

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2019.03.019

路侧示警桩设置关键指标研究

姜明^{1,2}, 陈艳艳¹, 冯移冬²

(1. 北京工业大学 城市交通学院, 北京 100124;

2. 交通运输部公路科学研究院 公路交通安全技术交通行业重点实验室, 北京 100088)

摘要: 针对公路示警桩的反光膜搭配、外观设计参数缺乏技术规范的问题, 开展实车试验, 研究、论证了相关参数对于路侧示警桩夜间诱导效果的影响。以我国低等级公路示警桩的两种主要形式: 用于接入口警示功能的红白相间示警桩、用于公路线形轮廓诱导功能的黄黑相间示警桩为试验对象, 以车辆进入弯道前的减速点位置、减速过程平稳性作为判别指标, 基于试验场实车试验, 采用数理统计与相关性分析方法, 得到两种形式示警桩的反光膜配置、外观设计参数等关键指标最优化量值。同时, 考虑低等级公路资金受限的问题, 提出了相应的低成本解决方案。研究表明: 红白相间示警桩的诱导效果主要与白色单元反光膜的反光性能有关, 白色反光膜的等级越高, 诱导效果越好, 在资金受限时仅在最上一道白色单元设置Ⅰ类反光膜也可达到不错的警示效果; 黄黑相间示警桩诱导效果最优的形式为自顶部黑、黄颜色单元交替等比例设置, 黑色单元在黄色单元之上的形式, 此时黄色部分宜采用Ⅱ类反光膜。在资金受限时, 仅在顶部黄色单元设置Ⅰ类黄色反光膜也可达到不错的诱导效果。研究成果可为我国低等级公路交通诱导设施的设置提供依据。

关键词: 交通工程; 交通安全; 差异性分析; 视线诱导; 示警桩; 指标; 实车试验

中图分类号: U491.6⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2019)03-0130-07

Study on Setting of Key Indicators for Roadside Warning Piles

JIANG Ming^{1,2}, CHEN Yan-yan¹, FENG Yi-dong²

(1. School of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Key Laboratory of Highway Traffic Safety Technology of Ministry of Transport, Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: Aiming at lack of technical specification of reflective film matching and styling design for road warning piles, the influence of relevant parameters on night induction effect of road-side warning piles are studied and discussed by real vehicle tests. Two types of warning piles commonly used on national roads are selected as the experimental object; one is alternate red and white warning pile which is used for warning function at access spots, the other is alternate yellow and black warning pile which is used for induction function of road side profile. Taking deceleration spot before vehicle entering into curve and smoothness of deceleration process as the judgment indicators, based on the real vehicle test in proving ground, the optimal parameter values of reflective film matching and styling design for road warning piles are obtained using mathematical statistics and correlation analysis. Meanwhile, considering the low budget of low class highway, the corresponding low cost solution is proposed. The result indicates that (1) The induction effect of alternate red and white warning piles is mainly related to the reflective property of the reflective film. The higher the reflective film class of white part, the better the induction effect. When the funds are limited, retro reflective film Type I can be set up only on the top white part for good warning effect. (2) The form of alternate black

收稿日期: 2017-12-25

基金项目: 交通运输部标准化研究项目(20163722)

作者简介: 姜明(1980-), 男, 北京人, 博士, 研究员. (m.jiang@rioh.cn)

and yellow warning pile which has optimal induction effect is that the black and yellow parts are alternatively arranged from top with the equal width, and reflective film Type II is suitable for yellow part. When the funds are limited, reflective film Type I can be set up only on the top yellow part for good warning effect. The result can provide a basis for the establishment of traffic guidance facilities on low class highways in China.

Key words: traffic engineering; traffic safety; difference analysis; sight delineation; warning pile; indicator; real vehicle test

0 引言

截至2017年底,我国三级及以下低等级公路里程超过362万km,占全部公路总里程的77%^[1]。低等级公路里程长,资金投入不足,交通安全问题受到社会广泛关注。由于无法有效地设置公路照明,低等级公路夜间交通事故尤为突出,伤亡率接近白天的3倍^[2-3]。夜间交通事故的发生与暗环境下驾驶员对公路情况判断失误相关^[4-5]。科学、有效地设置交通诱导设施是提升夜间行车安全最为有效、性价比最高的处置措施^[4-6]。在各种交通诱导设施中,轮廓标是最为重要、应用最为普遍的一种。美国和我国家交通安全设施设置规范中均对轮廓标的设置路段、设置间距提出了比较明确的要求^[7-8]。我国学者以往主要针对高速公路轮廓标的设置开展了相关研究,陈君朝从驾驶员主观评价和驾驶行为控制方面,提出了高速公路轮廓标设置效果的4个层次评价指标及设置层次方案^[9]。罗红杰和信志刚等^[10-11]从轮廓标的功能需求出发,基于实车试验分别研究了高速公路隧道路段、一般路段轮廓标的设置方法,根据空间连续性、视觉效果提出了设置间距、设置高度要求。包兴臣^[12]从系统方案原理、系统组成及系统功能等方面对应用于事故易发路段的高速公路主动发光轮廓标进行了应用。李丹和王玮等^[13-14]则从轮廓标的光度性能、色度性能等角度入手,介绍了光度性能的技术要求、测试方法和过程。可见,国内外主要针对高等级公路轮廓标的设置条件、方法开展了一定的研究,提出了设置路段、间距、光度性能等指标。对于二级及以下等级公路,特别是三级及以下低等级公路轮廓标的设置方法研究较少。

我国低等级公路坡陡弯急、线形指标低,需要设置大量的路侧诱导设施。受工程建设投资与养护能力限制,无法大范围应用轮廓标。在这一背景下,混凝土示警桩凭借造价和养护成本低廉的优势,成为我国各地低等级公路应用最为广泛的路侧视线诱导设施,以替代价格相对昂贵、低等级公路上易丢失、损坏的轮廓标^[15]。混凝土示警桩与轮廓标的外

观形式完全不同,国内外针对轮廓标的研究成果无法有效支撑路侧示警桩的科学化设置。由于缺乏明确的设置指引,各地设置的示警桩外观形式各异,反光材料的选取参差不齐,无法实现最优的夜间诱导效果。本研究通过试验场实车试验,对采用不同形式、不同级别反光材料的示警桩诱导效果进行评价,以诱导效果最优为目标,综合考虑低成本原则,提出示警桩的外观形式、反光材料等关键设计指标。

1 试验设计

1.1 场景设计

本研究在交通运输部公路试验场进行实车试验。根据我国低等级公路现状,以占绝大比例的公路技术等级(30 km/h设计速度)为模拟对象,通过临时性交通标线勾勒出试验公路的边缘线和中心线。试验公路曲线半径选取该设计速度下的极限半径(30 m),根据我国低等级公路实际路况,曲线长控制为20 m,自曲线前20 m处开始至曲线终点处布设诱导设施。相邻曲线路段的终点与起点之间设置直线段,其长度定为200 m,以保证驾驶员在完成曲线路段行驶后,在直线段能够从容地将车速提升至要求车速。根据以往研究成果,本次试验示警桩设置间距为5 m^[16-17]。

1.2 试验示警桩设计

根据交通运输部《公路安全生命防护工程实施技术指南》(以下简称《指南》)^[18],我国低等级公路上存在如下两种示警桩应用形式。

(1) 红白相间,用于警告路侧接入。《指南》中规定此种示警桩的设置参数为:柱体红白相间,横截面为边长20 cm的正方形,露出地面高度80 cm,设置间距4~6 m,如图1(a)所示,但并未明确规定示警桩应满足的亮度要求及反光材料的选取原则。试验比选形式如图1(b)、表1所示。

(2) 黄黑相间,用于路侧,起诱导线形轮廓的作用。根据《指南》相关要求,该种示警桩的形状与红白相间示警桩相同。设置间距为2 m,如图2(a)所示,但同样未明确应满足的亮度要求及反光材料的选取原则。试验比选形式如图2(b)、表2所示。

表3 距离示警桩50 m处示警桩亮度测量值(单位: cd/m^2)Tab. 3 Measured luminance values of warning piles from 50 m away (unit: cd/m^2)

序号	平均背景亮度	平均目标亮度
1	135 (红色)	137 (白色)
2	60 (红色)	196 (白色)
3	9 (白色)	55 (红色)
4	6 (红色)	150 (白色)
5	0 (白色)	9 (红色)
6	0 (红色)	53 (白色)
7	145 (红色)	165 (白色)
8	50 (红色)	196 (白色)
9	56 (红色)	141 (白色)
10	140 (红色)	160 (白色)
11	0 (黑色)	141 (黄色)
12	0 (黑色)	78 (黄色)
13	0 (黑色)	46 (黄色)
14	0 (黑色)	47 (黄色)
15	0 (黑色)	45 (黄色)
16	0 (黑色)	52 (黄色)
17	0 (黑色)	13 (黄色)

2 试验数据获取

驾驶员能否有效注意到前方弯道并及时进行减速,在曲线路段驾驶过程是否平稳,反映了车辆经过曲线路段的安全性、舒适性。基于此,以驾驶员在弯道前减速点的位置及由减速点至曲线路段终点过程中的减速度标准差作为诱导设施有效性的主要指标。减速点越靠前,说明驾驶员越早注意到前方的弯道;减速度标准差越小,说明驾驶员通过曲线路段的过程越平稳。

通过设置在试验车辆中的 VIDEO VBOX PRO GPS 系统采集相关数据。其 GPS 采集频率为 20 Hz,每 0.05 s 记录 1 个速度数据,以有效记录车辆的即时速度与加速度。

3 数据分析

3.1 减速点位置分析

3.1.1 红白相间示警桩

对于不同形式红白相间示警桩,驾驶员减速点至曲线起点的距离累计频率曲线如图 2 所示。试验示警桩中,红色单元采用 I 类反光膜,白色单元采用 III 类反光膜的诱导效果最好。由图 3 可见,基本型 IV 优于基本型 III,因此,当受到成本限制仅能设置 1 道反光膜时,应选择基本型 IV,即只在最上部白色单元设置 I 类反光膜。

示警桩目标亮度与背景亮度的差值与减速点至

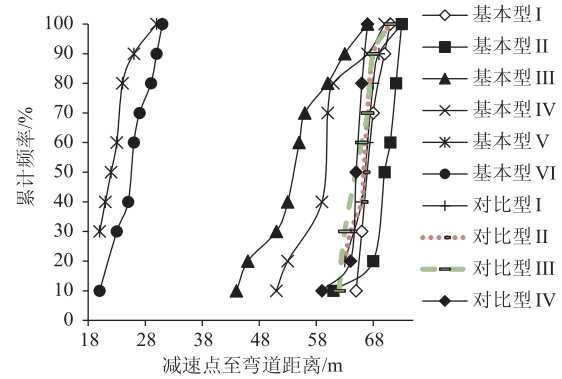


图3 减速点至曲线起点的距离累计频率曲线

Fig. 3 Cumulative frequency curves of distance from deceleration point to curve starting point

曲线起点的距离关系曲线如图 4 所示。可以看出,两者之间存在一定的相关性,但相关性较低。

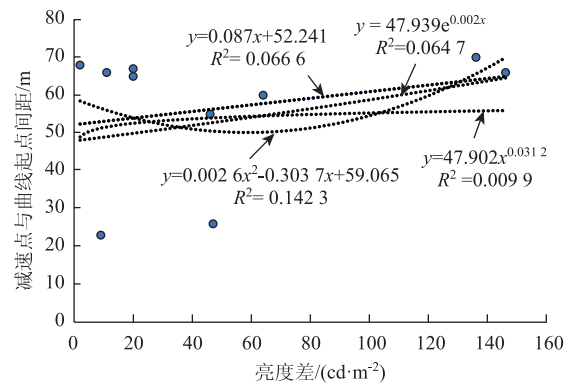


图4 目标亮度与背景亮度的差值与减速点至曲线起点距离的关系

Fig. 4 Relationship of difference between target brightness and background brightness with distance from deceleration point to curve starting point

目标亮度与减速点至曲线起点的距离间关系曲线如图 5 所示。可以看出,两者之间总体呈现增函数特征且相关性较强,即目标亮度越高,减速点越靠前。

3.1.2 黄黑相间示警桩

对于不同形式的黄黑相间示警桩,驾驶员减速点至曲线起点的距离累计频率曲线如图 6 所示。试验示警桩中,黄色单元采用 II 类反光膜的诱导效果最好。基本型 IV 优于基本型 V,因此,当受到成本限制仅能设置 1 道反光膜时,应选择基本型 IV,即只在最上部黄色单元设置 I 类反光膜。

由于黑色部分不反光,目标亮度与背景亮度的差值即为目标亮度值,其与减速点至曲线起点的距离关系如图 7 所示。可以看出,示警桩目标亮度值

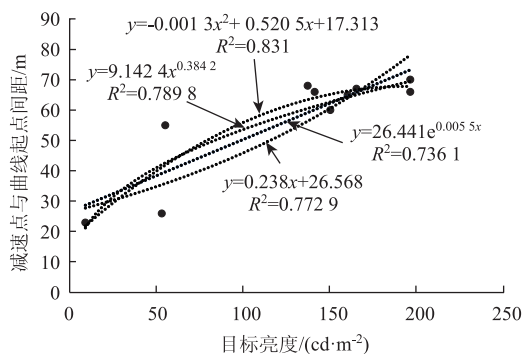


图5 目标亮度与减速点至曲线起点距离的关系

Fig. 5 Relationship between target brightness and distance from deceleration point to curve starting point

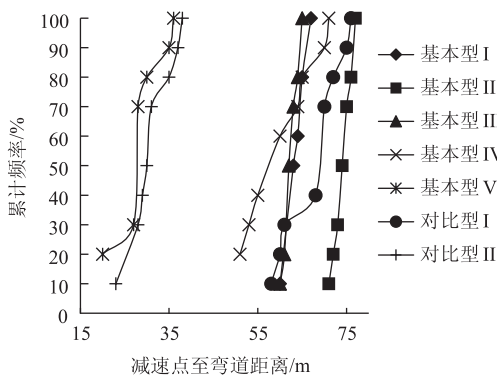


图6 减速点至曲线起点的距离累积频率曲线

Fig. 6 Cumulative frequency curves of distance from deceleration point to curve starting point

与车辆减速点位置之间总体呈现偶次幂函数特征且相关性较强,黄色反光膜逆反射系数在100以下时,逆反射系数越高,减速点越靠前;逆反射系数超过100时,减速点逐渐后移。

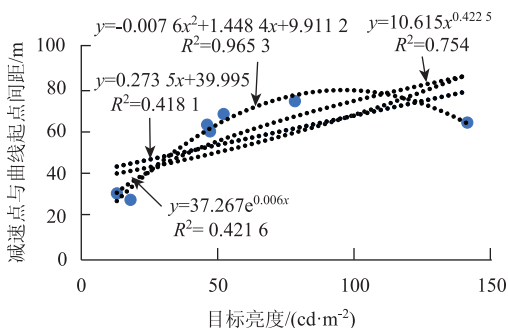


图7 目标亮度与减速点至曲线起点距离的关系

Fig. 7 Relationship between target brightness and distance from deceleration point to curve starting point

3.2 曲线路段驾驶平稳度分析

以减速点至曲线终点的减速度标准差作为曲线路段驾驶平稳度评价指标。不同形式示警桩的数据

分析如下。

3.2.1 红白相间示警桩

对于不同形式的红白相间示警桩,驾驶员在曲线路段减速度标准差累计频率曲线如图8所示。设置红白相间基本型II示警桩的曲线路段,车辆间速度标准差最小,说明车辆驾驶相对最平稳。

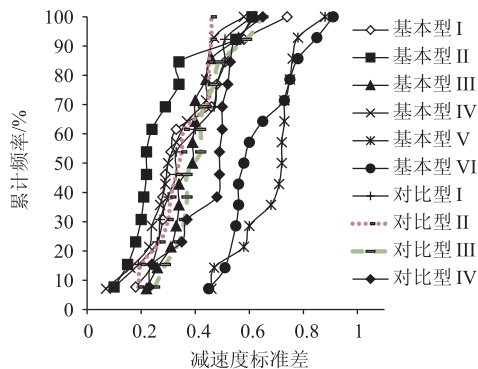


图8 减速度标准差累计频率曲线

Fig. 8 Cumulative frequency curves of standard deviation of deceleration

目标亮度与背景亮度的差值与曲线路段减速度标准差关系如图9所示。可以看出,两者之间存在

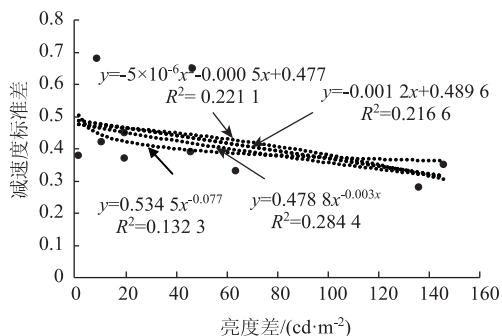


图9 目标亮度与背景亮度的差值与减速度标准差的关系

Fig. 9 Relationship of difference between target brightness and background brightness with standard deviation of deceleration

一定的相关性,但相关性较低。

目标亮度与曲线路段减速度标准差关系如图10所示。可以看出,两者之间总体呈现减函数特征且相关性较强,即目标亮度越高,车辆在曲线路段的减速过程相对越平稳。

3.2.2 黄黑相间示警桩

对于不同形式的黄黑相间示警桩,驾驶员在曲线路段减速度标准差累计频率曲线如图11所示。设置黄黑相间基本型II示警桩的曲线路段,车辆减速度标准差最小,说明车辆驾驶相对最平稳。

目标亮度值与曲线路段减速度标准差的关系如

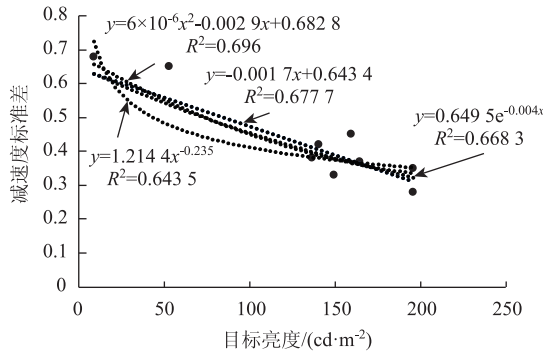


图10 目标亮度与减速度标准差的关系

Fig. 10 Relationship between target brightness and standard deviation of deceleration

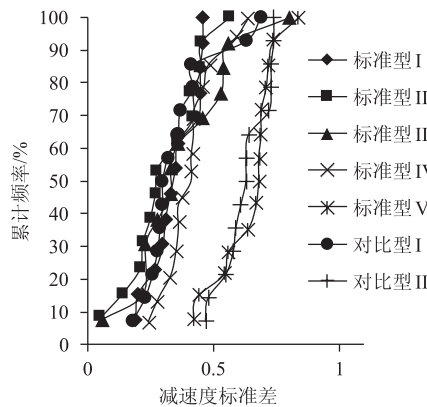


图11 减速度标准差累计频率曲线

Fig. 11 Cumulative frequency curves of standard deviation of deceleration

图12所示。可以看出,示警桩目标亮度值与曲线路段减速度标准差之间总体呈现偶次幂函数特征且相关性较强,黄色反光膜逆反射系数在100以下时,逆反射系数越高,减速过程越平稳;逆反射系数超过100时,减速度标准差逐渐增大。

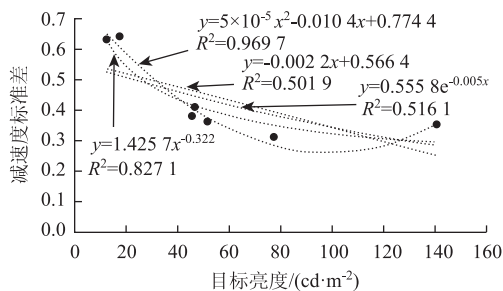


图12 目标亮度与减速度标准差的关系

Fig. 12 Relationship between target brightness and standard deviation of deceleration

3.3 最优化形式分析

综合驾驶员在弯道前减速点的位置及曲线路

段起点至终点过程中的减速度标准差两项评价指标,可得到示警桩的最优化形式与反光材料选取方法。

红白相间形式的示警桩宜采用基本型II的形式,即自顶部红、白单元交替等比例设置,红色单元在白色单元之上,红色单元采用I类反光膜,白色单元采用III类反光膜的诱导效果最好。如果需要较好的诱导效果,应着重提升白色单元反光膜等级。黄黑相间形式的示警桩宜采用基本型II的形式,即自顶部黑、黄单元交替等比例设置,黑色单元在黄色单元之上,黄色单元采用II类反光膜的诱导效果最好,但不宜采用III类及以上级别的黄色反光膜。

4 结论

针对广泛应用于我国低等级公路的示警桩缺乏设置依据的问题,基于实车试验,以诱导效果最优为目标,提出了示警桩的最优化形式与反光材料选取方法。

(1) 红白相间形式的示警桩宜采用表1中红白相间基本型II的形式,且如果需要较好的诱导效果,应着重提升白色单元反光膜等级。当受到成本限制仅能设置1道反光膜时,应选择基本型IV,即仅在第一道白色单元设置I类反光膜。

(2) 黄黑相间形式的示警桩宜采用表2中黄黑相间基本型II的形式。当受到成本限制仅能设置1道反光膜时,应选择标准型IV的形式,即仅在最上面一道黄色单元设置I类反光膜。

参考文献:

References:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 2017年公路水路交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. (2018-3-30) [2018-05-21]. <http://www.mot.gov.cn>.
Ministry of Transport of PRC. Statistical Bulletin on the Development of Highway and Waterway Transport Industry in 2017 [EB/OL]. (2018-3-30) [2018-05-21]. <http://www.mot.gov.cn>.
- [2] 中华人民共和国公安部. 2016年交通事故统计年报[M]. 北京:人民交通出版社,2016.
Ministry of Public Security of PRC. Annual Report of Traffic Accidents Statistics [M]. Beijing: China Communications Press, 2016.
- [3] 中华人民共和国交通运输部. 2016年国家干线公路交通情况分析报告[R]. 北京:人民交通出版

- 社, 2016.
- Ministry of Transport of PRC. Analysis Report on National Trunk Highway Traffic in 2016 [R]. Beijing: China Communications Press, 2016.
- [4] US Federal Highway Administration. Impacts on State and Local Agencies for Maintaining Traffic Signs within Minimum Retroreflectivity Guidelines [R]. Washington, D. C.; U. S. Department of Commerce, 1998.
- [5] HAWKINS H G, BARTOSKEWITZ R T, FENNO D W. Evaluation of Rural Guide Signing Second Year Activities and Preliminary Recommendations [R]. Austin: Texas Department of Transportation, 1995.
- [6] CARLSON PAUL J, MATT S. Methods for Maintaining Traffic Sign Retroreflectivity, FHWA - HRT - 08 - 026 [R]. Washington, D. C.; Federal Highway Administration, 2007.
- [7] U. S. Federal Highway Administration. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways [S]. 2009 ed. Washington, D. C.; U. S. Department of Transportation, 2009.
- [8] JTG D81—2017, 公路交通安全设施设计规范 [S]. JTG D81—2017, Design Specification for Highway Safety Facilities [S].
- [9] 袁伟. 城市道路环境中汽车驾驶员动态视觉特性试验研究 [D]. 西安: 长安大学, 2008.
- YUAN Wei. Study on Vehicle Driver's Dynamic Visual Characters Test on City Road [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [10] 罗红杰, 李光磊. 八车道高速公路轮廓标设置间距研究 [J]. 公路, 2017 (6): 50 - 53.
- LUO Hong-jie, LI Guang-lei. Study on Setting Spacing of Delineators on Eight-lane Expressway [J]. Highway, 2017 (6): 50 - 53.
- [11] 信志刚, 王春雨, 张续光, 等. 隧道路段逆反射轮廓标设置技术研究 [J]. 安全与环境学报, 2015, 15 (5): 156 - 161.
- XIN Zhi-gang, WANG Chun-yu, ZHANG Xu-guang. On the Setting of Retro-reflective Delineators in the Freeway Tunnel [J]. Journal of Safety and Environment, 2015, 15 (5): 156 - 161.
- [12] 包兴臣, 孟强. 高速公路主动发光轮廓标应用方案设计探讨 [J]. 中国交通信息化, 2017 (4): 113 - 115.
- BAO Xing-chen, MENG Qiang. Discussion of Application Scheme Design of Active LED Delineators for Expressway [J]. China ITS Journal, 2017 (4): 113 - 115.
- [13] 李丹, 崔晗晶. 轮廓标光度性能研究 [J]. 交通标准化, 2009 (增2): 52 - 54.
- LI Dan, CUI Han-jing. Research on the Luminosity Performance of Delineator [J]. Transport Standardization, 2009 (S2): 52 - 54.
- [14] 王玮. 轮廓标逆反射性能及其对安全行车的影响 [J]. 交通标准化, 2009 (20): 30 - 32.
- WANG Wei. Reflex Reflection Performance of Contour Mark and Relative Influence for Safe Driving [J]. Transport Standardization, 2009 (20): 30 - 32.
- [15] 吴京梅, 陈瑜, 唐铮铮. 山区农村公路安全保障技术 [R]. 北京: 交通运输部公路科学研究院, 2014.
- WU Jing-mei, CHEN Yu, TANG Cheng-cheng. Technology of Ensuring Traffic Safety on Rural Mountain Highway [R]. Beijing: Research institute of Highway, Ministry of Transport, 2014.
- [16] 赵永平, 王建军, 罗石贵, 等. 指示性线形诱导标设置间距探讨 [J]. 河南交通科技, 1998 (1): 28 - 29.
- ZHAO Yong-ping, WANG Jian-jun, LUO Shi-gui, Discussion on Setting Spacing of Indicative Alignment Delineators [J]. Science and Technology of Henan Communication, 1998 (1): 28 - 29.
- [17] 毛慧. 线形诱导标设置 [J]. 公路交通科技, 2001, 18 (5): 90 - 92.
- MAO Hui. Chevron Alignment Sign Placing [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2001, 18 (5): 90 - 92.
- [18] 侯德藻, 杨曼娟, 张铁军, 等. 公路安全生命防护工程实施技术指南 [R]. 北京: 交通运输部公路科学研究院, 2015.
- HOU De-zao, YANG Man-juan, ZHANG Tie-jun, et al. Technical Guide for Implementation of Highway Life Protection Project [R]. Beijing: Research Institute of Highway, Ministry of Transport, 2015.