

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.09.021

低速货车影响下不同类型驾驶员的跟车行为

付强¹, 杨晓芳², 王建蓉²

(1. 同济大学 测绘与地理信息学院, 上海 200092; 2. 上海理工大学 管理学院, 上海 200090)

摘要: 针对我国多车道快速道路, 低速货车后跟驶车辆跟车行为不同的现象, 从驾驶员类型和邻道车影响2方面入手, 在分析跟车各阶段低速货车对不同类型驾驶员产生的影响和邻道低速货车对车辆跟驰影响的基础上, 建立了一种低速货车影响下基于车头间距的跟车模型。仿真分析表明, 随着低速货车比例增大, 驾驶员冒险程度对通行能力的影响幅度和邻道车通行能力的影响幅度均呈现先增大后减小的明显趋势。

关键词: 交通工程; 跟车行为; 建模; 低速货车; 驾驶员类型

中图分类号: U491.2⁺55

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)09-0134-06

Car-following Behaviors of Different Types of Driver under Low-speed Truck Impact

FU Qiang¹, YANG Xiao-fang², WANG Jian-rong²

(1. School of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092;

2. School of Business, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200090, China)

Abstract: In view of the phenomena of the cars that following low-speed truck have different car-following behaviors in multi-lane freeway of China, from aspects of driver types and adjacent car effect, based on the analysis of the impact of low-speed truck in the same lane and adjacent lane on different types of drivers in different stages of car following, a car following model based on headway under the influence of low-speed truck is established. The simulation analysis shows that as the proportion of low-speed trucks increases, the magnitudes of the impact of the driver's level of risk on the capacities of the same lane and adjacent lane present an obvious trend which is firstly increased and then decreased.

Key words: traffic engineering; car following behavior; modeling, low-speed truck; driver type

0 引言

交通需求的大幅度增长已导致我国一些快速道路通行能力严重不足, 多车道快速道路成为我国快速道路明显的发展趋势, 一些快速道路已经扩建为双向六车道或双向八车道。在多车道快速道路上, 低速货车慢速行驶导致移动瓶颈的产生, 进而使得一些无法换道超车的快速车辆减速跟驰行驶, 对快速道路通行能力产生了影响。对混合交通流中低速货车影响的研究, 从美国《道路通行能力手册》(HCM1965) 中PCE(即车辆折算系数)的提出到

现在, 经历了近50 a发展, 在车辆折算系数^[1-2]和移动瓶颈^[3-4]2方面取得了许多重要的研究成果。对快速道路跟车行为的研究, 不少学者也从驾驶员特性^[5-8]、车型^[9]和邻道车辆^[10]对跟驰行为的影响这几个方面做了相关研究。

在已有研究中, 并未研究不同类型驾驶员在跟车过程中对前方低速货车和邻道低速货车感应程度的不同而造成跟车行为的变化。然而实际跟车过程中, 不同类型驾驶员对低速货车车体大、车身高、动力性能差的特点敏感度不同, 其跟车行为也会发生相应的变化。

收稿日期: 2013-01-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(51008196)

作者简介: 付强(1979-), 男, 山东淄博人, 博士后, 高级工程师。(herryfuyang@126.com)

因此本文针对多车道快速道路跟车过程中,前方低速货车和邻道低速货车会对不同类型的驾驶员产生不同程度的影响这一现象,将驾驶员分为3大类型,从前方低速货车和邻道低速货车对跟驰车产生的影响出发,从跟驰的各个过程入手,建立低速货车影响下的跟车间距模型,进而确定低速货车影响下通行能力模型。

1 跟驰过程分析

车辆的正常跟驰过程可以描述为:车辆在行驶过程中遇到本车道前方车辆的行驶速度不能满足其期望速度时,驾驶员感知到相关信息,并对所获取信息进行分析,当减速驾驶员意识到相邻车道不满足其换道条件时进行减速跟驰前车行驶,以保持一定的安全距离防止与前车产生碰撞。本文假设前导车匀速行驶,由于前车匀速运动,故当跟随车减速到与前车速度相等时,就可以保证跟驰的安全。因此跟驰的整个过程为:驾驶员反应过程、操作制动器过程、减速过程、保持安全距离稳定跟驰前导车。跟车间距可以表示为:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 + L_{\text{车}} + d - s_{\text{前}}, \quad (1)$$

式中, s 为跟驰车头间距; s_1 为驾驶员反应过程中跟驰车行驶的距离; s_2 为操作制动器过程中跟驰车行驶的距离; s_3 为减速过程中跟驰车行驶的距离; $L_{\text{车}}$ 为前导车的车长; d 为停车后前后车辆间的最小安全距离; $s_{\text{前}}$ 为前导车在整个过程中行驶的距离。

根据车辆跟驰行驶过程分析,车辆减速过程的减速度随时间的变化示意图可表示为如图1所示。

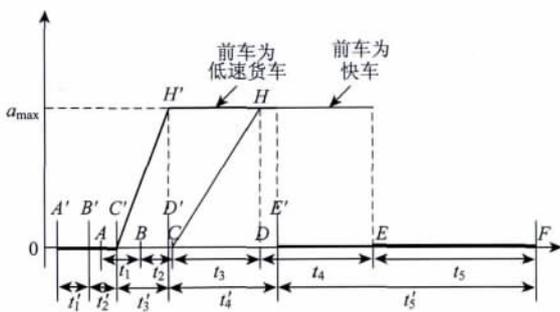


图1 减速度随时间变化示意图

Fig. 1 Deceleration varying with time

低速货车速度小、车身高、车体大的特点,使得快车跟驰其行驶所保持的车头间距会相对较大。一是因为低速货车会对后车驾驶员心理上产生压迫感,迫使其以较大车头间距跟驰低速货车,心理上追求安全跟驰;另外,后车驾驶员为了保证自己观

察前方邻道行驶状况和本道前方行驶状态趋势的视线不被前方低速货车遮挡,必须保持足够安全的距离,这个距离大于安全距离。因此前车为低速货车时,后车驾驶员会较早开始产生减速意识,如图1中前车为低速货车时产生减速意识起始点 A' 早于前车为快车的产生减速意识起始点 A , 且在整个减速跟驰过程中,减速度的增大速率更快,如图1所示 $k_{CH'} > k_{CH}$, 以保持较大的车头时距,如图1中 $t'_5 > t_5$, 以保持最高安全的跟驰距离。在跟驰过程中,不同类型的驾驶员对上述影响的敏感程度不同跟车行为也就不同;同样邻道上低速货车也会对跟驰车驾驶员产生一定程度的影响。以下对驾驶员类型和邻道低速货车影响进行分析。

2 驾驶员类型分析

后车驾驶员在跟驰过程中,会通过视觉对前方和邻道低速货车发出的刺激信息产生感觉信息,感觉信息会结合驾驶员的个人心理特征和经验等产生知觉信息,进而驾驶员根据知觉信息的强弱对相关知觉信息产生反应,采取措施。不同驾驶员的个体特征各异,所以前方低速货车和邻道低速货车对其产生的知觉信息的强弱程度也不同,导致不同类型驾驶员的跟车行为受低速货车影响不同。

驾驶员冒险程度不同,对低速货车产生的知觉信息的强弱程度也不同。据此本文将驾驶员分为3大类型:冒险型、稳健型和保守型。低速货车对保守型驾驶员产生的知觉信息强度较大,而冒险型驾驶员对其产生知觉信息强度较小。当前方遇到低速货车行驶,低速货车车体大、车身高会对后车不同类型驾驶员产生不同程度的压迫感,保守型驾驶员感知到的压迫感最强,会更早产生减速意识,以保持更大的跟驰距离;稳健型驾驶员次之,冒险型驾驶员最弱。同样保守型驾驶员更为强烈要求有足够的空间以满足观察前方邻道行驶状况和本道前方行驶状态趋势的视线;稳健型驾驶员对该要求强烈程度次之,冒险型驾驶员最弱。定义跟驰车驾驶员冒险系数 φ 以描述各类驾驶员这方面的不同。

3 邻道影响分析

在低速货车与快车混行的多车道快速道路上,车辆在跟驰行驶的过程中,也会受一定范围内相邻车道低速货车的影响。以双向六车道为例,如示意图2所示, $s_{\text{邻}}$ 为邻道车影响范围距离,即会对驾驶员跟车行为产生影响的范围。跟驰车驾驶员类型不

同, 邻道低速货车对跟驰车的影响也就不同。

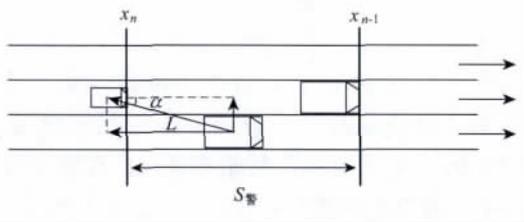


图2 邻道的影响范围图

Fig. 2 Range of adjacent lane influence

本文将前方低速货车对后车驾驶员产生的压迫感和后车驾驶员对视线的要求认为是前导车对跟驰车的一个阻碍作用。同理, 当邻道警惕范围内有低速货车行驶时, 也会对跟驰车驾驶员产生压迫感, 迫使该驾驶员与该低速货车保持距离, 后车会选择靠近车道另一侧, 且尽量避免与其并行。同样, 本文将其看作是对跟驰车产生一个沿着 L 方向的阻碍作用, 驱使跟驰车驾驶员也会在跟驰方向上有一个产生减速度的阻碍作用 F 。邻道车对跟驰车在跟驰方向上的减速度跟邻道上车辆的类型、跟驰车驾驶员类型以及邻道车和跟驰车间的距离 L 有关。

为了更准确地描述邻道车对跟驰车辆的影响, 定义以下参数: 邻道车型影响系数 $m_{邻}$: 当邻道警惕范围内有车辆运行时, 邻道不同的车型对跟驰车产生的影响不同。对于同一个驾驶员, 邻道越是大型重载车, 对跟驰车驾驶员心理上产生的影响越大, 越是小型汽车, 对跟驰车驾驶员产生的影响越小。因此用邻道车型影响系数 $m_{邻}$ 来描述邻道车型对跟驰车的影响, 车型越大, $m_{邻}$ 越大, 影响就越大; 反之越小。

跟驰车驾驶员冒险系数 φ : 当邻道警惕范围内有车辆运行, 跟驰车驾驶员不同, 邻道运行车对其产生的影响也不同。对于同一种车型, 跟驰车与邻道车相同的距离, 驾驶员越是冒险, 邻道车对其产生的影响越小; 相反, 驾驶员越是保守, 影响越大。即跟驰车驾驶员冒险系数 φ 越大, 邻道对跟驰车驾驶员产生的影响就越小; 反之越大。

邻道车和跟驰车间的距离参数 γ : 当邻道警惕范围内有车辆运行时, 跟驰车和邻道车辆的距离 L 大小不同, 邻道车对跟驰车的影响也不同。距离 L 越大, γ 越小, 影响越小; 反之越大。

可以将邻道车对跟驰车的影响表示为:

$$F_{邻} = H(x) \cdot f(m_{邻}, \varphi, \gamma), \quad (2)$$

式中,

$$H(x) = \begin{cases} 1 & x_n \leq x \leq x_{n-1} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}, \quad (3)$$

当 $(x_n, x_n + L_{车})$ 内有车, 即邻道警惕范围内有车时, $H(x) = 1$, 表示邻道车对跟驰车有影响; 当 $(x_n, x_n + L_{车})$ 内无车, 即邻道警惕范围内无车, $H(x) = 0$, 表示邻道对跟驰车无影响。

$$f(m_{邻}, \varphi, \gamma) = \rho \frac{m_{邻}}{\varphi \cdot \gamma}, \quad (4)$$

式中, ρ 为校正系数; $f(m_{邻}, \varphi, \gamma)$ 为邻道车对跟驰车影响函数, $f(m_{邻}, \varphi, \gamma)$ 随着 $m_{邻}$ 的增大而增大, 减小而减小; 随着 φ 的增大而减小, 减小而增大; 随着 γ 的增大而减小, 减小而增大。

4 模型建立

4.1 跟车间距模型

车辆跟驰行驶过程如图1所示, 在驾驶员反应阶段 t_1 、 t_2 时间段内, 驾驶员类型的差异会导致他们对前导低速货车的反应时间和操作制动器的时间不同。由于低速货车车身较大、行驶性能较差, 所以各种类型的驾驶员对前导车的反应时间和操作制动器的时间也会有差异。为了反映这种差异, 同样引入驾驶员冒险系数 φ 。

因此 t_1 、 t_2 时间段, 驾驶员反应和操作制动器阶段, 车辆按照初始速度 v_0 行驶, 所行驶的距离为:

$$s_{12} = \varphi \cdot v_0 \cdot (t_1 + t_2), \quad (5)$$

式中, s_{12} 为 t_1 和 t_2 阶段内跟驰车行驶的距离; φ 为驾驶员冒险系数; v_0 为跟驰车初始速度。

在减速度增大的 t_3 阶段, 驾驶员已经实施了制动措施, 可以将制动减速度看作随时间增长的一次函数, 直到制动减速度达到最大。如图1所示, 假设制动减速度随着时间增大匀速增长。在减速度增长过程中, 减速度以一定的速率 k 增大。速率 k 可以表示为:

$$k \propto \frac{a_{max}}{t_3}. \quad (6)$$

k 不仅受前导车型和跟驰车型的影响, 同时也会受到邻道警惕范围内车辆的影响。因此, k 应该具备如下性质:

(1) k 受前导车的影响:

在减速度增大过程中, k 会受到前导车车型的影响。将前导车车型影响系数记为 $m_{前}$, 对于同一个驾驶员, 前导车越是大型重载车, 对跟驰车驾驶员心理产生的影响越大, 越是小型汽车, 对跟驰车驾驶员产生的影响越小。因此, 用前导车车型影响系数

$m_{前}$ 来描述前导车车型对跟驰车的影响, 车型越大, $m_{前}$ 越大, k 就越大; 反之, 越小。

k 不仅受前导车车型的影响, 还受该跟驰车驾驶员的影响。对于同一个前导车, 驾驶员越是冒险, 前导车对其产生的影响越小; 相反, 驾驶员越是保守, 影响越大。即跟驰车驾驶员冒险系数 φ 越大, k 越小, 反之, 越大。

因此前导车对跟驰过程中对跟驰车减速度增大时间的影响可以表示为:

$$F_{前} = \sigma \frac{m_{前}}{\varphi} \quad (7)$$

(2) k 受邻道车的影响为:

$$F_{邻} = H(x) \cdot f(m_{邻} \varphi \gamma) \quad (8)$$

综上所述, 跟驰车减速度增大的过程中, 减速度的增大斜率 k 可以表示为:

$$k = F_{前} + F_{邻} = \sigma \frac{m_{前}}{\varphi} + \rho \frac{m_{邻}}{\varphi \cdot \gamma} \cdot H(x) \quad (9)$$

式中 σ, ρ 为权重系数, $\sigma, \rho \in [0, 1]$, 且 $\sigma + \rho = 1$ 。

减速度的增大时间 t_3 可以表示为:

$$t_3 = \frac{t_{30}}{k} = \frac{t_{30}}{\sigma \frac{m_{前}}{\varphi} + \rho \frac{m_{邻}}{\varphi \cdot \gamma} \cdot H(x)} \quad (10)$$

因此在 t_3 阶段内任意时刻, 跟驰车的速度 v_t 可以表示为:

$$v_t = v_0 - \int \frac{a_{max}}{t_3} dt = v_0 - \frac{a_{max}}{2t_3} t^2 \quad (11)$$

通过积分可得, 跟驰车在 t_3 阶段所行驶的距离为:

$$s_3 = \int_0^{t_3} \left[v_0 - \frac{a_{max}}{2t_3} t^2 \right] dt = v_0 \cdot t_3 - \frac{a_{max}}{6} t_3^2 \quad (12)$$

在 t_4 阶段, 跟驰车以最大减速度 a_{max} 制动, 根据变加速直线运动的速度公式, 在 t_4 阶段初的跟驰车行驶速度为 $v_4 = v_0 - \frac{a_{max}}{2} t_3$ 。按照匀加速运动规律, 跟驰车在 t_4 阶段行驶的距离为:

$$s_4 = \frac{v_0^2 - v_{前}^2}{2a_{max}} + \frac{a_{max}}{8} t_3^2 - \frac{v_0 t_3}{2} \quad (13)$$

因此跟驰车总的减速距离为:

$$s_{后} = v_0(\varphi t_1 + \varphi t_2 + \frac{1}{2} t_3) + \frac{v_0^2 - v_{前}^2}{2a_{max}} - \frac{a_{max}}{24} t_3^2 \quad (14)$$

在整个过程中前导车一直处于匀速直线运动, 因此前导车的行驶距离为:

$$s_{前} = v_{前} \cdot (t_1 + t_2) + v_{前} \cdot t_3 +$$

$$\frac{v_0 \cdot v_{前} - v_{前}^2}{a_{max}} - \frac{v_{前} \cdot t_3}{2} \quad (15)$$

整理, 得:

$$s_{前} = v_{前} \cdot (t_1 + t_2) + \frac{v_{前} \cdot t_3}{2} + \frac{v_0 \cdot v_{前} - v_{前}^2}{a_{max}} \quad (16)$$

由于驾驶员类型和前车类型的不同, 停车后前后车辆间的最小安全距离 d 为:

$$d = \frac{m_{前}}{\varphi} d_0 \quad (17)$$

因此跟驰车与前车的车头间距为:

$$l_0 = (\varphi \cdot v_0 - v_{前}) \cdot (t_1 + t_2) + \frac{v_0 - v_{前}}{2} t_3 + \frac{v_0^2 + v_{前}^2 - 2v_0 v_{前}}{2a_{max}} - \frac{a_{max}}{24} t_3^2 + L_{车} + d \quad (18)$$

4.2 通行能力模型

多车道快速道路上低速货车混行导致交通量未达到设计通行能力而交通拥堵现象发生, 表明在混合交通流中, 实际通行能力受低速货车影响较大。通行能力理论计算模型可以通过车头间距来分析求解。本文从驾驶员类型和邻道车影响 2 个方面入手分析了低速货车对跟车间距的影响, 基于此建立跟驰行驶状态下的通行能力模型, 以更准确地反映多车道快速道路上混合交通流的道路通行能力。

在处于跟驰行驶状态的多车道快速道路上, 可以反映驾驶员类型和邻道影响的低速货车影响下跟车间距如式 (16) 所示, 进而可以确定低速货车影响下的道路通行能力可以为:

$$C = 1000v \times \left[(\varphi \cdot v_0 - v_{前}) \cdot (t_1 + t_2) + \frac{v_0 - v_{前}}{2} t_3 + \frac{v_0^2 + v_{前}^2 - 2v_0 v_{前}}{2a_{max}} - \frac{a_{max}}{24} t_3 + L_{车} + d \right]^{-1} \quad (19)$$

5 模型仿真分析

运用 Matlab 仿真工具对多车道快速道路上, 分别对不同低速货车比例下不同驾驶员类型和不同邻道影响情况下的车辆跟车间距进行了对比分析, 且对不同比例低速货车影响下不同驾驶员类型和不同邻道影响情况下的通行能力变化进行了对比分析。

5.1 仿真假设

车流处于中、高密度时, 各车辆间的相互作用更大, 司机的驾驶倾向性和低速货车对交通流的影响更为明显。因此, 假设路段车流处于中、高密度

(跟随状态), 路段车辆到达分布满足均匀分布, 分布函数如下:

$$F(t) = \lambda t, \quad (20)$$

式中 λ 为车辆的平均到达率。

为了研究快速道路上混合交通流中低速货车对交通流的影响, 本文将混合车类型分为低速货车和快车。

低速货车: 大型满载或超载货车, 正常行驶速度不高于 80 km/h, 且加速度低于车辆的设计值。

快车: 客车或小货车, 正常行驶速度高于 80 km/h。

假设低速货车的比例为 p , 将低速货车表示为 H , 快车表示为 C , 将车型组合表示为: 前车-后车, 如前车为低速货车后车为快车, 表示为 $H-C$, 其他同理, 则车型的组序列概率为:

$$P = \begin{cases} p^2 & H-H \\ p(1-p) & C-H \\ (1-p)p & H-C \\ (1-p)^2 & C-C \end{cases} \quad (21)$$

其他条件:

- (1) 快速道路, 无出入口、无交织的全封闭、平坦顺直的双向 6 车道基本路段。
- (2) 车速, 各种车型的期望平均速度服从正态分布。
- (3) 驾驶员, 对道路条件和车型反应敏感。

5.2 仿真参数取值

(1) 根据已有的研究成果, 冒险型系数 $\varphi^{[11]}$ 为服从 $(1, 0.5)$ 正态分布的随机变量, 取值范围为 $(0.5, 1.5)$, 冒险型驾驶员取 1.5, 稳健型驾驶员取 1, 保守型驾驶员取 0.5。

(2) $t_1 + t_2$ 取值范围为 $0.8 \sim 1.0 \text{ s}^{[12]}$; t_{30} 取值范围^[12]为 $0.1 \sim 0.2 \text{ s}$ 。

(3) $m_{前}$ 、 $m_{邻}$ 、 γ 的取值参考已有研究^[9]中冒险型系数的取值原理, 确定本文中 $m_{前}$ 、 $m_{邻} \in [1, 1.5]$, 车型为低速货车时, m 取 1.5, 车型为快车时, m 取 1; $\gamma \in [1, 1.5]$ 。

(4) d_0 取值范围^[10]为 $2 \sim 5 \text{ m}$ 。

(5) 流量和货车比例: 单向 3 个车道的路段流量为 3 357 veh/h, 大车混入率为 7%。

5.3 车头间距分析

将仿真结果中车头间距对应的车头时距与广韶高速公路实际调查^[2]的车头时距数据进行对比, 数据如表 1 所示, 对比图如图 3 所示:

表 1 仿真结果与实际结果对比

Tab. 1 Comparison between simulation result and actual result

车型组合	车头时距/s		误差值/%
	实际调查值	仿真结果值	
C-C	3.46	3.39	1.4
H-C	3.75	3.67	2.1
C-H	4.19	4.08	2.6
H-H	4.76	4.68	1.6

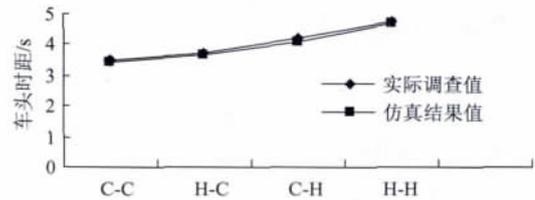


图 3 仿真结果与实际结果对比图

Fig. 3 Comparison between simulation result and actual result

图 3 中仿真结果与实际观测值对比图表明, 仿真结果与实际结果中不同车型组合下的车头时距变化图呈现一致的趋势, 且由表 1 可以看出仿真值与调查结果值的误差在 3% 的范围内, 证明本文所提出的模型能较好地描述实际交通状况。

运用本文的车头间距模型对某快速道路路段车流进行仿真, 不同车型、驾驶员、邻道影响条件下的车头间距的均值如表 2 所示。

表 2 仿真结果中的车头间距 (单位: m)

Tab. 2 Headways in simulation result (unit: m)

车辆类型	C-C		H-C		C-H		C-H					
驾驶员类型	冒险	稳健	保守	冒险	稳健	保守	冒险	稳健	保守			
无邻道车影响	79	82	83	82	87	98	100	102	104	107	114	121
有邻道车影响	81	85	93	85	92	105	100	102	104	109	117	125

通过表 2 可以发现:

(1) 低速货车对车头间距影响较大。快车跟快车的车头间距相对最小; 快车跟低速货车由于低速货车车体大影响驾驶员视距及驾驶员心理, 导致车头间距增大; 快车后方低速货车由于加速性能差, 与快车的车头间距也相应增大; 低速货车跟低速货车车头间距相对最大, 则主要是由于低速货车本身比例较小, 且加减速性能较差。

(2) 跟驰车驾驶员类型不同, 低速货车对其跟车间距的影响也不同。保守型驾驶员受低速货车影响最大; 冒险型驾驶员受低速货车影响最小。

(3) 邻道警惕范围内的车辆会对跟车间距产生一定的影响。相同的邻道车型对保守型驾驶员产生的影响最大, 对冒险型驾驶员产生的影响最小; 相同类型的跟车驾驶员, 邻道低速货车对跟车间距产

生的影响较大, 快车对其产生的影响较小。

5.4 通行能力分析

为了反映低速货车影响下不同类型驾驶员和邻道车对通行能力的影响, 分别取混合车流中低速货车的比例为 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%, 对不同低速货车比例下, 各类型驾驶员比例不同和邻道影响程度不同时通行能力的变化情况进行对比分析。运用 Matlab 工具对本文建立的通行能力模型仿真计算可得不同低速货车比例下的通行能力状况如图 4 所示。

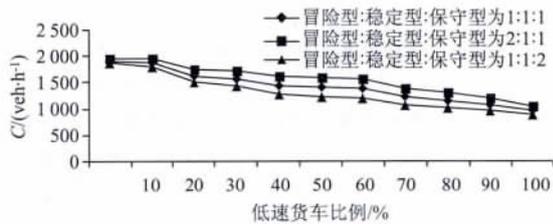


图 4 低速货车影响下驾驶员类型对通行能力影响变化图

Fig. 4 Capacity varying with proportion of driver types under low-speed truck impact

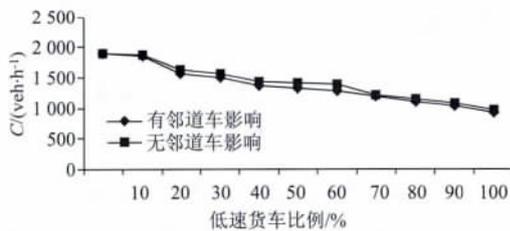


图 5 低速货车影响下邻道车对通行能力的影响变化图

Fig. 5 Capacity varying with proportion of driver types under low-speed truck impact of adjacent lane

由图 3 可知, 随着低速货车比例的增加, 路段通行能力均呈下降趋势, 以上 3 种不同驾驶员比例情况下, 当低速货车比例从 10% 增加到 100% 时, 通行能力分别降低了 48.9%、46.9% 和 51%, 可见保守型驾驶员的增加会带来通行能力的相应下降。同时, 随着低速货车比例增大, 驾驶员类型对通行能力产生的影响幅度呈现先增大后减小的明显趋势。

由图 4 同样可以看出, 有、无邻道影响下, 路段通行能力均表现出下降趋势, 通行能力分别降低了 51%, 49.4%。同时随着低速货车比例增大, 邻道车对通行能力产生的影响也相应增大, 低速货车比例从 10% 增大到 100% 时, 邻道车对通行能力的影响幅度同样呈现先增大后减小的明显趋势。

6 结论

本文通过对驾驶员类型和邻道影响分析, 研究了

低速货车对快速道路跟车间距的影响, 建立了考虑驾驶员类型和邻道影响的低速货车影响下的跟车间距模型, 进而从跟车间距的角度得出了快速道路通行能力模型。通过 Matlab 仿真分析, 验证了本文模型的有效性。下一步将对跟车车辆类型对跟驶行为影响, 以及低速货车对换道行为的影响进行研究, 并以此为基础, 解析低速货车形成的移动瓶颈的动态演化规律。

参考文献:

References:

[1] AL-KAISY A F, HALL F L, REISMAN E S. Developing Passenger Car Equivalents for Heavy Vehicles on Freeways during Queue Discharge [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2002, 36 (8): 725 - 742.

[2] 付强, 林航飞, 杨晓芳, 等. 基于服务水平的车辆折算系数 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 35 (1): 67 - 71.
FU Qiang, LIN Hang-fei, YANG Xiao-fang, et al. Passenger Car Equivalence Research out of Level of Service Consideration [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2007, 35 (1): 67 - 71.

[3] MUNOZ J C, DAGANZO C F. Moving Bottlenecks: A Theory Grounded on Experimental Observation [C] // Proceedings of the 15th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. Adelaide: University of South Australia in Adelaide, 2002: 441 - 461.

[4] LEDERCQ L, CHANUT S, LESORT J B. Moving Bottlenecks in Lighthill-Whitham-Richards Model: A Unified Theory [J]. Transportation Research Record, 2004, 1883: 3 - 13.

[5] 周均, 甘守武, 徐进, 等. 道路通行能力模型及其受车辆性能影响分析 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29 (2): 272 - 275.
ZHOU Jun, GAN Shou-wu, XU Jin, et al. Mathematical Model about Road Capacity and Analysis for Influence of Automobile Performance [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2010, 29 (2): 272 - 275.

[6] 贾洪飞, 唐明, 李莉. 基于驾驶员认知过程的车辆跟驰模型的建立 [J]. 公路交通科技, 2008, 25 (2): 123 - 126.
JIA Hong-fei, TANG Ming, LI Li. A Car-following Model Based on Drivers' Cognition Behavior [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25 (2): 123 - 126.

(下转第 153 页)

- 84-86.
- [13] 刘建强,何景华. 交通运输业与国民经济发展的实证研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2002, 2 (1): 82-86.
LIU Jian-qiang, HE Jing-hua. Empirical Analysis on the Relationship between Transportation Industry and the National Economy [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2002, 2 (1): 82-86.
- [14] 赵京. 乡镇经济发展与农村公路的需求分析 [D]. 西安: 长安大学, 2011.
ZHAO Jing. Demand Analysis on Rural Road and County Economy [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011.
- [15] 张淑云. 河北省新农村建设评价指标体系的构建 [J]. 贵州农业科学, 2010, 38 (03): 203-205.
ZHANG Shu-yun. Structure of Evaluation Index System of New Countryside Construction in Hebei Province [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38 (03): 203-205.
- [16] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 新农村建设评价指标及其应用——以福建省龙岩市礼邦村为例 [J]. 安徽农业科学, 2008 (07): 3019-3022.
SHI Long-yu, CUI Sheng-hui, YIN Kai, et al. Appraisal Index of New Countryside Construction and Its Application [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences. 2008 (07): 3019-3022.
- [17] 李树德, 李瑾. 天津社会主义新农村建设的综合评价指标体系研究 [J]. 广东农业科学, 2008, (07): 148-51.
LI Shu-de, LI Jin. Study on the evaluation index system for the building new socialist villages in Tianjin [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2008 (07): 148-51.
- [18] 张兵, 邓卫. 基于信息熵理论的公路网物元评价方法 [J]. 公路交通科技, 2009, 26 (10): 117-120, 125.
ZHANG Bing, DENG Wei. Matter-elements Evaluation Approach of Road Network Based on Information Entropy Theory [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (10): 117-120, 125.
- [19] 盛骤, 谢式千. 概率论与数理统计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
SHENG Zhou, XIE Shi-qian. Probability Theory and Mathematical Statistics [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
-
- (上接第139页)
- [7] 陆斯文, 张兰芳, 方守恩. 高速公路追尾机理概率分析及风险评价 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2011, 39 (8): 1150-1154.
LU Si-wen, ZHANG Lan-fang, FANG Shou-en. Probabilistic Analysis and Risk Evaluation of Highway Rear-end Collision [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2011, 39 (8): 1150-1154.
- [8] 陈阳伍, 张一斌, 张阳. 基于自适应神经模糊推理系统的跟驰模型研究 [J]. 公路交通技术, 2009 (2): 143-146.
CHEN Yang-wu, ZHANG Yi-bin, ZHANG Yang. Study on Vehicle Following Model Based on Adaptive Neural-fuzzy Inference System [J]. Technology of Highway and Transport, 2009 (2): 143-146.
- [9] 李爱增, 李文权. 路段多车型混合车流通行能力 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2007, 37 (5): 926-929.
LI Ai-zeng, LI Wen-quan. Capacity of Mixed Traffic Flow Composed of Multi-type Vehicles on Sections [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2007, 37 (5): 926-929.
- [10] 商蕾, 陆化普. 多车道下的车辆行为模型研究 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2006, 35 (6): 115-117.
SHANG Lei, LU Hua-pu. Model of Vehicle Behavior under Multilane Road Conditions [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2006, 35 (6): 115-117.
- [11] 王家凡, 罗大庸. 交通流微观仿真中的换道模型 [J]. 系统工程, 2004, 22 (3): 92-95.
WANG Jia-fan, LUO Da-yong. Lane Changing Model in Microscopic Traffic Simulation [J]. Systems Engineering, 2004, 22 (3): 92-95.
- [12] 徐杰, 杜文, 孙宏. 跟随车安全距离的分析 [J]. 交通运输工程学报, 2002, 2 (1): 101-104.
XU Jie, DU Wen, SUN Hong. Safety Distance about Car-following [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2 (1): 101-104.