江经济带绿色物流效率平均效率值小于1，未到达DEA有效，且各省市绿色物流效率值差距较大，存在投入冗余和产出不足问题，尤其江西、湖北、湖南、四川、贵州和云南等省在碳排放量非期望产出上冗余问题较为严重，同时区域间的绿色物流效率发展不均衡，呈现出差异化演变趋势。

（2）2013—2022年间长江经济带绿色物流全要素生产率增长呈现波动式增长态势。绿色物流全要素生产率大于1，主要原因是物流技术进步，从时

间演变角度来看，近年来长江经济带绿色物流全要素生产率的发展经历了“稳步上升–骤然下降–波动回升”三大阶段，物流技术的投入逐步与物流业的规模扩张相适应，推广先进的物流技术并优化物流管理模式是提高长江经济带绿色物流效率的关键。

（3）绿色物流效率受多因素影响和制约。其中，基础设施利用率、环境规制强度、科技创新水平会对绿色物流效率产生显著的正向影响；经济发展水平、能源消耗强度会对绿色物流效率产生显著的负向影响；产业结构、政府物流财政投入现阶段和绿色物流效率之间没有明显的相关性。

5.2　建议

根据以上研究结论，对于提升长江经济带绿色物流效率提出以下建议。

（1）促进地区经济与绿色物流协同发展，强化产业融合。长江经济带需要制定经济发展与绿色物流协同推进的政策体系，由传统资源消耗型经济发展模式向技术创新型经济发展模式转变，促进经济结构的调整。同时还要推动物流业与制造业、商贸业等其他产业的深度融合发展，实现产业间的资源共享与协同运作。

（2）加强长江经济带各省市的区域合作，推动区域间协同发展。首先，应加大对绿色物流技术的研发投入和生产应用，进一步提升物流业的智能化水平和运作效率。其次，应加快地区产业转型升级，提高第三产业在地区生产总值中的比重，推动物流业与当地特色产业融合发展，提升物流服务质量和效率。再次，应加大对绿色物流产业的扶持力度，积极引导社会资金投入绿色物流领域，支持绿色物流基础设施建设、技术研发和企业运营。

（3）加强基础设施建设，实现区域间基础设施的互联互通。需统一规划长江经济带物流基础设施建设，推进多式联运体系，加强不同运输方式之间的衔接和协同运作，提高货物换装效率，降低物流成本，减少能源消耗和环境污染。

（4）优化能源消费结构，提高能源利用效率。长江经济带各地区需明确能源消耗强度降低目标和清洁能源使用比例，引导物流企业采用节能环保技术和设备，同时加强对物流业能源消耗的监测和管理，推动物流企业实施能源管理体系认证。

（5）加强环境规制，调整政府物流财政投入重点。建议完善长江经济带绿色物流环境规制体系，制定严格的污染物排放标准，加强环境监管执法力度，同时调整财政投入方向，重点支持提升物流效率和资源整合。

参考文献：

[1] 国务院．《长江经济带发展规划纲要》[EB/OL]. (2016-09-11)[2025-09-20]. https://cjjjd.ndrc.gov.cn/gongzuodongtai/quanweifabu/guanfangfabu/201908/t20190801_943674. htm.

[2] MARKOVITS-SOMOGYI R, BOKOR Z. Assessing the Logistics Efficiency of European Countries by Using the DEA-PC Methodology[J]. Transport, 2014, 29(2): 137-145.

[3] HOLUBEK R, MATÚŠOVÁ M. Enhancing Production and Logistics Efficiency through Dynamic Simulation: A Case Study in Transport System Optimization[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2024, 2927(1): 012003.

[4] PETROVIĆ N, JOVANOVIĆ V, MARINKOVIĆ D, et al. Logistics Companies' Efficiency Analysis and Ranking by the DEA-Fuzzy AHP Approach[J]. Applied Sciences, 2025, 15(17): 9549.

[5] 于丽静，陈忠全．低碳视角下中国区域物流效率研究：基于SFA与PP的实证分析[J]. 生态经济，2017，33(4)：43-48，91.
YU Lijing, CHEN Zhongquan. Research on Regional Logistics Efficiency in China under the Perspective of Low-Carbon: The Empirical Analysis Based on SFA and PP[J]. Ecological Economy, 2017, 33(4): 43-48, 91.

[6] 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.
HE Jingshi, WANG Shufeng, XU Lan. Research on the Efficiency and Influencing Factors of Green Logistics in Three Bay-Area City Clusters under the Constraint of Carbon Emission[J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(8): 30-36.

[7] 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.
XU Chaoyi, QI Yu. Measurement and Spatial Analysis of Green Development Efficiency of Regional Logistics Industry in China: Taking East China as an Example[J]. Ecological Economy, 2023, 39(4): 81-88.

[8] 许　菱，丁淑芬，钟少君．沿海开放城市低碳物流效率测度及收敛性分析[J]. 商业经济研究，2025(4)：81-85.

[9] 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.

[10] 龚瑞风，吴海玲，彭晓辉. 湖南省生鲜农产品物流配送效率影响因素研究[J]. 湖南人文科技学院学报，2019，36(2)：86-91.
GONG Ruifeng，WU Hailing，PENG Xiaohui. On Influencing Factors of Logistics Distribution Efficiency for Fresh Agricultural Products in Hunan Province[J]. Journal of Hunan University of Humanities Science and Technology，2019，36(2)：86-91.

[11] 毕延超. 中国区域绿色物流效率评价及影响因素分析[J]. 福建金融管理干部学院学报，2024(1)：65-74.
BI Yanchao. Evaluation of Regional Green Logistics Efficiency and Analysis of Influencing Factors in China[J]. Journal of Fujian Institute of Financial Administrators，2024(1)：65-74.

[12] 涂　建. 中国绿色物流效率时空演化及动因研究[J]. 价格理论与实践，2025(6)：213-218，238.
TU Jian. A Study on the Temporal-Spatial Evolution and Motivation of Green Logistics Efficiency in China[J]. Price：Theory & Practice，2025(6)：213-218，238.

[13] 柳　键，涂　建. 中国产业结构调整对低碳物流效率的影响研究：基于超效率DEA低碳物流效率评价模型的实证分析[J]. 价格理论与实践，2017(12)：130-133.
LIU Jian，TU Jian. Research on the Relationship between CPI and Economic Growth，Industrial and Agricultural Product Price in China：Based on Factor Analysis and Multiple Linear Regression Model[J]. Price：Theory & Practice，2017(12)：130-133.

[14] 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.
YANG Bo，WANG Zhengbing. The Effect of Green Technology Innovation on the Efficiency of Green Logistics of Fresh Agricultural Products：Based on the Moderating Effect of Industrial Agglomeration[J]. China Business and Market，2023，37(1)：60-70.

[15] 郭　茜，韩　嵩，李　倩. “公转铁”政策对京津冀绿色物流效率的影响[J]. 中国流通经济，2024，38(3)：45-55.
GUO Qian，HAN Song，LI Qian. The Impact of “Translocation from Road to Railway” Policy on the Green Efficiency of Logistics in Beijing-Tianjin-Hebei[J]. China Business and Market，2024，38(3)：45-55.

[16] 徐玉萍，王宗宇，董晓梅. 长江经济带城市经济与高铁网络协同发展研究[J]. 华东交通大学学报，2024，41(6)：50-57.
XU Yuping，WANG Zongyu，DONG Xiaomei. Study on the Synergistic Development of Urban Economy and High Speed Railway Network in the Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of East China Jiaotong University，2024，41(6)：50-57.

[17] 连文浩，王艳华，谢泗薪. 长江经济带物流业新质生产力发展水平测度与区域差异研究[J]. 中国商论，2025，34(16)：93-96.
LIAN Wenhao，WANG Yanhua，XIE Sixin. Study on Measurement of Development of New Quality Productive Forces in the Logistics Industry of the Yangtze River Economic Belt and Regional Differences[J]. China Journal of Commerce，2025，34(16)：93-96.

[18] 成　刚. 数据包络分析方法与MaxDEA软件[M]. 北京：知识产权出版社，2014.

[19] 张　诚，喻　琴，张志坚. 低碳环境下中国物流业效率评价研究[J]. 铁道运输与经济，2015，37(1)：72-79.
ZHANG Cheng，YU Qin，ZHANG Zhijian. Evaluation Study of Chinese Logistic Industry Efficiency under Low-Carbon Environment[J]. Railway Transport and Economy，2015，37(1)：72-79.

[20] 秦小辉，赵晨曦. 西部陆海新通道物流产业效率及时空演化研究[J]. 铁道运输与经济，2023，45(2)：11-18.
QIN Xiaohui，ZHAO Chenxi. Research on Logistics Industry Efficiency and Spatial-Temporal Evolution of the New International Land-Sea Trade Corridor[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(2)：11-18.

[21] 陈超凡. 中国工业绿色全要素生产率及其影响因素：基于ML生产率指数及动态面板模型的实证研究[J]. 统计研究，2016，33(3)：53-62.
CHEN Chaofan. China’s Industrial Green Total Factor Productivity and Its Determinants：An Empirical Study Based on ML Index and Dynamic Panel Data Model[J]. Statistical Research，2016，33(3)：53-62.

[22] 郭金勇. 物流业生态效率驱动机制及空间效应分解：基于长江经济带及省际间比较研究[J]. 商业经济研究，2022(5)：108-112.

[23] 陈　刚，贾晓朋，付江月. 碳排放约束下中国八大经济区物流业效率的时空演化及影响因素[J]. 生态经济，2025，41(2)：54-60.
CHEN Gang，JIA Xiaopeng，FU Jiangyue. Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Logistics Industry Efficiency in Eight Economic Zones of China under Carbon Emission Constraints[J]. Ecological Economy，2025，41(2)：54-60.

(责任编辑　金　晶)