

文章编号: 1009-6744 (2007) 05-0090-06

系统工程理论与方法

SP 调查在交通方式选择模型中的应用

王 方, 陈金川, 张德欣

(北京交通发展研究中心, 北京 100055)

摘要: 国外已经广泛使用的 SP 调查方法在我国交通领域还鲜有应用, 因此, 首先介绍了交通 SP(Stated Preference)调查和 RP(Revealed Preference)调查的不同, 并阐述了前者相对于后者的优越性。交通方式选择模型中, 采用 RP 调查标定时间价值参数, 通常会由于数据相关性较强而产生误差, 进而影响到整个四阶段模型的精度。在构架交通方式选择模型的基础上, 指出行为时间价值参数的重要性, 并分析了其不易准确衡量的原因。在此基础上, 以北京市市域交通模型为例, 利用 SP 调查以较低的成本获取足够的数据, 从而准确地标定了时间价值参数, 提高了模型的精度。

关键词: SP 调查; 交通模型; 交通方式选择; 行为时间价值

中图分类号: U491.11

文献标志码: A

The Application of Stated Preference Survey on Traffic Mode Split Model

WANG Fang, CHEN Jin-chuan, ZHANG De-xin

(Beijing Transportation Research Center, Beijing 100055, China)

Abstract: SP survey is very popular in transportation research in countries except of China now. This paper gives a general description of the different concepts of RP and SP survey firstly. Due to the relativity between RP survey data, it is very difficult to calibrate the value of time in mode split model. This paper takes Beijing SP survey for an example, analyses the reason why the value of time is not easy to calibrate, and adopts SP survey to get enough data. Finally, the authors accurately calibrate parameters of the value of time and the accuracy of the model has been improved.

Key words: SP survey; traffic model; mode split; behavior value of time

CLC number: U491.11

Document code: A

0 引 言

建立传统的交通行为模型, 一般要针对某些已经实施的政策或者已经存在的设施进行相关调查, 请被调查者根据他们的实际出行行为填写调查表

或问卷, 在此调查结果基础上建立相关的概率模型或其他模型。通常采用的这种调查方法被称为 RP 调查(Revealed Preference Survey)方法。由于 RP 调查能得到已经发生了的或者是可观察到的行为数

收稿日期: 2007-05-16

基金项目: 国家重点基础研究计划项目(2006CB705500)。

作者简介: 王方(1980-), 男, 河南人, 北京交通发展研究中心工程师, 硕士, 主要研究方向为交通模型及交通战

略。E-mail: wangf@bjtrc.org.cn

万方数据

据,用这种方法建立的交通行为模型的参数是经过实际数据标定的,因而具有较高的可靠性。但是,RP 数据也存在着很多无法克服的三个缺陷:

① 变量之间存在一定程度的相关性,使得调查内容中冗余信息过多,增加了调查的工作量,也不利于最大限度降低被调查者的反感情绪;

② 变量选择范围有限,如地铁的票价只存在 2 元和 3 元等;

③ 目前一些选择行为、特性以及服务可能在现实中并不存在(新建的地铁、BRT 线路等)。

为了克服上述缺陷,提出了 SP 调查(Stated Preference Survey)方法^[1],SP 调查是为获得“人们对假定条件下的多个选择方案所表现出来的主观偏好”而进行的意愿性调查。由于是在“假定条件下”,SP 调查可以虚拟更加广泛的选择方案供被调查者选择,从而弥补 RP 方法的后两个缺陷。采取一些特殊的数学方法设计交通 SP 调查表,如正交设计、均匀设计等方法,尽可能降低调查问卷中选择方案之间的相关性,从而克服 RP 调查的第一个缺陷。本文中采用 SP 调查方法搜集数据,标定行为时间价值参数,进而据此设计出合理实用的交通方式选择模型。

1 交通方式选择模型

1.1 交通方式选择模型框架

交通需求预测的目的是为交通设施的规划设计或交通政策措施的制定提供定量的依据,而道路基础设施直接承载对象则是各种交通工具,而不是人和货物。不同的交通工具承载率不同,就同一批人员出行量而言,对交通工具的不同选择结果将会导致不同的车辆出行量^[2]。交通方式选择即交通工具的分配与选择,就是把以人为单位的出行量转化为以交通工具为单位的出行量。交通方式选择模型是经典四阶段交通模型中的第三阶段,它的准确程度直接影响到出行者的出行效率、服务于交通的城市空间数量以及可供出行者选择的范围,目前已成为交通规划和政策制定中最重要的影响因素。

由于 Logit 模型数学形式简洁,计算简单,物理意义容易理解,再加上选择概率在 0 与 1 之间,各选择肢的选择概率总和为 1 等合理性,在以往的建模过程中得到了广泛应用。本文中,为了满足北京

市第一层次战略模型的应用,根据个人进行交通方式选择的行为决策机理,构造交通方式选择 Logit 模型如下:

$$P(i) = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j \in CH_i} \exp(V_j)}$$

式中 $P(i)$ ——OD 矩阵中某个 OD 对之间第 i 个交通方式的概率;

V_i ——第 i 个交通方式的效用;

CH_i ——交通方式的选择集。

出行者在选择交通方式的过程中,选择的目标是追求“效用”最大化,强调作为行为决策单位的个体在一个可以选择的、选择肢又是相互独立的集合中,选择效用最大的选择肢。四阶段交通模型中,各小区 OD 组之间的方式选择同样遵循这一规律^[3]。此时,根据各交通方式在不同小区对之间效用不同,以效用最大化为目标,将出行的人或货物分担到各种交通方式上。由于各小区之间的空间道路连接性以及所需费用状况不同,效用函数多采用小区间的综合成本表示:

$$V_i = \beta + \partial \cdot GC_i$$

1.2 关键参数——行为时间价值

对于每一个出行者来说,其出行过程所耗费的成本不仅仅是可见的费用,还有时间。在经济学领域里,时间具体到一项活动中是有价值的,出行者所消耗的时间也存在着一定的价值,这就是所谓的时间价值(VOT)。交通方式选择模型中所采用的时间价值是出行者选择某种出行行为而自然表现出来的价值,即行为时间价值(behavioral value of time)。行为时间价值的计算依据是出行者的出行选择行为,其结论用于分析、预测出行者出行决策以及由此形成的客运量。

经典的四阶段模型中,时间矩阵和费用矩阵均属于出行成本范畴,各交通方式的综合成本(GC)除了费用成本外,还应包括出行所消耗的时间成本。为了使时间矩阵和费用矩阵相统一,研究人员可通过行为时间价值(VOT)将费用成本转化为相应的时间。即

$$GC_i = t_i + \frac{1}{VOT_i} \cdot \gamma_i$$

式中 GC_i ——第 i 种交通方式的综合成本,以时间表示;

t_i ——第 i 种交通方式所用的时间(可能细化为运行时间、等车时间、步行时间等);

γ_i ——第 i 种交通方式所需费用(可能包括运行费用、停车费用、过路过桥费等)。

1.3 VOT 不易准确恒量的分析

时间价值是指由于节约时间的推移和合理使用而产生的效益增值量,以及由于时间的非生产性消耗而造成的效益损失量的货币表现,其大小难以用市场价格来衡量和估价,但常常依据人们对价值的直观感觉来评估。通常情况下,大多数人都认为:个人所节约行为时间价值的大小,与他由于时间节约而愿意支付的费用相等。时间作为一种稀缺的经济资源,它的节约和合理使用必须是完全等同的,这样才能真正体现时间的价值。不同条件下、不同出行者会对节约时间的价值产生不同的判断,即使是同一消费者对同一类型和数量的时间节约产生的价值,也会因时、因地而异。目前,虽然发达国家对时间价值的研究更多一些,但仍无相对一致的计算方法,这不仅是因为时间价值计算中存在较多的不确定因素,也因为许多经过精心设计可以较精确地计算时间价值的算法,因为缺乏数据或数据中影响因素相关性较强而难以实施。

在研究具有实用价值的时间价值计算方法的过程中,关键在于协调时间价值计算中各因素的不确定性 with 数据可用性二者之间的关系。一般意义上的行为时间价值是指所研究地区范围内出行者群体的时间价值。尽管在研究或进行数据调查时可能采用的是逐个抽样调查的方式,但这种调查隐含的一个假定是大数定律,即抽查的个体代表着总体的统计规律。

2 基于 SP 调查的时间价值参数

2.1 SP 调查简介

SP 调查起源于经济学领域,主要基于人们追求经济理性化以及效用最大化的假设。SP 调查是指,为了获得“人们对假定条件下的多个方案所表现出来的主观偏好”而进行的意愿性调查。在 SP 调查中,以事先确定的属性(或因素)及其水平组成各种情境,再由这些情境构成备选方案,供受访者以评分、等级排序或离散选择的方式评估其对各选项的整体偏好。SP 调查最初作为一个市场研究工具,用

来了解消费者对于不同产品或服务的接受程度。20 世纪 70 年代末英国开始交通问题 SP 调查以后,美国、澳大利亚等也进行了相关调查。80 年代,研究人员从理论和实际两方面进行了更为深入的研究,1989 年《运输经济与政策学报》上出版了《运输领域的 SP 方法研究》专辑,使 SP 调查在交通领域得到进一步推广。SP 调查总体构架图如图 1 所示。

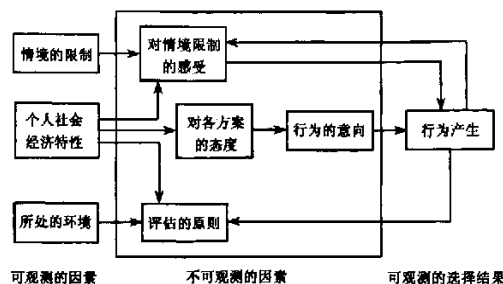


图 1 SP 调查原理构架图

Fig.1 The principles of SP survey

2.2 SP 如何能解决 VOT 的问题

行为时间价值是出行者对时间价值的行为反映,它直接影响着出行者对出行方式的选择。为了获取时间价值参数,通常直接询问出行者时间价值是徒劳的,因为大多数人对自已的时间价值难以做出直接判断。获取出行者行为时间价值主要有两种方法:一是通过既有的实际运营的统计数据(RP)来推算行为时间价值;二是通过特定调查表格(SP)对出行者出行行为进行意愿调查以推定其行为时间价值^[4]。

RP 方法中,其数据基础通常为居民出行调查,然而,居民出行调查数据虽然数据可靠性强,但由于现实中的出行时间和费用相关性较强,数据可用性差,由此得到的行为时间价值结果通常并不能反映真正的城市居民时间价值水平。采用 SP 调查,研究人员可以掌控一切影响受访者选择的变量,可以从中选取对总体均值有影响的、可计算的因素,忽略其他一些细小的、难以度量的因素,如仅考虑出行者的出行时间和费用等;在此基础上,利用数学原理设计出的多种 SP 调查情境去减少甚至消除时间和费用属性之间的相互依赖性,提升数据的利用效率。除此之外,SP 调查在同样的调查成本情况下,每个被访问者可提供出关于选择属性的多个答案(即同一变量在不同的水平条件下,给出不同

选择)时,这种调查大大提高了效率,节省了费用,并能为建立效用化数提供更充足的数据,解决以往数据量不足的问题。

3 SP 调查结果用于交通方式选择分析时的处理原则

尽管能够弥补 RP 调查的大多数缺陷,解决 RP 调查在以往标定时间价值参数,进而用于交通方式选择模型中存在的问题,SP 数据仍然承受着严重的不足:从受访者得到的多个数据可能与回答者的实际行动并不一致,从而使最终的行为时间价值产生一定的偏差。这就要求 SP 调查的实施不仅需要良好的调查方案设计,也需要严格训练调查员,有良好的质量保证。另一方面,在数据收集基础上,需要对其进行多方面的校核,以提高模型的精确度。数据处理过程必须坚持以下两个原则:

(1) 控制性原则。

SP 调查数据处理的首要原则,无论面对何种调查情境,受访者均不考虑选择变量的变化情况,而仅对某一种选择结果表现出特殊的偏好,则认为

这种选择结果对受访者具有控制性。此时的调查结果体现不出受访者在不同情境下对选择变量水平值的权衡(tradeoff),在数据处理过程中必须将其剔除。

(2) 一致性原则。

SP 调查数据处理的第二原则,任何一个受访者所作出的选择结果必须保证一致性。即:为了提高数据结果的精度,必须将受访者选择结果前后不一致,存在部分非逻辑结果的数据予以去除。

4 SP 调查在交通方式选择中的应用实例

北京市为了建立第一层次市域战略模型的需要,构建了传统的四阶段交通模型。在基础年交通方式选择阶段,采用多层 Logit 模型(Hierarchical Logit Model)。即针对不能直接使用多项 Logit 模型的选择问题,将选择肢按树状结构分层表示,在每一层中分别应用 Logit 模型解决问题。考虑交通方式选择主要受家庭是否有车情况以及出行目的影响,北京市域模型以不同出行目的和家庭类型将出行人员分为四类(见表 1)。

表 1 出行人员分类类型

Table 1 The type of trip

序号	类型	说明	
		出行目的类型	家庭类型
1	Home based CA&M	基于家的出行	可用小汽车和摩托车家庭
2	Home based NVA	基于家的出行	无可用小汽车和摩托车家庭
3	Non-home based CA&M	非基于家的出行	可用小汽车和摩托车家庭
4	Non-home based NVA	非基于家的出行	无可用小汽车和摩托车家庭

在此,我们仅以第一类人群(Home based CA&M)为例,介绍 SP 调查在其中的应用情况。有车家庭基于家的出行的交通方式选择模型分层如图 2 所示。

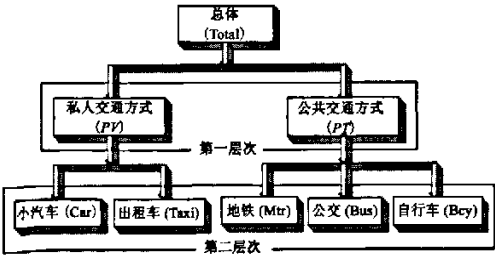


图 2 有车家庭基于家出行的交通方式选择模型分层图

Fig.2 Mode split model of home based CA&M

分层 Logit 模型中各交通方式所占比率:

$$\begin{aligned} P(\text{Car}) &= P(\text{Car} | PV) \cdot P(PV) \\ &= \frac{\exp(V_{\text{Car}})}{\exp(V_{\text{Car}}) + \exp(V_{\text{Taxi}})} \\ &\quad \cdot \frac{\exp(V_{PV})}{\exp(V_{PV}) + \exp(V_{PT})} \\ P(\text{Bcy}) &= P(\text{Bcy} | PT) \cdot P(PT) \\ &= \frac{\exp(V_{\text{Bcy}})}{\exp(V_{\text{Mtr}}) + \exp(V_{\text{Bus}}) + \exp(V_{\text{Bcy}})} \\ &\quad \cdot \frac{\exp(V_{PT})}{\exp(V_{PV}) + \exp(V_{PT})} \\ P(\text{Car}) &= P(\text{Car} | PV) \cdot P(PV) \\ &= \frac{\exp(V_{\text{Car}})}{\exp(V_{\text{Car}}) + \exp(V_{\text{Taxi}})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \cdot \frac{\exp(V_{PV})}{\exp(V_{PV}) + \exp(V_{PT})} \\ P(\text{Mtr}) &= P(\text{Mtr} | PT) \cdot P(PT) \\ &= \frac{\exp(V_{Mtr})}{\exp(V_{Mtr}) + \exp(V_{bus}) + \exp(V_{bcy})} \\ & \cdot \frac{\exp(V_{PT})}{\exp(V_{PV}) + \exp(V_{PT})} \\ P(\text{Bus}) &= P(\text{Bus} | PT) \cdot P(PT) \\ &= \frac{\exp(V_{Bus})}{\exp(V_{Mtr}) + \exp(V_{bus}) + \exp(V_{bcy})} \\ & \cdot \frac{\exp(V_{PT})}{\exp(V_{PV}) + \exp(V_{PT})} \end{aligned}$$

效用函数:

$$\begin{aligned} V_{PV} &= \partial \cdot \min(GC_{Car}, GC_{Taxi}) + \beta \\ V_{PT} &= \partial \cdot (P(\text{Mtr} | PT) \cdot GC_{Mtr} + P(\text{Bus} | PT) \\ & \quad \cdot GC_{Bus} + P(\text{Bcy} | PT) \cdot GC_{Bcy}) \\ V_{Car} &= \partial_{PV} \cdot GC_{Car} \\ V_{Taxi} &= \partial_{PV} \cdot GC_{Taxi} + \beta_1 \\ V_{Mtr} &= \partial_{PT} \cdot GC_{Mtr} + a \times transfer_{Mtr-Mtr} \\ & \quad + b \times transfer_{Bus-Mtr} + \beta_2 \\ V_{Bus} &= \partial_{PT} \cdot GC_{Bus} + c \times transfer_{Bus-Bus} \\ V_{Bcy} &= \partial_{PT} \cdot GC_{Bcy} + \beta_3 \end{aligned}$$

表 2 小汽车使用者 SP 调查表

Table 2 SP survey table of car user

小汽车				公共交通 (地铁或公交车)		
总时间	步行时间	总费用	停车费用/过路过桥费	总时间	步行时间/等车时间	票价
29	7	¥21	¥7	54	(13,7)	¥1
26	7	¥8	¥2	35	(13,7)	¥5
17	7	¥13	¥7	46	(5,7)	¥7
20	7	¥17	¥5	50	(15,7)	¥8
32	7	¥23	¥12	38	(10,7)	¥7
20	7	¥19	¥10	30	(8,7)	¥1
23	7	¥14	¥0	33	(3,7)	¥4
26	7	¥22	¥10	57	(3,7)	¥5
32	7	¥13	¥5	38	(13,7)	¥2
23	7	¥20	¥12	63	(15,7)	¥4
29	7	¥9	¥0	56	(8,7)	¥8
17	7	¥13	¥2	64	(10,7)	¥2

在 SP 调查的基础上,去除不合理数据,进而构建交通行为模型,并对调查结果进行处理. 据此可以得到各类出行者的时间价值乘坐各种交通工具的出行人员时间价值如表 3 所示.

上述各式中: GC 为小区 OD 对之间的综合成本矩阵,通过时间价值(VOT)将时间矩阵和费用矩阵统一为时间; $transfer$ 表示公共交通之间的换乘次数; $\partial, \partial_{PV}, \partial_{PT}, \beta, \beta_1, \beta_2, a, b, c$ 为待标定参数.

为了标定交通方式选择模型中的时间价值参数,北京交通发展研究中心于 2004 年 9 月开展了针对北京市居民出行的时间价值的 SP 调查. 调查设计阶段,首先根据个人特性、出行目的、交通方式将调查对象予以详细分类,分别给他们提供不同的交通方式,供其选择,据此研究其各自群体的时间价值. 如,对于上下班出行的小汽车使用者来说,提供小汽车和公共交通方式(地铁或公交车). 根据这种分类方法确定出的每一种群体来说,他们在出行过程中选择一种特定的交通方式时,通常需要考虑可供其选择的各交通方式的不同属性,包括步行时间(达到/离开公交站点)、等车时间、车内时间(运行时间)、交通方式间的换乘时间以及出行过程中所需的各种费用. 将这些费用和时间通过均匀设计方法,设计出 12 个情境如下.

其对于上下班出行的小汽车使用者调查情境设计如表 2 所示.

表 3 乘坐各类交通工具人员的行为时间价值

Table 3 The value of time of different mode

乘坐交通工具	行为时间价值(元/小时)
小汽车	30.95
出租车	19.75
地铁	11.67
公交车	5.99

将上述时间价值处理结果带入交通方式选择参数(见表 4).
模型,根据极大似然估计法,即可估计出其它所需

表 4 模型参数标定结果
Table 4 The result of model calibration

θ	θ_{PV}	θ_{PT}	a	b	c	β	β_1	β_2	β_3
-0.015	-0.065	-0.113	-0.225	-0.312	-0.994	2.72	-0.7	-1.053	-3.2

通过交通方式选择模型的计算,得到基础年北京
市域各 OD 小区之间拥有小汽车家庭基于家的
出行人员的交通方式划分结果(见表 5).

表 5 拥有小汽车家庭出行人员方式分担结果
Table 5 The result of home based CA&M mode split

小汽车	出租车	地铁	公交	自行车
79%	9%	1%	4%	7%

5 结束语

(1) 应用 SP 调查方法,可以根据行为时间价值自身的特点自主地选择调查对象的影响因素(仅考虑时间和费用),并在调查表设计过程中用数学手段保证各因素之间相互独立性,并用较低的调查成本,获得在一些假设的时间和费用条件下人们对交通方式偏好的变化,有效地弥补了以往采用 RP 调查获取时间价值的不足和缺陷.

(2) 通过北京市交通方式选择模型的实例研究发现,在建立交通方式选择模型时,将 SP 调查应用于交通方式选择模型中,模型的标定过程相对简化,结果也更为合理,也证明了 SP 在交通方式选择中的适用性.

参考文献:

[1] 王方,陈金川,陈艳艳.交通 SP 调查的均匀设计方法[J].城市交通,2005,3(3):69-72.[WANG Fang,CHEN Jin-chuan,CHEN Yan-yan.Uniformity design method for SP survey in transportation[J].Urban Transport of China,2005,3(3):69-72.]

[2] 王春才,赵坚.城市交通方式转化的规律及经济学解释[J].交通运输系统工程与信息,2006,6(3):113-116.[WANG Chun-cai,ZHAO Jian.The law and the economic explanation of the transformation of urban traffic mode[J].Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2006,6(3):113-116.]

[3] 焦朋朋,陆化普.基于意向调查数据的非集计模型研究[J].公路交通科技,2005,22(6):114-116.[JIAO Peng-peng,LU Hua-pu.Study on disaggregate model based on stated preference data[J].Journal of Highway and Transportation Research and Development,2005,22(6):114-116.]

[4] 胡郁葱,徐建闽,等.SP 调查方法在车辆拥有率调查中的应用[J].公路交通科技,2001,18(2):86-89.[HU Yu-cong,XU jian-min,et al.Application of SP survey method in car ownership study[J].Journal of Highway and Transportation Research and Development,2001,18(2):86-89.]