

文章编号:1671-8879(2015)06-0111-06

# 信号交叉口左弯待转区对左转车道通行能力的影响

陈亦新,贺玉龙,孙小端,马小龙

(北京工业大学 交通工程北京市重点实验室,北京 100124)

**摘 要:**左弯待转区的设置可提高信号交叉口左转车道的通行能力。以实际的左弯待转区左转车道车流调查数据及无左弯待转区左转车道的通行能力计算公式为基础,通过提取左弯待转区左转车道排队车辆从起步到驶离交叉口的加速度、速度及位移特征规律,建立了左弯待转区左转车道实际通行能力的计算方法,并进行了实例验证计算。研究表明:左转相位绿灯亮起后,静止时排队的车辆逐次起步,车辆加速度随时间呈起伏式线性变化;左弯待转区可较显著地提高左转车道的实际通行能力,所提高比例与左转相位配时及左弯待转区长度有关;所调查的信号交叉口左弯待转区的设置提高了左转车道通行能力 10%~20%。

**关键词:**交通工程;信号交叉口;左弯待转区;左转车道;通行能力

**中图分类号:**U491.1 **文献标志码:**A

## Impact of left-turn waiting areas on the capacity of left-turn lane in signalized intersection

CHEN Yi-xin, HE Yu-long, SUN Xiao-duan, MA Xiao-long

(Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Left-turn waiting areas can increase the capacity of the left-turn lane in signalized intersection. Firstly, based on the investigation data of the vehicles of the left-turn with waiting area in signalized intersection, this paper analyzed their characteristics of the acceleration, speed, and distance from the start to leave the intersection. Then, it established an approach which can calculate the capacity of the left turn lane with waiting area based on the formula of left-turn lane without waiting area and carried out example verification. The results show that the vehicles start successively after the left-turn phase turning green, and its acceleration has a undulant linear relationship with time. Also, the waiting area of the left-turn lane can improve the actual capacity significantly, the signal phase and the length of the waiting area affect the proportion, and the waiting area of the left-turn lane improved the capacity by 10%~20% in the surveyed signalized intersection. 1 tab, 6 figs, 13 refs.

**Key words:** traffic engineering; signalized intersection; left-turn waiting area; left-turn lane; capacity

## 0 引 言

近年来,中国很多城市出现了一种新的左转渠

化方法,即在信号交叉口内部设置机动车左弯待转区。其初衷在于使部分左转车辆提前进入交叉口,充分利用左转相位的绿灯时间,从而在一定的绿灯

收稿日期:2015-07-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(973 计划)(2012CB723303)

作者简介:陈亦新(1987-),男,河北藁城人,工学博士研究生,E-mail:chenyixin13@163.com。

时间内增加通过交叉口的左转车辆数。《道路标志标线》(GB 5768—1999)<sup>[1]</sup> 给定了“左弯待转区”的字体长度、宽度、标线颜色、标线线宽及划线位置的标准;《美国道路通行能力手册》(HCM2000)和《城市道路设计规范》(CJJ 37—2012)分别给出了无左弯待转区左转车道实际通行能力的计算方法;《HCM2000》以排队的第 5 辆车为饱和流的起始车辆,《HCM2010》中并没有对此进行修改说明,《城市道路设计规范》(CJJ 37—2012)(简称《规范》)以第 2 辆车为饱和流车辆的起始车;对于左弯待转区左转车道实际通行能力的确定,常常依靠对车流进行实际观测的方法。中国学者以《规范》给出的无左弯待转区左转车道的实际通行能力计算公式为基础,展开了左弯待转区左转车道的实际通行能力计算方法研究。Zhao 等对有左弯待转区左转车道停车线后第 1 辆车的起步延误进行了观测,结果显示,有待转区左转车道停车线后第 1 辆车的起步延误高于无待行区左转车道,但文中并没有给出如何计算有待转区左转车道停车线后第 1 辆车的起步延误计算方法<sup>[2]</sup>;宗二凯根据线性回归假设,对绿灯亮起后第  $n$  辆车通过停车线的时间进行了线性回归,并根据调查数据进行了方程实例拟合<sup>[3]</sup>;李小帅在《规范》给出的实际通行能力计算公式基础上,将每一周期左弯待转区内停放车辆数直接加入到了实际通行能力计算中<sup>[4]</sup>。国外交叉口基本没有左弯待转区的设置,因而较少有对左弯待转区左转车道实际通行能力的研究。

以上对左弯待转区左转车道实际通行能力的研究,多是对停车线后第 1 辆左转车的起步延误进行修正,并没有给出排队第 1 辆左转车从起步到达饱和流车头时距所需时间的计算方法,由此确定的左弯待转区左转车道实际通行能力计算公式较难反映实际车流变化。为此,本文在已有研究成果的基础上,假设行人不影响左转车流通行。首先确定左转相位绿灯亮起后,车辆从静止到达到饱和流所需时间的计算方法,继而确定左弯待转区左转车道实际通行能力的计算公式,并基于实际的调查数据,对所确定的公式进行实例计算,从而确定信号交叉口左弯待转区对左转车道通行能力的影响,为相关规划与研究提供一定的参考<sup>[5-13]</sup>。

1 研究方法

假设行人遵章守纪,在信号交叉口左转车通行

权内,即非行人通行权内,不影响正常车流通行。图 1 为左弯待转区左转车道车辆排队示意图,绿灯启亮前,车辆从待转区内一直排队到停车线后的左转车道。图中  $L$  为左弯待转区长度, $S$  为第  $n+1$  辆车起步时距停车线的距离。

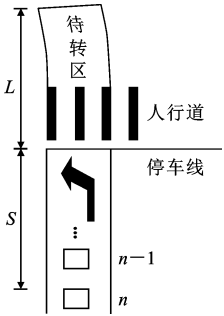


图 1 左弯待转区左转车道  
Fig. 1 Left-turn lane with waiting area

图 2 为左转车道饱和流车辆起步时示意图。假设静止时排队的第  $n_b$  辆车为饱和流第 1 辆车,  $S_b$  为饱和流第 1 辆车(排队第  $n_b$  辆)起步时距离停车线的距离,  $T(n_b)$  为绿灯亮起后至饱和流第 1 辆车(排队第  $n_b$  辆)起步所需的时间,  $t_1$  为饱和流第 1 辆车(排队第  $n_b$  辆)起步到驶至停车线时所需的时间,则左弯待转区左转车道的实际通行能力  $C$  可由两部分计算组成:①饱和流驶至停车线时,在饱和流前方通过交叉口的车辆;②饱和流期间通过停车线(交叉口)的车辆。计算公式为

$$C = \frac{3\,600}{T} \frac{T_g - T(n_b) - t_1}{t_b} + (n_b - 1) \tag{1}$$

式中: $C$  为左弯待转区左转车道实际通行能力;  $T$  为交叉口信号灯周期时长(s);  $T_g$  为每周期左转相位绿灯时间(s);  $t_b$  为饱和流车头时距。

式(1)中,  $T$ 、 $T_g$ 、 $t_b$  可根据实际调查确定,因此本文的工作重点在于如何确定 3 个参数,  $T(n_b)$ 、 $t_1$ 、 $n_b$ 。

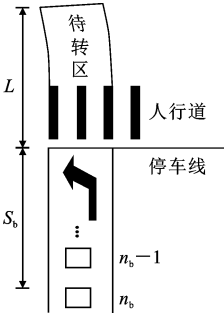


图 2 左转车道饱和流车辆起步时  
Fig. 2 Saturation flow starts for the left-turn lane

在确定这3个参数时,如何确定饱和和流第1辆车是关键。根据流量密度关系,对于某个特定的车流,极大流量对应的是临界速度与最佳密度<sup>[5]</sup>,因此左转相位机动车流在达到饱和车头时距 $t_b$ 时(流率最大),饱和流的车流速度是固定的,设为 $v_b$ ,即最小车头时距时的车流速度,这亦与实际的交叉口调查结果一致。由此,根据车辆起步后到达饱和和流前的速度随时间变化规律,确定车辆由起步开始到达饱和和流车速时所需的时间为 $t_1$ ;进而根据车辆由静止到达饱和和流时的行进距离及车辆的静止车头间距,可判定饱和和流第1辆车静止时在排队车辆中的位置为 $n_b$ ;绿灯亮起后至饱和和流第1辆车起步所需的时间为 $T(n_b)$ ,可根据排队车辆的依次起步规律确定。到此便可得到左弯待转区左转车道的实际通行能力 $C$ 的计算公式。

## 2 研究内容

### 2.1 数据采集与整理

选取北京某一“十字”信号交叉口东进口为基础数据搜集及实例研究对象,采取高处架设摄像机、连续5个工作日(7:00~19:00)、视频观测的数据搜集方法。所选交叉口进口坡度为0,有一条左弯待转区的左转专用道及左转专用相位(见图1)。进入此左转车道的车辆绝大部分为小汽车,高峰时段,排在队尾的左转车辆有时需要2次停车才能通过交叉口。通过视频观测,记录信号交叉口左转车道排队车辆的停驶过程,并借助SIMI软件及视频分析软件,根据所观测交叉口进口的道路、标线等实际尺寸,获取每个周期中,连续单个左转车辆从排队开始到通过左弯待转区过程中的实时位置、位移、加速度、速度数据。本文选取连续的小汽车车流为研究对象。

### 2.2 排队车辆起步规律

为确定左转相位绿灯亮起后至饱和和流第1辆车起步时所需的时间 $T(n_b)$ ,首先研究左转相位绿灯亮起后排队车辆的起步规律。

绿灯亮起后,静止排队的车辆逐次起步,后车紧随前车的行驶状态,流体力学理论认为车流中各单个车辆的行驶状态与它前面的车辆保持一致<sup>[8]</sup>,因此,本文在确定绿灯亮起后静止排队车辆的起步时间时,考虑线性回归模型,设

$$T(n) = nt_c + a_1 \quad (2)$$

式中: $T(n)$ 为第 $n$ 辆车起步时与左转相位绿灯亮起时的时间差; $n$ 为车辆静止时在排队中的位置; $t_c$ 为相邻两辆车的起步时差; $a_1$ 为参数。

根据调查数据,对不同周期排队车辆绿灯亮起后的起步时间进行均值统计,得到绿灯亮起后车辆起步时间与车辆排队位置的关系见图3。其中, $R^2$ 为相关系数。

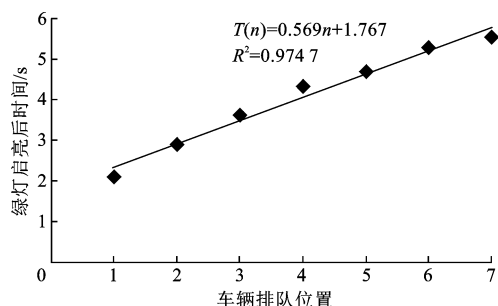


图3 绿灯亮起后车辆的起步时间与车辆排队位置关系

Fig. 3 Regressive analysis between the position of queued vehicles and set-up time

拟合结果为

$$T(n) = 0.569n + 1.767 \quad (3)$$

由式(3)可以看出:排队第1辆车的起步平均损失时间为1.767 s,相邻两辆车的起步时差平均为0.569 s。

因此所调查交叉口左转相位绿灯亮起后至饱和和流第1辆车(排队第 $n_b$ 辆)起步时,所需的时间 $T(n_b)$ 为

$$T(n_b) = 0.569n_b + 1.767 \quad (4)$$

### 2.3 车辆起步后速度、行驶距离随时间变化规律

根据视频调查得到的数据结果,提取左转相位绿灯亮起后车辆的加速度随时间的变化特征,发现如下规律:绿灯亮起后,排队的车辆逐次起步,随后车辆加速度随时间进行连续线性波动式的变化。特征如图4所示(选取排队的前3辆车为实例)。

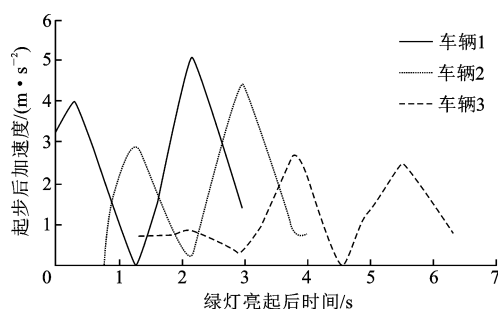


图4 车辆起步后加速度随时间变化

Fig. 4 Change of acceleration over time

图 4 反映的是排队前 3 辆车由静止起步后到驶离交叉口期间,加速度随时间的变化。由图 4 可以看出,在绿灯亮起后,车辆逐次起步,在起步开始瞬间,加速度增长较快,随后车辆加速度随着时间  $t$  的推进而线性变化( $t$  的一次函数关系),最小加速度为 0。

设车辆起步后到达饱和和流前的速度随时间变化为  $V(t)$ ,加速度为  $A(t)$ ,则有

$$V(t) = \int_0^t A(t) dt$$

由于  $A(t)$  为时间  $t$  的一次函数,因而  $V(t)$  为车辆起步后  $t$  的二次函数,即有

$$V(t) = a_2 t^2 + b_2 t + c_2$$

式中: $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$  为参数; $t$  为车辆起步后的时间。

由图 5 可知,车辆起步时的速度为 0,因而, $c_2 = 0$ ,即有

$$V(t) = a_2 t^2 + b_2 t \quad (5)$$

根据连续视频的观测数据及统计分析,可以拟合出交叉口入口达到饱和和流前车辆起步后速度随起步时间变化的关系式,运用 Matlab 软件进行拟合,有

$$V(t) = a_2 t^2 + b_2 t = 0.130 \, 1 t^2 + 0.645 \, 7 t \quad (6)$$

$$R^2 = 0.988 \, 3$$

设车辆起步后到达饱和和流前,车辆的行驶距离随时间的变化为  $S(t)$ ,根据式(6)有

$$S(t) = \int_0^t V(t) dt = (a_2/3) t^3 + (b_2/2) t^2 = 0.043 \, 37 t^3 + 0.322 \, 8 t^2 \quad (7)$$

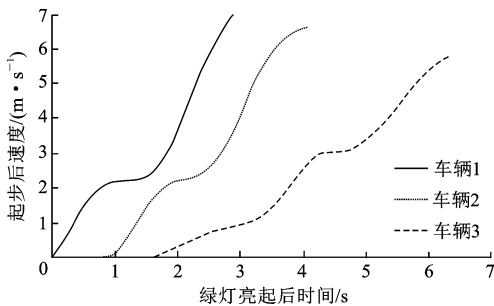


图 5 车辆起步后速度随时间变化

Fig. 5 Change of speed over time

## 2.4 饱和流第 1 辆车排队位置

对停车线处饱和和车流车速进行观测,发现交叉口入口的饱和和车流车速  $v_b$  稳定在  $(7 \pm 1) \text{ m/s}$  内。令  $V(t) = v_b = 7 \text{ m/s}$ ,设第 1 辆车以饱和车速驶至停车线的车辆为饱和流第 1 辆车,根据式(6)可以计算出饱和流第 1 辆车起步到驶至停车线的时间  $t_1$  为

$$t_1 = \frac{\sqrt{b_2^2 + 4a_2 v_b} - b_2}{2a_2} \quad (8)$$

根据式(7)可以计算出饱和流第 1 辆车起步后,到加速至饱和和流车速时的行驶距离  $s_b$ ,即

$$s_b = (a_2/3) t_1^3 + (b_2/2) t_1^2 \quad (9)$$

设车辆的静止车头间距为  $h_j$ ,左弯待转区的长度为  $L$ ,则饱和流第 1 辆车的排队位置  $n_b = (L + s_b)/h_j$ (见图 2),代入式(9),有

$$n_b = (L + 1/3 a_2 t_1^3 + 1/2 b_2 t_1^2)/h_j \quad (10)$$

则左弯待转区左转车道的实际通行能力为

$$C = \frac{3 \, 600}{T} \left[ \frac{T_g - T(n_b) - t_1}{t_b} + (n_b - 1) \right] \quad (11)$$

式中: $T(n_b) = t_c n_b + a_1$ ,  $t_c$  为相邻车辆的起步时差,  $a_1$  为拟合参数; $t_b$  为饱和和流车头时距(s)。

## 3 左弯待转区对实际通行能力影响

### 3.1 实例计算

根据所选交叉口的调查数据,对式(11)中的参数进行标定及计算,对模型进行实例研究。

所研究交叉口入口及车流的参数为:左弯待转区长度  $L = 21.22 \text{ m}$ ,饱和和流车头时距  $t_b = 2.02 \text{ s}$ ,饱和和流车速  $v_b = 7 \text{ m/s}$ ,静止车头间距  $h_j = 6.16 \text{ m}$ 。

根据调查的车流数据对式(11)中所需的参数进行拟合,结果为: $a_2 = 0.130 \, 1$ ,  $b_2 = 0.645 \, 7$ ,  $a_1 = 1.767$ ,  $t_c = 0.569 \text{ s}$ 。

代入相应公式计算得  $t_1 = 5.262$ ,  $n_b = 0.162 \, 3L + 2.476$ ,  $T(n_b) = 0.092 \, 3L + 3.176$

因此,对所调查交叉口入口有

$$C = \frac{3 \, 600}{T} \left[ \frac{T_g}{2.02} + 0.116 \, 6L - 2.701 \right] \quad (12)$$

### 3.2 结果分析

式(12)中: $(T_g/2.02 - 2.701)$  为无左弯待转区时专用左转车道一个周期内能通过的最大车辆数; $T_g$  为专用左转车道绿灯相位时间; $2.02 \text{ s}$  为调查交叉口进口饱和和车头时距  $t_b$ ;  $2.701$  为所调查交叉口入口由于排队车辆延误(起步延误和加速延误)而造成的每个周期减少的通行车辆数; $0.116 \, 6L$  为所调查交叉口进口,每周由于增设左弯待转区而增加的通过车辆数,  $L = 21.22 \text{ m}$ 。因此,左弯待转区的设置使该交叉口左转车道每周平均多通行 2.47, 约为 3 辆车。

所调查信号交叉口白天 7:00~19:00 期间,有 3 种配时方案,基于此计算有无左弯待转区时,所调

查交叉口入口左转车道的实际通行能力见表 1。

表 1 有无左弯待转区左转车道实际通行能力对比

Tab. 1 Comparison of capacity of left-turn lane between with waiting area and without			
信号交叉口不同信号 配时方案	$T=195\text{ s}$ , $T_g=50\text{ s}$ (7:00~ 9:00)	$T=145\text{ s}$ , $T_g=30\text{ s}$ (9:00~ 17:00)	$T=185\text{ s}$ , $T_g=40\text{ s}$ (17:00~ 19:00)
公式计算-无左弯待 转区通行能力 ( $L=$ $0\text{ m})/(\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1})$	407	302	333
公式计算-有左弯待 转区通行能力 ( $L=$ $21.22\text{ m})/(\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1})$	453	363	381
实际调查有左弯待 转区的通行能力/ $(\text{pcu}\cdot$ $\text{h}^{-1})$	425	360	389
有左弯待转区通行能 力的增加比例 $r/\%$	11.2	20.4	14.5

由表 1 可知,式(11)计算结果与实际调查通行能力基本一致;同时,左弯待转区的设置,可提高交叉口左转车道通行能力约 10%~20%。

由式(12)可知,对所调查交叉口入口,左弯待转区提高的通行能力增加比例  $r$  为

$$r(\%)=C(L=0)/C=0.116\ 6L/(0.495T_g-2.701)\tag{13}$$

对于所调查交叉口, $r$  随左转待转区长度及有效绿灯时间的关系见图 6。

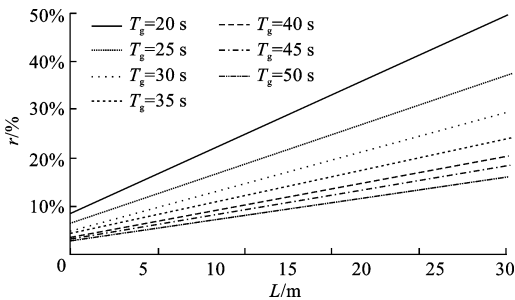


图 6  $r$  随左弯待转区长度及有效绿灯时间的关系  
Fig. 6 Relationships of  $r$  and the length of left-turn  
waiting area under various green time

由图 6 可知, $r$  随着左转相位绿灯时长的增加而较显著减少,随着左弯待转区长度的增加而不断增加。

根据式(10)计算出  $n_b=6$ ,即所调查交叉口入口左转车道排队车辆中的第 6 辆车为饱和流的起始车,与《HCM2000》规定饱和车流应以排队的第 4 辆车以后(即第 5 辆)开始计算基本一致。

计算  $T(n_b)=0.092\ 3L+3.176=5.13\text{ s}$ , $t_1=5.262\text{ s}$ , $s_b=(a_2/3)t_1^3+(b_2/2)t_1^2=15.25\text{ m}$ ,即所调查交叉口入口的左转车道排队车辆,平均在左转相位绿灯亮起 5.13 s 后,饱和流第 1 辆车开始起步,起步后经过 5.26 s、行驶 15.25 m,经过停车线。

## 4 结 语

(1)以实际左弯待转区左转车道车流调查数据及通行能力计算公式为基础,通过提取左弯待转区左转车道排队车辆从起步到驶离交叉口的加速度、速度及位移特征规律,建立了考虑排队车辆启动及加速过程的左弯待转区左转车道实际通行能力的计算公式。

(2)针对实际的信号交叉口,对车辆的起步加速规律进行了调查。结果显示,排队车辆在绿灯亮起后逐次起步,相邻两车的起步时差基本为一定值,所调查交叉口均值为 0.57 s;同时,饱和车流的起始车辆为排队的第 6 辆。基于此,本文量化计算了实际左转车道对通行能力的提高比例,其提高的比例与左转相位配时及左弯待转区长度有关,所调查交叉口入口设置左弯待转区,能提高其左转车道通行能力的 10%~20%。

(3)左弯待转区左转车道实际通行能力还受左转车流特征的影响,如车辆的加速特征、饱和流车速、饱和流车头时距等。因此,本文尚需对更多交叉口入口左转车道的车流特征进行观测,以更准确地确定所建公式中的车流特征参数。

## 参考文献:

### References:

[ 1 ] GB 5768—1999,道路交通标志和标线[S].  
GB 5768—1999,Road traffic signs and markings[S].  
(in Chinese)  
[ 2 ] Yǎng Z, Liu P, Tian Z Z, et al, Evaluating the operational impacts of left-turn waiting areas at dual left-turn lanes at signalized intersections[C]//ASCE. 12th COTA International Conference of Transportation Professionals. Beijing: ASCE, 2012; 350-361.  
[ 3 ] 宗二凯. 城市道路信号交叉口左转车道通行能力研究[D]. 北京:北京工业大学, 2012.  
ZONG Er-kai. Reaearch on capacity of left-turn lanes at signalized intersection[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2012. (in Chinese)  
[ 4 ] 李小帅,贾顺平,孙海瑞. 机动车待行区设置方法的实证研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(1):

- 194-200.
- LI Xiao-shuai, JIA Shun-ping, SUN Hai-rui. Study on the methods of establishing waiting areas for auto-vehicles turning left and going straight at signalized intersections[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11(1): 194-200. (in Chinese)
- [5] 徐吉谦. 交通工程总论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- XU Ji-qian. Traffic engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2008. (in Chinese)
- [6] 季彦婕, 邓卫, 王炜. 信号交叉口左转机动车等待区设置方法研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(3): 135-138.
- JI Yan-jie, DENG Wei, WANG Wei. Study on the layout of left-turn vehicles waiting area at signalized intersections[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(3): 135-138. (in Chinese)
- [7] 王殿海, 李丽丽, 陈永恒. 机动车左弯待转区设置的临界条件[J]. 公路交通科技, 2009, 26(11): 132-135.
- WANG Dian-hai, LI Li-li, CHEN Yong-heng. Critical condition for setting left-turn waiting area[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(11): 132-135. (in Chinese)
- [8] Zhou Z H, Cai M. Intersection signal control multi-objective optimization based on genetic algorithm[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(2): 153-158.
- [9] 杨晓光, 赵靖, 马万经, 等. 信号控制交叉口通行能力计算方法研究综述[J]. 中国公路学报, 2014, 27(5): 148-157.
- YANG Xiao-guang, ZHAO Jing, MA Wan-jing, et al. Review on calculation method for signalized intersection capacity [J]. China Journal of Highway and Transport, 2014, 27(5): 148-157. (in Chinese)
- [10] 于少伟, 史忠科. 信号交叉口集聚车辆跟驰模型[J]. 中国公路学报, 2014, 27(11): 93-100.
- YU Shao-wei, SHI Zhong-ke. Car-following model on vehicles arrival during the red phase[J]. China Journal of Highway and Transport, 2014, 27(11): 93-100. (in Chinese)
- [11] 王晓原, 隽志才, 贾洪飞. 基于安全间距的车辆跟驰模型研究综述[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(6): 51-54.
- WANG Xiao-yuan, JUAN Zhi-cai, JIA Hong-fei. Summarization of car-following models based on security distance[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 51-54. (in Chinese)
- [12] National Research Council. Highway capacity manual [M]. Washington DC: National Research Council, 2010.
- [13] 邵长桥, 荣建. 信号交叉口专用双左车道通行能力[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(4): 79-84.
- SHAO Chang-qiao, RONG Jian. Capacity of exclusive dual left-turn lanes at signalized intersection[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(4): 79-84. (in Chinese)
- (上接第 90 页)
- TAN Yong-gang, XIAO Jun, LI Yong, et al. Analysis and improvement of the sandwich shear test method [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008, 25(3): 115-120. (in Chinese)
- [12] 王瑞, 陈海霞, 郭兴峰, 等. 层合板复合材料的层间剪切强度评价方法及其改进研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2004, 5(3): 8-11.
- WANG Rui, CHEN Hai-xia, GUO Xing-feng, et al. An appraising method and improvement on interlaminar shear strength test of laminate composites[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2004(3): 8-11. (in Chinese)
- [13] 孔庆瑞, 王家莲. 方形截面试样单剪切试验装置的设计[J]. 工程与试验, 2010(增 1): 39-40.
- KONG Qing-rui, WANG Jia-lian. Design on single shear test device for square section specimen[J]. Engineering and Test, 2010(S1): 39-40. (in Chinese)
- [14] Magistris F D, Salmén L. Combined shear and compression analysis using a modified Iosipescu shear test device experimental studies on dry wood[J]. Holzforschung, 2005, 59(5): 539-545.
- [15] Hossain M R, Ashraf M, Albermani F. Numerical modelling of yielding shear panel device for passive energy dissipation[J]. Thin-Walled Structures, 2011, 49(8): 1032-1044.
- [16] BS EN 12090—1997, Thermal insulating products for building applications—determination of shear behaviour[S].