

基于 BIM 的某高校图书馆火灾应急管理研究

陈永鸿, 武 蕾, 杨宇范, 甘文杰

(昆明理工大学 建筑工程学院, 昆明 650504)

摘要:高校图书馆由于人员密集、馆内藏书众多、设施材质易燃等特点,给火灾应急管理带来极大挑战。利用 Revit 构建图书馆 BIM 模型,运用 Pyrosim 软件建立 FDS 模型实现火灾场景模拟,分析火灾发生时各楼梯口处能见度、温度和 CO 浓度随时间的变化情况,得出各场景下疏散可用时间(ASET)。然后,运用 Pathfinder 软件建立 Agent-based 模型模拟图书馆火灾应急人员疏散,得出应急疏散必需时间(RSET)。最后,依据综合分析 ASET 与 RSET 的结果提出图书馆火灾疏散应急管理建议。

关键词:火灾应急管理;高校图书馆;BIM 模型;FDS;Agent-based 模型

中图分类号:TU998.1;X913.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)01-0389-08

应急管理是对突发事件管理的预期和执行管理方案^[1]。通过有效的应急管理可以在火灾发生前降低风险发生的概率,使火灾发生后损失降到最低。火灾在不同建筑空间内的发展情况不同,所以对于不同建筑物的火灾应急管理必须有针对性地分析火灾的蔓延情况和人员的疏散情况,实现有效的“人群管理”,制定符合人群规律的应急管理方法^[2]。

通过现场实验或者比例模型分析火灾的蔓延情况和人员疏散情况势必会耗费大量的人力物力,且不能把所有状况都包括在内。在计算机快速发展的推动下学者们对火灾的研究方向逐渐从理论模型发展到计算机仿真模拟,为火灾研究提供了新手段。最开始是以 Tong、Canter 等^[3]为代表提出的利用计算模拟研究火灾中人员疏散的问题;Hadjisophocleous 等^[4]率先利用数值模拟(FDS)计算了一座 10 层高建筑的烟气情况,通过仿真模拟结果与实际的实验数据对比,证明了计算机仿真模拟的准确性。之后有不少学者应用计算机模拟研究火灾疏散,例如赵锐等利用 Pathfinder 疏散仿真软件研究某化工企业的人员应急疏散问题^[5];田鑫等利用“FDS+pathfinder”研究地铁站火灾安全性^[6];王伟等^[7]、Li 等^[8]、邹馨捷等^[9]通过某图书馆火灾数值模拟分析图书馆设计是否满足人员疏散需求,为应急管理提出建议。尽管计算机仿真模拟已经相

对成熟,但在建模过程中依旧存在耗时长且模型精度不够的问题。

然而,BIM(building information model)以其独特的信息储存、交互、共享的功能应用优势为火灾应急的突破创造了一个转折点,使得火灾模拟更精准有据。例如,利用 BIM 与监测数据关联提高了地铁火灾检测信息集成和管理水平^[10];利用“BIM+GIS”平台二次开发实现疏散模拟^[11];利用“BIM+元胞自动机模型”实现火灾疏散路径优化^[12];也有利用“BIM+FDS+ Pathfinder”针对不同建筑研究火灾的安全性。但这些研究倾向于研究地下建筑、地铁站、高层公寓、办公楼、大型单层或双层建筑。

高校图书馆属于易发生火灾建筑,但目前利用“BIM+”研究图书馆建筑火灾应急管理还较为欠缺。研究旨在将“BIM+FDS+ Pathfinder”方法应用在图书馆建筑中,为图书馆的防烟、防火、逃生提供科学的指导。

1 研究方法

研究某图书馆火灾应急管理主要借助 Revit 建立图书馆 BIM 模型,基于 BIM 模型利用 Pyrosim 软件实现火灾数值模拟和 Pathfinder 软件模拟人员疏散,分析火灾发生情况下烟气、温度、能见度对人员安全性的影响。该研究技术路线如图 1 所示。

1.1 人员安全疏散判断标准

着火建筑内人员是否能安全疏散,主要取决于

收稿日期:2021-08-27

基金项目:国家自然科学基金(72061019);教育部人文社会科学研究规划基金(18XJAZH001)。

作者简介:陈永鸿(1976—),女,云南大理人,昆明理工大学建筑工程学院,教授,管理学博士,研究方向为建设项目管理;通信作者武蕾(1997—),女,云南曲靖人,昆明理工大学建筑工程学院,硕士研究生,研究方向为建设项目管理。

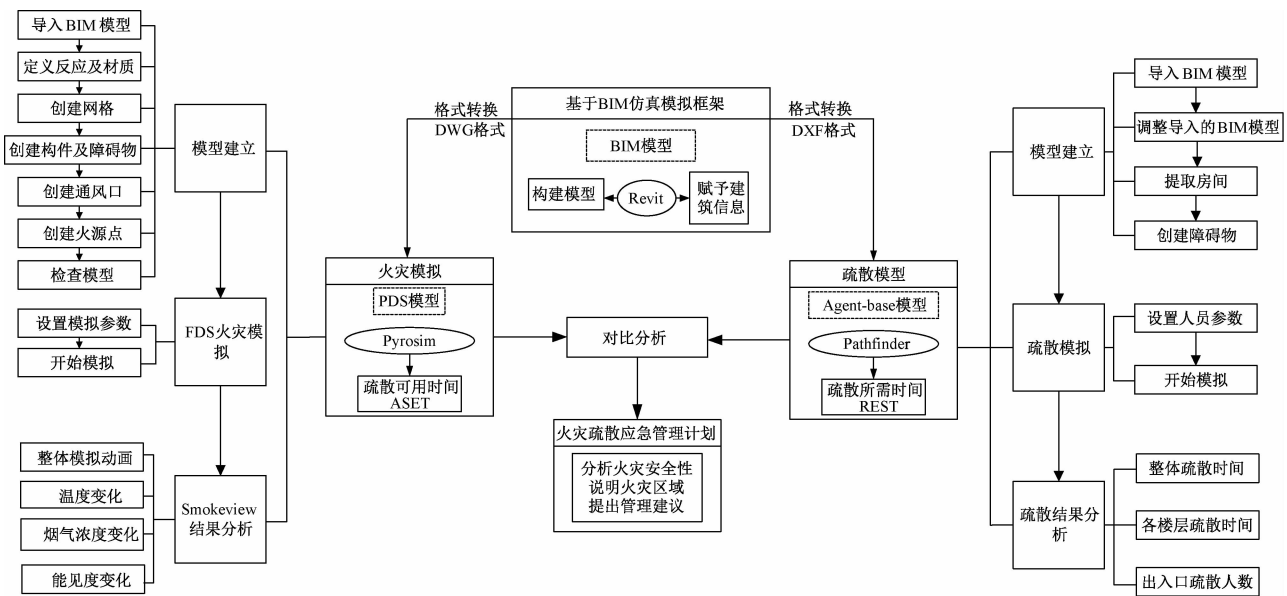


图 1 技术路线

火灾的可用疏散时间(available safe egress time, ASET)和安全疏散的必需时间(require safe egress time, RSET)的相对大小,如果在火灾达到危险时间内人员能够疏散到安全区域,则认为整个火灾疏散过程是安全的,即 $RSET < ASET$ 时,人员能在火灾达到危险的情况之前疏散到安全的地方。安全疏散所需时间(RSET)由火灾报警时间 t_{alarm} 、人员反应时间 t_{resp} 、人员疏散时间 t_{move} 组成。疏散时间计算公式^[13]为

$$REST = t_{alarm} + t_{resp} + t_{move}$$

(1)

根据《火灾产品现场试验与判定规则》(GA588—2005)规定,结合实际情况将图书馆火灾报警时间设置为 60 s,即 $t_{alarm} = 60$ s。当火灾警报响起时,馆内人员需要一定的响应时间。考虑到图

书馆会定期开展消防演习,提高学生的应急管理能力。同时,馆内流动人员多为学校师生、工作人员等,对馆内环境有一定了解。基于上述情况,将人员响应时间设定为 40 s,即 $t_{resp} = 40$ s^[14-15]。通过后续仿真模拟可以得到火灾人员疏散时间 t_{move} 。

1.2 火灾模拟模型

火灾模拟程序都是基于某种灾变模型算法实现火灾场景模拟,不同程序算法支持的软件适合不同的火灾场景,近年来更多学者倾向结合 BIM 技术研究火灾模拟,基于 BIM 技术进行火灾模拟最终呈现的效果关键在于模拟模型的选择。当前常用的火灾模拟模型对比见表 1。

1.3 Pathfinder 疏散模型

常用的疏散模型对比见表 2。

表 1 火灾模拟模型对比

模型类型	原理	模型	适用范围
网络模型 (Network Mode)	建筑内每个房间作为独立的网络节点,通过空气流路径联通,遵循守恒定律研究火灾过程相关参数随时间的变化 ^[16]	BRE TNO CONTAMW ASCOS	连续的空间
场模型 (Field Mode)	将整个建筑空间细分为若干个小空间,根据能量、质量、动量守恒定律,利用偏微分方程对每个小空间求解,从而得到整体空间的实验结果 ^[17]	FLUENT PHOENICS JASMINE FDS	精度较高,适合复杂的火灾模拟实验
区域模型 (Zone Mode)	将着火建筑空间根据气体分层现象划分为不同的控制体,不同控制体间进行能量交换,分别对每个控制体建立守恒方程,联立求解得到火灾过程的特征参数 ^[18]	HARVARD CFAS FIRST BRI2	空间较小的实验

表 2 疏散模型对比

模型	模型原理	实现软件	适用范围
Agent-based 模型	系统中的个体由 Agent 表示,Agent 两两间的相互作用决定模型中个体的行为。结合简单的行为规则和 Agent 之间的交互关系,复杂系统便呈现出了群体的智能性 ^[19]	Pathfinder	大型建筑疏散模拟
网格模型	二维空间网格表示建筑空间,网格内部反应出口位置、建筑物几何形状等 ^[20-21] 。将人员看作质点,每个网格节点只能容下一个人员,人员沿着网格之间的弧线从一个网格运动到下一个网格,人员的移动速度和方向随所在网格的环境所改变	Building EXODUS Simulex	疏散人流量大的大型空间、形状复杂、楼层多的建筑物
社会力模型	Helbing 基于流体动力学提出社会动力学。把人员看作有自驱动的几何粒子,将行人向着目标运动、行人之间的相互作用、人与周围物理环境的作用量化为各种力 ^[22]	FDS+Evac	大型公共场所、劳动密集的建筑、火车等大型交通工具
元胞自动机模型	CA 模型主要由元胞状态集、邻域和局部映射函数组成。每个网格为一个元胞,元胞在某时刻的状态由上一时刻的状态以及邻居元胞的状态决定,元胞表现为离散时间维上的变化 ^[23-24]	STEPS	各类建筑类型以及列车、公共汽车等交通工具

实现疏散模拟的模型都在一定程度上考虑了人员的心理因素、疏散环境。其中元胞自动机和社会力模型更适用于交通工具的疏散模拟。Agent-based 模型中人员智能化程度更高,疏散时人员可以轻松避开障碍物以及回应环境刺激,可以设置的人员特征丰富,疏散更符合实际情况。

综上所述研究选用 Pathfinder 疏散软件模拟火灾中人员疏散。Pathfinder 采用 A-star 算法给定地图,设置障碍点,可以从开始地点寻找最短路径到目的地。Pathfinder 分为 Steering 和 SFPE 两种疏散模式,SFPE 模式中人员自动找到出口且人员之间相互独立;Steering 模式中人为指导和碰撞相结合,最近路线超过人流最大值则另生新路径。软件提供可视化界面,通过格式的转换与 BIM 建模软件结合使用,计算较为准确,能满足大型图书馆的评估分析。

2 图书馆 BIM 建模

2.1 项目概况

该高校图书馆位于云南省昆明市,建筑总高度为 23.9 m,总建筑面积 20 690.45 m²,共 6 层,属二类多层建筑。工程设计使用期限为 50 年,结构类型为框架结构,耐火等级为二级。2012 年投入使用,现有阅览座位 1 300 个,目前馆藏文献近 215 万册,其中纸质文献近 86.3 万册,电子文件近 128.7 万册。

2.2 Revit 建模

常用的 BIM 建模软件有 Revit、Bentley 系列软件、Tekla 等,其中 Revit 应用相对成熟且是最适合民用建筑建模的软件。Revit 功能齐全,不仅可以

通过构建族的形式或者利用 API 二次开发插件实现建筑图元各种形状的建模以及参数化设计来满足各专业的建模需求,还可以精确定义建筑物的材质属性,对火灾模拟提供了基本的数据来源,很大程度上缩短了建立火灾模型和疏散模型的时间。

本项目已有经过审核的 CAD 电子版图纸,CAD 和 Revit 两款软件输出的图纸能够相互兼容传输,为建筑模型创建提供了便利。所建图书馆 BIM 模型如图 2、图 3 所示。



图 2 图书馆建筑 BIM 模型



图 3 图书馆结构 BIM 模型

3 火灾模拟

3.1 火灾场景及参数设置

图书馆内有大量的纸质书籍、木制书架、木制桌椅、电路超负荷等易燃物,耐火等级较低,很多行

为均可导致火灾的发生。例如馆员或者读者自觉性不高,在馆内抽烟,烟灰落在书上或者烟头带有火星,致使引发火灾;馆内电路故障、明火作业,保护措施不当,容易溅起火花引起火灾。

3.1.1 参数设置

图书馆—1F 有中庭,其余各层布局类似,均是左右两侧布置书架和座位,建筑内 4 个方位设置有楼梯,墙壁的材质为石膏板,地面材质为瓷砖,参考《建筑防烟排烟系统技术标准》(GB 51251—2017)火灾设置考虑最不利情况,假设图书馆不设置喷淋系统和排烟系统,将火灾规模设置为 8 MW。为更贴近实际情况现将火源类型设置为不断向四周扩散的扩散火源。已有文献实验表明火灾模拟网格数越多,最终火灾模拟精度越大,但是当网格数增加到一定程度时,对输出的计算结果并无明显影响,当网格精度为 0.3 m×0.3 m×0.3 m、0.2 m×0.2 m×0.2 m、0.15 m×0.15 m×0.15 m 时对模拟的结果并无明显差异^[5],但网格越多模拟运算的时间越长,对计算机的配置要求也越高,考虑到现有设备的运行速度本研究网格设置精度为 0.4 m×0.4 m×0.4 m。结合图书馆火灾案例、规范设置的火灾模拟参数见表 3。

表 3 参数设置

初始参数	参数值
火灾规模/W _M	8
初始温度/℃	21
初始压强/Pa	1.013×10 ⁵
初始能见度/m	30
表面属性	石膏板、混凝土
火源单位面积热释放速率/(kW/m ²)	8 000
网格精度	0.4 m×0.4 m×0.4 m
模拟时间/s	630

3.1.2 场景设置

本次研究设置两个火灾场景,场景 1 将火源设置在一 1F 左侧藏书室,场景 2 将火源设置在 3F 靠近左前侧楼梯口的学生座位处,两种场景下均在火源中心处设置竖向切面观察整体空间的烟气浓度、能见度等灾变数据。在各层楼梯口 2 m 处设置检测点,检测温度和 CO 浓度。考虑最不利条件,假设所有火灾场景均发生在防火门失效的情况下。

3.2 火灾数值模拟分析

该图书馆项目建筑面积较大,内部 4 个方位都设置楼梯均可用作疏散通道,火灾蔓延的情况主要由着火点的位置决定,主要从距离着火点最近的一侧楼梯

向上蔓延,其余方位的楼梯受火灾的影响相对较小。模拟时监测的影响人员疏散的因素为能见度、温度、CO 浓度,将得到的数据通过整理汇总,使用 origin 绘制出温度、CO 浓度随时间的变化曲线图。

3.2.1 烟气能见度分析

建筑物内发生火灾后,能见度是人员安全疏散的重要因素。根据《建筑防火工程》规定,对建筑物不熟悉的人群能见度应达到 13 m,对建筑熟悉的人群能见度也要到达 5 m。由于图书馆空间较大,人员对建筑物较为熟悉,所以将能见度 10 m 作为危险临界值。图 4 为场景 1 能见度分布群图,图 5 为场景 2 能见度分布群图。

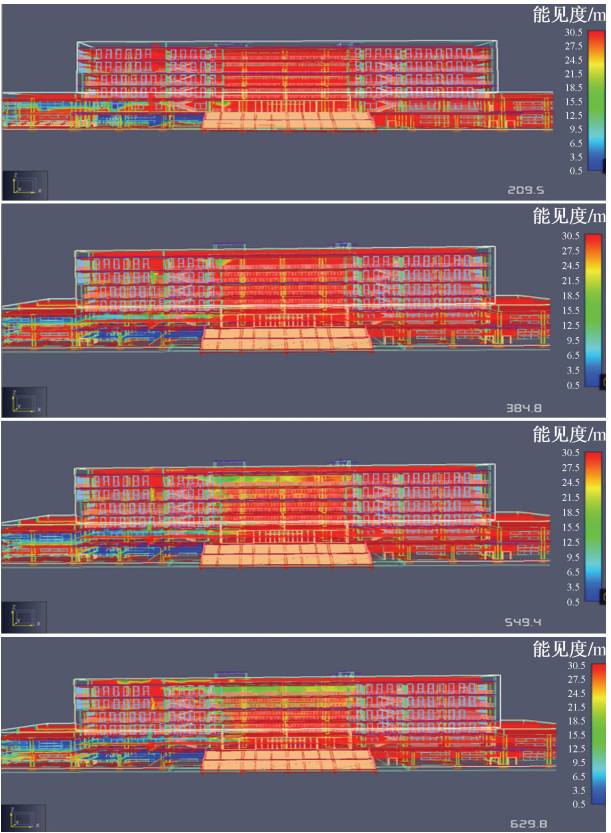


图 4 场景 1 能见度分布群图

着火建筑物内能明显观察到烟气沿着楼梯间迅速竖直向上蔓延。如图 4 所示,由于建筑面积过大且着火点发生在一 1F 较为密闭的藏书室,火灾模拟 630 s,整个建筑只有一 1F 左侧和 1F 左侧能见度小于 10 m,当火灾发生 420 s 的时候 1F 左侧两楼梯口处能见度低于 10 m,且随着时间的延长能见度越来越低。如图 5 所示,着火点发生在 3F 靠近楼梯口的学生座位处,烟气会迅速向上蔓延,当火灾发生 116 s 时 5F 出口处的能见度低于 10 m,211 s 时 4F 能见度低于 10 m,463 s 时 3F 楼梯口处能见度

低于 10 m,火灾模拟 630 s 时烟气集中在 3F、4F、5F 较低楼层能见度没有受到影响。

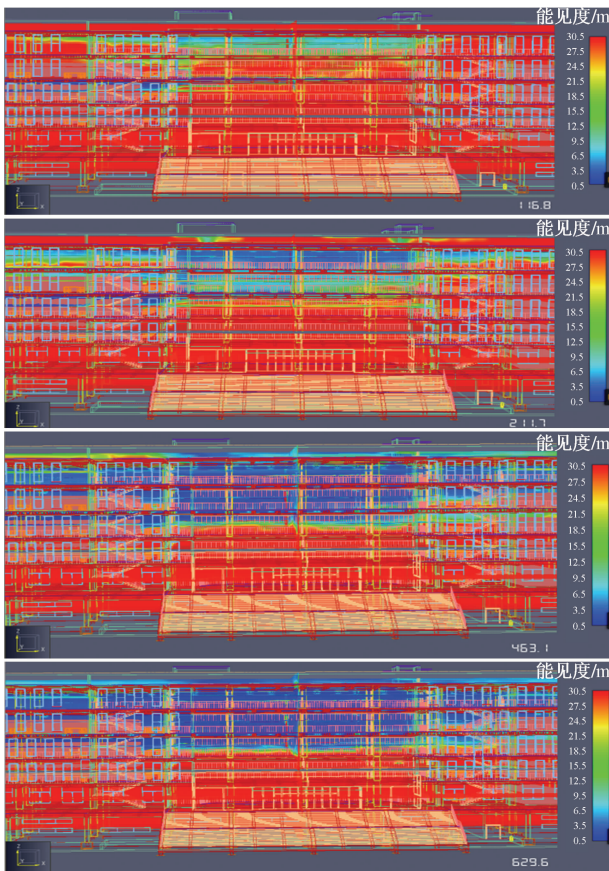


图5 场景2能见度分布群图

3.2.2 监测点温度分析

火灾产生的 70% 热量都会通过热对流的方法进入到烟气层,形成高温烟气。人体对高温烟气的忍耐程度也是有限的,高温烟气会灼伤人体表皮或者呼吸道等身体部位。查找相关文献得知人体可以在较短时间内忍受的温度为 60℃^[25]。将烟气层温度 60℃ 作为危险临界值。图 6 为场景 1 各楼梯口处温度随时间的变化曲线,图 7 为场景 2 各楼梯口处温度随时间的变化曲线。

通过图 6 可以看出场景 1 在火灾模拟 800 s 内各监测点温度都有所浮动,除火灾发生楼层和相邻的上一层外,楼层越高温度受火灾的影响越大,但是还没有达到危害人体健康的程度。由图 7 可以看出场景 2 在 580 s 之后 5F 和 4F 左前侧额楼梯口处温度都达到了 60℃ 以上,疏散人员将会有危险。

3.2.3 CO 浓度分析

火灾发生过程中会产生各种有害气体,其中 CO 浓度对人体的危害最为显著,空气中 CO 的浓度超过一定值就会使人昏迷,长时间暴露在高浓度

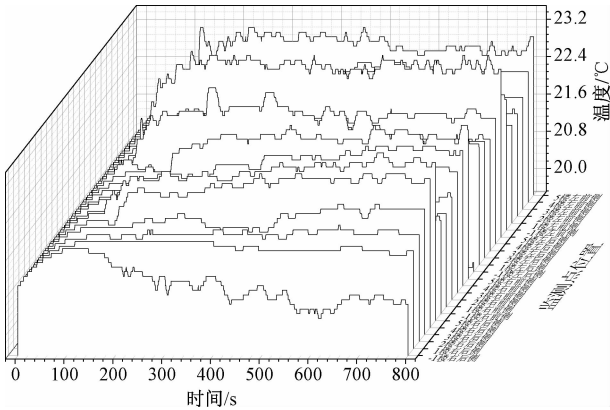


图6 场景1监测点温度变化

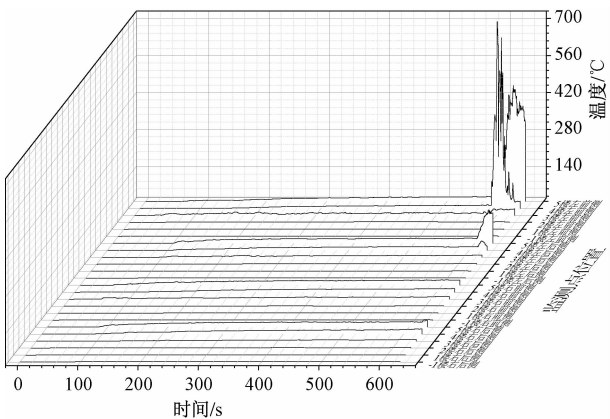


图7 场景2监测点温度变化

CO 的空气中甚至会导致人中毒死亡。当浓度超过 4×10^{-4} mol/mol 时人体会出现呼吸困难的症状,将 CO 浓度为 4×10^{-4} mol/mol 设置为危险临界值^[26]。

通过图 8、图 9 可以看出,CO 浓度变化大致和温度变化一致,低层发生火灾,烟气向上流动在最顶层聚集,之后又向下层蔓延,导致楼层越高 CO 浓度变化越明显。场景 1 在设置的模拟时间 630 s 内各监测点 CO 浓度最高值都没有达到危害人体健康的程度;场景 2 在火灾发生 580 s 时 CO 浓度超过 4×10^{-4} mol/mol,疏散人员将会有危险。

4 火灾疏散模拟

4.1 基于 BIM 和 Pathfinder 的安全疏散模型建立

以往 Pathfinder 软件利用与 CAD 完全兼容的特点直接建立疏散模型,BIM 模型使得大量的图纸、文字以更加形象立体的方式呈现,火灾软件可以识别 BIM 模型节省火灾模型中建筑模型建立的时间。但是 BIM 模型和 Pathfinder 软件模型不能完全兼容,BIM 模型需要通过保存为 DXF,再将导出的 PDX 格式文件导入 Pathfinder 软件中,形成初

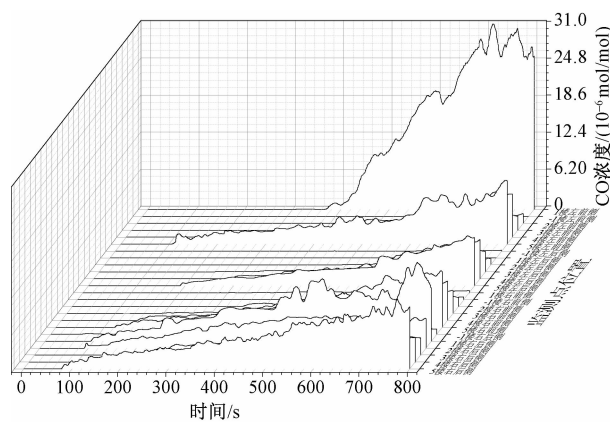


图 8 场景 1 监测点 CO 浓度变化

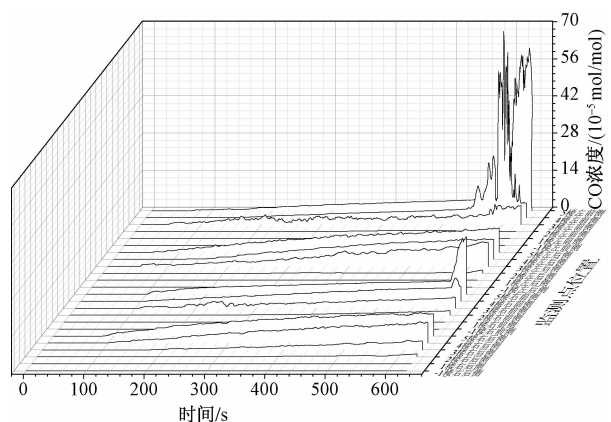


图 9 场景 2 监测点 CO 浓度变化

步的模型。
为了实现疏散模拟时的可见性,需要应用拾取功能提取 BIM 模型中的房间,删除 BIM 模型中的

墙柱等架构,只保留平面布局,根据图纸或者 BIM 模型绘制适应 Pathfinder 模型的门、楼梯,布置人员,形成应急疏散模型,如图 10、图 11 所示。

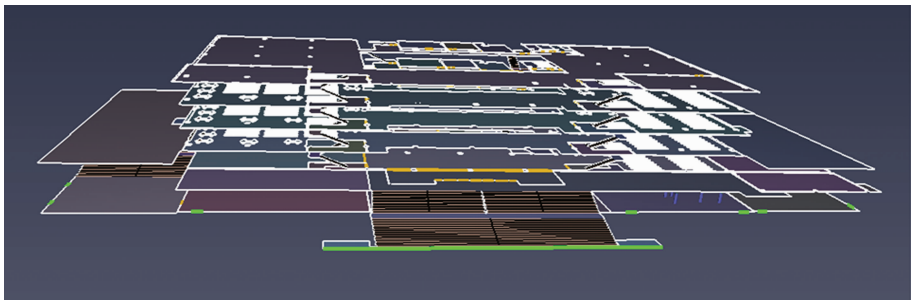


图 10 图书馆疏散模型



图 11 各层疏散模型

4.2 疏散参数设置

图书馆一共 5 层,-1F 面积为 3 585 m²,1F 面积为 3 585 m²,2F 至 5F 各层建筑面积均为 3 380 m²。参考《建筑防火设计规范》(GB 50016—2018)中商业营业厅内的人员密度分布,结合现有阅览座位 1 300 个的实际情况设置该高校图书馆各层的疏散人数-1F 人数为 251 人,1F 人数为 431 人,2F 人数为 406 人,3F 人数为 338 人,4F、5F 人数分

别为 169 人,共设置 1 764 人。
Pathfinder 软件中需要确定人流的速度和人员所占面积,考虑图书馆内人员基本上是青年学生,成年男人的平均速度为 1.8 m/s,身体宽度为 46.48 cm;成年女性的平均速度为 1.5 m/s,身体宽度为 43.91 cm^[27]。
火灾实际发生时由于心理因素,人员拥挤等情况会阻碍人员疏散,影响人员疏散时的速度,假设

人员的平均速度为 1.5 m/s。

4.3 疏散时间分析

在未设置起火点的情况下,对图书馆的疏散模拟,图书馆人数设置为 1 764 人,假设火灾发生时电梯不可使用的情况下,从上述对火灾疏散必需时间的公式,结合通过模拟得到的火灾疏散时间,可得该高校图书馆安全疏散 1 764 人疏散必需时间为 441 s,第 160 s 时 5F 人员疏散完毕,第 330 s 时 4F 人员疏散完毕,第 368 s 时 3F 人员疏散完毕,第 400 s 时 2F 疏散完毕,第 441 s 时 1F 疏散完毕,第 371 s 时 -1F 疏散完毕。图书馆内疏散时间与剩余人数分布如图 12 所示。由图 12 可以看出总的疏散人数随着时间的推移逐渐增加,疏散前期的疏散速率比疏散后期的疏散速率快,表明了整个疏散过程符合疏散时“快即是慢”原则。

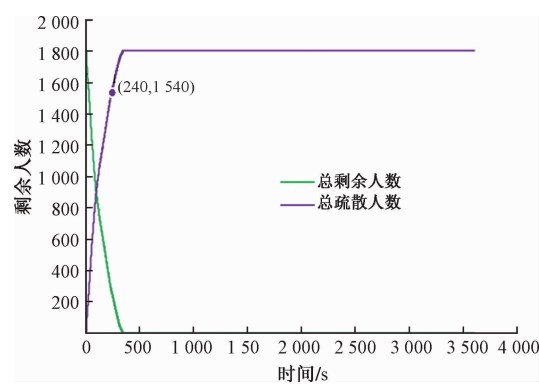


图 12 图书馆剩余人员

通过上述对火灾模拟危险时间和安全疏散必需时间分析可以看出,正常情况下拥堵发生在楼梯间,所以将监测点设置在楼梯口处。两个场景下影响人员疏散的主要因素是能见度,场景 1 着火点设置在一 1F 时,当火灾发生 420 s 的时候 1 层左侧两楼梯口处能见度低于 10 m,所以 420 s 以后人员不能经过 1F 楼梯出口到达建筑物出口,100 s 之后 -1F 人员必须疏散完成,所以上层人员不能通过 -1F 出口逃生。场景 2 着火点设置在靠近楼梯的学生座位处时,烟气迅速上升,受能见度的影响 5F 和 4F 的人员疏散不能在火灾达到危险时间前顺利疏散。在火灾发生 116 s 后 5F 还未撤离的人员不要盲目采取逃生措施;211 s 后 4F 及以上楼层内还未撤离的人员不要盲目采取逃生措施。

5 结论及建议

5.1 结论

1)图书馆建筑面积大,设置的楼梯较多,但是火源的热释放速率大,火灾蔓延速度快。随着着火

时间的增加,烟气传播的速度越来越快,短时间内主要是能见度影响人员疏散。

2)场景 1 火源设置在离楼梯口较远的藏书室,场景 2 火源设置在离楼梯口较近的学生座位处,场景 2 火灾发生时楼梯间的烟气浓度更大,蔓延的更迅速,且人员在楼梯口处会发生拥堵造,给人员疏散带来困难。

3)场景 1 和场景 2 均显示火灾发生时产生的烟气因为浮力作用主要沿靠近着火点一侧垂直方向迅速上升,当烟气上升到顶层时,烟气沿着水平方向蔓延,但是水平蔓延的速度较慢。

5.2 火灾应急管理建议

通过对某高校图书馆的火灾应急研究分析为类似建筑提出火灾应急管理建议:

1)着火点位于越低的楼层,烟气快速的垂直上升以及较慢速的水平方向传播影响较高楼层,越高楼层的人员越难以成功疏散。基于此,在火灾应急管理中图书馆的设计来说图书馆较低楼层要着重注意灭火设备的安装,较高楼层尤其是顶层应该设置少量座位且注重排烟设备的安装。

2)火灾发生时只会影响建筑着火一侧的人员疏散,高楼层的人员从火灾发生的一侧疏散容易发生危险,但是图书馆安全疏散的通道较多。因此,在火灾应急管理应注意完善路线指示灯、应急照明、应急路线图等标识设施以及消防报警系统,馆内管理人员还应该及时通告火灾发生的具体位置,有利于人员选择最合适的路线。

3)火灾发生时电梯不作为疏散通道,人员只能依靠楼梯疏散,楼梯间成了火灾逃生的“生命通道”,因此,应该在楼梯间安装防火卷帘,增设一些小型的消防设备,如排烟器。

4)由于无法改变现有建筑的结构,也无法在火灾发生时增加疏散通道,如果在某建筑物的消防管理中考虑到人员疏散的危险时间和疏散必需时间,则可以设计出更有效的火灾应急预案。

参考文献

[1] 余其威. 高层建筑物火灾疏散的应急管理研究[D]. 北京: 中国地质大学,2020.
[2] 司可. 塔式高层建筑火灾应急管理机制研究[D]. 北京: 中国矿业大学,2016.
[3] TONG D, CANTER D. The decision to evacuate: A study of the motivations which contribute to evacuation in the event of fire[J]. Fire Safety Journal, 1985, 9(3): 257-265.

[4] HADJISOPHOCLEOUS G, JIA Q. Comparison of fds prediction of smoke movement in a 10-storey building with experimental data[J]. Fire Technology, 2009, 45(2): 163-177.

[5] 赵锐, 孟祥雨, 闵雪峰, 等. 基于 Pathfinder 的化工企业人员应急疏散模拟[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(28): 417-422.

[6] 田鑫, 苏燕辰, 席亚军, 等. 地铁列车火灾安全疏散研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(31): 281-284, 289.

[7] 王伟, 王静, 柯琪材, 等. 高校图书馆消防安全疏散数值分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(2): 29-33.

[8] LI M X, ZHU S B, WANG J B, et al. Research on Fire Safety Evacuation in a University Library in Nanjing[J]. Procedia Engineering, 2018, 211: 372-378.

[9] 邹馨捷, 萨木哈尔·波拉提, 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.

[10] 邓朗妮, 雷丽贞, 黄静怡, 等. 基于建筑信息模型的地铁火灾监测信息集成与管理[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(4): 1574-1579.

[11] 徐航航. 基于 BIM 与 GIS 技术的建筑内消防疏导研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2020.

[12] 叶继红, 潘俊山. 基于 BIM 和元胞自动机的建筑火灾救援路径动态规划研究[J]. 土木工程学报, 2020, 53(8): 1-8.

[13] 丁厚成, 徐远迪, 邓权龙, 等. 高层建筑火灾烟气流动对疏散影响的模拟研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(12): 118-124.

[14] 李卢燕. 基于性能化的高层学生公寓火灾下人员安全疏散研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.

[15] 张忠. 火灾报警系统的应用与集成[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.

[16] LING W C T, WILLIAMSON R B. Modeling of fire spread through probabilistic networks[J]. Fire Safety Journal, 1985, 9(3): 287-300.

[17] COLIN P D B, SANDER P O, JONATHAN A B. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology[J]. Ecological Modelling, 2007, 206(3): 347-359.

[18] 罗夏. 竖向电缆燃烧实验与区域模拟研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2016.

[19] KEVIN B M. Large eddy simulations of smoke movement[J]. Fire Safety Journal, 1998, 30: 161-178.

[20] 张媛媛, 朱国庆, 韩如适. 基于网格模型研究人员密度及出口宽度对疏散的影响[C]. //2012 中国消防协会科学技术年会论文集(下). 北京: 中国消防协会, 2012: 12-16.

[21] WILLIAM J S, JONATHAN A Z, WILLIAM E L. Decimation of triangle meshes[J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1992, 26(2): 65-70.

[22] KANG Z X, ZHANG L, LI K. An improved social force model for pedestrian dynamics in shipwrecks[J]. Applied Mathematics and Computation, 2019, 348: 355-362.

[23] 叶继红, 潘俊山. 基于 BIM 和元胞自动机的建筑火灾救援路径动态规划研究[J]. 土木工程学报, 2020, 53(8): 1-8.

[24] JI J W, LU L G, JIN Z H, et al. A cellular automata model for high-density crowd evacuation using triangle grids[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2018, 509: 1034-1045.

[25] 叶成豪, 刘月婵, 孙超, 等. 考虑火灾产物影响条件下的人员疏散仿真研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(6): 142-151.

[26] 薛冰寒. 基于 BIM 的地铁火灾人员疏散模拟研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2019.

[27] 何欣, 常力, 谢飞, 等. 基于 Revit 和 Pathfinder 的商场类建筑安全疏散研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2016, 49(6): 14-20.

Research on Fire Emergency Management of a College Library Based on BIM

CHEN Yonghong, WU Lei, YANG Yufan, GAN Wenjie

(School of Civil Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650504, China)

Abstract: Due to the characteristics of dense personnel, large collection of books and flammable facilities, college libraries face serious challenge of fire emergency management. Revit was used to build the BIM model of the library. To analyze the change of visibility, temperature and CO concentration with time at the landings when a fire occurs, and obtain the available safe egress time (ASET) in each scene, using Pyrosim to build FDS model to realize the simulation of fire scene. Then, In order to gain require safe egress time (RSET), the agent-based model was established by using Pathfinder to simulate the evacuation of library fire emergency personnel. Finally, according to the results of comprehensive analysis of ASET and RSET, some suggestions on emergency management of library fire evacuation were put forward.

Key words: fire emergency management; college library; BIM model; FDS; agent-based mode