

基于交通冲突技术的高速公路安全评价

周俊昌¹, 常玉林¹, 郭敏², 王国华²

(1. 江苏大学汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 浙江省交通规划设计研究院, 浙江 杭州 310006)

摘要: 交通冲突技术是交通领域新兴的一种非事故统计技术, 采用该技术, 以交通冲突数与交通量、路段长度的比值作为评价指标, 通过交通仿真软件 VISSIM 对交通冲突进行仿真, 结合模糊评价法, 对高速公路的安全状况进行评价, 得到宁波市穿山至好思房高速公路上好思房方向照山岗隧道与霞浦互通区域的安全级别。实践表明: 在高速公路安全评价中, 与传统的以事故统计为基础的直接评价方法相比, 该方法具有一定的优越性, 为类似工程的安全评价提供了参考。

关键词: 安全评价; 交通冲突技术; 模糊评价; 高速公路; 交通仿真

中图分类号: U41

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2011)05-0974-04

Safety Evaluation of Highway Based on the Traffic Conflict Technique

ZHOU Jun-chang¹, CHANG Yu-lin¹, GUO Min², WANG Guo-hua²

(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China;

2. Zhejiang Design Institute of Communication, Hangzhou 310006, Zhejiang, China)

Abstract: Traffic conflict technique is a new evaluation method based on non-accident statistics in the traffic safety field. The technique was applied in the consideration of the traffic condition on highway. The ratio between the number of traffic conflicts and the traffic volume in certain road section length was chosen as the index. Traffic conflicts were simulated by software VISSIM. Fuzzy evaluation method was used to evaluate safety condition of Zhaoshangang Tunnel and Xiapu Interchange area in Haosifang direction of highway in Ningbo. The case study indicated that the proposed method had certain advantages compared to traditional evaluation method which was based on accident statistics in highway safety evaluation. The achievements provided reference for the safety evaluation of the similar projects.

Key words: safety evaluation; traffic conflict technique; fuzzy evaluation; highway; traffic simulation

目前常用的交通安全评价方法均是在对大量事故统计资料进行分析的基础上, 对影响交通安全的因素进行定性分析, 然后, 应用一定的数学理论建立起交通事故与各因素之间的定量关系, 来反应道路交通安全水平^[1]。这种基于交通事故统计的交通安全评价体系由于交通事故生成特点与事故统计缺陷的客观原因, 以及评价方法的“小样本、长周期、大区域、低信度”等特点, 导致安全评价的可信度降低, 对小区域地点安全评价不适应。并且由于交通状态具有模糊性、不确定性等特点, 人们对交通状况的判断往往不是很精确^[2]。

交通冲突技术是目前国内外交通安全领域中的一种新型技术, 具有高信度、短周期等优点, 近年来该技术已被应用到路段或交叉口等地点的安全研究

方面, 并取得了许多成果^[3-4]。Hoong-chor Chin^[5]总结归纳了交通冲突数据能有效替代传统事故数据来评价各种交通安全问题。周伟, 等^[6]将交通冲突技术应用于路段的交通安全评价, 建立了一种基于交通冲突技术的事故黑点识别模型及路段交通安全分级标准, 进一步完善和改进了现有交通冲突技术理论。李晓娟, 等^[7]根据交通冲突数预测模型及交通冲突数与道路安全性关系模型, 提出了基于人工神经网络的高等级公路交织区安全评价模型, 为高等级公路交织区安全评价开辟了新的途径。

但交通冲突技术的应用依赖于大量的交通冲突数据, 对新建或拟建高速公路项目, 无法观测到交通冲突, 因此, 对新建或拟建高速公路项目, 可采用交通仿真对交通冲突进行模拟, 结合模糊评价方法对

收稿日期: 2011-03-02; 修订日期: 2011-05-20

作者简介: 周俊昌(1987-), 男, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要从事道路交通工程研究。E-mail: 274538520@qq.com。

它们进行安全评价。

1 交通冲突技术简介

1.1 交通冲突技术的定义

由于交通冲突技术是新型的技术,对冲突的解释有较大的差别^[8]。笔者采用文献[9]对交通冲突的基本定义,针对隧道与互通间距过近路段的特征,对交通冲突作如下定义:在可观测的条件下,2个或2个以上道路使用者在空间和时间上相互接近,以至于如果任何一方不改变其运动轨迹,将会发生碰撞。

1.2 交通冲突评价指标

高速公路交通冲突的评价指标不仅要考虑冲突数,还要考虑路段长度。为了更加客观的反应高速公路交通安全,选择冲突数、交通量、路段长度的比值,即车公里冲突数[次/(辆·km)],也就是冲突率作为评价指标。

$$f = \frac{TC}{QL} \quad (1)$$

式中: f 为车公里冲突数(冲突率),次/(辆·km); TC 为冲突次数,次; Q 为交通量,辆/h; L 为路段长度,km。

车公里冲突数与交通事故率存在相关性,车公里冲突数越高,事故率也越高。因而可以通过交通冲突率来评价交通安全程度。同时,通过某路段车公里冲突次数的迭代聚类分析,将安全水平分为安全、较安全、临界安全和不安全4类,如表1。

表1 基于VISSIM仿真的交织区交通安全聚类中心

Tab.1 Traffic safety cluster center of weaving section based on VISSIM simulation

分级	安全	较安全	临界安全	不安全
冲突率	0.76	1.45	2.66	3.73

2 基于VISSIM仿真的交通冲突

2.1 基于VISSIM仿真的交通冲突定义

通过交通仿真软件VISSIM对交通冲突进行仿真,获得交通冲突数据,以此在交通冲突基础上实现交通安全评价。VISSIM系统是一个离散的、随机的、以1/10s为时间步长的微观仿真软件。车辆的纵向运动采用了德国Karlsruhe大学Wiedemann教授的MISSION驾驶员“心理-生理跟车模型”;横向运动(车道变换)采用了基于规则的算法^[10]。不同驾驶员行为的模拟分为保守型和冒险型。

Weidemann模型的基本概念是一个快速行驶车辆的司机在其到达慢行车辆前自身感觉极限(行驶阈值)的时候减速,既然他无法确切判断那辆车的

速度,他的速度会降得比那辆车更慢,直到他在到达另一个阈值后再度开始轻微的加速,这个逻辑的结果是一个加速和减速的迭代过程。而驾驶员有保守型和冒进型2种,因此,模型中并没有将此跟车阈值确定为常数,而是用一个附加了随机数来反映。根据阈值的不同,驾驶员的行为以车分为3种状态:①有意识反应区:逼近前车区、制动避祸区及撞车危险区;②无意识反应区:跟车行驶区;③无反应区:感知上限、自由行驶区及脱离前车区。笔者主要采用Widemann 99跟车模型,如图1。

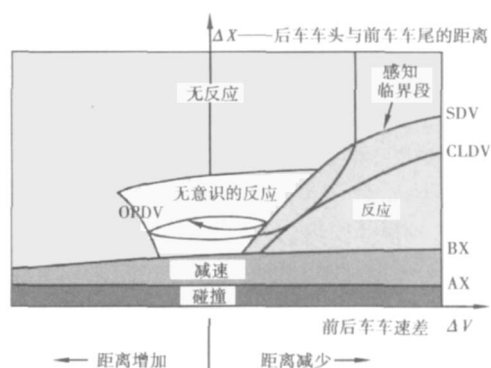


图1 Widemann 99跟车模型

Fig.1 Following model Widemann 99

通过分析VISSIM的输出结果,状态为AX的车辆处于撞车危险区,与前车的跟车距离小于期望车头间距,符合交通冲突的条件。以图1的Widemann 99跟车模型中车辆状态AX作为冲突状态。因此,基于VISSIM的交通冲突可以定义为:行驶于道路上的车辆,如果与前车的跟车距离小于期望车头间距,那么认为车辆此时所处的状态为交通冲突。这样定义交通冲突考虑了路段车速及流量的影响,克服了以往交通冲突分类的弊端。

2.2 VISSIM仿真的交通冲突数统计

将记录时间设置为600~4200s,记录间隔为3600s,仿真选择车辆记录模块作为评价数据的输出模块,在此模块中,包括车辆的路段编号、车辆编号、车辆类型、车速、加速度、交互状态、车辆的跟车距离、安全车距、模拟时间等。统计冲突数,也就是统计AX的数量,AX就是车辆的交互状态中的一种。记录的数据中还要包括车辆编号和模拟时间。

冲突数据统计结合ACCESS数据库和EXCEL完成。首先,VISSIM中仿真步长可以设置为(1~10)步长/s,即每秒记录1~10次车辆状态,因为如果交通量较大,记录数据会很多,这些记录在EXCEL中不能完全显示,就要连接ACCESS数据。然后,用ACCESS中的筛选功能,将Interactinnstate中值为AX的数据筛选出,导出XLS格式的文件。最

后,用 EXCEL 进行第 2 次筛选,以避免一次冲突被多次记录。

根据以上数据统计过程,可以定义交通冲突数为道路上发生交通冲突的车辆数。

3 模糊评价方法

交织路段的安全评价指标冲突率 f 进行聚类后,只能确定类中心,而不能作为安全标准,并且 4 类安全水平的界限并不明确,因此笔者采用模糊评价技术进行安全评价。模糊评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法。该评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰,系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决。

模糊评价过程可以分为以下几个步骤:

1) 根据影响研究对象的因素,确定评价对象的因素论域,即影响评价因素的集合

这个影响因素集合可表示为:

$$u = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}; A = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$$

式中: u_p 为影响评价要考虑的因素; A 为确定评价因素的权向量。

一般按照对评价结果的影响重要程度确定评价因素的顺序,在模糊综合评价中,确定评价因素的权向量: 权向量 A 中的元素 a_i 本质上是因素 u_i 对模糊子集 { 对被评价事物重要的因素 } 的隶属度。使用层次分析法来确定评价指标间的相对重要性次序。从而确定权系数,并且在合成之前归一化。即:

$$\sum_{i=1}^p a_i = 1, a_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

2) 确定评语等级论域

评语等级论域是根据评估对象做出评估结果所组成的集合,每一个等级可对应一个模糊子集。

表示为:

$$v = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}$$

在道路交通安全评价中,可根据交通安全评价的程度建立评语集为:

$$v = \{\text{安全}, \text{较安全}, \text{临界安全}, \text{危险}\}$$

3) 建立模糊关系矩阵 R

在构造了等级模糊子集后,要逐个对被评事物从每个因素 $u_i (i = 1, 2, \dots, p)$ 上进行量化,即确定从单因素来看被评事物对等级模糊子集的隶属度 $(R | u_i)$ 进而得到模糊关系矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} R | u_1 \\ R | u_2 \\ \vdots \\ R | u_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pm} \end{bmatrix}_{p,m} \quad (3)$$

矩阵 R 中第 i 行第 j 列元素 r_{ij} 表示某个被评事物从因素 u_i 来看对 v_j 等级模糊子集的隶属度。一个被评事物在某个因素 u_i 方面的表现,是通过模糊向量 $(R | u_i) = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 来刻画的,而在其他评价方法中多是由一个指标实际值来刻画的,因此,从这个角度讲模糊综合评价要求更多的信息^[11]。

4) 合成模糊综合评价结果向量

利用合适的算子将 A 与各被评事物的 R 进行合成,得到各被评事物的模糊综合评价结果向量 B 。即:

$$A \circ R = (a_1, a_2, \dots, a_p) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m) = B \quad (4)$$

式中: b_i 是由 A 与 R 的第 j 列运算得到的,它表示被评事物从整体上看对 v_j 等级模糊子集的隶属程度。

本文只采用了一个评价因素,即以冲突率 f 作为评价指标,所以评价向量为:

$$b = \max\{r_1, r_2, r_3, r_4\}$$

根据表 1 的结果以及模糊评价的方法,运用降半梯形的函数形式,构造高速公路安全评价指标的模糊隶属函数如图 2。

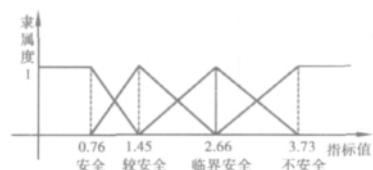


图 2 高速公路交通安全评价模糊隶属函数

Fig. 2 Fuzzy membership function graph of highway traffic safety evaluation

隶属函数如下:

$$r_1 = \begin{cases} 1 & f \leq 0.76 \\ 1.45(1.45 - f) & 0.76 < f < 1.45 \\ 0 & f \geq 1.45 \end{cases} \quad (5)$$

$$r_2 = \begin{cases} 1 & f < 0.76 \\ 1.45(1.45 - 0.76) & 0.76 \leq f < 1.45 \\ 0.83(2.66 - f) & 1.45 \leq f < 2.66 \\ 0 & f \geq 2.66 \end{cases} \quad (6)$$

$$r_3 = \begin{cases} 1 & f < 1.45 \\ 0.83(f - 1.45) & 1.45 \leq f < 2.66 \\ 0.93(3.73 - f) & 2.66 \leq f < 3.73 \\ 0 & f \geq 3.73 \end{cases} \quad (7)$$

$$r_4 = \begin{cases} 1 & f < 2.66 \\ 0.93(f - 2.66) & 2.66 \leq f < 3.73 \\ 0 & f \geq 3.73 \end{cases} \quad (8)$$

统计 VISSIM 仿真得到高速公路交通冲突数 TC 结合具体工程的路段交通量 Q 和路段长度 L 代入式(1),得到冲突率 f ,可计算模糊隶属度(评语集),确定高速公路交通安全级别。

4 宁波穿山—好思房高速公路霞浦互通区域交通安全评价

宁波穿山—好思房高速公路是国家高速公路网规划宁波—金华联络线的重要组成部分,设计路线全长 33.502 km,双向 6 车道,车道宽 3.75 m,设计速度 120 km/h,路基宽度 34.5 m。由于照山岗隧道与前方的霞浦互通距离较近,会影响前方互通出口端部识别和标志识认,选取好思房方向照山岗隧道与霞浦互通区域,在 2015、2020、2025 年和 2030 年 4 个特征年进行交通冲突仿真。

通过 VISSIM 交通仿真软件的可视化窗口,导入好思房方向照山岗隧道与霞浦互通区域设计图,进行精细的路线描绘,建立仿真路网,并设置此路段的道路属性(长度、车道数和车道宽度等)。

在 VISSIM 相关窗口中分别输入此区域的交通组成、运行速度及交通组织方案等。区域的交通组成:小客车占 49.68%、大客车占 10.23%、小货车占 11.49%、中货车占 14.54% 以及大货车(包括拖挂车、集装箱车)占 14.06%。各车型的运行速度分别采用:小客车 110 km/h、大客车 100 km/h、小货车 80 km/h、中货车 70 km/h 以及大货车 60 km/h。好思房方向照山岗隧道与霞浦互通距离为 $L = 0.368$ km,4 个特征年交通量数据如表 2。

表 2 特征年交通量数据

特征年	2015	2020	2025	2030
交通量/(辆·h ⁻¹)	912	1 002	1 082	1 158

互通区域道路条件与交通条件在 VISSIM 输入完成后,进行仿真,得到互通区域模拟过程中发生交通冲突的车辆数,即为交通冲突数,结合表 2 的数据,将交通冲突数 TC 代入式(1),即可得到冲突率 f ,如表 3。

将表 3 中的冲突率 f 代入到隶属度函数式(5)~式(8)中,得到模糊隶属度(评语集),确定

道路交通安全级别,如表 4。

表 3 照山岗隧道与霞浦互通区域交通冲突数和冲突率(好思房方向)

特征年	冲突数/次	冲突率/[次·(辆·km) ⁻¹]
2015	246	0.733
2020	342	0.930
2025	439	1.103
2030	650	1.675

表 4 照山岗隧道与霞浦互通区域模糊隶属度与安全级别(好思房方向)

特征年	冲突率	评语 I	评语 II	评语 III	评语 IV	级别
2015	0.733	1.000	1.000	0	0	安全
2020	0.930	0.754	0.246	0	0	安全
2025	1.103	0.503	0.497	0	0	安全
2030	1.675	0.000	0.818	0.187	0	较安全

从上述模糊评价结果来看,在 2030 年以前,好思房方向照山岗隧道与霞浦互通区域的安全级别为较安全及以上,其总体安全风险可以接受,满足设计期望,但 2030 年的安全级别降低为较安全,可以从 3 方面加强管理与维护:

1) 霞浦互通区域交通运行较为复杂,部分分流区域对行驶方向敏感系数较高,需要对安全设施及标志标线设置作统筹考虑。在好思房方向霞浦互通减速车道渐变段起点前 350 m 和 0 m 处设置互通出口预告标志。隧道和互通间距较近,可能会影响霞浦互通出口的端部识别和标志识认,可在照山岗隧道内增设霞浦互通 500 m 出口预告标志,采用内部照明形式。

2) 隧道内设置辅助车道,隧道内边缘线采用震荡型标线。除了按正常要求画相关的标线外,在隧道内和隧道出口与互通出口之间设置导向箭头和路面文字标记。

3) 车辆交织运行对交通流波动敏感系数较高,对异常情况的容错能力较低,因此,可对霞浦互通区域加强管理,并保持异常情况的及时反应能力。

5 结 语

笔者应用交通冲突技术,通过交通仿真软件 VISSIM 模拟交通冲突获得交通冲突数,结合模糊评价法对好思房方向照山岗隧道与前方的霞浦互通区域进行安全评价,结果表明:满足总体安全风险要求,符合设计期望,对其它类似工程的安全评价具有一定的参考意义。

(下转第 982 页)

- method of guardrail terminal [J]. Highway Engineering, 2010: 35 (3): 19–23.
- [2] 葛书芳. 防撞垫及其在高速公路中的应用[J]. 公路交通科技, 2003(6): 147–149.
GE Shu-fang. Crash cushion and its application in expressway [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003(6): 147–149.
- [3] 解建华, 孙小端, 陈永胜, 等. 美国高速公路护栏端部处理[J]. 道路交通与安全, 2006, 16(4): 38–40.
XIE Jian-hua, SUN Xiao-duan, CHEN Yong-sheng, et al. The design concept of barrier end treatments from American's experience [J]. Road Traffic & Safety, 2006, 16(4): 38–40.
- [4] Wierzbicki T, Abramowicz W. Development and Implementation of Special Elements for Crash Analysis [M]. USA: SAE paper, 1988: 103–109.
- [5] Mahmood H F, Paluszny A. Design of Thin Walled Columns for Crash Energy Management: Their Strength and Mode of Collapse [M]. USA: SAE Paper, 1981: 4039–4050.
- [6] LIU Yu-cheng. Improved concept models for straight thin-walled columns with box cross section [J]. Journal of Zhejiang University Science, 2008, 9(11): 1473–1479.
- [7] Alexander J M. An approximate analysis of the collapse of thin cylindrical shells under axial loading [J]. Quarterly Jnl of Mechanics & App, 1960, 13(1): 10–15.
- [8] 罗德龙, 侯福金, 闫书明, 等. 组合式护栏混凝土底座坡面性能研究[J]. 公路, 2009(9): 229–232.
LUO De-long, HOU Fu-jin, YAN Shu-ming, et al. Research on performance of concrete slope form of combined guardrail [J]. Highway, 2009(9): 229–232.
- [9] JTG D 80—2006 高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [10] 曾攀. 有限元分析与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [11] 邵永刚. 组合式桥梁护栏防撞性能仿真与试验[J]. 交通运输工程学报, 2010(2): 94–100.
TAI Yong-gang. Simulation and experiment of crashworthiness for combined bridge guardrail [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010(2): 94–100.
- [12] JTG/T F 83—01—2004 高速公路护栏安全性能评价标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

(上接第977页)

参考文献(References):

- [1] 李华成. 高等级公路交通安全评价体系研究[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2007: 3–5.
- [2] 陈德望. 基于模糊聚类的快速路交通流状况分类[J]. 交通运输系统工程与信息, 2005, 5(1): 62–67.
CHEN De-wang. Classification of traffic flow situation of urban freeways based on fuzzy clustering [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2005, 5(1): 62–67.
- [3] Hutchomson T P. Inter-observe agreement about traffic conflicts [J]. Safety Science, 1998, 5(1): 30–32.
- [4] 常玉林, 陆建荣. 基于交通冲突技术的交叉口安全评价[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2009, 32(5): 636–639.
CHANG Yu-lin, LU Jian-rong. Evaluation of traffic safety at interchanges based on traffic conflict technique [J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2009, 32(5): 636–639.
- [5] CHIN Hoong-chor. Measurement of traffic conflicts [J]. Safety Science, 1997, 26(3): 169–185.
- [6] 周伟, 罗石贵. 路段交通事故多发点的冲突判定方法[J]. 中国公路学报, 2000, 13(1): 81–86.
ZHOU Wei, LUO Shi-gui. Traffic conflict identification of road accident blackspots [J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(1): 81–86.
- [7] 李晓娟, 丁艺. 基于BP神经网络的高等级公路交织区安全评价[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2009, 28(6): 1075–1078.
LI Xiao-juan, DING Yi. Safety evaluation of high-level highway at weaving areas based on back propagation neural network [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2009, 28(6): 1075–1078.
- [8] Charles V Z, Robert C D. Traffic conflicts as conflicts as a diagnostic tool in highway safety [J]. Transportation Research Record, 1978, 667(25): 48–57.
- [9] Glauz W D. Expected traffic conflict rate and their use in predicting accidents, evaluation method and design and design and operational effects of geometric [C]. Washington, D. C.: TRR, 1985: 1026.
- [10] 郑卫国, 余万, 林克美. 城市主干道交叉口连续交通仿真分析[J]. 中国市政工程, 2007(6): 4–5 8.
ZHENG Wei-guo, YU Wan, LIN Ke-mei. Simulation analysis on urban major artery intersection with continuous traffic organization [J]. China Municipal Engineering, 2007(6): 4–5 8.
- [11] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 101–108.