

文章编号:1671-8879(2015)06-0098-06

平曲线路段突起路标设置

林贵宝^{1,2}, 马荣国¹, 姚广鹏¹, 梁国华¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:为了充分发挥突起路标在圆曲线路段上的线形诱导作用,分析了驾驶人白天视野范围及夜间车灯照射范围内的可视范围,确定驾驶人白天注视弧长和夜间可视弧长随圆曲线半径的变化量,并基于曲率感知和时间韦伯定律,对圆曲线和缓和曲线上突起路标设置间隔进行计算及修正。研究表明:突起路标设置间隔的临界圆曲线半径为 700 m,大于临界半径的圆曲线对应设置间隔为 15 m,小于临界半径的圆曲线对应设置间隔根据所在半径范围确定;基于速度感知确定车道两侧突起路标应在同一径线上,选取 15 m 设置间隔时,设置在车道分割线的空档中点位置;缓和曲线上的设置间隔与圆曲线上的设置间隔相同。

关键词:交通工程;平曲线路段;突起路标;设置间隔;驾驶人视野范围

中图分类号:U491.52

文献标志码:A

Setting interval of raised pavement markers on the horizontal curve

LIN Gui-bao^{1,2}, MA Rong-guo¹, YAO Guang-peng¹, LIANG Guo-hua¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Electrical and Control Engineering, Chang'an University Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to play full use of the linear raised pavement markers' induction processe on circular curve section, drivers' visual range during the day and vision field under the vehicle's light at night was analyzed. Besides, to determine the change ratio of drivers' contemplation field's arc at daytime and visual field's arc at nighttime based on the changing radius length of the curve was determined. Pavement markers' setting interval on the circular curve and transition curve was calculated and corrected based on the curvature of time perception and Weber's law. The results show that the critical curve radius of raised pavement markers' setting interval is 700 m, setting interval is 15 m when the radius is higher than the critical radius. When less than the critical radius, the setting interval is determined based on the radius range accordingly. Both sides of pavement's raised pavement marker should be on the same radius line based on perceptual speed. When setting interval is 15 m, it should be located at the gap's midpoint. The setting interval on transition curve is the same as circular curve. 6 tabs, 5 figs, 12 refs.

Key words: traffic engineering; horizontal curve; raised pavement marker; setting interval; drivers' visual range

收稿日期:2015-07-20

基金项目:陕西省交通运输厅交通科技项目(14-32R);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014G1211011,2013G1321042)

作者简介:林贵宝(1974-),男,山东五莲人,助理研究员,工学博士研究生,E-mail:gblin@chd.edu.cn.

0 引 言

平曲线路段的交通事故有很大一部分原因是车辆偏离车道引起的。平曲线路段设置突起路标,可以有效地进行视线诱导,促进车道保持,减少事故的发生。利用驾驶人视觉特性合理设置突起路标的间隔,可以起到视线诱导与车辆控速的作用。Zwahlen 等通过试验得出,曲线路段可视范围内有 4 个路标就能给驾驶人较好的曲率感知精度^[1];Hammond 等通过试验得出,在平曲线路段设置突起路标有助于车辆的车道保持,大大降低车辆偏离车道的次数^[2]。美国联邦公路局规定:突起路标一般设置在标线的空档中,与单实线配合使用时设置在标线一侧,常规间隔为虚线线段和间隔的长度之和。对于曲率大于 6 的路段可适当加密至常规间隔的一半。Zwahlen 等研究指出,突起路标和路面标线配合使用时,可以降低路面标线的反射要求,延长路面标线的维护周期,节约路面标线的使用成本^[3];Wright 等研究指出,设置突起路标可以有效减少车辆冲突碰撞,尤其夜间效果更好,能够有效减少单车碰撞事故^[4];Bahar 等对突起路标的设置进行了安全分析,并分析了不同设置间隔对交通安全的影响^[5];Yi 等结合实测数据对突起路标的交通安全作用进行了分析,而且给出了突起路标在曲线段的设置间隔以及与路面标线的配合形式^[6];程国柱等通过调查数据分析得到夜间识别距离与平曲线半径成负指数相关,即夜间识别距离随半径的增大而增大^[7];孙强提出在圆曲线路段可视区域内按照轮廓标的设置方法布设突起路标,并采用与轮廓标的设置间隔^[8];朱顺应等运用视觉连续性和曲率感知精度 2 种方法对圆曲线道路上突起路标设置进行研究,并采用 2 种方法的最小值作为最终设置间隔值^[9];佘晓东等在评估火车司机的速度感知时,指出驾驶人的速度感知与物体在人眼中的角速度有关,并且成正比^[10];周孝波利用眼动仪记录驾驶人在曲线路段的注意点,得出驾驶人的注意力多集中在曲线路段弯道一侧的切点位置^[11];孙琴梅运用时间韦伯定律对边缘率控速标线设置进行研究,并标定了其布设间隔模型^[12]。国外大多是通过观测数据对设置间隔进行修正,中国主要基于曲率感知确定设置间隔,但都没有对车道内外两侧突起路标的相对位置及缓和曲线上的设置进行分析。为此,本文在研究突起路标在平曲线路段进行设置时,主要考虑突起路标的线形诱导作用,采用曲率感知精度对设置间隔进行分析

并给出建议值,基于速度感知对车道两侧突起路标设置间隔和相对位置进行研究,利用时间韦伯定律分析突起路标在缓和曲线路段上的设置间隔。

1 驾驶人动视觉特性和速度感知分析

1.1 视野范围

驾驶人动视力影响其视野范围的大小,在白天光照条件良好的情况下,驾驶人视野由人眼的视力决定。道路上驾驶人的视野主要受到动视力的影响,体现在注视点距离和视野角度的变化上,随着车辆速度的变化,驾驶人的视力也会变化。

驾驶人动视力是指在道路上驾车行驶的运动过程中,观察物体运动的视力。具有某个特定速度时的视觉特性与静止时的视觉特性有很大差异,随着行车速度的增加,驾驶人注视点距离增大,视野范围的角度减小,如图 1 所示。由于突起路标的逆反射性能,在夜间具有更好的视觉诱导和警示作用,但是夜间环境较暗,驾驶人视野受到车灯性能的限制,使得驾驶人夜间视野较小。由于人眼在白天的视野范围大于车灯的照射范围,则驾驶人夜间视野即车灯照射范围受到车灯限制,由《汽车理论》可知:车灯照射范围角度为 15°,距离为 127 m。

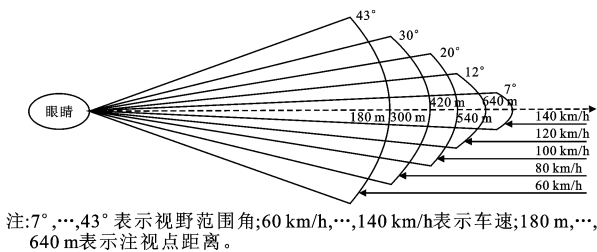


图 1 驾驶人视野及注视点随车速变化

Fig. 1 Driver vision and fixation change based on speed

1.2 速度感知分析

速度感是一种视觉认识,即人通过物体在人眼中的移动感知物体移动速度的现象。驾驶人在行车过程中,通过观察路边道路设施和景观流过的感觉,对自己车速进行感知。这种速度感会因环境条件而发生很大变化:被视物离车近会使驾驶人觉得速度很高;视野开阔时感觉速度低;夜间由于视野很狭窄而感到速度高;在浓雾及大雪天气时,由于没有明确的对象和看不清距离,从而速度也成了一种不安定的感觉。因此,感知速度的大小主要在于视网膜上成像点位置变化的快慢,即人眼所感受到的这种速度并不是线速度,而是一种角速度(°/s)。

这种因角度变化而产生速度感的特点可以通过

设置间隔进行计算,结果如表 1 所示。

表 1 圆曲线最小半径

Tab. 1 Minimum radius of circular curve

设计速度/(km·h ⁻¹)	120	100	80	60	40	30	20
圆曲线最小半径一般值/m	1 000	700	400	200	100	65	30

将圆曲线最小半径值带入式(1)~式(7),可得相应的可视弧长,如表 2 所示。

表 2 各半径对应的弧长

Tab. 2 Corresponding arc on each radius

圆曲线半径 R/m	\widehat{BC} 弧长/m	线段 \widehat{AC} 长/m	对应外侧 \widehat{DE} 弧长/m
1 000	76.41	109.14	76.70
700	61.31	91.30	61.64
400	43.18	68.98	43.59
200	27.78	48.73	28.31
100	17.80	34.39	18.48
65	13.50	27.67	14.30
30	8.32	19.10	9.43

由式(8)可得各圆曲线最小半径对应的突起路标设置间隔,如表 3 所示。

表 3 圆曲线最小半径对应的设置间隔

Tab. 3 Corresponding setting interval on circular curves' minimum radius

设计速度/(km·h ⁻¹)	120	100	80	60	40	30	20
圆曲线最小半径一般值/m	1 000	700	400	200	100	65	30
设置间隔/m	19.10	15.30	11.00	7.00	4.50	3.50	2.25

2.1.2 外侧设置间隔

为了使行驶中的车辆更好地保持车道,车道内外侧的突起路标能使驾驶人产生相同感知速度。速度感知与突起路标在人眼中移动的角速度成正比,则车道外侧的突起路标间隔应满足此条件。

将视野内的突起路标与驾驶人眼睛连线,以 t_1 时刻突起路标位置为基础,随着车辆行驶到 t_2 时刻时,以圆曲线弯道内侧突起路标为基础确定外侧突起路标位置。若使车道两侧突起路标产生相同的感知速度,则在 t_2 时刻,突起路标应出现在与 t_1 时刻相同的视野位置中,即可看成 t_1 时刻车道两侧突起路标随着车辆行驶轨迹做平移,如图 4 所示。假设车辆做圆曲线运动,可知突起路标连线绕圆曲线的圆心移动,即车道外侧的突起路标应与内侧突起路标在同一径线上。

2.2 夜间视野下设置间隔

夜间驾驶人视野受到车灯照射范围的限制,在圆曲线上车灯的照射范围为车辆正前方,驾驶人的可视道路标线长度受到圆曲线半径的影响。图 5 为车灯影响下的可视弧长示意图。图中 $\angle HOF$ 为驾

驶人视野角度, C 点为内侧标线的切点,阴影区域为车灯照射范围,为了方便讨论和分析,将车灯照射范围近似为矩形且与道路同宽,即能够照射到车道边缘线。

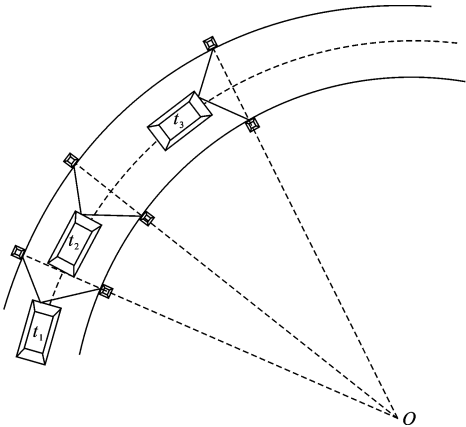


图 4 突起路标的横向位置关系

Fig. 4 Raised pavement markers' lateral position

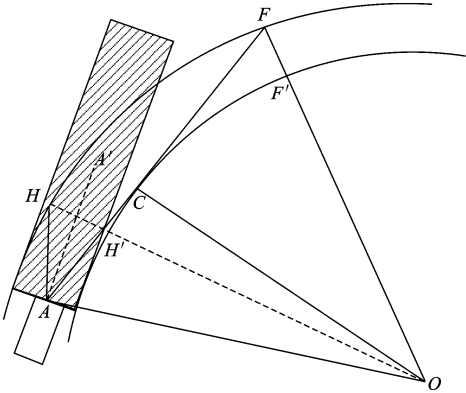


图 5 车灯影响下的驾驶人视野

Fig. 5 Drivers' vision under the influence of vehicle's light

夜间行车时,车辆转向时外侧的车灯照射范围比内侧大,按照白天驾驶人注视范围进行布设突起路标设置间隔,按照径向布设的规则在外侧标线上进行布设若能提供良好的曲率感知精度,则设置间隔能够满足夜间线形诱导的要求。

车灯照射距离一般为 127 m,驾驶人视野角度选取最不利情形对应角度,即车速 120 km/h 对应视野范围角度为 24° ,则 $\angle A'AF=12^\circ$ 。可得临界半径对应的线段 \overline{AC} 长度为

$$\overline{AC} = \frac{\overline{AA'}}{\angle A'AF} \tag{9}$$

$$(R + 0.5a_K - b_L)^2 - (R - 0.5w)^2 = \overline{AC}^2 \tag{10}$$

联立式(9)、式(10),并代入数值 $\overline{AA'} = 127\text{ m}$,可得临界半径为 3 715 m。即当圆曲线半径小于此临界半径时,按照圆曲线内侧标线可视弧长确定突起

路标设置间隔,能够满足夜间外侧可视圆曲线上出现相同个数或更多的突起路标,能够起到良好的线形诱导作用。所以,正常视野下的设置间隔能够满足夜间要求。

2.3 确定设置间隔

《道路交通标志和标线》(GB 5768. 3—2009)规定:突起路标配合路面标线使用时,应选用主动发光型或定向反光型,且颜色应与标线的颜色一致,布设间隔为 6~15 m,一般设置在虚线标线的空档中,也可根据实际情况适当加密。当突起路标配合边缘线和中心单实线使用时,突起路标应设置在标线一侧,且设置间隔应与在行车道分界线的设置间隔相同。

由于公路圆曲线实际半径并非与本文采取的数值一致,所以将圆曲线按最小值划分。根据曲率感知精度可知,可视范围内出现的突起路标越多,线形诱导效果越好,故选取范围内的最小间隔值作为此半径范围的突起路标设置间隔。结合道路标线的施工和维护的方便性,当圆曲线半径大于等于 700 m 时,可按照国标规范的 15 m 间隔,并在车道分隔线的空档中点进行设置;当圆曲线半径小于 700 m 时,按表 4 中的间隔值进行设置,车道边缘线上的突起路标和相邻车道分割线上的突起路标应在同一径线上。具体设置间隔如表 4 所示。

表 4 圆曲线半径对应的设置间隔

Tab. 4 Corresponding setting interval on circular curve radius						
圆曲线最小半径一般值范围/m	≥700	400~700	200~400	100~200	65~100	30~65
设置间隔/m	15.00	11.00	7.00	4.50	3.50	2.25

3 缓和曲线路段设置间隔

3.1 缓和曲线参数

缓和曲线连接在圆曲线的两端,常为回旋线,《公路路线设计规范》(JTG D20—2006)给出不同设计车速对应的最小长度,如表 5 所示。

表 5 缓和曲线上的设置间隔

Tab. 5 Setting interval on transition curve							
速度/(km·h ⁻¹)	120	100	80	60	40	30	20
圆曲线半径/m	1 000	700	400	200	100	65	30
S ₁	15.00	15.00	11.00	7.00	4.50	3.50	2.25
S ₂	15.150	15.150	11.110	7.070	4.545	3.535	2.273
S ₃	15.301 500	15.301 500	11.221 100	7.140 700	4.590 450	3.570 350	2.295 225
S ₄	15.454 520	15.454 520	11.333 310	7.212 107	4.636 355	3.606 054	2.318 177
S ₅	15.609 060	15.609 060	11.446 640	7.284 228	4.682 718	3.642 114	2.341 359
S ₆	15.765 150	15.765 150	11.561 110	7.357 070	4.729 545	3.678 535	2.364 773
S ₇	15.922 800	15.922 800	11.676 720	7.430 641	4.776 841	3.715 321	2.388 420

表 5 不同设计速度对应的缓和曲线最小长度

Tab. 5 Corresponding minimum length on transition curve under different design speeds

设计速度/(km·h ⁻¹)	120	100	80	60	40	30	20
圆曲线最小半径/m	1 000	700	400	200	100	65	30
缓和曲线长度/m	100	85	70	50	35	25	20

3.2 基于时间韦伯定律的设置间隔确定

为了有效促使驾驶人在缓和曲线上实现车辆减速,避免对驾驶人主观感受产生较大的刺激,本文基于时间韦伯定律对缓和曲线路段突起路标设置间隔进行确定。韦伯定律,即感觉的差别阈限随原来刺激量的变化而变化,而且表现为一定的规律性,用公式来表示,就是 $\Delta\Phi/\Phi = C$,其中 Φ 为原刺激量, $\Delta\Phi$ 为此时的差别阈限, C 为常数,又称为韦伯率。当韦伯率在 0.002~0.01 范围内时,驾驶人不会产生明显的刺激变化的感觉,本文选取韦伯率为 0.01 进行测算。

在第 1 个间隔的基础上,求得对应时间 t_1 ,则第 2 个间隔对应时间为

$$t_2 = t_1 + Ct_1 \tag{11}$$

第 2 个间隔为

$$S_2 = vt_1 \tag{12}$$

则第 i 个间隔为

$$S_i = v(1 + C)t_{i-1} \tag{13}$$

式中: v 为车速。

基于时间韦伯定律的间隔修正,主要是利用时间韦伯定律对缓和曲线上突起路标的设置间隔序列进行确定,使得间隔的变化规律符合时间韦伯定律。在实际施工建设中缓和曲线的长度不一,本文选取国标规范规定的最小长度进行计算,具体数值见表 5。突起路标布设间隔之和应在缓和曲线最小长度内,故在最小长度内布设 7 个突起路标,各序列间隔根据式(11)~式(13)进行求解,计算结果如表 6 所示,表中 S_1, S_2, \dots, S_7 分别为第 1 个,第 2 个, ..., 第 7 个间隔。

由表6可知,缓和曲线上的设置间隔与所接圆曲线间隔有关。根据设计速度120 km/h和100 km/h对应的2组数据,可知缓和曲线路段的设置间隔变化量与速度无关,只与初始间隔有关。由于每组数据变化量很小,考虑到实际施工的方便,缓和曲线路段设置间隔选取圆曲线设置间隔值,且布设形式与圆曲线一致,即车道内外两侧突起路标在同一半径线上。

4 结 语

(1)圆曲线上突起路标设置间隔与其半径有关,随着半径的增大设置间隔增大,临界半径为700 m,大于等于临界半径的圆曲线上突起路标设置间隔为15 m,并与车道分割线配合使用,设置在虚线空档中点位置;小于临界半径时,根据半径范围进行布设。

(2)圆曲线上车道内外两侧标线上的突起路标应在同一半径线上。

(3)缓和曲线上突起路标设置间隔和所接圆曲线半径有关,设置间隔序列变化只与圆曲线间隔有关,与圆曲线设计速度大小无关。由于缓和曲线上设置间隔变化很小,考虑到安装的方便性,缓和曲线上的设置间隔与圆曲线上设置间隔相同。

参考文献:

References:

- [1] Zwahlen H T, Park J Y. Curve radius perception accuracy as a function of number of delineation devices (Chevrons) [J]. Transportation Research Record, 1994(1495):99-106.
- [2] Hammond J L, Wegmann F J. Daytime effects of raised pavement markers on horizontal curves[J]. ITE Journal, 2001, 71(8):38-41.
- [3] Zwahlen H T, Schnell T. Minimum in-service retroreflectivity of pavement markings [J]. Transportation Research Record, 2000, 1715(1):60-70.
- [4] Wright P H, Zador P L, Park C Y, et al. Effect of pavement markers on nighttime crashes in Georgia [R]. Washington DC: Insurance Institute for Highway Safety, 1982.
- [5] Bahar G, Mollett C, Presaud B, et al. Safety evaluation of permanent raised pavement markers [J]. NCHRP Report, 2004(518):148-155.
- [6] Jiang Y. The effectiveness and criteria for placement of raised pavement markers (synthesis study) [R]. Indiana: Indiana Department of Transportation and Purdue University, 2006.
- [7] 程国柱, 胡立伟, 韩 娟. 高速公路驾驶员昼夜感知速度变化规律[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2012, 42(3):547-550.
CHENG Guo-zhu, HU Li-wei, HAN Juan. Variation rule of driver's perception speed on freeway during daytime and nighttime [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2012, 42(3):547-550. (in Chinese)
- [8] 孙 强. 高速公路安全设施设计优化方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
SUN Qiang. Study on the design optimization theory and method of freeway safety facilities [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. (in Chinese)
- [9] 朱顺应, 彭武雄, 王 红, 等. 突起路标合理设置的原则与方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(11):113-118.
ZHU Shun-ying, PENG Wu-xiong, WANG Hong, et al. Principles and methods of setting reasonable space between road studs [J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(11):113-118. (in Chinese)
- [10] 佴晓东, 谭南林, 戴明森. 司机的速度感与视觉疲劳 [J]. 人类工效学, 2000, 6(1):21-23.
NI Xiao-dong, TAN Nan-lin, DAI Ming-sen. Driver's sense of speed and visual fatigue [J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2000, 6(1):21-23. (in Chinese)
- [11] 周孝波. 基于视觉边缘率的高速公路弯道转向诱导设计方法及应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
ZHOU Xiao-bo. Approach and application of steering on freeway curve based on visual edge rate [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010. (in Chinese)
- [12] 孙琴梅. 基于视觉边缘率的驾驶员控速设计研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
SUN Qin-mei. Study of speed control design based on visual edge rate [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008. (in Chinese)