

轨道交通车站行人路径选择研究

Study on Pedestrian Route Choice within a Rail Transit Station

刘莹 吴娇蓉 林航飞

(同济大学教育部道路与交通工程重点实验室,上海 200092)

Liu Ying, Wu Jiaorong and Lin Hangfei

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

摘要: 为了解轨道交通车站内的客流分布特征,对车站内行人路径选择的影响机理进行分析,可知路径选择是步行网络特性、线路特性等外部因素以及出行者内部因素相互作用直至均衡的过程。依据效用最大化理论,以步行距离、步行时间、垂直步行设施类型和路径重复系数为路径选择的主要影响因素,建立了行人路径选择的多项 Logit 模型。选取上海市轨道交通 3 号线赤峰路站为调查对象,收集车站静态信息以及行人步行路径、步行时间等动态信息,利用 SPSS 软件对模型进行标定,量化分析了各影响因素对行人路径选择作用的大小。经过模型检验,模型预测的总体正确率为 78%。

Abstract: To better understand the passenger flow distribution characteristics within a rail transit station, this study intends to analyze the influencing mechanisms of pedestrians on their route choice behaviors within a station, and acknowledges that pedestrian route choice is a process during which, before reaching a balance, interactions continue between external factors of characteristics of pedestrian networks and routes, and internal factors of travelers. According to the maximum utility theory, and taking the walking distance, walking time, types of vertical pedestrian facilities, and route re-passing coefficients as major influencing factors, the paper formulates a multi-logit model for pedestrian route choice. Based on static information and dynamic data of pedestrian routes and time surveyed at Chifeng Rd Station on rail transit Route 3, Shanghai, the model is calibrated using SPSS software, resulting in a quantitative analysis of impacts of influencing factors on pedestrian route choice. A testing of the model shows that the model produces forecasts with an accuracy of 78%.

关键词: 交通管理; 轨道交通; 行人路径选择; 多项 Logit 模型; 轨道交通车站; 效用最大化

Keywords: transportation management; rail transit; pedestrian route choice; multinomial logit model; rail transit stations; maximum utility

中图分类号: U491.2'26

文献标识码: A

收稿日期: 2008-07-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(50808141)

作者简介: 刘莹,女,同济大学交通运输工程学院,教育部道路与交通工程重点实验室硕士研究生,主要研究方向:城市交通规划、交通组织及行人仿真。E-mail:liuyingflying@msn.com

0 引言

随着轨道交通的发展,轨道交通车站的建设往往结合商业设施(商店、报亭等),乘客在车站内的活动不仅仅是行走,还包括购票、购物等行为,特别是多条轨道线路相交的换乘枢纽,乘客的步行流线更加多样。而目前国内既有轨道交通车站普遍被视为一般性建筑进行设计,较少对车站内的客流分布特征和步行流线组织进行分析,站内设施空间布局趋于模式化、简单化,造成主要步行流线的交织、冲突以及设施利用的不均衡。

通过研究轨道交通车站乘客的路径选择行为,可对车站内的客流进行交通分配,为深入研究客流步行行为提供理论支持,同时在车站设施空间布局优化、行人步行空间尺寸评价及设施规模评价等方面具有现实意义。在上述背景下,本文基于轨道交通车站行人路径选择影响机理的分析,根据效用最大化理论,选取典型车站对乘客路径选择行为进行调查,建立轨道交通车站行人路径选择模型。

1 行人路径选择影响机理分析

路径选择是行人在各种内、外部因素的综合影响下,从起点经过一系列中间节点到达目的地的过程,是行人理性决策与习惯性行为交互作用的结果。轨道交通车站行人设施的布局组合构成了乘客的可选路径集合,因此,应首先分析行人设施以确定路径选择的影响因素。

1.1 行人设施分析

轨道交通车站的行人设施主要分为步行设施和服务设施。

1) 步行设施

根据步行特征划分, 轨道交通车站的步行设施包括水平步行设施(水平通道、站台、站厅等无高差的步行空间)和垂直步行设施(楼梯、自动扶梯)。行人在步行设施上的步行时间取决于设施长度、设施类型及客流密度。

2) 服务设施

轨道交通车站的服务设施是行人从起点到终点整个运动过程中的阶段性终点, 包括公共服务设施(如售票机、闸机、商店、报亭等)和信息服务设施(如可变信息板、地图等)。

1.2 行人路径选择影响因素分析

从交通条件和出行者特性的角度分析, 行人路径选择的影响因素包括内部因素和外部因素。

1) 外部因素

主要包括步行网络特性和线路特性。前者指可供行人选择的线路数量及各线路之间的重复性。后者主要包括步行距离、步行时间和拥挤程度。一般情况下, 行人倾向于选择距离最短的路径, 步行时间通常也最短。

2) 内部因素

①决策方式。行人一般基于一种决策方式做出路径选择, 不同的决策方式可能产生不同的选择。决策方式分为单阶段决策和动态决策两种, 前者指在出行之初出行者只进行一次出行路线决策, 后者则指整个出行过程中出行者要进行多次出行路线的选择, 即根据具体的交通状况进行

动态决策; ②行为习惯。指行人具有就近选择、冲突避免、排队跟随等习惯; ③体力消耗。是乘客垂直方向路径选择的主要影响, 在合理延迟时间内, 极少数行人会选择走楼梯而不是自动扶梯^[1], 体现了对设施的偏好; ④对车站的熟悉程度。乘客对车站的熟悉程度在某种程度上决定了其决策方式; ⑤出行目的。不同的出行目的造成行人路径选择的影响因素不同。

图1描述了影响因素与行人路径选择之间的相互作用机理。行人的路径选择是外部和内部影响因素相互作用直至均衡的过程。车站设施布局决定了步行网络特征与步行距离, 行人初始的路径选择形成了车站内各步行链路(一条路径中的各个步行区段)的拥挤度, 拥挤度和步行距离共同作用导致步行时间发生改变(初始为自由流步行时间), 进而影响出行者的效用, 各条可选路径的选择概率发生变化。经过多次反馈迭代, 最终达到行人路径选择的均衡状态。

2 行人路径选择模型的构建

2.1 效用最大化理论及MNL模型

离散选择模型是近年来在交通领域应用较广的一类数学模型, 适用于对个体选择行为做出定量的描述分析, 其基本假设是效用最大化^[2-3]。行人的路径选择就是行人对路径上的各种设施与自身行为相互作用产生的效用进行估计

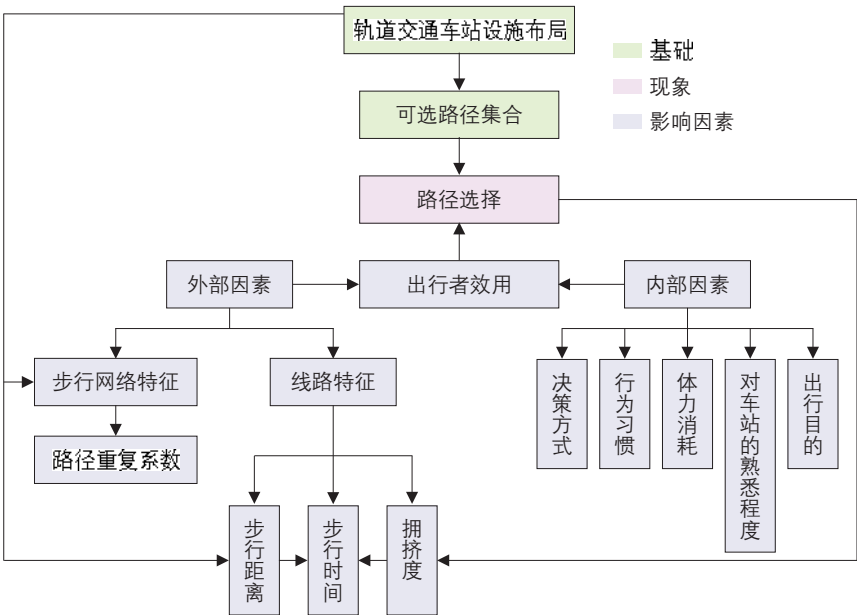


图1 行人路径选择影响机理图

Fig.1 Influence mechanisms of pedestrians on their route choice behaviors

与预测,选择其认为的最优路径以达到总体效用最大化的过程。效用函数的基本表达形式如下:

$$U_r = V_r + \varepsilon_r, \quad (1)$$

式中: U_r 为路径 r 的效用; V_r 为效用的可观测部分,包含影响路径选择行为的参数; ε_r 为效用的不可观测部分,即随机项。

多项 Logit(Multinomial Logit)模型是应用最为广泛的离散选择模型,出行者 n 选择路径 r 的概率为:

$$P_n(r) = \exp(V_r) / \sum_{j \in R_n} \exp(V_j), \quad (2)$$

式中: R_n 为可选路径集合; V_j 为可选路径集中任一备选路径的效用。

2.2 模型假设

高峰时段是轨道交通车站最为拥堵的时段,各种设施的使用率与客流的路径选择密切相关。因此,选择轨道交通车站高峰时段构建行人路径选择模型实现客流分配,对于评价车站设施布局的合理性至关重要。本文根据高峰时段客流特征,对路径选择模型做出以下两点假设:

1) 高峰时段轨道交通客流以通勤为主。通勤者出行目的单一,一般选择相似的路径,受行为习惯的影响较小,他们不仅对车站的静态环境十分熟悉(如站内布局、到达目的地的最短路径等),同时也很了解车站的动态环境(如可能发生拥堵的位置和路径)^[4],因此,进行路径选择时行人采用的是单阶段决策方式。从这一角度对影响因素进行简化,即行人主要受步行网络特征、线路特征和体力消耗因素的影响。

2) 假设行人个体的路径选择具有相似性。由于通勤者都有大致相同的出行经历,假定出行者所有的决定都是理性的,是依据客观信息(如步行时间和拥挤度等)产生的,即假设这些行人进行路径选择时考虑的主要因素没有实质性差别。

2.3 模型建立

基于对乘客路径选择影响机理的分析,结合实际观测和国外学者的研究成果^[4-5],选取步行距离、步行时间、垂直步行设施类型、路径重复系数作为主要影响因素,效用函数的表达形式为:

$$U_r = \alpha \cdot \sum L_h^l + \beta \cdot \sum L_v^l + \gamma \cdot \sum T_h^l + \theta \cdot \sum T_v^l + \lambda \cdot \sum T_r^l + \delta \cdot A_r + \zeta \cdot PS_r + \varepsilon_r, \quad (3)$$

式中: L_h^l , L_v^l 分别为水平设施长度和垂直设施长度/m; T_h^l , T_v^l , T_r^l 分别为水平设施步行时间、楼梯步行时间和自动扶梯步行时间/s; A_r 为垂直步行设施类型参数,自动扶梯为

1,楼梯为0; PS_r 为路径重复系数; ε_r 为随机项; α , β , γ , θ , λ , δ , ζ 为待定系数。

路径重复系数是反映某条路径与可选路径集中其他路径之间重复情况的变量,而一条路径由多个步行链路组成,因此路径重复系数^[2]定义为:

$$PS_r = \ln \left(\sum_{a \in r} \frac{l_a}{L_r} \frac{1}{N_a} \right), \quad (4)$$

式中: l_a 为路径 r 中某个链路 a 的长度/m; L_r 为路径 r 的长度; N_a 为包含链路 a 的所有路径的个数。

3 数据采集与分析

3.1 数据采集方式

选取典型轨道交通车站,调查行人的路径选择行为并收集相关数据资料。依据上文对路径选择模型影响因素的界定,调查中需要收集的数据分为车站静态信息和行人动态信息:①车站静态信息包括车站平面图、路径选择集合及各条路径的长度;②行人动态信息即人流线,需记录不同行人的步行路径及行走时间^[6]。根据数据特点采用跟拍人流线的方法收集数据。

3.2 典型轨道交通车站的选择

由于国内尚无相关研究经验,考虑到实验条件,依据简单可行的原则,典型轨道交通车站选择主要考虑以下几个方面:①同一出行OD具有多条可选路径,且能实际观测到不同行人使用不同路径,即有路径选择行为发生;②需具备各种基本设施元素,包括楼梯、上下行自动扶梯等设施;③空间布局形式较为典型。考虑到目前研究技术的成熟性、实施调查的可行性,选择一般轨道交通车站(非换乘车站)作为研究对象,以使研究成果具有推广性。

通过对多个轨道交通车站实际踏勘调查,选取上海市轨道交通3号线赤峰路站作为数据采集对象。

3.3 车站静态信息

上海市轨道交通3号线赤峰路站为地上车站,共有4层,1、2层为非付费区,主要是与商业设施的结合;3、4层分别为站厅层和站台层(侧式站台)。平面布局如图2,图3所示。

站厅层共有两个进出闸机,编号为1,2号进出口。依据楼梯、自动扶梯的布局,将站台层划分为6个区域(A~F),自动扶梯编号为①~⑥。以闸机进出口和站台作为

乘客步行的起讫点，共有 24 个 OD 对。

3.3.1 车站网络拓扑模型的建立

轨道交通车站是行人活动的连续空间，为了方便研究将车站抽象为由节点(Node)和步行链路(Link)构成的点线拓扑结构^[7]。

1) 节点

根据车站的设施类型，可将节点划分为 4 类：①行人路径选择的起讫点。站厅与地面连接的出入口或进闸机、站台是乘客在车站内行走的起点和终点；②不同步行设施之间的衔接点，尤其是水平步行设施与垂直步行设施的衔接点，如站厅层与自动扶梯的连接处；③活动行为发生的节点，主要指服务设施节点，如售票机、报亭等，行人在这些地点会进行某种活动；④中间辅助节点。前 3 类节点均为实体节点，中间辅助节点是由于路径连贯的需要，在水平步行空间内增设的一些辅助性节点，主要指行人流线的交结点，是虚拟节点。

2) 步行链路

相邻节点之间的连接为步行链路，是步行设施的抽象。对于连续的步行空间，一个步行链路代表的实际上是一段步行区域。步行链路的主要属性包括长度、客流量及步行时间等。

依据上述抽象方法，将赤峰路站站厅层和站台层抽象为点线拓扑结构，如图 4 所示。

3.3.2 可行路径集合及路径长度

可行路径指行人可能选择的、无不合理绕行行为发生的路径。可行路径集合的准确度直接关系到路径重复系数的准确性及行人路径选择概率的预测^[1]。实际观测到的车站行人步行路径并不能涵盖所有的可行路径，需要使用一定的算法生成所有可行路径。常用的路径生成算法有最短路径算法 (Shortest Route Algorithm)、K 最短路径算法 (K-shortest Paths Algorithm) 等，近年来计算机中的分支限界算法 (Branch and Bound Algorithm) 已开始应用于路径生

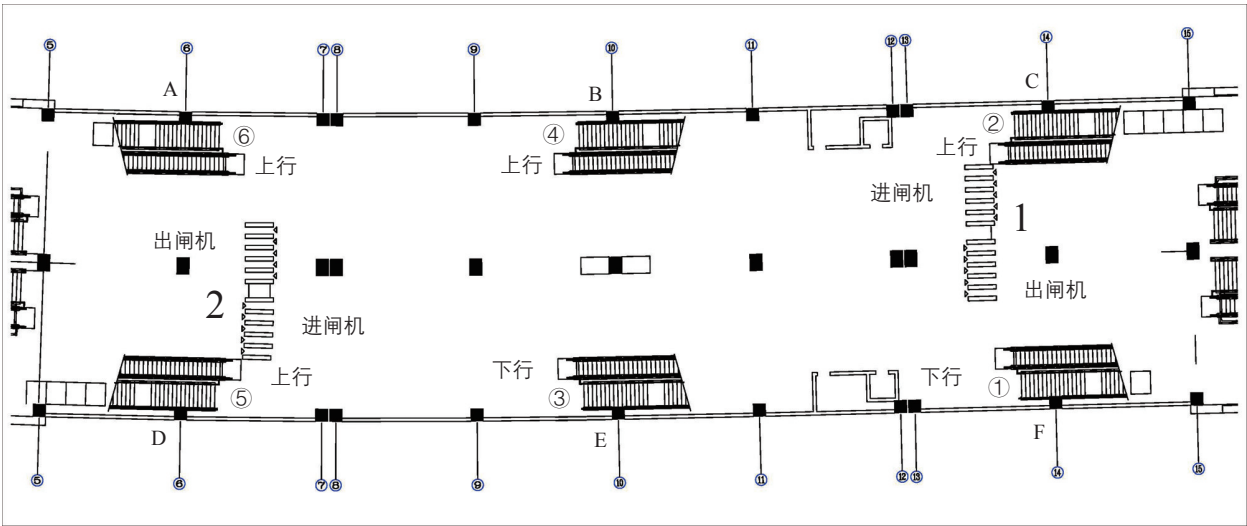


图 2 站厅层平面图
Fig.2 Plan of the station lobby

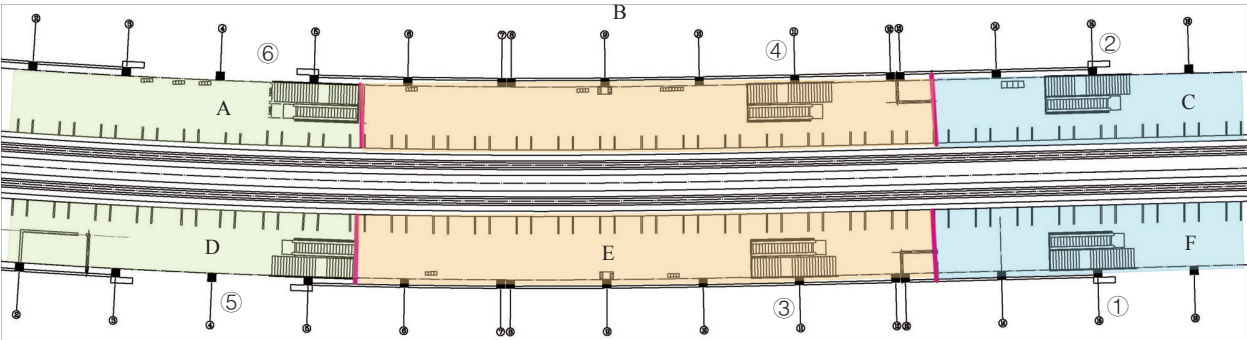


图 2 站台层平面图
Fig.2 Plan of the platform

成，并取得了良好的效果。

由于赤峰路站的空间布局相对简单，可直接使用穷举法构造可行路径集合。每个OD对的可行路径由两部分组成：①实际观测到的行人路径；②根据车站网络拓扑结构得到的可行路径。各OD对的可选路径集合大小及路径特性如表1所示。24个OD对共计85条不同路径，单个OD对的平均可选路径数量为3.5。路径重复系数(PS_i)均为负数，绝对值越大表明与其他路径的重复度越高。

3.4 行人动态信息及分析

2007年12月至2008年1月，对赤峰路站周一和周三早晚高峰(7:00—9:00，16:00—18:00)进出站客流(进站闸机至站台、站台至出站闸机)的行人流线进行了6次跟拍调查，共收集有效样本108个。得到的行人动态信息主要包括乘客在车站内出行的起迄点、所选路径、在各个步行链路上的行走时间。调查得到的108个观测样本共包括30条不同的路径，由于采取随机抽样法，因此并非每对可能的出行OD都收集到了有效样本，其中1-D、2-D、2-F、A-1和D-1未取得有效样本。另外，A-2、C-1和1-F三个OD对均只有1条可行路径，因此这3个OD对的观测样本不能用于模型分析，实际可用的样本量为91个，相关统计数据如表2所示。

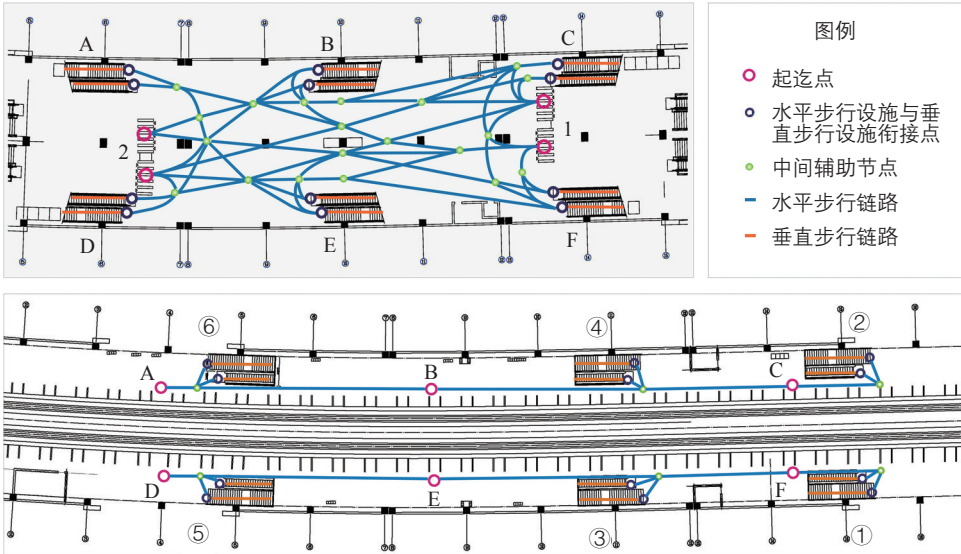


图4 赤峰路站点线拓扑结构图

Fig.4 Node-link topological structure of Chifeng Rd station

表1 路径选择集合统计

Tab.1 Statistic of route choice sets

进站OD	可选路径集合	路径长度 ^① /m	路径重复系数	出站OD	可选路径集合	路径长度 ^① /m	路径重复系数
1-A	6	68~115	-0.27~-1.19	A-1	3	70~125	-0.80~-1.19
1-B	6	56~92	-0.80~-1.48	B-1	3	66~93	-1.06~-1.45
1-C	2	17~19	-0.87~-1.12	C-1	1	27	-1.53
1-D	4	71~133	-0.22~-0.99	D-1	5	71~125	-0.17~-0.99
1-E	4	66~95	-0.80~-1.44	E-1	5	60~94	-0.84~-1.46
1-F	1	30	-1.49	F-1	2	21~25	-1.15~-1.55
2-A	2	34~37	-1.08~-1.46	A-2	1	32	-1.51
2-B	6	49~115	-0.78~-1.44	B-2	3	53~114	-1.11~-1.47
2-C	6	65~125	-0.21~-0.97	C-2	3	64~119	-0.85~-0.97
2-D	2	27~30	-1.07~-1.54	D-2	2	35~100	-0.86~-1.49
2-E	4	46~113	-0.94~-1.21	E-2	5	50~114	-0.78~-1.20
2-F	4	64~116	-0.18~-0.97	F-2	5	63~121	-0.23~-0.97

①赤峰路站楼梯和自动扶梯长度相同，均为18.5 m，基于相对效用原理，路径长度仅计入水平设施长度。

当可选路径较多时，并不是所有的可选路径都会被使用。对于实际观测中行人未使用的路径，其步行时间根据各链路的平均步行时间加和得到。从表2可以看出：①在相同的出行起讫点下，行人倾向于选择有自动扶梯的路径，这是因为在垂直方向上需要耗费更多体力。与进站方向相比，出站方向使用楼梯不需要消耗过多的体力，因此乘客选择楼梯的概率略大(见表3)；②从路径步行时间来看，乘客倾向于选择步行时间较短的路径。但是由于行人具有就近和从众等行为特点，并不总是选择时间或距离最短的路径，如从1号闸机进站的乘客总是习惯性地由就近的自动扶梯②上至站台层，对应于OD对1-A中选择的路径3，可以看出其选择概率较大。

4 模型标定与检验

4.1 模型标定

本文采用SPSS分析软件进行数据处理。由于SPSS软件没有直接求解MNL模型的算法，因此以SPSS软件固有的Cox回归模型，通过创建必需的虚拟变量(Time：时间变量，路径被选择为1，否则为2；Strata：配对组序号)进行效用函数的参数估计^[8]。Cox回归模型是来源于医学上

配对思想的算法，这里使用n:m配对算法，对每个配对组来说，n和m均不相同。此处91个样本共形成29对配对组。赤峰路站楼梯和自动扶梯长度相同，基于相对效用原理，在本次研究中垂直设施的长度不作为模型参数。参数估计结果如表4所示。

最终标定的效用函数为：

$$U_i = -0.013 \sum L_i^l - 0.007 T_i^l - 0.009 T_i^s - 0.002 T_i^g + 1.497 A_i - 1.016 PS_i + \varepsilon_i, (5)$$

对标定的结果进行分析，可以得到：

1) 单位水平设施长度的负效用是水平设施步行时间的0.013/0.007=1.86倍，可见与步行时间相比，乘客对步行距离更加敏感。

2) 路径中的垂直步行设施类型对行人的路径选择有较大影响，可反映不同垂直设施体力消耗和舒适性的对比；单位楼梯步行时间的负效用是水平设施步行时间的0.009/0.007=1.3倍，验证了乘客对设施体力消耗的敏感性；自动扶梯步行时间对效用函数影响较小，这是因为乘坐自动扶梯获得的体力节省弱化了对时间的敏感。

3) 路径重复系数对路径效用的作用明显，其参数估计值为负，而路径重复系数本身为负，说明某条路径与其他路径重复越严重其效用越大，这与国外研究结果^[5]恰恰相反。产生这种结果可能有2种原因：①本次研究采集的样

表2 观测样本统计
Tab.2 Statistic of observed samples

OD	样本量	路径1		路径2		路径3		路径4		路径5		路径6	
		样本量	均值 $T_i^l/T_r^{y①}$	样本量	均值 $T_i^l/T_r^{y①}$	样本量	均值 $T_i^l/T_r^{y①}$	样本量	均值 $T_i^l/T_r^{y①}$	样本量	均值 $T_i^l/T_r^{y①}$	样本量	均值 $T_i^l/T_r^{y①}$
B-1	3	1	57/23 ^②	2	42.1/24 ^②	0	40.7/23.7 ^②						
B-2	1	1	30.1/24 ^②	0	31.6/23.7 ^②	0	58.6/23.7 ^②						
C-2	2	0	86.5/23.7 ^②	1	21.8/25.1 ^②	1	43/23.2 ^②						
D-2	3	0	75.3/30	3	33.3/24.7 ^②								
E-1	11	7	47.8/30.1	4	34.3/30	0	85.3/23.7 ^②	0	50/23.7 ^②	0	57/23.7 ^②		
E-2	4	2	47.2/33.4	0	99.7/30.1	1	54/23 ^②	0	47.9/23.7 ^②	1	28.1/12.6 ^②		
F-1	9	6	14/23.5	3	13.7/21.2 ^②								
F-2	1	0	57.1/30.1	1	17.1/33.1	0	105.4/23.7 ^②	0	58.6/23.7 ^②	0	57.8/23.7 ^②		
1-A	9	3	45/23.3	1	98.8/34	5	100/30.4	0	49.2/19.3 ^②	0	103.4/19.3 ^②	0	104.1/19.3 ^②
1-B	17	3	63.8/32	2	49.4/16	11	47.3/29.4	0	74.3/19.3 ^②	0	51.2/19.3 ^②	1	50.9/15 ^②
1-C	20	19	22.8/29.7	1	13.3/10 ^②								
1-E	1	1	71.1/22	0	73.1/19.3 ^②	0	47.6/19.3 ^②	0	64.1/19.3 ^②				
2-A	4	3	58.1/26.4	1	51.3/32.3 ^②								
2-B	3	3	53.4/25.9	0	37.2/30	0	85.5/30	0	44.2/19.3 ^②	0	42.2/19.3 ^②	0	90.3/19.3 ^②
2-C	1	0	91.6/30	1	19.5/31.9	0	39.8/30	0	96/19.3 ^②	0	48.4/19.3 ^②	0	40.8/19.3 ^②
2-E	2	2	58.5/31	0	43.5/19.3 ^②	0	40/19.3 ^②	0	88.6/19.3 ^②				

①T_r^y为垂直设施步行时间；②表示垂直步行设施为楼梯，未标明的则为自动扶梯。

本量有限，使得参数估计存在偏差；②如上所述，行人对步行距离更加敏感，倾向于选择距离最短、最舒适的路径，而不是像机动交通那样选择出行时间最短的路径。同时行人往往具有从众心理，因此虽然某些路径重复程度较高，对行人来说却仍然有吸引力。

4.2 模型检验

利用式(5)和式(2)可计算得到赤峰路站每条路径行人的选择概率，预测概率与观测样本总量的乘积即为每条路径的预测量。考虑到观测样本量较小时可能导致抽样误差

过大，这里仅对观测样本量≥4的OD对进行检验。表5中将预测选择量与观测样本量进行对比，可以看出，模型预测的总体正确率为58/74=78%，对于MNL模型可以说是较为满意的结果。

5 结论

本文结合大量实地调查数据并借鉴国外相关研究，建立了轨道交通车站行人路径选择模型，标定了路径选择效用函数，将各影响因素进行量化。结果显示：①与步行时

表3 垂直步行设施对路径选择的影响
Tab.3 Impacts of types of vertical pedestrian facilities on route choice

方向	使用有自动扶梯 ^① 路径的样本量(比例/%)	使用有楼梯 ^① 路径的样本量(比例/%)	合计
出站(下行)	20(71.4)	8(28.6)	28(100)
进站(上行)	54(93)	3(7)	57(100)

①B-1,B-2,C-2各条路径上的垂直步行设施均为楼梯,不存在设施选择,未计入此表。

表4 参数估计结果
Tab.4 Model estimation

影响因素	参数估计值 (B)	标准误差 (SE)	卡方值 (Wald)	自由度 (df)	显著值 (Sig.)	优势比 (Exp(B))	95%置信区间	
							下限 (Lower)	上限 (Upper)
水平设施长度	-0.013	0.011	1.203	1	0.273	0.988	0.966	1.010
水平设施步行时间	-0.007	0.009	0.565	1	0.452	0.993	0.977	1.011
楼梯步行时间	-0.009	0.063	0.022	1	0.882	0.991	0.876	1.121
自动扶梯步行时间	-0.002	0.018	0.012	1	0.913	0.998	0.963	1.035
垂直步行设施类型	1.479	1.472	1.010	1	0.315	4.390	0.245	78.551
路径重复系数	-1.016	1.040	0.954	1	0.329	0.362	0.047	2.779

表5 模型预测与实际观测结果比较
Tab.5 Comparison between model forecasting and observed samples

OD	路径1			路径2			路径3			路径4			路径5			路径6			预测 量合计	观测 量合计
	预测 概率	预测 量	观测 量	预测 概率	预测 量	观测 量	预测 概率	预测 量	观测 量	预测 概率	预测 量	观测 量	预测 概率	预测 量	观测 量	预测 概率	预测 量	观测 量		
E-1	0.40	4	7	0.36	4	4	0.05	1	0	0.08	1	0	0.11	1	0				8	11
E-2	0.53	2	2	0.19	1	0	0.10	1	1	0.09	0	0	0.09	0	1				3	4
F-1	0.78	7	6	0.22	2	3													8	9
1-A	0.37	3	3	0.12	1	1	0.28	3	5	0.08	1	0	0.06	1	0	0.09	1	0	7	9
1-B	0.19	3	3	0.31	5	2	0.29	5	11	0.06	1	0	0.06	1	0	0.09	1	1	11	17
1-C	0.78	16	19	0.22	4	1													17	20
2-A	0.80	3	3	0.20	1	1													4	4
合计																			58	74

间相比,乘客对步行距离更加敏感;②路径中的垂直步行设施类型对乘客的路径选择影响很大,反映了不同垂直设施消耗体力和舒适性的对比;③路径重复系数对行人路径选择的作用明显,但是对效用的作用效果与国外研究相反;⑤经检验模型预测的总体正确率为78%。

轨道交通车站内的客流分配分析有助于实际工程中的车站设计,如新建车站空间布局评价、设施规模评价等。同时也为进一步研究车站内客流的微观交通特性(加减速、等待、排队等)、交通运行状况(客流时空密度分布、拥堵点等)提供了基础。进一步的研究可从以下方向进行改进:①在可能的情况下,选择2~3个典型的轨道交通车站分别进行调查,使研究结果更具普遍性;②本次研究主要针对早晚高峰进行调查,以单一的通勤目的为研究对象,而平峰时段车站内行人具有多种出行目的,行人路径选择影响因素可能不同,应开展进一步研究。

参考文献

- 1 Cheung C Y, William H K Lam. Pedestrian Route Choices between Escalator and Stairway in MTR Stations[J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 124(3): 277-285

- 2 关志宏. 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
- 3 王德, 马力, 朱玮. 2010年上海世博会场内人流模拟分析[J]. 城市规划学刊, 2006, (3): 58-63
- 4 Winnie Daamen. Modelling Passenger Flows in Public Transport Facilities[D]. Delft: Delft University of Technology, 2004
- 5 Winnie Daamen, Piet H L Bovy and Serge P Hoogendoorn. Influence of Changes in Level on Passenger Route Choice in Railway Stations[J]. Transportation Research Record, 2005, (1930): 12-20
- 6 Jodie Y S Lee, William H IS Lam and Wong S C. Pedestrian Simulation Model for Hong Kong Underground Stations[A]. IEEE. ITSC2001[C]. United States: Oakland, 2001. 554-558
- 7 Asano M, Kuwahara M, Sumalee A, Tanaka S and Chung E. Pedestrian Simulation Considering Stochastic Route Choice and Multi-directional Flow[DB/CD]. Lausanne: EPFL, 2006
- 8 潘宝骏, 张文彤, 张锡斌, 吴思英. 以SPSS软件包拟合条件 logistic 回归模型的探索[J]. 海峡预防医学 2002, 8(06): 3-6

(上接第45页)

理论,进行了自行车流体扩散特性影响分析,获得了不同交叉口宽度、不同信号配时的混合交通条件下的自行车通行能力。考虑交叉口机动交通的影响,提出了自行车流体扩散修正模型,期望对改进信号控制交叉口配时和交叉口渠化设计有一定的理论指导意义。

机非混行是中国城市交通的主要特点,如何确定交叉口自行车的通行能力、深入了解交叉口自行车流运行特性与机动车的协调控制问题是今后相当长一段时期内需要致力解决的问题。本文未考虑自行车流体扩散特性对行人过街的影响,即未考虑行人过街对信号控制交叉口自行车通行能力的影响。深入分析自行车与机动车之间的可接受临界间隙,以及如何协调控制自行车与机动车、行人和谐通过交叉口,使三者的通行能力达到最大,值得进一步深入研究。

参考文献

- 1 Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2000[DB/CD], Washington DC: National Research Council, 2000
- 2 Ananth P, Masoud A, Nora C, et al. Adaptive Signal Timing

- for Bicycles[DB/CD]. Washington DC: National Research Council, 2007
- 3 Taylor D. Analysis of Traffic Signal Clearance Interval Requirements for Bicycle-automobile Mixed Traffic[A]. National Research Council. Transportation Research Records 1405[C]. Washington DC: TRB, 1993. 13-20
- 4 Forester J. Bicycle transportation[M]. London: The MIT Press, 1994
- 5 张亚平. 道路通行能力理论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2007
- 6 曲昭伟, 周立军, 王殿海. 城市信号交叉口自行车及行人到达与释放规律[J]. 公路交通科技, 2004, 21(8): 13-22
- 7 袁晶矜, 袁振洲. 信号交叉口通行能力计算方法的比较分析[J]. 公路交通技术, 2006, (5): 8-10
- 8 刘东, 韩凤春, 陈永胜. 灯控路口非机动车交通流运行特性研究[J]. 中国人民公安大学学报, 2004, 10(2): 89-92
- 9 魏恒, 任福田, 刘小明. 自行车行驶状态与自行车道通行能力关系研究[J]. 中国公路学报, 1993, 6(4): 3-8
- 10 熊辉, 邱建栋. 信号交叉口自行车通行能力研究[J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(2): 125-128