

## 一种新的多速度差交通流跟驰模型\*

## A New Multi-velocity Difference Car-following Model

莫业柳<sup>1</sup>, 时伟<sup>2,3</sup>, 薛郁<sup>1,3</sup>, 唐铁桥<sup>4</sup>MO Ye-liu<sup>1</sup>, SHI Wei<sup>2,3</sup>, XUE Yu<sup>1,3</sup>, TANG Tie-qiao<sup>4</sup>

(1. 广西大学物理科学与工程技术学院, 广西南宁 530004; 2. 梧州学院数理系, 广西梧州 543002; 3. 上海大学上海市应用数学与力学研究所, 上海 200072; 4. 北京航空航天大学汽车工程系, 北京 100083)

(1. College of Physical Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Institute of Mathematics and Physics, Wuzhou University, Wuzhou, Guangxi, 543002, China; 3. Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, Shanghai, 200072, China; 4. Department of Automobile Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 100083, China)

摘要: 从提高车流的稳定性和降低车流能耗的角度, 考虑多辆车相对速度的总体阻尼效应, 提出一种多重“向前看”多速度差交通流跟驰模型 (M RVOV 模型), 并将该模型与几种典型的跟驰模型的稳定性及能耗进行比较。结果表明在充分利用前方车辆运动信息的情况下, M RVOV 模型能较好的反映现实交通的跟驰效应, 仅仅考虑前方较少车辆对当前车的影响, 就可以增强车流的稳定性, 降低资源浪费, 减少对周围环境的污染。

关键词: 跟驰模型 多速度差 交通流 稳定性 能耗

中图分类号: O414 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2008)04-0389-07

**Abstract** We take the relation between energy consumption and stability in the several typical traffic models such as the many neighbors interaction models (with multi-weight or multi-velocity difference) and the OV model with relative velocity into account. The energy consumption and stability in different traffic model are calculated and compared. The results show that the more stable traffic flow, the less energy consumption is. An extended multiple “look-ahead” model is presented considering multiple velocity difference ahead with non-local effect. The effect of velocity difference in car follow has been discussed by improving stability, reducing energy consumption and environment pollution.

**Key words** car-following model, multiple velocity difference, traffic flow, stability, energy consumption

交通拥堵引起车辆频繁减速和加速, 不仅使交通运输效率下降, 还额外消耗大量能源, 使得废气排放剧增<sup>[1]</sup>。随着社会经济的发展, 城市生态环境的保护, 车辆的能源消耗和废气排放已经是个不容忽视的问题。近年来, 人们为了缓解交通拥堵, 对交通流模型进行了一系列的研究<sup>[2-12]</sup>。1995年 Bando 等<sup>[5]</sup>

提出典型的优化速度模型 (OV 模型), 在 OV 模型的基础上人们考虑各种因素提出了许多改进的跟驰模型。其中, 针对前方各车的优化速度对当前车影响的总体效应, Wilson 等<sup>[6]</sup>提出一种多重“向前看”的跟驰模型 (MWOVI), 该模型以对前方任意  $n$  辆车的优化速度的不同期望, 从而决定自身车辆的加速度。在 Lenz 等<sup>[8,9]</sup>的优化速度模型的基础上, Wilson 等<sup>[6]</sup>提出了另一个多重“向前看”的跟驰模型 (MWOVII), 与 MWOVI 模型相比, 该模型把前方第  $l$  辆车的车间距和除以  $l$  作为前方第  $l$  辆车对当前车的不同车距作用。文献 [11] 考虑前后车辆速度差 (相对速度) 对当前车的影响提出一个 RVOV 模型,

收稿日期: 2007-12-28

修回日期: 2008-03-24

作者简介: 莫业柳 (1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事交通科学研究。

\* 国家自然科学基金项目 (No. 1036200 和 No. 10532060) 和国家重点基础研究发展计划 (No. 2006CB705500) 及广西“新世纪十百千人才工程”专项资金 (No. 2005205) 资助。

该模型的稳定性优于 OV 模型 Wilson 等提出的多重“向前看”跟驰模型稳定性好,可以减小 OV 模型固有的大幅加速度的缺陷和负速度现象,避免了 OV 模型在小敏感度时引起的撞车事故<sup>[6]</sup>。然而,对 Wilson 等的多重“向前看”优化速度模型,主要通过对方车辆的车距变化进行预计,现实中驾驶员还会因为前方车辆速度改变而做出加速或减速的驾驶行为,即使这时候两车之间的距离很大<sup>[1]</sup>。也就是说,车辆在行驶中不仅与车间距有关,还受到相对速度的影响<sup>[13]</sup>。OV 模型 MWOV I 模型 MWOV II 模型和 RV OV 模型在稳定性条件不满足时,都将出现 mKdV 方程<sup>[6-9]</sup>描述的扭结-反扭结密度波,车流呈现时停时走现象。

本文从提高车流的稳定性和降低车流能耗的角度,提出一种新的多重“向前看”多速度差跟驰模型 (MRVOV),并和 OV 模型、MWOV I 模型、MWOV II 模型和 RVOV 模型等几种交通流模型的稳定性与车流能耗的关系进行系统地分析、比较,希望能为寻求低能耗的交通流模型提供一定的理论依据

## 1 MRVOV模型

### 1.1 MRVOV模型

在 MWOV I 模型<sup>[6]</sup>基础上,我们考虑多辆车速度差对优化速度的阻尼效应,得到合作驾驶模型为

$$\ddot{x}_j(t) = a \left[ \sum_{l=1}^n V_l V(\Delta x_{j+l-1}(t)) - \dot{x}_j(t) \right] + \sum_{l=1}^n \Delta v_{j+l-1}, \quad (1)$$

其中  $x_j, v_j$  分别表示第  $j$  辆车的位置和速度,  $\Delta x_{j+l-1} = x_{j+l-1}(t) - x_j(t)$  为  $t$  时刻当前车与前方最近邻车之间的间距,  $a$  为驾驶员的敏感系数,  $a = 1/f$ ,  $f$  为车辆达到优化状态的弛豫时间。对前方第  $l$  辆车优化速度的不同作用由权重  $V_l$  来反映,我们选取的权重  $V_l^{[10]}$  为: 当  $n > 1$  时,  $V_l = \frac{m-1}{(m)^l}, l \neq n; V_l = \frac{1}{(m)^{n-1}}, l = n, m \geq 3(m \text{ 取整数})$  在模型 (1) 中,可以获取前方  $n$  辆车的信息,这些信息包括车间距,相对速度等等,其中  $\sum_{l=1}^n \Delta v_{j+l-1}$  是考虑前方多辆车速度差的总体阻尼效应后的形式,  $\underline{\quad}$  表示对相对运动速度  $\Delta v_{j+l-1}$  刺激的敏感系数,  $\underline{\quad} = a\lambda, \lambda$  为相对运动的强度系数

为了反映现实交通的复杂性,强度系数  $\lambda$  通常与速度和车间距等因素有关<sup>[14]</sup>,我们考虑多辆车相对速度的总体阻尼效应后,得到 MRVOV 模型为

$$\ddot{x}_j(t) = a \left[ \sum_{l=1}^n V_l V(\Delta x_{j+l-1}(t)) - \dot{x}_j(t) \right] + \sum_{l=1}^n \frac{(v_{j+l-1}(t))^2}{(\Delta x_{j+l-1}(t))^d} \Delta v_{j+l-1}, \quad (2)$$

其中常数  $Z$  和  $d$  需要与实测数据对比后确定。对于相对速度在交通中的作用前人做了许多讨论<sup>[14-18]</sup>,其中 Gazis 等<sup>[14]</sup>对参数  $Z$  和  $d$  取整数的情况做了系统地分析, A. D. May 等<sup>[15]</sup>根据实际交通的基本图对参数辨识后确定  $Z = 0.8$  和  $d = 2.8$ 。然而文献 [14, 15] 研究的模型认为车辆在行驶中只受到相对速度的影响,与其他因素(如车间距等)无关,这显然不符合实际交通。而 MRVOV 模型考虑了多辆车相对速度的总体阻尼效应,更加能够反映车辆在实际行驶中的跟驰效应。

### 1.2 MRVOV模型稳定性条件

MRVOV 模型一般的定态解可以描述为均匀分布的交通状态  $x_j^0(t) = hj + V(h)t$  和  $h = L/N$ , 其中  $N$  是车辆总数,  $L$  表示路段长度。假设  $y_j(t)$  是加在定态上的小扰动  $x_j(t) = x_j^0 + y_j(t)$ , 将  $x_j(t) = x_j^0 + y_j(t)$  带入模型 (2) 可得

$$\frac{d^2 y_j(t)}{dt^2} = a \left[ V'(h) \sum_{l=1}^n V_l \Delta y_{j+l-1} + \sum_{l=1}^n \frac{V_l^2(h)}{h^d} \frac{d \Delta y_{j+l-1}}{dt} \right] \quad (3)$$

考虑长波模式并取其中的单色波分量  $y_j(t) = C \exp(ikj + zt)$ , 代入 (3) 式得

$$z^2 + az - az \frac{V_l^2(h)}{h^d} \sum_{l=1}^n (e^{ikl} - e^{ik(l-1)}) - aV'(h) \sum_{l=1}^n V_l (e^{ikl} - e^{ik(l-1)}) = 0, \quad (4)$$

利用  $z = z_1(ik) + z_2(ik)^2 + \dots$  代入 (4) 式并保留至  $k^2$  项后得到稳定性判据

$$z_1 = V'(h) - V'^2(h) - az_2 + an \frac{(V(h))^2}{h^d} V'(h) + aV'(h) \sum_{l=1}^n V_l \frac{1-z_2}{2} = 0,$$

于是 MRVOV 模型的稳定性条件为

$$\frac{V'(h)}{a} \sum_{l=1}^n V_l \frac{2l-1}{2} + n \frac{(V(h))^2}{h^d}, \quad (5)$$

其中参数  $Z$  和  $d$  采用文献 [15] 确定的值  $Z = 0.8$  和  $d = 2.8$

## 2 数值模拟和分析

在计算机模拟时,在初始时刻将  $N = 100$  辆车以  $\tanh(h)$  的平均速度均匀地分布在长度为  $L = 200$

的单车道上,  $h$  是平均车间距, 最大速度  $V_{max} = 2.0$ , 安全车间距  $h_c$  为 2.0, 周期性边界条件, 计算步长取 0.01 我们从车间距敏感系数、车流扰动的衰减和能耗 3 个方面将 MRVOV 模型与其他模型进行比较分析, 以说明其稳定性。

### 2.1 临界敏感系数

根据 MWOVI 模型、MWOVII 模型和 MRVOV 模型的稳定性条件, 分别求出考虑前方 3 辆车 ( $n=3$ ) 和多辆车 ( $n=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ) 情况下, 在选取不同权重参数  $m$  时的临界敏感系数  $a_c$  (表 1 和表 2), 其中最大速度  $V_{max} = 2.0$ , 安全距离  $h = 2.0$ 。OV 模型、MWOVI 模型、MWOVII 模型、RV OV 模型和 MRVOV 模型在不同条件下的临界敏感系数  $a_c$  见表 3。

表 1 各模型分别在不同权重参数 ( $m$ ) 时的临界敏感系数  $a_c$  ( $n=3$ )

Table 1 Critical sensitivity for various models separately in different weight parameter ( $n=3$ )

模型 Model	$m=3$	$m=4$	$m=7$	$m=10$
MWOVI	1.0588	1.2308	1.5077	1.6393
MWOVII	1.3846	1.5238	1.7193	1.8018
MRVOV	0.7338	0.8125	0.9246	0.9725

表 2 各模型分别在考虑前方不同车辆数 ( $n$ ) 时的临界敏感系数  $a_c$  ( $m=3$ )

Table 2 Critical sensitivity for various models separately in considering different number of vehicles ( $m=3$ )

模型 Model	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$
MWOVI	2.0000	1.2000	1.0588	1.0189	1.0062	1.0021
MWOVII	2.0000	1.5000	1.3846	1.3500	1.3388	1.3352
MRVOV	1.5639	0.8991	0.7338	0.6497	0.5914	0.5451

表 3 各模型分别在不同条件下的临界敏感系数  $a_c$

Table 3 Critical sensitivity  $a_c$  for various models separately in different conditions

模型 Model	临界敏感系数 Critical sensitivity
OV	2.0000
RV OV	1.5385
MWOVII ( $n=3, m=3$ )	1.3846
MWOVI ( $n=3, m=3$ )	1.0588
MRVOV ( $n=2, m=3$ )	0.8991

### 2.2 车间距敏感系数的影响

在图 1 中, 中性稳定曲线上方属于稳定区域, 初始分布均匀的车流即使受到扰动也能够恢复到平稳的状态; 在中性稳定曲线下属于不稳定区域, 初始分布均匀的车流受到扰动引起交通拥堵, 呈现时停时走交通。圆圈用来标志每条中性稳定曲线的临界点 ( $a_c, h_c$ )。从图 1 中可以看出, 这种多重“向前看”模

型在考虑前方 3 辆车 ( $n=3$ ) 对当前车影响的前提下, 车流的稳定区域受权重的限制。随着参数  $m$  的减小, 不稳定区域逐渐缩小, 临界点也一直下降, 车流呈现较强的稳定性。由表 1 知道 MWOVI 模型当  $m$  分别取 10, 7, 4, 3 时, 临界敏感系数逐渐减小, MWOVII 模型和 MRVOV 模型也表现出相同的特点。权重参数  $m=3$  时, 3 种模型的不稳定区域收缩趋于不变, 而且临界敏感系数达到最小值, 从稳定性的角度来看在考虑多重“向前看”的模型中权重参数  $m=3$  属于较稳定的情况。

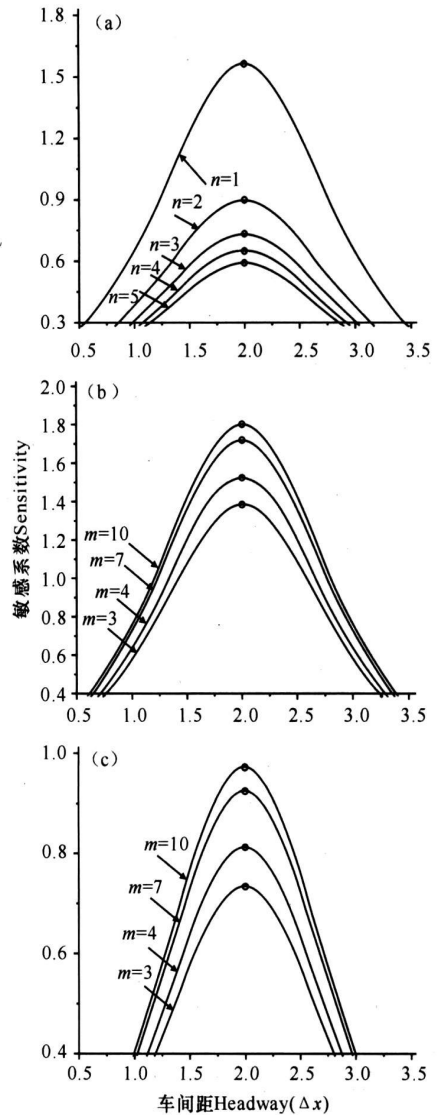


图 1 中性稳定曲线 ( $n=3; m=3, 4, 7, 10$ )

Fig. 1 Neutral stable curve ( $n=3; m=3, 4, 7, 10$ )

(a) MWOVI ; (b) MWOVII ; (c) MRVOV.

为了反映前方多辆车的总体作用效应, 图 2 给出 3 种多重“向前看”模型在考虑前方不同车辆数对当前车影响时的中性稳定曲线。可以看到这 3 种模型中, 稳定区域随着考虑的前方车辆数  $n$  的增加逐渐

扩大,这一点在 MRVOV 模型表现的尤为突出,这意味着顾及前方多辆车运动中的信息有助于加强车流的稳定性。值得注意的是在图 2(a)和 (b)中  $n=3, 4, 5$  三种情况下的中性稳定曲线是很接近的,不稳定区域收缩变化很小,这一点可以从表 2 中的数据直接看出来, MW OVI 模型对应的临界敏感系数彼此相差最大数值才 0.053; MW OVII 模型的临界敏感系数相差最大数值也只有 0.046。这说明这两种多重“向前看”模型中前 3 辆车对当前车的影响是最显著的,考虑前方更多车辆对整个车流的稳定性的影响已经微乎其微。联系图 1 的结果可以知道 MW OVI 模型和 MW OVII 模型在权重参数  $m=1$  时非稳定区域最小。所以当选定权重参数  $m=3$  后,只考虑前方 3 辆车 ( $n=3$ ) 对当前车的影响,车流就能够达到很好的稳定性。

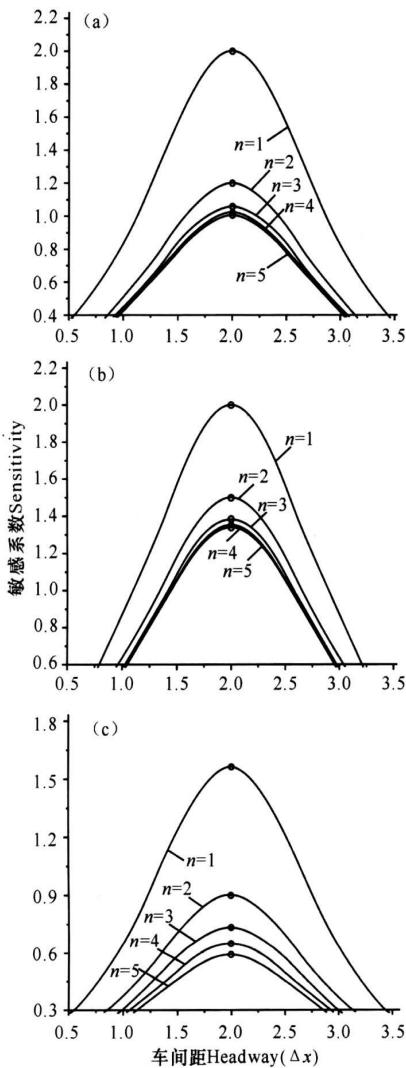


图 2 中性稳定曲线 ( $m=3; n=1, 2, 3, 4, 5$ )

Fig. 2 Neutral stable curve ( $m=3; n=1, 2, 3, 4, 5$ )

(a) MW OVI ; (b) MW OVII ; (c) MRVOV

在选定参数 ( $m=3$ ) 后, MRVOV 模型随着考虑前方车辆数  $n$  的增加稳定性逐步提高,由表 2 看到当  $n=4$  以后,临界敏感系数的差异才逐步缩小。与前面两种合作驾驶模型比较起来,为了获得更加稳定的交通流动,实际驾驶必须顾及前方更多车辆的信息,而且要对每辆车的车间距,相对速度等等做出准确的估计,这肯定给每辆车带来“超重”的负担。然而, MRVOV 模型  $m=3, n=2$  时对应的临界敏感系数 (0.8991) 比 MW OVI 模型和 MW OVII 模型对应的敏感系数 (分别为 1.0588, 1.3846) 都小 (见表 3)。这说明在 MRVOV 模型中,仅仅考虑前方 2 辆车信息时,就可以获得稳定性优于考虑前方任意车辆的两种多重“向前看”跟驰模型的稳定性,从图 3 给出的中性稳定曲线也可以看出, MRVOV 模型 ( $m=3, n=2$ ) 中性稳定曲线上方的稳定区间明显比其他情况都大。另外从图 3 可以看出在跟车模型中,从考虑前面最近邻车间距的 OV 模型,到线性化的引入单辆车相对速度阻尼效应的 RVOV 模型,到考虑前方多辆车整体效应的跟驰模型 (MW OVI 模型和 MW OVII 模型),以及在此基础上非线性的考虑非局域多速度差阻尼效应的 MRVOV 模型,交通流的稳定性逐步地提高。

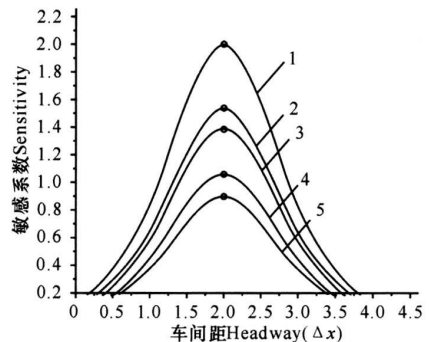


图 3 不同模型的稳定性比较

Fig. 3 Comparison of stability for different model

1. OV; 2. RVOV; 3. MW OVI ( $n=m=3$ );
4. MW OVII ( $n=m=3$ ); 5. MRVOV ( $n=2, m=3$ )

### 2.3 车流扰动的影响

从图 4 中可以看到车流由于扰动引起的速度波动向后传播,随着时间的传输,波动的幅度逐渐减小,每辆车的速度在平均速度上下起伏,经过若干次波动后才平稳下来。其中 OV 模型的速度波动的幅度要比其它 4 种情况稍大,随着时间的演化,这种速度波动在衰减,但是每个模型速度波动幅度减弱的速率并不一样。OV 模型的速度波动幅度减小得最慢, RVOV 模型相对于 MW OVI 模型较慢。而

MWOVI 模型和 MRVOV 模型中加入均匀车流的扰动很快就消散掉了。这是由于 OV 模型的稳定性比其它 4 种情况弱很多,造成速度波动大,衰减较慢;而其它 4 种情况的稳定性都已经很好而且相差不多。

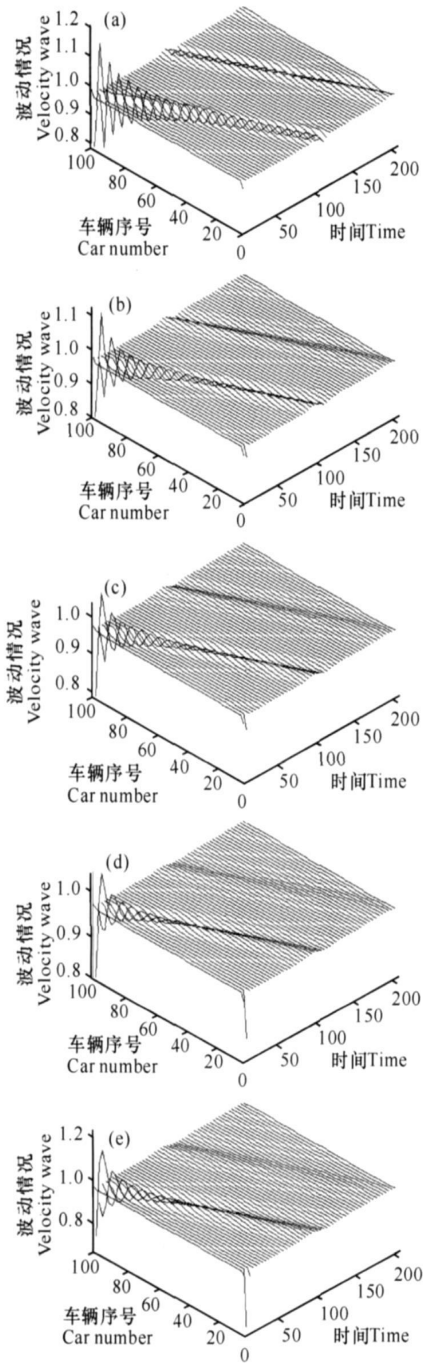


图 4 均匀车流加入扰动后各车速度波动情况 ( $\alpha = 2.5$ )

Fig. 4 Wave pattern with disturbance in initial uniform flow for different model ( $\alpha = 2.5$ )

(a) OV; (b) RVOV; (c) MWOVII ( $m = n = 3$ ); (d) MWVOI ( $n = m = 3$ ); (e) MRVOV ( $m = 3, n = 2$ )

## 2.4 能耗的影响

根据车流附加能耗公式<sup>[3]</sup>,在考虑前方 3 辆车对

当前车的影响 ( $n = 3$ ) 时,从图 5 的能耗曲线可以看出敏感系数愈大,能耗愈低。这是因为敏感系数增大,车辆反应时间缩短,对车流的小扰动很快做出反应,降低了车辆速度的振荡,多余的附加能耗就减小。相反当敏感系数很小时,车辆反应时间增大,对车流受到的扰动来不及反应,使得车辆行驶时快时慢,车流呈现时停时走的交通拥堵现象,在这种情况下,车辆速度的振荡周期较长,车流不可能恢复均匀分布的状态,这样使得车流能耗急剧增长<sup>[3]</sup>,在临界敏感系数处发散,如图 5(a) 中取  $m = 3$  对应的能耗曲线在临界敏感系数  $\alpha = 1.0588$  处发散。另外  $m = 7$  对应的能耗曲线在任何敏感系数下比  $m = 10$  对应的能耗曲线都低,而且随着  $m$  数值的减小能耗曲线一直下跌,当  $m = 3$  时能耗曲线跌至最低。从能耗角度来看,在多重“向前看”模型中,权重参数取  $m = 3$  时更具有优越性。

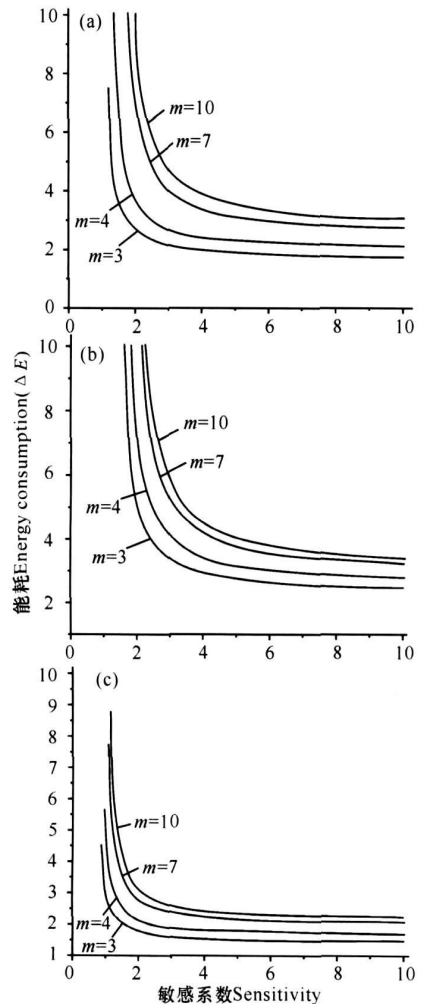


图 5 附加能耗曲线 ( $n = 3; m = 3, 4, 7, 10$ )

Fig. 5 Additional consumption curve ( $n = 3; m = 3, 4, 7, 10$ )

(a) MWVOI; (b) MWOVII; (c) MRVOV.

为进一步说明车流行驶的稳定性与能耗的对应关系,图6给出了 MW OVI 模型、MW OVI I 模型和 MR V OV 模型分别考虑前方不同车辆数  $n$  对当前车的影响时的能耗曲线,这里选定权重参数  $m=3$ 。3个模型都展现出相同的特征,每条能耗曲线都在各自对应的临界点处发散;随着考虑的前方不同车辆数  $n$  的增加,系统的能耗也随之下降。这说明稳定流畅的驾驶状态可以减少车流能耗。值得注意的是在 MW OVI 模型和 MW OVI I 模型中  $n=3, 4, 5$  这三种情形下的能耗曲线接近重合,这意味着在这两种模型中为了减少车流的能耗,仅仅考虑前方 3 辆车的信息就可以了,在此基础上扩大参考范围对整个车流能耗的影响并不明显,这与前面稳定性分析得出的结论一致。可见在这种多重“向前看”模型中,选取不同形式的权重可以提高车流稳定性,降低能耗。在权重参数  $m=3$  时能耗可以降到最低点;当选定权重

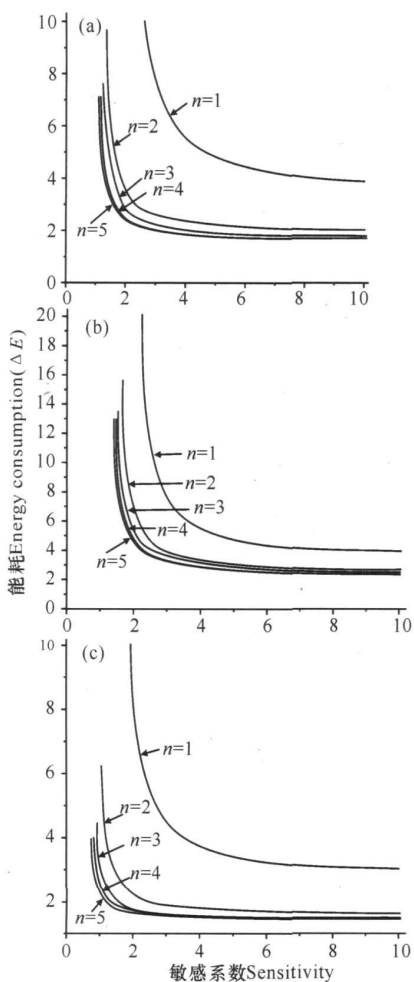


图6 附加能耗曲线 ( $m=3, n=1, 2, 3, 4, 5$ )

Fig. 6 Additional consumption curve ( $m=3, n=1, 2, 3, 4, 5$ )

(a) MW OVI ; (b) MW OVI I ; (c) MR V OV

参数 ( $m=3$ )并考虑前方 3 辆车 ( $n=3$ )影响时,就可以提高车流的稳定性,降低资源浪费,减少对周围环境的污染。

从图7可以明显看出各能耗曲线在临界敏感系数处发散。MR V OV 模型 ( $m=3, n=2$ )的能耗曲线在任何敏感系数下总是比其他情况的能耗曲线低。从前面分析已经知道 MW OVI 模型和 MW OVI I 模型当  $n=m=3$  时车流的能耗达到最低的水平,这里却反映出在 MR V OV 模型中,仅仅考虑前方两辆车的信息就可以获得比其它两种多重“向前看”模型中考虑前方任意多辆车时更低的能耗,这一点与前面稳定性分析的结论也是一致的。可见在 MR V OV 模型中,只需要考虑前方较少车辆对当前车的影响就可以获得非常稳定的车流,而且能源消耗和交通污染都降到很低的程度。另外从图7可以看出在各种跟车模型中,从考虑单一车辆的车间距,逐步引入相对速度阻尼因素,前方多辆车对当前车影响的总体效应,以及非局域多速度差效应后,车流的能源消耗也逐步的降低。类似的结论在图3中也得到反映,从而说明不同模型的稳定性和能耗之间也遵循这样一条规律,车流越稳定,车流的能源消耗越低。

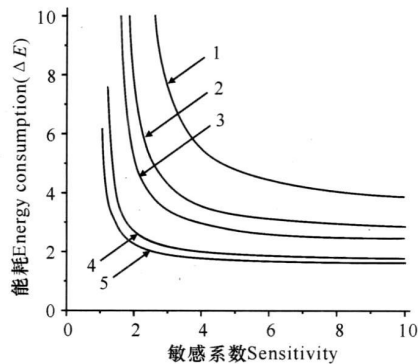


图7 不同模型附加能耗曲线比较

Fig. 7 Comparison of additional consumption curve for different model

1. OV; 2. RV OV; 3. MW OVI I ( $n=m=3$ ); 4. MW OVI ( $n=m=3$ ); 5. MR V OV ( $n=2, m=3$ )

### 3 结束语

本文从提高车流的稳定性和降低车流能耗的角度,提出一种新的 MR V OV 模型,并将该模型与 VO 模型、MW OVI 模型、MW OVI I 模型、RV OV 模型的稳定性以及附加能耗进行系统地分析、比较。结果表明 MR V OV 模型行车越稳定,道路越畅通,车流能耗就越低,排放的废气就减少,这符合实际畅行交通的情况。在充分利用前方车辆运动信息的情况下,

我们提出的 MRVOV 模型能较好的反映现实交通的跟驰效应,仅仅考虑前方较少车辆对当前车的影响,就可以增强车流的稳定性,降低资源浪费,减少对周围环境的污染。

参考文献:

[1] 戴世强.科学引路,畅通有日——交通科学与交通工程浅析 [N].科学时报,2005-05-25(A4).

[2] Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems[J]. Rev Mod Phys, 2001, 73: 1067-1141.

[3] Nakayama A, Sugiyama Y, Hasebe K. Effect of looking at the car that follows in an optimal velocity model of traffic flow [J]. Phys Rev E, 2002, 65: 1-6.

[4] 王涛,高志友,赵小梅.多速度差模型及稳定性分析 [J].物理学报,2006, 55: 634-640.

[5] Bando M, Hasebe K, Nakayama A, et al. Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation [J]. Phys Rev E, 1995, 51: 1035.

[6] Wilson R E, Berg P, Hooper S, et al. Many-neighbour interaction and non-locality in traffic models [J]. Eur Phys J B, 2004, 39: 397-408.

[7] Ge H X, Dai S Q, Dong L Y, et al. Stabilization effect of traffic flow in an extended car-following model based on an intelligent transportation system application [J]. Phys Rev E, 2004, 70: 1-6.

[8] Lenz H, Wagner C K, Sollacher R. Multi-anticipative car-following model [J]. Eur Phys J B, 1999, 7: 331.

[9] Wagner C. Asymptotic solutions for a multi-anticipative car-following model [J]. Physica A, 1998, 260: 218.

[10] Shi Wei, Xue Yu. Study on stability and energy consumption in typical car-following models [J]. Physica A, 2007, 381: 399.

[11] 薛郁,董力耘,袁以武,等.考虑车辆相对运动速度的交通流演化过程的数值模拟 [J].物理学报,2002, 51(3): 492-495.

[12] Herman R, Montroll E W, Potts R B, et al. Traffic dynamics: analysis of stability in car following [J]. Oper Res, 1959, 7: 86-106.

[13] Chowdhury D, Santen L, Schadschneider A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems [J]. Phys Rep, 2000, 329: 199.

[14] Gazis D C, Herman R, Rothery R W. Nonlinear follow-the-leader models of traffic flow [J]. Oper Res, 1961, 9: 545.

[15] May A D Jr, Keller H E M. A deterministic queuing model [J]. Highw Res Rec, 1967, 199: 19.

[16] Hoefs D H. Investigation of vehicle driving in columns [R]. Bonn-Bad Godesberg: Federal Ministry for Transport, Roads Department, 1972.

[17] Kühn R D, Ridiger M B. Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference [C] // Society for Computer Simulation International, Phoenix AZ 1991.

[18] Kühn R D, Kroen A. International conference on artificial intelligence applications in transportation Engineering [C]. San Buenaventura CA 1992.

(责任编辑: 韦廷宗)

## 德国科学家发现贝壳能产生新型胶状物

德国科学家最近研究发现,贝壳能产生一种能紧紧粘在金属和石头上的粘附剂,即使在水中也是如此,而且胶状物的粘度都非常强。这些贝类就像儿童玩具一样,产生的聚合物不会造成自然界的二次污染。

贝类生命力很强,当它们定居在海岸附近的海底时,海浪会来回地冲击它们。为了不被波浪冲走,这些贝类就使用特殊蛋白质来将自己紧紧地粘在其他物体上。在分泌的过程中,这些特殊的蛋白质就形成了这种新型胶状聚合物。科学家研究发现,这种新型胶状物携带有氨基酸二羟苯丙氨酸(别名:多巴),有了多巴这些贝类就能紧紧地粘在水底的其他物体上。现在科学家们已经能够人工合成粘性贝类蛋白质聚合物,作为粘合剂来黏合木材,玻璃或骨骼。科学家已经通过实验找出来方法来把一层该聚合物铺在钛表面,把这个钛尖端放到原子显微镜下,他们就能看到该聚合物的一条链,就像一个人能用手指把螺丝从桌子上捡起来。然后他们把钛尖端从边面分离,并且测量所需的力度。他们测量得到将钛表面和聚合物的多巴分离开所需的力度为67皮牛顿。这种聚合物本身就像一个松弹簧,在下一个连接点断开之前力度几乎保持不变。现在,科学家们想要把这个实验的发现运用到生产粘合各种物质的聚合物。这样,我们的日常生活将会发生巨大的变化。

(据科学网)