

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.05.018

高速公路半幅封闭施工作业区的通行能力

孟祥海¹, 祁文洁¹, 王浩², 么晖²

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 黑龙江省高速公路建设局, 黑龙江 哈尔滨 150008)

摘要: 分析了高速公路半幅封闭施工作业区各主要区段的交通特点及其道路通行能力影响因素, 在此基础上, 提出了基于格林希尔治速度-流量模型的通行能力确定方法和基于运行速度(重点是85%位车速)及道路交通条件修正的通行能力确定方法。应用上述方法计算得出了黑龙江省哈阿高速公路施工作业区上游正常路段、上游警告区及施工区段的实际通行能力值, 分别为1 630、1 411、和1 338 pcu·(h·ln)⁻¹。研究表明: 上述2种方法均可用来确定施工作业区的实际通行能力且计算结果的误差较小, 相对误差在0.92%~4.74%之间。

关键词: 交通工程; 道路通行能力; 速度-流量模型; 85%位车速; 施工作业区; 高速公路

中图分类号: U491.1⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2012)05-0109-05

Capacity of One-way Freeway Work Zone Lane Closures

MENG Xianghai¹, QI Wenjie¹, WANG Hao², YAO Hui²

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China;

2. Highway Construction Bureau of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang 150008, China)

Abstract: First, the traffic characteristics of lane closures of main work zones in one-way freeway and the influencing factors of the capacity were analyzed. Then, two methods for determining the capacity of the work zone were put forward. One method is based on Greenshields speed-flow model, and other is based on the operation speed (emphasized on the 85th percentile speed) and the correction of traffic condition. Lastly, by using the above two methods, the real capacities of upstream normal area, upstream warning area and work zones on Harbin-Acheng freeway in Heilongjiang Province were calculated, the values of the capacities are 1 630 pcu·(h·ln)⁻¹, 1 411 pcu·(h·ln)⁻¹ and 1 338 pcu·(h·ln)⁻¹ respectively. The result indicates that the two methods can be used to evaluate the capacity of work zone with small error, and the relative error is between 0.92% and 4.74%.

Key words: traffic engineering; road capacity; model of speed versus flow; 85th percentile speed; work zone; freeway

0 引言

高速公路施工作业区虽然能够保证交通的通行, 但由于普遍存在行车速度降低、通行能力下降及行车危险度增加等问题, 从而成为交通上的瓶颈路段。准确地掌握施工作业区各区段的道路通行能力, 以便采用适宜的交通组织方案, 并制定合理的交通管理与控制措施, 对提高施工作业区的交通运输效率、减少使用者的出行延误具有重要意义。

由于国外发达国家较早地遇到了高速公路的改扩建问题, 因此也较早地开展了关于施工作业区的限速标准、通行能力、交通安全评估与改善对策等方面的研究工作, 并取得了许多成熟、有借鉴意义的成果。在作业区道路通行能力研究方面, 国外通过研究发现工作强度、施工区类型等对施工区通行能力有重大影响^[1], 建立的模型有以 $2\,000\text{ pcu}\cdot(\text{h}\cdot\ln)^{-1}$ 作为基本通行能力的一般施工区的通行能力预测模型^[2], 基于神经网络及模糊神经逻辑模型^[3-4],

收稿日期: 2012-01-09

基金项目: 黑龙江省交通运输厅科技项目(2010-2012)

作者简介: 孟祥海(1969-), 男, 黑龙江海伦人, 教授, 博士生导师, 博士。(mengxianghai100@126.com)

并且对比了多种模型找到了各自的适用条件^[5-7]。近年来,随着我国早期建设的一批高速公路相继进入大修期,施工作业区的有关交通问题,尤其是道路通行能力问题,得到了广泛关注,对高速公路及其施工区的交通流特性及通行能力也进行了深入研究,包括对高速公路不同路段通行能力的探索和分析^[8-9],以及用 VISSIM 仿真对高速公路施工作业区进行道路通行能力预测^[10-12]。

本文针对高速公路上典型的半幅封闭施工作业区开展了相关研究工作,目的是提出适用于施工作业区的道路通行能力确定方法,并给出作业区各主要区段的实际通行能力值。

1 施工作业区各区段的交通特点分析

高速公路半幅封闭施工作业区,是指封闭半幅路进行施工,施工半幅所经车辆借助对向半幅通行的作业区。该类作业区一般包括上游警告区、上游过渡区、施工区段及下游过渡区等几个主要区段,见图1。由于各区段的道路与交通管制条件不同,交通运行状态有明显差异。

(1) 上游警告区:该区段驾驶员已获知作业区的存在,其主要交通行为是依据限速标准逐次减速行驶,此时,车道数及几何线形条件均未改变,但交通受下游过渡区波及影响较大,当到达流量较大时,交通可能由跟驰行驶演变为排队行驶。

(2) 上游过渡区:该区段是供车辆变道行驶和过渡到对向半幅的路段,一般情况是车辆首先由行车道合流至超车道或由超车道合流至行车道(主要取决于具体的交通组织方式),然后在单车道上跟驰行驶一小段距离后再过渡到对向半幅的单车道上。该区段的交通运行至少存在一次合流或变道行为,因此,横向干扰增加,车辆跟驰行驶现象明显。由于车道数的减少,该区段已成为作业区中明显的瓶颈路段,交通运行速度低,且当到达流量较大时极易发生交通拥堵。

(3) 施工区段:对于4车道高速公路而言,半幅封闭施工作业区的施工区段就是一段双车道双向通行的封闭公路,在很多情况下为保证交通安全往往禁止利用对向车道超车。由于将4个车道压缩至双车道,该区段是明显的交通瓶颈路段,道路通行能力有限,交通运行速度较低,交通安全程度较差,车辆多为跟驰行驶,流量较大时会产生排队。

(4) 下游过渡区及终止区:是供车辆由交通受限区段回归到正常交通的过渡区段,交通运行主要

体现在过渡区的分流和变道行为以及终止区的加速行驶行为(此时限速已解除)。

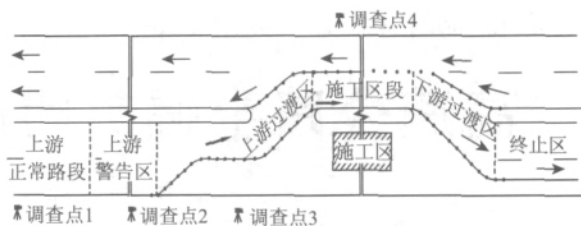


图1 半幅封闭施工作业区的组成及交通调查地点

Fig.1 Layout of one-way work zone lane closure and traffic survey sites

2 交通调查与交通流数据采集

结合黑龙江省哈阿高速公路大修工程对典型半幅封闭施工作业区实施了交通调查,并采集了交通流数据。该作业区位于哈阿高速公路 K21 至 K23 段,是一处纵坡较小的平直路段,作业区现场概况见图2。采用录像法录制了2010年8月6日该施工作业区全天的交通实况,4部录像机同时工作,地点分别为上游正常路段、上游警告区、上游过渡区及施工区段(调查地点见图1)。



图2 半幅封闭施工区现场概况

Fig.2 Condition of one-way work zone lane closure

应用视频处理软件 Premiere Pro CS3 对视频图像进行数据提取,得到了作业区上述4处地点每辆车的车型、到达时刻及地点速度等基于事件本身的交通基础数据,共获得8781个样本(即通过作业区的车辆)。在事件数据的基础上,进一步确定了车头时距、车辆跟驰行驶状态数据(跟驰行驶的车队组数,每组车队的车辆数及头车类型)以及各区段的车速分布特征等基本交通流参数数据。

3 通行能力的影响因素及通行能力确定方法

3.1 施工作业区影响道路通行能力的因素

由于施工作业区各区段的道路与交通条件有较

大差异,其影响道路通行能力的因素也不尽相同。

(1) 上游正常路段:该路段属高速公路的基本路段,通行能力的影响因素就是传统的自由流速度、车道宽度及侧向净空、道路纵坡及交通组成等。

(2) 上游警告区段:该路段理论上也属于高速公路的基本路段,但由于采取了连续逐次降速的限速管理措施,限速值及其实际运行速度就成为影响通行能力的主要因素,其他因素同正常路段。

(3) 上游过渡区段:该区段类似于高速公路上驶入匝道与正线连接处的合流区段,不同之处在于此时正线上及合流的车辆均为减速或低速行驶。此时影响通行能力的主要因素是速度和连续变道处的道路平面线形条件。

(4) 施工区段:施工区段实际上是一段双车道公路,其通行能力影响因素与双车道公路大体相当。但由于采取了限速行驶的管理措施,限速值及其实际运行速度是应该重点考虑的因素之一。

(5) 下游过渡区及终止区:该区段类似于高速公路驶出匝道与正线连接处的分流区段,不同之处在于正线上及分流的车辆均为加速行驶,速度仍是值得重视的因素,当然还有变道处的几何线形条件。

3.2 基于速度-流量模型的实际通行能力确定方法

由于实测得到了施工区各主要区段的速度、流量等交通流参数数据,因而可标定出交通流参数模型或拟合出其关系曲线,在此基础上可通过理论计算得到各主要区段的实际通行能力值。

在交通流参数模型中,格林伯(Greenberg)对数模型较适用于描述高密度交通状态下的三参数关系,而安德伍德(Underwood)指数模型则往往适用于低密度交通状态。另外,将两者组合起来的伊迪(Edie)模型对数据要求较高,实际应用中很难拟合出理想的曲线。综上,结合施工区的交通特点及交通流参数获取的难易程度,本文采用了格林希尔治(Greenschields)线性模型来描述速度-密度关系(图3(a))和速度-流量关系(图3(b)),其中,速度与流量关系曲线(抛物线)顶点所对应的最大流量值($Q_{\max}$)即可作为实际通行能力。在具体组织数据时,以5 min为统计间隔,来获取标准小汽车的流率和空间平均速度数值。

3.3 基于运行速度及道路交通条件修正的实际通行能力确定方法

道路通行能力理论以及《美国道路通行能力手册》中,确定高速公路基本路段实际通行能力的经典方法是,首先依据设计速度确定基本通行能力,

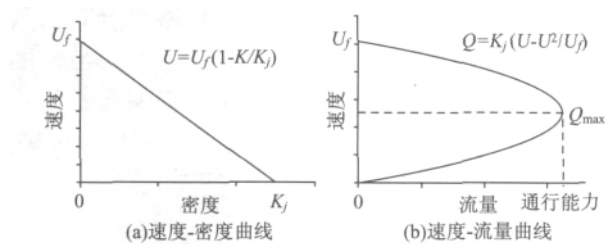


图3 格林希尔治的交通流参数模型

Fig. 3 Greenshields traffic flow parameters model

然后结合实际道路、交通条件对基本通行能力进行车道宽度及侧向净空修正、大型车混入率修正和驾驶员适应性修正,其基本计算公式为:

$$C = C_0 \times f_w \times f_{HV} \times f_p, \quad (1)$$

式中, C 为实际通行能力; C_0 为基本通行能力; f_w 为车道宽度及侧向净空修正系数; f_{HV} 为大型车修正系数; f_p 为驾驶员适应性修正系数。

基本通行能力是指在理想的道路、交通条件以及某一控制速度下,1条车道的1个断面在1 h内能通过的最大车辆数,是一个经过大量理想试验所确定的数值(表1)。对于施工作业区而言,这种理想试验较少。本研究认为,虽然施工作业区的某些区段(比如上游警告区)道路几何与交通组成条件没有较大改变,但由于存在限速或连续限速等速度控制措施,其基本通行能力会降低的。因此,本文提出了以实测车速的85%位车速作为设计速度来修正基本通行能力的方法,即以85%位车速通过内插法由表1中的数据来确定基本通行能力。

表1 理想条件下的基本通行能力

Tab. 1 Basic capacity under ideal condition

设计速度/(km·h ⁻¹)	基本通行能力/[pcu·(h·ln) ⁻¹]
120	2 200
100	2 100
80	2 000
60	1 800

对于车道宽度、侧向净空修正系数(f_w)以及大型车混入率修正系数(f_{HV})可按施工作业区的实际道路及交通条件来具体确定。由于从上游正常路段至上游警告区再至施工区段,车道数及几何线形会发生较大变化,这往往会出乎驾驶员意料,加之驾驶员也会存在不熟悉作业区路况的情况,因此,施工作业区中的驾驶员适应性修正系数(f_p)应适当降低。

4 作业区各主要区段的道路通行能力

4.1 基于速度-流量模型的道路实际通行能力

施工作业区上游正常路段、上游警告区及施工

区段的速度与密度、速度与流量的样本点分布及其拟合曲线见图4和图5,得到的速度(U)与密度(K)、流量(Q)与速度(U)的关系模型见表2。

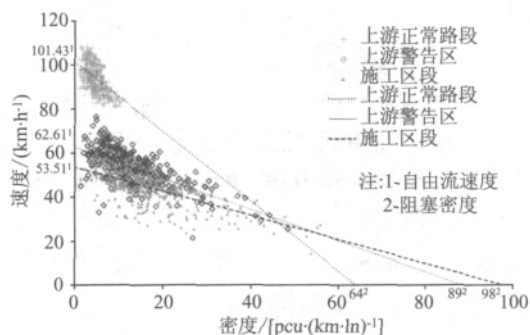


图4 施工作业区各区段速度-密度关系图

Fig. 4 Speed-density curves of each section of work zone

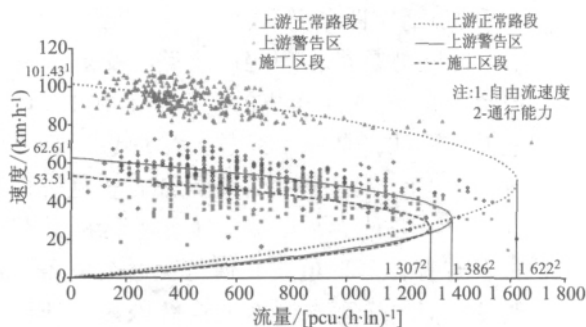


图5 施工作业区各区段速度-流量关系图

Fig. 5 Speed-flow curves of each section of work zone

表2 各主要区段的速度-密度与速度-流量模型

Tab. 2 Speed-density model and speed-flow model of main sections

区段	$U-K$ 模型	$Q-U$ 模型
上游正常路段	$U = -1.59K + 101.43$ $R = 0.72$	$Q = 64U - 0.63U^2$ $R = 0.65$
上游警告区	$U = -0.71K + 62.61$ $R = 0.74$	$Q = 89U - 1.42U^2$ $R = 0.70$
施工区段	$U = -0.54K + 53.51$ $R = 0.80$	$Q = 98U - 1.83U^2$ $R = 0.67$

上游正常路段: 自由流速度为 101.43 km/h, 阻塞密度为 64 $\text{pcu} \cdot (\text{km} \cdot \ln)^{-1}$, 此时道路的实际通行能力为 1 622 $\text{pcu} \cdot (\text{h} \cdot \ln)^{-1}$ 。

上游警告区: 自由流速度为 62.61 km/h, 阻塞密度为 89 $\text{pcu} \cdot (\text{km} \cdot \ln)^{-1}$, 此时道路的实际通行能力为 1 386 $\text{pcu} \cdot (\text{h} \cdot \ln)^{-1}$ 。

施工区段: 自由流速度为 53.51 km/h, 阻塞密度为 98 $\text{pcu} \cdot (\text{km} \cdot \ln)^{-1}$, 此时道路的实际道路通行能力为 1 307 $\text{pcu} \cdot (\text{h} \cdot \ln)^{-1}$ 。

4.2 基于运行速度及道路交通条件修正的实际通行能力

上游正常路段、上游警告区以及施工区段实测车速的累积频率分布曲线, 见图6。由累积频率分布曲线可知, 上游正常路段、上游警告区及施工区段的 85% 位车速分别为 122.29、73.91、63.81 km/h, 按这些车速查表1确定的基本通行能力分别为 2 210、1 939、1 838 $\text{pcu} \cdot (\text{h} \cdot \ln)^{-1}$ 。

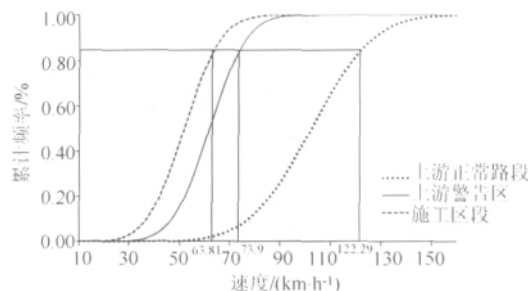


图6 施工作业区段速度的累积频率分布曲线

Fig. 6 Accumulated speed frequency distribution of each section in work zone

对于上游正常路段及上游警告区, 车道宽度、侧向净空及大型车混入率等均未发生改变, 此时结合具体道路与交通组成条件确定的 f_w 、 f_{HV} 及 f_P 分别为 1、0.78 和 0.95。对于施工区段, 由于侧向净空受限, 加之车辆折减系数的调整, 此时结合各种因素确定的 f_w 、 f_{HV} 及 f_P 分别为 0.93、0.89 和 0.90。

在确定了基本通行能力及车道宽度与侧向净空、大型车混入等通行能力修正系数后, 即可由公式(1)计算得出施工作业区各主要区段的实际通行能力。

上游正常路段: $2\,210 \times 1 \times 0.78 \times 0.95 = 1\,637 \text{ pcu} \cdot (\text{h} \cdot \ln)^{-1}$,

上游警告区: $1\,939 \times 1 \times 0.78 \times 0.95 = 1\,437 \text{ pcu} \cdot (\text{h} \cdot \ln)^{-1}$,

施工区段: $1\,838 \times 0.93 \times 0.89 \times 0.90 = 1\,369 \text{ pcu} \cdot (\text{h} \cdot \ln)^{-1}$ 。

5 通行能力确定方法及各区段通行能力对比

表3给出了基于前述2种方法所确定的施工作业区各主要区段实际通行能力值以及2种计算结果的绝对误差和相对误差。由通行能力计算结果可知, 基于运行速度及道路交通条件修正法所确定的值普遍高于基于速度-流量模型法所确定的数值, 且其差值由上游正常路段至施工区段呈逐渐增加趋势。但误差数据表明, 2种方法计算结果的相对误差不大, 在 0.92% ~ 4.74% 之间。由于尚无法评价2种方

法的优劣,因此,本文建议取2种方法计算结果的均值作为最终确定的通行能力值(见表3最后一行)。

表3 施工作业区主要区段通行能力计算结果及其最终取值建议

Tab. 3 Calculation result and final suggested values of capacity of main section in work zone

通行能力		上游正常路段	上游警告区	施工区段
实际通行能力/ $[\text{pcu} \cdot (\text{h} \cdot \text{ln})^{-1}]$	速度-流量模型	1 622	1 386	1 307
	速度及道路交通条件修正法	1 637	1 437	1 369
2种方法 计算结果 的误差	绝对误差/ $[\text{pcu} \cdot (\text{h} \cdot \text{ln})^{-1}]$	15	51	62
	相对误差/%	0.92	3.68	4.74
通行能力建议值/ $[\text{pcu} \cdot (\text{h} \cdot \text{ln})^{-1}]$		1 630	1 411	1 338

由最终确定的施工作业区主要区段实际道路通行能力可知,从上游正常路段至警告区再至施工区段,通行能力逐渐降低,降低值分别为 $219 \text{ pcu} \cdot (\text{h} \cdot \text{ln})^{-1}$ 和 $73 \text{ pcu} \cdot (\text{h} \cdot \text{ln})^{-1}$,即相对前一个区段通行能力分别下降 13.44% 和 5.17%。

6 结论

基于速度-流量模型的通行能力确定方法以及基于运行速度及道路交通条件修正的通行能力确定方法,均可用来确定施工作业区各主要区段的实际通行能力,且其相对误差较小,在 0.92% ~ 4.74% 之间。由2方法最终确定的施工作业区上游区段、上游警告区及施工区段的实际通行能力分别为 1 630、1 411、1 338 $\text{pcu} \cdot (\text{h} \cdot \text{ln})^{-1}$ 。

致谢:感谢黑龙江省前嫩公路工程建设指挥部、黑龙江省绥北高速公路建设指挥部、黑龙江省哈阿高速旧路维修指挥部在施工区交通调查中给予的大力帮助和支持。

参考文献:

References:

- [1] KIM T, LOVELLD, PRACHA J. A New Methodology to Estimate Capacity for Freeway Work Zones [C/CD] // TRB 80th Annual Meeting Preprint CD-ROM. Washington D. C.: TRB, 2001.
- [2] AL-KAISKY A, FRED H. Guidelines for Estimating Freeway Capacity at Long-term Reconstruction Zones [J]. Journal of Transportation Engineering, 2003, 129(5): 572-577.
- [3] KARIM A, ADELI H. Radial Basis Function Neural Network for Work Zone Capacity and Queue Estimation [J]. Journal of Transportation Engineering. 2003, 129(5): 494-503.
- [4] ADELI H, JIANG X. Neural-fuzzy Logic Model for Freeway Work Zone Capacity Estimation [J]. Journal of Transportation Engineering, 2003, 129(5): 484-493.
- [5] DIXON K K, HUMMER J E, LORSCHIEDER A R. Capacity for North Carolina Freeway Work Zones [J]. Journal of the Transportation Research Board, 1996, 1529: 27-34.
- [6] KRAMMES R A, LOPEZ G O. Updated Capacity Values for Short-term Freeway Work Zone Lane Closures [J]. Transportation Research Record, 1994, 1442: 49-56.
- [7] SARASUA W, DAVIS W, CLARKE D, et al. Evaluation of Interstate Highway Capacity for Short-term Work Zone Lane Closures [J]. Transportation Research Record, 2004, 1887: 85-94.
- [8] 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, 20(2): 68-72.
- [9] CHANG Chengli, ZHOU Gang. Research and Practice of Expressway Section Capacity Analysis Method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(2): 68-72.
- [10] 马俊来,王伟,李文权,等. 高速公路合流区上匝道混合车流通行能力经验计算方法 [J]. 公路交通科技, 2005, 22(10): 97-101.
- [11] MA Junlai, WANG Wei, LI Wenquan. Empirical Capacity Calculating Method for Expressway On-ramp Mixed Traffic Flow [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(10): 97-101.
- [12] 何小洲,过秀成,吴平,等. 高速公路施工区交通特性分析 [J]. 公路, 2005(12): 111-115.
- [13] HE Xiaozhou, GUO Xiucheng, WU Ping, et al. Analyses of Traffic Characteristics of Expressway Work Zones [J]. Highway, 2005(12): 111-115.
- [14] 李秀文,荣建,刘晓明,等. 快速路分、合流影响区交通特性及通行能力研究 [J]. 公路交通科技, 2006, 23(1): 101-104.
- [15] LI Xiuwen, RONG Jian, LIU Xiaoming, et al. Analysis of Traffic Flow Characteristics and Capacities of Diverging and Merging Influence Areas [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(1): 101-104.
- [16] 周茂松,吴兵,盖松雪. 高速公路养护维修作业区通行能力影响因素的微观仿真研究 [J]. 交通与计算机, 2004, 22(6): 54-57.
- [17] ZHOU Maosong, WU Bing, GAI Songxue. Micro-simulation of Factors Affecting Passing Capacity in Freeway Maintenance Work Zones [J]. Computer and Communications, 2004, 22(6): 54-57.