

行人交织区运行状态分级方法与调控流程

吴娇蓉¹, 刘学丽²

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 山东省城乡规划设计研究院, 山东 济南 250013)

摘要: 行人换乘通道、换乘站厅常常出现不同方向人流交织, 由于行人之间的交织行为会产生稳定的交织区, 交织区对于步行设施的正常运行产生消极影响, 导致通行能力、舒适度和安全性降低. 采用实地调查数据建立简化交织区负效应模型, 提出行人交织区运行状态变化的负效应阈值, 将行人交织区划分为舒适、一般舒适和拥挤三级运行状态, 结合 HCM2010 人行步道服务水平分级, 定量分析行人交织区运行状态为一般舒适或拥挤、处于 HCM2010 E 级服务水平时, 不同隔离栏杆设置形式发挥的作用, 并提出交织区运行状态调节流程, 为步行设施交织区运营管理提供依据.

关键词: 行人交织区; 负效应模型; 运行状态分级; 栏杆设置形式; 设置有效性

中图分类号: TP15

文献标志码: A

Running Status Classification Method of Pedestrian Weaving Zone and Adjustment Process

WU Jiaorong¹, LIU Xueli²

(1. Key Laboratory of Road and Transportation Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Shandong Urban and Rural Planning Design Institute, Ji'nan 250013, China)

Abstract: A stable pedestrian weaving zone formed in the pedestrian transfer channels and transfer station hall, which would produce a negative impact on the pedestrian facilities, such as the reduction of the transportation capacity, safety and comfort. Based on the field investigation data, a negative effect model was established to discover negative effect threshold of the pedestrian weaving zones' running state by statistical analysis. The pedestrian weaving zone running state was proposed to be divided into three levels (comfortable level, generally comfortable level and crowded level). Based on the division standard of level of weaving zone and HCM 2010, an analysis was made of these three weaving zone running states to understand different roles played by

different railing setting ways and the adjustment process of weaving zone running state was proposed, which would contribute to the design of pedestrian facilities and operation management.

Key words: pedestrian weaving zone; negative effect model; running status classification; railing setting form; railing setting effectiveness

行人换乘通道、换乘站厅常常出现不同方向人流交织, 交织行为可能使有序的人流短时间内转为无序, 在流量大、密度高, 人流交织复杂的区域, 无序会降低整个步行设施的服务水平, 并增加安全隐患. 目前, 国内外研究基本集中于高速公路与城市道路的机动交织区, 较少关注行人交织区的研究; 另一方面, 行人交织行为发生需要具备一定的条件, 且人流运行轨迹变化复杂性使得行人交织区的运行特征明显区别于机动车交织区. 面对步行设施的高密度人流交织情况, 缺少定量分析研究支撑的管理措施, 常常存在一定的盲目性、混乱性, 笔者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, 提出了栏杆设置有效性初步判断方法^[1]. 但是在实地调研过程中, 发现行人交织区处于不同流量条件、不同服务水平时, 同样的栏杆设置形式发挥效用有一定差异; 处于相同流量和交织比条件下, 交织区不同栏杆设置形式发挥效用也有差异. 因此, 很有必要探索行人交织区运行负效应模型, 确定交织区运行状态变化阈值, 建立行人交织区运行状态分级方法; 然后定量分析交织区处于不同运行状态时栏杆设置形式及其有效性, 并在此基础上面向实际运营, 提出基于运行状态分级的行人交织区控制和调节流程, 为步行设施交织区运行控制与管理提供依据.

收稿日期: 2015-05-22

基金项目: 国家自然科学基金(51278363)

第一作者: 吴娇蓉(1973—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交通运输规划与管理. E-mail: wirshtj@163.com

1 文献综述

在交织区运行状态分析方面,国外学者从舒适度及干扰性角度来评价行人交织区的运行状态^[2];林廉凯、朱宸佐等学者以台北捷运站的行人交织区为研究对象,采用偏移率及干扰熵作为评价指标研究行人受干扰的反应和干扰评价方式,其中,偏移率衡量行人在通道中受干扰所产生偏移的程度^[3];干扰熵衡量行人在通道中受干扰速率的变化程度^[4]。笔者以提高交织区行人的感知服务水平为目标,以

交织强度、偏移率和交织点分布密度系数三项指标来分析评价交织区的运行状况^[5]。

在行人步道服务水平分级研究方面,美国 HCM2010 以流率、速度和饱和度作为评价指标,得出步行道的行人服务水平^[6];叶建红根据流率、速度提出单向步行通道的服务水平分级方法^[7];文雅等提出采用人均空间作为评价指标分析轨道站步行道的服务水平^[8];笔者以人均空间指标研究场馆参观人流的服务水平^[9],对照情况见表 1。目前没有找到交织区运行状态分级研究成果。

表 1 以流率、速度、饱和度和人均空间作为评价指标

Tab.1 The evaluation index based on the volume, the velocity and per capita space

| 服务水平 LOS | 美国 HCM 2010 | | | 叶建红 | | 文雅等 | 吴娇蓉等 |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|---|
| | 流率/ 人·(m·min) ⁻¹ | 速度/ (m·s ⁻¹) | 交通量 V/ 通行能力 C | 流率/ 人·(m·min) ⁻¹ | 速度/ (m·s ⁻¹) | 人均空间/ (m ² ·人 ⁻¹) | 人均空间/ (m ² ·人 ⁻¹) |
| A | <16.4 | >1.30 | 0.21 | 0~22 | >1.33 | >3.5 | >5.6 |
| B | 16.4~23.0 | 1.27~1.30 | 0.31 | 22~61 | 1.09~1.33 | 2.0~3.5 | 4.7~5.6 |
| C | 23.0~32.8 | 1.22~1.27 | 0.44 | 61~70 | 0.82~1.09 | 1.3~2.0 | 3.3~4.7 |
| D | 32.8~49.2 | 1.14~1.22 | 0.65 | <70 | <0.82 | 0.9~1.3 | 1.5~3.3 |
| E | 49.2~75.5 | 0.76~1.14 | 1.0 | | | <0.9 | 0.8~1.5 |
| F | — | <0.76 | — | | | | <0.8 |

行人在行走的过程中由于行人之间的交织和冲突行为会导致行人行走时间增加、行走路径偏移增加、行人之间避让冲突情况发生概率增大等,这些现象统称为行走负效应。当负效应达到一定程度,运行状态会随之变化,但是,国内外对行人行走负效应模型和行人交织区运行状态变化临界阈值的研究很少。研究交织区的运行特征,建立行人行走负效应模型,明确行人交织区运行机理及分级方法,有助于从交织区状态演变的角度对行人交织区的管理、控制提出定量评价方法,明确给出有针对性指导性建议。

位置集中于一个相对稳定的区域,那么将这个区域定义为交织区。



a 同济大学嘉定校区一食堂入口



b 同济大学嘉定校区新天地生活区通道

图 1 实地拍摄场景

Fig.1 Field shooting scene

2 数据采集方法与分级评价指标

2.1 数据采集方法

采取实地拍摄视频方法获取数据。同济大学嘉定校区新天地生活区通道和一食堂门口的行人通道在上午和下午放学时间由于不同行走流线冲突,行人之间产生明显交织现象,如图 1 所示。同济大学嘉定校区的下午放学时间为 17:05,为了能够获得平峰和高峰的人流量,将拍摄时间确定为工作日的 16:30~17:30。

当两个行人流线交叉或交织趋近于一点时,此点即为交织点。单个或零散孤立的少量交织只能形成几个交织点,如果单位面积内交织点数量较多且

采用同济快通行行人轨迹分析软件分析已拍摄的实地交织区视频文件,获取行人个体位置坐标、速度、以及运动轨迹、当前时刻的流量、密度等数据。然后在 CAD 图中,描绘每对行人的交织位置,用圆圈

代表一对行人的交织点. 文献[4]指出, 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, 如图 2. 图中, L 指的是行人交织区的长, W 指的是行人交织区的宽.

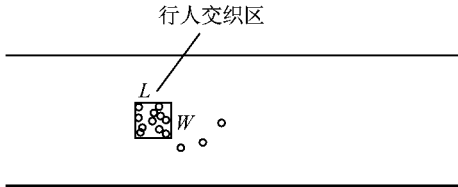


图 2 行人交织区

Fig. 2 Pedestrian weaving zone

2.2 行人交织区运行分级评价指标

导致行人交织区运行状态变差的三个主要因素是: 受挫性、不方便性和不舒适性. 其中, 受挫性的产生是由于行人在拥挤冲突的地方需要降低步行速度, 行走速度的影响采用行走速度的变化率来衡量, 本文采用交织强度这一指标; 而个人步行空间的缺少使行走不舒适性增加, 空间舒适性的影响采用交织区交织点的分布密度来衡量; 不方便性表现在行人由于遇到干扰而改变原本的行走轨迹, 行人需要消耗更多的体力完成同样的位移, 采用行人行走偏移率来衡量.

行人交织区的交织强度描述的是交织现象对行人速度的影响, 文献[1]通过对交织区和非交织区行人速度的变化来计算交织区交织强度, 见式(1)与式(2); 交织点密度为单位面积交织点数量, 见式(3), 且交织点越聚集, 交织区内行人行走的舒适性越差; 采用行人实际行走路径和行人两点之间的最短路径的差值与行人实际行走路程的比值描述行人行走偏移率, 见式(4)与式(5).

$$W_i = \frac{|V_{iw} - V_{inw}|}{V_{iw}} \quad (1)$$

$$W = \sum_{i=1}^N W_i / N \quad (2)$$

式中: W 为交织区的交织强度; W_i 为每个行人的速度变化; N 为交织区行人个数; 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.

$$K = n/S \quad (3)$$

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

$$d_i = \frac{d_{iw} - d_{i0}}{d_{iw}} \quad (4)$$

$$D = \sum_{i=1}^N d_i / N \quad (5)$$

式中: D 为行人行走偏移率; d_i 为第 i 个行人的行人

行走偏移率; d_{i0} 为第 i 个行人起点到终点的直线距离, m ; d_{iw} 为第 i 个行人起点到终点的实际行走距离, m ; d_0 为行人起点到终点的直线距离, m .

3 行人交织区运行状态分级方法

行人行走负效应模型描述行人在步行过程中产生的行走负效应变化, 负效应是因为交织和冲突降低了行人的行走质量使行人的生理和心理因素产生影响引起的. 导致行人产生行走负效应的主要因素是受挫性、不方便性和不舒适性, 如图 3.

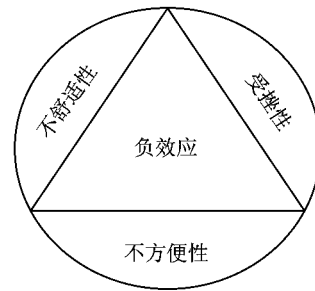


图 3 行人行走负效应

Fig. 3 Pedestrian walking negative effect

行人对交织区的负效应感知是行人对比有无交织行为的行走效应得出的, 通常分为速度影响(受挫性)、行走区域人均空间影响(不舒适性)、行走距离影响(不方便性), 因此, 可根据这三个方面的影响因素建立行人行走负效应模型, 评价行人交织区的负效应. 由上文可知交织强度越大, 受挫性越大; 交织点分布越密集, 空间舒适度越差; 行走偏移率越大, 不方便性越大, 且该指标能够描述行人行走的有序性. 以上三个交织区评价指标值与行人行走负效应均呈现正相关, 三个指标值越大, 行人行走负效应模型值越大, 行人交织区的运行状态越差. 因此可建立简化负效应模型, 即

$$U_N = f(W, K, D) \quad (6)$$

实地拍摄的视频数据以 20 s 为一个场景样本, 分隔出 180 个场景样本. 当行人流量过小时, 只能生成散乱的交织点, 无法形成稳定的行人交织区. 剔除无法形成稳定交织区的 42 个场景样本, 共得到 138 个有效场景样本. 将选定的交织区的交织强度、交织点密度、行人行走偏移率等三个评价指标记为 x_k ($i = 1, 2, 3$), k 为场景样本的序号. 138 个场景样本形成的交织强度、交织点密度、行人行走偏移率等指标值的论域为: $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{138}\}$, 数据如表 2 所示. 式(6)中, 交织强度、交织点密度、行人行走偏移率均需要消除量纲影响. 使得数据处于相近的数量

级水平同时又不改变数据之间的相关性质,本文采用平移·级差标准化公式处理数据,

$$x''_{ik} = \frac{x'_k - \min_{1 \leq i \leq n} \{x'_k\}}{\max_{1 \leq i \leq n} \{x'_k\} - \min_{1 \leq i \leq n} \{x'_k\}}, (k = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

式中: x''_{ik} 为消除量纲后的评价指标值; x'_k 为未消除量纲的评价指标值。

经过量纲为一标准化处理后得到数据表 3。 k 场景样本的负效应值为 k 场景消除量纲的交织强度、交织点密度、行人行走偏移率等三个评价指标之和,计算公式为

$$U_{Nk} = W_k + k_k + D_k \quad (8)$$

式中: U_{Nk} 为行人交织区负效应值; W_k 为消除量纲后的交织强度; k_k 为消除量纲后的交织区内的交织点密度,个· m^{-2} ; D_k 为消除量纲后的行人行走偏移率; k 为场景样本的序号, $k=1, 2, \dots, m$ 。

表 2 评价指标数据

Tab.2 Evaluation index data

| 场景样本 | 评价指标 | | |
|----------|-------|----------------------|-------|
| | 交织强度 | 交织点密度/(个· m^{-2}) | 行走偏移率 |
| 场景样本 1 | 0.187 | 3.83 | 0.163 |
| 场景样本 2 | 0.230 | 4.45 | 0.177 |
| 场景样本 3 | 0.335 | 5.87 | 0.234 |
| ... | | | |
| 场景样本 136 | 0.077 | 1.33 | 0.143 |
| 场景样本 137 | 0.199 | 2.10 | 0.099 |
| 场景样本 138 | 0.078 | 1.87 | 0.089 |

表 3 量纲为一处理后的指标数据

Tab.3 Index data after non-dimensional treatment

| 场景样本 | 指标 | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 行人交织强度 | 交织点密度 | 行人偏移率 |
| 场景样本 1 | 0.274 123 | 0.226 337 | 0.192 678 |
| 场景样本 2 | 0.368 421 | 0.683 128 | 0.219 653 |
| 场景样本 3 | 0.598 684 | 0.975 309 | 0.329 48 |
| ... | | | |
| 场景样本 136 | 0.032 895 | 0.041 152 | 0.154 143 |
| 场景样本 137 | 0.300 439 | 0.199 588 | 0.069 364 |
| 场景样本 138 | 0.035 088 | 0.152 263 | 0.050 096 |

由式(8)算得 138 个场景样本的 U_{Nk} 值为 $U_N(1, 2, 3, \dots, 136, 137, 138) = (1.022, 1.466, 2.292, \dots, 0.229, 0.956, 0.239)$ 。将 138 个负效应 U_{Nk} 值由小到大排列后作成散点图,如图 4 所示。

由图 4 可以看出,负效应值在场景样本序号 35 附近和场景样本序号 100 附近发生突变。发生突变处的场景样本序号对应的负效应值分别为 0.874 和 1.547。将散点图进行区域划分,以负效应值 0.874 和 1.547 为界,将所有的场景样本负效应值排序散

点图划分成三级,如图 5,分别用白色(舒适)、浅灰色(一般舒适)、深灰色(拥挤)来表示一级运行状态、二级运行状态、三级运行状态。

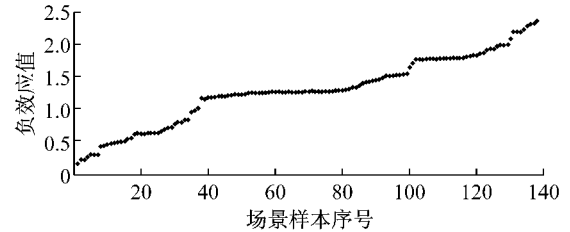


图 4 138 个场景样本的负效应值排序散点图

Fig.4 The negative effect value sorted scatter diagram of the 138 scene samples

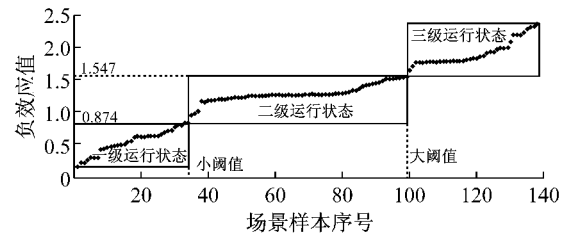


图 5 行人交织区运行状态演变分级及阈值

Fig.5 Evolution classification and the threshold of pedestrian weaving zone running state

由负效应阈值回溯到平均流量,找到不同运行状态对应的平均流量范围,从而实现通过调整控制平均流量的大小,把握行人交织区运行状态转化规律的目的。当一级运行状态负效应小阈值 $U=0.874$ 时,对应场景样本 35 号,35 号场景样本中的平均流量 $V \approx 26$ 人·(个· $m \cdot \min$) $^{-1}$;当二级运行状态负效应阈值 $U=1.547$ 时,对应场景样本 100,100 号场景样本中的平均流量 $V \approx 65$ 人·(个· $m \cdot \min$) $^{-1}$ 。

将交织区三级状态流量阈值与 HCM2010 的行人步行道服务水平分级的流量阈值相比,见表 4,行人交织区的运行状态为二级(一般舒适)时,平均流量为 26~6 人·(个· $m \cdot \min$) $^{-1}$,负效应值为 0.874~1.547,对应 HCM2010 中的 C 级~E 级;行人交织区的运行状态为三级(拥挤)时,对应 HCM2010 中的 E 级~F 级。根据上海轨道站通道实拍视频数据分析,达到 F 级服务水平(平均流量高于 75.5 人·(个· $m \cdot \min$) $^{-1}$)后,由于拥挤程度高,对行人产生严重的约束和限制,此时交织行为仅零星发生,形成群体性移动的行人流,交织区名存实亡^[10]。因此 F 级水平以下,已不属于本文交织区行为研究范围。

在交织区三级运行状态分块基础上,标示出 HCM2010 的 E 级服务水平对应的流量、负效应值,

表 4 行人交织区运行状态分级与 HCM2010 人行步道服务水平分级对比

Tab.4 The comparison between pedestrian weaving zone running state classification and the HCM2010 passageway level of service classification

| HCM2010 服务水平 | | 行人交织区运行状态 | | |
|--------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|-------------|
| 等级描述 | 平均流量/ 人·(m·min) ⁻¹ | 等级描述 | 平均流量/ 人·(m·min) ⁻¹ | 负效应值 |
| A | <16.4 | 一级运行状态 (舒适) | 0~26 | 0~0.874 |
| B | 16.4~23.0 | | | |
| C | 23.0~32.8 | | | |
| D | 32.8~49.2 | 二级运行状态 (一般舒适) | 26~49.2 | 0.874~1.252 |
| E | 49.2~75.5 | 三级运行状态 (拥挤) | 49.2~65 | 1.252~1.547 |
| F | — | | >75.5 | 1.547~2.093 |

如图 6,可见 E 级服务水平跨越了交织区运行状态二级和三级. 因此,如果仅针对 HCM2010 E 级服务水平,讨论栏杆设置形式对交织区运行状态进行调控的有效性分析时,显然会出现不确定性. 为避免不确定性,对图 6 进一步按照交织区二级和三级运行状态分界值将 E 级服务水平范围细分为 A 区域(表 4 HCM2010 E 级服务水平起点~二级交织区运行状态终点,负效应值 1.252~1.547),B 区域(三级交织区运行状态起点~HCM2010 E 级服务水平终点、负效应值 1.547~2.093),如图 7 所示. 下文将深入分析 A、B 区域的各种形式栏杆设置有效性差异.

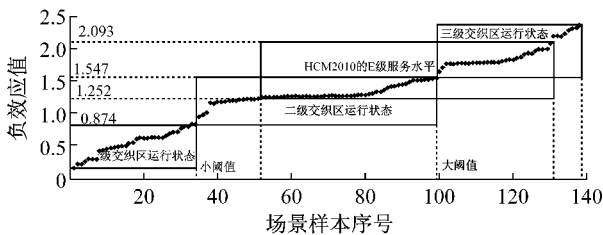


图 6 行人交织区运行状态分级与 HCM2010 人行步道 E 级服务水平对应图

Fig. 6 The pedestrian weaving zone running state classification and the HCM2010 passageway level of service E

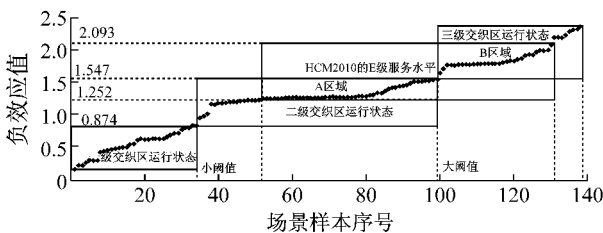


图 7 采取控制和调节措施的区域划分

Fig. 7 The control and regulation area division

4 行人交织区运行状态控制与调节方法

栏杆作为一种有效组织行人流的隔离设施,通常具有使人流有序、导向防止对冲、短时关闭限流等作用. 如图 8 所示为上海市徐家汇站 1 号线转 9 号线换乘通道中设置的栏杆,期望栏杆具有导向作用,防止对向人流对冲;如图 9 所示为上海市曹杨路地铁站中轨道 11 号线转轨道 3、4 号线的换乘通道中设置的栏杆,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;如图 10 所示为上海轨道 2 号线南京东路站 2 号出入口设置的栏杆,栏杆以内为出入口通道,栏杆以外为扇形小广场,即栏杆在通行能力不匹配的连接处,期望栏杆具有对通行能力大的扇形小广场人流有限流作用. 上述三种栏杆设置简化图如图 11 所示.



图 8 上海市徐家汇站 1 号线转 9 号线换乘通道中的栏杆导向

Fig. 8 The railings in the passageway of transferring from Line 1 to Line 9 in Shanghai Xujiahui Road Station guiding

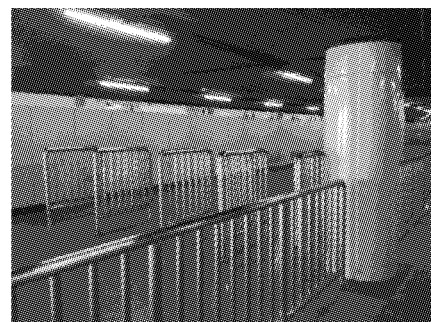


图 9 上海市曹杨路站 11 号线转 3、4 号线换乘通道中的栏杆促进有序

Fig. 9 The railings in the passageway of transferring from Line 11 to Line 3 and Line 4 in Shanghai Caoyang Road Station promoting order



图 10 上海轨道 2 号线南京东路站 2 号出入口的栏杆限流
Fig. 10 The railings in the entrance 2 of Shanghai Nanjing East Road Station current limiting

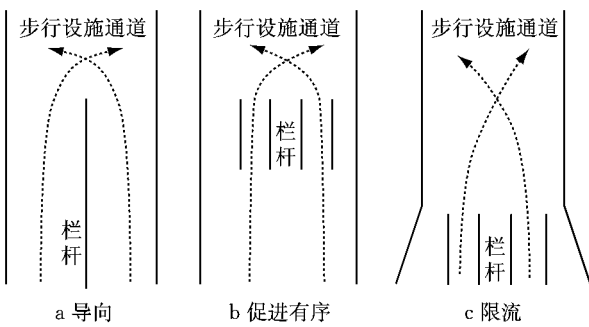


图 11 栏杆设置形式简化图
Fig. 11 Simplified drawing of the railing setting way

在图 7 对应的交织区运行状态 A、B 分块区域内,栏杆分别发挥哪一种作用,设置的有效性可能不同.考虑到影响交织区面积的主要因素是行人流量和交织行人流量比,随着两股行人流量越接近,即交织行人流量比越接近 1:1,交织区的面积越大^[5].采用 Legion 仿真实验进行对比分析时,分别选取运行状态 A、B 区域的典型水平通道平均流量、交织区负效应值,采用最不利情况的交织流量比 1:1,对图 11 的三种栏杆设置形式进行模拟分析,以交织区不设置栏杆作为对照组,图 11 三种形式栏杆的负效应值变化结果如图 12~图 13 所示.

表 5 仿真实验输入数据

Tab.5 Simulation experiment input data

| 仿真实验 | 所属分块区域 | 水平通道平均流量/ (人·(m·min) ⁻¹) | 交织流量比 | 交织区负效应值 |
|------|--------|---|-------|---------|
| 输入数据 | A | 62.5 | 1:1 | 1.466 |
| | B | 71.1 | 1:1 | 1.832 |

根据图 12 和图 13 可知:在运行状态 A 区域,三种栏杆设置形式都能降低负效应值、交织区运行状态向良好转变,栏杆设置发挥作用从大到小分别是促进有序>导向>限流;在运行状态 B 区域,三种栏杆设置形式都能实现交织区运行状态从 B 区域转变为 A 区域,栏杆设置发挥作用从大到小分别是限流

>导向>促进有序;综上,在不同的运行状态区域设置不同形式的栏杆,设置有效性是不同的.随着负效应值的增大,栏杆的限流和导向作用增强,栏杆的促进有序作用减弱.

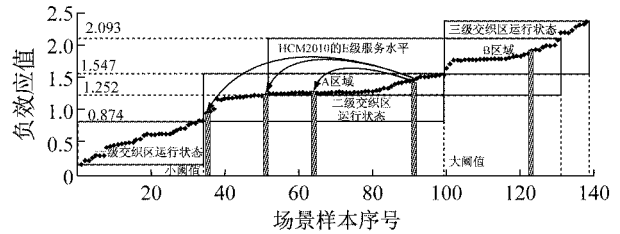


图 12 A 区域设置不同形式的栏杆后运行状态所属区域的变化
Fig. 12 The change in the running state area after setting railings of different forms in Area A

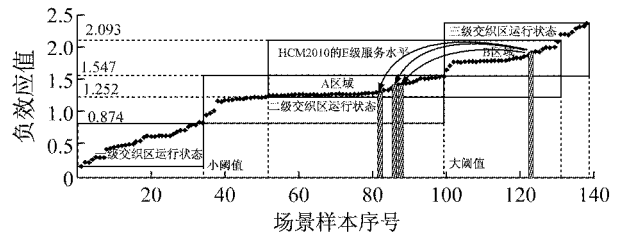


图 13 B 区域设置不同形式的栏杆后运行状态所属区域的变化
Fig. 13 The change in the running state area after setting railings of different forms in Area B

因此,根据交织区运行状态分级和不同栏杆设置形式的有效性分析,可采取分级控制的思想控制与调节交织区运行状态.当交织区运行状态处于三级拥挤状态,平均流量超过 HCM2010 F 级水平指标 $75.5 \text{ 人} \cdot (\text{m} \cdot \text{min})^{-1}$,可通过设置短时关闭栏杆等措施,直接控制行人流量,达到调节行人交织区运行状态的目的.

控制和调节行人交织区运行状态的工作流程主要分为三个步骤:①判断运行状态;②栏杆设置形式选择;③调节外部交通条件.各步骤具体描述如下:①通过计算负效应值判断行人交织区运行状态;②若行人交织区运行状态处于 A 区域,按促进有序>导向>限流的顺序选取栏杆设置形式;若行人交织区运行状态处于 B 区域,按限流>导向>促进有序的顺序选取栏杆设置形式;③若步骤②的栏杆设置均无法有效改善行人交织区的运行状态,则可通过直接调整行人流量这一外部交通条件控制行人交织区运行状态.流程图如图 14 所示.

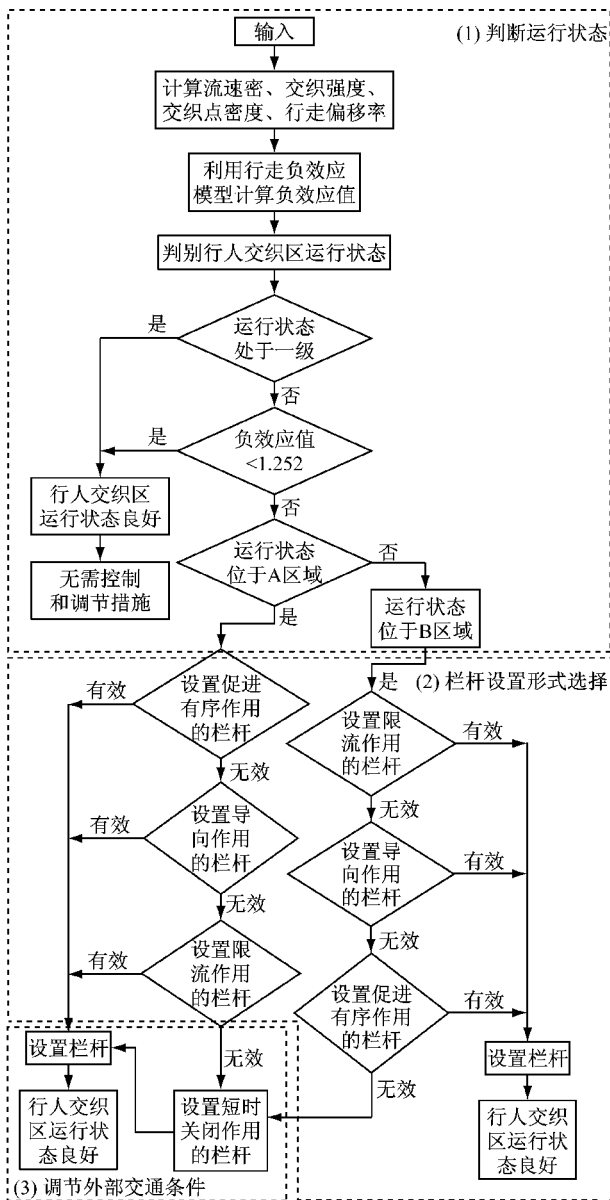


图 14 基于运行状态的行人交织区控制和调节流程

Fig. 14 Pedestrian weaving zone control and adjustment process based on running state

5 结论

基于交织区实地调研数据,建立量纲为一标准化处理后的交织强度、交织点密度、行人行走偏移率构成的行走负效应模型,结合负效应阈值排序趋势分析结果提出交织区运行状态三级划分方法.与 HCM2010 人行步道分级标准进行对比,在交织区三级运行状态分块基础上标示出 HCM2010 的 E 级两个上下限指标对应的流量、负效应值,得出 HCM2010 E 级服务水平跨越了交织区运行状态二级和三级.为了避免栏杆设置形式对交织区运行状

态调控的有效性分析存在不确定性,将 HCM2010 的 E 级服务水平范围按照交织区二级和三级运行状态分界值细分为 A 区域和 B 区域,定量分析交织区运行状态处于 A、B 区域时,不同形式栏杆发挥促进有序、导向、限流作用的排序情况.在此基础上面向实际运营,提出基于运行状态分级的行人交织区控制和调节流程.

参考文献:

[1] 吴娇蓉,刘学丽,叶建红. 轨道交通交织区栏杆设置有效性分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2015,43(1):82
WU Jiaorong, LIU Xueli, YE Jianhong. The validity analysis of railings set in pedestrian weaving zone in railway stations[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2015, 43(1): 82.

[2] Muraleetha ran T, Adachi T, Hagiwara T, *et al.* Method to determine overall level of service of pedestrians on sidewalks and crosswalks based on total utility value [C/CD] // Transportation Research Board. Washington D C: National Research Council, 2004.

[3] 林廉凯. 捷运车站乘客动线人流模式与干扰量度之研究[D]. 台湾:交通大学,2002.
LIN Liankai. Research on passenger line flow model and interference measurement in MRT station [D]. Taipei: Taiwan Traffic University, 2002.

[4] 朱宸佐. 透过熵参数建立行人流干扰指标之研究[D]. 台北:台湾大学,2008.
ZHU Chenzuo. Development of entropy conflict parameter for pedestrian flow[D]. Taipei: Taiwan University, 2008.

[5] WU Jiaorong, LU Sugang. Feature analysis and operation evaluation of pedestrian weaving zone [J]. Transportation Research Record, 2013; DOI: 10.3141/2393-08.

[6] TRB. Highway capacity manual 2010[M]. Washington D C: National Research Council, Transportation Research Board, 2010.

[7] 叶建红. 行人交通行为与交通流特性研究[D]. 上海:同济大学,2009.
YE Jianhong. Research on pedestrian traffic behavior and traffic flow characteristics[D]. Shanghai: Tongji University, 2009.

[8] WEN Ya, YAN Kefei, YU Chaowei. Level of service standards for pedestrian facilities in Shanghai Metro Stations [C] // International Conference on Transportation Engineering. [S.l.]: China Association for Science and Technology, China Communications and Transportation Association, Southwest Jiaotong University, 2007: 2072-2078.

[9] 吴娇蓉,叶建红,陈小鸿. 大型活动场馆参观人流服务水平分级研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(6):850.
WU Jiaorong, YE Jianhong, CHEN Xiaohong. Service level analysis of exhibition halls for large-scale activities[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2007, 35(6): 850.

[10] 俞孟骁. 行人交互行为模式与特征研究[D]. 上海:同济大学,2015.
YU Mengxiao. Modes and characteristics analysis of pedestrian interactive behaviors[D]. Shanghai: Tongji University, 2015.