

# 高层建筑火灾风险评估的指标体系设计

刘爱华<sup>1</sup>, 施式亮<sup>1</sup>, 吴超<sup>2</sup>

(1. 湖南科技大学; 2. 中南大学)

**[摘要]** 针对高层建筑火灾危险的特点, 通过对火灾场景的设定, 从消防对策的角度对火灾进行了阶段划分, 并针对每个阶段运用了事故树和事件树的方法进行了事故分析, 找出了影响火灾发展和蔓延的相关因素, 建立了多层次的高层建筑火灾危险评价的指标体系。该指标体系能为建筑物安全管理提供科学依据, 也能为高层建筑火灾风险评估奠定基础。

**[关键词]** 高层建筑火灾; 指标体系; 火灾场景; 火灾阶段划分

**[中图分类号]** X928.7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)09-0090-05

高层建筑由于层数多、体积大、人员集中, 其火灾危险性比普通建筑物大得多。而目前火灾包括建筑火灾呈上升趋势, 已成为国家十分重视、社会普遍关注、迫切需要解决的重大问题之一<sup>[1]</sup>。对建筑物进行火灾危险评价能有效地预防和控制建筑火灾事故的发生。而该指标体系是进行高层建筑火灾危险评价的基础。选择的指标是否全面、客观, 指标的确定是否准确、实际, 都关系到整个评价结果的实用性和正确性。高层建筑火灾危险评价指标体系是由涉及火灾危险性的相互关联、相互制约的因素构成的一个有机整体。

## 1 评价指标体系建立的方法

建立准确、全面、有效的高层建筑火灾风险评估体系, 是火灾风险评估的关键, 因此选择评价指标时应注意科学性原则、全面性原则、评价指标的可量化原则和实用性原则。高层建筑火灾危险评价, 既要考虑到不发生或少发生火灾, 也要考虑到发生火灾后扑救、疏散和防止蔓延的需要, 因而高层建筑火灾危险评价指标体系是一个多因素、多层次的复杂体系, 构成该体系的因素(或指标)众

多, 因素与因素之间又互相关联。在这里通过设定火灾场景, 运用事故树和事件树的分析方法对火灾中的危险源进行辨识, 寻找出与火灾危险性相关的因素, 并通过事故成因理论和相关的安全分析方法找出各指标之间的层次关系, 从而建立起完整、科学的指标体系。

### 1.1 火灾场景设定

火灾场景是对某特定火灾从引燃或者从设定的燃烧状态到火灾增长的最高峰的描述<sup>[2,3]</sup>, 同时火灾场景还涉及对建筑物的结构特性及预计火灾所导致危害的说明。建立火灾场景时应该考虑火灾前的情况、点火源、初始可燃物、蔓延可能性等因素。通过火灾场景的设定, 能对人员生命安全、建筑结构耐火性能以及财产损失等目标结果进行预测, 而且火灾场景设定也是火灾风险评估和性能化设计中至关重要的一步。在这里, 为了充分暴露导致火灾发生发展的各个相关因素, 对发生火灾的起始地点不作具体的设定, 只假定火灾最终突破水平和竖向防火分区, 蔓延到整栋大楼, 造成了巨额的财产损失和大量的人员伤亡。

### 1.2 火灾阶段划分

**[收稿日期]** 2005-09-21;

**[基金项目]** 国家自然科学基金资助项目(50274060)

**[作者简介]** 刘爱华(1976-), 女, 湖南衡阳市人, 湖南科技大学能源与安全工程学院讲师

从防灾计划的目的来认识火灾，一般是按照火灾不同状态采取对应的行动和火灾影响所及的空间单位来认识的。基于这种思想，把火灾扩大的过程按照不同状态划分或定义成几个阶段，并把时间因素归并到火灾进程中，即为火灾阶段划分。火灾的发生并发展时，人的因素会产生巨大影响，甚至决定对应行动的结果，把火灾进程划分成几个阶段，不但能够有效地找出各种消防对策，而且便于研究各个火灾阶段消防对策的系统化方法。

高层建筑的使用性质，政治经济方面的影响力，火灾负荷状况与设计标准，火灾发生后疏散和扑救的难度等影响因素决定着高层建筑内消防设备、设施的配套情况，从而影响着整个阶段的划分。因此，在阶段划分之前，作出如下假设：

1) 使用建筑物的人员会出现错误行为，虽然概率较小，但这些错误行为将构成发生事故性火灾的必要条件。

2) 建筑物内各类设施会发生随机失效，虽然发生频率较低，但这些失效事件将构成事故火灾发生发展的必要条件。

根据以上假定，按照火灾发展过程中的不同危

险程度和消防措施的效果，将火灾由初期发展到整栋大楼的过程划分为 5 个阶段：

第一阶段是指火灾发生，由于一些原因使得点火源和室内的可燃物接触并发生明火燃烧现象。

第二阶段是指火灾初期，其热释放速率相对较小，此时的火灾可以被灭火器或被自动喷淋系统所控制。

第三阶段是指火灾进一步发展，室内温度逐渐升高同时产生了大量高温、有毒气体，灭火器和自动喷淋系统已经不能将火灾有效扑灭，必须使用消防栓灭火，并进行人员疏散。

第四阶段是指消防栓灭火失效，火灾由起火室蔓延到整个水平防火分区，并有可能发生了轰燃。

第五阶段是指火灾突破竖向防火分区，向整个楼层蔓延，使整个楼层成了一具火窟，造成巨大的财产损失；由于火灾烟气蔓延致使大量人员伤亡，并且建筑出现部分倒塌现象。

1.3 各个阶段的事故分析

在这里，将用事故树（FTA）分析方法和事件树（ETA）分析方法寻找出火灾发生发展的各个阶段的危险因素。

图 1 是影响第一阶段火灾发生的事故树图。

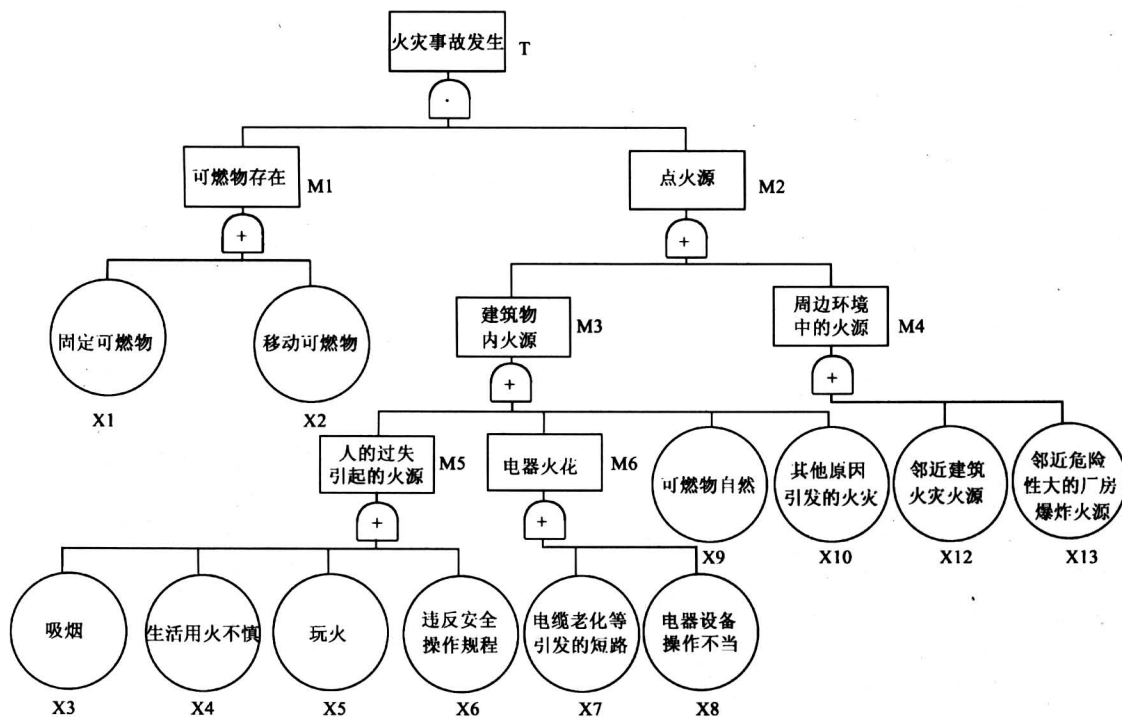


图 1 火灾发生事故树图

Fig.1 The FTA for fire hazard happening

从图中可以看出，导致火灾发生，是可燃物和点火源共同作用的结果。因此严格控制可燃物和安全用

火是控制火灾发生的最有效途径。具体包括严格控制建筑物内的火灾荷载密度；对建筑装修材料的燃烧等级进行严格限定。为了减少周边环境的影响，在建筑设计时就应注意其总平面布置，一是不宜布置在火灾危险性为甲、乙类厂房，甲、乙、丙类液体和可燃气体储罐以及可燃材料堆场附近；二是与周边的建筑应有适当的防火间距。建筑物内的火源主要来自 2 个方面，即设备和人。在高层建筑物内，为了满足各种需要，一般需配备相应的锅炉房、变压器室、柴油发电机房等，而这些都是极易引发火源的地方，应严格按照规程布置和操作。而人则是产生火源的最活跃因素，这又取决于完善的安全管理制度、人的安全意识水平

和受教育程度等。因此，在第一阶段所涉及的影响因素有火灾荷载密度、建筑装修材料的燃烧等级、总平面布置、防火间距、电气设备的防火能力、人们的安全意识水平等。

在第二阶段，由于火灾还处于初期，可以被灭火器或自动喷淋系统所控制。因此火灾能否被及时发现及能否被建筑物内的防灭火设备有效地扑灭是主要影响因素。用事故树方法，对火灾超出阶段 2 可能的发展情况进行分析（见图 2）。由图 2 可知，影响第二阶段火灾发展的主要因素为建筑物自身的灭火能力，如自动报警系统、自动喷淋系统、其他灭火系统的效率和管理人员的消防水平等。

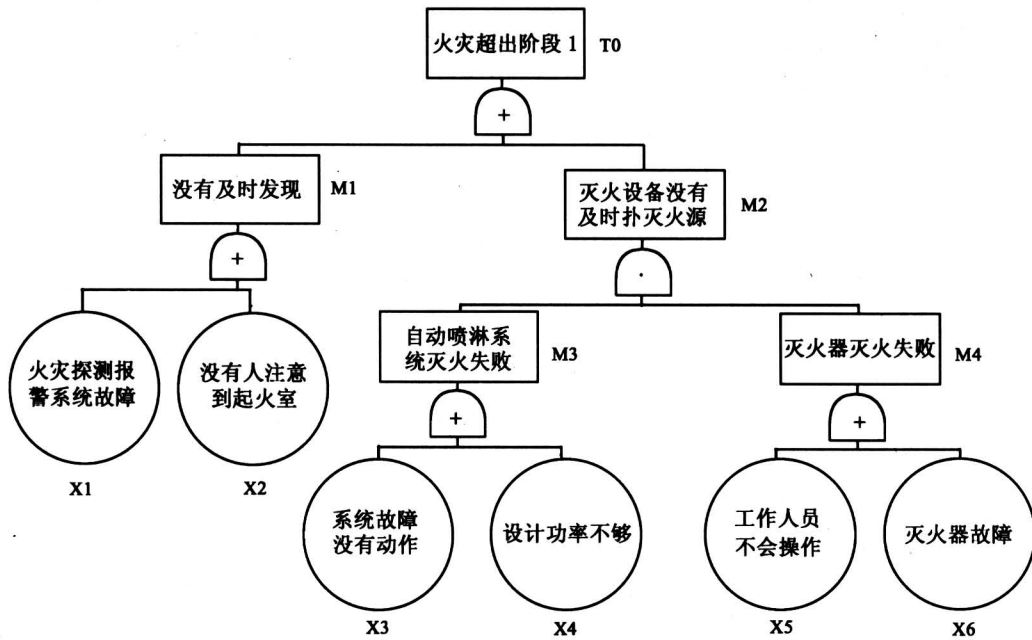


图 2 阶段 2 的事故树图

Fig.2 The FTA at the second stage

阶段 3 是指可以使用室内消火栓将火灾扑灭的阶段。在这个阶段影响火灾发展的主要因素是室内消火栓和排烟设备的工作状况。在阶段 3，火灾处于发展阶段，室内温度逐渐升高，同时会产生大量高温、有毒的火灾烟气对人员使用室内消火栓扑救火灾十分不利。所以，排烟设备的及时启动是保证人员使用室内消火栓成功扑灭火灾的关键。由图 3 所示的事件树可知该阶段中火灾的影响因素为防、排烟能力和消防栓的灭火能力。

室内消火栓或排烟系统的失效会导致火势的进一步发展。当火灾发展到盛期之后，就会向同一防火分区内的其他房间蔓延，从而导致整个防火分区的

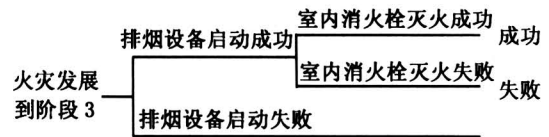


图 3 阶段 3 事件树

Fig.3 The ETA at the third stage

其他房间着火，即进入阶段 4。为了防止火灾蔓延出防火分区，需要及时关闭防火卷帘。图 4 表示影响第 4 阶段火灾发展的因素有防火分区、防烟分区等设计的合理性，城市消防队的灭火水平。

由于各种火灾防治措施不力，火灾发展到阶段

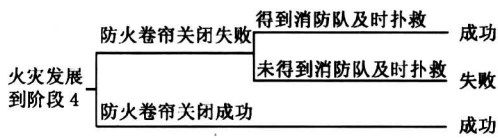


图 4 阶段 4 事件树

Fig.4 The ETA at the fourth stage

5, 能在火灾进入危险状态前及时疏散人员是至关重要的。目前国内很多建筑中存在疏散通道设计不合理, 疏散通道上堆放杂物导致通行不畅甚至堵塞通道的现象; 另外人员对建筑内的疏散通道不熟

悉, 一旦发生火灾, 将会导致无法顺利疏散人员, 造成群死群伤的恶性后果。

据美国相关统计资料表明, 一旦火灾发展到轰燃阶段, 则保证建筑物的结构安全便成火灾防治的主要目标。为此应当保证建筑构件具有足够强的耐火性能, 一旦建筑物倒塌, 则依附于建筑物的各种设施和财产均化为乌有。衡阳 11.3 大火便是一个惨重的教训。此阶段火灾的主要影响因素为疏散通道、疏散设施、建筑结构的耐火性能、消防队灭火能力等。

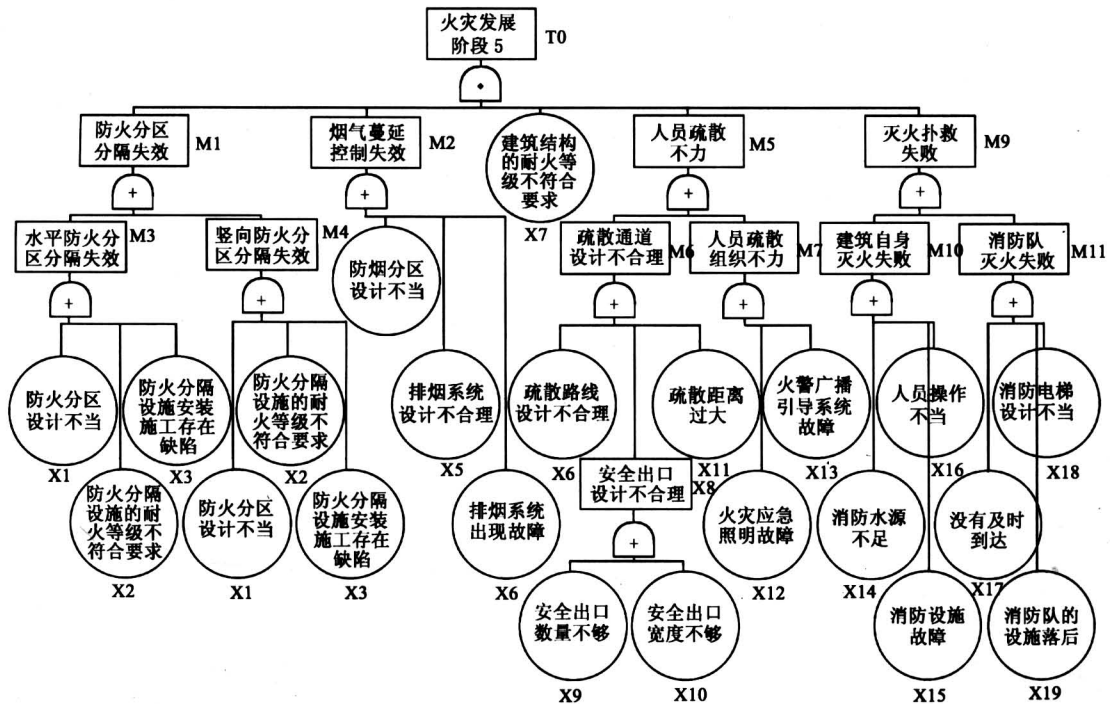


图 5 阶段 5 的事故树

Fig.5 The FTA at the fifth stage

## 2 评价指标体系的设计

根据现代事故致因理论, 导致事故的直接原因是人的不安全行为和物的不安全状态, 其基本原因是管理失误<sup>[4]</sup>。因此对于影响高层建筑火灾危险的第一层次主要着眼于安全管理制度和建筑物的本身状况。针对高层建筑火灾的特点, 对于建筑物本身的状况又从 3 个方面来考虑, 即建筑物本身的防火能力, 灭火能力以及发生火灾后的安全疏散能力。基于以上观点, 对上面事故分析所得的各影响进行整合分类, 构造了高层建筑火灾危险评价指标体系, 其结构及其相互关系如表 1 所示。

## 3 结论

运用安全系统工程的方法对高层建筑火灾危险因素进行了辨识, 得到的结论如下:

1) 火灾场景设定是进行火灾研究一种常用的方法, 它包括对发生火灾的可能地点, 火灾荷载等诸多因素的设定, 作者只对火灾危险性作了最大化的设定, 而对其他因素并未作具体的假设, 以便尽可能找出影响火灾发展的诸多因素。

2) 火灾过程是一个既具有一定的确定性、又有一定随机性的复杂动力学过程, 从消防对策的角度, 按照紧急状态下对应极限时间和火灾影响的空

表 1 高层建筑危险评价指标体系结构表

Table 1 Index system design of the high building fire hazard assessment

评价内容	一级评价指标	二级评价指标	评价内容	一级评价指标	二级评价指标	
建筑防火能力	总图布置	防火间距	安全疏散能力	疏散通道	安全疏散路线	
		周边环境危险性			安全疏散距离	
	建筑结构的耐火等级	安全出口数量				
	装修材料的耐火等级及发烟性	安全出口宽度				
	耐火等级	电器设备的防火状况		安全疏散指示标志	疏散设施	疏散楼梯
		变/配电设备的安全设施状况		应急照明		
	电气防火	电线/电缆耐火等级		火警广播引导系统		
火灾荷载	火灾荷载密度	其他疏散设施	安全制度落实情况	避难层和救生避难设施		
	火灾荷载分布	定期检修情况				
防火分区	水平防火分区	专职值班情况		管理人员的业务水平	防火教育情况	
	竖向防火分区	对消防设施的熟练程度				
防排烟能力	防排烟设施的完好情况	消防知识的技能	建筑物内其他人员		组织能力	
	防排烟系统设计的合理性	人员密度				
建筑灭火能力	消防队灭火能力	消防队员的业务水平	安全管理水平	安全意识水平		
		消防设施的先进性			防火训练情况	
		消防车道				
	建筑自身的灭火能力	消防电梯				
		火灾自动报警系统				
		自动喷淋系统				
		消防栓系统				
	其他灭火系统					
	消防水源					

间单位，把火灾扩大的过程设定为几个阶段，能有效地从建筑物本身、建筑物安全管理、消防对策等多个方面探讨影响火灾危险评价的指标体系。

3) 所建立的指标体系能为建筑物安全管理提供科学依据，也能为高层建筑火灾风险评估奠定基础，但整个指标体系还有待进一步细化。

参考文献

[ 1 ] 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,2004.1~20

[ 2 ] Yung D T, Benichou N. How design fires can be used in fire hazard analysis[J]. Fire Technogy, 2002, 38(2): 231~242

[ 3 ] 田玉敏.论“性能化”防火设计中的“设计火灾场景”[J].火灾科学,2002,11(1):25~30

[ 4 ] 隋鹏程,陈宝智.安全原理与事故预测[M].北京:冶金工业出版社,1988.20~27

## The Index System Design of the High Building Fire Hazard Assessment

Liu Aihua<sup>1</sup>, Shi Shiliang<sup>1</sup>, Wu Chao<sup>2</sup>

(1. School of Resource and Safe Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China; 2. School of Resource and Safe Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

[Abstract] Aiming at the characteristics of the high building fire, setting the fire site scene, this paper carries out stage partition for fire on the angle of the countermeasure for fire, conducts accident analysis aiming at every stage applying FTA and ETA, finds out the related factors that affects fire development and stretch, and establishes the multiple-levels index system of high building fire hazard assessment. This index system can offer scientific basis for safe management of building, and can also lay the foundation for high building fire hazard assessment.

[Key words] high building fire hazard; index system; the fire site scene; stage partition for fire