

基于模糊解释结构模型的客运交通结构优化方法^{*}

王 健[▲] 曹 阳

(哈尔滨工业大学交通科学与工程学院 哈尔滨 150090)

摘 要 客运交通结构优化是实现城市交通系统可持续发展的重要方法之一,在提升城市客运交通系统效率方面发挥重要的作用。根据客运交通结构影响因素的性质,建立模糊解释结构模型,将客运交通结构的影响因素划分为4个层次:直接影响感知因素层、间接影响认知因素层、过渡连接因素层和根本性因素层,并使用有向弧对于层级之间与层级内部的影响因素关系进行了连接。根据模型的分析结果可知,城市规模为根本性因素,资金投入为过渡连接因素,道路布局、基础设施、出行者特性为间接影响认知因素。研究结果确定了优化客运交通结构的关键性因素,以哈尔滨市为实例,从交通政策、土地利用、出行方式效用等方面提出了优化城市客运交通结构的建议。

关键词 交通工程;客运交通结构优化;模糊解释结构模型;城市交通;递阶关系

中图分类号:U121 **文献标志码**:A **doi**:10.3963/j.issn.1674-4861.2017.04.015

Optimizing Passenger Traffic Structure Based on a Fuzzy Interpretive Structural Model

WANG Jian[▲] CAO Yang

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Optimization of the structure of passenger transportation is considered as one of effective ways for sustainable development of urban transport systems. It plays an important role in improving efficiency of urban transport systems for passengers. A fuzzy interpretive structural model is developed based on characteristics of influencing factors, and divides them into four levels which including direct influencing perceptual layer, indirect influencing cognitive factor layer, transitional connection factor layer, and fundamental factor layer. Meanwhile, inter-layer and intra-layer influencing factors are connected by the directional arc. The modeling results show that urban scale of the passenger traffic structure is the fundamental factor; capital investment is the transitional connection factor; and road layout, infrastructure, and characteristics of passengers are the indirect influencing cognitive factors. The urban transport systems in Harbin are taken as a case study. The results of this study determines key factors for optimizing structure of passenger transportation, and puts forward suggestions on optimization of urban transport systems for passengers from the aspects of traffic policy, land use, and travel modes.

Key words: traffic engineering; structure optimization of passenger traffic; fuzzy interpretive structural model; urban traffic; hierarchical relationship

0 引 言

优化客运交通结构是缓解城市交通拥堵、降低交通能耗、减少环境污染的有效理念之一,是城市客运交通系统可持续发展的核心内容,已经成

为交通领域研究的热点之一^[1-4]。传统客运交通结构规划模式通常是以提高交通效率为目标,出行者依据交通效率来选择不同的出行方式,交通结构预测具有一定的准确性,但是没有从客运交通系统的角度综合考虑客运交通结构是否最优,

收稿日期:2017-02-17 修回日期:2017-06-10

^{*} 国家自然科学基金(51578199)资助

[▲] 第一作者(通信作者)简介:王 健(1974—),博士,教授。研究方向:智能交通、交通经济政策、交通安全。E-mail: wang_jian@hit.edu.cn

是否加剧交通拥堵、环境污染和交通能耗等问题。目前国内外学者根据研究角度和侧重点不同,从低碳模式^[5,6]、可持续发展^[7]、生态交通^[8]、外部成本内部化^[9-11]、土地利用^[12-15]等方面进行了交通结构优化研究,给出了相应的优化目标及措施,实现客运交通系统交通结构的最优化,但是预测的交通结构准确性具有一定的偏差,因为出行者在进行出行方式选择时考虑依旧是交通效率。上述研究促进了城市交通结构相关的探究,为进一步完善城市客运交通结构研究,拟从系统科学的角度建立相应的模糊解释结构模型,研究城市客运交通结构各影响因素之间的相互关联程度。

通过分析发现,客运交通结构受到多种因素影响,并且很多因素难以直接量化;另外,已有研究没有系统的界定影响客运交通结构的因素,只是从微观的角度尝试解释某一个或者2个因素对客运交通结构的影响,故在不同文献中,优化客运交通结构时会选取不同的影响因素作为约束条件;同时影响客运交通结构的因素之间存在着相互支持或相互制约的逻辑关系,这为进一步精确优化客运交通结构带来困难。在借鉴前人研究成果的基础上界定影响客运交通结构的10个因素,应用模糊数学的知识,求出因素之间的关系邻接矩阵;通过构建客运交通结构的模糊解释结构模型,明确影响因素之间的主次关系与层级关系,通过系统科学的方法提高了对于客运交通结构的理解程度,为调整优化客运交通结构提供建议。

1 模糊解释结构模型

1.1 模糊解释结构模型简析

解释结构模型(interpretive structural model, ISM)是一种结构化模型技术,其特点是将复杂系统划分为若干子系统要素,并找出各子系统要素之间的相互关系,形成结构矩阵和结构图形,由于系统因素之间的模糊关系,为了提高因素关系确定的准确性,模糊解释结构模型引入模糊数学中模糊矩阵的理念,实现影响因素关系确定从定性到定量分析的转变,分析结果更加合理与准确^[16]。

客运交通结构优化问题涉及多种影响因素,因素大多无法量化分析,因素间存在着模糊的相互关系,因此,笔者选用模糊解释结构模型对城市客运交通结构的影响因素开展相关研究。

1.2 模型建立步骤

模糊解释结构优化模型可在建立目标明确错综复杂的大型系统的时候,汇总统计各种不同的意见。具体建模步骤如下。

步骤1。明确研究问题的目标并确定有关的影响因素。

步骤2。组织专家小组成员对所有的影响因素 S_i 与 S_j 进行两两之间的关联性评价,区间为 $[0,1]$,并根据专家小组打分结果,构建模糊邻接关系矩阵 F 。

步骤3。根据实际情况,选取模糊隶属度函数,计算关联强度矩阵 B 。

步骤4。确定阈值 λ ,推导邻接矩阵 A 。并且计算可达矩阵 M 。

步骤5。对可达矩阵 M 进行分解。通过可达矩阵的区级间划分和强连通块划分,确定系统骨架矩阵 A' 。

步骤6。绘制模型多级递阶有向图。根据步骤5得到的骨架矩阵绘制多级递阶有向图,并进行模型的解释与说明^[17]。

按照上述步骤对于客运交通结构的影响因素进行模糊解释结构模型构建,并给出重要步骤的计算结果与解释说明。

2 客运交通结构影响因素

任何复杂系统都是由2个及其以上的相互联系、相互作用的要素组成一个有机系统^[16]。设系统由 n ($n \geq 2$)个要素(S_1, S_2, \dots, S_n)组成,其集合为 S ,则有: $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 。

2.1 客运交通结构影响因素变量集合

将客运交通结构作为一个系统的、复杂的综合体,客运交通结构的影响因素可作为其约束要素。客运交通结构影响因素具有相关性、模糊性、系统性等特点,结合现有的影响因素和先验知识,参考相应的文章以及工程经验^[1-4],对影响客运交通结构的因素进行归纳总结,见表1。

2.2 关联因素评分,建立模糊邻接矩阵

任意2个要素之间可以存在影响、包含、隶属,因果等多种关系^[16-17]。实际生活中,仅仅通过2个因素的定义是很难直接判断2个因素之间的确切关系,在改进的ISM中把表示系统元素之间相互的0-1二元关系转换成二元模糊关系。行业领域内的专家可凭借已有经验与认知以确定各要素之间的关联程度,非绝对的明确其是否存在相

关系。

通过向交通工程、道路工程与管理工程的专家发送电子邮件,进行问卷调查,请专家执行步骤2,分析10项因素之间的影响关系,共发送电子问卷40份,收回31份,问卷回收率为78%。使用平均法统计得出因素模糊关联矩阵 F ,见表2。

表1 客运交通结构影响因素
Tab.1 Influential factors of the passenger transport structure

变量	影响因素	含义
S_1	交通政策	城市交通管理者通过设计交通政策,扶持和调控城市交通,包括交通管理政策、交通经济政策、交通技术政策等
S_2	资金投入	城市交通基础设施建设资金投入与城市交通结构密切相关
S_3	城市规模	随着国民经济的增长,城市居民剧增,城市占地规模不断扩大,出行基数变大,出行次数加大,交通结构的优劣直接影响城市交通系统的效率
S_4	土地利用	城市土地利用直接影响客运交通结构,包括城市土地利用结构和强度、产业结构、用地性质等,以及其对出行方式、出行距离的影响
S_5	道路布局	受到环境条件、经济发展条件和人文条件等因素的影响,不同城市道路布局千差万别,对客运交通结构的影响各不相同
S_6	基础设施	交通基础设施是指城市道路网的交通供应能力,体现在城市路网规模、道路结构构成、公共交通规划及公交枢纽建设等
S_7	环境污染	由于城市交通的发展而产生的大气污染、环境污染、噪声污染等
S_8	能源消耗	主要受到交通工具的性能、交通状况以及道路条件的影响
S_9	出行方式效用	指出行者在选择出行方式时在意的费用、时间、舒适性、可靠性等因素
S_{10}	出行者特性	指出行者年龄、性别、收入等影响客运交通结构的特性

表2 因素模糊关联矩阵
Tab.2 Fuzzy relation matrix of factors

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
S_1	0	0.25	0.15	0.54	0.42	0.46	0.48	0.61	0.78	0.21
S_2	0.32	0	0.21	0.11	0.53	0.73	0.41	0.3	0.62	0.13
S_3	0.42	0.55	0	0.48	0.32	0.52	0.19	0.15	0.47	0.27
S_4	0.35	0.22	0.28	0	0.34	0.31	0.09	0.23	0.64	0.05
S_5	0.38	0.33	0.29	0.56	0	0.42	0.25	0.29	0.38	0.16
S_6	0.41	0.39	0.27	0.4	0.38	0	0.17	0.29	0.73	0.18
S_7	0.52	0.26	0.07	0.08	0.09	0.11	0	0.06	0.21	0.1
S_8	0.39	0.11	0.08	0.12	0.13	0.19	0.64	0	0.74	0.32
S_9	0.56	0.37	0.15	0.14	0.08	0.28	0.43	0.64	0	0.34
S_{10}	0.32	0.19	0.03	0.22	0.05	0.42	0.15	0.52	0.68	0

3 客运交通结构模糊解释结构模型构建

3.1 选取模糊隶属度函数,确定关联强度矩阵

选取隶属度函数(见式(1)),计算得到关联强

度矩阵 B ,关联强度矩阵 B 的实质是聚类的过程,即把具有相似功能的特征聚集为一类。

$$b_{ij} = f_{ij} / (f_{i \cdot} + f_{\cdot j} - f_{ij}) \quad (1)$$

通过阈值 λ 对关联强度矩阵 B 进行筛选,阈值 λ 的选取越小,则系统划分的越粗;选取的越大,则划分的越细。系统划分的过细与过粗都将影响到系统的总体性能,因此取值要适当。通过实验方法,选取阈值 $\lambda = 0.08$ 。结合关联强度矩阵 B ,根据式(2)得到的邻接矩阵 A_0 。

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & b_{ij} \geq \lambda \\ 0, & b_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (2)$$

$$A_0 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 & S_9 & S_{10} & S_{11} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

将系统目标客运交通结构作为第11个要素 S_{11} 加入到邻接矩阵中,将交通政策、道路布局、出行方式效用作为客运交通结构的直接影响因素,在不影响结果的同时,方便后续的运算。

3.2 可达矩阵与骨架矩阵的求解

设 $A_1 = A_0 + I$,对矩阵 A_1 依次进行求幂布尔代数运算后,通过判别式(3)得可达矩阵 M :

$$(A_1)^1 \neq (A_1)^2 \neq (A_1)^3 \neq \dots \neq (A_1)^r = (A_1)^{r+1} \quad (3)$$

由可达矩阵可知, $\{S_1, S_4, S_7, S_8, S_9\}$ 互为强连通因素,缩减这几个因素,只保留 S_1 ,按照行中“1”的元素由少到多排列得到缩减矩阵 M' 后,去掉 M' 中的越级二元关系与反身性关系,得到系统之间影响因素的骨架矩阵 A' 。

$$A' = \begin{matrix} & S_{11} & S_1 & S_5 & S_6 & S_{10} & S_2 & S_3 \\ \begin{matrix} L_1 \{S_{11}\} \\ L_2 \{S_1\} \\ L_3 \{S_5 \\ S_6 \\ S_{10}\} \\ L_4 \{S_2\} \\ L_5 \{S_3\} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

3.3 因素层级划分

通过式(4)和(5)判断矩阵因素 S_i 的可达集合 R_i 和先行集 A_i , 使用判断条件(6)进行分级, 最后通过骨架矩阵得到划分结果, 见表 3。

$$R(S_i) = \{S_j \mid m_{ij} = 1\} j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$A(S_i) = \{S_j \mid m_{ji} = 1\} j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$A_i \cap R_i = R_i \quad (6)$$

表 3 层级划分结果

Tab.3 The result of grouping factors

层级	层级因素
L_1	S_{11}
L_2	$S_1; S_4; S_7; S_8; S_9$
L_3	$S_5; S_6; S_{10}$
L_4	S_2
L_5	S_3

3.4 多级递阶结构模型绘制

根据对于可达矩阵的划分结果, 得到五个层级的因素及其关系, 通过绘制多级递阶结构图, 将有向图转化为简洁明了的解释结构模型, 给出客运交通结构影响因素的递阶结构模型。

根据上述骨架矩阵 A' 与层级划分结果, 对照区域与级位依上而下次序排列各影响因素, 绘制出客运交通结构影响因素的骨架矩阵的级位图, 并将表示强连接关系的影响因素表示出来。有向弧连接上下层次及相同层次的影响因素, 可得层次结构图, 见图 1。同时通过该图可详细分析各层次影响因素的相互关系。

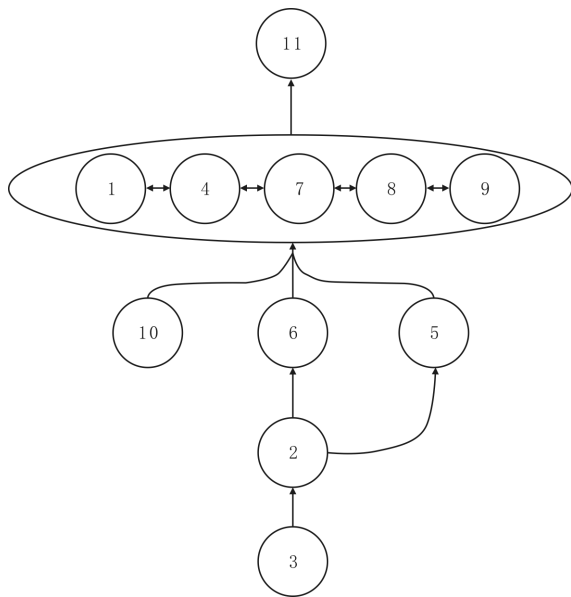


图 1 层次结构图

Fig.1 Hierarchical structure model

将城市客运交通结构的因素主要迭代到层次结构图中, 得到客运交通结构多层递阶解释结构

模型, 见图 2。

由图 2 可见, 影响城市客运交通结构的因素主要可以分为 4 个层次: 直接影响感知因素层、间接影响认知因素层、过渡连接因素层和根本性因素层。使用有向弧对于层级之间与层级内部的关系进行连接。

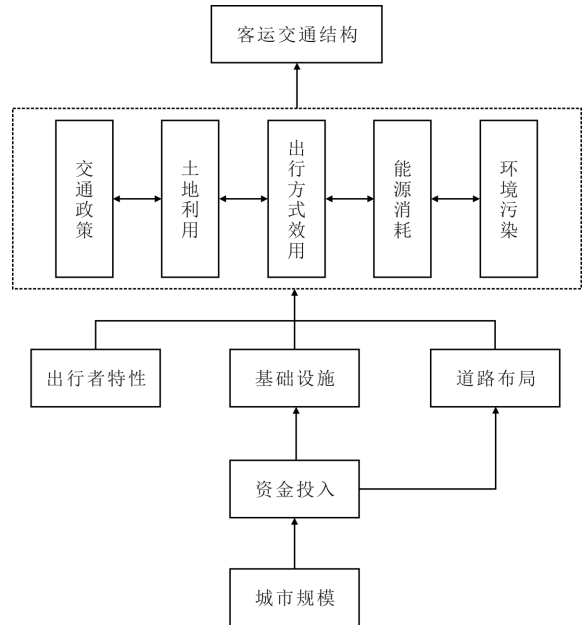


图 2 客运交通结构多层递阶解释结构模型

Fig.2 Hierarchical interpretative structural model of passenger transportation infrastructure

4 城市客运交通结构分析

4.1 模型解释

根据多层递阶解释结构模型, 客运交通结构的影响因素大致可以分为四个层次。结合哈尔滨市客运交通结构现状, 对客运交通层次结构做出解释分析。

第一层次包括交通政策、土地利用、环境污染、能源消耗、出行方式效用这五个直接影响感知因素。5 个因素之间有较强的互动性, 构成强连通因素, 这些因素对城市客运交通结构的影响结果通常是一致的, 可以将它们看成 1 个独立的系统。

结合哈尔滨市客运交通结构现状, 交通政策与出行方式效用是影响城市客运交通结构的最直接因素。由于哈尔滨市公交都市建设交通政策的不断深入, 建设公交优先示范路, 优化拓展公交线网、实施定制公交, 公共交通方式出行效用不断改善, 通过相应的作用效果直接影响第一层的其他因素, 可以达到较为显著地调整客运交通结构效果。另外, 由于因素之间的强连通性, 通过调整 1

个因素往往达不到整体改观的作用,故需要对于第一层次的因素整体进行改进才会达到预期的效果。

第二层包括道路布局、基础设施、出行者特性3个间接影响认知因素。说明城市客运交通结构的表现,是出行者根据先验的知识、已体验的出行方式服务及个体特性产生的,哈尔滨市2017年内新增、更新公交车辆600标台,启动3条公交快速廊道建设,这些因素会直接影响到出行者对于客运交通结构的认知状况。

第三层为资金投入城市客运交通结构的过渡连接因素。政府对城市交通系统的资金投入额度以及在各个交通子系统中投入的比例都影响着城市客运交通结构。哈尔滨市近年来不断加大对于公共交通的投入力度,通过合理的优化资源配置吸引出行者选用期望的出行方式,进而优化城市客运交通结构。

第四层为城市规模,为根本性因素,是城市经济水平、产业结构、用地规模、人口规模等多因素共同作用的结果,随着国民经济的增长,城市居民剧增,城市占地规模不断扩大,出行长度增加、出行次数加大,在交通供给能力不变的情况下,合理的城市客运交通结构影响着城市客运交通的运行效能。

4.2 城市客运交通结构优化建议

一个城市的客运交通结构受到城市规模发展的影响,在一段时间内是难以完全改变的,通过在明晰各影响因素关系及确定城市交通结构优化方向后,可以从规划、建设、运营及管理各个方面进行优化。根据模糊解释结构模型对影响因素的分析结果及我国目前城市交通发展方向,针对交通政策、土地利用、出行方式效用3个直接影响感知因素,提出以下优化建议:

1) 实现城市交通政策对交通结构优化的导向、协调和控制。制定交通经济政策,进行经济杠杆、区域收费、经费再分配等交通经济方法诱导交通政策的发展,实现道路交通资源合理配置,提高交通效率,达到城市交通系统高速运行的目的。分析城市产生的交通问题,利用有限的城市交通基础设施资源,制定交通管理政策,提高城市交通的运行效率。制定交通技术政策,引导和干预城市交通结构的变化,近年来由于科技的发展而新生的网约车、定制公交等新的出行方式对客运交通结构起到积极的推动作用^[18]。

2) 土地开发利用与城市交通结构相适应。

城市交通结构与土地开发利用存在着相互影响和相互制约的关系,土地利用规模、空间布局、强度都对城市交通结构有着显著影响。城市土地利用规模决定了城市居民的出行距离,而不同的出行距离使得居民对于交通方式的速度和舒适度都有不同的要求,进而影响城市的交通结构。城市土地利用空间布局决定了城市居民出行的空间分布和出行距离,合理的土地利用空间布局可以减少居民的出行距离和跨区域出行,进而影响城市的交通结构。土地利用强度是居民出行强度显著影响因素之一,土地利用强度的增大,相应区域的出行需求越大,就需要采用资源效率高的出行方式,进而改变城市交通结构^[12]。

3) 城市交通结构与居民出行效用相协调。居民出行效用是指为居民应用交通工具和消耗一些环境资源、基础设施资源为完成一次空间移动目的所愿意支付的出行成本(包括费用、时间、舒适性、可靠性等因素)。不同的交通方式消耗的环境资源、基础设施资源区别很大,合理的客运交通结构应该同时满足城市交通系统效用与居民出行效用两个目标,但是居民无论采用哪种交通工具都期望个人出行成本最小,而城市交通系统希望交通效用最大。为此,需要通过公交优先、拥挤收费、定制公交等政策的实施,兼顾交通系统效用和出行个人效用,实现城市客运交通结构的优化^[10]。

5 结 论

通过专家调查法建立影响因素之间的关系,对城市客运交通结构的影响因素进行了系统分析,建立了模糊解释结构优化模型,探讨影响客运交通结构影响因素的结构层次关系,从交通政策、土地利用、出行方式效用3个方面提出了城市客运交通结构优化建议,为城市客运交通结构的优化提供了新思路。

1) 应用模糊解释结构模型,有效地建立起城市客运交通结构各因素间的主次关系与层级关系,为城市客运交通结构的研究提供了新技术与新方法。模型充分考虑因素之间的横向与纵向关系,为城市客运交通结构的量化计算,确定模型中各因素的权重提供参考。

2) 通过城市客运交通结构多层递阶关系图,将城市客运交通结构的构成分为4个层次:直接影响感知因素层、间接影响认知因素层、过渡连接因素层与根本性因素层,并找出了影响城市客运

交通结构的直接影响因素,为优化城市客运交通结构提供了理论基础。

3) 对交通政策、土地利用和出行方式效益 3 个城市交通结构直接影响感知因素的详细分析,从定性分析的角度明确了城市交通结构优化需要从规划、建设、运营及管理各个方面进行考虑。

4) 采用以定性分析为主的交通结构优化模型,揭示了城市客运交通系统的各影响因素之间的因果关系,但是模型不能反映各影响因素之间的定量关系,已经对城市交通结构的影响大小,这些内容在后续研究中会进行加强。

参考文献

References

- [1] 刘爽,朱晓宁,贾顺平.城市交通结构优化研究综述[J].交通运输系统工程与信息,2009,9(1):28-38.
LIU Shuang, ZHU Xianing, JIA Shunping. A review of urban traffic structure optimization[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(1): 28-38. (in Chinese)
- [2] 余柳,刘莹.北京市交通结构合理发展模式及策略研究[J].城市交通,2013(6):66-74.
YU Liu, LIU Ying. Feasible and sustainable travel mode development strategy in Beijing [J]. Urban Transport of China, 2013(6): 66-74. (in Chinese)
- [3] 范操.城市交通结构优化方法及其作用研究[J].交通标准化,2010(16):124-127.
FAN Cao. Optimization method and effect of urban traffic structure [J]. Transport Standardization, 2010(16): 124-127. (in Chinese)
- [4] 吕慎,田锋,李旭宏.大城市客运交通结构优化模型研究[J].公路交通科技,2007(7):117-120.
LYU Shen, TIAN Feng, LI Xuhong. Study on the optimized model of urban passenger traffic structure [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007 (7): 117-120. (in Chinese)
- [5] 王仁杰,魏艳楠,许伦辉.基于低碳模式下的城市客运交通结构优化研究[J].交通信息与安全,2015,33(5):16-22.
WANG Renjie, WEI Yannan, XU Lunhui. A study on optimization of urban transit systems under a low-carbon mode[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2015, 33(5):16-22. (in Chinese)
- [6] 刘爽,赵明亮,包姹娜,等.基于交通结构发展情景分析的城市交通碳排放测算研究[J].交通运输系统工程与信息,2015(3):222-227.
LIU Shuang, ZHAO Mingliang, BAO Chana, et al. Carbon emission calculation for urban transport based on scenario analysis of traffic structure[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015 (3): 222-227. (in Chinese)
- [7] 沈嘉曦,王培恒.基于城市交通可持续性的客运结构优化模型[J].山东交通学院学报,2014(3):41-45.
SHEN Jiayi, WANG Peiheng. Optimized model of passenger structure based on urban transportation sustainability[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2014(3): 41-45. (in Chinese)
- [8] 雋海民,裴玉龙,申翔浩.城市客运交通结构生态效用双目标优化模型[J].公路交通科技,2012,29(7):139-143.
JUN Haimin, PEI Yulong, SHEN Xianghao. Double-goal optimization model of ecology and utility for urban passenger traffic structure[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(7):139-143. (in Chinese)
- [9] 王培恒,沈嘉曦,刘澜.城市客运交通结构内部成本与交通效率优化模型[J].交通运输工程与信息学报,2014(4):104-107.
WANG Peiheng, SHEN Jiayi, LIU Lan. Bi-objective optimization model of minimal internal cost and maximum traffic efficiency for urban passenger transport structure [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2014 (4): 104-107. (in Chinese)
- [10] 陆海亮,严凌,董洁霜.基于广义成本的城市交通结构优化[J].森林工程,2014(5):164-168.
LU Hailiang, YAN Ling, DONG Jieshuang. City traffic structure optimization based on generalized cost[J]. Forest Engineering, 2014 (5): 164-168. (in Chinese)
- [11] 毛敏,蒲云,喻翔.外部成本对城市客运交通结构的影响分析[J].公路交通科技,2004,21(11):121-124.
MAO Min, PU Yun, YU Xiang. Analysis of the impact of external costs on urban passenger transport system structure[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(11):121-124. (in Chinese)
- [12] 谭佳.基于土地利用的城市交通结构优化[J].重

- 庆交通大学学报(社会科学版), 2012(4): 13-15.
TAN Jia. Urban traffic structure optimization based on land use[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2012(4): 13-15. (in Chinese)
- [13] 郭亮, 贺慧. 城市交通结构优化与土地利用模式相关性的比较[J]. 城市规划学刊, 2009(5): 77-82.
GUO Liang, HE hui. Comparative study on the relevance of structural optimization of urban traffic and land-use patterns[J]. Urban Planning Forum, 2009(5): 77-82. (in Chinese)
- [14] 杨励雅, 邵春福, 聂伟. 基于混合遗传算法的城市土地利用形态与交通结构的组合优化[J]. 上海交通大学学报, 2008(6): 896-899.
YANG Liya, SHAO Chunfu, NIE Wei. Hybrid genetic algorithm for integrated optimization of urban land use pattern and transportation structure [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2008(6): 896-899. (in Chinese)
- [15] 蒋涛, 刘澜, 汪娟, 文子娟. 基于整体效率的都市区交通结构与土地利用研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2007(1): 91-95.
JIANG Tao, LIU Lan, WANG Juan, WEN Zi-juan. Research of urban land-use and traffic model based on general efficiency[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2007(1): 91-95. (in Chinese)
- [16] 李晓争. 基于解释结构模型的铁路智能运输系统体系结构研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
LI Xiaozheng. The system architecture study of BITS based on ISM[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007. (in Chinese)
- [17] 孙慧, 周颖. 基于解释结构模型的公交客流量影响因素分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2010, 12(1): 2-4.
SUN Hui, ZHOU Ying. An analysis of the influencing factors of public transportation passenger flow on the base of interpretive structural model [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2010, 12(1): 2-4. (in Chinese)
- [18] 苗壮. 基于“公交都市”的山地城市交通方式结构优化研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
MIAO Zhuang. Based on the “transit city”, study on the optimizing of the transportation structure of mountain city[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014. (in Chinese)
- [19] 章洵, 缪子山, 杨超. 不同轨道交通发展模式下上海客运交通结构对比分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2015(6): 1180-1185.
ZHANG Xun, MIAO Zishan, YANG Chao. Comparative analysis of shanghai urban passenger transportation structure evolution in different rail transit development modes[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2015(6): 1180-1185. (in Chinese)