

# 基于 AGA-AHP 的炮兵精确打击能力评估

肖栋林<sup>1a</sup>, 张强<sup>1b</sup>, 刘洋<sup>2</sup>

(1. 陆军军官学院 a. 研究生管理大队; b. 步兵教研室, 合肥 230031; 2. 77289 部队, 昆明 650001)

**摘要:** 分析了加速遗传层次分析法的原理, 构建了炮兵精确打击能力评估指标体系, 并运用加速遗传层次分析法对该能力进行了量化评估, 使得评估结果更具有现实说服力和参考价值。

**关键词:** 炮兵精确打击; 能力评估; 基于 AGA-AHP

中图分类号: TJ15

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2013)11-0014-04

## Assessment of Artillery Precision Strike Capability Based on AGA-AHP

XIAO Dong-lin<sup>1a</sup>, ZHANG Qiang<sup>1b</sup>, LIU Yang<sup>2</sup>

(1. a. Graduate Management Team; b. Department of Infantry, Army Officer Academy, Hefei 230031, China; 2. Force 77289, Kunming 650001, China)

**Abstract:** This paper analyzed the principle of AGA-AHP, set up the assessment system of artillery precision strike capability, and made use of AGA-AHP to assess the precision strike capability, which made the assessment result has more realistic conviction and more reference value.

**Key words:** artillery precision strike; assessment; AGA-AHP

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) 为复杂的分析预测、决策、控制和管理提供了易于被人接受的定量依据, 是当前复杂系统建模的重要理论和方法之一。但是, 层次分析法在实践应用中存在的主要问题是检验和修正判断矩阵的一致性问题。针对层次分析法的不足, 本文提出了加速遗传层次分析法 (Accelerating Genetic Algorithm, AGA) 来对炮兵精确打击能力进行评估。其主要思想是, 将待评价系统的各要素按其关联或隶属关系建立递阶层次模型, 构造基于两两比较的判断矩阵, 利用判断矩阵的元素信息, 并根据一致性条件构造相应优化问题, 利用遗传算法求解该优化问题, 同时求得排序权值。

## 1 方法原理

(1) 建立评估层次结构模型。炮兵精确打击能力评估的层次结构模型由上到下的目标层  $A$ 、评价子系统层  $B$  和评价指标层  $C$  组成。 $A$  层为能力评估的总目标, 只有一个要素。 $C$  层为  $n_c$  个评价指标  $C_1, C_2 \sim C_{n_c}$ 。 $B$  层为这些评价指标所隶属的  $n_b$  个评估子系统  $B_1, B_2 \sim B_{n_b}$ 。

(2) 构造判断矩阵。对于  $B$  层和  $C$  层的要素, 分别以各

自的上一级层次的要素为准则进行两两比较, 通常采用 1~9 层及其倒数的判断尺度来描述人们对于各要素的相对重要性, 得到  $B$  层的判断矩阵为  $A = (a_{ij})_{n_b \times n_b}$ , 元素  $a_{ij}$  表示从判断准则角度考虑要素  $B_i$  和  $B_j$  的相对重要性。对应于  $B$  层要素  $B_k$  的  $C$  层的判断矩阵为  $B_k = \{b_{ij}^k \mid i, j = 1 \sim n_c\}, k = 1 \sim n_b$ 。

(3) 利用加速遗传算法进行层次单排序与一致性检验。设判断矩阵  $A = (a_{ij})_{n_b \times n_b}$ , 各要素的单排序权值为  $w_k (k = 1 \sim n_b)$ , 且满足  $w_k > 0, \sum_{k=1}^{n_b} w_k = 1$ , 根据判断矩阵  $A$  的定义, 理论上:

$$a_{ij} = w_i/w_j, (i, j = 1 \sim n_b) \quad (1)$$

若根据矩阵  $A$  满足上式, 则判断矩阵  $A$  具有完全的一致性, 于是有:

$$\sum_{k=1}^{n_b} (a_{ij} w_k) = \sum_{k=1}^{n_b} (w_i/w_k) w_k = \sum_{k=1}^{n_b} w_i = n_b w_i (i = 1 \sim n_b) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n_b} \left| \sum_{k=1}^{n_b} (a_{ik} w_k) - n_b w_i \right| = 0 \quad (3)$$

在实际运用中,由于系统的复杂性,决策者不可能精确度高于  $w_i/w_j$ ,只能对其进行评估判断。显然式(3)中左端的值越小,则判断矩阵的一致性程度就越高,当式(3)成立时则判断矩阵  $A$  具有完全的一致性。基于此,计算各要素及其一致性检验问题可以归结为如下优化问题:

$$\text{MinCIF}(n_b) = \sum_{i=1}^{n_b} \left| \sum_{k=1}^{n_b} (a_{ik}w_k) - n_b w_i \right| / n_b \quad (4)$$

式(4)中,称  $\text{CIF}(n_b)$  为一致性指标函数(Consistency Index Function),单排序权值  $w_k(k=1 \sim n_b)$  为优化变量。式(4)是一个非线性优化问题,用常规方法较难处理,而加速遗传算法(AGA)作为一种通用的全局优化算法,用来求解该问题更为简便和有效。当  $\text{CIF}(n_b)$  小于某一标准值时,可以认为判断矩阵  $A$  有满意的一致性,据此计算各要素单排序权值  $w_k$  是可以接受的。

(4)层次总排序及其一致性检验。层次总排序及其一致性检验,即确定同一层次各要素对于最高层次要素的排序权值并检验各判断矩阵的一致性。这里  $B$  层各要素的单排序权值  $w_k(k=1 \sim n_b)$  和一致性指标函数  $\text{CIF}(n_b)$ ,就是  $B$  层总排序权值和总排序一致性指标函数。 $C$  层各要素的总排序权值  $w_{ci}^A = \sum_{k=1}^{n_b} w_k w_{ci}^k (i=1 \sim n_c)$ ,总排序一致性函数为  $\text{CIF}^A(n_c) = \sum_{k=1}^{n_b} w_k \text{CIF}^k(n_c)$ 。

当  $\text{CIF}^A(n_c)$  值小于某一标准值时,可以认为  $C$  层总排序结果具有满意的一致性,据此计算各要素的总排序权值  $w_{ci}^A$  是可以接受的;否则就需要反复调整有关判断矩阵,直到具有满意的一致性为止。

(5)根据总排序权值进行系统评价。把  $C$  层各要素的总排序权值  $w_{ci}^A (i=1 \sim n_c)$  作为炮兵精确打击能力评估指标的权重,它们与相应评估指标的标准化值相乘并累加,可以作为炮兵精确打击能力评估的最终结果,为决策提供科学依据。

## 2 评估过程

### 2.1 构建炮兵精确打击能力评估指标体系

炮兵精确打击系统是由多个子系统构成的复杂系统。众多子系统围绕遂行炮兵精确打击任务而协调运作,共同形成炮兵精确打击能力。无论是整体的炮兵精确打击系统,还是炮兵精确打击分系统,它们与整体的炮兵精确打击能力或单项的某种炮兵精确打击能力之间存在着一种映射函数关系。炮兵精确打击信息感知系统与信息支持能力、指挥控制系统与指挥控制能力、火力打击系统与火力打击能力、毁伤评估系统与毁伤评估能力之间形成一对一映射关系。可以认为,炮兵精确打击系统及其分系统都是“力量-能力-表现形式”的统一体。在炮兵精确打击中,每个系统都具有某种或几种能力。整体炮兵精确打击系统表现出整体炮兵精确打击能力;炮兵精确打击信息感知系统表现出信息支持能力;指挥控制系统表现出指挥控制能力;火力打击系统表现

出火力打击能力;毁伤评估系统表现出毁伤评估能力。正是这种映射关系的存在,为我们进行炮兵精确打击能力评估明确了评估方向与评估重点。

由于炮兵精确打击能力自身的复杂性,决定了不可能建立单一指标的评估体系,在全面系统分析炮兵精确打击能力全新属性的基础上,本文构建了多层次、多指标的炮兵精确打击能力评估指标体系,其一、二、三级指标如图1所示。

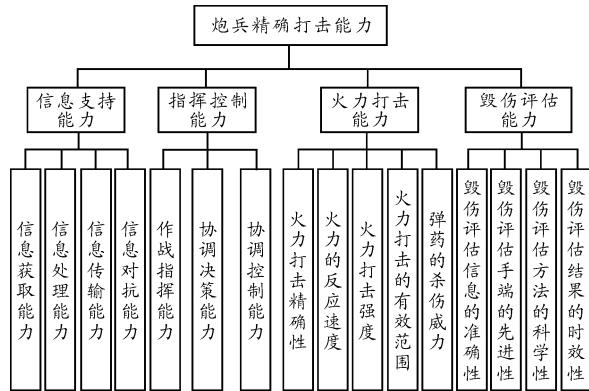


图1 炮兵精确打击能力评估指标体系

### 2.2 判断矩阵的构造

本文利用咨询军队专家的意见,为下步的层次分析法提供数据。当指标体系建立后,然后是求解指标权重,设计指标体系的相对重要性判断表,分别咨询每位专家,请专家给出指标相对重要性数值,最后求解。根据本文提出的炮兵精确打击能力评估体系,依照专家调查法得到专家给出的结果,根据专家给出的结果得到判断矩阵如下:

$$A-B \text{ 层} \quad A = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 2 & 6 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1/3 & 2 & 1 & 3 \\ 1/6 & 1/2 & 1/3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$B-C \text{ 层} \quad B_1 = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 6 & 3 \\ 1/4 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/6 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 2 & 2 & 1 \end{vmatrix}$$

$$B_2 = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{vmatrix}$$

$$B_3 = \begin{vmatrix} 1 & 5 & 7 & 4 & 3 \\ 1/5 & 1 & 5 & 3 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 1 & 1 \\ 1/4 & 1/3 & 1 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

$$B_4 = \begin{vmatrix} 1 & 5 & 7 & 3 \\ 1/5 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/7 & 1/2 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 2 & 3 & 1 \end{vmatrix}$$

### 2.3 层次单排序及其一致性检验

采用加速遗传算法求解,将式(4)转化为算法中的适应

度函数,算法的控制参数:种群规模为 40、交叉概率为 0.3、变异概率为 0.25、进化代数为 40,经优化计算,这 5 个矩阵的排序权值和一致性指标函数结果如表 1 所示,同时列出了特征值法的相应结果。

根据表 1 的结果可以看出:

(1) 判断矩阵  $A, B_1, B_3, B_4$ , AGA-AHP 计算精度高于特征值法的相应结果。判断矩阵  $B_2$ , AGA-AHP 计算排序权值的结果与特征值法完全相同;

(2) AGA-AHP 在排序权值可能取值的区间在  $\{0, 1\}$  内进行快速自适应全局优化搜索,求解精度高,计算结果稳定。这些判断矩阵的一致性指标函数均小于 0.10,具有满意的一致性。

#### 2.4 层次总排序及其一致性检验

根据加速遗传层次分析法第 4 步计算  $C$  层各指标  $C_1, C_2, \dots, C_{16}$  对于总目标  $A$  层相对重要程度的总排序权值如表 2 所示。

表 1 AGA-AHP 与特征值法计算判断矩阵元素权重的结果

方法	判断矩阵	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	检验指标
特征值法	$A$	0.531 2	0.143 3	0.243 0	0.082 4		0.027 6
AGA-AHP	$A$	0.521 1	0.154 3	0.231 0	0.092 5		0.006 5
特征值法	$B_1$	0.5628	0.138 6	0.088 1	0.210 5		0.017 0
AGA-AHP	$B_1$	0.532 8	0.137 2	0.118 1	0.211 1		0.006 9
特征值法	$B_2$	0.571 4	0.285 7	0.142 9			0
AGA-AHP	$B_2$	0.571 4	0.285 7	0.142 9			0
特征值法	$B_3$	0.522 0	0.229 1	0.069 4	0.085 7	0.093 8	0.071 6
AGA-AHP	$B_3$	0.501 2	0.229 9	0.089 4	0.086 4	0.093 1	0.006 6
特征值法	$B_4$	0.587 2	0.122 8	0.072 2	0.219 7		0.007 1
AGA-AHP	$B_4$	0.570 2	0.129 2	0.152 2	0.218 1		0.005 4

表 2 各指标总排序权值

$w_{c1}^A$	$w_{c2}^A$	$w_{c3}^A$	$w_{c4}^A$	$w_{c5}^A$	$w_{c6}^A$	$w_{c7}^A$	$w_{c8}^A$
0.275 6	0.061 5	0.061 5	0.110 0	0.088 2	0.044 1	0.022 0	0.115 8
$w_{c9}^A$	$w_{c10}^A$	$w_{c11}^A$	$w_{c12}^A$	$w_{c13}^A$	$w_{c14}^A$	$w_{c15}^A$	$w_{c16}^A$
0.050 1	0.020 7	0.020 0	0.021 5	0.062 7	0.012 0	0.014 1	0.020 2

经计算可得,总排序一致性指标函数值为  $CIF^A(16) = 0.006 9$ ,说明各判断矩阵均有满意的总排序一致性,上述计算的总排序权值可以作为炮兵精确打击战能力指标评价指标的权重。

该计算结果说明,影响炮兵精确打击能力的前 5 个指标为信息获取能力、火力打击的精确性、信息对抗能力、作战指挥能力和毁伤评估信息的准确性指标。影响炮兵精确打击能力最大的指标是信息获取能力,这也说明炮兵精确打击对信息的依赖性,以及信息在炮兵精确打击中起到倍增作战效能的作用。

#### 2.5 示例分析

本文在这里运用以上作战能力评估模型分别对信息化炮兵和机械化炮兵的炮兵精确打击能力进行评估。

本文邀请 20 名专家对炮兵精确打击能力的各项评估指标进行评分。分别发放了权重专家咨询表 20 份,分别对机械化炮兵和信息化炮兵的精确打击能力的各项指标进行打分。首先采用方差的方法对部分咨询表进行了必要的修正

(修正笔误和明显不一致的表格),随后采用几何平均值法,归纳整理得到的各评估指标分值如下:

信息化:  $C_1 = 90, C_2 = 80, C_3 = 80, C_4 = 85, C_5 = 90, C_6 = 80, C_7 = 85, C_8 = 90, C_9 = 80, C_{10} = 80, C_{11} = 80, C_{12} = 80, C_{13} = 90, C_{14} = 80, C_{15} = 80, C_{16} = 80$ 。

机械化:  $C_1 = 65, C_2 = 70, C_3 = 70, C_4 = 65, C_5 = 75, C_6 = 68, C_7 = 70, C_8 = 75, C_9 = 70, C_{10} = 75, C_{11} = 75, C_{12} = 75, C_{13} = 70, C_{14} = 65, C_{15} = 65, C_{16} = 60$ 。

将上面的各要素的总排序权值  $w_{ci}^A (i = 1 \sim 16)$  作为作战能力评估指标的权重,它们与相应评估指标的标准值相乘并累加,可以作为该作战能力评估的最终结果。各指标介于  $\{0, 100\}$  之间,并规定  $\{0, 60\}$  为差,  $\{60, 70\}$  为中,  $\{70, 80\}$  为良,  $\{80, 100\}$  为优 4 个等级。

则通过计算可得,该信息化炮兵的精确打击能力  $\sum_{i=1}^{16} c_i w_{ci}^A = 85.983 0$ ,属于优。该机械化炮兵的精确打击能力  $\sum_{i=1}^{16} c_i w_{ci}^A = 68.982 3$ ,属于中。(下转第 51 页)

影响散热量的大小。舱室温度越高,则空气密度越小,而且同时稳压器外壁与空气的温差越小,因此自然对流强度越小。散热量  $Q_2$  及稳压器温度  $T_2$  随舱室温度  $t$  的变化曲线如图 10 和图 11 所示,  $t$  从  $30^\circ\text{C}$  到  $45^\circ\text{C}$  变化,  $Q_2$  随  $t$  的增大线性递减,  $T_2$  随  $t$  的增大线性递增。稳压器散热量的变化幅度为 5.5%, 而外壁温的变化幅度则达到 27.2%, 可见舱室温度变化对稳压器外壁温度影响更加明显。

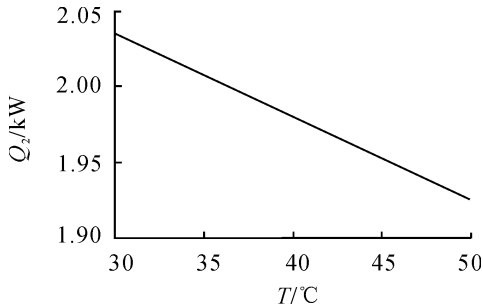


图 10 散热量随舱室温度的变化曲线

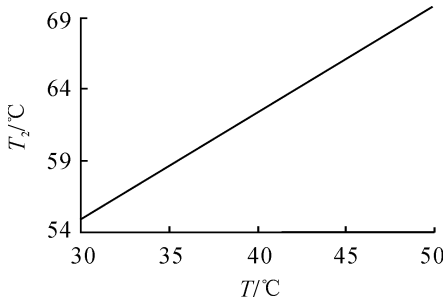


图 11 稳压器外壁面温度随舱室温度变化曲线

## 5 结束语

本文利用 CFX 软件对稳压器在舱室内的散热现象进行了模拟分析,得到了舱室内的三维流场和温度场分布特征。分析了船体倾角和舱室温度的影响,得到了不同倾角和舱室温度下的散热量及稳压器外壁温度变化曲线。结果表明:船体倾角对散热影响不大,但舱室温度对散热影响较大。舱室温度越低,倾角越小,散热量越大。稳压器外壁温度随舱室温度变化更明显。在舰船舱室内设备众多,各设备在舱室中的耦合散热更加复杂,而且不同的舰船设备布置会有很大差别。本文只是对稳压器单一设备进行了模拟分析,对于多设备模型,该问题的研究方法也同样适用。

## 参考文献:

- [1] 程冬梅. 船舶居住舱室气流组织数值仿真研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- [2] 周俊男. 舰船舱室气流组织的数值与实验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.
- [3] 赵静,余红星. 1000MW 级压水堆安全壳压力温度计算分析[J]. 核动力工程,2003,24(5):409-425.
- [4] 陈松,刘鑫. 严重事故下安全壳内环境条件计算分析[J]. 核动力工程,2006,27(1):13-17.
- [5] 章熙民,任泽霖. 传热学[M]. 5 版. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [6] 王福军. 计算流体动力学分析:CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

(责任编辑 周江川)

(上接第 16 页)

## 3 结束语

通过基于加速遗传层次分析法 (accelerating genetic algorithm, AGA) 来对炮兵精确打击能力进行评估,从计算结果可以看出,未来信息化炮兵的精确打击能力要比机械化炮兵的精确打击能力要强很多,是因为信息融入了火力,发挥了信息的“倍增器”作用。在未来的信息化战场上,单纯的炮兵火力在精度上、时效上、高效上均不能满足作战的需要。炮兵火力只有依赖于信息,才能真正实现精确打击。可以说信息是未来作战中火力作战效能的“倍增器”。

## 参考文献:

- [1] 刘森. 信息化条件下炮兵精确打击研究 [D]. 合肥:炮兵

学院,2007.

- [2] 任富兴,徐志中. 火力战指挥与控制[M]. 北京:解放军出版社,2001.
- [3] 郭春生. 炮兵信息化建设研究[M]. 北京:国防大学出版社,2005:150-158.
- [4] 沈树章,朱璇. 解读复杂电磁环境[J]. 军事学术,2007,24(7):41-42.
- [5] 张志伟. 现代火力战[M]. 长沙:国防科技出版社,2009.
- [6] 田永泰. 炮兵信息作战概论[M]. 北京:海潮出版社,2004.
- [7] 何铁矛. 一体化联合火力战[M]. 北京:军事谊文出版社,2006.

(责任编辑 周江川)