

文章编号:1671-8879(2017)06-0099-06

# 复杂通勤出行链脆弱性感知结构模型

马 飞<sup>1,2</sup>, 刘 飞<sup>1,2</sup>, 孙启鹏<sup>1,2</sup>, 蒋晓兰<sup>3</sup>, 王文琳<sup>1,2</sup>, 李晓丹<sup>1,2</sup>

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 综合运输经济管理研究中心, 陕西 西安 710064; 3. 中国西安卫星测控中心, 陕西 西安 710043)

**摘 要:**为测度城市居民复杂通勤出行链的脆弱性,保证城市交通平稳、高效和可持续发展,引入复杂通勤出行链脆弱性概念,给出典型复杂通勤出行链的系统模型。在此基础上,分析复杂通勤出行链脆弱性的影响因素,采用预抽样数据和主成分分析法对主要影响因素进行识别,提取交通网络拥堵、公共交通衔接不畅、机动车停车困难、交通诱导信息误差和主观因素等 5 个公因子,据此设计了复杂通勤出行链脆弱性感知的测度指标体系;运用探索性因子分析方法得出各影响因素之间的关系,并基于西安市居民出行调查数据,结合结构方程模型对分析结果进行进一步验证。研究结果表明:交通网络拥堵和公共交通衔接不畅对复杂通勤出行链脆弱性感知水平的贡献度最大,分别为 0.278 和 0.274,是影响出行链可靠性的最主要因素;机动车停车困难的影响程度处于较高水平(0.222),表明停车难是制约复杂通勤出行链稳健运行的重要因素;交通诱导信息误差的影响程度虽然较低(0.144),但其会导致复杂通勤出行链的脆弱性加剧;而主观因素的影响程度最低(0.083),说明由出行者主观因素造成的复杂通勤出行链的脆弱程度并不明显。

**关键词:**交通工程;城市交通;感知结构模型;通勤出行链;脆弱性

**中图分类号:**U491 **文献标志码:**A

## Perceptual structural model of vulnerability of complex commuter travel chain

MA Fei<sup>1,2</sup>, LIU Fei<sup>1,2</sup>, SUN Qi-peng<sup>1,2</sup>, JIANG Xiao-lan<sup>3</sup>, WANG Wen-lin<sup>1,2</sup>, LI Xiao-dan<sup>1,2</sup>

(1. School of Economic and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Center of Comprehensive Transportation Economic Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. China Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to measure the vulnerability of complex commuter travel chain of residents and ensure the smooth, efficient and sustainable development of urban traffic, this paper introduced the concept of vulnerability for complex commuter travel chain, and gave a model of typical complex commuter travel chain system. On this basis, the influence factors of vulnerability of complex commuter travel chain were analyzed, and pre-sampling data and principal component analysis method were used to identify the main factors. Five common factors were extracted from the influence factors, namely, traffic network congestion, poor connection of public transport, difficulties of vehicle parking, information errors of traffic guidance and subjective factors.

收稿日期:2017-05-17

基金项目:国家自然科学基金项目(17BJY139);教育部人文社会科学基金项目(17YJCZH125);

陕西省社会科学基金项目(2016R026);西安市社会科学规划基金项目(17J176)

作者简介:马 飞(1979-),男,陕西泾阳人,副教授,工学博士,E-mail:mafeixa@163.com。

Accordingly, the measurement index system of vulnerability perception of complex commuter traffic chain was designed, and the relationship among influence factors was obtained by exploratory factor analysis. The analysis results were further verified by using the travel survey data of Xi'an residents and structural equation model. The results show that traffic network congestion and poor connection of public transport make the largest contribution to the vulnerability perception level of complex commuter travel chain (0.278 and 0.274), which are the main factors to influence the reliability of traffic chains. The influence degree of parking difficulty is at a high level (0.222), which indicates that parking difficulties are important factors restricting the robust operation of complex commuter travel chain. The influence degree of information errors of traffic guidance is low (0.144), but it can exacerbate the vulnerability of complex commuter travel chains. The influence degree of subjective factors is the lowest (0.083), which indicates that the vulnerability degree of complex commuter travel chain caused by subjective factors is not obvious. 5 tabs, 4 figs, 22 refs.

**Key words:** traffic engineering; urban traffic; perceptual structural model; commuter travel chain; vulnerability

## 0 引言

随着城市空间扩张和居民出行方式的多元化,城市居民的出行目的越来越多样,出行范围越来越广,出行结构也越来越复杂,不再是“家-单位-家”的简单出行模式,而逐步演变为更为复杂的出行结构<sup>[1]</sup>。有学者从出行过程中参与活动数量的角度界定了简单出行链与复杂出行链,将仅参与一项活动的出行链称为简单出行链,将完成多次(多于2次)有目的活动的过程称为复杂出行链<sup>[2]</sup>。目前学者对复杂出行链与出行方式选择进行了较为深入的研究,主要集中于通勤者的出行选择行为<sup>[3-5]</sup>、通勤出行链的特征及影响因素<sup>[6-7]</sup>、各种信息对通勤出行行为的影响等方面<sup>[8-10]</sup>。Ye等利用递归联立离散选择模型,对简单链、复杂链与出行方式选择之间的相互关系进行研究,并分别使用递归二元概率(recursive bivariate probit)模型和联立多元logit(simultaneous logit)模型研究出行模式选择和出行链复杂性之间的关系<sup>[11]</sup>;Hensher等通过研究发现,当出行链由简单到复杂时,出行者从公交中获得的效用将减小<sup>[12]</sup>。

通勤出行链是城市居民最常见的一种出行链形态,通常情况下处于稳定运行状态。出行链越稳定,居民通勤出行的感知满意度越高。然而,现实中由于城市交通受到多种随机因素(如交通网络拥堵、城市道路维修与维护)和主观因素(如错误估计出发时间、换乘方式选择不当等)的影响,通勤出行链运行水平往往会偏离稳态,居民感知满意度降低,即通勤

出行链的感知脆弱性将提高。脆弱性研究最初起源于生态系统和自然灾害领域,后来被拓展应用到多个研究领域<sup>[13-15]</sup>。目前,学者关于交通系统的脆弱性研究主要集中在道路网络的脆弱性<sup>[16-18]</sup>,但从出行全过程视角开展对城市通勤出行链脆弱性的研究同样具有重要的理论和现实意义。本文从外部因素和内部扰动2个角度识别通勤出行链的脆弱性问题,具体分为交通网络拥堵、交通方式衔接不畅、交通诱导信息误差、机动车停车困难和人车主观因素等5个维度,并进一步设计了17个测度项度量通勤出行链的脆弱性。

## 1 理论分析

### 1.1 复杂通勤出行链特征

出行链是以家为起点和终点,将居民1d中各种目的的出行按发生顺序连接起来所形成的闭合链,其中包含大量的时间、空间、出行方式和活动类型等信息,反映了出行决策机制,直接影响城市交通出行需求预测和管理工作<sup>[19-20]</sup>。家庭结构是复杂出行链形成的重要原因,如家里有孩子上学的家庭其出行链大部分表现为“家-学校-单位-超市-家”的典型复杂通勤出行链(下页图1),不再是“家-单位-家”的简单出行链。根据2015年西安市居民地铁出行调查统计结果,西安市有约58.6%的家庭出行链均表现为复杂出行链。

### 1.2 复杂通勤出行链脆弱性感知影响因素分析

脆弱性是衡量系统偏离稳定状态的指标。复杂通勤出行链是城市居民日常通勤出行的时间、空间

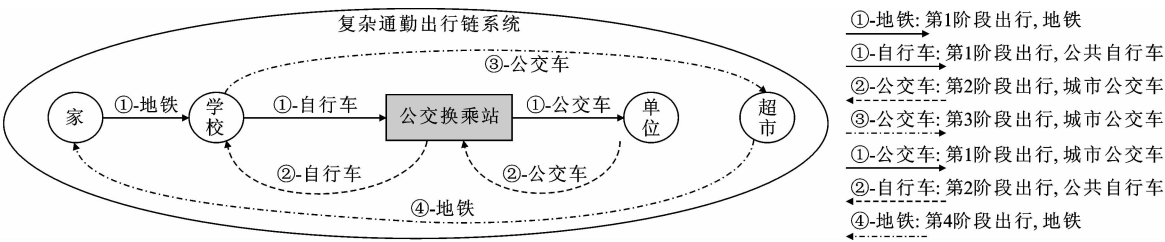


图 1 典型复杂通勤出行链系统

Fig.1 Typical complex commuter travel chain system

和出行方式的反映,出行者对其感知水平一般处于较为稳定的状态<sup>[21]</sup>。但是,由于城市交通系统自身的运行波动、交通诱导信息的误差以及出行者自身的因素,导致出行者对复杂通勤出行链的感知满意程度处于波动状态。具体来说,复杂通勤出行链的感知满意程度由于受到外部因素和出行者自身的影响而呈现出一定的脆弱性。外部因素主要表现为交通网络拥堵、公共交通方式衔接不畅、机动车停车困难、交通诱导信息误差、基础设施水平和社会经济发展等,出行者自身因素主要表现为出发时间估计错误、换乘方式选择不当等。

## 2 复杂通勤出行链脆弱性感知测度

### 2.1 测度指标设计及测度模型

根据复杂通勤出行链脆弱性的内外部影响因素分析结果,抽取出现交通网络拥堵、公共交通衔接不畅、机动车停车困难、交通诱导信息误差、主观因素、基础设施水平和社会经济发展水平等 7 个影响因素。采用预抽样数据,根据主成分分析法对主要影响因素进行识别,提取出 5 个公因子,即交通网络拥堵(公因子 1)、公共交通衔接不畅(公因子 2)、机动车停车困难(公因子 3)、交通诱导信息误差(公因子 4)和主观因素(公因子 5)。采用 SPSS22.0 统计分析软件提取的因子解释原有变量总方差情况,见表 1。其中累积百分比为各成分累积解释原始数据信息的百分比。可以看出,前 5 个特征值分别为 8.862、5.173、2.031、1.285 和 0.692,累积贡献率达到 78.919%,基本包含了全部指标的所有信息。

根据因子分析结果,本文从交通网络拥堵、公共交通衔接不畅、机动车停车困难、交通诱导信息误差和主观因素等 5 个维度测度复杂通勤出行链的脆弱性感知水平。复杂通勤出行链脆弱性感知测度指标如表 2 所示。

根据已有文献的研究成果<sup>[22]</sup>,构建复杂通勤

出行链脆弱性感知结构模型,如图 2 所示。

表 1 因子分析的特征值和解释贡献率

Tab.1 Eigenvalues and explain contribution rates of factor analysis

公因子	初始特征		旋转平方和载入	
	特征值	累积百分比/%	特征值	累积百分比/%
1	8.862	39.472	3.986	22.475
2	5.173	61.210	3.924	44.936
3	2.031	70.495	3.185	62.282
4	1.285	76.126	2.063	73.633
5	0.692	78.919	1.192	78.919

表 2 复杂通勤出行链系统脆弱性测度指标

Tab.2 Vulnerability indices of complex commuter travel chain system

因 素	指 标
交通网络拥堵	出行道路的平均交通拥堵指数 $X_1$
	通勤出行线路上道路交通事故的发生概率 $X_2$
公共交通衔接不畅	城市公交车站与地铁站的距离 $X_3$
	城市公共自行车与地铁站和公交车站的距离 $X_4$
	城市公交准点率 $X_5$
	城市公共自行车高峰时段的可利用率 $X_6$
机动车停车困难	通勤线路沿途驻点的停车位数量 $X_7$
	通勤线路沿途驻点的停车位利用率 $X_8$
	机动车停车位平均搜寻时间 $X_9$
交通诱导信息误差	交通广播事故播报的及时性 $X_{10}$
	可变情报板信息显示的动态性 $X_{11}$
	导航系统对通勤线路道路施工信息提示的及时性 $X_{12}$
主观因素	出行者错误估计的出发时间 $X_{13}$
	交通换乘方式选择的合理性 $X_{14}$
	出行者的时间价值感知变化程度 $X_{15}$

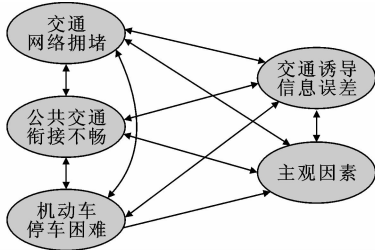


图 2 脆弱性感知结构模型

Fig.2 Perception model of vulnerability

2.2 数据收集

本文使用的数据包括家庭信息、家庭成员和出行信息 3 个部分,选取居住在西安市西南部样本居民的部分数据,其中包含 165 个家庭,共 321 个家庭成员在 2015 年 12 月 3 日的共 799 条出行信息。

基于出行链的出行行为分析方法要求,把个体独立的出行信息转换为多个活动构成的出行链信息,由于本文研究的主体是复杂通勤出行链的脆弱性,因此在进行数据处理时,只在原始数据中选取进行通勤活动的部分家庭成员的出行信息组成出行链信息表。将删减后的表格中每个家庭成员的出行信息合并,得出当天通勤出行链的总计出行距离、出行时间、出行次数和主要交通工具,并将家庭信息表、成员信息表和出行链信息表对应合并,得到构建模型的原始数据表。表中共有 243 行记录,每条记录即 1 条完整出行链的信息,原始数据中包括家庭信息表中的成员编号、性别、年龄、职业、是否有儿童和出行链信息表中的出行距离、出行时间、出行次数、主要交通工具等信息。具体处理过程如图 3 所示。

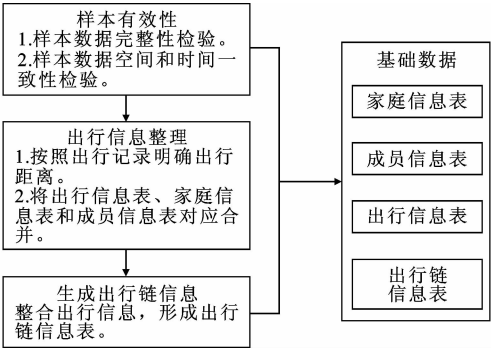


图 3 数据处理流程  
Fig. 3 Flow of data processing

2.3 量表检验

复杂通勤出行链系统脆弱性的测度指标初步确定后,需要通过对上述测度体系中每个潜变量的测量量表进行信度及效度检验,以确定本量表的有效性和可靠性。本文采用内部一致性  $\alpha$  系数(Cronbach's  $\alpha$ )分析, $\alpha$  是一个统计量,是指量表所有可能的项目划分方法所得到的折半信度系数的平均值,是最常用的信度测量方法。计算结果显示:交通网络拥堵、公共交通衔接不畅、机动车停车困难、交通信息诱导误差、主观因素的信度值均大于 0.7,符合信度标准;各潜变量的测量项由理论分析及已有文献分析得到,因此具有较好的内容效度。同时采用因子分析法对测量变量的各题项进行检验,将所有因子负荷小于 0.6 的题项精简删除,并对精简

后的题项进行因子分析,各题项的负荷均大于 0.6,表明各题项在  $p<0.001$  的水平下具有很好的结构效度,结果见表 3。

表 3 量表的 Cronbach's  $\alpha$  系数  
Tab. 3 Cronbach's  $\alpha$  coefficient of scale

影响因素	因子 Cronbach's $\alpha$ 值	量表 Cronbach's $\alpha$ 值
交通网络拥堵	0.952	0.937
公共交通衔接不畅	0.893	
机动车停车困难	0.751	
交通信息诱导误差	0.932	
主观因素	0.769	

3 数据分析

3.1 脆弱性的因子分析

应用结构方程模型分析软件 AMOS22.0 对上述探索性因子分析的结果进行进一步验证,得到各因子之间的关系,如图 4 所示。图 4 中, $e_1 \sim e_{15}$  为 15 个测度指标的随机误差,箭头上的数字为对应指标的误差项方差。

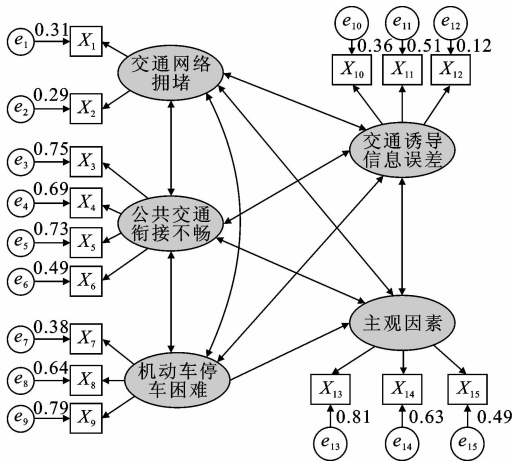


图 4 通勤出行链感知脆弱性验证性因子分析模型  
Fig. 4 Confirmatory factors analysis model of perceived vulnerability for commuter travel chain

复杂通勤出行链感知价值结构模型的拟合指标如下页表 4 所示。其中, $\chi^2/d_f$  为直接检验样本协方差矩阵和估计方差矩阵之间相似程度的统计量, $\chi^2$  为  $X_1 \sim X_{15}$  的平方和, $d_f$  为自由度。实际研究中, $\chi^2/d_f$  越接近 2 则模型拟合越好;GFI 为拟合优度指数,其值为 0~1,越接近 0 表示拟合越差,反之则越好;RMSEA 为近似误差均方根,是评价模型不拟合的指数,其值越接近 0 表示拟合越好,反之则越差;CFI 为比较拟合指数,该指数在对假设模型和

表 4 因子分析拟合指标  
Tab. 4 Fitting indices of factor analysis

拟合指标	$\chi^2/d_f$	GFI 值	RMSEA 值	CFI 值
取值	2.653	0.915	0.092	0.973

独立模型比较时取得,取值为 0~1,其值越接近 0 表示拟合越差,反之则越好。可以看出,上述因子分析的各个拟合指标均符合标准,说明复杂通勤出行链脆弱性感知结构模型拟合效果较好。

3.2 参数标定

要反映每个因子对总体脆弱性感知的影响程度,必须计算因子得分估计值的合成值,即

$$V = \sum_{i=1}^m w_i v_i \tag{1}$$

$$w_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i \tag{2}$$

式中: $V$  为因子得分估计值的合成值; $w_i$  为第  $i$  个公因子的影响权重; $v_i$  为第  $i$  个公因子的得分估计值; $m$  为公因子数量; $\lambda_i$  为第  $i$  个公因子的特征值。

根据表 1 和式(2)可计算公因子的影响权重  $w_i$ ,计算结果见表 5。

表 5 公因子影响权重计算结果  
Tab. 5 Calculation results of factor affecting weights

公因子	$\lambda_i$	$\sum \lambda_i$	$w_i$
交通网络拥堵 $v_1$	3.986	14.35	0.278
公共交通衔接不畅 $v_2$	3.924		0.274
机动车停车困难 $v_3$	3.185		0.222
交通诱导信息误差 $v_4$	2.063		0.144
主观因素 $v_5$	1.192		0.082

进一步利用式(1)得出复杂通勤出行链的感知结构模型为

$$V=0.278v_1+0.274v_2+0.222v_3+0.144v_4+0.082v_5 \tag{3}$$

由式(3)可知,在影响通勤出行链脆弱性的 5 个因素中, $v_1$ 、 $v_2$  的影响最大,而  $v_3$ 、 $v_4$ 、 $v_5$  这 3 个因素的影响相对较小。

4 结果分析

复杂通勤出行链脆弱性感知结构模型从出行链全环节的角度给出了影响出行链脆弱性的 5 个主要因素,其影响权重分别为 0.278、0.274、0.222、0.144 和 0.082。交通网络拥堵所占比例最高,但和公共交通衔接不畅因素的影响相差不大,表明交通网络是确保出行链稳健的最主要因素;其次,公共交通的衔接程度也在很大程度上决定了出行链的稳健性;机动车停车困难的影响权重为 0.222,也处于较

高水平,表明停车难是制约出行链稳健水平的重要因素;交通诱导信息误差的影响权重为 0.144,表明随着智能交通和出行者手机终端导航的发展,出行者越来越依赖于交通诱导信息来规划自己的出行时间和出行路线,但交通诱导信息误差可能导致出行链脆弱性加剧;主观因素的影响权重为 0.082,处于较低水平,原因是通勤出行者出行目的明确,出行需求刚度高,因此出行者由于主观因素造成的出行链脆弱程度并不明显。

5 结 语

(1)分析了城市复杂通勤出行链的特征,从内部和外部 2 个方面分析了出行链脆弱性的影响因素,根据分析结果抽取了 7 个脆弱性影响因素,采用预抽样数据和主成分分析法对主要影响因素进行识别,提取出 5 个公因子,据此构建了复杂通勤出行链脆弱性感知测度指标体系。

(2)根据探索性因子分析识别的主要影响因素,建立了复杂通勤出行链的脆弱性感知结构模型,通过西安市出行调查数据结合结构方程模型分析软件 AMOS22.0 对模型进行了验证。

(3)交通网络的随机性拥堵和公共交通衔接不畅是造成复杂通勤出行链感知脆弱性增高的主要原因,而机动车停车困难和交通诱导信息误差在很大程度上对复杂通勤出行链的脆弱性起加剧性作用;由于复杂通勤出行链的高刚性需求,主观因素对其影响并不明显。

(4)下一步将在本文研究的基础上探索降低复杂通勤出行链脆弱性的方法,并加以实证分析。

参考文献:  
References:

[1] 王书灵,邵春福,张光亮,等.购物出行与交通方式组合出行链仿真分析[J].系统仿真学报,2014,26(5):1156-1163.  
WAGN Shu-ling, SHAO Chun-fu, ZHANG Guang-liang, et al. Simulation of shopping activities and mode share integrated-trip-chain[J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(5): 1156-1163.  
[2] 赵 昕,关宏志,刘诗序.基于出行链的有车家庭假日出行方式组合研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2011,35(6):1139-1142.  
ZHAO Xin, GUAN Hong-zhi, LIU Shi-xu. Study on combined mode choice behavior in holiday based on trip-chain[J]. Journal of Wuhan University of Tech-

- nology; Transportation Science & Engineering, 2011, 35(6): 1139-1142.
- [3] PAULSEN M, TEMME D, VIJ A, et al. Values, attitudes and travel behavior: A hierarchical latent variable mixed logit model of travel mode choice [J]. Transportation, 2014, 41(4): 873-888.
- [4] DING Ling, ZHANG Ning. A travel mode choice model using individual grouping based on cluster analysis [J]. Procedia Engineering, 2016, 137: 786-795.
- [5] DE VOS J, MOKHTARIAN P L, SCHWANENET T, et al. Travel mode choice and travel satisfaction: Bridging the gap between decision utility and experienced utility [J]. Transportation, 2016, 43(5): 771-796.
- [6] 杨 敏, 陈学武, 王 炜, 等. 通勤出行简单链和复杂链的选择行为研究 [J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2008, 32(2): 191-194.
- YANG Min, CHEN Xue-wu, WANG Wei, et al. Behavior analysis of simple/complex trip chaining [J]. Journal of Wuhan University of Technology; Transportation Science & Engineering, 2008, 32(2): 191-194.
- [7] HALATALI H, ZOCCAIE A, MAHMASSANI H S, et al. Dynamic network equilibrium for daily activity-trip chains of heterogeneous travelers: Application to large-scale networks [J]. Transportation, 2016, 43(6): 1041-1059.
- [8] GIM T H T. A meta-analysis of the relationship between density and travel behavior [J]. Transportation, 2011, 38(3): 491-519.
- [9] HONG J Y, SHEN Q, ZHANG L. How do built-environment factors affect travel behavior? A spatial analysis at different geographic scales [J]. Transportation, 2013, 40(3): 419-440.
- [10] TRACY A J, SU P, SADEK A W, et al. Assessing the impact of the built environment on travel behavior: A case study of Buffalo, New York [J]. Transportation, 2011, 38(4): 663-678.
- [11] YE X, PENDYALA R M, GOTTARDI G. An exploration of the relationship between mode choice and complexity of trip chaining patterns [J]. Transportation Research Part B, 2007, 41(1): 96-113.
- [12] HENSHER D A, REYES A J. Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport [J]. Transportation, 2000, 27(4): 341-361.
- [13] SCOTT D M, NOVAK D C, AULTMAN-HALL L, et al. Network robustness index: A new method for identifying critical links and evaluating the performance of transportation networks [J]. Journal of Transport Geography, 2006, 14(3): 215-227.
- [14] 季 创, 黄 伟, 袁竞峰, 等. 基础设施 PPP 项目脆弱性评估方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2016, 36(1): 613-622.
- Ji Chuang, HUANG Wei, YUAN Jing-feng, et al. Vulnerability evaluation method of infrastructure PPP project [J]. System Engineering Theory and Practice, 2016, 36(1): 613-622.
- [15] 黄德春, 张长征, LALL U, 等. 重大水利工程社会稳定风险研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(4): 89-95.
- HUANG De-chun, ZHANG Chang-zheng, LALL U, et al. Study on the social stability risk of large hydraulic project [J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(4): 89-95.
- [16] 张 勇, 屠宁雯, 陶俊杰. 道路交通网络脆弱性动态辨识方法 [J]. 交通运输工程学报, 2014, 14(5): 74-81.
- ZHANG Yong, TU Ning-wen, TAO Jun-jie. Identification method of dynamic road traffic network vulnerability [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(5): 74-81.
- [17] LUATHEP P, SUMALEE A, HO H W, et al. Large-scale road network vulnerability analysis: A sensitivity analysis based approach [J]. Transportation, 2011, 38(5): 799-817.
- [18] KERMANSHAH A, DERRIBLE S. A geographical and multi-criteria vulnerability assessment of transportation networks against extreme earthquakes [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2016, 153: 39-49.
- [19] 鲜于建川, 隗志才. 出行链与出行方式相互影响模式 [J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(6): 792-796.
- XIANYU Jian-chuan, JUAN Zhi-cai. Research on the interdependencies between trip chaining behavior and travel mode [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2010, 44(6): 792-796.
- [20] HIGUCHI T, SHIMAMOTO H, UNO N, et al. A trip-chain-based on combined mode and route-choice network equilibrium model considering common lines problem in transit assignment model [J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2011, 20: 354-363.
- [21] 赵 丹, 邵春福, 岳 昊, 等. 多方式诱导下基于出行链的随机用户平衡模型 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2015, 45(1): 82-88.
- ZHAO Dan, SHAO Chun-fu, YUE Hao, et al. Stochastic user equilibrium model based on trip chain analysis under multi-modal guidance [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2015, 45(1): 82-88.
- [22] 尹洪英, 徐丽群, 权小锋. 基于解释结构模型的路网脆弱性影响因素分析 [J]. 软科学, 2010, 24(10): 122-126.
- YIN Hong-ying, XU Li-qun, QUAN Xiao-feng. Research on influencing factors of road network's vulnerability based on interpretive structural model [J]. Soft Science, 2010, 24(10): 122-126.