

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.04.028

引用格式: 张兴华, 黎军, 邹峻, 等. 城市隧道洞口与地下匝道分合流之间距离研究[J]. 公路与汽运, 2024, 40(4): 132-135.

Citation: ZHANG Xinghua, LI Jun, ZOU Jun, et al. Study on the distance between urban tunnel entrance and underground ramp separation and confluence[J]. Highways &amp; Automotive Applications, 2024, 40(4): 132-135.

# 城市隧道洞口与地下匝道分合流之间距离研究

张兴华, 黎军, 邹峻, 李翔

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

**摘要:** 地下匝道作为地下立交的重要组成部分, 其分合流点与隧道洞口之间的距离直接影响城市隧道的运行质量。文中通过对隧道洞口与地下匝道分合流之间距离进行分类, 结合明暗适应距离、标志识别距离、寻找间隙距离、车辆变道距离及确认距离等影响隧道洞口与地下匝道分合流之间距离的因素, 研究不同分类形式下隧道洞口与地下匝道分合流之间距离模型, 提出相应参考值。

**关键词:** 隧道; 洞口; 地下立交; 地下匝道; 匝道分流; 匝道合流

中图分类号: U452.13

文献标志码: A

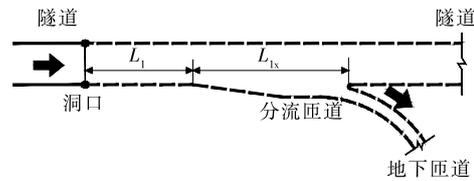
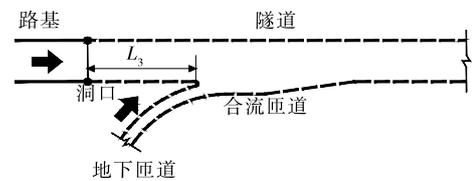
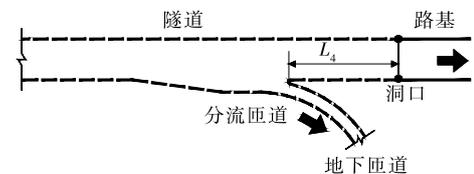
文章编号: 1671-2668(2024)04-0132-04

随着地下空间的一体化、复合化、网络化和高品质建设, 城市地下空间开发过程中, 地下空间与城市隧道已有了更多的复合性。城市隧道通常会结合 TOD (Transit-oriented Development, 以公共交通为导向的开发)、商业、停车库、地下人防工程、地下公交车站等城市设计统筹建设, 下穿隧道由单纯的承担通过性交通需求发展到车辆分流、合流、交织等集合各种交通需求的阶段, 地下道路功能越来越强, 建设规模大、距离长, 而且设置多点进出、相互连通、逐级分合流。地下匝道作为地下隧道的重要组成部分, 匝道分合流间距设置不科学会使进出匝道车辆与主线形成交织, 造成交通拥堵, 形成安全隐患<sup>[1]</sup>。特别是对隧道洞口与地下匝道分合流距离的选择需格外慎重, 这是由于车辆进出洞口时, 受明暗效应的影响, 若设置在地下道路洞口附近的分合流匝道与洞口之间的距离不合理, 将对城市隧道运行安全与通行效率产生极大影响<sup>[2-4]</sup>。

CJJ 221—2015《城市地下道路工程设计规范》<sup>[5]</sup>仅对城市地下道路主线设计速度、横断面、建筑限界、平纵指标及洞内匝道出入口间距提出了相关要求, 对城市隧道洞口与洞内匝道分合流距离少有提及。为保障车辆平稳运行, 本文从隧道洞口与地下匝道分合流之间距离类型着手, 分析相关影响因素, 研究不同运行速度下隧道洞口与地下匝道分合流之间距离参考值, 为工程设计提供参考。

## 1 隧道洞口与地下匝道分合流之间距离分类

根据常见地下隧道形式, 地下匝道与隧道洞口之间距离主要分为四类, 分别为隧道进洞口与地下匝道分流鼻之间距离 (见图 1)、隧道进洞口与地下匝道合流鼻之间距离 (见图 2)、隧道出洞口与地下匝道分流鼻之间距离 (见图 3)、隧道出洞口与地下匝道合流鼻之间距离 (见图 4)。

图 1 隧道进洞口与地下匝道分流鼻之间距离  $L_1 + L_{1s}$ 图 2 隧道进洞口与地下匝道合流鼻之间距离  $L_3$ 图 3 隧道出洞口与地下匝道分流鼻之间距离  $L_4$

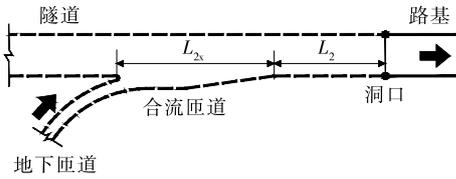


图 4 隧道出洞口与地下匝道合流鼻之间距离  $L_2+L_{2x}$

## 2 隧道洞口与地下匝道分流鼻之间距离

### 2.1 地下匝道出口位于隧道进洞口之后时隧道进洞口与地下匝道分流鼻之间的距离

地下匝道出口位于隧道进洞口之后(见图 1)时,隧道进洞口距地下匝道分流鼻之间的距离  $L_1+L_{1x}$  需考虑暗适应距离  $L_{11}$ 、标志识别距离  $L_{12}$ 、寻找间隙距离  $L_{13}$ 、车辆变道距离  $L_{14}$ 、确认距离  $L_{15}$ 、分流匝道渐变段和减速段长度之和  $L_{1x}$ (参见 CJJ 221—2015<sup>[5]</sup>)。

(1) 暗适应距离  $L_{11}$ 。车辆从较明亮的路基段进入隧道时,行驶环境骤然变化,特别是在进入隧道的瞬间,视觉会产生极大不适,极易导致驾驶员紧张而操作失误。从有利于行驶安全出发,需考虑暗适应距离。根据相关研究成果,车辆进入隧道前会出现不同程度的降速(降低 0~15 km/h),而在出隧道后表现为一直加速<sup>[6]</sup>。结合 JTG B01—2014《公路工程技术标准》<sup>[7]</sup>,从保证驾驶员安全出发,建议隧道洞口暗适应时间取 3.5 s,明适应时间取 3 s<sup>[8]</sup>。暗适应距离按式(1)计算。

$$L_{11} = \frac{v}{3.6} t_{11} \quad (1)$$

式中: $v$  为设计速度(km/h)。

(2) 标志识别距离  $L_{12}$ 。车辆经过“黑洞效应”进入隧道后,驾驶员应能及时识别隧道内交通标志并做出反应。标志识别距离按式(2)计算。

$$L_{12} = \frac{v}{3.6} t_{12} + \frac{\sqrt{H^2+B^2}}{\tan\theta} \quad (2)$$

表 1 不同设计速度下隧道进洞口与地下匝道分流鼻之间的距离  $L_1+L_{1x}$

主线设计速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	暗适应距 离/m	识别距 离/m	等待可插入间隙 及调整车位期间 行驶的距离/m	变道距 离/m	确认距 离/m	减速车道 长度/m	渐变段长 度/m	$L_1+L_{1x}/m$		
								1次 变道	2次 变道	不考虑变 道(极限值)
60	58.3	94.1	71.8	58.3	50.0	70.0	50.0	452.6	582.8	228.3
50	48.6	86.6	57.7	48.6	41.7	50.0	41.7	374.9	481.2	181.9
40	38.9	79.1	44.4	38.9	33.3	30.0	33.3	297.9	381.2	135.6

注:考虑到城市隧道多为双向四车道或六车道,计算了主线单向两车道时 1 次变道长度和主线单向三车道时 2 次变道长度。

式中: $t_{12}$  为驾驶员视认交通标志的反应时间(s),一般取 2.7 s; $H$  为小客车驾驶员视线与标志之间的高差(m),一般小客车驾驶员视线高度为 1.2 m,城市道路标志高度为 5.5 m, $H=4.3$  m; $B$  为驾驶员视点至单悬臂指路标志中间的横向距离(m),隧道内标志的支撑形式多为附着式,取  $B=0$ ; $\theta$  为驾驶员的横向视野界限(°),5°是驾驶员认读标志时的最佳视轴移动角度<sup>[9-11]</sup>。

(3) 寻找间隙距离  $L_{13}$ 。寻找间隙距离包括车辆在等待目标车道出现可插入间隙期间行驶的距离和变换车道前调整车位期间行驶的距离<sup>[12]</sup>,按式(3)计算。

$$L_{13} = 1.157 v t_w \quad (3)$$

式中: $t_w$  为可插入间隙平均等待时间(s),按式(4)计算。

$$t_w = \frac{(\lambda_1 \tau + 1) e^{\lambda_1(t_c - \tau)} - \lambda_1 t_c - 1}{\lambda_1 e^{\lambda_1(t_c - \tau)} [1 - e^{-\lambda_1(t_c - \tau)}]} \quad (4)$$

式中: $\lambda_1$  为目标车道车辆单位时间的平均到达率(pcu/s), $\lambda_1 \approx Q/3600$ ;  $Q$  为设计服务水平下最大交通量(pcu/h); $\tau$  为目标车道车头时距最小值, $\tau=1.2$  s; $t_c$  为车辆临界间隙(s),一般取为 4.0 s。

(4) 车辆变道距离  $L_{14}$ 。根据现有研究成果,车辆横移速度一般为 1 m/s,市政道路的一条车道宽度约为 3.5 m,车辆变换一条车道的的时间约为 3.5 s<sup>[13]</sup>。

(5) 确认距离  $L_{15}$ 。确认距离是指车辆驶入外侧车道后,在自由流状态下确认出口匝道的安全距离,一般按 3 s 行程计<sup>[9]</sup>。

综上,隧道进洞口与地下匝道分流鼻之间的距离  $L_1+L_{1x} = L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{15} + L_{1x}$ 。不同设计速度下隧道进洞口与地下匝道分流鼻之间的距离见表 1。

城市地下道路建设中,若建设用地及工程投资有限,为控制工程规模,可在进入地下道路之前进行交通提示,完成交通标志识别和车辆换道,车辆进入隧道后只需考虑暗适应距离、确认距离、渐变段和减速段长度(见表 1 中极限值);或将地下匝道减速车道延伸至洞口外(见图 5),在洞外完成匝道渐变和车辆减速,此时由于主线车辆在洞口外已完成变道操作并已减速,洞外长度  $L_x$  需考虑渐变段长度、减速段长度和明适应距离,洞内长度  $L_y$  只需大于匝

道行驶速度下暗适应距离+确认距离(由于入洞前车辆已完成减速,减速后车辆速度按主线设计速度折减 20 km/h 考虑)即可。 $L_x+L_y$  见表 2。

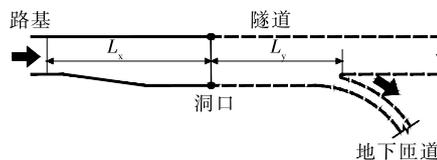


图 5 地下匝道减速车道延伸至洞口外示意图

表 2 不同设计速度下隧道分流位置与地下匝道分流鼻之间的距离  $L_x+L_y$

主线设计速度/( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	减速车道长度/m	渐变段长度/m	明适应距离/m	暗适应距离/m	确认距离/m	$L_x+L_y$ /m
60	70.0	50.0	33.3	38.9	33.3	225.6
50	50.0	41.7	25.0	29.2	25.0	170.8
40	30.0	33.3	16.7	19.4	16.7	116.1

### 2.2 地下匝道出口位于隧道进洞口之前时隧道出口与地下匝道分流鼻之间的距离

地下匝道出口位于隧道出洞口之前(见图 3)时,为保证隧道内主线车辆在出洞口明暗光线过渡区域少受干扰,洞口与分流鼻之间的距离  $L_4$  应避免隧道出洞口附近光线过渡区域。根据 CJJ 221—2015 对城市隧道洞口平纵线形的要求<sup>[5]</sup>,地下匝道分流鼻与隧道出洞口之间的距离  $L_4$  应不小于设计速度的 3 s 行程(见表 3)。

表 3 不同设计速度下地下匝道分流鼻与隧道出洞口之间的距离  $L_4$

主线设计速度/( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$L_4$ /m
60	50.0
50	41.7
40	33.3

### 3 隧道洞口与地下匝道合流鼻之间的距离

#### 3.1 地下匝道合流鼻位于隧道出洞口之前时隧道出口与地下匝道合流鼻之间的距离

地下匝道合流鼻位于隧道出洞口之前(见图 4)时,地下匝道合流鼻与隧道出洞口之间的距离  $L_2+L_{2x}$  需考虑合流匝道渐变段和加速段长度之和  $L_{2x}$ (参见 CJJ 221—2015<sup>[5]</sup>)、出洞口前明暗适应距离  $L_{24}$ (按设计速度的 3 s 行程考虑),  $L_2+L_{2x}$  见表 4 中不考虑变道时长度。若车辆汇入主线后需汇入内侧快车道,还需考虑标志识别距离  $L_{21}$ 、寻找间隙距离  $L_{22}$ 、车辆变道距离  $L_{23}$ (见表 4 中汇入主线后,考虑 1 次变道时长度)。

城市地下道路建设中,若建设用地及工程投资有限,为控制工程规模,可将地下匝道加速车道延伸至洞口外(见图 6),在隧道洞外完成匝道渐变。由

表 4 不同设计速度下地下匝道合流鼻与隧道出洞口之间的距离  $L_2+L_{2x}$

主线设计速度/ ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	加速车道 长度/m	渐变段 长度/m	明适应 距离/m	识别距 离/m	等待可插入间隙 及调整车位期间 行驶的距离/m	变道距 离/m	$L_2+L_{2x}$ /m	
							不考虑变 道时长度	汇入主线后,考虑 1 次变道时长度
60	140.0	50.0	50.0	94.1	71.8	63.2	240.0	464.3
50	100.0	41.7	41.7	86.6	57.7	55.7	183.3	376.3
40	70.0	33.3	33.3	79.1	44.4	48.2	136.7	299.1

于车辆汇流后需考虑硬隔离距离及洞口明暗效应,基于行车安全考虑,洞内合流鼻与洞口之间长度  $L_x$  范围内不允许车辆换道,相当于匝道硬隔离合流端

部需延伸至洞口外隧道明效应结束处,此时  $L_x$  根据具体工程情况而定,车辆出洞口后加速段长度  $L_y$  至少应满足明适应长度(匝道设计速度按主线设计

速度折减 20 km/h 考虑)、加速段长度和渐变段长度,车辆出隧道后再择机汇入主线。 $L_y$  见表 5。

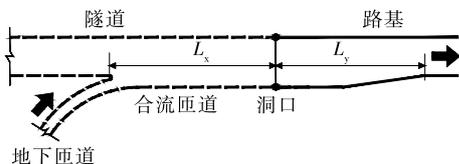


图 6 地下匝道加速车道延伸至洞口外示意图

表 5 不同设计速度下隧道洞口与出洞口后渐变段结束位置之间的距离  $L_y$

主线设计速度/ ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	加速车道 长度/m	渐变段长 度/m	明适应距 离/m	$L_y/\text{m}$
60	140.0	50.0	33.3	223.3
50	100.0	41.7	25.0	166.7
40	70.0	33.3	16.7	120.0

### 3.2 地下匝道合流鼻位于隧道出洞口之后时隧道进洞口与地下匝道合流鼻之间的距离

地下匝道合流鼻位于隧道进洞口之后(见图 2)时,为减少光线明暗过渡区域主线车辆所受干扰,提高入口附近行车安全性,CJJ 221—2015 考虑照明设计中入口段长度与第一过渡段长度之和,提出了隧道进洞口与地下匝道合流鼻之间距离  $L_3$  最小长度要求<sup>[5]</sup>。根据本文的分析, $L_3$  至少应满足暗适应距离和能够辨别前方汇入车辆的确认距离(见表 6)。

表 6 不同设计速度下隧道进洞口与地下匝道合流鼻之间的距离  $L_3$

主线设计速度/ ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$L_3/\text{m}$	
	CJJ 221—2015 建议 最小值	暗适应距离+识 别距离
60	85.0	152.5
50	60.0	135.3
$\leq 40$	35.0	118.0

## 4 结语

本文对隧道洞口与地下匝道分合流之间的距离进行分类,结合明暗适应距离、标志识别距离、寻找间隙距离、车辆变道距离、确认距离等影响隧道洞口与地下匝道分合流之间距离的因素,研究不同类型

距离的计算模型,给出相应参考值。城市道路建设过程中,通常限制因素(如用地性质、现状结构物、名木古树等)较多,若隧道洞口与地下匝道分合流之间的距离难以满足一般性指标,则应采取交通管制措施(如提前设置交通标志牌、加强交通引导或进行限速)保证行车安全。地下道路出入口设计中,需综合考虑空间利用合理性和工程造价选择匝道、合流分流布置形式及位置,并满足视距、光过渡等一系列安全要求。

### 参考文献:

- [1] 邓国忠,曹帆,吴勇,等.互通式立交与隧道出口小间距路段事故影响因素分析[J].中外公路,2019,39(4):283-287.
- [2] 姚晶,王海君,潘兵宏,等.基于换道模型的高速公路隧道出口与主线分流点最小净距研究[J].中外公路,2017,37(4):298-302.
- [3] 马晓萌.地下道路复杂交织区交通组织优化及仿真[J].公路与汽运,2020(3):25-31+36.
- [4] 李赞勇,冯焘.分离式立交与平面交叉口合理间距研究[J].中外公路,2018,38(3):326-328.
- [5] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司.城市地下道路工程设计规范:CJJ 221—2015[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [6] 祝站东,荣建,周伟.高速公路隧道路段小客车运行速度模型研究[J].公路交通科技,2010,27(7):123-127.
- [7] 交通运输部公路司,中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程技术标准:JTG B01—2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.
- [8] 张凌超,王生昌,田晓雪,等.营运车辆驾驶员驾驶适宜性暗适应评价[J].陕西交通职业技术学院学报,2013(2):24-28.
- [9] 陈学信.城市道路平面交叉口与隧道出口的最小间距计算[J].中外公路,2020,40(5):342-346.
- [10] 潘兵宏,周锡滨,周廷文,等.高速公路互通式立交出口识别视距计算模型[J].同济大学学报(自然科学版),2020,48(9):1312-1318+1352.
- [11] 杨伟.公路停车视距计算与分析[J].公路与汽运,2019(3):54-56.
- [12] 刘子剑.互通式立体交叉设计原理与应用[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [13] 张弛,杨少伟,潘兵宏.城市道路平面交叉口与隧道净距研究[J].公路交通科技,2016,33(10):137-141.

收稿日期:2023-08-02