

中国省际间产业区域转移的碳排放动态效应 及影响机制

许 静, 周 敏, 夏 青

摘 要: 在理论分析基础上, 基于 STIRPAT 扩展模型, 运用动态面板数据模型实证了 1995—2013 年间中国产业转移过程中碳排放动态变化及区域差异。模型结果显示, 经济发展水平、产业结构优化及工业碳排放强度的提升均会产生碳减排效应, 这一效应在欠发达地区更为显著, 碳排放具有明显路径依赖特征。人口因素存在不确定性, 因此不能过高或简单评价人口绝对数量对碳排放的影响。进一步分析发现, 就中国现阶段实际情况而言, 尽管碳排放已成为经济发展的硬性外部约束, 但是产业转移并不是碳转移的前提, 关键还是在于经济发展与技术创新。因此, 鼓励低碳技术创新、优化工业产业结构及制定区域差异化环境规制政策是实现我国碳减排的重要途径。

关键词: 产业转移; 碳排放; 动态效应; STIRPAT; SYS-GMM; 区域差异

中图分类号: F205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2017)02-0074-12

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2017.02.009

一、引 言

中国产生的碳排放 70% 源于工业能源消费。当前, 工业化和城镇化深入发展, 经济增长直接大幅增加用能需求, 沿海工业产业也开始向内陆地区扩散。产业转移定量研究显示, 中、西部地区已承接了大量的金属冶炼与制造、电力生产与供应、采选等资源性工业产业^[1]。产业转移会间接引致碳排放。在此背景下, 碳排放时空格局演变、区域排放差异及其动态变化规律成为不可忽视的研究议题。

碳转移首次提出是在国际产业转移背景下, Copeland 等根据自由贸易存在污染转移提出“污染天堂”假说^[2], 由国际产业转移及自由贸易引发的“碳转移”^{[3][6][7][8]}、“碳泄漏”^{[4][9]}渐入人们视野。中国作为全球第二大经济体, 碳转移必然成为在我国承接国际产业过程中不可避免的话题。同时我国各地区经济发展存在明显梯度差异, 国内贸易同样也会产生大量碳转移。尤其当前, 为扩大内需、转变经济发展方式, 跨区域产业转移已经成为实现工业化与城市化的重要动力。我国区域间产业转移逐步扩散而引致的碳排放问题开始受到学者的广泛关注。但是相关定量研究较为缺少, 研

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目“基于低碳视阈的江苏省产业空间有序转移与区域协同研究”(KYZZ15_0371); 国家社科基金项目“经济新常态下中国生产性服务业与制造业协同演化机理与对策研究”(16CJL027); 教育部人文社科基金项目“新型城镇化与能源消费协同演化效应研究”(15YJA630106)

作者简介: 许静, 中国矿业大学管理学院博士研究生 (江苏 徐州 221116); 周敏, 中国矿业大学管理学院教授、博士生导师

究主要集中于区域碳排放格局变化方面, 其中部分学者认为产业转移推动了碳转移, 如李健等以京津冀区域内产业转移为例, 认为河北作为产业转入区应该承担更多碳减排配额^[5], 肖雁飞等从全国层面入手, 认为东部沿海存在产业转移碳减排效应, 西北和东北等地区则成为碳排放转入及碳泄漏重灾区^[1], Xu 等通过研究中国省际区域产业转移认为产业转移过程中碳排放呈先增加后减少的倒 U 型趋势^[6]; 也有学者持相反观点, 如李平星研究泛长三角地区, 认为产业转移同时推动了其核心区及外围区碳排放强度的降低^[7], Liu 等通过中国区域空间面板数据研究碳排放, 发现低碳区域会带动高碳区域碳减排^[8], Wei 等基于扩展 SBM 模型及 ACI 指数研究中国 29 个省份碳减排潜力及边际减排成本, 结果证实西部比东部表现出更高效的碳减排能力与更小的边际减排成本, 而差距主要源于贸易开放度、产业结构及能源结构^[10]。研究产业转移过程中碳排放的方法多是采用静态分析法, 最经典的是利用投入产出模型^[11], 也有学者使用 LMDI 模型^{[12][13]}和空间面板模型^[14], 极少采用动态面板数据模型。

本文选取 1995—2013 年 30 个中国省际数据, 运用动态面板模型全面评估产业转移过程中碳排放动态效应, 并以此划分“产业转出区”、“产业强转入区”及“产业弱转入区”三类区域, 探究区域间碳排放动态差异。尽管已有许多关于产业转移与碳排放的研究, 但运用动态面板数据模型, 着眼于中国产业转移的碳排放动态效应及区域差异的研究较少。本文参考成艾华等的研究方法^[12], 考虑到产业转移主要集中于工业层面, 同时为便于说明研究结论, 重点分析工业部门。

二、机理分析及影响路径

下面借鉴经典 STIRPAT 环境框架研究产业转移影响碳排放的内在机制及具体影响因素传导路径。

(一) STIRPAT 环境框架

Ehrlich 等^[15]最早构建了 IPAT 方程, 用于研究人口增长对环境的影响。随着 IPAT 模型在环境领域的广泛应用, 已成为分析环境驱动因素的基本框架。IPAT 模型的一般形式为: $I = PAT$, 其中 I 表示环境影响, P 为人口效应, A 为经济效应, T 表示技术效应。但该模型仅通过变动某一控制变量而保持其他变量静止来研究环境现象, 会产生因变量等比例变动, 因此 IPAT 模型仅适用于单位因素弹性分析。为了弥补 IPAT 模型的局限性, Dietz 等将 IPAT 改进为随机模型——STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology) 模型, 基本形式为:

$$I = aP^bA^cT^de \quad (1)$$

其中, I 、 P 、 A 、 T 表示的含义不变, 但在此基础上增加了估计参数 a , 随机扰动项 e 。 b 、 c 、 d 分别表示人口效应、经济效应和技术效应的弹性系数。当 $a=b=c=d=e=1$ 时, STIRPAT 模型即为 IPAT 模型。因此, STIRPAT 模型扩展了原有模型适用范围, 可应用于非单位弹性因素研究。对 STIRPAT 模型两边取对数, 形式变为: $\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e$ 。STIRPAT 模型的优势不仅体现在允许对各系数进行参数估计, 更为重要的是可对三大驱动因素进行适当分解, 使定量分析更为完整充分, 因而被广泛用于研究能源消费及碳排放的因素分解问题。

(二) 内在机理及路径分析

在区域产业转移过程中, 劳动、资本、知识、技术、产品等客体内容在产业转出方推力以及产业承接方拉力综合作用下, 由产业转出区转移至产业承接区。中国区域发展不均衡, 经济梯度差异明显, 碳排放也存在差别。Yan 研究认为, 产业转移的规模、结构、空间流向也会导致碳排放的自由移动^[16]。结合 STIRPAT 环境框架, 产业转移伴随大量的人口要素、经济要素以及技术要素的

自由流动，产生的人口效应、经济效应、技术效应继而会对碳排放产生促进或抑制作用（如图 1 所示）。其中，人口自由流动会导致能源消费绝对量变动，城镇化水平的提高或降低可通过改变人们生产及生活方式而对碳排放产生影响。经济增长一方面体现为生产方式更加集约高效，可有效控制碳排放，另一方面经济绝对规模的扩大意味着需要消耗更多能源资源。产业转移带来的技术溢出有利于提高资源利用效率，促使产业结构向低碳转型，形成低碳经济；各省资源禀赋存在差异但基本以煤为主，而煤是典型高碳能源，合理的产业转移可促使市场采用清洁技术，降低煤炭使用，通过改变能源结构来抑制碳排放。

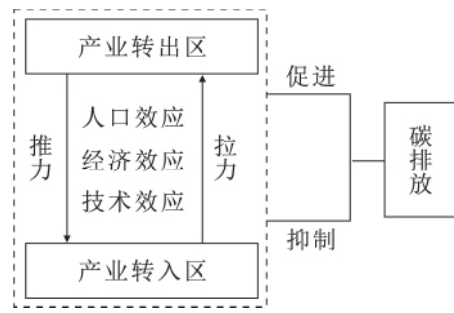


图 1 产业转移对碳排放的作用路径

三、研究方法 with 数据来源

（一）产业转移区域划分

伴随着工业化快速推进及产业结构优化升级，产业空间流向对区域发展格局产生着至关重要的影响。当前我国产业转移区位划分，最常见的是东、中、西“三大地带”及东北、西部、东部、中部“四大板块”，以及《区域间投入产出表》划分 8 大区域。但上述划分方法仅从地理区位整体发展状况出发，忽略了各省在产业转移过程中“转出方”或“承接方”角色的确定，并且这种大区划分方法也未考虑到各省碳排放差异化现象，使研究结果容易出现偏差^[17]。

本文借鉴成艾华等^[12]及 Xu 等^[6]的研究方法，结合各省工业累计发展特征和工业增加值份额变动趋势将全国 30 个省份划分为三类区域，即产业转出区、产业强转入区及产业弱转入区^①（如表 1 所示）。其中，工业累计发展特征具体采用两个典型指标，一是人均 GDP，作为收入指标直观反映

表 1 1995—2013 年三类区域工业增加值份额与工业累计发展特征

年份	产业转出区			产业强转入区			产业弱转入区		
	工业增加值 份额	工业累计发展特征 指标 1 指标 2		工业增加值 份额	工业累计发展特征 指标 1 指标 2		工业增加值 份额	工业累计发展特征 指标 1 指标 2	
1995	63.29	2131.96	84.44	21.50	1083.64	75.29	15.19	847.09	70.86
1997	63.52	2580.95	86.11	21.46	1318.17	77.19	15.00	1093.18	71.88
1999	64.25	3040.18	88.07	21.26	1515.16	79.78	14.47	1242.41	75.10
2001	64.73	3456.87	89.71	21.57	1795.80	81.83	13.67	1410.96	77.69
2003	65.30	4275.43	87.71	21.55	2206.81	84.64	13.13	1673.37	79.23
2005	64.22	5379.83	92.18	22.52	2915.24	85.28	13.24	2124.13	81.19
2007	61.78	6516.51	92.02	23.96	3713.07	85.98	14.24	2686.22	81.72
2009	59.21	7572.51	93.03	25.90	4695.54	88.95	14.88	3299.95	83.88
2011	55.52	8885.48	93.27	27.79	6018.78	89.75	16.68	4302.89	85.23
2013	54.39	9793.36	93.05	27.93	6860.66	91.27	17.66	5040.26	85.83
均值	61.74	5279.86	85.31	23.48	3149.29	79.14	14.78	2323.51	74.85

注：指标 1 为人均 GDP（元）；指标 2 为非农产业所占比（%）；由于文章篇幅限制，仅选取了部分年份。

资料来源：《中国统计年鉴》。

① 考虑到数据的一致性和可获得性，西藏及台湾、香港、澳门不包括在研究之内。

工业化水平; 二是非农产业所占比, 作为结构指标衡量工业在经济发展中的地位。省际工业产业转移状况用各省工业增加值所占份额及其变动趋势来反映, 即将工业增加值作为基数 100, 分别计算各省当年工业增加值份额, 通过比较 1995—2013 年间各省工业增加值份额动态变化来描述国内产业转移状况。

由于以往文献没有适合于本文对工业累计发展特征的划分标准, 为减少主观臆断性, 本文首先将 30 个省份分别按工业累计发展特征的两指标排序, 再结合各省工业增加值所占份额及其变动趋势将前 10 个省份划为一组为产业转出区, 之后 10 省份为产业强转入区, 最后 10 省份为产业弱转入区。

(二) 动态面板模型

由于经济行为具有一定的连贯性和持续性, 如前期的能源消耗会对后期能耗产生影响, 因此需要引入被解释变量的滞后项, 这也有利于对模型中其他系数一致性和有效性的估计。但是, 引入被解释变量的动态滞后项与模型内随机扰动项中的个体效应存在相关性, 易造成内生性问题。若无视这种相关性, 依然使用 OLS 对动态面板模型进行估计, 会造成估计值较真实值上偏^[18], 而使用固定效应方法估计则会较真实值下偏^[19]。

为解决模型内生性和数据异质性造成的偏差, Hsiao 首先提出系数一致性估计方法, 核心是一阶差分后对动态面板模型运用工具变量进行估计, 但由于差分后随机误差项存在自相关性, 因此估计值并不具有有效性。随后学者提出了动态广义矩法 (Generalized Method of Moments, GMM), 既可有效避免内生性问题, 又可解决变量序列相关性。动态 GMM 估计包括一阶差分广义矩 (DIF-GMM) 和系统广义矩 (SYS-GMM)。Arellano 等^[20]提出了一阶差分广义矩 (DIF-GMM), 通过对原模型进行差分可消除个体固定效应, 虽然模型估计值更有效, 但是模型使用前必须满足残差序列相关性检验; 之后 Blundell 等^[21]提出系统广义矩, 核心在于增加了一个假设: 工具变量的差分外生于个体效应, 可以作为水平方程的工具变量。SYS-GMM 同时利用差分方程和水平方程信息, 极大程度地减小了一阶差分广义矩估计偏误。因此, 本文在 STIRPAT 模型基础上采用 SYS-GMM 模型分析工业产业转移碳排放变化。在上述分析基础上, 构建含有碳排放滞后项的动态面板模型为:

$$\ln C_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln C_{it-1} + \beta_2 \ln P_{it} + \beta_3 \ln A_{it} + \beta_4 \ln T_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, i 表示不同的省份 ($i=1, \dots, 30$), t 表示年份 ($t=1995, \dots, 2013$); C_{it-1} 为碳排放量的滞后项。

(三) 数据及指标选取

本文选取 1995—2013 年 30 个省份 (西藏、港、澳、台除外) 面板数据, 具体数据来源于《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》和《中国劳动统计年鉴》, 碳排放系数引用 IPCC (2006) 《国家温室气体排放清单指南》。1996、1997 年重庆市缺失人口数据, 2000—2002 年宁夏及 2002 年海南缺失能源消费数据, 文本均采用插值法进行补全。

1. 被解释变量。依据 IPCC 《国家温室气体排放清单指南》关于能源碳排放计算的方法, 对省域层面的工业碳排放量进行测算:

$$C = \sum_i^n (E_i \times F_i \times \frac{44}{12}) \quad (3)$$

其中, C 表示 CO_2 的排放量, 单位为 10^4t ; E_i 为第 i 种能源折算成标准煤量, 单位是万吨标准煤; F_i 为第 i 种能源的碳排放系数 (如表 2 所示); $\frac{44}{12}$ 为碳和 CO_2 的转换系数; i 为能源种类, 本文选取原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、其他石油制品和天然气共 17 类能源进行动态

测算。

2. 解释变量。(1) 表征经济效应的指标为人均 GDP (LNPGDP) 和产业结构优化 (LNIS): 经济发展水平反映资源集聚程度, 发展水平越高越倾向于低碳化, 本文以人均实际 GDP 衡量经济发展水平^[22]; 工业发展会导致产业格局变化, 由劳动密集型、资本密集型向技术密集型转变, 最明显的特征表现为第三产业发展速度、规模会明显快于第二产业, 本文用第三产业增加值与第二产业增加值比例衡量产业结构优化^[23]。(2) 表征人口效应的

指标为人口规模 (LNPOP) 和城镇化水平 (LNURB): 人口绝对数量的变化会直接导致能源需求变化, 本文用地区总人口数衡量; 城镇化与经济发展关系复杂交错, 快速城镇化在加快产业集聚的同时消耗大量能源, 本文选用城镇总人口与实际总人口之比来衡量^[24]。(3) 表征技术效应的指标为工业碳排放强度 (LNCD)、专利授权数 (LNPAT) 及能源消费结构 (LNES): 单位 GDP 能耗反应能源使用效率, 本文借鉴 Xu 等^[6]的研究方法, 用工业碳排放强度作为衡量指标, 具体测算为单位 GDP 消耗工业碳排放; 专利的数量与质量可作为衡量一国科学技术水平的重要指标^[25], 而技术进步有利于企业生产节能降耗, 本文采用专利授权数来衡量技术进步; 当前各地区能源结构依然以煤为主, 煤是高碳能源, 控制煤炭使用规模或提高煤炭利用率均可有效降低碳排放, 采用煤炭消费量占能源消费总量的比值来表示能源结构。

为了统一量纲和数量级, 人均 GDP 和产业增加值统一以 1978 年数据为基期进行平减, 并且对变量进行对数化处理。如表 3 所示, 全国及区域数据的描述性统计并不存在明显偏差, 数据较为合理。

表 3 描述性统计

	平均值	最大值	最小值	标准差	观测数
全国					
LNPGDP	7. 979 604	9. 695 923	6. 166 255	0. 756 104	570
LNIS	-0. 132 270	1. 236 439	-0. 720 080	0. 307 752	570
LNPOP	8. 119 324	9. 343 997	6. 122 931	0. 777 678	570
LNURB	3. 665 012	4. 520 496	-1. 153 610	0. 697 242	570
LNCI	2. 647 472	5. 129 345	0. 892 471	0. 602 230	570
LNPAT	7. 957 172	12. 505 970	0. 693 147	1. 621 338	570
LNES	4. 197 794	5. 098 386	2. 974 905	0. 327 267	570
产业转出区					
LNPGDP	8. 461 444	9. 629 578	7. 041 004	0. 638 196	190
LNIS	-0. 148 948	1. 236 439	-0. 669 270	0. 398 771	190
LNPOP	8. 408 379	9. 272 752	7. 122 867	0. 599 934	190
LNURB	3. 883 760	4. 520 496	2. 414 212	0. 388 000	190
LNCI	2. 210 525	3. 457 525	0. 892 471	0. 508 471	190
LNPAT	9. 201 679	12. 505 970	6. 838 405	1. 287 527	190
LNES	4. 064 850	4. 597 228	2. 974 905	0. 281 141	190

续表 3

	平均值	最大值	最小值	标准差	观测数
产业强转入区					
LNP GDP	7.905 518	9.695 923	6.636 326	0.728 965	190
LNIS	-0.206 818	0.111 632	-0.720 080	0.191 808	190
LNPOP	7.987 321	9.268 704	6.256 153	0.783 874	190
LNURB	3.528 095	4.459 901	-1.153 610	1.072 197	190
LNCI	2.908 068	5.129 345	1.782 700	0.586 102	190
LNPAT	7.642 113	10.796 490	4.430 817	1.271 609	190
LNES	4.446 965	5.098 386	3.782 686	0.244 986	190
产业弱转入区					
LNP GDP	7.571 849	8.728 243	6.166 255	0.613 504	190
LNIS	-0.041 045	0.797 594	-0.590 720	0.274 036	190
LNPOP	7.962 271	9.343 997	6.122 931	0.848 565	190
LNURB	3.583 180	4.364 875	2.962 246	0.299 589	190
LNCI	2.823 823	3.832 448	1.694 385	0.445 372	190
LNPAT	7.027 725	10.740 110	0.693 147	1.453 991	190
LNES	4.081 568	4.654 461	3.227 795	0.299 373	190

四、实证分析

(一) 产业转移区域划分结果

通过归纳分析, 产业转出区主要集中于经济发达的东部沿海地区, 工业增加值份额平均为 61.74%, 明显高于其他两区域工业增加值份额之和, 近年来所占份额开始下降, 表明产业已逐步向外转出, 并且该区域经济发展基础优势明显, 1995—2013 年平均人均 GDP 为 5 279.86 元, 非农产业所占占比近 85.31%, 工业化一直维持在较高水平, 包括北京、上海、河北、江苏、浙江、山东、广东、辽宁、福建及黑龙江; 产业强转入区主要集中了工业化快速推进的省份, 工业增加值份额平均为 23.48%, 并且所占份额逐年增长, 表现出产业的集聚与转入, 兼具相对较高的人均 GDP 和非农产业所占占比, 包括天津、山西、内蒙古、河南、陕西、吉林、湖北、安徽、重庆及宁夏; 产业弱转入区主要集中在经济欠发达的中、西部地区, 工业增加值份额平均仅为 14.78%, 平均人均 GDP 为 2 323.51 元, 非农产业所占占比为 74.85%, 在工业化阶段积极承接产业转入, 既促进了本区域工业化发展, 也为东部地区产业转型升级提供发展空间, 包括江西、湖南、广西、海南、四川、贵州、云南、甘肃、青海和新疆 (如图 2 和表 4 所示)。

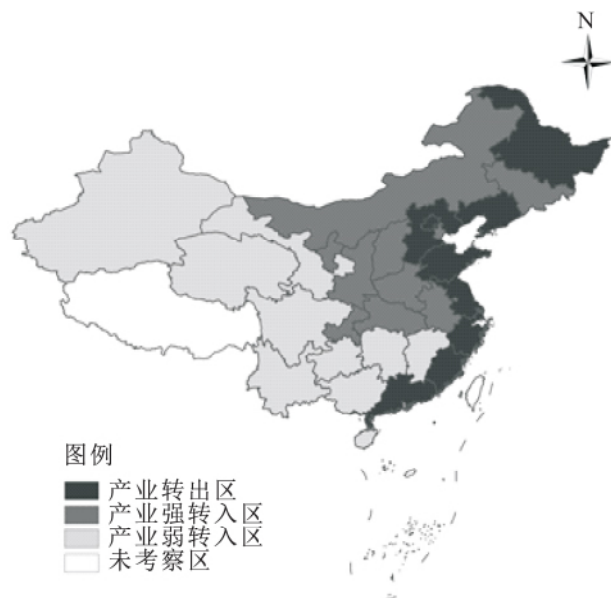


图 2 中国产业转移三大区域划分

表4 1995—2013年三类区域工业产业转移及碳排放变化趋势

年份	产业转出区		产业强转入区		产业弱转入区	
	工业增加值份额 (%)	碳排放份额 (%)	工业增加值份额 (%)	碳排放份额 (%)	工业增加值份额 (%)	碳排放份额 (%)
1995	63.29	46.85	21.5	31.76	15.19	21.38
1996	63.15	45.77	21.61	32.76	15.22	21.47
1997	63.52	45.94	21.46	33.2	15	20.86
1998	63.84	46.5	21.23	32.76	14.9	20.74
1999	64.25	45.74	21.26	35.69	14.47	18.57
2000	64.99	47.52	21.16	34.7	13.83	17.78
2001	64.73	45.83	21.57	36.31	13.67	17.85
2002	64.91	44.26	21.62	38.35	13.44	17.39
2003	65.30	46.27	21.55	35.29	13.13	18.44
2004	64.97	47.03	21.73	34.26	13.28	18.71
2005	64.22	48.74	22.52	31.17	13.24	20.09
2006	63.14	48.28	22.99	31.28	13.85	20.45
2007	61.78	48.84	23.96	31.13	14.24	20.04
2008	60.09	48.51	25.23	31.35	14.66	20.14
2009	59.21	46.86	25.9	31.46	14.88	21.68
2010	57.33	47.37	26.72	32.15	15.93	20.48
2011	55.52	46.68	27.79	33.2	16.68	20.13
2012	54.47	45.77	28.39	31.95	17.12	22.28
2013	54.39	45.54	27.93	32.24	17.66	22.21

资料来源:根据1995—2013《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》计算整理。

(二) 产业转移与碳排放变化

从表4可以看出,产业转出区经济发展更具规模。1995—2003年,产业快速集聚,之后工业增加值份额由2003年65.30%降至2013年54.39%,下降了约10.91个百分点,说明产业转出区开始向外转移工业产业。碳排放份额变化同工业增加值份额变化大体相似,虽然1998年金融危机该区域碳排放出现波动,但2005年之后碳排放呈下降趋势,原因可归于两方面,一是产业转出区凭借工业经济发展促进低碳技术创新,提高能源使用效率,二是产业转出区进行工业产业转移,期间伴随产生碳转移。

由于工业化快速推进,产业强转入区工业增加值份额从1995年的21.5%增至2013年的27.93%,表明产业转移更倾向于流入经济较发达地区,产业强转入区比弱转入区承接更多的产业转移。然而,1995—2013年产业强转入区人均碳排放量为2.038吨,产业转出区人均碳排放值约为2.077吨,虽然两者差距微乎其微,但同期产业转出区人均GDP基本是产业强转入区的1.68倍,说明产业强转入区能源效率不高,单位能源利用存在浪费现象,同时也说明产业转移带来大量碳排放。值得注意的是,2002—2007年工业增加值份额持续增加而碳排放份额却有所缩小,说明工业产业转入与碳排放空间流向并不一定耦合,这可能与承接产业的选择有关。2007年之后,产业强转入区碳排放份额开始逐步增加。

产业弱转入区工业增加值份额变化趋势不同于其他两个区域,呈U型非线性特征。1995—2005年工业增加值份额趋于下降,说明产业弱转入区承接产业转移的速度要滞后于产业强转入区,但以2005年的13.24%为分界点,工业增加值份额明显增长,表明该区域开始承接产业转移。与之类似,产业弱转入区碳排放份额U型曲线以2002年为分界点,所占份额从17.39%增长至2013

年的 22.21%, 涨幅约 4.82 个百分点, 高于同时期工业增加值份额增长幅度, 可以推断产业弱转入区工业发展更加依赖能源消耗, 存在产业转入与碳排放转入同时发生的空间特征。

(三) 区域碳排放动态效应与差异

Hansen J-test 用来检验 SYS-GMM 中工具变量的过度识别问题。如表 5 所示, 模型 1—4 均通过工具有效性检验, 即接受“过度约束正确的零假设”。Arellano-Bond AR (2) 的 p-value 不显著, 说明一阶差分后的二阶残差序列不相关, 满足 GMM 估计的原假设, 因此可认为模型基本可靠, 得到的估计结果可以信赖。为了避免模型存在多重共线性, 分别对模型 1—4 进行相关系数检验, 各变量间相关系数较低, 因此变量间不存在多重共线性问题。

表 5 动态面板模型回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
LNCS (-1)	0.0648*** (0.0204)	0.3608*** (0.1131)	0.0841** (0.0480)	0.2765** (0.1462)
LNPGDP	-0.6352*** (0.0331)	-0.3374*** (0.1098)	-1.0809*** (0.1480)	-0.8418** (0.3638)
LNIS	-0.8740*** (0.0679)	-0.9764*** (0.2459)	-0.3089 (0.2127)	-0.8520*** (0.2895)
LNPOP	1.1571*** (0.1701)	1.6017 (1.2709)	0.5919 (1.0393)	-0.3570 (0.9966)
LNURB	-0.0101 (0.0142)	-0.1225 (0.1006)	-0.0653 (0.6320)	-0.0960 (0.1476)
LNCI	0.9714*** (0.0280)	0.7736*** (0.2198)	0.8454*** (0.0698)	0.6765*** (0.1446)
LNPAT	0.1162*** (0.0153)	0.0542 (0.0686)	0.0054 (0.0733)	0.1078*** (0.0383)
LNES	-0.0177 (0.0362)	-0.5096 (0.9476)	0.0145 (0.2902)	0.1286 (0.2545)
AR (2)	0.3610	0.7498	0.8687	0.1835
Hansen J-test	26.0820	3.4853	2.2886	2.1171
Hansen J-test (p-value)	0.2970	0.1750	0.3184	0.5484
instrument	30	10	10	10

注: 1. **、*** 分别表示参数估计值在 5%、1% 的水平上显著; 2. 括号内为 Std. Error。

表 5 显示产业转移中碳排放动态回归结果, 其中, 模型 1 是全国碳排放动态效应回归结果, 除此之外, 为深入了解产业转移过程中区域碳排放存在的规律与特征, 模型 2—4 分别实证产业转出区、产业强转入区和产业弱转入区的碳排放动态效应。

从全国层面看, 碳排放滞后项系数显著为正, 说明碳排放存在明显路径依赖特征。人口规模对碳排放作用显著为正, 原因在于产业转移不仅推动产业转入区工业化发展, 直接增加用能需求, 同样也推进城市化及居民生产方式和生活方式的改变, 其中生产方式在生产过程中通过增加用能需求而对碳排放产生间接影响。人均 GDP 对碳排放影响为负, 说明经济发展会促进碳减排, 原因在于工业化深入发展导致传统能源需求下降, 新能源和可替代能源逐渐增加, 同时技术、资本等非能源替代要素的重要性愈发突出, 促进了节能减排。产业结构优化系数显著为正, 表明第三产业比重提高促进经济向低碳化发展, 产生显著减排效果。工业碳排放强度系数以及发明专利系数显著为正, 说明工业低碳技术降低了单位能耗, 促进了碳减排; 能源消费结构变化系数为负, 但并不显著。总体来看, 表征技术效应的指标基本与经济理论预期相符, 说明单纯依靠控制碳排放规模并不能根本

实现碳减排,发展低碳技术才是长久之计。

在三大区域中,碳排放滞后项、表征经济效应的人均 GDP 和产业结构优化以及表征技术效应的工业碳排放强度和发明专利指标对碳排放的动态效果均较为显著,并且同全国数据方向一致。其中,人均 GDP 对碳排放的弹性系数分别为 -0.3374 、 -1.0809 和 -0.8418 ,可以看出产业转移推动区域经济发展从而降低碳排放的巨大贡献。从经济发展动态趋势来看,产业转出区人均 GDP 从 1995 年的 2 131.96 元增长到 2013 年的 9 793.36 元,接近 4.59 倍的增幅,而产业强转入区增幅更为显著,从 1995 年的 1 083.64 元增长到 2013 年的 6 860.66 元,增幅接近 6.33 倍,产业弱转入区经济发展虽不及产业强转入区,但 2013 年经济增幅基本上是 1995 年的 5.95 倍。从经济发展年均增长率来看,产业强转入区经济发展最快,接近 10.1% 的增长,其次是产业弱转入区,接近 10.61% 的增长。产业结构优化系数全部为负,并且除产业强转入区外非常显著,产业弱转入区系数值仅次于产业转出区。由此可见,工业化发展加快了产业转入区经济发展方式向集约、高效型转变,产业结构由重型化向轻型化发展,直接降低能源消耗;并且通过产业转出区转移边际产业、淘汰落后产能,促进经济要素高效流动,提高资源配置效率。

工业碳排放强度系数在三大区域显著为正,其中产业强转入区减排效果最优;发明专利系数均为正,但除产业弱转入区外其余两区域系数并不显著。纵向比较三大区域,低碳技术产生的节能降耗效果在产业弱转入区更为明显。同 1995 年相比,2013 年产业弱转入区碳排放强度下降幅度约为 64.02%,说明产业转移产生技术溢出效应,有效提升企业技术模仿能力及自主研发能力,降低了单位产值能耗。尤其是发明专利系数在三区域中显著为负,充分说明技术转移对碳减排的巨大贡献。但是产业弱转入区碳排放强度系数较高也在一定程度上说明能源利用效率不高,存在能源浪费现象,这与其经济发展相对落后有关。产业转出区工业碳排放强度一直维持在较低水平,1995—2013 年平均碳排放强度为 9.646 吨/万元,明显低于产业强转入区 18.777 吨/万元及产业弱转入区 17.555 吨/万元,说明产业转出区虽然终端能耗数量庞大,但是凭借雄厚规模效应及技术效应,使单位工业增加值能耗维持在较低水平。充分利用产业转移“腾笼换鸟”,促进产业结构优化升级,工业碳排放持续降低,2013 年工业碳排放强度相比 1995 年下降约 54.41%。能源消费结构系数在产业转出区为负,与全国方向一致,在产业转入区则呈正向,并且三区域弹性系数均不显著。原因在于各地区“一煤独大”的能源结构尚未改变,虽然近年国家明确煤炭去产能,但调控时间较短,对碳排放影响并不显著。

滞后一期碳排放系数显著为正,再次验证了碳排放存在惯性。尤其是产业转出区滞后期系数明显高于其他两个区域,说明产业转出区能源消费基数较大,存在“碳锁定”效应。产业弱转入区滞后期系数紧随其后,显著高于产业强转入区。1995—2013 年产业强转入区和产业弱转入区人均碳排放平均增长率分别为 5.18% 和 5.63%,表明区域内高额碳排放伴随经济高速增长,也意味着产业转移带来了碳转移。尤其是 1995—2013 年产业弱转入区人均碳排放平均增长率高出产业强转入区 0.45 个百分点,但人均 GDP 平均增长率却低于 0.39 个百分点,说明产业弱转入区承接外部产业转移过程中扮演区域碳排放主体,肩负碳转移减排及本土产业减排双重压力。值得注意的是,人口规模带来的碳排放效应不同于全国层面结果,产业转入区系数为正,但产业转出区系数为负,并且均未通过显著性检验;城镇化水平系数虽在全国和区域双层面呈负向,但也未通过显著性检验,说明人口规模和城镇化水平并不能作为动态指标来衡量区域碳排放效果。因此,不能过高或简单评价人口绝对数量对碳排放的影响,当前人口大规模流动带来的不同地区生活方式与生产方式的差异以及区域内不同城镇化水平都会对碳排放产生复杂影响。

综合分析,人均 GDP、产业结构优化、工业碳排放强度是碳减排的主要驱动力,而碳排放滞后项是碳排放增长的主要原因。在短期内,产业转移会促使能源要素流动及区域产业结构变化,尤

其是资源型产业的重新布局会强化能源消费偏好, 碳排放在产业转移初期势必增长。但从长远来看, 产业转移可以合理配置资源, 加之技术持续溢出及结构优化效应不断显现, 承接产业会更加倾向于技术密集型, 促使区域高碳产业转入比重和碳排放转入比重发生转变, 因此, 产业转移并不是导致碳转移的前提, 转移产业的选择及转移过程中产业调整与优化升级依然是最应优先考虑的因素。当然, 分区后发现各区域碳排放动态效应虽有差异, 但差异并不是很大, 原因之一可能是产业转移带来碳转移, 同时也促使洁净技术和“干净”产业的转移, 产生节能减排效果, 同时产业转出区虽然向外转移了部分工业产业, 但自身存在“碳锁定”效应使碳排放份额下降缓慢; 原因之二在于, 三区域划分较为粗略, 区域内各省份发展参差不齐, 导致分区数据有所偏差。

最后, 对模型 1—4 进行面板残差平稳性检验, 以再次验证模型结果稳健性。如表 6 所示, 模型 1—4 均通过面板残差平稳性检验, 说明 SYS-GMM 模型估计结果稳健。

表 6 面板残差平稳性检验

	Levin, Lin & Chu t*	Breitung t-stat	Im, Pesaran and Shin W-stat
模型 1	-3.272 11*** (0.000 5)	-6.133 05*** (0.000 0)	-6.133 05*** (0.000 0)
模型 2	-5.713 70*** (0.000 0)	-3.006 11*** (0.000 0)	-4.767 98*** (0.000 0)
模型 3	-8.805 13*** (0.000 0)	-2.688 85*** (0.003 6)	-6.110 92*** (0.000 0)
模型 4	-5.683 65*** (0.000 0)	-3.436 35 (0.000 3)	-3.544 26*** (0.000 2)

注: 1. **、*** 分别表示参数估计值在 5%、1% 的水平上显著; 2. 括号内为相应系数的 p 值。

五、结论与政策启示

文章结合 STIRPAT 模型和 SYS-GMM 模型, 分析了中国 30 个省份 1995—2013 年间产业转移过程中的碳排放动态效应和区域差异。结果显示, 人均 GDP、产业结构优化和工业碳排放强度产生碳减排效应, 而滞后期碳排放则是造成碳排放增加的重要原因。横向比较三大区域碳排放驱动因素, 产业弱转入区经济效应和技术效应产生的碳减排效果最显著, 其次是产业强转入区, 产业转出区人均 GDP 和工业碳排放强度的碳减排效果不及产业转入区且低于全国水平, 说明经济发展和技术进步对欠发达地区节能降耗贡献远高于较发达地区, 工业产业转移不仅助推中西部地区经济增长, 同时也可在一定程度上减轻污染。同时我们还发现人口规模对碳排放的影响并不明确, 因此不能简单或过高评价人口绝对数量对碳排放的影响。文章实证结果说明产业转移并不是碳转移的前提, 关键还在于经济发展与技术减排。

当前碳减排已成为我国产业转移的硬性外部约束。结合实证结果, 本文认为首先应当明确区域经济竞争力存在差距, 从生产侧角度来制定差异化减排政策, 提高环境门槛。具体而言, 首先, 产业转出区应制定更为严格的碳减排标准, 积极顺应产业转移趋势实现结构优化, 进一步降低碳排放集聚; 产业强转入区需采取强制减排政策, 提升能源利用效率, 实现低碳转型; 产业弱转入区需兼顾减排义务, 在经济发展中将环境污染降到最低。其次, 产业转入区应积极顺应丝绸之路经济带建设强力带动西部大开发的有利时机, 破除单纯发展资源型产业而陷入的“资源诅咒”陷阱, 以产业集聚的方式逐步承接技术密集型产业, 尤其是支持低能耗、高收益产业发展。最后, 应大力鼓励技术创新, 提高碳排放强度, 降低能源投入边际成本。产业转入区政府和企业应充分重视承接产业转移的生态环境效应, 加强同产业转出区在低碳技术领域的合作与交流, 实现“资源节约型”、“环境友好型”社会发展目标。此外, 各地政府还应重点扶植并积极引导战略性新兴产业发展, 重视能源替代产业及太阳能、风能等新能源产业发展, 减少对化石能源的依赖。

参考文献

- [1] 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).
- [2] Copeland, B. R., M. S. Taylor. Trade and the environment——A partial synthesis[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1995, (3).
- [3] Xu, Y., E. Dietzenbacher. A structural decomposition analysis of the emissions embodied in trade[J]. *Ecological Economics*, 2014, (5).
- [4] Michalek, G., R. Schwarze. Carbon leakage: Pollution, trade or politics? [J]. *Environmental Development and Sustainability*, 2016, (6).
- [5] 李健, 肖境, 王庆山. 基于京津冀区域产业梯度转移的碳减排配额研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, (2).
- [6] Xu, J., M. Zhang, M. Zhou, et al. An empirical study on the dynamic effect of regional industrial carbon transfer in China[J]. *Ecological Indicators*, 2017, (2).
- [7] 李平星, 曹有挥. 产业转移背景下区域工业碳排放时空格局演变——以泛长三角为例[J]. 地理科学进展, 2013, (3).
- [8] Liu, Y., H. W. Xiao, N. Zhang. Industrial carbon emissions of China's regions: A spatial econometric analysis [J]. *Sustainability*, 2016, (2).
- [9] Liang, H. W., L. Dong, X. Luo, et al. Balancing regional industrial development: Analysis on regional disparity of China's industrial emissions and policy implications[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, (3).
- [10] Wei, C., J. L. Ni, L. M. Du. Regional allocation of carbon dioxide abatement in China[J]. *China Economic Review*, 2012, (3).
- [11] Liu, L. C. Accounting for China's regional carbon emissions in 2002 and 2007 production-based versus consumption-based principle[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, (3).
- [12] 成艾华, 魏后凯. 促进区域产业有序转移与协调发展的碳减排目标设计[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, (1).
- [13] Wang, Z. H., L. Yang. Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing-Tianjin-Hebei economic band case[J]. *Ecological Indicators*, 2015.
- [14] Sun, L. C., Q. W. Wang, P. Zhou, et al. Effects of carbon emission transfer on economic spillover and carbon emission reduction in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112.
- [15] Ehrlich, P. R., J. P. Holdren. Impact of population growth[J]. *Science*, 1971, (3977).
- [16] Yan, Y. F., L. Yang. China's foreign trade and climate change: A case study of CO₂ emissions[J]. *Energy policy*, 2010, (1).
- [17] 许静, 周敏. 中国工业产业转移区域划分研究——基于多指标面板数据的聚类分析[J]. 经济问题探索, 2016, (3).
- [18] Hsiao, C. *Analysis of Panel Data*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- [19] Nickell, S. Biases in dynamic models with fixed effects[J]. *Econometrica*, 1981, (6).
- [20] Arellano, M., S. R. Bond. Some tests of specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an application to employment equations[J]. *Review of Economic Studies*, 1991, (2).
- [21] Blundell, R., S. Bond. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models[J]. *Journal of Econometrics*, 1998, (1).
- [22] 孙叶飞, 周敏. 中国城镇化、产业结构高级化对 CO₂ 排放的影响——基于独立效应和联动效应双重视角[J]. 资源科学, 2016, (10).
- [23] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, (5).
- [24] 秦佳, 李建民. 中国人口城镇化的空间差异与影响因素[J]. 人口研究, 2013, (2).

[25]金海军. 我国专利、专利产业化的现状及其原因探讨[J]. 中国软科学, 2003, (1).

Dynamic Effect and Mechanism of Carbon Emission during Regional Industrial Transfer in China

XU Jing, ZHOU Min, XIA Qing

Abstract: Base on STIRPAT extension model, the SYS-GMM is applied to investigate the dynamic changes and regional difference of carbon emission in the process of regional industrial transfer in China by using annual data ranging from 1995 to 2013. The estimated results show that both real GDP per capita, industrial structure and industrial carbon emission intensity will produce the effect of carbon emission reduction, especially in the less-developed regions. However, the carbon emission lag will contribute to carbon emission increase. The regional result of population which is different from the country result is not significant. Therefore, the influence of population on carbon emission shouldn't be accessed to a high level or in a simple way. Although carbon emission is tough external constraint in China, the industrial transfer is not a precondition of carbon pollution. The key ways of reducing carbon emission lie in economic development and technical innovation. As a result, encouraging low carbon technology innovation, optimizing industrial structure and formulating the environmental regulation policies for regional differentiation are effective methods to achieve the virtuous cycle of China's industrial carbon emission.

Key words: industrial transfer; carbon emissions; the dynamic effect; STIRPAT; SYS-GMM; regional difference

(责任编辑 朱 蓓)