

非港湾式公交车站停靠特性的研究¹⁾

梁玉娟^{*,2)} 薛郁[†]

^{*}(河池学院物理与电子工程系, 宜州 546300)

[†](广西大学物理科学与工程技术学院, 南宁 530004)

摘要 基于 Nagel-Schreckenberg 交通流模型(简称 NaSch 模型), 通过引入换道规则, 建立包含非港湾式公交车站在内的双车道混合车辆元胞自动机交通流模型. 计算机数值模拟表明, 在周期边界条件下非港湾式公交车站路段的交通流存在一定的特性, 在中等密度区域的拥挤流, 车辆的平均速度与车流密度存在一次幂律关系.

关键词 双车道, 元胞自动机, 混合交通流, 公交车停靠站

中图分类号: O550, U491 文献标识码: A 文章编号: 0459-1879(2012)01-0111-06

引言

随着经济的高速发展、人民生活水平的提高, 我国的机动车辆在急剧地增加, 使得城市交通需求大幅度提高, 城市交通问题日益突出, 交通堵塞现象十分严重. 在我国许多城市道路交通流中, 公交车辆和其他各种车辆基本上都共用车道, 混合行驶. 由于行驶速度的差异, 致使车辆之间相互干扰, 很容易产生交通阻塞. 公交站点是道路交通拥挤的常发地点, 对人们的出行、城市交通的影响很大. 关于公交车的运行、公交车站设置、公交车的停靠时间等对交通流的影响, 已有许多学者对其关注^[1-9], 不过多数是通过对实际调查数据进行分析、数学论证来研究的, 如文献[1-5]. 也有一些学者通过数值模拟进行研究, 文献[6]运用 VISSM 进行试验仿真, 分析了路段上非港湾式公交车站对路段通行能力的影响因素; 文献[7]应用细化的元胞自动机模型研究了单车道港湾式公交车站点路段车辆的随机慢化概率、公交车车辆的占有率、公交车在站点的停靠时间对车辆平均速度和流量的影响; 文献[8]探讨了公交车停靠时间、公交车比例对道路混合交通流的影响, 基本图上出现流量平台. 文献[9]运用元胞自动模型对非港湾式和港湾式公交车站的交通流特性进行研究, 在不同

公交车比例和不同公交车站长度影响下, 基本图上同样呈现出流量平台. 元胞自动机模型是一种时间、空间状态都离散的数学模型, 具有高度动态、高度灵活的特点, 拥有强大的复杂的并行计算能力, 使得它具有强大的能力模拟复杂的交通运输系统的时空动态演化过程^[7-12], 它与其他连续性模型相比运算速度更快, 当用于模拟交通流量较大的城市道路时, 更能体现它的优越性, 因而在交通流的研究中得到广泛的应用和发展^[7-12]. 本文是针对文献[8-9]中基本图的流量平台, 进一步寻找平均速度与车流密度之间的关系.

1 模型的建立

应用元胞自动机模型将含有非港湾式公交车站路段描写成如图 1 所示的系统, 系统有左右两条并列车道, 每条车道有 L 个元胞. 假设系统中只有小汽车和公交车两种, 不计车辆的长度, 都只占一个元胞, 公交车站占两个元胞, 每一时刻每个格点最多被一辆车占据. 两种车共用车道, 混合行驶, 车辆可以进行换道、超车, 车辆在运动过程中不仅受到同一车道其他车辆的影响, 而且还受到邻道车辆的影响. 制定的整个系统运行规则如下:

2011-06-08 收到第1稿, 2011-07-14 收到修改稿.

1) 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB705500), 广西自然科学基金项目(2011GXNSFA018145), 广西教育厅科研项目(201010LX462, 201012MS206, 201106LX587), 广西区精品课程: 力学项目(桂教高教[2007]111号, 179号), “广西高校优秀人才资助计划”项目(桂教人[2011]40)和河池学院重点科研课题(2011YBZ-N001, 2011YAZ-N001)资助.

2) E-mail: yujuan2267@yahoo.cn

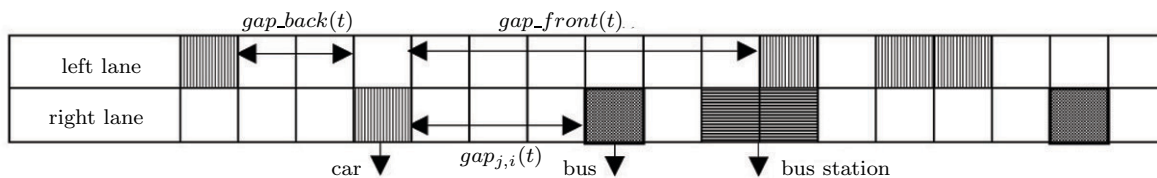


图1 非港湾式公交车站的双车道模型

Fig.1 The two-lane model for the bus station without stopping-lane

1.1 车辆状态演化的更新规则

采用NaSch模型模拟车辆自左向右行驶, NaSch模型规则为^[10]:

(1) 加速过程:

$$v_{j,i}(t+1/3) \rightarrow \min(v_{j,i}(t) + 1, v_{\max});$$

(2) 确定性减速过程:

$$v_{j,i}(t+2/3) \rightarrow \min(v_{j,i}(t+1/3), gap_{j,i}(t));$$

(3) 以概率 P 随机减速过程:

$$v_{j,i}(t+1) \rightarrow \max(v_{j,i}(t+2/3) - 1, 0);$$

(4) 位置更新:

$$x_{j,i}(t+1) \rightarrow x_{j,i}(t) + v_{j,i}(t+1).$$

其中, $v_{j,i}(t)$, $x_{j,i}(t)$ 分别表示 j ($j = 1, 2$) 车道第 i 辆车在 t 时刻的速度和位置; $gap_{j,i}(t)$ 表示 j 车道第 i 辆车与前方紧邻车辆之间的间距, 即 $gap_{j,i}(t) = x_{j,i+1}(t) - x_{j,i}(t) - 1$, $v_{\max}$, P 分别表示车辆的最大速度和随机延迟概率. 长度单位均以格点为单位, 格点长度为 7.5 m, 做无量纲化处理. 考虑市内交通, 小汽车的最大速度取 $v_{\max}(\text{car}) = 4$ 格点/s, 对应实际车速为 108 km/h, 公交车的最大速度取 $v_{\max}(\text{bus}) = 2$ 格点/s, 对应实际车速为 54 km/h. 不论是公交车还是小汽车, 分布车辆的同时随机地赋给其一个 $0 \sim v_{\max}$ 之间的速度, 且小汽车和公交车具有同样的随机延迟概率 $P = 0.25$.

1.2 公交车站处公交车辆运行规则

假设公交车必须在站内上下乘客, 左车道的公交车应该在站前就换好车道, 公交车运行到车站入口处时首先判断站内是否有公交车, 如有则在入口处停车等待, 否则进站停靠, 达到规定停靠时间后, 根据车间距按 NaSch 模型演化规则来确定其速度并离开.

1.3 公交车站处小汽车运行规则

在右车道上, 当小汽车行驶到公交车站附近时, 首先判断站内是否有公交车停靠服务, 如果有, 要么停车等待, 要么寻找机会转到左车道. 而左车道上的小汽车行驶到公交车站处, 继续行驶不考虑换道.

1.4 车辆换道规则

公交车在行驶过程中, 要考虑换道以便到目标车道的停靠站点停靠, 而其他车辆则避开停靠站, 以便继续行驶, 选取的车辆换道规则为:

(1) 超车原则: $v_{j,i}(t) \geq gap_{j,i}(t)$ ($j = 1, 2$);

(2) 安全原则:

$$(v_{j,i}(t) < gap_{\text{front}}(t)) \text{ 和 } (v_{\text{back}}(t) \leq gap_{\text{back}}(t));$$

(3) 转道原则: 任取随机数 R , $R < P$ (以概率 P 随机换道). 其中, $gap_{\text{front}}(t)$ 表示当前车辆与另一车道相应位置前方车辆之间的间距; $gap_{\text{back}}(t)$ 表示当前车辆与另一车道相应位置后方车辆之间的间距; $v_{\text{back}}(t)$ 表示当前车辆与另一车道相应位置后方车辆的速度. 在车站前后, 如果上述所有原则均满足, 那么车辆就换道, 否则不换道. 在车站处, 如果左车道的公交车还不能换到右车道, 那么右车道上的车辆需要对左车道的公交车进行避让, 进行强制换道, 确保公交车能换到右车道上. 另外考虑到实际交通情况, 右车道有公交车站的影响, 小汽车换道概率较大, 公交车换道概率比较小, 而左车道公交车换道概率较大, 小汽车换道概率比较小, 因而采用不对称的换道规则. 右车道公交车和小汽车的换道概率分别取 $P_{\text{bus}} = 0.2$, $P_{\text{car}} = 0.8$; 左车道公交车和小汽车的换道概率分别取 $P_{\text{bus}} = 1$, $P_{\text{car}} = 0.2$.

2 数值模拟和结果分析

为具体分析交通系统动力学行为性质, 定义:

(1) 密度: 双车道上车辆总密度为 $\rho = N/2L$.

(2) 平均流量: 单位时间内通过某一个横截面的车辆数为平均车流量.

模拟时取道路长为 $L = 2000$ 个格点, 对应实际道路 15 km, 把截面取在道路的中间 1002 格点处 (公交车站设在道路中间 1003 和 1004 格点), 设 N_2 , N_1 分别是左右车道在 Δt 时间内通过 1002 格点处截面的车辆数, S 是样本数, 则左右车道平均车流量为: $J_2 = N_2/(S \cdot \Delta t)$, $J_1 = N_1/(S \cdot \Delta t)$. 每一次运行的演化时步为 50000 步, 每一时步对应 1 s, 记录后面

运行的 $\Delta t = 30000$ 步中每一时步内通过 1002 格点处的车辆数 N_1 , N_2 , 然后将得到的 30000 个 N_1 , N_2 对时间求平均, 得到一次运行的平均车流量, 为消除初始位形的随机性对结果的影响, 再对 15 个样本取平均, 模拟结果如图 2~图 4, 表 1~表 2. 图 2 是公交车比例 $f = 0.3$, 两条车道在不同停靠时间下的基本图, 图中显示的流量随密度的变化关系与 NaSch 模型不同, 即出现了一个流量不随密度变化的平台. 从图 2 可看出: (1) 流量随着停靠时间的增大而下降, 右车道流量下降的幅度较大, 相同停靠时间, 左车道的流量比右车道的大, 这是因为公交车停靠服务时占用了一条车道, 从两车道变成一条车道, 产生了交通瓶颈, 车速减小, 流量降低. 又因为左车道的公交车必须换到右车道才能停靠服务, 右车道产生的

拥挤主要是本车道的公交车和从邻道转过来的公交车的影响, 因而流量下降的幅度比左车道的大得多. (2) 密度小于临界密度时, 流量随密度的变化呈线性增大关系, 这是因为这时道路上车辆少, 车间距大, 车辆之间相互作用小, 转道规则容易满足, 车辆处于自由运动状态, 在前一辆公交车停靠服务时, 后面的公交车不能及时跟上, 不至于在公交车站前形成堵塞; 在中等密度区域, 出现流量平台, 这是因为随着密度的增加, 车辆之间相互作用越来越大, 换道难以进行, 车道上保持相对稳定的低速车流, 因而流量相对保持在一个稳定值; 高密度区域, 车辆之间的间距更小, 车辆之间的耦合程度加剧, 公交车后面的小汽车只能跟随行驶, 此时流量主要取决于车辆的平均速度.

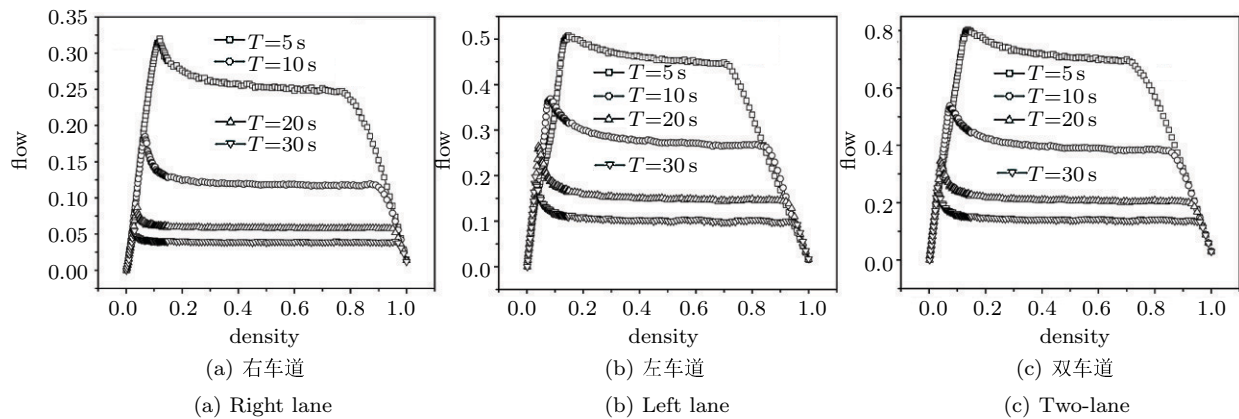


图 2 不同停靠时间的基本图 ($f = 0.3$)

Fig.2 The fundamental diagram for different stopping time ($f = 0.3$)

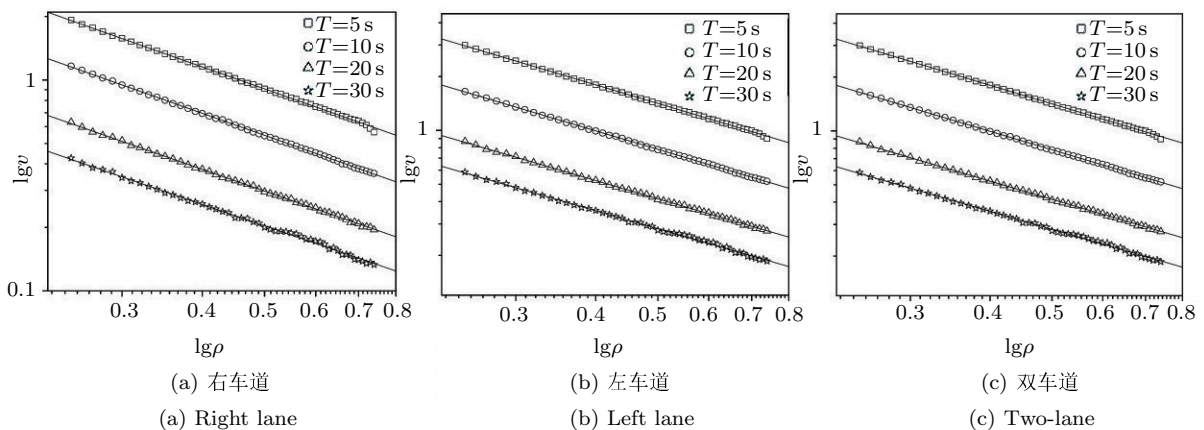


图 3 中等密度下平均速度与车流密度的关系 ($f = 0.3$) (符号“□、○、△、☆”表示模拟数据, 直线“—”表示拟合数据)

Fig.3 The relationship between mean-velocity and density over a medium density ($f = 0.3$)

(The symbols “□、○、△、☆” express simulation data and straight line “—” express fitting data)

表 1 不同停靠时间的 β 值
Table 1 The value of β for different stopping time

Type	Stopping time T/s			
	5	10	20	30
left lane	$v \sim \rho^{-1.075\,75 \pm 0.004\,4}$	$v \sim \rho^{-1.077\,87 \pm 0.002\,22}$	$v \sim \rho^{-1.061\,54 \pm 0.003\,72}$	$v \sim \rho^{-1.047\,22 \pm 0.007\,36}$
right lane	$v \sim \rho^{-1.068\,81 \pm 0.003\,31}$	$v \sim \rho^{-1.033\,34 \pm 0.001\,98}$	$v \sim \rho^{-1.016\,48 \pm 0.003\,06}$	$v \sim \rho^{-1.002\,7 \pm 0.003\,88}$
two-lane	$v \sim \rho^{-1.071\,32 \pm 0.003\,21}$	$v \sim \rho^{-1.065\,14 \pm 0.002\,06}$	$v \sim \rho^{-1.049\,66 \pm 0.003\,32}$	$v \sim \rho^{-1.035\,8 \pm 0.006\,06}$

图 3 是针对图 2 的流量平台进行拟合得到的, 其中“□, ○, △, ☆”表示模拟数据, “—”表示拟合数据. 图 3 表明: 模拟数据与拟合数据符合得很好, 而且不同停靠时间的拟合直线几乎是平行的, 说明中等密度区域车辆的平均速度与车流密度之间存在一定的标度关系 $v \sim \rho^{-\beta}$, 其中 v 是车辆的平均速度, ρ 是车流密度, β 是拟合直线的斜率, 表示平均速度发散程度的一个临界指数, β 值可由 origin 软件拟合

时自动算出, 见表 1, 表中的 β 值相差很小.

图 4 是不同公交车比例的基本图和拟合图, 公交车比例对流量的影响很大, 模拟结果与文献[8-9]相似, 这里取系统总流量, 随公交车比例增大流量显著减小, 见图 4(a). 对图 4(a) 的流量平台进行拟合得到图 4(b) 和表 2. 由图 4(b) 可见: 模拟数据同样与拟合数据相当吻合, 而且拟合直线平行得很好, 表 2 的 β 值同样能说明这样的结果.

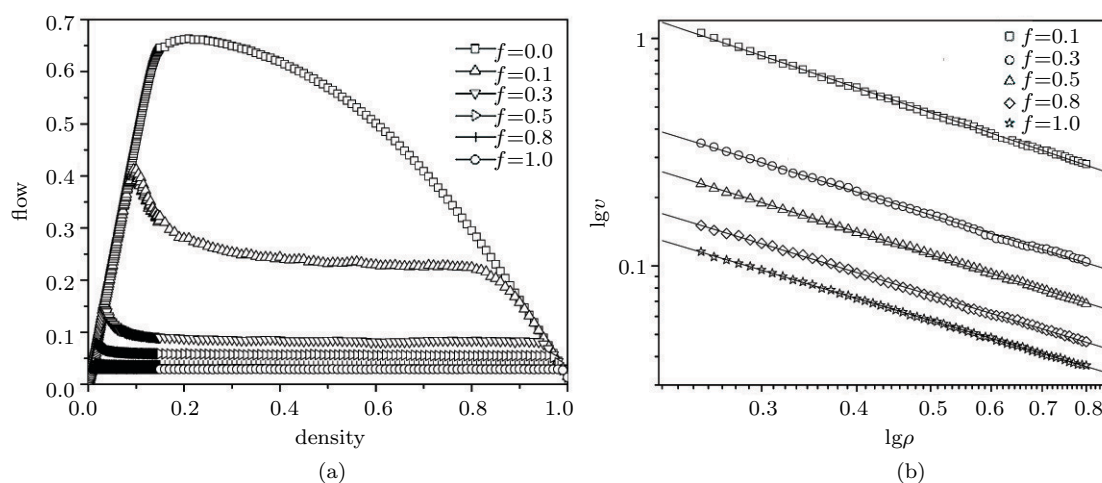


图 4 不同公交车比例的基本图($T=25$ s). (a) 基本图; (b) 拟合图.

Fig.4 The fundamental diagram (a) and fitting diagram (b) for different bus ratios ($T=25$ s)

表 2 不同公交车比例的 β 值
Table 2 The value of β for different bus ratios

Bus ratio f	$v \sim \rho^{-\beta}$
0.1	$v \sim \rho^{-1.129\,53 \pm 0.003\,96}$
0.3	$v \sim \rho^{-1.035\,59 \pm 0.005\,46}$
0.5	$v \sim \rho^{-1.036\,08 \pm 0.002\,72}$
0.8	$v \sim \rho^{-1.016\,91 \pm 0.003\,8}$
1.0	$v \sim \rho^{-0.995\,69 \pm 0.001\,93}$

表 1 是同一公交车比例 ($f=0.3$) 而停靠时间不同的平均速度与车流密度的关系, 左右两条车道的

设置不一样, 左车道没有公交车站, 而右车道有公交车站; 表 2 是同一停靠时间 ($T=25$ s) 而公交车比例不同的平均速度与车流密度的关系. 表 1 和表 2 表明: 不同的条件下, β 值相差很小, 说明中等密度区域的拥挤流存在一定的特性, 即在误差范围内, 车辆的平均速度与车流密度之间存在幂律标度关系 $v \sim \rho^{-1.0}$.

3 结 论

综上所述, 非港湾式公交车站存在着明显的特性, 公交车停靠站, 上下乘客时要占据一条车道, 使得双车道交通变为单一车道交通, 公交车停靠站上

游是双车道, 来流较大, 公交车停靠站由此形成交通瓶颈, 导致较小出流. 模拟结果表明: 公交车停靠时间越长、公交车比例越大对交通的影响就越大; 中等密度区域的拥挤流, 车辆的平均速度与车流密度之间存在幂律标度关系 $v \sim \rho^{-1.0}$.

参 考 文 献

- 1 张卫华, 陈学武, 黄艳君. 公交车与社会车辆混合行驶下的交通流模型研究. 公路交通科技, 2004, 21(4): 85-89 (Zhang Weihua, Chen Xuewu, Huang Yanjun. Study on traffic flow models based on mixed motor traffic with buses. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2004, 21(4): 85-89 (in Chinese))
- 2 尹红亮, 王炜, 王锦尧等. 公交运行对行驶车速影响的实验研究. 公路交通科技, 2002, 19(4): 93-96 (Yin Hongliang, Wang Wei, Wang Jinyao, et al. Experimental research on influence of the public transport on traffic speed. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2002, 19(4): 93-96 (in Chinese))
- 3 郭中华, 王炜, 陆建. 非港湾式公交停车对道路交通流的影响分析. 公路交通科技, 2005, 22(11): 138-143 (Guo Zhonghua, Wang Wei, Lu Jian. Analysis of road traffic flow affected by bus stops without bus bay. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2005, 22(11): 138-143 (in Chinese))
- 4 黄敏, 刘帅, 周涛. 港湾式公交车出站对道路交通流影响分析. 西华大学学报(自然科学版), 2007, 26(5): 33-34 (Huang Min, Liu Shuai, Zhou Tao. Analysis of road traffic flow affected by bus leaving with harbor-shaped bus stop. *Journal of Xihua University (Natural Science Edition)*, 2007, 26(5): 33-34 (in Chinese))
- 5 郭四玲, 韦艳芳, 时伟等. 公交车停靠时间的统计分析. 广西师范大学学报(自然科学版), 2006, 24(2): 5-9 (Guo Siling, Wei Yanfang, Shi Wei, et al. Statistical analysis of buses' stopping time. *Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2006, 24(2): 5-9 (in Chinese))
- 6 章小军, 彭国雄, 董博等. 非港湾式停靠站对路段通行能力的影响研究. 公路交通科技, 2007, 24(1): 143-146 (Zhang Xiaojun, Peng Guoxiong, Dong Bo, et al. Study on non-bay bus stop's impact on capacity of highway section. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2007, 24(1): 143-146 (in Chinese))
- 7 钱勇生, 汪海龙, 王春雷. 考虑公交港湾式停靠的多速混合城市交通流元胞自动机模型研究. 物理学报, 2008, 57(4): 2115-2120 (Qian Yongsheng, Wang Hailong, Wang Chunlei. The study of a cellular automaton traffic flow model with public transit, harbor-shaped bus stop and mixed different-maximum-speed vehicles on single lane. *Acta Phys Sin*, 2008, 57(4): 2115-2120 (in Chinese))
- 8 梁玉娟, 盘佳秀, 薛郁. 公交车站及停靠时间对混合交通流的影响. 广西物理, 2009, 30(1): 8-12 (Liang Yujuan, Pan Jiayou, Xue Yu. Influence of the bus stop and stopping time on mixing traffic flow. *Guangxi Phys*, 2009, 30(1): 8-12 (in Chinese))
- 9 贾斌, 李新刚, 姜锐等. 公交车站对交通流影响模拟分析. 物理学报, 2009, 58(10): 6845-6851 (Jia Bin, Li Xingang, Jiang Rui, et al. The influence of bus stop on the dynamics of traffic flow. *Acta Phys Sin*, 2009, 58(10): 6845-6851 (in Chinese))
- 10 Nagel K, Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic. *J Phys*, 1992, 2: 2221-2229
- 11 梁玉娟, 薛郁. 道路弯道对交通流影响的研究. 物理学报, 2010, 59(8): 5325-5331 (Liang Yujuan, Xue Yu. Study on traffic flow affected by the road turning. *Acta Phys Sin*, 2010, 59(8): 5325-5331 (in Chinese))
- 12 梁玉娟, 梁贵学. 从能耗看公交车站路段的交通状况. 公路与汽运, 2011, 2: 36-39 (Liang Yujuan, Liang Guixue. Investigation on traffic condition of the bus stop section by energy dissipation. *Highways & Automotive Applications*, 2011, 2: 36-39 (in Chinese))

(责任编辑: 刘俊丽)

THE PROPERTIES OF STOPPING ARE INVESTIGATED FOR OFF-LANE BUS STATION¹⁾

Liang Yajuan^{*,2)} Xue Yu[†]

^{*}(Department of Physics and Electronics Engineering, Hechi University, Yizhou 546300, China)

[†](Institute of Physical Science and Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract Based on the Nagel-Schreckenberg traffic flow model, a cellular automaton model of mixed traffic flow considering bus station on two-lane is proposed via introducing lane-change rule. Numerical simulation indicate that the traffic flow in the bus stations without stopping-lane has a certain characteristics under the condition of period boundary, that is to say, there is a power-law scaling relationship between mean-velocity and density in the jamming phase over a medium density of vehicles.

Key words two-lane, cellular automaton, mixing traffic flow, bus station

Received 8 June 2011, revised 14 July 2011.

1) The project was supported by the National Basic Research Program of China (2006CB705500), the Natural Science Foundation of Guangxi (2011GXNSFA018145), the Research of Guangxi Education Department (201010LX462, 201012MS206, 201106LX587). the Top-Quality Class of Mechanics of Guangxi Zhuang Autonomous Region (Guangxi Education and Higher Education ([2007] 111, [2007] 179), the Funding Program for Excellent Talents at Universities in Guangxi (Guijiao Ren [2011] 40) and the Key Research Subject of Hechi University (2011YBZ-N001,2011YAZ-N001).

2) E-mail: yujuan2267@yahoo.cn