

# 高速公路隧道内轮廓标与路钮设置技术研究

李占甫<sup>1</sup>, 潘兵宏<sup>2,3</sup>, 韩雪艳<sup>2</sup>

(1.安徽省交通控股集团有限公司, 安徽 合肥 230088; 2.长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064;

3.长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 目前对隧道内部引导驾驶员视线的轮廓标及路钮的研究不够深入与全面, 规范也只给出了一个较大的间距设计范围。该文依据中频信息(包括轮廓标、路钮等设施)给驾驶员提供间隔的中等程度心理反应, 考虑不同速度下隧道横断面尺寸、隧道线形指标、侧墙效应引起的驾驶员在隧道内行车轨迹的偏移等对驾驶员视野范围的影响, 建立隧道内轮廓标与路钮间距计算模型, 选择最优间距设置值。结果表明, 直线路段与平曲线路段轮廓标与路钮设置间距计算模型不同, 平曲线路段不同半径下轮廓标与路钮设置间距最大相差可达 15 m。

**关键词:** 交通安全; 隧道; 直线路段; 平曲线路段; 轮廓标间距; 路钮间距

中图分类号: U491.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)01-0041-05

隧道内外光照强度的剧烈变化使驾驶员在通过隧道出入口时无法正确判断前方路况, 同时隧道内部视觉环境较单调, 易导致驾驶员产生视觉疲劳, 进而危害行车安全。因此, 在隧道内设置轮廓标与路钮等视觉诱导设施来改善驾驶员的视觉环境, 提高驾驶员注意力和速度感知特性, 对保障隧道出入口路段车辆运行安全具有重要意义。

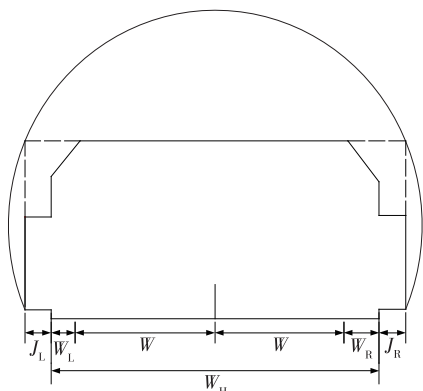
Giulio Dondi 等通过光敏受试试验分析发现隧道内的照明及轮廓标等重复性光信号会对驾驶员产生一定的“癫痫”作用, 有必要对这些光源的设置进行研究。Sara Nygardhsa 等研究了平曲线路段是否设置轮廓标对夜行车辆速度的影响, 同时发现在不同半径圆曲线路段上车辆的反应不尽相同。Hans Godthelp 等对夜晚道路作业区的特定轮廓标系统进行有效性分析, 得出轮廓标安装高度过大时其功能会大大降低、轮廓标形状对驾驶员感知特性有一定影响。Hozumi J. 等基于图像处理技术研究了隧道照明、路钮及轮廓标等光源设施分布与驾驶员眼动规律的关系。陈君朝等基于驾驶员的动态视认特性建立驾驶员心理特征和眼球运动之间的关系, 运用眼动仪采集眼动参数分析轮廓标的最佳设置方案; 同时从轮廓标的功能需求出发, 通过室外实车试验, 以驾驶行为与心理反应为评价标准得出高速公路上合理的轮廓标设置层数为 2 层。王春雨在分析眼动变化规律的基础上, 分析得出逆反射轮廓标的安装高度、间距等是影响驾驶员视认适宜性的重要因素, 并建立了逆反射轮廓标的设置高度模型。罗

红杰等通过对不同间距轮廓标设置方案进行主观存在视认性评价试验, 得出合理间距并应用于京石(北京—石家庄)高速公路改扩建工程。信志刚等以驾驶员瞳孔直径变化率为指标评价隧道路段的视觉舒适性, 通过逆反射轮廓标试验, 得出驾驶员在通过隧道路段时保持视觉负荷适中的轮廓标设置高度与间距。现有研究多集中在单一的间距与轮廓标的反光性能, 较少针对侧墙效应对驾驶员的影响及曲线路段不同半径下轮廓标的具体设置进行研究。为此, 该文基于隧道横断面尺寸、侧墙效应引起驾驶员行车轨迹偏移对轮廓标与路钮的设置间距进行分析, 建立直线路段与不同半径下平曲线路段轮廓标和路钮的设置间距计算模型。

## 1 轮廓标及路钮

(1) 逆反射轮廓标及路钮。依据 JTG/T D71—2004《公路隧道交通工程设计规范》, 轮廓标设置高度为 0.6 m, 为满足大型车驾驶员视线高度 1.8 m, 有必要在原有基础上进一步设置另一轮廓标, 其高度为 1.2 m。此外, 宜在隧道两旁检修道侧面的顶部安设轮廓标, 以便识别检修道轮廓。在路线两侧, 应在恰当位置布设路钮。

(2) 隧道横断面尺寸(见图 1)。虽然车辆在不同行驶速度下所需侧向距离及车道宽度可能有所不同, 但不会对整体计算结果产生明显影响。因此, 按照标准规定的设计速度 80 km/h 下隧道横断面尺寸进行设置。



$J_L$ 、 $J_R$  分别为隧道左、右侧检修道宽度; $W_L$ 、 $W_R$  分别为隧道左、右侧向距离; $W$  为隧道单车道宽度; $W_H$  为隧道整体横断面尺寸。

图1 隧道横断面尺寸示意图(单位:m)

## 2 直线路段轮廓标及路钮的设置间距

考虑到小型车的视线低于大型车,且视野范围较小,将其作为研究对象。由调查得出车辆左边缘距左侧车道边缘 0.7 m,驾驶员视线距车辆左侧边缘 0.5 m。由于车辆远光灯水平散射角通常小于驾驶员水平视野角,计算时水平方向以车辆远光灯水平散射角代替驾驶员水平视野角,其值为 $[-7.5^\circ, 7.5^\circ]$ 。同理,竖直方向以远光灯垂直散射角代替驾驶员垂直视野,一般不小于上下各  $5^\circ$ 。考虑到车辆远光灯能照射车辆前方 127 m 左右,且远光灯与车辆侧边缘距离不大于 0.4 m,该值取 0.4 m。驾驶员在直线路段的视野范围为图 2 中阴影部分。

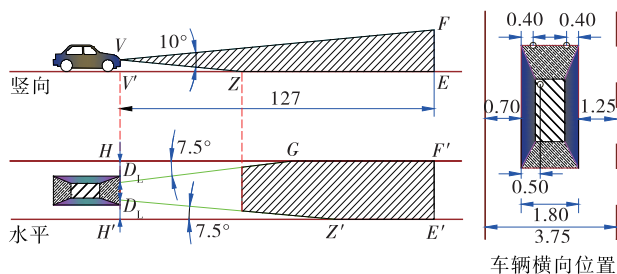


图2 直线路段人眼可视范围示意图(单位:m)

图 2 中驾驶员无法辨识阴影区域外的范围,即该区域为驾驶员的视野盲区,其中驾驶员水平及竖向视野盲区最大长度分别为:

$$H'Z'(HG) = \frac{D_L}{\tan 7.5^\circ} \quad (1)$$

$$V'Z' = \frac{V_C}{\tan 5^\circ} \quad (2)$$

式中: $D_L$  为车辆前灯与路钮(或轮廓标)间的横向距离(m),不同位置对应的  $D_L$  取值见表 1; $V_C$  为车

辆前灯的预计高度(m),小车为 0.5~1.2 m。

表1 隧道不同位置路钮和轮廓标对应的  $D_L$  值 m

设施名称	设置位置	$D_L$ 值
路钮	左	4.85
	右	5.40
轮廓标	左侧壁	6.10
	右侧壁	6.90
	左检修道	5.35
	右检修道	6.15

经比较,水平方向的视野盲区  $H'Z'(HG)$  大于竖向视野盲区  $V'Z'$ ,驾驶员视野盲区最大长度宜取  $H'Z'(HG)$ ,即  $Z'E'(GF')$  为驾驶员的可视距离。为使车辆正常行驶,需保证至少有 3~4 个轮廓标或路钮在驾驶员瞬时视野范围内以反映隧道内部路线走向。这里取 4 个,则直线路段隧道内轮廓标设置间距  $l$  为:

$$l = \frac{Z'E'(GF')}{4} = \frac{127 - D_L / \tan 7.5^\circ}{4} \quad (3)$$

根据式(3)得到的隧道两侧轮廓标与路钮设置间距(取整数)见表 2。

表2 直线路段路钮和轮廓标设置间距推荐值 m

设施名称	设置位置	设置间距
路钮	左侧	22
	右侧	21
轮廓标	左侧壁	20
	右侧壁	18
	左检修道	21
	右检修道	20

## 3 平曲线路段轮廓标及路钮的设置间距

### 3.1 右转曲线路段

车辆在隧道内平曲线路段行驶时,对于右转弯车辆,驾驶员可视区域为图 3 中阴影部分, $BZ'$  为驾驶员右侧的可视范围,弧  $GS$  为左侧的可视区域。对于车道分界线路钮,由于检修道等不会阻挡光线,与直线路段相比,其可视范围较长,其间距取直线路段设置间距。对于右侧路钮,其位置距离右侧检修道较近,考虑光线的阻挡与否计算结果几乎没有差别,因此仍按该模型进行求解。同理可得下文左转弯曲线路段对应的左侧路钮设置间距。

当车辆行驶在不同车道上时, $BZ'$  与  $GS$  长度不同,用较小可视弧长确定设置间距。计算弧  $BZ'$  的



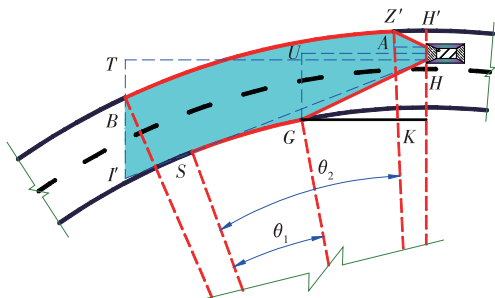


图4 左偏曲线路段驾驶员可视范围示意图(圆心O未标出)

由式(5)计算得隧道左偏情况下平曲线的最小半径应大于或等于 620 m。依据计算模型所得结论,隧道左偏曲线路段路钮及轮廓标的设置间距建议值见表 4。

#### 4 有源轮廓标设置间距

##### 4.1 驾驶员动态视野范围

视力为人眼分辨空间两物点间最小距离的能力,驾驶员在运动和静止过程中对应的视力分别为

表4 隧道左偏曲线路段各位置轮廓标和路钮设置间距

m

设施名称	设置位置	不同平曲线半径(m)下的设置间距									
		$\geq 1\ 700$	1 600	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800
轮廓标	左检修道	21	21	20	19	18	16	15	13	11	9
	左侧壁	20	20	20	19	18	16	14	13	10	7
路钮	左侧	22	21	20	19	18	16	15	14	12	10

动视力和静视力。经调查证实,车辆的运行速度越快,驾驶员的动视力下降越明显,动视力一般为静视力的 80%~90%,特殊条件下会降低至静视力的 60%~70%。因此,车速提高会导致驾驶员动视力下降,进而影响驾驶员对前方危险源的识别,最终对行车安全带来不利影响。

车辆运行速度增大会导致驾驶员水平视野减小和注视点前移(见表 5)。车辆高速运行的过程中,驾驶员会将注意力集中在前方车道中心处,由于路面占据驾驶员视野的绝大部分区域,驾驶员的空间感知能力下降,最终影响驾驶员对景观及道路两侧标志等信息的获取。

表5 不同车速下驾驶员水平视野及注视距离

车速/(km·h <sup>-1</sup> )	视野/(°)	注视点/m
100	40	564
80	60	377
60	86	335
40	100	180

##### 4.2 有源轮廓标设置

为更清晰地显示隧道检修道的轮廓和诱导驾驶

员视线,隧道检修道上常设置一层有源轮廓标(见图 5),其可视距离为 200~500 m。



图5 隧道内有源轮廓标

有源轮廓标自身可作为光源照明,驾驶员在隧道内的可视距离不再由远光灯的照射距离决定,因此其纵向间距宜以行进速度下驾驶员动视野范围作为水平视野范围,驾驶员视线与有源轮廓标布设位置的横向距离为  $d_1$ 。由此计算得有源轮廓标设置间距建议值见表 6 和表 7。

表6 直线路段有源轮廓标设置间距建议值

m

设置位置	设置间距
左检修道	40
右检修道	38

表7 曲线路段有源轮廓标设置间距建议值

m

设置位置	不同平曲线半径(m)下的设置间距											
	$\geq 2\ 400$	2 200	2 000	1 800	1 600	1 400	1 200	1 000	800	600	400	200
左检修道(左偏)	40	39	37	35	32	30	28	25	22	19	15	9
右检修道(右偏)	38	38	38	38	36	34	31	28	25	21	16	10

## 5 结论

该文对隧道内驾驶员视野环境进行分析,研究隧道横断面尺寸、侧墙效应对车辆行驶轨迹偏移的影响,建立隧道内路钮与轮廓标在不同线形条件下的设置间距计算模型,并提出直线路段与不同半径下曲线路段轮廓标与路钮的设置间距建议值。主要研究结论如下:

(1) JTG D71—2004《公路隧道交通工程设计规范》规定隧道内轮廓标设置间距宜为6~15 m,范围大,过于简单,使轮廓标间距设置过于灵活,导致部分路段轮廓标的设置不能连续、正确地引导驾驶员视线。

(2) 直线路段轮廓标与路钮的设置间距与隧道横断面尺寸和侧墙效应有关,侧墙效应导致隧道左侧壁路钮与轮廓标的设置间距最大值比右侧壁大。

(3) 平曲线路段路钮与轮廓标的设置间距与曲线转向相关,对于右(左)偏曲线,左(右)侧路钮与轮廓标的间距按照直线路段设置;右(左)侧路钮与轮廓标的间距在不同曲线半径下相差可达14 m,需考虑圆曲线半径的影响。

### 参考文献:

- [1] 黄静.高速公路隧道驾驶员注视点分布特征分析[J].交通科技,2010(1).
- [2] 韩飒.山区高速公路隧道路段驾驶员眼动特性研究[D].西安:长安大学,2008.
- [3] 杜志刚,潘晓东,郭雪斌.公路隧道进出口行车安全的视觉适应指标[J].华南理工大学学报:自然科学版,2007,35(7).
- [4] 张志红.隧道照明控制与节能技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2007.
- [5] 苏文英,李丹.道路交通标志逆反射性能与夜间视认性[J].公路交通科技,2009,26(2).
- [6] 郑安文,牛倬民.高速公路静态交通标志设置科学性分析[J].交通运输工程学报,2002,2(4).
- [7] 苏文英,李丹,王振华.旋转角对道路交通逆反射材料测试的影响研究[J].公路交通科技,2011,28(1).
- [8] 唐铮铮.公路反光标志夜间可见性研究[J].公路交通科技,1997,14(9).
- [9] 姜明,张帆,黎峰.自然环境中指路标志反光膜逆反射系数衰减规律[J].公路交通科技,2012,29(3).
- [10] 王伟.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).
- [11] Giulio Dondi, Valeria Vignali, Claudio Lantieri. Effects

of flickering seizures on road drivers and passengers[J].Procedia-Social and Behavioral Sciences,2012,53.

- [12] Sara Nygardhsa, Sven-Olof Lundkvist, Jan Andersson. The effect of different delineator post configurations on driver speed in night-time traffic; a driving simulator study[J].Accident Analysis & Prevention,2014,72.
- [13] Hans Godthelp, Johan B J Riemersma. Perception of delineation devices in road work zones during night-time[A].SAE International Congress and Exposition[C].1982.
- [14] Hozumi J, Sato M. Evaluation of visual environment in-tunnel by image processing[A].Intelligent Transportation; Realizing the Future. Abstracts of the Third World Congress on Intelligent Transport Systems[C].1996.
- [15] 陈君朝,陈峰.基于驾驶视觉特性的隧道内反光轮廓标设置方案研究[J].公路交通科技:应用技术版,2018(5).
- [16] 王春雨.隧道路段驾驶员视觉安全技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.
- [17] 陈君朝.高速公路轮廓标设置层次研究[J].公路交通科技:应用技术版,2015(1).
- [18] 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).
- [19] 信志刚,王春雨,高建平.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).
- [20] JTG/T D71—2004,公路隧道交通工程设计规范[S].
- [21] 赵永平.螺旋展线在山区高速公路中的应用研究[D].西安:长安大学,2008.
- [22] 彭武雄.驾驶人视线诱导设施设置合理间距研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [23] GB 4785—1998,汽车和挂车外部照明及信号装置的安装规定[S].
- [24] 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.
- [25] 张本友,范杰,陶华.山区高速公路隧道安全设计中典型问题及对策[J].公路与汽运,2010(3).
- [26] 尚婷,张勃,白婧荣.基于驾驶员视觉特性的道路视错觉控速标线关键参数[J].科学技术与工程,2018,18(18).
- [27] 田晶晶,李世武,孙文财,等.高速公路隧道环境对驾驶员注视特性的影响[J].江苏大学学报:自然科学版,2016,37(3).
- [28] 李文权,王伟.高速公路路侧标志设置问题[J].东南大学学报:自然科学版,2007,37(1).

收稿日期:2018—10—12