

城市规模、土地利用与交通承载力

刘建朝¹ 程浩岩² 宋顺锋^{1,3} (1. 天津城建大学 经济与管理学院, 天津 300384; 2. 中国(深圳)综合开发研究院 城市发展与园区经济规划研究所, 广东 深圳 518029; 3. 美国内华达大学(里诺)经济系, 里诺 89557)

【摘要】交通拥堵严重影响着城市的发展及运转效率, 交通承载力是交通系统的重要表现, 且和土地利用存在着紧密的联系。建立了不同城市规模的土地利用与交通承载力的指标体系, 选取了具有代表性的 20 个城市的相关数据, 通过数据包络分析, 利用 MaxDEA 实证分析不同规模城市土地利用与交通承载力的内在规律。研究发现: 超大城市土地利用对于交通承载力的相对协调性较好, 而特大城市和大城市交通承载力对于土地利用的相对协调性较好。总体来说, 超大城市土地利用发展程度相对较好, 但是交通承载力发展程度较差。特大城市土地利用相对发展程度和交通承载力相对发展程度都较差, 大城市和中等城市则土地利用发展相对较差, 但交通承载力发展较好。结论对从土地利用角度, 研究不同城市的交通拥堵提供了新的思路。

【关键词】城市规模; 土地利用; 交通承载力; 交通拥堵; 数据包络分析

【中图分类号】F572.88 **【文献标识码】**A

0 引言

城市私家车保有量的快速增长导致了日益严重的拥堵与环境问题, 并促进了一系列交通供给政策(如交通限行、道路控制、道路扩容等)及交通需求政策(如交通拥堵费、限制停车等)地出台, 从而将效率损失最小化。通过控制城市扩张, 实施密度和边界控制进而促进集约发展的政策更受青睐^[1-2]。尽管城市交通拥堵具有普遍性, 但处于不同城镇化和机动化进程的城市、甚至同类进程的城市, 交通拥堵特点都不尽相同。这便需要准确分析现有问题, 从而制定恰当的技术措施与治理政策, 但现有研究对城市拥堵的机理还缺少透彻的探析^[3], 定量研究尤为欠缺。

略作考察便可发现, 1990 年前, 我国车辆与道路的发展基本平衡, 交通拥堵问题并不突出。1990 年后, 车辆比道路增速迅速, 尤其在 2000-2010 年这 10 年间, 车辆增速远远超过道路增速。以 2013

年为例, 汽车拥有量是 1949 年的 2488 倍, 而道路里程仅是 1949 年的 53 倍(表 1)。

汽车保有量反映了交通承载力受到的压力, 道路总里程反映了土地利用对交通承载力的贡献程度^①。通过对城市土地利用和城市交通承载力的关系进行合理建模将有力地解决交通与土地不协调的问题^[4]。鉴于此, 本文根据人口划分不同城市规模等级, 选取具有代表性的不同城市规模的 20 个城市, 通过数据包络分析, 建立土地利用系统与交通承载力系统的指标体系, 利用 MaxDEA 软件实证分析不同规模城市交通承载力和土地利用的关系, 由此为城市交通拥堵治理提供新的思路与方法。

1 文献回顾与研究评述

城市交通与土地利用本身是城市系统的有机构成, 两者的相互作用对城市的发展演化具有重要的作用。目前, 学术界的研究主要集中在以下方面:

土地开发强度对城市交通的影响。该类研究一般认为, 土地开发的强度越高, 交通供给的响应越积极, 城市交通的空间分布越集中, 通勤距离越短, 更倾向采取非机动车交通方式。具体而言, Giuliano & Naravant 提出城市土地“小而精”的混合开发有助于降低小汽车的利用, 促使选择步行和自行车通勤, 轨道交通是城市土地开发达到一定密度

基金项目: 国家社科基金项目“新型城镇化进程中我国城市交通拥堵的评估体系、治理模式与政策组合研究”(14BJY043); 国家社科基金项目“新型城镇化进程中我国城镇规模分布及其演进机理研究”(13BJY054); “十二五”天津市高等学校创新团队培养计划“新型城镇化与城市可持续发展”(TD12-5063); 天津社科基金项目“区域协同跃迁视阈下京津冀城际集聚式产业链治理研究”(TJLJ15-007)。

的产物^[5]; Levinson & Kumar 认为最佳居住密度为每平方公里 1000 ~ 7500 人时的通勤时间最短^[6]; 毛蒋兴和闫小培等发现城市交通需求随着高强度的

土地开发高涨, 公共交通终将成为土地开发强度高的大城市的主导交通方式^[7]。

表 1 1949 - 2013 年我国民用汽车保有量和道路里程增长情况

| 年份 | 民用汽车拥有量(万辆) | 道路里程(万里) | 民用汽车拥有量定基增长率(%) | 道路里程定基增长率(%) | 民用汽车环比增长率(%) | 道路里程环比增长率(%) |
|------|-------------|----------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1949 | 5.09 | 8.07 | — | — | — | — |
| 1950 | 5.43 | 9.96 | 0.07 | 0.23 | 0.07 | 0.23 |
| 1960 | 22.38 | 51 | 3.40 | 5.32 | 3.12 | 4.12 |
| 1970 | 42.41 | 63.67 | 7.33 | 6.89 | 0.90 | 0.25 |
| 1980 | 178.29 | 88.83 | 34.03 | 10.00 | 3.20 | 0.40 |
| 1990 | 551.36 | 102.83 | 107.32 | 11.74 | 2.09 | 0.16 |
| 2000 | 1608.91 | 140.27 | 315.09 | 16.38 | 1.92 | 0.36 |
| 2010 | 7801.83 | 400.82 | 1531.78 | 48.67 | 3.85 | 1.86 |
| 2013 | 12670.14 | 435.62 | 2488.22 | 52.98 | 0.62 | 0.09 |

注: 民用汽车保有量定基增长率和道路里程定基增长率以 1949 年数据为基期。

数据来源: 中国统计年鉴 2014

城市土地混合利用对城市交通的影响。Frank & Pivo 发现土地混合利用能降低私车使用水平^[8]; 尹金宁认为城市中心区土地利用混合程度与居民出行的空间分布特征高度相关, 与区内出行的相关系数也较高^[9]; 丁成日则认为多中心城市结构未必能降低城市交通需求, 土地混合利用对于社区交通需求“内部化”有促进作用, 但可能增加通勤距离和对小汽车使用频度^[10]。

城市交通对城市空间形态的影响。Giannopoulos Curdes 回溯了过去一百年交通技术对于城市形态深度刻画, 指出技术创新是促进城市形态从简单到复杂、从低级到高级的重要动力^[11]; Schaeffer & Sclar 指出, 城市交通促进城市空间形态从“步行城市”发展到“轨道城市”进而演化到“汽车城市”^[12]; 何宁和顾保南研究发现, 城市沿交通可达性相对较高的城市交通干线延伸在由内向外发展^[13]。

土地利用与城市交通的协调性。Thomson 基于形态—结构—经济三大维度, 提出了强中心、完全机动化、多中心、低成本以及限制交通的城市交通治理方案^[14]; Handy 则基于城市精明增长, 研究了土地利用和城市交通的一体化发展规划^[15]; Lawrence & Frank 认为土地利用和城市交通的关系应以生活质量的改善为标准^[16]; Ditmar(1995) 等提出土地利用与城市交通的协调发展要包括技术、资金的可持续发展^[17]; 魏后凯提出应以交通可达性为核心打开土地利用和城市交通规划的思路^[18]; Song

Shunfeng 认为拥堵费有利于交通外部性的内部化, 且已在实践层面得到印证^[19]; 张晓东等建立了城市交通承载力的理论基础和计算方法, 指出需要在控规动态维护过程中完善关键地区^[20]。

综上所述, 国内外学者对于土地利用与城市交通的研究取得了较为积极的进展, 涉及城市土地开发密度、城市土地混合利用对城市交通的影响, 城市交通对城市空间形态的影响以及两者的协调发展。但是, 鉴于交通数据获取的困难性及相关部门和机构采取的交通拥堵标准不一, 对交通拥堵的研究大多以定性研究, 特别是成因分析与对策研究为主, 定量分析为辅。而通过交通承载力反映交通拥堵的研究则更为少见。此外, 由于城市规模差异所带来的土地利用与交通拥堵的关系分异, 采取不同城市规模城市的比较研究还未发现, 因此, 本文是对该领域研究的进一步丰富和拓展。

2 指标选取与模型建立

土地利用和交通承载力的特点决定了研究方法的选择须有针对性。当前, 土地利用和交通承载力的方法, 主流的有: 基于协同学理论下的序参量评价^[21]; 利用系统动力学理论方法^[22]; 基于数据包络分析的投入产出效应分析^[23]; 基于模糊数学和层次分析法的评价方法^[24]; 利用耦合度理论表征交通与城市的关系^[25]。以上方法的实质区别是评价指标的差异, 不同的方法只是从各自角度对既有数学模型的优化。本文研究选择 DEA 方法, 是因为其在

建立好指标体系后不需要人为指标赋权,分析结论较为客观;此外,可以从输出结果的分析中得到不同规模城市土地利用和交通承载力的关键影响因素,较好地满足了本文的要求^[23]。

DEA的初始CCR模型为:假设有 n 个决策单元,每个决策单元 $DMU_j(j=1, 2, \dots, n)$ 都有 m 种输入和 s 种输出,各决策单元的输入输出数据中, X_{ij} 为决策单元对第 i 种输入的投入量, $X_{ij} > 0$; Y_{rj} 为决策单元对第 r 种类型输出的产出量, $Y_{rj} > 0$; V_i 对第 i 种类型输入的一种权系数; u_r 对第 r 种类型输出的一种度量权系数。

以 DMU_j 的效率指数最大化为目标, θ_j 以所有决策单元效率指数 $h_j \leq 1, j=1, 2, \dots, n$ 为约束,构成如下分式规划问题(DEA的初始 C^2R 模型):^[26]

$$\begin{aligned} & \max \frac{u^T Y_{j_0}}{v^T X_{j_0}} \\ & s. t. \begin{cases} \frac{u^T Y_{j_0}}{v^T X_{j_0}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \\ u \geq 0, v \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

为了便于模型求解,将(1)进行 Charnes-Cooper 变换,将之转化为一个等价的线性规划模型,并引入阿基米德无穷小的概念,得到具有非阿基米德无穷小的 C^2R 模型。

$$\begin{aligned} & \min [\theta_{j_0} - \varepsilon(e^T S^- + e^T S^+)] \\ & s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta_{j_0} X_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j - S^+ = Y_{j_0} \\ \lambda_{j_0} \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ S^- \geq 0 \\ S^+ \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

式中 θ_j 为决策单元的投入产出有效性,称为协调发展指数; ε 为阿基米德无穷小量,即小于任何整数且大于零的数; S^- 为 m 项输入的松弛变量; S^+ 为 s 项输出的松弛变量; λ 为 n 个 DMU 的组合系数。

当前土地利用与城市交通的主要指标如下:

表2 典型的协调度模型的指标体系

| | 土地利用指标 | 城市交通指标 |
|--------------|--|--------------------------------------|
| DEA 模型 | 平均人口密度、交通用地面积、就业岗位与居住人口比 | 公交客运量、人均出行距离、公交承担率、轨道交通运营里程、常规公交运营里程 |
| 距离协调度模型 | 土地利用密度(人口密度)、土地利用规模(城市建设区面积)、土地利用布局(土地利用混合度指数,均衡度指数,优势度指数) | 道路网络长度、轨道交通运营长度、交通运输工具的数量 |
| Fuzzy-AHP 模型 | 土地利用规模(居住用地面积)、土地利用密度(人口密度和就业密度)、土地利用布局(多样化指数、优势度指数和均匀度指数) | 道路用地面积、轨道线路长度、高峰时段公共交通比例、机动车拥有量 |
| 序参量评价模型 | 土地利用面积、土地利用密度、土地利用多样化指数 | 人均道路面积、交通设施投资占当年财政支出的比例、机动车拥有量 |

资料来源:参考文献[26]

基于既有研究,本文选取的土地利用指标为:就业岗位与人口比(X_1)、平均人口密度(X_2)、建设用地占市区面积比重(X_3)、城市道路面积率(X_4);交通承载力指标为:公交汽(电)车客运量(Y_1)、汽车保有量(Y_2)、道路总里程(Y_3)、公路货运量(Y_4)、公路客运量(Y_5)。

其中, X_1 衡量土地利用结构^②; X_2 反映土地利用的密度与强度; X_3 反映该城市土地利用强度; X_4 反映土地利用的结构对交通系统的合理程度; Y_1 能

够反映人们利用交通系统的效率; Y_2 是反映城市对交通承载力需求的直观体现; Y_3 反映交通承载力的供给能力; Y_4 和 Y_5 是由城市内部与外部的互动产生,反映外部环境的影响。

本研究中,土地利用与城市交通承载力是两个互为输出输入的系统。首先,将土地利用的各项指标作为输入,通过 DEA 模型可得基于城市交通承载力土地利用的协调发展指数 θ 。其次,将城市交通承载力的各项指标作为输入^③,通过 DEA 模型可得

基于土地利用的城市交通的协调发展指数 θ^l 。此外,通过输入输出的指标变化研究该指标对系统协调发展的影响程度,发掘决策单元无效的原因,从而进行修正。其思路为:分析某个指标对土地利用协调发展的影响程度。用 D 表示评价指标体系, D^i 表示 D 中去掉第 i 个评价指标后的指标体系, $\theta_j(D)$ 和 $\theta_j(D^i)$ 表示第 j 个决策单元分别在指标集 D 和 D^i 下的土地利用协调发展指数。

本文根据 2014 年国务院发布的《关于调整城市规模划分标准的通知》^④,按照不同城区常住人口数量选取 5 个城市作为决策单元,同时在一些机构发布的拥堵城市之中选取目标城市^⑤。超大城市中,本文选取北京市、上海市、广州市、深圳市和天津市;特大城市中,本文将选取武汉市、成都市、哈尔滨市、沈阳市和杭州市;大城市中,本文选取厦门市、长沙市、济南市、郑州市和青岛市;中等城市中,本文选取遵义市、桂林市、金华市、德州市和株洲市。数据来源为交通管理部门公开数据、统计部门公开发布的数据。

3 实证分析

首先,将 X_1, X_2, X_3, X_4 设为输入指标,将 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 设置为输出指标,运行 MaxDEA 中的 CCR 模型,得到原始协调发展指数;其次,其他指标设置不变,只去掉 X_1 指标,同样运行 MaxDEA 中的 CCR 模型,得出去掉 X_1 后的协调发展指数。同理,单独去掉剩余指标,得到单独去掉每一个指标后的协调发展指数,汇总得到原始值和去掉某一指标的协调发展指数表。依照此步骤,将交通承载力作为输入系统,将土地利用作为输出系统,得出相应的原始数据和去掉某一指标后的协调发展指数表,从而得出不同指标体系下,不同规模城市相对于城市交通系统的土地利用协调发展指数 θ 与相对于土地利用的城市交通协调发展指数 θ^l ,将土地利用分别作为输入系统和输出系统统一整理后得到表 3。

从表 3 初始 DEA 结果可以看出,超大城市的土地利用对于交通承载力的相对协调性较好,而特大城市和大城市的交通承载力对于土地利用的相对协调性较好。总体而言,超大城市土地利用发展程度相对较好,但是交通承载力发展程度较差。特大

城市土地利用和交通承载力程度都相对较差,大城市和中等城市土地利用发展相对较差,而交通承载力发展较好。

超大城市中北京、上海、广州、天津土地利用对于交通承载力协调指数达到了 1,实现了单向 DEA 有效;深圳的土地利用对交通承载力的相对协调发展指数达到了 0.947,处于较高水平,但却未能实现单向 DEA 有效。而交通承载力对于土地利用的相对协调程度中,只有上海和深圳实现了单向 DEA 有效;其中,天津、广州协调指数分别为 0.495、0.416,北京的协调指数最低,只有 0.282。可见,超大城市中只有上海市实现了双向 DEA 有效,这表明上海土地利用与交通承载力发展协调性最好。

特大城市中,土地利用对于交通承载力协调指数普遍较低,只有成都实现了土地利用对交通承载力的单向 DEA 有效,武汉、哈尔滨、沈阳、杭州的协调指数分别为 0.745、0.715、0.820、0.665,水平都较低。而交通承载力对于土地利用的协调性中,成都和武汉都实现了交通承载力对土地利用的单向 DEA 有效,杭州的协调发展指数为 0.857、沈阳为 0.861、哈尔滨为 0.878,处于较高水平。可见,特大城市中只有成都实现了交通承载力与土地利用的双向 DEA 有效,这表明成都土地利用与交通承载力发展协调性最好。

大城市中,只有郑州实现了土地利用对交通承载力的单向 DEA 有效,相对协调指数为 1,长沙、青岛和济南分别为 0.713、0.770 和 0.624,而厦门最低,只有 0.247。交通承载力对于土地利用的相对协调程度较好,厦门、长沙、济南、郑州都实现了交通承载力对土地利用的单向 DEA 有效,青岛协调指数达到 0.950,但是没能达到单向 DEA 有效。可见,大城市交通承载力对于土地利用的协调程度较好,土地利用对于交通承载力的协调程度较差。只有郑州实现了双向 DEA 有效,这表明郑州土地利用与交通承载力发展协调性最好。

中等城市和大城市很相似,遵义和金华的相对协调发展指数为 1,实现了土地利用对交通承载力的单向 DEA 有效;桂林、德州和株洲都未能实现单向 DEA 有效,其相对协调指数分别为 0.481、0.681 和 0.658。而交通承载力对于土地利用的相对协同

中 桂林、金华和德州都实现了单向 DEA 有效, 遵义和株洲未实现单向 DEA 有效, 分别为 0.849 和 0.920。可见, 中等城市土地利用对交通承载力相对

协调较差, 交通承载力对于土地利用相对协调较好, 只有金华市实现了土地利用与交通承载力的双向 DEA 有效。

表 3 DEA 评价结果

| 城市规模 | 城市 | 协调指数 | 初始结果 | 去掉 X_1 | 去掉 X_2 | 去掉 X_3 | 去掉 X_4 | 去掉 Y_1 | 去掉 Y_2 | 去掉 Y_3 | 去掉 Y_4 | 去掉 Y_5 | |
|------|---------------|---------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 超大城市 | 北京 | \emptyset | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| | | \emptyset^1 | 0.282 | 0.242 | 0.282 | 0.282 | 0.282 | 0.282 | 0.282 | 0.282 | 0.282 | 0.167 | 0.282 |
| | 上海 | \emptyset | 1.000 | 0.871 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.932 | 1.000 | 0.956 | 0.852 | 1.000 |
| | | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.704 |
| | 广州 | \emptyset | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.749 | 1.000 |
| | | \emptyset^1 | 0.416 | 0.416 | 0.348 | 0.416 | 0.416 | 0.416 | 0.416 | 0.409 | 0.325 | 0.416 | 0.384 |
| | 深圳 | \emptyset | 0.947 | 0.947 | 0.791 | 0.947 | 0.947 | 0.947 | 0.947 | 0.947 | 0.947 | 0.947 | 0.596 |
| | | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.942 | 1.000 | 1.000 |
| | 天津 | \emptyset | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.959 | 1.000 |
| | | \emptyset^1 | 0.495 | 0.491 | 0.486 | 0.495 | 0.349 | 0.469 | 0.495 | 0.495 | 0.495 | 0.485 | 0.385 |
| 武汉 | \emptyset | 0.745 | 0.442 | 0.745 | 0.745 | 0.745 | 0.745 | 0.686 | 0.743 | 0.743 | 0.604 | 0.745 | |
| | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.904 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.948 | 1.000 | 0.906 | |
| 成都 | \emptyset | 1.000 | 0.613 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| 特大城市 | 哈尔滨 | \emptyset | 0.715 | 0.715 | 0.715 | 0.584 | 0.715 | 0.602 | 0.715 | 0.715 | 0.715 | 0.543 | 0.715 |
| | | \emptyset^1 | 0.878 | 0.878 | 0.878 | 0.878 | 0.550 | 0.878 | 0.856 | 0.856 | 0.878 | 0.869 | |
| | 沈阳 | \emptyset | 0.820 | 0.536 | 0.806 | 0.820 | 0.820 | 0.820 | 0.820 | 0.722 | 0.820 | 0.595 | 0.810 |
| | | \emptyset^1 | 0.861 | 0.861 | 0.739 | 0.861 | 0.779 | 0.733 | 0.853 | 0.563 | 0.861 | 0.831 | |
| 杭州 | \emptyset | 0.665 | 0.665 | 0.665 | 0.574 | 0.607 | 0.665 | 0.600 | 0.665 | 0.665 | 0.442 | 0.665 | |
| | \emptyset^1 | 0.857 | 0.854 | 0.688 | 0.857 | 0.857 | 0.852 | 0.857 | 0.582 | 0.857 | 0.857 | 0.857 | |
| 厦门 | \emptyset | 0.247 | 0.247 | 0.194 | 0.247 | 0.247 | 0.247 | 0.243 | 0.247 | 0.247 | 0.179 | 0.247 | |
| | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| 大城市 | 长沙 | \emptyset | 0.713 | 0.518 | 0.689 | 0.713 | 0.713 | 0.713 | 0.597 | 0.713 | 0.514 | 0.708 | |
| | | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 0.883 | 1.000 | 1.000 | 0.934 | 1.000 | 0.515 | 1.000 | 1.000 | |
| | 济南 | \emptyset | 0.624 | 0.522 | 0.612 | 0.624 | 0.624 | 0.624 | 0.519 | 0.624 | 0.548 | 0.624 | |
| | | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.595 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.891 | |
| | 郑州 | \emptyset | 1.000 | 0.560 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| | | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 0.983 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| 青岛 | \emptyset | 0.770 | 0.663 | 0.758 | 0.770 | 0.770 | 0.770 | 0.770 | 0.664 | 0.770 | 0.572 | 0.766 | |
| | \emptyset^1 | 0.950 | 0.950 | 0.950 | 0.950 | 0.504 | 0.926 | 0.831 | 0.829 | 0.950 | 0.904 | | |
| 中等城市 | 遵义 | \emptyset | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.927 | 1.000 | 1.000 | |
| | | \emptyset^1 | 0.849 | 0.588 | 0.849 | 0.849 | 0.849 | 0.833 | 0.654 | 0.849 | 0.849 | 0.849 | |
| | 桂林 | \emptyset | 0.481 | 0.313 | 0.471 | 0.481 | 0.481 | 0.481 | 0.472 | 0.335 | 0.439 | 0.481 | |
| | | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| | 金华 | \emptyset | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.902 | 1.000 | |
| | | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| | 德州 | \emptyset | 0.681 | 0.530 | 0.637 | 0.681 | 0.681 | 0.681 | 0.675 | 0.647 | 0.369 | 0.681 | |
| | | \emptyset^1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| 株洲 | \emptyset | 0.658 | 0.596 | 0.619 | 0.658 | 0.658 | 0.658 | 0.658 | 0.658 | 0.495 | 0.484 | 0.658 | |
| | \emptyset^1 | 0.920 | 0.835 | 0.920 | 0.920 | 0.920 | 0.920 | 0.821 | 0.855 | 0.920 | 0.920 | 0.895 | |

资料来源: 依据《中国城市统计年鉴》数据运算得出。

对表 3 进行进一步处理, 用原始协调发展程度减去去掉某一指标时的协调程度后的值再除以原始协调发展程度, 计算出反映各指标对各决策单元

协调发展指数影响程度的大小分析指标 $S_j(i)$ 与 $S'_j(i)$ 并对每一个指标的 $S_j(i)$ 与 $S'_j(i)$ 进行求和, 整理得出表 4。

表 4 各决策单元的 $S_j(i)$ 与 $S'_j(i)$ 值

| 指标序号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
|---------------------------|-----|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 指标 | | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_4 | |
| 超大城市 | 北京 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| | | $S'_j(i)$ | 0.140 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.407 | 0.000 |
| | 上海 | $S_j(i)$ | 0.129 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.068 | 0.000 | 0.044 | 0.148 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.296 |
| | 广州 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.251 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.165 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.017 | 0.219 | 0.000 | 0.079 |
| | 深圳 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.165 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.371 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.058 | 0.000 | 0.000 |
| | 天津 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.041 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.007 | 0.017 | 0.000 | 0.294 | 0.052 | 0.000 | 0.000 | 0.020 | 0.221 |
| 特大城市 | 武汉 | $S_j(i)$ | 0.407 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.079 | 0.003 | 0.002 | 0.190 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.096 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.052 | 0.000 | 0.094 |
| | 成都 | $S_j(i)$ | 0.387 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 哈尔滨 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.158 | 0.000 | 0.000 | 0.241 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.373 | 0.000 | 0.025 | 0.025 | 0.000 | 0.011 |
| | 沈阳 | $S_j(i)$ | 0.347 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.120 | 0.000 | 0.275 | 0.013 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.142 | 0.000 | 0.095 | 0.148 | 0.009 | 0.346 | 0.000 | 0.035 |
| | 杭州 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.137 | 0.087 | 0.000 | 0.098 | 0.000 | 0.335 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.004 | 0.197 | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.321 | 0.000 | 0.000 |
| 大城市 | 厦门 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.214 | 0.000 | 0.000 | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.276 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 长沙 | $S_j(i)$ | 0.274 | 0.034 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.163 | 0.000 | 0.280 | 0.008 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.117 | 0.000 | 0.000 | 0.066 | 0.000 | 0.485 | 0.000 | 0.000 |
| | 济南 | $S_j(i)$ | 0.163 | 0.019 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.168 | 0.000 | 0.122 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.405 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.109 |
| | 郑州 | $S_j(i)$ | 0.440 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 青岛 | $S_j(i)$ | 0.139 | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.138 | 0.000 | 0.257 | 0.006 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.469 | 0.026 | 0.125 | 0.128 | 0.000 | 0.048 |
| 中等城市 | 遵义 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.073 | 0.000 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.307 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.019 | 0.230 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 桂林 | $S_j(i)$ | 0.350 | 0.021 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.018 | 0.303 | 0.087 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 金华 | $S_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.098 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 德州 | $S_j(i)$ | 0.222 | 0.065 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.009 | 0.049 | 0.457 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 株洲 | $S_j(i)$ | 0.094 | 0.059 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.248 | 0.264 | 0.000 |
| | | $S'_j(i)$ | 0.093 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.107 | 0.071 | 0.000 | 0.000 | 0.028 |
| $\sum_{j=1}^{20} S_j(i)$ | | 2.951 | 0.609 | 0.321 | 0.087 | 0.320 | 0.716 | 0.719 | 3.322 | 0.398 | |
| $\sum_{j=1}^{20} S'_j(i)$ | | 0.551 | 0.655 | 0.096 | 1.637 | 0.424 | 0.477 | 1.633 | 0.427 | 0.920 | |

资料来源: 依据《中国城市统计年鉴》数据运算得出。

接着再用同样的处理方法 将各城市的 $S_j(i)$ 与 $S'_j(i)$ 值累加求和 得到表 5。

表5 各决策单元的 $S_j(i)$ 与 $S_j'(i)$ 值

| 指标序号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 指标 | | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_4 |
| 超大城市 | $S_j(i)$ | 0.129 | 0.165 | 0.000 | 0.000 | 0.068 | 0.000 | 0.044 | 0.440 | 0.371 |
| | $S_j'(i)$ | 0.147 | 0.182 | 0.000 | 0.294 | 0.052 | 0.017 | 0.277 | 0.427 | 0.595 |
| 特大城市 | $S_j(i)$ | 1.141 | 0.017 | 0.321 | 0.087 | 0.237 | 0.221 | 0.002 | 1.040 | 0.013 |
| | $S_j'(i)$ | 0.004 | 0.339 | 0.096 | 0.468 | 0.154 | 0.034 | 0.744 | 0.000 | 0.140 |
| 大城市 | $S_j(i)$ | 1.016 | 0.282 | 0.000 | 0.000 | 0.015 | 0.468 | 0.000 | 0.935 | 0.014 |
| | $S_j'(i)$ | 0.000 | 0.134 | 0.000 | 0.874 | 0.092 | 0.125 | 0.613 | 0.000 | 0.157 |
| 中等城市 | $S_j(i)$ | 0.666 | 0.145 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.027 | 0.673 | 0.907 | 0.000 |
| | $S_j'(i)$ | 0.401 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.126 | 0.301 | 0.000 | 0.000 | 0.028 |

资料来源: 依据《中国城市统计年鉴》数据运算得出。

各指标对各决策单元的影响可由表 4、5 的纵向列分析得到:

(1) 对交通承载力相对协调发展影响, 从土地利用投入指标看, 从大到小依次是就业岗位与居住人口比例、人口密度、建设用地与市区面积比和城市交通面积率, 累计值依次为 2.915、0.691、0.321 和 0.087。其中, 就业岗位与居住人口比例的累计值远高于其他三个指标。

对交通承载力相对协调发展影响, 从城市规模看, 超大城市中累计值最大的是人口密度, 而特大城市、大城市和中等城市累计值最大的都是就业岗位与居住人口比。说明超大城市就业岗位与居住人口比指标相对较好, 但是人口密度是最主要因素; 特大城市、大城市和中等城市的就业岗位和人口比都是造成交通承载力和土地利用发展不协调的首要制约因素。

(2) 从交通承载力产出指标来看, 公路货运量累计值最大, 为 3.322, 其次是公路里程列、汽车保有量列和公路客运量列, 分别为 0.719、0.716 和 0.398, 公交客运量最小, 为 0.320。这意味着土地利用系统的投入对公路货运量影响最大, 其次是公路总里程和汽车保有量, 贡献值最小的是公交客运量, 说明土地利用对公共交通的贡献不足。

从城市层面看, 无论何种城市规模, 公路货运量都是首要影响因素, 说明土地利用对公路货运量影响最大, 而公路货运量反映城市内部与外部之间的联系, 说明土地利用对城市与外部系统的联系影响最大。超大城市中, 土地利用对汽车保有量的贡献值为 0, 说明超大城市汽车保有量过多是造成交通承载力过大的重要因素。

(3) 从城市交通承载力投入指标看, 累计值从高到低依次是公路总里程 1.633, 公路客运量

0.920, 汽车保有量 0.477, 公交客运量 0.424。可以看出公路总里程的供给不足, 以及公路客运量的需求较大加之汽车保有量的增加, 导致交通承载力发展受到限制, 这与上述分析一致。

从城市规模看, 影响交通承载力最主要的因素中, 超大城市累计值最大的是公路客运量, 特大城市、大城市的累计最大值都是公路里程, 说明相对于特大城市和大城市而言, 超大城市公路里程更长, 公路客运量更大, 公路设施更完善。

(4) 从土地利用产出指标看, 交通面积率累计值最大为 1.637, 最小的是建设用地占市区面积比重为 0.096, 这表明交通承载力对交通面积率的影响最大, 对建设用地占市区面积比重影响最小, 这表明交通承载力依赖于土地对交通的直接投入很大, 交通承载力对城市土地利用强度的影响较小。

从城市规模看, 超大城市、特大城市、大城市累计值最大的都是城市交通面积率, 表明土地的投入不足是造成这些城市土地利用与交通承载力发展不协调的首要因素, 而中等城市的就业岗位与居住人口比是主要影响因素, 说明中等城市土地利用混合程度较低。

4 研究结论

由于交通拥堵数据获取的困难性及相关部门和机构采取的标准不统一, 当前学术界对交通拥堵的研究大多以定性研究, 特别是成因分析与对策研究为主, 鲜有定量分析。而通过交通承载力研究交通拥堵更为少见。此外, 由于城市规模差异所带来的土地利用与交通拥堵的关系分异, 特别是采取不同城市规模的城市比较研究更为鲜见, 本文的研究意义在于发掘不同城市规模下, 城市土地利用与交通承载力的内在规律, 是对本领域的进一步拓展和

丰富。

本文发现:超大城市的土地利用对于交通承载力的相对协调性较好,而特大城市和大城市的交通承载力对于土地利用的相对协调性较好。超大城市土地利用发展程度相对较好,但是交通承载力发展程度较差。特大城市土地利用和交通承载力程度都相对较差,大城市和中等城市土地利用发展相对较差,而交通承载力发展较好。

本文的结论对于现实有较强的解释力。如超大城市人口密度是交通承载力协调度的首要制约因素,其他规模城市中就业岗位与居住人口的比例远高于其他指标,该指标权重越大,说明职住分离越严重、土地混合利用程度越低,导致通勤强度增加、交通承载力压力增大,从而产生交通拥堵。这对于解释当前城市交通拥堵很有说服力。无论何种规模的城市,公路货运量都是交通承载力的首要制约因素。超大城市中,土地利用对汽车保有量的贡献值为0,说明超大城市汽车保有量过多是造成交通承载力过大的重要因素。这为城市的限行限购政策提供了证据。除中小城市外,城市交通面积率是影响土地利用产出协调度的累计值最大,说明土地的投入不足是造成这些城市土地利用与交通承载力发展不协调的首要因素。这为从土地利用视角研究交通治理问题提供了强有力的证据。

当前,交通拥堵的标准界定、水平识别与治理措施等仍备受争议,各机构或组织发布的类似拥堵指数的量化数据未能获得普遍认可,因此,从评估体系、关联机制、治理模式与政策组合等方面,多视角、跨维度、分层次、量化地深入剖析土地利用等相关变量与城市交通的内在关联、影响因素与解围机制是亟待突破的重要课题,这也是本文下一步的研究方向。△

【注释】

- ①城市交通承载力分析是一种科学判断城市土地开发与交通设施承载力的协调关系定量分析工具,主要有两种作用:一是“预警”功能:科学判断城市土地使用与交通设施承载力的协调关系;二是“协调”功能:在时间和空间上合理配置土地使用与交通设施建设时序(张晓东,等,2013)。
- ②其内在逻辑为:土地利用结构的变化影响到居住和就业的分布,进而影响居民出行的空间分布,并最终影响城市交通。见:林红,李军.出行空间分布与土地利用混合程度关系研究——以广州中心片区为例[J].城市规划,2008,(9):53-56。
- ③在这里,我们假设城市交通承载力对土地利用系统的投入、贡献

直至进一步推动土地利用系统发展为一个生产过程。

- ④超大城市指城区常住人口1000万人以上;特大城市指城区常住人口在500至1000万人之间;大城市指城区常住人口在100至500万人之间;中等城市城区常住人口50至100万人之间。
- ⑤此类机构中以交通导航服务商提供的拥堵城市可信度较高,如荷兰TomTom以及高德交通(<http://trp.autonavi.com/traffic/>)等。如后者是以高德海量用户和行业专业浮动车数据相结合的交通数据分享平台,可获得拥堵时出行时间、通勤速度、延迟时间等数据,以及最拥堵TOP10城市、最拥堵TOP10道路。

【参考文献】

- [1] McConnell V, Walls M, Kopits E. Zoning, TDRs and the density of development [J]. *Journal of Urban Economics*, 2006, 59(3): 440-457.
- [2] Anas A, Liu Y. Regional economy, land use, and transportation model (RELUTRAN): formulation, algorithm design, and testing [J]. *Journal of Regional Science*, 2007, 47(3): 415-455.
- [3] 宋博,赵民.论城市规模与交通拥堵的关联性及其政策意义[J].城市规划,2011,35(5):21-27.
- [4] Tsekeris T, Geroliminis N. City size, network structure and traffic congestion [J]. *Journal of Urban Economics*, 2013, (76): 1-14.
- [5] Giuliano G, Narayan D. Another Look at Travel Patterns and Urban Form: the US and Great Britain [J]. *Urban Studies*, 2003, 40(11): 2295-2312.
- [6] Levinson D M, Kumar A. Density and the Journey to Work [J]. *Growth and Change*, 1997, 28(2): 147-172.
- [7] 蒋兴,阎小培,王芳.高密度土地开发对交通系统的影响——以广州为例[J].规划师,2004,(12):99-104.
- [8] Frank L, Pivo G. The Impacts of Mixed Use and Density on the Utilization of Three Modes of Travel: the Single Occupant Vehicle, Transit, and Walking [J]. *Transportation Research Record*, 1994, 14(66): 44-52.
- [9] 尹金宁.城市交通与城市土地利用相互关系若干问题的研究[D].西安建筑科技大学,2008:40-51.
- [10] 丁成日.城市空间结构和用地模式对城市交通的影响[J].城市交通,2010,(5):28-35.
- [11] Giannopoulos G A, Curdes G. Innovations in Urban Transport and the Influence on Urban Form. An Historical Review [J]. *Transport Reviews*, 1992, 12(1): 15-32.
- [12] Schaeffer K H, Sclar E. Access for All: Transportation and Urban Growth [M]. Baltimore, Md: Penguin, 1975: 62-70.
- [13] 何宁,顾保南.城市轨道交通对土地利用的作用分析[J].城市轨道交通研究,1998,(4):32-36.
- [14] 汤姆逊,倪文彦,陶吴馨,译.城市布局与交通规[M].北京:中国建筑工业出版社,1982:85-93.
- [15] Susan Handy. Smart Growth and the Transportation Land Use Connections: What Does the Research Tell Us? [J]. *International Regional Science Review*, 2005, 28(2): 146-167.
- [16] Lawrence D, Frank Ph. D. Land Use and Transportation

- Interaction: Implications on Public Health and Quality of Life [J]. *Planning Education and Research*, 2000, 20(1): 6-22.
- [17] Hank Ditmar. A broader Context for Transportation Planning [J]. *American Planning Association*, 1995, 16(1): 45-62.
- [18] 魏后凯. 中国大城市交通问题及其发展政策 [J]. 城市发展研究, 2001, 8(2): 27-32.
- [19] Shunfeng Song. Should China Implement Congestion Pricing? [J]. *The Chinese Economy*, 2015, (48): 57-67.
- [20] 张晓东, 张宇, 郑猛, 姚智胜. 城市土地使用与交通协调发展定量分析方法的探索与实践——以北京市中心城为例 [C]//第十五届中国科协年会第25分会场: 产城互动与规划统筹研讨会论文集, 贵阳, 2013: 1-10.
- [21] 赵延峰, 陈艳艳, 罗铭. 城市交通复合系统协调度模型研究 [J]. 道路交通与安全, 2006, (4): 31-33.
- [22] 赵延峰. 城市土地利用与城市交通协调发展研究 [D]. 北京工业大学, 2006: 1-93.
- [23] 杨励雅, 邵春福. 城市交通与土地利用协调关系的数据包络分析模型 [J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(6): 107-112.
- [24] 李俊芳, 吴小萍. 基于 AHP-FUZZY 多层次评判的城市轨道交通线网规划方案综合评价 [J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2007, 2: 205-208.
- [25] 孙爱军, 吴钧, 刘国光, 等. 交通与城市化的耦合度分析——以江苏省为例 [J]. 城市交通, 2007, 2: 42-46.
- [26] 郭源园, 李莉, 李贵才, 张华. 国内外城市土地利用与交通相互作用研究综述 [J]. 国际城市规划, 2015, 30(3): 29-36.

作者简介: 刘建朝(1981-), 男, 河北正定人, 天津城建大学讲师, 经济学博士, 主要研究方向: 城市与区域经济。

收稿日期: 2016-04-01

Urban Scale , Land Use and Traffic Carrying Capacity

LIU Jianzhao , CHENG Haoyan , SONG Shunfeng

【Abstract】Traffic congestion has a serious impact on the development of the city and the running efficiency. The traffic carrying capacity is an important part of the transportation system , and it has a close relationship with the land use. This paper established the index system of land use and traffic carrying capacity of different scale's cities , selected the relevant data of 20 cities which have prominent congestion , and used the method of DEA (Data Envelopment Analysis) to analyze on the inherent law of land use and traffic carrying capacity in different scale cities. It is found that the relative coordination of land use to traffic carrying capacity in megacity is relatively good , while the traffic carrying capacity to land use is relatively good in megalopolis and large cities. Generally speaking , the development of large urban land use is relatively good , but the traffic carrying capacity is poor in megacity. The relative development degree of land use and traffic carrying capacity is relatively poor in megalopolis , the development of land use is relatively poor , and the development of traffic carrying capacity is good in the big cities and medium-sized cities. The Conclusion provides a new way to study the traffic congestion in different cities from the perspective of land use.

【Keywords】 Urban Scale; Land Use; Traffic Carrying Capacity; Traffic Congestion; DEA