

# 基于出行者心理因素的 公共交通方式选择模型研究

孟永平

厦门市城市规划设计研究院，福建，厦门 361004

**摘要：**传统的公交出行主要考虑出行者的实际出行时间，本文在浙江湖州的调查数据基础上，建立基于出行者心理因素的公共交通方式选择模型，运用 BL 模型既从整体上对比分析公交与私人交通方式之间的竞争关系，又分别对比分析公交与摩托车、电动车、自行车的竞争关系。由模型的预测结果可知通过改变出行环境可以大大提高公交分担率，效果十分显著；调查分析和模型的结果都证实了满足出行者心理需求对于提高公交吸引力的显著作用，为提高公交出行分担率和服务水平提供了参考。

**关键词：**心理需求；公共交通；BL 模型；服务水平

中图分类号：U412

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2013)01-0047-06

## Research of the Public Traffic Mode Choice Model Considering Passenger's Psychological Need

MENG Yong-ping

Institute of Xiamen City Planning, Xiamen 361004, Fujian, China

**Abstract:** The traditional public travel mainly considers actual travel time. Based on the data surveyed in the city of Huzhou, Zhejiang province, this paper established a public transit mode choice model by considering passenger's psychological need. Then a Binary Logit model was used to compare and analyze the public and personal travel modes, public traffic and motor, public traffic and electric motor, public traffic and bike separately. The model's forecast results show that the improvement of travel environment can enhance public traffic's proportion greatly. Both the analysis of survey and the results of the model prove that satisfying passenger's psychological need is very important to enhance public traffic's attraction. It provides good advice to improve the share of public traffic and level of service.

**Key words:** Psychological need, public traffic, Binary Logit model, levels of service

收稿日期：2012-03-08.

作者简介：孟永平(1980-)，男，硕士，湖南人，厦门市城市规划设计研究院工程师，注册城市规划师，注册咨询工程师。

## 0 前言

在利用公共交通方式出行的过程中,出行者一般会受到步行、候车、站立、换乘等条件的影响,这些条件的好坏直接关系到出行者的心理状态,最直接的影响是在出行者的心理上造成时间上的相对错位,不好的条件总会让人觉得时间延长了<sup>[1]</sup>。由于心理因素包含很多方面,如安全心理、时效心理、便利心理、舒适心理、经济心理、愉悦心理、大众心理等等<sup>[2-3]</sup>,对其量化十分困难。通过湖州市居民公交问询调查可知,众多的心理因素可简化为感知出行时间来表示,这些心理因素对感知出行时间的影响权重各不相同。本模型充分利用该特征,选用感知出行时间这一变量来描述出行者心理因素对于交通方式选择的影响。

基于出行者心理因素的公共交通方式选择模型为了量化心理因素对于居民选择公交的影响程度,预测公交出行环境改善后的出行分担率。为了简单明了地说明公交与私人交通方式竞争的现状和出行环境改善之后的未来态势,可以建立一个二项 logit 模型<sup>[4]</sup>。

## 1 模型理论基础

非集计模型理论的核心是个人行为决定交通的需求,它重视个人的社会和经济方面的行为,又称为“非集计行为模型”或“个人选择模型”<sup>[5]</sup>。

Logit 模型是非集计模型之一。具体表达式为:

$$P_{in} = \frac{\exp(\lambda V_{in})}{\sum_j \exp(\lambda V_{jn})}$$

表 2 模型的特性变量

Tab.2 Identity variables of the model

选择方案	选择方案特性			出行者特性				
	选择方案固有 哑元 $X_{in1}$	感知出行 时间 $X_{in2}$	出行时 间 $X_{in3}$	性别 $X_{in4}$	年龄 $X_{in5}$	职业 $X_{in6}$	收入 $X_{in7}$	交通工具拥有 情况 $X_{in8}$
公共交通 ( $i=1$ ) $V_{1n}$	1	公交出行 感知时间 $X_{1n2}$	0	$X_{in4}$	$X_{in5}$	$X_{in6}$	$X_{in7}$	$X_{in8}$
私人交通 ( $i=2$ ) $V_{2n}$	0	0	私人交通出行 时间 $X_{2n3}$	0	0	0	0	0
未知参数	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_5$	$\theta_6$	$\theta_7$	$\theta_8$

注:当选择肢为公共交通与某种私人交通方式时,  $\theta_8=0$ 。

式中,  $P_{in}$  为个人  $n$  选择第  $i$  个选择肢的概率。

BL ( Binary Logit ) 模型是二项 Logit 模型,即选择肢只有 2 个,各项的选择概率分别由下式给出。

$$P_{1n} = \frac{e^{V_{1n}}}{e^{V_{1n}} + e^{V_{2n}}} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{1n}-V_{2n})}}$$

$$P_{2n} = 1 - P_{1n} = \frac{e^{V_{2n}}}{e^{V_{1n}} + e^{V_{2n}}} = \frac{1}{1 + e^{(V_{1n}-V_{2n})}}$$

## 2 模型的建立

为了建立和标定模型,使用湖州市居民公交问询调查的数据。调查内容包括出行者的个人特性,出行方式特征,针对调查对象地域内的居住者(6岁以上)进行的一次大规模问卷调查,从中抽取了 1173 个样本,具体内容及分类如表 1 所示。

表 1 湖州市居民公交问询调查

Tab.1 Huzhou resident public traffic questionnaire

个人基本 信息	性别、年龄、职业、家庭年收入、交通工具 拥有情况
出行信息	私人交通方式的出行时间 公共交通方式的出行时间、不同环境下感知的 候车、乘车时间

根据已有调查显示,居民选择公交出行时对于费用因素的考虑很少,影响居民选择公交的因素主要是出行者特性、交通方式特性(出行时间和公交服务水平)。所以,本次调查没有考虑费用因素,选择肢的特性变量就是出行时间或感知出行时间。基于出行者心理因素的公共交通方式选择模型的特性变量如表 2 所示<sup>[6]</sup>。

因此，两种交通方式的效用差 ( $V_{1n} - V_{2n}$ ) 为：

$$V_{1n} - V_{2n} = \theta_1 \times (1 - 0) + \theta_2 \times (X_{1n2} - 0) + \theta_3 \times (0 - X_{2n3}) + \theta_4 \times (X_{1n4} - 0) + \theta_5 \times (X_{1n5} - 0) + \theta_6 \times (X_{1n6} - 0) + \theta_7 \times (X_{1n7} - 0) + \theta_8 \times (X_{1n8} - 0)$$

整理后可得到：

$$V_{1n} - V_{2n} = \theta_1 + \theta_2 \times X_{1n2} - \theta_3 \times X_{2n3} + \theta_4 \times X_{1n4} + \theta_5 \times X_{1n5} + \theta_6 \times X_{1n6} + \theta_7 \times X_{1n7} + \theta_8 \times X_{1n8}$$

式中， $\theta_1$  为效用差的常数项，它表示式中未能表示的各种因素影响的总和。

### 3 模型的标定及检验

为了既可以整体上把握公交与私人交通方式竞争的现状特征和改善公交出行环境之后的分担率及竞争力提升情况，又可以具体对比公交与其竞争对手的优劣势和心理因素对于竞争力的影响，运用交通规划软件 TransCAD 首先对选择肢为公共交通和私人交通方式的模型进行标定和检验，然后按出行者拥有交通工具情况，对选择肢为公共交通和某种具体私人交通方式的基于出行者心理因素的公共交通方式选择模型进行标定和检验<sup>[7]</sup>。

这里先简单介绍一下  $t$  值与  $t$  检验。 $t$  值由下式获得：

$$t_k = \hat{\theta}_k / \sqrt{v_k}$$

式中， $\hat{\theta}_k$  为第  $k$  个变量所对应的参数  $\theta_k$  的估计值， $v_k$  为总体协方差矩阵的估计值的第  $k$  个对角元素。当  $|t| > 1.96$  时，有 95% 的把握认为相应的变量是对选择概率产生影响的因素。相反，当  $|t| \leq 1.96$  时，在 95% 的可靠性水平上认为相应的变量不对选择概率产生影响，这时，应将变量从影响原因中排除，再重新估计参数。

(1) 对选择肢为公共交通和私人交通方式的基于出行者心理因素的公共交通方式选择模型进行标定和检验

模型共有有效样本 1 173 个，中长距离出行时选择公交的被调查者比例为 28.5%，效用函数参数的估计结果见表 3：

表 3 对选择肢为公交与私人交通方式的模型参数估计结果

Tab.3 Assessment of the model parameters between the public and privet traffic

变 量	估计值	$t$ 检验值
$C$	-0.567 843	-0.863 342
$T_{bus}$	-0.112 651	-7.074 739
$T_{personal}$	-0.220 586	-13.794 985
$G$	-0.204 102	-1.008 010
$A_1$	2.384 386	2.944 691
$A_2$	0.867 170	1.169 486
$A_3$	-0.489 612	-0.893 504
$A_4$	-0.476 101	-0.976 859
$A_5$	-0.103 020	-0.235 424
$A_6$	-0.171 210	-0.475 834
$P_1$	-2.375 611	-3.331 024
$P_2$	-0.409 653	-0.934 910
$P_3$	-0.766 284	-1.713 648
$P_4$	-0.387 792	-0.727 171
$P_5$	0.531 927	-0.049 817
$P_6$	0.084 422	-0.127 001
$P_7$	0.527 048	-0.054 115
$I_1$	-9.877 927	-0.388 040
$I_2$	-0.835 512	-1.998 750
$I_3$	-3.170 562	-7.560 689
$I_4$	-2.554 724	-7.404 331

从表 3 可以看出，除了常数变量  $C$  之外，符合  $t$  检验的变量是  $T_{bus}$ （公交的感知出行时间）、 $T_{personal}$ （私人交通的出行时间）、 $A_1$ （年龄为 6-14 岁）、 $P_1$ （职业为学生）、 $I_2$ （拥有私人交通工具为摩托车）、 $I_3$ （拥有私人交通工具为电动车）和  $I_4$ （拥有交通工具为自行车）。除开职业为学生项外，其它因素较弱，这主要是因为私营及个体经营者数量较少，且考虑到职业与拥有何种交通工具之间有一定的相关性，导致了职业为私营及个体经营者项影响的弱化。将不符合  $t$  检验的变量排除之后，对效用函数进行重新标定，结果为：

$$V_{bus} = -0.831554 - 0.113269T_{bus} + 1.744828A_1 - 1.637120P_1 - 1.285813I_2 - 3.351348I_3 - 2.364408I_4$$

$$V_{personal} = -0.214736T_{personal}$$

代入公式可得两种交通方式的分担率模型为：

$$P_{bus} = \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{-0.831554 - 0.113269T_{bus} + 1.744828A_1 - 1.637120P_1 - 1.285813I_2 - 3.351348I_3 - 2.364408I_4 + 0.214736T_{personal}}{1.285813I_2 - 3.351348I_3 - 2.364408I_4 + 0.214736T_{personal}}\right)}}$$

$$P_{personal} = \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{-0.831554 - 0.113269T_{bus} + 1.744828A_1 - 1.637120P_1 - 1.285813I_2 - 3.351348I_3 - 2.364408I_4 + 0.214736T_{personal}}{1.285813I_2 - 3.351348I_3 - 2.364408I_4 + 0.214736T_{personal}}\right)}}$$

(2)对选择肢为公共交通和某种具体私人交通方式的基于出行者心理因素的公共交通方式选择模型进行标定和检验

因为样本量的关系,在此只建立基于出行者心理因素的公交与摩托车、电动车、自行车竞争的方式选择模型。

公交与摩托车

调查的有效样本中拥有摩托车的出行者有 205 个,占样本总数的 17%。中长距离出行时选择公交出行的比例为 7.3%,这一比例相对较低,采取上述同样的方法估计效用函数的参数,结果见表 4:

表 4 对公交与摩托车的模型参数估计结果

Tab.4 Assessment of the model parameters between the public and motor

变量	估计值	t 检验值
C	-9.354 061	-0.082 568
T <sub>bus</sub>	-0.144 181	-2.725 549
T <sub>motor</sub>	-0.185 888	-2.908 560
G	-0.402 005	-0.592 967
A <sub>1</sub>	-6.755 862	-0.044 594
A <sub>2</sub>	3.558 758	1.198 701
A <sub>3</sub>	3.624 940	1.748 376
A <sub>4</sub>	2.585 361	1.241 537
A <sub>5</sub>	2.736 370	1.488 724
A <sub>6</sub>	-8.682 615	-0.051 213
A <sub>7</sub>	—	—
P <sub>1</sub>	0.819 984	0.373 570
P <sub>2</sub>	0.240 017	0.282 191
P <sub>3</sub>	—	—
P <sub>4</sub>	-12.869 618	-0.016 233
P <sub>5</sub>	4.086 594	2.369 869
P <sub>6</sub>	1.288 874	1.019 205
P <sub>7</sub>	—	—
P <sub>8</sub>	0.269 833	0.215 140
I <sub>1</sub>	5.975 763	0.052 757
I <sub>2</sub>	4.388 401	0.038 743
I <sub>3</sub>	4.927 879	0.043 507
I <sub>4</sub>	-11.633 444	-0.003 208
I <sub>5</sub>	-8.730 741	-0.003 730

从表 4 可以看出,除了常数变量 C 之外,符合 t 检验的变量是 T<sub>bus</sub>(公交的感知出行时间)、T<sub>motor</sub>(摩托车的出行时间)和 P<sub>5</sub>(职业为私营及个体经营者)。将不符合 t 检验的变量排除之后,对效用函数进行重新标定,结果为:

$$V_{bus} = -2.430981 - 0.109352T_{bus} + 2.372252P_5$$

$$V_{motor} = -0.210003T_{motor}$$

代入公式可得两种交通方式的分担率模型为:

$$P_{bus} = \frac{1}{1 + e^{-(2.430981 - 0.109352T_{bus} + 2.372252P_5 + 0.210003T_{motor})}}$$

$$P_{motor} = \frac{1}{1 + e^{-(2.430981 - 0.109352T_{bus} + 2.372252P_5 + 0.210003T_{motor})}}$$

公交与电动车

从我们调查中可以知道拥有电动车的出行者有 300 个,占样本总数的 26%。其中中长距离出行时选择公交的比例为 15%,从中可以看出,公交出行在拥有电动车的用户出行中(中长距离的出行中)仍然占有相当重要的比例,这与电动车出行有一定的出行距离限制有关,效用函数参数的估计结果见表 5:

表 5 对公交与电动车的模型参数估计结果

Tab.5 Assessment of the model parameter between bus and electricmotor

变量	估计值	t 检验值
C	-4.878 477	-0.296 371
T <sub>bus</sub>	-0.241 613	-3.398 642
T <sub>electricmotor</sub>	-0.392 294	-5.111 057
G	-0.283 337	0.365 287
A <sub>1</sub>	2.385 380	0.677 874
A <sub>2</sub>	3.025 342	1.087 452
A <sub>3</sub>	1.779 963	0.688 234
A <sub>4</sub>	-0.829 775	-0.345 692
A <sub>5</sub>	-1.136 322	-0.469 877
A <sub>6</sub>	0.102 905	0.053 005
A <sub>7</sub>	—	—
P <sub>1</sub>	-3.999 512	-0.238 870
P <sub>2</sub>	-0.827 217	-0.049 817
P <sub>3</sub>	-2.108 627	-0.127 001
P <sub>4</sub>	-0.898 488	-0.054 115
P <sub>5</sub>	0.297 587	0.018 088
P <sub>6</sub>	0.130 743	0.007 861
P <sub>7</sub>	4.423 225	0.244 298
P <sub>8</sub>	-1.008 986	-0.060 577
I <sub>1</sub>	2.988 231	1.470 300
I <sub>2</sub>	-0.081 334	-0.095 170
I <sub>3</sub>	—	—
I <sub>4</sub>	0.503 976	0.481 084
I <sub>5</sub>	-0.257 495	-0.010 191

从表 5 可以看出,除了常数变量 C 之外,符合 t 检验的变量是 T<sub>bus</sub>(公交的感知出行时间)和

$T_{electricmotor}$  (电动车的出行时间) 将不符合  $t$  检验的变量排除之后, 对模型进行重新标定, 结果为:

$$V_{bus} = -4.928137 - 0.219535T_{bus}$$

$$V_{electricmotor} = -0.3414T_{electricmotor}$$

代入公式可得两种交通方式的分担率模型为:

$$P_{bus} = \frac{1}{1 + e^{-(4.928137 - 0.219535T_{bus} + 0.3414T_{electricmotor})}}$$

$$P_{electricmotor} = \frac{1}{1 + e^{-(4.928137 - 0.219535T_{bus} + 0.3414T_{electricmotor})}}$$

### 公交与自行车

从我们的调查中可以知道拥有自行车的出行者有 452 个, 占样本总数的 39%, 比例较摩托车和电动车高。其中, 中长距离出行时选择公交的比例为 36.7%, 也远远大于摩托车和电动车用户中选择公交的比例, 这主要还是由于自行车为体力出行所决定的, 因此, 随着公交出行时间的降低, 服务水平的提高, 这个比例必将进一步提高。效用函数参数的估计结果见表 6:

表 6 对公交与自行车的模型参数估计结果

Tab.6 Assessment of the model parameters between bus and bike

变量	估计值	t 检验值
$C$	-0.883 240	-0.058 300
$T_{bus}$	-0.266 050	-6.679 285
$T_{bike}$	-0.321 739	-9.463 222
$G$	-0.252 621	-0.830 952
$A_1$	0.913 816	0.703 198
$A_2$	-1.512 589	-1.195 420
$A_3$	-2.210 484	-2.163 614
$A_4$	-0.823 559	-1.030 765
$A_5$	-0.751 659	-1.106 032
$A_6$	-0.972 720	-1.615 421
$A_7$	—	—
$P_1$	-1.625 163	-0.107 741
$P_2$	-0.018 323	-0.001 212
$P_3$	-0.678 337	-0.044 876
$P_4$	-0.188 365	-0.012 457
$P_5$	0.029 851	0.001 974
$P_6$	1.084 853	0.071 616
$P_7$	0.065 633	0.004 338
$P_8$	0.346 896	0.022 944
$I_1$	-0.420 047	-0.617 444
$I_2$	-0.662 015	-1.101 564
$I_3$	-0.278 747	-0.490 962
$I_4$	—	—
$I_5$	-0.134 601	-0.098 175

从表 6 可以看出, 除了常数变量  $C$  之外, 符合  $t$  检验的变量是  $T_{bus}$  (公交的感知出行时间)  $T_{bike}$  (自行车的出行时间) 和  $A_3$  (年龄为 20-29 岁)。除了出行时间之外, 由于年龄处于 20-29 岁的年轻人对于骑自行车的体力消耗不太计较, 所以, 这一年龄特征对于效用函数的大小起重要作用。将不符合  $t$  检验的变量排除之后, 对模型进行重新标定, 结果为:

$$V_{bus} = -2.481364 - 0.205485T_{bus} - 1.986073A_3$$

$$V_{bike} = -0.270043T_{bike}$$

代入公式可得两种交通方式的分担率模型为:

$$P_{bus} = \frac{1}{1 + e^{-(2.481364 - 0.205485T_{bus} - 1.986073A_3 + 0.270043T_{bike})}}$$

$$P_{bike} = \frac{1}{1 + e^{-(2.481364 - 0.205485T_{bus} - 1.986073A_3 + 0.270043T_{bike})}}$$

## 4 结果分析

利用以上模型可以预测公交出行环境改善后公交的分担率, 由于本模型是基于出行者心理因素的, 所以预测值仅是理论值, 前提是人们出行时都是以处于某种出行环境之中的感知时间为选择的关键因素, 实际情况可能不完全符合, 但是, 预测结果可以量化和改善出行者对公交的心理状况对于提高公交出行比例的作用。各模型的预测结果见表 7:

表 7 模型预测结果

Tab.7 Forecast results of the model

模型的选择肢	公交出行比例 实际值/(%)	公交出行比例 预测值/(%)
公交与私人交通方式	28.5	39.4
公交与摩托车	7.3	17
公交与电动车	15	25
公交与自行车	36.7	57.2

注: 公交出行比例预测值为提高公交服务质量及改善公交候车、乘车环境等措施后, 心理感知出行时间减少, 从而导致公交出行比例增加。

本次调查的出行是指中长距离出行, 下面就各种交通方式与公交的竞争进行阐述:

### 公交与私人交通方式对比分析

调查得中长距离出行选择公交的出行者比例仅为 28.5%, 这个数据不容乐观, 公交应成为中长距离

出行主要的交通方式，实际上却没有得到市民的青睞。原因是多方面的，其中很关键的部分就是公交出行环境差，公众对公交的心理状况不佳，在出行者的印象中公交并不是舒适便捷的交通方式。但是，通过提高公交服务质量及改善公交候车、乘车环境等措施后，公交的出行比例提高到 39.4%，其增长率为 38.3%，效果十分显著。

#### 公交与摩托车竞争分析

在拥有摩托车的用户中，选择公交出行的实际比例为 7.3%，比例较低。这说明很大一部分人不愿意放弃摩托车机动性、灵活性和相对于公交更加快速的优点，公交出行安全、方便、经济、环保的一面并没有被广大摩托车用户所吸引。但是，通过采取提高公交服务质量及改善公交候车、乘车环境等措施后，公交的出行比例提高到 17.0%，其增长率更是惊人地达到 132.9%，效果十分显著。

#### 公交与电动车竞争分析

在拥有电动车的用户中，选择公交出行的实际比例为 15.0%，比例相对于拥有摩托车的用户来说较高，这与电动车更适宜较短距离出行有关，但是，同样在通过采取提高公交服务质量及改善公交候车、乘车环境等措施后，使用户对公交出行的感知时间降低，从而可提高公交出行比例至 25.0%，其增长率也达到了 66.7%，增幅仍然很大。

#### 公交与自行车竞争分析

在拥有自行车的用户中，选择公交出行的实际比

例为 36.7%，比例相对于拥有摩托车和电动车的用户来说高出很多，这与自行车为体力出行，对体力要求较高，更适合短距离出行有关，但同样在通过采取提高公交服务质量及改善公交候车、乘车环境等措施后，仍有很大一部分拥有自行车的用户将选择公交出行，使公交出行比例提高至 57.2%，其增长率也达到了 55.9%，效果仍然较为明显。

从预测结果可以看出，公交出行环境的改善对于提高公交出行比例的作用是很显著的。本次调查的出行是指中长距离出行，公交与各种私人交通方式处于一种竞争的关系，公交必须要提升吸引力才能成为居民出行的主要方式，本模型从改善出行环境从而使得乘客感知时间减少这一方面入手，说明了改善公众对公交的心理状况对于提高公交吸引力的重大作用。

## 5 结束语

本文提出了基于出行者心理因素的公共交通方式选择模型，选择二项 Logit 模型来进行量化和预测，利用 TransCAD 软件对模型进行标定，并对每个模型的合理性和可行性进行了阐述，得出公交出行环境的改善对于提高公交出行比例的作用是很显著的。模型从理论上有效地证明了改善出行环境使得乘客感知出行时间减少从而提高公交出行的比例是卓有成效的，为我们提出改善公交服务的心理策略提供了一定的理论和数据基础。

#### 参考文献

- [1] 杨涛,王琳,周征舸. 马鞍山市居民出行选择决策心理研究[J]. 城市规划汇刊, 1994, 4(1): 39-45.
- [2] Groeger J. A., Rothengatter J. A. Traffic psychology and behavior[C]. Transportation Research Part F, 1998, 1(1): 1-9.
- [3] Rothengatter T. Psychological aspects of road user behavior [C]. Applied Psychology: An International Review, 1997, 46(3): 223-236.
- [4] 宗芳. 基于活动的出行时间与方式选择模型研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2005.
- [5] 关宏志. 非集计模型——交通行为分析的工具[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [6] 赵志宏. 城市公共交通优先满意度评价方法研究[D]. 南京: 东南大学交通学院, 2004.
- [7] 黄海军. 交通行为建模 - 问题与机会[J]. 交通运输系统工程与信息, 2002, 2(1): 24-29.

(中文编辑: 吴继屏)