

# 双交通模式的阿朗索模型对中国城市的模拟研究

戴特奇<sup>1</sup>, 金凤君<sup>2</sup>, 张华<sup>1</sup>, 周彬学<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 随着中国逐步进入机动化社会, 交通拥挤开始困扰中国城市。汽车改变了人们的空间感受尺度, 推动了城市郊区化和城市空间重构。交通与城市系统的研究涉及空间分析, 国内相关理论研究还较少涉及。本文引入了阿朗索模型族的双交通模型来分析交通模式与城市密度之间的关系, 对模型的假设做了进一步的阐述, 并提取了中国城市的关键参数来模拟分析中国机动化与城市发展的关系, 得到的结果较好地模拟了中国公交城市的规模和密度分布。最后, 本文通过敏感性研究定量分析了收入、农业地租、交通价格和交通用地等因素对交通拥挤、城市规模和密度的影响, 并得出了相关的政策启示。

**关键词:** 交通模式; 双交通模型; 紧凑; 公共汽车; 私家车

## 1 引言

随着经济发展, 中国居民的消费结构开始由“衣、食”为主向“住、行”为主过渡, 这一升级转型也带来了新的问题。本研究主要关注城市交通, 即“行”方面的问题。近年来, 中国城市交通方面最显著的变化是快速机动化: 1985-2005年, 全国GDP增加了仅约6倍, 而民用私人汽车保有量却增长了65倍, 民用私人载客汽车增长高达717倍。汽车消费不但远快于经济增速, 且私家车增长远快于公共交通供给的增加速度: 同期城市公共汽(电)车增长不到7倍。这意味着新增出行需求更多地选择了私人交通模式, 从而改变了城市交通出行结构。城市交通需求面发生变化的同时, 供给面也出现了新的矛盾。出行结构向私人交通变化带来了更大的城市道路需求, 但城市基础设施供给却相对滞后, 城市道路增长还不到4倍。供需的失衡带来了严重的交通拥挤。交通拥挤背景下的交通模式选择将对我国城市形态产生深远的影响。在能源、土地和环境的约束下, 中国需要保持紧凑的城市形态走进机动化社会, 交通拥挤、交通模式选择和城市形态成为一个重要的研究课题<sup>[1]</sup>。虽然人们较早认识到了城市交通问题的本质在于价格机制失灵和供需不平衡<sup>[2]</sup>, 但这一经济学视角仅涉及了市场结构, 很难深入分析空间要素, 而城市交通部门的供需生成均与城市的空间结构密切相关<sup>[3-6]</sup>, 需要在分析中引入反应城市结构的距离变量——这恰是传统经济学理论涉及较少的方面<sup>[7]</sup>。

经济地理学的区位论在这一领域已建立了有效的分析框架。开创性研究可追溯到杜能农业地租模型, 但直到阿朗索模型发展出了竞租函数分析方法之后, 才建立了一个解释城市人口和住房分布的政策分析框架<sup>[8-9]</sup>。阿朗索模型族的核心思想是家庭居住区位选择将综合考虑住房成本与通勤成本之间的平衡, 进而形成地租和人口的空间分布。这一观点有着

收稿日期: 2009-08-20; 修订日期: 2010-06-11

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40635026); 中国科学院知识创新工程(KZCX2-YW-Q10-4); 国家自然科学基金项目(40701040) [Foundation: Key Project of National Natural Science of China, No.40635026 & Knowledge Innovation Program of The Chinese Academy of Sciences, No.KZCX2-YW-Q10-4; Project of National Natural Science of China, No. 40701040]

作者简介: 戴特奇 (1980-), 男, 讲师, 主要研究交通地理、城市与区域发展。E-mail: daiteqi@bnu.edu.cn

坚实的现实基础: 高汽车依赖和市区一郊区房价差是美国居住郊区化的重要动力<sup>[10-11]</sup>。修正后的模型有效地解释了美国城市中心区衰落现象<sup>[12]</sup>和日本土地制度对城市结构的影响<sup>[13]</sup>。

但阿朗索模型族的主要分析目标是土地利用, 最初并不强调城市交通模式的刻画, 也缺乏交通部门方面的解释力<sup>[14]</sup>。后来, 借助交通拥挤描述方程, 交通模式的特征被引入了阿朗索模型, 新模型在交通拥挤和城市土地利用分析上具有很强的解释力<sup>[15-16]</sup>。随后, 模型进一步细分了交通模式, 解释力增强的同时也使得模型的求解变得较为复杂, 需引入数值分析技术<sup>[17]</sup>。

国内地理学对城市交通问题已有较多的分析, 但基于阿朗索模型族的研究还不多。本文将采用双交通模型(The Mills Model with A Bimodal Transportation System)模拟分析小汽车和公共汽车两种竞争性交通模式条件下城市交通及相关因子(城市发展水平、农业地租等)之间的相互影响, 及其对中国城市紧凑发展的影响, 并进一步提出相关的政策建议。

## 2 模型构建

### 2.1 模型基本结构

模型的假设与传统的阿朗索模型类似, 遵从一般的单中心城市假设, 但进一步引入了对公共汽车和私家车两种交通模式的刻画。具体地, 设家庭到城市中心的距离为 $u$ , 该距离上土地租金为 $R(u)$ , 住房价格为 $p_2(u)$ , 就业人口为 $N(u)$ (人口梯度), 城市总人口为 $N$ 。城市边界 $u_1$ 上的地租为农业地租 $R_A$ 。下标2表示住房部门; 下标3表示私人交通部门(小汽车); 下标4表示公共交通部门(公共汽车); 各部门价格为 $p$ , 需求量为 $X_b$ , 供给量为 $X_s$ 。模型构建基本步骤如下, 更详细的建模过程可参见米尔斯的论文<sup>[15-17]</sup>:

(1) 米尔斯模型下的区位均衡:

$$p_2(u)x_{2D}(u) + p_3(u) = 0 \quad (1)$$

(2) 住房价格的地租表示

通过住房生产市场的生产函数将土地供应与住宅量联系起来。开发商住宅生产函数采用柯布一道格拉斯形式, 其中土地 $L$ 和资金 $K$ 的指数分别为 $a_2$ 和 $(1 - a_2)$ , 即规模报酬不变。

$$X_{2S}(u) = A_2 L_2(u)^{a_2} K_2(u)^{1-a_2} \quad (2)$$

设开发商处于完全竞争市场的均衡条件下, 则可求得利润最大化函数, 将生产函数代入利润最大化函数可以求得最大利润化时各个生产要素的价格:

$$R(u) = \frac{a_2 p_2 X_{2S}(u)}{L_2(u)} \quad (3)$$

$$r(u) = \frac{a_2(1 - a_2)p_2 X_{2S}(u)}{K_2(u)} \quad (4)$$

将式(3-4)代入式(2), 即可得到住房价格的地租表达( $C$ 为常量)及其一阶导:

$$p_2(u) = \frac{r^{1-a_2} R(u)^{a_2}}{A_2 a_2^2 (1 - a_2)^{1-a_2}} = CR(u)^{a_2} \quad (5)$$

(3) 人口梯度的地租表示

利用式(2)、(3-4)还可得到用 $R$ 和 $L_2$ 表达的 $X_{2S}$ , 住房消费市场均衡条件下 $X_{2S}$ 等于 $X_{2D}$ , 特定距离上住房消费总量可表达为家庭住房需求量与该距离上家庭总数的乘积, 而家庭住房需求为:

$$x_{2D}(u) = B_2 p_2(u)^{\theta_2} W^{\theta_1} \quad (6)$$

式中:  $\theta_1$ 和 $\theta_2$ 分别为收入和需求的价格弹性;  $B_2$ 为规模系数。由上述诸式可得到 $N(u)$ :

$$N(u) = G^{-1} L_2(u) R(u)^{-a} \quad (7)$$

式中： $L_3$ 和 $L_4$ 表示小汽车和公共汽车的交通用地。整个城市土地供给除了中心区的圆形CBD外，由住宅用地 $L_2$ 和交通用地构成； $\varphi$ 为圆形城市的弧度， $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ ； $G$ 和 $\alpha$ 为常量。

$$\mu\phi = L_2(u) + L_3(u) + L_4(u) \quad (8)$$

#### (4) 拥挤刻画、交通价格与乘客分配

小汽车和公共汽车的价格用维克瑞 (Vickery) 拥挤方程可分别表述为：

$$p_3(u) = \bar{p}_3(u) + \rho_{31} \left[ \frac{X_{3D}(u)}{X_{3S}(u)} \right]^{\rho_{32}} \quad (9)$$

$$p_4(u) = \bar{p}_4(u) + \rho_{41} \left[ \frac{X_{4D}(u)}{X_{4S}(u)} \right]^{\rho_{42}} \quad (10)$$

式中： $P_3$ 为私人交通部门考虑了交通拥挤的总价格； $\bar{P}_3(u)$ 为外生变量，表征交通无拥挤条件下的支付成本；系数 $\rho_{31}$ 与 $\rho_{32}$ 分别体现了小汽车部门拥挤时间价值和拥挤对出行时间的指数效应； $\rho_{32}$ 的经验取值通常为4或更高。式(10)为公共汽车部门的拥挤价格描述，各参数含义类似。交通供给方面则假设其与交通用地面积成线性关系：

$$X_{3S}(u) = A_3L_3(u) \quad (11)$$

$$X_{4S}(u) = A_4L_4(u) \quad (12)$$

而交通需求仅考虑上班出行，单中心城市下有：

$$X_{3D}(u) + X_{4D}(u) = \int_u^{\mu_A} N(x) dx \quad (13)$$

居民将根据支付成本和拥挤成本的总价格，选择较为便宜的交通模式，在个体理性的基础上完成乘客的模式分配。居民选择了较便宜的出行模式后，会增加该交通模式的拥挤程度，导致其拥挤价格上升，使得两种交通模式的价格具有趋同性。之所以说是“趋同”而不是“相等”，是因为可能在某一距离上，即使所有居民均选择了较便宜模式后，另一种的价格仍然较高，即“努力”趋同却达不到相等。若摒除这种极端情况，则：

$$\int_e^u P_3(x) dx = \int_e^u P_4(x) dx \quad (14)$$

(5) 将相关表达式代入式(1)，得到新的区位均衡表达式(这里仅给出距离 $u$ 处小汽车价格不高于公共汽车的情形)：

$$DR(u)^a R'(u) + \bar{P}_3(u) + \rho_{31} \left[ \frac{N - \int_e^u G^{-1}[u\varphi - L_3(x) - L_4(x)]R(x)^{-a} dx}{A_3L_3(u)} \right]^{\rho_{32}} = 0 \quad (15)$$

至此，模型构建好。模型求解需用到数值分析技术。在环带人口分配求解中考虑了无解的情况，采用二分法而非牛顿法完成了求解，计算步长为0.01，迭代次数为3000次<sup>[17-18]</sup>。

## 2.2 对模型的进一步阐述

尽管阿朗索模型修正后包含了对交通模式的考虑，但其中有许多阐述是含混不清的，妨碍了模型发展<sup>[15-17]</sup>。本研究对其中含混不清的地方做进一步的阐述。

**2.2.1 星形道路假设** 阿朗索模型族对城市道路平面格局的假设是含糊不清的。这并不奇怪，因为模型最初并非针对交通问题。压缩二维空间为一维的做法暗含了星形放射状道路结构。当模型的主要分析目标就是城市交通问题时，有必要明确地阐述暗含的道路结构。在交通供给常数化的简化处理中，道路占圆弧的比例一定，这对应着不存在环路的放射状路网结构，参数 $L$ 代表了道路总宽度。该假设在一定程度上是合理的。以北京为例，道路密度呈现明显的向外递减分布：1990年三环内宽6 m以上道路的密度为3.04 km/km<sup>2</sup>，道路用地率为8.77%；而五环内市区道路路网密度为1.55 km/km<sup>2</sup>，用地率3.82%<sup>[19]</sup>。

**2.2.2 空间短视假设** 模型在处理居民交通模式选择时，暗含了一个很强的假设，却未严格提出来，本文称之为“空间短视假设”。即人们仅根据通过本区的交通情况来选择交通

模式, 从市中心到本环之间的交通情况对这一距离上居民的交通选择没有影响。居民出行方式的实际选择过程是一个复杂的博弈, 存在多种可能, 比如, 人们可能均选择无拥挤条件下成本更低的交通模式, 结果造成该交通模式过度拥挤。当然, 空间短视假设把优先选择权交给外围居民在单中心城市假设下仍然是有意义的。

**2.2.3 关于拥挤方程的使用——交通供给分离假设** 拥挤描述中对小汽车和公共汽车使用了两个拥挤方程, 意味着小汽车和公共汽车分别使用了各自的交通用地, 而不会混行在一起。这与现实也存在一定差异, 现实中还存在大量的路面共用情况。

### 2.3 参数设定

国外已有研究采用模型考察了欧洲和美国的情况, 本文将重新设定关键参数以分析中国城市的情况。这种修改是必要的, 已有研究表明: 财富水平和基础设施水平(道路占地比例)对模型结果的影响较大, 而中国城市在这两个参数上与欧美发达城市相差甚大。

根据《中国统计年鉴》, 2006年全国城镇单位在岗职工年平均工资为人民币21001元, 按全年240个工作日和7.5元人民币比1美元的汇率水平计算, 则日工资约11.66美元, 考虑非工资的其他收入形式, 工资水平最终定为15美元, 即非工资收入占了总收入的约22%。农业地租则参考居住用地基准地价计算。以北京边缘地价2880元/m<sup>2</sup>、使用期限70年、每年240工作日、年资金回报率按0.10计算, 得到农业地租约5550美元/平方英里, 远高于美国20世纪60年代的800美元水平。考虑北京基准地价较全国水平高, 本研究将农业地租水平设定为每平方英里3000美元。

交通部门需调整的主要参数为支付价格和拥挤参数。本研究根据世界银行对发展中国家城市的研究, 将小汽车的财富效应系数设定为公共汽车的2倍<sup>[20]</sup>。支付价格的设定较复杂, 理论上的支付价格包括运营成本和乘客的时间成本, 这里用工资水平来度量后者。设定无拥挤条件下小汽车和公共汽车速度分别为42 km/h和32 km/h, 易求得小汽车和公共汽车的时间成本分别为14.40美分和18.75美分。

运营成本主要参考国内交通调查。根据北京市调查, 私车年使用费用为15000元左右(表1), 次均载客率仅为1.26人/次, 按240工作日和50%的上班出行(北京市2006年约为48%)计算, 日上班出行成本

表1 2005年北京市小客车平均使用费用

Tab. 1 Average use cost of passenger car in Beijing, 2005

项目	年维修保养费(元)	年路桥费(元)	年保险费(元)	小计(元)	月均油耗(升)	年油费 <sup>2</sup> (元)	2005年总费用(元)
公车	6355.71	2399.92	4717.07	13472.70	285.64 (80.3%) <sup>1</sup>	12545.31	26018.01
私车	3056.19	1046.47	3237.62	7340.28	179.02 (91.5%)	7862.56	15202.84
平均	3754.59	1332.95	3550.76	8638.30	201.59	8853.74	17492.04

说明: 样本包括北京城八区公务车254辆, 私家车946辆。来源: 北京市交通发展年度报告2006, 北京交通发展研究中心, p37-38。

注1: 表示样本有80.3%使用的是93#汽油, 后同。

注2: 这里按当年3月份价格每升3.66元计算。

为31.25元。由2005年北京市第三次交通综合调查, 北京市2005年平均出行距离约9.3 km, 公共电汽车比小汽车短4.5 km, 这里设定小汽车每日出行次数为2次(上下班), 则私家车的支付价格约为1.30元/km。按上文的汇率和英里计算, 即56美分/2英里。考虑政府补贴因素, 公共汽车运营成本设定为1元/km。综合考虑运营成本与时间成本, 最后设定小汽车和公共汽车支付价格数值分别为70和60。

在用地设定上, 考虑到中国城市交通用地投入低于发达国家城市, 调低了L值, 使中国城市给小汽车的交通用地比例更小。具体参数设定见表2。

### 3 中美城市模拟结果的分析与检验

模型求解得到中国城市半径仅为美国的30%左右，城市面积为1/10，人均交通面积为1/5，而人口密度是美国约10倍(表3)。美国约83%的居民采用小汽车出行，模型中最高垄断水平为85%，这说明美国居民基本都采用小汽车出行；而中国这一比例仅为35%，较符合我国城市交通调查数据<sup>[19]</sup>。总体而言，小汽车依赖高的城市密度更低，而公交城市更为紧凑。

中国城市用较少土地承载较多的人口，代价是更高的地租和交通拥挤水平：中国城市中心的地租是美国的3.4倍，交通价格为1.2倍(图1)。实证研究表明，小汽车交通模式为主的低密度城市，其居民的通勤时间也较少，这与模型结果是一致的<sup>[21]</sup>。从地租水平看，中国城市的地租水平较高，但中、美城市中心区与边缘区地租的比值是近似的：中国为25.2倍，美国为27.9倍，中国还略低于美国。这是因为美国城市半径更长，导致边缘区的通勤费用更高、房价弥补更多。这里暗含的推论是，在本模型的市场均衡条件下，不同的国情会形成不同的均衡房价—收入比，而中国这样发展中国家往往会形成较高的房价—收入比。

从模型解的空间分布看，地租和人口密度的空间分布也较符合已有的实证研究<sup>[22]</sup>。值得注意的是，人口密度的分布出现了“火山口”现象，说明城市中心区小汽车乘客比例的上升带来了一定的人口扩散作用，即交通拥挤使得CBD边缘区的居住密度反而下降，人口密度在较靠近CBD的地方达到最大值。这比阿朗索原始模型得到的人口密度递减更符合现实，当然，现实中的火山口现象也受到了居住环境等因素的影响。

从交通价格的空间分布看，越接近市中心交通价格越高，拥挤越严重(图2)。公共汽车支付价格较低的优势，随着拥挤成本的增加而削弱，约在3.5英里处与小汽车达到平衡，然后小汽车逐步取得竞争优势，其乘客比例更高一些，但到了市中心区附近，拥挤的进一步加剧使得公共汽车乘客比例逐步恢复。这与美国情景不同，由于小汽车支付价格较低，小汽车乘客比例在外围最高，随着到市中心拥挤的加剧而逐步降低。

表2 参数设定

Tab. 2 Parameter values of the model

参数	美国	中国	参数	美国	中国
$a_2$	0.20	0.20	e	1.0	1.0
r	0.0005	0.0005	$A_2$	0.01	0.01
$\omega$	25	25	$B_2$	0.10	0.10
$\theta_1$	1.50	1.50	$R_A$	1000	3000
$\theta_2$	-1.50	-1.50	N	500000	500000
$\varphi$	6.28	6.28			
$L_3$	5.25	2.50	$L_4$	1.00	2.50
$A_3$	90000	80000	$A_4$	100000	120000
$P_{31}$	0.54	0.70	$P_{41}$	0.75	0.60
$\rho_{32}$	4.5	4.5	$\rho_{42}$	4.5	4.5
$\rho_{31}$	1.0	1.0	$\rho_{41}$	0.75	0.5

表3 双交通模型中、美情景下的解

Tab. 3 Values for endogenous variables, Chinese and European cities

	半径 (km)	面积 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	人均交通用地 (m <sup>2</sup> )	R(e) (美元)	$P_3(e)/2$ (美元)	汽车乘客比例 (%)
中	6.57	135.45	11075	26.59	75483	1.2610	35.42
美	21.13	1402.73	1069	130.90	22303	1.0844	83.14
中/美	0.31	0.10	10.36	0.20	3.38	1.16	0.43

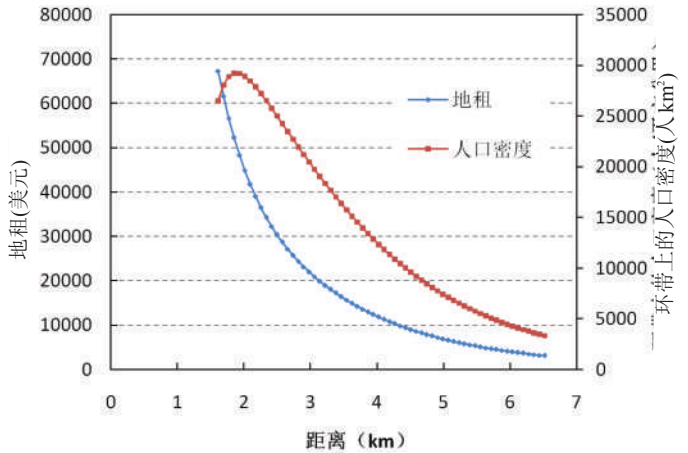


图1 中国城市情景下解的空间分布：人口密度与地租

Fig. 1 The spatial distribution of variables' values: population density and land rent

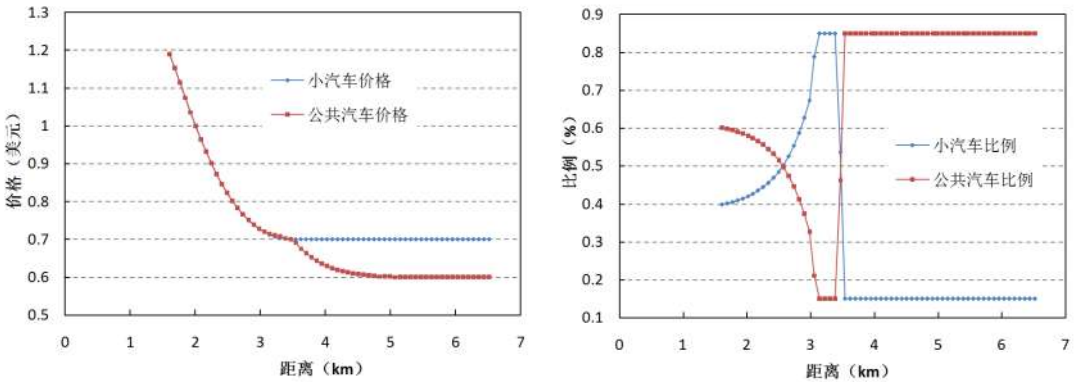


图2 双交通模型中国城市情景解的空间分布: 交通系统

Fig. 2 The spatial distribution of variable values of bimodal transportation for China's cities: transport system

小汽车出行比例的空间分布也得到了—些实证研究的支持。发达国家城市的实证研究比较符合美国城市模式, 如阿姆斯特丹从中心向外, 小汽车出行的比例由27%增加到了53% (Marco te Brömmelstroet, 讲座资料); 伦敦的小汽车拥有分布也从外向内减少<sup>[23]</sup>。国内也有实证研究支持支持了中国中心区小汽车使用更多的模拟结果, 如大连小汽车拥有水平在市中心区最高, 但向外递减到一定程度又有回升<sup>[24]</sup>。郊区的回升可能与该区公交服务未能及时跟上有关, 是一种“被动机动化”, 这与模型中公交均质分布的假设不一致。

#### 4 敏感性分析与政策分析

敏感性分析是对模型参数进行微调, 以考察各个参数单独变化对模型结果的影响, 政策分析主要针对城市半价、城市人口密度、交通拥挤水平和地租 (图3)。在模型敏感性分析的数值计算中步长均为0.01。

(1) 收入水平。工资增长20%和40%条件下, 城市总面积分别增加了40%和78%, 人口密度分别下降了28%和44%; 但对交通价格几乎没有影响, 交通模式间的竞争起到了稳定交通价格的作用。有意思的是收入提高对小汽车出行比例的影响为正, 但影响强度不大。这说明收入增加更多地用于了土地消费, 而对交通模式选择的影响不大, 这符合“通勤悖论”, 即居民在交通上的消费是有限的。当然这一结果也与模型结构本身有关: 小汽车作为普通商品计入了“复合商品”之中, 其使用主要由交通市场决定, 收入只能通过竞租均衡来间接影响“复合商品”。这与通常认为的收入增加将提高小汽车水平的观点不太一致, 但与另一份统计研究的结论是一致的, 即小汽车与城市财富水平关系并不强, 而与城市密度密切相关<sup>[5]</sup>。这一统计分析隐含了这样一个结论, 即小汽车使用由交通系统中不同模式间的竞争力决定, 这与本模型从交通部门供需竞争的角度进行分析的内在思想一致。从收入的敏感性分析可见, 经济发展带来的财富水平增加是城市用地扩展、紧凑度降低的根本动力, 但对小汽车使用水平的影响不大。这意味着城市用地规模不能单纯按人口考虑——这正是目前中国城市用地划拨的主要依据, 应该充分考虑不同城市居民收入水平的差异, 否则可能导致市场扭曲: 富裕城市用地不足, 而落后地区用地富余。

(2) 农业地租水平。农业地租对小汽车使用水平、交通拥挤程度和中心区地租的影响均较小, 但对城市紧凑发展影响较大, 尤其是降低农业地租水平20%对城市半径的影响(5.9%)比提高农业地租(-4.7%)更大。这意味着在紧凑发展的政策目标下, 城市即使不能提高农业地租, 最好也不要降低它。

(3) 支付价格。不同模式支付价格的影响不同。其中, 小汽车支付价格对城市的影响

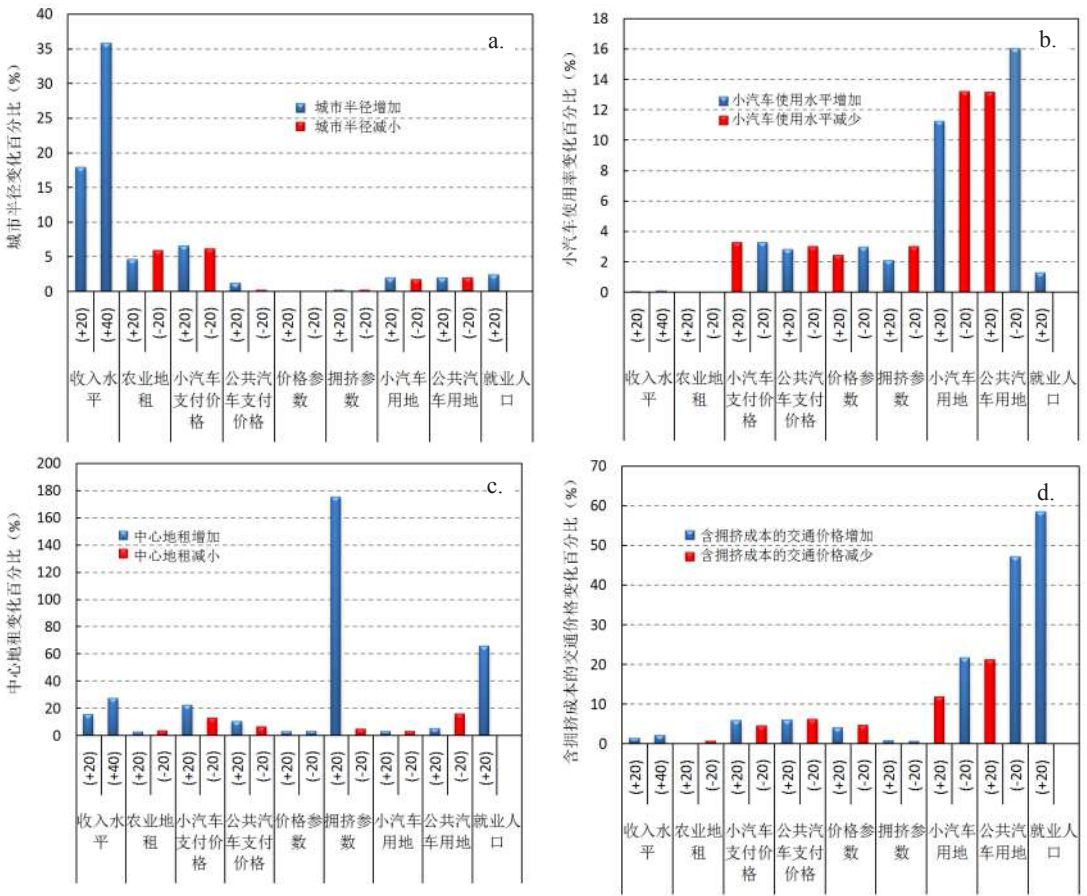


图3 针对城市半径 (a)、小汽车使用水平 (b)、地租 (c) 和拥挤成本 (d) 的敏感性分析

Fig. 3 Sensitivity analysis for city size (a), car use (b), rent (c) and congestion cost (d)

较大，增加或减少 20% 将带来城市面积变化分别为 -12.8% 和 +12.6%，人口密度变化分别为 +15% 和 -11%；而公共汽车价格增加 20% 的影响不足 3%，降低则基本没有影响。

在模型敏感性分析中，小汽车支付价格是唯一对城市紧凑度、小汽车使用水平和地租水平影响都较大的变量。这说明私家车价格能有效作用于多个政策目标。小汽车的外部性使得小汽车价格管制在理论上也是合理的。相比之下，公共汽车对城市紧凑度和地租的影响均较小，但对城市交通价格（即交通拥挤程度）影响较大。故提高私家车使用价格是有效的紧凑发展政策，而试图通过降低公共汽车价格来与小汽车竞争，进而控制城市空间规模，其效果则不理想。当然，如果降低公共汽车价格的政策目标是社会福利和社会公平，那另当别论。

(4) 城市人口规模增加的影响也是显著的。简单地，若人均用地面积保持不变，则城市人口规模增加 20%，城市半径将增加 10%。但模型中各变量之间的相互作用使得城市半径增加仅为 2.5%，而交通拥挤大幅增加，中心区交通价格增加了 59%。这也符合实证研究结果：扣除价格的影响，城市地区的净人口增加是导致交通拥挤的主要因素<sup>[25]</sup>。另外，小汽车的使用增加了 1.3%，城市密度降低了 5%。这说明，城市规模扩大带来了更严重的交通拥挤，同时促使了更多的人选择小汽车，进一步造成了城市密度下降。

(5) 交通用地供给的 L 指数。交通用地供给变化 20% 对城市半径的影响均为 6.6% 左右。公共汽车用地减少对小汽车使用比例和交通总价格的影响最大，分别达到 16% 和 47%。总体而言，交通用地供给状况对小汽车使用水平和交通价格的影响是显著的（图

5b), 因此, 公交专用道是有效的反机动化和缓解交通拥挤措施。

(6) 交通拥挤方程中拥挤参数的变化对城市的影响不大, 更多地会影响地租水平和交通系统本身的价格。城市人口规模增加与收入增加的效应类似, 但更主要地是增加交通拥挤和地租水平, 对城市密度的影响也较大。

## 5 结论

在阿朗索模型基础上发展起来的双交通模型提供了一个较好的政策分析框架, 模拟结果较符合中国城市的实际情况。模型敏感性分析的主要结论有: 随着经济的发展, 收入增加和道路建设将促进城市密度的下降, 而提高农业地租、小汽车支付成本和公交车专用道是有效的反机动化措施或紧凑发展政策。

模型的结果有较强的政策启示意义。目前, 中国城市道路建设展开的同时却对农业用地价格和小汽车使用价格控制不足, 显得相对廉价; 公共交通方面却采用了对紧凑发展影响较小的低价公交策略(如北京)和政策有效性较小的直接限制公交车政策(如上海), 公交专用道等路权分配措施未能有效实施。从本文的分析看, 这些因素无疑是不利于我国城市实现紧凑发展的。

面对快速机动化和城市化带来的巨大变化, 需要持续的实证分析, 并及时提升为理论素材。从理论建设上看, 未来发展可能的方向有: ① 在空间上从单中心模型发展到多中心模型进一步解释多中心城市的城市交通问题, 从一维的距离变量扩展为二维的平面变量; ② 在时间上从静态模型扩展为动态模型; ③ 扩展敏感性分析, 讨论模型解的变化的拐点。其中的难点在于扩展模型的时候同时保持模型简练性和适用性。

## 参考文献 (References)

- [1] Qiu Baoxing. Compactness and diversity: Core of sustainable development of China. *City Planning Review*, 2006, 30 (11): 18-24. [仇保兴. 紧凑度和多样性: 我国城市可持续发展的核心理念. *城市规划*, 2006, 30(11): 18-24.]
- [2] Thomson J M. *Great Cities and Their Traffic*. Beijing: China Architecture & Building Press, 1982: 54-60. [汤姆逊 J M, 城市布局与交通规划. 倪文彦, 陶吴馨 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982: 54-60.]
- [3] Mao Jiangxi, Yan Xiaopei. Study on the relationship between urban land-use pattern and urban transportation pattern. *Planners*, 2002, 18(7): 69-72. [毛蒋兴, 阎小培. 城市土地利用模式与城市交通模式关系研究. *规划师*, 2002, 18(7): 69-72.]
- [4] Hanson S. *Geography of Urban Transportation*. 2nd ed. NY: The Guilford Press, 1995: 26-52.
- [5] Hoyle B, Knowles R. *Modern Transport Geography*. 2nd ed. New York: Wiley, 1998: 120-122.
- [6] Kenworthy J R, Laube F B. Patterns of automobile dependence in cities: An international overview of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1999, 33(7/8): 691-723.
- [7] Krugman P. *Geography and Trade*. US: MIT Press, 1993: 1-24.
- [8] Thunen J H V. *The Isolated State in Relation to Agriculture and Political Economy*. Wu Hengkang. trans. Beijing: The Commercial Press, 1986. [约翰·冯·杜能. 孤立国同农业和国民经济的关系. 吴衡康 译. 北京: 商务印书馆, 1986.]
- [9] Alonso W. *Location and Land Use: Towards a General Theory of Land Rent*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1964.
- [10] Fujita M. *Urban Economic Theory: Land Use and City Size*. NY: Cambridge Univ. Press, 1989.
- [11] Henderson V, Mitra A. The new urban landscape: Developers and edge cities. *Regional Science and Urban Economics*, 1996, (26): 613-643.
- [12] Anas A. Dynamics of urban residential growth. *Journal of Urban Economics*, 1978, (5): 66-87.
- [13] Tokunaga S. *Landownership and Residential Land Use in Urban Economies: Existence and Uniqueness of the Equilibrium*. Tokyo: Springer-Verlag, 1996.
- [14] Anas A, Moses L N. Mode choice, transport structure and urban land use. *Journal of Urban Economics*, 1979, (6): 228-246.



- [15] Mohring H. Congestion//Gómez-Ibáñez J A, Tye W B, Winston C. Essays in Transportation Economics and Policy. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 1999: 181-221.
- [16] Mills E S. Studies in the Structure of the Urban Economy. MA: The Johns Hopkins Press, 1972: 96-136.
- [17] Haring J E, Thomas S, Jeffrey C. The impact of alternative transportation systems on urban structure. *Journal of Urban Economics*, 1976, 3(1): 14-30.
- [18] Recktenwald R. Numerical Methods with MATLAB: Implementation and Application. Wu Weiguo et al. trans. Beijing: China Machine Press, 2004. [拉克唐瓦尔德. 数值方法和MATLAB实现与应用. 伍卫国等译. 北京: 机械工业出版社, 2004.]
- [19] Li Jianguo, Lin Zheng. A Study on Public Transportation of Beijing: Survey, Planning, Policy. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004. [李建国, 林正. 北京城市公共交通调查、规划政策、法规研究. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.]
- [20] World Bank. The Expedite City: The World Bank's Report on Urban Transport Strategy. Beijing: China Financial & Economic Publishing House, 2006: 25-26. [世界银行. 畅通的城市: 世界银行城市交通战略评估报告. 北京: 中国财政经济出版社, 2006: 25-26.]
- [21] Dai Teqi, Jin Fengjun. Formation of Los Angeles's low density and high car dependence. *J. Chongqing Univ: Eng. Ed.*, 2009, 8(1): 25-31.
- [22] Feng Jian. Modeling the spatial distribution of urban population density and its evolution in Hangzhou. *Geographical Research*, 2002, 21(5): 635-646. [冯健. 杭州市人口密度空间分布及其演化的模型研究. *地理研究*, 2002, 21(5): 635-646.]
- [23] Lu Ximing. Metropolis Transport Strategy. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006: 29-31. [陆锡明. 城市交通战略. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006: 29-31.]
- [24] Li Xueming, Du Jingyu. The influence of private cars on residence spatial expansion: A case study of Dalian. *Modern Urban Research*. 2007, (8): 47-54. [李雪铭, 杜晶玉. 私家车增长对城市居住空间扩展影响研究: 以大连市为例. *现代城市研究*, 2007, (8): 47-54.]
- [25] Schrank D, Lomax T. The 2005 Urban Mobility Report. Texas: Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, 2005: 32-33.

## Urban Equilibrium Model with a Bimodal Transportation System in China

DAI Teqi<sup>1</sup>, JIN Fengjun<sup>2</sup>, ZHANG Hua<sup>1</sup>

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** With rapid urbanization and motorization, urban transport congestion poses a challenge to the cities in China. Cars have reshaped the urban structure and urbanization progress. As this transport/land use system is involved in distance and space, not much progress has been made in model building. This paper introduces an urban equilibrium model with a bimodal transportation system and analyzes modal choice and modes of urbanization in China. We extract the key parameters from China's cities, then make simulating and sensitive analyses based on the model. Moreover, we explain the hypothesis of the model in terms of the impacts of income, land rent, price of transportation and supply of land on transport congestion, city size and density. Finally, based on the results we give some suggestions for policy making.

**Key words:** transportation model; urban equilibrium model; compact development; bus; car