

基于 BIM 的火灾模拟与安全疏散分析

王 婷 杜慕皓 唐永福 张 琦

(南昌航空大学土木建筑学院, 南昌 330063)

【摘 要】随着国内建筑数量在不断增加,建筑发生火灾时的人员安全疏散成为重要问题。本文选用某一建筑作为研究对象,利用 Revit 软件建立 3D 模型并分别导入火灾模拟软件 Pyrosim 和人员疏散软件 Building Exodus 中,将 3D 模型转换为火灾模型和疏散模型,根据对火灾的具体描述在疏散软件中进行人员安全疏散分析,并将分析结果与火灾模拟时间对比,优化建筑模型以达到安全要求。将 BIM 建筑信息模型运用到公共建筑安全疏散中充分体现其数据化、可视化的特点,为今后人员疏散具有重要指导意义。

【关键词】建筑信息化模型;火灾模拟;人员疏散

【中图分类号】TU998·12 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1674-7461(2014)06-0102-07

1 引言

随着社会经济快速发展,公共建筑数量在不断增加。近年来,重大火灾事故时常发生于公共建筑中,而伤亡严重的大都在建筑物内。20 世纪 90 年代,我国建筑火灾次数占火灾总次数的 75% 以上,所造成的人员死亡数量和直接财产损失分别占火灾死亡总人数和直接财产总损失的 90% 和 85%。火灾事故的发生,使得民众的人身安全和财产安全都受到了极大的威胁和挑战,同时也为消防安全领域的研究提出了许多需解决的问题。20 世纪 60 年代初,日本的川越邦雄对单个房间的稳态燃烧进行了数学分析,提出了一种简化的单层区域数学模型,开始了火灾模拟研究^[1];20 世纪 70 年代初,经过对以往燃烧模型的改进和扩充,并在数值方法上进行修正,推出了室内火灾模拟程序 Marks^[2];20 世纪 80 年代以后,美国哈佛大学的 H. W. Emmons 教授第一次把质量、能量和动量守恒的原理巧妙地运用于建筑火灾的研究用数学分析方法描述了火灾过程,奠定了区域模型的理论基础^[3];美国 Meacham 指出:“成功应用性能化防火设计规范需要掌握火灾中的人员反应。”^[4]在火灾中人员的安全疏散问题方面,1998 年袁理明等提出计算疏散时间的数

学模型,计算疏散人群疏散到安全出口所用的时间;1999 年温丽敏提出火灾时群集疏散的模型,采用了计算机仿真计算人员疏散时间^[5];2002 年香港城市大学的 LOSM 等提出了利用计算机虚拟现实的技术,建立网格疏散模型(SGEM);2007 年,吕春杉等也提出了基于元胞自动机的仿真疏散模型,借助智能体的运动模式研究环境对运动的影响,引入健康度概念,模拟了发生火灾的建筑物中不同期望速度的人员疏散过程,模拟结果与实际情况相符,为人员疏散研究起到了很好的结构支撑^[6];2009 年高歌采用 FDS 软件模拟了某建筑的火灾烟气,并采用 Simulex 疏散软件仿真模拟了人员紧急疏散,研究分析建筑火灾可能临近的时间,得出疏散能否取得应急安全的效果。2012 年国内首次由业主主导,将建筑信息模型(BIM)技术应用于楼宇火灾预警和逃生的实施案例,分析了上海容灾中心在消防安全方面的要求,以及开发智能预警平台存在的难点,在上海容灾中心一期建设的基础上,开发了一套基于 BIM 技术的集火灾报警和实时逃生为一体的应用软件平台,即智能预警平台,提高了火灾预警和处理的能力。本研究在参考上述相关研究后根据 BIM(建筑信息模型)和 PyroSim 火灾模拟软件虚拟评估建筑内发生火灾的具体情况后

【基金项目】江西省教育厅 2013 年度科学技术研究项目资助(DB201311178)

【作者简介】王婷(1975-),女,博士,高级工程师。主要研究方向:基于 BIM 的建筑全生命周期研究。

利用 Building Exodus 人员疏散软件模拟人员逃生,确保在安全时间内有效疏散人群。本文主要研究路线如图 1:

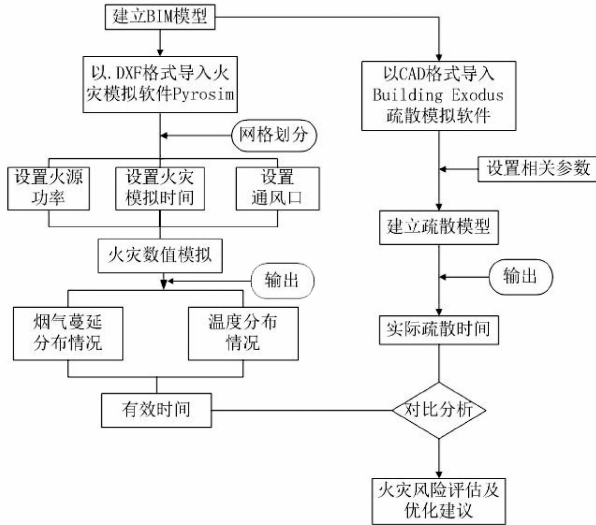


图 1 基于 BIM 的火灾模型与安全疏散工作流程图

2 基于参数化的 BIM 信息模型特征

BIM(建筑信息模型)是在数字化的建筑中利用虚拟结构构件表达现实中建筑物的构件,如板、梁、柱、屋顶、门窗等都是以独有的构件存在并且每个构件都有自己相应的尺寸信息内容,同时还有材质的物理特性,如保温材质的热传导率、比热以及电阻率等,其中的热传导率及比热对火灾中热量的传导有重要的影响。本研究中利用 Revit 三维建模软件建造某公共建筑模型,并在整个建模过程中收集相关火灾模拟中所需要的数据,某面建筑墙的相关参数设置如图 2。



图 2 Revit 中墙参数设置

在建筑中,建筑材料、构件等必须满足一定的性能才能有效达到防火目标。每种材质有自身的耐火极限,BIM 模型在转换为火灾模型时,模型中的参数自动转化为火灾参数,这些参数对整个火灾模拟过程起到至关重要的作用。在对火灾模拟的研究进程中,以往由于受到电脑软件的局限性,信息数据无法导入到其他软件中,导致数据的断裂,所有的模型信息必须重新计算后人为再次输入火灾模拟所需参数,从而增加了模拟的工作量和难度。

3 采用 PyroSim 软件的火灾模拟分析

PyroSim 软件是一款整合 FDS 后用于消防模拟的软件,被用来建立消防模拟,对火灾中烟气的运动、温度和毒气浓度进行准确预测分析。其借助 BIM 三维模型和网格生成工具,预先设定火灾模拟的相关参数,利用火灾动力学理论模拟出复杂的火灾场景,包括火势走向和烟气蔓延以及温度情况等。

PyroSim 几何模型完全可由 BIM 三维模型以 DXF 格式导入直接生成,这既避免了重新建模的复杂性又更好的保存了建筑模型完整的信息。模型导入时要设定单位,本次导入设定为 mm,模型导入软件后,软件会自动为模型在三维空间中进行坐标定位。建立火灾模型时软件会根据导入的建筑模型自动给出参考网格大小以及数量,但是给出的网格数量往往都是包含了整个模型的,但是实际模拟时不需要多余的划分空间,需要网格贴近模型,这样模拟的结果才更贴近真实,因此根据给出的网格大小自行设定网格的数量,但是网格的数量必须要满足给定划分空间的大小。模型的每一个构件在软件中都有具体的空间坐标,在进行燃烧器表面、通风口设置时都是通过坐标进行设定位置,同时,燃烧器表面和通风口必须设置在网格表面上。建筑模型与火灾模型(如图 3(a)、(b))。

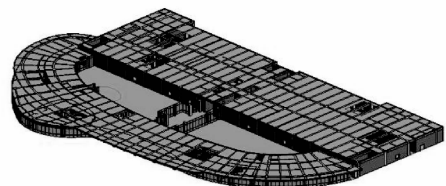


图 3(a) Revit 模型



图 3(b) 导入火灾模拟软件后的模型

本研究采用二级耐火等级设计。该建筑设计高度为 6.8m,包括办公室、走廊、公共活动区等区域,具有内部空间大、各部分连通性强、结构较为复杂、人员较密集、火灾荷载大等特点。由于条件限制,本研究仅对建筑中风险性最大、人员分布最密集的区域进行分析,起火点设计在建筑某一办公区内。一旦起火,火势和烟气向整个建筑内联通的空间迅速蔓延,逐步扩大火势,使得空气中的烟气浓度增加以及室内温度升高。高温气流受到墙壁等相对低温物体冷却后导致上升的浓烟逐渐下降,并且扩散到其他房间、走廊等直至充满整个建筑物。在实际火灾灾难中,主要是火灾所产生的浓烟对人员疏散造成极大的困难,也对人体产生极大危害。火灾发生后烟气弥漫在整个建筑内(如图 4(a))。随着火势的增大建筑内温度也不断上升,火源处的温度相比其它地方更高,建筑内温度分布如图 4(b)。

火灾模拟所采用的参数如下:①火灾火源功率为 2.0MW,火势按 t2 快速火发展;②着火前室内外温度无温差;③入口大厅门对外打开并且主走廊无门,由此补风(风速 15m/s);④排烟方式采用门窗等自然排烟方式;⑤建筑所设置的 7 扇门一经打

开,将处于开启状态;⑥模拟时间:200s。

通过火灾模拟可知当火灾发生到 4s 的时候,火灾热释放速率 HRR(单位时间内火灾释放的热量)达到最大值 $4.0 \times 10^4 \text{ kW}$,在 4s 到 200s 内热释放速率在 $2.5 \times 10^4 \text{ kW}$ 和 $4.0 \times 10^4 \text{ kW}$ 区间内趋于稳定,如图 5(a)所示。在火灾模拟过程中会有烟气产生,从模拟得到的数据图中可看到此前在模型中设置的 3 个区域的烟气高度分布情况。由于区域 1(layer zone1)最靠近火源故烟气分布最为分散,随着时间增加烟气浓度逐渐增大且弥漫空间最大,如图 5(b);区域 2(layer zone2)设置于通道处,当火灾发生 0-8s 时间内烟气集中在约 5.75m 处,随着时间增加烟气浓度逐渐增大并向下蔓延,大部分烟气集中处于 4.50m-5.55m 之间,如图 5(c);相对其它区域,区域 4(layer zone4)为重要通道口(建筑前半部分和后半部分唯一的通道)的烟雾随时间的变化的分布图,如图 5(d);在火灾中一般认为由火灾引起的烟气高度达 2m 或以上时视为安全,图 5(e)表示重要通道口 2m 处温度随时间的变化图。由火灾模拟实验可得,该火灾情况下环境可提供人员疏散的有效时间,即从着火到整个建筑内火灾所产生的烟气二氧化碳浓度、室内温度、能见度等达到人体所能承受的极限时间。通过对火灾模拟结果分析可得:(1)在火灾发生情况下火灾环境中人员能够维持在相对安全的条件中,可判断该建筑是否基本符合消防要求。(2)一般认为烟雾高度在 2.0m 以上以及温度在 60°C 以下是安全的。(3)火灾发生 20s 时,重要通道口处的烟雾高度低于 2.0m,而在火灾发生 80s 时,重要通道口的温度达到 60°C 以上。所以综上可得建筑后半部分内人员安全逃生的有效时间是 20s。

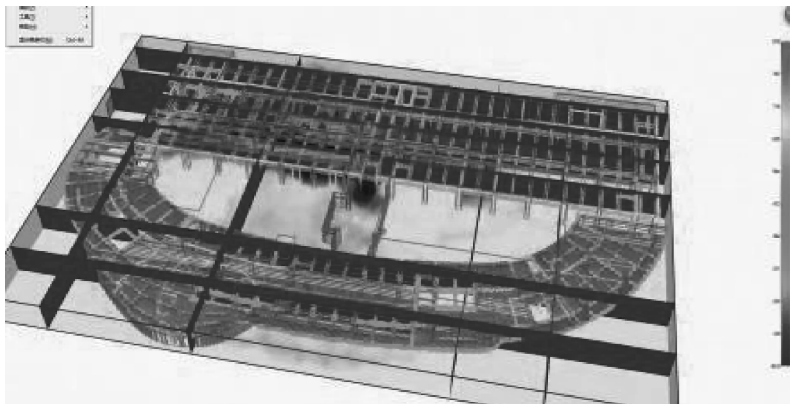


图 4(a) 90s 内烟气扩散三维图

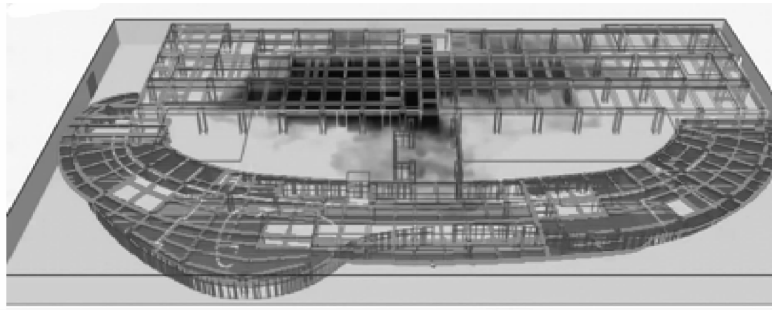


图 4(b) 90s 内建筑温度分布图

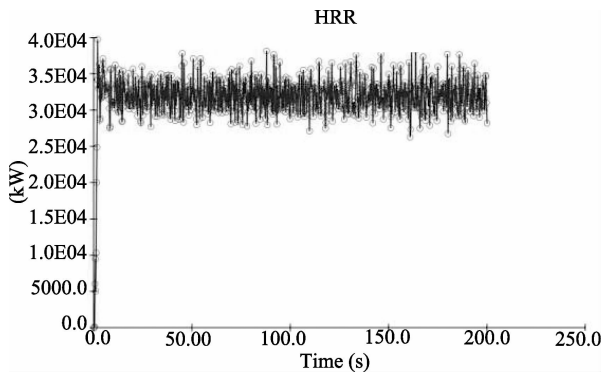


图 5 (a) 火源热释放率随时间的变化图

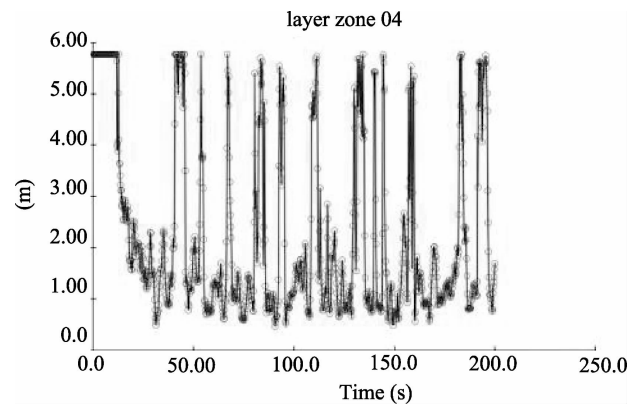


图 5 (d) 重要通道口处烟雾分布高度随时间变化图

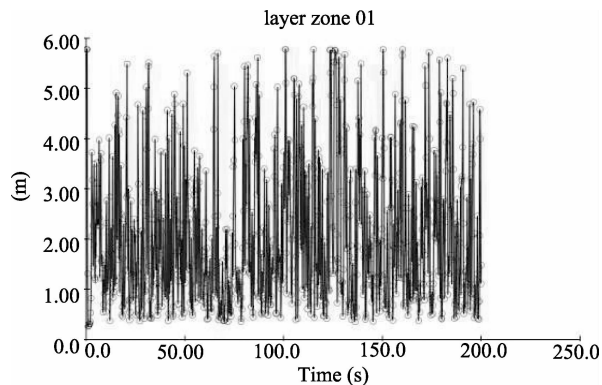


图 5 (b) 火源处的烟雾分布高度随时间的变化图

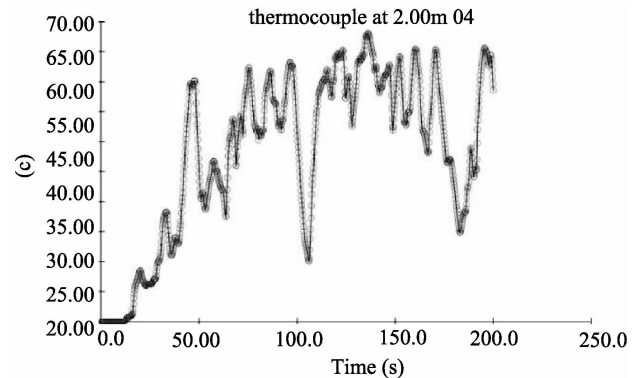


图5(e) 重要通道口处2m高处温度随时间变化图

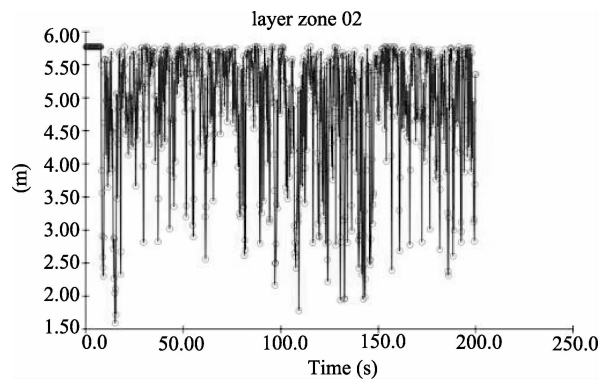


图 5 (c) 重要通道口交汇处烟雾分布高度随时间变化图

4 基于 Building EXODUS 的人员安全疏散分析

对人员安全疏散模拟的研究是基于上述火灾模拟的前提下进行分析的,采用 Building EXODUS 软件,一款细网格的过程模拟软件,它与其它疏散

模拟软件最大不同之处在于它综合考虑了疏散人员之间、疏散人员与火灾之间以及疏散人员与建筑结构之间的相互作用。软件会自动跟踪每一个人在建筑物中的移动轨迹,走出建筑物或者被火灾(例如热、烟和有毒气体)所伤害。因此, Building EXODUS 能比较真实地模拟疏散人员和场景的若干属性和行为,追踪疏散过程的诸多细节,在此基础上给出比较全面详实的预测结果。

人员安全疏散研究具体参数如下:①建筑内共设置 512 人(男 259 人,女 253 人),平均年龄 39.33 岁,平均体重 64.26kg);②建筑内共设 8 道门,打开后将处于开启状态;③人员逃生模拟时间 200s;④人员分布情况,(如图 6)。

放置人群时,设置大概 200 名左右的不同年龄

段与性别的人,系统再随机分配在节点中。通过查阅资料得知要使得人员分布合理,出口闲置参数 MNS 要介于 0-0.1 之间。为了让 MNS(出口闲置参数)小于 0.1,再在各个门口附近添加一些人群。通过模拟,最后得到各门人员逃生的数据如表 1。

各个门的 MNS_i(无人通过出口 i 时间统计) $i = \text{noflowtime} \div \text{flowtime}$

$$MNS = \sum_i MNS/n(\text{门数})$$

通过计算 MNS=3.05% 介于 0 到 0.1,说明人员分布合理,疏散模拟更加真实可靠。在模拟时间内随着时间的增加,逃出人数也在变化如表 2 所示。

经过逃生软件模拟,在 7 扇门中得到实验数据如表 1 和表 2 所示。

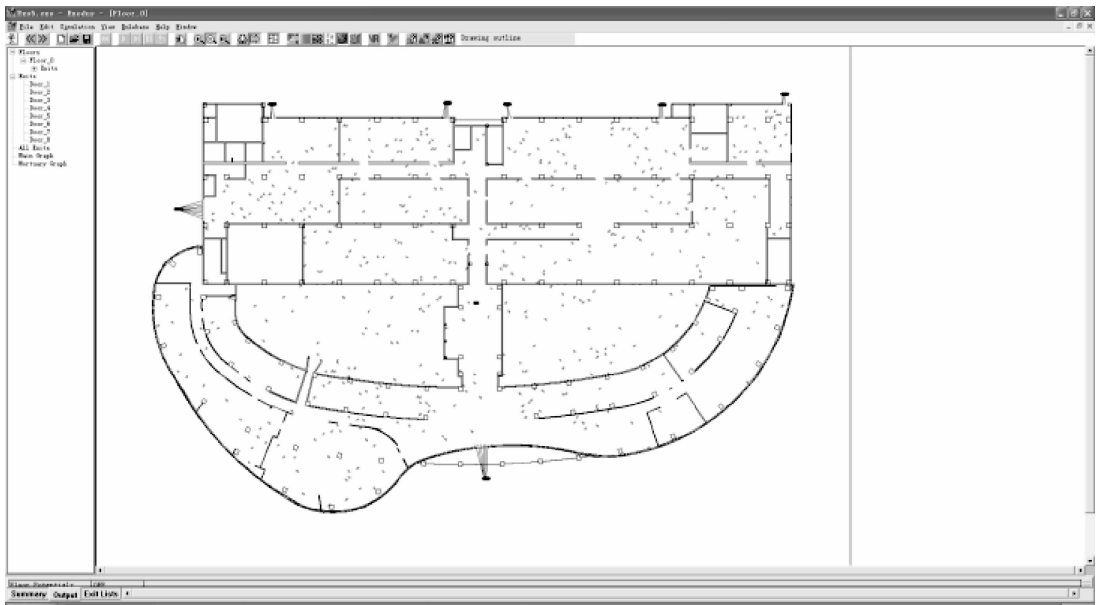


图 6 人员分布图

表 1 模拟后各门人员逃生数据

	Number Used	First entry(s)	Last(s)	Avg PPM	Flow Time(s)	No Flow Time(s)	MNS _i 出口闲 置参数(%)	Event Time(secs)	General Potential	Attractiveness	Unit Flow Rate(occ/m/s)	
Door_1	202	7.35	90.2	146.29	82.85	1.6	1.93	none	100	100	1.33	1.33
Door_2	68	5.66	54.82	83	49.16	0	0	none	100	100	1.33	1.33
Door_3	77	5.84	36.84	52.25	31.01	0.36	1.15	none	100	100	1.33	1.33
Door_4	26	10.86	42.92	48.66	32.06	3.63	11.32	none	100	100	1.33	1.33
Door_5	56	5.41	51.36	73.1	45.96	3.15	6.85	none	100	100	1.33	1.33
Door_6	33	9.33	42.67	59.39	33.34	2.18	6.55	none	100	100	1.33	1.33
Door_7	74	4.64	54.19	89.55	49.58	2.46	4.96	none	100	100	1.33	1.33
Door_8	26	6.29	35.03	54.28	28.74	0.26	0.91	none	100	100	1.33	1.33

表 2 随时间增加逃出人员总数

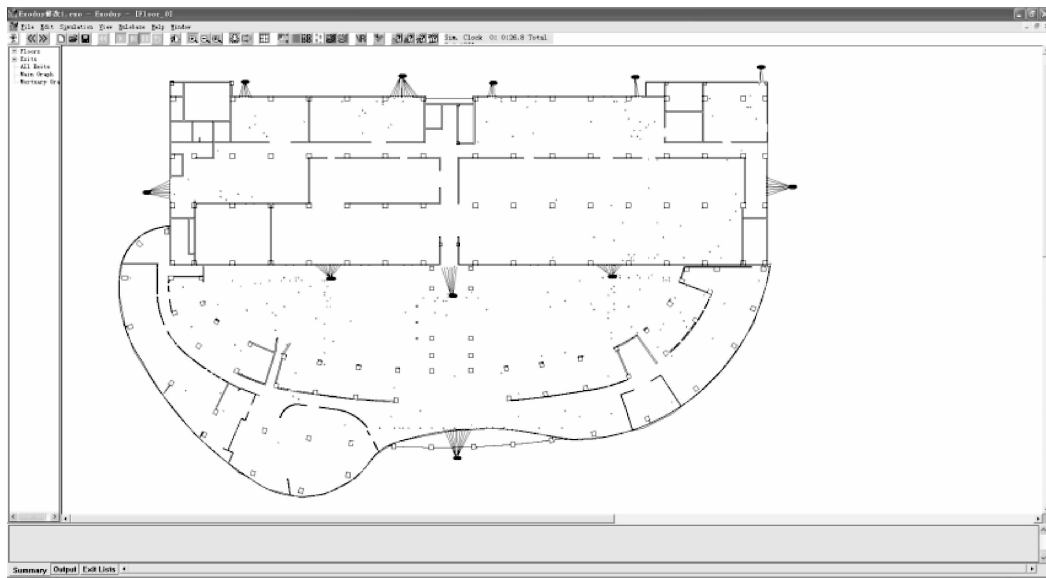
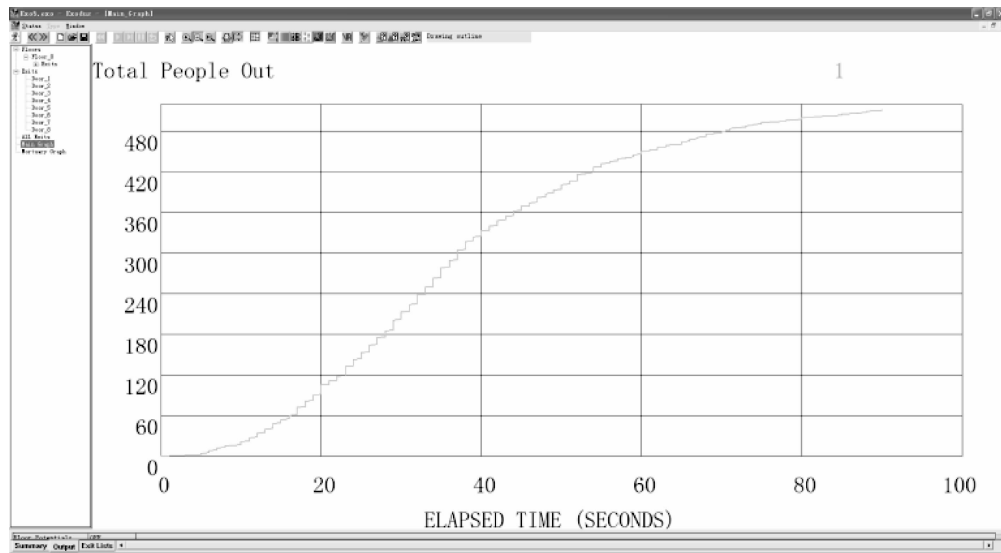


图 7 修改后人员疏散模型图

建筑物发生火灾后,处在室内各位置的不同人员在进行安全疏散时,选择的疏散路径和疏散方式具有一定的不确定性。但从总体上看,一般都会选择较近的安全出口进行疏散。本文在分析时,假定建筑内人员都通过走廊和门口,经安全出口疏散至户外安全场所的方式来分析人员疏散过程。排除建筑内逃生人员选择在室内房间躲避等待救援、疏散通道被阻挡和通过阳台外墙逃生等其他疏散方式。由疏散模拟结果得出在 DOOR2 处,也就是重

要通道口处的实际疏散时间是 54.82s,通过通道口人数是 68 人。但是由火灾模拟得出的结果显示人员安全通过重要通道口处的有效时间是 28s,即实际时间大于有效时间,因此在此种火灾情况下,建筑存在不安全因素,容易造成人员伤亡。针对此情况,对建筑模型进行优化处理以达到建筑安全要求。

5 火灾风险分析优化及建议

原建筑模型内前半部分与后半部分只有一个通

道,这使得建筑不符合消防安全要求,在人员疏散过程中通道口处出现拥挤的情况,从而延长了人员逃生时间。针对此情况,在满足建筑要求情况下对建筑进行修改和优化,图7为修改优化后的人员疏散图。

(1)增加建筑前半部分和前半部分的通道口,并减少原模型中隔墙以减少人员疏散过程中的阻碍。对模型进行优化并经过模拟得到实际疏散时间(26.8s)少于有效疏散时间(28s),这说明人员可在有效时间内完成撤离,建筑符合安全疏散要求。

(2)应加强建筑的日常安全检查将直接减少火灾发生的机率,严禁人员携带大量易燃、易爆、发烟量大及危险化学品物质进入建筑物内,降低火灾危险性。加强火灾预警、设置消防设施、编制应急救援预案和组织安全疏散的演练等方法,也是提高人员应对火灾、紧急疏散逃生能力的有效手段。

本研究利用 BIM 信息化模型根据具体火灾模拟进行试验,充分证明 BIM 技术在模拟过程中的优势。在初期建筑设计过程中,利用 BIM 技术建立虚拟的模型,可模拟考虑建筑信息、火灾发生、发展等具体情况,避免了在火灾模拟软件中“网格化”

建模的复杂性,不仅大大提高了设计人员效率。有效减少不必要开支,从而做到节约成本,增加使用面积等,响应了国家提倡绿色建筑节能环保的理念,提高建筑经济效益和社会效益,对今后公共建筑安全疏散设计与分析具有重大意义。

参考文献

- [1] 李金宝. 多室火灾计算机模拟方法研究[D]. 上海:同济大学,2003.
- [2] Svensson, S. Experimental Study of Fire Ventilation During Fire Fighting Operations [D]. Fire Technology, Volume 37, 2001. 23-26.
- [3] 张培红, 王增欣. 建筑消防[M]. 北京:机械工业出版社, 2008:27-44.
- [4] B. J. Meacham. The Evolution of Performance-Based Codes & Fire Safety Design Methods. Society of Fire Protection Engineers; Boston, 1996.
- [5] 温丽敏. 火灾中群集疏散的设计方法及计算机仿真[J]. 东北大学学报(自然科学版), 1998(19):5.
- [6] 温丽敏. 火灾中群集疏散的设计方法及计算机仿真[J]. 东北大学学报(自然科学版), 1998(19):5.

Analysis on Fire Model and Safety Evacuation based on BIM

Wang Ting, Du Muhao, Tang Yongfu, Zhang Qi

(Nanchang Hang Kong University, Jiangxi Nanchang 330063, China)

Abstract: With the increasing number of domestic buildings, the importance of safety evacuation in case of fire in the buildings has aroused public attention. Taking a certain public building as the research subject, the author of the thesis imports the 3D model processed by Revit software into such softwares as Pyrosim and Building Exodus by which the 3D model is converted into the fire model and the evacuation model, then conducts the analysis of safety evacuation via the evacuation software according to its detailed description of the fire. The analysis results are compared with the fire in time, and the building model is optimized in order to achieve the safety requirements. The appliance of the BIM model into the practice of safety evacuation in buildings is considered as the manifestation of the data-orientation and visualization of the BIM model, and it would provide the future practice of evacuation with significant guidance

Key Words: Building Information Modeling; Fire Model; Evacuation Model