



中国石油大学
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

基于LMDI方法分析中国 工业产业转移对碳排放的影响

作者团队：

陈岭	中国石油大学（北京）能经 16 级
冯绍一	中国石油大学（北京）国贸16级
时丹阳	中国石油大学（北京）国贸16级

指导老师：

林绿老师 中国石油大学（北京）经济管理学院

二〇一九年五月

基于 LMDI 方法分析中国工业产业转移对碳排放的影响

摘要：本文基于 2006-2015 年两个五年计划期间我国 30 个省市的工业部门产值以及相对应的碳排放量，利用 LMDI 模型分解出碳排放强度、产业结构和行业规模三个因素，计算其 CO₂ 排放量和贡献值，最终得出各省碳排放强度效应、产业结构效应和行业规模效应三项指标的贡献程度。

关键词：LMDI 模型 工业产业转移 碳排放

一、引言

自 2005 年起中国已成为世界第一碳排放大国，排放量达 72 亿吨，占全世界温室气体排放总量的 19.12%（孙健卫等，2005）。2006 年国务院正式启动“十一五”节能减排计划，计划中规定我国要尽快淘汰落后生产能力，促进产业低碳转型。作为 CO₂ 排放量最大的国家，我国提出到 2020 年单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45%，并把控制温室气体排放目标作为各级政府制定中长期发展战略的重要依据（刘卫东等，2010）。在此期间，中国国家发改委的一项研究显示，21 世纪初我国制造业的地理分布发生了转变，相比较中西部地区，沿海地区的制造业份额持续减少。对于沿海地区而言，劳动密集型产业转移至内陆为其发展高端产业腾出了空间；对于内陆地区而言，国内产业转移为其带来了投资和发展机会（领导决策信息，2005）。但是与发展机遇相对应的，中国省际间的产业转移同时也伴随着碳排放的转移，中部地区承接了其他区域大量的高碳污染的产业转移（唐晓丹，2008），对我国的碳排放情况产生了较大影响。因此，通过研究我国正式启动节能减排计划时所处的两个五年计划时期省际间的工业产业转移对 CO₂ 排放量的影响是有必要的，进而总结出各个时期 CO₂ 排放量在省际间的变化特征与规律，为我国工业结构低碳转型过程提出相应的建议。

二、文献综述

目前国内外有关碳排放的研究较多，Sun（2016）指出碳排放转移的内涵指的是随着产品和服务生产与消费的分离而出现的二氧化碳排放的空间变化。张俊和林卿（2017）指出我国区域碳排放是国际和区域产业转移共同的结果，但后者影响更大，未来要更加关注区域产业转移中碳排放的同向转移问题。

从中国省际间碳排放转移来看，肖雁飞等（2014）通过区域间投入产出表分析了我国八大区域产业转移引起的碳转移情况，发现产业转移对区域碳排放的影响具有地区差异性。姚亮和刘晶茹（2010）同样对中国八大区域碳排放转移情况进行了研究，发现北部沿海区域和中部区域承接了其他区域的高碳污染的产业转移，导致北部沿海地区和中部地区碳排放承接量远远大于其转出量。同时 Guo 等（2012）也指出中国三十个省市存在碳排放从东部转移至中部地区的现象。

从研究方法上来看，因素分解方法是碳排放驱动力分析的重要手段，主要包括以 MRCI 为代表的结构分解方法和以 LMDI 为代表的指数因素分解方法。其中，由于 LMDI 易于处理大量数据，使用起来较为简单，能有效的对残差进行完全分解并解决零值和负值问题（Ang

B W 和 Zhang F Q, 2000), 因此使用范围较为广泛。杨武等 (2018) 运用了 LMDI 模型从人口规模、经济水平、三次产业结构、能耗强度、能源结构和碳排放系数六个方面对武汉市能源消费的碳排放进行因素分解。刘洪久等 (2012) 采用 Kaya 及其扩展模型将 CO₂ 排放影响因素划分为产业能源强度、生活能源强度、能源结构、产业部门、人均产出、人均收入和人口总数 7 个方面利用 LMDI 模型分解计算出 7 个因素的 CO₂ 排放量和贡献值。顾阿伦等 (2016) 同样运用了 LMDI 方法将碳排放量的变化分解为经济总量效应、产业结构效应、能源强度效应和能源结构效应从而得到产业结构变化对碳排放量作用结果。此外付云鹏等 (2019)、韩钰铃和刘益平 (2018)、刘茜等 (2018) 在对碳排放因素分解进行研究时都运用了 LMDI 模型, 且均得到了可观合理的结果。

通过以上的分析我们可以看到, 影响中国碳排放的因素主要在区域产业转移方面, 特别是“十一五”时期以来由于“大迁移”带来的省际之间碳转移变化情况较为明显。现有研究均较侧重于国际产业转移中发达国家对发展中国家进行碳转移的特征以及影响的分析, 对于国内区域产业转移相关的研究还不够充分。除此以外, 现有的国内区域间产业转移的研究大多从整体视角出发, 研究三次产业碳排放的转移情况, 缺少对工业具体部门在省际之间发生产业转移现象的研究, 进而无法为工业转型期间产业转移对碳排放的影响提供合理的调整对策。为此本文将以中国 30 个省市的工业部门为研究对象, 运用 LMDI 方法将其碳排放转移进行因素分解, 提炼其影响效应并分析其演化特征, 从而在此基础上提出经济快速发展期间优化工业产业转移过程的相关对策。

三、研究方法与数据

3.1 简述 LMDI 方法

本文根据既有研究成果, 将工业 CO₂ 排放量恒等式分解为以下式子:

$$C = \sum_{sr} C_{sr} = \sum_{sr} \frac{C_{sr}}{Y_{sr}} \times \frac{Y_{sr}}{Y_s} \times Y_s = \sum_{sr} P_{sr} \times I_{sr} \times Q_{sr}$$

上述式子中, C 为工业 CO₂ 排放总量; s 为工业部门行业; r 为省份; C_{sr} 为 r 省 s 行业的 CO₂ 排放量; Y_{sr} 为 r 省 s 行业的行业产值; Y_s 为 s 行业的行业规模。因此, $\frac{C_{sr}}{Y_{sr}}$ 表示 r 省 s 行业的碳排放强度; $\frac{Y_{sr}}{Y_s}$ 表示 r 省 s 行业的行业区域占比, 也是本文重点关注的影响因素。

根据 LMDI 方法, 可以将工业 CO₂ 排放总量分解为碳排放强度效应 ∇C_{cmf} , 产业结构效应 ∇C_{srp} , 行业规模效应 ∇C_{sct} 三个部分:

$$\nabla C_{tota} = C^T - C^0 = \nabla C_{cmf} + \nabla C_{srp} + \nabla C_{sct}$$

各效应的计算公式如下:

$$\begin{aligned}\nabla C_{cmf} &= W_{sr} \times \ln\left(\frac{P_{sr}^T}{P_{sr}^0}\right) \\ \nabla C_{srp} &= W_{sr} \times \ln\left(\frac{I_{sr}^T}{I_{sr}^0}\right) \\ \nabla C_{sct} &= W_{sr} \times \ln\left(\frac{Q_{sr}^T}{Q_{sr}^0}\right)\end{aligned}$$

$$W_{sr} = \frac{C_{sr}^T - C_{sr}^0}{\ln C_{sr}^T - \ln C_{sr}^0}$$

根据以上公式计算 2006-2010 年和 2011-2015 年，即“十一五”和“十二五”两个五年计划间的变动。

3.2 数据

本文选取了 2006-2015 年两个五年计划期间中国 30 个省的面板数据作为研究样本，对各省工业行业内产业结构调整对 CO₂ 排放量的影响进行实证分析。模型所用到的数据有各省分行业 CO₂ 排放量和各省工业分行业产值。

各地区 CO₂ 的分行业以及总排放量数据来自 Shan et al (2016) 和 Shan et al (2017) 的计算结果¹。需要说明的是，由于受到数据的限制，我们无法获得西藏地区的分行业 CO₂ 排放的时序数据，因此本研究未包括西藏地区。

各省工业分行业产值的数据来自各省的地区统计年鉴。依照我国国民经济行业分类标准，工业共分为 41 个子类。由于碳排放量原始数据的分类与该标准略有差异，为保证行业划分的统一和结果呈现的清晰度，本文参考国民经济行业分类标准将工业行业合并为十大类，分别为采选业、食品等轻工制造业、石化工业、非金属矿物制品业、金属冶炼及制品业、机械工业、交通运输设备制造业、电子机械及电子通信设备制造业、其他制造业和电力蒸汽热水、煤气、自来水生产供应业。除此之外，本文还将各年经济数据以 2006 年为基期按各期指数折算成不变价格，以保证所得结果的准确性。

四、结果分析

4.1 全国工业碳排放量总体趋势

2006-2015 年两个五年计划期间全国工业碳排放量的相关数据如下所示：

表 1 中国 2006-2015 年工业碳排放量

年份	碳排放量/Mt	年份	碳排放量/Mt
2006	6197.89	2011	9245.35
2007	6822.27	2012	9501.78
2008	7205.22	2013	9492.90
2009	7655.86	2014	9639.78
2010	8366.51	2015	9644.12

数据来源：中国碳排放数据库

根据相关数据绘制全国工业碳排放量变化趋势图：

¹碳排放量数据来自中国碳排放数据库（China Emission Accounts and Datasets）网站（<http://www.ceads.net/data/energy-inventory/>）。

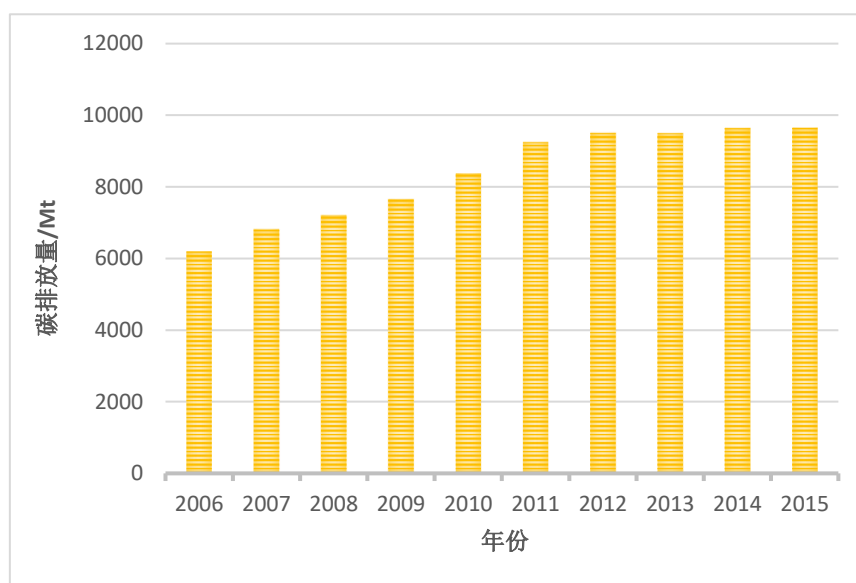


图 1 中国 2006-2015 年工业碳排放量趋势图

由图 1 中可以看出在“十一五”和“十二五”两个五年计划期间全国工业碳排放量呈总体上升趋势，其中 2006-2010 年（“十一五”时期）碳排放量上升趋势较为显著，增幅较大；2011-2015 年（“十二五”时期）碳排放量上升趋势较前期明显下降，上升幅度减缓。这说明自“十一五”时期以来实施的节能减排具有较为明显的滞后作用，在开始实行的前期阶段全国工业碳排放量依旧保持原有增速上升，而随着计划的实施，到了“十二五”时期节能减排计划初见成效，成功减缓了碳排放量的增长幅度，碳排放问题逐步受到了遏制。

4.2 全国工业碳排放量空间变化

本文将中国的 30 个省市（除西藏）采用八大地理区域的划分方法，将其划分为京津、东北、北部沿海、东部沿海、南部沿海、中部、西南以及西北八个地域，研究这八个地域在“十一五”、“十二五”两个五年计划期间采选业、食品等轻工制造业、石化工业、非金属矿物制品业、金属冶炼及制品业、机械工业、交通运输设备制造业、电子机械及电子通信设备制造业、其他制造业和电力蒸汽热水、煤气、自来水生产供应业十个产业的碳排放总量的变化情况，并绘制图 2。

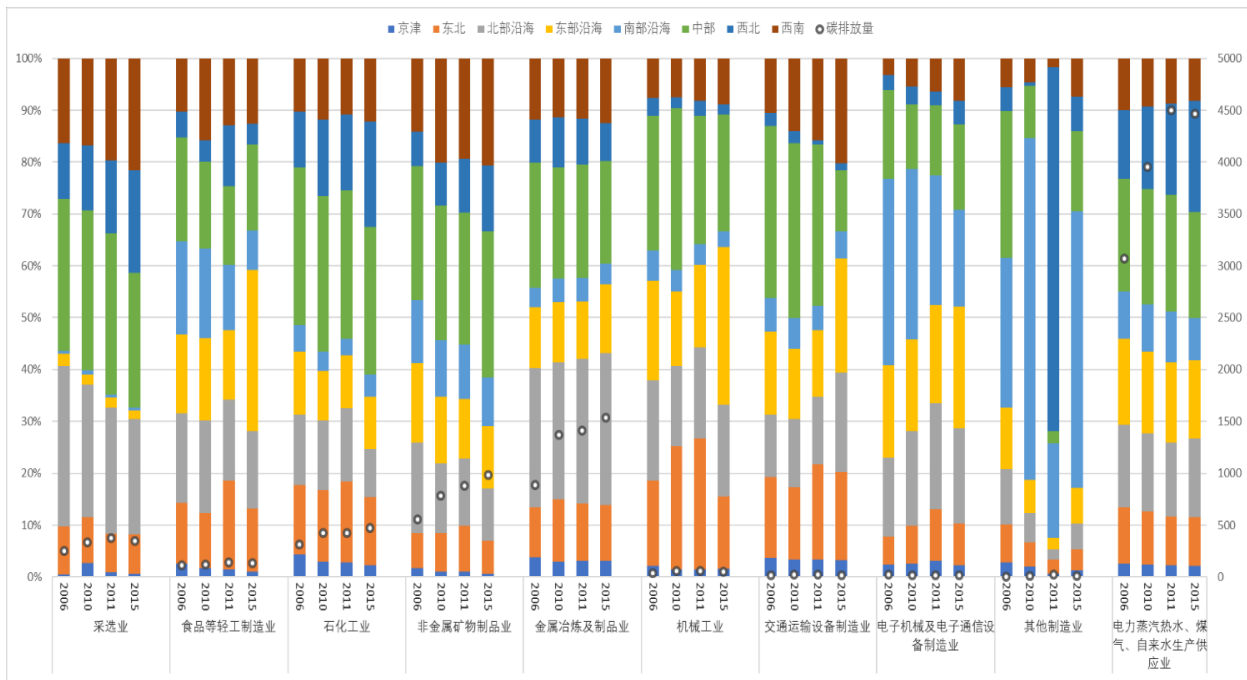


图 2 “十一五”、“十二五”期间各区域分行业工业碳排放量

如图 2 所示，按行业看，碳排放量最大的为电力蒸汽热水、煤气、自来水生产供应业，其次为金属冶炼及制品业和非金属矿物制品业；按时间看，“十二五”较“十一五”期间碳排放量有所增长，但增速减缓。采选业、食品等轻工制造业、电力蒸汽热水、煤气、自来水生产供应业的碳排放在“十二五”期间出现下降；按地域看，北部沿海、中部、西南、东北地区碳排放在各行业占比均较大。

4.3 LMDI 模型结果分析

根据上文 LMDI 模型将我国 30 个省市工业行业 CO₂ 排放量分解为碳排放强度效应、产业结构效应和行业规模效应，其结果如图 3 和图 4 所示：

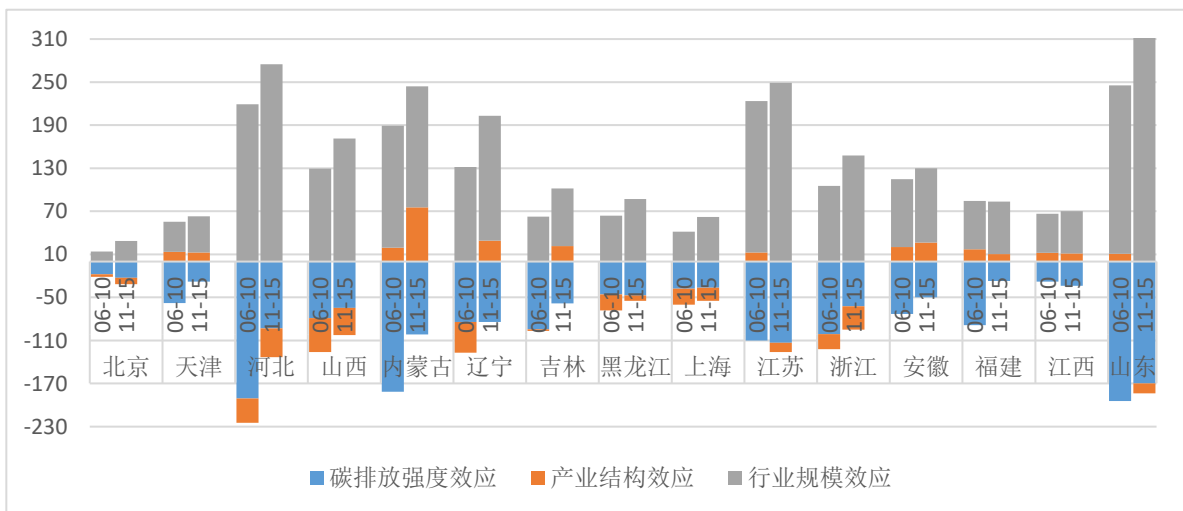


图 3

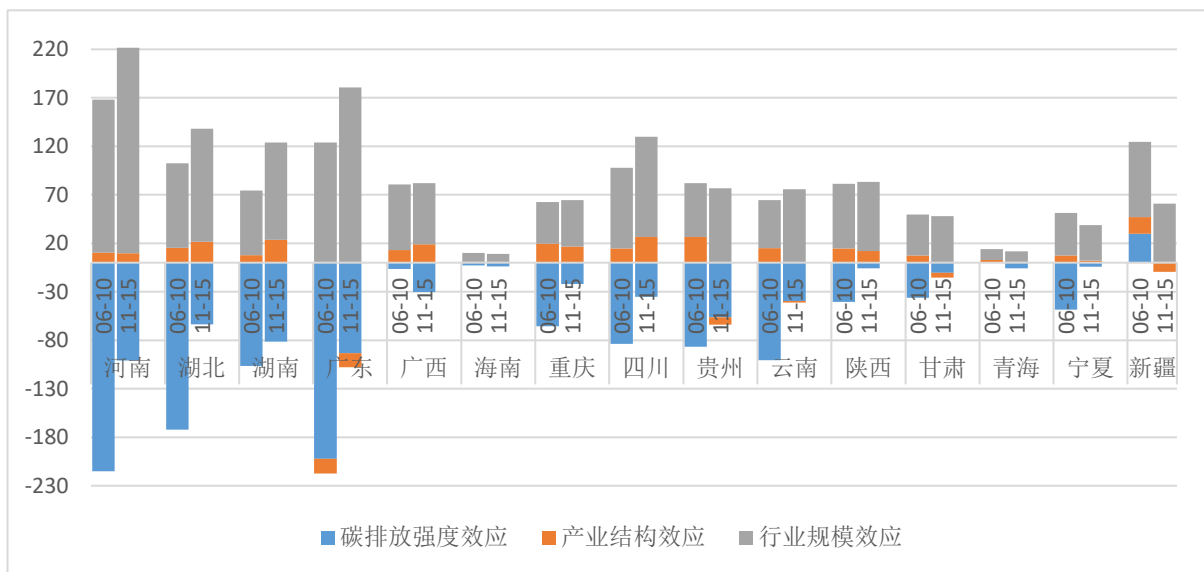


图 4

4.3.1 碳排放强度效应和行业规模效应结果分析

从图中可以看出，绝大多数省市的碳排放强度对 CO₂ 排放量的影响在“十一五”和“十二五”均为负向。新疆“十一五”期间的碳排放强虽然起正向作用，但在“十二五”期间已经消失。

各省市行业规模对碳排放量的影响均起到正向作用。其中，贡献比较大的省份为河北、内蒙古、江苏、山东和河南等地。从时间变化上来看，贵州、甘肃等个别地区正向作用小幅增强，其他地区的正向作用效果均在减弱。

4.3.2 产业结构效应结果分析

图 5 和图 6 展示的是将工业行业划分为十大行业后，各地区十个行业在工业行业中占比对碳排放的贡献。

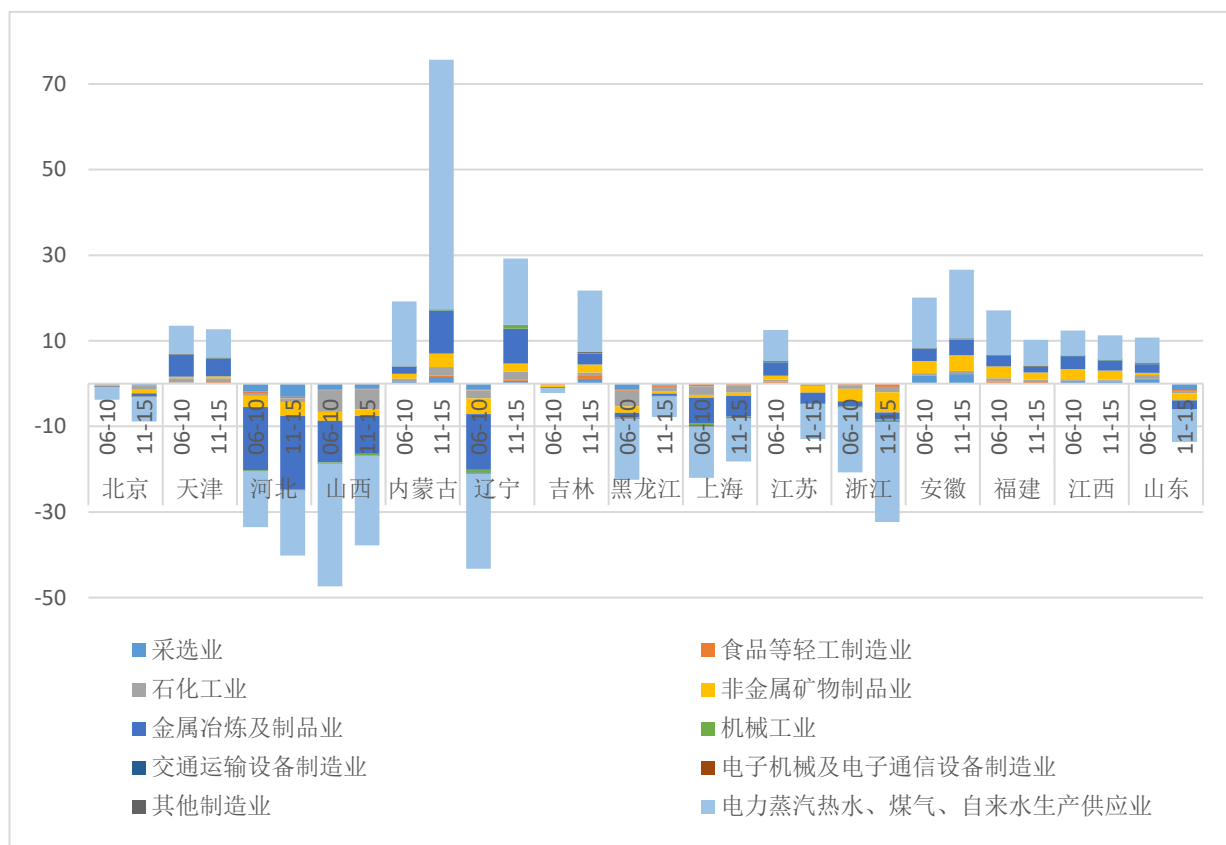


图 5

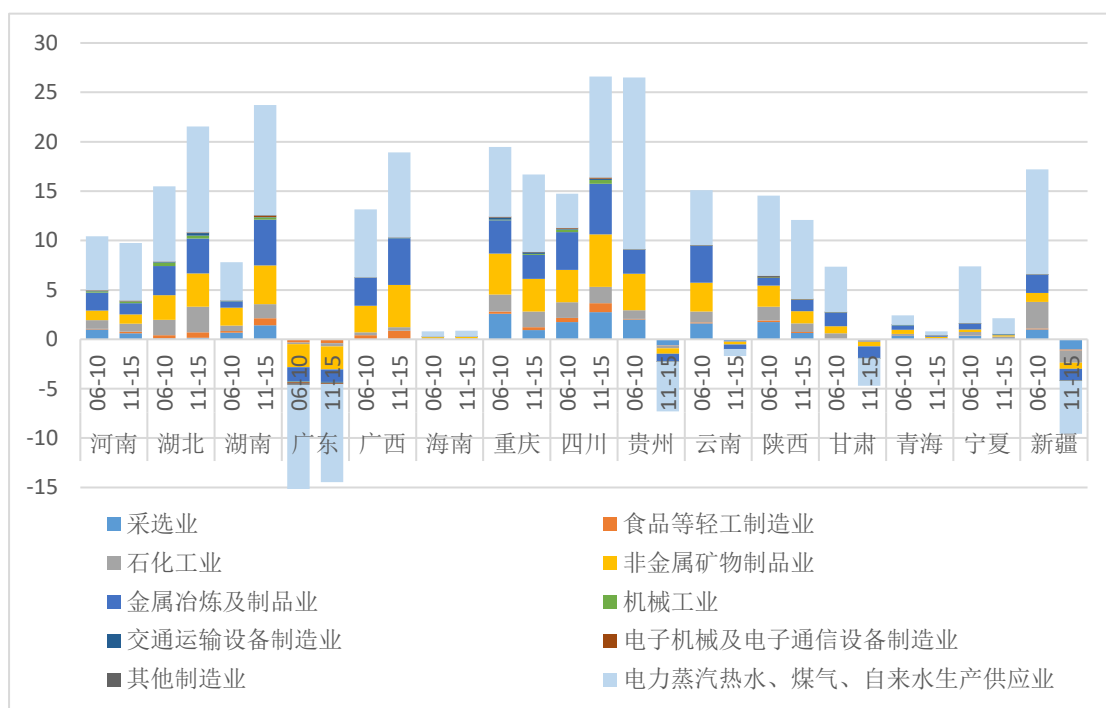


图 6

为了使产业结构效应的结果更加直观，本文根据各省市“十二五”期间的模型结果绘制了结果展示地图（如图 7）。

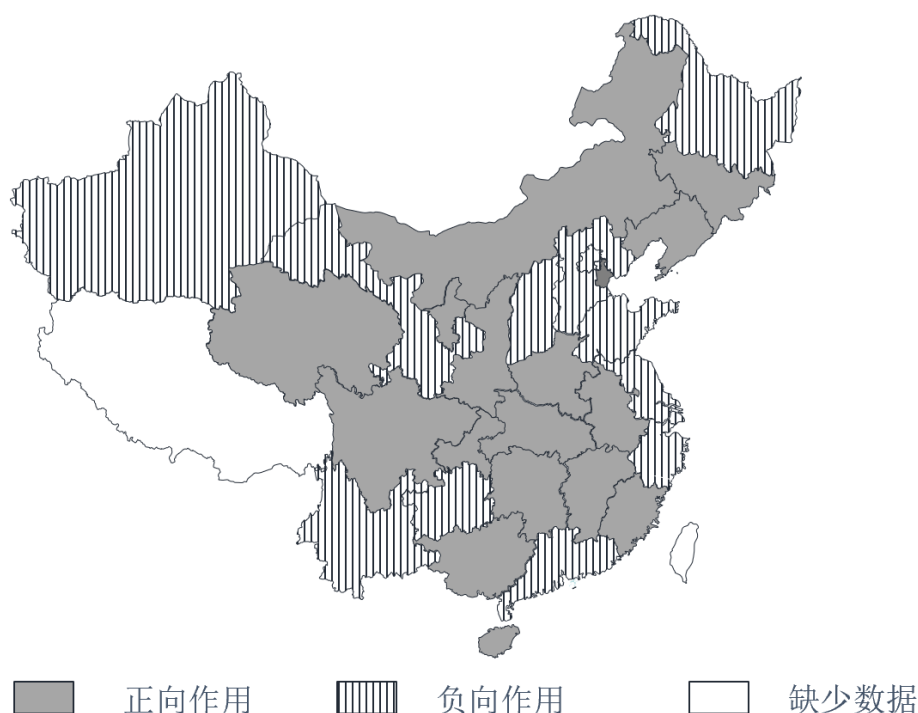


图 7

从地图中可以看出，截止到 2015 年，我国东部和西部共 12 个地区的工业行业占比对 CO₂ 排放量起到负向作用，中部地区起到正向作用，说明东部地区确实通过工业产业转移有效地实现了对碳排放的抑制效果。

如图 5 和图 6 所示，从时间趋势上来看，内蒙古、安徽、湖北等地区工业行业占比的正向作用从“十一五”到“十二五”在增强，而福建、重庆等几个地区整体的正向作用减弱。河北和浙江的工业行业占比的负向作用增强，山西、黑龙江和上海的负向作用减弱。与此同时，辽宁、吉林两个地区产业结构效应由负变正，而江苏和云南等六个地区的产业结构效应由正变负。

从行业层面整体来看，电力蒸汽热水、煤气、自来水生产供应业占比无论是在起正向还是负向作用的情况下都对碳排放的贡献最大，其次是金属冶炼及制品业和非金属矿物制品业。

4.4 结果讨论

综上结果我们发现，“十一五”期间全国碳排放整体呈现稳步上升趋势，同时在此期间碳排放拆解的三项指标基本上都起到了正向作用，其中行业规模效应最显著。而“十二五”期间全国碳排放增速放缓，工业内三个产业也分别出现过下降趋势。从 LMDI 模型拆解的三项指标来看，行业规模起到了正向作用，产业结构总体趋势为正向作用减弱并转负，碳排放强度起负向作用，逐渐增强的负向作用抵消了正向作用，因此导致全国碳排放增长趋势趋于平缓。

五、结论和建议

本文利用 2006-2015 年两个五年计划期间中国 30 个省市的工业分行业产值和 CO₂ 排放量数据, 首先分析了我国碳排放在行业和地区角度的变化, 并通过 LMDI 模型将 CO₂ 排放量影响因素进行分解, 最终得出各省市碳排放强度效应、产业结构效应和行业规模效应三项指标的贡献程度。

通过结果分析, 本文得到的结论如下:

1、我国“十一五”期间全国碳排放依然保持稳步上升趋势,“十二五”期间增速放缓并趋于平稳, 三个产业的碳排放在“十二五”期间也明显受到了抑制, 说明 2006 年国务院启动的“十一五”节能减排计划虽然具有滞后性但起到了明显的效果。

2、相比于“十一五”,“十二五”期间我国碳排放伴随着工业产业从东部沿海地区转移到中部地区。

3、我国各地区碳排放强度对 CO₂ 排放量起负向作用, 碳排放强度在下降。各地区行业规模对碳排放量的影响的正向作用在增强。三项指标中, 行业规模效应对碳排放贡献最大, 碳排放强度效应其次, 产业结构效应最弱, 三项指标共同决定了碳排放量的变化情况。

4、我国东西部 12 个省市的产业结构效应对碳排放起负向作用, 中部地区 16 个省市的产业结构效应起正向作用。总体来看, 电力蒸汽热水、煤气、自来水生产供应业占比对碳排放贡献最大, 其次是金属冶炼及制品业和非金属矿物制品业。

对此, 本文提出如下建议:

1、为继续保持碳排放强度的负向驱动作用, 我国应大力发展绿色低碳能源, 促进科技转型, 加大各工业部门减排技术的引进和研发力度。同时, 为保持行业规模的负向驱动作用, 还要稳步发展工业部门, 保证其全面健康发展, 避免出现因发展速度过快而带来的一系列不均衡问题。电力蒸汽热水、煤气、自来水生产供应业是产业碳排放转出的主要部门, 为此要做好相关的技术应用工作, 同时在产业结构优化调整中, 也需要进一步优化电力蒸汽热水、煤气、自来水生产供应业在工业中的比重, 加大力度发展制造业等低能耗产业。

2、东南沿海地区的地方政府在工业产业减少的同时要保持本地区的其他产业的发展, 以保持地区经济的健康持续增长; 中西部地区在引进或扩大工业产业规模的同时要做好生态环境的保护工作, 实现可持续发展, 既要金山银山, 也要绿水青山。

3、首先, 对于东部和西部几个工业行业占比起负向作用的地区, 可以通过保持其低比例的工业区域占比来抑制碳排放增长。其次, 对于其余中部大多数工业行业占比起正向作用的地区, 也可以继续通过工业的转移的思路来调整碳排放的分布。对于电力、热力、燃气及水生产和供应业占比正向促进效果较大的地区, 应该重点关注这些地区该行业的占比, 将其合理下调以降低碳排放。同时, 产业转移不能达到一劳永逸的效果, 在煤炭等化石燃料的利用以及发电的过程中采取合理有效的减碳方法和设施, 也是降低碳排放的一种不可忽视的重要手段。

本文还存在一些不足和有待完善之处。首先, 本文仅将 CO₂ 排放总量分解为碳排放强

度效应、产业结构效应和行业规模效应三项指标,如果可以加入更多的指标,便可以将 CO₂ 排放的影响因素细化,对更多因素的效应进行分析。其次,由于受到数据的限制,本文仅研究了各地区工业行业内的效应,同时将工业行业粗略的划分为十个子类。未来希望可以获取第一产业和第三产业分行业产值,并对行业进行更加细致的划分以得到更精确的结果。

参考文献:

- [1] Sun L C, Wang Q W, Zhou P, et al. Effects of carbon emission transfer on economic spillover and carbon emission reduction in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112(1) , 1432—1442.
- [2] Guo J E, Zhang Z K, Meng L. China's provincial CO₂ emissions embodied in international and interprovincial trade [J]. Energy Policy, 2012, 42(1) : 486—497.
- [3] Ang B W, Zhang F Q. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies[J]. Energy, 2000, 25 (12): 1149-1176
- [4] 孙建卫, 赵荣钦, 黄贤金, et al. 1995—2005 年中国碳排放核算及其因素分解研究[J]. 自然资源学报, 2010(8):1284-1295.
- [5] 刘卫东, 陆大道, 张雷, et al. 我国低碳经济发展框架与科学基础:实现 2020 年单位 GDP 碳排放降低 40%-45%的路径研究[J]. 2010.
- [6] “十一五”产业转移有两大趋势[J]. 领导决策信息, 2005(30):19-19.
- [7] 唐晓丹. 中部地区承接东部产业转移的分析[J]. 沿海企业与科技, 2008(3):112-115.
- [8] 张俊,林卿.产业转移对我国区域碳排放影响研究——基于国际和区域产业转移的对比[J]. 福建师范大学学报(哲学社会科学版),2017(04):72-80.
- [9] 肖雁飞, 万子捷, 刘红光. 我国区域产业转移中“碳排放转移”及“碳泄漏”实证研究——基于 2002 年、2007 年区域间投入产出模型的分析 [J]. 财经研究, 2014(2): 75—84.
- [10] 姚亮, 刘晶茹. 中国八大区域间碳排放转移研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12) : 16—19.
- [11] 杨武, 王赓, 项定先, et al. 武汉市能源消费碳排放因素分解与低碳发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, v.28; No.215(S1):18-21.
- [12] 刘洪久, 胡彦蓉, Robert Rieg,等. 基于 LMDI 模型的 CO₂ 排放影响因素研究——以江苏省为例[J]. 工业技术经济, 2012(4):43-49.
- [13] 顾阿伦, 何崇恺, 吕志强. 基于 LMDI 方法分析中国产业结构变动对碳排放的影响[J]. 资源科学, 2016, 38(10).
- [14] 付云鹏,马树才,宋琪,郜健.基于 LMDI 的中国碳排放影响因素分解研究[J].数学的实践与认识,2019,49(04):7-17.
- [15] 韩钰铃,刘益平.基于 LMDI 的江苏省工业碳排放影响因素研究[J].环境科学与技术,2018,41(12):278-284.

[16] 刘茜.基于 LMDI 的中国城镇化碳排放因素分解研究[J].绿色科技,2018(18):225-229.