

文章编号:1005-0523(2018)06-0023-06

快速路单双汇入匝道主线交通流运行分析

张东明¹,周雪梅²

(1. 同济大学浙江学院交通运输工程系, 浙江 嘉兴 314000; 2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 文章研究快速路单双平行式汇入匝道对快速路主线交通流运行状态的影响。借助微观交通仿真软件 VISSIM, 对不同交通需求情况下两种匝道形式的快速路汇入部分进行仿真, 通过采集主线交通流的车速、延误、流量等数据, 分析得出当主线和汇入流量的流量/通行能力比率(v/c)小于0.7时, 单双平行式汇入匝道对主线交通流的运行状态的影响差别不大, 且主线仍能保持较高的速度运行, 此时选择匝道形式更多应考虑土地空间、建设成本等因素; 当主线和汇入流量的 v/c 超过0.7时, 单双平行式汇入匝道主线交通流车速波动呈现截然相反的情况, 此时根据交通需求选择匝道形式对提高快速路运行效率有更重要的意义; 当交通流趋于饱和和流时, 单双平行式汇入匝道在主线运行状态上差别不大。对主线三车道交通流车速—流量分析得出, 双车道平行式汇入匝道, 主线交通流呈现明显的自由流和拥堵流两级分化的局面, 单车道平行式汇入匝道, 主线交通流各状态过渡平缓。

关键词: 城市交通; 快速路; 匝道; 微观仿真; VISSIM

中图分类号: U491

文献标志码: A

快速路合流区是快速路系统的关键部位, 合流区域拥堵经常会波及主线上游路段、汇入匝道甚至地面道路。合流区因车辆变道频发加减速, 导致交通流紊动, 通行能力与普通路段有所差别。学者们对快速路合流区的研究已有一定的成果, 主要集中在通过实测数据建立模型、仿真分析、理论解析等3个方面来分析交织区的交通流特性及通行能力。国外对此研究较早, 美国公路通行能力手册(HCM2000)^[1]中, 对交织区通行能力有较详细的计算方法, Lertworawanich 等^[2-3]又建立了相应的数学模型来计算交织区通行能力, 该类研究计算假设较多, 且不能根据各地区的实际特点进行差异化的变动。国内各学者根据实测的交通流数据, 提出了多种合流区通行能力的计算方法。如孙剑^[4]利用上海快速路60处典型交织区的流量数据, 提出通行能力评估模型, 并进行了对比验证。盘意伟^[5]提出了快速路合流区加速车道车辆汇入模型及行驶距离模型, 研究了合流区拥堵发生和扩散的机理, 建立了拥堵发生临界流量曲线。胡雨林^[6]利用元胞自动机模型来计算交织区通行能力。同时也有学者研究不同因素对合流区通行能力的影响, 例如魏中华^[7]研究了合流区汇入角度的不同对通行能力的影响, 得到合流区上游通行能力与合流区的汇入角度有明显关系, 下游则影响不大; 贾显超、张宇航、张洪宾等^[8-10]研究了公共交通对交织区交通流运行特性及通行能力的影响。而对快速路出入口形式对交织区通行能力影响的研究甚少。

通常情况下, 快速路出入口采用单车道形式, 随着机动车保有量的增加, 快速路主线的交通需求也在不断攀升, 很多城市的快速路建设规划中设计双车道出入口。上海的内环快速路也出现双车道上下匝道。研究单、双车道出入口对快速路主线交通流的影响及交织区通行能力的差别, 对合理的设置快速路出入口形式, 提高快速路整体运行效率有着非常重要的意义。文章重点研究单、双平行式汇入匝道对快速路交织区交通流运行特性的影响。

收稿日期: 2018-05-22

基金项目: 嘉兴市快速路交通组织系统研究项目(0217024)

作者简介: 张东明(1985—), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为交通规划, 交通设计。

1 汇入匝道及合流影响区

1.1 汇入匝道形式及相关要求

快速路汇入匝道按照平面布局可以分为直接式入口和平行式入口,按照汇入车道的数量可以分为单车道入口和双车道入口。平行式匝道在驾驶平顺性、方便性及安全性方面优于直接式,被各城市的快速路建设广泛采用。通常快速路出入口采用单车道形式,如果出入交通量较大的时候,可以采用双车道形式。

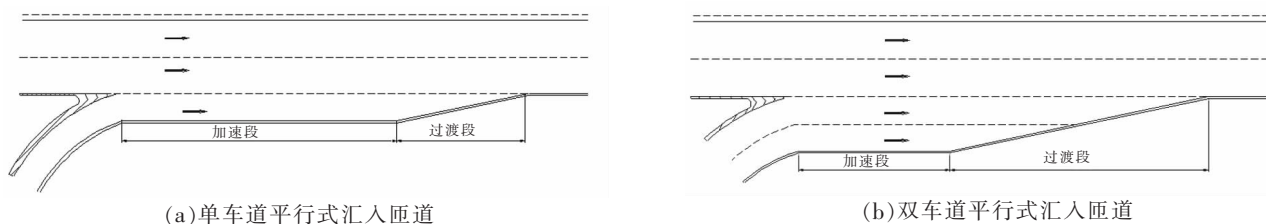


图1 汇入匝道形式
Fig.1 Entry ramp mode

《城市快速路设计规程》(CJJ 129-2009)中对快速路出入口匝道的几何设计有详细的规定,包括加减速车道及渐变段长度等。出入口的变速车道长度包括加减速车道长度和渐变段长度,主线设计车速为 80 km/h 的快速路,单车道加速车道长度为 160 m,双车道加速车道长度为 220 m,渐变段统一为 50 m。实践中,上海内环线双车道汇入匝道,与主线以单车道相接,变速车道按 1.4 倍增长。

1.2 合流区运行特性及影响范围

快速路合流区与普通路段的车辆运行特点有明显的不同,存在频发加减速的情况。汇入车辆从入口匝道驶过来,寻找驶出原交通流的间隙,之后试着在相邻的主线车道上寻找可利用的间隙,汇入主线,整个车道变换的过程需要驾驶员频繁的进行速度调整,交通流也因此变成紊动运行,通行能力较常规路段有所下降。单车道汇入匝道,车辆只需要变换一条车道就能汇入主线,双车道汇入匝道,一股车流需要变换一条车道,另一股车流需要变换两条车道才能汇入主线。根据美国通行能力手册(HCM2000)^[1]中的定义,绝大部分匝道在主线右侧,主线的 1,2 两条车道受到来自入口匝道交通流的汇入影响,长度为汇入点向下游 450 m 左右。

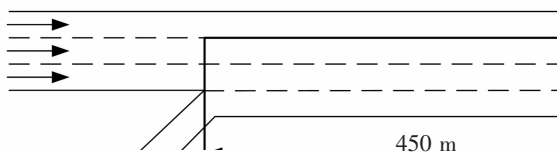


图2 驶入匝道影响区域
Fig.2 The influence area of entrance ramp

2 单、双匝道仿真建模

2.1 仿真参数标定

本文借助德国 PTV 公司的微观交通仿真软件 VISSIM 进行仿真分析,该软件在国内得到广泛应用。微观交通仿真主要是利用计算机和各种交通模型来再现交通流运行规律,从而输出量化的评价指标,给交通决策者以参考。仿真软件中涉及大量的参数,对仿真评价结果的有效性有着至关重要的影响,参数本身被设定了一个缺省值,是软件开发商根据开发国家的交通流特性设置的,与国内的快速路交通运行情况差异很大,所以根据不同交通流特性,标定仿真参数是仿真的前提。利用 PTV 公司与同济大学的研究经验,平均停车间距、期望车头时距、跟车随机振荡距离、跟车状态阈值、被超车辆可接收减速度、安全折减系数、协调刹车最大减速度、协调车道变换的最大速度差、交织区域的期望变换车道距离等参数对快速路交织区交通流运行效果影响较为明显,标定之后的结果见表 1。

表1 仿真参数默认值与标定值
Tab.1 Default values and calibration values of simulation parameters

参数	平均停车 间距/m	期望车头 时距/m	跟车随机振 荡距离/m	跟车状态 阈值/(m/s)	被超车辆可接 收减速度/ (m/s ²)	安全折 减系数	协调刹车 最大减速度/ (m/s ²)	协调车道变换 的最大速度差/ (km/h)	交织区域的 期望变换车 道距离/m
默认值	1.5	0.9	4	±0.35	-0.5	0.6	-3	10.8	200
标定值	1.7	1.1	2	±0.95	-2	0.2	-6	20	90

2.2 仿真路网建模

在 VISSIM 中搭建仿真路网模型,分单车道汇入匝道和双车道汇入匝道两个路网,双车道汇入匝道采用两次渐变过渡汇入,每一次都按照单车道汇入建立独立的加速段和渐变段,加速车道长度 160 m,渐变段 50 m。快速路主线三车道,车道宽度 3.75 m,限速 80 km/h。因为不研究驶出匝道,所以禁止主线车辆向变速车道变道,只允许车辆从变速车道汇入主线。数据采集点设置在汇入端上游 150 m 的位置。单车道仿真建模如图 3。



图3 单车道汇入匝道 VISSIM 仿真路网建模

Fig.3 Model of the road network of the single lane into the ramp of VISSIM simulation network

2.3 仿真交通需求构建

随着主线和匝道交通流量的增加,单、双匝道汇入快速路主线交织区的通行能力有所不同。仿真交通需求分时段逐渐递增,分析主线交通流车速、延误、占有率等的波动情况。快速路主线通行能力通常情况可取 2 100 pcu/h/ln,匝道可取 1 500 pcu/h/ln 对应的 v/c 随时间逐渐递增。仿真总时长为 3 小时,共计 10 800 s,分为 18 个时间间隔,每隔 600 s,交通需求按比例增加。具体需求数据如表 2。

表2 交织区交通流特性研究仿真需求数据
Tab.2 Simulation demand data for traffic flow characteristics of interweaving area

序号	起止时间/s	主线输入交通量/pcu	主线 v/c	匝道输入交通量/pcu	匝道 v/c
1	0~600	2 400	0.38	600	0.40
2	600~1 200	2 700	0.43	660	0.44
3	1 200~1 800	3 000	0.48	720	0.48
4	1 800~2 400	3 300	0.52	780	0.52
5	2 400~3 000	3 600	0.57	900	0.60
6	3 000~3 600	3 960	0.63	960	0.64
7	3 600~4 200	4 140	0.66	1 042	0.69
8	4 200~4 800	4 260	0.68	1 080	0.72
9	4 800~5 400	4 440	0.70	1 080	0.72
10	5 400~6 000	4 620	0.73	1 140	0.76
11	6 000~6 600	4 740	0.75	1 140	0.76
12	6 600~7 200	4 860	0.77	1 200	0.8
13	7 200~7800	5 100	0.81	1 260	0.84
14	7 800~8 400	5 340	0.85	1 320	0.88
15	8 400~9 000	5 580	0.89	1 380	0.92
16	9000~9 600	5 820	0.92	1 440	0.96
17	9 600~10 200	6 060	0.96	1 500	1
18	10 200~10 800	6 300	1	1 500	1

3 仿真数据分析

3.1 主线平均车速及平均延误波动情况

统计不同流量下主线三车道平均车速的波动情况,如图4。从图中可以看出,统计时间在600~4200s之间时,主线和汇入流量的 v/c 小于0.7,双车道入口匝道的快速路主线运行平均速度稍微高于单车道入口匝道,但两者相差并不明显,主线都能保持较好的运行水平,此时选择匝道形式更多应考虑土地空间、建设成本等因素;统计时间为4200~7200s之间,即交通需求主线流量为4260~4860 pcu/h,入口匝道流量1080~1200 pcu/h时主线和汇入流量的 v/c 超过0.7,两种不同的入口匝道形式,主线平均车速呈现几乎截然相反的波动情况,证明在此交通需求阶段,根据交通需求选择单双入口匝道的不同形式对提高主线的运行效率意义重大。当统计时间在7200~9300s之间时,单车道入口匝道的快速路主线运行速度较双车道入口匝道略有提高,证明在此阶段交通需求情况下,单车道入口匝道主线运行效率较双车道入口匝道的快速路运行效率要高。当交通需求继续增加之后,交通设施服务水平几乎饱和,两者的差别并不明显。

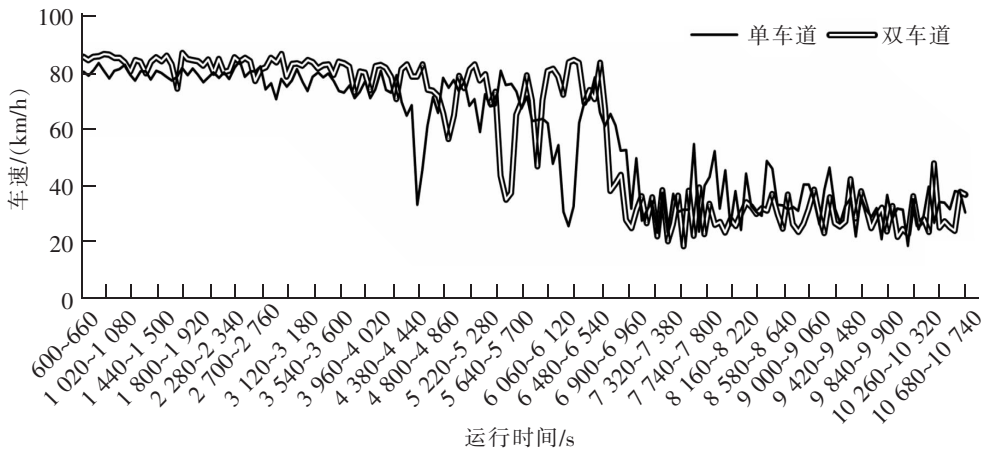


图4 单双入口匝道下主线平均车速变化情况

Fig.4 The average speed change of the main line in the single double-entry ramp

从图5单双入口匝道下主线平均延误波动情况,可以发现,当统计时间超过6600s时,即主线流量超过4860 pcu/h,汇入匝道流量超过1200 pcu/h时,双车道入口匝道的快速路主线延误一般高于单车道入口匝道。说明当交通需求较大时,双车道入口匝道汇入部分对主线的的影响更为明显,交织段更难组织,较易成为快速路系统的咽喉地带。

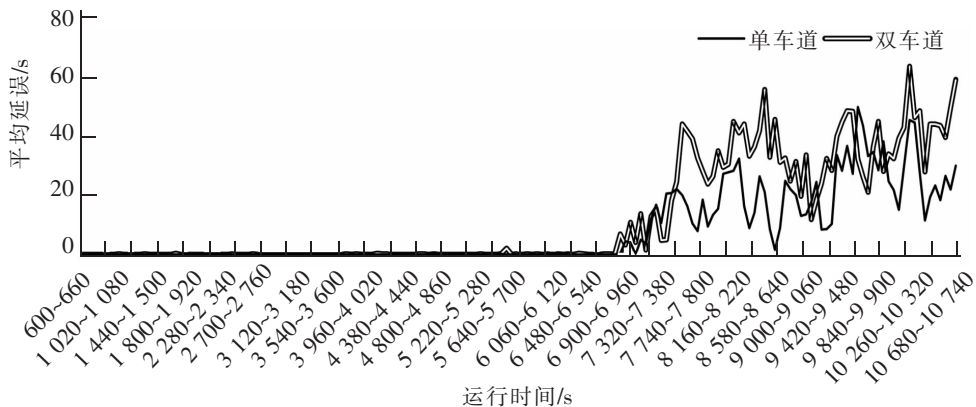


图5 单双入口匝道下主线平均延误变化情况

Fig.5 The average delay change of the main line in the single double entry ramp

3.2 单双匝道主线不同车道交通流运行状态分析

对单双汇入口道情况下,快速路主线不同车道的交通流进行分析。将快速路主线车道远离匝道一侧的车道依次编号为1,2,3。

从以上图6~图8主线三车道交通流运行状态分析可以发现,双车道汇入匝道的快速路主线3条车道的交通流较单车道汇入匝道的快速路主线交通流波动更加明显,速度—流量曲线分布不均匀,交通流趋向于两级分化,单车道汇入匝道,主线三车道交通流运行状态相对较为均匀。汇入匝道对1号车道的影响比较小,故交通流能够保持较高车速运行。从3号车道曲线可以看出,当交通流处于稳定流及自由流情况下,双车道入口匝道对3号车道的影响更小,3号车道更能保持较高车速运行,而在1,2号车道,这种特性表现的并不明显。

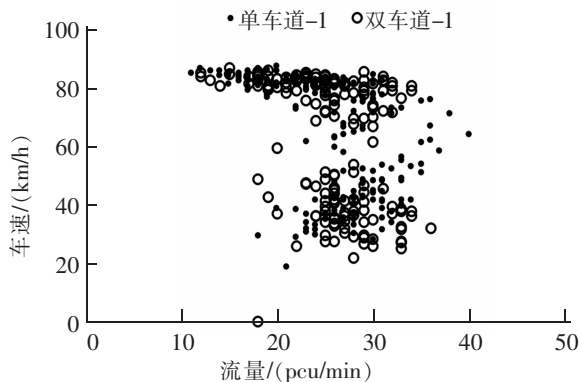


图6 单双入口匝道,主线1号车道交通流速度—流量关系图

Fig.6 Traffic flow velocity-flow diagram of single and double entry ramp, the main line 1

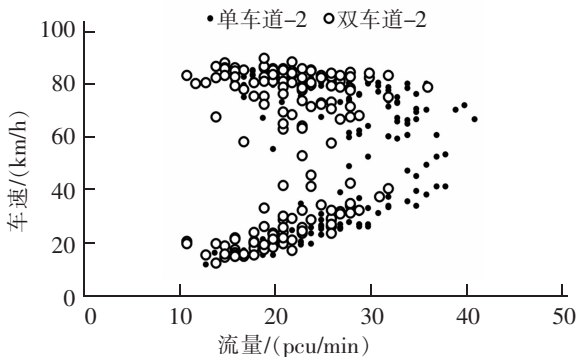


图7 单双入口匝道,主线2号车道交通流速度—流量关系图

Fig.7 Traffic flow velocity-flow diagram of single and double entry ramp, the main line 2

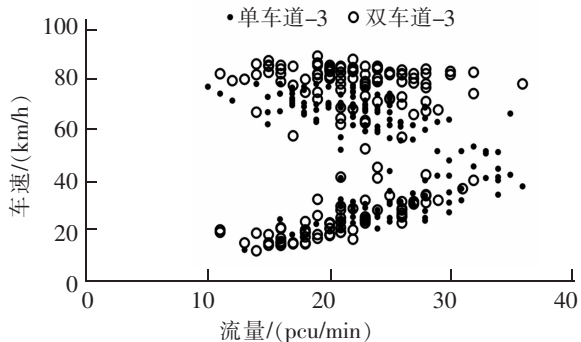


图8 单双入口匝道,主线3号车道交通流速度—流量关系图

Fig.8 Traffic flow velocity-flow diagram of single and double entry ramp, the main line 3

4 结论

快速路交织区交通流运行情况是影响快速路整个系统运行的关键,交织区交通流运行与快速路出入口匝道形式息息相关。国内各城市快速路系统汇入匝道一般采用单车道形式,随着机动车保有量的增加,也有城市汇入匝道采用双车道形式。文章研究了单双平行式汇入匝道情况下主线交通流的运行状态,得出:①当交通需求较少情况下,单双汇入匝道形式对主线的影响相差不大,此时更多应考虑快速路建设土地空间、建设成本等因素;②当对于主线单向三车道快速路交通需求主线为4 260~4 860 pcu/h,入口匝道流量1 080~1 200 pcu/h时,两种不同的入口匝道形式,主线平均车速呈现几乎截然相反的波动情况,此时单双汇入匝道形式的选择应更多的考虑交通需求的预测值;③当交通需求继续增加,双车道汇入匝道的快速路主线延误值一般高于单车道汇入匝道。

对主线不同车道交通流运行状态进行分析,发现:双车道汇入匝道情况下,主线3条车道的交通流均呈现明显的两级分化的情况,交通流运行状态不均匀,波动明显,单车道汇入匝道,主线交通流运行过渡较为均匀,波动不明显。

参考文献:

- [1] JOHN D. ZEGEER, Highway capacity manual—hcm 2000[M]. Washington, D. C. Transportation Research Board, 2000.
- [2] LERTWORAWANICH P, ELEFTERIADOU L. Capacity estimations for type B Weaving areas based on gap acceptance[J]. Transportation Research Record, 2001, 1776(1): 24–34.
- [3] LERTWORAWANICH P, ELEFTERIADOU L. A Methodology for Estimating Capacity at Ramp Weaves Based on Gap Acceptance and Linear Optimization[J]. Transportation Research Part B, 2003, 37(5): 459–483.
- [4] 孙剑, 胡家琦, 孙杰. 城市快速路交织区通行能力估计模型[J]. 中国公路学报, 2016, 29(4): 114–122.
- [5] 盘意伟. 快速路入口匝道合流区的瓶颈形成机理与特性研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- [6] 胡雨林. 基于交通流元胞自动机模型的交织区通行能力研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [7] 魏中华, 李志, 周晨静, 等. 城市快速路合流区汇入角度对合流区通行能力的影响[J]. 公路交通科技, 2017, 34(5): 116–121.
- [8] 贾显超. 快速路设置公交专用道的交织区通行能力研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [9] 张宇航. 快速路公交停靠站对出入口通行能力的影响分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [10] 张洪宾. 快速路公交停靠站设置对主路交通运行影响研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2015.

Analysis of Mainline Traffic Flow of Expressway Single-and Double-Parallel Entry Ramp

Zhang Dongming¹, Zhou Xuemei²

(1. Department of Transportation Engineering, Tongji Zhejiang College, Jiaying 314000, China;

2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper studied the effects of the single-and double-parallel entry ramp of expressway on the mainline traffic flow. Microscopic traffic simulation software VISSIM was used to simulate expressway import parts of the two ramps under different traffic demands. The analysis of such data as vehicle speed, delay and traffic flow from mainline traffic flow shows that when v/c of the main line and import flow is less than about 0.7, the single-and double-parallel entry ramp has little influence on the operation state of the mainline traffic flow, with the main line still maintaining high speed. In case of ramp forms, factors including land space, construction cost and other factors should be given more attention to. When v/c of the main line and import flow is more than about 0.7, vehicle speed fluctuations of the main line traffic flow of the single-and double-parallel entry ramp is the opposite of the present situation. So the choice of ramp forms in accordance with traffic demands is very important for improving the expressway operating efficiency; when the traffic flow approaches saturation, the single-and double-parallel entry ramps are not different in terms of the mainline operation state. The speed-flow analysis of mainline three-lane traffic flow shows that the mainline traffic flow presents obvious free flow and congestion flow regarding double-parallel entry ramp while the mainline traffic flow keeps steady regarding single-parallel transport ramp.

Key words: urban traffic; expressway; ramp; microcosmic simulation; VISSIM