

基于综合集对分析的航材保障效能评估

严盛文¹, 车飞², 王宏伟³, 赵高峰⁴

(1. 西北工业大学管理学院, 陕西 西安 710072; 2. 空军工程大学工程学院, 陕西 西安 710038; 3. 空军航空大学航空理论系, 吉林 长春 130022; 4. 空军第五飞行学院, 甘肃 武威 733003)

摘要 航材保障是航空兵部队技术保障的物资基础, 开展航材保障效能的评估方法研究, 对于形成和保持航空武器装备战斗力有着重要意义。针对航材保障效能评估过程中存在的不确定性因素和动态变化的特征, 首先通过建立各单位航材保障效能评估指标的集对, 应用集对分析理论在确定随机系统中的某一特性上具有同、异、反定量刻画的特点, 提出航材保障效能的静态评估方法; 然后通过马尔科夫链, 分析某个单位航材保障效能的变化规律, 提出航材保障效能的动态评估方法。实例计算表明, 综合集对分析方法能够为决策者制定短期和长期的航材保障计划提供科学依据。

关键词 集对分析; 马尔科夫链; 航材保障; 效能评估

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.03.007

中图分类号 N945 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)03-0030-05

航材保障是航空器材保障的简称, 是保障飞机(直升机)使用和维修所需航材的专业工作^[1]。航材保障效能评估涉及方面较多, 诸因素之间具有明显的不确定性、随机性和模糊性特征, 选取的评价指标也可能存在指标权益的冲突。目前对航材保障效能的评估问题都仅限于静态评估^[2-4], 不能够客观体现出航材保障效能的发展趋势。因此, 本文根据现阶段航材保障工作的实际, 对其进行了研究。

1 综合集对分析的基本原理

1.1 静态联系度

集对分析(Set Pair Analysis, SPA)^[5-6]是我国学者赵克勤于上世纪80年代提出的一种关于确定随机系统同异反定量分析的系统分析方法。一般地, 对于集对 $H = \{A, B\}$ 在某个具体问题 W 中进行分析其得到 N 个特性, 其中有 S 个特性相同, Q 个特性对立, 其余 P 个特性上关系不确定, 那么从静态角度考虑, 若特性的权重为 $\omega_k (k = 1, 2, \dots, N, \sum_{k=1}^N \omega_k = 1)$, 并假设按照 S, P, Q 的顺序排列并连续编号, 那么集对 $\{A, B\}$ 静态联系度为:

$$\mu = a + bi + cj = \sum_{k=1}^S \omega_k + \sum_{k=S+1}^{S+P} \omega_k i + \sum_{k=S+P+1}^N \omega_k j, i \in [-1, 1], j = -1 \quad (1)$$

式中 a, b, c 分别称为集对的一度、差异度和对立度。

1.2 动态联系度

假设在 t 时刻, 集对 $\{A, B\}$ 的 N 个特性中, 各联系分量分别为 S_t, P_t, Q_t 且满足 $S_t + P_t + Q_t = N$ 。如果将原来的 N 个特性仍按 S, P, Q 的顺序重新排序并连续编号, 且各个特性对应的权重为 $\omega_k^{(t)}$, 那么 t 时刻的联系度^[8], 即集对 $\{A, B\}$ 的动态联系度为:

$$\mu^{(t)} = a^{(t)} + b^{(t)}i + c^{(t)}j = \sum_{k=1}^{S_t} \omega_k^{(t)} + \sum_{k=S_t+1}^{S_t+P_t} \omega_k^{(t)}i + \sum_{k=S_t+P_t+1}^N \omega_k^{(t)}j, i \in [-1, 1], j = -1 \quad (2)$$

* 收稿日期: 2011-03-15

作者简介: 严盛文(1970-), 男, 浙江桐庐人, 博士生, 主要从事装备管理与论证研究。

E-mail: Shengwenyan@163.com

式中 $\sum_{k=1}^{S_t} \omega_k^{(t)} + \sum_{k=S_{t+1}}^{S_t+P_t} \omega_k^{(t)} + \sum_{k=S_{t+P_t+1}}^N \omega_k^{(t)} = 1$ 。若集对 $\{A, B\}$ 在 $(t, t + \tau)$ 期间 (τ 为变化周期) 原有指标值的同异反关系发生了变化,有的指标值保持不变,而有的则发生了变化,不妨设在 $(t + \tau)$ 时刻,集对中原有的 S_t 个相同特性中仍有 S_{t1} 个相同, S_{t2} 个变为既不相同也不对立, S_{t3} 个变为相互对立 ($S_{t1} + S_{t2} + S_{t3} = S_t$), 则 S_t 在 $(t, t + \tau)$ 周期内的转移向量 (经规范化处理) 为:

$$S = (M_{11}, M_{12}, M_{13}) = (\sum_{k=1}^{S_{t1}} \omega_k^{(t)}, \sum_{k=S_{t1}+1}^{S_{t1}+S_{t2}} \omega_k^{(t)}, \sum_{k=S_{t1}+S_{t2}+1}^{S_t} \omega_k^{(t)}) / \alpha^{(t)} \quad (3)$$

式中: $M_{11} + M_{12} + M_{13} = 1$; $\alpha^{(t)} = \sum_{k=1}^{S_t} \omega_k^{(t)}$ 。同理,可得转移向量 P 和 Q , 所有假设同上。因此,在 $(t, t + \tau)$ 期间的转移矩阵为 M , 在 $t + \tau$ 时刻,集对 $\{A, B\}$ 的联系度为:

$$\mu(t + \tau) = a^{(t+\tau)} + b^{(t+\tau)}i + c^{(t+\tau)}j = (a^{(t+\tau)}, b^{(t+\tau)}, c^{(t+\tau)}) \cdot M \cdot (1, i, j)^T \quad (4)$$

根据马尔可夫链的遍历性可得:经过多个周期转移后,系统最后会趋于一个稳定的状态。因此,求解式(5) (式中 $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c} \geq 0, I$ 为单位矩阵), 就可以求得集对 $\{A, B\}$ 在经历多个周期后趋于稳定的联系度式(6):

$$\begin{cases} (\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}) \cdot (I - M) = 0 \\ \hat{a} + \hat{b} + \hat{c} = 1 \end{cases} \quad (5) \quad \hat{\mu} = \hat{a} + \hat{b}i + \hat{c}j, \quad i \in [-1, 1], j = -1 \quad (6)$$

2 航材保障效能的静态评估

2.1 保障效能评估的指标体系

本文采用文献[1]的指标体系。军事性指标有:年度总飞行时间 C_1 , 飞机完好率 C_2 , 战斗出动强度 C_3 , 飞机战斗出动率 C_4 , 航材供应良好率 C_5 。服务性指标有:航材供应满足率 C_6 , 平均缺件数 C_7 , 航材下送率 C_8 , 航材供应期限 C_9 。经济性指标有:航材消耗 C_{10} , 航材周转率 C_{11} , 航材修复品利用率 C_{12} , 航材损耗率 C_{13} , 废旧航材回收率 C_{14} , 航材库存价值总额 C_{15} , 库房空间利用率 C_{16} 。

2.2 保障效能静态评估

设航材保障效能评估问题为 $F = (S, E, \omega, D)$ 。其中 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 表示航材保障效能评估的方案集, 即待评估的航材保障系统集; $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 表示航材保障效能评估的指标集; 方案 $s_k (k = 1, 2, \dots, m)$ 关于指标 $e_r (r = 1, 2, \dots, n)$ 的属性值为 d_{kr} , 即待评估的航材保障系统具体的指标值, 则构成判断问题 F 的决策矩阵 $D = (d_{kr})_{m \times n}$; $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ 表示指标权重集, 即 ω_r 为评估指标 e_r 的权重, 因此 $\sum_{r=1}^n \omega_r = 1, \omega_r > 0$ 。为了提高方案的可靠性, 选取“理想方案”与“可行方案”作为一个集对, 并对此集对做同异反定量分析, 寻找与“理想方案”最接近的方案, 进而确定各评估方案的优劣排序。

通过以上分析,“理想方案”与“可行方案”作为一个集对, 实际就是各方案所对应的指标所组成的集对。因此, 考虑指标集 E 中的指标特点, 指标 e_r 存在效益型和成本型之分, 且不同指标的量纲不尽相同, 为便于分析计算, 将决策矩阵 $D = (d_{kr})_{m \times n}$ 中的成本型指标转化为效益型指标, 并进行规范化处理, 统一量度, 得到规范化矩阵^[7] $X = (x_{kr})_{m \times n}$ 。

根据给出的 m 个方案, 确定最优方案和最劣方案, 记最优方案和最劣方案对应 e_r 的指标值分别为 u_r 和 v_r , 因为此时指标值均为效益型, 经无量纲化, 可得最优方案 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 和最劣方案 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。由 $[v_r, u_r]$ 构成了指标 e_r 的比较区间, 从而确定 $[V, U]$ 构成方案 S_k 的比较空间, 记评估方案为 $s_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn}) (k = 1, 2, \dots, m)$ 。在该比较空间中定义集对 $\{x_{kr}, u_r\}$ 的联系度, 见式(7), 式(8)。由式(2)可得式(9), 进而得到集对 $\{x_{kr}, u_{kr}\}$ 的联系度 $\mu\{x_{kr}, u_{kr}\}$ 。

$$a_{kr} = x_{kr} / (u_i + v_r) \quad (7) \quad c_{kr} = u_r v_r / (u_i + v_r) x_{kr} \quad (8) \quad b_{kr} = 1 - (a_{kr} + c_{kr}) \quad (9)$$

由于此时的 $\mu\{x_{kr}, u_{kr}\}$ 只表示某一个评估指标 e_r 的航材保障系统 s_k 趋优和趋劣的程度。但是各个评估指标对效能评估的作用有轻重之分, 所以引进权重集 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, 由此定义比较空间 $[V, U]$ 中集对 $\{s_k, U\}$ 的综合联系度:

$$\mu\{s_k, U\} = a_k + b_k i + c_k j \quad (10)$$

式中: $a_k = \sum_{r=1}^n \omega_r a_{kr}$; $b_k = \sum_{r=1}^n \omega_r b_{kr}$; $c_k = \sum_{r=1}^n \omega_r c_{kr}$; ω_r 为评估指标 e_r 的权重。

因为 a_k 和 c_k 相对确定, 表示 s_k 接近最优方案集 U 的肯定和否定程度, 为了避免对每个方案的 a_k, b_k 和 c_k 值逐一进行比较, 由此定义比较空间 $[V, U]$ 中集对 $\{s_k, U\}$ 的相对贴适度:

$$\lambda_k = a_k / (a_k + c_k), k = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

相对贴近度数值越大,表示航材保障系统 s_k 越接近最优方案集 U ,保障效能越好。因此,最后根据 λ_k 值的大小进行各个评估方案的优劣排序。

2.3 实例分析

根据效能评估指标体系,选取5个航材保障单位同一时期的基本数据,见表1。

表1 航材保障效能评估的基本数据

Tab.1 The basic data of effectiveness evaluation

评估指标	指标权重	航材保障单位				
		甲	乙	丙	丁	戊
C_1	0.117 6	20 698	18 562	19 718	21 258	17 937
C_2	0.124 2	0.744 4	0.814 1	0.803 7	0.795 3	0.788 6
C_3	0.073 5	1	0.5	0.3	1	0.25
C_4	0.073 5	0.901 4	0.858 4	0.803 0	0.833 3	0.805 8
C_5	0.101 2	0.914 8	0.843 5	0.978 7	0.932 7	0.887 5
C_6	0.062 9	0.894 1	0.884 3	0.852 6	0.926 3	0.751 5
C_7	0.042 5	0.057 1	0.085 3	0.073 7	0.056 4	0.076 8
C_8	0.042 5	0.867 1	0.852 8	0.756 4	0.803 6	0.806 2
C_9	0.022 1	23	24	23	22	28
C_{10}	0.095 2	1.2	1.8	1.7	1.6	1.6
C_{11}	0.040 8	1.25	1.57	1.76	0.98	1.49
C_{12}	0.020 4	0.653 5	0.786 2	0.763 6	0.667 1	0.705 2
C_{13}	0.040 8	0.032 5	0.010 2	0.011 8	0.009 8	0.030 1
C_{14}	0.020 4	0.960 5	0.910 5	0.984 7	0.993 3	0.976 3
C_{15}	0.061 2	30 102 634	25 255 408	22 762 622	27 106 049	23 907 467
C_{16}	0.061 2	0.900 6	0.954 5	0.874 2	0.850 8	0.887 2

C_7 、 C_9 、 C_{10} 、 C_{13} 4个指标属于成本型指标外,其余指标均为效益型指标。按照集对分析的理论,以及航材保障效能指标体系的建立,得到决策矩阵进行规范化处理,得到规范化矩阵: $X = (x_{kr})_{m \times n} =$

$$\begin{pmatrix} 0.8314 & 0.01 & 1 & 1 & 0.5274 & 0.8158 & 0.9758 & 1 & 0.8333 & 1 & 0.3462 & 0.01 & 0.01 & 0.6039 & 1 & 0.4802 \\ 0.1882 & 1 & 0.3333 & 0.5630 & 0.01 & 0.7597 & 0.01 & 0.8708 & 0.6667 & 0.01 & 0.7564 & 1 & 0.9824 & 0.01 & 0.3396 & 1 \\ 0.5363 & 0.8508 & 0.0667 & 0.01 & 1 & 0.5784 & 0.4014 & 0.01 & 0.8333 & 0.1667 & 1 & 0.8297 & 0.9119 & 0.8961 & 0.01 & 0.2257 \\ 1 & 0.7303 & 1 & 0.3079 & 0.6598 & 1 & 1 & 0.4264 & 1 & 0.3333 & 0.01 & 0.1025 & 1 & 1 & 0.5917 & 0.01 \\ 0.01 & 0.6341 & 0.01 & 0.0285 & 0.3254 & 0.01 & 0.2941 & 0.4499 & 0.01 & 0.3333 & 0.6538 & 0.3896 & 0.1057 & 0.7947 & 0.1560 & 0.3510 \end{pmatrix}$$

在矩阵规范化的同时,效益型指标的最小值和成本型指标的最大值将被计算为0,这里可用0.01代替,并不影响决策判断。由矩阵 $X = (x_{kr})_{m \times n}$ 可以得到最优值和最劣值的一维规范化矩阵:

$$U = [1 \quad 1 \cdots 1]^T, V = [0.01 \quad 0.01 \cdots 0.01]^T$$

根据公式(7)、(8)、(9)、(10),得到5个航材保障单位与保障效能评估最优值之间的同异反矩阵(12)。计算结果见表2。

表2 航材保障效能集对分析评估结果

Tab.2 The results of effectiveness evaluation

$\begin{pmatrix} 0.6594 & 0.1441 & 0.1965 \\ 0.4848 & 0.2845 & 0.2307 \\ 0.4882 & 0.3088 & 0.2030 \\ 0.6441 & 0.2387 & 0.1172 \\ 0.2647 & 0.4162 & 0.3191 \end{pmatrix} \quad (12)$	保障单位	a_k	b_k	c_k	λ_k	效能排序
	甲	0.659 4	0.144 1	0.196 5	0.770 4	2
	乙	0.484 8	0.284 5	0.230 7	0.677 6	4
	丙	0.488 2	0.308 8	0.203 0	0.706 3	3
	丁	0.644 1	0.238 7	0.117 2	0.846 1	1
戊	0.264 7	0.416 2	0.319 1	0.453 4	5	

λ_k 根据式(11)得出,比较 λ_k 的大小得到航材保障效能的优劣顺序依次为:丁、甲、丙、乙、戊。

3 航材保障效能的动态评估

3.1 保障效能的等级划分

为方便研究,将航材保障效能的等级分为A、B、C3级,分别表示“优”、“良”、“差”。按照“均分原则”取值, $i=0$,那么 $\mu(t) \in [-1, 1]$ 。此时,联系度(数)所对应的保障效能等级为差是 $-1 \leq \mu < -0.333$;良是 $-0.333 \leq \mu < 0.333$;优是 $0.333 \leq \mu \leq 1$ 。

3.2 保障效能的趋势分析

当联系度 $\mu = a + bi + cj$ 中的 $c \neq 0$ 时,同一度 a 与对立度 c 的比值 a/c 称为为所论集对在指定问题背景下的集对势,见式(13)。进而定义集对同势为式(14),集对反势为式(15),集对均势为式(16)。

$$\text{shi}(H) = \frac{a}{c} \quad (13) \quad \text{shi}(H)_s = \frac{a}{c} > 1 \quad (14) \quad \text{shi}(H)_p = \frac{a}{c} < 1 \quad (15) \quad \text{shi}(H)_q = \frac{a}{c} = 1 \quad (16)$$

当联系度 $\mu = a + bi + cj$ 中的 $b + c \neq 0$ 时, $a/(b + c)$ 为所论集对在指定问题下的悲观势,即:

$$\text{shi}(B) = a/(b + c) \quad (17)$$

若系统从悲观角度出发^[8],将所有不确定项转化为对立项,即 $i = -1$,通过此事系统的同一度与对立项的比值,即悲观势来研究系统效能的变化状态,具有实际意义。

系统的效能状态是动态变化的,从联系度中差异度 i 的不同取值可以看出,系统的态势也是一个动态变化的过程,但在一定条件下会趋于一个稳态值。随着时间改变,条件也发生了变化,态势也随之变化。集对势是以 $\text{shi}(H) = 1$ 为均势,是同势与反势的分界线;悲观势是以 $\text{shi}(B) = 1$ 为分界线,划分系统最悲观形势下的“好”与“坏”的状态。

3.3 实例分析

以某航材保障单位为例,在分析航材保障效能静态评估的基础上,研究其自2004年至2009年的航材保障情况,静态评估结果见表3。表3中等级划分以由静态评估所得联系度决定。

表3 2004-2009年某单位航材保障效能评估指标数据

Tab.3 The basic data of effectiveness evaluation from 2004 to 2009

评估 指标	指标 权重	效能评估等级						评估 指标	指标 权重	效能评估等级					
		2004	2005	2006	2007	2008	2009			2004	2005	2006	2007	2008	2009
C_1	0.117 6	B	B	A	A	B	C	C_9	0.022 1	A	A	C	C	A	B
C_2	0.124 2	A	B	B	C	C	B	C_{10}	0.095 2	B	B	C	C	A	A
C_3	0.073 5	C	C	B	B	A	A	C_{11}	0.040 8	A	C	B	B	C	B
C_4	0.073 5	B	A	A	A	B	B	C_{12}	0.020 4	C	C	B	B	A	C
C_5	0.101 2	A	A	A	B	B	C	C_{13}	0.040 8	A	B	A	B	B	A
C_6	0.062 9	C	C	B	B	A	A	C_{14}	0.020 4	C	C	B	C	B	A
C_7	0.042 5	C	B	B	B	B	C	C_{15}	0.061 2	C	A	A	A	B	B
C_8	0.042 5	A	A	B	B	C	A	C_{16}	0.061 2	A	B	C	C	A	C

由式(1)、(2)、(3)可得出该单位航材保障效能各年的联系度 $\mu_{04} = 0.432 8 + 0.286 3i + 0.280 9j$, $\mu_{05} = 0.300 5 + 0.481 5i + 0.218 0j$, $\mu_{06} = 0.394 3 + 0.427 2i + 0.178 5j$, $\mu_{07} = 0.252 3 + 0.424 6i + 0.323 1j$, $\mu_{08} = 0.335 3 + 0.457 2i + 0.207 5j$, $\mu_{09} = 0.335 3 + 0.321 8i + 0.342 9j$,以及各年之间的同异反转移矩阵:

$$M_{04-05} = \begin{pmatrix} 0.383 1 & 0.522 6 & 0.094 3 \\ 0.256 7 & 0.743 3 & 0 \\ 0.217 9 & 0.151 3 & 0.630 8 \end{pmatrix}, M_{05-06} = \begin{pmatrix} 0.785 0 & 0.141 4 & 0.073 6 \\ 0.329 0 & 0.346 2 & 0.324 8 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, M_{06-07} = \begin{pmatrix} 0.639 9 & 0.360 1 & 0 \\ 0 & 0.661 5 & 0.338 5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{07-08} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0.369 3 & 0.434 5 & 0.196 2 \\ 0.552 5 & 0.063 1 & 0.384 4 \end{pmatrix}, M_{08-09} = \begin{pmatrix} 0.690 7 & 0.065 9 & 0.243 4 \\ 0.133 9 & 0.294 6 & 0.571 5 \\ 0.204 8 & 0.795 2 & 0 \end{pmatrix}$$

按照决策者一般的“就近原则”^[9],取该单位航材保障效能的年转移矩阵的权重分别为 $\omega = (0.10 \ 0.15 \ 0.20 \ 0.25 \ 0.30)$,则6年的加权平均转移矩阵为:

$$M = \begin{pmatrix} 0.491 3 & 0.415 2 & 0.093 5 \\ 0.207 5 & 0.455 6 & 0.336 9 \\ 0.221 3 & 0.419 5 & 0.359 2 \end{pmatrix}$$

由 $\mu_{04} - \mu_{09}$ 可以得到,该单位航材保障效能的平均联系度为: $\bar{\mu}(t) = 0.341 8 + 0.399 8i + 0.258 4j$ 。

如果 $\mu(t)$ 为该单位航材保障效能的动态联系度,根据式(13) - (17),进行该单位航材保障效能的趋势分析,结果见表4。

表4 2004 - 2009年某单位航材保障效能的趋势分析
Tab. 4 The trend analysis of support effectiveness from 2004 to 2009

年份	评估等级	集对势	悲观势	评估结果
2004	良	同势	$\text{shi}(B) < 1$	需要整改的良性系统
2005	良	同势	$\text{shi}(B) < 1$	需要整改的良性系统
2006	优	同势	$\text{shi}(B) < 1$	不够稳定的(暂时)优质系统
2007	差	反势	不需考虑	劣质系统
2008	良	同势	$\text{shi}(B) < 1$	需要整改的良性系统
2009	良	反势	不需考虑	有恶化趋势的良性系统
平均年份	良	同势	$\text{shi}(B) < 1$	需要整改的良性系统

根据 $\bar{\mu}(t)$ 及式(4),可以预测该单位2010年航材保障效能的联系度为: $\mu_{10} = 0.3081 + 0.4325i + 0.2594j$ 。

若转移矩阵 M 保持不变,根据式(5)和式(6),该单位航材保障效能经过一定时间后趋于稳定的联系度为: $\hat{\mu} = \hat{a} + \hat{b}i + \hat{c}j = 0.2949 + 0.4334i + 0.2717j$,即可以认为其航材保障效能稳定评估结果是“良”。

4 结束语

集对分析作为描述不确定性的一种新的系统分析方法,把确定性与随机性(不确定性)作为一个系统来处理,具有理论和应用上的实际价值。应用集对分析理论进行航材保障效能的静态评估,可以为决策者在某一时刻对不同航材单位之间的航材保障能力做出科学的判断,制定航材保障短期计划;在静态评估的基础上引入马尔可夫链,构造集对动态变化方程,进行航材保障效能的动态评估,较为准确地分析了航材单位在一段时间内的航材保障能力的变化情况,为决策者制定航材保障长期计划提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 韩兴才. 航材保障工程[M]. 北京:蓝天出版社,2003:1 - 22.
HAN Xingcai. Aviation material management engineering [M]. Beijing:blue sky press,2003:1 - 22. (in Chinese)
- [2] 马保国,颜宏炎,孙威. 伴随航材保障能力评估[J]. 中国管理科学,2005,13(10):411 - 413
MA Baoguo, YAN Hongyan, SUN Wei. The concomitant support capability evaluation of the air materiel [J]. Chinese journal of management science, 2005, 13(10):411 - 413. (in Chinese)
- [3] 郑金忠,陆四海,李友虎. 基于效用函数的航材保障效能评估[J]. 物流技术,2007,26(8):246 - 248
ZHENG Jinzhong, LU Sihai, LI Youhu. Evaluation of air materials support effectiveness based on utility eunction [J]. Logistic technology, 2007, 26(8):246 - 248. (in Chinese)
- [4] 万玉成,胡勇,徐启丰. 基于变异系数赋权与距离评价法德航材保障效能评价[J]. 兵工自动化,2007,26(7):27 - 32
WAN Yucheng, HU Yong, XU Qifeng. Air materiel support effectiveness evaluation based on variance coefficient weighting and distance evaluation method [J]. Ordnance industry automation, 2007, 26(7):27 - 32. (in Chinese)
- [5] 赵克勤. 集对分析对不确定性的描述和处理[J]. 信息与控制,1995,24(3):162 - 164.
ZHAO Keqin. Disposal and description of uncertainties based on the set pair analysis [J]. Information and control, 1995, 24(3):162 - 164. (in Chinese)
- [6] 赵克勤,宣爱理. 集对论——一种新的不确定性理论方法与应用[J]. 系统工程,1996,14(1):18 - 20.
ZHAO Keqin, XUAN Aili. Set pair theory: a new theory method of non - define and its application [J]. Systems engineering, 1996, 14(1):18 - 20. (in Chinese)
- [7] 孙晋众,陈世权. 一种集对分析的动态模型及其应用[J]. 系统工程,2004,22(5):35 - 36.
SUN Jinzhong, CHEN Shiquan. A dynamic model of set - pair analysis and its application [J]. Systems engineering, 2004, 22(5):35 - 36. (in Chinese)
- [8] 杜海舰,伍瑞昌. 集对分析在卫生装备评估中的应用研究[J]. 医疗卫生装备,2003,24(6):19 - 20.
DU Haijian, WU Ruichang. Evaluation of medical equipment based on the set - pair analysis [J]. Chinese medical equipment journal, 2003, 24(6):19 - 20. (in Chinese)
- [9] 周家红,许开立,陈志勇. 系统动态安全评价研究[J]. 东北大学学报:自然科学版,2008,29(3):417 - 418.
ZHOU Jiahong, XU Kaili, CHEN Zhiyong. On the dynamic assessment of system safety [J]. Journal of northeastern university : Natural science, 2008, 29(3):417 - 418. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

(下转第39页)