

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

郭亮 彭雨晴 黄建中 冯佳宇 胡刚钰 孙小丽¹

【摘要】：识别短距离通勤空间中有利于提升绿色出行竞争力的关键要素可有效缓解高峰时期交通拥堵。以武汉为例，结合多源数据将短距离通勤空间划分为“点状集聚型”“带状分布型”“网络均衡型”等3类；结合地图导航数据分析步行、骑行、公交地铁和小汽车等4类出行方式的通勤时耗特征，发现：骑行是短距离通勤中最具时耗优势的出行方式；不同出行方式的通勤时耗在不同类型短距离通勤空间中存在较大差异。进一步从建成环境要素技术指标和布局特征两方面进行关联分析，结果表明：路网连通性比路网密度、用地混合度等要素更加显著影响步行、骑行的通勤时耗；公交站线布设与通勤方向的一致性比站点密度更显著降低公交通勤时耗；绿色出行方式在“网络均衡型”短距离通勤空间中通勤时耗更短。由此，提出面向绿色出行的差异化优化建议。

【关键词】：绿色出行 短距离通勤 交通方式 通勤空间 武汉

【中图分类号】 TU984 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-3363 (2022) 03-0037-07

相关研究和报告显示，近年来全国范围内大城市极端通勤在减少、通勤距离在缩短^[1]，但城市交通拥堵问题却一直难以得到有效改善。以武汉为例，尽管近年来轨道交通发展迅速，路网系统进一步完善，但主要道路高峰小时流量、拥堵路口区域仍在持续增加^[2]。2021年，一项针对武汉东湖高新区的居民出行调查显示，小汽车出行中4km以内的出行占比达到31.5%。小汽车的短距离出行需求量大且占比较高，成为中心城区交通拥堵的重要原因之一。

随着我国城镇化进程进入“下半场”，大城市建设逐步转向以建设高品质人居环境为目标^[3]，通勤交通的改善是其中的重要环节^[4,5,6]。通过提升绿色出行比重来降低小汽车出行，可缓解交通拥堵、提高城市空间运行效率^[7]。绿色出行方式主要包括公共交通出行、步行和骑行，相关研究主要从交通方式选择偏好^[8,9]和交通需求管理^[10,11,12]两个角度展开。根据不同出行方式的适宜距离范围，短距离通勤出行具有较好的绿色出行条件，但既有研究鲜有从绿色出行与小汽车出行时耗对比角度，探讨短距离通勤空间建成环境对出行方式通勤时耗的影响机制。

居民出行方式选择受自身社会属性与建成环境等多因素的交互影响，两者之间相关关系的研究成果较多并处于不断丰富过程中^[13,14]，目前较为一致的结论是以土地利用强度、交通设施配置等要素为代表的建成环境对出行方式选择以及出行时耗均有显著影响^[15]，且出行时耗是衡量交通可达性、影响居民通勤选择的主要因素。因此，从通勤时耗角度分析短距离通勤空间中不同交通方式与建成环境要素的影响机制，识别影响绿色通勤时耗的关键要素，进而提出短距离通勤空间建成环境要素构成模式的优化建议，对提升绿色交通方式在短距离通勤出行中的竞争力具有重要的研究意义。

作者简介：郭亮，华中科技大学建筑与城市规划学院，湖北省城镇化工程技术研究中心，教授、博导，paoren111@163.com；彭雨晴，华中科技大学建筑与城市规划学院科研助理；黄建中，同济大学建筑与城市规划学院，自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室，教授、博导，通信作者，huang03213@tongji.edu.cn；冯佳宇，华中科技大学建筑与城市规划学院硕士研究生；胡刚钰，同济大学建筑与城市规划学院博士生；孙小丽，武汉交通发展战略研究院副总工程师

基金项目：国家自然科学基金项目“基于通勤绩效提升的大城市空间结构优化——以武汉为例”（项目编号：52178039）、“基于空间活动的大都市区多层网络结构的识别、评价与优化方法研究”（项目编号：52178049）

1 研究内容与数据来源

研究的技术路线如图 1 所示。主要包括短距离通勤空间识别、通勤方式时耗特征分析、建成环境与出行特征的相关性分析、促进绿色出行的优化建议等 4 个部分。其中部分关键技术方法的说明如下。

(1) 短距离通勤阈值范围确定

短距离通勤出行阈值的确定与城市规模、建成环境、交通发展等紧密相关，例如：田金玲等^[16]在上海市的通勤时空特征研究中，将 0—2km 作为极近距离通勤，2—5km 作为近距离通勤，5km 以上作为中长距离通勤；常超凡等根据北京市居民出行调查数据，以 5km 作为短距离出行距离^[17]。武汉市中心城区湖泊众多，“两江三镇”的特殊地理形态对用地布局、路网格局影响较大，也影响到居民的通勤线路与交通方式选择。本研究以提升绿色出行方式竞争力为目标，考虑到距离过长不利于讨论机动车与绿色出行方式的转化，且根据研究获取的手机定位数据分析结果，武汉市 3km 以内的通勤出行量占通勤总量的 56.8%，综合以上原因，本研究将 0—3km 作为短距离通勤的阈值范围。

(2) 短距离通勤空间的识别

“短距离通勤空间”是指：以短距离出行阈值为界定，短距离通勤出行量分布相对集聚的区域。结合武汉市的路网结构，将中心城区划分为 611 个交通分析区（TAZ），作为通勤出行的基本研究单元，其几何质心作为通勤出行的起始点（OD）。结合手机定位数据（2017 年），通过 ArcGIS 信息平台进行 3km 以内出行分布 OD 矩阵的核密度分析，识别出主要的短距离通勤集聚区。为避免因数据获取的时间差异造成空间识别的偏差，根据 2021 年高德地图兴趣点（POI）数据筛选出商业服务业、公共设施服务业等设施点进行核密度分析，并按照自然间断点分类法识别出就业中心区，与手机定位数据识别出的就业密集区结果进行了校核。

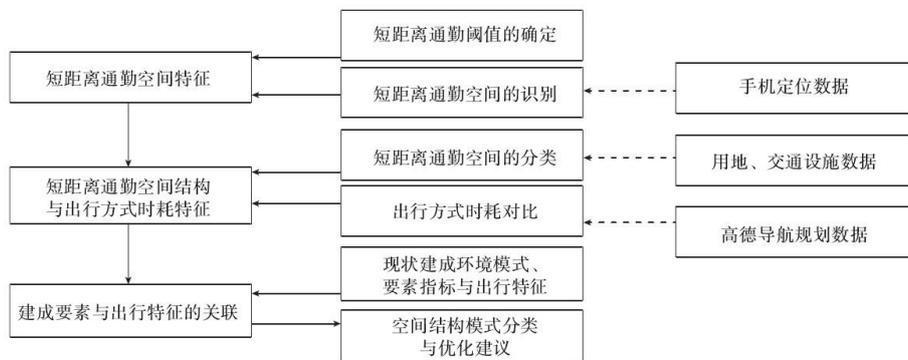


图 1 技术路线

注：文中未注明资料来源的图表均为作者绘制。

(3) 通勤出行方式时耗特征识别

通勤出行方式时耗特征主要指在通勤起讫点（OD 点）间选择步行、骑行、公交地铁以及小汽车出行等 4 类主要出行方式的出行时耗特征。其中高德地图导航数据是近年来城市规划相关研究的重要数据来源，广泛应用于交通拥堵分析、通勤绩效、公共服务设施可达性评价等方面^[18,19]。相比于可达性计算公式得出的出行时耗，利用高德地图导航推荐的最优线路数据将更接近不同交通方式的实际出行特征，还能反映通勤时段的实际拥堵情况对不同交通方式的影响。

(4) 数据来源

根据研究需要选取与通勤相关、建成环境相关和出行特征相关的数据。其中，出行特征数据是通过高德地图导航 API 接口获取步行、骑行、公交地铁以及小汽车等 4 类出行方式的最短实际出行时耗。为准确获取通勤环境下的出行特征数据，选取 2021 年 5 月 3 个连续工作日、每天早高峰时段（7:30、8:00、8:30）和晚高峰时段（17:30、18:00、18:30）的出行数据，进行汇总取平均值，最终得到 4 类出行方式的出行时耗数据。其中，“骑行”仅包括自行车，“公交地铁”指根据实际情况选择地面公交或轨道交通其中 1 种或 2 种组合的最优选项。

2 短距离通勤空间与出行方式特征

2.1 短距离通勤空间识别

按前文方法可识别出 7 个具有代表性的短距离通勤空间(图 2)，对就业空间的密度分布情况进行统计并按自然间断点分级，得到短距离通勤空间与就业中心分布状况（图 3）。以光谷广场、徐东为代表的区域，其就业空间具有点状集聚特征，1—2 个交通小区内包含了一定范围内 50%以上通勤量；以洪山广场、王家湾为代表的区域，其就业空间具有带状分布特征，由 3—4 个分别占 15%—20%通勤量的交通小区构成就业中心，在空间上呈串联分布；以青山、汉口站为代表的区域由 3—4 个分别占 15%—20%通勤量的交通小区构成就业中心，在空间上呈网络均衡分布特征；以江汉路为代表的区域，通勤量占比在 10%—15%的交通小区数量较多（6—8 个）且成片分布，在空间上分布相对均衡且总面积占比较大，形成了市域层级的强就业中心。

2.2 短距离通勤空间环境要素构成特征

结合武汉市土地利用与交通设施数据，根据短距离通勤空间的就业中心分布与设施布局联系，可以将短距离通勤空间构成概括为 3 种模式：节点集聚型、带状分布型、网络均衡型。

通过 ArcGIS 空间信息平台对短距离出行 OD 连线进行标准差椭圆划分，椭圆长轴方向即代表了该区域的主要通勤方向。根据通勤空间就业中心与交通设施的布局关系分别针对 3 种空间类型的交通环境要素进行量化分析，包括路网密度、路网连通性、公交站点密度、地铁站点密度等，其中路网连通性是评价城市道路网是否合理的重要指标之一^[20]，其计算公式为

$$J = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{N}$$

式中：J 为路网连通性；N 为道路网交叉口的数量； m_i 为第 i 交叉口所邻接的道路边数。路网连通性同时考虑了交叉口数量与类型，比交叉口密度指标更能反映路网的成熟程度。

2.3 短距离通勤空间出行方式时耗特征

结合出行大数据识别出的通勤 OD（起讫点），将短距离通勤空间内的通勤出行按空间直线距离划分为 0—1km、1—2km、2—3km 等 3 个距离段，分析在通勤起讫点之间分别采用步行、自行车、公交地铁、小汽车等 4 种出行方式的实际出行时耗特征，并在不同短距离通勤空间进行横向对比（图 4—图 7），主要特征分析如下。

(1) 步行 1km 内的平均通勤出行时长为 15min 且受通勤空间环境影响较大

一般认为适宜的步行出行时耗在 15min 以内，结合 3 个距离段的出行时耗分析可知，在 1km 以内的直线出行距离内也仅有江汉路、青山、汉口站区域的步行时耗低于 15min，而洪山片区步行时耗超过 20min，其他片区均在 15—20min 之间；在 1—2km 和 2—3km 出行距离段，步行出行时耗分别大于 25min 和 40min，不再适宜于步行出行。

(2) 自行车出行效率较高且受通勤空间环境影响较小，适宜 2km 以内的通勤出行

在 0—2km 距离段内，骑行具有实际出行距离与时耗均为最短的优势。在 0—1km 出行距离内，骑行平均时耗为 5min，在 1—2km 距离内为 10min，在 2—3km 内为 12min。相对于另外 3 种出行方式，骑行出行时耗在不同短距离通勤空间环境中的差值在 2min 左右，受环境影响相对较小。

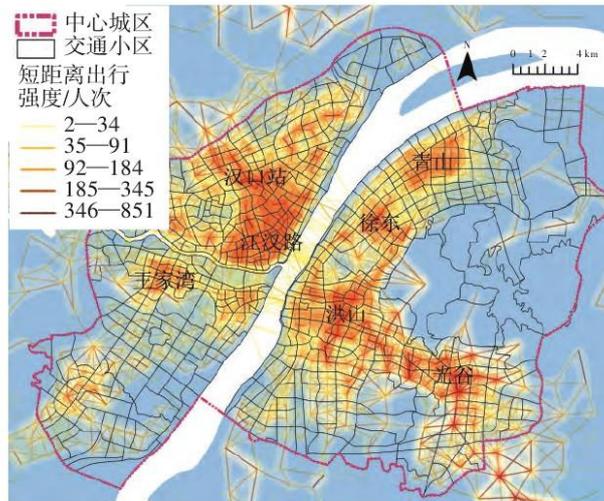


图 2 短距离通勤空间分布

(3) 公交地铁出行耗时较长，在短距离出行中不占优势

整体上公交地铁出行耗时为 20—35min，与站点站线的固定以及步行到站（出站）的时耗有关。3 个距离段内，公共交通出行时耗是骑行与小汽车的 2—3 倍，在 0—2km 距离内比步行时耗更长，可见公共交通在短距离通勤中没有时耗上的优势。

(4) 小汽车出行比公共交通出行时耗优势明显

短距离通勤中，小汽车出行时耗均在 5—15min 之间，在不同通勤空间内具有较大差异。其中，青山、王家湾、光谷片区在 2km 出行距离内出行耗时低于 10min，而汉口站和徐东地区整体小汽车耗时普遍比其他地区高出 3—5min。

以上出行特征表明：相较于公共交通出行，现阶段中心城区的建成环境更适宜于小汽车出行；在 3km 通勤距离内，自行车通勤时耗比小汽车略低，是改善短距离通勤出行结构需重点关注的方式类型；4 种出行方式的通勤时耗均表现出受通勤空间建成环境影响的显著特征，而各类建成环境要素如何影响通勤时耗则需要进一步分析。

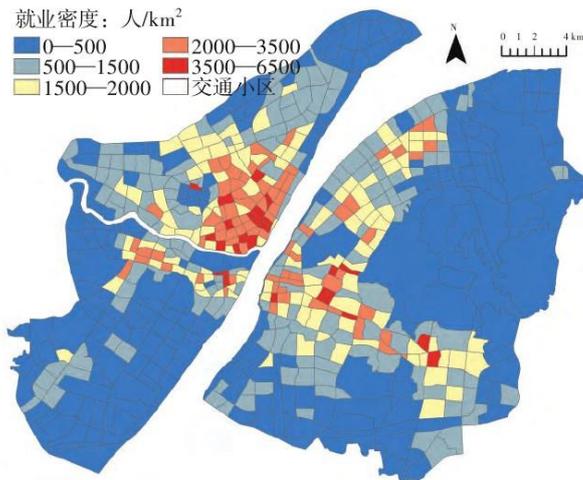


图3 短距离通勤空间与就业中心分布

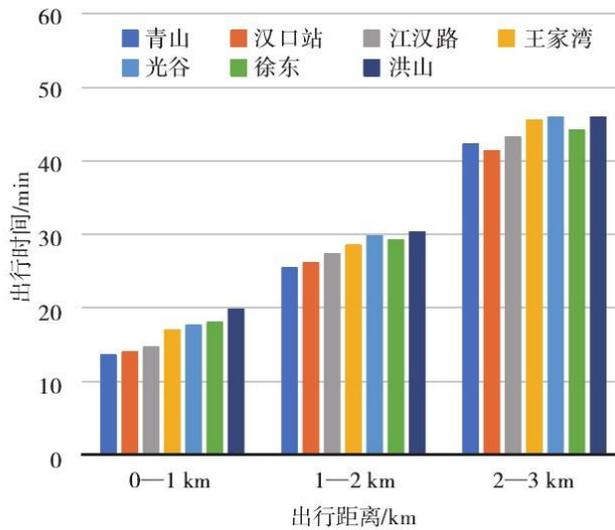


图4 步行出行时耗特征

3 建成环境对短距离通勤出行的影响机制

3.1 建成环境空间要素技术指标与出行方式时耗的相关性分析

相关研究表明空间异质性对相关分析结果的影响较大，本文结合相关研究主要选取了用地混合度、容积率、路网密度、道路连通性、公交站点密度、地铁站点密度等6项指标，并从全局与局部2个层面进行相关性分析，以皮尔逊相关性系数作为判断环境与出行方式特征是否显著相关的依据，识别出不同空间组合模式下环境要素对出行方式时耗影响的差异。

(1) 较高的用地混合度和容积率都能有效减少4种出行方式的时耗

整体上，容积率和用地混合度与出行时耗都呈负相关关系，其中用地混合度对步行、骑行等方式的出行时耗影响更为显著，

而容积率对小汽车出行时耗影响更为显著。从不同短距离空间上看，容积率的提高会在不同程度降低4种通勤方式的出行时耗；混合度在青山、洪山广场区域对4种通勤方式的出行时耗有显著的负向影响，但在其他区域并不明显。

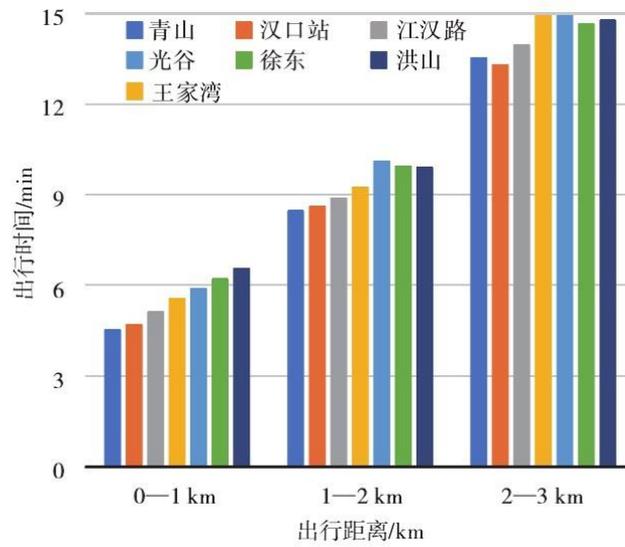


图5 骑行出行时耗特征

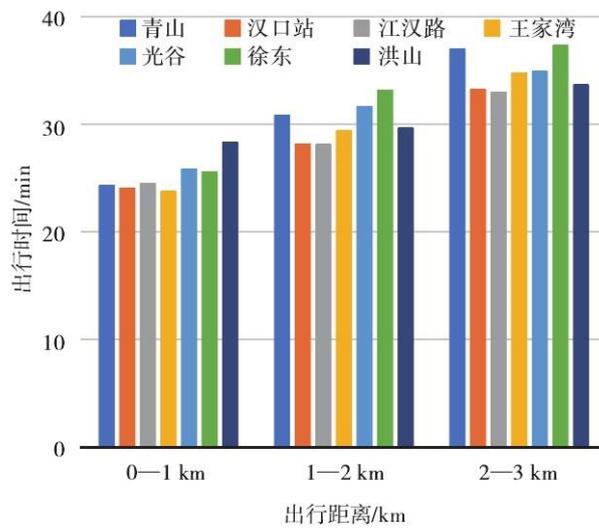


图6 公交地铁出行时耗特征

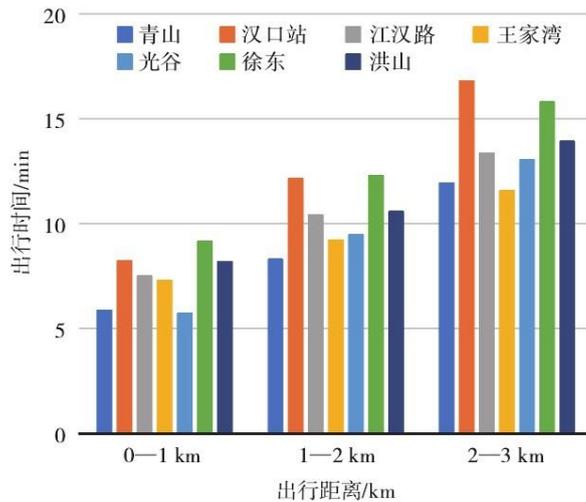


图 7 小汽车出行时耗特征

(2) 路网条件的改善对 4 种交通方式的出行时耗均有减少作用

整体上，路网密度、路网连通性均与步行、骑行、公交地铁等出行时耗有负相关性，其中路网连通性的提高更能显著减少步行与骑行的出行时耗。在青山、汉口站、王家湾区域，较高的路网密度能显著减少步行、骑行、小汽车的出行时耗；在洪山广场、徐东区域，路网连通性的提高能显著减少出行时耗，而路网密度的影响并不显著。

(3) 公交与地铁站点布局在不同类型通勤空间对出行效率影响程度有所差异

整体上，公共交通站点密度与绿色出行方式的出行时耗呈负相关，与小汽车出行时耗呈正相关。在光谷、洪山广场等区域，地铁站点密度的提高能显著降低公共交通出行时耗，但在其他区域则是地面公交站点的的影响更为显著，既包括轨道交通站点较少的青山、王家湾等，也包括站点密集的江汉路等区域。

3.2 建成环境空间要素布局特征对出行方式时耗的影响分析

通勤出行时耗与建成环境的相关性分析表明，在不同通勤空间各种要素发挥的作用存在较大差异，结合不同短距离通勤空间的构成模式特征与前述不同通勤环境下的出行方式时耗特征差异，从建成环境空间要素布局特征角度可以发现：

(1) 路网连通性比路网密度更显著影响 4 类交通方式的通勤时耗

一般认为，路网密度越高的区域越能提高各类交通方式的运行效率，因此高路网密度的江汉路、汉口站区域在 4 种出行方式的通勤时耗上均具有优势，但同时存在低路网密度的王家湾、青山区域比高路网密度的洪山、徐东等区域在出行时耗上更低的现象。结合看出青山区域路网的连通性较好（连通性指数为 3.40），而洪山、徐东存在较多的断头路，道路连接的连通性不足（分别为 3.23、3.07），其在骑行、公交以及小汽车方式通勤时耗上要明显高出 5—10min。

(2) 公交和轨道的站线布设与通勤方向的一致性高低比站点密度大小更能显著影响公共交通通勤时耗

虽然通勤空间与地铁建设联系紧密，但前文相关性分析表明公共交通出行效率受地面公共交通的影响更大。从空间结构形

态上看,除青山区域外,6个短距离通勤空间的通勤中心均有地铁线路通过,根据站点密度可分为两大类,即以江汉路、汉口站、洪山广场为代表的密集型,以及以王家湾、光谷广场、徐东为代表的稀疏型。与工作中心连接的线路越多、公交通勤时耗越短,而洪山广场、徐东地区虽然站点密集但与工作中心紧密连接的站线较少,导致轨道交通站点并没有显著缩短公共交通通勤时耗。

(3) “点状”与“带状”空间内小汽车通勤时耗相对更低,而“网络均衡型”通勤空间的步行、骑行方式通勤时耗更低

结合图4—图7可以看出:青山、汉口站以及江汉路区域在步行、骑行时耗上相对更低,且3个区域均属于“网络均衡型”通勤空间;光谷广场、王家湾为代表的“点状”“带状”布局空间的绿色方式通勤时耗相对较高,但小汽车通勤时耗却较低。这表明短距离通勤空间中就业中心的相对分散、路网密度的均衡有利于绿色方式的通勤出行。

3.3 面向绿色出行的建成环境优化建议

结合前文的分析,绿色出行方式在“网络均衡型”通勤空间的通勤时耗更低,“点状”“带状”型通勤空间则更有利于小汽车出行,显然需要借助道路交通设施的改善促进绿色通勤出行。在此基础上对短距离通勤空间的3种构成模式进行特征提取,结合建成环境要素技术指标与布局特征分析结果,分别针对交通方式及短距离通勤空间要素构成模式提出以下优化建议。

(1) “节点集聚型”模式的建成环境优化建议

节点集聚型模式下的通勤空间主要存在路网密度低、公交地铁站点少的问题,但通勤方向较为集聚,可加强该区域就业中心的“综合交通枢纽”就业服务与交通换乘功能,使交通站线与周边居住空间高效串联,同时增加支路与主次干路的连通性,保障骑行等绿色出行方式的安全性。

(2) “带状分布型”模式的建成环境优化建议

带状分布型模式下的王家湾区域4种出行方式时耗均低于洪山广场区域,主要在于王家湾区域的主干路、交通站线更好地串联了居住空间和就业中心,鉴于此区域路网密度较低,需进一步增强支路网密度。洪山广场区域交通设施虽然更加密集,也需在此基础上强化主要通勤方向公交站点站线配置,同时梳理完善次干路、支路的连通性和密度。

(3) “网络均衡型”模式的建成环境优化建议

该模式通常位于就业功能比较成熟的老城区,多种通勤方式的效率都相对较高,路网连通性较强、交通站点密集,但道路往往较窄、建成环境改变较为困难,可在完善就业空间周边公交站线网络配置的基础上,结合主要通勤流向进一步强化部分支路系统的单向交通组织,提高其通勤服务能力。同时,考虑到此类网络均衡型模式对步行、自行车、小汽车等通勤方式具有同样的吸引力,需要以精细化设计重点完善此类通勤空间街道的整体环境品质,提高慢行方式的短距离出行竞争力。

4 结论与讨论

建成环境要素的构成差异对不同出行方式的通勤时耗有较大影响,而短距离通勤空间更适宜于小汽车出行的现实也表明提升绿色出行方式在短距离通勤出行中的竞争力具有重要的实践价值。结合多源信息数据识别了短距离通勤空间分布,总结了“节点集聚型”“带状分布型”“网络均衡型”等3种建成环境布局模式特征。通过对比步行、骑行、公交地铁与小汽车在短距离通勤空间内的通勤时耗特征,发现骑行具有明显的时耗优势,公共交通方式的通勤时耗远高于小汽车。通勤出行时耗与建成环境的相关性分析表明:各类空间要素技术指标在对不同交通方式出行时耗的作用机制上存在较大差异;网络均衡型短距离通勤空间更有利于降低绿色出行方式通勤时耗;提高用地混合度、路网密度等措施均能改善通勤时耗,但更需要注意提高路网连通性以及

公共交通站线布设与通勤方向的一致性。

4类出行方式的通勤时耗不同程度地受到建成环境的影响,需要结合步行、自行车和公交地铁等方式的优势来提升绿色出行方式的通勤时耗竞争力。对于步行方式而言,由于距离超过1km后步行方式不占优势,使得完善步行环境的努力在通勤出行中效果不一定显著,这需要借助步行环境的精细化设计来加强对步行通勤人群的吸引力;自行车方式在短距离出行中最具优势,除了需要加强与其他方式的换乘衔接之外,更重要的是要完善自行车系统,提高自行车(或共享单车)的可达性;公交地铁方式的通勤时耗主要受步行到站耗时、站线与职住空间的匹配性问题影响,其主要的优化措施除了需要优化就业中心枢纽多方式换乘以外,更需要强化公交地铁站线布局与主要通勤方向的协同性配置;就小汽车方式而言,目前对短距离通勤出行中小汽车出行方式的抑制机制还需做深入解析,需要在改善交通环境之外结合交通需求管理举措加以综合管控。

参考文献:

- [1]中国城市规划设计研究院. 2021年度中国主要城市通勤监测报告[R]. 中国城市规划设计研究院, 2021.
- [2]武汉市交通发展战略研究院. 2021武汉交通年报[EB/OL]. 2021-08-05. <http://www.whpti.com/results/35/3562.aspx>.
- [3]仇保兴,叶蒙宇,宁坤. 关注我国城镇化下半场的十二个拐点[J]. 城市发展研究, 2021(9):1-7.
- [4]孙斌栋,何舟,李南菲,等. 职住均衡能够缓解交通拥堵吗?基于GIS缓冲区方法的上海实证研究[J]. 城市规划学刊, 2017(5):98-104.
- [5]郭亮,郑朝阳,黄建中,等. 基于通勤圈识别的大城市空间结构优化:以武汉市中心城区为例[J]. 城市规划, 2019(10):43-54.
- [6]潘海啸,王紫瞻. 空间单元选择及多维度要素对职住平衡成效的影响[J]. 城市规划学刊, 2020(2):25-31.
- [7]王雅娟,屈信,张尚武. 规划研究视角的特大城市通勤空间紧凑性评价方法:以济南市为例[J]. 城市规划学刊, 2018(6):61-68.
- [8]刘冰,曹娟娟,周于杰,等. 城市公共自行车使用活动的时空特征研究:以杭州为例[J]. 城市规划学刊, 2016(3):77-84.
- [9]张雪,周素红,陈菲. 基于出行链的建成环境对居民小汽车通勤出行的影响[J]. 地理科学进展, 2021(4):671-680.
- [10]MAAT K, TIMMERMANS H. Influence of the residential and work environment on car use in dual-earner households [J]. Transportation Research Part A, 2009(7):654-664.
- [11]杨琪瑶,蔡军,黄建中. 面向出行品质提升的自行车路网规划与设计策略研究[J]. 城市规划学刊, 2019(6):72-80.
- [12]卓健,吴卓焯,翟端强,等. 更新背景下减少短距离机动化出行的规划策略:基于上海多源数据的实证研究[J]. 城市规划, 2021(3):99-108.
- [13]黄建中,吴萌. 特大城市老年人出行特征及相关因素分析:以上海市中心城为例[J]. 城市规划学刊, 2015(2):93-101.

[14] KORSU E, NECHET F L, 邹祖钰. 零冗余通勤情况下是否会有更少的人使用小汽车出行?对巴黎大都会区的探索[J]. 城市规划学刊, 2017(4): 122-123.

[15] 黄建中. 1980年代以来我国特大城市居民出行特征分析[J]. 城市规划学刊, 2005(3): 71-75.

[16] 田金玲, 王德, 谢栋灿, 等. 上海市典型就业区的通勤特征分析与模式总结: 张江、金桥和陆家嘴的案例比较[J]. 地理研究, 2017(1): 134-148.

[17] 常超凡. 城市居民短距离出行行为研究[D]. 北京交通大学, 2007.

[18] 张振龙, 邱煜卿, 蒋灵德, 等. 基于实时路况的交通拥堵时空特征及其影响因素分析: 以苏州古城区为例[J]. 现代城市研究, 2020(1): 104-112.

[19] 张红, 徐珊, 龚恩慧. 顾及实时路况的城市浪费性通勤测算[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021(5): 650-658.

[20] 周涛, 但媛, 朱军功. 城市道路网连通性评价指标探析[J]. 城市交通, 2015(1): 60-65.