

中国省域能源消费碳排放强度的时空演变 及影响因素研究

商燕¹, 奥布力·塔力普^{1,2}, 娜迪拉·阿不都热苏力^{1,2*}

(1. 新疆师范大学 商学院, 新疆 乌鲁木齐 830017; 2. 丝绸之路经济带核心区产业高质量发展研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830017)

摘要: 文章利用2005—2021年我国30个省份能源消费和碳排放数据, 探讨了我国省域尺度碳排放强度的时空演变特征, 运用LMDI方法将碳排放分解成多因素影响的累计贡献值, 重点研究第一产业、第二产业、第三产业对能源消费碳排放的影响, 对能源消费碳排放主要影响因素进行分析。研究表明: (1) 从时间特征看, 全国2005—2021年碳排放强度总体上呈波动上升趋势, 增速逐渐放缓; (2) 从空间格局特征分析看, 全国碳排放较强的地区主要集中于西部地区; (3) 经济发展、城镇化、能源强度结构效应、人口规模是促进碳排放的主要因素; (4) 能源消费强度效应、产业结构是抑制碳排放的主要因素。因此, 提高能源利用效率, 优化能源结构和产业结构, 走低碳化道路以及实行节能减排省区联动策略是推动我国实现节能减排目标的重要途径。

关键词: 能源消费; 碳排放强度; LMDI模型; 时空格局特征; 产业贡献; 低碳经济

中图分类号: F407.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-9659(2025)01-0011-07

能源不仅是推动经济社会发展的关键物质基石, 也是导致碳排放的主要原因。预估到2030年, 中国的一次能源需求将达到惊人的60亿吨标准煤, 其年增长速度为2%。在“双碳”目标背景下, 我国加快推进绿色低碳转型, 在取得显著成效的同时, 我国能源消费结构与碳排放量之间的转型任务依然艰巨。由于全球能源需求大幅回弹, 叠加恶劣天气、能源市场震荡、各国燃煤发电量反弹以及天然气价格攀升等因素, 据国际能源署报告, 2021年全球能源领域二氧化碳排放量达到363亿吨, 同比上涨6%。我国碳排放量占比仍是全球最高^[1], 2021年我国碳排放量达到118.9亿吨, 占全球32.8%, 同比增长5.3%。我国也是世界第一大能源生产国和消费国, 能源消费总量呈稳步增长趋势。据国家统计局统计, 2022年我国能源消费总量达54.1亿吨标准煤, 同比增长3.2%。因此在“双碳”目标指引下, 我国稳步推进绿色低碳转型, 持续降碳提效, 对我国碳排放与能源消费之间的影响因素进行分析仍需持续研究。

近年来, 我国学者对能源消费碳排放强度的各种影响因素及各类特征进行了深入研究, 得到了众多有价值的研究成果。部分学者对能源消费碳排放强度影响因素进行研究。在现有的研究中, 人口因素和城镇化^[2]、能源结构和能源效率^[3]、经济发展^[4-5]被广泛认为是影响能源消费碳排放量增加的主要因素, 并随研究单元的不同影响因素会有所改变, 如产业规模是服务业碳排放增长的主要原因^[6], 但对农业碳排放具有负向影响^[7]。同时还有学者指出, 能源消费碳排放的影响因素具有时间、空间和空间尺度效应^[8], 不同地区的空间效应存在差异, 如黄河流域能源消费碳排放总量上升但增长速率下降, 整体表现出收敛的趋势, 并未达到碳达峰^[9]。我国农村能源消费碳排放区域差异呈先缩小后扩大的态势并且在空间上具有非均衡特征^[10]。我国工业生产能源消费碳排放之间的区域差异较大且碳排放的动态演进特征也存在明显差异^[11]。此外张雪梅等人预测了2019—2035年我国27个省份的能源消费碳排放量与碳达峰时间, 指出低碳发展情况下各省

[收稿日期] 2024-04-02

[修回日期] 2024-05-17

[基金项目] 国家社会科学基金项目(22XJY037)。

[作者简介] 商燕(2001-), 女, 硕士研究生, 主要从事产业经济发展方面研究, E-mail: syxh0810@163.com。

* [通讯作者] 娜迪拉·阿不都热苏力(1977-), 女, 讲师, 主要从事微观经济、宏观经济学方面研究, E-mail: nadira923@163.com。

份的碳排放水平最低,21个省份将在2030年前实现碳达峰^[12]。还有一部分学者对能源消费碳排放强度的各类特征进行积极探索。如朱亚红等人对1996—2011年甘肃省能源消费碳排放强度进行测算并预测未来碳排放强度变化^[13]。李新等人对中国各省电力能源消费碳排放强度的时空演变特征进行分析,并指出碳排放强度在产业间、省际均存在差异^[14-15];王少剑等人指出中国城市碳排放强度存在马太效应,差异逐步缩小^[16]。朱泳丽等人、王青、赵凡等人先后对长三角城市群、都市圈和长江经济带能源消费碳排放强度的空间特征、区域差异及动态演进以及工业能源消费碳排放强度的区域差异和演变特征进行分析,发现能源消费碳排放强度具有空间自相关性,整体来看呈下降趋势^[17-19]。

综上所述,我国学者对能源消费碳排放及碳排放强度的研究成果丰硕,其研究结论也各不相同。有学者对总体的影响因素进行梳理,也有学者根据研究行业和地理研究单元给出了不同的研究结论。从大致影响因素看都考虑了经济发展水平、人口、能源强度和能源结构等因素,在研究内容上存在重叠,没有考虑多因素分解的情况,少有研究将第一、二、三产业对能源消费碳排放的影响考虑在内,并且在能源消费碳排放强度方面,学者集中于特定区域考虑碳排放强度的时空变化特点,缺乏以中国整体角度为切入点的分析。因此,在现有的研究基础上,文章利用我国30个省份(不包括港澳台和西藏)2005—2021年能源消费碳排放数据,运用LMDI模型,将碳排放分解成多因素影响的累计贡献值,特别强调了第一、二、三产业对能源消费碳排放的影响,主要表现在能源消费强度效应和产业结构效应上,并以总体的角度从中国省级尺度分析我国能源消费碳排放强度变化特征,在时间和空间层面对碳排放强度的演变进行分析,最后为我国在追求低碳经济的同时实现“双碳”目标提出碳减排的合理建议。

1 理论模型及数据来源

1.1 碳排放强度

碳排放强度(简称碳强度)代表单位国内生产总值(GDP)释放的二氧化碳量。它揭示了经济增长与二氧化碳排放量之间的相互作用关系,用于量化某一国家或地区在其经济增长阶段对单位经济产出的二氧化碳排放量的变化趋势。其表达式为

$$\text{碳排放强度} = \frac{\text{CO}_2\text{排放量}}{\text{GDP}} \quad (1)$$

1.2 能源消费碳排放影响因素分解模型

LMDI分解方法(对数平均迪氏指数法)可以将总体变量分解为多个影响因素的乘积,通过分析这些影响因素对总体变量变化的影响程度,确定其权重值,最终确定各分解影响因素对总体变量变动的贡献份额^[20]。基于此,本研究采用LMDI分解方法将能源消费碳排放分解为人口规模、城镇化、经济发展、产业结构、能源消费强度、能源强度结构6个因素,其表达式为

$$C = \text{POP} \times \frac{\text{TOWN}}{\text{POP}} \times \frac{\text{GDP}}{\text{TOWN}} \times \frac{\text{GDP}_l}{\text{GDP}} \times \frac{E}{\text{GDP}_l} \times \frac{C}{E}, l = 1, 2, 3 \quad (2)$$

$$c_i = \frac{C}{E}, e_i = \frac{E}{\text{GDP}_l}, l_i = \frac{\text{GDP}_l}{\text{GDP}}, g_i = \frac{\text{GDP}}{\text{TOWN}}, t_i = \frac{\text{TOWN}}{\text{POP}}, p_i = \text{POP} \quad (3)$$

$$C = p_i \times t_i \times g_i \times l_i \times e_i \times c_i \quad (4)$$

其中, C 表示碳排放总量; p_i 为人口规模因素,以常住人口表示; t_i 为城镇化因素,以城镇化率表示,为城镇化人口与常住人口的比值; g_i 为经济发展因素,以城市人均GDP表示; l_i 为产业结构因素,以各产业占GDP的比重表示; e_i 为能源消费强度,即在各产业单位产出水平下 CO_2 排放量^[21]; c_i 表示能源强度结构,以碳排放量与能源消费总量的比值表示。

对式(4)采用取对数加和分解策略,以下列出了各个因素所作出的贡献表达式

$$\Delta c_i = \frac{C_{i,t} - C_{i,0}}{\ln C_{i,t} - \ln C_{i,0}} \times \ln \frac{c_{i,t}}{c_{i,0}} \quad (5)$$

$$\Delta e_i = \frac{C_{i,t} - C_{i,0}}{\ln C_{i,t} - \ln C_{i,0}} \times \ln \frac{e_{i,t}}{e_{i,0}} \quad (6)$$

$$\Delta l_i = \frac{C_{i,t} - C_{i,0}}{\ln C_{i,t} - \ln C_{i,0}} \times \ln \frac{l_{i,t}}{l_{i,0}} \quad (7)$$

$$\Delta g_i = \frac{C_{i,t} - C_{i,0}}{\ln C_{i,t} - \ln C_{i,0}} \times \ln \frac{g_{i,t}}{g_{i,0}} \quad (8)$$

$$\Delta t_i = \frac{C_{i,t} - C_{i,0}}{\ln C_{i,t} - \ln C_{i,0}} \times \ln \frac{t_{i,t}}{t_{i,0}} \quad (9)$$

$$\Delta p_i = \frac{C_{i,t} - C_{i,0}}{\ln C_{i,t} - \ln C_{i,0}} \times \ln \frac{p_{i,t}}{p_{i,0}} \quad (10)$$

则各因素贡献值的总效应为

$$C = \Delta c_i + \Delta e_i + \Delta l_i + \Delta g_i + \Delta t_i + \Delta p_i \quad (11)$$

其中, i 表示各省份, t 为各年份。

1.3 数据来源及指标选取

文章关于能源消费碳排放影响因素分解效应的分析主要包括我国30个省份(由于缺乏数据,不包括西藏自治区、台湾省、香港和澳门特别行政区),利用2005—2021年能源消费与碳排放数据建立模型,主要涉及人口规模、城镇化、经济发展、产业结构、能源消费强度、能源强度结构六个变量。文章所使用的数据来源于国家统计局官网、中国能源数据库和中国碳排放量数据库(CEADs)的公开数据,其中碳排放量数据来源于中国碳排放量数据库(CEADs)^[22-23]。

2 实证分析

2.1 能源消费碳排放强度的时序变化

2005年至2021年间(图1),中国碳强度在总体上呈波动下降趋势,碳排放量在持续增加的同时增速有所放缓,碳强度增加值在2009年最高,随后呈波动放缓趋势。虽然总体呈下降趋势,但不同阶段的下降速度和幅度存在差异。在“十三五”期间,政府设定了明确的节能减排目标,因此碳强度下降速度较快。而在其他时期,由于经济增长和能源消费增长的压力,碳强度的下降速度相对较慢。

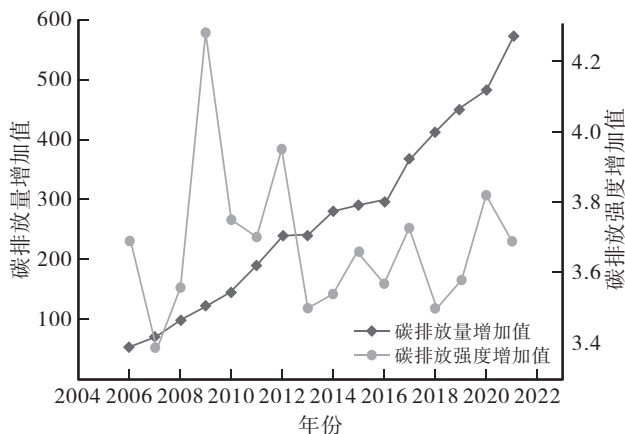


图1 2006—2021年碳排放量增加值和碳排放强度增加值趋势特征

(数据来源:根据国家统计局官网、中国碳排放量数据库(CEADs)数据整理)

2.2 能源消费碳排放强度的空间特征

全国碳强度在2006年达到高点后,逐渐减弱,但部分地区有增强趋势。山西省、内蒙古自治区等地碳排放强度在2015—2021年间有显著增强趋势,2021年后又呈减弱趋势,但从全国来看,碳强度逐年下降。2015年我国二氧化碳排放量下降1.5%,2020年相对2015年下降18.8%,比2005年下降48.4%。这主要是由于我国在“十三五”期间大力发展高新技术产业和服务业等低碳产业,推动高能耗产业转型,从而降低了碳排放强度。

从全国范围内的能源碳强度空间分布来看,西部地区的能源碳强度相对较高。在2021年全国碳强度都呈相对下降趋势的背景下,山西省仍然保持较高水平。山西省拥有丰富的煤炭资源。由于煤炭价格相对较低且易于开采,长期以来,山西省的产业结构主要由电力、煤炭、焦炭、化工、建材和冶金等能源密集型产业构成。鉴于资源驱动型产业的存在,煤炭在山西省的能源消费中始终处于领先地位,因此碳强度逐渐上升。为了削减碳排放量,山西省应致力于推动产业结构的优化和现代化进程,进一步加大清洁能源的研发和利

用力度,提升整体的能源使用效率,以达到去碳化和可持续发展的长远目标。

西部地区的碳强度变化较全国范围内更显著,西部地区南方地带碳强度较高的省份主要是贵州和云南。在贵州等地,煤炭消费以含硫煤为主,随着重工业的快速发展,煤炭浸出率低,煤炭燃烧产生的硫化物、碳化物等工业污染物浓度高,增加了二氧化碳排放量。近年来,该地区城市化进程快速推进,城市扩张使得建筑、交通等领域的能源消耗量快速增加,城市机动车数量迅猛增长,燃油燃烧成为碳排放的主要来源之一。

重庆市2020年的碳强度较低,接近最低点,较“十二五”末累计下降超过22%。在“十三五”期间,重庆市产业结构由工业型经济向服务型经济转型,高新技术和战略性新兴产业快速发展,能源产品的构成模式从依赖原煤的生产模式转向包含原煤、天然气、水电和风电在内的多样化生产模式。火电、水泥等行业单位产品能耗呈下降趋势,自主开发的“碳惠通”生态价值平台,包括“互联网+生态”,在重庆市的环境领域中发挥补偿作用,使得重庆市的碳排放强度逐年下降。

不管从何时间段来看,内蒙古、新疆、陕西、宁夏等省(自治区)的碳强度在全国范围内一直处于较高水平。这是由于这些地区作为中国经济发展的重要区域之一,经济增长和工业化进程在近年来逐渐加快,产业结构以能源密集型产业为主。这些省份是我国重要的能源生产基地,主要依赖煤炭和石油等化石能源发展能源密集型产业,并且由于这些省份的严寒气候加剧了居民的供暖需求,此过程伴随着大量的化石能源消耗,这些都增加了碳排放。

2.3 能源消费碳排放影响因素分解结果

表1展示了2005—2021年LMDI分解法的结果,表明经济发展、城镇化和人口规模对碳排放量具有促进作用,而能源消费强度对碳排放量存在抑制作用;能源强度结构和产业结构的影响因素在特定年份里呈正负波动。能源消费强度对于碳排放的负向贡献值最大,达到-26083.65万吨,其中第三产业贡献值为-11850.67万吨,占总体贡献值的45.4%,经济发展因素次之,其贡献值为10866.34万吨。

表1 2005—2021年中国各产业碳排放LMDI因素分解

时间/年	Δc_i	Δe_i			Δl_i			Δg_i	Δt_i	Δp_i
		第一产业	第二产业	第三产业	第一产业	第二产业	第三产业			
2005—2006	-144.64	244.16	-465.97	-381.30	-591.48	118.65	33.97	301.69	581.46	49.34
2006—2007	-289.97	-397.48	-713.47	-743.03	-295.73	20.26	49.82	1073.49	174.92	48.47
2007—2008	526.13	-669.80	-889.59	-797.59	-160.96	58.83	-33.17	999.26	172.77	55.45
2008—2009	241.76	-15.84	-46.85	-522.31	-200.41	-169.40	306.06	438.42	146.30	57.39
2009—2010	416.60	-613.94	-1024.28	-836.40	-291.73	118.61	-69.27	1231.24	150.16	89.02
2010—2011	336.47	-614.78	-911.11	-915.60	-271.18	25.16	29.65	1048.15	558.78	83.68
2011—2012	-161.09	-523.30	-398.90	-903.63	-86.95	-211.35	293.38	761.69	238.96	59.58
2012—2013	613.20	-808.72	-570.19	-1300.71	-94.06	-332.58	397.93	660.94	263.99	43.53
2013—2014	-213.41	-244.14	-178.51	-844.39	-221.50	-287.12	378.75	444.96	268.92	55.55
2014—2015	-221.74	-245.75	275.29	-1266.35	-231.96	-753.01	788.64	139.74	370.15	36.38
2015—2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016—2017	85.56	42.84	-865.52	-1176.83	-1000.13	-91.77	219.54	917.99	273.86	46.75
2017—2018	-61.12	-104.30	-419.42	-980.11	-571.75	-256.63	304.06	791.68	251.40	26.11
2018—2019	-39.27	-493.06	-146.72	-566.03	99.73	-246.62	172.70	583.45	208.89	27.41
2019—2020	-115.38	-1127.93	364.62	92.06	1224.86	-267.69	4.87	19.05	321.46	8.44
2020—2021	-8.42	-463.38	-2206.91	-708.46	-875.65	867.88	-630.57	1454.59	451.75	-6.46
累计贡献值	964.69	-6035.43	-8197.55	-11850.67	-3568.90	-1406.78	2246.35	10866.34	4433.78	680.65

2.3.1 能源消费强度对碳排放的抑制作用

能源强度是抑制二氧化碳排放最主要的因素。从二氧化碳排放的产业分解结果来看,第三产业对去碳化的影响最大,贡献值为-11850.67万吨,其后分别是第二产业和第一产业。这是由于第三产业创造的产值基数较大,所消耗的能源消费量较小,在第三产业中的许多行业都具有低碳或零碳的特点,如信息技术、教育、医疗等,这些行业的发展可以替代传统的高碳排放行业,从而降低整体的碳排放水平。发展电子商务等新型服务业,可以减少物流和交通运输的碳排放,伴随着智能电网、分布式能源等可再生能源和清洁能源快速发展,第三产业将提供更加高效、环保的能源服务,从而推动能源结构的转型和升级,降低整体的碳排放水平。第二产业对碳减排的作用也十分明显,其贡献值为-8197.55万吨。这可能是由于第二产业增加值增长范围较大,从而在总体上对碳减排具有一定影响。第二产业的工业生产部门通过技术改造与产品升级、清洁生产、产业结构调整、能源消费结构优化、循环经济等手段有效促进了碳减排。第一产业主要为农业生产部门,对能源消费碳排放的贡献值为-6035.43万吨,主要是由于该部门能源消耗量最低,近年来该部门也开始积极探索碳减排方式,发现通过优化农业实践和增强土地管理利用、加强林业管理、改进畜牧业和渔业实践、发展生物质能源等方式,可以降低第一产业的碳排放。

2.3.2 产业结构因素对于碳排放的抑制作用

产业结构因素对碳排放量的贡献值为-2729.34万吨。产业结构的调整能更好地优化能源配置,降低对化石燃料的依赖,提高清洁和可再生能源的利用率。发展洁净煤技术是今后一个时期内煤炭工业改革与发展的方向,积极推进风能、太阳能等新型能源产业的发展,有望改善依赖煤炭等传统能源发展的局面。推动发展低碳产业,如新能源、节能环保、新材料等,通过技术创新和改造提升传统产业能效,促进循环经济增长,提升资源利用效率,减少废弃物排放,优化各部门的能源效率。通过改进生产工艺、更新节能设备等方式,降低能源消耗和排放。调整产业结构,创新绿色技术。通过研发和推广先进的低碳技术、节能技术、能源替代技术等,降低碳排放强度,提升整体能源利用效益。

2.3.3 经济发展因素对碳排放的促进作用

经济发展因素对碳排放强度的正向作用仅次于能源消费强度的负向作用,总贡献值为10866.34万吨,在2005—2021年间贡献值呈波动上升趋势。由于经济持续增长,各个经济领域对能源的需求也随之上升,对电力、石油等其他能源的需求增加,大量的基础设施建设、制造业发展都需要消耗大量的能源,并且居民对消费品、交通工具等的需求增加,城镇化进程都将增加能源消耗和碳排放。

2.3.4 能源强度结构、城镇化、人口规模对碳排放的作用

能源强度结构对碳排放的影响起到一定的抑制作用,但其累计贡献值表现为正向的促进作用,为964.69万吨。城镇化对碳排放的影响是正向的,并且在2006年贡献值达到最高点581.46万吨后,城镇化的贡献值逐渐减少,累计贡献值为4433.78万吨。人口规模对碳排放量的影响最小,累计贡献值为680.65万吨,但在2021年出现了负向影响,为-6.46万吨。这可能是由于近年来随着人口规模的增长,管理部门需要引导和培养消费者环保和可持续发展的意识,并采取惠民措施,如垃圾分类处理、“厕所革命”等,使得消费者更倾向于选择环保产品和服务,减少对高碳排放产品的需求,从而促进碳减排。

3 结论与建议

3.1 结论

本研究利用中国30个省份(不包括港澳台和西藏)的数据,采用LMDI模型探讨2005—2021年中国各省在能源消费二氧化碳排放上的主要影响因素,综合比较第一、二、三产业在因素分解方面的不同,并对碳排放强度的时序和空间格局特征进行分析。

研究结果表明:(1)从时间特征来看,全国2005—2021年碳排放量增加值呈上升趋势,碳排放强度增加值波动上升,增速逐渐放缓;(2)对能源消费碳排放空间格局的分析表明,全国碳强度最高地区集中在西部地区,而东部地区碳强度较低。西部地区碳排放强度较高的省份主要是贵州和云南,内蒙古、新疆、陕西、宁夏等省(自治区)碳排放强度在全国范围内一直处于较高水平;(3)抑制二氧化碳排放量的最关键因素是能源消费强度,同时,产业结构也在一定程度上有助于去碳化;(4)经济发展、城镇化、能源强度结构效应、人口规模都促进了碳排放量的增加,且贡献值大小从高到低排列,经济发展是促进碳排放最主要的因素。

3.2 建议

(1)倡导绿色生产,鼓励使用清洁能源。从能源消费的角度来看,能源消费强度抑制了碳排放量,这是近年来政府推行绿色生产的结果,因此鼓励使用清洁能源仍是推进碳减排工作的重点之一。政府应当提倡绿色生产生活方式,鼓励降低煤炭消费比重、减少对化石能源的依赖、宣传低碳经济理念,进一步促进能源消费模式向清洁高效方向转变,加快推进“双碳”目标的实现。

(2)加大科研投入,转变传统能源消费模式。从经济发展上看,经济发展是碳排放量增加的最显著的影响因素。经济发展主要通过能源需求增长、工业化进程、产业结构以及生活水平提高等因素共同作用促进碳排放量的增长,但随着技术的进步和能源结构的调整,经济增长对碳排放量的影响可能会逐渐减弱。可以加大科研投入,推动清洁能源、节能减排等领域的技术创新和成果转化,这将转变传统的能源消费模式,优化能源使用效率,同时降低每单位产量的能源使用和二氧化碳的排放。

(3)发展绿色产业,建立东西部区域减排合作机制。“十四五”时期是中国经济低碳转型的关键时期。我国能源消费的碳排放强度基数主要集中在西部地区,东部地区的碳排放强度较低,这主要是由于东部地区以发展高新技术产业和新兴产业为主,能源消耗量相对较少,而西部地区以高耗能产业为主,对于煤炭的消耗量较大,并且在西部地区城市化进程中交通工具和人口的大量增加都促进了碳排放。因此,西部地区应减少煤炭消费,增加风能、太阳能等清洁能源的使用比例,推广煤改气、煤改电等清洁能源替代工程,减少燃煤发电和燃煤锅炉的使用。鼓励发展低能耗、高附加值的产业,减少对高污染、高能耗产业的依赖,加强工业领域的节能减排技术改造,提高能源利用效率。在城市化进程中增加公共交通工具的投放比例,鼓励使用新能源汽车,优化交通网络布局,减少重复运输。加强植树造林、水土保持等生态工程,提高生态系统碳汇能力,继续实施退耕还林还草、荒漠化治理等措施,改善生态环境。培养和引进环保领域人才,提高环保意识 and 能力。西部地区南方地带拥有得天独厚的地理优势条件,应鼓励其发展绿色产业,生态农业、生态旅游,发挥农业与旅游业、制造业等的联动作用,加强森林保护和恢复,提高森林覆盖率,增强森林碳汇功能。西部地区应加强与其他地区在环保和减排方面的合作与交流,并与东部地区建立区域减排联盟合作机制。发展新兴产业和未来产业,从东部地区减排过程中吸取经验。鼓励在减排方面取得优秀成果的各个城市针对降低碳排放强度、控制碳排放总量进行经验总结,建立健全信息交流机制,为其他碳减排路径不明确和效果不显著的城市提供参考。

参考文献:

- [1] 李丽旻. 国际能源署:全球能源领域碳排放量再创新高[N]. 中国能源报, 2022-03-14(005).
- [2] 邓光耀. 能源消费碳排放的区域差异及其影响因素分析[J]. 统计与决策, 2023, 39(06): 56-60.
- [3] 傅素英, 刘圣香. 基于LMDI模型的宁波市碳排放测算及影响因素分析[J]. 宁波大学学报(人文科学版), 2015, 28(02): 77-81.
- [4] 冉光圭, 杨宣. 西部地区能源消费碳排放时空格局演变及影响因素分析[J]. 贵州民族研究, 2022, 43(06): 56-61.
- [5] 宋府霖, 韩传峰, 滕敏敏. 长三角地区能源消费碳排放驱动因素分析及优化策略[J]. 生态经济, 2022, 38(04): 21-28.
- [6] 王凯, 李娟, 唐宇凌, 等. 中国服务业能源消费碳排放核算及影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(05): 21-28.
- [7] 何炫蕾, 陈兴鹏, 庞家幸. 基于LMDI的兰州市农业碳排放现状及影响因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(07): 150-158.
- [8] 王正, 樊杰. 能源消费碳排放的影响因素特征及研究展望[J]. 地理研究, 2022, 41(10): 2587-2599.
- [9] 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DMS/OLS与NPP/VIIRS夜间灯光数据[J]. 地理研究, 2021, 40(07): 2051-2065.
- [10] 张恒硕, 李绍萍, 彭民. 中国农村能源消费碳排放区域非均衡性及驱动因素动态识别[J]. 中国农村经济, 2022, (01): 112-134.
- [11] 王青, 傅莉媛, 孙海添. 中国工业生产能源消费碳排放的区域差异、动态演进与影响因素[J]. 资源科学, 2023, 45(06): 1239-1254.
- [12] 张雪梅, 曹丹丹, 王鑫, 等. 中国省域能源消费二氧化碳排放状态分析与情景预测[J]. 生态经济, 2023, 39(12): 26-32.
- [13] 朱亚红, 马燕玲, 陈秉谱. 甘肃省能源消费碳排放强度及减排潜力分析[J]. 科技管理研究, 2014, 34(05): 83-87.
- [14] 李新, 王海滨, 陈朝镇, 等. 我国电力能源消费碳排放强度的演变特征及产业间差异性[J]. 干旱区资源与环境, 2014,

28(07):7-11.

- [15] 李新,王海滨,陈朝镇,等.中国电力能源碳排放强度的时空演变及省际间差异性[J].干旱区资源与环境,2015,29(01):43-47.
- [16] 王少剑,黄永源.中国城市碳排放强度的空间溢出效应及驱动因素[J].地理学报,2019,74(06):1131-1148.
- [17] 朱泳丽,丁利杰.长三角城市群碳排放强度的空间效应及影响因素——基于产业转移视角[J].资源科学,2022,44(07):1373-1387.
- [18] 王青.长三角都市圈工业能源消费碳排放强度区域差异及动态演进[J].人民论坛·学术前沿,2022,(22):52-61.
- [19] 赵凡,许佩.长江经济带能源消费碳排放强度时空演变及影响因素[J].长江流域资源与环境,2023,32(11):2225-2236.
- [20] ANG B. The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide[J]. Energy Policy, 2005, 33(07): 867-871.
- [21] 蒋金荷.中国碳排放量测算及影响因素分析[J].资源科学,2011,33(04):597-604.
- [22] SHAN Y, GUAN D, ZHENG H, et al. China CO₂ Emission Accounts 1997-2015[J]. Scientific Data, 2018, (05): 1-14.
- [23] SHAN Y, HUANG Q, GUAN D, et al. China CO₂ Emission Accounts 2016-2017[J]. Scientific Data, 2020, (07): 1-9.
- [24] 郝瑞军,魏伟,刘春芳,等.中国能源消费碳排放的空间化与时空动态[J].环境科学,2022,43(11):5305-5314.
- [25] 高长春,刘贤赵,李朝奎,等.近20年来中国能源消费碳排放时空格局动态[J].地理科学进展,2016,35(06):747-757.
- [26] 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(01):182-191.
- [27] SHEN Q, YUAN T Y, ZHAO H W, et al. Great Divergence Exists in Chinese Provincial Trade-related CO₂/sub Emission Accounts[J]. Environmental Science Technology, 2020, 54(14): 8527-8538.
- [28] SONG X, DU S, DENG C, et al. Carbon Emissions in China's Steel Industry from a Life Cycle Perspective: Carbon Footprint Insights[J]. Journal of Environmental Sciences, 2025, 148: 650-664.

Spatial and Temporal Evolution of Carbon Emission Intensity of Energy Consumption in Provincial Areas of China and the Influencing Factors

SHANG Yan¹, AOBULI·Talipu^{1,2}, NADILA·Abuduresuli^{1,2*}

(1. Business School, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang, 830017, China;

2. Research Center for High Quality Industrial Development in the Core Area of the Silk Road Economic Belt, Urumqi, Xinjiang, 830017, China)

Abstract: Based on the energy consumption and carbon emission data of 30 provinces in China from 2005 to 2021, this article explores the characteristics of the spatial and temporal patterns of carbon emission intensity at the provincial level in China, applies the LMDI method to decompose the carbon emission into the cumulative contribution value of the influence of multiple factors, and focuses on the integration of the influencing roles of the primary, secondary, and tertiary industries on the carbon emission of energy consumption and the analyzes the main influencing factors of the energy consumption carbon emission. The results of the study show that: (1) From the perspective of time characteristics, the national carbon emission intensity from 2005 to 2021 generally shows an upward trend with a gradual slowdown in the growth rate. (2) From the perspective of spatial pattern, the regions with stronger carbon emission intensity are mainly concentrated in the western region. (3) Economic development factors, urbanization factors, energy intensity structure effect, population size factors are the main factors promoting carbon emissions. (4) Energy consumption intensity effect, industrial structure factors are the main factors inhibiting carbon emissions. Therefore, improving energy use efficiency, optimizing energy structure and industrial structure, taking the road of low-carbon urbanization, as well as implementing the strategy of linkage of energy-saving and emission reduction provinces and regions is an important way to promote China's energy-saving and emission reduction goals.

Keywords: Energy consumption; Carbon emission intensity; LMDI model; Spatial and temporal pattern characteristics; Industrial contributions; Low-carbon economy