

基于 Vague 集的城市交通突发事件风险评级

刘新民¹, 孙 峥², 丁黎黎¹, 李之鹏²

(1. 山东科技大学 经济管理学院, 山东 青岛 266590; 2. 山东科技大学 信息与电气工程学院, 山东 青岛 266590)

摘 要:遵循科学性、系统性、可比性和可操作性的原则,确定了以事件严重程度、环境承载程度和应急处置能力为信息源的城市交通突发事件评级指标;应用 Vague 集理论,建立了城市交通突发事件综合评级体系,用于对交通突发事件的应急风险进行评级识别和管理;最后,通过实际案例说明了评级过程与应对策略。

关键词:交通突发事件;评级体系;风险管理;Vague 集

中图分类号:U491.3;F224.9

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2013)03-0095-06

Risk Rating of Urban Traffic Emergencies Based on Vague Set

Liu Xinmin¹, Sun Zheng², Ding Lili¹, Li Zhipeng²

(1. College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 2. College of Information and Electrical Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: By following the principles of scientificity, systematicness, comparability and operability, and taking the incident severity, environmental bearing capacity and emergency disposal ability as the information source, authors proposed an urban traffic emergency-based rating indicator, and then evaluated the urban traffic emergency using vague set so as to identify and manage the traffic emergency risk rating. Finally, a practice was introduced to illustrate the rating process and corresponding strategy.

Key words: traffic incident; rating system; risk management; Vague set

近年来,各类城市交通突发事件频繁发生,造成的死亡人数已经连续 11 年居世界第一。仅 2012 年 1—8 月,全国公安交通管理部门共受理道路交通突发事件 43 150 余起,造成约 9600 人死亡,约 45 860 人受伤,直接财产损失超过 1.8 亿元。因此,如何有效掌握交通突发事件信息,准确把握事件风险程度,充分确定交通事件级别,提出合理高效的应急对策,减少交通突发事件造成的人员伤亡、财产损失和交通拥堵成为新形势下交通安全管理的一个重要命题。

目前,关于突发事件分级的研究取得了一定的成果,但是仍存在以下问题:

1) 指标的分类分级主要是以经验总结为基础的定性描述,缺少定量分析。如国务院在 2006 年 1 月 8 号出台的《国家突发公共事件总体应急预案》^[1],按照其性质、严重程度、可控性和影响范围等因素将突发事件分为:Ⅰ级(特别重大)、Ⅱ级(重大)、Ⅲ级(较大)和Ⅳ级(一般),对各类交通突发事件进行规定。而许多研究就以此作为分级划分标准,并没有一个完整的评级体系,也未进行系统量化研究。如杨孝宽^[2]根据疏散人

收稿日期:2012-12-20

基金项目:国家自然科学基金项目(71001057);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2010BSE06034);山东科技大学杰出青年和创新团队项目(2011KYJQ103,2011KYTD104)

作者简介:刘新民(1965—),男,山东莒南人,教授,博士生导师,主要从事系统决策与组织治理方面的研究。

孙 峥(1989—),男,山东文登人,硕士研究生,主要从事交通信息与控制方面的研究,本文通信作者。

E-mail:szheng0@gmail.com

数、疏散半径、道路资源、人员伤亡、信号控制、指挥级别和直接经济损失将城市交通应急分为四个级别。

2) 仅从事件本身的后果或者影响来考虑分级标准,并未考虑事发地环境的特殊性,如救援车辆能否及时到达现场等因素。姜学鹏^[3]在对公路隧道救灾特性及相关事故分级标准分析的基础上,考虑到隧道交通事故的危险性、应急救援的急迫性以及现场交通造成的影响与危险程度等因素,提出公路隧道火灾、交通事故、危险品泄漏三类事故的分级标准。吴燕华^[4]根据突发事件对城市交通的影响程度以及应急交通疏散的可控性、影响范围和严重程度对突发事件等级进行了重新划分。何艳琴等^[5]在考虑突发事件救援交通保障的基础上,又加入突发事件紧急程度和交通便捷程度两个指标。在现实中,假设某地发生车辆碰撞,事件本身可能灾情较轻,但是恰好事件发生在高架桥上,可能会导致事件迅速恶化从而使结果加重,那么按照原有分级标准选择预案就有可能产生偏差,影响交通突发事件的处置效果。还有一些突发事件分级的指标中含有以经济损失情况来作为分级的事后因素,如王富^[6]根据交通突发事件的影响人数、影响范围、危害/损失程度等因素将突发事件分成四级。突发事件分级的目的在于事件发生初期选择相应等级的预案来处理突发事件,因此这种事后分级对应急处理难以起到指导作用。

综上所述,本研究试图在遵循科学性、系统性、可比性和可操作性的原则下,结合调查问卷和专家打分,从事件严重程度、环境承载程度和应急处置能力三个角度构建城市道路交通突发事件多层次综合评价指标体系,并通过 vague 集和层次熵分析法建立城市交通突发事件评级体系,以期为城市道路发生的突发事件提供便利的评级方法,并最终科学、规范、迅速地提出后续救援、疏散的应急预案,解决交通突发事件。

1 城市交通突发事件风险评级指标与评分标准

1.1 指标分析与选取

交通突发事件有三个主要特征:突发性、危害性和非常规性。风险程度不仅要从事务本身及其影响上评估,也要考虑到事件所处的环境。小事故发生在高速公路或者车辆拥挤的道路上,其风险程度就会相应增加。由此,借鉴王富等^[6]的成果,在事件严重程度和应急处置能力之外,设置了一个新的指标——环境承载程度,对城市交通突发事件的等级进行综合评估。城市道路交通突发事件评价指标体系结构如图 1 所示。

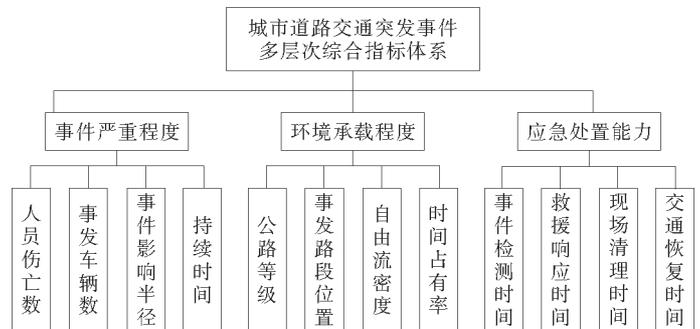


图 1 城市交通突发事件评价指标体系图

Fig. 1 Evaluation system of urban traffic emergencies

1) 事件严重程度

事件的严重程度直接影响到事件处理方式和处置难易程度。人员伤亡数和事发车辆数是事件严重程度最直接的衡量标准。而事件影响半径和持续时间是分别从空间和时间上评估事件对路网的影响范围和造成的交通延误的主要依据。文献[6]将突发事件分为影响范围、影响人数、危害/损失程度 3 个指标,危害/损失程度是事后评估指标,本研究不予讨论。而添加人员伤亡数和事件车辆数,对事件当时情况有更清晰的反映;把事件影响范围细化为事件影响半径,则更加直观。

2) 环境承载程度

环境承载程度是指事件发生处的交通状况。除了从事件本身考虑之外,事发地环境的特殊性也会影响事件的评价等级。考虑事发道路的公路等级、事发路段位置、自由流密度和时间占有率四个因素。公路等级和事发路段位置描述事件发生地周围的交通设施环境,自由流密度和时间占有率是描述事件发生时整条交通路段的交通情况。与前人成果相比较,该指标的加入更能反映事件当时所处的环境,能够对风险进行更全面的评估。

3) 应急处置能力

应急处置能力是指突发交通事件后相关部门对突发事件的应急处理能力,以时间来衡量。包括事件检测时间、救援响应时间、现场清理时间和交通恢复时间。事件检测时间是指从事故发生至相关部门(如交警、路政、急救、拖车等)接到报警的时间。救援响应时间是指相关部门接到报警至到达现场的时间。现场清理时间是指救援力量和执法人员到达现场后救治伤员、封闭车道和移除障碍物所花费的时间。交通恢复时间是事件处理完毕到事件对路网影响完全消散的时间。该项指标是对应急能力指标的规整,体现交通部门的应急能力对事件风险的影响。

1.2 评价标准

道路交通突发事件评级体系指标的选取涉及多方面的具体要求,有些评估内容难以准确客观地量化,因此需要对每个指标进行标准化规范,借鉴文献[7]关于突发事件威胁程度态势理解指标评分标准的描述,对突发交通事件评级内容的各个指标评分标准分为 5 个等级,并对各指标等级进行量化描述,如表 1 所示。

表 1 道路交通突发事件评级体系指标评分标准表

Tab. 1 Grading norm of the rating system of road traffic emergencies

评估指标	轻微(I级)	一般(II级)	比较重大(III级)	重大(IV级)	特别重大(V级)
人员伤亡数	无人员伤亡	轻伤 1~2 人	重伤 1~2 人;或轻伤 3 人以上	死亡 1~2 人;或重伤 3 人以上 10 人以下	死亡 3 人以上;或重伤 10 人以上;或死亡 1 人,同时重伤 8 人以上;死亡 2 人,重伤 5 人以上
事发车辆数/辆	1	2	3~5	6~8	>8
事件影响半径	造成车辆缓慢通行排队长度 5 km 以上	影响省内(自治区、直辖市)2 个地市	影响省内(自治区、直辖市)相邻 3 个以上地市	影响相邻 2 个省(自治区、直辖市)	影响相邻 3 个以上省(自治区、直辖市)
持续时间/min	<30	30~60	60~120	120~360	>360
公路等级	四级公路	三级公路	二级公路	一级公路	高速公路
事发路段位置	普通路段	坡道、转弯	立交枢纽	桥梁	隧道
自由流密度	无车辆	稀薄	一般	稠密	车辆停驶
时间占有率	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0
事件检测时间/min	<1	1~5	5~15	15~30	>30
救援响应时间/min	<10	10~20	20~30	30~40	>40
现场清理时间/min	<30	30~60	60~120	120~360	>360
交通恢复时间/min	<5	5~10	10~30	30~60 m	>60

2 评价指标体系的建立

2.1 指标的权重

权重是一个相对的概念,是指某一指标对评价目标的重要程度。因此,确定评价指标权重是评价研究中的一个关键环节,也是评价工作将定性问题定量化解决的基础。层次分析法评价结果存在一定的主观性,而与其与熵值法相结合可以得到较好的结果^[8]。因此,本研究采用层次熵分析法来确定指标权重,各指标权重值结果如表 2 所示。

该指标体系包含 12 个指标,每个指标具有不同的特点,在本研究中,通过对 30 位专家进行问卷调查^[9],分别对三组指标进行打分,得到各指标的权重数据。

表 2 突发事件体系指标权重表

Tab. 2 Weight values of emergency system index

B1	权重	B2	权重	B3	权重
人员伤亡数	0.1219	道路等级	0.0083	事件检测时间	0.0478
事发车辆数	0.0232	事发路段位置	0.0736	救援响应时间	0.1320
事件影响半径	0.1020	自由流密度	0.0391	现场清理时间	0.1907
持续时间	0.1969	时间占有率	0.0232	交通恢复时间	0.0413

2.2 基于 Vague 集的风险评价体系

Vague 集能够更好和更准确地表达模糊信息,其特点是同时考虑隶属与非隶属两方面的信息,使得 Vague 集在处理不确定信息时比传统的模糊集有更强、更灵活的表示能力。利用 Vague 集理论^[10],城市道路交通突发事件评级体系模型的建立过程如下。

1) 依据表 2 各评分指标,将其进行量化(个别抽象指标由严重程度按 1~5 进行赋值),并根据决策矩阵的构建方法,构建指标决策矩阵:

$$F = \max_{x \in U} f(x_{ij}) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 4 & 12 & 16 \\ 1 & 2 & 4 & 7 & 9 \\ 5 & 10 & 15 & 20 & 25 \\ 30 & 60 & 120 & 360 & 720 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 \\ 1 & 5 & 15 & 30 & 60 \\ 10 & 20 & 30 & 40 & 80 \\ 30 & 60 & 120 & 360 & 720 \\ 5 & 10 & 30 & 60 & 120 \end{bmatrix}。$$

其中: U 为决策空间, x 为决策变量,第 i 行表示第 i 个目标,而第 j 列表示方案 x_j 的所有目标值。

2) 依据公式(1)对矩阵 F 做目标优属度处理,然后根据公式(2)代入各目标权重构建目标决策矩阵 K 。

$$u_{ij} = \frac{x_{\max}(j) - x(i,j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)}; \quad (1)$$

$$k_{ij} = \mu_{ij} + \mu_{ij}^{w_i} - 1; \quad (2)$$

$$K = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.9869 & 0.9671 & 0.9646 & 0.9764 \\ 0.9659 & 0.9708 & 0.9790 & 0.9535 & 0.9884 \\ 0.8149 & 0.8196 & 0.8656 & 0.9407 & 0.9630 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.9664 & 0.9713 & 0.9789 & 0.9907 & 0.9943 \\ 0.9642 & 0.9694 & 0.9775 & 0.9901 & 0.9939 \\ 0.9654 & 0.9704 & 0.9783 & 0.9904 & 0.9941 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.9651 & 0.9174 & 0.8725 & 0.9144 & 0.9137 \\ 0.6146 & 0.6185 & 0.7127 & 0.8754 & 0.8747 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.8254 & 0.8299 & 0.7376 & 0.8272 & 0.8266 \end{bmatrix}。$$

3) 根据各等级的支持目标集、反对目标集和中立目标集^[11], 确定对应的 Vague 值, 确立了体系模型^[12], 各等级 Vague 如表 3 所示。

表 3 中, $t(x_j)$ 等于方案 x_j 的支持目标集中目标函数对应的目标决策概率之和, 即

$$t(x_j) = \sum_{i \in J_{1j}} k_{ij} / \sum_{i=1}^m k_{ij},$$

$f(x_j)$ 等于方案 x_j 的反对目标集中目标函数对应的目标决策概率之和, 即

$$f(x_j) = \sum_{i \in J_{2j}} k_{ij} / \sum_{i=1}^m k_{ij}.$$

对于现实中发生的每一起交通突发事件, 求出其对应的 Vague 值, 与对应每个等级的 Vague 值进行相似度测量^[13-15], 从而确定突发事件的等级。

3 案例分析

案例描述: 2007 年 3 月 30 日 5 时 30 分, 浙 J24010 号大货车在途径沪杭高速公路上海方向 K93+500m 处碰撞边护栏后再撞到中央隔离带内永丰桥桥墩后发生起火。车内共有驾乘人员 2 人, 均已死亡。事件发生时的背景: 沪杭高速公路双向八车道, 年均日交通流量达 9 万余辆次, 高峰期持续交通流量达 11 万余辆次。事件发生点位于沪向 K93+500 处, 占据一、二车道, 该事发路段属普通路段。事件发生在工作日(星期五)清晨时段(5 时 50 分), 能见度好, 事发前交通流状况处平峰流量状态。

根据当地相关部门的应急处置能力和当时的情况判断: 事件检测时间为 5 分钟; 救援响应时间为 20 分钟; 现场清理时间为 340 分钟; 交通恢复时间为 80 分钟。

由上述案例提取数据并进行标准化得矩阵为:

$$F' = [12 \quad 1 \quad 5 \quad 420 \quad 5 \quad 4 \quad 3 \quad 3 \quad 5 \quad 20 \quad 340 \quad 80].$$

根据目标优属矩阵与目标权重, 构建目标决策矩阵:

$$K' = [0.9679 \quad 1.0000 \quad 0.9895 \quad 0 \quad 0.9904 \quad 0.9923 \quad 0.9950 \quad 0.9951 \quad 0.9900 \quad 0.9486 \quad 0 \quad 0.8025],$$

则该案例的 Vague 值如表 4 所示:

要判断案例是属于哪个等级, 就需要将其 Vague 集值与上述五个等级的 Vague 集值分别进行相似度测量:

$$L(x, y) = (|t_x - t_y| + |f_x - f_y|) / 2. \quad (3)$$

计算 Vague 集的相似度量值如下:

$$L_{X1} = 0.0714; L_{X2} = 0.1697; L_{X3} = 0.1237; L_{X4} = 0.1001; L_{X5} = 0.0484.$$

得到的数值越小, 相似度越大^[15]。计算结果表明该案例与等级 V(表 4) 之间的相似度最大, 即该案例为特别重大的交通突发事件。在对案例进行快速、科学、有效的评级后, 可以采取相应的应急措施^[6]。根据评级体系对突发事件等级的确定, 采取如表 5 所示相对应的应急措施^[7]。

表 3 各等级 Vague 值表

Tab. 4 Vague values of all levels

评级等级	$t(x)$	$f(x)$	Vague 值
I 级	0.7517	0.1586	[0.7517, 0.8414]
II 级	0.6482	0.2505	[0.6482, 0.7495]
III 级	0.6484	0.1599	[0.6484, 0.8401]
IV 级	0.6234	0.0876	[0.6234, 0.9124]
V 级	0.7255	0.0868	[0.7255, 0.9132]

表 4 案例的 Vague 值表

Tab. 4 Vague values of the case

	$t(x)$	$f(x)$	Vague 值
案例	0.8189	0.9170	[0.8189, 0.9170]

表 5 不同等级事件的交通应急措施选择表

Tab. 5 Choice of emergency measures based on different levels of traffic accidents

应急措施 交通事件等级	交警现场指挥	单向交通组织	应急车辆组织	交通应急控制	临时交通渠化	实时交通诱导
I 级	√					
II 级	√				√	
III 级	√			√	√	
IV 级	√	√	√	√	√	√
V 级	√	√	√	√	√	√

4 结论

建立城市道路突发性事件评级体系,能够快速、科学、有效地对突发性事件进行评级,加强交通突发事件应急能力建设,是我国道路交通项目建设的重要战略任务。本研究应用 Vague 集理论,建立了相应的城市道路交通突发事件评级体系,能够在突发事件发生后迅速依据评级等级选择相应的应急措施,将事故灾难对人员、财产和环境造成的损失降低到最低程度,是一个有价值的探索,也为后期救援工作的开展打下良好的基础。

参考文献:

- [1] 国务院. 国家突发公共事件总体应急预案[S]. 北京:中国法制出版社,2006:2-3.
- [2] 杨孝宽. 突发事件应急交通规划方法与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010:92-103.
- [3] 姜学鹏,徐志胜. 公路隧道事故分级及其应急救援研究[J]. 灾害学,2008,23(4):91-95.
Jiang Xuepeng, Xu Zhisheng. Research on grading of highway tunnel accidents and the emergency response[J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(4): 91-95.
- [4] 吴燕华. 突发事件应急交通疏散策略的研究[D]. 上海:同济大学,2009:13-14.
- [5] 何雅琴,李杰. 基于交通的城市突发事件分级及响应措施研究[J]. 灾害学,2012(2):105-108.
He Yaqin, Li Jie. Research on grading of emergency events and response measures based on traffic[J]. Journal of Catastrophology, 2012(2): 105-108.
- [6] 王富,李杰,石永辉. 城市突发公共事件交通响应级别及交通组织对策研究[J]. 交通企业管理,2009,24(9):3-4.
- [7] 丛浩哲. 高速公路交通突发事件态势评估与应急响应智能决策研究[D]. 上海:同济大学,2011:105-106.
- [8] 畅明琦,刘俊萍,黄强. 水资源安全 Vague 集多目标评价及预警[J]. 水力发电学报,2008(3):81-87.
Chang Mingqi, Liu Junping, Huang Qiang. Multiobjective assessment and early warning of water resources security based on Vague set[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008(3): 81-87.
- [9] 吴士健,王垒,刘新民. 家族企业继任者胜任力建模与分析[J]. 统计与决策,2010(20):68-70.
- [10] 冯志强,柳存根. Vague 集上的逻辑运算[J]. 上海交通大学学报,2009(12):1886-1891.
Feng Zhiqiang, Liu Cungen. Logical operations on vague sets[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2009(12): 1886-1891.
- [11] 魏峰,张瑞平. 多属性决策的 Vague 集方法[J]. 计算机工程与设计,2007(7):1614-1616.
Wei Feng, Zhang Ruiping. Vague set methods of multi-attribute decision making[J]. Computer Engineering and Design, 2007(7): 1614-1616.
- [12] 王松,刘新民,丁黎黎. 基于在线信息的 C2C 顾客可感知风险评价研究[J]. 商业研究,2011(10):34-38.
Wang Song, Liu Xinmin, Ding Lili. Study on C2C customers' perceived risk evaluation based on online information[J]. Commercial Research, 2011(10): 34-38.
- [13] Chen S. Similarity measures between Vague sets and between elements[J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, 1997, 27(1): 152-156.
- [14] Hong D, Kim C. A note on similarity measures between Vague sets and elements[J]. Information Sciences, 1999, 115(14): 83-96.
- [15] 李凡,徐章艳. Vague 集之间的相似度量[J]. 软件学报,2001(6):922-927.
Li Fan, Xu Zhangyan. Measures of similarity between Vague sets[J]. Journal of Software, 2001(6): 922-927.

(责任编辑:吕文红)