

## 基于动态视觉特征的高速公路景观评价模拟试验方法初探

邓昌中<sup>1</sup> 李滨杉<sup>2\*</sup> 刘家民<sup>3</sup> 周红萍<sup>2</sup>

1 四川久马高速公路有限责任公司, 阿坝藏族羌族自治州 610000

2 交通运输部科学研究院, 北京 100029

3 四川藏区高速公路有限责任公司, 成都 610023

**[摘要]**在行车过程中, 驾驶员的信息获得和评估大部分通过视觉完成, 而眼球运动指标可以充分量化驾驶员的视觉体验。文章基于 G0615 线久治(青川界)至马尔康段高速公路的景观设计方案, 通过 BIM 技术搭建项目路段场景模型、采集被试者眼动指标和问卷调查等方式, 综合建立了评估高速公路景观质量的模拟试验方法, 为类似项目景观评价的方法设计提供参考。

**[关键词]**动态视觉; 景观评价试验方法; 眼动指标; 模拟驾驶系统

DOI: 10.33142/ec.v5i6.6096

中图分类号: U412.366

文献标识码: A

### Preliminary Study on Simulation Test Method of Expressway Landscape Evaluation Based on Dynamic Visual Characteristics

DENG Changzhong<sup>1</sup>, LI Binshan<sup>2\*</sup>, LIU Jiamin<sup>3</sup>, ZHOU Hongping<sup>2</sup>

1. Sichuan Jiuma Expressway Co., Ltd., Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture, Sichuan, 610000, China

2. China Academy of Transportation Sciences, Beijing, 100029, China

3. Sichuan Tibet Expressway Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610023, China

**Abstract:** In the process of driving, the driver's information acquisition and evaluation are mostly completed by vision, and the eye movement index can fully quantify the driver's visual experience. Based on the landscape design scheme of the expressway from Jiuzhi (Qingchuan boundary) to Markang of G0615 line, this paper comprehensively establishes the simulation test method for evaluating the landscape quality of the expressway by building the scene model of the project section through BIM Technology, collecting subjects' eye movement indicators and questionnaire survey, so as to provide reference for the design of landscape evaluation methods of similar projects.

**Keywords:** dynamic vision; landscape evaluation test method; eye movement index; simulated driving system

#### 引言

生心理指标能够量化驾驶员在行驶过程中的感受, 对判断其所处路段的景观质量有关键作用。生心理测试包括基于心电仪设备的心率指标测试和基于眼动仪设备的眼动指标测试等。考虑到高速公路景观评价中对视觉的依赖更加直接, 采用眼动仪记录眼球运动数据, 可作为视觉景观研究的可靠分析手段。本文依托 G0615 线久治(青川界)至马尔康段高速公路(以下简称“久马高速公路”)景观设计方案, 通过设计模拟驾驶眼动试验等内容, 形成能够评价待建公路景观设计方案对驾驶员行驶过程中安全性和美观性影响的试验方法, 改变“先建设后评价”的旧有模式, 对项目后续阶段景观方案的优化和完善具有重要的指导意义。

#### 1 试验简介

为减少干扰因素并有效控制试验环境, 采用室内模拟驾驶试验方法, 将仿真模型导入模拟驾驶系统, 设置待评价路段的景观环境场景。试验中采集驾驶员眼动指标数据, 并结合问卷调查结果构建完整的评估流程, 形成基于动态视觉特征的高速公路景观评价模拟试验方法。

#### 1.1 试验路段

选取久马高速公路 K71+000~K89+000 段作为本次模拟试验路段。此路段沿线拥有隧道、声屏障、互通区、服务区等重要节点, 景观设计要素丰富。为方便数据采集和处理, 将在整条路段上展开试验, 再从中截取对应要素场景的数据进行分析。

#### 1.2 试验人员

选取 20 名驾驶员作为被试者(其中 10 名为轿车驾驶员, 另 10 名为货车驾驶员), 要求其至少具有 3 年行车经验且驾驶技术娴熟, 无明显驾驶偏好, 视力(或矫正视力)在 1.0 以上, 且未曾发生过重大驾驶安全事故。

#### 1.3 试验设备

##### (1) 驾驶模拟系统

基于 BIM 技术搭建久马高速公路仿真驾驶模拟场景并将其应用于自主开发的高速公路驾驶模拟系统中。系统内置虚拟三维地球, 可以根据路段的真实经纬度构建环境。优势是可以切换车型(轿车或货车), 能够分类研究不同行车视线范围下的景观呈现, 使研究视角更加全面; 且能随机生成汽车流, 使试验过程沉浸感增强。

## (2) 眼动仪

SmartEye 非接触式眼动仪将用于采集本次试验中的有关眼动数据。只需将眼动仪安装在仪表盘上即可捕捉驾驶员的眼动指标,避免佩戴式眼动仪的不自然。SmartEye 眼动仪由瑞典制造,核心优势是其积累多年的软件算法,保证在不同光线条件下都能获得高精度的测试数据。

## 2 试验场景搭建和设计

该模型的构建主要分为两部分:设计虚拟场景和运行虚拟场景<sup>[1]</sup>。首先通过 AUTOCAD 软件绘制基础路线,再利用自主研发的藏高高速 BIM 系统,根据久马高速公路待评价路段的实际设计数据生成道路和地形模型,如图 1 所示。在模拟试验中,将公路基础信息设置为双向四车道高速公路,设计行车速度为 80km/h;UC-Win/Road 软件用于将模型导入 SCANeRDT 软件系统进行后续分析和处理。同时,可以进行公路景观设计要素的模型叠加和优化,如声屏障、隧道洞门等模型,完成久马高速公路三维虚拟仿真交互式场景的搭建。



图 1 久马高速公路待评估路段道路和地形地貌模型

模拟场景分为 1 个对照路段和 1 个测试路段。其中,对照路段包含常规互通区、服务区、声屏障、隧道洞门和隧道内饰设计,种类、形式均以典型内容为主,且安全性已被证实;测试路段为待评估方案中与以上元素不同的设计内容。为降低其他因素对试验的干扰,将道路线形、颜色等因素固定,忽略照明、气候等其他因素的作用,最大限度地避免干扰项对试验结果一致性的影响,仅以景观设计元素的不同组合作为试验变量因子,研究各景观设计要素对被试者在试验路段行车过程中眼动变化的影响。

## 3 试验要求和流程

### 3.1 试验准备

(1) 设备调试阶段:检查模拟驾驶系统的电源、自由度、控制计算机等设备,并对方向盘进行校正,调试试验场景。

(2) 被试培训阶段:试验前对驾驶员进行 30min 模拟驾驶系统的适应性培训,观察其是否产生诸如:头晕、恶心、呕吐等不良反应,如被试者没有出现不良反应,可以继续熟悉驾驶模拟系统的使用方法。

(3) 试验告知阶段:为了避免外部条件对驾驶员和数据采集系统的影响,应在正式试验前宣读介绍,告知驾驶员试验目的、过程及注意事项等。

### 3.2 试验要求

(1) 驾驶员要求:所有被试者在试验前应充分休息,24 小时内不得饮酒或服用刺激性药物;试验过程中在保证行车安全的前提下,驾驶员可在 80km/h 的设计时速范

围内自由驾驶。

(2) 工作人员要求:在试验过程中,要求工作人员严格按照设备的操作规程和使用方法收集数据,实时监控眼动记录情况与驾驶员行车时的状态。

(3) 时间要求:选择相邻日期的白天并且在同一时间段内进行试验。

(4) 环境要求:试验正式开始前检查实验室和模拟驾驶系统的照度,防止光线对测试结果产生影响,实验过程中保持安静并将手机和会对试验产生干扰的其他电子设备关闭。

### 3.3 正式试验

试验的整体流程和步骤如图 2 所示,详细安排如下:

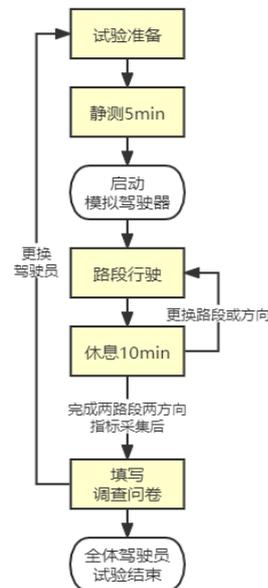


图 2 模拟驾驶正式试验流程

(1) 连接眼动仪等设备的线路,按照五点标定法依次标定驾驶员注视点位置,反复检查注视点位置是否有偏差,确定是否需要再次标定。

(2) 调出试验场景,按驾驶员类别切换为轿车或货车视角,在模拟路段的起点采集驾驶员 5min 静态眼动数据。

(3) 静测后,驾驶员打开模拟驾驶系统的电源开关,启动车辆,在设计速度下依次进行对照路段和测试路段的行驶并进行正反方向 2 次试验。实时收集被试者眼动数据。

(4) 在每个路段单向行驶后,被试者需要休息 10 分钟,以便在下次测试开始前重新建立心理和身体条件,并完成重新标定。

(5) 结束两个路段的正反方向行驶后,驾驶员填写问卷。工作人员检查、存储测试数据。

(6) 重复上述试验过程至 20 名驾驶员全部结束试验。

## 4 眼动指标选取

### 4.1 眼动行为及相关指标概述

眼动行为能够表征驾驶员对视觉信息的偏向和提取,

对于揭示外部环境对认知加工的生理和心理机制方面具有重要意义<sup>[2]</sup>。主要包括三类眼动形式：眨眼、注视和扫视。

#### (1) 眨眼

眨眼是一种本能的快速闭眼动作。研究发现,在没有外部条件刺激的情况下,正常人的眨眼时间在 0.2-0.4 秒之间<sup>[3]</sup>。眨眼有时候也是视觉疲劳的重要信号,驾驶员在行车时虽然不能通过眨眼处理信息,但可以通过这种眼动形式提高视觉感受的舒适程度<sup>[4]</sup>。

常见的眨眼指标有:眨眼频率、眨眼持续时间等。当驾驶员人感到疲倦时,眨眼频率和眨眼持续时间会增加,而当驾驶员提高警觉性时,眨眼频率会相应降低。

#### (2) 注视

注视是眼睛视网膜中央凹对准物体超过 100 毫秒内获得最清晰成像的视觉活动<sup>[5]</sup>。驾驶员对交通环境的注意力分布主要表现在驾驶员的注视行为上。

驾驶员的注视行为包括瞳孔直径、注视次数、注视持续时间等指标。瞳孔直径与驾驶员在刺激信息处理过程中的努力和负荷相关,它主要受光照、驾驶员紧张程度及信息复杂性等因素的影响。这是衡量驾驶员对视觉信息注意力的一个重要衡量标准。注视次数可以衡量驾驶员信息搜索的快慢程度,也可以反映视觉区域的偏重性,而视觉区域与刺激信息的复杂性关联不大。注视持续时间表征驾驶员对某一区域刺激信息的关注程度以及提取信息所需要的时间,与刺激信息的复杂程度有关<sup>[6]</sup>。

#### (3) 扫视

扫视,又称眼跳,是眼睛的一种无意识运动,发生在两种注视行为之间,起着连接作用,象征焦点或注视方位的突然改变。它可以有效地指示驾驶员视野内的环境信息收集范围,该范围受驾驶员获取信息的重要性和其他因素的影响。

扫视行为通常由扫视持续时间、扫视幅度等指标来描述。其中,扫视持续时间反映了驾驶员搜索目标的耗时,与待处理信息的复杂性密切相关,也与驾驶员进行视觉搜索的快慢程度有关。扫视幅度则是指驾驶员收集视觉信息的广泛程度<sup>[7]</sup>。

### 4.2 眼动指标的选取

不同眼动指标反映驾驶员在驾驶过程中的不同动态视觉特征,部分指标相互关联。为减少不必要的重复,需要筛选出能够直接且灵敏反映驾驶员对沿线景观设计要素视觉感受的眼动指标<sup>[8]</sup>。

结合驾驶员眼动理论分析和本研究实际需要,选取了3项指标对驾驶员在2条模拟路段下经过不同景观设计要素时产生的眼动行为的变化规律进行研究,分别是注视点分布位置、扫视幅度和瞳孔直径。

运用眼动仪提取驾驶员注视点分布位置和扫视幅度的视觉特性参数,并分析隧道洞门、隧道内饰、声屏障、互通区和服务区景观设计的安全性。注视点分布位置能够说明驾驶员对各区域的兴趣分配。在景观较好的路段,驾驶员更关注前方道路的中间区域。而扫视幅度较大表明驾

驶员每次注视时获取周围信息较多,在驾驶过程中驾驶员可以充分了解交通环境信息,减轻心理压力和紧张情绪。相应地,驾驶安全性将会提升。

瞳孔是衡量人体生理和心理负荷的敏感指标。因此,针对驾驶员的瞳孔直径进行测定并分析其变化规律,可以作为判断景观设计要素美观与否的一个指标。瞳孔直径越大则表明驾驶员心理负荷越重,对应设计的景观美观性就相对越不理想,景观设计质量较好路段的驾驶员瞳孔直径比景观较差路段的更小。

### 5 可靠性验证

在完成定量评价的基础上,对驾驶员在两个路段上经过不同景观设计要素时的行车感受进行主观问卷调查,验证后期经过分析的眼动指标变化规律是否可靠。完成试验后,每位驾驶员需要在工作人员的指导下完成问卷调查填写,如表1所示,采用李克特 LIKERT 五分量表法评估行车感受(5分表示十分同意,1分表示十分不同意),调查问卷问题设置围绕各景观要素的安全性和美观性进行描述。将问卷调查结果进行统计分析,判断驾驶员的主观感受与眼动指标的变化规律是否吻合。

表1 五分量表法调查问卷

| 景观要素类型 | 描述                | 评分             |          |           |           |                 |
|--------|-------------------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------------|
|        |                   | 5分<br>非常<br>同意 | 4分<br>同意 | 3分<br>不一定 | 2分<br>不同意 | 1分<br>非常<br>不同意 |
| 互通区    | 我没有注意到互通区         |                |          |           |           |                 |
|        | 互通区的景观使我感到身心放松    |                |          |           |           |                 |
| 服务区    | 我知道服务区大体出现的位置     |                |          |           |           |                 |
|        | 服务区的设计给我留下很好的印象   |                |          |           |           |                 |
| 声屏障    | 在开车时声屏障吸引了我的目光    |                |          |           |           |                 |
|        | 声屏障的样式不太符合我的审美    |                |          |           |           |                 |
| 隧道洞门   | 隧道洞门影响我开车时的注意力    |                |          |           |           |                 |
|        | 隧道洞门设计不美观         |                |          |           |           |                 |
| 隧道内饰   | 开车时我不由自主关注隧道内饰的设计 |                |          |           |           |                 |
|        | 隧道内饰的图案好看         |                |          |           |           |                 |

### 6 结语

依托久马高速公路景观设计方案,本研究通过设计选定路段的对照组和测试组模拟驾驶眼动试验,提出了一种

用于评价不同景观设计要素对驾驶员在行车过程中眼动指标影响的试验方法,并加入了问卷调查以判断生心理指标和被试真实感受之间的异同,形成一套能够评价待建高速公路景观设计方案行车安全性和景观美观性的评价思路,对项目的后续开展和完善起到方向性的指导作用。

#### [参考文献]

- [1]商艳.基于驾驶员眼动特性的草原公路直线段景观单调问题研究[D].内蒙古:内蒙古农业大学,2020.
- [2]张贵满,朱守林,戚春华.单调路侧景观色彩对驾驶员眼动指标的影响分析[J].科学技术与工程,2016,16(18):284-289.
- [3]商艳,朱守林,戚春华,高明星,赵婷,王玉化.草原公路景观要素影响驾驶员眼动指标研究[J].中国安全科学学报,2017,27(5):19-24.
- [4]王发.山区公路景观行车环境中的驾驶视觉敏感区研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.
- [5]邹申,孔菊芳,王玉山.近20年国际阅读眼动研究综述[J].河北大学学报(哲学社会科学版),2015,40(6):109-116.
- [6]张咏富,白明举,许世勇,杨运兴,陈芳.高速公路路侧景观对驾驶员视点分布特征的影响研究[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(10):28-30.
- [7]解松芳.草原公路路域景观对驾驶员动态视觉特性的影响研究[D].内蒙古:内蒙古农业大学,2015.
- [8]李航天.草原公路交通工程设施信息量对驾驶员视觉特性的影响研究[D].内蒙古:内蒙古农业大学,2017.

作者简介:邓昌中,男,高级工程师,主要从事公路工程方面研究。