

隧道与互通式立交出口最小间距需求分析

赵一飞,陈 敏,潘兵宏

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘 要:为确定高速公路隧道出口与互通式立交出口的最小需求间距,分析了隧道与互通式立交出口间距过近路段的交通事故特征,分别从隧道出口驾驶人的“明适应”、驾驶人对立交出口位置的识别、完整认读标志并操作的需要等方面,对需求距离进行了研究,提出了高速公路隧道与互通式立交出口保障安全需要的最小间距值。分析结果表明,在高速公路二级服务水平下,隧道出口与互通式立交出口的极限最小间距不宜小于600 m,一般值宜大于800 m。

关键词:交通工程;高速公路;隧道;互通式立交;间距;安全

中图分类号:U491 **文献标志码:**A

Minimum spacing demand analysis between tunnel and exit of interchange

ZHAO Yi-fei, CHEN min, PAN Bing-hong

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to identify the minimum demand spacing between tunnel and exit of interchange on expressway, the traffic accident features on small spacing segments were analyzed. By studying the light adaptation distance, the ecognition distance to the exit, and traffic signs recognition and operation distance, the minimum spacing demand between tunnel and exit of interchange was put forward. Analysis result shows that the minimum demand spacing between tunnel and exit of interchange at least needs 600 m, the general demand spacing also needs 800 m under secondary level of service on expressway. 1 fig, 4 tabs, 13 refs.

Key words: traffic engineering; expressway; tunnel; interchange; spacing; safety

0 引 言

随着中国高速公路在山区的大量建设,受山区路线走廊和复杂地形、地质条件的限制,出现了许多隧道出口与互通式立交出口小间距路段。高速公路运营实践表明,这些路段普遍存在指路标志设置困难和驾驶人不能及时识别指路标志和互通式立交出口的问题,对这些互通式立交出口的安全影响较大,

造成了较多的交通事故和人员伤亡。

中国行业标准《公路路线设计规范》规定:隧道出口与前方互通式立体交叉间的距离,应满足设置出口预告标志的需要;条件受限制时,隧道出口至前方互通式立体交叉减速车道渐变段起点的距离(净距)不应小于1 000 m^[1]。但是,该规范条文说明没有给出计算模型或统计分析模型,也没有说明受复杂地形地物等影响时,该净距值最小可采用多少,没

有统一、规范的标准来评价,给许多设计人员带来了困惑。通过对国内外的文献检索发现,目前对互通式立交间和互通式立交与服务区、停车区等的距离研究较多,但对隧道出口与立交出口的间距需求问题的研究基本上是空白,已经严重影响高速公路隧道出口与立交出口小间距路段的交通安全性^[2-4]。隧道与互通式立交出口最小间距需求分析需要考虑的因素较多,为此,本文在分析隧道出口与互通式立交出口间距过近路段交通流特性和交通事故特征的基础上,从隧道出口驾驶人的“明适应”、驾驶人对立交出口位置的识别视距、完整认读标志并操作需要的距离等方面进行研究,提出高速公路隧道出口与互通式立交出口保障安全需要的最小间距值。

1 交通事故特征

通过对沈阳—海口高速公路(G15)牛官头隧道出口与吴岙枢纽立交杭州出口间距过近路段和马髯岭隧道出口与水洋枢纽互通式立交出口间距过近路段的历史交通事故资料统计分析发现,在 87 起交通事故中,尾随相撞、碰撞固定物、同向刮擦和侧面相撞是这 2 个路段的主要事故形态;尾随相撞占事故总数的 59.5%,碰撞固定物占 18.9%,同向刮擦和侧面相撞占 16.2%^[5-6]。通过现场调查和分析后发现,隧道出口与立交出口间距过近路段交通事故具有以下特征。

(1)在隧道出口与前方互通式立体交叉出口间距过近路段,从隧道驶出的驾驶人不易及时识别到指路标志和互通式立交出口,在出口分流点后行驶一段距离才驶出的车辆比例较普通出口匝道高,往往导致临近出口匝道分流鼻处才紧急减速驶出,其后果不是减速不及碰撞固定物,就是被后面尾随的车辆碰撞;一些注意力不集中的驾驶人在这些路段更易错过出口,导致在出口匝道分流鼻处违章停车和倒车。在吴岙枢纽立交杭州出口处 2 h 的调查时间内,发生 6 起停车和倒车事件。

(2)由于受到隧道内设置指路标志困难或识别指路标志困难的影响,在内侧车道行驶的驶出车辆不能及时换道到外侧车道,车辆临近立交出口分流点才从内侧车道违章变道行驶到减速车道的现象比较突出,对外侧直行车道的交通流干扰较大,容易与外侧直行车辆发生同向刮擦及侧面相撞的交通事故。当直行交通量较大时,变换车道驶出将更困难,事故更易发生。调查还发现,随着立交出口与隧道出口的间距增加,从内侧车道违章变道驶出的车辆

就减少。

(3)隧道出口与互通式立体交叉出口间距过近路段一般均位于下坡路段,车辆从隧道驶出后易超速行驶,不利于车辆减速驶出,易在分流鼻附近发生碰撞固定物事故。

2 隧道出口与互通式立交出口间距需求分析

从交通事故特征可知,影响隧道出口与互通式立交出口间距的因素很多,需要考虑隧道出口驾驶人的“明适应”、驾驶人对立交出口位置的识别视距、完整认读标志并操作需要的距离等因素。

2.1 隧道出口与互通式立交出口间的需求距离

2.1.1 隧道出口驾驶人的“明适应”

人眼的适应性是指人眼对光亮程度变化的适应。当人眼从一个较明亮的环境突然转到一个较暗的环境中时,要经过一段时间才能看清暗环境中的物体,这叫暗适应;同样,当人眼从一个较暗的环境突然转到一个较明亮的环境中时,也需要经过一段时间才能看清亮环境中的物体,这叫明适应^[7]。一般来说,暗适应所需时间较长,明适应所需时间较短。夜间行驶时,由于洞内照明的强度远没有白天的太阳光强烈,所以视力适应的时间要短得多,因此,只分析白天进出隧道的明暗适应问题。

驾驶人在白天从隧道驶出,主要是明适应问题。国内外研究认为,明适应时间较短,汽车由暗处驶入明处时,视力需要 1~3 s 才能逐渐适应。从有利于安全的角度考虑,研究隧道出口与互通式立交的间距时,驾驶人的明适应时间取 3 s 进行分析,按照不同运行速度,计算从隧道驶出后,所需的明适应距离见表 1。

表 1 明适应距离			
运行速度/(km·h ⁻¹)	120	100	80
明适应距离/m	100	84	67

驾驶人的明适应距离必须满足,驶出隧道一定距离以后,驾驶人的视力恢复正常后才能正常阅读标志内容,做出准确的决策和操作。

2.1.2 识别视距

隧道出口与立交出口间距过近路段是道路条件比较复杂的路段,从隧道驶出的驾驶人在隧道出口明适应后,应能及时发现前方互通式立体交叉的出口,在互通式立体交叉的引道上应保证判断出口所需的识别视距。作为一般性的控制原则,识别视距最好是保障主线停车视距的 2 倍,且判断立交出口

时,驾驶人应看到分流鼻端的标线,其计算的物高应为 0。中国现行《公路路线设计规范》提出的识别视距采用值见表 2。

表 2 识别视距

运行速度/(km·h ⁻¹)	120	100	80
识别视距/m	350~460	290~380	230~300

从表 2 可以看出,识别视距的值为一个范围值,考虑到隧道出口与立交出口间距过近路段驾驶人需接受的信息较多,驾驶人易忽略出口,故宜采用接近高限值。

2.1.3 完整认读标志并操作需要的距离

从隧道驶出的驾驶人在隧道出口明适应后,能及时识别到互通式立交出口预告标志,并完成认读、理解和行动等过程,其距离应满足按运行速度行驶时完整认读出口指路标志并操作需要的距离。确定该距离时,应考虑驾驶人的行驶特性^[8]。

车辆在内侧车道(车道 2)行驶,是一种考虑驾驶人不了解道路状况的最不利条件,即需要右转驶入匝道的车辆,从隧道驶出看到交通指路标志并确定下一个出口即为目标出口后,在到达出口前需利用外侧车道(车道 1)直行车辆可插入间隙完成车道变换并右转驶出。完成这个过程行驶需要的距离分析如图 1 所示。

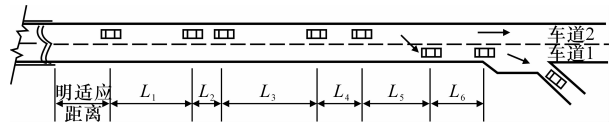


图 1 内侧车道车辆右转驶出车道变换

(1) 标志的视认距离 L_1 。 L_1 为驾驶人对交通指路标志的视认距离,即在一定的速度下,驾驶人在某距离处可以清楚辨认标志的含义并决策^[9-11]。车辆在车道行驶时对交通标志的视认距离 s 计算公式为

$$s = \frac{V}{3.6}t_1 + \sqrt{\frac{H^2 + (B/2)^2}{\tan(\theta/2)}} \tag{1}$$

式中: H 为标志与小客车驾驶人视线(一般取 1.2 m)的高差(m); V 为运行速度(km/h); t_1 为标志视认反应时间(s), $t_1 = t'_1 + t''_1$, t'_1 为标志在驾驶人视野中的最小作用时间(s),一般情况下标志作用时间如果达不到 1 s,驾驶人将无法清晰辨认,计算时取 1 s, t''_1 为驾驶人视认反应时间(s),一般取 2.5 s; B 为驾驶人视点至单悬臂指路标志中间的距离(m); θ 为驾驶人视野界限($^\circ$),驾驶人认读标志时视轴移动 5° 为佳,故本文取 $\theta = 5^\circ$ 进行计算^[12]。

(2) 车辆等待外侧车道有可插入间隙时行驶的距离

距离 L_2 。 L_2 的计算公式为

$$L_2 = \frac{V}{3.6}t_w$$
$$t_w = \frac{1}{\lambda} [e^{\lambda(t-\tau)} - \lambda(t-\tau) - 1] \tag{2}$$

式中: t 为车辆临界间隙(s),根据研究,一般取值为 4.0 s; λ 为单位时间的平均到达率(veh/s), $\lambda = Q/3\,600$, Q 为预测直行交通量,本文取不同速度二级服务水平下的交通量; τ 为车头时距的最小值,根据研究,一般取值为 1.2 s; t_w 为需变换车道车辆等待一个可插入间隙的平均等待时间(s)。

(3) 调整行车速度和位置时所行驶的距离 L_3 。 L_3 为车辆从内侧车道 2 横移至外侧车道 1 之前,内侧车道车辆为变换车道调整车速和可换道间隙行驶的距离。

车辆在等待可接受插入间隙出现的平均等待时间内,一直以等待变换车道车速 V_h 匀速行驶,达到平均等待时间 t_w 后,目标车道车流中出现可接受插入间隙。在这个过程中车辆所行驶的距离 $L'_3 = V_h t_w$ ^[3]。

相邻车道之间的相对车速为 Δv 。将要换车道的车辆必须调整位置,与将要插入的间隙并行时,才能进行换车道。这个过程就是调整车位的过程,该过程所需的时间即为车位调整时间 t_3 ,计算式为

$$t_3 = \frac{L'_3}{\Delta v} = \frac{V_h t_w}{\Delta v} \tag{3}$$

V_h 约为运行速度 V 值的 0.76 倍^[13]。此时,驾驶人调整行车速度和位置所行驶的距离 L_3 为

$$L_3 = \frac{V}{3.6}t_3 = \frac{VV_h t_w}{3.6 \Delta v} = \frac{V0.76Vt_w}{3.6(V-0.76V)} = 0.879Vt_w$$

(4) 驾驶人判断可插入间隙的反应时间所行驶的距离 L_4 。 L_4 为车辆从内侧车道 2 横移至外侧车道 1 之前,驾驶人判断可插入间隙的反应时间所行驶的距离。参考 AASHTO 反应时间的规定,同时考虑到中国高速公路的车辆组成、驾驶人特性等,取反应时间 $t_4 = 2.5$ s^[10],计算式为

$$L_4 = \frac{V}{3.6}t_4 = \frac{V}{3.6} \times 2.5 = 0.694V$$

(5) 变换车道车辆横移时行驶的距离 L_5 。 L_5 为变换车道车辆从内侧车道 2 横移至外侧车道 1 时行驶的距离。当目标车道出现可插入间隙,驾驶人调整车速,做好变换车道的准备工作后,即可进行车道变换横移至目标车道。车辆横移一个车道所需要的时间应为:车道宽度除以车辆横移速度,即该时间随着

车道宽度的不同而变化。但根据现有的研究结论,车辆横移速度 $J = 1\text{ m/s}$,高速公路车道宽度取值为 3.75 m ,一般取横移时间 t_5 为 $3.75\text{ s}^{[4]}$,计算公式为

$$L_5 = \frac{V}{3.6}t_5 = \frac{V}{3.6} \times 3.75 = 1.042V$$

(6) 到达出口之前的安全距离 L_6 。 L_6 为车辆在外侧车道保持自由流状态,确认出口匝道的安全距离,通常取 $100\text{ m}^{[4]}$ 。

根据以上分析,车辆从隧道驶出明适应后,完整认读标志,并从内侧车道变换到外侧车道所需的距离 L 为

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6$$

如果驾驶人在这之前已经明确了前方出口就是目标出口,提前变换至外侧车道,则在驾驶人视认标志完成后,不再需要变换车道。认读标志并操作的距离 L 只包括视认距离 L_1 和出口之前的安全距离 L_6 。根据以上公式,车辆分别行驶在内侧车道和外侧车道上完整认读标志并完成操作的距离见表 3。

表 3 完整认读标志并操作需要的距离

运行速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	120	100	80
车辆在外侧车道行驶时需满足的距离/m	249	229	209
车辆在内侧车道行驶时需满足的距离/m	690	597	504

2.2 隧道出口与互通式立交出口最小间距分析

根据上述对隧道出口驾驶人的“明适应”、驾驶人的识别视距、完整认读标志并操作需要的距离等的分析可知,驾驶人驶出隧道口后,存在明适应的问题。只有驾驶人的视力恢复以后,才能完成出口的识别、认读标志、决策等操作,因此,分析隧道与互通式立交之间距离应该以“明适应”距离为基础。满足“明适应”的隧道出口与互通式立交出口各种距离需求见表 4。

表 4 考虑“明适应”的隧道出口与互通式立交出口各种距离需求

运行速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	明适应距离+ 识别视距/m	明适应距离+完整认读 标志并操作的距离/m	
		外侧车道	内侧车道
120	560	349	790
100	464	313	681
80	367	276	571

从表 4 可以看出,在相同的运行速度下,车辆从隧道驶出后,在内侧车道上完整认读标志并完成变换车道驶入匝道所需的距离最长,外侧车道上完整认读标志并驶入匝道所需的距离最短,识别视距介于两者之间。考虑到从隧道驶出后的车辆普遍存在从内侧车道变换车道驶入匝道的现象,建议隧道出

口与互通式立交出口的间距至少应不小于在内侧车道上完整认读标志并完成变换车道驶入匝道所需的距离,并应在隧道出口满足“明适应”后的标志视认距离处设置互通式立交出口预告标志(并排是 500 m 的出口预告标志),诱导驶出车辆及时变换车道驶出入口匝道。如果受地形和路线走廊限制,在保证出口车辆在外侧车道行驶的前提下,隧道出口与互通式立交出口的最小间距可采用在外侧车道上完整认读标志并驶入匝道所需的距离,但通过调查和事故分析发现,驾驶人如果不能及时识别到互通式立交出口,在注意力不集中或指路标志被其他车辆遮挡的情况下,易错过出口。建议在该种情况下,隧道出口与互通式立交出口的最小间距采用满足“明适应”后的出口识别视距长度。

考虑到隧道出口与互通式立体交叉出口间距过近路段一般均位于下坡路段,车辆从隧道驶出后易超速行驶,因而建议不论高速公路设计速度是多少,隧道出口与互通式立交出口的间距均采用运行速度是 120 km/h 情况下的净距,即隧道出口与互通式立交出口净距一般情况下宜大于 790 m ,为方便使用采用 800 m (一般值);受地形和路线走廊限制时,当出口车辆在隧道前被诱导到外侧车道的前提下,极限最小间距可采用不小于 560 m 的值,顾及隧道出口后互通式立交 500 m 出口预告标志的设置,建议极限最小间距采用不小于 600 m 的值。

3 结 语

(1)在分析隧道出口与互通式立交出口间距过近路段交通事故特征的基础上,从隧道出口驾驶人的“明适应”、驾驶人对立交出口位置的识别视距、完整认读标志并操作需要的距离等方面的需求距离进行了研究,在 4 车道高速公路二级服务水平下,隧道出口与互通式立交出口一般值宜大于 800 m ;受地形和路线走廊限制时,极限最小间距可采用不小于 600 m 的值。

(2)本文研究成果可为山区高速公路的设计和安全评价提供技术支持,目前已经在宁波象山港公路大桥接线工程、浙江台金高速公路以及温州绕城高速公路等项目中应用,取得了良好的效果。

(3)隧道出口与互通式立交出口间距可能还与出口匝道的转弯交通量有关,有待于进一步研究。

数方法能够有效地提取故障特征,从而确诊故障类型,具有一定的工程实用价值。

参考文献:

References:

[1] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society Lond, 1998, 454: 903-995.

[2] 史铁林,陈勇辉,李巍华,等. 提高大型复杂机电系统故障诊断质量的几种新方法[J]. 机械工程学报, 2003,39(9):1-10.

SHI Tie-lin, CHEN Yong-hui, LI Wei-hua, et al. Some measures to improve the quality of fault diagnosis for large-scale complex electromechanical systems [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39 (9):1-10.

[3] Darryll P, Liming S. Structural health monitoring using empirical mode decomposition and the Hilbert phase[J]. Journal of Sound and Vibration, 2006, 294 (6):97-124.

(上接第 71 页)

参考文献:

References:

[1] JTG D20—2006,公路路线设计规范[S].

[2] Bared J, Zhang W. Safety assessment of interchange spacing on urban freeways [R]. Washington DC: FHA,2007.

[3] 冯玉荣. 高速公路互通式立交最小间距研究[D]. 西安:长安大学,2009.

[4] 王 莹. 城市互通立交最小间距研究[D]. 南京:东南大学,2006.

[5] 赵一飞. 甬台温高速公路台州段 K130~K143 事故多发路段成因分析与改善措施研究报告[R]. 西安:长安大学,2008.

[6] 赵一飞. 台缙高速公路东延段水洋枢纽互通式立交区域项目安全性评价报告[R]. 西安:长安大学,2010.

[7] 刘运通. 道路交通安全指南[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

[8] JTG D82—2009,公路交通标志和标线设置规范[S].

[4] Loutridis S, Douka E, Hadjileontiadis L J. Forced vibration behaviour and crack detection of cracked beams using instantaneous frequency[J]. NDT&E International, 2005, 38(3):411-419.

[5] Loutridis S. Damage detection in gear systems using empirical mode decomposition[J]. Engineering Structures, 2004, 26(6):1833-1841.

[6] Liu B, Riemenschneider S, Xu Y. Gearbox fault diagnosis using empirical mode decomposition and Hilbert spectrum[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006, 20(2):718-734.

[7] Gao Q. Detecting damage of rolling bearings using EMD[J]. Key Engineering Materials: Damage Assessment of Structures VI, 2005, 293/294:753-760.

[8] 杨 宇,于德介,程军圣. 基于经验模态分解的滚动轴承故障诊断方法[J]. 中国机械工程, 2004, 15 (12): 908-912.

YANG Yu, YU De-jie, CHEN Jun-sheng. Roller bearing fault diagnosis method based on EMD[J]. China Mechanical Engineering, 2004, 15(12):908-912.

[9] 徐 敏. 设备故障诊断手册[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.

[9] 邱荣华. 互通立交分流区交通流特性研究[D]. 南京:东南大学,2006.

[10] AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets[R]. Washington DC: AASHTO, 2001.

[11] 陈 瑜. 高速公路作业区安全分析及交通组织管理方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.

[12] 潘兵宏,赵一飞,梁孝忠. 动视觉原理及其在公路线形设计中的应用[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2004, 24(6):20-24.

PAN Bing-hong, ZHAO Yi-fe, LIANG Xiao-zhong. Application of dynamic vision theory in highway alignment design[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6):20-24.

[13] 徐秋实,任福田,孙小端,等. 高速公路互通式立交加速车道长度的研究[J]. 北京工业大学学报, 2007, 33 (3):298-300.

XU Qiu-shi, REN Fu-tian, SUN Xiao-duan, et al. Research on the length of acceleration lane at freeway interchange[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2007, 33(3):298-300.