第15卷 第22期 2015年8月
1671—1815(2015)22-0195-05

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

Vol. 15 No. 22 Aug. 2015
ⓒ 2015 Sci. Tech. Engrg.

基于速度变化量的车辆折算系数研究

张惠玲 尹宝计 敖谷昌
(重庆交通大学交通运输学院,重庆 400074)

摘 要 车辆折算系数是道路通行能力计算和服务水平评价等方面最重要的基础参数之一。通过对基于密度相等的方法、时距法和超车法进行了介绍和分析,提出了以车辆速度变化量为基础的车辆当量折算系数,分析了影响车辆折算系数的因素;并分别选取了不同车道数、不同坡度、不同服务水平以及不同大车比例。通过微观仿真平台验证了不同组合交通情况下的车辆当量折算系数及折算系数的变化趋势。结果表明:从1车道到2车道,折算系数增加,从2车道到3车道,折算系数出现了减小的趋势;在下坡路段折算系数比上坡路段大;随着流量的增加,折算系数先增加后减小;随着大车比例增加,折算系数出现增加的趋势。

关键词 车辆折算系数 速度变化量 交通仿真
中图法分类号 U491.112; **文献标志码** A

混合交通是包括我国在内许多国家道路交通的最大特点之一,由于不同的车辆共用道路或者车道,不同车辆之间会产生相互影响;另外,以通行能力计算为例,通行能力为给定的时间通过某个点或者断面的最大车辆数[1]。但该车辆数在单一车种和混合交通情况下将会出现不同的结果,为了统一表示和衡量,都使用标准车作为统计基础,即给定的时间通过某一点或者某个断面的标准车数为通行能力。所以针对混合交通状况,如何将其他非标准车折合为标准车是包括在通行能力计算等方面较为重要的因素。

对于车辆折算系数的研究,1950年HCM给出两车道平原地区一辆卡车产生的影响和两辆小汽车相同[2]。1965版的HCM之后,各种交通状况下的车辆折算系数得到了广泛的研究[3]。Krammes等[4]根据不同的车辆跟随情况,给出了依据时距的车辆折算方法,该方法中考虑了大车跟随大车,大车跟随小车,小车跟随大车以及小车跟随小车等情况下得平均车辆间距,由于该方法较简单,实际参数提取实现也较容易,使得该方法得到了较为广泛的应用。Nathan Webster等[5]使用FRESIM仿真软件,以密度相等为基础,分析了车辆折算系数的推算方法。Ahmed F. Al-Kaisy等[6]以车辆排队消散时的交通量为数据来源,以通行能力变化最小为目标建立了优化函数,设定通行能力的取值范围作为约束条件,以车辆折算系数为变量,得到了车辆折算系数值。Umama Ahmed[7]通过实测数据,使用了车头时距法分析了各种车辆的折算系数。付强等[8]以对道路的服务水平影响相同为基准,通过Greenshield模型,借助VISSIM仿真平台对不同流量、不同混入率下得车辆折算系数进行了研究。敖谷昌等[9]通过分析时间占有率和车辆折算系数的特征,给出了以时间占有率为基础参数的车辆折算系数计算方法。

以大型车对标准车产生的三个方面的影响分析为基础,从现实参数易于提取的角度出发,提出了基于速度变化量的车辆当量折算系数,通过对影响折算系数的流量、服务水平、坡度、大车比例等进行分析,构造相应的仿真场景,使用文中提出的以速度的变化量为基础的车辆折算系数方法,对不同仿真场景下的车辆折算系数进行了分析。该方法为车辆折算系数的研究提供了一种新的思路。

1 车辆折算系数研究状况分析

1.1 基于交通密度的车辆折算方法

交通密度的定义为单位长度车道上某一瞬间所存在的车辆数。流量为单位时间内通过某一段面的车辆数。基于交通密度的车辆折算方法步骤为:首先,只使用标准车,使用仿真的方式产生从0到通行能力的9种不同交通流量下的流量-密度,使用这9个点绘制成曲线;第二步在混合交通情况下使用仿真的方式绘制同样的流量-密度曲线;第三步将其中Δp比例的标准车使用同样数量需要折算得车辆;第四步运行替换后的混合交通,将得到对应的流量和

2015年3月24日收到 重庆市教委科学技术研究项目(KJ110411)、山地城市交通系统与安全重庆市重点实验室开放基金项目(KTSS201205)资助
第一作者简介:张惠玲(1980—),女,宁夏中宁人,副教授,博士。研究方向:交通信息工程及控制。E-mail:huilingz@126.com。

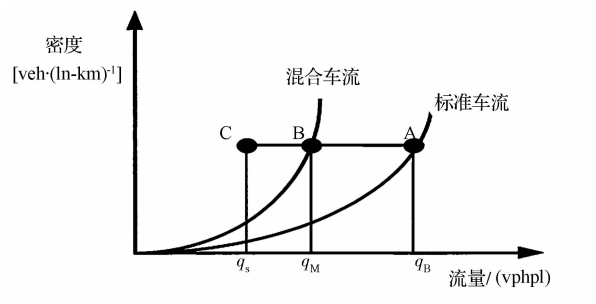


图 1 基于密度的车辆折算方法图

Fig. 1 Passenger car equivalent based on density

密度,如图 1 中的 C 点;第五步画一条水平的曲线,和另外两个已绘制曲线的交点分别记为 B 和 A,可以得到点 B 和 A 对应的流量值 q_M 和 q_B,则车辆折算系数可以使用下式计算[5]:

$$PCEs = \frac{1}{\Delta p}\left[\frac{q_B}{q_S} - \frac{q_B}{q_M}\right] + 1 \tag{1}$$

该方法在基于密度相等的基础上给出了车辆折算系数计算的方法,但在现实中实现上述步骤较难实现。

1.2 时距法

车头时距的定义为用时间表示同一队列中相邻两辆车车头之间的间隔。时距法,就是根据车辆的车头时距分析车辆的折算系数。其表达式为[4]:

$$PCE = \frac{(1-p)(\overline{h_{M_{cb}}} + \overline{h_{M_{bc}}} - \overline{h_{M_{cc}}}) + p\,\overline{h_{M_{bb}}}}{\overline{h_{M_{cc}}}} \tag{2}$$

式(2)中,$\overline{h_{M_{cb}}}$ 为小车跟随大车的平均车头时距;$\overline{h_{M_{bc}}}$ 为大车跟随小车的平均车头时距;$\overline{h_{M_{cc}}}$ 为小车跟随小车的平均车头时距;$\overline{h_{M_{bb}}}$ 为大车跟随大车的平均车头时距;p 为大车的比例。

另外,在使用车头时距进行计算时,如果检测是从车辆后轴开始,如下图所示。则后车起主要影响,前车对车头时距的影响不大,即 $\overline{h_{M_{cb}}}$ 和 $\overline{h_{M_{cc}}}$ 应该相差不大,因为此时主要的距离是考虑后车长度加上两车间的间隙如图 2 所示。

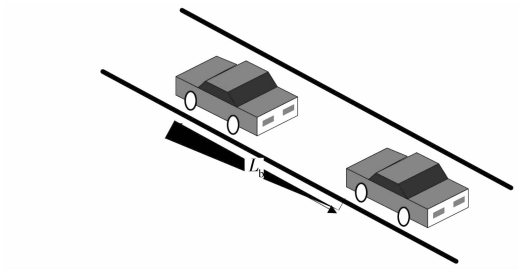


图 2 后轴检测示意图

Fig. 2 Headway detection based on rear axles

而两车速度在连续流时则相差不会很大,因此,在相同情况下,这两种组合下车头时距也相差不大。此时,上式简化为:

$$PCE = \frac{(1-p)\,\overline{h_{M_{bc}}} + p\,\overline{h_{M_{bb}}}}{\overline{h_{M_{cc}}}} \tag{3}$$

如果进一步设定 $\overline{h_{M_{bc}}}$ 和 $\overline{h_{M_{bb}}}$ 相差不大,此时,式(3)简化为:

$$PCE = \frac{\overline{h_{M_b}}}{\overline{h_{M_c}}} \tag{4}$$

式(4)中,$\overline{h_{M_b}}$ 是大车的平均车头时距,$\overline{h_{M_c}}$ 是小车的平均车头时距。

时距法算法较简单,且参数提取较容易,但在车辆流量比较少的情况下,大车与大车或者大车与小车的车头时距可能小于小车与小车的车头时距,此时得到的 PCE 将出现小于 1 的情况,且在上述算式简化的过程中没有考虑大车对驾驶员心理影响造成的车辆间距的不同。

1.3 超车法

超车法的基本计算公式如下[10]:

$$N_b = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} X_i Y_j}{60\left(\frac{60}{s_{2i} - s_{1j}}\right)} \tag{5}$$

式中,s_{2i} 是被超越车辆的速度;s_{1j} 是超车的速度;X_i 是被 i 车超过的车辆数;Y_j 超过 j 车的车数,n 和 m 分别是被超越和超越的车辆数。速度指单位时间内车辆行驶的距离。

式(5)是只有标准车的情况下得到的 N_b 值,在混合情况下,使用同样数量的大车替换小车,会观测到另外一组情况下得 N_m 值,而车辆当量系数及为:

$$PCE = N_m / N_b \tag{6}$$

超车法适用于两车道的情况,计算表达式较简单,但方法需要的观测的数据较多,且现实中不宜观测。

2 基于速度变化量的车辆当量换算系数分析

车辆速度能够直接体现驾驶员对道路以及交通状况的反应,如后面跟驰行使的小车前是大车,则由于大车的加、减速以及自身速度较小型汽车均要小一些,而且后面跟驰行使的小车驾驶员的视线容易被前面行使的大车所遮挡,另外,由于大车的体积较大,给后面行使的小车驾驶员的心理上会造成一些影响,使得驾驶员会采取较谨慎的驾驶方式,所以将会直接反映在驾驶员选取较低的行使速度跟驰在大

车之后。而如果一辆小车跟驰行使在另一辆小车之后,则由于车辆的动力特征相似、视野较开阔等因素,后车驾驶员会采取比较激进的方式跟驰行使,相对行使的速度也较快。所以本论文选择使用速度作为车辆当量换算的参数,根据速度变化情况分析车辆当量换算系数,即由于大车的混入带来的车均速度变化与标准车车均速度变化的比值,参考 R. F. Benekohal 等[11] 对交叉口车辆折算系数的研究思路,给出基于速度的车辆折算系数表达式为:

$$S - PCE_{i,j} = 1 + \frac{\Delta s_{i,j}}{s_{b,j}} \tag{7}$$

式(7)中,$S - PCE_{i,j}$ 表示第 i 种车辆在第 j 种交通情况下的车辆当量换算系数;$\Delta s_{i,j}$ 表示第 j 种混合交通情况下,第 i 种车辆引起的平均行使速度的变化量;$s_{b,j}$ 表示只有标准车辆的时候,在第 j 种交通情况下的平均行使速度。

如果得知该路段所有车辆的行使速度,则可以得到混合行使和标准车行使情况下的总车辆行驶速度,即

$$S_{i,j} = \sum_{k=1}^{n} s_{i,j,k} \tag{8}$$

$$S_{b,j} = \sum_{k=1}^{n} s_{b,j,k} \tag{9}$$

式中,$S_{i,j}$ 混合 i 种车辆在第 j 种交通情况下的车辆行使速度总合;$s_{i,j,k}$ 混合 i 种车辆在第 j 种交通情况下第 k 辆车的车辆行使速度;$S_{b,j}$ 为标准车辆在第 j 种交通情况下的车辆行使速度总合;$s_{b,j,k}$ 为只有标准车时第 k 辆标准车的行使速度;n 为行驶的车辆总数。

则由车辆当量换算系数的计算式可以得到

$$S - PCE_{i,j} = 1 + \frac{(S_{b,j} - S_{i,j})/n_j}{s_{b,j}} = 1 + \frac{(s_{b,j} - s_{i,j})}{p_{i,j} \times s_{b,j}} \tag{10}$$

式(10)中,$s_{i,j}$ 表示混入第 i 种车辆后,在第 j 种交通情况下的平均行使速度;n_j 为 i 种车的流量,$p_{i,j}$ 为 i 种车在第 j 种情况的比例。

3　仿真试验及分析

3.1　因素选取

大车与小车的区别主要可以概括为以下三个方面:大车的空间尺寸比小车大,一般而言,普通的公交车长度为 12 m 左右,而小汽车的长度为 4.6 m 左右,所以,与小汽车相比,行使在道路上的大车将占用更多的空间位置;大车的动力特征与小车存在差别,与小汽车相比,大车的平均加速度、速度比小汽车小,从与小汽车相同的初始速度加、减速至另一个相同的速度,大车需要消耗更多的时间与空间;大车会对行使在其前、后以及邻近车道的车辆驾驶员心理和操作带来影响,如一辆小车跟随在大车后行使,由于大车对小车驾驶员视线的遮挡,小车驾驶员无法看到前方道路、标志等情况,造成小车驾驶员在心理较为紧张,驾驶操作上也较为谨慎,而小车驾驶员也更倾向于远离大车或者在换道条件许可的情况下更换到其他车道行驶。

对于车辆当量系数影响因素的选择,可以从以下几个方面进行分析:

(1)车道数。由现场的交通情况可知,只有一条车道时,车辆没有换道选择,所以小车只能跟随在大车后行使,受大车的影响较大;有两条车道时,增加了车辆换道的可能性,即跟随在大车后行使的小车可以根据具体的交通情况选择更换到隔壁车道行驶,或者选择隔壁车道超过大车行使;有 3 条车道时,车辆选择换道的概率将大大增加,此时,如果有两辆大车并排行使,则跟随在两辆大车后的小车可以选择第三条车道换道;三条以上车道的情况车辆换道可能性则进一步增加。所以论文选择分析的车道数分别取为 1 ~4 条。

(2)流量。当车辆数比较少时,车辆以自由行使速度行驶,受到大车的影响较小,当车辆数比较多时,车辆处于跟驰行使的状态,此时,跟随在大车后的小车将受到大车的影响,所以流量对于车辆折算系数值将存在影响。由于研究区分了坡度,即分析地形为山地城市,参考重庆市城市道路交通规划及道路设计规范,设置一条车道的输入流量分别为 200 v/h,500 v/h,1 100 v/h,1 300 v/h 作为不同服务水平下的交通量。

(3)坡度。由于大车和小车具有不同的爬坡性能,在不同的坡度路段,大车和小车的加、减速以及速度运行特征有所差异。以下坡为例,相对于平坦的道路情况,小车比大车具有更高的加速度和速度,且驾驶更为灵活。但如果小车跟随在大车后行使,则受到大车的影响,更高的加速度和速度以及驾驶行为均无法体现,所以,坡度对车辆当量折算系数也有影响。参考重庆市城市道路交通规划及道路设计规范,本次分析将坡度最高取为 9%,中间取 5%,即坡度取值分别为 0,5%,-5%,9%,-9%。

(4)大车比例。大车比例较低时,大车出现的概率较小,对于小车的影响可能较小,而大车比例增加时,则对小车的影响可能会增加。综合近几年重庆市和其它城市公交比例,本次取大车比例最大值为 40%,即所取得大车比例分别为 0%,10%,20%,

30%,40%,考虑 5 种大车比例下的车辆折算系数。

3.2 仿真及分析

上述几种情况有交互作用的可能,如大车比例较低时,流量较小的情况下,可能大车对小车几乎不会产生影响,但大车比例较高时,流量较小时也会有所影响,流量增加时,影响可能更大。本次研究中对于上述各种情况,分别对车道数为 1 条、2 条、3 条、4 条,每车道流量分别为 200 v/h、500 v/h、1 100 v/h、1 300 v/h,坡度分别为 0、5%、-5%、9%、-9% 以及大车比例分别为 0%、10%、20%、30%、40% 各种组合的交通场景进行仿真。对于车辆自由行使速度,参考重庆市城市道路交通规划及道路设计规范,小车的自由行驶速度为 60 km/h,公交车的自由行驶速度为 45 km/h,对于小汽车的最大加速度取为 3.0 m/s^2,公交车的最大加速度为 1.5 m/s^2。考虑 HCM2010 给出的 *PCE* 的定义为:在特定道路状况、交通状况以及控制情况下,相同的运行状况下一辆大车折合为标准车的数量[1]。文中对于不同坡度时标准车速度的计算选择的是该坡度情况下没有大车混入的标准车在当前道路及交通状况的行使速度。

通过在 VISSIM 仿真模型中设置检测器提取相关的参数,使用论文分析的 $S\text{-}PCE_{i,j}$ 法对不同情况下的车辆折算系数进行分析,结果如图 3 ~ 图 6 所示。

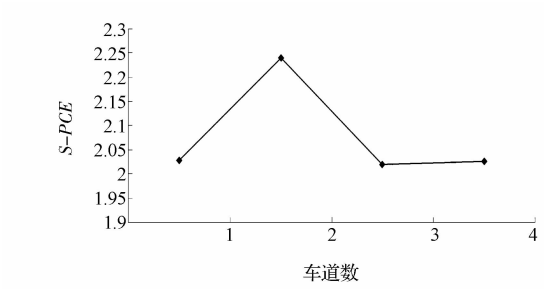


图 3 车道数与 *S-PCE*

Fig. 3 Amount of lanes and *S-PCE*

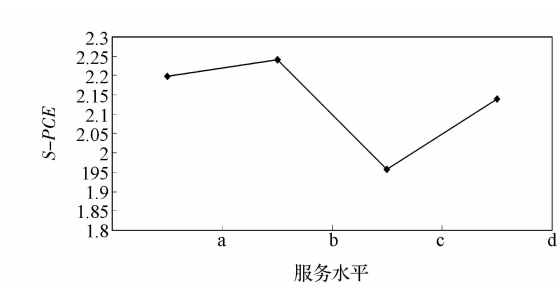


图 4 服务水平与 *S-PCE*

Fig. 4 Level of service and *S-PCE*

对车道数而言,从 1 车道到 2 车道,各种情况下的车辆折算系数均出现增加的趋势,从 2 车道到 3 车道,系数均减小,3 车道和 4 车道的折算系数相差不大。对大车比例而言,随着大车比例的增加,车辆折算系数均呈现增加的趋势。对流量而言,针对 1 车道和 2 车道,随着流量的增加,不同大车比例情况下的车辆折算系数开始随着流量的增加而增加,到服务水平为 c 和 d 级时,随着流量的增加,*PCE* 出现了下降的情况;针对 3 车道和 4 车道的情况,流量的变化对 *PCE* 的影响没有表现出显著的变化。对坡度而言,针对不同坡度,车辆在下坡时,*PCE* 的值比上坡时大,且坡度越大,差异性越大。

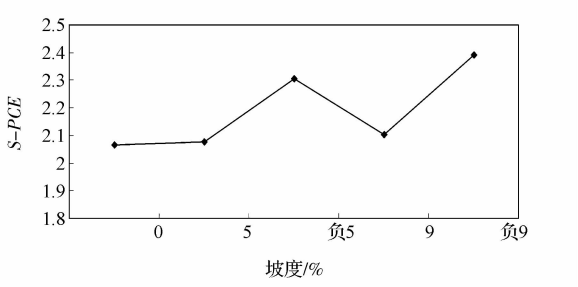


图 5 坡度与 *S-PCE*

Fig. 5 The grade and *S-PCE*

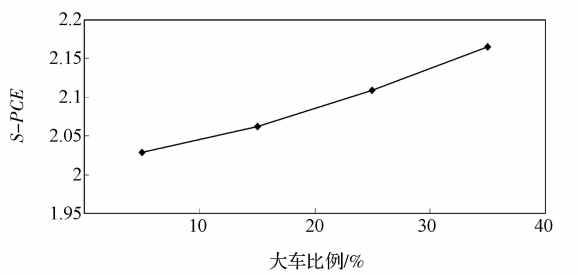


图 6 大车比例与 *S-PCE*

Fig. 6 Bus ratio and *S-PCE*

4 结论

车辆折算系数的研究是对于非标准车标准化折算的过程,该项研究在交通规划、道路设计、通行能力计算、服务水平评价等方面具有重要意义。论文以不同坡度、不同服务水平、不同车道数以及不同大车混入率下车辆速度的变化量为基础,对车辆折算系数进行了研究,为车辆折算系数提供了一种新的方法。研究对于不同坡度下的车辆加速度以及行使速度的确定需要进一步标定,这也是下一步的研究方向。

参 考 文 献

1 Transportation Research Board. Highway capacity manual 2010. Washington D C: National Research Council,2010

2 Transportation Research Board. Highway capacity manual 1950.

Washington D C: National Research Council,1950
3 Transportation Research Board. Highway capacity manual 1965. Washington D C: National Research Council,1965
4 Krammes R A. Effect of trucks on the capacity of level, basic freeway segments. Pennsylvania State University, University Park, Pa, 1985
5 Webster N, Elefteriadou L. A simulation study of truck passenger car equivalents(PCE) on basic freeway segments. Transportation Research, 1999; 33B(5): 323—336
6 Al-Kaisy A F, Hall F L, Reisman E S. Developing passenger car equivalents for heavy vehicles on freeways during queue discharge flow. Transportation Research Part A. 2002; 36 :725—742
7 Ahmed U. Passenger car equivalent factors for level freeway segments operating under moderate and congested conditions. Wisconsin Marquette University,2010
8 付　强,林航飞,杨晓芳,等. 基于服务水平的车辆折算系数. 同济大学学报(自然科学版),2007;35(1):67—71
Fu Q, Lin H F, Yang X F, *et al*. Passenger car equivalence research out of level of service consideration. Journal of Tongji University(Natural Science), 2007; 35(1): 67—71
9 敖谷昌,贾元华,张惠玲. 基于时间占有率分析的车辆折算系数研究. 交通运输系统工程与信息,2008;8(3):106—110
Ao G C, Jia Y H, Zhang H L. Vehicle conversion factors based on the analysis of occupancy time. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2008;8(3):106—110
10 Werner A, Morrall J F. Passenger car equivalencies of trucks, buses, and recreational vehicles for two-lane rural highways. Transportation Research Record,1976;615: 10—17
11 Benekohal R F, Zhao W. Delay-based passenger car equivalents for trucks at signalized intersections. Transportation Research Part A, 2000;34:437—457

Research of the Passenger Car Equivalents Based on the Speed Variation

ZHANG Hui-ling, YIN Bao-ji, AO Gu-chang
(Transportation School Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P. R. China)

[**Abstract**] The passenger car equivalent is basic parameter in road capacity calculation and level of service evaluation. The density method, headway method and overtaking method were analyzed firstly. Then the passenger car equivalent based on speed variation was given. Choosing the impact factors, the passenger car equivalent was calculation using micro-simulation software under different lanes, different grade, different bus ratio and different saturation. It is proved that the passenger car equivalent for the bus was increased from 1 lane changed to 2 lane, but decreased from 2 lane to 3 lane; and the value is bigger when the grade is downhill then uphill, with the traffic flow increased, the value is increased then decreased, moreover, the passenger car equivalent was increased with the ratio of bus increased.

[**Key words**] passenger car equivalents　　variation of speed　　traffic simulation