

文章编号: 1009-6744 (2008) 03-0106-05

系统工程理论与方法

基于时间占有率分析的车辆折算系数研究

敖谷昌¹, 贾元华^{*1}, 张惠玲²

(1. 北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044; 2. 重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074)

摘要: 车辆折算系数是高速公路通行能力和服务水平研究的重要参数。在简要介绍国内外车辆折算系数计算方法的基础上, 对时间占有率和车辆折算系数的关系进行分析, 提出一种新的基于时间占有率的车辆折算系数计算模型。模型首先根据车辆速度和交通构成对交通检测数据进行分类, 建立时间占有率、密度和交通量之间的相互关系模型; 然后利用实测数据求得各模型的回归参数; 进而采用微分比值的方法计算车辆折算系数。通过京津塘高速公路的数据验证, 表明基于时间占有率分析的车辆折算系数能够反映车流中车型间的差异及相互影响, 有助于特定交通流交通状况的分析。

关键词: 车辆折算系数; 时间占有率; 通行能力; 高速公路

中图分类号: U491

文献标志码: A

Vehicle Conversion Factors Based on the Analysis of Occupancy Time

AO Gu-chang¹, JIA Yuan-hua¹, ZHANG Hui-ling²

(1. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Vehicle conversion factors are important parameters for capacity and service level of expressway. This paper analyzes the relation between occupancy time and vehicle conversion factors, and the calculating model of vehicle conversion factors based on the analysis of occupancy time is presented. Firstly, the traffic data need to be classified according to the vehicle speed and traffic composition, and two regression correlations among occupancy time, traffic density, and traffic volume are developed. Secondly, the regression coefficients can be obtained through the practical data. Finally, vehicle conversion factors can be calculated through the differential and ratio method. Data collected from Jing-Jin-Tang expressway show that the presented approach can well reflect the difference of kinds of vehicles, and can be used to analyze the current situation of the specific traffic flow in China's expressway.

Key words: vehicle conversion factors; occupancy time; capacity; expressway

CLC number: U491

Document code: A

1 引言

混合交通是北京地区高速公路交通流的一个

显著特性, 见表 1, 而通行能力和服务水平的计算都是以标准车为依据的, 为了分析比较不同交通构

收稿日期: 2007-11-12 修回日期: 2008-02-26 录用日期: 2008-03-11

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划(2007AA11Z213)。

作者简介: 敖谷昌(1976-), 男, 重庆荣昌人, 博士生。

*通讯作者: yhjia@bjtu.edu.cn

成的高速公路通行能力和服务水平,需要将实际或预测的各类型车辆换算成标准车,此时,需要用到车辆折算系数^[1,2]。车辆折算系数是在 1965 年出版的美国《道路通行能力手册》中首次提出的,是指对道路通行能力影响而言,某类型车辆的一辆车相当于标准车的车辆数^[3]。目前,我国现行“公路工程技术标准”中采用的车辆折算系数如表 2 所

表 1 北京地区高速公路的交通构成和平均自由流速度

Table 1 Traffic composition and the average free flow speed of expressway in Beijing

高速公路名称	方向	交通组成(%)				平均自由流速度(km·h ⁻¹)			
		微型车	小客车	大中型车	集装箱	微型车	小客车	大中型车	集装箱
京石高速	京石方向	22.96	57.31	19.42	0.31	67.24	89.94	64.48	42.65
	石京方向	19.08	57.72	23.09	0.11	70.93	96.37	65.82	47.15
八达岭高速	出京方向	8.97	76.43	14.29	0.31	74.63	103.34	82.13	45.57
	进京方向	6.69	67.50	24.26	1.55	73.65	102.66	75.00	41.35
京津塘高速	京津方向	9.70	69.64	20.39	0.28	74.48	102.74	75.25	54.69
	津京方向	10.86	65.30	23.34	0.51	77.42	105.98	72.39	49.03
京哈高速	出京方向	21.56	41.90	35.20	1.33	61.99	88.42	66.41	47.91
	进京方向	20.60	39.58	39.17	0.66	60.62	83.28	59.62	48.06

资料来源:交通部公路科学研究院于 2006 年发布的《公路通行能力手册》。

表 2 各汽车代表车型的车辆折算系数

Table 2 Vehicle conversion factors of different vehicles

汽车代表车型	车辆折算系数	说明
小客车	1.0	≤19座的客车和载质量≤2t的货车
中型车	1.5	>19座的客车和载质量>2t~≤7t的货车
大型车	2.0	载质量>7t~≤14t的货车
拖挂车	3.0	载质量>14t的货车

2 现有车辆折算系数的计算方法综述

计算车辆折算系数的方法可以分为 3 大类:理论模型法、经验计算法和计算机模拟法^[6]。理论模型法是指在给定的服务水平下,假设混合车流的车流量与标准车流的车流量具有等价性,根据服务水平与车流量之间的对应关系推算车辆折算系数^[7]。经验计算法是基于对交通流特征参数或参数之间的关系进行分析,进而比较不同交通构成情况下的交通行为,以此建立车辆折算系数的计算方法。由于参数选取的不同,经验计算法的方法也有较大差异,主要有数学模型法、容量计算法、速度—流量计算法、超车率法、延误计算法、车头时距法等^[8]。计算机模拟法是指通过数学分析或物理建模,在计算机上进行交通流仿真,以求得不同车型在各种情况下的车辆折算系数^[9],如元胞自动机模型法^[10]。由于理论模型法在确定服务水平与混合交通量之间的对

示^[4],这是一种常规的处理方法,可作为公路设计控制要素的参考。但由于受实际的交通、控制和环境条件影响,设计阶段所采用的固定不变的车辆折算系数很难准确反映不同车型的影响,由此计算出来的服务水平在反映具体的交通运行状况时难免会有一定误差^[5],因此,有必要根据特定的交通流对象对高速公路的车辆折算系数进行深入的研究。

应关系时较为困难;计算机模拟法需要大量实测数据进行验证,因此,较为常用的还是经验计算法。

虽然目前对车辆折算系数的理论研究较多,但并没有形成一个统一的衡量标准,普遍可以接受的原则是:车辆折算系数的确定应该考虑服务水平的影响,计算方法的选取应该考虑数据采集的难易程度^[10,11]。在确定模型前,首先需要建立描述路段服务水平的有效衡量指标,以此作为车型换算的当量标准。对高速公路来说,度量服务水平的指标有密度、负荷度、交通量、车辆延误和平均运行速度等,其中密度是最主要的度量参数。但对交通流自动检测系统来说,大多数检测设备能够采集到的指标是交通量、地点车速和时间占有率。鉴于服务水平指标和自动检测系统采集数据的差异,建立模型时还需要分析系统所获取交通数据的类型及准确性。

3 时间占有率与车辆折算系数的关系

时间占有率是指在道路的观测断面上,车辆占用的时间累计值与测定时间的比值^[1],其表达式为

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T} = \frac{\sum_{j=1}^m N_j t_j}{T} = 3.6 \times \frac{\sum_{j=1}^m N_j L_j / V_j}{T}$$
$$= \sum_{j=1}^m 3.6 \times L_j \times \frac{Q_j}{V_j} \tag{1}$$

简化得

$$R = \sum_{j=1}^m 3.6 \times \frac{L_j}{T} \times K_j \quad (2)$$

式中 R ——时间占有率(%)；

T ——测定时间长(s)；

t_i ——第 i 辆车通过观测断面的时间(s)；

n ——测定时间内通过观测断面的车辆数(v)；

N_j ——第 j 种车型的辆数(v)；

\bar{t}_j ——第 j 种车型通过观测断面的平均时间(s)；

m ——车辆的分类数；

L_j ——第 j 种车型的平均车长(m)；

V_j ——第 j 种车型的平均地点速度(km/h)；

Q_j ——第 j 种车型的交通量(v/h)；

K_j ——第 j 种车型的密度(v/km)。

从式(1)可以看出,时间占有率不仅与交通量有关,还与车辆的长短及速度有关。就影响因素来说,时间占有率和车辆折算系数具有某些相似性。恰当地利用时间占有率和不同车型组合的微观特征,可以研究得出高速公路车辆折算系数的计算方法。

4 车辆折算系数计算的时间占有率分析法

4.1 车辆折算系数计算的基本思路

大小车、快慢车混行是高速公路交通运行的主要特点,现有的交通流模型很难准确描述这种复杂交通流的特征,但可以确定的是:对于高速公路的某一特定断面,在一定的速度和交通构成条件下,如果不考虑控制和环境等外界条件变化,混合交通流的关系具有某种稳定性^[11,12]。因此,可以将某种车型的一辆车放进交通流中对时间占有率的影响大小作为分析高速公路路段通行能力和服务水平的基础,并据此确定车辆折算系数的基本思路。首先根据车辆平均速度和交通构成对交通检测数据进行分类,建立时间占有率和交通密度,以及交通密度和交通量之间的相互关系模型;然后根据关系模型计算每增加或减少一辆某种类型的车辆对整个道路时间占有率的影响值,以及每增加或减少一辆标准车辆对整个道路时间占有率的影响值;最后根据这两个影响值推算高速公路的车辆折算系数。

4.2 车辆折算系数的计算模型

(1) 交通数据的统计处理。

为分析不同交通构成和车辆速度差异对折算系数的影响,需要将速度和交通构成分类。一般而言,车辆速度和交通构成分得越细,通过交通资料

模拟出来的关系式越准确,但需要的交通流检测数据越多,计算越复杂。

(2) 回归关系式的建立。

假设将地点平均车速分为 u 个等级,交通构成分为 v 个类别,共有 m 种车型。根据式(2),可以建立时间占有率与各车型密度之间的关系模型

$$R_{pq} = a_{pq0} + \sum_{j=1}^m a_{pqj} K_{pqj} \quad (3)$$

式中 R_{pq} ——第 p 级速度、第 q 种交通构成的时间占有率(%)；

K_{pqj} ——第 p 级速度、第 q 种交通构成、第 j 种车型的密度(v/km)；

a_{pq0} 、 a_{pqj} ——回归系数,其中 $p = 1, \dots, u$; $q = 1, \dots, v$ 。

根据文献[11]和文献[12]提出的高速公路流量—密度关系表达式,可以得出密度与各车型流量之间的关系模型

$$K_{pq} = \sum_{j=1}^m K_{pqj} = b_{pq} + \sum_{j=1}^m c_{pqj} Q_{pqj} + \sum_{j=1}^m d_{pqj} (Q_{pqj})^2 \quad (4)$$

式中 Q_{pqj} ——第 p 级速度、第 q 种交通构成、第 j 种车型的交通量(v/h)；

b_{pq} 、 c_{pqj} 、 d_{pqj} ——相应的回归系数。

(3) 车辆折算系数的计算。

根据车辆折算系数计算的基本思路,第 j 种车型相对于标准车的车辆折算系数可表示为

$$SVE_{pqk} = \frac{\frac{\partial R_{pq}}{\partial Q_{pqk}}}{\frac{\partial R_{pq}}{\partial Q_{pq1}}} \quad (5)$$

式中 SVE_{pqk} ——第 p 级速度、第 q 种交通构成、第 k 种车型的辆折算系数；

Q_{pq1} ——第 p 级速度、第 q 种交通构成的标准车流量(v/h)。

由式(3)得

$$\frac{\partial R_{pq}}{\partial Q_{pqk}} = a_{pqk} \frac{\partial K_{pqk}}{\partial Q_{pqk}} \quad (6)$$

$$\frac{\partial R_{pq}}{\partial Q_{pq1}} = a_{pq1} \frac{\partial K_{pq1}}{\partial Q_{pq1}} \quad (7)$$

式中 K_{pq1} ——第 p 级速度、第 q 种交通构成的标准车密度(v/km)。

由式(4)得

$$\frac{\partial K_{pqk}}{\partial Q_{pqk}} = c_{pqk} + 2d_{pqk} Q_{pqk} \quad (8)$$

$$\frac{\partial K_{pq1}}{\partial Q_{pq1}} = c_{pq1} + 2d_{pq1} Q_{pq1} \tag{9}$$

将式(6)、式(7)、式(8)和式(9)代入式(5),第 k 种车型的车辆折算系数为

$$SVE_{pqk} = \frac{a_{pqk}(c_{pqk} + 2d_{pqk}Q_{pqk})}{a_{pq1}(c_{pq1} + 2d_{pq1}Q_{pq1})} \tag{10}$$

5 算例

5.1 实测数据处理

京津塘高速公路全长 142.69km,路基宽 26m,分上下行共 4 个车道,设计车速为 120km/h。利用现代化的检测设备,监控系统能够检测出每分钟的时间占有率、大车和小车交通量,以及大车和小车的平均地点速度。

在交通流统计过程中,采用 5min 的统计间隔

表 3 各种车速等级和大车混入率的车辆折算系数

Table 3 Vehicle conversion factors according to speed grades and ratio of big vehicle

大车平均车速 (km·h ⁻¹)	大车混入率(%)									
	<10	≥10	≥20	≥30	≥40	≥50	≥60	≥70	≥80	≥90
≥60	2.05	2.94	3.01	2.83	2.68	2.55	2.43	2.31	2.20	2.11
≥40	2.24	3.57	3.27	3.12	3.00	2.89	2.78	2.67	2.58	2.50
≥20	—	3.32	3.11	2.97	2.85	2.64	—	2.45	2.38	2.32
<20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注:“—”表示该类别的回归效果不显著,或样本数据小于 10。

5.2 车辆折算系数计算与分析

将小车作为标准车,根据式(3)和式(4),对每个交通分类的检测数据进行趋势拟合,然后将相应的回归系数代入式(10),可以计算出一定大车混入率和大车平均车速条件下的车辆折算系数,结果见表 3。从表中可以看出,基于时间占有率计算出来的车辆折算系数存在以下规律:

(1) 当大车速度≥40km/h 时,车辆折算系数随大车混入率的增加表现出先增加后减少的趋势,这是因为在车速较高时,少量大车混入对车流的干扰不大;随着大车的增加,小车需要不停地超车及变换车道,大车对小车的干扰也逐渐增大;当大车混入率增加到一定程度时,其自身可以形成一个稳定跟车流,相应对小车的影响则减少。

(2) 在相同混入率的情况下,车辆折算系数随大车速度的降低表现出先增加后减少的趋势,这是因为当车速较大时,交通流处于较为自由的状态,驾驶员能够较为自由地选择行车速度,车辆间相互干扰较小;随着车辆的增加,驾驶员选择速度的自

可以保证其结果与利用 15min 作为统计间隔的结果一致,且能够满足通行能力分析的需要,而采用 1min 作为统计间隔的结果会产生较大的误差^[13]。因此,将京津塘高速公路下行 k71+337 断面一周(2005 年 5 月 23 日至 2005 年 5 月 29 日)的交通检测数据按 5min 的时间间隔分成 2 016 个样本,剔除无效的 52 个样本,得到 1964 个样本数据,每个样本数据包括时间占有率、大车交通量、小车交通量、大车地点车速和小车平均地点车速 5 个参数。

由于高速公路中大车对交通流的干扰较大,且京津塘高速公路交通构成中大车所占的比例较高,本文以大车的平均地点车速作为速度分级标准,将速度分为 4 级;根据大车混入率的比例将交通构成分为 10 种类型,具体的数据分类标准见表 3。

由度受到一定限制,车辆间相互干扰也逐渐增大;当速度降到一定程度时,开始出现车队,车辆运行较为稳定,大车速度对小车运行的影响逐渐减小。

(3) 当大车速度<20km/h 时,交通流处于不稳定状态,出现拥挤,甚至有停车现象,难以建立时间占有率和交通量的回归模型。因此,基于时间占有率的车辆折算系数计算模型并不适用于服务水平较低的不稳定车流,需要采取其它方法进行计算。

车辆折算系数是基于通行能力概念提出来的,当交通量接近通行能力时,车辆折算系数更具有实际意义。京津塘高速公路的检测数据表明,大车速度在 40 至 60km/h 之间的平均交通量与速度大于 60km/h 的平均交通量的比值为 10~9。文献[11]指出,当临界速度为 64km/h 时,高速公路基本路段的通行能力达到最大值。因此,本文推荐的大车折算系数取上述两个速度范围内的车辆折算系数的加权平均值,其中权值分布为 $\frac{10}{19}$ 和 $\frac{9}{19}$,结果见表 4。

表 4 京津塘高速公路路段大车车辆折算系数的推荐值

Table 4 The recommended value of Jing Jin- Tang expressway' s big vehicle conversion factors

大车混入率(%)	<10	≥10	≥20	≥30	≥40	≥50	≥60	≥70	≥80	≥90
大车折算系数	2.1	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3

6 研究结论

车辆折算系数不是一个定值,是随道路、交通条件变化而变动的。由于分析角度的不同,即使是对同一种车辆,各种计算模型得到的车辆折算系数也有所差异^[14]。因此,研究适合我国实际交通状况的车辆折算系数计算方法具有重要的现实意义。本文以大量实测交通流数据为基础,从时间占有率角度探索高速公路车辆折算系数的计算方法,具有一定的理论和实践意义。但由于各方面因素限制,研究成果还有待进一步的分析和验证,以便更好地为公路规划、设计,以及制定交通管理措施提供依据。

参考文献:

[1] 任福田,刘小明,荣建,等. 交通工程学[M] . 北京:人民交通出版社,2003.[REN Fu-tian, LIU Xiao-ming, RONG Jian. Traffic Engineering[M] . Beijing: China Communication Press, 2003.]

[2] 高耀华,刘洪君,周荣贵. 基于高速公路通行能力分析的 车辆折算系数理论与算法[J] . 公路交通科技, 2000, 17(6) : 60— 63. [GAO Yao-hua, LIU Hong-jin, ZHOU Rong-gui. Theory and arithmetic of standard vehicle equivalents for expressway capacity analysis[J] . Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2000, 17(6) : 60— 63.]

[3] 景鹏,孟祥海. 城市道路车辆分类及折算系数研究[J] . 城市交通, 2006, 4(2) : 61— 63. [JING Peng, MENG Xiang-hai. A study on vehicle classifications of urban road and their conversion factors[J] . Urban Transport of China, 2006, 4(2) : 61— 63.]

[4] 中华人民共和国交通部. 公路工程技术标准(JTG B01— 2003)[S] . 北京:人民交通出版社,2003.[Ministry of Communications of the People' s Republic of China. Technical standard of highway engineering(JTG B01— 2003)[S] . Beijing: China Communications Press, 2003.]

[5] 付强,林航飞,杨晓芳,等. 基于服务水平的车辆折算系数[J] . 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(1) : 67— 71. [FU Qiang, LIN Hang-fei, YANG Xiao-fang. Passenger car equivalence research out of level of service consideration[J] . Journal of Tongji University (Natural Science) , 2007, 35(1) : 67— 71.]

[6] 高海龙,周荣贵,王伟. 当量车的动力学计算模型[J] . 公路交通科技, 2002, 19(5) : 118— 121. [GAO Hai-

long, ZHOU Rong-gui, WANG Wei. Dynamic calculating model for passenger-car equivalents[J] . Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19(5) : 118— 121.]

[7] Huber M J. Estimation of passenger car equivalents of trucks in traffic stream[J] . US Transportation Research Board, Transportation Research Record, 1982, 869: 60— 70.

[8] 王进,唐忠华,陆化普. 车辆折算系数研究[J] . 土木工程学报, 2004, 37(12) : 97— 102. [WANG Jin, TANG Zhong-hua, LU Hua-pu. Study of vehicle conversion coefficients[J] . China Civil Engineering Journal, 2004, 37(12) : 97— 102.]

[9] Taylor M A P, Miller A J, Ogden K W. Aspects of traffic flow on grades[C] //Proceedings 6th Australian Road Research Board Conference, 1972, 6(3) : 232— 247.

[10] 石琴,黄志鹏,张卫华. 基于交通流元胞自动机模型的 车辆当量换算[J] . 中国公路学报, 2006, 19(4) : 114— 117. [SHI Qin, HUANG Zhi-peng, ZHANG Wei-hua. Vehicle equivalent conversion of cellular automat model based on traffic flow[J] . China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(4) : 114— 117.]

[11] 陈宽民,严宝杰. 道路通行能力分析[M] . 北京:人民交通出版社,2003. [CHEN Kuan-min, YAN Bao-jie. Road and Expressway Capacity Analysis[M] . Beijing: China Communication Press, 2003.]

[12] 张亚平,张起森. 控制出入公路车辆折算系数研究[J] . 长沙交通学院学报, 2000, 16(1) : 58— 62. [ZHANG Ya-ping, ZHANG Qi-sen. Research on passenger car equivalents for freeway and arterial highway[J] . Journal of Changsha Communications University, 2000, 16(1) : 58— 62.]

[13] 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. [CHANG Cheng-li, 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.]

[14] 熊烈强,李杰. 车辆折算系数的分类及算法[J] . 公路交通科技, 2005, 22(7) : 128— 130. [XIONG Lie-qiang, LI Jie. Classification and calculation method of passenger car equivalent[J] . Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(7) : 128— 130.]