

文章编号: 1005- 8893 (2006) 04- 0046- 04

模糊综合评价方法及其在风险分析中的应用*

陆 怡

(江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 在工业领域, 风险工程学是将危险转化为安全的学科, 风险的分析与评价是风险工程学的重要组成部分。风险分析与评价方法有很多, 如失效模式与效应分析方法, 事件树分析、危险指数评价法、概率风险评价技术、基于可信性的风险评价方法和模糊综合评价方法等。介绍了风险分析与评价方法中的模糊风险评价方法, 并以高层建筑火灾风险分析与评价为例说明模糊风险评价方法在风险分析中的应用。

关键词: 风险工程; 模糊综合评价; 模糊矩阵

中图分类号: O 211. 67 文献标识码: A

Fuzzy Assessment Method and its Application in the Risk Analysis

LU Yi

(Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: The risk engineering is a discipline which can change risk to safety in industry. The risk analysis and assessment is a major part of the risk engineering. There are many kinds of method to risk analysis and assessment such as Failure Mode Effects Analysis (FMEA), Event analysis, Fire and Explosion Index, Probability Risk Analysis, Extenics Risk Assessment method, Fuzzy risk Analysis, and so on. In this paper, fuzzy method and risk assessment is introduced. An example about the analysis and evaluation of fire risks in tall buildings is given.

Key words: risk assessment; fuzzy evaluation; fuzzy matrix

自从 20 世纪 40 年代核工业发生泄漏事件后, 为了制订环境辐射标准, 同时作为一种概率方法, 风险分析技术应运而生。直至今日已发展成为一门新兴学科——风险工程学。在工业领域, 风险工程学是将危险转化为安全的学科, 其中风险的分析与评价是风险工程学的重要组成部分。

风险分析与评价方法有很多, 如失效模式与效应分析方法, 事件树分析、危险指数评价法、概率风险评价技术、基于可信性的风险评价方法和模糊综合评价方法等。其中模糊综合评价方法^[1] (Fuzzy Analysis) 是一种对不宜定量的多因素事件进行半定量分析的方法。应用模糊集理论方法对系

统的失效可能性和失效后果进行定量分析评价, 它可将某种定性描述与人的主观判断用量级形式表达, 通过模糊运算用隶属度的方式确定系统的危险等级。该方法既能减少获取风险评价的输入数据的难度, 又能结合工程技术人员的实际经验和判断构造模糊数的隶属函数, 有较大的灵活性和适应性, 适合于各种多因素多等级的风险评价, 评价结果会更详细, 更精确。

1 风险的模糊评价方法

对于一个复杂的系统, 存在着许多诱发事故、影响事故后果的模糊因素, 而且各种风险影响因素

* 收稿日期: 2006- 02- 21

作者简介: 陆怡 (1973-), 女, 上海人, 博士生, 讲师, 从事化工设备结构及可靠性研究。

对系统的影响不一定是独立的, 而是彼此关联的, 且其间的关联关系随时间、地点等条件的不同而不同, 具有很大的模糊性。这些模糊性的客观存在, 使得各类风险影响因素, 不能被精确的量化, 因此风险用风险系数单一数值表示, 很难将本质全部概括, Karwowski 和 Mital 提出用模糊分析方法^[2,3], 将风险分析中的模糊语言变量用隶属度函数量化, 应用于工程实际取得了成功。

1.1 模糊风险综合评判法

模糊风险综合评判方法是指在模糊环境下, 考虑多种风险因素的影响, 针对某种风险对风险源元素进行综合评判的方法。

设有二论域 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, U 代表综合评判的各种因素所组成的集合, 又称风险因素集; V 代表评语所组成的集合, 又称风险评判集。设 R 是给定的风险模糊关系, 为 $m \times n$ 阶模糊评价矩阵, R 唯一确定了一个从 U 到 V 的风险模糊变换。风险因素的权重分配 A 是 U 上的一个风险模糊子集, B 为模糊评价集, 表示评价结果, 是 V 上的一个模糊子集。作模糊变换 $B = A \circ R$, 通过 R 把一个 n 维论域 U 上表现为风险模糊向量 A 的模糊概念, 转换到 m 维论域上表现为风险模糊向量 B 的模糊概念。综合评判结果就是所求风险的最大值, 综合评判步骤如下^[3]: ①对 U 中诸因素, 用各种可行的方法作出评判集 V 中的单因素评判, 进而得到一个实际上表示 U 和 V 之间模糊关系的模糊矩阵。②对因素集 U 中的诸因素, 确定它们在评判事物中的重要程度, 即权重。③作模糊变换: $B = A \circ R$ 。④按最大隶属度法或加权平均法对评价结果进行处理。

对于一些复杂系统来说, 因素过多, 其权重分配很难确定; 或者虽确定了权重分配, 却因为归一化条件, 使每个因素的权值很小, 再经过算子综合, 会出现没有价值的结果, 因此要采用多级风险模糊评价方法^[4]。

首先, 将风险因素集 U 按某种属性划分成 s 个子因素集 U_1, U_2, \dots, U_s , 其中, $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in}\}$, $i = 1, 2, \dots, s$, 且满足 $n_1 + n_2 + \dots + n_s = n$, $U_1 \cup U_2 \cup \dots \cup U_s = U$ 。

然后, 对每一个子因素集 U_i , 要分别作出综合评判, 设 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 为风险评判集, U_i 中各因素相对于 V 的权重分配为 $A_i =$

$\{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$, 设 R_i 为单因素评判矩阵, 则得到一级评判向量: $B_i = A_i R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im})$, $i = 1, 2, \dots, s$ 。

最后, 将每个 U_i 看作一个风险因素, 则 $K = \{U_1, U_2, \dots, U_s\}$ 称为一个风险因素集, K 的单因素评判矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{s1} & b_{s2} & \dots & b_{sm} \end{bmatrix}$$

每个 U_i 作为 U 的一部分, 反映了 U 的某种属性, 可以按它们的重要性给出权重分配, $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, 得出二级评判向量 $B = A \circ R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 如果每个子因素集 U_i ($i = 1, 2, \dots, s$) 含有较多风险因素, 还可将 U_i 再进行划分, 可以有 3 级甚至 4 级以上模糊风险综合评判模型。

1.2 系统的模糊综合评价流程及方法

系统的模糊综合评价流程见图 1。

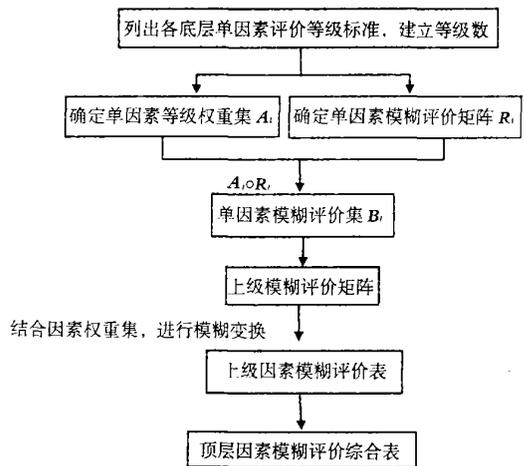


图 1 模糊风险程度值计算流程

Fig. 1 The calculation flowsheet of the fuzzy risk analysis

具体方法如下:

(1) 全面调查和详细收集系统设计、施工、运行、操作、介质、人文、社会和经济情况等资料。

(2) 系统、全面、定性地分析影响系统风险的各种因素, 建立因素体系, 在确定风险影响因素时, 要考虑到常规风险评价所忽略的模糊因素, 这些因素就形成了各级论域 U 。

(3) 根据上面分析, 建立模糊综合评判模型: ①确定评判对象, 建立备择集。②建立因素集, 确

定模糊评价矩阵。底层单因素的模糊评价矩阵可以这样确定：将因素集中各种因素的因素等级与风险程度取值一致；第 i 个因素造成的系统风险相对于备择集 V 的风险度概率，就是该等级的评价向量，这个向量就是该因素评价矩阵中的第 i 行。所有的在同一上级因素下的各因素模糊评价集结合就组成了这个上级因素的模糊评价矩阵。③确定权重集^[5,6]。因素权重集反映了各因素对评价对象的影响大小。一般地，确定因素权重的方法很多，层次分析法（AHP 法）是目前应用较为广泛的一种方法，其基本步骤是比较若干因素对同一目标的影响，从而确定他们在目标中占的比例。需要参照大量的统计结果而定。④进行各级因素的模糊综合评判，以获得上级因素的模糊评价矩阵。依次类推，得到顶层因素的模糊综合评价表。最终按最大隶属度原则对评价结果进行处理。

2 风险模糊评价方法应用范例

由于风险因素模糊性的客观存在，风险模糊评价方法的应用范畴十分广泛。它可以用于化工、石化过程装置的风险评价，也可以用于武器装备全寿命周期中的风险分析，油气管道的风险评价，火灾风险评价等多种场合。下面以简单的高层建筑火灾风险评价为例，说明风险的模糊综合评价方法。

2.1 高层建筑火灾风险综合评价模型^[7,8]

高层建筑火灾风险由起火概率和火灾危害性两个因素共同决定，起火概率由人为因素、技术因素、物质因素组成，火灾危害又包括财产损失、人员伤亡和社会影响 3 个部分。因此高层建筑火灾风险综合评价模型由两级评价指标组成，见图 2。

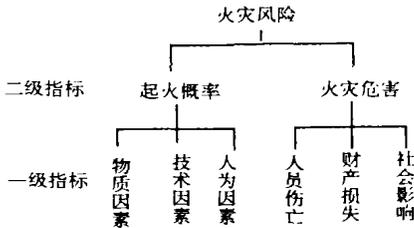


图 2 高层火灾风险评价指标体系

Fig. 2 The risk assessment index system of the building fire

2.2 起火可能性分析

通过对某高层建筑火灾风险的识别，可得出各个风险因素的等级。下面以物质因素为例说明如何

确定各个风险因素的等级。

某高层建筑在火灾风险的检查中，物质因素方面有 20 个风险因素：(1)吊顶材料的燃烧性能；(2)墙面材料的燃烧性能；(3)疏散通道上装修材料的燃烧性能；(4)钢构件的耐火性能；(5)预应力构件的耐火性能；(6)防火墙；(7)防火卷帘；(8)防火水幕；(9)排烟口；(10)送风设施；(11)排烟设备；(12)疏散指示标志；(13)普通电梯；(14)消防电梯；(15)防烟楼梯间；(16)感烟探测器；(17)消防控制中心；(18)人工报警装置；(19)自动灭火设施；(20)手提灭火器。

通过调查研究，利用专家评分方法，可以对上面的风险因素进行分类。

1 级风险因素有：(1)、(7)、(11)、(15)；2 级风险因素有：(3)、(4)、(8)、(9)、(12)、(16)、(19)；3 级风险因素有：(2)、(5)、(6)、(10)、(14)、(17)；4 级风险因素有：(13)、(18)、(20)。

从上面统计数据可以得出，属于 1 级可能的为 $4/20=0.2$ ，属于 2 级可能的为 $7/20=0.35$ ，3 级可能为 $6/20=0.3$ ，4 级可能为 $3/20=0.15$ 。

同理，可得技术因素和人为因素的风险等级，如表 1 所示。

表 1 起火概率等级分析表

Table 1 The analytical table of the fire probability grade

| 因素 | 1 级 | 2 级 | 3 级 | 4 级 |
|------|------|------|------|------|
| 物质因素 | 0.21 | 0.35 | 0.30 | 0.15 |
| 技术因素 | 0.16 | 0.27 | 0.45 | 0.22 |
| 人为因素 | 0.18 | 0.20 | 0.60 | 0.19 |

从表 1 可得出模糊矩阵：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.35 & 0.30 & 0.15 \\ 0.16 & 0.27 & 0.35 & 0.22 \\ 0.18 & 0.20 & 0.50 & 0.12 \end{bmatrix}$$

假设以上 3 种因素的权重分别为 0.75，0.6，0.5，则可得出权重的模糊向量： $A_1 = (0.75, 0.6, 0.5)$

则起火概率的模糊综合评价集为：

$$S_1 = A_1 \circ R_1 = (0.75, 0.6, 0.5) \circ$$

$$\begin{bmatrix} 0.20 & 0.35 & 0.30 & 0.15 \\ 0.16 & 0.27 & 0.35 & 0.22 \\ 0.18 & 0.20 & 0.50 & 0.12 \end{bmatrix} =$$

$$(0.2, 0.35, 0.5, 0.22)$$

对 S_1 进行归一化处理，得出 $S_1^0 = (0.16, 0.28, 0.39, 0.17)$ ，即该建筑 1 级火灾可能的隶属度为 16%，2 级隶属度为 28%，3 级隶属度为 39%，4 级隶属度为 17%。

2.3 火灾危害性分析

利用专家调查统计结果, 也可以得到火灾危害等级分析表, 如表 2 所示。

表 2 火灾危害等级分析

Table 2 The analytical table of the fire hazard grade

| 因素 | 1 级 | 2 级 | 3 级 | 4 级 |
|------|------|------|------|------|
| 人员伤亡 | 0.15 | 0.25 | 0.48 | 0.12 |
| 财产损失 | 0.09 | 0.16 | 0.66 | 0.09 |
| 社会影响 | 0.15 | 0.32 | 0.49 | 0.04 |

其中 1 级到 4 级分别相当于特大危害、严重危害、一般危害、轻微危害。由此得出:

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.10 & 0.25 & 0.48 & 0.12 \\ 0.09 & 0.12 & 0.66 & 0.09 \\ 0.15 & 0.32 & 0.49 & 0.04 \end{bmatrix}$$

假设人员伤亡、财产损失、社会影响的权重分别为 0.8、0.65、0.55, 则 $A_2 = (0.8, 0.65, 0.55)$, 同理可得火灾危害的模糊综合评价集为:

$$S_2 = A_2 \circ R_2 = (0.85, 0.65, 0.55) \circ$$

$$\begin{bmatrix} 0.10 & 0.25 & 0.48 & 0.12 \\ 0.09 & 0.12 & 0.66 & 0.09 \\ 0.15 & 0.32 & 0.49 & 0.04 \end{bmatrix} =$$

$$(0.15, 0.31, 0.66, 0.12)$$

对 S_2 进行归一化处理, 得出 $S_2^0 = (0.12, 0.25, 0.53, 0.10)$, 即特大火灾危害隶属度为 12%, 严重火灾危害隶属度为 25%, 一般火灾危害隶属度为 53%, 轻微火灾危害隶属度为 10%。

2.4 火灾风险的模糊综合评价

将火灾风险也分为 4 个级别, 1 级为极高风险, 2 级为高度风险, 3 级为中等风险, 4 级为低度风险。火灾风险由起火可能性和火灾危害性两个因素共同决定, 由起火可能性和火灾危害性的模糊评价集构成火灾风险等级分析表。如表 3 所示。

表 3 火灾风险等级分析表

Table 3 The analytical table of the fire risk grade

| 分析单元 | 1 级 | 2 级 | 3 级 | 4 级 |
|-------|------|------|------|------|
| 起火可能性 | 0.16 | 0.28 | 0.39 | 0.17 |
| 火灾危害性 | 0.12 | 0.25 | 0.53 | 0.10 |

由此得出模糊矩阵:

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.16 & 0.28 & 0.39 & 0.17 \\ 0.12 & 0.25 & 0.53 & 0.10 \end{bmatrix}$$

假定起火可能性和火灾危害性的权重分别为 0.75, 0.65, 即 $A_3 = (0.75, 0.65)$ 。进行模糊变换后得到 $S_3 = (0.16, 0.28, 0.53, 0.17)$, 对 S_3 进行归一化处理, 得出 $S_3^0 = (0.14, 0.25, 0.46, 0.15)$ 。

根据最大隶属度原则该高层建筑火灾风险的 3 级隶属度为 0.46, 为最大值。因此可以认为该高层建筑的火灾风险为中等。

3 结 论

客观世界广泛存在模糊性, 它是不确定性的一种, 正是由于随机性、模糊性等不确定因素的存在, 常致使事件带有一定风险。模糊风险评价方法是应用模糊集理论方法对系统失效可能性和失效后果进行定量分析评价。对于较复杂的系统, 由于存在着许多诱发系统事故、影响事故后果的模糊因素, 采用模糊集方法来描述和处理这些模糊因素, 能使得评价结果更接近于工程实际。该方法既能减少获取风险评价的输入数据的难度, 又能结合工程技术人员实际经验和判断构造模糊数的隶属函数, 有较大的灵活性和适应性。可以广泛用于化工装置、武器装备、建筑、煤矿、水利等多种领域。

参考文献:

- [1] 戴树和. 风险分析技术 (一) ——风险分析的原理和方法 [J]. 压力容器, 2003, 19 (2): 1-9.
- [2] 戴树和. 风险分析技术 (二) ——典型装置上的工程应用 [J]. 压力容器, 2003, 19 (3): 1-5.
- [3] Dai Shu- Ho, Wang Ming- O. Reliability Analysis in Engineering Applications [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [4] 陈利琼, 张鹏, 马剑林, 等. 油气管道风险的模糊综合评价方法探讨 [J]. 天然气工业, 2003, (3): 117-119.
- [5] 罗云, 樊运晓, 马晓春. 风险分析与安全评价 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [6] 沈国柱. 风险模糊分析法 [J]. 系统工程与电子技术, 2002, 22 (10): 90-93.
- [7] 赵建平, 缪春生, 孙涛. 液化气埋地压力管道风险评价方法 [J]. 南京工业大学学报, 2004, 26 (2): 18-23.
- [8] 田玉敏. 高层建筑火灾风险的模糊综合评价 [J]. 天然气工业, 2003, (3): 30-31.