

# 城市建成环境对通勤碳排放的影响

## ——以北京市为例

### Study on the Impact of Urban Built Environment on Commuting Carbon Emissions: A Case Study of Beijing

张纯 宁延豪 梁颖 ZHANG Chun, NING Yanhao, LIANG Ying

**摘要** 基于城市形态理论和职住空间关系理论,以问卷数据和质性访谈数据为依据,运用分层回归研究法和质性研究法考察建成环境对通勤行为的影响,辅以北京市大栅栏社区、草厂社区和天通苑小区3个分别位于北京市老城区胡同和中心城区外围的具有代表性的地区进行实地调研访谈。研究发现:(1) 北京市通勤碳排放呈现出中心低碳化、外围高碳化的空间分布特征。(2) 公交供给和轨道交通对降低通勤碳排放有显著作用。职住相对平衡的街道、轨道和公交网络密度较高的街道,其通勤碳排放也相对较低。(3) 不仅居住地建成环境特征会影响通勤碳排放,通勤过程中的附加活动需求与换乘便利程度对通勤碳排放也有间接影响。因而,建成环境对通勤碳排放的影响除了直接的物质空间因素,还包括间接的个体视角。以期为超大城市制定因地制宜的减碳策略提供借鉴。

**Abstract** This article is based on the theory of urban form and the theory of spatial relationships between work and residence. Based on questionnaire data and qualitative interview data, stratified regression research and qualitative research methods are used to investigate the impact of built environment on commuting behaviors. Three representative areas in Beijing, namely Dashilan Community, Caochang Community, and Tiantongyuan Community located on the outskirts of Hutong in the old urban area and the central urban area, are conducted on-site research interviews. Research has found that: (1) Beijing's commuting carbon emissions exhibit spatial distribution characteristics of low carbon in the center and high carbon in the periphery. (2) Public transportation supply and rail transit have a significant impact on reducing commuting carbon emissions. Streets with relatively balanced work and housing, as well as streets with a high density of rail and bus networks, have relatively low carbon emissions from commuting. (3) Not only will the built environment characteristics of the residence affect commuting carbon emissions, but the demand for additional activities during commuting and the ease of transfer also have an indirect impact on commuting carbon emissions. Therefore, the impact of built environment on commuting carbon emissions includes not only direct material and spatial factors, but also indirect individual perspectives. Research can provide references for developing carbon reduction strategies tailored to local conditions in large cities.

**关键词** 建成环境;低碳;通勤碳排放;职住空间关系;北京

**Key words** built environment; low carbon; commuting carbon emissions; relationship between work and residence space; Beijing

文章编号 1673-8985 (2023) 06-0018-07 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20230602

#### 作者简介

张纯

北京交通大学建筑与艺术学院

教授,博士生导师, zhangc@bjtu.edu.cn

宁延豪

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

研究员

梁颖

北京师范大学政府管理学院 博士研究生

#### 0 引言

近年来,我国大城市和特大城市的通勤碳排放因其总体规模大而成为城市减碳的重点环节。根据世界银行的统计,交通运输虽然目前只占整体温室气体排放的20%,但预计随着人口、经济和交通需求的增长,到

2050年会达到60%<sup>①</sup>。其中,通勤作为城市出行活动中最刚性和高频次的行为,降低通勤碳排放对于城市整体降碳具有关键影响。北美新城市主义和精明增长的推行促使学者关注到,塑造良好的城市形态有益于形成更加低碳和健康的出行行为。建成环境 (built

注释: ① 世界银行2023年会报告: [https://www.worldbank.org/en/topic/transport/overview?cid=eap\\_wc\\_worldbank\\_zh\\_ext](https://www.worldbank.org/en/topic/transport/overview?cid=eap_wc_worldbank_zh_ext)。

environment) 作为城市形态中长期演变和发展所形成的物质空间要素,通常指密度、混合度、城市设计,与通勤行为存在密切关系<sup>[1]1665</sup>。本文中建成环境是指包含城市职住空间、公共交通以及服务于出行行为的城市物质空间设施等。而通勤碳排放是指从居住地到就业地的通勤行为中,由于通勤距离、通勤方式和通勤频次差异产生的个体碳排放在城市层面的汇总<sup>[2]1625</sup>。

长期以来,关于通勤碳排放的热点集中于绿色交通方式方面的相关讨论,尤其是关注部分城市以小汽车为主导的发展模式,导致汽油燃烧产生过多的通勤碳排放。此外,我国快速城镇化引发职住空间的不断分离、通勤距离的不断增加,也成为从城市形态角度解读通勤碳排放的视角之一。因此,城市形态、居住与就业的职住空间关系、通勤者所在的社区建成环境特征等,都对通勤碳排放产生整体而系统的影响。目前国际国内通勤碳排放相关的研究在最近3年中数量急剧增长,研究视角不断交叉,研究重点也从绿色交通方式转移到建成环境对通勤碳排放的多尺度综合作用。近年来,交通出行碳排放测度方法的进展和相关数据库的更新,为个体化的通勤碳排放测算提供了依据。

本文选取北京作为研究案例,考虑其作为超大城市通勤规模大、距离远、职住分离日益突出,研究通勤碳排放的影响因素对于低碳通勤政策的制定更具有代表性作用。选择北京市分布于城市中心区、近郊区和远郊区的15个代表性社区,基于社区居民通勤的问卷数据采取分层回归法和质性分析法,可识别建成环境中影响通勤碳排放的关键因素。本文在现有研究识别建成环境对于通勤碳排放的影响因子的基础上,关注城市和社区两个尺度的差异化影响,以期为制定城市综合降碳的规划政策提供借鉴。

## 1 研究数据

建成环境在城市、社区两个尺度同时对通勤碳排放产生影响,其影响因素主要包括区

位、职住空间关系、公共交通供给和物质空间要素等方面。

### 1.1 城市尺度建成环境对通勤行为的影响

国际研究关注到城市建成环境中的通勤行为在城市尺度的影响,集中于城市空间结构、功能区划、职住空间关系和城市公共交通发展整体水平等<sup>[3]</sup>。在城市空间结构方面,研究发现单中心与多中心、城市特定功能的分布、居住与就业分布、可达性提高均会影响通勤行为的距离和频次<sup>[4]</sup>。如Glaeser等<sup>[5]</sup>研究发现,更加紧凑的城市往往伴随着职住功能和交通服务设施的高空间匹配,会减少远距离通勤的可能性。

20世纪80年代, Kenworthy与Newman<sup>[6-8]</sup>在国际上开启了城市建成环境与交通碳排放的研究高潮,研究发现城市建成环境会影响通勤行为、时间和距离,进而影响通勤碳排放。Yasuyo Makido<sup>[9]</sup>等在日本进行的城市建成环境和碳排放的研究发现,紧凑发展的城市产生更低的二氧化碳排放。在城市尺度的公共交通设施整体发展程度方面,结果显示,公共交通供给较高、道路网密度高、土地混合利用程度高、职住和公共服务空间匹配度较高的区域,居民选择非机动车出行的比例较高<sup>[10], [11]482, [12]154</sup>。其中,路网密度、人口密度和土地混合利用等指数被认为对通勤碳排放有更直接的影响。例如,在人口密度较高的地区,通勤者采取小汽车出行选择的意愿会降低<sup>[13-14]</sup>。又如,杨文越等<sup>[2]1633</sup>在多个尺度探讨了城市建成环境对交通碳排放的影响,认为多中心的空间格局可能有利于减少通勤距离从而降低通勤碳排放。李熙敏<sup>[15]</sup>认为,蔓延式的城市形态会降低城市效率,从而产生过度交通拥堵和长距离通勤,因此也会带来过度的通勤碳排放。既有文献显示,城市尺度研究通常聚焦于通勤特征、路网密度、土地混合等统计变量,对于城市建成环境影响通勤碳排放的机制仍不明晰。

### 1.2 社区尺度建成环境对通勤行为的影响

社区尺度的建成环境要素与居民出行环

境密切相关,对通勤碳排放的影响包括直接作用和间接作用两个层面。例如,赵荣钦等<sup>[12]153</sup>通过构建回归模型,发现影响通勤碳排放的主要因素是居民所在小区周边的土地利用混合度和公共交通可达性,另外居民收入水平也对通勤碳排放有显著的负面影响。也有学者发现,在公共交通站点周边,提高就业密度有助于激发居民绿色出行,在近距离通勤中步行、骑行及公共交通使用率的提高会减少通勤碳排放<sup>[16]92</sup>。

社区的区位和周边道路、公交覆盖率等会间接影响通勤碳排放。例如, Li等<sup>[17]</sup>发现,社区公共交通供给和居住地到城市中心的距离会对通勤碳排放产生较大影响;社区周边的公共交通供给水平高,有助于减少汽车通勤产生的高碳排放。潘海啸等<sup>[11]485</sup>基于对上海的问卷调查发现,出行距离和交通方式的排放因子对城市通勤碳排放的影响较大,汽车通勤的碳排放因子远高于公共交通和骑行。李治<sup>[18]60</sup>采用Heckman两步估计模型测算了西安市轨道交通站点可达性对通勤碳排放的影响,认为轨道交通站点可达性的提升有助于降低汽车通勤从而降低通勤碳排放。Wang<sup>[19]</sup>对北京案例的研究发现,居住社区周边的道路环境和公共交通的覆盖率成为影响通勤碳排放的主要因素,步行和公共交通可达性的提升为通勤者采用绿色通勤方式提供了更多可能性。大部分研究显示,社区内部公交设施和服务水平的提升有助于降低出行碳排放<sup>[20]5</sup>,轨道交通可达性和覆盖水平可以降低通勤碳排放<sup>[21]66, [22]</sup>。

现有研究显示,建成环境对通勤碳排放的影响机制十分复杂。相对于城市尺度,社区尺度的人口和经济属性、公交设施等建成环境因素,以及居民个体属性和行为特征都会影响通勤碳排放。因而将数据汇总性分析与深入质性访谈相结合,可以更好地剖析社区尺度通勤碳排放的机制特征。

## 2 数据来源和研究方法

本文选取北京市所属12个街道的15个社区作为研究对象。案例社区考虑了区位、公

共交通设施供给的差异性、密度的差异性等因素,涵盖了旧城胡同社区、单位社区、商品房社区、混合社区等多样化的建成环境类型,可以更加综合全面地研究对于通勤行为的影响作用。研究数据来自社区居民通勤的问卷调查,共发放417份调研问卷,考虑到不同社区的建成环境具有同质性,剔除无效问卷和具有高度同质性的56份,得到361份有效问卷(见图1)。在城市尺度研究上,采用逐步多层次回归分析城市建成环境对通勤碳排放的影响,分别在原回归模型的基础上加入社会经济因素和公交设施因素。在社区尺度研究上,采取滚雪球调查方式,在城市中心的大栅栏社区、草场社区及近郊天通苑社区进行质性访谈。在选取访谈者时,先与社区居委会沟通,了解通勤者的个体属性及通勤情况,再对其进行包括通勤距离、方式和频率,其他目的出行特征,以及家庭、社会、经济条件等问题的访谈。

根据前人的研究,本文变量选取聚焦于建成环境中的区位、职住空间关系、公共交通设施和物质空间因素等要素(见表1-表2)。根据问卷中通勤者每日首次出行作为碳排放测算的标准,折算为CO<sub>2</sub>作为标准当量。通勤者个体的通勤碳排放测算公式为:

$$Y_i = \sum_{j=1}^n D_{ij} \times E_{ij} \quad (1)$$

式中:Y<sub>i</sub>是通勤者i产生的碳排放总量;D<sub>ij</sub>是途中通勤方式j所进行的通勤距离;E<sub>ij</sub>是途中通勤方式j对应的碳排放因子<sup>②</sup>。其中D<sub>i</sub>按照不同的交通方式进行分段累计计算。

### 3 通勤碳排放的分布规律与影响因素

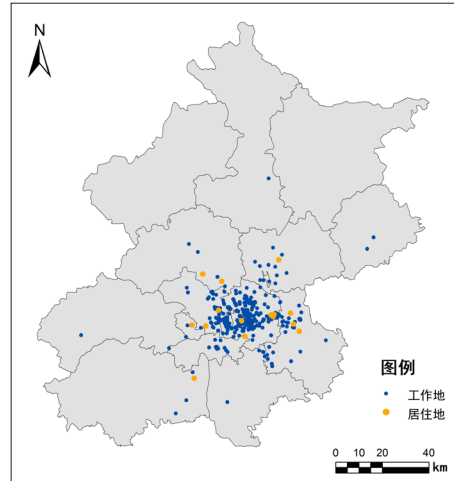
#### 3.1 通勤碳排放空间分布和通勤方式分布规律

数据显示,整体空间分布呈现出城市中心区低、郊区高的分布规律(见图2)。测算表明,通勤者单程碳排放平均值为1 401.7 g,不同社区人均碳排放的差距明显(见表3)。其中,人均通勤碳排放最高为房山区玉竹园,达到4 771.7 g;最低为朝阳区朝内小区,仅为

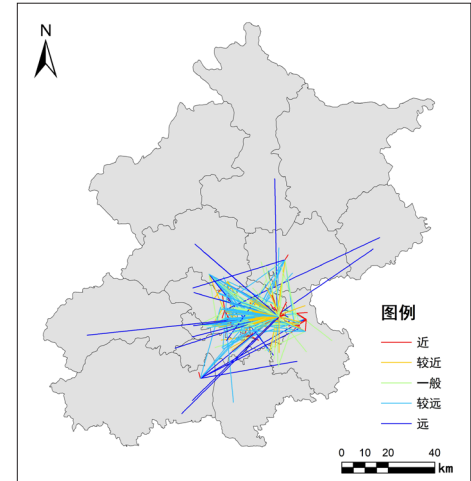
331.2 g。职住空间关系影响下的通勤距离可能是造成碳排放总量差异的主要原因。

此外,通勤者居住地的公共交通设施供给水平不同,通过其对不同交通方式的选择进而影响通勤碳排放。首先,在常规公交覆盖方面,通勤者居住地1 km之内公交站点覆盖较好(高

于10个)的居住区,常规公交通勤的比重达到41.9%,人均通勤碳排放为691 g。与此相对,公交站点覆盖率较低(低于10个)的居住区,常规公交通勤的比重仅为29.6%,人均通勤碳排放也高达1 499 g。其次,在轨道交通方面,通勤者居住地轨道交通覆盖较好(800 m之内有轨



a 北京市居民通勤样本的居住地和就业地分布



b 北京市居民通勤样本的OD分析图

图1 北京市居民通勤样本的居住地和就业地

Fig.1 Residential and employment places of Beijing residents commuting sample

资料来源:笔者自绘。

表1 城市建成环境常用的测度指标

Tab.1 Common indicators of urban built environment

影响类别	测度指标	计算方式
城市尺度	居住地理位置 <sup>[21]634</sup>	所在位置到城市中心的距离
	居住密度 <sup>[23]</sup>	第七次全国人口普查数据
	就业密度 <sup>[24]</sup>	根据《中国经济普查年鉴》(2018年)数据计算
社区尺度	公共交通服务水平	公交可达性 <sup>[16]93</sup> 、轨道交通可达性 <sup>[18]58</sup> 、轨道交通覆盖 <sup>[12]153</sup>
	物质空间因素	路网密度 <sup>[25]</sup> 、静态交通设施 <sup>[21]62</sup>
		根据ArcGIS空间距离测算得出、根据到达距离判定得出
		根据统计年鉴数据计算、根据街景地图计算

资料来源:笔者自制。

表2 通勤碳排放的变量陈述表

Tab.2 Research data and sources of commuting carbon emissions

变量类型	变量	数据来源
个体属性变量	个人收入/(元/月)	问卷调查
	住房/(购房/租房)	问卷调查
	性别/(男/女)	问卷调查
	户籍/(京/非京)	问卷调查
	居住地周边公交站点数量/个	ArcGIS空间测量
自变量	轨道交通站点可达性/km	ArcGIS空间测量
	街道路网密度/(km/km <sup>2</sup> )	街道公报
建成环境变量	停车场数量/个	根据街景地图计算
	居住密度/(人/km)	根据第七次全国人口普查数据计算
	街道就业密度/(个/km)	根据《中国经济普查年鉴》(2018年)数据计算
	距离城市中心距离/km	ArcGIS空间测量
	通勤碳排放/g	根据问卷数据测算
因变量		

资料来源:笔者自制。

注释: ② 通勤方式对应的碳排放因子参考《北京市低碳出行碳排放方法学》的推荐值。

道站点)的小区,轨道通勤比为48.5%,人均通勤碳排放为977 g;而800 m范围无轨道站点的小区,人均通勤碳排放为1 283 g (见图3)。

### 3.2 基于多元逐步回归模型的通勤碳排放的影响因素分析

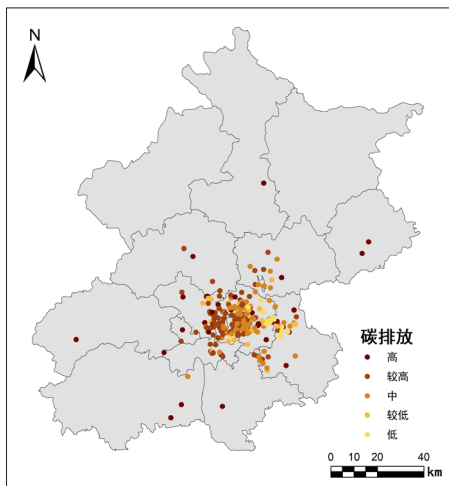
为了突出城市和社区两个尺度的建成环境影响的差异化作用,采取3个逐步回归模型进行分析。模型1仅考虑个人经济社会属性变量;模型2在模型1的基础上增加了城市尺度的公共交通供给相关变量,突出公共服务水平的影响;模型3在模型2的基础上加入社区尺度城市建成环境变量,即距城市中心的距离、居住密度、街道就业密度和停车场覆盖水平。结果显示,随着控制变量的加入,回归模型的DW值更加接近于2 ( $DW_1=1.010$ ,  $DW_2=1.313$ ,  $DW_3=2.010$ ),回归模型中的 $R^2$  ( $R^2_1=0.307$ ,  $R^2_2=0.474$ ,  $R^2_3=0.531$ ) 也出现升高趋势,同时增加变量没有产生额外的多重共线性(见表4)。

在逐步回归模型中,模型1主要探讨个人属性变量对通勤碳排放的影响,模型2在模型1的基础上加入公交和轨道供给变量,模型3再加入城市建成环境相关变量。

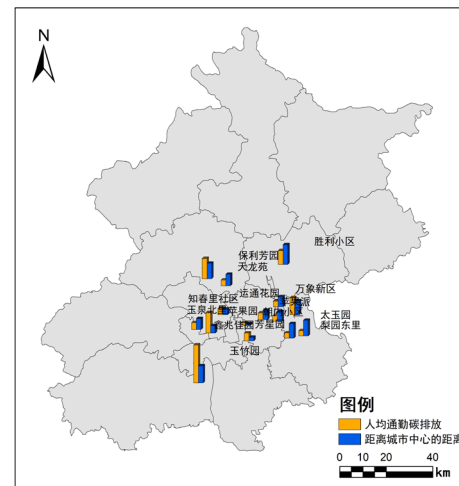
在个体社会经济属性方面,模型1结果显示个人收入越高 ( $\beta=0.821$ ,  $\text{Sig}=0.000$ ) 和性别为男性 ( $\beta=0.009$ ,  $\text{Sig}=0.032$ ) 对通勤碳排放存在显著正向的影响作用。

在公交供给水平方面,模型2显示个人收入 ( $\beta=0.683$ ,  $\text{Sig}=0.001$ )、性别 ( $\beta=0.004$ ,  $\text{Sig}=0.041$ ) 的正向作用仍然显著。新加入的公交可达性变量中,距最近轨道站点的距离越长 ( $\beta=0.217$ ,  $\text{Sig}=0.043$ ),通勤碳排放越高;附近1 km公交站点数量越多 ( $\beta=-0.041$ ,  $\text{Sig}=0.018$ ),通勤碳排放越低。以上反映了较高的轨道和常规公交可达性水平,更有助于形成低水平的通勤碳排放。

在其他建成环境变量方面,模型3中新加入变量后,模型1和模型2的变量影响方向和显著性仍然不变。新加入的其他城市建成环境相关变量中,距城市中心的距



a 就业地



b 居住地

图2 中心低碳化、外围高碳化

Fig.2 Low carbon in the center, high carbon in the periphery

资料来源:笔者自绘。

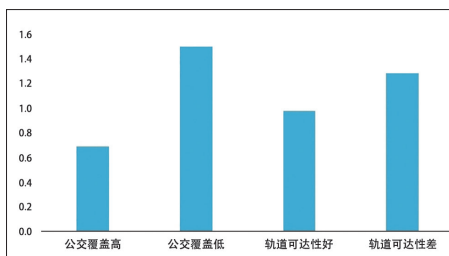


图3 公共交通设施对通勤碳排放的影响

Fig.3 The impact of public transportation facilities on commuting carbon emissions

资料来源:笔者自绘。

离 ( $\beta=0.053$ ,  $\text{Sig}=0.011$ ) 对通勤碳排放表现出显著正向的影响。这显示了北京仍以向心通勤为主,就业地点仍主要集中在城市中心区。社区尺度的职住密度显示了相似的影响,具体体现为街道居住密度 ( $\beta=-0.001$ ,  $\text{Sig}=0.034$ ) 和街道就业密度 ( $\beta=-1.94 \times 10^{-5}$ ,  $\text{Sig}=0.047$ ) 越高,居民的通勤碳排放越低。此外,街道停车场的数量 ( $\beta=0.004$ ,  $\text{Sig}=0.072$ ) 和街道路网密度 ( $\beta=0.007$ ,  $\text{Sig}=0.854$ ) 两个变量对于通勤碳排放的影响均不显著。

在3个模型中,个人属性的收入和性别都对通勤碳排放具有显著影响;加入公交供给和建成环境变量后,个人属性变量的作用不变。逐步回归模型结果表明,轨道交通可达性和公交供给水平的提升十分有助于居民选择更加低碳的通勤方式,从而降低通勤

表3 北京市所选研究区域的通勤情况

Tab.3 Commuting in selected research areas in Beijing

小区名称	所属街道	人均通勤距离/km	人均通勤排放/g
朝内小区	朝阳门街道	12.10	331.2
张家湾镇	张家湾镇	19.60	644.3
太玉园	梨园地区	13.68	654.8
梨园东里	常营地区	15.74	685.3
万象新区	常营地区	17.21	687.8
鑫兆佳园	常营地区	17.21	687.8
天龙苑	回龙观街道	16.48	717.6
知春里社区	中关村街道	20.74	821.7
苹果派小区	常营地区	21.13	823.5
苹果园	苹果园街道	30.68	877.4
芳星园	方庄街道	13.30	979.9
胜利小区	胜利街道	26.57	1 737.2
运通花园	运通街道	16.84	2 142.8
保利芳园	沙河镇	28.60	2 555.5
玉泉北里	老山街道	16.82	2 595.2
玉竹园	拱辰街道	37.22	4 771.7

资料来源:笔者自制。

碳排放。这与大部分国内外相关研究的结论一致<sup>[26-27]</sup>。区位因素的显著正向作用与前文中的“中心低碳化、外围高碳化”空间分布相互呼应,也体现了与以往单中心城市案例的相似性<sup>[28]</sup>。与既有研究不一致的地方在于,街道路网密度和停车位数量都没有显示出显著性;街道的居住和就业密度增加反而有助于通勤碳排放的降低<sup>[11]670, [29]</sup>。这可能是由于以北京为代表的超大城市人口和就业密度均值较高,居民选择公交通勤比例更高的原因。

### 3.3 社区调查的深度访谈与质性研究

基于社区田野调查的深度访谈的质性研究结论,进一步印证了回归分析中通勤碳排放受到社区建成环境与个人社会经济属性双重影响的结论。笔者所选取的3个代表性社区中,大栅栏社区和草厂社区都属于位于中心城区的胡同社区,具有居住密度较低、道路狭窄的特征。天通苑小区则位于近郊,具有通勤规模大、远距离通勤多的特点。以社区居民为访谈对象展开半结构式的质性访谈,注重对理论可选通勤路径与一周内实际通勤路径之间的差异的比较。

在与受访者的互动中,详细记录通勤个体一周内工作日的通勤距离、方式和过程的特征,形成居民通勤日志。通过开放式提问,深入了解可能与通勤碳排放相关的社会经济和建成环境因素。

在内城区草厂社区,受访者1的就业地在国贸CBD附近,通勤距离较远。社区静态停车设施缺乏,公交站服务便捷,城市绿道提供了高品质的步行空间,都使受访者更加倾向于以公交加步行作为主要的通勤方式。轨道交通在早高峰时拥挤和换乘次数多,成为受访者不倾向选择轨交出行的主要原因。然而,由于上班要求准时打卡,受访者偶尔也会选择自驾或公交转轨交的方式作为其通勤方式(见图4)。

在邻近的大栅栏社区,受访者2在丰台区怡海花园附近就业。相对草场社区,大栅栏社区的道路机动车、人行、非机动车混行,步行环境不尽理想。同时,受访者2收入水平较低且没有私家车,更倾向于选择“公交+骑行”或“公交+轨交”作为主要的通勤方式(见图5)。同样位于城市中心区的两个社区,受访者1和受访者2的通勤路径差异显示了较高品质的社区滨水步行环境、较好的绿化情况和开敞空间潜在影响了拥有私家车的通勤者作出转移交通方式的选择。

远郊天通苑社区曾经是亚洲规模最大的保障性住房社区之一,也是北京市轨道交通首批连通的远郊大型居住社区。天通苑受访者3

的就业地同样在国贸CBD地区,通勤距离较远。访谈显示,由于早高峰时期进城拥堵和居住、就业两端停车困难,受访者3更倾向于选择公交或轨交出行。由于路程长达90 min左

右,受访者更加注重是否是首发站(有座位)和少换乘,因此实际出行中较多采取快速公交系统(Bus Rapid Transit, BRT)加常规公交的方式(见图6)。

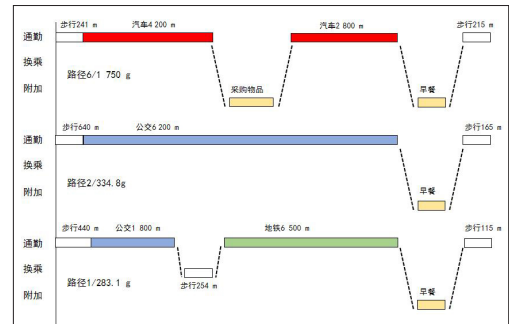
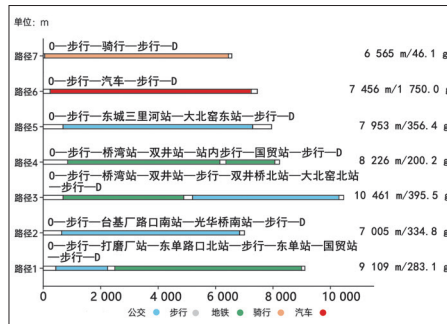
表4 北京市城市建成环境对通勤碳排放的影响分析

Tab.4 Analysis of the impact of urban built environment on commuting carbon emissions in Beijing

变量	模型1		模型2		模型3	
	$\beta$	Sig	$\beta$	Sig	$\beta$	Sig
R <sup>2</sup>	0.307	—	0.474	—	0.531	—
Durbin-Watson	1.010	—	1.313	—	2.010	—
解释变量	—	—	—	—	—	—
X <sub>1</sub> 收入/万元	0.821	0.000**	0.683	0.001**	0.620	0.003**
X <sub>2</sub> 户籍/(是/否)	0.001	0.751	0.001	0.847	0.001	0.892
X <sub>3</sub> 住房	0.126	0.812	0.114	0.855	0.091	0.911
X <sub>4</sub> 性别/(男/女)	0.009	0.032*	0.004	0.041*	0.003	0.049*
X <sub>5</sub> 轨道交通可达性/km	—	—	0.217	0.043*	0.269	0.045*
X <sub>6</sub> 常规公交供给/站点个数	—	—	-0.041	0.018*	-0.039	0.021*
X <sub>7</sub> 距城市中心距离/km	—	—	—	—	0.053	0.011*
X <sub>8</sub> 居住密度/(人/km)	—	—	—	—	-0.001	0.034*
X <sub>9</sub> 街道就业密度/(人/km)	—	—	—	—	-1.94X10 <sup>-5</sup>	0.047*
X <sub>10</sub> 停车场数量/(个/km)	—	—	—	—	0.004	0.072
X <sub>11</sub> 街道路网密度/(km/km <sup>2</sup> )	—	—	—	—	0.007	0.854

注: \*表示Sig<0.05; \*\*表示Sig<0.01。

资料来源:笔者自制。



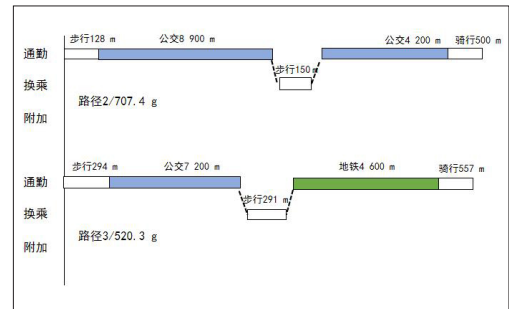
a 多重路径碳排放

b 实际通勤路径

图4 草厂社区受访者1的多重通勤路径碳排放与实际通勤路径

Fig.4 Possible and actual commuting paths of interviewee 1 in Caochang Community

资料来源:笔者自绘。



a 多重路径碳排放

b 实际通勤路径

图5 大栅栏社区受访者2的多重通勤路径碳排放与实际通勤路径

Fig.5 Possible and actual commuting paths of interviewee 2 in Dashilan Community

资料来源:笔者自绘。

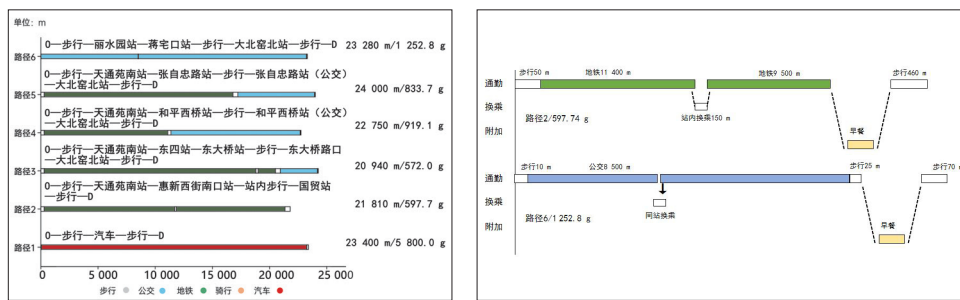


图6 天通苑小区被访者3的多重通勤路径碳排放与实际通勤路径  
Fig.6 Possible and actual commuting paths of interviewee 3 in Tiantongyuan Community

资料来源:笔者自绘。

以上代表性被访者的质性分析显示, 公交优先、步行友好的社区建成环境, 会增加通勤者选择低碳方式出行的几率。总体上来看, 被访者的实际通勤碳排放符合“中心低碳化、外围高碳化”的特征。然而, 通勤距离和职住两端的建成环境特征, 都会影响通勤碳排放; 具体来看, 个体收入、是否拥有私家车等个人属性及通勤距离所决定的对于舒适性和换乘次数的偏好都使被访者在时间最短、经济最优的约束下, 做出更符合自身通勤偏好的选择。这说明要降低通勤碳排放, 除了持续优化职住空间关系、提供绿色交通选择和改善建成环境外, 个体出行决策起着更加关键的作用。

#### 4 总结与思考

随着“双碳”目标的提出, 建成环境对于通勤碳排放的影响越来越受到城市规划和决策者的关注。1990年代开始, 北美在新城市主义运动和精明增长思潮的影响下, 更加关注密度、土地混合利用和道路网连通性等对于居民出行的影响, 旨在通过减少对小汽车的依赖, 最终减少温室气体的排放。进入21世纪, 我国城市生态文明建设对城市规划和决策者提出新要求, 如何通过良好的建成环境来实现低碳城市目标的理论与实践不断丰富。

目前在城市低碳研究中, 将降碳目标分解成为可操作的指标, 在能源、建筑、交通等领域分别展开实施的方法和技术已较为成熟。然

而, 从系统和整体视角出发, 展开多领域协同降碳的研究仍不多见。城市建成环境对通勤碳排放的影响研究成为横跨多个领域、解锁城市综合降碳路径的关键。

本文以超大城市北京为例, 在职住空间日益分离、通勤距离日益增长的背景下, 揭示城市建成环境影响通勤碳排放的因素。研究视角从关注人们对绿色交通方式的选择转移到包括通勤全过程的碳排放上。基于问卷调研和实证分析的研究结论显示, 通勤碳排放总体上呈现出“城市中心低、边缘高”的空间分布规律, 体现了向心通勤引发的整体职住空间关系在通勤碳排放中的关键影响作用。逐步回归模型显示, 常规公交和轨道交通供给水平高, 有益于通勤降碳; 距城市中心的距离越近、居住和就业密度越高, 通勤碳排放也就越低。个人属性也对通勤碳排放产生影响, 高收入、有汽车的居民通勤碳排放通常更高。在上述诸多因素中, 城市尺度上的职住空间关系发挥着最关键的作用, 常规公交和供给水平等因素也产生一定的影响; 社区尺度上的居住、就业密度对于通勤碳排放的作用更加突出。

这些研究结果显示, 通勤碳排放受到城市建成环境因素与个体社会经济属性的综合作用。建成环境中的区位、职住密度等在社区尺度会影响通勤者的碳排放水平; 公交和轨道的供给, 在城市和社区尺度都有助于形成低碳通勤模式。城市制定综合降碳政策需要多领域协同的碳排放测算, 简单强调倡导绿

色出行方式, 可能并不能解决通勤作为特殊出行行为的刚性需求。未来城市综合降低碳排放的主要政策建议包括: (1) 通过TOD规划, 引导更加协同的土地与交通发展模式。在城市规划和交通规划中, 可以通过塑造更加平衡的“职—住—学—医”关系, 冷却交通发生量, 从而进一步降低出行相关碳排放。(2) 通过公众参与, 提倡社区居民更低碳的出行。在社区规划中, 通过“生活圈”各项公共服务设施的合理布局, 降低社区通勤和其他目的出行对小汽车的依赖。

#### 参考文献 References

- 孙斌栋, 但波. 上海城市建成环境对居民通勤方式选择的影响[J]. 地理学报, 2015, 70(10): 1664-1674.  
SUN Bindong, DAN Bo. The impact of urban built-up environment on residents' commuting choices in Shanghai[J]. Journal of Geography, 2015, 70(10): 1664-1674.
- 杨文越, 梁斐雯, 曹小曙. 多尺度建成环境对居民通勤出行碳排放的影响——来自广州的实证研究[J]. 地理研究, 2020, 39(7): 1625-1639.  
YANG Wenyue, LIANG Feiwen, CAO Xiaoshu. The impact of multi-scale built environment on carbon emissions from residents' commuting trips: an empirical study from Guangzhou[J]. Geographic Research, 2020, 39(7): 1625-1639.
- 刘定惠. 城市空间结构对居民通勤行为的影响研究——以成都市和兰州市为例[J]. 世界地理研究, 2015, 24(4): 78-84.  
LIU Dinghui. A study on the impact of urban spatial structure on residents' commuting behavior: taking Chengdu and Lanzhou as examples[J]. World Geographic Research, 2015, 24(4): 78-84.
- 万晶晶, 张协铭, 刘志杰, 等. 大城市职住空间演变评估方法研究[J]. 城市交通, 2019, 17(1): 77-84.  
WAN Jingjing, ZHANG Xieming, LIU Zhijie, et al. Research on the evaluation method of the evolution of occupancy and residential space in large cities[J]. Urban Transport of China, 2019, 17(1): 77-84.
- GLAESER E L, KAHN M E. The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban

- development[J]. *Journal of Urban Economics*, 2008, 67(3): 404-418.
- [6] KENWORTHY J R, NEWMAN P W G. Cities and transport energy: lessons from a global survey[J]. *Ekistics*, 1990, 57: 258-268.
- [7] NEWMAN P W G, KENWORTHY J R. The transport energy trade-off: fuel efficient traffic VS fuel efficient cities[J]. *Transportation Research Part A*, 1988, 22(3): 163-174.
- [8] NEWMAN P W G, KENWORTHY J R. Gasoline consumption and cities: a comparison of US cities with a global survey[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1989, 55: 24-37.
- [9] MAKIDO Y, DHAKAL S, YAMAGATA Y. Relationship between urban form and CO<sub>2</sub> emissions: evidence from fifty Japanese cities[J]. *Urban Climate*, 2012, 2: 55-67.
- [10] 湛丽, 张文忠, 李业锦, 等. 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. The impact of urban residential space morphology on residents' commuting patterns in Beijing[J]. *Geographic Science*, 2016, 36(5): 697-704.
- [11] 潘海啸, 郑煜铭. 上海市通勤者交通碳排放的影响因素[C]//2019城市发展与规划论文集. 北京: 中国城市出版社, 2019: 478-487.  
PAN Haixiao, ZHENG Yuming. The influencing factors of carbon emissions from commuting in Shanghai[C]//2019 Urban Development and Planning Paper Collection. Beijing: China City Press, 2019: 478-487.
- [12] 赵荣钦, 范桦, 张振佳, 等. 城市地铁对沿线居民通勤交通碳排放的影响——以郑州市为例[J]. *地域研究与开发*, 2021, 40 (2) : 151-155.  
ZHAO Rongqin, FAN Hua, ZHANG Zhenjia, et al. The impact of urban subway on carbon emissions from commuting transportation for residents along the Line: a case study of Zhengzhou City[J]. *Regional Research and Development*, 2021, 40(2): 151-155.
- [13] ZHAO J, XIAO L, TANG L, et al. Effects of spatial form on urban commute for major cities in China[J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2014, 21(4): 361-368.
- [14] 尹超英, 周建, 林丽, 等. 城市建成环境影响下通勤时间和距离联合建模研究[J]. *北京交通大学学报*, 2021, 45 (3) : 24-29.  
YIN Chaoying, ZHOU Jian, LIN Li, et al. Research on joint modeling of commuting time and distance under the impact of urban built environment[J]. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2021, 45(3): 24-29.
- [15] 李熙敏. 中国城市规模与城市效率的关系研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2019.  
LI Ximin. A study on the relationship between urban scale and urban efficiency in China[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2019.
- [16] 王学渊, 李婧薇, 赵连阁. 地铁开通对城市空气质量的影响[J]. *中国人口科学*, 2020 (3) : 89-103.  
WANG Xueyuan, LI Jingwei, ZHAO Lian'ge. The impact of subway opening on urban air quality[J]. *China Population Science*, 2020(3): 89-103.
- [17] LI S, XUE F, XIA C, et al. A big data-based commuting carbon emissions accounting method—a case of Hangzhou[J]. *Land*, 2022, 11(6): 900.
- [18] 李治, 吕露. 西安市地铁建设对低碳通勤出行的影响研究[J]. *生产力研究*, 2022 (10) : 57-61.  
LI Zhi, LYU Lu. Research on the impact of subway construction on low-carbon commuting in Xi'an[J]. *Productivity Research*, 2022(10): 57-61.
- [19] WANG H, ZENG W. Revealing urban carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission characteristics and influencing mechanisms from the perspective of commuting[J]. *Sustainability*, 2019, 11(2): 385.
- [20] 张赫, 张建勋, 王睿, 等. 小城市建成环境对居民出行交通碳排放的影响机理[J]. *城市问题*, 2020 (7) : 4-10.  
ZHANG He, ZHANG Jianxun, WANG Rui, et al. The impact mechanism of the built environment in small cities on the carbon emissions of residents' travel and transportation[J]. *Urban Issues*, 2020(7): 4-10.
- [21] 吕雄鹰, 潘海啸. 低碳出行导向下新城居住区建成环境优化研究——以上海市松江新城为例[J]. *住宅科技*, 2021, 41 (5) : 60-66.  
LYU Xiongying, PAN Haixiao. Research on optimizing the built environment of new city residential areas under the guidance of low carbon travel: taking Songjiang New City in Shanghai as an example[J]. *Residential Technology*, 2021, 41(5): 60-66.
- [22] YAN S, KNAAP G-J. Measuring the effects of mixed land use on housing values[J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2004, 34: 663-680.
- [23] WYGONIK E, GOODCHILD A V. Urban form and last-mile goods movement: factors affecting vehicle miles travelled and emissions[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 61: 217-229.
- [24] AGUILERA A, VIOSIN M. Urban form, commuting patterns and CO<sub>2</sub> emissions: what differences between the municipality's residents and its jobs?[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2014, 69: 243-251.
- [25] SHI K, XU T, LI Y, et al. Effects of urban forms on CO<sub>2</sub> emissions in China from a multi-perspective analysis[J]. *Journal of Environmental Manage*, 2020, 262: 110300.
- [26] 郭亮, 彭雨晴, 黄建中, 等. 影响绿色出行的短距离通勤空间要素识别与优化——以武汉市为例[J]. *城市规划学刊*, 2022 (3) : 37-43.  
GUO Liang, PENG Yuqing, HUANG Jianzhong, et al. Identification and optimization of short distance commuting space elements that affect green travel: a case study of Wuhan City[J]. *Urban Planning Forum*, 2022(3): 37-43.
- [27] YI Y, MA S, GUAN W, et al. An empirical study on the relationship between urban spatial form and CO<sub>2</sub> in Chinese cities[J]. *Sustainability-Basel*, 2017, 9(4): 672.
- [28] 袁玉娟, 刘清春, 马寒卿. 基于住房价格的通勤碳排放空间分异——以济南市为例[J]. *自然资源学报*, 2021, 36 (8) : 2081-2094.  
YUAN Yujuan, LIU Qingchun, MA Hanqing. Spatial differentiation of commuting carbon emissions based on housing prices: a case study of Ji'nan City[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(8): 2081-2094.
- [29] 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. The carbon emission characteristics of commuting residents in three circle communities of Guangzhou City: taking Dufu Community, Nanyayuan Community, and Lijiang Garden as examples[J]. *Geography Research*, 2015, 34(4): 751-761.