

文章编号:1005-0523(2016)06-0038-05

车道宽度对信控交叉口通行能力及车辆延误影响研究

周溪召^{1,2}, 许 琰¹

(1.上海理工大学管理学院,上海 200093; 2.上海海事大学经济管理学院,上海 201306)

摘要:研究了交叉口交通流量均衡分布、交通流量非均衡分布、改变左转车流量比例3种不同条件下,车道宽度不同对信控交叉口通行能力及车辆延误的影响。运用VISSIM模拟仿真软件,对城市道路中单车道宽度不同情况下的4路双车道信号控制交叉口的通行能力以及车辆平均延误进行比较分析。研究发现,在一定的车道宽度范围内,车道宽度较小的交叉口通行能力比车道宽度较大的交叉口通行能力小,且车道宽度较小的交叉口车辆延误相对较大;同时左转车流比例的不同也会影响车辆延误的大小,由此为交叉口设计提供相关依据。

关键词:车道宽度;信号控制;VISSIM仿真;通行能力;车辆延误

中图分类号:U491

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.06.005

城市路网由众多的路段和交叉口组成,交叉口作为城市路网的节点,不同流向、不同行驶特性的机动车流在此反复分流、合流、交叉,使交叉口的冲突点增多,交通状况复杂,过去的研究成果表明:在通常情况下,交叉口通行能力不足路段的一半,交叉口延误占据了全程延误的90%左右,且我国城市道路交通事故的50%~80%发生在道路交叉口及其邻近地段,所以城市道路交叉口通行能力直接影响到城市道路的通达。而随着城市的发展,信号控制交叉口已经遍布各地,信号交叉口不仅使车辆行驶更加有序,同时信号交叉口的设置减少了交通管理人员40%的工作^[1]。

随着经济建设的高速发展,机动车保有量迅速增加,路网交通压力明显增大。在道路改扩建工程项目中,为节省土地资源,有效利用道路空间,采用调整机动车单车道宽度的技术措施,对提高道路的通行能力、缓解路网交通压力有显著的工程效果。当车道宽度不足时,驾驶员为了保证驾驶的安全,会尽力拉大与同向行驶车辆之间的安全距离或者降低车辆的行驶速度,避免车辆之间的相互干扰,从而使得道路总体的通行能力下降很多^[2]。现行的《城市道路设计规范》中推荐的机动车单车道宽度为3.5~3.75 m,根据全国道路交通安全协会经验交流会反映出的信息显示:近年来国内某些城市已就缩窄单车道宽度问题做了试点,部分地区采取了较为大胆的措施,将车道宽度减至2.7~2.8 m^[3]。以往研究表明,3.5 m车道不论在车辆行驶轨迹横向位置分布上还是在流量与速度曲线上,均与3.75 m标准车道相一致,通行能力差异很小^[4]。鉴于此,本文选取的单车道宽度分别为2.7、3.0 m和3.5 m,以城市道路四路双车道信号控制交叉口^[5](以下简称422型交叉口)为研究对象,运用VISSIM模拟仿真软件,在同等条件、不同交通模式下,对单车道宽度不同的城市道路交叉口通行能力及车辆延误的影响进行研究分析。

1 模拟仿真分析

参照《城市道路交叉口规划与设计规程》的定义,定义信号交叉口的通行能力为交叉口各进口道的通行

收稿日期:2016-03-17

基金项目:国家自然科学基金(61273042);上海市科委地方院校能力建设项目(13510501700)

作者简介:周溪召(1964—),男,教授,博士,研究方向为交通规划与管理。

通讯作者:许琰(1992—),女,硕士研究生,研究方向为交通规划与管理。

能力的和,而各进口道的通行能力为该进口道上各车道的通行能力的和^[6]。即进口道通行能力为

$$Cap = \sum_i Cap_i$$

式中: Cap_i 为第 i 条进口道车道的通行能力。

车辆延误是交通方式划分和交通量分配模型中的主要参数,为制定道路交通设施的改善方案以及减少延误提供了重要的依据。车辆在交叉口产生的延误时间主要是由车辆变道、交通冲突、信号控制和道路条件等因素造成的^[7]。车辆延误调查可以确定产生延误的大小,其数据能直观地反映道路交通的阻塞情况和道路服务水平的高低,是进行交通

设计规划的基础资料^[8]。根据德国 PTV VISSIM 软件的设计规则,延误时间的检测定义为:与理想的行程时间相比,在一个或者一些路段上计算的所有观测车辆时间延误的平均值。所以,如图 1 所示的交叉口示意图中,默认东西向进口道的车流量相等,南北向进口道的车流量相等,此时东西进口道与南北进口道的车流量比为,在设定仿真参数后,对此类交叉口进行仿真,得出此时交叉口的通行能力以及车辆延误时间。为不失一般性,以下模拟的车流量、延误数据都是在最优信号配时方案下的结果,交通量统一采用当量小汽车流量表示,单位是 $pcu \cdot h^{-1}$ 。

1.1 交通流量均衡分布时单车道不同宽度下的延误比较

交通流量均衡分布中,假设各个进口道的车流量是相等的,并且交叉口左转、直行以及右转的车流量比例是固定不变的(现假设左转、直行、右转的车流分别为 15%,70%,15%),即图 1 中的 a 和 b 是相等的,且取 $a=b=100$, λ 的取值从 1 开始逐渐增大,当饱和度小于 1 时,继续增大 λ 的取值进行仿真,当饱和度大于 1 时停止仿真,则模拟仿真出来的的交叉口理论最大车流量如表 1 所示。为了更直观地说明通过的车流量与 λ 取值的关系变化,所以将表 1 转化成图 2。

表 1 不同车道宽度下的交叉口通过的车流量

Tab.1 Maximal intersection traffic flow for different lane widths

$pcu \cdot h^{-1}$

车道宽度/m	λ 的取值								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.5	341	713	1 079	1 450	1 826	2 211	2 593	2 914	3 277
3.0	341	713	1 079	1 451	1 830	2 216	2 580	2 777	2 840
2.7	341	713	1 078	1 452	1 834	2 222	2 488	2 552	—

根据表 1 和图 2 所示的结果,发现在进口道车流量比较小时,车道宽度不同的交叉口通过的车流量非常接近,甚至是相等的。但是随着进口道车流量的增多,通过交叉口的车流量明显呈现增多的趋势,同时通过观察发现,当 λ 的取值到达 6 时,即东西南北四个进口道的车流量均为 $600 pcu \cdot h^{-1}$ 时,车道宽度较大的交叉口比车道宽度较小的交叉口通过的车流量大,这一点表面看起来很符合我们的认知,但是究竟是什么原因导致这样的结果呢?本文在同等情况下,用 VISSIM 软件仿真了与上述车流量相对应情况下的车辆平均延误,结果如下表 2 和图 3 所示。

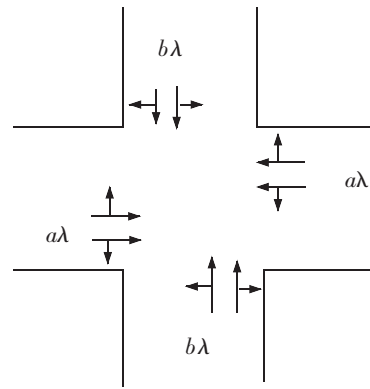


图 1 交叉口各进口道车流比例示意图

Fig.1 Schematic diagram of import traffic flow proportion at intersections

表 2 不同车道宽度下的车辆平均延误
Tab.2 Average delay of vehicles for different lane widths

车道宽度/m	λ 的取值								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.5	5.4	6.7	7.2	7.7	8.5	9.6	11.1	11.3	14.2
3.0	7.6	9.2	10.1	12.0	13.7	19.3	34.5	57.4	62.0
2.7	7.7	9.0	9.4	12.3	15.4	33.1	64.8	77.1	83.1

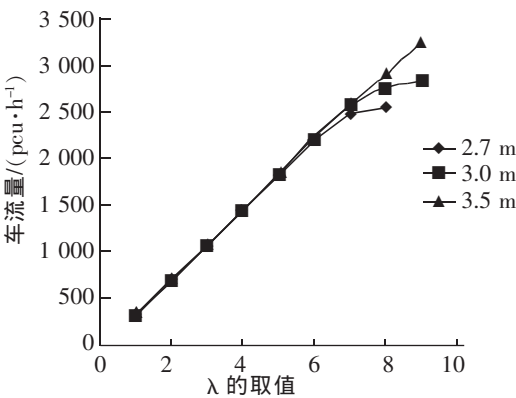


图 2 不同车道宽度下的交叉口通过的车流量
Fig.2 Maximal intersection traffic flow for different lane widths

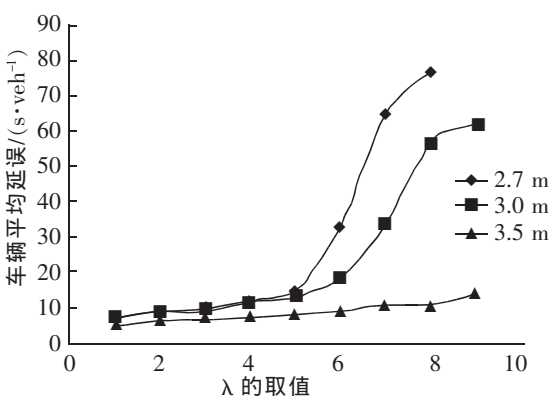


图 3 车道宽度不同时的交叉口车辆平均延误
Fig.3 Average delay of vehicles for different lane widths

在表 2 和图3 中,在 λ 的取值较小的时候,车道宽度不同的交叉口车辆平均延误非常小且十分接近,对应表 1 中的交通量较小,这说明此时通过交叉口的交通量小于此交叉口的最大通行能力,同样地,当 λ 的取值到达 6 时,车道宽度较宽的交叉口的平均车辆延误要明显小于车道宽度较小的交叉口的平均车辆延误,这说明此时车道宽度较小的交叉口车流量已经逐渐逼近最大通行能力,这就解释了为什么车道宽度为 3.5 m 时的最大车流量最大,车道宽度为 2.7 m 时最小,宽度为 3.0 m 时的理论最大车流量居于两者之间。

1.2 交通流量非均衡分布时车道各宽度下通行能力分析延误比较

在现实的交通路网中,更多存在的是交通流量非均衡分布,东西向的进口道与南北向的进口道车流量不相等,即 a 不等于 b 。此处定义东西向的进口道车流量与交叉口总车流量的比值为双向不平衡系数 e , e 的取值从 0.1 逐渐增加到 0.5,运用 VISSIM 仿真软件对单车道宽度不同的交叉口的最大车流量以及车辆平均延误进行模拟分析,结果如下表 3 和表 4 所示。

表 3 不同车道宽度下的交叉口最大通行能力
Tab.3 Maximal intersection capacity for different lane widths

车道宽度/m	双向不平衡系数 $e/\%$				
	10	20	30	40	50
3.5	4 023	4 166	4 322	4 474	4 487
3.0	2 795	2 832	2 789	2 802	2 840
2.7	2 464	2 524	2 541	2 528	2 552

表4 不同车道宽度下的交叉口车辆平均延误
Tab.4 Average delay of vehicles for different lane widths

s·veh⁻¹

车道宽度/m	双向不平衡系数 $e/\%$				
	10	20	30	40	50
3.5	40.2	35.9	32.2	29.4	28.3
3.0	69.2	64.2	67.3	65.6	62.0
2.7	89.7	86.1	85.0	82.5	77.1

在模拟仿真的过程中,逐渐增大进口道的车流量,仿真出相对应的交叉口车流量和车辆平均延误。当饱和度和小于1时,继续增大进口道车流量,计算其通过交叉口的车流量,当饱和度大于1时,停止计算,此时通过交叉口的车流量定义为最大通行能力。表3和表4显示,同等情况下,延误越大,通行能力越小,而延误越小,则通行能力越大,在车道宽度为3.5 m时,双向不平衡系数对通行能力的影响最为敏感,随着双向不平衡系数 e 的增大,延误逐渐降低,此交叉口的通行能力逐渐增大,即当东西向与南北向的进口道车流量越接近时,通行能力越大。当车道宽度在3.0 m和2.7 m时,通行能力对双向不平衡系数的敏感程度较弱。在车道宽度为3.0 m时,理论通行能力接近于2 800 pcu·h⁻¹,在车道宽度在2.7 m时,通行能力在2 500 pcu·h⁻¹左右。

1.3 各宽度下左转车流比例对车辆平均延误的影响比较

左转交通的数量决定了交叉口各进口道的车道布置和信号控制,左转车流比例对交叉口各相位绿灯时间的分配和城市路网交通控制体系组织效率有重要的影响。因此,左转车流比例是决定城市单点交叉口通行能力和路网运行效率的重要因素之一^[9]。

在复杂的交叉口路网中,左转车流与其他车流的冲突点最多,因此左转车流量占进口道总车流量的比例将直接影响到交叉口的通行能力以及延误的大小。现假设进口道车流量不变,取 $a\lambda=b\lambda=800$ pcu·h⁻¹,右转车辆的占比是15%,定义左转车流占比为 P , P 的取值从5%开始,逐渐增加到40%,运用VISSIM仿真出左转车比例不同时的车辆延误大小,结果如下表5所示。

表5 不同车道宽度下左转车流量比例所对应的车辆平均延误
Tab.5 Average delay of vehicles at corresponding proportion of left-turning traffic flow for different lane widths

s·veh⁻¹

车道宽度/m	左转车流比例 $P/\%$							
	5	10	15	20	25	30	35	40
2.7	43.2	56.2	67.9	74.3	89.9	103.8	112.5	124.7
3.0	15.4	17.1	21.0	26.4	37.8	38.4	38.5	64.4
3.5	18.7	29.2	46.7	55.2	70.9	71.8	73.9	78.8

表5的结果显示,随着左转车流比例的增加,车辆延误逐步增加。车道宽度为3.0 m和3.5 m时的交叉口车辆平均延误对左转车流比例的敏感程度比较接近,而车道宽度为2.7 m时的交叉口延误对左转车流比例的敏感程度较高,甚至一开始当左转车流比例只有5%时延误为43.2 s·veh⁻¹,明显高于宽度为3 m和3.5 m时的15.4 s·veh⁻¹和18.7 s·veh⁻¹,而当左转比例 P 为40%时,延误甚至高达124.7 s·veh⁻¹,这说明车道宽度较小时,车辆延误现象较为严重,将会直接影响交叉口的通行能力。

2 结论

通过对上述3组模拟仿真结果的分析,得出了车道宽度不同的交叉口的通行能力和车辆延误以及适宜的交通模式和交通量范围。车道宽度是2.7 m时的交叉口在交通流量非均衡分布下的通行能力较稳定,但是面对进口道车流量较大的情况,其车辆平均延误也较大。车道宽度是3 m时的交叉口同时对双向不平衡系

数和左转车流量比例的敏感性较弱。车道宽度是 3.5 m 时的交叉口在交通流量非均衡分布下的通行能力不够稳定,但是在左转车流比例变化较大情况下的稳定性较好。

简言之,对于 422 型信号控制交叉口来说,单车道宽度在 2.7 m 时适用于交叉口交通量不超过 $2\,500\text{ pcu}\cdot\text{h}^{-1}$ 和左转车比例较小的情况下,单车道宽度 3.0 m 适用于交通量大于 $2\,500\text{ pcu}\cdot\text{h}^{-1}$ 且不超过 $2\,800\text{ pcu}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,而单车道宽度为 3.5 m 则适合用于交通量大于 $2\,800\text{ pcu}\cdot\text{h}^{-1}$ 的情况。

参考文献:

- [1] MIKE S. Traffic signal control and route choice: A new assignment and control model which designs signal timings[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015(58): 451–473.
- [2] 宋睿,孙焰,薛行健. 快速路匝道合流区车道宽度对交通影响分析[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2015(2): 284–287.
- [3] 和坤玲,叶远春,李东. 北京市城市道路机动车单车道宽度的研究[C]// 第十次全国城市道路与交通工程学术会议论文集, 2009: 89–93.
- [4] 马栋栋,吴玉涛,郭宏伟. 小客车交通条件下车道宽度对通行能力的影响[J]. 公路, 2011(11): 130–132.
- [5] 王昊,王炜,陈峻. 非信号控制交叉口通行能力及延误特性[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(1): 114–117.
- [6] 李爱增. 城市道路交叉口空间布局及其通行能力研究[D]. 南京: 东南大学, 2008: 185–187.
- [7] 安艳召. 基于多源数据的单点过饱和和动态信号控制研究[D]. 云南: 昆明理工大学, 2015.
- [8] 董玉波. 受阻车辆总延误时间的计算方法[J]. 中国人民公安大学学报: 自然科学版, 2012(4): 73–75.
- [9] 陈小鸿,叶彭姚. 交叉口左转车流比例对路网运行效率的影响[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2008(8): 1067–1072.
- [10] HAO LIANG, XIUCHENG GUO, JUNHONG HU. Research on conflict point delay of left-turning vehicles at two phases signal control intersection[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013(96): 2078–2083.

Effect of Lane Width on Traffic Capacity and Vehicle Delay of Signalized Intersection

Zhou Xizhao^{1,2}, Xu Yan¹

(1. School of Business, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The effect of lane width on signalized intersection traffic flow and vehicle delay is respectively studied under three conditions: balanced distribution of traffic flow, unbalanced distribution of traffic flow and the changed proportion of left-turning traffic flow. By VISSIM simulation software, comparative analysis on traffic capacity and vehicle delay of four two-lane signalized intersections in different widths is conducted. It is found that within a certain range of lane width, the traffic capacity of intersection in smaller lane width is worse than that in relatively larger lane width, and vehicles delay of intersection in smaller lane width is relatively larger; in addition, the proportion of left-turning traffic also affects vehicle delay. This study tries to provide reference for the design of intersections.

Key words: lane width; signal control; VISSIM simulation; traffic capacity; vehicle delay

(责任编辑 王建华)