

Analysis on Injury of Cyclist on Vehicle-cycle Accident based on Logistic regression

Lin Hu^{1,2}, Jing Wan^{1,2}, Qiang Chen³, Huiqin Chen⁴

¹School of Automotive and Mechanical Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China;

²Hunan Province Key Laboratory of Safety Design and Reliability Technology for Engineering Vehicle, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China;

³China Automotive Technology and Research Center, Tianjin 300162, China

⁴Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, 310018, China

Email: hulin888@sohu.com, 335057835@qq.com

Abstract: By taking the cycle-vehicle crash accidents on Yinzhou District Ningbo in 2011-2015 from China In-depth Accident Study (CIDAS) as sample cases, The statistical distribution of road segment type, weather condition, lighting condition, time, speed, gender, age and personnel injury was obtained. Logistic regression model was used to study the correlation between individual variables and dependent variables. The results showed that the accident types, weather types, lighting conditions, gender, age of cyclists and speed were significantly correlated with the dependent variables. The damage severity model was established by the interaction of the factors, male*day, male*cross section, male*age and speed*age were obtained. The results show that the accident road section type, accident weather, gender of cyclists and speed are important factors that influence the severity of human body injury. The probability of serious injury or death of a man's two-wheel bicycle rider is 2.85 times; The risk of casualty is high at the intersection, which one of the other road sections is 1.14 times, and the risk of casualty is 3.31 times higher for men than for women; In sunny, the casualty risk of accident in Ningbo area is lower, its probability is only 14.2% in fog weather.

Keywords: cycle-vehicle crash accidents; logistic regression model; CIDAS; accident characteristic; interaction; casualty risk

基于 Logistic 回归汽车-两轮车事故中骑车人损伤影响分析

胡林^{1,2}, 万靖^{1,2}, 陈强³, 陈慧勤⁴

¹长沙理工大学, 汽车与机械工程学院, 长沙, 410114;

²长沙理工大学, 工程车辆安全性设计与可靠性技术湖南省重点实验室, 长沙, 410114;

³中国汽车技术研究中心, 天津, 300162

⁴杭州电子科技大学, 杭州, 310018

Email: hulin888@sohu.com, 335057835@qq.com

摘要: 以中国交通事故深入研究 (CIDAS) 数据库中采录的宁波市鄞州区 2011-2015 年汽车-两轮车交通事故为数据样本, 对事故形态特征进行统计分析, 得出道路路段类型、天气条件、照明条件、事故时间、碰撞速度、两轮车骑车人性别、年龄与人员损伤程度等特征参数的统计分布。通过二元 Logistic 回归分析方法, 以各个影响参数为自变量, 人体损伤为因变量建立基础 Logistic 回归模型, 研究各自变量与因变量之间的相关性, 得到事故道路路段类型、事故天气、照明条件、两轮车骑车人性别、年龄以及速度与因变量均显著相关。再结合各因素的交互作用建立损伤严重程度模型, 得到男性*白天、男性*交叉路段、男性*年龄以及速度*年龄这四个交互作用组对两轮车骑车人损伤程度有显著影响。结果表明: 事故道路路段类型、事故天气、两轮车骑车人性别以及速度是影响人体损伤严重程度的重要因素, 男性两轮车骑车人受重伤或死亡的概率是女性骑车人的 2.85 倍; 在交叉路口发生汽车-两轮车事故

的伤亡风险较高,是发生在其他路段的 1.14 倍,而且男性的伤亡风险较大,约为女性的 3.31 倍;而晴天时,在宁波地区发生事故的伤亡风险却较低,其概率只为阴/雾天气的 14.2%。

关键词: 汽车-两轮车事故; Logistic 回归模型; CIDAS; 事故特征; 交互作用; 伤亡风险

1 引言

据统计,世界各地每年有 180000 名电动自行车驾驶者死于交通事故,且大多数发生在发展中国家^[1]。而在我国电动自行车的产量也逐年上升,据工业和信息化部公布的 2014 年自行车制造业经济运行情况显示,当年电动自行车生产量达 2904 万辆^[2]。中国统计年鉴的数据显示 2014 年全年发生交通事故 196812 起,非机动车交通事故发生 14175 起,其中自行车交通事故发生数 1393 起,电动自行车交通事故发生 12782 起,占非机动车交通事故发生数的 90%。发生交通事故死亡人数总计有 58523 人,非机动车交通事故死亡人数为 2311 人,其中自行车交通事故死亡人数为 289 人,电动自行车交通事故死亡人数为 2022 人,占非机动车交通事故死亡人数的 87%。近年来,我国道路交通事故四项指数逐年下降,但是,涉及两轮车的事故却呈现出微幅上升趋势。据统计,2013 年两轮车驾乘人员在交通事故中死亡 9 047 人,受伤 38 370 人;2014 年两轮车驾乘人员在交通事故中死亡 9 333 人,受伤 39 168 人。其中,汽车与两轮车发生碰撞的事故占有较大比例,为两轮车事故中的主要事故形态^[1-2]。如此高的事故数和死亡人数使得进行汽车-两轮车事故研究显得尤其重要。由于国外与国内的交通环境存在较大的差异,国外研究的两轮车主要为摩托车和自行车,而没有国内现在普遍使用的电动两轮车,然而电动两轮车同自行车或者摩托车无论在外形和交通特性上都有相似性,故可以参考国外对自行车和摩托车的研究。文献^[3-4]中 Allen^[3]和 Wolf^[4]等人系统的分析了两轮车交通事故中的伤亡情况,并且利用回归分析方法进行事故成因分析。Mette^[5]等人研究分析了丹麦 16、17 岁年轻人驾驶助动车事故的成因,旨在通过提高驾驶意识和增强预防设施来保障年轻驾驶员的安全。Robartes^[6]等人分析了影响自行车事故严重度的一些事故特征,得到影响较大的影响因素,并通过有序逻辑回归加以验证。Vanparijs^[7]等人通过调查问卷和保险公司得相关部门采集到的数据对比利时弗兰德地区的青少年中自行车事故特征进行分析,并对对比分析了不同部门采集的自行车事故之间的差异性。近年来,我国在针对两轮车事故及驾乘人员的保护研究也在逐步增多,文献^[8]中袁泉等对汽车与自行车碰撞事故和汽车与行人碰撞事故案例进行了统计分析。该研究表明:汽车对自行车碰撞事故和汽车对行人碰撞事故在发生规律具有一些相似的同时又各自具有不同的特点。文献^[9-10]基于正交实验和逻辑回归对汽车-两轮车碰撞事故再现的参数影响研究;文献^[11]中在交通流行病学方面,顾雯雯等人在对浙江省城区电动自行车道路交通伤害危险因素分析后发现,男性占受伤病例中 47.06%,女性占 52.94%;而且年龄以 30~60 岁组居多;职业以工人与农民为主。文献中在体型方面病例男性平均身高 167.28cm,平均体重为 67.40kg,女性平均身高为 161.37cm,平均体重为 56.19kg。并且指出文化程度和道路类型是电动自行车道路交通伤害的危险因素。文献^[12-13]结合 logistic 回归模型分析了道路环境及事故形态特征对高速交通事故严重度的影响。文献^[14]采用事故分析与计算机仿真相结合的方法,深度分析了 IVAC 数据库中的 224 例汽车-两轮车交通事故案例,为道路弱势群体的安全防护提供指导作用。

近年来,我国针对两轮车交通事故的研究越来越多,但很少有研究基于深入调查汽车-两轮车事故中两轮车汽车人的损伤严重性分析。而且,由于我国城市混合交通的道路环境、两轮车类别与其他国家的差异,国外的研究成果并不完全适合我国的实际情况。

本文以中国交通事故深入研究 China In-Depth Accident Study(CIDAS) 2011-2015 年在浙江宁波地区采集到的 267 起汽车-两轮车交通事故数据为原始样本,对案例进行事故形态特征分析,运用 logistic 回归分析方法,构建伤亡风险模型,探析和量化相关因素对损伤具体影响程度,为改善和增强两轮车骑乘人员的保护措施提供一定的参考意义。

项目资助信息:国家自然科学基金(51475048);湖南省教育厅重点项目(17A004);工程车辆安全性设计与可靠性技术湖南省重点实验室开放基金(KF1609)资助。

2 数据来源与分析方法

2.1 数据来源

本文中的原始数据来源于中国汽车技术研究中心下的“中国交通事故深入研究(CIDAS)”数据库中宁波市鄞州区的汽车-两轮车事故。取样标准如下

(1) 事故时间为 2011.09-2015.12; (2) 事故汽车限定为乘用车, 不包含客车、货车、牵引车及农用车辆和特种车辆; (3) 事故两轮车限定为摩托车、电动车、自行车这三类; (4) 事故只涉及一辆汽车和一辆两轮车; (5) 事故涉及人员损伤类型为 AIS 1+; (6) 事故车辆碰撞速度可估算。最终, 选择符合取样标准的汽车-两轮车事故 267 例。

2.2 事故环境统计分析

利用描述统计学对事故数据信息进行整体的统计分析, 对事故碰撞环境的道路路段类型、天气条件、照明条件、事故时间等事故环境因素进行统计分布, 以使研究人员更直观的理解事故的整体分布。国内外对事故碰撞环境因素对事故的影响进行了一定的分析, 例如: 在波兰地区人行横道发生事故人员死亡的概率高于其他路段 (Piotr Olszewski et al, 2017), 白天汽车-两轮车事故占总事故量的 81%, 而晚上的两轮车事故的伤亡风险为 25%, 为白天的 4.17 倍 (QiangChen et al, 2014), 雨天时的汽车-两轮车事故中轻伤的概率增加了 0.0797 (Erin Robartes et al, 2017)。

2.2.1 事故时间

图 1 及图 2 显示了汽车-两轮车发生事故的时间分布情况。图 1 为事故案例月份分布情况, 每年的 4-11 月是宁波地区汽车-两轮车的交通事故高发期。图 2 为事故案例 24 小时分布状况显示, 在 10-21 点这个时段发生此类交通事故较多, 而在凌晨 0-5 点发生事故较少。一天 24 小时中此类交通事故发生的波动与人们日常生活规律符合。



Figure 1. Month distribution of accident cases
图 1 事故案例月份分布

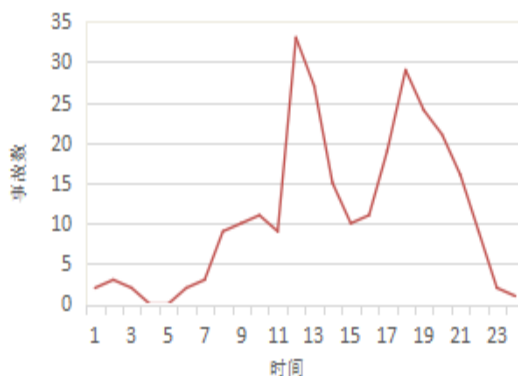


Figure 2. Time distribution of accident cases

图 2 事故案例 24 小时分布

2.2.2 天气

表 1 是不同天气状况下汽车-两轮车交通事故分布。由表可知，宁波地区的两轮车事故主要发生在晴天，约占事故总量的 73.79%，其次为雨天，约占 13.48%，再是阴/雾天，约占 11.99%，雪天此类交通事故发生最少，只约占 0.74%。

Table 1. Accident distribution under different weather conditions
表 1 不同天气状况下事故分布

天气状况	事故数	百分比
晴	186	69.66%
雨	39	14.61%
阴/雾	42	15.73%

2.2.3 道路路段类型

图 3 为不同道路路段类型的事故分布图。结果显示，在十字路口和 T 字路口发生的交通事故较多，分别约占 39%和 31%，其次是普通路段，约占 21%。十字路口机非混合交通方式复杂，是两轮车横穿马路的高发地段，两轮车司机违规抢道闯红灯现象较为严重，故而十字路口事故率最高。而在 T 字路口大多发生的是转弯事故，转弯时视线容易受到影响，加上车辆转弯时速度过快而容易引发交通事故。

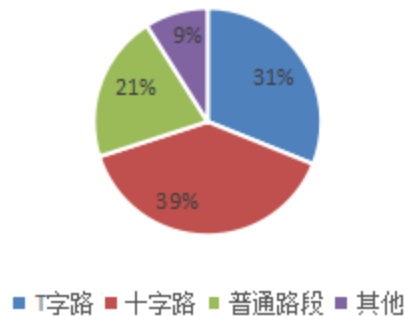


Figure 3. Accident distribution under different road type
图 3 不同道路路段类型的事故分布

2.2.4 照明条件

表 3 为不同照明条件下事故分布情况。白天发生的汽车-两轮车事故约占 67.04%，发生在夜间有路灯照明的事故约占 25.09%，而在夜间无路灯照明情况下发生事故约占 7.87%。

Table 2. Accident distribution under different lighting conditions
表 2 不同照明条件时事故分布

照明条件	事故数	百分比
白天	179	67.04%

夜间有路灯照明	67	25.09%
夜间无路灯照明	21	7.87%

2.3 人员损伤分析

本文主要统计了两轮车骑车人的年龄、性别以及碰撞车速与人员损伤的分布情况，年轻的两轮车骑车人死亡风险较高：年龄 25 岁以下的占 31.5%，25 岁-34 岁的占 25.9%，35 岁-54 岁的两轮车骑车人占 35.4%，54 岁以上占比为 7.3%（Asbjørng S. Christophersen et al, 2015）。男性两轮车骑车人相对于女性来说受伤的几率要小（Lindsey L. Wolf et al, 2017），随着速度的增长，损伤严重度随着也增加，重伤和死亡风险的边界效应值分别为 0.003 和 0.001（Younshik Chung et al, 2014），通过以上人员的研究发现这些因素对两轮车骑车人的伤亡影响比较大，因此对这三个因素进行两轮车骑车人损伤统计分布。

2.3.1 年龄与损伤严重度

图 4 为两轮车骑车人年龄分布情况，从图中可以看出：20-49 岁这个年龄段的青壮年属于两轮车事故的高发群体，约占事故总量的 71.91%。60 岁以上的老年人和 20 岁以下的青少年发生两轮车事故的较少，分别约占 8.61% 和 3%。

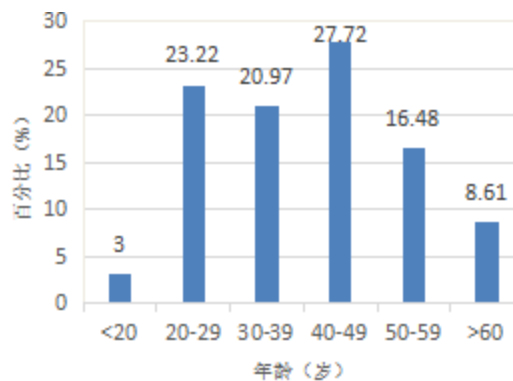


Figure 4. Age distribution of cyclists
图 4 两轮车骑车人年龄分布

表 4 为两轮车骑车人年龄与损伤严重度分布状况，从表中可以看出：60 岁以上的老年人在交通事故中的死亡率明显要高于其他年龄段人员，20-59 岁的青壮年受重伤的最多，约占总人数的 46.07%，其中 40-49 岁这个年龄层受重伤的最多，约为总人数的 19.85%。

Table 4. Age and injury severity distribution of cyclists

表 4 两轮车骑车人年龄与损伤严重度分布

年龄	人数 (百分比)	AIS	人数 (百分比)
<20	8 (3%)	1	3 (37.5%)
		2	1 (12.5%)
		3+	4 (50%)
20—59	236 (88.39%)	1	53 (22.46%)
		2	41 (17.37%)
		3+	142 (60.17%)

>60	23 (8.61%)	1	2 (8.7%)
		2	8 (34.78%)
		3+	13 (56.52%)

2.3.2 性别与损伤严重程度

表 5 为两轮车骑车人性别与损伤严重程度分布状况，由表可以得出：在汽车-两轮车交通事故中骑车人受伤的男女比例约为 1.8:1，而伤亡等级 AIS3+的事故中，男性两轮车骑车人约为女性的 2.7 倍。

Table 5. Sex and injury severity distribution of cyclists
表 5 两轮车骑车人性别与损伤严重程度分布

性别	人数 (百分比)	AIS	人数 (百分比)
男	173 (64.79%)	1	25 (14.45%)
		2	11 (6.36%)
		3+	137 (79.19%)
女	94 (35.21%)	1	18 (19.15%)
		2	25 (26.60%)
		3+	51 (54.25%)

2.3.3 速度与损伤严重程度

表 6 为汽车-两轮车交通事故中速度与损伤严重程度分析状况，从表中可发现，随着速度的增加两轮车骑车人的死亡率越来越高，事故集中发生在 40-70km/h 之间，大约占总事故的 65%，而速度在 40-50 时发生的交通事故最多，有 53 起。

Table 6. Speed and injury severity distribution of cyclists
表 6 速度与损伤严重程度分布

速度	AIS 1		AIS 2		AIS 3+	
	人数	百分比	人数	百分比	人数	百分比
<20	18	23.08%	3	4.62%	3	2.42%
20-29	17	21.79%	5	7.69%	5	4.03%
30-39	22	28.21%	12	18.46%	8	6.45%
40-49	12	15.38%	21	32.31%	20	16.13%
50-59	5	6.41%	9	13.85%	26	20.97%
60-69	3	3.85%	10	15.38%	25	20.16%
70-79	1	1.28%	5	7.69%	20	16.13%
>80	0	0	0	0	17	13.71%
总计	78	29.22%	65	24.34%	124	46.44%

2.4 分析方法

回归分析是研究一个或多个自变量与一个因变量之间是否存在某种线性关系或非线性关系的一种统计学分析方法，其中应用最广的是多元线性回归分析法，主要是因为该方法影响因素选择不受限制、计算简单，但该

方法要求因变量为连续性随机变量。而 Logistic 回归模型为概率型非线性回归模型，是研究分类观察结果（因变量）与影响因素（自变量）之间关系的一种多变量分析方法。Logistic 回归要求因变量为分类变量（两个分类或多个分类），当因变量为两个分类时称为二元 Logistic 回归模型[18]，其数学理论模型为

$$P_{fn} = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}} = \frac{1}{1 + e^{-g(x)}} \quad (1)$$

式中 P_{fn} 表示 n 个两轮车骑车人的伤亡概率， $g(x)$ 为 n 个两轮车骑车人的功能函数。这个函数可以表达为 K 个独立变量和系数间的线性组合：

$$g(x_n) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n \quad (2)$$

式中 x_n 为自变量， $n=1,2,3,4,\dots$ ； α ， β_n 为回归系数，一般利用最大似然法求取 $n=1,2,3,4,\dots$ 。

2.4.1 基础模型

二元逻辑回归模型用于估算两轮车骑车人遭到汽车撞击而导致伤亡的概率。本文中两轮车骑车人损伤等级达到 AIS 3+ 时，独立变量值设为 1，损伤等级为 AIS 1 和 AIS 2 时为 0，修正过的结果如表 7 所示。 $\chi^2 = 62.47$ ，自由度为 13，显著性水平为 5%（Sig<0.05），则表示该模型具有统计学意义。

逻辑回归模型可以用来计算在特定情况下的两轮车骑车人伤亡的优势比（Odds ratio, OR）。优势比的公式为：

$$OR(X_i) = \exp(\beta_i) \quad (3)$$

优势比（OR）的含义是：在其他自变量固定不变的情况下，某一自变量 X_i 改变一个单位，应变变量对应的优势比平均改变 $\exp(\beta_i)$ 。它被用来作为效益大小指标，度量自变量（事故特征参数）对应变量（损伤程度）优势影响程度的大小。

2.4.2 有交互作用影响的模型

交互作用是当影响行为的一因子与另一个因子共同起作用时，它们对该行为产生与各自单独作用时截然不同的影响。也就是说如果一个自变量对因变量的影响效应会因另一个自变量的水平不同而有所不同。二元逻辑回归的基础模型只考虑单个因素对因变量的影响，因此考虑交互作用来分析两个因素相乘对因变量的影响，具有交互作用的二元逻辑回归模型的功能函数 $g(X_n)$ 表达式如下所示：

$$g(x_n) = \beta_0 + \beta_1 x_{1n} + \cdots + \beta_k x_{kn} + \cdots + \beta_m X_{kn} X_{(K-1)n} \quad (4)$$

式中， K 表示独立变量的个数； m 表示变量个数和交互作用组个数的总和， $m = K(K+1)/2$ 。

3. 结果

3.1 基础模型结果

3.1.1 事故环境

如表 7 所示，事故环境参数对两轮车骑车人损伤影响显著的有道路路段类型、天气条件、照明条件这三个特征参数，他们的显著性水平均小于 0.05，其优势比代表在一定条件下损伤等级为 AIS 3+ 事故发生与没发生的比例。

道路路段类型中交叉路段的显著性水平 sig<0.001，说明交叉路段对两轮车骑车人损伤影响十分显著，交叉路段对比其他路段的优势比（OR）值为 1.135，说明在交叉路段发生事故对两轮车骑车人损伤影响更敏感。两轮车骑车人在晴天和雨天时对比阴/雾天的 OR 值分别为 0.142、0.311，说明在雨天发生两轮车事故时骑车人损伤风险是晴天时的 2.19 倍。对比黑夜无路灯照明条件下的两轮车骑车人在白天时发生事故的 OR 值是 1.821，而事故发生在夜间有路灯照明条件下的 OR 值是 2.072。

Table 7. Results of logistic regression-basic model.

表 7 基础模型逻辑回归结果

影响参数	变量	β	S.E.	Wals	Sig.	Odds ratio
道路路段类型	其他路段					
	交叉路段	1.001	0.557	12.903	0.000	1.135
	普通路段	-1.813	0.587	9.543	0.002	0.163
天气条件	阴/雾					
	晴	-1.953	0.564	11.972	0.001	0.142
	雨	-1.168	0.645	3.282	0.07	0.311
照明条件	夜间无路灯照明					
	白天	1.715	0.771	4.950	0.021	1.821
	夜间有路灯照明	1.959	0.792	6.114	0.009	2.072
时间	冬天					
	春天	-0.305	0.656	0.216	0.642	0.737
	夏天	-0.582	0.66	0.777	0.378	0.559
	秋季	-0.17	0.645	0.069	0.792	0.844
性别	女					
	男	0.942	0.328	8.221	0.004	2.565
两轮车骑车人年龄	数值(年)	0.26	0.119	4.75	0.029	1.297
速度	数值(km/h)	0.45	0.087	26.471	0.000	1.568
	常量	0.6	0.826	6.528	0.015	

3.1.2 两轮车骑车人损伤

如表 7 所示, 两轮车骑车人的性别、年龄的显著性水平 (sig) 小于 0.05, 这表明两轮车骑车人的性别和年龄在该模型中存在统计学意义。当两轮车骑车人为男性时其 OR 估计值为 2.565, 而两轮车骑车人年龄对应的 OR 估计值为 1.297, 这说明随着年龄的增长, 两轮车骑车人发生重伤或死亡的概率随着在增加。相对于碰撞速度来说, 其 OR 估计值是 1.568, 也就是说, 随着速度增加两轮车骑车人的伤亡风险也随着增加。

3.2 有交互作用影响的模型结果

如表 8 所示, 表中的四个交互组是由自变量代入等式 2 后产生新的变量, 通过该方法产生一个个新变量, 再进一步的分析, 将显著性水平高于 5% 的不显著交互作用组剔除^[15], 四个交互作用组在基础模型中被发现。最终的模型包括四个交互作用组: 两轮车骑车人年龄*男性; 速度*两轮车骑车人年龄; 交叉路段*男性两轮车骑车人和白天*男性。这个模型与基础模型有着相同的统计学意义。

Table 8. Results of logistic regression with interaction effects

表 8 有交互作用影响的逻辑回归结果

影响参数	变量	β	S.E.	Wals	Sig.	Odds ratio
道路路段类型	其他路段					
	交叉路段	1.202	0.568	15.041	0.000	1.111
	普通路段	-2.013	0.598	11.334	0.001	0.134
照明条件	夜间无路灯照明					
	白天	1.670	0.712	4.950	0.026	1.837
	夜间有路灯照明	1.947	0.631	6.114	0.013	2.135
性别	女					
	男	1.049	1.878	8.788	0.003	2.854
两轮车骑车人年龄	数值(年)	0.691	0.238	8.433	0.004	1.996
速度	数值(km/h)	0.442	0.086	26.417	0.000	1.523
	白天*男	0.961	0.29	11.006	0.001	2.614
	男*交叉路段	1.197	0.579	5.876	0.019	3.311
	年龄*男	0.107	0.02	27.647	0.000	1.113
	年龄*速度	0.117	0.022	29.623	0.000	1.124
	常量	1.779	0.74	5.784	0.016	

如图 5 所示, 其表示道路路段类型和两轮车骑车人性别之间的交互作用, 以其他路段和女性两轮车骑车人作为参考的交互作用组。对于其他路段, 男性两轮车骑车人伤亡风险是女性两轮车骑车人的 2.85 倍, 这种交互作用导致男性两轮车骑车人在交叉路段中的 OR 估计值高达 3.31, 这表明男性两轮车骑车人在交叉路段中需承担更高的伤亡风险。

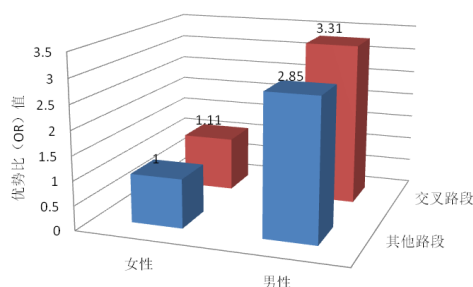


Figure 5. Odds ratios of fatal accident outcome by road type and cyclists gender

图 5 道路路段类型和两轮车骑车人性别的 OR 值

如图 6 所示，以女性和夜间无路灯照明为参考，显示照明条件和两轮车骑车人性别交互作用的优势比，女性两轮车骑车人在白天对应的 OR 估计值是 2.14，而男性在白天的 OR 估计值为 2.61；就男性两轮车骑车人来说，在夜间无路灯照明和白天分别对应的 OR 估计值为 2.85 和 2.61，也就是说男性在夜间无路灯照明情况下的伤亡风险要比在白天的，相比而言，其伤亡风险的概率高了 24%。

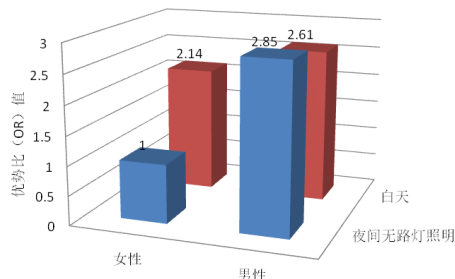


Figure 6. Odds ratios of fatal accident outcome by lighting and cyclists gender
图 6 照明条件和两轮车骑车人性别的 OR 值

对于连续变量，可以用逻辑回归方程（1）来计算各变量影响两轮车骑车人重伤或死亡的概率值，图 7 显示了 Pf 和两轮车骑车人年龄以及性别间的交互作用关系。性别的影响清晰可见，基础模型中男性的优势比为 1.3，然而，年龄和性别之间的交互作用显示高等年龄阶层的女性两轮车骑车人受重伤或死亡的可能性更高，80 岁两轮车骑车人的伤亡风险女性是男性的 1.7 倍，与 30 岁的男性受害者死亡风险相比，50 岁年龄组大约是其值的 4 倍，而对于 80 岁而言，其概率几乎是 50 岁年龄组的 4.7 倍。

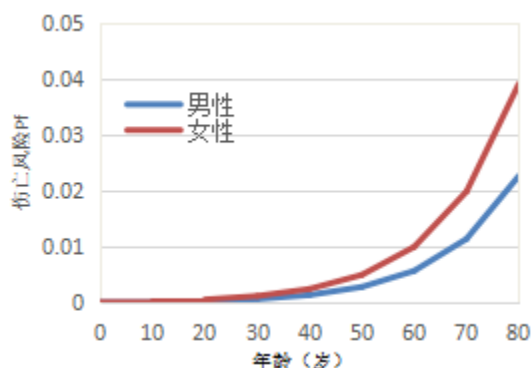


Figure 7. Model probability of cyclists casualty dependant on age and gender
图 7 两轮车骑车人年龄与性别交互作用下的伤亡风险

图 8 展示了伤亡风险 Pf 和三种不同年龄与速度之间的关系。尽管在速度范围内高龄两轮车骑车人相比于青年人的伤亡风险更高，但是青年两轮车骑车人的伤亡风险的增长速度更快。两轮车骑行速度每增加 10km/h，年龄为 20 岁的两轮车骑车人伤亡的概率增加 56%。速度每增加 10km/h 年龄在 45 岁两轮车骑车人伤亡的概率相应增加 34%和 70 岁的两轮车骑车人伤亡概率相应增加 13%。从图中可以看出速度范围在 40-70km/h 时，受害者的伤亡风险增长较快。

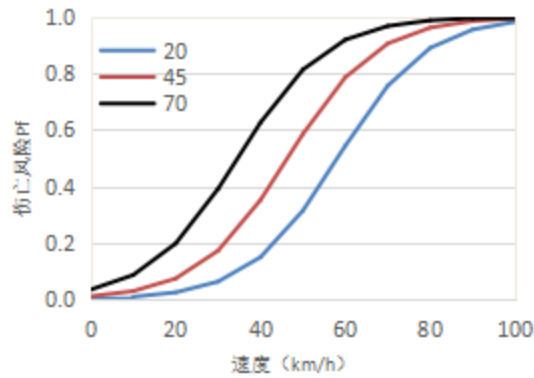


Figure 8. Model probability of cyclists casualty dependant on speed and age
图 8 两轮车骑车人速度与年龄交互作用下的伤亡风险

4.讨论

4.1 时间与天气

从本文的研究调查中可以看出汽车-两轮车事故主要发生在 4-11 月份，这主要是因为冬天天气寒冷，人们利用两轮车出行的较少，所以导致事故量有所下降；而事故发生的主要时间段为 11-14 点以及 17-19 点，这与人们的上下班时间密切相关，该时段为上下班和上学、放学时段，人流量大，出行率高，交通事故量因此也较多。

晴天发生的汽车-两轮车事故是雨天的 4.8 倍，这是因为雨天骑两轮车出现不便，路面交通中行驶两轮车较少造成的；而发生在雨天的交通事故的 OR 估计值是晴天时的 2.19 倍，Erin Robartes 的研究中也存在类似的结论：雨天时的汽车-两轮车事故中轻伤的概率增加了 0.0797^[6]。

4.2 路段类型与照明条件

与普通路段相比，交叉路段对应的 OR 估计值是其的 7 倍左右，这表明在交叉路段发生事故的伤亡风险远高于普通路段的；而对比其他路段来说，交叉路段发生事故的伤亡风险优势比其高约 14%。这主要也与我国复杂的混合城市交通路况有关，再加上交叉路段的视线障碍，两轮车闯红灯的现象导致交叉路段事故频发。

分类变量照明条件下，在黑夜有路灯照明条件下对应的优势比白天时增加了约 20%左右，这表明在黑夜有路灯照明的条件下两轮车骑车人的伤亡风险更高，Haque and Chin 等人的研究也有相似的结论：在晚间时段发生交通事故大大增加了摩托车驾驶员的死亡风险^[19]。

4.3 两轮车骑车人性别与年龄

相比女性，男性两轮车骑车人的 OR 估计值是 2.56，男性两轮车骑车人在交叉路口发生事故的伤亡风险比在其他路段增加了 50%左右，而男性在交叉路口的伤亡风险是女性的 3 倍，这主要是因为男性两轮车骑车人常常容易做出一些危险行为，如通过交叉路口时没有细心观察过往车辆、快速通过、容易闯红灯等等，这样会使得驾驶者的制动反应时间变得很短；加上男性驾驶员骑车速度较快，使得男性骑车人的伤亡风险增加。Hasan Mehdi Naqvi 等人的研究得出了相似结论：男性摩托车驾驶员的死亡风险高于女性驾驶员（OR=0.06）^[20]。然而两轮车骑车人年龄对应的 OR 估计值为 1.297，这说明两轮车骑车人年龄是危险因素，每随着年龄增长一岁，两轮车骑车人的伤亡风险增加约 30%，并且 50 岁以后两轮车骑车人的伤亡风险显著上升。

5.结论

本文通过对 CIDAS 数据库里宁波市鄞州区的 267 起汽车-两轮车碰撞事故样本数据进行统计分析，得到了城市路网中汽车-两轮车交通事故的形态特征的分布规律，通过二元逻辑回归建立两轮车骑车人员损伤程度与道路路段类型、天气条件、照明条件、时间、两轮车骑车人年龄和性别以及速度之间的相关性模型，得到以下统计规律。

从道路环境因素来看，两轮车事故主要发生在十字路口和 T 字路口等交叉路口，大约有 39% 的汽车-两轮车交通事故发生在十字路口，发生在 T 字路口的事故也约占 31%；在晴天发生汽车-两轮车交通事故的占比也较大。

从两轮车骑车人年龄来看, 两轮车骑车人年龄段为 40-49 岁时事故风险最高, 受重伤或死亡人数约为总人数的 26.97%。

通过逻辑回归模型来分析影响伤亡风险的因素, 基于独立变量的优势比计算了对伤亡风险影响较大的因素有道路路段和事故天气。在交叉路口发生汽车-两轮车事故的伤亡风险较高, 是发生在其他路段的 1.14 倍; 而晴天时, 在宁波地区发生事故的伤亡风险却较低, 其概率只为阴/雾天气的 14.2%。速度也是影响汽车-两轮车事故严重性的一个重要因素, 碰撞速度超过 40km/h 后, 两轮车骑车人伤亡的概率快速增加。伤亡风险也与两轮车骑车人性别显著相关: 男性骑车人受重伤或死亡的概率是女性的两倍多 (OR 估计值为 2.85)。

通过交互作用模型的分析结果可以看出男性两轮车骑车人在交叉路段发生交通事故的伤亡风险最大, 其对应的 OR 估计值是 3.31, 是女性在交叉路段的 3 倍。

上述研究结果表明, 汽车-两轮车交通事故中老年两轮车骑车人的伤亡风险更高, 但青壮年两轮车骑车人更容易发生事故。因此, 今后道路保护措施不仅仅针对老年人, 也应更加关注青年人, 更多的研究这些驾驶员的驾驶行为习惯, 分析驾驶员心理活动, 准确、详细的找出事故发生原因, 从而更好的提出减少事故发生的措施。

致谢 (Acknowledgement)

本文所有的研究数据来自中国交通事故深入研究(CIDAS)数据库。

参考文献 (References)

- [7] Qiang Chen, Yong Chen, Ola Bostrom, et al. A Comparison Study of Car-to-Pedestrian and Car-to-E-Bike Accidents: Data Source: The China In-Depth Accident Study (CIDAS). SAE Technical Paper 2014.
- [8] Ministry of Public Security. Statistical Annual Report on Road Traffic Accidents of the People's Republic of China(2013)[R]. Beijing: Ministry of Public Security Traffic Management Bureau, 2014.
公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报 (2013 年度) [R]. 北京: 公安部交通管理科学研究所, 2014.
- [9] T. Allen, S. Newstead, M.G. Lenné et al. Contributing factors to motorcycle injury crashes in Victoria, Australia[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2017, 45:157-168.
- [10] Lindsey L. Wolf, Ritam Chowdhury, Jefferson Tweed, et al. Factors Associated with Pediatric Mortality from Motor Vehicle Crashes in the United States: A State-Based Analysis[J]. The Journal of Pediatrics, 2017, 187:295-302.
- [11] Mette Møller, Sonja Hausteijn. Factors contributing to young moped rider accidents in Denmark[J]. Accident Analysis & Prevention, 2016, 87: 1-6.
- [12] Erin Robartes, T. Donna Chen. The effect of crash characteristics on cyclist injuries: An analysis of Virginia automobile-bicycle crash data[J]. Accident Analysis & Prevention, 2017, 104: 165-173.
- [13] Jef Vanparijs, Luc Int Panis, Romain Meeusen, et al. Characteristics of bicycle crashes in an adolescent population in Flanders (Belgium)[J]. Accident Analysis & Prevention, 2016, 97: 103-110.
- [14] YUAN Quan, LI Yi-bing. Review and Trend of the Technology of Vehicle Crash Reconstruction[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19(2):122-125.
袁泉, 李一兵. 车辆碰撞事故再现技术研究的现状与发展方向[J]. 公路与汽运, 2002, 19(2):122-125.
- [15] Hu Lin, Fang Shengyong, Chen Qiang. A Research on the Parameter Influences of the Accident Reconstruction for a Car-motorcycle Collision Based on Orthogonal Experiments[J]. Automotive Engineering, 2016, 38(5): 567-573.
胡林, 方胜勇, 陈强. 基于正交实验的汽车-两轮车碰撞事故再现的参数影响研究[J]. 汽车工程, 2016, 38(5):567-573.
- [16] Hu Lin, Fang Shengyong, Huang Jing, et al. In-depth Analysis on Cycle-Vehicle Crash Accident Based on Logistic Regression[J]. Automotive Engineering, 2016, (11):1288-1293.
胡林, 方胜勇, 黄晶, 等. 基于逻辑回归的二轮车-汽车碰撞事故深度分析[J]. 汽车工程, 2016, (11):1288-1293.
- [17] Wen-wen Gu, Li-ming CONG, Min YU et al. A Matched Case-Control Study on the Risk Factors of Electric Road Injury in the Urban Areas[J]. Zhejiang Preventive Medicine, 2011, 23 (4): 4-7.
顾雯雯, 丛黎明, 俞敏等. 电动自行车道路伤害危险因素的病例对照研究[J]. 浙江预防医学, 2011, 23 (4): 4-7.
- [18] Duan-feng CHU, Chao-zhong WU, Shun-xi LI et al. In-depth analysis of vehicle-vehicle crash on freeways based on Logistic regression[J]. China Safety Science Journal, 2014, 03: 103-108.
褚端峰, 吴超仲, 李顺喜, 等. 基于 Logistic 回归的高速公路车-车碰撞事故深度分析[J]. 中国安全科学学报, 2014, 03: 103-108.
- [19] Zhong-xiang FENG, Ye-wei LEI, Wei-hua ZHANG, et al. Analysis on Traffic Accident Severity Influenced by Road Environment on Circular Highway[J]. China Journal of Highway and Transport, 2016 (5): 0116-08.
冯忠祥, 雷叶维, 张卫华, 等. 道路环境对绕城高速公路交通事故严重程度影响分析[J]. 中国公路学报, 2016(5): 0116-08.
- [20] Xue-chao WANG. A Study on Car to Electric-Two-Wheeler Collisions and Riders' Dynamic Responses[D]. Changsha: Hunan University, 2013.
王薛超. 汽车-电动两轮车碰撞事故分析及骑车人动力学响应研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [21] Piotr Olszewski, Piotr Szagała, Maciej Wolanski. Pedestrian fatality risk in accidents at unsignalized zebra crosswalks in Poland[J]. Accident Analysis and Prevention. 2015, 84: 83-91.
- [22] Asbjørn S, Christophersen, Hallvard Gjerde. Prevalence of alcohol and drugs among motorcycle riders killed in road crashes in Norway during 2001-2010[J]. Accident Analysis and Prevention. 2015, 80: 236-242.
- [23] Younshik Chunga, Tai-Jin Songb, Byoung-Jo Yoonc. Injury severity in delivery-motorcycle to vehicle crashes in the Seoul metropolitan area[J]. Accident Analysis and Prevention. 2014, 62:79-86.
- [24] Ji-chuan WANG, Zhi-gang GUO. Logistic Regression Models-methods and Applications[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001.

- 王济川, 郭志刚. Logistic 回归模型-方法与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [25] Haque,M, Chin,H, Right-angle crash vulnerability of motorcycles at signalized intersections[J]. Transportation Research Procedia. 2010, 2194: 82-90.
- [26] Hasan Mehdi Naqvi, Geetam Tiwari, Factors Contributing to Motorcycle Fatal Crashes on National Highways in India[J]. Transportation Research Procedia. 2017, 25 : 2084-2097.