

基于 VISSIM 仿真的高速公路交通事故 拥堵扩散与消散预测

余雪,高超,张冲,武青青,徐长舜,郭春敏

山东交通学院交通与物流工程学院,山东 济南 250357

摘要:为解决高速公路交通事故产生的偶发性拥堵问题,采用仿真软件 VISSIM 模拟道路交通事故拥堵演变过程,以 15 min 为统计间隔获取交通流数据,通过数据拟合得到拥堵和不拥堵 2 种状态下交通速度-密度的分段关系式,基于交通波理论建立高速公路交通拥堵扩散与消散预测模型,计算不同上游到达流量和不同事故车辆阻断时间下的交通拥堵持续时间,并通过 VISSIM 仿真验证模型的准确性。结果表明,高速公路交通拥堵扩散与消散预测模型对交通拥堵持续时间的预测准确度约为 95%,能较好地预测高速公路交通拥堵变化。高速公路交通拥堵扩散与消散预测模型对合理安排人力与物力救援资源、提高道路通行效率具有重要意义。

关键词:高速公路;交通拥堵;VISSIM 仿真;交通事故;持续时间

中图分类号:U491.31

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2023)03-0047-06

引用格式:余雪,高超,张冲,等.基于 VISSIM 仿真的高速公路交通事故拥堵扩散与消散预测[J].山东交通学院学报,2023,31(3):47-52.

YU Xue,GAO Chao,ZHANG Chong, et al. The prediction of congestion diffusion and dissipation when encounter traffic accident on expressway based on VISSIM simulation[J]. Journal of Shandong Jiaotong University,2023,31(3):47-52.

0 引言

高速公路交通拥堵分为常发性拥堵和偶发性拥堵^[1-2]。交通事故造成的拥堵属于偶发性拥堵,对道路通行效率影响较大,准确地预测交通拥堵的影响范围和持续时间,对提高高速公路交通事故救援效率有重要意义。

张辉^[3]从高速公路交通拥堵产生及消散过程寻找规律,建立拥堵动态扩散预测模型预测交通流变化。刘红军^[4]根据交通流理论,研究区域路网的时空特征,采用 K-Means 聚类算法划分区域路段速度参数,以交通波模型和 Van Aerde 模型为基础,从宏观角度寻找交通拥堵扩散规律,构建路网交通拥堵扩散模型。刘格格等^[5]采用 AnyLogic 模型,根据现实情形建立以速度和车头间距为指标的交通拥堵状态评价模型,并验证模型的准确性。袁绍欣^[6]从宏观交通流角度出发,采用时间离散化方法建立模型研究交通拥堵,在分析交叉口时,选择通行能力分配离散模型,研究进口道与出口道的拥堵扩散情况。Greenshields^[7]基于照片数据采用单一结构线性模型表征交通流的速度与密度间的关系。杨思琪^[8]分析异常事件下不同因素对交通拥堵扩散与消散的影响,采用仿真软件 VISSIM 模拟事故拥堵过程,根据非线性回归分析仿真结果,构建交通事故时空影响预测模型。相关研究多基于宏观角度探索交通拥堵扩散与消散,构建的模型不一定贴合实际情况。主要采用交通流理论中的交通波理论和交通仿真 2 种方法分析交通拥堵与扩散^[9-11],通过交通流理论建立交通拥堵模型,需论证模型是否符合交通流特点,模型的预测

收稿日期:2022-11-10

基金项目:山东省自然科学基金青年项目(ZR2021QG041);山东省自然科学基金面上项目(ZR2022MG077)

第一作者简介:余雪(2000—),女,安徽六安人,硕士研究生,主要研究方向为交通运输,E-mail:2412088006@qq.com。

精度也需进一步提升。

本文根据交通流三参数理论^[12-15],采用软件 VISSIM 模拟交通事故场景,获取交通流数据,构建高速公路交通拥堵扩散与消散预测模型,计算不同上游到达流量和不同事故车辆阻断时间的高速公路交通拥堵持续时间,并采用 VISSIM 进行仿真,验证模型的准确性。

1 交通流三参数理论

1.1 传统交通流三参数模型

流量、速度和密度是表示交通流特征的3个参数。美国专家格林希尔兹提出了交通流速度-密度的单段式线性关系模型(格林希尔兹模型)^[16],公式为:

$$v = v_f(1 - k/k_j),$$

式中: v 为交通流速度,km/h; v_f 为自由流速度,km/h; k 为交通流密度,辆/km; k_j 为阻塞密度,辆/km。

高速公路上车辆逐渐增多(k 增大), v 会逐渐减小, v 与 k 为线性关系,格林希尔兹模型在交通密度适中的情况下比较符合实际。但格林希尔兹模型与现实交通流数据存在一定偏差,相关学者根据不同的研究方法得到适用于不同交通流状态的关系模型,如格林伯模型、安德伍德模型。格林伯模型适用于交通拥堵状态的交通流,为对数关系模型^[16],公式为:

$$v = v_m \ln(k_j/k),$$

式中: v_m 为流量最大时的车速,称为最佳车速,km/h。

安德伍德模型适用于交通密度较小的交通流,为指数模型^[17],公式为:

$$v = v_f e^{-k/k_m},$$

式中: k_m 为流量最大时对应的交通流密度,称为最佳密度,辆/km。

交通事故阻断具有突发性和高密度拥堵的特点,存在由低密度向高密度的跃迁,采集高密度和低密度变化的数据较困难。本文采用 VISSIM 仿真的方法获取交通事故拥堵和不拥堵状态下交通流关系模型。

1.2 基于 VISSIM 仿真的交通流三参数模型

本文研究双向四车道交通拥堵时流量与密度的关系,采用软件 VISSIM 模拟交通事故场景。仿真路段为长 10 km、限速 100 km/h 的高速公路,驾驶行为类型选择 Wiedemann99 模型,设置单侧车道事故,并产生拥堵,输入上游到达流量分别为 1 000、2 000、3 000、4 000 辆/h,模拟多种交通流状态。高速公路交通拥堵仿真示意图如图 1 所示。

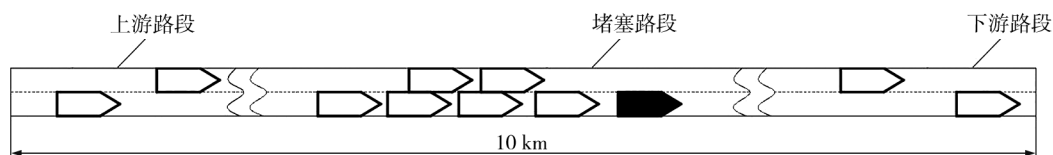


图1 高速公路交通拥堵仿真示意图

在软件 VISSIM 中设置预热时间为 1 000 s,剔除预热前的不稳定数据,确保流量完全加载。在高速公路右侧道路设置事故车辆拥堵点,在拥堵点上游、下游和拥堵区域每隔 100 m 设置数据检测器,阻断时间为 1 h,得到不同上游到达流量下,下游交通流率的变化如图 2 所示。由图 2 可知:上游到达流量小于 2 000 辆/h 时,高速公路单车道通行能力大于上游到达流量,因此单车道阻断不会发生交通拥堵;上游到达流量大于 2 000 辆/h 时,上游到达流量超过高速公路单车道通行能力,在阻断时间内,车流通行流量受限,车流随机波动现象被抑制,表现为以某一稳定流量通过拥堵路段。上游到达流量越大,拥堵持续时间越长,拥堵时间与上游到达流量正相关。

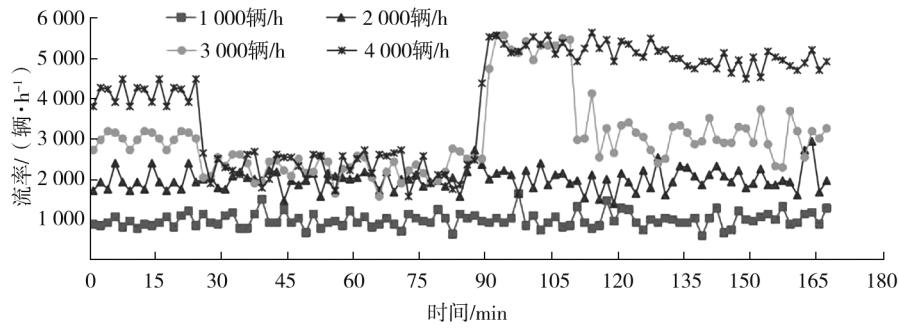


图2 不同上游到达流量下下游交通流率的变化

以 15 min 为间隔统计交通拥堵路段的交通流数据,通过数据拟合得到拥堵和不拥堵 2 种状态下交通流速度-密度拟合散点图,如图 3 所示。由图 3 可知:不拥堵状态到拥堵状态为跃迁变化,不符合格林希尔兹模型,不拥堵状态和拥堵状态下速度与密度的关系模型表现为分段模型。通过拟合分别得到不拥堵、拥堵状态的速度与密度间的关系式为:

$$\begin{cases} v_1 = v_{11}(1 - k_1/k_{j1}) \\ v_2 = v_{12}(1 - k_2/k_{j2}) \end{cases}, \quad (1)$$

式中: v_1 、 v_2 分别为不拥堵、拥堵状态的交通流速度; v_{11} 、 v_{12} 分别为不拥堵、拥堵状态的自由流速度; k_1 、 k_2 分别为不拥堵、拥堵状态的交通流密度; k_{j1} 、 k_{j2} 分别为不拥堵、拥堵状态的阻塞密度。

令 $a_1 = v_{11}/k_{j1}$, $b_1 = v_{11}$, $a_2 = v_{12}/k_{j2}$, $b_2 = v_{12}$, 对图 3 中的散点数据进行拟合,得到相关参数为: $a_1 = -0.06$, $b_1 = 91.68$, $R_1^2 = 0.81$, $a_2 = -0.36$, $b_2 = 53.63$, $R_2^2 = 0.95$ 。高速公路交通流数据在拥堵状态和不拥堵状态的拟合效果较好,说明所建立的分段模型能较好地描述不拥堵状态和拥堵状态的交通流。

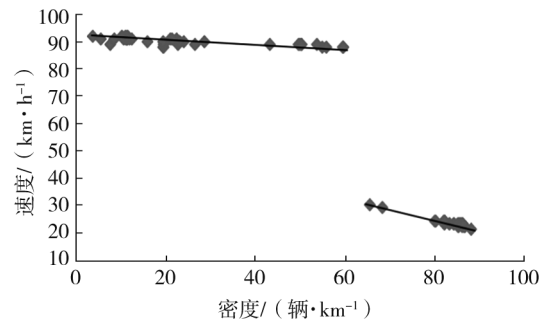


图3 交通流速度-密度拟合散点图

2 交通拥堵扩散与消散预测模型

2.1 交通拥堵扩散过程建模

根据高速公路交通事故区域上、下游交通状态,将高速公路划分为上游车辆到达区域、中游交通拥堵区域和下游事故影响恢复区域^[18-20]。上游车辆到达区域和中游交通拥堵区域交界处形成集结波,根据格林希尔兹模型及交通波理论,结合式(1),推导得到集结波的波速

$$v_{w1} = (Q_1 - Q_2)/(k_1 - k_2),$$

式中: Q_1 为不拥堵路段的流量, $Q_1 = v_{11}(k_1 - k_1^2/k_{j1})$; Q_2 为拥堵路段的流量, $Q_2 = v_{12}(k_2 - k_2^2/k_{j2})$ 。

2.2 交通拥堵消散过程建模

清除交通事故车辆后,在中游交通拥堵区域和下游事故影响恢复区域交界处形成消散波,下游车辆以最大流量疏散,根据交通波理论,得到消散波的波速

$$v_{w2} = (Q_2 - Q_3)/(k_2 - k_3),$$

式中: Q_3 为清除事故车辆后的流量, $Q_3 = v_{11}(k_3 - k_3^2/k_{j1})$; k_3 为清除事故车辆后的密度。

2.3 交通拥堵持续时间建模

清除交通事故车辆后,在中游交通拥堵区域和下游事故影响恢复区域交界处形成消散波的同时,上游车辆到达区域和中游交通拥堵区域交界处的集结波仍存在。简化集结波波速和消散波波速公式,得到:

$$v_{w1} = (v_{11}k_1 - v_{12}k_2 - v_{11}k_1^2/k_{j1} + v_{12}k_2^2/k_{j2})/(k_1 - k_2), \quad (2)$$

$$v_{w2} = (v_{12}k_2 - v_{11}k_3 - v_{12}k_2^2/k_{j2} + v_{11}k_3^2/k_{j1})/(k_2 - k_3). \quad (3)$$

设从事故发生到清除事故车辆的时间为 t_0 , 清除事故车辆到完成交通拥堵消散的时间为 t_s , 交通拥堵持续时间为 t_j , 则 $|v_{w1}|(t_0 + t_s) = |v_{w2}|t_s$, $t_s = |v_{w1}|t_0/(|v_{w2}| - |v_{w1}|)$, $t_j = t_0 + t_s = |v_{w2}|t_0/(|v_{w2}| - |v_{w1}|)$ 。

3 仿真实验

采用软件 VISSIM 模拟交通事故造成的单车道阻塞, 上游到达流量分别为 2 000、2 500、3 000、3 500、4 000 辆/h, 预热 1 000 s, t_0 分别为 60、90、120、150、180 min。

根据式(2)(3)计算不同上游到达流量下的 v_{w1} 与 v_{w2} , 如表 1 所示。分别采用高速公路交通拥堵扩散和消散预测模型、VISSIM 仿真得到不同上游到达流量和不同 t_0 时的计算结果 t_j 与仿真结果 t_j' , 见表 2。

表 1 不同上游到达流量下的波速

上游到达流量/(辆·h ⁻¹)	$v_{w1}/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	$v_{w2}/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$
2 000	-0.79	-18.69
2 500	-2.93	-30.90
3 000	-16.00	-50.00
3 500	-57.70	-124.65
4 000	-95.20	-151.60

表 2 不同上游到达流量和不同 t_0 下的 t_j 与 t_j'

上游到达 流量/(辆·h ⁻¹)	t_j/min					t_j'/min				
	$t_0 =$	$t_0 =$	$t_0 =$	$t_0 =$	$t_0 =$	$t_0 =$	$t_0 =$	$t_0 =$	$t_0 =$	$t_0 =$
	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
2 000	62.6	94.0	125.3	156.6	188.0	63.0	93.0	122.0	154.0	186.0
2 500	66.0	99.0	132.6	165.7	199.0	79.0	110.0	133.0	168.0	202.0
3 000	88.0	132.0	176.0	220.0	264.0	92.0	133.0	172.0	200.0	238.0
3 500	112.0	167.6	223.4	279.0	325.0	124.0	167.0	215.0	261.0	308.0
4 000	161.0	242.0	323.0	403.0	484.0	177.0	234.0	321.0	379.0	434.0

为验证高速公路交通拥堵扩散与消散预测模型的准确性, 计算 t_j 与 t_j' 的相对误差 $\delta = |t_j' - t_j|/t_j' \times 100\%$, 结果如表 3 所示。由表 3 可知: $\bar{\delta} = 5.1\%$, 高速公路交通拥堵扩散和消散预测模型的预测准确度约为 95%, 可较好地预测交通事故拥堵扩散和消散过程。

表 3 不同上游到达流量和不同 t_0 下 t_j 与 t_j' 的 δ

上游到达 流量/(辆·h ⁻¹)	$\delta/\%$				
	$t_0 = 60 \text{ min}$	$t_0 = 90 \text{ min}$	$t_0 = 120 \text{ min}$	$t_0 = 150 \text{ min}$	$t_0 = 180 \text{ min}$
2 000	0.6	1.0	2.6	1.7	1.1
2 500	19.7	11.1	0.3	1.4	1.5
3 000	4.5	0.8	2.3	9.1	9.8
3 500	10.7	0.4	3.8	6.5	8.1
4 000	9.9	3.3	0.6	6.0	10.3

4 结论

本文基于交通流三参数理论和交通波理论, 分析高速公路交通事故拥堵演变过程, 采用软件 VISSIM 仿真获取交通事故拥堵和不拥堵状态下的交通流数据, 建立高速公路交通拥堵扩散和消散预测模型。

1) 交通事故阻断具有突发性和高密度拥堵的特点, 存在由低密度向高密度的跃迁, 交通流三参数关

系不再符合格林希尔兹模型,在拥堵和不拥堵情况下速度与密度的关系模型表现为分段模型。

2) 建立基于分段交通流三参数模型和交通波理论的高速公路交通拥堵扩散与消散预测模型,通过仿真验证,该模型预测准确度约为95%,可较好地预测高速公路交通拥堵持续时间。

3) 交通拥堵的影响程度与上游到达流量、事故车辆阻断时间等因素有关,上游到达流量越大、事故车辆阻断时间越长,交通拥堵持续时间越长。

高速公路交通拥堵扩散和消散预测模型对科学合理地安排交通事故的救援工作,尽快疏导交通拥堵,减少道路交通损失具有重要意义。

参考文献:

- [1] 占海文. 基于 CBR 的城市道路交通拥堵疏导决策支持技术研究[J]. 中阿科技论坛(中英文),2022(4):155-158.
ZHAN Haiwen. Research on decision support technology for urban road traffic congestion relief based on CBR[J]. China-Arab Science and Technology Forum, 2022(4):155-158.
- [2] 裴玉龙,于舰. 交通事件影响下驾驶人行为选择计量分析模型[J]. 交通科技与经济,2021,23(1):14-18.
PEI Yulong, YU Jian. Quantitative analysis model of driver's behavior choice under the influence of traffic events[J]. Technology & Economy in Areas of Communications,2021,23(1):14-18.
- [3] 张辉. 高速公路交通拥堵动态扩散模型与仿真研究[D]. 南京:东南大学,2018.
ZHANG Hui. Dynamic prediction model and simulation study of freeway congestion [D]. Nanjing: Southeast University,2018.
- [4] 刘红军. 城市区域路网的交通拥堵扩散模型与仿真研究[D]. 赣州:江西理工大学,2022.
LIU Hongjun. Research on traffic congestion diffusion model and simulation of urban regional road network [D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology,2022.
- [5] 刘格格,万传风,李欣,等. 基于 AnyLogic 的道路交通拥堵仿真分析[J]. 中国公路,2022(14):94-97.
- [6] 袁绍欣. 城市交通拥堵传播机理及其控制策略研究[D]. 西安:长安大学,2012.
YUAN Shaoxin. Study on the mechanism of urban traffic congestion propagation and its control strategies [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [7] GREENSHIELDS B D. A study of traffic capacity[J]. Highway Research Board Proceedings,1935,14:448-477.
- [8] 杨思琪. 高速公路交通拥堵状况预测模型的研究与应用[D]. 广州:华南理工大学,2017.
YANG Siqi. Research and application on expressway intelligent prediction model of traffic congestion [D]. Guangzhou: South China University of Technology,2017.
- [9] 常桃宁. 城市道路交通拥堵扩散机理研究[D]. 成都:西南交通大学,2018.
CHANG Taoning. Research on the mechanism of traffic congestion diffusion in urban road [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University,2018.
- [10] 纪英,高超. 道路堵塞时排队长度和排队持续时间计算方法[J]. 交通信息与安全,2009,27(增刊1):41-43.
JI Ying, GAO Chao. Method to calculate vehicle queuing length and queuing duration under crowded road [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2009,27(Suppl. 1):41-43.
- [11] 钱刚,蒋珉,柴干. 高速公路事故影响范围的研究[J]. 计算机技术与发展,2014,24(6):83-86.
QIAN Gang,JIANG Min, CHAI Gan. Study on expressway traffic accident influence scope [J]. Computer Technology and Development,2014,24(6):83-86.
- [12] 魏梦媛. 基于时间卷积网络的城市快速路交通流量预测方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2020.
WEI Mengyuan. Research on urban expressway traffic flow forecasting method based on time convolution network [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2020.
- [13] 王硕. 基于特性分析的短时交通流预测方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2019.
WANG Shuo. Research on short-term traffic flow prediction method based on characteristic analysis [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2019.
- [14] 王丽媛. 基于时空特征的高速公路车流的异常数据识别和修复[D]. 北京:北京交通大学,2021.
WANG Liyuan. Abnormal data recognition and repair of traffic flow on expressway based on spatiotemporal characteristics

- [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.
- [15] 李旭. 快速路偶发性交通拥堵影响范围动态界定及疏导策略研究[D]. 北京: 中国人民公安大学, 2019.
LI Xu. Study on the impact scope of nonrecurring traffic congestion defining and dispersion of expressway[D]. Beijing: People's Public Security University of China, 2019.
- [16] UNDERWOOD R T. Speed, volume, and density relationships[J]. *Quality and theory of traffic flow*, 1960;141-188.
- [17] 邹家翠. 基于VISSIM仿真的交通事故下城市道路通行能力影响分析[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2021.
ZOU Jiacui. Impact analysis of urban road capacity under traffic accident based on VISSIM simulation[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2021.
- [18] 许宏科, 赵威, 杨孟, 等. 基于改进BPNN的高速公路交通事故持续时间预测[J]. *华东交通大学学报*, 2020, 37(5): 60-65.
XU Hongke, ZHAO Wei, YANG Meng, et al. Prediction of expressway traffic accident duration based on the improved BPNN[J]. *Journal of East China Jiaotong University*, 2020, 37(5): 60-65.
- [19] ZOU Y J, TANG J J, WU L T, et al. Quantile analysis of factors influencing the time taken to clear road traffic incidents[J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 2017, 170(5): 296-304.
- [20] 梁雪. 基于VISSIM仿真的高速公路有效通行能力与交通事故相关性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
LIANG Xue. Research on the correlation between expressway effective capacity and traffic accident based on VISSIM simulation[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.

The prediction of congestion diffusion and dissipation when encounter traffic accident on expressway based on VISSIM simulation

*YU Xue, GAO Chao, ZHANG Chong, WU Qingqing,
XU Changshun, GUO Chunmin*

School of Transportation and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China

Abstract: In order to solve the problem of accidental congestion on expressway, VISSIM simulation is used to simulate the process of congestion formation caused by traffic accidents, so, traffic flow data are obtained at the statistical interval of 15 min. Through data fitting, the segmental relation formula of speed-density under two situations of congestion and non-congestion are obtained. Based on the traffic wave theory, a prediction model of expressway traffic congestion diffusion and dissipation is established to calculate the duration of traffic congestion under different upstream arrival flows and different blocking periods in various traffic accidents. The accuracy of the model is tested by using VISSIM simulation. The results show that the prediction accuracy of the traffic congestion on expressway diffusion and dissipation prediction model is around 95%, which can predict the change of traffic congestion very well. The prediction model of traffic congestion on expressway diffusion and dissipation is helpful to the reasonable arrangement of human and material rescue resources, also it is very useful to enhance the traffic flow efficiency.

Keywords: expressway; traffic congestion; VISSIM simulation; traffic accident; duration

(责任编辑: 郭守真)