

粤港澳大湾区碳排放空间特征与碳中和策略*

李晓江 何 舸 罗 彦 黄斐玫 牛宇琛 雷晓寒 刘 菁 孙文勇

提 要 以粤港澳大湾区为研究对象,分析大湾区和城市样区两个层面的碳排放总量、碳排放效率与人口规模、经济规模、产业结构、空间形态、土地利用等方面的相关性,得出高度融合的产城关系、更合理的用地结构、更高品质的公共服务、后工业化的产业结构、较高人口素质和密度都会相应提升碳排放效率。提出建议:优化国土空间碳排放格局,控制各类用地碳排放强度和总量;加快推进生产体系向绿色低碳循环发展方向转型;全面推进低碳城区、低碳园区、低碳社区建设;进一步完善生态资源的价值核算方法,推动形成跨区域的碳补偿机制完善碳排放交易机制。

关键词 粤港澳大湾区;碳中和;碳排放效率;转型发展

中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.16361/j.upf.202201004

文章编号 1000-3363(2022)01-0027-08

作者简介

李晓江,中国城市规划设计研究院原院长,教授级高级城市规划师,全国工程勘察设计大师,3468869874@qq.com

何 舸,中国城市规划设计研究院深圳分院主任工程师,高级城市规划师

罗 彦,中国城市规划设计研究院深圳分院总规划师,教授级高级城市规划师,通信作者,68658664@qq.com

黄斐玫,中国城市规划设计研究院深圳分院主任规划师,高级工程师

牛宇琛,中国城市规划设计研究院深圳分院,工程师

雷晓寒,中国城市规划设计研究院深圳分院,工程师

刘 菁,中国城市规划设计研究院深圳分院,城市规划师

孙文勇,中国城市规划设计研究院深圳分院主任研究员,城市规划师

Spatial Characteristics of Carbon Emissions and Carbon Neutralization Strategies for Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

LI Xiaojiang, HE Ge, LUO Yan, HUANG Feimei, NIU Yuchen, LEI Xiaohan, LIU Jing, SUN Wenyong

Abstract: Taking Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area as the study area and using population data, economic data, land use data, lighting data, carbon emissions and carbon sinks data, carbon emissions and efficiency in both the Greater Bay Area and the urban sample area are studied. The correlations between total carbon emissions and carbon efficiency at different spatial, urban population and economic scales with diverse industrial structures, spatial forms and land use patterns are analyzed. The results show that a highly integrated industrial-urban relationship, more reasonable land use structure, higher quality of public services, post-industrial industrial structure, higher labor quality and population density help improve carbon emission efficiency. The following suggestions are put forward: optimizing the spatial distribution of carbon emissions and controlling carbon emission intensity and land-use size; accelerating the green and low-carbon transformation of the existing production system; comprehensively promoting the development of low-carbon urban areas, low-carbon parks and low-carbon communities; further improving the accounting method of ecological resources, promoting the regional carbon compensation mechanism, and improving the carbon emission trading mechanism.

Keywords: Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; carbon neutrality; carbon emission efficiency; transformation and development

工业革命以来,人类活动导致了全球气候变暖,威胁着世界生态安全^[1-3]。为解决全球变暖问题,从1992年签署《联合国气候变化框架公约》开始,再到《京都议定书》和《巴黎协定》的签订,世界各国经过近30年的努力,从CO₂减排到碳达峰再到碳中和,在目标与行动上逐步深入^[4-8]。截至2020年10月,全球已有127个国家和地区提出碳中和愿景,其温室气体的排放总量占全球排放量的50%以上,且经济总量占全球的比重超过40%^[9]。

中国2019年CO₂排放量约占全球的28.8%,是世界上最大的碳排放国,中国的减碳目标与行动对全球碳中和愿景的实现具有重要作用^[10]。加快绿色低碳转型和积极应对气候变化,是我国推进新型城镇化和生态文明建设的重要任务。我国2030碳达峰与2060碳中和目标的正式提出^①,对城市低碳绿色转型发展提出了更高的要求,也带来了新的

*中国工程院战略研究与咨询重大项目“我国城市发展规划及结构战略研究”子课题:“基于资源环境视角的城市规模结构优化研究”(项目编号:2021-XBZD-3)

机遇和挑战。我国城市规划行业低碳研究主要涉及能源、产业、交通、建筑等领域,研究尺度多以城市片区、城市街区为主,主要聚焦在单一维度且偏重工程技术^[11-15],缺乏从“社会—经济—自然”复合生态系统的角度出发,在更加宏观的区域尺度上来研究城市碳排放与人口和经济、结构和规模之间的关系。

改革开放以来,粤港澳大湾区的快速城镇化和工业化发展,取得了举世瞩目的成就,也带来了产业结构失衡、资源约束趋紧、环境恶化等问题^[16-18]。作为中国城镇化水平最高、经济活力最强的区域之一^[19-20],国家赋予了粤港澳大湾区实现绿色低碳循环发展、建设绿色发展示范区的使命^[21],大湾区应主动承担区域责任,加快实践并率先实现碳中和。本文以粤港澳大湾区为研究对象,基于碳排放视角,以县(区)和城市组团为基本单元,从大湾区和城市样区两个层面,探索不同空间尺度下的碳排放量、排放效率与城市人口规模、经济规模、产业结构、空间形态、土地利用方式等方面的相关性,识别出影响碳排放的关键性指标,最后提出我国区域绿色低碳发展的策略建议。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域概况

粤港澳大湾区位于珠江流域中下游,包括广东省广州市、深圳市、佛山市、东莞市、珠海市、惠州市、中山市、江门市、肇庆市以及香港特别行政区和澳门特别行政区,陆域面积约5.6万km²,2020年末总人口约8617万人,GDP超过11万亿元,城镇化率超过85%,是世界第四大湾区。研究区域属亚热带季风气候,光、热条件良好,多年平均降水量1929.8mm,多年平均气温22.5℃,自然资源丰富,是国际候鸟迁徙中转站和栖息地。

研究区域是我国最早开展低碳建设试点的地区之一,早在2010年广东省和深圳市就列入首批国家低碳试点范围^②。经过10年绿色低碳发展,广东省碳强度累计下降超44%,碳排放权交易市场年度排放配额总量达4亿t,配额规模排名全国第一、全球第三^③。

1.2 数据来源与处理

1.2.1 数据来源

使用的数据主要包括人口数据、经济数据、土地利用数据、灯光数据、碳排放和碳汇数据五大类。其中:人口数据主要来自各城市第六次(2010年)和第七次(2020年)全国人口普查公报,百度慧眼城市人口地理大数据平台(2017年、2020年)数据;经济数据来自各城市统计年鉴(2010—2020年);土地利用数据来自全球30m地表覆盖数据(GlobeLand30)(2010年、2020年);灯光数据来自NPP-VIIRS夜间灯光遥感数据(2010—2020年);碳排放和碳汇数据来自中国碳排放数据库(CEADs)(2010—2017年)^④。

1.2.2 相关数据预处理

夜间灯光数据与社会经济水平高度关联,是研究人类活动的有效数据来源^[22-23]。首先,将广东省各县(区)夜间灯光数据相加,得到与碳排放数据在空间上对应的各县(区)夜间灯光数据;其次,将县(区)夜间灯光数据与县(区)碳排放数据进行标准差标准化处理及数据拟合;最后,以夜间灯光栅格数据为基础,计算县(区)范围内各栅格的碳排放量。数据拟合结果(图1)显示,以县(区)为单位的碳排放量与夜间灯光数据呈现较为密切的关系($R^2=0.8835$)。

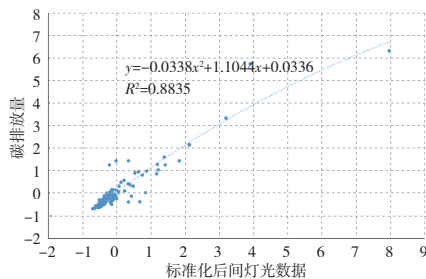


图1 广东省县(区)碳排放与灯光数据拟合结果

Fig.1 Fitting results of county (district) carbon emissions and lighting data in Guangdong province

2 研究方法

因内地与港澳地区数据统计口径和数据来源存在一定差异,本文研究区主要指粤港澳大湾区中的广东省9市(部分数据含港澳地区),分别以县(区)和城市组团为基本单元,从大湾区、城市样区两种尺度上开展研究。

2.1 大湾区尺度

首先,以县(区)为基本单元,从大湾区层面分析碳排放与碳汇的空间分异规律,并从“社会—经济—自然”复合生态系统的角度出发,计算各县(区)人口、建设用地、经济、碳排放总量的多年变化情况,识别空间分布特征,以从整体层面探索碳排放与经济、人口总量及规模之间的关系。

其次,进一步计算各县(区)碳排放总量、单位GDP碳排放量、单位人口碳排放量、产业占比、学历人数占比等,探索碳排放效率与空间特征、产业结构、人口教育结构等相关性,以反映处于不同发展阶段地区之间碳排放效率的差异。

本研究所提出的碳排放效率是指城市(地区)在单位人力生产要素投入和经济产出水平下的CO₂排放程度,主要包括单位人口碳排放量、单位GDP碳排放量两方面指标。某城市(地区)的单位人口碳排放量和单位GDP碳排放量越低,其碳排放效率越高,反之则碳排放效率越低。

2.2 样区尺度

以城区组团为基本单元,计算各城市样区单位GDP碳排放量、单位人口碳排放量、从事行业人数占比等,进一步探索样区碳排放与人口密度、收入水平、产业结构相关性,以反映不同密度和强度的大中小城市之间的差异。

组团是城市的基本组成单元,研究区域城镇化水平较高,连片的城市建成区组团面积一般为30—50km²。本研究基于建设用地分布与人口核密度分析,以50km²的矩形为单元,选取3个不同区位、不同中心级别的样区,共计17个,具体如下(图2)。

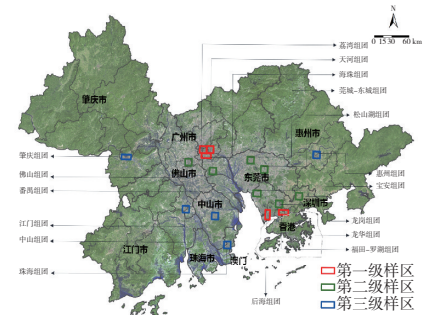


图2 研究区域示意

Fig.2 Location of the study area

第一级：广州、深圳中心城区，包括荔湾组团、天河组团、海珠组团、福田-罗湖组团、后海组团，共5个样区。

第二级：广州、深圳外围城区以及佛山、东莞城区，包括深圳龙华组团、龙岗组团、宝安组团，广州番禺组团，东莞莞城-东城组团、松山湖组团，佛山城区组团共7个样区。

第三级：珠海、惠州、中山、江门、肇庆中心城区组团，共5个样区。

3 结果与分析

3.1 大湾区社会经济发展趋势

3.1.1 大湾区城市形态变化特征

2010—2020年，研究区城乡建设用地大量增长，面积合计增加约4094 km²，增幅达79.98%^⑤（图3）。建设用地主要集中分布于环珠江口城市的中心区，尤其是珠江口东岸沿海地区建设开发量较大，而研究区外围城市受地形影响，建设用地增长较少。10年间，研究区建设用地增长最为突出的地区主要在城市边界地区，如广佛边界、深莞边界地区等。

采用聚类和异常值分析法（Anselin Local Moran's I）进行空间自相关分析^[24]，距离阈值设置为50 km，以评估建设用地总体集聚程度。结果（图4）显示，研究区大体上可划分为高密度连绵区（深莞惠连绵区、广佛中连绵区）、中等城市组团（珠海、江门、惠阳、中山中部及东莞北部等）、小规模建设集聚地区（肇庆、惠州中心城区、乡镇中心区等）等3类集聚区，总体上形成了高度集聚连绵和多中心组团的区域建设格局。

3.1.2 大湾区人口变化特征

2010—2020年，研究区人口持续大规模集聚，10年间增长近2200万人，增幅达39%，其增量与增幅在全国城市群中均处领先地位。从空间分布（图5）上看，人口增长主要集中在研究区的核心城市。从核心城市内部来看，人口增长量与增长率最高的地区为城市外围与城市边界地区，包括深圳宝安、龙华、龙岗等原经济特区外地区，东莞临深地区，佛山南海，广州白云、南沙等。同时，核心城市的中心区人口已相对饱和，呈现增长缓慢或向外疏解的态势，如深圳福田、广州荔湾等。外围城市的边界地

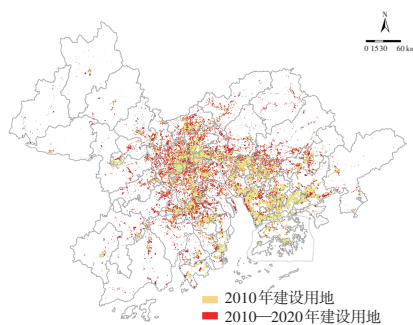


图3 2010—2020年建设用地覆盖变化
Fig.3 Construction land change from 2010 to 2020

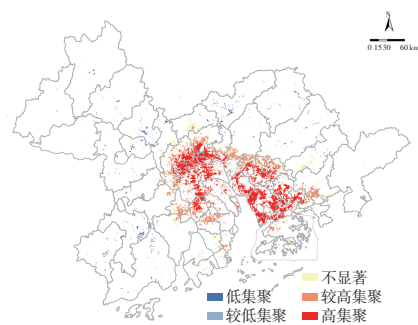


图4 基于建设用地的空间自相关分析
Fig.4 Spatial autocorrelation analysis based on construction land

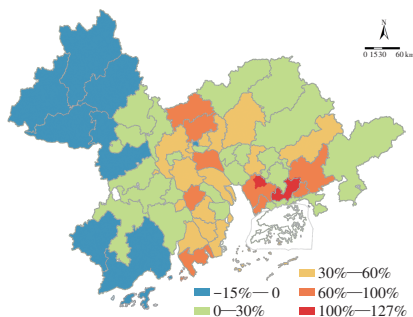


图5 2010—2020年县（区）人口增长率
Fig.5 Population growth rate of counties (districts) from 2010 to 2020

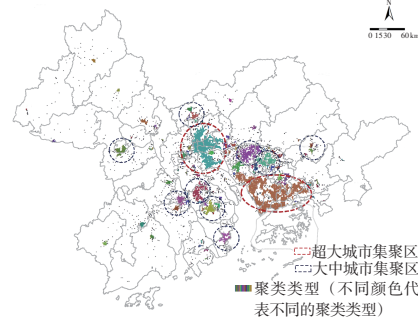


图6 基于居住人口密度的空间聚类分析
Fig.6 Spatial clustering analysis based on population density

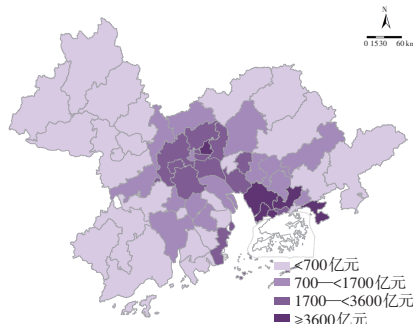


图7 2020年县（区）GDP总量
Fig.7 GDP of counties (districts) in 2020

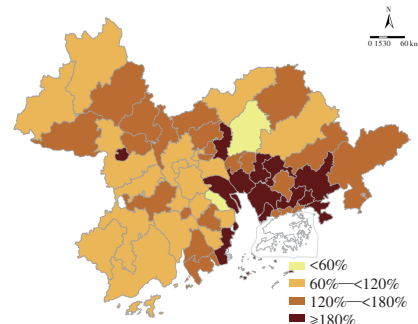


图8 2010—2020年县（区）GDP变化率
Fig.8 GDP change rate of counties (districts) from 2010 to 2020

区则人口收缩较为明显，如惠州东部、肇庆西北部、江门西南部等。

将人口密度纳入考量，采用基于密度的OPTICS聚类算法^[25]，根据点的空间位置，将空间上最接近的点相邻排列，根据相邻点距离划分组团。结果（图6）显示，研究区聚类形成了2个超大城市集聚区、9个大中城市集聚区和若干个中小城镇集聚区的总体格局。

3.1.3 大湾区经济变化特征

2020年，研究区GDP超过2000亿元的县（区）共有15个（图7），其中广州6个，深圳6个。研究区经济总量高度集

聚于广州、深圳两大核心城市，并且呈两大中心向外围递减的趋势，区域发展差距十分明显。

2010—2020年间，环珠江口各城市都在谋划环湾区发展的重点区域，广州南沙新区、中山翠亨新区、东莞滨海湾地区、深圳大空港地区等，成为各城市的发展重点，环珠江口的节点多数定位于金融、商务、会展、信息、文化创意等创新服务功能，致力于打造国际性城市平台和航运航空枢纽。从县（区）GDP增幅（图8）来看，环珠江口地区的增幅大多都在180%以上，是研究区经济

发展最快的区域,体现了大湾区各城市产业向高端化转型的趋势和国际化程度的提升。

3.2 区域碳排放总体特征

3.2.1 碳源与碳汇空间分布特征

基于CEADs计算结果(图9),2017年研究区碳排放总量约3.69亿t,陆地植被固碳总量约1.75亿t,固碳量约占排放量的47%,研究区整体存在碳赤字。从碳源与碳汇空间分布上来看:城镇是碳排放的主要空间,单位面积碳排放量高的地区集中于环珠江口,特别是广州、深圳、香港等经济高度发达的核心城市;碳汇空间主要分布于外围生态屏障地区,森林是固碳的主力。

3.2.2 碳排放指标特征

与长三角城市群、京津冀城市群相对比(表1),研究区单位GDP碳排放量、人均碳排放量均低于长三角和京津冀地区,低碳发展指标在三大城市群中较优。

从研究区自身碳排放总量(图10,左)来看,2017年研究区碳排放量较高的县(区)集中在环珠江口区域,主要为香港、佛山、惠州、广州等城市;从重点碳排放区域上来看,珠江口东侧碳排放量总体高于西侧,特别是深圳宝安区、光明区、龙华区,香港油尖旺区、屯门,澳门,广州城区,东莞市等。在县(区)碳排放总量前十位中,有5个县(区)均为深圳市下辖。

从研究区自身碳排放效率(图10,中、右)来看,2017年环珠江口区域碳排放效率高于外围地区,整体上由外围向中部地区递减。单位GDP碳排放量较高的县(区)主要集中在研究区西部及东部的外围区域,包括惠州、江门、肇庆城区、珠海西区等;单位人口碳排放量较高的县(区)主要集中在大湾区外围的惠州、肇庆、江门等区域。

2010—2017年,研究区碳排放总量增长1464.38万t,但各县(区)之间碳排放量变化存在较大差异(图11)。研究区核心城市的中心城区碳排放总量减少,其中:广州越秀、天河、荔湾,深圳福田、罗湖,佛山禅城等已经高度城镇化的地区碳排放总量年际变化较小;广州白云、深圳宝安、佛山南海等城区外围组团,碳排放总量先升后降,且年际变化较

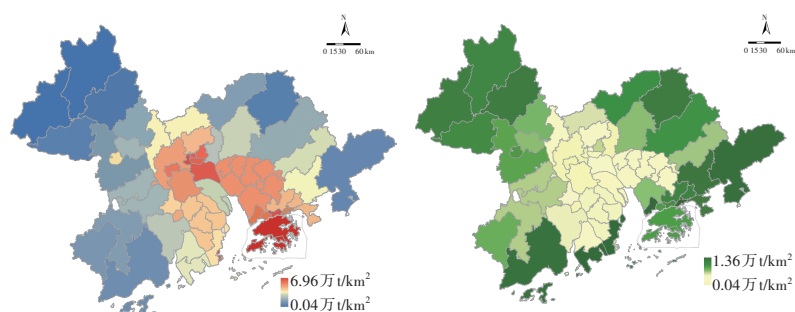


图9 2017年县(区)单位面积碳排放量(左)、单位面积植被固碳量(右)
Fig.9 Per unit area carbon emissions of counties (districts) in 2017 (left), per unit area vegetation carbon sequestration in 2017 (right)

表1 2017年国内三大城市群碳排放指标一览^⑥

Tab.1 Overview of carbon emission index for three major urban agglomerations of China in 2017

区域	碳排放总量/万t	单位GDP碳排放量/(t/万元)	人均碳排放量/(t/人)
粤港澳大湾区	36 900	0.361	5.305
长三角城市群	157 051	0.804	6.780
京津冀城市群	89 258	1.107	7.936

资料来源:依据中国碳核算数据库(CEADs)、各省市和地区统计年鉴进行统计。

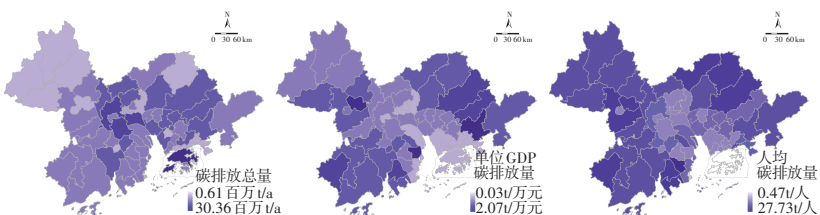


图10 2017年县(区)碳排放总量分布(左)、单位GDP碳排放量分布(中)、单位人口碳排放量分布(右)

Fig.10 Distribution of carbon emissions of counties (districts) in 2017, per unit GDP carbon emissions (middle), per capita carbon emissions (right)

资料来源:根据中国城市规划设计研究院深圳分院《粤港澳大湾区碳中和年度研究报告》相关图纸改绘。

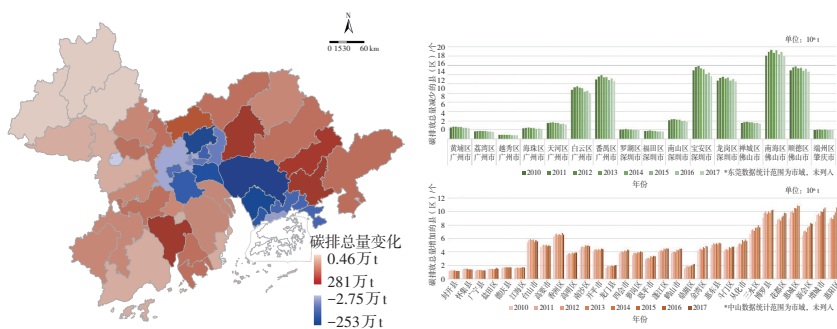


图11 2010—2017年县(区)碳排放总量变化

Fig.11 Change in total amount of carbon emissions of counties (districts) from 2010 to 2017

大。广佛、深莞中心城区以外的县(区)碳排放总量多呈波动增长趋势,其中,广州花都、增城,江门新会,惠州惠阳,肇庆鼎湖、四会等地区,碳排放总量增长速率较快。

3.2.3 样区碳排放特征

2017年,研究区碳排放总量最高的

样区为深圳、广州中心城区的5个样区,其次为广深外围的番禺、龙岗以及珠海、东莞、佛山、中山等中间圈层的过渡区,而外围的江门、肇庆、惠州碳排放总量最低(图12,左)。在单位GDP碳排放量(图12,中)上,GDP总量最高的广深中心城区的5个样区单位GDP碳排放

量最低,其次为龙岗、佛山、龙华、珠海、宝安等中间圈层的过渡区,其余样区单位GDP碳排放量均较高。在人均碳排放量(图12,右)上,人口密度最高的广州海珠、荔湾均低于2 t/人,其次为佛山、深圳、江门、珠海和东莞中心,人均碳排放量为2—3 t/人,其余样区人均碳排放量较高。

研究区各样区面积相同,但人口密度和经济总量分布不均,反映了样区在规模和结构上的差异,进而影响了碳排放水平的变化。总体上,样区的碳排放总量和碳排放效率,以广深中心城区为中心,向中间圈层的过渡区和外围区域依次降低。

3.3 区域碳排放影响因素

3.3.1 碳排放效率与空间相关性

依据各县(区)单位人口碳排放量(简称人均)和单位GDP碳排放量(简称产均),将县(区)划分为人均低、产均低,人均高、产均低,人均低、产均高,人均高、产均高等4类。结果(图13)显示:广州、深圳、东莞、佛山等环珠江口核心城市的中心城区,以及位于外围生态屏障区的惠东、怀集、封开等县,单位人口碳排放量和单位GDP碳排放量均较低;中间圈层的过渡区一般单位人口碳排放量较高、单位GDP碳排放量较低;外围生态屏障区以生态空间为主,除惠东、怀集、封开、广宁碳排放效率较高外,其他县(区)效率一般或较差。总体上,城市高密度地区与生态地区碳排放效率高于其他区域。

3.3.2 碳排放效率与人口相关性

以大学(大专及以上学历)人数占比来表征地区教育结构,探索县(区)碳排放效率与人口结构相关性。结果(图14)显示,研究区各县(区)高等教育人口比重越低,单位GDP碳排放越高。位于环珠江口的深圳、广州、珠海的城区高等教育人口比重高、单位GDP碳排放低;过渡区及外围区的佛山、中山、东莞等高等教育人口比重相对核心圈层较低、单位GDP碳排放低;位于外围圈层的江门、惠东等高等教育人口比重低、单位GDP碳排放高。

在样区尺度上,研究区人均碳排放量与城镇人口密度呈较好的线性关系

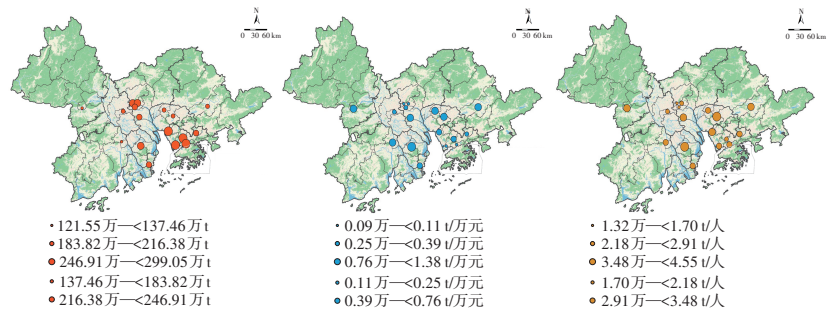


图12 样区碳排放总量分布(左)、单位GDP碳排放量分布(中)、人均碳排放量分布(右)
Fig.12 Distribution of carbon emissions of samples (left), per unit GDP carbon emissions (middle), per capita carbon emissions (right)

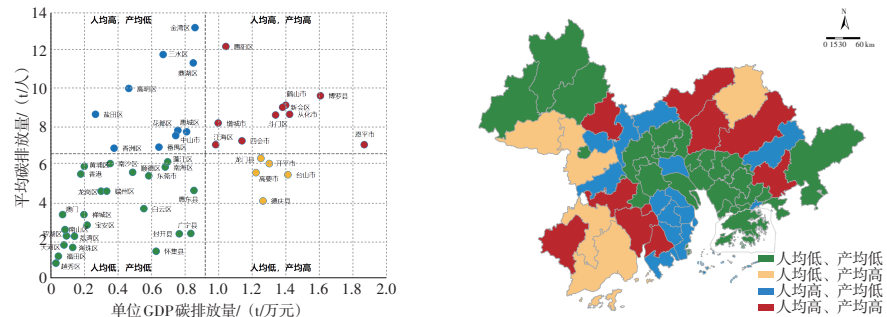


图13 人均碳排放量和单位GDP碳排放量及其空间分布
Fig.13 Per capita carbon emissions and per unit GDP carbon emissions and spatial distribution

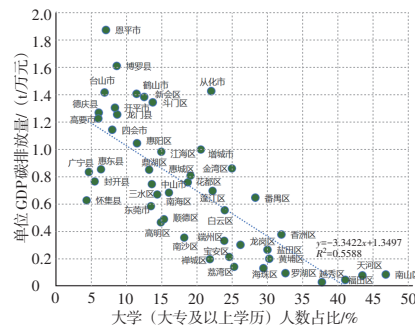


图14 单位GDP碳排放与教育结构相关性
Fig.14 Correlation between per unit GDP carbon emission and educational structure

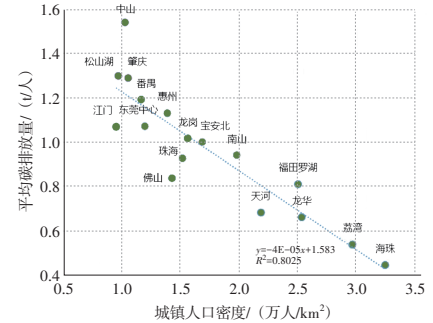


图15 人均碳排放量与城镇人口密度相关性
Fig.15 Correlation between per capita carbon emissions and population density

(图15),随着人口密度上升,人均碳排放量逐渐下降。根据各样区在坐标轴上的位置,可将样区分为3类:第一类为高人口密度、低人均碳排放地区,包括广州海珠、荔湾、天河,深圳福田-罗湖、龙华,均为研究区核心城市的中心城区;第二类为中等人口密度、中等人均碳排放地区,包括广州番禺,深圳南山、宝安、龙岗,东莞中心,佛山,惠州,江门,珠海等样区;第三类为低人口密度、高人均碳排放地区,包括东莞松山湖、肇庆、中山等样区,其中松山湖属

科技产业新城,肇庆和中山为老城区。

3.3.3 碳排放效率与经济相关性

用第二产业比重来表征研究区产业结构特征。结果(图16)表明,研究区各县(区)呈现第二产业比重越高,人均碳排放越高的特征。香港、广州、深圳及东莞等环珠江口城市的中心城区,以服务业为主导,第二产业比重较低,人均碳排放较低;中间圈层县(区)多以第二产业为主导,但人均碳排放有所差异,除深圳北部和佛山外,一般人均碳排放较高;外围县(区)如肇庆北部、

惠东人均碳排放较低,但二者产业结构有所差异,肇庆北部二、三产比重均较低,而惠东三产比重高。

此外,第二产业比重相近的区域,单位GDP碳排放量与本地主导产业(图17,表2)相关。如深圳龙岗、宝安与江门台山、新会,第二产业比重均在50%以上,但单位GDP碳排放量相差4—7倍。深圳龙岗、宝安以信息通信技术等产业为主导,尽管属于第二产业,单位GDP碳排放仍处于较低水平,而江门的台山、新会以铝业、药业、皮业等资本密集型产业为主,碳排放效率较低。

地区人员所从事的职业占比可以在一定程度上反映该地区的产业结构,进而体现产业结构与碳排放效率的关系。在样区尺度上,研究区样区单位GDP碳排放与生产操作人员占比呈正相关性(图18),制造业比重较高的地区单位GDP碳排放也较高。总体上,从广州、深圳中心城区,到东莞、珠海、佛山等中间圈层过渡区,再到中山、肇庆、江门等外围地区,制造业比重逐渐升高,单位GDP碳排放量也依次增加。

4 结论与建议

4.1 结论

碳排放效率与城镇空间布局具有相关性。碳排放效率总体上呈现由都市圈核心区向外围地区递减的趋势。从土地利用结构来看,城市核心区相比外围地区,具有更高比重的居住用地比例,更高密度的公共服务配套设施、路网密度和绿地公园空间。高度融合的产城关系、更合理的用地结构、更高品质的城市服

务配套都会相应提升碳排放效率。

碳排放效率与区域产业结构也高度关联。进入工业化成熟阶段,尤其是生产性服务业比重较高的城市,整体的碳排放效率要高于其他城市。如果对其内部进一步细分可以发现:一方面,第二产业占比越高的区域,碳排放效率越低;另一方面,第二产业比重相似的区域,其碳排放效率则随着高科技制造业比重升高而升高。

碳排放效率与区域人口密度和受教育程度也呈现相关性。更高比例的高等教育人口、更高人口密度的区域有更高的碳排放效率。区域产业结构的差异导致了高等教育人口比重的差异,第三产业尤其是生产性服务业发达的地区,往往需要更多的高等教育人才,高等教育人才更倾向低碳生活方式。人口密度高的地区,人均碳排放比较低,有利于实现土地的集约节约利用,减少单位建设面积碳排放量。

4.2 建议

4.2.1 优化国土空间开发利用

优化国土空间开发格局,强化国土

空间规划和用途管控,从严控制建设用地规模扩张。重点优化建设用地结构,提升工矿用地、能源基础设施等高强度碳源空间效率,合理减少工矿用地等高强度碳源面积,大幅增加林地、湿地等碳汇面积。强化城市空间管制,促进城市建设集约紧凑布局,促进土地使用功能有效混合,利用城市形态的组织和优化影响城市的交通需求和交通效率。通过优化国土空间碳排放格局,合理布局各类碳源、碳汇空间位置和规模,控制各类用地碳排放强度和总量。

4.2.2 建立绿色低碳产业体系

加快推进生产体系向绿色低碳循环发展方向转型。对于工业主导型城市(第二产业主导),要聚焦能源优化和产业结构升级,积极运用低碳技术改造和提升传统产业,提高资源利用效率,协同推进大气污染控制与二氧化碳减排;对于消费主导型城市(第三产业主导),聚焦建筑、交通领域低碳发展与碳排放控制,引领消费侧改革,改变消费行为,建立新型达峰示范区;对于综合发展型城市(第二产业第三产业相对均衡),聚焦工业、能源、建筑、交通四大重点部

表2 部分县(区)单位GDP碳排放量与主导产业^⑦

Tab.2 Per unit GDP carbon emissions and leading industries in selected counties (districts)

区域	第二产业比重/%	单位GDP碳排放量/(t/万元)	主导产业
龙岗区	67.0	0.3	信息通信技术、人工智能、电子元器件、新能源、生物医药等
宝安区	54.6	0.2	以通信设备、计算机及其他电子设备制造业为主,形成手机、激光、模具、智能可穿戴四大主导产业
台山市	53.2	1.4	以劳动密集型、资本密集型产业为主,骨干企业包括富华重工、金桥铝业、特一药业、浩源皮业等
新会区	56.5	1.4	大健康、新材料、先进制造等

资料来源:数据来源于中国碳核算数据库(CEADs)、相关地区国民经济和社会发展规划/统计公报。

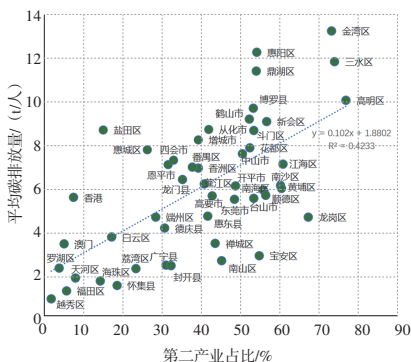


图16 单位人口碳排放和第二产业占比相关性
Fig.16 Correlation between per capita carbon emissions and proportion of secondary industry

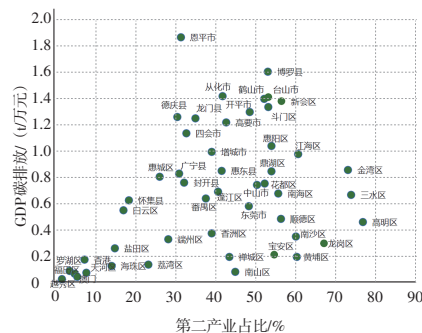


图17 单位GDP碳排放和第二产业占比相关性
Fig.17 Correlation between per unit GDP carbon emissions and proportion of secondary industry

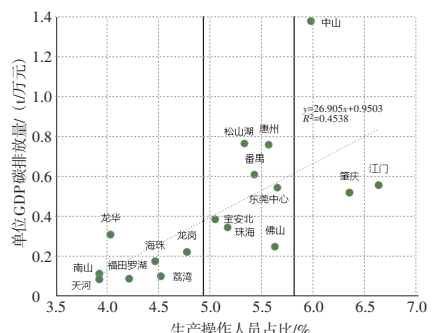


图18 单位GDP碳排放与生产操作人员占比相关性
Fig.18 Correlation between per unit GDP carbon emissions and proportion of production operators

门的碳排放控制,构建多元化产业体系;对于生态优先型城市(生态良好的重点生态功能区),聚焦生态保护和生态修复,建立产业生态化和生态产业化的生态经济体系,发展创新型绿色经济。

4.2.3 推进低碳绿色城乡建设

推进城市管理向城市治理转变,建设碳排放智慧监测评估平台,建立城市低碳规划设计仿真模型与决策支持系统。全面推进低碳城区、低碳园区、低碳社区建设。加快城市公共建筑高标准绿色化改造,逐步推进住宅建筑绿色化改造。提高公共交通服务水平,推进城市老旧小区、园区有机更新,加快城市基础设施绿色化、低碳化改造,建设绿色低碳的基础设施网络。开展海绵城市建设和生态修复,实施污染地块风险管控和治理修复,探索建立城市生态用地的增存挂钩式“绿色折抵”机制。

4.2.4 制定差异化的政策体系

制定应对气候变化领域的地方性法规,城市间联合制定区域协同机制,明确不同城市碳达峰和碳中和的差异化时序。对于城镇化水平和经济水平较高的区域中心城市,应承担更多责任,率先实现碳中和。进一步完善生态资源的价值核算方法,推动形成跨区域的碳补偿机制,完善碳排放交易机制,充分发挥全国和地方碳排放权交易所的平台功能,构建以市场为主导的减排机制。依托绿色金融改革创新试验区,建立完善区域绿色金融合作工作机制。

感谢中国城市规划设计研究院课题研究团队所有成员的智慧 and 贡献,文中观点不代表研究的最终结论。

注:文中未注明资料来源的图表均为作者绘制。

注释

- ① 2020年9月22日,中国国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上表示:“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,争取在2060年前实现碳中和。”
- ② 2010年7月,国家发展改革委印发《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知(发改气候[2010]1587号)》,确定在广

东、辽宁、湖北、陕西、云南五省和天津、重庆、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳、保定八市开展首批国家低碳试点工作。2011年11月,国家发展改革委办公厅印发《关于开展碳排放权交易试点工作的通知(发改办气候[2011]2601号)》,同意在北京市、天津市、上海市、重庆市、湖北省、广东省及深圳市开展碳排放权交易试点。

- ③ 数据引自:赵细康,曾云敏.奋力打造生态文明建设的广东样板[J].环境,2020(8):14-16;陈昊.广东碳排放交易继续领跑全国[J].环境,2021(1):34-36。
- ④ 数据来源:CHEN J, GAO M, CHENG S, et al, 2020 County-level CO₂ emissions and sequestration in China 1997-2017. Scientific Data.
- ⑤ 依据GlobeLand30数据计算,按分类80:人造地表类型进行统计。

参考文献 (References)

- [1] IPCC. Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge & New York: Cambridge University Press, 2014.
- [2] 秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展, 2014(7): 874-883. (QIN Dahe. Climate change science and sustainable development[J]. Progress in Geography, 2014(7): 874-883.)
- [3] 王宝强.《欧洲城市对气候变化的适应》报告解读[J]. 城市规划学刊, 2014(4): 64-70. (WANG Baoqiang. An interpretation and analysis of "urban adaptation to climate change in Europe"[J]. Urban Planning Forum, 2014(4): 64-70.)
- [4] 巢清尘,张永香,高翔,等.巴黎协定:全球气候治理的新起点[J]. 气候变化研究进展, 2016(1): 61-67. (CHAO Qingchen, ZHANG Yongxiang, GAO Xiang, et al. Paris agreement: a new start for global governance on climate[J]. Climate Change Research, 2016(1): 61-67.)
- [5] 李慧明. 构建人类命运共同体背景下的全球气候治理新形势及中国的战略选择[J]. 国际关系研究, 2018(4): 3-20+152-153. (LI Huiming. A new situation of global climate governance and China's strategic choices in the context of building a community of common destiny for mankind[J]. Journal of International Relations, 2018(4): 3-20+152-153.)
- [6] 李俊峰,李广.碳中和:中国发展转型的机遇与挑战[J]. 环境与可持续发展, 2021(1): 50-57. (LI Junfeng, LI Guang. Carbon Neutrality: opportunities and challenges for development transformation in China[J].

Environment and Sustainable Development, 2021(1): 50-57.)

- [7] 熊健,卢柯,姜莹莹,等.“碳达峰、碳中和”目标下国土空间规划编制研究与思考[J]. 城市规划学刊, 2021(4): 74-80. (XIONG Jian, LU Ke, JIANG Ziyang, et al. Study and thoughts on territorial spatial planning under the goal of "carbon emissions peak and carbon neutrality"[J]. Urban Planning Forum, 2021(4): 74-80.)
- [8] 吴志强,刘晓畅,赵刚,等.空间效益导向替代简单扩张:城市治理关键评价指标[J]. 城市规划学刊, 2021(5): 15-22. (WU Zhiqiang, LIU Xiaochang, ZHAO Gang, et al. Replacing expansion-oriented with efficiency-led spatial goals: key evaluation indicators for urban governance[J]. Urban Planning Forum, 2021(5): 15-22.)
- [9] 王灿,张雅欣.碳中和愿景的实现路径与政策体系[J]. 中国环境管理, 2020(6): 58-64. (WANG Can, ZHANG Yaxin. Implementation pathway and policy system of carbon neutrality vision[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2020(6): 58-64.)
- [10] 胡鞍钢. 中国实现2030年前碳达峰目标及主要途径[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2021(3): 1-15. (HU Angang. China's goal of achieving carbon peak by 2030 and its main approaches[J]. Journal of Beijing University of Technology(Social Sciences Edition), 2021(3): 1-15.)
- [11] 叶祖达. 碳排放量评估方法在低碳城市规划之应用[J]. 现代城市研究, 2009, 24(11): 20-26. (YIP S C T. Application of carbon dioxide emission audit to the planning of low carbon cities[J]. Modern Urban Research, 2009, 24(11): 20-26.)
- [12] 杨沛儒. 生态容积率(EAR): 高密度环境下城市再开发的能耗评估与减碳方法[J]. 城市规划学刊, 2014(3): 61-70. (YANG P P J. EAR(Ecological Area Ratio): assessment of energy performance and reduction for urban redevelopment in high-density environment[J]. Urban Planning Forum, 2014(3): 61-70.)
- [13] 匡晓明,陈君.基于要素管控思路的生态控制方法在控规中的应用研究:以上海市崇明县陈家镇国际实验生态社区为例[J]. 城市规划学刊, 2015(4): 55-62. (KUANG Xiaoming, CHEN Jun. The application of ecological controlling methods to detailed regulatory planning based on planning element control and management: the case of Chongming Chenjiazhen international ecological community[J]. Urban Planning Forum, 2015(4): 55-62.)
- [14] 郭尚霖,孙一民.广州地区街道微气候模拟及改善策略研究[J]. 城市规划学刊, 2016(1): 56-62. (WU Shanglin, SUN Yimin. Numerical simulation and improvement

- strategy for the street micro-climate in the Guangzhou area[J]. Urban Planning Forum, 2016(1): 56-62.)
- [15] 郑德高, 吴浩, 林辰辉, 等. 基于碳核算的城市减碳单元构建与规划技术集成研究[J]. 城市规划学刊, 2021(4): 43-50. (ZHENG Degao, WU Hao, LIN Chenhui, et al. The formulation of urban carbon reduction unit and integrated planning methodology based on carbon accounting[J]. Urban Planning Forum, 2021(4): 43-50.)
- [16] 胡志仁, 龚建周, 李天翔, 等. 珠江三角洲城市群生态安全评价及态势分析[J]. 生态环境学报, 2018(2): 304-312. (HU Zhiren, GONG Jianzhou, LI Tianxiang, et al. Ecological security assessment and situation analysis of Pearl River Delta urban agglomeration[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018(2): 304-312.)
- [17] 周春山, 王宇渠, 徐期莹, 等. 珠三角城镇化新进程[J]. 地理研究, 2019(1): 45-63. (ZHOU Chunshan, WANG Yuqu, XU Qiyang, et al. The new process of urbanization in the Pearl River Delta[J]. Geographical Research, 2019(1): 45-63.)
- [18] 江伟康, 吴隽宇. 基于地区GDP和人口空间分布的粤港澳大湾区生境质量时空演变研究[J]. 生态学报, 2021(5): 1747-1757. (JIANG Weikang, WU Junyu. Spatio-temporal evolution of habitat quality in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area based on regional GDP and population spatial distribution[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021(5): 1747-1757.)
- [19] 王伟, 朱小川, 梁霞. 粤港澳大湾区及扩展区创新空间格局演变及影响因素分析[J]. 城市发展研究, 2020(2): 16-24. (WANG Wei, ZHU Xiaochuan, LIANG Xia. Evolution of innovation spatial patterns and analysis of influencing factors in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Urban Development Studies, 2020(2): 16-24.)
- [20] 王凯, 陈明. 中国绿色城镇化的认识论[J]. 城市规划学刊, 2021(1): 10-17. (WANG Kai, CHEN Ming. The epistemology of China's green urbanization[J]. Urban Planning Forum, 2021(1): 10-17.)
- [21] 许乃中, 奚蓉, 杨昆. 突出四大创新: 粤港澳大湾区绿色低碳发展对策研究[J]. 环境保护, 2019(23): 52-53. (XU Naizhong, XI Rong, YANG Kun. Highlight four innovations: study on the countermeasures of green and low-carbon development in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Environmental Protection, 2019(23): 52-53.)
- [22] ZHAO Min, CHENG Weiming, ZHOU Chenghu, et al. GDP spatialization and economic differences in south China based on NPP-VIIRS nighttime light imagery[J]. Remote Sensing, 2017(7): 673-688.
- [23] 李翔, 朱江, 尹向东. 基于夜间灯光数据的中国经济发展时空格局特征[J]. 地球信息科学学报, 2019(3): 417-426. (LI Xiang, ZHU Jiang, YIN Xiangdong. Spatio-temporal pattern of Chinese economy development based on nightlight data[J]. Journal of Geo-information Science, 2019(3): 417-426.)
- [24] 黄亚平, 周敏. 武汉都市区制造业空间演化特征、机理及引导策略研究[J]. 城市规划学刊, 2016(6): 54-64. (HUANG Yaping, ZHOU Min. A study on the characteristics, mechanism and strategy of manufacturing space economy in Wuhan metropolitan area[J]. Urban Planning Forum, 2016(6): 54-64.)
- [25] 巫细波, 赖长强. 基于POI大数据的城市群功能空间结构特征研究: 以粤港澳大湾区为例[J]. 城市观察, 2019(3): 44-55. (WU Xibo, LAI Changqiang. Study on spatial structure characteristics of urban agglomeration based on POI big data: taking Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area as an example[J]. Urban Insight, 2019(3): 44-55.)

修回: 2022-01