

# 基于模糊聚类分析法的地空导弹武器退役模型

孙延东, 张庆波, 阎永玲  
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**对影响地空导弹武器装备退役的主要因素进行了分析,给出了各因素的评估模型。运用模糊聚类法对地空导弹武器的退役进行了分析计算,实例表明,该方法为地空导弹武器退役决策提供了一种较好的定量分析手段。

**关键词:**模糊聚类;地空导弹;退役

**中图分类号:**TJ760.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2005)01-0026-04

地空导弹武器的退役是一个涉及因素较多且比较复杂的课题。为了能够准确地进行退役预测,必须对影响退役的主要因素即技术性能、使用维护费用、系统作战效能、超期服役程度及战略权重等5个方面进行分析和处理。

对于不同的地空导弹武器系统,在退役问题上可能反映在上述5个方面中的不同方面。本课题针对这一特点采用模糊聚类法,定量地综合权衡上述几个方面的因素,在不同之中找出相似之处,对面临退役的几种武器系统进行分类,以分清那些是应当优先退役的、哪些是不太适合退役的,为地空导弹武器装备退役决策提供参考信息,同时可为装备管理部门和部队提供退役决策依据。

## 1 影响武器装备退役的主要因素分析

### 1.1 技术性能落后程度

对于某一型号的地空导弹武器系统,根据武器装备的发展情况及空袭环境,提取  $n$  项主要技术指标,组成评判因素集<sup>[1]</sup>:

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$$

利用 AHP 法或两两比较法确定它们的相对权重  $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ ,建立评价集  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$  采用 Delphi 法或专家打分法对  $n$  项技术指标进行测评,得到评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{15} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{n5} \end{bmatrix}$$

其中,  $r_{ij}$  为第  $i$  项指标属于第  $j$  个评价等级的权重,综合评价向量为

$$S = WR = [s_1, s_2, s_3, s_4, s_5]$$

则最大分量  $s_j$  所对应的评价等级就是综合评判的结果。

### 1.2 年使用维护费

装备的使用维护费用中,有的是按年度支付的,如油料费、小修费、人员工资及生活费、营房维护费等,可用其年平均值计算<sup>[2]</sup>:

$$C_{NZ} = C_{nyl} + C_{nxx} + C_{nry} + C_{nyw}$$

收稿日期:2004-12-14

收稿日期:国家社科基金资助项目(03GJ086-046)

作者简介:孙延东(1963-),男,山东济南人,博士生,主要从事军事后勤与装备系统运筹分析。

其中: $C_{nyl}$ 为年均油料费用; $C_{nxx}$ 为年均小修费用; $C_{nry}$ 为年均人员费用; $C_{nyw}$ 为年均营房维护费用。还有的是不定期支付的,如弹药费、大修费、中修费,可采用一次所发生的费用在间隔期内的分摊值来估算:

$$C_{BZ} = C_{dy} \cdot \frac{i}{(1+i)^{T_{dy}} - 1} + C_{dx} \cdot \frac{i}{(1+i)^{T_{dx}} - 1} + C_{zx} \cdot \frac{i}{(1+i)^{T_{zx}} - 1}$$

其中: $i$ 为年利率; $C_{dy}, T_{dy}$ 为一次耗弹费用及其与上次耗弹的间隔期; $C_{dx}, T_{dx}$ 为一次大修费用及其与上次大修的间隔期; $C_{zx}, T_{zx}$ 为一次中修费用及其与上次中修的间隔期。年使用维护费为

$$C_A = C_{NZ} + C_{BZ}$$

武器装备在服役期间,随着装备的逐渐劣化,系统的故障率升高,维修费用  $C_{dy}$ 、 $C_{dx}$ 、 $C_{zx}$  将会升高,而维修间隔期  $T_{dy}$ 、 $T_{dx}$ 、 $T_{zx}$  将会缩短,从而年使用维护费会逐年升高,达到一定程度,武器装备就应当退役。

### 1.3 系统作战效能

评定作战效能的方法是美国工业界武器系统效能咨询委员会(WSEIAC)模型,即  $E = ADC$ 。不同的地空导弹武器系统, $A$ 、 $D$ 、 $C$  的计算不尽相同<sup>[2]</sup>。随着武器装备服役时间的增长, $E$  将呈现逐渐下降的趋势。通过对各种装备效能指标的计算,其模型可近似用指数形式表示

$$E(t) = E_t \cdot \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2)(t - t_1)] = E_{t_0} \cdot \exp[-\lambda_1(t_1 - t_0)] \cdot \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2)(t - t_1)]$$

其中: $E_{t_0}$ 为年研制成功时的效能值; $E_{t_1}$ 为年开始装备部队时的效能值; $\lambda_1$ 为技术发展系数; $\lambda_2$ 为效能损耗系数。由于装备的退役只需考虑由于技术的进步和空袭环境的变化,引起未经使用的新装备效能指数的下降,所以上述模型可简化为  $E_{t_1} = E_{t_0} \cdot \exp[-\lambda_1(t_1 - t_0)]$ ,  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  可由专家评定得到,不同的地空导弹武器系统有不同的  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  值。当  $E$  下降到一定程度而无法达到作战使用要求时,装备就应当退役了。

### 1.4 超期服役系数

装备最佳服役期  $T^*$  可采用年均费用法来确定。假设某武器装备在  $t_0$  年开始装备部队,采购费用为  $J$ ,服役期内各年度的使用维护费分别为  $F_1, F_2, \dots, F_n$ ,退役残值为  $N$ ,  $i$  为年利率,则采购费与各年度的使用维护费及退役残值都折算到  $t_0$  年的总费用为  $C = J + \sum_{k=1}^n F_k(1+i)^{-k} - N(1+i)^{-n}$ , 年均费用为  $g(n) = C \cdot (A/P, i, n) = C \cdot i(1+i)^n / (1+i)^n - 1$ , 最佳服役期  $T^*$  就是使年均费用最小的服役期限,即  $T^* = \{n/g(n) = \min(g(n))\}$ , 为了反映武器装备的实际服役时间与最佳服役期的对比情况,这里采用超期服役系数表示即  $\eta = T/T^*$ , 其值越大于 1.0, 说明超期服役越严重,也就越应当退役。

### 1.5 战略权重值

有些武器装备虽然使用维护费用高、或可靠性较低、或服役年限已超期,但由于它可以对敌方形成一定的威慑,或者在整个防空体系中起着重要作用,或者暂时无相应的新型装备替代而继续服役。因此,用战略权重值来反映这些政治、军事和经济等因素的影响。它也是一个综合评价的结果,同样采用 1.1 所述的方法对武器装备的战略权重值进行综合评判,评判集为

$$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$$

## 2 模糊聚类分析的算法原理

设有  $n$  个样本(即  $n$  种型号的武器)作为研究对象,考虑  $m$  项因素指标,  $y_{ij}$  表示第  $i$  个样本的第  $j$  项因素指标值,为了增加可比性和消除不同量纲的影响,对各项因素值进行必要的量化和标准化:

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - A_j}{B_j - A_j}$$

其中:  $A_j = \min_j \{y_{ij}\}$ ,  $B_j = \max_j \{y_{ij}\}$ 。利用标准化的数据,用夹角余弦法计算样本之间的贴近度:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^5 x_{ik} \cdot x_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^5 x_{ik}^2 \cdot \sum_{k=1}^5 x_{jk}^2}}$$

从而得到模糊相容关系  $R = (r_{ij})_{n \times n}$ , 对  $R$  进行若干次复合运算,直到  $R_{2k} = R_{2k-1}$ , 说明  $R_{2k}$  已是一个模糊等价关系。给定聚类水平  $\lambda$ , 由

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & r_{ij} < \lambda \\ 0 & r_{ij} \geq \lambda \end{cases}$$

可得聚类矩阵  $R$ , 一行或一列中为 1 的元素所对应的样本为一类。

这里聚类水平  $\lambda$  的大小表示把不同样本归为同一类的严格程度。 $\lambda = 1$  时, 表示聚类非常严格, 则  $n$  个样本各自为一类;  $\lambda = 0$  时, 表示聚类很宽松, 则  $n$  个样本归为同一类。如果  $n$  个样本中某个样本的各项指标均为最差或均为最优, 则称之为基准样本。由大到小或由小到大地调整  $\lambda$  值, 根据各个样本与基准样本相聚类或分离的顺序, 就可判断出各类的优劣次序。

### 3 算例

现有 6 种型号地空导弹的 5 种因素值如表 1。

表 1 6 种型号地空导弹的 5 种因素值

型号编号	技术性能落后程度	年使用维护费用/万元	作战效能	超期服役系数	战略权重
1	较落后	87.63	0.637 6	1.244	重要
2	较先进	116.42	0.626 1	0.855	较重要
3	一般	77.63	0.451 3	1.052	一般
4	落后	94.77	0.303 2	1.572	次要
5	较落后	53.68	0.477 2	0.998	一般
6	一般	45.89	0.565 1	0.902	次要

对原始数据进行如下处理<sup>[4]</sup>: ①技术性能落后程度共分 5 级, {先进, 较先进, 一般, 较落后, 落后}, 分别赋予 10、30、60、80、100 的标度值, 战略权重共分 4 级, {重要, 较重要, 一般, 次要}, 分别赋予 10、40、80、100 的标度值; ②作战效能与其他指标大小不一致, 对应取倒数; ③进行标准化, 得到数据如表 2 所示。

表 2 6 种型号地空导弹的 5 种因素值处理结果

型号编号	技术性能落后程度	年使用维护费用/万元	作战效能	超期服役系数	战略权重
1	0.714 3	0.591 8	0.000 0	0.522 6	0.000 0
2	0.000 0	1.000 0	0.016 6	0.000 0	0.333 3
3	0.428 6	0.450 0	0.374 3	0.243 1	0.777 8
4	1.000 0	0.693 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
5	0.714 3	0.110 4	0.304 8	0.164 5	0.777 8
6	0.428 6	0.000 0	0.116 3	0.024 7	1.000 0

经计算得到一个模糊相容关系  $R$ , 经 4 次复合后得到模糊等价关系

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.622 1 & 0.730 8 & 0.730 8 & 0.730 8 & 0.730 8 \\ 0.622 1 & 1 & 0.622 1 & 0.622 1 & 0.622 1 & 0.622 1 \\ 0.730 8 & 0.622 1 & 1 & 0.924 8 & 0.914 9 & 0.914 9 \\ 0.730 8 & 0.622 1 & 0.924 8 & 1 & 0.914 9 & 0.914 9 \\ 0.730 8 & 0.622 1 & 0.914 9 & 0.914 9 & 1 & 0.919 1 \\ 0.730 8 & 0.622 1 & 0.914 9 & 0.914 9 & 0.919 1 & 1 \end{bmatrix}$$

取  $\lambda = 0.730 8$ , 则

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

此时分为两类: {2}、{1, 3, 4, 5, 6}。取  $\lambda = 0.914 9$ , 则

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

此时分为3类: {1}、{2}、{3,4,5,6}。取  $\lambda = 0.9191$ , 则

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

此时分为4类: {1}、{2}、{3,4}、{5,6}。

结合样本的数据特征,样本4的各项指标均为最差,可作为基准样本。由以上分析,2型首先与基准样本分离,其次依次是1、5、6 3种型号。从而得出结论:首先3、4两种型号应当退役;其次是5和6两种型号;1型不太适合退役;2型很不适合退役。

#### 4 结束语

影响地空导弹武器装备退役的主要因素中,针对不同的地空导弹武器系统,在退役问题上可能反映在不同方面,而且强烈程度也不同。采用模糊聚类法,可以定量地综合权衡几个方面的因素,于不同之中找出相似之处,对面临退役的几种武器系统进行分类,以分清那些是应当优先退役的、哪些是不太适合退役的,为退役决策提供参考信息。如果所分析的样本中不易直观发现基准样本,可根据当前的技术发展状况,先假定一个基准样本,以便于最后判断各类的优劣次序。

#### 参考文献:

- [1] 姚德民,李汉玲,系统工程实用教程[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1996.
- [2] 李廷杰,导弹武器系统的效能及其分析[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [3] 傅家骥,全允桓.工业技术经济学[M].北京:清华大学出版社,1996.
- [4] 谢春燕,李为民.地面防空武器系统作战训练效能综合评估研究[J].空军工程大学学报(自然科学版),2003,4(4):11-13.

(编辑:田新华)

### Fuzzy Classification Analysis of Laid-off Model of Surface-to-Air Missile

SUN Yan-dong, ZHANG Qing-bo, YAN Yong-ling

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

**Abstract:** Main factors influencing the laid-off of weapon equipment are analyzed. The models for estimating these factors are given. Using the method of fuzzy classification, the laid-off model of surface-to-air missile is analyzed which provides a quantitative analysis means for the decision on the laid-off of surface-to-air missiles.

**Key words:** fuzzy classification; surface-to-air missile; laid-off