

基于视觉有效指数的城市轨道交通车站 出站引导标识优化设计*

张文利 方勇** 张羽 胡华 刘志钢

(上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海//第一作者, 硕士研究生)

摘要 为了改善城市轨道交通车站出站引导标识设计与设置问题,提升引导客流出站的效率,首先对上海城市轨道交通车站进行实地调研,分析得出城市轨道交通车站出站引导标识存在的问题。然后从版面信息、结构形式及布置方式3个方面提出乘客出站引导标识的优化设计方案,并基于注视时长、首次注视时长及访问次数眼动指标,构建视觉有效指数模型,提出基于视觉有效综合指数对城市轨道交通车站出站引导标识优化设计方案,并进行了视觉引导有效性评价。最后,以上海轨道交通2号线徐泾东站为例,采用上述方法对其6条出站路径引导标识进行优化,结果表明:不同路径的视觉综合有效指数有不同程度的提升,引导效果改善最高可达13.34%。

关键词 城市轨道交通;车站;出站引导标识;视觉有效指数;优化设计

中图分类号 U231.4;U491.5⁺2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.03.011

Optimization Design of Exit Guidance Signs for Urban Rail Transit Stations Based on Visual Effectiveness Index

ZHANG Wenli, FANG Yong, ZHANG Yu, HU Hua, LIU Zhigang

Abstract In order to improve the design and setting of the exit guidance signs in urban rail transit stations and the exit efficiency of guiding passenger flow, a field investigation on Shanghai urban rail transit stations is carried out and the design problems existing in the exit guidance signs in urban rail transit stations are analyzed. Then, optimization design scheme for exit guidance signs of urban rail transit stations is proposed from the three aspects of layout information, structure form and arrangement formats, and the visual effectiveness index model is constructed based on eye movement indicators such as fixation duration, first fixation duration and visit times, and the

visual effectiveness comprehensive index pair is proposed to evaluate the effectiveness of visual guidance on the optimization design scheme of the exit guidance signs of urban rail transit stations. Finally, taking Shanghai Rail Transit Line 2 East Xujing Station as an example, the method mentioned above is used to optimize the exit guidance signs of 6 exit routes. Results show that the visual comprehensive effective index of different routes are improved to certain degrees, and the guidance effect is improved by up to 13.34%.

Key words urban rail transit; station; exit guidance sign; visual effectiveness index; optimization design

Author's address School of Urban Rail Transit, Shanghai University of Engineering Science, 201620, Shanghai, China

目前,城市轨道交通车站出站引导标识存在多而烦乱、引导效率低等问题,进而导致乘客滞留、徘徊等现象^[1-2]。因此,有必要对城市轨道交通车站的出站引导标识进行优化。

关于站内行人引导标识的研究主要集中在标识系统布局的评估与优化^[1-2]、标识系统的设计^[3]及标识位置的设置^[4-5]等方面,其设计方法主要采用人因工程分析法^[6-7]、寻路行为法^[8-9]和最大模型覆盖法^[10]。其中:文献[6-7]采用人因工程分析的方法,依据引导客流量大小及旅客的流线特点对铁路客运站的引导标识进行了合理设置;文献[8]以寻路理论为基础,利用BIM(建筑信息模型)技术搭建城市综合客运枢纽场景,通过VR(虚拟现实)技术完成虚拟现实环境下的沉浸式寻路试验,并以寻路时间、转错弯次数及停驻观望次数为指标描述被试者的寻路特征,进而采用灰色近优综合评价方法,实现综合客运枢纽标识系统的评估及优化;文

* 国家自然科学基金项目(51608387、52072235);上海市科委地方院校能力建设项目(19030501400)

** 通信作者

献[10]将室内应急疏散标识的位置优化归为MCLP(最大覆盖位置问题)类型,对其进行优化,并通过微观仿真验证优化结果。

综上所述,现有研究一般以引导标识的可视范围为前提开展,对标识的视觉引导有效性评估较少。因此,本文基于眼动行为指标,以标识的视觉引导有效性最大化为优化设计目标,提出视觉有效指数,对城市轨道交通车站出站引导标识的优化进行研究。

1 城市轨道交通车站出站引导标识问题

本文从换乘线路和枢纽功能角度选择了上海轨道交通的虹桥火车站站、肇家浜路站和七宝站进行出站引导标识调研。其中:虹桥火车站站是上海轨道交通2号线、10号线、17号线的3线换乘站,共4个出站口;肇嘉浜路站是上海轨道交通7号线、9号线的两线换乘站,共3个出站口;七宝站是上海轨道交通9号线无换乘功能的普通车站,共6个出站口。这3个车站出站引导标识现状问题如图1所示。对这些现状问题进行汇总分析,结果如表1所示。



图1 案例车站出站引导标识的主要问题

Fig.1 Main problems of exit guidance signs in case station

表1 案例车站出站引导标识存在的主要问题及相关的评价指标

Tab.1 Main problems existing in the exit guidance signs of case station and relevant indicators

车站名	标识问题描述	标识有效性评价指标
虹桥火车站站	商业广告覆盖面广,削弱了导向标识的作用;安全出口标识材料损坏;灯光昏暗致使引导标识辨识困难;标识颜色不统一、指向箭头不一致	标识信息优先性、标识结构醒目性、标识布置规范性
肇家浜路站	部分信息是中英文组合,部分信息只有英文;出口信息被遮盖	标识信息一致性、标识结构连续性
七宝站	广告牌遮挡导向标识;卫生间、无障碍电梯标识缺失	标识信息优先性、标识布置人性化

2 基于视觉有效指数的车站出站引导标识优化设计方法

由上文可知,上海轨道交通车站的出站引导标识在版面信息、结构形式和布置方式3个方面存在有效性问题,因此本文以提升客流出站引导效率为目标,从版面信息、结构形式和布置方式存在的问题着手,进行出站标识优化设计,提出基于视觉有效指数的出站引导标识优化设计方法,并利用出站引导标识视觉有效综合指标评估优化方案的改进效果。其优化设计流程如图2所示。

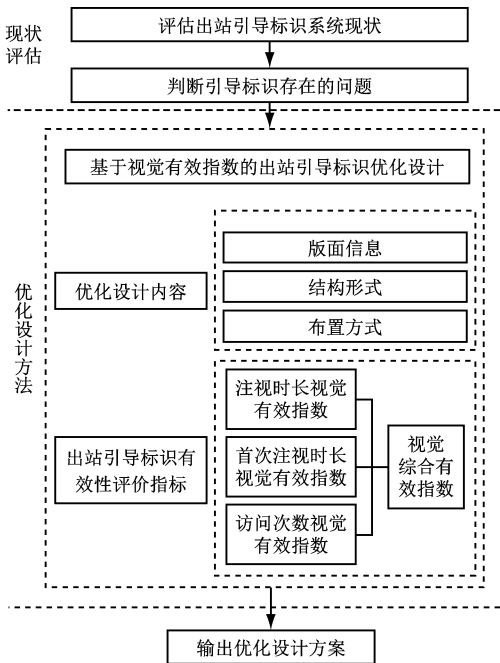


图2 出站引导标识优化设计流程

Fig.2 Optimization design process of exit guidance signs

3 构建视觉有效指数模型

本文提出的视觉有效指数是指城市轨道交通车站中出站引导标识的眼动行为指标值在整个出站流线中所有引导标识眼动行为指标总值的占比。本文的研究主要采用注视时长视觉有效指数、首次注视时长视觉有效指数和访问次数视觉有效指数等3个参数,构建视觉有效指数模型,在此基础上提出视觉综合有效指数,用以评估出站引导标识的有效性。

3.1 注视时长视觉有效指数

注视时长是指行人在城市轨道交通车站出站过程中使用出站引导标识的时间,即在出站引导标识上的视觉停留时间。注视时长视觉有效指数是指行人在城市轨道交通车站出站过程中,在出站引导标识上的视觉停留时间占在所有引导标识上的视觉停留总时间的比值。

设注视时长为 t ,定义 p 为拟评估的某一出站路径, v 为 p 中所有可视节点的集合,则:

$$I_{d,p} = O_{t,p}/T_{t,p} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} o_{t,p} &= \sum_{i \in v} \sum_{k \in v} Z_{ik,p} T_{ik,p} \\ T_{t,p} &= \sum_{i \in v} \sum_{k \in v} Z_{ik,p} \left(\sum_{i \in u_{ik}} N_m T_m \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中:

$I_{d,p}$ —— p 中出站引导标识的注视时长视觉有效指数;

$O_{t,p}$ —— p 中在所有指向出口的引导标识上的视觉停留总时间;

$T_{t,p}$ —— p 中在所有引导标识上的视觉停留总时间;

$T_{ik,p}$ —— p 中在从 i 到 k 弧段上所有引导标识的视觉停留总时间;

N_m ——从 i 到 k 弧段上的第 m 个引导标识;

T_m —— i 到 k 弧段上在第 m 个引导标识上的视觉停留时间;

u_{ik} ——除 k 外 i 到 k 连线上所包含的标识节点的集合;

$Z_{ik,p}$ ——0-1变量, p 中经过 i,k 两个任意可视节点连弧的起终点,若视觉在其中任一引导标识上停留,其值为1,反之为0;

i,k,m ——均为自然数序列。

3.2 首次注视时长视觉有效指数

首次注视时长表示行人从不同的车厢下车后首次注视到某个出站引导标识时,在此标识上的视觉停留时间。首次注视时长视觉有效指数是指行人在城市轨道交通车站出站过程中,在某个出站引导标识上的首次视觉停留时间占在所有出站引导标识上的视觉停留总时间的比值。假设首次注视时长为 F_0 ,则:

$$I_{f,p} = 1 - F_{0,p}/O_{t,p} \quad (3)$$

式中:

$I_{f,p}$ —— p 中某一出站引导标识的首次注视时长视觉有效指数;

$F_{0,p}$ —— p 中首次注视到某个出站引导标识时,在此标识上的视觉停留时间。

3.3 访问次数视觉有效指数

访问次数表示行人出站过程中注视到引导标识的次数。访问次数视觉有效指数是指行人在城市轨道交通车站出站过程中,注视到出站引导标识的次数占注视到所有引导标识总次数的比值。经由 p 的访问次数视觉有效指数的计算式为:

$$I_{n,p} = O_{n,p}/T_{n,p} \quad (4)$$

$$T_{n,p} = \sum_{e=1}^y N_e \quad (5)$$

式中:

$I_{n,p}$ —— p 中出站引导标识的访问次数视觉有效指数;

$O_{n,p}$ —— p 中注视到指向出站口引导标识的次数;

$T_{n,p}$ —— p 中注视到所有引导标识的总次数;

N_e —— p 中第 e 个引导标识的注视次数;

e ——自然数序列。

3.4 视觉综合有效指数

3.4.1 雷达图绘制

通过 Excel 软件对注视时长视觉有效指数、首次注视时长视觉有效指数和访问次数视觉有效指数3个指标数值进行无量纲化处理,并投影在对应的指标数轴上,将投影点连接成线,绘制成雷达图。

3.4.2 特征量计算

采取雷达图的平均面积和周长两个特征量构造函数,并计算路径 p 的视觉有效综合指数:

$$\left. \begin{aligned} S_p &= \frac{x \sum_{l=1}^{x-1} \sum_{l < j}^x \frac{1}{2} R_l R_j \sin \theta_{lj}}{C_x^2} \\ V_p &= \frac{S_p}{\pi \left(\frac{L_p}{2\pi} \right)^2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

其中:

$$L_p = \frac{x \sum_{l=1}^{x-1} \sum_{l < j}^x \sqrt{R_l^2 + R_j^2 - 2R_l R_j \cos \theta_{lj}}}{C_x^2} \quad (7)$$

式中:

S_p ——面积向量;

V_p ——周长向量;

L_p ——雷达图周长;

x ——指标个数;

C_x^2 —— x 个指标中任选 2 个指标值的组合,即

雷达图中三角形的个数;

l, j ——指标集合中的第 l 个、第 j 个指标;

R_l ——第 l 个指标值的边长;

R_j ——第 j 个指标值的边长;

θ_{lj} ——由第 l 个指标、第 j 个指标构成的三角形

两边之间的夹角。

由此可得到各出站路径的视觉有效综合指数 Y_p 的计算式为:

$$Y_p = \sqrt{S_p \times V_p} \quad (8)$$

4 案例分析

以上海轨道交通 2 号线徐泾东站为例,针对调研过程发现的标识版面信息、结构形式及布置方式问题,并依据 GB/T 20501.6—2013《公共信息导向系统导向要素的设计原则与要求》及 DB31/T 1104—2018《城市轨道交通导向标识系统设计规范》,提出图文信息、颜色配比、结构尺寸、材料选择、位置设置及安装方式等 6 个指标,开展该站的出站引导标识的优化设计。

4.1 出站引导标识优化设计

4.1.1 出站引导标识版面信息优化设计

原有引导标识的背景有白色和蓝色,不满足标识设计的规范要求。优化设计采用比较醒目的颜色,增加一定数量的地面标识,并根据城市轨道交通车站的实际布局进行适当间隔布置,如图 3 所示。

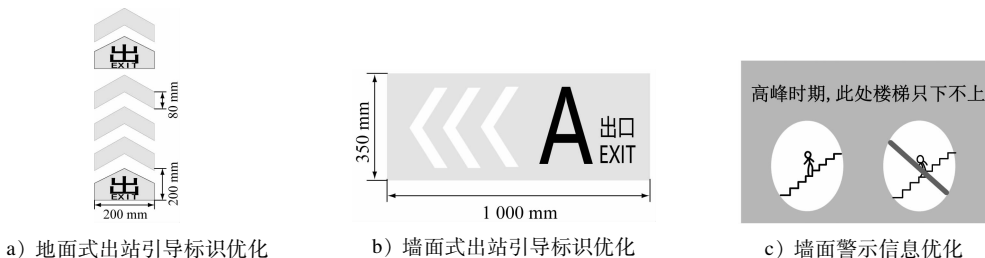


图 3 出站引导标识版面信息优化设计图

Fig. 3 Optimization design drawing of exit guidance sign layout information

4.1.2 出站引导标识结构形式优化设计

徐泾东站的柱面引导标识多采用粘贴形式,易与广告颜色相冲,客流引导效果较差。可新增内置 LED(发光二极管)的镶嵌式灯箱,充分利用柱面空间,对柱子的 4 个侧面进行包裹。采用优质的铝合金和不锈钢金属材料,内置的光源使整个版面更加鲜明,以增强乘客对引导标识的辨识度。出站引导标识结构形式优化如图 4 所示。

4.1.3 出站引导标识布置方式优化设计

4.1.3.1 位置优化

在城市轨道交通车站内,行人对标识的识别范围有限,这种能接收信息的空间区域为可见域,由视野和视距决定^[2]。正常人双眼纵向视野范围在



图 4 出站引导标识结构形式优化设计图

Fig. 4 Optimization design drawing of exit guidance sign structure form

$50^\circ \sim 70^\circ$ 之间,横向最大范围为左、右各 62° ^[11]。视距由人体生理属性及环境属性共同决定,其计算式为:

$$D = b \frac{s}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{bs}{2 \tan\left(\frac{\pi}{21\ 600E}\right)} \quad (9)$$

式中:

D ——视距;

b ——观察者心理与环境等因素对视距影响的修正系数;

s ——标识中字体宽度;

E ——根据标识颜色、背景亮度及对比度调整后的视力,用临界视角的倒数来表示。

α ——视角。

人眼的可见域如图5所示,其中:点A为人眼; $\angle BAD$ 为纵向视野; $\angle CAE$ 为横向视野;以O为圆心的面两边分别为半椭球体和锥体锥体和半椭球体共同构成人的可见域,标识位置设置在人的可见域内为最佳。

4.1.3.2 高度优化

出站引导标识的高度需要依据行人的人因视

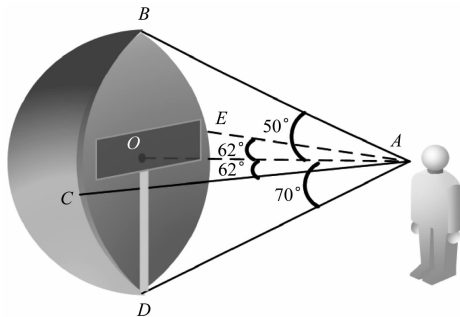
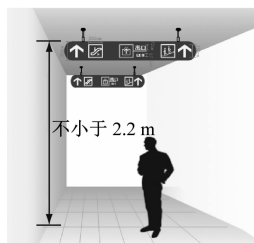


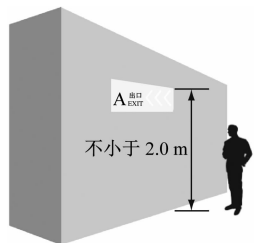
图5 人眼的可见域

Fig. 5 Human visual range

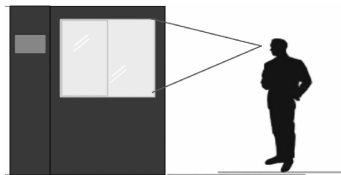
认需求予以设置,使行人能够清晰识别引导标识,而行人的视觉习惯是从上往下看。如图6所示,设置引导标识高度时,需考虑行人平均身高(一般为170 cm)^[12],在城市轨道交通车站空间内的吊挂式引导标识最顶端距离地面应满足不小于2.2 m;墙面式引导标识应满足不小于2.0 m的高度要求;落地式引导标识应满足行人平视识别引导信息的要求。



a) 吊挂式



b) 墙面式



c) 落地式

图6 出站引导标识在高度上的优化

Fig. 6 Height optimization of exit guidance signs

4.2 视觉有效指数计算

乘客在徐泾东站从不同的车厢下车后在站台层经由不同方向的楼扶梯或者无障碍电梯到达站厅,存在6条路径。以路径5为例,出站流程如图7所示。

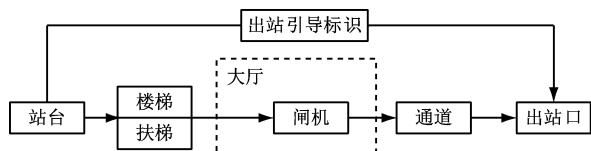


图7 乘客经由路径5的出站流程

Fig. 7 Process of passengers exiting through route 5

根据眼动行为采集试验获取眼动行为指标,对路径5出站引导标识计算视觉有效指数和视觉有效

综合指数,绘制雷达图如图8所示。

由图8所示,路径5现状的视觉有效综合指数为0.213 6,优化后的视觉有效综合指数为0.242 1,与现状值相比,路径5出站引导标识优化视觉有效综合指数提升了13.34%。此外,除了不需优化的路径4外,其余出站路径的优化结果分别为:路径1提升了9.02%,路径2提升了7.01%,路径3提升了11.22%,路径6提升了5.24%。

5 结语

本文通过对上海轨道交通车站出站引导标识设计问题开展实地调研,总结了出站引导标识目前存在的有效性设计问题,并从出站引导标识的版面信息、结构形式及布置方式3个方面开展优化。以

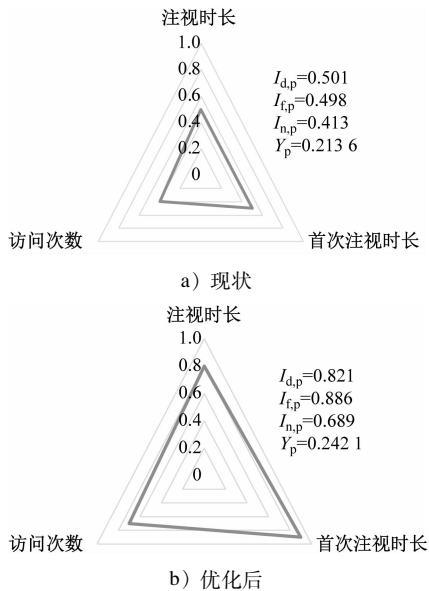


图8 路径5出站引导标识视觉有效综合指数雷达图

Fig. 8 Visual effectiveness comprehensive index radar chart of exit guidance signs of route 5

注视时长有效指数、首次注视时长有效指数、访问次数有效指数为视觉有效性评价指标,构建了视觉有效指数模型,并利用雷达图法提出视觉有效综合指数,对城市轨道交通车站出站引导标识优化方案进行有效性评价,以选出可提高客流出站引导效率的出站标识优化方案。本文的研究成果对城市轨道交通车站出站引导标识的设计具有一定的理论意义和应用价值。

参考文献

- [1] 张蜚,贾利民,秦勇. 基于协同引导的地铁站台导向标识系统布局优化[J]. 交通运输系统工程与信息,2016(4):146.
ZHANG Zhe, JIA Limin, QIN Yong. Optimization of signage system configuration on metro platform based on cooperative guidance [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016(4):146.
- [2] 郭凡良,禹丹丹,董宝田. 基于人与环境交互作用的交通枢纽导向标识布局评估[J]. 西南交通大学学报,2015(4):597.
GUO Fanliang, YU Dandan, DONG Baotian. Evaluation of guide sign layout in rail transit hubs based on human environment interaction [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2015 (4):597.
- [3] 余跃武,李晔,包磊,等. 大型客运枢纽行人标识导向系统设计优化模型及其解法[J]. 系统工程理论与实践,2016(5):1205.
YU Yuewu, LI Ye, BAO Lei, et al. Optimization model for pedestrian-oriented signage system in large passenger hub and the DISMOPSO algorithm[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2016(5):1205.
- [4] NASSAR K. Sign visibility for pedestrians assessed with agent-based simulation[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2011(3):18.
- [5] 岳昊,邵春福,关宏志,等. 大型行人步行设施紧急疏散标志设置[J]. 北京工业大学学报,2013(6):914.
YUE Hao, SHAO Chunfu, GUAN Hongzhi, et al. Location method of emergency evacuation signs in large pedestrian facilities [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2013(6):914.
- [6] 张倩. 铁路车站旅客导向标识人因工程分析及优化[D]. 南昌:华东交通大学,2012.
ZAHNG Qian. Analysis and optimization of orienting signs for passengers in railway station on ergonomics[D]. Nanchang: East China Jiaotong University,2012.
- [7] 李梦潇. 大型铁路客运站旅客引导标识合理设置研究[D]. 成都:西南交通大学,2014.
LI Mengxiao. Study on reasonable sign-oriented set for passengers in large-scale railway station[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [8] 赵晓华,任贵超,王冰冰,等. 基于BIM+VR技术的客运枢纽标识系统综合评估方法[J]. 北京工业大学学报,2020(1):51.
ZHAO Xiaohua, REN Guichao, WANG Bingbing, et al. Evaluation of a transport hub sign system based on BIM+VR technology [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2020(1):51.
- [9] 任新惠,侯慧婷. 基于联合模型的机场航站楼寻路影响因素[J]. 交通信息与安全,2021(2):153.
REN Xinhui, HOU Huiting. Influencing factors of airport terminal wayfinding based on an integrated model [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2021(2):153.
- [10] CHEN C, LI Q, KANEKO S, et al. Location optimization algorithm for emergency signs in public facilities and its application to a single-floor supermarket [J]. Fire Safety Journal, 2009 (1):113.
- [11] 唐智,黄波. 人因工程设计及精彩案例解析[M]. 北京:化学工业出版社,2020:56.
TANG Zhi, HUANG Bo. Human factors engineering design and exceptional case analysis[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2020:56.
- [12] 张婉琳. 基于可视角度-寻路行为的交通枢纽导向标识布设评估研究[D]. 天津:天津大学,2014.
ZHANG Wanlin. Study on evaluation of guidance sign layout in transportation hubs based on visual angle and wayfinding behaviors[D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.

(收稿日期:2021-07-12)