

右转车辆与过街行人交互过程的影响因素研究

刘孟歆^{1,2}, 秦华¹, 岳晨¹, 阿格江·胡思曼¹

(1.北京建筑大学 机电与车辆工程学院, 北京 102616; 2.中国家用电器研究院, 北京 100037)

摘要: **目的** 探究在城市交通路口影响右转车辆与过街行人交互过程的因素。**方法** 采用实地视频拍摄的方法, 分析统计右转车辆与过街行人在交互过程中的行为方式。分别检验性别、年龄、同行人数及红绿灯状态4个指标是否对二者交互过程有显著性影响。**结果** 性别对右转车辆与过街行人的交互过程无显著影响; 年龄、同行人数及红绿灯状态对右转车辆与过街行人的交互过程有显著影响。**结论** 由于老年人生理退化导致步行速度降低, 可以通过设置文字或图片标识来提示右转车辆停车礼让, 以缓解老年群体等待时间过久的问题; 或根据路口交通流量及行人不同同行人数, 动态规划过街行人与右转车辆通行顺序。此外, 可以根据行人流量动态规划右转车辆方的交通灯状态及时间。本研究结果对改善交通路口交通运行状况、使右转车辆与过街行人在交通路口有序通行有重要的理论意义和实用价值, 同时可为无人驾驶右转车辆与行人交互提供重要参考。

关键词: 人车交互; 右转车辆; 过街行人

中图分类号: U461.91 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)12-0118-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.12.012

Influencing Factors of Interaction Process between Right-Turning Vehicles and Pedestrians Crossing the Street

LIU Meng-xin^{1,2}, QIN Hua¹, YUE Chen¹, AGEJIANG-Hu-si-man¹

(1.School of Mechanical-electronic and Vehicle Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102616, China; 2.China Household Electric Appliance Research Institute, Beijing 100037, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the factors affecting the interaction process between right-turning vehicles and pedestrians crossing the street at urban traffic intersections. Field video shooting was adopted to analyze and count the behaviors of right-turning vehicles and pedestrians crossing the street in the interaction process, to test whether gender, age, number of peers and traffic light status had a significant impact on their interaction process. The results showed that gender had no significant effect on the interaction between right-turning vehicles and pedestrians crossing the street; age, number of peers and traffic light status had a significant impact on the interaction between right-turning vehicles and pedestrians crossing the street. As walking speed decreases due to physiological degeneration in the elderly, text or picture signs can be set up to prompt right-turning vehicles to stop for comity, so as to alleviate the problem of elderly people waiting too long; or the sequence of pedestrians crossing the street and right-turning vehicles can be dynamically planned according to the intersection traffic flow and different number of pedestrians. In addition, traffic light status and time for right-turning of vehicles can be dynamically planned according to pedestrian flow. The results of this study have important theoretical significance and practical value for improving the traffic operation at traffic intersections and the orderly passage of right-turning vehicles and pedestrians crossing the street at traffic intersections. At the same time, it can provide an important reference for the interaction between driverless right-turning vehicles and pedestrians crossing the street.

KEY WORDS: human-vehicle interaction; right-turning vehicle; pedestrians crossing the street

收稿日期: 2023-01-25

基金项目: 北京社会科学基金一般项目(19GLB029)

作者简介: 刘孟歆(1995—), 女, 硕士, 主要研究方向为人因工程。

通信作者: 秦华(1971—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为人因工程。

城市交通路口容易产生交通冲突^[1],从而导致交通路口通行效率下降,甚至造成人员伤害和经济损失。据统计,中国城市的交通事故大约30%发生在交叉口^[2]。过街行人是交通参与者中最不易管理的因素之一,同时也是交通系统中的弱势群体^[3];而右转车辆在大部分城市交通路口不受信号灯限制,其交通行为有一定的不确定性。在不同时段和状况下,不同行人个体、右转车辆之间会呈现多种交通行为方式,二者的交互会影响交通路口运行的畅通性。因此,研究影响城市交通路口右转车辆与过街行人交互过程的因素对缓解交通路口右转车辆与过街行人的交通冲突、提高交通路口有序通行的效率有重要的理论意义和实用价值。

行人过街的过程会受个体因素和交通信号灯的影响,个体因素主要包括行人的年龄、性别、同行人数等。Benihoft等^[4]通过分析中年人和老年人的过街行为,得到老年人在道路交叉口的人行横道位置过街时更加谨慎的结果。Knoblauch等^[5]研究了过街行人的自身因素(如年龄、性别、是否结伴等)及环境因素对过街行人步速和启动时间的影响。郑艳等^[6]从过街速度、启动时间、交通特征、违章行为等方面对信号交叉口的行人交通特性进行了研究,结果表明,行人的性别、年龄、行人数量、出行目的等因素对行人过街速度有显著影响。潘汉中等^[7]发现,行人违章过街的主要原因是存在侥幸心理和从众心理、安全意识和法律知识淡薄,以及信号交叉口设施存在缺陷导致缺少外在约束力。过街行人违章行为受从众心理影响的相关研究表明,当同行人数为3人时,行人的违章数量最多,当同行人数大于7人以上时,行人违章的数量开始急剧减少^[8-9]。

由于在大多数交通路口,机动车辆在右转过程中不受交通信号灯的约束,过街行人的行为会导致车辆驾驶员执行不同的驾驶决策,例如选择减速让行或抢道先行,甚至出现鸣笛催促现象。研究发现,右转车辆与过街行人交互时的让行意愿较低,只有27.98%的驾驶员想要让行^[3]。李玲等^[10]在研究右转车辆与过街行人的交通冲突原因及危险度时发现,人行横道上的过街行人数量会影响右转车辆驾驶员的驾驶决策。当过街行人数量较少时,右转车辆容易出现抢行行为,逼迫过街行人避让车辆,其抢行概率与过街行人人数呈负相关。周勇等^[11]在对行人、非机动车与右转车辆的冲突研究中发现,右转车辆与行人及非机动车在交叉口发生冲突时,超过半数的驾驶员会抢行,少数驾驶员会选择让行后再右转,极少数的驾驶员会选择强行转弯并鸣笛。

目前,中国学者对过街行人与右转车辆交互过程的研究多集中于通过建立数据库、延误模型等方法对二者的冲突原因和解决方法进行研究。苏岳龙等^[12]通过提取冲突数据,对比分析了发生交互行为前后车

辆的行驶速度及行人过街时间的变化等,在建立机非冲突速度-距离模型的基础上,又建立了右转车辆和行人与非机动车的冲突数据库,然后以此为基础建立了右转车辆距离机非冲突点不同位置时对应不同速度的统计模型。李玲^[13]通过现场调查右转车辆与过街行人发生交通冲突的情况,分析了右转车辆抢行的概率,建立了右转车辆的交通延误模型,优化了行人穿越右转专用车道的交通安全心理距离,研究了交通冲突区域的位置和交通冲突区域内行人数量对行人安全的影响。李啟荣^[14]通过分析信控交叉口右转车流运行特征,研究了右转车流延误对交通的影响,并采用对绿灯和红灯信号时间内的右转分别进行研究的思路,提出了计算信控交叉口右转车流延误的3种模型。

现有研究为过街行人与右转车辆的交互行为建立了基本框架和理论概念,然而这些研究大多是单一研究过街行人或右转车辆的行为特性及其影响因素,对于二者交互的研究也只是对冲突产生或安全问题的影响分析,缺少对过街行人与右转车辆交互过程中二者具体行为及影响二者交互的因素的研究。因此,本文对右转车辆与过街行人交互过程中的具体行为及影响因素进行深入的调查研究,为缓解交通路口右转车辆与过街行人的冲突提供参考。

1 研究方法

1.1 实地调研

为研究城市交通路口车辆右转、行人过街时二者交互过程的影响因素,选取具有右转专用道和非机动车交通信号灯的两个典型路口,一个位于北京市大兴区的兴业大街与枣园路交汇的十字路口,交通流量相对较小;另一个位于北京市海淀区的荷清路与成府路交汇的十字路口,交通流量相对较大。为了保证在全面记录过街行人与右转车辆交互的同时可以清晰观测到右转车辆状态和非机动车信号灯,研究人员在不影响过街行人过马路的前提下选择人行横道一侧的高台处,选取合适的角度和高度,用带有三脚架的摄像机自南向北拍摄右转车辆与过街行人发生交互时过街行人眼部、手部、腿部的动作以及右转车辆车速变化的方式,路口拍摄位置和方向如图1、图2所示。拍摄选取在行人、机动车流量较大的时候进行,2019年5月8日9:00-13:00在枣园路交叉口进行视频拍摄,2019年5月10日9:00-13:00在成府路交叉口进行视频拍摄。研究人员共3人轮流进行视频拍摄。

1.2 数据采集

由于右转车辆与过街行人交互的过程中,过街行人会受个体因素及交通信号灯的影响,右转车辆会受行人过街行为的影响,因此,对行人的年龄、性别、



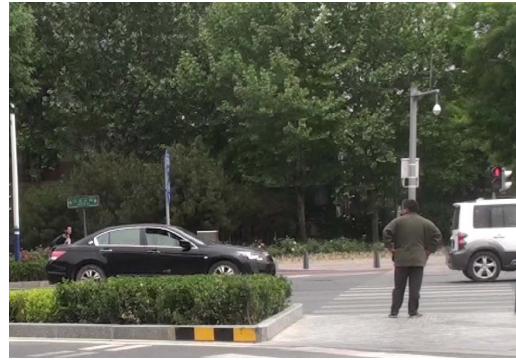
图1 兴业大街与枣园路交叉口
Fig.1 Intersection of Xingye Street and Zaoyuan Road



图2 荷清路与成府路交叉口
Fig.2 Intersection of Heqing Street and Chengfu Road

同行人数及红绿灯状态 4 个指标进行分类：1) 性别分为男性和女性。2) 由于未成年人易出现突然冲出的抢行现象，老年人通常采取保守的过街策略，二者与成年人的过街策略不同，因此将过街行人年龄分为 3 段：未成年人、成年人和老年人。3) 同行人数是记录行人在过街时是否结伴而行，或者有无同行过街的行人。同行人数的多少会导致过街行人从众心理的产生，从而影响过街行人穿越交叉口的行为决策，导致违章现象的产生。因此，根据以往由于同行人数不同导致行人过街时违章的研究，将同行人数分为 3 种类型，分别是 3 人以下、4~7 人及 8 人以上。4) 红绿灯状态为红灯和绿灯两种状态。

通过对两个交通路口实地拍摄的视频进行整理，统计右转车辆与过街行人交互时二者各自的行为方式和数量，图 3 以过街行人目光注视来车减速并止步站立和未注视来车不减速为例，图 4 以右转车辆减速或停车让行和不停止加速前行为例。以过街行人眼部、手部、腿部的动作表示人的 9 种行为方式，以右转车辆车速变化的方式表示车的 5 种行为方式，如表 1 所示。



a 目光注视来车减速并止步站立



b 未注视来车不减速

图3 过街行人行为示例图
Fig.3 Example diagrams for behaviors of pedestrians across the street



a 减速或停车让行



b 不停止加速前行

图4 右转车辆行为示例图
Fig.4 Example diagrams for behaviors of right-turning vehicles

表 1 过街行人和右转车辆的行为方式
Tab.1 Behavior patterns of pedestrians crossing the street and right-turning vehicles

序号	过街行人	右转车辆
1	目光注视来车并减速	由停止缓速启动前行
2	目光注视来车减速并止步站立	不停止缓速前行
3	目光注视来车并从车前绕过	减速或停车让行
4	目光注视来车不减速	从行人前加速绕过
5	一直站立在斑马线前	不停止加速前行
6	摆手示意并快速通过	
7	目光注视来车并从车前加速通过	
8	未注视来车不减速	
9	目光注视来车摆手并加速从车前绕过	

2 结果与分析

研究者通过统计右转车辆与过街行人发生交互

时, 不同因素(性别、年龄、同行人数及红绿灯状态)下过街行人、右转车辆各自不同的行为方式和数量, 探究不同因素下二者各自的行为方式是否具有显著差异性, 进而确定影响右转车辆与过街行人交互过程的因素。由于是对分类变量进行显著性检验, 故将统计得到的数据转化为比率后使用卡方检验的方法进行分析, 若得到结果为过街行人、右转车辆各自的行为方式在某一因素下均具有显著性差异, 即认为该因素影响右转车辆与过街行人的交互过程。

2.1 基本统计量

本研究通过对视频进行提取、整理, 共采集到 1 020 个有效数据, 其中枣园路口 308 个, 成府路口 712 个。

2.1.1 不同因素下过街行人的行为统计

在两个路口右转车辆与过街行人发生交互时, 对不同性别、年龄、同行人数及红绿灯状态下过街行人不同的行为方式和数量进行统计, 如表 2 所示。

表 2 不同因素下过街行人的行为统计
Tab.2 Behavior statistics of pedestrians crossing the street under different factors

过街行人行为	目光注视来车并减速	目光注视来车减速并止步站立	目光注视来车并从车前绕过	目光注视来车不减速	一直站立在斑马线前	摆手示意并快速通过	目光注视来车并从车前加速通过	未注视来车不减速	目光注视来车摆手并加速从车前绕过	
性别	枣园路 男	14(9.3%)	10(6.7%)	13(8.7%)	48(32.0%)	13(8.7%)	14(9.3%)	12(8.0%)	8(5.3%)	18(12.0%)
	枣园路 女	15(9.5%)	15(9.5%)	11(7.0%)	57(36.1%)	18(11.4%)	9(5.7%)	8(5.1%)	13(8.2%)	12(7.6%)
	成府路 男	115(28.4%)	61(15.1%)	9(2.2%)	77(19.0%)	69(17.0%)	5(1.2%)	10(2.5%)	54(13.3%)	5(1.2%)
	成府路 女	91(29.6%)	50(16.3%)	10(3.3%)	52(16.9%)	48(15.6%)	3(1.0%)	10(3.3%)	36(11.7%)	7(2.3%)
年龄	枣园路 未成年	8(9.3%)	4(4.7%)	10(11.6%)	25(29.1%)	13(15.1%)	8(9.3%)	3(3.5%)	5(5.8%)	10(11.6%)
	枣园路 成年	14(9.5%)	16(10.8%)	5(3.4%)	57(38.5%)	6(4.1%)	9(6.1%)	11(7.4%)	11(7.4%)	19(12.8%)
	枣园路 老年	7(9.5%)	5(6.8%)	9(12.2%)	23(31.1%)	12(16.2%)	6(8.1%)	6(8.1%)	5(6.8%)	1(1.4%)
	成府路 未成年	52(38.5%)	15(11.1%)	2(1.5%)	20(14.8%)	17(12.6%)	2(1.5%)	6(4.4%)	16(11.9%)	5(3.7%)
同行人数	成府路 成年	136(30.0%)	75(16.5%)	12(2.6%)	79(17.4%)	78(17.2%)	5(1.1%)	9(2.0%)	54(11.9%)	6(1.3%)
	成府路 老年	18(14.6%)	21(17.1%)	5(4.1%)	30(24.4%)	22(17.9%)	1(0.8%)	5(4.1%)	20(16.3%)	1(0.8%)
	枣园路 3人以下	19(18.8%)	11(10.9%)	12(11.9%)	13(12.9%)	11(10.9%)	9(8.9%)	7(6.9%)	9(8.9%)	10(9.9%)
	枣园路 4~7人	6(4.8%)	8(6.4%)	7(5.6%)	57(45.6%)	15(12.0%)	8(6.4%)	6(4.8%)	6(4.8%)	12(9.6%)
红绿灯状态	枣园路 8人以上	4(4.9%)	6(7.3%)	5(6.1%)	35(42.7%)	5(6.1%)	6(7.3%)	7(8.5%)	6(7.3%)	8(9.8%)
	成府路 3人以下	79(33.5%)	36(15.3%)	6(2.5%)	32(13.6%)	34(14.4%)	1(0.4%)	6(2.5%)	37(15.7%)	5(2.1%)
	成府路 4~7人	88(25.5%)	58(16.8%)	11(3.2%)	54(15.7%)	62(18.0%)	6(1.7%)	12(3.5%)	49(14.2%)	5(1.4%)
	成府路 8人以上	39(29.8%)	17(13.0%)	2(1.5%)	38(29.0%)	21(16.0%)	1(0.8%)	2(1.5%)	9(6.9%)	2(1.5%)
枣园路	枣园路 绿灯	17(8.7%)	15(7.7%)	11(5.6%)	77(39.3%)	19(9.7%)	15(7.7%)	7(3.6%)	17(8.7%)	18(9.2%)
	枣园路 红灯	12(10.7%)	10(8.9%)	13(11.6%)	28(25.0%)	12(10.7%)	8(7.1%)	13(11.6%)	4(3.6%)	5(10.7%)
	成府路 绿灯	123(29.3%)	56(13.3%)	17(4.0%)	69(16.4%)	57(13.6%)	5(1.2%)	15(3.6%)	70(16.7%)	8(1.9%)
	成府路 红灯	83(27.5%)	55(18.2%)	2(0.7%)	60(19.9%)	60(19.9%)	3(1.0%)	5(1.7%)	30(9.9%)	4(1.3%)

不同性别下,过街行人的行为统计显示,在交通量相对较小的枣园路口,无论男性还是女性,行人选择最多的行为都是目光注视来车不减速,数量分别为48个(32.0%)和57个(36.1%)。在交通量相对较大的成府路口,无论男性还是女性,行人选择最多的行为都是目光注视并减速,数量分别为115个(28.4%)和91个(29.6%)。这两个路口出现的不同结果可能是交通量不同导致的,在交通量较大的成府路口,通过注视车辆可以知道车辆的行进方向、速度等,可以更好地做出行为决策。

不同年龄下,过街行人的行为统计结果显示,在交通量相对较小的枣园路口,未成年人、成年人和老年人选择最多的行为都是目光注视来车不减速,数量分别为25个(29.1%)、57个(38.5%)和23个(31.1%),这可能是由于交通量较小导致车流间隙较大,从而使行人对自身过街能力有一定的自信。在交通量相对较大的成府路口,未成年人、成年人选择最多的行为是目光注视来车不减速,数量分别为52个(38.5%)、136个(30.0%),老年人选择最多的行为是目光注视来车并减速,数量为30个(24.4%),这可能是由于老年人行动缓慢,需要观察车辆与自身的距离,从而判断是否有充足的时间穿行过街。

不同同行人数下,过街行人的行为统计结果显示,在交通量相对较小的枣园路口,同行人数在3人以下时,行人选择最多的行为是目光注视来车并减

速,数量为19个(18.8%);同行人数在4~7人和8人以上时,行人选择最多的行为是目光注视来车不减速,数量分别为57个(45.6%)和35个(42.7%)。说明同行人数在3人以下时,行人更愿意选择目光注视来车并减速的行为;同行人数在4人以上时,行人更愿意采取目光注视来车不减速的行为,这可能是与过街行人具有从众心理有关。在交通量相对较大的成府路口,同行人数在3人以下、4~7人和8人以上时,行人选择最多的行为都是目光注视来车并减速,数量分别为79个(33.5%)、88个(25.5%)和39个(29.8%),这可能是由于交通量较大,过街行人需要多次观察右转弯车辆动态,以寻找合适的过街时机。

不同红绿灯状态下,过街行人的行为统计结果显示,在交通量相对较小的枣园路口,绿灯或红灯状态下,行人选择最多的行为都是目光注视来车不减速,数量分别为77个(39.3%)和28个(25.0%)。在交通量相对较大的成府路口,绿灯或红灯状态下,行人选择最多的行为都是目光注视来车并减速,数量分别为123个(29.3%)和83个(27.5%)。导致此结果的原因可能与两个路口交通量大小有关。

2.1.2 不同因素下右转车辆的行为统计

在两个路口右转车辆与过街行人发生交互时,对不同性别、年龄、同行人数及红绿灯状态下过右转弯车辆不同的行为方式和数量进行统计,如表3所示。

表3 不同因素下右转车辆的行为统计
Tab.3 Behavior statistics of right-turning vehicles under different factors

右转车辆行为		由停止缓速启动前行	不停止缓速前行	减速或停车让行	从行人前加速绕过	不停止加速前行	
性别	枣园路	男	5(3.3%)	38(25.3%)	84(56.0%)	15(10.0%)	8(5.3%)
		女	7(4.4%)	42(26.6%)	74(46.8%)	29(18.4%)	6(3.8%)
	成府路	男	16(4.0%)	214(52.8%)	135(33.3%)	21(5.2%)	19(4.7%)
		女	11(3.6%)	162(52.8%)	113(36.8%)	7(2.3%)	14(4.5%)
年龄	枣园路	未成年	2(1.9%)	24(22.2%)	63(58.3%)	14(13.0%)	5(4.6%)
		成年	5(5.3%)	41(43.6%)	30(31.9%)	11(11.7%)	7(7.4%)
		老年	5(4.7%)	15(14.2%)	65(61.3%)	19(17.9%)	2(1.9%)
	成府路	未成年	5(6.6%)	48(63.2%)	13(17.1%)	5(6.6%)	5(6.6%)
		成年	20(4.0%)	252(50.8%)	187(37.7%)	15(3.0%)	22(4.4%)
		老年	2(1.4%)	76(54.3%)	48(34.3%)	8(5.7%)	6(4.3%)
同行人数	枣园路	3人以下	6(3.9%)	65(41.9%)	58(37.4%)	19(12.3%)	7(4.5%)
		4~7人	5(4.9%)	9(8.8%)	65(63.7%)	17(16.7%)	6(5.9%)
		8人以上	1(2.0%)	6(11.8%)	35(68.6%)	8(15.7%)	1(2.0%)
	成府路	3人以下	9(2.8%)	155(48.4%)	121(37.8%)	13(4.1%)	22(6.9%)
		4~7人	10(3.8%)	141(54.2%)	91(35.0%)	9(3.5%)	9(3.5%)
		8人以上	8(6.1%)	80(60.6%)	36(27.3%)	6(4.5%)	2(1.5%)
红绿灯状态	枣园路	绿灯	6(3.0%)	58(29.3%)	99(50.0%)	21(10.6%)	14(7.1%)
		红灯	6(5.3%)	22(19.5%)	59(52.2%)	7(6.2%)	19(16.8%)
	成府路	绿灯	22(5.0%)	214(48.3%)	164(37.0%)	18(4.1%)	25(5.6%)
		红灯	5(1.9%)	162(60.2%)	84(31.2%)	10(3.7%)	8(3.0%)

不同性别下, 右转车辆的行为统计结果显示, 在交通量相对较小的枣园路口, 无论过街行人为男性还是女性, 右转车辆选择最多的行为都是减速或停车让行, 数量分别为 84 个 (56.0%) 和 74 个 (46.8%)。在交通量相对较大的成府路口, 无论过街行人为男性还是女性, 右转车辆选择最多的行为都是不停止缓速前行, 数量分别为 214 个 (52.8%) 和 162 个 (52.8%)。这可能是由于成府路口交通流量较大, 机动车辆一旦停车让行, 等待时间将会很久。

不同年龄下, 右转车辆的行为统计结果显示, 在交通量相对较小的枣园路口, 过街行人为未成年人时, 右转车辆选择最多的行为是减速或停车让行, 数量为 62 个 (58.3%); 过街行人为成年人时, 右转车辆选择最多的行为是不停止缓速前行, 数量为 41 个 (43.6%); 过街行人为老年人时, 右转车辆选择最多的行为是减速或停车让行, 数量为 65 个 (61.3%), 这可能是由于未成年人或老年人交通法律意识淡薄, 发生交通事故的概率较高, 因此机动车辆选择减速或停车让行。在交通量相对较大的成府路口, 过街行人为未成年人、成年人和老年人时, 右转车辆选择最多的行为都是不停止缓速前行, 数量分别为 48 个 (63.2%)、252 个 (50.8%) 和 76 个 (54.3%)。这或许是由于机动车辆驾驶员认为缓速前行可以在行人强行穿越过街时有足够的时间采取制动措施。

不同同行人数下, 右转车辆的行为统计结果显示, 在交通量相对较小的枣园路口, 过街行人的同行人数在 3 人以下时, 右转车辆选择最多的行为是不停止缓速前行, 数量为 65 个 (41.9%); 过街行人的同行人数为 4~7 人和 8 人以上时, 右转车辆选择最多的行为是减速或停车让行, 数量分别为 65 个 (63.7%) 和 35 个 (68.6%)。在交通量相对较大的成府路口, 在过街行人同行人数为 3 人以下、4~7 人和 8 人以上时, 右转车辆更多地选择不停止缓速前行, 数量分别为 155 个 (48.4%)、141 个 (54.2%) 和 80 个 (60.6%)。两个路口出现不同结果的原因可能是由于交通量大时, 右转车辆若不选择跟随前车行进, 可能出现停车等待时间过久的现象。

不同红绿灯状态下, 右转车辆的行为统计结果显示, 在交通量相对较小的枣园路口, 无论红绿灯状态为红灯还是绿灯, 右转车辆选择更多的都是减速或停车让行, 数量分别为 99 个 (50.0%) 和 59 个 (52.2%)。在交通量相对较大的成府路口, 无论红绿灯状态为红灯还是绿灯, 右转车辆选择更多的也都是减速或停车让行, 数量分别为 214 个 (48.3%) 和 162 个 (60.2%)。两路口研究结果相似, 这可能与驾驶员性格谨慎或驾驶习惯有关。

2.2 卡方检验

本研究中数据的录入与分析均采用软件 SPSS20.0 中的交叉表对数据进行卡方检验, 以判断在性别、年

龄、同行人数及红绿灯状态 4 种指标下, 过街行人和右转车辆的行为是否具有显著的差异性, 从而确定影响右转车辆与过街行人交互过程的因素。卡方检验的结果如表 4 所示。

表 4 卡方检验
Tab.4 Chi square test

路口	变量	$P(\chi^2)$	
		行人的行为	车辆的行为
枣园路	性别	0.553(6.853)	0.222(5.703)
	年龄	0.011(31.693)	0.000(34.322)
	同行人数	0.000(43.612)	0.000(45.422)
	红绿灯状态	0.035(16.596)	0.019(11.729)
成府路	性别	0.894(3.565)	0.352(4.422)
	年龄	0.013(31.114)	0.022(17.935)
	同行人数	0.029(28.262)	0.048(15.659)
	红绿灯状态	0.002(24.526)	0.011(12.999)

不同性别下, 过街行人行为的卡方检验结果显示, 枣园路 $P=0.553>0.05$, 成府路 $P=0.894>0.05$, 说明在右转车辆、行人过街二者交互过程中, 过街行人的行为在性别上不存在显著的差异性; 从不同性别下右转车辆行为的卡方检验结果中得出, 枣园路 $P=0.222>0.05$, 成府路 $P=0.352>0.05$, 说明在两个路口右转车辆、行人过街二者交互的过程中, 右转车辆的行为在不同性别中不存在显著的差异性。因此可以认为, 性别不会影响右转车辆、行人过街二者的交互过程。

不同年龄下, 过街行人行为的卡方检验结果显示, 枣园路 $P=0.011<0.05$, 成府路 $P=0.013<0.05$, 说明在右转车辆、行人过街二者交互的过程中, 过街行人的行为在年龄上存在显著的差异性。从不同性别下右转车辆行为的卡方检验结果中得出, 枣园路 $P=0.000<0.05$, 成府路 $P=0.022<0.05$, 其中枣园路的 P 值数值过小, 并非等于零。说明在两个路口右转车辆、行人过街二者交互的过程中, 右转车辆的行为在不同年龄中存在显著的差异性。因此可以认为, 年龄会影响右转车辆、行人过街二者的交互过程。

不同同行人数下, 过街行人行为的卡方检验结果显示, 枣园路 $P=0.000<0.05$, 成府路 $P=0.029<0.05$, 其中枣园路的 P 值数值过小, 并非等于零。说明在两个路口右转车辆、行人过街二者交互的过程中, 过街行人的行为在不同同行人数下存在显著的差异性, 即行人会根据不同的同行人数采取不同的行为方式。从不同同行人数下右转车辆行为的卡方检验结果中得出, 枣园路 $P=0.000<0.05$, 成府路 $P=0.048<0.05$, 其中枣园路的 P 值数值过小, 并非等于零。说明在两个路口右转车辆、行人过街二者交互的过程中, 右转车辆的行为在不同同行人数下存在显著的差异性。因此可以认为, 同行人数会影响右转车辆、行人过街二者

的交互过程。

不同红绿灯状态下,过街行人行为的卡方检验结果显示,枣园路 $P=0.035<0.05$,成府路 $P=0.002<0.05$,说明在两个路口右转车辆、行人过街二者交互的过程中,过街行人的行为在不同红绿灯状态下存在显著的差异性,即行人会根据不同的红绿灯状态采取不同的行为方式。从不同红绿灯状态下右转车辆行为的卡方检验结果中得出,枣园路 $P=0.019<0.05$,成府路 $P=0.011<0.05$,说明在两个路口右转车辆、行人过街二者交互的过程中,车辆的行为在不同红绿灯状态下存在显著的差异。因此可以认为,红绿灯状态会影响右转车辆、行人过街二者的交互过程。

3 讨论

不同性别、年龄、同行人数和红绿灯状态下,通过对右转车辆的行为统计发现,选择不停止缓速前行和减速或停车让行的车辆相对较多。这与张晓玮^[15]对右转车辆行为的研究结果一致,无论行人信号灯为绿灯时是否有行人过街,车辆在右转过程中都会因为复杂的交通情况及道路线形产生的变化而减速。

不同年龄下,过街行人的行为统计结果显示,在交通量相对较大的成府路口,未成年人、成年人选择最多的行为是目光注视来车不减速,老年人选择最多的行为是目光注视来车并减速。这是因为老年人的身体机能较差,行动相对较慢,在过街时通常会选择安全的方式^[16]。而由于枣园路口交通量相对较小,过街行人不存在穿越时间上的紧迫感,因此无论哪个年龄段大多都选择目光注视来车不减速。右转车辆的行为统计结果显示,在交通量相对较小的枣园路口,过街行人为未成年人时,右转车辆选择最多的行为是减速或停车让行;过街行人为成年人时,右转车辆选择最多的行为是不停止缓速前行;过街行人为老年人时,右转车辆选择最多的行为是减速或停车让行。未成年人的步速随机性较大,老年人步速较慢,因此驾驶员往往会出现减速或避让行为^[4]。而在交通量较大的成府路口,无论是哪个年龄段的过街行人,右转车辆选择最多的行为都是不停止缓速前行,以达到跟随前车通过路口的目的。因此,对于交通流量较大的路口而言,过街行人和右转车辆的冲突会相对较多,老年群体由于生理机能的下降导致产生更为谨慎的心理,从而存在路口等待过久的现象。未来可以通过在交通路口设置面部或特征捕捉摄像头识别老年群体,设置文字或图片标识来提示右转车辆停车礼让,以提升老年人通行效率。

不同同行人数下,过街行人的行为统计结果显示,在交通量相对较小的枣园路口,同行人数在3人以下时,行人更愿意选择目光注视来车并减速的行为;同行人数在4人以上时,行人更愿意采取目光注视来车不减速的行为,这与群体心理或从众心理有很

大关系。当过街人数较多时,一旦人群中出现率先抢行者,其他行人往往会选择跟从。在交通量相对较大的成府路口,无论同行人数多少时,行人选择最多的行为都是目光注视来车并减速,这与车流量过大时,行人本着安全原则,大多会采取避让行为,寻找安全间隙,保持与右转机动车之间的安全空间有关^[17]。右转车辆的行为统计结果显示,在交通量相对较小的枣园路口,同行人数为3人以下时,右转车辆更多选择不停止缓速前行;同行人数为4~7人时,选择减速或车停让行的车辆占大多数。当过街行人数量较多时,会得到驾驶员的重视;相反,过街行人数量较少时,驾驶员往往认为自身占据优势,易出现抢行行为,逼迫过街行人避让车辆^[8]。在交通量相对较大的成府路口,无论过街行人同行人数多少,右转车辆更多选择不停止缓速前行。司机给过街行人让路的次数更多的是集体行为,而不是个人行为^[18],由于交通量大,驾驶员在此路口更多是选择集体不让行行为。因此,对于交通流量较大的路口而言,过街行人和右转车辆的冲突相对较多,过街行人数量庞大会导致右转车辆一旦停下就要等待很长时间。因此,未来可以根据路口不同的交通流量,对行人同行人数进行分组,利用监测系统判定先行一方。例如,当交通流量较小时,若行人同行人数小于4人,则让右转车辆先行,反之则让行人先行,以此提高交通路口整体的通行效率。

不同红绿灯状态下,卡方检验的结果表明,红绿灯状态会影响过街行人与右转车辆的交互过程。这与已有研究中的结果相似,红灯期间右转车速度变化较为平缓,绿灯期间右转车速度有明显变化^[19]。究其原因,过街行人会在某些情况下与右转车辆进行“抢绿灯”行为^[3],以达到在绿灯时穿越过街的目的。因此,有必要对二者的通行顺序及时间进行合理的动态规划,例如,当交通灯为红灯时,若行人流量过大,则可以将右转车辆方的交通灯变为红灯,或适当延长行人绿灯通行时间,在降低冲突数量的同时缓解了交叉口通行压力,并且降低了双方的时间成本。

此外,由于我国无人驾驶技术逐渐成熟,无人驾驶车辆在交通路口右转时也会与过街行人进行交互,但本着安全原则会停车让行。如果行人具备优先通行心理,可能会导致无人驾驶车辆在交通路口停车时间过长,从而造成交通拥堵。因此,本研究对过街行人的行为研究可以为今后无人驾驶右转车辆识别过街行人过街特征并采取不同决策提供重要参考。

4 结论

本研究通过细化右转车辆与过街行人在交互过程中的行为方式,得到了影响城市交通路口右转车辆与过街行人交互过程的因素,结果表明:性别对右转车辆与过街行人交互无显著影响;年龄、同行人数及红绿灯状态对右转车辆与过街行人交互有显著影响。

针对上述情况,提出以下建议:1)设置文字或图片标识来提示右转车辆停车礼让老年群体。2)根据路口交通流量及行人不同同行人数,对过街行人和右转车辆的通行顺序进行动态规划。3)根据行人流量,对右转车辆方的交通灯状态及时间进行动态规划。

通过研究过街行人与右转车辆的交互方式,为提升二者在交通路口的交互效率、缓解冲突提供参考,同时也为今后无人驾驶右转车辆与过街行人的交互提供参考。

参考文献:

- [1] 李硕,夏文慧,李洁,等.考虑与过街行人冲突的道路右转机动车延误研究[J].中外公路,2021,41(2):344-348.
LI Shuo, XIA Wen-hui, LI Jie, et al. Study on the Delay of Turning Right on the Road Considering the Conflict with Pedestrians Crossing the Street[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2021, 41(2): 344-348.
- [2] 刘星,罗佳.基于故障树分析的城市道路平面交叉口事故成因研究[J].浙江交通职业技术学院学报,2015,16(2):1-4.
LIU Xing, LUO Jia. Fault Tree Analysis for City Road Intersection Accidents[J]. Journal of Zhejiang Institute of Communications, 2015, 16(2): 1-4.
- [3] 段坚堤,龙科军,李磊.无信号控制路段过街横道处行人过街行为[J].系统工程,2013,31(4):116-121.
DUAN Jian-di, LONG Ke-jun, LI Lei. Pedestrian Behavior on Un-Signalized Mid-Block Pedestrian Crosswalk[J]. Systems Engineering, 2013, 31(4): 116-121.
- [4] BERNHOFT I M, Carstensen G. Preferences and Behaviour of Pedestrians and Cyclists by Age and Gender[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2008, 11(2): 83-95.
- [5] KNOBLAUCH R L, PIETRUCHA M T, NITZBURG M. Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-up Time[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1996, 1538(1): 27-38.
- [6] 郑艳,陈希为,柴娟.重庆市道路信号交叉口行人交通特性研究[J].公路与汽运,2010(1):46-50.
ZHENG Yan, CHEN Xi-wei, CHAI Juan. Study on Pedestrian Traffic Characteristics at Road Signalized Intersections in Chongqing[J]. Highways & Automotive Applications, 2010(1): 46-50.
- [7] 潘汉中,陈鹏,马静洁.信号交叉口行人违章过街从众心理研究[J].交通标准化,2010(23):150-156.
PAN Han-zhong, CHEN Peng, MA Jing-jie. Pedestrians' Group Psychology about Violating Traffic Laws to Cross Road at Signalized Crossing[J]. Transport Standardization, 2010(23): 150-156.
- [8] 钱田梓.道路交叉口行人不安全行为影响因素研究[D].北京:北京交通大学,2015.
QIAN Tian-zi. Study on Influencing Factors of Pedestrian Unsafe Behavior at Road Intersection[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015.
- [9] 王杰.信号交叉口的从众违规行为及影响因素分析[D].北京:北京交通大学,2017.
WANG Jie. Analysis of Conformity Violation at Signalized Intersections and Its Influencing Factors[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [10] 李玲,雷先华,胡湘艳.受右转车辆影响的过街行人交通安全研究[J].智库时代,2019,179(11):232,260.
LI Ling, LEI Xian-hua, HU Xiang-yan. Study on Pedestrian Traffic Safety Affected by Right Turning Vehicles[J]. Think Tank Era, 2019, 179(11): 232, 260.
- [11] 周勇,方守恩,杨晓芳.右转车与慢行交通冲突的调查研究[J].交通与运输,2009(S1):75-77.
ZHOU Yong, FANG Shou-en, YANG Xiao-fang. Study on Traffic Conflict between Right-Turn Vehicle and Non-Motorized Traffic[J]. Traffic & Transportation, 2009(S1): 75-77.
- [12] 苏岳龙,魏铮,程思瀚,等.信号交叉口右转机动车与行人和非机动车冲突研究[J].公路交通科技,2008,25(12):157-161.
SU Yue-long, WEI Zheng, CHENG Si-han, et al. Research of Conflict between Right-Turn Vehicles and Pedestrians or Bicyclists at Signalized Intersection[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(12): 157-161.
- [13] 李玲.平面信控交叉口右转车辆与过街行人交通冲突研究[D].长沙:湖南大学,2015.
LI Ling. Study on Traffic Conflict between Right-Turn Vehicles and Pedestrians crossing the Street at Signalized Intersection[D]. Changsha: Hunan University, 2015.
- [14] 李啟荣.信号控制道路交叉口右转车流延误研究[J].科学技术与工程,2009,9(22):6736-6740.
LI Qi-rong. Study of Right-Turn Traffic Delays on Signal Control Intersection[J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(22): 6736-6740.
- [15] 张晓玮.信号控制交叉口行人与右转车辆的冲突研究[D].成都:西南交通大学,2016.
ZHANG Xiao-wei. Study on the Conflict between Pedestrians and Right-Turning Vehicles at Signalized Intersections[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [16] 王玉全,刘凯华.城市道路行人过街交通特性分析[J].交通科技与经济,2017,19(6):43-46.
WANG Yu-quan, LIU Kai-hua. Analysis of Pedestrian Crossing Traffic Characteristics on Urban Roads[J].
- [17] 王玉全,刘凯华.城市道路行人过街交通特性分析[J].交通科技与经济,2017,19(6):43-46.
WANG Yu-quan, LIU Kai-hua. Analysis Ontraffic Characteristics of Pedestrian Crossing on Urban Roads[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2017, 19(6): 43-46.
- [18] HAMED M M. Analysis of Pedestrians' Behavior at Pedestrian Crossings[J]. Safety Science, 2001, 38(1): 63-82.
- [19] 刘晓晨.信号交叉口右转机动车与行人冲突分析及优化研究[D].长春:吉林大学,2017.
LIU Xiao-chen. Analysis and Optimization of the Conflict Between Right-turn Motor Vehicles and Pedestrians at Signalized Intersections[D]. Changchun: Jilin University, 2017.