

doi: 10.7690/bgzd.2024.07.018

基于 MR 混合现实技术的应急仿真应用系统设计

胡志博¹, 李少春², 凌海涛², 王晓军¹, 崔珊珊¹

(1. 国网新源控股有限公司北京十三陵蓄能电厂, 北京 102200;

2. 国网新源控股有限公司, 北京 102200)

摘要: 为避免灾难发生时因经验不足导致慌乱而造成更大的损失, 使用混合显示技术设计一种应急仿真应用系统。硬件设计中使用蓝牙适配器作为无线网络传输的工具; 软件设计中基于混合现实技术重建虚拟现实场景, 对图像进行降噪处理, 计算各像素点的 3 维坐标, 实时更新粒子位置, 对其进行可视化渲染, 并获取粒子在混合现实场景渲染下的位置坐标, 混合现实视线下的投影距离; 对应急逃生路径规划设计一种路径规划算法; 在仿真场景的物理模型下, 获取应急疏散模拟结果。结果表明: 该仿真系统具备实用性, 能够完成应急演练时的数据收集与分析。

关键词: MR 技术; 混合显示技术; 灾害应急逃生; 仿真应用系统; 灾害场景渲染

中图分类号: TN06 **文献标志码:** A

Design of Emergency Simulation Application System Based on MR Mixed Reality Technology

Hu Zhibo¹, Li Shaochun², Ling Haitao², Wang Xiaojun¹, Cui Shanshan¹

(1. Beijing Ming Tombs Energy Storage Power Plant, State Grid Xinyuan Holdings Co., Ltd., Beijing 102200, China;

2. State Grid Xinyuan Holdings Co., Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: In order to avoid the panic caused by the lack of experience when the disaster occurs, a hybrid display technology is used to design an emergency simulation application system. Bluetooth adapter is used as a tool for wireless network transmission in hardware design; In the software design, the virtual reality scene is reconstructed based on the mixed reality technology, the image is denoised, the three-dimensional coordinates of each pixel point are calculated, the position of the particle is updated in real time, the visual rendering is carried out, and the position coordinates of the particle under the rendering of the mixed reality scene and the projection distance under the line of sight of the mixed reality are obtained; Obtaining an emergency evacuation simulation result under the physical model of the simulation scene. The results show that the simulation system is practical and can complete the data collection and analysis during the emergency drill.

Keywords: MR technology; hybrid display technology; disaster emergency escape; simulation application system; disaster scene rendering

0 引言

20 世纪以来, 各类灾害频发, 导致人民的生命受到威胁。为保证灾难发生时的生命安全, 各地都需要进行应急仿真演练, 避免事故发生时人们因陷入慌乱之中而加大损失。混合现实技术的成熟, 使得灾害应急演练拥有了更好的效果。混合现实技术是一种通过计算机生成虚拟对象, 并在计算机视觉以及人机交互等新技术的引领下, 混合现实与虚拟的一种科技。在混合现实技术的帮助下, 可更逼真地面对应急仿真演练, 以加强真实感。在混合现实技术之外, 还需设计一种应急仿真的应用系统作为虚拟世界的基石。在现有的一些应急仿真模拟技术中, 文献[1]针对水电站, 建立一种以虚拟现实技术

为核心的实体模型, 并在 Unity3D 引擎的基础上, 完善了应急演练的虚拟场景; 工作人员可根据这些虚拟的场景, 更逼真地完成应急演练, 以更快的速度掌握事故突发时的处置方法, 并且可不受空间、时间以及成本的约束, 多次重复。文献[2]使用虚拟仿真技术, 建立了一种情景模型, 通过收集到的数据, 完成了对地震等大型灾害发生时当地真实情景的模拟; 使应急救援人员可在保证安全的前提下, 反复进行应急救援的演练, 保证真实灾难发生时, 遇害者能以更快的速度被救援。结合以上文献, 笔者基于 MR 混合现实技术, 设计一种应急仿真应用系统, 可完全构建出一个虚拟的空间, 使用户沉浸在真实与虚拟的交界处, 更加身临其境, 获得更沉浸式的体验。

收稿日期: 2024-03-08; 修回日期: 2024-04-15

第一作者: 胡志博(1989—), 男, 内蒙古人, 硕士。

1 系统架构

基于 MR 的应急仿真应用系统十分复杂，需对其框架进行整体性地统筹规划。在该系统的框架下，分为用户层、应用层、逻辑层、数据层和设施层 5 个层次^[3-4]。各个架构层次的内在体现如图 1 所示。

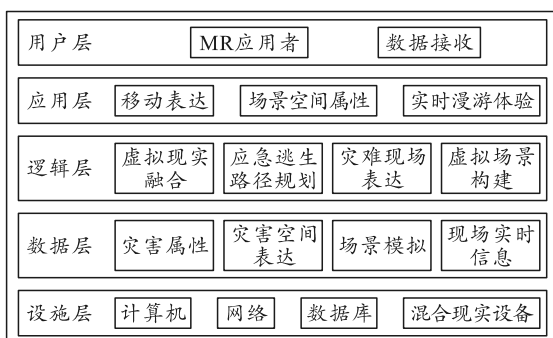


图 1 应急仿真系统框架

在系统的应用层内，只有 MR 使用者和数据接收者 2 个用户，其主要体现在混合现实场景的展示与应急仿真场景数据的收集 2 方面。

在系统的应用层内，分为移动表达、场景空间属性和实时漫游体验 3 方面，这是系统整体可以表达的功能体现，其中移动表达可在人体运动之后实时更新混合现实视线中的场景；场景空间属性能在现实场景之上添加虚拟场景，并为其标注空间属性；实施漫游体验可在使用者对现场进行交互操作后获得相应的反应，让使用者有一种身临其境的体验^[5-6]。

在逻辑层，需针对应用层和数据层构建一个表达算法作为沟通的桥梁；因此，其中包括虚拟现实融合、应急逃生路径规划、灾难现场表达、虚拟场景构建等算法。

在数据层，需提前收集或者实时采集相应的数据，如灾害属性、灾害空间表达、现场场景模拟、现场实时操作信息等数据。

最下方的设施层则为应急仿真系统运行所需的几种基础硬件、软件以及网络环境，包括计算机设备、无线和有线网络、数据库、混合现实设备等。

2 混合现实仿真系统硬件设计

在基于混合现实技术的应急仿真应用系统中，最核心的硬件就是实时数据收集过程中，用于数据传输的无线通信技术。该技术在本系统内使用蓝牙作为基础硬件，该硬件设施可在数据传输的过程中为其提供基础能耗，并保证数据的传输速率达到基

础水平以上。

蓝牙适配器使用 DX-BT054.0 蓝牙模块作为基础配置，该配置的蓝牙可完成周边扫描、数据连接、传递函数、终止连接等操作^[7-8]。通过 USB 端口可将蓝牙内收集的数据传输到电脑上，而个人计算机则可通过 UART 获取蓝牙适配器内相应的属性信息，并完成数据读取工作。在与混合现实技术相连之后，其本身可以与系统实现链路网络层与传输层相连的结构，同时保证信道宽度在 1 MHz 以上。在同一个网络上，每一个蓝牙传输通道都有至少 3 个节点进行实时访问。同时，蓝牙适配器还可完成混合现实设备与计算机之间的配对工作。

3 应急仿真应用系统软件设计

3.1 基于混合现实技术重建虚拟现实场景

在构建虚拟现实场景之前，需使用摄像机对其进行初步信息提取。在原始图像下，首先对其进行双边滤波处理，双边滤波一般将非线性的高斯滤波作为核心^[9]，在降噪以后还能保证边界的清晰与完整；因此，其基本公式为：

$$Q_m(t) = \exp(-f_i^2/m^2)。 \quad (1)$$

式中： $Q_m(t)$ 为经过加权处理后的像素灰度值； f_i 为像素点在空间位置上的原始灰度值； m 为权重系数。在经过双边滤波处理的图像上计算各像素点的 3 维坐标：

$$K_m(g) = Q_m(t) \times (\hat{h}/F_k)。 \quad (2)$$

式中： $K_m(g)$ 为像素点 g 的 3 维坐标； \hat{h} 为该像素对应的齐次坐标； F_k 为摄像机的内部深度参数^[10-11]。通过相邻点计算图像的法向量，并在经过降采样方法的处理后，得到预处理后的场景影像。以上图像为现实场景下的场景，要完成对混合现实技术的场景重建，还需在其中添加灾害粒子，在实时更新粒子位置的同时，对其进行可视化渲染：

$$\left. \begin{aligned} D_x &= \frac{1}{\sqrt{2\pi R_f}} \exp\left\{-\frac{(f_{xi} - f_{xn})^2}{(2R_f^2)}\right\} \\ D_y &= \frac{1}{\sqrt{2\pi R_f}} \exp\left\{-\frac{(f_{yi} - f_{yn})^2}{(2R_f^2)}\right\} \\ D_z &= \frac{1}{\sqrt{2\pi R_f}} \exp\left\{-\frac{(f_{zi} - f_{zn})^2}{(2R_f^2)}\right\} \end{aligned} \right\}。 \quad (3)$$

式中： D_x 为该粒子在 x 轴方向更新后的坐标， D_y 和 D_z 分别为其在 y 轴和 z 轴方向更新后的坐标； R_f 为灾害发生的半径； f_{xi} 和 f_{xn} 分别为粒子在 x 轴方向

更新前的中心点位置与更新距离; f_{yi} 和 f_{ym} 为粒子在 y 轴方向更新前的中心点位置与更新距离; f_{zi} 和 f_{zm} 为粒子在 z 轴方向更新前的中心点位置与更新距离^[12-13]。在对灾害粒子的渲染过程中, 需划定粒子在混合现实场景下渲染的位置坐标:

$$P_k = \{x_p/D_x, y_p/D_y, z_p/D_z\} \quad (4)$$

式中: P_k 为每个粒子在渲染后的位置坐标; x_p 、 y_p 和 z_p 为粒子面片参数^[14-15]。由此可得视线在混合现实技术下投影距离为:

$$D_k = \sqrt{((p_x + D_x)^2 + (p_z + D_z)^2) / (p_y + D_y)^2} \quad (5)$$

式中: D_k 为投影距离; P_x 、 P_y 和 P_z 分别为场景渲染粒子在 x 、 y 和 z 轴下的坐标。依据以上公式, 可基于混合现实技术得到重建后的场景, 该场景混合了虚拟场景与现实场景, 可作为应急仿真的背景。

3.2 应急逃生路径规划

在应急仿真的背景下, 需人为规划最佳的应急逃生路径, 作为仿真应用系统的备用资料, 其算法流程如图 2 所示。

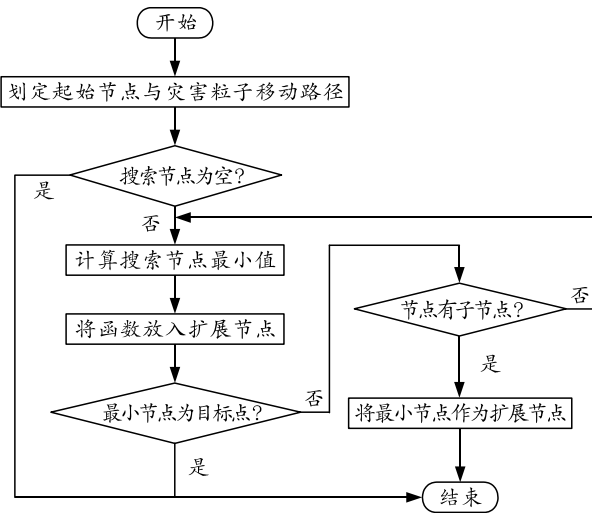


图 2 应急逃生路径规划算法流程

从上图可知, 规划应急逃生路径, 是仿真应用系统的重要组成部分^[16]。通过上述方法可得到搜索节点的最小值, 当搜索节点与扩展节点相匹配以后, 就能得到最佳的应急逃生路径。

4 仿真系统测试

4.1 建立办公楼物理模型

为测试上文中设计的应急仿真应用系统是否具备有效性, 在 MR 混合现实技术的基础上, 进行如下测试。将某办公楼作为本次实验的场景, 其物理模型如图 3 所示。

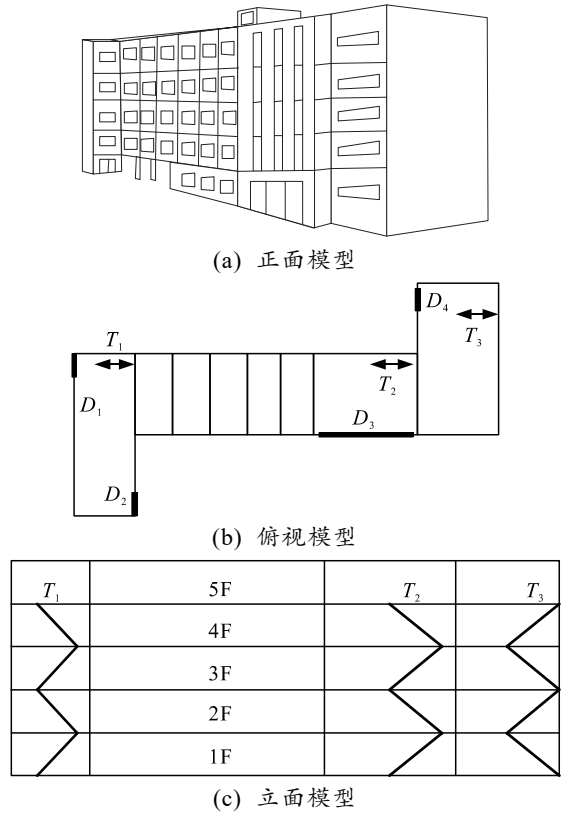


图 3 办公楼物理模型

上图的办公楼物理模型中, 分别使用正面模型、俯视模型以及立面模型表示。正面模型是该办公楼的外观图; 俯视模型是该楼体在正上方俯视图, 其中标注着 4 个对外连接的门(D_1-D_4), 在图 3(b)中该模型以粗线的条状矩形表示, 3 个双向箭头则表示该教学楼的楼梯(T_1-T_3)。立面模型表示该楼体的 5 层结构, 以及每一个楼梯的走向。根据《火灾自动报警系统设计规范》, 在实际的火灾演练中, 报警时间需要设置在 60 s; 因此, 本仿真系统的预期响应时间也需设置相同的时间数据。

4.2 人员疏散模型与参数设置

在办公楼内, 主要参与人员为少年, 以及小部分中青年男士、中青年女士, 几乎没有老人。因此, 在建立人员疏散模型并设置相应的参数时, 需考虑到这样的人员属性。相比较而言, 不同类型的参与者基本属性相差较大, 如表 1 所示。

表 1 疏散参与者基本属性

分类	移动速度最大值/(m/s)	移动速度最小值/(m/s)	肩宽/m	胸背宽度/m	占比/%
中青年男士	1.35	0.40	0.50	0.35	2
中青年女士	1.11	0.40	0.45	0.33	8
少年	0.89	0.40	0.40	0.30	90

从上表可知,中青年男士的最大移动速度、肩宽、胸背宽度均为3类参与者中的最大值,与之相对应的,少年的最大移动速度、肩宽以及胸背宽度均为3类参与者中的最小值,中青年女士则为中间值。在3类疏散参与者中,其最小移动速度为人群拥挤地段的单人移动速度,这类情况下,所有人的移动速度均为0.4 m/s。在办公楼内,90%的人均为学生,即少年体形;剩余10%的人中,男教师占2%,女教师占8%。

4.3 应急疏散模拟结果

在MR混合现实技术中,使用仿真软件对应急疏散情景进行模拟,按照相关规范以及图3进行详细地布置。其中, T_1 楼梯使用 D_1 和 D_2 门离开教学楼, T_2 楼梯使用 D_3 门离开教学楼, T_3 楼梯使用 D_4 门离开教学楼。此时可以得到仿真时段内疏散人数的仿真结果如图4所示。

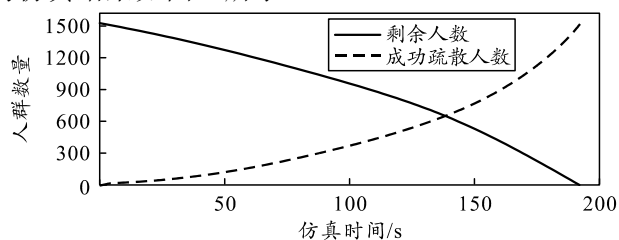


图4 时间变化下疏散人数仿真结果

上图中,教学楼内剩余人数与成功疏散人数式中成反比。整个仿真实验的总用时为187 s,成功疏散人群数量为1500人,其中1350人为学生,剩余的150人为中青年男士或者中青年女士。由上图可知,随着仿真时间推移,教学楼内剩余人数在不断下降,直至130 s时疏散人数达到一半以上。由于一开始楼道内较为拥挤,导致仿真结果并不是一次函数的形式。

4.4 逃生门流通率仿真

在这段疏散时间内,每个楼梯以及逃生门的人流量存在很大差异,其流通率如图5所示。

正常情况下,只有按照每秒通过人数为例,对4个逃生门 D_1 和 D_3 才会开启,但是当灾难发生时, D_2 和 D_4 也会同步打开,以供学生离开。计算其在单位时间内的流通率,以分析每扇门以及楼梯的拥挤程度。在 D_1 的流通率中,其流通率在50 s时达到最大值,约为20人/s,随后逐渐降低,在150 s以后降至1人/s,在170 s时降到0。在 D_2 的数据中,其流通率快速升高至26人/s,随后同样快速降低直至归零。在 D_3 的数据中,流量在73 s时达到

最大值,约为43人/s,这也是4个逃生门中流量最大,几乎呈现出标准的“几”字型结构。在 D_4 的数据中,流通率始终最小,其在46 s时达到最大值,只有5人/s,并在140 s时归零。综合对比以上4个逃生门, D_3 的流量最大,但是该门的容量也相对较大;因此,可在相应的时间内完成全部的疏散工作。

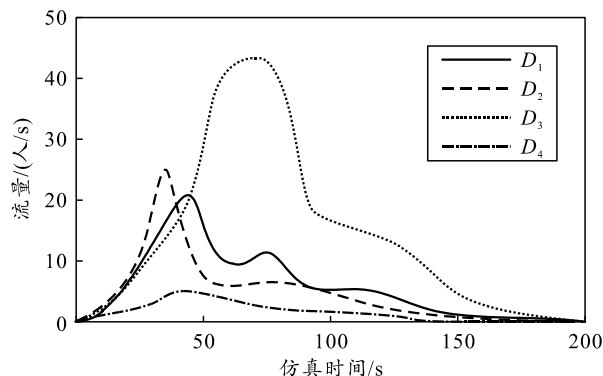


图5 D_1 — D_4 流通率

基于上述基础,考虑分布各层的人数和人员离开的时间,对 D_1 — D_4 流通率曲线进行修正,得到 D_1 — D_4 流通率修正曲线如图6所示。

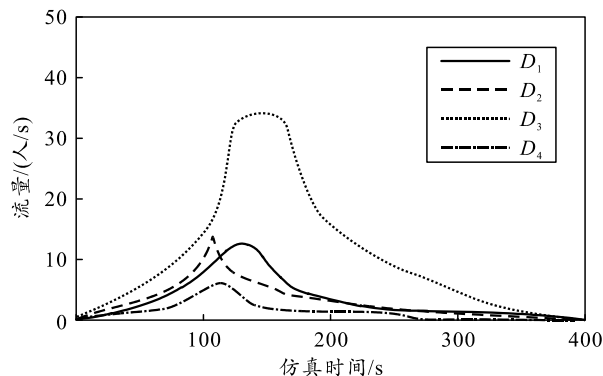


图6 D_1 — D_4 流通率修正曲线

分析上图可知:仿真时间为100 s时, D_1 经过修正后的流通率为6人/s, D_2 经过修正后的流通率为9人/s, D_3 经过修正后的流通率为14人/s, D_4 经过修正后的流通率为5人/s;仿真时间为300 s时, D_1 经过修正后的流通率为1人/s, D_2 经过修正后的流通率为1人/s, D_3 经过修正后的流通率为5人/s, D_4 经过修正后的流通率为0。上述结果表明:笔者设计的系统能够有效模拟4个逃生门场景的流通率,能够完成应急演练时的数据收集与分析。

4.5 不同楼梯疏散时间仿真

在危急时刻,除逃生门的流通率以外,楼梯的疏散效率也是十分重要的指标;因此,在本实验中对对其进行仿真分析,结果如图7所示。

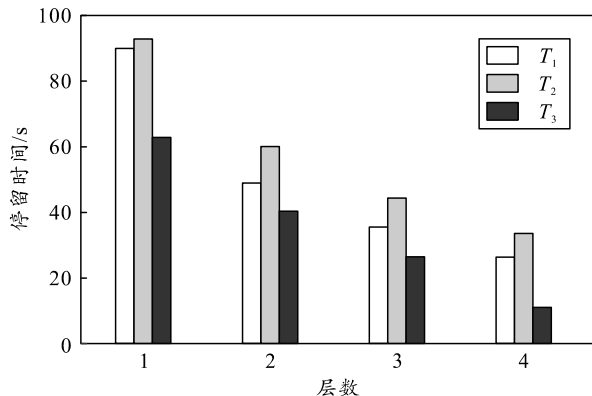


图 7 疏散时间仿真结果

上图中共有 3 个楼梯,每个楼梯都是 4 层结构。在这些楼梯中,参与者的停留时间不一,但是普遍符合几何规律。仿真结果显示,在最上层中,3 个楼梯的停留时间分别为 55、46、26 s, T_2 楼梯的行人数量明显大于 T_1 和 T_3 楼梯。在第 1、2 以及 3 层楼梯中,3 个不同编号的楼梯与第 4 层相同, T_2 的人数最大, T_3 则最小。但是每向下一层,停留的时间都会明显增加。

通过以上图像数据可知,本文中混合现实技术下应急仿真应用系统具备一定的实用性,能够在参数完整的情况下,将人群疏散的过程模拟出来。

5 结束语

笔者设计一种基于混合现实技术的应急仿真应用系统。使用蓝牙技术作为混合现实数据收集与无线传输的工具,在软件设计中重建虚拟现实场景,并划定应急逃生路径规划算法。通过仿真测试,得到教学楼内各逃生门的流通率以及不同楼道的疏散时间,由此可判定该应急仿真系统具备实用性,可对该次应急疏散效果进行评价。

参考文献:

[1] 于辉,王书华,刘立军,等.基于 Unity3D 的抽水蓄能电站运行事故应急处理仿真系统研究[J].水利水电技术(中英文),2022,53(s1):407-411.
 [2] 王东明,陈敬一,高杰.基于地震巨灾情景构建的应急救援演练虚拟仿真系统架构与设计[J].自然灾害学报,

2021,30(4):18-34.

- [3] 吴程程,吕毅,袁新浩,等.民机飞行机组应急逃生设计混合现实仿真系统[J].图学学报,2022,43(2):306-315.
 [4] 胡基平,李圣媛,赵睿,等.LNG 动力船应急响应系统流程 GSPN-MC 仿真模型[J].中国安全科学学报,2021,31(10):174-181.
 [5] 张飞燕,温佳宇,韩颖.巷道掘进爆破炮烟中毒应急救援虚拟仿真系统构建[J].爆破,2021,38(3):166-171.
 [6] 胡明伟,汤静妍,何国庆.地铁车站水浸应急疏散仿真研究[J].深圳大学学报(理工版),2022,39(2):159-167.
 [7] 张伟东,高智杰,王超贤.应急管理体系数字化转型的技术框架和政策路径[J].中国工程科学,2021,23(4):107-116.
 [8] 倪凌佳,黄晓霞,李红春,等.基于协作式深度强化学习的火灾应急疏散仿真研究[J].系统仿真学报,2022,34(6):1353-1366.
 [9] 丁明,魏庆朝,潘姿华,等.中低速磁浮线路高架桥上应急设施疏散能力仿真分析[J].城市轨道交通研究,2021,24(6):172-175,179.
 [10] 储进昌,马义涛.“华龙一号”厂区应急撤离仿真系统开发研究[J].核科学与工程,2021,41(1):1-5.
 [11] 龚鹏飞,常正辉,徐雨.城市道路应急交通组织措施及仿真评价[J].中国安全生产科学技术,2020,16(10):139-145.
 [12] 张艺萌,孙海,董胜.基于 BIM 和 Multi-agent 联合优化的海洋平台应急疏散仿真研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2020,50(s1):167-173.
 [13] 熊国强,雷嘉焯.基于突发事件的城市地铁客流应急疏散模型与仿真分析[J].工业工程,2020,23(3):99-106.
 [14] 孙潇潇,黄弘,李瑞奇.基于多智能体的突发事件下城市应急管理机制仿真[J].清华大学学报(自然科学版),2021,61(1):70-76.
 [15] 郭海湘,曾杨,陈卫明.基于社会力模型的多出口室内应急疏散仿真研究[J].系统仿真学报,2021,33(3):721-731.
 [16] 何嘉兴,张行,王红斌,等.极端灾害下考虑应急转供的配网停电过程仿真方法[J].智慧电力,2020,48(4):104-111.