

高速公路隧道入洞口处安全特性研究

李江琰

北京交科公路勘察设计研究院有限公司

DOI:10.12238/jsse.v3i2.13458

[摘要] 针对我国高速公路隧道建设规模不断增大,隧道洞口的安全事故不断上升的趋势。本文主要以高速公路隧道入口事故的机理出发,通过对驾驶员视觉特性、道路的平纵线形、洞口衔接过渡设计对行车安全进行研究分析,揭示了入洞口安全的影响因素。在此基础上,结合莆炎高速公路隧道洞口行车安全特性,提出相应的改善措施。

[关键词] 隧道洞口; 视觉特性; 过渡设计; 安全特性

中图分类号: U45 **文献标识码:** A

Study on Safety Characteristics of Highway Tunnel Entrance

Jianglong Li

Beijing Jiaoke Highway Survey and Design Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] Given the increasing scale of highway tunnel construction in China and the rising trend of safety incidents at tunnel portals, this study investigates the mechanisms of accidents occurring at highway tunnel entrances. Through an analysis of drivers' visual characteristics, road horizontal/vertical alignments, and portal transition designs, the critical factors influencing portal zone safety are identified. Building upon this analysis and combined with case studies from the Puyan Expressway tunnel portals, targeted improvement measures are proposed.

[Key words] tunnel portal; visual characteristics; transition design; safety characteristics

1 前言

随着我国高速公路建设事业的迅速发展,虽然它的高效、舒适、快捷、方便的特点,使得出行车辆及行人获得了极大的方便,促进了区域经济的连通与发展,但与此同时,交通事故率的快速增加也受到国家及社会的高度关注。尤其我国的西部山区、南方地区的高速公路建设,经常需要通过建设隧道穿山越岭,隧道作为重要的交通基础设施,在山区和丘陵地区的高速公路建设中扮演着越来越重要的角色。由于高速公路隧道处于封闭带状的空间分布的结构特征以及“黑洞、白洞”等特殊的行车环境,其往往成为高速公路事故的多发区。据统计,截至2023年,我国高速公路隧道总里程已突破2万公里,其中山区隧道占比超过65%。隧道入洞口作为明暗交替的过渡区域,事故发生率显著高于普通路段。统计显示,隧道入口200米范围内的事故占隧道总事故的42.3%,其中追尾事故占比达58%,碰撞侧壁事故占21%。这一现象与驾驶员视觉适应、道路线形突变及过渡段设计缺陷密切相关。为进一步提升我国道路交通安全水平,尽可能在道路通车前寻找出潜在的安全风险,道路交通安全评价在道路设计阶段的应用越来越多,也越来越受到道路设计人员、管理人员及研究人员的重视。因此,本次研究仅针对高速公路隧道出入口事故

的机理出发,结合国内规范标准,提出改善措施以提高隧道入洞口的安全性。

2 隧道路段对交通安全运行的主要影响因素分析

影响公路隧道行车安全的因素是多方面的,由于隧道结构及交通环境的特殊性,大部分严重的公路隧道交通事故为普通事故造成的二次事故。根据国内外研究成果,从路的方面分析,隧道路段对交通安全运行的主要影响因素包括线形设计、环境变化以及照明等几个方面^[1-2]。本文通过对驾驶员视觉特性、道路的平纵线形、洞口衔接过渡设计对行车安全进行分析,为隧道路段安全水平评价和事故治理提供参考。

2.1 驾驶员视觉特性对交通安全的影响

车辆出入隧道是一个亮度明暗变化剧烈的过程,对驾驶人员的视觉感受和心理影响极大。当车辆从明亮的室外环境进入相对昏暗的隧道时,驾驶员的眼睛需要一定时间适应光线的变化,这期间视觉敏感度下降,容易导致判断失误。针对驾驶员在隧道群行驶过程的视觉特性的不同指标进行研究,发现在隧道出入口驾驶员的瞳孔直径相当于连续驾驶3个小时驾驶员的瞳孔直径值,眼睛闭合时间相当于连续驾驶3.5个小时驾驶员的闭合时间,表明隧道出入口视觉条件较差,短时间的行车就会造成

驾驶员视觉疲劳,对行车安全产生威胁。

对于行驶状态的驾驶员来说,有80%的信息主要是由视觉获取,因为在高速公路行驶过程中眼睛是驾驶员最为重要的感觉器官^[3]。驾驶员在入口区域的注视点集中度提高2.3倍,视野范围缩小至正常状态的60%,加上洞口的亮度突然变化,人的视觉不能迅速适应,很难迅速辨认洞内路面情况,容易发生视觉障碍及心理恐慌,而且驾驶员进洞时有生理和心理上的双重变化。生理上由于洞内外光线的明暗变化带来的视觉适应过程,会造成驾驶操作的不稳定性;心理上因为驾驶员入洞时的潜在恐惧而带来操作的失误。

因此,从驾驶心理学和行为学的角度来分析,通常驾驶员在由明亮的洞外环境进入较暗的隧道时,在进洞前都会降低车速来减少心理上的潜在恐惧,以及延长生理上视觉的适应过程。

2.2 平面线形要素对交通安全的影响

根据《公路工程技术标准》要求,洞口内外侧3s设计速度形成长度范围的平、纵线形应一致。特殊困难地段,经技术经济比较论证后,洞口内外平曲线可采用缓和曲线,但应加强线形诱导设施^[4]。

当平曲线半径<800m时,车辆横向加速度超过0.3g的概率增加3倍;隧道入口处存在“S”形反向曲线,导致85%的货车需紧急修正方向,这些平面线形问题缺陷大大降低行车安全性。因此,合理地设置隧道平面线形,对行车安全有重要的作用。为能缩短隧道长度、方便设计、施工简单,在平面线形上多采用长直线,而且车辆行驶过程中,受力简单、驾驶操作简易。但是,而且驾驶员长时间行驶在隧道中对周围环境的感知必然下降,加上线性单调,容易造成视觉疲劳,使驾驶员的警惕性降低,不利于行车的安全。

由于地形、路线走向等要素制约,避免不了在出入口位置采用平曲线甚至小半径的平曲线,导致了出入口事故数较高。事故统计资料表明,超过三分之一的隧道路段交通事故发生在隧道出入口处,其中又有79.91%的事故发生在出入口为平曲线处,而且小半径的曲线上事故频率高。平曲线半径越小的曲线段越容易发生交通事故,当平曲线的半径下降到600m以下,隧道事故发生率将迅速增长^[5]。

2.3 隧道入口过渡设计对交通安全的影响

针对公路隧道出入口过渡设计,国内相关规范、标准均有规定。《公路隧道设计细则》规定过渡段长度应 $\geq 3s$ 设计速度行程^[6],但实际工程中23%的隧道未达标;隧道洞口外连接线土建断面宽度没有设置过渡,仅通过护栏顺适过渡,且渐变过渡段长度和渐变率取值不尽统一。隧道入口处护栏过渡段普遍与隧道洞口检修道留有一定空隙,未与隧道检修道合理过渡。容易造成由于车辆行驶至洞口,在紧急情况下易导致操作不当引发碰撞等交通事故。

3 高速公路隧道入口安全改善措施

针对上述几种影响隧道出入口安全因素进行分析,并根据

莆炎高速公路三明境尤溪中仙至建宁里心段工程的隧道洞口情况,提出相应的改善措施,以提高隧道入口行车的安全状况。

3.1 隧道入口减光措施

驾驶员行车穿过隧道过程中在出入口处经历由明到暗或由暗到明的突然变化且变化幅度很大,造成驾驶员无法识别交通信息,造成交通事故。因此在隧道出入口需要采取相应的减光措施来缓解这种效应,目前主要采取的方法有在出入口处设置遮光棚,主要目的与加强隧道出入口段照明相同,改善光环境的过渡特性,避免驾驶员产生视觉障碍^[7]。或是在隧道洞口两侧种植植被,利用植被柔和地反光作用,以达到降低隧道洞口附近区域亮度的目的,该措施是一种较为经济的降低隧道洞口亮度的方法,也是应用最为广泛的减光措施。但树木的生长需要一定的条件,前期起到的防眩遮光作用较低。因此这种方法仅适用于隧道出入口边坡较缓的情况。

工程实际应用中,往往更多采用主动亮度调节,通过隧道洞口照明设置为三段式照明:入口段(5倍洞外亮度)→过渡段(线性递减)→中间段(稳定亮度),通过入口段(5000-10000lx)高亮度刺激瞳孔收缩,使瞳孔直径从黑暗环境下的7-8mm快速缩小至2-3mm,将明适应时间从自然状态的2-3分钟缩短至10-15秒,消除“黑洞效应”,建立视觉基准。通过阶梯式亮度对比,使隧道侧壁、车道线等关键要素的可见距离增加30%-50%。如在100km/h车速下,障碍物识别距离从60m提升至85m。采用渐变的亮度梯度($\leq 15\text{cd}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)可修正驾驶员对隧道深度的误判,将距离感知误差从20%降低至5%以内。

3.2 优化隧道洞口平面线型设计

对于直线与曲线设计,应避免隧道洞口直接接长直线,若无法避免,可设置振荡标线、减速带等,提醒驾驶员减速并集中注意力;隧道两端平面线型应与洞外平面线型相一致,且应有一定的过渡段。这有助于驾驶员在进入隧道前能够更好地适应隧道内的行车环境,减少因线型突变而产生的视觉和心理不适。在线形设计符合“线形应一致”的基本要求下^[8],应选用更大的曲线半径、更小的超高值、具有更远的行车视距以及降低工程造价等方面综合考虑,避免采用指标突变的线形。

还可通过加强交通工程设施设置来辅助,如在洞口设置完善的标志、标线,包括警示标志、限速标志、车道线等;安装照明设施,保证洞口光线过渡自然;设置轮廓标,增强夜间或低能见度时隧道轮廓辨识度,引导驾驶员视线,保障行车安全。通过对隧道洞口平面线型要素的优化设计和交通工程设施的完善,能有效提升隧道洞口的交通安全水平,减少事故发生。

3.3 洞口护栏的衔接过渡

为实现隧道入口段衔接过渡,宜通过砼翼墙渐变进入隧道洞口处。砼翼墙迎交通流一侧在隧道洞口处宜与检修道内侧立面平齐^[9]。砼翼墙进入隧道洞口前可根据需要适当渐变高度,在隧道洞口处不得低于检修道高度。

针对桥隧衔接路段,若混凝土护栏渐变长度不足,不能满足混凝土护栏直接渐变过渡,导致检修道与护栏存在错台情况。可

采用双横梁过渡到隧道壁侧面,并通过膨胀螺栓锚固于隧道侧面。与桥梁混凝土护栏过渡一侧的双横梁护栏平滑延伸到桥梁护栏侧面,通过膨胀螺栓锚固与桥梁侧面。

莆炎高速公路隧道洞口内外侧均进行了护栏过渡处理,针对路隧相接处内外侧均采用砼翼墙护栏过渡处理;针对桥隧相接处则采用翼墙过渡处理,不能平顺过渡的路段采用在桥梁砼护栏内侧设置SB级双横梁钢护栏产品进行渐变过渡的处理方式;且在洞口端墙和渐变护栏上设置了反光立面标记,加强洞口的安全警示。

4 结论

(1)本文通过隧道入口处驾驶员视觉特性、道路的平纵线形、洞口衔接过渡设计对行车安全影响进行分析,并针对这些影响因素综合了主观、客观分析,提出隧道入洞口处相应的改善措施,能够为提高隧道的行车安全提供一定的借鉴。

(2)根据隧道洞口减光措施、视线诱导、洞口护栏衔接的运用现状,简要论述了在莆炎高速公路工程中,进行洞口安全设施设计时所应注意的要点,为以后的工程实践提供借鉴参考。

[参考文献]

[1] Amundsen F H. Studies of driver behaviour in Norwegian road tunnels[J]. Tunnelling & Underground Space Technology, 1994, 9(1): 9-15.

[2] Wan H, Du Z, Ran B, et al. Speed Control Method for Highway Tunnel Safety Based on Visual Illusion[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2015, 2485(1): 1-7.

[3] 刘洋, 李香红, 朱守林, 等. 隧道光环境对驾驶员生理反应初步实验研究[J]. 公路隧道, 2014(4): 10-14.

[4] 公路工程技术标准 JTGB01-2014[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.

[5] 许洪国. 道路交通事故分析与处理[M]. 人民交通出版社, 2004.

[6] 公路隧道设计规范(第二册)交通工程与附属设施 JTGD70/2-2014[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.

[7] 翁季, 潘贝贝. 公路隧道入口减光措施研究[J]. 西部人居环境学刊, 2013, No. 104(06): 10-14.

[8] 公路路线设计规范 JTGD20-2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.

[9] 公路交通安全设施设计规范 JTGD81-2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.

作者简介:

李江琰(1991--), 男, 汉族, 福建泉州人, 工程师, 硕士研究生, 研究方向: 交通工程。