

Research on Performance-Based Safety Evacuation of Theater-Style Buildings

Juan Zhang^{1,2}, Guoqing Zhu^{1,2}, Huanhuan Li^{1,2}

¹Faculty of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Jiangsu Xuzhou 221008, China

²State key laboratory of coal resources and safe mining, XU Zhou, China

Email: zhangjuan198966@126.com

Abstract: Based on the theory of performance-based design of safe evacuation, to solve the problem whether can meet the safety evacuation of theater-style ultra-regulate the construction. Choose a theater as research object in this article, and design fire scenario, and use FDS fire simulation software and Building-Exodus evacuation Software to get the result of T_{ASET} and T_{RSET} . The result is $T_{RSET} < T_{ASET}$, so the theater can meet the requirements of the safety evacuation. In conclude, performance-based design of safe evacuation can offer a method for judge of ultra-regulate theater-style building whether can meet the requirements of the safety evacuation.

Keywords: fire fighting; movie theatre fire; numerical simulation; safe evacuation

影院类建筑的性能化安全疏散研究

张娟^{1,2}, 朱国庆^{1,2}, 李欢欢^{1,2}

¹中国矿业大学安全工程学院, 江苏 徐州 221008

²煤矿瓦斯与火灾防治教育部重点实验室, 徐州, 中国, 221008

Email: zhangjuan198966@126.com

摘要: 基于性能化安全疏散设计的原理, 研究了影院类超规范建筑能否满足人员安全疏散的问题。本文选取某一影院作为研究对象, 设计火灾场景, 运用 FDS 火灾模拟软件和 Building-Exodus 疏散软件模拟得出影院内可用安全疏散时间(T_{ASET})和安全疏散需要的时间(T_{RSET})。结果 $T_{RSET} < T_{ASET}$, 表明该影院消防设计能够满足人员安全疏散的要求。因此, 性能化安全疏散设计理论, 可以为判断超规范类影院能否满足人员安全疏散的要求提供一种有效方法。

关键词: 消防; 剧院火灾; 数值模拟; 安全疏散

1 引言

改革开放 30 年来, 我国的市场经济建设取得了空前的快速发展。人们对物质文明和精神文明的追求又上了一个新台阶, 因此大型歌剧院、影厅、游乐场、展览厅等大型建筑如雨后的春笋般的矗立于人们眼前。在满足建筑型式多样化、结构复杂化、功能齐全化的同时, 也出现建筑面积过大, 可燃物多、人员密集等问题。设计师们根据“处方式”消防技术规范进行设计, 很难同时达到预想设计效果和满足人员安全疏散的要求。建筑内一旦发生火灾, 容易造成人员伤亡和财产损失, 所以人员安全疏散显得至关重要。而性能化安全疏散设计为解决这一矛盾提供了一种方法。

为了更好的说明性能化安全疏散设计, 本文选取某

影院项目实例来加以分析。首先根据建筑型式和室内装修材料的性质, 分析影响安全疏散的因素; 其次运用数值模拟方法获得可用安全疏散时间; 再次运用疏散软件模拟得出需要安全疏散时间。将二者进行对比分析, 进而确定此影院消防设计能否满足人员安全疏散的要求。

2 影院概况和火灾发展模型

1) 影院概况

该影院位于江苏省淮安市清河区水渡口境内, 周围交通便利。整个影院的建筑面积为 5 270 m², 位于建筑物的第四层, 其中建筑面积最大的影厅为 398 m², 超过了“处方式”设计规范^[1]规定的建筑面积不大于 200 m²。因功能需要和整体视觉效果的要求, 不宜对

其进行实体分隔。影院内一旦发生火灾，其内的人员安全疏散显得尤为关键。

为充分分析火灾时影院内人员的疏散情况，本文选取了影院内建筑面积最大、人员最多的 5#影厅作为研究对象，并设计火灾场景^[2]。

2) 火灾发展模型

实验和研究发现，火灾的热释放速率是随着时间而变化的^[3]。从起火到旺盛阶段，热释放速率大体按时间的指数增长。这种火灾类型可表述为火灾按 t^2 增长，称时间平方火^[4,5]。即：

$$Q = \alpha t^2 \quad (1)$$

式中： Q ——火灾的热释放速率，kW；

α ——火灾增长系数， $\text{kW}\cdot\text{s}^{-2}$ ；

t ——火灾发展时间，s。

不同的可燃物火灾增长指数不同，根据 α 的不同可将火灾发展分为：超快速增长、快速增长、中速增长和慢速增长 4 个类型^[6]。这四类火灾增长指数见

Table 1 Index table of fire grows

表 1。

Table 1 Index table of fire grows

表 1 火灾增长指数表^[7]

火灾类型	超快速火	快速火	中速火	慢速火
火灾增长指数 $\alpha / (\text{kW}\cdot\text{s}^{-2})$	0.1876	0.0469	0.0117	0.0029
典型可燃材料	含甲醇酒精 的火/汽油/速 燃的软包家 具	满装邮袋/ 泡沫塑料/ 叠起的纸 箱	棉花/沙发/ 床垫/聚酯海 绵	粗木条/厚 木板制成 的家具

根据影院的装修材料的性质和分布等设定影院放映厅发生火灾后按照 t^2 超快速火发展，火灾增长系数 $\alpha = 0.1876 \text{ kW}\cdot\text{s}^{-2}$ 。即火源的热释放速率 $Q=0.1876 t^2$ 。经计算影院喷淋正常动作需要 98.8 s，因此火源热释放速率为 3.66 MW。

3.可用安全疏散时间的确定

FDS (Fire Dynamics Simulator) 是由 NIST 开发的计算机场模拟软件。它是一种以火灾中流体运动为主要模拟对象的计算流体力学 (CFD) 模型，适用于因火灾引起的烟气和热传输规律的研究^[8]。

影院内的火灾载荷主要集中在舞台上方的幕布和观众席的座椅上，根据其材料可以设定影院放映厅发生火灾后按照 t^2 超快速火发展，火灾规模的最大热释

放速率为 3.66 MW，影院放映厅内受水喷淋控制，采用机械排烟系统排烟，补风依靠空调系统机械补风。

根据FDS场模型软件进行模拟计算的结果，截出影院放映厅内烟气变化过程图、能见度分布图以及能见度曲线图，模拟结果见Figure 1 Haze distribution map in cinema hall

图1~Figure 3 Visibility density diagram of curves at the place be apart from the ground 2 m near the fire of eixt

图3所示。

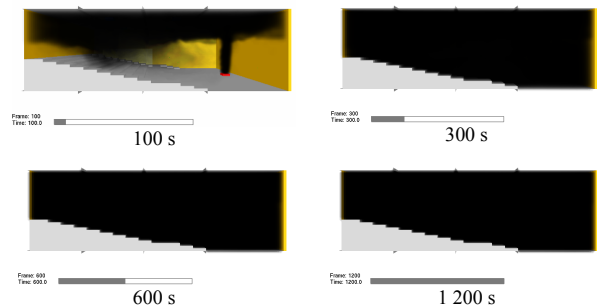


Figure 1 Haze distribution map in cinema hall

图 1 影院放映厅内的烟气分布图

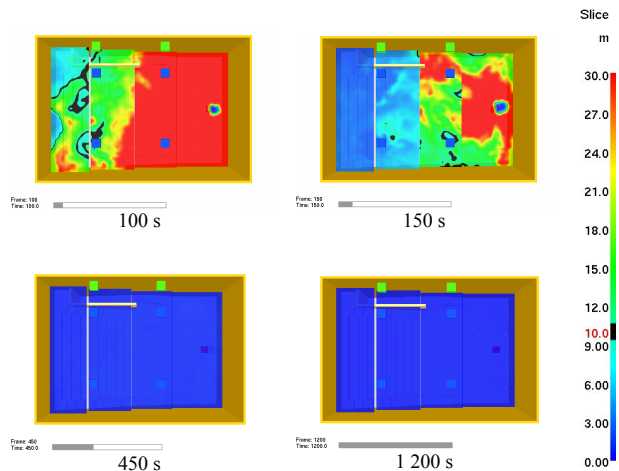


Figure 2 Haze visibility distribution map apart from the ground 2 m in the cinema hall

图 2 影院放映厅距地面 2 m 高度烟气能见度分布图

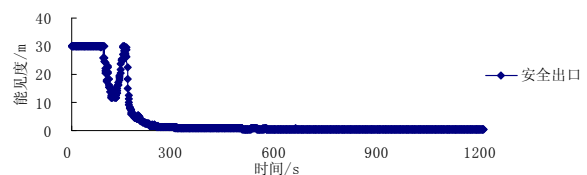


Figure 3 Visibility density diagram of curves at the place be apart from the ground 2 m near the fire of eixt

图3 影院放映厅安全出口附近距离地面2 m处能见度曲线图

由FDS模拟结果可知,影院放映厅安全出口距离地面2 m处的能见度在168 s最先达到临界值,降至10 m以下。故可以认为在168 s时影院放映厅已经达到了危险状态。即影院放映厅内人员可用安全疏散时间(T_{ASET})为168 s。

4 性能化安全疏散模拟

4.1 安全疏散的影响因素和判据

1)安全疏散的影响因素

影院类建筑发生火灾,影响安全疏散的因素有:疏散通道、人员特征、火灾烟气、人员的心理因素等。疏散过程中,人员生命安全的可耐受条件主要有热辐射、烟气能见度和烟气毒害性等指标。热辐射会导致热冲击和皮肤烧伤,烟气能见度降低会影响人员疏散速度,烟气中的有毒气体会使人员反映迟缓甚至使人丧失行动能力,这些都在很大程度上影响着人员的安全疏散^[9]。

因此保障影厅内防排烟设施有效工作,是保障人员安全疏散的充分条件。保证安全疏散通道的通畅和人员状态的良好,能够为安全疏散留有更大时间裕量。

2) 安全疏散的判据

采用英国格林威治大学 (University of Greenwich) 开发的Building-Exodus软件对影院人员疏散进行设计验算。Building-Exodus综合考虑了建筑结构、人员行为、火灾之间的相互关系,能够比较真实的模拟火灾等紧急情况下人员、场景的若干属性和行为,对实际疏散过程进行仿真模拟^[10]。

安全疏散是指在危险来临之前将建筑内的所有人员疏散至室外或安全的避难场所。实际的疏散过程是很复杂的,为了获得所需要的疏散数据,将疏散过程简化为三个阶段,即察觉阶段(T_d)、行为和反应阶段(T_{pre})、行动阶段(T_t)。

影院放映厅内的全部人员疏散所需要的疏散时间(T_{RSET})用下式^[11]计算:

$$T_{RSET} = T_d + k(T_{pre} + T_t) = T_d + 1.3T_t' \quad (1)$$

式中: T_{RSET} ——总疏散时间(即逃生需要的时间), s;

T_d ——报警时间, s;

T_{pre} ——准备时间(人员的疏散预动时间), s;

T_t ——人员疏散行动时间, s;

T_t' ——软件模拟时间。

k ——安全系数,一般取为1.2~1.5,这里取1.3。

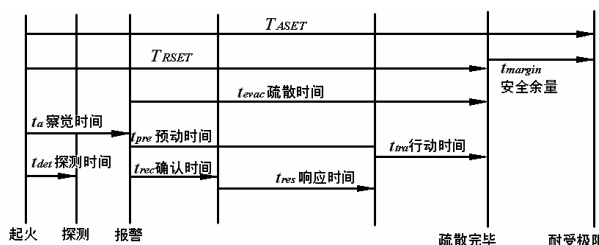


Figure 4 Three stage schematic drawing of dispersal

图4 疏散的三个阶段示意图

即人员安全疏散的性能判据为^[13]:

$$T_{RSET} < T_{ASET} \quad (2)$$

若 $T_{RSET} < T_{ASET}$, 则意味着人员在危险来临之前可以疏散至安全区域。否则,在危险来临之前,人员不能全部疏散至安全区域,将会造成严重的人员伤亡和财产损失,这种情况是不允许的。

4.2 安全疏散路线及出口

影院放映厅位于一个独立的防火分区内,认为影院放映厅内发生火灾不会蔓延到影院外,故认为人员疏散至影院外即为安全。影院共有十个安全出口,总疏散宽度为17 m,安全疏散的路线及5#影厅的出口位置见Figure 5 Route schematic drawing of safe evacuation

图5。

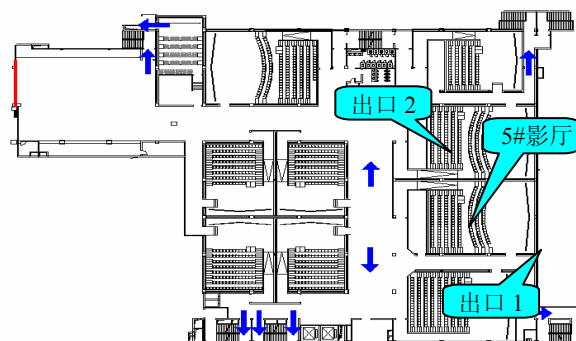


Figure 5 Route schematic drawing of safe evacuation

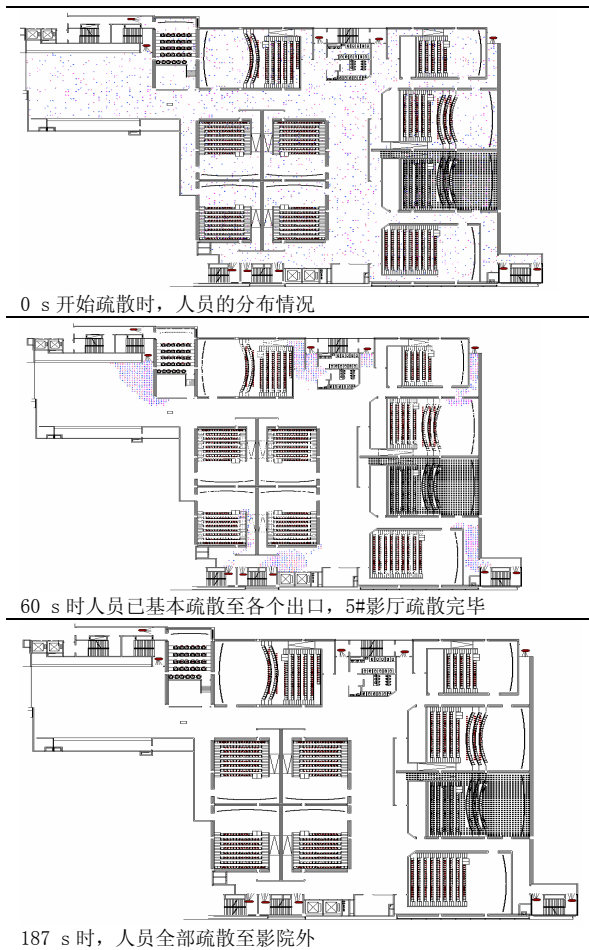
图5 安全疏散的路线示意图

4.3 安全疏散的过程

影院放映厅内模拟人员疏散过程见Table2 Evacuation situation in theater

表2所示:

Table2 Evacuation situation in theater
表2 影院内人员疏散情况



根据疏散模拟得到的 T_f' , 代入公式(1)可以得到该影厅内人员需要的安全疏散时间, 疏散时间计算结果见Table 3 Evacuation time of theater screening room

表3所示。

Table 3 Evacuation time of theater screening room
表3 影院放映厅疏散时间

火源位置	软件模拟 时间 /s	需要疏散 时间 /s	可用疏散 时间 /s	结论
影院	60 (5#影厅)	108	168	安全

从上表可知, 需要疏散时间小于可用疏散时间

(108 s < 168 s), 能够保证人员的安全疏散。

5. 结论

1) 应用性能化安全疏散设计的方法, 对 5#影厅进行仿真模拟表明: 虽然该影厅的建筑面积达到了 398 m², 超过了规范的规定, 但仍能满足人员安全疏散的要求。

2) 保证影院内的主动防火措施的有效, 可以为人员安全疏散获得更多的时间裕量。

3) 性能化安全疏散设计, 可以为研究超规范剧院类建筑能否满足安全疏散的要求提供一种有效的方法。根据计算模拟结果, 对建筑提出相应的建议措施。这不仅突破了“处方式”消防规范的束缚, 同时也给建筑设计者提供了更大的设计空间。

References (参考文献)

- [1] The Ministry of Public Security of the People's Republic of China. GB50016-2006 Code of Design on Building Fire protection and prevention [S]. Beijing: China Planning Press, 2006.
公安部.GB50016-2006 建筑设计防火规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
- [2] Zhu Guoqing. Fire region analogy procedure and application in fire safety evaluation of industrial architecture[D]. Xu Zhou: CUMT, 2002.
朱国庆. 火灾区域模拟方法及在工业建筑火灾安全评价中的应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2002.
- [3] Fan Weicheng, Sun Jinhua, Lu Shouxiang. Fire risk assessment methodology[M]. Beijing: Science Press, 2004: 55-60
范维澄, 孙金华, 陆守香. 火灾风险评估方法学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 55-60.
- [4] Custer R L P, MEACHAM B J. Introduction to performance-based fire safety [M]. Boston, MA, USA: Society of Fire Protection Engineers, 1997.
- [5] Chen Yuanping, Chen Liang, Zhang Mengjun. The Models and Experimental Testing Method of Heat Release Rate of Fuel During the Development of Fire[J]. Fire Science, 2002, 11(2).
程远平, 陈亮, 张孟君. 火灾过程中火源热释放速率模型及其实验测试方法[J]. 火灾科学, 2002, 11(2).
- [6] Beyler C L. Fire dynamics [C]. Dinunno P J. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Third Edition. Quincy, MA, USA: The National Fire Protection Association, 2002: Chapter 2 -24.
- [7] DGJ08-88-2000. Technical Specification of smoke for Civil construction. Shanghai: Shanghai Office of Engineering Construction Standardization.
DGJ08-88-2000. 民用建筑防排烟技术规程[S]. 上海: 上海市工程建设标准化办公室, 2000.
- [8] MCGRATTAN K. Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide[M]. WASHINGTON, USA: U.S. Government Printing Office: 2004.
- [9] Guo Tianan, Li Shixiong, Zhou Shining. China Fire Protection Handbook: the third volume [M] Shanghai: Shanghai science and technology Publishing house, 2006. 12. 694-700.
郭铁男, 李世雄, 周世宁等. 中国消防手册: 第三卷[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 694-700.
- [10] E.R. GALEA, S. Gwynne, P.J. Lawrence, L. Filippidis, D. Blackshields and D. Cooney. Building Exodus V4.0 User Guide And

- Technical Manual[M]. Fire Safety Engineering Group University of Greenwich London SE10 9LS, 2004.
- [11] Ni Zhaopeng, Wang Zhigang. Corroboration of safe egress in the performance-based fire protection design[J]. Fire science and technology, 2003, 22(5).
倪照鹏、王志刚. 性能化消防设计中人员安全疏散的确证[J]. 消防科学与技术, 2003, 22(5).
- [12] Fan Weicheng, Sun Jinhua, Lu Shouxiang. Fire risk assessment methodology[M]. Beijing: Science Press, 2004.
范维澄, 孙金华, 陆守香等. 火灾风险评估方法学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [13] Huo Ran, Yuan Hongyong. Performance-based building fire safety and design[M]. Hefei: Anhui Science and Technology University Press, 2003.
霍然, 袁宏永. 性能化建筑防火与设计[M]. 合肥: 安徽科学技术大学出版社, 2003.