

中国碳排放的时空跃迁特征、影响因素与达峰路径设计

刘自敏¹, 张 娅^{1,2}

(1. 西南大学 经济管理学院, 重庆 400715; 2. 重庆三峡水利(电力)集团股份有限公司, 重庆 401120)

摘 要:精准应对节能减排和气候变化是经济社会可持续发展的关键一环。本文利用1998—2019年省级面板数据,基于碳排放时空跃迁与分位数回归相嵌套的分析框架,识别碳排放的影响因素并预测碳达峰年份与峰值。研究表明:碳排放空间集聚与分异状态共存;产业结构、能源消费结构优化和城市化均能有效降低碳排放,且碳排放具有显著行业异质性;绿色发展情景和技术突破情景均能实现“2030年碳达峰”的目标。本研究为政府改善能源约束与环境治理问题提供了参考。

关键词:碳排放;时空跃迁;影响因素;空间分位数回归;碳达峰

中图分类号:F124 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-9841(2022)06-0099-14

一、引言

全球气候变暖问题的成因、度量、后果及其应对措施一直是科学界的关注焦点。联合国政府间气候变化专门委员会第五次评估报告明确指出了温室气体排放导致全球气候变暖在科学上的合理性,其中二氧化碳(CO₂)是占比最大的温室气体,降低二氧化碳排放量将有效缓解全球气候变暖问题。《全球温控1.5℃特别报告》指出1.5℃温控目标的实现需要各国共同努力,在2030年实现全球净人为CO₂排放量比2010年减少约45%,在2050年左右达到净零。从《京都议定书》(1997年)到“哥本哈根气候谈判”(2009年),再到《巴黎协定》(2015年),世界范围内的节能减排行动在各国共同推动下曲折前进。有效达成碳减排成为中国乃至世界经济社会长远和可持续发展的关键一环。

国家主席习近平提出中国力争二氧化碳排放于2030年前达到峰值、2060年前实现碳中和。随后在气候雄心峰会上再次明确提出2030年中国碳强度在2005年基础上下降65%以上、非化石能源占比达到25%左右等约束性目标。实际上,中国目前仍是最大的温室气体排放国和能源消费国,根据国家统计局2019年数据,中国经济持续高速发展产生了大量能源需求,能源消费总量为46.4亿吨标准煤,同比增长3.3%,且非化石能源占比仅18.8%。根据Global Carbon Atlas统计结果,2021年中国碳排放量达到全球27%,煤炭消费回升再次推升了碳排放量增长。目前

作者简介:刘自敏,经济学博士,西南大学经济管理学院,教授。

基金项目:国家社会科学基金一般项目“碳达峰碳中和目标下的电碳关联市场设计与资源配置机制创新研究”(21BJL080),项目负责人:刘自敏;重庆市社会科学规划重大项目“重大突发公共卫生事件下的重庆能源粮食安全研究”(2020ZDJJ02),项目负责人:刘自敏;2021年重庆社科规划英才计划项目“中国家庭能源贫困问题研究:监测、机制与治理”(2021YC016),项目负责人:刘自敏。

中国实现“碳达峰”的时间已不到十年,面临巨大挑战,这要求部分地区和行业要率先实现碳达峰以“渐进”实现 2030 年碳达峰的总目标。

因此,本文在从时空尺度考察碳排放动态分布的基础上,对碳排放达峰进行影响因素分析与情景预测,这对精准应对节能减排与气候变化、早日达成“碳达峰”与“碳中和”目标具有重要的理论意义和现实意义。

二、文献回顾

加快推进节能减排已成为世界各国普遍共识和一致行动,国内外学者围绕碳排放展开了广泛讨论。一是以碳排放为中心的动态分布格局与效率评价。已有研究往往基于探索性时空数据分析方法,选取单项或多项碳排放相关环境污染指标,从时间和空间尺度描述环境污染的演变过程。碳减排具有复杂性、多变性、系统性等特征,空间自相关 Moran's I 指数作为分析要素相关性最常用的空间计量工具,能有效反映碳排放时空动态分布特征^[1-2],其中碳排放的动态分布格局主要包括碳排放空间分布集聚或分异的评估和碳排放分布格局的动态变迁^[3-6]。现阶段碳排放效率评价主要集中于具体地区与行业^[7],江文渊等基于“水-土-能-碳”关联的研究表明中国各年农业碳排放效率均高于工业碳排放效率^[8];于克美等则认为铁路运输业碳排放效率表现出地区差异性且这种差异性在逐年缩小^[9]。

二是碳排放达峰情景预测与路径分析。现有研究多数采用“方法 X+情景分析法”的分析模式进行碳排放达峰分析,并在此基础上提出碳减排与节能降耗的实现路径^[10]。现阶段分析碳达峰驱动效应和影响机理的方法主要有格兰杰因果检验^[11]、LMDI 指数方法^[12]、广义迪氏指数方法^[13]、STIRPAT 分解模型^[14]、环境库兹涅茨曲线^[15]、EKC 假说^[16]、LEAP 模型^[17]、BP 神经网络预测模型^[18]、能源系统优化模型(China TIMES)^[19]等。进一步地,空间计量方法也被逐渐引入碳排放分析框架以评估碳排放动态空间效应^[20]。邵帅等借助广义迪氏指数分解(GDIM)和蒙特卡洛模拟动态情景^[21-22],对中国制造业碳排放进行经验分解与达峰分析,表明制造业具有可观的碳减排潜力。

三是作为碳达峰情景预测基础的影响因素分析。已有文献指出区域碳达峰及其碳减排过程中的影响因素主要有能效水平^[23]、产业结构^[24]、经济发展^[25]、科技进步^[26]、能源结构^[27]、资源禀赋和产业分工^[28]、互联网依赖^[29]、碳排放交易政策^[30]、碳排放效率^[31]、碳排放环境规制^[32]等。随着经济资源和活动集中所形成的集聚效应对区域碳排放的作用效果不断凸显,颜廷武等研究发现农业碳排放存在拐点变动和时空分异特征^[33]。蔡博峰等根据实际发展、国家重大决策变化和认知,模拟和推演了不同政策措施下的排放情景,并提出碳中和目标下二氧化碳排放科学化、精准化管控的实施路径^[34]。柴麟敏、周伟军等、王志轩对中国碳排放达峰时间与碳排放量进行了评估预测^[35-37]。

通过梳理现有研究发现:一是既有研究围绕碳排放的空间分布与作用机理展开了较为丰富的讨论,但缺乏将碳排放分布格局的动态演进纳入其影响因素分析框架的尝试;二是在使用空间计量方法分析碳减排问题时,缺乏碳减排影响因素动态驱动效应的异质性分析,以及忽略了时间路径依赖和内生性问题;三是在碳达峰情景分析时更多局限于“方法 X”中各影响因素的固定变化率设定,但现实经济活动往往是曲折与不确定的,潜在变化率下的趋势预测更科学合理。基于此,本文的创新点主要有以下三点:第一,将碳排放分布格局的动态演进纳入其影响因素驱动分析,形成了空间面板分位数回归模型与碳排放时空跃迁机制相嵌套的分析框架;第二,采用探索性时空数据分析方法,从时空视角考察碳排放的影响因素与达峰状况,考虑了经济资源和经济活

动集中所形成的集聚效应对碳排放与碳减排的影响,使分析结果更加透彻;第三,借助蒙特卡洛模拟碳排放影响因素变化的动态情景,并结合中国未来经济发展政策与历史趋势设置影响因素潜在变化率,预测结果更科学合理。

三、理论、模型与数据

(一)碳排放时空演进的影响因素识别

根据碳排放研究方法,以 KAYA 恒等式为基础的指数结构分解包括经济规模、产业结构、技术进步和能源结构等因素,环境库兹涅茨曲线和 EKC 假说验证经济增长与环境的关系,基于 IPAT 更新的 STIRPAT 模型则包含人口、经济发展水平和技术等因素。根据中国经济发展事实,长期以来的经济发展与能源消费模式使中国陷入了“投资-经济增长-能源消费-碳排放”的循环困境,经济总量随着投资力度的不断增大而迅速增加。经济增长、碳排放与能源消费间存在长期均衡关系^[38],经济发展需要巨量能源支撑,能源消耗又促使碳排放增加,因碳减排增加的污染治理投资往往会在完成减排前提下分流到其他投资用途。这一过程中的碳排放量未因能源消耗增长呈指数变化很大程度上归因于技术前沿变动,特别是碳减排低碳技术突破。低碳技术进步能提高能源利用率以达成减排效应,但也极可能出现环保达标前提下以更多的能源消耗拉动经济增长的现象,即能源回弹效应。同时,现阶段环境规制对于碳减排的影响究竟是“绿色悖论”还是“倒逼减排”没有一致性答案。随着当前经济资源和经济活动集中所形成的集聚效应对区域碳排放的作用效果不断凸显^[20],城市空间形态也成为碳排放时空演进的重要驱动因素。因此本文将碳排放时空演进的驱动因素划分为经济形态、技术因素、能源环境约束和城市空间形态四个方面。

(二)分位数回归与时空跃迁嵌套分析框架

针对无法反映模型中各因素非均衡与非单调函数关系的缺陷, York 等在 Ehrlich 和 Holdren 等人提出的 IPAT 理论上提出了新的碳排放预测模型 STIRPAT^[39]。具体结合本文碳排放影响因素,设定碳排放为:

$$C = \alpha P^{\beta_1} A^{\beta_2} T^{\beta_3} E^{\beta_4} \epsilon \quad (1)$$

其中 P、A、T、E 依次代表城市空间状态、经济状态、技术因素与能源环境约束, α 和 ϵ 为模型系数和误差项。带入碳排放具体影响因素后两边同时取对数,且考虑到地区经济活动与能源消耗的外部性特征、碳排放时间路径依赖特征,将碳排放的时空滞后项纳入方程,设定空间计量模型为:

$$\ln C = \sigma W \ln C_t + \delta \ln C_{t-1} + \ln \alpha + \sum_i \beta_i \ln X_{m, it} + \ln \epsilon + \mu_i + \varphi_t \quad (2)$$

式中, X_i 为影响因素; W_{ij} 为表示地区 i 与地区 j 间距离的 $n \times n$ 阶空间权重矩阵,本文设定空间权重矩阵 W 为地理邻近权重,相邻时为 1,反之为 0; σ 与 δ 为空间相关系数和滞后系数, μ_i 和 φ_t 分别为个体固定效应和时间固定效应。此外,分位数回归可借助分位值更加细致地刻画碳排放的条件分布,还能够克服强分布假设、异常值的误差影响。本文拟在式(2)基础上采用分位数模型考察不同分位数水平下碳排放的空间效应,即:

$$Q_i(\tau | W \ln C_{it}, \ln C_{it-1}, \ln X_{it},) \ln C = \sigma_\tau W \ln C_{it} + \delta_\tau \ln C_{it-1} + \ln \alpha + \sum_i \beta_{\tau i} \ln X_{m, it} + \ln \epsilon + \mu_i + \varphi_t \quad (3)$$

同时,借助分位数回归被解释变量的条件分布(高低分位)与碳排放分布跃迁类型的相似之处,构建了碳排放时空跃迁与分位数回归相嵌套的理论分析框架^[5](图 1)。

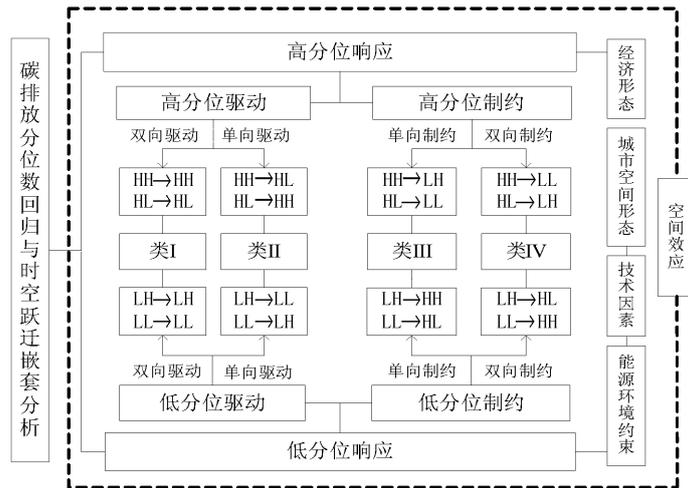


图1 碳排放分位数回归与时空跃迁嵌套分析框架

具体地,以驱动因素对碳排放的影响分为高分位响应和低分位响应,同时结合不同分位点各因素对碳排放的正负影响方向,将响应类型划分为高分位制约、高分位驱动、低分位制约和低分位驱动。进一步地,根据地区碳排放变化方向细分为同向发展(制约)或逆向发展(制约),并从跃迁规律角度结合 Rey 的类型划分,划分为类 I-IV。

(三)数据来源与变量定义

本文实证分析选取中国 1998—2019 年省级面板数据作为样本数据,指标数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》、少数省份统计年鉴和国泰安数据库。在指标计算过程中,采用组内均值替代与缩尾等数据处理方法进行数据处理,对于指标有较大缺失的省份予以剔除,经济数据均以 1998 年为不变价折算。主要变量定义及处理如下:

1. 因变量:碳排放

基于《中国能源统计年鉴》地区能源平衡实物表中主要行业终端能源消费量,借助能源折算标准煤系数表和 2006 年《IPCC 国家温室气体清单指南》基准方法对各类实物能源消费量进行折算。鉴于地区行业其他数据的可得性,未单独计算生活部门与其他服务行业的碳排放。主要行业包括:第一产业(农、林、渔、牧业)、工业、建筑业、交通运输和邮政仓储业、批发零售和住宿餐饮业。各省(市/自治区)碳排放值计算公式为:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n \beta_i \times ECF_i \times CSC_i \times E_i \quad (4)$$

其中 C 为碳排放, C_i 为 i 种能源碳排放; β_i 为单位统一为万吨标煤的能源转换系数, ECF_i 为能源折算标准煤系数; E_i 为排放源活动强度,系指各类燃料使用量; CSC_i 为 i 种能源建议碳排放系数。

2. 自变量

碳排放影响因素变量:其中环境规制通过全部国有以及规模以上非国有工业污染治理投资总额在主营业务成本中占比来度量;能源强度采用单位 GDP 能耗衡量;碳强度以碳排放与实际 GDP 的比值来衡量;产业结构以第二、三产业增加值占国民生产总值比重来度量;固定资产投资采用地区固定资产投资衡量;城镇化水平采用常住人口城镇化率表征,缺少的数据以各省统计年鉴中城镇化率或非农业人口比率替代^[40];科技进步以发明专利与实用专利实际授权量衡量,更偏向于技术突破;人口密度以人口数/土地面积度量;能源消费结构采用电能占能源消费总量的比重表征;经济发展水平以实际人均 GDP 衡量。各项指标描述性统计如表 1 所示。

表 1 变量描述性统计

变量	单位	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
碳排放	万吨	660	16 510.330	14 709.010	1 097.195	93 244.160
经济发展水平	万元 GDP/人	660	2.894	2.658	0.024	14.786
第二产业占比	%	660	45.374	7.962	20.150	58.400
第三产业占比	%	660	41.865	8.770	29.700	76.900
固定资产投资	亿元	660	9 160.845	11 091.750	173.370	52 753.820
科技进步	项	660	3 545.036	7 384.654	62.000	42 019.000
能源强度	吨标煤/万元 GDP	660	0.974	0.815	0.710	1.329
城市化率	%	660	48.149	16.483	18.610	88.700
人口密度	人/公里	660	423.793	595.616	7.480	3 833.570
环境规制	%	660	0.098	0.138	0.019	1.280
能源消费结构	%	660	13.546	3.810	6.960	23.500
碳强度	吨碳排放/万元 GDP	660	3.615	2.676	0.590	15.460

从表 1 中可以看出,能源强度与碳强度水平较高,能源消费结构水平较低,即能源利用效率不足以支撑经济发展需要,因此在经济发展过程中带来了巨额能源消耗与碳排放,即运动式减碳是不可取的。同时环境规制最大值仅 1.28%,这表明在经济发展的同时并未采取足够力度的环境治理,综合导致了当前亟待解决的碳排放困境。

四、实证结果与分析

基于时间和空间尺度考察碳排放的时空动态分布特征,寻求经济转型过程中节能减排的优化路径,是现阶段“碳达峰”与“能源双控”目标约束下经济、环境研究的重要问题。根据研究主线,本文从碳排放“空间关联-空间分异-时空跃迁”展开碳排放时空动态分析。

(一)碳排放时空动态分布

1. 碳排放空间关联

Moran's I 指数结果可明确反映出区域碳排放的空间关联,本文首先通过全局 Moran's I 指数测度全国终端碳排放与主要行业碳排放,具体估计结果如表 2 所示。根据估计结果,中国区域碳排放总体上呈现正向空间自相关,具有显著空间关联特征。细分行业来看,行业碳排放空间关联具有异质性。这可能是由于行业特征所决定的,第一产业主要依托于土地等自然资源优势发展,其碳排放可能会受到大型农业产区分布的影响;工业碳排放随着产业集聚-分散的分布特征而变化,空间关联先增强随后逐步削弱;交通运输和邮政仓储主要依赖于交通干线,交通规划具有一定空间分布规律,并且交通运输和邮政仓储直接性的能源消耗与碳排放增加,但随着交通方式的增多及普遍,其空间关联程度有所降低。

表 2 主要行业碳排放全局 Moran's I 指数测度结果

年份	总体	第一产业	工业	建筑业	批发零售、住宿餐饮	交通运输、邮政仓储
1998	0.029	0.085	0.095*	0.063	-0.011	0.081
1999	0.039	0.147**	0.057	0.193***	0.035	0.153**
2000	0.042	0.062*	0.092*	0.044	0.026	0.148**
2001	0.106*	0.076*	0.057	0.043	0.045	0.170**
2002	0.119*	0.060*	0.069	0.077	0.029	0.153**
2003	0.127**	0.073*	0.072	0.086	0.049	0.139**
2004	0.058	0.065	0.111*	0.052	-0.027	0.066
2005	0.147**	0.067	0.123**	0.105	0.034	0.142**
2006	0.084	-0.031	0.096*	-0.012	0.000	-0.060
2007	0.136**	0.077	0.113*	0.077	0.040	0.125**
2008	0.141**	0.087*	0.126**	0.049	0.043	0.138**

年份	总体	第一产业	工业	建筑业	批发零售、住宿餐饮	交通运输、邮政仓储
2009	0.140**	0.137**	0.136**	0.066	0.096*	0.124**
2010	0.137**	0.143**	0.133**	-0.078	0.061	0.114*
2011	0.131**	0.162**	0.136**	-0.064	0.044	0.103*
2012	0.142**	0.078	0.149**	-0.100	0.110*	0.142**
2013	0.143**	0.101*	0.165**	-0.073	0.003	0.092*
2014	0.165**	0.100*	0.190***	0.033	0.091*	0.024
2015	0.139**	0.094*	0.172**	0.012	-0.068	0.010
2016	0.109*	0.083	0.138**	0.007	0.075	0.011
2017	0.139**	0.071	0.154**	-0.026	0.102*	0.111*
2018	0.129**	0.089*	0.150**	0.036	-0.010	0.070
2019	0.240***	-0.054	0.148*	0.193	-0.108	0.168

注：***、**、* 分别表示 1%、5% 和 10% 的水平上显著，下表同

2. 碳排放空间分异与时空跃迁

进一步地，借助局部 Moran's I 指数的结果判断碳排放的空间分布(表 3)，碳排放呈现空间集聚与空间分异状态共存的时空演进特征，且空间稳定性从 0.63 提升到 0.73，碳排放空间分布稳定性逐渐增强。从局部看，一方面，河北、辽宁与山东为高碳排放集聚中心，陕西、甘肃、青海、宁夏与新疆为低碳排放集聚中心，且上述省份空间分布的稳定性较强。这一相对分布结果也表明了河北、辽宁、山东是应该长期重点监管和提高碳减排力度的省份，碳减排难度与阻力较大；另一方面，基于空间类型的划分，山西省周边省份碳排放相对增加外，江苏、湖南、福建、云南周边省份碳排放相对降低，贵州和浙江从高碳排放集聚区域转为了低碳排放集聚区域，碳减排成果显著。相较之下，山西、北京、河南、内蒙古和黑龙江的碳排放应及时给予关注，在其稳定性增强之前采取措施，防止其向高碳排放集聚形式过渡。

表 3 碳排放空间分布与时空跃迁

时间	空间分布类型	HH_{t+1}		LH_{t+1}		LL_{t+1}		HL_{t+1}	
		跃迁占比(%)	跃迁省市	跃迁占比(%)	跃迁省市	跃迁占比(%)	跃迁省市	跃迁占比(%)	跃迁省市
1998-2008 S=0.63	HH_t	20.00	河北、辽宁、上海、江苏、安徽、山东	10.00	北京、吉林、重庆	3.33	贵州	6.67	浙江、湖南
	LH_t	3.33	河南	16.67	天津、福建、江西、广西、海南	3.33	云南	0.00	无
	LL_t	0.00	无	0.00	无	16.67	陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	3.33	内蒙古
	HL_t	3.33	山西	0.00	无	3.33	黑龙江	10.00	湖北、广东、四川
2008-2019 S=0.73	HH_t	16.67	河北、山西、辽宁、山东、河南	6.67	上海、安徽	0.00	无	3.33	江苏
	LH_t	3.33	北京	20.00	天津、吉林、江西、广西、海南、重庆	3.33	福建	0.00	无
	LL_t	3.33	贵州	3.33	云南	16.67	陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	3.33	黑龙江
	HL_t	0.00	无	0.00	无	3.33	浙江	16.67	内蒙古、湖北、湖南、广东、四川

(二)碳排放影响因素分析

1. 碳排放影响因素的空间效应

根据碳排放影响因素估计结果,碳排放时空相关系数均显著为正,碳减排行动需要示范地区起到良好“示范效应”,其他省份会因环境绩效等压力的原因促使碳减排的力度不断提升,进而促进整体“双碳”目标的达成。

首先从能源环境约束看,能源消费结构系数显著为负,表明能源消费结构优化可促进能源消费中电力资源占比提高,有助于减少高碳排放能源消费。环境规制系数显著为正,环境治理力度不足以承担追求高速增长所消耗能源带来的碳排放增量,这可能是导致其系数为正的主要原因。其次,经济形态是碳排放的重要影响因素,第三产业结构占比提升能促进降碳,但产业结构优化对碳减排的力度随着碳强度的提升被逐步削弱。固定资产投资系数均为正,传统发展模式使得碳排放总量在环境治理情境下仍不断增长,经济体量的增长伴随着碳增长,即运动式减碳不符合双碳发展目标。经济发展水平系数为负但仅 QR-25 分位结果显著,碳排放较低的城市主要包括低碳经济发展模式下的发达城市与能源消耗较少的落后城市,在现行环境约束的政策背景下,高质量经济发展反而会降低碳排放。接着,对于城市空间形态而言,人口规模的扩大将直接增加生活生产能源消费,而城市化水平的提升则有利于城市建立循环经济模式,进而实现城市可持续发展与碳减排。最后,技术因素中代表固定产值碳排放量变化的碳强度以及偏向技术突破的科技进步,对碳排放的影响均为正,能源强度系数为负但仅在 SAR 估计下显著,表明中国碳减排和能源利用技术相对薄弱,当前实现碳减排的核心是降低碳强度,以“强度”下降抵消 GDP 增长带来的二氧化碳排放增加,低碳技术突破则是实现当前碳强度降低与“双碳”目标的关键之处。

表 4 碳排放影响因素估计结果

变量	OLS	SAR	SQAR-25	SQAR50	SQAR-75
碳排放(-1)		0.160*** [0.0360]	0.615*** [0.084]	0.775*** [0.050]	0.705*** [0.066]
碳排放 * W		0.135* [0.076]	0.335* [0.072]	0.176** [0.073]	0.154* [0.083]
能源消费结构	-0.137*** [0.027]	-0.077* [0.041]	-0.174*** [0.067]	-0.162*** [0.047]	-0.165*** [0.043]
环境规制	0.034** [0.014]	0.021* [0.012]	0.049*** [0.018]	0.037** [0.018]	0.021 [0.017]
第二产业占比	0.075 [0.068]	0.032 [0.057]	-0.095 [0.089]	0.004 [0.084]	0.180 [0.116]
第三产业占比	-0.406*** [0.089]	-0.251*** [0.070]	-0.588*** [0.104]	-0.532*** [0.116]	-0.315** [0.149]
固定资产投资	0.312*** [0.017]	0.252*** [0.023]	0.349*** [0.024]	0.294*** [0.021]	0.286*** [0.031]
经济发展水平	-0.024 [0.017]	-0.005 [0.066]	-0.042* [0.023]	-0.029 [0.020]	-0.036 [0.023]
人口密度	0.020** [0.009]	0.009 [0.007]	-0.012 [0.013]	0.027** [0.011]	0.023* [0.012]
城市化水平	-0.308*** [0.037]	-0.207*** [0.034]	-0.393*** [0.053]	-0.228*** [0.043]	-0.195*** [0.063]
碳强度	0.527*** [0.020]	0.396*** [0.034]	0.523*** [0.029]	0.545*** [0.029]	0.549*** [0.039]
能源强度	-0.011 [0.007]	-0.013** [0.005]	-0.012 [0.009]	-0.010 [0.008]	-0.006 [0.011]
科技进步	0.322*** [0.016]	0.243*** [0.025]	0.329*** [0.019]	0.357*** [0.024]	0.340*** [0.030]
_cons	6.414*** [0.543]	0.036*** [0.003]	7.751*** [0.689]	6.774*** [0.703]	5.627*** [0.846]
N	630	630	630	630	630
R ²	0.921	0.942	0.741	0.721	0.721

2. 分位响应下碳排放时空跃迁的影响机制

在前文分析中,各影响因素对碳排放变动的边际贡献存在差异,为了从统计意义上判断这种差异是否显著,本文进行了分位差异检验,结果显示固定资产投资、第二产业占比、城市化水平和人口密度对高低分位碳排放的影响具有显著差异。同时,为进一步考察上述因素的影响差异,本文结合碳排放时空跃迁分布特征与空间分位数回归结果,分别整理了高、低分位响应下碳排放时空跃迁的影响机制与省份,具体结果如表 5 所示。

表 5 基于分位数回归的碳排放时空跃迁类型划分

响应类型	跃迁方向	碳排放时空跃迁影响机制	减排类别	跃迁数量	跃迁省份	减排急切度
高分位响应	高分位驱动	固定资产投资、碳强度、科技进步、人口密度、第二产业占比、环境规制	重点治理减排区	单向驱动	北京、山西、湖南、江苏	2
				双向驱动	河北、辽宁、山东、广东、四川、湖北	1
	高分位制约	能源强度、能源消费结构、第三产业占比、城市化水平、经济发展水平	重点防治减排区	单向制约	上海、安徽、吉林、重庆、	3
低分位响应	低分位驱动	固定资产投资、碳强度、科技进步、环境规制	重点预防减排区	双向制约	贵州、浙江	4
				单向驱动	黑龙江、内蒙古、河南	5
	低分位制约	能源强度、能源消费结构、第三产业占比、城市化水平、经济发展水平、第二产业占比、人口密度	低碳发展减排区	双向驱动	无	—
				单向制约	福建、云南	6
				双向制约	陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、天津、江西、广西、海南	7

注:表中减排急切度 1—7 逐渐降低

此外,根据碳排放跃迁对象将自身或邻域变迁定义为单向变动,将自身和邻域均变迁定义为双向变动,并以区域碳排放现状与变动方向作为减排重要性依据进行减排类别区域划分和急切度排序。(1)重点治理减排区,该区域属于碳排放较高且仍在增长的地区,正逐渐形成以河北、辽宁等双向驱动省份为中心的高碳排放集聚区和以北京、山西等省份为中心的增长点,这要求上述省份借助人口与环境规制、产业结构升级、低碳技术突破等在减排的同时截断其增长趋势;(2)重点防治减排区,该区域的碳排放较高,但因经济发展模式与产业生产方式的优化其总体呈下降趋势,仍可以持续通过“电能替代”与“清洁替代”优化能源消费结构、低碳经济发展模式改善当前碳排放相对较高的现状;(3)重点预防减排区,黑龙江、内蒙古和河南的碳排放相对较低但有增加的趋势,这一区域内碳排放虽然较低但仍有减排的必要性,避免其因追求经济发展而过度消耗能源和增加碳排放;(4)低碳发展减排区,该区域属于碳排放较低且仍在降低的地区,两极分化较为明显。在当前约束性减排背景下,青海和新疆等经济相对落后地区受当前环境约束正逐渐转变经济发展模式和能源消费结构以达成减排目标,天津等经济发达地区更多借助城市化体系和产业结构升级优化的方式实现自身并带动周边地区减排,对其他区域省份实现碳减排具有良好的示范作用。

五、碳达峰情景设定与路径预测

2021 年 7 月 30 日的中共中央政治局会议提出:要统筹有序做好碳达峰、碳中和工作,尽快出台 2030 年前碳达峰行动方案,坚持全国一盘棋,纠正运动式“减碳”。在此背景下,各省必须响应号召出台行动方案,且需要合理的、科学的碳达峰路径作为行动方案的支撑。基于此,本文在综合考虑中国经济社会发展历史趋势和未来经济、能源、产业等政策基础上,借助蒙特卡洛设定基准情景、绿色发展情景和技术突破情景下碳排放影响因素的平均变化率。同时,以 2019 年碳排放空间分布为依据将 30 个省(市/自治区)划分为高、低碳排放省份,分位结果作为高、低碳排放

省份碳排放预测值的计算方式,从而通过最接近的趋势模拟判断总体及地区的碳达峰时间与排放量,并以此确定各地区最适宜的碳达峰路径。

(一)碳达峰情景设定

本文依据中国以及各省(自治区、直辖市)“十四五”发展规划和“十三五”期间的社会发展状况,综合已有文献的碳达峰情景设计优点与缺陷,选取技术、经济形态、能源与环境约束和城市空间形态四个方面的影响因素,根据蒙特卡洛模拟的需要设置“高”“中”“低”3种变化速率,以此构建可能的碳达峰情景模式。需特别说明的是,2020年与2021年的碳排放实际上已经发生,但限于数据可得性,本文仍以2019年作为碳排放预测基期,对2020—2025、2026—2030、2031—2045三个阶段碳排放值进行预测评估。

1. 基准情景

基准情景是以“十三五”期间经济社会发展特征为基础,假定当前经济环境与技术水平保持原有发展趋势,仅根据国民经济与社会发展惯性趋势和宏观政策变化推导而得到的可能情景,即以五年发展规划的周期性特征和原有阶段平均变化率作为因素变动的设计依据。具体地,根据宏观政策下各地区碳排放影响因素的主要走向调节其平均变化率:(1)经济发展水平,“十四五”规划明显淡化GDP经济增长,GDP增速与之前相比下调1%。(2)产业结构优化,产业结构升级将逐步过渡为由第一产业、第二产业向第三产业转变,现代服务业将快速发展,第二产业占比将在“十五五”规划由正向增速转向负向增速,第三产业占比不断提高。(3)城市空间形态,中国极有可能在“十四五”期间提前迎来峰值和人口负增长,故在“十五五”节点前后将人口密度年均增速调为负增长。且2019年末中国常住人口城镇化率为60.6%,已有13省(市)超全国平均水平,且发达国家城市化经验表明城市化率达到70%左右将会逐渐出现逆城市化现象,预测后期减缓其增速。(4)环境规制、固定资产投资、科技进步、能源强度、碳强度和能源消费结构的中等增速,直接采用经过经济事实调整后的年均变化率表示。综合上述影响因素的历史数据与变动趋势,基准情景下各影响因素的年均变化率设置具体如表6所示。

表6 基准情景下各影响因素的年均变化率设置

单位:%

影响因素	2020—2025			2026—2030			2031—2045		
	低速	中速	高速	低速	中速	高速	低速	中速	高速
经济发展水平	5.62	6.62	7.62	4.00	5.00	6.00	3.00	4.00	5.00
第二产业占比	0.09	0.14	0.19	-0.11	-0.06	-0.01	-0.11	-0.06	-0.01
第三产业占比	0.06	0.11	0.16	0.26	0.31	0.36	0.26	0.31	0.36
城市化水平	1.03	1.13	1.23	0.93	1.03	1.13	0.83	0.93	1.03
人口密度	0.26	0.31	0.36	0.06	0.11	0.16	-0.14	-0.09	-0.04
固定资产投资	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06	0.07
能源强度	2.68	3.68	4.68	2.68	3.68	4.68	2.68	3.68	4.68
碳强度	0.34	0.44	0.54	0.34	0.44	0.54	0.34	0.44	0.54
能源消费结构	5.03	6.03	7.03	5.03	6.03	7.03	5.03	6.03	7.03
环境规制	0.33	0.43	0.53	0.33	0.43	0.53	0.33	0.43	0.53
科技进步	0.54	0.64	0.74	0.54	0.64	0.74	0.54	0.64	0.74

2. 绿色发展情景

本文将绿色发展情景定义为在基准情景基础上,采用绿色低碳的经济发展方式,以实现“双碳”为最终目的设定能源环境约束性指标。各因素的变化速率设置主要以“十四五”及其他低碳规划中的目标设定为准,未有明确规定的影响因素参照基准情景设置变化率。具体设定:(1)经济发展水平。预计“十四五”期间GDP年均增速可能保持年均5%以上速度,“十五五”期间GDP年均增速不低于年均4.5%的增速。此外北京市、河南省、天津市、四川省、新疆维吾尔自治区、湖

北省、广西壮族自治区、海南省明确提出了年均增速,其余未作明确规定的省份将以全国平均 GDP 增速设定为准。本文将上述年均 GDP 增长目标作为中等变化速率的设置依据,上下变动 1%作为“高”“低”变化速率。(2)能源绿色低碳发展目标中的能源强度、碳强度和能源消费结构。根据 2030 年“碳达峰承诺”的约束,“十四五”时期必须保持“十三五”时期节能降碳力度,GDP 能源强度年均下降率保持不低于 3%的水平,碳强度“十四五”时期下降要达到 19%~20%,非化石能源占比达到 20%左右;“十五五”期间年下降率要提升到 4.5%~5.0%的水平,非化石能源占比达到 25%,即年均增速 5%左右。对于在发展规划中明确提出能源绿色低碳发展目标的省域则按照其规划进行变化率设定。具体影响因素年均变化率变动如表 7 所示。

表 7 绿色发展情景下各影响因素的年均变化率设置变动 单位:%

影响因素	2020—2025			2026—2030			2031—2045		
	低速	中速	高速	低速	中速	高速	低速	中速	高速
经济发展水平	5.00	6.00	7.00	4.00	5.00	6.00	3.00	4.00	5.00
能源强度	2.50	3.00	3.50	3.00	3.50	4.00	3.50	4.00	4.50
碳强度	3.50	4.00	4.50	4.50	5.00	5.50	5.00	5.50	6.00
能源消费结构	4.56	5.56	6.56	4.00	5.00	6.00	3.00	4.00	5.00

3. 技术突破情景

节能减排效果显现最直接、最有效的是推进技术创新,特别是低碳与节能技术突破。在绿色发展情景设定基础上,对能源绿色低碳发展目标中的能源强度、碳强度和能源消费结构参数进行强化,同时重新设定科技进步年均变化率,进而得到能源技术得到重要突破时的可能情景。一方面,设定技术突破情景中非化石能源占比在绿色发展情景基础上增加 1%,碳强度年均下降率在“十四五”“十五五”和“十六五”期间分别为 5%、5.5%和 6%,能源强度年均变化率为 4%。另一方面,科技进步为实际专利授权量,数据本身具有基数较大等特征。根据历史数据,年均变化率为 0.64%,但各地区年均变化率存在较大差异,为综合考虑省际间科技水平的差异,将平均变化率提高 10%作为技术突破场景下的科技进步年均变化率。具体影响因素年均变化率变动如表 8 所示。

表 8 技术突破情景下各影响因素的年均变化率设置变动 单位:%

影响因素	2020—2025			2026—2030			2031—2045		
	低速	中速	高速	低速	中速	高速	低速	中速	高速
能源强度	3.50	4.00	4.50	3.50	4.00	4.50	3.50	4.00	4.50
碳强度	4.50	5.00	5.50	5.00	5.50	6.00	5.50	6.00	6.50
能源消费结构	5.56	6.56	7.56	5.00	6.00	7.00	4.00	5.00	6.00
科技进步	0.81	0.96	1.11	0.81	0.96	1.11	0.81	0.96	1.11

(二)碳达峰路径预测

1. 总体碳达峰路径预测

本文基于蒙特卡洛方法模拟计算了各影响因素未取对数时的潜在变化率,以 2019 年作为预测基准年,预测了基准情景、绿色发展情景与技术突破情境下各地区的达峰时间与达峰值,并绘制了三种不同情景下碳排放的演化趋势图,具体如图 2 所示。在基准情景中,即在不实施新的能源约束与环境保护政策情况下,仅考虑人口、城镇化与产业结构变化趋势,碳排在 2019—2032 年间大幅增长并在 2032 年达值 142.13 亿 tce 后呈阶段性下降,但峰值远远高于 2030 年碳排放峰值控制目标^[10]。这一结果意味着如果依旧保持过去的减排措施与经济发展趋势而不采取措施节能减排,将会引致大量碳排放。这种以环境牺牲为代价的经济增长不利于经济社会可持续发展,政府有必要在保障经济平稳发展的同时转变经济发展与产业发展方式、强化与细化环境治理措施。

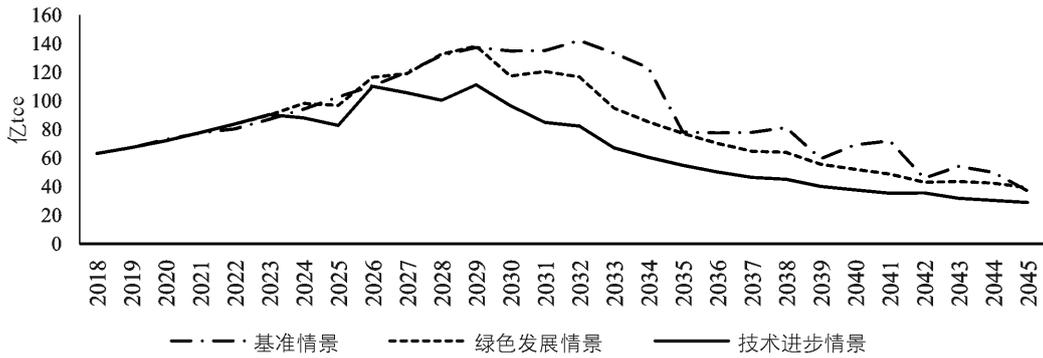


图2 三种情景下碳排放预测趋势图

其次,在绿色发展情景中,绿色发展情景相对于基准情景更早达到峰值,碳排在绿色发展情景下于2027年进入平缓增长长期,并在2029年达到碳排放峰值133.19亿tce,随后呈现平缓下滑趋势。这表明政府针对能源强度、碳强度和能源消费结构等的环境保护措施,可以有效抑制碳排放的快速增长,但其峰值还有待降低。换句话说,该情景设定转变了经济发展方式,可以实现“2030年前碳达峰”的目标,但若仅依赖中国目前的绿色发展规划,仍达不到110亿tce左右的预期峰值控制目标。最后,在技术突破情景下,即在绿色发展情景基础上假定会出现低碳与节能技术突破,此时碳排放于2026年便进入平台缓冲期,直到2028年达到峰值111.22亿tce,随后平缓下降。这意味着低碳与节能技术突破可以使中国超前并保质地完成“2030年前碳达峰”目标,低碳与节能技术突破成为进一步转变经济发展方式,促进节能减排以实现“2030年前碳达峰”与“2060年碳中和”目标的必要途径。

2. 地区碳达峰路径预测

根据预测结果,绿色发展情景与技术突破情景均能超前完成2030年碳达峰的阶段性目标,但绿色发展情景虽满足了2030年前达峰的目标,但其峰值远高于预期碳排放峰值控制目标,仍会造成不可忽视的环境代价。为更清晰地将减排目标落实到各地区,探析各地区的达峰路径,对区域碳达峰进行进一步预测。技术突破与绿色发展情景下各省份碳达峰时间与峰值预测结果如图3所示。

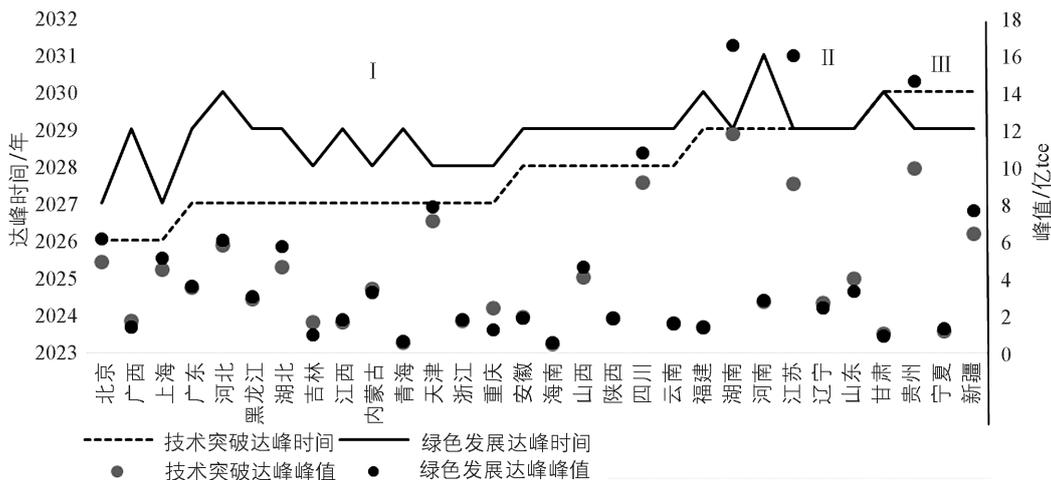


图3 技术突破与绿色发展情景下各省份碳排放预测达峰时间与峰值

根据预测结果,技术突破情景总体上优于绿色发展情景。绿色发展情境下,各省份达峰时间主要集中在2027—2031年,仅江苏省未能达成碳达峰目标;在技术突破情境下,各省份碳排放达峰时间主要分布在2026—2030年,较好地达成了节能减排目标。在技术突破情景下,将2026年达峰省份归为率先达峰省份:北京、天津、广西和上海;2027—2028年达峰省份归为主力省份:河

北、内蒙古自治区、吉林、黑龙江、浙江、江西、湖北、广东、重庆、青海、山西、安徽、海南、四川、云南和陕西；2029年达峰省份归为减排重点省份：辽宁、江苏、福建、山东、河南、湖南；2030年达峰省份为特殊规划省份：甘肃、贵州、宁夏和新疆。考虑到技术突破情景具有较强的发展路径和技术突破假定，2030年达峰省份必须严格执行节能减排措施与低碳发展规划，反之则不能达成2030年实现碳达峰的目标。

通过对比可以发现，虽然技术突破路径总体上优于绿色发展路径，对具体省份而言却并非如此，这主要是由省份资源禀赋与经济发展方式的差异所导致的。基于两种路径的优劣对比对省份进行类型划分，其中类型I为技术突破达峰时间快于绿色发展达峰时间的省份，当同时满足技术突破达峰峰值低于绿色发展达峰峰值时，选择技术突破路径，如北京、上海、河北、湖北、天津、山西、四川、湖南、江苏等省份；反之，技术突破达峰峰值高于绿色发展达峰峰值时，各省可基于对碳排放达峰时间与峰值的偏向，择优制定达峰路径。类型II为达峰时间相同，但绿色发展达峰峰值低于技术突破达峰峰值的省份，此时应选择绿色发展路径。类型III为绿色发展情景预测峰值高于技术突破情景，但其达峰时间明显快于技术突破，基于对达峰时间约束的考量，甘肃、贵州、宁夏和新疆更适合绿色发展路径。总之，各地区应综合考量对碳排放达峰时间与峰值的偏向，根据各地实际情况择优制定达峰路径。

六、研究结论与政策启示

本文构建了碳排放时空跃迁与分位数回归相嵌套的理论分析框架，利用中国1998—2019年30个省（自治区、直辖市）的面板数据，以空间面板分位数模型（SQAR）实证检验了各因素对碳排放的影响，并借助蒙特卡洛模拟预测了基准情景、绿色发展情景与技术进步情景下的碳排放达峰时间与峰值。进一步提出，必须建立各因素之间的协同减排机制以实现节能减排、早日达成“碳达峰”与“碳中和”目标。本文的研究结论与政策启示主要包括：

（1）中国碳排放呈现空间集聚与空间分异状态共存的时空演进特征，空间稳定性由0.63增至0.73，且行业碳排放空间分布具有显著异质性。政府应重视先进地区与行业的示范效应，推动关键行业和重点区域优先达峰。依赖于自然资源禀赋的工业和交通运输业碳排放占比分别为62.31%和11.01%，具有较强的空间关联，可借助其联动性特征推动行业减排持续深化。将河北、辽宁、山东、湖北、广东和四川等高碳排放集聚地区作为长期重点监管和提高碳减排力度的省份，同时应及时关注山西、北京、河南、内蒙古和黑龙江的碳排放变化，防止其向高碳排放状态跃迁。

（2）基于分析框架可将中国碳减排划分为重点治理减排区、重点防治减排区、重点预防减排区、低碳发展减排区，产业结构、能源消费结构优化和城市化均能有效降低碳排放。政府应根据减排急切度和经济发展规划等实施差异化的减排措施，重视低碳与节能技术突破，提高能源利用效率，将行业环境等规制作为倒逼企业提升能源利用效率的重要手段。其中重点治理减排区省份应借助人口与环境规制、产业结构升级、低碳技术突破等在减排的同时截断其增长趋势；重点预防减排区省份应避免其因追求经济发展而过度消耗能源和增加碳排放；低碳发展减排区应更多借助城市化体系和产业结构升级优化方式带动周边地区减排。

（3）绿色发展情景和技术突破情景均能实现“2030年碳达峰”目标，但对各地区而言，技术突破情景并非完全优于绿色发展情景。各省政府应结合实际预测结果，综合考量对碳排放达峰时间与峰值的偏向，择优制定达峰路径。具体地，各省碳达峰预测结果中，类型I中技术突破达峰时间与峰值完全优于绿色发展的省份更适合技术突破路径，反之则应根据对达峰时间与峰值的偏向选择达峰路径；类型II、III中的甘肃、贵州、宁夏和新疆更适合绿色发展路径。同样地，针对

各省具体行业,则需综合考虑碳排放预测结果和行业实际情况,基于对碳排放达峰时间与峰值的偏向设定差异化的达峰方案。同时发挥率先达峰省份与行业的约束力和引领作用,加快形成绿色低碳转型的倒逼机制和发展模式,协同推动经济的高质量发展和生态环境的高水平保护。

参考文献:

- [1] 赵领娣,吴栋. 中国能源供给侧碳排放核算与空间分异格局[J]. 中国人口·资源与环境,2018(2):48-58.
- [2] MOORE T E,BAGCHI R,AIELLO-LAMMENS M E. Spatial autocorrelation inflates niche breadth-range size relationships [J]. *Global ecology and biogeography*,2018(10):1-11.
- [3] 黄和平,乔学忠,张瑾. 绿色发展背景下区域旅游业碳排放时空分异与影响因素研究——以长江经济带为例[J]. *经济地理*,2019(11):214-224.
- [4] XIA C,XIANG M,FANG K. Spatial-temporal distribution of carbon emissions by daily travel and its response to urban form:A case study of Hangzhou,China[J]. *Journal of cleaner production*,2020(257):1-11.
- [5] 赵桂梅,赵桂芹,陈丽珍. 中国碳排放强度的时空演进及跃迁机制[J]. 中国人口·资源与环境,2017(10):84-93.
- [6] LU X,KUANG B,LI J. Dynamic evolution of regional discrepancies in carbon emissions from agricultural land utilization:evidence from chinese provincial data[J]. *Sustainability(Basel,Switzerland)*,2018(2):552-563.
- [7] 刘军航,杨涓鸿. 基于混合方向性距离函数的长三角地区碳排放绩效评价[J]. *工业技术经济*,2020(11):54-61.
- [8] 江文渊,曾珍香,张征云. 考虑“水—土—能—碳”关联的我国工农业碳排放效率及减排潜力研究[J]. *中国环境管理*,2020(6):120-129.
- [9] 于克美,武剑红,李红昌. 我国铁路运输业碳排放效率与影响因素分析[J]. *技术经济*,2020(11):70-76.
- [10] 马丁,陈文颖. 中国2030年碳排放峰值水平及达峰路径研究[J]. 中国人口·资源与环境,2016(S1):1-4.
- [11] 潘慧峰,王鑫,张书宇. 雾霾污染的持续性及空间溢出效应分析——来自京津冀地区的证据[J]. *中国软科学*,2015(12):134-143.
- [12] SHEN L,WU Y,LOU Y. What drives the carbon emission in the Chinese cities? A case of pilot low carbon city of Beijing [J]. *Journal of cleaner production*,2018(174):343-354.
- [13] SHAO S,LIU J,GENG Y. Uncovering driving factors of carbon emissions from China's mining sector[J]. *Applied energy*,2016(15):220-238.
- [14] ZHANG Y,ZHANG Q,PAN B. Impact of affluence and fossil energy on China carbon emissions using STIRPAT model [J]. *Environmental science and pollution research international*,2019(18):18814-18824.
- [15] 赵小曼,张帅,袁长伟. 中国交通运输碳排放环境库兹涅茨曲线的空间计量检验[J]. *统计与决策*,2021(4):23-26.
- [16] LIDDLE B. What are the carbon emissions elasticities for income and population? Bridging STIRPAT and EKC via robust heterogeneous panel estimates[J]. *Global environmental change*,2015(31):62-73.
- [17] LIU D,YANG D,HUANG A. Leap-based greenhouse gases emissions peak and low carbon pathways in china's tourist industry [J]. *International journal of environmental research and public health*,2021(3):12-18.
- [18] 闫梦,王聪. 基于多尺度集成模型预测碳交易价格——以广州碳排放交易中心为例[J]. *技术经济与管理研究*,2020(5):19-24.
- [19] 张小丽,刘俊伶,王克. 中国电力部门中长期低碳发展路径研究[J]. 中国人口·资源与环境,2018(4):68-77.
- [20] 李治国,王杰. 中国碳排放权交易的空间减排效应:准自然实验与政策溢出[J]. 中国人口·资源与环境,2021(1):26-36.
- [21] 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.
- [22] 董锋,杨庆亮,龙如银. 中国碳排放分解与动态模拟[J]. 中国人口·资源与环境,2015(4):1-8.
- [23] 揭俐,王忠,余瑞祥. 中国能源开采业碳排放脱钩效应情景模拟[J]. 中国人口·资源与环境,2020(7):47-56.
- [24] WANG K,WU M,SUN Y. Resource abundance,industrial structure,and regional carbon emissions efficiency in China [J]. *Resources policy*,2019(60):203-214.
- [25] NAWAZ M A ,HUSSINA M S ,KAMRAN H W . Trilemma association of energy consumption,carbon emission,and economic growth of BRICS and OECD regions:quantile regression estimation[J]. *Environmental science and pollution research*,2021(13):1-15.
- [26] 张颂心,王辉,徐如浓. 科技进步、绿色全要素生产率与农业碳排放关系分析——基于泛长三角26个城市面板数据[J]. *科技管理研究*,2021(2):211-218.
- [27] 朱欢,郑洁,赵秋运,等. 经济增长、能源结构转型与二氧化碳排放——基于面板数据的经验分析[J]. *经济与管理研究*,2020(11):19-34.

- [28] 向仙虹,孙慧. 资源禀赋、产业分工与碳排放损益偏离[J]. 管理评论,2020(12):86-100.
- [29] 赵昕,曹森,丁黎黎. 互联网依赖对家庭碳排放的影响——收入差距和消费升级的链式中介作用[J]. 北京理工大学学报(社会科学版),2021(4):49-59.
- [30] XUAN D,MA X,SHANG Y. Can China's policy of carbon emission trading promote carbon emission reduction? [J]. Journal of cleaner production,2020(270):1-44.
- [31] GAO P,YUE S,CHEN H. Carbon emission efficiency of China's industry sectors;From the perspective of embodied carbon emissions[J]. Journal of cleaner production,2020(1):124-153
- [32] DANISH,ULUCAK R,KHAN S U, et al. Mitigation pathways toward sustainable development;Is there any trade , ff between environmental regulation and carbon emissions reduction? [J]. Sustainable development,2020(28):1-10.
- [33] 颜廷武,田云,张俊彪. 中国农业碳排放拐点变动及时空分异研究[J]. 中国人口·资源与环境,2014(11):1-8.
- [34] 蔡博峰,曹丽斌,雷宇. 中国碳中和目标下的二氧化碳排放路径[J]. 中国人口·资源与环境,2021(1):7-14.
- [35] 柴麟敏. 中国 2030 年碳排放峰值意味着什么? [J]. 中国改革,2014(12):72-74.
- [36] 周伟军,孙景德,张超群. 中国作为碳交易大国为何缺乏定价权? [J]. 金融与经济,2010(8):10-13.
- [37] 王志轩. 电力行业节能减排现状及 2014 年展望[J]. 中国电力企业管理,2014(2):18-23.
- [38] 王帅. 中国能源使用绿色化、碳排放与经济增长的关系研究[J]. 软科学,2020(10):7-11.
- [39] YORK R,EA ROSA,DIETZ T. STIRPAT,IPAT and ImPACT:analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological economics,2003(3):351-365.
- [40] 刘涛,刘嘉杰,曹广忠. 中国城市人口户籍迁移的估算及时空特征——新型城镇化的落户政策导向[J]. 地理科学,2021(4):1-9.

Temporal and Spatial Transition Characteristics, Influencing Factors and Peak Path Design of Carbon Emissions in China

LIU Zimin¹, ZHANG Ya²

(1. School of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. Three Gorges Water Conservancy, Chongqing 401120, China)

Abstract: Accurate response to energy conservation and emission reduction as well as climate change is a key link for long-term sustainable economic and social development. Based on the data from 1998 to 2019 and the analysis framework of nested temporal and spatial transition and quantile regression of carbon emission, this paper identifies the influencing factors of carbon emission and predicts the year and peak of carbon peak. The research shows that the spatial agglomeration and differentiation of carbon emissions coexist. And the optimization of industrial structure, energy consumption structure and urbanization can effectively reduce carbon emissions, while carbon emissions have significant industry heterogeneity. Moreover, both the green development scenario and the technology breakthrough scenario can achieve the goal of "reaching the carbon peak in 2030". This study provides a reference for the government to improve energy constraints and environmental governance.

Key words: carbon emission; temporal and spatial transition; influencing factors; spatial quantile regression; carbon peak

责任编辑 张颖超
网 址: <http://xbbjb.swu.edu.cn>