

# 道路景观最佳设置长度的确定

徐 婷<sup>1</sup>, 吴 燕<sup>2</sup>, 马壮林<sup>1</sup>

(1. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064;

2. 陕西省交通职业技术学院 经济管理学院, 陕西 西安 710018)

**摘 要:**为研究道路景观的最佳设置间距,采用试验方法,设计双车道二级路模拟真实路况环境,按照 1~40 km 设置不同的绿化间隔,随机选择被试驾驶人进行试验,提取景观设置间隔和驾驶人心率作为外界环境的灵敏度衡量指标,量化不同道路景观设置间距下驾驶人的生理、心理反应,发现驾驶人心率和设置间距之间存在指数关系。在对绿化设置间距取对数后,进一步分析,发现驾驶人速率变化率与绿化设置间隔呈 U 形关系,并使用二次曲线进行拟合并求导。研究结果表明:7 km 是绿化景观设置的最佳变化间隔,此时驾驶人速率下降最小;该研究揭示了道路环境绿化对驾驶人生理、心理的影响程度,当绿化间距大于或小于 7 km 的时候,驾驶人速率变化率均会增大;计算得出的景观最佳设置间距,可为改善景观环境和提升交通安全水平提供借鉴和参考。

**关键词:**交通工程;道路景观;心率;景观间距;灵敏度

**中图分类号:**U491.31

**文献标志码:**A

## Appropriate length setting for road landscape

XU Ting<sup>1</sup>, WU Yan<sup>2</sup>, MA Zhuang-lin<sup>1</sup>

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Economy and Management, Shaanxi College of Communication Technology, Xi'an 710018, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to explore the maximum setting distance for landscape, the research was carried out in lab which could simulate the second-grade road in real world. Five experiment scenes were designed according to stimulation interval from 1 to 40 kilometers. Each subject was required to drive in a scene randomly at the same time in a day. The stimulation density and heart rate were used to measure road environment. The relationship between heart rate and stimulation density was established. The results show that the degree of fatigue increases during driving time, but the degree increases differently with road environment, which is in consistency with Hancock and Warm U model, and the best interval is 7 km, which means that the heart rate increases whenever interval is larger or smaller than 7 km. The best interval from this study can provide reference for road environment improvement and safe driving. 2 tabs, 6 figs, 11 refs.

**Key words:** traffic engineering; landscape; heart rate; interval; sensitivity

0 引言

道路景观设计对行车安全有重要的影响。道路景观不仅直接影响驾驶人的视线视距,同时道路景观的构成将对驾驶人的心理活动产生较大的影响<sup>[1]</sup>。从道路景观与道路交通事故的关系方面考虑,良好的道路景观对预防道路交通事故的发生有明显的

影响作用。

美、欧及日本等一些国家对景观环境和景观资源的研究实践较早,经过近几十年的发展与完善,并从驾驶人生理、心理的角度出发,对道路景观进行设计。在脑力负荷研究方面,可以根据脑力负荷大小将驾驶疲劳分成由负荷不足引起的被动疲劳和负荷过载引起的主动疲劳 2 类<sup>[2]</sup>。Oren-Gild 等提出对于负荷不足的情况,需要在保证驾驶人

不从主任务分心的前提下,增加其他驾驶任务需求

量;对于负荷过载的情况,不仅要恰当的降低驾驶任务需求

量,还要提高驾驶人的适应水平<sup>[3]</sup>。Nelson 认为在特定驾驶环境中的疲劳可视作驾驶人与环境的相互作用,并表示为函数的形式<sup>[4]</sup>。道路景观环境单调是驾驶负荷不足的一种外在表现,定义为特定道路环境中,驾驶人视觉刺激不发生变化或变化在可预测范围内。Thiffault 等指出路侧视觉刺激对驾驶疲劳有一定的影响<sup>[5]</sup>。所以,改善道路景观环境有助于减轻低刺激环境引起的驾驶疲劳。中国学者对景观单调刺激设置间隔也进行了相应的研究,王建军等提出单一景观的最优设置长度为 5 km 左右,该长度可以对驾驶人产生适当的刺激,避免驾驶疲劳<sup>[6]</sup>。贾致荣等指出视觉刺激点设置应与行车速度有关,大约每 5~10 min 为驾驶人提供新的视觉吸引点,使驾驶人适当转移其注意活动<sup>[7]</sup>。

目前,道路景观最佳长度对驾驶疲劳的影响已引起了国内外学者的关注,从上述的研究来看,还没有针对道路景观单一性的评价指标及评价标准。为此,本文采用驾驶模拟试验手段,设计双车道二级公路及路侧景观,研究道路绿化对驾驶人生理、心理的影响;提取驾驶人

心率作为衡量指标,分析不同刺激间距的试验场景中驾驶人心率的变化规律,建立刺激间距和驾驶人心率之间的关系模型,确定道路绿化合理的刺激点设置间隔,为道路景观的实际工程设计和改造提供借鉴和参考。

1 试验方案设计

本次试验采用虚拟驾驶平台,研究绿化设置间

隔与驾驶人生理、心理指标之间的关系。在虚拟道路与环境建模及试验方案确定后,在虚拟运行平台中对所建模型依次完成系统设置、环境设置、仿真场景设置和仿真模式设置;然后在三通道图形工作站启动仿真进程,进行仿真试验。

1.1 试验道路设计

驾驶模拟场景为长直线段和平曲线段组成的双车道环形二级路,单车道宽度为 3.5 m,路肩宽度为 1.5 m,设计速度为 60 km/h;平曲线半径为 3 138 m,长直线段长度为 10 000 m。根据《公路路线设计规范》中的相关规定,当设计速度为 60 km/h、平曲线半径大于 1 500 m 时,可不设置超高。在二级路上,设置不同间距的绿化景观,研究其对驾驶人疲劳的影响规律,道路的具体形式如图 1 所示。

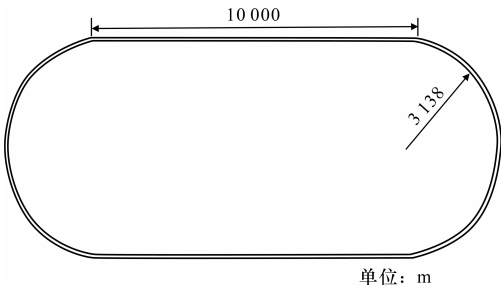


图 1 场景平面设计

Fig. 1 Plane design of scene

1.2 道路景观选取

将景观类型分为路侧植物绿化和告示标志 2 种。绿化植物可以分成榆树、杨树、侧柏和马尾松等。一般干线公路旁的绿化采用半封闭的栽种形式,栽种的距离为树冠的 1.5~2.0 倍。

表 1 为绿化植物的栽种方式。试验场景按照表 1 的方式进行栽种。场景中的标志按照《道路交通标志和标线》(GB 5768—2009)规定进行设计,采用门架式支撑设置。

表 1 绿化植物栽种方式

Tab. 1 Planting patterns

树名	冠径/m	株距/m	间距/m	高度/m
榆树	6.0	12	6.0	8
杨树	5.0	10	5.0	10
侧柏	2.5	5	2.5	5
马尾松	3.5	7	3.5	6

1.3 道路景观设置方法

以往研究表明,景观绿化刺激的设置间隔必须保持在合理的范围内,过于密集的刺激会降低驾驶人视觉的反应灵敏性。参考以往的研究结果,选择 0~40 km 作为刺激设置间隔的研究范围。在本研究中,二级路的设计速度为 60 km/h,对应的刺激设

置距离范围为 0~40 km。绿化刺激变化间隔设计为 1、5、10、20、40 km 这 5 种不同的场景,驾驶人试验场景为随机选择。

### 1.4 试验流程

选取 12 名驾驶人进行试验,年龄在 30 岁~45 岁之间,全部为男性。被试者在试验前一天必须保证 8 h 的睡眠,禁止喝茶、饮酒等。被试者在一周中每天同一时间选择一个场景进行试验。为了让被试者熟悉驾驶模拟环境,在试验前首先进行 30 min 的模拟驾驶,并填写驾驶人状态主观评价表(Swedish Occupational Fatigue Inventory-20 的中文版简称:SOFI-C),评价驾驶人的身体状态,并安装心电仪器<sup>[8]</sup>。然后,以 60 km/h 的速度在试验场景中的右侧车道驾驶 3 圈,每个被试者共完成 5 次试验,并要求在驾驶过程中尽可能多的阅读和理解交通标志牌的信息。

## 2 试验数据分析

### 2.1 驾驶前被试者主观疲劳评价

为了剔除驾驶人个体身体状态差异对驾驶人疲劳的影响,在试验过程中为了取得有效的试验数据,必须保证被试者在试验之前尽量保持精神状态不存在显著性差异。SOFI-C 用来评价驾驶人在试验开始前的疲劳状态,0 表示不疲劳,10 表示非常疲劳(0 为最少,10 为最大),5 次试验的主观评价均在 0.5 左右,说明测试者的状态均良好。样本独立  $t$  检验表明,任意 2 个试验之前的被试者精神状态没有显著性差异(以 10 km 刺激间隔和没有刺激 2 个试验为例,配对  $t$  检验结果: $t=1.149, p=0.369>0.01$ ,  $t$ 、 $p$  均为检验参数),主观评价如图 2 所示。图 2 中的直线连接点表示各个刺激间隔组中主观评价值的最大取值。

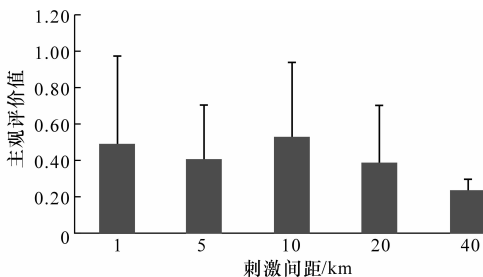


图 2 驾驶前被试者疲劳状态主观评价

Fig. 2 Subjective fatigue assessments before driving

### 2.2 刺激对驾驶人心率的影响

已有的研究表明,驾驶人心率(HR)在驾驶疲劳形成过程中有显著的下降,可以通过时域和频域

的变化反映驾驶疲劳的形成过程序列<sup>[9-10]</sup>。图 3 为 1 km 景观刺激设置长度心率变化规律。

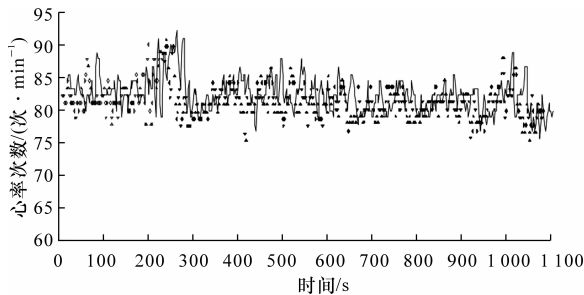


图 3 心率随驾驶时间的变化规律

Fig. 3 Heart rate variation with driving time

从图 3 中可以看出,驾驶人心率随时间的变化规律并不明显,很难确定道路景观的设置长度对驾驶人心率的影响规律。已有的研究表明,驾驶过程中的驾驶人心率可以看成为驾驶状态的平稳随机序列。

为了进一步分析驾驶人心率随时间的变化特征,首先通过计算驾驶过程中心电信号序列的自相关函数,可以剔除驾驶人自身因素的影响。在安静状态,驾驶人心率的自相关函数下降速度很快,趋近于 0,说明自身生理、心理状态与心率的相关性不强。

图 4 为刺激间隔为 1 km 和无刺激间隔变化 2 种情况下驾驶人心率自相关函数的变化规律。由图 4 可以看出,在驾驶过程和绿化间隔 2 个因素的作用下,1 km 的绿化刺激间隔和没有刺激的间隔 2 条自相关曲线,1 km 绿化的刺激间隔心率的自相关曲线波动较无刺激间隔的相关曲线波动剧烈,说明驾驶中绿化间隔的不同对驾驶人的心率存在一定的影响。

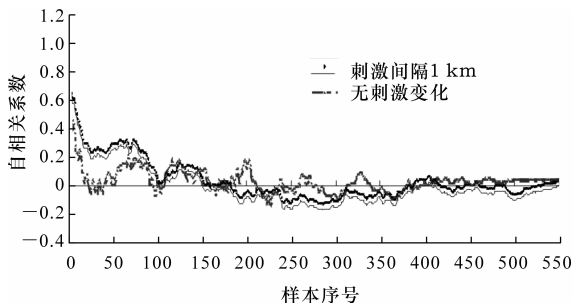


图 4 驾驶过程中最佳长度对心率自相关函数的影响

Fig. 4 Impact of stimulation on heart rate autocorrelation function chart when driving

### 2.3 不同场景下驾驶人心率随驾驶时间的变化

驾驶人心率的变化受到驾驶时间、道路环境、驾驶状态等多种因素的影响。通过上述的分析,在研

究中选择心率指标,衡量不同的道路景观长度对驾驶人状态的影响;统计不同试验场景中 1 min 内驾驶人的心率;绘制 1、5、10、20、40 km 平均心率与驾驶时间之间的关系。驾驶人 心率下降速度最快的长度为 40 km 及长度为 1 km 的场景,下降速度最慢的为 5 km 长度和 10 km 的景观长度。在驾驶试验开始的阶段,驾驶人 心率下降的速度较快,随着驾驶时间的增长,心率下降速度趋于平稳。

采用线性回归模型,量化驾驶人 心率随着驾驶时间的变化规律。由于不同场景下拟合曲线相互重叠交叉,因此,选择驾驶试验 5 min 后的数据进行分析 and 拟合,如图 5 所示。图 5 中: $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ 、 $y_4$ 、 $y_5$  分别表示 1 km、5 km、10 km、20 km、40 km 的平均心率拟合曲线。

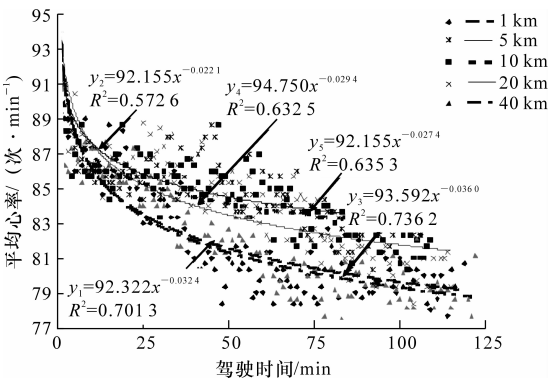


图 5 不同场景下心率随驾驶时间的变化规律

Fig. 5 Heart rate variation with driving time under different scenes

3 道路绿化间隔最大值的确定

定义绿化密度为单位长度中绿化设置长度的倒数;采用曲线上的心率(单位时间内心率下降)表示驾驶人的精神状态。模拟试验的时间较长,试验不能保证 60 km/h 的行车速度,因此有效的试验驾驶不能达到 120 min,分析时间选取试验开始后的 5 min 到 115 min。计算不同景观长度下心率变化见表 2。

从表 2 的计算结果可看出,以景观长度的对数作为横坐标,将心跳下降率百分比作为纵坐标绘制刺激密度与心率下降之间的关系,如图 6 所示。从图 6 可以看出,道路绿化环境对驾驶状态的影响呈 U 形关系<sup>[11]</sup>。所以,当其他影响驾驶的因素在可控的前提下,在负荷过高或过低的情况下,驾驶人的适应能力会下降。从 5 km 的绿化景观长度到 40 km 的绿化景观长度,驾驶人 心率下降幅度逐渐增大。

表 2 不同试验环境下刺激密度和心率下降率

Tab. 2 Stimulus density and heart rate decline under different scenes

间距/km	刺激密度/ (次数 · km <sup>-1</sup> )	开始驾驶 5 min 心率/ (次数 · km <sup>-1</sup> )	连续驾驶 115 min 心率/ (次数 · km <sup>-1</sup> )	心率下降 率/%
1	40/40	88.0	79.2	8.8
5	8/40	88.8	83.0	5.8
10	4/40	88.0	82.8	5.2
20	2/40	89.0	81.5	7.5
40	1/40	88.0	78.5	9.5

对绿化间距取 10 为底的对数,采用二次曲线进行拟合心率和绿化密度,使用二次函数进行拟合,得到的模型为

$$H=5.8[\lg(I)]^2+8.9[\lg(I)]+8.836$$
$$R^2=0.958$$

式中: $H$  为心率下降百分比(%); $I$  为绿化密度; $R^2$  为判定系数。

对公式求最小值, $\lg(I)$  取 -0.76,绿化最佳长度为 6.9 km,这时,驾驶人 心率下降率为 5.4%。所以,道路绿化景观的设置最佳长度为 6.9 km,工程应用中可取 7 km。

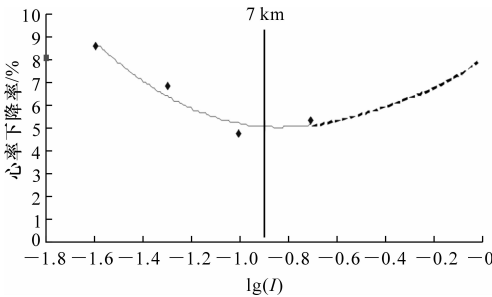


图 6 绿化密度对数与心率拟合曲线

Fig. 6 Greening density logarithm and heart rate fitting curves

4 结 语

(1)在 5 个试验场景中,驾驶人 心率都有显著下降过程,虽然这种下降过程是由驾驶时间和道路环境共同作用的结果,但在一定程度上表明,可通过长时间驾驶下心率下降率反映不同的道路环境对驾驶状态的影响。

(2)试验结果证实,不同道路环境下驾驶人 心率变化规律可以通过景观长度与心率下降率关系曲线来表征,同时该变化规律也符合 Hancock 和 Warm 的 U 型模型理论解释。

(3)通过拟合曲线计算确定道路绿化的最佳间距,设置最佳距离应该为 7 km;对于驾驶人来说,这些绿化的最有效的含义或形式确定是下一步研究的重点。