

引用格式:王霞,张丽君,秦耀辰,等.中国高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素[J].资源科学,2020,42(2):323-333.[Wang X, Zhang L J, Qin Y C, et al. Spatiotemporal changes of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry in China and driving factors[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 323-333.] DOI: 10.18402/resci.2020.02.11

中国高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素

王霞^{1,2},张丽君^{1,2},秦耀辰^{1,2},张晶飞^{1,2}

(1. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004;

2. 河南大学黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 开封 475004)

摘要:中国高碳制造业碳排放研究有助于推进中国工业绿色可持续发展。本文采用中国省域制造业能源消费数据,利用IPCC碳排放系数法、空间自相关分析法、动态空间面板模型,分析2006—2015年间中国30个省(市、区)(除港澳台、西藏外)高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素。研究发现:①除北京和上海外,其他省域高碳制造业碳排放均呈现不同程度的增长,碳排放“热点区”集聚在渤海湾、华北平原等区域;②高碳制造业碳排放存在显著的路径依赖以及空间溢出效应;③经济规模扩大是造成高碳制造业碳排放量增加的首要因素,而产业结构调整是造成其碳排放减少的重要因素;④资源禀赋水平提高、固定资产投资增强会促进高碳制造业碳排放的正向空间溢出,导致邻省碳排放增加,而技术水平提高、产业结构调整、对外开放度提高、外商投资增加,则有利于邻省高碳制造业碳排放减少。因而,在高碳制造业碳减排过程中,各省应突破省域界限,形成联动协调机制,通过优势互补、打破技术创新瓶颈,突破原有认知锁定,解锁不合理产业政策,在完成碳减排目标的同时实现整个工业绿色化转型升级。

关键词:高碳制造业;动态空间杜宾模型;路径依赖;空间溢出;中国

DOI:10.18402/resci.2020.02.11

1 引言

中国正处于快速城镇化和工业化发展阶段,经济增长对能源消费的刚性需求将会保持高位增长态势,由此产生的碳排放将会对经济、社会和环境的可持续发展形成较大压力。中国作为世界公认的碳排放大国之一,于2015年巴黎气候大会上承诺,2030年左右使碳排放总量达到峰值并尽早实现^[1]。制造业是中国工业经济增长的主要驱动力,其在带来高经济效益的同时也对环境产生强负反馈,2000年以来制造业碳排放占工业总体碳排放比重已超过66.7%^[2],故制造业的碳减排效果直接决定了中国工业总体碳减排目标能否顺利实现。然而,制造业内部碳排放行业集聚特征显著,据2006—2015年中国能源统计年鉴数据测算,黑色金属加工业、非金

属矿物制品业、石油冶炼加工业、化学原料制品业以及有色金属冶炼加工业碳排放占整个制造业碳排放的累计比重超过84.6%^[2]。据此,解决这些高碳制造业的碳排放问题便成为实现工业低碳化转型升级的关键突破口。

目前,学术界围绕制造业的碳排放,已做了大量的研究工作。在研究内容上主要涉及制造业产业特征^[3]、技术^[4]、投资^[5]、政策^[6-8]等方面与碳排放之间的交互影响。方法的选取则以分解和计量模型为主,分解模型包括广义迪氏指数分解(GDIM)与对数平均迪氏分解(LMDI)等^[9,10]。计量模型主要包括广义脉冲响应函数分析、FGLS回归方法、向量误差修正(VECM)回归模型^[11-13]等。然而,在上述涉及制造业碳排放相关问题的研究中存在以下问题:①研

收稿日期:2019-05-23 修订日期:2019-09-30

基金项目:国家自然科学基金项目(41501588;41671536);中国博士后基金项目(2016M600575);河南省哲学社会科学规划项目(2014CJJ065)。

作者简介:王霞,女,四川江油人,硕士生,研究方向为低碳经济与可持续发展。E-mail: wxia0709@163.com

通讯作者:张丽君,女,河南南阳人,讲师,主要从事区域可持续发展,低碳生态城市研究。E-mail: zlj7happy@163.com

究主体涵盖整个制造业,未发现制造业碳排放行业集聚现象,使得研究主体“宽而泛”,故在识别影响碳排放关键因素和提出相应碳减排措施时易产生针对性不足的问题。②研究内容主要聚焦于碳排放影响因素,对长时间序列碳排放时空动态演变关注较少,对相关方面影响因素的分析也较薄弱。③在研究方法上,分解模型虽具有完全分解、无残差、能处理零值的优点^[14],但在影响因素选择上具有很大的局限性,无法较全面的选择碳排放影响因素,计量模型却能够较好地克服这一缺陷^[15]。但目前制造业碳排放影响因素的计量模型构建中,较多学者将研究单元视为相互独立且均质的个体,忽视碳排放的空间溢出效应^[16]。此外,对碳排放时间上的路径依赖特征研究也较为薄弱^[17]。而动态空间面板计量模型能很好的将时间与空间效应纳入模型中,有助于对碳排放的时间滞后与空间溢出效应进行分析,从而识别碳减排的关键因素。

基于此,为避免研究主体“宽而泛”,本文将研究主体聚焦于高碳制造业的碳排放,据各省(市、区)的能源消费数据,采用IPCC碳排放系数法核算制造业碳排放,并分析快速工业化背景下高碳制造业碳排放时空演变特征,在此基础上运用空间自相关方法分析高碳制造业碳排放空间关联特征,并采用能嵌套时间和空间交互效应的动态空间杜宾模型,定量识别工业化进程中高碳制造业碳排放驱动因素,从而为科学制定高碳制造业碳减排政策提供依据。

2 研究变量与方法

2.1 研究方法

2.1.1 高碳制造业界定

首先,采用碳排放系数法计算制造业各行业碳排放,具体公式如下:

$$C_i = \sum_{k=1}^{30} C_k = \sum_{m=1}^v E_{km} \times F_{km} + E_{kd} \times F_{kd} + E_{kr} \times F_{kr} \quad (1)$$

式中: C_i 指第*i*省制造业碳排放总量(万t);*i*表示省份, $i=1,2,\dots,30$; C_k 指第*k*行业碳排放总量(万t), $k=1,2,\dots,30$; E_{km} 是第*k*行业第*m*种化石能源消费量(万t); F_{km} 是第*k*行业第*m*种化石能源CO₂排放系数; E_{kd} 、 E_{kr} 是第*k*行业电力、热力的消费量(万t); F_{kd} 、 F_{kr}

是第*k*行业电力、热力CO₂排放系数。其中,碳排放系数参考2006年《IPCC国家温室气体清单指南》。需要说明的是,由于各个省域历年的区域电网平均碳排放因子存在差异,因此 F_{kd} 存在年度及省域差异。

其次,识别高碳制造业。将2006—2015年间中国30个制造业部门的碳排放按从大到小的顺序排列,计算累计碳排放量。发现位于前5位的黑色金属加工业、非金属矿物制品业、石油冶炼加工业、化学原料制品业以及有色金属冶炼加工业的累计碳排放占有制造业碳排放的比重超过84.6%。另外,在30个省域单元(因港澳台、西藏数据不可得,故不被纳入)中,这五大行业均位于所有制造行业碳排放的前8位,因而将其界定为中国的高碳制造业。

2.1.2 全局与局部空间自相关

地理学第一定律揭示空间上相近的事物联系更加紧密^[18]。全局空间自相关是对属性值在整个区域空间特征的描述,借助GeoDa空间自相关工具对高碳制造业碳排放的空间集聚特征进行分析,并以Moran's *I*指数表示全局空间自相关程度,模型如下^[16]:

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

式中: n 为处于研究的省份数; w_{ij} 为空间权重; x_i 、 x_j 分别为*i*省和*j*省高碳制造业碳排放; \bar{x} 为研究中30个省(市、区)高碳制造业碳排放均值; i 、 $j=1,2,\dots,30$ 。在建立空间权重时,本文选择基于Queen的空间邻接方式。

全局空间自相关在探究空间异质性方面存在不足,而局部空间自相关正好能弥补这一不足,寻找局部空间地区异常值,用局部Moran's *I*指数来分析局部空间自相关,模型如下^[19]:

$$I_i = [(x_i - \bar{x})/s^2] \times \sum_{i \neq j} w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

$$s^2 = [\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2] / n \quad (4)$$

式中:当 $I_i > 0$ 时,为高碳制造业碳排放H-H(高高)、L-L(低低)空间集聚;当 $I_i < 0$ 时,为高碳制造业碳排

2020年2月

放H-L(高低)、L-H(低高)空间集聚。

2.1.3 碳排放驱动因素的空间面板计量模型

在探究高碳制造业碳排放时空演变驱动因素中,采用的是既有长时间序列,也有空间差异的面板数据。现有研究表明,省域间碳排放存在较强的空间相关性^[20-22],因此,在识别导致碳增排的关键因素中,若忽视影响因素对碳排放的空间溢出效应,则可能会导致识别结果产生偏误^[17]。空间面板计量模型能够嵌套空间交互效应,将研究对象的空间关联性纳入分析框架中^[23],并阐明外溢性、邻近效应等导致某变量对周围其他变量产生影响等优点^[24],能够更好地解释变量之间的空间关系。因此,本文在普通面板数据模型的基础上,运用具有时空效应的空间面板计量模型来分析高碳制造业碳排放时空演变驱动因素。

由于高碳制造业碳排放在时间上呈现出一定的路径依赖特征,即当期的碳排放变化势必会受上一年碳排放的影响^[22]。因此,将碳排放变量的滞后一期纳入静态空间面板模型,构建动态空间面板模型,如下:

$$C_{it} = \beta_0 + \beta_1 C_{it-1} + \rho_1 \sum_{i,j=1}^n W_{ij} C_{jt} + \beta_2 X_{it} + \rho_2 \sum_{i,j=1}^n W_{ij} X_{jt} + u_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中: t 表示年份; C_t 表示碳排放; C_{it-1} 表示滞后一期的碳排放,用来考察碳排放变化的时间滞后效应; X_{it} 表示影响高碳制造业碳排放的一系列因素(表1); W_{ij} 为省域间地理邻近关系的空间权重矩阵,采用常用的二值空间权重矩阵($W_{ij}=1$,即两地区地理邻接,非地理邻接时 $W_{ij}=0$); $\rho_1-\rho_2$ 为碳排放以及碳排放影

响因素的空间滞后系数; $\beta_0-\beta_2$ 为待估系数; μ_i 表示地区固定效应; ε_{it} 表示随机扰动项。

2.2 驱动因素指标选取

在高碳制造业碳排放时空演变驱动因素选取中,本文以Grossman等^[25-26]提出的规模、结构与技术效应是经济增长对环境质量产生影响的三大因素为切入点,并结合一系列影响高碳制造业碳排放的因素展开分析(表1)。参照已有文献^[6,10,17,27-29]并结合数据的可得性、自变量之间的共线性问题,变量选取如下:

(1)规模效应(P)。已有研究表明生产规模的扩张会引起单位空间内碳排放总量的增加而加剧环境污染^[22]。因GDP指标未通过共线性检验,本文采用高碳制造业就业人数进行测度。

(2)结构效应(IS)。高碳制造业是影响制造业碳排放的关键行业,其在制造业中的占比越大,越不利于碳减排^[35],文章采用高碳制造业企业数占整个制造业企业数比重进行测度。

(3)技术效应(T)。技术费用支出具有明显的偏向性,其中技术进步的“绿色指向”是降低碳排放的首要因素^[13]。采用高碳制造业研究与试验发展(R&D)经费内部支出进行测度。

(4)资源禀赋(RE)。资源禀赋是影响企业生产布局的重要因素之一,采掘业的发展水平对高碳制造产业的生产布局有着关键性作用,本文采用采掘业总产值进行测度。

(5)对外出口(TO)。高碳制造业的产销分离通常使生产地沦为“污染避难所”,其产品出口能力越高,碳减排难度越大^[12]。为验证高碳制造业产品出

表1 各指标定性描述

Table 1 Qualitative description of variables

符号	含义	指标说明	单位
C	碳排放量	高碳制造业碳排放	百万t
P	规模效应	高碳制造业就业人数	万人
IS	结构效应	高碳制造业企业数占制造业比重	%
T	技术效应	高碳制造业(R&D)经费内部支出额	亿元
RE	资源禀赋	采掘业总产值	亿元
TO	对外出口	高碳制造业出口交货值	亿元
FAI	固定资产投资	高碳制造业固定资产投资额	亿元
FDI	外商直接投资	高碳制造业外商投资企业数	个

口量增加对碳排放的影响程度,采用高碳制造业出口交货值进行测度。

(6)固定资产投资(FAI)。现有研究指出以投资拉动的中国制造业经济,因能源需求的不断提高而导致碳排放的增加^[6],本文采用固定资产投资额进行测度。

(7)外商投资(FDI)。一方面,高碳制造业外商投资增多可能导致产量增加,能源消耗、碳排放势必也会增加。但另一方面,投资增加可能会带来碳基技术革新,有利于碳减排^[31],文章以外商在华投资企业数进行测度。

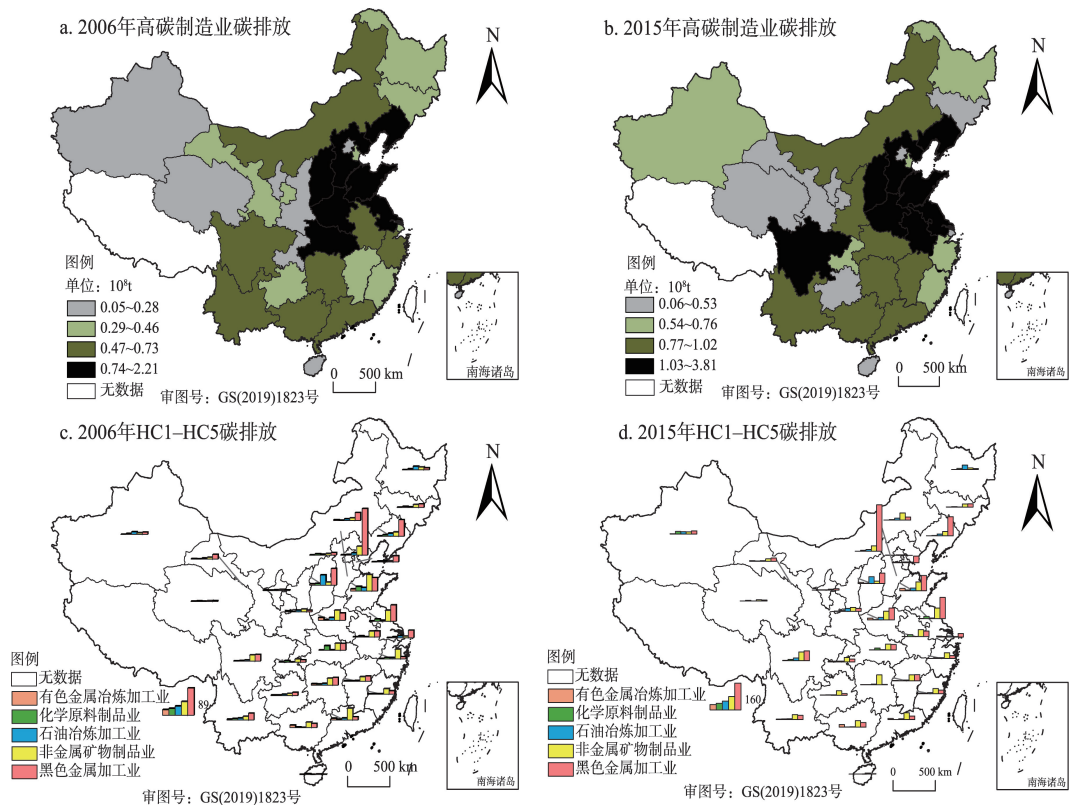
上述涉及高碳制造业碳排放驱动因素的指标数据来源于2006—2015年《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》、各省(市、区)统计年鉴以及统计公报。其中,R&D经费内部支出额、出口交货值、固定投资额以及采掘业总产值均转为2005年不变价格。

3 结果与分析

3.1 高碳制造业碳排放时空演变特征

首先,2006—2015年,中国高碳制造业碳排放省域差异显著(图1a、1b),除北京、上海碳排放呈下降趋势外,其余各省(市、区)均呈现不同程度地增长。其中,河北、江苏、辽宁与河南均在高碳排放的基础上呈现较高的碳增长。另外,高碳制造业碳排放东西差异显著,碳排放“热点”区空间锁定未被打破,一直集聚于位处渤海湾、华北平原等的省域,且集聚趋势不断增强,而西部地区除四川2015年碳排放较高外,整体较低。其中,10年间四川高碳制造业碳增量较高与其承接东部地区高碳制造业产业转移密切相关^[29,30]。

其次,高碳制造业各行业间碳排放也存在显著差异。①黑色金属加工业碳排放占据绝对高值(图1c-1d),其碳排放占整个高碳制造业比重超过40.9%。此外,其碳排放高值区在空间分布格局上



注:HC1:黑色金属加工业;HC2:非金属矿物制品业;HC3:石油冶炼加工业;HC4:化学原料制品业;HC5:有色金属冶炼加工业;

图1 高碳制造业碳排放空间分布图

Figure 1 Spatial distribution of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry

2020年2月

与整体高碳制造业碳排放高值区趋于一致。其中,河北碳排放最高且极为突出。②10年间,非金属矿物制品业碳排放处于相对较高位置,其碳占比超过28.4%。在空间分布格局上则呈现以人口分布线(胡焕庸线)为界形成东西显著差异,东部省域如江苏、湖南、山东与河南碳排放与碳增量均较高,而西部碳排放除内蒙古较高外整体较低。③石油冶炼加工业碳排放整体处于中等水平,其碳排放占整个高碳制造业比重超过11.0%,且高值区主要分布于黄河中下游省域(晋豫鲁)和黑龙江省。由于资源禀赋程度高(长庆、胜利、大庆油田),导致石油冶炼加工业发展优势突出,然而在经济规模扩大的同时高排放的能源消费结构并未得到改善,使得碳排放较高。④化学原料制品业碳排放占整个高碳制造业比重超过9.0%。其中,2006年,湖北为化学原料制品业碳排放高值区,达到 0.17×10^8 t,至2015年,碳排放较高省域增加了江苏、安徽与新疆,尤其新疆碳增量超过了 0.14×10^8 t。由于中国“一带一路”合作倡议的建设,使得新疆化学原料制品业发展的基础设施条件日趋完善。加之,亚欧国际市场不断扩宽,使得新疆化学原料制品生产规模扩大和能耗增加,最终导致碳排放的增加。⑤10年间,有色金属冶炼加工业碳排放占整个高碳制造业比重超过了6.1%,整体碳增量超过了 0.37×10^8 t,但在空间分布格局上除山东、河南、广西碳排放一直较高外,其余省域均较低。

3.2 高碳制造业碳排放空间集聚格局

基于空间自相关分析法,借助 Geoda 和 ArcGis

对中国2006、2015年省域高碳制造业碳排放空间集聚格局进行分析,结果如图2。

2006、2015年高碳制造业碳排放全局 Moran's I 值均超过0.162,且通过显著性水平检验,表明省域高碳制造业碳排放总体存在空间自相关现象,碳排放相似的省域在空间分布上存在显著的高值、低值集聚现象。其中,“H-H”(高-高)区省域由2006年的7个(图2a)增至2015年的9个(图2b),而“L-L”(低-低)区省域由7个增至10个,这也表明高碳制造业碳排放正走向邻近作用不断增强,省域间碳排放空间溢出效应不断加深。

为进一步明晰中国省域高碳制造业碳排放局部空间关联特征,借助 ArcGis 空间统计工具分析2006、2015年高碳制造业碳排放局部空间集聚特征。高碳制造业碳排放“H-H”(高-高)集聚效应显著,且集聚区呈现由华北平原向渤海湾逐渐演变的趋势(图3)。集聚省域由山西、河北、河南以及山东演变为辽宁、河北、河南与山东。10年间,辽宁省高碳制造业碳增量超过 0.84×10^8 t,较之山西,辽宁高碳制造业碳排放“热区”地位愈加凸显。高碳制造业碳排放“L-L”(低-低)区2006年集聚于西北部的新疆、甘肃2省,集聚趋势则不断降低,这表明高碳制造业碳排放较低的省域对邻省的碳减排并未造成太大影响。高碳制造业碳排放“L-H”(低-高)区一直呈现以北京为低值中心的外围高值省域环绕,10年间,北京一直为高碳制造业碳排放“凹陷区”,而其周边省域均是在较高碳排放的基础上呈现较高碳增量。高碳制造业碳排放“H-L”(高-低)区省域

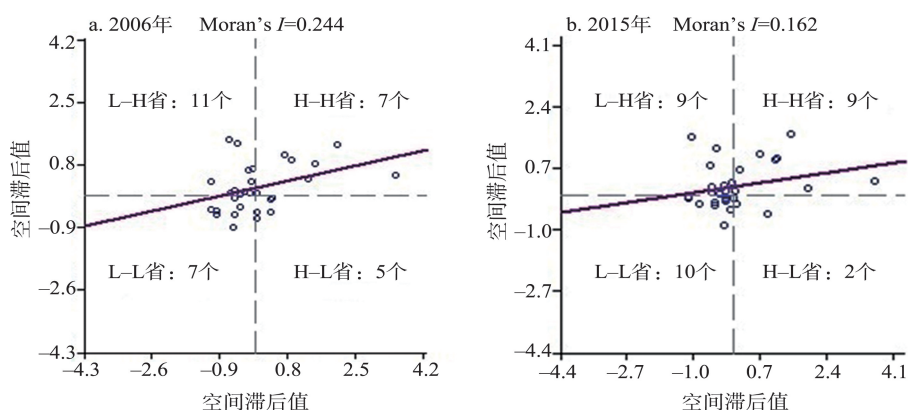


图2 高碳制造业碳排放 Moran 散点图

Figure 2 Moran scatter plot of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry

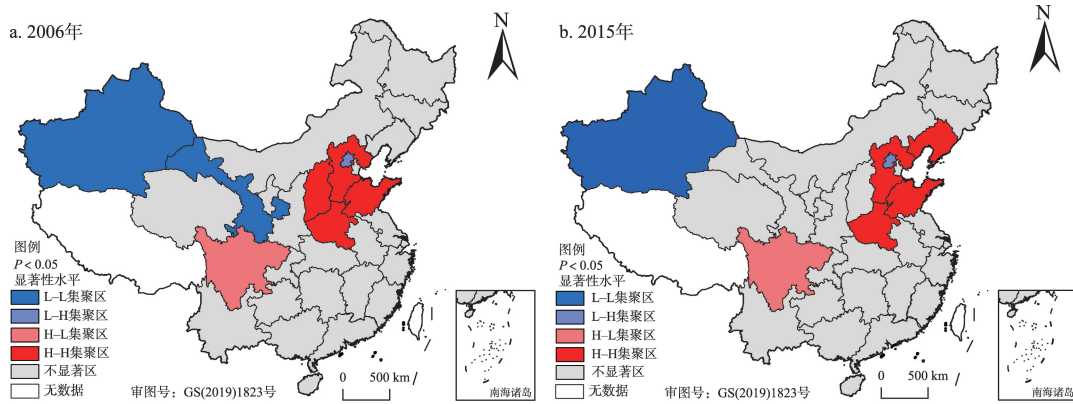


图3 高碳制造业碳排放局部空间集聚Lisa图

Figure 3 Local indicators of spatial association (Lisa) diagram of local spatial concentration of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry

集聚现象不显著,仅有西部的四川碳排放较之邻接省域,处于相对较高的水平。

3.3 高碳制造业碳排放时空演变驱动因素分析

上述研究表明,高碳制造业碳排放存在显著的空间相关性,故在分析其时空演变驱动因素时,利用动态空间面板计量模型较为合理。具体而言,据传统混合面板模型判断出具有个体和时间双项固定效应的结果最好。因此,采用能嵌套时间和空间交互效应的动态空间面板杜宾模型。为体现模型选择合理性,本文采用非空间传统最小二乘法(OLS)、非空间双向固定面板模型(FE)、非空间动态面板模型(Sys-Gmm)、静态空间面板模型(GS2SLS)以及动态空间杜宾模型(Han-Phillips GMM)进行统计检验,结果如表2。

由于模型1(OLS)、模型2(FE)和模型3(Sys-Gmm)没有考虑空间交互影响,多个影响因素的估计系数未通过显著性检验,而考虑了空间效应的模型4(GS2SLS)虽然系数估计结果较好,却忽略了碳排放的路径依赖特征,模型5(Han-Phillips GMM)中碳排放时间滞后项系数通过了显著性水平检验。综上,考虑了空间效应和碳排放时间滞后效应的模型5(Han-Phillips GMM)最佳。因此,下文主要分析基于Han-Phillips GMM得到的动态空间面板杜宾模型来识别影响高碳制造业碳排放时空演变的关键因素(表3)。具体而言:

(1)高碳制造业碳排放具有明显的时间滞后与空间溢出效应。时间滞后($\ln C_{t-1}$)的弹性系数为0.125,且通过10%的显著性水平检验,表明高碳制

表2 高碳制造业碳排放时空演变驱动因素模型对比

Table 2 Comparison of driving factor models of spatiotemporal change of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry

变量	OLS	FE	Sys-Gmm	GS2SLS	Han-Phillips GMM
$\ln P$	0.475***	0.556***	0.286*	0.480***	0.567***
$\ln S$	-0.024	-0.112	-0.266*	0.035*	-0.130*
$\ln T$	0.020	-0.058**	-0.045	-0.014	-0.013
$\ln RE$	0.098***	0.707***	0.008	0.117***	0.260**
$\ln TO$	0.146***	0.049*	-0.028	0.146***	0.108***
$\ln FAI$	0.207***	0.130***	0.135***	0.213***	0.125***
$\ln FDI$	-0.113***	0.093**	0.048	0.078***	0.058*
_cons	0.257	-0.937	0.768	-0.141	2.617**
$\ln C_{t-1}$			0.584***		0.125*
F(Wald)	288.178***	26.150***	301.200***	135.347***	272.623***
R^2	0.8735	0.6383		0.6829	0.9987

注:***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平。

表3 Han-Phillips GMM估计与检验结果

Table 3 Han-Phillips GMM estimation and test results

因素	弹性系数	p 值	空间滞项	弹性系数	p 值
$\ln C_{t-1}$	0.125*	0.100	$W \times \ln C$	0.134*	0.078
$\ln P$	0.567***	0.000	$W \times \ln P$	-0.449	0.458
$\ln IS$	-0.130*	0.097	$W \times \ln IS$	-0.114***	0.047
$\ln T$	-0.013	0.770	$W \times \ln T$	-0.030*	0.120
$\ln RE$	0.260**	0.031	$W \times \ln RE$	0.189*	0.316
$\ln TO$	0.108***	0.005	$W \times \ln TO$	-0.029***	0.010
$\ln FAI$	0.125***	0.002	$W \times \ln FAI$	0.035*	0.114
$\ln FDI$	0.058*	0.105	$W \times \ln FDI$	-0.441*	0.126
$R^2=0.9987$					
Root MSE(Sigma)=1.6251					
Wald Test=272.6231*** $p=0.0000$					
F-Test=18.1749*** $p=0.0000$					
Log Likelihood Function=122.0125					

制造业碳排放具有明显的路径依赖,即上一年碳排放较高,会导致下一年碳排放增加,出现“马太效应”中强者愈强效应。高碳制造业碳排放空间溢出效应($W \times \ln C$)弹性系数为0.134,表明本省碳排量增加1%,会导致邻省碳排放增加0.134%,这有力地解释了“中国高碳制造业碳排放“H-H”区空间集聚”的研究发现。高碳制造业碳排放空间溢出正效应也表明在制定碳减排措施时应突破省域界限,以区域或更宽的范围为单位共同制定可行性碳减排政策。

(2)经济规模扩大是导致省域高碳制造业碳排放增加的首要因素。以就业人数(P)为代表的经济规模在时间序列上通过了1%的显著性检验,即高碳制造业经济规模每增长1%,会导致省域碳排放增加0.567%。经济规模扩大导致碳排放的空间滞项系数虽未通过显著性检验,但具有积极作用。中国目前仍处于快速工业化阶段,经济增长仍需保质保量,以牺牲经济效益来实现快速碳减排是盲目且不持续的,未来高碳制造业要坚持绿色可持续发展,达到经济增长与碳减排“双赢”局面。

(3)产业结构调整是造成高碳制造业碳排放减少的关键因素。产业结构(IS)无论在时间序列弹性系数上还是在空间滞项系数上,均呈现负效应。这也表明当前高碳制造业产业结构有利于碳减排,但整体上负向效应较弱,其中产业结构对省域碳减排效应为-0.13%,对邻省碳减排贡献率为-0.114%。高碳制造业行业结构亟待进一步完善,才能最大程度的降低碳排放,实现可持续发展。

(4)技术水平提高可以有效促进邻省高碳制造业碳减排。技术效应(T)在时间序列的弹性系数和空间滞项系数上均为负效应,但前者未通过显著性检验,而后者通过10%显著性水平检验,说明省域经费内部支出额每提高1%,会使邻省碳排放减少0.03%。技术支出具有明显偏向性^[19],将其用于革新生产技术,则会降低碳排放,若用于经济规模扩张,则会导致碳排放增加。此外,技术创新对行业碳减排具有时间滞后性,从新技术的应用到碳减排初见成效要经过一定时期^[22]。在本文中,技术效应对省域高碳制造业碳减排的负向作用不太显著,但却存在技术溢出,有利于邻省碳减排。

(5)资源禀赋水平提高是导致高碳制造业碳排放增加的重要因素。资源禀赋(RE)在时间序列和空间滞项系数上均为显著正效应。其中,资源禀赋能力每提高1%,导致省域碳排放增加0.26%,也使邻省碳排放增加0.189%。高碳制造业均是资源依赖型中游产业,采掘业提供给高碳制造业生产、加工所需的资源越充沛,行业在生产中投入成本就减少,进而导致生产规模的扩大,最终导致能耗和碳排放的增加。相应地,本省资源禀赋能力越强,向邻省输入的资源就越多,由于距离优势,使邻省在生产过程中投入的运输成本更少,生产规模会相应扩大,最终也导致碳排放增加。

(6)对外出口能力的提高对本省和邻省高碳制造业碳排放的作用方向相反。对外开放度(TO)每提高1%,会导致省域碳排放提高0.108%。相反,会

带来邻省碳排放减少0.029%。高碳制造业产品海外市场需求量在较短时间内通常是平稳的,各省域在海外市场占有率中是相对竞争关系,若省域高碳制造业出口交货值提高,则邻省海外市场占有率会相对下降,相应地会减少产品产量与能耗,最终使得碳排放降低。

(7)固定投资的增加对高碳制造业碳排放的积极效应较显著。固定资产投资(*FAI*)每增加1%,会导致省域碳排放增加0.125%,但其空间滞项弹性系数未通过显著性水平检验。高碳制造业均是中游产业,其为下游产业生产发展提供动力支持,是产业链中的关键环节。当行业处于规模报酬递增时,固定资产投资量的增加,必定导致行业生产量增加,相应碳排放也会增加,同时本研究也反映固定资产投资在生产技术革新、实现碳减排上所做的贡献较低。

(8)外商投资企业数的增加对省域高碳制造业碳排放具有正向作用,对邻省碳排放却呈现负效应。外商投资(*FDI*)企业数每增加1%,会导致省域碳排放增加0.058%,同时会使得邻省碳排放减少0.441%。这与张可等^[1]的研究相反,其认为外商投资会引入更高的环境规制与节能减排技术。但本文却体现了外商投资对高碳制造业碳排放的积极影响,外商投资所带来的节能减排效应尚未体现。

4 结论与建议

4.1 结论

基于中国省域制造业能源消费数据,利用IPCC碳排放系数法、空间自相关分析法、动态空间面板模型,分析2006—2015年中国30个省(市、区)高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素,主要结论如下:

(1)10年间,除北京、上海外,其余省域高碳制造业碳排放均呈现正增长。碳排放省域差异明显,且“高值”区空间集聚趋势愈加显著。此外,高碳制造业各行业间碳排放也存在显著差异,黑色金属加工业碳排放与碳增量均居于绝对高位,非金属矿物制品业、石油冶炼加工业、化学原料制品业以及有色金属冶炼加工业碳排放依次降低。在空间分布格局演变中,黑色金属加工业碳排放高值区空间分

布格局与总体高碳制造业相似,非金属矿物制品业碳排放东部显著高于西部,石油冶炼加工业碳排放高值区趋向于黑龙江与晋豫鲁一带,而化学原料制品业与有色金属冶炼加工业碳排放空间演变特征不显著。

(2)高碳制造业碳排放具有明显的路径依赖,碳排放“滚雪球”效应显著。另外,高碳制造业碳排放空间溢出效应明显,省域碳排放增加会提高邻省碳排放。经济规模扩大、资源禀赋水平提高、固定资产投资增强、对外出口提高、外商投资企业数增加均导致省域高碳制造业碳排放的增加,而产业结构调整对碳排放的负向作用强于技术效应。此外,省域资源禀赋水平提高、固定资产投资增强会导致邻省碳增长。而省域经济规模扩大、外商投资企业数增加、产业结构调整、技术水平提高、对外出口增加均会引起邻省高碳制造业碳减排。

4.2 建议

实现高碳制造业碳减排任重而道远。首先,高碳制造业在未来碳减排中,应进一步提高对碳排放“热点”省域的关注度,实现其高碳排放空间解锁。其次,应考虑碳排放区域及行业异质性特征,加强对东部及黑色金属加工业碳排放的关注度。此外,在制定碳减排措施时,切忌“一刀切”。再次,中国目前仍处于快速工业化阶段,实现碳减排不能以牺牲经济效益为代价,应进一步合理调整高碳制造业产业结构。另外,生产技术水平的提高对当前高碳制造业碳减排的作用有限。因此,打破技术创新瓶颈、在生产端发展节能减排技术仍是目前政府和企业实现碳减排的关键突破点。最后,高碳制造业碳排放的强空间溢出效应要求各省突破省域界限,形成联动协调机制,发挥各省碳减排优势,取长补短,共同完成碳减排目标,从而实现整个工业低碳化绿色转型升级。

参考文献(References):

- [1] Liu Z, Guan D B, Moore S, et al. Climate policy: Steps to China's carbon peak[J]. *Nature*, 2015, 522(7556): 279-281.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[J]. 北京: 中国统计出版社, 2000—2015. [National Statistical Bureau of the People's

2020年2月

- Republic of China. China Statistical Yearbook[J]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2000-2015.]
- [3] Liu H L, Li B T, Tang W H. Manufacturing oriented topology optimization of 3d structures for carbon emission reduction in casting process[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 225: 755-770.
- [4] Tian Y S, Xiong S Q, Ma X M, et al. Structural path decomposition of carbon emission: A study of China's manufacturing industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 193: 563-574.
- [5] 黄凌云, 谢会强, 刘冬冬. 技术进步路径选择与中国制造业出口隐含碳排放强度[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(10): 94-102. [Huang L Y, Xie H Q, Liu D D. Study on impacts of technological progress paths on embodied carbon emission intensity of Chinese manufacturing exports[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(10): 94-102.]
- [6] 邵帅, 张曦, 赵兴荣. 中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径: 广义迪氏指数分解和动态情景分析[J]. 中国工业经济, 2017, (3): 44-63. [Shao S, Zhang X, Zhao X R. Empirical decomposition and peaking pathway of carbon dioxide emissions of China's manufacturing sector: Generalized Divisia index method and dynamic scenario analysis[J]. China Industrial Economics, 2017, (3): 44-63.]
- [7] 李强. 环境分权与企业全要素生产率: 基于我国制造业微观数据的分析[J]. 财经研究, 2017, 43(3): 133-145. [Li Q. Environmental decentralization and Firm TFP: Evidence from the data of Chinese manufacturing enterprises[J]. Journal of Finance and Economics, 2017, 43(3): 133-145.]
- [8] Wang Y P, Yan W L, Ma D, et al. Carbon emissions and optimal scale of China's manufacturing agglomeration under heterogeneous environmental regulation[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 176: 140-150.
- [9] Fernando Y, Hor W L. Impacts of energy management practices on energy efficiency and carbon emissions reduction: A survey of Malaysian manufacturing firms[J]. Resources, Conservation & Recycling, 2017, 126: 62-73.
- [10] 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, 24(5): 14-18. [Liu Q C, Kong L Q, An Z Y. Decomposition analysis of energy related carbon emissions from China manufacturing[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(5): 14-18.]
- [11] 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, 24(11): 112-119. [Zhu Q Q, Sun H, Wang S X. Research on the relationship between carbon emission of Chinese resource-based industry & manufacturing industry and development of Chinese industrial economy[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(11): 112-119.]
- [12] 傅京燕, 张春军. 国际贸易、碳泄漏与制造业 CO₂排放[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 13-18. [Fu J Y, Zhang C J. International trade, carbon leakage and CO₂ emissions of manufacturing industry[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(3): 13-18.]
- [13] 张兵兵, 徐康宁, 陈庭强. 技术进步对二氧化碳排放强度的影响研究[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 567-576. [Zhang B B, Xu K N, Chen T Q. The influence of technical progress on carbon dioxide emission intensity[J]. Resources Science, 2014, 36(3): 567-576.]
- [14] 崔盼盼, 张艳平, 张丽君, 等. 中国省域隐含碳排放及其驱动机理时空演变分析[J]. 自然资源学报, 2018, 33(5): 879-892. [Cui P P, Zhang Y P, Zhang L J, et al. Analysis on the spatial and temporal evolution of indirect carbon emissions and its driving mechanism in China[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(5): 879-892.]
- [15] 肖刚, 杜德斌, 戴其文. 中国区域创新差异的时空格局演变[J]. 科研管理, 2016, 37(5): 42-50. [Xiao G, Du D B, Dai Q W. Chinese regional innovation differences in temporal and spatial evolution[J]. Science Research Management, 2016, 37(5): 42-50.]
- [16] Tobler W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region[J]. Economic Geography, 1970, 46: 234-240.
- [17] 程叶青, 王哲野, 张守志, 等. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量[J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1418-1431. [Chen Y Q, Wang Z Y, Zhang S Z, et al. Spatial econometric analysis of carbon emission intensity and its driving factors from energy consumption in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(10): 1418-1431.]
- [18] 邵帅, 李欣, 曹建华, 等. 中国雾霾污染治理的经济政策选择: 基于空间溢出效应的视角[J]. 经济研究, 2016, 51(9): 73-88. [Shao S, Li X, Cao J H, et al. China's economic policy choices for governing smog pollution based on spatial spillover effects[J]. Economic Research Journal, 2016, 51(9): 73-88.]
- [19] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素[J]. 地理学报, 2018, 73(3): 414-428. [Wang S J, Su Y X, Zhao Y B. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(3): 414-428.]
- [20] 刘佳骏, 史丹, 汪川. 中国碳排放空间相关与空间溢出效应研究[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1289-1303. [Liu J J, Shi D, Wang C. A study on spatial spillover and correlation effect of carbon emissions across 30 provinces in China[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1289-1303.]
- [21] 孙立成, 程发新, 李群. 区域碳排放空间转移特征及其经济溢出效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(8): 17-23. [Sun L C, Cheng F X, Li Q. Characteristics and economic spillover effect of

- the regional carbon emissions transfer[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(8): 17–23.]
- [22] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. *管理世界*, 2019, 35(1): 36–60. [Shao S, Zhang K, Dou J M. Effects of economic agglomeration on energy saving and emission reduction: Theory and empirical evidence from China[J]. *Management World*, 2019, 35(1): 36–60.]
- [23] 刘海猛, 方创琳, 黄解军, 等. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析[J]. *地理学报*, 2018, 73(1): 177–191. [Liu H M, Fang C L, Huang J J, et al. The spatial-temporal characteristics and influencing factors of air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(1): 177–191.]
- [24] Anselin L. *Spatial Econometrics: Methods and Models*[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [25] Grossman G M, Krueger A B. Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement[R]. NBER Working Paper No. 3914, 1991.
- [26] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110: 353–377.
- [27] 左可贵, 包玉泽, 李崇, 等. 工业碳减排绩效及其影响因素动态分解[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(9): 1576–1588. [Zuo K G, Bao Y Z, Li C, et al. Industrial carbon emission reduction performance and dynamic decomposition of its influencing factors[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(9): 1576–1588.]
- [28] 邓吉祥, 刘晓, 王铮. 中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(2): 189–200. [Deng J X, Liu X, Wang Z. Characteristics analysis and factor decomposition based on the regional difference changes in China's CO₂ emission[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(2): 189–200.]
- [29] 陈国生, 张亨溢, 赵立平, 等. 比较优势和竞争优势对地区制造业转移的影响[J]. *经济地理*, 2018, 38(9): 168–175. [Chen G S, Zhang X Y, Zhao L P, et al. Influence of comparative advantage and competitive advantage on regional manufacturing transfer[J]. *Economic Geography*, 2018, 38(9): 168–175.]
- [30] 石敏俊, 逢瑞, 郑丹, 等. 中国制造业产业结构演进的区域分异与环境效应[J]. *经济地理*, 2017, 37(10): 108–115. [Shi M J, Pang R, Zheng D, et al. Spatial differentiation and environmental consequences of industrial structural evolution of China's manufacture[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(10): 108–115.]
- [31] 张可, 汪东芳. 经济集聚与环境污染的交互影响及空间溢出[J]. *中国工业经济*, 2014, (6): 70–82. [Zhang K, Wang D F. The interaction and spatial spillover between agglomeration and pollution[J]. *China Industrial Economics*, 2014, (6): 70–82.]
- [32] 张三峰, 魏下海. 信息与通信技术是否降低了企业能源消耗: 来自中国制造业企业调查数据的证据[J]. *中国工业经济*, 2019, (2): 155–173. [Zhang S F, Wei X H. Does information and communication technology reduce enterprise's energy consumption: Evidence from Chinese manufacturing enterprises[J]. *China Industrial Economics*, 2019, (2): 155–173.]
- [33] 胡振, 何晶晶, 王玥. 基于IPAT-LMDI扩展模型的日本家庭碳排放因素分析及启示[J]. *资源科学*, 2018, 40(9): 1831–1842. [Hu Z, He J J, Wang Y. Factor analysis and enlightenment of household carbon emissions in Japan based on IPAT-LMDI extension model[J]. *Resources Science*, 2018, 40(9): 1831–1842.]
- [34] 刘玉珂, 金声甜. 中部六省能源消费碳排放时空演变特征及影响因素[J]. *经济地理*, 2019, 39(1): 182–191. [Liu Y K, Jin S T. Temporal and spatial evolution characteristics and influencing factors of energy consumption carbon emissions in six provinces of central China[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(1): 182–191.]
- [35] 张旺, 周跃云. 基于结构分解法的北京市能源碳排放增量分析[J]. *资源科学*, 2013, 35(2): 275–283. [Zhang W, Zhou Y Y. Increased CO₂ emissions because of energy consumption in Beijing based on Three-Level nested I-O structural decomposition analysis[J]. *Resources Science*, 2013, 35(2): 275–283.]
- [36] Anselin L. *Spatial Econometrics: Methods and Models*[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [37] 周迪, 钟绍军. 空间外溢与金融发展的俱乐部趋同: 以长三角城市群为例[J]. *管理评论*, 2018, 30(9): 72–81. [Zhou D, Zhong S J. Spatial spillover and the club convergence of financial development: A case study of the Yangtze River Delta[J]. *Management Review*, 2018, 30(9): 72–81.]

Spatiotemporal changes of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry in China and driving factors

WANG Xia^{1,2}, ZHANG Lijun^{1,2}, QIN Yaochen^{1,2}, ZHANG Jingfei^{1,2}

(1. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China; 2. Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: Studying the carbon emissions of high-carbon manufacturing industry is helpful for promoting the sustainable development of China's industries. Using the energy consumption data of China's provincial manufacturing industry, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) carbon emission coefficient method, spatial autocorrelation analysis, and dynamic spatial panel model, the study examined the spatial and temporal changes of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry of 30 provinces (except Hong Kong, Macao, Taiwan, and Tibet) from 2006 to 2015. The results show that: Except Beijing and Shanghai Municipalities, carbon emissions in the rest of the provinces showed a growth trend. The "hot spots" of carbon emissions are concentrated in the Bohai Bay and Henan Province; Carbon emissions have clear path dependence and spillover effects in high-carbon manufacturing industry; The effect of economic growth is a main factor for the increase of provincial carbon emissions, and industrial structure change is an important factor for carbon emission reduction; The improvement of resource endowment level and the increase of fixed asset investment will lead to the increase of carbon emissions in neighboring provinces, but the improvement of technological level, industrial restructuring, greater openness to the outside world, and the increase of foreign investment are beneficial to reducing carbon emissions in neighboring provinces. In view of the above, the provinces should break provincial boundaries, form linkages and coordination mechanisms, break the bottleneck of technological innovation through complementary advantages, break the existing cognitive lock-in, and unlock unreasonable industrial policies. While achieving the goal of carbon emissions reduction, the green transformation and upgrading of the whole industry will be realized.

Key words: high-carbon manufacturing industry; Han-Phillips GMM; path dependence; spatial spillover; China