

doi: 10.3969/j.issn.1674-8425(z).2018.09.017

本文引用格式:平萍,常玉林,张鹏. 公交站台进出乘客对邻接非机动车道通行能力的影响[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2018(9): 103-110.

Citation format: PING Ping, CHANG Yulin, ZHANG Peng. Impact of Inbound and Outbound Passengers form Bus Stop on Neighboring Bicycle Lane Capacity[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2018(9): 103-110.

公交站台进出乘客对邻接非机动车道通行能力的影响

平萍¹, 常玉林^{1,2}, 张鹏¹

(1. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013;

2. 东南大学 城市智能交通江苏省重点实验室, 南京 211189)

摘 要:为给公交站台处邻接非机动车道的安全设施设计提供理论依据,采用交通冲突解析技术,研究了公交站台进出乘客对相邻非机动车通行的影响。通过分析进出站乘客与非机动车的冲突过程与发生条件,基于人非冲突概率模型,构建了进出站乘客影响下的基本通行能力模型。在此基础上,考虑影响通行能力的因素具体涵盖车道有效宽度、电动车比例、时间障碍率和信号折减,计算出相应的基本通行能力修正系数,最后得到进出站乘客影响下的实际通行能力模型。实例应用结果表明:进出站台的乘客与非机动车辆之间的冲突对非机动车道通行产生了较大的影响,其通行能力大约降低了 17.53%;通过模型运算获得的结果与实际通行能力大约存在 4.8% 的偏差值。

关键词:交通工程;非机动车道;通行能力;进出站乘客;交通冲突技术

中图分类号:U491

文献标识码:A

文章编号:1674-8425(2018)09-0103-08

Impact of Inbound and Outbound Passengers form Bus Stop on Neighboring Bicycle Lane Capacity

PING Ping¹, CHANG Yulin^{1,2}, ZHANG Peng¹

(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Urban ITS, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for safety facilities design of bicycle lane neighboring bus stop, the traffic conflict technique was used to analyze the effect of inbound and outbound passengers form bus stop on the bicycle flow on neighboring bicycle lane. By analyzing the conflict process and conditions of passengers entering and leaving the station and non-motor vehicles, a basic

收稿日期:2018-03-25

基金项目:江苏省高校自然科学基金资助项目(13KJB580003);江苏省城市智能交通重点实验室开放研究经费资助项目(JTKF2014004)

作者简介:平萍,女,硕士研究生,主要从事交通运输规划与管理研究,E-mail:631825859@qq.com。

traffic capacity model under the influence of passengers entering and leaving the station was constructed based on the conflict probability model of passengers and bicycles. On this basis, adjustment factors of the basic capacity were calculated by considering the influential factors of the capacity including the effective width, the traffic composition, the time influence rate and signal reduction. Then an actual bicycle capacity model under influence of inbound and outbound passengers was established. Application results show that the bicycle lane was decreased by approximately 17.53% under the influence of inbound and outbound passengers. The absolute error between the observed capacity and the estimated capacity is only 4.8%.

Key words: traffic engineering; bicycle lane; capacity; inbound and outbound passengers; traffic conflict technique

在我国,公共交通和非机动车交通已经成为了大部分城市居民出行的重要方式,其有效地缓解了日益加剧的城市交通压力。为了满足广大市民的出行需要,城市规划配置了相当数量的公交站台以方便公共车辆停靠,便于市民换乘或等待公共车辆,通常公交站台重点设置在出入人流量非常大的城市主干道上。在公交站台处的相邻路段,不仅公交车辆的停留会对相邻机动车道造成通行的影响,很多进出站台的乘客甚至非机动车辆也会在该处停留周转,抵达的非机动车辆以及进出站台的乘客难免会因为争抢车道而发生冲突,极大地阻碍了该段非机动车的正常运行,也给进出站台的乘客带来了安全上的隐患^[1]。

社会各界对于该领域的探究重点集中在站台的具体配置方案对机动车道通行能力的作用效果,有关文献^[2-4]以交通调研具体现状为基础,针对造成通行能力变化的各个因素进行梳理,以此为基础创建相应模型,重点探究了乘客数目、站台总长等对站台位置的机动车道通行能力的影响。一些学者^[2,5-6]依据机动车以及公交车等彼此作用的结果创建影响因素模型,重点研究公交站台对于周边机动车交通所产生的影响。赵月^[7]以及冯太群^[8]等借助相关通行能力模型,从量化层面,证明了人流量对该区域通行能力的阻碍,并且提供了相应调整系数以及耗损计算方式。

虽然有关学者对公交站台处相邻的机动车道通行能力影响方面进行了大量的研究,也取得了一定的成果,但是目前国内针对站台设置以及进出站乘客对非机动车道所产生的负面影响探究还

较为缺乏,依照现有的研究成果很难解决好在大 力提倡绿色交通过程中出现的问题。俞俊等^[1]通过折减系数量化表征了站台形式和乘客出入对邻接非机动车道通行能力的影响。但该系数只是量化了冲突对短时流量的影响,而对长周期内冲突对通行能力的影响并没有深入研究。

1 公交站进出乘客对非机动车流的影响

在设有公交停靠站的非物理隔离路段上,公交停靠站与人行道被非机动车道隔开,出入站台的乘客需要在非机动车道内穿越通行或停留,因此,极易产生同非机动车相互冲突的问题,尤其是在通勤高峰时间段内乘客为了追赶即将进站、停靠或离站的公交车时,很容易由于占用非机动车道与车辆产生摩擦,从而造成安全事故的发生,此时原则上应要求非机动车及时做出减速处理,防止出现安全隐患,做到礼让行人^[9]。观测点布置如图 1 所示,用于下文分析乘客与非机动车在冲突区域的过程和实测数据的采集。

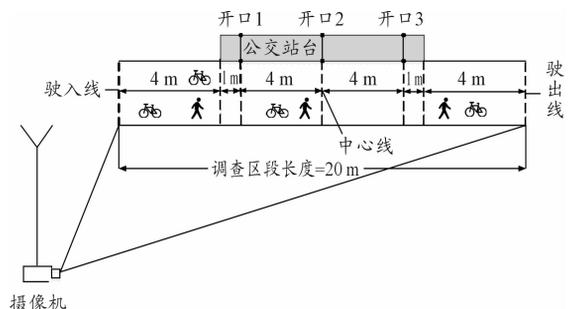


图1 公交站处非机动车与行人的冲突观测平面图

2 基于交通冲突技术的基本通行能力模型

借助交通冲突解析技术阐述公交站处进出的乘客和非机动车之间的冲突特点,创建公交站台处相邻非机动车道的基本通行模型;把与进出站乘客相关的影响因子看作是修正系数,有效调整基本通行能力,提升模型的精准性以及普适性。

2.1 公交站进出乘客影响下基本通行能力模型

从理论上讲,处在非机动车道上的车辆具有优先行驶的权利,相同时段内行人需要待其通过之后,在满足较大间隙要求的情况下才可以进出公交站台。但通过调研得知,即便不满足较大间隙要求,很多路人依旧会冒险穿越非机动车流进出公交站台,逼迫很多车辆不得不刹车减速避让,因此在真实环境中,行人往往优先使用非机动车道。行人进出公交站台的过街行为随机杂乱,尤其在非机动车流中穿插行走的行为会占用冲突区域,因此,针对出入公交站的行人在冲突区域占用非机动车正常行驶时间的具体情况,创建相关的基础通行能力模型。

1) 无冲突时的通行能力计算

假定公交站出入人员在不影响非机动车道正常使用的前提下,该车道的最大通行能力表达式为

$$C_0 = \frac{3\ 600}{t_{B1}} \quad (1)$$

式中 t_{B1} 代表非机动车流在没有进出站乘客干扰情况下正常行驶状态下的车头时距大小。

2) 有冲突时的通行能力计算

根据附加冲突流的原理不难得知^[10],对于公交站台处相邻非机动车道的通行能力,对其产生影响的交通流主要是进出站乘客以及非机动车,均要求遵守先进先出准则^[11],依照一定次序经过冲突区域。假定非机动车使用相关车道的冲突时间用 t_{B1} 表示,相关的车流量大小用 Q_1 表示,进出站乘客使用车道的冲突时间用 t_{B2} 表示,相关的乘客流量大小用 Q_2 表示。倘若交通流量 Q_i 超出对应的通行能力 C_i ,那么在超出饱和的状况下,对应的通行能力可以表达为

$$C = C_i = \frac{3\ 600}{\sum t_{Bi}} = \frac{3\ 600}{Q_1 t_{B1} + Q_2 t_{B2}} \quad (2)$$

依照出入站台的相关人员以及非机动车通行的优先次序不难得知,当满足 $Q_2 < C_2$ 时,可以将车辆对应的通行能力表达为

$$C_1 = \frac{3\ 600 - Q_2 t_{B2}}{t_{B1}} \quad (3)$$

3) 公交站进出乘客影响下的基本通行能力计算

假定在无进出站乘客干扰,不发生任何冲突的状况下,对应的概率大小是 P_0 ,那么对于进出站乘客的干扰冲突的影响状态下,其非机动车通行能力表达为

$$C_p = C_0 P_0 + C_1 (1 - P_0) \quad (4)$$

式中 P_0 由行人-非机动车冲突概率模型确定。

2.2 公交站进出乘客影响下人非冲突概率模型

分析乘客进出公交站的过程不难得知,当进出公交站台乘客与非机动车辆之间产生冲突时,需要具备下述两个条件:

1) 当进出站乘客占用非机动车车道时,正好有非机动车辆驶入该冲突区域,假设 t 代表车头对应的时距大小, t_r 代表乘客占用该区域的时长,即符合 $t \leq t_r$;

2) 驶入冲突区域的非机车车群的车头时距 t 必须小于进出站乘客穿越非机动车的临界间隙 t_{eri} ,即公交站台相邻非机动车道内连续非机动车流允许乘客安全穿越,且满足一般的交通参与人员可以接受的最小车头时距要求,即需满足 $t \leq t_{eri}$,则进出站乘客与非机动车发生冲突的概率

$$P_C = p \{ t \leq \min \{ t_r, t_{eri} \} \} = \int_0^{\min \{ t_r, t_{eri} \}} f(t) dt \quad (5)$$

式中 $f(t)$ 代表在非机动车辆抵达冲突区域时所对应的车头时距密度函数。

进出站乘客与非机动车辆之间没有出现冲突的概率:

$$P_0 = 1 - P_C \quad (6)$$

假设公交站台存在 $1, 2, \dots, i, \dots, M$ 个开口,并且间隔距离对称一致,开口 i 在 1 h 内对应的

进、出站乘客数量分别为 m_i, n_i 辆, 对应的进站、出站的冲突概率分别为 $P_{in, cri, i}, P_{out, cri, i}$, 由于进站、出站乘客的过街行为是相互独立的, 因此进出站乘客的平均冲突概率

$$\bar{p}_c = \frac{\sum_{i=1}^M m_i P_{in, cri, i} + \sum_{i=1}^M n_i P_{out, cri, i}}{\sum_{i=1}^M m_i + \sum_{i=1}^M n_i} \quad (7)$$

进出站台的乘客在单位小时内占用冲突区域的总时长为

$$Q_i = m_i t_{in, B2} + n_i t_{out, B2} \quad (8)$$

式中 $t_{in, B2}, t_{out, B2}$ 各自代表进站以及出站的相关人员占用该冲突区域的平均时长, 即进站或出站乘客对非机动车辆通行产生影响的时间, 也就是持续影响阻滞时间。

3 公交站进出乘客影响的修正

鉴于非机动车车道宽度、电动车比例等干扰因素, 对通行能力进行优化调整, 则非机动车车道的实际通行能力表示为

$$C = C_p f_s f_t f_{eb} f_j \quad (9)$$

式中: f_s 代表进出站台乘客的空间障碍率修正系数; f_t 代表进出站台乘客的时间障碍率修正系数; f_{eb} 代表电动自行车修正系数; f_j 代表交叉口影响的信号折减系数;

1) 空间障碍率修正

计算方法如下:

$$f_s = f_w = \frac{W_e + 0.5}{w_e} = \frac{W_e + 0.5}{1.25} \quad (10)$$

式中: f_w 代表非机动车道有效宽度对通行能力的调整系数; W_e 为非机动车车道有效宽度; w_e 代表非机动车常规车道的单位宽度大小, 通常取值是 1.25 m。

2) 时间障碍率修正

如图 2 所示, 在不考虑外界干扰的情况下, 将非机动车流经过冲突区域的速度大小用 v 表示, 占用时长用 t_1 表示; 进出站乘客在站台或步行道边缘处等待过街时, 非机动车流开始减速至 v_2 , 对应运行时间 t_2 ; 遭遇正在过街的进出站乘客后, 非

机动车速度下降, 速度为 v_3 运行了时间 t_3 直至行人完成过街行为, 对于进出站乘客在过街过程中, 占用车道的耗时情况用 t_4 表示。时间障碍率修正系数

$$f_t = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N \left(t_{3n} - \frac{L_c}{v} \right)}{3\ 600} \quad (11)$$

$$t_3 = \frac{L_c}{v_1} \quad (12)$$

式中: N 为进站、出站乘客总数; t_3 代表非机动车流在冲突长度内所耗费的时间; L_c 为冲突长度, 遭遇进站(出站)乘客事件后, 冲突点到公交站台的起始点(靠近上游处)之间的间距。

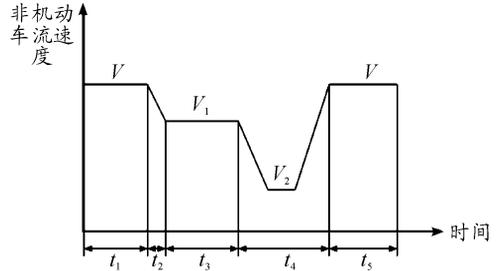


图 2 非机动车遇进出站乘客过街时速度变化情况

3) 电动自行车比例修正

关于电动自行车比例的修正参数可具体表示为

$$f_{eb} = \frac{1}{1 + r_{eb}(\eta_{eb} - 1)} \quad (13)$$

式中: r_{eb} 代表电动自行车占据非机动车总数的比值; η_{eb} 代表电动自行车自身的折算系数, 在衡量电动自行车本身交通特性的基础上, 将相应的折算系数设置成 1.23^[12]。

4) 信号折减系数修正

在真实环境中, 非机动车流几乎在所有路段均表现有潮汐特性, 即会因为上游交叉口的信号控制而产生变化, 由于城市的交通信号指示灯间隔的时长均偏短, 相关道路的区间长度不能完全消除信号指示灯对车流的作用^[13], 因此, 信号灯对通行能力的折减系数可表示为

$$f_j = \lambda = \frac{G_e}{C} \quad (14)$$

式中: λ 为上游信号交叉口绿信比; G_e 为有效绿灯时长; C 为周期时长。

4 模型应用

4.1 模型参数标定

1) 进出站乘客基本特性

以公交站台服务能力较高的镇江市梦溪广场西站作为观测点,计算进出站乘客影响下非机动车道的实际通行能力。

道路条件如图 1 所示,公交站台开口数为 3 个,公交站台相邻的非机动车道宽度为 3.5 m。调查时段内进站乘客总人数为 53 个、出站乘客总人数为 102 个,电动自行车比例为 0.96,非机动车流的自由流速度为 5.5 m/s,乘客过街平均速度 0.4 m/s。单位车道的基础通行能力取为 2 000 km/h,相应的最小车头时距是 $t_{B1} = 1.8$ s。

2) 进出站乘客作用下非机动车群对应的车头时距模型

在大量实际数据调查中发现,非机动车流的行驶特性具有侧向膨胀性,当同时通过公交站台处的非机动车数量较大时,其进入公交站台处相邻非机动车道的车辆很可能不能按照简单的一列或几列的形式前进,一般以车群形式前进,后面到达的车辆很可能与前面的车辆并排行驶甚至超过前车^[14]。出入站台的相关人员能否成功通过非

机动车道,重点取决于车辆之间的间隙大小。以镇江市梦溪广场西公交站台上游 5 m 处作为观测断面,通过观测区段非机动车流实际数据的统计分析可知,当满足相关车辆之间的间隙大小超出 0.4 s 时,对应的车辆运转较为灵活,彼此的作用相对较小。因此选择 0.4 s 作为划分群的依据,共获得 363 个样本。对调查数据进行分布拟合,结果发现对数正态分布通过 Kolmogorov-Smirnov 检验得到的双侧渐进显著性 p 值为 0.071,大于显著性水平 α ($\alpha = 0.05$),验证了车头时距确实符合对数正态分布。

通过实际调查数据计算得到车头时距对数的平均值 $\mu = 0.13$,车头时距对数的标准偏差 $\sigma = 0.94$,得到非机动车群车头时距的对数正态分布概率密度函数

$$f(t) = \frac{\exp(-0.57(\ln t - 0.13)^2)}{0.94t \sqrt{2\pi}}$$

3) 进出站乘客过街行为可接受车头时距和进站、出站影响时间分布

镇江市梦溪广场西站相邻非机动车流的调查结果如下:进出站乘客的总耗时和阻滞影响时间以及可接受间隙的统计结果见表 1,所谓阻滞影响时间通常是指进出站乘客在经过非机动车道的过程中,对非机动车辆正常通行所产生影响的时长。

表 1 进出站乘客的总耗时、阻滞影响时间及可接受间隙

乘客类别	总耗时/s			阻滞影响时间/s			可接受间隙/s		
	均值	最小值	最大值	均值	最小值	最大值	均值	最小值	最大值
进站	6.63	2.61	16.20	6.76	3.04	10.96	2.83	0.96	6.96
出站	7.73	3.22	18.76	7.82	3.36	15.64	2.97	0.88	5.41

此处以进站过程为例进行解析,假定该冲突区域仅有一个人抵达,针对总体耗时 t_T 以及成功进站能够接受的时间 t_g 完成比较,

$$P_C = P\{0.4 \leq t \leq \min\{t_T, t_{cri}\}\} =$$

$$\int_{0.4}^{\min\{t_T, t_{cri}\}} f(t) dt =$$

$$\int_{0.4}^{\min\{t_T, t_{cri}\}} \frac{\exp(-0.57(\ln t - 0.13)^2)}{0.94t \sqrt{2\pi}} dt =$$

$$1.409\phi(x) \Big|_{\beta}^{\alpha}$$

$$\alpha = 0.755(\ln(\min\{t_T, t_{cri}\}) - 0.13),$$

$$\beta = 0.755(\ln 0.4 - 0.13)$$

模型参数标定如下: $t_{B1} = 1.8$ s, $r_l = 35.48\%$,

$t_{in,B2} = 6.76$ s, $t_{out,B2} = 7.82$ s, $t_{in,cri} = 2.83$ s, $t_{out,cri} =$

2.97 s, $v = 5.5 \text{ m/s}$, $v_1 = 0.4 \text{ m/s}$, $L_c = 20 \text{ m}$, $w_e = 3.5 \text{ m}$, $r_{eb} = 0.96$, $M = 3$ 。式中 r_i 为时间障碍率。

4.2 通行能力实例计算

以镇江市大市口西站公交站台处为例进行分析与模型验证,通行能力流程如图3所示。

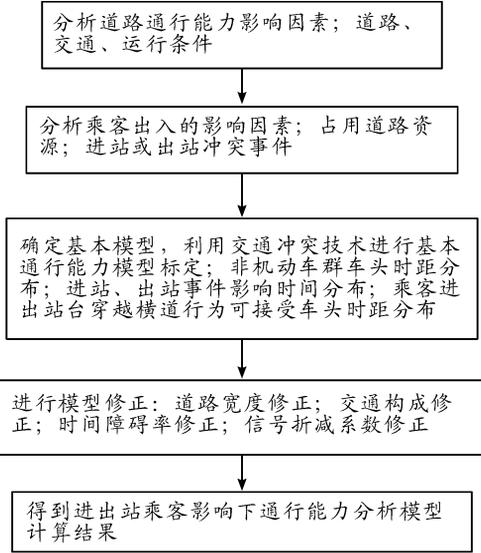


图3 基于冲突技术的乘客影响下通行能力计算流程

1) 基本通行能力计算

表2给出了梦溪广场西站相邻非机动车路段内乘客与非机动车交通冲突实测数据。借助表2内2~5列的信息,运算得到该区域进出站台乘客同非机动车之间出现冲突的平均概率

$$\bar{p}_c = \frac{\sum_{i=1}^M m_i P_{in,cri,i} + \sum_{i=1}^M n_i P_{out,cri,i}}{\sum_{i=1}^M m_i + \sum_{i=1}^M n_i} = 0.5577$$

利用表2数据计算出该公交站台所有开口的进出站乘客占用冲突区域的时间总和为

$$\sum_{i=1}^M Q_i t_{B2} = \sum_{i=1}^M m_i t_{in,B2} + n_i t_{out,B2} = 849.31 \text{ s}$$

由式(3)可得非机动车通行能力

$$C_1 = \frac{3600 - \sum_{i=1}^M m_i t_{in,B2} + n_i t_{out,B2}}{t_{B1}} = 1528 \text{ 辆/h} \quad (15)$$

将式(15)代入式(4)可得:

$$C_p = C_0(1 - \bar{p}_c) + C_1 \bar{p}_c = 1736 \text{ 辆/h}$$

表2 进出站乘客与非机动车交通冲突实测数据计算

泊位编号	驶入次数	驶入冲突概率/%	驶出次数	驶出次数概率/%	进站总耗时/s	进站影响时间/s	出站总耗时/s	出站影响时间/s	累计冲突影响距离/m
1	19	64.89	48	63.14	7.03	6.25	7	5.91	6
2	7	62.52	45	50.15	6.71	6.29	8.03	5.41	10
3	27	44.14	9	55.02	6.35	3.73	10.23	6.57	20

2) 修正系数计算

关于空间障碍率的修正系数可表示成

$$f_s = f_w = \frac{W_e + 0.5}{w_e} = \frac{W_e + 0.5}{1.25} = 3.2$$

关于时间障碍率的修正系数可表示成

$$f_t = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (t_{3n} - L_c)}{3600} = 0.95$$

关于电动自行车占比情况的修正系数可表示成

$$f_{eb} = \frac{1}{1 + r_{eb}(\eta_{eb} - 1)} = 0.82$$

关于上游交叉口相关信号折减情况的修正系数可表示成

$$f_j = \lambda = \frac{G_c}{C} = \frac{53}{90} = 0.6$$

3) 进出站乘客较多的大市口西站实际通行能力

整体考虑乘客出入站台的过程,针对基础通行能力完成修正系数的调整,获得公交站台处相邻非机动车道的实际通行能力情况

$$C = C_p f_s f_t f_{eb} f_j = 2597 \text{ 辆/h}$$

对无公交站台设置的非机动车道路段,没有

大量行人干扰且道路条件相同,即满足相关车道有效宽度为 $W_e = 3.5 \text{ m}$,运算获得实际通行能力

$$C = C_0 f_s f_{eb} f_j = 3149 \text{ 辆/h}$$

对比分析得,由于设置公交站台的影响,大量乘客进出站的过街行为对非机动车流干扰,对非机动车流的通行影响较大,导致非机动车道的实际通行能力降低了 17.53%。

4) 模型验证

借助相关交通流数学统计分析模型,在满足速度或密度不断增大的情况下,持续上升到某个极点值的时候,对应时刻的交通流满足饱和状态,也就表明达到了此路段的实际通行能力^[16]。计算得到梦溪广场西站公交站台相邻非机动车道的速度-密度-流量关系模型:

$$\begin{cases} Q = 3.4451k - 3.7850k^2 \\ Q = 0.9102v - 0.2642v^2 \end{cases} \quad (15)$$

式中: Q 为非机动车流量(辆/s); V 为非机动车流速度(m/s); K 为非机动车流密度(辆/m²)。

依照真实通行能力模型获得非机动车辆相关的速度以及流量关系图,具体如图 4 所示。

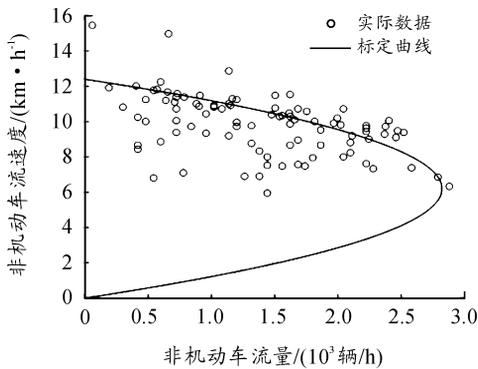


图 4 非机动车流速度-流量关系曲线

根据实际通行能力测算方法,该公交站台处相邻非机动车道实际通行能力为

$$C = Q_m = 2728 \text{ 辆/h}$$

该值的大小与本文通过运算获得的修正后通行能力 $C = 3149 \text{ 辆/h}$ 之间的偏差在 4.8% 左右,说明本篇文章所建立的通行能力模型运算结果相对精准。

5 以公交站台出入乘客安全为核心的非机动车道设计

1) 港湾式公交站台出入口处设立乘客待行区

目前城市的公交站台在有条件的情况下都进行了港湾式站台的改造,因此非机动车在通过公交站台处时会进行一定的变向行驶,即产生行驶盲区,因此建议在冲突区域,用醒目的黄色网格线进行铺浇,这样可以极大地减少公交站台处人非冲突事故的发生,使双方的安全得到保障。

2) 乘客穿越横道安全设计

为降低乘客出入公交站台时因随意穿梭横道而导致与非机动车的冲突,由于是直线式港湾站台处,非机动车道的宽度没有明显的缩减导致非机动车驾驶者的速度大都不会减速慢行,可在公交站台出入口正对处设置人行横道,让出入站台的相关人员可以顺着最短路径穿越非机动车道。这样一来,既可以让非机动车驾驶者在公交站台处行驶时产生减速的潜意识,同时让乘客不再冒险穿越,降低因胡乱穿越与非机动车驾驶者冲突的危险概率。

6 结束语

针对进出站台的乘客以及相邻车道的非机动车流,借助有效的交通冲突解析方法,创建了公交站台进出乘客对车道通行能力产生影响的基本作用模型,综合考量了各项影响通行能力的变量,并运算出其修正系数大小,得到了进出站乘客对非机动车辆的影响下非机动车道的实际通行能力,提高了模型的准确性和适用性。结果表明:在相同有效道路宽度条件下,设置公交站台所产生的大量进出站乘客使通行能力降低了 17.53%;模型运算得到的数值与真实通行能力的误差值为 4.8%,说明此种运算方式相对准确,基于冲突技术的基本通行能力模型可以取得良好的应用;基于该模型深入研究了进出站乘客对非机动车道通

行能力的影响;未来可以更加深入研究公交站不同开口数对其通行的影响,为公交站台设计与相邻非机动车道的安全优化设置提供了依据。

参考文献:

- [1] 俞俊,李昱洁.路侧式公交站台对邻接非机动车道通行能力影响[M].北京:中国城市规划学会城市交通规划学术委员会,2016:13.
- [2] 杨晓光,徐辉.公交停靠站对相邻车道通行能力的影响[J].系统工程,2009(8):74-79.
- [3] 张兵,凌璐.港湾式公交停靠站对路段通行能力的影响[J].交通信息与安全,2014(1):21-24.
- [4] 吕林.城市公交站点优化设计方法研究[D].南京:东南大学,2006.
- [5] YANG Xiaobao, SI Bingfen, HUAN Mei. Mixed traffic flow modeling near Chinese bus stops and its application [J]. Journal of Central South University of Technology, 2012, 19(9): 2697-2704.
- [6] 袁静.公交停靠站对道路通行能力的影响分析[D].西安:西安交通大学,2013.
- [7] 赵月,杜文.公交站点设置对道路通行能力的影响分析[J].公路交通科技,2007,24(8):136-139.
- [8] 冯太群.公交停靠对路段通行能力的影响分析[D].成都:西南交通大学,2012.
- [9] 王丹.路段非机动车交通流特性研究[D].西安:长安大学,2014.
- [10] BRILON W, WU N. Capacity at Unsignalized Intersections Derived by Conflict Technique [J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2001, 1776(1): 82-90.
- [11] BRILON W, MILTNER T. Capacity at Intersections Without Traffic Signals [J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2005, 1920(1): 32-40.
- [12] 叶晓飞,陈峻,顾姗姗.城市道路路段电动自行车相对于自行车的换算系数[J].公路交通科技,2012,29(10):109-116.
- [13] 单晓峰.城市自行车交通合理方式分担率及其路段资源配置研究[D].南京:东南大学,2007.
- [14] 刘永娜.基于非机动车优先的城市信号交叉口安全改善[D].西安:长安大学,2012.
- [15] 陈宽民,严宝杰.道路通行能力分析[M].北京:人民交通出版社,2003:201-206.

(责任编辑 刘 舸)