

# 我国铁路运输业碳排放效率与影响因素分析

于克美, 武剑红, 李红昌

(北京交通大学经济管理学院, 北京 100044)

**摘要:**在我国节能减排、绿色交通和交通强国背景下,本文以18个铁路局集团有限公司为研究对象,基于非期望产出DEA模型、Tobit模型以及Bootstrap模型,建立铁路碳排放效率的经济计量模型。模型以最大化铁路期望产出并最小化非期望产出为目标函数,依据线性规划方法求解。本文研究结果表明,铁路局集团有限公司碳排放效率表现出地区差异性,基尼系数从0.27下降到0.14,且这种差异性在逐年缩小,表明铁路产业总体碳排放效率呈现递增态势。2010年后,DEA有效的公司数量由3个增加到5个,分别是太原铁路局集团有限公司、济南铁局集团有限公司、广铁局集团有限公司、呼和浩特铁路局集团有限公司与兰州铁路局集团有限公司。通过第二阶段的计量模型测算得到以下结论:在现阶段的综合交通网络中,高速铁路与民航和公路运输方式间的竞争效应大于其合作效应;高速铁路与碳排放效率呈现出倒“U”型,高速铁路有其最优规模区间,从而更有效地提高铁路产业碳排放效率。

**关键词:**铁路;碳排放效率;基尼系数;高速铁路

**中图分类号:**F532.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)11—0070—08

随着工业化、城市化的发展,环境污染、能源紧缺以及引发的全球气候变暖现象成为我们目前亟需解决的难题。根据国际能源署的统计数据,中国二氧化碳排放量在2005年超过世界其他国家,并且在2015年的二氧化碳排放量达90.8亿吨,其中交通部门产生的二氧化碳占比9.3%。在众多二氧化碳供给的行业中,交通运输业的碳排放数量仅次于工业与能源领域,排名第三<sup>[1]</sup>。Li等<sup>[2]</sup>认为中国交通行业的碳排放将来能够占总碳排放量的30%~40%,与北美和欧洲国家目前的比例相似。巴黎协定规定协议的缔结方在2020年后应该主动参与该活动,将全球气温的平均增加值控制在2℃以内,据此,中国政府承诺到2030年单位GDP二氧化碳排放比2005年下降60%左右<sup>[3]</sup>。因此,有必要大力发展低碳交通,为社会的可持续发展进行考虑。

在交通运输市场中,主要的交通运输方式包括公路、铁路、民航、水运与管道运输5种。其中,以2008年数据为例,5种交通方式碳排放量各自占整个交通行业的总排放量约52.3%、15%、11.7%、18.5%、2.5%<sup>[4]</sup>。相比之下,铁路是一种相对环保低碳的运输方式,公路运输产生的二氧化碳量在整个交通运输业中占比最高。从货物运输来看,公路与铁路近5年来的货运周转量都呈现出增长的趋势,但是铁路货运周转量的平均增长率(1.6%)却不及公路(5.8%)。在此之后,国务院在2018年印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》政策,明确指出通过调整铁路货运比例来改善空气质量,减少污染。

在过去的10多年中,我国快速发展高速铁路网络,到2018年底,我国铁路营业里程超13万公里,其中高速铁路达3.1万公里。铁路是促进经济增长的重要基础设施,完善的铁路网使得货物、人员、信息、要素等能够便捷、快速的交流,尤其是高速铁路的出现,其可达性对经济增长产生重要的作用<sup>[5-8]</sup>。高速铁路的出现会产生两种不同的效应:一方面,高速铁路提高了可达性,进而转移了部分普通铁路或其他运输方式的客流量,会使得交通的碳排放量减少;另一方面,高速铁路的出现能够诱增新客流,即使没有新客流增加的情况下,高速度带来的高能耗会增加二氧化碳的排放。但是高速铁路对铁路碳排放效率的研究却是很少。目前国外铁路效率分析研究相对比较成熟,多集中技术效率或者运营效率<sup>[9-10]</sup>,但是很少有文献以中国铁路为研究对象,分析其碳排放效率变化与主要的影响因素。本文基于中国18个铁路局集团有限公司2006—2014年的数据,计算铁路碳排放效率以及主要因素对其影响的关系。

**收稿日期:**2020—04—28

**作者简介:**于克美(1992—),女,山东潍坊人,北京交通大学经济管理学院博士研究生,研究方向:运输经济;武剑红(1963—),男,河北饶阳人,博士,北京交通大学经济管理学院教授,研究方向:运输经济;李红昌(1973—),男,河北邯郸人,博士,北京交通大学经济管理学院教授,研究方向:运输经济。

## 一、文献综述

交通碳排放是关系到全球气候变化的重要问题,国外最早进行研究的是美国劳伦斯伯克利国家实验室,国内首先进行研究的是原国家计委宏观经济研究院能源研究所<sup>[11]</sup>。现在越来越多的学者对交通部门的碳排放进行研究<sup>[11-12]</sup>。李琳娜和Loo<sup>[13]</sup>对客运交通市场的碳排放进行计量与分析,发现公路是碳排放最多的交通方式,再次是民航,而铁路与水运的碳排放量最少。Li等<sup>[3]</sup>采用协整与误差修正模型研究了各种交通方式在短期与长期条件下对碳排放的关系,发现公路、民航以及水运设施的扩张在长期中会增加二氧化碳的排放,铁路设施在短期中也使得碳排放增加,但是在长期中能够使碳排放量减少。也有学者以单一交通运输方式进行碳排放的分析,如以武广高铁为例,指出每公里高铁比普铁每年减排二氧化碳2190.55吨<sup>[14]</sup>。

除了关注于碳排放的总量外,很多学者还研究碳排放的效率。碳排放效率计算最为简单的方法是将单位GDP的碳排放量取倒数<sup>[15]</sup>,但是绩效评价应用最广的计算方法还是非参数DEA方法<sup>[16-17]</sup>。除此之外,参数方法也是计算碳排放的另一个常见方法,雷玉桃和杨娟<sup>[18]</sup>采用SFA模型对我国1996—2011年间的碳排放效率进行衡量,发现总体效率处于上升的阶段,但是在效率的空间差异性却越来越大。目前关于碳排放效率影响因素分析方法主要有空间计量回归、迪氏对数指数分析(LMDI)方法、Laspeyres完全分解法、STIRPAT模型、面板向量自回归等。张宏钧等<sup>[19]</sup>选择公路与铁路两种方式,通过因素分解的方式发现周转量、人均GDP以及能源强度是主要的影响因素。王少剑和黄永源<sup>[20]</sup>对中国283个城市运用空间自相关、面板分位数回归等多种方法,分析碳排放的空间溢出效应与影响因素。主要的研究结论表明在低强度碳排放的城市,经济增长、技术进步以及人口密度起到重要的减排作用,但是在高强度碳排放的城市,技术进步则没有影响,人口密度有减排影响。Timilsina和Ashish<sup>[21]</sup>采用LMDI分解的方法把拉美国家的碳排放影响因素分解为与燃料混合、模态转换和经济增长以及排放系数和运输能量强度变化相关的成分。陈占明等<sup>[22]</sup>对传统的STIRPAT模型进行改进后应用于我国的地级市碳排放研究,发现人口规模、产业结构以及采暖需求与城市二氧化碳量呈现正向关系,城市化率对碳排放量的关系不确定。

从上面的国内外研究综述中可以看出,论文多是以省域或者市域数据进行分析某种(或者几种)交通方式碳排放效率<sup>[23-25]</sup>,从中国铁路集团有限公司下属的铁路局集团有限公司角度进行铁路碳排放效率的研究却相对较少。

## 二、铁路碳排放效率的估计与数据

### (一)非期望产出DEA模型

铁路运输活动涉及多投入、多产出,运用非参数DEA模型对碳排放效率评价是较为合适的方法。传统的DEA模型包括CCR和BCC两种基本模型,两者的区别在于规模报酬变化的情况。若是规模报酬不变,那么该效率模型被称为CCR模型,在规模报酬可变情况进行计算的效率模型被称为BCC模型。

传统的DEA模型的思想是要求用最少的投入,生产尽可能多的产出。但是在现实生活中,生产过程往往伴随着一定的不好的产出,如废气、废水等。如果生产过程中存在这样非期望的产出,那么再应用传统的DEA模型进行求解就不合适了。这时,需求考虑扩展的DEA模型。

假设有 $m$ 个决策单元DMU,第 $j$ 个决策单元为 $DMU_j(j=1,2,\dots,m)$ ,每个决策单元采用 $n$ 种投入生产出 $s$ 种期望产出, $k$ 种非期望产出,记 $x_{ij}$ 、 $y_{rj}$ 、 $z_{kj}$ 为第 $j$ 个决策单元的第 $i$ 种投入、第 $r$ 种期望产出以及第 $k$ 种非期望产出,则有

$$\begin{aligned}x_j &= (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}) \\y_j &= (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}) \\z_j &= (z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{kj})\end{aligned}$$

则含有非期望产出的生产可能集为

$$T_C = \left\{ (x, y, z) \mid \sum_{j=1}^m \lambda_j x_j \geq x, \sum_{j=1}^m \lambda_j y_j \geq y, \sum_{j=1}^m \lambda_j z_j \leq z, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (1)$$

那么在期望产出不减少的情况下,使得投入与非期望产出尽可能最小,那么该约束条件下的目标函数为

$$\min \left\{ (\theta + \alpha) - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^n s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{t=1}^k s_t^- \right) \right\}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^m \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{i0} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\ \sum_{j=1}^m \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \quad (r = 1, 2, \dots, s) \\ \sum_{j=1}^m \lambda_j z_{tj} + s_t^- = \alpha z_{t0} \quad (t = 1, 2, \dots, k) \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+, s_t^- \geq 0, \quad (j = 1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (2)$$

其中： $\theta$ 、 $\alpha$ 、 $\lambda$  表示要求解的参数； $s_i^-$ 、 $s_r^+$ 、 $s_t^-$  表示松弛变量。

### (二) 基尼系数

在经济学中,基尼系数最初用来刻画人们收入水平的差异情况。其范围为 0~1,越是接近 0,差异水平就越低,越是接近于 1,差异水平就越大。本文则是用基尼系数指标来描述铁路集团公司间碳排放效率的差异程度。其计算公式如式(3)所示:

$$G = \frac{2 \sum_{i=1}^n ix_i}{n^2 C_x} - \frac{n+1}{n} \quad (3)$$

其中: $G$ 表示基尼系数; $n$ 表示铁路局集团有限公司的数量; $x_i$ 表示铁路局集团有限公司的碳排放效率,符号*i*是按照铁路集团公司碳排放效率的大小进行排序的; $C_x$ 表示碳排放效率的平均值。

### (三) 数据说明

本文选择 2006—2014 年中国铁路下属的 18 个铁路局集团有限公司(原铁路局)为研究对象。DEA 模型通常的投入变量有劳动、资本,在铁路运输中,由于消耗大量的燃料,因而本文的投入变量中加入能源变量。具体来说,劳动变量用铁路从业人员数量表示;资本变量用固定资产投资的存量表示,但是该变量在研究时间窗口中有所缺失,考虑到铁路固定资产投资主要用于移动设备和线网投资,本文决定用客车车辆数量、货车车辆数量、铁路线网营业里程来表示;铁路运输中涉及的能源包括电力、石油、煤炭等多种燃料,为了方便计算,本文根据相应的折算标准将消耗的能源折算为标准煤数量。产出变量中的期望产出变量用客运周转量、货运周转量来表示。非期望产出则是用二氧化碳排放量来表示。

目前关于二氧化碳排放量的数据无法直接获得,都是通过间接的计算公式计算而来,其公式为

$$E_{CO_2} = fE \times \frac{44}{12} \quad (4)$$

其中: $E_{CO_2}$ 表示二氧化碳的排放量; $E$ 表示折标煤的消耗量; $f$ 表示折标煤的碳排放系数。

根据日本能源经济研究所的参考值,本文  $f = 0.68$ , 剩余所有的数据都来源于《中国铁路统计资料汇编》。变量的描述性统计分析见表 1。

表 1 投入产出变量的描述性分析

变量名称	观察值	平均值	标准偏差	最小值	最大值
客车数量(辆)	180	2743.533	1468.117	463	7076
货车数量(辆)	1802	40731.82	19272.93	3714	90617
从业人员数(人)	180	104505.3	63714.99	17682	480111
折标煤(吨)	180	1067548	865433.3	159750	5075281
营业里程(公里)	180	4050.293	2098.493	1405.1	11204
客运周转量(百万人公里)	180	80259.2	79679.54	4721	406814
货运周转量(百万吨公里)	180	119306.1	82084.49	2835	467773
二氧化碳量(吨)	180	2783495	2198873	398672.1	1.27×10 <sup>7</sup>

## 三、碳排放效率估计

表 2 总结了我国 18 个铁路局集团有限公司碳排放效率结果,并根据其平均效率值进行排序,具体见表 2 的第 2 列。广铁铁路局集团有限公司、济南铁路局集团有限公司、太原铁路局集团有限公司三者的碳排放效

率并列第一,而青藏铁路局集团有限公司、乌鲁木齐铁路局集团有限公司以及哈尔滨铁路局集团有限公司位居后三名。到2010年后,DEA有效的公司数量增加到5个,新增呼和浩特铁路局集团有限公司与兰州铁路局集团有限公司。

可以看出,铁路局集团有限公司间碳排放效率的空间差异是比较明显的。太原铁路局集团有限公司位于铁路交通网络的中部,连接几个重要的铁路走廊。其次,它所管辖区域,山西省具有丰富的煤炭资源,需要通过铁路运输到其他省市。广铁铁路局集团有限公司服务于珠江三角洲地区,经济、人员交流频繁。哈尔滨与青藏铁路局集团有限公司所管辖区域地理位置与天气条件较差,因而投入与运营成本等较高,需求产出较低<sup>[26]</sup>。碳排放效率与外部环境间的详细关系将在下文进行检验。

从时间角度来看,2006—2014年我国铁路局集团有限公司的碳排放平均效率在0.64~0.81。基尼系数(图1)大致呈现水平的S形状,说明碳排放效率差异随时间在缩小。所有的碳排放效率结果均是采用DEA Slover Pro5软件计算得出。

表2 18个铁路集团公司2006—2014年碳排放效率

铁路局	排序	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
北京局	7	0.87	0.71	0.63	0.76	0.78	0.83	0.78	0.82	0.87
成都局	4	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.69	0.71	0.77
广铁公司	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
哈尔滨局	15	0.29	0.21	0.22	0.29	0.33	0.36	0.25	0.29	0.29
呼和浩特局	5	1.00	0.23	0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
济南局	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
昆明局	12	0.51	0.44	0.44	0.45	0.46	0.48	0.47	0.49	0.51
兰州局	3	1.00	1.00	0.51	0.72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
南昌局	10	0.83	0.60	0.61	0.72	0.74	0.75	0.73	0.73	0.83
南宁局	8	0.76	1.00	0.64	0.75	0.74	1.00	0.64	0.65	0.76
青藏铁路公司	13	0.43	0.26	0.20	0.33	0.37	0.42	0.34	0.42	0.43
上海局	9	0.84	0.63	0.63	0.79	0.75	0.75	0.75	0.78	0.84
沈阳局	11	0.68	0.38	0.39	0.54	0.58	0.68	0.52	0.61	0.68
太原局	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
乌鲁木齐局	14	0.69	0.30	0.29	0.29	0.43	0.50	0.40	0.55	0.69
武汉局	6	1.00	1.00	0.74	0.71	0.72	0.76	0.75	0.83	1.00
西安局	7	0.93	0.53	0.77	0.76	0.72	0.81	0.80	0.80	0.93
郑州局	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	1.00	1.00

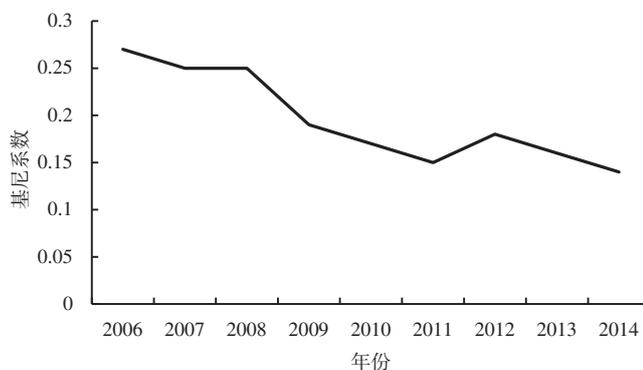


图1 铁路集团公司基尼系数变化图

## 四、碳排放效率影响因素分析

### (一)回归模型介绍

将上文估计的碳排放效率作为被解释变量,与几个解释变量进行回归,包括社会经济因素、市场竞争因素等外部因素以及铁路内部因素。回归分析能够更清晰明了地识别铁路碳排放效率的主要影响因素,为以后铁路行业的减排工作提供一定的帮助。

根据以往的文献,铁路碳排放量被分解为人均GDP、人口、能源结构与能耗强度等。因而本文将选择内燃机车数量与电力机车数量的比值来表示铁路的能源结构变化,雷玉桃和杨娟<sup>[18]</sup>指出在1991年之前,铁路的运输80%主要依靠燃煤机车,在2010年该数值下降到26%,并发现碳排放从之前的正负交替效应转变为负效应。

高速铁路是我国铁路近十几年来出现的重要创新成果,短短的十几年,高速铁路网络四通八达,其从安全、速度、以及环境污染上较之前普通列车有明显的差异,对铁路碳排放效率有正向的影响。但是Wu等<sup>[27]</sup>认为我国“被高铁”现象较为严重,高速铁路的运力不能有效地被利用,在长期中大规模修建高铁将使得其碳排放效率下降。本文为验证高速铁路与碳排放效率之间是否存在“倒U型”关系,在回归方程中引入高速铁路的营业里程变量以及该变量的平方项。

在社会经济因素中,本文选择采用GDP、人口以及产业结构变量。GDP和人口数值越大的地区,区域间人流以及货流的交流就愈频繁<sup>[28]</sup>,张宏钧等<sup>[19]</sup>也指出GDP是铁路换算周转量增加的主要原因,进而是减少碳排放的有效途径。还有的学者认为在GDP发达的地区,其技术以及观念等较落后的地区存在一定的先进

性,也会有利于减少二氧化碳的排放。魏梅等<sup>[29]</sup>采用误差修正的模型得到产业结构与碳排放效率两者之间存在负向的关系,本文将采用第二产业占比表示产业结构来验证该结论在铁路行业是否成立。

此外,高铁和民航在客运市场中存在激烈的方式间竞争<sup>[30]</sup>,所以本文在回归模型中考虑民航的换算周转量来代表高铁与民航间的竞争。公路在货运市场与铁路存在同样激烈的竞争,公路运输货物比较灵活,能够解决“最后一公里的问题”,因而为研究公路与铁路的竞争问题,本文将回归中加入公路的换算周转量。

根据上面的分析,本文建立的回归函数如式(5)所示:

$$eff_{it} = a_0 + \alpha \ln GDP_{it} + \beta \ln POP_{it} + \gamma \ln structure_{it} + \delta \ln vehicle_{it} + \eta \ln HSR_{it} + \theta \ln HSR_{it}^2 + \lambda \ln air_{it} + \pi \ln road_{it} + a_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中: $eff_{it}$ 表示铁路局集团有限公司*i*在第*t*年的碳排放效率值; $GDP_{it}$ 表示铁路局集团有限公司*i*所管辖的省份<sup>①</sup>在第*t*年的国内生产总值; $POP_{it}$ 表示铁路局集团有限公司*i*所管辖的省份在第*t*年的人口总数; $structure_{it}$ 表示铁路局集团有限公司*i*所管辖的省份在第*t*年的第二产业占比; $vehicle_{it}$ 表示铁路局集团有限公司*i*在第*t*年的内燃机车与电力机车的比例; $HSR_{it}$ 表示铁路局集团有限公司*i*所管辖的省份在第*t*年的高速铁路营业里程; $HSR_{it}^2$ 表示铁路局集团有限公司*i*所管辖的省份在第*t*年的高速铁路营业里程的平方项; $air_{it}$ 表示铁路局集团有限公司*i*所管辖的省份在第*t*年的民航换算周转量; $road_{it}$ 表示铁路局集团有限公司*i*所管辖的省份在第*t*年的公路换算周转量; $a_i$ 表示铁路局集团有限公司*i*的时间固定效应项; $\varepsilon_{it}$ 表示随机误差项。

由于被解释变量为本文所计算的碳排放效率值,属于0~1区间,因而本文采用Tobit模型进行回归。但是Simar和Wilson<sup>[31]</sup>指出直接将DEA的效率值应用于第二阶段回归会导致有偏估计,因而他们提出在第二阶段采用bootstrap方法来得到一致无偏的估计。因而,本文将采用这两种模型进行回归。

为了估计上面的回归公式,本文采用固定效应模型来控制时不变的误差项与解释变量之间的相关性。本文还进行随机效应模型回归来当作稳健性检验。在本文的研究中,需注意铁路碳排放效率与铁路的车辆类型比重是相互依赖的关系,应该考虑内生性问题。回归所需要的解释变量来源于国家统计局网站与《中国铁路统计资料汇编》。对变量进行描述性统计分析,见表3。

### (二)回归结果分析

表4包括了Tobit固定效应回归、随机效应回归以及bootstrap-correction模型、2SLS模型回归结果。从估计系数的大小与符号来看,固定效应与随机效应模型的估计结果是相似的,bootstrap-correction模型、2SLS模型回归结果与两者的估计也大体是一致的。

本文的研究结果表明,铁路的机车类型比重(内燃机车与电力机车的比例)与碳排放效率负相关。显然,内燃机车的碳排放要远大于电力机车的碳排放,若是该变量的比值增大,必然使碳排放量效率下降。随着铁路技术的不断创新与发展,我国铁路的电气化水平不断提高,使得铁路单位公里碳排放量逐步减少。

高速铁路变量系数为正,其平方项系数为负,表明碳排放效率与高速铁路变量之前存在倒“U”型关系:随着高速铁路网的不断扩建,高速铁路对民航以及公路运输的替代性逐步增加,这一运输效应

表3 回归模型的变量描述性统计分析

变量名称	观察值	平均值	标准偏差	最小值	最大值
碳排放效率	162	0.7270589	0.262917	0.152318	1
GDP	162	14388.28	11146.04	469.63	59426.6
人口	162	4526.151	2434.818	416.5	9789
高速铁路营业里程	162	216.0512	320.428	0	1658
第二产业占比	162	48.70623	5.483661	36.9	63.61
内燃机车与电力机车比例	155	26.46373	108.6648	1.140017	607.5
民航换算周转量	162	617450.6	826237.1	5017.37	5384122
公路换算周转量	162	86867.02	71466.25	1300.49	331688.4

表4 碳排放效率影响因素估计结果

变量	固定效应模型	随机效应模型	Bootstrap-correction	工具变量法(2SLS)
	(a)	(b)	(c)	(d)
structure	0.007** (0.045)	0.006* (0.079)	0.003 (0.443)	0.003 (0.307)
lnGDP	-0.054 (0.36)	-0.066 (0.257)	-0.069 (0.510)	-0.039 (0.488)
lnPOP	0.124* (0.072)	0.125* (0.07)	0.317** (0.045)	0.055 (0.415)
lnair	0.007 (0.632)	0.004 (0.759)	0.002 (0.833)	0.009 (0.435)
lnroad	0.115*** (0.001)	0.113*** (0.001)	0.005 (0.958)	0.129*** (0.000)
vehicle	-0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	-0.001 (0.955)	-0.001*** (0.000)
lnHSR	1.453 (0.287)	1.291 (0.343)		0.403 (0.812)
lnHSR <sup>2</sup>	-0.736 (0.281)	-0.652 (0.339)	-0.036** (0.042)	-0.205 (0.809)
trend	0.000	0.022** (0.042)	0.048** (0.095)	0.015 (0.178)
_cons	-1.389*** (0.000)	-1.312*** (0.000)	-0.974*** (0.001)	-1.090*** (0.002)

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著性水平;括号中的数值为相应的p值。

① 在进行回归模型时,由于解释变量是省域层面的数据,因而需要一定的数据转换为铁路局集团有限公司层面的数据,本文参考文献[26]。

使得碳排放量减少<sup>[32]</sup>,但是本文发现当高速铁路营业里程超过某一点时,碳排放效率呈现下降的趋势。高速铁路二等座的运价率是0.45元,远高于普通铁路的运价率。在我国这种收入不均衡的国家,很多人并不能够支付起高速铁路的票价,某些高铁线出现“上座率不高”的现象。大规模的修建高速铁路,使得高速铁路的利用率不是完全有效,一定程度上造成了资源的浪费与错配,所以超过某一点后,高速铁路变量相比之前碳排放效率下降。

产业结构对铁路碳排放效率有显著的影响。但是随着第二产业占比越来越大,其碳排放效率出现增加的现象,这主要是因为第二产业中不同的产业碳排放不同,本文并没有细分碳排放量高与碳排放低的产业。同理,GDP的影响系数是负向的。

关于方式间竞争对铁路碳排放效率的影响,本文发现民航能够提高铁路碳排放效率。铁路对民航,尤其是高速铁路对民航产生激烈的竞争,但是两者提供的服务在中长距离中存在不可替代性<sup>[33]</sup>,在中国未来发展两者间的合作<sup>[34]</sup>。但是从目前的市场份额占比趋势来看<sup>②</sup>,两者之间的竞争程度大于合作程度,因而民航的影响系数为正。同理,公路在短途市场上与铁路存在激烈的竞争,从而使得铁路碳排放效率增加。

## 五、研究结论

环境与碳排放问题越来越受到学者与工作部门的关注,政府部门也为减排出台了相关的政策,但是学术界从铁路局集团有限公司角度研究铁路碳排放效率与影响因素的研究比较少。因而,本文采用非期望产出DEA模型与第二阶段的回归来分析18个铁路局集团有限公司的碳排放效率与可能的影响因素。研究发现,2006—2014年铁路局集团有限公司平均碳排放效率在0.64~0.81,且地区间的差异性越来越小,碳排放效率最高的是太原铁路局集团有限公司、济南铁路局集团有限公司、广铁局集团有限公司、呼和浩特铁路局集团有限公司与兰州铁路局集团有限公司。

研究结果进一步表明,市场竞争能够提高铁路的碳排放效率,对于这种方式间的竞争方法,政府应该大力支持。竞争能够促进产品创新、服务升级,对于消费者的剩余有积极的影响。公路是交通运输方式中碳排放量最高的运输方式,铁路产业应该优化其货运体系,衔接好“最后一公里”的问题,加大公路货物向铁路的转移比例。铁路产业中机车类型比重从侧面反映了其能源结构的变化,通过调整能源结构能够有效的提高碳排放效率。高速铁路与碳排放效率之间存在着倒“U”型关系,表明在一定里程范围内高速铁路确实能够提高碳排放的效率,但是超过某一点后,对碳排放效率无益。这主要是大规模修建高速铁路,使得资源造成浪费,并没有完成相应的有效产出。外部环境对铁路碳排放效率也有重要的影响,应该调整合理的产业结构,转换经济增长动力,减少碳排放。

本文有以下几点局限性。第一,本文在计算碳排放效率时,没有区分客运与货运。两种类型的运输所需要的资源与条件相差较大,影响计算的碳排放效率值。第二,由于铁路数据的可获得性,本文的时间窗口相对陈旧,在以后的研究中尽可能地拓宽时间窗格。

## 参考文献

- [1] 杜强,孙强,杨琦,等.中国交通运输业碳排放驱动因素的通径分析方法[J].交通运输工程学报,2017(2):143-150.
- [2] LI X, FAN Y, WU L. CO<sub>2</sub> emissions and expansion of railway, road, airline and in-land waterway networks over the 1985-2013 period in China: A time series analysis[J]. Transportation Research Part D Transport & Environment, 2017, 57: 130-140.
- [3] GRUBB M, SHA F, SPENCER T, et al. A review of Chinese CO<sub>2</sub> emission projections to 2030: the role of economic structure and policy[J]. Climate Policy, 2015(1): 7-39.
- [4] 解天荣,王静.交通运输业碳排放量比较研究[J].综合运输,2011(8):20-24.
- [5] GUTIERREZ J. Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border[J]. Journal of Transport Geography, 2001(9): 229-242.
- [6] WANG J, JIN F, MO H, et al. Spatiotemporal evolution of China's railway network in the 20th century: an accessibility approach[J]. Transportation Research Part A, 2009(43): 765-778.
- [7] WILLIGERS J, WEEM B. High-speed rail and office location choices: A stated choice experiment for the Netherlands[J]. Journal of Transport Geography, 2011(19): 745-754.
- [8] HAN J, HAYASHI Y, PENG J, et al. Economic effect of high-speed rail: empirical analysis of Shinkansen's impact on

② 民航与铁路市场份额用各自周转量占总运输市场周转量的比例表示,数据来自国家统计局。

- industrial location[J]. *Journal of Transport Engineering*, 2012(138): 1551-1557.
- [ 9 ] NICHOLSON G L, KIRKWOOD D, ROBERTS C, et al. Benchmarking and evaluation of railway operations performance [J]. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2015, 5(4): 274-293.
- [10] YU M M. Assessing the technical efficiency, service effectiveness and technical effectiveness of the world's railways through NDEA analysis[J]. *Transportation Research Part A*, 2008(42): 1283-1294.
- [11] 朱长征. 基于协整分析的我国交通运输业碳排放影响因素研究[J]. *公路交通科技*, 2015, 32(1): 153-158.
- [12] HE D, LIU H, HE K, et al. Energy use of, and CO<sub>2</sub> emissions from China's urban passenger transportation sector-carbon mitigation scenarios upon the transportation mode choices[J]. *Transport Research Part A: Policy and Practice*, 2013: 53-67.
- [13] 李琳娜, LOO B. 中国客运交通的碳排放地理特征与展望[J]. *地理研究*, 2016, 35(7): 1230-1242.
- [14] 张汉斌. 我国高速铁路的低碳比较优势研究[J]. *宏观经济研究*, 2011(7): 17-19.
- [15] 王鑫静, 程钰, 丁立, 等. “一带一路”沿线国家科技创新对碳排放效率的影响机制研究[J]. *软科学*, 2019, 33(6): 72-78.
- [16] 肖建, 郑力. DEA在车辆段仓储绩效评价与改善中的应用[J]. *铁道学报*, 2008, 30(3): 14-18.
- [17] 祝凌曦, 肖雪梅, 李玮, 等. 基于改进DEA法的铁路应急预案编制绩效评价方法研究[J]. *铁道学报*, 2011, 33(4): 1-6.
- [18] 雷玉桃, 杨娟. 基于SFA方法的碳排放效率区域差异化与协调机制研究[J]. *经济理论与经济管理*, 2014(7): 13-22.
- [19] 张宏钧, 王利宁, 陈文颖. 公路与铁路交通碳排放影响因素[J]. *清华大学学报(自然科学版)*: 2017(4): 110-115.
- [20] 王少剑, 黄永源. 中国城市碳排放强度的空间溢出效应及驱动因素[J]. *地理学报*, 2019, 74(6): 1131-1148.
- [21] TIMILSINA G R, ASHISH S. Factors affecting transport sector CO<sub>2</sub> emissions growth in Latin American and Caribbean countries: An LMDI decomposition analysis[J]. *International Journal of Energy Research*, 2009, 33(4): 396-414.
- [22] 陈占明, 徐丽笑, 赵晶, 等. 中国地级以上城市二氧化碳排放的影响因素分析: 基于扩展的STIRPAT模型[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(10): 48-57.
- [23] ALSHEHRY A S, BELLOUMI M. Study of the environmental Kuznets curve for transport carbon dioxide emissions in Saudi Arabia[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017(75): 1339-1347.
- [24] 张陶新, 曾熬志. 中国交通碳排放空间计量分析[J]. *城市发展研究*, 2013, 20(10): 14-20.
- [25] 徐昔保, 陈爽, 杨桂山. 长三角地区城市居民出行交通碳排放特征与影响机理[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(8): 1064-1071.
- [26] LI H, YU K, WANG K, et al. Railway monopoly and its determinants in Chinese railway industry [J]. *Transportation Research Part A*, 2019, 120: 261-276.
- [27] WU J, NASH C, WANG D. Is high speed rail an appropriate solution to China's rail capacity problems [J]. *Journal of Transport Geography*, 2014(40): 100-111.
- [28] LV Q, LIU H, YANG D, et al. Effects of urbanization on freight transport carbon emissions in China: Common characteristics and regional disparity[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019(211): 481-489.
- [29] 魏梅, 曹明福, 江金荣. 生产中碳排放效率长期决定及其收敛性分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2010(9): 43-52.
- [30] WANG K, XIA W, ZHANG A, et al. Effects of train speed on airline demand and price: theory and empirical evidence from a natural experiment[J]. *Transport Research Part B: Methodology*, 2018(114): 99-130.
- [31] SIMAR L, WILSON P W. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes [J]. *Journal of Econometrics*, 2007, 136(1): 31-64.
- [32] LI H, STRAUSS J, LIU L. A panel investigation of High-Speed Rail(HSR) and urban transport on China's carbon footprint [J]. *Sustainability*, 2019, 11(7): 1-24.
- [33] FU X, ZHANG A, LEI Z. Will China's airline industry survive the entry of high speed rail[J]. *Research in Transportation Economics*, 2012, 35(1): 13-25.
- [34] JIANG C, ZHANG A. Effects of high-speed rail and airline cooperation under hub airport capacity constraint[J]. *Transport Research Part B: Methodology*, 2014(60): 33-49.

(下转第 86 页)

(5): 29-43, 198.

- [21] BALLI H, SORENSEN B. Interaction effects in econometrics[J]. *Empirical Economics*, 2013, 45(1): 583-603.
- [22] HAUSMANN R, HWANG J, RODRIK D. What you export matters[J]. *Journal of Economic Growth*, 2007, 12(1): 1-25.
- [23] ASSCHE A, GANGNES B. Electronics production upgrading: is China exceptional? [J]. *Applied Financial Economics Letters*, 2010, 17(4-6): 477-482.
- [24] 孟猛. 中国在国际分工中的地位: 基于出口最终品全部技术含量与国内技术含量的跨国比较[J]. *世界经济研究*, 2012(3): 19-23, 54.

## Financial Support, R&D Innovation and Export Complexity: Analysis on the Value Chain of China's High Tech Industry

Ling Dan, Zou Mengting

(Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430000, China)

**Abstract:** As China's industrial structure ushered in the historical point of transition and upgrading, the export of high-tech products has become the development direction of China's future foreign trade transactions. There are many factors that affect the export complexity of China's high-tech products, but there are few literatures on the impact of financial support and R&D innovation on the export complexity. Collecting relevant data from 2008 to 2018, a panel model to study the impact of financial support and R&D innovation on export complexity is constructed. The results show as follows. Financial support, R&D innovation and their interaction variables all show a positive correlation with export complexity. In different regions of China, financial support and R&D innovation are positively related to export complexity, but the impact is different. Financial support can have an indirect impact on export complexity through R&D innovation, but R&D innovation cannot have an indirect impact on export complexity through financial support.

**Keywords:** financial support; R&D innovation; export complexity; high tech industry

(上接第 76 页)

## An Analysis of Carbon Emission Efficiency and Factors of China's Railway Transportation Industry

Yu Kemei, Li Hongchang, Wu Jianhong

(School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Under the background of energy conservation, emission reduction, green transportation and transportation strengthening national power, a regression on railway carbon emission efficiency of 18 Railway Group Companies in China is established based on the theory of undesired output DEA model, Tobit model and bootstrap model. The objective function of the model is to maximize the expected output and minimize the unexpected output. The model is solved by linear programming and other theoretical methods. The results show that the carbon emission efficiency of Railway Group Corporation shows regional differences, and the Gini coefficient decreases from 0.27 to 0.14, indicating regional difference decreases year by year. After 2010, the number of DEA effective companies increased from three to five, namely: Taiyuan Railway Group Company, Jinan Railway Group Company, Guangzhou Railway Group Company, Hohhot Railway Group Company and Lanzhou Railway Group Company. Through the second stage of regression, it finds that in the current transportation network, the competition effect between high-speed railway and civil aviation and highway is greater than its cooperation effect; the efficiency of high-speed railway and carbon emission presents an "inverted U-shaped", that is, the scale of high-speed railway has an efficient scale area which can promote carbon emission efficiency.

**Keywords:** railway; carbon emission efficiency; Gini coefficient; high speed railway