

中部六省交通运输业全要素碳排放效率测度及分析<sup>\*</sup>王艳秋<sup>1</sup>, 蒋惠园<sup>1</sup>, 方晨晨<sup>1</sup>, 卢升荣<sup>2</sup>

(1. 武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063; 2. 湖北大学 商学院, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 交通运输业是 CO<sub>2</sub> 排放的重要来源。为测度中部六省交通运输业碳排放效率情况, 基于全要素生产率的视角, 将换算周转量作为期望产出、碳排放作为非期望产出, 构建 Super-SBM-ML 指数模型, 测度全要素碳排放效率值, 并对其演变特征及空间自相关性进行分析。结果表明, 中部六省 2007—2016 年交通运输业的全要素碳排放效率平均值为 0.97, 处于无效率状态, 各省差距较大; ML 指数上升 4.99%, 纯技术效率和规模效率处于下降趋势, 技术进步率处于上升趋势, 交通运输业技术进步明显, 各省有所差异; 各省交通运输业发展缺乏联动性, 尚未形成全局性的“高效率省带动周边省高效发展”的良性互动; 未来应加强区域联动, 重点关注以技术进步驱动交通运输业低碳发展。

**关键词:** 交通运输; 全要素碳排放效率; 中部六省; 非期望产出; Super-SBM-ML; 莫兰指数

**中图分类号:** U491.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2020)03-0015-06

全球环境污染日益严重, 这与人类活动造成的 CO<sub>2</sub> 等温室气体排放密不可分。交通运输业是国民经济和社会发展的基础性、先导性产业, 也是高能耗、高排放产业。中部地区相较于东部地区整体经济发展水平较落后且人口众多, 碳减排压力巨大, 对中部六省交通运输业全要素碳排放效率进行研究具有理论和现实意义。

碳排放效率是指一定时间内投入单位生产要素进行生产活动所带来的期望产出及碳排放量, 包括单要素碳排放效率和全要素碳排放效率。单要素碳排放效率是指碳排放量与单个投入变量的比值, 无法度量多种影响因素同时作用下的碳排放效率值, 且忽略了能源结构、产业结构等因素的影响; 全要素碳排放效率是指综合研究劳动、资本、能源等投入指标及 GDP、换算周转量、碳排放量等产出指标的碳排放效率。现阶段, 大多数学者采用随机前沿分析法(SFA)和数据包络分析法(DEA)测算全要素碳排放效率, 因采用传统 DEA 模型进行效率测度未考虑投入产出的松弛性问题, 往往不够准确, 一些学者运用由传统 DEA 模型衍生出的非径向非角度 SBM 模型进行测算。韩一杰等以中国各地区钢铁行业为研究对象, 应用超效率 DEA 模型对其能源效率及节能减排潜力进行了分析; Yongrok Choi 等采用 SBM 模型估计了中国能源 CO<sub>2</sub> 排放效率和边

际减排成本; 宋震、袁长伟等运用 SBM-DEA 模型测算并对比分析了中国各省交通运输业碳排放效率的差异; 王腾等基于非期望产出的超效率 SBM 模型构建港口能源效率评价模型, 对上海港 2008—2016 年能源效率进行了实证研究。为了解全要素效率的动态变化, 部分学者将 ML 指数与 DEA 结合起来进行研究, 如王白雪等利用超效率 SBM 模型并借助 ML 指数分析了北京市公共交通系统的全要素碳排放效率跨期动态变化情况, 冯新宇利用 ML 指数对全国建筑业的碳排放效率进行了动态分析, 吴传清等运用 ML 指数法研究了长江经济带全要素能源效率的时空分布差异。但对交通运输领域的研究不多, 且在指标选取方面大多以地区 GDP 作为期望产出, 不符合交通运输业的特征。因此, 该文以中部六省交通运输业为研究对象, 选取换算周转量为期望产出, 在构建包含非期望产出的 Super-SBM 模型的基础上, 构建 ML 指数模型对中部六省交通运输业全要素碳排放效率进行动态分析, 并运用莫兰指数对其空间自相关性进行分析。

## 1 Super-SBM-ML 指数测度模型构建

### 1.1 测度方法选择与模型构建

#### 1.1.1 Super-SBM 模型

DEA 是一种前沿分析法, 其本质是将各决策单

<sup>\*</sup> 基金项目: 武汉理工大学自主创新研究基金项目(195202001)

元的投入和产出指标值投影到运用数学规划方法建立的一个生产前沿面上,计算每个决策单元的效率值。传统 DEA 模型由于其具有径向性等诸多严格假定,其评价结果存在偏差,无法考虑非期望产出等负外部效益。为此,Kaoru Tone 提出基于松弛变量测度的非径向非角度 SBM 模型,将松弛变量直接引入目标函数,为了考虑非期望等负面外部效益,构造出基于非期望产出的 SBM 模型;鉴于在使用基于非期望产出的 SBM 模型计算时通常会出现多个评价单元的效率值为 1 的情形,在此基础上又提出 Super-SBM 模型。

以碳排放量作为非期望产出,对中部六省 2005—2016 年的碳排放效率进行计算分析。假定生产系统有  $m$  个投入要素、 $n$  个决策单元,每个单元均有 3 个投入产出向量,分别为投入、期望产出和非期望产出,其元素可表示为  $x$ 、 $y^g$ 、 $y^b$ 。定义矩阵  $X$ 、 $Y^g$ 、 $Y^b$  如下: $X = (x_{ij}) \in R^{m \times n}$ ,  $Y^g = (y_{ij}^g) \in R^{S_1 \times n}$ ,  $Y^b = (y_{ij}^b) \in R^{S_2 \times n}$ 。

非期望产出的 Super-SBM 模型可写为:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left[ \sum_{r=1}^{s_1} \frac{S_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{t=1}^{s_2} \frac{S_t^b}{y_{t0}^b} \right]} \quad (1)$$

$$ML_t^{t+1} = \sqrt{\frac{1 + \vec{D}_0^t(X^t, Y^{gt}, Y^{bt}; Y^{gt}, -Y^{bt})}{1 + \vec{D}_0^t(X^{t+1}, Y^{gt+1}, Y^{bt+1}; Y^{gt+1}, -Y^{bt+1})}} \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(X^t, Y^{gt}, Y^{bt}; Y^{gt}, -Y^{bt})}{1 + \vec{D}_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{gt+1}, Y^{bt+1}; Y^{gt+1}, -Y^{bt+1})} = MLEC_t^{t+1} \times MLTC_t^{t+1} \quad (3)$$

$$MLEC_t^{t+1} = \frac{1 + \vec{D}_0^t(X^t, Y^{gt}, Y^{bt}; Y^{gt}, -Y^{bt})}{1 + \vec{D}_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{gt+1}, Y^{bt+1}; Y^{gt+1}, -Y^{bt+1})} = MLPEC_t^{t+1} \times MLSEC_t^{t+1} \quad (4)$$

$$MLTC_t^{t+1} = \sqrt{\frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(X^t, Y^{gt}, Y^{bt}; Y^{gt}, -Y^{bt})}{1 + \vec{D}_0^t(X^{t+1}, Y^{gt+1}, Y^{bt+1}; Y^{gt+1}, -Y^{bt+1})}} \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(X^t, Y^{gt}, Y^{bt}; Y^{gt}, -Y^{bt})}{1 + \vec{D}_0^t(X^{t+1}, Y^{gt+1}, Y^{bt+1}; Y^{gt+1}, -Y^{bt+1})} \quad (5)$$

$ML_t^{t+1}$ 、 $MLPEC_t^{t+1}$ 、 $MLSEC_t^{t+1}$ 、 $MLTC_t^{t+1}$  大于(小于)1 分别意味着  $t+1$  期的全要素碳排放效率、纯技术效率、规模效率、技术进步比  $t$  期上升(下滑); $ML_t^{t+1}=1$ , 则表明在  $t$  到  $t+1$  期内,投入、产出的纯技术效率、技术进步、规模效率没有发生变动,全要素碳排放效率水平保持不变。

## 1.2 投入产出指标选择

以中部六省 2007—2016 年实际情况为决策单元,根据交通运输业特征,选取劳动、资本和能源 3 个投入指标,换算周转量、二氧化碳排放量分别作为

$$\text{s.t.} \begin{cases} x_{i0} \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - S_i^- \\ y_{r0}^g \leq \sum_{j=1}^n y_{rj}^g \lambda_j + S_r^g \\ y_{t0}^b \geq \sum_{j=1}^n y_{tj}^b \lambda_j + S_t^b \\ \lambda, S^-, S^g, S^b \geq 0; 1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq n; 1 \leq r \leq S_1; 1 \leq t \leq S_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $i$  为投入要素的个数; $s_1$ 、 $s_2$  分别为期望产出与非期望产出要素的个数; $S^-$ 、 $S^g$ 、 $S^b$  分别为投入变量、期望产出、非期望产出所对应的松弛变量; $S_i^-$  为第  $i$  种投入的冗余; $S_r^g$  为第  $r$  种期望产出的不足; $S_t^b$  为第  $t$  种非期望产出的冗余;常数向量  $\lambda = (\lambda_j) \in R^{m \times 1}$  ( $\lambda \geq 0$ ) 表示第  $j$  个决策单元的权重。

### 1.1.2 ML 指数模型

Chung Y. H. 等将包含坏产出的方向距离函数应用于 Malmquist 模型,并将得到的 Malmquist 指数称为 ML 生产率指数。在规模报酬不变(CRS)假设下,ML 指数可分解为技术效率变化指数  $MLEC$  与技术进步指数  $MLTC$ ;在规模报酬可变(VRS)假设下,可将技术效率变化指数分解为纯技术效率变化指数  $MLPEC$  与规模效率变化指数  $MLSEC$ 。计算公式如下:

期望产出和非期望产出指标,对中部六省交通运输业的全要素碳排放效率进行测算。指标数据来源于 2007—2016 年中部六省统计年鉴、中国统计局、《中国能源统计年鉴》并经过计算整理得出。

### 1.2.1 投入指标

(1) 劳动。采用中部六省交通运输、仓储和邮政业上年末从业人员数和本年末从业人员数的平均值作为本年的劳动力投入。

(2) 资本。选取资本存量作为资本投入。由于无法从年鉴中获得,借鉴王维国等提出的“永续盘存

法”进行资本存量测算,公式如下:

$$K_{nt} = \frac{I_{nt}}{P_{nt}} + K_{n(t-1)}(1-\gamma)$$
 (6)

式中: $n$  为中部六省编号; $K_{nt}$ 、 $K_{n(t-1)}$  分别为  $n$  省第  $t$ 、 $t-1$  年的资本存量值; $I_{nt}$  为  $n$  省交通运输、仓储和邮政业按当期价格计算的固定资产投资额,以 2006 年  $n$  省交通运输、仓储和邮政业新增固定资产的 10 倍为基准; $P_{nt}$  为投资价格指数; $\gamma$  为交通运输、仓储和邮政业资本折旧率,取 9.66%。

(3) 能源。将交通运输、仓储和邮政业生产运营所消耗的各类能源作为能源投入。由于能源消费种类不同,需将不同类型能源消费量统一折算成标准煤后汇总,计算公式如下:

$$Q = \sum \theta_i \times E_i$$
 (7)

式中: $Q$  为交通运输业能源消耗总量; $\theta_i$  为第  $t$  种能源的折标准煤系数(见表 1); $E_i$  为第  $t$  种能源消耗量。

表 1 各种能源的折标准煤系数

能源种类	折标准煤系数	能源种类	折标准煤系数
原煤	0.714 3	柴油	1.457 1
原油	1.428 6	燃料油	1.428 6
汽油	1.471 4	天然气	1.330 0
煤油	1.471 4		

1.2.2 产出指标

(1) 换算周转量。交通运输业的产出在价值形态上是交通运输业的总产值,但在实用价值形态上表现为周转量,包括货物周转量和旅客周转量。借鉴喻洁等换算周转量转化方法,将客运周转量转

换为货运周转量。各种运输方式的转换系数见表 2。

表 2 各种运输方式客运周转量换算因子

运输方式	换算因子	运输方式	换算因子
铁路	1	水运	1/3
公路	1/10	航空	1/13

(2) 二氧化碳排放量。“自上而下”法和“自下而上”法是当前二氧化碳排放量的主要测算方法。采用“自上而下”法,应用 IPCC 公布的二氧化碳排放因子数据,以 8 种主要能源(煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气)消耗为基准测算中部六省交通运输业的碳排放量。各种能源的二氧化碳排放因子见表 3。

表 3 各种能源的二氧化碳排放因子

能源种类	排放因子	能源种类	排放因子
原煤	1.900 3	柴油	3.095 9
原油	3.020 2	燃料油	3.170 5
汽油	2.925 1	天然气	2.162 2
煤油	3.017 9		

2 全要素碳排放效率测度及分析

2.1 全要素碳排放效率测度结果

基于 2007—2016 年中部六省交通运输业面板数据,利用 Super-SBM 测度模型,综合考虑非期望产出,运用 MaxDEA6.8pro 软件测算各省交通运输业全要素碳排放效率,结果见表 4、图 1、图 2。

表 4 2007—2016 年中部六省交通运输业全要素碳排放效率

省份	各年全要素碳排放效率										均值
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
安徽	1.180 7	1.455 8	1.468 2	1.479 3	1.500 6	1.469 2	1.576 5	1.589 0	1.572 5	1.574 0	1.486 6
河南	1.143 2	0.657 0	1.008 7	1.021 9	1.0211	0.801 6	0.690 6	0.680 6	0.636 2	0.660 9	0.832 2
湖北	0.613 6	0.503 6	0.503 3	0.494 3	0.486 9	0.520 4	0.509 7	0.526 7	0.527 3	0.512 5	0.519 8
湖南	1.077 1	0.694 8	0.633 9	0.592 6	0.576 8	0.678 4	0.593 7	0.596 1	0.570 6	0.789 5	0.680 3
江西	1.072 8	1.193 2	1.204 2	1.126 1	1.211 0	1.825 2	1.646 8	1.564 1	1.509 4	1.504 7	1.385 8
山西	1.014 8	1.031 4	1.047 1	1.003 5	0.616 0	0.647 1	0.652 1	1.042 5	1.063 8	1.033 5	0.915 2
均值	1.017 0	0.922 6	0.977 6	0.952 9	0.902 1	0.990 3	0.944 9	0.999 8	0.980 0	1.012 5	0.970 0

根据表 4、图 1、图 2,中部六省交通运输业的全要素碳排放效率平均值为 0.97,处于无效率状态,有

待提高。安徽、江西、山西交通运输业的全要素碳排放效率大于 0.9,全要素碳排放效率较高;河南、湖

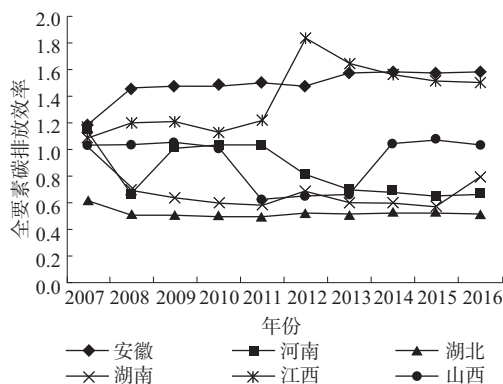


图1 2007—2016年中部六省交通运输业全要素碳排放效率

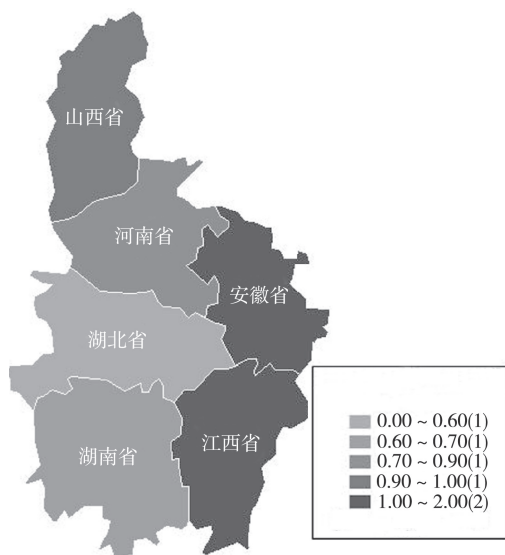


图2 2007—2016年中部六省交通运输业全要素碳排放效率空间格局

北、湖南交通运输业的全要素碳排放效率小于0.9,全要素碳排放效率较低。从各省情况来看,仅安徽的全要素碳排放效率呈现上升趋势并一直处于技术前沿面上;江西的全要素碳排放效率整体处于上升态势,2012年有一个较小回落,但仍处于技术前沿面上;河南总体呈现下降趋势,在2008年有一个小小的回升,2007、2009、2010、2011年处于技术前沿面上;山西总体呈现稳定的态势,2011年有一个较小的回落,在2013年又有一个回升,总体水平保持不变;湖南总体呈现下降趋势,仅2007年的全要素碳排放效率处于技术前沿面上;湖北总体呈现稳定的态势,但2007—2016年的全要素碳排放效率均未处于技术前沿面上。

## 2.2 全要素碳排放效率的演变分析

在测算中部六省交通运输业全要素碳排放效率的基础上,利用ML指数模型研究2007—2016年各

省交通运输业全要素碳排放效率的演变过程,并将ML指数分解为纯技术效率变化指数 $MLPEC$ 、规模效率变化指数 $MLSEC$ 、技术进步指数 $MLTC$ 。分析结果见表5、图3。

表5 中部六省交通运输业全要素碳排放效率变动及分解

省份	ML指数	$MLPEC$	$MLTC$	$MLSEC$
安徽	1.165 5	1.000 0	1.165 5	1.000 0
河南	1.049 2	0.920 7	1.149 4	0.991 6
湖北	1.041 2	0.969 3	1.136 3	0.945 3
湖南	0.989 6	0.943 0	1.187 3	0.883 9
江西	1.064 0	1.000 0	1.142 1	0.931 6
山西	0.998 7	1.000 0	1.143 5	0.873 4
均值	1.049 9	0.971 7	1.153 9	0.936 4

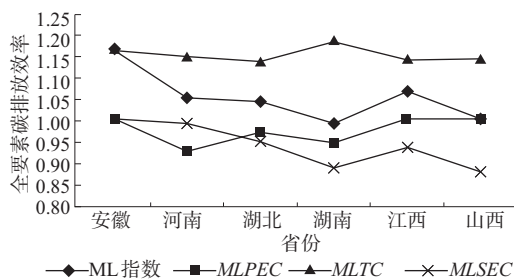


图3 中部六省交通运输业全要素碳排放效率变动及分解

### 2.2.1 总体分析

根据表5,从整个中部六省来看,交通运输业纯技术效率下降2.83%、技术进步率上升15.39%、规模效率下降6.36%。其中:纯技术效率变化不大,表明整体而言中部六省交通运输业运营管理水平没有明显进步;技术进步显著是中部六省交通运输业碳排放效率上升的绝对驱动因素;规模效率下降较明显,是中部六省交通运输业碳排放效率下降的主要因素。说明技术进步是提升中部六省交通运输业碳排放效率水平的重要原因,中部六省交通运输业应着力于提高发展过程中的技术含量,实施高质量发展。

### 2.2.2 省级层面

根据图3,大部分省份交通运输业全要素碳排放效率ML指数大于1,表明研究期间其全要素碳排放效率处于上升趋势,湖南和山西的全要素碳排放效率略有下降。

(1) 纯技术效率。安徽、江西、山西三省的纯技术效率等于1,未发生变化;河南、湖北、湖南三省纯技术效率小于1,处于下降状态,其中河南、湖南下降较明显(分别下降7.93%、5.70%),表明这些省



的交通运输业运营管理水平有待进一步提高。综合表现为中部六省交通运输业运营管理水平有所降低、纯技术效率变化不大。

(2) 技术进步率。各省技术进步率均大于 1, 增长最少的是湖北省的 13.63%, 增长最多的湖南省的 18.73%。表明随着生态环保日渐被重视, 中部六省交通运输业更着力于运输生产过程中设备设施的更新改造、升级换代, 节能减排技术得到更广泛、更深入的应用。综合表现为中部六省交通运输业技术进步明显。

(3) 规模效率。仅安徽省的规模效率等于 1, 其他五省的规模效率均小于 1。其中河南的规模效率略小于 1, 表明其规模效率在研究期间变化不大; 湖北、江西的规模效率下降较大, 湖南、山西的规模效率下降明显, 表明这些省的社会经济及交通运输业发展水平相对落后, 交通运输业规模与其他省相比较小。综合表现为中部六省交通运输业规模效率下降, 中部六省交通运输业不能简单地增大规模、粗放式发展, 而应追求精细化、高质量发展。

### 2.3 全要素碳排放效率的空间自相关性

Anselin L. 认为几乎所有空间数据都有空间依赖性 or 空间自相关的特征。为研究中六省交通运输业全要素碳排放效率之间的空间关系, 对其全局、局部自相关性进行检验。

#### 2.3.1 全局空间自相关

全局空间自相关用来分析研究对象总体的空间关联和空间差异程度, 判断是否存在空间集聚现象。全局莫兰指数  $I$  表达式见式(8),  $I \in [-1, 1]$ 。  $I > 0$  时, 表示各地区在空间上存在正相关;  $I = 0$  时, 表示各地区在空间上不存在相关性;  $I < 0$  时, 表示各地区在空间上存在负相关。

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \theta_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \theta_{ij} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (8)$$

式中:  $n$  为省份数量;  $\theta_{ij}$  为空间位置  $i$  和  $j$  的邻近关系,  $i$  和  $j$  邻近时  $\theta_{ij} = 1$ , 否则  $\theta_{ij} = 0$ ;  $X_i$ 、 $X_j$  分别为第  $i$ 、 $j$  省的交通运输业全要素碳排放效率;  $\bar{X}$  为碳排放效率平均值。

用标准化统计量  $Z$  检验空间自相关的显著水平, 其表达式见式(9)。  $Z$  值为正且显著时, 表明存在显著正的空间自相关, 即相似的观测值(高值或低值)趋于空间集聚;  $Z$  值为负且显著时, 表明存在显

著的负的空间自相关, 相似的观测值趋于分散分布;  $Z = 0$  时, 观测值呈独立随机分布。

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{VAR(I)}} \quad (9)$$

式中:  $E(I)$  为观测变量自相关性的期望;  $VAR(I)$  为方差。

运用 Stata 软件计算各省交通运输业全要素碳排放效率的全局莫兰指数  $I$ , 结果见表 6。

表 6 2007—2016 年中六省交通运输业全要素碳排放效率的全局空间自相关性检验结果

年份	$I$	$Z$	p-value
2007	-0.364	-1.070	0.142
2008	-0.222	-0.077	0.469
2009	-0.098	0.372	0.355
2010	-0.067	0.493	0.311
2011	-0.128	0.253	0.400
2012	-0.088	0.411	0.341
2013	-0.057	0.492	0.311
2014	-0.172	0.095	0.462
2015	-0.188	0.040	0.484
2016	-0.173	0.092	0.463

由表 6 可知: 2007—2016 年中六省交通运输业全要素碳排放效率的全局莫兰指数  $I$  为(-0.364, -0.057)且均未通过 10% 的显著性检验, 表明各省交通运输业全要素碳排放效率呈现较弱的负相关性, 产生了类似“虹吸效应”的负向溢出效应。

#### 2.3.2 局域空间自相关

为进一步探讨各省交通运输业全要素碳排放效率是否存在局域自相关, 通过全局莫兰指数  $I$  散点图、局域空间自相关分析更准确地把握空间要素的异质性特性。全局莫兰指数  $I$  散点图由 4 个象限组成, 分别表示研究区域与周围区域属性值的 4 种不同空间相关关系, 4 个象限按照空间结构分为高一高、低一高、低一低和高一低 4 种集聚类型, 通常用 HH、LH、LL、HL 表示, 分别对应第一象限到第四象限。2007、2016 年各省交通运输业全要素碳排放效率的全局莫兰指数  $I$  散点图分别见图 4、图 5。

由图 4 可知: 2007 年, 山西分布在第一象限, 其交通运输业全要素碳排放效率大于 1, 为高一高局部自相关空间关系集群; 湖北分布于第二象限, 为低一高局部自相关空间关系集群; 江西、河南、安徽、湖南分布于第四象限, 为高一低局部自相关空间关系集群。

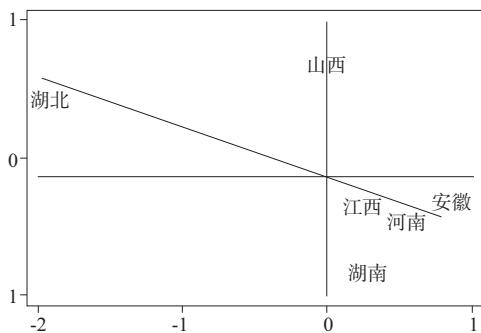


图4 2007年中六省交通运输业全要素碳排放效率  
全局莫兰指数 I 散点图

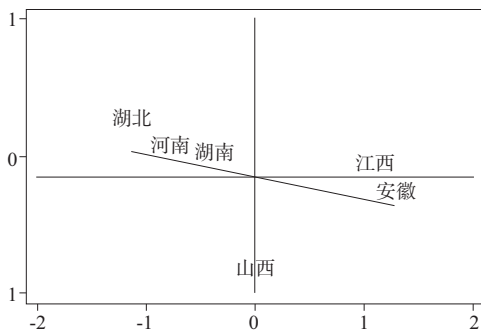


图5 2016年中六省交通运输业全要素碳排放效率  
全局莫兰指数 I 散点图

由图5可知:2016年,江西分布在第一象限,为高一高局部自相关空间关系集群;湖北、湖南、河南分布在第二象限,为低一高局部自相关空间关系集群;安徽、山西分布在第四象限,为高一低局部自相关空间关系集群。

综合图4、图5可知:随着时间的推移,各省交通运输业全要素碳排放效率的空间相关关系发生显著变化。山西、江西的交通运输业发展存在一定的正向拉动作用,呈现高一高发展的良性循环,其余省份处于第二、四象限,全要素碳排放效率呈现负相关关系。整体来看,各省交通运输业发展缺乏联动性,未能形成全局性的“高效率省带动周边省高效发展”的良性互动,这也是未来发展中急需解决的问题。

### 3 结论与建议

构建 Super-SBM-ML 指数模型测度中部六省交通运输业全要素碳排放效率,并对其演变特征进行分析,得到如下主要结论:1) 中部六省交通运输业全要素碳排放效率平均值为 0.97,处于无效率状态,有待提高;各省交通运输业在发展过程中更多关注所创造的周转量增长,对其造成的环境污染的关注力度不够,造成整体效率低下,交通运输业发展

处于粗放、低水平、低质量阶段。2) 中部六省交通运输业全要素碳排放效率的 ML 指数上升 4.99%,纯技术效率和规模效率处于下降趋势,技术进步率处于上升趋势,技术进步是提升中部六省交通运输业整体全要素碳排放效率的重要因素。3) 中部六省交通运输业全要素碳排放效率的全局莫兰指数均为负值,呈现较弱的负相关性,除山西、江西处于全局莫兰指数散点图第一象限外,其余省大多处于第二、四象限,各省交通运输业发展缺乏联动性,尚未形成全局性的“高效率省带动周边省高效发展”的良性互动。

现阶段中部六省交通运输业全要素碳排放效率仍有进一步提升的空间,中部六省交通运输业绿色发展应加强区域联动,重点关注交通运输技术水平有效提升,以技术进步驱动交通运输业低碳发展。建议如下:1) 提升交通运输信息技术水平,打造中部六省交通运输信息平台,增强信息的交互性与共享性,提高运输效率。2) 促进低碳技术开发和应用,加快专业化、标准化及新能源、清洁能源载运工具等运输装备制造及充电、加气设施设备制造的技术进步。3) 鼓励企业引进、培育高水平交通运输技术人才,提高交通运输业人力资本水平等知识型“软技术”。4) 合理配置交通基础设施建设,加强区域联动发展;加强技术交流合作,促进先进的节能减排技术向相对落后地区转移。

### 参考文献:

- [1] 韩一杰,刘秀丽.基于超效率 DEA 模型的中国各地区钢铁行业能源效率及节能减排潜力分析[J].系统科学与数学,2011,31(3).
- [2] Yongrok Choi, Ning Zhang, P Zhou. Efficiency and abatement costs of energy-related CO<sub>2</sub> emissions in China: A slacks-based efficiency measure[J]. Applied Energy, 2012, 98.
- [3] 宋震,丛林.环境约束下中国交通运输业能源效率研究[J].交通运输系统工程与信息,2016,16(4).
- [4] 袁长伟,张帅,焦萍,等.中国省域交通运输全要素碳排放效率时空变化及影响因素研究[J].资源科学,2017, 39(4).
- [5] 王腾,梁晶.基于非期望产出超效率 SBM 模型的港口能源效率评价[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2018,42(4).
- [6] 王白雪,郭琨.北京市公共交通碳排放效率研究:基于超效率 SBM 模型和 ML 指数[J].系统科学与数学,

(下转第 24 页)

伴。最后,从应对未来产业链调整的潜在需要来看,未来随着江苏生产制造业核心元件、东南亚(如越南)承担组装功能,江苏往东南亚的运输需求将逐步增长。因此,拓展加密至东南亚、日韩等亚洲地区的近洋航线,是满足江苏省现状和未来外贸需求的重要支撑。

#### 4.3 强化互联互通,完善一体化网络建设

打造“轨道上的江苏”,支撑长三角城市群建设。主要是依托国家高速铁路主通道,加快跨省铁路建设,构筑城市群铁路主骨架,加快区域城际铁路网建设,推进都市圈城际铁路网一体化衔接,建成多层次、一体化轨道交通网。进一步完善国家高铁主通道,加快推进国家“八纵八横”高铁主通道在江苏境内的建设,加强长三角城市群的通道联系;加快区域城际铁路网建设,依托国家高铁主通道,构建与长三角城市群其他城市便捷联系的铁路网,加强与国家高铁主通道的一体化衔接;加强多层次轨道网融合,推动长三角轨道交通化运行。

完善公路干线网络。以国家高速公路扩容、提升公路通达能力和加强省际公路衔接、打通断头路为重点,加快推进省际高速公路网络建设,提升重要省际高速公路通道能力,推进省际普通国省干线互联互通。

发挥水运优势,加快建设省际骨干航道。主要是全面完善“两纵五横”骨干航道建设,提升内河航道通江达海能力,完善区域高等级航道网络形态。

## 5 结语

长三角区域一体化江苏交通发展围绕两个“聚焦”展开。一是聚焦交通先行,把握长三角区域一体

化发展上升为国家战略给江苏带来的机遇,以交通先行激活江苏发展潜力;二是聚焦一体化,把握建设综合交通运输体系的工作要求,以城市群、都市圈交通运输一体化来支撑和助推省域、长三角、全国区际交通运输一体化,推动江苏交通实现更高层次开放互联、更高质量协同发展、更高水平示范引领,满足长三角区域产业链的运输需求和多中心城市群的交通需求,为建设具有全球影响力和带动力的强劲活跃增长极做出贡献。

#### 参考文献:

- [1] 习近平.共建创新包容的开放型世界经济:习近平在首届中国国际进口博览会开幕式上的主旨演讲[EB/OL].[http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5343724.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5343724.htm),2018-11-05.
- [2] 国家发改委.长江三角洲城市群发展规划[EB/OL].[http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5343724.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5343724.htm),2018-06-01.
- [3] 毛琼.长三角地区交通一体化研究[D].上海:上海海事大学,2005.
- [4] 孔令刚,吴寅恺,陈清萍.长三角高质量一体化发展论坛综述[J].区域经济评论,2019(5).
- [5] 雷思途,张矢宇,韦文景,等.中国交通运输业发展区域分布特征与聚类分析[J].公路与汽运,2019(4).
- [6] 陈小桐,缪玉玲,凌跃初,等.适应长江三角洲区域一体化发展的江苏公路交通[J].上海公路,2003(3).
- [7] 谭小平,徐杏.长三角区域经济一体化的态势及运输市场一体化的思考[J].公路运输文摘,2004(6).
- [8] 刘明河.一体化交通运输体系与区域经济发展的关系[J].经贸实践,2016(18).

收稿日期:2019-10-21

(上接第20页)

2018,38(4).

- [7] 冯新宇.基于SBM模型与ML指数的建筑业碳排放效率及其影响因素研究[D].西安:长安大学,2018.
- [8] 吴传清,董旭.环境约束下长江经济带全要素能源效率的时空分异研究:基于超效率DEA模型和ML指数法[J].长江流域资源与环境,2015,24(10).
- [9] Kaoru Tone. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2001,130(3).
- [10] Chung Y H, Färe R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function

approach[J].Journal of Environmental Management, 1997,51(3).

- [11] 王维国,马越越.中国区域物流产业效率[J].系统工程,2012(3).
- [12] 喻洁,达亚彬,欧阳斌.基于LMDI分解方法的中国交通运输行业碳排放变化分析[J].中国公路学报,2015,28(10).
- [13] Anselin L. Spatial econometrics: Methods and models [M]. Boston: Kluwer Academic, 1988.
- [14] 兰梓睿,张宏武.中国交通运输业碳排放效率的省际差异研究[J].物流技术,2014(7).

收稿日期:2020-01-10