

双城系统居民职住选址与通勤的社会最优模型

罗斯达^{1,2}, 李翔宇¹, 吴先宇^{1,2}, 尹志伟¹, 徐帅¹, 康柳江^{1,2}

(1. 北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044;
2. 北京交通大学 综合交通运输大数据应用技术交通运输行业重点实验室, 北京 100044)

摘要: 随着中国城市化进程的加快, 交通需求迅速向都市圈范围内扩展。该文研究薪资水平、交通拥挤等要素对都市圈居民工作、居住地选择和通勤行为的影响, 构建双城(都市圈)系统居民职住选址与通勤的社会最优模型, 以反映城市集聚效应(正外部性)和拥挤效应(负外部性)之间的取舍关系。双城系统包括 1 个大城市和 1 个小城市, 通过解析拥挤条件下的通勤成本, 获得城际通勤者空间分布的边界曲线, 据此测算市内、城际通勤者共同作用下的系统社会净收入。该社会净收入取决于工资、通勤成本和农业租金等, 进而将社会最优写成非线性规划问题, 求解得到双城系统中的最优职住分布与通勤人口。上海—嘉兴双城的实证分析结果表明: 上海的现状居住、就业人口均偏多, 未来应鼓励在上海工作的上班族居住在周边城镇并通过城际铁路通勤, 可提高社会净收入。

关键词: 双城系统; 职住选址; 通勤; 社会最优; 非线性规划

中图分类号: F5

文献标志码: A

文章编号: 1000-0054(2022)07-1186-09

DOI: 10.16511/j.cnki.qhdxxb.2022.26.020

Modeling resident choices of residence, work locations and commutes in a two-city system for optimal urban design

LUO Sida^{1,2}, LI Xiangyu¹, WU Xianyu^{1,2},
YIN Zhiwei¹, XU Shuai¹, KANG Liujiang^{1,2}

(1. School of Traffic and Transportation,
Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Key Laboratory of Transport Industry of Big Data Application
Technologies for Comprehensive Transport of Ministry
of Transport, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Urban travel demands are rapidly growing in metropolitan areas as urbanization spreads in China. This paper studies how contributing factors such as income level, traffic congestion affect residents' choices of work locations, residence locations and commutes in metropolitan areas. A social optimal model was

developed with these choices to capture the trade-off between the agglomeration and congestion in a two-city system consisting of a big city and a small city. The boundary curve of the spatial distribution of inter-city commuters was obtained by analyzing the commuting cost in consideration of traffic congestion, and calculated the net income of the system which is contributed by both intra- and inter-city commuters. Thus, the model needs to show the effects of resident location, work location and commuting on the system which depend on income levels, commute costs, and housing costs. This urban optimization problem was designed as a nonlinear programming problem that gave the optimal spatial distribution of residential and work locations and the number of commuters between cities. An analysis of the Shanghai-Jiaxing two city system shows that the current Shanghai population is higher than the optimal population. The social welfare can be enhanced by encouraging more people working in Shanghai to live in surrounding small cities with intercity railway commutes.

Key words: two-city system; residence and work location choices; commuting; social optimal; nonlinear programming

随着社会经济要素的流动加快, 城市之间的联系日益加强, 例如在长三角都市圈范围内出现了大量的跨城出行。根据《2019 年长三角跨城通勤年报》, 2018 年上海与周边城市南通、苏州、嘉兴、无锡等地级市跨城通勤者实际人数超过 5.7 万人, 呈现明显的上升态势^[1]。城际通勤量迅速上升与大城市的房价居高不下有较大关系, 部分人开始选择居住在邻近城市进行城际通勤。同时, 随着大城市机动车保有量增加及其内部长距离出行量的增长, 高峰期交通状况不断恶化, 如居住在燕郊去北京市中

收稿日期: 2021-10-25

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2021RC273);
国家自然科学基金资助项目(72101017, 72001017,
71890970/71890972)

作者简介: 罗斯达(1992—), 男, 高聘教授。

通信作者: 康柳江, 教授, E-mail: kanglj@bjtu.edu.cn

心的单程通勤时间约为 2 h^[2]。人们在选择居住、工作地点时开始仔细权衡房价、薪资水平、交通拥挤等要素, 选择结果直接影响了都市圈范围内的城际、市内通勤特征。

《国家发展改革委关于培育发展现代化都市圈的指导意见》提出“都市圈是城市群内部以超大特大城市或辐射带动功能强的大城市为中心、以 1 h 通勤圈为基本范围的城镇化空间形态”, 可见都市圈通勤是发展过程中需重点关注的问题之一^[3]。本文构建了双城(都市圈)系统居民职住选址与通勤的社会最优模型, 以刻画城市集聚效应(正外部性)和拥挤效应(负外部性)之间的取舍关系, 描述双城系统的社会最优状态, 旨在揭示都市圈居民职住选址与通勤行为的机理。社会最优是一种理想状态, 尽管出行者仅考虑个人利益最大化的决策行为无法达到社会最优, 但社会最优状态的研究可以帮助决策者把握当前和最优状态之间的差距, 也可分析制约社会净收入提升的关键因素, 为都市圈产业、交通等发展政策的制定提供科学依据。

对城市、都市圈范围内的职住、通勤分析可追溯到 20 世纪 60 年代对单一城市房价与通勤成本的探究^[4]。单一城市的相关研究^[5-7]较多, 相应的城市模型包括单中心城市模型^[8-10]与多中心城市模型^[11-13], 区别在于前者往往假设就业岗位全部集中在中心区(郊区不提供工作机会), 根据城市居住与商业的空间分布又可将单中心城市划分为连续城市模型^[4]和郊区-市区城市模型^[5]。Henderson^[14]首次在都市圈(多城市系统)尺度下研究了居民职住与通勤行为, 并提出了社会最优与竞争均衡的概念。然而都市圈模型^[14-16]的相关研究较为欠缺, 有限的研究往往在过于理想的城市形态下进行, 如文[17-18]研究了一维线性单中心城市中人们居住地的选择, 并将模型用于道路收费、常规公交与城市轨道交通系统设计等应用场景。然而, 线性城市与实际情况差距较大, 无法直接对都市圈相关政策的制定进行辅助决策; 都市圈的相关研究有的基于实地调查数据标定离散选择模型, 如文[19-20]难以揭示居民职住选址与通勤行为的普遍适用性机理。Ren 等^[21]提出了由 2 个二维单中心城市组成的双城经济系统社会最优模型, 但模型将市内拥挤产生的成本认为是固定不变的常数, 未考虑拥挤程度在城市中心更为显著的实际情况。

本文在上述研究的基础上, 提出了考虑市内交通拥挤负外部性的双城社会最优模型——拥挤的加

入使得出行者的决策建模变得更为复杂, 本文深入探讨了不同拥挤状态下居民可能的职住选址和通勤行为。将社会最优模型写成只含有职住选址和通勤 3 个决策变量的非线性规划问题, 通过模型求解对上海—嘉兴双城系统的最优人口分布进行了分析, 发现城际铁路通勤可以帮助劳动力在空间中高效分配并提高社会净收入, 但实际城际通勤人口相对最优状态明显偏少。

1 双城系统

构建由 2 个城市(城市和城市)构成的经济系统(见图 1), 用圆形单中心模型表示 2 个城市的基本特征, 其中城市和城市的市中心位置(O_1 、 O_2)固定, 城市面积根据人口的分布而定, 用 r_1 和 r_2 表示 2 个城市的半径^[4]; 高速铁路连接 2 个城市, 高铁站(点 B_1 、 B_2)均位于城市边缘, 城际通勤成本用 T 表示; 城市边缘处的地租由农业租金决定, 用 R_i 表示, $R_1 > R_2$ 。2 个城市内部的居民均需要工作, 工作地点的选择有 2 种, 第 1 种是通勤到本城市市中心, 第 2 种是前往另一个城市的市中心工作, 由此 2 个城市内部的不同居民会产生不同形式的通勤成本(包括交通拥挤延误)。

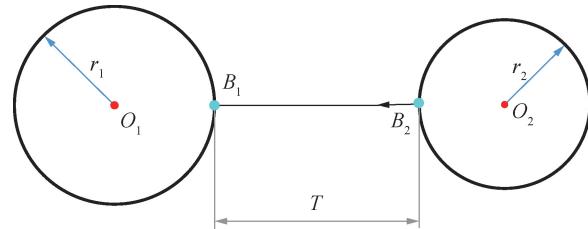


图 1 双城系统

根据经典单中心城市模型, 本文设计了下列假设条件。

假设 1 2 个城市在资源禀赋和基础设施等方面有差异^[21], 用全要素生产率来表征 2 个城市的上述差异, 记 A_i 为城市 i 的全要素生产率, $A_1 > A_2$, 定义城市 1 为大城市, 城市 2 为小城市。

假设 2 生产投入越多, 产出越大, $P_i(W_i)$ 为城市 i 的总产出, W_i 为在城市就业的人数, $P_i = A_i W_i^{1+\gamma}$, 其中 γ 是正常数。

假设 3 系统中的城市均具有放射环形路网, 城市形态为圆形单中心型, 工作岗位集中在 2 个圆心处。

假设 4 系统具有确定的人口规模 N , 所有人都是同质的且居住地均匀分布在城市内部, 人口密

度为 1, 单位为人/km², 即城市面积与城市人口 N_i 在数值上相等, $N_i = \pi r_i^2$ 。将居住和工作在相同城市的居民定义为市内通勤者, 居住和工作在不同城市的为城际通勤者。

根据上述假设, 市内通勤者从居住地前往市中心工作, 而城际通勤者需选择成本最小的路径先到达居住地所在城市的高铁站, 然后乘坐高铁到另一城市工作。可见, 城市内部不同区域路网上的交通量不同。设 $h_i > 0$ 为城市 i 单个居民在市内通勤单位距离的通勤费用; c_i 为自由流状态下的费用; f_i 为拥挤造成的延误费用, $h_i = c_i + f_i$, 所有费用的单位均转化成“元”。人口越多城市越拥挤, 且本模型中的城市中心最为拥挤, 拥挤程度随距市中心距离的减小而增加, 故 $f_i = f_i(N_i, r)$, r 为居民到所居住城市中心的距离, $\frac{\partial f_i}{\partial N_i} > 0$, $\frac{\partial f_i}{\partial r} < 0$ 。城际铁路通勤成本 T 为定值, 从市 1 到市 2 的通勤人数为 N_{12} , 反之为 N_{21} 。

2 社会最优模型

社会最优状态是指系统总福利达到最大时所处的状态。在这种情景下, 中央政府具有绝对权力, 可以决定城市群内各个城市的居住人口和各个城市之间的通勤人数, 从而实现社会净收入最大化。

定理 1 社会最优状态下, 城市 1 的居民不会向城市 2 通勤。

证明: 采用反证法。如果在社会最优时, 城市 1 中有人至城市 2 通勤, 记最优的人口分布为 $(N_1^*, N_2^*, N_{12}^*, N_{21}^*)$, $N_{12}^* > 0$ 。此时可构造新的人口分布 $(N'_1, N'_2, 0, N'_{21})$, 满足 $N'_1 = N_1^* - N_{12}^*$, $N'_2 = N_2^* + N_{12}^*$, $N'_{21} = N_{21}^*$ 。显然, 新的人口分布包括居住人口 N_1 、 N_2 和城际通勤人数 N_{21} , 未改变双城系统的总产出和通勤成本, 但因为 $R_1 > R_2$, 所以新的人口分布使集计农业租金下降 $N_{12}^*(R_1 - R_2)$, 表明新的人口分布将产生更高的社会净收入。因此原有的人口分布不是最优的, 与假设矛盾。

定理 1 表明, 社会最优状态的前提为 $N_{12} = 0$, $N_{21} \geq 0$ 。综上, 社会最优问题可表示如下:

$$\begin{aligned} \max_{N_1, N_2, N_{21}} \quad & SW = P_1 + P_2 - (ACC_1 + ACC_2 + N_{21}T) - \\ & (R_1 N_1 + R_2 N_2), \\ \text{s. t.} \quad & N_1 + N_2 = N, \\ & N_{21} \leq N_2, \\ & N_1 \geq 0, \quad N_2 \geq 0, \quad N_{21} \geq 0. \end{aligned} \quad (1)$$

其中: SW 为社会净收入; ACC_1 和 ACC_2 为城市内部产生的通勤成本。式(1)包含集计产出、集计通勤成本和集计农业租金 3 部分, 决策变量包括 N_1 、 N_2 和 N_{21} 。欲求解上述优化问题, 必须把目标函数的 3 部分表达为决策变量的函数。集计产出部分由节 1 的假设可以得出

$$P_i = A_i(N_i + (-1)^{i-1} N_{21})^{1+\gamma}. \quad (2)$$

房价(包括房租)在双城系统内部主体间转移, 集计农业租金反映的是中央政府开垦土地所付出的成本。由于居民的住房消费量均为“1”, 因此集计农业租金为 $R_1 N_1 + R_2 N_2$ (2 个城市的人口数与农业租金的乘积之和)。

剩下部分是集计通勤成本, 需要将 ACC_1 和 ACC_2 表示为决策变量的函数。 ACC_1 由城市 1 的居民及城际通勤者共同产生, ACC_2 包括去城市 2 中心和高铁站的通勤成本。对城市 2 的城际通勤者, 既可选择“环向+径向”, 也可选择“径向+径向”道路到达高铁站。如图 2 中的 M 点和 Q 点, M 点处的居民选择“环向+径向”到达高铁站(相应点构成的集合称为 L 区), 而 Q 点处的居民选择“径向+径向”。城市 1 没有城际通勤者, 故不存在上述路径问题。

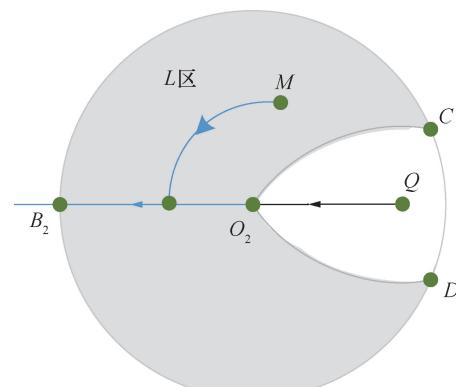


图 2 城市 2 居民到达高铁站的不同路径

设边界曲线 CO_2 和 DO_2 上任一点极坐标为 $(r, \bar{\theta})$, 它选择“环向+径向”和“径向+径向”到达高铁站的费用相等, 故有

$$h_2 \bar{\theta} r + \int_r^{r_2} h_2 dr = \int_0^r h_2 dr + \int_0^{r_2} h_2 dr. \quad (3)$$

化简得

$$\bar{\theta} = \frac{2 \int_0^r h_2 dr}{h_2 r}. \quad (4)$$

由积分中值定理可证明 $\bar{\theta} \geq 2$ 。 L 区占城市 2 总面积

的比例较高, 因此本文假设城际通勤者全部来自 L 区。如图 3 所示, 令边界 AC_1 上任意一点 $E(r, \tilde{\theta})$, $\eta \in [0, 1]$ 且 $|O_2 A| = \eta r_2$ 。定义城市内任意一点到自己城市工作地产生的通勤成本为“机会通勤成本”, 到另一城市工作地产生的通勤成本为“实际通勤成本”, 根据社会最优状态的定义可以得出城际通勤区域边界上任意一点的实际通勤成本与机会通勤成本之差相等(证明略)。由此可以推导城际通勤边界 AC_1 的极坐标表达式,

$$\begin{aligned} h_2 \tilde{\theta} r + \int_r^{r_2} h_2 dr + T + \int_0^{r_1} h_1 dr - \int_0^r h_2 dr = \\ \int_{\eta r_2}^{r_2} h_2 dr + T + \int_0^{r_1} h_1 dr - \int_0^{\eta r_2} h_2 dr. \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)左、右两边分别表示 E 、 A 点的实际通勤成本和机会通勤成本之差, 化简得

$$\tilde{\theta} = \frac{2 \int_{\eta r_2}^r h_2 dr}{h_2 r}. \quad (6)$$

利用城际通勤者的边界方程可以计算通勤人数 N_{21} , 此时 N_{21} 将被变量 η 唯一确定, 因此可以用 η 代替 N_{21} 成为决策变量。

定理 2 L 区的边界曲线包含通勤者边界曲线, 即 $\tilde{\theta} \leq \bar{\theta}$ (当 $\eta=0$ 时, $\tilde{\theta}=\bar{\theta}$)。

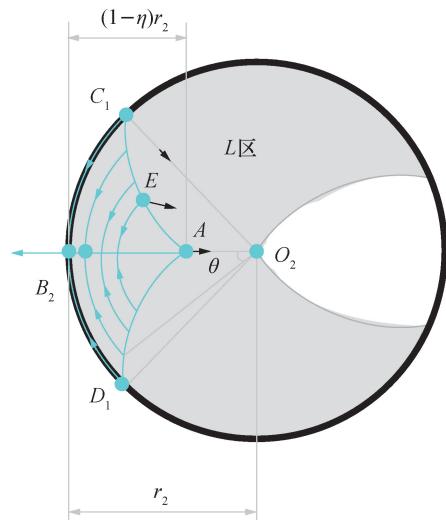


图 3 城市 2 的城际通勤区域(区域 AC_1D_1)

由于不能确定 2 个边界曲线角度的最大值, 即 $\bar{\theta}^{\max}$ 和 $\tilde{\theta}^{\max}$, 社会最优可能存在多种情形, 如表 1 所示, 这与交通拥挤程度直接相关。其中蓝色区域代表城际通勤者的分布, 灰色和白色区域都代表市内通勤者, 区别在于若迫使灰色区域的人群到城市 1 上班, 他们会选择“环向+径向”到达高铁站, 而白色区域则为“径向+径向”。由此可得:

表 1 城市 2 边界曲线的变化情况

$\bar{\theta}^{\max} < \pi$	$\bar{\theta}^{\max} = \pi$	$\bar{\theta}^{\max} > \pi$
$\tilde{\theta}^{\max} < \pi$		
$\tilde{\theta}^{\max} = \pi$		
$\tilde{\theta}^{\max} > \pi$		

$$N_{21} = 2 \int_{\eta r_2}^{r_2} r dr \int_0^{\theta} d\theta, \quad (7)$$

$$ACC_1 = \int_0^{r_1} \left(2\pi r \int_0^r h_1 dr \right) dr + N_{21} \int_0^{r_1} h_1 dr, \quad (8)$$

$$ACC_2 = 2 \left[\int_{\eta r_2}^{r_2} r dr \int_0^{\theta} \left(h_2 \theta r + \int_r^{r_2} h_2 dr \right) d\theta + \int_0^{r_2} \left(\pi r \int_0^r h_2 dr \right) dr - \int_{\eta r_2}^{r_2} \left(\tilde{\theta} r \int_0^r h_2 dr \right) dr \right]. \quad (9)$$

将式(2)、(7)—(9)代入(1)可解得社会最优。由于问题规模很小,利用 MATLAB 的内置函数 fmincon 即可求出最优解。

3 实证研究

3.1 研究区域

上海和嘉兴位于长江三角洲地区,上海是长三角的核心城市,是全国的金融、交通和技术创新中心;嘉兴毗邻上海,是长三角的二线城市。高铁开通前,从嘉兴乘普通火车到上海约需 1.5 h;高铁开通之后,通勤时间下降到 0.5 h,因此,越来越多嘉兴人选择到上海工作,进而出现较为明显的城际通勤现象。在这 2 个城市中仍有一部分区域开发程度不高,以上海为例,2018 年上海中心城区的 GDP 约占全上海 GDP 的 2/3,表明上海的大部分经济活动发生于中心城区。因此,本节将上海和嘉兴的中心城区(图 4 的红色环线)分别定义为 2 个城市的边界,所有参数也取自中心城区。上海和嘉兴的高铁站都位于 2 个城市的边界处,有多趟高铁班次承担通勤需求,实际情况与模型假设匹配良好。



注:地图引自《上海市总体规划(2017—2035)》和《嘉兴市城市总体规划(2003—2020)(2017 修订)》。

图 4 上海市和嘉兴市中心城区示意图

3.2 参数标定

既有研究表明 γ 的取值约为 0.05^[14],故本文取 $\gamma=0.05$,其他参数根据相关资料进行标定。表 2 列出了标定参数所需要的数据。用城市 i 现状的 GDP_i 和人口 N_{i0} ($i=1, 2$) 来衡量一个城市中心城区的总产出,表示如下:

$$A_i = \frac{GDP_i}{N_{i0}^{1+\gamma}}. \quad (10)$$

由式(10)得到 A_1 和 A_2 分别为 7.58 和 4.79。

根据当地统计局数据,2018 年上海和嘉兴的年平均工资分别为 140 270 元和 89 311 元,这是针对全市所有居民统计的数值。使用中心城区的总产出来估计中心城区的年平均工资,表示如下:

$$w_{i0} = \frac{P_{i0}}{N_{i0}} = A_i N_{i0}^{\gamma}. \quad (11)$$

由式(11)计算可得上海和嘉兴的年平均工资分别为 $w_{10}=171\,579$ 元和 $w_{20}=96\,719$ 元。假定每天工作时间为 8 h,则上海每小时工资为 92.45 元。因嘉兴的部分居民会到上海工作,而居民是同质的(假设 4),本文将模型中所有居民的平均时间价值 vot 设定为 92 元/h,进而可确定年城际通勤费用,表示如下:

$$T = t_w \times (224 \times mc + 2vot \times tc), \quad (12)$$

$$T = 4.5611 \text{ 万元.}$$

mc 和 tc 的含义见表 2。

用年工作天数 t_w 、时间价值 vot、城市 i 的每公里货币成本 λ_i 、城市 i 的人均居住面积 s_i 和城市 i 平均自由流速度 v_i 来确定市内自由流下的年通勤成本,表示如下:

$$c_i = t_w \times \left(2\lambda_i \times \frac{\sqrt{s_i}}{1000} + 2vot \times \frac{\sqrt{s_i}}{1000v_i} \right), \quad (13)$$

$$c_1 = 0.000\,94 \text{ 万元,}$$

$$c_2 = 0.000\,98 \text{ 万元.}$$

用城市 i 中心城区外围区域房价的平均值来代替农业租金 R_i ,可以得到 R_1 和 R_2 分别为 7.52 万元和 2.31 万元。由节 2 可知,城市 i ($i=1, 2$) 的单位距离出行成本 $h_i=c_i+f_i$,假设 f_i 为线性形式,表示如下:

$$f_i = k_i(r_i - r). \quad (14)$$

根据《2019 年度中国城市交通报告》^[28] 可推知,2018 年上海和嘉兴的拥挤延时系数分别为 $m_1=0.82$ 和 $m_2=0.25$ 。下面标定 k_1 和 k_2 :

表 2 模型参数取值相关信息

参数	描述	具体值	数据来源
N_{i0}	城市 i 中心城区的人数	上海: 12 436 800 ^[22] 嘉兴: 1 288 700 ^[23]	上海统计局、嘉兴统计局
s_i / m^2	城市 i 的人均居住面积	上海: 37 ^[24] 嘉兴: 41.26 ^[25]	上海市住房和城乡建设管理委员会 2018 年嘉兴市国民经济和社会发展统计公报
$v_i / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	城市 i 路网的平均自由流车速	上海: 50 嘉兴: 40	
$\lambda_i / \text{万元}$	城市 i 每公里的货币成本	上海: 0.000 15 嘉兴: 0.000 1	出租车公里计价估计得到
tc/h	城际通勤的时间成本	0.65 ^[26]	中国铁路 12306 官方网站
$mc/\text{万元}$	城际通勤的货币成本	0.003 85 ^[26]	中国铁路 12306 官方网站
$GDP_i / \text{万元}$	城市 i 中心城区的 GDP	上海: 213 388 800 ^[22] 嘉兴: 12 464 200 ^[23]	上海统计局、嘉兴统计局
t_w/d	年工作天数	232 ^[27]	国务院办公厅关于 2018 年部分节假日安排的通知

$$\int_0^{r_{i0}} f_i dr = m_i c_i r_{i0}, \quad i = 1, 2. \quad (15)$$

式(15)表示在城市 i 当前状态下, 拥挤费用是自由

流费用的 m_i 倍, $r_{i0} = \sqrt{\frac{N_{i0}}{\pi}}$ 。式(15)化简可得

$$k_i = \frac{2m_i c_i}{r_{i0}}. \quad (16)$$

故 $k_1 = 7.77 \times 10^{-7}$, $k_2 = 7.67 \times 10^{-7}$ 。

3.3 社会最优状态分析

本文对社会最优条件下上海和嘉兴的职住、通勤情况进行分析, 为政府制定都市圈发展战略和长期规划提供参考。将目前上海和嘉兴的居住人口和通勤人口代入式(1)得到现状考虑拥挤的 SW 为 $9.720 3 \times 10^7$ 万元。若模型不考虑交通拥挤, 车辆均以自由流速度行驶, 则上海和嘉兴的职住分布和社会净收入的最优解 SW* 分别为:

$$N_1 = 1317 \text{ 万人}, \quad N_2 = 55 \text{ 万人}, \quad N_{21} = 55 \text{ 万人}, \\ SW^* = 1.155 6 \times 10^8 \text{ 万元}.$$

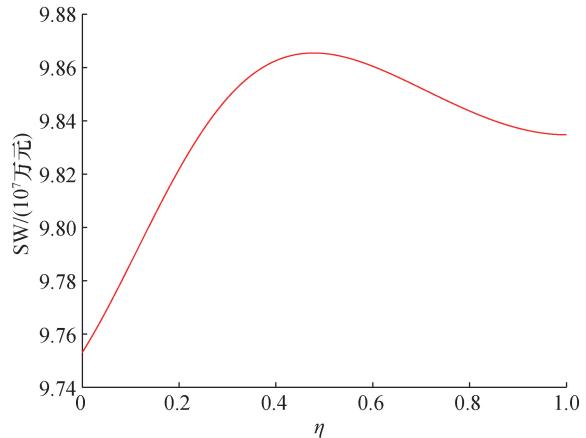
相比于目前的人口分布, 社会最优状态下要求几乎所有人都居住在上海, 且居住在嘉兴的人都需要到上海上班。然而当人口全部集中在上海时, 必然产生比现在更为拥挤的交通流, 且白天嘉兴变为空城, 明显与普遍认知不符。因此, 考虑交通拥挤产生的负外部性对分析都市圈职住-通勤的社会最优状态十分必要。

考虑拥挤效应时, SW 随 η 的变化如图 5 所示

(固定 η , 求解式(1)得到的 SW)。据此得到上海和嘉兴的人口分布和 SW*, 分别表示如下:

$$N_1 = 950 \text{ 万人}, \quad N_2 = 422 \text{ 万人}, \quad N_{21} = 83.6 \text{ 万人},$$

$$SW^* = 9.865 5 \times 10^7 \text{ 万元}.$$

图 5 社会最优状态下的 SW 随 η 变化图

此时上海中心城区人口(未明确指出即在中心城区范围内)约为 950 万人, η 的最优解是 0.48, 对应的嘉兴人口约为 422 万人, 城际通勤人数约为 83.6 万人。而目前上海人口为 1 243 万人, 嘉兴人口为 129 万人, 城际通勤人口小于 2 万^[1], 其与理想状态的人口分布差距较大。社会最优要求减少大城市居民、工作人数, 增加小城市居民、工作人数以及城际通勤人数, 避免过度集聚来提高 SW。本文研究发现城市内部交通拥挤对 SW 造成了较大损失(16%左右); 同时, 城际铁路具有大运量、高可

靠性等特点,可鼓励更多大城市的就业人员跨城通勤,中央政府应制定政策提升城际铁路服务质量,促进城市群、都市圈发展。

根据式(14)可确定上海—嘉兴系统中 $\bar{\theta}$ 和 $\tilde{\theta}$ 的函数形式,得到嘉兴 L 区边界曲线和城际通勤区域划分,分别表示如下:

$$\bar{\theta}(r) = \frac{2c_2 + k_2(2r_2 - r)}{c_2 + k_2(r_2 - r)}, \quad (17)$$

$$\tilde{\theta}(r) = \frac{2c_2(r - \eta r_2) + k_2(2r_2 r - r^2 - 2\eta r_2^2 + \eta^2 r_2^2)}{(c_2 + k_2(r_2 - r))r}. \quad (18)$$

图 6 中,蓝色区域为嘉兴的城际通勤区域,灰色区域为 L 区。可以发现 $\tilde{\theta} < \bar{\theta}$, $\tilde{\theta}^{\max} < \bar{\theta}^{\max} < \pi$, 属于表 1 中所列的第 1 种情况。17% 的嘉兴高铁站附近的居民会前往上海就业,大多数城际通勤者会使用“环线+放射线”从住处到达高铁站。本文定义拥挤延时系数为实际出行费用与自由流状态下的出行费用的比值,则上海由市内和城际通勤者共同产生的高峰期拥挤延时系数为 1.97,这与高德、百度等互联网公司发布的信息基本相符,表明上海—嘉兴都市圈的健康发展需要在城市化过程中引导更多人住在嘉兴乘坐高铁至上海通勤,但不应进一步加剧上海市内的交通拥堵。因此,上海政府应加强人口总量控制,合理保持城市人口在相对稳定的水平,同时大力发公共交通,使都市圈朝向社会最优的方向发展。

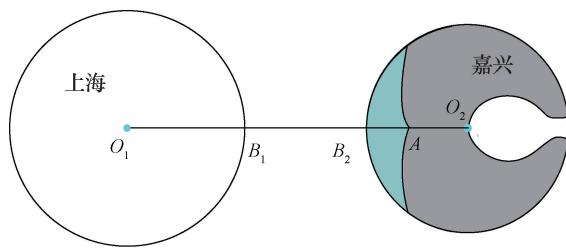


图 6 嘉兴至上海的城际通勤区域

3.4 城际通勤费用和人口规模对社会最优的影响

城际通勤费用和人口规模是影响社会最优的重要影响因素,本节定量分析其对结果的影响。

现状 $T=4.5611$ 万元,图 7 显示了城际通勤人数 N_{21} 随城际通勤费用 T 的变化。随着 T 的增加, N_{21} 不断减少,当 $T>6$ 时,嘉兴将没有人至上海通勤。若能将年城际通勤费用降低到 4 万元以下,随着通勤费用的降低,城际通勤人数增长速率

大幅增加。

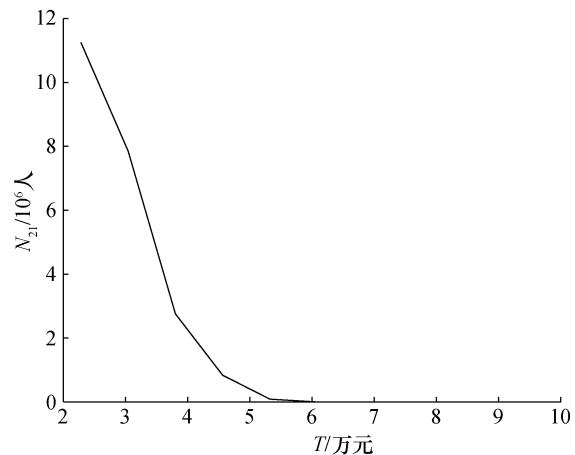
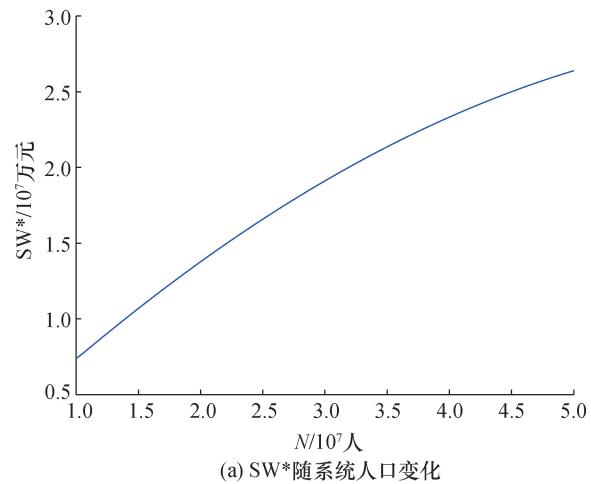


图 7 城际通勤费用与通勤人口的关系

现状 N 约为 1400 万,图 8a 表明 SW^* 随 N 不断增加,但增速不断下降。这主要受拥挤效应的影响,从图 8b 可进一步发现,随着 N 增加,均摊到每个人的 SW^* 持续下降。如图 8c 所示,假设现状嘉兴居住人口保持不变,系统因城市化增加的人口均前往上海居住,则系统人口增加到约 3700 万后, SW^* 因拥挤效应开始下降。与图 8a 相比,人口过度向上海中心城区集中会降低 SW^* ,若大运量城际铁路服务质量不高,跨城通勤者集中在高速公路上发生拥堵,则会更加制约 SW 提升,不利于城市化进程。图 8d 表明城际通勤人口占系统总人口或嘉兴人口的比例随 N 下降,但 N_{21}/N_2 的下降速度更快,说明在城市化进程中,社会最优要求更多人口住在一线城市附近的小城市(包括卫星城),通过大运量城际铁路往返通勤,这与 3.3 节的结果一致。



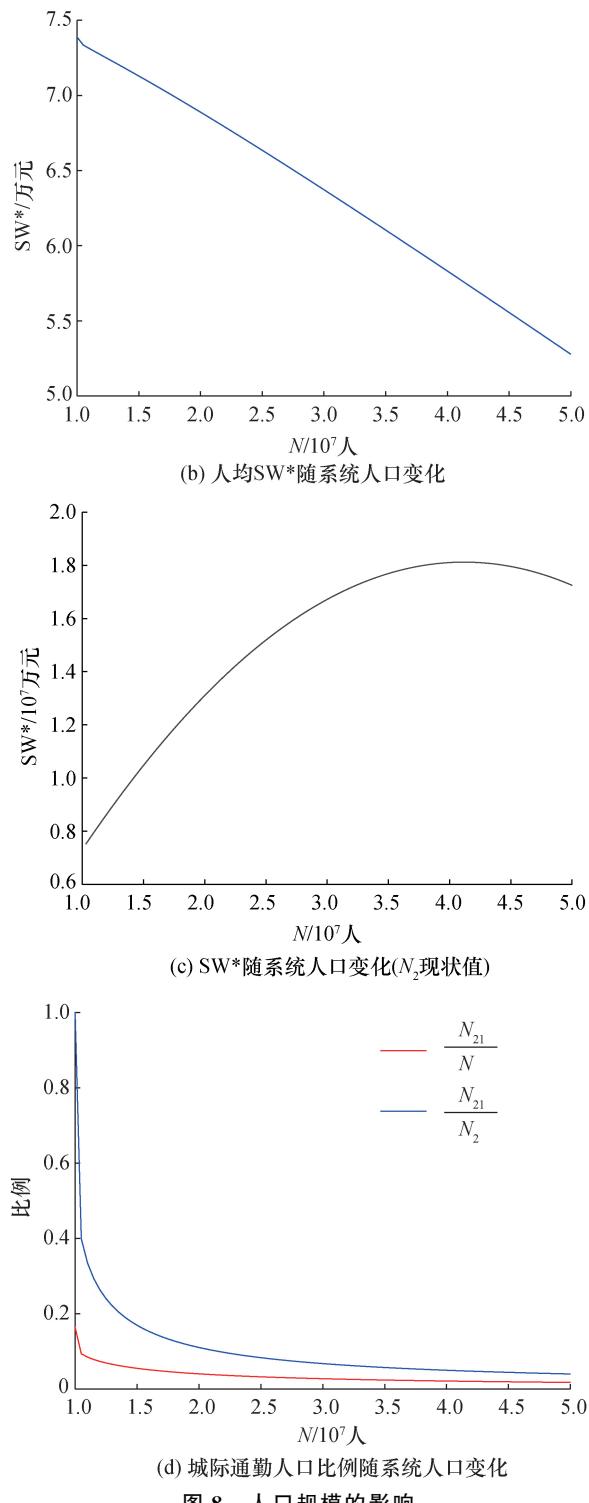


图 8 人口规模的影响

4 结 论

本文探究薪资水平、交通拥挤等要素对都市圈居民工作、居住地选择和通勤行为的影响, 构建双城(都市圈)系统居民职住选址与通勤的社会最优模型, 以反映城市集聚效应和拥挤效应之间的取舍关系。双城系统中包含1个大城市和1个小城市, 通过解析拥挤条件下的通勤成本, 求得城际通勤者空

间分布的边界曲线, 据此测算市内、城际通勤者共同作用下的系统SW。该SW取决于人们的工资、通勤成本和农业租金等, 本文将社会最优模型写成非线性规划问题, 据此对上海—嘉兴双城系统开展实证研究, 对目前该系统的职住分布、通勤状况等进行评价, 探讨政府应采取何种措施来提升系统的SW, 主要研究结论如下:

1) 城际铁路通勤可以帮助劳动力在空间中高效分配从而提高SW, 但在系统人口规模较大时交通拥挤产生的成本是制约SW增长的重要原因, 并且会对个体出行造成较大的时间延误。

2) 政府需根据交通治理的目标, 合理控制城市的人口规模。随着拥挤的治理, 大城市对周围城镇的“虹吸效应”会保持在较高水平, 因此政府还应该加大对城际交通基础设施的投资力度, 新建城际铁路, 鼓励大运量运输方式承担城际通勤需求。

需要指出, 本文的结论仅适用于主城(大城市)—卫星城(小城市)双城系统, 若将模型应用到其他都市圈双城系统(如广州—深圳), 相应的结论会发生较大变化, 未来需要进一步完善该模型。本研究假定系统中所有居民都是同质的, 如居民有相同的住房消费、时间价值等特征, 下一步研究可以放宽该假设, 设定不同城市的居民有不同的时间价值等; 本文研究了双城系统的社会最优问题, 未来可以用双城系统模型为基础, 将社会最优拓展到多城都市圈、城市群的情形。

参 考 文 献 (References)

- [1] 同济大学建筑与城市规划学院. 2019长三角城市跨城通勤年度报告 [R]. 上海: 同济大学建筑与城市规划学院, 2019. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. Annual report on intercity commuting in the Yangtze River Delta in 2019 [R]. Shanghai: College of Architecture and Urban Planning Tongji University, 2019. (in Chinese)
- [2] 史景允. 燕郊通勤视角下的职住分离研究 [D]. 石家庄: 河北师范大学, 2015. SHI J Y. Commuting perspective job-housing separation research of Yanjiao [D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2015. (in Chinese)
- [3] HU Y K, DENG T T, ZHANG J. Can commuting facilitation relieve spatial misallocation of labor [J]. Habitat International, 2020, 106: 102136.
- [4] ALONSO W. Location and land use: Toward a general theory of land rent [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1964.
- [5] XU S X, LIU R H, LIU T L, et al. Pareto-improving policies for an idealized two-zone city served by two congestible modes [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2018, 117: 876–891.

- [6] XU S X, LIU T L, HUANG H J, et al. Mode choice and railway subsidy in a congested monocentric city with endogenous population distribution [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018, 116: 413–433.
- [7] 李同飞. 考虑土地利用的交通网络建模及优化研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- LI T F. Research on modeling and optimization of transportation network considering land use [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018. (in Chinese)
- [8] BUYUKEREN A C, HIRAMATSU T. Anti-congestion policies in cities with public transportation [J]. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(2): 395–421.
- [9] 丁成目. 城市空间结构理论: 单中心城市静态模型 [J]. 城市发展研究, 2006, 13(4): 121–126.
- DING C R. Urban spatial theory: Static monocentric model [J]. *Urban Development Studies*, 2006, 13(4): 121–126. (in Chinese)
- [10] LI Z C, CHEN Y J, WANG Y D, et al. Optimal density of radial major roads in a two-dimensional monocentric city with endogenous residential distribution and housing prices [J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2013, 43(6): 927–937.
- [11] ZHANG W J, KOCKELMAN K M. Optimal policies in cities with congestion and agglomeration externalities: Congestion tolls, labor subsidies, and place-based strategies [J]. *Journal of Urban Economics*, 2016, 95: 64–86.
- [12] FUJITA M, OGAWA H. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations [J]. *Regional Science and Urban Economics*, 1982, 12(2): 161–196.
- [13] 陈雅娟, 黄海军, 李志纯. 多中心城市系统均衡分析与轨道交通投资影响评价研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(12): 3120–3128.
- CHEN Y J, HUANG H J, LI Z C. Urban system equilibrium analysis in a polycentric city and rail transit investment estimation [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2019, 39(12): 3120–3128. (in Chinese)
- [14] HENDERSON J V. The sizes and types of cities [J]. *The American Economic Review*, 1974, 64(4): 640–656.
- [15] ALBOUY D, BEHRENS K, ROBERT-NICoud F, et al. The optimal distribution of population across cities [J]. *Journal of Urban Economics*, 2019, 110: 102–113.
- [16] ANAS A, PINES D. Public goods and congestion in a system of cities: How do fiscal and zoning policies improve efficiency [J]. *Journal of Economic Geography*, 2013, 13(4): 649–676.
- [17] 杨建中. 新型城镇化战略下居民居住地选择行为及对策研究: 以成都市为例 [D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- YANG J Z. Research on residential location choice behaviors and policies under new urbanization strategy: Taking Chengdu as an example [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016. (in Chinese)
- [18] 李霞. 城市通勤交通与居住就业空间分布关系 [D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- LI X. Model and methodology of relationship between urban commute and residential workplace location [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)
- [19] LI Z C, LAM W H K, WONG S C. Modeling intermodal equilibrium for bimodal transportation system design problems in a linear monocentric city [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2012, 46(1): 30–49.
- [20] LI Z C, LAM W H K, WONG S C, et al. Design of a rail transit line for profit maximization in a linear transportation corridor [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2012, 48(1): 50–70.
- [21] REN T, HUANG H J, LUO S D, et al. Effects of intercity commuting on urban spatial structure and housing price [J/OL]. (2022-03-01) [2022-03-23]. https://www.researchgate.net/publication/359409857_Highspeed_rail_in_China_imPLICATIONS_for_intercity_commuting_and_urban_spatial_structure.
- [22] 上海统计局. 2019 年上海统计年鉴 [EB/OL]. (2019-04-22) [2022-07-01]. <http://tjj.sh.gov.cn/tjnj/20200427/4aa08fba106d45fda6cb39817d961c98.html>. Shanghai Bureau of Statistics. 2019 Shanghai statistical yearbook [EB/OL]. (2019-04-22) [2022-07-01]. <http://tjj.sh.gov.cn/tjnj/20200427/4aa08fba106d45fda6cb39817d961c98.html>. (in Chinese).
- [23] 嘉兴统计局. 2019 年嘉兴统计年鉴 [EB/OL]. (2019-12-31) [2021-07-01]. http://tjj.jiaxing.gov.cn/attach/2019/nj19_ml_1.html. Jiaxing Bureau of Statistics. 2019 Jiaxing statistical yearbook [EB/OL]. (2019-12-31) [2021-07-01]. http://tjj.jiaxing.gov.cn/attach/2019/nj19_ml_1.html. (in Chinese)
- [24] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 上海市建筑业行业发展报告(2020 年) [R/OL]. (2020-12-04) [2021-07-01]. <https://zjw.sh.gov.cn/index.html>. Shanghai Municipal Commission of Housing and Urban Rural Development. Shanghai construction industry development report (2020) [R/OL]. (2020-12-04) [2021-07-01]. <https://zjw.sh.gov.cn/index.html>. (in Chinese)
- [25] 嘉兴统计局. 2018 年嘉兴市国民经济和社会发展统计公报 [R/OL]. (2019-01-05) [2021-07-01]. http://tjj.jiaxing.gov.cn/art/2019/4/7/art_1512321_31375488.html. Jiaxing Bureau of Statistics. Statistical bulletin of national economic and social development of Jiaxing in 2018 [R/OL]. (2019-01-05) [2021-07-01]. http://tjj.jiaxing.gov.cn/art/2019/4/7/art_1512321_31375488.html. (in Chinese)
- [26] 中国铁路 12306. 车票 [Z/OL]. (2011-01-01) [2021-07-01]. <https://kyfw.12306.cn/otn/leftTicket/init?linktypeid=dc>. China Railway 12306. Ticket [Z/OL]. (2011-01-01) [2021-07-01]. <https://kyfw.12306.cn/otn/leftTicket/init?linktypeid=dc>. (in Chinese)
- [27] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于 2018 年部分节假日安排的通知 [EB/OL]. (2017-11-30) [2021-07-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-11/30/content_5243579.htm?gs_ws=weixin_636478196827327979. General Office of the State Council. Notice of the general office of the State Council on the arrangement of some holidays in 2018 [EB/OL]. (2017-11-30) [2021-07-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-11/30/content_5243579.htm?gs_ws=weixin_636478196827327979. (in Chinese)
- [28] 百度地图. 2019 年度中国城市交通报告 [R/OL]. (2020-01-09) [2021-08-01]. <https://huiyan.baidu.com/cm/s/report/2019annualtrafficreport/index.html>. Baidu Maps. 2019 China urban traffic report [R/OL]. (2020-01-09) [2021-08-01]. <https://huiyan.baidu.com/cm/s/report/2019annualtrafficreport/index.html>. (in Chinese)