

# 视距和潜意识行为对行人交通流的影响\*

## Effects of Sight Distance and Subconscious Behavior on Pedestrians in Counter Flow

岑华舵, 薛 郁

CEN Hua-duo, XUE Yu

(广西大学物理科学与工程技术学院, 广西南宁 530004)

(College of Physical Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**摘要:**在行人交通流格子气模型的基础上,考虑行人视距和潜意识行为提出了视距和潜意识行为作用的行人流格子气模型,并进行计算机数值模拟.结果表明,在行人交通中,潜意识和视距对行人交通的影响非常重要,尤其是视距对行人交通的影响更为明显.考虑行人视距的作用可以较大幅度的提高行人的平均速度,考虑潜意识的作用在一定程度上可以有效缓解堵塞的发生,同时考虑潜意识和行人视距的作用,不仅可以提高行人的平均速度,也可以有效的缓解堵塞现象.

**关键词:**格子气 双向行人流 潜意识 视距

中图分类号:O414 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2012)04-0332-05

**Abstract:** Based on Pedestrian Flow Lattice Gas Model, and taking into account the pedestrian sight distance and subconscious behavior, the thesis puts forward the Pedestrian Flow Lattice Gas Model, which refers to the roles of sight distance and subconscious behaviors. As the Computer numerical simulation shown, the sight distance and subconscious behaviors play important roles in the pedestrian flow, in which sight distance have a more obvious effect. The numerical simulations on considering sight distance or subconscious behaviors alone as well as considering sight distance and subconscious behaviors at the same time show that sight distance can relatively substantially improve the average speed of pedestrians, and subconscious behaviors, to a certain degree, can effectively relieve the congestion. If we take into account the sight distance along with subconscious behaviors, not only the average speed of pedestrians can be improved, but also the congestion can be effectively relieved.

**Key words:** Lattice Gas Model, counter flow, subconsciousness, sight distance

在过去几十年里,交通问题严重制约社会经济的发展,引起专家、学者的广泛关注<sup>[1~3]</sup>.随着城市化进程的发展,人们越来越多地在广场及其它公共场所聚集.如何避免紧急突发事件中意外事故的发生以及行人或人群的疏散问题引起了人们的广泛关注.由多个相互作用的个体构成的多体复杂系统的行人流,其动

力学行为与车辆交通流具有一定的相似性,但是在很多方面不同.行人流的个体具有主观能动性,人的视野搜索、响应、判断、思考使得在出行的过程中,呈现出许多有趣的物理现象,如自组织现象、成行、噪声诱导有序现象与“加热而冻结”现象<sup>[4]</sup>、“快即是慢”效应<sup>[5]</sup>、聚集行为<sup>[5]</sup>等.在通道、交叉路口、商场、广场及其它公共场所的设计过程中,行人交通问题是必须考虑的重要因素之一<sup>[6]</sup>.因此,为了避免不必要事故的发生,特别是在行人出行的高峰期和突发事件发生时,有必要研究行人交通的动力学行为.

许多学者提出了研究行人交通的理论模型. Muramatsu 等<sup>[7]</sup>提出偏向随机行走格子气模型,研究大厅<sup>[8]</sup>、瓶颈通道<sup>[9]</sup>和 T 形通道<sup>[10]</sup>等不同通道结构对

收稿日期:2012-04-01

修回日期:2012-07-06

作者简介:岑华舵(1985-),男,硕士研究生,主要从事计算物理在交通中的应用研究.

\*国家自然科学基金(批准号:10865001和11047003)、广西壮族自治区“十百千人才工程”专项基金(批准号:2005205)和广西壮族自治区研究生创新基础(批准号:105930903077)课题资助。

人员疏散的影响,并得出了在不同条件下发生相变的密度阈值;Burstedde 等<sup>[11]</sup>提出“背景场”的概念,建立了二维元胞自动机行人流模型,模拟房间内行人的疏散及双向行人流的流动过程,发现了行人“成行”现象;Helbing 等<sup>[12]</sup>把促使行人在运动过程中改变运动状态的各种因素统称为“社会力”,提出“社会力”模型,并研究在恐慌情景下人群的逃生行为<sup>[5]</sup>;还有学者利用元胞自动机行人流模型或偏向随机行走格子气模型研究行人疏散动力学<sup>[13,14]</sup>.

潜意识是指隐藏在人们一般意识底下的一股内在的不由自主产生的意识,通过各种行为或思想所体现出来.例如行人中不同文化背景下靠左或靠右行走的潜意识行为.文献<sup>[15]</sup>提出考虑潜意识行为的格子气模型,其研究结果表明潜意识对行人拥堵具有至关重要的影响.文献<sup>[16]</sup>提出细长体格子气模型,在行人的某个方向或某几个方向出现堵塞时,重新按各个方向的通行能力重新分配行人的各自动力学行为,比较符合行人通行的方式.行人的运动过程中,他的视野和潜意识对人群拥堵起了一定的作用,通常较强潜意识和较远的视距,不易引起人群拥堵.本文在考虑潜意识和视距的作用下,提出扩展的行人流格子气模型,并将模型应用于通道中行人流动的研究,通过数值模拟探讨潜意识和视距对行人交通的影响,为广场及其它公共等场所的行人通道的设计提供一定的理论依据.

## 1 考虑视距和潜意识作用的行人流格子气模型

考虑视距和潜意识行为的行人流格子气模型定义在  $W \times L$  的平方网格上,  $W$  是通道的宽度,  $L$  是通道的长度,通道中包含两类行人——向西和向东的行人(图 1).假设初始时刻每个行人随机分布在通道中,行人在行走时不能叠加,忽略体积相互的作用.每个行人有 4 个方向行走,当某些方向被堵时,行人将按各个方向的通行能力重新分配行人的动力学行为,行人在移动时选择最优方向移动.在每个时间步长,行人只能移动到最近邻的格子,而且每一个格子最多只允许被一个行人占据.当行人行走至上边界或下边界时,因为上下边界为封闭边界,所以行人不可走出上下边界之外;当行人走到左边界或右边界时,如再往前移动将到达通道的另一边界上.即此模型上下边界为封闭边界,左右边界为周期边界条件.在该模型中,  $D$  表示漂移概率,  $D_1$  表示影响潜意识的视距,  $D_2$  表示行人与前方最近邻行人的距离,  $\frac{D_1 - D_2}{D_1}$  表示在

$D_1, D_2$  下行人的潜意识强度.当  $D_2$  大于  $D_1$  时,说明行人前方空间足够大,行人可以直接往前走,没必要考虑转弯;当  $D_2$  小于等于  $D_1$  时,说明行人前方空间不足,直走可能会产生行人间碰撞,此时行人将受到  $D$  和  $\frac{D_1 - D_2}{D_1}$  共同作用,使行人选择最优的方向移动.具体怎样作用与行人在通道中移动时所处的环境有关.

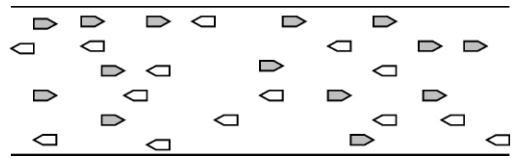


图 1 双向行人流

Fig. 1 The two-way pedestrian flow in channel  
灰色是往东的行人,白色是往西的行人.

To eastbound pedestrian with gray, to westbound pedestrian whit white.

以下主要分析往东行人的动力学行为.如图 2,其相对应的行人动力学行为如下:

$$(a) p_{t,x} = D + \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right),$$

$$p_{t,-y} = p_{t,-x} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right),$$

$$p_{t,y} = \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$(b) p_{t,y} = 0, p_{t,-y} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$p_{t,x} = \left( D + \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$p_{t,-x} = \left( D + \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$p_{t,-x} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right];$$

$$(c) p_{t,-x} = 0, p_{t,-y} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$p_{t,x} = \left( D + \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$p_{t,y} = \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right];$$

$$(d) p_{t,-y} = 0, p_{t,-x} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$p_{t,x} = \left(D + \frac{1-D}{4}\right) \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$p_{t,y} = \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right];$$

$$(e) p_{t,x} = \left(D + \frac{1-D}{4}\right) \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2}} \right],$$

$$p_{t,-y} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2}} \right], p_{t,y}$$

$$= p_{t,-x} = 0;$$

$$(f) p_{t,-x} = p_{t,-y} = 0, p_{t,x} = \left(D + \frac{1-D}{4}\right) \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right],$$

$$p_{t,y} = \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)} \right];$$

$$(g) p_{t,-y} = p_{t,y} = 0, p_{t,-x} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2}} \right],$$

$$p_{t,x} = \left(D + \frac{1-D}{4}\right) \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right);$$

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2}} \right];$$

$$(h) p_{t,x} = 1, p_{t,-y} = p_{t,y} = p_{t,-x} = 0.$$

从以上的行人动力学行为中,行人具有向左的潜意识行为,如在(a)情况下向左的漂移概率为

$$p_{t,y} = \frac{1-D}{4} \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right),$$

由前面的讨论知式中  $\frac{D_1 - D_2}{D_1}$  大于等于 0, 所以

在  $p_{t,y}$  项加上  $\frac{D_1 - D_2}{D_1}$  项, 这将使向左的漂移概率增强. 同时从式中  $D$  和  $D_1$  为常数,  $D_2$  是变量, 当在下一时刻  $D_2$  变小时, 则  $\frac{D_1 - D_2}{D_1}$  值将增大, 所以向左的漂移概率也将增大, 即当行人前方距离缩小时行人越容易向左移动. 所以说在这模型中行人具有向左的潜意识行为, 并且潜意识强度随着行人距离的缩小而增大.

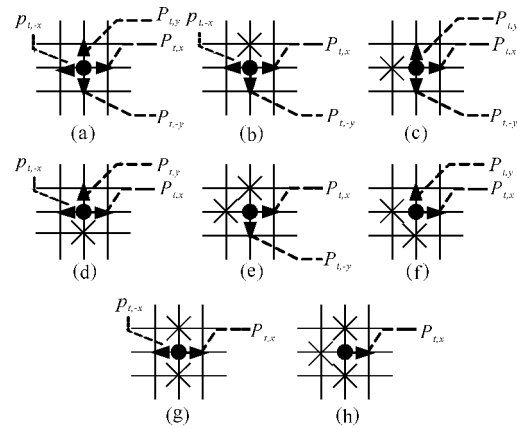


图 2  $0 < D_2 \leq D_1$  时 7 种 (a~h) 行人在通道的行走情况

Fig. 2 Pedestrian walking in all possible configurations at surrounding channel, where  $0 < D_2 \leq D_1$

在模型中当行人的某一方向或几个方向被堵塞时, 行人将按各自的通行能力重新分配动力学行为.

如(g)情况下  $p_{t,-y} = p_{t,y} = 0$  表示行人的上下两个方向被堵死, 行人不可以通过.  $p_{t,-x} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)$

表示行人向后移动的概率, 其中  $\frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right)$  是行人在 4 个方向都能移动时的漂移概率, 也就是原先的通行能力,  $\frac{1-D}{2}$  是被堵塞的上下两个方向的原来漂移概率之和,

$\left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2}} \right]$  是将没有被堵塞的剩余的漂移概率重新均分为  $1 - \frac{1-D}{2}$  等份, 然后再按各自的通行能力重新分配, 如  $p_{t,-x} = \frac{1-D}{4} \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2}} \right]$ ,  $p_{t,x} = \left(D + \frac{1-D}{4}\right) \left(1 + \frac{D_1 - D_2}{D_1}\right) \left[ \frac{1}{1 - \frac{1-D}{2}} \right]$  表示在行人上下被堵死后向

后和向前的行人动力学行为,在行人所处的其它环境下也以这种方式重新分配行人的动力学行为.

## 2 数值模拟与分析

在数值模拟中,选取 1 条具有一定宽度和长度的通道.通道中宽度  $W = 40$ ,长度  $L = 200$ .在模拟时,每个行人只能占据 1 个格子,行人每 1 个时步只能向前、后、左和右 4 个方向中的 1 个方向移动 1 个格子或当 4 个方向都不能行走时行人只能呆在原位置.假设,在初始时刻,有往西和往东的 2 类行人均匀随机的分布在通道中,且 2 类行人的人数相等.令  $\rho$  表示整个通道的行人密度,所以行人总数为  $N = (W \cdot L) \cdot \rho$ ,往西和往东的行人人数都为  $N/2$ .每一时步行人选择最优的移动方向移动.本文中单独考虑潜意识作用的行人模拟,简称第一模型;单独考虑视距作用的行人模拟,简称第二模型;同时考虑潜意识和视距作用的行人模拟,简称第三模型.

行人某密度下平均速度的获取是在相应模型下运行 20 个样本,每个样本运行 10000 个时步,仅统计每个样本后面的 8000 个时步.每个时步行人的总速度是行人向前移动就加 1,行人向左、向右都加 0,向后则减 1.也就是只统计向前和向后移动的部分.该时步的平均速度就是总的速度除以通道中所有的行人总数.某密度的平均速度为  $\langle V \rangle = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} \sum_{t=2000}^{10000} V_i$ ,其中  $V_i$  为 2000 ~ 10000 时步中  $t$  时刻的行人的平均速度.

### 2.1 视距和潜意识分别作用对行人交通的影响

通过比较第一模型和第二模型中的行人行走规则(图 3)发现,潜意识引起行人在移动中有一致的方向性从而使行人易于成行,成行的出现有助于行人通行,所以考虑潜意识作用的行人在通道中移动不易于产生堵塞,可以提高行人的通行能力,所以潜意识对行人移动结果有极其重要的影响.在考虑视距的第二模型(图 3)中,在前方空间足够的情况下,行人不会出现转弯的盲目性,行人直接往前移动从而很大程度上提高了行人的平均速率,特别是在低密度区域,行人的平均移动速度可以接近甚至达到最大速度,所以考虑视距作用在一定密度范围内可以很大的提高行人的平均速度,也说明视距对行人移动的结果有巨大的影响.

第一模型的模拟结果(图 3)表明密度为 0.34 ~ 0.52、漂移概率  $D = 0.0$  时,速度和密度关系中相对于其它模型行人有较高的平均速度.出现这种现象是由这个模型在  $D = 0.0$  下没有“快即是慢”的过程决定的,在  $D = 0.0$  时,行人向前移动尤为缓慢,再加上

潜意识的作用,使行人较为有序的移动,从而导致这种现象的出现.也就是模型本身决定了这一现象的出现.

### 2.2 视距和潜意识同时作用对行人交通的影响

从图 4 中发现,第三模型的模拟结果表明,考虑视距和潜意识的作用,不但很大的提高行人的平均移动速度,还可以提高通道的通行能力,使行人在通道中不易产生堵塞.即考虑潜意识和视距的作用,行人在移动过程中不但易于成行,同时也可以减少部分转弯的盲目性.

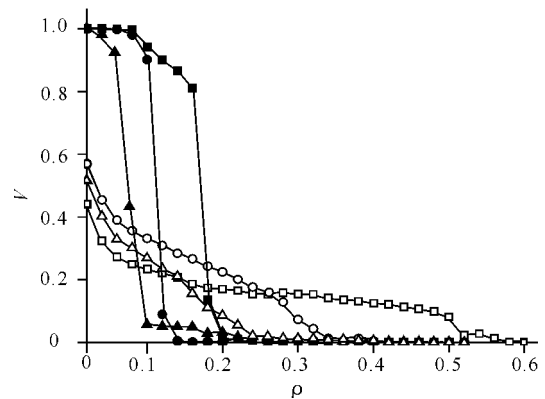


图 3 视距或潜意识作用下行人速度和密度关系的比较  
Fig. 3 The relationship between speed and density

■,●,▲:表示考虑视距影响;□,○,△:表示考虑潜意识影响.  
■,●,▲:Shadow is consideration of influence by sight distance;□,○,△:Hollow is consideration of influence by subconscious.

■,●,▲:D=0,●,○,△:D=0.4,▲,△:D=0.8,□,○,△:D=0,○,△:D=0.4,△:D=0.8.

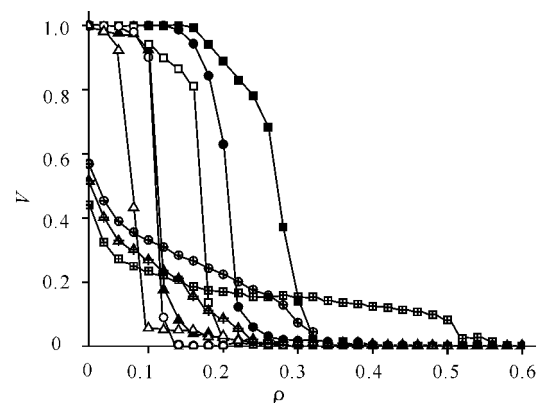


图 4 3 个模型速度和密度关系的比较

Fig. 4 The relationship between speed and density

■,●,▲:表示第一模型;□,○,△:表示第二模型;■,●,▲:表示第三模型.

■,●,▲:The firstly mode;□,○,△:The secondly model;■,●,▲:The thirdly model.

■,●,▲:D=0,●,○,△:D=0.4,▲,△:D=0.8,□,○,△:D=0,○,△:D=0.4,△:D=0.8,△:D=0.8.

从图 5(a)中发现行人很自由的往前移动,(b)中

行人在移动中产生成行,并且可以自由的沿行线直走.(c)中出现相分离,往西和往东的行人分别在通道的两边,行人可以在自己的相中自由的移动.(d)中也出现相分离,往东和往西的行人被堵死在通道中自己所属的相内.图5进一步说明,图4中行人在考虑潜意识作用和视距的作用下平均速度和通行能力都有很大的提高的原因.

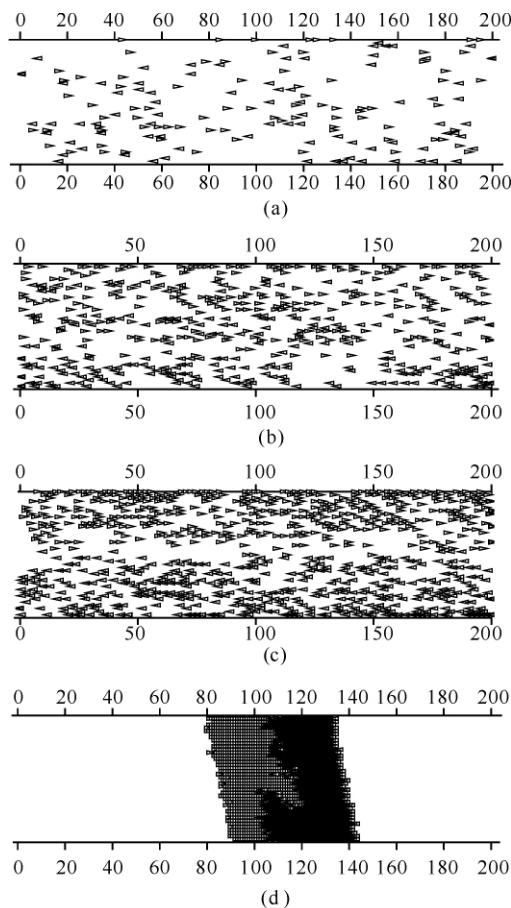


图5 第三模型的行人行走斑图

Fig. 5 The pedestrian patterns at thirdly model

$D_1 = 1, D = 0.0, t = 2000$ , (a)  $\rho = 0.02$ , (b)  $\rho = 0.06$ , (c)  $\rho = 0.10$ , (d)  $\rho = 0.26$ .

### 3 结论

本文通过比较3个模型的速度和密度关系以及行人的行走斑图发现潜意识可以使行人在通道中的移动不易于堵塞,可以提高通道的通行能力,对行人的移动结果有重要的影响.视距可以在到达堵塞密度之前大量的减少行人在通道中移动时部分转弯的盲目性,从而提高行人的平均速度,所以视距对行人的移动结果有更为深远的影响.同时考虑潜意识和视距的作用,不仅可以使行人在通道中移动不易于堵塞,还可以减少部分转弯的盲目性,从而提高行人的平均

速度和通道的通行能力.所以同时考虑视距和潜意识作用的建模模拟对行人疏散及行人交通的研究有重要的现实意义.

### 参考文献:

- [1] Chowdhury D, Santen L, Schadschneider A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems [J]. Phys Rep, 2000, 329: 199-329.
- [2] Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems [J]. Rev Mod Phys, 2001, 73: 1067-1141.
- [3] Nagatani T. The physics of traffic jams [J]. Rep Prog Phys, 2002, 65: 1331-1386.
- [4] Helbing D, Farkas I J, Vicsek T. Freezing by heating in a driven mesoscopic system [J]. Phys Rev Lett, 2000, 84: 1240-1243.
- [5] Helbing D, Farkas I J, Vicsek T. 2 Simulating dynamical features of escape panic [J]. Nature, 2000, 407: 487-490.
- [6] Bohannon J. Directing the herd: crowds and the science of evacuation [J]. Science, 2005, 310: 219-221.
- [7] Muramatsu M, Irie T, Nagatani T. Jamming transition in pedestrian counter flow [J]. Physica A, 1999, 267: 487-498.
- [8] Tajima Y, Nagatani T. Scaling behavior of crowd flow outside a hall [J]. Physica A, 2001, 292: 545-554.
- [9] Tajima Y, Nagatani T. Clogging transition of pedestrian flow in T-shaped channel [J]. Physica A, 2002, 303: 239-250.
- [10] Takimoto K, Tajima Y, Nagatani T. Effect of partition line on jamming transition in pedestrian counter flow [J]. Physica A, 2002, 308: 460-470.
- [11] Burstedde C, Klauck K, Schadschneider A, et al. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton [J]. Physica A, 2001, 295: 507-525.
- [12] Helbing D, Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics [J]. Phys Rev E, 1995, 51: 4282-4286.
- [13] 岳昊, 邵春福, 姚智胜. 基于元胞自动机的行人疏散流仿真研究 [J]. 物理学报, 2009, 58: 4523-4530.
- [14] 周金旺, 邝华, 刘慕仁, 等. 成对行为对行人疏散动力学的影响研究 [J]. 物理学报, 2009, 58: 3001-3007.
- [15] Kuang H, Li X, Song T, et al. Analysis of pedestrian dynamics in counter flow via an extended lattice gas model [J]. Phys Rev E, 2008, 78: 066117.
- [16] Nagai R, Nagatani T. Jamming transition in counter flow of slender particles on square lattice [J]. Physica A, 2006, 366: 503-512.

(责任编辑: 陈小玲)