

# 老龄社区洪涝灾害应急疏散时间窗模型研究

## ——以平江县某小区为例

文拙，田兆君，张术琳<sup>\*</sup>，鲁义

湖南科技大学 资源环境与安全工程学院，湖南 湘潭 411201

DOI:10.61369/ME.2025050020

**摘要：**本研究以平江县某老龄化小区为对象，构建洪涝灾害应急疏散时间窗模型。采用 Pathfinder 仿真分析不同场景下的疏散效率。结果显示，积水  $\leq 0.6\text{m}$  时疏散时间增幅平缓，超  $0.7\text{m}$  后效率骤降， $0.7\text{m}$  可作为应急响应关键指标；楼梯间因“漏斗效应”成核心瓶颈，疏散出口选择随积水深度变化。据此提出“蓝—黄—红”三级动态响应策略与“硬件升级+软件完善”的系统优化措施，为提升老龄社区防洪韧性、响应国家应急体系规划提供参考。

**关键词：**应急疏散；Pathfinder 仿真；分级响应策略

## Research on the Emergency Evacuation Time Window Model for Aging Communities during Flood Disasters – A Case Study of a Residential Community in Pingjiang County

Wen Zhuo, Tian Zhaojun, Zhang Shulin<sup>\*</sup>, Lu Yi

School of Resource & Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201

**Abstract :** This study takes an aging community in Pingjiang County as the research object, uses the "BIM+Pathfinder" technology to construct an emergency evacuation time window model, and simulates the evacuation process under 7 waterlogging scenarios within 0–1.0m. Results show: 0.7m is the threshold for a sharp drop in evacuation efficiency; when waterlogging exceeds this depth, the 100% evacuation time is 2.8 times longer than that without waterlogging. Stairwells show a "funnel effect", and the peak density at entrances/exits exceeds 2.5 people/ $\text{m}^2$ , which is prone to secondary accidents. The study proposes a "blue-yellow-red" three-level response strategy and software-hardware optimization measures.

**Keywords :** emergency evacuation; Pathfinder simulation; graded response strategy

## 引言

近年来，极端暴雨事件增多增强，引发的洪涝灾害在各地不断出现<sup>[1]</sup>，给城市社区造成了严重的经济损失和人员伤亡<sup>[2]</sup>。2023年洪涝灾害共造成5278.9万人次不同程度受灾，因灾死亡失踪309人，直接经济损失2445.7亿元<sup>[3]</sup>。

2024年6月18日至7月2日，岳阳市平江县出现持续性极端强降雨，引发了2024年“7·1”特大暴雨洪水灾害。此次灾害暴露出传统应急管理体系在应对老龄化小区突发洪涝灾害的适应性上的严重不足<sup>[3]</sup>。

目前已有学者在社区应急疏散领域展开了研究：黄丽蒂<sup>[4]</sup>等基于东北地区814个社区的 Pathfinder 仿真实验，发现方形路网较其他形态疏散效率可提升37.3%；张蕾<sup>[5]</sup>等通过对比实验指出，老年人对标识系统的识别能力较年轻人低35%。

然而，现有研究较少将洪涝灾害的动态演进过程与老龄化社区人员的特殊行为特征进行耦合分析。为此，本研究以湖南省平江县某典型老龄化小区为例，构建洪涝灾害应急疏散时间窗模型，并运用 Pathfinder 软件对不同积水场景下的疏散过程进行仿真模拟，量化分析积水深度对疏散效率的影响。本研究深度契合国家战略与社会需求，积极响应《“十四五”国家应急体系规划》中“提升基层防灾能力”的要求<sup>[6]</sup>。

## 一、模型构建与仿真设定

### (一) 研究区域

根据湖南省洪涝灾害综合风险评估，风险高发带主要集中于湘北地区，而本文研究地岳阳市平江县正是典型的高风险区域之一。这种自然环境的脆弱性，为研究老龄化社区在突发洪涝下的应急疏散问题提供了极具代表性的现实场景。

研究小区建于上世纪90年代，地处平江县中心城区。整个小区由4栋住宅楼组成，小区面积约1950m<sup>2</sup>。目前小区内共有48户居民，常住人口184人，其中老年人口占比高达40%，人口老龄化特征明显。

### (二) 参数设定

研究小区主干道宽度为9.4m，设有一个宽度为6.5m的主出口和一个宽度为2.5m的辅助出口。建筑内部，单元门、入户门、房间门宽度等均按实测尺寸在模型中精确设定，以保证疏散空间的真实性。

人员参数的设定综合了《中国成年人人体尺寸(GB10000-88)》标准与实测数据。考虑到当前疏散仿真软件在模拟积水水位动态上涨及其对人员速度实时影响方面的局限性，本研究采用静态多场景模拟的方法，以更可靠地分析不同灾害等级下的疏散瓶颈。基于速度衰减实验的关键节点，共设定了7种典型的积水深度场景：0m(无积水，作为基准对照)、0.3m、0.6m、0.7m、0.8m、0.9m和1.0m。在每个场景的模拟中，直接为相应的人员赋予该积水深度下衰减后的行走速度，从而模拟积水对全体疏散人员的阻碍作用。

### (三) 仿真模型构建与场景设定

本研究采用“BIM+疏散仿真”的技术路线，基于小区的CAD平面图与实地勘测数据，在Revit软件中构建精确的三维参数化建筑信息模型(BIM)。将Revit模型导入Pathfinder软件中进行识别(图1)，并定义疏散出口。在Pathfinder中，共设置184名疏散人员，与小区常住总人口一致。人员的初始位置采用随机分配的方式，模拟灾害发生时居民位于各自户内的场景，使其平均分布在4栋住宅楼的各楼层中。将模拟人员参数设定好完成，最终疏散模型示意图如图2所示。

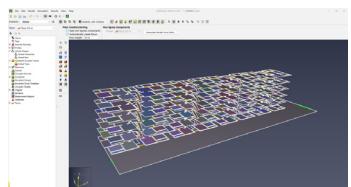


图1 完成识别调整的模型图

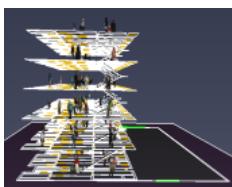


图2 疏散模型示意图

## 二、仿真结果与分析

### (一) 不同积水场景疏散效率分析

通过设置相同的初始条件和环境参数，确保了各情境模拟结果的可比性。通过对模拟数据的详细整理与分析，得到了不同积水深度条件下的疏散时间(如表所示)。

表1 不同积水情境下的疏散效率(s)

积水深度(m)	疏散80%	疏散90%	疏散95%	疏散100%
0	115.9	126.6	137.1	157.3
0.3	116.9	129.6	135.6	158
0.6	123.9	136.9	152.7	189.3
0.7	134.2	146.3	165.4	212.8
0.8	148.5	162	180.4	255.3
0.9	172.3	194.7	211.8	342.3
1.0	254.9	299.8	335.1	599.3

通过分析可知：首先，随着积水深度的增加，各阶段的疏散时间均呈现显著上升趋势；其次，前期的疏散效率明显高于后期，这可能是因为少数人员未能及时接收到疏散预警信息；最后，当积水深度超过0.7m时疏散效率的下降幅度显著增大，说明积水深度与疏散效率之间存在明显的阈值效应。

### (二) 疏散过程拥堵节点分析

#### 1. 楼梯间拥堵分析

楼梯间作为多层住宅中垂直疏散的唯一通道，是整个疏散链条中的核心瓶颈。

模拟结果精准地再现了拥堵的形成过程：由于上层居民持续涌入，而底层的疏散速度因积水受阻，形成了典型的“漏斗效应”，这种阻滞效应如同一道“水坝”，其压力反向传递至整个楼梯系统，最终导致了楼梯间内人群的严重滞留和堆积。

从服务水平来看，多个楼层的楼梯通行效率在高峰时段多次降至E级以下，意味着楼梯在关键时刻几乎丧失了其作为快速疏散通道的功能。对个体间距的分析发现，拥挤区域内人员之间的最小距离多次出现低于0.2m的极端情况(图3)。对于行动不便、平衡能力较差的老年人而言，如此狭小的物理空间和频繁的肢体接触，极易引发连锁性的摔倒乃至踩踏事故，造成严重的二次伤害。

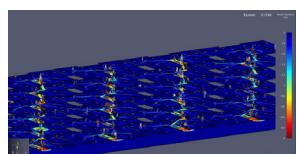


图3 楼梯间疏散人员间距图

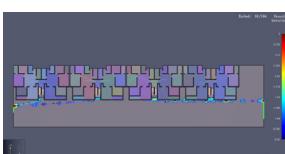


图4 0.9m积水疏散过程中的人群密度图

#### 2. 小区出入口拥堵分析

小区前后出入口疏散模拟结果如图，分析发现，在疏散高峰期，小区前后门出入口附近区域会出现明显的人群聚集现象，且该区域的人群密度在疏散波峰时段会间歇性达到2.5人/m<sup>2</sup>以上。这种高密度状态导致行人移动速度显著降低，形成拥堵，不仅延长了整体疏散时间，还增加了踩踏等安全事故发生的风险。

#### 3. 措施与对策

基于仿真分析，从应急响应与系统优化两方面提出措施，以提升老龄化社区防洪韧性：

应急响应方面，构建以积水深度为核心的“蓝-黄-红”三级动态响应策略。蓝色预警(水深≤0.3m)：通过广播、微信群发布预警，志愿者协助独居、行动不便老人优先转移；黄色预警(0.3-0.6m)：启动强制疏散，保障应急通道畅通，优先撤离低楼层居民；红色预警(>0.6m)：社区进入紧急状态，动用应急浮

桥、冲锋舟等设备，联合消防、医疗力量开展全面救援转移。

系统优化方面，从软硬件推进常态化防灾减灾建设。硬件上，升级改造排水系统、加固建筑、拓宽疏散出口，集成物联网水文监测与大数据分析技术，建智能预警与资源调度系统；软件上，建权责清晰、训练有素的社区应急队伍，为老年人等建“一人一档”，制定个性化帮扶方案，提供定制应急包与通俗防灾教育，补强应急薄弱环节。

### 三、结论

本研究以湖南省平江县某老龄化小区为对象，通过“BIM+Pathfinder”仿真框架，分析洪涝灾害下老龄社区应急疏散规律，提出优化策略，主要结论如下：

1.7种积水场景（0–1.0m）模拟显示，积水 $\leq 0.6\text{m}$ 时疏散时间增幅平缓，100%人员疏散时间从无积水的157.3s延长至

189.3s；积水超0.7m后效率骤降，1.0m积水时100%人员疏散时间达599.3s（较无积水延长2.8倍）。0.7m可作为应急响应关键判定指标。

2.空间上，楼梯间因“上层涌入–底层受阻”呈漏斗效应，高峰服务水平降至E级以下，人员最小间距不足0.2m，易引发老年人二次事故；出入口选择随积水变化， $\leq 0.6\text{m}$ 时居民选后门（最短路径）， $> 0.7\text{m}$ 时因后门（2.5m宽）容量不足转至大门（6.5m宽）。人群上，40%老年人口（行动弱）与15%–20%流动人口（环境不熟），加剧疏散系统脆弱性。

3.以积水深度为核心的“蓝–黄–红”三级响应（蓝： $\leq 0.3\text{m}$ 、黄：0.3–0.6m、红： $> 0.6\text{m}$ ），实现资源精准调度；“硬件升级（改造排水、拓宽出口）+软件完善（建老人‘一人一档’）”的系统优化，补强防灾短板，二者形成“应急–日常”闭环。

### 参考文献

- [1]冷红,陈天,翟国方,等.极端气候背景下的思考:城乡建设与治水[J].南方建筑,2021(6):1–9.
- [2]宋钦澧,张博骞,马东辉,等.社区雨洪韧性量化评估方法研究综述[J].灾害学,2024,39(02):212–219.
- [3]杨铭威,胡可,谭军,等.湖南平江县2024年“7·1”特大暴雨洪水灾害分析及启示[J/OL].中国防汛抗旱,1–6[2025-03-22].
- [4]黄丽蒂,许欣欣,刘莹,等.东北老龄化小区路网疏散仿真模拟及优化[J].中国安全科学学报,2020,30(07):127–132.
- [5]张蕾.寒地城市“老年社区”外环境改造设计研究[D].吉林建筑大学,2016.
- [6]中华人民共和国国务院.“十四五”国家应急体系规划2021.