

文章编号:1005-0523(2018)01-0014-06

# 基于车道选择的交叉口进口道导向系统改善方法

徐良杰,刘 志

(武汉理工大学交通学院,湖北 武汉 430063)

**摘要:**我国城市信号交叉口车道导向信息缺失或不明显现象普遍,导致车辆在进口道渐变段进行大量的换道行为。为了提高交叉口的通行效率,降低交通事故发生的概率,充分利用交叉口进口道的路侧、路面、路上空间,提出构建色彩诱导视觉环境改善方法。利用3ds Max软件对信号交叉口进口道进行仿真实验,利用E-prime软件进行信息感知心理物理实验,以主观获取车道信息反应时间作为实验度量指标。结果显示:外界因素一样,改善前后驾驶员车道信息平均视认时间分别为 $2.820\pm 1.050$  s,  $1.282\pm 0.596$  s,车道信息辨识准确率分别为77.5%,90%。改善后驾驶员车道信息感知效率明显高于改善前,驾驶员可提前选择目标车道,对交叉口的通行效率与安全有显著改善。

**关键词:**交通安全;车道选择;信号交叉口;多频率多色彩;导向系统

**中图分类号:**U491.23

**文献标志码:**A

城市道路信号交叉口是城市道路的重要节点,也常是道路通行能力的瓶颈,人流、各种机动车和非机动车汇集在一起,导致其交通状况比较复杂、冲突点多、秩序混乱,也是交通事故多发地。相关数据<sup>[1]</sup>显示,85%以上的交通延误集中在城市道路信号交叉口,平面交叉口的通行能力不及普通路段的50%;我国近年来的城市交通事故也有20%左右发生在城市道路信号交叉口。高速公路环境较为单一,车道数少并有明确的车道功能划分,车辆的换道行为一般是为了超车。而城市道路交叉口环境复杂,换道行为普遍,大量的车道变换行为,一方面会影响后车行驶速度,引发更多的换道需求,从而降低通行效率;另一方面会增加车辆冲突隐患,增大交通事故发生的概率。

交通信息系统是交通管理者向出行者传递交通信息的媒介,它利用色彩、文字、图符构建标志标线等设施,让出行者及时获取有效的交通信息。云美萍等<sup>[2]</sup>分析了临界可跨越空当和换道成功的概率,以及基于车辆换道所需的最小车间距离,建立了交通标志设置最小前置距离的理论模型。徐志等<sup>[3]</sup>利用不同字数、间距、方向的文字信息序列为刺激物,对驾驶人全局视认和特定信息视认两种视认方式下的信息注视时间进行了分析。张强等<sup>[4]</sup>从道路及附属设施色彩、交通标志色彩、车辆色彩、行人服饰色彩和道路景观色彩等方面分析了色彩心理效应在交通安全中的应用。杜志刚等<sup>[5]</sup>运用EMR-HM8眼动仪,分析了交通指路标志信息量与视认反应时间的关系,并对指路标志的视认规律进行总结。侯德藻等<sup>[6]</sup>通过分析驾驶员的视认过程,总结除了指路标志汉字的字高公式,并通过与国际规范进行对比,验证公式得准确性。交通语言的合理运用,可以提高出行者对于标志标线的视认能力,进而提高出行者的出行效率。

这些研究并没有很好解决信号交叉口进口道大量换道行为的现状问题,也缺乏驾驶员行驶在信号交叉口中的导向信息视认情况的研究。因此,有必要根据渐变段换道频繁而导向信息不完善的现状,通过提升车速感知能力、车距保持能力以及车道信息视认效率,对信号交叉口进口道视觉环境进行改善设计(研究对象主要为车道划分有左转或掉头专用车道、直行车道、右转专用车道,进口道长度大于200 m的平面十字信号交叉口),以达到城市交叉口交通工程设施安全与效益的统一。

收稿日期:2017-09-01

基金项目:吉林省交通运输科技计划项目(2014-1-8);武汉理工大学研究生自主创新研究基金项目(2017-at-009)

作者简介:徐良杰(1968—),女,教授,博士,研究方向为交通信息与控制及城市交通运输规划与管理。

## 1 改善原理

### 1.1 边缘率效应

由于信号交叉口环境复杂,车道导向信息不完善,驾驶员要进行多次加减速及换道行为,更容易引发交通拥堵甚至发生交通事故。为了改善驾驶员的行驶环境,提高交叉口的通行效率,降低交通事故的发生率,本文针对信号交叉口进口道渐变段的视觉环境改善设计展开研究。

高速公路边缘率研究表明:高频信息作用下容易产生速度高估,低频、中频信息容易产生速度低估<sup>[7]</sup>。

综上所述:因此基于边缘率理论本设计提出设想:将高频、中频、低频信息结合起来,使得理想感知速度略高于实际行车速度,达到合理控制车速的目的。如图 1 所示。同时根据驾驶员视错觉与环境相适应,运用韵律感曲线和视错觉标线相结合的减速方式,实现出交叉口进口道前及时减速、渐变段缓减速的效果,以降低车速差。

### 1.2 色彩心理效应

色彩是人眼对事物所产生的一种视觉感受,人们根据色彩的不同来区别事物,并从中提取特征信息。这种生理作用深入人的心理,就会产生明显的色彩心理效应。颜色恒常性、形状恒常性使人在短时间内对物体颜色、形状的感觉保持不变。

国外研究表明将不同的颜色铺装在道路危险地段,可使该处交通事故降低 85%~90%。李振福<sup>[8]</sup>提出当交通视觉环境长时不变,容易导致驾驶员精神疲劳。而导致驾驶员视觉疲劳甚至发生交通事故的重要原因之一正是因为城市道路灰、黑色混凝土路面的单一环境。徐成建等<sup>[9]</sup>提及美国曾铺砌路边时用浅色石块,使驾驶员能够准确判断道路信息,利用色彩心理效应使交通事故总数降低 19%。基于色彩心理效应,利用颜色恒常性、形状恒常性,在信号交叉口进口道设计视觉导向信息系统,并以色彩与韵律信息进行辅助设计,进而改善信号交叉口环境现状。

## 2 改善方法

改善方法是针对环境复杂导向信息不完善的城市信号交叉口,对信号交叉口交通工程设施进行改善设计。改善方法主要是以设计指路标牌、指示标志和彩色标线,车道路面设置彩色指向箭头(结合《城市道路交通标志和标线设置规范》,及标志标线具体设置位置、尺寸等的计算,在允许范围内选择最佳方案),并采用不同色彩组合的改善设计方法(经过实验论证选取其中色彩组合的最佳方案),形成完整的视觉导向信息系统<sup>[10]</sup>。具体见表 1 和图 2~图 4。

表 1 信号交叉口进口道导向系统改善设计表

Tab.1 Improved design of signalized intersection lane guidance system

参数	视觉信息导向系统
车道分向标志	设置于进口道距停车线 100~120 m 处,色彩与路面标线相对应(左转粉红右转绿色),标志表面上涂有工程级反光膜带
路侧护栏(低频信息)	设置如图所示的深蓝色韵律感曲线,周期 9 m,上下曲线波峰分别为 1.2 m,0.6 m,材料为全天候反光标线
路侧路面突起路标(高频信息)	设置于路侧护栏旁边,间隔 3 m,材料为高强级反光膜
路面视错觉标线(中频信息)	平行四边形视错觉标线,设置于车道分隔线两侧,宽度为 2 m,间隔为 4 m,材料为全天候反光标线
路面指路箭头(中频信息)	设置于车道中间,颜色与标志牌对应,宽度为 3 m,间隔为 40 m,材料为全天候反光标线

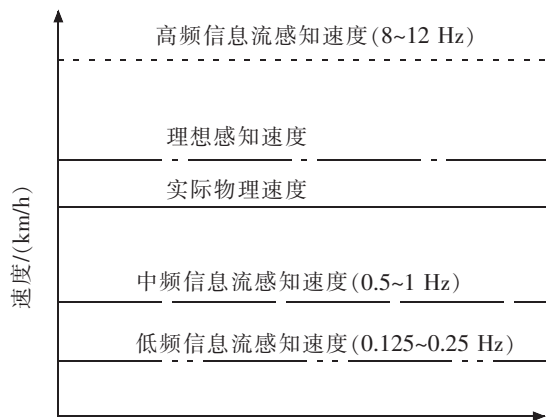


图 1 理想感知速度、实际物理速度关系示意图  
Fig.1 Relationship between ideal perceptual speed and actual physical speed

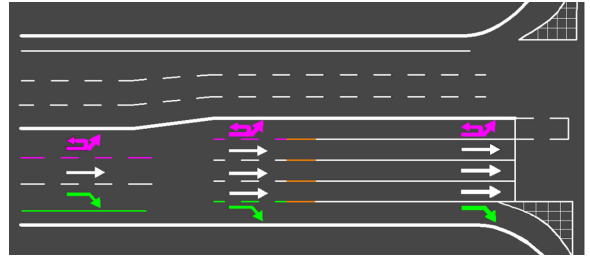
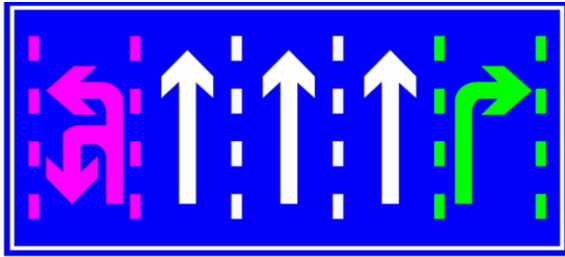


图2 信号交叉口进口道导向系统路上与路面设计

Fig.2 Road surface design of signalized intersection lane guidance system

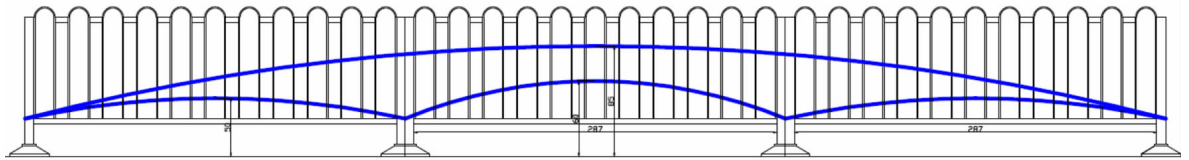


图3 信号交叉口进口道导向系统路侧设计

Fig.3 Roadside design of signalized intersection lane guidance system

本设计方案高中低频信息在信号交叉口进口道距停车线 200 m (改善方案主要针对于排队长度不超过 60 m 的信号交叉口)开始延续设置,使得驾驶员即使在前方和侧方车辆干扰、遮挡的情况下有充足的时间、空间来获取车道信息,作出及时的调整。使得复杂多变的信号交叉口交通环境,变为色彩配对,只要对应颜色就能找准目标车道,形成一个完整对应的视觉信息导向系统,并运用逆反射材料,确保驾驶员在白天跟夜间复杂的信号交叉口能够选择正确的行驶路线,减少不必要的换道行为,提高交叉口的通行效率,降低发生交通事故的概率。



图4 路面突起路标在实际中的应用

Fig.4 Practical application of road spike

### 3 实验设计

3ds Max 软件建模的信号交叉口进口道行车仿真模型实验相比实车试验,有一定的失真,因此将真实场景与仿真场景(均为信号交叉口进口道)进行模型精度校核实验。其中真实场景的行车速度为 35 km/h(实地调查所得),对比模型场景的行车速度区间为  $35 \pm 2.5$  km/h(最小速度单元为 2.5 km/h),模型实验误差在可接受范围之内。

利用 3ds Max 软件搭建城市信号交叉口进口道行车场景(有车队行驶与实际交通环境一致),设计速度为 30 km/h 符合城市道路限速标准,以  $30 \pm 2.5$  km/h 作为仿真视频的模拟速度。

#### 3.1 实验对象

实验的试验者确定为 90 人,根据我国驾驶员的性别男女比例 7:3,确定男女分别为 63 人,27 人。其中年龄在 20~35 岁的有 60 人(42 男 18 女),>35 岁的有 30 人(21 男 9 女),90 位实验者都有驾驶经验且无色盲,视力或矫正视力正常。

#### 3.2 实验方法

信息辨识准确率是指驾驶员在对信号交叉口车道方向所做出判断的准确程度,



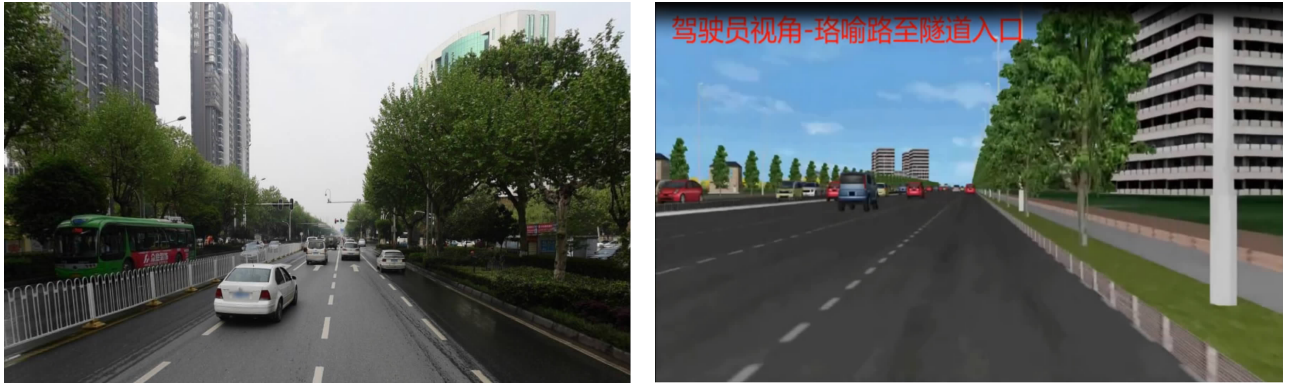


图 5 模型精度校核(左侧为真实场景,右侧为仿真场景)

Fig.5 Model precision checking (left: real scenario; right: simulation scenario)

辨识准确率=判断正确的总次数/实验总次数×100%

辨识准确率越高,说明所设计的视觉导向信息系统越有效。

视认反应时间指驾驶员接受刺激后有明显反应开始时所需的时间。实验者有效视认反应时间即在判断目标车道方向正确的条件下的视认反应时间。视认反应时间越短,说明所设计的视觉导向信息系统越有效。

实验将城市信号交叉口的仿真视频放在 E-prime2.0 平台上,改善前后对比仿真视频共 3 组(在信号交叉口东进口道中选择一个车道方向作为目标车道,共左转、直行、右转 3 种选择,工作者随机选择一组视频,告诉实验者要驶往的目标车道,让其观看视频选择目标车道,模拟驾驶器方向盘上有 3 个按钮,L 表示 left(左转),S 表示 straight(直行),R 表示 right(右转)。改善前后的信号交叉口仿真视频各一组,每个驾驶员需要重复 3 次实验,所以 90 名实验者共进行  $90 \times 2 \times 3 = 540$  次实验。

### 3.3 实验流程

具体实验流程如下(实验场景如图 6 所示):

1) 分别将城市道路信号交叉口改善前后的仿真视频,用 AE 视频处理软件将所有视频裁剪到时间相同,并投影到大屏幕上(3 m×2.4 m),实验者距离屏幕约 6 m;

2) 先让实验者熟悉实验过程,视频开始播放前,给实验者一定的准备时间;

3) 实验者手握转向盘,观看屏幕视频,根据安排进行实验;

4) 播放改善前的视频,从交叉口前 200 m 开始播放视频,记录该起始时刻,实验者判断出目标车道时按下模拟驾驶器转向盘上对应按钮,记录该结束时刻;

5) 暂停 5 min 让实验者休息;

6) 实验者休息结束后,再按流程 4) 播放改善后的视频;

7) 每位实验者需观看改善前后视频共 2 组视频,完成两组视频后,让实验者休息一段时间,然后重复 3 次实验;

8) 用 E-prime2.0 软件将实验数据导出。若实验者目标车道选择正确,人工计算记录的开始与结束时刻的时间间隔,作为有效视认反应时间;若实验者目标车道选择不正确,则该时间间隔作废,记辨识错误 1 次;

9) 计算分析各组实验的辨识准确率与有效视认反应时间,对实验者取平均值及标准差。



图 6 模拟驾驶场景图

Fig.6 Driving simulation

## 4 实验结果及分析

### 4.1 实验结果

由 E-prime2.0 软件输出数据,并计算分析各组实验的车道信息视认时间与准确率。通过上述试验,得出实验者在改善前后视认的反应时间及辨识的准确率,实验结果如表 2,表 3 所示。

表 2 车道信息视认反应时间数据  
Tab.2 Visual reaction time of lane information

年龄/岁	改善前视认反应时间/s	改善后视认反应时间/s	视认反应时间降低/%
20~35	2.653±0.895	1.128±0.567	57.48
>35	2.987±1.205	1.436±0.625	51.93
平均值	2.820±1.050	1.282±0.596	54.54

表 3 车道信息辨识准确率数据  
Tab.3 Data of lane information identification accuracy

年龄/岁	改善前辨识准确率/%	改善后辨识准确率/%	辨识准确率提高/%
20~35	81.5±9.5	92.5±5.5	13.5
>35	72.0±13.5	87.5±10.5	21.5
平均值	77.5	90	16.1

### 4.2 实验结果分析

通过对实验数据的整理,得出在改善后交通环境中实验者有明显的减速操作,急加急减操作明显减少,表明该设计方案驾驶者对实际的驾驶速度有一定的高估现象,从实验效果来看道路视错觉标线设计与色彩韵律曲线使驾驶员速度错觉在安全范围内。

由本实验可知:1) 实验者在改善前后的交通环境中平均视认反应时间分别为 2.820±1.050,1.282±0.596 s,视认反应时间明显降低,且降低幅度较大。这表明本方案有助于提高驾驶员的车道信息视认反应效率。2) 随着年龄组的上升,实验者的视认反应时间都有增加,其中女实验者的视认反应时间普遍比男实验者的长,但通过改善前后分析可知,总的来说 90 位实验者的视认反应时间显著降低,平均降低 54.54%。3) 实验者在改善前后的交通环境中平均视认准确率分别为 77.5%,90%,视认准确率明显提高,且提高幅度较大。这表明本方案有助于提高驾驶员的车道信息视认准确率。4) 随着年龄组的上升,实验者的视认准确率都有降低,其中女实验者的视认准确率普遍比男实验者的低,但通过改善前后分析可知,总的来说 90 位实验者的视认准确率显著提高,平均提高 16.1%。

这表明所设计的充分利用进口道的路侧、路面、路上空间,提出构建色彩配对视觉信息导向系统改善方法有助于降低驾驶员的视认反应时间以及提高驾驶员对车道信息牌的辨识准确率,从而减少不必要的换道行为,提高信号交叉口的通行效率,降低交通事故发生的概率,以达到城市交叉口交通工程设施安全与效益的统一。

## 5 结论

1) 实验者在环境复杂导向信息不完善的信号交叉口中行车会出现频繁的换道行为,导致驾驶员对周围指路标志信息的辨识准确率下降,视认反应时间增加。

2) 将高频、中频、低频信息结合起来,驾驶员有一定的速度高估,达到感知速度与物理速度相协调,运用韵律感曲线和视错觉标线相结合的减速方式,实现了驾驶员在交叉口进口道前及时减速、渐变段缓减速的效果,以降低车速差。

3) 主要依据颜色恒常性、形状恒常性,将多色彩与车道选择信息相结合应用到信号交叉口中,构建色彩配对视觉信息导向系统改善方法,有助于降低驾驶员的视认反应时间以及提高驾驶员对车道信息牌的辨识准确率,从而减少不必要的换道行为。

4) 实验者在改善前后的交通环境中平均视认反应时间分别为  $2.820\pm 1.050$ ,  $1.282\pm 0.596$  s, 平均视认准确率分别为 77.5%, 90%, 改善后视认反应时间降低 54.54%, 辨识准确率也提升了 16.1%。这表明本文所设计的视觉信息导向系统有助于降低驾驶员的视认反应时间、提高驾驶员的辨识准确率,降低发生交通事故的概率。本设计应用前景广泛,适用于复杂的城市信号交叉口和导向信息不完善的交叉口,以达到城市交叉口交通工程设施安全与效益的统一。

#### 参考文献:

- [1] 马明,严新平,吴超仲,等. 信号交叉口交通事故频次显著影响因素的作用[J]. 吉林大学学报:工学版,2010(2):417-422.
- [2] 云美萍,刘斌,杨晓光. 基于车道选择行为分析的交通标志优化设置[J]. 同济大学学报:自然科学版,2009,37(5):627-630.
- [3] 徐志,关宏志,严海,等. 交通标志文字信息驾驶人眼动视认特性[J]. 北京工业大学学报,2011,37(12):1830-1835.
- [4] 张强,陈雨人,潘晓东. 色彩心理在道路交通安全中的应用[J]. 华东公路,2005,6(6):65-67.
- [5] 杜志刚,潘晓东,郭雪斌. 交通指路标志信息量与视认性关系[J]. 交通运输工程学报,2008,26(3):119-122.
- [6] 侯德藻,黄凯,韩文元,基于驾驶员认知特性的汉字指路标志字高模型研究[J]. 公路交通科技,2010,27(3):142-146.
- [7] 刘兵. 基于驾驶员视知觉的车速控制和车道保持机理研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2008.
- [8] 李振福. 色彩心理与城市交通安全文化分析[J]. 安全与环境工程,2006,1(4):1245-1253.
- [9] 徐成建,周国华,杨文发. 论色彩与道路交通安全的关系[J]. 交通与运输,1995(4):35-36.
- [10] 交通部公路科学研究院. 公路交通标志和标线设置规范, JTG D82-2009[S]. 北京:人民交通出版社,2009.
- [11] 杜志刚,郑展曦,王自入. 基于驾驶员视错觉的震动减速带优化设计[J]. 武汉理工大学学报,2012,36(6):1179-1183.
- [12] 杜志刚,柳青云,朱新建,等. 基于心理旋转的双向立交环形交叉口导向系统[J]. 武汉理工大学学报,2017,41(3):411-414.
- [13] 王啸啸,徐良杰,奚少新. 信号交叉口进口道路段车辆换道行为分析[J]. 中国安全科学学报,2016,8(26):19-23.

## Improved Method of Intersection Lane Guidance System Based on Lane Selection

Xu Liangjie, Liu Zhi

(School of Transportation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

**Abstract:** The absence of lane guidance information in urban signalized intersection is common in China, causing a large number of lane-changing behaviors in inlet transition section. To improve the traffic efficiency of intersections and reduce the probability of traffic accidents, make full use of road space, a method for constructing color guidance visual environment is proposed. The traffic simulation model of signalized intersection lane was established by the 3ds Max software, and the information perception psycho-physical experiment was completed by E-prime software. Then the reaction time of lane information was regarded as the measurement indicator. The research results show that under the same external factors, the average reaction time of lane information before and after improvement is respectively  $2.820\pm 1.050$ s and  $1.282\pm 0.596$ s, and its accuracy is respectively 77.5% and 90%. The drivers' perception ability on lane information has been improved obviously and they are able to select the target lane ahead of time, which may significantly improve the traffic efficiency and safety of intersections.

**Key words:** traffic safety; lane selection; signalized intersection; multi-frequency and multi-colors; guidance system