

基于 Logistic 的城市公交事故严重程度影响因素 分析:以广东省为例*

林庆丰, 邓院昌

中山大学智能工程学院//广东省智能交通系统重点实验室, 广东 广州 510006

摘要: 以 2008~2017 年间广东省发生的 5 869 起公交事故为基础, 将其分为车辆间事故、车辆-行人事故和单车事故等 3 类, 以事故严重程度为因变量, 选取年龄、行驶状态、道路线形、区域、照明条件和事故形态等因素为候选自变量, 分别建立 Logistic 模型进行对比分析, 以探究人、车、路和环境等因素对公交事故严重程度的影响。结果表明: 除单车事故模型外, 各模型拟合度良好。不同形态的公交事故严重程度影响因素之间存在异同性。行驶状态、道路类型、区域和时段等对除单车事故模型外的其余模型因变量均具有显著影响; 而道路线形仅对整体事故严重程度具有显著影响, 路口路段类型和节假日类型仅对车辆间事故严重程度具有显著影响。研究结果可为降低公交事故严重程度提供一定参考依据。

关键词: 交通安全; 公交客运; 事故严重程度; K-means 聚类; Logistic 回归模型

中图分类号: U491.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2020) 04-0120-08

Analysis of factors affecting city bus accident severity based on Logistic model: a case in Guangdong Province

LIN Qingfeng, DENG Yuanchang

School of Intelligent Systems Engineering, Sun Yat-sen University//Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Guangzhou 510006, China

Abstract: In order to explore the impact of risk factors, i. e. human, vehicle, road and environment, on bus accident severity, 5 869 bus accidents happening in Guangdong Province during 2008 and 2017 were selected and then divided into 3 categories which were accidents between vehicles, vehicle-pedestrian accidents and single vehicle accidents. Taking accident severity as the dependent variable and selecting age, vehicle maneuver, road alignment, region, lighting condition and accident modalities etc as the independent variables, Logistic models were constructed for comparative analysis. The results show that: The models fit the data properly except the model of single vehicle accidents. The risk factors of bus accident severity had similarities and differences among accidents with different modalities. Vehicle maneuver, road type, region and time were significantly correlated with bus accident severity except in the model of single vehicle accidents. Road alignment only significantly influenced the overall bus accident severity, while type of crash location and holiday only had significant impact on severity of accidents between vehicles. The results can provide references for reducing bus accident severity.

Key words: traffic safety; bus transit; accident severity; K-means clustering; Logistic regression model

* 收稿日期: 2019-04-10

基金项目: 广东省科技计划项目 (2017B010111007)

作者简介: 林庆丰 (1992 年生), 男; 研究方向: 交通心理与行为、交通安全; E-mail: linqfeng@mail2.sysu.edu.cn

通信作者: 邓院昌 (1972 年生), 男; 研究方向: 交通心理与行为、交通安全; E-mail: dengych@mail.sysu.edu.cn

城市公交是我国交通的重要组成部分, 其安全性与人民群众息息相关。截至2017年末, 全国公交营运线路共56 786条, 年客运量高达722.87亿人次^[1]。2018年, “重庆万州公交坠江事件”引发了社会各界的广泛关注^[2], 公交客运安全日益受到重视。因此, 探究公交客运事故的特点及影响因素对公共安全具有重要意义。

目前, 国内外学者在公交客运安全方面开展了一系列研究。部分学者探究了公交驾驶员的个人特性、驾驶行为等与事故风险之间的关系^[3-6]。另一部分学者则分析了性别、驾龄、文化程度和天气等对公交事故率的影响^[7-8]。此外, 还有学者探究了公交事故的严重程度及其影响因素。例如, 刘文玲等^[9]通过研究公交事故中人员受伤情况与各影响因素的关系, 预测了不同情况下人员受到的伤害。Kaplan等^[10]在探究了美国发生的公交事故后发现, 公交事故严重程度与公交驾驶员的年龄、性别和危险驾驶行为等有关。然而, 有学者提出, 道路交通事故数据具有异质性, 若对整体事故进行研究, 则其严重程度的影响因素可能会被弱化或隐藏^[11]。因此, 需要对交通事故进行分类, 以此来增强事故数据的同质性^[12-13]。

目前, 已有学者对交通事故数据分类后再进行应用研究。例如, 王亚等^[13]依据驾驶员年龄、性别、道路类型和事故原因等9个变量应用聚类分析方法将上海浦东新区的交通事故分成6个类别来识别道路交通事故模式。而在公交事故方面, 有学者将事故进行分类后再探究其严重程度的影响因素。例如, Feng等^[14]将美国公交事故中的驾驶员分为无交通违规记录、有交通违规记录(中年)、有交通违规记录(年轻及年长)等3类, 并分别分析各类别驾驶员发生的事故严重程度的影响因素。结果发现不同驾驶员类别的事故严重程度影响因素存在异同性。而交通事故还可能由于具有不同的事故形态, 严重程度及其影响因素之间存在差异性。但目前尚未见有对不同城市公交事故形态进行分类, 再探究其严重程度影响因素的文献报道。因此, 本文将将以2008~2017年间广东省发生的城市公交事故为基础, 将其分为车辆间事故、车辆-行人事故和单车事故等3类, 并分别建立 Logistic 模型对不同类别的事故严重程度因素进行对比分析。研究结果可为降低城市公交客运事故严重程度, 提升公共安全提供参考依据。

1 公交事故概况

1.1 数据来源

研究数据来源于广东省交通事故数据库。每一条事故记录中, 均包括事故人员信息(性别、年龄和驾龄等)、车辆信息(车辆类型、车型大小和行驶状态等)、道路信息(道路线形、道路类型和路口路段类型等)、环境信息(时段、天气和照明条件等)、事故严重程度和事故形态(分为车辆间事故、车辆-行人事故和单车事故)等字段。

选取2008年1月1日至2017年12月31日发生的6 535起城市公交事故作为研究的数据基础, 其中记录完整的公交事故共5 869起, 包括车辆间事故4 628起, 车辆-行人事故939起, 单车事故302起。

1.2 时间变化情况

2008~2017年, 广东省发生的6 535起城市公交事故共造成664人死亡, 7 657人受伤。对事故数量和死伤人数进行逐年统计, 结果见图1。

城市公交事故数量和死伤人数虽然整体呈下降趋势, 但基数仍较大。2017年, 全省共发生城市公交事故453起, 死伤人数分别达到43人和543人。当前公交客运安全形势仍较为严峻。

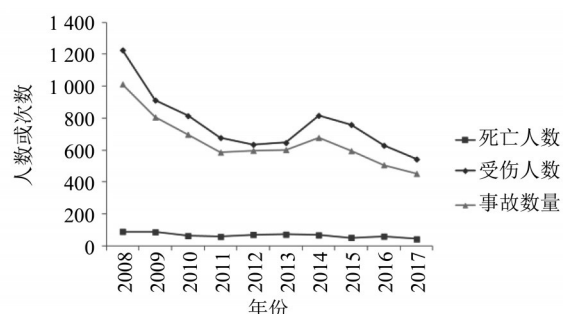


图1 2008~2017年广东省城市公交事故逐年变化

Fig. 1 City bus accidents yearly variation during 2008–2017 in Guangdong province

事故数量比例和死伤人数比例的逐时变化见图2。事故数量和死伤人数整体呈现夜间少、白天多的趋势, 而各时段的受伤人数比例和事故数量比例变化基本一致。夜间死亡人数比例相比于事故数量比例和受伤人数比例相对较高, 而白天则相对较低; 且在13:00~14:59这一时段, 死亡人数比例明显低于事故数量比例和受伤人数比例。

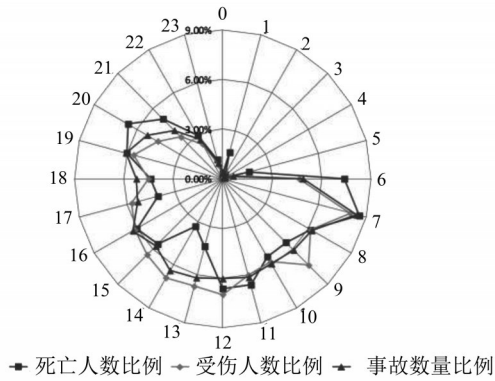


图2 2008~2017年广东省城市公交事故逐时变化

Fig. 2 City bus accidents hourly variation during 2008–2017 in Guangdong province

1.3 区域事故情况

广东省包括广州市、深圳市、东莞市和佛山市等21个地级市。为了解广东省内各城市的城市公交客运安全情况，可利用K-means聚类算法对

各城市的事故数量、死亡人数和受伤人数等指标进行分析^[15]。选取聚类K=4，可得各类别的最终聚类中心如表1所示。

表1中各指标数值越低，表示该类别城市公交客运安全水平越高。虽然类别1的事故死亡人数少于类别2，但其事故数量和受伤人数远远超过其他类别。因此，认为类别1安全水平最低，类别4城市公交客运安全水平最高。按照表1的最终聚类中心，可得广东省各城市的城市公交客运安全水平等级划分情况。具体见表2。

表1 广东省各城市城市公交事故最终聚类中心

Table 1 Final cluster centers of city bus accidents in cities of Guangdong province

类别	1	2	3	4
事故数量/起	1 559	897	394	93
死亡人数/人	96	125	33	12
受伤人数/人	1 837	918	488	119

表2 广东省各城市公交客运安全水平等级

Table 2 Traffic safety levels for bus transit in cities of Guangdong Province

类别	城市
1	东莞市
2	广州市、深圳市
3	佛山市、中山市、江门市、清远市、湛江市
4	珠海市、惠州市、汕头市、韶关市、茂名市、肇庆市、梅州市、汕尾市、河源市、阳江市、潮州市、揭阳市、云浮市

结合表1-2可知，东莞城市公交客运安全水平最低，其事故数量远超其他城市，而广州和深圳虽然事故数量较低，但死亡人数最多，说明这2个城市恶性公交事故较为高发。此外，城市公交客运安全水平较高的城市大部分位于非珠三角地区。

2 城市公交事故严重程度 Logistic 模型

Logistic 回归是研究分类观察结果和影响因素之间关系的一种多变量分析方法^[16]，其在探究交通事故严重程度的影响因素中得到了广泛的应用。大量研究表明，使用该模型能较好地预测交通事故严重程度^[16-19]。因此，本文将构建二元 Logistic 模型，探究城市公交事故严重程度的影响因素。

假设因变量Y为二分类变量，1表示事件发生，0表示事件未发生。有m个自变量与因变量有关，记X=(x₁, x₂, x₃, ..., x_m)，即有：

$$P(Y = 1|X) = \frac{\exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i x_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i x_i)} \quad (1)$$

式中：β₀为常数项，β_i为回归系数。

2.1 变量选取

2.1.1 因变量 选取事故严重程度作为因变量，记为y_i，并将其分为两类：当第i起事故造成人员死亡时，认为该事故为严重事故，此时令y_i=1；当第i起事故仅造成人员受伤或财产损失时，则认为该事故为非严重事故，此时令y_i=0^[16]。

2.1.2 自变量 交通系统由人、车、路和环境等多个因素组成，是一个动态系统。任何一个环节出现问题，都可能导致交通安全问题，从而引发事故^[17]。因此，从事故信息中初步选取公交车驾驶员属性、公交车辆、道路和环境等因素中的15个变量作为候选自变量。具体的自变量赋值见表3。

表3 自变量赋值及含义¹⁾

Table 3 Assignments and explanations of independent variables

序号	变量	赋值及含义
1	年龄	“≤25”=1; “26-35”=2; “36-45”=3; “46-55”=4; “≥56”=5
2	驾龄	“≤3”=1; “4-5”=2; “6-10”=3; “11-15”=4; “16-20”=5; “≥21”=6
3	车型	中小型=0; 大型=1
4	行驶状态	非直行=0; 直行=1
5	路口路段类型	路段=0; 路口=1
6	道路线形	非平直=0; 平直=1
7	道路类型	非城市道路=0; 城市道路=1
8	区域	类别1=1; 类别2=2; 类别3=3; 类别4=4
9	天气	晴天=1; 阴天=2; 雨天=3
10	照明条件	白天=1; 夜晚有路灯照明=2; 夜晚无路灯照明=3
11	时段	高峰期=1; 夜间=2; 白天平峰期=3
12	节假日类型	工作日=0; 节假日=1
13	事故形态	车辆间事故=1; 车辆-行人事故=2; 单车事故=3
14	车辆间事故形态	碰撞运动车辆=1; 碰撞静止车辆=2; 其他=3
15	车辆-行人事故形态	刮撞行人=1; 碾压行人=2; 碰撞后碾压行人=3; 其他=4

1) 变量8“区域”的赋值中, 类别1-4与表2中的城市类别划分一致。

2.2 Logistic 回归分析

2.2.1 建模结果分析

对整体5 869起事故和3类不同形态的事故分别建立事故严重程度 Logistic 模型。根据整体事故、车辆间事故、车辆-行人事故和单车事故所建立的模型分别称为模型1、模型2、模型3和模型4。其中, 模型1的候选自变量为表3中的变量1~13, 模型2的候选自变量为变量1~12、14, 模型3的候选自变量为变量1~12、15, 模型4的候选自变量为变量1~12。

建模前, 均采用了回归系数方差分解法(RCVD)来诊断自变量之间的多重共线性^[18]。结果显示: 各模型内部的自变量之间不存在明显的共线性关系, 可作为独立变量进行二元 Logistic 回归分析。

将各候选自变量分别代入4个二元 Logistic 模型中, 并删除不符合显著水平(Sig. <0.05)条件

的变量。最终可得: 模型1中, 行驶状态、道路线形、道路类型、区域、照明条件、时段和事故形态等7个变量满足建模条件; 模型2中, 行驶状态、路口路段类型、道路类型、区域、照明条件、时段、节假日类型和车辆间事故形态等8个变量满足建模条件; 模型3中, 行驶状态、道路类型、区域、时段和车辆-行人事故状态等5个变量满足建模条件; 模型4中, 并无自变量满足建模条件, 且在运用卡方检验分析后可得, 各候选自变量的不同取值在因变量上并未表现出差异性。模型1~3的具体拟合结果见表4。

由模型1拟合结果可知: 对整体城市公交事故而言, 公交车辆处于直行状态、在广州市和深圳市区域内、夜间行车、事故形态为车辆间事故或车辆-行人事故等均为事故严重程度的危险影响因素。而在平直线形的城市道路上, 且夜间照明条

表 4 城市公交事故严重程度影响因素分析
Table 4 Analyzing risk factors of city bus accident severity

自变量	参考类别		模型1			模型2			模型3		
			B	Exp (B)	Sig.	B	Exp (B)	Sig.	B	Exp (B)	Sig.
行驶状态	直行	非直行	0.357	1.429	0.000	0.336	1.400	0.001	0.717	2.049	0.000
路口路段类型	路口	路段	-	-	-	0.238	1.269	0.008	-	-	-
道路线形	平直	非平直	-0.211	0.809	0.050	-	-	-	-	-	-
道路类型	城市	非城市	-0.350	0.704	0.000	-0.366	0.694	0.000	-0.473	0.623	0.015
区域	类别1		-0.662	0.516	0.000	-0.693	0.500	0.000	-0.631	0.532	0.015
	类别2	类别4	0.598	1.819	0.000	0.562	1.754	0.000	0.644	1.905	0.005
	类别3		-0.313	0.731	0.001	-0.340	0.712	0.001	-	-	-
照明条件	白天	夜间无路灯照明	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	夜间有路灯照明		-0.440	0.644	0.003	-0.526	0.591	0.002	-	-	-
时段	高峰期	白天	-	-	-	0.188	1.207	0.048	-	-	-
	夜间	平峰期	0.570	1.768	0.000	0.545	1.725	0.000	0.556	1.745	0.003
节假日类型	节假日	工作日	-	-	-	0.177	1.194	0.031	-	-	-
事故形态	车辆间事故	单车事故	0.638	1.894	0.002	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	车辆-行人事故		1.175	3.239	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA
车辆间事故形态	碰撞运动车辆	其他	NA	NA	NA	-	-	-	NA	NA	NA
	碰撞静止车辆		NA	NA	NA	1.330	3.781	0.005	NA	NA	NA
车辆-行人事故形态	刮撞行人	其他	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-	-	-
	碾压行人		NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.435	4.198	0.001
	碰撞后碾压行人		NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.416	11.198	0.000

件好时,城市公交事故严重程度相对较低。

由模型2拟合结果可知:对车辆间事故而言,公交车处于直行状态、路口、在广州市和深圳市区域内、高峰期和夜间行车、节假日和碰撞静止车辆等均为事故严重程度的危险影响因素。而

在城市道路上,且夜间照明条件好时,车辆间事故严重程度相对较低。

由模型3拟合结果可知:对车辆-行人事故而言,公交车处于直行状态、在广州市和深圳市区域内、夜间行车、公交车碾压行人或碰撞后碾

压行人等均作为事故严重程度的危险影响因素。而在城市道路上,车辆-行人事故严重程度相对较低。

2.2.2 模型检验 对模型1~3进行整体检验和Hosmer-Lemeshow检验。检验结果见表5。模型1整体检验的似然比卡方值为369.101,自由度为12,查卡方检验临界值表可知,当显著性水平为0.05时,卡方临界值为21.026。由于369.101大于21.026,且Sig.值小于0.001,说明整体通过检验,拟合优度较好,模型有效性较强。对模型进行Hosmer-Lemeshow检验,得到卡方值为3.916,自由度为7;当显著性水平为0.05时,卡方临界值为14.067。由于3.916小于14.067,且Sig.值为0.789,大于0.05,说明模型1拟合劣度较低,暗示模型缺陷较小。同理可得,模型2和模型3的拟合度也较好。

3 讨论

3.1 城市公交事故严重程度模型比较

研究结果发现,单车事故模型中,并无候选自变量符合建模条件。这可能是由于研究中的单车事故样本量较少,或者单车事故(主要包括乘员跌落或抛出、撞固定物和坠车等情况)的严重程度影响因素与碰撞事故有所不同。在条件允许的情况下,可通过增加样本量和选取其他影响因素,对其严重程度影响因素进行进一步探究。而在其他3个模型中,事故严重程度的影响因素之间存在异同性。

行驶状态、道路类型、区域和时段均能对3个模型中的事故严重程度产生显著影响。然而,各因素的影响存在一定的差异性。例如,在模型2中,高峰期发生严重城市公交事故的概率是白天平峰期的1.207倍,但在其他2个模型中,并未显示这2个时段事故严重程度有所不同。高峰期车辆间严重事故较为高发可能是由该时段车流量较大所致。而模型3直行车辆对事故严重性的影响程

度大于其他2个模型,说明车辆行驶状态对车辆-行人事故严重程度的影响大于其他形态的事故。这可能是由于车辆具有安全装置,能在不同碰撞速度和角度等条件下通过不同的方式最大限度地保护驾驶员和乘客。而行人则缺乏相应的保护措施。车辆直行时速度较快,对行人造成的伤害比非直行时大得多。此外,在模型3中,区域类别3和类别4之间的事故严重程度并不存在明显的差异。

有部分变量仅在其中1个或2个模型中满足建模条件。例如,道路线形仅在模型1中显著影响城市公交事故严重程度,但其并不影响模型2和模型3,而模型4中并无候选自变量符合建模条件。后续可通过增加单车事故样本量,验证道路线形是否显著影响单车事故严重程度,进而影响整体事故严重程度。路口路段类型和节假日类型仅在模型2中显著影响事故严重程度。照明条件同时满足模型1和模型2的建模条件,但在模型3中不显著。这表明路口路段类型、节假日类型和夜间有无灯光照明对车辆-行人事故严重程度影响不显著。

综上所述,不同形态的城市公交事故严重程度影响因素之间既有相同点,又有差异性。这说明,针对不同形态的城市公交事故分别构建模型进行分析,有利于降低城市公交事故数据的异质性,能够有效地挖掘出数据中的信息,更好地为提高城市公交客运安全提供参考依据。

3.2 事故严重程度分析及相关建议

在模型1的拟合结果中,不同形态的事故造成严重后果的概率不同。其中,车辆-行人事故造成严重后果的概率最高,其次为车辆间事故,单车事故严重性最低。此外,碰撞静止车辆和碰撞后碾压行人加大了事故严重性。因此,相关部门和公交企业应建立事故档案数据库,针对不同形态的事故分析其致因,并采取相应措施做好安全管理,有针对性地对驾驶员进行教育和培训,避免严重事故的发生。

表5 模型检验结果

Table 5 Model test results

模型	模型整体检验				Hosmer-Lemeshow 检验			
	计算值	自由度	Sig. 值	卡方临界值	计算值	自由度	Sig. 值	卡方临界值
模型1	369.101	12	0.000	21.026	3.916	7	0.789	14.067
模型2	219.916	13	0.000	22.362	7.683	7	0.361	14.067
模型3	109.851	10	0.000	18.307	0.522	6	0.998	12.592

3个模型中,车辆直行时发生严重事故的概率均高于非直行状态,且在车辆-行人事故中概率最高。Zhang等^[19]在对行人事故的研究中,同样得出直行车辆更易造成严重事故的结论。这可能是因为非直行状态时,驾驶员较为谨慎,所以发生严重事故概率不如直行状态。因此,驾驶员在车辆直行状态下,应同样保持高度警觉。

道路类型和道路线形也是事故严重程度的影响因素。特别地,模型1-3中,非城市道路上的事故严重程度都较高。因此,有线途径非城市道路的公交企业应重视相关线路安全运营,做好线路安全性分析与评价工作,在条件允许的情况下调整安全性较差线路途经的路段;不能调整的,也应落实动态安全监控和驾驶员培训等事故预防措施,以此保障城市公交客运安全。

夜间发生严重事故概率较高。改善夜间照明条件有助于降低事故严重程度,相关部门应做好路灯照明情况排查工作,并在条件允许的无照明区域加装照明设备。驾驶员经过照明条件较差的区域应提高警惕性,以免导致事故。此外,驾驶员在高峰期和节假日需提防发生车辆间严重事故;公交企业在这些特殊时段和日期也应做好安全行车监控和驾驶员提醒工作。

构建 Logistic 模型分析可得,广州市和深圳市发生严重城市公交事故的概率远高于其他地区。而 K-means 聚类分析同样得出这 2 个城市恶性事故较为高发。因此,广州市和深圳市的交通管理部

门和公交企业应着力探究此现象的根源,并采取有针对性的措施降低事故严重程度。东莞市城市公交事故严重性虽然较低,但事故基数大,也应引起相关部门的重视。

4 结 论

1) 文中将城市公交事故依据不同形态划分为车辆间事故、车辆-行人事故和单车事故。针对不同形态类别的事故和整体事故构建事故严重程度 Logistic 模型。结果表明,除单车事故模型外,各模型拟合度良好。

2) 各模型中,城市公交事故严重程度的影响因素具有异同性,说明针对不同形态的事故构建模型,有利于降低城市公交事故数据的异质性。

3) 对事故严重程度影响因素的分析可为降低城市公交事故严重性提供一定参考依据。相关部门可在基础设施建设和交通管理等方面采取措施改善城市公交行驶环境;公交企业可通过开展线路安全性分析评价、动态安全监控和驾驶员教育培训等工作确保城市公交行车安全。

4) 文中建立的单车事故严重程度 Logistic 模型中,并无候选自变量满足建模条件,可能是由样本量不足或影响因素选取不恰当造成的。今后可通过增加样本量和选取其他因素进一步挖掘单车事故严重程度的影响因素。此外,不同地区的城市公交客运安全水平不同,后续可探究区域城市公交客运安全水平时空异质性的相关影响因素。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部综合规划司. 2017年交通运输行业发展统计公报[R]. 2018.
MOT of PRC. Statistical bulletin on transportation industry development in 2017[R]. 2018.
- [2] 李志宏. 突发事件中网络舆论负面态势形成的原因及引导策略—以“万州公交车坠江事件”为例[J]. 新闻研究导刊, 2018, 9(23):53-54.
LI Z H. Reasons and guidance strategies for the formation of negative situation of network public opinion in emergency events: take "Wanzhou bus crash incident" as an example[J]. Journal of News Research, 2018, 9(23):53-54.
- [3] 林庆丰, 邓院昌, 张圆, 等. 公交驾驶员驾驶愤怒量表的编制及初步应用[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(6):49-54.
LIN Q F, DENG Y C, ZHANG Y, et al. Development of driving anger scale for bus drivers and its preliminary application[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(6):49-54.
- [4] MALLIA L, LAZURAS L, VIOLANI C, et al. Crash risk and aberrant driving behaviors among bus drivers: the role of personality and attitudes towards traffic safety[J]. Accident Analysis & Prevention, 2015, 79(35):145-151.
- [5] WAHLBERG A E, DORN L. Bus drivers who leave; were they more crash-involved?[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2019, 60:524-535.
- [6] SHI X, ZHANG L. Effects of altruism and burnout on driving behavior of bus drivers[J]. Accident Analysis &

- Prevention, 2017, 102:110-115.
- [7] 李琪. 公交车辆交通事故影响因素研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- [8] WAHLBERG A E. If you can't take the heat: Influences of temperature on bus accident rates[J]. Safety Science, 2008, 46(1):66-71.
- [9] 刘文玲, 钱晓飞, 裴军. 基于关联规则的公交事故受伤情况预测研究[J]. 控制工程, 2016, 23(9):1448-1453.
- LIU W L, QIAN X F, PEI J. Application of association rule for forecasting injuries in bus accidents[J]. Control Engineering of China, 2016, 23(9):1448-1453.
- [10] KAPLAN S, PRATO C G. Risk factors associated with bus accident severity in the United States: a generalized ordered logit model [J]. Journal of Safety Research, 2012, 43(3):171-180.
- [11] DEPAIRE B, WETS G, VANHOOF K. Traffic accident segmentation by means of latent class clustering [J]. Accident Analysis & Prevention, 2008, 40(4): 1257-1266.
- [12] BEDARD M, GUYATT G H, STONES M J, et al. The independent contribution of driver, crash, and vehicle characteristics to driver fatalities [J]. Accident Analysis & Prevention, 2002, 34(6):717-727.
- [13] 王亚, 应佳丽, 杨琛, 等. 应用聚类分析识别上海浦东新区道路交通事故模式[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(12):1106-1113.
- WANG Y, YING J L, YANG C, et al. Application of cluster analysis in pattern recognition of traffic crashes in Pudong New Area of Shanghai [J]. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2018, 35(12): 1106-1113.
- [14] FENG S, LI Z, CI Y, et al. Risk factors affecting fatal bus accident severity: Their impact on different types of bus drivers [J]. Accident Analysis & Prevention, 2016, 86:29-39.
- [15] 张坤, 梅诗冬, 景国勋, 等. 数据挖掘技术在我国道路交通安全评价中的应用[J]. 安全与环境工程, 2018, 25(1):76-81.
- ZHANG K, MEI S D, JING G X, et al. Application of data mining methods in evaluating the safety level of road traffic [J]. Safety and Environmental Engineering, 2018, 25(1):76-81.
- [16] 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, 29(5):116-123.
- FENG Z X, LEI Y W, ZHANG W H, et al. Analysis on traffic severity influenced by road environment on circular highway [J]. China Journal of Highway and Transport, 2016, 29(5):116-123.
- [17] 马柱, 陈雨人, 张兰芳. 城市道路交通事故严重程度影响因素分析[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2014, 33(1):111-114.
- MA Z, CHEN Y R, ZHANG L F. Influence factors of accident severity for urban road [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2014, 33(1):111-114.
- [18] 王涛, 黎文皓, 李文勇. 电动自行车交通事故严重程度影响因素分析[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2017, 42(6):2080-2088.
- WANG T, LI W H, LI W Y. Influence factors and injury severity in electric bicycles traffic crashes [J]. Journal of Guangxi University: Nat Sci Ed, 2017, 42(6): 2080-2088.
- [19] ZHANG G, YAU K K W, ZHANG X. Analyzing fault and severity in pedestrian-motor vehicle accidents in China [J]. Accident Analysis & Prevention, 2014, 73: 141-150.

(责任编辑 王海蓉)