

文章编号:1007-6735(2016)02-0198-07

DOI:10.13255/j.cnki.jusst.2016.02.018

提高交叉口通行能力的特殊宽度车道设计方法

汪涛¹, 赵靖², 杨晓光¹

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 为了提高交叉口空间资源的利用效率, 基于车道组合使用的思想, 提出了一种由两条窄车道构成的特殊宽度进口车道设计方法. 基于小型车在两条窄车道上并列行驶的概率分布, 建立了通行能力计算模型, 并运用 VISSIM 仿真对模型精度进行了检验. 通过一系列算例, 对比了特殊宽度车道与传统车道的交通运行效益. 研究表明, 特殊宽度车道可提高车道的通行能力, 提升量与大巴率 and 只允许在两条窄车道中某条车道内通行流向的交通量比例负相关, 与在两条窄车道均允许通行流向的交通量比例正相关, 最高可达 75%, 且一般当大巴率在 30% 以下时, 可达到提升车道通行能力 10% 的目标.

关键词: 信号控制交叉口; 特殊宽度进口车道; 交通设计; 通行能力

中图分类号: U 412.35

文献标志码: A

Increasing the Capacity of Intersections with Special Width Approach Lanes

WANG Tao¹, ZHAO Jing², YANG Xiaoguang¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to utilize the spatial resources of the signalized intersections efficiently, based on the concept of integrated use of vehicular lanes, a design model was proposed using a special width approach lane which is combined by two narrow lanes. A capacity calculation model was established based on the probability distribution analysis of passenger cars traveling alongside each other. The precision of the model was tested by VISSIM simulation. Extensive numerical analyses were conducted to evaluate the performance of the proposed design and the results were compared with those of the conventional vehicular lane design. The results show that the special width lane design could increase the capacity of a vehicular lane. The improvement is negatively correlated with the heavy vehicles percentage and the proportion of the vehicles only permitted to drive on one lane of the narrow lane pair, and is positively correlated with the proportion of the vehicles permitted to drive on both lanes of the narrow lane pair. The greatest improvement achieves by as much as 75% in our examples. Moreover, in general, an optimization objective of 10% capacity enhancement could be achieved when the heavy vehicles percentage is lower than 30%.

Keywords: signalized intersection; special width approach lane; traffic design; capacity

收稿日期: 2015-04-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51238008); 上海理工大学博士启动费项目(BSQD201504)

第一作者: 汪涛(1981-), 男, 博士研究生. 研究方向: 交通运输规划与管理、交通设计. E-mail: wangtao127@126.com

通信作者: 赵靖(1983-), 男, 讲师. 研究方向: 交通系统设计、交通管理与控制. E-mail: jing_zhao_traffic@163.com

交叉口是道路交通的咽喉,单点交叉口的阻塞会迅速降低网络运行效率和容量,导致整个网络交通状态恶化乃至死锁^[1],因此,对其进行精细化的交通设计,是保障城市道路畅通的关键。

其中,交叉口车道数是影响交叉口运行状况的决定性因素,但往往受限于交叉口道路空间资源。尤其是对于城市路网中最为密集的次支路系统,由于本身路幅较窄,车道数较少,即使通过缩减车道宽度,采用满足规范要求的最小值,也往往无法增设一条满足设计车型的标准车道。

为此,本研究提出一种特殊的交叉口进口车道设计与运行管理方法,通过设置两条窄车道,总宽度在5.0~5.5 m,可供两辆小型车并行或一辆大型车正常通行,从而增加进口车道数,提高交叉口通行能力。

1 研究综述

车道宽度是城市道路设计的重要指标和参数,其宽度构成包括汽车宽度和富余宽度,可根据行车道相对位置按经验公式计算确定^[2-3]。为便于指导工程设计,在各国设计规范或手册中,一般基于设计车型、车速和交通量给出车道宽度的建议值^[4-6]。其中,美国的Green Book^[6]中建议采用3.6 m的标准车道,但在低流量低车速的情况下也可采用2.74 m及以下的车道,HCM2010^[7]中进口车道最小宽度为2.44 m。

关于车道宽度对交通流的影响,以往研究主要从行车安全、通行能力和车速3个方面展开研究。

对于行车安全,理论分析结果显示随着车道的变窄,车辆发生碰撞的机会增加,每减少1 ft宽度,碰撞可能性增加3%~5%^[8]。但在美国实际应用效果显示,67%以上的曾采用较窄车道宽度的公路机构报告中没有提及窄车道会带来交通运行和安全问题,所反映的问题也主要是增加侧面刮擦、车辆压线,以及转弯问题等相对轻微的影响^[9]。

通行能力方面,大量实证研究结果表明,车道宽度与饱和流率具有正相关性,并给出了车道宽度与饱和流率的函数关系式^[10-13]。但是,通过对比HCM2010^[7]与HCM2000^[14]中关于车道组饱和流率车道宽度修正计算公式,可以发现新版中折减幅度明显减少,HCM2010中只有当车道宽度小于3.05 m后,才会取用0.96的折减系数,且明显小于按HCM2000中相应公式计算得到的数值。可见从认识上,窄车道造成通行能力的负面影响正被削弱^[15]。

车速方面,在非高峰期且没有限速标志的路段,车道宽度是影响驾驶车速的显著因素,总体上车道宽度越窄车速越低^[16]。但随着车道宽度的增加,地

点车速方差及相邻车辆的速度差异都有所增加,因此,车道宽度取值不宜过宽,合理设置道路车道宽度有利于限制车速波动,提高道路安全性^[17]。

此外,在我国北京、上海、杭州等地的工程实践中,通过压缩车道宽度、节约道路资源,并规范驾驶行为、提高道路通行能力,均取得了良好的效果^[2,18-19]。

从研究和实践的趋势可以看出,窄车道已经得到越来越多的认同^[20]。但以往研究均是针对具有独立功能的车道展开的,对于将车道组合使用,供大型车使用的情况涉及较少。对于城市道路,一般以服务小型车为主,但仍需满足部分大型车(如公共汽车)的通行要求,限制了车道宽度进一步的压缩和窄车道的广泛使用。

针对这种车辆构成特征,以及拥堵交叉口运行车速较低的情况,本研究基于将两条窄车道组合使用的思想,提出了一种特殊的交叉口进口车道设计与运行管理方法,它可供两辆小型车并行或一辆大型车正常通行,旨在通过增加小型车进口车道数提高通行能力。

2 特殊宽度车道概念设计

如图1所示,特殊宽度车道由两条窄车道构成,可供两辆小型车在低速行驶状态下并行或一辆大型车正常通行。图1中: a 表示车辆轮间距; c 表示后轮外缘距道牙宽度; y 表示后轮外缘距路面边缘宽度; d 表示同向行车横向安全距离; x 表示对向行车横向安全距离; B 表示车道宽度。具体车道宽度尺寸结合表1(见下页)经验公式的估算值,本研究采用两条2.6 m,合计5.2 m的双窄车道组合,实践中可根据实际情况适当调整,建议总宽度控制在5.0~5.5 m。

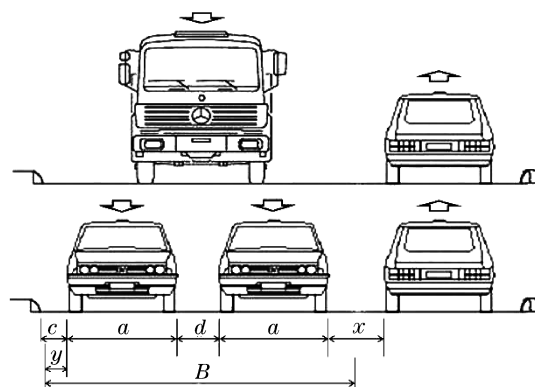


图1 特殊宽度进口车道概念设计

Fig.1 Conceptual design for special width approach lanes

表1 车道宽度估算
Tab.1 Lane width estimation

设计车速/ (km · h ⁻¹)	车道构成	波良可夫 公式/m	萨马哈也夫 公式/m	交通部 公式/m
10	a	1.80	1.80	1.80
	c	0.51	0.55	
	y		0.25	0.18
	d	0.81	0.80	
	x	0.89	1.10	0.49
	B	5.37	5.20~5.50	4.52
15	a	1.80	1.80	1.80
	c	0.55	0.58	
	y		0.28	0.20
	d	0.85	0.85	
	x	0.96	1.15	0.65
	B	5.48	5.30~5.60	4.78

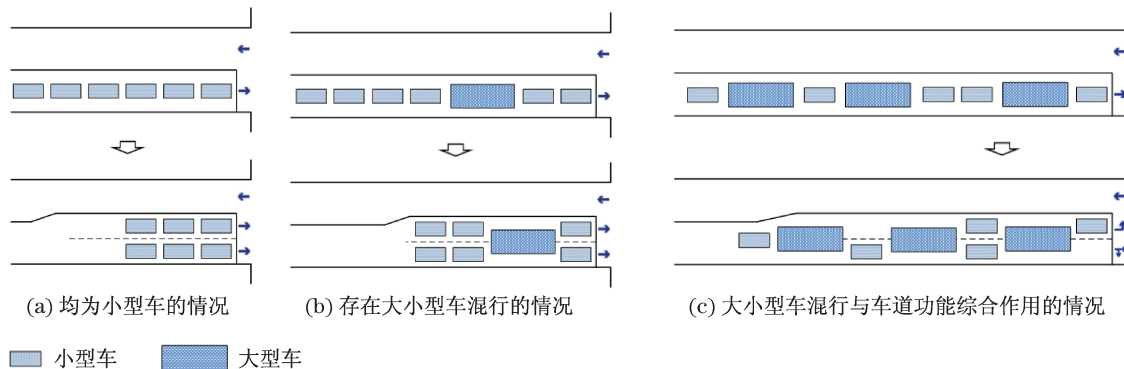


图2 特殊宽度进口车道运行特征

Fig.2 Operation characteristics of special width approach lanes

车道数较少,特殊宽度车道需设置多种车道功能,要求小型车选择对应流向功能的窄车道通行(如图2(c)).在与大型车混行的综合作用下,将进一步降低特殊宽度车道的优化效益.

3 通行能力建模

设置特殊宽度车道的主要目的是缓解交叉口拥挤状况,以 HCM2010 公式为基础,其通行能力可由式(1)确定.由于特殊宽度车道试图提高交叉口空间资源利用效率,因此将主要对饱和和流率产生影响,包括小型车按双车道并列行驶的正面影响,以及大型车的负面影响两方面,可由式(2)和式(3)计算.将其代入式(1),可得到特殊宽度车道通行能力及修正系数,分别如式(4)和式(5)所示.其中,修正系数计算公式中已融入了原 HCM2010 公式中对车辆换算系数和车道宽度修正系数的考虑.

$$c = s\lambda \quad (1)$$

$$s = \frac{3600}{h} \quad (2)$$

特殊宽度车道运行特征如图2所示,进入特殊宽度车道的交通流必须在同一相位内放行,可分为以下3种情况:

a. 最理想的状况是到达车辆均为小型车,特殊宽度车道可完全按两条窄车道运行(如图2(a)),最大程度地发挥了其通行效率.

b. 当车队中有大型车混行时(如图2(b)),小型车车队将会被分隔为若干车队,这一方面造成大型车通行过程中特殊宽度车道只能作为一条车道使用,另一方面还会中断小型车并列通行的状态,使得两条窄车道的利用率不均衡,从而降低特殊宽度车道的优化效益.

c. 此外,对于大量城市次干道和支路,交叉口

$$h = (1 - p_h) h_0 E_c + p_h h_0 E_h \quad (3)$$

$$c = s_0 f_t \lambda \quad (4)$$

$$f_t = \frac{1}{(1 - p_h) E_c + p_h E_h} \quad (5)$$

式中: c 表示特殊宽度车道的通行能力,veh/h; s 表示特殊宽度车道的饱和流率,veh/h; λ 表示绿信比; h 表示特殊宽度车道的饱和车头时距,s/veh; p_h 表示使用特殊宽度车道车辆的大车率; h_0 表示标准小汽车饱和车头时距,s/veh; E_c 表示特殊宽度车道中小型车与标准小汽车换算系数; E_h 表示大型车与标准小汽车换算系数; s_0 表示理想饱和流率,veh/h; f_t 表示饱和流率特殊宽度车道修正系数.

可见,确定特殊宽度车道中小型车与标准小汽车换算系数 E_c ,以及大型车与标准小汽车换算系数 E_h ,是计算特殊宽度车道通行能力的关键,后文将对其进行具体分析.且由于特殊宽度车道中大型车和小型车所使用的车道宽度不同,不能统一进行修正,因此,车道宽度对饱和流率的影响也将在车型换算系数中一并考虑.

3.1 小型车与标准小汽车换算系数

根据以上运行特征分析可知,特殊宽度车道运行效率的高低主要取决于小型车所形成的两车道并行状态的比例,它受大型车混行和车道功能划分的影响.为此,制定了图3所示的分析流程.

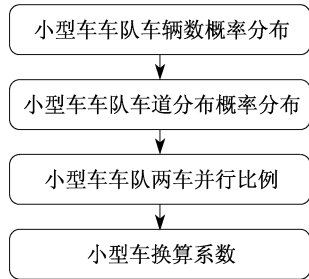


图3 分析流程

Fig.3 Outline of computational procedure

a. 车辆数概率分布

由于大型车的存在,小型车被分隔成若干车队,导致小型车能否形成两车道并行状态只能依靠车队内部车辆来组织平衡.一个车队中车辆数等于 n 的概率为

$$P(n) = p_h (1 - p_h)^{n-1} \quad (6)$$

式中, $P(n)$ 表示车队中车辆数等于 n 的概率.

b. 车道分布的概率分布

小型车在特殊宽度车道中必须按车道功能行驶,对于某辆小型车,包含3种情况:(a)只允许在1#车道通行;(b)只允许在2#车道通行;(c)两条窄车道均允许通行.在总车辆数为 n 的小型车车队中,上述3种情况的车辆数分别为 n_1, n_2 和 n_3 的概率为

$$P(n_1, n_2, n_3/n) = C(n, n_1) \cdot C(n - n_1, n_2) p_{c1}^{n_1} p_{c2}^{n_2} p_{c3}^{n_3} \quad (7)$$

式中: n_1, n_2, n_3 分别表示只允许在1#车道通行、只允许在2#车道通行和在两条窄车道均允许通行的车辆数,veh,应满足式(8)所示相对关系; $P(n_1, n_2, n_3/n)$ 表示在车队车辆总数等于 n 的条件下,上述3种情况的车辆数分别为 n_1, n_2 和 n_3 的概率; $C(n, n_1), C(n - n_1, n_2)$ 表示组合计算公式; p_{c1}, p_{c2}, p_{c3} 分别表示所有小型车中上述3种情况的车辆数比例,应满足式(9)所示相对关系.

$$n_1 + n_2 + n_3 = n \quad (8)$$

$$p_{c1} + p_{c2} + p_{c3} = 1 \quad (9)$$

进而可计算小型车的车道分布概率为

$$P(n, n_1, n_2, n_3) = P(n_1, n_2, n_3/n) P(n) \quad (10)$$

式中, $P(n, n_1, n_2, n_3)$ 表示在车队车辆总数等于 n ,且只允许在1#车道通行、只允许在2#车道通

行和在两条窄车道均允许通行的车辆数分别为 n_1, n_2 和 n_3 的概率.

c. 两车并行比例

小型车车队在特殊宽度车道中无法形成两车并行状态的情况主要是 n_1, n_2 和 n_3 车辆数不均衡导致的,当只允许在1#车道通行的车辆数与只允许在2#车道通行的车辆数差异过大,无法用在两条窄车道均允许通行的车辆来均衡时,便产生部分车辆无法按两车并行状态通行.此外,若车队总车辆数为奇数,则理论上至少有一辆车无法按两车并行状态通行.综合考虑以上两种情况,可由式(11)计算无法按两车并行状态通行的车辆数,进而由式(12)确定两车并行比例.

$$m = \max\{|n_1 - n_2| - n_3, \text{mod}(n, 2)\} \quad (11)$$

式中, m 表示无法按两车并行状态通行的车辆数,veh.

$$p_d = \sum_{n=1}^{+\infty} \sum_{n_1=0}^n \sum_{n_2=0}^{n-n_1} \frac{n-m}{n} P(n, n_1, n_2, n_3) \quad (12)$$

式中, p_d 表示小型车车队通过交叉口时两车并行比例.

d. 特殊宽度车道中的小型车换算系数

考虑两车并行对减少平均车头时距的正面作用,以及两车并行后车道宽度缩小造成平均车头时距的增加,特殊宽度车道中小型车的平均车头时距可根据式(13)确定,从而小型车换算系数可由式(14)计算.

$$h_c = p_d \frac{h_0}{2f_{w2}} + (1 - p_d) \frac{h_0}{f_{w1}} \quad (13)$$

式中: h_c 表示特殊宽度车道中小型车的平均车头时距,s/veh; f_{w1} 表示特殊宽度作为1条车道使用时的车道宽度修正系数,HCM2010^[7]中对于车道宽度大于3.93 m时取1.04; f_{w2} 表示特殊宽度作为2条车道使用时的车道宽度修正系数,HCM2010^[7]中对于车道宽度小于3.05 m时取0.96.

$$E_c = \frac{1}{f_{w1}} + \left(\frac{1}{2f_{w2}} - \frac{1}{f_{w1}} \right) p_d \quad (14)$$

3.2 大型车与标准小汽车换算系数

大型车在特殊宽度车道中按单车道使用,只需考虑车道宽度的影响,如式(15)所示.

$$E_h = \frac{h_h}{h_0 f_{w1}} = \frac{E_T}{f_{w1}} \quad (15)$$

式中: h_h 表示特殊宽度车道中大型车的平均车头时距,s/veh; E_T 表示常规车道的大型车与标准小汽车换算系数,HCM2010^[7]中取2.

4 模型检验

基于 VISSIM 仿真软件对上述通行能力模型进

行检验. 仿真中特殊功能车道由两条 2.6 m 的窄车道构成, 受信号控制, 周期时长为 120 s, 绿灯时长为 40 s. 根据 HCM2010^[7] 中关于车道宽度和大车的标准小汽车换算系数, 将小型车和大型车饱和流率调整为 1 728 veh/h/ln 和 936 veh/h/ln, 并保持进口道始终处于饱和状态.

检验中考虑车道功能划分、各流向流量比例和大车率 3 个因素, 每个因素考虑 4 个水平, 如表 2 所示. 根据正交实验进行方案设计(去除不可行方案), 实验方案及仿真检验结果如表 3 所示. 由于仿真具有随机性, 因此针对每个实验方案, 取不同的随机参数进行 10 次仿真, 并取其平均值作为仿真结果进行误差分析. 检验结果显示, 与仿真结果相比, 模型平均误差为 4.21%, 表明计算模型精度满足要求.

表 2 正交实验因素水平

Tab.2 Factor levels for orthogonal test

水平	车道功能划分(1#, 2#)	各流向流量比例(L:T:R)	大车率/%
1	T, T	0:1:0	5
2	L, L+T+R	4:2:1	20
3	L+T, T+R	1:2:1	35
4	L+T+R, R	1:1:3	50

注: L 表示左转, T 表示直行, R 表示右转.

表 3 模型仿真检验结果

Tab.3 Results of model simulation test

车道功能划分(1#, 2#)	各流向流量比例(L:T:R)	大车率/%	计算值/(veh·h ⁻¹)	仿真值/(veh·h ⁻¹)	相对误差/%
T, T	0:1:0	20	661.84	652	1.51
T, T	0:1:0	35	525.56	497	5.75
T, T	0:1:0	50	443.28	426	4.06
L, L+T+R	4:2:1	5	912.27	889	2.62
L, L+T+R	1:2:1	50	425.62	402	5.88
L, L+T+R	1:1:3	35	480.18	503	4.54
L+T, T+R	4:2:1	50	433.28	457	5.19
L+T, T+R	1:2:1	5	932.62	906	2.94
L+T, T+R	1:1:3	20	609.68	630	3.23
L+T+R, R	4:2:1	35	472.86	446	6.02
L+T+R, R	1:2:1	20	574.35	542	5.97
L+T+R, R	1:1:3	5	919.48	894	2.85

注: L 表示左转, T 表示直行, R 表示右转.

5 优化效益分析

基于上述通行能力计算模型, 通过一系列算例, 将特殊宽度车道的交通运行效益与单车道进行对比分析, 并研究大车率、各流向比例等因素的敏感性.

输入参数设置如下: 特殊功能车道由两条 2.6 m 的窄车道构成; 周期时长为 120 s; 绿灯时长为 40 s; 车道宽度修正系数当车道宽度小于 3.05 m 时取 0.96, 大于 3.93 m 时取 1.04; 大型车与标准小汽车换算系数取 2; 各流向理想饱和流率为 1 800 veh/h; 大车率和小型车各流向比例作为关键影响因素, 在具体分析中分等级枚举取值.

首先分析大车率对优化效益的影响. 大车率按 5% 的间隔从 0%~100% 进行枚举取值, 特殊宽度车道上小型车 3 种车流(只允许在 1# 车道通行、只允许在 2# 车道通行、两条窄车道均允许通行)的流量比率分别为 0.2, 0.2 和 0.6. 计算结果如图 4 所示, 特殊宽度车道通行能力与大车率负相关. 总体上, 特殊宽度车道可提高通行能力, 并在大车率为 0 时, 取得最大值, 约提高 75%. 但随大车率的增加, 优化效果逐渐减少, 当大车率大于 50% 时, 特殊宽度车道已无显著优势, 表明特殊宽度车道较传统车道对大车率的敏感度更高. 这主要是因为特殊宽度车道中大型车的混行不仅增加了车辆本身的饱和车头时距, 而且中断了小型车车队, 影响小型车并列通行状态的形成, 从而降低其通行能力.

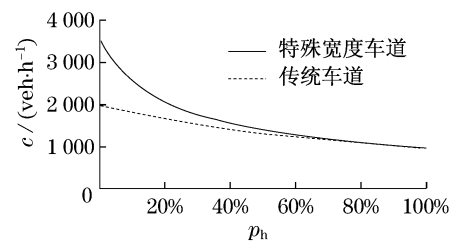


图 4 大车率的影响

Fig.4 Effect of heavy vehicles percentage

然后分析小型车各流向流量比例的影响, 其比值按 0.1 的间隔从 0~1 枚举取值, 大车率取 20%, 计算结果如图 5 所示. 两条横坐标分别表示在两条窄车道均允许通行小型车占小型车总数的比例(p_{c3}), 以及只允许在 1# 车道与 2# 车道通行的小型车比例差值($|p_{c1} - p_{c2}|$), 纵坐标表示特殊宽度车道通行能力(c_s)较传统车道通行能力(c_t)增加百分比. 可见, p_{c3} 越高或 $|p_{c1} - p_{c2}|$ 越小, 特殊功能车道的通行能力优化效益就越大, 当车道内为单一流向时达到最大值.

图 6 进一步显示了在两条窄车道均允许通行的小型车占小型车总数的比例(p_{c3}), 以及只允许在 1# 车道与 2# 车道通行的小型车比例差值($|p_{c1} - p_{c2}|$)对特殊宽度车道通行能力影响的相对关系. 分析中保持两者相等($p_{c3} = |p_{c1} - p_{c2}|$), 结果显示, 通行能力随 p_{c3} 值的增加而增加, 最大差异

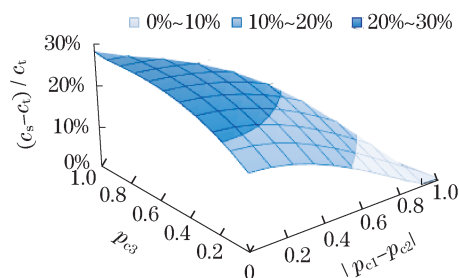


图5 各流向流量比例的影响

Fig.5 Effect of the proportion of different movements

约6%,表明在两条窄车道均允许通行小型车占小型车总数的比例这一参数更为重要.其实际意义为,主流向越显著,特殊宽度车道运行效益越好.

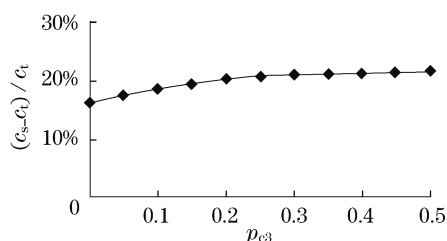


图6 主流向流量比例的影响

Fig.6 Effect of the proportion of main traffic flow

为便于实际应用,表4显示了达到提升通行能力10%优化效果的大车率上限阈值.根据各流向流量比例的不同,大车率上限阈值为18%~41%,主要集中在30%以上,可见特殊宽度车道的应用阈值是比较宽松的,表明其具有较为广泛的适用性.

表4 通行能力提升10%时的大车率阈值

Tab.4 Heavy vehicles percentage thresholds for increasing the capacity by 10%

p_{c3}	$ p_{c1} - p_{c2} $					
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.0	29	29	28	26	23	18
0.1	32	32	31	29	27	24
0.2	35	34	34	33	31	28
0.3	37	36	36	35	33	31
0.4	38	38	37	37	35	34
0.5	39	39	39	38	37	35
0.6	40	40	39	39	38	—
0.7	41	40	40	40	—	—
0.8	41	41	41	—	—	—
0.9	41	41	—	—	—	—
1.0	41	—	—	—	—	—

6 实际应用讨论

本文提出的这种交叉口特殊车道设计与运行管理方法,可在一定程度上提升交叉口通行效率.但在

实际应用过程中,对交通管理工作提出了更高的要求,主要体现在两方面:一是交通使用者对该方式的识认性;二是交通管理者对该方式的配套管理措施.

针对交通使用者的识认问题,可通过设置相应标志标线,对车道功能给予形象化的提示.以山东淄博市新村路改造设计方案为例,在金晶大道交叉口西进口最内侧直行车道采用“特殊宽度”车道的设计方法,配套指示标志标线如图7和图8所示.

针对交通管理者,应允许大型车在特殊功能车道内部跨虚线行驶的状态,此外,需要处理好信号控制与本设计方法的协调配套.特别当特殊车道是左转与直行混行时,左转与直行交通流必须在同一信号相位放行,如图9所示.

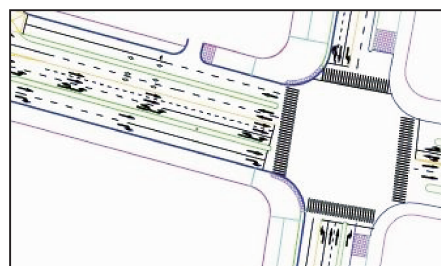


图7 特殊宽度进口车道的交通标线

Fig.7 Traffic markings of special width approach lanes



图8 特殊宽度进口车道的交通辅助标志牌

Fig.8 Traffic sign of special width approach lanes

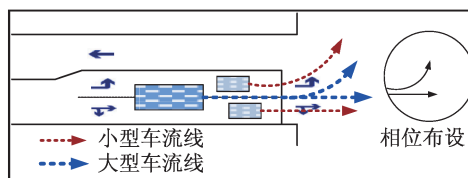


图9 特殊宽度进口车道为左转与直行混行车道功能时的相位布设

Fig.9 Signal phase design for a special width approach lane combining left-turn and through lanes

7 结论

如何提高交叉口空间资源利用效率是一个热点研究问题.与前人集中研究满足设计车型要求并具

有独立功能的车道不同,本文基于车道组合使用的思想,提出了一种由两条窄车道构成的特殊宽度进口车道设计方法.在建立通行能力计算模型和对模型精度进行仿真检验的基础上,分析了优化设计方法的运行效益.研究表明:

a. 与传统车道相比,特殊宽度车道可提高通行能力,最高可达75%;

b. 特殊宽度车道通行能力与大车率和只允许在1#或2#车道通行流向的交通量比例负相关,与在两条窄车道均允许通行流向的交通量比例正相关;

c. 特殊宽度车道的适用条件包括,交通需求方面,特殊宽度车道对大车率的敏感度更高,当大车率在30%以下时,能达到较为理想的运行效果;道路几何特征方面,特殊宽度车道较常规车道略宽,因此,要求交叉口机动车道有小幅的拓宽空间,或其余车道有小幅的压缩余地,以保障特殊宽度车道的实施.

但作为一种特殊的设计方法,在实际应用前,应对其指示标志标线系统进行设计,并对驾驶员进行学习教育,以保障运行效果与安全,这方面工作有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 李胜歌,张世英.“已实现”双幂次变差与多幂次变差的有效性分析[J]. 系统工程学报,2007,22(3): 280-286.
- [2] 亓伟,裴玉龙.城市道路车道宽度取值合理性研究[C]//中国城市交通规划学会2005年论文集.北京:中国建筑学会,2005:460-464.
- [3] 郑凤玺,侯明业,赵娟娟.城市道路机动车道宽度研究[J]. 筑路机械与施工机械化,2013,30(10):67-70.
- [4] Transportation Association of Canada. Geometric design guide for Canadian roads [M]. Ottawa: Transportation Association of Canada,1999.
- [5] Highway Agency. Design manual for roads and bridges [M]. London: Highway Agency,2008.
- [6] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). A policy on geometric design of highways and streets [M]. Washington DC: AASHTO,2011.
- [7] Transportation Research Board. Highway capacity manual 2010 [M]. Washington DC: Transportation Research Board,2010.
- [8] Heimbach C L, Cribbins P D, Chang M. Some partial consequences of reduced traffic lane widths on urban arterials[J]. Transportation Research Record,1983, 923:69-72.
- [9] Harwood D W. Effective utilization of street width on urban arterials [R]. Washington DC: Transportation Research Board,1990.
- [10] Potts I B, Ringert J F, Bauer K M, et al. Relationship of lane width to saturation flow rate on urban and suburban signalized intersection approaches [J]. Transportation Research Record,1997,2027:45-51.
- [11] 杨晓光,庄斌,李克平.信号交叉口饱和流率和启动延误的影响分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2006,34(6):738-743.
- [12] 邵长桥,荣建,赵林.信号交叉口饱和流率及其影响因素研究[J]. 北京工业大学学报,2011,37(10): 1505-1510.
- [13] 杜春燕,周溪召,智路平.基于系统动力学的交叉口通行能力测算模型的仿真与分析[J]. 上海理工大学学报,2014,36(5):449-455.
- [14] Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000 [M]. Washington DC: Transportation Research Board,2000.
- [15] 杨晓光,赵靖,马万经,等.信号控制交叉口通行能力计算方法研究综述[J]. 中国公路学报,2014,27(5): 148-157.
- [16] Fitzpatrick K, Carlson P, Brewer M, et al. Design factors that affect driver speed on suburban streets [J]. Transportation Research Record,2001,1751: 18-25.
- [17] 马莹莹,杨晓光,曾滢.城市道路自由车速与车道宽度关联性分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2009, 37(12):1621-1626.
- [18] 陈元高,徐明.挖掘道路潜力提高通行能力[J]. 上海公安高等专科学校学报,2002,12(5):48-50.
- [19] 陈云,丰国彤.窄车道在杭州市道路综合整治工程中的应用[J]. 城市交通,2010,8(4):73-78.
- [20] 戴琪,刘军,孙腾.城市道路机动车道宽度取值研究[J]. 交通科技,2014(3):91-95.

(编辑:丁红艺)