

DOI:10.11918/202209011

智能网联环境下管理车道设置策略与影响因素分析

傅泽新,陈旭梅,王宇擎,张义鑫

(北京交通大学 交通运输学院,北京 100044)

摘要:为探索人工驾驶车辆(human driven vehicle,HDV)与自动驾驶车辆(connected and autonomous vehicle,CAV)构成的新型混合交通流的运行规律,研究不同管理车道设置策略对城市快速路新型混合交通流产生的影响。首先,基于不同种类车辆间跟驰与专用道选择概率间的耦合关系,定量描述了不同管理车道设置策略条件下快速路通行能力演变机理。基于此,利用SUMO仿真平台分析了新型混合交通流条件下车辆延误的变化规律。最后,通过对车辆换道类型与换道间隙分析,研究了不同管理车道设置策略对交通流车辆间碰撞风险的影响。结果表明:CAV渗透率低于30%或大于80%,且只限制HDV在普通车道通行时,通行能力最大;CAV渗透率介于30%~80%之间,应考虑设置公交和CAV专用车道;设置公交和CAV专用车道但不限制其通行路权时,路段平均延误最小且几乎不受CAV渗透率的影响;当只为CAV或多乘员车辆(high-occupancy vehicle,HOV)设置管理车道时,会增加车辆碰撞风险。这说明CAV渗透率是建立合理的管理车道设置策略的重要参考因素,CAV渗透率对设置管理车道路段的通行能力有很大影响,而路段平均延误和交通流车辆间碰撞风险则更受管理车道设置策略的影响。

关键词:智能交通;管理车道设置策略;SUMO仿真;新型混合交通流;通行能力

中图分类号:U491.2 **文献标志码:**A **文章编号:**0367-6234(2023)07-0024-09

Managed lane setting strategies and influence factor analysis in intelligent connected environment

FU Zexin, CHEN Xumei, WANG Yuqing, ZHANG Yixin

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to explore the operation rules of the mixed traffic flow consisting of human-driven vehicles (HDVs) and connected and autonomous vehicles (CAVs), this paper studies the impact of different managed lane setting strategies on the traffic flow of urban expressways. First, on the basis of the coupling relationship between car-following and lane selection probability of different types of vehicles, the evolution mechanism of expressway capacity was quantitatively described under different managed lane setting strategies. Then, the variation pattern of vehicle delays was analyzed using the SUMO simulation platform under mixed traffic flow conditions. Finally, the influence of different managed lane setting strategies on the collision risk of vehicles was investigated by analyzing the vehicle lane changing types and gaps. Results showed that the capacity reached the maximum value when the CAV penetration rate was less than 30% or more than 80% and HDVs were restricted to general purpose lanes. Bus and CAV lanes should be considered when the CAV penetration rate was between 30% and 80%. The average delay on the roadway was the lowest and almost unrelated to the CAV penetration rate when bus and CAV lanes were designed but their right-of-way was not restricted. The risk of vehicle collisions increased when managed lanes were provided only for CAVs or high-occupancy vehicles (HOVs). These results indicate that CAV penetration rate is an important factor for development of a reasonable managed lane setting strategy, and has significant influence on the capacity of the road section with managed lanes. The average delay of road sections and the collision risk between vehicles in the traffic flow are mainly influenced by the managed lane setting strategy.

Keywords: intelligent transportation; managed lane setting strategy; SUMO simulation; mixed traffic flow; capacity

自动驾驶技术的出现为缓解交通问题提供了新的解决方案,相比于HDV,CAV具有更敏感的环境

感知能力和更迅速的驾驶操作响应能力。根据美国交通部AASHTO(American Association of State Highway

收稿日期:2022-09-04;录用日期:2022-10-01;网络首发日期:2022-10-31

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1235.T.20221028.1426.004.html>

基金项目:国家自然科学基金(71871013)

作者简介:傅泽新(1998—),男,硕士研究生;陈旭梅(1974—),女,教授,博士生导师

通信作者:陈旭梅, xmchen@bjtu.edu.cn

and Transport Officials) 估算^[1], CAV 的推进与发展是较为漫长的过程, 在早期发展阶段, 必将存在由 CAV 与 HDV 组成的新型混合交通流, 与单纯的 CAV 交通流相比, 由于 CAV 与 HDV 间的干扰与交互, 混合交通流所具备的特性将更加复杂, 间接影响道路的通行能力且进一步增加了潜在的碰撞风险。管理车道的设置在一定程度上能够有效解决新型混合交通流带来的问题。现如今, 众多学者针对管理车道设置的优劣效果进行了充分的实验探究^[2-4], 结果表明, 将不同类型车辆通过管理车道进行隔离, 在有效提升道路通行能力、降低道路通行延误与减少车辆间碰撞风险发挥了作用。分析学者们已有的研究成果发现, 近几年在融入 CAV 的管理车道研究领域, 学者们主要聚焦于 CAV 专用道设置对交通流的影响、通过仿真获取最优管理车道布设方案两方面^[5-10]。在低 CAV 渗透率时, 管理车道只允许 CAV 车辆通行的策略对道路实际通行能力存在较大的影响, 此外, 大多数学者在研究混合交通流管理车道设置策略时, 只考虑了 CAV 与 HDV 两种车型, 并没有更好的贴近现实情况。因此, 本文考虑多种车辆类型、不同种类 CAV 车辆、管理车道选择概率、CAV 渗透率、换道目标间隙等关键参数, 从交通流运行效率与安全两个维度, 选取道路通行能力、平均延误、车辆间碰撞风险 3 个指标针对管理车道对交通流影响及其最优布设条件进行研究分析。

1 空间路权导向的车道设置方案

1.1 混合交通流组成

为准确贴合实际道路交通流组成状况, 考虑配置 CACC (cooperative adaptive cruise control) 与 ACC (adaptive cruise control) 功能的两种 CAV 车辆类型, 与其不同车头时距对通行能力的影响^[8], 文中研究的新混合交通流由人工驾驶的小汽车 (human driven-car, HD-car)、人工驾驶的公交车 (human driven-bus, HD-bus)、自适应巡航控制的小汽车 (adaptive cruise control-car, ACC-car)、自适应巡航控制的公交车 (adaptive cruise control-bus, ACC-bus)、协同式自适应巡航控制的小汽车 (cooperative adaptive cruise control-car, CACC-car)、协同式自适应巡航控制的公交车 (cooperative adaptive cruise control-bus, CACC-bus) 6 种类型的车辆组成, CACC 与 ACC 系统控制的车辆统称为 CAV, HD-car 包含 HOV 与非 HOV, 各类型车辆在道路中的比例分别由 ρ_{Hc} ρ_{Hb} ρ_{Ac} ρ_{Ab} ρ_{Cc} ρ_{Cb} 表示, 且满足:

$$\rho_{Hc} + \rho_{Hb} + \rho_{Ac} + \rho_{Ab} + \rho_{Cc} + \rho_{Cb} = 1 \tag{1}$$

1.2 管理车道设置方案

在考虑管理车道设置策略时, 学者们更多考虑了 CAV 的空间路权^[5-10]。因此, 本文重点考虑 CAV 和 HOV 专用道, 为不同车辆赋予不同空间路权, 针对快速路设置以下 4 种场景, 其中, 场景一与场景二重点关注 CAV, 场景三与场景四关注 HOV 与 CAV。4 种场景如图 1 所示, 专用道设置于道路左侧车道。

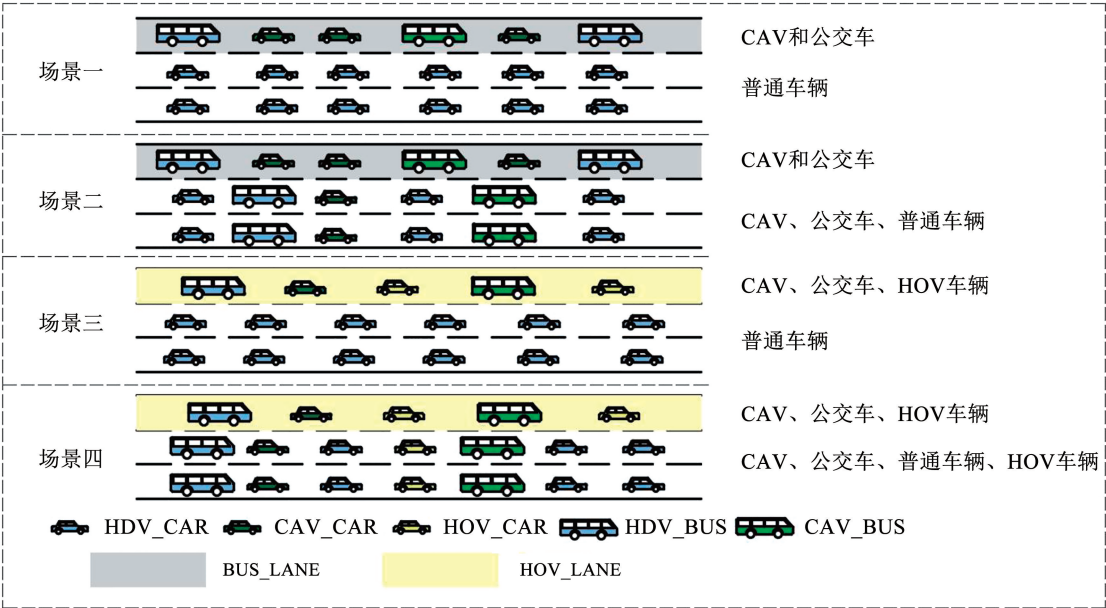


图 1 三车道快速路管理车道设置策略

Fig. 1 Managed lane setting strategies of expressway with three lanes

2 考虑车间通信的驾驶行为建模

2.1 车辆纵向跟驰行为建模

为了描述新型混合交通流中除 CACC 车辆外,

$$\frac{dv_n}{dt} = a \left[1 - \left(\frac{v_n(t)}{v_0} \right)^\delta - \left(\frac{\Delta v_n(t)}{\Delta v_{\max}} \right)^\sigma \right] d - \left(\frac{S^*(v_n(t), \Delta v_n(t))}{s_n(t)} \right)^2, d = \begin{cases} \gamma, \Delta v_t > 0 \\ \eta, \Delta v_t < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$S^*(v_n(t), \Delta v_n(t)) = \bar{s} + \tau v_n(t) + \frac{v_n(t) \Delta v_n(t)}{2 \sqrt{ab}} \quad (3)$$

式中: $a_n(t) = dv_n/dt$ 表示第 n 辆车在 t 时刻加速度; δ 为加速度指数; a 表示其最大加/减速度; $\Delta v_n(t)$ 为主车与前车 t 时刻速度差; $v_n(t)$ 为第 n 辆车在 t 时刻车速; $s_n(t)$ 为 t 时刻车头间距; v_0 为期望车速, 一般取 4; a 为期望最大加速度; b 为期望最大减速度; $\bar{s}$ 为最小安全车头间距; τ 为期望安全时距; $\Delta v_{\max}$ 为主车与前车最大速度差; σ 速度差系数; d 为跟驰行为非对称系数。

本文中 CACC 车辆主要依据加州伯克利 PATH 实验室提出的恒定车间时距策略的 CACC 模型^[12], 其表示为

$$e = x_{i-1} - x_i - T v_i \quad (4)$$

$$v_i = v(t-1) + k_p e + k_d \dot{e} \quad (5)$$

式中: x_i 为跟驰车辆位移, v_i 为跟驰车辆速度, e 为实际距离与期望距离之间的误差, T 为最小安全车头时距, $i-1$ 代表前车, $v(t-1)$ 为车辆前一时刻速度, k_p 、 k_d 为不同模式下的权重值。

2.2 车辆横向换道行为建模

2.2.1 换道动机

根据车辆行驶过程中, 追求利益动机的不同, 本

其余车辆间纵向相互作用关系, 本文使用改进的 IDM + 模型作为描述车辆间纵向关系的基础模型, IDM + 模型变量包括跟驰车速度、与前车间距以及两车间速度差等^[11], 模型表示为

文将换道行为分为战略式换道、合作式换道、速度增益式换道、保持右行式换道 4 种, 分别定义为: 1) 战略式换道 (Strategic), 车辆在实际行驶过程中, 需要通过换道继续保持行进路线; 2) 合作式换道 (Cooperative), 换道车辆发出换道信号, 同车道或目标车道相邻车辆采取减速或换道措施协助换道车辆成功换道; 3) 速度增益式换道 (SpeedGain), 车辆为达到期望的行驶速度而进行的换道行为; 4) 保持右行式换道 (KeepRight), 车辆为保持右行而做出的换道行为。战略式换道、保持右行式换道和合作式换道是必要性换道, 而速度增益式换道为非必要性换道, 在保证交通流通性效率的前提下, 减少不必要的换道是提高道路安全性的措施之一。

2.2.2 换道间隙

车辆在换道过程中, 目标车道相邻车辆间隙是决定是否可以换道的重要参考依据, 其示意如图 2 所示, 面向新型混合交通流, 道路上车辆换道间隙的分布, 在一定程度上可定性描述车流整体运行的安全性与稳定性, 车辆换道目标车道换道间隙表示为

$$T = L_B - L_A \quad (6)$$

式中: T 为目标车道换道间隙, m; L_A 、 L_B 分别为 A、B 车在车辆行驶方向上的位置。

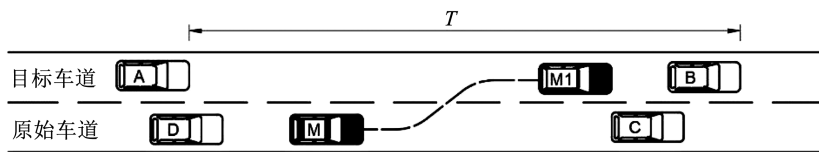


图 2 车辆换道目标车道换道间隙

Fig. 2 Space gaps of target lanes in lane changing

3 基于车头时距的混合交通流影响评估建模

3.1 基本假设与概念

为了使研究更加具有适用性, 根据相关文献研究^[13-15], 进行如下假设: 假设 1, CAV 可获取路段所有车辆信息及周边环境信息; 假设 2, 假设所有车辆均为自然到达, 交通流在道路均匀分布; 假设 3, 当车辆间跟驰距离小于期望间距时, 跟驰后车将保持自由流速度行驶, 即不存在激进型微观驾驶行为。

3.2 混合交通流通行能力建模

计算道路通行能力需综合考虑每条车道平均车头时距, 有 m 个车道的道路通行能力计算公式为

$$C = \sum_{n=1}^m \frac{3600}{T_n}, n = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式中: C 为通行能力, m 为车道数量, T_n 为第 n 条车道上平均期望车头时距。

以场景一为例, 当 CAV 渗透率已知时, 由于所有的 CAV 选择专用道行驶, 普通车辆会选择普通车道, 因此, 通过普通车道与专用车道的流量必然满足

k_p 倍关系,其取值与各类型车道车流量有关,场景一— k_1 的计算公式为

$$k_1 = \frac{1-\rho}{\rho} \quad (8)$$

同理, k_2 、 k_3 、 k_4 计算公式分别为

$$k_2 = \frac{1-\theta_B\rho}{\rho\theta_B}, k_3 = \frac{1-\lambda(1-\rho)}{\lambda(1-\rho)}, k_4 = \frac{1-\theta_H + \lambda\theta_H(1-\rho)}{\theta_H - \lambda\theta_H(1-\rho)} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \bar{t} = \frac{\sum_{i \in I} (\theta_B T_i \rho_i \sum_{j \in J} \rho_j)}{(\sum_{i \in I} \rho_i)^2}, I = \{hv_car, ACC_car, CACC_car, hv_bus, ACC_bus, CACC_bus\} \\ J = \begin{cases} \{ACC_car, CACC_car, hv_bus, ACC_bus, CACC_bus\}, \text{场景一} \\ \{hv_car, ACC_car, CACC_car, hv_bus, ACC_bus, CACC_bus\}, \text{场景二} \end{cases} \end{cases} \quad (10)$$

式中: $\bar{t}$ 为单车道平均期望车头时距; θ_B 为 CAV 与 HD-bus 对公交专用道的选择概率,在场景一中 θ_B 取值为 1; i 表示出现在该车道上的车辆种类, T_i 为第 i 种车辆期望车头时距, ρ_i 为第 i 种车辆在车流中

$$\begin{cases} \bar{t} = \frac{\sum_{i \in I} (\theta_B \theta_H T_i \lambda \rho_i \sum_{j \in J} \rho_j)}{(\sum_{i \in I} \lambda \rho_i)^2}, I = \{hv_car, ACC_car, CACC_car, hv_bus, ACC_bus, CACC_bus\} \\ \lambda = 1, i \neq hv_car \end{cases} \quad (11)$$

式中: θ_H 为 HD-bus、HOV 对 HOV 车道的选择概率, λ 为非 HOV 在所有 HD-car 中的比例。

本文考虑不同种类车辆间的跟驰概率,针对不同车辆的期望车头时距加权平均,依据式(7)即可计算路段通行能力。同时,基于不同车道间的车流比例 k ,通过另一条车道的通行能力对本车道通行能力进行计算,两者最小值即为本车道通行能力,其表达式为

$$C = m_{nor} \times \min \left(\frac{3\ 600}{\bar{t}_{nor}}, \frac{3\ 600}{\bar{t}_{man}} \times k_p \right) + m_{man} \times \min \left(\frac{3\ 600}{\bar{t}_{nor}} \times \frac{1}{k}, \frac{3\ 600}{\bar{t}_{man}} \right) \quad (12)$$

$$\begin{cases} \bar{T} = \sum_{i=1} \left[\frac{\rho_i}{M_i} \times \sum_{a=1} \left(\frac{1\ 000}{v_f^{i,a}} - \frac{1\ 000}{v_m^{i,a}} \right) \right], i \in I, a = \{1, 2, \dots, M_i\} \\ I = \{hv_car, ACC_car, CACC_car, hv_bus, ACC_bus, CACC_bus\} \end{cases} \quad (14)$$

式中: ρ_i 为第 i 种车辆在交通流中的比例或渗透率, a 为车辆数量, M_i 为第 i 种车型的总数, v_f 为自由流速度, v_m 为车辆实际行驶速度。

4 仿真实验分析

4.1 实验设计

SUMO 作为当前交通仿真领域使用最广泛的仿

式中: ρ 为 CAV 渗透率, k_p 为第 p 种场景下选择普通车道与管理车道的车流量比例。

在计算通行能力时,考虑单车道上前车与后车出现的概率,即可计算得到每种车辆类型平均车头时距出现的概率,针对每种车辆类型车头时距进行加权平均,得到每条车道平均期望车头时距,依据式(7)可获得单车道通行能力。场景一与场景二单车道平均期望车头时距计算公式为

的比例或渗透率, ρ_i 为该车道上第 i 种车辆跟驰的前车 j 在车流中的比例或渗透率。

同理,场景三与场景四单车道平均期望车头时距为

式中: C 表示路段通行能力, m_{nor} 为普通车道数量, $\bar{t}_{nor}$ 为普通车道平均车头时距, $\bar{t}_{man}$ 为管理车道平均车头时距, m_{man} 为管理车道数量,取值为 1。

3.3 混合交通流路段平均延误

本文定义路段平均延误为每公里车辆期望通行时间与实际通行时间的差值,每种车辆的平均延误计算如式(13)所示,路段平均延误计算公式为

$$\begin{cases} \bar{T}_i = \frac{\sum_{a=1} \left(\frac{1\ 000}{v_f^{i,a}} - \frac{1\ 000}{v_m^{i,a}} \right)}{M_i}, i \in I, a = \{1, 2, \dots, M_i\} \\ I = \{hv_car, ACC_car, CACC_car, hv_bus, ACC_bus, CACC_bus\} \end{cases} \quad (13)$$

真平台之一,其最主要的优势在于可以通过 TraCI 接口有效控制车辆微观驾驶行为,具有良好的在线交互功能,且包含有高度自由的配置和可移植性^[16]。本文利用数值仿真与 SUMO 软件仿真的方式,基于北京莲石东路设置不同场景,开展该部分实验仿真,在场景一与场景三中,限定了 CAV 空间路权,此时 CAV 对管理车道的选择概率为

100%,在场景二与场景四中,没有限制 CAV 空间路权,此时 CAV 对管理车道的选择概率为 50%。考虑了 HOV 的场景三与场景四,场景三中 HOV 对管理车道的选择概率为 100%,场景四中 HOV 对管理车道的选择概率为 50%,CAV 公交与 HDV 公交比例之和为 5%。为使传统驾驶车辆更加贴合实际,引入不完美驾驶系数,模拟不同性格驾驶员。

本文各种车辆期望车头时距取值见表 1 所示,仿真车辆详细参数见表 2^[17-21],表 2 中 T_{Hc} 为 HD-car 期望车头时距, T_{Hb} 为 HD-bus 期望车头时距, T_{Ac} 为 ACC-car 期望车头时距, T_{Ab} 为 ACC-bus 期望车头时距, T_{Cc} 为 CACC-car 期望车头时距, T_{CcC} 为前车为 CACC 车辆、后车为 CACC-car 的期望跟驰时距, T_{Cb} 为 CACC-bus 期望车头时距, T_{CbC} 为前车为 CACC 车辆、后车为 CACC-bus 的期望跟驰时距。

表 2 仿真车辆详细参数设定

Tab. 2 Detailed parameters of simulated vehicles

车辆类型	车辆长度/ m	最大加速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	最大减速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	换道合作 系数	不完美驾驶 系数	期望车头 时距/s
HD_bus	10	1.5	1.5	0.5	0.5	2.5
ACC_bus	10	1.5	1.5	0	0	1.25
CACC_bus	10	1.5	1.5	0	0	1
HD_car	5	2	2	0.5	0.5	1.8
ACC_car	5	2	2	0	0	0.9
CACC_car	5	2	2	0	0	0.8
HOV_car	5	2	2	0.5	0.5	1.8

4.2 实验结果

4.2.1 通行能力分析

考虑 CAV 渗透率与 ACC/CACC 车辆比例,对 4 种场景下的通行能力进行计算,结果如图 3 所示。综合分析 4 种场景,在考虑 ACC/CACC 比例的前提下,当 CAV 渗透率低于 30% 时,所有场景的道路通行能力相当;当 CAV 渗透率在 30% ~ 80% 之间时,场景一具有更高的通行能力;当 CAV 渗透率大于 80%,则更建议使用场景二管理车道设置策略。

4.2.2 路段延误仿真分析

4 种场景路段延误仿真结果见图 4 所示,综合分析 4 种场景发现,在随着 CAV 渗透率变化的过程中,场景二平均延误较低,基本维持在 10 s/km 且变化十分微小。为进一步探究 4 种场景下路段平均延误变化规律及原因,针对不同场景下的车辆总换道

表 1 各种车辆期望车头时距

Tab. 1 Desired headway of different vehicle types

变量	T_{Hc}	T_{Hb}	T_{Ac}	T_{Ab}	T_{Cc}	T_{CcC}	T_{Cb}	T_{CbC}
车头时距/s	1.8	2.5	0.9	1.25	0.9	0.5	1.25	0.6

CACC 系统主要基于车辆间无线通信,打破了 ACC 系统只能获得前车信息的局限,能够更加全面精准地获取其周边车辆信息(周边车辆也需装备 CACC 系统)。为使得 CACC 系统能够发挥作用,本文在进行混合交通流影响评估建模计算时,考虑到 CACC 系统的上述特性,如果在相互存在跟驰关系的两车中,后车装备有 CACC 系统,而前车没有装备 CACC 系统(即前车为人工驾驶车辆或 ACC 车辆),则后车 CACC 系统退化为 ACC 系统,其跟驰间距依据 ACC 车辆期望跟驰间距计算,如果跟驰的两车都装备了 CACC 系统,则期望跟驰间距依据 CACC 车辆的期望车头时距计算。

次数进行分析,见图 4(f) 所示,发现 4 种场景下路段平均延误与路段车辆换道总系数具有相似的变化规律,因此推断在管理车道的设置策略下,车辆进入管理车道时的跨线换道,可能是造成路段平均延误变化的主要原因。

在 CAV 渗透率为 50% 时,4 种场景下 ACC/CACC 比例对延误的影响如图 5 所示。可以发现不同 ACC/CACC 比例对各种场景的平均延误存在一定的影响,其中,场景二与场景四下降程度较小,场景一与场景三下降程度较大。推测其主要原因是场景一与场景三限制了 CAV 通行空间路权,CAV 只能在专用道上行驶,这使得 CACC 系统发挥作用的几率大幅增加,更多的 CACC 系统发挥作用,将意味着更低的路段平均延误。

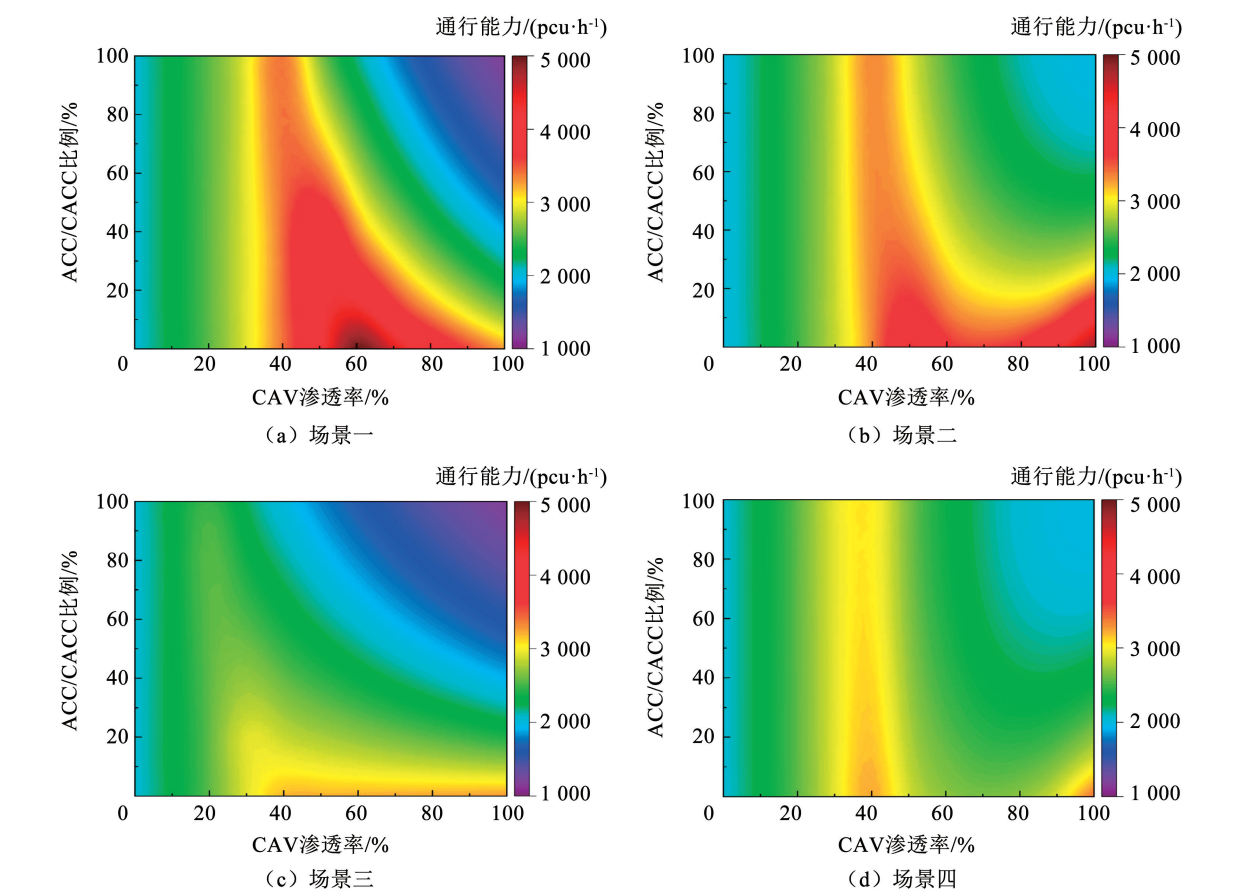


图 3 4 种场景下不同 CAV 渗透率与 ACC/CACC 车辆比例对通行能力的影响

Fig. 3 Influence of CAV penetration rates and ACC/CACC vehicle proportions on capacity in four scenarios

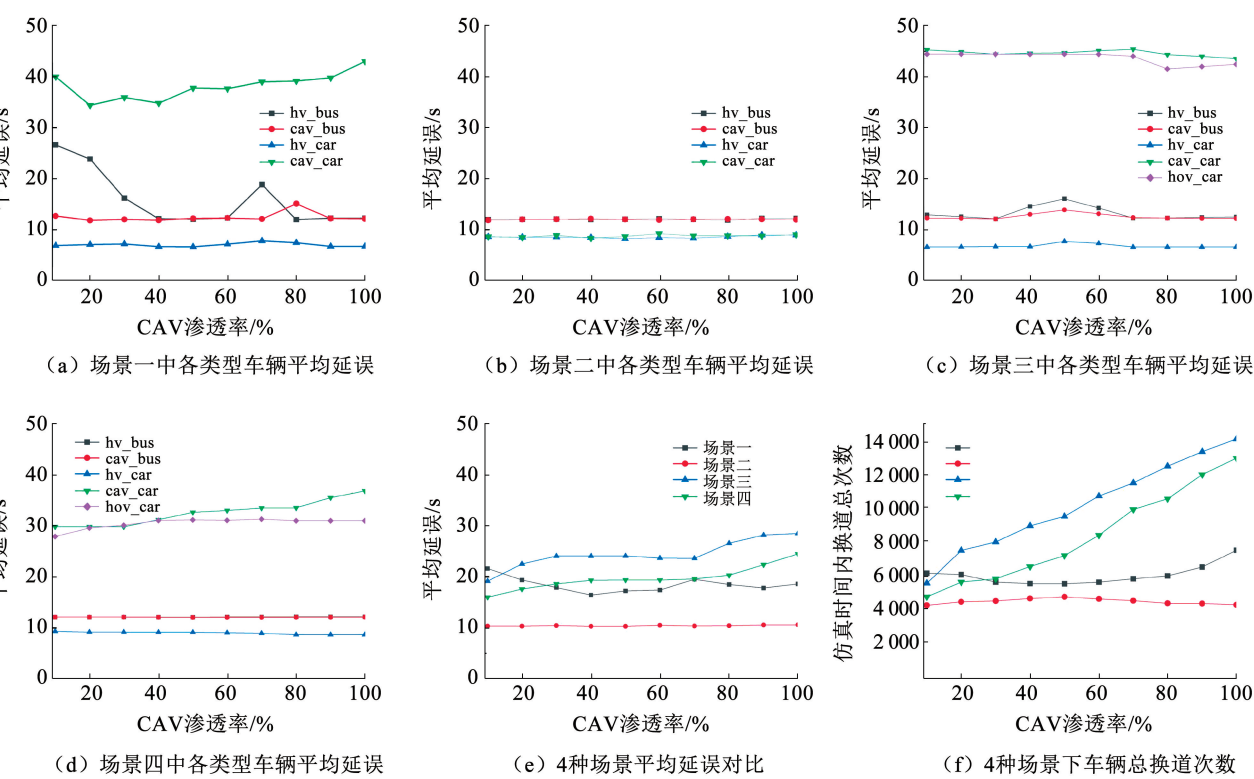


图 4 4 种场景路段延误仿真结果对比

Fig. 4 Comparison of simulation results of average delay in four scenarios

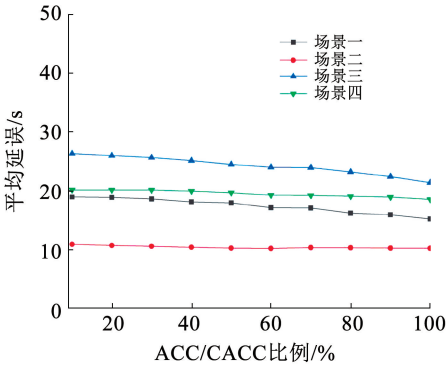


图 5 4 种场景下 ACC/CACC 比例对平均延误的影响
Fig. 5 Influence of ACC/CACC proportions on average delay in four scenarios

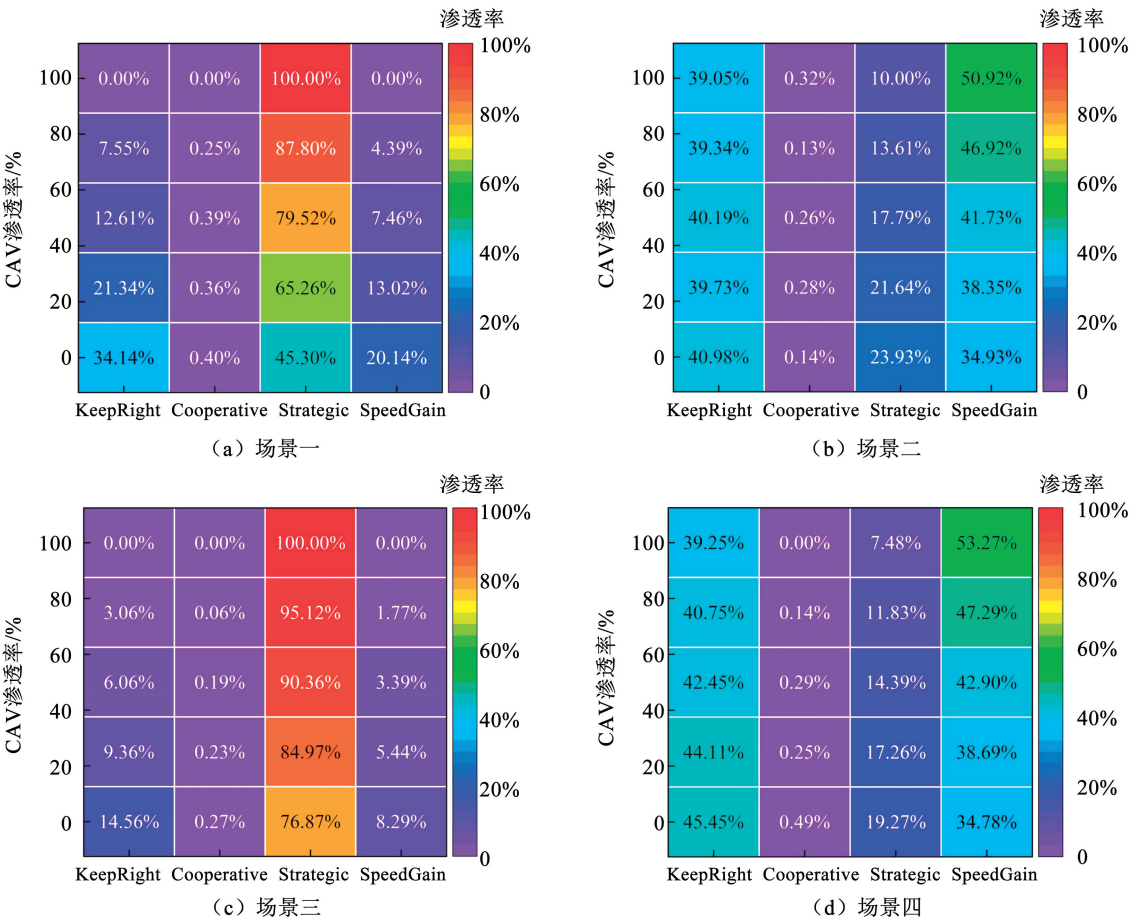


图 6 4 种场景中 CAV 渗透率变化下车辆换道动机分布

Fig. 6 Distribution of vehicle lane change motives with different CAV penetration rates in four scenarios

依据图 7,分析 4 种场景下车辆换道过程中,目标车道换道间隙分布情况发现,当 CAV 渗透率较高时,且应用于场景一与场景三时,目标车道换道间隙大多集中于 100 m 以下,表现出较高的频次。在场景二与场景四中,CAV 渗透率的大小对目标车道换道间隙分布影响较弱,间隙分布较为均匀,可能原因是由于在普通车道上 CAV 与 HDV 混行,HDV 的存在导致 CAV 不能充分发挥其响应迅速的能力。

4.2.3 交通流运行碰撞风险分析

车辆的频繁换道是影响交通流安全性的重要因素之一,本节选取 4 种场景下,当 ACC/CACC、HOV 比例为 50% 时,图 6 所示为 CAV 渗透率变化情况下车辆换道动机分布情况,图 7 所示为目标车道换道间隙分布情况。

从图 6 可以看出,不同管理车道设置策略下换道动机分布具有一定差异,将场景一与场景二进行横向对比可以发现,场景二无论是从换道动机种类,还是换道频率,都要明显高于场景一,显然,场景一由于减少了不必要的换道频次,在一定程度上,道路交通流安全性得到了提高。场景三、四变化情况与场景一、二类似。

结合图 6 和图 7 可以得出结论:将 CAV 与 HDV 行驶过程进行有效的物理隔离是十分有必要的,这将会极大程度的减少整条路段上的换道次数,对交通流的平稳安全运行是有益的,此外,在面向新型混合交通流时,在针对 CAV 设置管理车道的条件下,较高的 CAV 渗透率可能将会导致路段平均碰撞风险的增加。

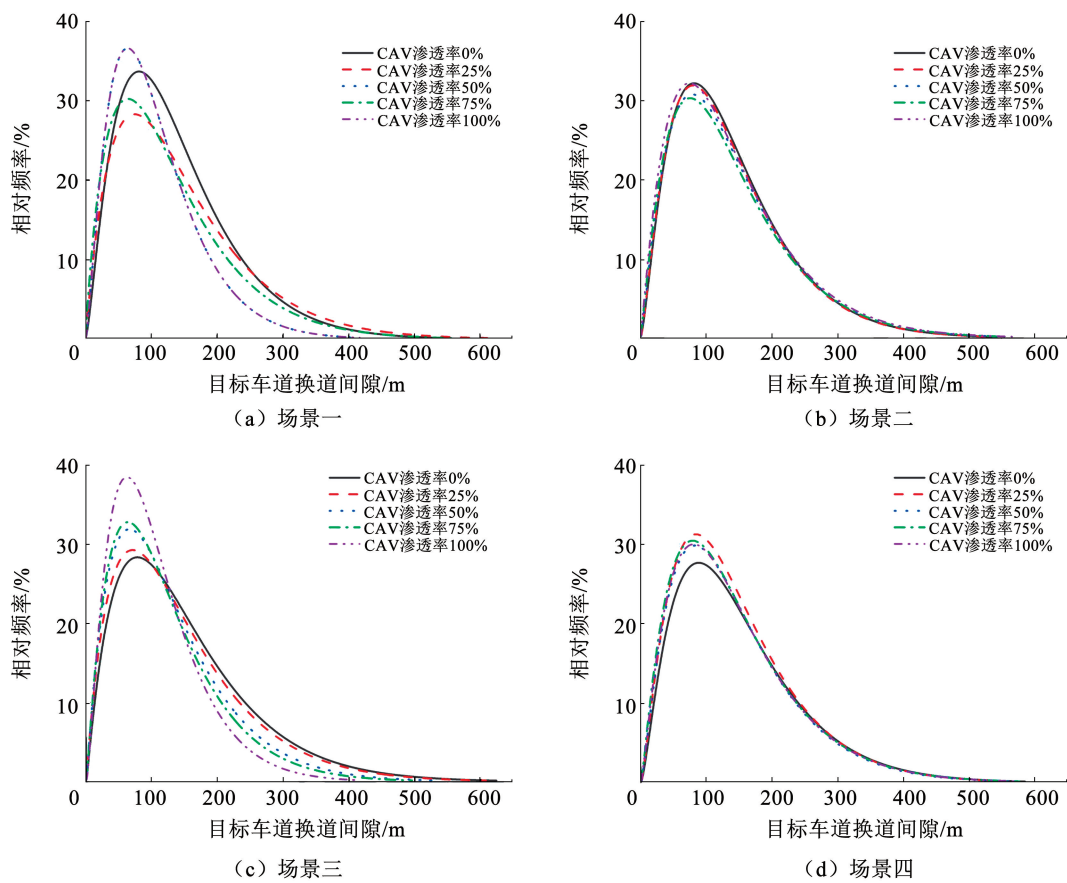


图 7 4 种场景下目标车道换道间隙分布情况

Fig. 7 Distribution of target lane change gaps in four scenarios

5 结 论

基于新型混合交通流,考虑 CAV 渗透率、车辆类型、交通流特性等影响因素,针对城市快速路管理车道设置策略进行研究,并通过数值与 SUMO 相结合的仿真模拟方式进行案例分析,得出如下主要结论:

1)综合考虑路段通行能力、路段平均延误与车辆间碰撞风险,发现当 CAV 渗透率低于 30% 或高于 80% 时,场景二具有较高的道路通行能力、较低的路段延误和较小的车辆间碰撞风险,当 CAV 渗透率介于 30% ~ 80% 之间,场景一通行能力较高,但此时车辆间碰撞风险随 CAV 渗透率的增长而增大。此外,在设置管理车道时,如果只考虑 CAV 而忽视 HDV、公交车等其他类型的车辆,并不能准确的反映实际情况。

2)不同管理车道设置策略对路段平均延误影响较大。整体而言,ACC/CACC 比例对路段平均延误影响较小,CAV 渗透率对路段平均延误具有一定影响,当 CAV 渗透率高于 10 % 时,场景三与场景四受 CAV 渗透率影响较大,而场景一、二受 CAV 渗透率影响较小。

3)CAV 渗透率与不同管理车道设置策略对混合交通流运行碰撞风险都存在影响,当只为 CAV 或 HOV 设置管理车道时,随着 CAV 渗透率的增长会增加车辆间的碰撞风险;当只限制 HDV 车辆路权时,各类型换道行为与目标换道间隙频率变化并不显著,此时管理车道设置策略对交通流碰撞风险影响较小。

研究结论为新型混合交通流背景下不同管理车道设置提供一定参考,但仍存在可改进之处,未来需进一步针对 CAV 编队行驶的到达分布、复杂路段适用场景等方面进行研究。

参考文献

[1] HILL C J, GARRETT J K. AASHTO connected vehicle infrastructure deployment analysis[R]. Washington DC: Joint Program Office for Intelligent Transportation Systems, 2011

[2] 冯雪. 基于人-车-路协同的混合交通流微观建模与特性分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2016

FENG Xue. Microscopic modeling and properties analyzing of mixed traffic flow considering human-vehicle-road interaction[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016

[3] VAN DEN BERG V A C, VERHOEF E T. Autonomous cars and dynamic bottleneck congestion: the effects on capacity, value of time and preference heterogeneity[J]. Transportation Research Part B;

- Methodological, 2016, 94; 43. DOI: 10.1016/j.trb.2016.08.018
- [4] WENG Jinxian, MENG Qiang. Modeling speed-flow relationship and merging behavior in work zone merging areas[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011, 19(6): 985. DOI: 10.1016/j.trc.2011.05.001
- [5] XU Feifei, DU Yuchuan, SUN Lijun. A framework for ongoing performance monitoring of bus lane system[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 96(1): 175. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.08.023
- [6] YE Lanhang, YAMAMOTO T. Impact of dedicated lanes for connected and autonomous vehicle on traffic flow throughput[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2018, 512: 588. DOI: 10.1016/j.physa.2018.08.083
- [7] MOHAJERPOOR R, RAMEZANI M. Mixed flow of autonomous and human-driven vehicles: analytical headway modeling and optimal lane management[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019, 109: 194. DOI: 10.1016/j.trc.2019.10.009
- [8] 秦严严, 胡兴华, 何兆益, 等. CACC 车头时距与混合交通流稳定性的解析关系[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(6): 7
- QIN Yanyan, HU Xinghua, HE Zhaoyi, et al. Analytical relationship between CACC headway time distance and stability of mixed traffic flow[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19(6): 7
- [9] 张金金, 尹升, 马克, 等. 智能网联环境下 CAV 专用道对道路通行能力的影响[J]. 公路交通科技, 2019, 15(9): 294
- ZHANG Jinjin, YIN Sheng, MA Ke, et al. Impact of CAV lanes on road capacity in an intelligent networked environment[J]. Journal of Guizhou University of Finance and Economics, 2019, 15(9): 294
- [10] 郝威, 俞海杰, 高志波, 等. 自动驾驶专用车道影响下的 CACC 车流管理策略[J]. 中国公路学报, 2022, 35(4): 230
- HAO Wei, YU Haijie, GAO Zhibo, et al. Management methods for cooperative adaptive cruise control vehicles flow considering dedicated lanes[J]. China Journal of Highway and Transport, 2022, 35(4): 230. DOI: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2022.04.019
- [11] 肖新平, 姜蒙, 文江辉, 等. 基于改进 IDM-GARCH 模型的速度波动不确定性研究[J]. 中国公路学报, 2019, 32(2): 155
- XIAO Xinpin, JIANG Meng, WEN Jianghui, et al. Uncertainty of velocity fluctuation based on an improved IDM-GARCH model[J]. China Journal of Highway and Transport, 2019, 32(2): 155. DOI: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2019.02.016
- [12] XIAO Lin, WANG Meng, SCHAKEL W, et al. Unravelling effects of cooperative adaptive cruise control deactivation on traffic flow characteristics at merging bottlenecks[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018, 96: 380. DOI: 10.1016/j.trc.2018.10.008
- [13] CHEN Danjue, AHN S, CHITTURI M, et al. Towards vehicle automation: roadway capacity formulation for traffic mixed with regular and automated vehicles[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2017, 100: 196
- [14] 蒋婷. 混合交通中 CAV 专用车道设置条件与并道控制方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2021
- JIANG Ting. Research of setting condition and merging control method for CAV dedicated lanes in mixed traffic[D]. Chongqing: Chongqing University, 2021. DOI: 10.27670/d.cnki.gcqdu.2021.003581
- [15] 常鑫, 李海舰, 荣建, 等. 混有智能网联车辆交通流车道管理策略研究[J]. 交通工程, 2020, 20(5): 38
- CHANG Xin, LI Haijian, RONG Jian, et al. Research on different lane policies for mixed traffic flow with intelligent connected vehicles[J]. Journal of Transportation Engineering, 2020, 20(5): 38. DOI: 10.13986/j.cnki.jote.2020.05.007
- [16] 崔居福, 胡本旭, 夏辉, 等. SUMO 平台下多种车辆跟驰模型的仿真对比分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2021, 44(7): 43
- CUI Jufu, HU Benxu, XIA Hui, et al. Comparative analysis of simulation of multi-car-following models under SUMO platform[J]. Journal of Chongqing University, 2021, 44(7): 43
- [17] GHIASI A, HUSSAIN O, QIAN Z S, et al. A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: a Markov chain method[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2017, 106: 266. DOI: 10.1016/j.trb.2017.09.022
- [18] OLIA A, RAZAVI S, ABDULHAI B, et al. Traffic capacity implications of automated vehicles mixed with regular vehicles[J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2018, 22(3): 244. DOI: 10.1080/15472450.2017.1404680
- [19] JIN Mengxia, LU Guangquan, CHEN Facheng, et al. Modeling takeover behavior in level 3 automated driving via a structural equation model: considering the mediating role of trust[J]. Accident Analysis & Prevention, 2021, 157: 106156. DOI: 10.1016/j.aap.2021.106156
- [20] VAN HOEK R, PLOEG J, NIJMEIJER H. Cooperative driving of automated vehicles using B-splines for trajectory planning[J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2021, 6(3): 594. DOI: 10.1109/TIV.2021.3072679
- [21] LIU Hao, KAN Xingan, STEVEN E, et al. Impact of cooperative adaptive cruise control on multilane freeway merge capacity[J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2018, 22(3): 263. DOI: 10.1080/15472450.2018.1438275

(编辑 魏希柱)