

轨道交通交织区栏杆设置有效性分析

吴娇蓉, 刘学丽, 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: 引入交织强度、交织区内的交织点密度和行人偏移率 3 个评价指标, 通过受控试验定量分析交织区栏杆内区域与栏杆后 2 个子区域的流量、交织区位置移动、交织区面积变化及偏移率特征. 然后以栏杆设置是否促进交织区人群行走有序性和是否发挥限流效果作为交织区栏杆设置有效性评价标准, 提出判断流程. 利用上海市 2 个轨道站点的栏杆设置案例定量评价栏杆设置的有效性, 期望对轨道站交织区栏杆的规划设计提出定量分析方法.

关键词: 行人交织区; 栏杆; 交织强度; 交织点密度; 行人轨迹偏移率

中图分类号: U291.1

文献标志码: A

The Validity Analysis of Railings Set in Pedestrian Weaving Zone in Railway Stations

WU Jiaorong, LIU Xueli, YE Jianhong

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

Abstract: This paper mainly introduces three evaluation indexes: pedestrian weaving intensity, density factor of weaving points in pedestrian weaving zone and pedestrian trajectory offset ratio. By means of controlled experiments, some parameters are analyzed quantitatively, namely the volume of the areas inside railings as well as two sub-areas behind railings, the location of the pedestrian weaving zone (PWZ), the area of PWZ and the value of pedestrian trajectory offset ratio. Then, the judgment standards of whether setting railings makes pedestrian flow orderly and whether the railings play a role of current-limiting were put forward, along with the judging process. Afterwards, two Shanghai urban rail transit stations in Shanghai were selected for case study, evaluating the validity of setting railings. It is anticipated that this research will put forward a quantitative analysis method for the planning and design of the railings.

Key words: pedestrian weaving zone; railings; pedestrian

weaving intensity; density of weaving points; pedestrian trajectory offset ratio

轨道交通的换乘通道、换乘站厅常常出现不同方向人流交织, 且随着列车到达易出现脉冲式密集客流短时间通过通道、楼梯等设施的现象, 此时客流需求常会超出步行设施的通行能力, 交织行为必然使有序的人流短时间内转为无序, 通道混乱度迅速上升, 安全隐患随之出现. 交织行为对于步行设施的正常运行有以下几点影响: ①速度, 交织行为导致行人必须降低自身速度来避免行人间的冲突, Sano 等^[1]通过试验发现交织时速度下降 20%~30%; ②通行能力, 交织可以使通行能力下降 20%~40%^[2]; ③舒适性, 由于交织行为导致行人必须改变行走轨迹或者降低速度以避免行走流线的冲突, 大大降低了行走的舒适性^[3]; ④安全性, 在流量大、密度高、行人流线交织复杂的区域, 由于速度的降低导致步行时间的延长, 在部分瓶颈区域易出现拥挤、延误现象, 降低整个步行设施的服务水平, 安全隐患增加.

为了使各种行人步行设施能够承受脉冲式密集客流的冲击, 交通研究的重点转向交织行人的有效组织, 寻找缓和并减轻对步行设施冲击的方法. 使交织人流能够较为有序通过通道、楼梯的主要设施之一是栏杆. 图 1 所示为上海市曹杨路地铁站中轨道 11 号线转 3 号线、4 号线的换乘通道中的栏杆, 用栏杆将通道空间划分成若干小通道, 期望混乱的人流有序化. 图 2 为上海轨道 2 号线南京东路站 2 号出入口设置的栏杆, 期望栏杆具有限流的作用. 然而栏杆设置效果量化评价研究较少, 比如采用哪种量化指标分析栏杆设置有序性、评价限流效果时采用流量、密度、速度指标是否合理、如何评判交织区栏杆设置的有效性等. 笔者在行人交织区运行特征研究基础上, 引入评价指标, 通过受控试验对通道内

有无栏杆条件下各项行人运行指标进行比较,得出轨道站交织区栏杆设置有效性评价方法。



图1 上海市曹杨路站11号线转3号线、4号线换乘通道中的栏杆

Fig.1 The railings in the channel of transferring from line 11 to line 3 and line 4 in Shanghai Caoyang Road Station



图2 上海轨道2号线南京东路站2号出入口设置的栏杆
Fig.2 The railings in the entrance 2 of Shanghai Nanjing East Road Station

1 已有研究

交织冲突使行人的运行特征发生显著差异,一些学者采用了新的指标评估交织区域步行设施的运行特征.笔者从交织区的几何属性、位置属性分析交织区的基本特征,发现在流量和流量比不变的情况下,无论通道的长度与宽度如何变化,交织区的面积总是稳定的;而交织区的位置属性主要与通道的宽度有关^[4]. Kato等^[5]运用速度和速度方向的变化从微观角度分析行人的冲突行为. Pattnaik等^[6]使用基于行人感知的方法对步行交通设施进行服务水平评价. Muraleetharan等^[7]基于步行舒适度和安全感提出利用总效用值评价行人设施服务水平. Takane^[8]提出减速次数、占有私有空间次数、碰撞次数等3个参数进行多行为者基础模式方式仿真. Yamori^[9]针对双向行人通过时彼此交错交织而成的带状结构建立带状指数. Teknomo^[10]提出瞬间行人绩效、瞬间行人平均绩效、系统人流绩效等指标. 朱宸佐^[11]采用冲突熵和偏移率来评估行人的冲突程

度.笔者以提高交织区行人的感知服务水平为目标,结合阻碍效用函数构建变量指标,以交织强度、偏移率和交织点分布密度系数3项指标分析评价交织区的运行状况^[4].

已有的关于交织区的研究偏重于交织行为为相关因素分析和交织区运行特征评价,但针对轨道交通楼梯、通道等步行设施有交织人流通过条件下,承受脉冲式密集客流的冲击、通行能力不匹配时如何设置栏杆、有效实现限流或使交织人流有序通过步行设施的相关评价方法研究目前还处于空白阶段。

2 数据采集

2.1 受控试验设计

通过实地调查得到的视频(上海市1号线转2号线人民广场站站厅的栏杆设置、上海市曹杨路站11号线转3号线、4号线换乘通道等)数据存在几方面的缺陷:①地铁站到站人流为短时脉冲式,行人流量双向交织比例变化范围小,不利于分析栏杆设置效果差异;②拍摄角度倾斜,视频清晰度不够,无法获取交织区所有的交织点等,如图3所示.所以本文拟通过受控试验来获得所需的数据,试验场地位于同济大学行人与公共安全实验室,试验场地的正上方有摄像机进行视频采集.考虑场地限制,本次试验行人通道的长度为8.0 m,宽度为3.6 m,试验场景如图4.



图3 实地拍摄视频角度
Fig.3 Field video shooting angle

设置栏杆时,栏杆长度、栏杆间距、栏杆位置是栏杆的关键设计指标,选取关键设计指标的不同水平分级组成合适的对照组,如表1所示,加上不存在栏杆设施情况下的对照组,应该完成的试验数目为 $3 \times 3 \times 3 + 1 = 28$ 组(见表1),采用正交试验设计挑选出有代表性的部分试验点(水平组合)来进行试验,共需做 $9 + 1 = 10$ 组试验。

对受控试验得到的每组交织强度、交织点密度、行人偏移率等指标进行计算,发现9组受控试验中,

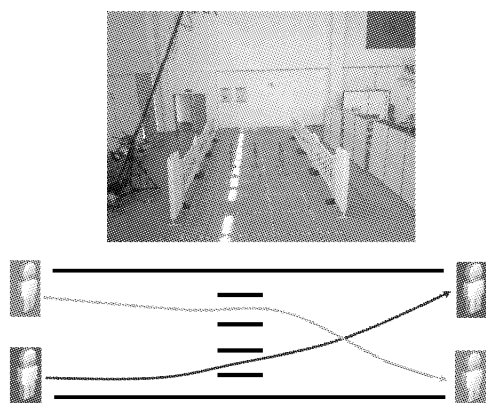


图 4 试验场景

Fig.4 Experiment scene

表 1 水平分级和指标因素

Tab.1 The classification table of levels and factors

水平分级	因素		
	长度 ¹⁾ /cm	间距 ²⁾ /cm	放置位置 ³⁾ /cm
1	100	72	200
2	150	90	400
3	200	120	500

注:1)指栏杆的长度;2)指栏杆的间距;3)指栏杆的左侧距离通道左端的位置。

设置栏杆后对通道中的交织现状改善效果最好的是栏杆长度为 200 cm、栏杆间距 90 cm、栏杆位置为距离通道左侧入口 200 cm 的试验组。因此,在选取栏杆有效性分析的试验组时,为了最大程度地体现出通道中设置栏杆的有效性,将这种栏杆设置形式界定为试验 A,与无栏杆的试验 B 组成对照组进行通道中栏杆设置有效性分析。

2.2 数据采集方法

(1) 行走速度和行走轨迹数据采集。通过同济快行人轨迹分析软件得出行人个体位置坐标、速度、运动轨迹等当前时刻的流量、密度等数据。

(2) 交织点以及交织区的数据采集。在通道 CAD 图中,将视频中每对行人的交织位置描绘在相应位置上。用圆圈代表一对行人的交织位置,交织区即为描绘出的交织点分布区域。

3 基于栏杆的交织区交织特性分析

栏杆限制了自由行走人群的路径,研究人群在栏杆前、通过栏杆、通过栏杆后这一过程交通运行指标变化可以分析栏杆对人群移动行为的影响。

将栏杆附近区域划分为 3 部分:栏杆前区域(I),为通道入口到栏杆前端处,长度为 200 cm;栏杆内区域(II),为栏杆长度的区域,长 200 cm;栏杆后区域,为栏杆末端到通道出口处,将栏杆后区域分

为子区域 1(III)和子区域 2(IV),2 个子区域通道长度相同,均为 200 cm,如图 5。

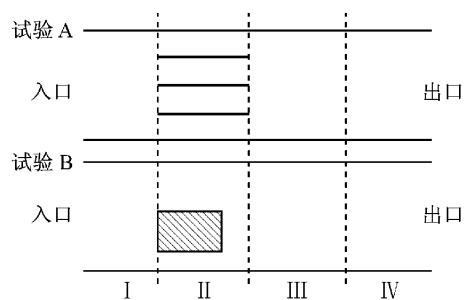


图 5 通道内划分的 4 个区域

Fig.5 The four areas in the passageway

3.1 有无栏杆的交织区面积及位置属性变化分析

Fruin^[3]对行人交织冲突的定义为:由于一个行人太接近另一个行人而使得一般正常的步行速率受到中断或者暂停。行人之间由于流线冲突而产生交织行为,这些交织行为在步行设施中表现为交织点,单个或零散孤立的交织行为只能形成几个交织点,如果大量交织点的位置集中在一个相对稳定的区域,那么这个区域就是交织区(PWZ)^[4]如图 6。图 6 中 L 为交织区长度, m ; W 为交织区宽度, m 。



图 6 行人交织区

Fig.6 Pedestrian weaving zone

将 2 个行人发生冲突的点描绘在 CAD 图中,在 CAD 交织点分布图中发现,存在明显交织区的情况下,交织区的形状都可以近似为一个矩形。把矩形的长和宽相乘得到的面积即为交织区的面积。

$$S = LW \quad (1)$$

式中: S 为交织区面积, m^2 。

交织区的位置属性是指交织区与通道出入口以及通道墙壁之间的位置关系。交织区位置属性包括:交织区矩形左侧到通道左侧的距离 X_1 ,交织区右侧到通道右侧的距离 X_2 ,交织区下边缘到通道下边缘的距离 Y_R ,交织区上边缘到通道上边缘的距离 Y_L ,如图 7 所示。

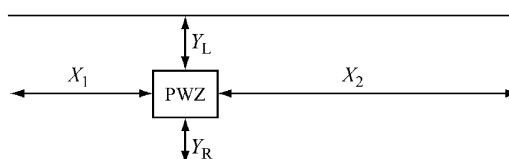


图 7 交织区位置属性

Fig.7 The location attribute of pedestrian weaving zone

试验 A 和试验 B 的交织区位置属性如图 8 所示. 计算得到试验 A 的交织区面积为 1.00 m^2 , 试验 B 的交织区面积为 $1.3 \text{ m} \times 1.6 \text{ m} = 2.08 \text{ m}^2$. 由于设置栏杆后栏杆内区域行人的行走较为有序, 走出栏杆内区域后的行人冲突集中在一定的区域内, 使得交织区的面积有所减小. 试验 A 加入了栏杆之后交织区后移了 2.8 m .

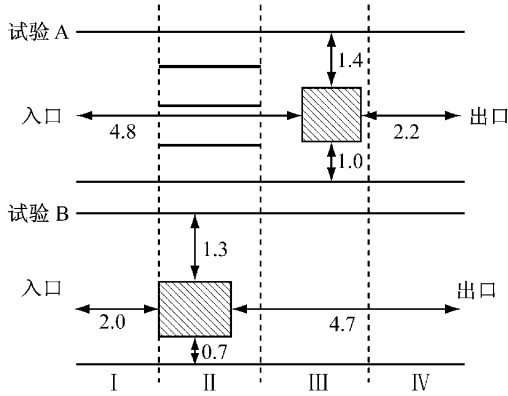


图 8 试验 A 和试验 B 的交织区位置(单位:m)

Fig.8 The location attribute of pedestrian weaving zone in experiment A and experiment B (unit: m)

3.2 有无栏杆的通道流量、速度、密度变化分析

记录试验 A 和试验 B 中的 4 个区域内的流量(人·(m·s)⁻¹)、速度(m·s⁻¹)、密度(人·m⁻²)的变化. 通过同济快通行人轨迹分析软件记录的单个行人在每一帧时的坐标值可以计算单个行人分别在 4 个区域中的平均速度; 4 个区域分别记录 60 个行人样本, 计算速度最大值、最小值、上四分位值、中位值、下四分位值.

由流量、速度、密度的变化(图 9~11)可以看出:

(1) 设置栏杆后, 试验 A 栏杆前区域流量大于栏杆内区域流量大于栏杆后子区域 1 流量, 到栏杆后子区域 2 流量回升; 与试验 B 对比, 试验 A 栏杆内区域流量高于试验 B, 试验 A 栏杆后子区域 1 流量低于试验 B, 试验 A 栏杆后子区域 2 流量低于试验 B. 因此, 设置栏杆有限流作用.

(2) 与试验 B 对比, 试验 A 的行人由栏杆前区域进入栏杆内区域, 出现明显的密度降低、速度增加现象. 这是由于在进入栏杆之前的过程中人们要完成小通道的选择、行走方向的调整、与其他人争抢或者谦让进入等系列行为, 所以栏杆前区域呈现密度较高、速度较小的规律.

(3) 试验 A 设置栏杆后交织区后移至子栏杆后区域 1. 相较于试验 B 的交织区, 试验 A 中行人由栏杆内区域进入栏杆后子区域 1(即进入交织区)时, 行

人流量、速度均减小而密度有所上升; 行人从栏杆后子区域 1 走入子区域 2 后, 行人交织结束, 行人的速度有所提高而密度有所降低.

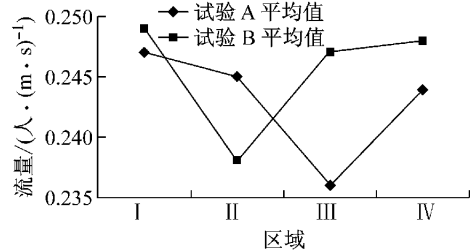
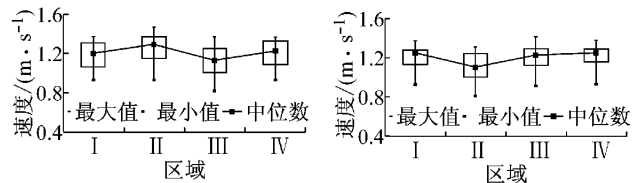


图 9 试验 A 和试验 B 的 4 个区域流量

Fig.9 The pedestrian volume in four areas in experiment A and experiment B

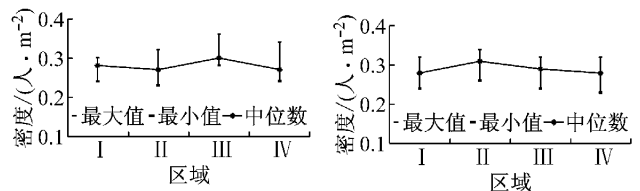


a 试验 A

b 试验 B

图 10 试验 A 和试验 B 的 4 个区域速度

Fig.10 The pedestrian speed in four areas in experiment A and experiment B



a 试验 A

b 试验 B

图 11 试验 A 和试验 B 的 4 个区域密度

Fig.11 The pedestrian density in four areas in experiment A and experiment B

3.3 有无栏杆的交织指标变化分析

在道路机动车交织区中交织强度系数是度量交织行为对交织与非交织车辆平均速度的影响. 将此概念引入到行人交通中, 行人交织区的交织强度为交织行人的速度变化, 通过对行人速度的变化来研究交织区交织强度的情况^[4].

$$W_i = \frac{|V_{iw} - V_{inw}|}{V_{iw}} \quad (2)$$

$$W = \sum_{i=1}^N W_i / N \quad (3)$$

式中: W_i 为行人 i 的速度变化; V_{iw} 为行人 i 在交织区内的速度; V_{inw} 为行人 i 在非交织区的速度; W 为交织区的交织强度; N 为交织区行人个数.

计算得到试验 A 的交织强度为 0.15, 试验 B 的

交织强度为 0.18,这说明设置栏杆使得交织区内的交织强度有所降低.当交织点集聚在某一块区域时,单位面积内的交织冲突多,行人的不舒适性高,安全隐患也大,当交织点均匀分散在一定区域时,单位面积内的交织冲突少,行人舒适感增加,因此需要用交织点的分布密度指标来判断行人交织区的舒适性程度.计算的方法是用交织区内的交织点个数除以交织区面积.交织点越是聚集,交织区内的交织点密度越大,此时行人行走的舒适度越差.

$$K = n/S \quad (4)$$

式中: K 为交织区内的交织点密度,个 $\cdot m^{-2}$; n 为交织区内的交织点个数.

试验 A 的交织点密度为 2.6 个 $\cdot m^{-2}$,试验 B 的交织点密度为 2.25 个 $\cdot m^{-2}$.试验 A 行人从栏杆内区域走出时行走较为有序,交织点分布的区域较为集中,所以交织点的密度比试验 B 的交织点密度大是合理的.

行人正常行走时,为了避免不必要的体力消耗,大多沿最短路径行走,但是行人遇到干扰时,通常采用横向偏移来避免冲突.当避开冲突后,行人会往最短路径方向继续行走.为了表示行人在正常行走中避开冲突而偏移原有行走路径的程度,引入行人偏移率这个指标进行衡量.偏移率等于行人真实行走的路程和行人两点之间的最短位移的差值与行人真实行走路程的比值(图 12).此指标能够描述行人行走的有序性.

$$d_{iw} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (5)$$

$$d_{i0} = d_0 \quad (6)$$

$$d_i = \frac{d_{iw} - d_{i0}}{d_{iw}} \quad (7)$$

$$D = \sum_{i=1}^N d_i / N \quad (8)$$

式中: d_{iw} 为第 i 个行人起点到终点的实际行走距离, m ; d_1, d_2, d_3, d_4 分别为图中行人起点到终点的实际行走距离, m ; d_{i0} 为第 i 个行人起点到终点的直线距离, m ; d_0 为图中行人起点到终点的直线距离, m ; D 为行人行走偏移率; d_i 为第 i 个行人的行走偏移率.

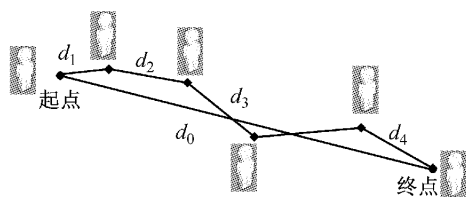


图 12 行人行走偏移率

Fig. 12 Pedestrian trajectory offset ratio

计算得到行人在 4 个区域内的偏移率并画出标

记折线图,如图 13 所示.从图中可以看出试验 B 中行人进入交织区域时(对应试验 A 的栏杆内区域),由于行人冲突概率增加,行人实际行走路程增大,偏移率明显增加.走出交织区后,行人偏移率有所降低直至子区域 2 维持稳定且此时偏移率的值与栏杆前区域偏移率的值近似相等.与试验 B 相比,试验 A 的栏杆内区域偏移率值明显降低,这是由于栏杆分离出行人队列和特定的行走路径,行人不易受干扰,所以偏移率达到最低.行人从栏杆内区域走出进入子区域 1(交织区)时,基于惯性行人还维持着较为有序的状态,因此该区域行人的偏移率也不大,与试验 B 中的偏移率接近.

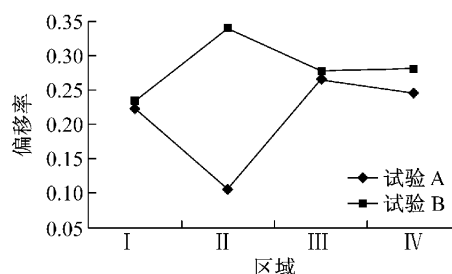


图 13 试验 A 和试验 B 的偏移率变化

Fig. 13 The changes of the pedestrian weaving zone trajectory offset ratio in experiment A and experiment B

由上文分析得出,在交织区处设置栏杆可以强制降低流量,同时使交织区后移、交织区的交织点密度增大、偏移率降低,从而发挥限流和促进行走有序性的作用.下文提出评价轨道站栏杆设置有效性的方法,针对上海市轨道站点交织区栏杆设置的实际案例进行有效性评价.

4 轨道站交织区的栏杆设置有效性分析方法

交织区设置有效性评价以是否促进行走有序性和是否发挥限流作用为评价标准.在轨道站交织区,栏杆通常设置在通道中或 2 种通行能力不匹配的设施之间,具体的判断栏杆设置有效性的指标选取和判断流程见表 2 和图 14,图 14 中, V 为平均流量, V_1, V_2, V_3, V_4 分别是 4 个区域的流量.

4.1 上海曹杨路站换乘通道的栏杆设置有效性分析

上海市曹杨路站 11 号线转 3 号线、4 号线换乘通道中的栏杆设置平面图见图 15.图中箭头为行人的行走方向,短横线为通道中设置的栏杆.栏杆设置

表 2 栏杆设置有效性判断指标

Tab.2 The validity characteristics of railings set

栏杆设置位置	判断指标	设置有效特征
通道中存在行人交织区域	行人的平均行走轨迹偏移率、交织区位置变化、交织区面积	行人的平均行走轨迹偏移率降低, 交织区后移且交织区面积减小, 有序性增加
通行能力不匹配的设施间	通道中 4 个区域的流量值	栏杆内区域的流量以及栏杆后子区域 1 和子区域 2 的流量均有降低, 限流有效

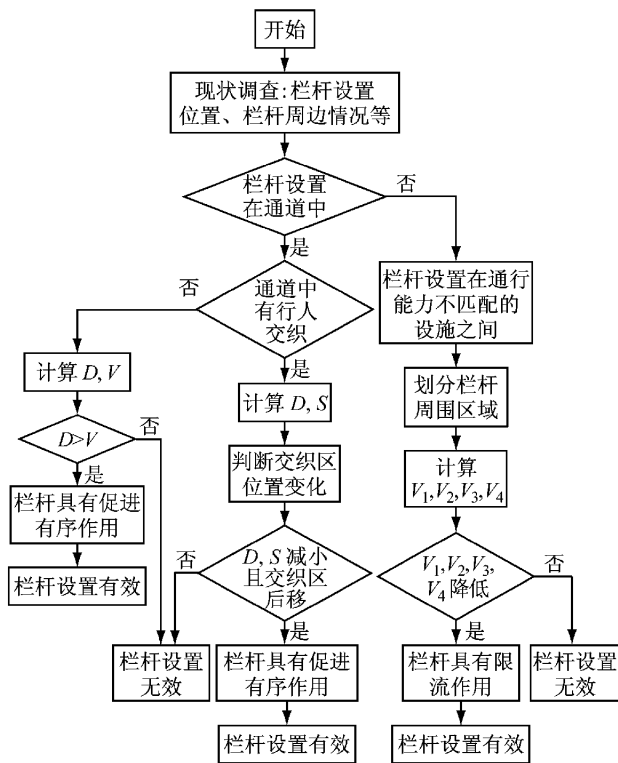


图 14 栏杆设置有效性判断流程

Fig. 14 The judgment process of the validity of railings set

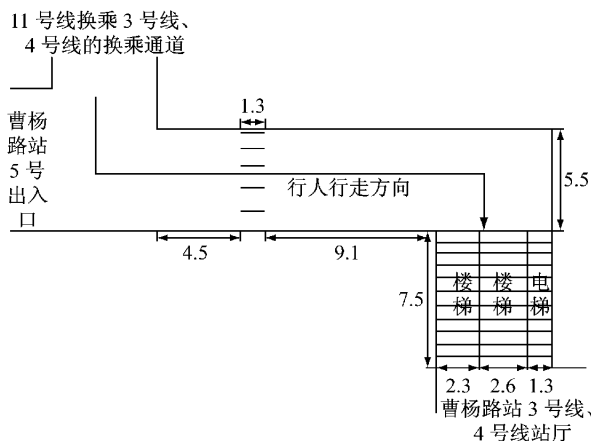


图 15 上海曹杨路站换乘通道的栏杆设置平面图 (单位: m)
Fig. 15 The railings set in the transferring channel in Shanghai Caoyang Road Station (unit: m)

在长 14.9 m、宽 5.5 m 的水平通道中, 将栏杆附近区域划分为栏杆前区域、栏杆内区域、栏杆后区域。

栏杆前区域为通道入口到栏杆前端处, 长度为 4.5 m; 栏杆内区域即为栏杆长度的区域, 长 1.3 m; 栏杆后区域为栏杆末端到通道出口处, 分为子区域 1 和子区域 2, 子区域 1 长度为 4.5 m, 子区域 2 长度为 4.6 m。通过 Legion 软件仿真试验得到设置栏杆前后的交织区位置变化见图 16。

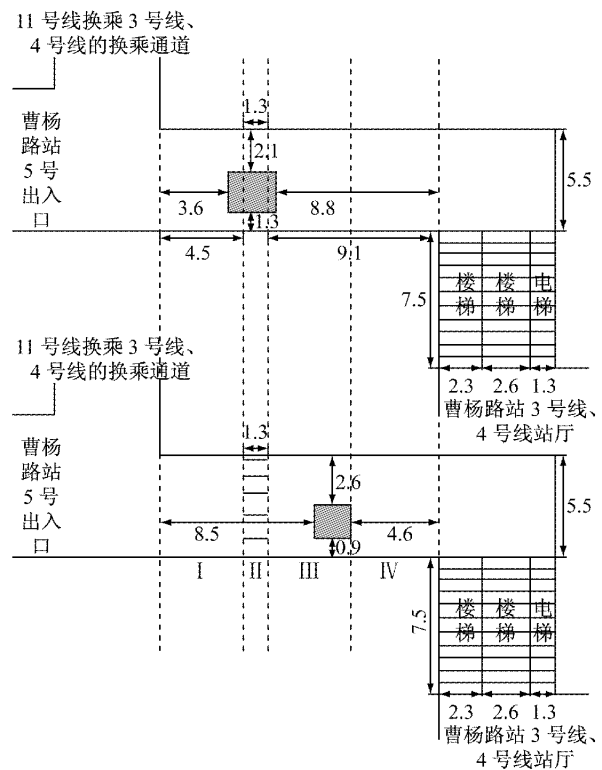


图 16 设置栏杆前后的交织区位置 (单位: m)

Fig. 16 The location attribute of pedestrian weaving zone before and after railings set (unit: m)

由图 16 计算得到设置栏杆前的交织区面积为 $2.5 \text{ m} \times 2.1 \text{ m} = 5.25 \text{ m}^2$, 设置栏杆后的交织区面积为 $1.8 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} = 3.60 \text{ m}^2$. 交织区的面积减小了 1.65 m^2 . 水平通道中加入了栏杆之后, 交织区后移了 4.9 m. 设置栏杆前后的行人流线变化图如图 17 所示. 通过调查行人轨迹, 计算得到行人在 4 个区域内的偏移率变化如图 18 所示, 设置栏杆前的 4 个区域平均偏移率为 0.286, 设置栏杆后 4 个区域的平均偏移率为 0.254, 降低比例约 12%。

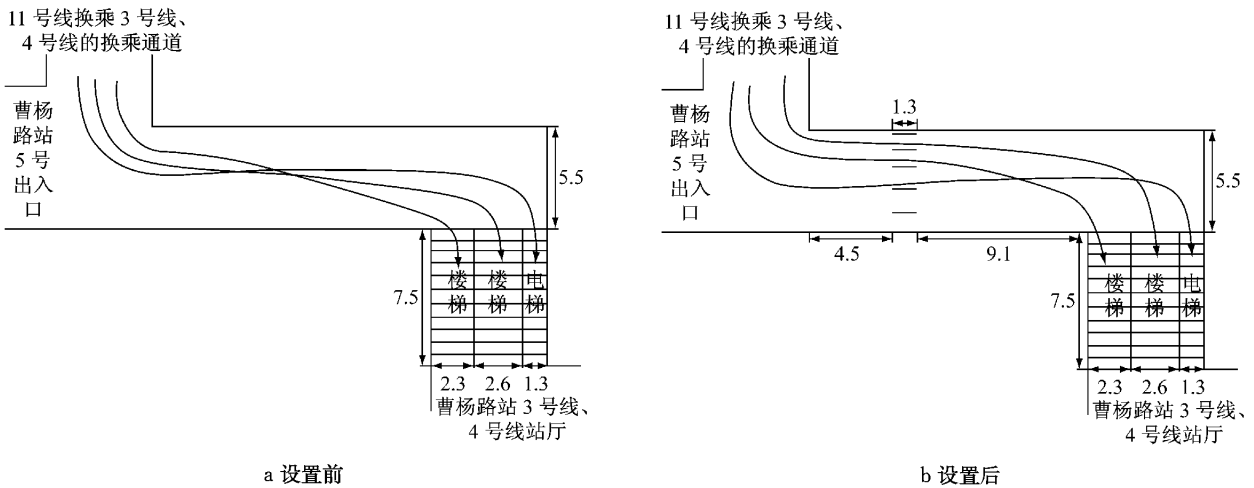


图 17 设置栏杆前后的行人流线变化(单位:m)

Fig. 17 The changes of pedestrian flow before and after railings set (unit: m)

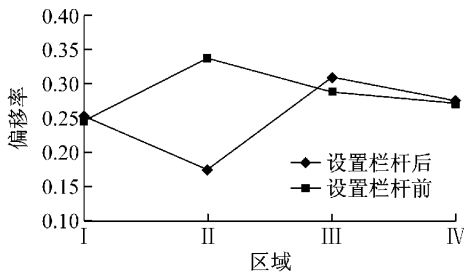


图 18 设置栏杆前后的偏移率变化

Fig. 18 The pedestrian trajectory offset ratio in four areas before and after railings set

综上,曹杨路站 11 号线转 3 号线、4 号线的换乘通道中设置栏杆后与设置栏杆前相比,行人的平均行走轨迹偏移率降低,交织区后移且交织区面积减小,提高了水平通道中行人行走的有序性. 所以,此换乘通道中的栏杆设置是有效的.

4.2 上海南京东路站 2 号出入口栏杆设置的有效性分析

南京东路站 2 号出入口周围环境及栏杆设置平面图如图 19 所示. 栏杆设置在南京东路站 2 号出入

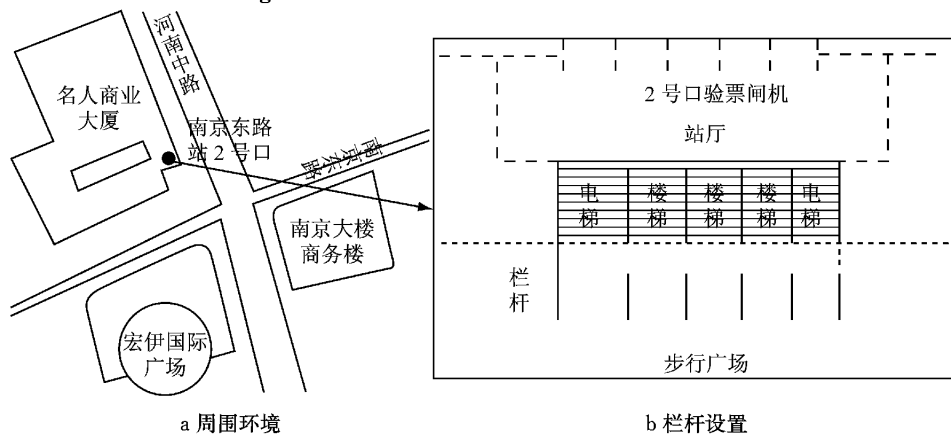


图 19 南京东路站 2 号出入口周围环境及栏杆设置平面图

Fig. 19 The surrounding environment and the railings of the entrance 2 of Shanghai Nanjing East Road Station

口的自动扶梯和楼梯入口处,栏杆前方处于南京东路和河南中路的交叉口附近,周围有大量的行人流,且空间开阔,通行能力大,而栏杆后方是通行能力有限的自动扶梯和楼梯,栏杆处于通行能力不匹配的 2 种设施中间,期待其具有限流作用. 将栏杆附近区域划分为栏杆前区域、栏杆内区域、栏杆后区域. 栏杆前区域长度为 1.25 m;栏杆内区域即为栏杆长度的区域,长 1.25 m;栏杆后子区域 1 长度为 0.75 m,子

区域 2 长度为 1.25 m,如图 20 所示.

通过实地测量记录得到 4 个区域流量值变化图如图 21 所示. 从图中可以看出,设置栏杆后,栏杆内区域的流量值明显降低,栏杆后子区域 1 的流量值继续降低,栏杆后子区域 2 的流量值虽然有小幅度提升但较设置栏杆前此区域的流量值有所降低,符合限流有效性的标准,所以此栏杆设置有效.

在通行能力不匹配的轨道站出入口外的广场和

出入口楼梯这2种设施之间设置栏杆,栏杆内区域以及栏杆后子区域1和2的流量值较设置栏杆前均有降低,即实现了限制通过人数、降低栏杆后方楼梯行人流量的作用,以保护栏杆后通行能力小的设施正常运转,避免自动扶梯超载和拥挤事故的发生。所以,此站厅中的栏杆设置是有效的。

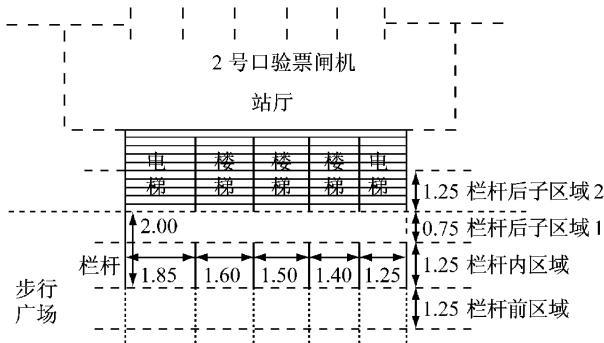


图20 栏杆设置4个区域划分(单位:m)

Fig.20 The four areas of the railings set (unit: m)

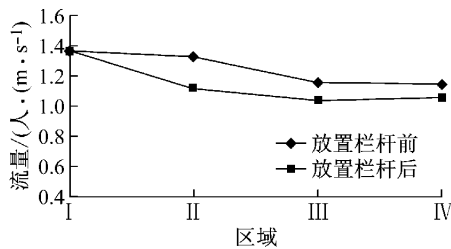


图21 设置栏杆前后4个区域的流量

Fig.21 The pedestrian volume of four areas before and after railings set

5 结语

从流量、速度、密度、交织区面积、交织强度、交织区内的交织点密度、行人偏移率等指标入手对比分析了水平通道在交织区位置处设置栏杆和无栏杆时各指标变化规律,得到的结论为:交织区设置有效性评价以是否促进行走有序性和是否发挥限流作用为评价标准。若希望设置栏杆实现有序性的效果,则当设置栏杆后行人的平均行走轨迹偏移率降低、交织区后移且交织区面积减小时栏杆设置有效;若栏杆设置在2种通行能力不匹配的设施之间,如果栏杆内区域的流量以及栏杆后子区域1和子区域2的流量均有降低、流量变化范围收窄,即认为有限流效

果,则栏杆设置有效。

在后续研究中建议结合实际场景而不只是对实验室场景数据进行分析、建模,使研究结论更有移植性和借鉴性。同时,也可从行人流量、交织比、栏杆长度、栏杆间距、栏杆放置位置等参数中挖掘影响通道中行人交织的主要参数研究栏杆设置优化标准。

参考文献:

- [1] Sano T, Shida K, Tatebe K. An experimental study on pedestrian crossing conflicts by Physical index[J]. Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering, 2001 (8): 127.
- [2] Weng X, Feng Q. Impact analysis on pedestrian traffic flow in weave area of building [C]//2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. Piscataway: IEEE, 2011: 2215-2218.
- [3] Fruin J. Pedestrian planning and design [M]. New York: Metropolitan Association of Urban Designer and Environment Planner, 1971.
- [4] Wu J, Lu S. Feature analysis and operation evaluation of pedestrian weaving zone [J]. National Research Council, Transportation Research Record, 2013, 66(1):155.
- [5] Kato K, Uehara T, Nakamura K, Yoshioka M. Analysis of pedestrian movement in bi-directional flow [J]. Architectural Institute of Japan, 1980, 289(4): 119.
- [6] Pattnaik S B, Hemalatha V. Evaluation of pedestrian facilities based on users' perception: Chennai as a case study Journal of the Institution of Engineers [J]. Civil Engineering Division, 2003, 83(3):221.
- [7] Muraleetha R T, Adachi T, Hagiwara T. Method to determine overall level of service of pedestrians on sidewalks and crosswalks based on total utility value [C/CD]//National Research Council. Washington D C: Transportation Research Board, 2004.
- [8] Takane K. Analysis of mixed non-motorized traffic flow in sidewalk using multi-agent model [J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2007, 8(2):243.
- [9] Yamori K. Going with the flow: Micro-macro dynamics in the macrobehavioral patterns of pedestrian crowds [J]. Psychological Review, 1998, 105(3): 530.
- [10] Teknomok. Microscopic pedestrian flow characteristics: Development of an image processing data collection and simulation model [D]. Sendai: Tohoku University, 2002.
- [11] 朱宸佐. 透过熵函数建立行人流干扰指标的研究 [D]. 台北: 台湾大学, 2008. ZHU Chenzuo. Development of entropy conflict parameter for pedestrian flow [D]. Taipei: Taiwan University, 2008.