

基于超效率 SBM—Undesirable 模型的 湖北公路运输效率评价

詹斌, 郑撼昊

(武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 选取湖北省 13 市(州)2010—2019 年的投入产出指标, 基于超效率 SBM—Undesirable 模型, 利用 Maxdea 软件从投入角度对湖北公路运输效率进行研究, 得到湖北各市(州)公路运输系统的效率值并进行比较分析, 同时运用 Tobit 模型分析各影响因素对湖北公路运输效率的影响; 结合湖北省实际情况, 有针对性地提出提升湖北省公路运输效率的对策建议, 为湖北推进交通强省建设提供参考。

关键词: 公路运输; 效率评价; 超效率 SBM—Undesirable 模型; 湖北省

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)05-0016-04

随着交通强国战略的实施, 湖北进入加快建设交通强省的发力阶段, 湖北交通运输发展站在了新的历史起点上。2019 年湖北全省交通运输业完成固定资产投资约 2 593 亿元, 其中公路运输约 640 亿元, 占 24.6%; 公路客运周转量 492 亿人·km, 货运周转量 2 968 亿 t·km, 分别占全省客货运输周转量的 37% 和 43%。可见, 公路运输水平是湖北交通运输发展中至关重要的一环, 直接影响湖北交通强省战略的实施。对湖北公路运输效率进行研究, 是促进湖北公路运输发展的基本路径, 也是贯彻湖北交通强省战略的内在要求。

已有学者对不同国家和地区的公路运输效率进行了分析, 如 Sami Jarboui 等运用随机前沿分析法对 18 个国家公共运输运营商的效率进行了测量; Cinzia Daraio 等运用随机前沿分析法和数据包络分析法, 从运输的经济性角度对罗马公共交通的效率和有效性进行了研究; 孟郁通过构建 SBM—DEA 模型, 对四川公路运输效率的空间差异进行了比较; 冯丽霞采用 DEA—Malmquist 方法分析了吉林省公路运输系统效率时间的演化特征。在公路运输效率评价中, 对环境污染等非期望产出的考量难以避免, 且使用传统 DEA 模型存在所得效率区间限制在 $[0, 1]$ 和模型存在“径向”、“角度”等问题, “径向”即要求模型中的投入产出增加或减少的变化同比例, “角度”即基于投入或产出导向的单一角度来进行效率测度, 关注固定投入或固定产出时对应的产出或投入变化的程度, 都可能使结果存在较大误差。

超效率 SBM—Undesirable 模型能较好地解决上述问题, 增加模型的精度, 使分析结果更全面、可信。为此, 该文采用超效率 SBM—Undesirable 模型对湖北省 2010—2019 年公路运输效率进行评价。

1 模型建立

1.1 超效率 SBM—Undesirable 模型

传统的数据包络模型尽管能对决策单元的相对有效性作出评价, 但由于模型本身是基于径向角度的, 加上未考虑松弛变量, 所得效率评价结果难免与实际水平有偏差。SBM 模型克服了传统 DEA 模型无法对松弛变量进行衡量的缺陷, 并利用非径向方法提升了效率评价的可靠性。在 SBM 模型中考虑非期望产出, 即可得到 SBM—Undesirable 模型。超效率 DEA 模型能解决多个相对有效的决策单元之间的效率比较问题, 将处于效率前沿面上的 DMU 作进一步区分。将上述模型结合, 得到超效率 SBM—Undesirable 模型。

假设在公路运输系统中存在 n 个决策单元 (DMU), 每个 DMU 里都有生产投入要素 m 个及 q_1, q_2 个期望产出和非期望产出要素。这里 n 表示所选取的湖北省 13 个市(州), 故 $n=13$ 。定义向量 $X_k = \{x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{ik}, \dots, x_{mk}\} \in R_+^M$ 表示各投入要素, $Y_k = \{y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{rk}, \dots, y_{q_1k}\} \in R_+^{Q_1}$ 表示期望产出要素, $Y_{bk} = \{y_{1k}^b, y_{2k}^b, \dots, y_{ik}^b, \dots, y_{q_2k}^b\} \in R_+^{Q_2}$ 表示非期望产出要素, 对湖北省公路运输效率进行测度的超效率 SBM—Undesirable 模型为:

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

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \leq y_{rk} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{tj}^b \lambda_j - s_t^{b-} \leq y_{tk}^b \\ 1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{rk} + \sum_{t=1}^{q_2} s_t^{b-} / y_{tk}^b \right) > 0 \\ \lambda, s^+, s^- \geq 0 \end{cases}$$

式中: ρ 为公路运输效率; s_i^- 、 s_r^+ 与 s_t^{b-} 分别为投入要素、期望产出和非期望产出要素的松弛变量; x_{ik} 、 y_{rk} 、 y_{tk}^b 分别为第 k 个 DMU 的第 i 个投入要素、第 r 个期望产出和第 t 个非期望产出要素; $i=1, 2, 3, \dots, m$; $r=1, 2, 3, \dots, q_1$; $t=1, 2, 3, \dots, q_2$; $k=1, 2, 3, \dots, n$; λ_j 为约束条件。

1.2 Tobit 模型

在使用传统 DEA 模型对公路运输效率进行测度时,所得效率值为分布在 $[0, 1]$ 内的离散值,使用超效率 SBM 模型也存在同样的相关限制。若采用最小二乘法将这些离散分布的效率值数据作为因变量进行估计,可能会存在参数估计产生较大误差的问题。因此,使用 Tobit 模型(也称受限因变量模型)进行回归,并利用极大似然估计法对模型进行估计。Tobit 模型的基本形式为:

$$Y = \begin{cases} Y^* & Y^* > 0 \\ 0 & Y^* \leq 0 \end{cases}$$

$$Y^* = \beta X + \mu \quad \mu \sim N(0, \delta^2)$$

式中: Y 为效率值向量; Y^* 为横截因变量向量; β 为相关系数向量; X 为自变量向量; μ 为服从正态分布的误差项。

2 指标体系构建

根据上面的分析,公路运输效率测度涉及的指标包括投入指标、期望产出指标和非期望产出指标,考虑到研究背景和目的,在构建效率评价指标体系时不仅要参考既有相关研究成果,选取的指标还要符合交通强国的相关要求。交通强国要求基础设施布局完善、立体互联,交通装备先进适用、完备可控,运输服务便捷舒适、经济高效,科技创新富有活力、

智慧引领,安全保障完善可靠、反应快速,绿色发展节约集约、低碳环保,开放合作面向全球、互利共赢,人才队伍精良专业、创新奉献,完善治理体系、提升治理能力。根据上述要求筛选的投入和产出指标见表 1。

表 1 湖北公路运输效率评价指标选取

指标分类	指标名称	指标类型
基础设施	公路总里程	投入指标
交通装备	运输车辆保有量	投入指标
运输服务	综合换算周转量	产出指标
安全保障	伤亡人数	产出指标
绿色发展	二氧化碳排放量	产出指标
人才建设	从业人员数量	投入指标

注:综合换算周转量为客运、货运周转量与换算系数的乘积,换算系数为 0.1。

投入指标分为基础设施、交通装备、人才建设 3 个方面,选取公路总里程作为反映湖北在基础设施方面投入水平的指标,交通装备方面选取运输车辆保有量,人才建设方面选取从业人员数量。

产出指标包括期望产出和非期望产出两方面,其中期望产出为运输服务,考虑到模型对于指标数量的限制,选取能涵盖公路客运和货运两方面产出的复合指标综合换算周转量来表示;非期望产出包含安全保障和绿色发展两方面,分别选取伤亡人数、二氧化碳排放量作为其产出指标。二氧化碳排放量不能直接由相关统计资料获得,采取自上而下的方式由能源消耗量通过下式计算:

$$P = \sum_{i=1}^n H_i \times N_i \times K$$

式中: P 为公路运输所排放的二氧化碳总量; H_i 、 N_i 分别为第 i 种能源的消耗总量和折算标准煤的系数; K 为标准煤的二氧化碳排放系数,其值可参考《中国能源统计年鉴》获得。

3 实证分析

3.1 湖北公路运输效率测度

选取 2010—2019 年湖北各辖市(州)的投入、产出数据(来源于历年湖北统计年鉴、湖北交通统计年鉴、中国能源统计年鉴及各市州的统计年鉴等),运用超效率 SBM—Undesirable 模型计算湖北及其各市(州)各年的公路运输综合效率,结果见表 2。

计算湖北及其 13 市(州)2010—2019 年公路运输综合效率的平均值,并将湖北分为武汉城市圈、鄂西北地区、鄂西南地区三大区域分别计算各区域市

表2 2010—2019年湖北各市(州)公路运输综合效率值

年份	公路运输综合效率值													
	武汉	鄂州	黄石	黄冈	孝感	咸宁	随州	襄阳	十堰	荆门	荆州	宜昌	恩施	湖北省
2010	1.011 8	0.804 8	0.827 6	0.398 6	0.749 1	0.384 6	0.816 8	0.265 5	0.455 2	0.468 2	0.517 5	0.939 0	0.231 7	0.845 7
2011	1.048 5	0.848 7	1.044 0	0.465 8	0.753 9	0.445 3	0.794 2	0.321 4	0.511 5	0.567 4	0.708 7	1.019 7	0.248 1	0.913 5
2012	1.120 7	1.010 8	0.985 6	0.498 5	0.850 8	0.412 2	0.755 6	0.346 1	0.523 8	0.645 0	1.024 0	1.021 9	0.266 5	1.019 3
2013	0.994 3	0.915 5	0.794 3	0.852 1	0.876 2	0.472 8	0.868 0	0.326 0	0.501 3	0.671 4	1.082 1	0.907 5	0.293 1	1.053 1
2014	1.021 2	1.016 4	1.077 7	1.101 6	1.049 6	0.452 4	1.052 8	1.064 9	0.623 5	1.087 8	1.290 6	1.042 5	0.363 5	1.022 0
2015	1.021 3	1.021 5	0.701 8	0.838 6	1.010 9	0.573 9	0.814 3	0.961 9	0.855 4	0.905 7	1.028 4	1.021 7	0.184 9	1.020 9
2016	1.290 0	0.756 1	0.626 0	0.820 9	1.015 6	0.647 1	0.751 5	1.498 8	0.762 2	0.786 7	1.055 3	0.747 7	0.216 0	1.046 1
2017	1.175 2	0.730 6	0.995 4	0.782 5	1.005 5	0.625 8	0.802 3	1.004 4	0.712 0	0.815 1	0.947 3	1.008 3	0.191 8	1.000 3
2018	1.346 2	0.737 9	0.798 9	0.918 5	0.846 4	0.782 7	0.876 4	1.010 6	0.819 2	1.005 1	1.003 0	0.916 2	0.248 3	1.053 7
2019	1.286 6	0.716 5	1.204 8	1.395 7	1.004 2	0.815 9	1.033 9	0.914 4	0.762 2	1.027 5	1.030 4	1.017 1	0.308 5	1.101 0

(州)公路运输平均效率的几何平均值作为该区域的平均效率,结果见表3。由表3可知:1) 武汉市的公路运输效率均值最高,为1.131 6,公路运输的投入资源能得到有效利用;恩施州的效率均值最低,为0.255 2,存在很大改进空间。2) 不同地区的公路运输效率差距明显,位于前五位的分别是武汉、孝感、襄阳、黄冈和宜昌,这可能与湖北省政府“一主两副多级”战略的实施有关,湖北在致力于城市发展和建设的过程中,也加速了这些地区的交通运输发展,带动了公路运输效率的提升。3) 三大区域中,公路运输平均效率最高的为武汉城市圈,其次为鄂西北地区,其平均效率值分别为0.912 9、0.796 1和0.644 7。

3.2 湖北公路运输效率影响因素分析

3.2.1 影响因素选取

通过对相关文献的整理,参考交通强国相关要求,将影响湖北公路运输效率的因素分为社会经济条件、基础设施建设水平、对外开放水平、运输供给质量、人才培养水平和绿色发展水平6个方面。考虑指标数据的可获性及代表性,选取湖北各地区公

表3 湖北各地区2010—2019年公路运输效率均值及排名

地区	公路运输效率	排名	地区	公路运输效率	排名
武汉	1.131 6	1	随州	0.652 6	11
黄石	0.885 9	6	咸宁	0.798 0	9
宜昌	0.905 6	5	孝感	0.968 7	2
鄂州	0.807 3	8	襄阳	0.964 2	3
黄冈	0.916 2	4	恩施	0.255 2	13
荆门	0.561 3	12	武汉城市圈	0.912 9	
荆州	0.856 6	7	鄂西南地区	0.644 7	
十堰	0.771 4	10	鄂西北地区	0.796 1	

路运输综合效率为因变量,人均地区生产总值、公路总里程、等级公路占比、对外贸易总额、公路运输从业人员数量和能源消耗量分别作为代表6个影响因素的自变量。

3.2.2 实证结果

使用Eviews9软件对前文建立的Tobit模型进行面板数据回归分析,考虑到各变量数值相差较大,分析前对所有解释变量进行对数化处理。回归分析结果见表4。

从表4可看出:1) 湖北省社会经济条件与公路

表4 湖北公路运输效率影响因素Tobit分析结果

解释变量	回归系数	标准差	Z统计值	P值
人均地区生产总值	0.214 069	0.026 785	2.923 48	0.006 7
公路总里程	0.250 311	0.001 412	5.026 17	0.008 3
等级公路占比	0.170 325	0.000 331	13.246 10	0.000 0
对外贸易总额	0.038 542	0.001 401	6.336 27	0.001 3
公路运输从业人员数量	0.000 653	0.007 563	2.465 17	0.369 7
能源消耗量	-0.023 518	0.040 575	-8.958 57	0.082 6
常数项	0.696 584	0.079 462	2.271 05	0.000 0

运输效率成正相关,说明社会经济发展水平是公路运输稳定发展的重要支撑,不但可为公路运输发展

提供充足的资金保障,使其扩大规模形成规模效应,还能带动运输需求进而促进公路运输管理和技术水

平的提升,从而提高其综合运输效率。2)公路基础设施建设水平与湖北省公路运输效率成正相关,公路基础设施的发展有助于扩大公路运输规模,提升公路运输能力,从而促进其综合效率的提升。3)运输供给质量与公路运输效率表现为正相关,等级公路占比可从一定程度上反映公路运输的供给水平,随着湖北公路运输供给质量的提升,更多的运输需求能得到满足,公路运输效率提高。4)开放合作水平与公路运输效率成正相关,对外开放水平是影响公路运输效率的重要因素之一。其原因可能是对外开放程度的提升可一定程度上带动当地社会经济发展和运输需求的提升,从而提高运输效率。5)人才培养因素在模型中显示出对效率值的正向影响,但其在显著性水平上未通过检验,在统计意义上并没有显著性。原因可能是在研究时间内湖北公路的总体管理水平和规模尚未达到最优,从业人员数量的变化对公路运输效率的影响并不显著。6)绿色发展因素选取的能源消耗量对湖北公路运输效率的影响也是负向的,原因可能是能源消耗量的增加会带来更多的环境治理成本,而这些成本又一定程度上影响社会经济水平,从而影响公路运输综合效率。

4 结论及相关建议

以提升湖北公路运输效率为目的,建立效率评价指标体系,运用超效率SBM—Undesirable模型与Tobit模型测算湖北及其13市(州)2010—2019年公路运输效率及影响因素,结论及建议如下:

(1)湖北省2010—2019年的平均公路运输效率为1.0076,总体有效且呈上升趋势;武汉城市圈的平均公路运输效率与其他两大区域差距较明显,鄂西北地区平均效率高于鄂西南地区,区域差异较显著。需优化运输网络结构,协调区域运输发展,可考虑各地区实际情况,对于鄂西南及鄂西北内部分公路运输基础设施不发达的地区给与适当的资金和政策支持,提升其基础设施建设水平。另一方面公路等级的提升有助于公路运输技术效率的提升,在这些区域建设新的高等级公路的同时,对现有低等级公路进行升级改造,并加强对运输基础设施的养护,使其适应运输需求的增长,减少区域间公路运输水平的差异,使湖北各区域间的公路运输均衡发展。

(2)各影响因素中湖北省的社会经济条件、基础设施建设水平、对外开放水平、运输供给质量、绿色发展水平对公路运输效率的影响相对显著,其中

人均地区生产总值、公路总里程、等级公路占比和对外贸易总额指标对公路运输效率的影响为正向,公路运输从业人员数量对公路运输效率的影响并不具备统计意义的显著性,而绿色发展因素对公路运输效率的影响相对显著且能源消耗量对公路运输效率的影响为负向。除需优化运输基础设施外,还需扩大对外开放规模,拉动运输需求增长。对外开放水平的提升可促进当地社会经济发展,湖北虽地处内陆,但东承“长江经济带”发展布局,西接“一带一路”重大战略,拥有良好的开放基础,可考虑合理引进外商投资,吸引外部优秀企业,带动本地产业发展,从而拉动运输需求,推动公路运输市场的发展,提升市场活力。再就是集约利用运输资源,促进行业绿色发展。作为资源消耗型行业,公路运输绿色发展是湖北交通强省战略实施的重要一环,湖北仍存在节能运输装备应用不足、标准规范滞后等问题,难以适应当前公路运输绿色减排的需要。应集约高效地利用运输资源,提升湖北公路的绿色发展水平。一是大力推广新能源汽车,增加清洁能源的使用率,并完善相关配套设施;二是强化标准规范,优化节能统计体系,引进先进监测技术,探索实行更科学的管控措施;三是强化绿色交通意识的形成,通过宣传引导群众自觉形成低碳出行理念;四是严格落实生态保护措施,在公路运输基础设施建设中将生态因素作为选线选址的重要标准,加强公路绿化美化,建设公路绿色廊道等;五是加大公路运输行业绿色领域科研的投入,引进和培养专业人才,加快相关科技成果转化。

参考文献:

- [1] SAMI Jarboui, PASCAL Forget, YOUNES Boujelben. Efficiency evaluation in public road transport: a stochastic frontier analysis[J]. Transport, 2015, 30(1): 1—14.
- [2] CINZIA Daraio, MARCO Diana, FLAVIA Di Costa, et al. Efficiency and effectiveness in the urban public transport sector: a critical review with directions for future research[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 248(1): 1—20.
- [3] 孟郁. 基于数据包络分析的综合运输效率评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [4] 冯丽霞. 基于DEA—Malmquist的吉林省公路运输系统绩效评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [5] 沈瑞峰. 长吉图区域综合交通网运营效率评价研究

(下转第24页)

上行时,大型车辆高速行驶的危险性高于超载的危险性,车速为 50~60 km/h 时大概率会发生侧翻。这是由于山区道路中小半径弯道、连续回头弯及弯坡组合路段较多,车速增加会使横向载荷转移率激增。山区道路线形复杂且天气多变,考量道路的符合性具有一定的现实意义。

参考文献:

- [1] GLASER S, MAMMAR S, SENTOUH C. Integrated driver-vehicle-infrastructure road departure warning unit[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(6): 2757-2771.
- [2] GALLÉN R, HAUTIERE N, CORD A, et al. Supporting drivers in keeping safe speed in adverse weather conditions by mitigating the risk level[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(4): 1558-1571.
- [3] 徐进, 邵毅明, 杨奎, 等. 基于人一车一路协同仿真的山区道路大型车辆行驶适应性分析[J]. 中国公路学报, 2015, 28(2): 14-25.
- [4] 窦同乐, 向健, 徐进. 苜蓿叶形立交行驶安全性与舒适性仿真研究[J]. 中国科技论文, 2020, 15(2): 201-207.
- [5] 徐进, 崔强, 常旭, 等. 苜蓿叶形互通立交进/出口的纵向驾驶行为特征[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2019, 49(6): 1205-1214.
- [6] 翟德. 半挂汽车列车侧向稳定性判定及控制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [7] 李宇. 山区双车道二级公路弯道路段行驶特性与安全策略研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.
- [8] 邓天民, 罗晓, 邵毅明, 等. 山区公路曲线路段汽车轨迹模式与切弯行为[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2019, 49(2): 388-396.
- [9] 岳雷, 姚红云, 王慧. 山区公路弯坡组合路段设计指标研究[J]. 中国矿业大学学报, 2019, 48(3): 520-528.
- [10] 岳雷, 王慧, 杜豫川, 等. 基于安全性分析的山区公路弯坡组合路段设计指标研究[J]. 工程力学, 2019, 36(11): 158-167.
- [11] 杨俊儒, 褚端峰, 王维峰, 等. 弯道安全车速建模及影响因素分析[J]. 交通信息与安全, 2018, 36(6): 1-8.
- [12] 徐进, 邵毅明, 赵军, 等. 山区道路弯坡组合路段重载车辆行驶速度模型[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2015, 35(2): 67-74.
- [13] 贺宜, 褚端峰, 吴超仲, 等. 路面附着条件对车辆横向稳定性影响的量化分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2014, 38(4): 784-787.
- [14] 职雨风, 苏堪祥. 南方多雨地区 SMA 路面摩擦系数变化规律研究[J]. 公路工程, 2019, 44(3): 176-180.
- [15] 刘洪建. 基于 Trucksim 的罐式半挂汽车列车侧翻状态仿真[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [16] 王宇宇. 基于 Carsim 的公路弯道路段车辆行驶稳定性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [17] 陈静, 徐延海, 朱鹏兴, 等. 基于 Trucksim 整车操纵稳定性影响参数的研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2020, 41(1): 13-19.
- [18] 任秀欢, 何杰. 基于人一车一路虚拟试验的道路线形安全性评价[J]. 公路, 2011(9): 171-175.
- [19] 蒋生珍. 山区公路弯坡组合路段行车特性分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2017.
- [12] 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.
- [13] 杨明, 唐攀. 基于 DEA 的长沙市公交运输运营效益综合评价[J]. 公路与汽运, 2011(6): 79-83.
- [14] 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.
- [15] 顾瑾, 陶绪林, 周体光. 基于 DEA 模型的江苏省道路运输效率评价与分析[J]. 现代交通技术, 2008(1): 69-72+80.
- [16] 刘宏伟. 基于 DEA 的公路运输业效率及其动态演化研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2017.
- [17] 侯向辉. 基于 DEA 的区域公路运输效率评价方法研究[J]. 公路交通技术, 2013(2): 130-133+144.

收稿日期: 2020-12-17

(上接第 19 页)

[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.

- [6] 雷之田, 左大杰. 基于 DEA 模型的西部地区综合运输系统效率评价[J]. 综合运输, 2019, 41(11): 114-120.
- [7] 林芬. 可靠性交通网络均衡的帕累托效率研究[D]. 南京: 东南大学, 2017.
- [8] 丁俊雅. 中国各省铁路运输效率的时空演化及影响因素研究[D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2017.
- [9] BANKER R D, CHARNES A, COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1984, 30(9): 1078-1092.
- [10] 董彬, 任翠萍, 吴群琪. 基于效率视角的公路运输与国民经济动态发展关系研究[J]. 公路交通科技, 2017, 34(10): 152-158.
- [11] 刘畅. 我国省际货物运输效率及影响因素研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.

收稿日期: 2021-02-19