DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.2005.02.007
广西科学 Guangxi Sciences 2005, 12(2): 102~105,110

前车刹车状态对交通流的影响*

Effects of the Braking State of Vehicle Ahead on Traffic Flow

韦艳芳[1,2],郭四玲[1],宋宣玉[1],薛郁[1]
Wei Yanfang[1,2], Guo Siling[1], Song Xuanyu[1], Xue Yu[1]

(1. 广西大学物理科学与工程技术学院,广西南宁 530004; 2. 广西玉林师范学院物理与信息科学系,广西玉林 537000)
(1. Inst. of Phy. Sci.& Engi. Tech., Guangxi Univ., Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Dept. of Phy.& Info. Sci., Guangxi Yulin Normal Univ., Yulin, Guangxi, 537000, China)

摘要: 在交通流 BJH模型基础上,考虑前车刹车状态对车流行为的影响,提出改进后的交通流 BJH模型.模拟结果表明,在道路车辆密集程度不太大时,前车减速刹车是时断时续的影响车流;当道路车辆密集时,密度超过转捩点密度时,平均车间距小于安全车距,驾驶员对前车刹车的行为将作出刹车反应,这样导致了交通阻塞.计算机数值模拟反映了接近实测的交通通行能力以及交通的崩溃.
关键词: 交通流 元胞自动机模型 刹车状态 交通崩溃
中图法分类号: O414 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2005)02-0102-04

Abstract Based on the BJH model of traffic flow, a modified BJH model by considering the effects of the braking state of vehicle ahead on traffic flow is proposed. It has been found from simulation that the effects of the braking state of vehicle ahead on traffic flow are intermittent when the road vehicles are not dense. However, when the road vehicles are dense, the density exceeds the turning point, the everage gap between vehicles is smaller than the safe distance, drivers brake as the reaction to the braking behavior of vehicle ahead, would lead to traffic jam. Moreover, the model is able to reproduce the complicated behavior of the real traffic, such as traffic breakdown.
Key words traffic flow, cellular automaton model, braking state, traffic breakdown

当前,社会经济的迅速发展与交通建设的相对滞后已经构成非常突出的世界性矛盾,交通问题尤为突出.为了更好地解决交通问题,人们进行了大量的交通调查和实测,在研究大量的交通现象基础上,相应地提出了各种各样的数学模型来预测、管理和规划交通.近年来,元胞自动机交通流模型越来越多地应用于实际交通的研究,并取得新的进展,如 K. Nagel和 M. Schreckenberg提出的 NaSch模型[1], Y. Fukui和 M. Ishibashi 提出的 FI模型[2], Biham, Middleton和 Levine提出的二维元胞自动机 BML模型[3]. NaSch模型能较好地再现高速公路上车流的停止-启动波,反映车流畅行和阻塞形成的基本特征. NaSch模型已经成功地应用于美国城市智能交通项目 TRANSIMS、德国杜依斯堡的内城交通[4]、达拉斯/福斯-华斯[5]地区的交通规划以及北莱茵-魏斯特伐利亚[6]地区的交通公路网.

NaSch模型在同样条件下所作的数值模拟可给出的最大的交通流量小于实测数据[7],但不能发现在临界点附近存在亚稳态[8].因此,针对这方面的不足,人们引入慢启动规则以及考虑前车状态影响,对 NaSch模型作进一步的改进,先后提出速度相关的随机延迟刹车模型(VDR)[9]、T^2 模型[10]、BJH模型[11].用这些模型所作的数值模拟均优于NaSch模型,并且在临界点附近发现亚稳态的存在以及相分离现象.本文在 BJH模型的基础上,考虑前车减速刹车状态对后车的影响,改进了 BJH模型,模拟结果得到的基本

收稿日期: 2004-09-30
作者简介: 韦艳芳(1979-),女,广西宾阳人,助教,硕士研究生,主要从事交通科学研究。
* 国家自然科学基金(10362001; 19932020)和广西自然科学基金(034201)资助项目。

图显示出较大的交通容量,接近于实测的交通容量,而且还显示出交通崩溃这一复杂的实际交通行为.

1 交通流 BJH模型

BJH模型考虑的是每一辆车前一时刻的刹车状态对后续状态的影响. BJH模型的演化规则如下[8]:

(Ⅰ)加速过程: $v_n \to \min(v_n+1, v_{max})$;

(Ⅱ)慢启动过程: If $flag=1$, then $v_n \to 0$ with p_s;

(Ⅲ)减速过程: $v_n \to \min(v_n, d_n-1)$, If $v_n=0$, then $flag=1$; else $flag=0$;

(Ⅳ)以概率 p 随机延迟过程: $v_n \to \max(v_n-1, 0)$;

(Ⅴ)位置更新: $x_n \to x_n+v_n$,

其中 $flag$ 是一个标志,表示在前一时刻 $t-1$ 速度为零(即处于减速刹车状态)的车辆,在下一时刻 t 以一定的概率 p_s 保持其刹车状态,以反映静止车辆的慢启动.从 BJH模型的算法来看,它利用了标志 $flag$ 来反映驾驶员的记忆效应.但如果把 $flag$ 标志看成是 $flag_{n+1}(t)$,那么该算法所描述的就是前车的刹车状态对后面车流的影响.由于车流的各向异性,这样的作用是非常显著的[12,13].因此,研究前车的刹车状态对后续车流的作用是很有意义的.

2 改进的交通流 BJH模型

在 BJH模型中, $flag$ 由每一辆车前一时刻 $t-1$ 的状态决定,而在实际交通中,车辆行驶时更多的是受同一时刻 t 前面车辆的影响,在车辆行驶过程中,当密集车流中的任一车辆减速刹车时,速度 $v_n=0$,以标志 $flag_n(t)=1$ 来描述引起后续车辆的减速刹车.同时,还必须考虑减速刹车作用的范围,如果当前车距离前车很远,这样的减速刹车作用就非常的不显著;如果当前车处于前车的影响范围内,那么就有必要引入安全车距,特别是在高速公路上,行驶车辆的相对速度比较大,这样就有必要考虑安全车距,以免车辆追尾,引起事故.这样,得到如下的演化规则:

(Ⅰ)加速过程: $v_n \to \min(v_n+1, v_{max})$;

(Ⅱ)前车刹车状态对后车影响过程:

If $(flag_{n+1}(t)=1$ and $d_n \leqslant d_s)$, then $v_n \to 0$ with p_{br};

(Ⅲ)减速过程: $v_n \to \min(v_n, d_n-1)$, If $v_n=0$, then $flag_n(t)=1$; else $flag_n(t)=0$;

(Ⅳ)以概率 p 随机延迟过程: $v_n \to \max(v_n-1, 0)$;

(Ⅴ)位置更新: $x_n \to x_n+v_n$,

其中, d_s 为安全车距,可取 $d_s=1\sim5$.根据上述规则进行数值模拟,可以得到描述交通过程的基本图(d $-q$),数值模拟的实际道路长度 L 为 37.5km,用 5000个格点来表示,相当于每个格子的大小对应的实际道路长度是 7.5m,车辆的速度分布范围为 $0\sim v_{max}$,位置随机分布在 5000个一维离散的格点上,考虑周期边界条件,最大速度 $v_{max}=5$ cells/s相当于实际车速 135 km/h, N 是分布在 L 上的车辆总数, $v_n(t)$ 是第 n 辆车的速度.

相关的计算公式如下:

车辆密度: $$\mathrm{d}=N/L, \quad (1)$$

平均速度: $$V=\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} v_n(t)=\frac{1}{T}\sum_{t=t_0}^{t=T+t_0-1} v_n(t), \quad (2)$$

平均车流量: $$q=\mathrm{d}V. \quad (3)$$

3 改进的 BJH模型的数值模拟

在数值模拟中,选取减速刹车概率 $p_{br}=0.75$,延迟概率 $p=0$,并主要考虑前车刹车效应对后续车流的影响,对每一次运行取 3×10^4 时间步进行数值模拟,开始的 $t_0=10^4$ 时间步不进行统计,以便消除暂态的影响,以后的 2×10^4 时间步对速度进行统计平均,这样就得到每一次运行的平均速度 V.取样本数为 30,即基本图上的每一个点是 30次运行的平均值.数值模拟得到图 1,从图 1中可以看出,3个模型得到的最大流量一样,且在流量达到最大值之前是重合的.流量高峰之后, BJH模型的流量陡然下降,发生分岔,在车流密度 $\mathrm{d}_1<\mathrm{d}<\mathrm{d}_2$ 区域,出现亚稳态;而新

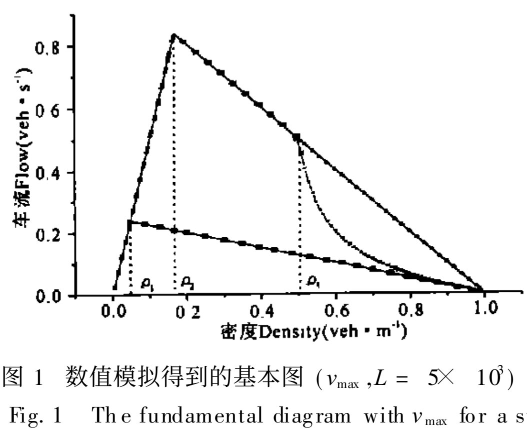


图 1 数值模拟得到的基本图 (v_{max}, $L=5\times10^3$)

Fig. 1 The fundamental diagram with v_{max} for a system size of $L=5\times10^3$

—×—:新模型 ($p_{br}=0.75, d_s=5$); —■—: BJH模型 ($p_s=0.75, p=0$); —▲—: NaSch模型 ($p=0$). —×—: New model ($p_{br}=0.75, d_s=5$); —■—: BJH model ($p_s=0.75, p=0$); —▲—: NaSch model ($p=0$)

模型和 NaSch模型两者暂时重合,但到了 $d_s \approx 0.496$ 附近,新模型的车流发生突然性变化,流量急剧下降,即发生交通崩溃.对于不同的安全车距,流量转捩点随着 d_s 的减小向密度 d增大的方向偏移(图 2).从图 2可以看出,当 $d_s = 1$时,流量转捩点移动到 $d \approx 0.95$ 处.显然,当安全车距 d_s 取较大值时,驾驶员在距离前车较远处就开始刹车,这样即使道路车辆较少,也容易导致交通阻塞.相反,驾驶员在与前车相距很近时才刹车,尽管这时道路车辆密集,交通流量也较大.

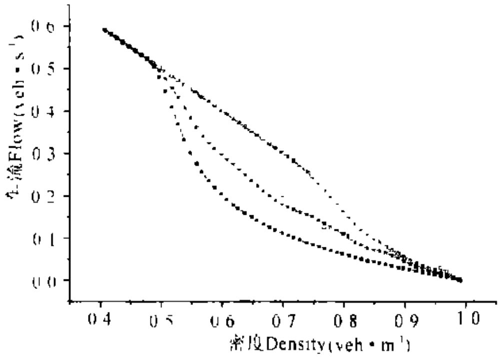


图 2 数值模拟得到的基本图($v_{max} = 5, L = 5\times 10^3, p_{br} = 0.75$)

Fig. 2 The fundamental diagram with $v_{max} = 5, L = 5\times 10^3, p_{br} = 0.75$, for a system size of $L = 5\times 10^3$

–○–: $d_s = 1$;–×–: $d_s = 2$;–△–: $d_s = 3$;–★–: $d_s = 4$;–■–: $d_s = 5$

在数值模拟中,可改变 p_{br} 的大小,以进一步观察前车刹车状态对交通流的影响.从图 3可以看出,车辆密度 d较小时,车辆分布稀疏,车辆之间的间距较大,前车绝大多数情况下都处于前车影响范围之外,故前车刹车状态对后车影响的概率 p_{br} 对交通流量的影响不明显.而一旦车辆密度 d超过某一临界值,车辆之间的间距小于安全车距,当前车总是处于前车的影响范围之内时,p_{br}的作用就很显著,显然 p_{br} 越大,刹车车辆越多,导致流量急剧下降.另一方面,概率 p_{br} 分别为 0.15, 0.75, 0.95三种情况下,考虑前车刹车状态对后车影响,车辆平均速度的分布如下:

车辆平均速度比例分布 = 每一状态下的车辆数 / (演化时步× 总车辆数).

根据定义,将车流密度 $d \approx 0.45$的车辆平均速度比例分布与 $d \approx 0.51$的进行比较可以得到图 4,从图 4中可以发现,流量发生转捩前,对于 p_{br} 3个不同的取值,处于同一状态的车辆平均速度比例分布变化很小,说明 p_{br} 对车辆速度的影响不明显.而引起交通阻塞时,p_{br} 则起很大作用,前车的刹车状态对后车的速度影响很大,从而导致"雪崩"效应.

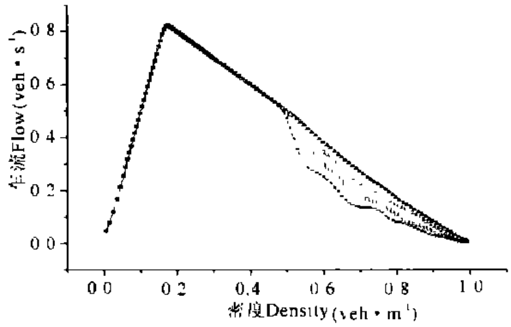
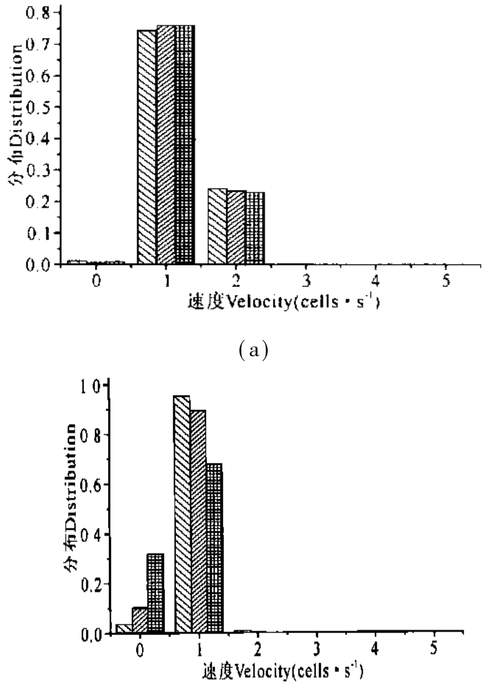


图 3 数值模拟得到的基本图($v_{max} = 5, L = 5\times 10^3, d_s = 4$)

Fig. 3 The fundamental diagram with $v_{max} = 5, d_s = 4$ for a system size of $L = 5\times 10^3$

–▲–: $p_{br} = 0.25$;–5–: $p_{br} = 0.50$;–□–: $p_{br} = 0.75$;–×–: $p_{br} = 0.90$



(a)

(b)

图 4 车辆平均速度比例分布图($v_{max} = 5, L = 5\times 10^3, d_s = 5$)

Fig. 4 Proportion chart of average velocity with $v_{max} = 5, L = 5\times 10^3, d_s = 5$

(a)车辆密度 $\rho \approx 0.45$;(b)车辆密度 $\rho \approx 0.51$

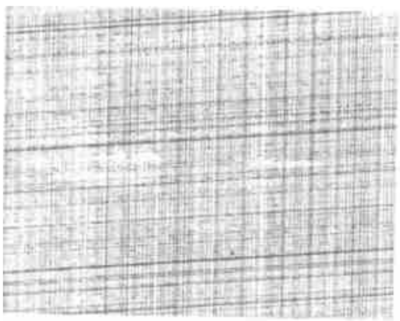
(a)density $\rho \approx 0.45$, (b)density $\rho \approx 0.51$

▧: $p_{br} = 0.15$; ▨: $p_{br} = 0.75$; ▦: $p_{br} = 0.95$

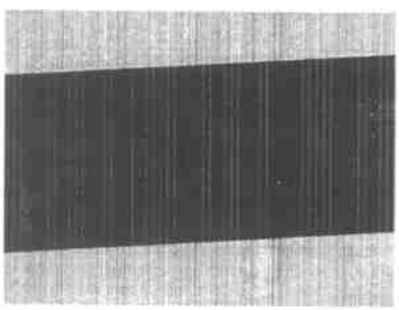
从车辆行驶的时空斑图来看,密度在流量转捩前的区域和转捩后的区域分别为图 5(a)、(b),空间范围 400~ 1000,时间步 8500~ 14500.由图 5可以看出,在密度 $d \approx 0.40$时,出现很多速度为零的相互间隔很小的阻塞区域,且阻塞区域存在的时间很短,类似时停时走的现象,但非常微弱.这是由于道路车辆较少,平均车间距较大,前车在 t时刻处于刹车状态,但在 $t + 1$或者 $t + 2$, $t + 3$… 时刻向前行驶,此时前车行驶

状态对后车的影响是间歇影响的.而在密度 d≈ 0.80时,由于车辆密集,平均车间距已小于安全车距,只要车流中有一辆车刹车,就会引发链式反应,引起后面车辆连续刹车,产生的阻塞密度波在向后传递,这时车辆为了避免碰撞,必须快速反应减速刹车,在时空斑图上出现速度为零的宽幅运动阻塞,该阻塞传播方向与车速方向相反,较快地向后传播.

另外,由速度空间分布图如图6所示,从图6可以看出,流量转振点之前 d≈ 0.45处,车辆速度在 0~ 2之间波动变化;转振点之后 d≈ 0.55处,车辆速度在 0~ 1之间以较大的幅度波动变化.从车辆平均速度比例分布图(图 7)来看, d≈ 0.45附近,由于前车减速刹车作用不显著,所以速度为 1和 2的车辆比例很高,速度为零的车辆极少,交通流量相应较高; d≈ 0.55附近,前车的减速刹车行为严重影响后车的状态,速度为零的车辆所占比例高达 0.447,与速度为 1的车辆所占比例仅相差 0.106,表明系统进入了宽幅运动阻塞.因此,在 d≈ 0.496附近,车流量发生非常显著的变化,出现了交通崩溃.



(a)



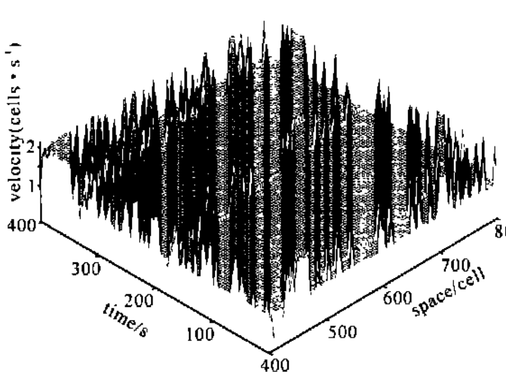
(b)

图 5 车辆行驶的时空斑图 (p_{br} = 0.75, d_s = 2)

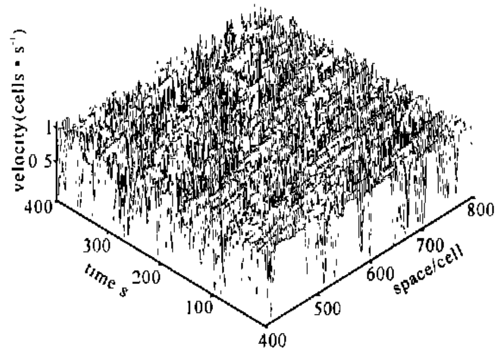
Fig. 5 Typical space-time diagram with p_{br} = 0.75, d_s = 2

(a)车辆密度 d≈ 0.40, (b)车辆密度 d≈ 0.80

(a) density d≈ 0.40 and (b) density d≈ 0.80



(a)



(b)

图 6 速度分布 (p_{br} = 0.75, d_s = 5)

Fig. 6 Distribution diagram of velocity with p_{br} = 0.75, d_s = 5

(a)车辆密度 d≈ 0.45, (b)车辆密度 d≈ 0.55

(a) density d≈ 0.45, (b) density d≈ 0.55

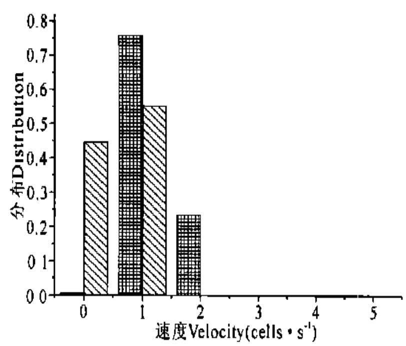


图 7 车辆平均速度比例分布 ($v_{max}=5, L=5\times10^3, d_s=5, p_{br}=0.75$)

Fig. 7 Proportion chart of average velocity with $v_{max}=5$, $L=5\times10^3, d_s=5$, and $p_{br}=0.75$

▤ $\rho = 0.45$; ▧: $\rho \approx 0.55$

4 结束语

本文在交通流 BJH模型的基础上,考虑前车减速刹车状态对后车的影响,提出了改进后的 BJH模型.模拟结果表明,在道路车辆密集程度不太大时,前车减速刹车时断时续的影响车流;当道路车辆密集密度超过转振点密度时,平均车间距小于安全车距,驾驶员对前车刹车的行为将作出刹车反应,这样

(下转第 110页 Continue on page 110)

3 6阶振型以扭转为主.迁安地震波、EL Centro地震波和天津宁河地震波作用下,普通框-筒结构体系和巨型框-筒在控制结构体系的顶点位移、顶层速度、最大楼层加速度相差均不超过7%,而底层剪力、弯矩相差略大(相差10%左右,个别达17%),且巨型框-筒的底层最大弯矩均小于普通框-筒.罕遇地震作用下,结构的顶层位移、速度、加速度反应谱(图7)相似.

4 结束语

巨型框-筒结构体系和普通框-筒结构体系均具有良好的抗震性能,两者具有相似的振型.巨型框架多次转换未出现较大的刚度突变和结构薄弱层.本文的分析结果表明,巨型框-筒结构体系与普通框-筒结构体系一样具有良好的抗震性能,可以用于抗震设计.

参考文献:

[1] 李 君,张耀春.超高层结构的新体系-巨型结构[J].哈尔滨建筑大学学报,1997,30(6):21-27.

[2] 刘大海,杨翠如.高层建筑结构优选[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.

[3] 惠 卓,秦卫红,吕志涛.巨型建筑结构体系的研究与展望[J].东南大学学报,2000,30(4):1-8.

[4] 沈祖炎,陈荣毅.巨型结构的应用与发展[J].同济大学学报,2001,29(3):258-261.

[5] 邓志恒,秦 荣,谢肖礼.预应力巨型框-悬挂结构新体系[J].世界地震工程,2000,16(4):96-100.

[6] 邓志恒,秦 荣.巨型框筒部分悬挂结构控制体系地震反应特性及阻尼控制研究[J].地震工程与工程振动,2002,22(4):133-138.

[7] 王勖成,邵 敏.有限单元法基本原理和数值方法[M].北京:清华大学出版社,1995.

(责任编辑:黎贞崇)

(上接第105页 Continue from page 105)

导致了交通阻塞.计算机数值模拟结果得到的基本图显示出较大的交通容量,接近于实测的交通容量,而且还显示出交通崩溃这一复杂的实际交通行为.

参考文献:

[1] Nagel K, Schrekenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic[J]. J Phys I(France), 1992, 2: 2221-2229.

[2] Fukui M, Ishibashi Y. Traffic flow in 1D cellular automaton model including cars moving with high speed[J]. J Phys Soc (Japan), 1996, 65: 1868-1870.

[3] Biham O, Middleton A A, Levine D. Self-organization and a dynamical transition in traffic flow models[J]. Phys Rev A, 1992, 46: R6124-R6127.

[4] OLSIM. Online Simulation of the Inner City of Duisburg[EB/OL]. Physics of Transport and Traffic University of Duisburg. http://traffic.comphys.uni-duisburg.de.
2002-12-30.

[5] Rickert M, Nagel K. Experience with a simplified micro-simulation for the Dallas/Fort-Worth area[J]. Int J Mod Phys C, 1997, 8: 483.

[6] Kauman O. On-line simulation of the freeway network of North Rhine Westphatia[M]. In: Helbing D, Herrman H J, Schrecberg M eds. Traffic and Granular Flow 99. Singapore: Springer, 2000. 351.

[7] Wagner P. Traffic simulations using cellular automata comparison with reality[M]. In: Traffic and granular flow. Singapore: World Scientific, 1996. 193.

[8] Chowdhury D, Santen L, Schreckenberg A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems[J]. Phys Rept, 2000, 329: 199-329.

[9] Barlovic R, Santen L, Schadschneider A, et al. Metastable states in cellular automata for traffic flow[J]. Eur Phys J B, 1998, 5: 793-800.

[10] Takayasu M, Takayasu H. 1/f noise in a traffic model[J]. Fractals, 1993, 1: 860-866.

[11] Benjamin S C, Johnson N F, Hui P M. Cellular automaton models of traffic flow along a highway containing a junction[J]. J Phys A, 1996, 29: 3119-3127.

[12] Zhang H M. A non-equilibrium traffic flow model devoid of gas-like behavior[J]. Transport Res B, 2002, 36: 275-290.

[13] Xue Yu, Dai Shiqiang. Continuum traffic model with the consideration of two delay time scales[J]. Phys Rev E, 2003, 68(066123): 1-6.

(责任编辑:黎贞崇)