

# 基于模糊理论的航天发射场火箭煤油 贮存泄漏风险研究

青 勤<sup>1,2</sup>, 夏本立<sup>2</sup>, 丛继信<sup>2</sup>, 黄智勇<sup>1</sup>

(1 第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025; 2 总装备部后勤部防疫大队, 北京 100101)

**摘 要:** 分析了导致火箭煤油发生泄漏事故的危险因素, 对各影响因素进行了分类, 通过层次分析法确定各因素的权重, 运用模糊综合评价法对泄漏事故风险进行评价。评价结果表明火箭煤油在贮存过程中出现泄漏事故的风险等级为第 4 等级, 即风险处于“较大”级别。

**关键词:** 航天发射场; 火箭煤油; 模糊理论; 泄漏风险

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2009) 05-0060-07

## Study on the leaking risk of rocket kerosene stored on launching site based on fuzzy theory

Qing Qin<sup>1,2</sup>, Xia Benli<sup>2</sup>, Cong Jixin<sup>2</sup>, Huang Zhiyong<sup>1</sup>

(1 The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China;

2 Epidemic Control and Prevention Center, General Equipment Headquarters, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The factors causing leaking of rocket kerosene stored on launching site were analyzed and sorted in the paper. All the fuzzy membership degree of the indexes had been weighed by the analytic hierarchy process (AHP). Based on calculation, the fuzzy comprehensive evaluation method had been established on the fuzzy mathematic theory so as to evaluate the leaking risk of the rocket kerosene storage. The evaluation results indicated that the leaking risk degree was the fourth degree, which is a relative high level.

**Key words:** launching site; rocket kerosene; fuzzy theory; leaking risk

收稿日期: 2009-05-20; 修回日期: 2009-07-15。

作者简介: 青勤 (1984—), 男, 硕士研究生, 研究领域为安全与环境工程。

## 0 引言

油品在长期的贮存过程中, 由于容器腐蚀破损、焊缝脱焊、人员操作失误等原因都可能造成油品泄漏。

火箭煤油的主要成分为碳氢化合物, 其烃族组成包括烷烃、环烷烃、不饱和烃和芳烃等, 属于可燃液体, 在贮存过程中有可能发生泄漏, 当泄漏数量较大时, 其蒸气与空气能形成爆炸混合物, 遇明火或电火花会发生着火和爆炸, 给周围环境和生产、生活设施造成严重的破坏, 带来很大的经济损失和社会影响。因而, 需对航天发射场火箭煤油贮存过程中发生泄漏的危险性进行分析和研究。

现有的一些评价方法在科学性和合理性方面存在欠缺, 有时仅考虑事故中的死伤人数或财产损失, 有时甚至把死伤人数折合成人民币来衡量事故的严重程度, 由此得到的结论不但片面而且缺乏说服力。例如安全检查表法关注的是主要的危险因素和重大危险源, 而忽略了较小问题; 故障类型及影响分析法对系统中的元件故障状态进行分析, 不能全面反映事故的影响因素; 易燃、易爆、有毒重大危险源评价法将计算出的人员伤亡折合成人民币来衡量事故后果, 不能准确反映事故的严重程度。模糊综合评价方法是基于模糊数学理论, 应用模糊变换原理和最大隶属度原则, 结合多因素系统的特征, 考虑与被评价事物相关的各个因素进行总体评价的一种方法, 这种方法应用范围广泛, 是解决多因素复杂问题行之有效的工具。

针对火箭煤油贮存过程中发生泄漏的原因具有多样性、复杂性和不确定性等特点, 本研究采用综合化程度较高的模糊综合评价法对泄漏风险进行评价。

## 1 模糊综合评价法简介

### 1.1 选择评价指标体系

评价指标体系就是影响评测对象最终评价结

果的所有因素的集合, 又称选择因素集, 通常用  $U$  表示

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$$

式中,  $U_i (i=1, 2, \dots, n)$  代表每个影响因素, 每个因素对评价对象的影响程度均可分为  $m$  个等级, 每个等级可以用模糊语言变量表示。

某因素  $U_i$  的等级集可以表示为

$$U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}\}, i=1, 2, \dots, n$$

### 1.2 建立评判集

评判集是评判者对评判对象可能做出的各种总评判结果的集合, 一般以程度语言或评定取值区间作为评价目标, 通常用  $V$  表示, 即

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

元素  $v_i$  代表各种可能的总评判结果。

### 1.3 权重集的确定

因素集中各因素的重要程度不同, 因此需对各因素赋予相应的权数以反映其重要程度。由这些权数组成的集合称为因素权重集, 反映了各因素对评价对象的严重程度。将由各因素权重组成的矩阵记为  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ , 各因素权重应满足归一化条件和非负性条件, 即

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad (a_i \geq 0, i=1, 2, \dots, n)$$

### 1.4 建立因素等级评价矩阵

每一个影响因素都有  $k$  个评价等级和  $n$  个评价指标, 而每一个因素的各个等级对于评价指标都有影响, 其影响程度可用隶属度函数来表示。第  $i$  个因素的评价矩阵  $R_i$  为

$$R_i = \begin{pmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1k} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{in1} & r_{in2} & \dots & r_{ink} \end{pmatrix}$$

### 1.5 一级模糊综合评价

一级模糊综合评价考虑因素集的各个评价等级对评价对象的贡献。作为单因素评价, 第  $i$  个因素的一级模糊评判集为

$$B_i = A_i \circ R_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}) \circ$$

$$\begin{pmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1k} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{in1} & r_{in2} & \dots & r_{ink} \end{pmatrix} = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}) \quad (1)$$

式中,  $\circ$  为模糊矩阵的合成运算, 采用  $M(\cdot, +)$  算法, 其表达式为二级模糊综合评价  $b_{ik} = \sum a_{ij} r_{jk}$ 。

### 1.6 二级模糊综合评价

一级模糊综合评价反映单因素不同评价等级对评价对象的影响。二级模糊综合评价是根据模糊变换原理, 综合考虑各因素对评价结果的影响, 得到的多因素模糊综合评价集, 记为

$$C = A \circ B = (a_1, a_2, \dots, a_n) \circ$$

$$\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1k} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nk} \end{pmatrix} = (c_1, c_2, \dots, c_n) \quad (2)$$

### 1.7 评价集的处理

对二级评价集的处理通常采用最大隶属度原则, 若最大隶属度  $c_k = \max\{c_i\} (1 \leq i, k \leq n)$ , 对应于评价集的评价指标  $v_k$ , 即为最终的评价结果。

## 2 航天发射场火箭煤油贮存泄漏风险评价

根据某新型火箭对发射场的要求, 发射场火箭煤油贮存量大约为 450t, 设计贮罐 2 个。

### 2.1 泄漏风险识别

风险识别包括对火箭煤油危险性的识别和对贮存过程中危险影响因素的识别两方面内容。火箭煤油危险性的识别是指根据火箭煤油的物理化学性质和毒性特性, 对其可能存在的着火、爆炸、中毒及环境污染等潜在危险性进行分析; 危险影响因素识别是指分析贮存过程中可能造成事故、危险或者对事故的形成起一定作用的因素, 以及认识这些因素的作用后果。

#### 2.1.1 火箭煤油的主要危害

##### (1) 毒性

按化学品毒性分级标准, 火箭煤油的毒性属

于实际无毒的 5 级, 在空气中的最大允许浓度为  $300\text{mg}/\text{m}^3$ , 其紧急暴露限值为  $30\text{min } 5\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $60\text{min } 2.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。但是, 长期吸入低浓度煤油蒸气或皮肤经常沾染煤油会引起慢性中毒, 而误服煤油或大量吸入高浓度蒸气会发生急性中毒, 给作业人员的身体造成伤害。

##### (2) 着火和爆炸危险性

火箭煤油的着火和爆炸危险性随其组成的不同而异。其闪点有的低至  $-27^\circ\text{C}$  (美 JP-4), 有的高至  $110^\circ\text{C}$  (美 RJ-5); 其自燃温度有的低至  $200^\circ\text{C}$  (苏 T-1), 有的高至  $258^\circ\text{C}$  (抚顺 T-1); 其爆炸浓度极限一般约 1%~8% (体积)。低闪点燃料的着火和爆炸危险性比高闪点的燃料要大。

火箭煤油蒸气与空气形成的混合物, 一旦与电火花、静电、明火、热源接触, 将被点燃或引起爆炸。虽然火箭煤油与液氧、过氧化氢、红烟硝酸、四氧化二氮接触不自燃, 但是此类混合物一经冲击、受热、火花作用可引起燃烧, 甚至引起爆炸。此外, 火箭煤油和氧化剂的高浓度蒸气混合物也一样存在这种危险性。

#### 2.1.2 危险因素分析

安全原理指出, 在某种情况下事故是否发生以及可能造成的后果具有极大的偶然性, 但都有其深刻的原因, 包括直接原因和间接原因。综合论事故模式基本观点认为, 事故是社会因素、管理因素和过程中的危险因素被偶然事件触发所造成的后果。基于这种观点, 这些物质的、管理的、环境的以及人为的原因 (国外称 4M 因素, 即 Machine, Management, Media, Man) 就构成了安全评价中的危险因素。

基于安全原理和综合论事故模式的观点, 从火箭煤油自身固有的危险性出发, 综合贮存条件、人为原因、环境因素等多方面情况, 对火箭煤油贮存中的安全影响因素进行分析与总结。

(1) 贮存设备因素。在贮存过程中, 由于未能按时对设备进行检验或者设备自身存在缺陷等原因, 容易发生泄漏事故。常见的泄漏部位有 4 处: 罐体, 管接头处, 法兰连接处, 焊缝。在法兰连接部位和管接头处泄漏的原因可能有: 密封圈变形、损坏、划痕、裂纹、有异物, 连接螺

母没有拧紧或四周螺母没有均匀拧紧, 法兰的金属密封面裂纹等; 罐体泄漏的原因有: 偶然的碰撞产生穿孔, 焊缝处被腐蚀以及有气孔、裂纹等缺陷等。

(2) 人员素质。各种安全条例已基本完善的前提下, 由于操作人员违反规定不按程序操作, 或者对系统、设备、安全措施不熟悉、不掌握, 检查不认真, 凭侥幸而操作失误是造成泄漏的又一重要原因。因此人员的素质如从事火箭煤油操作的专业技能、应对特殊情况的心理素质、日常的安全意识、职业道德、健康状况等是重要的影响因素。

(3) 充装过量。液罐充装过量有人为原因造成, 也有计量设备、仪表出现异常等问题造成。本研究考虑了安全管理因素, 而人为原因中发生充装过量, 多数为管理不力、规章制度不能够严格落实造成, 因此不再加以分析人为的原因。

(4) 安全管理因素。安全管理是一个重要因素。存在的突出问题是规章制度不严格、不能落实, 安全组织不健全、不能发挥积极有效作用。

(5) 偶然因素。火箭煤油的贮存中与环境有关的因素不容忽视, 如发生地震、泥石流等自然灾害会影响火箭煤油的贮存安全。

2.2 评价指标体系的建立

由以上分析得出的 5 个方面影响因素, 建立因素集

$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\} = \{\text{安全管理因素, 充装过量, 贮存设备因素, 人员素质, 偶然事故}\}$ 。

各因素的等级集建立如下

$U_1 = \{u_{11}, u_{12}\} = \{\text{规章制度, 安全组织}\}$ ;

$U_2 = \{u_{21}, u_{22}\} = \{\text{仪表失效, 误操作}\}$ ;

$U_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\} = \{\text{连接差, 罐体泄漏, 管道泄漏}\}$ ;

$U_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}\} = \{\text{专业技能, 心理素质, 安全意识}\}$ ;

$U_5 = \{u_{51}, u_{52}\} = \{\text{环境因素, 偶然碰撞}\}$ ;

$U_{31} = \{u_{311}, u_{312}, u_{313}\} = \{\text{螺母、法兰不牢, 密封圈变形损坏, 法兰密封面损伤}\}$ ;

$U_{32} = \{u_{321}, u_{322}, u_{323}, u_{324}\} = \{\text{未按时检验, 罐体腐蚀, 液罐焊接缺陷, 液罐材料缺陷}\}$ ;

$U_{33} = \{u_{331}, u_{332}\} = \{\text{管接头破损, 阀门失效}\}$ 。

2.3 评判集的建立

将失效的可能性分为 5 个等级

$$V = \{\text{小, 较小, 中, 较大, 大}\}$$

2.4 权重集的确定

(1) 构造指标比较判断矩阵

层次分析法的信息基础是人们对于每一层中各因素相对重要性的判断, 通过引入合适的标度, 用数值表示出来写成判断矩阵, 矩阵  $C$  各元素  $c_{ij}$  表示横行指标  $c_i$  对各列指标  $c_j$  的相对重要程度的两两比较值。

通常情况下应用 1~9 标度方法来确定影响因素的相对重要性, 1~9 标度及其含义见表 1 所示, 各影响因素的相对重要性如表 2 所示。

表 1 1~9 标度方法

Tab.1 Method for marking degree from 1 to 9

标 度	含 义
1	表示两个因素相比, 具有同样的重要性
3	表示两个因素相比, 一个比另一个稍微重要
5	表示两个因素相比, 一个比另一个明显重要
7	表示两个因素相比, 一个比另一个强烈重要
9	表示两个因素相比, 一个比另一个极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述两个相邻判断的中值
1~9 的倒数	因素 $i$ 与 $j$ 比较得到判断 $b_{ij}$ , 则 $j$ 与 $i$ 比较得到判断 $b_{ji}=1/b_{ij}$

表 2 影响因素的相对重要性

Tab.2 Comparatively importance of infecting factors

$T$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
安全管理 $U_1$	1	6	2	4	7
充装过量 $U_2$	1/6	1	1/5	1/4	3
贮存设备 $U_3$	1/2	5	1	3	6
人员素质 $U_4$	1/4	4	1/3	1	4
偶然因素 $U_5$	1/7	1/3	1/6	1/4	1

因此可得火箭煤油泄漏影响因素的判断矩阵

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 2 & 4 & 7 \\ 1/6 & 1 & 1/5 & 1/4 & 3 \\ 1/2 & 5 & 1 & 3 & 6 \\ 1/4 & 4 & 1/3 & 1 & 4 \\ 1/7 & 1/3 & 1/6 & 1/4 & 1 \end{pmatrix}$$

(2) 计算判断矩阵 C 的最大特征值

在计算中  $i, j=1, 2, \dots, n$ , 此处  $n=5$ 。计算

数值如表 3 所示。

(3) 判断矩阵的一致性

检验一致性的指标为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

为衡量不同的矩阵是否有满意的一致性, 还需要引入判断矩阵的平均随机一致性指标 RI 值, RI 值如表 4 所示, 则随机一致性比率 CR 为

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

若  $CR < 0.1$ , 则认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则应对判断矩阵进行调整。

表 3 特征向量与最大特征值计算

Tab.3 Calculation of eigenvector and maximal eigenvalue

风险因素	矩阵每行所有元素的几何平均值 $w_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n}$	$w_i$ 归一化处理 $w_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$	矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(CW)_i}{nw_i}$
安全管理	4.0000	0.3876	5.4202
充装过量	0.9233	0.0895	
贮存设备	3.1000	0.3004	
人员素质	1.9167	0.1856	
偶然因素	0.3786	0.0369	

表 4 平均随机一致性指标 RI

Tab.4 Average random coincidence index RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

本例中,  $CI=0.1050$ ,  $RI=1.12$ , 故通过计算可知  $CR=0.0940 < 0.1$ , 故该判断矩阵具有满意的一致性。因此, 各因素的权重分配为

$$W = (w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4 \ w_5) = (0.3876 \ 0.0895 \ 0.3004 \ 0.1856 \ 0.0369)$$

按照同样的方法和步骤计算出各个因素以及子因素的权重分配为

$$A_1 = (a_{11} \ a_{12}) = (0.45 \ 0.55)$$

$$A_2 = (a_{21} \ a_{22}) = (0.4 \ 0.6)$$

$$A_3 = (a_{31} \ a_{32} \ a_{33}) = (0.2217 \ 0.3452 \ 0.4331)$$

$$A_4 = (a_{41} \ a_{42} \ a_{43}) = (0.4235 \ 0.2106 \ 0.3659)$$

$$A_5 = (a_{51} \ a_{52}) = (0.65 \ 0.35)$$

$$A_{31} = (a_{311} \ a_{312} \ a_{313}) = (0.3143 \ 0.3254 \ 0.3603)$$

$$A_{32} = (a_{321} \ a_{322} \ a_{323} \ a_{324}) = (0.2313 \ 0.2716 \ 0.2887 \ 0.2084)$$

$$A_{33} = (a_{331} \ a_{332}) = (0.55 \ 0.45)$$

### 2.5 建立因素等级评判矩阵

专家打分法是现阶段建立因素等级评价矩阵比较常用的方法, 它是通过请若干个专家, 对所需评价的事件进行全面的现场调查、分析后, 对各二级指标因素状况按评价集分级进行投票, 并最终得出结果。举例说明如下: 如请 20 位专家

对火箭煤油贮存泄漏风险中的指标因素  $u_{11}$  按 5 个评价集分级进行投票, 结果如表 5 所示。

表 5 专家投票统计

Tab.5 The statistic of voting by experts

评价集 $V$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	总计
投票人数	2	2	4	8	4	20
$r_{ij}$	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	1

设主评价指标  $U_i$  包括  $n$  个子评价指标, 则评价矩阵  $R_i$  表示为

$$R_i = \begin{pmatrix} r_{i1} & r_{i2} & r_{i3} & r_{i4} & r_{i5} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & r_{n4} & r_{n5} \end{pmatrix}$$

运用专家打分法给出各影响因素的评价矩阵

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0.1 & 0.25 & 0.45 & 0.2 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.15 & 0.25 & 0.3 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \end{pmatrix}$$

$$R_4 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.15 & 0.2 & 0.4 & 0.15 \\ 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0.15 & 0.25 & 0.4 & 0.2 \end{pmatrix}$$

$$R_5 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.25 & 0.3 & 0.15 \\ 0.1 & 0.15 & 0.2 & 0.35 & 0.2 \end{pmatrix}$$

$$R_{21} = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.5 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.4 \\ 0 & 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.3 \end{pmatrix}$$

$$R_{32} = \begin{pmatrix} 0 & 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0.4 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.3 \\ 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.4 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$R_{33} = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 \\ 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \end{pmatrix}$$

计算出因素  $U_{31}$ ,  $U_{32}$ ,  $U_{33}$  的模糊隶属度, 得到因素集  $U_2$  的模糊隶属度矩阵

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0.0341 & 0.3013 & 0.2537 & 0.4109 \\ 0 & 0.0468 & 0.1416 & 0.3350 & 0.4766 \\ 0.04 & 0.04 & 0.3 & 0.46 & 0.16 \end{pmatrix}$$

### 2.6 一级模糊综合评价

将各因素集的权重分配和等级评价矩阵代入公式 (1) 中, 得到各因素集的一级模糊综合评价

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = (0.045 \quad 0.1 \quad 0.2275 \quad 0.4275 \quad 0.1)$$

$$B_2 = A_2 \circ R_2 = (0.04 \quad 0.18 \quad 0.22 \quad 0.36 \quad 0.20)$$

$$B_3 = A_3 \circ R_3 = (0.0178 \quad 0.0415 \quad 0.2486 \quad 0.3756 \quad 0.3265)$$

$$B_4 = A_4 \circ R_4 = (0.0634 \quad 0.1395 \quad 0.2183 \quad 0.4 \quad 0.1788)$$

$$B_5 = A_5 \circ R_5 = (0.1 \quad 0.1825 \quad 0.2325 \quad 0.3175 \quad 0.1675)$$

$$B_{31} = A_{31} \circ R_{31} = (0 \quad 0.1 \quad 0.3046 \quad 0.2 \quad 0.3954)$$

$$B_{32} = A_{32} \circ R_{32} = (0 \quad 0.1295 \quad 0.2104 \quad 0.2665 \quad 0.3936)$$

$$B_{33} = A_{33} \circ R_{33} = (0.045 \quad 0.1 \quad 0.3 \quad 0.4 \quad 0.155)$$

### 2.7 二级模糊综合评价

由一级模糊综合评价结果可以得到二级评判矩阵  $B$

$$B = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.045 & 0.1 & 0.2275 & 0.4275 & 0.1 \\ 0.04 & 0.18 & 0.22 & 0.36 & 0.2 \\ 0.0178 & 0.0415 & 0.2486 & 0.3756 & 0.3265 \\ 0.0634 & 0.1395 & 0.2183 & 0.4 & 0.1788 \\ 0.1 & 0.1825 & 0.2325 & 0.3175 & 0.1675 \end{pmatrix}$$

故由公式(2)可得二级模糊综合评判

$$R=A \circ B=(0.3876 \quad 0.895 \quad 0.3004 \quad 0.1856 \quad 0.369) \circ$$

$$\begin{pmatrix} 0.045 & 0.1 & 0.2275 & 0.4275 & 0.1 \\ 0.04 & 0.18 & 0.22 & 0.36 & 0.2 \\ 0.0178 & 0.0415 & 0.2486 & 0.3756 & 0.3265 \\ 0.0634 & 0.1395 & 0.2183 & 0.4 & 0.1788 \\ 0.1 & 0.1825 & 0.2325 & 0.3175 & 0.1675 \end{pmatrix}$$

$$=(0.0418 \quad 0.1002 \quad 0.2316 \quad 0.3967 \quad 0.2397)$$

根据最大隶属度原则  $C_m=0.3967$ , 判定发生泄漏事故的风险为第4等级, 即风险处于“较大”级别。而实际上, 火箭煤油在贮存中经常发生跑、冒、滴、漏情况, 评价结果能够较好反应出火箭煤油在贮存中所存在的泄漏风险。

### 3 结果与讨论

应用模糊综合评价法对火箭煤油贮存过程中存在的泄漏风险进行评价, 在分析了导致火箭煤油发生泄漏事故因素的基础上, 将火箭煤油贮存过程中发生泄漏事故的风险分为五个等级, 利用了层次分析法确定各评价指标的权重, 而后通过建立因素等级评价矩阵以及进行一级和二级模糊综合评价, 得出了火箭煤油贮存过程中出现泄漏事故的危险等级。

评价结果表明, 火箭煤油贮存过程中安全管理权重最大, 因此首先要完善安全方面的规章制度和组织, 并严格落实, 定期检查, 这样不仅能够保证贮存设备完好, 而且能够减少违章操作以及误操作的几率, 避免泄漏事故的发生; 在贮存设备方面, 管道连接包括法兰连接、螺母连接和密封圈的变形损坏成为安全检查的重点, 其次是管道接头和阀门、罐体缺陷。此外, 该评价结果还显示出人员的素质在火箭煤油安全贮存中的作用, 因此应该引起特别注意和加强教育, 通常情况下, 在设备状况良好和人员素质较高的情况下, 出现充装过量和偶然事故的概率会下降。

#### 参考文献:

- [1] 马瀚英. 航天煤油[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2003.
- [2] 刘艳英, 刘再华. 煤油推进剂贮罐区火灾危险性评价[J]. 航天发射技术, 2008(4): 31-34.
- [3] 郭培杰, 蒋军成. 模糊综合评价法在危险化学品道路运输风险评价中的应用[J]. 南京工业大学学报, 2006, 28(5): 57-62.
- [4] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2005.
- [5] 刘铁民, 张兴凯, 刘功智. 安全评价方法应用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [6] 国防科工委后勤部. 火箭推进剂监测防护与污染治理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993.
- [7] 刘建才, 王焯军, 李正莉, 等. 阵地大型推进剂贮罐的泄漏及其防治[A]. 王焯军. 化学推进剂应用技术研究进展[C]. 北京: 国防工业出版社, 2005, 178-181.
- [8] 郑智仁. 液体推进剂泄漏问题综述[J]. 中国航天, 1999, 3: 17-20.
- [9] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [10] 张跃, 邹寿平, 宿芬. 模糊数学方法及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
- [11] 廖利, 王岩松, 李玉华. 运用模糊综合评价法对简易垃圾填埋场进行安全评价[J]. 安全与环境工程, 2005, 12(3): 26-29.
- [12] 于志鹏, 陆愈实. 模糊层次综合评价法在企业安全评价中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2006, 2(3): 119-121.

(编辑: 陈红霞)