

田鹏. 基于社会力模型对体育场出入口类型的疏散仿真研究[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(9): 192-198. DOI: 10. 20169/ j. issn. 2095-2163. 240930

基于社会力模型对体育场出入口类型的疏散仿真研究

田鹏

(中国人民公安大学 研究生院, 北京 100038)

摘要: 室内体育场进行演唱会、音乐节、足球赛等大型活动往往具有较高的安全风险, 原因在于该类大型活动的参与人数众多、体育场馆空间相对狭小、场馆布局不尽合理等因素, 发生人群拥挤甚至踩踏事故的可能性明显存在。因此, 本文以国内某体育场为例, 基于社会力模型, 以体育场出入口类型为切入点, 使用 Anylogic 软件对体育场的人群疏散进行仿真研究, 根据仿真实验的结果提出改善体育场空间结构和分区疏散的优化对策, 尽可能地减少踩踏事故的发生。实验结果发现, 体育场中行式出口因为能够给予观众更大的容纳空间, 使得疏散效果最佳, 上行式出口次之, 下行式出口最差。同时, 基于上述研究结果, 分别通过调整体育场空间结构和制定分区疏散策略, 有效提升了体育场人群疏散的效率。

关键词: 体育场; 社会力模型; 出入口类型; Anylogic; 人群疏散

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)09-0192-07

Research on evacuation simulation of sports stadium entrance and exit types based on social force model

TIAN Peng

(Graduate School of People's Public Security University of China, Beijing 100038, China)

Abstract: Indoor sports venues often have high safety risks for large-scale events such as concerts, music festivals, and football matches, due to factors such as a large number of participants, relatively small space in sports venues, and unreasonable venue layout. There is a clear possibility of crowd congestion and even trampling accidents. Therefore, this article takes a domestic sports stadium as an example, based on the social force model, takes the type of entrance and exit of the stadium as the starting point, and uses Anylogic software to simulate the crowd evacuation of the stadium. Based on the results of the simulation experiment, optimization measures are proposed to improve the spatial structure and partition evacuation of the stadium, in order to minimize the occurrence of stampede accidents as much as possible. The experimental results showed that the horizontal exit in the sports stadium had the best evacuation effect due to its ability to provide larger seating space for the audience, followed by the upward exit, and the downward exit had the worst evacuation effect. Meanwhile, based on the above research results, the efficiency of crowd evacuation in the stadium has been effectively improved by adjusting the spatial structure of the stadium and formulating zoning evacuation strategies.

Key words: stadium; social force model; type of entrance and exit; Anylogic; crowd evacuation

0 引言

当前, 国内外学者以大型活动突发事件为关注点对人群疏散进行了研究, 并取得了较大的成就。王起全等^[1]模拟计算的方法, 选用行为学模型 Building EXDOUS 软件, 针对该大型活动拥挤踩踏事故进行应急疏散模拟分析; 曹爱春等^[2]提出一种基于多智能体和元胞自动机相融合的大型体育场馆人群疏散模型 (Agent-CA), 对体育场馆的人群疏散进行仿真实验; 田玉敏^[3]对特殊人群疏散行为及疏

散设计进行了研究, 提出了特殊人群的疏散设计方法; 邓云峰等^[4]通过设置不同的疏散规模, 在 Legion 平台模拟分析疏散人口数对疏散运动时间、疏散速率、空间使用率人员密度等疏散动态特征的影响; 邓宇菁等^[5]改进了社会力模型, 对相向运动人流中的自组织现象进行了模拟研究, 研究人行道的宽度、人群密度等因素对该过程中人群自组织行为的影响; 魏娟等^[6]结合社会力模型和粒子鸽群算法, 对多出口环境人群疏散进行了研究; Lopez-Carmona Miguel A^[7]开发并证实了使用基于自适应细胞的人群疏散

作者简介: 田鹏(2000-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 治安学。Email: 2512847418@qq.com

收稿日期: 2024-03-21

哈尔滨工业大学主办 ◆ 科技创新与应用

系统作为指导疏散工具的可行性;LIU Jing 等^[8]通过扩展一个地面场模型,综合恐怖袭击场景和障碍物的作用对人群疏散的影响;XU Haihong 等^[9]提出了信息源引导和领导者引导的人群疏散,为步行设施中信息诱导系统的设计提供了新的见解;ZHAI Longzhen 等^[10]通过改进元胞自动机,能够更加真实地模拟行人的微观行为,从而为行人提供更有效的疏散策略;刘梦婷^[11]提出了基于多元 Logit 离散模型,能综合考虑影响个体疏散时间的因素以及对不同出口类型的偏好;张森等^[12]以视觉障碍人群为研究对象,探讨了在紧急状态下符合其行为特点的疏散方式;卓霖^[13]设计了一种行人踩踏模型,重点对疏散出口处的人群踩踏进行分析;孙海等^[14]搭建了有障碍和无障碍两种室内场景,研究不同环境熟悉度以及行人密度下引导作用对人群疏散效果的影响;李华等^[15]引入情绪因子和信息因子,建立群体恐慌动力学模型,探究恐慌情景下行人疏散的变化规律;孙华锴等^[16]发现正常行人对视觉障碍行人的帮助行为能有效减少疏散时间,帮助行为对于混合人群疏散效率的提升作用随着人群密度的增加愈发显著。

综上,众多学者对大型室内场馆的人群疏散和应急处置方面进行了实证分析和仿真研究,但是对于体育场出口类型进行的仿真模拟和实证分析方面的研究相对较少。因此,本文以国内某体育场为研究对象,通过 Anylogic 仿真软件,对体育场的上行式出口、下行式出口和中行式出口进行了仿真,对比出不同类型出口的疏散性能,并提出相关疏散优化策略。AnyLogic 是基于社会力模型的模拟仿真软件,既能模拟连续事件,也能模拟离散事件,并且能够模拟两者混合的情况。大型体育场馆的人群疏散属于典型的离散事件,因此 Anylogic 软件完全适用于内部空间结构复杂、人员基数大且结构多样的大型体育场馆。

1 仿真原理及疏散模拟

1.1 仿真原理

社会力模型由 Helbing^[17]提出,该模型用于描述群体行为和人类移动的动力学,其基于个体之间的相互作用力和决策规则,以模拟人群的运动行为。在社会力模型中,每个个体被视为一个粒子,并赋予特定的目标和行为规则。行人向目标前进时会受到3种力量的共同影响,即行人的自驱动力、行人之间的排斥力、以及个体与环境之间的相互作用力。

通过计算个体受力的加速度,可以推导出个体的运动轨迹和群体的整体行为。假设:行人*i*的质量为*m*,向着方向*e*疏散,由此产生的行人实际的疏散速度为*v*以及时间常数 τ ,从起点开始位移的距离为*d*,行人自身的驱动力为*F*₀,则社会力学模型的一般数学表达形式为:

$$F = m_i \frac{dv_i}{dt} = F_0 + \sum_j f_{ij} + \sum_w f_{iw} \quad (1)$$

式中包含3个社会力,分别为自驱动力*F*₀、行人之间的相互作用力*f*_{ij}、行人对周边环境的排斥力*f*_{iw}。

1.2 疏散模拟

1.2.1 模拟仿真对象

本文的仿真研究对象为某体育场,该体育场共有3层看台,第一层看台的出入口设计均为上行式出口,二层看台大部分为中行式出口,三层看台为下行式出口。体育场如图1所示。

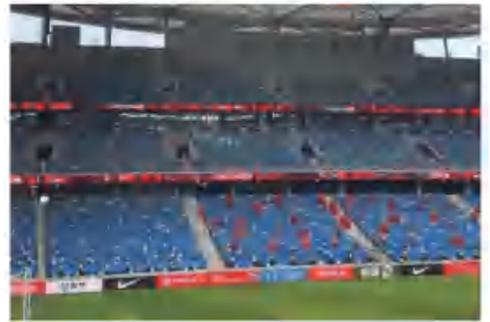


图1 体育场概括图

Fig. 1 Overview of sports stadium

1.2.2 空间标记设定

根据实际场景,在模拟时将体育场一层看台的出口设置为上行式出口,分为A、B、C、D、E、F 6个看台,有a、b、c、d、e、f 6个出口,楼梯平均宽度为1.4 m;将体育场二层看台设置为中行式出口,分为G、H、I、J、K、L 6个看台,有g、h、i、j、k、l 6个出口,楼梯平均宽度为1.2 m;将体育场三层看台设置为下行式出口,分为M、N、O、P、Q、R看台,有m、n、o、p、q、r 6个出口,楼梯平均宽度为1.2 m,体育场空间标记的设定如图2、图3所示。



图2 体育场空间2D仿真图

Fig. 2 2D simulation diagram of sports field space

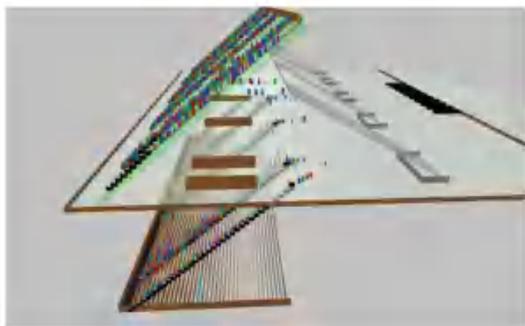


图3 体育场空间3D仿真图

Fig. 3 3D simulation diagram of sports field space

1.2.3 参数设置

通过查阅《中国成年人人体尺寸》(中国成年人人体尺寸:GB/T 10000-2023)^[18]等相关数据,将人员肩宽设置为0.4~0.5 m。人们从看台的楼梯进行疏散,根据出口位置的不同,会进行上楼梯和下楼梯疏散,根据刘旭光等^[19]的研究,大量人群在楼梯间进行疏散时,上下楼梯的平均速度为1.40~1.80 m/s,故将Anylogic中行人的速度设置为该大小。每个大看台能容纳864人,小看台平均能容纳180人,有效可视座位数在2万个以上的,每场次核定的固定座位数量不宜超过可用固定座位数的85%^[20]。因此,看台人数的设定分别为691人和144人,场内人数共计8724人。根据实际设置为场地,将上行式出口楼梯宽度设置为1.2 m,中行式出口和下行式出口楼梯设置为1.0 m,每个看台长15 m,宽20 m。

2 体育场不同类型出口疏散仿真实验

2.1 实验设置

目前,大型体育场疏散出口类型分为上行式疏散、下行式疏散、中行式疏散和复合式疏散。上行式疏散出口位于看台的最上面,观众通过楼梯自下而上从上部区域进行疏散,通过看台上方通道出口到达大平台。中行式疏散出口位于看台的中部,底层看台观众由下向上进行疏散,高层看台观众由上向下进行疏散。下行式疏散出口位于看台最下部,一般留有一定的横向通道,观众沿台阶从上往下疏散(如图4-图6所示)。

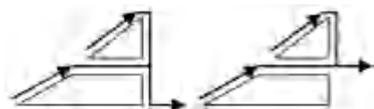


图4 上行式出口图

Fig. 4 Upward exit diagram

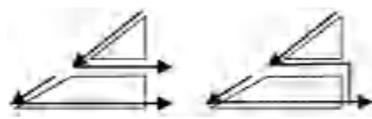


图5 下行式出口图

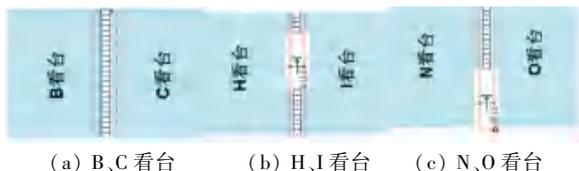
Fig. 5 Downward exit diagram



图6 中行式出口图

Fig. 6 Middle row exit diagram

由于体育场看台空间环境的重复性和人员落座的随机性,在人数设置、步行速度、看台大小、恐慌心理下等参数设置相同,以确保实验的科学性和准确性。在对比实验时,基于上述因素的趋同性,故只选取BC看台、HI看台和NO看台进行对比,仿真图如图7所示。



(a) B、C看台 (b) H、I看台 (c) N、O看台

图7 看台仿真图

Fig. 7 Stand simulation diagram

2.2 实验结果分析

根据仿真结果,提取BC看台、HI看台和NO看台的疏散时间,如图8所示。从图中可以看出,代表中行式出口的HI看台疏散时间最短,分别为431 s和486 s,即最后一名观众完成疏散的时间为486 s;代表上行式出口的BC看台的疏散时间为626 s;代表下行式出口的NO看台的疏散时间为702 s。中行式出口的疏散效率比上行式出口高22.3%,比下行式出口高30.7%。

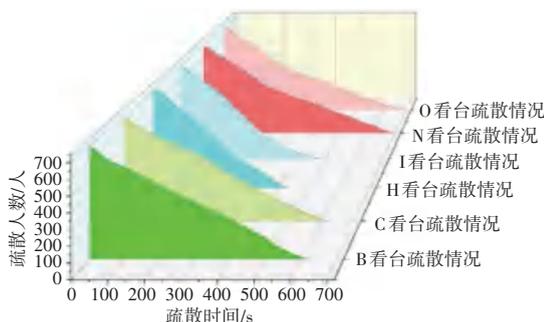


图8 各看台疏散情况对比

Fig. 8 Comparison of evacuation situations in various stands

究其原因,中行式出口能够让看台上方和看台下方的观众同时进行疏散,充分利用了看台的空间结构,通过给予行人更多的缓冲空间,从而影响行人

的速度。各出口最大密度和最大流量对比结果如图9所示。从图中可以看出,与上行式出口相比,中行式出口和下行式出口的设置密度值更低,意味着出口处的拥堵程度越低;中行式出口的最大流量高于上行式出口和下行式出口,意味着中行式出口的通行能力更强;上行式出口和下行式出口最大流量相当,前者最大密度要高于下行式出口,但是疏散时间却要低于后者,出现这种反常的原因在于下行式出口疏散时,观众无法聚集在出口通道处,而是处于出口的上方,其出口处的人群密度尽管低于上行式出口,但其疏散效率并不如上行式出口。

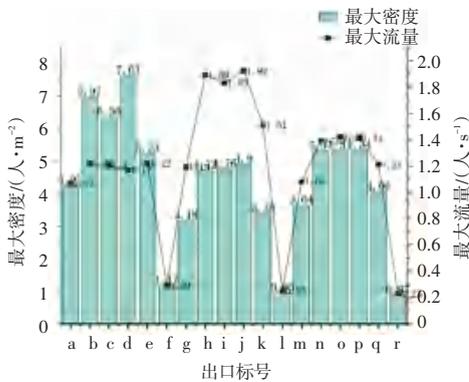


图9 所有出口最大密度与最大流量对比图

Fig. 9 Comparison chart of maximum density and maximum flow rate for all exits

3 体育场不同类型出口的优化策略

3.1 对上行式出口的优化

观众在上行式出口进行疏散时,通过楼梯直接进入出口进行疏散,并没有其他分流的途径,因此可以通过改变楼梯的宽度来影响疏散的效率。以梭鱼湾体育场为例,其上行式出口楼梯的平均宽度为1.4 m,(上述实验的基础参数设置),通过设置不同出口宽度1.2、1.4、1.6、1.8、2.0、2.2 m进行仿真实验,实验结果如图10所示。

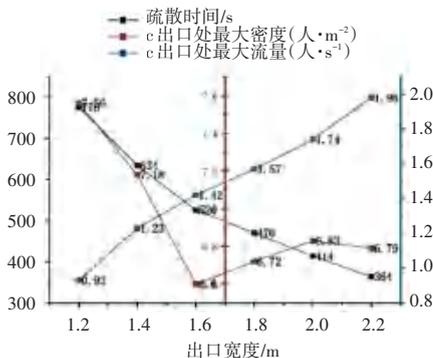


图10 上行式出口不同出口宽度下疏散情况对比图

Fig. 10 Comparison diagram of evacuation situation under different exit widths of upward exits

由仿真疏散结果可见,随着出口宽度的增加,疏散时间也随之减少,疏散效率变高。与出口宽度为1.2 m相比,出口宽度为2.2 m时疏散效率比前者提高了54%。以c出口为例进行分析,当不断调整出口宽度时,不同出口宽度下c出口的最大流量不断增大,这意味着随着出口宽度的变大,出口的通行能力得到有效改善,疏散效率明显提高。同时,c出口处的人群密度有一定的下降,但又随之提升,这是由体育场看台的结构决定的。单纯拓宽出口的宽度对出口处的拥堵程度的影响并不是很大,但结合体育场的整体疏散时间和c出口处最大流量的数据分析可以得出,虽然出口宽度的拓宽不能有效改善出口处拥堵的程度,但能够显著降低出口处的拥堵时间。

3.2 对中行式出口的优化

从上述对中行式出口的疏散仿真可以发现,在观众进行疏散时会拥堵在出口处的上下楼梯和左右楼梯处,因此,对出口处上下楼梯和左右楼梯进行优化。本文通过设置出口处左右楼梯宽度、上下楼梯宽度以及左右上下楼梯同步宽度进行仿真实验,宽度分别为1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 m。

通过对出口上下楼梯和左右楼梯进行不同宽度的设置,得到相应的人群仿真疏散结果如图11所示。

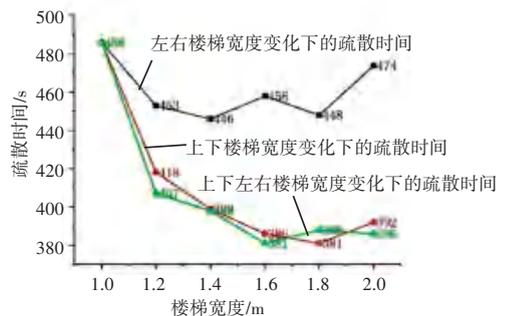


图11 中行式出口上下、左右楼梯不同宽度下疏散对比

Fig. 11 Comparison of evacuation under different widths of stairs on the left and right sides of a central exit

图中,黑线表示出口处左右楼梯宽度为1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 m时的人群疏散结果。由此可以看出,出口处左右楼梯宽度为1.2 m时,观众的疏散时间得到了一定的改善,而继续增加楼梯宽度,疏散时间不仅没有得到改善,反而回升到474 s。原因在于,左右楼梯宽度适量变大时,虽然增加了看台的疏散能力,但随着其宽度不断增加,左右楼梯通行能力的提高达到饱和状态。若不增加上下楼梯的宽度的话,无法改善出口的疏散效率,甚至由于左右楼梯单位时间内疏散人数的变多,与上下楼梯过来的观众形成了人流对冲,从而降低了疏散的效率,因此单纯调节出口

处左右楼梯宽度,对观众疏散效率的影响并不明显。

红线表示出口处上下楼梯宽度分别为 1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 m 时的人群疏散结果。图中可见,改变上下楼梯宽度对人群疏散的效率改善明显。在上下楼梯宽度为 1.0~1.6 m 时,看台疏散时间不断减少,疏散效率稳步提升。但是,进一步拓宽出口的宽度,疏散时间并没有得到进一步改善。原



图 12 中行式出口人流对冲示意图

Fig. 12 Schematic diagram of pedestrian flow hedging at the Bank of China exit

图中绿线表示出口处上下楼梯和楼梯宽度分别为 1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 m 时的人群疏散结果。可以看出,同步拓宽出口处左右楼梯和上下楼梯的宽度,能够稳步提升看台人群疏散的效率,减少人群疏散的时间。

3.3 对下行式出口的优化

观众在下行式出口进行疏散时,往往都拥堵在了出口处左右两侧的楼梯和上方的楼梯,因此选取出口处左右楼梯和上方楼梯为研究对象,分别对出口处左右楼梯、上下楼梯以及左右上下楼梯设置为 1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 m 的宽度时进行仿真实验。

通过对下行式出口上方楼梯和左右楼梯进行不同宽度的设置,得到相应的人群仿真疏散结果,如图 13 所示。

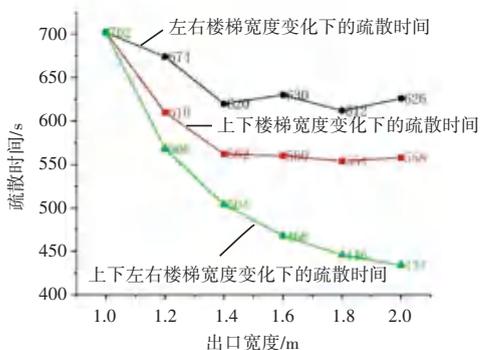


图 13 下行式出口上方、左右楼梯不同宽度下疏散对比

Fig. 13 Comparison of evacuation under different widths of stairs above the downward exit and on the left and right sides

黑线表示出口处左右楼梯宽度分别为 1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 m 时的人群疏散结果。可以看出,左右楼梯宽度为 1.2 m 和 1.4 m 时,对人群疏散的影响比较大,人群疏散的时间从 702 s 分别降低到了 674 s 和 620 s,疏散效率分别提升了 3.9% 和 11.6%。但是继续减小左右楼梯的宽度,并没有出现明显的疏

因在于,随着出口处下方楼梯的通行能力不断提高,单位时间内通行的人数变多,与出口处左右楼梯的观众形成了人流对冲(如图 12),使得观众拥堵在出口处,对于后续观众的疏散产生了不利的影响,导致看台疏散时间的增加。尽管如此,相比单纯拓宽出口处左右楼梯的宽度,及单纯调节出口处上下楼梯宽度,对观众疏散效率的影响还是比较明显的。

散时间变化。原因在于,一开始减少左右楼梯的宽度时,增加了其通行能力,对于看台整体疏散起到了一定的缓解拥堵的效果,但是观众大部分都拥堵在出口的上方楼梯处,左右楼梯的作用已经达到了极限,即使再拓宽其宽度,也无法有效提高看台疏散的效率。

红线表示出口处上方楼梯宽度分别为 1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 m 时的人群疏散结果。与拓宽出口处左右楼梯的宽度相同,上方楼梯宽度为 1.2 m 和 1.4 m 时,对人群疏散的影响比较大,此后再拓宽楼梯的宽度,对人群疏散的影响微乎其微。原因在于,随着上方楼梯宽度的变大,其通行能力也随之提高,但左右楼梯的宽度不变,意味着通行能力不变,因此观众就会很快拥堵在左右楼梯,即便再增加上方楼梯的宽度,对整体人群疏散的影响都很小。与拓宽出口处左右楼梯宽度不同的是,单纯拓宽上方楼梯的宽度对人群疏散影响会更大。当出口楼梯宽度为 1.2 m 和 1.4 m 时,整体疏散时间从 702 s 分别降低到了 610 s 和 562 s,疏散效率分别提高了 13.1% 和 19.4%,远高于单纯拓宽左右楼梯宽度。

绿线表示出口处上方楼梯和左右楼梯宽度分别为 1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 m 时的人群疏散结果。从图中可以看出,随着二者楼梯宽度的不断增加,疏散时间不断稳步降低,疏散效率得到有效改善,这是由于同时拓宽出口处上方楼梯和左右楼梯的宽度,使二者的通行能力都得到了提升,从而看台整体的疏散效率得到了有效的改善,这与上述单纯拓宽上方楼梯和左右楼梯的宽度所得出来的疏散结论是有一定的关联性。

4 分区疏散优化策略

通过上面的疏散仿真结果分析可以发现,不论

是哪一种出口类型情况的疏散,都存在着体育场内人员受恐慌心理、信息不对称等不利因素影响^[21],更倾向于选择距离最近的出口作为疏散路径终点,导致看台疏散出口利用不均衡,观众在看台拥堵时间过长,疏散时间增加等问题。对于体育场的人群疏散问题,本文以上行式出口为例,采用分区疏散的策略,平衡各个出口疏散的效率,降低疏散时间。

4.1 实验设计

在上行式出口中,A、B、C、D看台均有691人,E看台有144人,F看台未设置人数;a、b、c、d、e出口宽度为1.4 m,f出口宽度为1.0 m。通过设定这些参数,对看台观众进行疏散分区。如图14所示,按照看台区域的人数和出口宽度进行分区疏散,在模型中强制要求颜色相同看台区域的观众往同一出口进行疏散。



图14 上行式出口分区疏散图

Fig. 14 Upward exit zoning evacuation diagram

4.2 实验结果分析

在未进行分区优化时,各个出口的疏散情况见表1。从中可以看出,各个出口在1~8 s内开始疏散任务,出口f最快完成疏散,用时93 s;最后一个行人通过b出口完成疏散,其疏散时间是630 s,最早完成疏散出口和最晚完成疏散出口的时间相差537 s。在该时段内,出口b一直在使用,而出口f基本处于闲置状态,很少有人使用。部分出口流率较慢,拥堵较流率较快出口更严重。各出口在优化前的疏散时间如图15所示,从图中可以看出,出口a和出口f在250 s内已经疏散完毕,疏散时间远低于平均时间423 s,但其他出口并未完成疏散,观众主要拥堵在b、c、d出口;各个出口的人群密度值参差不齐。其中,B出口最为拥堵,最大密度值为7.32 人/m²,F出口密度值最小,其最大密度为1.24 人/m²。从理论上讲,各个出口的疏散时间标准差越低,则出口的利用率越好,疏散时间也会大幅降低。因此,在进行仿真优化时,首先考虑对体育场各个看台进行疏散引导,即分区疏散,平衡每个出口的利用率。

表1 各出口疏散情况(未分区引导)

Table 1 Evacuation situation at each exit (without zoning guidance)

| 出口编号 | 第一个行人通过时间/s | 最后一个行人通过时间/s | 通行总人数 | 流量/(人·s ⁻¹) | 流率/(人·s ⁻¹ ·m ⁻¹) | 最大密度/(人/m ²) |
|------|-------------|--------------|-------|-------------------------|--|--------------------------|
| a | 5 | 253 | 316 | 1.07 | 0.76 | 4.11 |
| b | 2 | 630 | 720 | 1.64 | 1.17 | 7.31 |
| c | 1 | 593 | 690 | 1.21 | 0.86 | 7.32 |
| d | 2 | 615 | 702 | 1.61 | 1.15 | 7.24 |
| e | 2 | 358 | 404 | 1.59 | 1.13 | 4.84 |
| f | 8 | 93 | 76 | 0.26 | 0.18 | 1.24 |

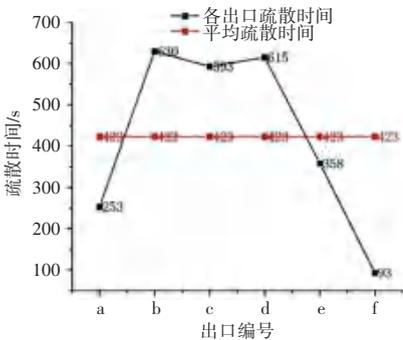


图15 各出口疏散时间统计(未分区引导)

Fig. 15 Evacuation time statistics for each exit (without zoning guidance)

通过对仿真进行优化,实现人员引导下的分区疏散,得到所有出口的疏散情况见表2。进行分区疏散后,各个出口的密度相差不大,密度最大值也只有6.40 人/m²,最小值为4.25 人/m²,各个出口在

疏散时的拥堵程度相当。看台完全疏散的时间为486 s,各个出口的疏散时间接近于平均疏散时间456 s,疏散时间的标准差为22.36 s,最早完成疏散与最晚完成疏散的出口时间差为67 s;而分区疏散前的各个出口疏散时间的标准差为204.38 s。相比之下,分区疏散后各个出口的出口整体的利用率得到了提高,疏散效率提高了22.85%,分区疏散后各个出口疏散时间如图16所示。从图中可以看出,分区疏散后,各个出口的疏散雷达图更加趋近于圆,疏散时间较为均衡,说明各个出口都得到了有效的利用,大幅降低了体育场的疏散时间。

综上,根据出口宽度和体育场人数分布对看台进行分区疏散,将多出口疏散问题转化为单出口疏散问题,大大提高了体育场人群疏散的效率,降低了人群疏散所需要的时间。

表2 各出口疏散情况(分区引导)

Table 2 Evacuation situation at each exit (zoning guidance)

| 出口编号 | 第一个行人通过时间/s | 最后一个行人通过时间/s | 通行总人数 | 最大流量/(人·s ⁻¹) | 最大流率/(人·s ⁻¹ ·m ⁻¹) | 最大密度/(人/m ²) |
|------|-------------|--------------|-------|---------------------------|--|--------------------------|
| a | 2 | 450 | 495 | 1.68 | 1.20 | 6.39 |
| b | 1 | 434 | 520 | 1.69 | 1.21 | 6.40 |
| c | 1 | 419 | 522 | 1.55 | 1.11 | 5.59 |
| d | 4 | 482 | 500 | 1.69 | 1.21 | 5.75 |
| e | 12 | 486 | 501 | 1.65 | 1.17 | 5.15 |
| f | 5 | 465 | 370 | 0.89 | 0.63 | 4.25 |

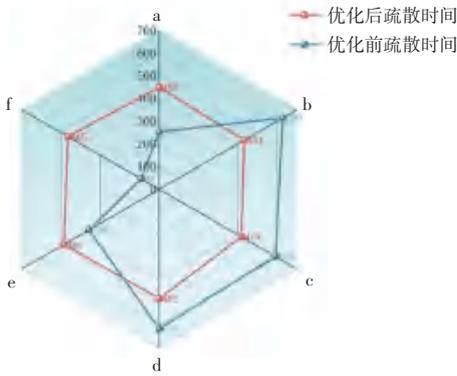


图16 分区前后各出口疏散时间对比

Fig. 16 Comparison of evacuation times at exits before and after zoning

5 结束语

本文研究了上行式、中行式和下行式出口在人群疏散方面的对比,结果显示,中行式出口的疏散效率最高,上行式出口次之,下行式出口疏散效率最差。在实践中,体育场主办方可以在总和成本和美感的情况下,多设计中行式出口,疏散时间少也就意味着人群拥挤变少,更不易发生踩踏事故。本文还对体育场三类出口进行了疏散优化策略研究,通过调整上行式、下行式、中行式出口和楼梯的宽度,探究看台空间结构对人群疏散的影响,以对体育场的布局提出更具有建设性的意见,并以上行式出口为例,对体育场的人群疏散问题综合观众数量与出口的宽度进行分区疏散,大大缩短了疏散的时间,有利于避免人群踩踏事故的发生。

参考文献

[1] 王起全,王敏. 大型活动拥挤踩踏事故人群疏散研究分析[J]. 三峡大学学报(人文社会科学版),2008,30(S2):34-37.
 [2] 曹爱春,杨晓艇,侯旭东. Agent-CA的体育场馆人群疏散模型[J]. 计算机工程与应用,2013,49(24):229-232.
 [3] 田玉敏. 特殊人群疏散行为及疏散设计的研究[J]. 灾害学,2013,28(3):91-94.

[4] 邓云峰,盖文妹,史聪灵. 疏散规模对亚区域人群疏散过程影响的模拟研究[J]. 中国安全生产科学技术,2015,11(11):46-51.
 [5] 邓宇菁,胡列格,冯页新. 基于改进的社会力模型对相向运动人群流中自组织现象的模拟[J]. 现代计算机(专业版),2018(30):15-19.
 [6] 魏娟,郭阳勇,游磊,等. 一种基于多出口环境的人群疏散改进模型[J]. 中国安全科学学报,2020,30(7):139-145.
 [7] LOPEZ-CARMONA M A, GARCIA A P. Adaptive cell-based evacuation systems for leader-follower crowd evacuation [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2022, 140: 103699.
 [8] LIU J, JIA Y, MAO T, et al. Modeling and simulation analysis of crowd evacuation behavior under terrorist attack [J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2022, 604: 127891.
 [9] XU H H, GUO R Y, WU P Y. Pedestrian evacuation dynamics considering information guidance [J]. International Journal of Modern Physics C, 2023, 34(5): 2350063.
 [10] ZHAI Longzhen, FENG Shaohong. Pedestrian evacuation method based on improved cellular automata in emergencies [J]. Engineering, Construction and Architectural Management, 2023, 30(8): 3645-3673.
 [11] 刘梦婷,蒋美英. 考虑人群拥堵的疏散出口选择行为研究及建模[J]. 中国安全生产科学技术,2016,12(9):157-163.
 [12] 张森,曾坚,刘晓阳,等. 视觉障碍人群在紧急状态下的疏散模型研究[J]. 灾害学,2018,33(3):69-73.
 [13] 卓霖,刘婷婷,刘箴,等. 疏散出口附近的人群踩踏仿真分析[J]. 计算机工程与应用,2022,58(11):234-241.
 [14] 孙海,黄格格,姜慧,等. 考虑熟悉度与恐慌效应的人群引导疏散仿真算法研究[J]. 中国安全生产科学技术,2023,19(2):5-12.
 [15] 李华,范超起,张茹梦. 基于 AnyLogic 仿真的恐慌情景行人疏散研究[J]. 消防科学与技术,2024,43(3):356-361.
 [16] 孙华镨,陈长坤,翁佳俊,等. 考虑视觉障碍行人的疏散模型[J]. 中国安全科学学报,2023,33(12):183-191.
 [17] HELBING D, FARKAS I, VICSEK T. Simulating dynamical features of escape panic [J]. Nature, 2000, 407(6803): 487-490.
 [18] GB/T1000-2023. 中国成年人体尺寸[S]. 北京:中国标准出版社,2023.
 [19] 刘旭光,赵永翔,张宇林,等. 基于社会力模型的楼梯区域人员疏散实验及仿真研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2018,40(3):250-255.
 [20] 浙江省公安厅. 关于印发《浙江省大型群众性活动安全等级管理工作规范(试行)》的通知[R]. 2019.
 [21] 宋英华,程鹤,王奇明,等. 大型体育场行人分区疏散优化策略研究[J]. 中国安全生产科学技术,2021,17(3):19-25.