

# 基于熵权法与超效率 SBM 模型的综合运输效率

廖谨萱<sup>1</sup>, 刘杰<sup>1\*</sup>, 郭建民<sup>2</sup>, 申永生<sup>3</sup>, 王喆<sup>4</sup>

1. 山东交通学院交通与物流工程学院, 山东 济南 250357;

2. 济南轨道交通集团有限公司, 山东 济南 250014;

3. 杭州城市大脑有限公司, 浙江 杭州 310000;

4. 济南市规划设计研究院, 山东 济南 250101

**摘要:**为提升区域综合交通资源配置效率、推动区域综合交通协同发展,以山东省综合运输效率为研究对象,构建考虑非期望产出的超效率松弛值测算(slacks-based measure, SBM)模型,采用熵权法计算环境污染指数,将国内生产总值(gross domestic product, GDP)与环境污染指数之比作为绿色 GDP 构建超效率 SBM 模型的期望产出指标,测算山东省综合运输效率,将综合运输效率分解为规模效率与纯技术效率,分析山东省综合运输效率的影响因素,提出改善途径。结果表明:绿色 GDP 与传统 GDP 对综合运输效率影响存在显著差异;综合运输效率的时间演化规律符合事实规律。

**关键词:**综合运输效率;超效率 SBM 模型;绿色 GDP;效率分解

**中图分类号:**U-9;F512.7

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0032(2023)03-0040-07

**引用格式:**廖谨萱,刘杰,郭建民,等.基于熵权法与超效率 SBM 模型的综合运输效率[J].山东交通学院学报,2023,31(3):40-46.

LIAO Jinxuan, LIU Jie, GUO Jianmin, et al. The comprehensive transportation efficiency based on entropy weighted method and super efficiency SBM model[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2023, 31(3):40-46.

## 0 引言

2019 年中共中央国务院印发《交通强国建设纲要》,提出“到 2035 年,基本建成交通强国。现代化综合交通体系基本形成,人民满意度明显提高。”交通运输业作为资本投入密集型的基础性先导产业,如何依托综合运输效率分析,充分考虑资源的稀缺性,实现运输资源的合理配置及有效利用,进一步完善区域综合交通网络,增强交通网络对区域经济、社会、环境等方面的贡献度是当前研究的热点内容。综合交通运输效率研究能为区域综合交通网络优化配置提供良好的支撑,对构建现代化综合交通网络体系具有重要的促进作用。

在交通运输效率方面,贾鹏等<sup>[1]</sup>构建综合交通运输效率测度指标体系,采用投入导向的规模报酬不变(constant return to scale, CRS)径向数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)模型,分析我国水路、铁路、航空运输的综合运输效率及不同运输方式的时空差异;宋敏等<sup>[2]</sup>通过 DEA 模型和空间计量模型系统分析了综合运输效率与区域经济发展间的联系;张璐璐等<sup>[3]</sup>采用 DEA-BBC 模型和超效率松弛值测算

收稿日期:2022-11-30

基金项目:山东省人文社会科学课题(2021-YYGL-15);山东交通学院博士科研启动基金(BS201902020);济南市哲学社会科学重点课题(JNSK20B40);济南轨道交通集团研究课题(HX2020-B05)

第一作者简介:廖谨萱(1997—),女,广西百色人,硕士研究生,主要研究方向为交通运输,E-mail:811732308@qq.com。

\*通信作者简介:刘杰(1986—),男,济南人,副教授,工学博士,主要研究方向为交通运输规划,E-mail:ajiede1986@163.com。

(slacks-based measure, SBM)模型评价长江三角洲地区的交通运输效率;周业旺<sup>[4]</sup>采用三阶段DEA模型与Malmquist指数方法分析不同省市的交通静态与动态效率;丁俊雅<sup>[5]</sup>采用超效率DEA模型分析我国各省份铁路运输效率和时空演化特征;王冬冬等<sup>[6]</sup>采用DEA模型研究陕西省交通运输效率并定量分析其运输行业;Kim等<sup>[7]</sup>基于三级网络SBM模型评估韩国沿海轮渡市场的相对运输效率;Li等<sup>[8]</sup>采用DEA法分析我国交通网络的纯技术效率和规模效率,并提出未来交通网络发展方向;Ma等<sup>[9]</sup>针对碳排放和财产损失等不良输出构建超效率SBM模型,测度综合交通运输效率;Hong等<sup>[10]</sup>采用复杂拓扑模型探讨和改善首尔都市圈公共交通网络的单一化问题;邹嘉唯等<sup>[11]</sup>采用超效率SBM模型评价航空运输企业的运营效率;宋京妮等<sup>[12]</sup>采用SBM模型和DEA-CCR模型分析我国铁路运输和公路运输效率;范月娇等<sup>[13]</sup>采用SBM模型和DEA窗口分析法评价丝绸之路海运通道效率;张建斌等<sup>[14]</sup>采用超效率SBM模型测算区域综合运输效率,并结合地理探测器模型证实区域经济对综合运输效率的影响;曹旭东等<sup>[15]</sup>在SBM模型的基础上采用Tobit回归法和地理加权模型探讨交通结构效率的影响因素;马奇飞等<sup>[16]</sup>采用SBM模型和Dagum基尼系数研究我国各省市的综合运输效率和空间特性。采用SBM模型计算综合运输效率,能充分考虑松弛变量及非期望产出指标的影响,修正传统模型的效率偏差,但在确定模型的产出指标时,一般选择客货运周转量为期望产出指标,未充分考虑绿色、低碳等时代背景需求。《国民经济核算体系》中提出绿色国内生产总值(gross domestic product, GDP)概念,成为国民经济发展的核算指标,绿色GDP是国民经济在扣除环境治理所付出部分后的经济总量,以此衡量经济发展与环境保护的真实水平,为交通运输高质量发展提供良好支撑。

本文基于超效率SBM模型,结合熵权法计算山东省综合污染指数,用绿色GDP代替传统GDP作为模型期望产出指标,计算山东省水路、铁路和公路运输的综合运输效率,分析影响山东省综合运输效率的关键因素并提出改进建议,为山东省综合运输资源的合理配置提供良好的决策依据。

## 1 模型构建

### 1.1 超效率SBM模型

1978年运筹学家Charles等<sup>[17]</sup>提出采用DEA模型解决多目标投入和产出问题,Tone<sup>[18]</sup>在DEA模型基础上提出考虑非期望产出和松弛变量影响的超效率SBM模型,该模型主要由决策单元和决策单元的投入要素、期望产出要素、非期望产出要素及松弛变量组成。

第 $k$ 个决策单元的投入要素集合

$$X_k = \{x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{ik}, \dots, x_{mk}\} \in \mathbf{R},$$

式中: $x_{ik}$ 为第 $k$ 个决策单元的第 $i$ 个投入要素, $m$ 为投入要素数。

第 $k$ 个决策单元的期望产出要素集合

$$Y_k = \{y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{rk}, \dots, y_{q_1k}\} \in \mathbf{R},$$

式中: $y_{rk}$ 为第 $k$ 个决策单元的第 $r$ 个期望产出要素, $q_1$ 为期望产出要素数。

第 $k$ 个决策单元的非期望产出要素集合

$$Y_k^b = \{y_{1k}^b, y_{2k}^b, \dots, y_{tk}^b, \dots, y_{q_2k}^b\} \in \mathbf{R},$$

式中: $y_{tk}^b$ 为第 $k$ 个决策单元的第 $t$ 个非期望产出要素, $q_2$ 为非期望产出要素数。

可衡量松弛变量,并解决非径向问题的超效率SBM模型为:

$$\min \rho = \left( 1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}} \right) / \left[ 1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left( \sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^{b-}}{y_{tk}^b} \right) \right],$$

s. t.

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik}, \quad \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \leq y_{rk}, \quad \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{tj}^b \lambda_j - s_t^{b-} \leq y_{tk}^b,$$

$$1 - \left( \sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{rk} + \sum_{t=1}^{q_2} s_t^{b-} / y_{tk} \right) / (q_1 + q_2) > 0, \lambda, s^+, s^- \geq 0,$$

式中： $\rho$  为综合运输效率， $s_r^-$ 、 $s_r^+$ 、 $s_t^{b-}$  分别为投入要素、期望产出要素和非期望产出要素的松弛变量， $n$  为决策单元数， $\lambda$  为权重向量。

## 1.2 熵权法

熵权法是度量不确定信息的方法，根据信息量计算信息权重<sup>[19-20]</sup>。信息是系统有序程度的一个度量，熵利用其系统的无序程度反映信息的度量；对某项指标，可用熵值判断某个指标的离散程度，信息熵值越小，指标的离散程度越大，该指标对综合评价的权重越大。工业是环境污染的主要因素，选取工业废水排放量、工业烟尘排放量及工业废气排放量为指标，采用熵权法计算山东省综合污染指数。

对指标进行标准化，获取相对值，指标标准化值

$$\delta_{ij}' = \begin{cases} (\delta_{ij}' - \min \delta_{ij}') / (\max \delta_{ij}' - \min \delta_{ij}') , \delta_{ij}' \text{ 为正向指标} \\ (\max \delta_{ij}' - \delta_{ij}') / (\max \delta_{ij}' - \min \delta_{ij}') , \delta_{ij}' \text{ 为负向指标} \end{cases}$$

式中  $\delta_{ij}'$  为第  $i$  个样本的第  $j$  个指标。

计算指标在  $h$  个样本中所占的比重为  $p_{ij} = \delta_{ij}' / \sum_{i=1}^h \delta_{ij}'$ 。

第  $j$  项指标的熵值

$$e_j = -k \sum_{i=1}^h p_{ij} \ln p_{ij},$$

式中： $k$  为熵值系数， $k = 1/\ln n$ 。

第  $j$  项指标信息熵的冗余程度为  $d_j = 1 - e_j$ 。第  $j$  项指标的权重

$$w_j = d_j / \sum_{j=1}^f d_j,$$

式中  $f$  为指标数量。

各项指标的综合评价指数为  $I_i = \sum_{j=1}^f w_j p_{ij}$ 。

根据山东省工业废水排放量、工业烟尘排放量及工业废气排放量，由熵权法计算山东省 2000—2019 年环境污染指数，结果如表 1 所示。由表 1 可知：2000—2009 年的环境污染指数比 2010—2019 年低，2011、2014 和 2015 年均高于平均水平。目前尚未有绿色 GDP 的成熟计算方法，本文在 GDP 基础上考虑环境治理开支，采用 GDP 与环境污染指数之比作为绿色 GDP<sup>[21]</sup>。随经济技术的不断发展，山东省的 GDP 不断上升，但发展过程中环境污染加重，环境治理所支付的费用也不断增加。

表 1 山东省 2000—2019 年环境污染指数

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
环境污染指数	1.182 733	1.114 373	1.039 776	1.205 747	1.124 679	1.440 426	1.429 196	1.270 171	1.219 358	1.202 211
排序	6	4	3	8	5	13	12	10	9	7
年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
环境污染指数	1.280 474	2.007 909	1.958 206	1.919 063	2.563 135	2.468 448	1.762 153	1.038 393	1.512 581	1.021 254
排序	11	18	17	16	20	19	15	2	14	1

## 2 综合运输效率

### 2.1 选取综合运输效率评价指标

综合考虑山东省铁路运输、公路运输和水路运输的基础设施、交通设备、运输服务、绿色发展、安全保

障等方面,建立山东省综合运输效率评价指标体系如图 1 所示。

交通运输在生产运营中造成的污染不可忽视,2019 年机动车污染物排放量高达 1 603.4 万 t<sup>[22]</sup>,运输业对环境的影响仅次于工业。将绿色 GDP 代替传统 GDP 和客货运周转量作为超效率 SBM 模型的期望产出指标;交通运输造成死亡人数较多,以死亡人数作为模型非期望产出指标,测算交通运输安全性对综合运输效率的影响。评价指标数据来源于文献[23]。

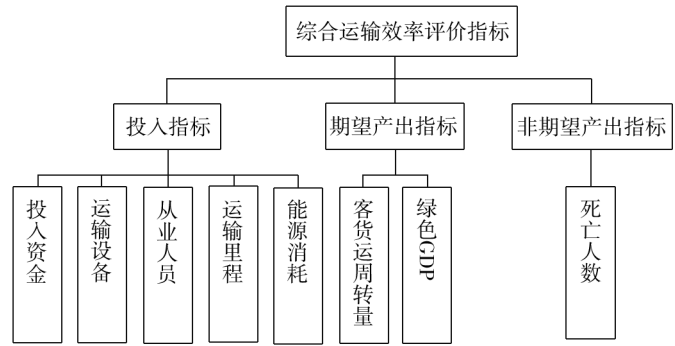


图 1 山东省综合运输效率评价指标体系

### 2.2 计算综合运输效率

2007 年国务院印发《国家环境保护“十一五”规划》,2011 年国务院办公厅印发《“十二五”节能减排综合性工作方案》,2011 年山东省人民政府印发《山东省环境保护“十二五”规划》,加强环境保护与环境治理工作力度。根据超效率 SBM 模型分别计算山东省 2000—2019 年以绿色 GDP 为期望产出指标的综合运输效率  $\rho_1$  和以传统 GDP 为产出指标的综合运输效率  $\rho_2$ ,如表 2 所示。由表 2 可知: $\rho_1$  和  $\rho_2$  在 2008—2014 年有明显差异,在一定程度上说明受相关政策调控影响,山东省在环境治理中的支出有所增加,绿色 GDP 对综合运输效率存在影响。 $\rho_1$  在 2000—2016 年有明显起伏,2001 年  $\rho_1$  最大,为 1.175,运输投入得到充分利用,2003、2006、2014、2015 年  $\rho_1 < 0.700$ ,资源利用不足;2017 年  $\rho_1$  达到高峰后又下降,与经济快速发展密切相关,市场需求增加、运输行业管理改革等原因也是影响综合运输效率的重要因素;2018 年后综合运输效率发展变化平缓,我国处于经济发展转型阶段,由高速发展转变为高质量发展,在 GDP 稳步提高的同时,对环境治理工作也提出了更高要求,交通运输投入产出比逐步趋于平稳。

表 2 山东省 2000—2019 年综合运输效率

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
$\rho_1$	0.931	1.175	1.093	0.660	1.012	1.029	0.693	0.730	1.015	1.030
$\rho_2$	1.043	0.994	1.239	1.012	0.942	0.905	0.717	0.689	0.651	0.536
年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
$\rho_1$	1.110	1.024	0.795	0.762	0.558	0.570	0.685	1.678	1.420	1.523
$\rho_2$	0.517	0.436	0.840	0.401	0.777	0.751	0.879	1.465	0.873	1.310

### 2.3 分解综合运输效率

综合运输效率可分解为纯技术效率和规模效率,纯技术效率是受管理水平和技术水平影响的生产效率,规模效率反映系统规模影响的生产效率。采用数据包络分析软件 MaxDEA 计算山东省综合运输效率的纯技术效率和规模效率,结果如表 3 所示。由表 3 可知:综合运输效率与规模效率和纯技术效率变化趋势不完全一致,说明综合运输效率同时受 2 种分解效率,从差异程度上看,综合运输效率受纯技术效率的影响大于规模效率。经过长期的发展建设,山东省交通运输逐步形成较完整的交通运输规模,但在技术水平和综合利用率上还存在不足;技术效率对综合运输效率的影响在 2012 年后表现更为明显,这是因为在交通运输运输量满足实际需求后,运输规模逐渐饱和,对运输效率的影响逐渐减少,技术水平成为影响综合运输水平的关键因素。提高运输技术、优化运输设备、减少能源消耗和减少环境污染等是提高山东省综合运输网络效率的重要途径。

表3 综合运输效率分解

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
规模效率	1.000	1.000	1.000	1.000	0.887	1.000	1.000	0.969	0.978	1.000
纯技术效率	0.931	1.000	1.000	0.660	1.127	1.000	0.693	0.753	1.023	1.000
年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
规模效率	1.000	1.000	0.999	0.796	0.956	0.735	0.785	0.844	1.000	0.810
纯技术效率	1.000	1.000	0.796	0.957	0.584	0.775	0.872	1.185	1.000	1.235

## 2.4 改善综合运输效率

山东省综合运输效率评价指标中存在投入冗余与产出不足的情况,通过调整投入与产出可为提高综合运输效率提供方向,如表4所示。

表4 山东省2000—2019年综合运输效率投入与产出调整值

年份	投入指标调整值					产出指标调整值		
	投入资金/ 亿元	从业人员/ 万人	运输设备/辆	运输里程/km	能源消耗/万t	客货运周转量/ (万t·km)	绿色GDP/ 亿元	死亡人数/ 万人
2000	-386.61	-3.95	-10 763.24	-9 351.99	-231.95	0	82.43	-7.31
2001	1 334.10	16.12	0	11 492.21	899.74	0	0	0
2002	538.05	13.09	0	0	0	144 732.95	0	-7.13
2003	-1 119.01	-128.76	-142 449.65	-14 945.96	-5 040.94	0	0	-20.62
2004	0	0	0	4 740.91	0	0	0	-4.44
2005	0	0	0	12 170.13	0	0	0	0
2006	-3 447.03	-118.49	-25 728.08	-84 809.48	-8 510.26	0	56.81	0
2007	-2 813.88	-106.29	-18 064.02	-83 170.72	-8 916.56	0	0	0
2008	28.02	0	48 718.68	0	0	0	340.38	-5.64
2009	1 969.66	0	54 042.62	0	415.62	0	169.97	0
2010	8587.59	13.48	114 323.28	5 632.18	2 761.37	0	0	0
2011	0	16.19	0	11 479.32	0	0	8 148.38	0
2012	-12 300.87	-35.62	-386 547.21	-28 015.34	-6 466.14	0	0	0
2013	-18 024.37	-34.96	-351 208.98	-34 211.37	-8 709.87	0	0	0
2014	-28 248.19	-126.56	-352 690.93	-102 836.53	-17 618.39	0	0	0
2015	-30 114.29	-189.30	-244 843.34	-98 302.64	-17 722.95	0	0	0
2016	-22 766.06	-141.16	-224 986.28	-69 534.18	-13 178.33	0	0	0
2017	29 167.35	104.29	770 684.41	103 681.09	14 777.95	415 375.08	0	0
2018	-25 327.73	-90.80	-498 927.43	-49 789.66	-9 484.14	0	0	0
2019	-27 947.34	-76.56	-548 617.24	-49 983.82	-9 468.08	0	0	0

注:负数表示应当减少的数值,正数表示应当增加的数值。

1)2000、2003、2006、2007、2012、2013、2014、2015、2016年的综合运输效率不足1,均存在投入冗余,非期望产出也存在一定程度的冗余,产出不足也是影响综合运输效率的原因之一。

2)从时间角度分析,投入冗余存在起伏,综合运输发展初期投入产出比出现了较明显的上升趋势,2010年达到了阶段性综合运输效率最大,但2012—2016年投入冗余不断攀升,其中2014年综合运输效率最低,各项投入冗余较大,投入资源严重过剩。

3)影响综合运输效率最大的因素分别为资金投入过剩和设备投入过剩、能源消耗过高及运输里程利用率较低,绿色GDP产出不足和死亡人数较多也成为重要影响因素。

4)山东省综合运输在快速发展阶段,各项投入均大于需求量,没有实现资源最优配置,能源消耗和环境治理也多有弊端,因此寻求高质量发展方式成为山东省提高综合运输效率的关键。

### 3 结束语

分析综合运输效率对提高山东省综合交通资源配置效率、推动区域综合交通协同发展具有重要意义。本文基于超效率SBM模型,采用熵权法计算环境污染指数,将GDP与环境污染指数之比作为绿色GDP构建综合运输效率投入与产出评价指标体系,测算山东省2000—2019年的综合运输效率。

1)作为评价指标,绿色GDP相较于传统GDP,更直接反映交通运输发展与环境治理间的矛盾,在综合运输效率测算中更具现实借鉴意义。通过效率分解和投入与产出冗余计算可分析影响综合运输效率的具体因素,为提高区域综合运输效率提供思路。

2)山东省在交通运输发展的同时兼顾环境治理,是影响综合运输效率的原因之一,未来应将发展重心适当转向技术方面,减少资源浪费及能源消耗,促进交通运输发展。

3)在指标选取方面,考虑数据的可获取性,仅重点关注交通投入、设施及人员等因素,未涉及技术创新、新技术应用等方面,下一步研究可探索综合运输结构。

#### 参考文献:

- [1] 贾鹏,胡燕,袁爽,等.中国省域综合交通运输效率及空间关联性研究[J].科研管理,2020,41(9):219-229.  
JIA Peng, HU Yan, YUAN Shuang. A research on the comprehensive transportation efficiency and its spatial relevancy in China's provinces[J]. Science Research Management, 2020, 41(9): 219-229.
- [2] 宋敏,陈益鑫.城市群综合交通运输效率对经济增长的影响:基于长三角与粤港澳大湾区的比较研究[J].城市问题,2019(9):45-53.  
SONG Min, CHEN Yixin. Influences on the economic growth by urban agglomerations' integrated transport efficiency: accomparative analysis between the Yangtze River Delta Area and Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Urban Problems, 2019(9): 45-53.
- [3] 张璐璐,吴威,刘斌全.基于DEA-Malmquist指数的长江三角洲地区公路交通运输效率评价与分析[J].中国科学院大学学报,2017,34(6):712-718.  
ZHANG Lulu, WU Wei, LIU Binqun. Evaluation and analysis of highway transportation efficiency in the Yangtze River Delta based on DEA-Malmquist[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2017, 34(6): 712-718.
- [4] 周业旺.长江经济带公路运输效率的测度[J].统计与决策,2018,34(19):113-116.
- [5] 丁俊雅.中国各省铁路运输效率的测度及时空特征分析[J].现代商贸工业,2017(5):18-21.
- [6] 王冬冬,李丽琴,肖亮.基于DEA的陕西省交通运输效率评价与分析[J].数学的实践与认识,2014,44(20):33-38.  
WANG Dongdong, LI Liqin, XIAO Liang. Evaluation and analysis of Shaanxi Province transportation efficiency based on DEA[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2014, 44(20): 33-38.
- [7] KIM J, KIM H. Evaluation of the efficiency of maritime transport using a network slacks-based measure(SBM) approach: a case study on the Korean coastal ferry market[J]. Sustainability, 2021, 13(11): 6094.
- [8] LI T, YANG W Y, ZHANG H R. Evaluating the impact of transport investment on the efficiency of regional integrated transport systems in China[J]. Transport Policy, 2016, 45(C): 66-76.
- [9] MA F, WANG W L, SUN Q P, et al. Integrated transport efficiency and its spatial convergence in China's provinces: a super-SBM DEA model considering undesirable outputs[J]. Applied Sciences, 2018, 8(9): 1698.
- [10] HONG J, TAMAKLOE R, LEE S, et al. Exploring the topological characteristics of complex public transportation networks: focus on variations in both single and integrated systems in the Seoul Metropolitan Area[J]. Sustainability, 2019, 11(19): 5404.

- [11] 邹嘉唯,徐月芳.基于 Super-SBM 模型的我国航空运输企业运营效率评价[J].现代商业,2017(9):23-26.
- [12] 宋京妮,吴群琪,孙启鹏,等.基于 SBM-undesirable 模型的综合运输效率评价[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(5):32-38.  
SONG Jingni, WU Qunqi, SUN Qipeng, et al. SBM-undesirable model-based efficiency evaluation for integrated transportation[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015,15(5):32-38.
- [13] 范月娇,王金燕.21世纪海上丝绸之路运输通道海运效率评价:基于 SBM 模型和 DEA 窗口分析方法[J].中国流通经济,2020,34(4):3-11.  
FAN Yuejiao, WANG Jinyan. Evaluation of seaborne efficiency of transport corridor of "21st-Century Maritime Silk Road":based on SBM model and DEA window analysis method[J]. China Business and Market,2020,34(4):3-11.
- [14] 张建斌,陈巧丽.区域综合交通运输效率差异时空演化及影响因素分析[J].贵州大学学报(社会科学版),2019,37(6):34-42.  
ZHANG Jianbin, CHEN Qiaoli. Analysis of spatial-temporal evolution and influencing factor in regional integrated transport efficiency differences[J]. Journal of Guizhou University(Social Sciences), 2019,37(6):34-42.
- [15] 曹旭东,王建军,陈晨辰.基于 SBM-Tobit-GWR 模型的交通结构效率[J].西南交通大学学报,2021,56(3):594-601.  
CAO Xudong, WANG Jianjun, CHEN Chenchen. Efficiency of traffic structure based on SBM-Tobit-GWR model[J]. Journal of Southwest Jiaotong University,2021,56(3):594-601.
- [16] 马奇飞,贾鹏,匡海波.中国综合交通运输绿色效率的空间特征研究[J].交通运输系统工程与信息,2022,22(6):300-308.  
MA Qifei, JIA Peng, KUANG Haibo. Spatial characteristics of comprehensive transportation green efficiency in China[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2022,22(6):300-308.
- [17] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research,1978,2(6):429-444.
- [18] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research,2001,130(3):498-509.
- [19] 董战峰,郝春旭,刘倩倩,等.基于熵权法的中国省级环境绩效指数研究[J].环境污染与防治,2016,38(8):93-99.  
DONG Zhanfeng, HAO Chunxu, LIU Qianqian, et al. Chinese provincial environmental performance index based on entropy method[J]. Environmental Pollution & Control,2016,38(8):93-99.
- [20] 胡媛,马瑜.海西城市群绿色经济效率的测算以及实证研究:基于熵权法和 DEA 方法[J].云南农业大学学报,2018,12(3):69-75.  
HU Yuan, MA Yu. Evaluation of cities' green economy efficiency and empirical reasearch in Hercynian economic zone: based on entropy method and DEA model[J]. Journal of Yunnan Agricultural University,2018,12(3):69-75.
- [21] 杨龙,胡晓珍.基于 DEA 的中国绿色经济效率地区差异与收敛分析[J].经济学家,2010(2):46-54.
- [22] 中华人民共和国生态环境部.2020年中国移动源环境管理年报:第 I 部分 机动车排放情况[R/OL].(2020-08-10)[2022-10-20].[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202008/t20200810\\_793252.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202008/t20200810_793252.html).
- [23] 山东省统计局.山东统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2000—2019.

## The comprehensive transportation efficiency based on entropy weighted method and super efficiency SBM model

LIAO Jinxuan<sup>1</sup>, LIU Jie<sup>1\*</sup>, GUO Jianmin<sup>2</sup>, SHEN Yongsheng<sup>3</sup>, WANG Zhe<sup>4</sup>

1. School of Transportation and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China;

2. Jinan Rail Transit Group Co.,Ltd., Jinan 250014, China;3. Hangzhou City Brain Co.,Ltd., Hangzhou 310000, China;

4. Jinan City Planning and Design Institute, Jinan 250101, China

**Abstract:** To improve the efficiency of regional comprehensive transportation resources allocation and to promote  
(下转第 62 页)