

基于三阶段DEA模型的中国省际物流产业效率评价研究

韩 连, 黄小庆*

江西理工大学商学院, 江西 南昌

收稿日期: 2024年7月3日; 录用日期: 2024年8月15日; 发布日期: 2024年8月22日

摘 要

物流行业作为国家经济增长的核心驱动力, 其高效性在推动区域经济的高品质进展和物流配置的优化等领域起到了至关重要的作用。因此, 对物流产业效率进行精准评价显得尤为关键。本研究采用物流业固定资产投资总额、从业人数以及交通运输网络里程作为投入指标, 同时以货运量、货物周转量和物流业生产总值为产出指标, 并将电信业务总量、地区生产总值和R&D内部经费支出纳入环境因素的考量, 借助三阶段DEA模型, 对2022年中国31个省、自治区、直辖市的物流产业效率进行了深入分析和评价。实证结果表明: 从总体上看, 在剔除环境因素和随机误差影响因素后, 中国各省际物流产业效率的差异比较明显, 呈现大多数东部沿海地区物流产业效率达到DEA有效状态, 而物流产业效率偏低的地区集中在西北地区和东北地区的特征; 同时研究也得出提高中国物流产业综合效率的关键在于提高纯技术效率的结论。

关键词

物流产业, 效率评价, 三阶段DEA

Research on Efficiency Evaluation of China's Inter-Provincial Logistics Industry Based on Three-Stage DEA Model

Lian Han, Xiaoqing Huang*

Business School, Jiangxi University of Science and Technology, Nanchang Jiangxi

Received: Jul. 3rd, 2024; accepted: Aug. 15th, 2024; published: Aug. 22nd, 2024

*通讯作者。

文章引用: 韩连, 黄小庆. 基于三阶段 DEA 模型的中国省际物流产业效率评价研究[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(4): 577-585. DOI: 10.12677/orf.2024.144426

Abstract

The logistics industry, as a core driving force of national economic growth, plays a crucial role in promoting high-quality progress of regional economies and optimizing logistics allocation. Therefore, accurate evaluation of logistics industry efficiency is particularly critical. In this study, the total investment in fixed assets of logistics industry, the number of employees and the mileage of transportation network are taken as input indicators, while the freight volume, cargo turnover and gross product of logistics industry are taken as output indicators, and the total volume of telecommunications business, gross regional product and internal R&D expenditure are taken into consideration of environmental factors. With the help of a three-stage DEA model, the logistics industry efficiency of 31 provinces, autonomous regions and municipalities in China in 2022 was analyzed and evaluated in depth. The empirical results show that: on the whole, after eliminating environmental factors and random error factors, the differences in the efficiency of logistics industry among provinces in China are obvious, showing that the efficiency of logistics industry in most eastern coastal areas reaches the DEA effective state, while the low efficiency of logistics industry is concentrated in northwest and northeast regions. At the same time, the research also draws the conclusion that the key to improve the comprehensive efficiency of China's logistics industry is to improve the pure technical efficiency.

Keywords

Logistics Industry, Efficiency Evaluation, Three-Stage DEA

Copyright © 2024 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

近几年,我国物流产业蓬勃发展,展现出积极向好的态势。2023年,我国社会物流总额突破352万亿元,同比增长5.2%,显示出我国经济在波动中稳步回升的强劲动力。同时,我国2023年社会物流总费用与GDP的比率下降至14.4%,较2022年减少了0.3个百分点,这标志着物流运行环境的持续优化和成本效益的显著提升。值得注意的是,我国物流绩效在《2023年全球物流绩效指数报告》中排名已经升至第20位,这一显著的成绩不仅突出了我国物流产业在国际舞台上的竞争力,也进一步证明了我国在全球物流行业中所占据的重要地位。物流业作为国民经济发展中不可或缺的基础性行业和服务性产业,成为连接生产与消费、国内贸易与国际贸易的核心环节,既对经济增长具有巨大拉动作用,同时其产业效率的提升对于优化经济活动和增强产业的核心竞争力也具有至关重要的作用。然而,尽管我国物流业已经跻身世界先进行列,但仍面临着衔接不畅、布局不合理等难题,这已经成为制约我国物流业发展的瓶颈。

综合国内外已有的研究成果,涉及物流产业效率的测算方法众多。Somogyi等[1]在DEA模型中引入了层次分析法以评估效率,张璇和杨雪荣等[2]在此基础上,采用中国“一带一路”沿线各省区2009~2014年度的相关指数数据,采用三阶段DEA方法,测算和评价区域内物流产业的综合效率、纯技术效率、规模效率。高康和张步阔等[3]结合空间差异和数据包络分析方法(DEA)对中国西部省份物流产业效率进行了测度。刘亚臣和张力[4]选取2011~2020年间辽中南各地级市指标数据,利用DEA模型评价该区域的物流效率,并附加熵权法分析物流绩效和物流发展水平。赵晨曦[5]利用三阶段DEA模型,在收集西部

陆海新通道 2008~2019 年面板数据后测算各省市物流产业效率, 得出西部陆海新通道物流产业效率主要受到了规模效率和纯技术效率的影响。赵思雅和李兆彬[6]以 2011~2020 年新疆具体数据为例, 采用 DEA 方法对新疆物流业的效率进行了测度, 并对其进行了纯技术效率、技术效率、规模效率和要素冗余程度的分析。并且, 考虑到常规数据包络分析方法难以解决效率值为 1 的排序问题, 有学者开始研究超效率 DEA 模型。比如李娟和王琴梅[7]采用非期望产出的超效率 SBM 模型测算西部地区 2003~2016 年间物流业效率秦雯和倪容运用超效率三阶段 DEA 模型测算江西岸物流产业效率。

综上, 国内外对于物流产业效率的研究方法主要集中在数据包络分析(DEA)以及其优化模型之上, 其中包括了 DEA 模型和主成分分析方法[8]、熵权法、随机前沿分析方法[9]相结合。而由于三阶段 DEA 模型在进行 SFA 回归分析时剔除了环境因素和随机干扰等因素对决策单元的影响受到了众多学者的青睐。本文采用三阶段 DEA 模型对 2022 年中国 31 个省、自治区、直辖市物流产业效率进行评估, 其中特别关注外部环境如何对全国物流产业效率产生影响, 因此有利于定量分析全国物流产业发展状况, 并为物流产业发展提供实际意义。

2. 研究方法 with 数据来源

2.1. 三阶段 DEA 模型

2.1.1. 第一阶段: DEA 方法

在传统的 DEA 分析中, CCR 模型和 BBC 模型被纳入其中。在 CCR 模型中, 预测规模报酬保持不变, 但是 BBC 模型则认为规模报酬是可变的。由于物流业为规模报酬可变, 所以本文在第一阶段选取 BBC 模型测算全国物流产业效率。在 BCC 模型中, 对综合效率、纯技术效率和规模效率进行了分析, 并将其分解为纯技术效率与规模效率。综合效率是指区域内物流产业在一定技术水平下所能实现的最大产出比率, 而纯技术效率是指在忽略规模效率的情况下, 投入要素对整体效率的影响程度。如果纯技术效率小于 1, 意味着在不考虑规模效率的前提下, 投入的效率并未达到最佳状态, 因此有必要对生产技术进行优化。规模效率揭示了投入与产出的和谐关系, 当规模效率低于 1 时, 意味着投入与产出的关系仍需进一步完善。

假设 n 个决策单元都有 m 种投入变量, s 种产出变量, 投入导向下对偶形式 BCC 模式如下所示[10]。

$$\min \theta - \varepsilon \left(\hat{e}^T S^- + e^T S^+ \right) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, S^-, S^+ \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中, X 表示投入变量, j 为决策单元, θ 为决策单元的综合效率值, λ 为决策变量, S 为松弛变量。
 $e = (1, \dots, 1) \in E_m$; $\hat{e} = (1, \dots, 1)^T \in E$, ε 为非阿基米德无穷小。

2.1.2. 第二阶段: SFA 方法

在第二阶段的 SFA 模型中, 本文以第一阶段 DEA-BCC 模型中得到的松弛变量为因变量, 将外部环境、随机误差等因素纳入到 SFA 模型中, 构建 SFA 回归模型。该模型以排除外界因素及随机误差等因素的影响为主要目的。构建公式如下:

$$S_{ni} = f^n(z_i, \beta^n) + V_{ni} + U_{ni} \tag{2}$$

其中, $n=1,2,\dots,N$, $i=1,2,\dots,I$, S_{ni} 表示第 i 个决策单元的第 n 个投入松弛变量; $f^n(z_i, \beta^n)$ 是环境变量对投入松弛 S_{ni} 的影响, z_i 为外生环境变量, β^n 为待估参数; $V_{ni} + U_{ni}$ 为混合误差项, V_{ni} 为随机扰动项, U_{ni} 为管理无效率项, 前者服从正态分布, 后者服从截断正态分布。调整投入变量公式如下:

$$\widehat{X}_{ni} = \widehat{X}_{ni} + \left\{ \max \left[f \left(z_i; \widehat{\beta}_n \right) \right] - f \left(z_i; \widehat{\beta}_n \right) \right\} + (\max(V_{ni}) - V_{ni}) \tag{3}$$

其中, $n=1,2,\dots,N$, $i=1,2,\dots,I$, $\widehat{X}_{ni}$ 为调整后的投入变量, X_{ni} 为调整前的投入变量, $\left\{ \max \left[f \left(z_i; \widehat{\beta}_n \right) \right] - f \left(z_i; \widehat{\beta}_n \right) \right\}$ 表示对外部环境的调整, $(\max(V_{ni}) - V_{ni})$ 表示对随机误差因素的调整。

2.1.3. 第三阶段：调整后的 DEA 模型

第三阶段调整后 DEA 模型是将第二阶段经过 SFA 回归分析后的排除外部环境和随机误差的投入数据替代原始投入数据, 并结合原有数据中的产出数据, 采用 DEA 模型重新计算全国物流产业效率, 调整后的数据更能客观反映决策单元物流产业效率。

2.2. 指标选取和数据来源

鉴于物流行业在《国民经济行业分类》中并未单独作为一个行业进行分类, 本文结合相关的研究和实际意义, 选择了与物流业密切相关的交通运输、仓储和邮政业作为研究对象进行评估。本文结合学者研究成果和我国物流业特点, 确定以下投入产出及环境指标, 具体构建指标体系如表 1 所示:

Table 1. Efficiency rating index of logistics industry
表 1. 物流产业效率评级指标

类别	具体变量	单位
投入指标	物流业固定资产投资总额	亿元
	物流业从业人数	人
	物流业交通运输网络里程	公里
产出指标	货运量	万吨
	货物周转量	亿吨公里
	物流业生产总值	亿元
环境变量	电信业务总量	亿元
	地区生产总值	亿元
	各省 R&D 经费内部支出	亿元

投入指标。选取物流业固定资产投资总额反映全国对物流产业发展的重视程度; 从全国各城市的运输体系来看, 物流运输方式主要涉及铁路、公路、航运、管道和水运 5 种运输方式, 但鉴于数据的可得性与运输方式的代表性, 本文采取铁路营业里程、内河航道里程和公路里程总和作为物流产业基础设施情况; 我国物流产业的发展需要相关的专业人才支撑, 因此本文在劳动力方面选取物流业城镇非私营单位就业人数作为投入指标。本文投入数据皆来源于《中国统计年鉴》。

产出指标。采用货运量表示物流业运输量的大小; 采用货物周转量反映货物物流系统中的流动情况; 采用物流业生产总值反映物流产业在一定时间内运输生产活动的总结果[11]。其中货运量和货物周转量皆来源于《中国统计年鉴》, 物流业生产总值来自《第三产业统计年鉴》。

环境变量。本文主要考虑政府支持、科技水平和电信业务总量作为环境变量。其中政府支持选取各省份政府财政支出中交通运输所占比例进行表示；科技水平投入力度以全国各省 R&D 经费内部支出反映。数据皆来自《中国统计年鉴》。

3. 实证分析

3.1. 第一阶段：DEA 方法

运用 DEAP2.1 软件对 2022 年全国各省际物流产业效率进行测算和分析。

Table 2. Efficiency value of national logistics industry in 2022

表 2. 2022 年全国物流产业效率值

地区	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
北京	0.432	0.82	0.527	1
天津	1	1	1	0
河北	1	1	1	0
山西	1	1	1	0
内蒙古	1	1	1	0
辽宁	1	1	1	0
吉林	0.403	0.498	0.809	1
黑龙江	0.339	0.381	0.889	1
上海	1	1	1	0
江苏	1	1	1	0
浙江	1	1	1	0
安徽	1	1	1	0
福建	1	1	1	0
江西	0.997	1	0.997	1
山东	1	1	1	0
河南	0.952	0.96	0.992	1
湖北	0.823	0.84	0.979	1
湖南	0.769	0.793	0.97	1
广东	0.742	1	0.742	2
广西	0.817	0.842	0.97	1
海南	1	1	1	0
重庆	0.575	0.619	0.929	1
四川	0.478	0.497	0.962	1
贵州	0.717	0.802	0.894	1
云南	0.86	0.91	0.944	1
西藏	0.192	1	0.192	1
陕西	0.603	0.607	0.994	1

续表

甘肃	0.524	0.569	0.921	1
青海	0.338	0.724	0.467	1
宁夏	1	1	1	0
新疆	0.532	0.572	0.929	1
总体均值	0.777	0.853	0.907	

注：规模报酬 = 0 代表规模报酬不变，规模报酬 = 1 代表规模报酬递增，规模报酬 = 2 代表规模报酬递减。

由表 2 中可知，2022 年间全国物流产业综合效率、纯技术效率和规模效率均值分别为 0.777、0.853 和 0.907，说明全国物流产业效率并不理想，且各地区物流产业效率存在较大差异。首先，达到生产前沿面的地区是海南、浙江、河北、内蒙古、上海、辽宁、江苏、山西、安徽、福建、山东、天津、宁夏 13 个省份；其次，物流产业效率在 0.5 以下的省份包括北京、吉林、黑龙江、四川、西藏和青海，主要集中在东北和西部地区，这些地区没有达到生产前沿面上，存在一定的资源浪费现象；最后，规模效率水平比纯技术效率更加接近生产前沿面，说明纯技术效率水平低是阻碍物流产业综合效率提升的主要原因。为提高测算结果的准确性，本文将剥离环境因素对测算结果的影响进行第二阶段 SFA 回归分析。

3.2. 第二阶段：SFA 回归

第二阶段运用 SFA 回归模型，以第一阶段得到的物流业固定资产投资总额、从业人数和交通运输总里程 3 个指标的松弛变量作为解释变量，在考虑到松弛变量的影响下，我们还考虑了全国各地区的生产总值、电信业务的总量以及 R&D 的内部经费支出的外部环境因素，来研究这三个关键环境因素对三大投入指标的松弛因素的具体作用。本文使用 Frontier4.1 软件来执行 SFA 的回归分析，结果如表 3 所示。

Table 3. Regression analysis of SFA

表 3. SFA 的回归分析

类别	固定资产投资总额	从业人数	交通运输里程
常数项	-356659.59	-252916.01	-5326.60
(t 值)	(-356659.59)	(-252916.01)	(-122.85378)
电信业务总量	2222.9095	96159.571	-30.997019
(t 值)	(2222.9095)	(96159.571)	(-0.11961994)
地区生产总值	47027.359	-15709.499	628.80045
(t 值)	(47027.359)	(-15709.499)	(5.72)
R&D 内部经费支出	-29032.981	-35914.499	-227.70938
(t 值)	(-29032.981)	(-35914.499)	(-2.8120915)
sigma-squared	5586938900	10585972000	3035863.8
log likelihood function	-370.37684	-382.11866	-251.62846
gamma	0.99999999	0.98710646	0.99999999
LR	14.196741	10.525143	18.645096

由表中可知各似然参数 LR 分别为 14.196741、14.196741 和 18.645096，皆通过了自由度为 3，在 1% 的显著性水平检验，说明所选取的环境变量对于投入松弛变量的影响是显著的，即采用随机前沿模型是

合理的。同时通过观察表中的 γ 值皆接近于 1，说明混合误差项基本由管理无效率在主导。

从回归结果来看，电信业务总量对物流业固定资产投资和从业人数的松弛变量的回归系数为正，对交通运输里程的松弛变量为负，说明当电信业务总量增加时，物流业固定资产投资和从业人数的松弛变量会增加，此时相应的投入并不一定取得对应的输出。

地区生产总值与物流业固定资产投资、交通运输里程等松弛变量回归系数均为正，而与物流业从业人数等松弛变量则为负。表明地区生产总值的提高将使物流业固定资产投资与交通运输里程之间出现松弛变量，也就是投入冗余加大，从而造成物流效率下降。

R&D 内部经费支出对物流业固定资产投资、从业人数和交通运输里程的松弛变量的回归系数为负值。说明了 R&D 内部经费支出增加有利于减少物流业固定资产投资、从业人数和交通运输里程的冗余，进而提高物流产业效率。

3.3. 第三阶段：调整后的 DEA 模型

基于第二阶段 SFA 回归分析剔除环境变量和随机因素后调整的投入数据和原始产出数据，结合传统规模报酬可变的 DEA 模型测算全国省际 2022 物流产业的综合技术效率、纯技术效率和规模效率，整理结果如表 4 所示。调整前后效率的变化反映了地区物流产业发展受外部因素影响情况。

Table 4. Adjusted efficiency of national logistics industry in 2022

表 4. 调整后的 2022 年全国物流产业效率

地区	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
北京	0.59	1	0.59	1
天津	0.602	0.834	0.723	1
河北	1	1	1	0
山西	1	1	1	0
内蒙古	1	1	1	0
辽宁	0.936	1	0.936	1
吉林	0.33	0.564	0.586	1
黑龙江	0.3	0.573	0.524	1
上海	1	1	1	0
江苏	1	1	1	0
浙江	1	1	1	0
安徽	1	1	1	0
福建	0.923	0.941	0.981	1
江西	0.926	0.98	0.945	1
山东	1	1	1	0
河南	0.958	0.966	0.992	1
湖北	0.81	0.835	0.971	1
湖南	0.745	0.775	0.962	1
广东	0.869	1	0.869	2
广西	0.884	1	0.884	1

续表

海南	1	1	1	0
重庆	0.528	0.622	0.849	1
四川	0.508	0.537	0.946	1
贵州	0.682	0.795	0.858	1
云南	0.866	0.928	0.933	1
西藏	0.204	1	0.204	1
陕西	0.585	0.682	0.857	1
甘肃	0.449	0.652	0.689	1
青海	0.209	0.669	0.312	1
宁夏	0.353	0.8	0.442	1
新疆	0.541	0.719	0.752	1
总体均值	0.735	0.867	0.832	

从综合效率来看，比较调整前后 2022 年全国物流产业各效率值，发现调整前的综合效率由 0.777 降为 0.735，江苏、河北、山西、上海、内蒙古、浙江、安徽、山东和海南在调整前后皆处于生产前沿面上，但整体而言，各省市之间综合效率存在较大差距，内部发展不平衡，两极化比较明显。部分省市尤其是西北地区(宁夏、青海、甘肃)、西南地区(西藏)和东北地区(吉林、黑龙江)综合效率甚至低于 0.5，说明在投入要素利用和配置方面仍旧存在较大改进和提升空间，需要进一步采用先进信息技术和优化运输和配送网络等手段来提高物流效率。

从纯技术效率来看，指标在调整之前全国物流产业纯技术效率为 0.853，而指标调整之后提升到 0.867，大多数省市纯技术效率调整之后有所上升，说明技术效率在环境因素的影响之下被低估，但就达到纯技术效率有效决策单元来看，由原先的 16 个省市降低为 14 个省市，且大多数如陕西、甘肃和宁夏等 13 个省市纯技术效率值低于平均水平，说明这些地区需要提升物流产业的管理和技术水平。

从规模效率来看，全国物流产业规模效率由 0.907 降为 0.832，表明电信业务总量、地区生产总值和 R&D 内部经费支出 3 个环境因素对物流产业规模效率具有促进作用，如果不去除环境因素和随机误差的影响，将会过高估计物流产业效率；全国大多数省市包括北京、天津、吉林、黑龙江、西藏、甘肃、青海、宁夏和新疆的规模效率均低于平均水平，表明这些省市需要加强物流资源配置水平。

从整体而言，全国物流产业的综合效率在调整前后并无较大变化，且综合效率值较低地区均集中在我国东北和西北地区。纯技术效率有所提升，有 13 个省市纯技术效率低于平均水平，而 9 个省市规模效率低于平均水平，且规模效率相较于纯技术效率更加接近有效，因此，物流业应该加强纯技术效率提升以提升我国物流产业效率。

4. 总结与展望

经济发展离不开物流产业的助力，因此对于物流产业效率的研究具有重要的现实意义。本文采用三阶段 DEA 模型，剔除环境因素的影响，对 2022 年 31 个省、自治区、直辖市物流产业效率进行测算，研究结果如下：(1) 指标调整前后，海南、浙江、河北、上海、江苏、山西、安徽、山东和内蒙古的物流产业效率皆处于生产前沿面，说明这 9 个地区物流产业资源利用程度达到最大化；而黑龙江、青海、西藏地区的物流产业效率在调整前后皆低于 0.5，说明物流发展不协调；(2) 从区域来看，各省市之间物流产业效率差异较大，指标调整后，处于 DEA 有效状态的省市多位于东部沿海地区，而东北地区(黑龙江、

吉林)和西北地区(甘肃、青海、宁夏)的物流产业效率值处于较低水平;(3) 考虑到各省市纯技术效率水平小于平均值的数量低于规模效率,且各省市规模效率值更加接近有效值,说明提升纯技术效率是提高物流业综合效率的关键。

由于数据可得性和自身能力等多方面限制,未来可以在以下几方面进行深入研究:(1) 本文选取各3个投入和产出指标,但衡量中国物流产业效率的指标不止于此,因此可以引入多样化的投入产出指标。尤其考虑到物流产业发展过程中难免会产生对环境造成污染的不利产物,因此也可以引入非期望产出分析中国物流产业效率;(2) 本文在进行三阶段 DEA 模型分析时,对已经达到 DEA 有效的省市没有进行进一步排序,后期可以引入三阶段超效率 DEA 模型进行优化;(3) 本文仅测算了 2022 年中国物流产业效率,在之后的研究中可以使用面板数据进行分析,以提高研究结果的可信度。

基金项目

江西省教育厅科学技术项目(基于 BP-ER 的双碳政策引领下中国能源安全影响与风险评估)(GJJ2200843);江西省社会科学基金(“1269”行动计划下江西省新能源产业链政策影响测算及提升路径探究)(24GL47);江西理工大学博士科研启动项目。

参考文献

- [1] Markovits-Somogyi, R. and Bokor, Z. (2014) Assessing the Logistics Efficiency of European Countries by Using the DEA-PC Methodology. *Transport*, **29**, 137-145. <https://doi.org/10.3846/16484142.2014.928787>
- [2] 张璇, 杨雪荣, 王峰. 新丝绸之路经济带物流效率评价——基于三阶段 DEA 实证分析[J]. 学习与实践, 2016(5): 21-32.
- [3] 高康, 张步阔, 王茂春, 等. 基于超效率 DEA-ESDA 的中国西部物流效率空间格局及差异性研究[J]. 地域研究与开发, 2019, 38(6): 6-10.
- [4] 刘亚臣, 张力. 基于 DEA-熵权法的辽中南工业区各地级市物流产业发展水平评价研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2022, 24(4): 360-366.
- [5] 赵晨曦. 基于三阶段 DEA 模型的西部陆海新通道物流产业效率研究[J]. 市场周刊, 2022, 35(5): 8-11.
- [6] 赵思雅, 李兆彬. 新疆物流产业效率评价及对策研究[J]. 物流科技, 2022, 45(16): 114-117.
- [7] 李娟, 王琴梅. 我国西部地区物流业发展质量及其影响因素研究——基于物流业效率视角[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2020, 20(2): 82-93.
- [8] Chen, J., Wan, Z., Zhang, F., Park, N., He, X. and Yin, W. (2016) Operational Efficiency Evaluation of Iron Ore Logistics at the Ports of Bohai Bay in China: Based on the PCA-DEA Model. *Mathematical Problems in Engineering*, **2016**, Article ID: 9604819. <https://doi.org/10.1155/2016/9604819>
- [9] 秦雯. 粤港澳大湾区物流业效率的时空演化及提升路径[J]. 中国流通经济, 2020, 34(9): 31-40.
- [10] 梁雯, 汪皖珍, 刘志秀. 科技创新对物流效率影响的实证研究——基于三阶段 DEA 和 Tobit 模型[J]. 江汉大学学报(社会科学版), 2022, 39(6): 18-32, 125.
- [11] 秦雯, 倪容. 科技创新对珠江江西岸物流产业效率的影响——基于超效率三阶段数据包络分析模型[J]. 科技管理研究, 2022, 42(20): 89-95.