

城乡接合部道路交通事故辐射范围分析

杨 松¹, 胡立伟², 薛 刚², 李林育², 王 淼²

(1.保山市交通规划设计院, 云南 保山 678000; 2.昆明理工大学 交通工程学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 为合理确定城乡接合部道路交通事故的影响范围, 以重力模型为基础, 构建城乡接合部影响带模型。分析城乡接合部道路交通事故辐射范围的4个影响因素: 交通流特征参数、交通组成、道路横断面、土地利用。对交通事故影响持续时间进行分析计算, 进而基于烟羽模型构建城乡接合部道路交通事故辐射范围模型。最后, 根据昆明市兴呈路事故数据验证了模型的可行性。同时为便于实际应用, 建立了道路交通事故辐射范围分析系统, 可得到事故在时间和空间上的动态影响范围。

关键词: 交通工程; 道路交通事故; 城乡接合部; 辐射范围; 烟羽模型

Impact Area of Road Traffic Accidents in Urban-Rural Fringe

Yang Song¹, Hu Liwei², Xue Gang², Li Linyu², Wang Miao²

(1. Baoshan Communications Planning and Design Institute, Baoshan Yunnan 678000, China; 2. Faculty of Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650500, China)

Abstract: In order to identify impact area of road traffic accidents in urban-rural fringe, this paper develops an impact zones model based on gravity model. Four influential factors on the coverage of road traffic accidents in urban-rural fringe are discussed, such as characteristics of traffic flow, traffic composition, roadway cross-section, and land-use patterns. Moreover, the impact duration is generated through the developed plume model. The accidents data of Xingcheng road, Kunming is adopted as a case study to verify the feasibility of proposed model. The paper establishes an analytical system for detecting impact area within the road traffic accidents so as to generate the spatial/temporal impact of road traffic accidents.

Keywords: traffic engineering; road traffic accidents; urban-rural fringe; coverage scope; plume model

收稿日期: 2015-04-27

基金项目: 陆地交通气象灾害防治技术国家工程实验室开放研究基金项目“高原雾天气象对高速公路交通的影响及其安全保障机制研究——以云贵高原为例”(NELJA201605)、云南省教育厅科学研究基金项目“高原立体地质气象环境对公路交通安全的影响研究”(2015Y082)、云南省科技计划项目“主动式汽车刹车系统温度实时检测与行车安全监控装置研发及应用示范”(2013CA025)

作者简介: 杨松(1962—), 男, 云南保山人, 高级工程师, 主要研究方向: 道路交通勘察设计。

E-mail: 1422460335@qq.com

0 前言

随着中国城镇化进程的加快, 城市不断向外围扩展, 使得毗邻乡村地区的土地利用性质从农业逐渐向工业、商业、居住等职能转化, 从而使连通城市和乡村的道路(城乡接合部道路)交通问题日益突出, 其中交通事故发生以及影响范围也愈加复杂。

国内外针对该类问题开展了一系列相关

研究。文献[1]提出了发生交通事故时评价交通网络效率的一般框架。文献[2]利用修正的静态UE均衡模型, 提出在已知交通事故发生的条件下如何确定交通事故对城市交通网络效率的影响。文献[3]提出路网分区响应时间最小化模型, 模型参数中包括了交通事故负荷的约束条件。文献[4]对交通事故持续时间的前三个阶段——事件发现阶段、事件响应阶段、事件清除阶段分别建模。文献[5]建

立基于车流波动理论的累积流量到达一离开曲线模型,运用模型估计高速公路交通拥堵扩散范围,该模型的最大优点是实际数据为基础建立。文献[6]改进了累积到达一离开模型,利用模型估计瓶颈路段排队的时空扩散范围。在中国只对高速公路、城市道路等设施比较完善的道路系统开展过相关研究。文献[7]针对中国高速公路事故多发的特点,从初次交通事故交通流辐射分析入手,阐述高速公路交通事故影响范围和影响时间的分析方法。文献[8]在传统密闭道路集散波模型的基础上,提出了考虑匝道及衔接道路的路网事件辐射范围预测模型。文献[9]以交通流理论为基础进行交通事故影响范围算法分析,将影响范围分成交通事故处理和持续影响两个时间段。文献[10]对微观交通事故引起的车流拥堵排队现象进行分析,得出拥堵路段行程时间、排队消散时间等参数。

综上,国内外学者在交通事故对道路的影响方面开展了大量研究,国外研究主要是分析交通事故对道路网的影响,但其研究成果并不能完全适用于中国道路,特别是不能用于中国城乡接合部这一类交通特别复杂的地带。中国对交通事故影响范围的研究主要集中于高速公路和等级比较高的城市道路,由于城镇化进程的快速发展,城乡接合部道路的使用越来越多,导致其交通问题日益突出,本文着重于分析城乡接合部道路交通事故的辐射范围。

1 城乡接合部范围的确定及影响因素分析

1.1 城乡接合部范围

城乡接合部是城市和农村交界的地带,是中国城镇化过程中最为活跃且矛盾最为尖锐的地区,正成为城市发展的直接延伸带。城乡接合部是动态发展的,随着城市的发展不断向外扩张;城乡接合部带宽的改变是不定向改变,但是总体趋势是内外边缘都在向

外扩张,短时间内还具有稳定特性。近些年,一些学者将重力模型用于经济学、交通工程学等领域,分析研究对象的相互影响关系^[11]。本文在借鉴万有引力的基础上建立城乡接合部带宽理论模型

$$L = \left(\alpha \beta \frac{P_1 P_2}{H} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

式中: L 为影响边界到城市质心的距离; α 为城市引力系数; β 为乡村引力系数; P_1 为城市的质量,可用城市总交通吸引量表征; P_2 为乡村的质量,可用乡村总交通吸引量表征; H 为城乡引力值。

应用层次分析法原理,确定引力系数 α 和 β 。把乡村至城市分为5个等级,一级为乡村,五级为城市。采用景观多样性、GDP、人口密度、土地利用多样性4个指标和九级标度法对各等级进行评分,通过多次调整发现乡村相对于城市的引力系数一般为0.05~0.10,利用层次分析法得到乡村至城市各等级权重(见表1)。在研究城乡接合部时,把城市引力系数看成1,即 $\alpha=1$,那么乡村的引力系数为 $\beta=0.05\sim 0.10$ 。对所得结果进行一致性检验, $CR<1$,通过一致性检验。

要确定城乡接合部带宽,可以转化为求城市的边界和求乡村的边界。由于城乡在各个方向的边界到城市的质心不是固定等值,为了更容易理解,选取单个方向研究。假设城市的交通吸引量为 P_1 ,如果在某一方向上,乡村的交通吸引量为 P_2 ,对应的城市对乡村和乡村对城市的引力值分别为 H_1 , H_2 。那么将 P_1 , P_2 和 H_1 , H_2 代入式(1)则有

$$L_1 = \left(\alpha \beta \frac{P_1 P_2}{H_1} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

$$L_2 = \left(\alpha \beta \frac{P_1 P_2}{H_2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

假设以乡村对城市的引力值所得到边界的上限值为 L_2 ,城市对乡村的引力值所得边界的下限值为 L_1 ,在 L_1 和 L_2 之间的区域称为城乡接合部影响带(见图1),其宽度 $d=L_1-L_2$ 。

1.2 辐射范围影响因素

交通事故辐射即交通事故发生后以人车

表1 乡村至城市各等级权重

Tab.1 Level weights from rural to urban areas

等级	一级	二级	三级	四级	五级
权重	0.041 27	0.075 33	0.159 52	0.302 08	0.421 798

为主体，以时间和空间为载体，受到外界各种约束而逐渐辐射的过程。城乡接合部交通事故因素相比城市道路和高速公路更为复杂，本文从4个方面对影响辐射范围的因素进行分析。

1) 交通流特征。

在交通系统中，车辆与车辆之间是相互制约的。如果路段发生交通事故，前面的车辆被迫停车或者需要减速，后面的车辆也要做出相应反应，交通流处于跟驰状态或排队状态^[13]。同时，驾驶人的驾驶特性对交通流也会产生影响，因此也影响到事故的辐射范围。

路段交通量与事故持续时间变化关系如图2所示，图中y轴表示路段交通量，x轴表示时间。A为事故发生时间点；B为事故处理完节点，对应的时间 T_1 为处理时间；C为道路恢复原来交通状况，对应的时间 T_2 为事故消散时间。事故发生后，道路通行能力降低，路段交通量减少，车辆开始排队并且向上游传播。事故处理完毕后，事故节点B开始消散，交通量增大直到节点C恢复交通状况。

2) 交通组成。

道路交通结构由机动车、非机动车和行人等构成。根据昆明典型城乡接合部道路调查，发现其交通流中车辆构成复杂，各种车型比例不协调(见图3)，且车辆总体性能低，造成不同类型车辆间的速度相差悬殊。大型车的长宽都大于小型车，对后侧和旁侧车辆的驾驶人视线和心理会造成影响。为保障安全，小型车会与大型车保持较大的车间距。大型车一般为货车和大客车，由于受到货物质量、乘客人身安全以及公司管理规定等因素的影响，行驶速度不会太快；小型车通常以私人小汽车居多，为了节省时间而高速行驶，加之动力性能较好，所以超速的情况经常发生。

不同车型混合行驶导致车辆运行相互干扰现象严重，既限制了车辆的行驶性能，又易导致车辆之间发生冲突，造成交通事故。当发生交通事故时，混行程度越严重交通事故的影响范围就越大，影响时间越长。

3) 道路横断面。

道路横断面对交通的影响可以分成两类：一是道路横断面的形式，二是车道数。

从宏观上看，道路横断面越宽通行能力越强，行车越顺畅，发生交通事故后基本能满足道路通行要求，对交通事故辐射影响越小。道路横断面形式不同，横向安全性也不

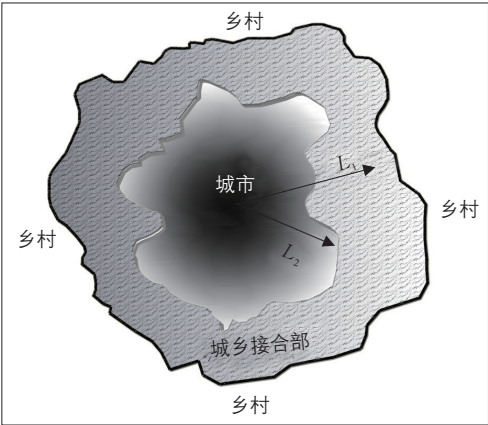


图1 城乡接合部影响带示意
Fig.1 Impact zones in urban-rural fringe

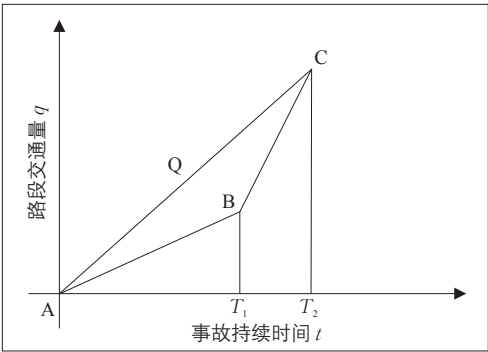


图2 路段交通量与事故持续时间的变化关系
Fig.2 Relationship between traffic flow and the duration of accidents

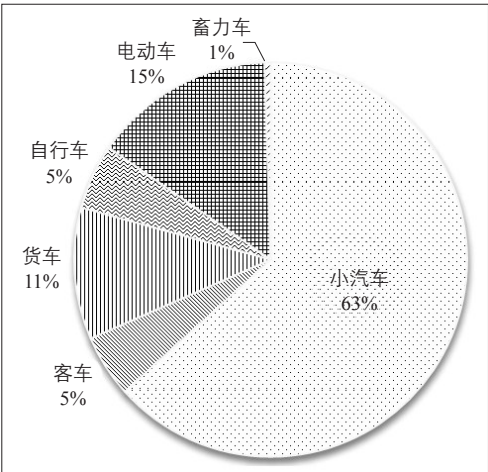


图3 昆明典型城乡接合部道路交通结构统计
Fig.3 Road traffic structure of a typical urban-rural fringe in Kunming

同。一般来说,单幅路和三幅路的安全性要比双幅路和四幅路差,然而在城乡接合部区域,单幅路和三幅路的道路所占比例不容小觑,所以本文在研究城乡接合部交通问题上,将单幅路和三幅路作为重点考虑对象。

车道数主要影响驾驶人的行为,进而直接或间接影响道路交通事故辐射范围。驾驶人一般会选择使用中间车道或者内侧车道,特别是在城乡接合部,行车易受行人、非机动车干扰,驾驶人会尽量避免行人的干扰而减少对外侧车道的使用。本文选取昆明市城乡接合部两条双向6车道次干路进行调查发现,驾驶人在选择行车车道时,绝大多数都会选择中间车道,而选择外侧车道的比例不足10%(见图4)。当事故点发生在内侧车道或者中间车道时,由于中间车道或内侧车道上游来车强度大于外侧车道,所以对交通影响更大。

4) 土地利用。

城乡接合部的土地利用存在布局松散、类型多样,居住用地、工业用地与农业用地混杂的现象,加之管理不善等诸多原因,直接或间接导致土地利用无序交错,即此区域土地没有鲜明的功能区域划分。

土地利用形式对交通影响主要表现在交

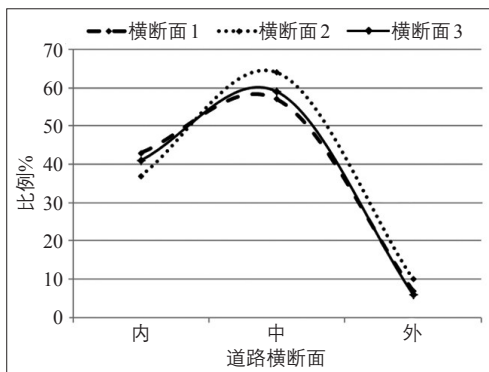


图4 横向车辆分布

Fig.4 Horizontal vehicle distribution

表2 调查数据表

Tab.2 Survey data

交通事故辐射范围/km	1	3	5	7
交通量/(pcu·h ⁻¹)	1 200	1 500	1 800	2 000
道路机动车比例/%	40	50	70	90
车道数/条	4	3	2	1
土地开发强度/%	50	60	70	80

通的吸引和发生、交通量在时间和空间上的分布两个方面。城乡接合部的土地利用多样性决定了该区域出行目的和出行方式的多样性。对于一个特定的城乡接合部交通小区而言,其内部各类用地面积以及土地利用强度的不同,直接决定着该交通小区的交通生成。由于社会经济因素,越来越多在主城区上班的市民愿意选择居住在城乡接合部,在一定程度上增大了该交通小区的白天交通生成和晚上的交通吸引量,形成明显的潮汐现象。

本文运用灰色关联法确定4个因素与交通事故辐射范围的关联度。进行因素分析的一般步骤为确定分析数列、变量的无量纲化、计算关联系数、计算关联度、关联度排序。根据表2所示进行数据无量纲化处理:

$$x_i(k) = \frac{X_i(k)}{X_i(l)}, \text{ 其中 } i=0, 1, 2, \dots, m,$$

$$k=1, 2, 3, \dots, n, l=1, 2, 3, \dots, n; \text{ 根据公式 } \xi_i(k) =$$

$$\frac{\min_k \min_l |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_k \max_l |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_k \max_l |x_0(k) - x_i(k)|}$$

计算关联系数。

数据无量纲化处理完成, 计算 $\min_k \min_l |x_0(k) - x_i(k)| = |1\ 199, 0.6, -3, 0.5| = 0.5$, $\max_k \max_l |x_0(k) - x_i(k)| = |1\ 993, 6.1, 6, 6.2| = 1\ 993$ 。

ρ 为分辨系数, ρ 越小, 分辨力越大, 一般 ρ 的取值区间为(0, 1), 具体取值可视情况而定, 通常取 $\rho = 0.5$ 。代入 $\xi_i(k)$, 即可求出关联系数 $\xi_i(k)$, 进而可得到关联度

$$R_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

。本文分别计算出月交通量(X_1)、道路机动车比例(X_2)、车道数(X_3)、土地开发强度(X_4)关于交通事故辐射范围(X_0)的关联度 $R_1, R_2, R_3, R_4 = (0.386\ 032, 0.997\ 129, 0.999\ 09, 0.997\ 154)$, 由 $R_3 > R_4 > R_2 > R_1$ 说明车道数与道路交通事故辐射范围关系最密切, 是主要影响因子, 道路机动车比例及土地开发强度关系次之。

2 交通事故影响持续时间分析

交通事故影响持续时间即从交通事故发生到路网恢复正常状况的时间, 包括事故发生到处理完成时间(影响时间)和处理完后持续影响时间(消散时间)。

交通事故发生后一般会经历3个过程:接警与出警、事故处理作业、拥堵消散。当发生轻微交通事故且可以由当事人通过简易程序自行解决时,无须经过接警与出警阶段。本文主要研究具有三阶段特征的道路交通事故,设定接警、出警与事故处理作业时间统称为影响时间 T_1 ,事故持续影响时间为消散时间 T_2 。 T_1 通过计时的方式较容易得到,以下给出 T_2 的算法。

消散时间与前面所求的接警出警时间和处理时间的长短有关,还与这段时间内路网运行过程有关。根据交通流理论可计算事故持续影响时间^[4],计算步骤如下:

1) 确定交通事故影响波速。

当交通事故十分严重或者交通事故发生在双向2车道路段,使得路段发生交通拥堵,假设对向车道不受干扰,只是事故行车方向处于封闭状态,此时行车方向通行能力 $C=0$ 。车辆停车排队,进而向上游蔓延,在交叉口向各个方向扩散,影响整个路网。假设在路段上自由流速为 v_f ,密度为 k ,在事故点一侧的密度为阻塞密度 k_j 。在这种情况下,交通影响波为停车波,波速 $w=-v_f \frac{k}{k_j}$,负值表示向上游传播,这里取正值即 $w=v_f \frac{k}{k_j}$ 。

当事故发生不是很严重且发生在双向4车道以上(包括4车道)道路,事故在处理前和处理时,在事故地点只是出现瓶颈,而不是完全占用道路,道路还有剩余通行能力,且随着交通事故严重程度和道路条件改变,交通事故越严重 C 值越小。若事故上游交通量 $q>C$,情况和上面的情况相似,车辆在事故点处产生排队并向上游蔓延,发生交通拥堵。此时,交通波速度 $w=v_f[1-(k_1+k_2)/k_j]$,式中 k_1 为事故段的交通密度, k_2 为事故上游交通密度。

但是不管何种情况,当交通波传播到交叉口时都会引起停车波。而且,此后产生的交通波都是停车波,波速 $w_s=v_f \frac{k}{k_j}$,以该波速继续向各个方向传播,进而影响整个路网。

2) 计算排队长度。

在 T_1 时间内,若交通波 S 以 w 的速度

向上游传播,则传播距离为 wT_1 。当 $wT_1 \leq l_0$ (事故点距上游交叉口的距离),停车波传播距离为 wT_1 。当 $wT_1 > l_0$,那么历时 $\frac{l_0}{w}$ 交通波传到交叉口,此后以 w_s 的波速传播,传播距离为 $w_s(T_1 - \frac{l_0}{w})$ 。在处理时间段内,传播距离 $L=l_0 + w_s(T_1 - \frac{l_0}{w})$ 。

3) 确定消散波速。

事故处理完毕后,事故点处的车辆以 v_2 的速度开始启动,停车一侧的交通密度仍为饱和密度 k_j ,此时消散波速 $w_d=-(v_f-v_2)$,排队车辆从事故点处开始启动,以 w_d 的波速向后传播。由于启动速度 v_2 一般很低,可忽略不计,所以 w_d 一般接近 $-v_f$,则取 $w_d=-v_f$ 。

4) 计算事故总持续时间。

消散时间的长短由处理时间、来车强度、停车波和消散波共同决定。在整个消散时间内,车辆都是以消散波向上游传播,直到赶上停车波,事故消散完毕恢复到原来的交通状况。在消散波传播过程中,排队还在继续,所以在持续时间内不仅要消散 T_1 时间内的所停车辆,还有消散波传播过程所造成的停车数。停车波和消散波在各个方向上的传播速度不同,因此在每个方向的持续时间不同。在任一方向上,只要消散波追上停车波,该方向就通畅。

在持续影响阶段消散波传播距离 $L_{di}=w_d t_i$,这段时间内停车波传播的距离为 $L'_{si}=w_s t_i$,停车总的传播距离 $L_{si}=L_i + L'_{si}$,其中 i 表示在同一方向传播, L_i 为停车波 T_1 时间内的传播距离。消散波追上停车波即 $L_{di}=L_{si}$, t_i 是 i 方向上的持续时间。总的持续时间取决于消散波最晚追上停车波方向即 t_i 值最大的方向,因此消散时间 $T_2=\max\{t_i\}$ 。交通事故总的持续时间 $T=T_1+T_2$ 。

3 交通事故空间辐射范围分析

在事故的影响和消散两个过程中,时间节点就是事故处理完毕的时间点,即 $t=T_1$ 。 T_1 时刻交通开始消散,但是交通扩散还在继续,到 T_2 时刻扩散和消散同时结束。

3.1 扩散过程

烟羽模型原为毒物伤害模型,采用系统工程的方法论——协同学理论导出。协同学把一切研究对象看成是由组元、部分或者子系统构成的系统,这些子系统彼此之间会通过物质、能量或信息交换等方式相互作用。协同学主要研究开放系统,即系统是怎样从原始均匀的无序态发展为有序结构,是一种关于结构有序演化的理论,是关于多组分系统如何通过子系统的协同行动而导致结构有序演化的自组织理论。

在交通事故辐射范围的分析中,研究系统本是开放的,道路车辆可以看作是系统组元。在事故发生时事故车辆对其他车辆的影响可理解成一种能量,此能量的消散与毒物在大气中的扩散在理论上是相似的。故本文结合交通事故影响范围的特点,运用烟羽模型定量地确定事故辐射范围。

$$C(x, y, z) = \frac{q}{2\pi u \sigma_x \sigma_y} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right]. \quad (4)$$

在交通事故辐射研究中,其空间的辐射范围是随着时间变化的封闭圈,称之为事故辐射圈(以下简称“辐射圈”)。发生交通事故后,辐射圈逐渐向外辐射,随着事故处理完毕,交通开始疏散。在公式(4)中将空间三维转换为平面与时间三维函数

$$C(x, y, t) = \frac{Q}{4\pi D T} \exp \left(\frac{x^2 + y^2}{-4Dt} \right), \quad (5)$$

式中: $C(x, y, t)$ 为平面内点 (x, y) 在 t 时刻的交通强度; Q 为交通事故附加交通量; D 为城乡接合部位位置相关参数; 时间 $t \in (0, T)$, 当 $t = T$ 时,辐射达到最大范围。

假设 D 是交通量、土地利用多样性指数、道路等级、车型比例、车道数五项指标的一次函数,用层次分析法对各项指标的权重进行确定,得出

$$D_{(r, \alpha)} = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5), \quad (6)$$

式中: r 为距原点的距离; α 为所求方向与模型定义 x 轴的夹角; X_1 为交通量, X_2 为土地利用多样性指数, X_3 为道路等级, X_4 为车型比例, X_5 为车道数。

根据模型需要,运用层次分析法,发放30份打分表格,进行专家打分,汇总意见后反复3次,最终统计综合分析建立 $D_{(r, \alpha)}$ 的判断矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/6 & 1/2 & 4 \\ 4 & 1 & 1/2 & 4 & 7 \\ 6 & 2 & 1 & 4 & 4 \\ 2 & 1/4 & 1/4 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1/7 & 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

计算矩阵 A 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 5.158\ 579\ 773$, 该特征值对应的特征向量 $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\} = \{0.45, 1.67, 2.25, 0.61, 0.23\}$, 对特征向量进行归一化处理得 $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\} = \{0.08, 0.32, 0.44, 0.12, 0.04\}$ 则 $CR = (\lambda - n)/(n - 1) = 0.036\ 9$, 根据资料查知5阶平均一致性指标 $RI = 1.12$, 故 $CI = CR/RI = 0.035 < 0.1$, 表明 A 通过了一致性检验。

则 $D_{(r, \alpha)}$ 的函数式可列为 $D_{(r, \alpha)} = 0.08x_1 + 0.32x_2 + 0.44x_3 + 0.12x_4 + 0.04x_5$, 根据事故发生地点的不同 $x_i \in [0, 1]$, 影响因素 x_i 对事故的影响程度越大值越趋近1, 反之其值越趋近于0。代入事故点的数据即可求出 $D_{(r, \alpha)}$ 。

在任意方向 α , 当 α 是定值, 那么 $D_{(r, \alpha)}$ 只与 r 有关, r 是随时间变化的函数, 所以 $D_{(r, \alpha)}$ 也是随时间 t 变化的。化简模型, 将公式(5)平面模型化成每个 α 方向上的线模型

$$C(r, t) = \frac{Q}{4\pi D_a T} \exp \left(\frac{r^2}{-4D_a t} \right). \quad (8)$$

在交通事故没有消散前的任意时刻, 处于辐射圈内边缘的点即 r^- 处的交通密度接近阻塞密度 k_j , 外边缘点 r^+ 处为上游来车方向的交通密度 k_2 。交通处于平衡状态, 若要保证在 r 处平衡, 随着时间 t 增大, r 必须增大, 那么在 r 处就是密度从 k_2 变为 k_j 的过程。将 k_j 代入公式(8)化简得到 α 方向辐射距离随时间变化函数

$$r_a(t) = \sqrt{4D_a t \ln \frac{Q}{4\pi D_a T k_j}}, \quad (9)$$

在式中令 $t = T$, 则求出 r_a 方向上的最大辐射范围。

3.2 消散过程

消散过程和扩散过程非常相似, 都是从事故点开始, 逐渐向上游传播。只是两者发生的原因不同, 扩散过程是由于停车波造成的, 而消散过程是由于消散波引起的。那么在 α 方向的消散半径 d_a , 应用扩散模型得

$$d_a(t) = \sqrt{4D_a t \ln \frac{Q}{4\pi D_a T k_j}}, \quad t \in (T, T), \quad \text{参}$$

数 D_a 可用最小二乘法方式确定。模型说明, 当 $r_a(T)=d_a(T)$ 时事故消散完毕, 但是由于时间 T 是最晚消散方向, 其他方向上 $t < T$ 时, 有 $r_\beta(t)=d_\beta(t)$, 此后两列波都消失, 对交通不产生影响。

4 实例验证

4.1 模型验证

为检验所建立模型在实际中的效果, 本文选取昆明市兴呈路路段上一起交通事故, 根据模型计算此交通事故的影响范围。该路段基本信息及交通事故相关信息如表 3 所示。

为求出事故最大的影响辐射范围, 取 $t=T$, 将已有数据代入公式(9)得到:

$$r_a(t)=\sqrt{4D_a\ln\frac{1\,350}{4\pi D_a120}}\cdot\quad(10)$$

D_a 是与事故发生地的交通量、土地利用多样性指数、道路等级、车型比例、车道数五项指标有关的一次函数, 在不同的地区或地点都是不同的。上述模型 $x_i\in[0,1]$, 因本次事故点发生在城乡接合部, 根据其自有特性取值为: $x_1=0.3, x_2=0.3, x_3=0.4, x_4=0.3, x_5=0.2$ 。则可求出 $D_a=0.34$, 代入公式(10)求出此次事故的辐射范围为 1.15 km。根据对本次事故的实地踏勘调查, 发现该事故的实际影响辐射范围为 1.20 km, 与本文所建立的模型计算结果误差为 0.05 km, 验证了模型的可行性。

4.2 软件模拟

在所建立模型的基础上, 本文基于 VB 平台开发了道路交通事故辐射范围分析系统, 该系统可显示道路交通事故发生后在时间和空间的辐射情况, 有助于提高交通事故处理及出警的效率和管理。本文以表 3 所给事故数据, 由软件得出事故的发生地点及影响范围随时间的变化(见图 5 和图 6)。此次事故分析可验证本文建立的道路交通事故辐射范围模型及分析系统是实用、有效的。

交通事故辐射范围软件可以用于交警监管系统, 当交通事故发生时预测事故影响范围, 并通过信息平台向事故影响区域道路使用者提供信息, 避免更多车辆涌入该区域,

出现大面积的交通拥堵。该软件提升后也可加入道路使用者系统, 让道路使用者直接获知事故影响区域, 以便选择绕行其他道路。

5 结语

本文以重力模型为基础, 构建了城乡接合部影响带理论模型, 给出城乡接合部带宽的计算方法。在基于烟羽模型的基础上构建道路交通事故辐射范围模型, 确定交通事故在时间和空间上的动态影响范围。运用实例

表 3 兴呈路案例相关数据

Tab.3 Accidents data on Xingcheng Road

道路等级	设计车速/(km·h ⁻¹)	交通量/(pcu·h ⁻¹)	交通密度/(pcu·km ⁻¹)	事故等级	持续时间/h	事故类型
次干路	40	1 350	120	一般	1	车车相撞



图 5 事故区域显示

Fig.5 Accident area



图 6 事故辐射范围

Fig.6 Impact area of accidents

数据验证了模型的可行性, 基于VB平台开发了城乡接合部交通事故辐射范围分析系统, 该系统可显示道路交通事故发生后在时间和空间的辐射情况, 有助于提高城乡接合部交通事故处理效率, 对于提高城乡接合部的道路交通安全具有重要意义。本文研究的事故辐射范围模型参数的选择尚存一定主观性。事故辐射范围分析系统可进一步完善和深化, 并且可将地理信息系统(GIS)引入, 增强对历史数据的处理与分析, 进一步提高预警能力。

参考文献:

References:

- [1] Samo B, Soumis F. Communication and Transportation Networks Reliability Using Routing Models[J]. IEEE Transportation Reliability, 1991, 40(1): 29-38.
- [2] Sabso B, Milot L. Performability of a Congested Urban Transportation Network When Accident Information Is Available[J]. Transportation Science, 1999, 33(1): 68-79.
- [3] Konsmninos G Zngrafos, Konstaninos N Androustopoulos, Geprge M Vasilakis. A Real-time Decision Support System for Roadway Network Incident Response Logistics[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2002, 10(1): 1-18.
- [4] Nam Doohee, Fred Mannering. An Exploratory Hazard-Based Analysis of Highway Incident Duration[J]. Transportation Research A: Policy and Practice, 2000, 34(2): 85-102.
- [5] Newell G F. A Simplified Theory of Kinematic Waves in Highway Traffic, Part II: Queuing at Freeway Bottlenecks[J]. Transportation Research B: Methodological, 1993, 27(4): 289-303.
- [6] Lawson T W, Lovell D J, Daganzo C F. Using the Input-Output Diagram to Determine the Spatial and Temporal Extents of a Queue Upstream of a bottleneck[J]. Transportation Research Record, 1997, 1572: 140-147.
- [7] 李茂华, 朱峥艳, 马璐. 高速公路交通事故交通流辐射分析与仿真研究[J]. 公路交通技术, 2011, 34(6): 109-111, 116.
Li Maohua, Zhu Zhengyan, Ma Lu. Coverage Analysis and Simulation Study for Traffic Flow after Traffic Accidents on Expressways [J]. Technology of Highway and Transport, 2011, 34(6): 109-111, 116.
- [8] 丛浩哲, 王俊骅, 童世鑫. 高速公路网络交通突发事件辐射范围预测模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012, 40(3): 414-422.
Cong Haozhe, Wang Junhua, Tong Shixin. Prediction Model of Freeway Network Traffic Incident Radiation Scope[J]. Journal of Tongji University(Social Science), 2012, 40(3): 414-422.
- [9] 俞斌, 陆建, 陶小伢. 道路交通事故的影响范围算法[J]. 城市交通, 2008, 6(3): 82-86.
Yu Bin, Lu Jian, Tao Xiaoya. Method to Determine the Influence Area of Street Accidents [J]. Urban Transport of China, 2008, 6(3): 82-86.
- [10] 藏华, 彭国雄. 城市快速道路异常事件下路段行程时间的研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2003, 3(2): 57-59.
Zang Hua, Peng Guoxiong. A Study of Link Travel Time Function During Incident on Urban Expressway[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2003, 3(2): 57-59.
- [11] 孟德友, 陆玉麒. 基于引力模型的江苏区域经济联系强度与方向[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 697-704.
Meng Deyou, Lu Yuqi. Strength and Direction of Regional Economic Linkage in Jiangsu Province Based on Gravity Model[J]. Progress in Geography, 2009, 28(5): 697-704.
- [12] 裴玉龙. 道路交通安全[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007: 1-7, 209-219.
Pei Yulong. The Road Traffic Safety[M]. Beijing: China Communications Press, 2007: 1-7, 209-219.
- [13] Chang Shunhui. Driving Performance Assessment: Effects of Traffic Accident Location and Alarm Content[J]. Accident Analysis and Prevention, 2008, 40(3): 1637-1643.
- [14] 任福田, 刘小明, 荣建. 交通工程学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008: 119-128.
Ren Futian, Liu Xiaoming, Rong Jian. Traffic Engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2008: 119-128.