

文章编号:1671-8879(2011)06-0077-05

# 公路视错觉减速标线参数优化

刘浩学<sup>1</sup>, 刘 嘉<sup>1,2</sup>, 赵炜华<sup>1</sup>, 颜先华<sup>1</sup>, 阎 莹<sup>1</sup>

(1. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 河南省高速公路管理局, 河南 郑州 450007)

**摘 要:**为提高道路危险路段运营安全水平,促使驾驶人主动降低车辆运行速度至安全范围,对比并优化了减速标线的形式及设计参数。依据人在动态环境下视错觉减速标线作用机理,对鱼刺形视错觉减速标线各设计参数进行分析和初选,并提出变间距减速标线相隔距离的计算方法。将不同设计参数进行组合,依据正交试验方案,利用仿真试验平台和实际道路试验,对比各种形式标线的实际减速效果。研究表明:不同设计参数的鱼刺形减速标线,其实际减速效果有很大差异,合理的参数设计方能产生良好的减速效果;与等间距标线相比,变间距减速标线的减速效果更优。

**关键词:**交通工程;虚拟仿真;视错觉;减速标线

**中图分类号:**U491

**文献标志码:**A

## Parameter optimization of highway optical illusion deceleration markings

LIU Hao-xue<sup>1</sup>, LIU Jia<sup>1,2</sup>, ZHAO Wei-hua<sup>1</sup>, YAN Xian-hua<sup>1</sup>, YAN Ying<sup>1</sup>

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Henan Province Administration of Highway, Zhengzhou 450007, Henan, China)

**Abstract:** In order to improve the level of operation security in dangerous road sections, the speed should be slowed down to a safe range. The forms and design parameters of the deceleration markings was compared and optimized. Based on the mechanism of optical illusion deceleration markings in dynamic environment, the parameters of the chevron markings were analyzed and the space calculation method was proposed. The different design parameters were combined together to execute the orthogonal experiment. The simulation test and the actual road test were carried out to verify the actual deceleration effects. The results show that the actual deceleration is effected significantly by the design parameters, and good deceleration effects are subject to reasonable parameters design. The deceleration effects of variable spaced deceleration markings are better than the equal ones. 7 tabs, 2 figs, 10 refs.

**Key words:** traffic engineering; virtual simulation; optical illusion; deceleration marking

## 0 引 言

统计表明,因驾驶人超速行驶而导致的道路交

通事故数量一直位于各种违法行为的前列,超速是导致交通事故最主要原因之一;从死亡事故原因分析看,因超速行驶导致每年死亡人数都排在各类违

收稿日期:2010-12-26

基金项目:国家道路交通安全科技行动计划项目(2009BAG13A02)

作者简介:刘浩学(1956-),男,陕西泾阳人,教授,博士研究生导师,E-mail:liuhx@chd.edu.cn.

法死亡人数之首,可见超速行驶的严重性<sup>[1]</sup>。近年来,中国出现引进国外和自主创新的车速控制措施,如减速丘、减速带、振荡带、突起路标、减速标线、车速实时检测与提示设备等。其中利用视错觉原理设计的减速标线基于人的心理特点,主动诱导驾驶人降低车速,控速效果较好,且具有行车舒适性好、噪音小和造价低廉的优点。特别是在强调舒适性的旅游公路和居民区、学校等对噪音污染敏感的区域,视错觉减速标线是综合效果最好的措施。

驾驶人在施划有视错觉减速标线的路段行车时,标线的视错觉效应会影响驾驶人的速度判断,使其认为行车速度越来越快,从而采取减速措施。对于视错觉标线的减速效果,国内外虽有研究,但对于如何合理优化,选择减速标线的各个参数,使减速设施起到最佳效果,目前还未见相关研究报告。为此,本文选取视错觉标线中典型的车速增加式鱼刺形减速标线为对象,以减速效果最优为目标,通过虚拟试验和实际道路试验,对等间距和变间距鱼刺形减速标线各参数设置进行研究,以获得视错觉标线优化设计结果,着力提升减速标线的应用水平。

## 1 鱼刺形减速标线参数的确定

鱼刺形减速标线的形状类似于屋顶,来源于法语椽子(chevron),它由一组按一定间距布置的倒“V”字形线条组成。这种标线首次应用出现于20世纪70年代,直接施划在行车道上,最初是作为一种交通静化设施来使用<sup>[2]</sup>。鱼刺形标线及其参数如图1所示。由图1可以看出,标线的设计参数包括横向宽度 $W$ 、垂直宽度 $h$ 、鱼刺夹角 $\theta$ 以及相邻标线的间距 $L$ 等。在参数确定时,只需考虑标线的视认性以及对车辆行驶安全性的影响,其中,标线横向宽度因受车道宽度所限,不属本文研究重点。

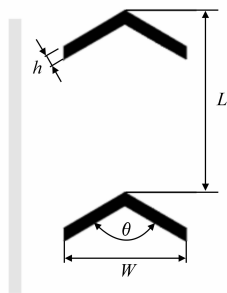


图1 鱼刺形减速标线及参数

### 1.1 标线横向宽度的确定

鱼刺形减速标线横向宽度的确定,需要防止因标线材料与路面材料之间差异,引起附着系数变化

而影响汽车行驶安全。为确保该值选择不会对恶劣气候环境下安全行车产生不利影响,根据《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)对行车道宽度和设计车辆外廓尺寸的规定,确定单个鱼刺形减速标线的横向宽度为1.5 m<sup>[3]</sup>。

### 1.2 垂直宽度

路面上纵向标线的宽度,各国的规定基本一致。国外的最小值和最大值分别为7.5 cm和20 cm。研究表明,纵向标线宽度对驾驶人的心理生理指标没有多大影响<sup>[4]</sup>。中国规定纵向标线的宽度为10~15 cm,高速公路行车道边缘线的宽度为15~20 cm,一般情况下采取下限值,在需要强调的地方可采用上限值<sup>[5]</sup>。路面上的横向标线应比纵向标线宽。距离横向标线较远的时候,因驾驶人注视点到线宽两端点构成的角度很小,很有必要加宽横向标线。一般横向标线宽度为20~40 cm,且横向减速标线的宽度不可过大,否则会影响实际减速效果。

鱼刺形减速标线在形式上介于纵向标线和横向标线之间,因此,从不同角度考虑,取其垂直宽度为20~30 cm。在研究中,取20、25、30 cm,作为鱼刺形减速标线垂直宽度的预选值。

### 1.3 鱼刺的夹角

从路面标线施工方便性考虑,标线夹角初步选为30°、60°、90°、120°、150°等5组预选值,需在这5个角度值里,选出3种作为仿真试验影响因子的3种水平。为此,研究中设计了一次单因子影响试验,在标线垂直宽度和相邻标线间距值相同的情况下,讨论鱼刺形标线夹角对试验的影响。结果发现,在仿真试验平台中,30°和60°的减速标线所呈现的刺激相似,但总体而言,60°夹角的鱼刺形减速标线效果优于30°;而当夹角选为150°,车辆前方的鱼刺形减速标线在驾驶模拟器的仿真平台上的视觉效果接近于横向标线。故最终选定夹角 $\theta$ 的3种因子水平为60°、90°和120°,并进行下一步优化试验。

### 1.4 相邻标线间距

(1)等间距式鱼刺形减速标线各相邻标线间距值,主要依据车辆行驶时标线闪现率来确定。洛巴诺夫的研究结果认为,车辆行驶时,标线的闪现率对行驶速度有一定影响,大部分驾驶人在施划有标线路段行车时,标线的闪现率不超过3次/s;澳大利亚Allen的试验结果,认为在郊外公路上标线的闪现率不大于4次/s则可以接受,2.5~3次/s时效果最好<sup>[6]</sup>。但上述结论主要是针对车道之间的虚分隔线,并不一定适用于行车道减速标线的设置。因此,

在设计减速标线时,需要使标线的间距值能给驾驶人心理产生一定压力,从而诱导驾驶人经过减速标线路段时降低运行速度。

当初始车速为 80 km/h,按闪现率 4、6、8、10 次/s 计算,得到等间距鱼刺形减速标线各相邻标线间距值分别为 5.5、3.7、2.7、2.2 m;从试验设计及施工的便利性考虑,确定 2、4、6 m 作为标线间距的预选值。

(2)变间距式鱼刺形减速标线间距值计算方法不同于等间距,使相邻标线的间距沿行车方向逐渐降低,利用车辆通过各标线间的时间大致相等,以利于行驶速度逐步降低的设计原则。

相邻标线间距设计的第 1 步是确定初速度,可认为是车辆进入减速区域时的速度,通常可能是该路段的限制车速、自由流情况下的行驶速度、车流平均速度或 85%分位车速。

第 2 步是为减速路段选择合适的目标车速。它可以是 1 个较低的车速,或车辆进入弯道的建议车速,甚至可以是 0<sup>[7-10]</sup>。

表 1 变间距式鱼刺形减速标线相邻间距取值																		单位:m
间距设置代号	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>	S <sub>15</sub>	S <sub>16</sub>	S <sub>17</sub>	S <sub>18</sub>
A	4.7	4.5	4.3	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.7	2.4	2.3	2.0			
B	5.0	4.5	4.0	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	
C	5.0	4.5	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

表 2 等间距式鱼刺形标线预选参数			
标线序号	夹角 θ/(°)	垂直宽度 h/cm	间距 L/m
1	60	20	2
2	90	20	4
3	90	25	6
4	90	30	2
5	120	20	6
6	120	30	4
7	120	25	2
8	60	25	4
9	60	30	6

## 2 仿真试验及结果分析

对具有不同参数的标线设计方案,随机选择了 39 位驾驶人,在驾驶模拟器仿真平台上分别进行试验,并要求被试者根据自身体会,对各标线减速效果进行排序评分。试验规定按减速效果由最好到最差依次为 1~9 分,即 1 分为减速效果最好,9 分为减速效果最差。针对试验结果,依据各标线在不同评分标准下人数分布和标线得分总和,评价不同标线减速效果优劣。其中,标线得分总和计算公式为

(3)确定车辆减速度。本研究为了简化计算过程以及便于道路试验及路面施工,选取 3 m/s<sup>2</sup> 为间距计算时的减速度。最终减速标线位置的计算公式为

$$x_n = \frac{1}{2}a(\frac{n}{f})^2 + v_0(\frac{n}{f}) + x_0 \tag{1}$$

式中: $x_0$  为第 1 道标线位置,通常取  $x_0 = 0$ ; $x_n$  则是第  $n+1$  道标线与第 1 道标线的距离; $a$  为选取的车辆经过减速标线路段时的减速度; $f$  为闪现率; $v_0$  为车辆进入标线段的初始速度。

结合减速路段实际情况,选定车辆进入减速标线区域的初速度、减速过程中标线闪现率,便可求出第  $n$  道标线相对于  $x_0$  的距离。计算出的标线间距预选值见表 1。

通过以上分析,结合正交试验设计方法,得到仿真试验的几组减速标线,其参数组合见表 2 和表 3,表 3 中英文字母 A、B、C 所代表的标线间距设置情况见表 1。

$$S = \sum_{i=1}^9 in_i \tag{2}$$

式中: $S$  为标线得分总和; $i$  为评价分值; $n_i$  为某标线在相应分值时的人数。

表 3 变间距式鱼刺形标线预选参数			
标线序号	夹角 θ/(°)	垂直宽度 h/cm	间距设置代号
1	90	20	A
2	90	25	B
3	90	30	C
4	120	20	B
5	120	25	C
6	120	30	A
7	60	20	C
8	60	25	A
9	60	30	B

### 2.1 等间距鱼刺形减速标线

试验评分结果得分人数分布见下页表 4,表 4 中包括了所有被试者对各标线评分的总和,限于篇幅,给出 4~9 分的评分人(被试者),人数分布省略。

可以看出,有 19 名被试者认为标线 4 在所评价的 9 组标线中减速效果最好,占总人数的 48.7%;12

人认为标线 7 减速效果最好;另有 5 人认为标线 1 减速效果最好;在评分为 1 的标线中,较多的集中在 1、4、7 这 3 组标线中,共 33 人;对这 3 组标线得分为 2 的统计来看,共有 32 人,可认为多数驾驶人认可这 3

组标线减速效果。将所有被试者对各组标线评分相加,按总得分由低到高(即减速效果从最优到最差)进行排序,前 3 位的标线组序号为 4、7 和 1。

综上分析,选定序号为 4、7 和 1 等间距式鱼刺

表 4 等间距式鱼刺形减速标线仿真试验结果

种类		标线组 1	标线组 2	标线组 3	标线组 4	标线组 5	标线组 6	标线组 7	标线组 8	标线组 9
评分人数 / 人	评 1 分	5	0	0	19	0	2	12	0	1
	评 2 分	8	1	0	34	1	4	29	0	1
	评 3 分	24	4	1	36	1	12	36	2	1
	评 4、…、9 分	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
标线得分总和 S		137	217	290	76	299	181	81	207	267

形减速标线进行实际道路试验,验证减速效果,并选出最佳减速效果的标线。

2.2 变间距式鱼刺形减速标线

将试验评分结果统计,各标线得分人数分布见表 5,包括所有被试对各标线评分的总和。

可以看出,在被评分为 1 的标线中,被试者较多

集中在序号 3、4 标线组中,共 31 人,占总人数的 79.5%。其中 22 名被试者认为标线组 3 减速效果最好,占总人数的 56.4%;认为标线组 4 减速效果最好的被试者共有 9 人,另有 3 人认为标线组 5 减速效果优。故预选 3、5、4 标线组进行实际道路试验,对仿真试验结果进行验证。

表 5 变间距式鱼刺形减速标线仿真试验结果

种类		标线组 1	标线组 2	标线组 3	标线组 4	标线组 5	标线组 6	标线组 7	标线组 8	标线组 9
评分人数 / 人	评 1 分	1	1	22	9	3	0	2	0	1
	评 2 分	2	4	27	12	11	3	8	3	8
	评 3 分	8	8	30	14	18	3	14	7	15
	评 4、…、9 分	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
标线得分总和 S		234	195	97	193	160	271	179	242	184

3 实际道路试验及结果分析

实际道路试验是对仿真试验中减速效果较好的几组标线进行减速效果的实地验证。各标线段路面施划的分布如图 2 所示。标线段 1 前方以及标线段 3 后方各有一标杆,提示驾驶人在行至此处前应将车辆加速至预定值,各组标线段长大约为 50 m,每组标线段中间设有缓和段,长度为 100 m。

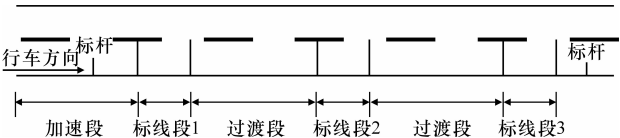


图 2 试验路段分布

3.1 等间距鱼刺形减速标线

将 3 种仿真试验认为减速效果较好的等间距鱼刺形减速标线,按随机顺序施划在路面上。对减速效果的评分标准依旧以最好的为 1 分,随减速效果越差,分值越高,因试验共有待评价标线 3 组,故对减速效果最差的标线评 3 分。

实际道路试验与仿真试验结果存在一些出入。

主要为仿真试验被广泛认为减速效果较好的标线组 4(具体参数见表 2),在实际道路试验的得分并不理想,它在 3 组被试验的标线中分值排名最后。认为该标线减速效果最好人员仅有 3 人,约占总人数的 10%,而有超过半数的 15 的被试者认为,该组标线减速效果最差。但在仿真试验中,标线组 1(具体参数见表 2)虽在 3 组标线中减速效果得分较低,但在实际道路试验中,却有较大比例的被试者认为具有最佳的减速效果,见表 6,远多于其他 2 组标线在同等水平下的得分。

表 6 等间距鱼刺形减速标线实际道路试验结果

标线序号		标线组 4	标线组 7	标线组 1
评分人数 / 人	评 1 分	3	7	19
	评 2 分	11	11	7
	评 3 分	15	11	3
得分总和		70	62	42

3 组标线综合情况显示,标线组 1 即鱼线夹角为 60°、垂直宽度为 20 cm、标线相邻间距 2 m 的标线减速效果综合得分为 42 分,以较大的优势有别于其他 2 组标线,可认为该组标线在实际道路试验的

3 组标线中最优。其设计参数为单个鱼刺标线夹角  $60^{\circ}$ , 标线垂直宽度 20 cm, 且标线相邻间隔为 2 m, 施划在行车道中央的等间距鱼刺形减速标线效果最优。

3.2 变间距式鱼刺形减速标线

对实际道路试验结果统计分析表明, 虚拟试验中 被认为减速效果较优的标线组 3(参数见表 1 及表 3)实际减速效果也较好, 共有 13 位被试者认为该组标线减速效果最优, 但这一数字与排名第二的标线组 4 相差不大。另外有 7 人认为标线组 3 的减速效果最差, 比标线组 4 的相应人数少 5 人, 如表 7 所示。

表 7 变间距鱼刺形减速标线实际道路试验结果

标线序号		标线组 3	标线组 5	标线组 4
评分人数/人	评 1 分	13	5	11
	评 2 分	9	14	6
	评 3 分	7	10	12
得分总和		52	63	59

同时可以看出, 各组标线减速效果得分总和依次为 52 分、63 分和 59 分, 标线组 3 得分虽最低, 但与其他两组分值相差不明显。按照前文所述试验的减速效果评分规则, 结合讨论, 确定标线组 3 的减速效果最优, 其次分别为标线组 4 和标线组 5, 虽然 4 和 5 实际道路试验排序情况与仿真试验相反, 但不影响对具有最优减速效果标线进行选择。

可以看出, 单个鱼刺标线的夹角为  $90^{\circ}$ , 标线线宽 30cm, 且沿行车方向相邻标线间隔依次为 5. 0、4. 5、4. 0、3. 8、3. 6、3. 4、3. 2、3. 0、2. 8、2. 6、2. 4、2. 2、2. 0、1. 8、1. 6、1. 4、1. 2、1. 0 m, 共 19 条标线, 施划在行车道中央的变间距式鱼刺形减速标线效果最优。

4 结 语

(1)视错觉减速标线通过一系列特殊图形, 能给车辆驶过标线的驾驶人以自身车速过快、车道逐渐变窄等错觉, 诱导驾驶人降低车速。

(2)在需要施划变间距鱼刺形减速标线的路段,

通过选取合适初速度、目标车速和车辆在减速路段的减速度, 根据标线间距计算公式, 可有效获得减速标线段内相邻标线间距值。

(3)通过仿真试验及实际道路试验, 认为单个鱼刺标线夹角  $60^{\circ}$ , 标线垂直宽度 20 cm, 且相邻标线间隔为 2 m, 施划在行车道中央的等间距式鱼刺形减速标线效果最优。

(4)单个鱼刺标线夹角为  $90^{\circ}$ , 线宽 30 cm, 且沿行车方向相邻标线间隔依次为 5. 0、4. 5、4. 0、3. 8、3. 6、3. 4、3. 2、3. 0、2. 8、2. 6、2. 4、2. 2、2. 0、1. 8、1. 6、1. 4、1. 2、1. 0 m, 共 19 条标线, 施划在行车道中央的变间距鱼刺形减速标线效果最优。

参考文献:  
References:

[ 1 ] 陈 虎. 双向四车道高速公路超速状况研究[D]. 北京:北京工业大学, 2010.

[ 2 ] Drakopoulos A, Vergou G. Evaluation of the converging chevron pavement marking pattern at one wisconsin location[R]. Washington DC:AAA Foundation for Traffic Safety, 2003.

[ 3 ] JTG B01—2003, 公路工程技术标准[S].

[ 4 ] 康 凯. 基于真实场景的虚拟减速标线视频试验平台的开发研究[D]. 西安:长安大学, 2008.

[ 5 ] GB 5768—2009, 道路交通标志和标线[S].

[ 6 ] 刘浩学. 交通心理学[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1992.

[ 7 ] Rakha H A, Katz B J. Design and evaluation of peripheral transverse bars to reduce vehicle speed[C]. Washington DC:TRB 85th Annual Meeting Compendium of Papers, 2006.

[ 8 ] Dowl E. Traffic calming protocol manual[M]. Alaska, Anchorage, 2001.

[ 9 ] Stuart T G, Thomas J T, Brian N F. Speed reduction mechanisms of transverse lines [J]. Transportation Human Factors, 2000, 2(4):297-312.

[10] 郑 芳. 道路减速设施的设计及应用研究[D]. 长春:吉林大学, 2008.