doi：10.3969/j.issn.1002－0268.2019.03.018

冰雪弯道视错觉减速标线参数组合设计

徐良杰，鄢辉武，刘翔禾
（武汉理工大学 交通学院，湖北 武汉 430063）

摘要：公路弯道是道路交通事故频发路段，尤其是在冰雪环境下，车辆事故数是非冰雪天气环境下的14倍。在死亡交通事故致因中，车辆超速和速度不当约占1/3，因此合理控制速度是保障公路弯道处行车安全的重要途径之一。而驾驶员的操作行为主要由获取的视觉信息决定，视觉是驾驶员重要的速度感知源。为了减少冰雪天气环境下公路弯道处的事故发生率，从驾驶员视觉信息角度出发，通过视错觉减速标线的合理设置，提高驾驶员的速度感知能力，达到控速的目的。基于视错觉减速标线作用机理和恒定闪现频率，对标线的颜色、宽度、形状3个设计参数进行正交组合，挑选出具有代表性的9种参数组合方案。采用3ds Max建立仿真试验环境，将驾驶员感知加速率作为指标对不同组合标线的减速效果进行了量化分析，并对试验数据进行了方差分析。结果表明：在冰雪弯道施划减速标线可使驾驶员产生感知车速偏高的错觉，且纵向宽度为0.1 m的绿色梳齿形减速标线具有相对较好的减速效果；在显著水平 $\alpha=0.01$ 的条件下，减速标线的颜色、宽度及形状对驾驶员的车速感知均具有显著影响，且影响程度由大到小依次为颜色因子＞形状因子＞宽度因子。

关键词：交通工程；感知加速率；正交设计；减速标线；冰雪弯道
中图分类号：U491.5^{+}23 **文献标识码**：A **文章编号**：1002－0268（2019）03－0124－06

Design of Parameter Combination of Visual Illusion Deceleration Markings in Ice and Snow Curve

XU Liang-jie, YAN Hui-wu, LIU Xiang-he
(School of Transportation, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430063, China)

Abstract: Traffic accidents occur frequently at road curves, especially in ice and snow environment, the number of vehicle accidents is 14 times that in non-ice and snow weather. In the causes of death traffic accidents, overspeed and improper speed account for about 1/3. Therefore, reasonable control of speed is one of the important ways to ensure road safety in road curves. However, the driver's behavior is mainly determined by the obtained visual information, and visual sense is an important source of driver's speed perception. To reduce the traffic accidents at road curves in ice and snow environment, from the aspect of driver's visual information, through the reasonable setting of the visual illusion deceleration markings, driver's speed perception ability is improved to achieve the purpose of speed control. Based on the mechanism of visual illusion deceleration marking and the constant flash frequency, the design parameters of color, width and shape of marking are orthogonally combined, and 9 representative combinations of parameters are selected. Setting up the simulation experiment environment with 3ds Max, the driver's perception acceleration rate is used as the indicator for quantitative analysis of the deceleration effect of different combinations of markings. Then, the variance analysis of experiment data is conducted. The result shows that (1) the decelerating markings in ice and snow road curves can give driver an illusion of higher vehicle speed, and the

收稿日期：2017－07－17
基金项目：吉林省交通运输科技计划项目（2014－1－8）；中央高校基本科研业务费专项资金专项项目（2015-zy-024）
作者简介：徐良杰（1968－），女，湖南郴州人，博士，教授.（laurrie119@163.com）

green comb shaped deceleration markings with longitudinal width of 0.1 m has a relatively good deceleration effect; (2) under the condition of significant level of $\alpha = 0.01$, color, width and shape of deceleration marking has significant influence on driver's speed perception, and the order of the influencing degree is color factor > shape factor > width factor.

Key words: traffic engineering; perceived acceleration rate; orthogonal design; deceleration marking; ice and snow curve

0　引言

随着交通运输业的飞速发展，公路里程数也不断增加，道路交通事故数呈上升趋势，我国发生在公路弯道的事故占道路交通事故总数的 36%，而冰雪条件下公路弯道路面的附着系数、摩擦系数降低，周边环境也会影响驾驶员的速度感知能力，交通安全形势更加严峻[1-5]。据资料显示，在非雪天公路弯道处每百万车辆每公里发生的车辆碰撞、刮擦交通事故为 0.41 起，而在雪天公路弯道处这一指标达 5.86 起，是非雪天公路弯道的近 14 倍[6]。Suggett 研究指出，行驶在冰雪道路上的机动车交通事故率是正常天气状态下的 2 倍，其中 70% 的事故可能为伤亡事故，同时冰雪天气交通事故的受伤率比雨天高，并且在雪后 1 星期由残雪引发的交通事故率还会持续攀升[7]。国内外统计资料表明，超速和速度不当所造成的交通事故约占死亡交通事故的 1/3，是导致事故发生和加大事故严重程度的主要原因之一[8]。驾驶员在行车过程中主要依靠自身的视觉、触觉等知觉来判断速度，其中 80% 以上关于驾驶环境的信息是通过视觉获得的，视觉是驾驶员重要的速度感知源。在感知速度方面也有专家学者进行研究，发现随着感知速度的增大，实际车速会降低，反之感知速度的降低会导致实际车速增大[9]，因此通过增大驾驶员的感知速度来降低车速是一种可行的措施。故从驾驶员视觉信息角度出发，通过视错觉减速标线的合理设置，提高驾驶员的速度感知能力，对提升道路交通安全水平具有一定的现实意义。

目前，国内外关于视错觉减速标线的研究较多。美国交通安全服务协会在《低造价公路安全解决方案》报告中指出鱼刺形减速标线可使车速降低 4%，事故数量降低 43%[10]。颜先华[11]结合模拟仿真试验和实际道路试验，确定了减速效果较好的鱼刺形减速标线夹角、宽度、间距的参数组合。朱绪飞等[12]利用仿真试验平台对 5 种常用的公路视错觉减速标线的减速效果进行对比试验，发现鱼刺形和梳齿形减速标线具有相对较好的减速效果。Ding 等[13]对城市不同等级道路下坡段减速标线的减速效果进行了评估，发现行车道横向标线比纵向标线更具有较好的减速效果。

综上所述，国内外对路面视错觉减速标线的减速效果研究取得了一定成果，但试验和应用环境集中于非冰雪条件下的公路，缺少冰雪公路弯道减速标线对驾驶员车速感知的相关研究。另外，标线减速效果的研究多为同类型的减速标线设计参数组合对比分析，而对于不同类型减速标线之间减速效果的研究相对较少，且缺乏色彩对驾驶员产生心理、生理效应的考虑。本研究选取吉林市 302 国道中大茶棚村附近冰雪弯道作为试验路段，通过对弯道主点车速的调查，计算相邻标线的合理设置间距，采用正交设计方法确定减速标线形状、颜色、宽度因子的组合设计方案，通过建立仿真试验模型对不同试验方案进行量化分析，寻找对驾驶员减速效果最佳的水平组合，为冰雪公路视错觉减速标线的设计提供参考。

1　基础理论

1.1　视错觉减速标线作用机理

与减速带等强制性减速设施相比，视错觉减速标线是指通过一系列颜色和图案搭配，给行驶过施划标线路段的驾驶员以车速逐渐增加、车道逐渐变窄、路面或路侧有障碍物等错觉，从而引导驾驶员主动降低车速的标线类减速设施，具有成本低、无噪声、舒适性高、减速效果持续时间长等优点。根据对驾驶员产生视错觉的不同，将减速标线分为车速渐增式、车道渐窄式和模拟障碍式这 3 类。

车速渐增式减速标线通过影响驾驶员对实际车速的感知，给驾驶员造成车速增加的错觉。若驾驶员驶过施划标线路段时不减速行车，则出现在视野内的标线条数会越来越多，即标线的闪现频率也越来越大；若行车速度逐渐降低，则标线可能会以恒定速度闪现。此类减速标线适合应用于回旋线或急弯道路前，便于将运行车速降至安全车速[14]。

车道渐窄式减速标线通过合理设计车道中心线边缘线的形式，使驾驶员产生行车道逐渐变窄的假象，在狭窄的道路上行驶需要更精确的转向操作，车辆有驶离道路的可能性，且与其他车辆碰撞的风险也大大增加。因此，驾驶员通常会主动采取制动措施，降低车速，以确保行车安全。

模拟障碍式减速标线通过视错觉中的三维成像原理，在道路中铺画彩色的减速标线，使驾驶员产生以为是障碍物的感觉，因而诱导驾驶员降低车速，避免因超速发生的事故。

1.2 基于恒定闪现频率的标线间距设计理论

减速标线的闪现频率即单位时间内通过驾驶员视野条纹的数目。相邻标线设置间距的计算采用沿车辆行驶方向逐渐减小、行驶车辆通过各标线间隔的时间大致相等的设计原则。在驾驶员行驶至冰雪公路弯道处，在采取合适的减速度匀减速的情况下，相邻标线间距的缩小确保闪现频率的恒定；在未采取减速措施的情况下，相邻标线间距的缩小导致闪现频率的增加。因此，标线位置的计算公式为：

$$x_n = \frac{1}{2}a\left(\frac{n}{f}\right)^2 + v_0\left(\frac{n}{f}\right) + x_0, \quad (1)$$

式中，x_0 为第一条标线的位置，通常取零；x_n 为第 $n+1$ 条标线的位置；a 为车辆减速度；f 为闪现频率；v_0 为车辆进入减速区域的初始速度；n 为标线的条数。

车速的计算公式为：

$$v_n = v_0 + a\frac{n}{f}, \quad (2)$$

式中，v_n 为车辆行驶至第 $n+1$ 条减速标线的车速；其余符号同上。

结合实际冰雪弯道的车速变化特征，基于合适的车辆减速度、减速标线闪现频率及采用施划标线期望驾驶员通过冰雪弯道所采用的行驶车速（目标车速），即可确定减速标线的设置数目及间距。

2 减速标线参数设计

2.1 形状

目前，国内外广泛应用的视错觉减速标线主要包括三维立体减速标线、行车道纵向减速标线、行车道横向减速标线、鱼刺形减速标线、梳齿形减速标线5种。根据不同减速标线作用机理的不同，选取车速渐增式减速标线作为研究对象，而梳齿形减速标线既能使驾驶员产生车速增加的错觉，又能产生车道变窄的假象，因此确定标线形状因子的3个水平为行车道横向条纹、鱼刺形条纹、梳齿形条纹。

2.2 颜色

针对减速标线的颜色选择，从标线视认性及缓解驾驶疲劳的角度看，路面标线一般采用白色和黄色[15]。路面色彩信息对驾驶员的视觉心理效应的研究表明，不同色彩对驾驶员速度感知偏高值不同，白色对驾驶员的速度感知相比红色稍小，黄色和红色的速度感知基本一致，蓝色和绿色的速度感知均比红色大[16]。鉴于此，选取黄色、绿色、白色作为标线色彩因子的备选值。

2.3 宽度

研究表明，纵向标线的宽度对驾驶员的心理、生理效应影响不大[17]。考虑到施工费用及对驾驶员的强调作用，我国规定纵向标线的宽度为10～15 cm。由于受到驾驶员视角的限制，需要对横向标线进行加宽，一般横向标线的宽度为20～40 cm。而冰雪条件下，驾驶员在公路弯道处行驶，其注意力更集中、谨慎程度更高、对环境信息的变化更为敏感，考虑到标线的视觉连续性，因此选择0.1，0.2，0.3 m作为宽度因子的3种水平以进行试验。

2.4 设计参数组合方案

规定颜色、宽度、形状作为3个试验因素，依次用 A，B，C 表示。黄色、绿色、白色作为颜色因素 A 的3个水平，记为 A_1，A_2，A_3；0.1，0.2，0.3 m作为宽度因素 B 的3个水平，记为 B_1，B_2，B_3；行车道横向条纹、鱼刺形条纹、梳齿形条纹作为形状因素 C 的3个水平，记为 C_1，C_2，C_3。组合方案采用正交设计确定，正交试验设计利用正交表来安排分析多因素试验。在试验因素的全部水平组合中，挑选部分有代表性的水平组合进行试验，通过对这部分试验结果的分析，了解全面试验的情况，找出最优的水平组合，是一种高效、快速、经济的试验设计方法，在减少试验次数的同时，试验结论的可靠性也较好。试验采用正交表 $L_9(3^4)$ 前3列进行组合（第4列设为空列），组合方案如表1所示。

3 仿真试验

3.1 试验基础调查

为了获得车辆通过冰雪弯道的车速信息，分析冰雪环境下减速标线不同组合方案的减速效果，选取吉林省吉林市302国道大茶棚村附近冰雪弯道为试验路段，道路环境为双向2车道，每条车道宽4.5 m，道路设计速度为60 km/h，其年平均日交通量小于2 000 veh/d，车辆属于自由流状态。道路中央部分已经进行除雪，排除积雪覆盖路面标线的影响，

由于气温长时间处于零下，道路路侧存在大量积雪且难以融化，积雪为多次降雪作用而成，仍存在少量的冰膜和冰粒。通过研究该弯道的车速变化特征，确定减速标线的设置间距，选取弯道 5 个主点作为观测断面，采用 NC－200 便携式交通分析仪记录车辆经过观测断面的车速。

表 1　减速标线参数组合方案

Tab. 1　Scheme of deceleration marking parameter combination

序号	颜色	宽度/m	形状
1	黄色	0.1	横向条纹
2	黄色	0.2	鱼刺形条纹
3	黄色	0.3	梳齿形条纹
4	绿色	0.1	鱼刺形条纹
5	绿色	0.2	梳齿形条纹
6	绿色	0.3	横向条纹
7	白色	0.1	梳齿形条纹
8	白色	0.2	横向条纹
9	白色	0.3	鱼刺形条纹

研究表明，闪现频率在 4～16 Hz 时驾驶员会对车速产生高估，且闪现频率为 12 Hz 时驾驶员之间速度感知的差异达到最小[18]。结合实际路段的地点车速调查情况，选取弯道直缓点 85% 分位车速 45.9 km/h作为初始速度，目标车速取 30 km/h，规定闪现频率为 12 Hz，车辆减速度取 3 m/s^2，根据式（1）～（2）计算出试验弯道路段标线设置的位置、数目及车辆通过的速度，如表 2 所示。

表 2　试验路段减速标线设置数目及间距

Tab. 2　Numbers and spacings of deceleration markings on test section

标线编号	位置/m	车速/(km·h^{-1})	间距/m	标线编号	位置/m	车速/(km·h^{-1})	间距/m
1	0	45.9	1.05	11	9.58	36.9	0.84
2	1.05	45.0	1.03	12	10.43	36.0	0.82
3	2.08	44.1	1.01	13	11.25	35.1	0.80
4	3.09	43.2	0.99	14	12.05	34.2	0.78
5	4.08	42.3	0.97	15	12.83	33.3	0.76
6	5.05	41.4	0.95	16	13.59	32.4	0.74
7	6.00	40.5	0.93	17	14.33	31.5	0.72
8	6.93	39.6	0.91	18	15.05	30.6	0.70
9	7.83	38.7	0.89	19	15.75	29.7	0.68
10	8.72	37.8	0.86	20	16.43	28.8	0.66

3.2　仿真试验建模

3.2.1　前提假设

（1）不同设计参数组合的减速标线均会使驾驶员产生速度感知偏高的错觉。

（2）行驶过程中驾驶员保持理性思维，即感知车速越高，驾驶员主动采取制动措施的可能性越大。

（3）忽略冰雪弯道路侧信息对驾驶员速度感知的影响，将其视为常量。

3.2.2　试验方案设计

利用3ds Max 软件制作施划不同参数减速标线下驾驶员行驶的仿真视频。为模拟实际道路状况，道路模型为双向两车道，车道宽度为 4.5 m，车道分界线宽度为 15 cm。设有试验组与对照组，试验组依据表 1 确定的方案共设置 9 个试验场景，每个试验场景的行车速度均为 30 km/h。对照场景为未施划减速标线的沥青路面，考虑到减速标线的施划会使驾驶员产生速度感知偏高的错觉，因此设置 3 种行车速度与试验场景对比，分别为：30，35，40 km/h。

（a）横向标线　　（b）鱼刺形标线

（c）梳齿形标线

图 1　仿真试验场景

Fig. 1　Simulation experiment scenes

挑选视力良好，无色盲、色弱，且未被告知试验目的的男、女性驾驶员各 15 名作为被试者。每位被试者需要进行 9 次试验，每次呈现两组场景，首先是车速固定的试验场景，其次是 3 种车速随机排列的对照场景，让被试者选择其自身认为对照场景与试验场景具有相同车速的模型。

为了判定不同方案减速标线的减速效果，以每种试验方案中驾驶员感知车速相比实际车速的增加比例为指标，定义感知加速率 y_i 为第 i 种试验方案中对照组驾驶员平均感知速度与试验组实际行驶速度之比减 1。感知加速率越大，则驾驶员采取减速措施的可能性越高，即减速效果相对较好，其计算公式为：

$$y_i = \frac{\sum_{k=1}^{30} v_a - nv_b}{nv_a}, \tag{3}$$

式中，y_i 为第 i 种试验方案的感知加速率；n 为被试者数目，取30；v_a 为实际行驶车速，取30 km/h；v_b 为驾驶员感知车速。

以组合方案1为例，试验流程如图2所示。

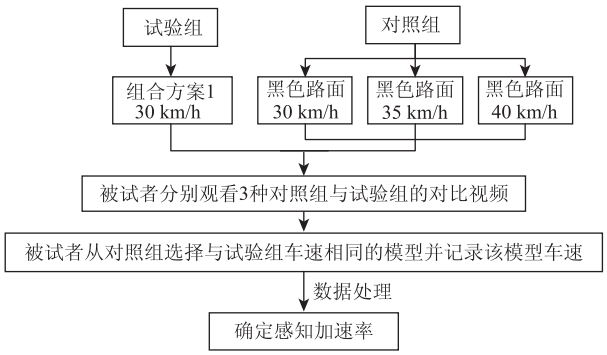

图2 仿真试验流程

Fig. 2 Flowchart of simulation experiment

3.2.3 试验结果分析

通过仿真试验，对每种试验方案被试者的选择结果进行记录，试验结果如表3所示。

表3 正交试验结果

Tab. 3 Orthogonal experimental result

序号	颜色	宽度	形状	空白	感知加速率/%
1	1	1	1	1	23.33
2	1	2	2	2	23.9
3	1	3	3	3	24.43
4	2	1	2	3	27.77
5	2	2	3	1	28.33
6	2	3	1	2	22.77
7	3	1	3	2	25.57
8	3	2	1	3	19.43
9	3	3	2	1	20
K_1	71.66	76.67	65.53	71.66	—
K_2	78.87	71.66	71.67	72.24	—
K_3	65	67.2	78.33	71.63	—
R	4.62	3.16	4.27	0.20	—

注：K_i 为该因素第 i 个水平的试验结果之和；R 为因素各水平平均试验结果的极差。3因素3水平的正交试验需选择 $l_n(3^m)$ 型正交表，在不考虑交互作用的情况下，$m>3$，$L_9(3^4)$ 为满足条件的最小正交表，因此第5列为空白列，对试验无影响。

表4 方差分析结果

Tab. 4 Variance analysis result

方差来源	颜色	宽度	形状	空白	误差	总和
离差平方和	32.08	14.96	27.32	0.09	0.09	74.45
自由度	2	2	2	2	2	8
均方	16.04	7.48	13.66	0.05	0.05	—
F 值	356.4	166.2	303.6	1	—	—
F 临界值	$F_{0.05}(2,2)=19$，$F_{0.01}(2,2)=99$					

采用SPSS软件对正交试验结果进行方差分析。由表4可知，$F_A=356.4$，$F_B=166.2$，$F_C=303.6$，3者服从于分布 $F(2,2)$，在显著水平 $\alpha=0.05$ 时，$F_{0.05}(2,2)=19$，即 A（颜色）、B（宽度）、C（形状）3个因素均对驾驶员车速感知均具有显著影响，且各因子影响程度由大到小依次为 A（颜色）> C（形状）> B（宽度）。根据极差分析结果，$A_2B_1C_3$ 为本试验的最优水平组合，即宽度为0.1 m的绿色梳齿形减速标线具有相对较好的减速效果。

4 结论

（1）视错觉减速标线通过一系列颜色和图案的搭配，能引导驾驶员主动采取减速措施，根据其作用机理的不同可以分为车速渐增式、车道渐窄式、模拟障碍式减速标线3类。

（2）对于车速渐增式减速标线，可采用基于恒定闪现频率的设计方法计算其设置间距，选取合适的初速度、目标车速、车辆减速度及闪现频率可确定标线的设置数目及位置。

（3）在冰雪弯道施划减速标线可使驾驶员产生感知车速偏高的错觉，且纵向宽度为0.1 m的绿色梳齿形减速标线具有相对较好的减速效果。

（4）在显著水平 $\alpha=0.01$ 条件下，减速标线的颜色、宽度、形状对驾驶员的车速感知均具有显著影响，且影响因素的主次顺序为颜色 > 形状 > 宽度。

参考文献：

References：

[1] EDWARDS J B. Weather-related Road Accidents in England and Wales: A Spatial Analysis [J]. Journal of Transport Geography, 1996, 4 (3): 201-212.

[2] FUKUI H, TAKAGI J, MURATA Y, et al. An Image Processing Method to Detect Road Surface Condition Using Optical Spatial Frequency [C] // IEEE Conference on Intelligent Transportation System, 1997. Boston: IEEE, 1997: 1005 - 1009.

[3] 彭旭东，孟祥凯，卢荡，等. 冰雪路面汽车轮胎摩擦特性研究进展 [J]. 摩擦学学报，2003，23（5）：451 - 456.
PENG Xu-dong, MENG Xiang-kai, LU Dang, et al. Advances in Study on Traction Behavior of Automotive Tires on Icy and Snowy Highways [J]. Tribology, 2003, 23 (5): 451 - 456.

[4] 林雨，牛建峰，徐颖. 双车道公路弯道行车轨迹特性

研究［J］. 公路交通科技，2011，28（3）：113－117.
LIN Yu，NIU Jian-feng，XU Ying. Study on Characteristics of Vehicle Path in Curves on Two-lane Highways［J］. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2011，28（3）：113－117.

［5］ 杨涛，宋丹丹. 弯道路面车辆稳定性的预测控制仿真［J］. 公路交通科技，2012，29（10）：149－153.
YANG Tao，SONG Dan-dan. Simulation of Predictive Control for Vehicle Yaw Stability on Curve［J］. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2012，29（10）：149－153.

［6］ KHATTAK A J，KNAPP K K，GIESE K L，et al. Safety Implication of Snowstorms on Interstate Highways［C］// 2000 Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington，D. C.：2000.

［7］ ANDREY J，MILLS B，VANDERMOLEN J. Weather Information and Road Safety［R］. Waterloo：Institute for Catastrophic Loss Reduction，2001.

［8］ 郭英. 公路车辆行驶速度与事故关系模型研究［D］. 长春：吉林大学，2012.
GUO Ying. Study on Model of Relationship between Vehicle Speed and Accident on Highway［D］. Changchun：Jilin University，2012.

［9］ ZWAHLEN H T，JIN Y P. Curve Radius Perception Accuracy as a Function of Number of Delineation Devices（Chevrons）［J］. Thin Solid Films，1995，518（2）：518－521.

［10］ FINLEY M. Low Cost Local Road Safety Solutions［R］. Fredericksburg：American Traffic Safety Services Association，2006.

［11］ 颜先华. 公路视错觉减速标线设计研究［D］. 西安：长安大学，2011.
YAN Xian-hua. Study on Design of Highway Optical Illusion Deceleration Markings［D］. Xi'an：Chang'an University，2011.

［12］ 朱绪飞，赵炜华，刘浩学，等. 基于仿真的公路视错觉减速标线效果对比研究［J］. 公路与汽运，2012（1）：74－78.
ZHU Xu-fei，ZHAO Wei-hua，LIU Hao-xue，et al. Comparative Study on Effect of Highway Optical Illusion Deceleration Markings Based on Simulation［J］. Highways & Automotive Applications，2012（1）：74－78.

［13］ DING H，ZHAO X，RONG J，et al. Experimental Research on the Effectiveness and Adaptability of Speed Reduction Markings in Downhill Sections on Urban Roads：A Driving Simulation Study［J］. Accident Analysis & Prevention，2015，75：119－127.

［14］ RAKHA H A，KATZ B J，DUKE D. Design and Evaluation of Peripheral Transverse Bars to Reduce Vehicle Speed［C］// TRB 85th Annual Meeting. Washington，D. C.：Transportation Research Board，2006.

［15］ 段萌萌. 基于驾驶员视觉－生理特征的减速标线设计研究［D］. 重庆：重庆交通大学，2015.
DUAN Meng-meng. Study on Design of Speed Deceleration Marking Based on Driver's Visual-physical Characteristics［D］. Chongqing：Chongqing Jiaotong University，2015.

［16］ 徐良杰，铁文君，奚少新. 基于路面色彩信息的驾驶员视觉心理效应分析［J］. 武汉理工大学学报：交通科学与工程版，2016，40（4）：592－596.
XU Liang-jie，TIE Wen-jun，XI Shao-xin. Analysis of Driver's Visual Psychological Effects Based on Pavement Color Information［J］. Journal of Wuhan University of Technology：Transportation Science & Engineering Edition，2016，40（4）：592－596.

［17］ 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.
KANG Kai. Study on Development of Virtual Slowdown Markings Videos Test Platform Based on Real Scene［D］. Xi'an：Chang'an University，2008.

［18］ 刘兵. 基于驾驶员视知觉的虚车速控制和车道保持机理研究［D］. 武汉：武汉理工大学，2008.
LIU Bing. Research of Mechanism of Virtual Vehicle Speed Controlling and Lane Keeping Based on Driver's Visual Perception［D］. Wuhan：Wuhan University of Technology，2008.