

Discussion on Fire Risk Assessment Methods for a Building Based on System Engineering Theory*

Yumin Tian

Department of Fire Engineering, the Armed Police Force Academy, Langfang, China

Email: tymsweet@163.com

Abstract: Based on the related research to the basic steps and methods of fire risk assessment, a kind of scientific fire risk identification was carried out to a building. A fire risk assessment index system was established according to the system safety engineering theories and methods. Every mark of an index was given according to the codes and standards of fire protection aiming at giving some guides to fire risk evaluation method and rate-making of fire insurance. All the researches will provide important technical supports to make fire risk evaluation codes for property insurance in China.

Keywords: system safety engineering; building fire; fire risk assessment; index system

基于系统工程理论的建筑火灾风险评价方法的探讨

田玉敏

中国人民武装警察部队学院，消防工程系，廊坊，中国，065000

Email: tymsweet@163.com

摘要: 在对火灾风险评价的基本步骤、方法进行研究的的基础上，根据安全系统工程学的思想，对建筑火灾风险因素进行了科学的辨识，并在此基础上建立了建筑的火灾风险评价体系。根据有关标准和规范，对各评价指标因子进行等级划分，为科学评价建筑物的火灾风险提供帮助，为火灾保险费率的厘定提供依据。该课题的研究将为制定财产保险火灾风险评价标准提供技术支持。

关键词: 安全系统工程；建筑火灾；风险评价；指标体系

1 引言

近些年来，随着我国经济的飞速发展，建筑也以惊人的速度发展，随之而来的火灾问题也日益突出。因此，减小和控制建筑火灾的发生是火灾安全工程领域的最重要课题。建筑火灾的预测和控制措施包含许多环节，许多技术措施只有建立在对火灾风险进行正确评价的基础上才有实际意义，而且火灾防治技术的有效性及其合理性也与火灾风险的正确评价相辅相成。另外，建筑火灾风险分析是厘定火灾保险费率的的前提和基础。

火灾风险分析还有助于使火灾防治对策更加科学、更加经济。因为火灾的发生是随机的，消防投资

的效益也是不确定的，通过火灾风险分析，可以对火灾的损失期望值进行估计，从而对消防措施进行成本与效益的综合评价，这对制定经济合理的火灾防治对策具有重要作用。总之，对建筑火灾风险评价方法进行研究具有重要的意义。

2 火灾风险评价的基本方法

2.1 火灾风险的概念

风险是指不幸事件发生的可能性及其发生后将要造成的损害。火灾风险为潜在火灾事件产生的后果及其发生的概率。火灾风险的基本表达式为：

$$Risk = \sum_i (P_i \times C_i) \quad (1)$$

式中： P_i 表示单个火灾事件的发生概率； C_i 表示该事件产生的预期后果。

*基金项目：（推荐性国家标准）《财产保险火灾风险评价指南》(20074808-T-312)；公安理论及软科学研究计划(2007LLYJWJXY085)

2.2 火灾风险评价的方法分类

火灾风险评价方法的种类很多，按照评价结果的量化程度化分，大体可分为定性、半定量和定量三大类，这种分类方法比较常用，也有人将其进一步简化为定性和定量两种类型。

2.2.1 定性分析法

定性分析方法是依据有关标准及同类型或类似系统事故或故障的统计资料，依靠人的观察分析能力，借助于经验和判断能力进行评价的方法，主要用于识别最危险的火灾事件，但难以给出火灾危险等级。一般用安全检查表、层次分析法进行建筑火灾风险的定性评估，对于化学工业火灾还有Hazop, What-if 等方法。

2.2.2 半定量分析法

半定量分析方法则将对象的危险状况表示为某种形式的分度值。这种分度值可以与某种量的经费加以比较，因而可以进行消防费用效益、火灾风险大小等方面的分析。适用于建筑火灾风险评估的半定量方法主要有 NFPA101M 火灾安全评估系统、SIA81 发 (Gretnener 法)、火灾风险指数(fire risk index)法、古斯塔夫法等。另外，适合工业火灾风险评估的方法有等价社会成本指数法(the equivalent social cost index, ESCI)、火灾-爆炸风险指数法等。

2.2.3 定量分析法

定量风险评价方法以系统发生事故的概率为基础，进而求出风险，以风险大小衡量系统的火灾安全程度，所以也称概率评价法。该方法需要依据大量数据和数学模型。所以，只有当用于火灾风险评价的数据量较充足时，才可采用定量评估方法进行火灾风险评估。随着性能化防火设计的发展，人们需要更加精确的火灾风险评估方法。定量分析方法已成为近年最引人注目、发展最快的火灾风险评估方法。

2.3 建筑物火灾风险评价的基本程序

建筑物火灾风险评价的基本程序可用图1来表示。

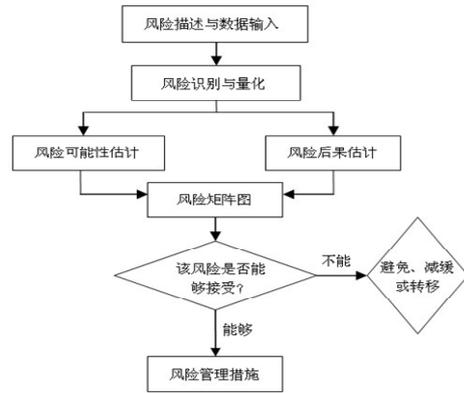


图 1. 建筑物火灾风险评价的基本程序

安全系统工程学的方法是通过辨识整个系统的风险因素，在可接受的安全度下，采取合理的技术措施消除这些风险因素或进行控制。

根据安全系统工程学的思想，安全（包括建筑消防安全）是一个复杂的系统工程，与安全有关的影响因素与目标都是多元化的。一般地，安全系统工程的研究对象可概括为三个部分，即：人、机器和环境。这三个部分相互影响、相互作用，构成了“人—机—环”系统这个有机整体。对此，理论界提出了许多评价模型，从这三个子系统的内部及其相互之间的关系出发，达到系统的整体安全^{[1][2]}。

3.2 “5M”模型

“5M”模型（The Five-M Model）如图 2 所示。

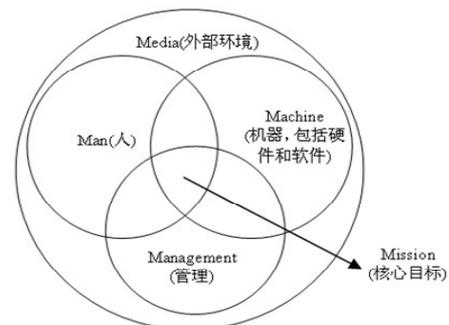


图 2. “5M”模型

如图 2 所示，在“5M”模型中，系统由核心目标 (mission)、人 (man)、机器 (machine, 包括硬件及软件)、环境 (media)、管理 (management) 这 5 个部分组成。

3.3 “SHELL”模型

“SHELL”模型（The SHELL Model）如图 3 所示。

3 安全系统工程学的基本思想

3.1 安全系统工程学的思想

安全系统工程学是系统工程学在风险管理领域中的具体应用，其核心思想是将工程学与管理学的原理、标准、技术等紧密结合，使安全度达到最优的目标。

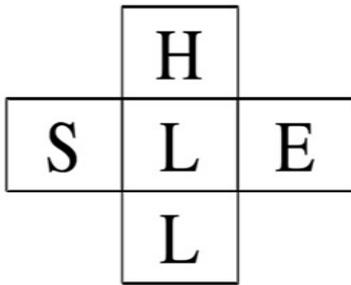


图 3. “SHELL”模型

在“SHELL”模型中，系统由软件（software），如操作流程、管理等；硬件（hardware），如机器、设备等；环境（environment）；人（human element）4个部分组成，其中人的生命（life）安全是最核心的因素。

借鉴其思想，建筑火灾风险评价一般应该包括以下几个方面的基本要素：建筑本身以及内容物火灾荷载、消防设施、消防管理、外部环境等。对具体类型的建筑，这几个方面各有侧重。

4 建筑火灾风险因素的识别

建筑物的火灾风险识别的目的在于将建筑火灾因素逐一辨识，并进行分析。建立建筑物的火灾风险评估因素集合，在此基础上为估计火灾发生概率以及火灾损失的严重程度给出较为准确的数据支持。安全检查表分析法（safety check）是最常用的方法^[3]。

建筑的火灾风险因素主要从三个方面对建筑进行火灾风险因素的辨识，主要有建筑因素、管理因素、人群因素，以及外部环境因素。

4.1 人群因素

人群因素包括建筑内部人员和流动人员。

对内部人员的评价主要是人员消防安全素质、是否经过培训等方面。人员素质决定了扑救初期火灾的能力大小。人员安全技能和安全意识越好，建筑发现并扑灭初起火灾的能力越强，反之越弱。流动人员主要评价人群类型、人群密度以及疏散自救的能力等。例如：老、弱、病、残等特殊人群需要特别的保护；人群密度越大火灾风险越大。

4.2 建筑因素

建筑因素主要包括建筑本身、消防设施两个方面。

1) 建筑本身因素

①耐火等级

建筑物的耐火等级是衡量建筑物耐火能力的标

准，依据建筑物主要构件的耐火性能进行划分。耐火等级主要反映建筑物的控火能力和耐火能力。当建筑物的构件耐火等级较高时，火灾中可保证建筑物不倒塌失效，为人员疏散、扑救工作提供条件，并使灾后建筑物加固修复成为可能。

②防火分区

防火分区指的是在建筑内部采用防火墙、耐火楼板及其他防火分隔设施分割而成，能在一定时间内防止火灾向同一建筑的其余部分蔓延的局部空间，一般用防火分区的面积来考量。

③建筑高度

一般而言，建筑越高，由于“烟囱效应”等多种因素，火灾危险性就越大。

④使用年限

建筑的火灾危险性随着使用时间的增加而增大。

⑤安全疏散

主要包括安全出口、疏散走道、疏散楼梯及疏散楼梯间等。合理的安全疏散设计对于抢救生命财产具有重要作用。

⑥火灾荷载

主要包括：内容物、内装修材料等火灾荷载的大小。

2) 消防设施

消防设施主要包括自动报警设施、自动灭火设施、室内消火栓系统、防排烟系统、手提灭火器等。在建筑火灾的初起阶段，火灾没有蔓延到其他区域，只在着火点周围燃烧，温度不高。这个阶段是灭火的最佳时机，在这个阶段灭火，由于火灾没有扩大，财产损失也不严重。建筑内部消防设施有效投入使用是确保建筑火灾在初期阶段被发现并熄灭的前提条件，因此，自动消防设施能够直接体现建筑物的火灾防护能力。

4.3 外部环境因素

建筑外部环境因素包括消防车道、防火间距、室外公共消防设施、以及消防队的战斗力等。建筑内部发生火灾，从发现人报警到消防队赶到现场灭火这段时间，建筑火灾已经从初起阶段开始向发展阶段过度，消防车道决定了消防队顺利到达现场的时间。而防火间距和公共消防设施关系到消防队能否有效迅速进行灭火救援。对建筑外部环境因素的综合评价，能够反映建筑火灾如果发展到中后期火灾的损失程度大小。

消防队战斗力指标主要考虑以下两个方面：①接警到达时间满足 5 分钟要求；②装备配置等。

4.4 管理因素

管理因素主要包括消防安全责任制、火灾应急预案、消防设施维护等方面。

消防安全责任制指标主要包括以下三个方面：①建立消防安全制度；②明确各部门及人员（包括消防安全责任人、消防安全管理人、消防控制室的值班与操作人员等）职责，并认真履行；③建立消防管理档案。

火灾应急预案指标主要包括以下四个方面：①应急资源的有效性；②指挥协调反应组织的结构；③通报和通讯联络程序；④定期举办有针对性的消防演练。

消防设施维护指标主要包括以下两个方面：①定期检验、维修，建立维护记录；②定期检测。

5 建筑火灾风险评价体系的建立

由于影响整体建筑火灾风险的因素是一个涉及多方面的因素集，且诸多指标之间各有隶属关系，形成了一个有机的多层的系统，因此一般称评价指标为指标体系，建立一套科学的指标体系是建筑火灾风险评价的关键性一环。借鉴安全系统工程学中的“5M”模型和“SHELL”模型，辨识出建筑火灾风险评价的基本要素，并确定其相互隶属关系，从而建立了一套针对不同使用性质的建筑火灾风险评价指标体系^[4]。

最主要的影响因素称为“一级指标”，对每一项一级指标，必要时还可继续细分出若干个二级指标、三级指标等^[5]，指标体系如图4所示。

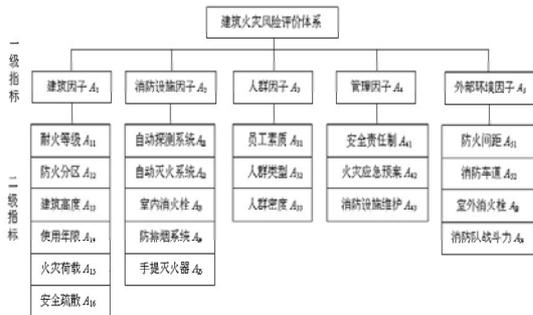


图4. 建筑火灾风险评价体系

6 结束语

建筑火灾风险评价是一项复杂的、系统性的工作。本文对建筑火灾风险分析的关键内容进行了简要的分析，并根据安全系统工程的思想建立了建筑物火灾风险评价的指标体系，为今后建筑物火灾风险评估提供技术上的帮助。

随着性能化防火设计的发展，人们需要更加精确的火灾风险评价方法。目前，国外的很多学者都在开展量化的火灾风险评价方法，一些方法虽比传统的定性评价方法有了很大改进，但是各种方法都有不同程度的局限，结合火灾动力学的理论对建筑火灾进行定量的风险评价是今后的一个发展方向。总之，对该课题继续进行深入的研究具有重要意义。

References (参考文献)

- [1] FAA System Safety Handbook. Chapter 3 Principles of System Safety[EB/OL]. http://www.faa.gov/library/manuals/aviation/risk_management/ss_handbook, 2008-03-12.
- [2] SFPE RISK TASK GROUP. SFPE Engineering Guide to Application of Risk Assessment in Fire Protection Design[M]. 2005.
- [3] Fang Weicheng et al. Fire Risk Assessment, Beijing: Science Press, 2004.
范维澄等. 火灾风险评估方法学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] Xu Jinliang. Risk management, Shanghai: Shanghai Finance University Press, 2007.
许谨良. 风险管理[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2007.
- [5] Gregory A.Norris and Harold E.Marshall. Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Building Systems [EB]. <http://www.google.com/>. 2003.10
- [6] Li Jie. Actuarial Science Principle, Beijing: Qing Hua University Press, 2006.
李洁. 精算学原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [7] Sun Jinhua. Fire Risk and Insurance, Beijing: Science Press, 2007.
孙金华. 火灾风险与保险[M]. 北京: 科学出版社, 2007.