

文章编号:1671-8879(2012)03-0017-07

高速公路隧道出入口过渡段的合理长度

张 驰¹, 杨少伟¹, 于会江², 任春宁¹

(1. 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;

2. 越秀(中国)交通基建投资有限公司, 广东 广州 510070)

摘 要:分析了隧道内外侧向宽度值的相关规定,在实测的基础上研究了车辆在隧道出入口运行速度和侧向余宽变化,建立了速度和侧向余宽变化与过渡段长度之间的关系,提出了过渡段合理过渡时间及渐变率。结合数理统计中大样本参数区间估计计算理论,通过对断面速度和断面侧向余宽值的统计推断,提出了隧道出入口过渡段长度的计算方法,得出隧道出口的过渡段长度要比入口的过渡段长度要短,隧道入口段的过渡段长度受线形指标影响较大,而出口段则受影响较小。建议过渡段的渐变率区间宜保持为 $[1/75, 1/35]$,为有效检验隧道出入口交通安全设施设置的合理性提供了定量分析手段。

关键词:道路工程;隧道洞口;过渡段长度;侧向余宽;参数估计

中图分类号:U411

文献标志码:A

Reasonable length of transition section at expressway tunnel entrance and exit

ZHANG Chi¹, YANG Shao-wei¹, YU Hui-jiang², REN Chun-ning¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Yuexiu(China) Transport

Infrastructure Investment Co Ltd, Guangzhou 510070, Guangdong, China)

Abstract: The lateral width of tunnel's inside and outside in some specifications was analyzed, the variation of vehicles' speed and lateral clearance was studied based on the actual measurement, the relationship between the change of speed and lateral clearance with transition length was established, then the transition time and gradient rate were proposed. According to the theory of large sample interval estimation of parameters in mathematical statistics, the calculation methods on transition time and gradient rate of transition length at tunnel entrance and exit were presented by the statistical inference of the section speed and section lateral wide value. The conclusions show that the reasonable length at tunnel exit is longer than tunnel entrance, and the transition section length of tunnel entrances are more influenced by alignment index than the exit section, the gradient rate should be kept between $1/75$ and $1/35$. This study provides a quantitative analysis method to evaluate the rationality of traffic safety facilities on the tunnel entrances. 4 tabs, 4 figs, 14 refs.

收稿日期:2011-10-20

基金项目:教育部创新团队发展计划资助项目(IRT1050);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2011TD002, CHD2011JC048, CHD2012JC091)

作者简介:张 驰(1981-),男,四川宜宾人,工程师,工学博士, E-mail: zhangchi@chd.edu.cn。

Key words: road engineering; tunnel entrance and exit; transition length; lateral clearance; parameter estimation

0 引言

近年来,中国高速公路建设规模的不断扩大,特别是山区高速公路的增长速度明显加快,随之产生大量的桥隧结构物的建设工程^[1]。为了节省隧道的工程造价,一般采取压缩隧道路段横断面宽度的方法,使得净空断面与桥梁、路基横断面宽度不一致,隧道出入口行车环境发生了较大的变化,再加上驾驶人驾驶车辆在进出隧道出入口时视觉系统会发生很大的变化,大大降低了隧道行车的安全性^[2]。国内外相关资料表明,在隧道洞口交通事故比例较大,往往成为道路的事故黑点^[3-4]。而设置合理过渡段长度的隧道出入口,则可保证驾驶人驾驶车辆在进出隧道前后视觉的连续性和车辆安全行驶速度变化的需求。因此,对隧道出入口过渡段合理长度的研究已引起了人们的广泛关注。

针对隧道出入口过渡段,国内外学者进行了大量的研究。黄仁基通过对隧道洞口段事故原因的分析,提出了设置隧道洞口过渡段的设想,但对过渡段长度的合理取值没做具体分析,应用性不强^[5]。王琰等针对隧道进出口区域的运行环境过渡特征,提出了隧道进出口线形过渡指标,在理论分析的基础上,通过对实测数据分析,建立了隧道出入口线形过渡技术指标与运行车速差的二元回归关系模型,并提出了基于安全的隧道出入口区域线形设计的建议值;该建议值只是从运行车辆在隧道出入口运行速度变化的角度,提出了出入口前后线性指标的变化范围,对隧道出入口前后过渡段的合理长度值没有明确提出^[6]。阎莹等通过对隧道出入口车辆运行速度变化特征及线形过渡的分析,建立了线形过渡综合指标与运行速度差的关系模型,但对出入口过渡段的长度与运行速度变化之间的关系还未做出进一步的探讨^[7]。杨轸等应用自行开发的三轴加速度仪,对某高速公路的 18 条隧道的出入口的车速变化进行测量,分析了隧道出入口车速变化的一般规律,提出了道路线形对车速变化的影响,这对洞口过渡段的合理长度值的设置具有很好指导意义,但对洞口过渡段长度的取值与道路线形及车速之间的关系未作进一步的探讨,只能从定性的角度来初步的分析判断过渡段长度与运行车辆车速和线形之间的关系^[8]。易震宇通过研究隧道洞口平纵横设计参数与行车安全的关系,探讨了车辆侧移的主要原因,提出

了改善隧道行车安全的相关设计建议,但相关建议都是针对降低侧移量的,对驾驶人驾驶车辆由于道路环境的变化而引起的侧向偏移量未做分析研究^[9]。宋安宁通过对车辆在穿越隧道时的速度变化研究,分析了车辆运行速度与横向偏移量之间的关系,提出了合理隧道横断面尺寸的建议值,但对隧道与桥梁、路基之间横断面宽度衔接过渡未作进一步研究,适用性有限^[10]。Jurado-Pina R 等通过对隧道洞口内外太阳光照对驾驶人的视觉影响的研究,表明隧道洞口应设置一定的过渡段,可有效地改善隧道出入口处的交通安全,但对隧道出入口过渡段的设置未做进一步的研究^[11]。有关标准规范及设计手册规定,洞口外与之相连接的路段,应设置距洞口不小 3 s 和 4 s 的设计速度,且行程长度不小于 50 m 的过渡段,以保持横断面过渡的顺适,通常根据设计车速设计成 1:25~1:50 的楔形过渡段^[12]。《新理念公路设计指南(2005 版)》规定,在隧道与洞外连接道路之间过渡段的长度,也可设 2 s 设计速度行程长度过渡段与隧道洞口衔接,连接线的路基宽度一般仍按公路标准设计,通过护栏实现过渡。

另外,从定性的角度来看,根据隧道出入口车辆行驶特性与道路环境的关系可知:隧道出入口线形越有利于运行车辆驶出、驶入隧道,过渡衔接段的长度值则越长,反之则越短;而且由于隧道出入口加速度特性不一样,出口过渡段长度在同等水平下,宜比入口处要短。

综上所述,关于隧道出入口过渡段的合理长度研究,目前尚处在初步探索的阶段,对不同线形路段的隧道出入口的过渡段合理长度的确定,均停留在定性分析的范畴。虽然已有不少学者对隧道出入口过渡段的线形指标、车辆运行速度变化、运行轨迹偏移变化及其与道路线形之间关系等做了大量的研究,但是均未对隧道出入口过渡段的合理长度值的确定提出明确的计算方法和建议值。规范中虽对这一长度提出了相对明确的概念,但较为笼统概括,不同的道路线形驾驶人驾驶车辆运行的特征是不同的,设计过程中不能对此一概而论。为此,本文在已有分析研究的基础上,通过对不同隧道出入口车辆的速度变化和侧向偏移值的测定,提出基于速度变化和基于车辆侧向偏移值变化的隧道过渡段合理长度值确定方法;综合应用数理统计的知识,确定了过渡段合理长度值的上下限,并结合不同道路线形技

术指标,提出了隧道洞口过渡段的合理长度建议值。

1 数据的采集

通过采集高速公路隧道出入口衔接段上车辆的行驶速度和外侧边线余宽(右后轮到行车道外边线的距离,即驾驶人心理上的侧向安全距离,充足的侧向安全距离对保证驾驶人安全行驶有着直接的联系),进行隧道出入口过渡段合理长度的研究。

根据试验的要求,在理想的道路交通条件下,即气候条件良好,高速公路自由流状态,车辆运行只受道路空间环境本身的影响,不考虑标志标线等对驾驶人行为影响的前提下,研究车辆速度和外侧边线余宽的变化规律。试验地点的选择,能基本涵盖高速公路隧道出入口纵坡和平曲线半径的各种不同的平纵线形组合。主要试验仪器有内存为80 G、镜头为CCD的摄像机,长度为1 m的刻度模板,白色自喷漆和手持式雷达测速仪。

由于不同车型之间动力性能、制动性能及外形体积轮廓的差异,选用长度不大于6 m、宽度不大于1.8 m、高度不大于2 m的小型车作为车辆行驶速度变化的代表车辆;选用总长大于12 m、总宽大于2.5 m、总高大于4 m的大型车辆作为外侧边线余宽变化分析的代表车辆^[13]。试验断面的选取,通常先在隧道出入口选取3~4个断面,分别测定并记录其速度值,经过分析绘图后,确定出能反映运行车辆在隧道出入口速度和侧向偏移变化规律的断面作为试验断面。为了达到分析所需样本量的目的,每种车型、每个断面至少测量50组数据。为了确保获取数据的准确性,每个试验断面由两个人负责。并且要注意,在试验过程中不能影响汽车的正常行驶,应避免汽车驾驶人因看见试验人员和设备而产生警戒心理,引起驾驶行为异常。

试验方案是根据试验需求和驾驶人驾驶车辆在隧道出入口的速度变化与侧向偏移规律变化特征来设计,并采用断面观测的试验法。试验步骤如下。

(1)在高速公路管理处路政车辆引导、道路上行车避让的情况下,试验员在行车道上的试验横断面上用刻度模板喷画出尺寸刻度,喷画长度为2 m。

(2)以能清晰拍摄汽车通过尺寸刻度的情况为准,在道路右侧护栏外或隧道顶部的合适位置架设摄像机,试验人员用雷达测速仪测出每一个通过尺寸刻度的车速,并由专门的记录人员对其进行记录;对于驾驶异常的车辆应大声呼喊,予以说明,并通过摄像机录制,以供内部作业分析采用。

(3)将实测工作的影像资料导入电脑进行播放,

在有车辆通过时将影像资料按帧播放,根据摄像机的录音资料确定汽车的车型,并根据刻度读取横向距离。

2 隧道出入口车速和侧向偏移值

2.1 试验隧道

选用西长(西安—长武)高速公路永寿梁隧道和六十里梁隧道,设计车速为80 km/h,双向4车道。永寿梁隧道净高为5 m,净宽为10.5 m,右线(上行线)长为2 196 m,隧道入口处的平面线形为6 000 m的大半径圆曲线,纵坡为1.85%;左线(下行线)长为2 225 m,隧道出口处为直线,纵坡为1%。六十里梁隧道右线(上行线)长为760 m,隧道出口处的平面线形为700 m的圆曲线,纵坡为2.5%;左线(下行线)长为780 m,隧道入口处的平面线形为780 m的圆曲线,纵坡为-2.5%。

2.2 试验过程及数据分析

2.2.1 试验过程

根据隧道出入口圆曲线半径和相关技术指标,选择西长高速公路上永寿梁隧道上行入口、下行出口和六十里梁隧道洞口上行出口、下行入口4个隧道出入口衔接段为研究对象。在隧道出入口分析断面的适当地点安置摄像机,记录大型车辆通过该断面的侧向余宽值,以供室内作业人员分析处理;同时,在小型车辆通过试验断面时,用雷达测速仪测定车辆的速度,并进行记录。通过试验调查,得出永寿梁和六十里梁隧道出入口小型车辆速度分布和大型车辆侧向余宽分布。

永寿梁隧道上行入口、下行出口小车速度和大车侧向余宽分布,如下页图1、图2所示。

六十里梁隧道上行出口、下行入口小车速度和大车侧向余宽分布,如下页图3、图4所示。

2.2.2 数据分析方法

应用上述统计数据,根据数理统计中大样本参数估计理论,对目标参数值(断面速度和断面侧向余宽值)做统计推断^[14]。

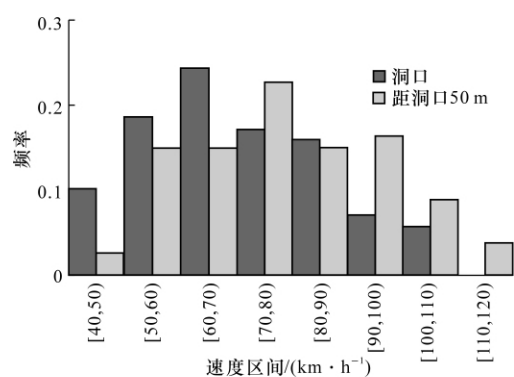
(1)用统计数据的样本均值 $\bar{X}$ 和样本方差 S^2 作为目标参数值的定点估计值

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

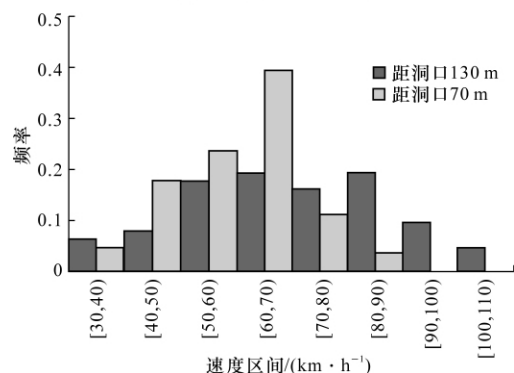
$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

式中: x_i 为样本 i 的观测值; n 为样本数量。

(2)在置信概率 P 为 $1-\alpha=95\%$ 时,计算各断面的目标值落在置信区间的上下限值。

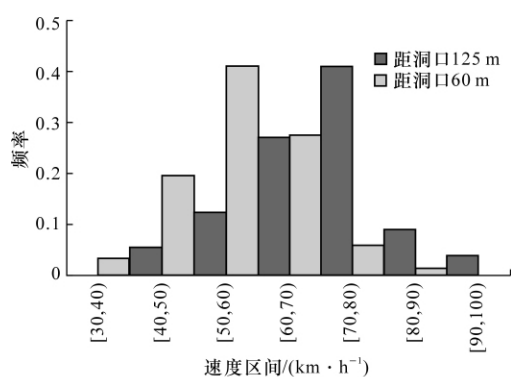


(a) 永寿梁隧道下行出口

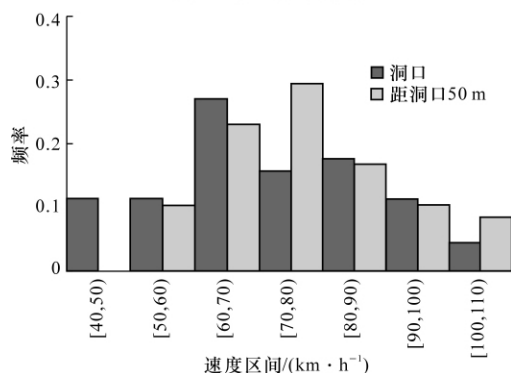


(b) 永寿梁隧道上行入口

图1 永寿梁隧道出入口断面小车速度分布

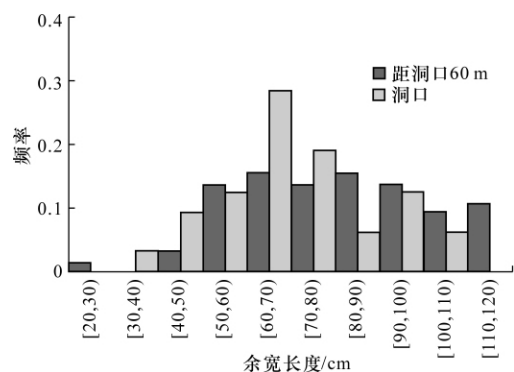


(a) 六十里梁隧道下行入口

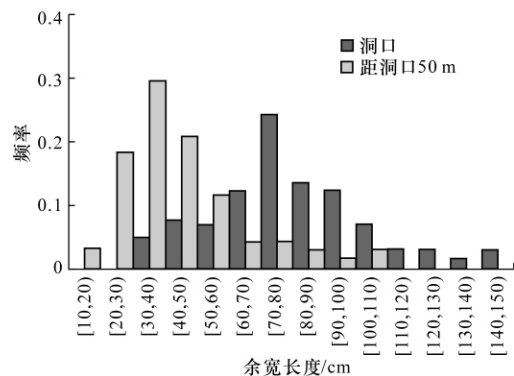


(b) 六十里梁隧道上行出口

图3 六十里梁隧道出入口断面小车速度分布

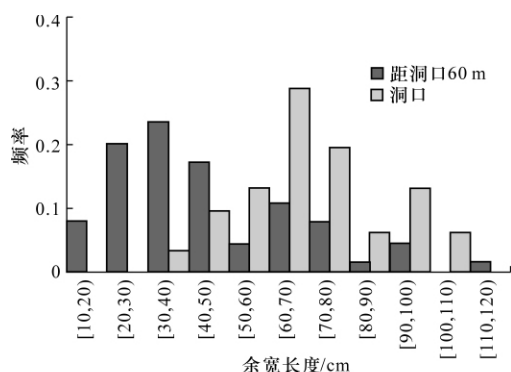


(a) 永寿梁隧道上行入口

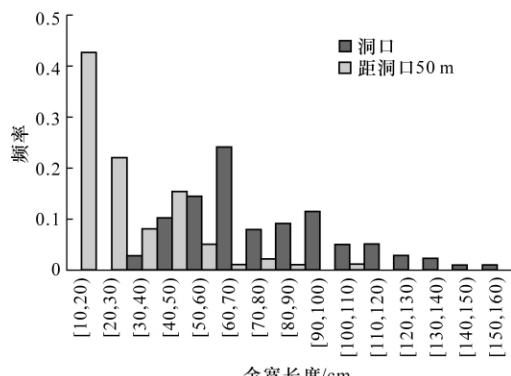


(b) 永寿梁隧道下行出口

图2 永寿梁隧道出入口断面大车侧向余宽分布



(a) 六十里梁隧道下行入口



(b) 六十里梁隧道上行出口

图4 六十里梁隧道出入口断面大车侧向余宽分布

$$P\left\{\left|\frac{\bar{X}-\mu}{S/\sqrt{n}}\right|\leq U_{\frac{\alpha}{2}}\right\}=1-\alpha \quad (3)$$

$$\text{置信区间为 } (\bar{X}-U_{\frac{\alpha}{2}}\frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{X}+U_{\frac{\alpha}{2}}\frac{S}{\sqrt{n}})$$

$$P\left\{\left|\frac{(\bar{X}_2 - \bar{X}_1) - (\mu_2 - \mu_1)}{\sqrt{(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)}}\right| \leq U_{\frac{\alpha}{2}}\right\} = 1 - \alpha \quad (4)$$

$$\text{置信区间为} \left[(\bar{X}_2 - \bar{X}_1) - U_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)}, (\bar{X}_2 - \bar{X}_1) + U_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)} \right]$$

式中: μ 为总体均值; $\bar{X}_1$ 、 $\bar{X}_2$ 、 S_1^2 、 S_2^2 分别为不同样本的样本均值估计值及其样本方差; $U_{\frac{\alpha}{2}}$ 、 α 均为与置信水平对应的参数值。

(3) 根据各断面速度和侧向余宽本身的特点, 计算路段加速度值和过渡时间及断面侧向余宽的变化率。

加速度 a 的计算公式为

$$a = \frac{\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2}{2s} \quad (5)$$

入口路段过渡时间 t_1 为

$$t_1 = \frac{s}{\bar{v}} \quad (6)$$

出口路段过渡时间 t_2 为

$$t_2 = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{a} \quad (7)$$

侧向余宽渐变率 $1/X$ 为

$$\frac{1}{X} = \frac{\bar{d}_2 - \bar{d}_1 + \Delta d}{s} \quad (8)$$

式中: $\bar{v}_1$ 、 $\bar{v}_2$ 分别为不同断面的速度估计值; $\bar{d}_1$ 、 $\bar{d}_2$ 分别为不同断面的侧向安全距离估计值; s 为过渡段的长度; Δd 为洞口侧向余宽修正值。

由于试验路段本身已经设置了一定长度的过渡段, 在隧道出入口处的侧向余宽应在实测值的基础上加上因过渡段的设置而抵消的宽度。在本文中试验路段的设计速度为 80 km/h, 对应的洞外硬路肩宽度为 2.50 m, 洞内为 0.75 m, 相差 1.75 m, 取 Δd

为 0.75 m。

2.3 数据分析结果

(1) 基于速度变化的过渡段合理长度值的确定。

基于隧道出入口速度变化分析可知, 过渡时间越短, 隧道出入口过渡段的长度则越小, 反之则越大, 说明驾驶人驾驶车辆只要在较短的时间内就可适应隧道出入口处道路环境的各种变化。六十里梁隧道入口的平均过渡时间为 3.8 s, 出口为 2.4 s; 永寿梁隧道入口的平均过渡时间为 4.2 s, 出口为 2.4 s。隧道入口的过渡时间均大于出口, 这说明隧道入口过渡段的合理长度值要大于出口。分析结果见表 1、表 2。根据 2004 年交通运输部颁布的《公路项目安全性评价指南》中的车辆运行速度与设计速度之间的关系, 两隧道的行车速度取 95 km/h, 根据运行速度计算得出六十里梁隧道入口的过渡段合理长度为 100.28 m, 取整为 100 m, 出口的合理长度为 63.33 m, 取整为 65 m; 永寿梁隧道入口的过渡段合理长度为 110.83 m, 取整为 110 m, 出口的合理长度为 63.33 m, 取整为 65 m。从隧道入口来看, 六十里梁隧道的平均过渡时间为 3.8 s, 小于永寿梁隧道的 4.2 s, 这是由于六十里梁隧道的线形技术指标低于永寿梁隧道; 从隧道出口来看, 六十里梁隧道和永寿梁隧道的过渡时间都为 2.4 s, 即过渡段的合理长度取相同的值, 与两隧道出口处的线形技术指标关系不大, 且过渡时间变化幅度较为集中, 仅为入口处的一半。

(2) 基于侧向安全距离的过渡段合理长度值。

基于侧向安全距离变化分析可知, 渐变率越大, 过渡段的长度越小, 说明隧道出入口只要较短的长度即可满足车辆安全行驶的需求。分析结果见下页表 3 和表 4。六十里梁隧道出口平均渐变率为 1/37.57,

表 1 隧道入口速度变化及过渡时间分析

名称	六十里梁隧道入口				永寿梁隧道入口			
	距洞口 125 m 处 速度/(m·s ⁻¹)	距洞口 60 m 处 速度/(m·s ⁻¹)	加速度/ (m·s ⁻²)	过渡时 间/s	距洞口 130 m 处 速度/(m·s ⁻¹)	距洞口 70 m 处 速度/(m·s ⁻¹)	加速度/ (m·s ⁻²)	过渡时 间/s
平均值	19.37	15.79	0.97	3.8	19.42	16.51	0.87	4.2
速度上限	20.18	16.45	1.05	3.6	20.68	17.29	1.07	4.0
速度下限	18.55	15.13	0.89	4.0	18.16	15.73	0.69	4.4

表 2 隧道出口速度变化及过渡时间分析

名称	六十里梁隧道出口				永寿梁隧道出口			
	洞口速度/ (m·s ⁻¹)	距洞口 50 m 处 速度/(m·s ⁻¹)	加速度/ (m·s ⁻²)	过渡时 间/s	洞口速度/ (m·s ⁻¹)	距洞口 50 m 处 速度/(m·s ⁻¹)	加速度/ (m·s ⁻²)	过渡时 间/s
平均值	20.01	21.37	0.56	2.4	19.59	21.85	0.94	2.4
速度上限	20.97	22.16	0.51	2.3	20.66	22.93	0.99	2.3
速度下限	19.06	20.57	0.60	2.5	18.51	20.78	0.89	2.5

表 3 隧道入口侧向安全距离变化分析

名称	六十里梁隧道入口			永寿梁隧道入口		
	距离洞口 60 m 处/cm	洞口/ cm	渐变率	距离洞口 60 m 处/cm	洞口/ cm	渐变率
均值	40.18	143.77		57.33	146.67	
方差	307.11	213.61		353.55	273.12	
平均差值	102.90		1/58.31	89.33		1/67.17
差值上限	108.97		1/55.06	95.67		1/62.72
差值下限	96.83		1/61.96	83.00		1/72.29

表 4 隧道出口侧向安全距离变化分析

名称	六十里梁隧道出口			永寿梁隧道出口		
	洞口/ cm	距离洞口 60 m 处/cm	渐变率	洞口/ cm	距离洞口 60 m 处/cm	渐变率
均值	151.58	19.211		119.29	45.22	
方差	686.98	319.11		621.10	380.92	
平均差值	132.37		1/37.57	110.57		1/45.22
差值上限	138.75		1/36.04	117.21		1/42.66
差值下限	125.99		1/39.69	103.93		1/48.11

取整为 1/40, 大于入口平均渐变率 1/58.31, 取整为 1/60; 永寿梁隧道出口平均渐变率为 1/45.22, 取整为 1/45, 大于入口平均渐变率 1/67.17, 取整为 1/70, 即隧道出口过渡段的长度应小于入口。由前述可知, 两隧道洞内外横断面宽度的差值为 $2.5 - 0.75 = 1.75$ m, 则六十里梁隧道出入口过渡段的合理长度分别为 70 m 和 105 m; 永寿梁隧道出入口过渡段的合理长度分别为 78.75 m 和 122.5 m, 取整为 80 m 和 125 m。

另外, 从隧道入口来看, 六十里梁隧道的平均渐变率大于永寿梁隧道, 过渡段的合理长度为 105 m, 小于永寿梁隧道的 125 m, 这是由于六十里梁隧道入口过渡衔接段的线形技术指标低于永寿梁隧道; 从隧道出口来看, 六十里梁隧道的平均渐变率大于永寿梁隧道, 过渡段的合理长度值前者为 70 m, 小于后者的 80 m, 由此表明, 在隧道出口过渡段的合理长度值同样会受到出口线形技术指标的影响, 但是影响程度较小, 二者的过渡段长度相差较小。

3 隧道出入口过渡段的合理长度

根据速度和侧向安全距离的变化分析和隧道出入口的线形技术指标, 对隧道出入口过渡段的合理长度的取值建议如下。

(1) 隧道出入口过渡段的长度应在基于速度和侧向安全距离变化分析的基础上综合确定。

六十里梁隧道, 出口过渡段基于速度变化分析的合理长度值为 65 m, 基于侧向安全距离变化的过

渡段合理长度值为 70 m, 出于对安全的考虑, 取 70 m 作为其隧道出口过渡段的长度值; 入口过渡段基于速度变化分析的合理长度为 100 m, 基于侧向安全距离变化的合理长度值为 105 m, 可取 105 m 作为隧道入口过渡段的长度值。永寿梁隧道, 出口过渡段基于速度变化分析的合理长度值为 65 m, 基于侧向安全距离变化的过渡段合理长度值为 80 m, 出于对安全的考虑, 取 80 m 作为其隧道出口过渡段的长度值; 入口过渡段基于速度变化分析的合理长度为 110 m, 基于侧向安全距离变化分析的合理长度值为 125 m, 综合二者, 取 125 m 作为隧道入口过渡段的长度值。

(2) 在保证车辆安全行驶的基础上, 隧道出入口过渡段长度设计可在一个适当的范围内灵活变动。

从基于速度变化的分析看, 隧道入口处过渡段的过渡时间, 六十里梁隧道应保持在 $[3.6, 4.0]$ s 区间内, 永寿梁隧道应保持在 $[4.0, 4.4]$ s 区间内; 隧道出口处过渡段的过渡时间两隧道都应保持在 $[2.3, 2.5]$ s。从侧向宽度变化分析来看, 六十里梁隧道入口过渡段渐变率区间为 $[1/61.96, 1/55.06]$, 取整为 $[1/65, 1/50]$, 出口渐变率区间为 $[1/40, 1/35]$; 永寿梁隧道入口过渡段渐变率区间为 $[1/75, 1/60]$, 出口渐变率区间为 $[1/50, 1/40]$ 。由此可看出, 在隧道出入口过渡段长度的设置上, 应根据路段的线形技术指标区别设置, 不应局限于规范的规定值。

(3) 一般情况下, 隧道出口的过渡段长度要比隧道入口的过渡段长度短。

六十里梁隧道出口过渡段长度为 70 m, 入口过渡段长度为 110 m; 永寿梁隧道出口过渡段的长度为 70 m, 入口过渡段长度为 125 m。这也说明, 驾驶人在驶出隧道时对道路环境的适应性比驶入隧道要快, 验证了心理学上驾驶人明适应较暗适应的时间短的这一理论。

(4) 隧道入口段、过渡段的长度受入口线形技术指标的影响较大, 线形技术指标越低, 过渡段的合理长度值越短, 反之则越长。

从调查的六十里梁隧道和永寿梁隧道的各种数据中可看出, 前者的线形技术指标较后者差, 而过渡段的合理长度值前者为 110 m, 小于后者的 125 m。这是由于在线形技术指标较差的条件下, 驾驶人会由于道路本身的条件而减速, 为安全行驶提供了充分的条件。

(5) 隧道出口段、过渡段的长度受出口线形技术指标的影响较小。

在基于速度变化分析的基础上,六十里梁隧道和永寿梁隧道出口过渡段的长度满足运行速度2.5 s的行程,即可保证车辆的安全行驶;从侧向安全距离分析看,二者的合理过渡段长度值仅差10 m,与隧道出口的线形技术指标没有直接必然的联系。这是由于,车辆在隧道内行驶时,车速较隧道外要低,驾驶人的警惕性也较高,安全行驶的可靠度也较高。

4 结 语

(1)应用数理统计的区间估计理论,提出的基于车辆运行速度变化和侧向安全距离变化的隧道出入口过渡段合理长度的确定方法,能较好地体现驾驶人驾驶车辆在隧道出入口衔接段处的运行特征。

(2)隧道出入口过渡段合理长度的确定方法,一方面,从定量的角度分析了车辆在运行中由于隧道断面的变窄而引起的运行轨迹的变化,为过渡段的设置提供了很好指导作用;另一方面,可以有效地检验隧道出入口交通安全设施设置的合理性。

(3)本文的研究结果,可为特殊线形路段隧道出入口过渡段合理长度的设置提供有效的计算方法,设计者可根据各隧道的实际道路环境,对隧道出入口衔接过渡段的合理长度值进行设置,而不受限于规范规定的取值。

参考文献:

References:

- [1] 杜 坤. 长大隧道驾驶员心理研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
- [2] 杜志刚, 潘晓东, 杨 轸, 等. 高速公路隧道进出口视觉震荡与行车安全研究[J]. 中国公路学报, 2007, 20(5): 101-105.
DU Zhi-gang, PAN Xiao-dong, YAN Zhen, et al. Research on visual turbulence and driving safety of freeway tunnel entrance and exit[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(5): 101-105.
- [3] 张生瑞, 马壮林. 高速公路隧道交通环境评价指标体系[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(2): 77-80.
ZHANG Sheng-rui, MA Zhuang-lin. Evaluation indices for traffic environment of expressway tunnel[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(2): 77-80.
- [4] Dumbuya A D, Wood R L. Visual perception modeling for intelligent virtual driver agents in synthetic driving simulation[J]. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 2003(15): 73-102.

- [5] 黄仁基. 高速公路隧道洞口过渡段设计探讨[J]. 湖南交通科技, 2005, 31(3): 98-100.
HUANG Ren-ji. A study on design of transition section at expressway tunnel front[J]. Hunan Communication Science and Technology, 2005, 31(3): 98-100.
- [6] 王 琰, 孔令旗, 郭忠印, 等. 基于运行安全的公路隧道进出口线形设计[J]. 公路交通科技, 2008, 25(3): 134-138.
WANG Yan, KONG Ling-qi, GUO Zhong-yin, et al. Alignment design at tunnel entrance and exit zone based on operating safety[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(3): 134-138.
- [7] 阎 莹, 张宇辉, 郭忠印. 基于运行速度的隧道进出口线形安全性评价[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 72-76.
YAN Ying, ZHANG Yu-hui, GUO Zhong-yin. Alignment safety evaluation at tunnel entrance and exit based on driving speed[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(4): 72-76.
- [8] 杨 轸, 郭忠印. 隧道进出口车速变化研究[J]. 上海公路, 2006(1): 48-51.
YANG Zhen, GUO Zhong-yin. Research on speed alteration at entrance and exit of tunnel[J]. Journal of Shanghai Highways, 2006(1): 48-51.
- [9] 易震宇. 隧道洞口区域车辆侧移原因分析[J]. 公路隧道, 2005, 50(2): 10-14.
YI Zhen-yu. An analysis of the cause of lateral clearance at tunnel front area[J]. Journal of Highway Tunnel, 2005, 50(2): 10-14.
- [10] 宋安宁. 公路隧道合理横断面尺寸研究[C]//中国公路学会. 第三届全国公路科技创新高层论坛论文集: 下册. 北京: 人民交通出版社, 2006: 744-749.
- [11] Jurado-Pina R, Pardillo-Mayora J M, Jimenez R. Methodology to analyze sun glare related safety problems at highway tunnel exits[J]. Journal of Transportation Engineering, 2010, 136(6): 545-553.
- [12] 黄兴安. 公路与城市道路设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [13] 张生瑞, 赵友功, 王超深. 基于速度控制的高速公路隧道交通安全策略[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2009, 29(6): 74-77.
ZHANG Sheng-rui, ZHAO You-gong, WANG Chao-shen. Freeway tunnel traffic safety strategy based on vehicle speed [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29(6): 74-77.
- [14] 汪荣鑫. 数理统计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2009.