

文章编号:1671-8879(2020)02-0090-09

城市快速路车流运行状态安全性评价

戴学臻¹,苑仁腾¹,周亚男¹,吴智伟²

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064;河南鼎智工程咨询有限公司,河南 郑州 450000)

摘 要:为了对城市快速路的车流运行状况进行评价,提出基于数据包络分析(DEA)的车流运行状态安全性评价方法,并对该方法的工程实用性进行研究。深入分析反映交通流稳定性的交通指标,将道路交通状态指标划分为基础性指标和特征性指标 2 种类型。以交通量、速度和密度等基础性指标为输入指标,以速度标准差系数、车辆变道率和平均车头时距等特征指标为非期望输出指标,运用线性转化将非期望指标转化为期望指标;基于数据包络分析理论构建城市快速路车流运行状态评价模型,通过计算不同路段输入和输出指标之间的差异性,可以得到多个评价样本路段之间的相对安全性;最后,以西安市绕城高速为例,分别选取 4 个交织路段和 6 个正常路段作为评估对象,使用雷达测速枪和视频法进行交通调查,并借助 LINGO11.0 软件对模型进行求解,验证了模型的实用性。研究结果表明:10 个评价样本路段中,6 个路段为有效决策单元,道路安全度达到了相对有效,4 个路段为非有效决策单元,存在潜在的安全隐患,其中非有效决策单元绕城高速 A、B、C、J 路段的道路相对安全度分别为 97%、88%、98%和 96%;在交通量、平均行驶速度或车流密度等输入指标发生突变时,道路交通安全隐患存在被放大的可能性,容易发生交通事故。

关键词:交通工程;交通安全;城市快速路;数据包络分析;有效前沿面

中图分类号:U491 **文献标志码:**A **DOI:**10.19721/j.cnki.1671-8879.2020.02.011

Safety evaluation of urban expressway traffic flow operation status

DAI Xue-zhen¹, YUAN Ren-teng¹, ZHOU Ya-nan¹, WU Zhi-wei²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Henan Dingzhi Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: To evaluate the traffic safety of driving on urban expressway, a method based on data envelopment analysis (DEA) was proposed to evaluate the safety of traffic flow. In addition, the practicability of the evaluation method was verified. Some indexes which can reflect the stability of traffic flow were analyzed deeply. The traffic stability indexes were divided into the fundamental indexes and the characteristic indexes. The fundamental indexes represented by traffic flow, velocity and density, were selected as the input indexes. The coefficients of speed standard deviation, the rate of lane changing and the average of the headway, were selected as the output indexes. Then the non-expected indexes were converted to the expected indexes by using linear transformation. The undesired output indexes were converted to the desire output indexes according to linear transformation. Based on EDA method, the model of the traffic safety evaluation on urban expressway was established. The difference of input and output indexes in

收稿日期:2019-11-05

基金项目:国家自然科学基金项目(51878062)

作者简介:戴学臻(1974-),男,陕西西安人,副教授,工学博士,E-mail:dxz@chd.edu.cn.

every evaluation segment were calculated, so the relative safety of multiple evaluation samples could be obtained through the model. Take 10 segments of the Xi'an Ring Expressway including 4 weaving segments as example. The radar speed gun and video methods were used to collect traffic data. The LINGO11.0 software was used to solve this model. The results show that there are 6 segments, which are effective units and the road safety degree is relatively effective, while 4 segments are ineffective units with potential safety hazards. The relative safety degree of road sections A, B, C and J of the ineffective units are 97%, 88%, 98% and 96% respectively. Based on the analysis of the evaluation results, it is proposed that when the input indexes such as traffic flow, velocity or traffic density change such as increasing, the hidden danger of road traffic safety is likely to be magnified and traffic accidents are likely to occur. 3 tabs, 3 figs, 33 refs.

Key words: traffic engineering; traffic safety; urban expressway; DEA; effective frontier

0 引言

由于路网的道路状况、交通设施、交通环境、地形地貌和交通管理水平不同,使得交通事故在路网中呈不均匀分布。与城市普通道路和高速公路相比,城市快速路具有快速、大容量、纵坡坡度小的交通特性,使得快速路的交通流特征与其他等级道路存在很大的差异性。因此,研究道路交通安全状况,提出有效的预警措施具有重要的意义。

目前,学者对道路交通安全的研究主要集中于利用时间序列法、事故统计方法评价道路的交通安全状况或利用某几个交通流要素参数,在一定条件下与历年事故率回归拟合,从而预测未来交通事故发展状况。如裴玉龙等通过对高速公路车速标准差与亿车公里事故率进行回归分析,研究了车速离散性与交通事故的关系^[1]。吴义虎等进行统计样本路段事故率与平均速度、速度离散性、车速标准差系数的偏相关分析^[2]。杨少伟等通过绘制可能速度图,研究了可能速度与交通事故的关系^[3]。Jovanovic等利用可靠性理论对交通事故发生的频率进行了研究^[4]。Ren等根据历年的道路交通安全指标统计数据,利用支持向量机对未来的交通安全状况进行预测^[5]。高珍等以上海城市快速路系统的检测线圈交通流数据和事故数据为基础,建立了连续数据环境下的道路交通事故风险预测模型^[6]。但是此类研究多具有滞后性,一般基于历年的事故数、事故率进行评价预测,存在“小样本、长周期、大区域、低信度”等缺陷^[7],且只停留于交通与事故率表面的相关性,分析结果具有较强的偶然性,无法对新修路段或新改造道路交通安全状况进行分析,更不能揭示交通事故发生的本质原因。

随着经济技术的发展,简单回归预测已经不能

满足当前需求,部分学者的研究重点也逐渐转向利用微观交通流理论和交通冲突技术,分析车辆运行状态和交通流的宏观特征表现,这对于提高车辆行驶的安全性和道路通行能力都具有重要的意义。如王涛等建立了多速度差模型,利用多辆前车信息以提高交通流的稳定性,数值仿真结果表明,该方法可以有效解决交通拥堵问题^[8]。陈秀锋等建立了基于需求安全距离的微扰跟驰模型,采用微扰法分别从微观和宏观角度对交通流的稳定性进行了分析,并应用 MATLAB 对微扰法研究结论进行了数值仿真^[9]。唐毅等建立新的后向观测量最优速度差跟驰模型,综合考虑后视效应和最优速度差信息,以提高车流稳定性^[10]。Akaateba等研究了驾驶人的教育程度,驾驶经验等与道路交通安全之间的联系^[11]。Xu等研究了出租车驾驶人对信号交叉口交通安全的影响^[12]。王晨等以优化冲突参数后侵占时间分布作为标定目标,提出了基于微观交通仿真与极值理论相结合的城市交叉口安全评价方法^[13]。郭延勇等以 26 个信号交叉口的交通冲突数据为基础,考虑交通冲突异质性,构建了随机参数交通冲突模型和随机效应交通冲突模型^[14]。李铁洪等提出在所有的道路交通事故中,除人为因素外,道路的线形组合不良、交通流状态波动较大是造成交通事故最重要的原因^[15]。由于不同等级、不同路段或区域的路况、交通设施、交通量等差异较大,交通流的状态也呈现出不同的特征。梁国华等在分析高速公路大型车移动瓶颈影响效应及其对交通流稳定性影响的基础上,对高速公路大型车混入率与交通流稳定性关系进行了研究^[16]。杨庆芳等从高速公路交通流运行的时间和空间特性角度出发,提出了高速公路交通流稳定性识别方法^[17]。袁黎等研究发现,在交通冲突技术中,冲突点的分析适用范围狭窄,仿真方法

需长期观察及收集资料,参数容易随环境改变^[18]。对于交通流运行稳定性研究内容仅停留于交通流稳定性分析的表面,并未对交通流稳定性变化所带来的影响进行更深入的研究。

本文基于以上研究,从道路交通流状态变化指标出发,分析车辆运行过程中道路不同路段安全性状况,根据实时交通指标变化结果,及时反馈交通安全水平;从交通流角度深入挖掘道路交通事故发生的本质原因,克服交通冲突点技术复杂性和仿真需长期观察的约束,便于及时发现道路安全隐患。但是由于道路交通安全评价缺少相应的交通安全水平等级划分,难以直接进行交通安全性分析。当前常用的解决方法是通过与类似的事物或道路进行比较,用于反映事物的相对状态。但是,在进行比较时,事物的某个指标优于另一事物,在其他指标上刚好相反,导致难以对其优越性进行判断。

数据包络分析(DEA)方法在分析数据的过程中,不需要人为干预,是一个客观的分析工具^[19]。自从 Charnes 等在 1978 年提出数据包络分析方法后^[20],DEA 方法就被广泛的应用于处理多指标投入和多指标产出研究,也有部分学者将 DEA 方法用于道路交通安全评价。如 Shen 等提出了多层次的数据包络分析模型,并对道路交通安全性进行了评价^[21]。因此,本文利用 DEA 模型,以交通流的三参数(流量、密度和速度)为输入指标,以交通流稳定性指标为输出指标,通过分析输入和输出指标之间的差异性,可以得到多个评价路段之间的相对安全性。根据评价结果可以对路段交通安全的等级做出判断,以期及时发现道路安全隐患点,为快速路的设施设计和交通安全分析提供理论依据。

1 交通流稳定性指标分析

交通流稳定性评价指标可以分为交通状态指标(速度、密度、交通量等)和道路环境状态(天气、设施、路边环境等)指标 2 种类型。道路环境状态指标用于识别在不同道路环境下交通流稳定变化特征,但是大多道路环境状态指标量化困难,难以直接用于分析交通流稳定性。道路交通状态可以划分为基础性指标和特征性指标,其中基础性指标是以交通流三要素为基础,具体包括交通流量、车辆速度、交通流密度。交通特征指标是以基础性指标延伸出来的,通过利用统计学方法或将道路交通流状态与道路环境状态相结合,按照一定的规则所能表现出来的统计特征,主要包括路段的饱和度、平均车速、车

头时距、换道次数等。交通基础性指标是交通流最基本的要素,交通流状态的分析都是以交通基础性指标为基础,对其特性进行分析;特征性指标是在道路环境状态和驾驶人特性等多因素共同作用下产生的综合指标,不仅可以在一定程度上反映道路环境状态,而且可以用于分析驾驶人的驾驶特性。因此,本文提出利用基于交通状态指标评价车辆运行状态的安全性。

当前诸多研究都已证明,道路交通的安全性与速度的离散型、车头时距、换道次数等指标密切相关^[22-25]。速度标准差和标准差系数等都可以表征车速的离散型,其中,速度标准差系数不仅可以反映速度的离散情况,还可以表征速度对平均车速的聚集状况^[26-27]。速度标准差系数从相对的角度反映速度的差异性和离散程度,对于平均速度不同的路段,不宜直接用标准差比较其数量的变动大小,而需要将标准差与其相应的平均数对比,计算速度标准差系数,即采用相对数进行比较更具科学性。因此,可采用速度标准差系数作为交通安全间接评价指标,计算如下

$$\beta_k = \sigma_k / v_k \quad (1)$$

式中: β_k 为路段 k 的速度标准差系数; σ_k 为路段 k 的速度标准差; v_k 为路段 k 的平均车辆行驶速度。

变道驾驶行为会导致自身及周边车辆的加减速、匀速、怠速等运行状况变化;不同的因素导致车流平均变道次数不同,车流平均速度的波动规律也不同^[28]。车辆变道率是指单位时间内每辆车(标准小汽车)的平均变道次数,从微观方面显示了交通流的稳定性,车辆的变道行为会引发交通冲突,诱发交通事故,从而对道路交通系统的运行效率产生影响,其计算如下

$$M_1 = \frac{m}{N_1} \quad (2)$$

式中: M_1 为车辆变道率; m 为车辆变道次数; N_1 为标准小汽车辆数。

车头时距是评价驾驶安全性的重要指标,它与交通流组成、驾驶行为密切相关,描述了单一车道中前后两车之间的相互关系^[29],容易受到弯道、车流量、车辆密度、驾驶人特性、行驶速度等因素的影响。为了反映一段时间内的跟驰行为,利用车头时距标准差作为评价指标;当车头时距标准差较大时,说明交通流的波动性较大,道路交通安全性相对较差,车头时距标准差的计算如下

$$D_1 = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (t_n - \bar{t})^2}{N}} \quad (3)$$

式中: D_1 为车头时距标准差; t_n 为第 n 辆车与前车的车头时距; \bar{t} 为 N 辆车的平均车头时距。

基于上文分析,本文在不同交通流基础性指标的情况下,研究不同交通流特征性指标的变化情况,即在不同的交通量、速度、密度下,分析路段的速度标准差系数、车辆变道率、车头时距标准差变化,从而对道路交通安全状态做出判断。

2 基于 DEA 方法的道路安全性评价模型

2.1 DEA 模型的应用

规模报酬(RTS)的变化状况可以分为可变规模报酬(VRS)和不可变规模报酬(CRS)。由于快速路安全性的投入与产出不具备锥形,即 K 倍的投入可以减少或增加 K 倍的风险^[30-32]。对于城市快速路,道路的输入指标数量(如交通量增加不同的倍数),虽然会引起道路输出指标产生变化,但是其输出指标不会表现出与输入指标成比例的相应变化。因此,本文适合采用可变规模报酬的输出导向 VRS 乘子模型对道路安全状况进行评价。

将 DEA 理论应用于道路不同路段车辆运行安全性分析时,把不同路段的交通量、平均行驶速度、车流密度等交通流要素作为输入指标;车辆变道率、速度标准差系数、车头时距标准差作为输出指标,在给定输入量的前提下,计算可能得到的最小输出,通过相对有效水平来评估不同路段的交通安全状况。

理想状态下,以不同输入条件下城市快速路正常路段(不具备安全隐患的路段)内的安全状况作为有效的决策单元,连接各有效决策单元构成有效前沿面。通过将实际决策单元(具有安全隐患的路段)投影到有效前沿上,可以计算相对的道路安全状况。其中 DEA 模型计算原理如图 1 所示。

假设点 $ABCD$ 为有效的决策单元,则将有效决策单元组成的线 $ABCD$ 称为有效前沿面。由图 1 可知,实际决策单元 E 为无效决策单元,将 E 点沿横轴和纵轴分别投影至有效前沿面上,可得虚拟决策单元点 E' 和 E'' 。连接 EO 与有效前沿面交于点 F ,其中线段与有效前沿面的交点以及线段 OE 之间的距离为评价目标。道路交通运行状态的相对安全性可以通过线段 $OF:OE$ 获得,因此,有效决策单元的得分为 1;对于非有效决策单元 E 的输入量

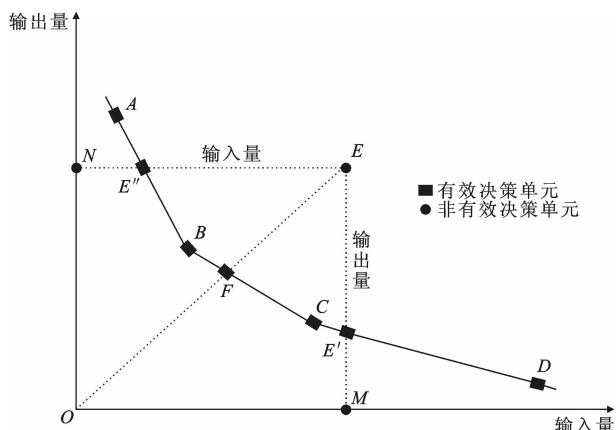


图1 可变规模报酬(VRS)的前沿面

Fig. 1 Frontier of variable-scale compensation (VRS)

为 EN , 输出量为 EM 。为使非有效决策单元有效,可以在输出量不变的基础上,通过减少输入量,即 $EE''=0$;或者在输入量不变的基础上,可以通过降低输出量,即 $EE'=0$ 。

输出导向性的 VRS 乘子模型,是在保持输入水平不变的情况下计算效率得分,当效率值为 1 时,则当前输出不能增加,即决策单元(decision making units, DMU)位于有效前沿面上;当效率值大于 1 时,则同水平输入能够产生更多输出,效率得分越高意味着越有效。但对于实际的道路安全评价,在交通量、平均行驶速度、车流密度等输入指标不变的情况下,车辆变道率、速度标准差系数和车头时距标准差属于非期望产出指标,其指标值越大,表明交通状态的波动性越大,道路的危险程度越高,安全性越差。因此,在进行道路安全评价时,应将非期望产出转化为期望产出后,利用输出导向性的 VRS 乘子模型进行运算。

2.2 DEA 评价模型的构建

传统 DEA 模型为了提高决策单元的效率或达到最佳的有效前沿面,希望使输入最小化或输出最大化以提高生产效率。但是本评价指标属于非期望产出现象,无法利用传统的 DEA 模型直接评价该问题,可以通过利用线性转化,将非期望产出量乘以 -1 加上某一变量 b ,使得每个负的非期望产出都转化为正值^[33],如下所示

$$y_{rj} = -y_{rj} + v_r \quad (4)$$

式中: y_{rj} 为第 j 个决策单元的第 r 个指标输出值; v_r 为转换值,满足

$$v_r = \max y_{rj} + 1 \quad (5)$$

DEA 模型各输入、输出指标对应的权重可以通过相对效率指数优化决定,利用输出导向的 VRS 乘

子模型使得快速路输入水平不变的情况下,输出最大化^[30]。计算模型如下

$$\min \left(\frac{\sum_{i=1}^3 v_i x_{ij} + b}{\sum_{r=1}^3 \mu_r y_{rj}} \right) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

s. t.

$$\min \left(\frac{\sum_{i=1}^3 v_i x_{ij} + b}{\sum_{r=1}^3 \mu_r y_{rj}} \right) \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\mu_r, v_i \geq 0 \quad (8)$$

式中: v_i ($i=1, 2, 3$) 分别为输入指标交通量、平均行驶速度、车流密度的输入乘子权重; μ_r ($r=1, 2, 3$) 分别为输出指标速度标准差系数、车辆变道率、车头时距标准差的输出乘子权重; x_{ij} 为第 j 个决策单元的第 i 个输入指标取值。

由于该模型属于非线性规划问题,难以直接进行求解,取输出指标为限制条件,即: $\sum_{r=1}^3 \mu_r y_{rj} = 1$, 计算在输出不变的情况下,各决策单元的效率值,将模型转化为线性规划问题

$$w_k = \min \left(\sum_{i=1}^3 v_i x_{ik} + b \right) \quad (9)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^3 v_i x_{ik} + b - \sum_{r=1}^3 \mu_r y_{rk} \geq 0 \quad (10)$$

$$\sum_{r=1}^3 \mu_r y_{rk} = 1 \quad (11)$$

$$v_i > 0, \mu_r > 0 \quad k=0, 1, \dots, n \quad (12)$$

式中: w_k 为路段 k 的相对危险状况; x_{ik} 为路段 k 的第 i 个输入指标值。

式(9)求得结果为不同道路交通相对危险程度,将道路危险状况转化为相对安全状况,即

$$A_k = 2 - w_k \quad (13)$$

式中: A_k 为路段 k 的相对安全状况。

3 案例分析

以西安市绕城高速为例,分别选取 10 个不同的路段进行研究。以驶入匝道-主线连接处上游 150 m 至下游 760 m 的 2 个路段为决策单元 A、决策单元 B;以驶出匝道-主线连接处上游 760 m 至下游 150 m 的 2 个路段为决策单元 C 和决策单元 D;以 6 个基本路段为决策单元 E、F、G、H、I、J,实际调查路段位置如图 2 所示。

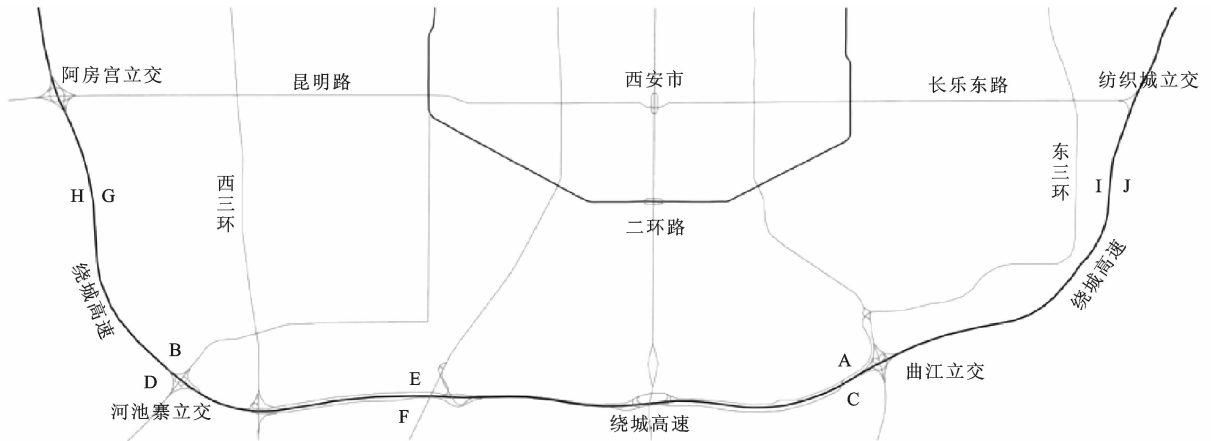


图 2 调查站点设置

Fig. 2 Survey sites setting

图 2 中调查路段 G、B、E、A、I 的车辆为由东至西行驶,路段 H、D、F、C、J 的车辆由西至东行驶。其中路段 H、G、E、F、I、J 为不受出入口匝道影响的正常路段,取 1 km 长度;路段 A、B、C、D 分别为曲江立交和河池寨立交西侧出入口匝道交织区路段。

为了分析西安市绕城高速交通安全状况,在 2018 年 10 月 15 日上午 7:00~8:00,分别利用雷

达测速枪和微型摄像头,在各调查站点进行了同步的观测;在调查站点中利用雷达测速枪记录驶过车辆,平均每 10 s 取 1 辆车的瞬时车速,以所有瞬时车速平均值为该路段断面的平均行程车速;利用微型摄像头记录各路段实际道路交通状况,经过处理,统计得到该路段的实际总变道次数、路段交通量和连续通过某断面 2 辆车的车头时距(每 1 min 取 6 个车头时距),调查数据处理结果如

表 1 所示,部分实际调查点视频截图如图 3 所示。

表 1 各站点调查数据

Tab. 1 Survey data of each site

| 评价路段 | 输入指标 | | | 输出指标 | | |
|------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| | 交通量/ (veh · h ⁻¹) | 平均速度/ (km · h ⁻¹) | 密度/ (veh · km ⁻¹) | 速度标准 差系数 | 车辆变 道率 | 车头时距 标准差 |
| A | 3 134 | 76 | 53 | 0.150 | 0.56 | 0.944 |
| B | 3 319 | 71 | 56 | 0.240 | 0.47 | 1.440 |
| C | 3 223 | 73 | 51 | 0.120 | 0.16 | 1.040 |
| D | 2 820 | 69 | 46 | 0.110 | 0.04 | 1.150 |
| E | 3 768 | 79 | 38 | 0.085 | 0.03 | 2.350 |
| F | 3 030 | 78 | 54 | 0.051 | 0.04 | 0.810 |
| G | 3 125 | 82 | 50 | 0.061 | 0.08 | 1.120 |
| H | 3 435 | 85 | 46 | 0.090 | 0.06 | 0.970 |
| I | 2 971 | 76 | 45 | 0.090 | 0.08 | 1.010 |
| J | 3 121 | 75 | 55 | 0.110 | 0.12 | 1.400 |

将输出指标带入式(4)中,可将每个负的非期望产出都转化为正值,如表 2 所示。

借助 LINGO11.0 软件和 Excel 软件对模型进行求解,各决策单元得分如表 3 所示。

由表 3 可知,10 个样本路段中,有 6 个路段的道路安全度达到相对有效,这些路段的道路速度标准差系数、车辆变道率、车头时距标准差与道路的交通量、行驶速度、密度相符合,达到了相对有效。其他 4 个路段(A、B、C、J)为非 DEA 有效,占路段总数的 40%。A 路段相对安全性为 0.97,说明该路段的道路安全行驶水平只达到相对最优安全水平的 97%,B、C、J 路段分别达到 88%、98%和 96%。整体来说,各路段的道路交通安全性相差不大,但决策单元 A、B、C、J 存在潜在的安全隐患。由图 1 可知,受节假日、天气等因素影响,使得交通量、平均行驶速度或车流密度等输入指标增加时,输出指标不变的情况下,道路交通安全隐患存在被放大的可能性,容易发生交通事故。

通过比较可以发现 A、B 两个路段速度标准差系数和车辆换道率 2 个指标明显偏大,因为该路段位于绕城高速匝道入口交织区,部分车辆未经过加速车道的加速过程直接并入绕城高速外侧主车道,甚至部分车辆经过连续变道驶入内侧车道,导致交通流中车辆运行速度波动较大,存在安全隐患。为解决该问题建议在入口设置监控装置,记录未按规定并道的车辆,同时应增加加速车道的长度,使得驶出车辆以相近的速度并入主车道,降低入口处速度的波动。



(a) A点曲江立交入口匝道处



(b) B点河池寨立交入口匝道处



(c) I点现场实际调查



(d) J点现场实际调查

图 3 部分调查点现状

Fig. 3 Status of some survey points

4 结 语

(1)本文将交通状态指标划分为基础性指标和特征性指标,基于数据 DEA 建立了道路交通安全性评价模型,以交通量、平均行驶速度、车流密度等交通要素作为输入指标,车辆变道率、速度标准差系数、车头时距标准差作为输出指标,将非期望产出指标转化为期望产出,构建输出导向的 VRS 乘子模型。该模型考虑多因素影响的同时,

表 2 期望状态的输出指标

Tab. 2 Output indicators of expected state

| DMU | 速度标准差系数 | 车辆变道率 | 车头时距标准差 |
|-----|---------|-------|---------|
| A | 1.090 | 1.00 | 2.406 |
| B | 1.000 | 1.09 | 1.910 |
| C | 1.120 | 1.40 | 2.310 |
| D | 1.130 | 1.52 | 2.200 |
| E | 1.155 | 1.53 | 1.000 |
| F | 1.189 | 1.52 | 2.540 |
| G | 1.179 | 1.48 | 2.230 |
| H | 1.150 | 1.50 | 2.380 |
| I | 1.150 | 1.48 | 2.340 |
| J | 1.130 | 1.44 | 1.950 |

表 3 各站点交通安全评价结果

Tab. 3 Traffic safety evaluation results of each site

| DMU | 相对安全性 | DMU | 相对安全性 |
|-----|-------|-----|-------|
| A | 0.97 | F | 1.00 |
| B | 0.88 | G | 1.00 |
| C | 0.98 | H | 1.00 |
| D | 1.00 | I | 1.00 |
| E | 1.00 | J | 0.96 |

可以避免人工拟定各指标权重系数,同时该模型也无人为设定评价标准,而是深入分析数据之间的差异性,求得相对安全状况,评价结果更为客观。

(2)以西安市绕城高速的 10 个路段为例,分别进行了调查计算,借助 LINGO11.0 软件求解模型,并对其道路安全状况进行分析。在 10 个样本路段中,有 6 个路段的道路安全度达到相对有效,其余 4 个路段为非 DEA 有效。本文对其产生的原因进行了分析,并提出了改善措施。

(3)在实际中,由于交通量、车速和车流密度处于时刻变化过程中,本文只是根据 1 h 内交通状态指标变化状况对道路安全状况进行了分析,只能反映当前时间段内的安全性,评价结果具有局限性;因此,对路段的安全状况进行评价时,应持续多天对同一路段的交通状况进行调查。

(4)本文模型只能用于判断评价单元之间的相对安全性。当所选择的数据源都是来自波动较大路段,只能判断出相对更有风险的路段。因此,在今后的研究中可以考虑设置一个理想路段(车头时距都为固定值,不存在变道现象,车辆以相同的车速行驶),或者选择的多个波动较小的路段的平均值为评价单元,方便对路段的相对性进行分析。

参考文献:

References:

[1] 裴玉龙,程国柱. 高速公路车速离散性与交通事故的关系及车速管理研究[J]. 中国公路学报,2004,17(1):75-78.

PEI Yu-long,CHENG Guo-zhu. Research on the relationship between discrete character of speed and traffic accident and speed management of freeway[J]. China Journal of Highway and Transport,2004,17(1):75-78.

[2] 吴义虎,武志平. 基于平均车速和车速标准差的路段安全分析方法[J]. 公路交通科技,2008,25(3):140-142.

WU Yi-hu,WU Zhi-ping. A safety analysis method for highway based on average speed and speed standard deviation[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2008,25(3):140-142.

[3] 杨少伟,王海君,张 驰,等. 可能速度与交通事故的关系[J]. 长安大学学报:自然科学版,2009,29(4):35-38.

YANG Shao-wei,WANG Hai-jun,ZHANG Chi,et al. Relation between possible speed and traffic accident[J]. Journal of Chang'an University:Natural Science Edition,2009,29(4):35-38.

[4] JOVANOVIĆ D,BACKALIĆ T,BASIC S. The application of reliability models in traffic accident frequency analysis [J]. Safety Science,2011,49(8/9):1246-1251.

[5] REN G,ZHOU Z. Traffic safety forecasting method by particle swarm optimization and support vector machine[J]. Expert Systems with Applications,2011,38(8):10420-10424.

[6] 高 珍,高 屹,余荣洁,等. 连续数据环境下的道路交通事故风险预测模型[J]. 中国公路学报,2018,31(4):281-287.

GAO Zhen,GAO Yi,YU Rong-jie,et al. Road crash risk prediction model for continuous streaming data environment [J]. China Journal of Highway and Transport,2018,31(4):281-287.

[7] 袁 黎,袁荷伟,项乔君,等. 基于交通冲突分析的公路信号交叉口安全评价[J]. 交通信息与安全,2010,28(1):117-120.

YUAN Li,YUAN He-wei,XIANG Qiao-jun,et al. Safety evaluation of signalized intersections using

- traffic conflict technique[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2010, 28(1): 117-120.
- [8] 王涛,高自友,赵小梅.多速度差模型及稳定性分析[J].物理学报,2006,55(2):635-640.
WANG Tao, GAO Zi-you, ZHAO Xiao-mei. Multiple velocity difference model and its stability analysis[J]. Acta Physica Sinica, 2006, 55(2): 635-640.
- [9] 陈秀锋,郭涛,曲大义,等.基于分子跟驰特性的交通流稳定性分析[J].公路交通科技,2013,30(5): 113-117.
CHEN Xiu-feng, GUO Tao, QU Da-yi, et al. Analysis on traffic flow stability based on molecular following behavior[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30(5): 113-117.
- [10] 唐毅,刘卫宁,孙棣华,等.考虑前后车辆综合效应的跟驰模型及其稳定性分析[J].哈尔滨工业大学学报,2014,46(2):116-120.
TANG Yi, LIU Wei-ning, SUN Di-hua, et al. A new car following model with considering the synergy effect of ahead-backward vehicles and its stability analysis[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2014, 46(2): 116-120.
- [11] AKAATEBA M A, AMOH-GYIMAH R, AMPONSAH O. Traffic safety violations in relation to drivers' educational attainment, training and experience in Kumasi, Ghana[J]. Safety Science, 2015, 75: 156-162.
- [12] XU C, LIU P, WANG W, et al. Effects of behavioral characteristics of taxi drivers on safety and capacity of signalized intersections[J]. Journal of Central South University, 2014, 21(10): 4033-4042.
- [13] 王晨,夏景新,陆振波,等.基于微观仿真与极值理论的城市交叉口安全评价方法[J].中国公路学报, 2018, 31(4): 289-295.
WANG Chen, XIA Jing-xin, LU Zhen-bo, et al. Safety evaluation method based on traffic simulation and extreme value theory[J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(4): 289-295.
- [14] 郭延勇,刘攀,吴瑶,等.考虑异质性的贝叶斯交通冲突模型[J].中国公路学报,2018,31(4): 297-303.
GUO Yan-yong, LIU Pan, WU Yao, et al. Bayesian traffic conflict model accounting for heterogeneity[J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(4): 297-303.
- [15] 李铁洪,吴华金.长直线接小半径曲线公路交通事故成因及预防对策[J].中国公路学报,2007,20(1): 35-40.
- LI Tie-hong, WU Hua-jin. Causes and countermeasures of highway traffic accidents in long straight line combined with sharp curve[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(1): 35-40.
- [16] 梁国华,程国柱,王春艳.高速公路大型车混入率与交通流稳定性关系[J].长安大学学报:自然科学版, 2014, 34(4): 121-126.
LIANG Guo-hua, CHENG Guo-zhu, WANG Chun-yan. Relationship between mixing rate of freeway large vehicles and traffic flow stability[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2014, 34(4): 121-126.
- [17] 杨庆芳,马明辉,杨聚芬.高速公路交通流运行稳定性分析[J].吉林大学学报:工学版,2014,44(6): 1597-1602.
YANG Qing-fang, MA Ming-hui, YANG Ju-fen. Analysis of the traffic flow operating stability on highway[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2014, 44(6): 1597-1602.
- [18] 袁黎,张璇,韩敏.基于交通场的无信号交叉口交通冲突严重性分析[J].公路工程,2015,40(6): 56-58.
YUAN Li, ZHANG Xuan, HAN Min. No signalized intersection analysis of traffic conflict severity based on traffic field[J]. Highway Engineering, 2015, 40(6): 56-58.
- [19] JOE Z. 数据包络分析:让数据自己说话[M].北京:科学出版社,2017.
JOE Z. Data envelopment analysis — Let the data speak for themselves [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [20] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [21] SHEN Y, HERMANS E, RUAN D, et al. A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation[J]. Expert Systems With Applications, 2011, 38(12): 15262-15272.
- [22] 刘俊德,徐兵,梁永东,等.交通事故下高速公路行车安全评估[J].长安大学学报:自然科学版,2012,32(6): 78-82.
LIU Jun-de, XU Bing, LIANG Yong-dong, et al. Traffic safety assessment of expressway in the accident

- [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32(6): 78-82.
- [23] 侯典建, 孙小端, 贺玉龙. 高速公路车速离散性与事故率的关系研究[J]. 交通标准化, 2010(13): 70-72.
HOU Dian-jian, SUN Xiao-duan, HE Yu-long. Relationship between speed difference and crash rate on freeway[J]. Transport Standardization, 2010(13): 70-72.
- [24] 林震, 杨浩. 基于车速的交通事故贝叶斯预测[J]. 中国安全科学学报, 2003, 13(2): 40-42.
LIN Zhen, YANG Hao. Bayesian prediction of traffic accident based on vehicle speed[J]. China Safety Science Journal, 2003, 13(2): 40-42.
- [25] 孟凡兴, 张良, 张伟. 驾驶员车头时距研究[J]. 工业工程与管理, 2013, 18(2): 131-135, 140.
MENG Fan-xing, ZHANG Liang, ZHANG Wei. A study on drivers' time headway[J]. Industrial Engineering and Management, 2013, 18(2): 131-135, 140.
- [26] 马永锋, 项乔君, 陆键. 基于交通流稳定距离的多车道信号平交口安全间距分析[J]. 中国公路学报, 2010, 23(3): 83-88.
MA Yong-feng, XIANG Qiao-jun, LU Jian. Analysis of signalized intersection safety spacing of multi-lane based on traffic flow stability distance[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(3): 83-88.
- [27] 胡思涛, 项乔君, 朱艳茹. 高速公路路面状态对交通安全的影响评价[J]. 交通运输工程与信息学报, 2013(3): 70-76.
HU Si-tao, XIANG Qiao-jun, ZHU Yan-ru. Evaluation of the impact of freeway pavement state on traffic safety[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2013(3): 70-76.
- [28] 邓建华, 冯焕焕. 基于换道决策机理的多车道元胞自动机模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(3): 68-73.
DENG Jian-hua, FENG Huan-huan. Multilane cellular automaton model based on the lane-changing mechanism[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2008, 18(3): 68-73.
- [29] 赵晓华, 任贵超, 陈晨, 等. 基于驾驶模拟技术的不良天气对驾驶员跟驰行为的综合影响研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2019, 38(6): 90-95.
ZHAO Xiao-hua, REN Gui-chao, CHEN Chen, et al. Comprehensive effects of adverse weather on driver's car-following behavior based on driving simulation technology[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2019, 38(6): 90-95.
- [30] 刘艳, 汪彤, 丁辉, 等. 地铁车站拥挤踩踏事故风险评价 DEA 模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(10): 100-104.
LIU Yan, WANG Tong, DING Hui, et al. Research on DEA model of risk assessment of crowded stamping accidents in metro stations[J]. China Safety Science Journal, 2013, 23(10): 100-104.
- [31] 《中国公路学报》编辑部. 中国交通工程学术研究综述·2016[J]. 中国公路学报, 2016, 29(6): 1-161.
Editorial Department of China Journal of Highway and Transport. Review on China's traffic engineering research progress: 2016[J]. China Journal of Highway and Transport, 2016, 29(6): 1-161.
- [32] 曹弋, 李德高, 杨忠振. 考虑第三方损失的城市道路交通事故严重程度评价方法[J]. 中国公路学报, 2019, 32(11): 212-218.
CAO Yi, LI De-gao, YANG Zhong-zhen. Assessment method of severity for urban road traffic accident considering loss of third parties[J]. China Journal of Highway and Transport, 2019, 32(11): 212-218.
- [33] WADE D C, JOE ZHU. 数据包络分析: 平衡标杆法[M]. 吴华清, 译. 北京: 科学出版社, 2017.
WADE D C, JOE ZHU. Data envelopment analysis: Balanced benchmarking[M]. Translated by WU Hua-qing. Beijing: Science Press, 2017.