

文章编号: 1002-0268 (2008) 10-0123-07

高速公路可变收费货车出行者 出行时间选择模型研究

任英伟¹, 陆 键², 吴守荣¹, 项乔君²

(1. 山东科技大学 土木建筑学院, 山东 青岛 266510; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 以效用理论为基础, 通过意向调查研究了高速公路货车出行者出行选择模型。针对许多高速公路在高峰时段交通量较大, 而其他时段交通量较小的现状, 在不同时段采用不同的收费标准, 分析可变收费实施后不同属性货车出行者出行选择行为, 确定影响出行者出行时间选择的模型变量, 得到货车出行者在各水平收费标准时的出行时间选择模型。以京沪高速为实例, 设计调查问卷, 进行意向调查, 通过对调查结果进行分析, 选择货车所载货物类型、车货重量作为属性变量, 建立了该高速公路货车出行者在两种不同方案下的出行时间选择模型并进行了标定。利用模型标定结果可对可变收费方案进行评价, 从而优化可变收费方案, 提高高速公路的运行效率。

关键词: 交通工程; 出行时间选择模型; 可变收费; 意向调查; Logit 模型

中图分类号: U491

文献标识码: A

Study on Truck Traveler Time Choice Model of Variable Pricing on Freeways

REN Ying-wei¹, LU Jian², WU Shou-rong¹, XIANG Qiao-jun²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong 266510, China;

2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: Based on utility theory, truck traveler's choice models were studied through stated preference survey. Freeway traffic demand is very high during rush hours and it is very low during non rush hours, so variable pricing schemes at different periods were designed. Based on the current situation and the market characteristics of highway cargo transportation, the choice characteristics of truck travelers were analyzed and variables of attribute were defined. Discrete model for different variable pricing schemes was made. A survey on Beijing-Shanghai freeway was conducted as an example. Taking sort of freight, weight of vehicle and vehicle as variables of defined attributes, variable pricing models with Logit model formats were developed and calibrated at two different variable pricing schemes. According to the calibration result of model, variable pricing schemes can be optimal designed and evaluated to improve freeway's transport efficiency.

Key words: traffic engineering; travel time choice model; variable pricing; stated preference survey; Logit model

0 引言

可变收费也叫拥挤收费, 它是指在不同的时间段采用不同的收费标准, 如在高峰时段采用较高的收费

标准, 而在低峰时段采用较低的收费标准, 使得一部分原本高峰时段的交通量通过经济及管理手段可分流到低峰时段, 达到交通量分布的相对合理。

Pigou (1920)^[1]和 Knight (1924)^[2]率先提出交通

收稿日期: 2007-04-24

基金项目: 江苏省交通厅科技项目 (03Q02)

作者简介: 任英伟, (1977 -), 男, 山东潍坊人, 博士, 研究方向为交通运输规划与管理、智能交通系统。(renyingweicy@yahoo.com.cn)

拥挤收费的思想后, 不断的研究结果表明实行拥挤收费可以在不影响出行者受益的情况下产生一定的经济和社会受益, 不仅可以缓解道路交通拥挤, 而且可以把拥挤收费作为新的财政来源以支撑交通基础设施建设。

1975年6月, 为限制小汽车在上下班高峰时段的使用, 新加坡开始实行区域通行证系统(ALS), 对早高峰期间的私人小汽车和出租车收费^[3]。

在美国佛罗里达州 Lee County 的两座桥和加利福尼亚州 SR-91 公路及圣地亚 I-15 公路实施可变收费以后, 美国一些学者利用非集计模型对出行者的出行选择特性进行分析, 以评价可变收费对交通需求的影响^[4~9]。

近年来, 随着经济得发展, 我国高速公路建设里程迅速增长, 高速公路得交通量也越来越大, 使高速公路交通运输存在许多问题, 主要表现在以下方面:

(1) 不同高速公路交通量分布不均衡。

由于所处区域经济发展水平的不同, 不同高速公路交通量分布差距很大^[10~12], 这种不同区域交通量分布得不均衡, 使出行者在获得足够交通信息的情况下, 可以选择最优路线出行。

(2) 高速公路交通量在时间段上分布差异很大。

根据沪宁高速公路交通量现状资料统计, 工作日苏州新区——苏州东断面分时段交通量分布状况如图1所示。

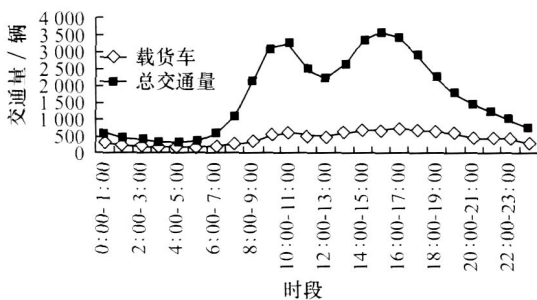


图1 工作日苏州新区-苏州东分时段交通量

Fig. 1 Time distribution of traffic volume for Suzhou freeways during working days

由图1可以看出, 交通量在各时段分布很不均衡, 具有明显的波峰波谷。高峰时段交通量明显大于低峰时段交通量。如果能使交通量在各时段上得到合理分布, 将极大提高交通运输效率。

(3) 高速公路上行驶的车型繁多, 大货车和小轿车所占比例大; 货车对高速公路的实际通行能力、行驶速度和交通安全性影响大。

2004年江苏省高速公路交通量组成如图2所示。

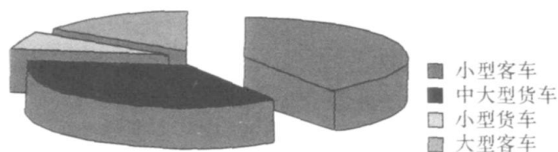


图2 江苏省高速公路交通量组成分析图

Fig. 2 Composition of traffic volume on Jiangsu freeways

从图2的交通量组成中可以看出, 中大型货车占36%, 小轿车占41%, 比例很大。在高速公路交通流组成中, 由于载货车占用道路面积大, 行驶速度较慢, 是造成道路拥挤和交通事故发生的一个重要因素。

中国的货车性能及出行者的出行特点及自身属性同其他国家均存在很大差异, 因此通过意向调查分析影响货车出行者出行选择的主要因素, 建立可变收费实施后货车出行者的出行选择模型对将可变收费作为一种需求管理手段在国内高速公路实施具有重要意义。

1 可变收费机理设定

可变收费机理的设定包括收费的时段划分、车型设定及相应时间段上收费的标准, 本文中的车型为货车。

本着简单可行的原则, 将1天划分为高峰和非高峰两个时间段, 根据不同时段收费标准变化的不同对货车设定如下两个可变收费机理:

(1) 在高峰时段保持现收费标准, 非高峰时段降低收费标准, 降低的幅度在现场调查并建模分析确定;

(2) 在高峰时段提高收费标准, 非高峰时段保持现收费标准, 提高的幅度通过现场调查并建模分析后确定。

2 高速公路货车出行者出行选择行为分析

目前我国货运出行者出行的主要目的是更大的获得业主的经济利益, 而通行费是货运出行运输成本的重要组成部分, 因此高速公路收费标准的变化对货车出行者出行选择有重要影响。可变收费实施后, 由于经济杠杆的调节作用, 高速公路货车出行者将做以下出行决策: (1) 改变出行时间; (2) 改变出行路线; (3) 改用其他运输方式(如铁路); (4) 仍按原计划出行。

根据高速公路货运车辆的特点, 通过对相关货运企业和个体运输业主的调查, 因可变收费而改用铁路

等其他运输方式的概率很小; 而由于不同省份对货车超载, 证件及路费的交纳情况并不统一, 所以货车出行者为改变出行路线的概率很小。因此可变收费实施后货车出行者有改变出行时间和按原计划出行两种选择方案。

3 高速公路可变收费货车出行者出行时间选择模型形式设定

可变收费实施后, 收费标准高的时段的货车出行者将根据收费标准调整的幅度及货物种类、付费方式等自身属性特征重新进行出行时间和出行路线的选择, 以使个人的出行效用达到最大。由于每一个货车出行者都是基础的决策单位, 且各有自己的属性, 因而其选择具有一定的离散性, 本文利用非集计 Logit 模型可对高速公路货车出行者在可变收费方案实施后的出行选择进行分析。

货车出行者对于出行时间选择有两种选择方案:

(1) 改变出行时间 (2) 不改变出行时间, 所以可建立二项 logit 选择模型。

设第 n 个货车出行者选择改变出行时间的概率为 P_{1n} , 不改变出行时间的概率为 P_{2n} ; 改变出行时间的效用函数为 V_{1n} , 不改变出行时间的效用函数为 V_{2n} , 则:

$$P_{1n} = \frac{\exp(V_{1n})}{\exp(V_{1n}) + \exp(V_{2n})}, \quad (1)$$

$$P_{2n} = \frac{\exp(V_{2n})}{\exp(V_{1n}) + \exp(V_{2n})} = 1 - P_{1n}, \quad (2)$$

式中, P_{1n} 为第 n 类货车出行者改变出行时间的选择概率; P_{2n} 为第 n 类货车出行者不改变出行时间的选择概率; V_{1n} 为第 n 类货车出行者改变出行时间的效用函数; V_{2n} 为第 n 类货车出行者不改变出行时间的效用函数。

效用函数 V_{in} 中可以包含有多个同种性质的变量, 也可以包含多种不同性质的变量。其中较为重要的变量是那些能够描述选择方案 i 特性的变量和表示出行者 n 特性的变量, 这些变量通常被统称为“特性变量”。

这里选择方案特性变量包括选择方案固有吨元 X_{in1} , 选择方案公共变量: 收费标准 X_{in2} 及出行者特性变量 X_{inj} ($j = 3, 4, \dots$)。

根据我国货运市场特点和高速公路货车出行者的特点, 影响其出行选择的自身属性应包括货物种类、付费方式、长中途性质、年龄、教育水平等, 具体哪些特性将作为效用函数中的特性变量将通过专家讨论、现场

调研分析及模型结果处理等逐步筛选确定。货车出行者出行时间选择模型效用函数中的特性变量如表 1 所示。

表 1 出行时间的选择模型的特性变量

Tab. 1 Attribute variables of choice model of travel time

选择方案	选择方案特性		出行者特性
	选择方案固有吨元 (X_{in1})	收费费率 (X_{in2})	货物种类、付费方式、车货重量 $\dots$ (X_{inj})
改变出行时间 ($i = 1$) V_{1n}	1	非高峰时段 收费费率 X_{1n2}	出行者特性变量经过专家讨论、现场调研分析、模型处理等步骤逐步筛选确定
不改变出行时间 ($i = 2$) V_{2n}	0	高峰时段 收费费率 X_{2n2}	
未知参数	θ_1	θ_2	
			$\theta_j (j = 3, 4, \dots)$

所以货车出行者出行时间选择模型中效用函数的形式为:

$$V_{in} = \theta_1 X_{in1} + \theta_2 X_{in2} + \theta_j X_{inj}, \quad (3)$$

式中, X_{in1} 为选择方案固有吨元; X_{in2} 为收费费率; X_{inj} 为出行者自身的第 j 个属性。

4 可变收费货车出行者出行选择意向调查

4.1 调查方法

非集计模型的调查可以分为已完成的选择性行为的调查和在假设条件下, 选择主体是如何选择的, 以及如何考虑的选择意向调查。前者称为行为调查或 RP (Revealed Preference) 调查, 而后者称为意向调查或 SP (Stated Preference) 调查^[13,14]。

对可变收费货车出行者选择行为的调查采用现场调查的方法进行调查。现场调查是在调查地点随机选定被调查者, 就调查事项提问, 由调查员填写调查表。

4.2 调查问卷的主要内容

可变收费货车出行者出行选择模型结果需要通过现场调研得到的数据进行标定。

通过对我国现状货运的特点分析, 列出了以下货车出行者的自身属性: ①货物运输种类; ②付费方式; ③货运性质 (企业运输和个体运输); ④车货重量; ⑤家庭收入; ⑥中途性质; ⑦出行者年龄; ⑧受教育程度。

不同的货物类型, 货运价值及时间要求差距较大, 因此对货车出行者影响较大; 因为我国货运存在不同的经营不是, 有的出行者是雇佣式的, 路桥费由单位报销, 这对出行选择将产生较大影响; 而出行者年龄、受教育程度等对货车出行者来说, 其影响较小; 对于家庭收入, 在实际调查中会存在很大难度,

不可行。而车货重量和中长途性质将对其总体的通行费及出行时间产生影响,因此应在调查中反映。

4.3 现场调查

调查人员在京沪高速公路江苏段对货车出行者进行现场调研,本次调研共调查样本 712 份,其中不配合的被调查者半途中止调查问卷及经过分析不合理的调研问卷 32 份,有效问卷 680 份。根据出行距离,设定跨省的大货车出行者为长途,江苏省内运输为中途。

车货总质量分为 10 t 以下、10~40 t、40 t 以上;将货物分为紧急货物和一般货物两类,紧急货物主要包括蔬菜、鲜活物品、紧急救援物资及合同规定需紧急送达的货物,其他为一般货物;货车出行者的付费方式不同,因而对货车出行选择影响较大,付费方式分为个人付费和单位报销两种。在调查问卷中,各种属性所占比例如表 2。

表 2 各属性货车出行者所占比例

Tab. 2 Distribution of truck travelers with different attributes

出行者属性	所占比例/%	
付费方式	个人付费	87
	单位报销	13
货物类型	紧急货物	24
	一般货物	76
出行距离	短途	4
	长途	96
车货重量	小于 10 t	13
	10~40 t	72
	高于 40 t	15

4.4 意向调查总结

通过对京沪货车出行者的调研,对其自身属性特征和出行选择行为分析总结如下:

(1) 在同一收费标准水平下,高速公路货车出行者付费方式、货物种类、车货重量、中长途性质等自身属性的对货车出行者出行选择有较大影响。

(2) 高速公路相同属性出行者对收费标准调整的敏感度及出行时间选择上表现出很大的相似性,这表明同属性高速公路货车出行者由收费标准变化而引起的出行选择的改变上均具有很大的共性。

(3) 高速公路因承担的主要是中长途出行,因此对货车出行者一次完整的出行来说出行时间较长,而对某条高速公路实行可变收费,使出行者对该条高速公路选择上相对来说具有较大的时间灵活性,这同城市道路交通中一般出行者一次出行时间较短具有很大差异,因此单位时间的价值相对较小,主要收费标准的变化对其影响较大,而在高速公路上行驶所需时间主要能反映高速公路所能提供的服务的舒适度,而对

其经济效益影响较小。因此在效用函数中不考虑在高速公路行驶时间这一因素。

4.5 效用函数自身属性变量确定

经过以上调研分析,确定可变收费实施后货车出行者出行选择模型中自身属性变量如下:

(1) 货物种类

根据对出行时间紧迫性上的不同将货物分为一般货物和紧急货物两大类型。

(2) 付费方式

根据具有出行决策权的货车出行者对通行费承担方式的不同划分为个人付费和单位报销两种方式。对具有出行决策权的货车业主(或司机)来讲,通行费由其个人承担的为个体付费;通行费由他人或单位承担的为单位报销。

(3) 运输距离

运输距离的不同,出行者对收费标准变化的敏感度、出行时间和出行路线的选择不同。高速公路使用者主要为中长途出行者,中途、长途的区别没有明确的界定,应根据具体某条高速公路的实际情况决定。如对京沪高速公路江苏段,定义省内出行为中途,跨省出行为长途。

(4) 车货重量

针对超限超载严重的现象,现在大部分高速公路已开始实施计重收费,对车货重量利用经济杠杆进行控制。因为车货重量的不同,对路面破坏程度不同,收费标准不同,行驶速度和对交通流特性影响的程度也不同。因此这也是影响出行者出行选择的重要因素。

5 高速公路货车出行者出行时间选择模型及其标定结果

根据意向调查结果,可变收费实施后,高速公路货车出行者主要根据其自身属性和费率调整比例选择改变出行时间,而不改变出行选择路线。对高速公路上的货车出行者来说,收费标准低的时段出行者将按原计划出行,而只有收费标准高的时候的出行者将有可能改变其出行时间。根据确定的效用函数自身属性变量,收费标准高的时段的货车出行者出行时间选择的二项 logit 模型为式(1)、式(2),公式中的效用函数的计算公式为:

$$V_{1n} = \theta_1 x_{1n} + \theta_2 P + \theta_3 F + \theta_4 d + \theta_5 w_1 + \theta_6 w_2 + \theta_7 w_3 + \theta, \quad (3)$$

$$V_{2n} = \theta_1 x_{2n}, \quad (4)$$

式中, V_{1n} 为第 n 类货车出行者改变出行时间的效用函

数; V_{2n} 为第 n 类货车出行者不改变出行时间的效用函数; x_{1n} 为第 n 类货车出行者在非高峰时段的收费费率; x_{2n} 为第 n 类货车出行者在高峰时段的收费费率; P 为是否个人付费, 其为哑变量, 取值为 1 或 0, 当为个人付费时, 在效用函数中取值为 1, 反之为 0; F 为是否一般货物, 当为一般货物时, 取值为 1, 反之为 0; d 为是否长途, 当为长途时, 取值为 1, 反之为 0; w_1 为车货重量是否在 10 t 以下, 当车货重量在 10 t 以下时取值为 1, 反之为 0; w_2 为车货重量是否在 10~40 t, 当车货重量在 10~40 t 时取值为 1, 反之为 0; w_3 为车货重量是否在 40 t 以上, 当车货重量在 40 t 以上时取值为 1, 反之为 0; θ 为常数项。

根据设定的可变收费机理, 将 24 h 划分为高峰和非高峰两个时段, 高峰时段货车出行者的出行时间选择模型的标定将主要针对如下两种情况: (1) 高峰时段保持现收费标准, 非高峰时段降低收费标准, 即建立模型 1; (2) 高峰时段提高收费标准, 非高峰时段保持现收费标准, 即建立模型 2。

5.1 出行时间选择模型 1

模型 1 是将 24 h 划分为高峰、非高峰两个时段, 高峰时段保持现收费标准, 非高峰时段降低收费标准时, 根据意向调查结果建立的货车出行者出行时间选择模型。

模型 1 的本质是建立降低收费标准对出行选择概率影响的模型。根据意向 (SP) 调研结果, 利用非集计模型求解参数的原理, 利用 SAS 软件标定各变量参数如表 3。

表 3 考虑费率、付费方式、货物类型、中长途性质和车货重量的参数标定结果

Tab. 3 Calibration result of parameters including toll rate, mode of pay, sort of freight, middle or long distance and weight of vehicle and freight

变量	费率 (x_{in})	付费 方式 (P)	货物 类型 (F)	中长 途性 (d)	车货重量			常数 项(θ)
					w_1	w_2	w_3	
参数	- 14	- 0.13	1.14	- 0.22	- 0.90	- 0.84	- 0.94	- 2.64
标准偏差	0.35	0.11	0.09	0.21	0.10	0.08	0.10	0.19
T 检验值	- 39.96	- 1.20	13.24	- 1.04	- 9.26	- 10.71	- 9.89	- 14.13
LogLikelihood	- 2 552							
Likelihood	3 381.1							
Ratio (R)								

根据 T 检验结果, P 和 d 变量检验值的绝对值均小于 1.96, 所以可以认为在 95 % 的可靠性水平上 P 变量和 d 变量不对选择概率产生影响, 所以在效用函数中去掉这两个变量。

调查结果表明: 单位报销的一般货物出行者不改变出行时间的主要因素是“单位报销”这种付费方式决定的, 而这种属性出行者在调查样本中所占比例很少, 因此“付费方式”这一变量对总体出行者的选择概率影响很小。分析原因, 主要随市场经济发展, 很多单位报销通行费的货运企业都同驾驶员的经济利益挂钩, 通常将驾驶员出差的食宿费、通行费等控制在某水平, 实行多留少补的方法, 使驾驶员能够节约费用。

通过以上分析, 去掉“付费方式”、“长中途”两个变量, 剩余“费率”、“货物类型”、“车货重量 (10 t 以下、10~40 t、40 t 以上)”为变量的出行时间选择模型, 出行时间选择概率模型中效用函数的形式如下:

$$V_{低1n} = \theta_1 x_{1n} + \theta_2 F + \theta_3 w_1 + \theta_4 w_2 + \theta_5 w_3 + \theta, \quad (5)$$

$$V_{低2n} = \theta_1 x_{2n}, \quad (6)$$

式中, $V_{低1n}$ 为降低收费标准时第 n 类货车出行者改变出行时间的效用函数; $V_{低2n}$ 为降低收费标准时第 n 类货车出行者不改变出行时间的效用函数。

通过 SP 调查结果, 利用 SAS 软件参数标定结果如表 4。

表 4 考虑费率、货物类型和车货重量的模型参数标定结果

Tab. 4 Calibration Result of parameters including toll rate, sort of freight and weight of vehicle and freight

变量	费率 (x_{in})	货物类 型(F)	车货重量			常数项(θ)
			w_1	w_2	w_3	
参数	- 13.99	1.14	- 0.97	- 0.91	- 1.01	- 2.88
标准偏差	0.35	0.09	0.08	0.05	0.08	0.09
T 检验值	- 39.96	13.18	- 11.82	- 17.33	- 13.07	- 32.88
LogLikelihood	- 2 553					
Likelihood	3 378.7					
Ratio (R)						

各参数的 T 检验值均大于 1.96, 所以有 95 % 的把握认为各变量是对选择概率产生影响的因素。

所以效用函数为:

$$V_{低1n} = - 13.99 x_{1n} + 1.14 F - 0.97 w_1 - 0.91 w_2 - 1.01 w_3 - 2.88, \quad (7)$$

$$V_{低2n} = - 13.99 x_{2n}. \quad (8)$$

从效用函数式 (7)、式 (8) 中可以看出, 收费费率参数的估计值为负数, 这表明随着费率的增加, 选择方案的效用值变小; 货物类型参数的估计值为正数, 表明为一般货物时, 改变出行时的效用值增大; 车货重量参数的估计值为负数, 改变出行时间时的效用值减小, 在 10 t 以下、10~40 t、40 t 以上这 3 个变量中, 因 10~40 t 出行者所占比重较大, 因而车货重量这一因素对出行者

的效用影响更小,因此其系数绝对值较小;而对 10 t 和 40 t 以上的出行者,重量大的对效用影响更敏感,因此 40 t 以上的系数绝对值更大。在效用函数的 3 个变量的参数估计值中,收费费率的绝对值最大,付费方式次之,车货重量最小,这表明收费费率对效用值影响最大,车货重量影响最小,这与实际的逻辑分析符合。

以上出行时间选择模型是根据单个出行者的属性进行分析的离散选择模型,为得到高速公路货车出行者宏观的出行选择特性,根据出行者属性的不同进行分类分析,各类货车出行者出行时间选择模型如下。

第 n 类高峰时段货车出行者改变出行时间的选择概率为:

$$P_{\text{低}1n} = \exp(-13.99x_{1n} + 1.14F - 0.97w_1 - 0.91w_2 - 1.01w_3 - 2.88) / [\exp(-13.99x_{1n} + 1.14F - 0.97w_1 - 0.91w_2 - 1.01w_3 - 2.88) + \exp(-13.99x_{2n})] \quad (9)$$

所有高峰时段货车出行者改变出行时间的选择概率为:

$$P_{\text{低}1} = \lambda_n P_{1n} \quad (10)$$

式中, λ_n 为各类货车出行者所占比例。

5.2 出行时间选择模型 2

模型 2 是将 24 h 划分为高峰、非高峰两个时段,高峰时段提高收费标准,非高峰时段保持现收费标准时,根据意向调查结果建立的货车出行者出行时间选择模型。

模型 2 的本质是建立提高收费标准对出行选择概率影响的模型。根据 SP 调查结果,利用 SAS 软件标定各变量参数结果如表 5。

表 5 模型 2 考虑费率、付费方式、货物种类、中长途性质和车货重量的参数标定结果

Tab.5 Calibration result of parameters including toll rate, mode of pay, sort of freight, middle or long distance and weight of vehicle and freight in Model 2

变量	费率 (x_{in})	付费 方式 (P)	货物 类型 (F)	中长途 性质 (d)	车货重量			常数 项(θ)
					w_1	w_2	w_3	
参数	-16.9	-0.09	1.18	-0.28	-0.84	-0.79	-0.9	-2.47
标准偏差	0.44	0.11	0.09	0.22	0.10	0.08	0.10	0.2
T 检验值	-38.32	-0.83	13.12	-1.25	-8.21	-9.61	-8.96	-2.53
LogLikelihood	-2 279							
Likelihood	2 982.7							
Ratio (R)								

根据 T 检验结果, P 和 d 变量检验值的绝对值均小于 1.96,所以可以认为在 95% 的可靠性水平上 P 变量和 d 变量不对选择概率产生影响,所以在效用函

数中去掉这两个变量。

去掉“付费方式”、“中长途”两个变量,建立以“费率”、“货物类型”、“车货重量(10 t 以下、10~40 t、40 t 以上)”为变量的出行选择模型,出行选择概率模型中效用函数的形式如下:

$$V_{\text{高}1n} = \theta_1 x_{1n} + \theta_2 F + \theta_3 w_1 + \theta_4 w_2 + \theta_5 w_3 + \theta \quad (11)$$

$$V_{\text{高}2n} = \theta_1 x_{2n} \quad (12)$$

式中, $V_{\text{高}1n}$ 为提高收费标准时第 n 类货车出行者改变出行时间的效用函数; $V_{\text{高}2n}$ 为提高收费标准时第 n 类货车出行者不改变出行时间的效用函数。

通过 SP 调查,利用 SAS 软件参数标定结果如表 6。

表 6 模型 2 考虑费率、货物类型、车货重量的模型参数标定结果

Tab.6 Calibration result of parameters including toll rate, sort of freight, weight of vehicle and cargos in Model 2

变量	费率 (x_{in})	货物类 型(F)	车货重量			常数项 (θ)
			w_1	w_2	w_3	
参数	-16.89	1.17	-0.91	-0.87	-0.97	-2.74
标准偏差	0.44	0.09	0.09	0.06	0.08	0.09
T 检验值	-38.32	13.07	-10.57	-15.78	-11.99	-30.11
LogLikelihood	-2 280					
Likelihood	2 980.6					
Ratio (R)						

各参数的 T 检验值均大于 1.96, 所以有 95% 的把握认为各变量是对选择概率产生影响的因素。

所以效用函数为:

$$V_{\text{高}1n} = -16.89x_{1n} + 1.17F - 0.91w_1 - 0.87w_2 - 0.97w_3 - 2.74 \quad (13)$$

$$V_{\text{高}2n} = -16.89x_{2n} \quad (14)$$

从效用函数式 (13)、式 (14) 中可以看出, 收费费率参数的估计值为负数, 这表明随着费率的增加, 选择方案的效用值变小; 货物类型参数的估计值为正数, 表明为一般货物时, 改变出行时的效用值增大; 车货重量参数的估计值为负数, 改变出行时间时的效用值减小。在效用函数的 3 个变量的参数估计值中, 收费费率的绝对值最大, 付费方式次之, 车货重量最小, 这表明收费费率对效用值影响最大, 车货重量影响最小, 这与实际的逻辑分析符合。

将提高收费标准时得到的模型 (13)、(14) 同降低收费标准时得到的模型 (7)、(8) 相比, 各参数的正负号及绝对值变化相似, 只是提高收费标准时各参数系数的绝对值更大, 表明出行者对提高收费标准时

反映更为敏感。

第 n 类高峰时段货车出行者改变出行时间的概率为:

$$P_{\text{高}1n} = [\exp(-16.89x_{1n} + 1.17F - 0.91w_1 - 0.87w_2 - 0.97w_3 - 2.74)] / -16.89x_{2n} \quad (15)$$

高峰时段提高收费标准时, 所有高峰时段货车出行者改变出行时间的概率为:

$$P_{\text{高}1} = \lambda_n P_{\text{高}1n} \quad (16)$$

6 结论

本文主要针对单条高速公路进行可变收费方案的时段划分, 并在意向调查的基础上得出货车出行者出行选择模型。随着高速公路的发展, 当联网收费形成一个很大的网络时, 可变收费对整个系统的影响将更复杂, 应对其进行更深入的研究。可变收费是一种有效的交通需求管理方法, 为在实际中得到应用, 政府部门应该在政策上进行引导, 对广大群众进行宣传教育, 使其支持可变收费的实施。

参考文献:

References:

- [1] PIGOU. The Economics of Welfare [M]. London: Macmillan, 1920: 112 - 115.
- [2] KNIGHT F H. Some Fallacies in the Interpretation of Social Cost [J]. Quarterly Journal of Economics, 1924, 28A: 582 - 606.
- [3] 刘伟铭, 王哲人, 郑西涛, 等. 高速公路收费系统理论与方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
LIU Wei-ming, WANG Zhe-ren, ZHENG Xi-tao, et al. Theory and Method of Expressway Toll Collection System [M]. Beijing: China Communications Press, 2000.
- [4] LAM T C, SMALL K A. The Value of Time and Reliability: Measurement from a Value Pricing Experiment [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2001, 37 (2 - 3): 231-251.
- [5] SULLIVAN E. Continuation Study to Evaluate the Impacts of the SR91 Value-priced Express Lanes [R]. San Luis Obispo, CA: Cal Poly State University, 2000.
- [6] YAN J, SMALL K A, SULLIVAN E C. Choice Models of Route, Occupancy, and Time-of-Day with Value Priced Tolls [J]. Transportation Research Record, 2002, 1 812: 69 - 77.
- [7] KAWAMURA K. Perceived Value of Time for Truck Operators [J]. Transportation Research Record, 2000, 1 725: 31 - 36.
- [8] KAZIMI C, BROWNSTONE D, COLOB T F, et al. Willingness-to-pay to Reduce Commute Time and Its Variance Evidence from the San Diego I - 15 Congestion Pricing Project [C] // The 79th Annual Meeting Transportation Research Board. Washington D C: Transportation Research Board, 2000.
- [9] BURRIS M W, PENDYALA R M. Discrete Choice Models of Traveler Participation in Differential Time of Day Pricing Programs [J]. Transport Policy, 2002, 9 (3): 241 - 251.
- [10] 江苏省交通厅公路局. 2002 年江苏省干线交通量调查资料汇编 [G]. 南京: 江苏省交通厅公路局, 2003.
Highway Bureau of Communications Department of Jiangsu Province. Traffic Volumes of Trunk Roads in Jiangsu Province in 2002 [G]. Nanjing: Highway Bureau of Communications Department of Jiangsu Province, 2003.
- [11] 江苏省交通厅公路局. 2003 年江苏省干线交通量调查资料汇编 [G]. 南京: 江苏省交通厅公路局, 2004.
Highway Bureau of Communications Department of Jiangsu Province. Traffic Volumes of Trunk Roads in Jiangsu Province in 2003 [G]. Nanjing: Highway Bureau of Communications Department of Jiangsu Province, 2004.
- [12] 江苏省交通厅公路局. 2004 年江苏省干线交通量调查资料汇编 [G]. 南京: 江苏省交通厅公路局, 2005.
Highway Bureau of Communications Department of Jiangsu Province. Traffic Volumes of Trunk Roads in Jiangsu Province in 2004 [G]. Nanjing: Highway Bureau of Communications Department of Jiangsu Province, 2005.
- [13] 关宏志. 非集计模型 - 交通行为分析工具 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
GUAN Hong-zhi. Disaggregate Model: A Tool of Traffic Behavior Analysis [M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [14] MANSKI C F, MCFADDEN D. Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications [M]. Cambridge: the MIT Press, 1981.
- [15] 任英伟, 陆健, 项乔君, 等. 高速公路可变收费标准模型研究 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (10): 124 - 128.
REN Ying-wei, LU Jian, XIANG Qiao-jun, et al. Study on Variable Pricing Model for Expressway [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (10): 124 - 128.