

元胞自动机混合交通流模型的能耗研究*

田欢欢¹⁾ 薛郁^{1,2)†} 康三军¹⁾ 梁玉娟^{1,3)}

1) 广西大学物理科学与工程技术学院, 南宁 530004)

2) 上海市应用数学与力学研究所, 上海大学, 上海 200072)

3) 河池学院物理与电子工程系, 河池 546300)

(2008 年 10 月 30 日收到, 2008 年 11 月 25 日收到修改稿)

基于元胞自动机交通流 NaSch 模型, 提出元胞自动机混合交通流能耗公式, 对混合交通流的能耗进行研究, 通过数值模拟研究不同最大速度、不同车长的混合交通流的能耗, 研究表明不同车长、不同最大速度以及混合比对混合交通流能耗均有不同的影响.

关键词: 交通流, 元胞自动机, 能耗, 混合交通

PACC: 0550

1. 引言

当前, 社会经济的迅速发展与交通建设的相对滞后之间的矛盾, 社会经济的迅速发展与频繁的交通拥堵、日益严重的环境污染、不断增加的能源消耗之间的矛盾, 已经构成了非常突出的世界性矛盾, 更好地解决交通拥堵问题已经成为了当务之急. 为此人们从实验观测上, 发现了很多非平衡、非线性现象, 例如交通相变、交通激波、同步流和“时停时走”交通等^[1-5]. 在理论上提出了各种交通流模型^[6], 例如, 跟驰模型、元胞自动机模型、动力论模型和流体动力学模型等. 其中元胞自动机(CA)模型是一种时间、空间和状态变量均离散的模型. 由于其算法简单、易于并行计算, 可以在计算机上进行大规模数值模拟, 能有效模拟交通中车辆的运动, 通过对车辆间的相互作用机理的研究, 对交通拥堵问题有一定深入的了解, 因此在交通流的研究中得到了广泛的应用和发展^[7-12]. 典型的元胞自动机交通流模型是 Nagel 和 Schreckenberg 于 1992 年提出的 NaSch 模型^[13]. NaSch 模型规则简单却可以模拟很多实际交通现象, 例如“时停时走”交通等. 许多学者在该模型的基础上提出了许多混合交通模型^[14-17], 研究了由

不同长度、在安全行驶条件下达到的最大速度的车辆构成的混合交通特性.

现代社会的迅速发展, 车辆的快速增加, 而基础设施的相对滞后, 出现了车多路少, 引起交通拥堵的局面, 交通拥堵造成的环境污染及能源消耗等问题日益严峻. 国际能源机构(IEA)的统计数据表明, 2001 年全球 57% 的石油消费在交通领域, 预计到 2020 年交通用油占全球石油总消耗的 62% 以上^[18]. 研究表明超过 20% 的原油消耗和空气污染是由于交通堵塞及“时停时走”交通造成的^[19]. 2002 年, Nakayama 等人提出了稳定条件下车流多余能耗的估计方法^[20], Shi^[21]、王涛^[22]、Toledo^[23]等人分别研究了跟驰模型、城市交通模型的能耗问题, 2008 年 Zhang 等人^[24]研究了确定性 NaSch 模型和非确定性 NaSch 模型的能耗问题. 但是我国的交通具有平面、低速和混合的特性, 不同性能车辆的混合引发交通行为的多态性, 而研究交通的混合性对交通流能耗的影响, 就具有一定的现实意义.

本文在元胞自动机交通流 NaSch 模型基础上, 研究了在周期边界条件下, 单车道上由两种长度、不同最大速度行驶的车辆构成的混合交通流的能耗. 通过计算机模拟, 探讨车辆长度、最大速度以及车辆的混合比对混合交通流能耗的影响.

* 国家重点基础研究发展计划(973)项目(批准号:2006CB705500)、国家自然科学基金(批准号:10662002,10865001,10532060), 广西壮族自治区“十百千人才工程”专项基金(批准号:2005205)资助的课题.

† 通讯联系人, E-mail: yuxuegu@gxu.edu.cn

2. 模型及能耗定义

将道路视为长度为 L 的一维离散格点链, 每一时刻, 格点上可能被一辆长短不同、最大速度不同的车辆占据或没有车辆占据. 短车占据 L^s 个格点, 具有的最大速度为 V_{\max}^s ; 长车占据 $L^l (> L^s)$ 个格点, 具有的最大速度为 V_{\max}^l . 每一种类型的车辆状态由其本身的速度 v^j 所表示, $v^j \in [0, V_{\max}^j]$, $j = S, L$. 用 $x_i(t)$ 表示第 i 辆车 t 时刻的车尾位置, 如该车为短车, 则第 i 辆车 t 时刻与前方紧邻车辆($i+1$)之间的间距为 $\text{gap}_i(t) = x_{i+1}(t) - x_i(t) - L^s$; 如该车为长车, 则第 i 辆车 t 时刻与前方紧邻车辆($i+1$)之间的间距为 $\text{gap}_i(t) = x_{i+1}(t) - x_i(t) - L^l$. 在每一演化时步 $t \rightarrow t+1$ 中, 车辆状态都按照 NaSch

模型^[13]的演化规则进行速度和位置的并行更新.

NaSch 模型车辆状态演化的更新规则和步骤为

1) 加速过程:

$$v_i^j(t+1/3) \rightarrow \min\{v_i^j(t) + 1, V_{\max}^j\};$$

2) 确定性减速过程:

$$v_i^j(t+2/3) \rightarrow \min\{v_i^j(t+1/3) + 1, \text{gap}_i(t)\};$$

3) 以概率 p 随机减速过程:

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

4) 位置更新: $x_i^j(t+1) \rightarrow x_i^j(t) + v_i^j(t+1)$.

对于速度为 v 的车辆, 其动能为 $mv^2/2$, 其中 m 为该车辆的质量, 若该车为短车, 质量 $m = L^s \cdot m_0$, 若为长车, 质量 $m = L^l \cdot m_0$, 其中 m_0 是车长为一个格点时的质量. 当车辆减速时, 车辆的动能减少, 导致能量消耗, 用 E_d 表示单位时间内每辆车辆的平均能耗. 定义第 i 辆车从 $t-1$ 到 t 时间内的能耗为^[24]

$$\epsilon(i, t) = \begin{cases} \frac{m}{2} [v^2(i, t-1) - v^2(i, t)], & v(i, t) < v(i, t-1). \\ 0, & v(i, t) \geq v(i, t-1). \end{cases} \quad (1)$$

因此, 平均能耗 E_d 为

$$E_d = \frac{1}{T} \frac{1}{N} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+T} \sum_{i=1}^N \epsilon(i, t), \quad (2)$$

其中 N 为道路上的车辆总数, t_0 是弛豫时间. 对于 NaSch 模型, 车辆减速一方面是由于车间距 gap_i 小于前一时刻的速度 $v_i^j(t)$ 而引起的, 另一方面随机减速的作用引起的. 我们用 E_{di} 表示由于车辆相互作用造成的能量消耗, 用 E_{dr} 表示随机减速引起的能量消耗, 所以 $E_d = E_{di} + E_{dr}$.

3. 数值模拟及结果分析

在模拟中, 取车道的长度 $L = 1000$, 采用周期边界条件. 如果车道上车辆总数为 N , 则总密度为 $\rho = N/L$, 若其中的短车数量为 N^s , 则其车道占用率 $C^s = N^s \cdot L^s / L$, 即短车所占据的格点数占车道长的比值, 若长车数量为 N^l , 则其车道占用率 $C^l = N^l \cdot L^l / L$, 即长车所占据的格点数占车道长的比值. 因此, 车道总占用率(所有车辆所占据的格点数与车道长度的比值)为 $C = C^s + C^l = (N^s \cdot L^s + N^l \cdot L^l) / L$. 选用混合比例 C_n 来度量车辆的混合程度, $C_n = C^l /$

C , 即是长车的占用率与总占用率的比值, 则 $C^s = (1 - C_n)C$, $C^l = C_n \cdot C$; 则密度 $\rho = C[(1 - C_n) L^s + C_n / L^l]$. 当车长都等于 1 格(即 $L^s = L^l = 1$)时, 密度 $\rho = C$. 本文长度单位均以格点为单位作了无量纲化处理. $t_0 = 20000$, $T = 10000$, $m_0 = 1$.

3.1. 车辆最大速度对混合交通能耗的影响

为了考察车辆最大速度对混合交通能耗的影响, 我们让短车和长车有相同的长度, 取 $L^s = L^l = 1$, 此时道路上是由快慢车构成的混合交通流. 图 1

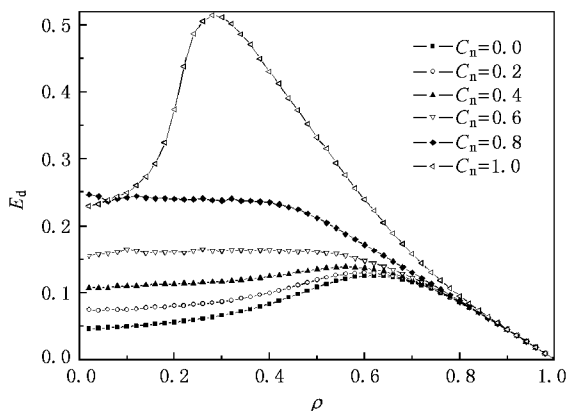


图 1 平均能耗 E_d 与密度 ρ 的关系图 ($V_{\max}^s = 1, V_{\max}^l = 3$)

给出了慢车的最大速度为 $V_{\max}^S = 1$, 快车的最大速度为 $V_{\max}^F = 3$ 不同混合比例 C_n 时, E_d 与密度 ρ (即占有率 C) 的关系.

在慢车较多时 ($C_n < 0.5$), 平均能耗 E_d 随密度 ρ 先逐渐增加, 达到一个较大值之后逐渐减小为 0. 在快车较多 ($0.5 < C_n < 1.0$) 时, 平均能耗 E_d 随密度 ρ 先保持不变, 然后逐渐减小为 0. 当只有快车

($C_n = 1.0$) 时, 平均能耗 E_d 随密度 ρ 的变化趋势和慢车较多的情况相同, 但是, 只有快车 ($C_n = 1.0$) 时, 平均能耗 E_d 达到最大值时的密度比慢车较多时的小, 且此时的平均能耗 E_d 的最大值最大. 模拟结果表明, 在只有慢车 ($C_n = 0.0$) 的情况下, 平均能耗 E_d 最小.

图 2(a) 是对于不同的混合比例 C_n , 由于车辆

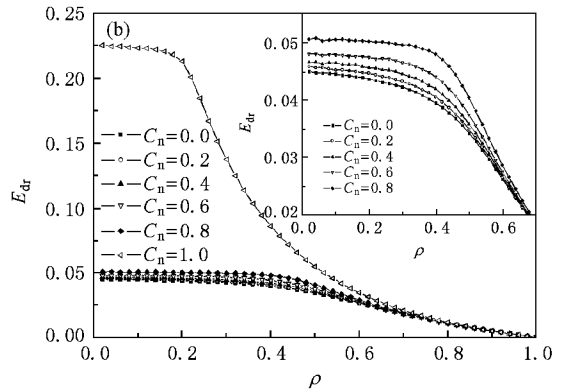
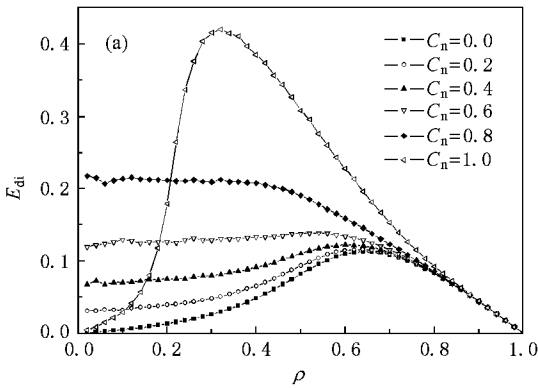


图 2 能耗 E_{di}, E_{dr} 与密度 ρ 的关系图 ($V_{\max}^S = 1, V_{\max}^F = 3$) (a) 能耗 E_{di} 与密度 ρ 的变化关系 (b) 能耗 E_{dr} 与密度 ρ 的变化关系

相互作用而产生的能耗 E_{di} 随密度 ρ 的变化关系图, 其中快车的最大速度为 $V_{\max}^F = 3$, 慢车的最大速度为 $V_{\max}^S = 1$. 在混合比例较小 ($C_n < 0.5$), 此时慢车偏多, E_{di} 随密度 ρ 的增加先增大到最大, 然后减小为 0. 在快车较多时 ($0.5 < C_n < 1.0$), 能耗 E_{di} 随密度 ρ 先保持不变, 然后逐渐减小为 0. 只有快车 ($C_n = 1.0$) 时, 能耗 E_{di} 随密度 ρ 的增加先增大到最大, 然后减小为 0, 其达到最大值时的密度比慢车较多时的小, 且此时的能耗 E_{di} 的最大值最大. 结果还表明, 在整个密度区域中, 只有慢车 ($C_n = 0.0$) 时的 E_{di} 最小.

图 2(b) 是对于不同的混合比例 C_n , 由于随机减速而产生的能耗 E_{dr} 随密度 ρ 的变化关系图, 其中快车的最大速度为 $V_{\max}^F = 3$, 慢车的最大速度为 $V_{\max}^S = 1$. 图中小图是 $C_n < 1$ 时的放大图. 结果表明 E_{dr} 随密度 ρ 的增加先保持不变, 然后缓慢减小为 0. 模拟结果表明, 混合比例 C_n 越大, 相同密度下的能耗 E_{dr} 越大.

图 3 是对于不同的混合比例 C_n , 在相同的密度 $\rho = 0.02$, 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的关系图. 其中快车的最大速度为 $V_{\max}^F = 3$, 慢车的最大速

度为 $V_{\max}^S = 1$. 从图中可以看出, 平均能耗 E_d 随着随机减速概率 p 的增大先从 0 增大到一个最大值, 然后减小为 0. 快车的混合比例越大 (C_n 越小), 平均能耗 E_d 的最大值也越大. 在 $C_n < 1$ 时, 随着慢车的混合比例的减小, 平均能耗 E_d 趋于最大值的随机减速概率 p 向左移动.

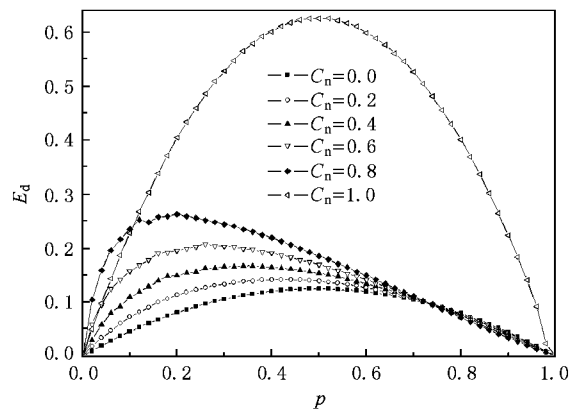


图 3 对于不同的混合比例 C_n , 在相同的密度 $\rho = 0.02$, 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的关系图 ($V_{\max}^S = 1, V_{\max}^F = 3$)

图 4 给出了在密度 $\rho = 0.02$, 混合比例 $C_n = 0.7$, 快车最大速度 $V_{\max}^F = 100$ 时, 对于不同的慢车

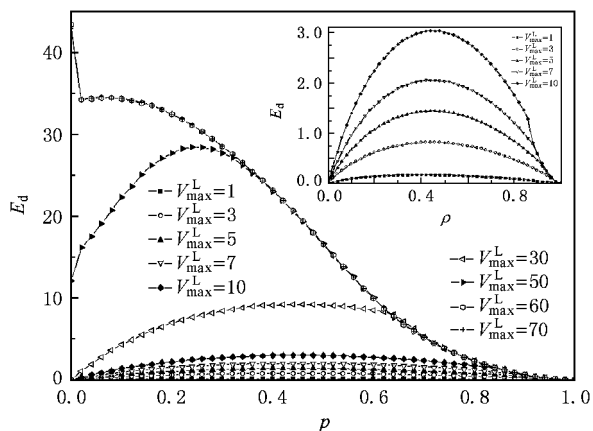


图 4 对于不同的慢车最大速度 V_{\max}^S , 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的关系图(图中插图是慢车最大速度 V_{\max}^S 为 1, 3, 5, 7, 10 时, 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的变化关系放大图. 其中密度 $\rho = 0.02$, 混合比例 $C_n = 0.7$, 快车最大速度 $V_{\max}^F = 100$)

最大速度 V_{\max}^S , 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的关系图. 图中插图是慢车最大速度 V_{\max}^S 为 1, 3, 5, 7, 10 时, 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的变化关系放大图. 模拟结果表明, 当慢车最大速度 $V_{\max}^S \leq 30$ 时, 平均能耗 E_d 随着随机减速概率 p 的增大, 先从 0 增大最大, 然后再减小为 0; 当慢车最大速度 $V_{\max}^S = 50$ 时, 平均能耗 E_d 随着随机减速概率 p 的变化趋势与 $V_{\max}^S \leq 30$ 时相同, 只不过当随机减速概率 $p = 0.0$ 时, 平均能耗 E_d 不为 0, 约为 12; 当慢车最大速度 $V_{\max}^S \geq 60$ 时, 随机减速概率 $p = 0.0$ 对应的平均能耗 $E_d \approx 43$, 此时, 平均能耗 E_d 随着随机减速概率 p 的增大而减小, 在 $p \leq 0.02$ 时, E_d 减小趋势明显, 但在 $p > 0.02$ 时, E_d 减小趋势缓慢. 数值模拟结果表明, 慢车最大速度 V_{\max}^S 越大, 平均能耗 E_d 越大, 但是当 $V_{\max}^S \geq 60$ 时, 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的变化曲线重合.

图 5 给出了在密度 $\rho = 0.02$, 混合比例 $C_n = 0.7$, 慢车最大速度 $V_{\max}^S = 1$ 时, 对于不同的快车最大速度 V_{\max}^F , 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的关系图. 数值模拟结果表明, 平均能耗 E_d 随着随机减速概率 p 的增大, 先从 0 增到最大, 然后再减小为 0; 平均能耗 E_d 不随快车最大速度 V_{\max}^F 的变化而发生改变, 即对于不同的快车最大速度 V_{\max}^F , 平均能耗 E_d 随机减速概率 p 的变化曲线重合.

3.2. 车长对混合交通能耗的影响

为了考察车辆长度对混合交通能耗的影响, 使

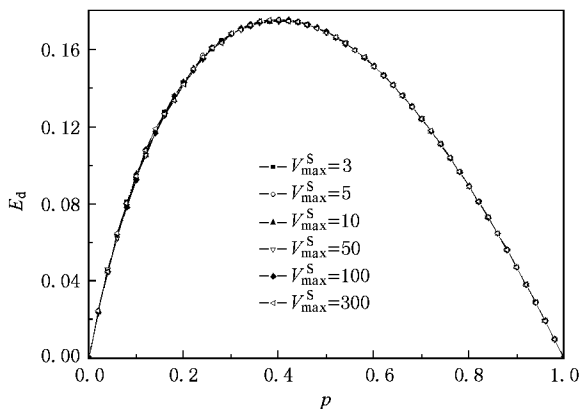


图 5 对于不同的快车最大速度 V_{\max}^F , 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的关系图(其中密度 $\rho = 0.02$, 混合比例 $C_n = 0.7$, 长车最大速度 $V_{\max}^S = 1$)

短车和长车有相同的最大速度, 取 $V_{\max}^S = V_{\max}^L = 5$.

图 6 是确定 NaSch 模型($p = 0.0$), 对于不同的占有率混合比例 C_n , 平均能耗 E_d 与占有率 C 的变化关系. 长车车长 $L^L = 2$, 短车车长 $L^S = 1$. 模拟结果表明, 存在一个临界占有率 C_c , 低于临界占有率 C_c 时没有能量耗散, 高于临界占有率 C_c 时, 平均能耗 E_d 随占有率 C 的增加而增加, 但是平均能耗 E_d 达到最大值之后将随占有率 C 的增加而减小. 混合比例 C_n 越大, 临界占有率 C_c 越大, 平均能耗 E_d 的最大值也越大.

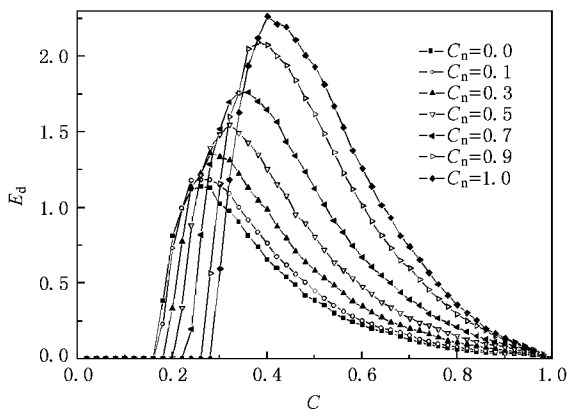


图 6 对于不同的占有率混合比较系数 C_n , 平均能耗 E_d 与总占有率 C 的变化关系($L^L = 2, L^S = 1, p = 0.0$)

图 7 所示的是非确定 NaSch 模型($p = 0.25$), 对于不同的混合比例 C_n , 平均能耗 E_d 与占有率 C 的变化关系. $L^L = 2, L^S = 1$. 平均能耗 E_d 随着占有率 C 的增加先增大到最大值, 然后减小至 0. 在

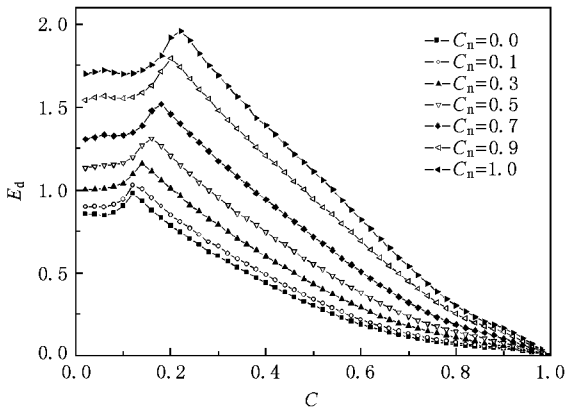


图 7 对于不同的混合比例 C_n ,平均能耗 E_d 与占有率 C 的变化关系 ($L^L=2, L^S=1, p=0.25$)

低占有率区域,混合比例 C_n 越大,平均能耗 E_d 越大.相同的占有率 C 对应的平均能耗 E_d 随着混合比例 C_n 的增加而增大,只有短车 ($C_n=0.0$) 时,平均能耗 E_d 最小;只有长车 ($C_n=1.0$) 时,平均能耗 E_d 最大.

图 8 (a) 是针对非确定 NaSch 模型 ($p=0.25$), 不同的混合比例 C_n , 由于车辆相互作用造成的能耗 E_{di} 与占有率 C 的变化关系. $L^L=2, L^S=1$. 能耗 E_{di} 随着占有率 C 的增加先从 0 增大到最大值, 然后减小至 0. 混合比例 C_n 越大, 能耗 E_{di} 的最大值越大, 并且能耗 E_{di} 的最大值所对应的占有率 C 越大.

图 8 (b) 是针对非确定 NaSch 模型 ($p=0.25$), 不同的混合比例 C_n , 由于随机减速造成的能耗 E_{dr} 与

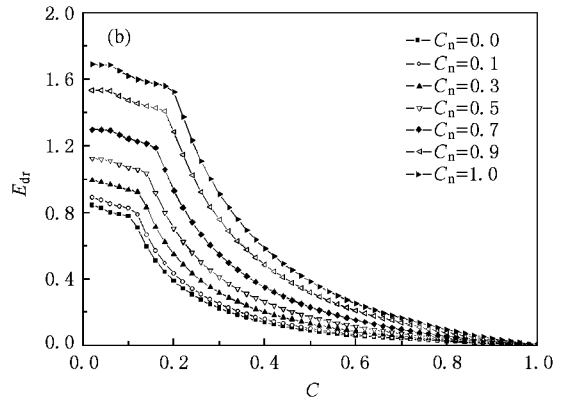
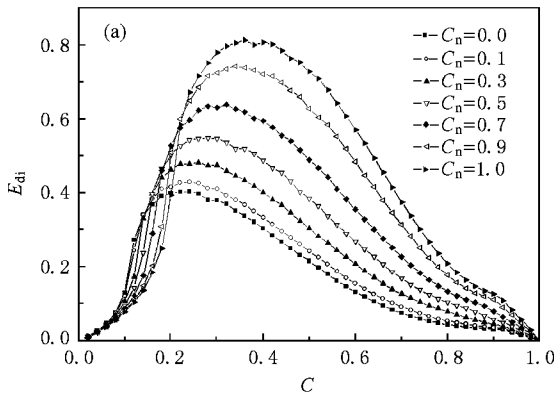


图 8 对于不同的混合比例 C_n ,能耗 E_{di}, E_{dr} 与占有率 C 的变化关系 ($L^L=2, L^S=1, p=0.25$) (a) 能耗 E_{di} 与占有率 C 的变化关系 (b) 能耗 E_{dr} 与占有率 C 的变化关系

图 8 占有率 C 的变化关系. $L^L=2, L^S=1$. 能耗 E_{dr} 随着占有率 C 的增加而减小. 相同的占有率 C 对应的平均能耗 E_{dr} 随着混合比例 C_n 的增加而增大, 只有短车 ($C_n=0.0$) 时的 E_{dr} 最小, 只有长车 ($C_n=1.0$) 时的 E_{dr} 最大.

图 9 是针对不同的随机减速概率 p , 平均能耗 E_d 与占有率 C 的变化关系. 其中实心表示混合比例 $C_n=0.3$, 空心表示混合比例 $C_n=0.7$. $L^L=2, L^S=1, C_n=0.3$. 模拟结果表明, 当随机减速概率 $p=1.0$ 时, 即确定性减速时, 不管混合比例 C_n 和占有率 C 是多少, 平均能耗 E_d 都为 0.

图 10 是针对不同的随机减速概率 p , 能耗 E_{di}, E_{dr} 与占有率 C 的变化关系. $L^L=2, L^S=1, C_n=0.3$. 从图 10(a) 可以看出, 当 $0 < p < 1$ 时, 由于车辆相互作用造成的能耗 E_{di} 随着占有率的增加先增加

到最大, 然后减小为 0, 对于不同的随机减速概率 p , 随机减速概率 p 越大, 能耗 E_{di} 的最大值对应的

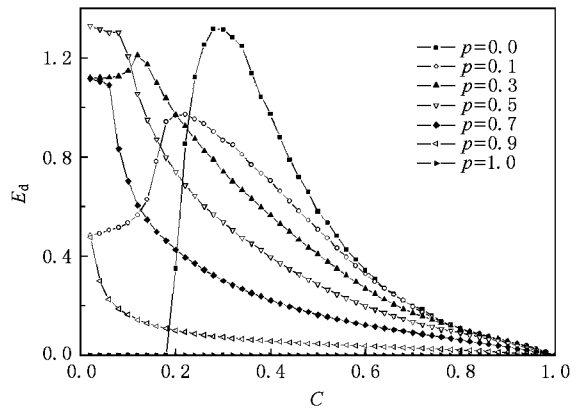


图 9 对于不同的随机减速概率 p , 平均能耗 E_d 与占有率 C 的变化关系 (其中 $C_n=0.3, L^L=2, L^S=1$)

占有率 C 越小,并且减速概率 p 越大,相同的占有率对应的能耗 E_{di} 越小;当 $p = 0$ 时,即为确定性 NaSch 模型,能耗 E_{di} 的变化规律与文献[24]相同;

当 $p = 1$ 时,能耗 $E_{di} = 0$ 。图 10(b)是能耗 E_{dr} 与占有率 C 的变化关系,当 $p = 1$ 时,即确定性减速,能耗 $E_{dr} = 0$ 。

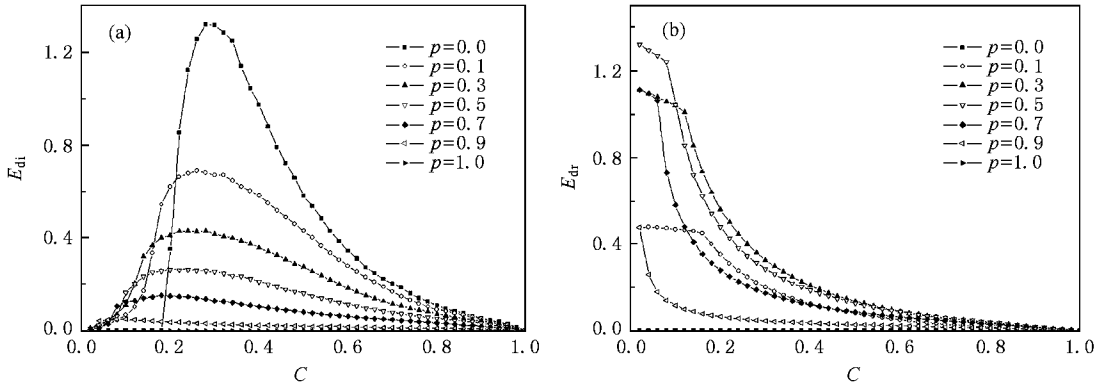


图 10 对于不同的随机减速概率 p , 能耗 E_{di}, E_{dr} 与占有率 C 的变化关系 ($L^L = 2, L^S = 1, C_n = 0.3$) (a) 能耗 E_{di} 与占有率 C 的变化关系 (b) 能耗 E_{dr} 与占有率 C 的变化关系

3.3. 车长和车辆最大速度对混合交通能耗的影响

为了考察由车辆长度不同具有不同最大速度的车辆构成的混合交通流的特性,图 11 给出了由长度为 1 最大速度为 10 的短车和长度为 5 最大速度为 3 的长车构成的混合交通流,对于不同的混合比例 C_n , 平均能耗 E_d 与占有率 C 的变化关系。其中随机减速概率 $p = 0.25$ 。当只有短车 ($C_n = 0.0$) 时,平均能耗 E_d 随着占有率 C 的增大先快速增大到一个最大值,再逐渐减小为 0;当只有长车 ($C_n = 1.0$) 时,平均能耗 E_d 随着占有率 C 增大先缓慢增大,在 C 约为 0.58 时到达最大,再减小为 0;当 $0.0 < C_n < 1.0$

时,平均能耗 E_d 随着占有率 C 增大先保持基本相同,然后在某个占有率 C_d 处开始缓慢减小为 0,并且这个占有率 C_d 随着混合比例的增大而增大。从模拟结果可以看到,在混合交通流中,短车占越多,平均能耗 E_d 越小。

图 12 是对于不同的混合比例 C_n , 在相同的占有率 $C = 0.25$, 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的关系图。其中短车车长 $L^S = 1$, 其最大速度 $V_{max}^S = 10$, 长车车长 $L^L = 5$, 其最大速度 $V_{max}^L = 3$ 。当系统中只有短车 ($C_n = 0.0$) 时,平均能耗 E_d 随着随机减速概率 p 的增大而减小,在随机减速概率 $p \leq 0.02$ 时,平均能耗 E_d 减小得较快, $p > 0.02$ 时,平均能耗 E_d 减小得较缓慢;当 $C_n > 0.0$ 时,平均能耗 E_d 随着随机

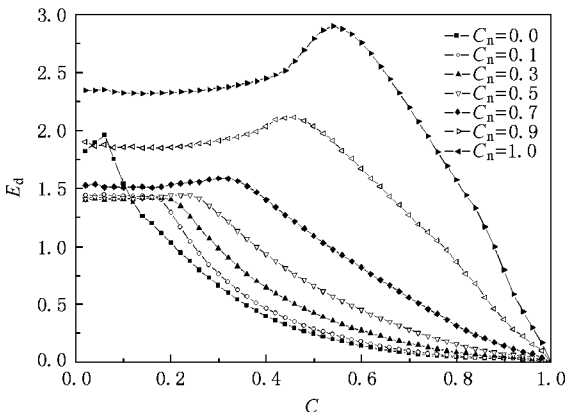


图 11 对于不同的混合比例 C_n , 车辆长度不同具有不同最大速度的混合交通流平均能耗 E_d 与占有率 C 的变化关系 (其中 $V_{max}^L = 3, V_{max}^S = 10, L^L = 5, L^S = 1, p = 0.25$)

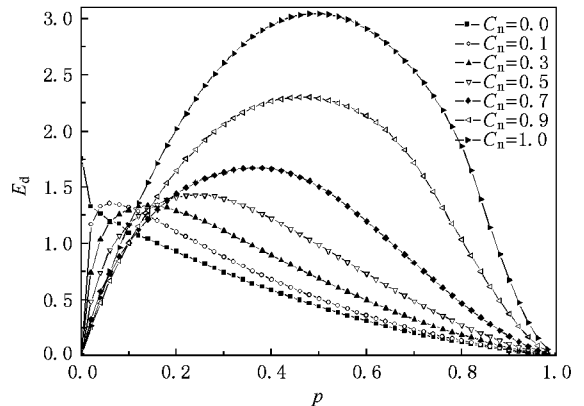


图 12 对于不同的混合比例 C_n , 平均能耗 E_d 与随机减速概率 p 的关系图 ($V_{max}^S = 10, V_{max}^L = 3, L^S = 1, L^L = 5, C = 0.25$)

减速概率 p 的增大, 先从 0 逐渐增大到最大再减小为 0. 对于不同的混合比例 C_n , C_n 越大, 平均能耗 E_d 的最大值越大, 其对应的随机减速概率 p 也越大.

图 13 是对于不同的混合比例 C_n , 在相同的占有率 $C = 0.25$, 能耗 E_{di} , E_{dr} 与随机减速概率 p 的关系图. 其中短车车长 $L^S = 1$, 其最大速度 $V_{max}^S = 10$, 长车车长 $L^L = 5$, 其最大速度 $V_{max}^L = 3$. 图 13(a) 给出了由于车辆相互作用造成的能耗 E_{di} 与随机减速概率 p 的变化关系. 当系统中只有短车 ($C_n = 0.0$) 时, 能耗 E_{di} 随着随机减速概率 p 的增大而减小, 在随

机减速概率 $p \leq 0.02$ 时, 能耗 E_{di} 减小得较快, $p > 0.02$ 时, 能耗 E_{di} 减小得较缓慢; 当 $C_n > 0.0$ 时, 能耗 E_{di} 随着随机减速概率 p 的增大, 先从 0 逐渐增大到最大再减小为 0, 对于不同的混合比例 C_n , C_n 越大, 能耗 E_{di} 的最大值越小, 但其对应的随机减速概率 p 越大. 图 13(b) 给出了由于随机减速造成的能耗 E_{dr} 与随机减速概率 p 的变化关系. 能耗 E_{dr} 随着随机减速概率 p 的增大, 先从 0 逐渐增大到最大再减小为 0, 对于不同的混合比例 C_n , C_n 越大, 其对应的随机减速概率 p 越大, 能耗 E_{dr} 的最大值越大.

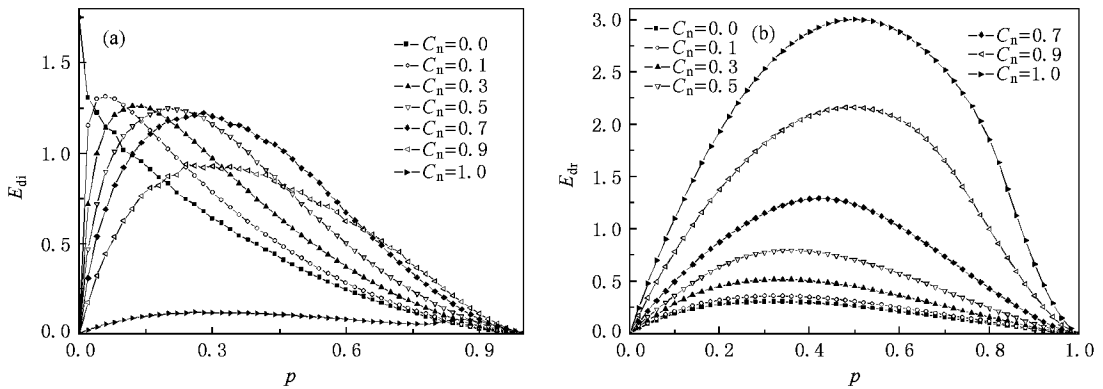


图 13 对于不同的混合比例 C_n , 在相同的占有率 $C = 0.25$, 能耗 E_{di} , E_{dr} 与随机减速概率 p 的关系图 ($V_{max}^S = 10, V_{max}^L = 3, L^S = 1, L^L = 5$) (a) 能耗 E_{di} 与随机减速概率 p 的变化关系 (b) E_{dr} 与随机减速概率 p 的变化关系

4. 结 论

本文在 NaSch 交通流模型的基础上, 研究了不同长度和不同最大速度车辆构成的混合交通流的能耗, 提出了混合交通流能耗的公式. 计算机模拟和理论分析表明, 在道路交通系统中, 由车辆长度相同, 不同最大速度的车辆构成的快慢车混合交通流, 其能耗与慢车最大速度和所占的比例有关, 慢车最大速度和所占的比例越大, 车流能耗就越大, 而由车辆最大速度相同, 不同长度车辆构成的长短车混合交

通, 其能耗与短车所占的比例有较大的关系, 混合比 C_n 越大, 平均能耗就越大, 当混合比 $C_n = 1$, 完全是长车时, 平均能耗最大; 混合比越小, 即短车所占的比例越大, 平均能耗就越小, 当混合比 $C_n \approx 0$, 完全是短车时, 平均能耗最小. 对由不同长度、不同最大速度的车辆构成的混合交通流, 其能耗不仅与车辆的随机减速概率有关, 而且与车流的混合比有较大的关系, 车辆的随机减速概率是交通拥堵产生的主要因素, 当混合车流的随机减速概率和混合比越大, 平均能耗就越大, 反之, 平均能耗就越小.

[1] Kerner BS, Konhäuser P 1997 *Phys. Rev. Lett.* **49** 4030
 [2] Helbing D, Hennecke A, Treiber M 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 4360
 [3] Helbing D, Hennecke A, Shvetsov V, Treiber M 2001 *Transport. Res. B* **35** 180
 [4] Helbing D 2001 *Rev. Mol. Phys.* **73** 1067
 [5] Kerner BS, Rehborn H 1996 *Phys. Rev. E* **53** R4275
 [6] Chowdhury D, Santen L, Schreckenberg A 2000 *Phys. Rept.* **329** 199

[7] Bihani O, Middleton A, Levine D 1992 *Phys. Rev. A* **46** R6124
 [8] Fukui M, Ishibashi Y 1996 *J. Phys. Soc. Jpn.* **65** 1868
 [9] Wang B H, Kuang Y Q, Xu B M 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 906 (in Chinese) [汪秉宏、邝乐琪、许伯铭 1998 物理学报 **47** 906]
 [10] Wang B H, Wang L, Xu B M 2000 *J. Guangxi Normal University* **18** 1 (in Chinese) [汪秉宏、王雷、徐伯铭 2000 广西师范大学学报(自然科学版) **18** 1]
 [11] Xue Y, Dong L Y, Dai S Q 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 445 (in Chinese)

- Chinese] 薛 郁、董力耘、戴世强 2001 物理学报 **50** 445]
- [12] Maerivoet S , De Moor B 2005 *Phys. Rep.* **419** 1
- [13] Nagel K , Schreckenberg M 1992 *J. Phys.* **12** 2221
- [14] Kuang H , Liu M R , Kong L J 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2894 (in Chinese] 邝 华、刘慕仁、孔令江 2004 物理学报 **53** 2894]
- [15] Zheng R S , Tan H L , Kong L J , Liu M R 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3516 (in Chinese] 郑容森、谭惠丽、孔令江、刘慕仁 2005 物理学报 **54** 3516]
- [16] Zheng R S , Tan H L , Kong L J , Liu M R 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4614 (in Chinese] 郑容森、谭惠丽、孔令江、刘慕仁 2005 物理学报 **54** 4614]
- [17] Xiao R J , Kong L J , Liu M R 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 740 (in Chinese] 肖瑞杰、孔令江、刘慕仁 2007 物理学报 **56** 740]
- [18] Ou Yang MG 2006 *Science & Technology Industry of China* **2** 8 (in Chinese] 欧阳明高 2006 中国科技产业 **2** 8]
- [19] Helbing D 1997 *Phys. Rev. E* **55** 3735
- [20] Nakayama Y , Sugiyama Y , Hasebe K 2002 *Phys. Rev. E* **65** 016112
- [21] Shi W , Xue Y 2007 *Physica A* **381** 399
- [22] Wang T , Gao Z Y , Zhao X M 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 634 (in Chinese] 王 涛、高自友、赵小梅 2006 物理学报 **55** 634]
- [23] Toledo B A , Cerda E , Rogan J , Munoz V , Tenreiro C , Zarama R , Valdivia J A 2007 *Phys. Rev. E* **75** 026108
- [24] Zhang W , Zhang W , Yang X Q 2008 *Physica A* **387** 4657

Study on the energy consumption using the cellular automaton mixed traffic model *

Tian Huan-Huan¹⁾ Xue Yu^{1,2)†} Kan San-Jun¹⁾ Liang Yu-Juan^{1,3)}

1) *Institute of Physical Science and Engineering , Guangxi University , Nanning 530004 , China)*

2) *Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics , Shanghai University , Shanghai 200072 , China)*

3) *Department of Physics and Electronic Engineering , Hechi College , Hechi 546300 , China)*

(Received 30 October 2008 ; revised manuscript received 25 November 2008)

Abstract

Based on NaSch model , energy consumption in the mixed traffic flow was investigated . The formula of energy consumption was presented . There are three factors of mixed traffic flow to be studied , which are the maximum velocity , length of vehicle , and the ratio of the mixed traffic flow (C_n) , respectively . Simulation and analysis indicated that the energy consumption of the mixed traffic flow consisting of vehicles of the same length but different maximum velocity is associated with the lowest maximum velocity and its ratio . The slower the maximum velocity and its fraction , the more energy consumed . Moreover , for the mixed traffic flow consisting of vehicles with the same maximum velocity but different length , the energy consumption is related to the ratio C_n of mixed vehicles . Longer vehicles lead to more energy consumption . For the mixed traffic flow involving vehicles of different maximum velocity and lengths , its energy consumption is determined by the ratio C_n of the mixed vehicles and delay probability p , the more the short and fast vehicles ($C_n \rightarrow 0$) , the less energy consumed , and *vice versa* .

Keywords : traffic flow , cellular automaton , energy consumption , mixed traffic flow

PACC : 0550

* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2006CB705500) , the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10662002 , 10865001 and 10532060) and the Special Foundation for the New Century Talents Program of Guangxi Zhuang Autonomous Region (Grant No. 2005205) .

† Corresponding author . E-mail : yuxuegxu@gxu.edu.cn