

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.08.010

基于熵权模糊综合评判的弹药处废系统安全风险评估

刘江^{1,2}, 凌丹¹, 肖振林¹

(1. 电子科技大学机械电子工程学院, 成都 610054;
2. 中国人民解放军 78618 部队, 成都 610100)

摘要: 为解决弹药处废系统安全风险评估中定性指标的定量处理问题, 采用熵权模糊综合评判进行评估。对存在的危险性进行定性和定量分析, 确定系统的风险等级, 在一定程度上避免了主观因素的影响, 客观地反映了系统的安全水平。实例证明了该方法的有效性。

关键词: 风险评估; 熵权法; 模糊综合评判; 弹药处废

中图分类号: TJ410.89 **文献标志码:** A

Security Risk Assessment of Scraped Ammunition Disposing System Based on Entropy Weight and Fuzzy Comprehensive Evaluation

Liu Jiang^{1,2}, Ling Dan¹, Xiao Zhenlin¹

(1. College of Mechanical & Electronic Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. No. 78618 Unit of PLA, Chengdu 610100, China)

Abstract: A method adopting entropy weight and fuzzy comprehensive evaluation to solve the problem in quantitative disposal of qualitative index in the security risk assessment of scraped ammunition is proposed. The method can be used to analyze the existing danger quantitatively and qualitatively and confirm the risk level of the system. It can reflect the system safety level objectively for avoiding the influence of subject factors. Finally, the method is verified by the piratical example and can be used on scraped ammunition disposing system efficiently.

Keywords: risk assessment; entropy weight method; fuzzy comprehensive evaluation; scraped ammunition dispose

0 引言

报废弹药处理是一项危险性很高的工作, 在处废工作前对处废系统进行安全评估十分必要。肖龙等^[1]从信息安全风险评估的原理和研究现状入手, 提出了基于层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)和模糊综合评判的信息安全风险的方法。顾晓辉等^[2]给出了风险的基本概念和特有属性, 结合弹药系统的特点, 利用概率统计方法计算的风险度和用费用法计算的技术风险因子估计新型弹药系统风险。李聪波等^[3]提出了基于风险矩阵和模糊集理论的绿色制造实施风险评估方法。

目前的评价方法对不安全隐患系数的取值一般采用直观经验处理法, 受人为主观因素影响比较大, 不能准确反映出系统的风险程度。因此, 笔者针对现有方法的不足, 用熵权法对因素集的权值进行修正, 采用模糊综合评判法对存在的危险性进行定性和定量分析, 确定弹药处废系统的安全水平。

1 基于熵权模糊综合评判的系统安全风险评估数学模型

采用熵权法对影响因素的相对权重值进行修

正, 然后将因素权重值排序, 作横向比较, 为采取相关措施提供有力依据; 模糊综合评判根据专家对系统的评价, 综合得到系统的风险等级, 从而提高对系统安全风险认识的针对性和紧迫感, 采取有效安全防范措施, 确保系统的安全。

1.1 建立因素集

对于复杂系统, 因素集 U 是由 n 类影响评价对象的因子集 $U_i (i=1, 2, \dots, n)$ 组成, 其中每个因子集 U_i 又包含 $s_i (s_i=1, 2, \dots)$ 个因素:

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\} \quad (1)$$

$$U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{is_i}\} \quad (2)$$

式中: $U_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示影响评价对象的第 i 类因子集; $u_{ij} (j=1, 2, \dots, s_i)$ 表示第 i 类因素中第 j 个因素^[3]。每类因子集所含因素数目 s_i 可以不同, 但必须满足以下条件^[4]:

$$\bigcup_{i=1}^n U_i = U; U_i \cap U_j = \emptyset; i \neq j \quad (3)$$

收稿日期: 2011-03-28; 修回日期: 2011-05-18

作者简介: 刘江(1978—), 男, 四川人, 硕士研究生, 从事弹药处废工作和机械系统可靠性优化设计研究。

1.2 确定因素评价集及相应分值集

因素集中各因素所处的状态可以用高低、大小、长短及优劣来模糊描述，可以分为“高，较高，一般，较低，低”或“好，较好，一般，较差，差”等 m 个等级。这个状态集合称为因素评价集

$$V_{ij} = \{v_{ij1}, v_{ij2}, \dots, v_{ijm}\} \quad (4)$$

其中： v_{ijm} 表示第 i 类第 j 个因素的第 m 个状态等级。

1.3 建立权重集

权重表示各因素对系统可靠水平的影响程度，反映了各因素在综合决策中所占有的地位和作用，直接影响到决策结果。 w_i 为类因素 U_i 的权重，可视作为该类因素子集 U_i 对“重要”的隶属度，故权重集可看作是类因素集上的模糊集合：

$$\tilde{W} = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (5)$$

同理，子因素权重集为：

$$\tilde{W}_i = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{is_i}\} \quad (6)$$

在以往的模糊综合评判当中，权重往往是由专家打分法得到，选取专家不同，得出的权重也不同，主观随机性大，而信息学中的熵权是对不确定性的度量，取决于事物的客观属性。笔者用熵权来获取个因素的权重，减少专家偏好带来的主观误差。按照各类因素的重要程度建立权重备择集^[5]如下：

$$G = \{0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0\} \quad (7)$$

若备择集中第 q 个元素的隶属度为 r_{iq} ，则第 i 类影响因素的评判集为：

$$R'_i = \{r'_{i1}, r'_{i2}, r'_{i3}, r'_{i4}, r'_{i5}, r'_{i6}, r'_{i7}, r'_{i8}, r'_{i9}, r'_{i10}\} \quad (8)$$

由此可得权重评判矩阵：

$$R' = \begin{pmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{110} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{210} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r'_{n1} & r'_{n2} & \dots & r'_{n10} \end{pmatrix} \quad (9)$$

式中： r'_{iq} 表示对第 i 类影响因素作出第 q 级评判的专家人数比例。

权重评判矩阵是由专家打分法得到，带有主观性，需要用熵权进行修正。若有 l 个专家打分，熵权法公式中的权重熵为：

$$e_i = -k \sum_{q=1}^{10} f_{iq} \ln f_{iq} \quad (10)$$

其中 $k = 1/\ln l$

$$f_{iq} = r'_{iq} / \sum_{q=1}^{10} r'_{iq} \quad (11)$$

$$w_i = \frac{1 - e_i}{n - \sum_{i=1}^n e_i} \quad (12)$$

修正之后得到类因素权重集为：

$$\tilde{W} = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (13)$$

1.4 一级模糊综合评判

一级模糊综合评价的基本思路是应用模糊变换原理，先按每个因素单独评价，然后再按所有因素进行综合评价。对第 i 类中第 j 个因素 u_{ij} 进行评价，评价对象隶属于评价集中第 m 个等级的隶属度，建立一级模糊综合评判的单因素评判矩阵 \tilde{R}_i ：

$$\tilde{R}_i = \begin{pmatrix} r_{i11} & \dots & r_{i1p} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{is_i1} & \dots & r_{is_i p} \end{pmatrix} \quad (14)$$

评判矩阵 \tilde{R}_i 可通过若干有关人员按评价集中各影响因素的内容以及通过对被评对象的相互比较，分别在 p 个等级上作属于或不属于的二值判断，经统计处理最后得到相应的评判矩阵。

由模糊变换可得到第 i 类因素的模糊评价集为：

$$\tilde{B}_i = \tilde{W}_i \circ \tilde{R}_i = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{is_i}\} \circ \begin{pmatrix} r_{i11} & \dots & r_{i1p} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{is_i1} & \dots & r_{is_i p} \end{pmatrix} = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ip}\} \quad (15)$$

式中：符号“ \circ ”为模糊算子，为了尽量保留全部的有效信息，采用实数加乘法计算模型 $M(\cdot, +)$ 进行计算：

$$b_{ip} = \sum_{j=1}^{s_i} (w_{ij} \cdot r_{ijm}) \quad m = 1, 2, \dots, p \quad (16)$$

1.5 二级模糊评判

一级模糊综合评判的评判矩阵 $B_i (i=1, 2, \dots, n)$ 可以作为二级模糊综合评判的单因素评判集，由此得

到单因素评价矩阵为:

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} \tilde{B}_1 \\ \vdots \\ \tilde{B}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{W}_1 \circ \tilde{R}_1 \\ \vdots \\ \tilde{W}_n \circ \tilde{R}_n \end{pmatrix} \quad (17)$$

二级模糊综合评价集为:

$$\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R} = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \circ \{\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \dots, \tilde{b}_n\} \quad (18)$$

将所得的综合评价集 \tilde{B} 和评价集分值集 C 乘, 最后可得到该系统综合评价分值:

$$d = \tilde{B} \cdot C^T \quad (19)$$

2 实例分析

报废弹药处理系统包括从事弹药处废的人员、处废设备、工房建筑以及处废环境 4 个部分。对弹药处废系统可以分为多层次综合评判, 在此仅对级别最高的 2 层进行综合评判。弹药处理系统安全风险评价指标体系如图 1。

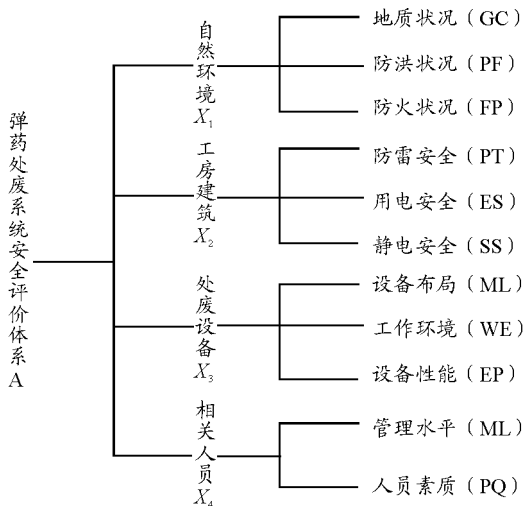


图 1 某弹药处理系统安全风险评价指标体系

建立弹药处理系统一级指标因素集为:

$$X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$$

其中: X_1 为自然环境, X_2 为工房建筑, X_3 为处废设备, X_4 为相关人员。

二级指标因素集为:

$$X_1 = \{X_{11}, X_{12}, X_{13}\}$$

$$X_2 = \{X_{21}, X_{22}, X_{23}\}$$

$$X_3 = \{X_{31}, X_{32}, X_{33}\}$$

$$X_4 = \{X_{41}, X_{42}\}$$

其中: X_{11} 为地质状况; X_{12} 为防洪状况; X_{13} 为防火状况; X_{21} 为防雷安全; X_{22} 为用电安全; X_{23} 为静电安

全; X_{31} 为设备布局; X_{32} 为工作环境; X_{33} 为设备性能; X_{41} 为管理水平; X_{42} 为人员素质。

采用专家打分得出权重评判矩阵, 根据熵权原理, 由式 (10)~式 (12) 得出因素权重集:

$$\tilde{W} = \{0.99, 0.20, 0.20, 0.51\}$$

$$\tilde{W}_1 = \{0.10, 0.26, 0.64\}$$

$$\tilde{W}_2 = \{0.43, 0.43, 0.14\}$$

$$\tilde{W}_3 = \{0.14, 0.43, 0.43\}$$

$$\tilde{W}_4 = \{0.25, 0.75\}$$

由以上结果可以求得第 2 层指标的相对权重以及排序如表 1。

表 1 二级指标权重及排序

| 二级指标 | 风险值权重 | 排序 |
|----------|---------|----|
| X_{11} | 0.009 0 | 6 |
| X_{12} | 0.023 4 | 6 |
| X_{13} | 0.057 6 | 4 |
| X_{21} | 0.086 0 | 3 |
| X_{22} | 0.086 0 | 3 |
| X_{23} | 0.028 0 | 5 |
| X_{31} | 0.028 0 | 5 |
| X_{32} | 0.086 0 | 3 |
| X_{33} | 0.086 0 | 3 |
| X_{41} | 0.127 5 | 2 |
| X_{42} | 0.382 5 | 1 |

从表 1 可以看出: 弹药处废系统中人员素质和管理水平的风险权重值高, 说明整个系统中人员素质和管理水平风险程度高, 因此, 在平时应加强作业人员和管理人员的培训。

设相应的评价分值集为 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$, 其中: v_1 为好; v_2 为较好; v_3 为一般; v_4 为差; v_5 为较差。用打分或投票的形式, 对被评判对象(某弹药处废机构)各指标权重进行评判。某等级评价的次数整理如表 2。

表 2 专家评判统计

| 影响因素 | 好 | 较好 | 一般 | 差 | 较差 |
|----------|---|----|----|---|----|
| X_{11} | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| X_{12} | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| X_{13} | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| X_{21} | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| X_{22} | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| X_{23} | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| X_{31} | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| X_{32} | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| X_{33} | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| X_{41} | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| X_{42} | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 |

由表 2 可得模糊关系矩阵:

$$\tilde{R}_1 = \begin{bmatrix} 0.57 & 0.43 & 0 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0.43 & 0.14 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0.57 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{R}_2 = \begin{bmatrix} 0.57 & 0.29 & 0.14 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0.57 & 0 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0.43 & 0.14 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{R}_3 = \begin{bmatrix} 0.43 & 0.43 & 0.14 & 0 & 0 \\ 0.57 & 0.43 & 0 & 0 & 0 \\ 0.57 & 0.29 & 0.14 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{R}_4 = \begin{bmatrix} 0.43 & 0.57 & 0 & 0 & 0 \\ 0.43 & 0.29 & 0.14 & 0.14 & 0 \end{bmatrix}$$

由 $\tilde{B}_i = \tilde{W}_i \circ \tilde{R}_i$ 可计算出单层次评价结果:

$$\tilde{B}_1 = \tilde{W}_1 \circ \tilde{R}_1 = [0.442 \ 9 \ 0.520 \ 0 \ 0.037 \ 1 \ 0 \ 0]$$

$$\tilde{B}_2 = \tilde{W}_2 \circ \tilde{R}_2 = [0.490 \ 0 \ 0.428 \ 6 \ 0.081 \ 4 \ 0 \ 0]$$

$$\tilde{B}_3 = \tilde{W}_3 \circ \tilde{R}_3 = [0.551 \ 4 \ 0.367 \ 1 \ 0.081 \ 4 \ 0 \ 0]$$

$$\tilde{B}_4 = \tilde{W}_4 \circ \tilde{R}_4 = [0.428 \ 6 \ 0.357 \ 1 \ 0.107 \ 1 \ 0.107 \ 1 \ 0]$$

把以上单层次评价结果综合起来, 得到总的模糊关系矩阵:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0.442 \ 9 & 0.520 \ 0 & 0.037 \ 1 & 0 & 0 \\ 0.490 \ 0 & 0.428 \ 6 & 0.081 \ 4 & 0 & 0 \\ 0.551 \ 4 & 0.367 \ 1 & 0.081 \ 4 & 0 & 0 \\ 0.428 \ 6 & 0.357 \ 1 & 0.107 \ 1 & 0.107 \ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R} = [0.466 \ 7 \ 0.388 \ 2 \ 0.090 \ 5 \ 0.054 \ 6 \ 0]$$

为了更直观地表现评价结果, 采用百分位系统对评价集作量化, 见表 3。

表 3 评价集量化表

| 等级 | 区间 | 中值 C |
|----|--------|------|
| 好 | 90~100 | 95 |
| 较好 | 80~90 | 85 |
| 一般 | 70~80 | 75 |
| 差 | 60~70 | 65 |
| 较差 | 50~60 | 55 |

$$W = \tilde{B}C = [0.466 \ 7 \ 0.388 \ 2 \ 0.090 \ 5 \ 0.054 \ 6 \ 0]$$

$$[95 \ 85 \ 75 \ 65 \ 55]^T = 87.67$$

某弹药处废系统熵权模糊综合评判得分为 87.67, 对应评价等级为“良好”, 则此弹药处废系统为安全达标机构。

3 结束语

实例证明该方法科学、有效, 可以很好地适用于弹药处废系统安全风险评估。

参考文献:

[1] 肖龙, 李千目. 基于AHP和模糊综合评判的信息安全风险评估[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(22): 82-85.
 [2] 顾晓辉, 王晓鸣, 赵有守. 新型弹药系统风险评估[J]. 南京理工大学学报, 2006, 26(3): 259-262.

[3] 李聪波, 刘飞, 等. 基于风险矩阵和模糊集的绿色制造实施风险评估方法[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 209-214.
 [4] 赵德致, 温卫东, 段成美. 基于模糊决策的机械可靠性分配[J]. 机械科学与技术, 2003, 22(7): 104-106.
 [5] 孙春一, 石彬. 基于熵权模糊综合评判的换热器系统可靠性分配[J]. 石油化工设备, 2010, 39(4): 27-30.

(上接第 12 页)

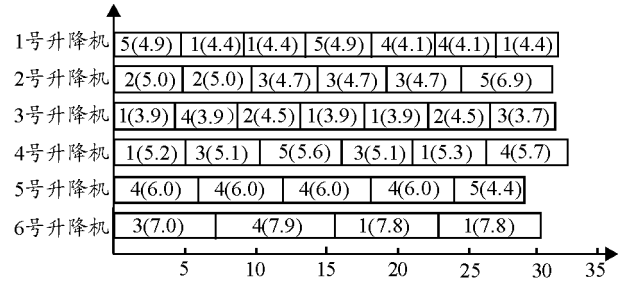


图 4 调度任务执行甘特图

4 结论

仿真结果表明了算法的有效性, 运算得到的调度次序执行方案有效衔接了两阶段的保障工作, 解决了保障过程中的窝工和怠工问题, 保证了挂弹工作的顺利进行, 提高了保障效率。

参考文献:

[1] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 251-254.
 [2] 邹明, 姜礼平, 苏思. 航空装备保障资源调度[J]. 兵工自动化, 2009, 28(11): 24-26.
 [3] 陈希林, 季新源, 粟嘉立. 航空弹药挂载方案优化模型及其遗传算法求解[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(16): 5175-5178.
 [4] Sakawa M, Kubota R. Two-objective fuzzy job shop scheduling through genetic algorithm[J]. Electronics and Communication, 2001, 84(4): 60-68.
 [5] 王万良, 吴启迪. 生产调度智能算法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
 [6] 李敏强, 寇纪淞, 林丹, 等. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
 [7] 王小平, 曹立明. 遗传算法理论与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2006.
 [8] 江建. 精英自适应混合遗传算法及其实现[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(27): 34-35.
 [9] Baskar S, Subbaraj P. Performance of hybrid real coded genetic algorithms[J]. International Journal of Computational Engineering Science, 2001, 2(4): 583-601.
 [10] 朱清新, 杨凡, 钟黔川. 计算机算法设计与分析导论[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.