

# 低碳交通视角下国家级新区总体空间布局研究

田达睿<sup>1,2</sup>, 熊 乘<sup>3</sup>, 郭晓然<sup>4</sup>, 李月嫦<sup>1</sup>, 卫雨欣<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西部绿色建筑国家重点实验室, 陕西 西安 710055;  
3. 贵阳市城乡规划设计研究院, 贵州 贵阳 550081; 4. 青岛市城阳区城市管理发展中心, 山东 青岛 266109)

**摘要:** 新区作为当前城市空间发展的重要形式, 是探索低碳城市空间布局与模式的前沿实践地。以国家级新区为研究样本, 利用出行方式距离与能耗系数法计算样本新区的交通出行碳排放量, 并转化为人均、地均和产均碳排放强度, 综合反映城市新区的出行碳排放水平, 据此择取低碳新区的较优样本; 借助空间自相关和空间句法等方法构建关键指标, 测度城市用地分布、道路网络、绿色开敞空间等要素, 比较分析低碳新区样本的空间布局特征; 在此基础上从各类建设用地疏解、绿色开敞空间有机、道路系统高效等层面提出城市新区总体空间低碳化优化策略, 为西部“一带一路”沿线城镇新区绿色发展与规划建设提供经验借鉴。

**关键词:** 交通出行碳排放; 国家级新区; 西部“一带一路”; 低碳化空间布局

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2022)06-0847-09

## Research on overall spatial layout of state-level new areas from the perspective of low-carbon transportation

TIAN Darui<sup>1,2</sup>, XIONG Cheng<sup>3</sup>, GUO Xiaoran<sup>4</sup>, LI Yuechang<sup>1</sup>, WEI Yuxin<sup>1</sup>

(1. School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. State Key Laboratory of Green Building in Western China, Xi'an 710055, China;

3. Guiyang Urban Planning & Design Institute, Guiyang 550081, China;

4. Qingdao Chengyang District Urban Management And Development Center, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** As an important form of urban space development at present, the new area is a frontier practice place to explore the spatial layout and mode of low-carbon cities. Taking the state-level new areas as the research samples, the travel mode and energy consumption coefficient method are used to calculate the traffic carbon emissions of the new areas samples, which are converted into carbon emission intensity per capita, per land and per GDP, comprehensively reflecting the travel carbon emission level of the urban new areas, and based on this, a better sample of low-carbon new areas is selected. With the help of spatial autocorrelation and spatial syntax, the key indices are constructed to measure the distribution of urban land use, road network, green open space and other factors, and the spatial layout characteristics of low-carbon new area samples are compared and analyzed. On this basis, the low-carbon optimization strategy of the overall space of the new urban districts is proposed from the aspects of various construction land dispersal, organic green open space and efficient road system, which provides experience for the green development and planning of the new urban areas along the Belt and Road in western China.

**Key words:** transport carbon emissions; state-level new areas; “the Belt and Road” in Western China; overall spatial layout of low-carbon

城市新区在我国社会经济发展中承担着重要的历史使命。目前, 中国的新区建设已进入以 19 个综合性国家级新区为引领、各省市级新区为补充、各类特色园区多方向发展的阶段, 对各地发

展产生了极大的推动力。国家级新区在生态格局、低碳交通、绿色建筑等方面已有一定探索, 但由于现代城市规划技术体系仍未与低碳技术有效融合, 新区建设对低碳城市的引领作用尚未形成。

收稿日期: 2022-11-13

修改稿日期: 2022-11-30

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目(2022-XZ-38); 国家自然科学基金面上项目(52078406)

第一作者: 田达睿(1984—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为西北人居环境可持续规划设计。E-mail: tatary-tdr@163.com

因此,在缺乏先进经验的情况下,亟需了解当前国家级新区的碳排放水平,研究新区碳排放的规划影响因素,并探索新区低碳化的空间模式,为城市新区规划和建设提供技术指导与模式参考.交通出行作为人类基本的社会经济活动,是温室气体重要排放源.近年来,随着城市人口和机动车保有量的增加,交通出行碳排放的增长率及其占城市碳排放的比重不断升高<sup>[1]</sup>,北京、上海等国内城市的碳排放将近20%来源于交通,这一比例在纽约、巴黎等欧美发达国家城市则接近40%<sup>[2]</sup>.在此背景下,如何通过城市规划布局的调整优化转变交通出行模式、减少交通碳排放,成为国家级新区践行绿色低碳理念的核心问题之一.

## 1 研究综述

国内外在城市交通出行碳排放的特征分析和影响因素研究方面已有不少成果.

尺度上,关于交通碳排放影响因素的研究主要涉及宏观与微观两个层面.整体层面的研究侧重于城市建设规模、交通出行方式、社会经济等宏观数据与交通碳排放的关系,如Carty等<sup>[3]</sup>研究了爱尔兰大都柏林地区交通出行碳排放、通勤距离以及通勤方式的空间差异;Glaeser等、Brand等<sup>[4-5]</sup>提出城市土地开发强度、经济活动、居民社会属性等对交通出行的温室气体排放具有显著影响;Wang等<sup>[6]</sup>分析了2000—2015年中国交通运输业碳排放的驱动因素并提出交通运输业碳减排的政策建议.微观层面的研究主要从家庭或个人的出行规律出发,聚焦于社区居民出行碳排放特征与影响机理,肖作鹏等<sup>[7]</sup>采用分等定级和洛伦兹曲线模拟的方法分析了北京市居民出行碳排放个体间和社区间的分异;柴彦威等<sup>[8]</sup>探讨了居民家庭日常出行碳排放的发生机制与调控策略;黄晓燕等<sup>[1]</sup>基于对广州市不同圈层社区的问卷调查数据建立了社区居民通勤碳排放影响模型.

方法上,在统计和表征不同城市或区域的交通能源消耗方面较多采用情景预测、GIS空间分析、空间模拟等方法,在探究交通出行碳排放影响机制方面较多采用分解法、空间计量、相关分析、多元回归等方法.龙瀛等<sup>[9]</sup>通过建立多智能体模型模拟了不同城市形态下的通勤交通能耗和碳排放;Chow等<sup>[10]</sup>通过构建空间情景模型预测了香港在42种空间模式情景下的碳排放范围和最优形态;肖华斌等<sup>[11]</sup>运用空间分析及网络分析方法评价了规划方案的碳排放潜力变化.另外,Timilsi-

na等<sup>[12]</sup>通过分解碳排放增长数据揭示了亚洲国家出行碳排放增长的主要因素;张陶新等<sup>[13]</sup>运用空间计量经济学方法分析了1995—2010年中国28省市的碳排放与社会经济统计数据;Xu等<sup>[14]</sup>利用面板数据构建回归模型,揭示了经济增长、城市化和能源效率提高对中国交通碳排放的影响;湛丽等<sup>[15]</sup>借助多项式逻辑回归模型,基于大规模问卷调查数据研究了北京城市居住空间形态对居民通勤方式的影响.

结论上,城市总体层面的空间特征对交通出行具有较强影响.城市形态方面,Kenworthy、Snellend等<sup>[16-17]</sup>学者从不同视角提出高密度的城市形态有利于减少小汽车出行距离和频率、提高公共交通使用比例;Shim等<sup>[18]</sup>基于韩国61个中小城市的数据,论证了多中心城市的交通能耗低于单中心城市;杨文越等<sup>[19]</sup>基于碳排放-位置分配模型设计了公共中心低碳化规划支持系统.土地使用方面,SIM、吕斌、黄经南等<sup>[20-22]</sup>学者认为合理的功能布局与土地使用能够促进职住平衡,减少居民出行碳排放.道路交通方面,有学者认为城市道路交叉口数量、路网密度与城市出行碳排放呈负相关性<sup>[23-24]</sup>,且小格网街区有利于减少居民出行能耗<sup>[25-26]</sup>;此外,黄经南、刘清春、Cao等<sup>[24, 27-28]</sup>在实证研究中发现公共交通对通勤碳排放产生影响.

综上,学术界关于通过城市规划减少居民出行碳排放已有一些成果和结论,但针对城市新区的碳排放实证研究较少,仍有问题尚未厘清.首先,由于城市新区的能源消耗数据、交通出行统计数据较难获取,目前尚无针对国家级新区交通出行碳排放水平评价和低碳化规划布局模式的探究.其次,当前针对城市出行碳排放机制的研究大多集中于社会经济属性,缺乏借助新指标和新方法对城市总体空间特征进行测度,从而更深刻地挖掘城市形态、土地使用、道路网络等规划要素与交通出行碳排放的内生关系.最后,在针对新区的低碳化总体空间布局方面鲜有突破,亟需建构针对新区总体尺度的低碳空间模式与规划策略.

## 2 研究对象与研究方法

### 2.1 样本新区的选取与概况

国家级新区作为探索中国城市生长和转型的标杆,在中国的新区体系中占据很高的地位<sup>[29]</sup>.因此,以国家级新区为研究对象,具有很强的代

表性和借鉴性。截至 2022 年 10 月, 国务院共批复 19 个国家级新区, 形成了由沿海向内陆逐步扩散、由点到线、由线成面的分布态势与格局。

为了深入分析国家级新区的空间特征与交通碳排放水平, 本文结合我国东西部差异、气候分

区、规模以及建成情况, 选取上海浦东新区、浙江舟山群岛新区、天津滨海新区、青岛西海岸新区、大连金普新区、长沙湘江新区、陕西西咸新区和兰州新区 8 个国家级新区作为典型案例, 基本情况见表 1。

表 1 样本新区概况  
Tab. 1 Overview of new areas samples

新区名称	主体城市	获批时间	规划区面积 /km <sup>2</sup>	规划人口 /万人	空间结构 特征	总体定位
浦东新区	上海	1992. 10	1 210	558 (2030 年)	一主、一新、一轴、 三廊、四圈	中国改革开放的示范区、上海建设“五个中心”和国际文化大都市的核心承载区, 全球科技创新的策源地、世界级旅游度假目的地
滨海新区	天津	2006. 05	1 999 (陆域面积)	245 (2025 年)	一城、双港、三片区	我国北方对外开放的门户、高水平的现代制造业和研发转化基地、北方国际航运中心和国际物流中心
兰州新区	甘肃兰州	2012. 08	806	100 (2030 年)	两区、一城 (T 轴、六组团)、 四片	西北地区重要的经济增长极、国家重要的产业基地、向西开放的重要战略平台和承接产业转移示范区
西咸新区	陕西西安	2014. 01	882	272 (2030 年)	一河两带、一心、 三轴、五大组团	现代化大西安新中心、西部大开发的新引擎、丝绸之路经济带重要支点、国家创新城市发展方式试验区
西海岸 新区	山东青岛	2014. 06	2 096 (陆域面积)	240 (2020 年)	一核双港、多区联动、 轴带贯通、组群发展	海洋科技自主创新领航区、深远海开发战略保障基地、军民融合创新示范区、海洋经济国际合作先导区、陆海统筹发展试验区
舟山群岛 新区	浙江舟山	2011. 06	1 440 (陆域面积)	180 (2030 年)	一体、一圈、五岛群	浙江海洋经济发展的先导区、海洋综合开发试验区、长江三角洲地区经济发展的重要增长极
金普新区	辽宁大连	2014. 06	2 299	/	双核、七区	我国面向东北亚区域开放合作的战略高地、引领东北地区全面振兴的重要增长极、老工业基地转变发展方式的先导区、体制机制创新与自主创新的示范区、新型城镇化和城乡统筹的先行区
湘江新区	湖南长沙	2015. 04	1 204	160 (2020 年)	一主、三副、多点	高端制造研发转化基地和创新创意产业集聚区、产城融合城乡一体的新型城镇化示范区、全国“两型”社会建设引领区、长江经济带内陆开放高地

2.2 城市新区交通出行碳排放估算方法

综合当前测算交通碳排放的燃油类型法与出行方式法, 考虑到本研究的宏观尺度特征, 本文提出出行方式距离法, 即利用不同交通方式的出行距离和相应的百公里能耗系数、能源碳排放系数来计算新区居民出行碳排放量。城市新区的交

通出行方式主要包括公共汽车、出租车和私家车。其中, 公共汽车年行驶总里程数由新区各公交线路年运营车次与运行线路长度计算得出, 私家车和出租车年行驶总里程数由年汽车保有量与年平均行驶里程数分别计算得出。(表 2)

表2 新区交通出行碳排放量计算方法

Tab. 2 Calculation method of carbon emissions from transport in the new areas

交通出行碳排放类别	计算公式	说明
公共汽车碳排放量	$C_1 = B \times a \times CC_{Ng}$	$C_1$ 指新区公共汽车出行产生的碳排放量, $B$ 为新区所有公共汽车年行驶总里程数, $a$ 为公共汽车百公里耗气系数, $CC_{Ng}$ 为天然气碳排放系数.
出租车碳排放量	$C_2 = Q_t \times T \times b \times CC_{Ng}$	$C_2$ 表示新区出租车出行产生的碳排放量, $Q_t$ 为新区出租车保有量, $T$ 为新区出租车年平均里程数, $b$ 为出租车百公里耗气系数, $CC_{Ng}$ 为天然气碳排放系数. <sup>①</sup>
私家车碳排放量	$C_3 = Q_c \times C \times c \times \rho \times CC_g$	$C_3$ 表示新区私家车出行产生的碳排放量, $Q_c$ 为新区私家车保有量, $C$ 为新区私家车年平均里程数, $c$ 为小汽车百公里耗油系数, $\rho$ 为汽油密度, $CC_g$ 为汽油碳排放系数. <sup>①</sup>
新区交通出行碳排放总量	$C = C_1 + C_2 + C_3$	$C$ 为城市新区交通出行碳排放总量.

为了更准确地反映新区交通出行碳排放水平,将出行碳排放总量转化为出行碳排放强度,即人均出行碳排放量( $\text{CO}_2/\text{P}$ )、地均出行碳排放量( $\text{CO}_2/\text{L}$ )和产均出行碳排放量( $\text{CO}_2/\text{G}$ ),分别指1年中城市新区平均个人、单位建设用地、以及单位第三产业总值产生的出行碳排放量.

### 2.3 城市新区总体空间布局表征方法

城市总体空间布局涉及用地分布、道路网络、绿色开敞空间等方面.为了更深刻和全面地反映这些空间特征,本文引入空间自相关、空间句法等方法,基于散点图拟合分析,初步筛选出土地利用多样化指数、居住用地莫兰指数、商业和公用地莫兰指数、工业用地莫兰指数、绿色开敞空间分散度、路网集成度和街网密度等与交通出行碳排放存在一定影响关系的空间指标<sup>②</sup>,作为揭示低碳新区总体空间特征的方法.

#### 2.3.1 建设用地的复合性与自相关性

新区宏观尺度的土地使用应侧重分析各类建设用地的构成关系和空间分布逻辑.一方面,土地利用多样化指数、用地平衡度等城市用地复合性指标反映了总体层面不同城市功能混合、均衡协调的程度.另一方面,空间自相关性中的莫兰指数可以反映各类建设用地规模在空间上的相互关系及聚散分布特征.计算公式如下.

##### (1)土地利用多样化指数

$$GM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i)^2}{(\sum_{i=1}^n S_i)^2} \quad (1)$$

式中:  $GM$  为土地利用多样化指数;  $S_i$  为第  $i$  类土地利用的面积.

##### (2)用地平衡度

$$LB = - \left[ \frac{\sum [P_i * \ln(P_i)]}{\ln N} \right] \quad (2)$$

式中:  $LB$  为用地平衡度;  $P_i$  为第  $i$  类用地性质的用地面积占总用地面积的比例( $1 \leq i \leq N$ );  $N$  为研

究范围内的用地类型数目.

#### (3)莫兰指数

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (A_i - \bar{A})(A_j - \bar{A})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}}, (i \neq j) \quad (3)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2 \quad (4)$$

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (5)$$

式中:  $I$  为莫兰指数;  $A_i$  为指定区域内不同类型建设用地中第  $i$  个样本的面积测量值;  $\bar{A}$  是所有样本面积的平均值;  $n$  为样本数量;  $w_{ij}$  为空间权重矩阵.

#### 2.3.2 绿色开敞空间的均衡性

城市新区中大量绿地、水系、农田、林地等绿色开敞空间是碳汇的重要组成部分,其分布的均衡性是衡量城市空间格局开合疏密特征的重要表征,也间接影响交通出行碳排放,可通过绿色开敞空间斑块的分散度指标来反映.计算公式如下.

$$F = n / \bar{A} \quad (6)$$

式中:  $F$  为绿色开敞空间分散度;  $n$  是绿色开敞空间斑块数量;  $\bar{A}$  是绿色开敞空间斑块的平均面积.

#### 2.3.3 道路网络的通达性

城市道路系统是支撑城市总体空间布局和内部联通的核心载体.本文借助空间句法中的路网集成度和街网密度指标描述道路网络的通达性,即通过分析道路系统内在的拓扑组织逻辑揭示路网主次关系和连通效率.计算公式为

##### (1)路网集成度

$$\ln t = \frac{n-2}{2(MD-1)} \quad (7)$$

式中:  $t$  为路网集成度;  $n$  为节点总数;  $MD$  为空间深度值.

## (2)全局街网密度

$$D_{st} = \sum q \quad (8)$$

式中:  $D_{st}$  为街网密度;  $q$  为空间句法线段模型中研究区内所有线段数目。

## 2.4 数据来源

本文以各样本新区划定的行政范围为边界进行数据采集和指标计算。

在城市空间测度方面,首先利用 LocaSpace Viewer 平台获得样本新区 2019 年的现状影像图,再借助 eCognition Developer 软件从栅格图中获取城市建设用地、绿地、水系、道路等矢量基础数据,进而叠加新区土地使用图层,获取现状建成区的土地使用性质矢量图,并导入 ArcGIS 中形成空间矢量数据信息。

在交通出行碳排放计算方面,各新区公共汽车运营车次与运行线路长度来源于百度地图,出租车、私家车保有量来源于各新区 2019 年统计年鉴或交通管理局网站;各类能源的净发热值、燃料碳排放系数参考 IPCC 指南手册;新区人口规模、国内生产总值等来源于新区年度国民社会经济发展公报或新区管委会网站。

## 3 计算结果与分析

### 3.1 样本新区的出行碳排放水平分级

将 2019 年各样本新区人均、地均和产均出行碳排放量分别从低到高排序,可发现其碳排放水平的等级差异。

#### 3.1.1 人均出行碳排放存在梯度分异

参考自然间断点法的数据分段,结合人均出行碳排放均值和标准差,样本数据可分为高碳排放( $C > 15\,000$  t/万人)、中碳排放( $8\,000$  t/万人  $< C \leq 15\,000$  t/万人)和低碳排放( $C \leq 8\,000$  t/万人)三个等级区间。其中,浦东新区、滨海新区和兰州新区的人均出行碳排放量较低,数值在  $4\,500 \sim 6\,000$  t/万人;湘江新区、金普新区和舟山群岛新区的人均出行碳排放量较高,数值在  $15\,000 \sim 17\,000$  t/万人,见图 1。

#### 3.1.2 地均出行碳排放差异较小

同上,样本新区的地均出行碳排放量排序也可分为三个等级,但各等级的样本量占比并不均衡、样本间差异较小。大部分新区如西咸新区、西海岸新区、金普新区、舟山群岛新区、浦东新区的地均出行碳排放量集中于中等区间(约  $2\,500 \sim 3\,300$  t/km<sup>2</sup>),兰州新区和滨海新区低于  $2\,000$  t/km<sup>2</sup>,仅湘江新区地均碳排放量较高(约为  $5\,800$  t/km<sup>2</sup>),见图 2。

#### 3.1.3 产均出行碳排放高低分化明显

根据产均出行碳排放量排序和自然间断点法,各样本的出行碳排放强度出现明显分化:浦东新区、

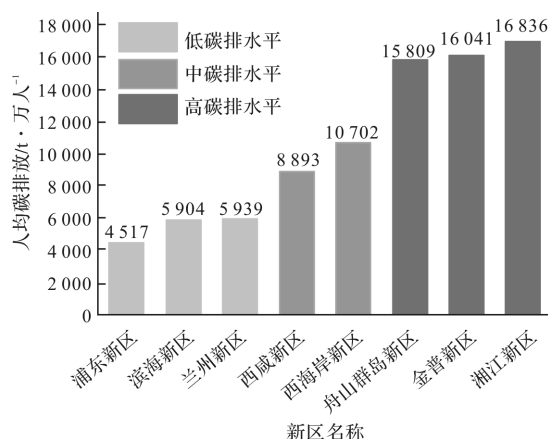


图1 样本新区 2019 年交通出行人均碳排放排序

Fig. 1 Ranking of samples' transport carbon emissions (per capita)

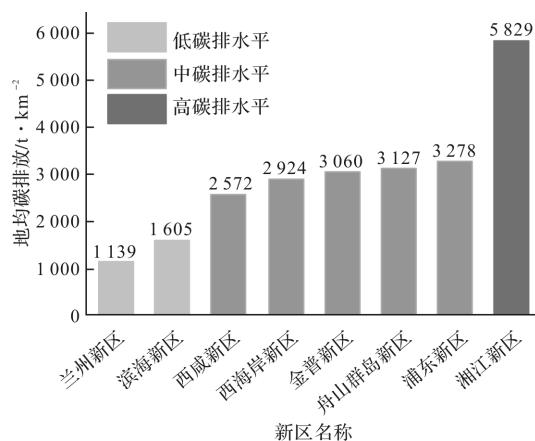


图2 样本新区 2019 年交通出行地均碳排放排序

Fig. 2 Ranking of samples' transport carbon emissions (per land)

滨海新区的产均出行碳排放量很低(约  $350 \sim 420$  t/亿元),西海岸新区、舟山群岛新区和金普新区较低(约  $1\,000 \sim 1\,500$  t/亿元),湘江新区、兰州新区和西咸新区则明显较高(约  $3\,700 \sim 5\,500$  t/亿元)。(图 3)。

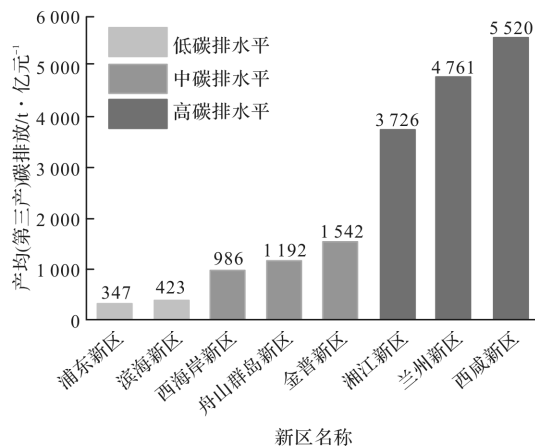


图3 样本新区 2019 年交通出行产均碳排放排序

Fig. 3 Ranking of samples' transport carbon emissions (per GDP)

综合来看,在样本新区中,浦东新区的人均和产均出行碳排放都最低,地均出行碳排放位于中等区间;滨海新区的人均、地均、产均碳排放量都位于低值区间.结合前述各新区出行碳排放强度的综合水平,浦东新区和滨海新区成为相对较优的低碳新区典型样本,可从中提取空间布局经验作为新区低碳优化策略.

### 3.2 典型低碳新区的总体空间布局特征

通过对样本新区的城市建设用地、道路网络以及绿色开敞空间进行测度,得到各样本总体空间布局指标集见表 3. 样本新区在建设用地的复合性与自相关性、路网的通达性、绿色开敞空间的

均衡性等方面存在较明显的差异.例如,浦东新区、滨海新区、舟山群岛新区的土地利用多样化指数和用地平衡度较高,兰州新区和西海岸新区较低;舟山群岛新区、西咸新区、西海岸新区和湘江新区的主要建设用地(居住、商业、公服、工业)的莫兰指数较高,浦东新区、滨海新区和金普新区则较低;金普新区、浦东新区、滨海新区具有较高的绿色开敞空间分散度,兰州新区、湘江新区则明显偏低;此外,浦东新区和滨海新区的路网全局集成度、局部集成度和全局街网密度均较高,兰州新区和西咸新区则较低.

表 3 样本新区总体空间布局测度指标汇总

Tab. 3 Summary of measurement indices for overall spatial layout of new areas

	建设用地的复合性与空间自相关性					路网的通达性			绿色开敞空间的均衡性
	土地利用 多样化指数	用地 平衡度	居住用地 莫兰指数	商业和公服用 地莫兰指数	工业用地 莫兰指数	路网全局 集成度	路网局部 集成度	街网 密度	开敞空间 分散度
滨海新区	0.74	0.58	0.03	0.02	0.05	928	119.4	8 513	2 106.8
浦东新区	0.61	0.80	0.03	0.05	0.14	1 462	166.7	12 992	2 192.5
金普新区	0.49	0.59	0.08	0.09	0.09	631	92.1	9 689	3 683.9
兰州新区	0.22	0.29	未通过显著性检验	0.08	0.15	370	86.6	1 439	336.9
西海岸新区	0.41	0.49	0.09	0.17	0.20	851	91.5	8 257	562.0
西咸新区	0.52	0.60	0.12	0.16	0.43	394	63.4	3 246	1 191.2
湘江新区	0.57	0.64	0.09	0.19	0.23	805	131.6	6 478	396.0
舟山群岛新区	0.68	0.67	0.16	0.23	0.53	610	126.7	5 959	453.0

基于此,将上述各项测度指标进行归一化处理 and 排序,并以其他新区为参照,比较分析浦东新区和滨海新区两个典型低碳案例的总体空间布局特征.

在用地布局的复合性和用地集散分布特征方面,浦东新区、滨海新区的土地利用多样化指数与用地平衡度较高,其中滨海新区的 GM 值最高,浦东新区的 LB 值最高;此外,这两个新区的居住、商业、公共服务、工业等用地的莫兰指数较低.综合说明在总体尺度上浦东和滨海新区的用地类型多元复合,主要建设用地分布有机交错、相互融合,整体上具有更高的空间异质性.相反,新区建设用地在宏观尺度越单一化和同质化集聚,交通出行碳排放强度越高.因此,建设用地应分类适度分散化布局,避免同一类型、相似规模的用地过度集聚,提高土地利用多样化指数、降低主要建设用地的莫兰指数,见图 4、图 5.

在路网的通达性方面,浦东新区和滨海新区的路网全局集成度、局部集成度和街网密度均较

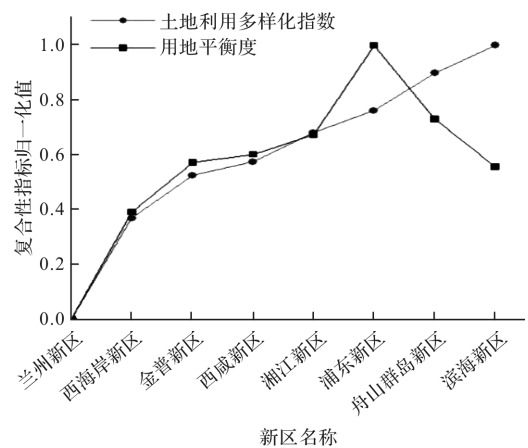


图 4 样本新区的土地使用复合性指标排序

Fig. 4 Ranking of the samples' land use indices

高,说明其道路系统较成熟、连通效率与可达性高.因此,优化新区路网的拓扑空间关系,提升其集成度和街网密度指标,有助于降低交通出行碳排放强度,见图 6.

在绿色开敞空间的均衡性方面,浦东新区和滨海新区的绿色开敞空间斑块具有较高的分散度,说

明其开敞空间分布更加均衡和有机,绿色开敞空间斑块越均质分布,城市居民驾车远距离出行游玩的概率与比例就会越低,城市新区规划应基于自然本底加强绿地斑块的有机分散化分布,见图7。

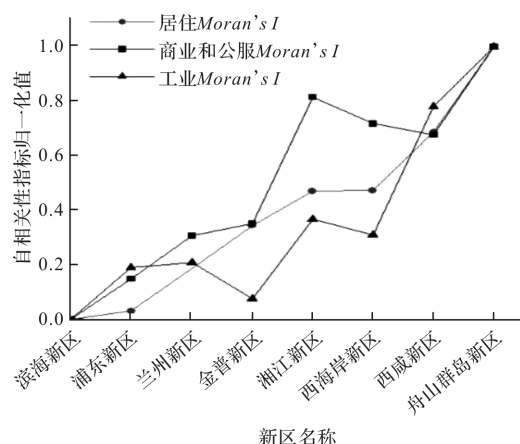


图5 样本新区的土地使用空间自相关性指标排序

Fig.5 Ranking of the samples' spatial correlation indices

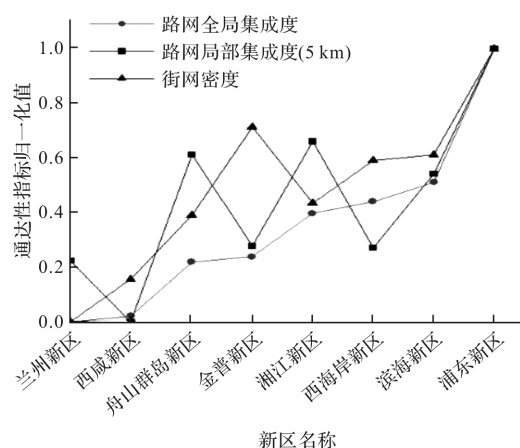


图6 样本新区的路网通达性指标排序

Fig.6 Ranking of the samples' road network indices

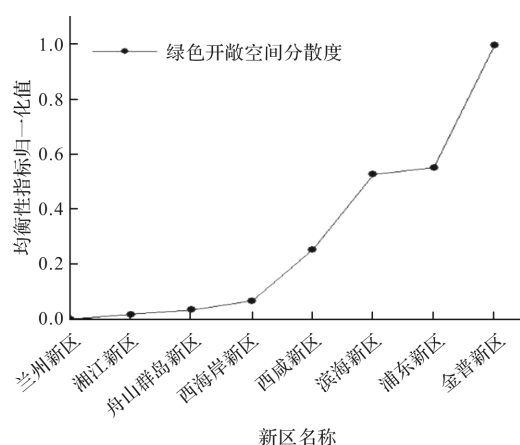


图7 样本新区的绿色开敞空间均衡性指标排序

Fig.7 Ranking of the samples' green open space indices

### 3.3 城市新区总体空间低碳优化策略

基于典型新区样本的空间特征分析,从城市

用地布局、绿色开敞空间以及道路交通系统等层面提出新区总体空间布局低碳化优化策略。

首先,新区建设用地的混合配置可避免因大尺度功能分区而额外产生的出行碳排放,因此低碳新区总体用地布局应以各类用地差异化适度分散分布为手段,实现用地多样化复合集聚和有机融合,提高新区土地使用效率,改善大尺度功能分区、粗放式集聚的用地分布模式。具体而言,居住、商业、公共服务、产业等各类用地应采取总体有机分散的斑块化空间模式,同时兼顾各类用地的适宜规模,通过局部聚合、有机拼贴等布局方式实现城市建设用地的有效混合,由此塑造新区、组团和生活圈级的高密度活力中心,构筑层级性的城市中心网络体系。此外,可借助建设用地莫兰指数、土地利用多样化指数等量化指标辅助优化用地布局,例如新区各类用地的集聚分散程度需因“地”制宜,即不同性质用地的莫兰指数应差异化地适度降低。

其次,道路交通系统是支撑能量流高效运转的载体,对出行碳排放有重要影响。应基于“小街区、密路网”原则,以路网高集成度、高连通度为导向,通过构建蛛网式空间链接系统,确保密集的路网结构,并优化道路网络的拓扑组织关系。借助空间句法中的集成度、街网密度等指标调整道路系统组织与网络构成,提升路网尤其是步行系统的连通性和可达性,为构建绿色高效且便捷通畅的公交体系、提升公共交通服务水平、打造多样化的街道等级和人性化的街道空间奠定基础。

最后,新区各类绿地斑块和廊道形成内外相通的绿色生态网络,承担着改善城市生态环境与生物多样性、提供休闲游憩场地、提升景观、减碳控碳等功能。应从不同尺度合理规划城市新区的绿色开敞空间体系:基于新区生态安全格局,通过采用集中与分散相结合的方式,整合林地、湿地、公园绿地等绿色开敞空间斑块,形成疏密有致、均衡分散的空间布局,提升新区碳汇效率和能力,提高绿色开敞空间的可达性;在此基础上,利用林带、绿道、河道等带状绿地连接重要的生态斑块,形成类型丰富、多级互联的蓝绿网络,由此构筑区域性通风廊道和冷岛,有效缓解热岛效应,优化新区微气候。

当然,上述系统与空间要素不是各自孤立的,高效连通的道路交通组织应与有机复合的用地布局、网络嵌套的绿色开敞空间斑块等有效整合和高效协同,才能达到新区低碳空间模式的最优状态,有效控制交通出行的碳排放强度。

## 4 结语

城市的总体空间布局深刻地影响着居民出行方式与出行总量,对城市的减碳和控碳起着关键作用,也是推动新区健康、高效、合理发展的重要保障。科学认知城市新区的低碳化水平及其空间布局特征、提出具有指导性的低碳规划设计策略,可为我国各级新区尤其是西部“一带一路”沿线城镇新区未来绿色发展与规划建设提供经验借鉴。

### 注释

- ① 参考赵敏<sup>[30]</sup>、邵雪华<sup>[31]</sup>等研究,本文取出租车年行车里程为100 000 km/a,百公里耗气10 m<sup>3</sup>/100 km,私家车年行车里程为20 000 km/a,百公里耗油10 L/100 km,公共汽车百公里耗气为49 m<sup>3</sup>/100 km。
- ② 初步选取城市形态紧凑度、各类建设用地莫兰指数、绿色开敞空间分维数与分散度、土地使用平衡度、土地利用多样化指数、功能混合度、道路交叉口密度、路网集成度、连通度、公交线网密度等15项总体空间表征指标,通过交通出行碳排放强度与上述各项指标的散点图拟合,筛选出9项关键规划指标进行深度分析。

### 参考文献 References

- [1] 黄晓燕,刘夏琼,曹小曙.广州市三个圈层社区居民通勤碳排放特征——以都府小区、南雅苑小区和丽江花园为例[J].地理研究,2015,34(4):751-761.  
HUANG Xiaoyan, LIU Xiaqiong, CAO Xiaoshu. Commuting carbon emission characteristics of community residents of three spheres: A case study of three communities in Guangzhou city[J]. Geographical Research, 2015, 34(4): 751-761.
- [2] 钱云,贺凯,戴威.城市新区控制性详细规划的低碳策略实践——以苏南地区为例[J].国际城市规划,2013,28(2):47-52.  
QIAN Yun, HE Kai, DAI Wei. Low-carbon regulatory planning practice for new towns: Case studies in south Jiangsu [J]. Urban Planning International, 2013, 28(2): 47-52.
- [3] CARTY J, AHERN A. Introducing a transport carbon dioxide emissions vulnerability index for the Greater Dublin Area[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(6): 1059-1071.
- [4] GLAESER E L, KAHN M. The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development[J]. Journal of Urban Economics, 2008, 38(1): 650-655.
- [5] BRAND C, BOARDMAN B. Taming of the few: The unequal distribution of greenhouse gas emissions from personal travel in the UK[J]. Energy Policy, 2008, 36(1): 224-238.
- [6] WANG Y, ZHOU Y, ZHU L, et al. Influencing factors and decoupling elasticity of China's transportation carbon emissions[J]. Energies, 2018, 11(5): 1157.
- [7] 肖作鹏,柴彦威,刘志林.北京市居民家庭日常出行碳排放的量化分布与影响因素[J].城市发展研究,2011,18(9):104-112.  
XIAO Zuopeng, CHAI Yanwei, LIU Zhilin. Quantitative distribution and related factors for household daily travel CO<sub>2</sub> emissions in Beijing[J]. Urban Development Studies, 2011, 18(9): 104-112.
- [8] 柴彦威,肖作鹏,刘志林.居民家庭日常出行碳排放的发生机制与调控策略——以北京市为例[J].地理研究,2012,31(2):334-344.  
CHAI Yanwei, XIAO Zuopeng, LIU Zhilin. Low-carbon optimization strategies based on CO<sub>2</sub> emission mechanism of household daily travels: A case study of Beijing [J]. Geographical Research, 2012, 31(2): 334-344.
- [9] 龙瀛,毛其智,杨东峰,等.城市形态、交通能耗和环境影响集成的多智能体模型[J].地理学报,2011,66(8):1033-1044.  
LONG Ying, MAO Qizhi, YANG Dongfeng, et al. A multi-agent model for urban form, transportation energy consumption and environmental impact integrated simulation[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(8): 1033-1044.
- [10] CHOW A S Y. Spatial-modal scenarios of greenhouse gas emissions from commuting in Hongkong[J]. Journal of Transport Geography, 2016, 54: 205-213.
- [11] 肖华斌,安淇,盛硕.新数据环境下低碳生态城市碳排放评价研究——以济南市西部新城为例[J].现代城市研究,2019(10):65-74.  
XIAO Huabin, AN Qi, SHENG Shuo. Evaluation of carbon emission in low-carbon eco-city on the new data environment: A case study on the west new district of jinan city [J]. Modern Urban Research, 2019(10): 65-74.
- [12] TIMILSINA G R, Shrestha A. Transport sector CO<sub>2</sub> emissions growth in asia: Underlying factors and policy options [J]. Energy Policy, 2009, 37(11): 4523-4539.
- [13] 张陶新,曾熬志.中国交通碳排放空间计量分析[J].城市发展研究,2013,20(10):14-20.  
ZHANG Taixin, ZENG Aozhi. Spatial econometrics analysis on china transport carbon emissions[J]. Urban Development Studies, 2013, 20(10): 14-20.
- [14] XU B, LIN B. Factors affecting carbon dioxide(CO<sub>2</sub>) emissions in China's transport sector: A dynamic non-parametric additive regression model [J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 101: 311-322.
- [15] 谌丽,张文忠,李业锦,党云晓,余建辉.北京城市居住空间形态对居民通勤方式的影响[J].地理科学,2016,36(5):697-704.



- CHEN Li, ZHANG Wenzhong, LI Yejin, et al. Residential form in Beijing and its impact on residents' commuting mode choice[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(5): 697-704.
- [16] KENWORTHY J R, LAUBE F B. Automobile dependence in cities: An international comparison of urban transport and land use patterns with implications for sustainability[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 1996, 16(4-6): 279-308.
- [17] SNELLEND D, BORGERS A W J, TIMMERMANS H. Urban form, road network type, and mode choice for frequently conducted activities: a multilevel analysis using quasi-experimental design data[J]. *Environment and Planning A*, 2002, 34: 1207-1220.
- [18] SHIM G E, RHEE S M, AHN K H, et al. The relationship between the characteristics of transportation energy consumption and urban form[J]. *Annals of Regional Science*, 2006, 40(2): 351-367.
- [19] 杨文越,李涛,曹小曙.基于碳排放-位置分配模型的公共中心规划支持系统设计与应用研究[J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 47(5): 119-125.
- YANG Wenyue, LI Tao, Cao Xiaoshu. The study of design and application of CO<sub>2</sub> emissions-location allocation model based public center planning support system[J]. *Journal of South China Normal University(Natural Science Edition)*, 2015, 47(5): 119-125.
- [20] SIM L L, CHOO MALONE-LEE L, CHIN K H L. Integrating land use and transport planning to reduce work-related travel: A case study of tampines regional centre in Singapore[J]. *Habitat International*, 2001, 25(3): 399-414.
- [21] 吕斌,孙婷.低碳视角下城市空间形态紧凑度研究[J]. *地理研究*, 2013, 32(6): 1057-1067.
- LÜ Bin, SUN Ting. Study on spatial form compactness from low-carbon perspective[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(6): 1057-1067.
- [22] 黄经南,杜宁睿,刘沛,等.住家周边土地混合度与家庭日常交通出行碳排放影响研究——以武汉市为例[J]. *国际城市规划*, 2013, 28(2): 25-30.
- HUANG Jingnan, DU Ningrui, LIU Pei, et al. An exploration of land use mix around residence and family commuting caused carbon emission: A case study of Wuhan city in China[J]. *Urban Planning International*, 2013, 28(2): 25-30.
- [23] HONG J, GOODCHILD A. Land use policies and transport emissions: Modeling the impact of trip speed, vehicle characteristics and residential location[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2014, 26: 47-51.
- [24] 黄经南,高浩武,韩笋生.道路交通设施便利度对家庭日常交通出行碳排放的影响——以武汉市为例[J]. *国际城市规划*, 2015, 30(3): 97-105.
- Huang Jingnan, Gao Haowu, Han Sunsheng. The effect of traffic facilities accessibility on household commuting caused carbon emission: A case study of Wuhan city, China[J]. *Urban Planning International*, 2015, 30(3): 97-105.
- [25] 姜洋,何东全, ZEGRAS Christopher. 城市街区形态对居民出行能耗的影响研究[J]. *城市交通*, 2011, 9(4): 21-29, 75.
- JIANG Yang, HE Dongquan, ZEGRAS Christopher. Impact of neighborhood land use on residents travel energy consumption[J]. *Urban Transport of China*, 2011, 9(4): 21-29, 75.
- [26] 张杰,杨阳,陈骁,等.济南市住区建成环境对家庭出行能耗影响研究[J]. *城市发展研究*, 2013, 20(7): 83-89.
- ZHANG Jie, YANG Yang, CHEN Xiao, et al. A research on neighborhood built environment and household travel energy in Jinan[J]. *Urban Development Studies*, 2013, 20(7): 83-89.
- [27] 刘清春,张莹莹,肖燕,等.济南市主城区私家车日常出行碳排放特征及影响因素[J]. *资源科学*, 2018, 40(2): 262-272.
- LIU Qingchun, ZHANG Yingying, XIAO Yan, et al. Characteristics and determinants of carbon emissions from daily private cars travel in central area of Jinan[J]. *Resources Science*, 2018, 40(2): 262-272.
- [28] CAO X S, YANG W Y. Examining the effects of the built environment and residential self selection on commuting trips and the related CO<sub>2</sub> emissions: An empirical study in Guangzhou, China[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 52: 480-494.
- [29] 杨俊宴,吴浩,金探花.中国新区规划的空间形态与尺度肌理研究[J]. *国际城市规划*, 2017, 32(2): 34-42.
- YANG Junyan, WU Hao, JIN Tanhua. Research on spatial morphology and scale texture of new district planning in China[J]. *Urban Planning International*, 2017, 32(2): 34-42.
- [30] 赵敏,张卫国,俞立中.上海市居民出行方式与城市交通 CO<sub>2</sub> 排放及减排对策[J]. *环境科学研究*, 2009, 22(6): 747-752.
- ZHAO Min, ZHANG Weiguo, YU Lizhong. Resident travel modes and CO<sub>2</sub> emissions by traffic in Shanghai city[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(6): 747-752.
- [31] 邵雪华,詹淑慧.天然气汽车的经济性[J]. *中国科技信息*, 2015(9): 119-121.
- SHAO Xuehua, ZHAN Shuhui. Economy of natural gas vehicle[J]. *China Science and Technology Information*, 2015(9): 119-121.

(编辑 吴海西 沈 波)