

# 基于LMDI模型的中国碳排放驱动因素及地区差异研究

赵晓凤

(西南石油大学 四川成都 610500)

**摘要:**碳减排是我国各省(直辖市、自治区)政府推动产业升级和经济体制改革的重要切入点。本文通过LMDI模型,探讨我国不同地区2001—2019年碳排放量的驱动因素及差异性。结果表明,分析期内,我国七个地区经济增长效应引起的碳排放增量均呈现先增加后减少的趋势,碳排放系数效应对华中、西南地区产生的碳减排作用较明显,国际贸易效应做出的碳减排贡献较突出,但地区差异性明显。为了降低我国整体碳排放水平,各地区应因地制宜,关注经济增长质量,促进能源结构清洁化,重点发展低能耗轻工业和具有国际竞争力的高附加值产业,优化贸易结构。

**关键词:**碳排放;LMDI分解;影响因素;区域差异

**中图分类号:**F206; X321 **文献标识码:**A **DOI:**10.19932/j.cnki.22-1256/F.2023.03.015

## 一、引言

我国与欧美发达国家处在不同的发展阶段,中国在人均收入偏低的阶段就面临碳达峰、碳中和的考验;我国与欧美具有不同的能源消费结构,化石能源消费比重较高,且碳排放总量明显较高。因此,我国实现“双碳”目标面临总量基数大、技术难度高、所剩时间短等多重挑战。在此背景下,碳排放问题越来越被学者所关注。21世纪以来,各国进出口贸易规模持续扩大,经济全球化发展趋势明显,低碳经济早已被纳入国际贸易的研究领域,也形成了相对成熟的理论框架。本文以此理论框架为基础,通过LMDI分解模型探究碳排放的影响因素,指明我国不同地区之间碳排放驱动因素的差异性,旨在促进我国各区域碳减排,同时助力我国外贸高质量发展。

## 二、文献综述

通过文献梳理发现,国内外学者围绕碳排放的影响因素进行了大量实证研究。Congyu Zhao等(2021)研究结果显示,智能交通可以减少二氧化碳排放,还可以通过运输规模、运输结构对二氧化碳排放产生间接的抑制影响。张友国、白羽洁(2021)研究得出,我国碳排放量在省级层面存在区域不平衡的问题,近年来各区域碳排放增长势头存在较明显差异。朱帮助等(2015)利用LMDI分解模型研究发现,我国不同发展阶段的碳排放驱动因素存在显著差别。Bin Su等(2017)运用结构分解分析(SDA)方法,研究2000—2010年间的碳排放变化的驱动因素,研究发现其出口产生的碳排放量占国家碳总排放量的三分之二。Zhaohua Wang等(2019)利用多区域投入产出模型,研究了国内贸易对碳排放的影响,结果显示,2007—2012年外需排放所占比例呈快速增长趋势。刘小丽等(2022)运用LMDI完全分解模型,对2000—2018年我国制造业的驱动因素进行了研究,结果表明,经济增长和产业结

构是碳排放增长的主要驱动因素。

对于碳排放的影响因素,已有大量的研究为本文研究打下了基础。自我国加入世贸组织以来的很长一段时间里,国际贸易都是造成我国碳排放量迅速增长的原因之一。但是现有研究还存在一些不足,很少有研究通过地区数据的角度进行LMDI分解,来研究货物进出口贸易对我国不同地区的影响。本文基于扩展的Kaya不等式,构建了一个包含五种影响因素的LMDI模型,依据我国七个地区2001—2019年的实际数据,对不同地区碳排放量的驱动因素进行分解,并指出不同地区碳排放影响因素的差异。

## 三、研究设计

### (一)碳排放量的分解模型

在碳排放的驱动因素分析中,以Kaya恒等式为基础,利用对数平均迪式分解模型(LMDI)对我国七个地区的碳排放量进行分解,借鉴Kaya恒等式两边恒等的原理,碳排放量可以表示为:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^n CI_i \cdot EI_i \cdot ES_i \cdot EA \cdot P = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{E_i} \cdot \frac{E_i}{Y_i} \cdot \frac{Y_i}{Y} \cdot \frac{Y}{P} \cdot P \quad (1)$$

在公式(1)中, $CO_2$ 代表我国七个地区的二氧化碳排放量; $CI_i$ 表示*i*行业内能源的碳排放系数,用*i*行业的碳排放量与能源消耗量的比值表示; $EI_i$ 是*i*行业的出口能源强度,表示*i*行业单位进出口产值所消耗的能源量; $ES_i$ 是外贸依存度,表示*i*行业内进出口额占总产值的比重; $EA$ 是经济增长,用人均GDP(总产出/人口)表示。 $C_i$ 表示第*i*部门的碳排放量; $E_i$ 表示部门*i*的能源消耗量; $Y_i$ 表示*i*部门的进出口额; $Y_i$ 表示*i*部门的产出, $Y$ 表示总产出, $P$ 代表人口。

根据公式(1),可将七个地区的碳排放分别分解为碳排放系数、出口能源强度、外贸依存度、经济增长与人口五个因

素。碳排放总量从研究期内,第0年到第t年的变化 $\Delta CO_2$ 可以分解为五个因素的影响。LMDI有乘法和加法形式,其中加法分解更易解释,使用也更加广泛,因此,本文采用加法分解形式,则碳排放量变化可以被分解为以下因素的总和。

$$\Delta CO_2 = CO_{2t} - CO_{2(t-1)} = \Delta CI + \Delta EI + \Delta ES + \Delta EA + \Delta P = \sum_{i=1}^n w_i(t) \ln \frac{CI_{i,t}}{CI_{i,t-1}} + \sum_{i=1}^n w_i(t) \ln \frac{EI_{i,t}}{EI_{i,t-1}} + \sum_{i=1}^n w_i(t) \ln \frac{ES_{i,t}}{ES_{i,t-1}} + \sum_{i=1}^n w_i(t) \ln \frac{EA_{i,t}}{EA_{i,t-1}} + \sum_{i=1}^n w_i(t) \ln \frac{P_{i,t}}{P_{i,t-1}} \quad (2)$$

$w_i(t)$ 是LMDI方法的估计权重,定义为:

$$w_i(t) = \frac{CO_{2,t} - CO_{2,t-1}}{\ln CO_{2,t} - \ln CO_{2,t-1}} \quad (3)$$

## (二)数据来源

结合数据的可获得性和全面性,本文以我国30个省直辖市、自治区(不含香港、澳门、台湾及西藏)为研究对象,按照地理区域将其分为以下七大区域,分别是,东北地区:黑龙江省、吉林省、辽宁省;华东地区:山东省、江苏省、上海市、浙江省、安徽省;华北地区:北京市、河北省、天津市、山西省和内蒙古自治区;华中地区:河南省、湖北省、湖南省、江西省;华南地区:福建省、广东省、广西壮族自治区、海南省;西南地区:四川省、云南省、贵州省、重庆市;西北地区:新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区、青海省、陕西省、甘肃省。

碳排放量数据来自中国碳核算数据库(CEADS)提供的分行业碳排放数据。此数据库采取了政府间气候变化专门委员会(IPCC)的排放核算方法,根据更新的排放系数以及最新的能源消耗数据清单,以统一的格式核算了我国30个省(自治区、直辖市)的碳排放量,主要包括47个社会经济部门燃烧的17种化石燃料的排放(与能源有关的排放)和与过程有关的排放。由于我国所有的行政边界(在国家和省级尺度上)都跨越了城市和农村地理区域,数据库还单独列出了农村及城镇的碳排放量。此数据与本文研究较为契合,故直接采用此碳排放数据进行碳排放分解研究。此外,2001—2019年各地区能源消耗量来自各省市区能源统计年鉴;货物进出口贸易用每年年末的各行业货源地进出口总额来衡量,具体数据来源于海关总署;各区域GDP及人口数据均来源于各地统计年鉴。

## 四、研究结果与分析

### (一)碳排放量分析

从二氧化碳排放的总量来看,近20年来,我国的碳排放量总体呈现增加趋势,从2001年的32.8亿吨增加到2019年的122.9亿吨,年均增速为7.8%。值得注意的是,2014—2019年,我国的碳排放量增速有所放缓,5年间的平均增速1.8%,并且在2015年我国的碳排放量还出现了小幅度下降。

图1显示了不同地区2001—2019年二氧化碳的排放量。分地区来看,碳排放量较高的地区主要集中在华北和华东地

区,2019年的碳排放量分别达3312.1mt和2810.6mt。从增长率来看,两地区相比,华东地区的碳排放量增长率处于较低水平,年均增长率为7.1%,而华北地区的碳排放量年均增长率高达10.4%,且增长率波动较大,2008年碳排放量增长率攀升到42.5%。其余5个地区的碳排放总量处于较低水平,其中,2019年西北地区的碳排放量达1524.8mt,年均增长率达10.8%。从对全国的碳排放量贡献度来看,2001年以来,华南和西南地区贡献度基本稳定在8.5%,东北地区持续下降,从2001年的17.7%下降到2019年的9.5%,华东和华中地区的碳排放贡献度呈现倒U型变化,华北、西北两地的贡献度逐年上升,分别从2001年的18.6%、7.7%上升到2019年的28.3%、13.1%。

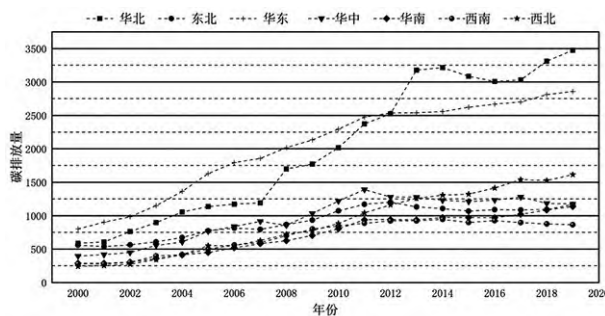


图1 我国七个地区2001—2019年碳排放量趋势图  
(单位:mt)

### (二)分解结果分析

表1 我国七个地区2001—2019年碳排放LMDI分解结果  
(单位:mt)

地区	碳排放系数	出口能源强度	外贸依存度	经济增长	人口	总效应
华北	1153.5	-1537.4	-113.3	3246.7	137.9	2887.4
东北	43.4	-925.4	105.1	1458.6	-73.3	608.5
华东	33.3	-2333.0	22.4	4004.4	330.8	2057.9
华中	-81.5	-1967.3	547.6	2232.6	47.6	778.9
华南	74.6	-521.4	-296.7	1392.5	200.2	849.2
西南	-57.4	-1305.9	135.8	1764.2	47.6	584.2
西北	231.9	-742.4	-118.7	1846.9	153.8	1371.6

表1是我国七个地区2001—2019年碳排放量LMDI分解结果。数据显示,在整个分析期内,我国七个地区的碳排放总量都呈增加趋势,华北地区碳排放量增加最多,为2887.4mt。分解出的各效应对不同地区的碳排放造成的影响不同。

1. 经济增长效应:经济增长对七个地区的碳排放增长都有明显的正向效应,是各个地区碳排放量增加的最主要因素,且七个地区的经济增长效应所导致的碳排放量都呈现倒U型趋势,最高点基本都出现在2009—2011年。这是因为该期间我国经济处在快速发展阶段,经济的高速发展在一定程

度上破坏了环境。2016年之后,我国产业节能减排约束力度加大,经济结构也逐渐转型,由经济发展导致的碳排放量明显减少。

2. 人口效应:人口效应对碳排放量的贡献值基本上都为正,只有东北地区的人口效应在2001—2019年减少了碳排放,导致碳排放量共降低73.3mt,这主要与东北地区的人口结构有关。近年来东北地区人口老龄化严重,作为促进经济发展主要力量的青年人口流失严重,人口老龄化与人口流失导致东北产业较为单一,以致2011年以来,东北地区人口效应对碳排放的影响一直为负。从七个地区的分解结果来看,人口增长和经济发展基本都会导致碳排放量增加。

3. 碳排放系数效应:分析期内,华中地区和西南地区的碳排放系数效应,对碳减排做出了一定贡献。碳排放系数效应主要来自发电方式的组合变化。近年来,我国的火力发电占据主要地位,但西南地区及华中地区的水力、风力及光伏等清洁能源发电占比较高,其中西南地区较为明显:2001年以来碳排放系数效应多年为负,共减少碳排放量57.38mt,对碳减排做出了明显贡献。2017年之后,其他5个地区碳排放系数效应,均在一定程度上减少了碳排放,主要由于我国整体发电结构正在逐步优化。

4. 国际贸易效应:国际贸易效应主要体现在出口能源强度效应和外贸依存度效应两个方面。自2001年加入世界贸易组织以来,我国对外开放进入了新阶段,为我国货物进出口开辟了更为广阔的国际市场,人口红利、制度红利的比较优势,使得我国加入世贸组织之后进出口规模迅速扩大。这一阶段,我国产业更加深入地参与到全球价值链的分工体系。另外,分地区来看,我国货物出口贸易规模较大的地区是华东、华南地区,其中,华南地区的国际贸易效应对碳减排贡献最大。综合来看,国际贸易效应对不同地区的碳排放影响存在较大区别,对于欠发达地区,货物进出口贸易是造成碳排放量迅速增长的因素之一,主要原因在于欠发达地区承担了贸易产生的多数碳排放量。

## 五、结论与建议

我国实现“双碳”目标面临严峻的挑战,与此同时我国的出口贸易也处于转型升级的关键阶段,影响碳排放的因素也越来越受到人们的关注。本文以既有研究为基础,引入进出口贸易因素作为碳排放量的驱动因素,运用LMDI分解模型将碳排放量分解为碳排放系数、出口能源强度、外贸依存度、经济增长与人口等五个因素,研究了2001—2019年我国七个地区碳排放量的驱动因素和差异,得出以下结论与建议。

1. 分析期内,我国的碳排放量逐年增加,年平均增长率为7.8%。分地区来看,华东和华北是我国碳排放量较高的两个地区,且年均增长率也高于全国均值,因此,我国碳减排主要在这两个地区;而我国货物出口贸易主要集中在华东、华

南地区。实现“双碳”目标任务艰巨,全国都在实施一些新政策,然而各地区发展情况不同,其采取政策措施也应因地制宜,各省(直辖市、自治区)在制定具体的碳减排任务时,还应根据本地的贸易形式并将贸易因素考虑在内,关注本地货物贸易对碳排放的影响,并综合考虑自身的发展情况与产业结构,制定适合该地区的减排政策。

2. 经济增长效应是促进碳排放量增加的最主要因素,人口效应和碳排放系数效应也会促进碳排放量增加。各地应重点推动经济增长方式向高质量增长转变,优先布局节能、节地、环保的产业,推动产业结构向高附加值、环境友好型方向转变。大力开发和使用清洁能源技术和资源,降低化石能源使用比例,提高能源的使用效率,降低污染物排放强度。

3. 分析期内,不同地区的国际贸易效应对碳排放量的驱动作用不同,高附加值货物进出口贸易发达的地区国际贸易效应促进碳减排。对我国碳减排而言,在货物进出口贸易方面可以重点关注华中、东北和西南地区,优化我国贸易区域结构布局。各省(直辖市、自治区)在制定货物进出口贸易政策时,要关注贸易对碳排放的影响,在考虑自身生产优势的同时,也需要考虑其他省份的生产优势,充分利用人力资源和生产资源,促进全国生产效益、碳减排效益最大化。同时可以因地制宜,充分交流,合力推进绿色贸易发展,进一步促进我国碳减排。

## 参考文献:

- [1] Zhao C, Wang K, Dong X, et al. Is Smart Transportation Associated with Reduced Carbon Emissions? the Case of China [J]. Energy Economics, 2021.
- [2] 张友国, 白羽洁. 区域差异化“双碳”目标的实现路径[J]. 改革, 2021(11): 1-18.
- [3] 朱帮助, 王克凡, 王平. 我国碳排放增长分阶段驱动因素研究[J]. 经济学动态, 2015(11): 79-89.
- [4] Su B, Ang B W, Li Y. Input-output and structural decomposition analysis of Singapore's carbon emissions [J]. Energy Policy, 2017, (105): 484-492.
- [5] Wang Z, Li Y, Cai H, et al. Regional difference and drivers in China's carbon emissions embodied in internal trade [J]. Energy Economics, 2019, (83): 217-228.
- [6] 刘小丽, 王永利. 基于LMDI分解的中国制造业碳排放驱动因素分析[J]. 统计与决策, 2022, 38(12): 60-63.
- [7] Shan Y, Huang Q, Guan D, et al. China CO<sub>2</sub> emission accounts 2016-2017 [R/OL]. Sci Data, 2020.

## 作者简介:

赵晓凤(1998—),女,汉族,河北省邯郸市人,硕士研究生,研究方向:国际石油经济与贸易。