

利用行人路阻函数 评估地铁站内 AFC 设备运营状况

邵远忠¹ 邵巍跃² 张 宁² 徐 文³

(1. 无锡市轨道交通发展有限公司 江苏无锡 214131; 2. 东南大学教育部 ITS 工程研究中心 南京 210096;
3. 北京城建设计研究总院有限责任公司 北京 100037)

摘 要 地铁站内 AFC 设备作为整个车站客流疏散的通行瓶颈,其运营状况关系到地铁线路乃至整个线网的运营状况。将 BPR 函数移植于地铁站内的行人交通流并对其进行线性改进,通过实际调研获取不同类型地铁站内与 AFC 设备处行人流相关的统计数据,并进一步通过统计软件对调研数据进行拟合分析。研究表明,车站类型、设备数量以及设备布局对 AFC 设备运营状况具有重要影响,相关研究分析可为地铁站内 AFC 设备运营状况的分析与评估提供依据。

关键词 城市轨道交通;地铁站;AFC 设备;行人路阻函数;BPR

中图分类号 U231+.92 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2013)02-0049-04

随着信息技术的进步和人们生活方式的改变,乘客对轨道交通的服务需求也发生了变化,使得以往一些技术模式和操作方案难以适应。因此,在城市主导交通方式——城市轨道交通中引进自动售检票系统(automatic fare collection system, AFC)具有必然性。目前,我国城市轨道交通站点已大量引进 AFC 终端设备,主要包括自动售票机(ticket vending machine, TVM)和自动检票机(automatic gate machine, AGM)^[1]。这些设备作为车站内部通行的瓶颈,其通过能力是影响车站运输能力的决定性因素之一,甚至影响到线路乃至整个线网的运输能力。以往对地铁站内行人通行能力的研究主要集中于站点内部布局、行人通道设计、线路客

流预测^[2-4]等方面,而对站内通行设施的通过能力,尤其是 AFC 终端设备通行能力与乘客交通流特征两者之间的匹配问题研究甚少。为了能够更有效地缓解地面交通的压力、更充分地发挥城市轨道交通的优势,城市轨道交通通行能力研究需更多地注重站内通行的瓶颈设备与乘客流之间的制约关系。

1 行人路阻函数简介

路阻函数(BPR 函数)^[5]用于研究路段行程时间(或车速)与交通负荷之间的函数关系,是由美国公路局(U. S. Bureau of Public Roads, BPR)在对大量路段机动车流进行调查的基础上,通过回归分析得到的一个公式,具有通用性好的特点。为了提高乘客在轨道交通站内的通行效率,国外许多专家和学者作了较为详细的研究^[6-9],运用 BPR 函数拟合评估的方法较为常用,但是多应用于站内楼梯、自动扶梯、通道等方面的行人通行。

地铁站内 AFC 设备处客流从出通道、经过行人走廊、到 TVM(或人工售票亭)处购票或直接刷卡进入付费区,这一过程从宏观的角度表现出交通流的方向性、被引导性、自主选择性,尤其是在大客流情形下,存在行人流渠化特征,这些特性与道路交通流的宏观特性相似,因此通过对 BPR 函数参数的重新定义,可将其移植运用于站内 AFC 设备布局的分析评估。对原本 BPR 函数式中各值的定义做相应的修改,使其更加适用于站内行人交通流,有

$$t_v = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{v}{C} \right)^\beta \right] \quad (1)$$

式中: t_v ——当行人流量为 v 时,行人经过调研范围所用的行程时间, s;

收稿日期: 2012-05-03 修回日期: 2012-05-24

作者简介: 邵远忠,男,大学本科,工程师,从事轨道交通机电工程,
syz598@sina.com

t_0 ——当行人流自由通行时,行人经过调研范围所用的行程时间, s ;
 v ——调研测定的行人流量,人/($\min \cdot m$);
 C ——设备的容量或通行能力,人/($\min \cdot m$);
 α, β ——待定参数。

在实际应用中,为了简化计算,将式(1)的非线性关系转化为线性关系^[10],但不改变 BPR 应用的本质,有

$$\ln\left(\frac{t_v}{t_0} - 1\right) = \ln \alpha + \beta \ln \frac{v}{C} \tag{2}$$

令 $y = \ln\left(\frac{t_v}{t_0} - 1\right), x = \ln \frac{v}{C}, \varepsilon = \ln \alpha$, 则式(2)可以进一步简化为线性关系模式 $y = \beta x + \varepsilon$ 。由于 t_0 表示自由行人流速度的通行时间, C 值表示设备的通行能力,这两个值可以通过现场观测或视频采集等方式获取。因此,通过在地铁车站内采集大量 AFC 通行设备处的样本数据,即可运用数学回归的方法测算出 α, β 的值,其中 β 表征 v 与 t_v 的敏感度, $\ln \alpha$ 表征 v 与 t_v 的相关修正值,从而得到 t_v 与 v 的关系,进一步分析 AFC 设备布局的合理性。

2 地铁站内 AFC 设备运营的影响因素

2.1 站点类型

影响地铁站点客流运动的因素较多,不同类型的车站其客流运动特性有着显著的差异。普通小型站点的客流运动规律相对简单,而大型换乘站、大型商业站点等位于闹市区的大型地铁站,因客流密集、人流运动规律复杂,其客运组织也比较复杂。从分析站内 AFC 设备通行能力的角度出发,根据客流运行特征及站点性质,将城市轨道交通车站分为火车站点、商业娱乐中心站点、换乘站点和普通站点四类。

2.2 AFC 设备数量

城市轨道交通站内 AFC 设备的数量配置不仅与地铁建设成本、运营成本以及通信设备的服务水平有关,而且还与地铁站点和客流组织效率密切相关。由于每个类型的地铁车站都有其特有的客流类型和客流运动方式,并且客流数据都具有一定的时效性,因此地铁站内 AFC 设备的数量配置必须依据已有的或预测的客流数据。站内 AFC 设备数量配置的研究主要是以进出站客流数据为基础,根据客流量配置合理的设备数量。在数量配置过程中,地铁站的 AFC 设备总数和合理分配各出入口的配置比例是两个核心点。

2.3 AFC 设备布局

国内城市轨道交通站内设备空间布局趋于模式化、简单化,AFC 设备布局由于受到车站结构的影响,经常出现机组利用不均衡的现象,造成某些机组设备使用率较低的现象。良好的地铁站内 AFC 设备布局具有如下几方面的特点:

- 1) 可以使地铁车站的站厅面积得到充分的利用;
- 2) 有利于合理配置 AFC 设备与装置数量,节省投资;
- 3) 合理的布局使得地铁站厅井然有序,有利于改善地铁站内环境;
- 4) 减少站内乘客的交织程度,提高通行效率,为乘客节约宝贵时间;
- 5) 使得 AFC 设备的空间利用不均衡度减小,提高设备利用率。

AGM 与 TVM 的相对布局关系:站内 AGM 与 TVM 的布局一方面要求设备布局与乘客的功能需求顺序相符合;另一方面要求有效防止在客流高峰时期,持有储值卡进站的客流、购买单程票进站的客流、TVM 排队的客流以及 AGM 排队的客流发生交织冲突。

AGM 的布置方式主要分为垂直于客流行走方向布置和平行于客流行走方向布置(见图 1)。

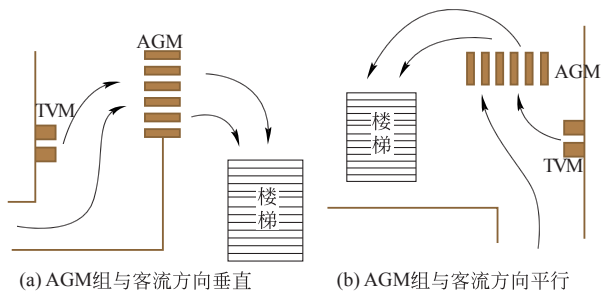


图 1 AGM 布置方式

AGM 的布置方式主要受轨道交通车站的设备空间布局和乘客路径选择行为特征的影响。在狭长的车站内,AGM 组会采取以垂直于客流行走方向的方式布置。在这种情况下,由于乘客选择心理的因素,往往近端 AGM 的使用率要远高于远端 AGM 的使用率,这样就造成设备空间利用率与时间使用率的不均衡现象。

3 行人路阻函数的数据调查

3.1 确定调研站点

不同类型地铁站点的行人流具有不同的运行特

征,因此在研究行人流多角度交织对地铁站厅通行能力的影响时,首先要对地铁车站进行分类。根据客流运行特征及站点性质将地铁车站分为火车站点、商业娱乐中心站点、换乘站点、普通站点 4 类。在已经完成的南京地铁线路、站点和站内客流调研工作的基础上,最终选取南京火车站、新街口站、安德门站以及兴隆大街站作为实际调查的站点。

3.2 确定调研范围

在实际应用过程当中,首先确定地铁车站内的调研范围具有必要性。在 AFC 设备处,行人流往往出现整体的速度调整现象,在高峰时期、客流量严重饱和的情况下,甚至停滞不前。需要购买单程地铁票的乘客,群集到 TVM 处,出现客流排队购票的情况,此时这部分客流的行进速度为零。而使用储值票与已经购买单票的乘客则群集到 AGM 处检票进站,通过 AGM 时先后经过正常行走阶段、等待/调整阶段、通过 AGM 阶段和二次调整阶段四个阶段,如图 2 所示。此过程对行人流前进的速度有较大影响,同时也很好地体现了站内 AFC 设备处行人流群集的特性。

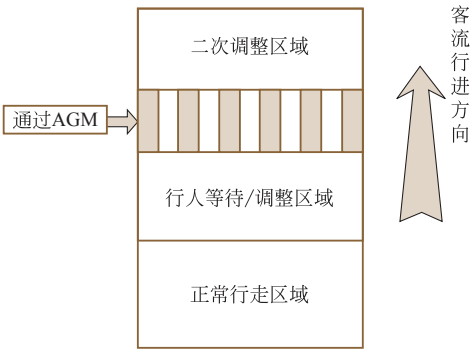


图2 行人流通过 AGM 的运动特征

本次地铁站内调研的范围:从入站通道末端开始,包括站厅内正常行走区域、行人等待调整区域,到过 AGM 组后 1.8 m 的范围(二次步行调整区域)。

3.3 具体数据调查方法

由于本次数据调查的样本量较大且处于客流高峰时段,为提高数据调查的精度并且不影响实际通行效率,最终选取视频图像处理的调查方法。摄像记录的最大优势是可以重现事件,但人工视频处理工作繁琐^[11]。运营方已经在地铁站内布设视频监控,可以直接从南京地铁运营方获取调研时段内的视频记录。

后期处理的方法主要是对视频录像内的样本个体

进行标号跟踪,记录结果包括:每个行人个体在调研范围内的通行时间 t_v ;以 AGM 通道为截面,记录单位时间内通过的行人流量 v 。

4 实例应用

在实际计算过程中,选取各个调研站点内较为典型的入口,以新街口站 2 号口、南京站 3 号口、安德门站 2 号口和兴隆大街站 1 号口为例,以 2011 年 8 月 5 日(周五)07:00—08:00 高峰时期流量为数据依据。根据 AGM 组通行能力,在完全理想条件下,最大值取为 1 200 人/h,理论上自由走动条件下的通行时间为 $1\,200/3\,600 = 1/3$ (s/人),但由于城市轨道交通具有地域性和时效性,且乘客组成类型和每个城市发行的票卡种类和比例不尽不同,南京地铁在全高峰时期最大通行量约为 900 人/h。因此,BPR 函数中的 t_0 与 C 值需实际调查得出(见表 1)。

表 1 调研站点入口 AFC 设备 t_0 与 C 取值

参数 \ 站点	南京站 3 号口	新街口站 2 号口	安德门 2 号口	兴隆大街 1 号口
t_0 /s	12.9	25.1	12.8	11.2
AGM 数量/台	7	11	5	5
C /(人/(min·m))	120	200	80	80
统计样本量	1 852	2 703	1 152	926

根据 AFC 设备处的记录数据,以 t_v/t_0 为因变量、 v/c 为自变量,行人个体散点分布呈现一定的规律性,但由于样本选择采用随机抽样的方式,一个流量值可能对应不同的行程时间。由于 $(t_v/t_0) - 1$ 可能会得出负值,且笔者主要研究大客流的情形,因此在模型拟合的过程中,舍弃 t_v 小于 t_0 的样本。利用统计分析软件对调研数据进行线性函数和多项式函数的拟合,拟合曲线如图 3 ~ 图 6 所示。

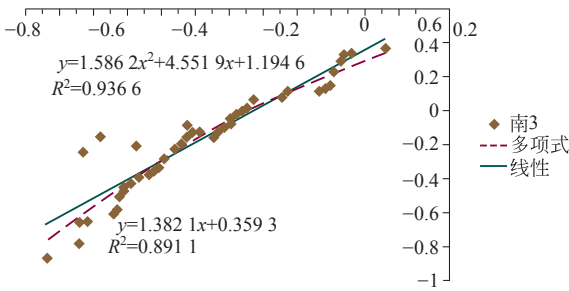


图3 南京站 3 号口路阻函数拟合曲线

由拟合结果可以推算各个调研站点典型出入口的路阻函数为

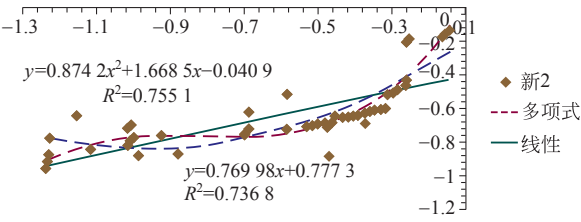


图4 新街口站2号口路阻函数拟合曲线

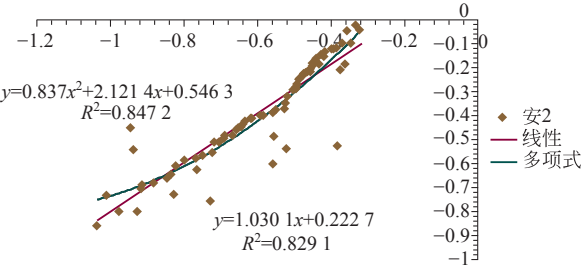


图5 安德门站2号口路阻函数拟合曲线

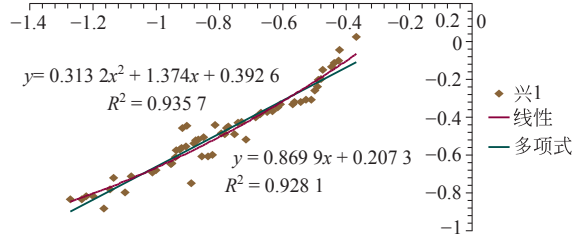


图6 兴隆大街站1号口路阻函数拟合曲线

南京站3号口: $t_v = 12.9 \times \left[1 + 1.432 3 \left(\frac{v}{90} \right)^{1.382 1} \right]$;

新街口站2号口: $t_v = 25.1 \times \left[1 + 2.175 6 \left(\frac{v}{150} \right)^{0.769 9} \right]$;

安德门站2号口: $t_v = 12.8 \times \left[1 + 1.249 4 \left(\frac{v}{60} \right)^{1.030 1} \right]$;

兴隆大街站1号口: $t_v = 11.2 \times \left[1 + 1.230 4 \left(\frac{v}{60} \right)^{0.869 9} \right]$ 。

由拟合曲线相关度 R^2 值可知,得到的路阻函数线性拟合结果精度已较高,仅比二次多项式略低几个百分点,甚至精度更高。 $t_{0\text{新街口}} > t_{0\text{南京站}} \approx t_{0\text{安德门}} > t_{0\text{兴隆大街}}$,拟合过程中 $\ln \alpha$ 表现为直线与纵轴交值, β 表现为拟合直线斜率,转化为参数关系后, $\ln \alpha$ 值表征 t_v 与 v 的线性相关度修正,而 β 值表征 t_v 对 v 敏感性。通过数据拟合结果可知:

1) 新街口站客流基数值最大, β 的拟合值最小,说明 t_v 与 v 的线性关系最不明显,在观测时间段内,客流通过 AGM 设备的时间随客流大小的变化较小, AFC 设备处的客流量几乎处于全高峰状态。但是根据 α 取值

可知, t_v 对 v 的线性相关修正值较大,当 $v = \frac{1}{2}C$ 时,通行时间即可达到畅行时间的 2 倍,可见新街口站 2 号出入口的 AFC 设备抵御其相应客流量冲击的能力较弱,设备数量已不能够满足乘客需求。

2) 由南京站 3 号口行人路阻函数拟合结果 α 与 β 的值可得出,南京站 t_v 对 v 敏感性次之,而线性关系最为明显。因此,可以得出南京站 3 号入口的 AFC 设备受客流冲击的波动性明显,与普通地铁站出站客流有类似特征,客流到达呈现脉冲特性。因此, AGM 组应当尽量垂直于客流方向布置,以减少设备利用的不均衡度,同时 AGM、TVM 的布局应当尽量防止客流交织,以减小突发客流对设备的冲击。

3) 兴隆大街站与安德门站由于是新开站点且车站规模相对较小,其敏感性、基数和线性关系相对于大客流站点均不明显。

5 结语

通过行人路阻函数拟合计算,可进一步换算得到调研地铁站内各个出入口的 AFC 设备处行人通行时间与流量的关系式。一方面,通过选取不同的调研站点、调研时间及调研设备,可对行人路阻函数的模型参数(与 AFC 设备行人流相关)进行微调,得出 t_v 与 v 的适当关系,为地铁站内 AFC 设备的布局、设备数量、乘客流在 AFC 设备处的通行状况提供改善方案;另一方面,通过数据统计分析,可拟合出乘客流在 AFC 设备处的通行时间与流量的变化关系,为地铁站内 AFC 设备的通行效率评估提供依据。

参考文献

[1] 姚国华,陈莹,张宁.城市轨道交通 AFC 系统总体业务规划[J].都市轨道交通,2011,24(4):61-64.

[2] 张喜正,漆文年.新型地铁车站形式的探讨[J].都市轨道交通,2005,18(4):126-130.

[3] 丁赛华.轨道交通车站布设方案的综合评价[J].城市轨道交通研究,2009,12(7):46-48.

[4] 葛世平.从大客流运营角度谈地铁车站的建筑布置优化设计[J].城市轨道交通研究,2010,13(4):1-7.

[5] 王炜,张桂红.城市道路路阻函数研究[J].重庆交通大学学报,1992,11(3):84.

[6] Daly P N, McGrath F, Annesley T J. Pedestrian speed/flow relationships for underground stations [J]. Transportation Engineering and Control, 1991, 32(2): 75-78.

[7] Harris N G. Modelling walk link congestion and the

(下转第 118 页)