

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.07.007

基于灰色熵权法的常规导弹部队作战能力评估

胡喜珍, 夏军, 曹素平

(第二炮兵指挥学院一系, 武汉 430012)

摘要: 针对现有单一的常规导弹部队作战能力评估方法存在的问题, 结合灰色白化权聚类法和熵权法, 对常规导弹部队作战能力进行评估。根据建立评估指标体系的原则, 建立了常规导弹部队作战能力评估的指标体系, 采用灰色熵权法对常规导弹部队作战能力进行评估, 并根据实际问题的背景对白化权函数的形式进行改进, 提出了常规导弹部队作战能力评估的具体过程。模型评估结果表明: 该方法能减少主观因素的影响, 使评估更科学、有效和可靠。

关键词: 作战能力; 熵权法; 灰色白化权函数; 常规导弹部队

中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Combat Capability Evaluation for Conventional Missile Forces Based on Gray Entropy Method

Hu Xizhen, Xia Jun, Cao Suping

(No. 1 Department, Second Artillery Command College, Wuhan 430012, China)

Abstract: Aiming at the problem of combat capacity evaluation method of single conventional missile forces, combined grey whitening weight function and entropy weight method, and evaluate combat capability. According to establishing evaluation index system principles, establish the conventional missile forces combat capacity evaluation index system, adopt grey whitening weight method to evaluate combat capacity. Based on real problem background, improve whitening function, and put forward combat capacity process. The model evaluation result shows that the method can reduce the influence of subjective factor, and makes the evaluation more scientific, effective and reliable.

Key words: combat capability; entropy weight method; grey whitening weight function; conventional missile forces

0 引言

部队作战能力评估是指挥员进行指挥决策的重要依据, 历来是人们关注和研究的重点。人、武器、以及人和武器的结合方式是构成部队战斗力的3种基本因素, 对作战胜负起着决定性作用。一支部队的作战能力由官兵素质、武器装备、体制编制、后勤保障、训练教育自然条件等要素构成^[1]。常规导弹部队作战能力评估是部队达成给定目标或完成给定作战任务程度的评价和估量, 通常在战前、作战期间以及战后进行。客观而准确的作战效能评估是各级指挥员下定决心的基础, 是战斗过程中对态势进行有效控制的重要手段之一, 也是战后检讨得失、取得作战经验、提高作战能力的重要途径之一。

我军在作战能力分析方法的研究方面做了很多有成效的工作, 主要的研究方法有指数法^[2-4]、AHP法^[5-8]、模糊分析^[9-10]、灰色系统理论^[11-13]、云重心理论^[14]等。目前对常规导弹部队的分析和评估仍偏重于定性分析, 定量分析的成份较少。随着军事斗争准备深入发展, 单一的评估方法有的过分依赖于

主观, 有的偏重依赖于数据, 文献[15-16]综合运用多种定量分析理论和方法, 拓展部队作战能力分析, 提高分析与评估的可信度; 因此, 笔者运用灰色白化权聚类法和熵权法相结合的方法研究常规导弹部队作战能力的评估问题, 并改进了白化权函数的形式, 为综合评价常规导弹作战能力提供一种有效的途径。

1 常规导弹部队作战能力评估模型

1.1 建立评估指标体系

在建立评估指标体系时应该遵循以下原则:

1) 系统性原则。

常规导弹作战力量评估涉及到诸多评估要素, 这就要求指标体系应能全面反映评价对象的本质特征和整体性能。应注意使指标体系层次清楚、结构合理、相互关联、协调一致, 要抓住影响总体指标的主要因素, 以保证评价的全面性和可信度。

2) 独立性原则。

不同指标反映不同的影响因素, 指标之间应做到相对独立, 减少交叉评估, 防止相互包含, 造成

收稿日期: 2012-02-13; 修回日期: 2012-03-12

作者简介: 胡喜珍(1975—), 女, 湖北人, 硕士研究生, 博士在读, 副教授, 从事军事运筹与军事建模研究。

指标的冗余,降低评估结论的可信性。

3) 一致性原则。

评价指标体系应与评价目标一致,从而充分体现评价活动的意图。不能选择与评价对象、评价内容无关的指标。

4) 科学性原则。

以科学的评价理论为指导,以客观评价要素及其本质联系为依据,将定性与定量分析相结合,正确反映系统整体和内部相互关系的数量特征。定量指标注意要将绝对量和相对量结合使用。

5) 可测性原则。

在影响作战力量的诸要素中,既有易于量化评估的要素,也有适用于定性化描述的要素,更有尚待加强认识和研究的要素。这就要求选取指标时,把握角度,避免选取那些本身研究不足的要素,而要选取易于定性化或量化描述的要素,进行可测的数量化分析。

6) 可比性原则。

评估指标体系可比性越强、评价结果的可信度就越大。评价指标和评价标准的制定要客观实际,便于比较。

基于以上原则,笔者在构建常规导弹部队作战能力一级评估指标时,考虑了信息能力、火力突击能力、综合保障能力以及防卫能力等 4 个战斗力要素。通过研究分析并结合目前常规导弹部队目前实际情况,指标细化,将一级指标层的影响因素作为二级评价指标层,如图 1。

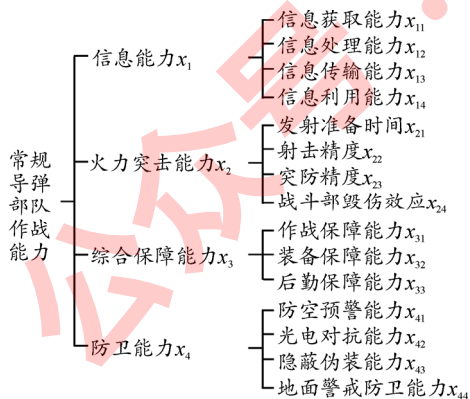


图 1 常规导弹部队作战能力评估指标体系

1.2 构建评估模型

第 1 步,画出结构图,确定一级评估指标的权重系数(可用层次分析法等):

一级评估指标 $U_i (i=1,2,\dots,m)$ 的权重系数为 $a_i (i=1,2,\dots,m)$, 权重向量为 $A=(a_1,a_2,\dots,a_m)$ 且满

$$\text{足 } a_i \geq 0, \sum_{i=1}^m a_i = 1$$

第 2 步,选取白化权函数,如式 (1):

$$f_{ij}^k(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [x_{ij}^{k-1}, x_{ij}^{k+1}] \\ \frac{x - x_{ij}^{k-1}}{\bar{x}_{ij}^k - x_{ij}^{k-1}}, & x \in [x_{ij}^{k-1}, \bar{x}_{ij}^k] \\ \frac{x_{ij}^{k+1} - x}{x_{ij}^{k+1} - \bar{x}_{ij}^k}, & x \in [\bar{x}_{ij}^k, x_{ij}^{k+1}] \end{cases} \quad (1)$$

式中 x_{ij}^k 表示第 i 个一级指标中第 j 个二级指标、属于第 k 个灰类的取值 ($k=1,2,3,4$)。考虑到取值区间的差异对实际结果造成的误差影响,笔者参考文献 [16] 把 x_{ij}^k 的取值做了适当修改,具体表达为 $\bar{x}_{ij}^k = (w^k x_{ij}^k + w^{k+1} x_{ij}^{k+1}) / (w^k + w^{k+1})$, 其中: w^k, w^{k+1} 为权重(可取相应区间的长度); x_{ij}^k 分别取数域向左、向右延拓至 x_{ij}^0, x_{ij}^6 。使得对于任意观察值 $x_{ij}^k (k=1,2,3,4)$, 由上式可分别求出第 i 个一级指标中第 j 个二级指标、属于灰类 k 的白化权函数值 $f_{ij}^k (k=1,2,3,4)$ 。

第 3 步,由白化权函数值 $f_{ij}^k (k=1,2,3,4)$ 构造第 $i (i=1,2,\dots,m)$ 个一级指标中第 $j (j=1,2,\dots,n)$ 个二级指标对于 4 个灰类的评价矩阵 $R_i = [f_{ij}^k]_{n \times 4}$, 对第 i 个一级指标中第 j 个二级指标的熵定义如式 (2):

$$H_{ij} = -r \sum_{i=1}^4 r_{ij}^k \ln r_{ij}^k \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

式中 $r_{ij}^k = \frac{f_{ij}^k}{\sum_{i=1}^n f_{ij}^k}$, $r = \frac{1}{\ln n}$, 并规定 $r_{ij} = 0$ 时, $r_{ij} \ln r_{ij} = 0$ 。

则第 i 个一级指标第 j 个指标的熵权定义如式 (3):

$$w_{ij} = \frac{1 - H_{ij}}{n - \sum_{j=1}^n H_{ij}} \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

$W_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})^T$ 称为指标的权重向量, 其中 $0 \leq w_{ij} \leq 1$ 。

第 4 步,计算第 i 个一级指标的评估值: 给 4 个灰类分别赋值为 $d = (d_1, d_2, d_3, d_4)^T$, 可以按照由强

到弱的顺序, 以 1 为基数, 公比为 1.5 的等比数列进行量化。评语有 4 个, 分别是: 好、较好、一般、差, 因此取值为: $d = (1, 1.5, 3.375, 5.0625)^T$, 则第 i 个一级指标的评估值如式 (4):

$$e_i = \sum_{j=1}^n w_j d_j \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

第 5 步, 计算作战能力的评估值, 根据评估值可确定评估等级:

$$\text{计算 } E = \sum_{i=1}^m a_i e_i, \text{ 再根据评估值确定评估等级。}$$

2 模型求解

假定某常规导弹部队得到一组各二级指标的實現值, 分别为 5.0, 4.8, 4.0, 6.8, 5.8, 0.75, 0.25,

8.0, 5.0, 4.5, 5.0, 4.5, 6.0, 5.0, 3.5。

依照外军部队作战能力评估标准并经过专家讨论, 整理出部队作战能力评估分析数值指标体系, 见表 1。按照表 1 给出的数值指标体系, 根据白化权函数的计算公式计算。例如, 对第一个一级指标中第一个二级指标, $i=1, j=1$, 将信息获取能力数值延拓到 $x_{11}^0 = 0.5, x_{11}^6 = 9.5$, 并分别取较低、一般、较高、很高 4 个比值, 即

$$x_{11}^1 = 1.0; x_{11}^2 = 4.0; x_{11}^3 = 6.0; x_{11}^4 = 8.0; x_{11}^5 = 9.0 \quad (5)$$

$$\bar{x}_{11}^k = (w^k x_{11}^k + w^{k+1} x_{11}^{k+1}) / (w^k + w^{k+1}) \quad (6)$$

取 $w^1 = 3, w^2 = 2, w^3 = 2, w^4 = 1, w^5 = 0.5$, 计算

$$\bar{x}_{11}^1 = (w^1 x_{11}^1 + w^2 x_{11}^2) / (w^1 + w^2) = 2.25 \quad (7)$$

表 1 作战能力数值评估体系标准

一级指标	二级指标	好	较好	一般	差
信息能力 x_1	信息获取能力 x_{11}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	信息处理能力 x_{12}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	信息传输能力 x_{13}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	信息利用能力 x_{14}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
火力突击能力 x_2	发射准备时间 x_{21}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	突防精度 x_{22}	0.8, 0.95	0.65, 0.8	0.4, 0.65	0.05, 0.4
	射击精度 x_{23}	0.8, 0.95	0.65, 0.8	0.4, 0.65	0.05, 0.4
	战斗部毁伤效应 x_{24}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
综合保障能力 x_3	作战保障能力 x_{31}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	装备保障能力 x_{32}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	后勤保障能力 x_{33}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
防卫能力 x_4	防空预警能力 x_{41}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	光电对抗能力 x_{42}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	隐蔽伪装能力 x_{43}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0
	地面警戒防卫能力 x_{44}	8.0, 9.0	6.0, 8.0	4.0, 6.0	1.0, 4.0

$$\bar{x}_{11}^2 = (w^2 x_{11}^2 + w^3 x_{11}^3) / (w^2 + w^3) = 5.0 \quad (8)$$

$$\bar{x}_{11}^3 = (w^3 x_{11}^3 + w^4 x_{11}^4) / (w^3 + w^4) = 6.67 \quad (9)$$

$$\bar{x}_{11}^4 = (w^4 x_{11}^4 + w^5 x_{11}^5) / (w^4 + w^5) = 8.33 \quad (10)$$

将式 (8)~(10) 代入白化权函数的表达式, 可得

到 $i=1, j=1$ 的白化权函数分别为:

$$f_{11}^1(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [0.5, 6.0] \\ \frac{x-0.5}{2.25-0.5}, & x \in [0.5, 2.25] \\ \frac{6.0-x}{6.0-2.25}, & x \in [2.25, 6.0] \end{cases} \quad (11)$$

$$f_{11}^2(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [1.0, 8.0] \\ \frac{x-1.0}{5.0-1.0}, & x \in [1.0, 5.0] \\ \frac{8.0-x}{8.0-5.0}, & x \in [5.0, 8.0] \end{cases} \quad (12)$$

$$f_{11}^3(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [4.0, 9.0] \\ \frac{x-4.0}{6.67-4.0}, & x \in [4.0, 6.67] \\ \frac{9.0-x}{9.0-6.67}, & x \in [6.67, 9.0] \end{cases} \quad (13)$$

$$f_{11}^4(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [6.0, 9.5] \\ \frac{x-6.0}{8.33-6.0}, & x \in [6.0, 8.33] \\ \frac{9.5-x}{9.5-8.33}, & x \in [8.33, 9.5] \end{cases} \quad (14)$$

将该常规导弹部队信息获取能力的指标想定实现值 5.0 分别代入上述函数 $f_{11}^1(x), f_{11}^2(x), f_{11}^3(x), f_{11}^4(x)$, 则可以计算出关于信息获取能力, 这一指标对“较低”、“一般”、“较高”、“很高”4 个灰类的白化权函数数值分别为: 0.267, 1, 0.375, 0。

单就这一指标来看, 该常规导弹部队作战能力一般。根据想定数据, 可以分别计算出整个一级指标的各二级指标分别对“较低”、“一般”、“较

高”、“很高”4个灰类的白化权函数数值。整个一级指标中各二级指标延拓值及其分别关于4个不同灰类的白化权函数值, 见表2。

表2 二级指标取数域延拓值及相应白化权函数值指标

二级指标	x_{ij}^0	x_{ij}^6	$f_j^1(x_{ij})$	$f_j^2(x_{ij})$	$f_j^3(x_{ij})$	$f_j^4(x_{ij})$
信息获取能力 x_{11}	0.50	9.5	0.267	1.000	0.375	0
信息处理能力 x_{12}	0.50	9.5	0.324	0.960	0.287	0
信息传输能力 x_{13}	0.50	9.5	0.520	0.743	0	0
信息利用能力 x_{14}	0.50	9.5	0	0.412	0.950	0.32
发射准备时间 x_{21}	0.50	9.5	0.045	0.736	0.720	0
射击精度 x_{22}	0.05	1.0	0.750	0.250	0	0
突防精度 x_{23}	0.05	1.0	0	0.067	0.600	0.72
战斗部毁伤效应 x_{24}	0.50	9.5	0	0.167	0.750	0.60
作战保障能力 x_{31}	0.50	9.5	0.429	0.875	0.167	0
装备保障能力 x_{32}	0.50	9.5	0.286	1.000	0.333	0
后勤保障能力 x_{33}	0.50	9.5	0.571	0.750	0	0
防空预警能力 x_{41}	0.50	9.5	0	0.667	0.667	0
光电对抗能力 x_{42}	0.50	9.5	0.343	0.950	0.367	0
隐蔽伪装能力 x_{43}	0.50	9.5	0.771	0.575	0	0
地面警戒防卫能力 x_{44}	0.50	9.5	0.343	0.950	0.267	0

根据表2计算的白化权函数值 $f_{ij}^k (k=1,2,3,4)$ 构造第 $i (i=1,2,3,4)$ 个一级指标中第 $j (j=1,2,\dots,n)$ 个二级指标对于4个灰类的评价矩阵 $R_i = [f_{ij}^k]_{n \times 4}$, 并计算二级指标的熵。例如:

$$R_1 = [f_{ij}^k]_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.267 & 1 & 0.375 & 0 \\ 0.324 & 0.96 & 0.287 & 0 \\ 0.52 & 0.743 & 0 & 0 \\ 0 & 0.412 & 0.95 & 0.32 \end{bmatrix} \quad (15)$$

按公式 $r_{ij} = \frac{f_{ij}^k}{\sum_{i=1}^4 f_{ij}^k}$ 计算 r_{ij} , 则第1个一级指标的

熵计算为

$$H_{11} = -\frac{1}{\ln 4} \sum_{i=1}^4 r_{1i} \ln r_{1i} = 0.762 \quad (16)$$

类似地, 可计算出 $H_{12} = 0.964, H_{13} = 0.559, H_{14} = 0$, 则第1个级指标的熵权 w_{11} 计算为

$$w_{11} = \frac{1-H_{11}}{4-\sum_{j=1}^4 H_{1j}} = 0.136 \quad (17)$$

类似地, 可以计算出 w_{12}, w_{13}, w_{14} 。于是一级指标的权重向量为: $W_1 = (0.136, 0.021, 0.252, 0.571)^T$ 。可以类似地计算出第2、3、4个一级指标的权重向量。这样就可以计算第 i 个一级指标的评估值。例如, 第1个评估指标的评估值为

$$e_1 = \sum_{j=1}^4 w_{1j} d_j = 0.136 \times 1 + 0.021 \times 1.5 + 0.252 \times 3.375 + 0.571 \times 5.0625 = 3.909$$

单从第1个一级指标的评估值可以看出, 信息能力的评估结果为“较好”。可以类似计算 e_2, e_3, e_4 。

第5步, 计算作战能力的评估值, 并确定评估等级:

根据专家评议结果, 一级指标的权重分别为 $(0.29, 0.35, 0.16, 0.20)^T$, 因此总体作战能力 $E = \sum_{i=1}^4 a_i e_i = 3.35$, 可以看出, 该部队的作战能力水

平属于“一般”, 并向“较高”层次提升, 这与该部队的实际情况是吻合的。从表2数据还可以看出: 信息传输能力、射击精度、后勤保障能力以及防蔽伪装能力是影响作战能力的关键因素; 因此, 该常规导弹部队应以这几个方面为抓手, 不断提高整体作战能力。

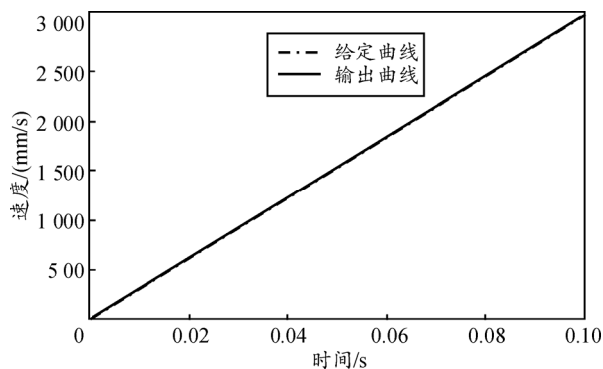
3 结束语

笔者采用灰色熵权法解决了常规导弹部队作战能力的综合评价问题, 减少了主观因素的影响, 提高了评估结论的准确性、科学性和可靠性, 为常规导弹部队作战能力评估提供了一种有效的方法。

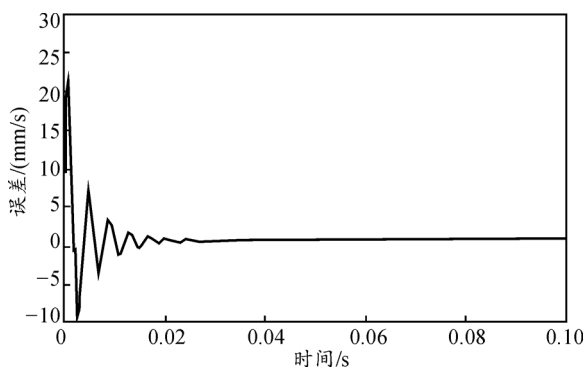
参考文献:

- [1] 沈寿林. 作战指挥决策运筹分析[M]. 南京: 南京陆军指挥学院, 2005: 12.
- [2] 燕永敦, 杨华东. 指数法在航空导弹武器作战能力评估中的应用[J]. 弹剑与制导学报, 2007, 27(2): 389-391.
- [3] 陆勤夫, 周银龙. 编成综合作战能力指数评估方法与模型[J]. 军事系统工程, 2000(2): 31-36.

(下转第48页)



(a) 自动机速度斜坡信号跟踪曲线



(b) PID 控制的斜坡响应误差曲线

图 8 自动机速度斜坡信号跟踪及误差曲线

图 6 是输入信号为阶跃信号时的响应及误差曲线。由图 6 可见, 响应过程平滑没有出现超调现象, 响应时间快, 在平衡位置也没有出现抖动现象, 精确地跟踪到了给定的速度值; 图 7 是输入信号为正弦信号时的响应及误差曲线。由图 7 可见, 系统输出对输入能实现很好的跟踪; 图 8 是输入信号为斜坡信号时的响应及误差曲线。由图 8 可见, 响应过程在刚开始位置出现了较小爬动, 之后就实现了准

确的跟踪。阶跃信号、正弦信号和斜坡信号是仿真时最常用的信号, 同时正弦信号也是最难实现准确跟踪的信号之一, 笔者所搭建的联合仿真模型能很好地实现这 3 种信号的跟踪, 说明所搭建的联合仿真模型是正确的。只要用 PLC 准确发送输入信号, 系统输出就能实现准确跟踪, 从而达到对自动机速度的准确控制。

4 结论

笔者利用虚拟设计方法, 在避免推导繁琐的动力学方程的情况下, 实现了电动式自动机的本体及控制系统的设计, 提高了设计效率。仿真结果验证了电动式自动机系统的可行性, 仿真过程中得到的大量设计参数, 有助于物理样机的设计与研制。所采用的设计分析方法可为虚拟样机的实际应用提供餐卡。总之, ADAMS 和 Matlab 的联合仿真能充分发挥各自的优势, 将机械系统仿真同控制设计仿真有机地结合起来, 实现机电一体化的联合分析, 为复杂系统的研究提供一种新的途径。

参考文献:

- [1] 王裕安, 徐万和, 薄玉成. 自动武器构造[M]. 南京: 南京理工大学翻印, 2005.
- [2] 何亚银. 基于 ADAMS 和 MATLAB 的动力学联合仿真[J]. 现代机械, 2007(5): 60-61.
- [3] 渠向东. 6-THS 并联机构支链传动动力学模型[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [4] 陈瑜, 谢国善, 熊鹏俊. PMSM 的矢量控制与仿真[J]. 控制技术, 2010, 30(2): 18-21.
- [5] 郑建荣. ADAMS 虚拟样机技术入门与提高[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [6] 苗海军, 刘正威, 马亚军. 基于“联合指数”的联合作战编组集团能力量化分析[J]. 海军工程大学学报, 2006, 18(5): 102-106.
- [7] 李跃辉, 周勇, 洪贞起. 潜艇作战能力的综合量化评估[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 8: 136-140.
- [8] 张岩, 刘军, 李雄. 层次分析法在装甲师作战能力评估中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2002, 16(1): 14-16.
- [9] 郝海燕, 李勇, 梁宇, 等. 信息化防空兵部队作战能力评估[J]. 兵工自动化, 2005, 24(3): 6-7.
- [10] 高浩珉, 贾荣宝. 基于集对一层次分析法的自行火炮作战能力分析[J]. 兵工自动化, 2007, 26(2): 11-12.
- [11] 孙水军, 许国银. 模糊综合评判的同类地空导弹火力单元作战能力评估[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(3): 65-67.
- [12] 王海, 端木京顺, 王晓钧. 基于模糊综合评价 DEA 方法的信息化部队作战能力评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2006, 20(3): 69-72.
- [13] 田秀丽, 纪玲利, 马宏刚. 防空体系作战能力灰色聚类评估[J]. 现代防御技术, 2006, 34(2): 6-9.
- [14] 陈玉飞, 屈洋. 数字化坦克营作战能力灰色聚类评估[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(2): 75-78.
- [15] 朱传志, 孙旭明, 马士友. 基于三角白化权函数的导弹分队信息作战能力评估[J]. 兵工自动化, 2006, 25(6): 9-10.
- [16] 武文军, 成洪俊, 曹宁. 云重心理论在防空兵作战能力评估中的运用[J]. 火力指挥与控制, 2005, 30(4): 82-84.
- [17] 陈敏雅, 喻中华. 炮兵武器装备体系作战能力评估研究[J]. 兵工自动化, 2010, 29(9): 18-24.
- [18] 褚凡, 梁涛. 灰色层次分析法在炮兵部队作战能力评估中的应用[J]. 指挥控制与仿真, 2011, 33(2): 51-54.

(上接第 30 页)