

【航空管理与安全】

考虑恐慌情绪的元胞自动机疏散模型研究

王志龙

(沈阳航空航天大学 民用航空学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘要: 为了研究恐慌情绪对行人疏散效率的影响, 在 SIS 情绪感染模型的基础上赋予行人恐慌免疫能力, 并定义了相应的更新规则, 利用元胞自动机(CA)模型, 建立了一个考虑恐慌情绪传播的应急疏散模型。使用 MATLAB 软件建模对情绪阈值、情绪衰减速率、疏散人数等重要情绪因子进行仿真模拟。结果表明: 与未考虑恐慌情绪的疏散模型相比, 高度恐慌下的行人会导致整体疏散时间延长, 而且随着疏散人数的增加疏散时间在某个节点会迅速增加; 通过研究情绪阈值对疏散的影响, 发现个体状态对整体疏散时间有显著影响, 同时情绪衰减速率影响个体状态变化速率且存在一个决定情绪蔓延或衰减的临界值。

关键词: 元胞自动机; 应急疏散; 恐慌情绪; 情绪阈值

中图分类号: X 913 **文献标识码:** A **DOI:** 10.13486/j.issn.2097-4973.2024.01.013

0 引言

在紧急情况下的行人疏散问题涉及复杂的动态行为和动力学现象, 尤其是在内部复杂的大型建筑物, 例如航站楼、地铁站等。当行人高度集聚且对内部建筑不熟悉时, 发生紧急事件会引发行人恐慌, 影响他们的认知和行为, 进而影响疏散效率, 甚至可能导致踩踏事件发生。

迄今为止, 行人疏散动力学模型主要分为两大类: 宏观模型和微观模型。宏观模型侧重于关注行人流动整体运动特征, 而微观模型则更加注重研究行人之间的相互作用以及个体行为规律。微观模型主要包括元胞自动机模型^[1-2]、社会力模型^[3]。元胞自动机模型可以非常灵活地定义每个元胞的初始状态和移动规则, 进而模拟出整个系统的演化过程, 因此被用于许多研究。游磊等^[4]采用 SIS 传染算法, 研究了恐慌情绪在人群中的传播规律以及其对疏散行为的影响。Zheng 等^[5]建立了静态、动态和紧急扩散场的行人疏散收益公式, 并提出了通过恐慌系数来描述恐慌心理的方法。风四海等^[6]通过将热力学扩散原理与元胞自动机模型相结合的方法, 对疏散人群中恐慌情绪的传播过程进行了模拟。霍非舟等^[7]、CHEN 等^[8]和 GUO 等^[9]以行人冲突和疏散光源为研究点, 探究了不同情况下恐慌情绪对行人疏散的影响。王冠宁等^[10]考虑了沿墙引导的疏散策略, 将其视为一种场的作用加入到元胞自动机中进而影响行人疏散策略。陈长坤等^[11]基于场域模型建立了恐慌状态下的决策修正模型。吴杰新等^[12]考虑了外部干预策略的情况下, 构建了 P-SIR 情绪算法, 用于建模, 群体恐慌行为的演变过程。谢秉磊等^[13]基于元胞自动机模型分析恐慌情绪与疏散行为之间的交互影响研究, 发现恐慌情绪是人群疏散中的关键因素之一, 轻度恐慌有助于缩短疏散时间, 而过度恐慌会一定程度上减缓疏散效率。杜鹏飞等^[14]结合数值理论与模糊逻辑理论, 将

收稿日期: 2024-04-07

作者简介: 王志龙(1998—), 男, 河南开封人, 硕士研究生, 主要从事交通运输规划与管理研究。

E-mail: 2586761215@qq.com

引导人员对行人疏散的影响作用加入传统的元胞自动机模型。关文玲等^[15]引入免疫人群概念构建恐慌心理传播系统动力学模型,并建立行人心理状态与影响因素的动态关系。曹淑超等^[16]模拟了地铁站台层洪水漫延动态演化过程,并量化洪水对行人决策与移动速度的影响,研究场域参数、进水量等对整体疏散时间及人员位置分布的影响。刘明辉等^[17]建立航站楼与夹层通道的疏散模型,分析不同火源下的疏散情况。谢秉磊等^[13]构建火灾情况下地铁站疏散仿真模型,基于元胞自动机分析恐慌情绪对疏散效率和出口选择的影响。

综上所述,在航站楼、地铁站等人流量较大的疏散场景中,情绪传播对行人的疏散行为产生显著影响。然而,在情绪传播过程中,个体的状态呈现出广泛的差异性,不仅限于恐慌和非恐慌两种状态。传统的 SIS 模型和 SIR 模型无法充分描述情绪演化的规律。因此,本文考虑到人群异质性,赋予行人免疫能力,从微观模型中选择元胞自动机模型作为研究对象,在该模型中,考虑行人在紧急情况下可能出现的恐慌行为及恐慌在行人间的传播过程,探讨了在应急疏散中情绪阈值和情绪衰减速率对行人决策行为的影响;最后本文通过模拟在某一环境下行人疏散过程来验证本文模型的有效性。

1 考虑恐慌情绪的疏散模型建模

1.1 模型设计

本文通过元胞自动机模型开展仿真模拟研究。模型中,每个元胞的大小设置为 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$,可容纳一个疏散行人或障碍物,或者为空。在每个离散时间步长,行人可以选择保持静止或根据转移概率 P_{ij} 移动。疏散环境内设置总人数为 N 。当发生紧急事件时,行人会迅速离开危险区域,寻找安全出口进行逃生。随着人群的聚集,恐慌会加速动态蔓延。在地场模型上,考虑行人恐慌对行人运动产生的影响并加以改进。元胞邻居采用摩尔型,如图 1 所示。每个元胞处的人员以一定的转移概率向其相邻的 8 个元胞移动或者保持静止。模型中每个元胞坐标用 (i, j) 表示,每位行人向元胞 (i, j) 转移的概率由概率 P_{ij} 决定。正常情况下行人根据概率做出路径最佳选择。

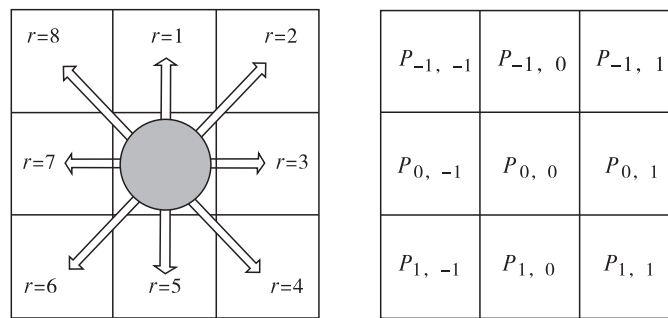


图 1 摩尔邻域

1.2 静态场计算

在地场模型中,计算从中心单元格向相邻单元格 (i, j) 移动的转移概率的公式如下^[1-2]:

$$P_{ij} = N^{-1} \exp(K_s S_{ij}) \exp(K_d D_{ij}) (1 - n_{ij}),$$

$$N = \sum_i \sum_j \exp(K_s S_{ij}) \exp(K_d D_{ij}) (1 - n_{ij}).$$

式中: N 是一个标准化因子,其作用是确保行人的转移概率在 $[0, 1]$; n_{ij} 为状态参数, $n = 1$ 表示元胞被占据, $n = 0$ 表示元胞未被占据; K_s 和 K_d 分别为静态场 S_{ij} 和动态场 D_{ij} 的敏感因子,其取值范围为 $(0, 1]$,敏感因子大小决定静态场和动态场所占权重,存在约束条件 $K_s + K_d = 1$ 。

静态场^[11]:

$$S_{ij} = \max_{(i,j)} \left\{ \sum \sqrt{(x_e - x_{ij})^2 + (y_e - y_{ij})^2} - \min_{(i,j)} \sum \sqrt{(x_e - x_{ij})^2 + (y_e - y_{ij})^2} \right\}.$$

式中： x_e 和 y_e 分别表示出口坐标值； x_{ij} 和 y_{ij} 表示元胞的坐标值。根据式(1)可知：静态场的数值不受时间影响，它与行人到达安全出口的距离密切相关；距离安全出口越近的区域，静态场的数值越高，因此对行人的吸引力也越大，这意味着行人更有可能朝着静态场较高的区域移动，以寻找安全出口。

1.3 动态场计算

在群体疏散过程中，个体可能会表现出从众行为，这是指个体决策选择了朝向 A 元胞移动，但由于周围人员向 B 元胞方向大量移动，该个体可能会受到周围人员行为的影响而改变其移动方向。在这种情况下，个体之间存在着相互影响的动态。在疏散过程中，由于人员之间存在推挤作用，不同元胞的疏散难度不同，而个体被迫朝着人群推挤的方向移动。因此，人员之间的摩擦动态场^[14]

$$D_{ij} = \frac{n(i, j, 0^\circ) + n(i, j, 45^\circ)}{\sum N(i, j)}$$

式中： $\sum N(i, j)$ 表示某一元胞周围的扩展型邻域内的总人数，这个邻域包括元胞本身以及周围其他元胞内的人数总和； $n(i, j, 0^\circ)$ 表示在该扩展型摩尔邻域内，与特定人员的运动方向角度为 0° 的其他人员数量，这意味着这些人员的移动方向与特定人员的移动方向完全一致； $n(i, j, 45^\circ)$ 表示在该邻域内，与特定行人的运动方向角度为 45° 的其他人员数量。

1.4 恐慌模型

本文采用了改进后的 SIS 模型来模拟恐慌情绪的传播，称为 SIQS 模型。在这个模型中，S 代表易感者，即那些容易受到恐慌情绪影响的人；而 I 代表感染者，是恐慌情绪的传播者，同时也能够被其他感染者影响，进而加剧恐慌情绪的传播；Q 是免疫者，对恐慌存在一定的免疫能力。模型恐慌传播机制如图 2 所示。

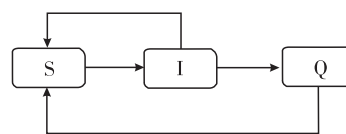


图 2 SIQS 模型

在实际疏散过程中，行人的感知和决策受到多种因素的影响，除了突发事件的位置和疏散出口距离之外，还包括行人对周围环境的认知、逃生路线的可见性和可实行性以及与其他行人的互动。行人通常会更加倾向于选择离自己当前位置较近且认为相对安全的出口，这可能导致在某些情况下出现拥堵和混乱。本文考虑行人所处位置不同，将恐慌传播力做动态改变，越靠近突发事件中心，距离安全疏散出口越远，则该处行越更容易产生恐慌情绪，同时也是恐慌情绪更加容易在该位置处传播。行人向疏散出口靠近，进入恐慌状态的概率降低。行人恐慌情绪传染率

$$\omega = \beta \left(\frac{1 - \exp(-a \min(l_e))}{1 + \exp(\alpha l_0)} \right) \exp(g_s)$$

式中： β 为恐慌衰减因子，其取值范围为 $[0, 1]$ ； α 为调节因子， α 的变化会调整行人对突发事件位置和疏散出口位置的重视程度，进而影响他们的行动决策和逃生路径选择。仿真研究中将 α 设置为 0.05； l_e 为智能体与逃生出口 e 的距离； l_0 为行人距离房间中危险源的距离， g_s 表示群体大小，群体越大，恐慌传播能力越强，疏散时间也就越长。

在疏散模型中，行人的恐慌情绪会影响静态场因子和动态场因子的演变，进而影响行人的决策行为。这会增加人群行为的不确定性，并可能引发非理性行为，如选择不当的逃生路径或产生堵塞现象。故本文模型中恐慌情绪传播率 ω 和场域敏感因子有如下式关系：

$$A = K_{s0} \exp(-a\omega) + K_{d0} \exp(a\omega), K_s = \frac{K_{s0} \exp(-a\omega)}{A}, K_d = \frac{K_{d0} \exp(a\omega)}{A}$$

式中： K_{s0} 和 K_{d0} 为敏感因子的初始值； K_s 为静态场域的敏感系数； K_d 为动态场的敏感系数； a 是恐慌情绪敏感系数，此处设为 0.5。在每一个时间步长中，静态场和动态场敏感因子会随着恐慌情绪传播率的变化而变化。如果恐慌情绪传播率升高，则 K_s 会变小，即行人难以做出理性决策导致疏散的能力下降。同时， K_d 会变大，表示恐慌状态的行人疏散策略倾向于从众心理。恐慌情绪对行人的决策产生影响，本模型

引入了恐慌参数 $p(0 \leq p \leq 1)$, 以量化初始状态下行人的恐慌程度。行人的初始恐慌参数是通过正态分布函数确定的, 这意味着行人群体的初始恐慌水平会在一定范围内变化, 而不是固定的数值。这种方法使得模型更具灵活性, 能够更好地反映真实情况下行人在紧急情况下的不同反应, 如式^[11]: $p_{t=0} \sim N(\mu_p, \sigma_p^2)$ 。式中: t 为时间步; μ_p 和 σ_p 分别为正态分布函数的均值和方差。在疏散的初始阶段, 人群恐慌值较低, μ_p 取值为 0.5; 为避免人群异质性对人群恐慌特性的影响, σ_p 取值为 0.1。

在传播过程中, 人们可能处于感染状态、易感状态或免疫状态之间的转变。使用情绪免疫阈值 θ 和感染阈值 δ 来描述这种状态转变。情绪免疫阈值 θ 表示个体受到他人恐慌情绪影响而转变为易感染者的临界值, 而感染阈值 δ 表示个体受到传染源影响而成为恐慌者的临界值。即当恐慌值 $0 < p \leq \theta$ 时定义行人状态为免疫者, 当恐慌值 $\theta < p \leq \delta$ 时定义行人状态为易感者, 当恐慌值 $\delta < p \leq 1$ 时定义行人状态为恐慌者。具体某时刻的恐慌情绪计算方法^[11]: $p_{t+1} = p_t - p_d + \sum_{s < R_p} p'_i \omega$ 。式中: p_{t+1} 表示行人在时刻 $t+1$ 的恐慌情绪值, 其计算方式是基于上一时刻的恐慌值以及与其他行人之间的互动; p_t 表示行人在时刻 t 时恐慌情绪值; p_d 表示在每个时刻之间衰减的恐慌值, 考虑情绪衰减使得模型更符合实际情况; 行人之间的间距 s 会影响情感传播; R_p 为感染半径, 表示情感传播的范围, 取 $R_p = 2$; p'_i 是传播者的恐慌情绪值。

1.5 移动规则

根据本文模型, 使用的更新规则如下。

第 1 步 初设条件: 初始人群在场景内随机产生, 恐慌情绪参数正态分布。

第 2 步 静态场域: 根据环境计算疏散环境的静态场值 s_{ij} 。

第 3 步 更新行人状态: 每个时间步长内先计算当前行人的恐慌值, 判断行人当前的状态, 处于恐慌状态的行人向周围邻域随即移动。

第 4 步 判断行人所在元胞邻域中是否有两个及以上被其他行人占据, 如果是则行人在当前步长保持不动, 反之则可以继续移动。

第 5 步 计算下一步位置: 根据当前位置计算行人移动概率, 确定行人下一步移动位置。

第 6 步 冲突选择: 当多个行人竞争同一元胞时, 恐慌值更大的行人占据目标元胞, 竞争失败的行人保持在原来的元胞空间不移动。

第 7 步 删除行人: 行人到达安全出口后移除该行人, 当疏散人群全部逃生后, 仿真完成, 如果还有行人在场景内则回到第 3 步。

2 实际应用分析

仿真场景设置为某工厂小仓库, 如图 3 所示。仓库大小为 $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$, 对应元胞空间大小为 30×30 元胞; 仓库存在 2 个出口, 位于仓库上下位置。其中, 元胞位置被占据位置表示存在障碍物, 这个障碍物可能是墙体或者室内某些建筑, 浅色元胞位置表示是行人可以占据通过的空间。使用 Matlab 进行疏散仿真实验, 通过调整不同参数, 如情绪衰减速率和恐慌情绪阈值, 可以得到行人疏散效率和行为决策, 进而提出针对性的改进措施和应对策略。为了保证实验结果的准确性, 恐慌情绪阈值、免疫阈值和情绪衰减速率均设定为 0.10, 行人密度设定为 300 人。为了减小实验误差, 每组实验均做 100 次的模拟, 对结果取平均值。

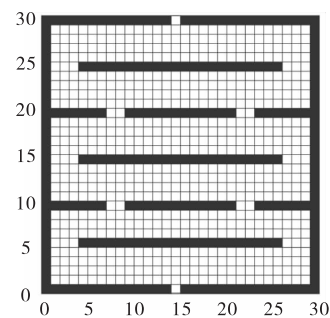


图 3 仿真地图

2.1 恐慌情绪对疏散时间的影响

本研究通过仿真实验探究恐慌情绪对行人逃生疏散效率的影响。如图 4 所示, 在考虑恐慌情绪对疏散影响的情况下, 平均疏散时间显著增加至 220 s, 而在不考虑恐慌情绪对疏散的情况下, 平均疏散时间仅

为 115.5 s。此外,单次模拟结果显示,不考虑恐慌情绪时的疏散时间呈现出更为集中的趋势,而考虑恐慌情绪时的疏散时间分布更为分散,范围从 180 s 到 320 s 不等,而且两种情况下的平均值差异较大。因此可以得出结论:在疏散过程中,恐慌情绪可能导致疏散时间的延长和疏散过程的不确定性增加。

2.2 情绪衰减速率对疏散的影响

情绪衰减速率是影响行人能否快速疏散的重要因素,它描述了在紧急情况下人们情绪从恐慌状态恢复到冷静状态的速度。当情绪衰减速率较大时,意味着人群整体更容易冷静下来,能够更快地从恐慌状态中恢复过来,从而更有利于疏散过程的进行。从图 5 可以看出,当情绪衰减速率为 0.10、0.15 时,人群的平均恐慌值先快速下降,但是随着恐慌情绪的快速传播,人群的平均恐慌值快速上升,之后平均恐慌值缓慢下降;疏散初期由于平均恐慌值过大,人群较为混乱,无法及时抵达出口处,疏散效率较低,后期随着平均恐慌值降低,大部分人群聚集在出口处,此时疏散瓶颈变为出口单位时间可通过人数。当情绪衰减速率为 0.20、0.25、0.30 时,人群的平均恐慌值快速下降直至为 0,由于平均恐慌值的快速降低,因此行人有序移动至出口。综上所述,情绪衰减速率越大,人群整体越容易保持冷静,其整体的恐慌值越低,可以快速完成疏散,由此可能产生的此时损害也更少。

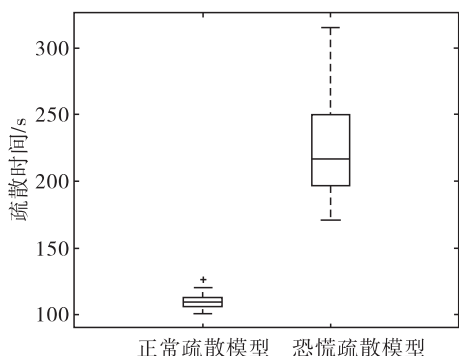


图 4 100 次实验下不同疏散模型的疏散时间对比图

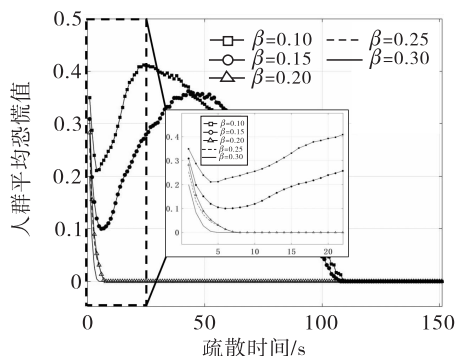


图 5 不同情绪衰减速率下人群平均恐慌值趋势

2.3 疏散人数对疏散的影响

本文通过多次仿真得到图 6,从图中得知,随着疏散人数的增加,疏散时间增加量逐渐增大。这是由于在达到出口瓶颈前,人群可以正常疏散,未出现过度拥挤阻塞现象;但是随着疏散人数的增加,逐渐达到了出口瓶颈,在 300 人以后,疏散时间快速增加。疏散的物理环境没有改变,随着疏散人数的增加疏散时间增加量增大,也就是说 300 人左右是该物理环境下的一个影响安全逃生的节点。

2.4 情绪阈值对疏散的影响

设定免疫阈值恒为 0.10,进行多次仿真实验。图 7 表明,恐慌阈值 δ 的增加导致了恐慌行人数量的减少,这些恐慌者在紧急情况下表现出较高的情绪激动和冲动行为,从而影响了整体疏散的速度和效率。相对而言,当恐慌阈值较低时,恐慌人数变多,疏散过程中出现较多混乱和不理性的行为,从而延长了疏散时间。然而,随着恐慌阈值 δ 超过 0.8 时,疏散时间趋于稳定。这因为即使周围存在少数恐慌的个体,大多数人在面对紧急情况时仍能保持冷静和理性,能够做出更加有效的决策并采取适当的行动。因此,整体疏散时间不会受到少数恐慌人群的显著影响。

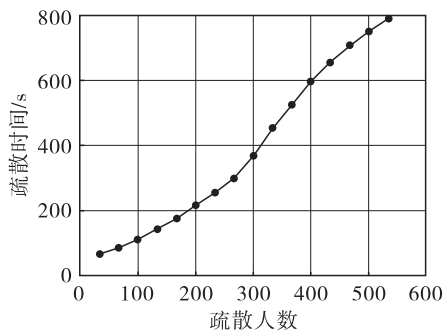


图 6 不同人数下疏散时间

设定恐慌阈值 δ 保持不变为 0.7 时,根据图 8 可得,当免疫阈值 θ 达到 0.6 后,疏散时逐渐趋向于稳定,即在该情况下大部分人成为免疫者,因此不受恐慌情绪的影响。这一现象凸显了免疫者在疏散过程中

的重要作用。当行人中有更多的人保持冷静和理性时,可以有效地抑制恐慌情绪的传播,使更多的个体能够做出理性的疏散决策。因此,随着群体中免疫者数量的增加,恐慌情绪的传播速度减慢,有助于提高整体疏散过程的效率和稳定性。

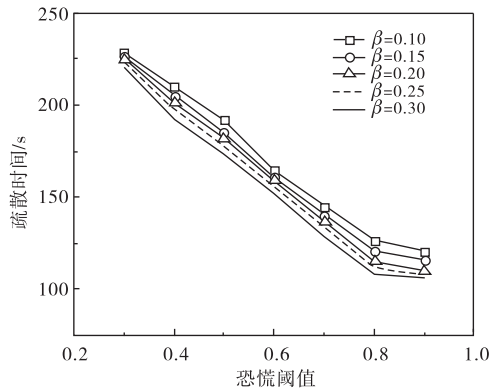


图 7 不同恐慌阈值下疏散时间

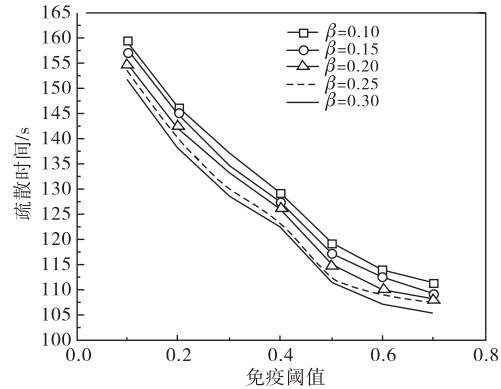


图 8 不同免疫阈值下疏散时间

3 结论

本文通过模拟恐慌情绪下的人员应急疏散过程,对情绪阈值、情绪衰减速率以及疏散人数与疏散效果之间的关系进行了深入讨论。研究发现,恐慌因素在疏散过程中起着至关重要的作用,而情绪阈值和恐慌衰减速率则是影响整个疏散过程的关键因素。通过仿真实验,本文得到以下结论:(1)考虑恐慌情绪的人员疏散模型中,恐慌情绪会显著影响行人的决策,降低疏散效率,从而延长总体疏散时间。这是由于在紧急情况下,一些行人受到恐慌情绪的影响,可能会做出非理性的疏散策略。(2)随着恐慌阈值 δ 的增加,疏散时间减少,因为更高的恐慌阈值意味着更少的人受到恐慌情绪的影响,减少了路径选择的混乱程度,提高了整体疏散效率。当恐慌阈值保持不变时,随着免疫阈值 θ 逐渐增大,行人整体疏散效率大幅提高。当免疫阈值达到一定临界值时,疏散时间基本保持稳定。(3)情绪衰减速率较高时,人群中的恐慌情绪能够迅速减少至零,这意味着行人能够在短时间内恢复冷静,使得他们更能有效地执行最佳疏散策略,减少恐慌引起的混乱和阻碍。

参考文献:

- [1] 李文,卢雪松,王浩然,等. 基于 CA 模型的突发事件下液氨厂区人员疏散模拟研究[J]. 灾害学, 2023,38(2):171-177.
- [2] 于海明,王文琪,张可,等. 基于元胞自动机的复杂建筑物中人员逃生模型研究[J]. 工业安全与环保, 2016,42(12):6-9.
- [3] 刘延东,黄高翔,陈文. 基于增强心理行为异质性的改进社会力模型[J]. 系统仿真学报,2023(5): 1120-1130.
- [4] 游磊,罗熙越,刘旭,等. 基于元胞自动机和 SIS 传染算法的恐慌状态下行人疏散模型[J]. 成都大学学报(自然科学版),2020,39(1):51-54.
- [5] ZHENG L J, PENG X L, WANG L L, et al. Simulation of pedestrian evacuation considering emergency spread and pedestrian panic[J]. Physica A: statistical mechanics and its applications, 2019,522:167-181.
- [6] 凤四海,王志杰,邓捷,等. 引入恐慌因素的元胞自动机应急疏散模型[J]. 中国安全科学学报,2022, 32(4):148-154.
- [7] 霍非舟,刘昶,张宇,等. 考虑抢行行为的恐慌状态人员疏散研究[J]. 中国安全生产科学技术,2022,

18(10):203-209.

- [8] CHEN C, SUN H, LEI P, et al. An extended model for crowd evacuation considering pedestrian panic in artificial attack[J]. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, 2021, 571:125833.
- [9] GUO C, HUO F, LI C, et al. An evacuation model considering the phototactic behavior of panic pedestrians under limited visual field [J]. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, 2023, 615:128602.
- [10] 王冠宁, 陈涛, 郑晖杰, 等. 考虑恐慌情绪和沿墙引导的行人疏散模型[J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32(9):111-117.
- [11] 陈长坤, 童蕴贺. 基于元胞自动机恐慌状态下人群疏散模型研究[J]. *中国安全生产科学技术*, 2019, 15(6):12-17.
- [12] 吴新杰, 王维莉, 胡志华. 突发事件下人群恐慌情绪感染模型与干预方法[J]. *计算机工程与应用*, 2020, 56(12):265-272.
- [13] 谢秉磊, 周立, 赵金秋. 恐慌情绪和疏散行为交互影响的地铁站火灾疏散仿真方法[J]. *中国安全生产科学技术*, 2024, 20(3):20-25.
- [14] 杜鹏飞, 刘晓斐, 刘贞堂, 等. 基于元胞自动机的极端降雨下地铁疏散模拟[J]. *中国安全生产科学技术*, 2022, 18(12):5-11.
- [15] 关文玲, 王子建, 马玲. 考虑恐慌免疫的情绪传播模型研究[J]. *安全*, 2024, 45(3):6-13.
- [16] 曹淑超, 王苗苗, 倪捷, 等. 洪涝灾害下地铁站人群运动特性及疏散建模研究[J]. *铁道科学与工程学报*, 2023, 20(12):4802-4810.
- [17] 刘明辉, 张龙财, 徐健平, 等. 航站楼火灾场景下的人员疏散仿真研究[J]. *科技和产业*, 2023, 23(19):204-209.

Study on Cellular Automata Evacuation Model Considering Panic Emotion

WANG Zhilong

(Civil Aviation College, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: In order to study the effect of panic emotion on the efficiency of pedestrian evacuation, panic immunity is given to pedestrians based on the SIS emotional infection model, and the corresponding updating rules are defined. A cellular automaton (CA) model is used to establish an emergency evacuation model considering the spread of panic emotion. Firstly, MATLAB software is used to model emotional threshold, emotional decay rate, evacuation number and other important emotional factors. The results show that compared with the evacuation model without considering panic emotion, the overall evacuation time will be prolonged when pedestrians are in high panic, and the evacuation time will increase rapidly at a certain point with the increase of the number of evacuees. Secondly, by studying the influence of emotional threshold on evacuation, it can be found that individual state has a significant impact on the overall evacuation time, and the rate of emotional decay affects the rate of individual state change and there is a critical value that determines the spread or decay of emotions.

Keywords: cellular automata; emergency evacuation; panic emotion; emotional threshold

(责任编辑:唐立平)

引用格式 王志龙. 考虑恐慌情绪的元胞自动机疏散模型研究[J]. *山东航空学院学报*, 2024, 41(1):100-106.
WANG Z L. Study on cellular automata evacuation model considering panic emotion[J]. *Journal of Shandong University of Aeronautics*, 2024, 41(1):100-106.