

【文章编号】1672-5328(2005)03-0069-04

## 交通 SP 调查的均匀设计方法

王方<sup>1</sup> 陈金川<sup>2</sup> 陈艳艳<sup>1</sup>

(1. 北京工业大学, 北京 100022; 2. 北京交通发展研究中心, 北京 100053)

**【摘要】**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SP调查情境设计是实施该调查方法、建立交通模型成败的关键环节。在分析了以往各种设计方法局限性的基础上, 将均匀设计引入交通SP调查情境设计中, 比较成功地解决了调查设计者与受访者之间关于调查问题数量的矛盾, 改进了以往正交设计的不足, 在保证数据建模精度的同时, 有效地减少了调查中访问问题的数量, 提高了工作效率。最后, 给出了调查居民出行时间价值的应用实例。

**【关键词】**交通调查; RP调查; SP调查; 全面设计; 正交设计; 均匀设计

**【中图分类号】** U491.1<sup>+</sup>1

**【文献标识码】** A

### Uniformity Design Method for SP Survey in Transportation

WANG Fang<sup>1</sup>, CHEN Jinchuan<sup>2</sup>, CHEN Yanyan<sup>1</sup>

(1. Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

2. Beijing Transport Research Center, Beijing 100053, China)

**Abstract:** This paper gives a general description of the different concept of RP and SP survey firstly. Experimental design is a key process for SP survey work and for transportation modeling. Based on the different design methods, this paper introduces uniform design into SP survey, dissolving the conflict between the designers and interviewees, improving the orthogonal design, ensuring the precision of data model as well as reducing the requiring questions in the survey, which make work more efficient. In the end, a survey example about value of trip time is given.

**Keywords:** transportation survey; RP survey; SP survey; full-scale design; orthogonal design; uniform design

## 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, 需要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

无法克服的3个缺陷:

① 变量之间存在一定程度的相关性, 使得调查内容冗余信息过多, 增加了调查的工作量, 不利于最大限度地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)<sup>[1]</sup>方法, 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

收稿日期: 2004-12-21

作者简介: 王方(1980—), 男, 北京工业大学硕士研究生。E-mail: wangf@bjtrc.org.cn

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。

通常在交通SP调查表设计阶段面临一种矛盾。即一方面为得到尽量全面的调查资料，调查组织者希望被调查者回答尽量多的问题；另一方面，为保证调查过程得到被调查者的全面配合而不引起其反感心理，又希望合理地、尽量少地设计调查问题。本文将均匀设计引入交通SP调查设计中，比较成功地解决了这一矛盾。

## 1 SP调查简介

SP调查起源于经济学领域，作为一个市场研究工具来了解消费者对于不同产品或服务的接受程度。在20世纪70年代末，英国开始尝试将SP调查引入到交通问题研究之后，美国、澳大利亚等也进行了类似的调查研究。直到1983年，Louviere和Hensher将SP调查运用到城市居民的交通方式选择研究后，SP调查才开始在交通领域广泛应用。几十年的实践证明，SP调查方法已越来越成为交通行为研究的一种重要工具。目前已应用于出行方式选择研究、泊车选择以及路线选择等诸多方面<sup>[2]</sup>。

在交通SP调查中，根据实际问题和专业经验，确定需要调查的项目(选择变量)，并根据实际问题设定各项的多种可能取值(水平)。例如，影响交通方式的“交通费用”和“耗费的时间”等选择变量，“交通费用”存在1元、2元、3元3种水平。将选择变量及其水平组成各种情境，再由这些情境组成备选方案，让被调查者以评分、等级排序或离散选择的方式评估、判断其对各备选方案的整体偏好。通过这种方法，能够基本掌握各变量对被调查者所做选择产生影响的重要程度。因此，交通SP调查具有更加灵活的特性，能处理多个变量。特别是在同样的调查成本情况下，每个被调查者提供出关于选择变量的多个答案(即同一变量在不同的水平条件下，给出不同选择)时，这种调查能大大提高效率、节省费用，并能为建立效用函数提供更充足的数据(Bradley, 1988)。

在此过程中，常利用数学原理设计SP调查表来减少甚至消除各变量之间的相互依赖性，以得出合理

的调查问卷。

在保证一定精度的前提下，最大限度地精简调查表中被调查者的判断次数，提高交通SP调查的工作效率和结果准确程度，进而保证模型的精度，成为交通SP调查表设计时最为关心的问题。

## 2 传统的调查情境设计方法

调查数据是否精确、是否有利于建立交通行为模型，主要取决于交通SP调查情境的设计。在设计过程中存在着矛盾，为解决这一矛盾，在设计中通常采用几种试验设计方法，主要有全面设计和正交设计两种。

### 2.1 全面设计

全面设计是将每一个调查项目(变量)的各种可能取值(水平)做全组合，就每一个组合让被调查者做判断。例如，在一项调查中若有 $m$ 个变量，它们各有 $l_1, l_2, \dots, l_m$ 个水平，则全面设计要求被调查者做 $l_1 \times l_2 \times \dots \times l_m$ 次判断。这种设计方法的优点是可以通过调查可以获得全面的数据结果，结论也比较准确；缺点是被调查者判断次数过多，并且存在很多无谓的重复。因此，在交通SP问卷调查中一般不会采用全面设计的方法。

### 2.2 正交设计

20世纪60年代，日本统计学家田口玄一将正交设计表格化，使得正交设计的应用进一步简化。正交设计最主要的特点是各试验点在试验范围内“均匀分散、整齐可比”。“均匀分散”使试验点均衡地分布在试验范围内，让每个试验点都有充分的代表性；“整齐可比”则使试验结果的分析十分方便、易于估计各变量的主效应和部分交互效应，从而可以分析各变量对指标的影响大小和变化规律。

对于交通SP调查来说，正交设计作为一种强有力的调查表设计方法，在以往的研究中大量使用，但也存在不可忽视的局限性。即各调查项目的水平数(可能取值)不宜过多，否则难于控制试验次数(即调查问题数)。在正交设计中随着水平数的增加，调查问题总数呈指数倍增加。例如，在一项调查中有 $s$ 个变量，每个变量各有 $q$ 水平，调查表采用正交设计则至少要作 $q^2$ 次调查问题。在交通领域，影响交通行为选择结果的因素众多。若 $q = 6$ 时， $q^2 = 36$ ，对大多

数交通SP调查问卷来说,要求被调查者做36次以上的判断基本上不太现实。传统的处理方法是将这些调查问题等分成不同的调查问卷,以访问不同的被调查者,但这样处理的结果也使数据的精度难以保证。

在交通SP调查中,全面设计显然不适合,而正交设计仅对于2~3个水平的SP调查最为有效,对于水平数较多的交通SP调查来说,正交设计并不适用。因此,必须寻找更为有效的方法来满足交通SP调查表设计的需要。

### 3 交通SP调查的均匀设计方法

#### 3.1 均匀设计方法原理

均匀设计方法<sup>[3]</sup>为我国学者方开泰与王元教授于1978年所开创,是在正交设计基本思想的基础上发展而来的。它同正交设计方法的主要区别在于:正交设计是为了满足其“整齐可比”的特点,试验点并没有做到充分“均匀分散”,为了达到“整齐可比”,试验点的数目必定较多;在均匀设计中,不考虑试验点“整齐可比”的特点,只是让试验点在试验范围内充分“均匀分散”。因此,所需要的试验点数目较少,能很好地弥补正交设计的不足。

均匀设计和正交设计都是依据数学原理从大量的试验点中挑选适量的具有代表性、典型性的试验点,前者试验次数较少,数据的代表性较强。其数据处理工作虽然不如正交设计那样可以直观分析,但借助于电脑的回归分析,这已不成为问题。在实际应用中对于水平数相同的多变量问题,通常可利用制作好的规格化表——均匀表来设计试验方案。当各个因素的水平数不同时,还可以采用拟水平法等方法进行优化设计。

为了最大限度地降低被调查者回答的问题数目,并保证建立交通行为模型数据的精确度,本文将均匀设计方法引入交通SP调查。例如,对于一个6因素6水平的交通SP调查,需要采用均匀设计规格化表<sup>[4]</sup>,见表1。

从表1中可以看出,在均匀设计中布点方式存在如下特点:①每个变量的每个水平做一次且仅做一次试验,即可达到所需的精度;②任意两个变量的水平值点在平面的格子点上,每行每列有且仅有一个试验点;③每个均匀表均附带一个设计使用表;④当变量的水平数增加时,最低判断次数随水平数量增加,而正交设计随水平数量平方增加。如当水平数从6水平

增加到7水平时,均匀设计中最低试验次数从6增加到7;而在正交设计中,试验次数按水平数平方的增加从36增加到49。

特点①和②反映了均匀设计试验安排的“均衡性”,即对每个变量及其每个水平一视同仁。特点③是由均匀设计的自身特性决定的,它说明在调查表设计中,根据刻划均匀度的偏差,选取均匀度最好的列。特点④则通过和传统的正交设计对比,表明均匀设计在多变量、多水平的交通SP调查中更便于操作和使用。

#### 3.2 设计实例

在城市交通近期管理和远期规划工作中,通常需要了解城市居民交通工具的使用情况和规律,这时,合理和正确估计居民出行过程中的时间价值就非常有必要。本文以对一名小汽车使用者的调查为例,应用前文所述方法设计了SP调查表。

被调查者通常采用的交通方式为小汽车,为研究对其他交通方式的选择偏好,这里给被调查者提供两种交通方式——小汽车和公共交通,以此为例示意设计过程。通常,在选择使用何种交通工具出行的过程中,影响选择的因素可概括为时间与费用。表2为小汽车和公共交通两种选择条件下时间和费用的构成细化情况。

首先,假设小汽车和公共交通的步行时间分别为5 min和7 min,参与交通SP调查表设计的变量共有6个:小汽车的运行时间、运行费用、停车费用,公共交通的运行时间、等车时间和票价。交通参与者出行过程中,在不同的费用和时间耗费条件下,其选择何种交通工具的行为也随之变化。为了深入研究时间和费用在被调查者选择交通方式时的互换关系,得到出行时间价值,对各因素均设计了6个水平,见表3。

根据均匀设计方法,采用表1中的6因素6水平的均匀设计表可以极大地简化调查设计表,各因素不同

表1 6因素6水平的均匀设计表

No.	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4	5	6
2	2	4	6	1	3	5
3	3	6	2	5	1	4
4	4	1	5	2	6	3
5	5	3	1	6	4	2
6	6	5	4	3	2	1

水平的各种组合情况如表4。

在实施调查过程中，将会对各种不同的时间、费用组合问题进行提问。例如，以第一种组合情况为例，向被调查者询问如下问题：目前存在小汽车与公共交通两种交通方式，其中小汽车方式需要运行时间16 min、步行时间5 min，共需耗时21 min，同时需要支付运行费用8元、停车费用6元，共14元；而公共交通方式需要运行时间33 min、等车时间7 min、步行

表2 小汽车和公共交通选择影响因素  
Tab.2 The factors for car vs public transport

小汽车			公共交通			票价
总时间	总费用		总时间	等车时间		
运行时间	步行时间	运行费用	运行时间	步行时间	等车时间	

表3 小汽车和公共交通选择时各影响因素水平值  
Tab.3 Values for factors and levels for car vs public transport

小汽车			公共交通		
运行时间 /min	运行费用 /元	停车费用 /元	运行时间 /min	等车时间 /min	票价 /元
16	6	0	15	3	1
20	8	3	21	5	2
24	10	6	27	7	3
28	12	9	33	9	4
32	14	12	39	11	5
36	16	15	45	13	6

表4 小汽车和公共交通SP调查组合情况  
Tab.4 Values for mode choice stated preference survey for car vs public transport

小汽车					
总时间 /min	运行时间 /min	步行时间 /min	总费用 /元	运行费用 /元	停车费用 /元
21	16	5	14	8	6
25	20	5	27	12	15
29	24	5	19	16	3
33	28	5	18	6	12
37	32	5	10	10	0
41	36	5	23	14	9
公共交通					
总时间 /min	运行时间 /min	步行时间 /min	等车时间 /min	票价 /元	
51	33	7	11	6	
29	15	7	7	5	
49	39	7	3	4	
41	21	7	13	3	
61	45	7	9	2	
39	27	7	5	1	

时间11 min，共51 min，同时支付票价6元，您会选择哪种交通方式出行？这样，需要询问被调查者6次即可完成一次调查。文献[4]中可以查找各种情况下所需的均匀设计表。

### 4 结论

1) 应用均匀设计方法能极大降低调查时的问题数目，而不降低调查精度。在本文实例中若考虑所有的时间、费用组合情况即采用全面设计，被调查者需要做46 656个判断，采用传统的正交设计判断次数也将多于36次。而均匀设计的调查问卷只需要被调查者回答6次问题就可以了解不同交通方式出行的时间价值，调查数据就可以满足实际应用的需要。

2) 应用均匀设计方法，可以根据实际调查问题自主地选择调查对象的影响因素，并在调查表设计过程中用数学手段保证各因素之间的相互独立性，有效地弥补了RP调查的不足和缺陷。

3) 通过均匀设计方法设计出的调查表，也有可能会出现某些不符合常理的组合状况，如小汽车花费的总时间比公共交通低的情况下，总费用也少于公共交通。在这种情况下，研究人员可通过调整时间和费用水平值避免在问卷调查表中出现类似情况。

总之，在交通SP调查中使用均匀设计的方法，影响因素水平数增加不会导致向被调查者的提问次数急剧增加。因此，对于多因素、多水平的交通SP调查来说尤其适用。另外，在调查中，由于试验次数较少，可以不必入户调查而采用更加简单的街头询问，这将大大提高交通调查的工作效率，并且极大地节省调查费用。

### 参考文献

- 1 Mohammad R. Tayyaran, M. Eng. Impacts of Telecommuting and Related Aspects of Intelligent Transportation Systems on Residential Location Choice: A Combined Revealed and Stated Preference Approach [D]. Ottawa: National Library of Canada, 2000
- 2 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
- 3 方开泰. 均匀设计. 应用数学学报[J]. 1994, 3(4): 73~82
- 4 方开泰, 等. 均匀设计表[EB/OL]. [2004-07-15] http://www.math.hkbu.edu.hk/UniformDesign/