

DOI:10.11918/201809131

城市快速路高架桥段行驶视觉空间的结构特征与行车安全

杨龙海¹, 朱小刚²

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 哈尔滨 150090; 2. 江西师范大学 城市建设学院, 南昌 330022)

摘要: 视觉疲劳是驾驶人在高速行车过程中致命的交通安全隐患,对驾驶人行驶视觉空间的结构特征进行数量化分析,是研究驾驶视觉和行车安全的重要途径. 针对城市快速路高架桥比例高和视觉环境单一等特点,用车载等距变距自动成像技术对高架桥段驾驶人行驶视觉空间进行还原模拟实验,采用数值计算对普通高架桥段和特殊零界面高架桥段行驶视觉空间的结构特征进行分析比对,确定两种典型空间的视觉要素构成与变化频率. 实验结果表明,除天际背景外城市高架路行驶视觉空间内的视觉要素均低于普通城市道路;普通高架桥段的主要视觉要素为空旷天际背景的桥面,其次为右侧沿街建筑,且分布均衡单一,易导致驾驶人视觉疲劳;零界面高架桥段的视觉要素较长时间处于匮乏状态,易引发驾驶人焦虑、恐慌和不稳定感等负面驾驶心理. 通过交通安全设施的合理设计引导驾驶员视线适时收放可有效缓解驾驶人的视觉疲劳,增加视觉对象作为高程参照是消除零界面桥段负面驾驶心理的最直接手段.

关键词: 城市快速路; 高架桥; 行驶视觉空间; 驾驶视觉; 行车安全

中图分类号: U418.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2020)05-0186-08

Driving safety and structural characteristics of driving visual space in the viaduct section of an urban expressway

YANG Longhai¹, ZHU Xiaogang²

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150090, China;
2. College of City Construction, Jiangxi Normal University, Nanchang, 330022, China)

Abstract: Visual fatigue is a fatal traffic safety hazard for drivers in the process of high-speed driving. Therefore, the analysis of the driving visual space of the driver in a quantitative way is an important path to reveal the relationship between driving safety and driving visual behavior. In response to these characteristics, such as a monotonous visual environment and a high proportion of viaducts in the urban expressway, this research adopted the automatic imaging technology of vehicle-mounted isometric and variable-distance for the simulation experiment, and the numerical analysis method is used to analyze the structural characteristics of the driving visual space between the common viaduct section and the zero-interface viaduct section in the urban expressway, to determine the composition and frequency of visual elements in the two typical spaces. Results show that the visual elements of the urban viaduct section are lower than the common urban roads in addition to the sky background. The main visual elements of the viaduct section are the bridge pavement with the sky as the background and the right-side street building, and the distribution of these elements is too balanced and simplification, thereby causing visual fatigue of the driver. In addition, the visual elements of the zero-interface viaduct section are in a state of scarcity for a long time, which is easy to cause negative driving psychology, such as anxiety, panic and instability. The reasonable design of traffic safety facilities to guide the driver's sight at the right time can effectively alleviate the driver's visual fatigue, and increasing the visual elements as the elevation reference is the most direct measure to eliminate the negative driving psychology of the zero-interface viaduct section.

Keywords: urban expressway; viaduct; driving visual space; driving vision; driving safety

疲劳驾驶和分心驾驶是道路交通事故的两大主

要诱因^[1-2]. 视觉疲劳使驾驶人出现注意力不集中、高频眨眼、瞌睡和急躁等危险状态,是引发疲劳驾驶和分心驾驶的重要因素^[3]. 大量实验研究表明,长时间行驶在视觉要素构成匮乏且单一的城市高架路、隧道和深路等特殊情况道路空间时,极易导致驾驶人的视觉疲劳.

收稿日期: 2018-09-19

基金项目: 国家自然科学基金(51608237); 江西省自然科学基金(20161BAB216120); 江西省社会科学规划项目(15YS39)

作者简介: 杨龙海(1970—),男,博士研究生,副教授

通讯作者: 朱小刚, zxgscut@jxnu.edu.cn

国内外学者对驾驶视觉特性的诸多方面进行了深入研究,并对不良驾驶行为和驾驶心理所导致的交通安全问题开展了相关试验研究。一、在驾驶视觉特性方面,国内外学者关注的重点聚焦于驾驶人在行车过程中的视觉搜索模式,以及影响安全驾驶的众多视觉分心因素,这一类成果可简要归纳为研究驾驶人眼睛“怎么看”和“看哪里”的问题:如 Sodhi M 等^[4]利用安装在头部的眼睛追踪装置研究了驾驶人在各种驾驶任务过程中的眼动行为;Geoffrey Underwood 等^[5]通过让受试驾驶人在实验室内观看在真实交通环境中摄制的场景录像,对熟练和非熟练驾驶人的视觉搜索特性进行实验研究;Scullion J^[6]等与沃尔沃汽车公司合作开发了驾驶人头部位置的测量、跟踪系统,以测量头部位置、驾驶人的闭眼和眨眼程度来预测疲劳驾驶行为;Harbluk 等^[7]通过头戴式眼动仪分析了认知分心对驾驶人视觉行为及车辆操控行为的影响;国内张殿业^[8]在对驾驶人动态视野与行车安全可靠度的研究中,建立驾驶人动态视野行为模式,提出驾驶人视野随车速的增大而变窄;许金良等^[9]在分析高速公路景观敏感区模型时对驾驶人的水平视野角度、前景视图,以及注意力集中点与最深视野随着车速的变化规律进行了深入研究。二、在不良驾驶行为和心理方面:Klauer 等^[10-11]针对驾驶人视线离开前方道路的行为与事故风险的关系开展了深入研究;Kircher 等^[12]试图用车速标准差、方向盘转角标准差和转向熵等7个驾驶绩效指标实现对驾驶人视觉分心的预测;Deery H A^[13]研究发现驾驶人的视觉分心行为大约与25%的交通事故有关;李都厚等^[14]通过实验发现随着驾驶时间的增加,驾驶人的反应时间会延长,驾驶稳定性会降低,高速公路连续驾驶超过80分钟就可能出现驾驶疲劳的风险。毛科俊^[15]从驾驶疲劳外部因素出发,通过实验和数值计算等方法研究了道路环境单调性对驾驶疲劳的影响机理。马勇^[16]对驾驶人视觉特性与疲劳驾驶、隧道段行车安全、分心驾驶以及视觉特性的影响因素等方面的研究进展进行了综述。

上述研究主要集中在驾驶视觉搜索、驾驶心理及其对行车安全的影响方面,解决了驾驶人眼睛“怎么看”和“看哪里”的问题,以及由此导致的心理反应和采取的车辆操控行为。然而在驾驶人高速行驶过程中具体“看什么”和“看多少”以及所见对心理的影响则鲜有针对性研究,这方面主要体现在驾驶人的真实视觉尺度、注视区域内的视觉要素构成和变化情况,以及由高架路形成的特殊行驶视觉空

间等方面。本文在动态视觉的注视行为特征基础上,用自主研发的车载等距变距自动成像控制系统对驾驶人行驶视觉空间内的要素构成进行客观还原模拟实验,采集城市快速路普通高架桥段和特殊零界面桥段两种典型行驶视觉空间的图像数据,利用数值计算方法对其内部结构特征进行数量化分析比对,分析两者视觉构成要素的分布情况与变化频率,确定两种类型空间的视觉环境特征及其对行车安全的影响,为城市快速路的规划设计与视觉环境整備提供一定的数据支撑。

1 城市快速路驾驶人的视觉特性

与传统以路基为主的城市道路不同,由于用地条件限制和交通基础设施建设的飞速发展,近年来各地新建城市快速路以高架为主,这些新建快速路的大型桥梁、互通立交和高架桥的比例均非常高,尤其是常常出现连续几公里的高架桥段,道路“飘”在空中,驾驶人的行驶视觉空间构成极为单调空旷,严重影响驾驶心理和行车安全,也无法融入周围环境。

城市快速路是城市道路中设有中央分隔带的双向多车道道路,全部或部分采用立体交叉与控制出入,供汽车以较高速行驶。除平面线形特征与普通城市道路相似之外,城市快速路尤其在高架桥段驾驶人的视觉行为与视觉尺度具有自身的特性。

1.1 单向序列性

车辆在城市快速路上分幅行驶,导致城市快速路驾驶人的视觉搜索模式具有典型的单向序列性,同一条快速路上下行不同方向上所获得的视觉体验和景观印象截然不同。此外,中央分隔带作为城市快速路的防眩装置,给高速行驶尤其是夜间行车带来了更高的安全性,但由于防眩设施具备一定的体量,使得驾驶人视线被阻隔而限定在道路空间之内;尤其行驶在内侧弯道时,驾驶人视域内除了部分路面信息外,剩下的均为中分带的防眩设施。所以对城市快速路进行视觉环境规划与设计时需要将内侧弯道和外侧弯道区别对待,这点与一般的城市道路有很大的不同。另外,为了保证车辆的高速、安全通行以及降低对周边居民的影响,城市快速路比一般市政道路增设了诸如防撞墙和声屏障等大量附属设施和构造物,这些安全和环保设施在视方向上不同程度会成为视轴线的障碍。

1.2 注视距离与视角

城市快速路设计车速一般为80 km/h,高于其它城市道路。实验表明,高速行驶过程中驾驶人的视

觉搜索模式主要由注视和眼跳行为组合完成,在视觉资源和道路线形变化较小的路段驾驶人基本以注视行为完成视觉体验过程. 在驾驶人始终保持注视的理想状态下其注视点相对位置较为固定,且注视点的运动轨迹始终与行车轨迹线保持平行. 秦晓春^[17]通过试验研究发现当车速增加时,驾驶人的注意力集中程度和心理紧张程度也随之增加,驾驶人的注视点位置和行车视野随着速度的提高而变化.

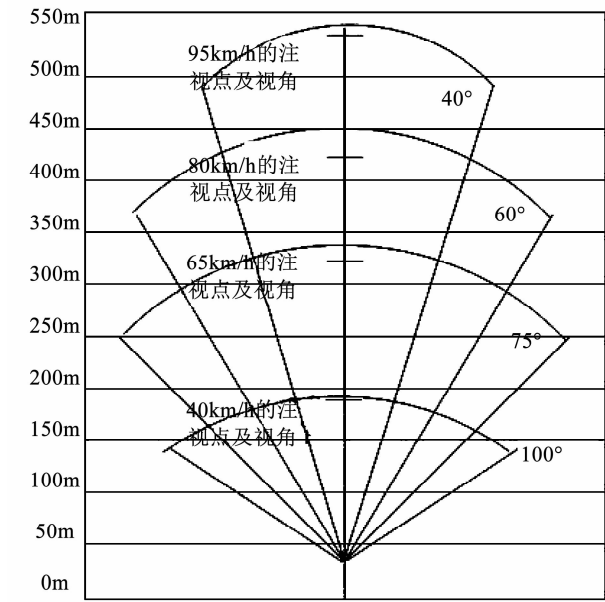


图 1 行车速度与注视点和视角的关系

Fig. 1 The relationship of speed with focusing point and visual field

如图 1 所示,当车速提高时注视点也向前移动,驾驶人可以从足够远的前方观察路况并及时对危险作出规避反应;行车视角随速度的提高而减小,车速

增加时驾驶人的注视点随之引向景象的中心并逐渐集中在公路的轴线上. 因此,尽管道路环境追求的是丰富多彩和兴趣盎然,但设计中应根据高速行驶过程中驾驶人的大尺度动态视觉特性,避免过分突出的细部和分散驾驶人注意力的视觉要素.

1.3 视觉尺度

1.3.1 界面围合度

驾驶人行车过程中的视觉尺度取决于视点与路侧视屏障的距离和视屏障的体量等,可用界面围合度来表示. 界面围合度以视屏障界面高度 H 与视点 to 路侧视屏障界面的横向距离 D 的比值表示,如图 2 所示. 界面围合度不同,驾驶人获得的空间感受也不同.

张肖宁^[18]在总结前人的研究基础上依据界面围合度的大小将道路行驶视觉空间划分为:开敞空间、半开敞空间、围合空间和郁闭空间. 大量调研表明,除紧邻沿街建筑需要设置声屏障构成相对郁闭的视觉空间外,城市快速路高架桥段因相对高差较大,其视觉尺度大都以开敞空间为主,驾驶人行驶视觉空间内的视屏障尺度对视线打开基本不造成影响. 然而,千篇一律的沿街建筑使得驾驶人的视觉环境趋于单调,绵延数公路的高架路除了线形稍有变化外丝毫不具备区域识别功能,极易引发驾驶人的视觉疲劳.

1.3.2 特殊的零界面空间

受用地条件限制的影响,近年来各地新建城市快速路的高架桥比例逐步提高,三层以上的高架路也屡见不鲜,导致部分高架桥段与地面建筑的相对高程过大,驾驶人视点与桥下建筑构成非常大的高差,如图 3 所示.

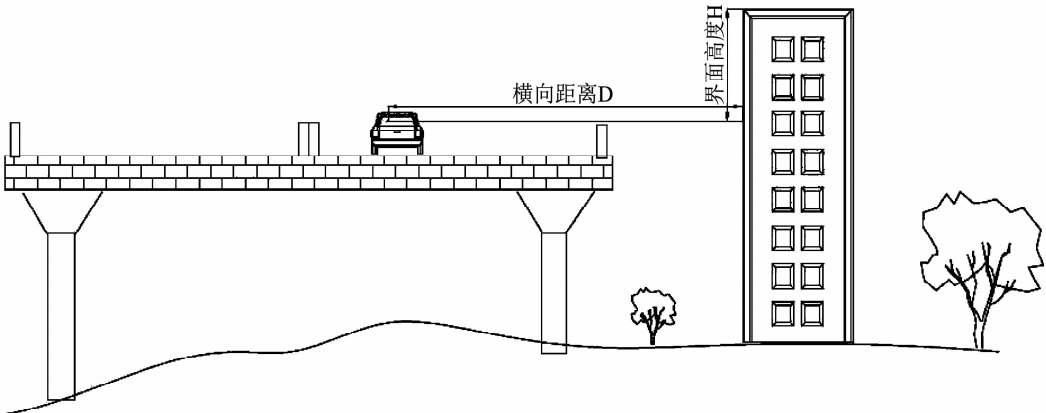


图 2 普通高架桥段界面围合度计算图示

Fig. 2 Interface enclosure of the common viaduct section



图 3 特殊的零界面高架桥段

Fig. 3 Special zero-interface viaduct section

在这些特殊的视点场驾驶人视觉尺度突破了常规的界面围合度分类, 行驶视觉空间内的视觉要素构成相当匮乏, 在摄影专业这种视觉尺度被称为空镜头, 缺乏参照物时镜头都无法聚焦. 笔者将此种特殊类型的零界面空间定义为“空旷空间”, 在这类特殊的行驶视觉空间内驾驶人视域内除了前方的桥面、防眩和防护设施外, 再没有其它任何视对象及高程参照物. 可以预见, 行驶在该线形条件下的驾驶人由于缺乏视对象作为高程参考, 心里难免产生焦虑、恐慌和不稳定感等负面情绪, 这些都是分心驾驶的重要诱因.

2 高架桥段行驶视觉空间模拟实验与数据采集

研究表明^[18], 在驾驶人始终保持注视的理想状态下其注视点相对位置较为固定, 且注视点的运动轨迹始终与行车轨迹线保持平行. 选定匹配的视点高度、焦距和成像频率, 用车载等距变距自动成像技术可基本采集驾驶人在一定车速条件下的注视区域图像信息.

2.1 模拟实验

2.1.1 实验方法

假定驾驶人在高速行车过程中始终保持注视行为, 即头部相对固定且视轴线为行车轨迹线的切线方向, 注视距离为定长. 采用笔者自主研发的实验设备^[18], 按照动视觉理论研究结果调整图像采集时车载单反数码相机的焦距和镜头高度. 上述行车速度与注视点和视角的关系图表明, 车速为 80 km/h 时, 驾驶人的视角约为 60°, 注视点与视点的相对距离约为 450 m. 根据这一动视觉特征及相机镜头的焦距与视角对应关系, 实验中将镜头焦距恒定在 40 mm 用以模拟车速为 80 km/h 情况下驾驶人 60° 的视角.

为保证行驶过程中车载单反相机的“视点”高

度与“视轴线”方向有效模拟驾驶人保持注视状态下的视觉行为, 将相机通过特制支架固定在车前盖上方, 镜头高度调整为离地 1.2 m 用以模拟小车内驾驶人的视点平均高度, 机身保持水平且对准小车正前方, 保证相机“视轴线”始终与行车轨迹线相切.

2.1.2 实验过程

车载单反数码相机通过外接快门线与车内的控制装置连接, 测速转盘附着于汽车右后轮的轮毂外缘, 红外光电传感器通过支架固定在离测速转盘约 3 cm 位置以保证接收轮转脉冲的稳定性, 传感器通过连接线与车内控制系统相连来实现轮转脉冲信号的传输. 由于城市快速路设计车速为 80 km/h, 意味着每秒行车约 20 m, 考虑到车载相机的工作稳定性, 将自动快门控制的间距为 40 m, 即每隔 40 m 约 2 秒钟系统会指挥车载相机自动采集一张行驶视觉空间表征图片.

为保证系统传送信号和相机工作的稳定性, 尽量放慢采集车的车速且压住车道分界线行驶以保证相机主轴线尽量不随意偏转. 为使得采集图片更具代表性和比对价值, 实验中对城市快速路普通高架桥段和特殊零界面桥段均选定各自的平角空间段进行图像采集实验.

2.2 数据采集

2.2.1 驾驶人注视面

根据单反数码相机的成像原理, 合适的焦距选择可模拟人眼在一定速度条件下的视角大小. 然而相机为无穷远聚焦, 虽然人眼的视力范围也接近无穷远, 但高速行车状态下影响驾驶视觉和心理感知的区域为驾驶人的注意力集中区域. 换言之, 在高速行车条件下驾驶人的注视区域仅为实验采集到全幅图片的其中一部分, 如图 4 所示, 相机为无穷远聚焦, 成像范围为一定视角内的整个背景; 而驾驶人注视范围是视锥在注视点端部的一个剖面.

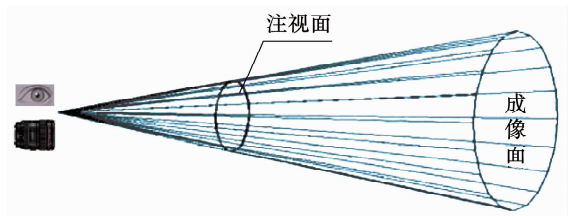


图 4 人眼注视范围与相机成像范围对比

Fig. 4 The scope of the human eye with the camera watching the scope of contrast imaging

2.2.2 驾驶人视场半径

根据人眼的视力范围分析,2 km 以外的景物只能感知天际、地平线和起伏的山峦这些背景要素,并难以辨识这一范围景观对象间的远近. 实验中将相机的成像面假定在远离视点 2 km 左右的背景位置以便提取采集图片中驾驶人的注视范围. 依据驾驶人的注视行为分析结果,车速 80 km/h 时注视点位置约为离视点 450 m 处,将驾驶人在注视点处的视锥剖面与相机的成像面以透视图方式重叠便可得出城市快速路驾驶人的注视区域,即人眼注视面的视场半径约为相机成像面的像场半径的 1/4,如图 5 所示.

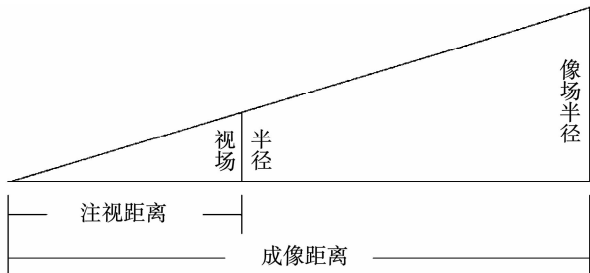


图 5 视场半径与像场半径的关系

Fig. 5 The relationship between the field of view radius and the image radius

3 实验结果及分析

采用上述实验设备选定某城市代表性的快速路普通高架桥段和特殊零界面桥段各 2 km 直道空间进行驾驶模拟实验,对自动连续采集的大量行驶视觉空间表征图片进行处理,运用视场与像场的比例关系定量标识出图片上驾驶人的注视区域范围,并对注视范围内的视觉要素构成比例和变化频率进行数量化分析.

3.1 两种典型行驶视觉空间的要素构成对比

对两种典型行驶视觉空间桥段采集的各 2 km 直道空间连续表征图片提取驾驶人的注视区域,借助图像编辑软件绘制和测量注视区域表征图中桥面近景、左侧要素、右侧要素和天际背景分别占据的区域及其面积占比,如图 6 所示.

由图 6 可以看出驾驶人在两种典型行驶视觉空间内的桥面近景和左侧要素占比基本相同,主要区别在右侧要素和天际背景的占比情况. 普通高架桥段右侧要素要明显高于特殊的零界面桥段,高出约 18 个百分点,表明在普通高架桥段右侧以沿街建筑为主的视对象要多于特殊的零界面桥段. 而特殊零界面桥段的天际背景要高出普通高架桥段约 17 个百分点,表明虽然两种空间占比最大的都是为以天际为背景的桥面,但特殊零界面桥段在视觉尺度上表现出更加空旷的特点;这也印证了特殊的零界面桥段视觉要素构成相当匮乏的环境特质,主要是由该特殊零界面桥段与地面建筑的相对高程过大所造成.

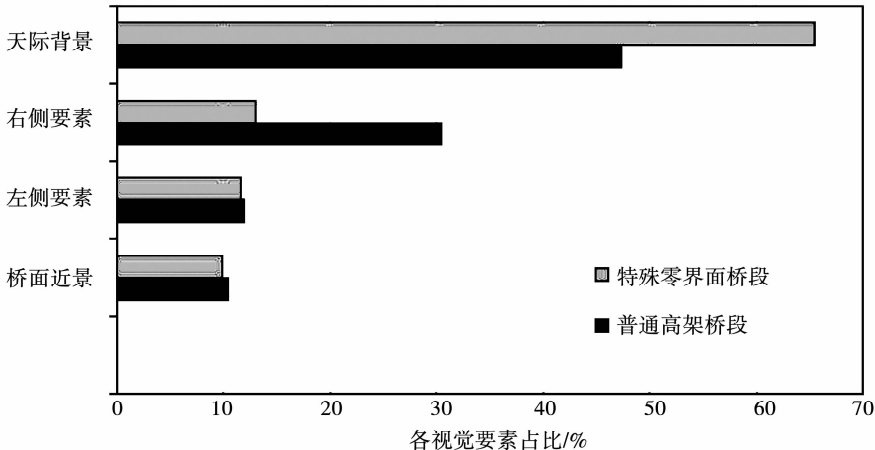


图 6 两种典型行驶视觉空间内各视觉要素所占比例对比

Fig. 6 Comparison of visual elements in two typical driving visual spaces

3.2 普通高架桥段行驶视觉空间的结构特征

依据连续采集的2 km 普通高架桥段直道空间注视区域表征图各视觉要素所占比例信息绘制如图7所示普通高架桥段行驶视觉空间内构成要素的比例变化图。

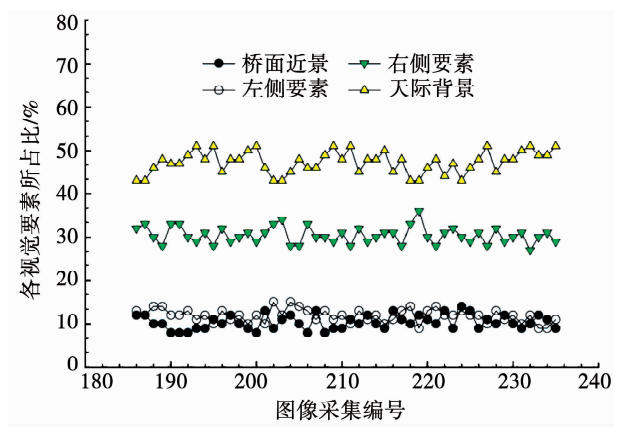


图7 普通高架桥段行驶视觉空间构成要素比例变化
Fig. 7 Changes in the proportion of visual elements at common viaduct section

由图7可以看出,普通高架路段驾驶人行驶视觉空间内各视觉构成要素所占比例在整个2 km 行车过程中变化幅度很小,各要素的空间分配基本保持稳定.这充分表明在普通高架桥段驾驶人的主要视觉体验对象为右侧沿街建筑和天际背景,且分布相对均衡单一,缺乏应有的变化节奏和韵律,持续时间过长极易导致驾驶人的视觉和心理疲乏,最终引发驾驶疲劳。

3.3 特殊零界面桥段行驶视觉空间的结构特征

依据连续采集的2 km 特殊零界面桥段直道空间注视区域表征图各视觉要素所占比例信息绘制如图8所示普通高架桥段行驶视觉空间内构成要素的比例变化图。

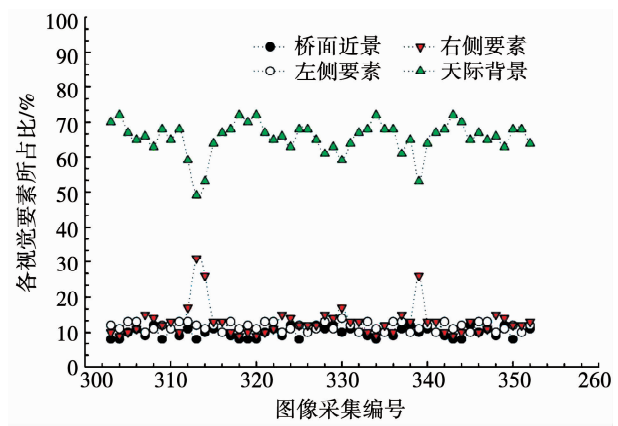


图8 特殊零界面桥段行驶视觉空间构成要素比例变化
Fig. 8 Changes in the proportion of visual elements at zero-interface viaduct section

图8表明,特殊的零界面桥段驾驶人行驶视觉

空间内各视觉构成要素所占比例在行车过程中整体基本保持稳定,右侧要素和背景天际占比在个别位置发生突变,究其原因,主要是在个别位置路外有高耸建筑进入驾驶人视野.这表明在特殊的零界面桥段驾驶人的行驶视觉空间较长时间处于视觉要素匮乏状态,而长时间缺乏视对象作为高程参考时易导致驾驶人产生不稳定感、焦虑和恐慌等影响行车安全的负面情绪。

3.4 高架桥段行驶视觉空间对行车安全的影响

3.4.1 普通高架桥段的视觉疲劳与行车安全

疲劳驾驶极易引发交通事故,是道路交通事故的重要诱因^[1].任福田^[19]提出驾驶疲劳是指驾驶人在驾驶过程中,由于驾驶引起的驾驶人生理和心理上的疲劳以及客观驾驶绩效低落的总称,而视觉疲劳则是心理疲劳的主要诱因.毛俊科^[15]系统总结了驾驶疲劳的成因分析,认为以往对驾驶疲劳研究往往集中在驾驶人内在因素即生理疲劳方面,而对外部因素即行车环境的研究还不够深入;同时详细阐述了外部因素是驾驶疲劳形成的主要因素之一,而道路环境单调性导致的视觉疲劳则是由外部因素所引发的驾驶心理疲劳。

上述实验结果显示城市快速路普通高架桥段的铺装条件和路侧的行车环境呈现长时段单一化的特征.相关研究表明^[20],视觉具有高度选择性,它不仅对能够吸引它的事物进行选择,而且对所看到的任何一种事物都可以进行选择,并由此产生不同的心理反应;当驾驶人经常重复行驶在同一种类型的路段时,内心会形成一种独特的驾驶节奏,并逐渐习惯于这种节奏;如果道路条件和路旁的视觉要素与交通标志长时间维持同一类型,周围环境的单调性和熟悉性会使驾驶人的注意力单一化,而单一的节奏会引起驾驶汽车作业机械化,并减低其注意力;这种心理节奏一旦被驾驶人所接受,在新的驾驶环境中要想打破和调整这一心理节奏会变得很困难,当其违背道路条件变化时就会给行车带来附加的危险.如驾驶人按照自己的经验和习惯,高速驶入不熟悉的小半径高架桥时,往往不愿降低车速以便不破坏其行车节奏,这种由视觉疲劳所导致的“心理惰性”很可能酿成交通事故。

通过交通安全设施的合理设计来引导驾驶员视线适时收发等系列景观整備工作可有效缓解由视觉环境单一化导致的驾驶员视觉疲劳,实际工程中应充分挖掘一切可利用的视觉要素,例如防眩防护设施在形态、材质和色彩上的渐变等手段,对驾驶员的视线进行有效调节。

3.4.2 特殊零界面桥段的心理不稳定感与行车安全

研究表明^[21]负面情绪会导致行为控制能力减弱,从而导致个体察觉反应冲突所需要的时间变得更长;Mesken J^[22]认为负面的情绪对驾驶人的影响很大,特别是愤怒、恐慌、焦虑等几种情绪,和超速等行为有着密切的联系. 驾驶人在驾车过程中,随着外界环境和自身状态的变化,情绪也会不断变化;情绪会通过影响驾驶人对道路交通信息的接收、判断和反应,如通过影响驾驶人对风险的知觉,进而影响驾驶人的驾驶行为^[23]. 石京等^[24]研究认为驾驶人的驾驶行为引起的交通事故占有所有交通事故的 70% 以上,而驾驶人的行为则主要由其不良的驾驶心理所决定.

受用地条件限制,新建城市快速路的高架桥段与地面的相对高程往往过大,尤其是驾驶在特殊的零界面桥段,驾驶人视点与沿线建筑构成一定的高差,行驶视觉空间内的视觉要素构成相当匮乏,除了前方的桥面、防眩和防护设施外,再没有其它任何视觉要素及高程参照物. 在这种特殊线形条件下的驾驶人由于行驶视觉空间内一片空白,缺乏必要的视对象作为高程参考,心理难免会产生焦虑、恐慌和不稳定感等负面情绪. 相关实验结果表明^[25],不稳定的心理反应在行车过程中影响驾驶人的判断和决策,焦虑和恐慌等负面心理反应会使得驾驶人做出错误的判断和更加危险的决策;长时间处于焦虑心理状态下,驾驶人可能作出盲目提速和弯道超车等一系列危险的驾驶决策,存在非常严重的交通安全隐患.

在交通安全许可条件下适当增加特殊零界面桥段的视觉对象作为高程参照物是消除特殊零界面桥段驾驶人心理焦虑、恐慌和不稳定感的最直接手段. 例如增设路外大体量指示牌或广告牌用以标记天际线. 对于受用地条件限制而无法增加视觉对象的高架桥段,可考虑增加彩色防滑表层,或运用一系列可吸引视线的交通标志及安全设施在排列、尺度、形态和色彩等方面的再设计,在满足交通安全条件下实现对驾驶人视线的有效引导.

4 结 论

1) 指出由于桥面与地面建筑高差的影响,城市快速路高架桥段与普通路段驾驶人的视觉尺度有显著区别,并定义一种视觉要素构成相当匮乏的特殊零界面桥段为“空旷空间”.

2) 运用车载等距变距自动成像技术对普通高架桥段和特殊零界面桥段两种典型的行驶视觉空间进行了还原模拟实验. 结果表明,普通高架桥段驾驶人的主要视觉要素为以大量空旷天际为背景的桥

面,其次为右侧沿街建筑,且分布相对均衡单一,容易导致驾驶人的视觉疲劳;而特殊零界面桥段视觉要素构成在较长时间处于匮乏状态,易引发驾驶人焦虑、恐慌和不稳定感等负面驾驶心理.

3) 根据实验结果得出的驾驶人在普通高架桥段和特殊零界面桥段的视觉尺度和环境特征,结合国内外相关研究成果对驾驶人在两种特殊视觉空间的驾驶心理和行车安全进行了适当探讨,并提出合理的整备手段.

4) 本文的模拟实验以假定驾驶人在高速行车过程中始终保持注视状态即头部保持相对固定为前提,后续研究将辅助眼动、心率和脑电等相关设备对驾驶人在真实注视区域中的视觉搜索模式和心理反应进行深入分析.

参考文献

- [1] WILLIAMSON A, LOMBARDI D A, FOLKARD S, et al. The link between fatigue and safety[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(2): 498. DOI:10.1016/j.aap.2009.11.011
- [2] HARBLUK J L, NOY Y I, TRBOVICH P L, et al. An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2007, 39(2): 372. DOI:10.1016/j.aap.2006.08.013
- [3] LAL S K L, CRAIG A. A critical review of the psychophysiology of driver fatigue[J]. *Biological Psychology*, 2001, 55(3): 173. DOI: 10.1016/S0301-0511(00)00085-5
- [4] SODHI M, REIMER B, COHEN J L, et al. On-road driver eye movement tracking using head-mounted devices[C]//*Proceedings of Eye Tracking Research and Applications Symposium*. New York: ACM Press, 2002: 61. DOI:10.1145/507072.507086
- [5] UNDERWOOD G, CRUNDALL D, CHAPMAN P. Selective searching while driving: The role of experience in hazard detection and general surveillance[J]. *Ergonomics*, 2002, 45(1): 1. DOI: 10.1080/00140130110110610
- [6] SCULLION J. Fatigue monitors to warn drivers[J]. *Australasian Science Incorporating Search*, 1998, 19(2): 5
- [7] HARBLUK J L, NOY Y I, EIZENMAN M. The impact of cognitive distraction on driver visual behaviour and vehicle control [R]. Ottawa: Transport Canada, 2002. DOI: 10.1109/IVS.2015.7225806
- [8] 张殿业. 驾驶人动态视野与行车安全可靠度[J]. *西南交通大学学报*, 2000, 35(3): 319
ZHANG Dianyue. Dynamic visual field of driver with safety driving [J]. *Journal of South West Jiaotong University*, 2000, 35(3): 319
- [9] 许金良, 王荣华, 冯志慧, 等. 基于动视觉特性的高速公路景观敏感区划分[J]. *交通运输工程学报*, 2015, 15(2): 1
XU Jinliang, WANG Ronghua, FENG Zhihui, et al. Classification of expressway landscape sensitive zone based on dynamic visual characteristics [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2015, 15(2): 1
- [10] KLAUER S G, DINGUS T A, NEALE V L, et al. The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the

100-car naturalistic driving study data [R]. Washington DC: NHTSA, 2006

[11] NEALE V L, DINGUS T A, KLAUER S G, et al. An overview of the 100-car naturalistic study and findings [C] // Proceedings of the 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Washington DC: NHTSA, 2005: 1

[12] KIRCHER K, AHLSTROM C. Predicting visual distraction using driving performance data [C] // Annals of Advances in Automotive Medicine. Proceedings of the 54th Annual Scientific Conference. Barrington: Association for the Advancement of Automotive Medicine, 2010, 54: 333

[13] DEERY H A. Hazard and risk perception among young novice drivers [J]. Journal of Safety Research, 1999, 30 (4) : 225. DOI: 10.1016/S0022-4375(99)00018-3

[14] 李都厚, 刘群, 袁伟, 等. 疲劳驾驶与交通事故关系 [J]. 交通运输工程学报, 2010, 10 (2) : 104
LI Duhou, LIU Qun, YUAN Wei, et al. Relationship between fatigue driving and traffic accident [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10 (2) : 104

[15] 毛科俊. 道路环境单调性对驾驶疲劳的影响机理及对策研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2011
MAO Kejun. Research on mechanism and countermeasure of driving fatigue: Effects of road environment monotony [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2011

[16] 马勇, 付锐. 驾驶人视觉特性与行车安全研究进展 [J]. 中国公路学报, 2015, 28 (6) : 82
MA Yong, FU Rui. Research and development of drivers visual behavior and driving safety [J]. China Journal of Highway and Transport, 2015, 28 (6) : 82

[17] 秦晓春, 沈毅, 邵社刚, 等. 公路空间围合度及在景观设计中的应用研究 [J]. 公路, 2012 (1) : 177
QIN Xiaochun, SHEN Yi, SHAO Shegang, et al. A study on highway space enclosure and its application in landscape design [J]. Highway, 2012 (1) : 177

[18] 张肖宁, 朱小刚. 珠三角地区高速公路高架桥段视觉空间特征及景观整备要点 [J]. 华南理工大学学报 (自然科学版), 2010, 38 (10) : 79
ZHANG Xiaoning, ZHU Xiaogang. Characteristics of visual space and landscape improvement essentials for viaduct of freeway in the pearl river delta [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 38 (10) : 79

[19] 任福田, 刘小明, 金淳, 等. 中国交通工程展望 [J]. 中国公路学报, 1995 (S1) : 93
REN Futian, LIU Xiaoming, JIN Chun, et al. China transportation engineering outlook [J]. China Journal of Highway and Transport, 1995 (S1) : 93. DOI: 10.19721/j.cnki.1001-7372.1995.s1.016

[20] MOK J H, LANDPHAIR H C, NADERI J R. Landscape improvement impacts on roadside safety in Texas [J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 78 (3) : 263

[21] 杨曼, 吴超仲, 张晖, 等. 行车安全事件的驾驶风险影响因素研究 [J]. 交通信息与安全, 2018, 36 (5) : 34
YANG Man, WU Chaozhong, ZHANG Hui, et al. Research on driving risk factors of driving safety events [J]. Traffic Information and Security, 2018, 36 (5) : 34

[22] MESKEN J, HAGENZIEKER M P, ROTHENGATTER T. Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: An on the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and physiology [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2007 (10) : 458. DOI: 10.1016/j.trf.2007.05.001

[23] HU Tianyi, XIE Xiaofei, LI Jie. Negative or positive? The effect of emotion and mood on risky driving [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2013, 16 (1) : 29. DOI: 10.1016/j.trf.2012.08.009

[24] 石京, 肖遥. 驾驶心理对交通安全的影响 [J]. 交通信息与安全, 2014, 32 (5) : 65
SHI Jing, XIAO Yao. Effects of driver's psychology on traffic safety [J]. Traffic Information and Security, 2014, 32 (5) : 65

[25] 成英, 高利, 高鲜萍. 城市快速路驾驶人注意力分配特征变化 [J]. 中国安全科学学报, 2014, 24 (10) : 71
CHENG Ying, GAO Li, GAO Xianping. Changes in attention allocation characteristics of drivers driving on expressway [J]. China Safety Science Journal, 2014, 24 (10) : 71

(编辑 苗秀芝)