

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.02.009

路侧停车区域非机动车冲突概率分布

慈玉生¹, 吴丽娜^{2,3}, 李潇逸¹, 刘志士¹

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨; 2. 东北林业大学 交通学院, 150080 哈尔滨;

3. 黑龙江工程学院 汽车与交通工程学院, 150050 哈尔滨)

摘要: 为揭示路侧停车对非机动车骑行行为的影响机理, 结合现场调查数据开展了路侧停车区域非机动车与机动车之间严重性冲突判别、非机动车避险行为及严重性冲突概率分布模型研究。提出以非完全制动距离作为非机动车严重性冲突判别指标, 获得研究路段非机动车严重性冲突及避险行为数据, 得出减速是最主要的避险方式; 构建了非机动车严重性冲突的泊松概率分布模型, 提出了以正态分布为基础的骑行安全性判定模型及临界值计算标准, 并以调查路段进行了安全性评估。

关键词: 路侧停车; 非机动车; 避险行为; 交通冲突

中图分类号: U491.3

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2015)02-0046-04

Traffic conflict probability distribution for non-motor vehicles at curb parking area

CI Yusheng¹, WU Lina^{2,3}, LI Xiaoyi¹, LIU Zhishi¹

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;

2. College of Traffic, Northeast Forestry University, 150080 Harbin, China; 3. College of Automobile and

Traffic Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, 150050 Harbin, China)

Abstract: To bring insight into the non-motor vehicle's riding behavior mechanism influenced by curb parking, judgment criterion of serious traffic conflict between non-motor vehicle and vehicle (STCNV), non-motor vehicle's averting danger behaviors and the probability distribution model of the STCNV were put forward and studied based on the survey data on scene. Firstly, non-complete braking distance was presented as the judgment index of the STCNV; the data of traffic conflicts and non-motor vehicle's averting danger behaviors was collected at the curb parking area; and the deceleration behavior was concluded as the main averting danger behavior. Then, the Poisson probability distribution model of the STCNV was constructed; the safety judgment model for non-motor vehicle's riding and its critical value calculation standard was proposed on the bias of the Normal distribution, and the safety evaluation was implemented for the survey sections.

Keywords: curb parking; non-motor vehicle; averting danger behavior; traffic conflict

路侧停车严重挤压了非机动车出行空间, 机动车驶入行为、驶出行为及开门行为等对非机动车骑行构成了巨大威胁。本文通过实地调查获取部分非机动车骑行行为及相关数据, 分析得到非机动车避险行为, 从而构建路侧停车区域非机动车冲突概率分布模型。

国内外关于路侧停车区域非机动车骑行行为

研究处于探索阶段, 如 Box 等^[1]首先研究了路侧停车对于交通流和交通安全影响; 陈峻等^[2-3]将无机非硬性隔离城市次要道路作为研究对象, 建立了有无设置路侧停车带的机动车与自行车车速与车流饱和度之间的关系模型; 以非机动车集群通行和压缩特性为基础, 提出了描述机动车辆停过程影响条件下的非机动车流减速-跟驰和停车的压缩系数计算方法, 建立了非机动车压缩交通波模型; Sener 等^[4-5]收集了美国德州 6 400 例自行车路径选择相关数据, 研究表明骑行者特性、路侧停车、自行车设施类型、道路特性及交通流特性等对自行车路径选择具有明显影响; 郭宏伟

收稿日期: 2014-07-30.

基金项目: 黑龙江省教育厅项目(12541650).

作者简介: 慈玉生(1980—), 男, 博士, 副教授.

通信作者: 慈玉生, ciyusheng1999@126.com.

等^[6]为了衡量路侧停车对非机动车交通行为的影响,提出有效流量概念,并引用寿命分析法对非机动车流量数据和越线行为进行模拟建模;Van Der Horst 等^[7]利用视频记录分析了荷兰非机动车专用道上的非机动车行为、交通冲突等;文献[8-10]探讨了路侧停车、慢行交通行为及安全评价方面的工作.总体来说,当前研究以机动车的运行和安全为研究重心,忽略了交通中的“弱

表 1 路侧停车区域非机动车骑行行为调查情况

编号	调查时间		调查路段	断面形式	停车形式
1	2014-03-20—2014-03-23	07:00—09:00	宽城桥	两块板	平行式
2	2014-03-24—2014-03-28	16:00—18:00	景阳街	一块板	平行式
3	2014-04-05—2014-04-08	07:00—09:00	解放路	一块板	平行式
4	2014-03-30—2014-04-02	07:00—09:00	长江路	三块板	平行式+垂直式

2 非机动车冲突严重性判别与分析

路侧停车区域非机动车与机动车冲突严重性程度的判别是非机冲突规律中的重要内容,同样也是以交通冲突为基础的非机动车骑行安全性评估的关键问题之一.

2.1 非机动车冲突严重性界定指标选取

如何科学合理地界定路侧停车区域非机动车严重性冲突主要取决于影响因素的确定.实际情况是影响因素纷繁复杂,如骑行者心理生理状态、骑行者骑行技能、路侧停车状态等.参考相关非机动车行驶理论与方法,可将路侧停车区域非机动车的制动过程划分为以下几个部分:

- 1)制动停车全过程,指非机动车骑行者从感知到危险信号至制动停车的过程,其停车过程前期车辆运动状态无变化、主要为反应时间.
- 2)完全制动停车过程,指非机动车骑行者开始按下(踏下)制动手柄(踏板)至完全停车,整个过程前期车辆运动状态无变化、其制动力逐渐增加.
- 3)非完全制动停车过程,指非机动车的车辆制动器衬片开始压紧至完全停车,其停车过程前期车辆运动状态可见明显变化.

研究认为,在非机动车运动状态处于制动生效的瞬间获得的交通冲突对交通安全具有重要影响.因此,本文选取以非完全制动距离和非完全制动时间作为冲突判定指标;由于距离更有直观性和易获取性,所以本文用非完全制动距离作为判别指标.

2.2 非机动车冲突严重性判别

上文已将非完全制动距离作为严重冲突的界定指标,下面关键问题就是如何得到路侧停车区域非机动车的非完全制动距离.

者”——非机动车,因此本文将着重研究路侧停车对自行车和电动自行车的骑行干扰情况.

1 数据获取

结合人工观测法和摄像法,笔者于 2014 年 3 月 20 日—2014 年 4 月 8 日高峰时段对哈尔滨市 4 条路侧停车路段进行数据检测工作,得到路侧停车区域非机动车骑行行为的现场数据,列于表 1.

调查可知,路侧停车对非机动车平均运行速度影响甚微,自行车直行平均速度约为 14 km/h,电动车直行平均速度约为 20 km/h;利用 $S_T = 0.007\ 87v^2$ 和 $S_T = 0.009\ 84v^2$ 公式可分别得到相应的非完全制动距离,分别为 1.54 m 和 3.94 m, 本文将其作为相应的临界距离.所以,如果非机动车在采取避险行为时的冲突距离小于相对应的临界距离,则可界定该冲突为严重性冲突,其他冲突则属于非严重性冲突.

2.3 非机动车冲突数据分析

参照以上标准对调查路段的视频数据进行分析,对比每辆非机动车调查区域调查时段冲突距离与临界距离的大小关系,得到相应的冲突数据并进行分类,数据见表 2.

表 2 调查路段非机动车严重冲突次数统计

调查路段	冲突类型	第一日	第二日	第三日	第四日
宽城桥	追尾冲突	113	105	106	95
景阳街	追尾冲突	124	103	113	97
解放路	追尾冲突	130	152	132	114
	正向冲突	53	42	48	67
长江路	追尾冲突	50	31	54	46
	横穿冲突	22	15	17	29
	小计	125	88	119	142

分析可知,四条路段严重性冲突为 1 858 次,其中以追尾冲突为主、占总数 84.2%.数据同时表明,道路断面形式及路侧停车形式对非机动车冲突影响较为明显.

3 非机动车避险行为分析

当非机动车与路侧停驶车辆间发生冲突时,非机动车一方往往会采取相应的避险行为措施.本文

开展的 4 条街道高峰时段非机动车避险行为调查中,非机动车采取避险行为总量为 189 次,且避险行为以转向+减速、减速、转向等为主.调查路段高峰时段非机动车采用的避险行为数据见表 3.

表 3 调查路段非机动车避险行为统计 次

调查路段	停车	减速	转向	加速	转向+停车	转向+减速
宽城桥	1	15	6	1	3	21
景阳街	0	11	12	1	5	24
解放路	2	13	6	0	1	27
长江路	0	10	5	2	3	20
合计	3	49	29	4	12	92

从表 3 可知,调查路段中减速和转向是非机动车采用的主要避险方式;而停车、加速避险只在很少情况下发生.数据同时表明,非机动车会较多地将转向和其他避险行为结合起来,例如转向+减速、转向+停车等.分析认为,之所以采取减速、转向等主要避险行为与非机动车自然属性和行驶特性有关,其具有较高的灵活性且不具备急剧加速等性能.

4 非机动车严重性冲突概率分布模型

4.1 非机动车严重性冲突概率分布模型

非机动车严重性冲突概率分布归结为离散型随机分布并可用离散型概率分布来展开研究.已有研究表明,交叉口机动车交通冲突等可用泊松分布进行分析.因此,本文以单个停车路段进行非机动车严重性冲突分布规律研究.

假设某一路段停车区域,在指定的时空范围内发生非机动车严重性冲突的次数是 X .因建模需要,将此路段均分为 n 段,同时需保证在规定时段内不会发生两次及以上的非机动车严重性冲突的发生,即

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{概念为 } p; \\ 0, & \text{概率为 } 1 - p. \end{cases} \quad (1 \leq i \leq n) \quad (1)$$

式中: X_i 为均分的第 i 段上发生的严重性交通冲突情况.

当 $X_i = 1$ 时,即为第 i 段出现了一次非机动车严重性冲突且其概率为 p ;当 $X_i = 0$ 时,即为第 i 段未出现非机动车严重性冲突且其概率为 $1 - p$.因此,路侧停车区域非机动车严重性冲突服从 $(0 - 1)$ 分布,分布律为

$$P\{X = x\} = p^x(1 - p)^{1-x}, x = 0, 1 (0 < p < 1) \quad (2)$$

因此,在分析时空范围内发生的非机动车严重性冲突次数为

$$X = \sum_{i=1}^n X_i. \quad (3)$$

由于 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 独立同分布,且 $X_i \sim B(1, p)$,那么在指定时间内该路段发生的非机动

车严重性冲突次数之和服从 $B(n, p)$,即

$$P\{X = x\} = C_n^x p^x q^{n-x}, x = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

当二项分布的 $n \gg 10, p \leq 0.1$ 时,就可以用泊松分布作为二项分布的近似,而在本文停车路段测得样本量 n 很大, p 很小,正好符合该规律.

即当 $0 < p \leq 0.1$, 且 $n \gg 10$ 时,

$$P\{X = x\} = P\{x/\lambda\} = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \quad (5)$$

一般而言,二项分布采用 n 及 p 两参数来表征;泊松分布通常采用参数 $\lambda = np$ 来刻画, λ 是指规定时空范围内理论上发生的非机动车严重性冲突数.事实表明,由于道路属性、路侧停车及骑行者等不同特性造成各停车路段 λ 值不尽相同;而针对同一路侧停车区段,正常的道路交通条件下可以认为其值处于较为稳定的范围.据此,认为 λ 值可以表征路侧停车路段非机动车骑行安全水平,即 λ 值越大说明更容易发生非机动车严重性冲突,非机动车骑行愈加不安全.

4.2 非机动车骑行安全性判定模型

路侧停车区域非机动车严重性冲突概率分布模型的建立是非机动车骑行安全性判定模型构建的前提条件和基础.研究表明,路侧停车区域非机动车冲突及其严重程度反映了非机动车骑行交通安全状况及骑行者的安全感知情况.

路侧停车区域非机动车严重性冲突数服从泊松分布,因此可以利用上式计算得到非机动车严重性冲突数值出现的概率.在分析时空范围内,参考极大似然估计认为 λ 近似等于 X 的均值,而 X 则来自于长期观测数据.同时,在分析确定路侧停车区域非机动车骑行安全水平时,需要找出“临界值”作为分析标准.据此,本文在对单个路侧停车区域开展非机动车骑行安全水平判定时,需引入非机动车严重性冲突概率分布的 α 分位点,也即选取合理的分位点的冲突值 ξ 作为相应的判定标准,此 ξ 值即为“临界冲突值”.

因此,当某一路侧停车区域计算的非机动车严重性冲突值 λ 大于临界冲突值 ξ 的概率大于显著水平 α 时,则表明该路段非机动车骑行安全水平低,即

$$P\{m > \xi/\lambda\} = \sum_{\xi} \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!} > \alpha. \quad (6)$$

可见,判定目标路段非机动车骑行安全水平的过程主要为求解非机动车严重性冲突为 λ 在显著水平 α 下的临界冲突值的过程.根据中心极限定理可知,路侧停车区域非机动车严重性冲突数 X 可以表示为任意 n 个独立随机变量的和且其服

从渐进正态分布.通常情况下,路侧停车区域非机动车严重性冲突数 X 值较大,依据 DE Moive - Laplace 定理,随机变量 z 为

$$Z = \frac{X - np}{\sqrt{np(1 - p)}} \approx \frac{X - \lambda}{\sqrt{\lambda(1 - p)}}, \quad (7)$$

可认为 Z 服从标准正态分布 $N(0,1)$,由于 p 足够小,故随机变量 Z 可表示为

$$Z \approx \frac{X - \lambda}{\sqrt{\lambda}}. \quad (8)$$

基于以上求解,非机动车严重性冲突临界值 ξ 为

$$\xi = X \approx \lambda + Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\lambda}. \quad (9)$$

因此,本文选择正态分布函数的 90%分位值 $Z_{0.05} = 1.65$ 带入式(9),也即为观测到的路侧停车区域非机动车严重性冲突值小于 ξ 的概率为 90%,如果某时段观测的非机动车严重性冲突数大于该临界值,即可认为在该路段骑行的非机动车安全水平差,应该对该路段进行相应措施的改进.

4.3 调查路段非机动车骑行安全性评价

以宽城桥路侧停车区域调查数据为例开展非机动车骑行安全性评价.根据极大似然估计理论可以近似以 4d 高峰时段的非机动车严重性冲突数据调查平均值作为期望冲突值 ($\lambda = 105$ 次).根据式(9),取置信度为 90%, $Z_{0.05} = 1.65$,临界值为 122 次.分析可知,宽城桥调查时段非机动车严重性冲突观测数值中无冲突数超过此临界值,认为非机动车在此路段骑行比较安全.

同理,在景阳街的非机动车骑行安全性较好,而在解放路和长江路的调查数据中都有部分严重性冲突观测值大于相应的临界值,因此该两处的非机动车骑行安全水平差,该路段在安全方面需要改善.根据以上计算结果,将调查路段非机动车严重性冲突均值和临界值标准列于表 4.

表 4 调查路段非机动车严重冲突标准 次							
调查路段	冲突类型	第一日	第二日	第三日	第四日	均值	临界值
宽城桥	追尾冲突	113	105	106	95	105	122
景阳街	追尾冲突	124	103	113	97	109	126
解放路	追尾冲突	130	152	132	114	132	151
	正向冲突	53	42	48	67		
长江路	追尾冲突	50	31	54	46	119	137
	横穿冲突	22	15	17	29		
	合计	125	88	119	142		

注:由于宽城桥、景阳街、解放路路段都是平行式停车,根据平行式停车路段车辆前进式停车和前进式离车,追尾冲突是其主要形式;而长江路是垂直式和并行式停车路段,垂直式停车路段车辆可以前进式(后退式)停车和后退式(前进式)离车,其存在正向冲突、追尾冲突和横穿冲突等多种形式.

5 结 语

结合哈尔滨市 4 条路侧停车区域非机动车骑

行行为调研数据,开展了路侧停车区域非机动车冲突严重性判别、避险行为及严重性冲突概率分布模型研究.研究提出了以非完全制动距离作为非机动车严重性冲突判别标准,建立了严重性冲突的泊松分布模型、骑行安全性判定模型及临界值计算标准并对调查路段进行了案例分析.

研究结果可用于路侧停车、非机动车道规划、设计及安全性评价等.但由于本文调研规模及数据量局限,在后续研究中继续补充数据、加强路侧停车形式、实际机动车停放状况及交通流状况等对非机动车骑行干扰的相关研究.

参考文献

[1] BOX P C, LEVINSON H S. Curb-parking problems: overview [J]. Journal of Transportation Engineering - ASCE, 2004, 130(1): 1-5.

[2] 陈峻, 王伟, 梅振宇. 路边停车带设置对混合车流速度影响分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2005, 5(5): 34-36.

[3] 陈峻, 王紫. 考虑路边停车带影响的非机动车压缩交通波模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2013, 45(6): 114-118.

[4] SENER I N, ELURU N, BHAT C R. An analysis of bicycle route choice preferences in Texas, US [J]. Transportation, 2009, 36(5): 511-539.

[5] TORRANCE K, SENER I N, MACHEMEHL R, et al. The effects of on-street parking on cyclist route choice and the operational behavior of cyclists and motorists [R]. FHWA/TX, 2009.

[6] 郭宏伟, 高自友, 赵小梅, 等. 路内停车对非机动车交通行为影响研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(1): 79-84.

[7] VAN DER HORST A R A, DE GOEDE M, DE HAIR-BUIJSSEN S, et al. Traffic conflicts on bicycle paths: a systematic observation of behaviour from video [J]. Accident Analysis and Prevention, 2014, 62: 358-368.

[8] 裴玉龙, 慈玉生. 大城市停车规划设计若干问题探讨[J]. 道路交通与安全, 2005, 5(4): 9-12.

[9] FENG Shumin, DING Ning, CI Yusheng. Behavior of pedestrians compressing vehicle lanes at intersections [C]//Proceedings of the 6th Advanced Forum on Transportation of China.Beijing:[s.n.], 2010: 13-18.

[10] WANG Yonggang, CHEN Kuanmin, CI Yusheng, et al. Safety performance audit for roadside and median barriers using freeway crash records: case study in Jiangxi, China [J]. Scientia Iranica, 2011, 18(6): 1222-1230.

(编辑 赵丽莹)