

公共交通与私家车出行的通勤效率差异及影响因素 ——以北京都市区为例

韩会然¹, 杨成凤¹, 宋金平²

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖 241002; 2. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875)

摘要: 居住与就业是城市的基本功能活动, 其空间配置决定了居民的通勤行为, 从而对城市发展和居民生活产生显著影响, 因此开展城市的通勤效率研究对优化居住与就业的空间分布, 实现城市可持续发展等方面尤为重要。基于北京都市区居民问卷调查数据, 通过理论通勤、过剩通勤、通勤容量等相关模型对居民的通勤效率进行评价; 在此基础上, 着重分析了公共交通出行与私家车出行之间的通勤效率差异性。研究表明: ①北京都市区居民的通勤出行中有64.48%属于过剩通勤, 从通勤容量使用率来看都市区仅为32.49%, 反映了目前居住与就业失衡的现实情况; ②从不同出行方式来看, 公共交通过剩通勤程度更高, 即私家车出行的通勤效率要高于公共交通, 表明公共交通出行依然存在较大的优化提升空间; ③从通勤效率差异的影响因素来看, 就业可达性变量显著影响公共交通通勤, 对私家车通勤时间的影响没有通过显著性检验; 年龄、学历、平均月收入、住房产权等与二者显著相关, 但性别、家庭结构的影响都不显著; 居住密度及居住地空间位置对公共交通、私家车通勤时间都具有一定影响, 但就业密度及就业地空间位置对不同出行方式通勤时间的影响则不显著, 认为城市应当鼓励公共交通出行, 通过提高公共交通的通达性、对私家车征收拥挤费用等措施来弥补公共交通与私家车出行之间的不平等性。

关键词: 通勤效率; 公共交通出行; 私家车出行; 北京都市区

DOI: 10.11821/dlyj201702005

1 引言

随着居民职业类型多样化增多, 从单位大院内部安排就业到居民按照福利待遇自主选择就业岗位、从单位分房到自身买房等发生的显著变化, 在某些程度上改变了中国城市的职住空间格局^[1,2]。居民通勤模式是经济、环境和社会可持续发展等不同学科规划学家与政策制定者的重点关注对象^[3], 相关学者认为减少居住与就业区位之间的空间隔离能够带来更加可持续的结果, 如更短的通勤出行、更低的机动车使用率, 提升公共交通出行, 减少道路交通拥挤、环境污染等, 从而增加居民的通勤效率及生活质量^[4,5], 故基于通勤视角来测度区域居住与就业空间关系成为当前研究的热点。作为城市空间结构的两个主要组成部分, 居住—就业关系及通勤效率的研究一直受到城市地理学、城市经济学等相关学科的重视, 尤其是新时期土地、交通、规划、政策等多种因素相互交织, 共同影响着中国城市空间结构的演化与变革^[6]。居住与就业是城市的基本功能活动, 其空间配

收稿日期: 2016-09-25; 修订日期: 2016-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41271132); 教育部人文社会科学研究基金项目 (10YJA790083)

作者简介: 韩会然 (1987-), 男, 山东聊城人, 博士, 讲师, 主要研究方向为城市地理与城市经济。

E-mail: hanhuiran@163.com

通讯作者: 宋金平 (1968-), 男, 山东平邑人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为经济地理。

E-mail: jinpingsong@163.com

置决定了居民的通勤行为,从而对城市发展和居民生活产生显著影响,因此开展大城市居民的通勤效率研究对优化城市居住与就业的空间分布,实现城市可持续发展等方面尤为重要。

通勤效率可以用来评估居住、就业区位与土地利用空间格局的合理性,因此通勤效率与就业可达性、空间错位及可持续发展具有较大关系^[7]。居住地与就业地的空间分布格局决定了通勤的长度与成本,如何通过减少居住地与就业地之间的空间隔离来降低通勤距离引起了相关学者的较大关注^[8,9]。职住空间的临近程度能够用来评估城市的通勤效率,当居住与就业离得更近时,城市形态更加有效,而当它们相距较远的时候,职住分离更严重^[10,11]。不同学者针对不同区域也展开了大量研究并形成了基本一致的结论,即在职住空间区位均质的情况下,假如居民之间能够自由交换居住地或就业地,那么对所有就业人员来说,存在一个理论上的通勤最小值^[5,12,13],利用实际通勤距离与理论通勤最小值进行比较可以在一定程度上反映通勤效率的高低,即有没有过剩通勤^[14]。过剩通勤的概念提出以后,被应用于大量案例研究中如澳大利亚^[15]、爱尔兰^[16]、波兰^[17]、韩国^[18]等。研究发现居住与就业关系越均衡的区域,其理论最小通勤与实际通勤距离越接近,因此理论最小通勤本身可以作为表征通勤效率的一个基准。在政策背景内,可通过比较当前和未来两种土地利用方式下的理论最小通勤,来确定是否减少了工作地和住宅之间的空间隔离^[7]。既然通勤效率是指实际出行距离与理论最小通勤距离的比较,那么如果二者差异较小,则表明减少通勤的潜力较低;如果二者之间存在较大的差距,则表明目前的通勤出行效率较低,减少通勤的潜力则比较大。通过对过剩通勤文献的梳理,Murphy等在过剩通勤的框架下回顾了随机通勤的概念,认为当实际平均通勤远离随机平均通勤时,表明居住与就业功能的混合程度越高,通勤效率越好^[16,19];Ma等将“城市三角模型”与过剩通勤方法相联系起来,提出了城市通勤潜力的概念^[20];基于Ma等的研究,Chowdhury等用修正的“城市三角模型”来代表通勤的标准(实际通勤、最小通勤和最大通勤)和城市形态,通过比较不同时间点的城市三角来确定城市形态是否使通勤效率变得更为高效或者相反^[21];Zhou等分析了中国背景下的城市居民出行的通勤效率,并将其与国外城市进行了对比^[22]。至此,已有文献中测度通勤效率比较通用的指标主要有理论最小通勤、理论随机通勤、理论最大通勤、过剩通勤、通勤容量与通勤经济等,这些指标正逐渐走向政策应用方面。

尽管通勤效率的测度方法有了较大发展,但是一个重要的方法论问题仍未解决。已有度量方法是在区域性宏观框架中使用基于区划的空间数据(如人口普查或经济普查数据),度量值可能会受尺度规模(如普查块与地域之间区域大小的变化)和分区方案(如分区形状不同,但还是使用相同数量来划分研究区)的影响,故研究单元的规模尺度会对通勤效率产生较大影响,有学者称之为可塑性面积单元问题(MAUP)^[23]。尽管他们认为可以使用更多的空间分解数据来减轻尺度规模效应的影响,但是这些不确定性仍会妨碍其在规划和政策的广泛应用。基于此,Niedzielski等利用GIS系统与分形技术探讨了通勤效率指标和MAUP之间的关系,结果表明理论随机通勤、理论最大通勤、通勤容量、通勤经济并未随着尺度变化而变化,但是理论最小通勤、过剩通勤则发生了变化^[17]。

已有对通勤效率的研究文献中,大多学者将依赖私家车出行与公共交通出行的两个群体作为统一的研究对象,从而对研究结论造成一定影响,可能会低估前者的通勤效率或高估后者的通勤效率^[24]。目前,相关学者已经开始达成共识,一个关键问题就是私家车与公共交通之间通勤效率与就业机会的不平等^[25],有研究表明依赖公共交通出行的居民比私家车出行者需要花费更多的通勤时间,其获得的就业机会也更少^[26-28],因为依赖公

公共交通出行的求职者具有较低的移动性, 其在竞争就业机会时也存在较大劣势, 而很少居住区域能够有足够的区位优势来弥补他们的移动劣势。由于中西方城市的住房制度、土地制度等体制上的差异性, 如西方城市居民出行高度依赖于私家车, 而中国城市居民出行仍然以公共交通为主, 使得西方城市通勤效率的相关成果并不能完全应用到中国城市研究中^[5,13,22]。基于此, 以北京都市区为例, 基于居民问卷调查数据, 从微观层面来关注选择不同出行方式的居民通勤效率差异程度, 主要解决两个问题: 第一, 北京都市区居民依赖私家车出行与公共交通出行的通勤效率存在怎样的差异; 第二, 如果二者的通勤效率存在较大差异, 那么是哪些因素显著影响其通勤效率。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区界定

21世纪以来, 伴随着北京市住房价格的不断提升, 加速了城市的居住郊区化进程, 出现了回龙观、望京、天通苑等大型边缘居住集团。由于郊区基础设施及公共服务资源的空间分布不均, 形成了大多居民就业在市区、居住在郊区的职住格局, 造成了北京道路交通拥堵、环境污染严重等城市病。据《2014中国劳动力市场发展报告》显示, 北京平均通勤时间达到97 min^①, 成为全国最拥堵的城市, 从而降低了居民出行的幸福指数, 也使得北京宜居城市的构建面临着诸多挑战。

根据第六次北京市人口普查数据, 2000-2010年, 北京市域人口增加了604.3万人, 其中北京都市区人口增加了585.6万人, 占到市域增加人口的97%, 可见人口增长的绝大部分区域都集中在北京都市区, 人口的不断集聚, 加剧了居民出行的拥挤程度, 从而降低了其通勤效率。北京市地域圈层结构一般被分为三个圈层: 中心城区(东城区、西城区); 近郊区(朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区)、远郊区(门头沟区、房山区、大兴区、通州区、顺义区、昌平区、平谷区、怀柔区、密云区、延庆区)。基于以上考虑, 参考其他学者对北京都市区的界定, 选择北京都市区作为研究区, 也即城六区及相邻区域(图1), 不包括远郊的平谷区、怀柔区、密云区、延庆区, 具有一定的典型性与代表性。

2.2 数据来源与处理

相关数据主要来自北京都市区居民出行调查问卷, 获取居民出行的原始数据, 分析北京都市区居民的通勤效率。问卷调查于2013年8月进行, 以北京都市区为调查区域, 共计发放问卷2297份, 经过筛选, 获得有效问卷1967份, 问卷有效率为85.6%, 其中以公共交通(含公交车与地铁)为主要出行方式的样本为852个, 以私家车为

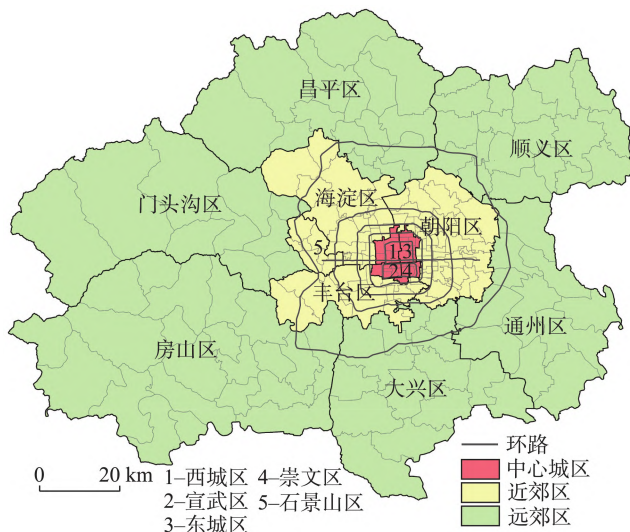


图1 北京都市区范围

Fig. 1 Study area within the Beijing metropolitan area

① 《2014中国劳动力市场发展报告》, http://www.china.com.cn/opinion/think/2014-11/22/content_34125126.htm

出行主要出行方式的样本为348个。从问卷发放的地区分布来看,中心城区292份,占有效问卷总量的14.84%;近郊区1269份,占64.51%;远郊区406份,占20.64%。与各区人口分布比例基本相符,能够反映各区居民的一般情况。从被调查居民的特征(表1)来看,调查样本包含不同年龄、职业、文化程度、收入水平的居民,保证了分析结论的可靠性;由总体通勤流向特征(图2)来看,海淀区、顺义区、朝阳区区内通勤比重较大,昌平区的跨区通勤比重最高,达69.01%,且以昌平到海淀和朝阳的比重最大,分别占该区通勤量的32.75%和25.15%。

根据问卷的居住地与就业地地址信息,利用相关软件获取经纬度,导入GIS软件中转化为空间信息,构建本研究的基础数据库。通过前文可知,通勤效率的计算会受研究区空间单元尺度的影响,空间分析单元过大可能会影响最后的结论,也不利于制定居住

表1 被调查居民的属性特征及比例情况
Tab. 1 Demographic characteristics and proportion of samples

要素	分类	样本数	百分比(%)	要素	分类	样本数	百分比(%)
性别	男	842	42.8	年龄	30岁以下	762	38.7
	女	1125	57.2		31~40岁	631	32.1
职业	政府工作人员	112	5.7		41~50岁	538	27.4
	企事业管理人员	367	18.7		51~60岁	29	1.5
	专业技术人员	415	21.1		61岁以上	7	0.4
	商业、服务人员	145	7.4	受教育程度	初中及以下	92	4.7
	公司职员	504	25.6		高中及中专	134	6.8
	教师	134	6.8		大专	389	19.8
	个体户	72	3.7		本科	1022	52.0
	农民	20	1.0		研究生及以上	330	16.8
	其他	198	10.1	家庭构成	单身独住	345	17.5
个人月收入	2000元以下	94	4.8		单身和父母同住	212	10.8
	2000~3999元	432	22.0		夫妻独住	270	13.7
	4000~5999元	569	28.9		夫妻和父母同住	131	6.7
	6000~7999元	340	17.3		夫妻携子女	716	36.5
	8000~10000元	257	13.1		三代(含)以上同住	210	10.7
	10000元以上	275	14.0		其他	83	4.2

注:根据调查问卷数据整理得出。

与就业均衡的相关政策^[5,17]。基于此,原本计划以街道为最小的分析单元,但分析发现平均街道面积依然过大,不适合作为通勤效率的研究。因此,为了便于比较,将研究区划分为2 km×2 km的格网,将网格作为通勤效率分析的最小空间单元,基本达到分析的要求。将相关图层进行叠加,居住地、就业地的样本空间分布如图3所示。

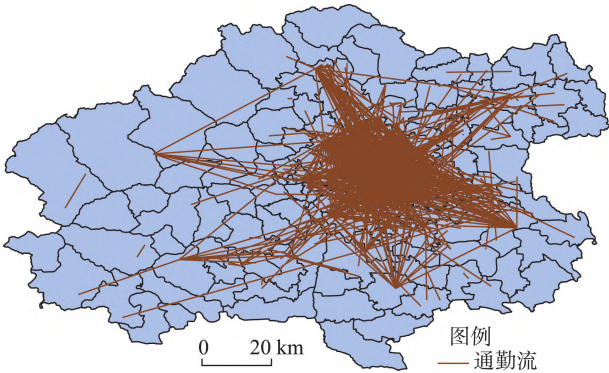


图2 北京都市区居民总体通勤流向特征
Fig. 2 Distribution of commuting flow in the Beijing metropolitan area

调查样本在空间中的地理位置信息涉及到的相关网格区域为377个。本部分选择通勤距离来衡量通勤成本,利用GIS中的空间分析工具获取相关网格中心的空间位置坐标,形成了居住地与就业地的377×377的空间距离矩阵,其中如果居住与就业在同一个网格,通勤距离则为网格的半径;根据每个居民的居住与就业空间位置,进而可以得出样本的通勤流量矩阵。

2.3 研究方法

2.3.1 理论最小通勤 理论最小通勤 (theoretical minimum commute, 用 $Z_{\min}$ 来表示)

是在既定城市结构限制下区域的通勤最小值,也是来源于标准经济理论文献中最早判断职住关系的标准。尽管这是一个宽泛的度量,但是理论最小通勤能够表示局部的职住平衡,因为它对局部的居住与就业安排比较敏感从而能够使得通勤最小化^[17]。一般情况下,通常采用线性规划模型来计算区域的理论最小通勤^[29],即在一个给定区域内,居住地与就业地都被分配到不同或者相同的区内,通常认为起点或者居住地的数量(n)应该等于目的地或者就业地的数量(m)。如果用 W 表示研究区内就业者数量; O_i 是居住在 i 区的就业者的总数; D_j 是指 j 区的就业岗位数或者就业地在 j 区的数量; c_{ij} 表示居住地 i 与就业地 j 之间的通勤成本; x_{ij} 是指居住在 i 区,就业在 j 区的就业人员数;理论最小通勤 Z 可以用模型来表示^[15,17,30],如下:

理论最小通勤 $Z_{\min}$:

$$Z_{\min} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = O_i \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = D_j \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

公式(1)是指在居住地与就业地分配前提下的通勤成本最小值,约束条件(2)和(3)要求所有就业者离开居住地到就业地上班,公式(4)限制了 x_{ij} 为非负数,另外需要注意的是 c_{ij} 表示通勤成本,可以用通勤时间或者通勤距离来表示。

2.3.2 理论最大通勤 理论最小通勤的概念提出以后,Horner认为以往研究仅仅考虑了居住地与就业地更为接近的情况,忽略了居住地与就业地更加分离的情况,即区域内居民选择了最远的就业岗位,这个最大的通勤距离或者通勤时间被称为理论最大通勤(theoretical maximum commute, 用 $Z_{\max}$ 来表示)^[3]。理论最大通勤可以用来比较不同城市的通

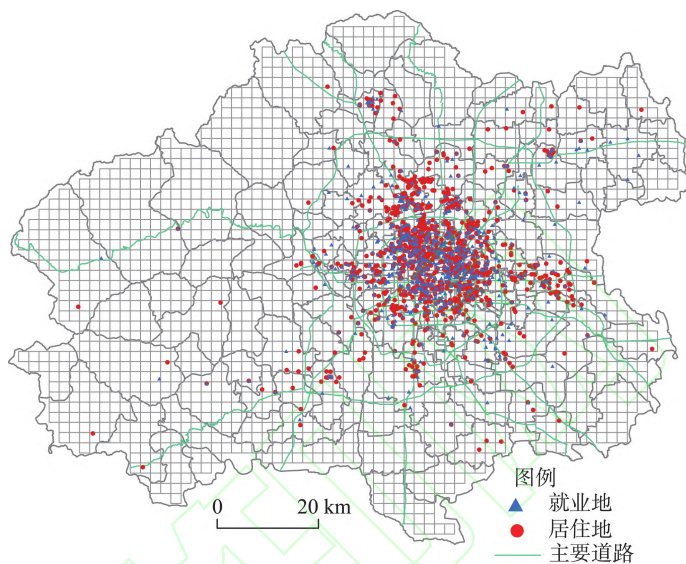


图3 调查样本在网格中的居住与就业空间分布图

Fig. 3 Sample spatial distribution of residences and employment in the grid

勤效率,也可以为城市空间结构的优化提供参考。理论最大通勤与理论最小通勤的公式基本相同,所不同的是需要求公式(1)的最大值,其约束条件一致,模型如下所示^[5,30]:

理论最大通勤 $Z_{\max}$:

$$Z_{\max} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

与上述讨论一致,理论最小通勤是最为有效的出行方式,而理论最大通勤是最为低效的通勤行为。理论最大通勤表示局部的职住关系不平衡,对局部的居住地与就业地选择比较敏感而出现的通勤成本最大化。居住与就业的过度分散能够导致更高的理论最大通勤,因此这也是测度城市扩张的有效方式^[3,21,31]。

2.3.3 过剩通勤模型 理论最小通勤是居民通勤过程中存在的理论最小值,将实际通勤距离与理论最小通勤进行比较,能够更好理解土地利用与工作出行模式之间的关系。实际通勤距离(Z_{obs})与过剩通勤(EC)的公式^[5,30]如下:

$$Z_{\text{obs}} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

$$EC = \frac{Z_{\text{obs}} - Z_{\min}}{Z_{\text{obs}}} \times 100 \quad (7)$$

式中: EC 表示过剩通勤,也可以用来表征交通与土地利用的相互作用关系,在这个意义上,过剩通勤值越低表明通勤距离与职住区位之间的联系越强。

2.3.4 通勤容量使用率模型 由于仅仅对比实际通勤与理论最小通勤存在一定的局限性,Horner提出了一个更为有用的度量方式即考虑整个区域的通勤容量^[3]。整个方法将度量模式标准化并且能够在不同城市之间进行对比,尽管不同城市可能存在社会文化背景的差异,认为理论最大通勤与理论最小通勤的差值可以视为某一区域的通勤容量^[6],可以用来估计通勤容量使用率(capacity utilisation),模型如下^[3,5]:

$$CU = \frac{Z_{\text{obs}} - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \times 100 \quad (8)$$

式中: CU 表示某一区域的通勤容量使用率,其值越大,表示这个区域的通勤效率越低,居住与就业关系越趋于不平衡,反映了居住地与就业地分离程度较大时的通勤情况。

3 公共交通与私家车出行的通勤效率差异

3.1 研究假设

依据问卷调查的结果,借鉴已有研究提出相关假设:第一,假设研究区内居住同质化,居住地点与房屋质量没有任何差别,居民具有相同的区位偏好,能够与区内其他居住者交换居住地;第二,假设研究区内就业岗位同质化,居民有相同的就业偏好,能够与区域内其他就业人员交换工作地^[13,30]。

3.2 计算结果分析

在计算理论最小通勤与理论最大通勤的过程中,采用White提出的线性规划模型来进行测度。采用前文相关模型分别对公共交通出行与私家车出行的通勤效率进行计算,从而得出不同交通出行方式的理论最大通勤、理论最小通勤、过剩通勤及通勤容量使用率等指标,结果如表2及图4所示。

整体来看:首先,北京都市区居民出行的理论最小通勤距离为4.19 km,表明居民居住地与就业地似乎处于相对平衡的关系,或者说,至少从理论上来看,北京都市区职住

表2 公共交通与私家车出行的通勤指标对比

Tab. 2 Comparison of commuting indicators between public transport and private automobiles

	$Z_{obs}(\text{km})$	$Z_{min}(\text{km})$	$Z_{max}(\text{km})$	$EC(\%)$	$CU(\%)$
公共交通	14.25	3.33	22.35	76.60	57.41
私家车	12.51	4.14	24.02	66.80	42.10
北京都市区	11.81	4.19	27.64	64.48	32.49

关系并未过度分离；其次，从问卷调查的实际通勤距离来看，居民的平均实际通勤距离达到11.81 km，表明尽管居住地附近具有一些就业岗位，但居民却并未在家附近进行选择，而是到更远的地方就业，说明居民通勤距离除了受到就业岗位数的影响，还会受社会经济属性、房价等各种因素的影响；再次，从过剩通勤来看，北京都市区的通勤出行中有64.48%属于过剩通勤，从通勤容量使用率来看都市区仅为32.49%，都反映了居住与就业失衡的现实情况。

从不同出行方式来看，公共交通出行与私家车出行的通勤效率存在较大的差异：

(1) 从理论最小通勤来看，公共交通出行的通勤距离要比私家车更短，表明依赖公共交通出行的居民比私家车出行的居民具有更容易的就业机会，居住地与就业地的匹配程度更高，但现实中这种就业可达性并不能通过简单的转换交通工具来实现^[5]。

(2) 从理论最大通勤来看，私家车的通勤距离要大于公共交通，说明使用私家车出行的居民比依赖公共交通出行的群体具有更长的通勤距离。显然，这与公共交通运行时间、运行路线的局限性存在较大关系，限制了公共交通使用者充分利用城市职住功能混合程度^[15]；一般而言，私家车使用者的居住地比公共交通使用者的居住地要远离市中心，即远郊区居民的通勤距离更长，公共交通设施尚不完善，交通拥挤、排队时间过长也在一定程度上促使通勤距离较长的居民选择私家车；此外，从表2中可知，公共交通出行的理论最大通勤距离为22.35 km，意味着超过这个距离居民更加偏好于选择私家车出行。

(3) 从通勤容量来看（理论最大通勤与理论最小通勤的差值），私家车的通勤容量（19.89 km）要大于公共交通的通勤容量（19.02 km），表明私家车使用者居住地到工作地的距离要远于公共交通使用者，也反映了私家车使用者的职住分离情况可能要高于公共交通。

(4) 从实际出行距离来看，依赖公共交通出行实际通勤距离要长于私家车，与理论最大通勤、理论最小通勤的趋势正好相反，这与北京市的现实可能存在一定关系，有调查指出北京44%私家车的日出行距离不足5 km^[32]，尽管理论通勤距离更长，但从实际情况来看，接近一半的私家车出行距离并不长（上下班、接送孩子上下学等）。

(5) 从过剩通勤的指标来看，尽管公共交通的理论最小通勤与理论最大通勤都要小于私家车出行，但是公共交通的过剩通勤程度（76.60%）要高于私家车（66.80%），表

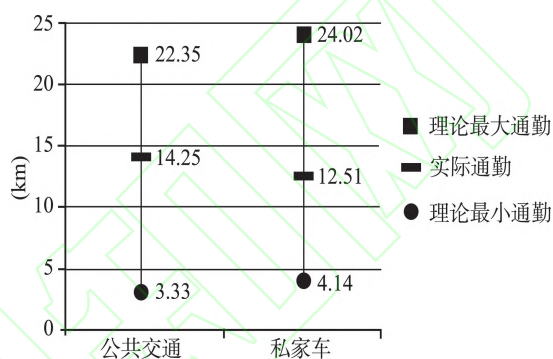


图4 公共交通与私家车的通勤效率对比

Fig. 4 Comparison of commuting efficiency between public transport and private automobiles

明公共交通出行依然存在较大的优化提升空间；从通勤容量使用率来看，私家车的通勤容量使用率（42.10%）要明显低于公共交通的通勤容量使用率（57.41%），说明私家车出行的通勤效率要高于公共交通出行。当然，在此并非鼓励居民选择私家车出行，而是说明通勤容量使用率是由理论最小通勤与实际出行距离来决定的，在制定相关政策时候并不能单单依靠某一个单一指标，而且也要考虑环境、道路拥挤等其他相关因素。

4 公共交通与私家车出行通勤效率差异的影响因素

4.1 回归模型基本形式

由于通勤效率是一种反映城市通勤难易程度的指标，是实际出行与理论出行之间的差异程度。在对城市通勤效率的计算中，得出的是整个城市或者某个区域的通勤效率值，并不能得出每个居民或者某个个体的通勤效率，因此在对不同交通方式通勤影响因素的分析过程中，选择通勤时间来表征通勤效率的差异，原因主要是居民在出行过程中，尽管通勤时间很大程度上受行车速度的影响，但对北京的上班族来说，目前交通拥堵情况尚未得到缓解，更多居民对通勤时间的敏感程度更高，这一点在问卷调查及访谈过程中也得到了验证，有些居民选择公共交通出行（如地铁）也是因为通勤时间或者说按时上下班能够得到保证。将公共交通与私家车出行的通勤时间作为因变量，其相关的影响因素作为自变量，构建相应的回归模型来进行分析。结合有关文献，有研究表明居民的社会经济属性及邻里特征会对通勤模式、通勤距离与时间产生较大的影响^[33]，因此在构建方程时重点考虑了其他变量的影响，主要包括就业可达性、邻里特征变量、通勤成本及社会经济属性特征变量等（表3）。

模型基本形式如下：

$$Y(\text{time})=f(JA, JH, \text{Social-economic}, \text{Neighborhood}, \text{Cost}, \text{Spatial location})$$

式中： $Y(\text{time})$ 表示依赖私家车或公共交通出行的通勤时间； JA 表示私家车或公共交通的就业可达性，指在一定单元内选择不同交通方式时能获得的就业机会^[34]； JH 表示某个单元内的职住比，主要关注不同出行方式与通勤时间关联性差异； Social-economic 表示居民的社会经济属性特征，主要关注不同出行方式中居民的属性特征对其通勤的影响是否存在差异； Neighborhood 表示邻里特征，主要关注不同单元内居住与就业密度对居民通勤时间的影响； Cost 表示通勤成本，主要关注通勤成本在不同交通方式中的差异； Spatial location 指空间属性特征，关注空间区位对出行方式选择及通勤时间的影响。

为了降低回归模型中各个变量的异方差性的影响，因此需要对相关连续变量取对数形式，这样解释变量的相关系数可以看作是对被解释变量的弹性影响，即自变量变化而引起因变量变化的概率。在对相关变量进行共线性检验的基础上，选择对通勤时间、就业可达性、通勤花费、居住密度、就业密度等变量取对数，然后进入模型进行回归。

4.2 模型的回归结果对比

为了方便比较，分别对私家车与公共交通出行的通勤时间进行回归分析。表4呈现了私家车与公共交通出行的通勤时间影响因素估计结果，除了给出了 R^2 和调整后的 R^2 外，也得出不同出行方式的最大似然估计值，可以看出两个回归方程都呈现出较好的拟合程度。

首先，在控制其他变量的条件下，就业可达性变量与公共交通通勤时间具有显著的正相关性，对私家车通勤时间的影响没有通过显著性检验，但就业可达性的平方与公共交通和私家车的通勤时间都呈现显著负相关，相关系数分别为-0.142、-0.076，表明居民

表3 回归方程变量属性特征
Tab. 3 Variable attribute of regression equation

变量	变量类型	描述
因变量		
私家车出行的通勤时间 <i>Timecar</i>	连续变量	乘坐私家车上班的单程时间
公共交通出行的通勤时间 <i>Timepub</i>	连续变量	乘坐公共交通上班的单程时间
解释变量		
1、就业可达性变量		
私家车出行的就业可达性 <i>JAcAR</i>	连续变量	依赖私家车上班的居民可选择的就业机会
公共交通出行的就业可达性 <i>JApub</i>	连续变量	依赖公共交通上班的居民可选择的就业机会
职住比率 <i>JH</i>	连续变量	所在单元的职住平衡程度
2、社会经济变量		
性别 <i>sex</i>	虚拟变量	1: 男; 0: 女
年龄 <i>age</i>	等级变量	1: 30岁以下; 2: 30~40岁; 3: 41~50岁; 4: 51~60岁; 5: 60岁以上
学历 <i>education</i>	等级变量	1: 初中及以下; 2: 高中; 3: 大专; 4: 大学; 5: 研究生及以上
职业类型 <i>occupation</i>	等级变量	1-9分别表示政府工作人员、企业管理人员、 专业技术人员、教师等
平均月收入 <i>income</i>	等级变量	1: 2000元以下; 2: 2000~3999元; 3: 4000~5999元; 4: 6000~7999元; 5: 8000~10000元; 6: 10000元以上
家庭结构 <i>family</i>	等级变量	1: 单身独住; 2: 单身和父母同住; 3: 夫妻独住; 4: 夫妻和父母同住; 5: 夫妻携子女居住; 6: 三代以上同住; 7: 其他
3、邻里特征变量		
所在单元的就业密度 <i>jobdens</i>	连续变量	居民所在街道的就业密度
所在单元的居住密度 <i>popudens</i>	连续变量	居民所在街道的人口密度
4、通勤成本变量		
通勤花费 <i>costs</i>	连续变量	居民上下班的交通费用
是否报销通勤费用 <i>baoxiao</i>	虚拟变量	1: 是; 0: 否
5、空间属性变量		
居住位置 <i>resilocation</i>	等级变量	1: 居住在中心城区; 2: 居住在近郊区; 3: 居住在远郊区
就业位置 <i>joblocation</i>	等级变量	1: 在中心城区上班; 2: 在近郊区上班; 3: 在远郊区上班

所在单元的就业可达性越高,出行的通勤时间越短;可以看出,就业可达性每增加1个单位,私家车的通勤时间会降低0.07 min,而公共交通的通勤时间则会降低0.14 min。此外,职住比率变量与公共交通、私家车的通勤时间都呈现显著的负相关关系,表明职住比率越高的区域所花费的通勤时间越短,其中职住比率与公共交通通勤时间相关性的变系数达到-7.821。

其次,从社会经济变量来看,个人与家庭属性特征也会影响公共交通与私家车的通勤时间。其中年龄、学历、职业类型、平均月收入、住房产权对私家车和公共交通的通勤时间呈现显著相关关系,而性别、家庭结构的影响都不显著。在控制其他属性变量的前提下,年龄与公共交通通勤时间呈显著正相关,与私家车通勤时间呈显著负相关,表明年龄越大的居民乘坐公共交通花费的通勤时间越长,而乘坐私家车的通勤时间越

短;从学历水平来看,学历程度与公共交通通勤时间呈现显著负相关,而与私家车呈显著正相关,学历程度越高,公共交通的通勤时间越短,选择私家车的通勤时间更长;从职业类型(以政府工作人员为参照)来看,职业类型与公共交通通勤时间呈现显著正相关,而与私家车通勤时间呈现显著负相关,说明社会地位越高的职业选择私家车出行的通勤时间越长,而社会地位越弱的职业乘坐公共交通的通勤时间更长,表明农民、个体户等群体的就业场所不稳定,更依赖于公共交通出行;从月收入来看,收入水平与私家车的通勤时间呈现显著正相关,而对公共交通的通勤时间的影响未通过显著性检验,说明收入越高的居民乘坐私家车出行的通勤时间越长,也反映了随房价不断提升,较多居民的居住地开始向远郊区转移。

再次,从邻里特征来看,居住单元的居住密度对不同交通方式的通勤时间具有一定影响,而就业密度对通勤时间的影响则未通过检验。具体来看,公共交通通勤时间与居住密度呈负相关,说明高密度居住区域内的公共交通服务更完善,但通勤时间会受到人流拥挤量的影响,因此与通勤时间成反比例关系;此外,私家车通勤时间与居住密度呈现弱正相关关系(0.006),表明居住密度越高区域的交通拥挤使得私家车的出行速度变缓,从而增加了通勤时间。

第四,从通勤成本变量来看,居民通勤花费对私家车通勤时间具有正相关关系,由于交通拥挤、限号政策等诸多因素的影响,使得选择私家车出行的通勤时间越长。但从单位是否报销交通成本来看,对交通方式通勤时间的影响都没有通过检验。从空间属性特征来看,所在的居住位置对公共交通、私家车通勤时间具有显著影响,但就业位置的影响则不显著,说明居住地越趋向于远郊区,越趋向使用公共交通方式出行即公共交通的通勤时间越长,而与私家车通勤时间呈负相关关系(-0.518)。

5 结论与讨论

(1) 通过问卷调查从微观层面了解了北京都市区居民的通勤特征,目前以区内通勤为主,跨区通勤的主要目的地为就业功能占主导地位的朝阳区、海淀区以及西城区和东城区。通过通勤效率的相关理论假设,计算了北京都市区的通勤效率,发现其最优的理

表4 公共交通与私家车出行的通勤时间影响因素估计结果
Tab. 4 Estimated results of impact factors of commuting time between public transport and private automobiles

变量	Timepub		Timecar	
	系数	P 值	系数	P 值
Constant	25.859(3.06)	0.002	30.381(2.99)	0.003
JA	1.271(1.71)	0.087	-0.516(-0.38)	0.705
JA ²	-0.142(-1.02)	0.006	-0.076(-0.66)	0.048
JH	-7.821(-3.04)	0.002	-1.366(-0.45)	0.050
JH ²	-0.604(-1.92)	0.055	-0.327(-0.72)	0.471
sex	1.399(0.92)	0.360	0.677(0.40)	0.688
age	2.836(2.67)	0.008	-0.302(-0.23)	0.018
education	-2.238(-2.35)	0.019	0.264(0.26)	0.094
occupation	0.537(1.96)	0.042	-0.647(-1.15)	0.093
income	-1.189(-1.96)	0.650	0.882(1.39)	0.009
family	0.346(0.77)	0.443	-0.298(-0.41)	0.681
jobdens	-0.004(-0.66)	0.547	-0.002(-0.97)	0.443
popudens	-0.013(-0.71)	0.039	0.006(1.60)	0.001
costs	0.011(1.91)	0.257	0.163(0.25)	0.044
baoxiao	-0.195(-0.12)	0.904	0.605(0.34)	0.733
resilocation	6.134(3.62)	0.000	-0.518(-0.24)	0.011
joblocation	-2.481(-1.61)	0.107	1.101(0.78)	0.437
样本数量	852		348	
R-squared	0.289		0.329	
Adjusted R-squared	0.257		0.216	
Log likelihood	-3763.829		-1420.350	

论最小通勤为 4.19 km, 理论最大通勤为 27.64 km, 居民的通勤出行中有 64.48% 属于过剩通勤, 从通勤容量使用率来看都市区仅为 32.49%, 反映了目前居住与就业失衡的现实情况。

(2) 从微观层面分析了公共交通与私家车通勤效率的差异性, 从理论最小通勤来看, 公共交通的通勤距离要比私家车更短, 表明依赖公共交通出行的居民比私家车出行居民更容易获取到就业机会; 从通勤容量来看, 私家车的通勤容量要大于公共交通的通勤容量, 表明私家车使用者家庭所在地到工作地的距离要远于公共交通使用者。从过剩通勤的指标来看, 公共交通的过剩通勤程度要高于私家车, 表明公共交通出行依然存在较大的优化提升空间。

(3) 通过构建回归方程分析了私家车与公共交通通勤行为的影响因素, 发现就业可达性变量与公共交通通勤时间具有显著的正相关性, 对私家车通勤时间的影响没有通过显著性检验; 从社会经济变量来看, 年龄、学历、平均月收入、住房产权对私家车和公共交通的通勤时间呈现显著相关关系, 而性别、家庭结构的影响都不显著; 从邻里特征来看, 居住密度对不同交通方式的通勤时间具有一定影响, 而就业密度对通勤时间的影响则未通过检验; 从通勤成本变量来看, 居民的通勤花费与私家车通勤时间具有较大正相关, 居住区位对公共交通、私家车通勤时间具有显著影响, 但就业地位置的影响则不显著。基于对公共交通与私家车出行影响因素的比较, 认为城市交通应当鼓励公共交通出行, 通过提高公共交通的通达性、对私家车征收拥挤费用等措施来弥补公共交通与私家车出行之间的不平等性(如私家车占据更多道路通行空间, 造成交通拥堵等)。

(4) 由于本文没有获取到时间序列上的通勤数据, 因此, 为了更好地反映都市区通勤效率高低, 选择与国内外其他学者的相关研究进行对比。① 与 Zhou 等^[5]相比, 可以看出, 居民的实际通勤距离与最小通勤距离有了较大幅度的提升, 表明随着郊区化进程的不断推进及远郊新城的发展使得居住地与就业地进一步分离, 从而也拉大了居民的出行距离; 从理论最大通勤距离来看, 本文得到的数值要明显小于 Zhou 等的研究, 除了研究数据的差异外, 研究范围也存在不同, Zhou 等的研究范围为北京市域^[5], 而本研究选择的是北京都市区, 因此在理论最大通勤距离上的差距较大; 从通勤效率来看, 二者之间基本一致, 说明北京都市区居民出行的通勤效率明显过剩, 但从通勤容量使用率的对比来看也存在较大差异, 表明目前都市区的通勤效率变得更为低效。② 与广州市、西安市等国内其他城市的研究相比, 从数值来看, 广州市的实际通勤距离与理论最小通勤距离都最低^[30], 西安市的过剩通勤与通勤容量使用率最低^[13,22], 表明西安市的通勤效率更高, 广州市次之, 北京都市区的通勤效率最低。③ 与美洲国家的城市相比, 北京都市区的理论最小通勤距离与理论最大通勤均小于亚特兰大^[3]和温哥华^[35], 说明北美城市空间蔓延的程度要远大于北京都市区; 但从过剩通勤来看, 北京都市区的过剩通勤程度要大于温哥华。一方面是由于研究的最小空间单元存在一定差异, 另一方面可能是由于交通工具的差异性导致的, 北美城市通勤的主要交通工具是私家车, 能够在一定程度上克服通勤距离较远带来的影响, 而北京都市区仍然以公共交通出行为主, 通勤效率相对较低。④ 值得说明的是, 如果仅仅对比不同城市之间的通勤距离与过剩通勤程度可能存在一定误差, 因为不同的城市空间结构或者城市形态会对居住与就业的空间分布产生影响, 进而影响居民的通勤行为^[18]。为使结果更有可比性, 拟引入 Brotchie 的三角模型^[34]对不同城市形态的通勤效率指标进行修正, 限于本文篇幅, 修正后的结果详见下一步研究。

(5) 本文仅探讨了公共交通出行与私家车出行通勤效率的差异, 对其他出行方式(如电动车、自行车等)的通勤效率的研究还有待于进一步深入; 在研究影响因素过程

中, 由于没有得出某个个体的通勤效率, 故在因变量选择中利用通勤时间代替通勤效率, 而这可能对结果造成一定影响。另外, 在问卷调查过程中, 尽管研究区界定为北京都市区, 但从统计结果来看, 较大比例居民仍然集中在六环路以内, 下一步将结合目前的城市大数据如微博、公交一卡通及移动轨迹数据等, 从宏微观结合的视角来探讨不同出行方式下居民通勤效率的差异性, 使研究结论更为精确。

参考文献(References)

- [1] 周素红, 刘玉兰. 转型期广州城市居民居住与就业地区位选择的空间关系及其变迁. 地理学报, 2010, 65(2): 191-201. [Zhou Suhong, Liu Yulan. The situation and transition of jobs-housing relocation in Guangzhou, China. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(2): 191-201.]
- [2] 周素红, 程璐萍, 吴志东. 广州市保障性住房社区居民的居住—就业选择与空间匹配性. 地理研究, 2010, 29(10): 1735-1745. [Zhou Suhong, Cheng Luping, Wu Zhidong. The jobs-housing relocation and spatial matching of residents in alleviatory housing neighborhoods in Guangzhou. Geographical Research, 2010, 29(10): 1735-1745.]
- [3] Horner M. Extensions to the concept of excess commuting. Environment and Planning A, 2002, 34(3): 543-566.
- [4] Boarnet M, Hsu H, Handy S. Policy brief: Impact of jobs-housing balance on passenger vehicle use and greenhouse gas emissions. https://arb.ca.gov/cc/sb375/policies/jhbalance/jhbalance_brief.pdf, 2016-10-10.
- [5] Zhou J P, Murphy E, Long Y. Commuting efficiency in the Beijing metropolitan area: An exploration combining smart-card and travel survey data. Journal of Transport Geography, 2014, 41: 175-183.
- [6] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 城市居住与就业空间关系研究进展及展望. 人文地理, 2014, 29(6): 24-31. [Han Huiran, Yang Chengfeng, Song Jinping. Progress and prospects of jobs-housing spatial relationship research. Human Geography, 2014, 29(6): 24-31.]
- [7] Horner M. Spatial dimensions of urban commuting: A review of major issues and their implications for future geographic research. The Professional Geographer, 2004, 56(2): 160-173.
- [8] Kim C, Sang S, Chun Y, et al. Exploring urban commuting imbalance by jobs and gender. Applied Geography, 2012, 32(2): 532-545.
- [9] Feng J X, Dijst M, Prillwitz J, et al. Travel time and distance in international perspective: A comparison between Nanjing (China) and the Randstad (The Netherlands). Urban Studies, 2013, 50(14): 2993-3010.
- [10] Scott D, Kanaroglou P, Anderson W. Impacts of commuting efficiency on congestion and emissions: Case of the Hamilton CMA, Canada. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997, 2(4): 245-257.
- [11] Niedzielski M. A spatially disaggregated approach to commuting efficiency. Urban Studies, 2006, 43(13): 2485-2502.
- [12] Horner M, Murray A. A multi-objective approach to improving regional jobs-housing balance. Regional Studies, 2003, 37(2): 135-146.
- [13] 周江平, 陈晓健, 黄伟, 等. 中国中西部大城市的职住平衡与通勤效率: 以西安为例. 地理学报, 2013, 68(10): 1316-1330. [Zhou Jiangping, Chen Xiaojian, Huang Wei, et al. Jobs-housing balance and commute efficiency in cities of central and western China: A case study of Xi'an. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(10): 1316-1330.]
- [14] Hamilton B, Röell A. Wasteful commuting. The Journal of Political Economy, 1982, 90(5): 1035-1053.
- [15] Watts M. The impact of spatial imbalance and socioeconomic characteristics on average distance commuted in the Sydney metropolitan area. Urban Studies, 2009, 46(2): 317-339.
- [16] Murphy E. Excess commuting and modal choice. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2009, 43(8): 735-743.
- [17] Niedzielski M, Horner M, Xiao N. Analyzing scale independence in jobs-housing and commute efficiency metrics. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2013, 58(3): 129-143.
- [18] Ma K, Banister D. Extended excess commuting: A measure of the jobs-housing imbalance in Seoul. Urban Studies, 2006, 43(11): 2099-2113.
- [19] Murphy E, Killen J. Commuting economy an alternative approach for assessing regional commuting efficiency. Urban studies, 2011, 48(6): 1255-1272.
- [20] Ma K, Banister D. Urban spatial change and excess commuting. Environment and Planning A, 2007, 39(3): 630-646.
- [21] Chowdhury T, Scott D, Kanaroglou P. Urban form and commuting efficiency: A comparative analysis across time and space. Urban Studies, 2013, 50(1): 191-207.
- [22] Zhou J P, Zhang C, Chen X J, et al. Has the legacy of Danwei persisted in transformations? The jobs-housing balance

- and commuting efficiency in Xi'an. *Journal of Transport Geography*, 2014, 40: 64-76.
- [23] Horner M, Murray A. Excess commuting and the modifiable areal unit problem. *Urban Studies*, 2002, 39(1): 131-139.
- [24] Shen Q. A spatial analysis of job openings and access in a U.S. Metropolitan area. *Journal of the American Planning Association*, 2001, 67(1): 53-68.
- [25] Kawabata M, Shen Q. Commuting inequality between cars and public transit: The case of the San Francisco Bay Area, 1990-2000. *Urban Studies*, 2007, 44(9): 1759-1780.
- [26] Shen Q. Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-wage workers. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1998, 25(3): 345-365.
- [27] Kawabata M, Shen Q. Job accessibility and commuting modes in US and Tokyo metropolitan areas, city futures. In: *An International Conference on Globalism and Urban Change*, Chicago, Illinois, USA. 2004: 1-17.
- [28] Kawabata M, Shen Q. Job accessibility as an indicator of auto-oriented urban structure: A comparison of Boston and Los Angeles with Tokyo. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, 33(1): 115-130.
- [29] White M. Urban commuting journeys are not wasteful. *Journal of Political Economy*, 1988, 96(5): 1097-1110.
- [30] 刘望保, 闫小培, 方远平, 等. 广州市过剩通勤的相关特征及其形成机制. *地理学报*, 2008, 63(10): 1085-1096. [Liu Wangbao, Yan Xiaopei, Fang Yuanping, et al. Related characteristics and mechanisms for excess commuting in Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(10): 1085-1096.]
- [31] 刘定惠. 中国西部大城市过剩通勤研究: 以成都市和兰州市为例. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2012. [Liu Dinghui. The study of excess commuting of large cities in western China: The cases of Chengdu and Lanzhou. Lanzhou: Doctoral Dissertation of Lanzhou University, 2012.]
- [32] 陆学艺, 唐军, 张荆. 社会建设蓝皮书: 2012 年北京社会建设分析报告. 北京: 社会科学文献出版社, 2012. [Lu Xueyi, Tang Jun, Zhang Jing. *Blue Book of Society-building: Annual Report on Analysis of Beijing Society-Building*: 2012. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2012.]
- [33] 柴彦威, 塔娜. 中国行为地理学研究近期进展. *干旱区地理*, 2011, 34(1): 1-11. [Chai Yanwei, Ta Na. Recent progress of behavioral geographic research in China. *Arid Land Geography*, 2011, 34(1): 1-11.]
- [34] Han Huiran, Yang Chengfeng, Wang Enru, et al. The evolution of the jobs-housing spatial relationship in the Beijing Metropolitan Area: A job accessibility perspective. *Chinese Geographical Science*, 2015, 25(3): 375-388.
- [35] Chowdhury T, Scott D, Kanaroglou P. Urban form and commuting efficiency: A comparative analysis across time and space. *Urban Studies*, 2013, 50(1): 191-207.

Impact factors and differences in commuting efficiency between public transit and private automobile travel: A case study on the Beijing metropolitan area

HAN Huiran¹, YANG Chengfeng¹, SONG Jinping²

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, Anhui, China;

2. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Two main functions of a city—housing and employment—have a substantial influence on urban development, as their spatial configurations determine residents' commuting behavior and otherwise affect lifestyles. Research on commuting efficiency therefore plays an important role in urban sustainable development and optimization of the spatial distributions of housing and employment. In this paper, based on results of a questionnaire conducted in the Beijing metropolitan area, commuting efficiency is analyzed and evaluated by way of theoretical commuting, excess commuting, and commuting capacity models. The paper analyzes the commuting efficiency differentiation of public transit and private automobiles. Results are as follows. (1) The excess commuting rate in the Beijing metropolitan area is 64.48% while the commuting capacity utilization rate is only 32.49%, which permits speculation that the current employment – housing situation is substantially imbalanced. (2) For commuting efficiency for different travel modes, private automobiles are superior to public transit, which indicates that the public transportation excess commuting rate is higher than that of private automobiles, and great capacity exists for optimizing public transportation. (3) By analyzing impact factors of the commuting efficiency differentiation of public transit and private automobiles, the factor of job accessibility is found to significantly influence commuting via public transit, while the correlation between job accessibility and private automobile travel does not prove significant. A significant correlation is found between age, education, occupation type, average monthly income, housing property, and commuting time for both travel modes, but the influences of sex and family structure are found to be not significant. Additionally, residential locations are found to impact commuting times for both travel modes more than residential density does, whereas the impact of working locations is found to be not significant. Consequently, it is concluded that the urban government should encourage use of public transit. Furthermore, potentially effective measures such as improving availability of public transportation and imposing congestion-related premiums should be adopted to narrow the difference between public transit and private automobile use.

Keywords: commuting efficiency; public transit travel; private automobile travel; Beijing metropolitan area