改进灰色关联分析在导弹对抗预警雷达效能评估中的应用*

张　帆，严　聪，郭建亮

(空军工程大学 导弹学院，陕西 三原　713800)

摘要：攻防对抗技术的发展，不确定性因素日益增强，导弹对抗预警雷达的效能评估问题也日益复杂. 借助实数、区间数、三角模糊数间的距离，利用偏差函数建立对抗效能评估模型. 利用灰色关联理论，提出了基于从属度的方案排序法. 此方法较好地解决这类混合型不确定多属性决策问题，从而拓展了解决这种问题的思路. 通过实例验证了此方法的可行性和有效性.

关键词：预警雷达权重；关联度；从属度

中图分类号：TJ76　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1006 - 0707(2009)09 - 0107 - 05

随着导弹突防与防御技术的不断发展，导弹对抗预警雷达过程的复杂性、不确定性因素日益增多，这也大大增加了导弹对抗预警雷达效能评估的难度. 长期以来，采用概率指标来反映导弹的对抗效能，但单纯的概率解析计算很难涵盖影响导弹对抗的不确定因素[1]. 最近国内也有采用层次分析法、模糊评估法与ADC法等方法进行导弹对抗预警雷达效能评估的文献，但这些方法也存在一定缺点，如层次分析法的权重计算和模糊评估法的模糊隶属度函数确定就存在一定的主观随意性[2].

1　问题的提出

在传统的灰色关联分析中，参考序列和比较序列的指标值都是某确定的值，即某白化值，而在实际问题中，指标值不一定都是白化值，有的可能是区间数，有的可能是模糊数. 在灰色关联度模型中建立精确数序列[3]、区间数序列[4]、矩阵序列[5]与模糊数序列[6]，文献[7]中给出了一种混合型多属性决策问题的TPOSIS方法. 然而，对混合型多指标分析问题的研究还很不完善[8]，在此则针对含精确数、区间数和模糊数的导弹对抗预警雷达效能混合型指标序列，建立了新的灰关联度量化模型，对其对抗效能进行评估. 最后对4种对抗方案进行了效能评估计算，计算结果表明，基于混合型的多属性决策能够满足导弹对抗预警雷达效能评估的应用要求，从而为导弹对抗预警雷达效能评估问题提供了一条新的解决途径.

2　混合型决策问题模型的建立

2.1　指标体系的建立

评估指标体系构建是实施效能评估的首要前提，采用混合型多属性决策理论进行导弹对抗预警雷达效能评估，必须构建导弹对抗效能评估指标体系. 为真正体现导弹对抗效能内涵，应依据完备性、合理性、科学性和可行性等原则选取评估指标. 根据"指标层次化"方法，建立评估指标体系，必须明确评估指标体系中所有指标之间的关系和层次结构. 因此单项性能指标包括各武器系统的跟踪精度、稳定跟踪时间、预警时间、检测概率、识别概率和导弹可靠性等各武器系统战术、技术指标[9]. 应该说，导弹对抗效能评估指标体系是1个动态的、不断完善的过程，需要逐步深化、求精、完善和体现导弹对抗效能本质.

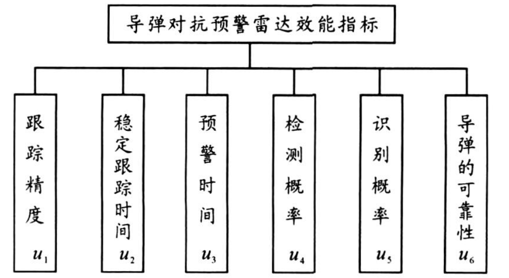

图1　导弹对抗预警雷达效能评估指标体系

* **收稿日期**：2009 - 07 - 01

作者简介：张帆(1978 —)，男，辽宁沈阳人，硕士研究生，主要从事管理科学与工程研究.

2.2 数据规范化

记 $M=\{1,2,\cdots,m\}$，$N=\{1,2,\cdots,n\}$，矩阵 $A=(a_{ij})_{m\times n}$，$B=(b_{ij})_{m\times n}$，$Z=(z_{ij})_{m\times n}$分别为决策矩阵、规范化和加权规范化决策矩阵，$\omega=(\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_n)^T$为指标的权重向量.

对指标的评价可采用特低、很低、低、一般、高、很高、特高为语言标度，与该标度相对应的三角模糊数表达式为：特低 = [[0,0,0.1]；很低 = [0.1,0.2,0.3]；低 = [0.2,0.3,0.4]；一般 = [0.4,0.5,0.6]；高 = [0.6,0.7,0.8]；很高 = [0.8,0.9,1]；特高 = [0.9, 1.0, 1.0].

通过对导弹对抗效能评估指标体系的分析，可以发现评估指标类型包括效益型和成本型 2 种，I_1，I_2 分别表示效益型，成本型指标. 其中效益型是指属性值越大越好的指标，如跟踪精度 u_1、稳定跟踪时间 u_2、预警时间 u_3、可靠性 u_6 为效益型；成本型是指属性值越小越好的指标，如检测概率 u_4、识别概率 u_5 为成本型. 为消除不同物理量纲对决策结果的影响，根据运算法则，将混合决策矩阵 $A=(a_{ij})_{m\times n}$，转为规范化矩阵 $B=(b_{ij})_{m\times n}$，其中 $i\in S$.

$$b_{ij}=\begin{cases} b_{ij} & j\in N_1 \\ [b_{ij}^L,b_{ij}^U] & j\in N_2 \quad i\in M \\ (b_{ij}^l,b_{ij}^m,b_{ij}^u) & j\in N_3 \end{cases} \tag{1}$$

N_1,N_2,N_3 分别为指标为实数、区间、三角模糊数的下标集，$N_1=\{1,2,\cdots,n_1\}$，$M=\{1,2,\cdots,m\}$，$N_2=\{n_1+1,n_1+2,\cdots,n_2\}$，$N_3=\{n_2+1,n_2+2,\cdots,n\}$.

对精确实数按如下规范：

$$b_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}a_{ij}^2}} \quad j\in I_1,I_2,i\in M \tag{2}$$

对区间数按如下规范：

$$\begin{cases} b_{ij}^L=\dfrac{a_{ij}^L}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}(a_{ij}^U)^2}} \\ b_{ij}^U=\dfrac{a_{ij}^U}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}(a_{ij}^L)^2}} \end{cases} j\in I_1 \tag{3}$$

$$\begin{cases} b_{ij}^L=\dfrac{\left(\frac{1}{a_{ij}^U}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{1}{a_{ij}^L}\right)^2}} \\ b_{ij}^U=\dfrac{\left(\frac{1}{a_{ij}^L}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{1}{a_{ij}^U}\right)^2}} \end{cases} ,j\in I_2 \tag{4}$$

对三角模糊数按如下规范：

$$\begin{cases} b_{ij}^l=\dfrac{a_{ij}^l}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}(a_{ij}^u)^2}} \\ b_{ij}^m=\dfrac{a_{ij}^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}(a_{ij}^m)^2}} \\ b_{ij}^u=\dfrac{a_{ij}^u}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}(a_{ij}^l)^2}} \end{cases} j\in I_1 \tag{5}$$

$$\begin{cases} b_{ij}^l=\dfrac{\left(\frac{1}{a_{ij}^u}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{1}{a_{ij}^l}\right)^2}} \\ b_{ij}^m=\dfrac{\left(\frac{1}{a_{ij}^m}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{1}{a_{ij}^m}\right)^2}} \\ b_{ij}^u=\dfrac{\left(\frac{1}{a_{ij}^l}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{1}{a_{ij}^u}\right)^2}} \end{cases} j\in I_2 \tag{6}$$

2.3 权重的确定

在规范化矩阵 $B=(b_{ij})_{m\times n}$中，元素分别以实数值，区间数，模糊数形式给出，难以进行比较，用 $d(b_{ij},b_{kj})$ 表示规范化决策矩阵 $B=(b_{ij})_{m\times n}$中元素 b_{ij}与 b_{kj}之间的距离.

b_{ij}，b_{kj}为实数时，

$$d(b_{ij},b_{kj})=|b_{ij}-b_{kj}|;$$

b_{ij}，b_{kj}为区间数时[10]，

$$d(r_{ij},r_{kj})=\frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(b_{ij}^L-b_{kj}^L)^2+(b_{ij}^U-b_{kj}^U)^2};$$

b_{ij}，b_{kj}为模糊数时[11]，

$$d(b_{ij},b_{kj})=\max\{|b_{ij}^l-b_{kj}^l|,|b_{ij}^m-b_{kj}^m|,|b_{ij}^u-b_{kj}^u|\};$$

对于属性 y_j，若方案 x_i 与其他所有方案的偏差用 $D_{ij}(\omega)$ 表示，则可定义

$$D_{ij}(\omega)=\sum_{k=1}^{s}d(b_{ij},b_{kj})\omega_j,\ i\in S,j\in N$$

且令

$$D_j(\omega)=\sum_{j=1}^{m}D_{ij}(\omega)=\sum_{i=1}^{s}\sum_{k=1}^{s}d(b_{ij},b_{kj})\omega_j,j\in N$$

对于属性 y_j，$D_j(\omega)$ 表示所有方案与其他方案的总偏差. 属性权重向量 ω的选择应使所有属性对所有方案的总偏差最大. 构造偏差函数为

$$D(\omega)=\sum_{j=1}^{m}D_j(\omega)=\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{s}d(b_{ij},b_{kj})\omega_j$$

因而求解权重向量 ω的问题等价于求解如下单目标最优化问题：

$$\begin{cases} \max D(\omega)=\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{s}d(b_{ij},b_{kj})\omega_j \\ \text{st.}\quad \sum_{j=1}^{m}\omega_j^2=1,\ \omega_j\ge 0,j\in N \end{cases}$$

运用拉格朗日定理可得其最优解为：

$$\omega_j=\frac{\sum_{i=1}^{s}\sum_{k=1}^{s}d(b_{ij},b_{kj})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{s}d(b_{ij},b_{kj})^2}}$$

对权重向量作归一化处理,可得

$$\omega_j=\frac{\sum_{i=1}^{s}\sum_{k=1}^{s}d(b_{ij},b_{kj})}{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{s}d(b_{ij},b_{kj})},j\in\mathbf{N} \tag{7}$$

2.4 **混合型多指标决策问题的解法**

2.4.1 **确定混合型多指标的正负理想方案**

对已规范化矩阵 $B=(b_{ij})_{m\times n}$,确定正理想方案 Y^+ 和负理想方案 Y^-:

1) 对实数型指标,令

$$y_{0j}^+=\max_{1\le i\le s}b_{ij}\quad j\in\mathbf{N}_1$$
$$y_{0j}^-=\min_{1\le i\le s}b_{ij}\quad j\in\mathbf{N}_1$$

2) 对区间型指标,令

$$t_j^-=\max_{1\le i\le s}b_{ij}^L\quad t_j^+=\max_{1\le i\le s}b_{ij}^U\quad j\in\mathbf{N}_2$$
$$s_j^-=\min_{1\le i\le s}b_{ij}^L\quad s_j^+=\min_{1\le i\le s}b_{ij}^U\quad j\in\mathbf{N}_2$$

3) 对三角模糊数指标,令

$$M_j^+=\max\{b_{1j},b_{2j},\cdots,b_{sj}\},j\in\mathbf{N}_3$$
$$M_j^-=\min\{b_{1j},b_{2j},\cdots,b_{sj}\},j\in\mathbf{N}_3$$

则正理想方案为

$$Y^+=\left(y_{01}^+,y_{02}^+,\cdots,y_{0h_1}^+,[t_{h_1+1}^-,t_{h_1+1}^+],\cdots,[t_{h_2}^-,t_{h_2}^+],M_{h_2+1}^+,\cdots,M_m^+\right)$$

负理想方案为

$$Y^-=\left(y_{01}^-,y_{02}^-,\cdots,y_{0h_1}^-,[s_{h_1+1}^-,s_{h_1+1}^+],\cdots,[s_{h_2}^-,s_{h_2}^+],M_{h_2+1}^-,\cdots,M_m^-\right)$$

2.4.2 **混合型多指标的灰色关联度的求解**

设 X 为混合型指标序列所组成的灰关联因子集,$x_0\in X$ 为参考序列,$x_i\in X$ 为比较序列,$i=1,2,\cdots,m$.

$$x_0=(x_{01},x_{02},\cdots,x_{0n})$$
$$x_1=(x_{11},x_{12},\cdots,x_{1n})$$
$$x_2=(x_{21},x_{22},\cdots,x_{2n})$$
$$\cdots$$
$$x_m=(x_{m1},x_{m2},\cdots,x_{mn})$$

其中:当 $j\in\mathbf{N}_1$ 时,$x_{ij}\in\mathbf{R}$ 为精确实数;当 $j\in\mathbf{N}_2$ 时,$x_{ij}=[x_{ij}^L,x_{ij}^U]$ 为区间数;当 $j\in\mathbf{N}_1$ 时,$x_{ij}=\hat{x}_{ij}=(x_{ij}^L,x_{ij}^M,x_{ij}^U)$ 为三角模糊数.

第 i 方案和正理想方案间的关联系数为:

$$\xi(Y^+,b_{ij})=\frac{\rho D_{\max}}{D_{0i}(b_{ij},Y^+)+\rho D_{\max}} \tag{8}$$

当 $j\in\mathbf{N}_1$ 时,

$$D(b_{ij},Y^+)=|y_{0j}^+-b_{ij}|\text{为绝对差},$$

当 $j\in\mathbf{N}_2$ 时,

$$D(b_{ij},Y^+)=\frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(b_{ij}^L-t_j^-)^2+(b_{ij}^U-t_j^+)^2};$$

当 $j\in\mathbf{N}_3$ 时,

$$D(b_{ij},Y^+)=\max\{|b_{ij}^l-M_{jl}^+|,|b_{ij}^m-M_{jm}^+|,|b_{ij}^u-M_{ju}^+|\};$$

而 $D_{\min}=\min_i D(b_{ij},Y^+)$ 为两极最小差,$D_{\max}=\max_i D(b_{ij},Y^+)$ 为两极最大差.则第 i 方案和正理想方案间的关联度为:

$$r(Y^+,b_i)=\sum_{j=1}^{n}\omega_j\xi(Y^+,b_{ij}) \tag{9}$$

第 i 方案和负理想方案间的关联系数为:

$$\xi(b_{ij},Y^-)=\frac{\rho D_{\max}}{D_{0i}(b_{ij},Y^-)+\rho D_{\max}} \tag{10}$$

当 $j\in\mathbf{N}_1$ 时,

$$D(b_{ij},Y^-)=|y_{0j}^--b_{ij}|\text{为绝对差},$$

当 $j\in\mathbf{N}_2$ 时,

$$D(b_{ij},Y^-)=\frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(b_{ij}^L-s_j^-)^2+(b_{ij}^U-s_j^+)^2};$$

当 $j\in\mathbf{N}_3$ 时,

$$D(b_{ij},Y^-)=\max\{|b_{ij}^l-M_{jl}^-|,|b_{ij}^m-M_{jm}^-|,|b_{ij}^u-M_{ju}^-|\};$$

而 $D_{\min}=\min_i D(b_{ij},Y^-)$ 为两极最小差,$D_{\max}=\max_i D(b_{ij},Y^-)$ 为两极最大差.则第 i 方案和负理想方案间的关联度为:

$$r(Y^-,b_i)=\sum_{j=1}^{n}\omega_j\xi(Y^-,b_{ij}) \tag{11}$$

由文献[12-13]中可知,混合型指标序列关联度 $r(x_0,x_i)$ 满足灰区间关联四公理,对于整体平移、整体相似、规范化3种生成算法,都不改变关联度,且指标权重是否归一化,并不影响关联度的保序性和保差异性.因此这种新的关联度具有非常优良的特性.

2.5 **计算从属度**

对方案进行选优等同于多目标函数

$$(MOP)\quad \max f(x)=(f_1(x),f_2(x),\cdots,f_n(x))$$
$$\text{st.}\quad x\in X=\{x_1,x_2,\cdots,x_m\}$$

显然,$r(Y^+,b_i)$ 越大,表示决策方案 i 越好,而 $r(Y^-,b_i)$ 越小,表示决策方案 i 越好,考虑决策方案应与正理想方案的关联度最大同时与负理想方案的关联度最小.我们假定 b_i 以从属度 u_i 从属于理想方案 Y^+.,那么 b_i 即以 $1-u_i$ 从属于负理想方案 Y^-,为确定最优从属度 u_i,由文献[12]中可知,此目标函数的最优解为

$$u_i=\frac{1}{1+\left[\frac{r(Y^-,b_i)}{r(Y^+,b_i)}\right]^2} \tag{12}$$

3 实例分析

现以导弹对抗预警雷达效能指标计算为例,有上面的指标体系分析可知,共有6项单项性能指标:u_1 为跟踪精度;u_2 为稳定跟踪时间;u_3 为预警时间;u_4 为检测概率;u_5 为识别概率;u_6 为导弹的可靠性.现有4种导弹突防方案,通过仿真获取各评估指标结果如表1所示.跟踪精度、稳定跟踪时间、预警时间、可靠性为效益型;成本型是指属性值越小越好的指标,如检测概率、识别概率为成本型.

表1　4种不同方案的导弹武器性能指标

方案 \ 属性	跟踪精度	跟踪时间	预警时间	检测概率	识别概率	可靠性
X_1	5.53	[1 897,1 961]	[1 867,1 901]	[0.73,0.84]	[0.73,0.84]	一般
X_2	5.88	[1 324,1 388]	[1 244,1 362]	[0.64,0.78]	[0.32,0.47]	低
X_3	4.53	[1 545,1 721]	[1 523,1 643]	[0.87,0.98]	[0.47,0.68]	高
X_4	3.82	[2 701,2 843]	[2 677,2 812]	[0.44,0.56]	[0.72,0.85]	很高

1) 根据三角模糊数与语言变量的对应关系,用三角模糊数表示决策矩阵中的定性指标

$$X=\begin{bmatrix} 5.53 & [1\,897,1\,961] & [1\,867,1\,901] & [0.73,0.84] & [0.73,0.84] & (0.4,0.5,0.6) \\ 5.88 & [1\,324,1\,388] & [1\,244,1\,362] & [0.64,0.78] & [0.32,0.47] & (0.2,0.3,0.4) \\ 4.53 & [1\,545,1\,721] & [1\,523,1\,643] & [0.87,0.98] & [0.47,0.68] & (0.6,0.7,0.8) \\ 3.82 & [2\,701,2\,843] & [2\,677,2\,812] & [0.44,0.56] & [0.72,0.85] & (0.8,0.9,1.0) \end{bmatrix}$$

2) 利用不同类型指标的归一化公式(2)到(6)将决策矩阵 X 归一化得

$$B=\begin{bmatrix} 0.552\,3 & [0.463,0.506] & [0.466,0.499] & [0.362,0.507] & [0.280,0.445] & (0.27,0.32,0.55) \\ 0.587\,2 & [0.323,0.358] & [0.310,0.357] & [0.390,0.579] & [0.500,1.014] & (0.14,0.19,0.37) \\ 0.492\,4 & [0.377,0.444] & [0.380,0.431] & [0.310,0.426] & [0.346,0.691] & (0.41,0.45,0.73) \\ 0.381\,5 & [0.659,0.733] & [0.668,0.738] & [0.543,0.842] & [0.277,0.451] & (0.54,0.58,0.91) \end{bmatrix}$$

根据规范化矩阵 B,利用式(7)计算出各个指标的权重值.

$$\omega=(0.092,0.156,0.162,0.145,0.200,0.245)$$

对已规范化的矩阵 B,确定正理想解 Y^+ 和负理想解 Y^-

$$Y^+=[0.587\,2,[0.659,0.733],[0.668,0.738],[0.543,0.842],[0.500,1.014],(0.54,0.58,0.91)]$$

$$Y^-=[0.381\,5,[0.323,0.358],[0.310,0.357],[0.310,0.426],[0.277,0.451],(0.14,0.19,0.37)]$$

求得关联系数矩阵为

$$\xi(Y^+,b_{ij})=\begin{bmatrix} 0.746\,6 & 0.456\,4 & 0.455\,0 & 0.385\,1 & 0.333\,3 & 0.428\,6 \\ 1.000\,0 & 0.333\,3 & 0.333\,3 & 0.439\,4 & 1.000\,0 & 0.333\,3 \\ 0.520\,4 & 0.373\,9 & 0.382\,4 & 0.333\,3 & 0.460\,0 & 0.600\,0 \\ 0.333\,3 & 1.000\,0 & 1.000\,0 & 1.000\,0 & 0.334\,9 & 1.000\,0 \end{bmatrix}$$

利用式(9)求出各方案与正理想解的关联度分别为:

$$r_1^+=0.441\,0,\ r_2^+=0.543\,4,\ r_3^+=0.455\,4,\ r_4^+=0.805\,7$$

求得关联系数矩阵为

$$\xi(b_{ij},Y^-)=\begin{bmatrix} 0.375\,9 & 0.552\,8 & 0.553\,2 & 0.712\,5 & 0.977\,2 & 0.600\,0 \\ 0.333\,3 & 1.000\,0 & 1.000\,0 & 0.580\,0 & 0.333\,3 & 1.000\,0 \\ 0.481\,7 & 0.712\,0 & 0.719\,3 & 1.000\,0 & 0.547\,3 & 0.428\,6 \\ 1.000\,0 & 0.333\,3 & 0.333\,3 & 0.333\,3 & 1.000\,0 & 0.333\,3 \end{bmatrix}$$

利用式(10)求出各方案与负理想解的关联度分别为

$$r_1^-=0.656\,1,\ r_2^-=0.744\,4,\ r_3^-=0.631\,4,\ r_4^-=0.527\,9$$

利用式(11)计算从属度为

$$\mu_1=0.311\,2,\ \mu_2=0.347\,6,\ \mu_3=0.419\,0,\ \mu_4=0.604\,2$$

由此可知,此方案的排序为: $x_4>x_3>x_2>x_1$.

4　结束语

导弹对抗效能评估一直是军方和工业设计部门十分关心的技术难题,,由于很难获取导弹攻防对抗双方的全部武器性能参数,导弹对抗防效能评估具有很强的不确定性和复杂性.本文中建立了含精确数、区间数和模糊数的混合型指标序列的灰关联度量化模型,该关联度不仅概念明确,性能优良,计算简单,而且还为解决混合型多属性决策问题提供了一种新的有效途径,并完整地给出了一种基于混合型指标序列的导弹对抗效能多属性决策评估方法,并通过算例说明了该评

估方法的可行性,对导弹对抗预警雷达效能评估研究具有一定的借鉴意义.

参考文献:

[1] 陈景亮,朱一凡. 导弹攻防对抗作战效能仿真分析方法论[J]. 国防科技大学学报,1999, 21(1):21 - 24.

[2] 岳韶华,周安国. 地面防空作战效能的模糊综合评价[J]. 系统工程与电子技术,2001, 23(9):67 - 69.

[3] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.

[4] Xiao Xinping, Li Xiaoqiang. Grey relational interval analysis and its application[J]. The Journal of Grey System, 1997,9(4),357 - 364.

[5] Zha Jinmao. Grey relational matrix analysis: grey judgment model[J]. The Journal of Grey System, 1995,7(4),323 - 330.

[6] Yang Guang, Wu Xiaoping, Cheng Huabin, A kind of grey relational grade problem based on fuzzy membership function[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2004,16(2):95 - 98.

[7] 夏勇其,吴祈宗. 一种混合型多属性决策问题的 Topsis 方法[J]. 系统工程学报,2004,19(6):630 - 634.

[8] 宋业新,张曙红,陈绵云. 基于模糊模式识别的时序混合多指标决策[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(4):1 - 4.

[9] 齐照辉,王祖尧,张为华. 基于区间数多属性决策的导弹突防效能评估方法[J]. 系统工程与电子技术,2006,11(28):1700 - 1703.

[10] 肖新平,邓旅成,查金茂. 灰色系统分析理论及应用[M]. 大连海事出版社,1997.

[11] 王国俊. 三角型模糊数空间的可分性\局部紧性和完备性[J]. 工程数学学报,1996,13(3):1 - 6.

[12] 闫书丽. 多属性决策与集成方法研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2005.

[13] 牛天林,王洁,熊小龙. 基于模糊多属性决策方法的装备战场威胁评估[J]. 兵工自动化,2007(10):12 - 13.

(上接第 93 页)

4　结束语

通过分析影响战时装备保障分队生存能力的主要因素,建立了评估其生存能力的指标体系,并应用层次分析法和模糊综合评价对某修理营的生存能力进行了评估,从而将定性与定量科学有机地结合起来,给出了明确的评价标准,得出了合理的评价结果,然后对此进行分析判断,给出了相关优化建议,为战前其生存能力的提高和战时指挥员对装备保障分队的运用提供了依据.

参考文献:

[1] 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,2001.

[2] 陈航宇. 模糊综合评判法在课程评估中的应用[J]. 河池学院学报,2005,25(5):71 - 74.

[3] 付鹏,张濡川. 自适应神经模糊推理系统及其在态势评估中的应用[J]. 现代电子技术,2005,28(7):61 - 64.