

过街行人对寒区冰雪期城市道路无信号人行横道处机动车交通流参数与通行能力的影响

吴立新¹, 程国柱², 李晓悦²

(1. 吉林建筑大学 交通科学与工程学院, 吉林 长春 130118;

2. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:现行规范在确定城市道路路段通行能力时没有考虑过街行人这一影响因素,而我国城市道路交通系统运行的特征表现为严重的人车混行,在未设置信号控制的人行横道处,车辆与过街行人交通冲突的可能性大,通行能力明显下降。为完善城市道路路段通行能力的研究成果,基于寒区冰雪期城市道路路段无信号控制人行横道的调查数据,分别构建了行人流量与车头时距、行人流量与机动车车速的关系模型。基于此模型计算得到了寒区冰雪期不同行人流量下城市道路路段通行能力的修正系数。

关键词:交通工程;寒区城市道路;无信号人行横道;机动车交通流参数;通行能力

中图分类号:U491 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2017)04-0092-06

0 引言

作为重要参与者之一的行人,在城市的交通系统中占有相当大的比例,伴随着社会的不断发展,机动车保有量呈现出几何增长趋势,路段通行能力由于车辆与行人矛盾的加深而明显改变,因此,行人过街对路段通行能力影响的研究具有不容忽视的意义。

以往对路段通行能力的研究主要考虑交通流状况、道路状况等因素。而道路交通是由人、车、路3个要素构成的有机系统,所以通行能力也必然是这3方面要素联合作用的结果^[1]。道路通行能力的研究在1950年开始于美国,经过不断修订发展而来的《美国通行能力手册》^[2-3]也成为各国通行能力研究的基础。Satish和Kuma研究了混合交通条件下车道宽度对通行能力的影响,研究表明路面平整度较高的双车道路面的通行能力可以增加10%~15%^[4]。冯雪松等人分析了车速对道路通行能力的影响,分析了车速低的原因,并指出了改善交通状况的一些办法^[5]。2009年,杨晓光等人研究了进出交通对路段通行能力的影响^[6]。赵靖等人用回归分析的方法解释行人和自行车对信号交叉口右转通行能力的影响,提出了较大和较小行人自行车流量对应的两种过街方式^[7]。曾小明等研究了路上停车对通行能力的影响,并且分析了通行能力随着路上的停车数量、停泊时段、单侧或双侧停车等的不同而变化^[8]。唐甜分析了单向交通管理方式对道路服务水平的影响,为改善城市路网通行能力、服务水平提供依据^[9]。综上所述,对城市道路路段通行能力的研究尚处于摸索阶段,且研究过程中忽略了行人过街的影响,因此,开展过街行人对城市道路路段通行能力与服务水平的影响研究,可以进一步补充完善城市道路实际通行能力计算与服务水平评价研究成果,进而为道路交通规划、设计与管理部门提供设计依据与决策参考。

1 调查方案设计与数据分析

1.1 调查方案设计

收稿日期:2016-09-06 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2017.04.18

基金项目:吉林省教育厅“十三五”科学技术研究项目(2016155)

作者简介:吴立新(1970-),女,教授,硕士,研究方向:道路交通安全,E-mail:wulixinjt@126.com

吴立新,程国柱,李晓悦.过街行人对寒区冰雪期城市道路无信号人行横道处机动车交通流参数与通行能力的影响[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2017,30(4):92-97.

调查地点选为哈尔滨市(寒区典型城市)黄河路上两处无信号控制的人行横道,以 A、B 表示, A 处位于红旗大街与南直路之间, B 处位于哈尔滨工业大学二校区南门口附近。

调查日为 2016 年 1 月,处于冰雪期。本次调查方法采用视频观测法。首先,测出地面已有标线的长度,并在人行道旁设置三脚架及录像设备,对调查路段处由东向西方向的车流及过街行人进行视频观测。

获得所需视频后,数据由以下方法进行计算:过街行人流量可以直接由视频资料获取;行人过街速度通过行人穿越已知宽度断面所用时间间接计算得出;机动车车头时距采取前后机动车通过终止线前路面同一处的时间差;机动车车速通过车辆先后通过地面已知距离标线所用的时间间接计算得出^[10]。

1.2 数据处理

本文主要选取过街行人流量、速度指标,分析行人流量、速度与车头时距、机动车车速的关系。车头时距是前后两辆车通过车行道上某一点的时间差^[11],这是本论文中通行能力计算的重要指标。服务水平是反映交通流运行效率的指标,我国对城市道路路段的评价指标并没用规定,本论文参照美国采用平均行程车速作为评价指标。

对视频中数据进行处理,得到调查时段内的过街行人流量、过街速度、车头时距、机动车车速,见表 1。

表 1 过街行人流量与步行速度、机动车车头时距与车速统计数据

调查点 A				调查点 B			
行人流量/ ($p \cdot h^{-1}$)	过街速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	车头时 距/s	车速/ ($km \cdot h^{-1}$)	行人流量/ ($p \cdot h^{-1}$)	过街速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	车头时 距/s	车速/ ($km \cdot h^{-1}$)
260	1.37	3.63	31.38	320	1.40	3.84	22.40
300	1.28	3.78	25.46	360	1.38	4.11	16.09
240	1.55	3.57	34.26	300	1.31	3.78	25.46
300	1.32	3.78	25.47	560	1.64	4.44	9.24
260	1.76	3.63	31.39	440	1.43	3.84	12.72
320	1.83	3.84	22.40	260	1.44	3.63	31.39
440	1.62	4.2	30.42	420	1.62	4.14	16.35
260	1.47	3.42	31.41	280	1.59	3.69	28.46
200	1.38	3.36	39.81	260	1.46	3.63	31.39
300	1.52	3.81	25.44	140	1.73	3.15	47.66
340	1.67	3.9	19.28	480	1.86	4.32	8.72
420	1.81	4.14	31.57	240	1.53	3.57	35.27
200	1.78	3.39	39.81	320	1.48	3.84	22.40
300	1.74	3.78	25.49	160	1.40	3.24	45.11
400	1.69	4.08	20.47	280	1.65	3.72	28.46
260	1.52	3.51	31.39	260	1.72	3.75	31.39
180	1.59	3.3	42.49	600	1.72	4.56	9.23
280	1.61	3.69	28.45	340	1.80	3.9	19.32
320	1.75	3.87	22.42	360	1.72	4.08	16.09
200	1.82	3.42	39.81	340	1.61	3.96	19.27
				240	1.79	3.54	34.26

2 行人特征与机动车交通流参数关系

2.1 行人特征与车头时距关系

2.1.1 行人流量与车头时距关系

根据表 1 中的数据做出行人流量与机动车车头时距的散点图,如图 1 所示。可以看出,机动车车头时距随着过街行人流量的增加而增大,两者成正比关系。选用拟合程度较高的对数函数、指数函数和二次函数三种模型进一步拟合,拟合效果如图 1 所示,拟合后的模型表达式和参数如表 2 所示。

由表 2 可以看出,对于行人流量与车头时距的关系模型的拟合,二次函数的拟合程度最高,所以对二

次函数进行拟合精度检验。

表 3 为方程配合适度检验结果,即变量与因变量的显著性检验,由表 3 可知, $F=294.288$,给定显著性水平 $\alpha=0.05$,查表可得临界值 $F_{0.05}(2,38)=2.45$,显然 $F>F_{0.05}(2,38)$,表明行人流量与车头时距之间的关系在 95% 的置信水平下显著成立。

表 4 给出了回归方程系数的值及偏回归系数的检验结果。3 个系数的 T 检验值的绝对值分别为 8.198、3.581 和 21.920,给定显著性水平 $\alpha=0.05$,查表可得临界值 $t_{0.05}(38)=1.684$,显然,3 个系数的 T 检验值均大于该临界值,所以模型中的解释变量在 95% 的置信水平下都通过了变量的显著性检验。

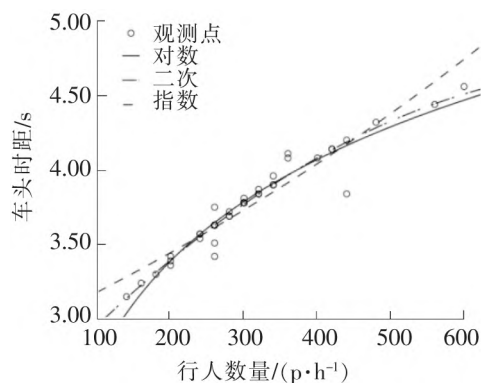


图 1 行人流量与车头时距的散点图

表 2 过街行人流量与车头时距回归关系模型

模型形式	模型表达式	R^2
二次函数	$h_t = -0.000\ 003\ 21q^2 + 0.005q + 2.452$	0.939
对数函数	$h_t = 0.982\ 1 \ln q - 1.812$	0.934
指数函数	$h_t = 2.936e^{0.001q}$	0.903

表 3 过街行人流量与车头时距回归方程配合适度检验结果

检验项目	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	3.739	2	1.869	294.288	0.000
残差	0.241	38	0.006		
总和	3.980	40			

表 4 过街行人流量与车头时距回归方程系数检验

模型变量	非标准化系数		标准化系数		T	Sig.
	B	标准误差	试用版			
q	0.005	0.001	1.677		8.198	0.000
q^2	-3.219E-6	0.000	-0.732		-3.581	0.001
常数	2.452	0.112			21.920	0.000

最终,行人流量与车头时距关系表达式为

$$h_t = -0.000\ 003\ 21q^2 + 0.005q + 2.452 \quad (1)$$

式中, h_t 为车头时距; q 为过街行人流量。

2.1.2 行人过街速度与车头时距关系

根据表 1 中的数据做出行人过街速度与机动车车头时距的散点图,如图 2 所示。用各曲线进行回归,都不具有显著的相关关系。用线性回归简单描述行人过街速度和车头时距的关系,如图 2 所示。可以看出,随着行人过街速度的增加,机动车车头时距呈现增加的趋势,但车头时距的变化具有一定的随机性,因此,行人过街速度的变化对车头时距的影响并不明显。

2.2 行人特征与机动车车速关系

2.2.1 行人流量与机动车车速关系

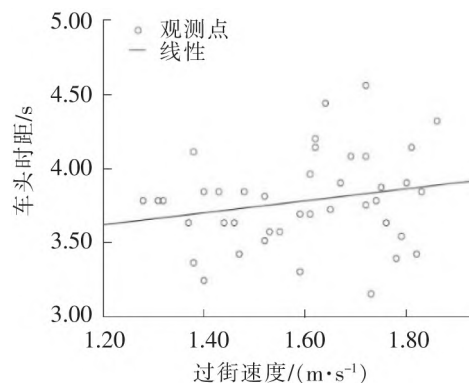


图 2 行人过街速度与车头时距的散点图

根据表1中的数据,做出行人流量与机动车车速的散点图,如图3所示。可以看出,随着过街行人流量增加,机动车车速逐渐降低,两者成反比关系。

选用拟合程度较高的对数函数、指数函数和二次函数3种模型进一步拟合,拟合效果如图3所示,拟合后的模型表达式和参数如表5所示。可以看出,对于行人流量与机动车车速的关系模型的拟合,二次函数的拟合程度最高。所以对二次函数进行拟合精度检验。

表6为方程配合适度检验结果,即变量与因变量的显著性检验,由表6可知, $F=95.474$,给定显著性水平 $\alpha=0.05$,查表可得临界值 $F_{0.05}(2,38)=2.45$,显然 $F>F_{0.05}(2,38)$,表明行人流量与车头时距之间的关系在95%的置信水平下显著成立。

表7给出了回归方程系数的值及偏回归系数的检验结果。3个系数的 T 检验值的绝对值分别为6.595、4.096和13.295,给定显著性水平 $\alpha=0.05$,查表可得临界值 $t_{0.05}(38)=1.684$,显然,3个系数的 T 检验值均大于该临界值,所以模型中的解释变量在95%的置信水平下都通过了变量的显著性检验。

最终,行人流量与机动车车速关系表达式可写为

$$V = 0.000185q^2 - 0.217q + 74.748 \quad (2)$$

式中, V 为机动车车速。

表5 过街行人流量与机动车车速回归关系模型

模型形式	模型表达式	R 方
二次函数	$V=0.000185q^2-0.217q+74.748$	0.834
指数函数	$V=81.20e^{-0.0038q}$	0.802
对数函数	$V=-28.15\lg q+187.29$	0.832

表6 过街行人流量与机动车车速回归方程配合适度检验结果

检验项目	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	3063.062	2	1531.531	95.474	0.000
残差	609.568	38	16.041		
总和	3672.630	40			

表7 过街行人流量与机动车车速回归方程系数检验

模型变量	非标准化系数		标准化系数	T	Sig.
	B	标准误差	试用版		
q	-2.217	0.033	-2.232	-6.595	0.000
q^2	0.000	0.000	1.386	4.096	0.000
常数	74.748	5.622		13.295	0.000

2.2.2 行人过街速度与机动车车速关系

根据表1中的数据做出行人过街速度与机动车车速的散点图,如图4所示。用各曲线进行回归,都不具有显著的相关关系。用线性回归简单描述过街速度和机动车车速的关系,如图4所示。可以看出,随着行人过街速度的增加,机动车车速呈现下降的趋势,但是,车速的变化具有一定的随机性,行人过街速度的变化对机动车车速的影响并不是很明显。

3 基于过街行人的通行能力修正

3.1 通行能力修正系数

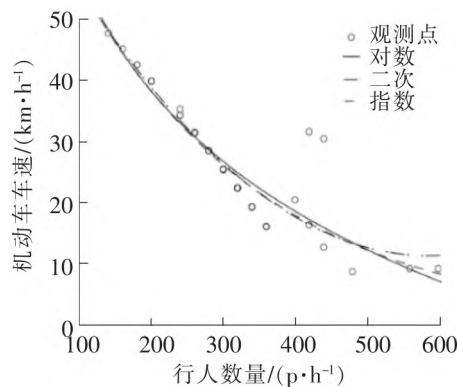


图3 行人流量与机动车车速的散点图

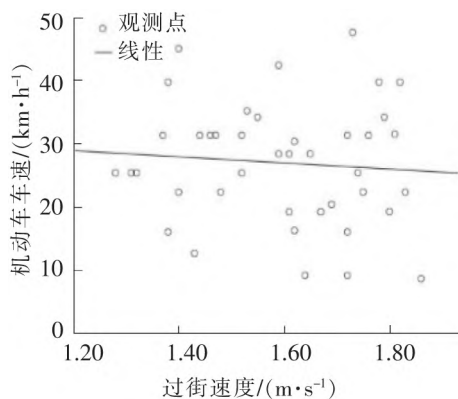


图4 行人过街速度与机动车车速的散点图

当车辆以连续车流通过,实际通行能力可以根据车头时距来计算

$$C_p = 3\,600/h_t \quad (3)$$

式中, C_p 为一条车道的实际通行能力。

将式(1)代入式(3)可以得到

$$C_p = \frac{3\,600}{(-0.000\,003\,21q^2 + 0.005q + 2.452)} \quad (4)$$

基本通行能力与实际通行能力的关系为

$$C_p = C_B \times f_q \quad (5)$$

推导出过街行人流量修正系数 f_q 的计算公式为

$$f_q = \frac{C_p}{C_B} = \frac{3\,600}{(-0.000\,003\,21q^2 + 0.005q + 2.452)} / C_B \quad (6)$$

式中, C_B 为一条车道的基本通行能力。

表 8 给出了《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)^[12]规定的不同设计速度对应的城市道路路段基本通行能力值。

将表 8 中的基本通行能力值代入式(6)中可以得到不同设计速度下城市道路路段通行能力的过街行人流量修正系数,见表 9。从表 9 中可以看出,当设计速度取一定的值时,随着过街行人流量的增加,过街行人修正系数减小,因而实际通行能力会随之降低;当过街行人流量减少时,过街行人修正系数增大,实际通行能力也会随之增加。

表 8 城市道路路段基本通行能力

设计速度/(km·h ⁻¹)	60	50	40	30
基本通行能力(pcu·(h·ln) ⁻¹)	1 800	1 700	1 650	1 600

表 9 基于过街行人流量的寒区冰雪期城市道路路段通行能力修正系数建议值

行人流量/(p·h ⁻¹)	设计速度/(km·h ⁻¹)			
	60	50	40	30
≤100	0.68	0.73	0.75	0.77
(100,200]	0.60	0.64	0.66	0.68
(200,300]	0.55	0.58	0.60	0.61
(300,400]	0.51	0.54	0.55	0.57
(400,500]	0.48	0.51	0.53	0.54
(500,600]	0.47	0.49	0.51	0.52

3.2 实例分析

以哈尔滨市黄河路上的两个调查地点为案例,考虑过街行人影响,对其实际通行能力进行计算。

(1)案例一。人行横道 A 处行人流量、过街速度、车头时距与机动车车速调查数据见表 1,根据表中数据可以得出:平均过街行人流量 $q_A = 289$ (p/h)。根据调查路段的设计速度 50 km/h 及平均过街行人流量,由表 9 中的修正系数可得 $f_q = 0.58$ 。查表 8 知其基本通行能力 $C_B = 1\,700$ pcu/h/ln,则其实际通行能力 $C_p = 1\,700 \times 0.58 = 986$ pcu/h/ln。

(2)案例二。人行横道 B 处行人流量、过街速度、车头时距与机动车车速调查数据见表 1,根据表中数据可以得出:平均过街行人流量 $q_B = 331$ (p/h)。根据调查路段的设计速度 50 km/h 及平均过街行人流量,由表 9 中的修正系数可得 $f_q = 0.54$ 。查表 8 知其基本通行能力 $C_B = 1\,700$ pcu/h/ln,则其实际通行能力 $C_p = 1\,700 \times 0.54 = 918$ pcu/h/ln。

4 结论

本文开展了寒区冰雪期过街行人对城市道路无信号控制人行横道处机动车交通流参数及通行能力的影响研究,主要取得了以下研究结果:

(1)在数据调查的基础上,采用回归分析方法分别构建了寒区冰雪期城市道路路段过街行人流量与

机动车车头时距、机动车车速之间的关系模型,模型表明过街行人流量与机动车车头时距呈正二次函数关系,与机动车车速呈负二次函数关系。

(2)总体上,机动车车头时距随行人过街速度增加而增加,机动车车速随行人过街速度增加而减小。但是,行人过街速度与机动车车头时距、机动车车速之间的回归关系不显著,认为其对城市道路路段通行能力影响较小。

(3)对照城市道路路段基本通行能力取值,结合构建的模型,计算给出了寒区冰雪期城市道路路段通行能力的过街行人流量修正系数,并给出了实际案例。

下一步可根据研究成果,开展城市道路无信号控制人行横道宽度研究^[13],为过街行人提供足够的过街空间,提高过街速度,减轻其对机动车交通流与通行能力的影响。

参 考 文 献

- [1]周伟,王秉纲.道路通行能力理论探讨[J].交通运输工程学报,2001,1(2):92-98.
- [2]Transportation Research Board. Highway capacity manual: 2000[M]. Washington DC: Transportation Research Board, 2000.
- [3]Transportation Research Board. Highway capacity manual [M]. Washington DC: Transportation Research Board, 2010.
- [4]Chandra S, Kumar U. Effect of Lane Width on Capacity under Mixed Traffic Conditions in India [J]. Journal of Transportation Engineering, 2003,1(3): 253-259.
- [5]冯雪松,王铁城,陈善亮.车速对道路通行能力的影响及对策分析[J].城市公共交通,2003(5):7-9.
- [6]杨晓光,赵靖,郁晓菲.考虑进出交通影响的路段通行能力计算方法[J].中国公路学报,2009,22(5):83-88.
- [7]赵靖,白玉,杨晓光.基于回归分析的右转通行能力行人自行车修正[J].公路交通科技,2012,29(2):120-126.
- [8]曾小明,李朝晖,罗旗帜,等.路上停车对道路通行能力的影响分析[J].中南公路工程,2003,28(2):58-59.
- [9]唐甜.单向交通管理方式对道路服务水平的影响[D].南昌:华东交通大学,2011.
- [10]池利兵,程国柱,李德欢,等.城市道路路段行人过街信号设置研究[J].城市交通,2015,13(1):72-79.
- [11]顾天鸿,吴世迪.公交专用道对车辆间隔时间的影响分析[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2013,26(1):97-100.
- [12]北京市市政工程设计研究总院. CJJ37-2012. 城市道路工程设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012:4-5.
- [13]蒋阳升,韩世凡.基于GI/G/1排队的人行横道宽度优化模型[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2014,27(4):72-76.

Influence of Crossing Pedestrian on Automobile Flow Parameters and Capacity at Non-signal Crosswalk of Urban Road in Cold Region During Ice and Snow Period

Wu Lixin¹, Cheng Guozhu², Li Xiaoyue²

(1. School of Transportation Science and Engineering, Jilin Jianzhu University, Changchun 130118, China;

2. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Present specifications for road traffic capacity ignores the factors of crossing pedestrian. However, the urban road traffic system in China is characterized by the coexistence of pedestrians and vehicles. On the road section without crossing signals, the possibility of conflict between vehicle and pedestrian is big, and the capacity declines significantly. In order to improve the research of the capacity of urban road section, this paper develops a model that captures the interrelations among pedestrian volume and headway, pedestrian volume and driving speed based on the survey data at a non-signalized crosswalk of cold region urban road during ice and snow period. Based on the model, this paper presents the capacity correction coefficients of cold region urban road section for different crossing pedestrian volume during ice and snow period.

Key words: traffic engineering; urban road in cold region; non-signalized crosswalk; automobile flow parameters; capacity