

Research on evacuation of personnel in university libraries based on Pathfinder

Jian Wang Chunming Qi

University of South China, College of Civil Engineering, Hengyang, Hunan, 421000, China

Abstract

The annual expansion of college enrollment has led to an increase in personnel density in university libraries, posing numerous safety hazards. Behaviors such as students connecting plugs privately in the library and aging electrical circuits can easily lead to fires. This paper takes a library in a southern university as the research object and simulates the evacuation of personnel during a fire by establishing a Pathfinder software model. The results indicate that under the library's design capacity, the evacuation time cannot be completed within the time limit set by the "Code for Fire Protection Design of Buildings" (GB50016-2014). It is recommended to add a staircase leading directly to the second floor in the middle of the first floor of the library and set up guidance signs to improve evacuation efficiency. This study provides a reference for the safe evacuation management of personnel in case of a fire.

Keywords

library; personnel evacuation; Pathfinder

基于 Pathfinder 的高校图书馆人员疏散研究

王健 蔡春明

南华大学土木工程学院, 中国 · 湖南 衡阳 421000

摘 要

目的: 高校逐年扩招使高校图书馆人员密度增大, 存在较多的安全隐患。学生在图书馆内私接插头, 电路老化等行为容易导致火灾的发生。方法: 本文以南方某高校图书馆为研究对象, 通过建立pathfinder软件模型模拟火灾发生时人员疏散的情况。结果表明: 在图书馆承载设计极限人员情况下, 疏散时间达不到《建筑设计防火规范》(GB50016—2014) 制定的时间之内。结论: 建议在图书馆一楼中间位置增加一条直通二层的楼梯和设置引导提示可以提高疏散效率。该研究为发生火灾时人员安全疏散管理提供参考。

关键词

图书馆; 人员疏散; Pathfinder

1 引言

高校图书馆火灾威胁着学生们的生命和财产安全, 同时也给社会带来负面影响。例如: 2020 年 3 月, 某大学图书馆因电气故障引起火灾, 无人员伤亡, 但火灾导致部分古籍和手稿受损, 修复工作预计需要数年。2021 年 4 月, 某大学附近的国家公园发生火灾, 蔓延到图书馆, 导致该图书馆大量的地图、手稿及政府文件被损坏; 因此, 对模拟高校图书馆火灾与人员疏散研究是十分有必要的, 这对做好高校

图书馆安全消防工作具有重要的意义。

近年来, 国内外相关学者对人员疏散展开研究。Zheng 等^[1]采用 Pathfinder 与 FDS 软件耦合的方法, 对中国特长铁路隧道内的火灾场景进行了数值模拟与疏散分析。阎卫东等^[2]通过 BIM 与 Pathfinder 软件对高校图书馆火灾开展人员疏散模拟, 论证了加强应急广播指引与实施出口针对性引流对于提升疏散效率的积极作用; 刘剑锋等^[3]通过 Pyrosim 与 Pathfinder 联合模拟分析某高校教学楼疏散安全性, 识别其火灾疏散风险, 并提出消防建议; 代佳康^[4]对长沙市上世纪 70 至 90 年代建设的老旧居住区, 利用火灾动力学模拟软件 (FDS) 对其火灾蔓延过程进行了数值模拟与分析, 并在此基础上提出了系统性的、分层次的防火安全对策与改进建议。; 邹馨捷等^[5]对某高校学生宿舍开展火灾动力学模拟, 研究发现, 消防设施的有效性以及着火房间的窗户启闭状态, 对人员疏散安全性具有显著影响。

本研究以南方某高校图书馆为实际案例, 综合运用

【基金项目】湖南省自然资源科研项目 (项目编号: 20230144DZ)。

【作者简介】王健 (2001-), 男, 中国浙江台州人, 硕士, 从事工程管理与灾害防治研究。

【通讯作者】蔡春明 (1965-), 男, 中国湖南衡阳人, 硕士, 教授, 从事工程管理与灾害防治研究。

BIM 与 Pathfinder 模拟软件, 对其火灾环境下的人员疏散过程进行模拟分析。通过观测疏散过程中的人员行为特征与路径选择, 定量计算所需疏散时间, 以期为高校图书馆的消防安全管理与应急预案制定提供参考依据。

2 建筑物及疏散模型建立

2.1 建筑对象概况

该图书馆共 6 层, 层高 4.5 米, 东西长 85.7 米、南北宽 48.8 米, 附设二层阶梯教室 (长 30.6 米、宽 34.4 米)。每层均设管理用房, 1—2 层有基本书库, 2—6 层设阅览区、小组自习室及空调机房, 3—6 层配有书库辅助用房; 1 层另设珍藏书库、消防控制室和接待用房, 2 层设休息区。馆内共有 1240 个阅览座位, 最大设计承载 3003 人。1 楼设 5 个室外出口 (A—E), 日常开放 A、B、E, 紧急情况全部启用; 馆内四周有 4 条宽 2 米的疏散楼梯, 符合规范, 中部及东南分别设有 2 台观景电梯、1 台普通电梯。本次为火灾模拟, 不考虑电梯使用, 屋顶不作为疏散路径, 所有人员均经 1 楼出口疏散。利用 Revit2021 软件建立 BIM 模型及一楼出口图如图 1 所示。

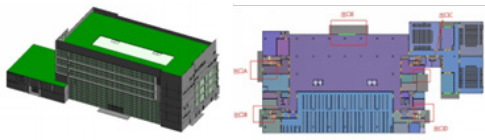


图 1 图书馆实体建筑 BIM 模型、一楼出口

2.2 Pathfinder 人员疏散模型

Pathfinder 由美国的 Thunderhead Engineering 公司研发, 是一种的简单直观的智能人员紧急疏散逃生评估系统^[6]。该软件提供 SFPE 与 Steering 两种运动模拟模式。SFPE 模式下行人独立运动、无避让碰撞, 速度受房间密度影响, 出口流量由宽度决定, 人员自动就近选出口。Steering 模式整合路径规划、行为引导与碰撞处理, 可动态调整路径, 超阈值即重规划; 其疏散流量不受出口宽度限制, 人员保持安全间距, 更贴合实际行人交互行为, 故本研究所有疏散模拟均采用该模式。

2.3 BIM 模型处理

Pathfinder 软件无法直接导入 Revit 的 RVT 模型, 需先在 Revit 中导出为 IFC 格式再导入。

在完成基本模型构建后, 对人员信息进行设置, 并配置相应的行为参数。通过模拟分析, 得到各房间人员特征参数及不同疏散出口的通过率过程流程图。Pathfinder 仿真模型如图 2 所示。

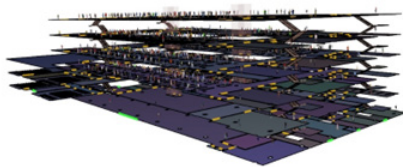


图 2 Pathfinder 模型

3 人员概况

3.1 人员行为特征

高校图书馆人员以大学生为主, 本研究将人群简化为成年男女两类。火灾时男性决策偏理性, 女性应急心理承受存在差异, 疏散中往往会优先选择。

3.2 人员数量设定

本次模拟是研究该图书馆承载设计极限人员的情况下进行人员疏散, 故每间房间人员数量均满载, 根据该图书馆设计要求确定每层人数, 结果如表 1 所示。

表 1 图书馆平均人数调研表

房间/楼层	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	第六层
基本书库	298	196				
阅览区		96	320	416	368	399
管理用房	30	18	10	10	10	10
小组自习室		90	140	146	152	152
书库辅助用房			23	23	23	23
其他房间	5	45				
合计	333	445	493	595	553	584
共计			3003			

2024 年该校录取男女比例约为 3:7, 考虑到女性疏散能力相对较弱、所需疏散时间更长, 为模拟最不利场景, 本次模拟将男女比例设定 1:3。

3.3 人员参数设定

根据 SFPE《消防工程手册》, 紧急情况下成年男性运动速度为 1.5m/s, 成年女性运动速度为 1.2 m/s^[7]。依据《中国成年人人体尺寸》(GB10000-1998) 规范, 可以得到成年男性肩宽为 50 cm, 成年女性肩宽为 45 cm^[8]。

3.4 模拟工况设计

根据该图书馆承载设计极限人员的数量, 对各楼层人员数量与分布进行调整, 分为以下 3 种工况。

工况 1: 按照图书馆设计极限人员数量进行模拟。

工况 2: 根据工况 1, 将极限人员数量平均分摊至各楼层。

工况 3: 根据工况 1, 调换第一层和第六层的人数, 调换第二层和第五层的人数, 使低层人员数量多于高层。

4 人员疏散结果分析及优化

4.1 人员疏散时间分析

该图书馆属于高层人员密集公共建筑, 其防火设计耐火等级为二级。依据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014) 相关规定, 一、二级耐火等级的一般民用公共建筑, 其允许疏散时间设定为 360 s。本研究对该图书馆进行疏散模拟, 所得结果如表 2 所示。

据出口人员初始到达时间统计: 工况 1 总疏散时间最长, 为 392.3s; 工况 3 最短, 为 330.8 s。工况 2、3 各出口人员抵达时间均较工况 1 缩短, 说明高层区域人员密度越高, 整体疏散时间越长。

表 2 模拟疏散时间结果

工况	工况 1		工况 2		工况 3	
	最先到达 /s	最后到达 /s	最先到达 /s	最后到达 /s	最先到达 /s	最后到达 /s
A	12.1	372.4	10.1	291.2	8.7	305.3
B	7.3	322.9	7.1	307.1	6.8	292.9
C	13.5	374.5	12.4	320.9	10.3	330.8
D	12.3	362.1	11.5	349.3	11.2	285.3
E	1.1	266.6	0.7	269.5	0.8	241.6
总时间	374.5		349.3		330.8	

上述模拟结果表明，工况 1 的人员疏散时间超出相关安全规范所限定的允许范围，因此有必要对该图书馆在火灾情况下的人员疏散方案进行优化改进。

4.2 疏散楼梯优化方案

该图书馆共有 5 个疏散出口，4 条疏散楼梯。在二楼阅览与自习的学生在疏散时需要占用上层人员的楼梯，与上层疏散人员共同撤离，这就导致了疏散效率的降低与疏散时间的延长。

为解决这一问题，需要进行疏散楼梯的优化。考虑到成本问题，以及减少对建筑物的大改动，因此在本建筑物的基础上，进行以下两方面优化比较：

方案 1：在图书馆一楼中部两端设置两条直通二层的楼梯，如图 3；

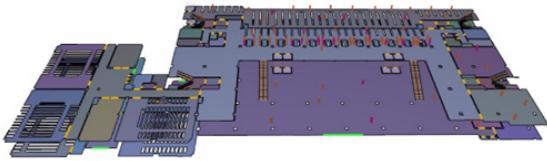


图 3 优化方案 1

方案 2：在图书馆一楼中部中间设置一条直通二层的楼梯，如图 4。

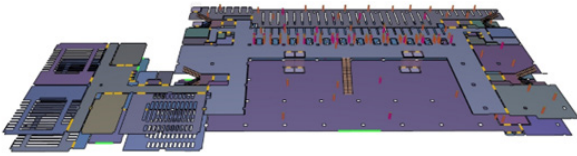


图 4 优化方案 2

4.3 优化后人员疏散时间分析

方案 1 优化后，2 层及上层部分人员通过新增楼梯疏散，缓解了疏散压力。二者疏散时间分别为 298.5s、310s，均符合规范要求。

方案 1 比原计划时间缩短了 20.3%，方案 2 比原计划

缩短了 17.2%，且两种方案均符合《建筑设计防火规范》(GB50016—2014) 的规定。考虑到成本问题和减少对建筑物的大改动，建议选择方案 2 作为最终的优化方案。

5 结论

本文开展了基于 BIM 的高校图书馆发生火灾时人员疏散的仿真模拟，通过分析人员疏散的时间制定出相应的优化方案，得到以下成果：

(1) 该图书馆在承载设计极限人员的情况下发生火灾时，人员疏散时间达不到《建筑设计防火规范》(GB50016—2014) 中规定，存在疏散能力不足的情况。

(2) 通过分析图书馆疏散楼梯，制定了优化方案；兼顾成本与减少建筑改动，建议在一层中部增设直达二层的楼梯，并设置引流指引，如各层管理人员利用对讲机实时沟通，掌握各楼梯口、出口人员疏散情况，引导人员安全疏散。

参考文献

- [1] Chen Zheng, Dong Chen, Zhao Shulei, et al. Fire evacuation of train emergency rescue station in an extra-long railway tunnel[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2024, 152: 105954.
- [2] 阎卫东,张瑞,刘家喜,等.基于pathfinder的高校图书馆火灾疏散研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2021,37(4):627-633.
- [3] 刘剑锋,游波,周超,等.建筑火灾与人员安全疏散模拟[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2022,37(4):9-17.
- [4] 代佳康.长沙70-90年代老旧小区火灾模拟与优化措施研究[D].中南大学,2023(05)
- [5] 邹馨捷,萨木哈尔·波拉提,赤郝明等.基于Pyrosim和Pathfinder的高校学生宿舍火灾人员疏散安全性模拟分析[J].安全与环境工程,2020,27(4):195-200.
- [6] 张景钢,尹宜辰,何鑫.基于Pathfinder模拟高校图书馆火灾疏散[小].华北科技学院学报,2022,19(6):24-30.
- [7] SFPE handbook of fire protection engineering[M]. Springer, 2015.
- [8] 中华人民共和国公安部.建筑设计防火规范:GB50016—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.