

磁卡和 IC 卡并用检票闸机通行能力分析

吴娇蓉, 冯建栋, 叶建红

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 观测分析了通勤时段上海市地铁站乘客通过三杆式闸机的过程, 研究影响闸机通行能力的主要因素——携带包裹大小、刷卡方式、乘客群体, 发现乘客使用磁卡和非接触式一卡通出闸时, 存在显著性差异. 采用统计分析方法, 确定了上海市内轨道交通常见的几类通勤乘客群; 在携带不同尺寸包裹、刷卡方式不同情况下, 过闸的时间间隔; 提出了三杆式闸机实际运营过程中通行能力的计算方法和主要参数的标定值, 为轨道站三杆式闸机的规划设计、车站客流的运营组织及应急预案的制定, 提供必要的依据.

关键词: 非接触式 IC 卡; 磁卡; 轨道车站; 自动检票闸机; 通行能力

中图分类号: U 491.2

文献标识码: A

Capacity Analysis of Magnetic Card and Contactless IC Card Automatic Fare Gate in Railway Stations

WU Jiaorong, FENG Jiandong, YE Jianhong

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The process of passengers passing through three-roller gates in Shanghai during commute time is observed and analyzed in this paper, main influence factors on gate capacity, the size of the package, the way people use the card and the passenger group, are studied. The results show that there is a significant difference between public traffic card (IC card) and magnetic card. Based on statistical analysis, the time interval of passengers passing through three-roller gates is determined by taking into consideration the main types of commuting passengers with different sizes of packages and different cards in railway station. The calculation method of the three-roller gates capacity and the calibration of the main parameters are put forward, which provide the necessary basis for the planning and design of the railway station three-roller gates, as well as the station's passenger operations and the

development of emergency-response plans.

Key words: contactless IC card; magnetic card; railway station; automatic fare gate; capacity

随着计算机的发展, 自动售检票系统 (automatic fare collection system, AFC 系统) 因其快速、准确、记录信息多、节约人力、减少人为因素等特点^[1-2], 已成为现代城市轨道交通系统中运营核心子系统之一. 1967年, 世界上第一套 AFC 系统在法国巴黎地铁成功启用. 40 多年来, AFC 系统在城市轨道交通中得到广泛的应用, 不仅成为轨道交通收费的主要手段, 还在现代化管理方面发挥了重要作用. 作为自动售检票系统中关键的组成部分——自动检票系统, 对轨道车站的乘客入站出站管理起着重要作用^[3]. 目前的地铁自动检票系统, 主要有磁卡式 AFC 系统、非接触式 IC 卡 AFC 系统、磁卡和非接触式 IC 卡并用式 AFC 系统等制式^[2]. 目前, 国内已投入运营的大部分地铁车站已开始使用非接触式 IC 卡. 为了满足不同乘客的需求, 国内不少城市的轨道车站使用了磁卡和非接触式 IC 卡并用式 AFC 系统^[4]. 上海市地铁车站使用的就是磁卡 (单程票) 和非接触式 IC 卡 (公交一卡通) 并用式 AFC 系统. 其检票闸机既可以识别单程地铁磁卡, 又可以识别全市公交通用的一卡通 IC 卡. 从轨道站乘客在闸机、通道、楼梯的通行能力来看, 自动检票闸机往往是轨道站客流通行的瓶颈, 一定程度上影响了乘客入站出站的效率, 对轨道站的运营有着较大的影响^[5]. 关于自动检票闸机的通过能力, 我国虽有相关的规定——现行《地铁设计规范》(GB 50157—2003) 中三杆式自动检票闸机的最大通过能力规定为: 单个闸门, 使用磁卡, $1\ 500\ \text{人} \cdot \text{h}^{-1}$; 使用非接触式 IC 卡, $1\ 800\ \text{人} \cdot \text{h}^{-1}$. 但对上海多个地铁车站的观测发现, 各站的三杆式自动

收稿日期: 2008-10-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50808141)

作者简介: 吴娇蓉 (1973—), 女, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为交通运输规划与管理. E-mail: wujiaorongtj@hotmail.com

检票闸机通行能力并不相同,且与规范有较大差距.

经认真分析,找出规范中一些不足之处:①并未给出磁卡与非接触式 IC 卡并用的自动检票机的最大通过能力,只分别给出了二者的通行能力;②未全面考虑使用者特征,不同的乘客群体,通过闸机的耗时有较大不同,因而闸机实际的通行能力也不同;③缺少闸机通行能力计算方法和相关计算公式.笔者通过分析上海人民广场地铁站通勤时段乘客使用闸机的实测视频数据,研究不同乘客群对闸机通行能力的影响,得出了闸机通行能力的计算公式及主要参数建议值,为轨道站闸机的规划设计、车站客流的运营组织及应急预案的制定,提供必要的依据.

1 闸机使用过程分析

按照功能的不同,目前国内外地铁常用的自动检票闸机有进口和出口两种;而按照阻挡方式的不同,可以分为启门式和三杆式.由于三杆式可以有效避免多人同时进出,上海使用的大多是单向三杆式^[6],仅有部分车站使用双向的.但前者也有不少缺点,如携带物品的乘客出入很不方便^[7].笔者主要以研究三杆式闸机的通行过程来分析影响闸机通行能力的主要因素,进而给出闸机通行能力的计算方法.以下对闸机使用过程的分析,皆以磁卡与非接触式 IC 卡并用的三杆式自动检票闸机为主.

将乘客通过闸机情况分为两类,一类为“正常通过”——乘客所持车票有效,自动检票闸机能够快速识别并放行,乘客对使用闸机较为熟悉;另一类为“非正常通过”——“正常通过”情况以外的其他情况(如由于乘客所持车票有损坏或资费不足,自动检票闸机对车票的识别存在困难或者有误,乘客对使用闸机不熟悉,或者乘客携带了很重、很大的物体,等等),导致在通行过程中,乘客通不过闸机,必须返回或需尝试两次以上刷卡才能通过.下文主要分析“正常通过”闸机的过程.

在高峰期,出入轨道站的人流量较大,乘客需依次排队通过闸机.乘客通过闸机出站过程及时间节点如图 1 所示.通过对大量地铁车站乘客出站行为的观测,发现绝大部分乘客在刷卡前需要确认前面乘客刷卡有效(闸机放行)——前面乘客可以通过闸机,然后再刷卡通过(为简化,将磁卡插入闸机内,或非接触式 IC 卡置于读卡器上的过程称作“刷卡”).该过程简述如下:

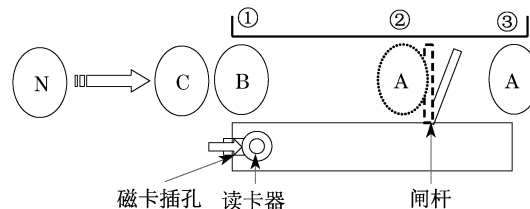


图 1 乘客正常通过闸机示意图

Fig.1 Schematic diagram of passengers through the gates

(1) 乘客 A 在位置①(闸机入口)刷卡,得到闸机放行信息后继续前进,后面的乘客 B 到达①,准备刷卡,同时观察 A.

(2) B 发现 A 到达②(闸杆处),能够推动闸杆(推动一较小角度,约 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$),确认 A 可以通过闸机,B 即开始刷卡.设此时时刻为 t_{1B} (下标 1 表示位置,B 表示乘客 B).

(3) B 在①刷卡得到闸机放行信息后,继续前进,后面的乘客 C 到达位置①并准备刷卡,同时观察 B.

(4) C 发现 B 到达②后能够推动闸杆,确认 B 可以通过闸机,C 即开始刷卡.设此时时刻为 t_{2B} .

(5) B 到达③(闸机出口),设此时时刻为 t_{3B} ,然后离开闸机,完成通过闸机全过程.

(6) 其他准备通过此闸机的乘客重复 B 的过程,直到所有乘客都通过.

由于乘客从①(入口)到②(闸杆)的时间,较从②到③(闸机出口)的时间要长(统计分析视频数据,99%乘客从闸机入口到闸杆处并推动闸杆一小角度的时间,大于 1.1 s;98%乘客从推动闸杆到走出闸机的时间,小于 1.1 s,平均为 0.6 s.).因此,在 B 到达②之前,A 已通过③,即已完全过了闸机.

从正常通过闸机过程的分析可知,该过程可以简化为两个阶段:第一阶段,从①到达②;第二阶段,从②到③.由于第一阶段的时间间隔要大于第二阶段,即 $t_{2B} - t_{1B} > t_{3B} - t_{2B}$,因而闸机的通行能力取决于第一阶段.在正常通过情况下,第一阶段到达的人数等于第二阶段通过的人数.计算闸机的通行能力时, $t_{2B} - t_{1B}$ 即相当于车辆通过停车线的车头时距.乘客通过②就相当于已经通过了闸机.

2 数据采集及指标获取

选择上海市人民广场地铁站一人流较为集中的闸机出口为主要观测点.该地铁站为三线(1,2,8

号线)交汇,客流量大,人群组成较为复杂,通勤时段客流尤为集中,有利于研究分析.主要采用视频记录(直接调用车站调度室内的监控视频)、后期处理的方式获得数据.

在视频观测的同时还现场观测,掌握工作日早高峰1h的乘客出闸情况,共观测出站乘客2808名.前半小时全样观测,后半小时抽样观测,既得到出口准确的人流组成情况,又对主要参数的调查进行补充,提高精度.

2.1 观测对象

由于目前上海地铁车站使用的是磁卡和非接触式IC卡并用式检票闸机,此类闸机在使用时,进站乘客无论持有地铁磁卡还是公交一卡通(即非接触式IC卡),均为非接触式IC卡的检票操作——将车票置于闸机读写器感应区,无须插卡.出站时持有地铁磁卡的乘客需将地铁磁卡插入检票闸机,为磁卡式检票操作;持有公交一卡通的乘客为非接触式IC卡的检票操作.故本论文主要研究乘客“正常通过”磁卡与非接触式IC卡并用自动检票闸机的出闸过程.闸机的物理参数如图2及表1所示.



图2 闸机尺寸及布置示意图(单位:cm)

Fig.2 Gate sizes and layout diagram(unit:cm)

表1 闸机尺寸及布置间隔表

Tab.1 Gate sizes and arrangement intervals cm

长	宽	高	间隔	安装位置
135	30	103	50	距闸机入口端90

2.2 参数及指标获取

采取逐帧播放视频,获取乘客到达闸机入口并准备刷卡的时刻、到达闸杆并推动闸杆转动一小角度的时刻,以及乘客特性等参数指标.

此外,还需要考虑影响通行能力的一些可能的主要因素,如乘客的性别、年龄、携带行李的大小、所持的车票种类、持票的方式以及是否熟练等.主要参数界定方法如下:

- 入闸时刻 t_1 (单个人进入闸机时): 该乘客进入闸机①准备刷卡的时刻.若为排队情况下乘客连续通过时,则是前一名乘客(图1中A)刚推动闸杆一较小角度($40^\circ \pm 5^\circ$)后的时刻,单位为帧(1帧 = 1/25 s).

- 推动闸杆的时刻 t_2 : 该乘客到达闸杆②推动闸杆一较小角度的时刻,帧.

- 出闸的时刻 t_3 : 该乘客到达闸机出口③的时刻,帧.

- 携带行李的大小: 分为五种,界定见表2.

表2 携带包裹分类

Tab.2 Classification of luggages

包裹分类	具体说明
无包	拿张报纸,或可以置于口袋内的小型钱包
小包	1个普通单肩包或双肩包;手里拿1个购物袋,较轻;携带2个较小的包裹,很轻.尺寸不超过普通书包
中包	1个大小超过普通书包;2个小包裹,较重
大包	旅行箱,或登山包大小,或超过中包
特大特重	折叠自行车或很重的箱子等,携带及搬运很不方便

- 持卡类别: 磁卡(单程地铁票);一卡通(非接触式IC卡).

- 持卡方式: 手持——手中直接持卡刷卡,或卡置于小型钱包内手持钱包刷卡,单程地铁磁卡都归为这种方式;拎包——卡置于小包内,不取出,将包置于读卡器直接刷卡,采用这种方式的都是非接触式IC卡.

- 熟练程度: 熟练,不熟练.本次观测中,由于持非接触式IC卡的大多数乘客乘坐地铁次数较多,未出现不熟练的情况;而部分持有单程地铁磁卡者,由于乘坐地铁次数较少,对闸机不熟悉,操作不熟练.

- 年龄: 中青年,老年.由于观测的是通勤时段,未发现其他年龄段的乘客.这种分类一方面考虑了身体状况的差异,另一方面也考虑了出行目的的差异.由于这些差异引起的通过速度和效率会不同.

3 参数分析

通过分析可知,在时间 $t_{2B} - t_{1B}$ 内,只有一名乘客B可以通过.在 $t_{2C} - t_{1C}$ 内,只有一名乘客C可以通过.若乘客使用熟练,通过的过程连续, $t_{1C} = t_{2B}$,即乘客B推动闸杆一较小角度时,C刚好开始刷卡,无缝衔接,时间利用率最高,闸机通过能力达到最

大. 即 $t_{2B} - t_{1B}$ 为乘客 B 和 C 通过闸机的时间间隔, 这一时间间隔主要受 B 影响, 影响这一间隔的因素也就是影响了通行能力的因素.

为了准确分析各因素对通行能力是否影响显著, 在应用统计学原理进行显著性检验时, 尽可能排除了其他因素的相互或叠加干扰, 如: 在分析持卡类别不同、过闸时间间隔是否也显著不同时, 相互比较的两组乘客, 在性别、年龄段、携带包裹及持卡方式等方面的数据都要相同, 从而保证两组参数的比较是在基本相同的条件下进行, 增强了分析结果的可靠性. 同时, 为了尽量避免样本数量影响分析结论, 乘客类组样本量超过 30 (满足大样本的条件)^[8]. 对小于 30 的乘客类组, 只作初步定性分析. 如果比较

组的样本量都较大 (最小一组为 48), 根据大样本特性, 则来自两个总体的样本平均数之差趋于正态分布, 可对两组乘客群的过闸时间间隔均值之差进行 Z 检验, 从而确定该均值是否差异显著, 即可证明所比较的相关因素是否对闸机通行能力有明显影响. 为了控制或减少两类风险, 显著性水平 α 取 0.05.

3.1 性别的影响

应用统计学原理, 对所观测样本的时间间隔在其他参数条件一致的情况下进行差异性分析, 选取样本量较大、参数满足一定精度条件下的男、女两组样本. 分析情况如表 3. 根据大样本方法, 采用 Z 检验. 取 $\alpha = 0.05$, 此时的 Z 值 $z_{0.975} = 1.96$.

表 3 中青年通过闸机时间间隔的性别差异性

Tab.3 Gender difference analysis of time interval through the gates in the young and the middle-aged people

编号	持卡类别	持卡方式	包裹	性别	观测样本	有效样本	间隔均值/s	间隔精度/s	z	比较结果
1	一卡通	手持	小包	男	472	469	1.88	0.10	-0.54	
				女	474	467	1.90	0.10		
2	磁卡	手持	小包	男	217	212	2.23	0.10	1.65	z < $z_{0.975}$, 无显著性差异
				女	148	143	2.12	0.10		
3	一卡通	拎包	小包	男	69	69	2.48	0.20	-0.40	
				女	381	378	2.53	0.10		

由上表可知, 男女中青年携带小包手持一卡通、磁卡, 与携带小包、拎包持一卡通的时间间隔并无性别差异. 其他组情况, 由于观测时间内样本较少, 测得参数精度不高, 未比较分析性别差异.

3.2 包裹的影响

通过比较分析量较大、参数满足一定精度的各

组样本, 将结果如表 4. 采用 Z 检验, $\alpha = 0.05$, $z_{0.975} = 1.96$. 由表 4 可知, 男性中青年, 无论是手持一卡通还是磁卡、无包或携带小包, 对时间间隔有显著性影响; 女性中青年, 拎包持一卡通, 或携带小包和中包, 也有显著性差异. 其他组情况, 由于样本较少, 测得参数精度不高, 未分析.

表 4 中青年通过闸机时间间隔携带包裹差异性

Tab.4 Luggage difference analysis of time interval through the gates in the young and the middle-aged people

编号	持卡类别	持卡方式	性别	包裹	观测样本	有效样本	间隔均值/s	间隔精度/s	z	比较结果
1	一卡通	手持	男	无包	94	94	1.66	0.10	-4.80	
				小包	472	469	1.88	0.10		
2	磁卡	手持	男	无包	103	101	2.04	0.10	-2.33	z > $z_{0.975}$, 差异性显著
				小包	217	212	2.24	0.10		
3	一卡通	拎包	女	小包	381	378	2.53	0.10	-3.93	
				中包	51	48	3.16	0.35		

3.3 持卡类别的影响

采用 Z 检验, $\alpha = 0.05$, $z_{0.975} = 1.96$, 分析情况见表 5.

由表 5 可知, 对于男性中青年, 无论是无包或携带小包、手持一卡通和磁卡, 对通过闸机时间间隔有显著性影响; 女性中青年, 携带小包手持一卡通和手

持磁卡, 也存在显著性差异.

3.4 持卡方式的影响

通过对大样本、参数满足一定精度条件的各组样本比较分析, 得结果如表 6. 采用 Z 检验, $\alpha = 0.05$, $z_{0.975} = 1.96$. 由表 6 可知, 无论是男性或女性中青年, 携带小包持一卡通时, 手持方式和拎包方式

对通过闸机时间间隔有显著性影响。

表 5 中青年通过闸机时间间隔持卡类别差异性

Tab.5 Ticket difference analysis of time interval through the gates in the young and the middle-aged people

编号	持卡方式	性别	包裹	持卡类别	观测样本	有效样本	间隔均值/s	间隔精度/s	z	比较结果
1	手持	男	无包	一卡通	94	94	1.66	0.10	-5.75	
				磁卡	103	101	2.04	0.10		
2	手持	男	小包	一卡通	472	469	1.88	0.10	-6.87	z > z _{0.975} , 差异性显著
				磁卡	217	212	2.24	0.10		
3	手持	女	小包	一卡通	474	467	1.90	0.10	-3.88	
				磁卡	148	143	2.12	0.10		

表 6 中青年通过闸机时间间隔持卡方式差异性分析

Tab.6 Card-holding difference analysis of time interval through the gates in the young and the middle-aged people

编号	持卡类别	性别	包裹	持卡方式	观测样本	有效样本	间隔均值/s	精度/s	z	比较结果
1	一卡通	男	小包	手持	472	469	1.88	0.10	-4.94	z > z _{0.975} , 差异性显著
				拎包	69	69	2.48	0.25		
2	一卡通	女	小包	手持	474	467	1.90	0.10	-12.69	
				拎包	381	378	2.53	0.10		

3.5 年龄的影响

由于本次观测中老年乘客占的比例很小(1 h 不超过 3%),样本较少,观测所得参数精度不高,因而仅简单比较分析。

所观测的人群中,手持一卡通无包男性乘客,老年相对于中青年,通过闸机的时间间隔明显长一些。观测的 9 名这样的男性老年乘客,间隔分布在 2.0~3.6 s,平均为 2.5 s,而同样情况下,中青年男性平均为 1.66 s。

手持一卡通携带小包男性乘客,老年相对于中青年,间隔明显长一些。10 名携带小包手持一卡通的男性老年乘客,除了 2 名 2.0 s 以外,其他都分布在 2.0~6.8 s,平均为 3.1 s;而同样情况下,中青年男性平均为 1.9 s。

携带小包拎包持一卡通的女性乘客,老年相比中青年,通过闸机的时间间隔要明显长一些。在所观测的 18 名携带小包拎包一卡通的女性老年乘客中,除了 3 名 2.5 s 以外,其他都分布在 2.5~4.4 s,平均为 2.7 s,而同样情况下,中青年女性平均为 2.5 s。

总之,在持卡类别、持卡方式与携带包裹等相同的条件下,无论是中青年男性或女性,都比同样条件下的老年乘客通过闸机的间隔要短,而且差别比较明显。

3.6 熟练程度的影响

熟练程度对乘客通过闸机的时间影响很大,在同样的持卡类别、持卡方式、携带包裹情况下,无论

男性还是女性,中青年还是老年,不熟练乘客都比熟练乘客时间明显长。由于乘客学习能力、纠错能力、周边乘客的示范与帮助等条件的不同,不熟练乘客通过闸机的时间间隔差别很大,最小的 3~4 s,最长的达到 1 min。在连续观测的半小时当中,总共记录了 1 550 名乘客,其中不熟练的 29 名,仅占总人数的 1.2%,但占用闸机的时间却占有所有乘客的 7%。

4 通行能力的计算

根据以上研究分析结果,需要对多个人群组成情况下的自动检票闸机通过能力的计算进行修正。

4.1 公式的提出

三杆式闸机通行能力 C (人·单位时间⁻¹),可根据下面公式计算得到:

$$C = 3\,600 / \sum_{i=1}^n p_i t_i \quad (1)$$

式中: t_i 为第 i 类乘客平均每人通过闸机的时间间隔, s; p_i 为第 i 类乘客在所有闸机使用者当中所占的比例; n 为通过闸机不同时间间隔的乘客群的数目。

4.2 主要参数标定

本研究得到了通勤时段轨道交通主要乘客群体的分类及其参数 t_i 的取值,根据测得的各类人群通过闸机时间间隔的累积频率曲线,可以得到 t_i 的建议值。

(1) 主要乘客群

根据对所观测乘客出闸时间间隔的分析,将相应无显著差异的男、女中青年乘客数据合并,归为同类人群,重新分析研究得出 t_i 的建议值(表7). 另

外,对于观测中样本量较大的男性中青年无包手持一卡通、无包手持磁卡和女性中青年携带中包、拎包一卡通的 t_i ,也进行了分析. 建议取值见表7.

表7 主要人群通过闸机时间间隔 t_i Tab.7 Time interval t_i parameter through the gates in the main population

类别	t_i/s			均值	精度/s	累计频率 85% 对应的通行能力* / (人·h ⁻¹)
	累计频率/%					
	15	50	85			
1. 携带小包手持一卡通	1.2	1.6	2.1	1.9	0.1	1 700
2. 携带小包拎包一卡通	1.5	2.1	2.9	2.5	0.1	1 200
3. 携带小包手持磁卡	1.3	1.8	2.6	2.2	0.1	1 400
4. 男性无包手持一卡通	1.1	1.5	1.9	1.7	0.1	1 900
5. 男性无包手持磁卡	1.2	1.8	2.4	2.0	0.2	1 500
6. 女性携带中包拎包一卡通	1.8	2.8	4.0	3.2	0.3	900

注: * 表示取整后的数值.

目前,我国大多数城市使用的磁卡与非接触 IC 卡并用式的三杆式自动检票闸机,进站乘客进闸时刷卡过程与非接触式 IC 卡(一卡通)相同,故计算进闸通行能力时,可采用表6和表7持一卡通的 t_i 值.

出站乘客,磁卡与非接触 IC 卡并用式的三杆式自动检票闸机的 t_i 值分别见表6和表7中的不同人群持磁卡和一卡通.

(2) 其他乘客群

由于本次主要是针对通勤时段乘客通过闸机情况的研究分析,因而老年乘客很少(3%),携带大包的也很少(4‰). 这两类乘客对通勤时段闸的影响不大. 女性乘客不携带任何包裹的很少(仅占有所有女性的3‰),绝大多数女性都携带拎包、挎包等随身小包,部分女性还携带两个包裹(可视情况当作中包);男性乘客中则很少有携带两个以上包裹的(携带中包的男性不到所有男性乘客的7‰). 同时,由于可观测的样本较少, t_i 值也无法满足一定的精度,故对此未深入探讨. 对于相关乘客群的 t_i 取值,将在后续的研究中进一步探讨. 一般来说,携带包裹、持卡类型、持卡方式相同的,老年乘客较中青年的 t_i 要大;年龄、持卡类型、持卡方式相同的话,携带包裹越大,其相应的 t_i 也越大.

4.3 应用实例

以上海人民广场地铁站另一出口闸机为例,通过对出闸乘客的交通特征进行分析,可得出闸主要人群及出闸特征的比例分布(见图3),以及主要乘客人群组成表(见表8). 对比例极小的情况,图中未予表示.

表中,仅携带小包持一卡通(包括手持和拎包)与携带小包持磁卡的中青年就占出闸乘客总数的

86.7%. 若不考虑所占比例极小的乘客人群,按主要人群扩展计算,可得各类乘客人群的比例(见表9). 应用式(1),可计算该闸机的最大通行能力(见表9).

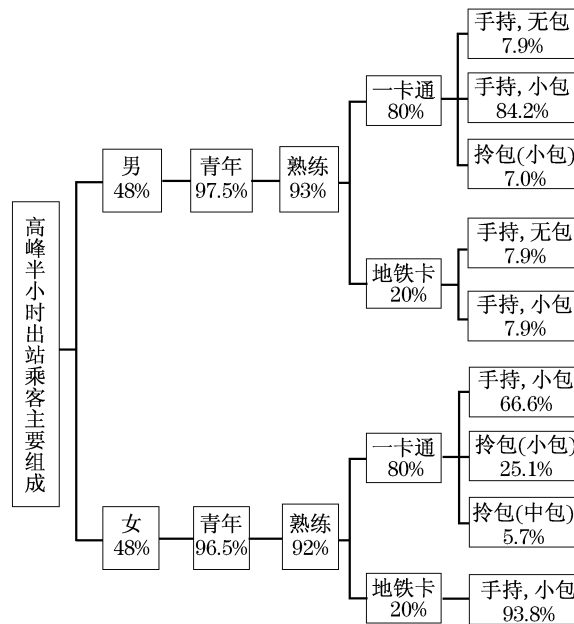


图3 乘客出闸特性分析

Fig.3 Characteristics of passengers through the gates

表8 出闸主要乘客人群种类及组成

Tab.8 Main groups of the passengers and the group proportion %

类别	一卡通				磁卡		小计
	手持		拎包		无包	小包	
	无包	小包	小包	中包			
男性	3.7	30.4	3.1	—	1.9	6.9	46.0
女性	—	29.5	12.4	1.8	—	4.6	48.3
小计	3.7	59.9	15.5	1.8	1.9	11.5	94.2

经现场实测,闸机饱和和流量取均值后的通行能力为 $1\ 520\ \text{人}\cdot\text{h}^{-1}$,与表9的误差为1.97%。由于计算中忽略了部分比例较小的老年人群、携带大包

的乘客人群,这部分人群过闸时间间隔较大些,因而导致了计算结果略微偏大,但在误差允许范围内。

表9 三杆式闸机通行能力计算
Tab.9 Capacity of automatic fare gate calculator

出闸乘客人群类别	所占比例/%	过闸时间间隔/s	权重后的时间间隔/s	平均时间间隔/s	通行能力/ ($\text{人}\cdot\text{h}^{-1}$)
1.中青年携带小包手持一卡通	63.5	2.10	1.33	2.30	1 550
2.中青年携带小包拎包一卡通	16.40	2.90	0.48		
3.中青年携带小包手持磁卡	12.2	2.60	0.32		
4.男性中青年无包手持一卡通	3.9	1.90	0.07		
5.男性中青年无包手持磁卡	2.0	2.40	0.05		
6.女性中青年携带中包拎包一卡通	2.0	4.00	0.08		

现行《地铁设计规范》中三杆式自动检票闸机的最大通过能力为:用磁卡, $1\ 500\ \text{人}\cdot\text{h}^{-1}$;非接触式IC卡, $1\ 800\ \text{人}\cdot\text{h}^{-1}$ 。现场观测的情况为:持一卡通乘客占85.8%,持磁卡乘客占14.2%,通行能力 $1\ 520\ \text{人}\cdot\text{h}^{-1}$,与规范值无法对应。因此,对于自动检票闸机的通过能力的计算,修正后的更为科学。

5 总结与展望

(1) 占轨道乘客总数最多的男、女中青年,使用一卡通并携带小包时,无论是手持还是拎包刷卡,对通过闸机的时间消耗无显著性别差异;男、女中青年使用磁卡并携带小包时刷卡,对通过闸机的时间消耗无显著性别差异。

(2) 使用磁卡和一卡通出闸时,存在显著性差异;携带包裹类别对出闸时间有显著影响;刷卡方式对出闸的时间消耗有显著影响。

(3) 中青年携带小包手持一卡通,平均过闸时间间隔为2.1 s;中青年携带小包拎包一卡通,平均过闸时间间隔为2.9 s;携小包手持磁卡,平均为1.9 s。

为了更深入研究乘客通过闸机的规律并确定闸机通行能力计算时的参数值,为设计、运营管理等提供必要的指标,应进一步研究不同站点、不同乘客交通特性对闸机通行的定量影响,重视对非正常通过情况的研究分析,以便清楚掌握人群组成、设施、环境差异下行人交通流特征的共性与差异,改善设施通行条件与环境,提高设施通行能力及行人满意度。

参考文献:

- [1] 王国光,史天运.自动检票系统设计及其实现[J].中国铁道科学,2005(5):112.
WANG Guoguang, SHI Tianyun. Design and realization of automatic ticket checking system[J]. China Railway Science, 2005(5):112.
- [2] 陈凤敏.地铁自动售检票(AFC)系统及其发展趋势[J].上海建设科技,2002(1):16.
CHEN Fengmin. Automatic fare collection system and its development[J]. Shanghai Construction Science & Technology, 2002(1):16.
- [3] 伍敏.自动售检票设备应用中存在问题及应对措施的探讨[J].都市快轨交通,2002(4):45.
WU Min. Study on countermeasures and problems existing in application of automatic fare collection equipments[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2002(4):45.
- [4] 王国光.自动售检票系统及关键技术研究[D].北京:铁道科学研究院,2005.
WANG Guoguang. Research on automatic fare collection system and key technologies[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2005.
- [5] 刘莹,吴娇蓉.轨道站行人路径选择研究[J].城市交通,2008,6(6):46.
LIU Ying, WU Jiaorong. Study on passenger route choice in railway stations[J]. Urban Transport of China, 2008, 6(6):46.
- [6] 居理,陈凤敏.上海地铁一号线自动售检票系统简介[J].都市快轨交通,1999(2):31.
JU Li, CHEN Fengmin. A brief introduction to automatic fare collection system of Shanghai No. 1 Metro Line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 1999(2):31.
- [7] 李建省,张美凤.自动检票中的启门式闸机控制系统[J].城市轨道交通研究,2008(1):38.
LI Jiansheng, ZHANG Meifeng. The scissors gate control system in automatic fare collection system[J]. Urban Mass Transit, 2008(1):38.
- [8] 龚曙明.应用统计学[M].2版.北京:清华大学出版社,2005.
GONG Shuming. Applied statistics [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.