

城市轨道交通车站换乘通道客流压力的评估方法

李玉书^{1,3} 孙越² 万衡³ 蒲琪²

(1. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海; 2. 同济大学铁道与城市轨道交通研究院, 201804, 上海; 3. 上海应用技术大学轨道交通学院, 201418, 上海//第一作者, 工程师)

摘要 基于车站各设施设备的负荷, 可建立一套可以描述城市轨道交通车站客流压力状态的评价方法与评价指标。针对城市轨道交通换乘车站换乘通道部位的客流压力进行评估, 利用行人路阻函数来表征车站换乘通道的通行能力及客流压力情况。选取上海轨道交通线网中的江苏路站及四平路站为案例, 形成这两个换乘站换乘通道走行时间函数。计算结果表明, 该方法具有可行性和实用性。

关键词 城市轨道交通; 换乘站; 换乘通道; 客流压力; BPR(美国联邦公路局)函数

中图分类号 U293.13; U231.4

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.01.025

Evaluation Method of Transfer Passageway Passenger Flow Pressure at Urban Rail Transit Station

LI Yushu, SUN Yue, WAN Heng, PU Qi

Abstract Based on the load of various facilities and equipment at station, a set of evaluation methods and evaluation indexes that can describe the passenger flow pressure state at rail transit station could be established. In this article, the passenger flow pressure in the passageway at the transfer station is evaluated, and the pedestrian resistance function is used to characterize the capacity and passenger flow pressure on the transfer passageway. Finally, taking Jiangsu Road Station and Siping Road Station in Shanghai rail transit as the cases, the travel time function of passenger flow in the transfer passageways of two stations is formed, calculation results show that the method is feasible and practical.

Key words urban rail transit; transfer station; transfer passageway; passenger flow pressure; BPR function

First-author's address Technology Centre of Shanghai Shantong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

城市轨道交通的信息化是智能交通系统的重要组成部分。客流量作为城市轨道交通运营管理的一个重要参数, 对车站运营、安全管理有重要的

影响。城市轨道交通的换乘车站普遍存在换乘客流量大的情况, 在缺少实时性强的客流监测手段, 以及缺乏针对性的客流有效组织的情况下, 容易导致换乘不便、衔接不畅、服务水平不高等诸多问题, 严重时还可能产生大客流聚集安全隐患。此外, 换乘站内部存在着各功能区域与公共换乘区域, 经常会出现客流聚集、密度过大等异常情况。换乘通道是轨道交通换乘站重要的设施部位, 换乘通道的客流情况是整个车站客流状态的重要组成部分。基于此, 本文对车站换乘通道客流压力评估进行深入研究。

1 城市轨道交通车站换乘通道客流压力评估方法

1.1 换乘通道走行时间指标

在综合客运枢纽领域, 客流集散效能的评估包括两个方面: 一是客运枢纽集结和疏散客流的效率, 二是客运枢纽集散服务的能力^[1]。城市轨道交通车站主要服务于轨道交通客流。作为大量客流集散的场所, 城市轨道交通换乘站的换乘通道客流压力评估也可以从集结和疏散客流的效率上进行研究。通过换乘站通行设施通过能力匹配度研究^[2], 换乘通行设施的密度比可直接判断通道是处于拥挤状态还是处于畅通状态; 饱和度是指客流量与通过能力的比值, 反映了设施能力的利用程度; 而乘客的换乘走行时间(以下简称“走行时间”)是指乘客从一个站台换乘到另一个站台所需要的走行时间, 反映了乘客的自由走行程度, 走行时间越低, 说明乘客在站内换乘过程越顺畅^[3]。

本文选取了乘客在换乘通道换乘过程中的步行速度(以下简称“步行速度”)作为换乘通道中客流压力的评估指标。换乘通道内乘客的步行速度难以测量, 但近年来对于走行时间的研究有了一些进展: 杜鹏等设计了推断乘客走行时间规律的抽样

试验方法,分析了影响乘客走行时间分布函数参数的因素^[4];邵远忠等将美国联邦公路局(BPR)函数移植于城市轨道交通车站内的行人交通流并对其进行线性改进^[5];童焱杰等采用正态分布和对数正态分布函数对城市轨道交通车站换乘走行时间分布进行描述,并利用极大似然估计法对其中参数进行估计^[6]。基于对走行时间的计算,可以有效地对不同换乘站换乘通道的压力进行评估。本文通过大量已标定的单位时间换乘客流量以及对应时间段内走行时间的多组数据对,拟合一个指数族路阻函数的参数,从而估计随单位时间客流量变化其对应走行时间变化的趋势,进行换乘通道走行时间的计算,最后通过换乘通道的实际长度将走行时间换算成走行速度。

1.2 换乘通道客流路阻函数的应用

在交通规划四阶段中的交通分配阶段,要对交通流量进行分配,就要考虑到某一路段的时间阻抗。对于路段行驶时间的修正,可以根据行驶时间和路段交通量之间的关系,即路阻函数来确定。最为常见的路阻函数是BPR函数,为计算乘客在城市轨道交通站内的通行效率,国内外学者在该方面做了较为详细的研究^[7-8],在计算走行时间时对BPR模型做了简化。由于换乘方式多样、变量复杂,因此把换乘通道的通过能力设为定值,纳入标定参数的一部分,整理后公式如下:

$$t = t_0 + BV^n \quad (1)$$

式中:

t ——实际的通行能力下的走行时间;

t_0 ——自由流下的走行时间;

V ——在测量时段换乘通道内通过断面上间隔(3 min)的实际流量的平均值;

B, n ——延滞系数。

延滞 B, n 系数的标定过程^[9],需要检测大量对应的流量和走行时间数据。对式(1)变换将两边取对数作如下变形:

$$t - t_0 = BV^n \quad (2)$$

$$\ln(t - t_0) = \ln B + n \ln V \quad (3)$$

令 $Y = \ln(t - t_0)$, $X = \ln V$, $a = \ln B$,则将式(2)转化为:

$$Y = a + nX \quad (4)$$

结合现场实测得到的数据转化为单位断面流量以及相应的走行时间。运用最小二乘法原理,拟合得到相应设施的 α, n 的参数值,并最终得到乘客

走行时间函数的表达式和换乘通道步行速度计算公式为式(5)、式(6):

$$t = t_0 + e^\alpha \cdot V^n \quad (5)$$

$$v = S/t \quad (6)$$

式中:

t ——由实际高峰小时换乘量计算出的换乘通道走行时间;

S ——某个换乘车站换乘通道的长度;

v ——某个换乘车站乘客在高峰小时的平均步行速度。

2 城市轨道交通车站换乘通道客流压力案例分析

本文选取上海轨道交通线网中江苏路站和四平路站作为计算案例,江苏路站和四平路站分别为上海轨道交通2号线与11号线以及8号线与10号线的换乘站。江苏路站换乘通道距离较长,早晚高峰均出现一定程度的拥挤;而四平路站的8号线站台是地下岛式站台,10号线站台是地下侧式站台,两线间客流通过站厅实现换乘。这两个换乘站具有一定的代表性,可用以印证客流换乘压力的计算结果。

2.1 换乘通道乘客走行时间函数参数标定

在某条换乘通道单方向换乘路径中,通过实际采集不同时段间隔为3 min/组的换乘量与通过该条路径的走行时间一一对应,通过换乘流量以及相应走行时间的散点值,进行一定的数据预处理后,拟合出一条符合指数函数最优参数的曲线,从而实现对基础模型参数的标定,进而用以估计通过该换乘通道乘客的走行时间。

首先,结合现场记录实际的换乘流量以及相应的走行时间,可以得至各换乘通道对应的多组标定数据。为了方便计算,将路阻函数两边取对数处理,原有的指数函数系数标定转化为线性函数的参数标定,原有延滞系数 B, n 的求解转化为了求解参数 α 以及 n ,将原始采集数据进行预处理并去除异常点后,再通过最小二乘法,拟合得到相应通道的参数 α, n 。

四平路站换乘通道走行时间函数的拟合如图1及图2所示。

经计算拟合结果: $n=0.8748$, $a=-0.7026$, $B=0.495296$ 。由于四平路站的自由流速对应的走行时间为30 s,则四平路站换乘通道换乘走行时间

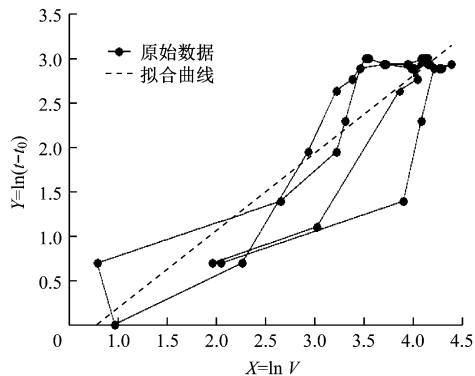


图1 四平路站换乘通道行走时间函数粘滞系数标定

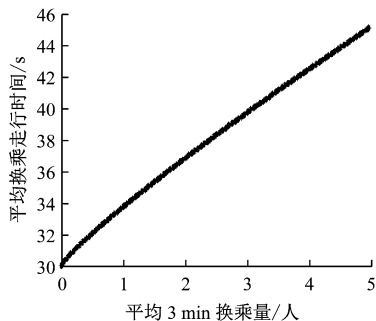


图2 四平路站换乘通道行走时间与平均3 min 换乘量的函数关系

函数为:

$$t = 30 + 0.495\,296\,V^{0.874\,8} \quad (7)$$

江苏路站换乘通道行走时间函数的拟合如图3、4所示。

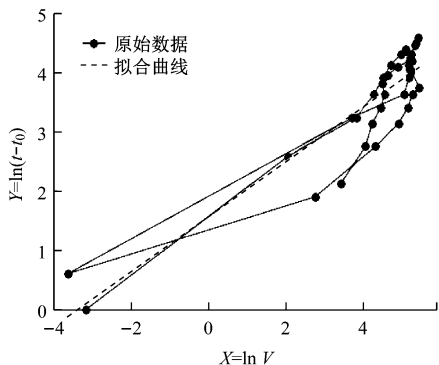


图3 江苏路站换乘通道行走时间函数粘滞系数标定

经计算拟合结果: $n = 0.461\,5$, $a = 1.569$, $B = 4.801\,844$ 。由于江苏路站自由流速对应的行走时间为 130 s, 则江苏路站换乘通道换乘行走时间函数为:

$$t = 130 + 4.801\,844\,V^{0.461\,5} \quad (8)$$

2.2 换乘通道乘客步行速度换算

参考《道路通行能力手册 2000》中对步行通道

服务水平中行人步速的阈值设定, 在城市轨道交通车站换乘通道内将行人平均步速分为 A-E 5 个等级, 具体分级标准如表 1。

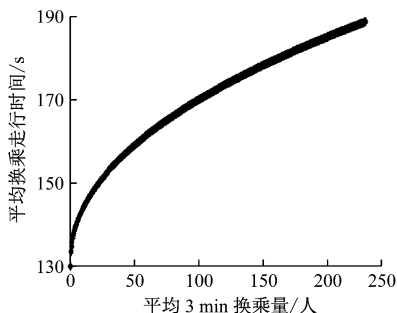


图4 江苏路站换乘通道行走时间与平均3 min 换乘量的函数关系

表1 换乘通道客流压力分级

级别	平均行人步行速度 (m/s)	行人状态
A	[1.27, +∞)	行走速度可以自由选择, 行人间没有冲突
B	(1.27, 1.22]	行人感觉到其他行人的存在, 并根据他们的存在选择行走路径
C	(1.22, 1.15]	反向或交叉人流将引起轻微的冲突, 速度和流量都有一定的下降
D	(1.15, 0.77]	该水平下接近通道的通行能力, 人流走走停停, 或出现阻塞
E	(-∞, 0.77)	人流处于间歇的不稳定的状态, 步行速度严重受限

选取四平路站(10 号线转 8 号线方向)16:00 至 18:00 晚高峰 2 h 作为测试时间, 并分为 8 个时间片(每个时间片为 15 min), 其中每 5 min 换乘流量数据换算为 3 min 的换乘流量再代入公式进行计算, 可以估计其换乘路径每 5 min 内的平均行人步速, 如表 2 所示。最后综合每 15 min 步速的算术平均值作为该换乘通道压力的分级依据。同理选取江苏路站(2 号线转 11 号线方向)17:00 至 19:00 晚高峰 2 h 作为测试时间, 其平均步速如表 3 所示。

表 4 为四平路站和江苏路站换乘通道客流压力计算的结果。根据客流压力分级对行人状态与等级的划分, 四平路站与江苏路站的换乘通道压力可纳入车站客流压力评估的一部分。由于试验中只记录了单方向的换乘客流, 于是将单位小时两个方向的平均换乘量换算为每 3 min 的结果带入公式计算, 其换乘客流等级估算的结果与实际调查情况近似一致。

表 2 四平路站换乘通道乘客平均步速估计			
16:00 ~ 18:00 的 8 个时间片	5 min 换乘 量/人	换乘通道 走行时间/s	平均行人 步速/(m/s)
15 min 时间片 1	87.80	45.89	1.24
	95.37	47.08	1.21
	119.67	50.83	1.12
15 min 时间片 2	80.40	44.71	1.27
	121.52	51.11	1.12
	103.90	48.41	1.18
15min 时间片 3	99.01	47.65	1.20
	137.05	53.45	1.07
	114.87	50.10	1.14
15 min 时间片 4	119.30	50.77	1.12
	125.77	51.76	1.10
	141.12	54.06	1.05
15 min 时间片 5	138.34	53.65	1.06
	140.29	53.94	1.06
	188.80	61.04	0.93
15min 时间片 6	181.77	60.03	0.95
	226.78	66.44	0.86
	242.55	68.65	0.83
15 min 时间片 7	289.40	75.10	0.76
	274.62	73.08	0.78
	273.61	72.94	0.78
15 min 时间片 8	263.22	71.51	0.80
	338.93	81.79	0.70
	358.70	84.42	0.68
注:四平路站换乘步行距离为 57 m			

3 结语

本文通过现场调研,对轨道交通车站单位时间内换乘通道客流量与走行时间的数据进行分析,考虑了换乘通道路阻函数中单一换乘方向的换乘时间。由于换乘通道的压力估计较为复杂,通过单位时间换乘客流量来估计走行时间的方法可以简化计算过程,而模型标定过程所获取的流量、走行时间数据量也是可以接受的。本文对城市轨道交通车站换乘通道的压力估计是从宏观角度的换乘便捷程度衡量的,具有一定的局限性。随着人工智能领域的发展,针对换乘通道走行时间的数据可以采用视频监控图像的识别算法;在长距离换乘通道中也可通过相同行人在不同地点出现的时间差来判

断其走行所消耗的时间。同时,也可监测客流走行情况,实时获取通道内的拥挤状态,用以估计其客流压力。

表 3 江苏路站换乘通道乘客平均行人步速估计			
16:00 ~ 18:00 的 8 个时间片	5 min 换乘 量/人	换乘通道 走行时间/s	平均行人 步速/(m/s)
15 min 时间片 1	259.14	179.30	1.03
	428.99	192.22	0.96
	379.46	188.79	0.98
15 min 时间片 2	346.37	186.37	0.99
	379.53	188.80	0.98
	400.43	190.27	0.97
15min 时间片 3	468.98	194.83	0.95
	422.78	191.80	0.96
	540.99	199.25	0.93
15 min 时间片 4	591.75	202.17	0.92
	503.99	197.02	0.94
	699.15	207.95	0.89
15 min 时间片 5	671.55	206.51	0.90
	634.24	204.52	0.90
	759.36	210.98	0.88
15 min 时间片 6	796.50	212.78	0.87
	775.50	211.76	0.87
	875.99	216.49	0.85
15 min 时间片 7	910.25	218.04	0.85
	968.82	220.61	0.84
	832.60	214.49	0.86
15 min 时间片 8	931.87	219.00	0.84
	1041.97	223.71	0.83
	1036.53	223.48	0.83
注:江苏路站换乘步行距离为 185 m			

表 4 换乘通道客流压力分级结果		
	四平路站	江苏路站
换乘步行距离/m	57	185
单位小时换乘量/人	1 467(8 换 10)/ 1 625(10 换 8)	4 448(2 换 11)/ 4 085(11 换 2)
换乘通道平均走行时间/s	52.57	187.05
平均行人步速/(m/s)	1.08	0.99
压力等级	D	D
注:8 换 10 指 8 号线换乘 10 号线方向;其余类推		

(下转第 144 页)