

高层建筑人员疏散模型及其验证

王平,方正,袁建平,汪尚朋

(武汉大学土木建筑工程学院,武汉 430072)

摘要:介绍了我们开发的高层建筑人员疏散的计算机模型 BuildGEM,并对人员疏散建模方法进行了深入的分析,同时利用教学楼中的学生疏散演习对模型进行了验证,证明了模型具有较好的准确性。

关键词:高层建筑,人员疏散,模型,论证

中图分类号:X913 **文献标识码:**A

0 引言

目前随着我国城市化进程的加快,高层及超高层建筑已经越来越普及,其建筑高度越来越高,单位土地所承载的人口也越来越多。由于高层建筑具有火势蔓延快,垂直距离长,疏散、扑救困难等特点,所以一旦发生火灾,高层建筑也就具有更大的危险性和危害性,如果没有有效的防火措施,将会造成较大的人员伤亡,所以高层建筑的防火设计应非常重视人员的生命安全。防火设计是否符合要求的一个很重要的方法便是对建筑设计进行评估计算,通过疏散计算分析,得到人员到达安全地点所需时间,并与火灾发展到人们不能承受状态的危险来临时间进行比较,判断人员是否安全,如果不能满足要求就需要对建筑设计进行修改。为了快速有效对各类建筑安全进行评估,我们开发了用于计算高层建筑人员疏散的计算机评估模型 BuildGEM。本文详细阐述了 BuildGEM 的模型的速度计算方法及有关概念,并通过疏散演习以及传统的经验公式对该模型进行了检验,证明本模型具有一定的准确性。

1 疏散模型的建立

1.1 建筑物人员疏散网络生成

疏散计算是要计算火灾时建筑物内人员从最内

层建筑逐步向外层一步一步移动的过程。通常采用网络流理论来进行,即将一个建筑的房间、走道、楼梯等基本建筑单元简化为一个个网络单元,网络单元之间由门、开口部分等相连接,这样整个建筑就形成了由一个个单元连接成的网络。人员就从网络中的上一级单元中逐步向下一级单元移动,最后到达安全地点。这样只要我们计算得到不同时刻人员所在的单元,那么也就得到了该人员所在的位置,当他到达最后一个单元并且走完了该单元所需要走的全部路程,那么也就说明他已经到达了安全地点,这一时刻也就是他的全部疏散时间。网络形成具体原理可以如图1。

1.2 人员疏散特征量的描述

一般来说,由于性别、年龄、身体条件的不同,疏散人员疏散能力也各不相同,体现在行走速度上有快有慢。因此对于建筑物空间上的各个具体人员各特征量必须进行详细的描述,如必须记录不同时刻每个人员的几何位置,前进速度及方向等,这样我们就可以计算人员疏散出建筑具体时间。但是,对于高层建筑,要识别每位疏散人员,就要逐个地输入疏散人员的特征参数,并对每一个人员逐个进行疏散计算,其计算量是相当巨大的,并且也无此必要,因为对于高层建筑而言并不是一开始所有楼层全部着火,同时当人员汇流到楼梯后也可能出现群聚效应。为简化起

见, BuildGEM 只对高层建筑着火层按照单一个体人员疏散特性来考虑(即下面所说的二维计算), 而将非着火楼层和疏散楼梯内的人群的移动视为群聚疏散,

并按一定的人流方向疏散, 且认为人流具有一定的密度、速度及流量, 因此对此类流动不单独考虑人流内各个人员的具体特征(即下面所说的一维计算)。

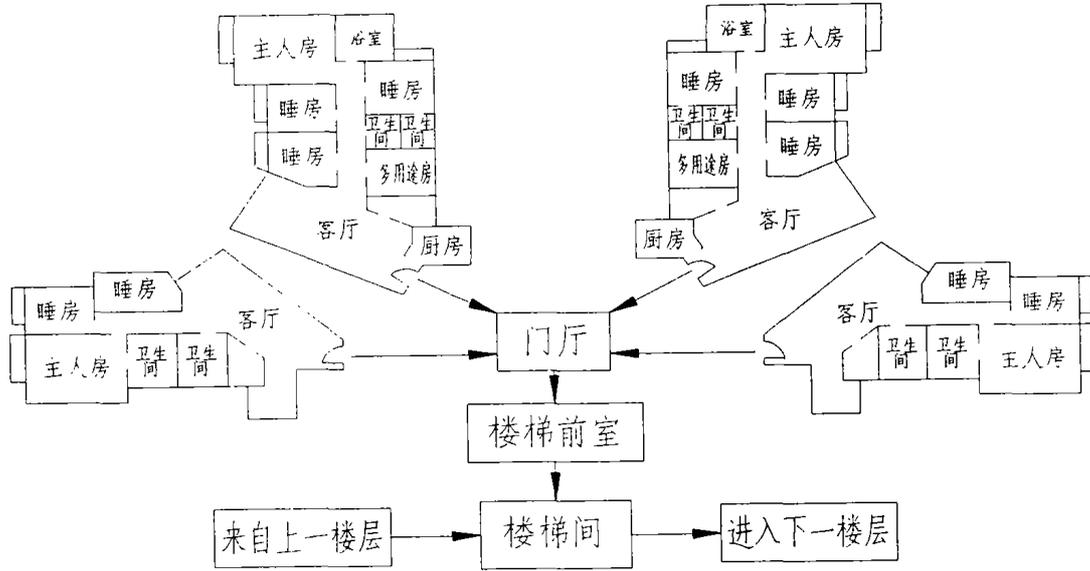


图 1 建立疏散模型的计算网络(主要是确定流向)

对于非着火楼层和楼梯间的疏散计算(一维)方法就是将疏散通道内的人群作为一个整体处理, 人流包含一定数目的人员, 具有一定的长度与宽度, 具有一定的人员密度, 不同的密度下, 人流具有不同的行走速度。在疏散过程中只考虑每一时刻每个疏散人员离出口的相对距离(即一维坐标), 而不用考虑每个疏散人员每一时刻的几何位置。

着火层的疏散计算(二维)方法就是将疏散通道内的人群作为每个个体来处理, 在每一时刻根据每个疏散人员周围的密度分别计算每个疏散人员的几何位置(即二维坐标)和疏散速度及疏散方向。

1.3 疏散移动速度的计算

人的移动速度: 即单位时间内人行走的距离, 由于人员的疏散速度与各空间的人员密度和空间类型有关。对于着火层, 由于要考虑到每个疏散人员的具体几何位置、前进速度和方向等疏散特性, 因此对于速度的计算公式的选择也必须考虑单个疏散人员的特性。因此选用下面公式计算(二维计算)^[1]。由于文献 3 是我们对国外文献的总结分析, 但在我们对火车站春运人流的多次观察表明, 高密度时人员移动速度很低, 故根据观察数据我们将公式作适当修正, 具体过程将另文叙述。

$$\begin{aligned} \text{平面上: } u_j &= (\rho_1, \rho_2) = u_j(\rho) = u_m(\alpha A + \beta B + \gamma) \\ A &= 0.81 - 0.93 \ln(\rho) \\ B &= 4.0 - 1.89\rho \end{aligned}$$

这里 α, β 分别表示人员拥挤时前后及左右对其

前进时的影响因子, 分别取 $\alpha=0.42; \beta=0.027$;

γ 为个人体质特性的影响因子, 一般分为正常成人、老人小孩以及伤残人士三类, 起值为 0.15—0.26, 这里正常成人取 0.24, 老人、小孩取 0.2, 伤残人士取 0.15。

ρ 为单位面积内的人数

u_m 为平面上人员自由移动速度 $u_m = 1.2 \sim 1.8$ m/s^[2]

$u_j(\rho)$ 为编号为 j 的人的疏散速度

另一方面, 对于非着火层和楼梯间, 我们按照群聚疏散的模式来考虑, 目前国内外一些学者也进行了大量的观测研究, 提出了许多关于群聚疏散的计算公式, 例如文献[3]根据前苏联的 Predtechenskii 等人的观测资料给出人流的多项式拟合关系:

$$\text{平面上: } u = 112\rho^4 - 380\rho^3 + 434\rho^2 - 217\rho + 57 \text{ (m/min)}$$

式中: ρ 单位面积内人口所占的投影面积(m²), 一般 $0 < \rho < 0.9$

u 为人流的疏散速度

走廊或楼梯前室, 楼梯间, 考虑受狭小空间的影响, 一般给一个影响系数^[3], 即: $u_c = u \cdot c$

对于走廊和前室:

$$c = 1.17 + 0.13 \cdot \sin(6.03 \cdot 40 - 0.12);$$

对于楼梯间:

$$c = 0.775 + 0.44 \cdot \exp(-0.39 \cdot \rho) \cdot \sin(5.16 \cdot \rho - 0.224)$$

2 高层建筑安全疏散评估计算方法

根据上面的分析,我们将着火层计算与非着火层人员特性进行分别计算,然后由楼梯汇聚,可以得到任意时刻任意网络单元内的人员分布。具体的做法如图 2:

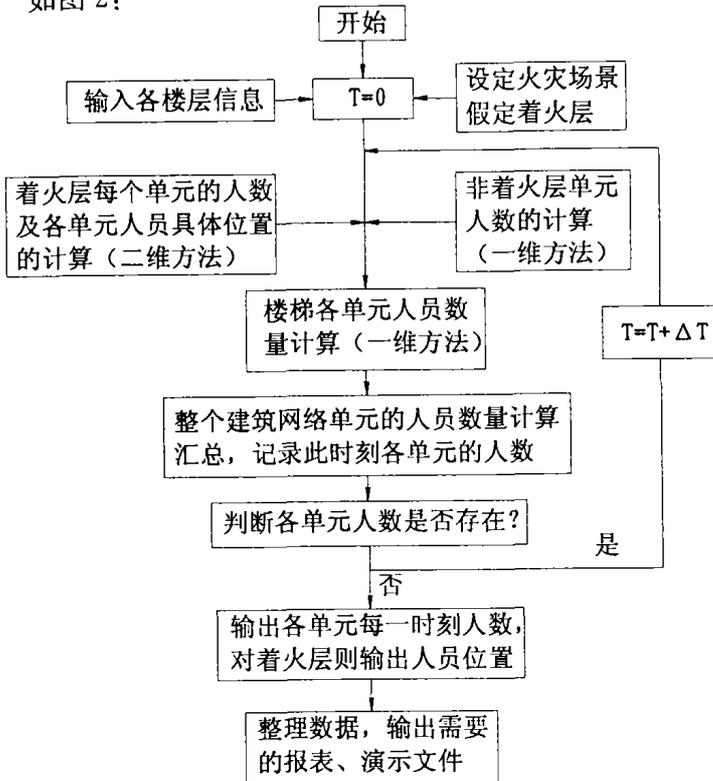


图 2 疏散计算过程

3 高层建筑疏散演习及模型检验

为了检验所开发的模型的正确性,并确定相关参数的选取原则,我们在武汉大学工学部教学楼进行了若干次疏散试验,同时为了进一步验证模型的可靠性我们也与国外常用的疏散经验公式进行了比较,结果表明模型的计算结果与实测值是非常吻合的,也与经验公式是接近的。

3.1 疏散演习观测

武汉大学工学部教学楼(如图 3)高 19 层,层高为 3 米,共两个疏散楼梯,楼梯间宽 5 米,长 5.5 米。我们在该楼第 10 层进行了若干次不同规模的学生疏散演习试验,实验中利用录像机及秒表等测量工具记录了每个学生到达不同位置疏散时间以及其它与模型相关的各种参数。同时按照我们选定的模型参数分别进行了计算,计算该建筑物内人员的安全疏散行动时间。

为了方便与疏散软件比较对照,演习时安排多次试验,为了简便,这里给出两组实验数据的分析结果。

第一次计算,在第九层编号为 1 的房间内安排 10 人(年龄 23—38 岁),女生 5 人,男生 5 人,其余人数为 0;(1)软件计算他们经过最近楼梯疏散所通过房间、走廊、最终出口的疏散时间分别为:10s、13s、118s(取 $V=3.0\text{m/s}$);而演习在相应的位置测得的疏散时间为:8.6s、11s、124s。(2)计算他们经过最远楼梯疏散所通过房间、走廊、最终出口的疏散时间分别为:11s、29s、134s(取 $V=3.0\text{m/s}$);而演习在相应的位置测得的疏散时间为:8s、25.2s、134.5s,如图 4。

第二次计算,在第九层编号为 1 的房间内安排 24 人(年龄 19—23 岁),女生 12 人,男生 12 人,其余人数为 0;(1)软件计算他们经过最近楼梯疏散所通过房间、走廊、最终出口的疏散时间分别为:24s、28s、141s(取 $V=3.0\text{m/s}$);而演习在相应的位置测得的疏散时间为:12s、16s、134s。(2)计算他们经过最远楼梯疏散所通过房间、走廊、最终出口的疏散时间分别为:24s、41s、154s(取 $V=3.0\text{m/s}$);而演习在相应的位置测得的疏散时间为:10s、35s、131s,如图 5。

第一次实验对象为 23~38 岁青年人,且当时疏散速度在 3 米/秒左右,所以疏散时间与软件计算时间相当。第二次实验对象为 19~23 岁青年学生,加上对环境熟悉,所以当时疏散速度在 3 米/秒以上,因此当 $V=3\text{m/s}$ 时,从图中可以看出软件计算的疏散时间比实验测得的时间大一点。并且这次实验由于他们疏散速度过快,因此两边楼梯总疏散时间相差不多。

3.2 疏散经验公式的对比计算

现以某一高层建筑为例(如上标准层平面图,共计算 10 层,两个楼梯疏散)来计算人员的疏散时间,建筑总人数为 960 人,所有人都经过底层楼梯间经过走廊离开建筑物到达安全场地,分两次来计算此高层建筑的人员疏散时间。(1)所有房门宽度都为 0.8 米,软件计算的疏散时间为 1300 秒。(2)将比较拥挤的所有走廊与楼梯间的门改为 1.6 米,软件计算的疏散时间为 419 秒。

以加拿大 Pauls^[4]的经验公式来检验结果的精确性。

对于多层建筑疏散时间,Paul 给出了如下公式:

当单位宽度楼梯通过的人数少于 800 人时,

$$T=0.68+0.081p^{0.73}\text{分};$$

当单位宽度楼梯通过的人数多于 800 人时,

$$T=2.00+0.0117p\text{分};$$

P 为每米有效宽度楼梯要疏散的人数。

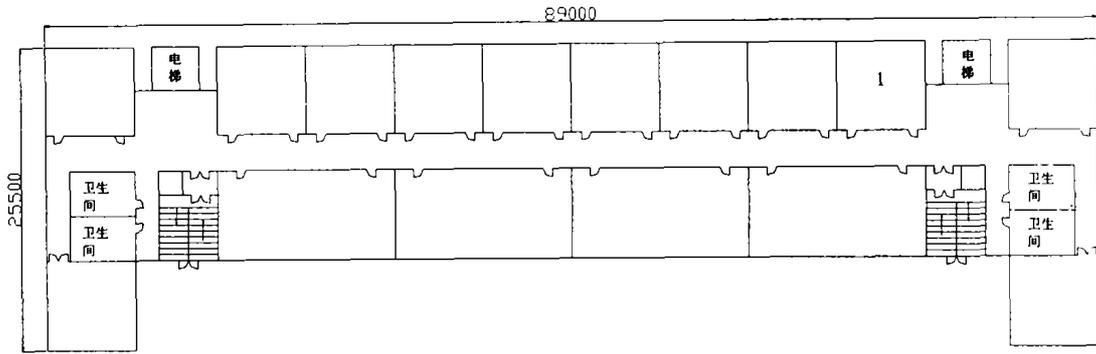


图 3 标准层平面图

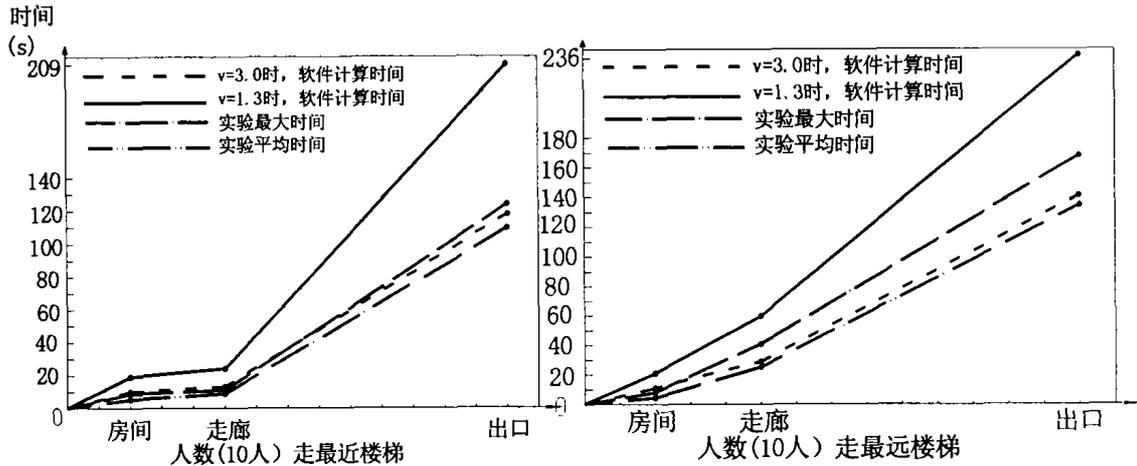


图 4 安全疏散时间图

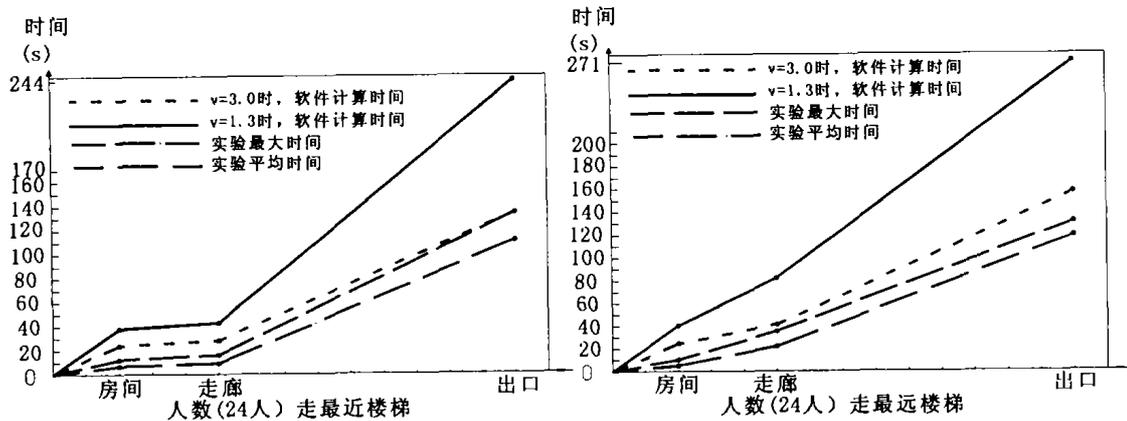


图 5 安全疏散时间图

对于(1)楼梯宽为 1.0 米时,经验公式计算 $T=(0.68+0.081 \times (480/1.0)^{0.73}) \times 60=481$ 秒,再加上底层走廊的水平疏散时间 $40/1.3=31$ 秒,所以经验公式计算时间为 512 秒,软件计算的疏散时间为 525 秒。

对于(2)楼梯宽为 1.6 米时,经验公式计算 $T=(0.68+0.081 \times (480/1.6)^{0.73}) \times 60=353$ 秒,此时间为疏散人员离开楼梯的时间,再加上底层走廊的水平疏散时间 $40/1.3=31$ 秒,所以经验公式计算时间为 384 秒,软件计算的疏散时间为 419 秒。

根据上面的检测,本疏散软件可对一般结构的大

型高层建筑物的人员疏散时间进行预测、分析,并且结果比较精确,符合实际情况,具有很好的可靠性和稳定性。

4 结论

本文通过对建筑物中人员疏散运动的分析,建立了高层建筑人员疏散的网络分析计算模型,特别是将高层建筑着火层平面的二维网格分析和非着火层的一维群集疏散计算相结合,在节约大量计算机资源的同时,又能完成超高层建筑人员疏散的分析计算。同时,模型计算的结果也与疏散演习及国外经验公式进

行了比较,其结果是可靠的,具有良好的精度。因此,本软件具有较好的适应性。

参 考 文 献

- [1] 陆君安,方正,卢兆明,赵春梅. 建筑物人员疏散逃生速度的数学模型[J]. 武汉大学学报,2002.
- [2] Smith R. A. Density, Velocity and flow relationships for closely packed crowds[J]. Safety science, 1995, 18:321~327.
- [3] RITA F. FAHY. Exit89---An Evacuation Model for High-Rise Buildings---Model Description and Example Applications. National Fire Protection Association, 1991.
- [4] Pauls, J Movement of people. SFPE Handbook of Fire protection Engineering, 2th Edition, NFPA, 1995, P3: 263~295.

A New Model and Its Validation for Prediction of Safety Evacuation in High-rise Building

WANG Ping, FANG Zheng, YUAN Jian-ping, WANG Shang-peng

(School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, 430072, China)

Abstract: This paper introduces the BuildGEM evacuation model developed by the authors, and demonstrates the correctness of the evacuation time obtained by the model, base on the comparison between the results of experiments and those of experiential formula.

Key words: high-rise building; evacuation model; Validation