

文章编号: 1009-6744 (2009) 02-0075-06

系统工程理论与方法

## 交通出行中个体学习能力的影响分析 及其实证

贺正冰, 马寿峰\*, 唐夕庭

(天津大学 管理学院系统工程研究所, 天津 300072)

**摘要:** 学习能力, 作为人类区别于其他生命体的重要标志, 在出行决策中发挥着重要的作用. 为研究学习能力对个体出行规律的重要影响, 本文首先根据影响个体出行的各个因素在出行决策中起到的不同作用, 将其划分为静态因素与动态因素两类, 并着重分析了静态因素中的学习能力对个体出行特征的影响. 随后在定性分析的基础上, 建立了个体社会经济特征、学习能力、出行行为间三者的结构方程模型 (SEM), 并以天津滨海新区城市居民出行调查数据为基础, 对模型进行了拟合、评价和修正, 最后对模型结果进行了解释, 在一定程度上揭示了个体的社会经济特征及学习能力对个体出行特征的重要影响.

**关键词:** 学习能力; 出行行为; 结构方程模型; 实证研究

**中图分类号:** U491.1

**文献标志码:** A

## Empirical Study on the Influence of Learning Ability to Individual Travel Behavior

HE Zheng-bing, MA Shou-feng, TANG Xi-ting

(Institute of Systems Engineering, School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Learning ability is a primary symbol, which distinguishes humanity from other creatures and plays an important role in travel decision-making. To explore the major effects of learning ability on travelers' characteristics, the paper first divides the influence on travel decision-making into static and dynamic factors based on the functions of individual travel behavior factors and analyzes the effects on travelers' characteristics from the aspects of learning ability. Subsequently, qualitative analysis of travel behaviors is conducted. Then, the paper proposes structural equation model (SEM) of individuals' travel behavior analysis. With the daily travel data derived from Binhai New Area, Tianjin, model estimation, evaluation, and modification are demonstrated. Finally, explanations of the results are presented, which indicate that there is a strong effect of learning ability on travel behavior.

**Key words:** learning ability; travel behavior; SEM (structural equation model); empirical study

**CLC number:** U491.1

**Document code:** A

收稿日期: 2008-08-06 修回日期: 2008-10-09 录用日期: 2008-10-13

基金项目: 国家自然科学基金 (70671073); 国家“863”计划项目 (2006AA11Z210).

作者简介: 贺正冰 (1982 - ), 男, 辽宁省锦州人, 博士生.

\* 通讯作者: sfma@tju.edu.cn

## 1 引言

城市交通是城市社会活动和经济活动的纽带。伴随着我国经济的快速发展和城市化进程的不断加快,交通拥挤问题已成为很多城市面临的一个难题。传统的四阶段法已无法有效地解决交通拥挤这一城市发展难题<sup>[1]</sup>。

从微观层面上研究个体的交通出行行为,构建城市交通出行行为模型,对于掌握城市居民的出行规律、分析预测城市交通出行需求具有重要的意义。基于活动(Activity-based)的方法<sup>[2-4]</sup>从分析个体出行需求的源头——活动——入手,从交通需求的角度来解决交通供求间的矛盾,通过具体的交通需求管理(TDM)策略来引导、控制个体的出行,使出行总量在时间、空间上趋于合理的分布,弥补了传统方法的不足。国外学者利用计量经济学方法对基于活动的交通出行行为做了大量的研究工作。其中 Golob 在文献[5]中对结构方程模型(SEM)在交通行为领域的应用与研究进行了综述与总结。Lu 和 Pas<sup>[6]</sup>建立了个体社会经济特征、家庭内外各类活动的时间和出行行为之间关系的结构方程模型,利用美国 Oregon 的居民出行调查数据进行实证研究。Kuppam<sup>[12]</sup>利用 3 个 SEM 模型,使用华盛顿城区的调查数据,揭示了人口统计学特征、活动参与信息和出行行为之间的关系。但已有的文章多局限于对个体特征与出行活动间关系的研究,而忽略了人类所独有的学习能力对出行活动产生的影响。

本文在考虑个体社会经济特征的基础上,着重研究了出行过程中的个体的学习能力对其出行特征及规律的影响,并就此建立基于活动的个体出行行为的结构方程模型。随后利用 2006 年天津滨海新区城市居民出行调查数据对模型进行了拟合,并对模型结果进行了评价和解释,在一定程度上揭示了学习能力对个体出行规律的影响。

## 2 影响个体出行行为的因素分析

个体的日常出行选择决策活动并非一个一次性的活动,而是一个对各种外界环境因素(出行时间和费用、道路状况、气候状况、城市土地利用状况)渐进的适应过程,同时也是出行者对个人出行经验的总结、分析、判断、评价的过程,这是一个反馈学习的过程。出行者在这个闭环循环过程中不断观察、学习、信息积累和塑造自己行为。

从整个反馈学习的大过程看,考虑各个因素对

个体决策的影响范围及形式,不妨将影响个体出行行为的内在因素(不考虑来自外界的影响)分为:静态因素与动态因素(见图 1)。

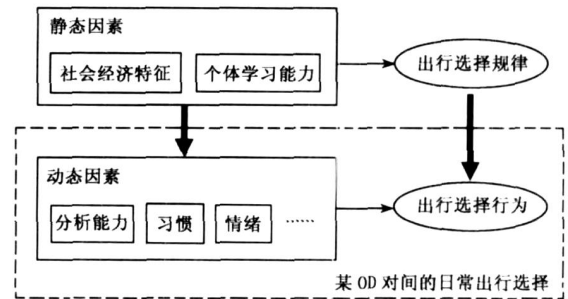


图 1 影响个体出行行为的静态、动态因素及其关系

Fig. 1 The dynamic and static factors influencing individual traveling behavior as well as their relationship

静态因素,包括个体的社会经济特征及其对出行经历的学习能力。社会经济特征,指影响个体出行决策的社会属性,如年龄、收入、家庭孩子数量、机动车数量等。而学习能力,根据认知心理学的研究,其指通过经验学到知识和技能的能力,本文指在反复的交通出行中不断适应调整出行行为的能力。可以说出行经验的积累、习惯的形成等均与个体的学习能力有着直接的关系。影响个体学习能力的因素主要包括:年龄、性别、教育程度和收入等等。静态因素决定了个体出行选择的规律。

动态因素,包括出行者在某决策阶段所具有的经验、习惯、分析能力以及诸如情绪等一些不确定因素。这是存在于闭环学习过程中的,随着阶段的不同而不断变化的动态的因素。动态因素决定了个体出行选择的具体行为。

静态因素影响个体日常出行中各阶段动态因素的形成,对出行行为有着间接的但不可忽视的影响。而动态因素则决定着出行者的出行决策,是影响出行决策最直接的因素。可以说静态因素决定了出行者长期出行选择方式,而动态因素则决定了个体某一次的选择行为。静态因素类似的出行者由于动态因素的不同,其在单次的选择中不尽相同,但在统计学意义上一定拥有着一些必然的联系与规律。

## 3 个体出行中的学习能力

个体与环境以及其与其他个体的交互作用,使其对环境产生渐进的适应,由此产生活动和决策行为的改变。在交通出行中,个体通过出行行为积累出行环境的感知经验,以前的出行经验对未来的出

行具有一定的参考作用,所引起的变化就是对出行活动决策的更改,如出行时间、路线或出行方式选择的更改,以求达到出行费用的最优.学习的作用是使个体在出行中趋向于随适应环境的变化而改变出行选择.正是这种根据已有的经验、知识做出联想与拓展的学习能力,使人类行为区别于其他生物行为或机械的反射行为.因此,仅仅分析个体的社会经济特征,这种表征性的属性,对于研究人类出行行为的规律是不够的.

学习能力体现为在面对陌生 OD 对时,个体根据环境及出行经历调整出行选择的能力.具有相似学习能力的个体,虽然每一次的出行决策不尽相同,但从调整过程的角度看,必然存在某些规律.这种规律正是建立在个体社会经济特征上的人类学习能力的体现.

学习能力对出行者的经验积累、习惯形成有着重要的影响.显然,学习能力差的个体,经验的积累通常较慢,对出行环境的变化反应不敏感,做出的选择较单一,或趋于随机.反之亦然.而经验积累、习惯形成等,正是影响个体每次出行决策行为的重要因素.

因此,个体的学习能力对整体上的交通出行规划研究以及个体出行行为的各种决策问题的研究具有相当的影响.

#### 4 模型设定

根据前面的分析,我们拟研究个体的社会经济特征、学习能力和出行特征之间的复杂关系,借助结构方程建模方法来探索个体活动出行影响分析的定量模型.我们假定:

(1) 出行个体的社会经济特征对个体的学习能力有直接影响;

(2) 出行个体的社会经济特征对个体出行行为特征有直接影响;

(3) 出行学习能力对出行行为特征有直接影响.

它们之间的影响关系可以用图 2 表示.

个体社会经济特征包括:年龄(Age)、性别(Gender)、收入(Income)、教育程度(Edu)、家庭孩子数量(Num. C)、家庭机动车数量(Num. V);个体学习能力(LP)是不可观测变量,本文仅选取其指标:年龄、性别、教育程度和收入;个体出行特征包括:一天中的出行次数(Num. trip)、出行链的个数(Num. tour)和出行在路上花费的总时间(T-time).

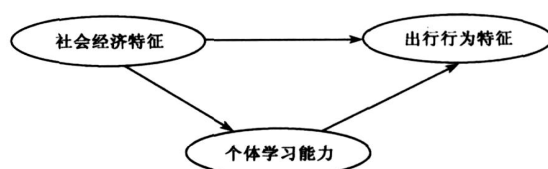


图 2 假定模型

Fig. 2 The assumed model

模型的构建可以使用路径分析的方法,路径图有助于清楚地认识变量间的关系,并且路径图可以直接转化成建模的方程(见图 3).

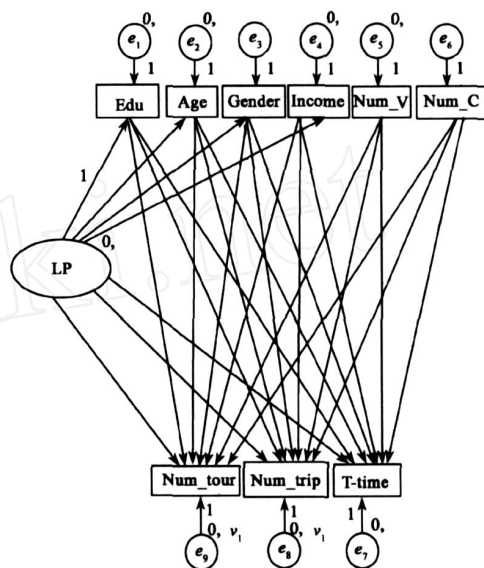


图 3 假定模型的路径分析图

Fig. 3 The path analysis of the assumed models

根据路径图,对应的出行行为分析的结构方程模型可以用矩阵表示为以下两个方程,一个测量方程和一个结构方程.

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 \\ 12 \\ 13 \\ 14 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 \\ 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 \\ 31 & 32 & 33 & 34 & 35 & 36 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} 11 \\ 12 \\ 13 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

其中  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 、 $x_5$  和  $x_6$  ——分别表示个体的教育程度、年龄、性别、收入、家庭孩子个数和家庭机动车数量;

$y_1$ 、 $y_2$  和  $y_3$  ——分别表示个体一天中的出行次数、出行链的个数和出行花费的总时间;

——个体的学习能力;

——测量方程的误差项;

——结构方程的残差项.

### 5 模型拟合

结构方程模型的估计是基于变量间的协方差结构进行的,通过对各个观测变量之间的方差协方差结构的分解来间接地验证变量之间的相互关系.结构方程模型的应用需要较大的样本规模,通常不低于 200 个,本文利用 2006 年天津滨海新区居民

出行调查数据,内容包括个体的社会经济属性和个体在某一天的日出行记录,选取其中 281 个样本,并利用 AMOS 5.0 结构方程模型专业软件进行分析,采用最大似然估计法,经过多次修正拟合,得到最终的拟合结果.模型拟合指数如表 1 所示.

在表 1 中,  $\chi^2$  为卡方检验值,df 为模型的自由度,SRMR 为标准化残差均方根,RMSEA 为近似误差均方根,CFI 为比较拟合指数,NFI 为赋范拟合指数.对 ML 估计和 CLS 估计(广义最小二乘估计),Hu 和 Bentler<sup>[7,8]</sup> 推荐联合使用 SRMR 和以下指数中的一个:TLI、BL89、RNI(或 CFI)、Gamma Hat、Mc 和 RMSEA 来检验模型,界值是 TLI、BL89、RNI(或 CFI)和 Gamma Hat 为 0.95,Mc 为 0.9,SRMR 为 0.08,RMSEA 为 0.06. Bentler 和 Bonett<sup>[9]</sup> 建议,NFI 的值应不小于 0.9.

表 1 假定模型的拟合指数

Table 1 The fitting index of the assumed model

拟合指数	$\chi^2$	df	$\chi^2 / df$	SRMR	RMSEA	CFI	NFI
原模型	57.845	12	4.82	0.064	0.117	0.942	0.931

由于结构方程模型的最大似然估计法假设每个变量都服从正态分布,自由度相同的情况下,  $\chi^2$  值越小表示模型与数据相排斥的可能性低<sup>[10]</sup>.  $\chi^2$  分布作为渐进分布,样本量越大,分布近似的越好,但是大的样本量,  $\chi^2$  都会较大,导致所有模型几乎都被拒绝,所以  $\chi^2$  也不是一个理想的指数.而  $\chi^2 / df$  值不大于 2 时,模型可以接受<sup>[11]</sup>.

从以上检验指标可看出,本文的拟合指数  $\chi^2 / df$  大于 2,CFI 小于 0.95,RMSEA 也大于 0.06,说明数据和模型拟合的效果不理想,这就需要对原假定理论模型进行一定的修正.

### 6 模型评价与修正

从拟合指标来看,原假定模型的拟合不尽人

意.通过分析假定模型,可以肯定的是各测量变量、结构变量之间的关联没有问题.再仔细查看修正指数发现,问题可能是性别与收入、性别与孩子个数的测量变量误差之间存在较强的相互关联性,于是增加  $e_3$  与  $e_4$ 、 $e_3$  与  $e_6$  两对测量误差之间的相关关系.另外,从参数估计结果看来,对学习能力 4 个指标的构建中,性别的影响作用相对很小,因此,可以删去该指标.鉴于以上两个原因,对模型进行修正,模型路径分析图如图 4 所示.

计算结果显示,整体拟合模型的  $\chi^2$  值为 28.998,带有 11 个自由度.可见,修正后模型牺牲了一个自由度,而得到模型拟合  $\chi^2$  值从 57.845 到 28.998 实质性的下降.修正后模型的拟合指数比较见表 2.

表 2 修正后模型的拟合指数

Table 2 The revised model of fitting index

拟合指标	$\chi^2$	df	$\chi^2 / df$	SRMR	RMSEA	CFI	NFI
修正后模型	28.998	11	2.64	0.042	0.076	0.977	0.965

从结果可以看出,修正后模型与数据的拟合程度有了一定的提高.虽然 RMSEA 为 0.076,仍大于 0.06,  $\chi^2 / df$  比值为 2.64,仍大于 2,不是十分的理想,但他们与标准值都已经比较接近. SRMR、CFI

和 NFI 也较修正前有了改善,说明模型与数据的拟合效果总体上是比较好的,修正后的模型是可以接受的.实际上,并没有统一的指标可以作为完全确定的标准来检验结构方程模型拟合程度的好坏,也

很难得到所有的拟合指标均达到要求的模型。因此总体来看,修正后模型基本是可以接受的。

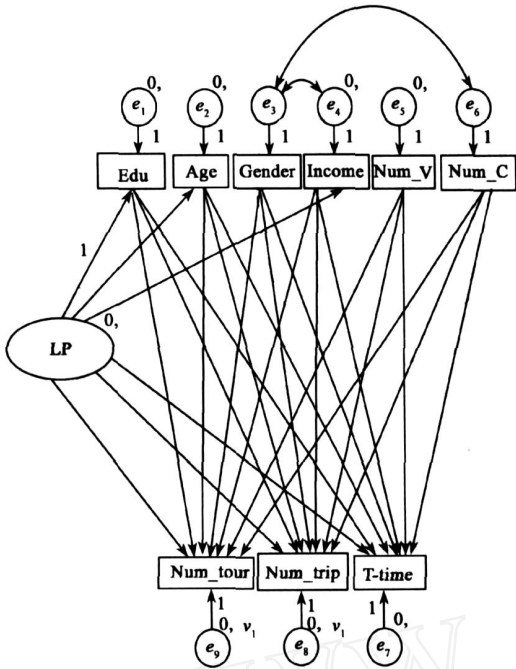


图 4 修正后模型的路径分析图

Fig. 4 The revised model analysis of the path

7 模型结果分析

经过分析验证,修正后的个体出行行为分析模型与样本数据基本吻合。这样便可以借助模型的输出结果具体阐释一些参数的实际意义。AMOS 软件输出结构方程模型的标准化解和非标准化解,其中非标准化系数表示自变量改变一个单位时,因变量或中间变量改变的大小。表 3 显示了本例中变量之间非标准化的直接、间接和总体的影响效应。直接效应(direct effect)是原因变量到结果变量的直接影响,间接效应(indirect effect)是原因变量通过影响一个或多个中间变量而对结果变量的间接影响,总体效应(total effect)是直接效应与间接效应之和。

根据影响效应,我们可以对天津市滨海新区居民出行行为进行整体的分析,从而揭示个体特征、学习能力和出行特征变量之间的影响程度、影响方向及作用机制。

(1) 个体特征和学习能力之间的关系。

学习能力指标中,出行个体的收入对其影响最大,教育程度次之,年龄的影响最小,并且随着年龄增长,学习能力呈下降趋势。性别对学习的能力影响很小,可以忽略。这些参数值符合基本常识和一般规律。

表 3 变量之间的影响效应(非标准化解)

Table 3 The effects of the impact between variables (non-standard resolution)

		LP	Gender	Num. C	Num. V	Income	Age	Edu
Income	Total	1.675	0	0	0	0	0	0
	Direct	1.675	0	0	0	0	0	0
	Indirect	0	0	0	0	0	0	0
Age	Total	- 0.351	0	0	0	0	0	0
	Direct	- 0.351	0	0	0	0	0	0
	Indirect	0	0	0	0	0	0	0
Edu	Total	1.000	0	0	0	0	0	0
	Direct	1.000	0	0	0	0	0	0
	Indirect	0	0	0	0	0	0	0
Num. tour	Total	- 0.468	0.189	0.285	- 0.026	0.162	- 0.504	0.420
	Direct	- 1.337	0.189	0.285	- 0.026	0.162	- 0.504	0.420
	Indirect	0.869	0	0	0	0	0	0
Num. trip	Total	- 1.053	0.301	0.241	0.231	0.383	- 1.140	1.009
	Direct	- 3.104	0.301	0.241	0.231	0.383	- 1.140	1.009
	Indirect	2.051	0	0	0	0	0	0
T-time	Total	- 0.204	0.046	- 0.114	0.007	0.137	- 0.431	0.271
	Direct	- 0.857	0.046	- 0.114	0.007	0.137	- 0.431	0.271
	Indirect	0.653	0	0	0	0	0	0

注:Total—总体效应;Direct—直接效应;Indirect—间接效应。

(2) 个体特征和出行特征之间的关系。

对于出行次数,年龄对其影响最大,说明年龄较大居民的出行频率相对较低,经常在室内或在小

区内小范围活动;女性比男性更倾向于出行;收入高的群体,由于社会交往活动频繁,出行频率也高,出行时间也相应增加;拥有机动车辆的家庭,由于

出行便利,出行次数也倾向于增加;而且结果还显示,教育程度较高的个体出行次数较高。然而结果中存在的一个不合理的现象是,家里有6岁以下孩子,居民却倾向于出行,初看不符合常理,但仔细研究发现,原因可能与中国的文化传统有关,许多家庭的孩子都是由爷爷、奶奶来照看,而年轻人则需要进行生活购物、消费等,出行不可避免的会增加。

对于出行链个数,我们发现家庭有孩子,个体基于家的出行活动增加,出行链个数多,这与Lu<sup>[3]</sup>的研究结果相吻合;机动车数量和年龄对出行链个数产生了负面影响;收入和教育程度则对出行链个数产生正面影响。

### (3) 学习能力和出行特征之间的关系。

学习能力对出行次数、出行链个数和出行时间既有直接效应,也有通过个体特征对出行特征产生的间接效应。从影响的总体效应来看,随着个体学习能力的提高,出行经验愈加丰富,有利于出行时间的减少,相应的个体出行次数、出行链个数也减少了。导致这一现象的原因可能与近年滨海新区的交通发展有关。作为正在大规模建设中的国家级开发区,滨海新区城市规划日渐成熟,基础设施建设逐渐完善,各小区周围的配套设置如超市、饭店、书店、医院等也日趋完备,居民近距离的出行在调查统计过程中可能没有反映出来,这可能直接导致了居民出行次数和出行链的次数的减少。

## 8 研究结论

本文是对城市居民出行规律的初步探索,在定性分析的基础上,提出了假设模型,阐明了个体的学习能力在出行中的不可忽视的作用,并以天津滨海新区为实证,通过结构方程模型进行分析。修正后的个体出行行为分析模型的可解释性较好,拟合的各个指标符合现实意义,可以合理地解释个体出行的特征,有助于我们深刻了解城市居民的出行行为规律,为科学制定交通管理政策提供依据。但是由于居民出行基础调查数据不尽完全,学习能力指标的构建相对简单,模型拟合指数也并不是十分理想。应当指出的是,个体出行过程中与环境有动态的信息交互作用,构造基于反馈学习机制的个体出行决策模型,是今后研究的重点。

### 参考文献:

- [1] Kitamura R. Applications of models of activity behavior for activity based demand forecasting [C]. Activity-Based Travel Forecasting Conference: Summary, Recommendations, and Compendium of Papers. Washington, D C: Environmental Protection Agency, 1996: 119 - 150.
- [2] Bowman J L. Activity based travel demand model system with daily activity schedules[D]. Master Thesis of Massachusetts Institute of Technology, USA, 1995.
- [3] Ben-Akiva M, Bowman J L. Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules[J]. Transportation Research A, 2001, 35(1): 1 - 28.
- [4] 隗志才,李志瑶,宗芳. 基于活动链的出行需求预测方法综述[J]. 公路交通科技, 2005, 22(6): 108 - 113. [JUAN Zhi-cai, LI Zhi-yao, ZONG Fang. A review of activity-based travel demand forecasting method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(6): 108 - 113.]
- [5] Golob T F. Structural equation modeling for travel behavior research[J]. Transportation Research B, 2003, 37(1): 1 - 25.
- [6] LU X, Pas E I. A structural equations model of the relationships among socio-demographics, activity participation and travel behavior[J]. Transportation Research A, 1999, 33(1): 1 - 18.
- [7] Hu L, Bender P M. Fit indices in covariance structure modeling: sensitivity to underparameterized model misspecification [J]. Psychological Methods, 1998, 3(4): 424 - 453.
- [8] Hu L, Bender P M. Cutoff criteria for fit indices in covariance structure analysis: conventional criteria versus new alternatives[J]. Structural Equation Modeling, 1999, 6(1): 1 - 55.
- [9] Bentler P M, Bonett D G. Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures[J]. Psychological Bulletin, 1980, 88(3): 588 - 606.
- [10] 侯杰泰,温忠麟,成子娟. 结构方程模型及其应用[M]. 北京:教育科学出版社, 2004. [HOU Jie-tai, WEN Zhong-lin, CHENG Zi-juan. Structural Equation Model and Its Applications[M]. Beijing: Education Science Publishing House, 2004.]
- [11] Byrne B M. A primer of LISREL: Basic Applications and Programming for Confirmatory Factor Analytic Models[M]. New York: Springer-Verlag, 1989.
- [12] Kuppam A R, Pendyala R M. A structural equation analysis of commuters' activity and travel patterns[J]. Transportation, 2001, 28(1): 33 - 54.