

中国制造业碳排放的时空变化与影响因素分析

郑佳佳

(河南大学 商学院,河南 开封 475004)

摘要:2005—2015年间,中国制造业碳排放不仅总量增长迅速,而且地区间存在明显差异。利用中国30个省份制造业的碳排放数据,基于Theil指数及空间自相关刻画其空间分布特征,利用空间面板计量模型分析其影响因素。结果表明:(1)制造业碳排放空间Theil指数逐渐增大,区域内和区域间差异均表现出一致的增长趋势,其中东部地区内部差异最大。(2)制造业碳排放呈现显著的空间相关性,热点区域在样本期间有所增长,“高一高”或“低—低”相邻的省份区域较为显著,尤其是在东部地区。(3)地区经济水平、制造业的生产和出口活动、能耗强度、煤炭消费比重、煤炭资源禀赋不仅显著促进本地区制造业碳排放,也会对相邻省份产生显著影响;而对外贸易和引进外资则有助于地方制造业的碳减排,但对相邻地区的影响存在差异。

关键词:制造业碳排放;Theil指数;空间自相关;空间计量模型

中图分类号:F426 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-6049(2019)02-0048-12

一、引言与文献综述

2016年中国政府在《巴黎协定》中承诺“单位GDP的CO₂排放量2030年较2005年降低60%—65%”。制造业是中国实体经济增长的主要动力,同时也是高耗能、高碳排放的行业。据中国碳排放核算数据库(<http://www.ceads.net/>)的测算,2005—2015年间,中国制造业碳排放量从17.19亿吨增加至31.82亿吨,年均增长幅度高达6.35%;在同一时期,我国所有行业的碳排放总量从2005年的55.67亿吨增加至2015年的95.57亿吨,年均增幅约5.56%,可见制造业的碳排放增长已经超过总体碳排放的增长速度,因此制造业的碳减排会对2030年中国总体碳减排目标的实现产生重要影响。2015年5月国务院出台《中国制造2025》,提出2025年中国“单位工业增加值的CO₂排放要比2015年下降40%”,这将助推制造业碳减排,实现“绿色发展、制造强国”的目标。至此,制造业碳减排问题成为整个国民经济低碳发展的核心所在,也是学术界研究的热点问题。

目前对中国制造业碳排放问题的研究从研究范围来看集中于以下两个层次:一是基于国家宏观层面制造业碳排放的研究。具体又可分为三个研究重点:(1)制造业碳排放的测算。在国内外的环境统计工作中,碳排放量的估算方法包括物料衡算法、实测法、模型法和排放系数法,其中联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)2006年提出的以能源消费分类及碳排放系数为基础的排放系数法因具有政策相关性和权威性而被广泛使用^[1-8]。虽然基于同一

收稿日期:2018-12-24;修回日期:2019-03-20

基金项目:河南省科技厅软科学基金项目(192400410017);中国博士后科学基金项目(2018M642733)

作者简介:郑佳佳(1984—),女,河南郑州人,河南大学商学院副教授,博士,研究方向为能源经济、碳排放、可持续发展。

种较为权威的算法,但由于各个学者在进行测算时所选择的能源消费种类^①和排放系数差异,其测算结果相互之间并不具有可比性。(2)对制造业碳排放影响因素的分析,参考的模型包括:STIRPAT模型、Kaya恒等式、EKC曲线等,使用的方法包括:LMDI因素分解法^[3-7]、计量OLS估计^[2]、协整分析^[5]、面板估计^[6]等,得到的研究结果中,人口、经济发展、产出规模、能源强度、能源碳强度被认为是显著促进制造业碳排放的因素,而贸易出口量、FDI等因素对碳排放的影响结论却不一致^[9-11];而EKC曲线的“倒U型”拐点在制造业碳排放的发展趋势中是否存在目前也没有一致的结论^[14-9]。(3)对制造业细分行业碳排放的研究。傅京燕和张春军^[11]、朱俏俏等^[8]、刘清春等^[3]以及张明志^[4]基于不同标准将制造业细分行业进行划分并考察其影响因素,所得结论与制造业整体行业的影响因素类似,但存在细分行业的差异。二是基于区域、地区层面制造业碳排放的研究。(1)在区域层面上,李宏彪等^[12]对中部地区制造业集聚的碳排放进行了研究,认为资源密集型产业集聚会导致碳排放强度增加,而高新技术产业集聚会降低碳排放强度;王永培等^[13]基于拓展的STIRPAT模型分析了区域工业集聚对制造业细分行业碳排放的影响,认为区域工业集聚通过规模效应促进制造业碳排放总量增长,而通过学习效应和人力资本的“蓄水池”效应提升制造业的技术效率水平,降低其碳排放强度;曹广喜等^[14]关注环渤海经济圈、长江经济带、泛珠三角经济圈、丝绸之路经济带四个经济区域的制造业碳排放与经济发展脱钩状况,基于空间面板模型考察其脱钩关系的空间效应,认为不同的经济区域存在较为显著的空间异质性和空间依赖性;谢波和李松月^[10]采用DEA方法中的EBM模型,测算中国西部地区制造业的碳排放绩效,基于面板Tobit模型分析贸易开放和技术创新对该绩效的影响,认为二者均有助于提升西部制造业的碳排放绩效;(2)在地区层面上,沈友娣等^[15]分析了安徽省制造业碳排放的分布状态和驱动因素,认为能源消费结构、人均制造业增加值、从业人数对碳排放存在正向作用,而技术因素则抑制碳排放。

在上述研究中,无论是行业整体分析,还是细分行业分析,或是区域(地区)层面的分析,制造业碳排放的发展趋势(是否存在EKC拐点),影响因素和影响方向均存在差异,这一方面来源于学者对制造业碳排放的测算方法和标准选择差异;另一方面更可能来源于制造业经济活动在细分行业和地区之间的差异,不仅表现为绝对量的差异,同时表现为相对量的差异,然而目前相关文献对地区间制造业碳排放的相对差异关注并不多,少数文献对部分地区制造业碳排放的研究因测算差异并不具有可比性;进一步,制造业的经济活动不仅存在空间差异,同时存在着空间关联,因而制造业碳排放的研究不仅应当关注本地经济活动的影响,更应该关注地区之间的空间关联性影响,但极少有学者对此进行研究。

目前,中国并无官方的分地区、分行业碳排放数据,中国自然科学基金委员会和中国科学院联合英国研究理事会(Research Council UK)、牛顿基金(Newton Fund)的多名专家共同设立了中国碳排放核算数据库,旨在为学者和政府提供准确、及时的排放数据,供学术研究和政策参考。已有学者基于该数据库进行了相关的研究,如Yang Ding and Feng Li^[16]、Liu *et al.*^[17]等。本文从该数据库获得中国分地区制造业碳排放数据,对我国地区间制造业碳排放空间分布格局及影响因素进行分析,既克服了地区数据获得性不足造成的测算偏误,同时避免了不同方法、标准下的数据不可比问题,而且从地区和行业两个维度对我国制造业碳排放的空间格局及影响因素进行分析,是对以往相关研究的深化和延伸。因此,本文拟在以下三个方面进行创新:(1)基于Theil指数分析中国及三大地带制造业碳排放分布差异及其时序演变特征;(2)基于Moran'I指数等考察制造业碳排放的空间格局演变特征;(3)结合空间差异和相关性,基于空间面板计量模型考察影响制造业碳排放的关键因素,旨在为中国制定有效的制造业碳减排策略提供科学依据和参考。

^①刘爱东等(2014)的研究只选取了煤炭、石油、天然气3种能源消费量;张明志(2015)则包含了至少19种能源;丁唯佳等(2012)、傅京燕和张春军(2014)使用了9种能源消费量;刘清春等(2014)则包含了16种能源。

二、数据来源与研究方法

(一) 数据来源

中国碳排放核算数据库统计了我国各地区细分行业终端能源消耗量,包括原煤、煤炭、焦炭、石油、天然气等 17 种能源,并结合 IPCC 温室气体排放清单指南对各地区分行业碳排放进行了精确测算,为分析不同行业碳排放在地区间分布状况及演变趋势提供了可能性。本文以我国 30 个省、市、自治区^①为研究单元,基于数据的可获得性将研究期间设定为 2005—2015 年。根据《中国统计年鉴》国民经济行业分类(GB T4754-2011)中的部门划分标准,制造业包括副食品加工业、食品制造业、纺织业、医药制造业、通用设备制造业等 30 个细分行业,本文对各年份、各地区制造业 30 个子行业的碳排放进行加总获得当年该地区制造业碳排放数据,基于此展开分析。

(二) 研究方法

1. 地区间制造业碳排放的区域差异测度

采用 Theil 指数测度中国地区间制造业碳排放的区域差异程度,其优点在于可以进行不同尺度的区域差异分解,同时测度组内、组间差距的贡献度。Theil 指数越大表示地区间的差异越大。利用 Theil 指数可将中国制造业碳排放的总体差异分解为东、中、西部地区内及区域间的差异。具体方法详见郑佳佳^[18]和赵雪雁等^[19]的研究。

2. 空间自相关

地理学第一定律认为:任何事物都与其他事物相关联,但较近的事物比较远的事物更关联。经济现象通常也具有空间地理单元上的关联性,因而在传统研究的基础上纳入对经济活动空间效应的考量,受到越来越多研究者的青睐。空间自相关作为进行空间计量分析的基础,一般可分为全局空间自相关和局部空间自相关。最为典型的测度空间自相关性的是“莫兰指数 I”(Moran's I):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

(1) 式中, $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$ 为样本方差, w_{ij} 表示空间权重矩阵的 (i, j) 元素(用以度量区域 i 与区域 j 之间的距离), $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$ 为所有空间权重之和。莫兰指数 I 的取值范围为 $[-1, 1]$, 大于 0 表示正相关,即高值与高值相邻、低值与低值相邻;小于 0 表示负相关,即高值与低值相邻;等于 0 则表示空间不相关。Moran's I 指数的显著性检验通过构造服从正态分布的统计量实现:

$$Z(I) = [I - E(I)] / \sqrt{\text{Var}(I)} \quad (2)$$

(2) 式中,当 Z 值显著为正时,表明存在正的空间自相关;当 Z 值显著为负时,表明存在负的空间自相关;若 Z 值为零,则表明区域间相似值呈随机分布,不具有空间相关性。

另一常用指标为“吉尔里指数 C”(Geary's C),其表达式如下:

$$C = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - x_j)^2}{2 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]} \quad (3)$$

吉尔里指数 C 的取值介于 0 到 2 之间,大于 1 表示负相关,等于 1 表示不相关,小于 1 则表示正相关。吉尔里 C 指数与莫兰指数 I 呈反向变动;一般认为,吉尔里指数对于局部空间自相关的敏感性更强。标准化的吉尔里 C* 指数服从渐进标准正态分布,因而可以用标准化的吉尔里指数 C* 检验空间自相关。

莫兰指数 I 和吉尔里指数 C 共同的缺点在于,无法区分“热点”(高值与高值聚集)和“冷点”(低

^①西藏、香港、澳门和台湾地区因数据缺失严重并未包含在内。

值与低值聚集) 区域, 因为二者均表现为正自相关。Getis and Ord(1992) 提出了“Getis-Ord 指数 G ”, 可以有效识别空间自相关中的冷、热点区域, 如下:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n x_i x_j} \quad (4)$$

(4) 式中, 标准化的 G 指数也服从渐进标准正态分布, 因而若 $G > 1.96$, 则可在 5% 水平上拒绝无空间自相关的原假设, 认为存在空间自相关, 且存在热点区域; 反之, 若 $G < -1.96$, 则可在 5% 水平上拒绝无空间自相关的原假设, 认为存在空间自相关, 且存在冷点区域。进一步地, “局部 Getis-Ord G_i 指数”可以考察某区域 i 是否为热点或冷点区域:

$$G_i = \frac{\sum_{j \neq i} w_{ij} x_j}{\sum_{j \neq i} x_j} \quad (5)$$

(5) 式中, G_i 值显著为正表明地区 i 周围的值相对较高, 为“热点”区域; 反之则为“冷点”区域。

3. 空间计量模型

基于经济活动的空间相关性, 采用嵌套时间和空间效应的空间面板杜宾模型(SDM) 来分析关键因素对中国地区制造业人均碳排放的影响, 模型设定如下:

$$E_{it} = \delta \sum_{j=1}^n w_{ij} E_{jt} + \beta x_{it} + \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ijt} \gamma + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} \sim i. i. d(0, \delta^2) \quad (6)$$

(6) 式中, 下标 $i(j)$ 和 t 分别表示地区和年份, E_{it} 和 E_{jt} 表示地区 i 和地区 j 在 t 时期的制造业人均碳排放; δ 表示回归系数; w_{ij} 表示空间权重矩阵 W 中的一个元素, 反映因变量的空间矩阵; γ 为 K 维列向量, 表示空间滞后解释变量的估计系数; μ_i 表示空间固定效应, 控制所有空间固定且不随时间变化的变量; λ_t 表示时间固定效应, 控制所有随时间变化而不随空间变化的变量; ε_{it} 表示随机误差项。

三、结果分析

(一) 中国制造业碳排放的变化趋势

图 1 显示了 2005—2015 年间中国总体碳排放量、制造业碳排放量及其所占比重的变化趋势。

通过图 1 可知, 中国总体碳排放和制造业碳排放量在 2005—2015 年都呈现出递增的趋势; 在总体碳排放中, 制造业碳排放量占比约为 30%, 而且近十年来呈现出波动中逐渐上升的趋势。在碳排放绝对量数据的基础上, 本文分别计算了我国制造业和总体的

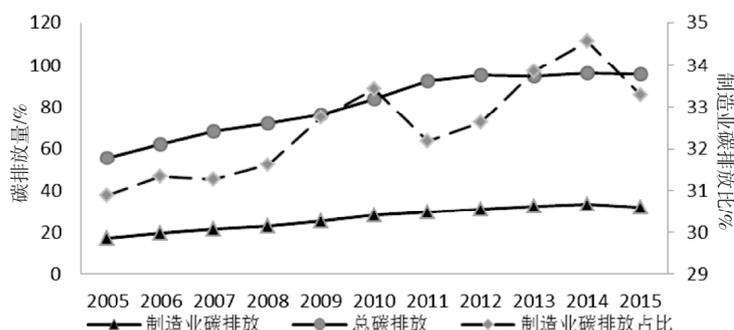


图 1 2005—2015 年间中国碳排放总量、制造业碳排放量及其占比

碳排放年均增长速度^①。结果显示: 我国制造业碳排放的年均增长率约为 6.35%, 而同期全国所有行业碳排放年均增长率约为 5.56%, 制造业部门的碳排放增长明显高于总体碳排放增长速度。尽管中国自 2006 年以来一直主张转变经济增长方式, 调整和优化产业结构, 然而制造业的碳排放并未发生显著改变, 不仅在绝对量上持续增长, 而且增长速度较快, 在整个国民经济碳排放中所占比重持续升高, 这意味着制造业“高能耗、高排放”的特征并未发生根本性变化, 未来节能减排面临着巨大的压力。

在对地区制造业碳排放进行横向比较时, 多采用以制造业生产总值(GDP) 或增加值和人口为权

^① 年均增长率的计算方法如下: 设定年均增长率为 x , 则末期(2015 年)的碳排放量 = 初期(2005 年)碳排放量 $\times (1+x)^{10}$ 。根据该式反向求得年均增长率 x 的公式为: $x = [\text{末期(2015 年)碳排放量} / \text{初期(2005 年)碳排放量}]^{1/10} - 1$ 。

重进行分析。鉴于制造业生产总值(GDP)或增加值容易受到地区市场价格波动而产生差异,进而导致计算结果的偏差,这里以各地区制造业的就业人数为权重计算地区制造业人均碳排放量。这里分别绘制了样本起始年(2005年)、样本终止年(2015年)分地区制造业人均碳排放量分布状况,见图2。

2005年,中国各地区制造业碳排放量总量较低,而且人均碳排放也处于较低的水平,但是各地区差异明显:制造业人均碳排放最低的五个省(市)分别为福建、广东、北京、浙江、黑龙江,其排放依次是19.38、23.08、24.90、32.30、35.22吨/人;而人均排放最高的省(市)依次是河北、山西、云南、内蒙古和新疆,排放量依次是168.91、162.19、125.39、103.18、98.38吨/人。

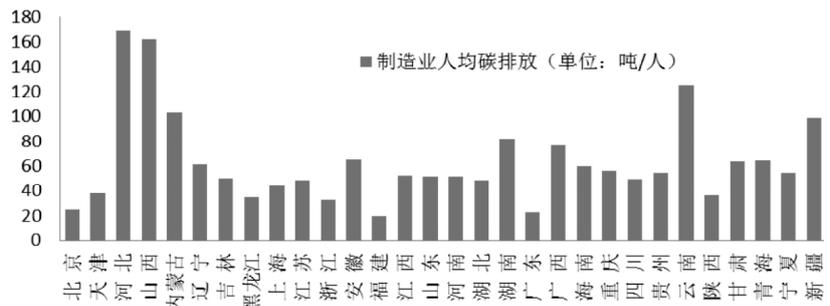


图2 2005年中国各地区制造业人均碳排放量

最高地区与最低地区的排放量相差7倍之多。在各地区中,超过全国平均排放水平的有13个地区^①,这13个省(市、自治区)制造业人均碳排放几乎达到了全国平均排放水平的2~3倍,多集中在内陆经济不发达或煤炭等化石能源禀赋较高的地区(如河北、山西等)。此外,制造业人均排放低于全国平均水平的17个地区中,其人均排放量的分布也不平均,从19.38吨/人至54.87吨/人不等,最高地区几乎是最低地区的3倍,而这些省、市多集中在沿海经济发达地区。

图3中,与2005年相比,2015年中国绝大多数地区的制造业人均碳排放都有所上升,上升幅度从1.63%至220%不等;只有6个地区(北京、上海、江苏、浙江、广东、云南)在样本期间出现了下降趋势,下降幅度从7.56%至70.81%不等;地区制造业人均碳排放不仅绝对量上分布差异

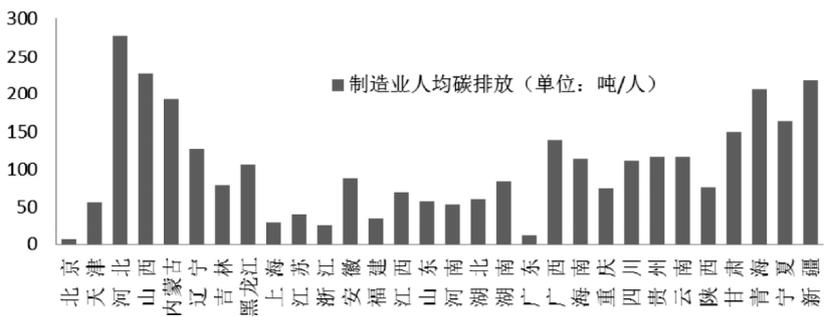


图3 2015年中国各地区制造业人均碳排放量

显著,而且在变化趋势方面的差距也较大。2015年,最高排放地区与最低排放地区的差异高达30倍,较2005年扩大不少,地区间的差异更为显著。其中人均碳排放超过全国平均水平的地区有20个,较2005年增加了8个,且这些地区更为集中分布在中西部经济不发达或化石能源资源禀赋较高的地区;而人均碳排放水平较低,且出现明显下降趋势的地区则集中于东部沿海经济发达地区。

(二) 制造业碳排放的区域差异

考察了全国及各地区制造业碳排放分布状态和变化趋势后,运用Theil指数对中国地区间制造业人均碳排放的区域分布差异进行测度,并结合中国东、中、西部三大经济带的划分进行空间尺度分解,结果如表1所示。表1中,在样本期内,中国制造业人均碳排放Theil指数从2005年的0.0714上升至2015年的0.1446,几乎翻了一番。另外σ收敛指数明显上升,也说明地区间制造业的人均碳排放差异逐渐增大的趋势,与Theil指数的计算结果一致。

^①这13个地区分别是重庆、海南、辽宁、甘肃、青海、安徽、广西、湖南、新疆、内蒙古、云南、山西、河北。

在 Theil 指数的分解中,东、中、西部地区内部差异和地区间差异在样本期间内均与总体差异保持一致的上升趋势;然而,区域内差异和区域间差异在总体差异中的贡献度却表现出截然不同的变化:区域内差异对总体差异的贡献度占绝对多数,却逐渐递减,从2005年的91%持续降低至2015年的77%;相反,区域间差异的贡献度虽低,却逐渐递增,从2005年的不到10%增长至2015年的23%。整个样本期间,中国地区间制造业人均碳排放的差异主要由东、中、西部地区内差异所致,其贡献度平均为79%;进一步地,东、中、

表1 中国制造业人均碳排放的区域 Theil 指数及其分解

年份	东部地区	中部地区	西部地区	组内差异 (T _{WR})	组间差异 (T _{BR})	Theil 指数	σ 收敛指数
2005	0.0867	0.0496	0.0323	0.0653	0.0061	0.0714	0.5116
2006	0.0970	0.0490	0.0079	0.0685	0.0109	0.0794	0.5586
2007	0.1033	0.0279	0.0287	0.0660	0.0152	0.0812	0.5621
2008	0.1164	0.0227	0.0389	0.0720	0.0201	0.0921	0.6327
2009	0.1207	0.0153	0.0467	0.0730	0.0234	0.0964	0.6635
2010	0.1490	0.0155	0.0246	0.0823	0.0235	0.1058	0.7033
2011	0.1611	0.0254	0.0263	0.0892	0.0277	0.1169	0.7769
2012	0.1538	0.0303	0.0221	0.0842	0.0332	0.1174	0.8045
2013	0.2076	0.0449	0.0358	0.1189	0.0319	0.1508	0.8642
2014	0.2018	0.0453	0.0258	0.1133	0.0344	0.1477	0.8745
2015	0.1999	0.0427	0.0244	0.1114	0.0332	0.1446	0.8420

注:σ收敛指数是指用地区制造业人均碳排放对数的标准差衡量的不同地区间人均碳排放的差异程度。

西部的变化情况也有区别:东部地区内的差异持续增长,该区域内 Theil 指数增幅高达130.5%,中部地区内差异则先下降后上升,最终回到初期状态,西部地区内差异呈波动中下降的趋势,其区域内 Theil 指数降幅约为24.5%;在整个样本期间,东部地区的制造业人均碳排放差异不仅持续增长,而且一直高于中、西部地区。结合图2、图3可知:在制造业人均碳排放较低的东部地区,各省份之间的排放水平却在拉大差距;而在人均排放较高的中西部地区,却存在着普遍排放较高而差异不太明显的分布。

(三) 制造业碳排放的空间分布变化

在对全国制造业碳排放的空间分布状况进行整体刻画的基础上,结合空间相关性检验对相邻地区之间制造业的碳排放状况进行刻画是进行空间计量分析的基础。结合相关文献,这里分别采用地理相邻(0,1)权重矩阵、地理空间权重矩阵、经济空间权重矩阵来综合衡量中国地区间制造业人均碳排放的空间相关性。其中,地理相邻矩阵即使用地区之间的边界相邻关系进行设定,两地区之间有共同边界则取值为1,否则取值为0;地理空间权重矩阵采用大圆距离反比法进行构造,即用大圆距离的倒数来衡量这种空间关系,其具体公式如下:

$$W_{ij}^{GS} = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}} & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (7)$$

(7)式中, d_{ij} 为第*i*个地理空间位置与第*j*个地理空间位置之间的大圆距离,使用 ArcGIS 软件结合中国30个省会城市的经度、纬度位置测算得到。

经济空间权重矩阵的构造参考了林光平等^[20]、肖宏伟和易丹辉^[21]等的研究,使用地区间人均工业产值的差额作为测量地区间“经济距离”的指标,并引入经济空间权重矩阵 $W^* = W \times E$,其中经济权重矩阵 E 中的元素如下式所示:

$$E_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{|\bar{G}_i - \bar{G}_j|} & i \neq j, \bar{G}_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n G_{it} \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (8)$$

(8)式中, G_{it} 为地区人均工业产值,即第*i*个地区第*t*年的实际人均工业产值(2004年不变价格)。该矩阵是包含了经济发展的空间权重矩阵。

基于上述三种权重矩阵对我国制造业人均碳排放的空间分布进行测算,如表2所示。

表2中,在使用地理相邻(0,1)权重矩阵进行空间自相关检验时,除了经典的 Moran's I 指数,同时计算了 Geary's C 指数和 Getis-Ord G 指数,结果表明:(1)中国地区间制造业人均碳排放分布在2005—2006

年不存在空间相关性;随着时间的推 移,呈现显著的正空间自相关性,且这种相关程度逐渐增加,到2012年达到峰值,之后又缓慢下降;(2) Geary's C 指数也显示出正的空间自相关,不过由其显著性(P 值)来看,这种自相关在2012年以后才具显著性;(3) Getis-Order G 指数具有反映“热点”区域和“冷点”区域的优点。在样本期间内,我国制造业人均碳排放呈“高高”、“低-低”的分布,这与图2、图3的绝对值分布以及 Theil 指数测算结果具有一致性,但只在2010—2012年间有显著性,其他年份并不显著。

进一步使用“局部 Ge-tis-Ord G 指数”考察在2010—2012年间哪些地区

是显著的热点区域,结果如下:2010年,显著性热点区域包括四个,分别是山西-内蒙古-辽宁区域、江苏-浙江区域、福建-江西区域、陕西-甘肃区域,热点省份占省区总数的比例为30%;2011年,显著性热点区域增加了一个黑龙江,热点省份占比增长至33.3%;2012年,显著性热点区域呈区域集中化的趋势,变为三个大的热点区域,分别是:山西-内蒙古-辽宁区域、江苏-浙江-安徽-福建-江西区域、陕西-甘肃-青海区域,占比再次增长至36.7%。

在地理距离为权重矩阵时,中国地区间制造业人均碳排放始终存在显著的空间自相关;全局 Moran's I 指数均为正,说明中国30个省(市、自治区)间的制造业人均碳排放具有正的空间自相关性,即排放较高的省份相对地趋于和排放较高的省份相邻,反之亦然; Moran's I 指数逐渐增长,说明这种正的空间自相关性趋于增强。

(四) 制造业碳排放的影响因素分析

在以往文献研究的基础上,结合数据的可获得性,以地区制造业人均碳排放为被解释变量,全面考察地区制造业碳排放的影响因素及其影响程度。数据来源于各年份《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国环境年鉴》,变量的设定依据和测度方法如表3所示。

在进行计量模型的估计中,取上述各变量的自然对数值(ln)进行估计,一方面可以消除经济变量的指数增长趋势,降低数量级,另一方面可以通过估计直接获得各影响因素的弹性系数。首先使用不包含空间相关效应的面板模型进行估计,Hausman 检验认为使用固定效应模型比较合适,在考虑异方差、截面相关和序列相关的基础上再次对模型进行稳健估计,使用 Drisc-Kraay 稳健性标准误对估计系数的显著性进行判断;其次,结合上文中空间相关性的分析,分别基于地理距离权重矩阵、空间相邻权重矩阵和经济空间权重矩阵进行空间面板估计,基于 Hausman 检验,选择具有固定效应的空间杜宾模

表2 地区间制造业人均碳排放空间自相关指数及检验

年份	地理相邻(0,1) 权重			地理距离权重	经济空间权重
	Moran's I	Geary's C	Getis-Ord G	Moran's I	Moran's I
2005	0.116 (1.429)	0.933 (-0.345)	0.169 (1.318)	0.037* (1.896)	0.005 (1.099)
2006	0.132 (1.548)	0.929 (-0.400)	0.166 (1.095)	0.038* (1.906)	0.006 (1.146)
2007	0.179** (1.973)	0.897 (-0.601)	0.171 (1.570)	0.053** (2.270)	0.011 (1.282)
2008	0.177* (1.936)	0.904 (-0.600)	0.172 (1.544)	0.053** (2.255)	0.018 (1.483)
2009	0.189** (2.050)	0.849 (-0.932)	0.173 (1.465)	0.056** (2.341)	0.036** (1.977)
2010	0.273*** (2.834)	0.794 (-1.231)	0.182** (2.133)	0.073*** (2.778)	0.044** (2.196)
2011	0.312*** (3.181)	0.739 (-1.595)	0.187** (2.223)	0.081*** (2.986)	0.063*** (2.750)
2012	0.359*** (3.560)	0.597*** (-2.710)	0.184** (2.077)	0.107*** (3.609)	0.073*** (3.050)
2013	0.289*** (2.955)	0.690** (-1.972)	0.178 (1.530)	0.091*** (3.222)	0.068*** (2.901)
2014	0.292*** (2.975)	0.676** (-2.072)	0.175 (1.454)	0.095*** (3.323)	0.071*** (2.977)
2015	0.291*** (2.962)	0.712* (-1.872)	0.177 (1.563)	0.093*** (3.278)	0.062*** (2.738)

注:()内为Z统计量值;*、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著;由于吉尔里指数(Geary's C)和 Getis-Ord G 指数只能计算基于空间相邻(0,1)权重下的空间自相关性,因而在基于地理距离权重和经济空间权重下没有这两种指数的计算结果。

型(SDM)来定量识别中国地区间制造业碳排放的影响因素,估计结果见表4。

表3 变量设定依据及测度方法

变量名称	设定依据	主要参考文献	本文的测度方法
经济发展水平(y)	IPAT/STIRPAT模型、Cheng <i>et al.</i> [22]、Dong <i>et al.</i> [23]、Wang EKC曲线、脱钩理论、 <i>et al.</i> [24]、Li <i>et al.</i> [25]、刘清春等[3]、王LDMI分解等	君华和李霞[26]	地区人均工业总产值(2004年价格)
能耗强度(ei)			单位工业产值的能源消耗量(标准煤)
能源消费结构(ec)			制造业能源消耗中煤炭消费量占比
能源资源禀赋(ed)	资源诅咒假说、赫克歇尔-俄林定理、比较优势理论	崔远森和谢识予[27]、姚芳[28]	地区煤炭资源储量在全国储量中的占比
环境规制(gz)	波特假说	Naso [29]、张成等[30]、宋马林和王舒鸿[31]、徐保昌和谢建国[32]	废气治理投资额/年度污染治理项目完成投资额
对外贸易($trade$)	竞次假说、EKC曲线、碳泄漏、污染避难所假说等	李晓钟和刘振宇[33]、傅京燕和张春军[11]、王美昌和徐康宁[34]、占华[35]	地区进出口总额/地区生产总值
引进外资(fdi)			地区实际利用外商投资额/固定资产投资额
制造业销售情况($sale$)	规模效应、污染转移理论等	丁唯佳等[1]、张明志[4]、张红霞等[9]	人均制造业销售产值(2004年价格)
制造业出口情况(exv)			制造业出口交货值/总销售产值

表4中,模型(1)和模型(2)是分别用面板固定效应和考虑了异方差、序列相关、截面相关后的稳健性估计结果;模型(3)、(4)、(5)是分别基于地理距离(dlw)、空间相邻(xlw)和经济空间(jjw)三种权重下的空间面板固定效应估计结果。可以发现:1.空间自相关估计系数(Spatial rho)在三种空间权重下均显著,说明存在空间效应;估计残差项的方差(Variance sigma2_e)通过了显著性检验,说明残差符合随机分布,所选择的空同杜宾模型是合理的;2.在考虑空间相关效应的估计中,大部分解释变量对地区制造业碳排放的影响方向与不考虑空间效应的估计结果一致,但其影响程度存在偏差,说明地方制造业的发展不仅受到本地区经济条件、能源结构、技术水平等的影响,同时会受到相邻地区各因素的影响,不考虑空间相关性的估计结果存在着偏误。

在模型(3)、(4)、(5)的空间计量估计中,不添加空间滞后项的各变量估计结果表示某地区自身因素对当地制造碳排放的影响,加入了空间滞后项(W)的各变量系数估计值则表示相邻地区的各因素对本地区制造业碳排放的影响,这里结合二者共同探讨地区制造业碳排放的影响因素及其作用方式:

1. 无论基于哪种空间权重矩阵,地区经济发展水平(y)、能耗强度(ei)、能源结构(ec)三个变量均显著为正,与Cheng *et al.* [22]、Dong *et al.* [23]、Wang *et al.* [24]、Li *et al.* [25]等的研究结论基本一致,即经济发展水平、能源消耗强度、能源结构是影响地区制造业碳排放的主导因素;在对空间相邻地区制造业碳排放的影响方面:(1)经济发展水平(y)的空间滞后项显著为正,说明中国地区工业经济水平的增长依然伴随一定程度的粗放式规模增长,且地区间攀比追逐效应显著;(2)能耗强度变量空间滞后项在地理相邻权重下显著为正,说明地区间存在显著的能源利用技术趋同效应,即制造业的能耗强度在地区间形成“高一高”或“低一低”抱团的现象,这与前文分析中地区间碳排放存在明显的“热点”分布相对应;同时,经济空间权重和地理距离权重的能耗强度变量空间滞后项并不显著,进一步说明制造业能源利用技术水平仅在地理边界相邻地区存在趋同,并不存在地区间的技术外溢或学习效应;(3)基于地理相邻权重的

煤炭消费结构空间滞后变量显著为负,即本地煤炭资源消费的增长会显著降低相邻地区的制造业碳排放,其作用路径可能是“本地煤炭消费增长—相邻地区可用煤炭资源减少—相邻地区煤炭消费结构降低—相邻地区选择使用其他低碳能源进行生产—相邻地区制造业碳排放降低”,地区经济生产活动更多地空间相邻关系上产生互动。

2. 能源禀赋(ed)系数显著为正,崔远森和谢识予^[27]认为资源禀赋对地区制造业出口竞争力有诅咒效应,而且这种负面影响会波及相邻地区,本文的估计结果与之一致,即煤炭资源富集不仅通过高碳排放系数促进地方制造业碳排放,还可能通过“荷兰病”效应抑制清洁能源的使用,从而引致碳排放增长;环境规制(gz)在不同空间权重下有差异,但总体呈现出正的显著性,这说明政府治理废气投入越多,制造业的碳排放不减反增,呈现出“绿色悖论”,这一方面可能来源于地方政府环境规制政策的隐形“非完全执行”,依然以牺牲环境来实现经济增长^[36-37];另一方面与环境规制相关的“强波特假说”在我国制造业中并不成立有关^[38],环境规制引致的生态创新效益并不足以抵消其创新投入,因而企业宁愿扩大生产规模获得经济效益以抵消环境惩罚,而不愿意增加环保投入。

3. 人均制造业销售值(psale)、制造业出口交货值比重(exv)估计系数为正,显著性有所差异,与丁唯

佳等^[1]、张明志^[4]、张红霞等^[9]的结论一致,即制造业的生产依然停留在粗放式规模增长阶段,以规模增长拉动的产值增加必然伴随着碳排放的上升;此外,出口交货值比重对当地制造业碳排放的影响弹性明显小于人均销售产值和人均工业产值,这意味着相对于出口,制造业的碳减排更有赖于经济增长

表4 地区制造业人均碳排放的影响因素估计结果

变量	(1) <i>fe</i>	(2) <i>fe_dk</i>	(3) <i>dlw_fe</i>	(4) <i>xlw_fe</i>	(5) <i>jjw_fe</i>
<i>lny</i>	0.867*** (18.27)	0.867*** (21.46)	0.807*** (5.21)	0.743*** (8.83)	0.643*** (3.59)
<i>lnei</i>	0.519*** (13.13)	0.519*** (12.70)	0.468*** (4.29)	0.370*** (9.48)	0.506*** (3.69)
<i>lnec</i>	0.443*** (11.30)	0.443*** (11.07)	0.400*** (5.40)	0.0948** (2.53)	0.487*** (4.22)
<i>lned</i>	0.0866*** (2.83)	0.0866*** (6.53)	0.0698* (1.83)	0.0487*** (3.56)	0.0558* (1.95)
<i>lngz</i>	0.0338* (1.82)	0.0338** (2.59)	0.0770*** (3.43)	-0.0194 (-0.53)	0.0604*** (2.83)
<i>lntrade</i>	-0.0788* (-1.85)	-0.0788* (-1.78)	-0.0776 (-1.14)	-0.281*** (-7.23)	-0.122 (-1.57)
<i>lnfdi</i>	-0.0494*** (-2.61)	-0.0494*** (-5.93)	-0.0868*** (-2.73)	-0.0488*** (-2.06)	-0.0739** (-2.55)
<i>lnpsale</i>	0.193*** (8.47)	0.193*** (13.65)	0.190 (1.53)	0.278*** (4.80)	0.286* (1.85)
<i>lnexv</i>	0.0633** (2.21)	0.0633* (1.92)	0.122*** (3.14)	0.0554 (1.29)	0.0958** (2.13)
<i>_cons</i>	-1.688*** (-5.88)	-1.688*** (-7.40)			
<i>W × lny</i>			2.504*** (2.67)	0.719*** (3.59)	1.450 (0.82)
<i>W × lnei</i>			-0.0309 (-0.06)	0.262** (2.42)	-0.676 (-0.72)
<i>W × lnec</i>			0.0558 (0.19)	-0.206*** (-2.68)	0.949 (1.48)
<i>W × lned</i>			-0.104 (-0.26)	0.104*** (3.99)	1.347 (1.35)
<i>W × lngz</i>			0.229* (1.71)	0.0822 (1.27)	-0.150 (-0.75)
<i>W × lntrade</i>			1.051** (2.51)	-0.160** (-2.38)	-1.187 (-1.41)
<i>W × lnfdi</i>			-0.0581 (-0.31)	0.156*** (2.85)	0.597 (1.45)
<i>W × lnpsale</i>			-0.734 (-1.18)	0.234** (2.01)	0.575 (0.46)
<i>W × lnexv</i>			-0.224 (-1.09)	-0.115 (-1.45)	1.660*** (3.32)
<i>Spatial rho</i>			-0.427** (-2.09)	-0.552*** (-6.74)	-0.884* (-1.89)
<i>Variance sigma2_e</i>			0.0134*** (6.87)	0.0765*** (12.49)	0.0141*** (5.34)
<i>N</i>	330	330	330	330	330
<i>r2</i>	0.746		0.358	0.814	0.548

注:***, **, * 分别表示在1%, 5%, 10%的水平上显著; *W × lny*、*W × lnei*、*W × lnec*、*W × lned*、*W × lngz*、*W × lntrade*、*W × lnfdi*、*W × lnpsale*、*W × lnexv* 分别表示各变量的空间滞后。

方式的转型;不同的是,在空间滞后项中,人均销售产值在空间相邻权重下显著为正,而出口交货值比重在经济空间权重下显著为正,说明地区间在制造业的生产和出口活动中存在着数量的追赶和攀比效应,这与人均工业产值变量的空间影响具有一致性。

4. 地区利用外资水平(fdi)和外贸依存度(trade)系数为负,且至少通过了5%的显著性检验,傅京燕和张春军^[11]认为国际贸易中的碳泄漏在整个制造业行业及低碳制造业均不存在,本文的估计结果与之类似,即对外贸易有助于中国制造业的碳减排,这可能来自于外方较高的环境规制和低碳标准倒逼中国制造业在产品(尤其是出口产品)的生产中选择低碳、节能的生产方式从而降低碳排放;另一方面地方固定资产投资中外资比重提高也显著降低了当地制造业的碳排放,说明外资的进入伴随着较为先进、清洁、低碳的生产技术和管理经验,有助于地方制造业生产中的碳减排;但是,两个变量的空间滞后项在不同权重下表现不一,说明中国不同地区在开展对外贸易和吸引外资方面依然是各自为政,并未形成较为明显且有规律的空间分布格局。

四、结论与政策建议

本文结合中国30个省(市、自治区)制造业碳排放面板数据,利用Theil指数、空间自相关指数和空间计量分析模型,分析了其时空分布格局变化及影响因素,得到以下结论:

第一,地区制造业人均碳排放差异在样本期间内逐渐增长,且地区内差异占主导地位,东部地区内部差异最大;在空间分布上,基于不同权重的地区间制造业碳排放均存在显著空间自相关和“高一高”、“低—低”集聚特征,热点区域多位于东部。

第二,中国制造业的增长依然呈现出粗放式规模增长特征,且在相邻地区之间存在“GDP锦标赛”式的追逐攀比效应;同时,地方政府的污染治理并不能通过激励制造业环保创新而提升其碳排放绩效。

第三,在能源利用方面,制造业能耗强度、能源消费结构(煤炭消费占比)在相邻地区间存在显著趋同效应,促进地区制造业碳排放,缺乏能耗技术的学习或溢出效应和协同减排效应;煤炭资源禀赋与地区制造业碳排放显著正相关,存在“资源诅咒”效应,在资源禀赋约束下相邻地区制造业碳排放“此消彼长”的状态预示着区域资源协同调配,发挥协同减排作用的可能性。

第四,对外开放和吸引外资有助于降低制造业碳排放,但对相邻地区的影响并不确定,这与地区经济水平和制造业发展差异有关,也与地区之间的协作和竞争有关。

基于上述研究结论,提出以下四个方面的政策建议:

第一,推动制造业环保创新,提升其能源利用效率。加大地方环境规制强度和执行力度,倒逼制造业生态创新投入,推进制造业企业在研发方面的经费投入向研发绿色节能技术为主、追求产值为辅的方向转变;同时,强调区域协同标准制定和合作治理,保障创新绩效的发挥和普及。

第二,转变“各自为政”的发展理念,推进区域竞争和合作。鉴于能源利用、资源禀赋的空间相关效应,加大地区、行业之间,尤其是能源利用技术水平有差距的地区和行业之间的交流与合作,以“能耗技术锦标赛”代替“GDP锦标赛”,打破相邻地区“抱团”效应,有助于推动区域能效提升和协同减排。

第三,大力调整和推进能源结构转型。降低煤炭等一次能源的消耗量,充分发挥天然气、电力等清洁能源在制造业能源消费中的投入;在地方政府的政绩考核中加入工业企业清洁能源消费占比的考核,推动地方工业生产的能源结构转型。

第四,注重地区制造业“优势”抱团,吸引高质量外资。发挥地区在对外贸易和引进外资方面的优势,强化地区间、行业间的分工与合作,形成优势“抱团”,吸引高质量外资进入,提升国际贸易竞争力。

参考文献:

[1]丁唯佳,吴先华,孙宁,等.基于STIRPAT模型的中国制造业碳排放影响因素研究[J].数理统计与管理,2012(3):

499-506.

- [2]刘爱东,刘文静,曾辉祥.行业碳排放的测算及影响因素分析—以10个国家对华反倾销涉案为例[J].经济地理,2014(3):127-135.
- [3]刘青春,孔令群,安泽扬.中国制造业能源相关的碳排放因素分析[J].中国人口·资源与环境,2014(5):14-18.
- [4]张明志.中国制造业细分行业的碳排放测算—兼论EKC在制造业的存在性[J].软科学,2015(9):113-116.
- [5]张明志,孙婷,李捷.中国制造2025的碳减排目标会实现吗?[J].广东财经大学学报,2017(4):4-15.
- [6]王向进,杨来科,钱志权.制造业服务化、高端化升级与碳减排[J].国际经贸探索,2018(7):35-48.
- [7]潘雄峰,舒涛,徐大伟.中国制造业碳排放强度变动及其因素分解[J].中国人口·资源与环境,2011(5):101-105.
- [8]朱俏俏,孙慧,王士轩.中国资源型产业及制造业碳排放与工业经济发展的关系[J].中国人口·资源与环境,2014(11):112-120.
- [9]张红霞,张哲,盛科荣.全球价值链分工地位对中国制造业碳排放的影响——基于STIRPAT模型的实证研究[J].生态经济,2018(4):25-30.
- [10]谢波,李松月.贸易开放、技术创新对中国西部制造业碳排放绩效影响研究[J].科技管理研究,2018(9):84-90.
- [11]傅京燕,张春军.国际贸易、碳泄露与制造业CO₂排放[J].中国人口·资源与环境,2014(3):13-18.
- [12]李宏彪,闫娅,丁宝根.制造业集聚对碳排放的影响—基于中部地区相关面板数据的实证研究[J].江西社会科学,2013(12):66-70.
- [13]王永陪,宴维龙,郭晓飞.中国制造业地理集聚的碳排放效应—基于STIRPAT模型的实证研究[J].经济经纬,2015(6):1-6.
- [14]曹广喜,刘禹乔,周洋,等.中国制造业发展与碳排放脱钩的空间计量研究—四大经济区分析[J].科技管理研究,2015(21):224-228.
- [15]沈友娣,章庆,严霜.安徽制造业碳排放驱动因素、锁定状态与解锁路径研究[J].华东经济管理,2014(6):27-30.
- [16]ZHANG LIU, DABO GUAN, et al. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China[J]. Nature, 2015, Vol 52: 335-338.
- [17]YANG DING, FENG LI. Examining the effects of urbanization and industrialization on carbon dioxide emission: Evidence from China's provincial regions[J]. Energy, 2017, Vol 125: 533-542.
- [18]郑佳佳.基于Theil指数的区域CO₂排放强度差异分析—来自47个国家的证据[J].华东经济管理,2013(8):29-34.
- [19]赵雪雁,王伟军,万文玉.中国居民健康水平的区域差异:2003—2013[J].地理学报,2017(4):685-698.
- [20]林光平,龙志和,吴梅.中国地区经济收敛的空间计量实证分析:1978—2002[J].经济学(季刊),2005(4):67-82.
- [21]肖宏伟,易丹辉.中国区域工业碳排放空间计量研究[J].山西财经大学学报,2013(8):1-11.
- [22]CHENG Y, WANG Z, YE X, WEI Y. Spatiotemporal dynamics of carbon intensity from energy consumption in China[J]. J. geogr. sci, 2014, 24(4): 631-650.
- [23]DONG F, LONG R, LI Z, DAI Y. Analysis of carbon emission intensity, urbanization and energy mix: evidence from China[J]. Nat. Hazards, 2016(82): 1375-1391.
- [24]WANG Z, ZHANG B, LIU T. Empirical analysis on the factors influencing national and regional carbon intensity in China[J]. Renew. Sustain. Energy Rev, 2016(55): 34-42.
- [25]LI W, SUN W, LI G, et al. Temporal and spatial heterogeneity of carbon intensity in China's construction industry[J]. Resour. Consev. Recycl, 2017, Vol 126: 162-173.
- [26]王君华,李霞.中国工业行业经济增长与CO₂排放的脱钩效应[J].经济地理,2015(5):105-110.
- [27]崔远森,谢识予.资源禀赋与中国制造业出口竞争力——基于省际空间面板数据模型的检验[J].商业经济与管理,2013(12):74-82.
- [28]姚芳.要素禀赋对要素密集型制造业增长的影响研究——基于各省区机械电子制造业的分析[J].经济问题探索,2016(3):30-41.

- [29] NASO P. The Poter hypothesis goes to China: spatial development , environmental regulation and productivity[R]. Cies research paper , 2017.
- [30] 张成 , 陆旻 , 郭路 等. 环境规制强度和生产技术进步 [J]. 经济研究 2011(2) : 113-124.
- [31] 宋马林 , 王舒鸿. 环境规制、技术进步与经济增长 [J]. 经济研究 2013(3) : 122-134.
- [32] 徐保昌 , 谢建国. 排污收费如何影响企业生产率: 来自中国制造业企业的证据 [J]. 世界经济 2016(8) : 143-168.
- [33] 李晓终 , 刘振宇. FDI 对我国制造业碳排放影响分析 [J]. 国际商务(对外经济贸易大学学报) 2013(1) : 95-103.
- [34] 王美昌 , 徐康宁. 贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放的动态关系: 基于全球向量自回归模型的实证研究 [J]. 中国人口·资源与环境 2015 25(11) : 52-58.
- [35] 占华. 贸易开放对中国碳排放影响的门槛效应分析 [J]. 世界经济研究 2017(2) : 38-49.
- [36] 张华. “绿色悖论”之谜: 地方政府竞争视角的解读 [J]. 财经研究 2014(12) : 114-127.
- [37] 罗能生 , 王玉泽. 财政分权、环境规制与区域生态效率—基于动态空间杜宾模型的实证研究 [J]. 中国人口·资源与环境 2017(4) : 110-118.
- [38] 陈雨柯. 财政分权下“强波特假说”的再验证—企业环保创新和非环保创新的视角 [J]. 商业研究 2018(1) : 143-152.
- (责任编辑: 黄明晴; 英文校对: 葛秋颖)

Time and Space Changes of China's Manufacturing Carbon Emission and Influencing Factors

ZHENG Jiajia

(School of Business , Henan University , Kaifeng 475004 , China)

Abstract: From 2005 to 2015 , China's manufacturing total carbon emission not only increased greatly but also showed significant regional differences. Based on China's 30 provincial manufacturing carbon emission data , using Theil Index , Spatial autocorrelation test and spatial panel model , this paper investigates time and space changes of carbon emissions in China's manufacturing industry and influencing factors. The results show that: (1) Theil Index of manufacturing carbon emission gradually increases , and the differences within and between regions all go up , among which the difference within eastern regions is the largest. (2) Manufacturing carbon emission shows a significant spatial correlations , and the hot spots regions have grown during the sample period. Regions of high carbon emission is notably near to regions of high carbon emission , and regions of low carbon emission is significantly near to regions of low carbon emission , which is quite common in eastern China. (3) Regional economic development , manufacturing production and export , energy intensity , proportion of coal consumption , and coal resource endowment are the five factors which greatly promote both local and neighbor provinces' manufacturing carbon emission. Foreign trade and investment decrease local manufacturing carbon emission , but gives different impacts on neighbors manufacturing carbon emission.

Key words: manufacturing carbon emission; Theil index; spatial autocorrelation; spatial panel model