

## 基于视频的自行车事故特征及控制人致伤因素观察

吴良伟<sup>1,2</sup>, 邹铁方<sup>1,2</sup>, 刘阳阳<sup>1,2</sup>, 程宇峰<sup>1,2</sup>

(1. 长沙理工大学 汽车与机械工程学院, 长沙 410114;  
2. 湖南省工程车辆安全性设计与可靠性技术重点实验室, 长沙 410114)

**摘要:** 采用描述统计的方法对 184 例从网上免费下载的自行车事故视频进行统计分析, 探求事故特征及控制人致伤因素。发现自行车事故常发生在白天、晴朗、路面干燥、不需照明且驾驶员视野良好的十字路口; 85.4% 的碰撞车型为轿车和 SUV, 碰撞前 78.4% 的汽车和 85.9% 的自行车处于直行状态, 73.9% 的汽车采取了制动措施, 汽车碰撞车速集中在 5~45 km/h, 52.5% 的碰撞形态为侧面直角碰撞, 汽车和自行车的碰撞部位分别集中在前保险杠和自行车车身, 67.2% 的控制人第一落地部位为下肢, 控制人损伤程度为重伤+ 的比例为 36.0%。致伤因素方面, 高的车速、第一落地部位为头部、碰撞部位在前保险杠中部或右侧、事故前未采取应急措施及碰撞形态为侧面碰撞或碾压均会使控制人损伤更严重。低速下重伤+ 比例高与碾压事故发生概率高有关, 不同第一落地部位下损伤程度不同与碰撞车速有关, 不同碰撞部位下损伤程度不同与驾驶室的布置和碰撞形态有关。研究结果为国内相关法规的完善提供依据, 为后续仿真研究及人体损伤防护提供支持。

**关键词:** 自行车事故; 自行车控制人; 事故特征; 致伤因素; 视频

中图分类号: U491.3 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2021.06.01

## Observation on Characteristics of Bicycle Accidents and Injury Factors for Bicycle Riders Based on Video Recordings

WU Liangwei<sup>1,2</sup>, ZOU Tiefang<sup>1,2</sup>, LIU Yangyang<sup>1,2</sup>, CHENG Yufeng<sup>1,2</sup>

(1. Changsha University of Science & Technology, School of Automotive and Mechanical Engineering, Changsha 410114, China;  
2. Hunan Province Key Laboratory of Safety Design and Reliability Technology for Engineering Vehicle, Changsha 410114, China)

**Abstract:** The paper applies the descriptive statistical methods to analyze 184 videos of bicycle accidents freely downloaded from the Internet, and studies the accident characteristics and the factors causing the bicycle riders' injuries. The statistical results show that the accidents involving cyclists often occur on sunny days, on dry pavement surface and at the crossroads with good visual and lighting conditions. 85.4% of the involved vehicles are sedan and SUV, before the collision 78.4% of the cars and 85.9% of the bicycles were going straight, and 86.4% of the car drivers took braking actions. The vehicle speed was in a concentrated range of 5~45 km/h. 52.5% of the collision patterns are side right-angle collisions and mostly the vehicle strikes the bicycle body with its front bumper. After being hit, 67.2% of the bicycle riders landed lower limbs first onto the road and 36% of the riders were severely injured. The causes of more severe rider injuries include the high collision speed, landing head first, being hit by the middle or right side of the front bumper,

收稿日期: 2021-01-02 改稿日期: 2021-01-29

基金项目: 国家自然科学基金(51775056); 湖南省教育厅优秀青年项目(19B035); 长沙市重点研发计划(kq2004066)

参考文献引用格式:

吴良伟, 邹铁方, 刘阳阳, 等. 基于视频的自行车事故特征及控制人致伤因素观察[J]. 汽车工程学报, 2021, 11(6): 393-403.  
WU Liangwei, ZOU Tiefang, LIU Yangyang, et al. Observation on Characteristics of Bicycle Accidents and Injury- Factors for Bicycle Riders Based on Video Recordings [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2021, 11(6): 393-403. (in Chinese)



no emergency measures taken before the collision and the side impact or crushing. The high proportion of severe injuries at low speed is largely due to being crushed beneath the vehicle. The injury level is also related to the combination of different landing postures, collision speeds, collision patterns and the layout of the drivers' cab. The research results provide a basis for the improvement of the relevant domestic laws and regulations, and are useful for the future simulation research on human injury prevention.

**Keywords:** bicycle accident; bicycle controller; accident characteristics; injury factors; videos

随着共享经济的快速发展及现代社会对于绿色环保出行方式的推崇,自行车、电动自行车成为最常见的短途交通工具,有记者从 2019 年自行车产业大会上知悉,目前我国自行车社会保有量接近 4 亿辆,电动自行车近 3 亿辆,位居世界第一<sup>[1]</sup>。与此同时,我国汽车保有量也在持续增加,这导致汽车和自行车交通混合比例增大,无形中增加了汽车和自行车发生交通冲突的概率。国家统计局数据显示 2014 ~ 2018 年期间自行车事故数量从 1 393 起增加到了 1 840 起,增长比例达 32.1%<sup>[2]</sup>,表明自行车事故亟需重视。

为降低自行车事故发生率及财产损失,减轻人体损伤,在车-自行车事故方面已有部分国内外学者开展了广泛而又深刻的研究工作。在国外,MOORE 等<sup>[3]</sup>以美国俄亥俄州的自行车事故为基础,建立混合多项式逻辑回归模型,分析在交叉路口和非交叉路口事故中与骑车人损伤程度密切相关的因素。DOMINIK 等<sup>[4]</sup>对瑞士的电动自行车和自行车事故进行回顾性研究,揭示自行车类型及头盔的使用与颅脑损伤间的关系,发现电动自行车骑车人的颅脑损伤更严重、而使用头盔会减轻颅脑损伤。FYHRI 等<sup>[5]</sup>对挪威的自行车事故骑车人采用问卷调查的方法,研究了电动自行车、自行车事故风险上的性别差异,发现女性骑电动自行车的事故风险高于男性,而男性骑自行车的事故风险高于女性。LENARD 等<sup>[6]</sup>研究车-人、车-自行车碰撞前 3 s,车、人及自行车间的相对位置,发现碰撞前骑车人在距离上比行人更接近车辆前部,在角度上比行人更分散、分布范围更广,研究结果可为 AEB 系统的开发和相关测试场景的实施提供帮助。STIER 等<sup>[7]</sup>分析自行车头盔与骑车人面部损伤的关系,发现标准自行车头盔无法预防骑车人面部损伤,指出未来研究中需对头盔加以改进。在国内,陈强<sup>[8]</sup>

以 CIDAS 数据库中的两轮车事故为基础,对该类事故的总体信息、碰撞特征、人员特征和事故损伤进行描述性统计分析,得出中国两轮车事故的一般规律。HU Lin 等<sup>[9]</sup>以中国宁波的车-自行车事故为基础分析各事故风险因素与骑车人损伤程度之间的关系,发现道路特征、骑车人性别、年龄和车速与损伤程度密切相关。范天赐等<sup>[10]</sup>、胡林等<sup>[11]</sup>、SUI Bo 等<sup>[12]</sup>采用描述性统计或聚类分析的方法提取出若干种典型两轮车事故场景,所得场景可为两轮车 AEB 系统测试场景的开发提供参考。邹铁方等<sup>[13]</sup>利用 PC-crash 软件,以碰撞车型、碰撞速度、碰撞形态为变量,设计 147 组仿真试验,研究车-摩托车事故中骑乘人员的损伤差异。夏勇等<sup>[14]</sup>利用 MADYMO 软件设计仿真试验,研究与汽车碰撞过程中,行人和骑车人的头部运动学响应差异。

综上,学者们对两轮车事故进行了大量研究,得到了许多有价值的成果。总体而言,国外学者对自行车事故的研究起步比我国早,研究内容也更深刻,但不同国家的交通法规、出行方式等不同,相关成果在我国并不具备推广价值。国内学者更倾向于研究总体两轮车事故,单独针对自行车事故的研究还较少。两轮车是个较大的范畴,包括了摩托车、电动摩托车、电动自行车和自行车等,不同类型两轮车在外形尺寸、行驶速度及骑行姿态等方面具有显著差异。为了更好地降低自行车事故发生率、减轻自行车控制人在事故中的损伤,需有针对性地围绕自行车事故进行数据挖掘,以揭示自行车事故特征及影响控制人损伤的因素。数据来源方面,既有研究大多依赖于 CIDAS、GIDAS 等事故数据库<sup>[8-12]</sup>,严格的采集流程保证了相关数据库中信息的可信度,但其布局点及开放性受限制,加之很多案例不能提供事故视频而使事故完整性受损。而随着现代科技的快速发展及公众对交通安全的重视,可从网

上获得许多优质的事故视频，能很好地弥补既有数据的不足。韩勇等<sup>[15-17]</sup>、ZOU Tiefang等<sup>[18]</sup>、ZHAO Yuqing等<sup>[19]</sup>基于事故视频开展了关于行人和两轮车骑车人的落地姿态、碰撞运动学响应、行人步态序列及汽车AEB系统效率等方面的研究，取得了若干有价值的研究成果，体现了网络视频案例的研究价值。

为此，本研究以从网上免费下载、筛选得到的184例车-自行车事故视频为基础，采用描述性统计分析的方法揭示事故特征并观察特征参数与自行车控制人损伤程度间的相关性，以期为国内相关法规的完善提供依据，为后续仿真研究及自行车控制人损伤防护提供支持。

## 1 研究方法

### 1.1 数据来源

通过视频网站如哔哩哔哩、腾讯、优酷等，按关键词如“自行车事故”，“自行车违规”等搜索后收集与自行车相关的事故视频，按以下筛选原则，获得184例符合本研究要求的视频。

(1) 事故参与方为一辆汽车和一辆自行车（传统脚踏两轮自行车），排除单方事故和多车碰撞事故。

(2) 事故发生都是无意的，碰撞前汽车和自行车都处于可控制状态，排除二次碰撞和多次碰撞。

(3) 视频应尽量能观察到事故全过程，但为保证统计分析的数量，对可清楚反映重要事故特征信息的视频也予以收集（如损伤信息、碰撞速度等）。

### 1.2 事故特征参数及定义

分析获得的184例自行车事故视频，提取事故时间、地点、碰撞车速等14个特征参数并将其分为：事故环境特征、碰撞前、碰撞中和碰撞后事故特征4类。

#### 1.2.1 事故环境特征

包含6个特征参数：事故时间（白天、夜晚）；事故天气（晴天、阴天和雨雪）；事故区域（十字路口、T型路口、路段和其他）；路面特征（干燥、潮湿）；照明情况（不需照明、有照明和照明不良）及驾驶员的视野（视野盲区、无遮挡）。

#### 1.2.2 碰撞前事故特征

包含碰撞车型、行驶状态和应急措施。定义如下：

(1) 碰撞车型：据相关汽车网站（如汽车之家）对车辆类型的定义，将视频中的汽车类型分为轿车、SUV、面包车、大卡车、大客车和其他类型。

(2) 行驶状态：事故前汽车行驶状态分为直行、左转、右转、倒车和其他5种；自行车行驶状态分为直行、左转、右转、推行直行（控制人在自行车两侧，手扶车把推着自行车向前行驶）和其他5种。

(3) 应急措施：汽车应急措施分为制动应急、转向应急和无应急措施；自行车分为有应急措施和无应急措施。

#### 1.2.3 碰撞中事故特征

包含碰撞车速、碰撞位置和碰撞形态。定义如下：

(1) 碰撞车速：据韩勇等<sup>[15]</sup>提出的逐帧分析方法对视频中车和自行车的碰撞速度进行提取。首先据车身长度及一段时间内行驶过的车位数利用式

(1) 计算出碰撞前汽车或自行车的行驶距离。

$$s = L \times z \quad (1)$$

式中： $s$ 为行驶距离， $m$ ； $L$ 为车身长度， $m$ ； $z$ 为驶过的车位数。为保证计算准确，先观察视频判断出涉事汽车属何种车型，然后通过相关网站查询相近车型的车长尺寸，再利用式(2)计算出碰撞速度。

$$v = \frac{s \times f}{n} \times 3.6 \quad (2)$$

式中： $v$ 为碰撞速度， $km/h$ ； $f$ 为视频帧率， $fps$ ；为保证计算准确，将帧率统一修改为24  $fps$ ； $n$ 为帧数，即通过距离 $s$ 用了多少帧。提取碰撞速度后为探求碰撞车速的分布，将汽车碰撞车速分为 $< 5$ 、 $[5,15)$ 、 $[15,25)$ 、 $[25,35)$ 、 $[35,45)$ 、 $[45,55)$ 、 $[55,65)$ 及 $> 65 km/h$ ，8个区间，自行车碰撞车速分为 $\leq 5$ 、 $(5,10]$ 、 $(10,15]$ 、 $(15,20]$ 及 $> 20 km/h$ 这5个区间（ $[5,15) km/h$ 代表车速为 $5 \sim 15 km/h$ ，包括 $5 km/h$ ）。

(2) 碰撞部位：汽车碰撞部位分为前保险杠（左侧、中部和右侧）、车身（左侧、右侧）和后保险杠（左侧、中部和右侧），自行车碰撞部位分为前轮（正中部、左侧和右侧）、车身（左侧、右侧）以及后轮（正中部、左侧和右侧），如图1所示。

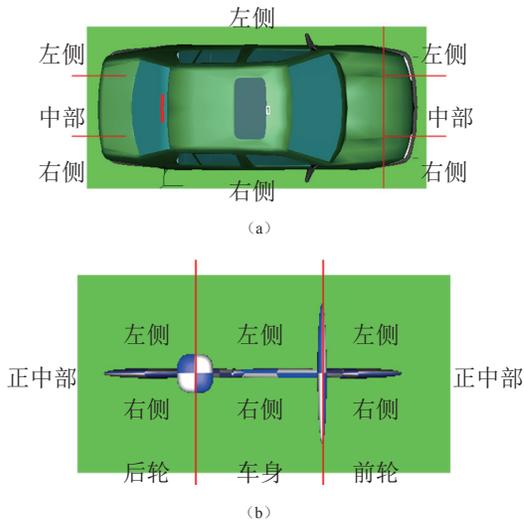


图 1 碰撞部位

(3) 碰撞形态：分为侧面碰撞（直角、同向斜角和对向斜角），剐蹭碰撞（同向、对向）、正面碰撞、追尾碰撞（车追尾自行车）和碾轧，如图 2 所示。

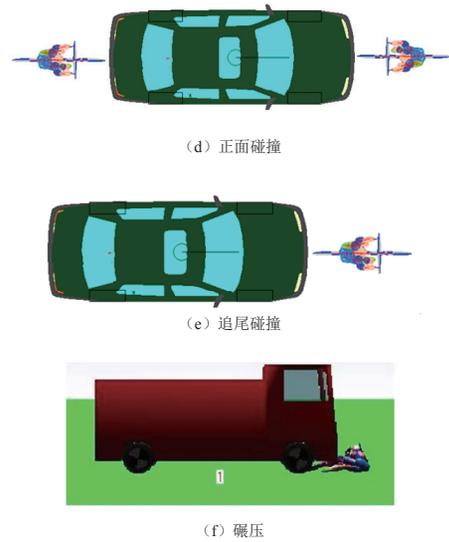
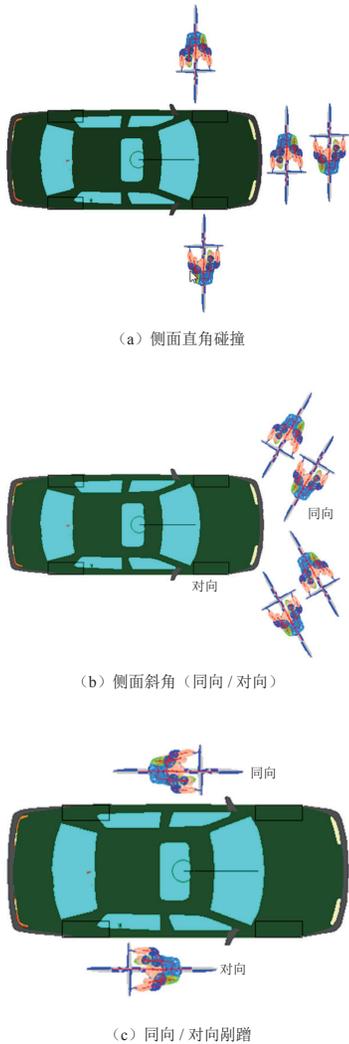


图 2 碰撞形态定义



1.2.4 碰撞后事故特征

包含控制人第一落地部位和控制人损伤。定义如下：

(1) 控制人第一落地部位：为碰撞后控制人最先与地面接触的身体部位。观察视频，将第一落地部位分为下肢、臀部、背部、上肢和头部。

(2) 控制人损伤：由于本研究采用网上免费下载的视频，除视频所提供的信息外，无其他关于事故的额外信息，所以对人体损伤程度的判断除视频中明确损伤信息外（如自行车控制人死亡，重伤等相关报道），还根据碰撞后控制人的一系列反应和动作来估计其损伤程度。将损伤程度分为无损伤、轻伤和重伤+（重伤及重伤以上）3 个等级，估计标准见表 1。

表 1 控制人损伤定义

损伤类型	估计标准
无损伤	碰撞时控制人身体部位未与车辆接触或碰撞后身体重要部位（如头、胸、背、臀部等）未与地面接触，即碰撞后身体保持站立状态。
轻伤	碰撞后控制人虽倒地但在短时间内可自行起身，且运动无明显受限。
重伤+	碰撞后控制人倒地且无法自行起身或倒地后直接失去意识（视频中表现为控制人倒地后其四肢或躯体无明显的动作）。

1.3 研究方法

为揭示事故特征及各特征参数与控制人损伤程

度间的相关性，采用描述性统计的方法对各特征参数进行统计分析，并绘制相应的统计图（如条形图、柱形图、饼图等），直观地将统计结果表示出来。

## 2 结果

### 2.1 事故特征基本统计结果

#### 2.1.1 事故环境特征

统计发现车-自行车事故常发生在白天，有 156 例（84.7%）；夜晚有 28 例（15.2%）。除去 29 例（15.8%）无法判断出天气情况的视频，事故发生在晴天、阴天和雨雪天的概率分别为 50.5%、29.9% 和 3.8%。十字路口、路段和 T 型路口的事故数分别为 74 例（40.2%）、64 例（34.8%）和 40 例（21.7%）。绝大多数事故发生在干燥路面上（93.5%），绝大部分事故发生时不需照明（84.2%），少部分事故发生时有车灯或路灯提供照明（14.7%）。有 128 例（69.6%）事故中驾驶员视野无遮挡，54 例（29.3%）事故中视野存在盲区。

#### 2.1.2 碰撞前事故特征

排除无法判断车型的 19 个视频（10.3%），剩余 165 个事故视频中碰撞车型为轿车、SUV、MPV（面包车）、大卡车、大客车的比例分别为 63.4%、22.0%、4.3%、6.7% 和 3.0%，如图 3 所示。说明事故中轿车和 SUV 为主要碰撞车型，二者占比达到总数的 85.4%。

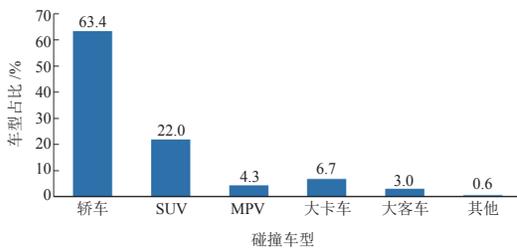


图 3 碰撞车型分布

碰撞前汽车处于直行、右转、左转和倒车状态的比例分别为 78.4%、9.1%、9.1% 和 1.7%，如图 4 所示。自行车处于直行、推行直行和左转状态的比例分别为 85.9%、7.1% 和 6%，仅 1 例（0.5%）自行车处于右转状态，如图 5 所示。说明碰撞前汽车和自行车基本都处于直行状态。

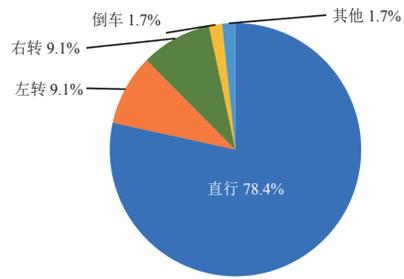


图 4 碰撞前汽车行驶状态分布

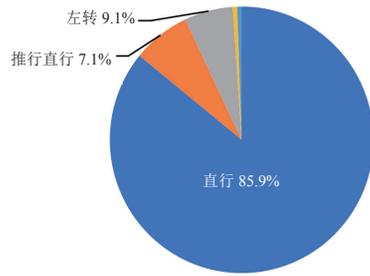


图 5 碰撞前自行车行驶状态分布

碰撞前 86.4% 的汽车采取了应急措施，其中制动应急和制动+转向应急的占比为 73.9% 和 11.4%，如图 6 所示。与汽车相反，大部分自行车控制人（77.2%）在事故前未采取应急措施，仅 22.8% 的自行车控制人采取了应急措施，如图 7 所示。

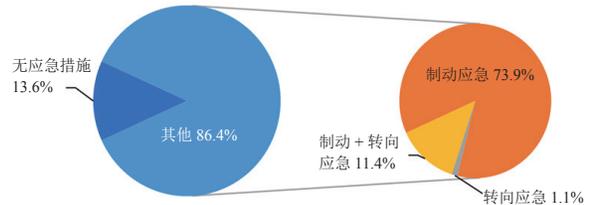


图 6 碰撞前汽车的应急措施分布

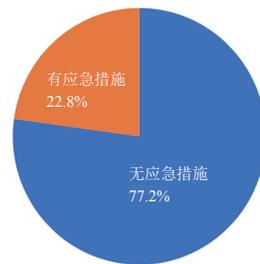


图 7 碰撞前自行车的应急措施分布

#### 2.1.3 碰撞时事故特征

统计前分别剔除 16 例和 24 例无法得出汽车和自行车碰撞速度的视频，统计发现，汽车和自行车的碰撞速度都成正态分布；汽车碰撞速度集中在

[5,15)、[15,25)、[25,35) 和 [35,45) km/h 这 4 个区间, 占比 84.5%, 如图 8 所示。自行车碰撞速度集中在 (5,10] 和 (10,15) km/h 区间内, 占比 66.9%, 如图 9 所示。文献 [15] 发现事故中两轮车的速度集中在 10 ~ 30 km/h, 比本文中自行车车速要高, 这种区别验证了本文提出的需有针对性地展开自行车事故研究的观点。

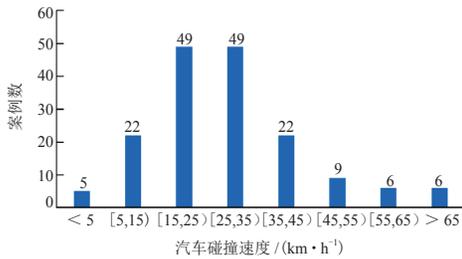


图 8 汽车碰撞速度分布

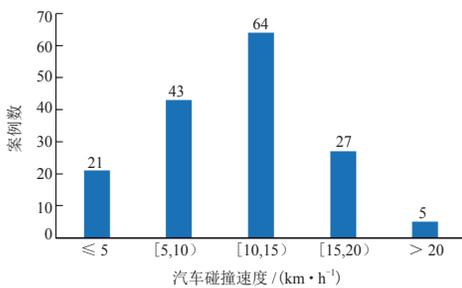


图 9 自行车碰撞速度分布

统计前分别排除 4 例和 6 例无法判断汽车和自行车碰撞位置的视频, 统计发现汽车碰撞部位集中在前保险杠 (142 例, 78.9%), 且以前保险杠中部居多 (67 例, 37.2%), 如图 10 所示; 自行车碰撞部位集中在车身 (101 例, 56.7%), 且左侧车身的

碰撞概率大于右侧车身 (左侧 59 例, 33.1%, 右侧 42 例, 23.6%), 如图 11 所示。在二者碰撞部位的对应关系中, 发现了 8 组最常见的碰撞情况, 按比例从高到低依次为: 汽车前保险杠中部 - 自行车左侧车身 (a, 15.2%)、汽车前保险杠中部 - 自行车右侧车身 (b, 13.5%)、汽车前保险杠右侧 - 自行车左侧车身 (c, 8.4%)、汽车前保险杠左侧 - 自行车前轮右侧 (d, 7.9%)、汽车前保险杠右侧 - 自行车前轮左侧 (e, 6.7%)、汽车左侧车身 - 自行车前轮中部 (f, 6.7%)、汽车右侧车身 - 自行车左侧车身 (g, 6.7%)、汽车前保险杠左侧 - 自行车右侧车身 (h, 6.2%), 见表 2。此 8 组碰撞情况占比 71.3%。图 12 为此 8 组碰撞情况示意图, 图中 (a)~(h) 分别与 8 组碰撞情况的代号相对应。

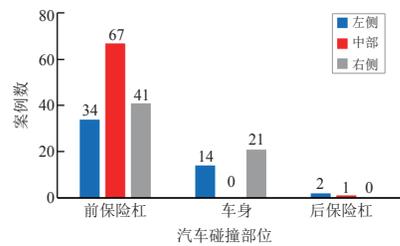


图 10 汽车碰撞部位分布

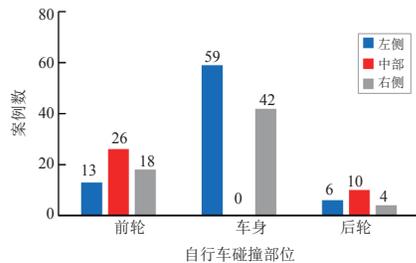


图 11 自行车碰撞部位分布

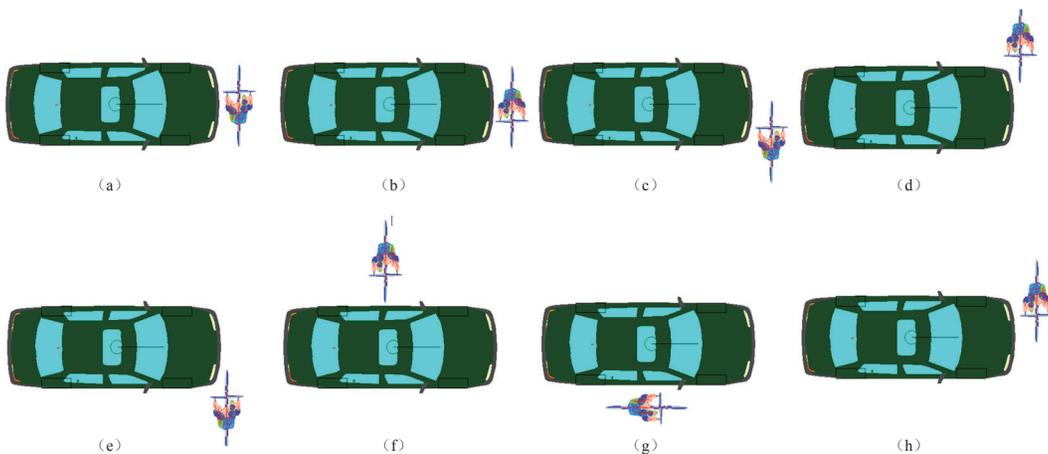


图 12 汽车和自行车 8 组最频繁碰撞部位图示

表 2 汽车和自行车碰撞部位间的对应关系表

碰撞位置		汽车前保险杠			汽车车身		汽车后保险杠		
		左侧	中部	右侧	左侧	右侧	左侧	中部	右侧
自行车前轮	左侧	-	-	6.7%	0.6%	-	-	-	-
	中部	0.6%	2.2%	0.6%	6.7%	4.5%	-	-	-
	右侧	7.9%	1.7%	-	0.6%	-	-	-	-
自行车车身	左侧	1.7%	15.2%	8.4%	-	6.7%	0.6%	0.6%	-
	右侧	6.2%	13.5%	2.8%	-	0.6%	0.6%	-	-
自行车后轮	左侧	1.7%	1.1%	0.6%	-	-	-	-	-
	中部	0.6%	2.2%	2.8%	-	-	-	-	-
	右侧	0.6%	0.6%	1.1%	-	-	-	-	-

排除无法判断碰撞形态的视频 3 例，剩余 181 例视频中有 74.1% 的碰撞形态为侧面碰撞，其中侧面直角、同向斜角及对向斜角的比例分别为 52.5%、17.7% 和 3.9%。其他碰撞形态比例为：刮蹭碰撞 9.9%（同向刮蹭 7.7%，对向刮蹭 2.2%），追尾碰撞 5.5%，碾压 5.5%，正面碰撞 5.0%，如图 13 所示。

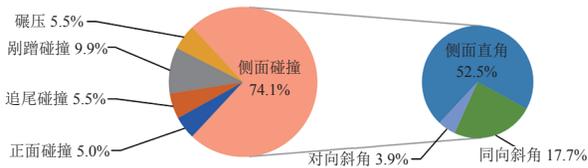


图 13 车-自行车事故碰撞形态分布

2.1.4 碰撞后事故特征

排除 74 例无法观察到控制人落地姿态的视频，剩余 110 例事故中下肢为第一落地部位的概率最大，占比 67.2%，其次是臀部和上肢，各占比 10%，最后是背部和头部，各占比 6.4%。排除 42 个无法判断损伤的视频后，剩下 142 例视频中控制人无损伤、轻伤和重伤+的比例分别为 23.9%、40.1% 和 36%，如图 14 所示。

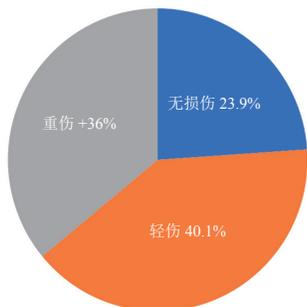


图 14 人体损伤分布

2.2 致伤因素观察

2.2.1 碰撞车速与损伤程度的关系

碰撞车速区间由 [15, 25) km/h 增加到 [35,45) km/h 的过程中，损伤程度为重伤+的比例由 17.5% 增加到 50.0%，如图 15 所示，说明碰撞速度越高控制人的损伤越严重。但值得注意的是，在 [5, 15) km/h 低碰撞车速下重伤+的比例为 33.3%，比 [15, 25) km/h 和 [25,35) km/h 区间下的都大。

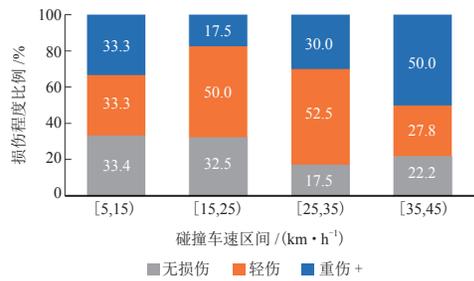


图 15 碰撞车速与损伤的关系

2.2.2 第一落地部位与损伤程度的关系

控制人第一落地部位由下肢往头部变化中，损伤程度为重伤+的比例由 17.4% 增加到 85.7%，如图 16 所示。这表明第一落地部位由下肢向头部移动中控制人损伤程度在加剧。

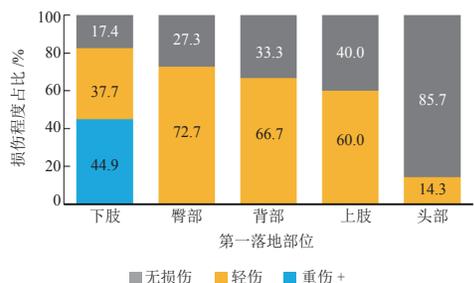


图 16 第一落地部位与损伤的关系

2.2.3 应急措施与损伤程度的关系

如图 17a 和图 18 所示，采取应急措施下的控制人重伤 + 比例远小于未采取应急措施下的，表明在事故前汽车驾驶员和自行车控制人采取应急措施可有效防止或减轻控制人的损伤。汽车采取的应急措施有：制动应急、转向应急和转向 + 制动应急，因仅采取转向应急的案例较少（图 6），为保证分析的准确性将后两种结合起来，即定义为其他应急措施。采取制动应急时控制人重伤 + 的比例比采取其他应急措施情况下的小（图 17b）。说明制动措施是最有效的减轻或避免控制人损伤的应急措施，而其他应急措施对减轻控制人的损伤效果较差。此结论与文献 [20] 的研究结果相符，因为在碰撞中采取转向措施会使控制人头部与刚度较大的 A 柱和挡风玻璃边缘碰撞的概率增大，造成更严重的颅脑损伤。

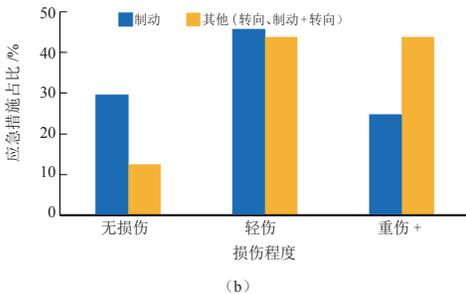
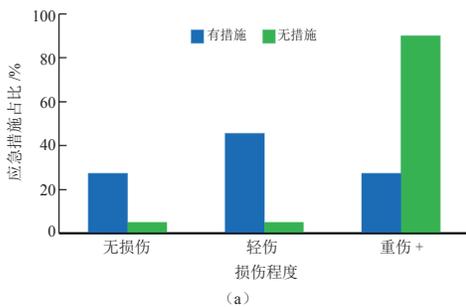


图 17 汽车应急措施与损伤的关系

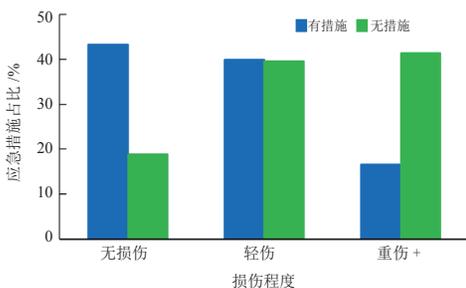


图 18 自行车应急措施与损伤的关系

2.2.4 碰撞部位与损伤程度的关系

图 19 显示，碰撞部位在汽车前保险杠中部和右侧时（对应汽车前保险杠中部 - 自行车左侧车身、汽车前保险杠中部 - 自行车右侧车身、汽车前保险杠右侧 - 自行车左侧车身和汽车前保险杠右侧 - 自行车前轮左侧 4 种碰撞情况），重伤 + 的比例均超过 45%。碰撞部位在汽车前保险杠左侧时（对应汽车前保险杠左侧 - 自行车右侧车身和汽车前保险杠左侧 - 自行车前轮右侧两种碰撞情况），重伤 + 比例均未超过 15%。碰撞部位在汽车左侧车身时（汽车左侧车身 - 自行车前轮正中部），未出现重伤 + 的情况。碰撞部位在右侧车身时（汽车右侧车身 - 自行车左侧车身），重伤 + 的比例为 25%。说明碰撞部位在汽车前保险杠右侧和中部的控制人损伤比前保险杠左侧的严重，碰撞部位在汽车右侧车身的控制人损伤比左侧车身的严重。

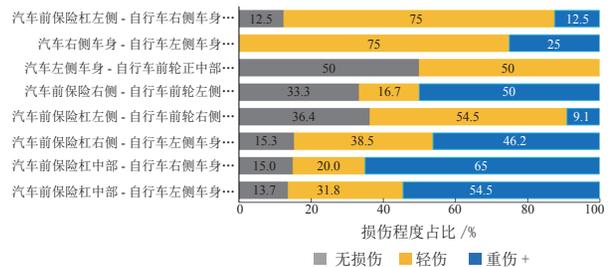


图 19 碰撞部位与损伤的关系

2.2.5 碰撞形态与损伤程度的关系

侧面碰撞、追尾、剐蹭碰撞及碾压造成控制人损伤严重程度为重伤 + 的比例分别为 35.0%、25.0%、18.2% 和 100.0%，正面碰撞下未出现重伤 + 的情况，如（图 20 所示。说明侧面碰撞和碾压下的控制人损伤严重，特别是发生碾压事故时有极高的比例造成控制人重伤或死亡，而正面碰撞下控制人的损伤程度最轻。

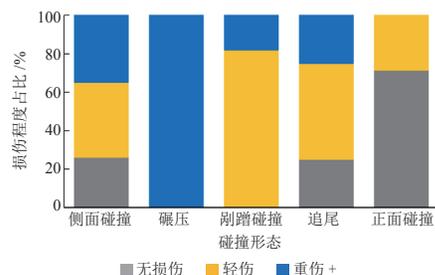


图 20 碰撞形态与损伤的关系

### 3 讨论

通过上述统计分析得出自行车事故特征及影响控制人损伤的因素。事故特征的统计得出该类事故发生的一般规律，如自行车事故在碰撞车型、碰撞速度、碰撞部位、碰撞形态等方面都具有明显的倾向性，可为后续相关仿真研究的设计提供数据支持。致伤因素的分析结果如车速高于 35 km/h，重伤+的比例达 50%；汽车和自行车采取应急措施均能有效降低控制人损伤程度，这可为相关限速法规提供合理的解释。头部为第一落地部位，重伤+的比例达 85.7%；碰撞部位在汽车前保险杠右侧的事故损伤程度最严重及侧面碰撞和碾压导致控制人重伤+比例高，这些结果对未来开展有针对性的控制人损伤防护研究和完善相关法规有很大的帮助。但从上述结果中观察到在 [5,15) km/h 低车速下，重伤+比例高的现象，产生此现象的原因是什么？此外，为何不同第一落地部位和不同碰撞部位下的损伤程度不同？下面针对这几个问题逐一进行探讨。

#### 3.1 低碰撞车速下控制人重伤+比例高的原因

研究发现控制人的损伤程度随着碰撞车速的增大而增大，但在 [5,15) km/h 的低碰撞速度下，却有 1/3 的控制人损伤程度为重伤+，比例比 [15,25) km/h 和 [25,35) km/h 速度区间下的都高。因为在 [5,15) km/h 速度下碾压事故占 1/4（图 21），而碾压事故有极高概率会造成控制人重伤或死亡（图 20）。因此，可解释为何在低碰撞车速下，控制人损伤程度为重伤+的比例高，也表明低速下需预防碾压事故的发生。

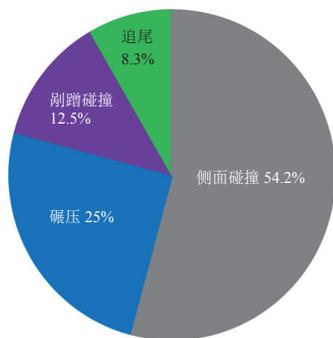


图 21 [5,15) km/h 车速下的碰撞形态分布

#### 3.2 不同第一落地部位下损伤程度不同的原因

第一落地部位由下肢至头部移动过程中，控制人损伤程度在增大（无损伤及轻伤比例减小，重伤+比例在增加）。因为随碰撞车速增加，第一落地部位为头部的概率增加，为下肢的概率减小（图 22），且碰撞车速越大，损伤越严重。所以头部为第一落地部位时重伤+的比例高（85.7%），下肢为第一落地部位时重伤+比例低（17.4%）。表明可通过控制车速来改变第一落地部位，达到降低人体损伤程度的目的。

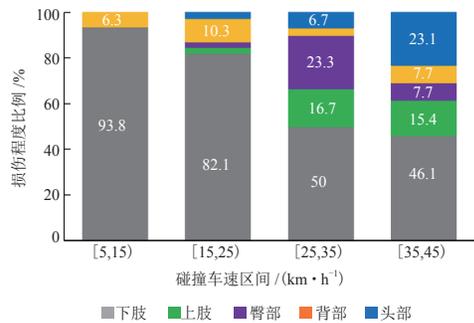


图 22 第一落地部位与碰撞车速之间的关系

#### 3.3 不同碰撞部位下损伤程度不同的原因

碰撞部位在汽车前保险杠中部和右侧的控制人损伤比前保险杠左侧的严重，这是因为我国及全球大部分国家的驾驶室布置在汽车左侧，行驶中驾驶员对车辆左侧交通情况的注意力更集中，对碰撞部位在前保险杠左侧的事故，驾驶员会更早发现自行车控制人，从而更早采取应急措施减轻控制人的损伤（图 23 中的驾驶员采取应急措施比图 24 中的早，图 23 中控制人损伤程度为轻伤，而图 24 中的损伤程度为重伤+）。碰撞部位在汽车左侧车身的损伤程度较右侧车身的轻，因为汽车左侧车身-自行车前轮正中部的碰撞情况在视频中表现为自行车碰撞汽车侧面（图 25），因碰撞主导方为自行车，碰撞力较小，加之碰撞中自行车部件吸收了部分碰撞能量，作用在控制人身上的能量小，所以未出现损伤程度为重伤+的情况。汽车右侧车身-自行车左侧车身的碰撞情况在视频中表现为副蹭碰撞（图 26），碰撞力直接作用在控制人身上，同样因驾驶室布置原因，事故前驾驶员对控制人的关注度

较低, 未及时采取应急措施, 所以此碰撞情况下重伤+的比例为 25%。说明需提高驾驶员对车辆右侧道路的关注度, 来减轻控制人的损伤。



图 23 典型前保险杠左侧碰撞事故

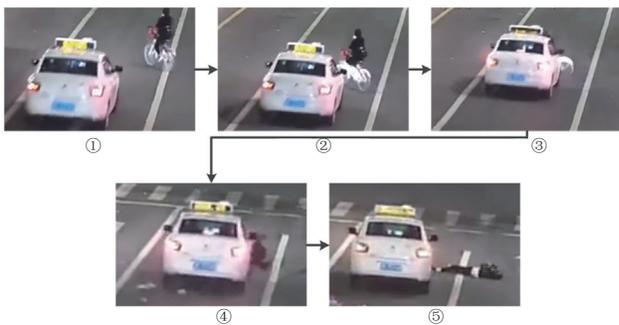


图 24 典型前保险杠右侧碰撞事故

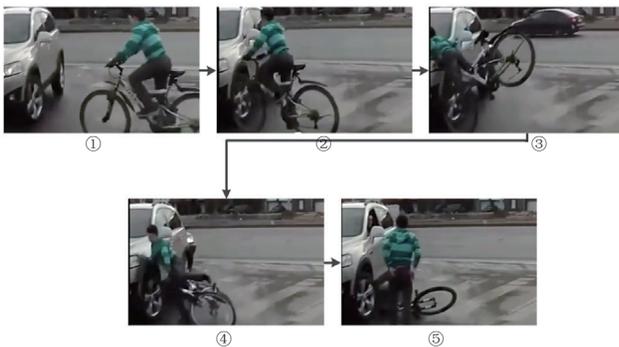


图 25 典型自行车前轮正中中部碰撞事故



图 26 典型刮蹭碰撞事故

## 4 结论

本文用描述性统计的方法对 184 例自行车事故视频进行统计分析, 探求事故特征及观察事故中的致伤因素, 获得以下结论:

(1) 自行车事故大都发生在白天、晴朗、汽车驾驶员视野无遮挡、不需照明、路面干燥的十字路口。轿车和 SUV 为主要事故车型, 事故前大部分汽车和自行车都处于直行状态; 有 86.4% 的汽车采取了应急措施, 其中制动应急为最主要的应急措施, 与汽车相反, 77.2% 的自行车控制人在事故前未采取应急措施。汽车和自行车的碰撞速度分别集中在  $[5, 45)$  km/h 和  $[5, 20)$  km/h 区间内, 汽车和自行车的碰撞位置分别集中在前保险杠和自行车车身, 前保险杠中部与自行车左右车身相碰撞的概率最高。侧面直角碰撞比例最大 (52.5%)。下肢为第一落地部位的概率最大 (67.2%), 典型落地姿态为仅下肢落地、下肢-臀部-上肢、下肢-臀部-背部和下肢-上肢。控制人损伤程度为无损伤、轻伤和重伤+的比例分别为 23.9%、40.1% 和 36.0%。

(2) 致伤因素观察发现, 碰撞车速、第一落地部位、应急措施、碰撞部位及碰撞形态都与控制人损伤密切相关。高的碰撞速度, 头部为第一落地部位, 碰撞前汽车驾驶员或自行车控制人未采取应急措施, 碰撞部位在汽车前保险杠中部或右侧, 碰撞形态为侧面碰撞或碾压都会使控制人损伤更为严重。

(3) 致伤因素深度研究发现, 低碰撞车速  $[5, 15)$  km/h 下控制人重伤+比例高的原因是因此速度区间内碾压事故发生的比例较高。不同第一落地部位下的损伤程度不同与碰撞车速有关, 因头部为第一落地部位时碰撞车速高, 所以其为第一落地部位时损伤更为严重。碰撞部位在汽车前保险杠左侧及左侧车身的控制人损伤程度较其他碰撞部位轻的原因与汽车驾驶室布置在左侧和各碰撞部位下的碰撞形态不同有关。

## 参考文献 (References)

- [1] YAN Xinping, MA Ming, HUANG Helai, et al. Motor Vehicle-Bicycle Crashes in Beijing: Irregular Maneuvers, Crash Patterns and Injury Severity [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2011, 43(5): 1751-1758.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.  
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2019. (in Chinese)
- [3] MOORE D N, SCHNEIDER W H, SAVOLAINEN P T, et al. Mixed Logit Analysis of Bicyclist Injury Severity Resulting from Motor Vehicle Crashes at Intersection and Non-Intersection Locations [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2011, 43(3): 621-630.
- [4] DOMINIK B, DAMIAN J, RALUCA P, et al. Comparison of the Incidence and Severity of Traumatic Brain Injury Caused by Electrical Bicycle and Bicycle Accidents—A Retrospective Cohort Study from a Swiss Level I Trauma Center [J]. *World Neurosurgery*, 2019, 126: 1023-1034.
- [5] FYHRI A, JOHANSSON O, BJØRNSKAU T. Gender Differences in Accident Risk with E-Bikes—Survey Data from Norway [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2019, 132: 105246.
- [6] LENARD J, WELSH R, DANTON R. Time-to-Collision Analysis of Pedestrian and Pedal-Cycle Accidents for the Development of Autonomous Emergency Braking Systems [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2018, 115: 128-136.
- [7] STIER R, JEHN P, JOHANNSEN H, et al. Reality or Wishful Thinking: Do Bicycle Helmets Prevent Facial Injuries? [J]. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 2019, 48(9): 1235-1240.
- [8] 陈强. 基于CIDAS五年内数据的中国两轮车事故特征分析 [C]//第14届汽车交通安全国际论坛论文集. 2017: 65-74.  
CHEN Qiang. Characteristics Analysis of Two-Wheel Accident in China Base on CIDAS Data Between 5 Years [C]//The 14th International Forum of Automotive Traffic Safety. 2017: 65-74. (in Chinese)
- [9] HU Lin, HU Xinting, WAN Jing, et al. The Injury Epidemiology of Adult Riders in Vehicle-Two-Wheeler Crashes in China, Ningbo, 2011-2015 [J]. *Journal of Safety Research*, 2020, 72: 21-28.
- [10] 范天赐, 王宏雁, 杨震, 等. 基于中国两轮车事故的典型场景提取与分析 [J]. *交通与运输*, 2019, 35(2): 41-45.  
FAN Tianci, WANG Hongyan, YANG Zheng, et al. Typical Two-Wheelers Accident Scenarios Extraction and Analysis Based on Chinese Road Traffic Data [J]. *Traffic & Transportation*, 2019, 35(2): 14-45. (in Chinese)
- [11] 胡林, 易平, 黄晶, 等. 基于真实事故案例的自动紧急制动系统两轮车测试场景研究 [J]. *汽车工程*, 2018, 40(12): 1435-1446, 1453.  
HU Lin, YI Ping, HUANG Jing, et al. A Research on Test Scenes of Two-Wheeled Vehicles for Automatic Emergency Braking System Based on Real Accident Cases [J]. *Automotive Engineering*, 2018, 40(12): 1435-1446, 1453. (in Chinese)
- [12] SUI Bo, NILS L, JONAS B. A Clustering Approach to Developing Car-to-Two-Wheeler Test Scenarios for the Assessment of Automated Emergency Braking in China Using in-Depth Chinese Crash Data [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2019, 132: 105242.
- [13] 邹铁方, 王冠, 胡林, 等. 汽车-摩托车碰撞事故中骑乘人员损伤差异对比研究 [J]. *汽车工程*, 2020, 42(5): 621-627, 643.  
ZOU Tiefang, WANG Guan, HU Lin, et al. Comparative Study on the Injuries of Motorcyclist and Backseat Occupant in Vehicle-Motorcycle Accidents [J]. *Automotive Engineering*, 2020, 42(5): 621-627, 643. (in Chinese)
- [14] 夏勇, 古杰, 周青. 骑车人及行人与汽车碰撞中头部运动学对比与分析 [J]. *汽车安全与节能学报*, 2014, 5(2): 159-165.  
XIA Yong, GU Jie, ZHOU Qing. Kinematics of the Head in Cyclist-Vehicle and Pedestrian-Vehicle Collisions [J]. *Automotive Safety and Energy*, 2014, 5(2): 159-165. (in Chinese)
- [15] 韩勇, 贺伟, 李泉, 等. 基于视频信息的汽车碰撞事故中骑车人运动学响应分析 [J]. *汽车安全与节能学报*, 2017, 8(4): 381-387.  
HAN Yong, HE Wei, LI Quan, et al. Analysis of Two-Wheelers Kinematics Before/During/After Vehicle Collisions Based on Video Records [J]. *Automotive Safety and Energy*, 2017, 8(4): 381-387. (in Chinese)
- [16] 韩勇, 李泉, 伏砾臻, 等. 基于视频信息的汽车碰撞事故中行人运动学响应分析研究 [C]//第12届汽车交通安全国际论坛论文集. 2015: 1-7. (下转第412页)