

山区一级公路隧道出口与平交口最小间距研究

陈训斌

(浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 310030)

摘要: 在山区一级公路体系中,隧道与平交口既是串联路网、保障通行的核心组成部分,也因交通流交汇、环境突变等特性,成为事故高发区域。现行公路设计规范中,未对隧道出口与平交口的合理间距作出明确规定,导致设计人员在实际工作中缺乏统一参考依据。通过对驾驶员驾驶行为及车辆运行轨迹分析,从明暗适应、标志识读、车辆变道、平稳驶入四个核心维度,构建隧道出口与平交口的间距计算模型,并结合设计速度、车道数给出具体参考值,以期规范完善与工程设计提供理论支撑与技术依据。

关键词: 一级公路;隧道出口;平交口;间距

中图分类号: U412.35+1; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)04-0156-04

Study on Minimum Spacing between Tunnel Exits and At-Grade Intersections of Class I Highways in Mountainous Areas

CHEN Xunbin

(Zhejiang Institute of Communications Co., Ltd., Hangzhou 310030, China)

Abstract: In the system of Class I highways in mountainous areas, the tunnels and at-grade intersections are not only core components that connect the road network and ensure traffic flow, but also high-accident areas due to characteristics such as the convergence of traffic flows and sudden environmental changes. Current highway design specifications do not clearly stipulate the reasonable spacing between tunnel exits and at-grade intersections, resulting in a lack of unified reference for designers in practical work. By analyzing the driving behaviors of drivers and the vehicle operation trajectories, a spacing calculation model for tunnel exits and at-grade intersections is built from four core dimensions such as light-dark adaptation, sign recognition, vehicle lane changing and smooth entry. Combined with design speed and number of lanes, the specific reference values are proposed in order to provide theoretical support and technical basis for the improvement of specifications and engineering design.

Keywords: Class I highways; tunnel exits; at-grade intersections; spacing

0 引言

近年来,我国社会经济与公路交通持续快速发展,多地显著加大了山区一级公路的建设投入。作为山区对外联通的重要通道,一级公路兼具通行能力强、运行效率高、服务开放性好等核心优势,在改善山区交通可达性、推动区域经济发展等方面发挥着关键作用。

受山区复杂地形条件、路网规划布局及服务沿线居民与产业等因素限制,平交口与隧道直接衔接的情况在实际工程中较为常见。然而,现行《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)^[1]中,既未对隧道出

口与平交口的合理间距作出明确规定,也未提供相应可参考的计算模型,这给设计人员开展具体设计工作带来了显著困难。目前,部分地区行业主管部门已针对此类路段的最小间距出台指导意见,其控制依据主要以小客车停车视距作为基础指标。但实践中,一级公路的车辆组成较为复杂,涵盖多种车型,不同车型的制动性能、操控响应差异显著;同时,平交口作为多方向交通流交汇节点,流向复杂且冲突点密集,驾驶员需频繁进行减速、观察、转向等操作,其驾驶行为与普通路段存在明显差异。在此背景下,若仅以小客车停车视距作为单一控制指标,难以全面覆盖复杂车型特性与平交口交通行为的实际需求,存在明显局限性。

在梳理国内外相关文献与研究成果后发现,针对“隧道出口与平交口间距”的专项研究较为匮乏,

收稿日期: 2025-10-20

作者简介: 陈训斌(1992—),男,硕士,工程师,从事路线交叉设计工作。

现有成果多聚焦于隧道出口与互通式立交出口的间距问题。二者存在一定共性,但交通场景与驾驶行为差异显著:互通式立交出口的驾驶行为仅涉及直行与分流转向两类,而平交口需容纳直行、左右转、掉头、停车等待等多种行为,交通流交互更复杂,影响间距设计的因素也更为多元。基于此,本文在借鉴隧道出口与互通式立交出口间距相关研究思路与方法的基础上,结合平交口的独特交通特性,以设计速度、车道数为关键参数,给出不同交叉控制类型下隧道出口与平交口的最小间距参考值,为同类山区一级公路工程设计提供技术参考与思路支撑。

1 最小间距的界定

目前,对一级公路隧道出口与平交口最小间距尚未形成明确定义。《公路立体交叉设计细则》(JTG/T D21—2014)^[2]中关于“隧道出口与互通式立交出口最小距离”的定义为车辆驶出隧道后,安全驶离主线全过程所需的最小距离。

本文参考其定义逻辑,结合一级公路平交口的交通特性,得出一级公路隧道出口与平交口最小间距定义,即车辆驶出隧道后,以正常速度安全平稳驶入平交口全过程所需的最小距离。该距离包括车辆驶出隧道后明适应所需距离、平交口相关交通标志识读距离、车辆安全变换车道距离以及最终平稳驶入平交口距离 4 个关键环节的运行距离总和,具体见图 1。

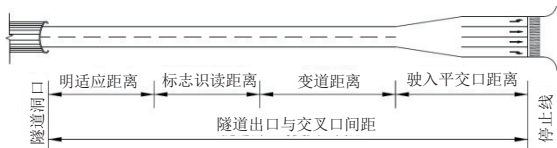


图 1 间距示意图

2 最小间距的计算

结合前文对一级公路隧道出口与平交口最小间距各类影响因素的分析,下文将针对该间距各组成部分的长度参考值展开具体的分析与计算。

2.1 明适应距离

车辆在隧道内长时间行驶,驾驶员因长期处于昏暗光线下,视觉会形成稳定的“暗适应”。当驶出隧道、骤然暴露于外部强光环境时,人眼为适应亮度剧变会产生短暂的眼部不适,此过程称为“明适应”。车辆在明适应过程中行驶的距离,即为明适应距离 L_1 。

$$L_1 = \frac{V}{3.6} t_1 \tag{1}$$

式中: V 为设计速度,km/h; t_1 为明适应恢复时间,s。国内外对公路隧道进出口视觉适应的相关实验及研究表明^[3-5],当车辆由隧道暗处驶入外部明处时,驾驶员视力需 1~3 s 初步恢复适应,完全适应明亮环境则需约 1 min。

从保障行车安全的角度出发,为预留充足的视觉恢复缓冲时间,在计算明适应距离时,选取最长的 3 s 作为视力恢复时间。结合山区一级公路常用的设计速度,可推导得出对应的明适应距离,具体计算结果见表 1。

表 1 明适应距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
明适应距离/m	84	67	50

2.2 标志识读距离

驾驶员在明适应后,需识别并处理平交口的交通信息。平交口交通流复杂,设有指路、禁令、警告等多类标志,需在行车中快速捕捉并完成标志识读,再结合自身行驶方向与路口实时状态进行综合判断并做出行动。这一完整的“识读—判断—行动”过程需要一定时间,该段时间内车辆行驶距离即为标志识读距离 L_2 。对一级公路常用的设计速度及车道数进行计算,计算结果见表 2。

$$L_2 = \frac{V}{3.6} t_2 + \sqrt{\frac{H^2 + D^2}{\tan(\theta/2)}} \tag{2}$$

式中: V 为设计速度,km/h; t_2 为标志识读时间,本文取 2.6 s^[6-7]; H 为驾驶员视线与标志间高差,本文取 1.2 m^[8]; D 为行车道总宽度,本文单条行车道宽度结合规范要求,设计速度大于 60 km/h 采用 3.75 m,小于等于 60 km/h 采用 3.5 m; θ 为驾驶员视角,驾驶员认读标志时视轴移动 5°最佳^[9],故本文取 5°。

表 2 标志识读距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
4 车道/m	109	95	78
6 车道/m	127	112	94

2.3 变道距离

在识读标志后,驾驶员为完成变道,需经历等待时机、调整车辆、判断穿越间隙、穿越车道 4 个步骤。这一过程是连续的,且每一步骤都对应着一段必需的行车距离。

2.3.1 等待时机过程中行驶的距离 L_{31}

变道前的等待阶段,驾驶员会观察相邻车道车流,以寻找安全变道时机。车辆保持匀速行驶,由该匀速运动所行驶的距离,即为等待期行驶距离(见

表3)。相关研究表明^[10],当公路上车辆交通量较小时,车辆相互独立,车头时距服从负指数分布,等待穿越时机所需时间可根据分布函数求解得到。

表3 等待时机过程中行驶的距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
4车道/m	57	39	25
6车道/m	51	35	23

$$t_{31} = \frac{1}{\lambda} [e^{\lambda(t-\tau)} - \lambda(t-\tau) - 1] \tag{3}$$

$$\lambda = \frac{Q}{3\,600} \tag{4}$$

式中: t 为车辆临界间隙,本文取4 s; λ 为单位时间内车辆的平均到达率; Q 为一级公路设计服务水平下最大服务交通量; τ 为车头时距最小值,本文取1.2 s。

$$L_{31} = \frac{V}{3.6} t_{31} \tag{5}$$

2.3.2 调整车辆过程中行驶的距离 L_{32}

确认变道时机后,便进入调整期。此阶段车辆将持续移动,驾驶员通过微调车速匹配邻道车流速度,相应的行驶距离即为调整期行驶距离(见表4)。在等待插入车流间隙的过程中,车辆保持换道车速 V_h 匀速行驶,直至平均等待时间 t_{31} 出现穿越间隙,该过程中车辆行驶的距离为 $V_h \times t_{31}$ 。此时相邻车道车辆的相对速度为 ΔV ,由于车辆需调整至与穿越间隙并行才能完成穿越,该过程中车辆调整的时间为 t_{32} :

$$t_{32} = \frac{V_h \times t_{31}}{\Delta V} \tag{6}$$

表4 车辆调整过程中行驶的距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
4车道/m	179	123	78
6车道/m	161	111	71

换道车速 V_h 为0.76倍的设计速度^[11],因此在车辆调整过程中行驶的距离 L_{32} 为:

$$L_{32} = \frac{V}{3.6} t_{32} = 0.88 V t_{21} \tag{7}$$

2.3.3 判断穿越间隙过程中行驶的距离 L_{33}

车辆在执行最终判断、确认相邻车道间隙能否安全变道以避免冲突风险的过程中,保持匀速行驶所经过的距离,即为判断期行驶距离(见表5)。

表5 判断穿越间隙过程中行驶的距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
行驶距离/m	70	56	42

$$L_{33} = \frac{V}{3.6} t_{33} \tag{8}$$

式中: t_{33} 为驾驶人的判断时间,结合我国一级公路实际运营的交通环境与特性,本文 t_{33} 取2.5 s。

2.3.4 穿越车道过程中行驶的距离 L_{34}

在此阶段,车辆执行横向位移以进入目标车道,并同步完成车身姿态的修正。车辆在跨越车道线及完成整个变道轨迹过程中所产生的纵向位移,形成穿越期行驶距离(见表6)。车辆穿越时横移速度按1 m/s 计算,结合上述车道宽度取值情况,设计速度大于60 km/h 时穿越一个车道需要3.75 s,小于等于60 km/h 时需要3.5 s。

表6 穿越车道过程中行驶的距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
4车道/m	105	84	59
6车道/m	210	168	118

$$L_{34} = \frac{V}{3.6} t_{34} \tag{9}$$

当一次穿越多个车道时,为上述距离的对应倍数。

2.3.5 变道距离

车辆变道距离为上述各值之和,具体见表7。

表7 变道距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
4车道/m	411	302	204
6车道/m	492	370	254

2.4 驶入平交口距离

按管理方式差异,一级公路平交口可初步分为灯控平交口和非灯控平交口两类。其中,灯控平交口的被交道路通常等级较高、交通量大,平交口有渠化设计;非灯控平交口的被交道路通常等级较低、交通量较小,被交道路仅加铺转角接入,一般采用主路优先的管理模式。这两类平交口在车辆进入距离计算上存在一定差异。

灯控平交口的进入距离,可参考路线规范中平交口渠化设计对应的变速车道与渐变段长度之和。

非灯控平交口的进入距离,需按2种场景计算:一是车辆制动至20 km/h 以满足转弯需求,二是制动至0 km/h 以满足停车避让需求。

2.4.1 灯控平交口

规范中主路设计速度及减速末速的不同,减速车道及渐变段取值长度不同,本文统一按照末速为0 km/h 进行取值,得到100、80、60 km/h 的变速车道及渐变段长度分别为100 m+60 m、60 m+50 m、40 m+40 m,即驶入距离见表8。

表8 灯控平交口驶入距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
驶入距离/m	160	110	80

2.4.2 非灯控平交口

为保证行车安全,本文取制动至 0 km/h 的距离(见表 9)。

表 9 非灯控平交口驶入距离

设计速度/(km·h ⁻¹)	100	80	60
驶入距离/m	132	82	43

$$L_{41} = \frac{(V/3.6)^2}{2gf} \tag{10}$$

式中:V为设计速度,km/h;g为重力加速度,取 9.8 m/s²;f为纵向摩阻系数,根据车速及路面状态确定,取值参考路线规范的条文解释。

2.5 最小距离参考值

结合前文对驾驶员明适应距离、标志识读距离、车道变换距离及平交口安全驶入距离的分析,针对不同设计速度、车道数及管理方式,最终得到一级公路隧道出口与平交口最小间距的参考值,具体数值见表 10。

表 10 一级公路隧道出口与平交口最小间距参考值(按 5 m 取整)

设计速度/(km·h ⁻¹)		100	80	60
6 车道	灯控平交口	865	660	480
	非灯控平交口	835	635	445
4 车道	灯控平交口	765	575	415
	非灯控平交口	740	550	375

3 结 语

本文针对一级公路隧道出口与平交口的间距问题,依次完成 4 项核心工作:明确界定该间距的范围,分析其各组成部分的功能与划分逻辑,建立各组成段长度的计算模型,最终给出各分段及总间距的计算参考值,为设计人员的实际工程设计提供可落地的技术参考。

参考文献:

[1] JTG D20—2017 公路路线设计规范[S].
[2] JTG/T D21—2014 公路立体交叉设计细则[S].
[3] JTG B01—2014 公路工程技术标准[S].
[4] 杜志刚,潘晓东,杨轶,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.
[5] 杜志刚,潘晓东,郭雪斌.高速公路隧道进出口视觉适应实验[J].哈尔滨工业大学学报,2007,39(12):1998-2001.
[6] 张伯明.交通标志汉字视认性的研究[J].公路交通科技,1993,10(2):40-46.
[7] 姚晶.主线分合流与隧道及主线出入口最小间距研究[D].西安:长安大学,2017.
[8] 沈强儒.高速公路互通式立交约束型出口安全保障技术研究[D].西安:长安大学,2011.
[9] 杨少伟,张弛,潘兵宏,等.城市道路非信号控制交叉与隧道净距的研究[J].中外公路,2016,36(5):315-319.
[10] 李文权,王炜,周荣贵.高速公路合流区 1 车道车头时距分布特征[J].公路交通科技,2003(1):114-117.
[11] 曹荷红.高速公路互通式立交变速车道研究[D].北京:北京工业大学,1999.