

# 两车道交通流耦合格子模型与数值仿真\*

彭光舍<sup>†</sup>

(湖南文理学院物理与电子科学学院, 常德 415000)

(2009 年 8 月 23 日收到; 2009 年 11 月 27 日收到修改稿)

考虑两车道耦合效应的影响和换道效应, 提出了改进的两车道交通流耦合格子模型. 同时, 改进了换道时的流量转移率, 这样更符合实际交通情况. 通过线性稳定性分析, 得到了改进模型的稳定性条件. 数值模拟结果也表明, 模型通过考虑耦合作用信息, 更好地再现了换道情况, 同时也表明两车道间的耦合效应对两车道交通流存在不可忽视的影响.

**关键词:** 交通流, 格子模型, 两车道, 模拟

**PACC:** 0550, 0520, 6470

## 1. 引 言

随着经济的发展, 交通需求伴随社会活动的日益繁忙而迅速增长. 交通量剧增导致交通流中行驶车辆间的相互作用越来越强. 关于车辆间相互作用对抑制交通拥堵、增强交通流稳定性的研究是现代交通研究的重要课题之一, 常见的研究方法包括交通流微观车辆跟驰理论和宏观动力学模拟理论. 宏观动力学模拟理论从宏观角度采用可压缩的连续介质模型和时空变量来描述交通状态. 这样可更好地以动态的方法反映车辆的集体行为和交通流状况, 从而为交通控制策略的有效设计、道路几何改造的模拟及估计效果分析等交通工程问题提供理论依据. 于是, 许多学者先后提出了一系列宏观交通流模型, 如运动学模型<sup>[1,2]</sup>、Payne 模型<sup>[3]</sup>, 以及 Zhang 模型<sup>[4,5]</sup>、速度梯度模型<sup>[6]</sup>、各向异性模型<sup>[7]</sup>等. 虽然上述宏观交通流模型能够描述单车道“幽灵”塞车、走走停停、局部聚集、相变等复杂交通现象, 但对多车道交通流中的换道问题没有考虑.

此后, Daganzo<sup>[8]</sup>提出了基于 Lighthill-Whitham-Richards 理论的两车道宏观交通流模型, 但该模型没有考虑加速度和惯性因素对交通流的影响,

因此不能反映非均衡条件下交通流的动态特性. 文献[9—14]进一步运用高阶动力学方程研究了两车道宏观交通流模型, 得到了双车道换道的一些结果.

连续模型难以精确再现车辆换道过程. Nagatani<sup>[15]</sup>借鉴优化跟驰模型和动力学模型的思想, 认为交通流的流量可以进行优化后达到最优状态, 最先提出了一个将交通流连续性方程离散化的模型——交通流格子模型, 文献[16, 17]通过关注前方车流分别提出了优化车流的格子模型和合作驾驶的格子模型. 此后, Nagatani<sup>[18]</sup>又提出了能够描述车辆换道的两车道交通流格子模型. 但文献[19]通过模拟发现, 该模型出现车辆倒退现象, 于是进一步改进了该模型, 但改进模型并没有考虑双车道的相互耦合作用.

本文通过考虑两车道相互耦合作用, 提出了两车道交通流耦合格子模型, 并改进了流量转移率. 数值仿真表明, 本文所改进的模型更符合实际交通状况.

## 2. 两车道交通流耦合格子模型

把连续的车道离散成若干格点, 就得到图 1 所示的两车道交通流格子模型<sup>[18, 19]</sup>. 基于文献[18,

\* 湖南省自然科学基金(批准号:07JJ6106)、湖南文理学院科研基金重点项目(批准号:JJZD0902)和湖南省“十一·五”计划重点学科建设基金资助的课题.

<sup>†</sup> E-mail: pengguangshan@yahoo.com.cn

19], 考虑两车道间耦合作用, 本文提出如下改进的两车道交通流耦合格子模型:

$$\begin{aligned} & \partial_i \rho_{1,j} + \rho_0 (\rho_{1,j} v_{1,j} - \rho_{1,j-1} v_{1,j-1}) \\ &= s_{1,j} \\ &= s_{1,j}^{\text{in}} - s_{1,j}^{\text{out}}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \rho_{1,j} v_{1,j}(t + \tau_1) \\ &= \rho_0 v_{1e}(\rho_{1,j+1}(t), \beta_{21} \rho_{2,j+1}(t)), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \partial_i \rho_{2,j} + \rho_0 (\rho_{2,j} v_{2,j} - \rho_{2,j-1} v_{2,j-1}) \\ &= s_{2,j} \\ &= s_{2,j}^{\text{in}} - s_{2,j}^{\text{out}}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \rho_{2,j} v_{2,j}(t + \tau_2) \\ &= \rho_0 v_{2e}(\rho_{2,j+1}(t), \beta_{12} \rho_{1,j+1}(t)). \end{aligned} \quad (4)$$

这里  $v_{i,j}$  和  $\rho_{i,j}$  分别为  $t$  时刻车道  $i$  第  $j$  格点处的车速和密度,  $\rho_0$  为车辆平均密度,  $\tau_i$  为车道  $i$  车辆跟驰的延滞时间 (即表示司机反应快慢程度),  $\rho_{i,j} v_{i,j}$  为车道  $i$  第  $j$  格点处的流量,  $s_{i,j}$  为车道  $i$  第  $j$  格点处的流量转移率,  $s_{i,j}^{\text{in}}$  和  $s_{i,j}^{\text{out}}$  分别为车道  $i$  第  $j$  格点处的流入量转移率和流出量转移率,  $\beta_{im}$  表示车道  $i$  对车道  $m$  的耦合系数. 根据相互耦合作用原理, 我们认为  $\beta_{im} = \beta_{mi} = \beta$ . 方程(1)和(3)表示离散格子的守恒方程, 方程(2)和(4)定义了离散格子在第  $j$  格点处的均衡态车速  $v_{ie}$ , 由两车道的第  $j+1$  格点处的密度决定.

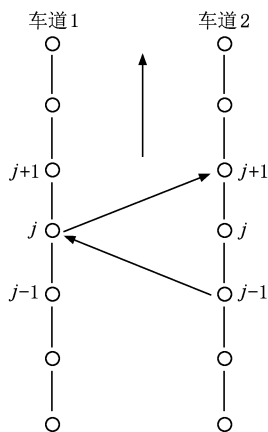


图1 两车道交通流格子模型示意图

在方程(1)~(4)中, 当  $\beta = 0$  和  $s = 0$  就退化为 Nagatani 格子模型<sup>[18]</sup>, 当  $\beta = 0$  和  $s \neq 0$  就与文献[19]的两车道格子模型一致. 与文献[18, 19]的模型不同的是, 方程(1)~(4)中的速度是两车道密度  $\rho_1$  和  $\rho_2$  的函数.

文献[18]格子模型中采用的流量转移率为

$$\begin{aligned} s_{1,j}^{\text{in}} &= \gamma [\rho_0^2 V'(\rho_0)] (\rho_{2,j-1} - \rho_{1,j}) \\ & \quad (\rho_{2,j-1} > \rho_{1,j}), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} s_{1,j}^{\text{out}} &= -\gamma [\rho_0^2 V'(\rho_0)] (\rho_{1,j} - \rho_{2,j+1}) \\ & \quad (\rho_{1,j} > \rho_{2,j+1}), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} s_{2,j}^{\text{in}} &= \gamma [\rho_0^2 V'(\rho_0)] (\rho_{1,j-1} - \rho_{2,j}) \\ & \quad (\rho_{1,j-1} > \rho_{2,j}), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} s_{2,j}^{\text{out}} &= -\gamma [\rho_0^2 V'(\rho_0)] (\rho_{2,j} - \rho_{1,j+1}) \\ & \quad (\rho_{2,j} > \rho_{1,j+1}), \end{aligned} \quad (8)$$

式中  $V(\rho_0)$  为最优速度, 是车辆平均密度  $\rho_0$  的函数;  $\gamma$  为换道率. 文献[19]已经证实了当  $\rho_{2,j-1} < \rho_{1,j}$  时会出现  $s_{1,j}^{\text{in}} < 0$  的现象, 即车辆从车道 1 的第  $j$  格点倒退至车道 2 的  $j-1$  格点, 或者当  $\rho_{1,j-1} < \rho_{2,j}$  时会出现  $s_{2,j}^{\text{in}} < 0$  的现象, 即车辆从车道 2 的第  $j$  格点倒退至车道 1 的  $j-1$  格点. 而且在 Nagatani 模型中的换道率被假定为常数, 但实际交通中的换道程度会随车道的车辆密度而变化, 于是文献[19]采用如下改进的流量转移率:

$$s_{1,j}^{\text{in}} = \begin{cases} \rho_0 q_{\text{in-1}} (1 - (\rho_{1,j}/\rho_{1\text{jam}})^{\theta_1}) & (\rho_{2,j-1} > \rho_{1,j}), \\ 0 & (\rho_{2,j-1} \leq \rho_{1,j}), \end{cases} \quad (9)$$

$$s_{1,j}^{\text{out}} = \begin{cases} -\rho_0 q_{\text{out-1}} (1 - (\rho_{2,j}/\rho_{2\text{jam}})^{\delta_1}) & (\rho_{1,j} > \rho_{2,j+1}), \\ 0 & (\rho_{1,j} \leq \rho_{2,j+1}), \end{cases} \quad (10)$$

$$s_{2,j}^{\text{in}} = \begin{cases} \rho_0 q_{\text{in-2}} (1 - (\rho_{2,j}/\rho_{2\text{jam}})^{\theta_2}) & (\rho_{1,j-1} > \rho_{2,j}), \\ 0 & (\rho_{1,j-1} \leq \rho_{2,j}), \end{cases} \quad (11)$$

$$s_{2,j}^{\text{out}} = \begin{cases} -\rho_0 q_{\text{out-2}} (1 - (\rho_{1,j}/\rho_{1\text{jam}})^{\delta_2}) & (\rho_{2,j} > \rho_{1,j+1}), \\ 0 & (\rho_{2,j} \leq \rho_{1,j+1}), \end{cases} \quad (12)$$

式中  $q_{\text{in-1}}$ ,  $q_{\text{in-2}}$  和  $q_{\text{out-1}}$ ,  $q_{\text{out-2}}$  分别表示车道 1、车道 2 的输入流量和输出流量,  $\theta_i$  和  $\delta_i$  分别表示车道  $i$  输入流量时该车道可以接受的程度和输出流量时另一车道可以接受的程度,  $\rho_{i\text{jam}}$  是车道  $i$  的阻塞密度.

文献[19]通过引入新的流量转移函数, 避免了 Nagatani 模型中车辆倒退现象. 但文献[19]假设  $\rho_{2,j-1} \leq \rho_{1,j}$  时  $s_{1,j}^{\text{in}} = 0$  (即当车道 2 的第  $j-1$  格点密度不大于车道 1 的第  $j$  格点密度时, 车道 2 的第  $j-1$  格点转移到车道 1 的第  $j$  格点的车流转移率为零),

或者  $\rho_{1,j-1} \leq \rho_{2,j}$  时  $s_{2,j}^{\text{in}} = 0$  (当车道 1 的第  $j-1$  格点密度不大于车道 2 的第  $j$  格点密度时, 车道 1 的第  $j-1$  格点转移到车道 2 的第  $j$  格点的车流转移率为零). 但在现实交通中, 人们在密度比较低时处于自由开车状态, 可以根据自己的需要随时换道, 在密度小于某一值时, 有时司机在心理因素作用下的换道欲望会随着车道密度的上升而增强, 这时司机对密度变化很敏感, 即密度越高, 换道往往越频繁. 这说明, 即使  $\rho_{2,j-1} \leq \rho_{1,j}$  (车道 2 的第  $j-1$  格点密度不大于车道 1 的第  $j$  格点密度), 依然存在车辆从车道 2 的第  $j-1$  格点转移到车道 1 的第  $j$  格点的现象 (即流量转移率  $s_{1,j}^{\text{in}} \neq 0$ ), 或者  $\rho_{1,j-1} \leq \rho_{2,j}$  时 (当车道 1 的第  $j-1$  格点密度不大于车道 2 的第  $j$  格点密度), 存在车辆从车道 1 的第  $j-1$  格点转移到车道 2 的第  $j$  格点的现象 (即流量转移率  $s_{2,j}^{\text{in}} \neq 0$ ). 特别是在高密度拥挤交通情况下, 这种现象更加突出.

由上所述并借鉴文献 [12, 20] 的方法, 本文将流量转移率定义如下:

$$s_{1,j}^{\text{in}} = aQ_{e1}(\rho_j)\rho_{2,j-1}(1 - (\rho_{1,j}/\rho_{1\text{jam}})^\theta), \quad (13)$$

$$s_{1,j}^{\text{out}} = a[1 + b(Q_{e1}(\rho_{1,j}) - Q_{e2}(\rho_{2,j+1}))] \times Q_{e2}(\rho_{2,j+1})\rho_{1,j}(1 - (\rho_{2,j+1}/\rho_{2\text{jam}})^\phi), \quad (14)$$

$$s_{2,j}^{\text{in}} = aQ_{e2}(\rho_{2,j})\rho_{1,j-1}(1 - (\rho_{2,j}/\rho_{2\text{jam}})^\theta), \quad (15)$$

$$s_{2,j}^{\text{out}} = a[1 + b(Q_{e2}(\rho_{2,j}) - Q_{e1}(\rho_{1,j+1}))] \times Q_{e1}(\rho_{1,j+1})\rho_{2,j}(1 - (\rho_{1,j+1}/\rho_{1\text{jam}})^\phi), \quad (16)$$

式中  $Q_{ei}(\rho_{i,j})$  为均衡交通流量,  $Q_{ei}(\rho_{i,j}) = \rho_{i,j}u_{ei}(\rho_{i,j})$ ;  $\theta$  和  $\phi$  是表示流量转移程度的参数,  $0 \leq \theta \leq 1$ ,  $0 \leq \phi \leq 1$ , 具体取值依赖路况条件;  $a$  和  $b$  是常数.  $Q_{e1}(\rho_{1,j}) = Q_{e2}(\rho_{2,j+1})$ ,  $Q_{e2}(\rho_{2,j}) = Q_{e1}(\rho_{1,j+1})$  的特殊情况对应均衡换道规则, 而  $Q_{e1}(\rho_{1,j}) \neq Q_{e2}(\rho_{2,j+1})$ ,  $Q_{e2}(\rho_{2,j}) \neq Q_{e1}(\rho_{1,j+1})$  对应非均衡换道规则.

在实际交通中, 当  $\rho_{2,j} = \rho_{2\text{jam}}$  (车道 2 的第  $j$  格点处完全阻塞) 或者  $\rho_{1,j-1} = 0$  (车道 1 的第  $j-1$  格点处没有车辆) 时, 从车道 1 的第  $j-1$  格点处转移到车道 2 的第  $j$  格点处的流量转移率为零. 而且, 此时流量转移率明显依赖于当前车道的均衡速度. 这些特性可以在方程 (13) — (16) 中得到体现. 与文献 [18, 19] 相比, 我们采用的换道规则既克服了车流倒退现象, 又考虑了高密度交通换道的实际情况, 因此更符合拥挤状态下的交通实际.

### 3. 线性稳定性分析

下面对方程 (1) — (4) 的线性稳定性进行分析. 将方程 (2) 和 (4) 分别代入方程 (1) 和 (3) 可得

$$\partial_t \rho_{1,j}(t + \tau_1) + \rho_0^2(v_{1e}(\rho_{1,j+1}, \beta\rho_{2,j+1}) - v_{1e}(\rho_{1,j}, \beta\rho_{2,j})) = s_{1,j}, \quad (17)$$

$$\partial_t \rho_{2,j}(t + \tau_2) + \rho_0^2(v_{2e}(\rho_{2,j+1}, \beta\rho_{1,j+1}) - v_{2e}(\rho_{2,j}, \beta\rho_{1,j})) = s_{2,j}. \quad (18)$$

对于均匀交通流, 两车道的密度是常数, 分别用  $\rho_{10}$  和  $\rho_{20}$  表示, 即

$$\rho_{1,j} = \rho_{10},$$

$$\rho_{2,j} = \rho_{20},$$

$$v_{1,j} = v_{10} = v_{1e}(\rho_{10}, \beta\rho_{20}),$$

$$v_{2,j} = v_{20} = v_{2e}(\rho_{20}, \beta\rho_{10}).$$

设  $\xi_{1,j}$  和  $\xi_{2,j}$  是均匀交通流的小扰动, 即

$$\rho_{1,j} = \rho_{10} + \xi_{1,j},$$

$$\rho_{2,j} = \rho_{20} + \xi_{2,j}.$$

代入方程 (17) 和 (18) 可得

$$\partial_t \xi_{1,j}(t + \tau_1) + \rho_0^2 v'_{1e}(\rho_{10}, \beta\rho_{20}) \times (\xi_{1,j+1} - \xi_{1,j}) = s_{1,j}, \quad (19)$$

$$\partial_t \xi_{2,j}(t + \tau_2) + \rho_0^2 v'_{2e}(\rho_{20}, \beta\rho_{10}) \times (\xi_{2,j+1} - \xi_{2,j}) = s_{2,j}. \quad (20)$$

这里

$$v'_{1e} = \left. \frac{dv_{1e}}{d\rho_1} \right|_{\rho_1 = \rho_{10}},$$

$$v'_{2e} = \left. \frac{dv_{2e}}{d\rho_2} \right|_{\rho_2 = \rho_{20}}.$$

按照文献 [19] 的方法, 设  $s_{1,j} = s_{2,j} = 0$ , 同时设扰动  $\xi_{1,j}$  和  $\xi_{2,j}$  分别为

$$\xi_{1,j} = A_1 \exp(ik_1 j + z_1 t),$$

$$\xi_{2,j} = A_2 \exp(ik_2 j + z_2 t).$$

代入方程 (19) 和 (20) 并将  $\xi_{1,j}$  和  $\xi_{2,j}$  按傅里叶级数展开, 得到关于  $z_1$  和  $z_2$  的方程

$$z_1 \exp(z_1 \tau_1) + \rho_0^2 v'_{1e}(\rho_{10}, \beta\rho_{20}) \times (\exp(-ik_1) - 1) = 0, \quad (21)$$

$$z_2 \exp(z_2 \tau_2) + \rho_0^2 v'_{2e}(\rho_{20}, \beta\rho_{10}) \times (\exp(-ik_2) - 1) = 0. \quad (22)$$

将参数  $z_i$  展开为  $z_i = z_{i1}(ik_i) + z_{i2}(ik_i)^2 + \dots$ ,  $i = 1, 2$ , 代入方程 (21) 和 (22), 得到

$$z_{11} = -\rho_0^2 v'_{1e}(\rho_{10}, \beta\rho_{20}), \quad (23a)$$

$$z_{12} = - [1 + 2\rho_0^2 v'_{1e}(\rho_{10}, \beta\rho_{20})\tau_1] \rho_0^2 v'_{1e}(\rho_{10}, \beta\rho_{20})/2, \quad (23b)$$

$$z_{21} = - \rho_0^2 v'_{2e}(\rho_{20}, \beta\rho_{10}), \quad (24a)$$

$$z_{22} = - [1 + 2\rho_0^2 v'_{2e}(\rho_{20}, \beta\rho_{10})\tau_2] \rho_0^2 v'_{2e}(\rho_{20}, \beta\rho_{10})/2. \quad (24b)$$

当  $z_{i2} < 0$  时, 对于长波模式均匀分布的定态就是不稳定状态; 当  $z_{i2} > 0$  时, 均匀分布的定态就是稳定状态. 因此得到如下的稳定条件:

$$\rho_0^2 v'_{1e}(\rho_{10}, \beta\rho_{20})\tau_1 > -1/2, \quad (25a)$$

$$\rho_0^2 v'_{2e}(\rho_{20}, \beta\rho_{10})\tau_2 > -1/2. \quad (25b)$$

线性稳定与不稳定的临界条件为

$$\rho_0^2 v'_{1e}(\rho_{10}, \beta\rho_{20})\tau_1 = -1/2, \quad (26a)$$

$$\rho_0^2 v'_{2e}(\rho_{20}, \beta\rho_{10})\tau_2 = -1/2. \quad (26b)$$

从上述结果可以看出, 稳定条件与两车道密度有关.

上述线性稳定性分析是在假定没有换道的情况下进行的, 对于换道情形, 很难获得稳定条件的解析解, 需要借助数值模拟研究换道现象.

## 4. 数值模拟

下面采用 Herrmann 和 Kerner<sup>[21]</sup> 给出的扰动形式进行模拟.

$$\begin{aligned} \rho_i(x, 0) = & \rho_{i0} + \Delta\rho_{i0} \left\{ \cosh^{-2} \left[ \frac{160}{L} \left( x - \frac{5L}{16} \right) \right] \right. \\ & \left. - \frac{1}{4} \cosh^{-2} \left[ \frac{40}{L} \left( x - \frac{11L}{32} \right) \right] \right\} \\ & (i = 1, 2), \end{aligned} \quad (27)$$

式中  $\rho_{i0}$  为车道  $i$  的密度初始值,  $\Delta\rho_{i0}$  为车道  $i$  的扰动,  $L = 32.2$  km. 采用下列周期边界条件<sup>[19]</sup>:

$$\begin{aligned} \rho_i(L, t) = & \rho_i(0, t) \quad (i = 1, 2), \\ v_i(L, t) = & v_i(0, t) \quad (i = 1, 2). \end{aligned} \quad (28)$$

考虑耦合作用, 把  $\rho_i + \beta\rho_m$  代入文献[22]中的均衡速度函数, 得到如下耦合的均衡速度函数:

$$\begin{aligned} v_{ei} = & v_{i0} \left\{ \left( 1 + \exp \left[ \frac{(\rho_i + \beta\rho_m)/(\rho_{ijam} + \beta\rho_{mjam}) - 0.25}{0.06} \right] \right)^{-1} \right. \\ & \left. - 3.72 \times 10^{-6} \right\} \quad (i, m = 1, 2; i \neq m). \end{aligned} \quad (29)$$

初始条件为

$$\begin{aligned} v_1(x, 0) = & v_{1e}(\rho_1(x, 0) + \beta\rho_2(x, 0)), \\ v_2(x, 0) = & v_{2e}(\beta\rho_1(x, 0) + \rho_2(x, 0)). \end{aligned}$$

将整个路段分为 322 个格子, 其他参数取值如下<sup>[19, 23]</sup>:  $\beta = 0.1$ ,  $\Delta\rho_{10} = 0.008 \text{ m}^{-1}$ ,  $\Delta\rho_{20} = 0.01 \text{ m}^{-1}$ ,  $\Delta t = 1 \text{ s}$ ,  $v_{10} = 7.5 \text{ m/s}$ ,  $v_{20} = 6 \text{ m/s}$ ,  $\tau_1 = 7.5$

$\text{s}$ ,  $\tau_2 = 6 \text{ s}$ ,  $\rho_{1jam} = 0.15 \text{ m}^{-1}$ ,  $\rho_{2jam} = 0.2 \text{ m}^{-1}$ ,  $\rho_0 = 0.01 \text{ m}^{-1}$ ,  $\theta = \varphi = 1$ .

图2—图6是  $\rho_{10}$  和  $\rho_{20}$  取不同值的情况下流量转移率的时空演化图.

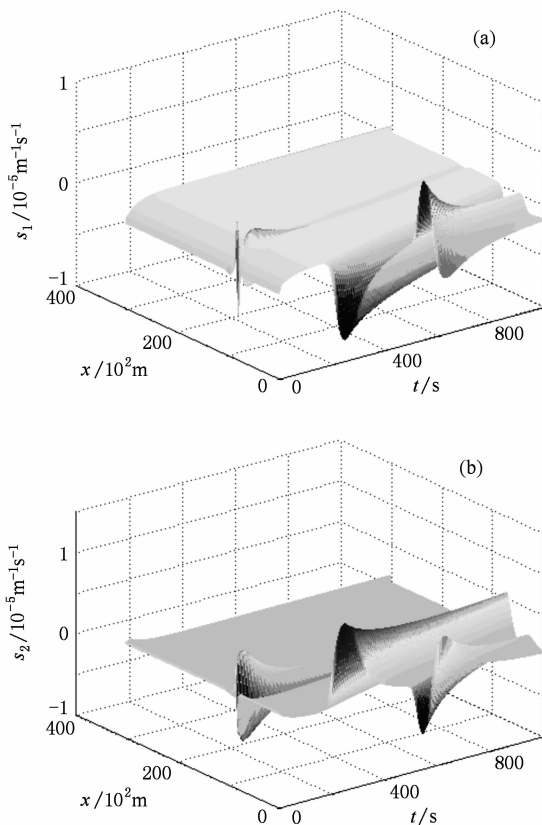


图2 当  $\rho_{10} = \rho_{20} = 0.03$  时流量转移率的时空演化图 (a) 车道1, (b) 车道2

从图2和图3可以看出, 10 m 处的扰动向后传播将引起振荡, 但随着密度的增加, 其后的扰动幅度降低. 在  $\rho_{10} = \rho_{20} = 0.05$  时,  $s_1$  为负,  $s_2$  为正, 表明在相近交通密度情况下, 快车道换道到慢车道的车辆要多, 以维持两车道平衡, 使扰动得到纾缓, 从而增强了两车道的稳定性.

由图4可以看出, 当  $\rho_{10} = 0.05$  不变, 而  $\rho_{20}$  继续增大到 0.065 时,  $s_1$  为正,  $s_2$  为负, 慢车道进入快车道的车辆比快车道进入慢车道的车辆要多. 通过换道, 基本消除了两车道扰动, 提高了两车道的稳定性. 同时, 开始一小段时间换道比较频繁, 通过一小段时间的调整后车流将趋于稳定. 而当快车道  $\rho_{10}$  下降到 0.03,  $\rho_{20}$  进一步增大到 0.085 时(如图5所示), 这种现象得到加强, 扰动得到有效消除.

从图6可以看出, 当  $\rho_{10}$  和  $\rho_{20}$  分别增大到 0.08

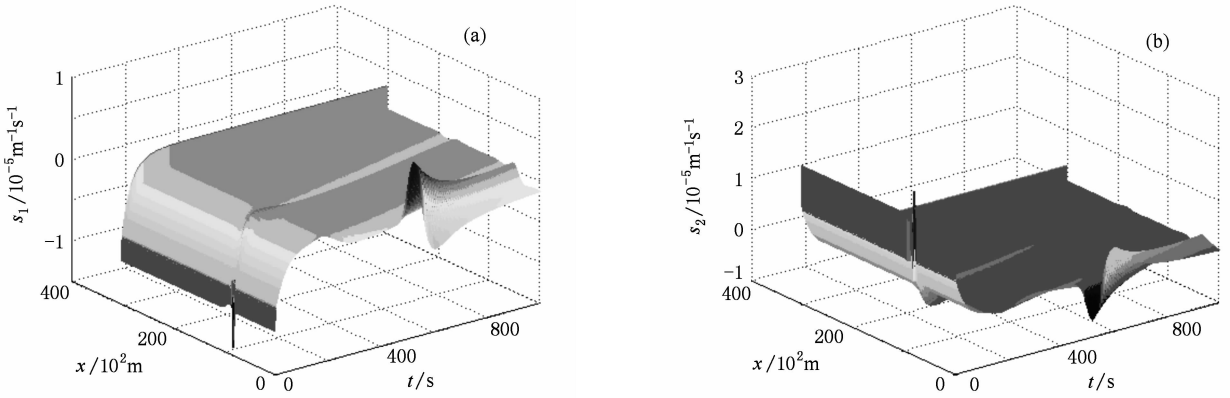


图3 当 $\rho_{10} = \rho_{20} = 0.05$ 时流量转移率的时空演化图 (a)车道1, (b)车道2

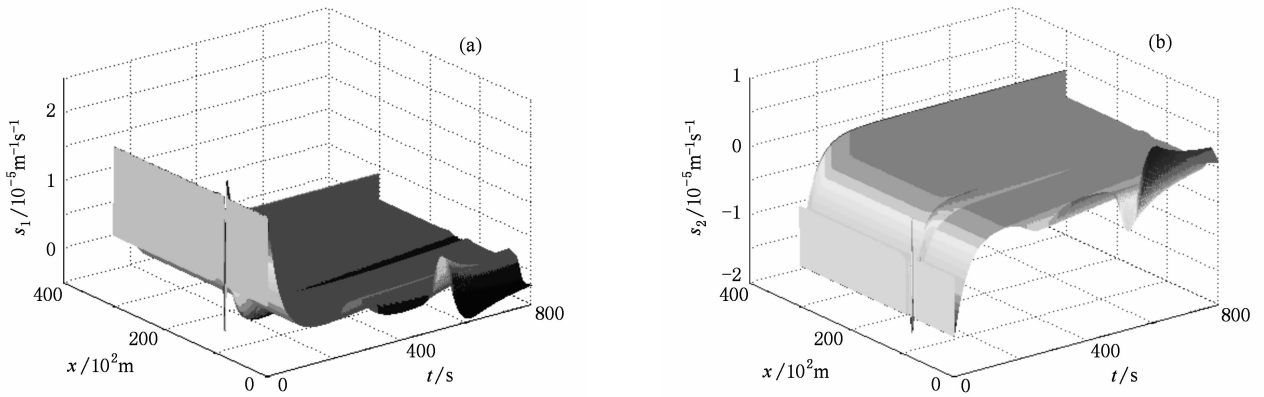


图4 当 $\rho_{10} = 0.5, \rho_{20} = 0.065$ 时流量转移率的时空演化图 (a)车道1, (b)车道2

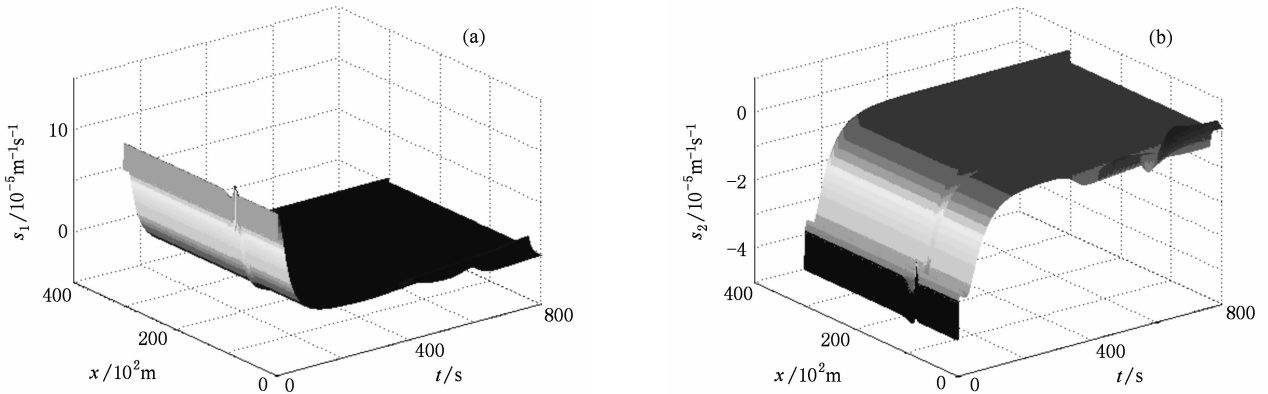


图5 当 $\rho_{10} = 0.03, \rho_{20} = 0.085$ 时流量转移率的时空演化图 (a)车道1, (b)车道2

和 0.1 时, 在初始时段换道非常频繁, 表明在高密度情况下两车道均容易出现频繁换道, 这与文献 [24, 25] 研究结果一致, 也符合高密度交通实际和驾驶员的心理状态. 在开始一段时间,  $s_1$  为正,

$s_2$  为负, 通过一段时间的频繁换道后逐渐趋于稳定.

综上所述可知, 通过换道后两车道密度不断调整并趋于接近, 从而提高了车流的稳定性.

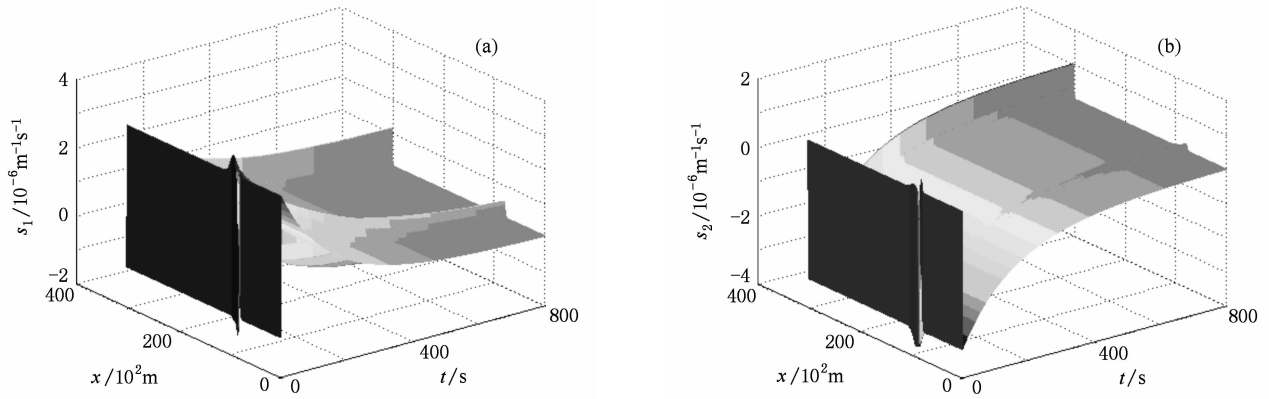


图 6 当  $\rho_{10} = 0.08, \rho_{20} = 0.1$  时流量转移率的时空演化图 (a) 车道 1, (b) 车道 2

## 5. 结 论

本文考虑两车道耦合作用, 提出了两车道交通

流耦合格子模型, 并改进流量转移函数, 更好地反映了高密度情况下的换道行为. 数值模拟结果表明, 在小扰动情况下所产生的车辆换道可有效提高交通流的稳定性, 更符合实际交通状况.

- [1] Lighthill M J, Whitham G B 1955 *Proc. Roy. Soc. A* **229** 317
- [2] Richards P I 1956 *Oper. Res.* **4** 42
- [3] Payne H J 1971 *Simul. Coun. Proc. Ser. Math. Syst.* **1** 51
- [4] Zhang H M 1998 *Transp. Res. B* **32** 485
- [5] Zhang H M 2002 *Transp. Res. B* **36** 275
- [6] Jiang R, Wu Q S 2002 *Transp. Res. B* **36** 405
- [7] Xue Y, Dai S Q 2003 *Phys. Rev. E* **68** 066123
- [8] Daganzo C F 1997 *Transp. Res. B* **31** 83
- [9] Tang T Q, Huang H J 2004 *Chin. Sci. Bull.* **49** 2097
- [10] Tang T Q, Huang H J 2005 *J. Beijing Univ. Aero. Astro.* **31** 1121
- [11] Huang H J, Tang T Q, Gao Z Y 2006 *Acta Mech. Sin.* **22** 132
- [12] Tang C F, Jiang R, Wu Q S 2007 *Chin. Phys.* **16** 1570
- [13] Peng G H, Sun D H, He H P 2009 *Chin. Phys. B* **18** 468
- [14] Sun D H, Peng G H 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3724
- [15] Nagatani T 1999 *Physica A* **264** 581
- [16] Xue Y 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 25 (in Chinese) [薛郁 2004 物理学报 **53** 25]
- [17] Ge H X, Dai S Q, Xue Y, Dong L Y 2005 *Phys. Rev. E* **71** 066119
- [18] Nagatani T 1999 *Physica A* **265** 297
- [19] Tang T Q, Huang H J, Xue Y 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4026 (in Chinese) [唐铁桥、黄海军、薛郁 2006 物理学报 **55** 4026]
- [20] Liu G Q, Lyrintzis A S, Michalopoulos P G 1996 *Appl. Math. Model* **20** 459
- [21] Herrmann M, Kerner B S 1998 *Physica A* **255** 163
- [22] Kerner B S, Konhauser P 1993 *Phys. Rev. E* **48** 2335
- [23] Feng S W 1998 *Ph. D. Dissertation* (Shanghai: Shanghai University) (in Chinese) [冯苏苇 1998 博士学位论文 (上海: 上海大学)]
- [24] Wager P, Nagel K, Wolf D E 1997 *Physica A* **234** 687
- [25] Knospe W, Santen L, Schadschneider A, Schreckenberg M 2002 *J. Phys. A* **35** 3369

# A coupling lattice model of traffic flow on two lanes and numerical simulation<sup>\*</sup>

Peng Guang-Han<sup>†</sup>

(*College of Physics and Electronic Science, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China*)

(Received 23 August 2009; revised manuscript received 27 November 2009)

## Abstract

An improved coupling lattice model of two-lane traffic flow is proposed by taking into account the effect of the two-lane coupling and lane changing. And the lane changing rate of traffic flow is modified. The analysis of the modified lane changing rate shows that it is in better accordance with the real traffic than the previous ones. The linear stability condition of the extended model is obtained by using the linear stability theory. Numerical simulation also shows that our model can better reproduce the lane changing of traffic flow than previous ones by considering the information of two-lane coupling interaction. And there is unavoidable effect on the two-lane traffic flow from the coupling effect between the two lanes.

**Keywords:** traffic flow, lattice model, two lanes, simulation

**PACC:** 0550, 0520, 6470

---

<sup>\*</sup> Project supported by the Natural Science Foundation of Hunan Province, China (Grant No. 07JJ6106), the Key Program of the Scientific Research Foundation of Hunan University of Arts and Science, China (Grant No. JJZD0902) and the Foundation of Priority Academic Discipline in the 11th Five-Year Plan of Hunan Province, China

<sup>†</sup> E-mail: pengguanghan@yahoo.com.cn