

doi: 10.7690/bgzdh.2016.08.004

基于熵权-AHP法和ADC法某型轮式战车机动效能评估

周德荣, 王永杰, 谢武德, 李波

(中国人民解放军63981部队, 武汉430311)

摘要: 为了提高防空导弹武器系统机动效能, 提出一种基于熵权-AHP法和ADC法的机动效能评估方法。运用熵权-AHP法和ADC法的相关理论对防空导弹武器系统机动效能进行综合评估, 论述了基于熵权-AHP法和ADC法的具体评估过程, 并结合防空导弹武器的2种国产轮式战车进行应用分析, 有效解决了机动效能评估中存在的指标信息不确定、指标权重不客观等问题。实例结果表明: 该方法客观精确, 符合实际, 为轮式战车的设计、研制和性能改进提供了科学的理论决策依据。

关键词: 战车; 熵权-AHP法; ADC法; 机动效能

中图分类号: TJ812 **文献标志码:** A

Mobile Efficiency Evaluation of Wheeled Vehicle Based on the Method of Entropy-AHP and ADC

Zhou Derong, Wang Yongjie, Xie Wude, Li Bo

(No. 63981 Unit of PLA, Wuhan 430311, China)

Abstract: In order to improve the mobile efficiency of air defense missile weapon system, an efficacy evaluation method of air defense missile weapon system efficiency based on entropy-AHP and ADC is proposed. The theory of entropy-AHP and ADC is applied, and the basic procedures of the method are described. An example of two wheeled vehicles has been used to illustrate the rationality and feasibility of the method, solving the problems of index uncertainty information and subjective index weight. The method is an objective and precise method, and it provides a scientific decision foundation theoretically for design and develop to improve performance of the wheeled vehicle.

Keywords: wheeled vehicle; method of entropy-AHP; method of ADC; mobile efficiency

0 引言

某型轮式战车是我军大型陆基防空导弹武器系统运载和发射平台, 具有较高的越野能力和机动性能, 其机动效能高低将直接影响战争中我军人员和装备的生存能力。研究并定量评估其机动效能高低, 是评价该装备优劣的主要手段之一, 可以为该型战车的设计、研制、训练和改进提供科学依据和决策参考, 对提高我军防空能力和抗击打能力具有十分重要的意义。基于此, 笔者以某型战车为例, 提出一种基于熵权-AHP法和ADC法的机动效能评估方法, 并建立其效能评估体系。

1 熵权-AHP法和ADC法相关理论介绍

1.1 熵权-AHP法相关理论

1.1.1 熵权的相关理论

熵的概念由德国物理学家克劳修斯提出, 反映了体系混乱的程度。而在信息领域, 熵(Entropy)是被用来衡量一个随机变量出现的期望值, 它是信息

混乱程度或不确定性的度量, 熵的值越大, 信息的混乱程度越高, 其信息的效用价值越低; 反之, 熵的值越小, 其信息的混乱程度越低, 信息的效用价值则越高^[1]。因此, 在决策中获取信息的多少和质量, 是决策分析精确度和可靠性大小的决定因素之一。正是源于信息熵这一特性, 人们利用它来计算指标权重, 即熵权法。当评价指标的样本数据可以量化时, 选用熵权法对各指标进行赋权比较精确^[2]。

1.1.2 熵权法计算指标权重的程序

设有 m 个评价指标, n 个评价对象(方案), 计算其指标的权重程序如下:

1) 首先获取多指标评价矩阵

$$R' = \begin{pmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \cdots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \cdots & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & \cdots & r'_{mn} \end{pmatrix}。$$

2) 对 R' 作标准化处理得到 $R = (r_{ij})_{mn}$, 式中 r_{ij} 为第 j 个评价对象第 i 个指标的值, 且当指标值为效

收稿日期: 2016-04-29; 修回日期: 2016-06-01

作者简介: 周德荣(1981—), 男, 安徽人, 硕士, 工程师, 从事装备保障研究。

益型时

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}' - \min\{r_{ij}'\}}{\max\{r_{ij}'\} - \min\{r_{ij}'\}} \quad (1)$$

当指标值为成本型时

$$r_{ij} = \frac{\max\{r_{ij}'\} - r_{ij}'}{\max\{r_{ij}'\} - \min\{r_{ij}'\}} \quad (2)$$

3) 确定指标的熵: 第 i 个评价指标的熵为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (3)$$

式中: $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$; $k = \frac{1}{\ln n}$ 。

4) 确定指标的熵权值: 第 i 个指标的熵权 ω_i 定义为

$$\omega_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (4)$$

1.1.3 AHP 法的相关理论

目前确定指标权重的方法主要有层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP)、delphi 法、熵权法、因子分析法和模糊综合评判法等。其中 AHP 法由美国运筹学家萨蒂教授所创立, 通过将决策有关的因素分解成目标、准则、方案等层次, 并在此基础上进行分析, 是综合分析人们主观判断的客观方法, 也是一种定性与定量分析相结合的系统化、层次化的分析方法^[3]; 因此, 当指标难以量化时, 采用 AHP 法对评价对象进行排序或计算指标权重, 具有简单易行等优点。其计算步骤为: 1) 构造判断矩阵 A ; 2) 根据特征根法求出特征方程 $(A - \lambda_{\max} I)\omega = 0$ 的最大特征值 λ_{\max} 和 λ_{\max} 所对应的经归一化处理后的特征向量 ω (即权重向量, 该向量可以利用 Matlab 中的 eig 函数解出); 3) 对判断矩阵进行一致性检验。根据公式 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 和

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

对其进行一致性判断^[4], 式中: n 为判断矩阵的阶数; CI 为一致性指标; CR 为一致性比例;

RI 为平均随机一致性指标 (通过查表可得到)。考虑到文中所构建的指标有的可以完全量化, 有的只能定性分析; 因此, 采用熵权-AHP 法来综合确定指标权重, 具有较高的科学性和实用性。

1.2 ADC 法相关理论

系统效能是系统在规定的的时间和条件下完成规

定任务的能力, 是系统的可用性 (有效性)、可信赖性和固有能力的综合函数, 是评价武器装备性能优劣的最重要指标, 也是人、武器装备和环境共同作用效果的体现^[5]。目前, 武器系统的作战效能评估方法主要有系统效能法 (availability dependability capability, ADC)、灰色关联度法、层次分析法、模糊综合评判法、层次-灰色评估法和 SEA 法等^[6]。其中 ADC 法是由美国工业界武器系统效能咨询委员会 (WSEIAC) 对美国空军武器装备进行系统效能评估时所建立的方法, 目前最容易为人们所理解和接受。而且, ADC 法在研究武器系统效能这一领域已被广泛采用^[7]。鉴于此, 笔者采用以熵权-AHP 法确定指标权重, 以 ADC 法对某两型战车机动效能进行评估, 确保评估结果具有较高的理论指导意义和参考价值。

2 建立战车机动效能评估模型

根据 WSEIAC 提出的 ADC 法建立战车的机动效能评估模型, 如图 1 所示。



图 1 系统效能模型

系统效能的数学计算模型为:

$$E = ADC; \quad (5)$$

$$A = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n]; \quad (6)$$

$$a_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}; \quad (7)$$

$$D(t) = \begin{bmatrix} d_{11}(t) & d_{12}(t) & \dots & d_{1n}(t) \\ d_{21}(t) & d_{22}(t) & \dots & d_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{n1}(t) & d_{n2}(t) & \dots & d_{nm}(t) \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中: E 为系统效能, 此处为机动效能; A 为可用度向量, 是系统在开始执行任务时所处状态的量度; $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为在开始执行任务时刻, 系统处于状态 i 的概率; $MTBF$ 为平均故障间隔时间; $MTTR$ 为故障平均修复时间; $D(t)$ 为可信赖性矩阵, 是系统在开始执行任务时其状态已知的情况下, 在执行任务过程中的 t 时刻系统状态的量度; $d_{ij}(t) (i, j=1, 2, \dots, n)$ 为在开始执行任务时系统处于状

态 i , 在执行任务过程中 t 时刻转移到状态 j 的概率。为了简化战车 $\mathbf{D}(t)$ 的计算过程, 特作假设如下:

1) 战车各组件的修理时间分布和故障分布符合指数分布, 故障率 $\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$ 和修复率

$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$ 都为常数;

2) 故障的部组件经修复后, 其故障分布与原件相同, 且设定某一时刻只有 1 个部组件出现故障或被修复, 而不考虑有 2 个或更多部组件同时出现故障或被修复的情况。

$\mathbf{D}(t)$ 的具体计算步骤如下:

1) 首先确定战车的几种状态, 记为 $X(t) = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ 。

2) 计算状态转移概率矩阵

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix} \quad (10)$$

式中: p_{ij} 为系统从处于 i 状态转移到 j 状态的概率, $i, j = 1, 2, \dots, n$, 且 p_{ij} 只与故障率 λ 和修复率 μ 有关,

且 $0 \leq p_{ij} \leq 1$, $\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1 (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

3) 设系统在 t 时刻处于各状态的概率为: $q_1(t) = P\{X(t) = X_1\}$, $q_2(t) = P\{X(t) = X_2\}$, \dots , $q_n(t) = P\{X(t) = X_n\}$ 。根据下式求出 $q(t)$ 的通解。

$$\frac{dq(t)}{dt} = Uq(t) \quad (11)$$

$$\text{式中: } U = [P^T - I]; \quad q(t) = \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \\ \vdots \\ q_n(t) \end{bmatrix}$$

在初始时刻系统可能处于 n 种状态的任意一种, 所以状态方程有 n 个初始条件, 即

$$q_{01} = \begin{bmatrix} q_1(0) \\ q_2(0) \\ \vdots \\ q_n(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \dots, q_{0n} = \begin{bmatrix} q_1(0) \\ q_2(0) \\ \vdots \\ q_n(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}。$$

计算出状态方程的通解后, 代入 n 个初始条件得到 n 个特解, 记为

$$d_1(t) = \begin{bmatrix} d_{11}(t) \\ d_{12}(t) \\ \vdots \\ d_{1n}(t) \end{bmatrix}, \dots, d_n(t) = \begin{bmatrix} d_{n1}(t) \\ d_{n2}(t) \\ \vdots \\ d_{nm}(t) \end{bmatrix}。$$

式中 $d_1(t)$ 为系统初始状态为 q_{01} , 在 t 时刻转移到其他状态的概率, 依此类推 $d_n(t)$ 表示系统初始状态为 q_{0n} 在 t 时刻转移到其他状态的概率。将这 n 个特解列成矩阵形式, 即得到系统的可信赖性矩阵 $\mathbf{D}(t)$ 。

式 (9) 中的 \mathbf{C} 为能力矩阵, 是在已知系统执行任务过程中的 t 时刻所处的状态的情况下, 系统完成任务能力的量度; $c_{jk} (j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m)$ 为系统在执行任务过程中的 t 时刻处于状态 j 时, 完成赋予它的第 k 项任务的能力。考虑到战车系统状态只有正常和故障 2 种状态, 故式 (9) 可以改写为:

$$c = \begin{pmatrix} c_1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

式中 c_1 可以由下式得出

$$c_1 = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^N \omega_i [1 - \mu(x_i)]^2} \quad (13)$$

式中: ω_i 为指标层第 i 个指标对目标层的权重; $\mu(x_i)$ 为第 i 个指标的指标值 x_i 对其理想值的隶属度。

3 构建战车机动效能评价指标体系

3.1 建立有效性指标

有效性是指系统在规定的条件和条件下随时正常实现其功能的概率, 主要用来描述系统开始执行任务实现其功能时的状态; 因此, 笔者在对其进行研究分析时必须结合战车的使用环境和具体任务, 评价有效性的定量指标称为可用度, 评价系统可用度一般以系统寿命期间的的时间划分为基础。在此可以设定战车只有工作和修理 2 种状态, 其计算见式 (6) 和式 (7)。

3.2 建立可信赖性指标

WSEIAC 将可信赖性定义为: 已知系统在开始执行任务时所处的状态, 对在执行任务过程中某个瞬间或多个瞬间系统状态的量度。同有效性一样, 在应用可信赖性这一概念时, 需要明确系统的组成和任务。评价可信赖性的定量指标称为可信度, 是系统在规定时间和条件下, 在使用过程中完成规定任务时刻或具备规定性能的量度。其计算见式 (8)。

3.3 构建机动能力评价指标体系

3.3.1 构建机动能力层次分析结构模型

分析研究战车的承研承制单位在其定型设计、研制生产所考虑的相关因素以及列装部队平时训练打靶和演习使用情况, 结合自身从事战车维修实践和专家意见, 通过对影响战车机动能力的相关因素

分析研究，综合考虑构建评价指标体系的系统性、科学性、目的性、可操作性、可比性、层次性、独立性、时效性和定量与定性相结合等原则，并通过评价指标体系的相关处理，最终构建战车机动能力的评价指标体系，如图 2 所示。

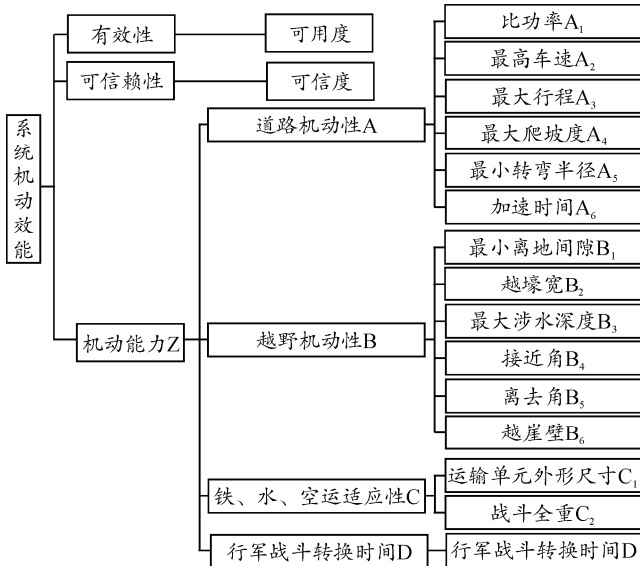


图 2 某型战车机动能力评价模型框图

3.3.2 计算各指标权重

定性指标通常比较抽象、模糊，难以量化。目前，对其进行量化的方法主要采用 AHP 法。构建机动能力层次结构模型后，也就确定了上下层级元素之间的隶属关系，以每个指标的上一层级指标为准则，可以计算出每个指标对上一层级指标的权重。例如以机动能力为准则，道路机动性 A，越野机动性 B，铁、水、空运适应性 C 和行军战斗转换时间 D 这 4 个指标为定性指标，其对机动能力的权重采用 AHP 法来确定。根据 AHP 法的相关知识，首先要构造 1 个两两比较判断矩阵 A，即

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

通过请 10 名专家打分，建立 10 个两两比较矩阵，由于各专家对该问题的见解和看法必然存在一定的出入；因此，笔者采用加权平均法来确定该 10 名专家的综合判断矩阵^[8]，并得出

该综合判断矩阵 $A = \begin{pmatrix} 1 & \frac{7}{5} & \frac{7}{3} & \frac{7}{4} \\ \frac{5}{7} & 1 & \frac{5}{3} & \frac{5}{4} \\ \frac{7}{7} & \frac{3}{5} & 1 & \frac{3}{4} \\ \frac{4}{7} & \frac{4}{5} & \frac{4}{3} & 1 \end{pmatrix}$ 。根据 AHP 法求指

标权重的方法步骤，利用 Matlab 的 eig 函数求出其 $\lambda_{\max} = 4.00024$ ，对应的特征向量为 $(0.7035 \ 0.5025 \ 0.3015 \ 0.4020)^T$ ，经归一化处理得到 $(0.3684 \ 0.2632 \ 0.1579 \ 0.2105)^T$ ，此向量即为 A、B、C、D 对 Z 的权重，并经检验得出 $CR < 0.1$ ，说明该判断矩阵的一致性可以接受。

当评价指标具有较完整的样本数据时，则采用熵权法赋权则比较精确^[2]。由于指标 $A_1 \sim A_6$ 、 $B_1 \sim B_6$ 和 C_1 、 C_2 都是可以量化的指标；因此，可采用熵权法来确定它们对其所属准则层指标的权重。

首先根据各指标值得出 $A_1 \sim A_6$ 、 $B_1 \sim B_6$ 和 C_1 、 C_2 的评价矩阵 R_1' 、 R_2' 和 R_3' ，根据式 (1) 和式 (2) 对其进行标准化处理，得到其标准型矩阵为：

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.180 & 0 & 0.086 & 0 \\ 0.200 & 0 & 0.800 & 0 \\ 0.375 & 0 & 0.500 & 0 \\ 0.500 & 0 & 0.830 & 0 \\ 0.883 & 3 & 0.675 & 0 \\ 0.500 & 0 & 0.875 & 0 \end{pmatrix}, \quad R_2 = \begin{pmatrix} 0.142 & 9 & 0.542 & 9 \\ 0.428 & 6 & 0.571 & 4 \\ 0.500 & 0 & 0.700 & 0 \\ 0.500 & 3 & 0.942 & 8 \\ 0.334 & 7 & 0.589 & 3 \\ 0.400 & 0 & 0.600 & 0 \end{pmatrix},$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0.801 & 5 & 0.017 & 1 \\ 0.780 & 0 & 0.280 & 0 \end{pmatrix}.$$

由式 (3) 和式 (4) 求出 $A_1 \sim A_6$ 、 $B_1 \sim B_6$ 和 C_1 、 C_2 对 A、B 和 C 的权重为：

$$\begin{pmatrix} 0.185 & 1 & 0.559 & 6 & 0.029 & 8 & 0.090 & 3 & 0.026 & 0 & 0.109 & 2 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 0.349 & 8 & 0.019 & 8 & 0.026 & 9 & 0.092 & 1 & 0.074 & 2 & 0.437 & 2 \end{pmatrix},$$

$$(0.840 & 8 \ 0.159 \ 2),$$

经检验满足一致性要求。

已知准则层对目标层的权重和各指标层对其准则层的权重，可求出各指标层对目标层的综合权重：

$$\omega = \begin{pmatrix} 0.185 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.559 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0.029 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0.090 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.026 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.109 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.349 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0.019 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0.026 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0.092 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.074 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.437 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.840 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0.159 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.368 & 4 \\ 0.263 & 2 \\ 0.157 & 9 \\ 0.210 & 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.068 & 2 \\ 0.206 & 2 \\ 0.011 & 0 \\ 0.033 & 3 \\ 0.009 & 6 \\ 0.040 & 2 \\ 0.092 & 1 \\ 0.005 & 2 \\ 0.007 & 1 \\ 0.024 & 2 \\ 0.019 & 5 \\ 0.115 & 1 \\ 0.132 & 7 \\ 0.025 & 1 \\ 0.210 & 5 \end{pmatrix}.$$

4 具体算例应用

笔者选取机动性能相近的某两型国产轮式战车

记为战车 1 和战车 2，分别计算其机动效能。

4.1 计算战车的可用度向量

由于战车只有故障和正常 2 种状态，将战车 1 和 2 的 MTBF 和 MTTR 的值代入式 (3) 中，求出战车 1 的可用度向量 $A_1 = (a_1, a_2) = (0.9987, 0.0013)$ ，战车 2 的可用度向量 $A_2 = (a_1, a_2) = (0.9990, 0.0010)$ 。

4.2 计算战车的可信赖性矩阵

根据式 (10)、式 (11)，并借助 Matlab 中的 Dsolve 函数，分别求出战车 1 和 2 的可信赖性矩阵为：

$$D_1(t) = (d_1(t) \ d_2(t))^T = \begin{pmatrix} 0.9849 + 0.0013e^{-1.6689t} & 0.0013 - 0.0013e^{-1.6689t} \\ 0.9849 - 0.9987e^{-1.6689t} & 0.0013 + 0.9987e^{-1.6689t} \end{pmatrix};$$

$$D_2(t) = (d_1(t) \ d_2(t))^T = \begin{pmatrix} 1 + 0.0010e^{-2.0020t} & 0.0010 - 0.0010e^{-2.0020t} \\ 1 - 0.9990e^{-2.0020t} & 0.0010 + 0.9990e^{-2.0020t} \end{pmatrix}。$$

4.3 计算战车的机动能力

隶属度的概念由美国控制论教授扎得首次提出，属于模糊评价函数中的概念。为了解决工作中遇到的模糊不清的问题，人们常把对象属于某个事物的程度用 [0,1] 间的一个实数表示，“0”表示完全不隶属，“1”表示完全隶属。隶属度函数就是用于描述从隶属到不隶属这一渐变过程的函数，其得出的评价结果不是绝对的肯定或否定，而是一个模糊集；因此，隶属度函数是一种变定性分析为定量分析的数学方法，具有较强的适用性。同时，科学合理有效地确定隶属度函数，是运用模糊数学知识解决实际问题的基础^[9]。隶属度函数的确定过程，本质上应该是客观的，但即使对于同一模糊概念不同的人的理解和认识却是不同的。实际上在确定隶属度函数的过程中，依然存在不同程度的主观性和随意性^[10]。由于所建指标体系中的指标层指标均为定量指标，可以完全量化，则熵权法求出的标准型矩阵 R_1 、 R_2 、 R_3 即为各指标所对应的战车其理想值的隶属度矩阵^[5]。结合部队实际，通过专家打分得出战车 1 和 2 的行军战斗转换时间的隶属度分别为 0.6、0.7。将各指标的隶属度值代入式 (13) 中，求出战车 1 和 2 的机动能力分别为 (0.3934 0.4772)。

4.4 计算战车的机动效能

根据式 (1) 得出战车 1 的机动效能为

$$E = ADC = (0.9987 \ 0.0013) \cdot$$

$$\begin{pmatrix} 0.9849 + 0.0013e^{-1.6689t} & 0.0013 - 0.0013e^{-1.6689t} \\ 0.9849 - 0.9987e^{-1.6689t} & 0.0013 + 0.9987e^{-1.6689t} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.3934 \\ 0 \end{pmatrix} = 0.3875。$$

同理求出战车 2 的机动效能为 0.4772。由于战车 2 是战车 1 的改进型，由结果可知其机动效能要高于战车 1，符合实际，当然该 2 台战车的机动效能仍有较大的提升空间。

5 结束语

针对武器装备机动效能的特点和影响因素，笔者采用 ADC 法进行效能评估。在评估过程中，综合考虑多种因素的影响，针对某型战车建立了 3 层次机动效能评估指标体系，并提出了熵权-AHP 法来确定指标权重，使评估结果相对客观精确。由 $E = ADC$ 可知，要想提高战车的机动效能，一方面可以通过提高战车的 A 和 D ，即提高可靠性和可维修性，这就要求在研制和生产过程中，要一并考虑装备的可靠性和可维修性，要始终贯彻“可靠性为中心、全系统全寿命”的设计思想和理念；另一方面，在设计和研制时，可以通过改进战车的战技术指标来提高战车的机动能力即 C ，从而达到提高其机动效能的目的。该评估研究可以为制定战车的发展规划和改进计划提供一定的科学依据和参考。

参考文献：

- [1] 陈建珍, 赖志娟. 熵理论及其应用[J]. 江西教育学院学报, 2005, 26(6): 9-12.
- [2] 王靖, 张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报, 2001, 30(2): 52-57.
- [3] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 10-38.
- [4] Saaty T L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures[J]. Journal of Math, 1997, 15(3): 234-281.
- [5] 肖元星, 张冠杰. 地面防空武器系统效费分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 9-13.
- [6] 李宗吉, 王树宗. 武器装备系统效能评估的几种方法[J]. 海军工程大学学报, 2000(1): 97-101.
- [7] 吴晓锋, 钱东. 用于系统效能分析的 WSEIAC 模型及其扩展[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(8): 1-7.
- [8] 梁樑, 熊立, 王国华. 一种群决策中专家客观权重的确定方法[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(4): 652-655.
- [9] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 38-48.
- [10] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 18-22.