

DOI:10.11918/202005091

毗邻互通立交特长隧道交通组织方法

马兆有^{1,2},方守恩¹,刘硕¹,苏东兰³

(1.道路与交通工程教育部重点实验室(同济大学),上海 201804;2.道路交通安全公安部重点实验室(公安部交通管理科学研究所),江苏 无锡 214151;3.苏州科技大学 土木工程学院,江苏 苏州 215011)

摘要:为响应毗邻互通立交特长隧道换道通行的客观需求,解决交通组织中车道控制方式和控制路段长度问题,通过防侧滑和防侧翻临界安全状态分析,建立了基于最小车头时距的车辆变道最小安全距离模型,测算特长隧道洞内或连接段变道最小安全距离.针对单向3条车道及以上特长隧道存在二次变道的实际情况,以保证前后车保持安全距离变道为目标,构建了单次、两次变道成功概率模型,测算连接段安全变道成功的概率.借助 Vissim 仿真技术对特长隧道的交通组织方案、车道控制方式进行类比分析,综合考虑特长隧道运行安全性和通行效率,提出了以车辆延误、损失时间、平均速度和车道变换次数等指标比选交通组织方案,以每车平均延误、每车停车次数、车辆密度、延误比以及行驶速度等指标比选车道控制方式.结果表明:毗邻互通立交特长隧道应进行连接段安全变道最小距离验算,并进行基于安全距离单次及两次变道成功概率测算;在连接段长度不满足安全变道条件时,宜采取驶出匝道车辆在特长隧道内完成车道变换的交通组织方案.

关键词:交通安全;特长隧道;交通组织;车道控制;变道行为

中图分类号:U491

文献标志码:A

文章编号:0367-6234(2021)03-0051-07

Traffic organization method for super-long tunnels adjacent to interchanges

MA Zhaoyou^{1,2}, FANG Shouen¹, LIU Shuo¹, SU Donglan³

(1.Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education (Tongji University), Shanghai 201804, China;

2. Key Laboratory of Road Traffic Safety of the Ministry of Public Security (Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security), Wuxi 214151, Jiangsu, China; 3. School of Civil Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, Jiangsu, China)

Abstract: To meet the objective demands of changing lanes in super-long tunnels adjacent to interchanges, and to solve the problems of lane control and length control in traffic organization, through the analysis of the critical safety status of anti-sideslip and anti-overturning, a model was established based on the minimum headway to calculate the minimum safe distance for lane changes in super-long tunnels or connection sections. Aiming at the requirement of double lane changes for three-lane one-way tunnels and above, in order to ensure a safe distance between front and rear vehicles for lane changes, a probability model was constructed for single and double lane changes to measure the success probability of safe lane changes in connection sections. Aided by the Vissim simulation technology, the analogy analysis of traffic organization methods and lane control methods of super-long tunnels was carried out. Considering the operating safety and traffic efficiency of super-long tunnels, the traffic organization methods could be selected based on the indicators of vehicle delay, lost time, average speed, and the number of lane changes, and the lane control methods could be selected based on the average delay per vehicle, the number of parking times per vehicle, vehicle density, delay ratio, and driving speed. Results show that the minimum distance of connection sections of super-long tunnels adjacent to interchanges should be checked for the minimum distance of safe lane changes, and the success probability of single and double lane changes should be measured based on the safe distance. For the connection sections which cannot meet the length requirements, the traffic organization method that the off-ramp vehicles complete the lane changes in the super-long tunnels is suggested.

Keywords: traffic safety; super-long tunnel; traffic organization; lane control; lane changing behavior

特长隧道作为道路网中的一个特殊路段,受交

通流量增加、车辆运行速度较快和独特封闭环境的影响,使其成为了潜在的事故多发路段^[1].据统计,2015年至2019年全国隧道路段共发生交通事故4 039起,造成1 274人死亡、4 435人受伤,年均发生事故807.8起、导致254.8人死亡,分别占全国交通事故总数的0.37%和0.41%.隧道事故死亡率为

收稿日期:2020-05-21

基金项目:国家重点研发计划(2018YFE0102700);

公安部科技强警项目(2019GABJC24)

作者简介:马兆有(1978—),男,副研究员,博士研究生;

方守恩(1961—),男,教授,博士生导师

通信作者:刘硕,avensonliu@163.com

0.32 人/起,是同期全部道路交通事故死亡率的 1.14 倍^[2].

为了保障行车安全,特长隧道通常采取禁止车行道变换的交通组织方式^[3].对双洞多车道的特长隧道而言,简单地禁止车行道变换,可能因交通流中慢车的影响导致通行效率降低,甚至引发排队、缓速通行等问题;同时,也会因车辆通行需求和动力性能的差异,导致交通流车速离散性较大,增加违法变道行为发生几率,影响特长隧道的运营安全.此外,由于地形限制或规划未预留足够空间等因素的影响,经常会出现特长隧道与互通立交之间的间距较小的特殊情况^[4],进出主线的车辆产生在隧道内完成车行道变换的客观需求.同时,从驾驶人的行为特征来看,由于特长隧道里程较长,禁止车行道变换可能会降低驾驶人的注意力,因疲劳驾驶或疏忽引发交通事故.本文基于特长隧道交通安全影响因素出发,结合特长隧道变道通行的交通需求,兼顾行车安全和通行效率,探讨特长隧道不同区段的交通组织和控制方式^[5].

1 变道约束条件分析

根据车辆变道的交通需求,可将变道行为划分为强制性变道和判断性变道两类.强制性变道是指必须发生的车道变换行为,如车辆为完成转向或其它操作而必须进行的变道行为,该行为多发生在匝道入口、立体交织区等特定路段.判断性变道是一种选择性的车道变换行为,是驾驶人为了获得更大的行驶空间或更高的行驶速度而采取的一种车道变换行为.在特长隧道出口外无匝道连接时,车辆变道行为属于判断性变道,有匝道连接时还包含强制性变道,毗邻互通立交的特长隧道同时存在强制性变道和判断性变道的交通需求^[6].

1.1 变道最小距离模型

车辆在变道过程中受重力、摩擦力和离心力的综合作用,受力情况如图 1 所示.

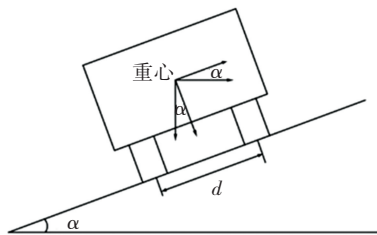


图 1 车辆变道过程受力图

Fig.1 Force diagram during vehicle lane change

1.1.1 防侧滑最小转弯半径

当摩擦力小于重力和离心力合力时,车辆将发生横向侧滑,防侧滑稳定性约束条件为

$$\begin{aligned} & m \frac{v^2}{R} \cos \alpha - mg \sin \alpha \leq \\ & \mu \left(mg \cos \alpha + m \frac{v^2}{R} \sin \alpha \right) m \frac{v^2}{R} \cos \alpha - mg \sin \alpha \leq \\ & \mu \left(mg \cos \alpha + m \frac{v^2}{R} \sin \alpha \right). \end{aligned} \quad (1)$$

对于普通路段而言,超高值较小, $\sin \alpha \approx i$, 则防侧滑最小转弯半径简化为

$$R = \frac{v^2}{127(\mu + i_h)}. \quad (2)$$

式中: m 为车辆质量, kg; v 为运行车速, km/h; μ 为路面摩擦系数; i_h 为路拱横坡.

1.1.2 防侧翻最小转弯半径

在离心力作用下,车辆存在以外侧车轮中心为转轴发生侧向翻转的倾向,防侧翻稳定性约束条件为

$$\left(m \frac{v^2}{R} \cos \alpha - mg \sin \alpha \right) h \leq mg \cos \alpha + m \frac{v^2}{R} \sin \alpha \frac{b}{2}, \quad (3)$$

防侧翻最小转弯半径简化为

$$R = \frac{v^2(2h - be)}{127(b + 2he)_{\min}}. \quad (4)$$

式中: v 为车速, km/h; b 为车辆轮距, m; e 为曲线超高; h 为车辆重心高度, m. 根据常见货运车辆的参数, b 取 2.00 m, h 取 1.70 m.

1.1.3 最小车头时距

车辆变道还受目标车道可插入间隙的影响^[7],即变道车辆 n 应满足不与目标车道上的前车 $n-1$ 和后车 $n+1$ 发生碰撞,其安全约束条件为

$$h_{n-1}^s \geq \frac{\frac{V_n^2}{V_{n-1}} - V_{n-1}}{70.56(\mu \pm i_z)} + \frac{V_n t}{V_{n-1}} + \frac{3.6L}{V_{n-1}}, \quad (5)$$

$$h_{n+1}^s \geq \frac{\frac{V_{n+1}^2}{V_n} - V_n}{70.56(\mu \pm i_z)} + \frac{V_{n+1} t}{V_n} + \frac{3.6L}{V_n}. \quad (6)$$

式中: h_{n-1}^s 为前车 $n-1$ 与变道车辆 n 之间的车头时距, s; V_n 为变道车辆 n 的车速, km/h; V_{n-1} 为目标车道上前车 $n-1$ 的车速, km/h; μ 为路面摩擦系数; i_z 为路线纵坡,上坡为“+”,下坡为“-”; L 为安全停车距离,可取 11 m; t 为驾驶人的反应时间,可取 0.5~1.5 s.

基于运行安全和通行效率考虑,将车辆 n 与前车 $n-1$ 的最小车头时距模型作为车辆变道的安全模型:

$$\begin{aligned} \bar{h}_{lc}(n) = & \frac{\frac{V_n^2}{V_{n-1}}}{70.56(\mu \pm i_z)} + \frac{V_n t}{V_{n-1}} + \\ & \frac{3.6L}{V_{n-1}} \frac{7.2 R_1}{V_n} \arccos \left(\frac{R_1 - 0.5 w}{R_1} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

式中: $\bar{h}_{ic}(n)$ 为车辆 n 变道所需的最小车头时距, s; w 为车行道宽度, m.

1.1.4 最小变道距离

假设车辆在变道过程车速方向发生变化, 而车

速大小保持不变, 围绕两个半径相同的连续反向圆曲线 S_1 和 S_2 做匀速圆周运动^[8], 如图2所示. 将车辆变道抗滑临界圆曲线半径、抗侧翻临界圆曲线半径作为安全约束条件, 界定车辆变道临界安全状态.

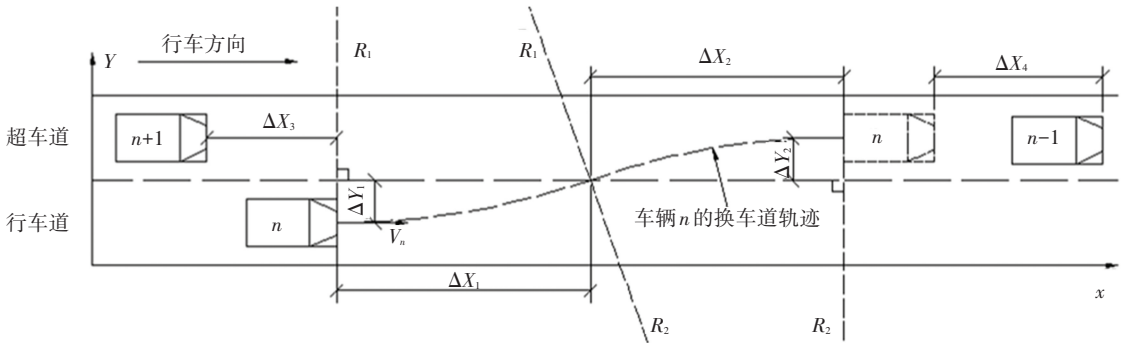


图2 车辆变道过程行驶轨迹示意图

Fig.2 Schematic diagram of driving trajectory during vehicle lane change

车辆在变道过程中绕行的两个圆曲线半径为 R , 发生的横向位移为 ΔY_1 和 ΔY_2 、纵向位移为 ΔX_1 和 ΔX_2 , 则最小变道距离记为

$$\Delta x_{\min} = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 2\Delta x_1 = 2\sqrt{R^2 - (R - \Delta y_1)^2} = 2\sqrt{2R\Delta y_1 - \Delta y_1^2}. \quad (8)$$

考虑目标车道插入间隙的影响, 最小变道距离为

$$\Delta l_{\min} = 2\sqrt{2R\Delta y_1 - \Delta y_1^2} + v_n h_{n,n-1}^s. \quad (9)$$

式中 Δl_{\min} 为考虑目标车道插入间隙影响的最小变道距离, m.

1.2 安全变道概率模型

当特长隧道与互通立交连接段的长度较小时, 提供给车辆进行变道的距离有限, 基于最小换道距离模型, 研究建立特定条件下车辆安全变道成功概率^[9].

1.2.1 单次安全变道概率

车辆在变道过程中受交通流量、相邻车道车辆相对速度的影响, 为考虑相邻车辆及连接段长度对变道成功概率的影响, 构建安全变道概率模型, 以安全变道系数 $a_{p,v}$ 评价变道的安全性.

假设交通流在特长隧道内随机、均匀分布, 则平均车头时距可表示为

$$\bar{h}_v = \frac{3600n}{Q}. \quad (10)$$

式中: \bar{h}_v 为平均车头时距, s; n 表示车道数; Q 为高峰小时交通流量, pcu/h.

某时刻变道车辆成功变换到目标车道的车头时距间隙 h_s 可表示为

$$h_s = p \cdot \bar{h}_v. \quad (11)$$

式中 p 为单次安全变道概率.

安全变道系数 $a_{p,v}$ 可表示为

$$a_{p,v} = \frac{(1-p)\bar{h}_v}{h_{n-1}^s + h_{n+1}^s}. \quad (12)$$

式中: h_{n-1}^s 为前车 $n-1$ 与变道车辆 n 之间的安全车头时距, s; h_{n+1}^s 为后车 $n+1$ 与变道车辆 n 之间的安全车头时距, s.

在保障前后车安全距离的情况下, 单次安全变道概率 p 为

$$p = \frac{h_s}{\bar{h}_v} = \frac{\bar{h}_v - (h_{n-1}^s + h_{n+1}^s)}{\bar{h}_v}. \quad (13)$$

1.2.2 二次安全变道概率

对于单向3条车道及以上的特长隧道, 存在跨越两条车道进行变道的客观需求. 当车辆完成一次车道变换后, 需要通过一段时间调整以获得足够安全距离, 二次变道前的调整时间 t' 由车辆 n 与前车 $n-1$ 的最小车头时距 $h_{n,n-1}^s$ 计算:

$$t' = \frac{v \cdot h_{n,n-1}^s}{\Delta v}. \quad (14)$$

式中: t' 为二次变道前车辆调整时间, s; $h_{n,n-1}^s$ 为变道车辆 n 与前车 $n-1$ 之间的车头时距, s; v 为变道车辆的运行速度, km/h; Δv 为变道车辆 n 与前车 $n-1$ 之间的速度差, km/h.

基于车辆变道前的调整时间及连接段允许变道总时长, 构建保证以安全距离变道成功的概率计算模型:

$$p_t = 1 - p^{\lfloor t' \cdot \frac{\Delta v}{v \cdot h_{n,n-1}^s} \rfloor}. \quad (15)$$

式中: p_t 为连接段保证以安全距离变道成功的概率, p 为某时刻以安全系数 $a_{p,v}$ 变道成功的概率, t 表示连接段允许变道总时长, $\lfloor x \rfloor$ 表示对 x 向下取整.

由于车辆两次变道之间相互独立,则连续两次安全变道概率可表示为

$$p' = 1 - C_{[\frac{L}{3}]}^1 p^1 \cdot (1 - p)^{L[\frac{L}{3}] - 1} - C_{[\frac{L}{3}]}^0 (1 - p)^{L[\frac{L}{3}]}. \tag{16}$$

2 交通组织方案类比分析

根据特长隧道出口外侧一定距离内是否存在匝道出口,可将特长隧道洞口外侧连接段的衔接方式分为两类:1)不存在匝道出口,车辆不需要考虑变道进入特定的车道以进入匝道出口,只存在判断性变道;2)存在匝道出口,当隧道内禁止变道、连接段长度不足以供车辆完全变道进入匝道出口,车辆可能会在分流点前降低车速通过强行变道进入出口匝道,或在隧道内禁止变道区段违法变道进入目标车道;当隧道内允许变道,车辆可以在隧道内完成车道变换进入目标车道.

2.1 仿真试验设计

借助 Vissim 仿真技术,以某座双洞 6 车道快速路特长隧道为例,阐述典型交通组织方式比选方法.该隧道全长为 7.9 km,设计速度为 80 km/h,平纵断面线形条件较好,南侧出口距互通立交匝道渐变段起点为 380 m,中小客车、大型货车、大型客车交通流比例为 43.25 : 38.04 : 3.65,不同阶段交通流量组成见表 1.假设大型车分布在右侧两个车道,小型车从内往外 3 个车道分别占 60%、20%、20%,去期望方向时发生的变道次数尽可能少且均匀分布.隧道洞口至连接段的车道数为 3,通往城区、远郊方向的匝道数均为 2.

表 1 交通流量组成

Tab.1 Traffic flow composition pcu/h

| 预测 期限 | 远郊方向流量 | | 城区方向流量 | |
|----------|--------|-----|--------|-----|
| | 小型车 | 大型车 | 小型车 | 大型车 |
| 近期 | 580 | 162 | 636 | 178 |
| 中期 | 676 | 171 | 854 | 217 |
| 远期 | 762 | 187 | 962 | 236 |

在仿真试验中,交通流量为 600~3 000 pcu/h,相邻流量之间的梯度设为 800 pcu/h.选取小型车和重型货车两种车型,设定小型车交通流量占比 50%~100%,相邻比值间的梯度为 10%.结合特长隧道的行车环境特点,设计 4 种典型交通组织方案:方案 1,隧道内允许变道,最内侧车道为小型车专用道,外侧两条车道为大小型车混行车道;方案 2,隧道内允许变道,不设置专用车道;方案 3,隧道内禁止变道,最内侧车道为小型车专用道,外侧两条车道为大小型车混行车道;方案 4,隧道内允许变道,最

内侧车道小型车专用道,中间车道为大小型车混行车道,最外侧车道为大型车专用车道.

2.2 交通组织方案比选

选用平均速度、车均延误评价车辆的通行效率,车道变换次数指标评价车辆的安全性,分析不同交通组织方案在高峰交通流量分别为 600、1 400、2 200、3 000 pcu/h,小型车占比分别为 50%、60%、70%、80%、90%、100%等条件下的通行效率和安全性.在交通流量设定为 2 200 pcu/h 时,特长隧道内交通流量密度处于正常范围,对应的交通服务水平较高,本文仅以 2 200 pcu/h 流量条件下,不同组织方案特征指标类比分析为例.

如图 3 所示,在交通组成相同的情况下,平均速度随着交通量的增长而降低,随着小型车比例的增加而提升,采用平均速度作为评价指标时方案 1 最优.方案 2 平均速度的变化随着小型车比例的增加而近似服从线性变化,其优势区域在小型车流量占比为 80%~100%之间.方案 3 平均速度随着小型车比例的上升增长速度较快,且随着交通量的增大上升越加明显^[10].方案 4 在小型车比例小于 80%的情况下平均速度高于方案 2,在大型车流量较高(20%~50%)时平均速度随小型车比例上升增幅较小.

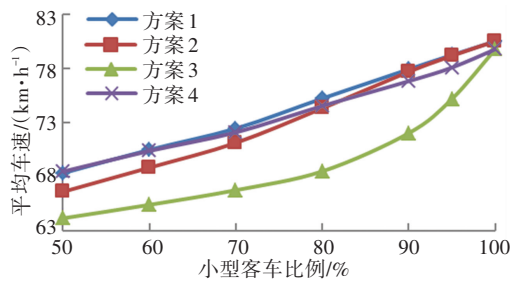


图 3 平均速度-交通组成变化

Fig.3 Relation between average speed and traffic composition

如图 4 所示,不同交通组织方案下的车均延误均随着交通流量的增长而增加,方案 1 在各种交通流量和交通组成条件下获得的车均延误最低.方案 2 车均延误随着小型车比例的增加而逐渐减少,在小型车比例在 80%~100%之间时获得的车均延误较低,是方案 2 最理想的交通构成区间.方案 3 车均延误是各种交通组织方案中最大的,随着交通流量的增大交通流密度变大、每辆车拥有的行驶空间和驾驶自由度降低,大型车后面跟驰行驶而不能超越的车辆逐渐增多,当交通流中重型货车达到一定比例时交通流运行的阻隔作用最大.方案 4 车均延误在小型车比例为 70%~80%之间时出现一个最大值,在小型车比例为 50%~80%之间,得到的车均延

误差高于方案1.

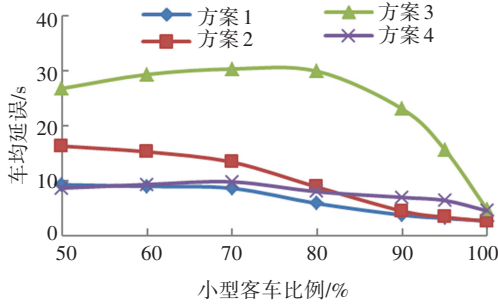


图4 车均延误-交通组成变化

Fig.4 Relation between vehicle delay and traffic composition

如图5所示,车均变道次数与交通流量之间变化并非呈现简单的正相关或负相关的关系,在交通流量很小的情况下,车辆不需要进行车行道变换就可以保持较高的行驶自由度.随着交通流量的进一步增大,期望进行车行道变换的车辆数增多,但由于

交通流密度较大,可穿越间隙减少,车行道变换难度增大,车均变道次数减少.

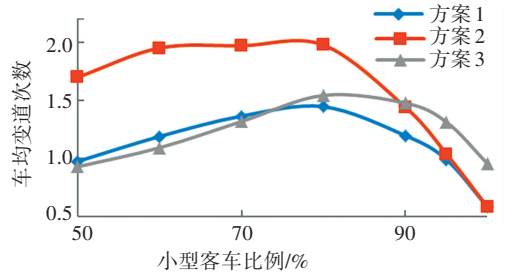


图5 车均变道次数-交通组成变化

Fig.5 Relation between average number of lane changes and traffic composition

如表2所示,在分析案例中采取最内侧车道禁止大型车行驶,外侧两条车道任意车行道变换的交通组织方式,可获得隧道交通流运行安全和通行效率的最优化^[11].

表2 不同交通组织方案特征指标对比

Tab.2 Comparison of characteristic indexes of different traffic organization methods

| 交通组织方案 | 速度 | 延误 | 车均变道次数 |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 方案1 | 优 | 优 | 小型车比例小于90%,良 小型车比例大于90%,优 |
| 方案2 | 小型车比例小于80%,优; 中小型车比例大于80%,良 | 小型车比例小于80%,优; 中小型车比例大于80%,良 | 小型车比例小于90%,优; 中小型车比例大于90%,良 |
| 方案3 | 差 | 差 | — |
| 方案4 | 小型车比例小于80%,良; 小型车比例大于80%,中 | 小型车比例小于80%,良; 小型车比例大于80%,中 | 小型车比例小于90%,优; 小型车比例大于90%,中 |

3 车道控制方案类比分析

3.1 仿真试验设计

结合特长隧道内交通组织方案,以及最小变道距离、安全变道成功概率的理论计算结果,将连接段与特长隧道作为整体设计了4种车道控制方案^[12],利用Vissim进行车道控制仿真试验^[13].

方案1,隧道出口前后100m禁止变道,小型车换道在洞内允许变道路段自行完成,连接段允许大型车由右向左单向变道.

方案2,隧道出口前后100m禁止变道,连接段允许所有车型自由变道.

方案3,隧道内距出口前1.0km至出口前100m为定向变道路段,出口前1.0km至出口前600m允许由内侧向外侧变道,出口前600m至出口前100m允许由外侧向内侧变道.

方案4,隧道内距出口前1.0km至出口前500m允许外侧车向内侧变道,出口前500m至出口前100m允许由内侧车向外侧变道.

3.2 变道成功概率测算

在隧道-互通立交连接段长度受限的条件下,方案2允许在连接段自由变道,产生的交通冲突较多、通行效率低、安全性差.如表3所示,方案1、方案3、方案4理论可变道长度基本一致,安全距离成功变道概率基本相同,在近期交通流量条件下按设计速度基本满足安全距离变道.在远期交通流量条件下,按安全距离成功变道概率约为66%,在实际运行中可能造成部分车辆变道不满足安全距离条件或需要降低行驶速度^[14].

3.3 车道控制方案比选

在Vissim数据基础上,选择每车平均延误(s)、车辆密度(peu/km)、延误比、行车速度(km/h)等指标对车道控制方案进行类比分析.不同车道控制方案下连接段每车平均延误如图6所示,在近中远期交通流量条件下,方案1每车平均延误无明显增长;方案2、方案3每车平均延误增长较大,在交通流量3000~3500peu/h时增幅达到200%以上;方案4涨幅介于方案1和方案2、方案3之间.

表 3 变道成功率计算

Tab.3 Calculation of lane change success rate

| 车道控制方案 | 变道长度/m | 允许变换车道时长/s | 高峰交通流量/(pcu·h ⁻¹) | 单次变道成功概率 | 两次变道成功概率 |
|---------|--------|------------|-------------------------------|----------|----------|
| 方案 1 | 280 | 10.65 | 2 500 | 0.87 | 0.49 |
| | | | 3 000 | 0.76 | 0.38 |
| | | | 3 500 | 0.66 | 0.30 |
| 方案 3(4) | 290 | 11.10 | 2 500 | 0.87 | 0.49 |
| | | | 3 000 | 0.76 | 0.38 |
| | | | 3 500 | 0.66 | 0.30 |

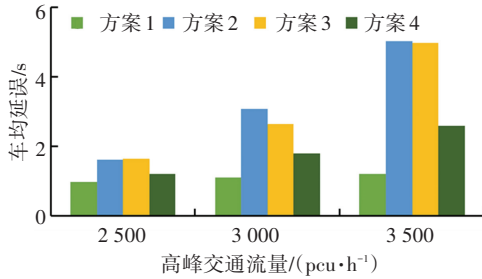


图 6 连接段每车平均延误

Fig.6 Average delay of vehicle in connection section

不同车道控制方案下连接段延误比如图 7 所示,在近中远期交通流量条件下方案 1 延误比没有明显增长;方案 2 延误比增幅明显,在远期 3 500 pcu/h 交通流量下延误比为 0.25,严重影响通行效率;方案 3、方案 4 延误比存在一定增长,但优于方案 2。

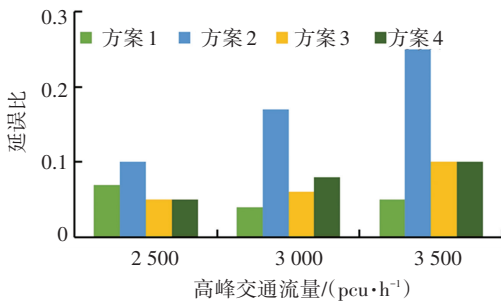


图 7 连接段延误比

Fig.7 Delay ratio in connection section

不同车道控制方案下连接段车辆密度如图 8 所示,方案 2 的车辆密度随着交通量增加急剧上升,在远期交通流量 3 500 pcu/h 条件下,车辆密度达到 56.14 pcu/km,而其他 3 种方案车辆密度增幅较缓,在远期大交通流量条件下基本处于 20 pcu/km。

不同车道控制方案下连接段平均速度如图 9 所示,除方案 2 在连接段自由变道的交通组织方案外,其他 3 种交通组织方案在近中远期预测的平均速度均存在小幅降低,但总体车速符合 80 km/h 的设计速度。

从变道成功概率来看,方案 1、方案 3、方案 4 在

近中期交通流量条件下,按照设计速度行驶基本能满足按照安全距离变道。在远期大交通流量条件下,按照安全距离变道成功概率降低明显。鉴于特长隧道-互通立交连接段长度难以增长,在远期交通流量条件下利用连接段变道成功概率会维持在一个比较低的水平^[15]。在交通流量增大时,宜采用方案 3、方案 4 在特长隧道内完成车道变换,变道长度依据连接段变道成功概率计算确定。

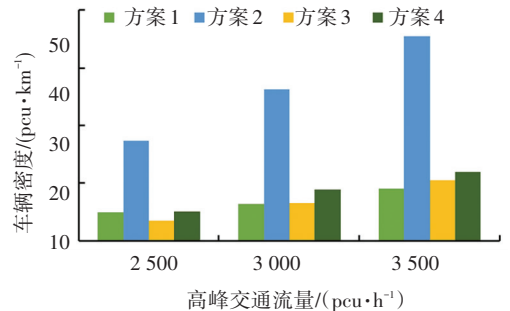


图 8 连接段车辆密度

Fig.8 Vehicle density in connection section

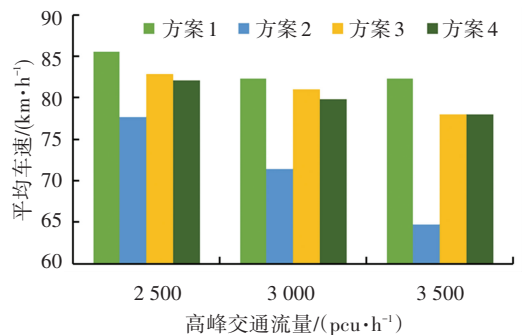


图 9 连接段平均速度

Fig.9 Average speed in connection section

4 结 论

1) 毗邻互通立交的特长隧道交通组织方案设计时应进行连接段安全变道最小距离验算,并进行基于安全距离单次及两次变道成功概率测算。在连接段长度不满足安全变道条件时,宜整体考虑特长隧道及连接段的交通组织方式,在隧道内完成驶出匝道车辆的车道变换需求。

2)在隧道线形条件较好、安全性指标较高时,多车道特长隧道宜采取内侧车道禁止大型车通行、外侧两条车道大小型车混合通行的交通组织方式,可以提高隧道运行安全性和通行效率最高。

3)综合考虑驾驶人行车需求、隧道交通事故分布特征等因素,示例特长隧道宜采取入口外 200 m 至入口内 300 m、出口内外 100 m 禁止变道,隧道洞内基本段允许自由变道,距出口前 1.0 km 至出口前 100 m 的路段允许交替定向变道的交通组织方式。

参考文献

- [1] MA Zhaoyou, FANG Shouen, LIU Shuo, et al. Analysis of the relationship between the number of traffic accidents and the traffic flow & section location in extra long tunnel[J]. Engineering, 2020, 12: 71
- [2] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2019年度)[R]. 北京:公安部交通管理局, 2020
Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. Annual report on road traffic accidents of the People's Republic of China (2019) [R]. Beijing: Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security, 2020
- [3] 公安部交通管理科学研究所. 城市道路交通组织设计规范: GB/T 36670—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018
Traffic Management Research Institute of Public Security Ministry. Guideline on the design of traffic operation of urban roads: GB/T 36670—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018
- [4] 招商局重庆交通科研设计院有限公司. 公路隧道设计规范 第一册 土建工程: JTG 3370.1—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2018
China Merchants Chongqing Communications Technology Research & Design Institute Co., Ltd.. Specification for designs of highway tunnels section 1 civil engineering: JTG 3370.1—2018 [S]. Beijing: China Communications Press, 2018
- [5] TANAKA K, NAGAI R, NAGATANI T. Traffic jam and discontinuity induced by slowdown in two-stage optimal-velocity model [J]. Physical A, 2006, 370: 7656
- [6] BELLEMANS T, De SCHUTTER B, De MOOR B. Model predictive control for ramp metering of motorway traffic: a case study [J]. Control Engineering Practice, 2006(14): 757
- [7] 贺玉龙, 刘小明, 任福田. 城市快速路互通式立交的最小间距[J]. 北京工业大学学报, 2001, 27(1): 8
HE Yulong, LIU Xiaoming, REN Futian. The minimum distance between interchanges of urban expressways [J]. Journal of Beijing Polytechnic University, 2001, 27(1): 8
- [8] 蒋锐, 郭忠印, 李振楠. 恶劣天气条件下车辆换车道的安全模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2011, 39(4): 529
JIANG Rui, GUO Zhongyin, LI Zhenan. Lane-changing safety model for deteriorative weather [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2011, 39(4): 529
- [9] 苏东兰, 张彦宁, 郭忠印. 城市快速路隧道与立交超短连接段变道概率分析[J]. 交通信息与安全, 2019, 37(219): 67
SU Donglan, ZHANG Yanning, GUO Zhongyin. A probability analysis of lane changing in connection segments between urban expressway tunnels and interchanges [J]. Traffic Information and Safety, 2019, 37(219): 67
- [10] MA Zhaoyou, FANG Shouen, LIU Shuo, et al. Analysis of the relationship between the number of traffic accidents and the traffic flow & section location in extra long tunnel[J]. Engineering, 2020, 12(2): 71
- [11] 王晓燕, 马兆有, 董宪元. 我国隧道交通事故分析及管理对策研究[J]. 交通工程, 2017, 17(6): 33
WANG Xiaoyan, MA Zhaoyou, DONG Xianyuan. An analysis of tunnel traffic crashes and countermeasures [J]. Traffic Engineering, 2017, 17(6): 33
- [12] 史晓燕. 高速公路隧道群交通组织及管理方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2015
SHI Xiaoyan. Research on traffic organization and management measures of freeway tunnel group [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015
- [13] 杨晓芳, 方琳, 付强. 基于 Vissim 仿真的隧道衔接交叉口交通组织优化[J]. 物流科技, 2017, 40(8): 65
YANG Xiaofang, FANG Lin, FU Qiang. Traffic organization optimization for the intersection convergence of tunnel based on VISSIM simulation [J]. Logistics Sci-Tech, 2017, 40(8): 65
- [14] 薛行健, 晏克非. 城市快速路匝道合流区车道调整方法研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2010, 7(3): 104
XUE Xingjian, YAN Kefei. Method of lane adjust about urban rapid way ramp merge area [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2010, 7(3): 104
- [15] 林有心, 马兆有. 基于事故特征的隧道交通安全问题及管控要点分析[J]. 道路交通科学技术, 2020(1): 14
LIN Youxin, MA Zhaoyou. Analysis of tunnel traffic safety problems and key points of control based on accident characteristics [J]. Road Traffic Science and Technology, 2020(1): 14

(编辑 魏希柱)