

基于 FDS 的图书馆火灾疏散模拟研究

阎卫东,任志凯,王晓磊

(沈阳建筑大学土木工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:针对目前图书馆火灾下人员疏散研究存在的不足,选取烟气高度和 CO 体积分数两项因素,提出了基于火灾动态模拟器(Fire Dynamic Simulator, FDS)考虑火场产物影响的疏散模拟方法,并以沈阳建筑大学图书馆为例,利用该方法得到了受烟气和 CO 影响的整体疏散时间以及各层疏散时间,通过与不考虑火场产物影响的疏散时间进行对比,得出以下结论:考虑火场产物烟气和 CO 影响时,相较于不考虑时整体的疏散时间增加了 74.5 s,增加幅度约为 25%;各层的疏散时间尤其是一、二层的疏散时间增加较明显;整体疏散效率降低了 46%,并发生了拥堵情况。因此,在进行建筑火灾疏散模拟时,考虑火场产物的影响是十分必要的。

关键词:图书馆火灾;FDS;火场产物;疏散时间

中图分类号:TU998

文献标志码:A

近年来,图书馆等大型综合体建筑火灾频发,该类火灾相较于其他建筑火灾,占据了最大的人员伤亡和财产损失比例^[1]。针对此类建筑,如何安全高效地进行人员疏散是当前亟须解决的重要课题。对该课题进行研究的方式是组织疏散演习,但该方法组织成本高,实施难度大,同时演习人员由于未处在真实的火灾场景下,很难出现恐慌、盲从等心理行为特征,烟气、CO 等火场产物的影响也无法体现,疏散结果往往与实际情况相差较大。计算机仿真模拟在成本、耗时、安全性等方面有着明显优势,因此是当前研究的常用方法。

近年来,国内外人员在此方面做了大量的研究,各种疏散动力学模型和一系列疏散模拟软件应运而生。如 Huang 等^[2]利用元胞自动机模型研究了在火灾场景中单个疏散人员转移到其他位置的概率。Heibing 等^[3]

建立了社会力模型。唐方勤^[4]利用火灾动态模拟器(Fire Dynamic Simulator, FDS)模拟方法研究了火场不同位置产生的 CO 体积分数和烟气温度与人员疏散之间的关系,并通过实验模拟进行了验证。张瑞^[5]利用 Pathfinder 软件对图书馆进行了最不利场景下的人员逃生模拟,提出了应急疏散优化方案。在这些仿真模拟方法中,基于 FDS 的模拟方法运行规则简单明确,运算速度较快,并且该方法应用至疏散领域的已有成果和相关理论比较成熟。

同时,在以往的研究成果中,得到的模拟结果往往是无火灾自然状态下的室内整体疏散时间,而在实际情况下,人员疏散要受到烟气、有毒气体、高温等火场产物的影响。因此,在 FDS 模拟的基础上,本研究选取烟气高度和 CO 体积分数两项因素,提出基于 FDS 的考虑火场产物影响的疏散模拟方法,

并运用至图书馆的人员疏散模拟中。

一、基于 BIM 的建筑模型构建

研究以沈阳建筑大学图书馆为研究对象,该建筑为中庭式结构,共7层,地下1层,为休闲娱乐区域,地上6层,其中一层至五层均设有图书室和自习室,是人员的主要聚集场所,第六层为办公区域。本研究主要对地上六层的建筑区域进行疏散模拟分析。图书馆平均层高为4.0 m,东西长104 m,南北宽48 m,占地面积约为4 154 m²。在一层共设有6个出入口,在建筑的四角分别有一部楼梯均为正常使用状态,此外还设有两部电梯分别位于北侧两个楼梯间附近。默认在火灾情境下,电梯为禁用状态。该建筑为钢筋混凝土结构,主要建筑构件的极限耐火时间远超疏散时间。因此,本研究不考虑火灾造成的结构构件破坏。

建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)定义为利用数字信息化对建筑工程全周期内的物理和功能特性进行描述,并按照此描述进行设计、施工、运营和维护^[6]。本研究选用 Autodesk Revit 系列软件对该图书馆进行建筑模型构建(见图1)。

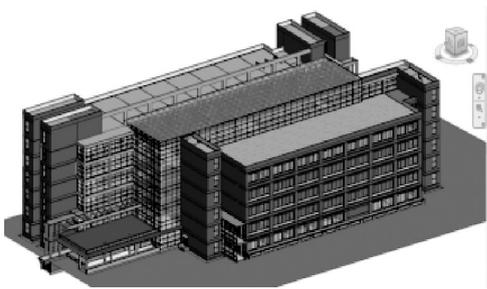


图1 图书馆 BIM 建筑模型

BIM 模型“一模多用”的特点为 BIM 的各项研究提供了便利,使用者将构建的 BIM 建筑模型导出为 DWG 格式文件,直接导入火灾数值模拟软件 Pyrosim 中,可省去复杂的建模过程。另外,对图书馆 BIM 模型进行轻量化处理,仅提取楼板、墙、楼梯和出口等建筑构件后导出为 DWG 格式文件,并导入至疏散模拟软件 Pathfinder 中,可直接用于图书馆的疏散模拟,加快了建模效率。

二、火灾数值模拟

研究利用 Pyrosim 进行图书馆建筑的火灾数值模拟,该软件是由美国标准技术研究院开发的建立在 FDS 基础上的火灾模拟软件^[7]。

1. 模型构建

将建立好的 BIM 模型导入 Pyrosim(见图2)。

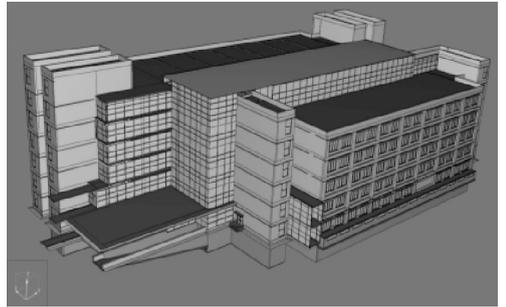


图2 Pyrosim 模型

在实际模拟中,模拟结果的精度主要受网格划分尺寸的影响。网格划分越精细,得到的模拟结果越准确,但计算机模拟耗时较长。节约模拟时长设置较大的网格尺寸,则无法得到更精确的结果。因此,在模拟运行前需要一个合适的网格尺寸,以求达到耗时和准确两方面的平衡。本研究分别设置粗糙(1 m × 1 m × 1 m)、中等(0.5 m × 0.5 m × 0.5 m)与精细(0.25 m × 0.25 m × 0.25 m)3种网格尺寸,得到多个模拟结果,其所需要的计算时间如表1所示。

表1 不同网格尺寸下的计算时间

网格尺寸长 × 宽 × 高/m	网格数量/个	计算时间/h
1.0 × 1.0 × 1.0	180 235	3
0.5 × 0.5 × 0.5	1 441 880	20
0.25 × 0.25 × 0.25	11 535 040	150

不同网格划分方式下某一监测点处烟气高度时程曲线如图3所示,可以看出3种划分方式的计算结果在趋势上是一致的,中等网格与精细网格在计算精度上已经差别不大,而后的计算耗时大约为前者的7倍,考虑到耗时和成本,本研究采用的网格划分尺寸为0.5 m × 0.5 m × 0.5 m。

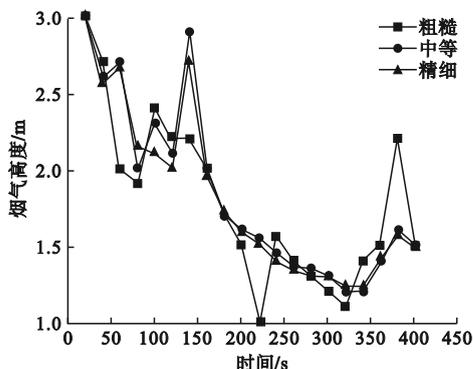


图3 烟气高度时程曲线

2. 火灾场景设置

在对某一建筑物进行火灾情境下的疏散安全性分析时,一般按照最不利原则设定火灾发生概率较高、火灾发生后产生的危险性和灾害最大的火灾场景。结合本研究中图书馆的实际特点,分析可知,该图书馆的建筑构造决定了其最不利的火源位置,即该图书馆存在贯穿一层至六层的中庭构造,在最底层发生火灾的情况下,由于烟囱效应,火场产生的烟气会通过中庭迅速向上层蔓延,进而蔓延至其他各层,所以火灾发生在一层时对整个建筑造成的危险性是最大的;另外,通过对图书馆的实际考察可知,一层的阅览室存有较多图书、桌椅等易燃物,并存有较多老化电线,火灾发生概率较大;另外,该阅览室位于两个方向的走廊交界处,如果该房间发生火灾,由于外部风作用,使得火场产物在水平和垂直两个方向均可通过通道迅速蔓延。因此,研究将火源位置设置在一层图书室,同时设置若干监测点(见图4)。

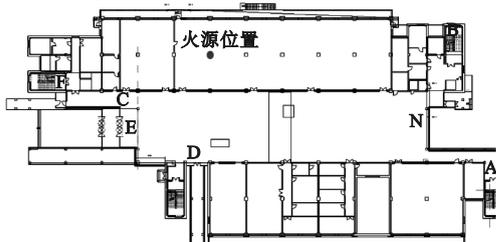


图4 火源及监测点位置

门窗是否关闭也会对火势的蔓延产生影响:当火源位置所在房间的门窗全部打开时,由于外部风作用,外界空气不断涌入该房间

带来充足的氧气,为可燃物热释放速率的提高提供有利条件,同时外部风作用使得火场产物从该房间向建筑内其他位置蔓延的速度不断提高;对于其他房间,在门窗全部打开的情况下,由着火房间涌出的烟气会进入这些房间,从而减缓烟气在整个建筑物内的蔓延进程。因此,火源点所在房间的门窗全部开启、非着火房间的门窗全部关闭即为最不利的火灾场景。

火灾模拟参数设置情况如下:图书馆室内初始温度设置为 20°C ,建筑内的可燃材料主要为纸张和木材,相对应的火源功率取 4.0 MW ,火灾类型为 t^2 增长类快速火,墙与柱的表面为不可燃烧材质,火灾模拟火灾燃烧时间总时长为 600 s 。

3. 模拟结果分析

(1) 烟气高度

火灾发生后烟气首先在着火房间内积聚并不断上升,随之充满整个房间,随着火灾不断发展,可燃物燃烧产生更多烟气通过该房间的门窗向外涌出,进入离着火房间最近的走廊和大厅。

烟气进入走廊后不断上升,在走廊顶棚积聚并向两侧蔓延,一段时间后进入楼梯间,随后沿着楼梯竖井在建筑物的垂直方向上扩散。同时进入大厅的烟气在达到一定量后,沿着中庭在建筑物的垂直方向上扩散,同时进入二层及以上的走廊。最终,烟气沿多种路径不断向建筑物的各个角落扩散(见图5)。

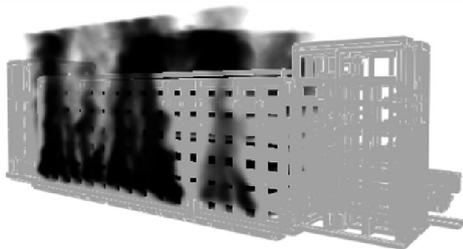


图5 烟气在垂直方向上的蔓延情况

(2) CO 体积分数

CO 体积分数最高的区域集中在着火房间附近,而在距离着火点较远的走廊或者楼梯间,CO 的体积分数相对较低,部分通道处在整个火灾发展的过程中始终未达到CO体

积分数的临界危险值(见图 6)。

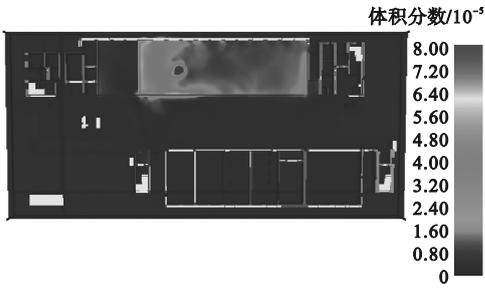


图 6 200 s 时着火层 CO 蔓延情况

在 400 s 和 600 s 时,火灾烟气中的 CO 体积分数变化较小,说明房间中的 CO 开始保持稳定(见图 7),且最高达到 0.5%,足以对人类生命造成威胁。所以,在火灾发生时,应迅速远离火灾燃烧位置。

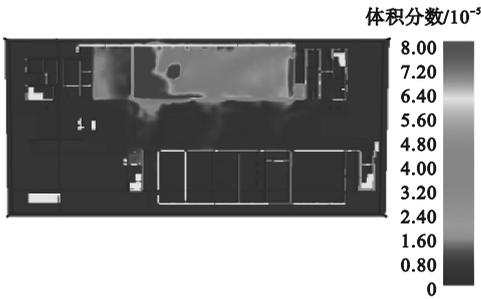


图 7 400 s 时着火层 CO 蔓延情况

(3) 温度

由模拟结果可知,当火灾发生在一楼图书阅览室时,即最不利的火灾场景下,直到火灾发展到 600 s 时,着火房间处的二维温度切片如图 8 所示,即整个建筑物内的人员疏散早已结束时,除着火点附近产生小范围的高温区域外,疏散过程中使用率最高、人员最密集的走廊、出口和楼梯间的最高温度均低于 60 °C,由上述模拟结果可知:温度对人员疏散的影响可忽略。

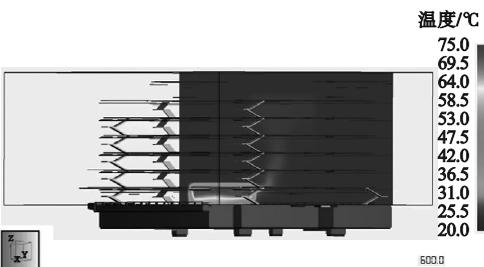


图 8 着火房间处的二维温度切片

4. 危险时间点分析

建筑物发生火灾时,当各层的烟气下降到一定高度后,疏散人群吸入或直接影响人员的视线,导致能见度降低,从而使人窒息,并产生呼吸困难、头痛眼花、神经错乱等症状,危害人身安全。逃生人员若想在疏散的过程不受烟气层影响,那么烟气层高度必须高于一个临界值^[8]。在本研究的图书馆建筑中,对人身安全构成危险的烟气临界高度为 1.616 m。同时考虑到火源性质及建筑火灾发展的时长,选取体积分数 0.32% 作为受 CO 影响的临界危险浓度^[9]。

在着火层即一层沿走廊从左向右布置烟气层高度监测点,并在各出口和楼梯间也布置若干监测点,该火灾场景下各监测点处烟气高度变化情况如图 9 所示。研究可知:烟气在 100 s 左右时开始下沉到 2.0 m 高度处,由于走廊中部靠近火源较近,受烟气影响较大,并最先发生烟气下沉现象;当燃烧到 400 s 时,烟气大幅度沉降到 1.0 m 位置处;烟气在 200 s 时开始发生沉降现象,并迅速下沉到 1.616 m 高度处,受建筑物阻拦以及自然通风条件影响,大量烟气向靠近楼梯出口和窗户方向蔓延,此时烟气充满楼梯出口处,并陆续下沉至 1.616 m 高度以下。

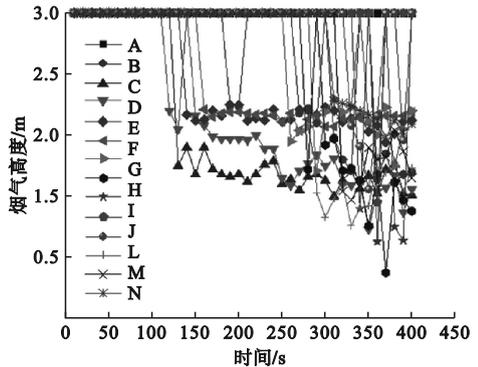


图 9 各监测点烟气高度变化情况

由于火源位置位于在一层,因此该楼层的各个监测点处的火场产物物理量首先达到危险值,即该楼层的走廊、出口和楼梯间均在较早的时间点处便无法通过。109.0 s 时,监视点 C 处的烟气高度开始达到临界危险值,表示该处走廊靠近东北侧的楼梯一端无法通

行。从 175.0 s 开始 F 监视点烟气高度已经达到烟气的临界危险高度,表示在 175.0 s 以后,东北侧楼梯一、二层间楼梯通道人员无法通行。196.2 s 时,G 监视点处烟气高度达到临界值,从这之后二层到三层楼梯无法通行;对于 N 监测点,只有少量烟气蔓延至此,其高度均大于 2 m,以此可忽略烟气对此处的影响。由于烟囱效应烟气在火灾发展前期便会沿中庭迅速上升直至其它各层,并蔓延至各层走廊和楼梯间,因此各层走廊均受烟气影响。涌出的烟气到达二层走廊 L 处,于 398.4 s 烟气高度达到临界值,而考虑到人员一般在 360 s 内均可疏散完成,因此,可以忽略烟气高度对 L 处的影响。

该火灾场景下,监测点 A 至监测点 J 处 CO 体积分数的变化情况如图 10 所示。研究可知,着火层靠近着火房间的走廊及出口因距离火源最近,因此最先达到 CO 临界危险浓度,从 100.0s 左右开始,E 监测点处 CO 体积分数已达到临界浓度,表示 100.0 s 以后 E 出口人员无法通行。同时,2 号楼梯作为距离起火点位置最近的楼梯间,各层楼梯均受 CO 体积分数影响,从 184.2 s 左右开始 F 监测点 CO 体积分数已达到临界浓度,表示 184.2 s 以后 2 号楼梯一、二层间楼梯通道人员无法通行。

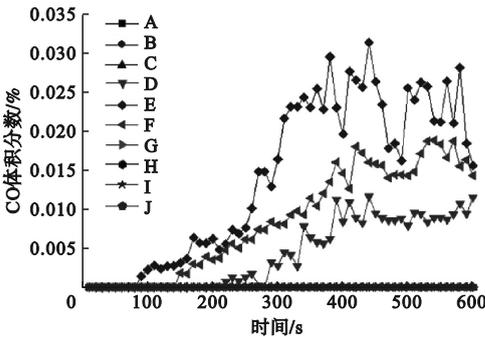


图 10 各监测点 CO 体积分数变化情况

通过对各监测点处的烟气高度和 CO 体积分数的变化情况的研究,可以得到所有监测点到达临界危险值的时间点。另外,通过对图书馆进行多种工况的模拟,得到的模拟结果显示,人员疏散时间一般不超过 6 min,因此,对于超过 360 s 的危险时间点一般不考

虑。另外,若某一监测点处的烟气高度和 CO 体积分数均在 360 s 内达到危险值,则选取其中的较早时间点。总结上述分析中受火场产物影响的监测点及其对应的通道位置,确定其无法通行时间点(见表 2)。

表 2 各通道无法通行的时间点

监测点	通道位置	无法通行的时间点/s
C	一层东侧走廊靠近东北侧楼梯一端	109.0
D	一层西侧走廊靠近东北侧楼梯一端	211.3
E	北侧出口	100.0
F	东北侧楼梯一、二层间楼梯通道	175.0
G	东北侧楼梯二、三层间楼梯通道	196.2
H	东北侧楼梯三、四层间楼梯通道	259.7
I	东北侧楼梯四、五层间楼梯通道	314.2
J	五层东侧走廊靠近东北侧楼梯一端	303.5
M	六层东侧走廊靠近东北侧楼梯一端	275.0

三、人员疏散数值模拟

研究利用 Pathfinder 进行图书馆建筑的火灾数值模拟,该软件由美国 Thunderhead Engineering 公司开发,可实现建筑内人员的疏散逃生模拟^[10]。原有的 BIM 模型所含元素较多,因此在导入前需要将该模型简化,最后导入 Pathfinder(见图 11),由此完成 BIM 模型向疏散模型的转化。

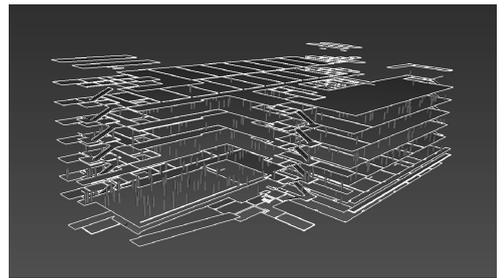


图 11 BIM 模型导入 Pathfinder

1. 疏散参数设置

通过对图书馆内日常人员数量和分布情况进行实地调研,并结合监控数据,选取了人员数量最多、人群分布最密集的情景,按照此场景设定图书馆各层的人数(见表 3)。

同时,选定的男女比例为 0.98,男性的疏散运动速度取 1.5 m/s,女性的疏散运动速度取 1.28 m/s。

表 3 各层人员数量

楼层	人员数量/人	楼层	人员数量/人
一层	101	四层	144
二层	417	五层	151
三层	231	六层	6

2. 考虑火场产物的疏散模拟

由前述章节“人员无法通过时间点分析”内容可知,对人身安全构成危险的烟气临界高度为 1.616 m,或者 CO 体积分数达到 0.32%时,定义该通道处禁止通过。在进行疏散仿真模拟时,对于在疏散过程完成之前就达到危险值的通道,可通过在 Pathfinder 软件中进行相关功能的设置实现在某一时刻后,该通道“无法通行”,从而完成考虑火场产物影响的疏散模拟。

在 Pathfinder 中,在各个受火场产物影响的监测点处,可设置“门”,通过对每处“门”的属性进行设置,可实现其对应的走廊、出口和楼梯间等通道在一定时间点禁止通过。以 F 监视点为例(见图 12),该监测点对应在西北角楼梯一、二层间的楼梯平台,在该处添加“门”后,在“属性”选项中选择“Initial Value”,在下拉选项中选择“Open”,并按表 2 中给出的无法通行时间点“Time”选项中进行参数设置。F 点处无法通行的时间点为 175.0 s,表示该处通道到达 175.0 s 后人员无法从二层进入该楼梯通道。当通道的“门”关闭后,原先从该处逃生的人员将自动选择其他路径进行疏散。

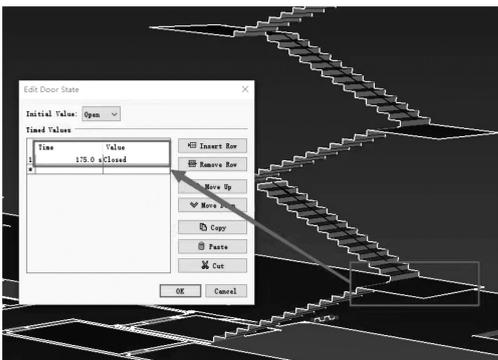


图 12 F 监测点设置示意图

3. 模拟结果分析

(1) 疏散过程分析

在火灾发生伊始,所有的通道均为正常可

通行状态,人员在建筑内准备逃生(见图 13)。

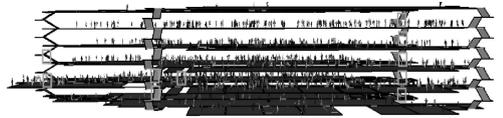


图 13 初始人员疏散状态

127.4 s 时室内人员全部逃生至各个疏散通道,走廊和楼梯间汇聚了大量的逃生人员,此时由于一些必经通道处的火灾产物物理监测量达到了危险值导致该处通道对应的“门”关闭,致使逃生人员更换逃生路径,选择距离较远的其他通道进行疏散,此时部分通道发生了拥挤堵塞现象(见图 14)。



图 14 127 s 时人员疏散状态

306.5 s 时,图书馆内的所有逃生人员已经全部从走廊通道进入各个楼梯间,此时所有通道处的火灾产物物理监测量均达到了危险值导致全部通道对应的“门”均关闭,由于北侧出口处的“门”已关闭,汇聚在东北侧楼梯间的人员已无法从该出口逃生,必须穿过中庭选择南侧出口。375.0 s 时,人员全部疏散完毕(见图 15)。



图 15 375 s 时人员疏散状态

(2) 考虑与不考虑火场产物影响的模拟结果比较

模拟结果显示,该图书馆建筑的整体人员疏散时间为 375 s(见图 16)。

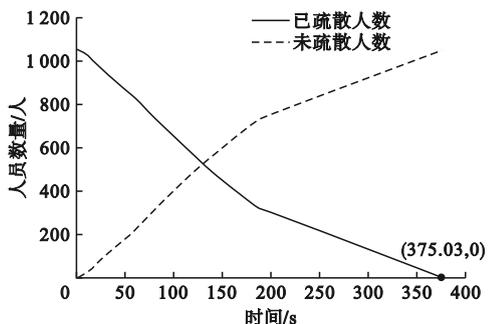


图 16 人员数量变化曲线

由人员数量变化曲线可以看出,在190 s左右,曲线出现折点,曲线的走势由陡变缓,斜率的改变表示整体的疏散速率发生改变。而在190 s之前,各通道处的火场产物物理量未达到危险值,表示疏散未受到火场产物的影响。可以直观地看出,由于火场产物的影响,各通道处因火场产物物理量在190 s后相继达到危险值而关闭,导致整体的疏散效率下降。

通过比较分析折点前后斜率的变化,得出以下结论:当考虑火场产物的影响时,整体的疏散效率相较于不考虑火场产物影响下的疏散效率下降了约46%,说明火场产物对疏散的影响较大。

设置相同的人员参数条件,在不考虑火场产物的影响下对该图书馆再进行一次人员疏散模拟,得到全部人员疏散完成的时间为301.5 s。相比该结果,考虑火场产物影响时的疏散时间375.0 s显然更长,比前者增加了约25%。考虑与不考虑火场产物影响下的各楼层人员疏散完成时间如图17所示。

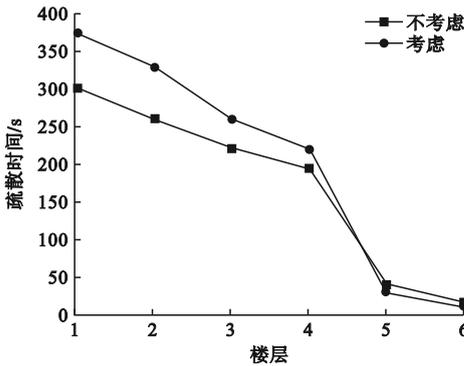


图17 各层疏散时间

通过比较其结果可以看出,由于起火位置发生在一层,楼层越低,火场产物物理量越早地达到危险值,导致通道关闭,同时,通道的关闭导致了其他通道的堵塞,降低了整体的疏散速度,增大了疏散时间。因此,楼层越低,火场产物对疏散的影响越大,疏散时间增加越多。

(3) 拥堵情况分析

受火场产物的影响,随着时间的推移,部分通道因达到危险值而关闭,因此原先选择这些通道的人员不得不选择其他路径逃生,

从而导致其他通道集聚了更多的人员,发生堵塞情况(见图18)。

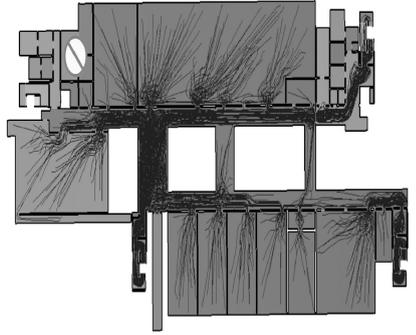


图18 人员疏散路径

由于起火位置位于一层图书室,因此该位置附近的通道处的烟气高度和CO浓度首先达到危险值而无法通行。在175.4 s以后,作为靠近火源点最近的楼梯,东北侧楼梯各层楼梯间通道相继关闭,因此,原先通过该通道逃生的各层人员将不得不选择其他楼梯间逃生,从而造成了其他楼梯特别是西北侧楼梯一、二层间楼梯通道、西北侧楼梯二、三层间楼梯通道、西南侧楼梯一、二层间楼梯通道的拥堵情况。在211.3 s以后,一层西侧走廊靠近东北侧楼梯一端便无法通行,因此,原先通过该通道逃生的人员,包括一层西侧房间内的人员和部分从西南侧楼梯涌出的二层及二层以上的人员,将不得不选择从西侧走廊的另一端逃生,造成了此处走廊的拥堵现象,增大了疏散压力。

四、结论

本研究选取了烟气和CO体积分数两项因素,提出了基于FDS的考虑火场产物影响的疏散模拟方法,并以沈阳建筑大学图书馆为例,利用该方法得到了受烟气和CO影响的整体疏散时间以及各层疏散时间。通过与不考虑火场产物影响的疏散时间进行对比,得出以下结论:

(1) 基于FDS的火灾及疏散模拟结果表明,考虑火场产物烟气和CO影响时,相较于不考虑火场产物的影响,整体的疏散时间增加了74.5 s,增加幅度约为25%,在实际的火灾情境下,不考虑火场产物影响的疏散结果

显然过于乐观,两种情景产生了 74.5 s 的差距,在火灾逃生分秒必争的紧迫情况下,该时间差容易对疏散策略制定者和疏散引导人员产生误导,从而加大火灾对逃生人员的危害。

(2)考虑火场产物烟气和 CO 影响时,各层的疏散时间尤其是一二层的疏散时间增加较明显;整体疏散效率下降了 46%,并发生了拥堵情况。因此可以提出相关改进措施来减缓拥堵。比如,可通过机械排烟的方式,在着火房间和各通道处增加独立的排烟风机数量,来减缓火场产物的蔓延速度,延长各疏散通道达到危险值的时间,从而减少通道关闭的数量,提高疏散效率;同时也可在容易达到危险值的通道处设置疏散引导指示牌,或者增加引导员数量,以此来引导逃生人员选择更加合理的疏散通道和出口,进而减缓拥堵。

参考文献:

- [1] 田文青,安笑蕊,张继友,等.高校图书馆火灾应急疏散模拟方法研究[J].建筑安全,2023,38(1):70-75.
- [2] HUANG H J, GUO R Y. Static floor field and exit choice for pedestrian evacuation in rooms with internal obstacles and multiple exits[J]. Physical review E,2008,78(2):1-6.
- [3] HELBING D, FARKAS I J, MOLNAR P, et al. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations[M]. Berlin:Springer,2002.
- [4] 唐方勤.基于 GIS 的火灾场景下人员疏散模拟[D].北京:清华大学,2018.
- [5] 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.
- [6] 何关培. BIM 和 BIM 相关软件[J].土木建筑工程信息技术,2010,2(4):110-117.
- [7] CAI Y, LIN Z Y, MAO J, et al. Study on law of personnel evacuation in deep buried metro station based on the characteristics of fire smoke spreading [J]. Procedia engineering, 2016 (135):544-550.
- [8] 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.
- [9] 张蒙.基于 BIM 的高层建筑消防应急疏散仿真研究[D].西安:西安理工大学,2021.
- [10] LEE H S, MUN H L, LEE S K. Evacuation time at Jong-no 3ga subway station considering electric train delays and congestion[J]. Journal of transportation security,2018(11):137-150.

FDS-Based Study on Simulation of Library Fire Evacuation

YAN Weidong, REN Zhikai, WANG Xiaolei

(School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: Aiming at the deficiencies of the current research on personnel evacuation in the library under fire, two factors of smoke height and CO volume fraction are selected, and an evacuation simulation method based on FDS considering the effects of fire products is proposed in this paper. Taking the library of Shenyang Jianzhu University as an example, the overall evacuation time and evacuation time of each layer affected by smoke and CO are obtained by using this method. Compared to the evacuation time without considering the impact of fire site products, the following conclusions are drawn: when considering the impact of fire site product smoke and CO, the overall evacuation time increases by 74.5s, an increase of about 25%. The evacuation time of each floor increases obviously, especially the evacuation time of the first and second floors. Overall evacuation efficiency decreased by 46% and congestion occurred. Therefore, it is necessary to consider the effects of fire products in building fire evacuation simulation.

Key words: library fire; FDS; fire site product; evacuation time

(责任编辑:王丽娜 英文审校:林 昊)