

文章编号: 1008-1542(2023)01-0083-10

## 智慧高速公路收费站潮汐车道的开放数量研究

乔建刚<sup>1</sup>, 李恩玉<sup>1</sup>, 刘怡美<sup>2</sup>, 彭瑞<sup>1</sup>, 陶瑞<sup>1</sup>

(1. 河北工业大学土木与交通学院, 天津 300401; 2. 河北省高速公路京雄筹建处, 河北雄安新区 071700)

**摘要:**为解决智慧高速公路收费广场交通分布不均衡、拥堵的问题,在空间资源一定的前提下,提出开放潮汐车道的措施,探讨最佳开放数量。首先,以京雄智慧高速雄安北主线收费站为研究对象,分析车道的潮汐交通流特性,论证设置潮汐车道的可行性;其次,选定潮汐系数分别为0.6, 0.7, 0.8, 0.9,将交通量划分为A—F共6个等级,建立VISSIM收费站仿真模型;最后,以收费站工作日早高峰为例,分析各方案的交通量等仿真结果,确定不同交通流状态下潮汐车道的开放数量。结果表明,收费站出口为主要车流方向时,潮汐系数为0.7且交通量为C—F级,以及潮汐系数为0.9且交通量为B级时,宜开放1条潮汐车道;潮汐系数为0.8和0.9时,C—F级交通量下分别开放2条、3条潮汐车道;其他情况下不开放潮汐车道。依托具有通勤功能的京雄智慧高速公路雄安北主线收费站,研究潮汐车道的最佳开放数量,可为智慧高速公路出入口车道的调控提供参考,对提高高速公路通行能力和通行效率具有现实意义。

**关键词:**智慧高速公路;收费站;潮汐车道;VISSIM仿真分析;交通量

中图分类号:U491 文献标识码:A DOI:10.7535/hbkd.2023yx01010

### Study on the number of tidal lanes open at smart highway toll stations

QIAO Jiangang<sup>1</sup>, LI Enyu<sup>1</sup>, LIU Yimei<sup>2</sup>, PENG Rui<sup>1</sup>, TAO Rui<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering and Transportation, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China; 2. Beijing Xiong'an Preparation Office, Hebei Province Expressway, Xiong'an New Area, Hebei 071700, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of uneven distribution of traffic and traffic congestion in the toll plaza of the smart expressway, the measure of opening tidal lanes was proposed under the premise of certain spatial resources, and the optimal number of open lanes was explored. Taking the Xiong'an North mainline toll station of Jingxiong Smart Expressway as the research object, the tidal traffic flow characteristics of the lanes was analyzed and the feasibility of setting tidal lanes was

收稿日期:2022-09-08;修回日期:2022-11-09;责任编辑:张士莹

基金项目:国家自然科学基金(51108011);国家安全生产监督总局科技项目(hebei-0009-2017AQ)

第一作者简介:乔建刚(1963—),男,山西太谷人,教授,博士,主要从事交通管理与规划方面的研究。

E-mail:qiaoqj369@126.com

乔建刚,李恩玉,刘怡美,等.智慧高速公路收费站潮汐车道的开放数量研究[J].河北科技大学学报,2023,44(1):83-92.

QIAO Jiangang, LI Enyu, LIU Yimei, et al. Study on the number of tidal lanes open at smart highway toll stations[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2023, 44(1): 83-92.

demonstrated; The tidal coefficients of 0.6, 0.7, 0.7, 0.8 and 0.9 were selected, and the traffic volume was divided into six grades of A—F, and the VISSIM toll station simulation model was established; Taking the morning peak of the toll station as an example, the simulation results such as traffic volume of each simulation scheme were analyzed to determine the number of tidal lanes to be opened under different traffic flow states. The results show that with the toll station exit as the main traffic flow direction, it is appropriate to open one tidal lane when the tidal coefficient is 0.7 and the traffic volume is C—F level and the tidal coefficient is 0.9 and the traffic volume is B level; When the tidal coefficient is 0.8 and 0.9, 2 and 3 tidal lanes are opened under C—F traffic volume respectively; in other cases, no tidal lane is opened. Relying on the Xiong'an North mainline toll station of the Jingxiong Smart Expressway with commuting function, studying the optimal number of opening tidal lanes can provide a reference for the regulation and control of the entrance and exit lanes of smart expressway, and has practical significance for improving its traffic capacity and efficiency.

**Keywords:** smart highway; toll station; tidal lane; VISSIM simulation analysis; traffic

智慧高速公路具有安全、高效、便捷、绿色等优点,已成为高速公路建设的发展趋势。收费站作为高速公路的瓶颈路段,进行收费作业时会造成行车延误和排队,工作日早晚高峰、节假日等时段甚至会导致某一侧交通拥堵,产生明显的潮汐交通流现象,严重影响智慧高速公路的通行效率。针对潮汐交通流现象,研究人员提出了设置潮汐车道的措施<sup>[1-3]</sup>,主要是在对道路潮汐交通流特性分析的基础上,论证设置潮汐车道的可行性,并进行潮汐车道设置方案的效果评价<sup>[4-6]</sup>。例如:KOTAGI等<sup>[7]</sup>在印度城市主干道设置可逆车道,提高高峰时段的通行能力;史峰等<sup>[8]</sup>提出可变车道配置方法来缓解城市交通早晚高峰时段的空间不对称拥堵问题;王艳丽等<sup>[9]</sup>设计了潮汐车道自适应控制系统以减少交通延误和排队长度;徐洪峰等<sup>[10]</sup>利用微观交通仿真验证了复合动态车道管理方法对城市主干道交叉口整体性能的改善效果;贾洪飞等<sup>[11]</sup>、陈婷婷等<sup>[12]</sup>构建了潮汐车道设置方案的双层规划模型;KONSTANTINOS等<sup>[13]</sup>对高速公路潮汐车道实时控制策略进行了效果评价;王鹏<sup>[14]</sup>研究了通过控制高速公路收费车道开闭提高收费站运营管理水平;曲明革<sup>[15]</sup>根据交通流特征、通行能力等,确定高速公路出入口收费车道的数量。虽然国内外学者关于潮汐车道的研究取得了大量可信的研究成果,但对于高速公路收费站设置潮汐车道的研究鲜见报道。

本文以京雄智慧高速雄安北主线收费站为依托,采用仿真分析的方法对潮汐车道的设置方案进行探究,通过设置合理数量的潮汐车道,缓解智慧高速公路收费站排队拥堵问题,提高收费效率。

## 1 高速收费站潮汐交通流运行特征分析

### 1.1 收费站潮汐交通流特征

京雄智慧高速作为北京至雄安新区的通勤干道,其收费站处的交通流由于两地的用地属性不同会出现潮汐现象,具有较强的时间、空间特性。

#### 1) 时间分布特性

由于出行者在工作日早晚高峰期间的刚性出行需求,导致京雄智慧高速出现不均衡交通流现象,呈现出“早出晚归”的交通特征。另外,节假日、大型活动也会造成高速公路单方向交通流汇集,导致收费站交通拥堵。因该高速尚未全线开通,道路交通量较小,不便于分析其潮汐交通流特征,因此选取与京雄高速具有类似缓解城市中心功能的津滨高速进行调研,二者均为双向8车道。以津滨高速2021年某工作日的早晚高峰流量为例进行分析,保证后文论述的各类潮汐系数与实际相符,如图1所示。

由图1可知,早高峰期间,滨海方向的交通量在7:00~10:00时呈现先增大、后减小的趋势,8:00时的交通量达到最大,为310 pcu/5 min;市区方向的交通量在早高峰期间变化趋势较平缓,始终保持在100~150 pcu/5 min之间。晚高峰则相反,滨海方向的交通量一直在100 pcu/5 min附近波动,而市区方向的交通量在16:00~19:00之间呈现先增大、后减小的趋势,17:35时达到最大,为307 pcu/5 min。

#### 2) 空间分布特性

高速公路的潮汐交通现象通常固定发生在收费站附近,靠近收费站的区域交通分布不均衡程度越强,在出入口车道处越会产生排队现象。在收费站上游或下游较远处,交通流较疏散,不均衡程度较弱。以津滨高速早晚高峰小时交通量与方向分布系数的变化规律为例进行分析,交通量与方向分布系数如图2所示,方向分布系数的计算公式如式(1)所示。

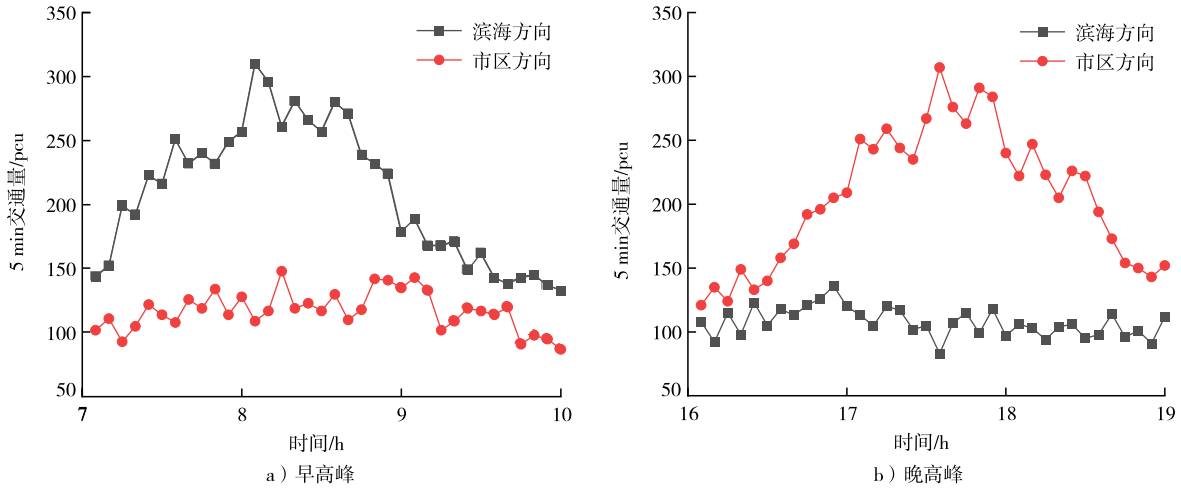


图 1 津滨高速早晚高峰交通流

Fig. 1 Morning and evening peak traffic flow of JinBin expressway

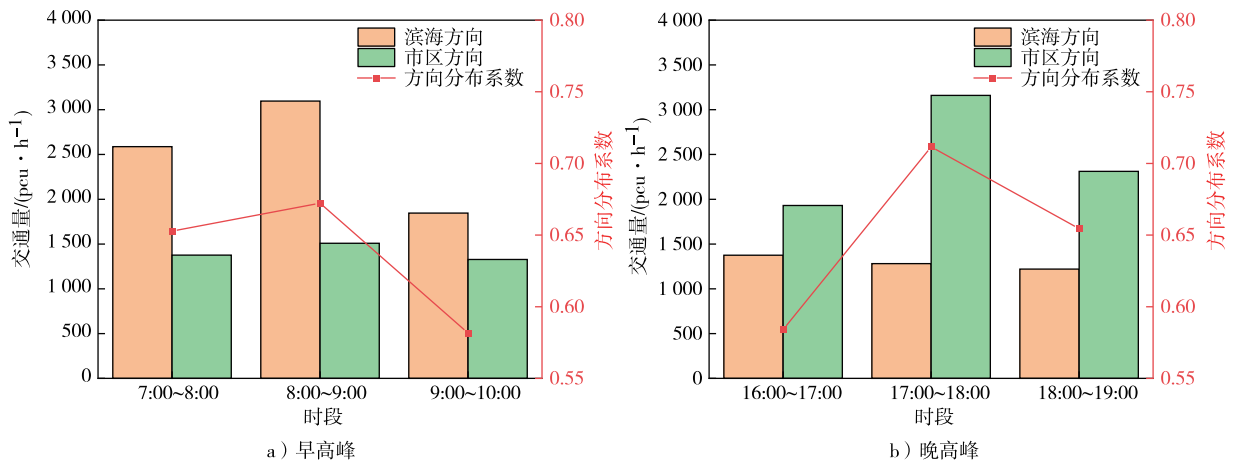


图 2 津滨高速早晚高峰小时交通量与方向分布系数

Fig. 2 Traffic volume and direction distribution coefficient of morning and evening peak hours of JinBin expressway

$$K_D = \frac{Q_M}{Q_M + Q_N} \quad (1)$$

式中:  $K_D$  为方向分布系数;  $Q_M$  为主要车流方向的交通量, pcu/h;  $Q_N$  为次要车流方向的交通量, pcu/h。由图 2 可知, 早高峰期间, 滨海方向为主要交通流方向, 方向分布系数呈现先增大、后降低的趋势, 在 8:00~9:00 时段达到最高, 为 0.67; 晚高峰期间, 市区方向的小时交通量远大于滨海方向, 方向分布系数呈现先增大、后降低的趋势, 在 17:00~18:00 时段达到最高, 为 0.71。

上述分析表明, 工作日早高峰时段, 通勤高速公路城区方向的交通量明显高于郊区方向, 而晚高峰期间则相反, 出城方向成为主要车流方向, 造成交通流在时间和空间上分布不均衡, 产生明显的潮汐交通流现象。

### 1.2 收费站潮汐车道设置的条件

根据国内外的研究经验, 设置潮汐车道理论上要求满足以下设置条件<sup>[16]</sup>:

- 1) 双向车道总数在 3 条以上, 在城市流量较大的主干道上, 双向车道总数  $\geq 5$ <sup>[17]</sup>;
- 2) 中间带条件可供设置潮汐车道;
- 3) 为减少引导交通流的工作量, 潮汐车道长度不易过长, 尽量不要超过 5 km;
- 4) 潮汐交通现象严重, 主要车流方向的交通量分布系数  $K_D \geq 2/3$ ;
- 5) 某一方向潮汐车道的开放不致造成对向车道交通拥堵, 能够满足双向的交通需求。

雄安北主线收费站的出入口总车道数为 14, 且收费广场车道不存在内侧专用道, 中间带易于改建或拆除, 收费站出入口方向的车道长度较短, 在 1 km 以内, 满足潮汐车道硬件设置条件。

## 2 VISSIM 仿真模型的建立

本文采用 VISSIM 中仿真高速公路或郊区道路交通流的 Wiedemann99 模型来描述车辆的驾驶行为,并设定仿真模型的运行时间间隔为 3 600 s。

### 2.1 相关参数

#### 1) 车型比例参数

由于京雄智慧高速尚未全线通车,开路段的交通量数据不能代表全线的通行状况,因此还选取了同样途径北京至雄安的京港澳高速和大广高速作为调研道路,在 2021 年 7 月选择天气良好的工作日,于 7:00~18:00 时段进行实地观测,得到京雄高速周边道路的调研数据。对 3 条平行高速的交通量数据进行简化,得到表 1 所示的车辆分布比例。

表 1 车辆分布比例

Tab. 1 Vehicle distribution proportion

车辆到达特性	车型分布/%		
	小型车	中型车	大型车
泊松分布	80	15	5

#### 2) 收费站参数

由设计文件可知,京雄智慧高速河北段起点到雄安北主线收费站的路段为双向 8 车道,经收费站后变为双向 6 车道。收费广场出口车道设有 6 个 ETC 车道和 2 个 MTC 车道,入口车道设有 4 个 ETC 车道和 2 个 MTC 车道。为减少潮汐车道造成的交通冲突,只将内侧 ETC 车道作为潮汐车道,另外出入口处分别至少需要保留 1 条 ETC 车道,故选择出口方向内侧第 1,2,3,4 条 ETC 车道和入口方向内侧第 1,2,3 条 ETC 车道作为潮汐车道。车道宽度为 3.75 m,设计速度为 120 km/h。收费岛宽度为 2.2 m,收费通道宽度均为 3.5 m,根据此比例在 VISSIM 中进行收费站建模,如图 3 所示。

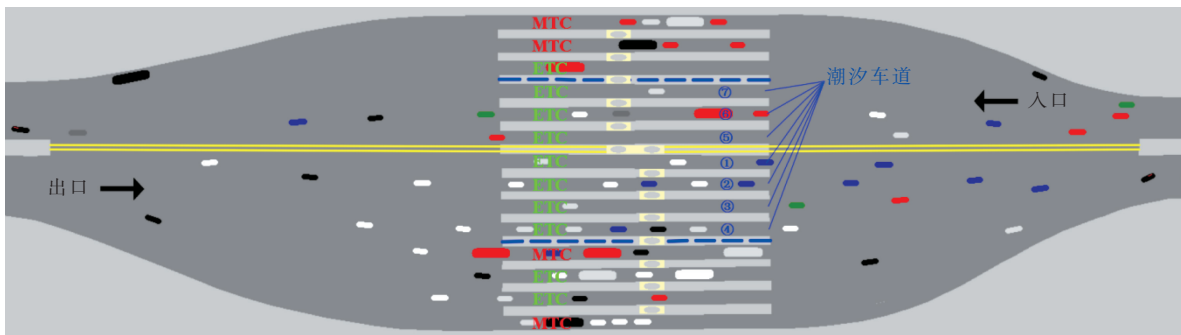


图 3 收费站仿真平面图

Fig. 3 Schematic diagram of the simulation plane of the toll station

#### 3) ETC/MTC 收费车道停车缴费定义

采用减速区模拟 ETC 车辆的缴费过程,期望车速为 15~20 km/h;采用停车标志模拟 MTC 车辆的缴费过程,MTC 收费服务时间服从正态分布。经现场调研得知,小型车、中型车、大型车服务时间期望分别为 7,15,18 s。

#### 4) ETC/MTC 车辆比例

根据《深化收费公路制度改革 取消高速公路省界收费站实施方案》<sup>[18]</sup>国家对 ETC 收费的推行力度,京雄智慧高速 ETC 车辆比例取 90%。

#### 5) 潮汐交通临界方向分布系数

根据“1.2”项中潮汐车道设置条件 4),选定潮汐系数 0.6,0.7,0.8,0.9 进行仿真分析。

#### 6) 交通量参数值

根据《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)<sup>[19]</sup>服务水平等级划分输入交通量参数,以京雄智慧高速工作日早高峰为例,即出口为主要交通流方向时根据不同潮汐系数对收费站出、入口方向的交通量进行取值,如表 2 所示。

表 2 出口处为主要车流方向时的交通量取值

Tab. 2 Simulation value of traffic volume when the exit is the main traffic flow direction

交通量等级	单车道标准/ (pcu · h <sup>-1</sup> )	双向交通量 输入值/ (pcu · h <sup>-1</sup> )	潮汐系数							
			0.6		0.7		0.8		0.9	
			出口	入口	出口	入口	出口	入口	出口	入口
A	750	5 250	3 150	2 100	3 675	1 575	4 200	1 050	4 725	525
B	1 200	8 400	5 040	3 360	5 880	2 520	6 720	1 680	7 560	840
C	1 650	11 550	6 930	4 620	8 085	3 465	9 240	2 310	10 395	1 155
D	1 980	13 860	8 316	5 544	9 702	4 158	11 088	2 772	12 474	1 386
E	2 200	15 400	9 240	6 160	10 780	4 620	12 320	3 080	13 860	1 540
F	>2 200	17 000	10 200	6 800	11 900	5 100	13 600	3 400	15 300	1 700

2.2 仿真模型的标定

为证明收费站潮汐车道仿真模型的有效性,对比分析未开放潮汐车道时通行能力的计算结果与仿真结果,对仿真模型的可靠性进行检验。

1)ETC 车道通行能力

$$C_E = \frac{1\,000v}{\frac{vt}{3.6} + l_0 + l_c} \quad (2)$$

式中: $C_E$  为 ETC 的车道通行能力,pcu/h; $v$  为 ETC 车道的平均行驶车速,km/h; $t$  为驾驶员的制动时间,s; $l_0$  为后车消除碰撞危险的安全距离,m; $l_c$  为标准车型车辆的长度,m。

结合相关文献[20]以及周边高速实际调查, $v$  取 20 km/h, $t$  取 2 s, $l_0$  取 2.5 m, $l_c$  取 6 m。

2)MTC 车道通行能力

$$C_M = \frac{3\,600}{T_s + T_G} \quad (3)$$

式中: $C_M$  为 MTC 车道通行能力,pcu/h; $T_s$  为标准车型的服务时间,s; $T_G$  为标准车型的离去时间,s。结合实际调查, $T_s$  取 8 s, $T_G$  取 4.5 s。

通过计算得到未开放潮汐车道时出口方向的通行能力,与仿真结果进行对比分析后得到结果见表 3。

由表 3 可知,收费站通行能力计算结果与仿真输出的数值误差较小,为 8%。可见,构建的收费站仿真模型具有较强的适用性,能反映收费站的真实交通状况。

表 3 计算结果与仿真结果对比

Tab. 3 Comparison between calculation results and simulation results

项 目	ETC 车道 数量/条	MTC 车道 数量/条	通行能力/ (pcu · h <sup>-1</sup> )
仿真结果	6	2	6 200
计算结果	6	2	6 696
误差 $\epsilon$ /%	—	—	8.00

3 收费站潮汐车道开放数量的确定

在工作日早高峰,收费站出口处为主要车流方向,将入口方向的内侧车道供给出口方向使用,仿真方案如表 4 所示。

表 4 出口处为主要车流方向时的仿真方案

Tab. 4 Simulation scheme when the exit is the main traffic flow direction

仿真方案	方案措施
×	不开放潮汐车道
I	将入口内侧 1 条 ETC 车道作为潮汐车道借给出口方向使用
II	将入口内侧 2 条 ETC 车道作为潮汐车道借给出口方向使用
III	将入口内侧 3 条 ETC 车道作为潮汐车道借给出口方向使用

利用构建的 VISSIM 模型对表 4 中不同潮汐车道开放方案进行仿真,按照潮汐系数和交通量等级输出各方案下出入口的交通量仿真值,结合交通量增长率变化以及双向总交通量值,确定潮汐车道的开放数量。

3.1 收费站出入口交通量仿真结果分析

1)潮汐系数为 0.6

首先对潮汐系数为 0.6 时的各交通量等级下收费站车道的开放数量与交通量变化进行分析,仿真结果如图 4 所示。

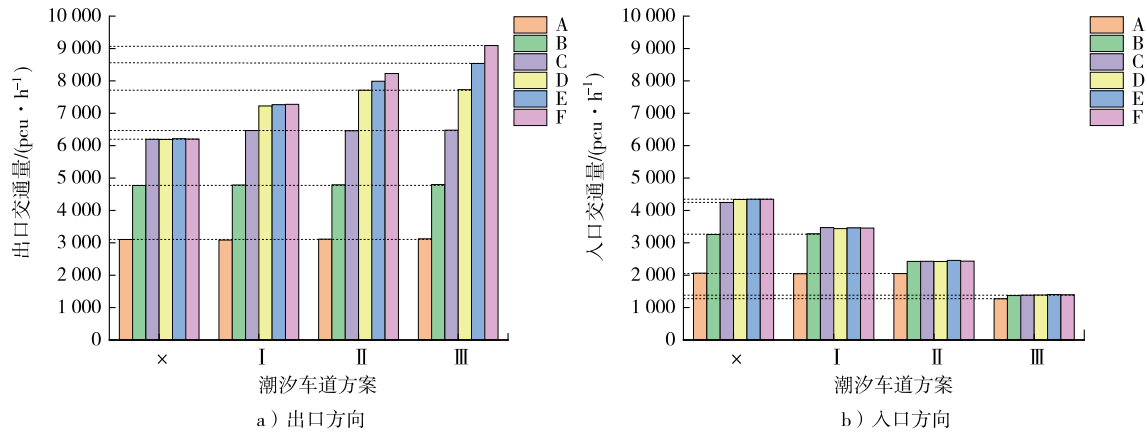


图4 不同潮汐车道方案下出入口方向交通量(潮汐系数为0.6)

Fig.4 Traffic volume in the direction of entrance and exit under different tidal lane schemes(the tidal coefficient is 0.6)

由图4 a)可知,开放1—3条潮汐车道时出口方向的交通量呈增长趋势,其中A级、B级交通量下出口的交通量保持不变,能够满足所有车辆通过;C级交通量时,开放1—3条潮汐车道交通量相同,说明开放1条潮汐车道即可满足交通需求;D级交通量时,需要开放2条潮汐车道;交通量等级为E和F时,开放3条潮汐车道时车辆通行量达到最大。由图4 b)可知,随着潮汐车道开放数量的增多,入口车道的通行能力稍有降低。A级交通量时开放1条或2条潮汐车道对入口方向的交通量不会造成影响;B级交通量时开放1条潮汐车道不会减少入口方向的通过量;交通量等级继续增大,入口处通过的车辆数随潮汐车道开放数量的增多而不断减少。

### 2)潮汐系数为0.7

同理,潮汐系数为0.7时,各交通量等级下车道的开放数量与交通量变化的仿真结果如图5所示。

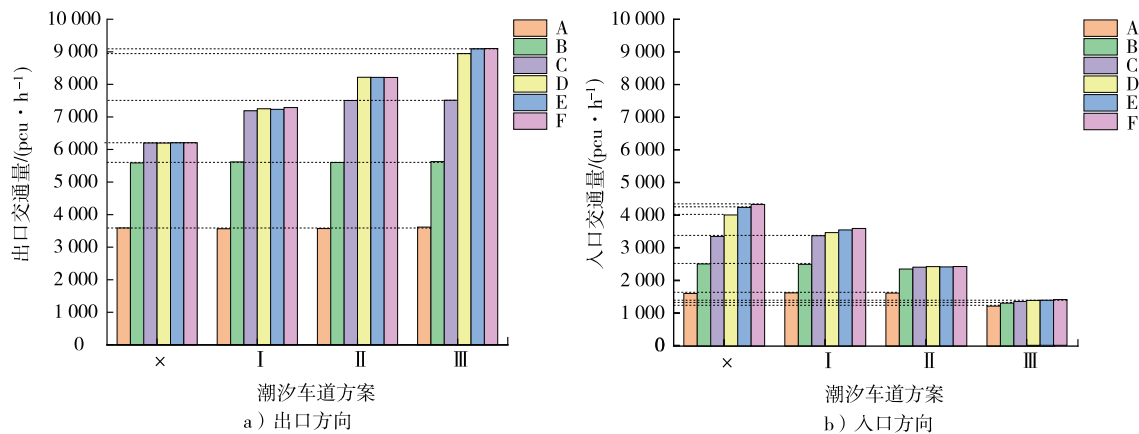


图5 不同潮汐车道方案下出入口方向交通量(潮汐系数为0.7)

Fig.5 Traffic volume in the direction of entrance and exit under different tidal lane schemes(the tidal coefficient is 0.7)

由图5可以得出,A级、B级交通量时不需借用对向车道,C—F级交通量等级逐级提高,收费站出口方向的交通量会随着潮汐车道开放数量的增多而逐渐增大。对于入口而言,A级交通量时开放1条或2条潮汐车道对入口方向的交通量不会造成影响,B级、C级交通量时开放1条潮汐车道不会降低入口方向的通过量,交通量等级继续增大,入口处通过的车辆数会随潮汐车道开放数量的增多而不断减少。

### 3)潮汐系数为0.8

类似地,潮汐系数为0.8时,各交通量等级下车道的开放数量与交通量变化的仿真结果如图6所示。

由图6可知,A级、B级交通量时也不必开放潮汐车道;交通量等级逐级提高,收费站出口方向的交通量会随着潮汐车道开放数量的增多而逐渐增大。A级交通量时,潮汐车道开放不会阻碍入口方向的交通;B级、C级交通量时,开放1条或2条潮汐车道不会降低入口方向的通过量;D—F级交通量时,开放1条潮汐车道不会影响入口方向的通过量;继续增加潮汐车道的开放数量,会导致入口方向的交通量逐渐降低。

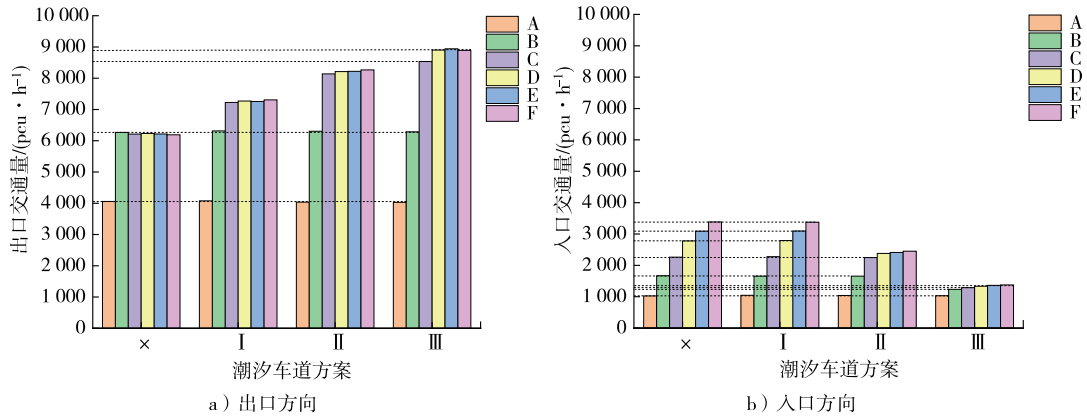


图 6 不同潮汐车道方案下出入口方向交通量(潮汐系数为 0.8)

Fig. 6 Traffic volume in the direction of entrance and exit under different tidal lane schemes(the tidal coefficient is 0.8)

4)潮汐系数为 0.9

潮汐系数为 0.9 时,各交通量等级下车道的开放数量与交通量变化的仿真结果类似,如图 7 所示。

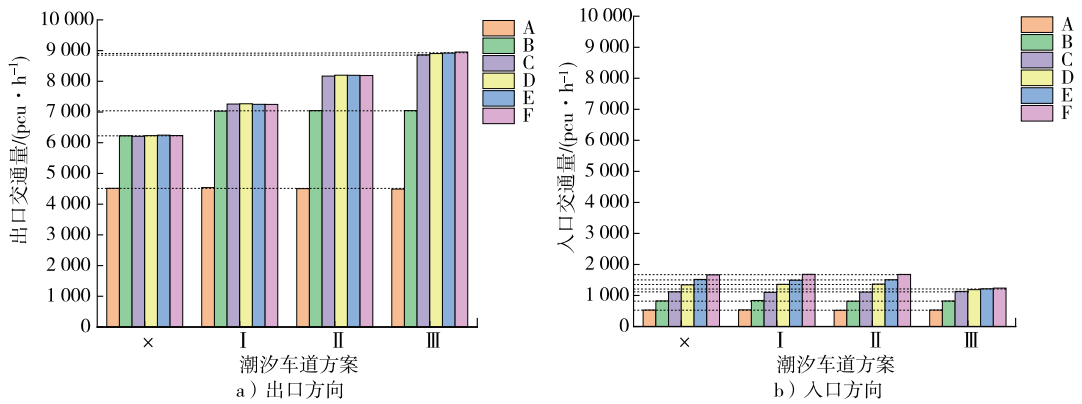


图 7 不同潮汐车道方案下出入口方向交通量(潮汐系数为 0.9)

Fig. 7 Traffic volume in the direction of entrance and exit under different tidal lane schemes(the tidal coefficient is 0.9)

由图 7 a)可知,A 级交通量时,不建议开放潮汐车道;B 级交通量时,开放 1 条潮汐车道即可;C—F 级交通量时,收费站出口方向的交通量随着潮汐车道开放数量的增多而逐渐增大。由图 7 b)可知,A—C 级交通量时,任意潮汐车道方案对入口车道的交通量都无影响;当交通量由 D 增加到 F 级时,开放 3 条潮汐车道才会降低入口方向的交通量。

3.2 交通量增长率分析

不同潮汐系数下,潮汐车道数量不同时,出入口车道的交通量变化情况也不同。为分析其变化情况,用式(4)交通量增长率来表示,通过计算得到潮汐车道数量和交通量变化率关系,如图 8 所示。

$$R_1 = \frac{Q_n - Q_0}{Q_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $R_1$  为交通量增长率; $Q_n$  为开放  $n$  条潮汐车道时的交通量( $n=1,2,3$ ),pcu/h; $Q_0$  为未开放潮汐车道时的交通量,pcu/h。

由图 8 可知,出入口方向的交通量增长率都随潮汐车道开放数量的增多而增大。在满足“1.2”项潮汐车道设置条件 5)的前提下,2 个方向的交通量增长率平衡时,出入口方向交通量增长率的交点为潮汐车道最佳开放数量。

潮汐系数为 0.6,A 级、B 级交通量时,收费站出口车道的交通量增长率基本不变,无需开放潮汐车道;C—F 级交通量时,开放 1—3 条潮汐车道,导致入口车道交通量降低率大于出口车道交通量的增长率,说明

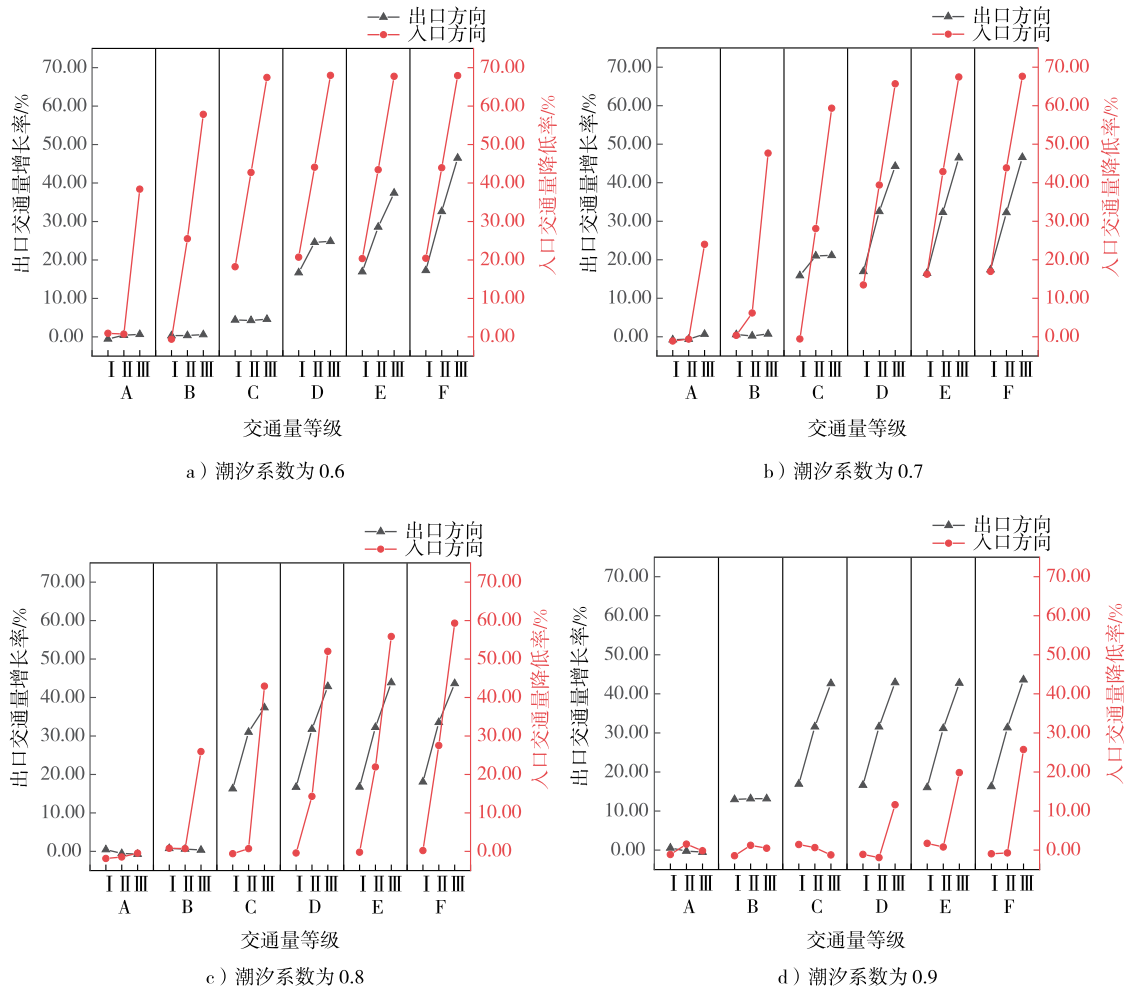


图8 潮汐车道开放后的交通量变化率

Fig. 8 Change rate of traffic volume after the opening of tidal lane

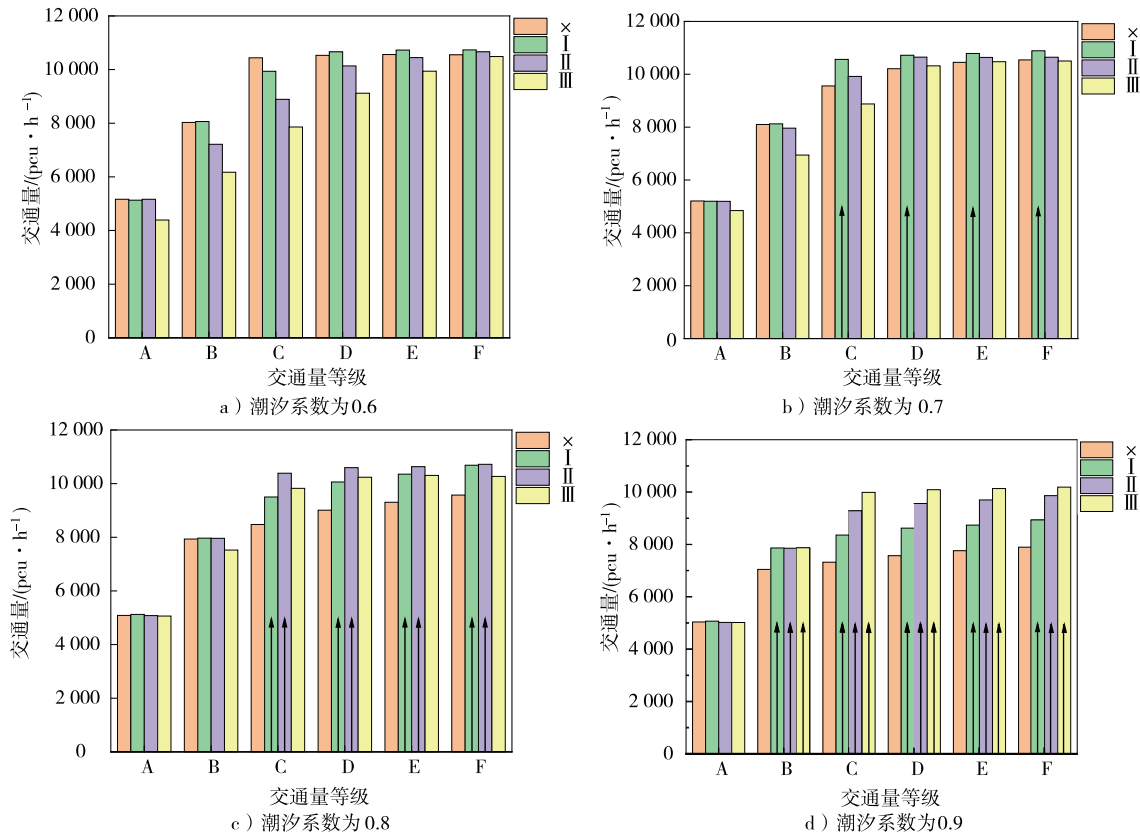
在潮汐系数较低时,占用对向部分车道会增加交通负担,不建议开启潮汐车道。潮汐系数为0.7,A级、B级交通量时不建议开放潮汐车道;C级交通量时,潮汐车道最佳开放数量为1;D—F级交通量时,开放1条潮汐车道对出口方向的积极影响不明显,需根据总交通量判断是否开放。同理,潮汐系数为0.8,A级、B级交通量时也不建议开启潮汐车道;C级交通量时建议开启2条潮汐车道;D—F级交通量时,开启1条或2条潮汐车道需结合总交通量进行判断。潮汐系数为0.9,A级交通量时不建议开放潮汐车道;C级交通量时,最宜开放3条潮汐车道;B级交通量时,开启1—3条潮汐车道需结合总交通量进行判断;D—F级交通量时,要以总交通量最大为判断依据,确定开启2条或3条潮汐车道。

### 3.3 双向总交通量分析

道路双向总交通量表征道路通行能力的大小。在对出口方向的积极影响大于对入口方向消极影响的前提下,交通量达到最大时,车道的通行效率最高,即总交通量最大时为最佳潮汐车道方案,如图9所示。

图9中,为便于确定潮汐车道的开放数量,用黑色箭头标记出口方向的交通量增长率大于入口方向交通量降低率的方案。潮汐系数为0.6时,开放潮汐车道对双向总交通量有一定的提高,但会导致出口方向的交通量增长率小于入口方向的交通量降低率,故不建议开放潮汐车道;潮汐系数为0.7~0.8时,结合出入口方向交通量增长率分析,A级、B级交通量皆不需开放潮汐车道,C—F级交通量时可开放潮汐车道,数量为1条、2条;潮汐系数为0.9时,A级交通量下不建议开放潮汐车道,B—F级开放1—3条潮汐车道皆满足潮汐车道设置条件5),考虑到使总交通量最大,因而B级交通量时开放1条潮汐车道最合适,C—F级交通量时宜开放3条。





注: 图中向上箭头表明该方案下出口方向的交通量增长率大于入口方向的交通量降低率。

图 9 不同潮汐车道方案下的总交通量

Fig. 9 Total traffic volume under different tidal lane schemes

当收费站出口为主要车流方向,潮汐系数为 0.6~0.9 时,不同交通量等级下建议开放的潮汐车道数量如表 5 所示。

由表 5 可知,收费站潮汐车道的开放数量由交通量等级、潮汐系数等决定,不同交通流状态采取不同的开设方案。在早高峰期间,当交通量增长到 B 级以上、且出口方向的交通流远大于入口方向的交通流时,需要将部分入口车道的行车方向切换为出口方向;交通量等级为 B、潮汐系数达到 0.9 时,需要开放 1 条潮汐车道;交通量为 C—F 级,潮汐系数分别为 0.7,0.8,0.9 时,潮汐车道开放数量分别为 1 条、2 条和 3 条;其他情况不必开放潮汐车道。同理,晚高峰期间的潮汐车道开放方案研究类似,当满足潮汐车道开放条件时,根据交通流状态动态调整潮汐车道的开放数量。

表 5 不同交通量等级下潮汐车道的开放数量

Tab. 5 Number of tidal lanes open under different traffic levels

潮汐系数	车道开放数量					
	A	B	C	D	E	F
0.6	0	0	0	0	0	0
0.7	0	0	1	1	1	1
0.8	0	0	2	2	2	2
0.9	0	1	3	3	3	3

### 4 结 论

本文基于京雄智慧高速雄安北收费站实体工程探究潮汐车道的设置条件及规则,应用 VISSIM 仿真技术建立收费站潮汐车道开放模型,通过分析对比不同开放方案的仿真结果,研究了潮汐车道在不同潮汐系数及不同交通流状态下的最佳切换数量,得到以下结论。

- 1)从时间和空间维度对京雄智慧高速公路进行潮汐交通流特性分析,根据雄安北收费站的几何参数,可论证京雄智慧高速设置潮汐车道的条件。
- 2)构建 VISSIM 对收费站模型进行潮汐车道开放运行仿真,得到了不同潮汐系数及不同交通量下的仿真值,以收费站出入口交通量增长率平衡、双向总交通量最大等为依据,可确定最佳开放车道的数量。
- 3)收费站出口方向为主要车流、潮汐系数为 0.6 时,不必开放潮汐车道;潮汐系数为 0.7 和 0.8 时,A 级、B 级交通量不满足开放条件,C—F 级交通量下分别开放 1 条、2 条潮汐车道;潮汐系数为 0.9 时,交通量

达到B级宜开放1条潮汐车道,C—F级交通量下建议借用对向3条车道。

本文的研究较适用于潮汐交通现象明显的高速公路收费站,可根据实时交通流状态确定潮汐车道的开设方案。但是,在潮汐收费站进行仿真的过程中,并没有考虑驾驶员误入对向潮汐车道的情形,未来还需增加容错机制研究,对收费站潮汐车道开放模型进行修正,为制定收费站潮汐车道的控制措施提供参考。

### 参考文献/References:

- [1] 黄承锋,陈一铭,李元龙.基于改进GA算法的高速公路交通拥堵状况预测[J].吉林大学学报(信息科学版),2022,40(2):198-205.  
HUANG Chengfeng, CHEN Yiming, LI Yuanlong. Highway traffic congestion prediction model based on improved genetic algorithm[J]. Journal of Jilin University(Information Science Edition), 2022, 40(2): 198-205.
- [2] PARK K C, RHEE S M, SHIN H S. Optimal integrated operation strategy for highway tollgate using micro simulation[C]//2007 International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering (MUE'07). Seoul Korea (South): IEEE, 2007: 439-445.
- [3] LI Xu, CHEN Jun, WANG Hao. Study on flow direction changing method of reversible lanes on urban arterial roadways in China[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 96: 807-816.
- [4] 代磊磊,顾金刚,俞春俊,等.潮汐车道交通流特性与设置方案仿真研究[J].交通信息与安全,2012,30(1):15-19.  
DAI Leilei, GU Jingang, YU Chunjun, et al. Traffic flow characteristics on reversible lane and its operational plan based on simulation[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2012, 30(1): 15-19.
- [5] 王敏,王江锋,熊若曦,等.朝阳路潮汐车道运行效果评价[J].长安大学学报(自然科学版),2015,35(sup1):240-244.  
WANG Min, WANG Jiangfeng, XIONG Ruoxi, et al. Evaluation of operation effect of Chaoyang road reversible lane[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2015, 35(sup1): 240-244.
- [6] 张卫华,韩高峰,颜冉,等.城市道路路段可变车道设置效果评价方法[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2014,33(4):128-133.  
ZHANG Weihua, HAN Gaofeng, YAN Ran, et al. Evaluation on effect of setting variable lane in urban road section[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2014, 33(4): 128-133.
- [7] KOTAGI P B, ASAITHAMBI G. Microsimulation approach for evaluation of reversible lane operation on urban undivided roads in mixed traffic[J]. Transportmetrica A Transport Science, 2019, 15(2): 1613-1636.
- [8] 史峰,苏焕银,王雄.适用于路网潮汐流的可变车道设置方法研究[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(4):57-62.  
SHI Feng, SU Huanyin, WANG Xiong. Design of reversible lanes with tidal flow on road network[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(4): 57-62.
- [9] 王艳丽,杨花雨.基于视频交通图像的潮汐车道自适应控制系统设计[J].科学技术与工程,2018,18(4):349-354.  
WANG Yanli, YANG Huayu. Design of adaptive control system for tidal lane based on video traffic image[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(4): 349-354.
- [10] 徐洪峰,高霜霜,郑启明,等.信号控制交叉口的复合动态车道管理方法[J].吉林大学学报(工学版),2018,48(2):430-439.  
XU Hongfeng, GAO Shuangshuang, ZHENG Qiming, et al. Hybrid dynamic lane operation at signalized intersection[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2018, 48(2): 430-439.
- [11] 贾洪飞,丁心茹,杨丽丽.城市潮汐车道优化设计的双层规划模型[J].吉林大学学报(工学版),2020,50(2):535-542.  
JIA Hongfei, DING Xinru, YANG Lili. Bi-level programming model for optimization design of tidal lane[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2020, 50(2): 535-542.
- [12] 陈婷婷,贾顺平.综合考虑早晚高峰交通流特性的可变车道布置方案[J].科学技术与工程,2021,21(9):3822-3828.  
CHEN Tingting, JIA Shunping. Deployment of reversible lanes with consideration of flow characteristic during the morning peak and evening peak[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(9): 3822-3828.
- [13] KONSTANTINOS A, DOSSANTOS J A, CARLSON R C. Motorway tidal flow lane control[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020, 21(4): 1687-1696.
- [14] 王鹏.基于拥堵预测的高速公路收费站车道开闭配置研究[D].北京:北京交通大学,2020.  
WANG Peng. Research on the Toll Lane Configuration of Expressway Toll Station Based on Congestion Prediction[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [15] 曲明革.高速公路出入口收费车道数研究[J].公路,2012(5):262-267.  
QU Mingge. Number of toll lanes at highway entrances and exits[J]. Highway, 2012(5): 262-267.
- [16] NCHRP. Convertible Roadways and Lanes[R]. Washington: Transportation Research Board, 2004.
- [17] 曹辉.潮汐车道智能控制方法研究[D].淄博:山东理工大学,2019.  
CAO Hui. Research on Intelligent Control Method of Tidal Lane[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2019.
- [18] 国务院办公厅.国务院办公厅关于印发深化收费公路制度改革取消高速公路省界收费站实施方案的通知[EB/OL]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-05/21/content\\_5393377.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-05/21/content_5393377.htm), 2019-05-21.
- [19] JTG D20—2017,公路路线设计规范[S]. 2017.
- [20] 孟凡兴,张良,张伟.驾驶员车头时距研究[J].工业工程与管理,2013,18(2):131-135.  
MENG Fanxing, ZHANG Liang, ZHANG Wei. A study on drivers' time headway[J]. Industrial Engineering and Management, 2013, 18(2): 131-135.