

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.03.072

基于 VISSIM 仿真施工区路段速度推荐值研究

赵福利¹, 雷进¹, 张昆仑²

(1. 安徽省交通控股集团有限公司, 安徽 合肥 230031; 2. 长安大学 公路学院)

摘要:高速公路施工区路段因车道减少、交通运行情况复杂易造成交通堵塞问题,以至通行能力和运行效率降低。为研究如何提升施工区路段的车速运行效率和通行能力,提供合理的交通管制方法,该文基于流量-速度和运行效率-速度的关系,引入格林希尔治抛物线模型和运行效率-速度三次多项式模型,并综合考虑车流波动的影响以及不同控制区域的车速分布等因素,构建了拥堵交通条件下的施工作业区路段速度推荐值模型。以外侧车道封闭的双向四车道高速公路为例,进行 VISSIM 仿真对比试验分析,试验结果表明,按推荐速度运行时,车辆通过施工区的延误明显降低,且不同控制区域路段的车速分布更趋于稳定,总体运行效率和安全性提高。

关键词: 交通工程; 施工区; 速度推荐值; VISSIM 仿真

1 引言

随着经济的迅速发展,交通量持续增长造成的过大交通压力、大型车比例大以及严重超载等现象,导致路面结构破坏,因此高速公路的维修和养护不可避免。高速公路由于道路施工、养护等作业影响交通运行而进行交通管控的路段称为施工区。施工区包括警告区、上游过渡区、缓冲区、工作区、下游过渡区和终止区6个组成部分。与正常路段相比,高速公路施工作业区路段的行车环境、交通设置及交通控制均有其自身的特点:如限速、车道数减少、车速降低、跟车密集、通行能力降低等。受速度限制影响,施工区路段的运行效率往往达不到预期。

针对施工区路段的通行能力问题,国内外大量学者在该领域进行了不同程度的研究。祁文洁从交通组成、车速分布及车头时距对不同类型的施工作业区的交通流特性进行了分析,拟合确定速度-流量模型并提出了相应通行能力的确定方法;亓会杰分析了高速公路施工路段的交通组织及交通特性,提出了基于流量-跟车率模型法、基于路段基本通行能力修正的分析方法及基于现场实测法;白玉风分析施工区的交通特性,确认车速是影响交通安全的主要因素,并进一步在交通流理论上,研究作业区车速与通行能力的关系计算得出限速值;吴昊等以高速公路施工区路段

冲突率和速度标准差系数表征交通安全水平,建立高速公路单向行车道封闭施工区的三级限速模型;吴彪等定量分析了施工区内不同交通控制区域的车速分布形式及其变化规律,确定了不同交通控制分区对车速分布离散程度的影响;马聪等分析了施工区交通延误的影响因素,通过数学解析方法建立了交通延误模型;程泽阳提出了基于综合事故率最小化和基于信息效益最大化的动态限速控制模型;Yu. Renjie 等基于高速公路工作区长度划分的计算模型,并考虑车辆排队长度、驾驶员短期记忆和重复距离等因素对高速公路限位的影响,确定了高速公路限位标志位置的确定方法;Ma, Rongguo 等控制交通量、车辆混合速率等因素,研究了警告区路段和上游过渡区路段的限速值与安全的关系;Noel, Errol C 等通过管制手段降低施工区域的交通速度以提高施工区通行能力的限速;孟祥海等将可靠度理论应用于交通安全研究中,得到高速公路安全可靠度计算方法并建立路段可靠度预测模型;李耘等对施工区车头时距的分布进行研究,建立了移位韦布尔修正分布模型,并利用 Akaike 信息准则(AIC)对比负指数分布、韦布尔分布和移位韦布尔修正分布模型的优越性;徐一岗等考虑扩建施工的安全性,结合施工期交通安全的影响因素采用核查表法对扩建施工的交通运行安全性进行评价。

目前对公路施工区路段的通行能力研究主要集中在以下3个方面:①以警告区路段为对象,分析其交

收稿日期:2020-12-26(修改稿)

作者简介:赵福利,男,硕士,工程师。E-mail:zhaofuli18@126.com.

通特性及车速分布以进行动态限速;② 基于仿真分析,对比实际交通以构建速度或通行能力相关模型;③ 对交通延误的影响因素进行分析,并建立施工区延误数学解析模型,探究如何提高通行能力。施工区路段通行能力较低的主要原因是作业区路段车辆通行效率较低。以上研究的不足之处均在于限速对象为警告区路段,相关的研究结论在一定程度上难以缓解过渡区路段的车辆合流效率问题,导致未能在根源上提高作业区路段的运行效率。因此,该文以作业区路段为基础对象,基于通行能力、运行效率与速度的关系,引入格林希尔治抛物线模型和运行效率-速度模型,予以权重,并综合考虑警告区路段与作业区路段交通量输入和输出、不同控制区域的大型车比例以及路段长度等因素的影响,提出速度推荐值并构建速度推荐值计算模型,以提高作业区路段的车辆运行效率和安全性能。

2 模型构建

高速公路施工作业区主要分为半幅封闭、单向超车道封闭和单向行车道封闭3种类型。不同的道路任何条件、车道封闭形式及数量,对车辆的合流行为会产生差异,引起一定程度的车流紊乱,且紊乱程度与速差呈正相关。该文以双向四车道高速公路的施工区路段为例,如图1所示,对该路段内各控制区域的交通特性进行分析,以综合选取模型构建指标和影响因素。

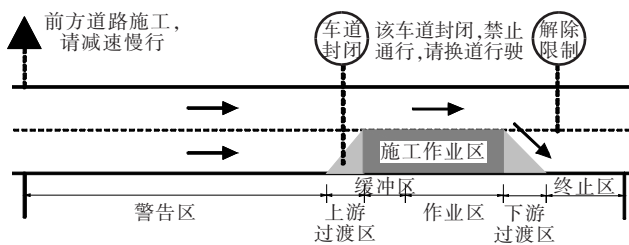


图1 施工区路段划分

目前对于施工区路段通行能力和运行效率的研究多局限于警告区路段限速,少有研究考虑作业区路段车速分布对施工区全路段车辆通行效率的影响。警告区路段车流量分布和速度特性,对上游过渡区的车辆合流效率有一定程度的改善,但缺乏对作业区路段车辆运行效率和通行能力的提升。作业区路段作为车辆运行的主要承担者,若能提升该路段的车辆运行效率和通行能力,上游车辆汇入和合流的速率则会相应提高,进而提升施工区全路段的通行能力和运行效率。该文以速度-运行效率和速度-通行能力的函数关系

作为施工作业区路段速度推荐值模型的目标函数,求解相对最佳速度以给定施工区路段速度推荐值。

2.1 模型指标

2.1.1 基于流量-速度的通行能力计算

如图1所示,车辆在缓冲区路段调整速度后,进入作业区路段会形成相对稳定的交通流状态行驶,但因驾驶习惯、驾驶经验和环境等因素的影响,作业区路段的车速会有一定程度的波动。在交通流理论中,速度、流量、密度之间可以通过数学模型较为直观地表达出来,主要有速度-流量和速度-密度两类模型。前者多为线形关系,后者多为二次多项式关系。格林希尔治模型(图2)在描述路段车辆速度与路段交通量密度、路段交通量与车辆速度的关系时一致性较好。

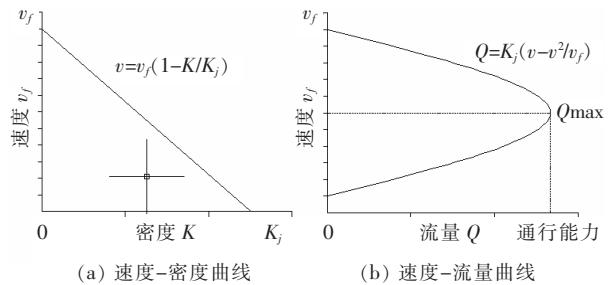


图2 格林希尔治的交通流参数模型

基于格林希尔治抛物线模型对作业区路段的交通量与速度进行函数拟合,可较好地反映两个变量之间的关系,具有实际意义,其公式为:

$$Q = K_j \left(v - \frac{v^2}{v_f} \right) \quad (1)$$

式中: Q 为路段交通量(pcu/h); K_j 为路段的阻塞密度(pcu/km); v 为速度(km/h); v_f 为路段自由流车速(km/h)。

该模型将速度和流量之间的关系描述为抛物线形,流量存在一个临界点,即流量最大值。在达到临界点之前,流量随速度增大而增加;在达到临界点之后,流量随速度的增加下降。

以图1中的作业区路段为研究对象进行仿真试验,以 T 为时间梯度,获取各时间梯度内作业区路段的交通量、大型车比例及速度分布数据,以第85百分位(V_{85})速度拟合得到流量与速度的抛物线模型。由式(1)、(2)可确定当路段交通量值达到最大值时对应的运行速度 v_1 :

$$Q_m = \frac{1}{4} v_f K_j \quad (2)$$

$$v_1 = \frac{1}{2} v_f \quad (3)$$

式中: Q_m 为最大交通流量 (pcu/h); v_1 为流量最大时对应的运行速度 (km/h)。

2.1.2 基于运行效率的通行能力计算

施工区路段的交通运行效率应综合考虑通行能力、交通疏导能力以及运行速度等多方面的影响。作为高速公路的瓶颈路段,应重点提升其输出效率,即输出速度和输出流量。Chen C 等将高速公路运行效率定义为:

$$\rho = \frac{q \cdot v}{q_m \cdot v_m} \quad (4)$$

式中: ρ 为路段运行效率; q 为高峰小时交通流率 (pcu/h); v 为路段内车辆的运行速度 (km/h); q_m 为最大流率 (pcu/h); v_m 为最大流率对应的运行速度 (km/h)。

给定的施工区路段在特定时段内,其最大流率及其对应的运行速度均为定值,该定值可由格林希尔治抛物线模型确定。与格林希尔治抛物线模型相比,基于运行效率计算通行能力的公式,更为综合地考虑了交通流量和运行速度的综合影响,优点更为明确。

DELCASTILLO J M 等提出速度可以表示为流量的函数,因此运行效率可以表示为流量的函数,其表达式为:

$$\rho' = \frac{q \cdot f(q)}{q_m \cdot v_m} \quad (5)$$

根据交通流理论可知,随着流量增加车辆速度先上升后下降,即流量所表示的函数 v 是流量的开口向下抛物线函数,对其求导可知其一阶导数方程存在唯一解,即原函数存在最大值。结合式(1),将运行效率表示为运行速度的函数,如下:

$$\rho' = \frac{K_j}{q_m \cdot v_m} \left(v^2 - \frac{v^3}{v_f} \right) \quad (6)$$

基于仿真数据以第 85 百分位 (V_{85}) 速度拟合得到运行效率与速度的函数。求导可得导数为零时的速度为 $\frac{2}{3}v_f$, 为方便计算,将 $\frac{K_j}{q_m v_m}$ 记为 m , 故可得函数最大值为 $\frac{2mv_f}{9}$, 即基于运行效率计算的最大通行能力为 $q_e = \frac{2mv_f}{9}$, 对应的最佳运行速度为 $v_2 = \frac{2}{3}v_f$ 。

2.2 参数标定

施工区路段的通行能力由输出流率和输入流率综合确定。在车流波动理论中,即流体动力学模拟论:将交通流比作流体,根据水动力学基本原理模拟车辆形成交通流运行时的方程理论。高速公路施工区由警告

区路段的双车道过渡到作业区的单车道时,形成瓶颈路段,进而产生拥堵、秩序混乱甚至堵塞等影响通行能力的情况。在此过程中,进入警告区和进入上游过渡区的交通流量的差值会形成一个正向或反向的聚集波。结合车流波动理论中波速与消散事件的关系,可知其计算公式如下:

$$\Delta v = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} \quad (7)$$

式中: Δv 为排队波速 (km/h); q_1 为警告区路段流量 (pcu); q_2 为上游过渡区路段流量 (pcu); k_1 为警告区路段的车辆密度 (pcu/km); k_2 为上游过渡区路段的车辆密度 (pcu/km)。

若进入过渡区的流量大于进入警告区的流量,则 Δv 的值为正,说明车流波传递方向与原车流行驶方向相同,作业区路段的车流可小幅加速或保持现状不变,以提高或稳定施工区路段车辆的通过效率;反之, Δv 的值为负,说明车流波传递方向与原车流行驶方向相反,输入流量大于输出流量,车辆被迫排队减速,进而产生拥堵,作业区路段的车流可适度加速,以缓解警告区和上游过渡区的拥堵状况,提升路段疏导交通能力,进而提高施工区路段的运行效率。排队波速作为施工区路段流量输出与输入的差异特征表述,可直观地反映施工区上游端路段的交通状况对作业区路段车辆运行速度的影响。

此外,不同车型混合的交通流对车辆运行的速度影响不可忽略,而造成该影响的主要原因为大型车所占交通量比例。一般来说,混合行驶的车流中,大型车比例愈高,对车流的影响愈大,车速相对愈低。该文中,以施工作业区路段的实际交通数据获取拟合的格林希尔治抛物线模型函数和基于运行效率—速度的函数关系式;同时获取时间梯度 T 内路段交通量中的大型车比例,以对作业区路段的速度推荐值进行修正。为避免传统方法中以大型车比例逐级递减获取基准速度所产生的误差,考虑采用时间梯度 T 内作业区路段交通量的大型车比例 f_2 以及警告区路段的大型车比例 f_1 作比值分析,以对速度进行修正。具体计算公式如下:

$$f = \frac{f_2 l_1}{f_1 l_2} \quad (8)$$

式中: f 为作业区和警告区路段的大型车比例的比值; f_1 、 f_2 分别为警告区、作业区路段的大型车比例 (%/km); l_1 、 l_2 分别为警告区、作业区路段的长度 (km)。

显然,若单位长度路段交通量的大型车比例 f_1 高于 f_2 ,在后续时间梯度 T 内,作业区路段由于混入更高比例的大型车,车辆的运行速度必然降低。

2.3 速度推荐值模型

综合上述分析,对施工作业区路段进行交通分析,建立速度推荐值模型,其框架图如图3所示。

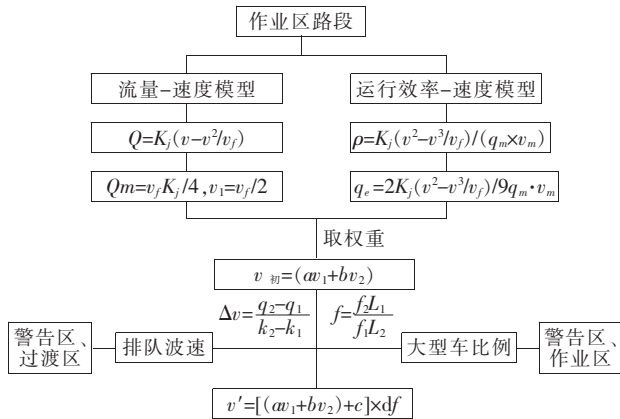


图3 模型框架图

如图3所示,以作业区路段为对象,结合实际道路交通运行状况,拟合出基于流量-速度和运行效率-速度模型函数,并计算给出最大通行能力和最佳运行效率所对应的最佳速度值 v_1 和 v_2 。首先,分析施工区路段交通特性并结合实际的交通运行需求,对上述模型所给定的最佳速度值赋以权重值,确定初步速度推荐值;然后,考虑警告区路段与上游过渡区路段车流的排队波速的影响,对速度推荐值进行一次修正;最后,考虑警告区路段和作业区路段大型车比例比值的影响,对一次修正后的速度推荐值进行二次修正。速度推荐值模型公式如下:

$$v' = [(av_1 + bv_2) + c\Delta v] \times d \times f \quad (9)$$

式中: v' 为作业区的速度推荐值; a 、 b 为权重参数,且 $a + b = 1$, a 、 b 依据施工区实际交通状况而定; c 为排队波速的修正参数,受车辆排队长度和排队车辆中大型车比例影响,取负值; d 为调整系数,大型车比例异常时进行适当调整,正常时取值为1。

2.4 评价指标

车道数减少、大型车与小型车混行及区段限速等原因,造成施工区路段的交通延误增大。若模型所给推荐值能提高施工区路段的运行效率,则车辆通过施工区的行程时间会有明显的减少,即延误降低。选取延误作为该模型的评价指标,可从全局评判模型的适用性。施工区路段总延误的计算公式为:

$$\text{总延误} = \text{总停驶车辆数} \times \text{抽样时间间隔} (\text{pcu} \cdot \text{s}) \quad (10)$$

此外,对警告区、过渡区及作业区等路段进行分区域车速分布特征分析,比较以推荐速度运行前后各区段不同断面的车速分布规律、集中趋势特性和离散程度特性,从局部确定模型的可行性。

吴彪等基于大量试验验证施工区路段不同交通控制区域的大型车、小型车速度样本数据均符合正态分布。结合该文实际,并最大化数据的利用,统计时间梯度 T 内不同控制区域路段典型断面的车速数据,分析以车速分布特性为主,对其相关参数,如均值、标准差等进行评价。裴玉龙通过分析车速离散性与交通事故的关系,发现了速度离散性与行车安全间存在高度的相关性。相关研究表明:车速分布越离散,即车辆的车速与平均车速差值越大,事故率就越高。为了比较不同平均车速时车速标准差对事故率的影响,定义速度变异系数 $C_V = \sigma / v_{\text{平均}}$, σ 为车速标准差,其实质为车速标准差的标准化。速度变异系数作为车辆运行稳定性的指标,表征车速离散程度的大小,可更加清楚地反映汽车在该路段上行驶时的速度变化,故选其作为表征行车安全程度的指标。其计算公式如下:

$$C_V = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n v_i^2 - (\sum_{i=1}^n v_i)^2}{n(n-1)}} \quad (10)$$

式中: v_i 为第 i 辆车通过某一断面的速度; \bar{v} 为通过该断面所有车辆的平均速度; n 为通过该断面的车辆数。

车辆经过施工区路段时,运行时间主要集中于警告区路段和作业区路段,评价时选取以上两区域的不同断面进行综合分析。

3 仿真实例

3.1 模型求解

为保证试验的完整性,该文对施工区路段进行模拟仿真试验,试验以拥堵时正常行驶和按推荐速度运行的两种情况进行对比分析。选取双向四车道高速公路,设计速度取 100 km/h,警告路段区逐级限速依次为 80、60 和 40 km/h,间距为 250 m,服务水平选为三级,车辆组成为 95%小汽车、5%的大型车,作业区路段限速为 40 km/h。根据规范要求,警告区长度应大于等于 1 000 m,试验选取警告区长度为 1 000 m;上下游过渡区的长度未作要求,试验选取过渡区长度

为 40 m;缓冲区长度应为 40 m;作业区长度应根据实际确定,试验选取作业区长度为 2 000 m;终止区长度范围应为 10~30 m,试验选取终止区长度为 20 m;试验获取拥堵交通量为 2 000 veh/h。构建施工区路段仿真模型,如图 4 所示。

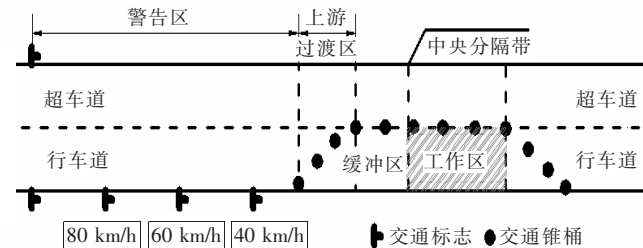


图 4 施工区仿真模型示意图

常成利等比较了采用 15、5、1 min 为统计间隔的数据处理结果,发现在相同的流量下,以 15、5 min 为统计间隔得到的速度、密度的均值以及频率分布、Greenshields 标定的模型参数基本相同,但 1 min 和 15 min 的统计结果差距较大。因此,该文以 5 min 为时间梯度对作业区路段的流量和速度进行数据统计分析,分别以格林希尔治抛物线理论模型和运行效率—

速度模型对所获数据进行拟合。作业区路段的两种拟合曲线如图 5 所示,得到的流量—速度和运行效率—速度模型关系如表 1 所示。

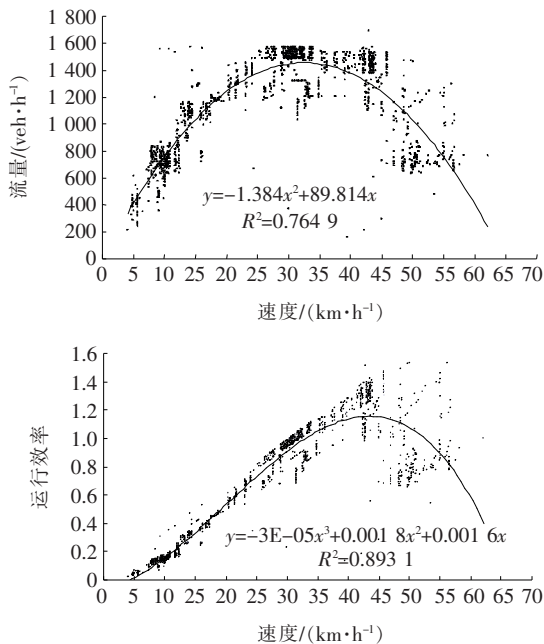


图 5 模型拟合曲线图

表 1 作业区路段模型函数及相关参数

模型	模型函数	相关指数 R^2	最佳流量/ [pcu · (h · ln) ⁻¹]	对应速度/ (km · h ⁻¹)
流量—速度	$Q = -1.384v^2 + 89.814v$	0.764 9	1 464	33
运行效率—速度	$\rho = -0.0005v^3 + 0.0018v^2 + 0.0016v$	0.893 1		1.18

由图 5 和表 3 可知:基于流量—速度模型拟合的曲线相关指数为 0.764 9,基于运行效率—速度模型拟合的曲线相关指数为 0.893 1,拟合程度均较好。前者通行能力最大值为 1 464 pcu/(h · ln),对应的运行速度为 33 km/h;后者运行效率最大值为 1.18,对应的运行速度为 42 km/h,其相应的通行能力为 1 341 pcu/(h · ln)。显然,速度的增大在一定程度上可提高运行效率,但相应地,其通行能力会有一定程度的降低。

为保证试验的完整性,以 5 min 为时间梯度计算施工区路段的车流波速。分析仿真结果可知:警告区路段进入的车辆数为 180 veh,密度为 45 veh/(km · ln);上游过渡区路段进入的车辆数为 6 veh,密度为 141 veh/(km · ln)。由式(7)计算可得波速为 -1.81 km/h,为负值,车流波传递方向与原车流行驶方向相反,进入警告区路段的车辆排队减速。该时间梯度内,通过警告区路段的大型车比例为 10%,通过作业区路

段的大型车比例为 24%,计算得到 f 值为 1.2。

为相对最大化通行能力和运行效率,对 a 、 b 均取取值,分别为 0.5。综合上述因素,计算可得作业区路段的推荐速度值为 47.17 km/h。考虑到在实际的交通运行中,速度建议应取整或是 5 的倍数,故最终速度推荐值为 50 km/h。

3.2 模型评价

以 5 min 为时间梯度 T ,分析 1 h 内按规范限速和按推荐速度行驶的速度数据,计算各个时间梯度的施工区路段行车总延误,如表 2 所示。

由表 2 可知:前 10 min 车流涌入施工区路段,车流量较小,延误上差别不明显。在后续的时间梯度内,按规范限速的行车延误均远大于按推荐速度的行车延误,差距明显,总平均延误减少了 73.6%,从全局角度可说明,速度推荐值模型可较大地提升施工区路段车辆的通过效率。

表2 延误对比

时间梯度	延误/s	
	按规范限速 40 km/h	按推荐速度 50 km/h
T ₁	0.7	0
T ₂	42.8	37.2
T ₃	221.3	46.8
T ₄	223.3	61.5
T ₅	245.9	53.4
T ₆	242.3	66.9
T ₇	241.8	77.7
T ₈	264.7	77.1
T ₉	279.2	49.2
T ₁₀	220.2	60.5
T ₁₁	245.5	52.0
T ₁₂	212.9	61.9
平均延误	203.33	53.68

警告区路段和作业区路段长度较其他区域路段更长,车辆易处于稳定行驶或渐变行驶状态,其车速分布特点相对明显。按规范限速值行驶时,警告区路段选取逐级限速位置处(80、60、40 km/h),分别记为断面A、B、C;作业区路段选取长度4等分点处,记为断面D、E、F进行速度分布特性分析。相应地,按上文计算所得的速度推荐值行驶时,以上断面分别记为A'、B'、

表3 检测断面车速分布函数参数

区域	检测断面	车速/(km·h ⁻¹)		R ²	调整后 R ²	检测断面	车速/(km·h ⁻¹)		R ²	调整后 R ²
		均值	标准差				均值	标准差		
警告区	A	83.65	7.84	0.943 6	0.940 1	A'	89.66	7.84	0.951 5	0.948 5
	B	60.30	14.90	0.782 4	0.773 7	B'	62.29	10.90	0.859 5	0.853 9
	C	38.26	12.68	0.814 4	0.804 4	C'	44.36	8.77	0.910 7	0.906 9
作业区	D	22.31	5.58	0.826 1	0.813 9	D'	43.74	3.38	0.855 6	0.837 6
	E	22.05	5.73	0.935 0	0.930 7	E'	42.71	2.64	0.949 6	0.943 2
	F	22.21	5.77	0.947 4	0.943 7	F'	42.41	2.72	0.969 9	0.966 1

由图6、7可知:施工区路段车速一般会超过限速值,车速样本数据基本符合正态分布,拟合程度较高。可以看出,按推荐速度运行时,警告区路段车速分布向速度较高区域小幅延伸,作业区路段车速分布则增幅较大,约为20 km/h。

结合表2,具体分析可知,正常通行时作业区路段速度约为22 km/h,按推荐速度通行时作业区路段速度达到42 km/h,前者的速度标准差远大于后者。显然,按推荐速度运行时,车速分布更为稳定,车辆可以

较快地通过作业区路段。进而进入警告区路段的车辆速度提高,车辆分布较为集中,受限速、车道减少、合流等因素的影响,速度提升幅度较小。为进一步分析其车速分布稳定程度,计算各检测断面车辆速度变异系数,如表4所示。

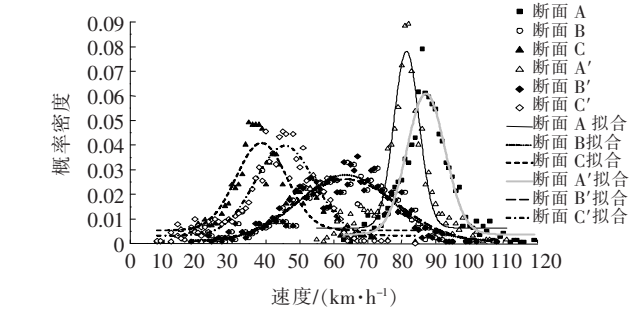


图6 警告区路段断面车速分布

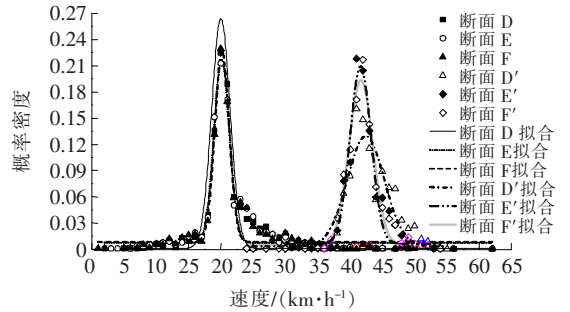


图7 作业区路段断面车速分布

由表4可知:仿真时间内按规范限速行驶时的断面速度变异系数值明显高于按推荐速度行驶时的变异系数值。作业区路段的速度变异系数比值为0.06~0.08,可说明在速度提升的同时,其行车稳定性和安全

较快地通过作业区路段。进而进入警告区路段的车辆速度提高,车辆分布较为集中,受限速、车道减少、合流等因素的影响,速度提升幅度较小。为进一步分析其车速分布稳定程度,计算各检测断面车辆速度变异系数,如表4所示。

表 4 检测断面车辆速度变异系数

区域	断面	C_{V1}	断面	C_{V2}	C_{V2}/C_{V1}
警告区	A	0.093 7	A'	0.087 4	0.932 8
	B	0.247 1	B'	0.175 0	0.708 2
	C	0.331 4	C'	0.197 7	0.596 6
作业区	D	0.250 1	D'	0.077 3	0.309 1
	E	0.259 9	E'	0.061 8	0.237 8
	F	0.259 8	F'	0.064 1	0.246 7

性也有一定程度的提高;警告区路段随限速值的降低而其速度变异系数比值减小,即车辆在通过警告区路段进入作业区路段时速度分布稳定性逐渐提高。分析可知,车辆在进入限速区时,速度变异系数较高,随速度的降低变异系数逐渐减小;作业区路段通行效率的提升在一定程度上可促进警告区路段的车流汇入速率,且行车稳定性逐渐提高,即安全性更好。

4 结语

以高速公路通行能力与速度、运行效率与速度的关系为基础,分析了施工区路段不同控制区域的车流特性,以施工作业区路段为对象,综合考虑了不同控制区域的车流波速、大型车比例及长度等因素,构建基于通行能力和运行效率的综合模型,计算给出推荐速度值。并基于仿真对比试验,选取施工区全路段延误和不同控制区域的不同断面的车速分布特性两类指标,从全局和局部评价模型的可适用性。试验结果表明:模型可提升施工区路段的车速分布稳定性以及车辆通过施工区路段的运行效率,能保证车辆安全快速地通过施工区,提高瓶颈路段通行效益。但是,在仿真试验及模型评价时,未考虑不同类型车辆的延误及车速分布特性,因此后续研究需从这两方面开展,从而进一步完善模型。

参考文献:

[1] GB 5768.4—2017 道路交通标志和标线 第4部分:作业区[S].

[2] 祁文洁. 四车道高速公路典型施工作业区道路通行能力研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文,2013.

[3] 亓会杰. 高速公路改扩建期间施工路段通行能力研究[D]. 长安大学硕士学位论文,2009.

[4] 白玉凤. 基于通行能力的高速公路作业区限速研究[J].

北方交通,2015(4).

[5] 吴昊,朱彤,王长帅. 服从率影响下高速公路施工区限速安全研究[J]. 交通科学与工程,2018(1).

[6] 吴彪,杨忠振,谢军,等. 高速公路施工区路段车速分布特性研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2016(2).

[7] 马聪. 基于V/C比的公路养护施工区交通延误研究[J]. 公路交通科技,2013(7).

[8] 程泽阳. 施工环境下高速公路动态限速控制方法研究[D]. 吉林大学硕士学位论文,2015.

[9] Yu Renjie, Ma Rongguo, Han Hai, et al. Determination Method of Speed - Limit Sign Position in Expressway Work Zone[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(5): 91-98.

[10] Yu Renjie, Ma Rongguo, Deng Yajuan, et al. Research on Level Speed - Limit Problem in Expressway Construction Area[J]. China Journal of Highway and Transport, 2013, 26(6): 150-156.

[11] Noel Errol C, Dudek Conrad L, Pendleton Olga J, et al. Speed Control through Freeway Work Zones; Techniques Evaluation[J]. Transportation Research Record, 1988, 1163: 31-42.

[12] 孟祥海,方豪星. 基于可靠度的高速公路安全性评价方法研究[J]. 中外公路,2016(6).

[13] 李耘,吕猛,潘应久. 高速公路施工区车头时距分布模型[J]. 中外公路,2016(3).

[14] 徐一岗,过秀成,吴杰,等. 基于核查表法的高速公路扩建工程施工安全性评价[J]. 中外公路,2015(3).

[15] CHEN C, JIA Z F, VARAIYA P. Causes and Cures of Highway Congestion[J]. IEE Control Systems, 2001, 21(6): 26-32.

[16] DELCASTILLO J M, BENITEZ F G. On the Functional Form of the Speed - Density Relationship[J]. Transportation research Part B, 1995, 29(5): 373-389.

[17] 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(1).

[18] WCED (World Commission on Environment and Development). Our Common Future[M]. Oxford University Press, 1987.

[19] BIRK M L, ZEGRAS P C. Moving toward Integrated Transport Planning; Energy, Environment, and Mobility in Four Asian Countries[M]. London: IIEC Publications, 1993.

[20] MAY A D. Traffic Flow Fundamentals[M]. Prentice Hall Press, 1990: 126-127.

[21] 常成利,周刚. 高速公路路段通行能力分析方法的探索与实践[J]. 公路交通科技,2003(2).