

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.02.008

基于区间数灰色关联决策的电力目标选择方法

吴畏, 赵文杰, 刘辉

(空军航空大学 特种专业系, 长春 130022)

摘要: 针对传统方法不能很好地解决战场决策信息不确定的目标选择问题, 通过对影响电力目标重要程度的评价指标进行分析, 应用区间数灰色关联决策方法完成了电力目标选择模型的构建。模型中的指标权重通过组合赋权法获得。经实例验证证明, 该方法是科学、合理的, 对战时的指挥决策起到了较好的辅助作用。

关键词: 电力目标; 目标选择; 区间数; 灰色关联决策; 组合赋权

中图分类号: N941.5; O236 **文献标志码:** A

Selection Method of Power Targets Based on Interval Number Grey Relation Decision-Making

Wu Wei, Zhao Wenjie, Liu Hui

(Dept. of Specialty, Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: Aiming at the target selection problems under unpredictable information in the process of battlefield decision-making, which the tradition methods can't solve, the method of interval number grey relation decision-making is applied to propose the model of power targets selection through an analysis of the parameters involved in determining the importance of power targets. In this model, the factors' weights are obtained by combination weighting way. The method is scientific and reasonable based on the illustration of an application example, and plays an important role in assisting wartime command decision-making.

Keywords: power targets; target selection; interval number; grey relation decision-making; combination weighting

0 引言

目标选择是作战指挥决策的重要组成部分, 其准确与否直接关系到战略、战役企图能否顺利实现, 同时, 它也是控制战争强度、规模和进程的有效手段。目前, 我军现有的目标选择研究成果大多集中于机场、导弹阵地、舰船、雷达阵地等军事目标, 对具有很大战争潜力的能源目标研究很少。

目标选择的模型和研究方法很多, 现常用的主要有: 主成分分析法^[1]、层次分析法^[2-3]、效用函数法^[4]、TOPSIS 法^[5]、模糊综合评价法^[6-7]等。由于现代的战场环境错综复杂, 充满了各种随机性和灰色性, 使得在应用上述方法对目标进行选择时, 很难解决战场信息的不确定性问题, 不能满足现代战场的需要。因此, 笔者结合电力目标的特点, 应用区间数灰色关联决策法对电力目标进行选择研究。

1 评价指标体系构建

根据电力目标情报获取可靠性、目标之间的相关性以及对作战进程的影响, 笔者总结出目标的发电能力、目标的固有价值、目标的打击效用、目标

间的相关程度、目标的易损程度和目标的备份能力等 6 个评价指标:

1) 目标的发电能力

发电能力是对电力目标进行综合评价的一个重要属性, 指在一定时间内向用电部门提供电力的多少, 受生产技术的高低和生产设备的先进程度影响。

2) 目标的固有价值

目标的固有价值是指目标在整个目标系统中所占的比重, 包括自身的经济价值和潜在的军事价值, 一般是不随任何因素而改变的。

3) 目标的打击效用

打击效用是指目标在一定的火力打击情况下, 攻击方的收益情况和攻击所能达到打击计划的程度。具体体现在效费比、对被攻击方作战体系实力的影响、对被攻击方装备体系效能的影响、对被攻击方技术优势的影响等方面。

4) 目标的相关程度

相关程度是指目标间各种信息、物质、能量渠道中的相互联系。按照生产流程关系找物质流链路, 通过比较, 如果链路较多的目标, 则在整个目标系统中地位相对重要, 目标相关度就大; 对于链路少

收稿日期: 2010-09-14; 修回日期: 2010-11-22

基金项目: 国家自然科学基金“非参数统计的理论和应用”(10828102)

作者简介: 吴畏(1981—), 男, 辽宁人, 硕士, 从事目标选择与打击研究。

的目标, 则其替代性较差, 目标相关度就小, 需要重点保护, 否则毁坏后的恢复则相对困难。

5) 目标的易损程度

指目标易被我战役战术武器毁伤程度。目标的易损程度与目标暴露程度、伪装能力、防护能力和通视情况等有关。易损程度越大, 毁伤效果越好, 弹药消耗越少, 打击的效益也越高。在通过对易损程度衡量的时候, 对于所选目标的打击难度、地位等因素也要结合在一起, 使打击效率提高。

6) 目标的备份能力

目标的备份能力是指目标在被摧毁后, 是否具有相同作用的目标进行替换, 以及能够达到的效果的大小。如果目标在摧毁后, 使用其备份装备进行替代, 但却使其作用范围变小了, 则说明备份能力不高。

2 区间数灰色关联决策方法的一般步骤

2.1 区间数决策矩阵的建立及规范化^[8]

设目标选择问题有 m 个待评价的目标组成的目标方案集 S , $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$; n 个评价指标组成的指标集 A , $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$; 方案 S_i 对指标 A_j 的属性值为 $[x_{ij}^L, x_{ij}^U]$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$), 则方案集 S 对指标集 A 的区间数决策矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} [x_{11}^L, x_{11}^U] & [x_{12}^L, x_{12}^U] & \dots & [x_{1n}^L, x_{1n}^U] \\ [x_{21}^L, x_{21}^U] & [x_{22}^L, x_{22}^U] & \dots & [x_{2n}^L, x_{2n}^U] \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ [x_{m1}^L, x_{m1}^U] & [x_{m2}^L, x_{m2}^U] & \dots & [x_{mn}^L, x_{mn}^U] \end{bmatrix}$$

指标属性集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 一般情况下可分为 2 种类型, 即“效益型”、“成本型”。由于指标属性集中的指标具有不同的量纲, 在决策时很难对它们直接进行比较, 需要对原始决策矩阵进行规范化处理。目前, 规范化处理的方法较多, 如均值化变换、初值化变换、百分比变换、归一化变换、级差最大化变换等, 但它们都是对决策矩阵为实数时进行处理的方法。因此, 定义区间数决策矩阵规范化方法如下:

若 A_j 为效益型指标, 则 $r_{ij}^L = \frac{x_{ij}^L}{\sum_{i=1}^m x_{ij}^U}$, $r_{ij}^U = \frac{x_{ij}^U}{\sum_{i=1}^m x_{ij}^L}$ (1)

若 A_j 为成本型指标, 则 $r_{ij}^L = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{x_{ij}^U}}$, $r_{ij}^U = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{x_{ij}^L}}$ (2)

通过此规范化方法对决策矩阵 X 进行规范化变换, 得规范化决策矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} [r_{11}^L, r_{11}^U] & [r_{12}^L, r_{12}^U] & \dots & [r_{1n}^L, r_{1n}^U] \\ [r_{21}^L, r_{21}^U] & [r_{22}^L, r_{22}^U] & \dots & [r_{2n}^L, r_{2n}^U] \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ [r_{m1}^L, r_{m1}^U] & [r_{m2}^L, r_{m2}^U] & \dots & [r_{mn}^L, r_{mn}^U] \end{bmatrix}$$

其中, $r_i = ([r_{i1}^L, r_{i1}^U], [r_{i2}^L, r_{i2}^U], \dots, [r_{in}^L, r_{in}^U])$ 为目标方案 i 的区间数效果向量。显然规范化决策矩阵 R 的元素 $r_{ij}^L, r_{ij}^U \in [0, 1]$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)。

2.2 构造理想最优目标方案

决策矩阵经规范化处理后, 消除了不同类型指标间的不可公度性。对每个指标来说, 都是指标值越大越好, 故可利用区间数上、下界的平均值作为该区间数的具体值, 来构造理想最优目标方案。设

$$r_{i_0j} = \max \left\{ \frac{r_{ij}^L + r_{ij}^U}{2} \mid 1 \leq i \leq m \right\}, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

它所对应的评价指标值记为 $[r_{i_0j}^L, r_{i_0j}^U]$, 则称目标方案: $S^+ = \{[r_{i_01}^L, r_{i_01}^U], [r_{i_02}^L, r_{i_02}^U], \dots, [r_{i_0n}^L, r_{i_0n}^U]\}$, 为理想最优目标方案。

在构造理想最优目标方案时, 如果一个评价指标或多个评价指标中两个或多个目标方案 $\frac{r_{ij}^L + r_{ij}^U}{2}$ 相等, 就把指标值上界 r_{ij}^U 最大的所对应的目标方案作为该评价指标的最优目标方案。

2.3 评价指标权重的确定

在目标选择问题中, 指标权重的确定是选择模型至关重要的一步。目前, 指标权重确定方法大致有主观赋权法、客观赋权法和组合赋权法 3 类。主观赋权法是根据决策者主观经验和判断, 用某种特定法则测算出指标权重的方法, 比较常用的是层次分析法; 客观赋权法是根据决策矩阵提供的客观信息, 用某种特定法则确定权重的方法, 比较常用的是熵值法。对同一个目标选择问题来说, 主、客观赋权法各有其优缺点, 而组合赋权法将这两类赋权

法有机结合起来, 使确定的权重同时体现主观信息和客观信息, 显得更为科学合理。

2.3.1 层次分析法赋权^[9]

表 1 两两比较的评价尺度

标度值	标度意义	
1	A_i 与 A_j 同样重要	$w_i = w_j$
3	A_i 比 A_j 稍微重要	$w_i = 3w_j$
5	A_i 比 A_j 明显重要	$w_i = 5w_j$
7	A_i 比 A_j 非常重要	$w_i = 7w_j$
9	A_i 比 A_j 极端重要	$w_i = 9w_j$
2、4、6、8	表示上述相邻判断的中间值	

根据各评价指标间的相对重要程度(参照表 1), 得到判断矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, $b_{ij} = w_i/w_j$ 表示第 i 个评价指标与第 j 个评价指标的相对重要程度。如果判断矩阵 B 满足一致性检验, 则 $BW = \lambda_{\max}W$ 中最大特征值 λ_{\max} 对应的特征向量就是各评价指标的权重, $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

检验判断矩阵的一致性, 用一致性比率 CR 的大小来表示。

$$CR = CI/RI; \text{ 其中 } CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}; \quad (5)$$

其中 RI 是指同阶矩阵的随机指标 (参照表 2)。

表 2 n 阶矩阵的随机指标 RI

维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

若 $CR \geq 0.1$, 说明 B 中各元素 b_{ij} 的估计一致性太差, 应对判断矩阵作适当调整, 重新估计; 若 $CR < 0.1$, 说明 B 中各元素 b_{ij} 的估计基本一致, 通过一致性检验。

2.3.2 熵值法赋权

区间数决策矩阵的元素都是区间数, 无法直接利用熵值法对指标赋权, 因此使用熵值法确定权重之前, 需要对决策矩阵进行量化处理。这里引进区间数相离度概念^[10]:

设 $a = [a^-, a^+], b = [b^-, b^+]$ 为两区间数, 令

$$D(a, b) = \sqrt{(a^- - b^-)^2 + (a^+ - b^+)^2} \quad (6)$$

称 $D(a, b)$ 为区间数 a 、 b 的相离度。其求解步骤为:

1) 利用区间数相离度的概念, 将决策矩阵 $X = ([x_{ij}^L, x_{ij}^U])_{m \times n}$ 转化为相离度矩阵 $D = (d_{ij})_{m \times n}$, 其中 $d_{ij} = D(x_{ij}^L, x_{ij}^U)$, x_{ij}^* 为评价指标 $A_j (j=1, 2, \dots, n)$ 下的理想指标值;

2) 利用 $P_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^m d_{ij}}$ 将相离度矩阵 $D = (d_{ij})_{m \times n}$ 规范

化为矩阵

$$P = (p_{ij})_{m \times n} \quad (7)$$

3) 求出指标 A_j 下的熵值

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad j=1, 2, \dots, n, \text{ 其中, } k = -1/\ln m \text{ 为}$$

$$\text{常数, } 0 \leq E_j \leq 1 \quad (8)$$

4) 计算评价指标 A_j 下各目标方案贡献度的一致性程度 $C_j = 1 - E_j, j = 1, 2, \dots, n$

5) 计算各评价指标权重:

$$W'_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \quad (9)$$

2.3.3 组合赋权

根据上面层次分析法和熵值法得到权重 W_j 和 W'_j , 利用乘法集成法计算各评价指标的综合权重:

$$W_j^0 = \frac{w_j w'_j}{\sum_{j=1}^n w_j w'_j}, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (10)$$

2.4 计算关联系数

目标方案 S_i 与理想最优目标方案 S^+ 关于评价指标 A_j 的区间数关联系数为:

$$\delta_{i0j}^+ = \frac{\min_j \min_i (L_{i0j}^+) + \rho \max_j \max_i (L_{i0j}^+)}{L_{i0j}^+ + \rho \max_j \max_i (L_{i0j}^+)} \quad (11)$$

其中, $L_{i0j}^+ = \frac{1}{2} (|r_{ij}^L - r_{i0j}^L| + |r_{ij}^U - r_{i0j}^U|), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

2.5 计算关联度并对目标方案排序

目标方案 S_i 与理想最优目标方案 S^+ 的区间数关联度为:

$$\varepsilon_i = \sum_{j=1}^n w_j \delta_{i0j}^+, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

按照 ε_i 的大小对目标方案进行排序, 进而制定

出目标选择与打击方案。

3 实例分析

3.1 决策矩阵的建立及规范化

根据对某地区电力目标情报的获取和分析, 选取 6 个对该地区电力系统的正常运转起关键作用的电力目标, 分别为电力目标 A 、电力目标 B 、电力目标 C 、电力目标 D 、电力目标 E 和电力目标 F , 构成目标方案集 $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$; 同时, 确定 6 个评价指标: 目标的发电能力、目标的固有价值、目标的打击效用、目标间的相关度、目标的易损程度和目标的备份能力, 构成评价指标集 $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\}$ 。其中, A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_6 为效益型指标; A_5 为成本型指标。

为了使参与研究的人员对目标的每个评价指标能够最大限度进行区分, 根据心理学家的实验结果, 在某个属性上对若干不同物体进行辨别时, 普通人

能够正确区别属性等级在五级至九级之间, 因此, 为了使目标评价指标的描述更加准确, 将目标属性的等级划分为 9 个等级。如表 3。

表 3 目标属性等级表

等级	最	很	差	较	一	较	很	最	
	差	差	差	差	般	好	好	好	
分值 上	0	2	3	4	5	6	7	8	9
分值 下	2	3	4	5	6	7	8	9	10

通过对该地区电力目标情报的搜集, 以及多位专家根据表 3 的评价标准进行评价打分, 得到区间数决策矩阵

$$X = \begin{bmatrix} [1\ 900, 2\ 100] & [7, 8] & [7, 8] & [7, 8] & [6, 7] & [4, 6] \\ [2\ 500, 2\ 700] & [8, 9] & [6, 7] & [6, 7] & [5, 7] & [2, 4] \\ [1\ 440, 1\ 640] & [5, 7] & [5, 7] & [4, 6] & [7, 9] & [3, 5] \\ [2\ 160, 2\ 360] & [7, 9] & [8, 9] & [5, 7] & [4, 5] & [3, 4] \\ [950, 1\ 150] & [5, 7] & [7, 9] & [6, 8] & [4, 6] & [5, 6] \\ [1\ 500, 1\ 700] & [6, 7] & [6, 8] & [5, 6] & [3, 5] & [4, 5] \end{bmatrix}$$

根据式 (1) 和式 (2) 对决策矩阵 X 进行规范化变换, 得规范化决策矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} [0.16, 0.20] & [0.15, 0.21] & [0.15, 0.20] & [0.17, 0.24] & [0.11, 0.17] & [0.13, 0.29] \\ [0.21, 0.26] & [0.17, 0.24] & [0.13, 0.18] & [0.14, 0.21] & [0.11, 0.21] & [0.07, 0.19] \\ [0.12, 0.16] & [0.11, 0.18] & [0.10, 0.18] & [0.10, 0.18] & [0.08, 0.15] & [0.10, 0.24] \\ [0.19, 0.23] & [0.15, 0.24] & [0.17, 0.23] & [0.12, 0.21] & [0.15, 0.26] & [0.10, 0.19] \\ [0.08, 0.11] & [0.11, 0.18] & [0.15, 0.23] & [0.14, 0.24] & [0.12, 0.26] & [0.17, 0.29] \\ [0.13, 0.16] & [0.13, 0.18] & [0.13, 0.21] & [0.12, 0.18] & [0.15, 0.35] & [0.13, 0.24] \end{bmatrix}$$

3.2 构造理想最优目标方案

根据式 (3) 得理想最优目标方案 S^+ :

$$S^+ = \{[0.21, 0.26], [0.17, 0.24], [0.17, 0.23], [0.17, 0.24], [0.15, 0.35], [0.17, 0.29]\}$$

3.3 评价指标权重的确定

根据式 (4) 得判断矩阵 B :

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/2 & 2 & 3 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1/3 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 3 & 4 & 4 \\ 1/2 & 1 & 1/3 & 1 & 2 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/4 & 1 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

由 $BW = \lambda_{\max} W$ 求得 $\lambda_{\max} = 6.15$, 根据式 (5) 得 $CR = 0.0241 < 0.1$, 判断矩阵满足一致性检验。因此, λ_{\max} 对应的特征向量是各评价指标的权重 W :

$$W = (0.23, 0.13, 0.36, 0.12, 0.09, 0.07)$$

根据式 (6), 利用区间数相离度的概念, 将决策

矩阵 X 转化为相离度矩阵 D :

$$D = \begin{bmatrix} 848.53 & 1.41 & 1.41 & 0 & 3.61 & 1 \\ 0 & 0 & 2.83 & 1.41 & 2.83 & 3.61 \\ 1\ 499.06 & 3.61 & 3.61 & 3.61 & 5.66 & 2.24 \\ 480.83 & 1 & 0 & 2.24 & 1 & 2.83 \\ 2\ 192.03 & 3.61 & 1 & 1 & 1.41 & 0 \\ 1\ 414.21 & 2.83 & 2.24 & 2.83 & 0 & 1.41 \end{bmatrix}$$

根据式 (7) 得规范化矩阵 P :

$$P = \begin{bmatrix} 0.13 & 0.11 & 0.13 & 0 & 0.25 & 0.09 \\ 0 & 0 & 0.26 & 0.13 & 0.20 & 0.32 \\ 0.23 & 0.29 & 0.32 & 0.32 & 0.39 & 0.20 \\ 0.08 & 0.08 & 0 & 0.20 & 0.07 & 0.26 \\ 0.34 & 0.29 & 0.09 & 0.09 & 0.09 & 0 \\ 0.22 & 0.23 & 0.20 & 0.26 & 0 & 0.13 \end{bmatrix}$$

根据式 (8) 和式 (9) 得各评价指标权重 W' :

$$W' = (0.16, 0.18, 0.15, 0.15, 0.21, 0.15);$$

(注: 当 $p_{ij} = 0$ 时, 不参加运算)

根据式 (10) 得各评价指标综合权重 W^0 :

$$W^0 = (0.23, 0.14, 0.33, 0.11, 0.12, 0.07)$$

3.4 计算关联系数

根据式 (11) 得目标方案 S_i 与理想最优目标方案 S^+ 的区间数关联系数矩阵:

$$\delta = \begin{bmatrix} 0.56 & 0.75 & 0.75 & 1 & 0.40 & 0.81 \\ 1 & 1 & 0.60 & 0.72 & 0.44 & 0.42 \\ 0.42 & 0.55 & 0.55 & 0.52 & 0.35 & 0.55 \\ 0.70 & 0.87 & 1 & 0.64 & 0.62 & 0.47 \\ 0.33 & 0.55 & 0.87 & 0.86 & 0.56 & 1 \\ 0.44 & 0.60 & 0.68 & 0.57 & 1 & 0.63 \end{bmatrix}$$

3.5 计算关联度并对目标方案排序

根据式 (12) 得目标方案 S_i 与理想最优目标方案 S^+ 的区间数关联度:

$$\varepsilon = (0.70, 0.73, 0.49, 0.79, 0.67, 0.63)$$

即 $\varepsilon_4 > \varepsilon_2 > \varepsilon_1 > \varepsilon_5 > \varepsilon_6 > \varepsilon_3$, 得到电力目标的打击顺序为: 电力目标 $D >$ 电力目标 $B >$ 电力目标 $A >$ 电力目标 $E >$ 电力目标 $F >$ 电力目标 C 。

4 结束语

该方法能够有效解决战场决策信息不确定的问题, 在权重确定上, 采用能够同时体现主观信息和客观信息的组合赋权法, 使目标选择结果更加真实准确, 为指挥员下定作战决心、制定作战计划奠定了有利基础。

参考文献:

[1] 张勇涛, 张松良. 基于主成分分析的战场目标选择模型[J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(4): 43-45.

[2] 王鹏华, 李源. 基于主成分分析的自行火炮作战效能评价[J]. 兵工自动化, 2009, 28(5): 24-25.

[3] 周磊, 赖庆平. 层次分析法在电子对抗目标选择中的运用[J]. 舰船电子对抗, 2008, 31(6): 18-21.

[4] 夏勇其, 吴祈宗. 基于效用函数的打击目标选择方法[J]. 火力指挥与控制, 2005, 30(6): 39-42.

[5] 何文平, 龚玮. 基于逼近理想解方法在目标选择中的应用[J]. 南通大学学报, 2009, 8(1): 69-71.

[6] 王洁, 姜寿春. 基于模糊神经网络防空重点保卫目标的选择[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(1): 158-161.

[7] 吕政光, 赵文杰. 基于模糊聚类方法的机场目标选择模

型[J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(3): 13-16.

[8] 党耀国, 刘思峰, 王正新. 灰色预测与决策模型研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[9] 杨保安, 张科静. 多目标决策分析理论、方法与应用研究[M]. 上海: 东华大学出版社, 2008.

[10] 朱方霞, 陈华友. 确定区间数决策矩阵属性权重的方法—熵值法[J]. 安徽大学学报, 2006, 30(5): 4-6.

(上接第 13 页)

参考文献:

[1] 张耀辉, 郭金茂, 张仕新, 等. 以使用功能为中心的维修[C]. 中国兵工学会装备保障专业委员会装备保障支撑理论与关键技术学术研讨会论文集, 2006: 450-455.

[2] 吕立波. 军械装备电子器件故障及维修[J]. 维修技术, 2008, 4(1): 35-37.

[3] 李根庄. 装备电子设备的维修方法与注意事项[J]. 导弹管理与维修工程, 2005, 71(4): 36-40.

[4] 李锦冬, 何敬东, 陶灵娟. 军用电子产品的维修性和测试性设计方法研究[J]. 装备技术, 2007, 5(2): 29-32.

[5] J.Moubray, Reliability-centered Maintenance, Second Edition[M]. New York: Industrial press, 1997.

[6] 蔡霖, 贾红丽. 维修性实验样本关系及选择[J]. 四川兵工学报, 2009(1): 86-87.

(上接第 17 页)

3 结束语

本文结合装备维修保障实例, 通过建立装备维修保障损失函数概念, 提出装备维修保障决策原则, 并以实例验证了该方法的可行性和有效性。该研究结论对创新装备维修保障需求预测与决策方法, 推进装备维修保障精确化发展具有一定的现实意义。

参考文献:

[1] 齐欢, 王小平. 系统建模与仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[2] Wayne L. Winston. 概率模型应用范例与解法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[3] 钱颂迪, 甘应爱, 等. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[4] 王博, 刘军, 等. 战时装甲装备维修保障力量需求分析[J]. 装备指挥技术学院学报, 2007(3): 15-18.

[5] 张忠斌, 王精业. 基于排队论的装甲装备维修力量预测建模研究[J]. 系统仿真学报, 2008(8): 1017-1019.

[6] 李伯虎, 柴旭东, 等. 现代建模与仿真技术发展中的几个焦点. 系统仿真学报, 2004(9): 1871-1878.

[7] 柏立君, 罗建华, 杜家兴, 等. 基于机械可靠性的装甲装备使用维修决策支持[J]. 四川兵工学报, 2009(1): 20-22.