

陕西省交通运输业碳排放影响因素分解研究

袁长伟,李若影,芮晓丽,白娟

(长安大学 经济与管理学院,陕西 西安 710064)

摘要:基于陕西省相关统计数据,计算了2005~2013年陕西省交通运输业以及各种运输方式的碳排放量,通过构建LMDI分解模型,定量分析了运输能源强度、运输结构、交通运输业发展水平对陕西省交通运输业碳排放的影响。研究认为,运输能源强度的提高抑制了陕西省交通运输业碳排放量的增长,运输结构对陕西省交通运输业碳排放量增长的贡献力度不大,陕西省交通运输业发展水平的提高是影响碳排放量增长的主要因素。

关键词:陕西省;交通运输业;碳排放;LMDI分解法

中图分类号:X73

文献标志码:A

文章编号:1671-6248(2016)02-0038-05

二氧化碳的大量排放导致了温室效应的日益严重,全球地表温度上升对人类的生存产生了巨大的威胁。2009年中国在哥本哈根气候会议上做出了到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放量比2005年下降40%~45%的承诺,中国碳减排任务十分艰巨。作为中国国民经济发展的基础产业之一,交通运输业在运输生产和服务过程中要消耗大量的能源,尤其是化石燃料,而化石燃料的燃烧是二氧化碳排放的主要来源。根据IPCC提供的报告显示,交通运输部门是仅次于能源供应和工业生产的第三大温室气体排放部门^[1]。因此,交通运输业是降低碳排放量的重要领域。

因素分解法是研究碳排放相关问题的一种重要的方法。碳排放因素分解法主要有:Divisia分解法(LMDI分解模型算法)、STIRPAT模型、Laspeyres指数法等,其中应用最广泛的要数Divisia分解模型算法体系。徐国泉等给出了具体的LMDI分解模型算法,通过定量分析研究,认为能源效率的提高对中

国人均碳排放具有抑制作用,能源结构的调整对中国人均碳排放的影响作用甚微^[2]。雷厉等通过构建LMDI分解模型算法分析了中国碳排放的区域差异,体现了区域间碳排放影响因素的差异^[3]。魏庆琦等利用LMDI分解模型算法研究了GDP、经济和交通的依存度、能源效率、运输结构等因素对中国交通运输业碳排放的影响^[4]。徐雅楠等采用STIRPAT模型分析研究了人口、人均消费、技术等因素对交通运输业碳排放的影响,并将人口因素进行二次分解,研究不同人群是如何影响交通运输业碳排放的^[5]。张明用Laspeyres完全分解方法研究了中国能源消耗和能源强度的变化特征^[6]。

本论文在测算陕西省交通运输业碳排放量的基础上,通过LMDI分解模型算法的计算结果,分析各因素对陕西省交通运输业碳排放的影响。这对陕西省交通运输业实现碳减排,构建低碳环保交通体系具有一定的理论和现实意义。

收稿日期:2016-01-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51278057);霍英东教育基金会第十五届高等院校青年教师基金资助项目(151075);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(310823151006,310823160103)

作者简介:袁长伟(1981-),男,湖南邵阳人,教授。

一、LMDI 分解模型构建

本论文主要采用 2005 ~ 2013 年陕西省不同运输方式的客、货周转量,运输能源强度,不同能源的碳排放系数等数据。数据来源于历年《陕西省统计年鉴》《中国统计年鉴》等。

本文利用 Divisia 分解法中 LMDI 分解模型对陕西省交通运输业碳排放影响因素进行分析研究,其基本思想是把陕西省交通运输业碳排放量分解成若干影响因素组合的形式,然后计算这些影响因素的贡献值以及贡献率^[7]。通过对 Johan 等提出的碳排放量基本模型进行变形,得交通运输业碳排放量的基本公式为^[8]:

$$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \times \frac{E_{ij}}{T_i} \times \frac{T_i}{T} \times T \quad (1)$$

式中, C 为陕西省交通运输业碳排放总量; C_{ij} 为第 i 种运输方式 j 种能源的碳排放量($i=1,2,3,4$); E_{ij} 为第 i 种运输方式第 j 种能源的消费量; T_i 为第 i 种运输方式的换算周转量; T 为陕西省交通运输业总换算周转量。令 $F_{ij} = \frac{C_{ij}}{E_{ij}}$,将其定义为交通能源碳排放强度因素;令 $I_{ij} = \frac{E_{ij}}{T_i}$,将其定义为交通运输能源强度因素,即单位换算周转量所消耗的能源;令 $S_i = \frac{T_i}{T}$,将其定义为运输结构因素,即某种运输方式的换算周转量占总周转量的比例。

第 t 期相对于基期的碳排放量的变化可表示为^[3]:

$$\begin{aligned} \Delta C &= C^t - C^0 = \sum_{ij} F_{ij}^t \times I_{ij}^t \times S_i^t \times T^t - \\ &\sum_{ij} F_{ij}^0 \times I_{ij}^0 \times S_i^0 \times T^0 = \\ \Delta F_{ij} + \Delta I_{ij} + \Delta S_i + \Delta T + \varepsilon &= \\ \Delta I_{ij} + \Delta S_i + \Delta T + \varepsilon \end{aligned} \quad (2)$$

式中, ΔC 表示碳排放量从基期 0 到第 t 期的变化;能源强度 F_{ij} 为一定值,故 $\Delta F_{ij} = 0$; ΔI_{ij} 表示运输能源强度因素变化对碳排放量的贡献值; ΔS_i 表示运输结构因素变化对碳排放量的贡献值; ΔT 为交通运输业发展水平因素变化对碳排放量的贡献值; ε 为分解余量。

$$D = \frac{C^t}{C^0} = D_l \times D_s \times D_T \times \theta \quad (3)$$

对式(3)两边取对数得:

$$\ln D = \ln D_l + \ln D_s + \ln D_T + \ln \theta \quad (4)$$

式中, D 、 D_l 、 D_s 、 D_T 分别表示碳排放总量、运输能源强度、运输结构、交通运输业发展水平因素对碳排放量的贡献率, θ 为分解余量。利用 LMDI 分解模型算法将式(2)分解如下:

$$\Delta I_{ij} = \sum_{ij} W'_{ij} \times \ln \frac{I_{ij}^t}{I_{ij}^0}; \Delta S_i = \sum_{ij} W'_{ij} \times \ln \frac{S_i^t}{S_i^0} \quad (5)$$

$$\Delta T = \sum_{ij} W'_{ij} \times \ln \frac{T^t}{T^0} \quad (6)$$

其中, $W'_{ij} = \frac{C_{ij}^t - C_{ij}^0}{\ln(C_{ij}^t / C_{ij}^0)}$,那么

$$\alpha = \Delta C - \Delta I_{ij} - \Delta S_i - \Delta T =$$

$$C_{ij}^t - C_{ij}^0 - \sum_{ij} W'_{ij} \times \ln \frac{I_{ij}^t}{I_{ij}^0} - \sum_{ij} W'_{ij} \times$$

$$\ln \frac{S_i^t}{S_i^0} - \sum_{ij} W'_{ij} \times \ln \frac{T^t}{T^0} =$$

$$C_{ij}^t - C_{ij}^0 - \sum_{ij} W'_{ij} (\ln \frac{I_{ij}^t}{I_{ij}^0} + \ln \frac{S_i^t}{S_i^0} + \ln \frac{T^t}{T^0}) =$$

$$C_{ij}^t - C_{ij}^0 - \sum_j W'_j \ln \frac{C_{ij}^t}{C_{ij}^0} =$$

$$C_{ij}^t - C_{ij}^0 - \sum_j (C_{ij}^t - C_{ij}^0) = 0 \quad (7)$$

设式(2)和式(4)对应项成比例,那么

$$\frac{\ln D}{\Delta C} = \frac{\ln D_l}{\Delta I_{ij}} = \frac{\ln D_s}{\Delta S_i} = \frac{\ln D_T}{\Delta T} = \frac{\ln \theta}{\varepsilon} \quad (8)$$

假设 $\frac{0}{0}$ 为任意常数,设 $\frac{\ln D}{\Delta C} = \frac{\ln C_{ij}^t - \ln C_{ij}^0}{C_{ij}^t - C_{ij}^0} = W^{[8]}$,那么

$$D_l = e^{W \times \Delta I_{ij}}; D_s = e^{W \times \Delta S_i};$$

$$D_T = e^{W \times \Delta T}; \theta = 1 \quad (9)$$

其中, e 为自然常数。

二、陕西省交通运输业碳排放因素分解

(一) 陕西省交通运输业碳排放总量分析

本文采用以下公式对陕西省交通运输业碳排放量进行计算:

$$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} F_{ij} \times I_{ij} \times S_i \times T \quad (8)$$

根据国家发展和改革委员会能源研究所发布的《中国可持续发展能源暨碳排放情景分析综合报告》^[9]提供的资料, F_g 的取值如表 1 所示。

表 1 各类能源的碳排放系数 t/tce

能源类型	标煤	柴油	汽油	原煤
碳排放强度	0.670 0	0.592 1	0.553 8	0.755 9

随着科学的发展和进步,不同运输方式的运输能源强度即单位换算周转量消耗的能源会随之发生变化^[9-10]。交通运输结构是指一个国家或者区域交通运输周转总量在不同交通运输方式下的分担^[4]。

表 2 中国交通运输客货周转量换算系数^[6]

公路	铁路	水路	航空
0.100	1.000	0.330	0.072

注:单位为 t·km/人·km。

表 3 交通运输结构

年份	公路客运	公路货运	铁路	水路	航空
2005	0.031 7	0.319 4	0.636 9	0.000 7	0.011 2
2006	0.031 3	0.322 0	0.634 7	0.000 7	0.011 4
2007	0.031 0	0.324 2	0.634 6	0.000 7	0.009 4
2008	0.013 9	0.421 5	0.560 7	0.000 4	0.003 5
2009	0.013 8	0.422 4	0.560 6	0.000 4	0.002 8
2010	0.013 6	0.423 5	0.559 4	0.000 3	0.003 2
2011	0.013 4	0.424 8	0.558 7	0.000 3	0.002 8
2012	0.012 1	0.432 2	0.553 3	0.000 2	0.002 1
2013	0.008 6	0.451 1	0.537 6	0.000 3	0.002 5

表 4 交通运输业发展水平

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
换算周转量	650.66	710.06	786.99	2 146.07	2 443.90	2 824.05	3 459.30	4 036.29	3 735.75

注:单位为 10⁸ t·km。2008 年交通部开展了全国公路水路运输量专项调查,使得统计范围口径发生变化。

表 5 2005~2013 年陕西省交通运输业碳排放总量 t

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
碳排放总量	30 645.025	32 850.376	35 955.776	100 191.856	112 925.427	130 174.767	158 981.569	185 549.729	173 896.537

表 6 2005~2013 年陕西省不同运输方式碳排放量 t

年份	公路客运	公路货运	铁路	水路	航空
2005	2 314.623	13 344.049	13 089.841	1.716	1 894.796
2006	2 407.332	14 819.176	13 579.046	1.014	2 043.808
2007	2 654.394	16 900.422	14 630.233	1.347	1 769.380
2008	3 477.481	60 834.048	34 108.860	2.179	1 769.289
2009	4 008.180	70 484.056	36 893.279	2.124	1 537.788
2010	4 668.443	82 867.520	40 684.747	2.193	1 951.864
2011	5 715.568	103 334.450	47 845.037	2.117	2 084.398
2012	6 156.537	124 444.597	53 175.980	2.103	1 770.512
2013	4 159.895	121 907.278	46 010.005	2.369	1 816.992

(二) 陕西省交通运输业碳排放影响因素分解结果分析

基于 LMDI 分解模型算法,对陕西省交通运输业碳排放模型进行分解。各因素的贡献值和贡献率代表了对陕西省交通运输业碳排放变化的贡献程

度。由于 F_{ij} 为固定值,所以影响陕西省交通运输业碳排放的因素为运输能源强度变化贡献值、运输结构变化贡献值以及交通运输发展水平变化贡献值。对公式进行计算,其结果如表 7 所示。

陕西省交通运输业碳排放总量在不断增加。

表 7 2006 ~ 2013 年陕西省交通运输业碳排放影响因素分解结果

年份	交通运输碳排放量(C)		交通运输能源强度因素(I)		交通运输结构因素(S)		交通运输发展水平因素(T)	
	贡献值	贡献率	贡献值	贡献率	贡献值	贡献率	贡献值	贡献率
2006	2 205.699	1.072	-625.021	0.980	58.445	1.002	2 772.274	1.091
2007	5 314.947	1.173	-808.640	0.976	-197.262	0.994	6 320.849	1.210
2008	70 479.674	3.322	-989.275	0.983	1 406.408	1.024	70 062.541	3.298
2009	83 617.142	3.764	-1 595.480	0.975	1 727.330	1.028	83 485.292	3.756
2010	101 246.321	4.355	-2 059.887	0.971	2 295.227	1.034	101 010.981	4.340
2011	130 823.832	5.356	-2 470.209	0.969	3 046.834	1.040	130 247.206	5.317
2012	158 243.665	6.294	-2 951.117	0.966	4 205.493	1.050	156 989.289	6.203
2013	146 910.471	5.932	-2 891.281	0.965	5 583.082	1.070	144 218.670	5.741

2007 ~ 2008 年增长迅猛,其主要原因是 2008 年交通部开展了全国公路水路运输量专项调查,使得统计范围口径发生变化,统计数据更加健全,随后逐年增加且增长较为平稳,2008 ~ 2012 年的年平均增长率可达到 16.7%,2013 年与 2012 年相比有所下降。造成陕西省交通运输业碳排放总量不断增加的主要原因是该省交通运输业发展水平的不断提高,由于统计口径的改变,从 2008 ~ 2012 年,陕西省交通运输业总换算周转量的年增长率可达到 17.2%。从图 1 中也可以看出,交通运输业发展水平对交通运输业碳排放总量的贡献值不断增大,其绝大部分要归因于公路运输份额的不断提高。其原因一方面是由于技术进步导致航空运输能源强度的下降,另一方面是由于航空运输所占份额下降所导致的。

从表 7 可以看出,运输能源强度对降低陕西省交通运输业碳排放量的贡献值不断增加,随着科学的发展与技术的进步,各种运输方式的技术性能不断提高,导致运输能耗不断降低、运输效率不断提高,尤其是铁路运输和水路运输能源强度的降低对碳排放量的抑制作用尤为明显。铁路运输单位换算周转量的柴油、汽油、原煤的消耗量由 2005 年的 $21.382\text{ kg} \cdot (10^4\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ 、 $0.388\text{ kg} \cdot (10^4\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ 和 $24.756\text{ kg} \cdot (10^4\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ 下降至 2013 年的 $12.745\text{ kg} \cdot (10^4\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ 、 $0.070\text{ kg} \cdot (10^4\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ 和 $20.275\text{ kg} \cdot (10^4\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ 。与此同时,公路运输、水路运输、航空运输单位换算周转量的能耗也都有不同程度的降低。运输结构对碳排放量的贡献值虽

然在不断增加,但是贡献力度不大。2007 年运输结构对碳排放量的影响体现为抑制作用,影响碳排放量减少 197.3 t,从 2008 年开始,运输结构对碳排放量的影响体现为拉动作用,且贡献值逐年增加。水路运输和航空运输在陕西省交通运输总换算周转量中所占份额极小,铁路运输所占份额呈下降态势,公路运输作为高能耗的运输方式其份额不断上升尤其是公路货运,与 2005 年相比,2013 年公路货运增加了 41.0%,而铁路运输则减少了 15.6%。

为了更好地分析各影响因素,将运输能源强度列为抑制陕西省交通运输业碳排放的因素,将运输结构和交通运输业发展水平列为拉动陕西省交通运输业碳排放的因素。各个阶段拉动因素对交通运输业发展水平的贡献率远大于抑制因素对运输能源强度的贡献率,从而导致陕西省交通运输业碳排放量总量不断增长。拉动因素运输结构的贡献率虽然与运输能源强度的贡献率相差不大,但由于其贡献率基本维持在 1.00 ~ 1.01 之间,可认为其贡献率基本保持不变^[11-14]。

三、结语

2005 ~ 2013 年陕西省交通运输业碳排放总量呈现不断上升的态势,2007 ~ 2008 年急剧上升是由于统计范围口径变化所导致换算周转量的大幅度增加,2008 ~ 2012 年增长较为平稳,2013 年略微下降。其不断增长的主要原因是交通运输业发

展水平的不断提高。运输能源强度对陕西省交通运输业碳排放总量的影响表现为抑制作用。运输能源强度的降低意味着运输效率的提高。但由于交通运输业发展水平对碳排放的贡献率与运输能源强度对碳排放的贡献率差距巨大,所以陕西省交通运输业碳排放总量不断增长。运输结构虽然对陕西省交通运输业碳排放总量总体表现为拉动作用,其贡献值与贡献率几乎逐年增加,但是贡献力度不大,可认为基本不变。

参考文献:

- [1] 曲艳敏,白宏涛,徐鹤. 基于情景分析的湖北省交通碳排放预测研究[J]. 环境污染与防治,2010,32(10): 102-103.
- [2] 徐国泉,刘则渊,姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995~2004[J]. 中国人口·资源与环境,2006,6(16):158-161.
- [3] 雷厉,仲云云,袁晓玲. 中国区域碳排放的因素分解模型及实证分析[J]. 当代经济科学,2011,5(33): 59-65.
- [4] 魏庆琦,赵蒿正,肖伟. 我国交通运输结构优化的碳减排能力研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2013(3):11-17.
- [5] 徐雅楠,杜志平. 我国交通运输业的碳排放测度及因素分解[J]. 物流技术,2011,6(30):16-19.
- [6] 张明. 基于指数分解的我国能源相关 CO₂ 排放及交通能耗分析与预测[D]. 大连:大连理工大学,2009.
- [7] 徐军委,刘志华. 基于对数平均权重分解法的我国二氧化碳碳排放因素分解研究[J]. 中国矿业,2014,12(23):24-27.
- [8] Johan A, Delphine F, Koen S. A shapely decomposition of carbon emissions without residuals[J]. Energy Policy, 2002,30:726-736.
- [9] 丁金学. 我国交通运输业碳排放及其减排潜力分析[J]. 综合运输,2012,12:20-26.
- [10] 李连成,吴文化. 我国交通运输业能源利用效率及发展趋势[J]. 综合运输,2008,3:16-20.
- [11] 高洁. 交通运输碳排放时空特征及演变机理研究[D]. 西安:长安大学,2013.
- [12] 尹鹏,段佩利,陈才. 中国交通运输碳排放格局及其与经济增长的关系研究[J]. 干旱资源与环境,2016,30(5):7-12.
- [13] 刘育红. “丝绸之路经济带”交通运输碳排放空间转移分析[J]. 财经理论与实践,2016(2):129-133.
- [14] 关海波,金良. 中国交通运输碳排放测度及未来减排情景模拟[J]. 未来与发展,2012(7):55-59.

Decomposition of the impact factors of carbon emission in Shaanxi transportation industry

YUAN Chang-wei, LI Ruo-ying, RUI Xiao-li, BAI Juan

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Based on data from 2005 to 2013 in Shaanxi, this paper calculated the carbon emissions of Shaanxi transportation industry and all modes of transportation from 2005 to 2013. By building LMDI decomposition model, it quantitatively analyzed the impact of transportation energy intensity, transportation structure, and the level of transportation industry development on carbon emissions of Shaanxi transportation industry. The results show that the improvement of energy intensity of transportation inhibits the growth of carbon emissions on Shaanxi transportation industry. Transportation structure has little contribution to the growth of carbon emissions. In addition, the improvement of Shaanxi transportation industry development level is the major factor affecting the growth of carbon emissions.

Key words: Shaanxi; transportation industry; carbon emissions; LMDI decomposition method