

## 【兵器与装备】

## 基于 AHP 的弹药技术检查危险性评估指标\*

陈楠,安振涛,秦翔宇,周彬

(军械工程学院,石家庄 050003)

**摘要:**建立了弹药技术检查危险性评估指标体系,采用层次分析法对指标体系进行定量分析,得出了诸危险因素的危险性权重和排序.分析结果初步确定了弹药技术检查中的重大危险因素,为开展有针对性的防护研究提供了参考.

**关键词:**层次分析法;危险性评估;指标体系;弹药技术检查

**中图分类号:**TJ41

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2008)04-0018-03

弹药技术检查是指检查人员依据有关规定、规范,借助于工量具、仪器,按照操作规程对弹药进行非破坏性(或可修复性)的检查,以判定其质量状况.它是弹药质量检测中最普遍、最基本的手段,无论进行哪一种检测,技术检查都是首先进行的项目<sup>[1]</sup>.由于弹药具有燃烧和爆炸特性,且检查过程中涉及到人员、场地、设施、仪器等诸多因素,其中任何一个因素呈现出不安全状态,都有可能对弹药及其零部件意外着火,酿成事故.目前弹药技术检查的安全评价主要运用安全检查表法.该方法虽然能较好的反映出存在的主要危险因素,但无法衡量各危险因素的危险性大小,不利于有针对性地开展事故预防工作.因此,在危险因素辨识的基础上,建立弹药技术检查危险性评估指标,并对其定量分析,对进一步确定重大危险因素和研究有针对性的防护措施具有重要的参考价值.

## 1 危险性评估指标体系的构建

根据系统工程的基本理论,以及指标体系建立的系统性、实用性和完整性原则,结合弹药技术检查中存在大量技术操作的特点,将弹药技术检查的危险性划分为5类,并对各类指标中存在的主要危险因素进行了具体的说明,初步确定了弹药技术检查危险性评估的指标体系及其层次结构,如表1所示.

## 2 基于层次分析法的权重计算

层次分析法(AHP)是美国运筹学家 Satty 提出的一种解决多因素多目标规划问题的

综合决策方法.它把复杂的问题分解为各个组成因素,将这些因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构<sup>[2]</sup>,以上一层某因素为准则,将隶属于的下一层各因素进行两两比较,确定它们的相对重要性,最后通过计算得到方案层中诸因素相对总目标的最终权重和重要性排序.层次分析法能较好地结合主观判断与定量计算,合理地处理危险因素的不确定性和主观判断的模糊性,因而广泛应用于安全评价领域.

### 2.1 构造判断矩阵

根据表1所示的层次结构,设  $U$  为总目标,  $U_i$  为准则层因素,  $U_{ij}$  为方案层因素.通过对以往发生在弹药技术检查中的事故案例进行分析,结合各危险因素的易发性和危险程度,以及弹药安全管理专家和技术检查人员的意见,采用9级标度法对隶属于同一准则的各因素进行危险性两两比较,构造出各层次的判断矩阵,如表2~7所示.

### 2.2 指标权重计算

本研究采用方根法进行指标权重的计算,经一致性检验合格的特征向量  $V$  的元素  $v_i$  即为相应指标的权重,主要步骤为:

- 1) 计算判断矩阵每一行元素的乘积:  $M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i = 1, 2, \dots, n.$
- 2) 计算  $M_i$  的  $n$  次方根:  $w_i = \sqrt[n]{M_i}, i = 1, 2, \dots, n.$
- 3) 对  $w_i$  归一化处理:  $v_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}.$
- 4) 计算最大特征根: 设  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T, \lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AV)_i}{v_i}.$

\* 收稿日期:2008-04-08

作者简介:陈楠(1983—),男,四川成都人,硕士研究生,主要从事装备运用环境与防护技术方面的研究.

5) 一致性检验:  $C. I. = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$ ,  $C. R. = \frac{C. I.}{R. I.}$ .

当  $C. R. \leq 0.1$  时,认为判断矩阵有满意的一致性;当  $C. R. > 0.1$  时,认为判断矩阵的一致性偏差太大,需调整判断矩阵的元素值并按上述步骤重新计算<sup>[2]</sup>.

弹药技术检查危险性评估各层次指标权重计算结果如表 2~7 所示,各判断矩阵的一致性检验结果如表 8 所

示.

2.3 指标危险性总排序

方案层中各危险因素相对总目标的权重  $v_{ij}^{(1)} = v_i^{(1)} \times v_{ij}^{(2)}$ ,其中:  $v_i^{(1)}$  为准则层中各类指标相对总目标的权重,  $v_{ij}^{(2)}$  为方案层中各危险因素相对其隶属的指标的权重. 各危险因素相对总目标的权重和危险性总排序如表 9 所示.

表 1 弹药技术检查危险性评估指标体系

U 弹 药 技 术 检 查 危 险 性 评 估 指 标 体 系	U <sub>1</sub> 场地、 设施指标	U <sub>11</sub> 场地不符合设防安全距离和建筑防火、防爆、防雷要求
		U <sub>12</sub> 场地无消防设施、器材,或设置在不明显和不便于取用的地方
		U <sub>13</sub> 电气线路存在随意拆改和乱接的现象,照明线和动力线未分开
		U <sub>14</sub> 电气设备布置不合理,未全部采用防爆型,或接地不可靠
		U <sub>15</sub> 场地未采用碰撞不发火地面或铺设导电胶板
		U <sub>16</sub> 工作台上未铺设防静电胶板,或接地不可靠
	U <sub>2</sub> 工具、仪 器、材料指标	U <sub>21</sub> 检查中使用非专用工具或有故障的专用工具
		U <sub>22</sub> 打孔工具无限位装置,或作用不可靠
		U <sub>23</sub> 启封塑料包装筒(盒)的工具无接地装置
		U <sub>24</sub> 检查中使用无水乙醇、航空汽油等易燃品
	U <sub>3</sub> 检查 人员指标	U <sub>31</sub> 违反弹药技术检查操作规范,任意拆卸玩弄检查样品
		U <sub>32</sub> 带火柴、打火机等火种或穿钉铁掌的鞋进入检查场地
		U <sub>33</sub> 擅自离开正在进行弹药检查的工作台,或在一旁嬉笑打闹
		U <sub>34</sub> 缺乏事故临界状态的辨识能力和应急操作技能
		U <sub>35</sub> 检查人员的心理或生理状况不佳
	U <sub>4</sub> 技术 操作指标	U <sub>41</sub> 使用拔钉器时用力过猛,使包装箱内弹药及配件受到过大振动
U <sub>42</sub> 检查过程中将弹药立方于工作台上		
U <sub>43</sub> 引信从工作台上跌落		
U <sub>44</sub> 在底火检查时,量具或硬物撞击底火		
U <sub>45</sub> 在整装迫击炮弹在检查过程中跌落或被硬物撞击		
U <sub>46</sub> 在检查火箭弹点火装置时,检查电流超过 30 mA 或通电时间大于 10 s		
U <sub>47</sub> 火箭弹其他项目检查时,未将电发火的火箭弹短路		
U <sub>5</sub> 组织 管理指标	U <sub>51</sub> 作业前未组织安全教育和技术培训	
	U <sub>52</sub> 未建立安全监督小组,无完善的事故应急救援措施	
	U <sub>53</sub> 火箭弹的检查未安排在防爆工房内进行	
	U <sub>54</sub> 未指定专业人员进行手榴弹的技术检查	
	U <sub>55</sub> 未及时组织清理检查场地上堆放的过量弹药样品	

表 2 判断矩阵 U - U<sub>i</sub>

U	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	U <sub>5</sub>	权重 v <sub>i</sub>
U <sub>1</sub>	1	1/3	1/6	1/4	1/5	0.046 3
U <sub>2</sub>	3	1	1/5	1/3	1/4	0.082 6
U <sub>3</sub>	6	5	1	3	2	0.424 7
U <sub>4</sub>	4	3	1/3	1	1/2	0.172 7
U <sub>5</sub>	5	4	1/2	2	1	0.273 7

表 3 判断矩阵 U<sub>1</sub> - U<sub>ij</sub>

U <sub>1</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>12</sub>	U <sub>13</sub>	U <sub>14</sub>	U <sub>15</sub>	U <sub>16</sub>	权重 v <sub>i</sub>
U <sub>11</sub>	1	1/2	1/8	1/4	1/7	1/3	0.034 4
U <sub>12</sub>	2	1	1/7	1/3	1/5	1/2	0.052 5
U <sub>13</sub>	8	7	1	4	3	5	0.441 7
U <sub>14</sub>	4	3	1/4	1	1/3	2	0.128 1
U <sub>15</sub>	7	5	1/3	3	1	4	0.260 1
U <sub>16</sub>	3	2	1/5	1/2	1/4	1	0.083 2

表4 判断矩阵  $U_2 - U_{2j}$

$U_2$	$U_{21}$	$U_{22}$	$U_{23}$	$U_{24}$	权重 $v_i$
$U_{21}$	1	1/3	3	1/5	0.121 4
$U_{22}$	3	1	4	1/3	0.256 8
$U_{23}$	1/3	1/4	1	1/6	0.062 4
$U_{24}$	5	3	6	1	0.559 4

表5 判断矩阵  $U_3 - U_{3j}$

$U_3$	$U_{31}$	$U_{32}$	$U_{33}$	$U_{34}$	$U_{35}$	权重 $v_i$
$U_{31}$	1	3	4	6	7	0.475 1
$U_{32}$	1/3	1	3	5	6	0.270 2
$U_{33}$	1/4	1/3	1	4	5	0.151 6
$U_{34}$	1/6	1/5	1/4	1	3	0.065 4
$U_{35}$	1/7	1/6	1/5	1/3	1	0.037 7

表6 判断矩阵  $U_4 - U_{4j}$

$U_4$	$U_{41}$	$U_{42}$	$U_{43}$	$U_{44}$	$U_{45}$	$U_{46}$	$U_{47}$	权重 $v_i$
$U_{41}$	1	1/3	1/6	1/4	1/9	1/5	1/7	0.022 3
$U_{42}$	3	1	1/5	1/3	1/8	1/4	1/6	0.035 1
$U_{43}$	6	5	1	4	1/4	2	1/2	0.152 2
$U_{44}$	4	3	1/4	1	1/7	1/3	1/5	0.056 3
$U_{45}$	9	8	4	7	1	5	3	0.408 8
$U_{46}$	5	4	1/2	3	1/5	1	1/3	0.103 4
$U_{47}$	7	6	2	5	1/3	3	1	0.221 9

表7 判断矩阵  $U_5 - U_{5j}$

$U_5$	$U_{51}$	$U_{52}$	$U_{53}$	$U_{54}$	$U_{55}$	权重 $v_i$
$U_{51}$	1	1/3	5	4	3	0.263 0
$U_{52}$	3	1	6	5	4	0.468 8
$U_{53}$	1/5	1/6	1	1/3	1/4	0.044 5
$U_{54}$	1/4	1/5	3	1	1/3	0.079 3
$U_{55}$	1/3	1/4	4	3	1	0.144 4

表8 一致性检验

	$U - U_i$	$U_1 - U_{1j}$	$U_2 - U_{2j}$	$U_3 - U_{3j}$	$U_4 - U_{4j}$	$U_5 - U_{5j}$
$\lambda_{max}$	5.163 8	6.188 8	4.147 0	5.350 1	7.459 0	5.313 6
<i>C. I.</i>	0.041 0	0.037 8	0.049 0	0.087 5	0.076 5	0.078 4
<i>R. I.</i>	1.12	1.24	0.90	1.12	1.32	1.12
<i>C. R.</i>	0.036 6	0.030 5	0.054 4	0.078 1	0.058 0	0.070 0
结果	合格	合格	合格	合格	合格	合格

表9 危险性总排序

危险性总排序	指标序号	相对于总目标的权重	危险性总排序	指标序号	相对于总目标的权重	危险性总排序	指标序号	相对于总目标的权重
1	$U_{31}$	0.201 8	10	$U_{34}$	0.027 8	19	$U_{21}$	0.010 0
2	$U_{52}$	0.128 3	11	$U_{43}$	0.026 3	20	$U_{44}$	0.009 7
3	$U_{32}$	0.114 8	12	$U_{54}$	0.021 7	21	$U_{42}$	0.006 1
4	$U_{51}$	0.072 0	13	$U_{22}$	0.021 2	22	$U_{14}$	0.005 9
5	$U_{45}$	0.070 6	14	$U_{13}$	0.020 5	23	$U_{23}$	0.005 2
6	$U_{33}$	0.064 4	15	$U_{46}$	0.017 8	24	$U_{16}$	0.003 9
7	$U_{24}$	0.046 2	16	$U_{35}$	0.016 0	25	$U_{41}$	0.003 9
8	$U_{55}$	0.039 5	17	$U_{53}$	0.012 2	26	$U_{12}$	0.002 4
9	$U_{47}$	0.038 3	18	$U_{15}$	0.012 0	27	$U_{11}$	0.001 6

### 3 结果分析

1) 检查人员是危险性最大的指标,其权重为0.424 7.在危险性总排序的前10位中,有隶属于该指标的危险因素  $U_{31}$ ,  $U_{32}$ ,  $U_{33}$  和  $U_{34}$ , 分别居于1, 3, 6, 10位.从结果来看,人的因素是弹药技术检查过程中最主要事故致因,检查人员的安全意识、工作态度、业务能力、身心状况等都会影响到弹药技术检查的安全.违反操作规范极有可能导致弹药

样品的爆炸燃烧,造成严重的后果,所以它是第1危险因素.

2) 组织管理指标的危险性次之,其权重为0.273 7.在危险性总排序的前10位中,有隶属于该指标的危险因素  $U_{52}$ ,  $U_{51}$  和  $U_{55}$ , 分别居于2, 4, 8位.这说明,弹药技术检查中不完善、不科学、不严格的组织管理将增大事故发生的可能性和事故后果的严重性.

3) 技术操作指标的危险性位列第3,其权重为0.172 7.在危险性总排序的前10位中,有隶(下转第32页)

$$\delta_{04} = \{\delta_{04}(1), \delta_{04}(2), \delta_{04}(3)\} = \{0.4, 0.4, 0.2\}$$

$$\delta_{05} = \{\delta_{05}(1), \delta_{05}(2), \delta_{05}(3)\} = \{0.2, 0, 0.2\}$$

$$\delta_{06} = \{\delta_{06}(1), \delta_{06}(2), \delta_{06}(3)\} = \{0.6, 0.4, 0.2\}$$

由上可知,最小差  $\delta_{\min} = 0$ ;最大差  $\delta_{\max} = 0.6$ .

4) 计算关联系数和关联度.

关联系数:取  $\rho = 0.5$ .

$$\zeta_{01} = \{\zeta_{01}(1), \zeta_{01}(2), \zeta_{01}(3)\} = \{0.6, 0.6, 0.43\}$$

$$\zeta_{02} = \{\zeta_{02}(1), \zeta_{02}(2), \zeta_{02}(3)\} = \{0.6, 0.43, 1\}$$

$$\zeta_{03} = \{\zeta_{03}(1), \zeta_{03}(2), \zeta_{03}(3)\} = \{1, 0.6, 0.6\}$$

$$\zeta_{04} = \{\zeta_{04}(1), \zeta_{04}(2), \zeta_{04}(3)\} = \{0.43, 0.43, 0.6\}$$

$$\zeta_{05} = \{\zeta_{05}(1), \zeta_{05}(2), \zeta_{05}(3)\} = \{0.6, 1, 0.6\}$$

$$\zeta_{06} = \{\zeta_{06}(1), \zeta_{06}(2), \zeta_{06}(3)\} = \{0.33, 0.43, 0.6\}$$

关联度:

$$\mu_{01} = \frac{1}{3}(0.6 + 0.6 + 0.43) = 0.5433$$

$$\mu_{02} = \frac{1}{3}(0.6 + 0.43 + 1) = 0.6767$$

$$\mu_{03} = \frac{1}{3}(0.6 + 0.6 + 1) = 0.7333$$

$$\mu_{04} = \frac{1}{3}(0.43 + 0.43 + 0.6) = 0.4867$$

$$\mu_{05} = \frac{1}{3}(0.6 + 1 + 0.6) = 0.7333$$

$$\mu_{06} = \frac{1}{3}(0.33 + 0.43 + 0.6) = 0.4533$$

5) 结果分析.

经过比较得到方案的重要性排序:  $F_3 = F_5 > F_2 > F_1 > F_4 > F_6$ . 排序结果说明方案 3 和方案 5 优于其它待选方

案,且具有同等重要性,装备指挥员可增加评判因素来进一步比较两者的优劣.

## 5 结论

1) 只需要备选方案的评判因素定量评价表,便可以按照程式手工计算出结果,上手快,简单易行.由于其程式分明,所以便于计算机实现.

2) 提供了待选方案价值排序,装备技术保障指挥员可以进一步结合实际任务和要求,作出多种方案选择.

需要指出的是,由于方案各因素定量评价是由相关专家根据预先制度的详细指标和原始数据给出的,其中易受人为主观因素的影响,这一点将会对价值排序产生影响.这就要求我们在实际应用当中要确保获取原始数据的真实性和定量评价的客观性,将主观因素的影响降到最低.

## 参考文献:

- [1] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [2] 蔡美德.预测与决策[M].北京:科学技术出版社,1992.
- [3] 邓聚龙.灰预测与灰决策[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [4] 赵太平,汪伦根.装备技术保障指挥学[M].北京:解放军出版社,2005.

(上接第 20 页)属于该指标的危险因素  $U_{45}, U_{47}$ , 分别居于 5, 9 位. 技术操作虽然危险程度较大, 但发生的可能性较小, 因此危险性小于前 2 类指标.

4) 其他 2 类指标的危险性较小, 权重均小于 0.1. 这主要是由于制定了 GJB2675—1996《弹药作业区安全技术准则》、GJB5102—2004《通用弹药检测设备安全性要求》等标准, 场地的建设和设置, 以及设备、仪器的制造, 都充分考虑了安全问题. 但  $U_{24}$  的危险性排在第 7 位, 检查中应重视无水乙醇、航空汽油等易燃品的使用和储存.

## 4 结束语

构建的弹药技术检查危险性评估指标体系比较合理, 能够反映出检查中存在的主要危险因素, 可以作为评估部队弹药技术检查工作危险性的依据. 基于层次分析法得出的危险性权重和排序, 能较好的衡量主要危险因素的危险

性大小, 居于危险性总排序前 10 位的危险因素可视为重大危险因素, 应予以高度重视和开展有针对性的防护研究.

## 参考文献:

- [1] 安振涛.军械储存与环境控制[M].北京:兵器工业出版社,1998.
- [2] 李祚泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [3] 总装备部通用装备保障部.弹药检测总论[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [4] 沈立.安全评价单元及其划分的有效性分析[J].中国安全科学学报,2006,16(12):130-134.
- [5] 付强,张和平,熊永祥,等.基于层次分析法的消防中队灭火救援能力评估[J].安全与环境学报,2008,8(1):156-159.