

某高校教学楼火灾疏散研究

茅佳艺 韩成浩

(吉林建筑大学电气与计算机学院)

摘要：为更好地给教学楼火灾疏散提供依据，利用 BIM 模型对某高校五层教学楼进行火灾模拟和人员安全疏散模拟，分析该教学楼内四个楼梯间的烟气温度分布、烟气能见度和 CO 浓度等变化规律，比较在不同楼梯间人员可用安全疏散时间的 ASET 和必需安全疏散时间 RSET 两者之间大小关系，并比较不同措施对疏散效率的影响。研究表明，有人员引导和使用外挂楼梯都能大幅度提高疏散效率。

关键词：人员疏散；火灾疏散；联合仿真

2024.01.DQGY 71

0 引言

教学楼作为校园生活中教学活动的场所，人员密集，流动大，实验室多，火灾隐患多，因此一旦发生火灾将直接关系到师生员工的生命安全，故将教学楼作为模拟建筑。但由于对建筑火灾进行实体研究的实验成本太高，并且实验对象具有特殊性，难以推广到其他建筑。因此本文利用计算机软件模拟仿真，研究 BIM 模型与 Pyrosim 火灾仿真软件和 Pathfinder 人员安全疏散软件的融合使用方法以及在数字化预案与计算机模拟训练的应用可行性，如图 1 所示。

1 模型构建

1.1 教学楼基本情况

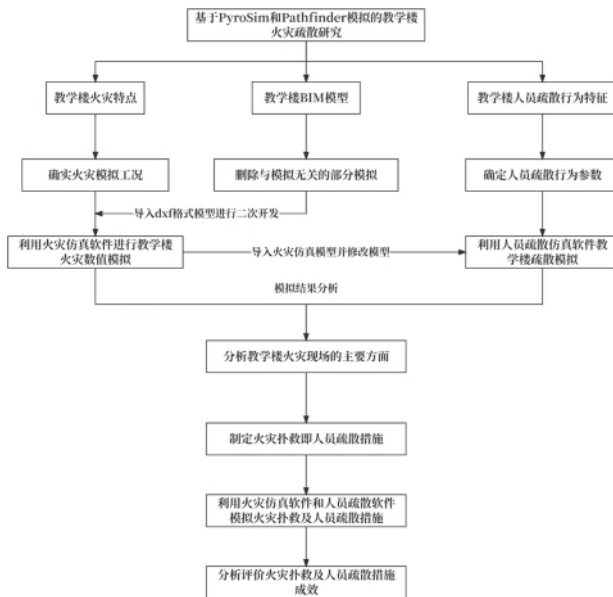


图 1 模拟仿真流程图

基金项目：长春市科技计划项目“非仿生步行爬楼梯消防机器人的应用研究”（21ZY46）；吉林省发展和改革委员会产业技术与开发项目“基于 BIM 的高层建筑火灾救援与大数据逃生规划系统应用与研究”（2020C019-7）。

所建物理模型为某多层教学楼，该教学楼共5层，高22.5m，首层高4.2m，2~5楼均为标准层，每层高为3.9m，并且各个墙体采用混凝土材质处理。该建筑单层建筑面积2470m²，图2为首层平面图，图3为标准层平面图。首层有6个外向出口，共有4个楼梯。



图2 首层平面图



图3 标准层平面图

1.2 火源设定

火场设计按照最不利原则设定，设置火源按照增长速率的方式，随着时间变化增加至最大值，此种设定条件火灾的危险性更高。火源点热功率计算为：

$$Q = at^2$$

式中， Q 为火源热释放功率，kW； a 为增长系数，kW/s²； t 为时间，s。

根据 a 的不同，火灾分为慢速、中速和快速以及超快速四种类型。教学楼内主要的可燃物为整齐摆放的桌椅，桌椅均为木制设备，数目多但摆放较为分

散，危险性一般，故选取教学楼火灾形式为中速火。

1.3 设置条件

仿真环境处于无风状态并与外界相通，标准大气压101kPa，初始室内外温度为20℃。设置楼内所有窗户处于关闭状态，只开启6个向外的出口。

定义反应和材料数据：教室内存在大量桌椅，故将反应定位为WOOD-OAK，墙体表面材料设定为石膏，其中地板和房顶均为惰性材料。着火点设定在2楼，火源大小为1m×1m×1m。设置障碍物（即桌椅）材料为木制。

2 教学楼火灾烟气仿真模拟

在教学楼火灾过程中，通过Pyrosim火灾模拟，研究烟气温度、能见度及有害气体浓度对可用安全疏散时间ASET产生的影响，综合分析火灾发展规律。

2.1 能见度分析

建筑物发生火灾时，烟雾在建筑物内不断流动传播影响了人员视野，能见度大大降低，降低了逃生速度，拖延了疏散时间。根据澳大利亚《消防工程师指南》给出的能见度标准，应选取10m为能见度临界值，模拟结果如图4所示。由模拟结果可知，1号、2号、3号和4号楼梯间到达能见度临界值所需时间为96s、20s、154s和60s。

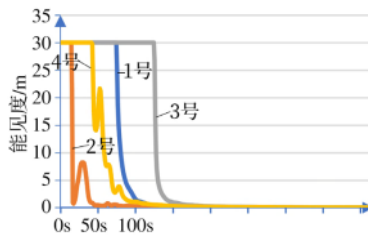


图4 楼梯间区域能见度情况

2.2 温度分析

当火灾发生时，火灾烟气的温度可能会达到300~400℃，或是600~800℃，甚至1000多℃。而皮

肤温度一旦超过 60℃，就会对人体造成不可逆的伤害。图 5 为四个楼梯间距地 1.8m 处烟气温度变化情况。2 号楼梯到达 60℃所需时间为 317s，此时，其余楼梯间区域均未达到 60℃。

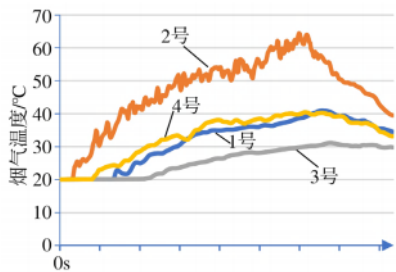


图 5 楼梯间区域烟气温度情况

2.3 有害气体分析

在火灾燃烧的过程中，会产生大量的有毒有害气体，如 H₂S、CO₂ 和 CO 等。根据相关资料，当空气中 CO 含量超过 0.50% 时会引起剧烈头晕，一旦超过 20min，就会有死亡的危险，故选取 CO 浓度为 0.50% 为有害气体浓度危险判定指标。楼梯间区域 CO 浓度情况如图 6 所示。由模拟结果可知，1 号、2 号、3 号和 4 号楼梯区域分别在 119s、49s、350s 和 280s 时达到危险临界值。

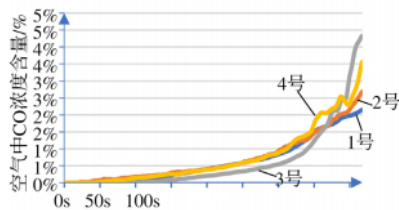


图 6 楼梯间区域 CO 情况

2.4 仿真结果分析

对上述仿真结果综合分析，确定四个楼梯间区域的可用安全疏散时间 AEST，如表 1 所示。在 96s 内，1 号楼梯间区域人员应全部撤离火灾现场，而 2 号楼梯间区域人员应在 20s 内全部撤出火灾现场，3 号楼梯间和 4 号楼梯间区域人员应分别在 154s 和 60s 内

全部撤出火灾现场。楼梯间作为安全通道，在发生火灾时首选从楼梯逃生，故将着火层楼梯间 ASET 作为全楼可用安全疏散时间。由表 1 可知，1 号、2 号、3 号和 4 号楼梯间 ASET 分别为 96s、20s、154s 和 60s，所以全楼可用安全疏散时间为 154s。

表 1 各区域可用安全疏散时间

位置	能见度临界时间/s	温度临界时间/s	有害气体临界时间/s
1 号楼梯间	96s	无威胁	119s
2 号楼梯间	20s	317s	49s
3 号楼梯间	154s	无威胁	350s
4 号楼梯间	60s	无威胁	280s

3 教学楼人员疏散仿真模拟

3.1 Pathfinder 建模

根据 Pathfinder 中需要的参数，结合实际情况，设置教学楼层内不同楼层的人员人数、不同人员的行走速度与肩宽等特征参数。考虑最不利原则，人群人流高峰期特征值人员及每层人员设定如表 2、表 3 所示。

表 2 不同人群人流高峰期特征值

特征参数	青年男性	青年女性	中年男性	中年女性	老人
度 v (m/s)	1.55	1.50	1.52	1.40	1.10
肩宽/m	0.40	0.37	0.41	0.38	0.40

表 3 每层楼的人数设定

楼层	1 层	2 层	3 层	4 层	5 层
人数	500	500	500	250	250

3.2 疏散方案设计

分析 Pyrosim 模拟结果可知，2 号和 4 号楼梯间分别在 20s 和 60s 时，能见度降低达到危险状态，设定烟雾传感器传出报警信号需 15s，同时人员还需要一定的反应时间，故在制定方案时放弃 2 号和 4 号两部楼梯进行人员疏散。最后，根据疏散过程中是否有人员引导以及是否使用外挂楼梯设定以下 3 个疏散方案。

方案 1：使用 1 号、3 号楼梯进行疏散，无人员引导。

方案2：仅使用1号、3号楼梯进行疏散，有人员引导。

方案3：同时使用1号、3号楼梯和外加楼梯，设定四五层人员使用外加楼梯进行疏散；二三层人员采用楼梯疏散。

3.3 仿真结果分析及优化

3.3.1 仿真结果分析

图7为方案1情况下1号和3号楼梯的人员疏散速率图。由图可知，在有人员引导的情况下，在96s时，1号楼梯间ASET已达到临界值，此时并没有完成所有人成功疏散的目标。当采用方案2进行人员疏散时，全楼内人员在有人员引导作用下均使用1号、3号楼梯进行疏散，最终疏散时间从原来的253s缩减到195s。

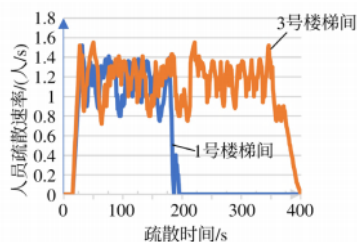


图7 方案1人员疏散速率图

由图可知，人员的引导作用效果显著，但在此建筑物中仅依靠人员的引导作用完成全部安全逃生目标是远远不够的，故采用方案3进行人员疏散，疏散方式为楼梯和外加楼梯相结合，其中，设定四五层人员采用外加楼梯疏散；二三层人员采用楼梯疏散，最后，总疏散时间缩短至128s，比方案1缩短了125s，比方案2缩短了67s。

3.3.2 模拟优化

图8为待疏散人员随时间变化图，从中不难看出，合理有效引导可以提高人员疏散速率，疏散时间就越短。但仅使用楼梯完成所有人员在ASET时间前的疏散是不可能的，故增加了外加楼梯这一疏散方式，

使人员从外挂楼梯进行疏散。最终，通过对方案3的不断优化使得在154s内教学楼内所有人员均逃离火灾现场，相较于传统方案1，优化了约2min的时间。

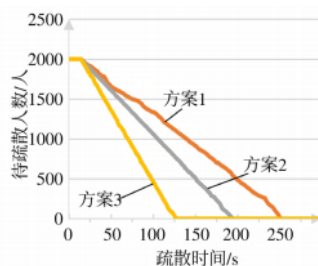


图8 待疏散人数随时间变化

4 结束语

1) 在教学楼火灾烟气仿真模拟中，烟气是影响疏散效率的主要原因，由此可见做好机械排烟和应急疏散照明的重要性。

2) 在火灾疏散过程中，合理的疏散路线是逃生的关键，能减轻人员损失。应完善应急方案，将应急疏散演练做到“制度化、规范化、经常化、科学化”，加强人员引导作用，加设安全疏散引导设备。

3) 教学楼内的楼梯数量和宽度是影响人员疏散的决定性因素，增加外挂楼梯能有效提高疏散效率。但在火灾发生时，由于人员的恐惧心理，在外挂楼梯处易发生踩踏事故，应提前做好演练。

4) 结合BIM模型，将Pyrosim和Pathfinder软件对火灾情况下人员进行疏散仿真联合仿真是科学的且有意义的。

参考文献

[1] 刘世松, 马鸿雁, 焦宇阳. 高层建筑火灾情况下人员疏散研究[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(6): 794-798.

(下转第82页)

(上接第74页)

- [2] 马子超, 李杰, 岳忠. 高校宿舍楼火灾应急疏散研究[J]. 消防科学与技术, 2016, 35(7): 935-938.
- [3] 谢明峰, 鲁义. 高校教学楼火灾与人员疏散模拟研究[J]. 消防科学与技术, 2021, 40(1): 85-90.
- [4] 张伟利, 张长胜, 韩成浩, 等. 高层建筑火灾逃生策略分析[J]. 智库时代, 2020(12): 244-245.
- [5] 薛鹏. 教学楼火灾数值模拟及人员疏散研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2019.
- [6] 孙超, 刘月婵, 王博. 等. 教学楼火灾蔓延及人员疏散的数值模拟[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2018, 23(5): 106-112.
- [7] 赵一丁. 基于BIM的建筑火灾及疏散数值模拟方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [8] 黄治成, 张浩. 基于Pyrosim的高层建筑火灾烟气蔓延规律研究[J]. 消防界(电子版), 2022, 8(16): 96-99.
- [9] 吴壮, 亢永, 赵孟孟, 等. 基于Pyrosim的学生宿舍楼不同着火点火灾发展规律分析[J]. 安全, 2022, 43(4): 18-24.
- [10] 王锩, 盛武, 段若男. 基于Pathfinder的高校教学楼出口人员疏散仿真研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(7): 180-186.
- [11] 周鹏, 王慧琴, 卢英. 基于BIM的建筑消防疏散路径规划研究[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(4): 489-492.

(收稿日期: 2023-06-21)