

不同空间尺度碳排放强度的时间演化特征

任以胜^{1,2}, 李鸿艳^{1,2}, 余芳飞¹, 郎冬平¹, 李 淳¹

(1. 安徽师范大学 经济管理学院, 安徽 芜湖 241002; 2. 安徽师范大学 乡村振兴研究院, 安徽 芜湖 241002)

摘要:基于联合国政府间气候变化专门委员会提供的碳排放测算方法,研究2010—2019年全国尺度、区域尺度的碳排放强度时间演变特点和空间分布格局。结果表明:①天然气、煤油、汽油、原油4种能源的碳排放量逐年增长;柴油的碳排放量先增长后保持平稳;燃料油的碳排放量先增加后减少;焦炭、煤炭的碳排放量呈现“N形”趋势;②全国碳排放量不断上升,总体呈现急速增长、相对平缓、快速增长的三个阶段。但由于经济增长速度超过碳排放量增长速度,全国碳排放强度呈现下降趋势;③七大区域碳排放强度整体呈现下降趋势,具有“东高西低、北高南低”的空间分布格局特征。

关键词:碳排放量;碳排放强度;空间差异;能源消费;空间尺度

中图分类号:F902 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)14-0190-06

伴随着世界经济的快速发展,各个国家对能源的需求持续增加,致使二氧化碳排放量不断增加,对生态环境产生了一系列影响。碳排放量增加主要源于经济扩张,减少二氧化碳排放、实现绿色低碳发展已经成为国际社会关注的热点问题之一^[1-2]。当前,中国特色社会主义已经进入新的发展阶段,中国经济正处于高质量发展转型的关键阶段^[3]。面对日益严峻的生态环境挑战,如何在降低碳排放量的同时实现经济高质量发展,成为中国亟待解决的关键科学问题。

碳排放一直是学术界关注的热点领域之一,测度碳排放强度是评价区域经济社会可持续发展的重要指标^[4]。目前国内外对碳排放强度的研究内容主要集中在碳排放强度测度^[5-6]、空间分布^[6-7]、影响因素^[8]及收敛性^[6,9]等方面;研究尺度由全国尺度^[6]、省域尺度^[10]、城市群尺度^[11]等逐渐向微观尺度^[12-13]与全球尺度^[14]转变,不同尺度的碳排放强度具有一定的空间和时间差异性^[15];在研究方法方面,主要采用IPCC提供的碳排放核算基本方程^[1,16-17]、投入产出法^[18]进行碳核算,并利用LMDI模型^[19]、EKC模型^[20]、STIRPAT模型^[13,21]等进行碳排放强度影响因素分析,发现能源结构、产业结构、人口结构、技术水平、经济发展和城镇化率

是主要因素。综上所述,虽然学术界对碳排放和碳排放强度开展了大量研究,取得了丰硕的研究成果,但对碳排放和碳排放强度的时间演变过程和演化特征的研究尚显不足。

基于此,采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)提供的碳排放测算方法分析全国尺度、区域尺度的碳排放空间强度,探究不同空间尺度碳排放强度的时间演化特征,以期降低碳排放量、推动可持续发展提供理论支持与决策依据。

1 研究单元和研究方法

1.1 研究单元

二氧化碳排放是气体的流动过程,流动环境并非是一个完整的封闭系统。以全国尺度作为研究单元,能够准确反映我国碳排放整体水平,但难以发现碳排放强度的空间分布规律及其特点。以市级尺度作为研究单元,无法探究二氧化碳的流动特征。由于西藏的二氧化碳消费量数据暂缺,所以选择30个省份(因数据缺失,未包括西藏地区和港澳台地区)作为研究单元,探究碳排放强度的时空演化特征。在此基础上,探究华东地区(上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东)、华北地区(北京、天津、河北、山西、内蒙古)、西北地区(陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆)、东北地

收稿日期:2023-03-17

基金项目:安徽省哲学社会科学规划项目(AHSKQ2021D169)。

作者简介:任以胜(1988—),男,安徽肥西人,安徽师范大学经济管理学院,副教授,博士,研究方向为城市地理与城市经济。

区(黑龙江、吉林、辽宁)、华中地区(河南、湖北、湖南)、华南地区(广东、广西、海南)、西南地区(重庆、四川、贵州、云南)等七大地理区域的碳排放强度演变特征。

1.2 研究方法

碳排放量是指在生产、运输、使用及回收该产品时所产生的平均温室气体排放量,通常采用 IPCC 提供的方法进行估算^[1,22],这种方法适用于国家、省份、城市等宏观尺度。温室气体主要以二氧化碳为主,选取根据煤炭、石油、汽油、煤油、柴油、天然气等 8 种能源的碳消费量估算碳排放量,其计算公式为

$$CE = \sum_{i=1}^8 (CO_2)_i = \sum_{i=1}^8 (E_i \times NCV_i \times CEF_i) \quad (1)$$

式中:CE 为 8 种能源的 CO₂ 排放总量,亿 t;E_i 为第 i 种能源的消费量,kg·m³;NCV_i 为第 i 种能源的平均低位发热量,KJ/(kg·m³);CEF_i 为第 i 种能源的 CO₂ 排放系数,kg-CO₂/TJ(表 1)。

碳排放强度是指单位生产总值增长带来的二氧化碳排放量,即 8 种能源的碳排放量与当年国内生产总值(GDP)之比,其计算公式为

$$CI_{nj} = CE_{nj} / GDP_{nj} \quad (2)$$

式中:CI_{nj} 为碳排放强度为第 n 年第 j 省域的碳排放强度,t/万元;CE_{nj} 为第 n 年第 j 省域的碳排放量;GDP_{nj} 为第 n 年第 j 省域的 GDP。

1.3 数据来源

2010—2019 年各省份煤炭、石油、汽油、煤油、柴油、天然气等 8 种能源的消费量数据来源于《中国能源统计年鉴》;各类能源的平均低位发热量来源于《中国能源统计年鉴 2020》;各类能源的 CO₂ 排放系数来源于《2006 年国家温室气体清单指南》;2010—2019 年各省份国内生产总值来源于《中国统计年鉴》。

2 全国尺度碳排放强度的时间演化特征

2.1 8 种能源碳排放量时间演化特征

2010—2019 年,8 种能源的碳排放量各不相同。其中,煤炭的碳排放量在总排放量中占比最多,年平均约占 67.91%;天然气的碳排放量在总排放量中占比最少,年平均约占 0.34%。

天然气、煤油、汽油、原油 4 种能源的碳排放量呈现逐年增长趋势,分别从 2010 年的 0.252 亿 t、0.563 亿 t、2.897 亿 t、13.519 亿 t 增加到 2019 年的 0.634 亿 t、1.211 亿 t、4.690 亿 t、20.106 亿 t(表 2)。为保护生态环境,国内逐步加快天然气的开发利用,促使天然气排放量增加。煤油分为动力煤油和照明煤油等,归属于动力煤油的航空煤油在煤油消费总量中占比高达 90%。在经济全球化背景下,航空运输相比铁路等运输方式占有绝对的时间优势,带动了煤油消费量的消耗。2009 年国家提出扩大内需、汽车下乡等政策,加大了大众对汽车的购买需求,使汽油能源的消费量增加。2010 年以来,材料工业快速发展,拓宽了行业发展范围,衍生多样化产品,原油消费量增加。

柴油碳排放量呈现先增长后保持平稳的趋势。柴油碳排放量从 2010 年的 5.174 亿 t 增长至 2012 年的 5.818 亿 t。2013 年以后,柴油碳排放量逐渐保持相对平稳。柴油主要作为拖拉机、大型汽车、内燃机车及土建、挖掘机的动力燃料,相比于汽油、柴油更加节能环保。2010—2013 年我国柴油车相对增长了 23%,柴油消费量不断上升,造成了严峻的环境问题,国家逐步开始发展铁路和水路运输不断降低柴油的消费量。

燃料油碳排放量整体呈现先增加后减少的趋势。燃料油碳排放量从 2010 年的 1.475 亿 t 增长至 2017 年的 2.426 亿 t;2018—2019 年燃料油碳排放量不断减少,下降至 1.519 亿 t。随着工业快速发展,地方炼厂产能和港口航运业规模不断扩大,导致对原料需求增加,致使燃料油排放量不断上升。2018 年受油价支撑、供需面及政策面影响,燃料油产出率和开工率下降,国内燃料油短缺,逐步降低了燃料油的碳排放量。

焦炭、煤炭碳排放量整体呈现先增长后减少再增长的“N 形”变化趋势。受 2009 年全球金融危机的影响,国外各地对焦炭的需求量减少并限制中国出口。2010 年,出口逐步恢复,焦炭的需求量开始有所反弹。2013 年,在“十二五”规划的促进下,炼铁技术不断进步,钢积累量日益累加,返回的废钢不断增多,可代替生铁炼钢,降低了焦炭的能源消费。

表 1 各类能源的平均低位发热量与 CO₂ 排放系数

变量	天然气	柴油	煤油	汽油	燃料油	原油	焦炭	煤炭
NCV/[kJ·(kg·m ³) ⁻¹]	38 931	42 652	43 070	43 070	41 816	41 816	28 435	20 908
CEF/(kg-CO ₂ ·TJ ⁻¹)	56 100	74 100	71 500	70 000	77 400	73 300	107 000	95 333

表 2 2010—2019 年全国 8 种能源的碳排放量

年份	碳排放量/亿 t							
	天然气	柴油	煤油	汽油	燃料油	原油	焦炭	煤炭
2010	0.252	5.174	0.563	2.897	1.475	13.519	11.026	76.024
2011	0.288	5.560	0.613	3.231	1.510	14.181	12.010	85.427
2012	0.328	5.818	0.677	3.499	1.515	14.628	12.510	86.995
2013	0.360	5.567	0.724	3.439	1.625	14.981	12.379	86.150
2014	0.399	5.644	0.794	3.597	1.721	15.742	12.574	86.055
2015	0.433	5.516	0.869	3.912	1.887	16.183	11.608	86.374
2016	0.462	5.491	0.977	4.166	2.365	16.778	11.610	86.045
2017	0.514	5.587	1.077	4.347	2.426	17.567	11.735	87.621
2018	0.585	5.533	1.152	4.585	1.627	18.699	12.618	89.767
2019	0.634	5.639	1.211	4.690	1.519	20.106	13.311	92.140

煤炭作为中国能源消费的主要来源,不仅广泛应用于工业,也大量应用在居民生活中,2010—2012 年煤炭需求持续增长。为缓解日益严峻的环境问题,2013 年国务院颁布《大气污染防治行动计划》,要求严格控制煤炭消费量。提升煤炭资源利用效率,发展清洁能源,从经济高速发展逐步过渡到经济高质量发展。2017 年,建筑、运输行业快速发展,钢铁需求量增加,刺激了焦炭、煤炭消费量的增长。

2.2 全国碳排放量时间演化特征

全国二氧化碳排放量从 2010 年的 110.93 亿 t 增长至 2019 年的 139.25 亿 t,整体呈现逐年增长趋势(图 1)。

急剧增长阶段:2010—2011 年全国碳排放量增速很快,高达 10.72%。金融危机的爆发,致使中国经济开始下滑,国家更加重视发展工业。在工业快速发展过程中,石油、煤油、煤炭等能源的大量使用,加剧了二氧化碳的排放。

相对平稳阶段:2012—2016 年全国碳排放量增速较缓,甚至 2012—2013 年出现了负增长,增速为-0.59%。“十二五”规划重点强调加快资源节约型、环境友好型社会建设,在发展经济的同时高度重视生态环境的保护。各级政府贯彻落实科学发

展观,实施区域环境保护战略,加强环境监管力度、开展重大环保工程、加大对可再生能源的投资,严格控制能源的消费使用,促使碳排放量保持相对平稳状态。

快速增长阶段:2017—2019 年全国碳排放量快速增长,增速保持在 2%~3%。2017 年以后,全球工业生产周期性回升,中国经济开始逐步回暖,致使工业能源消费量增长,碳排放量呈现逐年增长态势。

2.3 全国碳排放强度时间演化特征

全国碳排放强度从 2010 年的 2.68 t/万元下降到 2019 年的 1.42 t/万元,整体呈现下降趋势(图 2)。2010—2019 年,二氧化碳排放量从 110.93 亿 t 增长至 139.25 亿 t,增速达 25.53%;国内生产总值从 414 157.6 亿元增长至 980 622.7 亿元,增速高达 136.78%。GDP 的增速大于碳排放量的增速,致使全国碳排放强度呈下降趋势。中国始终坚持绿色发展理念,不断加大节能、环保方面的财政投入,鼓励发展低碳技术、开展低碳发展试验试点。各类企业积极响应国家号召,不断创新生产研发机制,提升能源的利用效率。通过优良的政策和有利的监督,在国家与全社会的共同努力下,中国的碳排放治理取得了显著成效。

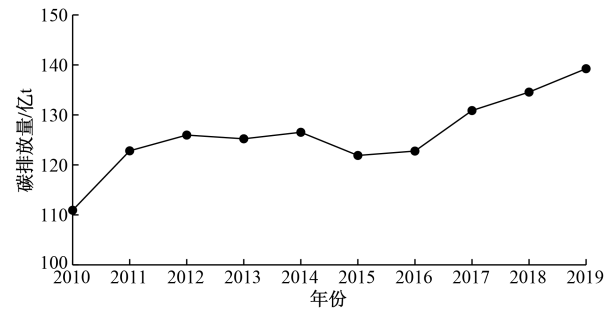


图 1 2010—2019 年中国碳排放量变化趋势

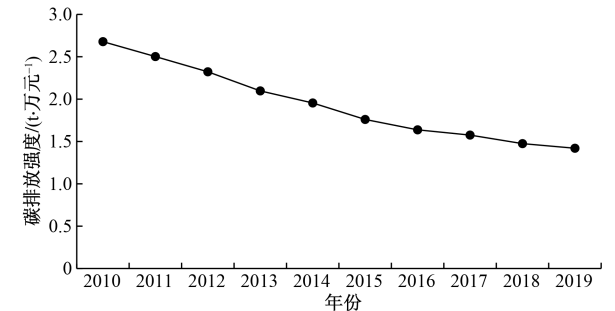


图 2 2010—2019 年中国碳排放强度变化趋势

3 区域尺度碳排放强度的时间演化特征

2010—2019 年七大区域碳排放强度整体呈现下降趋势,但区域间仍存在较大差距,总体呈现“东高西低、北高南低”的空间分布格局。西北地区、华北地区和东北地区碳排放强度较高,华东地区、华中地区、华南地区和西南地区碳排放强度较低(图 3)。

西北地区、华北地区和东北地区是全国重要的能源储备地和开发地,经济结构一直以高耗能的工业为主,资源依赖情况严重。2015 年以后,三大区域因地制宜,探索差异化的减排策略。西北地区大力发展文化旅游等现代服务业,注入经济发展新动力,绿色低碳发展取得显著成效。华北地区通过设立雄安新区与产业结构空间重组,减少高耗能产业数量,加快高污染产业转移,降低区域碳排放强度。东北地区作为老工业基地,不断加快经济结构调整和转型升级,但转型路径不清晰且进度缓慢,造成大量资源浪费,碳排放强度减幅较小。

华东地区、华中地区、华南地区和西南地区不断加快传统能源结构改革进程,加强煤炭高效开采和新能源高效利用,积极发展新兴产业,促使产业结构从“二三一”模式向“三二一”模式转型。华东地区通过工程减排、管理减排和结构减排,使碳排放强度维持在较低水平。华中地区各省份量体裁衣,河南、湖南重在优化能源结构,大力扶持“低能耗、高产出”的产业;湖北大力发展节能减排技术,提高能源利用效率。华南地区利用沿海资源大力发展清洁能源,其中广东积极探索碳排放节能减排路径,率先启动碳排放权交易;广西和海南深入开展现代特色农业、旅游业等低碳产业,培育绿色发展新道路。西南地区作为西部大开发的主要区域,重点发展水电、光电、风力、天然气等新能源项目,实现能源资源的跨区域优化配置,在经济发展的同时大幅降低碳排放强度。

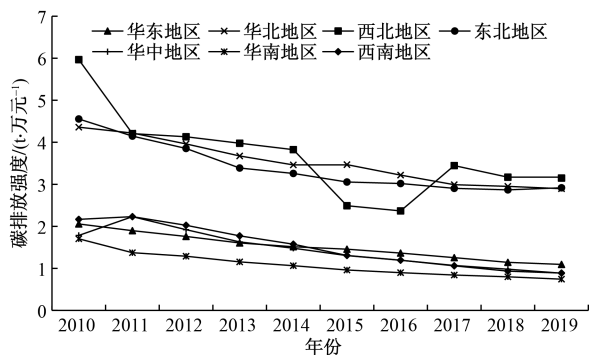


图 3 2010—2019 年中国七大区域碳排放强度

4 结论与建议

4.1 结论

基于 IPCC 提供的碳排放测算方法,分析了 2010—2019 年全国尺度、区域尺度的碳排放空间强度变化特征,得出以下结论:①全国 8 种能源碳排放量变化趋势存在显著差异。天然气、煤油、汽油、原油的碳排放量逐年增长;柴油的碳排放量先增长后保持平稳;燃料油的碳排放量出先增加后减少;焦炭、煤炭两种能源的碳排放量呈现“N 形”变化趋势。②全国碳排放强度呈现逐年下降趋势,且碳排放量不断上升,呈现急速增长(2010—2011 年)、相对平缓(2012—2016 年)、快速增长(2017—2019 年)三个阶段。③七大区域碳排放强度整体呈现下降趋势,总体呈现“东高西低、北高南低”的空间分布格局。

4.2 建议

根据上述分析结论,结合二十大报告提出的“推动绿色发展,促进人与自然和谐共生”,针对碳排放发展提出以下建议。

第一,加快技术革新,正确处理发展和减排的关系。节能减排是实现我国经济可持续发展的必由之路。应加大节能减排资金投入力度,加快低碳技术集成与优化,构建绿色低碳技术创新体系。优化能源消费结构,采取能源替代、可再生能源等技术加大清洁能源在能源消费中的占比,构建清洁低碳能源体系。提高能源利用效率,淘汰高耗能、高消费的生产技术,加快发展绿色生态产业体系,确保能源节约集约利用。

第二,优化产业结构,统筹规划整体和局部的关系。深化供给侧结构性改革,大力发展新兴战略产业、节能环保产业、绿色低碳产业,强化延链、串链、补链、强链,推动产业结构绿色低碳转型升级。依托区域能源优势,加快风电、光伏发电等新能源开发利用,推进重点领域节能提效,构建具有区域特色的绿色能源产业体系,实现绿色能源优势向地方发展优势的转变。加强空间协同调控,探索减污降碳协同增效技术,开展减污降碳协同创新活动,推动绿色低碳产业高质量发展。

第三,践行可持续发展,充分把握短期和长期目标的关系。立足当下,各地区各行业要学习好、宣传好各项节能减排政策,认识节能减排工作的重要性,制定科学合理的碳达峰碳中和工作的“时间表”“路线图”。从长期来看,提高全民节能减排意

识,转变高耗能、高污染的传统经济发展模式,发挥税收激励和约束作用,创新财税奖惩激励机制,建立健全绿色发展财税保障机制;加大对碳减排技术的投资,开展可再生能源发电、碳捕集、先进储能等核心技术的研发。

第四,坚持双轮驱动,科学认识政府和市场的关系。实现碳排放峰值和碳中和目标,必须坚持“有为政府”和“有效市场”的双轮驱动。发挥市场在能源资源配置中的决定性作用,加快建设排污权、碳排放权、用能权的交易市场,搭建碳排放权交易平台,开展碳金融衍生品交易,构建碳排放统计核算体系,引导市场主体绿色低碳转型发展。发挥政府监督和调控职能作用,加快建立碳排放权交易的法律法规和制度体系,引导社会资本的绿色化投资,推动资金、税收等政策从供需两端协同发力,实现产业结构的绿色转型升级。

参考文献

- [1] 刘华军,鲍振,杨骞.中国二氧化碳排放的分布动态与演进趋势[J].资源科学,2013,35(10):1925-1932.
- [2] PAN X, GUO S, XU H, et al. China's carbon intensity factor decomposition and carbon emission decoupling analysis[J]. Energy, 2022, 239: 122175.
- [3] 黄群慧,刘学良.新发展阶段中国经济发展关键节点的判断和认识[J].经济学动态,2021(2):3-15.
- [4] 肖皓,杨佳衡,蒋雪梅.最终需求的完全碳排放强度变动及其影响因素分析[J].中国人口·资源与环境,2014,24(10):48-56.
- [5] SIMONE G, PETAR K, JULIA K, et al. Long-term changes in CO₂ emissions in Austria and Czechoslovakia: identifying the drivers of environmental pressures[J]. Energy Policy, 2011, 39(2): 535-543.
- [6] 张卓群,张涛,冯冬发.中国碳排放强度的区域差异、动态演进及收敛性研究[J].数量经济技术经济研究,2022,39(4):67-87.
- [7] 刘华军,邵明吉,吉元梦.中国碳排放的空间格局及分布动态演进:基于县域碳排放数据的实证研究[J].地理科学,2021,41(11):1917-1924.
- [8] BHATTACHARYYA S C, MATSUMURA W. Changes in the GHG emission intensity in EU-15: lessons from a decomposition analysis[J]. Energy, 2010, 35(8): 3315-3322.
- [9] 李慧,李玮,姚西龙.中国省域全要素碳排放效率空间特征与动态收敛性研究[J].科技管理研究,2019,39(19): 98-103.
- [10] 王怡.中国省域二氧化碳排放达峰情景预测及实现路径研究[J].科学决策,2022(1):95-105.
- [11] 杨浩,卢新海,匡兵,等.城市紧凑度与碳排放强度的时空互动关系及驱动因素:以长株潭城市群为例[J].长江流域资源与环境,2021,30(11):2618-2629.
- [12] 王茜,王善礼,董楠娅.碳达峰背景下区域碳排放强度影响因素及空间溢出性研究——以重庆市为例[J].软科学,2022,36(7):97-103.
- [13] 王少剑,谢紫寒,王泽宏.中国县域碳排放的时空演变及影响因素[J].地理学报,2021(12):3103-3118.
- [14] ZHAO Y, CHEN R, ZANG P, et al. Spatiotemporal patterns of global carbon intensities and their driving forces[J]. Science of the Total Environment, 2022, 818: 151690.
- [15] 王喜,张艳,秦耀辰,等.我国碳排放变化影响因素的时空分异与调控[J].经济地理,2016,36(8):158-165.
- [16] 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(10): 1418-1431.
- [17] 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.
- [18] 张友国.经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J].经济研究,2010,45(4):120-133.
- [19] 宋金昭,苑向阳,王晓平.中国建筑业碳排放强度影响因素分析[J].环境工程,2018,36(1):178-182.
- [20] 王凯,唐小惠,甘畅,等.中国服务业碳排放强度时空格局及影响因素[J].中国人口·资源与环境,2021,31(8): 23-31.
- [21] 王韶华,刘晔,张伟.京津冀碳排放强度影响因素的动态效应分析及情景预测[J].城市问题,2021(5):42-51.
- [22] 原娜,孙欣彤.中国省际碳排放强度时空演变及驱动因素研究[J].环境科学与技术,2022(S1):168-176.

Time Evolutionary Characteristics of Carbon Emission Intensity at Different Spatial Scales

REN Yisheng^{1,2}, LI Hongyan^{1,2}, YU Fangfei¹, LANG Dongping¹, LI Chun¹

(1. School of Economics and Management, Anhui Normal University, Wuhu 241002, Anhui, China;

2. Institute for Rural Revitalization, Anhui Normal University, Wuhu 241002, Anhui, China)

Abstract: Based on the carbon emission measurement method provided by the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change, the characteristics of changes in carbon emission intensity and spatial distribution patterns at the national and regional scales from 2010 to 2019 were studied. The results are as follows. ①The carbon emissions of four energy sources natural-gas, paraffin, gasoline and crude oil have been increasing year by year; the carbon emissions of diesel fuel have been increasing and then remain stable; the carbon emissions of fuel oil have been increasing and then decrease; for the carbon emissions of coke and coal, it presents a “N-shaped” model. ②Carbon emissions have been rising nationwide, generally showing three stages of breakneck growth, relatively flat growth and rapid growth. However, as the rate of economic growth exceeds the growth rate of carbon emissions, the intensity of carbon emissions shows a decreasing trend. ③The overall carbon emission intensity of the seven regions shows a downward trend, with the spatial distribution pattern of “high in the east and low in the west, high in the north and low in the south”.

Keywords: carbon emission; carbon emission intensity; spatial differences; energy consumption; spatial scale