

文章编号: 1003-1480 (2003) 03-0049-05

模糊数学在火工品装配工房 危险源评价中的应用

狄建华

(华南理工大学工业装备与控制工程学院, 广东 广州, 510640)

摘要: 用模糊数学综合评价法代替安全检查表法, 对火工品装配工房危险源进行评价, 克服了安全检查表的不足之处, 客观地反映了评价对象的安全性, 为危险源评价提供一种有效的方法。

关键词: 模糊数学; 隶属函数; 权重; 安全评价

中图分类号: TJ450

文献标识码: A

Application of Fuzzy Mathematics in Risk Sources Evaluation of Initiating Explosive Device Assembly Workshop

DI Jian-hua

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640)

Abstract: Risk sources of initiating explosive device assembly workshop is evaluated by a fuzzy mathematic integrative evaluation method instead of safety inspection checklists. Shortcomings of the safety inspection checklists have been overcome. It objectively reflects the safety of the evaluated objective and provides an effective method for risk sources evaluation.

Key words: Fuzzy mathematics; Membership function; Weighting factor; Safety evaluation

采用“火炸药、弹药企业燃烧爆炸危险源定量评估方法—BZA-1法”对火工品装配工房危险源进行评价时, 安全隐患系数 K 的取值一般采用直观经验处理法^[1]。具体地说就是, 采用安全检查表, 到生产现场对人员安全素质和安全管理水平 (S_X)、机(物)安全状态 (S_Y)、环境安全条件 (S_Z) 逐项检查, 进行打分, 然后与相应项目的标准分 (S_A 、 $S_{机}$ 、 $S_{环}$) 比较, 得出各项达标率, 从而得出 K 值。该方法的不足之处是: 实际打分时受安全检查表条款的限制, 受人为主观因素影响比较大, 不能准确反映出生产现场的危险程度。

本文尝试用模糊数学综合评价法代替安全检查表法, 对安全隐患系数 K 进行综合评价, 使评价结果更加准确、更加符合客观实际。

1 数学模型

模糊数学综合评价法是应用模糊变换原理和模糊数学的基本理论——隶属度或隶属函数来描述中介过渡的模糊信息量, 考虑与评价事物相关的各个因素, 浮动地选择因素阈值, 作比较合理的划分, 再利用传统的数学方法进行处理, 从而

收稿日期: 2002-10-08

作者简介: 狄建华 (1967-), 女, 助教, 主要从事安全工程专业的教学和安全评价方面的科研工作。

科学地得出评价结论。其方法如下^[2]:

1.1 建立模糊综合评价集合

设着眼因素集 U 为: $U=\{U_1, U_2, \dots, U_m\}$;

抉择评语集 V 为: $V=\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 。

1.2 确定被评价事物相关各因素的隶属度或隶属函数及建立评价矩阵

首先对 U 集中的单因素 U_i ($i=1, 2, \dots, m$) 做单因素评价, 从因素 U_i 着眼确定该事物对抉择等级 V_j ($j=1, 2, \dots, n$) 的隶属度 r_{ij} , 则得出第 i 个因素 U_i 的单因素评价集

$$r_i=\{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\},$$

它是抉择评语集 V 上的模糊子集。则 m 个着眼因素的评价集就构造出一个总的评价矩阵 R , 反映了两集合 U 、 V 间所存在的某种约束模糊关系, 即

$$R = \begin{Bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{3n} \\ \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{mn} \end{Bmatrix}。$$

其中, r_{ij} 表示因素 U_i 对抉择等级 V_j 的隶属程度。

1.3 确定各评价因素对评价对象的权重

对于被评价事物, 由于从不同的因素着眼可以得到绝然不同的结论, 而且在诸多着眼因素 U_i ($i=1, 2, \dots, m$) 中, 对总评价的影响程度不一, 存在着模糊择优因素。故评价的着眼点可看成着眼因素论

$$K = 6.1 \left(1 - \frac{S_x}{S_{\lambda}} \right) \left(1 - \frac{S_y}{S_{\mu}} \right) + 2.2 \left(1 - \frac{S_x}{S_{\lambda}} \right) \left(1 - \frac{S_z}{S_{\nu}} \right) + 1.7 \left(1 - \frac{S_y}{S_{\mu}} \right) \left(1 - \frac{S_z}{S_{\nu}} \right)$$

设 $\mu_1=S_x/S_{\lambda}$, $\mu_2=S_y/S_{\mu}$, $\mu_3=S_z/S_{\nu}$, 则上式变为:

$K=6.1(1-\mu_1)(1-\mu_2)+2.2(1-\mu_1)(1-\mu_3)+1.7(1-\mu_2)(1-\mu_3)$ 。

在评价过程中, 需要多位专家。本评价中专家评审小组为 10 人。具体的评价因素层次和各项取值见表 1。

以其中的“人的安全状态”部分为例说明评价过程。

2.1 “人的安全状态”中“领导安全意识和素质”的初级层次评价

首先确定评价因素。根据表 1, 评价“领导安全意识和素质”的因素有 6 个, 由此组成的因素集为:

$U=\{\text{安全生产第一责任人的工作态度}(u_1), \text{坚持}$

域 U 上的模糊子集 A , 记作

$$A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$$

式中, a_i ($0 \leq a_i \leq 1$) 为 U_i 对 A 的隶属度, 它是单因素 U_i 在总评价中影响程度的一种度量。 A 称为 U 的因素重要程度模糊集, a_i 称为因素 u_i 的重要程度系数或称权重。

1.4 综合评价

在确定了模糊矩阵 R 和模糊向量 A 时, 则可作模糊变换来进行综合评价:

$$B=A \cdot R=(b_1, b_2, \dots, b_n)。$$

2 应用

以对某火工品装配工房危险源系统内不安全隐患系数 K 进行评价为例, 具体说明模糊数学在火工品装配工房危险源评价中的应用。

根据事故致因理论, 对于影响危险源系统危险度的诸多因素, 可以分解为“人的不安全行为”、“机(物)的不安全状态”、“环境的不安全条件”3 个子系统, 事故发生是由 3 个子系统两两相互作用的结果。分别以 S_{λ} 、 S_{μ} 、 S_{ν} 表示人、机(物)、环境 3 个子系统的标准值, 以 S_x 、 S_y 、 S_z 表示人、机(物)、环境 3 个子系统的安全评估值。根据“事故致因理论”和各子系统对事故影响的不同权重, 则火工品装配工房危险源系统内不安全隐患系数 K 为:

执行“五同时”情况(u_2), 坚持执行“三同时”情况(u_3), 安全机构和人员配备情况(u_4), 管理者接受安全教育和培训情况(u_5), 安全措施费用、安全教育费用、安全奖励费用使用情况(u_6);

抉择评语集可根据情况分级, 本文采用将评价因素论域中的每一因素分成 6 个评价等级, 即

$V=\{\text{优秀}(V_1), \text{良好}(V_2), \text{一般}(V_3), \text{较差}(V_4), \text{很差}(V_5), \text{极差}(V_6)\}$ 。

其次确定各因素隶属度。专家 10 人组中对“安全生产第一责任人的工作态度”的评价: 6 人认为“优秀”, 占 0.6; 3 人认为“良好”, 占 0.3; 1 人认为“一般”, 占 0.1; 没有人认为“较差”, 占 0; 没有人认为“很差”, 占 0; 没有人认为“极

差”，占0。则

“安全生产第一责任人的工作态度”的隶属度为： $r_1 = (0.6, 0.3, 0.1, 0, 0, 0)$ ；

同理“坚持执行‘五同时’情况”的隶属度为：

$r_2 = (0.1, 0.8, 0.1, 0, 0, 0)$ ；

“坚持执行‘三同时’情况”的隶属度为：

$r_3 = (0.1, 0.8, 0.1, 0, 0, 0)$ ；

“安全机构和人员配备情况”的隶属度为：

$r_4 = (0.1, 0.8, 0.1, 0, 0, 0)$ ；

“管理者接受安全教育和培训情况”的隶属度为： $r_5 = (0.7, 0.2, 0.1, 0, 0, 0)$ ；

“安全措施费用、安全教育费用、安全奖励费用使用情况”的隶属度为：

$r_6 = (0, 0, 0, 0.9, 0.1, 0)$ 。

则“领导安全意识和素质”中6个因素组成的评价矩阵

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

再次确定权重。根据火工品装配生产的特点和对评价因素的分析，评价组对影响火工品装配生产安全的因素进行了安全重要性的对比，并将对比结果做了综合统计，得到各种评价因素的权重值如表1所示。

则“领导安全意识和素质”中“安全生产第一责任人的工作态度”的权重为0.25；

“坚持执行‘五同时’情况”的权重为0.16；

“坚持执行‘三同时’情况”的权重为0.16；

“安全机构和人员配备情况”的权重为0.08；

“管理者接受安全教育和培训情况”的权重为0.17；

“安全措施费用、安全教育费用、安全奖励费用使用情况”的权重0.18。

这些权重数必须满足归一化的要求，即

$0.25+0.16+0.16+0.08+0.17+0.18=1$ 。

这6个权重数构成因素集U的一个模糊向量

$A_1 = (0.25, 0.16, 0.16, 0.08, 0.17, 0.18)$ 。

由此可得“领导安全意识和素质”的综合评价为

$$B_1 = A_1 R_1 = (0.25, 0.16, 0.16, 0.08, 0.17, 0.18)$$

$$\begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= (0.309, 0.429, 0.082, 0.162, 0.018, 0)$$

因 $0.309+0.429+0.082+0.162+0.018+0=1$ ，这是归一化的评价结果。如果评价结果不归一，可以用评价结果各项除以总和。

依据以上的推论，同理“职工文化教育水平和安全知识素质”的综合评价结果为：

$$B_2 = (0.376, 0.324, 0.250, 0.050, 0, 0)$$

“安全部门的职能作用”的综合评价结果为

$$B_3 = (0.410, 0.427, 0.095, 0, 0, 0)$$

“执行安全生产规章制度情况”的综合评价结果为：

$$B_4 = (0.400, 0.275, 0.250, 0.075, 0, 0)$$

2.2 二级层次的综合评价

由“领导安全意识和素质”、“职工文化教育水平和安全知识素质”、“安全部门的职能作用”、“执行安全生产规章制度情况”权重数构成了“人的安全行为”的一个模糊向量

$$A_1^* = (0.28, 0.28, 0.16, 0.28)$$

则得到“人的安全行为”的综合评价结果为：

$$B_1^* = A_1^* \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = (0.28, 0.28, 0.16, 0.28)$$

$$\begin{bmatrix} 0.309 & 0.429 & 0.082 & 0.162 & 0.018 & 0 \\ 0.376 & 0.324 & 0.250 & 0.050 & 0 & 0 \\ 0.410 & 0.427 & 0.095 & 0 & 0 & 0 \\ 0.400 & 0.275 & 0.250 & 0.075 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= (0.369, 0.356, 0.178, 0.080, 0.050, 0)$$

经过相同的计算得到“机、物的安全状态”、“环境的安全条件”两项的综合评价结果为：

$$B_2^* = (0.221, 0.075, 0.091, 0.176, 0.436, 0)$$

$$B_3^* = (0.102, 0.062, 0.298, 0.277, 0.055, 0)$$

表1 评价因素、权重及等级评价表

项目	内容类别 (权重)	详细项目	等级评价*						详细 项目 权重
			优 秀	良 好	一 般	较 差	很 差	极 差	
人的 安全 行为	领导安全意识 和素质 (0.28)	安全生产第一责任人的工作态度	6	3	1	0	0	0	0.25
		坚持执行“五同时”情况	1	8	1	0	0	0	0.16
		坚持执行“三同时”情况	1	8	1	0	0	0	0.16
		安全机构和人员配备情况	1	8	1	0	0	0	0.08
		管理者接受安全教育和培训情况	7	2	1	0	0	0	0.17
		安全措施费用、安全教育费用、安全奖励费用使用情况	0	0	0	9	1	0	0.18
	职工文化教育 水平和安全 知识素质 (0.28)	职工文化结构	1	8	1	0	0	0	0.16
		职工技术等级结构	1	8	1	0	0	0	0.16
		职工安全教育和培训情况	8	1	1	0	0	0	0.25
		危险岗位职工和班长反事故演练情况	8	1	1	0	0	0	0.18
		职工遵守工艺和劳动纪律情况	0	1	7	2	0	0	0.25
	安全部门的 职能作用 (0.16)	建立和健全安全法规制度	8	1	1	0	0	0	0.125
		监督检查工艺规程和有关规则的正确性	8	1	1	0	0	0	0.125
		开展安全教育和培训	8	1	1	0	0	0	0.200
		现场安全检查	1	8	1	0	0	0	0.125
		监督隐患整改	1	8	1	0	0	0	0.125
		劳动护具和保健管理	1	8	1	0	0	0	0.125
	执行安全生产规章制度 情况 (0.28)	事故管理	1	8	1	0	0	0	0.175
		执行安全生产责任制情况	8	1	1	0	0	0	0.25
		执行安全管理制度情况	0	1	7	2	0	0	0.25
执行工艺规程情况		0	8	1	1	0	0	0.25	
主要生产设备 完好率及 可靠性 (0.30)	执行安全操作规程情况	8	1	1	0	0	0	0.25	
	火工品压合设备	0	0	7	2	1	0	0.200	
	压药设备	8	1	1	0	0	0	0.125	
	拧紧药柱设备	0	0	0	2	8	0	0.335	
	引信包装设备	0	0	0	2	8	0	0.340	
	仪器设备完好 及可靠性 (0.20)	温度、压力、计量等检测仪表	8	1	1	0	0	0	0.33
		工、卡、量具及专用工艺设备	8	1	1	0	0	0	0.17
		各种仪表开关	8	1	1	0	0	0	0.25
		主要仪表设备及新旧程度	1	8	1	0	0	0	0.25
	安全装置及其 有效性 (0.20)	防爆护板	0	0	0	2	8	0	0.67
防护罩		0	0	0	8	2	0	0.33	
电气防爆及 防静电与避雷 (0.16)		电机符合防爆等级要求	8	2	0	0	0	0	0.30
		危险场所电气电路设施及用电设备符合要求	0	0	0	2	8	0	0.30
	电气设备接地、避雷接地完好, 定期检查符合要求	0	0	0	2	8	0	0.20	
	避雷设备覆盖面足够大且安装良好	0	0	8	2	0	0	0.20	
能源动力 安全保障 (0.14)	配电室及配电线路	0	0	0	2	8	0	0.625	
	仪表气源充足	8	2	0	0	0	0	0.125	
	蒸汽供给	8	2	0	0	0	0	0.125	
	事故电源系统	0	0	0	2	8	0	0.125	
工房建筑设施 (0.30)	主体结构	0	0	0	2	8	0	0.70	
	门窗地面	0	1	8	1	0	0	0.15	
	安全通道及出口	0	1	8	1	0	0	0.15	
工艺设备 与布局 (0.22)	工艺设备布置	0	1	8	1	0	0	0.50	
	工艺路线布置	0	0	0	2	8	0	0.25	
	成品半成品定置管理	0	1	8	1	0	0	0.25	
作业环境 文明卫生 (0.16)	通风设施	0	1	8	1	0	0	0.15	
	降温与采暖设施	0	0	0	2	8	0	0.40	
	采光	8	2	0	0	0	0	0.15	
	噪声	8	2	0	0	0	0	0.15	
	有害气体和粉尘达标率	0	0	0	2	8	0	0.15	
消防设施和 安全标志 (0.16)	消防水源消防车消火栓	0	1	8	1	0	0	0.50	
	灭火器材	8	2	0	0	0	0	0.15	
	消防通道	8	2	0	0	0	0	0.15	
	安全色与安全标志	8	2	0	0	0	0	0.20	
急救器 (0.16)	事故照明	0	0	0	2	8	0	0.35	
	事故急救	0	0	1	8	1	0	0.65	

*评价矩阵各列是专家赞同的人数。

2.3 等级参数评价

上述评价结果 B_1^* 、 B_2^* 、 B_3^* 是一个等级模糊子集, 即 $B^* = (b_1, b_2, \dots, b_6)$ 。为了充分利用 B^* 所反映的信息, 不采用按“最大隶属度原则”取最大的 b_j 所对应的等级 V_j 作为评价结果, 而是设抉择评语级中各等级 V_j 的参数列向量

$$C = (c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6)^T = (1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0)^T,$$

这样, 就有:

$$\mu = B^* \cdot C = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$$

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_6 \end{bmatrix} = \sum_{j=1}^6 b_j c_j$$

则“人的安全行为”的达标率为:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= B_1^* \cdot C \\ &= (0.369, 0.356, 0.178, 0.080, 0.050, 0) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0.8 \\ 0.6 \\ 0.4 \\ 0.2 \\ 0 \end{bmatrix} = 0.80$$

“机、物的安全状态”的达标率为:

$$\begin{aligned} \mu_2 &= B_2^* \cdot C \\ &= (0.221, 0.075, 0.091, 0.176, 0.436, 0) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0.8 \\ 0.6 \\ 0.4 \\ 0.2 \\ 0 \end{bmatrix} = 0.49$$

“环境的安全条件”的达标率为:

$$\begin{aligned} \mu_3 &= B_3^* \cdot C \\ &= (0.102, 0.062, 0.298, 0.277, 0.055, 0) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0.8 \\ 0.6 \\ 0.4 \\ 0.2 \\ 0 \end{bmatrix} = 0.45$$

不安全隐患系数 K 值为:

$$K = 6.1(1-\mu_1)(1-\mu_2) + 2.2(1-\mu_1)(1-\mu_3) + 1.7(1-\mu_2)(1-\mu_3) = 1.32$$

“人-机-环”系统安全管理综合评价安全级别划分见表2。

通过计算, 得出“人的安全行为”的达标率 $\mu_1=0.80$, 根据评价分级标准, 属于“良好”级别; “机(物)的安全状态”的达标率 $\mu_2=0.49$, “环境的安全条件”的达标率 $\mu_3=0.45$, 属于“较差”级别。评价结果说明, “人的安全行为”控制较好, 安全管理有效性高; “机、物的安全状态”、“环境的安全条件”安全管理有效性低, 危险因素大都未受到控制, 由潜在危险发展成显现事故的可能性增大。机(物)、环境中存在着较严重的薄弱环节, 需采取行之有效的措施, 提高机(物)、环境的安全性。

表2 安全管理综合评价安全级别

级 别	优秀	良好	一般
达标率	1~0.90	0.89~0.70	0.69~0.50
级 别	较差	很差	极差
达标率	0.49~0.30	0.29~0.10	0~0.09

3 结论与分析

用模糊数学的综合评价法对系统的安全与危险进行定量评价, 能较全面地反映系统安全问题的各影响因素的综合信息, 评价过程程序化、客观性强, 受人为因素影响较小。不论是任何一个专家组, 只要针对同一评价对象, 其评价结果相差不大。实践证明, 采用安全检查表, 对同一评价对象进行评价, 往往是不同的专家组得出不同的结果。

模糊数学综合评价法可以用于火工品装配工房危险源系统安全管理的综合评价, 其方法是可行的, 评价结果是可靠的。

参考文献:

- [1] 张国顺. 危险源评估与安全生产保障体系 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1999: 30~52.
- [2] 郭振龙. 工业装置安全卫生预评价方法 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 65~69.