

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

The Effect of Traffic Facilities Accessibility on Household Commuting Caused Carbon Emission:
A Case Study of Wuhan City, China

黄经南 高浩武 韩笋生

Huang Jingnan, Gao Haowu, Han Sunsheng

摘要: 以武汉为例, 结合问卷调查和基础地理空间数据, 计算样本家庭日常交通出行碳排放量。然后分析交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放的关系, 并分析社会经济属性的影响。结果表明: 全市层面, 公交线路条数越多, 交通出行碳排放越低; 考虑社会经济因素影响, 公交线路条数、道路交叉点越多, 交通出行碳排放越低; 反之亦然。考虑到武汉市多中心空间结构, 分区层面交通设施便利度与碳排放呈现不同结果。最后提出低碳城市空间规划相关策略。

Abstract: The paper, taking Wuhan as an example, first calculates the carbon emission of household daily travel based on questionnaire survey and some fundamental spatial data, then analyzes the relationship between traffic facilities accessibilities and carbon emission, and finally explores the influence of socio-economic factors. The results show that at the city level the number of bus route has significant correlation with family commuting carbon emission. If considering socio-economic factors including household income, education level, and the private car ownership, the number of the road crossing within 1 000 meters also bear correlation with family commuting carbon emission. In the district level, the results are distinct when considering the unique polycentric spatial structure of Wuhan city. Finally, the paper puts forward several suggestions on low carbon community planning.

关键词: 道路交通设施; 碳排放; 低碳社区; 武汉

Keywords: Traffic Facilities; Carbon Emission;
Low Carbon Community; Wuhan

作者: 黄经南, 武汉大学城市设计学院, 副教授。

huangjin73@hotmail.com

高浩武, 武汉大学城市设计学院, 2012 级硕士研究生。

1016768709@qq.com

韩笋生, 墨尔本大学, 建筑与规划学院, 城市规划系, 教授。rsthans@nus.edu.sg

前言

二氧化碳浓度逐年升高导致的全球变暖成为世界各国共同关注的问题。城市, 消耗绝大多数能源, 产生大量温室气体。如何实现低碳城市, 增加其发展动力, 改善城市生活是城市可持续发展的重要内容^[1,2]。作为城市能源消耗的源头之一, 交通碳排放占全部碳排放的较大比例, 全球温室气体排放总量的 13.1% 与城市交通直接相关^[3,4]。与此同时, 由于家庭小汽车日益普及, 居民日常出行交通比例不断上升。城市道路交通系统在内的城市外部环境因素(城市经济发展水平、城市形态等)影响出行工具的选择^[5,6]。交通设施便利度对交通出行具有重要的引力作用^[7], 一般认为交通设施越发达, 机动车出行比例越高, 反之亦然。因此, 道路交通设施与居民日常交通出行碳排放密切相关。

1 国内外研究现状

1.1 家庭日常交通出行碳排放

家庭日常交通出行碳排放研究一直是低碳研究的重要领域之一。国内外对于其研究主要以碳排放影响因素相关研究为主, 还包括如何减排。

国外已有研究主要是碳排放影响因素分析和减少碳排放。碳排放影响因素分析主要包括居民社会经济属性和城市空间形态两方面。社会经济属性方面: 布朗(Brown)发现单一的土地使用会使家庭出行单位距离碳排放增加近一倍^[8]; 奥卡达(Okada)认为老年人口比例与出行碳排放存在二次方关系, 且当前者超过 16% 时, 二者为负相关^[9]。城市空间形态方面: 扎哈比(Zahabi)等研究加拿大蒙特利尔市城市建成环境属性与交通出行碳排放, 发现交通可达性每增加 10%, 对应减少 5.8% 的碳排放^[10]。塞韦罗(Cervero)以旧金山大都市地区为例, 发现多中心引起的就业分散, 使单自驾车通勤的比例有所增加, 小汽车使用率增加 16%, 公共交通使用率则下降^[11]。减排方面, 尼泊尔(Nepal)发现提倡电力公交出行与私人交通出行相比可减少 43%~47% 的 CO₂^[12]; 哈瓦特(Harwatt)等建立并检测了伦敦未来低碳方案, 其中碳排放交易方案与合理的步行和自行车方案有可能减少 80% 以上的碳排放^[13]。

国内已有研究包括出行碳排放的影响因素（直接影响因素和间接影响因素）分析及如何减排。直接影响因素主要包括出行特征和城市空间结构。出行特征方面，柴彦威等根据北京市居民活动日志调查数据，建立相关模型，发现影响出行碳排放的主要因素是出行距离和出行方式^[14]。肖作鹏等通过对北京市居民家庭日常出行碳排放量化分布研究，发现社区杂化现象、个人习惯、个人偏好及能力、住房区位、家庭机动车数、地铁可达性等对出行碳排放有重要影响^[15]。城市空间结构方面，马静等对北京社区空间形态影响进行多角度测度显示胡同社区和单位社区居民的出行碳排放比郊区商品房社区和政策性住房社区要低，可能开发密度、土地混合度、公交可达性和郊区化等导致的^[16]。秦波等认为在考虑社会经济属性下，影响居民碳排放的空间形态要素按影响由大到小分别为社区密度、社区可达性、社区多样性^[17]。姚胜永等对全球 87 个城市的能源消耗、城市空间和交通模式的分析，发现城市密度不是影响交通碳排放的最大因素^[18]。间接影响方面，主要是研究不同因素影响出行方式从而间接影响出行碳排放。如潘海啸研究认为高密度、小街区的设计有利于提高非机动车化的交通出行比例^[19]。张飞飞则认为出行特性、出行者个人特征和家庭特征都对交通方式选择有显著影响^[20]。减排方面，主要是优化公交系统和改变出行。刘志林等认为倡导低密度蔓延式开发，提高居民日常活动的邻近度与可达性，控制机动车出行，可减少出行碳排放^[21]。刘志雄提出优化出行结构、调整土地利用模式、提高实载率等措施^[22]。

1.2 交通设施对居民日常出行的影响

城市交通基础设施主要由城市道路网络、交通枢纽、停车设施等共同组成，是城市交通系统的生产资源^[23]。一般情况下公交站点密度越高、线路越多、公交服务水平越高，居民公共交通出行比例越高^[24]；一定区域内道路交叉点越多，交通可达性越强^[25]。而交通设施便利度、道路网密度与出行密切相关。在公交设施方面，吴锦瑜对居民住家 300 m 范围内公交站点数量、公交线路条数与居民交通出行方式的相关性分析，发现公交线路条数和公交站点数与居民选择公交出行概率正相关^[26]。路网密度对居民出行也存在一定影响：辛西娅（Cynthia）等用交叉点的数量、联系通道数量及长度进来衡量街道的连接性，发现较差的连接性通常会导致较多拥堵，不利于低碳出行^[27]。弗兰克（Frank）等研究亚特兰大地区居民日常出行方式与居民住家周边街区环境关系，认为居民住家周围的交叉点越多，居民越易于选择步行^[28]。彭晓的研究表明交叉点越多，道路密度越大，居民更倾向于选择非机动车出行^[25]。另有研究表明，住家与最近公交站点距离和出行也有关系。如凯特姆（Kitamura）等发现小汽车出行比

例与停车场的便利性、距离公交站点的距离正相关^[29]；王召森认为现代化公交体系的高效运行需要有足够数量的道路，且居民一般从家到公交车站的平均出行时间为 4~5 分钟^[30]；杨小飞等发现居民出发点与公交站台的步行距离越近，乘坐公交越方便，公交出行分担率越高，当步行距离超过乘客接受的步行距离时，乘客改选其他方式出行，公交出行分担率下降^[31]。

综上所述，目前国内外对于家庭日常交通出行碳排放的研究多局限于从居民角度出发，分析出行方式和社会经济属性与交通出行碳排放之间的关系，从道路交通系统角度进行的剖析相对较少。为弥补研究不足，以武汉市为例，分析道路交通设施对交通碳排放的影响，提出相关策略。

2 研究方法

2.1 研究区域

武汉由武昌、汉口、汉阳三镇组成，被多条已建和在建跨江大桥连接起来，交通便捷。公共交通方式包括公交汽（电）车、轮渡、轨道和出租车等（图 1）。

2.2 研究方法

2.2.1 数据来源与问卷调查

数据来源于 2010 年在武汉市开展的空间规划与低碳城市问卷调查。采取非概率配额抽样方法获取样本，采用入户调查、小区采样和街面随机调查，进行问卷发放和回收。考虑武汉城市空间格局和现状人口分布，以主城区为主、兼顾城郊新区，并尽量保证样本均匀分布进行问卷发放。共发放问卷 1 504 份，回收 1 194 份有效问卷。问卷涉及家庭的居住环境、居民日常出行方式选择、家庭生活能耗、家庭及个人社会经济信息、居民节能减排意识。其中居民日常出行数

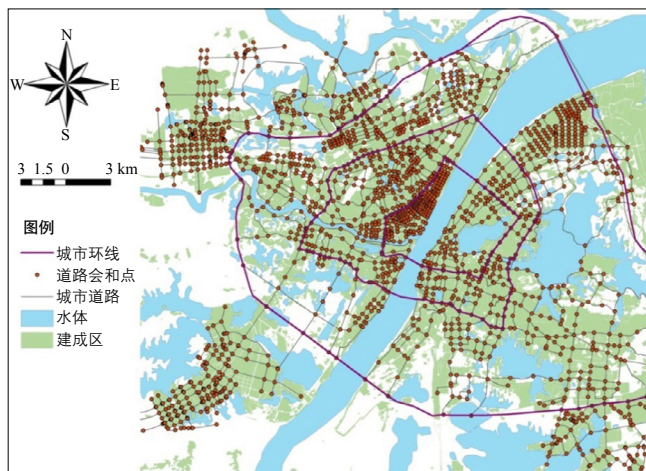


图 1 武汉市交通网路图

据包括家庭各主要成员的出行方式和出行距离，用于计算家庭出行碳排放。问卷剔除家庭以及个人相关信息不完整或家庭月平均汽油消耗为零的及用电信息不明确或缺省的等几类样本。样本点家庭住家空间分布如图2所示。

2.2.2 家庭日常交通出行碳排放估算

家庭成员日常交通出行碳排放参照机动车碳排放量来计算，主要有两种测算方法^[32]：

基于机动车所消耗燃料，方法为：

机动车碳排放量 = 消耗燃料量 × 该类燃料的碳排放因子 (1)

基于机动车行驶距离，方法为：

机动车碳排放量 = 机动车行驶里程 × 不同类型机动车的碳排放因子 (2)

不同地区不同城市，各种因素都会影响到各种交通工具的能耗，基于数据精度、简化计算及结合武汉市实际情况，本文对不同出行方式采用不同方法计算：对居民的私人小汽车出行采取方法1，出租车、摩托等出行采取方法2。测算方法中的碳排放因子来自 IPCC 和 ghgprotocol.org 的相关因子。

2.2.3 道路交通设施便利度测算

道路交通设施便利度涉及的公交设施的完善程度是指以公交线路数和住家离最近公交站点距离为指标，代表居民使用周边公交设施的便利程度；道路的连接性是指在道路网络中以道路交叉点数目来反映的居民在街区两点间出行的便利程度。

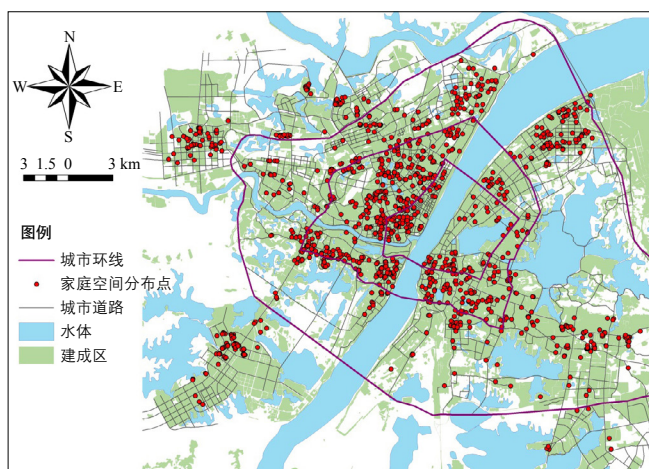


图2 抽样调查样本空间分布图

测算公交设施完善程度以受调查家庭住家地址的空间投影为圆心，以 500 m 为半径确定缓冲区^①，并通过软件二次开发，统计缓冲区内居民住家与最近公交站点的距离（图3）及公交线路数（图4）。

测算道路连接性以受调查家庭住家地址空间投影为圆心，以 1 000 m 为半径确定缓冲区^②，并通过软件二次开发，统计缓冲区内道路交叉点数（图5）。

2.2.4 相关分析

采用相关分析法从全市和分区层面分析道路交通设施与居民日常交通出行碳排放的关系，并考虑社会经济属性的影响：首先，对将道路交通设施便利度与居民日常交通出行碳排放进行相关性分析；建立多元回归模型，分析居民日常交通出行碳排放与家庭社会经济因素的关系；以筛选出的家庭社会经济因素为控制变量，对二者进行偏相关分析。

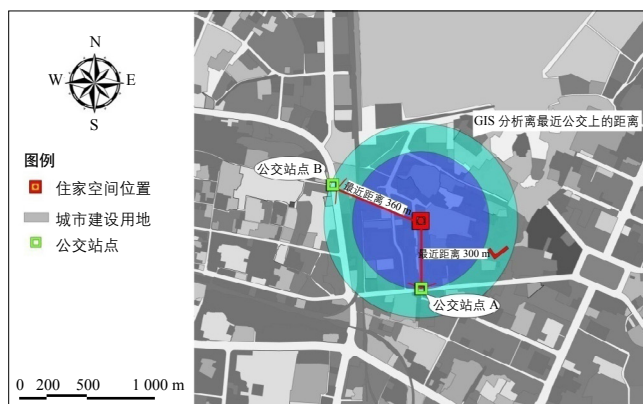


图3 住家离最近公交站点距离分析示意图

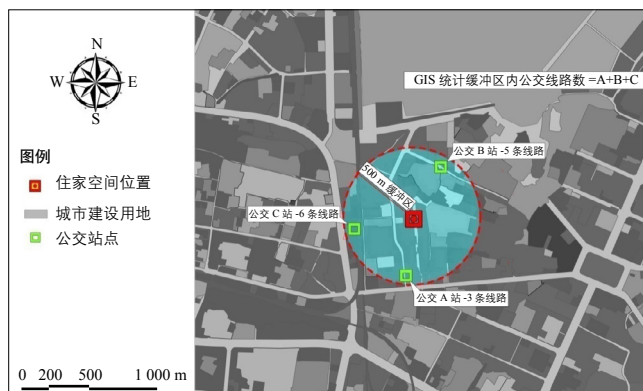


图4 住家周边 500 m 范围内公交线路数量分析统计示意图

① 根据《城市道路交通规划设计规范》规定公交服务半径一般为 300 m 和 500 m，考虑到武汉为特大城市及简化问卷调查工作量，本文选取 500 m 作为缓冲半径。
 ② 《城市道路交通规划设计规范》指出城市主干道之间间距为 800~1 200 m，考虑到武汉为特大城市及简化问卷调查工作，本文选取中间值 1 000 m 作为缓冲区半径。

3 结果

3.1 交通出行碳排放构成

1 194 个调查样本的家庭总年碳排放量是 5 939 367 kg, 家庭日常出行碳排放为 1 172 260 kg, 占总量的 19.7%。私人小汽车碳排放占总出行碳排放量的比例最大达 82%, 其次为出租车为 12%, 二者占主导地位; 公交车及轻轨是目前居民主要的出行方式, 占总出行碳排放的 3%。

3.2 交通出行碳排放空间分布特征

样本点家庭日常交通出行碳排量空间分布如图 6 所示: 碳排放量较高的点一般位于城市边缘地区和大型居住区和新兴工业区, 如武汉经济技术开发区、金银湖社区。而城市中心区、依托原有城镇发展起来的新区(如东西湖区吴家山)碳排放量大多较小。

3.3 道路交通设施便利度空间表现特征

各样本点住家 500 m 内公交线路数量如图 7 所示: 公交线路较多首先是主城核心区, 如三镇传统商业区, 其次是沿

城市主干道和主要过江通道, 如武昌的武珞路、中南路和中北路、武昌长江一桥、二桥两侧, 汉口过江通道两侧。在城区的边缘地区、新建大型住宅区, 如百步亭、南湖、青山老工业区、城市新开发区(如武汉经济技术开发区、东西湖区吴家山)偏少。从公交服务水平均衡性看, 汉口、汉阳差异性较小、武昌差异性较大。

各样本点住家 500 m 内距离最近公交站点距离如图 8 所示: 主城区距离最近公交站点距离几乎都在 0~300 m 内, 而超过公交服务半径 500 m 以上的样本主要是东西湖区吴家山、金银湖社区、武汉经济技术开发区黄家湖住区, 尤其黄家湖住区距离最近公交站点均在 1 000 m 以上。

样本点住家 1 000 m 内道路交叉点个数如图 9 所示: 三镇传统商业区通连接性较高, 且汉口传统商业区内交叉口数量密度较大, 交通可达性最佳; 其次处于城市边缘区依托原有城镇发展的新区, 如东西湖区吴家山。可达性较差的区域主要集中在城市边缘区和城市新兴发展区, 且与城市发展的实际基本吻合。

对比图 7 和图 6 可以发现主城核心区公交线路越多的区域, 高碳的家庭日常出行碳排放样本点出现几率较低, 在城

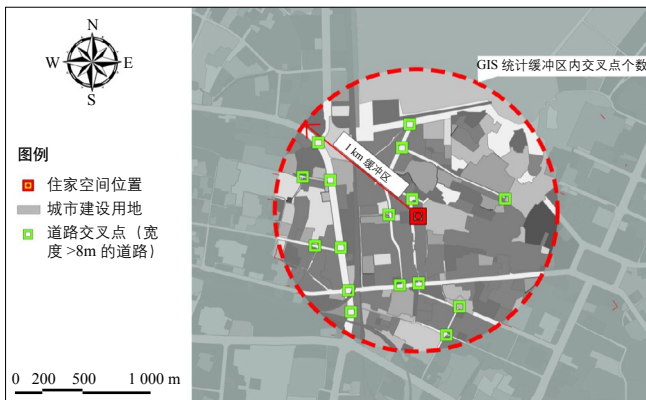


图 5 道路交叉点个数统计示意图

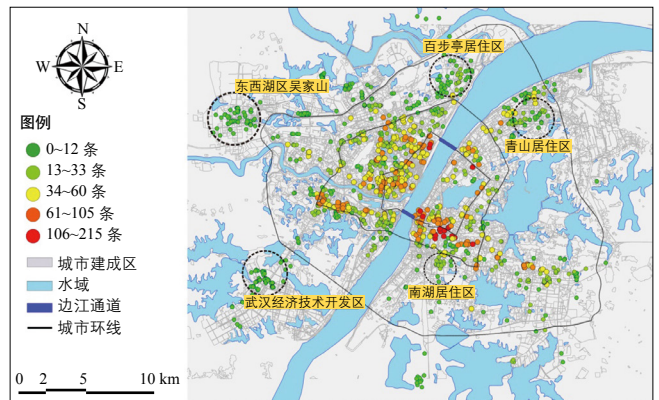


图 7 居民点 500 m 范围内的公交线路数量

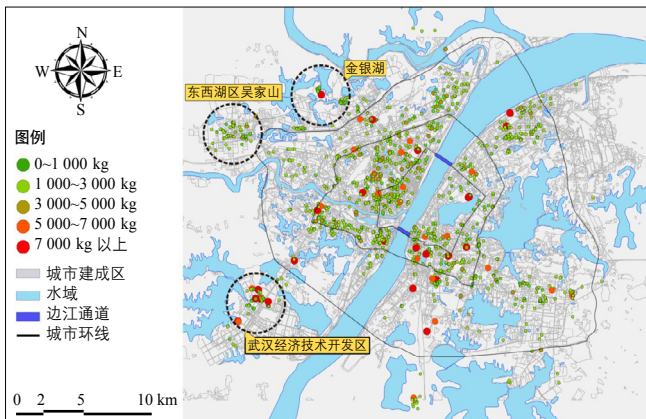


图 6 家庭日常交通出行碳排放空间分布图

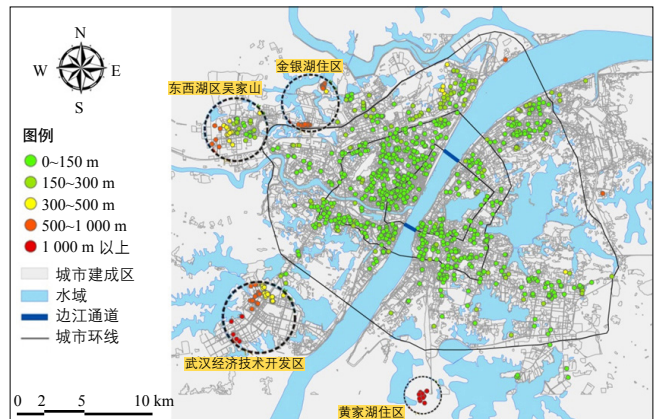


图 8 住家离最近公交站点距离

市郊区公交线路数偏少区域，高碳的家庭日常出行碳排放样本点出现比例较城市核心区高，以城市新兴开发区最为突出。对比图 8 和图 6，可以发现城市新兴开发区住家离最近公交站距离越远，碳排放越高。对比图 9 与图 8，主城核心区和依托原有城镇发展的新区道路交叉口数量较高，高碳家庭日常出行碳排放样本点出现比例较低。综上所述，公交线路越多、距离最近公交站点越近、路网密度越大的地区，家庭碳排放量越低，反之亦然。

3.4 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放相关分析

武汉市层面道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放及家庭月收入的相关分析表明（表 1）：公交线路条数与居民日常交通碳排放量在 0.05 水平上显著相关（ $0.014 < 0.05$ ），且为负相关（相关系数为 -0.072），即公交线路条数越多，交通出行碳排放越低；反之亦然。而最近公交站点距离、

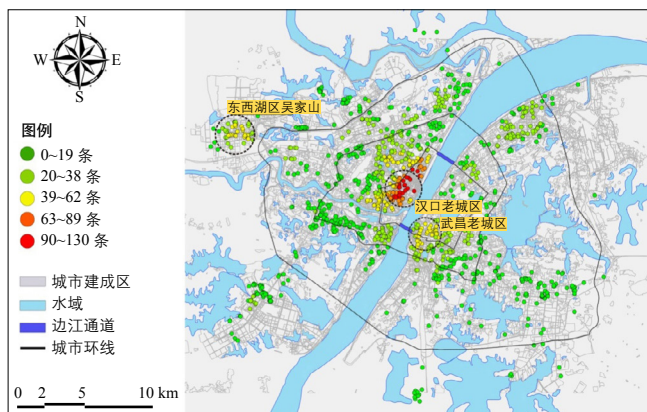


图 9 居民点 1 000 m 范围内的道路交叉点数量

表 1 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放相关分析（武汉市）

		家庭出行碳排放	最近公交站点距离	公交线路条数	1 000 m 范围内道路交叉口数
家庭出行碳排放	Pearson 相关性	1	.056	-.072*	-.049
	显著性（双侧）	-	.055	.014	.092
	N	1 189	1 189	1 189	1 189
最近公交站点距离	Pearson 相关性	.056	1	-.316**	-.222**
	显著性（双侧）	.055	-	.000	.000
	N	1 189	1 189	1 189	1 189
公交线路条数	Pearson 相关性	-.072*	-.316**	1	.327**
	显著性（双侧）	.014	.000	-	.000
	N	1 189	1 189	1 189	1 189
1 000 m 范围内道路交叉口数	Pearson 相关性	-.049	-.222**	.327**	1
	显著性（双侧）	.092	.000	.000	-
	N	1 189	1 189	1 189	1 189

* 在 0.05 水平（双侧）上显著相关

** 在 .01 水平（双侧）上显著相关

1 000 m 内道路交叉口数与交通出行碳排放相关不显著。

由于道路交通设施便利度各指标中仅公交线路条数与碳排放相关，其他两指标则与碳排放相关不显著，可能与武汉市多中心空间结构存在联系。因此，有必要从分区层面分析以上各指标与碳排放的关系，验证不同层面得出结论是否一致，武汉市多中心空间结构是否成立。

分区层面道路交通设施便利度与居民日常交通出行碳排放及家庭月收入的相关分析（表 2—表 4）表明：武昌、汉口各指标与碳排放均不相关（表 2, 表 3），汉阳最近公交站点距离与碳排放显著相关（表 4）（ $0.021 < 0.05$ ），且为正相关（相关系数为 0.153），即汉阳居民距离最近公交站点越远，交通出行碳排放越高；反之亦然。

表 2 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放相关分析（武昌）

		家庭出行碳排放	最近公交站点距离	公交线路条数	1 000 m 范围内道路交叉口数
家庭出行碳排放	Pearson 相关性	1	-.003	-.090	-.009
	显著性（双侧）	-	.953	.058	.844
	N	442	442	442	442
最近公交站点距离	Pearson 相关性	-.003	1	-.162**	-.285**
	显著性（双侧）	.953	-	.001	.000
	N	442	442	442	442
公交线路条数	Pearson 相关性	-.090	-.162**	1	.292**
	显著性（双侧）	.058	.001	-	.000
	N	442	442	442	442
1 000 m 范围内道路交叉口数	Pearson 相关性	-.009	-.285**	.292**	1
	显著性（双侧）	.844	.000	.000	-
	N	442	442	442	442

* 在 0.05 水平（双侧）上显著相关

** 在 .01 水平（双侧）上显著相关

表 3 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放相关分析（汉口）

		家庭出行碳排放	最近公交站点距离	公交线路条数	1 000 m 范围内道路交叉口数
家庭出行碳排放	Pearson 相关性	1	.034	-.024	-.073
	显著性（双侧）	-	.439	.578	.094
	N	522	520	520	520
最近公交站点距离	Pearson 相关性	.034	1	-.408**	-.268**
	显著性（双侧）	.439	-	.000	.000
	N	520	520	520	520
公交线路条数	Pearson 相关性	-.024	-.408**	1	.522**
	显著性（双侧）	.578	.000	-	.000
	N	520	520	520	520
1 000 m 范围内道路交叉口数	Pearson 相关性	-.073	-.268**	.522**	1
	显著性（双侧）	.094	.000	.000	-
	N	520	520	520	520

* 在 0.05 水平（双侧）上显著相关

** 在 .01 水平（双侧）上显著相关

3.5 家庭日常交通碳排放影响社会经济因素分析

以社会经济因素为自变量、碳排放为因变量进行多元回归分析,利用“向后剔除”法(backward)^①对全部自变量进行筛选,结果表明(表5):在0.05水平上,家庭月收入对居民日常交通出行碳排放影响最大,其次是家庭常住人口,再次是家庭成员二受教育程度(相关系数相应为0.000、0.037、0.027)。即家庭日常交通出行碳排放与居民家庭月收入、成员二受教育程度、家庭常住人口高度正相关,说明居民家庭月收入越高、家庭成员越多、成员二受教育水平越高,家庭日常交通出行碳排放越高。

3.6 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放偏相关分析

武汉市层面,以筛选所得社会经济因素为控制变量,对道路交通设施便利度各指标、家庭日常交通出行碳排放进行偏向关分析,结果表明(表6):公交线路条数、1000m内道路交叉口数均与出行碳排放显著相关(显著性分别为0.031<0.05、0.024<0.05)。

表4 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放相关分析(汉阳)

		家庭出行碳排放	最近公交站站点距离	公交线路条数	1000m范围内道路交叉口数
家庭出行碳排放	Pearson相关性	1	.153*	-.112	-.005
	显著性(双侧)	-	.021	.091	.946
	N	229	227	227	227
最近公交站站点距离	Pearson相关性	.153*	1	-.499**	-.127
	显著性(双侧)	.021	-	.000	.056
	N	227	227	227	227
公交线路条数	Pearson相关性	-.112	-.499**	1	.200**
	显著性(双侧)	.091	.000	-	.002
	N	227	227	227	227
1000m范围内道路交叉口数	Pearson相关性	-.005	-.127	.200**	1
	显著性(双侧)	.946	.056	.002	-
	N	227	227	227	227

*在0.05水平(双侧)上显著相关

**在.01水平(双侧)上显著相关

表5 家庭日常交通出行碳排放影响社会经济因素多元回归分析

模型	B	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
		标准误差	试用版			
5	(常量)	-1 976.243	290.606	-	-6.800	.000
	居民家庭月收入	640.830	56.937	.356	11.255	.000
	成员二受教育程度	116.752	52.667	.070	2.217	.027
	家庭常住人口	137.104	65.762	.059	2.085	.037

因变量:居民家庭交通出行的碳排放

分区层面,以上述筛选所得社会经济因素为控制变量,对道路交通设施便利度各指标、家庭日常交通出行碳排放进行偏向关分析,结果表明(表7—表9):武昌公交线路条数与碳排放显著相关(显著性为0.047<0.05),汉口1000m内道路交叉口数与碳排放显著相关(显著性为0.035<0.05),汉阳各指标则与碳排放不相关。

4 讨论

道路交通设施和社会经济属性均对家庭交通出行碳排放存在影响,在考虑社会经济属性因素影响下,道路交通设施对家庭日常交通出行碳排放的影响更加显著。这在武汉市特有的“两江三镇”空间格局中可见一斑。

表6 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放和社会经济因素偏相关分析(武汉市)

控制变量		相关性	家庭出行碳排放	最近公交站站点距离	公交线路条数	1000m范围内道路交叉口数
家庭人口数目 & 家庭成员二受教育程度 & 家庭平均月收入	家庭出行碳排放	相关性	1.000	.043	-.064	-.067
		显著性(双侧)	0.	.147	.031	.024
		df	0	1 135	1 135	1 135
	最近公交站站点距离	相关性	.043	1.000	-.318	-.217
		显著性(双侧)	.147	0.	.000	.000
		df	1 135	0	1 135	1 135
公交线路条数	家庭出行碳排放	相关性	-.064	-.318	1.000	.337
		显著性(双侧)	.031	.000	0.	.000
		df	1 135	1 135	0	1 135
	1000m范围内道路交叉口数	相关性	-.067	-.217	.337	1.000
		显著性(双侧)	.024	.000	.000	0.
		df	1 135	1 135	1 135	0

表7 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放和社会经济因素偏相关分析(武昌)

控制变量		相关性	家庭出行碳排放	最近公交站站点距离	公交线路条数	1000m范围内道路交叉口数
家庭平均月收入 & 家庭成员二受教育程度 & 家庭人口数目	家庭出行碳排放	相关性	1.000	.006	-.098	.024
		显著性(双侧)	0.	.905	.047	.624
		df	0	408	408	408
	最近公交站站点距离	相关性	.006	1.000	-.155	-.280
		显著性(双侧)	.905	0.	.002	.000
		df	408	0	408	408
公交线路条数	家庭出行碳排放	相关性	-.098	-.155	1.000	.303
		显著性(双侧)	.047	.002	0.	.000
		df	408	408	0	408
	1000m范围内道路交叉口数	相关性	.024	-.280	.303	1.000
		显著性(双侧)	.624	.000	.000	0.
		df	408	408	408	0

① 多元线性回归中,向后剔除法是先全部自变量选入方程,然后逐步剔除无统计学意义的自变量,直至方程中所有的变量都不能剔除为止。

(1) 碳排放较高点一般位于城市边缘地区(东西湖区吴家山除外)、功能较单一的大型居住区和新兴工业区;城市中心区碳排放大多较小。碳排放较高的有武汉经济技术开发区、金银湖社区(图6)。原因在于二者现状公共基础设施较落后,如武汉经济技术开发区位于汉阳西南方向,传统的居民区和商业中心则位于汉阳的东北部,职住相对分离,同时交通网络被土地利用模式及自然水域分割,密度较低,体系相对不完善(图10,图11),造成居民出行距离及私人小汽车出行比例增加,导致较高交通出行碳排放。东西湖区吴家山是依托原有城镇发展起来的新区,虽处于城市边缘,但由于依托原有城镇较为完善的公共基础服务设施,相对城市其他地区,碳排放较少。而城市中心区是社会经济活动高度密集的地方,出行吸引力大大强于城市边缘区,各种交通服

务设施相对齐全,交通可达性较高,出行方式多样,出行距离较少,出行碳排放相对较低。

(2) 住家500m内公交线路条数较多分布于主城核心区(如三镇传统商业区)、沿城市主要干道和主要过江通道,而城区边缘区(青山住区)、新建大型住宅区(南湖住区、百步亭住区)、城市新开发区(东西湖区吴家山、武汉经济技术开发区)公交线路条数偏少(图7)。原因在于主城核心区是城市发展重点区域,一定程度上保留着原老城区的道路格局,同时人口密集,出行需求较大;而城市主要干道及主要过江通道则是交通流集中区段,城市居民日常交通出行多数要经过。南湖住区是武昌近年发展起来的大型居住区,高校云集,配套设施还不够完善;城市新开发区如武汉经济技术开发区与其传统的居民区和商业中心相对分离,

表8 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放和社会经济因素偏相关分析(汉口)

控制变量		家庭出行碳排放	最近公交站点距离	公交线路条数	1000m范围内道路交叉口数	
家庭人口数目 & 家庭成员二受教育程度 & 家庭平均月收入	家庭出行碳排放	相关性	1.000	.029	-.042	-.094
		显著性(双侧)	0.	.515	.350	.035
		df	0	505	505	505
	最近公交站点距离	相关性	.029	1.000	-.400	-.259
		显著性(双侧)	.515	0.	.000	.000
		df	505	0	505	505
	公交线路条数	相关性	-.042	-.400	1.000	.520
		显著性(双侧)	.350	.000	0.	.000
		df	505	505	0	505
1000m范围内道路交叉口数	相关性	-.094	-.259	.520	1.000	
	显著性(双侧)	.035	.000	.000	0.	
	df	505	505	505	0	

表9 道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放和社会经济因素偏相关分析(汉阳)

控制变量		家庭出行碳排放	最近公交站点距离	公交线路条数	1000m范围内道路交叉口数	
家庭人口数目 & 家庭成员二受教育程度 & 家庭平均月收入	家庭出行碳排放	相关性	1.000	.074	.003	-.021
		显著性(双侧)	0.	.280	.971	.756
		df	0	212	212	212
	最近公交站点距离	相关性	.074	1.000	-.451	-.110
		显著性(双侧)	.280	0.	.000	.109
		df	212	0	212	212
	公交线路条数	相关性	.003	-.451	1.000	.191
		显著性(双侧)	.971	.000	0.	.005
		df	212	212	0	212
1000m范围内道路交叉口数	相关性	-.021	-.110	.191	1.000	
	显著性(双侧)	.756	.109	.005	0.	
	df	212	212	212	0	

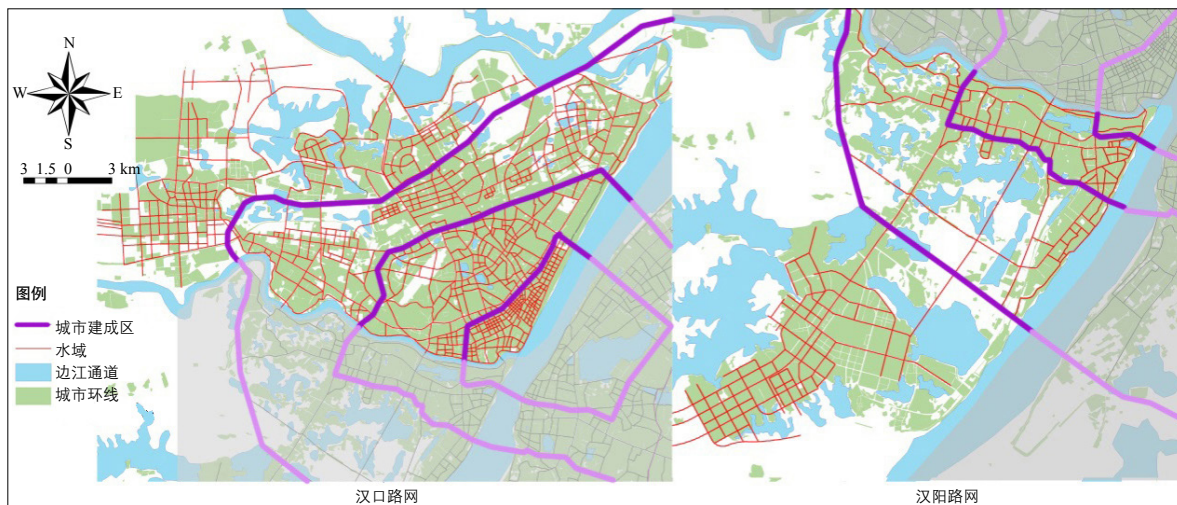


图10 汉口(左)和汉阳(右)路网比较

土地混合度不高，职住相对分离。交通网络由于土地利用模式及自然水域分割，密度较低，体系不完善，公交不发达，线路较少。

(3) 主城区样本家庭距离最近公交站点几乎都在 300 m 以内，城市边缘区少数住区（东西湖区吴家山、金银湖、武汉经济技术开发区、黄家湖住区）超过公交服务半径 500 m，其中东西湖区吴家山、金银湖、武汉经济技术开发区为出行碳排放较高区域（图 8）。原因在于三处住家离最近公交站点距离大部分超过 500 m 甚至 1 000 m，造成公交出行难，居民偏向私人小汽车出行，碳排放相对较高。黄家湖住区距离最近公交站点虽然是 4 个区域中最大而出行碳排放却相对较低的区域，可能是该处属农村居民点，且位于城市边缘，路网密度很低，收入远不及城区，购买小汽车能力有限，居民步行出行比例居多。

(4) 住家周围 1 000 m 内道路交叉点数量较高区域依次是汉口与武昌老城区及东西湖区吴家山（图 9）。老城区道路交叉点数量居多在于老城区原本规划已有的道路格局，道路完善程度高；而汉口老城区对武昌老城区而言相对较多原因在汉口老城区比武昌老城区人口密集些，且居民区大都是邻近主干道，交通出行流量相对大些，需要较大密度路网分担交通流量。交通连接性更完善，公交出行更便捷，这与居民日常交通出行碳排放的空间分布特征吻合。

(5) 对武汉市而言，公交线路条数与居民日常交通碳排放显著负相关（表 1）。在考虑社会经济因素情况下，公交线路条数、1 000 m 内道路交叉口数均与家庭日常交通出行碳排放显著负相关，公交线路条数、1 000 m 内道路交叉口数越多，家庭日常交通出行碳排放越低（表 6）。原因可能在于公交线路越多、道路交叉口越多，居民更倾向于选择公交出行，私家车出行相对减少，交通出行碳排放也随之降低。对

各区而言，武昌、汉口各指标与碳排放均不相关（表 2，表 3），汉阳最近公交站点距离与碳排放显著正相关（表 4）；考虑社会经济因素下，武昌公交线路条数与碳排放显著相关（表 7），汉口 1 000 m 内道路交叉口数与碳排放显著相关（表 8），汉阳各指标则与碳排放不相关（表 9）。对武昌、汉口而言各指标与碳排放不相关，可能是经济社会因素的影响起决定作用；对汉阳而言，该区收入相差不大，考虑社会经济属性反而不足以体现最近公交站点距离对碳排放的影响。

6 结语

本文以武汉为例，结合问卷调查，定量探讨了道路交通设施便利度与家庭日常交通出行碳排放的关系，同时考虑社会经济因素对二者关系的影响。研究表明：全市而言，公交线路条数越多，交通出行碳排放越低，反之亦然。考虑社会经济因素，住家周边公交线路、道路交叉点越多，交通出行碳排放越低，反之亦然。分区层面，汉阳住家离最近公交站点越远，交通出行碳排放越低，反之亦然。考虑社会经济因素，对武昌而言，住家公交线路越多，交通出行碳排放越低；对汉口而言，住家周边道路交叉点越多，交通出行碳排放越低，反之亦然。

对于构建低碳城市，笔者认为：首先，可以合理增加公交线路条数和道路网密度，提高道路完善程度和道路连接性。其次，空间规划中应尊重其特有的“两江三镇”城市空间格局，结合不同区域采取相应策略，构建系统、有序的城市空间结构。最后，交通拥堵问题上，政府部门有必要制定相关政策，优先发展公共交通，改善公交服务水平，使公共交通也能做到体面出行，降低私车出行。UPI

注：本文图表均由作者自绘

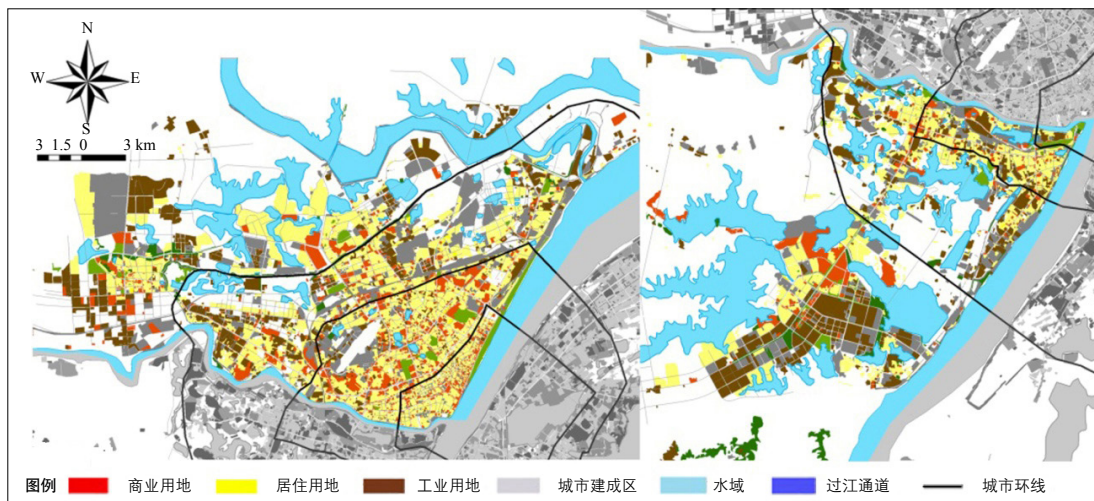


图 11 汉口（左）和汉阳（右）土地利用比较

本文得到了澳洲研究基金 (Australian Research Council—ARC) 项目“低碳城市的配置：空间参数在中国单中心和多中心城市中的作用研究” (Configuring low carbon cities: an exploration of the role of spatial parameters in monocentric and polycentric examples in China) (ARC DP1094801) 的资助, 特此感谢!

参考文献

- [1] 王琛娇. 低碳视角下的城市交通发展路径研究 [D]. 江南大学, 2012.
- [2] 顾朝林, 等. 气候变化、碳排放与低碳城市规划研究进展 [J]. 城市规划学刊, 2009(03): 38-45.
- [3] 孙佑海, 丁敏. 低碳城市建设: 国际经验及中国的选择 [J]. 中国科技投资, 2010(11): 37-40.
- [4] 苏万春. 中国产业结构、服务业结构、碳排放结构调整演化实证研究 [J]. 科技管理研究, 2012(14): 40-43.
- [5] 宁晓菊, 赵方方. 城市交通碳排放国内外研究进展. 第七届全国地理学研究生学术年会 [C]. 中国河南开封, 2012.
- [6] 秦波, 邵然. 城市形态对居民直接碳排放的影响——基于社区的案例研究 [J]. 城市规划, 2012(06): 33-38.
- [7] Lee D S, et al. Aviation and Global Climate Change in the 21st Century [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43(22-23): 3520-3537.
- [8] Brown M A, Southworth F, Stovall T K. Towards a Climate-friendly Built Environment 2005: Pew Center on Global Climate Change Arlington, VA.
- [9] Okada A. Is an Increased Elderly Population Related to Decreased CO₂ Emissions from Road Transportation? [J]. Energy Policy, 2012, 45: 286-292.
- [10] Zahabi S A H, et al. Transportation Greenhouse Gas Emissions and Its Relationship with Urban Form, Transit Accessibility and Emerging Green Technologies: A Montreal Case Study [J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2012, 54: 966-978.
- [11] Cervero R. Traffic Impacts of Variable Pricing on the San Francisco-Oakland Bay Bridge, California [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2278(1): 145-152.
- [12] Nepal, S M. Impact of Transport Policies on Energy Use and Emissions [J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer, 2006, 159(4): 219-229.
- [13] Harwatt H, Tight M, Timms P. Personal Transport Emissions Within London: Exploring Policy Scenarios and Carbon Reductions up to 2050 [J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2011, 5(5): 270-288.
- [14] 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(02): 334-344.
- [15] 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(09): 104-112.
- [16] 马静, 刘志林, 柴彦威. 城市形态与交通碳排放: 基于微观个体行为的视角 [J]. 国际城市规划, 2013(02): 19-24.
- [17] 秦波, 田丹. 社区空间形态对居民碳排放的影响 [C]. 城市时代, 协同规划——2013 中国城市规划年会. 山东: 青岛, 2013.
- [18] 姚胜永, 潘海嘯. 基于交通能耗的城市空间和交通模式宏观分析及对我国城市发展的启示 [J]. 城市规划学刊, 2009, 3: 46-52.
- [19] 潘海嘯. 面向低碳的城市空间结构——城市交通与土地使用的新模式 [J]. 城市发展研究, 2010(01): 40-45.
- [20] 张飞飞, 等. 城市居民交通方式选择及其影响因素分析——以南京市为例 [J]. 四川环境, 2012(03): 132-138.
- [21] 刘志林, 秦波. 城市形态与低碳城市: 研究进展与规划策略 [J]. 国际城市规划, 2013(02): 4-11.
- [22] 刘志雄. 石家庄低碳交通发展对策研究 [D]. 石家庄铁道大学, 2011.
- [23] 王倩倩. 城市交通运行效率评价指标体系研究 [D]. 中国海洋大学, 2012.
- [24] 姚尚远. 基于低碳视角的社区空间规模研究 [J]. 长江大学学报 (自然科学版), 2012(12): 145-146.
- [25] 彭哓, 陆化普, 王继峰. 城市空间形态对交通生成影响分析 [J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2008(06): 975-978.
- [26] 吴锦瑜. 街区特征对居民交通出行的影响研究 [D]. 同济大学, 2009.
- [27] Girling C, Kellett R. Skinny Streets and Green Neighborhoods: Design for Environment and Community [M]. Island Press, 2005.
- [28] Frank L D, et al.. Linking Objectively Measured Physical Activity with Objectively Measured Urban Form: Findings from SMARTRAQ [J]. American Journal of Preventive Medicine, 2005, 28(2, Supplement 2): 117-125.
- [29] Kitamura R, Mokhtarian P L, Laidet L. A Micro-analysis of Land Use and Travel in Five Neighborhoods in the San Francisco Bay Area [J]. Transportation, 1997, 24(2): 125-158.
- [30] 王召森. 规划道路网密度指标调整之思考 [J]. 城市交通, 2004(03): 46-48.
- [31] 杨晓飞, 马健霄, 仲小飞. 公交服务半径及服务水平研究 [J]. 森林工程, 2011(01): 61-64.
- [32] Couth R, Trois C. Carbon Emissions Reduction Strategies in Africa from Improved Waste Management: A review [J]. Waste Management, 2010, 30(11): 2336-2346.

(本文编辑: 许玫)