

doi: 10.7690/bgzd.2018.02.021

引入 AHP 熵值赋权的武装直升机作战效能评估

苗李达¹, 侯学隆²

(1. 海军航空大学研究生管理大队, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空大学五系, 山东 烟台 264001)

摘要: 为解决传统熵值法评价指标赋权时, 会出现指标权重过大的问题, 引入层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 的赋权方式对熵值法进行改进。对指标差异性系数进行两两对比来求解指标权重, 通过实际数据检验, 指出传统熵值法的弊端, 构造基于信息熵的判断矩阵并求解出指标权重, 分别使用传统熵值法和引入 AHP 的熵值赋权法对武装直升机作战能力的 7 项指标赋权进行作战效能评估。结果表明: 该方法能弥补传统熵值法赋权时单一指标权重可能过大的不足, 赋权结果更加合理, 武装直升机作战能力随某个指标变化的评估结果也更为准确。

关键词: 武装直升机; 熵值法; 层次分析 (AHP) 法; 效能评估

中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

Combat Effectiveness Evaluation of Armed Helicopter by Introducing AHP Entropy Weighting

Miao Lida¹, Hou Xuelong²

(1. Brigade of Graduate, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China;

2. Department of No. 5, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to solve the problem that the weight of the index is too large when the traditional entropy method is used to evaluate the evaluation index, and the entropy method is improved by introducing the analytic hierarchy process (AHP). Solve the index weighting by comparing the index difference coefficient, point out the shortcoming of traditional entropy method, and establish judgment matrix based on information entropy and resolve index weighting. Separately carry out fight efficiency evaluation for 7 index weighting by using the traditional entropy method and introducing AHP entropy weighting method. The results show that the method can compensate the deficiency of the single index weight may big in the traditional entropy method weighting, and the weighting result is more reasonable, and combat helicopter combat capability evaluation is more accurate with the variation of the index.

Keywords: armed helicopter; entropy method; analytic hierarchy process (AHP) method; effectiveness evaluation

0 引言

在进行武装直升机对地攻击评估指标体系构建的过程中, 由于其组成和结构复杂, 指标众多, 指标之间的关系也很复杂, 使得系统中大量的因素无法准确地定量表示出来^[1-3], 因此各指标在整体评估指标体系中的相对重要程度——权重, 便具有十分重要的地位。权重表现了评估过程中, 指标体系内不同指标重要程度的定量分配, 对各评估指标在总体评估中的作用进行区别对待。对指标赋权的方法分为主观赋权法 (排队积分法、加权综合法等) 和客观赋权法 (组成成分分析法、因子分析法等)^[4]。熵值赋权法是典型的客观赋权法, 其基于“差异驱动”原理, 由各样本的实际数据直接求得指标权重, 具有意义明确、条理清晰并且对决策方案数及指标个数无限制等优势, 但在应用中由于过分突出局部差异, 当指标值的离散程度很大时, 该指标的权重将过大, 导致单一指标影响甚至决定最终评估结果^[5]。

AHP 作为一种主观赋权法, 通过定性和定量相结合, 将指标值的离散性局限在一定范围内, 有效限制单个指标对最终评估结果的影响^[6]。笔者在对熵值赋权的过程中, 引入 AHP 思想, 通过建立判断矩阵, 对指标离散程度过大的情况进行限制, 并通过实例验证该方法的优越性。

1 传统熵值法赋权过程

1.1 确定初始数据矩阵

假设有 m 个武器系统 (样本), 对武器系统的评价指标共有 n 个, 则评价初始数据矩阵可表示为 $\mathbf{X} = \{x_{ij}\}_{m \times n}$, 其中 x_{ij} 表示第 i 个武器系统的第 j 项指标值。

1.2 初始数据的规范化

在效能评估中, 由于各指标之间普遍存在量纲不同、变换范围不同和对抗性不同等问题, 要求对指标初始数据进行规范化处理^[7]。令

收稿日期: 2017-11-03; 修回日期: 2017-12-21

作者简介: 苗李达 (1981—), 男, 辽宁人, 硕士, 从事海军航空兵战术使用研究。

$F = [f_1, f_2, \dots, f_n]$, 其中 $f_k (k=1, 2, \dots, n)$ 为第 k 个指标的最优值, 最优值一般取最大(效益型)或最小(成本型), 也可以是评估者认可的某个值。对于第 j 列, 令 $y_{ij} = x_{ij} / f_j$ (效益型) 或 $y_{ij} = f_j / x_{ij}$ (成本型)^[8], ($i=1, 2, \dots, m$), 进而得到标准化矩阵:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

1.3 计算差异性系数

首先计算在第 j 项指标下第 i 个武器系统的指标值占全体对象中的比重

$$e_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

通过 e_{ij} 可求出第 j 项指标的熵值

$$s_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (e_{ij} \ln e_{ij}) \quad (3)$$

最后得差异性系数

$$g_j = 1 - s_j \quad (4)$$

1.4 传统熵值法的弊端

在传统熵值法中, 指标权重 w_j 直接根据差异性系数求得:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (5)$$

进而得到第 i 个武器系统的效能

$$z_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} w_j^T \quad (6)$$

传统熵值法中, w_j 的大小受第 j 项指标本身的敛散性影响很大, 各武器系统在第 j 项指标下的指标值收敛程度越高(之间差异越小), 该项指标的指标权重 w_j 越小; 反之, 指标值之间发散程度越高, w_j 越大, 并且这种影响随发散程度的增大越明显。如表 1: 根据传统熵值赋权法计算出的 3 个武器系统的效能值分别为 $z_1=0.37, z_2=0.393, z_3=0.986$ 。武器系统 i_2, i_3 在 $j_1 \sim j_6$ 项指标均劣于 i_1 的情况下(平均少 2.83), 仅因为 j_7 项指标的优势, 最后得到的效能评估结果 z_2, z_3 均优于 z_1 。其中 $X_{27}-X_{17}=0.4$, 便可以使得 $z_2 > z_1$; 而 z_3 甚至可以达到 2.66 倍于 z_1 的结果。

表 1 传统熵值法效能评估结果

指标数 j	初始数据 x_{1j}	初始数据 x_{2j}	初始数据 x_{3j}	指标权重 $w/\%$
1	14.0	11.0	11	4.07
2	20.0	18.0	18	0.76
3	15.0	13.0	13	1.41
4	16.0	14.0	14	1.23
5	19.0	17.0	17	0.85
6	79.0	73.0	73	0.42
7	3.1	3.5	10	91.26

出现上面情况的原因是由于 j_7 项指标的离散程度很大, 导致采用熵值赋权法求得的第 7 项指标的权重 w_7 过大(91.26%), 即该项指标决定了整个武器系统的评估结果, 这显然与实际情况以及人们的预期不符。为了避免这一问题, 需要引入其他方法对指标权重进行赋值, 以降低指标发散情况的影响。

2 引入 AHP 进行熵值赋权的方法

借鉴 AHP 的思想^[9-10], 对指标的差异性系数进行两两互比较, 根据指数换算, 将比较结果映射到 Satty 标度中, 得到基于指标熵的判断矩阵, 求解该矩阵最大特征根对应的特征向量并对其进行归一化即求出权重。

2.1 Satty 标度

AHP 法的核心思想是对属于同一层次上的不同指标关于上个层次中的某一准则的重要程度进行两两比较, 确定判断矩阵, 并用 Satty 标度来衡量同一层次上各指标之间的倍数关系, 如表 2 所示。

表 2 Satty 标度

Q_i 与 Q_j 比较的定性结果	Q_{ij} 的 Satty 标度	意义
Q_i 与 Q_j 同样重要	1	$Q_i=Q_j$
Q_i 比 Q_j 稍微重要	3	$Q_i=3Q_j$
Q_i 比 Q_j 相当重要	5	$Q_i=5Q_j$
Q_i 比 Q_j 强烈重要	7	$Q_i=7Q_j$
Q_i 比 Q_j 极端重要	9	$Q_i=9Q_j$
Q_i 比 Q_j 的重要性在上述描述之间	2 或 4 或 6 或 8	
Q_i 比 Q_j 不重要的描述	相应上述数的倒数	

但 Q_i 与 Q_j 比较的定性结果, 有时会比较模糊, 导致 Q_{ij} 的 Satty 标度容易出现人为误差。如果有定量的比较结果, 并能够将定量结果映射到 Satty 标度中, 就杜绝了 AHP 法人为误差的出现, 同时由于人为干预了指标间的权重比例, 也防止个别指标由于离散性问题影响整体熵值权重。可以说, 此举在结合熵值赋权法和 AHP 法的同时, 也避免了二者的不足。

2.2 计算映射值

借鉴 AHP 法的思想, 在计算出差异性系数 g_j

后,并不直接用于求权重系数 w_j ,而是利用差异性系数计算 Satty 映射值对照关系,具体方法如下:

- 1) 依据式(2)–(4)计算各指标的差异性系数 g_j 。
- 2) 计算最大差异性系数比

$$\alpha = \frac{\max g_j}{\min g_j} (j=1,2,\dots,n) \quad (7)$$

- 3) 求最大映射比率

$$r = \log_{\rho} \frac{\alpha}{\rho} \quad (8)$$

式中 ρ 为调整系数,表示最大标度值。若 $\alpha < 9$,则 ρ 取最接近 α 的整数;如果 $\alpha \geq 9$,则 $\rho=9$ 。

- 4) 还原映射值。

分别以标度 1~9 为底数,以 $r+1$ 为指数,计算不同标度对应的映射值,如表 3 所示。

表 3 Satty 映射值对照

标度	1	2	3	4	5	6	7	8	9
映射值	1	2^{r+1}	3^{r+1}	4^{r+1}	5^{r+1}	6^{r+1}	7^{r+1}	8^{r+1}	9^{r+1}

2.3 判断矩阵的构造与检验

先计算指标的两两差异性系数比, $d_{ij} = g_i / g_j$,若 $g_i / g_j < 1$,则计算 $d_{ji} = g_j / g_i$ 。取 d_{ij} 与映射值之差绝对值最小的那个标度为这 2 个指标相对重要性的比较结果,例如 $\max g_j = 0.85$, $\min g_j = 0.04$,则最大差异性系数比 $\alpha = 21.25$,调整系数 $\rho = 9$,最大映射比率 $r = 0.391$,如果某个 $d_{ij} = 7.125$,便与映射值中 4^{r+1} 之差的绝对值最小,则指标 i 与指标 j 的相对重要性为 4,并可得指标 j 与指标 i 的相对重要性为 1/4。

构造熵值的判断矩阵后,继续运用 AHP 法求指标权重。由于在构造判断矩阵过程中,指标相对重要性的两两比较结果依据指标间的差异性系数比获得,不会出现 A 比 B 重要, B 比 C 重要,而 C 比 A 重要这种不一致的情况,因此该判断矩阵不必进行一致性检验。

2.4 计算指标权重

用引入 AHP 的熵值赋权法对表 1 中的武器系统进行评估,得到表 4。 \hat{w}_j 和 \hat{z}_i 分别表示改进方法后的指标权重和效能评估结果,其中 $\hat{z}_1 = 0.656$, $\hat{z}_2 = 0.608$, $\hat{z}_3 = 0.931$ 。通过与表 1 比较可以看出:引入 AHP 法进行熵值赋权后, j_7 不再由于初始数值的离散导致权重过大, \hat{w}_7 下降为 49.79%,其余指标权重均有增加。彼此之间的差异比由原来的 217.3 倍降为 7.9 倍,各武器系统的效能评估结果也有变

化, z_1 由原来的劣于 z_2 变为优于 z_2 ,并且三者之间的差距也更加合理。

表 4 引入 AHP 熵值赋权法的评估结果

指标数 j	初始数据 x_{1j}	初始数据 x_{2j}	初始数据 x_{3j}	指标权重 $\hat{w}_j / \%$
1	14.0	11.0	11	12.83
2	20.0	18.0	18	7.22
3	15.0	13.0	13	9.24
4	16.0	14.0	14	7.38
5	19.0	17.0	17	7.22
6	79.0	73.0	73	6.31
7	3.1	3.5	10	49.79

3 实例应用

文献[11]中建立了武装直升机对地攻击效能的指标体系,评估指标分别为机动性能参数、武器性能参数、探测能力参数、隐藏系数、装甲系数、航程系数和电子对抗能力系数,并给出了 AH-64A、RAH-66、AH-1W 3 种机型的指标值如表 5 所示。将原始指标数据进行规范化后,经过计算,这 7 项指标的差异性系数如表 6 所示,计算出的 Satty 映射值如表 7 所示。

表 5 直升机对地攻击指标评估结果^[11]

机型	机动性能	武器性能	探测能力	隐藏系数	装甲系数	航程系数	电子对抗
AH-64A	4.77	10.45	8.96	0.76	1.30	0.99	1.15
RAH-66	4.09	8.48	12.04	0.89	1.20	1.03	1.20
AH-1W	4.30	9.82	5.60	0.72	1.20	1.04	1.15

表 6 差异性系数

指标	机动性能	武器性能	探测能力	隐藏系数	装甲系数	航程系数	电子对抗
差异性系数 $\alpha (\times 10^{-4})$	19	33.9	411.9	37.8	6.5	2.0	1.8

表 7 Satty 映射值

标度	1	2	3	4	5	6	7	8	9
映射值	1	5.5	14.9	30.3	52.5	82.2	120	167	223

构造的判断矩阵为:

$$D = \begin{bmatrix} 1.000 & 1.000 & 0.333 & 1.000 & 1.000 & 2.000 & 3.000 \\ 1.000 & 1.000 & 0.333 & 1.000 & 2.000 & 3.000 & 3.000 \\ 3.000 & 3.000 & 1.000 & 3.000 & 5.000 & 9.000 & 9.000 \\ 1.000 & 1.000 & 0.333 & 1.000 & 2.000 & 3.000 & 3.000 \\ 1.000 & 0.500 & 0.200 & 0.500 & 1.000 & 1.000 & 2.000 \\ 0.500 & 0.333 & 0.111 & 0.333 & 1.000 & 1.000 & 1.000 \\ 0.333 & 0.333 & 0.111 & 0.333 & 0.500 & 1.000 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (9)$$

分别用传统熵值法和引入 AHP 的熵值赋权法得到的权重如表 8 所示。

表 8 传统熵值法和引入 AHP 熵值赋权法的权重值对比 %

方法	机动性能	武器性能	探测能力	隐藏系数	装甲系数	航程系数	电子对抗
传统熵值法	3.69	6.61	80.28	7.37	1.28	0.40	0.36
引入 AHP 赋权法	12.16	14.23	41.58	14.23	7.93	5.32	4.55

由表可知:传统熵值赋权法和引入 AHP 的熵

值赋权法的权重排序整体不变，只有武器性能参数和隐藏系数的权重由不同变为相同，这是因为两者的差异性系数本身差距十分微弱，与之有关的两两差异性系数比值都映射到同一标度，造成两者权重值相同。传统熵值赋权法计算出的探测能力参数权重为 80.28%，而机动性参数、装甲系数、航程系数和电子对抗能力系数 4 项权重之和仅为 5.73%，明显与实际情况和主观期望不符，显然不合理。在引入 AHP 的熵值赋权法中，探测能力参数权重降为 41.58%，机动性参数、装甲系数、航程系数和电子对抗能力系数 4 项权重之和上升为 29.96%。各权重之间的最大值与最小值之比由原来的 223 倍调整为 9.14 倍，权重系数分配更加合理。

结合规范化的数据，分别使用传统熵值赋权法和引入 AHP 的熵值赋权法对文献[11]的数据进行效能评估，得到表 9，以每次评估中 AH-64A 与 AH-1W 的效能比值制成表 10，用来反映 AH-64A 对 AH-1W 的相对作战能力。

表 9 2 种方法与文献中效能评估结果对照

数据	方法	AH-64A	RAH-66	AH-1W
原始数据	传统熵值法	0.783 5	0.981 3	0.547 7
	引入 AHP 赋权法	0.868 4	0.949 2	0.721 9
	文献结果	6.910 0	8.120 0	5.690 0
AH-1W 火力参数	传统熵值法	0.776 1	0.917 3	0.626 9
	引入 AHP 赋权法	0.838 5	0.891 0	0.770 5
增长 32.4%	文献结果	6.910 0	8.120 0	5.960 0
	传统熵值法	0.863 2	0.943 3	0.902 7
探测能力	引入 AHP 赋权法	0.896 7	0.931 0	0.904 8
	文献结果	6.910 0	8.120 0	6.330 0
增长 100%	传统熵值法	0.780 8	0.980 5	0.542 0
	引入 AHP 赋权法	0.870 1	0.948 1	0.736 4
隐藏系数	文献结果	6.910 0	8.120 0	6.480 0
	传统熵值法	0.870 1	0.948 1	0.736 4
增长 13.9%	文献结果	6.910 0	8.120 0	6.480 0
	传统熵值法	0.870 1	0.948 1	0.736 4

表 10 AH-64A 与 AH-1W 的对地作战效能比值

方法	原值	AH-1W 火力增长 32.4%	AH-1W 探测增长 100%	AH-1W 隐藏增长 13.9%
传统熵值赋权法	1.430 5	1.238 0	0.956 2	1.440 6
引入 AHP 赋权法	1.202 9	1.088 3	0.991 0	1.181 6
文献结果	1.214 4	1.159 4	1.091 6	1.066 4

表 9 中，传统熵值赋权法和引入 AHP 的熵值赋权法对 3 种武装直升机对地攻击效能的排序结果由高到低依次为：RAH-66、AH-64A、AH-1W，这与文献[11]给出的评估结果相同。

由于与文献[11]所用的评估方法不同，2 种熵值法与文献结果数值差异较大，不能直接比较，但可通过比较各种方法下不同飞机之间的作战效能比

值与文献结果的差异，间接比较 2 种方法的优劣。

表 10 中，在改变 AH-1W 单项能力值后，各种方法得出的 AH-64A 与 AH-1W 的对地作战效能比值也随之改变。分别计算前 2 行数据与第 3 行数据对应数值之差的平方和，得到的结果分别为 0.211 2 和 0.028 6。说明相对于传统熵值赋权法，使用 AHP 熵值赋权法得到的评估结果与文献给出的结论更加吻合，体现了该方法的优越性。

4 结论

在对传统熵值赋权法的分析研究过程中，笔者发现了其中存在的不足，通过引入 AHP 的思路对赋权过程进行人为干预，以达到限制极端指标权重出现的目的。验证结果表明：新的方法更加准确，并且高效稳定，便于仿真实现，为武装直升机对地攻击效能评估提供了科学的理论依据，满足指挥员和决策者的需要，具有较大的理论价值和实际意义。

参考文献：

- [1] 李志猛, 徐培德, 冉承新, 等. 武器系统效能评估理论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 89.
- [2] 叶新明, 姜长生, 吴庆宪. 武装直升机对地攻击阶段作战效能评估[J]. 电光与控制, 2009, 16(5): 5-8.
- [3] 罗鹏程, 傅攀峰, 周经伦. 武器装备体系作战能力评估框架[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(1): 72-75.
- [4] 陈琼华. 综合评价中的赋权方法[J]. 统计与决策, 2004(4): 1-2.
- [5] 黄国庆, 王明绪, 王国良. 效能评估中的改进熵值法赋权研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(28): 245-248.
- [6] 陈庆龙, 王磊. 基于层次灰色评估模型的远程精确打击作战效能评估[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(3): 91-93.
- [7] 骆棋, 廖瑞. 基于熵权模糊评判的自行火炮作战效能评估[J]. 兵工自动化, 2012, 31(5): 39-41.
- [8] 巫银华, 何常青, 宋勇. 基于熵权法的潜射反舰导弹作战效能灰色关联评估方法[J]. 兵工自动化, 2015, 34(2): 40-42.
- [9] 黎慧, 金宏斌, 戴瑜. 基于改进模糊层次分析法的效能评估方法研究[J]. 空军雷达学院学报, 2012, 26(4): 269-272.
- [10] 高漩, 王光磊. 基于模糊层次分析法评估作战飞机的对地攻击效能[J]. 信息化研究, 2014, 40(4): 61-63.
- [11] 曹义华. 直升机效能评估方法[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006: 56-57.