

国土空间规划视角下广东省碳排放量影响因素分析及管控建议

肖百霞, 范诗彤, 姚梦汝, 刘文凤, 周祥胜

【摘要】国土空间规划是城市低碳发展的重要政策工具,但当前的研究缺乏从规划指标体系、用地用海分类等视角分析碳排放量与国土空间规划之间的影响关系。选取国土空间总体规划中与人口、经济、建设用地相关的22个要素,建立面板岭回归模型,探讨广东省各地级市碳排放量影响因素及其呈现的规律特征,以期为城市精准定位规划管理中碳排放管控的关键领域。结果表明:①城镇化率和人口密度是影响碳排放量的主要人口影响因素,人口向城镇地区的集聚有助于提升城市的碳排放效率;②规模以上工业企业增加值、人均GDP是影响碳排放量的主要经济因素,规模以上工业企业的主导产业类型会影响相关性的正负特征,广东省人均GDP超过10 000美元的城市,其人均GDP与碳排放量已达到强脱钩状态;③住宅用地面积、工业用地面积与人均建设用地面积是影响碳排放量的主要建设用地因素,建设用地结构对碳排放量的影响强于建设用地总量,“双碳”目标下广东省建设用地管控的重点应由“控总量”转为“优结构”。

【关键词】碳排放;影响因素;人口;经济;建设用地;国土空间规划

【文章编号】1006-0022(2025)04-0127-08 **【中图分类号】**JTU984、X24、F299.2 **【文献标志码】**B

【引文格式】肖百霞,范诗彤,姚梦汝,等.国土空间规划视角下广东省碳排放量影响因素分析及管控建议[J].规划师,2025(4):127-134.

Influencing Factors and Management Suggestions on Carbon Emissions in Guangdong Province from the Perspective of Territorial Spatial Planning/XIAO Baixia, FAN Shitong, YAO Mengru, LIU Wenfeng, ZHOU Xiangsheng

【Abstract】 Territorial spatial planning serves as a critical policy instrument for promoting low-carbon development in urban areas. However, existing researches have inadequately addressed the relationship between carbon emissions and territorial spatial planning from the perspectives of planning indicators and land use types. To bridge this gap, 22 elements related to population, economy, and construction land within territorial spatial planning were selected to construct a ridge regression model. This model aimed to investigate the influencing factors and characteristics of carbon emissions across different cities in Guangdong Province, thereby identifying key areas for carbon emission control in urban planning and management. The findings reveal that: First, urbanization rate and population density are the primary demographic factors affecting carbon emissions. Population concentrating in urban areas contributes to enhanced carbon emission efficiency in cities. Second, the added value of large-scale industries and per capita GDP represent the main economic drivers influencing carbon emissions. The type of large-scale industries determines the positive or negative correlation characteristics. Cities with per capita GDP exceeding 10 000 US dollars have reached a strong decoupling status between per capita GDP and carbon emissions. Third, the area of residential land, industrial land, and per capita construction land are the principal construction land factors impacting carbon emissions in Guangdong Province. The influence of construction land structure on carbon emissions is more significant than the total amount of construction land. Under the goals of carbon peaking and carbon neutrality, the focus of construction land regulation in Guangdong Province should shift from "controlling the total amount" to "optimizing the structure".

【Keywords】 carbon emissions; influencing factors; population; economics; construction land; territorial spatial planning

【基金项目】 国家自然科学基金项目(52378062、51908114)、广东省基础与应用基础研究基金项目(2024A1515011987)

【作者简介】 肖百霞, 硕士, 高级工程师, 现任职于广东省城乡规划设计研究院科技集团股份有限公司。315824414@qq.com

范诗彤, 硕士, 工程师, 现任职于广东省城乡规划设计研究院科技集团股份有限公司。

姚梦汝, 硕士, 工程师, 现任职于广东省城乡规划设计研究院科技集团股份有限公司。

刘文凤, 硕士, 高级工程师, 现任职于广东省城乡规划设计研究院科技集团股份有限公司。

周祥胜, 通信作者, 硕士, 教授级高级工程师, 现任职于广东省城乡规划设计研究院科技集团股份有限公司。3627213@qq.com

0 引言

应对气候变化,力争在 2030 年前实现碳达峰、2060 年前达成碳中和,是我国新时期高质量发展的重要战略方向。2021 年 10 月发布的《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》明确指出,要强化绿色低碳发展规划引领,将碳达峰、碳中和目标要求全面融入经济社会发展中长期规划;优化绿色低碳发展区域布局,构建有利于碳达峰、碳中和的国土空间开发保护新格局。人口集聚、经济发展、土地开发利用等各类社会经济活动是城市碳排放的主要来源,各类国土空间要素对碳排放量具有系统性影响。因此,为构建低碳发展的空间格局,有必要从国土空间规划的视角厘清碳排放量的影响因素关系,明确减碳的重点领域和关键环节,支撑碳排放量的精准管控和有效施策。

现有研究已对碳排放量的影响因素进行了系统解析,识别出与碳排放量紧密相关的因素分为人口^[1-2]、经济^[3-4]、土地利用^[5-6]、技术进步^[3, 7]、能源^[8-9]等类型。受地区发展阶段和社会经济特征的影响,不同地区呈现出差异化的碳排放量影响主导因素和驱动机制,需要因地制宜实施差异化的规划策略。然而,当前研究对地区减碳工作的重点聚焦在优化社会经济活动要素方面(如能源结构调整、产业结构升级、经济投资导向优化等),针对城乡空间发展要素(如人口空间分布、建设用地规模与结构、交通出行模式等)的减碳路径研究尚显不足,缺乏从国土空间资源统筹视角分析人口、经济、建设用地与碳排放量的关系,对于以国土空间规划作为碳排放管控抓手的实施路径尚未成熟^[10-14],其理论体系

与实践框架仍需系统完善。

广东省作为全国经济及能源消费大省,当前正处于工业化与城镇化快速发展阶段,其内部城市发展水平差异大,导致影响碳排放量的因素和机制呈现差异性,为全国不同发展阶段的城市提供了参考样本。为厘清广东省各地级市碳排放量的影响机制,针对性地提出国土空间规划视角下碳排放管控策略,此次研究以广东省 21 个地级市为对象,从国土空间要素视角出发,系统研究广东省地级市碳排放量与影响因素的关系,总结碳排放量在人口、经济、建设用地等不同影响因素作用下的规律特征,为城市精准制定减碳措施提出政策建议,以期助力广东省实现碳达峰、碳中和目标。

1 国土空间规划视角下碳排放量影响因素的变量选取与研究方法

1.1 变量选取

研究聚焦于与碳排放量密切相关的人口、经济、建设用地 3 类国土空间要素,依据以下原则选取评估变量:一是确保指标选取的学术认同度,从国内外相关文献中筛选与人口、经济、建设用地相关的碳排放量影响因素评估指标^[1-9];二是保障所选指标与国土空间规划编制体系有较强的关联程度,依据《市级国土空间总体规划编制指南(试行)》中的规划指标体系表和中心城区城镇建设用地结构规划表、《国土空间规划城市体检评估规程》(TD/T 1063—2021)中的体检评估指标体系表等文件要求确定指标;三是保障所选指标的数据可获取性,确保数据来源与规划编制采用的基础数据源保持一致。通过系统筛选,最终选取 22 个碳排放量影响因素评估指标作为评估对象。见表 1。

1.2 数据来源

研究所采用的 2009—2020 年广东省 122 个区县碳排放量数据来源于中国碳核算数据库(CEADs);人口、经济相关指标涉及的基础数据,以及客运总量与货运总量数据来源于广东省 21 个地级市统计年鉴;建设用地相关面积统计数据来源于 2009—2020 年广东省土地利用变更调查成果数据库。

对于建设用地相关面积统计数据,研究采用遥感影像解译等技术进行地类细分,并参考第三次全国国土调查土地利用现状分类标准,将建设用地具体划分为工业用地、住宅用地、商业服务业用地、公共管理与公共服务用地、交通运输用地等类型。

1.3 研究方法

为探究广东省人口、经济、建设用地与城市碳排放量的作用关系,研究开展以下实证分析:①选取 22 个与国土空间规划相关的核心指标,构建碳排放量影响因素评估指标体系;②采用共线性检验、皮尔逊相关性分析,剔除自变量指标体系中与碳排放量无关或紊乱的指标,筛选出各地级市与碳排放量具有显著相关性的影响因素;③通过自适应岭半径的面板岭回归模型,构建 21 个地级市多影响因素与碳排放量关系模型,分析各影响因素对碳排放量的作用方向与影响程度;④通过 Tapio 脱钩模型分析部分影响因素与碳排放量数据变化的协同程度。

基于变量选取的碳排放量影响因素评估指标,构建各地级市多影响因素与碳排放量的关系式,整理得到如下公式:

$$\ln CE = \sum (\alpha_i \times \ln I_i) + CON \quad (1)$$

式中:CE 为城市碳排放量, i 代表影响因素评估对象, α_i 代表第 i 个影响因素的影响系数, $\ln I_i$ 代表第 i 个影响因素的数

表 1 广东省碳排放量影响因素评估指标体系

序号	类别	影响因素	英文缩写	指标选取来源
1	人口	城镇化率 /%	UR	既有文献引用；《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》；《国土空间规划城市体检评估规程》（TD/T 1063—2021）
2		人口总量 / 万人	P	既有文献引用；《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》；《国土空间规划城市体检评估规程》（TD/T 1063—2021）
3		人口密度 /（人 /km ² ）	PDEN	对照由国家层面批准的城市国土空间总体规划必选指标“中心城区人口密度”设置相关指标；《国土空间规划城市体检评估规程》（TD/T 1063—2021）
4		城镇人口密度 /（人 /km ² ）	URPDEN	对照由国家层面批准的城市国土空间总体规划必选指标“中心城区人口密度”设置相关指标
5		乡村人口密度 /（人 /km ² ）	RUPDEN	对照由国家层面批准的城市国土空间总体规划必选指标“中心城区人口密度”设置相关指标
6	经济	地区生产总值 / 亿元	GDP	既有文献引用
7		GDP 增长率 /%	VGDP	既有文献引用
8		人均 GDP/ 元	PGDP	既有文献引用
9		第二产业增加值 / 亿元	VSEC	既有文献引用
10		第三产业增加值 / 亿元	VTER	既有文献引用
11		规模以上工业企业增加值 / 亿元	PVIND	既有文献引用
12		单位 GDP 能耗	EI	既有文献引用；《国土空间规划城市体检评估规程》（TD/T 1063—2021）
13	建设 用地	建设用地总量 /km ²	LAND	既有文献引用；《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》；《国土空间规划城市体检评估规程》（TD/T 1063—2021）
14		工业用地面积 /km ²	IND	《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》
15		商业服务业用地面积 /km ²	COM	《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》
16		住宅用地面积 /km ²	RES	《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》
17		公共管理与公共服务用地面积 /km ²	PUB	《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》
18		交通运输用地面积 /km ²	TRA	《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》
19		人均道路面积 /m ²	PTRA	对照《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》设置的规划指标体系表中的“道路网密度”设置相关指标；《国土空间规划城市体检评估规程》（TD/T 1063—2021）
20		人均建设用地面积 /m ²	PLAND	既有文献引用；对照《市级国土空间总体规划编制指南（试行）》设置的规划指标体系表中的“人均城镇建设用地面积”设置相关指标
21		客运总量	PAS	既有文献引用；对照《国土空间规划城市体检评估规程》（TD/T 1063—2021）中的“对外交往”设置相关指标
22		货运总量	FRE	既有文献引用；对照《国土空间规划城市体检评估规程》（TD/T 1063—2021）中的“对外贸易”设置相关指标

值水平，CON为常数项。

2 广东省碳排放量的人口影响因素分析

此次研究模型的运算结果显示，城镇化率（涉及 7 个城市）、城镇人口密度（涉及 11 个城市）和乡村人口密度（涉及 12 个城市）是广东省各地级市碳排放量的主要人口影响因素，而人口总量仅与

广州一个城市的碳排放量有显著关系，这表明人口的空间分布与碳排放量的相关性更为显著。

城镇化率与碳排放量存在相关性，而人口集聚规模则影响该相关性的正负特征。城镇化率与碳排放总量呈负相关的城市包括广州、佛山、江门、肇庆等珠三角城市及汕头，这些城市的常住人口均超过 400 万；城镇化率与碳排放总量呈正相关的城市则为汕尾和清远，这

两座城市的常住人口总量少于 400 万。结果表明，当广东地区常住人口规模超过某一拐点后，城镇人口的进一步集聚将有利于提升城市碳排放效率。具体来说，常住人口规模低于拐点时，城镇人口集聚会促使碳排放量增加；常住人口规模高于拐点时，城镇人口集聚则有利于降低碳排放量。

当人口集聚达到一定程度时，人口密度与碳排放量呈现负相关关系。人口

密度与碳排放总量呈负相关的城市包括深圳、广州、佛山、中山和揭阳，这些城市的人口密度均超过 1 000 人 /km²。结果表明，当广东地区的人口密度超过一定集聚程度后，人口的进一步集聚将有助于减少碳排放。

处于城镇化不同发展阶段的城镇，人口因素与碳排放量的关系存在显著差异 (图 1)。城镇人口密度与碳排放量呈负相关的城市包括清远、肇庆、河源、云浮和惠州，这些城市大多位于粤北和珠三角欠发达地区，且大部分城市的城镇化率低于 50%。城镇人口密度与碳排放量呈正相关的城市包括珠海、潮州、韶关、阳江、揭阳和梅州，其中大部分城市的城镇化率高于 50%。乡村人口密度与碳排放量呈正相关的城市包括广州、潮州、汕尾、清远、梅州和茂名，这些城市大多位于粤东西北地区且城镇化率低于 65%。结果表明，城镇化率不同的城市，其城镇人口密度和乡村人口密度对碳排放量的作用存在显著差异。特别是处于城镇化快速发展阶段 (城镇化率为 30%~50%) 的城市，推动人口向城镇集聚，提高城镇人口密度并降低乡村人口密度，将有助于减少碳排放。

总体而言，在人口方面的碳排放量影响因素中，城镇化率和人口密度是广东省各地级市碳排放量的主要影响因素。人口因素对碳排放量的作用关系呈现出分阶段特征，对于常住人口超过 400 万、人口密度超过 1 000 人 /km² 或处于城镇化快速发展阶段的城镇，推动人口向城镇集聚有利于降低城市的碳排放量。见表 2。

3 广东省碳排放量的经济影响因素分析

此次研究模型的运算结果显示，规

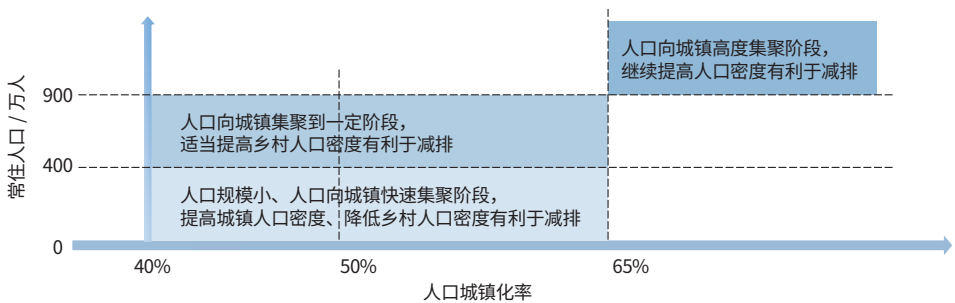


图 1 人口因素与碳排放量关系

表 2 广东省各地级市人口因子回归结果

城市	城镇化率 (UR)	人口总量 (P)	人口密度 (PDEN)	城镇人口密度 (URPDEN)	乡村人口密度 (RUPDEN)
广州市	-0.37	0.15	-0.01	—	0.01
深圳市	—	—	-0.25	—	—
东莞市	—	—	—	—	-0.37
珠海市	—	—	—	0.39	—
佛山市	-2.17	—	-0.62	—	—
中山市	—	—	-0.13	—	—
江门市	-0.23	—	—	—	-0.24
肇庆市	-0.04	—	—	-0.36	—
惠州市	—	—	—	-0.22	-0.29
汕头市	-2.94	—	0.59	—	-0.11
汕尾市	5.69	—	—	—	2.86
潮州市	—	—	—	0.54	0.01
揭阳市	—	—	-0.62	0.55	—
湛江市	—	—	—	—	-0.21
茂名市	—	—	—	—	0.07
阳江市	—	—	—	0.62	—
梅州市	—	—	—	1.16	0.57
河源市	—	—	—	-0.32	—
清远市	0.12	—	—	-0.99	0.70
云浮市	—	—	—	-0.38	-0.64
韶关市	—	—	—	0.06	—

模以上工业企业增加值 (涉及 16 个城市)、人均 GDP (涉及 12 个城市) 是影响城市碳排放量的主要经济因素，而地区生产总值仅与广州一个城市的碳排放量有显著关系，这表明城市产业结构及其主导产业类型与碳排放量的相关性更为突出。

广东省大部分城市的规模以上工业企业增加值与碳排放量呈现正相关关系，而以高新技术产业为规模以上工业企业

主导产业的深圳、东莞则反之，表明规模以上工业企业产业结构的绿色升级有助于控制城市的碳排放量。佛山、中山、江门、肇庆、惠州等珠三角城市，以及潮州、揭阳、湛江、茂名、河源、云浮、韶关等粤东西北的大部分城市，其规模以上工业企业仍以电气机械和器材制造业、金属制品业、纺织业等传统制造业为主导产业。当这些城市的规模以上工

业企业增加值增加时,碳排放量也相应呈现上升趋势。相反,深圳和东莞通过实现产业结构的高端化,有效提升了土地利用和经济产出效率,其规模以上工业企业以计算机、通信和其他电子设备制造业等高新技术产业为主导产业,规模以上工业企业增加值与碳排放量呈负相关,在绿色低碳高质量发展方面处于全省领先地位。结果表明,规模以上工业企业产业结构的绿色升级有助于缓解由城市发展客观需求所带来的碳排放增长趋势。见表3。

广东省经济发展水平较高的城市,其单位GDP碳排放效率相应处于较高水平。参照国际标准(以20 000美元和8 000美元的人均GDP为界限,划分发

达国家、发展中国家及贫困国家),将广东省的21个地级市分为发达、发展中、欠发达3种类型。同时,基于各城市单位GDP碳排放量的最高值与最低值,将各城市单位GDP碳排放平均划分为“低、中、高”3个等级。结果表明,人均GDP较高的城市,其单位GDP碳排放量相对较低,其中单位GDP碳排放量的低值集中于人均GDP超过10 000美元的城市,包括广州、深圳、东莞、佛山和珠海。见表4。

基于广东省各地级市人均GDP与碳排放量的Tapio脱钩模型分析显示,城市经济发展水平越高,人均GDP与碳排放总量的脱钩程度越明显,需要重点提升经济欠发达城市的碳排放效率。广东省内

多数城市已实现人均GDP与碳排放量的脱钩状态,其中人均GDP超过10 000美元的发达城市(如深圳、珠海、佛山、东莞)已进入强脱钩状态,表现为随着人均GDP的增加,碳排放量呈现减少的趋势。与此同时,部分欠发达城市(如阳江、潮州、揭阳等)的碳排放量仍保持高位增长,局部年份的碳排放量增速逐渐接近甚至超过人均GDP增速,表明经济欠发达城市应着重加强对城市碳排放量的引导与管控。见表5。

总体而言,在广东省各地级市碳排放量的经济影响因素中,规模以上工业企业增加值与人均GDP占据主导地位。一方面,广东省多数城市的规模以上工业企业增加值与碳排放量呈现正相关关

表3 广东省各地级市经济因子回归结果

城市	地区生产总值(GDP)	GDP增长率(VGDP)	人均GDP(PGDP)	第二产业增加值(VSEC)	第三产业增加值(VTER)	规模以上工业企业增加值(PVIND)	单位GDP能耗(EI)
广州市	-0.03	—	—	—	—	—	—
深圳市	—	—	-0.15	—	—	-0.06	—
东莞市	—	—	—	—	—	-0.13	—
珠海市	—	—	0.24	—	—	—	—
佛山市	—	—	-1.05	—	0.94	0.36	—
中山市	—	—	—	—	—	0.17	-0.25
江门市	—	—	0.10	—	—	0.24	—
肇庆市	—	—	—	—	0.06	0.25	0.13
惠州市	—	—	—	—	-0.50	0.40	—
汕头市	—	—	0.59	—	—	-0.03	—
汕尾市	—	—	3.74	—	5.72	—	1.94
潮州市	—	—	—	—	-0.05	0.45	0.23
揭阳市	—	—	—	—	—	0.58	1.04
湛江市	—	—	-0.18	—	—	0.19	—
茂名市	—	—	0.04	—	—	0.03	—
阳江市	—	—	0.55	—	—	-0.01	-0.08
梅州市	—	—	0.29	—	-0.02	—	0.02
河源市	—	—	—	—	—	0.08	—
清远市	—	—	-0.73	—	0.90	—	0.32
云浮市	—	—	—	—	0.12	0.03	—
韶关市	—	—	-0.02	—	—	0.07	—

表4 广东省各地级市人均GDP与单位GDP碳排放量

城市	人均GDP/美元	人均GDP分级	第二产业占GDP比重/%	规模以上工业企业增加值/亿元	单位GDP碳排放量/(吨/万元)	单位GDP碳排放分级
深圳市	20 709.89	发达	40.10	8 022.73	0.15	低
珠海市	20 071.99	发达	44.20	1 139.37	0.60	低
广州市	15 944.14	发展中	29.69	4 131.02	0.34	低
佛山市	14 525.97	发展中	58.26	4 335.33	0.51	低
东莞市	10 803.86	发展中	54.67	3 618.19	0.54	低
中山市	9 781.85	发展中	51.46	1 073.72	0.86	中
惠州市	9 068.64	发展中	53.00	1 850.49	1.05	中
江门市	8 139.48	发展中	45.70	991.68	1.18	高
肇庆市	6 701.96	欠发达	42.50	605.68	0.95	中
茂名市	6 640.01	欠发达	35.75	848.49	0.57	低
阳江市	6 157.21	欠发达	36.01	366.78	1.05	中
汕头市	5 948.26	欠发达	47.87	834.13	0.96	中
韶关市	5 480.04	欠发达	35.00	307.23	1.24	高
湛江市	5 399.94	欠发达	37.50	742.90	0.76	低
清远市	5 201.27	欠发达	32.98	398.19	1.45	高
潮州市	5 090.68	欠发达	51.20	318.29	1.21	高
云浮市	4 644.44	欠发达	33.70	128.90	1.17	中
河源市	4 614.19	欠发达	35.25	279.18	1.18	高
汕尾市	4 540.57	欠发达	38.60	193.32	1.28	高
揭阳市	4 413.49	欠发达	41.89	496.38	1.11	中
梅州市	3 714.59	欠发达	32.43	194.78	1.49	高

系，引导规模以上工业企业产业结构的绿色升级有助于控制城市碳排放量；另一方面，城市经济发展水平越高，人均GDP与碳排放总量的脱钩程度越显著，表明广东省需要重点提升经济欠发达城市的碳排放效率。

4 广东省碳排放量的建设用地影响因素分析

此次研究模型的运算结果显示，人均建设用地面积（涉及10个城市）、住宅用地面积（涉及10个城市）和工业用地面积（涉及9个城市）是广东省各地级市碳排放量的主要建设用地影响因素，而建设用地总量仅与深圳、茂名、河源3个城市的碳排放量呈现显著关系，表明建设用地结构与碳排放量的相关性更加显著。

与全国层面的研究结果不同，广东省的建设用地结构对碳排放量的影响要强于建设用地总量。以往研究表明，全国层面的建设用地面积与碳排放量关系紧密，当建设用地总量增加1倍时，碳排放量约增加1.7倍，即建设用地总量的增长会加速碳排放量的增加^[15]。然而本次研究发现，在广东省的省级及其地级市层面，建设用地总量与碳排放量的相关性均不显著，城市碳排放量主要受一种或几种类型建设用地面积的影响。

从21个地级市建设用地碳排放量影响因素的共性特征来看，住宅用地面积、人均建设用地面积、工业用地面积与多个城市的碳排放量存在显著相关关系。其中：住宅用地面积、工业用地面积与大部分城市的碳排放量呈正相关；人均建设用地面积对城市碳排放量的影响存在差别，与碳排放量呈正相关的城市多为粤东西北城市（如江门、汕尾、揭阳、

湛江、茂名、阳江），这表明珠三角外围城市的绿色低碳发展水平有待提升，需要提高建设用地利用效率，强化土地的节约集约利用。

对于不同国土开发强度的城市，影响碳排放量的建设用地类型存在显著差异（图2）。国土开发强度低于10%的城市，碳排放量主要受工业用地面积的影响；国土开发强度在10%~30%的城

市，碳排放量主要受住宅用地面积和商业服务业用地面积的影响；国土开发强度高于30%的城市，碳排放量与用地类型的关系不紧密。

总体而言，在建设用地方面的碳排放影响因素中，建设用地结构与人均建设用地面积是广东省各地级市碳排放量的主要影响因素。一方面，不同城市与碳排放量显著相关的主导建设用地类型

表5 广东省各地级市人均GDP与碳排放量脱钩状态

城市	2009—2011年		2012—2014年		2015—2017年	
	状态	系数	状态	系数	状态	系数
广州市	弱脱钩	0.67	弱脱钩	0	弱脱钩	0.12
深圳市	弱脱钩	0.42	强脱钩	-0.30	强脱钩	-0.21
东莞市	弱脱钩	0.69	强脱钩	-0.38	强脱钩	-0.13
珠海市	弱脱钩	0.43	弱脱钩	0.14	强脱钩	-0.03
佛山市	扩张负脱钩	2.73	强脱钩	-0.09	强脱钩	-0.09
中山市	弱脱钩	0.59	强脱钩	-0.74	强脱钩	-0.20
江门市	弱脱钩	0.45	弱脱钩	0.38	弱脱钩	0.18
肇庆市	弱脱钩	0.35	弱脱钩	0	弱脱钩	0.14
惠州市	弱脱钩	0.49	弱脱钩	0.13	弱脱钩	0.37
汕头市	弱脱钩	0.67	弱脱钩	0.18	弱脱钩	0.47
汕尾市	弱脱钩	0.35	弱脱钩	0.10	弱脱钩	0.66
潮州市	弱脱钩	0.46	弱脱钩	0.15	增长连结	0.82
揭阳市	弱脱钩	0.46	弱脱钩	0.42	增长连结	1.20
湛江市	弱脱钩	0.37	弱脱钩	0	弱脱钩	0.21
茂名市	弱脱钩	0.29	弱脱钩	0.11	弱脱钩	0.40
阳江市	弱脱钩	0.66	弱脱钩	0.19	扩张负脱钩	1.70
梅州市	弱脱钩	0.48	弱脱钩	0.07	弱脱钩	0.29
河源市	弱脱钩	0.63	弱脱钩	0.13	弱脱钩	0.10
清远市	弱脱钩	0.52	弱脱钩	0.02	弱脱钩	0.10
云浮市	弱脱钩	0.47	弱脱钩	0.21	弱脱钩	0.24
韶关市	弱脱钩	0.44	弱脱钩	0.01	弱脱钩	0.04

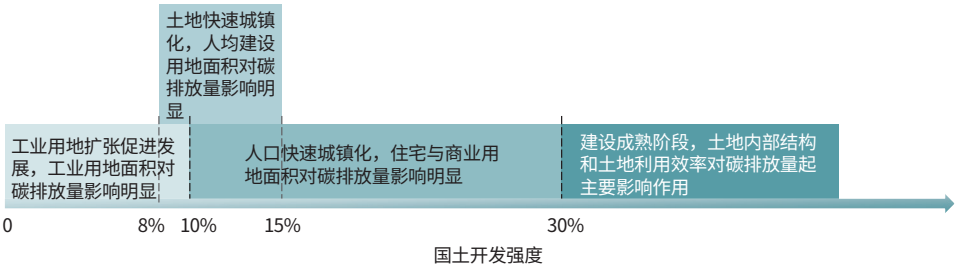


图2 建设用地因素与碳排放量关系

各不相同，但住宅用地面积、工业用地面积、人均建设用地面积对广东省各地级市碳排放量的影响最为显著；另一方面，建设用地结构对广东省各地级市碳排放量的影响强于建设用地总量，这表明在“双碳”目标下，广东省建设用地管控的重点应由“控总量”转变为“优结构”。见表 6。

5 国土空间规划视角下的碳排放量管控政策建议

通过研究广东省各地级市碳排放量与城市人口、经济、建设用地等国土空间规划要素的关系，得到广东省 21 个地级市碳排放量影响因素的规律特征，由

此提出国土空间规划视角下的碳排放量管控政策建议。

(1) 优化国土空间规划指标体系，增加碳排放管控相关指标。依据城市碳排放量影响因素的分析结果，建议在不同城市的国土空间总体规划指标体系中增补差异化的碳排放管控指标，通过优化人口空间布局、提升国土空间开发效率、调整建设用地结构等措施，加强对城市碳排放量的有效管控。例如，结合中山市碳排放量影响因素模型，识别出“交通运输用地面积”是主要的碳排放量影响因素，建议增设“绿色交通出行比例”作为规划管理指标，鼓励引导提高绿色交通出行比例，从而降低交通运输用地面积增长对城市碳排放量的影响。

(2) 适当引导人口向大城市集聚，实施差异化的人口与用地资源配套政策。鉴于人口因素对碳排放量的作用关系具有分阶段特征，需要实施差异化的资源要素配置策略，合理引导城市人口的集聚程度、空间分布与城镇化率水平朝着有利于提升城市碳排放效率的方向发展。结合分析结果，推动常住人口规模和人口密度较高或处于城镇化快速发展阶段的城市人口向城镇集聚，有助于降低城市碳排放量。建议加强保障超大城市、特大城市、大城市的公共服务设施和基础设施用地供给，提升公共服务设施品质，以支撑人口持续集聚；对于其他常住人口规模和人口密度相对偏低的中小城市，建议进一步放宽落户限制，加快

表 6 广东省各地级市建设用地因子回归结果

城市	建设用地总量 (LAND)	工业用地面积 (IND)	商业服务业用地面积 (COM)	住宅用地面积 (RES)	公共管理与公共服务用地面积 (PUB)	交通运输用地面积 (TRA)	人均道路面积 (PTRA)	人均建设用地面积 (PLAND)	客运总量 (PAS)	货运总量 (FRE)
广州市	—	0.28	—	0.16	0.60	—	—	—	—	—
深圳市	0.87	—	—	—	—	—	—	—	—	—
东莞市	—	—	-1.34	—	—	—	—	-1.11	—	—
珠海市	—	—	—	—	—	0.33	—	—	—	—
佛山市	—	—	—	0.06	—	—	—	—	—	—
中山市	—	—	—	—	—	0.05	—	—	—	—
江门市	—	—	—	0.45	—	—	—	0.17	—	—
肇庆市	—	0.30	—	—	—	—	—	—	—	—
惠州市	—	—	1.10	—	—	—	—	-0.47	—	—
汕头市	—	0.71	-0.06	-0.23	—	—	—	—	—	—
汕尾市	—	—	—	5.62	—	—	—	3.32	—	—
潮州市	—	—	—	—	—	—	1.22	—	—	—
揭阳市	—	—	0.17	0.04	—	—	—	0.81	0.11	—
湛江市	—	0.51	-0.31	0.39	—	—	—	0.15	—	—
茂名市	0.23	—	0.49	0.32	—	—	—	0.18	—	—
阳江市	—	-0.48	—	—	—	—	—	0.51	-0.04	—
梅州市	—	0.54	—	0.54	—	—	1.01	—	—	—
河源市	0.57	0.21	—	—	—	—	-0.14	—	0.35	-0.14
清远市	—	—	—	—	—	—	-1.58	—	—	—
云浮市	—	0.09	—	—	0.15	—	—	-1.22	—	—
韶关市	—	0.74	0.61	0.55	-2.39	0.92	—	-1.07	—	—

引导农业转移人口落户城镇, 并提高农业转移人口市民化质量, 倡导绿色低碳的生活方式。

(3) 根据影响城市碳排放量的主导用地类型, 因地制宜制定建设用地减碳政策。由于不同城市影响碳排放量的主导建设用地类型各异, 需要按照“一城一策”的方式制定差异化的建设用地减碳政策。对于广东省内国土开发强度低于 10% 的城市, 应重点加强对工业用地的碳排放评价与监管, 通过土地指标优惠等方式, 鼓励引进绿色低碳产业, 推动城市经济绿色低碳高质量发展; 对于国土开发强度处于 10%~30% 的城市, 应重点提高住宅用地和商业服务业用地的碳排放效率, 鼓励建设绿色建筑、零碳社区、绿色商场等, 推行绿色低碳的生活方式。

(4) 探索与“双碳”目标相结合的国土空间用途管制方式, 加强建设用地碳排放评价与监管。一方面, 探索与碳排放管控相衔接的土地供应政策与供后监管机制。针对不同用地类型与行业类型, 开展建设用地碳排放评估工作, 研究制定城市建设用地碳排放强度标准。在用地供给环节, 探索将各类建设用地碳排放强度 (万吨 CO_2/km^2) 等土地碳排放效率指标作为建设用地审批的前置条件之一; 在供后监管环节, 推动发展改革、自然资源、生态环境、工业信息、商务等多部门联合建立用地供后监管机制, 支持地方与工业企业签订工业用地供后监管协议, 将碳排放强度指标纳入供后监管范围。另一方面, 制定与减排降碳成效挂钩的土地激励政策。将建设用地碳排放强度、单位建设用地碳排放下降率等土地碳排放效率相关指标纳入各地级市政府管理绩效考核体系, 对减排成效显著的地级市给予一定的土地指

标奖励, 加快形成减排降碳的激励约束机制。

6 结束语

此次研究针对当前国土空间规划与碳排放管理衔接尚不紧密的情况, 以广东省为研究对象, 开展了国土空间规划视角下的城市碳排放量影响因素实证研究, 统筹构建了人口、经济、建设用地的 3 类国土空间要素与城市碳排放量之间的关系框架, 揭示了广东地区碳排放量影响因素的特征, 为制定城市碳排放管控政策提供了分析支撑, 对于促进国土空间规划管理与碳排放管理的有效融合具有借鉴意义。在下一阶段的研究中, 可以考虑广东省内不同城市在地理区域、产业结构、发展阶段等方面存在的差异, 进一步探讨不同社会经济发展水平城市的碳排放量影响因素的规律特征, 并深化对城市碳排放影响作用驱动机制的分析研究。

[参考文献]

[1] 张帆, 徐宁, 吴锋. 共享社会经济路径下中国 2020—2100 年碳排放预测研究 [J]. 生态学报, 2021(24): 9691-9704.

[2] 顾张锋, 徐丽华, 马淇蔚, 等. 浙江省都市区碳排放时空演变及其影响因素 [J]. 自然资源学报, 2022(6): 1524-1539.

[3] 李建豹, 黄贤金. 基于空间面板模型的碳排放影响因素分析: 以长江经济带为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2015(10): 1665-1671.

[4] 李在军, 尹上岗, 姜友雪, 等. 长三角经济增长与碳排放异速关系及形成机制 [J]. 自然资源学报, 2022(6): 1507-1523.

[5] 李玉玲, 李世平, 祁静静. 陕西省土地利用碳排放影响因素及脱钩效应分析 [J]. 水土保持研究, 2018(1): 382-390.

[6] 杨国清, 朱文锐, 文雅, 等. 20 年来广东省土地利用碳排放强度与效率空间分

异研究 [J]. 生态环境学报, 2019(2): 332-340.

[7] 王勇, 许子易, 张亚新. 中国超大城市碳排放达峰的影响因素及组合情景预测: 基于门限-STIRPAT 模型的研究 [J]. 环境科学学报, 2019(12): 4284-4292.

[8] 夏楚瑜. 基于土地利用视角的多尺度城市碳代谢及“减排”情景模拟研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2019.

[9] 关敏捷, 袁艳红, 冉木希, 等. 基于 STIRPAT 模型的山西省能源碳排放影响因素及峰值预测 [J]. 中国煤炭, 2021(9): 48-55.

[10] 崔金丽, 朱德宝. “双碳”目标下的国土空间规划施策: 逻辑关系与实现路径 [J]. 规划师, 2022(1): 5-11.

[11] 王智勇, 胡纯广, 张毅, 等. 湖北省国土空间碳排放格局特征与优化对策 [J]. 规划师, 2022(1): 24-31.

[12] 李禅, 肖百霞. 国土空间规划中广东省“碳达峰、碳中和”目标的传导路径研究 [J]. 规划师, 2022(7): 66-71.

[13] 李春慧, 胡林, 王晓宁, 等. 基于“双碳”目标的城乡规划策略 [J]. 规划师, 2022(1): 12-16.

[14] 王昆. 绿色低碳导向的近郊城镇组团空间规划策略: 以苏南地区 N 组团为例 [J]. 规划师, 2022(12): 100-104.

[15] 宇恒可持续交通研究中心, 中国国土勘测规划院, 生态环境部环境规划院. 国土空间用地结构对大气污染物与碳排放的影响研究 [R]. 2021.

[收稿日期] 2024-09-03