

# 城市主干路框架隧道段出口与主路出口 最小间距研究

吕建培, 曹雪娟, 易志宏

(四川省交通运输厅 公路规划勘察设计研究院, 四川 成都 610000)

**摘要:** 随着城市路网的不断发展, 城市主干路两侧开口越来越多, 研究城市主干路框架隧道出口与主路出口的最小间距, 有助于合理设置出入口位置, 优化交通组织, 提高主干路服务水平。文中通过对车辆出隧道后驶出主路出口的驾驶特征分析建立最小间距计算模型, 针对不同设计速度和车道数, 结合已有研究成果进行参数标定与计算, 提出框架隧道段出口与主路出口的最小间距建议值; 对成都正公路一框架隧道出口进行实例评价, 结果表明该出口间距满足等待可插入间隙下的最小行车间距要求。

**关键词:** 城市交通; 主干路; 框架隧道段; 出入口; 最小间距

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)05-0027-04

随着城市道路的不断发展, 越来越多的主干路与被交道路形成路网节点, 同时涌现出大量城市跨线桥和下穿框架隧道, 沿线开口数量也随着主干道两侧的快速增加。若框架隧道出口与主路出口过近, 驾驶员驶出隧道后不能及时识别出口位置, 往往采取紧急制动以驶出出口方向, 容易造成尾随车辆相撞、侧向刮擦等事故或错过该出口只能行驶至下一出口绕行, 不仅影响主干路的交通功能, 还对车辆行驶带来安全隐患。

JTG/T D21-2014《公路立体交叉设计细则》规定了隧道与前方主线出口间的最小净距, CJJ 129-2009《城市快速路设计规程》规定了快速路出入口端部之间的距离, CJJ 193-2012《城市道路路线设计规范》规定主干路的两侧分隔带开口间距不宜小于 300 m, 但均未给出详细计算模型, 无法适用于主干路框架隧道。赵一飞等建议在 120 km/h 运行速度下高速公路隧道与互通立交出口的最小净距采用 800 m; 王方杰通过分析隧道与互通立交小间距路段的特点, 分别提出了隧道出口与互通立交出口小间距路段、互通立交入口与隧道入口小间距路段的交通安全设计方法; 曹荣青借鉴美国出入口管理策略技术, 对城市道路出入口间距与交通冲突点数量、事故率、通行能力之间的关系进行研究, 建立了相邻两出入口的最小间距模型, 并提出了城市道路出入口定位步骤和方法; 王宁分析了主干路接入口间距的约束条件, 根据接入间距理论模型推算得到理论

接入间距, 并应用微观交通仿真方法确定了接入间距。目前国内并没有行业规范明确规定主干路隧道与出入口间距的取值, 且隧道出口间距研究主要集中在高速公路隧道方面, 对市政道路间距的研究主要集中在相邻出入口间距。而框架隧道对主干路出入口的影响不容忽视。该文研究主干路框架隧道段出口与主路出口的最小间距, 为规划、设计主干路出入口位置提供理论依据。

## 1 影响主干路框架隧道出口与主路出口间距设置的主要因素

### 1.1 明适应及出口位置识别

白天在隧道行驶的驾驶员, 出隧道后会因隧道照明与外界光度的差异出现一段短暂的适应过程即明适应。国内外学者对明适应作了大量研究, 一般认为视力需要 1~3 s 的适应时间。

城市框架隧道不同于公路隧道, 为降低城市结构层次、服从城市的整体规划, 城市框架隧道多采用凹形竖曲线, 且纵坡较大, 驶出隧道出口后, 驾驶员很难直观注视到出口位置, 仅通过标志等获取信息采取减速、变道、驶出等驾驶行为。而判读获取出口位置信息必须在明适应结束后。

### 1.2 换道行为

主干路承担城市的主要交通功能, 驾驶员判读到出口信息后, 会根据自身需求采取换道行为。受隧道环境及隧道出口明适应的影响, 隧道内设置标

志困难,车辆在驶出隧道前均维持自由流,明适应后根据判断内容选择是否换道。秦臻在调查交通实际运行情况时统计发现,有车辆向道路内侧变换车道时,内侧后方车辆会出现减速行驶的跟车行驶或停车情况,这一状态与交通量相关性较大,故换道行为表现出以下3种状态:1)自由流状态。此时换道对后跟车辆不会造成驾驶影响。2)等待间隙。若当前车速低于目标车道车速,将对后跟车辆造成干扰,出现减速行为。3)非可接受间隙。跟驰状态,会对目标车道后跟车辆造成干扰,出现减速或停车行为。但城市道路驾驶过程中,若没有可插入间隙,可选择强行换道或减速停车等待,故换道行驶距离研究可仅考虑等待可插入间隙及车道横移行驶距离。

### 1.3 减速行为

《城市道路工程设计规范》指出辅道设计速度宜为主路设计速度 $v$ 的0.4~0.6,这里取0.5 $v$ 作为辅道设计速度。车辆驶出主路出口后行驶在辅道左侧,与一贯的右进右出驾驶习惯不同,若速度过低,

会对辅道行驶车辆造成干扰,甚至造成减速车道车辆反堵向主路。因此,驶出出口后车速应不小于辅道的设计速度。这里采用辅道设计速度作为出口位置车速理论计算数据。

### 1.4 框架隧道段出口与主路出口的行驶过程模型

假定车辆为均匀行驶,而驶出出口车辆的减速行为均在减速车道范围内完成,变换车道在自由流状态下不予减速。驾驶过程可概括为明适应—判断识别—决策反映—选择换道—减速驶出(见图1)。假定车辆行驶为自然流状态下的出口模式,以安全驶出需要的反应和操作时间建立框架隧道段出口与主路出口的最小间距 $L$ 计算模型如下:

$$L = l_1 + l_2 + (n-1)(l_3 + l_4) + l_5 + l_6$$

式中: $n$ 为车道数, $n=1,2,3,\dots$ ,最外侧车道 $n$ 取值为1,以此类推; $l_1$ 为明适应距离; $l_2$ 为标志信息识别及决策距离; $l_3$ 为等待可插间隙、调整车速距离; $l_4$ 为车辆横移1条车道所行驶的距离; $l_5$ 为渐变段长度; $l_6$ 为减速车道距离。

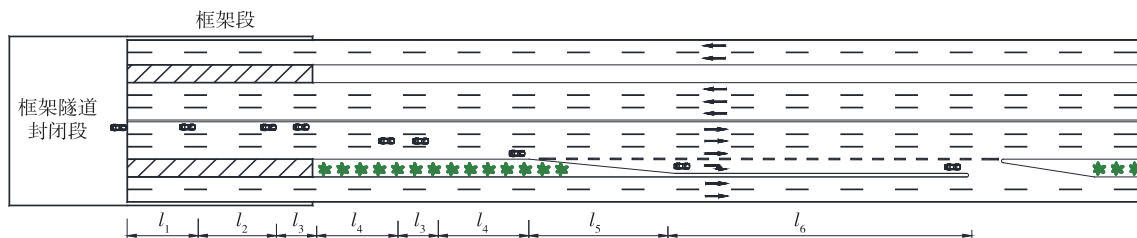


图1 车辆从框架隧道出口行驶至主路出口的过程

## 2 城市主干道框架隧道段出口与主路出口最小间距

(1) 明适应距离。从行车安全角度考虑,明适应距离 $l_1$ 以3 s行程确定,计算公式为:

$$l_1 = \frac{v}{3.6} \times 3 = \frac{v}{1.2} \quad (1)$$

式中: $v$ 为设计速度(km/h),假定隧道出口交通为自由流状态,不考虑拥堵车速折减,下同。

(2) 标志信息识别距离。驾驶员对标志信息的识别是“识别—反应”一系列连续的过程,包括发展、识别、认读、理解、反应5个阶段,是驾驶员从视认到判读到决策所行驶的距离,计算公式为:

$$l_2 = \frac{v}{3.6} t_1 + \sqrt{\frac{H^2 + B^2}{\tan(\alpha/2)}} \quad (2)$$

式中: $t_1$ 为驾驶员识别标识所用时间,取2.5 s(判断时间1.5 s,决策时间1.0 s); $H$ 为标志与驾驶员视

线的竖直高差,取4.3 m(标志高差取5.5 m,驾驶员视线高差取1.2 m); $B$ 为驾驶员视点与单悬臂标志中心点的横向距离(视点位置取1/2车道宽处); $\alpha$ 为驾驶员视轴移动范围,取5°。

(3) 等待可插间隙行驶距离。采取换道行为前需判断是否有可插间隙。可接受间隙出现后,选择适当的位置插入目标车道,需假定当前车速不低于目标车道行驶车辆速度,在满足车头时距情况下不对后车造成干扰。等待可插间隙时间行驶距离为:

$$l_3 = \frac{v}{3.6} t_2 \quad (3)$$

$$t_2 = \frac{1}{\lambda} [e^{\lambda(t-\tau)} - \lambda(t-\tau) - 1] \quad (4)$$

式中: $t_2$ 为等待可插间隙时间(s); $\lambda$ 为单位时间平均达到率(veh/s), $\lambda = Q/3600$ ;  $Q$ 为设计通行能力(pcu/h); $t$ 为车辆临界间隙,根据相关研究,取4.0 s; $\tau$ 为车头时距最小值,根据相关研究,取1.5 s。

(4) 车辆横移1条车道所行驶的距离。车辆横

移速率  $J=1\text{ m/s}$ ,车辆横移 1 条车道所需时间  $t=B/J$  ( $B$  为车行道宽度,主干路车道宽度取  $3.5\text{ m}$ ),所行驶的距离为:

$$l_4=\frac{v}{3.6}\times 3.5\tag{5}$$

(5) 渐变段长度。CJJ 152—2010《城市交叉口设计规程》中渐变段长度按  $0.7v$ 、 $3\text{ s}$  横移 1 条车道确定,计算公式为:

$$l_5=\frac{0.7v}{3.6}\times 3=\frac{2.1}{3.6}v\tag{6}$$

(6) 减速车道。车辆经主线驶出至辅道,形成左进的平面冲突区,必须对出口进行有效识别,调整主路的行驶速度以适应辅路的行驶速度,该段行驶距离称为有效减速车道。减速车道还需同时满足识别距离,即停车视距。减速过程包括发动机制动减速和刹车制动减速。1) 发动机制动减速距离。假定发动机制动前车速为匀速的主路车速  $v$ ,减速后的车速为  $v_1$ ,则发动机减速距离见式(7)。2) 刹车制动减速距离。发动机制动减速至  $v_1$  后,由刹车制动减速至辅道的行驶速度  $0.5v$ ,刹车制动行驶的减速距离见式(8)、式(9)。减速车道的最小长度按式

(10)计算,取其与停车视距两者中的大值。

$$l_{61}=\frac{v}{3.6}t_3-\frac{1}{2}a_1t_3^2\tag{7}$$

式中: $t_3$  为发动机减速制动时间,取空驶时间的 2 倍,为  $5.0\text{ s}$ ;  $a_1$  为发动机制动减速度,根据相关研究,  $a_1=-0.45\text{ m/s}^2$ 。

$$l_{62}=\frac{(0.5\times v/3.6)^2-(v_1/3.6)^2}{2a_2}\tag{8}$$

$$\frac{v_1}{3.6}=\frac{v}{3.6}-a_1t_3\tag{9}$$

式中: $a_2$  为刹车制动减速度,根据相关研究,  $a_2=-2.525\text{ m/s}^2$ 。

$$l_6=l_{61}+l_{62}=\left(\frac{v}{3.6}t_3-\frac{1}{2}a_1t_3^2\right)+\frac{(0.5v/3.6)^2-(v_1/3.6)^2}{2a_2}\tag{10}$$

通过上述各阶段行驶距离的分析与计算,定义最外侧车道为车道 1,以此类推,得到最小间距计算值,并取  $5\text{ m}$  整数倍,提出表 1 所示城市主干路框架隧道出口与主路出口的最小间距建议值。

由表 1 可知:最内侧车道在各行驶速度下驶出

表 1 城市主干路框架隧道段出口与主路出口的最小间距建议值

车道位置	不同车道数和设计速度(km/h)下框架隧道段出口与主路出口的最小间距/m								
	双向八车道			双向六车道			双向四车道		
	60	50	40	60	50	40	60	50	40
车道 1	235	190	150	235	190	150	235	190	150
车道 2	330	270	215	330	270	215	330	270	215
车道 3	435	360	285	435	360	285	—	—	—
车道 4	525	435	345	—	—	—	—	—	—

注:辅道速度为主路设计速度  $v$  的  $0.5$ 。

主路出口的间距需求最大,建议以最内侧车道驶出主路出口的最小间距控制出入口位置规划及设计。

3 实例应用

成都市正公路主路设计速度为  $60\text{ km/h}$ (双向六车道),辅路设计速度为  $30\text{ km/h}$ ,在  $K23+090$  处设框架隧道下穿成花货运铁路,出隧道口后  $K24+579.31$  处为正公路互通,车辆需经过辅道收费站进入互通,实现正公路与成自泸(成都—自贡—泸州)高速公路的交通转换。其中隧道框架出口桩号为  $K23+107$ ,收费站入口桩号为  $K23+732$ ,间距  $625\text{ m}$ 。根据表 1,车辆从框架隧道出口后驶出主路

的最小距离需求为  $435\text{ m}$ ,按此设计的满足车辆驶出框架隧道后驶出主路出口的最小间距见图 2。

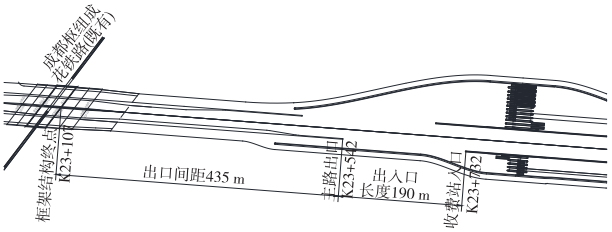


图 2 正公路框架隧道出口与主路出口间距平面图

通过实例应用,判别出正公路主线下穿成花货运铁路后,出口间距满足车辆出框架隧道后驶出主路出口的最小间距,但距离收费站入口仅  $190\text{ m}$ ,还

需考虑进入收费车道前的换道距离,需进一步优化标志标线等交通设置,诱导有出口需求的车辆在驶入隧道前调整至右侧两车道,减小出口所需距离,增大收费站入口交织段长度。

#### 4 结语

该文从驾驶员明适应、出口位置识别、换道行为、减速驶出四方面分析了车辆从城市框架隧道驶出后的行驶特征,建立了城市框架隧道段出口与主路出口的最小间距计算模型;假定设计速度为运行速度,仅考虑等待可插入间隙的换道行为,提出了城市主干路框架隧道段出口与主路出口的最小间距建议值,为规划、设计主干路出入口位置提供参考。但计算模型假定车辆以设计速度匀速运行,并未考虑不同车道及不同驾驶员的运行速度差,速度差对间距的影响还需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 赵一飞,陈敏,潘兵宏.隧道与互通式立交出口最小间距需求分析[J].长安大学学报:自然科学版,2011,31(3).

- [2] 王方杰.隧道与互通立交小间距路段的交通安全设计[J].山东交通科技,2017(4).
- [3] 曹荣青.城市道路出入口间距确定的理论方法研究[D].西安:长安大学,2007.
- [4] 王宁.城市主干路出入口合理间距的仿真研究[D].西安:长安大学,2008.
- [5] 秦臻.城市主干路路段横断面与分车带开口设计的研究[D].西安:长安大学,2017.
- [6] CJJ 37—2012,城市道路工程设计规范[S].
- [7] 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).
- [8] 谢陈峰.高速公路隧道出口与收费站最小间距研究[J].公路与汽运,2016(3).
- [9] CJJ 152—2010,城市交叉口设计规程[S].
- [10] 李英帅,杜子学,王少飞.高速公路隧道与互通连接段的安保对策研究[J].公路与汽运,2012(2).
- [11] 魏澜.城市道路平面交叉口与隧道出口最小安全间距探讨[J].福建建筑,2012(6).
- [12] 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.

收稿日期:2018-06-20

\*\*\*\*\*  
(上接第26页)

蚁群算法参数如下: $N_c=2\ 000$ , $m=50$ , $\alpha=6$ , $\beta=1$ , $\rho=0.8$ 。计算得经过上述必经点的最短路径(用节点编号表示)为 $1\rightarrow4\rightarrow2\rightarrow14\rightarrow17\rightarrow15\rightarrow12\rightarrow16\rightarrow13\rightarrow20$ ,该路径等效线路长度为24.09 km,1 km范围内村落为72个,总道路权重为0.235 9。

需指出的是,计算得到的最短路径是较理想化的,并未考虑实际中绝大多数高速公路两侧不能设置公交站点,也未考虑支路。在实际线路规划中,应将这些因素列入考虑范畴。

#### 6 结语

该文在分析城市群区域节点重要度的基础上,选出城市群区域中的必经节点,基于最短路径思想,确定了城市群道路公交线路布局,为城市群公交一体化推进中道路客运公交化和公交线路优化规划问题提供了一种方法。需指出的是,影响城市群道路公交线路布局的因素很多,该文重点考虑了线路长度和重要度,未来还需考虑换乘系数、经济效益等因素。同时文中只分析了一条线路的布局问题,在实际城市群道路公交线路规划中,应先选出起讫点,再

根据计算出的必经节点,通过“逐条布设,优化成网”的思想形成城市群城际道路公交线网。

#### 参考文献:

- [1] 湖南省道路运输协会,长沙友联技术工程咨询有限公司.长株潭城际公交改善和客运班线公交化改造研究[Z].长沙:湖南省道路运输协会,2017.
- [2] 胡列格,程立勤.基于节点重要度交通区位布局法的城市群公路网布局研究[J].铁道科学与工程学报,2008,5(1).
- [3] 王发曾,郭志富,刘晓丽,等.基于城市群整合发展的中原地区城市体系结构优化[J].地理研究,2007,26(4).
- [4] 郝伟.蚁群最短路径算法优化及其在GIS中的应用研究[D].西安:西北大学,2009.
- [5] 过秀成,姜晓红.城乡公共客运规划与组织[M].北京:清华大学出版社,2011.
- [6] 谭国真.时变、随机网络最优路径算法及其应用研究[D].大连:大连理工大学,2002.
- [7] 葛延峰,陈涛,孔祥勇,等.改进蚁群算法在城市汽车导航中的应用[J].控制工程,2016,23(1).

收稿日期:2018-03-02