

我国五大城市群碳排放特征分析与减碳策略探讨*

Study on the Comparison of Carbon Emission Characteristics and Exploration of Reduction Strategies in China's Five Major City Clusters

徐素 XU Su

摘要 城市群作为推动区域经济增长和环境可持续性发展的重点地域,在科学技术创新、产业集群形成和产业结构调整等方面扮演了重要角色。以生产消费与空间为视角,探讨了中国五大城市群的碳排放总体特征、构成特征、空间分布、转换特征和碳汇的结构与空间特征。通过对比五大城市群的碳排放结构关联,评估了总量与强度、碳中和特征,以及与社会经济因素的相关性;揭示了各城市群之间及城市群内部地级市产业门类在碳排放方面的相互影响。最后,基于现行减碳政策和机制,并参考相关国际经验,对五大城市群的减碳策略做了初步探讨。

Abstract City clusters play a pivotal role in driving regional economic growth and environmental sustainability. They are central to scientific and technological innovation, the formation of industrial clusters, and the adjustment of industrial structures. This paper adopts a perspective centered on production, consumption, and spatial dynamics to thoroughly examine the overall characteristics, composition, spatial distribution, transformation patterns, and the structure and spatial features of carbon sinks across China's five major city clusters. By comparing the carbon emission structures of these city clusters, the study evaluates their total and intensity-based emissions, carbon neutrality features, and correlations with socio-economic factors. It reveals the interplay of carbon emissions among different industrial categories within and between city clusters. Finally, drawing on current carbon reduction policies and international experiences, the paper preliminarily explores carbon reduction strategies for these five major city clusters, suggesting pathways for future environmental and economic sustainability.

关键词 五大城市群;碳排放特征;减碳路径

Key words five major city clusters; carbon emission characteristics; carbon reduction pathways

文章编号 1673-8985 (2024) 04-0048-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20240407

作者简介

徐素

华东理工大学艺术设计与传媒学院

讲师,博士

xusutju@126.com

0 引言

我国“十四五”规划明确指出,要优化提升京津冀、长三角、珠三角、成渝、长江中游等城市群。城市群作为经济增长的重要引擎,其碳排放问题尤为突出,同时也蕴藏着减排的巨大潜力,承担着率先实现碳达峰的重任,并要为其他地区做出示范及提供宝贵经验^[1]。碳排放问题不应局限于单个城市的层面,而应在城

市群及以上尺度做综合考量。城市群内部城市之间在交通和产业上联系紧密,且城市群之间在发展水平、产业结构和能源消费模式等方面差异显著,这些均对碳减排策略的制定提出复杂的要求。从城市群的角度研究碳减排,有助于揭示不同城市群的碳减排需求、差异化策略需求和潜在协同效应,从而为精确和有效地制定低碳发展政策和减碳路径提供科学依据。

*基金项目:上海市哲学社会科学规划课题“超大城市新城建设的功能定位与优化路径研究”(编号2023BCK009)资助。

1 既有研究概述

在既有的相关研究中,已有学者认识到城市群在中国低碳发展中的重要作用,并以具体的城市群为实证案例,分析了碳排放的影响因素,提出政策和机制的优化方向;如KONG等^[2]研究检验了城市群(NUA)政策对中国经济发展和环境污染的影响,认为城市群政策可以实现经济和环境上的收益,并强调了绿色技术创新、产业集聚和产业结构升级对实现这些经济环境效益的重要性。研究发现,深化协同治理、优化产业结构和推动绿色技术是区域一体化影响城市碳排放的重要机制;例如ZENG等^[3]针对京津冀城市群的研究表明产业结构是碳排放的关键影响因素,通过调整能源结构和加大技术创新投资等综合政策措施,可以显著降低碳排放和碳排放强度;NING等^[4]以呼包鄂榆城市群为研究对象,对其碳排放和减排潜力进行预测,强调了经济增长、产业结构调整、能源政策、环保和技术投资的结合是有效的减碳措施。也有研究证明了区域协同治理对碳排放的影响;如LIU等^[5]针对成渝城市群,使用进化博弈理论探讨了政府间合作在减排合作方面的影响因素,研究表明成渝地区政治、经济等方面的互补性为两地减排合作提供了自然动力和坚实基础,同时建议通过区域联盟合作和针对性政策来提高减排效率。

城市形态与能源使用及碳排放之间的关系长期以来一直存在争议,因为空间形态不是能源需求的唯一驱动因素,但也已有大量研究证明空间形态或其某些属性会对能源需求产生影响,并且空间产生的综合影响更为显著^[6]。国内关于城市群层面,建设用地及空间形态对碳排放的影响,现有研究多通过构建不同的模型来对城市空间形态进行量化,结论一是城市群的碳排放与建设用地特别是工业用地的变化密切相关;二是紧凑合理的城市空间形态与功能布局有利于城市群的低碳发展,且“多中心”发展模式更有利于碳减排的实现。如OU等^[7]通过面板数据建模量化分析城市形态与碳排放之间的关系,指出紧凑、多核发展的城市格局有利于碳减排。舒心等^[8]通过分析长三角

城市群碳排放重心转移及其与城市用地增长的关系,构建相应面板数据模型,发现城市形态紧凑,但功能布局及配置不合理将对减碳产生负面作用。SHI等^[9]从城市政府政策、区域、人口、经济规模等多视角出发,分析得出城市形态的不规则性和复杂性与城市碳排放均呈显著相关性。

既有研究突出了城市群政策在推动经济增长与环境可持续性之间达到平衡的关键作用,尤其是绿色技术创新、产业集聚形成及产业结构的战略性调整对于实现这一目标的核心重要性。此外,相关研究还深入探讨了区域一体化、协同治理、能源政策制定、环境保护措施和技术投资等多方面因素在调控城市碳排放中的决定性作用。从既有文献看,尚缺少对不同城市群之间在碳排放方面的深入比较与分析成果。本文旨在通过对不同城市群碳排放特征的系统比较,揭示各区域在碳排放模式上的异同;在此基础上,深入剖析影响城市群碳排放的关键因素,并探讨当前的减排策略。

2 研究设计

2.1 研究对象及数据来源

本文的研究对象“五大城市群”源自《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》,即纲要中所提的“优化提升京津冀、长三角、珠三角、成渝、长江中游等城市群”;城市群的具体分析范围结合了各城市群“十四五”规划、发展规划和国家发改委等划定范围,以地级市为最小分析单元(见图1)。2023年,五大城市群的GDP之和为58.3万亿元,占全国总量的57.5%;常住人口为6.5亿人,占全国总量的46%;以常住人口估算,人均GDP约为9.0万元,同期全国人均GDP为7.2万元。

其中,研究分析涉及3种数据:碳排放数据、用地覆被数据和社会经济数据。碳排放数据来源于中国城市温室气体工作组(China City Greenhouse Gas Working Group, CCG)发布的中国城市二氧化碳排放数据集(2005年、2010年、2015年和2020年),该数

据集核算了城市在工业能源、工业过程、农业、服务业、城镇生活、农村生活和交通等7个领域中的直接碳排放及间接碳排放(即区域外调入的电力和热力转换而成的碳排放)数据。该数据集基于环境保护部环境规划院气候变化与环境政策研究中心建立的中国高空间分辨率二氧化碳排放网格数据(China High Resolution Emission Gridded Data, CHRED)^[10],采用统一数据源和规范化、标准化的数据处理方法,并且覆盖中国所有地级市,有利于城市横向比较、排放对标及相关排放研究。研究区地表覆盖栅格数据,空间分辨率为30 m×30 m,来源于我国自然资源部。经济社会数据来自各省统计年鉴、各地级市统计年鉴、个别地级市国民经济与社会发展统计年报。

2.2 研究方法

除了普通的描述性统计分析,本文采用了空间自相关分析、灰色关联度分析和产业聚类分析方法。阐释如下:

(1) 空间自相关

在研究地级市碳排放量的空间自相关性时,本文采用了Moran's I统计方法来量化碳排放数据的空间分布模式。Moran's I是一种广泛应用于地理空间数据分析的方法,用于检测数据在空间分布上是否存在聚集或离散,考虑了每个地级市碳排放量与其邻近地区碳排放量之间的相关性。Moran's I值的范围在-1(完全离散)到+1(完全聚集)之间,旨在揭示

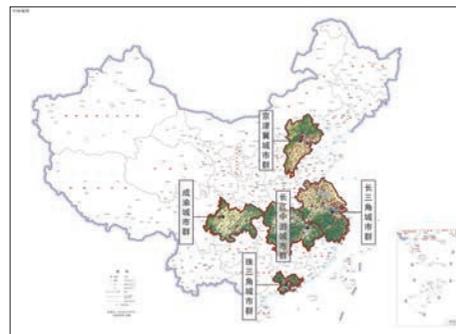


图1 研究对象与范围
Fig.1 Research objects and areas

资料来源:笔者自绘。底图来源:自然资源部审图号:GS(2023)2767号。

地级市碳排放量在空间上的聚集特征。

(2) 灰色关联度

关联度分析是一个用来识别和比较影响因素与目标之间关联度的方法,是灰色系统理论中的一种重要方法。该方法通过计算目标序列与各比较序列(系统中的其他相关因素或指标序列)之间的关联度,来反映它们之间的相似性或相互影响程度。关联度越大,表明两者之间的相似度或影响力越强。为了分析五大城市群的碳排放和社会经济序列的关系,以城市群所含每个地级市的总碳排作为参考序列,而每个地级市的GDP、人均GDP、二产比重、常住人口、城镇化率则作为评价项。通过计算各评价项与总碳排的关联系数值,并进一步得出关联度值,可以判断各评价项与总碳排的关联密切程度。

(3) 产业聚类分析

聚类分析是统计学中根据研究样本的相似性,建立分类从而达到“物以类聚”效果的

多元统计分析方法。主要运用城市的4个关键经济指标:能源生产、重工业、轻工业和高技术产业的GDP产值占比,用K-means算法对五大城市群的城市进行分类,每个组内的城市在这些指标上表现出较高的相似性,而组间则相对较为差异化。产业分类和细分统计方法参考相关文献^[11]。

2.3 研究的技术路线

本文围绕中国五大城市群的碳排放特征展开,旨在揭示城市群在碳排放模式上的差异性和共性,在此基础上提出五大城市群的碳减排路径。首先分析五大城市群生产消费视角与空间视角下的碳排放特征,包括总体特征、构成特征、空间分布与转换特征、空间关联特征、Moran I指数;进而通过对比五大城市群的碳排放结构关联,评估总量与强度、碳中和特征,以及与社会经济因素的相关性。最后,基于现状特征的把握,结合现有的区域减排的机制设置,并参考国际上的发展趋势和相关经验,提出五大城市群的碳减排促进策略(见图2)。



图2 技术路线
Fig.2 Technical route

资料来源:笔者自绘。

3 五大城市群的碳排放特征与结构性比较分析

3.1 五大城市群的碳排放特征分析

3.1.1 基于生产消费视角的碳排放特征

(1) 总体特征

2005—2020年,我国五大城市群的总碳排放量合计从269 946万t上升到462 986万t,增加了71.5%;而同期GDP总量合计从11.97亿

元上升到58.29亿元,增长了430%, GDP总量的增长大大超过总碳排放量的增长;同时,常住人口合计从5.53亿人上升到6.51亿人,增长了17.7%,大大低于总碳排放量的增长(见图3)。

五大城市群的经济和人口基本情况见图4。对五大城市群分别进行碳排放总量、人均碳排放量、单位GDP碳排放3个指标的观察与横向比较,发现从碳排放总量来看,呈现出长三角>京津冀>长江中游>成渝>珠三角的态势;但从增长速度来看,长三角>成渝>长江中游>珠三角>京津冀(见图5)。横向比较人均碳排放量,呈现出京津冀>长三角>长江中游>珠三角>成渝的态势;且从增长速度来看,珠三角城市群出现了负增长(2020年的人均碳排放量低于2005年),比较其他城市群的人均碳排放量增长速度,长三角>长江中游>成渝>京津冀(见图6)。横向比较单位GDP碳排放量,呈现京津冀>长江中游>成渝>长三角>珠三角的态势,五大城市群的单位GDP排放量都是在减少的;且从减少的速度来看,成渝>长江中游>珠三角>长三角>京津冀(见图7)。

(2) 构成特征

统计区域内的总碳排放由间接排放和直接排放构成,其中直接排放主要由农业、服务业、工业、生活和交通碳排放构成,间接排放则包括区域外调入的电力和热力的折算碳排放。从直接—间接碳排放构成来看,五大城市群中珠三角、京津冀的间接排放比重较高,分别占25%和15%左右,其余城市群均以直接碳排放为主,占比为90%左右。



图3 2005—2020年五大城市群总碳排放量、GDP和常住人口合计情况图
Fig.3 Total carbon emissions, GDP, and permanent population of the five major city clusters from 2005 to 2020

资料来源:笔者自绘。

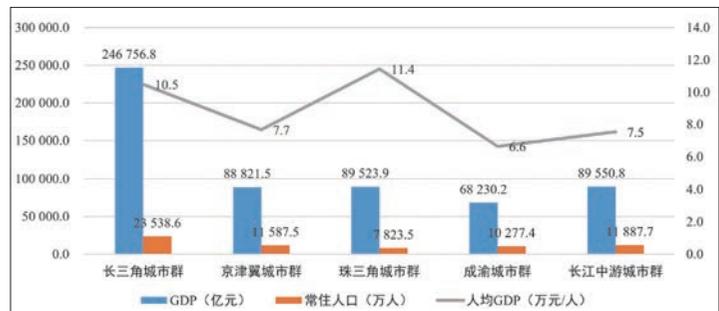


图4 五大城市群2020年经济和人口基本情况
Fig.4 Economic and population overview of the five major city clusters in 2020

资料来源:笔者自绘。

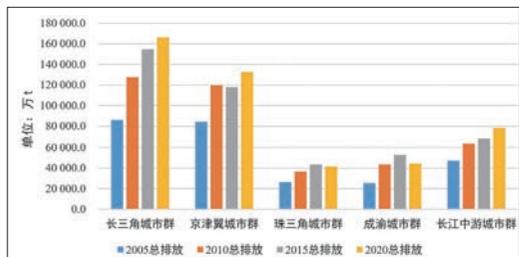


图5 五大城市群总碳排放量比较
Fig.5 Comparison of total carbon emissions in the five major city clusters

资料来源: 笔者自绘。

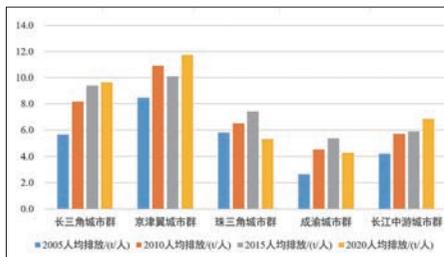


图6 五大城市群人均碳排放量比较
Fig.6 Comparison of per capita carbon emissions in the five major city clusters

资料来源: 笔者自绘。

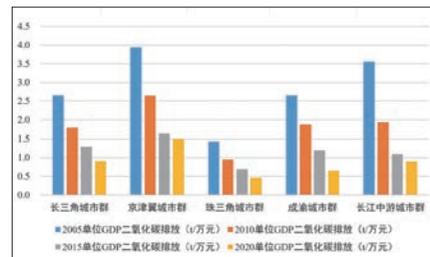


图7 五大城市群单位GDP碳排放量比较
Fig.7 Comparison of carbon emissions per unit GDP in the five major city clusters

资料来源: 笔者自绘。

从直接碳排放结构特征来看,五大城市群基本都以工业排放为主,占比均达80%以上;其次是交通,再次是居民生活及服务业。2005—2020年,总体上各城市群工业碳排放量的总量上升,但在总碳排放量中的比重在下降;而交通碳排放占总碳排放中的比重则在上升(见图8)。

3.1.2 基于空间视角的碳排放特征

(1) 碳排放的空间分布与转换特征

在城市群内部,碳排放主要发生在建设用地上(LUCC分类为城乡居民工矿用地)。根据LUCC 30 m×30 m精度用地数据的计算结果表明,2005—2020年间,五大城市群的建设用地从75 964 km²增长到109 465 km²,占全部用地比重从6.32%上升到9.09%;增长的建设用地中,长三角城市群占40%,京津冀城市群占27%,长江中游城市群、成渝城市群和珠三角城市群分别占15%、12%和6%(见表1)。而从五大城市群2005—2020年间用地转换矩阵来看,长三角城市群、京津冀、长江中游城市群的建设用地增长主要由耕地转化而来;成渝和珠三角城市群的建设用地增长则主要由耕地和林地转化而来。

(2) 碳排放的空间关联特征

碳排放的空间关联特征展示了不同区域碳排放量之间的相互影响。显著的正空间关联性意味着高(或低)碳排放区域倾向于相互邻近,表明这些区域可能共享相似的工业结构或能源使用模式。负空间关联性则表明高碳排放区域与低碳排放区域相邻,这种情况较为罕见。如果空间关联性不显著,表明区



a 2005年五大城市群直接碳排放结构比较



c 2015年五大城市群直接碳排放结构比较



b 2010年五大城市群直接碳排放结构比较



d 2020年五大城市群直接碳排放结构比较

图8 2005—2020年五大城市群直接碳排放结构比较

Fig.8 Comparison of direct carbon emission structures in the five major city clusters from 2005 to 2020

资料来源: 笔者自绘。

域间碳排放量的分布是随机的,没有明显的地理聚集模式。

基于生产消费视角,以地级市为单位,分别以五大城市群总体运用Moran I指数进行空间关联性判断。结果表明,五大城市群的碳排放总体上在空间上的关联性增强,空间相关性增加;长三角城市群的碳排放空间关联性先增加后减少;珠三角城市群碳排放的空间关联性在2015年之后显著;京津冀、长江中游、成渝城市群碳排放的空间关联性不显著(见表2)。

3.1.3 碳汇的结构与空间特征

净碳排放总量与城市群的碳汇关系密切,本文对2005年、2020年五大城市群的碳汇数量变化及结构特征进行统计。结果表明,成渝、京津冀城市群的碳汇量略有上升,长江中游、长三角、珠三角城市群的碳汇总量略有下降

(见图9)。而在碳汇结构中,成渝的林地、京津冀的耕地林地、长江中游的水域呈现增长态势,其余用地呈现略有下降的态势(见表3)。

3.2 五大城市群碳排放的结构比较分析

3.2.1 总量与强度

在综合考虑总量与效率的基础上,对我国五大城市群的碳排放状况进行汇总与比较分析(见表4)。通过对4项关键指标(总碳排放量、单位GDP碳排放、人均碳排放、地均碳排放)执行最大值标准化处理,构建雷达图以直观展现各城市群间的表现差异(见图10)。雷达图揭示了长江中游、珠三角和成渝城市群在碳排放方面的共性,这体现在相对较低的总碳排放量、单位GDP碳排放和人均碳排放;但 these 城市群地均碳排放偏高,表明单位土地面

积的碳排放强度较大。与之相反,长三角和京津冀城市群尽管在总碳排放、单位GDP碳排放和人均碳排放上数值较高,却在地均碳排放上表现较低;这可能与这些城市群较高的产业集聚度和优化的土地使用效率有关^[12]。总体而言,五大城市群在碳排放特征上呈现出两种明显不同的模式。这一发现对于制定区域碳减排战略和土地利用规划具有一定启示意义。

3.2.2 碳中和特征

图11展现了五大城市群碳排放与碳汇的相对量化关系。首先,对比五大城市群的碳排放与碳汇量级,可以明显观察到碳排放总量显著高于碳汇量。其次,从图中每个城市群的数据散点及其斜率关系来看,2005年和2020年的京津冀城市群,以及2020年的长三角城市群,在碳排放相对于碳汇的比例上较高,这

表明在区域内碳排放与碳汇之间存在较大的不均衡性。除成渝、京津冀城市群在碳汇量上呈现增长外,其他城市群的碳汇量出现减少,导致碳汇空间带来的碳中和能力降低。在五大城市群中,长江中游城市群的碳汇总量占比最高,这一数据指标反映了其在区域碳循环中的重要性。

3.2.3 经济社会关联

(1) 关联度分析

图12的关联度计算结果显示了从2005年至2020年各评价项的关联度变化趋势。可以看出,GDP和人均GDP在2010年达到关联度高点,随后有所下降,表明至少在2010年前总碳排放与GDP的关系更为紧密。而二产比重在2010年后呈下降趋势。这反映了随着产业结构的变化,其对总碳排放的影响在减弱。同

时,常住人口关联度整体上升,但增长速度在放缓,意味着人口增长对碳排放的影响正逐渐增大但增速放缓。最后,城镇化率的关联度一直在持续增加,说明城镇化进程与总碳排放的关系日益紧密^[13]。

(2) 产业聚类分析

产业聚类数据展示了各城市群的地级市在不同产业方面的专注和发展状况。2020年五大城市群地级市的产业聚类分析结果显示(见图13),京津冀城市群以能源生产和重工

表1 五大城市群城乡、工矿、居民用地面积及占全部用地分类比重

Tab.1 Urban and rural areas, industrial and mining areas, residential land areas and their proportions in total land use in the five major city clusters

城市群	2005年面积/ km ² (比重/%)	2010年面积/ km ² (比重/%)	2015年面积/ km ² (比重/%)	2020年面积/ km ² (比重/%)
长三角城市群	35 534.5(9.9)	42 900.3(12.0)	46 317.4(12.9)	49 120.2(13.7)
京津冀城市群	20 399.4(9.1)	27 336.2(12.2)	29 361.2(13.1)	29 385.7(13.1)
珠三角城市群	6 197.4(11.5)	7 155.3(13.2)	7 567.4(14.0)	8 138.4(15.0)
成渝城市群	3 858.0(1.6)	5 271.3(2.2)	6 241.3(2.6)	7 728.5(3.2)
长江中游城市群	9 974.4(3.1)	12 356.2(3.8)	14 173.2(4.4)	15 091.9(4.6)

资料来源:笔者自制。

表2 碳排放的Moran's I指数

Tab.2 Moran's I for carbon emissions

Moran's I指数	2005年	2010年	2015年	2020年	备注
五大城市群总体	0.147422**	0.183756**	0.158149**	0.229438**	均为95%显著
长三角城市群	0.112080**	0.154853**	0.085807*	0.134318**	基本都显著
长江中游城市群	不显著	不显著	不显著	不显著	均为随机
京津冀城市群	不显著	不显著	不显著	不显著	均为随机
珠三角城市群	不显著	不显著	0.294443**	0.209916*	2015年之后显著
成渝城市群	不显著	不显著	不显著	不显著	均为随机

注:**表示在显著性水平为0.05时显著,*表示在显著性水平为0.1时显著。

资料来源:笔者自制。

表3 2005年和2020年五大城市群碳汇空间特征(单位:万tCO₂)

Tab.3 Spatial characteristics of carbon sinks in the five major city clusters in 2005 and 2020 (unit: 10⁴tCO₂)

碳汇量	长三角城市群		京津冀城市群		珠三角城市群		成渝城市群		长江中游城市群	
	2005年	2020年	2005年	2020年	2005年	2020年	2005年	2020年	2005年	2020年
耕地	121.7	113.2	76.2	70.5	8.8	8.1	87.7	85.9	83.3	81.0
林地	793.7	785.8	260.2	278.6	233.0	228.0	426.6	491.4	1 120.9	1 107.7
草地	16.1	15.7	37.4	36.8	1.2	1.3	16.2	14.5	7.6	7.3
水域	132.9	118.3	34.8	32.0	19.0	18.0	16.8	20.1	94.5	100.8
汇总	1 064.4	1 033.4	408.6	418.1	261.9	255.4	547.4	611.9	1 306.3	1 296.9

资料来源:笔者自制。

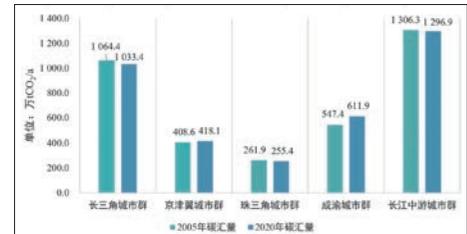


图9 2005年和2020年五大城市群碳汇总量变化图
Fig.9 Changes in total carbon sinks in the five major city clusters between 2005 and 2020

资料来源:笔者自绘。

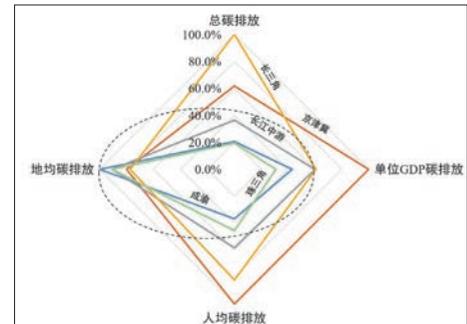


图10 五大城市群4项关键指标雷达图

Fig.10 Radar chart of four key indicators for the five major city clusters

资料来源:笔者自绘。

表4 2020年五大城市群碳排放的主要指标比较

Tab.4 Comparison of main carbon emission indicators in the five major city clusters in 2020

指标	长三角城市群	京津冀城市群	珠三角城市群	成渝城市群	长江中游城市群
总碳排放/万t	215 154	132 635	41 623	44 237	78 506
单位GDP碳排放/(t/万元)	0.9	1.5	0.5	0.6	0.9
人均碳排放/(t/人)	9.7	11.7	5.3	4.3	6.8
地均碳排放/(t/km ²)	4.4	4.6	5.2	5.7	5.2

资料来源:笔者自制。

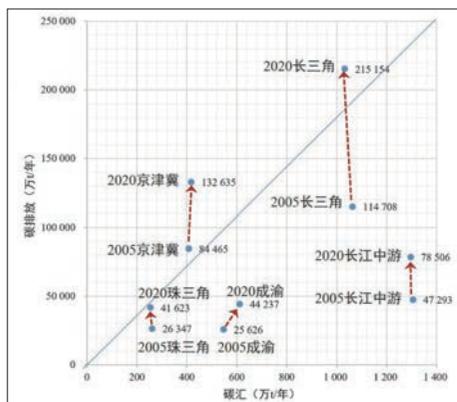


图11 五大城市群2005年、2020年碳排放和碳汇量散点图
Fig.11 Scatter plot of carbon emissions and carbon sinks in the five major city clusters for 2005 and 2020
资料来源:笔者自绘。

业城市为主,长三角城市群的城市类型较为综合多样,珠三角城市群在高科技产业方面比较突出,而长江中游城市群在轻工业和重工业方面的分布较为均衡。

4 政策视角下五大城市群减碳策略探讨

4.1 区域减排的政策和机制

在一个国家内部,为实现碳排放减少的目标,通常会采用包括国家层面的政策制定、地方政府间合作及多部门协调机制建构等举措。诸如,在国家政策指引下,建立全国性碳排放交易系统(如我国正在建立的全国碳市场)、签订州际或省际应对气候变化协议(如美国的RGGI)、建立城市间合作网络(如C40城市气候领导群)、成立政府间工作小组或委员会、出台财政激励措施,以及加强信息共享和能力建设。所有这些政策和机制都是为了促进区域各个层级和部门在减少碳排放方面的协调与合作。

在我国区域碳减排政策方面,国家层面的政策导向是以“能源消费双控”与企业层面的“碳排放权交易市场”来共同构筑一个双重约束框架。前者是国家层面对区域和地方碳减排的约束,见于2021年国家发改委颁布的政策文件《完善能源消费强度和总量双控制度方案》,这是一种偏强制和底线性思维的减碳制度设计。该文件要求“合理设置国家和地方能

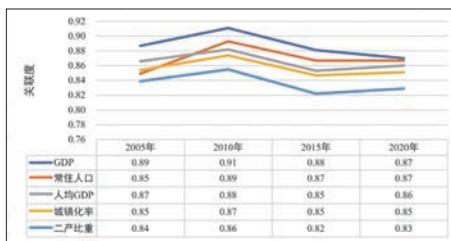


图12 关联度计算结果
Fig.12 Correlation calculation results
资料来源:笔者自绘。

耗双控指标”“以能源产出率为依据,综合各地区经济社会发展水平、发展定位、产业结构和布局、能源消费现状、节能潜力、能源资源禀赋、环境质量状况、能源基础设施建设和规划布局、上一五年规划目标完成情况等因素,合理确定各省(自治区、直辖市)能耗强度降低和能源消费总量目标”。后者则是提出建立针对企业的碳排放权交易市场,已于2021年启动该项工作;2023年生态环境部颁发了《温室气体自愿减排交易管理办法(试行)》,但目前仅局限在能源生产领域,今后将逐步扩大覆盖范围。这两种制度设计都将构成区域碳减排的约束条件:前者成为行政范围内的紧约束,后者将通过市场机制来约束企业行为。

在当前的政策环境框架下,五大城市群出台了一些低碳政策与规范,总体对应了各自的碳排放现状以及经济与社会发展的特定特征。例如,长三角城市群出台《长三角生态绿色一体化发展示范区碳达峰实施方案》,旨在构建一个跨区域低碳发展的典范,强调了经济发展与碳排放控制的统筹,并推动了从能源消耗“双控”向碳排放总量及强度“双控”的转变。此外,该方案还探索了按领域、阶段和区域划分的协同碳减排扶持与补贴政策。2024年7月,长三角示范区成功完成了首笔跨省碳普惠交易,是建立一个碳普惠联建共享机制的的实践尝试,有效地满足了区域内高碳排放行业与碳减排技术需求的对接。《水乡客厅近零碳专项规划》则是通过融合低碳技术与生态碳汇等的发展,采取集中引领与分类示范的策略,构建了一个集成的近零碳生产生活空间。《上海市碳达峰实施方案》作为一个省市级综合

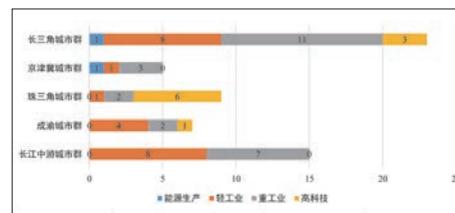


图13 五大城市群地级市按照产业特征分类个数
Fig.13 Industrial clustering calculation results for the five major city clusters
资料来源:笔者自绘。

减碳方案,包含了碳排放控制、能源结构优化、产业升级、绿色建筑和可持续交通等多方面的综合性减碳措施。《京津冀能源协同发展行动计划》专注于控制能源消耗的总量和强度,通过促进清洁能源的发展,适应了该区域重工业集中且能源依赖度高的地域特征,推动了区域内产业结构的低碳转型。珠三角地区通过《珠江三角洲地区改革发展规划纲要》加强了低碳经济和低碳城市的建设,反映了该区域在高新技术产业中的领先地位。广州、深圳等城市进一步制定了明确的低碳发展目标和策略,确保区域内的低碳政策与国际化及技术创新导向保持一致。《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》提出要推动能源结构优化、建设低碳园区和实施重点低碳试点项目,四川和重庆也都制定了碳排放控制计划和方案。长江中游城市群则致力于推动产业结构调整 and 绿色低碳发展,强调促进清洁能源和低碳技术应用的政策,加强污染减排和碳排放监测。

4.2 相关国际经验借鉴

考察国际经验,可以发现不同类型的碳减排政策随时间而变化,即政策的演进和实施往往与全球气候变化的相关国际议程(协定),以及各国所处的发展阶段(体现在技术进步、经济条件等)与政治意愿等因素紧密相关。

通过分析各国碳减排政策的出台和执行时间,可以发现不同类型的碳减排政策在不同的历史时期有着不同的重点和推进速度。这些政策的演进反映了全球应对气候变化的进程、经济社会发展水平、技术创新能力及国际政治经济格局的变化。大致可以分为

5个阶段:第一阶段为早期阶段(1980年代末—1990年代),初期主要集中在能效提升和一些基本的环境保护措施,如提高建筑和工业领域的能效标准,推广节能技术和产品。森林保护和植树造林等自然碳汇增加措施也开始得到关注。第二阶段为“京都议定书时期”(1997年—2000年代),随着京都议定书的签订,碳交易和市场机制(如清洁发展机制CDM)开始得到国际社会的认可和推广;法律和规章制度开始逐步建立,一些国家开始设立国家级的碳排放目标和限制。第三阶段(2000年代初至中期)对可再生能源的支持政策得到加强,包括各种补贴、税收优惠和可再生能源发电配额制度等。能源结构调整政策逐渐成为重点,特别是在一些发达国家中,开始重视减少对化石燃料的依赖。第四阶段为“巴黎协定时期”(2015年—2020年代),随着《巴黎协定》的达成,各国对减排承诺的实施更为重视,全球减排努力加强。碳定价和市场机制得到进一步发展,越来越多的国家和地区开始建立或计划建立碳定价机制,如碳税和区域性碳交易市场。研发和技术创新支持政策愈发重要,包括对绿色氢能、碳捕捉和封存(CCS)、碳捕捉和利用(CCU)等前沿技术的研发投入。第五阶段是2020年代初期以来的新时期,随着气候变化的紧迫性加剧,对于加快能源转型、深化产业结构调整 and 推动绿色低碳技术的政策支持进一步加强。国际合作和多边机制在推进全球减排方面的作用日益凸显,如通过技术转移、绿色金融等方式支持发展中国家的减排努力。

全球应对气候变化的大势和相关的国际经验,对我国在不同发展时期的减碳政策制订有着重要的参考价值和借鉴意义。

4.3 五大城市群碳减排策略探讨

依据库兹涅兹环境曲线假设,经济发展与环境质量之间的关系在达到高度发展阶段后,预期将实现协调一致。在此阶段,对于经济发展较为成熟的城市群而言,低碳技术的广泛应用及政策创新在提高碳效率和减少排放量方面将

展现出显著的潜力^[14]。前文的分析已经揭示,长江中游、长三角、成渝城市群与京津冀、珠三角城市群在碳排放模式上表现出明显的不同。前三者呈现出相对较低的碳排放水平,这可能与这些区域在经济结构优化、能源效率提升及政策支持方面的相对优势有关。相对而言,京津冀及长三角城市群较高的碳排放水平则反映了这些地区在能源消耗及产业排放方面面临的挑战。特别是,京津冀地区由于其城市产业结构在能源消耗和重工业方面的显著特点,具备显著的碳减排潜力。而珠三角地区以高科技产业为主导,在可预见的未来将维持一种健康的低碳排放发展趋势。至于长江中游、成渝、长三角城市群,鉴于其城市产业类型的综合性和多样性,可通过市场机制有效调控碳排放速度,以实现低碳发展目标。

基于上述基本判断,下文提出促进碳减排的策略建议,旨在为未来的城市群减碳研究提供方向性思路。

(1) 技术与政策创新

首先要评估低碳技术推广的现状与潜力,尤其是京津冀、长三角城市群在工业生产与建筑领域的应用情况,以及五大城市群中新能源汽车和公共交通系统等绿色能源的推广情况。其次是从城市群层面出发,对低碳政策的创新及其实施效果进行评估。选择具有代表性的产业城市作为试点,从政策设计、目标设定、实施机制和效果评估等方面出发,建立系统化的低碳试点案例,以加快制定能够激励市场活力、促进公私部门合作,并为其他区域提供借鉴的系统化解决方案。

(2) 区域交流与合作

关注区域合作与交流,建立城市群间的碳减排合作机制和交流平台,探索如何通过共享最佳实践、协调政策措施,以及联合实施减排项目来实现协同效应。比如建立数据平台共享碳排放数据和减排技术,所有城市群都可以实时访问和共享有关碳排放的数据与减排成效,以及相关的低碳技术。在政策协调方面,以平衡碳减排责任与资源为原则,制定跨城市群的协同政策,一方面促进区域内的环保政策和

碳排放标准的统一,确保碳减排措施在整个区域内得到有效实施,防止碳排放的“泄漏”或政策差异造成的不公平竞争;另一方面,确保资源丰富和技术先进的城市群能够支持资源较少的地区。最后,可以联合实施大型碳减排项目,例如,城市群可以共同投资和建设大型的可再生能源项目,如风电和太阳能发电站,或共建区域碳捕捉和储存设施,共享减排成果和经济效益。

(3) 面向低碳的空间协同规划

针对各城市群面临的碳减排使命和挑战,需要研究制订面向未来的城市群碳减排战略规划,其中包括加强绿色低碳技术研发与创新、优化产业结构、提升能源效率、增强生态系统的保护与修复能力,以及优化区域内各层级的空间布局等多维策略措施。空间协同规划方面,在城市群层面,考虑进一步推动构建多中心、网络化、集约型的国土空间开发保护格局^[15],系统性减少因低效的区域空间布局和交通联系带来的额外碳排放;大量整合区域内规模较大的绿色基础设施,如国家公园、绿带和湿地,增强城市群的生态系统的碳汇功能。在城市层面,鼓励发展分布均衡的多中心城市结构,减少通勤需求,从而降低交通引起的碳排放^[16];在城市中心及交通枢纽周围推行高密度的混合用途开发^[17];推广生态友好型开发,充分考虑地形、水系及生态条件,利用城市区域的生态走廊和绿色缓冲区等自然元素,促进生物多样性,同时提升城市空间的碳吸收能力。

5 结语

本文通过深入分析中国五大城市群的碳排放特征与减碳路径,揭示了区域碳排放的复杂性和多样性。研究发现,虽然所有城市群在过去15年中碳排放总量均呈上升趋势,但单位GDP碳排放量呈现出显著的下降趋势,展示了经济增长与碳排放脱钩的积极迹象。本文不仅比较了五大城市群碳排放的总量与结构,还从社会经济发展、产业结构、能源使用模式等多方面分析了碳排放的关键驱动因素。

通过对比分析,本文进一步证实了城市群内部和跨城市群之间在碳减排策略和实施中存在显著差异。特别是珠三角、长三角城市群通过优化产业结构和推广低碳技术,已经取得显著的碳减排效果;而长江中游、成渝城市群则显示出碳排放控制与经济发展之间的潜在冲突,需要更为精细化的策略来平衡两者的关系。结合对国内外碳减排政策和机制的梳理和借鉴,本文探讨了针对五大城市群的减排路径,强调了减排技术应用与区域协调和政策创新的重要性。■

参考文献 References

- [1] 高国力,文扬,王丽,等. 基于碳排放影响因素的城市群碳达峰研究[J]. 经济管理, 2023, 45 (2): 39-58.
GAO Guoli, WEN Yang, WANG Li, et al. Study on carbon peak of urban clusters based on analysis of influencing factors of carbon emissions[J]. Business and Management Journal, 2023, 45(2): 39-58.
- [2] KONG F, ZHANG H, MENG X, et al. Can the policy of national urban agglomeration improve economic and environmental gains? Evidence from quasi-natural experiments with 280 cities in China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(13): 7596.
- [3] ZENG Y, ZHANG W, SUN J, et al. Research on regional carbon emission reduction in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration based on system dynamics: key factors and policy analysis[J]. Energies, 2023, 16(18): 6654.
- [4] NING X, HE Y, ZHANG J, et al. Analysis of carbon emission projections and reduction potential of resource-dependent urban agglomerations from the perspective of multiple scenarios—a case study of Hu-Bao-O-Yu urban agglomeration[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2023, 20(5): 4250.
- [5] LIU J, MENG W, HUANG B, et al. Factors influencing intergovernmental cooperation on emission reduction in Chengdu-Chongqing urban agglomeration: an evolutionary game theory perspective[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(22): 14848.
- [6] SILVA M, OLIVEIRA V, LEAL V. Urban form and energy demand: a review of energy-relevant urban attributes[J]. Journal of Planning Literature, 2017, 32(4): 346-365.
- [7] OU J, LIU X, LI X, et al. Quantifying the relationship between urban forms and carbon emissions using panel data analysis[J]. Landscape Ecology, 2013, 28(10): 1889-1907.
- [8] 舒心,夏楚瑜,李艳,等. 长三角城市群碳排放与城市用地增长及形态的关系[J]. 生态学报, 2018, 38 (17) : 6302-6313.
SHU Xin, XIA Chuyu, LI Yan, et al. Relationships between carbon emission, urban growth, and urban forms of urban agglomeration in the Yangtze River Delta[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(17): 6302-6313.
- [9] SHI K, XU T, LI Y, et al. Effects of urban forms on CO₂ emissions in China from a multi-perspective analysis[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 262: 110300.
- [10] CAI B, LIANG S, ZHOU J, et al. China high resolution emission database (CHRED) with point emission sources, gridded emission data, and supplementary socioeconomic data[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 129: 232-239.
- [11] EDWARDS A W F, CAVALLI-SFORZA L L. A method for cluster analysis[J]. Biometrics, 1965, 21(2): 362-375.
- [12] HAN F, XIE R, FANG J, et al. The effects of urban agglomeration economies on carbon emissions: evidence from Chinese cities[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 172: 1096-1110.
- [13] DODMAN D. Urban density and climate change[R]. 2009.
- [14] CREUTZIG F, BAIOCCHI G, BIERKANDT R, et al. Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2015, 112(20): 6283-6288.
- [15] 谢湘雅,张翀. “双碳”战略下上海市规划管控策略探索——基于国际经验的分析研究[J]. 上海城市规划, 2023 (3) : 71-77.
XIE Xiangya, ZHANG Chong. Research on Shanghai planning management strategy under the "carbon emissions peak and carbon neutrality": based on analysis of international experiences[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2023(3): 71-77.
- [16] 王睿,柯嘉,张赫. 基于职住分离的超大特大城市交通拥堵碳排放机理研究——以天津市“郊住城职”现象为例[J]. 上海城市规划, 2023 (6) : 33-39.
WANG Rui, KE Jia, ZHANG He. The carbon emission mechanism of traffic congestion in mega cities caused by job-housing imbalance: a case study of commuting behavior from suburban housing to urban workplaces in Tianjin[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2023(6): 33-39.
- [17] 侯晓赫,刘思睿,马涛,等. 低碳视角下中日区域交通一体化特征比较及发展策略研究——以粤港澳大湾区与东京湾区为例[J]. 上海城市规划, 2023 (6) : 40-46.
HOU Xiaohu, LIU Sirui, MA Tao, et al. Comparison of regional transport integration characteristics and development strategies of China and Japan from low-carbon perspective: a case study of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and Tokyo Bay Area[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2023(6): 40-46.