

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.05.005

基于三阶段 DEA-Malmquist 模型的中国公路运输效率研究*

裴龙飞, 张庆年

(武汉理工大学 交通与物流工程学院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 基于三阶段 DEA-Malmquist 模型, 从静态和动态角度对中国 2013—2019 年 30 个省份的公路运输效率进行研究。结果表明, 经济发展水平、城镇化水平和人口规模对公路运输效率测度有显著影响, 剔除外部因素影响后, 中国公路运输综合技术效率有所下降; 公路运输效率省际差异显著, 且在空间上呈现中部 > 东部 > 西部 > 东北部的阶梯式分布格局; 研究期内中国公路运输全要素生产率年均下降 2.2%, 技术退步是导致其下降的主要原因。根据上述研究结果, 提出提高中国公路运输效率的相应建议。

关键词: 公路运输; 效率评价; 三阶段 DEA 模型; Malmquist 模型

中图分类号: U491.13

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)05-0018-07

随着中国经济进入高质量发展阶段, 要求公路运输发展“由追求速度规模转向注重经济效益”。公路运输效率作为表征公路运输运行状态的重要指标, 对其进行研究有利于指导公路运输健康发展, 使公路运输更好地服务于国民经济建设。对公路运输效率的研究大致分为两类: 一类是运用传统效率评价方法对公路运输效率进行研究, 如韩冰雪运用因子分析法对吉林省公路运输绩效进行了研究, 刘炳浩运用层次分析法(AHP)和模糊综合分析法对长株潭城市群公路运输效率进行了评价, 王卫东等运用可拓学模型对长株潭城市群的公路运输效率进行了对比分析, 但这类方法主观性较强; 另一类是运用传统数据包络分析(DEA)模型及其改进模型对公路运输效率进行研究, 如段新、张祖俊、杨良杰、尉蔚等分别运用 DEA 模型、基于 DEA 的 Malmquist 模型、SBM-Undesirable 模型、AHP-DEA 模型对中国公路运输效率进行了评价, 李洁等运用超效率 DEA 模型对江苏省公路运输效率进行了分析评价。但大多数学者未考虑外部因素如经济发展水平、人口规模等对效率测度的影响, 评价结果可能存在一定误差。鉴于此, 该文运用三阶段 DEA-Malmquist 模型对中国 30 个省份的公路运输效率进行研究, 消除经济发展水平、城镇化水平和人口规模对效率测度的影响, 使效率值更真实, 同时根据测度结果提出相应

建议, 为公路运输发展提供决策参考。

1 研究方法

1.1 三阶段 DEA 模型

三阶段 DEA 模型通过随机前沿分析(SFA)回归模型对原始数据进行调整, 消除外部因素对效率测度的影响, 使测得的效率值更真实。模型构建如下:

第一阶段构建传统 DEA 模型。传统 DEA 模型分为投入、产出导向的 CCR 模型和 BCC 模型, 由于运输需求是一种派生需求, 采用投入导向的 BCC 模型。该模型的应用已较成熟, 在此不再展开。

第二阶段构建似 SFA 模型。利用第一阶段测得的投入松弛变量和选取的环境变量构建式(1)所示 SFA 回归模型。计算随机误差项时按式(2)将管理无效率项分离。SFA 回归的目的是去除环境因素和随机误差的影响, 将所有决策单元(DMU)调整到同一外部环境水平, 调整公式见式(3)。

$$S_{ni} = f(E_i; \delta_n) + \nu_{ni} + \mu_{ni} \quad (i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

式中: S_{ni} 为第 i 个决策单元的第 n 项投入的松弛值; E_i, δ_n 分别为环境变量及其系数; ν_{ni} 表示随机干扰, $\nu \sim N(0, \sigma_\nu^2)$; μ_{ni} 表示管理无效率, $\mu \sim N^+(0, \sigma_\mu^2)$ 。

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51879211)

$$E(\mu | \varepsilon) = \sigma_* \left[\frac{\phi\left(\lambda \frac{\varepsilon}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{\lambda\varepsilon}{\sigma}\right)} + \frac{\lambda\varepsilon}{\sigma} \right]$$

$$E[\nu_{ni} | \nu_{ni} + \mu_{ni}] = S_{ni} - f(E_i; \hat{\delta}_n) - E[\mu_{ni} | \nu_{ni} + \mu_{ni}] \quad (2)$$

式中: $\sigma_* = \sigma_\mu \sigma_\nu / \sigma$; σ_μ 为管理无效率项的标准差, $\sigma_\mu = \sqrt{\sigma^2 \times \gamma}$; $\sigma = \sqrt{\sigma_\mu^2 + \sigma_\nu^2}$; $\gamma = \sigma_\mu^2 / (\sigma_\mu^2 + \sigma_\nu^2)$; σ_ν 为随机误差项的标准差, $\sigma_\nu = \sqrt{\sigma^2 - \sigma_\mu^2}$; ϕ 表示密度函数; $\lambda = \sigma_\mu / \sigma_\nu$; ε 为混合误差项; Φ 表示累积密度函数。

$$X_{ni}^A = X_{ni} + [\max(f(E_i; \hat{\delta}_n)) - f(E_i; \hat{\delta}_n)] + [\max(\nu_{ni}) - \nu_{ni}] \quad (3)$$

式中: X_{ni} 、 X_{ni}^A 分别为原始投入值和调整后投入值; $[\max(f(E_i; \hat{\delta}_n)) - f(E_i; \hat{\delta}_n)]$ 表示将所有 DMU 调整到相同外部环境; $[\max(\nu_{ni}) - \nu_{ni}]$ 表示将所有 DMU 置于相同运气水平下。

第三阶段构建调整后的 DEA 模型。将原始投入值替换为调整后投入值, 产出值不变, 再次进行效率测算, 得到消除外部因素影响后的效率值, 该效率值更能反映各省份的真实水平。

1.2 Malmquist 指数模型

三阶段 DEA 模型无法反映效率值的时序变动情况, 故构建基于三阶段 DEA 的 Malmquist 指数模型对效率值进行动态测度, 模型见式(4)。 $M > 1$ 表示生产率提高, $M < 1$ 表示生产率下降, $M = 1$ 表示生产率不变。

$$M_{i,t+1}(x_i^t, y_i^t, x_i^{t+1}, y_i^{t+1}) = \left[\frac{D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^t(x_i^t, y_i^t)} \times \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

式中: x_i^t 和 x_i^{t+1} 分别表示 t 、 $t+1$ 时期的投入向量; y_i^t 和 y_i^{t+1} 分别表示 t 、 $t+1$ 时期的产出向量; D_i^t 和 D_i^{t+1} 分别表示 t 、 $t+1$ 时期的距离函数。

如式(5)所示, Malmquist 指数 TFP (全要素生产率指数) 可进一步分解为技术效率变动指数 EC 和技术进步指数 TC , EC 又可分解为纯技术效率变动指数 PC 和规模效率变动指数 SC 。

$$M_{i,t+1}(x_i^t, y_i^t, x_i^{t+1}, y_i^{t+1}) = \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^t(x_i^t, y_i^t)} \times \left[\frac{D_i^t(x_i^t, y_i^t)}{D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \times \frac{D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} \right]^{1/2} = EC \times TC \quad (5)$$

2 评价指标体系构建

2.1 投入产出指标

从资本、劳动力和能源三方面选取 4 个投入指标, 分别为公路里程 X_1 、公路运输从业人数 X_2 、公路营运车辆数 X_3 和公路运输能源消耗 X_4 , 其中 X_1 和 X_3 反映资本的投入, X_2 反映劳动力的投入, X_4 反映能源的投入。选取公路旅客周转量 Y_1 和公路货物周转量 Y_2 作为产出指标, 客货周转量考虑运量的同时也考虑运输距离, 能较好地反映公路运输的产出情况。

2.2 环境变量指标

环境变量应选择对公路运输效率有影响但不受其主观控制的因素。从经济和人口两方面选取 3 个环境变量指标, 分别为经济发展水平、城镇化水平和人口规模。经济越发达, 用于公路建设的资金投入越多, 公路基础设施越完善, 一定范围内运输效率越高。但过度投入会造成投入冗余, 使公路运输效率下降。采用人均 GDP 衡量地区经济发展水平。城镇化水平越高, 人口流动和消费需求越大, 进而带动客货运输需求增长, 有利于提高公路运输效率。但城镇化水平的提高也对运输质量提出了更高要求, 人们出行更倾向于选择高铁和动车等舒适度更高的方式, 在一定程度上造成公路运输资源闲置, 使公路运输效率降低。采用城镇人口占比衡量地区城镇化水平。人口规模越大, 出行需求越高, 能促进公路运输资源的有效利用, 有利于效率的提升。但人口规模过大会导致交通拥堵, 使公路运输效率下降。采用单位面积常住人口数衡量地区人口规模。

各变量及其指标选取见表 1。

表 1 公路运输效率评价指标

变量类型	维度	指标
投入变量	资本	公路里程; 公路营运车辆数
	劳动力	公路运输从业人数
	能源	公路运输能源消耗
产出变量	运输服务	公路旅客周转量; 公路货物周转量
环境变量	经济	经济发展水平; 城镇化水平
	人口	人口规模

2.3 数据来源及说明

选取 30 个省份(基于数据可得性, 未考虑西藏、香港、澳门、台湾)为研究对象, 数据来源于 2014—2020 年《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。

因公路运输能源消耗缺乏直接统计数据,参考文献[13]中的方法进行测算。

3 实证分析

3.1 公路运输效率静态测度

3.1.1 传统 DEA 结果分析

运用 DEA P2.1 软件对原始投入产出数据进行处理,测度 30 个省份的效率值和投入变量的松弛值。受篇幅限制,该阶段结果不列出。

3.1.2 SFA 回归结果分析

将第一阶段投入变量的松弛值作为因变量,以环境因素指标作为自变量,运用 Frontier 4.1 软件进行回归分析。为使结果更准确,采用逐年截面分析方法。因篇幅原因,仅列出 2019 年的回归结果(见表 2)。由表 2 可知:LR 值均在 1%显著性水平下通过检验,表明运用 SFA 消除外部因素影响是合理的; γ 值都显著趋近 1,说明管理无效率对投入冗余的影响占主导地位。

表 2 2019 年 SFA 回归结果

类别	X_1 松弛变量	X_2 松弛变量	X_3 松弛变量	X_4 松弛变量
常数项	67 636.377*** (67 636.377)	-5.248*** (-5.165)	6.318*** (4.865)	-259.104*** (-260.234)
经济发展水平	0.303*** (3.721)	-1.154×10^{-5} (-0.436)	4.664×10^{-5} ** (2.378)	5.509×10^{-4} (0.383)
城镇化水平	-1 625.316*** (-1 625.317)	0.085** (2.141)	-0.177*** (-4.989)	4.052*** (2.713)
人口规模	-10.045*** (-10.045)	-0.001 (-0.602)	0.001 (1.203)	-0.149 (-1.128)
σ^2	4.486×10^9 *** (4.486×10^9)	23.635*** (23.113)	125.514*** (124.946)	213 844.090*** (213 844.090)
γ	1.000*** (2.410×10^5)	1.000*** (1.076×10^4)	1.000*** (5.264×10^5)	1.000*** (3.635×10^4)
单边定义生产比检验 LR	16.440***	16.576***	22.074***	22.464***

注:括号内为 t 检验值;***表示在 1%显著性水平上显著,**表示在 5%显著性水平上显著。

对 SFA 回归系数分析如下:1) 经济发展水平。经济发展水平对 X_1 和 X_3 松弛变量的回归系数显著为正,说明经济发展水平越高,公路里程和公路营运车辆投入冗余越大,造成资源浪费,导致公路运输效率下降。2) 城镇化水平。城镇化水平对 X_1 和 X_3 松弛变量的回归系数显著为负,说明城镇化水平提高有利于减少公路里程和公路营运车辆投入冗余;城镇化水平对 X_2 和 X_4 的回归系数显著为正,说明城镇化水平提高会在一定程度上造成公路运输

从业人数和公路运输能源消耗投入冗余。3) 人口规模。人口规模对 X_1 松弛变量的回归系数显著为负,说明人口规模增大会减少公路里程的投入冗余,有利于公路运输效率的提高。

3.1.3 调整后 DEA 结果分析

3.1.3.1 分析结果

将原始投入值替换为调整后投入值,运用 DEA P2.1 软件测度 30 个省份真实的效率值,结果见表 3。限于篇幅,仅列出各省份的综合技术效率。

表 3 第三阶段 DEA 测度结果

地区	省份	各年综合技术效率							综合技术效率平均值
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
东部地区	北京	0.466	0.782	0.644	0.590	0.372	0.423	0.408	0.526
	天津	0.547	0.816	0.488	0.532	0.392	0.425	0.555	0.536
	河北	1.000	0.970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996
	上海	0.406	1.000	0.437	0.421	0.440	0.422	0.476	0.515
	江苏	1.000	0.778	1.000	1.000	0.982	0.929	1.000	0.956
	浙江	0.950	0.731	0.989	0.872	0.778	0.782	1.000	0.872
	福建	0.783	0.605	0.680	0.653	0.587	0.617	0.658	0.655

续表3

地区	省份	各年综合技术效率							综合技术效率平均值
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
东部地区	山东	0.622	0.639	0.858	0.867	0.872	0.857	0.931	0.807
	广东	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	海南	0.542	0.551	0.823	0.671	0.577	0.623	0.591	0.625
	地区均值	0.732	0.787	0.792	0.761	0.700	0.708	0.762	0.749
中部地区	山西	0.343	0.298	0.494	0.497	0.555	0.642	0.739	0.510
	安徽	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.978	0.747	0.961
	江西	0.709	0.631	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.906
	河南	0.722	0.872	0.916	1.000	1.000	1.000	1.000	0.930
	湖北	0.619	0.636	0.883	0.889	0.804	0.860	0.848	0.791
	湖南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.817	0.974
	地区均值	0.732	0.740	0.882	0.898	0.893	0.913	0.859	0.845
西部地区	重庆	0.708	0.662	1.000	1.000	0.856	0.820	0.681	0.818
	四川	0.655	0.582	0.828	0.751	0.616	0.621	0.563	0.659
	贵州	1.000	0.962	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995
	云南	0.645	0.546	0.681	0.704	0.687	0.608	0.542	0.630
	陕西	0.629	0.619	0.737	0.847	0.873	0.930	1.000	0.805
	甘肃	0.615	0.590	0.845	0.874	0.832	0.943	0.907	0.801
	青海	0.267	0.284	0.469	0.334	0.336	0.433	0.376	0.357
	宁夏	0.376	0.425	1.000	0.725	0.586	0.608	0.588	0.615
	新疆	0.637	0.541	0.537	0.511	0.436	0.439	0.356	0.494
	内蒙古	0.482	0.613	0.870	0.881	0.981	1.000	0.837	0.809
	广西	0.860	0.766	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.947
地区均值	0.625	0.599	0.815	0.784	0.746	0.764	0.714	0.721	
东北地区	辽宁	0.657	0.664	0.877	0.918	0.846	0.819	0.806	0.798
	吉林	0.423	0.433	0.608	0.643	0.639	0.638	0.762	0.592
	黑龙江	0.379	0.386	0.588	0.695	0.564	0.516	0.425	0.508
	地区均值	0.486	0.494	0.691	0.752	0.683	0.658	0.664	0.633
全国均值	0.668	0.679	0.808	0.796	0.754	0.764	0.754	0.746	

3.1.3.2 全国整体分析

如表4所示,相较于第一阶段,第三阶段综合技术效率平均值由0.814下降为0.746,纯技术效率平均值由0.861上升为0.877,规模效率平均值由0.945下降为0.848。说明外部因素对公路运输效率测度有显著影响,不考虑这些影响可能会导致测算结果出现误差;在消除外部因素影响之前,中国公路运输综合技术效率和规模效率被高估,纯技术效率被低估。

第三阶段全国整体效率均值变化趋势见图1。由图1可知:1) 2013—2015年综合技术效率均值由0.668上升到0.808,年均上升9.98%;2015—2017年综合技术效率均值由0.808下降到0.754,年均下

表4 第一、三阶段全国整体效率均值对比

年份	综合技术效率均值		纯技术效率均值		规模效率均值	
	第一	第三	第一	第三	第一	第三
	阶段	阶段	阶段	阶段	阶段	阶段
2013	0.752	0.668	0.815	0.829	0.921	0.805
2014	0.704	0.679	0.784	0.853	0.903	0.795
2015	0.866	0.808	0.900	0.891	0.963	0.902
2016	0.868	0.796	0.903	0.905	0.963	0.875
2017	0.845	0.754	0.885	0.884	0.958	0.848
2018	0.831	0.764	0.874	0.899	0.953	0.853
2019	0.831	0.754	0.868	0.879	0.955	0.854
平均值	0.814	0.746	0.861	0.877	0.945	0.848

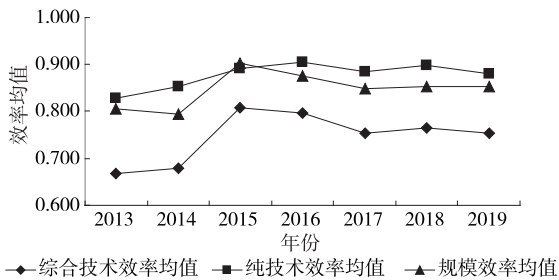


图1 第三阶段全国整体效率均值变化趋势

降3.40%；2017年之后综合技术效率均值基本维持在0.76左右。原因可能是2015年为“十二五”规划的收官之年，在此期间，国家高速公路网基本完成，极大提高了公路运输效率；2015—2017年公路运输按照“适度超前”原则继续加大基础设施建设，导致投入相对其产出增加，公路运输效率有所下降；之后随着公路运输需求的增长，在一定程度上抵消了这种影响，公路运输效率基本保持稳定。2) 纯技术效率均值在2013—2016年呈上升趋势，之后趋于稳定。3) 规模效率均值与综合技术效率均值的变化趋势基本一致，且在大部分年份都小于纯技术效率均值，说明规模效率不高是制约综合技术效率提高的主要原因。

3.1.3.3 省际分析

调整前后各省份的综合技术效率平均值对比见图2。由图2可知：1) 消除外部因素影响后，广东的综合技术效率平均值不变，仍处于最佳状态，说明广东的高效率不受外部因素的影响，效率本身就较高；新疆的平均值也未发生改变，仍处于低效率状态，说明新疆的低效率不受外部因素的影响，效率本身就较低。2) 综合技术效率平均值有20个省份下降，按幅度大小依次为上海、天津、北京、宁夏、青

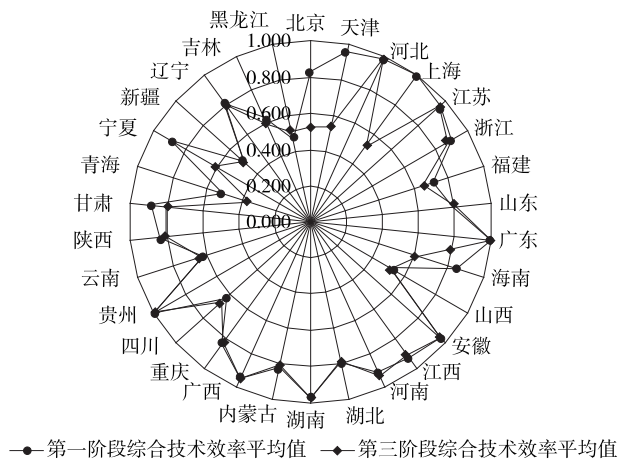


图2 各省份调整前后综合技术效率平均值对比

海、海南、甘肃、福建、吉林、陕西、浙江、江西、内蒙古、辽宁、重庆、湖北、江苏、贵州、湖南和广西，且上海、天津、北京、宁夏和青海的下降幅度超过30%，说明这些省份所处的环境优于其他省份，综合技术效率被高估。3) 综合技术效率平均值有8个省份上升，按幅度大小依次为黑龙江、四川、河南、山东、云南、河北、山西和安徽，综合技术效率提高源于纯技术效率的上升，说明较差的环境导致这些省份的技术管理水平被低估。

根据表3，只有广东的综合技术效率在研究期内均为1，公路运输效率达到DEA有效，处于最优状态；河北(6年)、江苏(4年)、安徽(5年)、江西(5年)、河南(4年)、湖南(6年)、贵州(6年)和广西(5年)的综合技术效率在大部分年份处于有效前沿面上，综合技术效率平均值接近1，公路运输发展水平较高；北京、天津、上海、福建、海南、山西、吉林、黑龙江、四川、云南、青海、宁夏和新疆的综合技术效率平均值小于全国平均水平，公路运输效率具有较大提升空间。

为更直观地分析各省份的公路运输效率，以研究期内全国纯技术效率平均值(0.877)和规模效率平均值(0.848)为临界值，将各省份划分为4种类型(见图3)：第Ⅰ类为“双高型”，如广东、河北、贵州、湖南、安徽、江苏、广西、河南等，这些省份的两个效率都高于全国平均水平，公路运输业发展良好。第Ⅱ类为“低高型”，如云南、四川、湖北和辽宁，这些省份的纯技术效率较低，尤其是云南(0.690, 0.912)和四川(0.676, 0.974)，纯技术效率平均值显著小于规模效率平均值。云南一方面地质构造复杂，公路建设管理成本高、设施养保能力弱；另一方面地处全国高速公路网末端，车流量较小，故纯技术效率不高。四川一方面西部地形复杂多样，地广人稀，公路利用率不高；另一方面公路运输企业主要以私营为主，运输组织结构松散，技术管理水平不高，故纯技术效率较低。第Ⅲ类为“双低型”，如山西、新疆、黑龙江、上海、吉林、福建，这些省份的两个效率都低于全国平均水平，一方面要提高资源配置水平，另一方面要提高技术管理水平。在6个省份中，新疆和上海虽然与其他4个省份同属一个类型，但有所区别。新疆(0.605, 0.819)的纯技术效率平均值显著小于规模效率平均值，新疆地域广阔，但路网衔接不够顺畅导致公路利用率不高，新疆应侧重提高技术管理水平。上海(0.812, 0.625)的规模效率平均值显著小于纯

4 结论与建议

运用三阶段 DEA-Malmquist 模型对中国 30 个省份 2013—2019 年的公路运输效率进行测度, 得到如下结论: 经济发展水平、城镇化水平和人口规模对公路运输效率有显著影响; 消除环境因素和随机误差影响后, 公路运输综合技术效率有所下降, 规模效率不高是制约综合技术效率提高的主要原因; 公路运输效率省际差异显著, 部分省份的公路运输效率具有较大提升空间; 公路运输效率在空间上呈现中部 > 东部 > 西部 > 东北部的阶梯式分布格局, 高规模效率使中部地区优于其他 3 个区域, 低纯技术效率导致东北地区排名最后; 公路运输全要素生产率呈下降趋势, 技术退步是导致其下降的主要原因。

基于上述研究结果, 提出以下建议: 1) 改善公路发展大环境, 在经济发展过程中, 由“粗放经营”转变为“精耕细作”, 减少公路运输投入冗余, 推动公路运输高质量发展。2) 因省份制宜, 针对不同省份采取差异化措施, 如对于上海、北京和天津这些因土地资源和环境承载力等约束条件导致投资较有限的地区, 应注意区域协同发展, 进一步完善公路网络布局, 提高规模效益; 宁夏和青海应加大公路运输建设投入, 完善运输网络, 以提高产出。3) 发展智能化公路运输。将智能化和信息化发展贯穿于公路运输建设、服务、管理等环节, 强化科技创新, 加强现代信息技术、“互联网+”技术和智能交通技术的应用, 发挥科技在公路运输发展方式转变中的引领作用, 提高公路运输效率。

参考文献:

- [1] 韩冰雪. 基于因子分析法的吉林省公路运输绩效评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [2] 刘炳浩. 长株潭城市群公路网交通运营效率评价与研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [3] 王卫东, 王京, 吴婕. 长株潭城市群公路交通效率比较研究[J]. 铁道工程学报, 2014(3): 25—32+60.
- [4] 段新, 岑晏青, 路放青. 基于 DEA 模型的 31 省份公路运输效率分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(6): 25—29.
- [5] 张祖俊, 刘玉海. 引致需求、路网密度与中国道路运输业营运绩效评价: 基于 DEA 模型与面板 Tobit 的两阶段分析[J]. 上海经济研究, 2011(10): 58—66+76.
- [6] 杨良杰, 吴威, 苏勤, 等. 基于 SBM-Undesirable 模型的 1997—2010 年中国公路运输效率评价[J]. 地理科学进展, 2013, 32(11): 1602—1611.
- [7] 尉蔚. 全国各省份公路运输 AHP-DEA 效率评价[J]. 价值工程, 2019, 38(6): 65—67.
- [8] 李洁, 左毅刚. 基于超效率 DEA 方法的公路运输效率评价与分析[J]. 交通信息与安全, 2015, 33(1): 127—132.
- [9] 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.
- [10] 罗登跃. 三阶段 DEA 模型管理无效率估计注记[J]. 统计研究, 2012, 29(4): 104—107.
- [11] 胡月阳. 基于 Metafrontier-DEA 的我国公路运输业静态效率评价[J]. 品牌研究, 2019(1): 167—168.
- [12] 王博, 祝宏辉, 刘林. 我国“一带一路”沿线区域物流效率综合评价: 基于三阶段 DEA 模型[J]. 华东经济管理, 2019, 33(5): 76—82.
- [13] 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.
- [14] 唐勇军, 王文婷, 刁诚诚. 供给侧改革下地方政府对企业财政性支出的绩效评价: 以江苏省常熟市设备投资贴息项目为例[J]. 财政研究, 2018(5): 46—59.
- [15] 詹斌, 郑撼昊. 基于超效率 SBM-Undesirable 模型的湖北公路运输效率评价[J]. 公路与汽运, 2021(5): 16—19+24.
- [16] 易继承, 张璐. 基于三阶段 DEA 模型的创新型国家创新效率测度[J]. 统计与决策, 2021, 37(8): 81—85.
- [1] 郭光磊. 重庆永川区普通干线公路国土空间控制规划研究[J]. 交通世界(下旬刊), 2022(3): 10—12.
- [2] 高硕晗, 陶双成, 简丽, 等. 生态保护红线制度下我国公路生态保护存在的问题与对策[J]. 交通运输研究, 2020, 6(4): 1—8.
- [3] 陈宗军, 李铭. 江苏区域交通设施的国土空间控制规划探讨[J]. 江苏城市规划, 2020(5): 21—23.
- [5] 马小毅, 江雪峰. 大城市国土空间规划中交通规划编制方法探索: 以广州市为例[J]. 城市交通, 2019(4): 11—16.
- [6] 薛锋, 朱小康, 陈福临. 约束背景下浙江省综合交通发展对策[J]. 交通与运输, 2021(4): 95—99.
- [7] 叶丽霞. 浅谈普通国道国土空间控制规划[J]. 江苏交通科技, 2020(2): 23—25+32.

收稿日期: 2022-03-07

收稿日期: 2022-01-28