

基于Anylogic教学楼内小学生群体疏散研究

温莎莎, 郑杰, 马闪闪, 李兴莉*

太原科技大学, 应用科学学院, 山西 太原
Email: *lixingli80@163.com

收稿日期: 2021年7月5日; 录用日期: 2021年7月20日; 发布日期: 2021年7月28日

摘要

小学生群体因其特有的一些心理行为特性, 已成为校园拥堵踩踏事故的高发对象。本文以某典型四层小学教学楼建筑物为研究对象, 利用基于社会力模型的行人仿真软件Anylogic, 借助Multi-Agent技术对多层教学楼内的小学生群体疏散情况进行仿真模拟与分析, 在此基础上, 针对拥堵节点, 提出了不同的疏散策略。仿真结果表明: 疏散时针对楼梯宽度合理分配楼梯, 可以有效降低学生群体的总疏散时间; 加入引导路径可以合理分流人群, 减少楼梯口拥堵, 规避踩踏事故的发生; 将中年级学生布置在二层时, 学生群体的疏散效率最高。本文的研究结果可为教学楼内小学生群体的疏散方案设计提供参考。

关键词

小学生群体, 教学楼, Anylogic, 疏散, 策略优化

Research on the Evacuation of Elementary School Group in Teaching Building Based on Anylogic

Shasha Wen, Jie Zheng, Shanshan Ma, Xingli Li*

School of Applied Science, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan Shanxi
Email: *lixingli80@163.com

Received: Jul. 5th, 2021; accepted: Jul. 20th, 2021; published: Jul. 28th, 2021

Abstract

Primary school students have become the high target of trampling accidents due to their peculiar

*通讯作者。

文章引用: 温莎莎, 郑杰, 马闪闪, 李兴莉. 基于 Anylogic 教学楼内小学生群体疏散研究[J]. 建模与仿真, 2021, 10(3): 717-724. DOI: 10.12677/mos.2021.103072

psychological and behavioral characteristics. Regarding a typical four-story primary school building as the research object, the pedestrian simulation software Anylogic based on the social force model and Multi-Agent technology are used to simulate and analyze the evacuation of the group of primary school students in the multi-story teaching building. For the congested nodes, different evacuation strategies are given. The simulation results show that the reasonable allocation of stairs according to the width of the stairs during evacuation can effectively reduce the total evacuation time of the student group. To add a guiding path can divert the crowd, reduce the congestion at the stairway, and thus avoid the occurrence of trampling accidents. In addition, when middle-grade students are arranged on the second floor, the evacuation efficiency of the student group is the highest. The research results can be referred in designing the evacuation schemes of the primary school students in the teaching building.

Keywords

Elementary School Group, Teaching Building, Anylogic, Evacuation, Scheme Optimization

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着九年义务教育的普及与发展, 中小學生数量急剧增加, 然而他们的在校安全问题也逐渐突显出来。据《中国教育在线》统计, 全国发生的各类踩踏事故中, 校园事故占 66.67%。如何在突发事件中令學生及时疏散, 并减少疏散时群死群伤事故发生, 已成为相关科研机构 and 行政部门重要的研究课题。

教学樓作为學生聚集场所, 人群密度大, 疏散空间小, 导致在疏散过程中存在较大的风险。在多层建筑疏散中, 人员对疏散出口[1] [2] [3]、疏散路径的选择[4] [5] [6]以及疏散樓梯宽度[7] [8] [9] [10]等因素都会影响人员疏散的效率。目前, 研究學生群体疏散时所涉及的场所多为大学, 研究对象多为大学生[11] [12] [13], 针对小学生群体的疏散研究极为少见。张玲[14]等从疏散影响因素、疏散人员分布状态和空间组织三方面进行了研究, 提出了小学教学樓结构性空间的优化原则。王天一[15]等利用 Building EXODUS 研究了小学教学樓功能性空间优化策略。霍非舟[16]等研究了不同人员运动速度、人员数量及疏散策略对小学教学樓樓梯间人员疏散的影响。刘晶[17]等通过 pathfinder 对小学教学樓交通空间疏散设计展开研究。Tang T.Q. [18]等考虑理性和非理性行为研究了两个出口的教室中小學生的疏散行为。这些研究侧重于对小学教学樓空间的优化, 以及单独针对小学教学樓内垂直方向和水平方向的人员疏散进行研究。

可以看出, 目前针对小学教学樓内人员疏散的研究, 大部分集中在小学教学樓空间及功能的优化, 很少涉及在不改变建筑物结构的基础上, 考虑小学生特有的心理行为特征, 通过改变疏散方式提高正常情况下小學生在教学樓内的疏散效率。本文针对多层教学樓内小學生群体的个体差异, 基于 Anylogic 软件, 建立某小学教学樓内小學生群体疏散模型, 通过对几种疏散方案的仿真分析, 得出最优疏散策略, 以其为教学樓内小學生群体的疏散管理提供一些建议。

2. 小学生群体的心理行为特征分析

根据心理学的划分, 人的一生分为五个年龄阶段, 即婴幼儿期(0~6 岁), 学龄初期(7~12 岁), 青春期(13~25 岁), 壮年期(26~60 岁)和老年期(60 岁以上)。本文主要研究对象为 7~12 岁的学龄初期的小學生。

在学龄初期阶段，小学生正处于生长发育初期，身高、体重等方面迅速增加，导致每个年级学生的平均身高、体重都有明显的差异性，与成年人相比，差异更加显著。由于身高体重的差异，疏散速度具有差异性；由于肩宽的不同，疏散通道所允许同时通过的人数也有差异。故而在研究小学生群体疏散时，要根据小学生身高、体重以及肩宽等的差异，将小学生分为三个整体进行研究。

此外，在面对紧急情况时，由于自身对事件的理解能力低于一般的公众，小学生更容易出现恐惧、慌张、从众等心理行为，同时小学生对老师具有较强的依赖性，老师在学生疏散行为过程中扮演着非常重要的角色，其正确信息的诱导会直接影响疏散效率。

3. 模型建立

Anylogic 软件是一款混合建模仿真软件，以最新的复杂系统设计理论与方法为基础，同时支持离散建模和连续建模。Anylogic 软件基于社会力模型建模，其中行人仿真主要依托行人库实现，可以较为真实地反映行人运动时行人之间的相互影响以及影响行人运动的各种因素。本文利用 Anylogic 软件中的行人库和流程图对行人建模，模拟正常情况下多层小学教学楼内人员疏散过程。

3.1. 多层小学教学楼内人员疏散场景构建

根据某小学教学楼具体建筑结构及尺寸，构建小学教学楼内人员疏散场景。

选取某小学的四层主教学楼作为研究对象。一层由 10 间教师办公室及一个活动区组成；二、三层分布有 12 个教室，2 间教师休息室，1 间合班教室；四层分布有 12 个教室。每间教师办公室可容纳 20 个教职工，每间教室容纳 40~50 名学生。该栋楼有 5 个可供疏散的楼梯，平面示意图分别如图 1 所示。

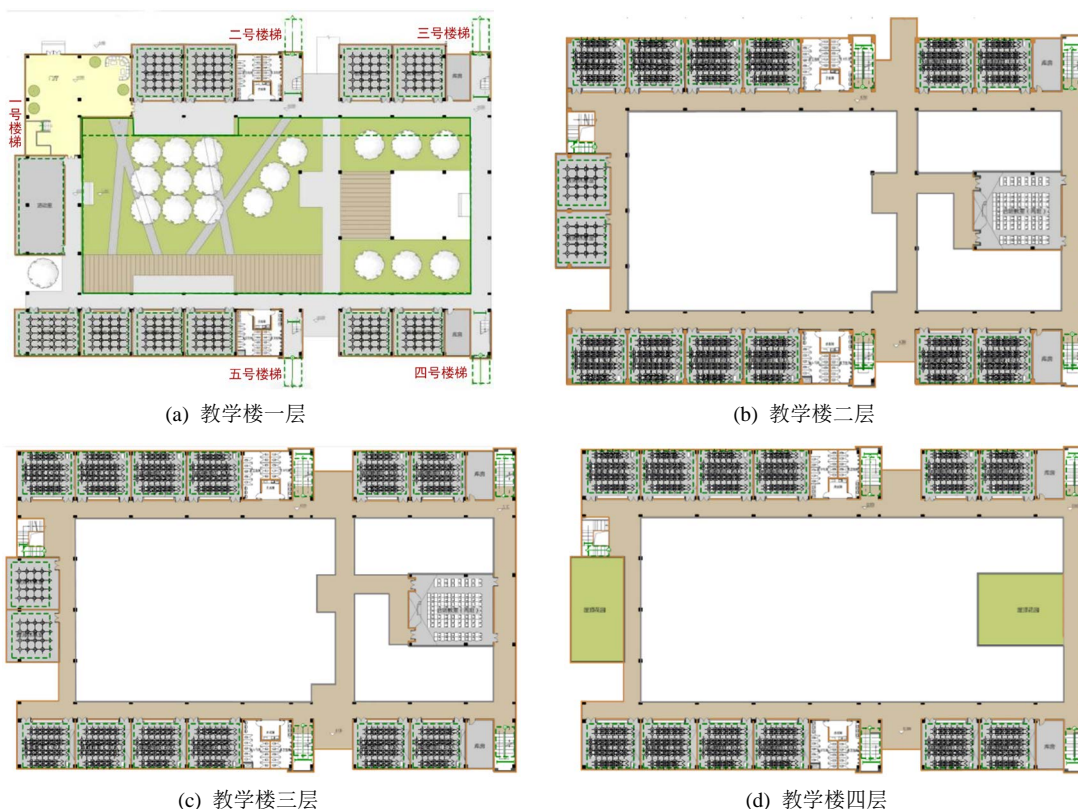


Figure 1. Plan sketch of teaching building
图 1. 教学楼平面示意图

3.2. 参数设置

在本例中, 行人分为教师和学生两大类, 其中, 学生又细分为 1~2 年级学生, 3~4 年级学生, 5~6 年级学生三大类。模拟场景中设定教师和学生的男女比例均为 1:1, 根据《中国成年人人体尺寸》的统计, 其中 26~35 岁成年男女最大肩宽 50% 分位数的值分别为 0.376 m 和 0.350 m [19], 因而在模拟中设定男教师肩宽为 0.376 m, 女教师肩宽为 0.350 m。根据《中国未成年人人体尺寸》(GB/T 26158-2010) 的统计, 7~10 岁未成年男女生最大肩宽 50% 分位数的值分别为 0.326 m 和 0.319 m, 11~12 岁分别为 0.362 m 和 0.358 m [20], 因而在模拟时, 选用 0.326 m 和 0.319 m 分别为一至四年级男生和女生的肩宽值, 选用 0.362 m 和 0.358 m 分别为五至六年级男生和女生的肩宽值。通过相关资料的查阅与总结整理得到了符合我国小学生实际的参数值(见表 1)。

Table 1. Evacuation parameters of primary school students

表 1. 小学生疏散参数

性别	年级	肩宽(m)	疏散速度(m/s)
男	1~2 年级	0.326	0.94~1.2
	3~4 年级	0.326	1.06~1.34
	5~6 年级	0.362	1.18~1.47
女	1~2 年级	0.319	0.87~1.17
	3~4 年级	0.319	1.01~1.31
	5~6 年级	0.358	1.16~1.45

4. 仿真分析与策略优化

4.1. 一般情况下的仿真结果

通过查阅相关资料, 本文规定小学教室可容纳 40~50 名小学生。假设每个教室人数都达到上限 50 人, 各个年级总人数均为 300 人, 疏散总人数为 2084 人。初始时刻, 学生均有序分布在教室内, 其中, 一、二年级教室位于教学楼的二层, 三、四年级位于三层, 五、六年级位于四层。由于楼梯分布不均匀, 为了保证楼梯的合理利用, 人员疏散有序进行, 老师提前将每个班级合理分配到固定的楼梯进行疏散, 其中, 2、5 号楼梯左边临近的三个教室分别分配到 2、5 号楼梯, 3、4 号楼梯左边临近的两个教室分别分配到 3、4 号楼梯, 剩下的教室分配到 1 号楼梯。正常情况下, 当课间操铃响起时, 楼内人员会离开所在教室, 随后根据分配好的楼梯开始进行疏散。图 2 给出了正常疏散情况下, $T = 35$ s 时

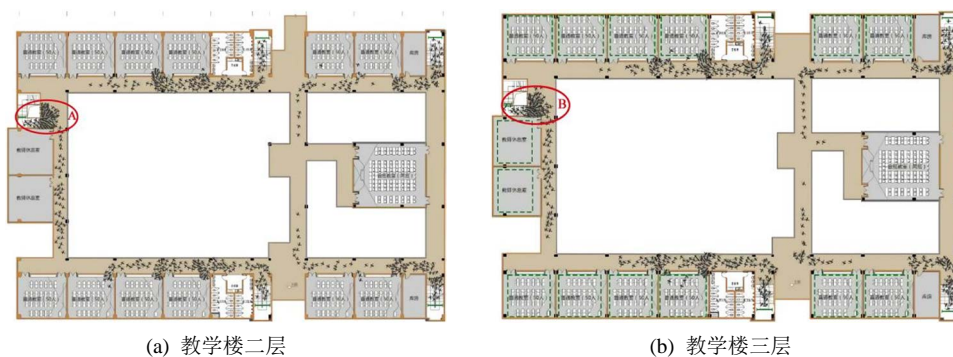


Figure 2. Pedestrian evacuation simulation diagram at $T = 35$ s

图 2. $T = 35$ s 的行人疏散仿真图

教学楼二、三层的行人疏散演化斑图。可以看出, 由于 1 号楼梯相较于其它楼梯宽度更小, 导致在疏散人数几乎相同时, 二、三层的 1 号楼梯口(A 区域和 B 区域)出现了不同程度的拥堵, 出现了拥堵节点, 大幅降低了疏散效率。

因此, 需要在不改变原建筑结构, 不增加 1 号楼梯宽度的情况下, 针对如何避免拥堵情况的发生, 确保疏散有序进行提出优化疏散方案。

4.2. 优化方案及对比

方案一: 为了减小 1 号楼梯的疏散压力, 避免楼梯口瓶颈处发生拥堵, 可位于将 1 号楼右侧的教室分配到 2 号楼梯进行疏散, 这样既可以避免由于 1 号楼梯左右的两个教室距离 1 号楼梯的距离相差不大, 人员到达 1 号楼梯的时间比较聚集, 又可以减少 1 号楼梯的疏散人数, 缓解疏散压力。图 3 给出了原模型修改后 $T = 35$ s 时教学楼二、三层的行人疏散演化斑图。可以看出, 1 号楼梯口处(A 区域和 B 区域)的拥堵有所缓解, 但仍存在拥堵现象, 无法避免踩踏事故的发生。

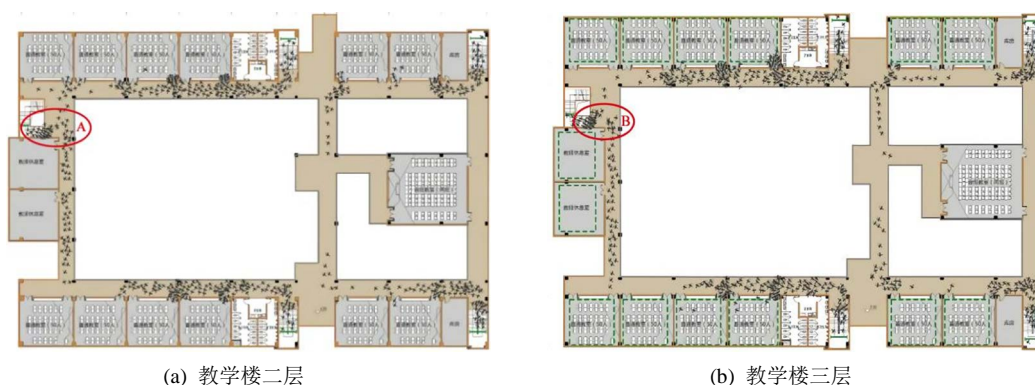


Figure 3. Pedestrian evacuation simulation diagram of first program at $T = 35$ s
图 3. 方案一 $T = 35$ s 的行人疏散仿真图

方案二: 在方案一的基础上, 增加老师的疏散引导, 将走廊分成三段, 中间是 600 mm 宽的疏散通道, 作为紧急疏散通道以及在现场指挥学生疏散的教师通道, 学生根据两侧指定的疏散通道进行疏散。图 4 给出了方案二 $T = 35$ s 时教学楼二、三层的行人疏散仿真图。可以看出, 此时二、三层楼梯口(A 区域和 B 区域)几乎不存在拥堵, 整个疏散较为有序进行。方案三: 由于小学生群体的生理、心理指标各方面随年龄的变化显著, 每个年龄段的平均肩宽以及疏散时的平均速度都不相同。因此, 在研究小学生群体在教学楼疏

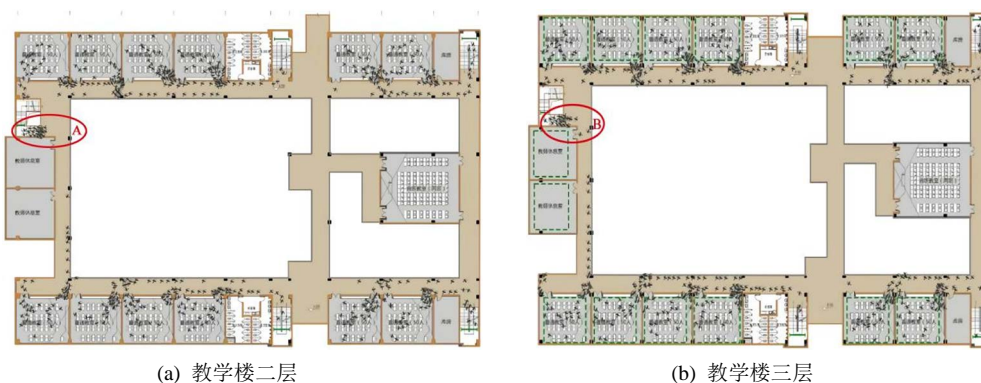


Figure 4. Pedestrian evacuation simulation diagram of second program at $T = 35$ s
图 4. 方案二 $T = 35$ s 的行人疏散仿真图

散的情况时,应考虑不同年级教室在教学楼的楼层分布对疏散效率的影响,进一步优化疏散方案。在方案二的基础上,将1、2年级作为一个群体,3、4年级作为一个群体,5、6年级作为一个群体,分别设置其肩宽以及疏散速度。不同年级在该教学楼的分布情况分为以下六种:case 1 对应低年级在二层,中年级在三层,高年级在四层;case 2 对应低年级在二层,高年级在三层,中年级在四层;case 3 对应中年级在二层,低年级在三层,高年级在四层;case 4 对应中年级在二层,高年级在三层,低年级在四层;case 5 对应高年级在二层,低年级在三层,中年级在四层;case 6 对应高年级在二层,中年级在三层,低年级在四层。对这六种情况分别进行疏散模拟,找出最适合疏散的教室分布。

4.3. 优化方案仿真结果分析

1) 将原方案、方案一及方案二分别进行10次仿真疏散,得出平均值,如表2所示。可以看出,方案一较原方案平均节省了约8%的时间,可见,楼梯宽度对疏散时间有很大影响,方案一的疏散楼梯设置较原方案更适合该教学楼的疏散;方案二较原方案节省了约14%的时间,对比10次模拟结果,其中,方案一的10组模拟结果相差较大,仿真模拟过程具有较强的不确定性,可见通过设置教师引导路径可以提高人疏散的效率,楼梯口瓶颈处拥挤的情况也得到改善。考虑疏散人数不同可能出现不同的模拟结果,小学教室可容纳人数为40~50人,将普通教室人数依次设置为40、45人,即疏散总人数分别为1724、1904人,分别进行10次仿真模拟得到平均值,选取最接近平均值的模拟数据进行整合,得到3种不同疏散人数下三种方案疏散时间及疏散时间缩短率如表3所示。

Table 2. Total evacuation time for each plan

表 2. 各个方案疏散总时间

	一组	二组	三组	四组	五组	六组	七组	八组	九组	十组	平均
原方案	292	289	286	288	285	285	285	280	286	285	286.1
方案一	258	261	295	238	253	243	298	257	270	259	263.2
方案二	241	245	244	246	243	251	242	239	249	250	245

Table 3. The evacuation effect of the three schemes under three different evacuation numbers

表 3. 3种不同疏散人数下三种方案的疏散效果

方案	疏散总人数	疏散完成时间	疏散时间缩短率
原方案	1724	252	/
	1904	269	/
	2084	286.1	/
方案一	1724	206.2	18.2%
	1904	244.8	9.0%
	2084	263.2	8.0%
方案二	1724	201.1	20.2%
	1904	220.9	17.9%
	2084	245	14.4%

2) 在方案二的基础上,对不同年级在教学楼6种分布情况分别进行10次仿真模拟取平均值,并将普通教室人数依次改为40、45人,即疏散总人数分别为1724、1904人,对case 1~case 6分别进行10次

模拟取平均值, 选取最接近平均值的一组数据对数据进行整合, 3 种不同疏散人数下 6 种方案仿真疏散模拟数据如表 4 所示。从疏散时间, 瓶颈处最大行人数量及瓶颈处最大行人密度来看, 3 种不同疏散人数下都是当中年级在二层时仿真模拟所需要的疏散总时间最少, 疏散效率最高; 当高年级在二层时, 疏散效率最低。

Table 4. Simulation data of six scenarios under three different evacuation numbers

表 4. 3 种不同疏散人数下六种方案的模拟数据

方案	疏散总人数	疏散完成时间	瓶颈处通过的最大行人数量(个/分钟)
Case 1	1724	201.1	166
	1904	220.9	166
	2084	245	172
Case 2	1724	202.1	173
	1904	226.2	164
	2084	246.5	167
Case 3	1724	198.4	168
	1904	220.9	176
	2084	245.3	170
Case 4	1724	200.5	172
	1904	220.9	164
	2084	243.2	173
Case 5	1724	206.5	185
	1904	231.2	174
	2084	256.8	170
Case 6	1724	206.8	164
	1904	229	173
	2084	252.2	173

5. 结论

本文以某小学四层教学楼为研究对象, 运用 Anylogic 软件对教学楼内小学生群体的疏散情况进行仿真模拟, 针对拥堵节点, 提出三种优化方案并进行论证。通过对比正常情况下各个方案人员疏散完成所需要的总时间以及时空演化图发现: 1) 楼梯宽度对疏散效率影响很大, 在疏散人数几乎相同时, 楼梯宽度越小的疏散速率越低, 越容易在楼梯口发生拥堵, 在疏散时针对楼梯宽度合理分配楼梯可以有效降低学生群体的总疏散时间; 2) 当其他变量保持不变, 添加路径规划与指导, 可以合理分流人群, 提高疏散效率, 避免瓶颈处拥堵情况的发生; 3) 不同年级教室分布情况对疏散效率也有影响, 将中年级布置在二层, 三四层无论怎么排布, 疏散总时间均最少, 学生群体的疏散效率最高。

基金项目

本论文获山西省自然科学基金(201901D111255)资助。

参考文献

- [1] Delcea, C. and Cotfas, L.-A. (2019) Increasing Awareness in Classroom Evacuation Situations Using Agent-Based

- Modeling. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **523**, 1400-14018.
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.137>
- [2] Fu, L., Luo, J., Deng, M., Kong, L. and Kuang, H. (2012) Simulation of Evacuation Processes in a Large Classroom Using an Improved Cellular Automaton Model for Pedestrian Dynamics. *Procedia Engineering*, **31**, 1066-1071.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1143>
- [3] Delcea, C., Cotfas, L.-A., Craciun L. and Molanescu, A.G. (2020) An Agent-Based Modeling Approach to Collaborative Classrooms Evacuation Process. *Safety Science*, **121**,414-429. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.026>
- [4] 陈亮, 郭仁拥, 塔娜. 双出口房间内疏散行人流的仿真和实验研究[J]. 物理学报, 2013, 62(5): 050506.
<https://doi.org/10.7498/aps.62.050506>
- [5] Chen, L., Tang, T.-Q., Huang, H.-J. and Song, Z. (2018) Elementary Students Evacuation Route Choice in a Classroom: A Questionnaire-Based Method. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **492**, 1066-1074.
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.036>
- [6] Guo, R.-Y., Huang H.-J. and Wong S.C. (2012) Route Choice in Pedestrian Evacuation under Conditions of Good and Zero Visibility: Experimental and Simulation Results. *Transportation Research Part B: Methodological*, **46**, 669-686.
<https://doi.org/10.1016/j.trb.2012.01.002>
- [7] 谢天光, 路世昌, 黄鑫. 超高层建筑疏散楼梯对疏散效率的影响[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(6): 786-788.
- [8] 孙迪, 周进, 高学英, 矫婷, 赵丽鲜. 地铁站内行人疏散路径选择仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(9): 1819-1826.
- [9] Fang, Z.-M., Song, W.-G., Li, Z.-J., Tian, W., Lv, W., Ma, J., et al. (2012) Experimental Study on Evacuation Process in a Stairwell of a High-Rise Building. *Building and Environment*, **47**, 316-321.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.009>
- [10] Rostami, R. and Alaghmandan, M. (2021) Performance-Based Design in Emergency Evacuation: From Maneuver to Simulation in School Design. *Journal of Building Engineering*, **33**, Article ID: 101598.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101598>
- [11] 王振报, 温苏皖, 白梅, 连海涛. 河北工程大学建筑馆行人疏散仿真分析[J]. 建筑与文化, 2020(7): 220-221.
- [12] 梁琦. 基于 Anylogic 仿真模拟的沈阳农业大学防灾避险绿地研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [13] Zang, Y., Mei, Q. and Liu, S. (2021) Evacuation Simulation of a High-Rise Teaching Building Considering the Influence of Obstacles. *Simulation Modelling Practice and Theory*, **112**, Article ID: 102354.
<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102354>
- [14] 张玲. 基于疏散模拟的小学教学楼结构性空间优化策略[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2020.
- [15] 王天一. 基于疏散模拟的小学教学楼功能性空间优化策略[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2020.
- [16] 霍非舟, 刘蒙, 吕伟, 杜煜. 考虑儿童运动特性的小学教学楼楼梯间人员疏散研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(4): 149-155.
- [17] 刘晶. 小学教学楼交通空间疏散设计研究——以连云港市师范高等专科学校第二附属小学为例[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2015.
- [18] Tang, T.-Q., Chen, L., Guo, R.-Y. and Shang, H.-Y. (2015) An Evacuation Model Accounting for Elementary Students' Individual Properties. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **440**, 49-56.
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.08.002>
- [19] 中国标准化与信息分类编码研究所. GB/T 10000-1988, 中国成年人人体尺寸[S]. 北京: 国家技术监督局, 1988.
- [20] 张欣, 冉令华, 刘太杰, 冯士雍, 郑嵘, 肖慧, 等. GB/T 26158-2010, 中国未成年人人体尺寸[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.