

# 基于夜间灯光数据的西部地区碳排放时空格局及影响因素研究

姚小剑, 张艳丽

(西安石油大学经济管理学院, 西安 710000)

**摘要:** 研究西部地区碳排放时空格局和影响因素对“双碳目标”实现意义深远。使用2000—2022年西部地区11个省份的面板数据,基于夜间灯光数据研究碳排放时空格局,并运用扩展随机环境影响评估(STIRPAT)模型探究碳排放的影响因素。研究发现:西部总碳排放量持续上升,区域差异明显;西部碳排放存在显著的高-高、低-低集聚;虽然西部各省份碳排放影响因素呈现显著差异,但能源结构是碳排放增长的主要因素,产业结构对碳排放起抑制作用。

**关键词:** 西部地区; 碳排放; 时空格局; 影响因素; STIRPAT模型

**中图分类号:** F832.6; F752.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)08-0235-07

2020年9月,中国在第七十五届联合国大会上庄严承诺,中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和(以下简称“双碳”目标)。自此绿色低碳发展成为中国经济发展的主旋律。“十四五”规划中更是将西部地区作为清洁能源基地建设的重点区域。然而西部地区资源型产业占据重要地位,传统高化石能源产业更是经济发展的重要支柱,由此也带来了高碳排放量的问题。随着“双碳”目标的提出,西部地区经济发展与节能减排之间的矛盾愈发尖锐,成为制约其可持续发展的重要因素。因此,深入分析西部地区能源消费碳排放时空分布特征以及影响因素,对于制定有效的区域碳减排政策,推动西部地区乃至全国经济社会的绿色低碳转型具有重要意义。

目前已有研究已经在碳排放测算、碳排放时空格局以及碳排放影响因素上取得丰富的研究成果。但研究尺度多集中在国家和省级层面且多集中在东部、南部以及经济发展较快的区域<sup>[1-3]</sup>等,较少有研究深入到市级甚至更小的尺度。伴随遥感技术的发展,特别是夜间灯光数据[如国防气象卫星计划/业务线扫描系统(defense meteorological satellite program/operational linescan system, DMSP/OLS)、苏奥米国家极地轨道伙伴卫星/可见光红外成像辐射仪套件(Suomi national polar-orbiting partnership/visible infrared imaging radiometer

suite, NPP-VIIRS)等卫星数据]的广泛应用,为碳排放估算开辟了新的途径。学者们已经证明了灯光数据能够反映人类活动的强度和分布并且与能源消耗碳排放之间存在显著的相关性<sup>[4]</sup>,因此运用灯光数据拟合的市县一级的碳排放数据逐渐被学者们运用到碳排放时空研究中<sup>[5]</sup>。例如,吕倩和刘海滨<sup>[6]</sup>以全球夜间灯光数据为基础分析京津冀县域尺度碳排放时空演变特征;郭忻怡等<sup>[7]</sup>基于夜间灯光数据实现了江苏省各区县碳排放量的空间模拟;虽然技术手段将碳排放研究尺度进一步细化,但西部地级市层面的碳排放时空格局鲜少被关注<sup>[8]</sup>。

在碳排放影响因素研究方法上,学者们常用对数平均迪氏指数(logarithmic mean Divisia index, LMDI)分解法<sup>[9-10]</sup>、广义迪氏指数(generalized Divisia index, GDIM)分解法<sup>[11]</sup>、扩展随机环境影响评估模型(stochastic impacts by regression on population, affluence and technology, STIRPAT)等<sup>[12]</sup>方法。但是,STIRPAT模型因其可扩展性备受大部分学者青睐并且在实际研究中得到广泛应用<sup>[13]</sup>。在影响因素选取上,多数研究主要从人口、经济、技术三方面去解析碳排放影响因素。黄蕊等<sup>[14]</sup>定量分析发现人口、人均GDP、能源强度和城镇化率的增加都会促进江苏省能源消费碳排放;唐承财等<sup>[15]</sup>分析人口、城镇化率、产业结构、技术水平等对碳排放的影响,发现人口规模和能源消费结构是影响湖

**收稿日期:** 2024-10-29

**作者简介:** 姚小剑(1973—),男,陕西临潼人,博士,教授,硕士研究生导师,研究方向为环境经济、产业经济;通信作者张艳丽(2001—),女,陕西汉中人,硕士研究生,研究方向为环境经济、产业经济。

北省碳排放的主要因素,产业结构是唯一对湖北省碳排放有抑制作用的因素。在此基础上,部分学者还依据研究区域或行业的特性,创造性地引入多样化的特色变量,以更全面地探究碳排放的驱动机制与减缓路径。例如,李迎迎等<sup>[16]</sup>在研究长三角地区时,考虑到该区域作为中国最为发达和活跃的地区之一,在传统研究框架基础上创新性地引入政府政策和科学发展这两个具有地方特色的变量。徐水太等<sup>[17]</sup>在研究建筑行业的碳排放时,根据行业特点在传统研究变量的基础上加入建筑业材料消耗水平这一变量。

西部地区作为中国经济发展的重要板块,其地理位置、资源禀赋及社会经济条件均具有独特性。因此,以西部地区 11 个省份为研究对象,分析西部地区碳排放的时间变化趋势,基于夜间灯光数据和能源消耗数据,模拟出西部地区地级市的能源消费碳排放量并使用莫兰指数进行空间集聚性分析,最后运用扩展 STRIAPT 模型对西部地区整体以及各自省份的碳排放影响因素进行回归,在常见变量的基础上加入投资规模和能源禀赋两个变量,综合从人口、经济、技术及能源四个方面考量对其碳排放的影响程度。

## 1 研究方法和数据来源

### 1.1 碳排放计算方法

#### 1.1.1 能源消费碳排放测算

基于西部地区 11 个省份能源消费数据及参考政府间气候变化专门委员会(IPCC)(2006)中 9 种主要能源参考系数,计算 2000—2022 年西部地区的能源消费碳排放量,计算公式为

$$\text{CO}_2 = \frac{44}{12} \sum_{i=1}^9 K_i E_i \quad (1)$$

式中: $i$  为能源类别; $K_i$  为第  $i$  种能源的碳排放系数; $E_i$  为能源消耗量。9 种主要能源的碳排放系数参考 IPCC 在 2006 年公布的数据。

#### 1.1.2 能源消费碳排放模拟

以矫正后的 2000—2022 年的夜间灯光数据为基础,统计西部地区 10 个省份(重庆已统计,此处不用模拟)。因此采用 SPSS 软件选择无截距的线性模型对西部地区能源消费碳排放量和灯光数据进行拟合分析,计算公式为

$$C_c = \alpha \text{TND} \quad (2)$$

式中: $C_c$  为  $\text{CO}_2$  二氧化碳的模拟值;TND 为校正后所有稳定灯光影像像元 DN 值总和; $\alpha$  表示回归系数,即拟合系数。10 个省份 2000—2022 年  $\text{CO}_2$  排

放量模拟方程系数以及拟合优度如表 1 所示,拟合优度均大于 0.8,表明模型适用于对西部各省地级市的碳排放数据拟合。

表 1 西部地区 11 个省份碳排放拟合方程

省份	拟合方程	$R^2$	省份	拟合方程	$R^2$
甘肃	$y = 0.916x$	0.883	青海	$y = 0.873x$	0.862
广西	$y = 0.930x$	0.886	陕西	$y = 0.973x$	0.947
贵州	$y = 0.808x$	0.853	四川	$y = 0.820x$	0.872
内蒙古	$y = 0.971x$	0.942	新疆	$y = 0.970x$	0.942
宁夏	$y = 0.992x$	0.985	云南	$y = 0.899x$	0.808

由表 1 和式(2),基于灯光数据,计算 2000—2022 年夜间灯光数据在每个栅栏单元上的对应年份的初始碳排放值。受回归函数误差的影响,构建第  $n$  年夜间灯光数据反演的碳排放网格模型比例系数  $m_n$ ;然后将第  $n$  年依据灯光数据拟合的初始碳排放值乘以相应的比例系数[式(3)],使得第  $n$  年度模拟碳排放值与统计碳排放值相等,最终通过式(2)~式(4)得到地级市碳排放的拟合值。

$$m_n = \frac{C_m}{C_{sn}} \quad (3)$$

$$C_{x_{nk}} = C_{s_{nk}} m_n \quad (4)$$

式中: $m_n$  为第  $n$  年碳排放实际值与模拟值的比例系数; $C_m$  为该年能源消费碳排放的实际统计值; $C_{sn}$  为依据该年灯光数据通过模型计算得出的该年的碳排放模拟值; $C_{s_{nk}}$  为该年第  $k$  个地级市上分布的碳排放量, $C_{x_{nk}}$  为该年依据第  $k$  个地级市的灯光数据和模型得到的碳排放量的拟合值。

### 1.2 时空特征分析方法

#### 1.2.1 SLOPE 函数

SLOPE 函数利用线性倾向估计能够对碳排放进行时间趋势分析。通过建立碳排放与时间的线性回归模型,计算 2000—2022 年 23 年间的变化斜率,即倾向值(SLOPE),以分析西部地区 11 省份碳排放的时间变化趋势。线性倾向值采用最小二乘法进行估计:

$$\text{SLOPE} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i C_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n C_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (5)$$

式中: $n$  为 2000—2022 年的年份数,即 23; $x_i$  为第  $i$  年; $C_i$  为第  $i$  年度额碳排放量。为进一步划分碳排放增长速率的高低,采用标准差分级将各尺度的能源消费碳排放增长趋势依次划分为 4 种类型,即缓慢增长型( $\text{SLOPE} < -0.5s$ )、中速增长型( $-0.5s <$

SLOPE < 0.5  $s$ )、较快增长型 (0.5  $s$  < SLOPE < 1.5  $s$ ) 和迅猛增长型 (SLOPE > 1.5  $s$ ),  $s$  为研究期内 SLOPE 标准差。

### 1.2.2 空间自相关分析

空间自相关分析包括全局空间自相关和局部空间自相关<sup>[19]</sup>。采用全局空间自相关来刻画碳排在研究区域内空间关联性的总体特征,使用 Moran's  $I$  指数进行度量,表示某单元的碳排放变化与其临近的单元具有比较一致的变化趋势,负相关则反之, Moran's  $I$  指数值域为  $[-1, 1]$ , 等于 0 表示空间不相关, 大于 0 呈现正相关<sup>[20]</sup>。采用 Arc-Map10.8 软件计算西部地区 11 省份碳排放量的全局计算 Moran's  $I$  和局部 Moran's  $I$ 。计算公式为

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

局部空间自相关,利用局部空间自相关指标 (local indicators of spatial association, LISA) 进行聚类检验,揭示局部单元与邻接单元之间碳排放空间关联的局部相似性和差异性。计算公式为

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \sum_{i \neq j} w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (7)$$

式中:当  $I_i > 0$  时,表明相邻区域间呈现正的空间自相关,为“高-高”或“低-低”类型,相邻区域间的碳排放存在高(低)聚集;当  $I_i < 0$  时,为“高-低”或“低-高”类型,高(低)碳排放区域被低(高)碳排放区域所包围。 $w_{ij}$  为空间权重矩阵。

### 1.3 扩展 STIRPAT 模型

考虑到西部地区相对单一的能源消费结构以及自然资源丰富的实际情况,从人口、经济、技术、能源四方面考虑对西部地区碳排放的影响,经济指标选取方面增加了投资规模。已有研究已经证明能源资源丰富的地区,会对该地区的碳排放产生显著影响<sup>[18-20]</sup>。因此借鉴陆远权等<sup>[21]</sup>的做法,用每一年的能源工业投资额度衡量西部地区能源禀赋。基于扩展 STIRPAT 模型构建实证模型,模型计算公式为

$$\ln Y = \alpha + a \ln X_1 + b \ln X_2 + c \ln X_3 + d \ln X_4 + e \ln X_5 + f \ln X_6 + g \ln X_7 + h \ln X_8 + \ln \epsilon \quad (8)$$

式中:  $Y$  为碳排放量;  $\alpha$  为常数项;  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$  分别为人口、人均 GDP、投资规模、产业结构、城镇化率、能源结构、能源强度、能源禀赋;  $a, b, c, d, e, f, g, h$  分别为这 8 类变量的系数;  $\epsilon$  为误差项。

### 1.4 数据来源

选取西部 11 个省份(甘肃、广西、贵州、内蒙古、宁夏、青海、陕西、四川、新疆、云南、重庆)2000—2022 年的面板数据。DMSP/OLS 及 NPP/VIIRS 夜间灯光数据均来源于 EOG 网站,矫正方法和处理方式借鉴杜海波等<sup>[22]</sup>在 2021 年地理研究上发表的相关论文;能源消费统计数据来源于《中国能源统计年鉴》;其余未说明数据来自国家统计局官网,部分缺失值采用插值法补齐。

## 2 实证结果

### 2.1 时序特征

从总量看,西部地区总体碳排放量呈现逐年升

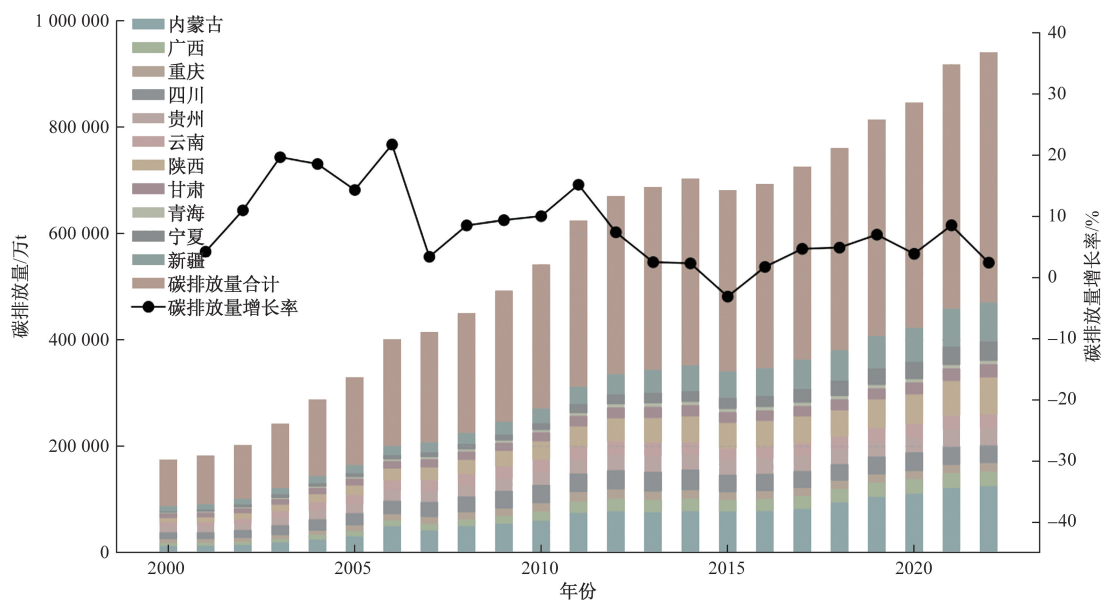


图 1 2000—2022 年西部地区碳排放量变化

高的趋势,并且观测期内西部地区 11 省份的碳排放测算结果差异较明显。其中,碳排放总量最高的是内蒙古,最低的是青海,二者的碳排放总量均值相差 600.9 百万 t 是青海本身碳排放的 13.5 倍;均值上,内蒙古位居首位,其次是四川、新疆、陕西三省,碳排放均值在(290~360)百万 t;广西、重庆、贵州、云南、甘肃、宁夏的碳排放总量均值较低,维持在 232 百万 t 以内。从变化趋势看,观测期内西部地区的能源消费碳排放量一直呈现显著增长趋势,这一趋势主要受到西部大开发战略、丝绸之路经济带建设以及该地区工业化、城市化进程加快等共同驱动的影响。但受国家政策影响,2007 年《能源发展“十一五”》规划中指出积极应对全球气候变化,西部地区的碳排放增速得到控制,尤其是 2015 年《“十三五”节能减排综合性工作方案》的出台,西部地区的碳排放增速得到显著控制。

具体分析西部 11 个省份碳排放增长情况,内蒙古、宁夏、陕西的碳排放年均增速在 10% 以上,宁夏的年均增速最高,为 13.66%;西南四省份的碳排放变化相似,年均变化维持在 4%~6%;西北五省份碳排放年均增速变化差异较大,甘肃、青海的年均增速较低,在 5%~8%;新疆、宁夏、陕西的碳排放变化年均增速较高,在 9%~14%;广西碳排放年均增速与青海相近,内蒙古的年均增速较高,仅次于宁夏,位居第二。通过计算西部 11 个省的 SLOPE 值可得知,这些地区的碳排放数据均呈现增长趋势,内蒙古、陕西和新疆三个地区的碳排放呈现迅猛增长趋势,广西、四川、云南、贵州、宁夏的碳排放变化趋势呈现较快增长趋势,青海增速相对缓慢。这也表明,西部地区在碳排放方面既面临挑战也蕴含机遇,需进一步细化政策,加强区域协同,以实现更加绿色、低碳的发展路径。

## 2.2 空间关联分析

如表 2 所示,2000—2022 年西部地区碳排放量的 Moran's  $I$  指数均大于 0,除了 2000 年,其他年份的  $Z$  均大于 2.58,在 99% 的水平上通过显著性检验,说明西部地区各地级市碳排放存在显著的空间自相关现象。2015 年之后, Moran's  $I$  变化幅度较小,说明 2011 年之后的西部地区地级市之间的空间聚集程度逐渐趋于稳定状态。

依据全局 Moran's  $I$  指数的结果,采用 LISA 分布分别绘制 2000 年、2005 年、2015 年、2020 年西部地区地级市碳排放的空间集聚特征。总体看研究期间碳排放空间集聚模式变化程度较小,主要为

高-高、低-低集聚,大部分地区集聚情况呈现不显著。聚集数量上,高-高和低-低集聚部分年份出现减少但整体数量增加并在 2020 年之后趋于稳定。从分布地区而言,高一高聚集主要分布在能源资源丰富的省份,如内蒙古、宁夏、陕西,这些省份有些地级市能源资源丰富,经济发展模式对资源相对比较依赖,高碳产业也较多。从具体的空间位置看,受西部大开发政策的影响,2005 年后高-高聚集的地级市主要分布在内蒙古、陕西、宁夏的接壤地区,如内蒙古的鄂尔多斯市、锡林郭勒盟、阿拉善盟、兴安盟、通辽和呼伦贝尔等,陕西的榆林、延安以及宁夏的吴忠、银川等;而且与这些地区接壤的甘肃庆阳也在 2015 年表现出高-高聚集模式。这些地区能源资源丰富,是国家能源重化工基地,高碳排放源于第二产业占比过大及粗放式经济增长依赖化石能源,同时也表明这些地区的减排任务重。

表 2 2000—2022 年西部地区 11 省份碳排放全局莫兰指数

变量	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	2022 年
莫兰指数	0.073	0.211	0.169	0.296	0.400	0.446
$P$	0.049	0.002	0.009	0.001	0.001	0.001
$Z$	1.851	3.952	3.190	5.443	7.417	7.987

除了这些能源资源丰富的地区,个别地级市的碳排放也表现高-高聚集模式,如遵义、安顺等,但在 2010 年这些地级市的高-高聚集模式逐渐消失,部分地级市出现高一低聚集,如成都,与成渝双城经济圈的建设、经济高速发展推动能源需求增加密切相关;低-低聚集模式主要分布在青海,则是因为青海是中国清洁能源资源丰富的地区之一,拥有丰富的水能、太阳能和风能等可再生能源资源。近年来,青海大力发展清洁能源产业,积极推进光伏、风电等新能源的开发利用,这使得青海的能源结构相对较为清洁,对化石能源的依赖程度较低,从而减少了碳排放。

总体而言,西部地区各地级市碳排放的局部自相关比较稳定,以高-高聚集和低-低为主,且高-高聚集主要集中在能源资源丰富的地区,低-低聚集主要集中在青海省。究其原因,能源资源丰富的地区,能源工业发展快,形成高碳产业为主的产业结构,由此形成地理空间位置碳排放上的高-高聚集模式,能源资源贫乏的地区则相反。

## 2.3 影响因素分析

采用岭回归方法解决变量间多重共线性问题,通过岭迹图,确定  $K = 0.129$ ,基于  $F$  检验  $P = 0.000$ ,在 1% 的水平上显著,模型的拟合优度  $R^2 = 0.943$ ,模型设定合适(表 3)。

表3 碳排放预测模型岭回归结果(K=0.129)

变量	非标准化系数		标准化系数	t	P	R <sup>2</sup>	调整后 R <sup>2</sup>	F
	B	标准误	Beta					
常数	-1.094	0.426	—	-2.567	0.011**	0.943	0.941	501.979(0.000***)
人口总量	0.390	0.015	0.371	25.207	0.000***			
人均GDP	0.187	0.012	0.197	15.681	0.000***			
投资规模	0.135	0.008	0.225	17.352	0.000***			
产业结构	-0.211	0.089	-0.034	-2.365	0.019**			
城镇化率	0.240	0.052	0.076	4.637	0.000***			
能源结构	0.723	0.027	0.386	27.291	0.000***			
能源强度	0.247	0.023	0.184	10.865	0.000***			
能源禀赋	0.235	0.012	0.316	19.264	0.000***			

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%、10%的显著性水平;B为非标准化系数;Beta为标准化系数。

由表3可知,只有产业结构对西部地区碳排放量的变化影响是负向的,其余变量均对西部地区碳排放起促进作用。说明这些变量即每变化1%便会分别引起西部地区0.390%、0.187%、0.135%、-0.211%、0.240%、0.723%、0.247%、0.235%的碳排放变化;在以上的影响因素中,能源结构对西部地区碳排放影响最显著,主要是由于西部地区资源丰富、产业对资源依赖且高碳特征明显、能源开发与利用方式粗放以及基础设施建设与城镇化进程中能源需求激增以及政策导向等多种原因所导致的;产业结构对西部地区碳排放呈现抑制作用,一方面说明国家清洁能源基地的建设,其中六大清洁能源基地都分布在西部地区,在产业大转移的背景下,一定程度上提高了西部对无碳能源的消纳能力;另外2019年5月中共中央、国务院印发《关于新时代推进西部大开发形成新格局的指导意见》后,西部地区在优化产业结构、建设国家级战略产业上取得重大成就。

运用岭回归方法对各省份数据进行回归,结果显示,从省级层面看,人均GDP、投资规模、城镇化率、能源结构、能源禀赋对西部各地区的碳排放均呈现正向影响,人口总量、产业结构、能源强度对不同地区的碳排放影响存在显著差异。①人口方面:人口规模对陕西、宁夏、云南、青海的碳排放起显著促进作用,但对部分省份的拉动作用不明显,而城镇化率均呈现显著正向作用,城镇化率的提高直接导致居民对化石能源燃料以及基础设施如交通等需求的增加,相比人口规模,城镇化对碳排放造成的影响更加突出;②经济方面:人均GDP对各地区碳排放拉动作用均显著,投资规模对陕西、新疆、宁夏、内蒙古这些能源资源丰富地区的碳排放正向拉动作用明显,投资对这些地区经济注入活力也带来能源结构上的不合理;产业结构在一些工业基础强

的地区对碳排放起正向促进作用,如广西、陕西、四川、重庆等;③技术方面:能源强度反映技术水平,技术越环保高效,能源效率越高,单位产值能源消耗越低,碳排放越少,能源强度对西部地区碳排放呈现促进作用,但个别省份能源强度对碳排放的影响呈现抑制作用,如陕西、广西、甘肃、重庆等,说明这些地区通过产业结构优化、能源结构调整等措施在技术上减碳取得了一定成果;④能源方面:能源禀赋对各地区碳排放均呈现促进作用,这种促进作用在资源丰富的地区更加显著,能源结构对青海碳排放拉动作用不显著,说明青海清洁能源的发展大大降低了本省对传统化石能源的依赖。

总体而言,西部地区11个省份能源消费碳排放的影响因素存在差异,主要是和各省份的经济发展水平、产业结构、能源资源禀赋、技术创新能力、政策环境以及地理条件等多方面的差异紧密相关,这种差异也揭示未来在推动绿色低碳发展过程中需要因地制宜、分类施策的重要性。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

基于2000—2022年的夜间灯光数据和能源消耗数据,模拟西部地区碳排放数据,探究西部地区能源消费碳排放时空演变特征,并从人口、经济、技术和能源四方面对碳排放影响因素分析,主要结论如下。

(1)西部地区在观测期内总体碳排放量持续上升,且区域间差异显著,内蒙古碳排放量最高而青海最低。不同省份的碳排放年均增速各异,内蒙古、宁夏、陕西等地增速较高,尤其是宁夏,而青海、甘肃等地增速相对较低。整体而言,西部地区碳排放数据普遍呈现增长趋势,尤以内蒙古、陕西和新疆增长最为迅猛。

(2)西部地区地级市碳排放存在显著的空间自

相关现象,尤其是高-高和低-低两种集聚模式占据主导。虽然个别地区的集聚类型在时序上有所波动,但 2015 年后,空间集聚类型基本趋于稳定。高-高集聚区主要集中在内蒙古、宁夏、陕西等能源资源丰富的省份,与这些地区对资源依赖型经济模式和高碳产业密集有关,碳减排压力较大。而低-低集聚区则主要分布在清洁能源丰富的青海,得益于其清洁能源产业的发展和较低的化石能源依赖。

(3)人口规模、人均 GDP、投资规模、城镇化率、能源结构、能源禀赋及能源强度对西部地区碳排放的正向影响,其中能源结构的影响最为显著(0.723%),产业结构对碳排放的负向作用。在省级层面上,各因素对碳排放的影响呈现地域性差异,反映区域间经济发展、产业结构、能源消费及技术水平的不同。

### 3.2 建议

(1)重点防范高碳排倾向的资源型地区。内蒙古、陕西、宁夏、新疆等地在经济增长的基础上科学制定碳减排目标和方案,一方面将减排目标合理分解到各地级市和各行业,对于重工业城市应该设置更加严格的减碳目标,对于不依靠重工业发展的城市则应该根据实际情况适当放宽减碳目标;另一方面考虑辖区内城市间的差异,仅仅针对省会城市很难实现整体减排目标。其他碳排放增速较低的省份在重点防范的基础上重视减碳和经济高质量共同发展。

(2)协同治理,共同抑制碳排放“空间溢出”效应。西部地区面积占国土总面积约 70%,囊括了 12 个省份,由于地理位置以及资源禀赋的差异,西部各省份的发展极不平衡,所以面临的二氧化碳减排压力以及减排技术难题也不尽相同。因此,西部各地区需加强交流与合作,对外借鉴中西部地区减碳的先进经验;对内建立碳减排省际会商机制,构建省际碳排放数据、信息共享平台。针对两省或多省交界处的重点区域实施更为严格的监控措施,以防范因政策执行力度或标准不一而导致的碳排放监管盲区或“真空”现象。

(3)充分发挥能源资源优势,实现产业结构优化和升级,推动区域经济高质量发展。根据各省份的经济发展水平、产业结构、能源资源禀赋等实际情况,差异化地制定碳减排目标和政策。在减排措施制定上,关注显著影响碳排放的因素,对碳排放增长显著地区加快能源转型与产业结构调整,而对影响较小地区则继续深化节能减排,以实现经济社会全面绿色转型。新能源产业作为低碳发展的核

心,不仅是区域投资合作的热门领域,也会催生一个新的经济增长点。西部地区应凭借自身的资源与政策优势,积极吸引东部地区的资金和技术投资,并强化区域间的低碳发展合作。

### 参考文献

- [1] 姜渭宗,徐建辉,赵田. 基于夜间灯光数据的长江流域碳排放时空格局及异质性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(9): 2004-2017.
- [2] 宋沂邈,李昂. 京津冀地区碳排放时空分异格局及减排优化路径[J]. 水土保持通报, 2024, 44(3): 408-417.
- [3] 朱振东,齐璇璇,贾一越,等. 长三角城市群 CO<sub>2</sub> 排放时空格局和影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(2): 242-253.
- [4] 陈颖彪,郑子豪,吴志峰,等. 夜间灯光遥感数据应用综述和展望[J]. 地理科学进展, 2019, 38(2): 205-223.
- [5] 郭安宁,牛陆,刘需珈,等. 黄河流域城市群土地利用的碳排放效应[J]. 经济地理, 2023, 43(9): 172-178.
- [6] 吕倩,刘海滨. 基于夜间灯光数据的黄河流域能源消费碳排放时空演变多尺度分析[J]. 经济地理, 2020, 40(12): 12-21.
- [7] 郭忻怡,闫庆武,谭晓悦,等. 基于 DMSP/OLS 与 NDVI 的江苏省碳排放空间分布模拟[J]. 世界地理研究, 2016, 25(4): 102-110.
- [8] 吴文洁,胡冰然. 西安市碳排放量行业分布研究[J]. 西安石油大学学报(社会科学版), 2014, 23(1): 1-5.
- [9] 刘茂辉,邓小文,刘胜楠,等. 基于 LMDI 法和 Tapio 脱钩模型的天津市碳排放分析[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(10): 1397-1401.
- [10] 蒋博雅,黄宝麟,张宏. 基于 LMDI 模型的江苏省建筑业碳排放影响因素研究[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(10): 202-212.
- [11] 陈瑞敏,马晓君,李宜良. 黄河流域五大增长极碳排放脱钩效应——基于 GDIM 的因素分解[J]. 中国环境科学, 2024, 44(5): 2853-2866.
- [12] 辛春林,赵佳炜,杨建亮. 基于 STIRPAT 的河北省碳达峰预测研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2024, 51(4): 125-134.
- [13] 陆妍霏,宣蔚,赵力伟. 安徽省碳排放时空格局演变与碳达峰路径预测——基于 STIRPAT 扩展模型和岭回归模型[J]. 地域研究与开发, 2024, 43(1): 146-152.
- [14] 黄蕊,王铮,丁冠群,等. 基于 STIRPAT 模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测[J]. 地理研究, 2016, 35(4): 781-789.
- [15] 唐承财,潘欣琪,程静雅. 湖北省能源消费碳排放及其影响因素分析[J]. 地理与地理信息科学, 2024, 40(5): 92-97.
- [16] 李迎迎,赵强,林文杰,等. 基于夜光遥感数据的长三角碳排放时空演变及影响因素研究[J/OL]. 大气与环境光学学报: 1-17(2024-05-09). <https://link.cnki.net/urlid/34.1298.O4.20240509.113.002>.

- [17] 徐水太,李晔薇,董信. 中国建筑业碳排放强度的空间特征与影响因素分析[J]. 科技导报, 2024, 42(6): 103-111.
- [18] 张翠菊,张宗益. 能源禀赋与技术进步对中国碳排放强度的空间效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(9): 37-43.
- [19] 于向宇,李跃,陈会英,等. “资源诅咒”视角下环境规制、能源禀赋对区域碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(5): 52-60.
- [20] 孙耀华. 能源资源禀赋对碳排放的影响与传导机制——基于空间计量模型的实证分析[J]. 商业研究, 2020(6): 65-74.
- [21] 陆远权,马烁,蒲雨昕. 能源禀赋对城乡收入差距的影响[J/OL]. 重庆工商大学学报(社会科学版): 1-16 (2024-05-30). <https://link.cnki.net/urlid/50.1154.c20240529.1454.002>.
- [22] 杜海波,魏伟,张学渊,等. 黄河流域能源消费碳排放时空格局演变及影响因素——基于 DMSP/OLS 与 NPP/VIIRS 夜间灯光数据[J]. 地理研究, 2021, 40(7): 2051-2065.

## Research on the Spatial and Temporal Pattern of Carbon Emission and Influencing Factors in Western China Based on Night Lighting Data

YAO Xiaojian, ZHANG Yanli

(School of Economics and Management, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710000, China)

**Abstract:** The study of the spatial and temporal patterns of carbon emissions and the influencing factors in the western region is of great significance to the realization of the “double carbon target”. In this paper, the panel data of 11 provinces in the western region from 2000 to 2022 was used to study the spatial and temporal patterns of carbon emissions based on the nighttime lighting data, and the extended STIRPAT model was used to explore the influencing factors of carbon emissions. It is found that the total carbon emissions in the west continue to rise, with obvious regional differences. There is significant high-high and low-low agglomeration of carbon emissions in the west. Although the influencing factors of carbon emissions among the western provinces, municipalities, and autonomous regions show significant differences, the energy structure is the main factor for the growth of carbon emissions, and the industrial structure plays an inhibitory effect.

**Keywords:** western region; carbon emission; spatio-temporal pattern; influencing factors; STIRPAT model