

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2023.09.023

基于短时记忆的高速公路施工区可变 信息标志布设

李文虎¹, 王志华¹, 王 振¹, 陆雨函^{*2}, 李勇强¹

(1. 青海省交通工程技术服务中心, 青海 西宁 810008; 2. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210019)

摘要: 由于驾驶人在接受施工信息过程中存在短时记忆与认知负荷问题, 导致其对传统固定模式的信息发布指示牌难以辨别。为了确定 VMS 布设位置、布设方式和布设高度, 优化施工过程中信息发布策略, 缩短驾驶人认知、判断、响应时间, 提升驾驶人的认知, 保障交通运行安全, 在理论创新与实践应用两个维度上, 通过对国内外公开的驾驶人短时记忆、驾驶人认知负荷、基于短时记忆的 VMS 认知研究成果对比分析, 结合驾驶员获取信息、判断选择、做出反应、动作执行、车辆运动状态变换的过程, 充分考虑驾驶员的基本特性、短时记忆与认知负荷, 构建了基于短时记忆的施工作业区 VMS 布设模型。确定了基于驾驶员短时记忆的高速公路施工作业区 VMS 布设的前置距离, 以此解决高速公路改扩建工程与养护工程实施过程的信息发布及时性与“边通车、边施工”交通运行安全问题。结果表明: 在双向四车道高速公路改扩建工程中, 按照构建的基于短时记忆的施工作业区 VMS 布设前置距离模型, 验证了立柱式与悬臂式 VMS 距离, 立柱式与悬臂式的 VMS 距离施工作业区的理论最小长度分别为 328 m 和 326 m。上述结果可为高速公路改扩建工程、养护工程不中断交通施工时 VMS 布设提供参考与借鉴。

关键词: 交通工程; VMS 布设; 短时记忆模型; 施工作业区; 前置距离

中图分类号: U491.5+2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2023) 09-0197-08

VMS Layout for Expressway Construction Area Based on Short-term Memory

LI Wen-hu¹, WANG Zhi-hua¹, WANG Zhen¹, LU Yu-han^{*2}, LI Yong-qiang¹

(1. Qinghai Provincial Traffic Engineering Technical Service Center, Xining Qinghai 810008, China;

2. JSTI Group Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210019, China)

Abstract: Due to the problems of short-term memory and cognitive load in the process of receiving construction information, drivers cannot distinguish the traditional fixed mode of information release signs. In order to determine the VMS layout location, layout mode and height, optimize the information release strategy in the construction process, shorten drivers' cognitive, judgment and response time, and improve drivers' cognitive to ensure the safety of traffic operation, there are two dimensions of theoretical innovation and practical application, by comparing and analyzing the published researches on driver's short-term memory, drivers' cognitive load and VMS based on short-term memory, the basic characteristics, short-term memory and cognitive load of drivers are fully considered in the process of acquiring information, judging and choosing, responding, executing actions and changing vehicle motion state, the VMS layout model of construction area based on short-term memory is established. Based on drivers' short-term memory, the advance distance of VMS Layout in expressway construction area is determined, in order to solve the

收稿日期: 2023-07-25

基金项目: 青海省交通运输厅科技项目 (2021-03); 青海省西部地区公路工程施工项目 (2021-03)

作者简介: 李文虎 (1989-), 男, 甘肃会宁人, 硕士, 高级工程师 (229266091@qq.com)

* 通讯作者: 陆雨函 (1991-), 女, 江苏南京人. (1522691759@qq.com)

expressway reconstruction and expansion project and maintenance of the implementation process of timely release of information and “side traffic, side construction” traffic safety issues. The result shows that in the reconstruction and extension project of two-way four-lane expressway, the VMS advance distance model based on short-term memory is used to validate the column-type and cantilever-type VMS distance, the theoretical minimum lengths of column VMS and cantilever VMS are 328 m and 326 m respectively. The above result can be used for reference in VMS layout of expressway reconstruction and extension project and maintenance project without interruption of traffic construction.

Key words: traffic engineering; VMS layout; short-term memory model; construction area; advance distance

0 引言

高速公路是连接城市与城市、城市与城镇、城镇与城镇居民出行的重要载体。城镇居民出行需求的爆炸式增长导致高速公路交通拥堵、居民出行体验较差、安全事故频发等现象。为给出行者提供良好的出行环境,提升出行服务体验,高速公路管理部门一方面通过高速公路养护保证路况、路侧环境始终处于良好状态,另一方面通过改扩建工程为居民出行提供更好、更优、更充足的道路资源。无论是高速公路改扩建工程还是养护工程,在实施的过程中都会对已有的交通运行产生影响。为满足居民出行需求,一般选择“边通车边施工”的组织模式进行高速公路改扩建工程和养护工程施工。

驾驶人在经过施工路段时,希望及时获取施工和交通组织信息,以便及时采取相应的措施减少交通拥堵和交通事故发生的概率。研究与调查表明,驾驶人在驾车过程中比较希望提前获取的路况信息主要包括12类(见图1),其中道路的施工信息是驾驶人比较关注的路况信息。通过对高速公路改扩建工程和养护作业区安全施工统计分析,施工作业区安全事故中因机动车闯入造成的交通事故占施工作业区安全事故的70%,主要原因由是驾驶人未提前获取施工信息与施工组区交通组织信息发布不及时造成的。因此,对改扩建工程和养护工程而言,及时有效地发布施工信息和交通组织信息不仅是交通管理的重要内容,而且对施工作业区安全管控具有重要支撑。

由于驾驶人在接受施工信息过程中存在短时记忆与认知负荷问题,导致其对传统固定模式的信息发布指示牌难以辨别,基于可变信息标志(Variable Message Sign, VMS)的信息发布策略被逐渐应用于高速公路改扩建工程和养护工程实施过程中,并且在实际工程中收到了良好效果。但是针对高速公路改扩建工程和养护工程而言,驾驶人对路面和环境

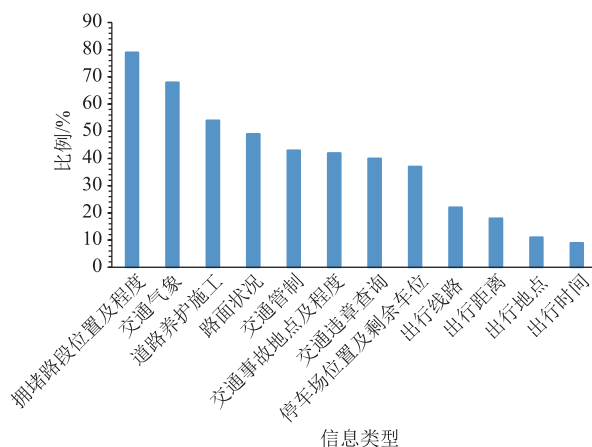


图1 驾驶人期望及时获取的路况信息

Fig. 1 Road condition information that drivers expect to obtain in time

特征的认知过程与对VMS标志发布的施工信息、交通组织信息的认知过程具有明显的差异。前者是当驾驶人在面对路面和环境发生变化时,从获取信息到应急处置结束的过程,多属于应急处置,后者是根据施工信息与交通组织信息提前向驾驶人发布信息,属于预警、事前提醒范畴。在实际工程应用中,基于VMS的信息发布策略可根据高速公路的运行环境、施工状态等划分为正常与异常2种控制策略。正常控制策略主要是指高速公路改扩建工程和养护工程实施过程中发布施工信息,如“前方施工,减速慢行”、“前方车道封闭”、“禁止通行”等。异常控制策略主要是指在施工过程中发布除施工信息以外的异常信息,如恶劣天气、交通事故、突发事件等^[1]。因此,基于VMS的信息发布系统不仅可为驾驶员提供施工信息,而且可以提供包括天气、交通管制、交通诱导等其他信息发布与诱导服务。基于VMS的信息发布措施不仅是一种交通管控策略,而且是一种基于信息实时发布的智能交通诱导措施。

尽管相关的应用实践已经证明了基于VMS信息发布策略的价值,但由于缺乏统一的VMS布设标准和布设规范,导致基于VMS的施工作业区信息发布

策略的实际效果不一。为充分发挥基于 VMS 的信息发布策略的应用价值,需要依据施工作业区的长度和驾驶人的认知过程布设 VMS。本研究以驾驶员短时记忆理论、驾驶员认知负荷理论为依托,重点对 VMS 标志发布施工信息与交通组织信息进行研究,充分考虑驾驶员的信息接受程度与遗忘曲线,建立基于短时记忆的施工作业区 VMS 布设模型,并通过案例分析立柱式与悬臂式 VMS 标志距离施工作业区的前置安全长度,以期及时发布信息并提醒驾驶员采取措施,减少机动车闯入施工作业区的交通事故发生概率。

1 国内外相关研究

1.1 驾驶人短时记忆

记忆是人脑在接收外界刺激或信息后,感知、存储、分析、反应等一系列行为的集成^[2]。对于驾驶人而言,按照记忆在人脑中储存的时间长短可分为感觉记忆、短时记忆与长时记忆。在驾驶过程中,驾驶人接受外界的提示信息一般属于短时记忆,即记忆时间不超过 1 min,如果指示牌的信息不再重复出现,短时记忆信息就会按照遗忘曲线逐步消失。Pammer 等^[3]、Jia 等^[4]、Du 等^[5]、Wang 等^[6]基于驾驶人的短时记忆问题分别从驾驶人情景感知能力、肤色、面部表情、心率、声音等维度构建了卷积神经网络的驾驶行为识别模型及基于长短期记忆网络的制动意图识别模型,论证了短时记忆对驾驶人驾驶意图的影响。研究表明,随着时间的延长,驾驶人所能记住的指示牌信息逐步减少,记忆与时间的关系^[7]如图 2 所示。驾驶人在获取指示牌信息后会形成短时记忆,但是随着时间的延长,记忆力会骤然下降,直至达到感觉记忆。因此,为及时有效地向驾驶人传递施工信息,高速公路改扩建工程和养护工程在施工路段需要重复设置指示牌。

1.2 驾驶人认知负荷

驾驶人在驾驶过程中获取指示牌信息时存在一个认知的过程,如果指示牌的信息量过多,驾驶人则无法对指示信息形成完整的认度,而执行指示牌信息时,加载在驾驶人思想上的负荷就属于认识负荷^[8]。沈家安^[9]通过对驾驶人任务型驾驶与非任务型驾驶行为差异性的研究,认为认知负荷是导致驾驶人注意力分散的主要原因;He 等^[10]通过对驾驶人情绪变化的研究认为驾驶人在驾驶过程中启动车载娱乐系统是导致驾驶人认知负荷的重要原因之一;陈肖欣^[11]通过对城市道路交通量与标志信息量、信

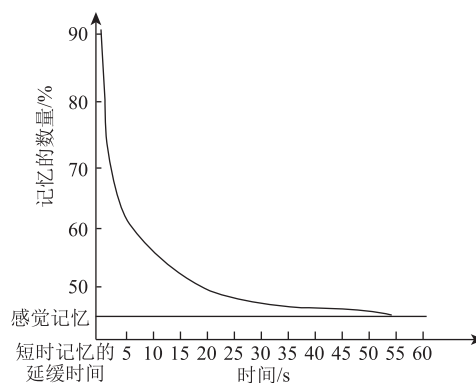


图2 记忆力变化模型

Fig.2 Memory change model

息密度之间关系的研究认为同等标志信息量下,交通量越大,则驾驶人的认知负荷越高;Liu 等^[12]研发了一种近红外光谱,可以对有或无外界干扰信息的情况下对驾驶人的认知负荷进行分类,试验表明无外界干扰信息的情况下,光谱对驾驶人的认知负荷分类准确率更高。因此,在高速公路改扩建工程和养护工程实施过程中,VMS 的设计需要充分考虑驾驶人的认知负荷。

1.3 基于短时记忆的 VMS 认知研究

在高速公路改扩建工程和养护工程施工过程中,为使基于 VMS 的信息发布策略充分发挥作用,国内外学者通过相关研究取得了可观的成效。Wu 等^[13]、Matowicki 等^[14]、杜建玮^[15]结合驾驶人对 VMS 认知时间、认知效果、驾驶速度及执行效果等因素,认为 VMS 中的信息不大于 5 条时,驾驶人的视认效果最好,信息量大于 90 bit 时,会导致驾驶人产生认知负荷,致使 VMS 信息过载;Reinolsmann 等^[16]基于沙漠公路的沙尘暴天气能见度低的特征,构建 VMS 的低能见度提前预警机制,认为提前 500 m 和 300 m 预设 VMS 能够有效降低驾驶人因速度不适应造成的安全事故;Huang 等^[17]、Ghulam 等^[18]通过对超过 1 000 名驾驶人的访谈认为 VMS 备受驾驶人的青睐,并可以使驾驶人的行驶速度降低 13% ~ 17%;Gan 等^[19]、Zhong 等^[20]、Jindahra 等^[21]、Antoniu 等^[22]、曹亚康^[23]认为驾驶经验、对路网的熟悉程度、出行距离、路网环境等因素影响驾驶人对 VMS 信息的选择,一般来说驾驶经验越丰富、对路网越熟悉、出行距离越短、路网环境越单一,驾驶人越容易接受 VMS 信息。

对驾驶人而言,基于 VMS 的信息发布策略从信息获取到看清标志中的内容、到做出判断、再到实际操作是一个复杂的系统过程,尤其是驾驶人在获

取 VMS 信息后存在一个短时记忆过程, 如何保证驾驶人在短时记忆的短时间内快速、安全地做出响应显得尤为重要。对于高速公路改扩建工程和养护工程, 如何科学合理地设置施工作业区长度、如何科学布设 VMS 使其发挥其最大作用, 以此保障交通运行安全是亟待解决的问题。因此, 本研究的重点以高速公路改扩建工程和养护工程施工作业区 VMS 布设作为研究对象, 探索驾驶人短时记忆条件下高速公路施工作业区 VMS 布设研究, 以期为高速公路施工作业区交通标志标牌布设提供参考与指导。

2 基于短时记忆的施工作业区 VMS 布设前置距离模型

2.1 驾驶人 VMS 的认知过程

为了及时向通过路段的驾驶人发布施工信息和交通诱导信息, 在高速公路改扩建工程和养护工程的相关路段中会布设多种指示标志、限速标志、交通诱导标志等, 驾驶人在经过该路段时会接收大量的外界信息并结合记忆曲线对其做出响应。由于驾驶人对 VMS 发布的信息存在一个短时记忆认知的过程, 使之对 VMS 信息存在相应的感知、处理、判断、响应过程^[24-26], 如图 3 所示。

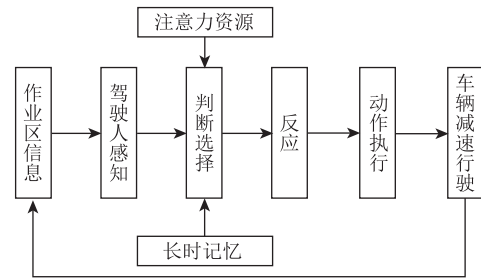


图3 VMS 信息认知过程

Fig. 3 Cognitive process of VMS information

经过施工区时, 驾驶人接收到施工区设置的 VMS 信息后将会形成短时记忆。在记忆力的驱使下, 驾驶人会改变原有的驾驶行为, 按照 VMS 信息的要求转换驾驶速度、变换车道。驾驶人对 VMS 信息从看到、看清、分析、处理、响应是一个完整的认知过程^[27]。如图 4 所示, 车辆在进入施工区时, 驾驶人由远及近对 VMS 信息的认读逐渐提升, 从 A 点开始看到 F 点设置的 VMS 提示牌轮廓, 到 B 点时看到提示牌的内容, 到 C 点时完全接收提示牌信息形成短时记忆, 到 D 点时提示牌信息开始逐渐消失, 到 E 点时驾驶人按照提示牌信息作出响应, 到 G 点时完成提示牌要求的动作。

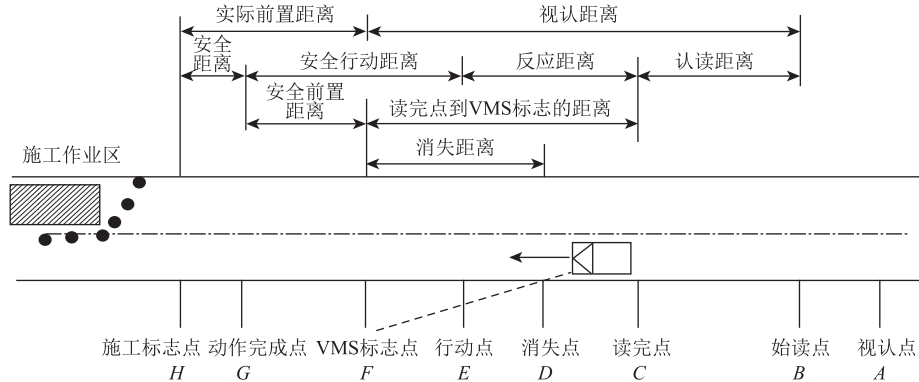


图4 驾驶人对 VMS 信息的处置过程

Fig. 4 Driver's handling of VMS information

由图 4 可见, 从看清提示牌信息的起点 B 至完全看不到提示牌信息的终点 F 之间的长度称为驾驶人的视认距离; 从看清提示牌信息的起点 B 至解读完提示牌的内容之间的长度称为驾驶员的认读距离; 从驾驶员看完提示牌信息 C 点到看不到提示牌信息的终点 F 之间的长度称为反应校验距离; 从提示牌信息开始消失点的 D 点到看不到提示牌信息的终点 F 之间的长度称为消失距离; 从 VMS 标志点 F 点到完成相关操作点 G 之间的距离称为安全前置距离^[27]。

2.2 基于短时记忆的 VMS 布设前置距离计算模型

短时记忆模型主要是指视觉短时记忆 (Visual

Short-term Memory, VSTM) 模型, 即大脑从接收到外界环境刺激后形成感觉记忆、记忆单元, 并对感觉记忆中获取有用信息后所形成的记忆模型。当短时记忆不停地复述后, 就会在大脑中形成长时记忆, 称之为视觉长时记忆 (Visual Long-term Memory, VLTM) 模型^[28]。长短时记忆模型自 19 世纪 90 年代被提出以来, 率先被应用于心理学研究并被称之为初级记忆 (VSTM) 与次级记忆 (VLTM), 重点研究人类在接收到外界信息后所做出的反应, 记忆模型逻辑关系如图 5 所示。

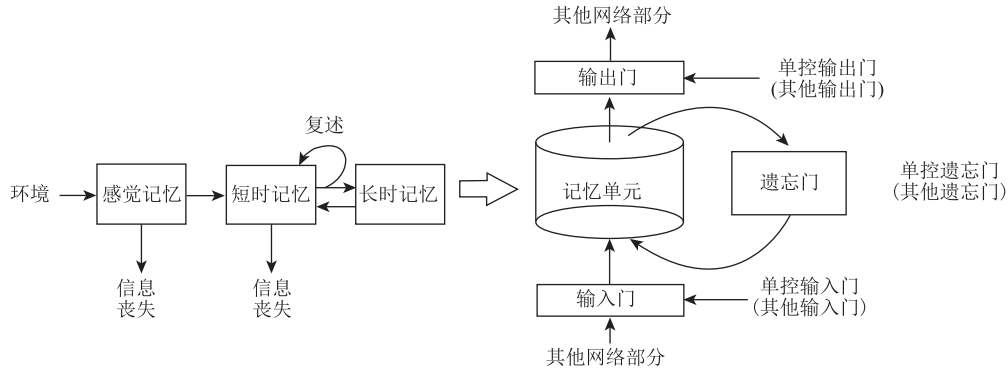


图5 长短期记忆模型逻辑关系

Fig. 5 Logical relationships in long-term and short-term memory model

本研究根据驾驶人 VMS 的认知过程建立了基于短时记忆的 VMS 布设前置距离计算模型。驾驶人按照施工区的要求行驶,完成车辆减速、变换车道,则需要满足:

$$L = R + T - J \geq (n-1)L^* + \frac{V_1^2 - V_2^2}{254(\phi + \varphi)}, \quad (1)$$

式中, L 为驾驶人看完 VMS 到完成相关操作的安全距离; R 为驾驶人读完点到 VMS 设置点的距离; T 为 VMS 的安全前置距离; J 为驾驶人从获取 VMS 信息到开始作出响应车辆行驶的距离; L^* 为车辆从一条车道变换至相邻车道的过渡距离; $(n-1)L^*$ 为按照 VMS 诱导要求完成车道变换所需要的长度; n 为施工区所在路段的车道数; V_1 为驾驶人看清 VMS 提示信息时的车速; V_2 为驾驶人看到 VMS 信息后采取相关操作后的车速; ϕ 为高速公路施工路段的摩阻系数; φ 为车辆轮胎与高速公路路面的附着系数; $\frac{V_1^2 - V_2^2}{254(\phi + \varphi)}$ 为获取标志速度到驾驶人做出反应后所必须的安全距离。

$$\begin{cases} L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2\mu g} = \frac{\left(\frac{v_1}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{v_2}{3.6}\right)^2}{2(f + i + \varphi) * 9.8} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{254(\phi + \varphi)}, \\ R \geq M = \frac{H - H_0}{\tan \alpha} \end{cases} \quad (2)$$

式中, M 为指示牌提示信息的消失距离; H 为 VMS 的安装高度, 即指示标志顶部距离地面的高度; H_0 为驾驶人坐在驾驶座上平视正前方时视线距地面的高度, 取 1.2 m; α 为驾驶人处于 D 点时的视线仰角, 一般取 7° 或 15° 。

(1) 变换车道过渡距离。

主要是指驾驶人准确获取 VMS 信息后, 从原有车道变换至相邻车道所需要的长度, 计算公式如下:

$$L^* = \frac{V_1}{3.6} \times t_2, \quad (3)$$

式中, t_2 为驾驶人准确获取 VMS 信息到完成车道变换所需时间, 取 6.2~6.9 s^[29-30]。

(2) 施工路段路面滚动阻力系数及车辆轮胎与路面的附着系数。

调查发现, 国内高速公路一般为沥青混凝土路面, 根据《公路沥青路面设计规范》(JTGD50—2017), 在计算 VMS 前置距离时需要使用车辆轮胎与路面的滚动阻力系数, 沥青路面的滚动阻力系数一般取值区间为 0.01~0.018。随着机动车辆性能的提升, 无论是在干燥路面还是在潮湿路面, 施工路段车辆轮胎与沥青混凝土路面的附着系数基本不变, 一般取值 0.4。

(3) 反应距离

主要是指驾驶人在行驶过程中看到 VMS 信息, 经过判断选择、反应、动作执行, 车辆所行驶的距离。看到 VMS 之后存在记忆变换过程, 大致分为 2 个阶段, 处理分析时间取 1.5 s, 采取判断时间取 1 s^[31], 计算公式如下:

$$J = \frac{V_1}{3.6} \times t_1, \quad (4)$$

式中 t_1 为驾驶人获取 VMS 信息后短时记忆变换的总时间, 取值 2.5 s。由式 (1)~(4) 计算可知, VMS 的前置距离为:

$$T \geq (n-1) \frac{V_1}{3.6} \times t_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{254(f + i + \varphi)} + \frac{V_1}{3.6} \times t_1 - R. \quad (5)$$

为保证驾驶人及时获取施工信息与交通诱导信

息, VMS 的设置应尽量远离施工作业区并且要连续布设^[32]。此时, 只有标志设置点的距离取最小值时, 才能保证 VMS 的安全前置距离最大, 经计算可得:

$$R_{\min} = \frac{H - H_0}{\tan \alpha} = \frac{b + 5.5 - 1.2}{\tan \alpha} = \frac{b + 4.3}{\tan \alpha}, \quad (6)$$

$$T_{\min} = (n - 1) \frac{V_1}{3.6} \times t_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{254(f + i + \varphi)} + \frac{V_1}{3.6} \times t_1 - \frac{b + 4.3}{\tan \alpha} \quad (7)$$

针对高速公路改扩建和养护工程而言, 指示标志的设置要满足 $T_{\min}$ 的理论计算值要求, 还要预留一定的安全距离, 确保 VMS 信息能够被驾驶人看得到、看得清, 并有足够的时间可以做出响应。因此, VMS 设置的前置距离为:

$$T_{\min}^{\text{实际}} = T_{\min} + T_{\text{安全}}, \quad (8)$$

式中 $T_{\text{安全}}$ 为 VMS 的前置安全预留距离, 一般取 10 m。

3 案例分析

3.1 施工作业区 VMS 长度测算

本研究以青海省某双向四车道高速公路改扩建工程为例, 计算 VMS 距离施工作业区的前置安全长度。该路段的设计速度为 120 km/h, 路面纵坡为 2%, 在施工过程中施工区的限制速度为 80 km/h。依据《道路交通标志和标线第 4 部分: 作业区》(GB 5768.4—2017) 和交通运输部《公路养护安全作业规程》(JTG H30—2015), 高速公路养护工区可划分为 6 个部分, 具体如图 6 所示:

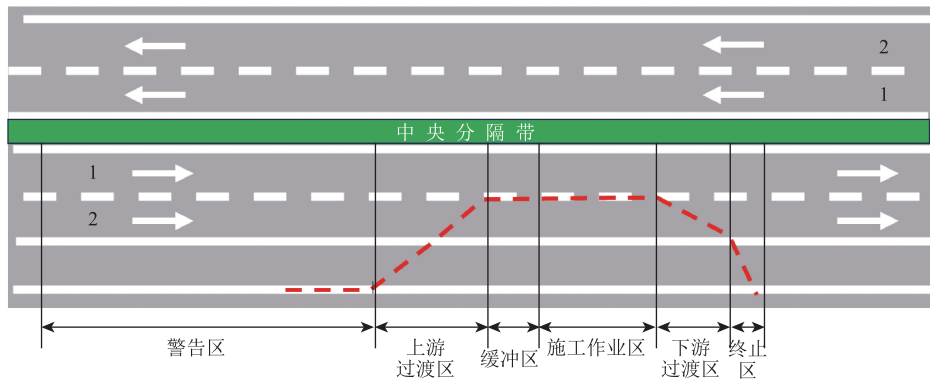


图 6 高速公路施工作业区段划分示意图

Fig. 6 Schematic diagram of zoning in expressway construction area

当驾驶人车辆即将进入施工作业区之前, 会先看到警告区前设置的 VMS。驾驶人会根据短时记忆模型形成短时记忆并在记忆的支配下做出决策。对于高速公路施工作业区而言, 根据现行规范从警告区到终止区长度分别为 2 000, 300, 150, 50, 30 m。警告区主要是为驾驶人提供警示、提醒作用, 位于最开端。过渡区由上游过渡区与下游过渡区组成, 其中上游缓冲区的主要功能是保证车辆由警告区到缓冲区能够安全地变换至缓冲区行车道所需的安全距离。施工区中上游过渡区的长度是一个理论计算值, 为了保证行车安全需要设置一个容错安全距离, 即缓冲区, 避免驾驶人操作失误闯入施工作业区。为确保高速公路施工对交通流的影响最小, 需要充分考虑施工周期、施工资源配置、施工的难度系数、交通流量等多类因素, 同时也要满足标准规范的要求。本研究建议高速公路改扩建工程施工作业区长度为 4 km, 养护工程作业区, 尤其是临时

性养护工程作业区长度可根据实际情况来确定。终止区长度主要是车辆由下游过渡区变换至下游行车道时, 加速至正常行驶速度时所需要的长度。针对高速公路施工作业区的路段划分, 借助建立的基于短时记忆的 VMS 前置距离计算模型, 测算出不同区段的长度^[33], 如表 1 所示。本工程施工区长度高于国标要求的最低值, 主要是通过增加警告区、上游过渡区、缓冲区的长度, 保证驾驶人在施工区的时候能轻松变换车道, 并完成行驶速度切换, 保证行车安全, 减少交通事故发生的概率。

此外, 在本案例中, 考虑了 VMS 的安装方式—立柱式与悬臂式。为保证驾驶人能够看到指示标志内容, 根据规范要求采用立柱式安装方式时, 标志的高×宽为 1.6 m×1.6 m, 采用悬臂式安装方式时, 标志的高×宽为 2 m×3.5 m。

3.2 VMS 前置距离

根据 2.2 节中的模型, 采用表 2 中的参数计算

表 1 高速公路施工作业区不同段的长度计算值与建议取值 (单位: m)

Tab. 1 Calculated and recommended lengths of different sections in expressway construction area (unit: m)

区段名称	警告区	上游过渡区	缓冲区	工作区 (可调)	下游过渡区	终止区	合计
计算值	1 895.42	282	122.27	4 000	30~50	15.43	6 313.47
建议值	2 000	300	150	4 000	50	30	6 530
国标最低值	1 500	280	120	4 000	50	30	5 980

VMS 的前置距离。经过计算,立柱式与悬臂式的 VMS 距离施工作业区的理论最小长度分别为 328 m 和 326 m。在工程实践过程中应用基于驾驶人短时记忆的 VMS 布设模型时,为保障车辆运行安全,避免因指示牌布设不规范诱发交通事故,在理论最小距

表 2 VMS 前置距离的计算因子及取值

Tab. 2 Calculation factors and values of VMS advance distance

参数	单侧车道数	滚动阻力系数	路面纵坡	附着系数	记忆变换时间	动作执行时间	视线仰角	安全预留距离/m	
								立柱式	悬臂式
取值	2	0.015	2%	0.6	2.5 s	6.5 s	15°	1.6	2

4 结论

本研究以驾驶人短时记忆理论和认知负荷理论为依托,充分考虑驾驶人的信息接受程度与遗忘曲线,建立基于短时记忆的施工作业区 VMS 布设模型,并以双向四车道高速公路改扩建工程为例,分析并计算了立柱式与悬臂式 VMS 距离施工作业区的前置安全长度。

本研究的创新点主要体现在理论创新与实践应用两个维度,通过驾驶员短时记忆、驾驶员认知负荷、基于短时记忆的 VMS 认知的理论与青海省某双向四车道高速公路改扩建工程 VMS 布设前置距离实践应用,既丰富了短时记忆模型理论,又经过实践检验,具有复制推广应用强的典型特点。其中,在理论研究层面,本研究所提出的基于短时记忆的 VMS 布设前置距离计算模型填补了当前标准规范中关于施工作业区 VMS 布设距离的空白,为 VMS 在施工作业情景下的布设距离提供计算方法和依据。在实践应用层面,本研究应用模型计算了高速公路改扩建下的施工作业区 VMS 布设前置距离,结合工程实际场景展示了模型的应用方法和计算结果,为其他相关工程设计提供支撑。同时,根据本研究理论确定的 VMS 前置距离,在青海省某双向四车道高速公路改扩建工程中得到的应用,不仅及时有效地发布了管理者需要发布的信息,而且得到了沿途驾驶

离的基础上需要增加 10 m 的安全距离,即立柱式与悬臂式的 VMS 距离施工作业区的前置安全长度为 338 m 和 336 m。此外,对高速公路改扩建工程施工作业区可采用便携式立柱 VMS 对过往驾驶人发布相关信息,可采用 UPS 电源作为 VMS 的临时供电。对高速公路养护施工作业区,可在预警防撞车设置 VMS,供电采用预警防撞车发电机供电。现有的相关标准规范虽然对高速公路施工作业区的长度作了规定,但是对 VMS 的具体布设位置(距离施工作业区的前置安全长度)尚未明确。本研究结合驾驶人对 VMS 的认知过程构建了基于短时记忆的施工作业区 VMS 布设模型,并根据高速公路施工作业区的实际情况确定 VMS 的布设位置。

人的认可,以任务型的信息提醒驾驶人集中注意力,有效支撑了车辆安全顺畅地通过施工路段,保障了驾驶人的生命与财产安全。

然而,高速公路施工作业区的交通运行安全不是单纯地布设 VMS 就能解决的,还需综合考虑交通流量、客货比、交通运行速度、施工作业内容、路面质量等多方面因素,力求为驾乘人员提供相对良好的交通运行环境。在满足短时记忆曲线的条件下,妥善布设 VMS 位置,提供信息发布、交通诱导服务,减少因施工作业信息发布不合理造成的交通安全事故。同时,可以考虑使用 UPS 电源作为高速公路改扩建工程 VMS 的临时供电,并定期更换。

参考文献:

References:

- [1] 兆雪, 赵文静, 马壮林, 等. 基于 VMS 信息差异的驾驶人路径选择行为 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2020, 40 (3): 91-98.
ZHAO Xue, ZHAO Wen-jing, MA Zhuang-lin, et al. Driver's Route Choice Behavior Based on VMS Information Difference [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2020, 40 (3): 91-98.
- [2] 邵志芳. 认知心理学: 理论、实践和应用 [M]. 上海: 上海教育出版社, 2006.
SHAO Zhi-fang. Cognitive Psychology: Theory, Practice and Application [M]. Shanghai: Shanghai Education

- Press, 2006.
- [3] PAMMER K, MCKERRAL A, LIU Y. The Contribution of Memory to Differences in Situation Awareness in Expert and Non-expert Drivers [J]. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 2021, 82: 154–166.
- [4] JIA S, HUI F, LI S, et al. Long Short-term Memory and Convolutional Neural Network for Abnormal Driving Behavior Recognition [J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2020, 14 (5): 306–312.
- [5] DU G L, WANG Z Y, GAO B Y, et al. A Convolution Bidirectional Long Short-term Memory Neural Network for Driver Emotion Recognition [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, 22 (7): 4570–4578.
- [6] WANG S, ZHAO X, YU Q, et al. Identification of Driver Braking Intention Based on Long Short-term Memory (LSTM) Network [J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 180422–180432.
- [7] 陈俊, 邵海鹏. 驾驶人对交通标志视认的短时记忆衰减模型研究 [J]. *西华大学学报 (自然科学版)*, 2010, 29 (6): 32–38.
CHEN Jun, SHAO Hai-peng. Research on Short-term Memory Attenuation Model of Driver's Visual Recognition of Traffic Signs [J]. *Journal of Xihua University (Natural Science Edition)*, 2010, 29 (6): 32–38.
- [8] TJOLLENG A, JUNG K Y. Development of a Real-time System for Detecting Driver's Cognitive Load using Multi-layer Artificial Neural Network on ECG Signals [J]. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 2020, 39 (6): 625–636.
- [9] 沈家安. 认知负荷与任务性质对驾驶员信息获取的影响: 眼动行为的证据 [D]. 济南: 山东师范大学, 2022.
SHEN Jia-an. The Impact of Cognitive Load and Task Nature on Driver Information Acquisition: Evidence of Eye Movement Behavior [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2022.
- [10] HE D B, WANG Z Q, KHALIL E B, et al. Classification of Driver Cognitive Load: Exploring the Benefits of Fusing Eye-tracking and Physiological Measures [J]. *Transportation Research Record*, 2022, 2676 (10): 670–681.
- [11] 陈肖欣. 考虑交通量影响的城市道路指路标志信息量与信息密度阈值研究 [D]. 西安: 长安大学, 2021.
CHEN Xiao-xin. Research on Threshold Value of Information Volume and Information Density of Urban Road Guide Signs Considering Impact of Traffic Volume [D]. Xi'an: Chang'an University, 2021.
- [12] LIU R X, REIMER B, SONG S Y, et al. Unsupervised FNIRS Feature Extraction with CAE and ESN Autoencoder for Driver Cognitive Load Classification. [J]. *Journal of neural engineering*, 2020: 1–14.
- [13] WU Y P, ZHAO Z L, WU F W, et al. Information Volume Threshold for Graphical Variable Message Signs Based on Drivers' Visual Cognition Behavior [J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2022: 7693492.
- [14] MATOWICKI M, PRIBYL O. A Driving Simulation Study on Driver's Speed Compliance with Respect to Variable Message Signs [J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2022, 26 (5): 613–623.
- [15] 杜建玮. 驾驶员对可变标志的信息认知有效性研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2020.
DU Jian-wei. Research on Effectiveness of Drivers' Cognition of Variable Signs [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2020.
- [16] REINOLSMANN N, AIHAJYASEEN W, BRIJS T, et al. Sandstorm Animations on Rural Expressways: The Impact of Variable Message Sign Strategies on Driver Behavior in Low Visibility Conditions [J]. *Transportation Research Part F: Psychology and behaviors*, 2021, 78: 308–325.
- [17] HUANG Y I, BAI Y. Driver Responses to Graphic-aided Portable Changeable Message Signs in Highway Work Zones [J]. *Journal of Transportation Safety & Security*, 2019, 11 (6): 661–682.
- [18] GHULAM H B, MING C L. A Driving Simulator Study to Analyze the Effects of Portable Changeable Message Signs on Mean Speeds of Drivers [J]. *Journal of Transportation Safety & Security*, 2018, 10 (1/2): 45–71.
- [19] GAN H, YE X. Urban Freeway Users' Diversion Response to Variable Message Sign Displaying the Travel Time of Both Freeway and Local Street [J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2012, 6 (1): 78–86.
- [20] ZHONG S, ZHOU L, MA S, et al. Effect of Different Factors on Drivers' Guidance Compliance Behaviors under Road Condition Information Shown on VMS [J]. *Transportation Research Part A*, 2012, 46 (9): 1490–1505.
- [21] JINDAHRA P, CHOOCHARUKUL K. Short-run Route Diversion: An Empirical Investigation into Variable Message Sign Design and Policy Experiments [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2013, 14 (1): 388–297.
- [22] ANTONIOU C, SPYROPOULOU I. Determinants of Driver Response to Variable Message Sign Information in Athens [J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2015, 9 (4): 453–466.
- [23] 曹亚康. VMS 下驾驶员路径选择行为分析与建模 [J]. *交通信息与安全*, 2016, 34 (6): 96–101.

(下转第 223 页)

- HAN Hao, XIE Tian. Lane Change Trajectory Prediction of Vehicles in Highway Interweaving Area Using Seq2Seq-attention Network [J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33 (6): 106-118.
- [13] KE J T, ZHENG H Y, YANG H, et al. Short-term Forecasting of Passenger Demand under On-demand Ride Services: A Spatio-temporal Deep Learning Approach [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017, 85: 591-608.
- [14] HAO S U, LEE D L, ZHAO D, et al. Sequence to Sequence Learning with Attention Mechanism for Short-term Passenger Flow Prediction in Large-scale Metro system [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019, 107: 287-300.
- [15] CHO K, BART V M, CEHRE C G, et al. Learning Phrase Representations Using RNN Encoder-decoder for Statistical Machine Translation [C] // EMNLP 2014: Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Doha: SIGDAT, 2014.
- [16] 陈喜群,周凌霄,曹震. 基于图卷积网络的路网短时交通流预测研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20 (4): 49-55.
- CHEN Xi-qun, ZHOU Ling-xiao, CAO Zhen. Short-term Network-wide Traffic Prediction Based on Graph Convolutional Network [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20 (4): 49-55.
- [17] 李志帅,吕宜生,熊刚. 基于图卷积神经网络和注意力机制的短时交通流量预测 [J]. 交通工程, 2019, 19 (4): 15-19, 28.
- LI Zhi-shuai, LÜ Yi-sheng, XIONG Gang. Short-term Traffic Flow Prediction Based on Graph Convolutional Neural Network and Attention Mechanism [J]. Journal of Transportation Engineering, 2019, 19 (4): 15-19, 28.
- [18] 桂智明,李壮壮,郭黎敏. 基于 ACCRU 模型的短时交通流预测 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56 (21): 260-265.
- GUI Zhi-ming, LI Zhuang-zhuang, GUO Li-min. Short-term Traffic Flow Prediction Based on ACCRU Model [J]. Computer Engineering and Applications, 2020, 56 (21): 260-265.
- (上接第 204 页)
- CAO Ya-kang. Analysis and Modeling of Driver's Path Choice Behavior under VMS [J]. Traffic Information and Safety, 2016, 34 (6): 96-101.
- [24] 陆键,徐韬,彭一川,等. LED 主动发光交通标志视认性能研究 [J]. 中国公路学报, 2018, 31 (4): 147-155.
- LU Jian, XU Tao, PENG Yi-chuan, et al. Research on the Visual Recognition Performance of LED Active Luminous Traffic Signs [J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31 (4): 147-155.
- [25] 邵海鹏,沙爱民. 基于仿真的可变导行信息有效性 [J]. 长安大学学报(自然科学版), 2011, 31 (2): 72-76.
- SHAO Hai-peng, SHA Ai-min. The Effectiveness of Variable Guidance Information Based on Simulation [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2011, 31 (2): 72-76.
- [26] 胡立伟. 公路交通设施驾驶容错能力分析方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- HU Li-wei. Study on Analysis Method of Driving Fault Tolerance of Highway Traffic Facilities [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [27] 吴付威. 基于信息处理机制的驾驶人感知—判断—反应特性研究 [D]. 西安: 长安大学, 2020.
- WU Fu-wei. Study on Driver's Perception-judgment-response Characteristics Based on Information Processing Mechanism [D]. Xi'an: Chang'an University, 2020.
- [28] 王甦,汪安圣. 认知心理学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1992.
- WANG Su, WANG An-sheng. Cognitive Psychology [M]. Beijing: Peking University Press, 1992.
- [29] 王娟. 高速公路可变信息标志发布内容与设置位置研究 [D]. 西安: 长安大学, 2009.
- WANG Juan. Study on Content and Location of Variable Information Signs on Expressway [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [30] 柏伟,李存军. 基于不同限速条件下的超车模型研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13 (2): 63-68.
- BAI Wei, LI Cun-jun. Study on Overtaking Model Based on Different Speed Limits [J]. Transportation System Engineering and Information, 2013, 13 (2): 63-68.
- [31] 刘伟,杜建玮,陈科全. 基于视知觉的交通可变标志信息认度评价 [J]. 中国公路学报, 2020, 33 (1): 163-171.
- LIU Wei, DU Jian-wei, CHEN Ke-quan. Evaluation of Traffic Variable Sign Information Recognition Based on Visual Perception [J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33 (1): 163-171.
- [32] 姜明. 基于驾驶人视认与驾驶特性的速度控制类标志前置距离计算模型研究 [J]. 公路, 2011 (11): 99-103.
- JIANG Ming. Research on the Calculation Model of the Front Distance of the Speed Control Signs Based on the Driver's Visual Recognition and Driving Characteristics [J]. Highway, 2011 (11): 99-103.
- [33] 王伟,陆雨函,李剑. 高速公路改扩建工程交通组织施工区长度划分研究 [J]. 工程建设与设计, 2020 (13): 110-112.
- WANG Wei, LU Yu-han, LI Jian. Research on the Length Division of Traffic Organization Construction Area in Expressway Reconstruction and Expansion Project [J]. Engineering Construction and Design, 2020 (13): 110-112.