

doi: 10.7690/bgzdh.2020.03.015

## 基于 IGAHP 的航材 VED 分类方法

张书君<sup>1</sup>, 宋伟健<sup>2</sup>, 赵建忠<sup>2</sup>, 谈斌<sup>3</sup>

(1. 驻北京地区电子设备军事代表室, 北京 100071; 2. 海军航空大学, 山东 烟台 264001;  
3. 海装装备保障大队, 北京 100089)

**摘要:**为解决航空企业后勤高效保障的问题,提出一种基于 IGAHP(improved group AHP)的航材 VED 分类方法。结合航材库存的三级存储方式,给出了相应的存储策略,利用决策树理论制定出对应备件存储方式,依据改进群体层次分析法的基本思路,得到指标集的最终权重判断,结合所求得的最最终复合权重,判断出航材 3 种存储模式下的归属情况。实例分析结果表明,该方法可提高航材 VED 分类的准确率。

**关键词:** 航材分类; 决策树; IGAHP 存储策略

**中图分类号:** TP301 **文献标志码:** A

## VED Classification Method of Air Materials Based on IGAHP

Zhang Shujun<sup>1</sup>, Song Weijian<sup>2</sup>, Zhao Jianzhong<sup>2</sup>, Tan Bin<sup>3</sup>

(1. *Electron Equipment Military Representatives Office of Navy in Beijing Region, Beijing 100071, China;*  
2. *Navy Aviation University, Yantai 264001, China;* 3. *Equipment Maintenance Team of Navy, Beijing 100089, China*)

**Abstract:** To solve the problem of efficient logistics support for aviation enterprises, a VED classification method of air materials based on improved group AHP is proposed. Combined with the three-level storage model of the air materials, the corresponding storage strategy is given, and the corresponding spare parts storage model is formulated using the decision tree theory. Based on the basic idea of improving the group hierarchy analysis method, the final weight judgment of the index set is obtained, and the attribution situation of the 3 storage modes of air materials is determined with the final composite weight. The results of example show the method improve the accuracy of VED classification of air materials.

**Keywords:** air materials classification; decision tree; IGAHP storage strategy

### 0 引言

就航空企业后勤的高效保障而言,航材的准确分类在其中扮演着重要角色,属于众多备件分类理论的一部分。这一分类理论始于 1951 年的 ABC 分类法。1983 年,卡拉杰克(Kraljic)首次提出基于 Kraljic 矩阵的 2 维分类方法<sup>[1]</sup>。国内:徐宝强提出备件库存的“3A”分类法<sup>[2]</sup>;徐晓燕提出基于需求预测的备件分类法<sup>[3]</sup>;刘晓冰提出按备件的库存方式,利用分类树、模糊神经网络实现对备件分类<sup>[4]</sup>;张作刚等运用支持向量机原理对航材进行 ABC 分类<sup>[5]</sup>。同时,Braglia 等<sup>[6]</sup>、崔南方等<sup>[7]</sup>通过分析影响备件分类的各因素,应用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)对备件进行多准则分类。而后受这一启发,大量以 ABC 分类为基础,结合模糊评判原理<sup>[8]</sup>、DEA(data envelope analysis)原理<sup>[9]</sup>、VED(vital essential desirable)分类<sup>[10]</sup>等的研究相继开展,极大丰富了备件分类管理的方法。

然而,这些分类方法选取“重要航材”的切入

角度各不相同。从维修管理者的观点和库存后勤管理者的观点来看,所谓“重要”的备件是有很大的差别的。对于维修管理者来说,那些一旦失效会给飞机带来严重后果的航材被认为是重要的航材。从库存管理者的角度来看,对不同等级的航材选择相应的储存策略时,会更加看重诸如储存成本和需求趋势等相关因素。在这样的矛盾中,笔者从不同角度综合考虑航材的分类因素,提出一种基于航材存储方式的应用决策树和改进 AHP 解决多准则航材分类问题的方法,为航材的库存优化提供了新的思路。

### 1 基于决策树理论的航材 3 维分类方法

航空企业的高效益离不开仓储的合理配置优化。笔者提出了一种 3 维航材分类方法,将航材价值、航材消耗的可预测性能以及影响航材关键性等级的诸多因素都加以考虑,并根据分类结果,结合航材库存的三级存储方式给出了相应的存储策略。其基本原理为:通过 ABC 和 XYZ 分类法评估航材的价值和可预测性,通过 VED 分类进行航材多准

收稿日期:2019-11-11;修回日期:2019-12-06

作者简介:张书君(1984—),女,吉林人,硕士,从事军事装备质量管理研究。E-mail: zjznavy@163.com。

则关键性分类，其中对航材的 VED 分类是笔者研究改进重点，根据综合分类的结果，利用决策树理论制定备件相应的存储方式。

根据帕累托原理，文中 ABC 分类法以航材的采购单价及年均消耗量为分类准则，以航材的储备价值占总价值的高低进行排序。定义：价值占总库存资金额 80% 的航材为 A 类航材；价值约占总库存资金额 15% 的航材为 B 类航材；价值占总库存资金额只有 5% 左右的航材为 C 类航材。

利用 XYZ 分析法对航材消耗的可预测性进行分类。以航材的消耗波动情况为衡量标准，X 类航材的消耗波动较为平稳，Y 类次之，Z 类波动最为剧烈。用  $\theta(x)$  表示衡量波动的变异系数，通过航材消耗数量的标准差  $\sigma(x)$  和均值  $\bar{x}$  的比值加以计算：

$$\theta(x) = \frac{\sigma(x)}{\bar{x}} \quad (1)$$

通过对专家的咨询，设定 XYZ 分类的边界范围如表 1。

表 1 XYZ 分类

分类	描述	取值范围
X 类备件	航材消耗需求平稳	$\theta(x) < 1.5$
Y 类备件	航材消耗需求较为平稳	$1.5 \leq \theta(x) \leq 3$
Z 类备件	航材消耗需求随机	$\theta(x) > 3$

对航材关键性的分类，即将航材分为关键航材(V 类)、重要航材(E 类)和一般航材(D 类)的 VED 分类方法而言，因对航材的关键性程度产生影响的因素多种多样，不同于其他二者，显然是一个多准则决策问题。笔者研究改进的重点也在于此。

如图 1 所示，通过航材的价值、消耗的可预测性及关键性程度 3 个维度，构造具有 3 层 27 个象限的分类。如图 2 所示，通过图中航材的分类结果，以分类方法为节点，以各分类方法的对应分类结果为分支，利用决策树理论制定出对应备件存储方式，文中应用的航材存储方式分为中央存储、分散存储及零库存 3 种，分别与图 2 中的最终存储方式 1~3 相对应。现针对这 3 种存储方式应用典型实例对其具体决策流程加以分析说明。

若某航材的分类结果是 V-Z-C 类，从 VED 分类上属于 V 类航材，代表其关键性等级最高，所需的服务级也最高。这类航材一旦发生故障会给所在设备造成极其严重的后果，故应将这类航材存储于所有保障其所属设备正常运转的仓库，即对这类航材应选用分散存储的方式；从 XYZ 分类上属于 Z 类航材，由于消耗预测的不确定性，即故障发生的

极度偶然性，也应分散存储，以快速应对航材的故障发生；从 ABC 分类上属于 C 类航材，对这类低价值航材的分散存储而非中央存储，有利于降低各仓库的存储成本。综合这 3 个方面的分析，该航材适合于分散存储。

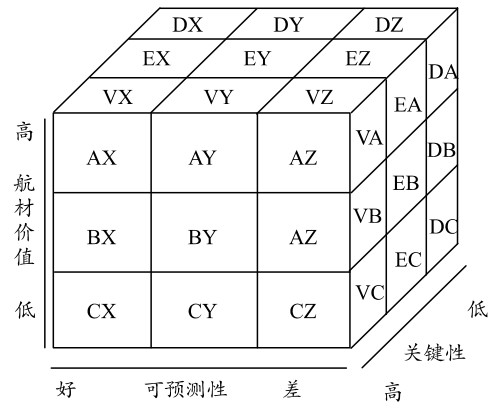


图 1 3 维备件分类

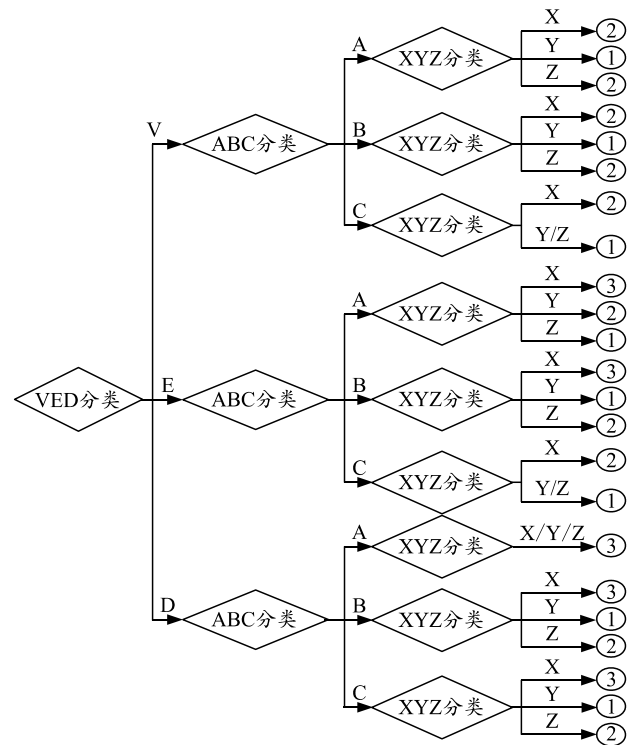


图 2 基于决策树的备件存储方式分类

若某航材的分类结果是 D-X-A 类，从 VED 分类上分属于 D 类，表明该航材的故障不会造成很大的影响且极易供应补充；从 XYZ 分类上分属于 X 类，表明对该航材的消耗可做出准确的预测；从 ABC 分类上分属于 A 类，表明该航材本身价值较高，过量存储会增加库存成本，因此，对此类航材选择零库存模式是非常妥当的。

若某航材的分类结果是 E-Y-B 类，从 VED 分类上分属于 E 类，尽管与 D 类件相比尚需保有一定

的存储量，但毕竟不是关键件，不必分散存储于每一个存储点上。类似地，从 ABC 分类上分属于 B 类的航材通常都是周转的标准件，可适用于不同的设备中，从 XYZ 分类上分属于 Y 类，表明对该航材的消耗可作出相对准确的预测。综合来看，此类航材的库存模式适于中央存储。

## 2 基于 IGAHP 的航材 VED 分类

### 2.1 IGAHP

层次分析法通过对定性、定量准则的赋值，结合不同层次的权重向量解决多属性决策问题。AHP 把数学处理与人的经验等相结合，通过综合专家的判断，有效分析各准则间的关系。在实际应用中，AHP 存在如下不足：1) 因不能集结多位专家的意见而存在单个专家判断上的偏差；2) 在构造判别矩阵时缺乏弹性，无法表达判别的模糊性；3) 一旦一致性检验的结果显示不一致时，所得权重向量的可信度会大大降低。

笔者提出的 IGAHP 基本思路是通过每位专家确定的判别矩阵，求出各自的权重，再通过分析判断其差异程度，确定权重系数，最后运用所得的各权重系数对各专家权重进行集结，得到指标集的最终权重判断。具体过程如下：

#### 1) 构造判断矩阵。

使用 1~9 的比例标度作为赋予相对重要度大小的数值作为判断矩阵。假定 B 层指标中的指标  $B_s$  包含下一层次 C 中的指标  $C_1, C_2, \dots, C_n$ 。 $a_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n)$  表示 C 层指标中的  $C_i$  与  $C_j$  相比的相对重要性标度值。则  $a_{ij}$  满足一下关系：

$$\left. \begin{aligned} a_{ij} > 0 \\ a_{ij} &= \frac{1}{a_{ji}} \\ a_{ii} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

通常参与指标权重分配的专家有多个，由于各专家的知识、经验上的差异，其决策权重系数也应不同；因此，需合理确定各专家的决策权重系数。

#### 2) 计算每位专家评定的指标权重。

假设共有 T 位专家，其决策权重系数分别为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_T$ ， $\lambda_i \in [0, 1]$  且  $\sum_{i=1}^T \lambda_i = 1$ 。第 t 位专家确定的判断矩阵记为  $A^{(t)} (t=1, 2, \dots, T)$ 。根据  $A^{(t)}$ ，计算 B 层指标中  $B_s$  的下一级指标  $C_1, C_2, \dots, C_n$  的排序权重问

题，并进行一致性检验。具体就是求判断矩阵  $A^{(t)}$  的最大特征根  $\lambda_{\max}^{(t)}$  对应的特征向量  $Y^{(t)}$ ，其表达式为：

$$A^{(t)} Y^{(t)} = \lambda_{\max}^{(t)} Y^{(t)} \quad (3)$$

#### 3) 用幂法求最大特征根 $\lambda_{\max}^{(t)}$ 和特征向量 $Y^{(t)}$ 。

##### ① 求特征根 $\lambda_{\max}^{(t)}$ 。

a. 设初值向量  $Y_0^{(t)} = (y_{01}^{(t)}, y_{02}^{(t)}, y_{03}^{(t)}, \dots, y_{0n}^{(t)})^T$ ；

b. 计算  $Y_k^{(t)} = A^{(t)} Y_{k-1}^{(t)}$ ，并将其归一化，其中  $k=1, 2, 3, \dots$ ；

c. 对于事先给定计算精度  $\varepsilon$ ，若  $\max |y_{ki}^{(t)} - y_{(k-1)i}^{(t)}| < \varepsilon$ ，则计算停止，否则返回 b；

d. 计算  $\lambda_{\max}^{(t)} = \sum_{i=1}^n \frac{y_{ki}^{(t)}}{y_{(k-1)i}^{(t)}}$ 。

##### ② 对 $\lambda_{\max}^{(t)}$ 进行一致性检验。

##### ③ 识别判别矩阵中的异常元素并加以调整。

由于可能会出现  $C.R.^{(t)} > 0.1$  的现象，需对判断矩阵进行调整。考虑到其中判断元素不会出现大面积错误，可对个别错误进行调整。调整方法为：

a. 给定一致性临界指标值为 0.1，并设第 t 位专家给出的初始判断矩阵为  $A^{(t)} = (a_{ij}^{(t)})_{n \times n}$ ，其最大特征值为  $\lambda_{\max}^{(t)}$ ，对应的特征向量为

$$Y^{(t)} = (y_1^{(t)}, y_2^{(t)}, \dots, y_n^{(t)})^T \quad (4)$$

令  $k=1, 2, 3, \dots$ ，并设  $k=1$  时，则  $A^{(t)}(k) = A^{(t)}$ ， $Y^{(t)}(k) = Y^{(t)}$ 。

#### b. 构造错误元素识别矩阵

$$D^{(t)}(k) = [d_{ij}^{(t)}(k)]_{n \times n} \quad (5)$$

式中， $d_{ij}^{(t)} = a_{ij}^{(t)} \frac{y_j^{(t)}}{y_i^{(t)}} + a_{ji}^{(t)} \frac{y_i^{(t)}}{y_j^{(t)}} - 2$ ， $i, j=1, 2, \dots, n$ 。

将  $\max \{d_{ij}^{(t)}(k)\}$  作为错误识别元素  $a_{sr}^{(t)}(k)$  和  $a_{sr}^{(t)}(k)$ 。

#### c. 令

$$b_{ij}^{(t)}(k+1) = \begin{cases} 0 & (i, j) = (r, s) \text{ 或 } (s, r) \\ a_{ij}^{(t)}(k) + 1 & (i, j) = (r, r) \text{ 或 } (s, s) \\ a_{ij}^{(t)}(k) & (i, j) \neq (r, s) \text{ 或 } (s, r) \text{ 或 } (r, r) \text{ 或 } (s, s) \end{cases} \quad (6)$$

求由  $b_{ij}^{(t)}(k+1)$  所的矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}^{(t)}$  和相应的特征向量：

$$Y^{(t)}(k+1) = [y_1^{(t)}(k+1), y_2^{(t)}(k+1), \dots, y_n^{(t)}(k+1)]^T \quad (7)$$

d. 令

$$a_{ij}^{(t)}(k+1) = \begin{cases} y_i^{(t)}(k+1) & (i, j) = (r, s) \text{ 或 } (s, r) \\ y_j^{(t)}(k+1) & \\ a_{ij}^{(t)}(k) & (i, j) \neq (r, s) \text{ 或 } (s, r) \end{cases} \quad (8)$$

构造判断矩阵  $A^{(t)}(k+1) = [a_{ij}^{(t)}(k+1)]_{n \times n}$ ，是修改错误元素后的矩阵。再次计算  $\lambda_{\max}^{(t)}$  及  $Y^{(t)} = (y_1^{(t)}, y_2^{(t)}, \dots, y_n^{(t)})^T$  后，进行一致性检验，若  $C.R.^{(t)} \leq 0.1$ ，则计算结束；否，则重复构造直到满足为止。

4) 各专家的决策权重系数确定模型。

设第  $p$  个专家与第  $q$  个专家决策的相近程度用距离  $d_{pq}$  ( $p, q = 1, 2, \dots, T$ ) 表示，则

$$d_{pq} = d(Y^{(p)}, Y^{(q)}) = \left[ \sum_{i=1}^n (y_i^{(p)} - y_i^{(q)})^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

$d_{pq}$  满足：①  $d_{ii} = 0$ ；②  $d_{pq} = d_{qp} \geq 0$ ；③  $d_{pq}$  越小，表明 2 位专家的判断越接近。当且仅当  $d_{pq} = 0$  且  $p \neq q$  时，说明这 2 位专家的判断完全一致。

设第  $t$  个专家决策与其他所有专家决策的相似程度用  $d_t$  表示，则

$$d_t = \sum_{j=1}^T d_{tj} \quad (10)$$

式中  $j = 1, 2, \dots, T$ 。可知， $d_t \geq 0$ ， $d_t$  越小，表示  $Y^{(t)}$  与其他特征向量越接近，当  $d_t = 0$  时， $d_{t1} = d_{t2} = \dots = d_{tT} = 0$ ，说明所有特征向量都相等，每一位专家的判断都一样。

综上所述，第  $t$  位专家的最终决策权重系数  $\lambda_t$  为：当  $d_t = 0$  时，

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_T = 1/T \quad (11)$$

当  $d_t \neq 0$  时，

$$\lambda_t = (1/d_t) / \sum_{j=1}^T (1/d_j) \quad (12)$$

式中  $j = 1, 2, \dots, T$ 。可知：当  $d_t$  越大时，表明该专家与其他专家之间的分歧越大，其决策权重系数越小；当  $d_t$  越小时，表明该专家与其他专家之间的分歧越小，其决策权重系数越大。

5) 指标权重集结。

设最终的指标权重向量为  $Y^* = (y_1^*, \text{绝 } y_2^*, \dots, y_n^*) e^{i\theta}$ ，即

$$Y^* = \sum_{t=1}^T \lambda_t Y^{(t)} \quad (13)$$

## 2.2 基于 IGAHP 的航材 VED 分类

如图 3 所示，应用 AHP 理论将航材 VED 划分为 3 个层次。

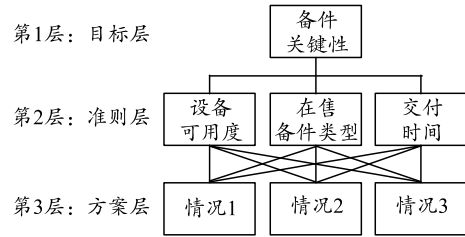


图 3 基于 AHP 的备件 VED 分类

其中准则层包括如下 3 个准则：1) 设备可用度；2) 在售航材类型；3) 交付时间。每一种准则都有 3 种情况。

对于设备可用度其 3 种情况分别为：1) 替代设备可用；2) 在进行一定程度的调试后替代设备可用；3) 没有替代设备可用。

对于在售备件类型其情况为：1) 市场在售标准件；2) 标准件，但是否在售不确定；3) 非标准件，只根据特殊情况定制。

对于交付时间其情况为：少于 3 个月；3~6 个月；多于 6 个月。

令设备可用度、航材类型和交付时间指标集为： $X = \{X_1, X_2, X_3\}$ ，设共有 3 位专家参与这组指标的权重确定，其决策权重系数为  $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\}$ 。根据上述 IGAHP 的过程描述，需要通过以下 4 个步骤对指标进行赋权。

1) 构造各位专家的判断矩阵。

根据“设备可用度”“在售航材类型”和“交付时间”对航材关键性的影响，通过两两比较，3 位专家分别给出了相应的判断矩阵见表 2。

表 2 专家给出的判断矩阵

专家		X1	X2	X3
专家 1	X1	1	2	3
	X2	1/2	1	1
	X3	1/3	1	1
专家 2	X1	1	3	4
	X2	1/3	1	2
	X3	1/4	1/2	1
专家 3	X1	1	2	3
	X2	1/2	1	2
	X3	1/3	1/2	1

2) 分别求每位专家判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}^{(t)}$  和特征向量  $Y^{(t)}$ 。

专家 1 判断矩阵最大特征值  $\lambda_{\max}^{(1)} = 3.018 3$ ，对应特征向量  $Y^{(1)} = (0.549 9, 0.240 2, 0.209 8)$ 。 $CR = 0.015 8 < 0.1$ ，符合一致性要求；同理得专家 2 判断矩阵最

大特征值  $\lambda_{\max}^{(2)}=3.018\ 3$ , 特征向量  $\mathbf{Y}^{(2)}=(0.625\ 0, 0.238\ 5, 0.136\ 5)$ , 并验证符合一致性要求; 专家 3 判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}^{(3)}=3.009\ 2$ , 特征向量  $\mathbf{Y}^{(3)}=(0.539\ 6, 0.296\ 9, 0.163\ 4)$ , 并验证专家 3 判断矩阵符合一致性要求。

3) 由式(9)确定各专家的决策权重系数:  $d_{12}=0.104\ 8, d_{13}=0.074\ 0, d_{23}=0.106\ 9$ , 则  $d_1=0.178\ 8, d_2=0.217\ 7, d_3=0.180\ 9$ , 由公式(12)得到各专家的决策权重系数,  $\lambda_1=0.355\ 9, \lambda_2=0.292\ 3, \lambda_3=0.351\ 8$ 。

4) 指标权重的集结。

代入各专家的决策权重系数和特征向量, 由式(13)得到该组指标的最终权重向量  $\mathbf{Y}^*=(0.568\ 2, 0.259\ 7, 0.172\ 1)$ 。同理可得方案层对准则层的最终权重向量如表 3(只保留了 3 位有效数字)。

表 3 航材 VED 分类 AHP 权重分布

准则	2 层 权重	3 层情况权重			复合权重		
		1	2	3	D	E	V
X1	0.568	0.132	0.227	0.639	0.075	0.130	0.363
X2	0.260	0.116	0.293	0.591	0.030	0.076	0.154
X3	0.172	0.140	0.282	0.578	0.024	0.049	0.010

结合所求得的最终复合权重, 通过分析划分 VED 的 3 种分类的边界值(具体方法见实例分析), 而后即可通过对各航材实际情况的计算并与边界值的比对, 判断出航材 VED 分类的归属情况。

### 2.3 实例分析

若某型航材的设备可用度、在售备件类型和交付时间对应的情况分别是情况 2、情况 3 和情况 3。从表 3 中可以找出对应的复合权重分别为 0.129, 0.154 和 0.099, 三者之和(0.383)即是评价该航材关键性的分值, 将其与 VED 分类的边界值相对比, 得到航材归属于 VED 哪一种的结果, 对于边界值得确定所遵循原则如下:

1) 从直观上来看, 若航材的 3 个准则对应的 3 种情况都是 1, 则必然是 D 类航材; 都是情况 2, 则是 E 类航材; 都是情况 3, 即是 V 类航材。

2) 考虑一般件即 D 类件的极限情况, 如果某种航材故障导致设备不可用, 而此时其替代生产设备可用且此航材本身又是市场上在售的标准件, 那么即使航材交付时间多于 6 个月, 其必然是 D 类件, 对应的情况分别为 1(0.075 3)、1(0.030 0)和 2(0.048 6), 三者相加就是 D 类件划分的上界值 0.153 9。

3) 对于 V 类航材的下限值情况, 考虑某种航材故障导致设备不可用, 如果此时没有替代设备可用, 那么无论航材交付时间和在售航材类型是什么, 即

使其交付时间少于 3 个月且是在售的标准件, 仍旧是 V 类件, 对应的情况分别为 3(0.363 3)、1(0.030 0)和 1(0.024 0), 加和即是 V 类件划分的下界值 0.417 3。综上所述, 对应的边界值如表 4。

表 4 VED 分类边界值

备件分类	V 类	E 类	D 类
分类界限	$\geq 0.417\ 3$	$\geq 0.154\ 0$ 且 $\leq 0.417\ 2$	$\leq 0.153\ 9$

### 3 结束语

笔者通过 ABC 分类和 XYZ 分类法, 对航材的价值和航材消耗的可预测性 2 方面准则加以考虑。重点针对航材的关键性分类, 提出了一种基于 IG AHP 的航材 VED 分类方法。该方法将航材的关键性准则进行量化, 结合 AHP 对关键性程度进行划分, 在此过程中通过 IG AHP 引入多位专家参与航材关键性准则的评判, 降低传统应用上的个人主观性影响, 提高了航材 VED 分类的准确率。

### 参考文献:

- [1] BANKS, JERRY, FABRYKY W J. Procurement and Inventory Systems Analysis[J]. Prentice-all Inc., 1987(2): 34-52.
- [2] 徐宝强, 李葆文, 魏昕. 从备件 ABC 分类管理到备件 3A 库存模型应用[J]. 设备管理与维修, 2007(9): 10-11.
- [3] 徐晓燕. 一种基于需求特性分类的备件库存管理方法及其实证研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(2): 62-67.
- [4] 刘晓冰, 邱立鹏, 王万雷. 特钢行业备件库存管理的研究与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(9): 1756-1761.
- [5] 张作刚, 刘星, 彭作鹏, 等. 基于支持向量机的多准则航材 ABC 分类法[J]. 价值工程, 2010(22): 248-249.
- [6] MARCELLO B, ANDREA G, ROBERTO M. Multi-attribute classification method for spare parts inventory management[J]. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2004, 10(1): 55-65.
- [7] 崔南方, 罗雪. 维修备件基于 AHP 的 ABC 分类模型[J]. 工业工程与管理, 2004(6): 33-36.
- [8] ADIL B, KEMAL S, FATMA S K. A new fuzzy linear assignment method for multi-attribute decision making with an application to spare parts inventory classification [J]. Applied Soft Computing, 2016, 42(6): 1-17.
- [9] 陈奎, 韦晓广, 牛俊萍, 等. 基于 AHP-DEA 模型的电网规划方案综合评判决策[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21): 40-46.
- [10] AN M, HERMAN B, LILIANE P, et al. Criticality classification of spare parts: A case study[J]. Int. J. Production Economics, 2012, 140(9): 570-578.