

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.03.017

基于正负理想点法的火炮武器系统作战效能评估

管怀建, 唐亮, 邓志江

(炮兵学院 南京分院 自行火炮教研室, 江苏 南京 211132)

摘要: 建立模式时, 为达到应遵循的原则, 采用正负理想点距离来进行作战效能评估。给出正负理想点的评估模型, 应用实例对国内外具有典型意义的 3 种火炮武器系统作战效能进行对比分析, 得出作战效能评估结果。该方法区分度明显, 能提高评估可信度。

关键词: 正负理想点法; 火炮武器系统; 作战效能

中图分类号: N945.16 **文献标识码:** A

Operational Effectiveness Evaluating of Gun Weapon System Based on Positive and Negative Ideal Point

GUAN Huai-jian, TANG Liang, DENG Zhi-jiang

(Staff Room of Self-Propelled Gun, Dept. of Nanjing, Artillery Academy of PLA, Nanjing 211132, China)

Abstract: For achieving the principle, using the method of positive and negative ideal point distance to evaluate the operational effectiveness when the model is built. Firstly, the model for evaluating based on positive and negative ideal point is given; then, weapon systems operational effectiveness of three emblematical guns is analyzed, the evaluation result of operational effectiveness educed. The method has the merit that the differentiation degree is palpable and can improve the reliability of evaluation.

Keywords: Positive and negative ideal point; Gun weapon systems; Operational effectiveness

0 引言

正负理想点法通过比较评估方案与最优方案、最劣方案之间的正、负理想点距离来进行作战效能评估。但建立模型应遵循: 1) 选取的性能指标应该包含对武器系统作战效能影响较大的主要指标; 2) 选取的武器系统的性能指标应易于量化, 尽可能做到数据准确的原则。火炮武器系统作战效能评估是一个多因素综合评估问题, 故采用正负理想点法评估火炮武器系统的作战效能。

1 建立正负理想点模型

1.1 确定评价方案集和因素指标集

对 m 种不同的武器系统进行评估, 构成评价方案集: $U = \{U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_m\}$, 其中, U_i 代表火炮的型号。对武器系统作战效能起重要影响作用的 n 个因素指标构成因素指标集: $M = \{M_1, M_2, \dots, M_j, \dots, M_n\}$, M_j 代表指标。设 U_i 对于 M_j 的属性值为 X_{ij} ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$), 由此可得到评估矩阵: $X = \{x_{ij}\}_{m \times n}$, x_{ij} 为第 i 种型号自行火炮的第 j 种评价指标值。

1.2 评估矩阵无量纲化

由于各评价指标中既有越大越好的效益型指标, 又有越小越好的成本型指标, 而且不同指标的评价值具有不同的量纲。为了消除指标的属性和量纲对评价结果的影响, 需要对原始评价矩阵进行标准化处理。首先用功效系数法对原始矩阵作标准化处理, 以消除指标属于不同类型带来的影响。

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max \{x_{ij} | 1 \leq i \leq m\}} \quad (1)$$

$$y_{ij} = \frac{\min \{x_{ij} | 1 \leq i \leq m\}}{x_{ij}} \quad (2)$$

式 (1) 适用于“效益型”指标, 其因素值越大效用越好。式 (2) 适用于“经济型”指标, 因素值越小效用越好。所有数据进行无量纲标准化处理后得评估数据矩阵: $Y = \{y_{ij}\}_{m \times n}$, y_{ij} 为第 i 种型号自行火炮的第 j 种评价指标元素标准化处理后的值。

1.3 加权单位化矩阵

$$r_{ij} = y_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2} \quad (3)$$

收稿日期: 2009-11-02; 修回日期: 2010-01-18

作者简介: 管怀建 (1970-), 男, 江苏人, 副教授。

由 AHP 法可得到各项指标的归一化权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。将进行无量纲标准化处理后评估数据矩阵结合权重系数线性叠加 $G_{ij} = (y_{ij} \cdot w_j)$, 就可得到加权单位化矩阵 $G = \{g_{ij}\}_{m \times n}$ 。

1.4 确定正负理想点, 计算贴近度

确定供评估参考的正理想点和负理想点。先取各指标的最大值构成正理想点: $g_j^+ = \max_j g_{ij}$ ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$); 再取各指标的最小值构成负理想点: $g_j^- = \min_j g_{ij}$ ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$)。

计算评估方案与正负理想点和负理想点的欧几里德距离:

$$L_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (g_{ij} - g_j^+)^2} \quad (4)$$

$$H_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (g_{ij} - g_j^-)^2} \quad (5)$$

式 (4)、式 (5) 分别称为方案 U_i 对正理想方案 U^+ 和负理想方案 U^- 的贴近度。

1.5 确定评估系数进行综合评估

最终用评估指标与理想指标的接近程度来评估作战效能的优劣。评估系数 K_i 的定义如下:

$$K_i = \frac{H_i}{L_i + H_i}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

对 K_1, K_2, \dots, K_n 的值按从大到小的顺序进行排序, 就可以对不同类型的火炮武器系统的作战效能

进行精确的横向比较。而 $K^* = \max\{K_i, 1 \leq i \leq m\}$ 是其中综合作战效能最好的火炮武器系统。

2 应用实例

选择具有典型意义的 3 种火炮武器系统: 国产某型自行加榴炮、GCT155 mm 自行加榴炮、M109A6-155 mm 自行加榴炮作为评价样本。

2.1 确立火炮武器系统作战效能指标体系, 得到评估矩阵。

首先建立火炮武器系统作战效能指标体系, 火炮武器系统作战效能评估是多因素综合评判问题。通过查阅资料得各火炮武器系统性能指标如表 1。

表 1 火炮武器系统性能指标

编号	性能指标	国产某型 自行加榴炮	GCT155 mm 自行加榴炮	M109A6-155 mm 自行加榴炮
M_1	最大有效射程	29	32	30
M_2	弹丸重量	45.5	44.25	42.91
M_3	杀伤面积	1 000	970	850
M_4	最大射速	3	4	3
M_5	携弹量	31	42	39
M_6	行转战时间	60	62	61
M_7	初速	930	810	830
M_8	功率	13.7	12.6	12.5
M_9	最大行驶速度	60	60	56
M_{10}	爬坡度	31°	30°	30°
M_{11}	涉水深	1.3	1.3	1.07
M_{12}	车底距地高	0.45	0.45	0.46
M_{13}	最大行程	450	450	350
M_{14}	车体暴露面积	26.3	33.2	28.2

由表 1 中数据可得到评估矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} 29 & 45.5 & 1000 & 3 & 31 & 60 & 930 & 13.7 & 60 & 31 & 1.3 & 0.45 & 450 & 26.3 \\ 32 & 44.25 & 970 & 4 & 42 & 62 & 810 & 12.6 & 60 & 30 & 1.3 & 0.45 & 450 & 33.2 \\ 30 & 42.91 & 850 & 3 & 39 & 61 & 830 & 12.5 & 56 & 30 & 1.07 & 0.46 & 350 & 28.2 \end{bmatrix}$$

2.2 评估矩阵无量纲化

表 1 中, 最大有效射程、弹丸重量、杀伤面积、最大射速、携弹量、初速、功率、最大行驶速度、

$$Y = \begin{bmatrix} 0.91 & 1.00 & 1.00 & 0.75 & 0.73 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.98 & 1.00 & 1.00 \\ 1.00 & 0.97 & 0.97 & 1.00 & 1.00 & 0.97 & 0.87 & 0.92 & 1.00 & 0.97 & 1.00 & 0.98 & 1.00 & 0.79 \\ 0.94 & 0.94 & 0.85 & 0.75 & 0.93 & 0.98 & 0.89 & 0.91 & 0.93 & 0.97 & 0.82 & 1.00 & 0.78 & 0.93 \end{bmatrix}$$

2.3 加权单位化矩阵

按式 (3) 将无量纲矩阵中的各元素单位化, 可得到单位化矩阵 R :

爬坡度、涉水深、车底距地高、最大行程为效益型指标, 行转战时间、车体暴露面积为成本型指标。

按式 (1)、式 (2) 可得到无量纲的评估矩阵 Y :

$$R = \begin{bmatrix} 0.017 & 0.013 & 0.001 & 0.129 & 0.011 & 0.010 & 0.001 & 0.045 & 0.012 & 0.019 & 0.470 & 1.248 & 0.001 & 0.020 \\ 0.019 & 0.012 & 0.001 & 0.171 & 0.015 & 0.009 & 0.000 & 0.041 & 0.012 & 0.018 & 0.470 & 1.248 & 0.001 & 0.016 \\ 0.018 & 0.011 & 0.000 & 0.129 & 0.014 & 0.009 & 0.000 & 0.040 & 0.009 & 0.018 & 0.385 & 1.273 & 0.000 & 0.018 \end{bmatrix}$$

根据各衡量条件的相对重要程度，经层次分析法可得出各指标的权重系数 W ：

$$W = (0.063\ 4, 0.097\ 2, 0.130\ 7, 0.014\ 6, 0.014\ 5, 0.127\ 8, 0.047\ 5, 0.112\ 7, 0.086\ 3, 0.074\ 6, 0.049\ 3, 0.024\ 7, 0.069\ 2, 0.087\ 5)$$

将求得的单元化矩阵结合权重系数进行加权合成，可得到加权单位化矩阵 G ：

$$G = \begin{bmatrix} 0.107 & 0.126 & 0.013 & 0.188 & 0.016 & 0.128 & 0.005 & 0.507 & 0.104 & 0.142 & 2.317 & 3.083 & 0.069 & 0.175 \\ 0.120 & 0.116 & 0.013 & 0.249 & 0.021 & 0.115 & 0.000 & 0.462 & 0.104 & 0.134 & 2.317 & 3.083 & 0.069 & 0.140 \\ 0.114 & 0.107 & 0.000 & 0.188 & 0.020 & 0.115 & 0.000 & 0.451 & 0.077 & 0.134 & 1.898 & 3.144 & 0.000 & 0.157 \end{bmatrix}$$

(上接第 43 页)

2.4 确定正、负理想点，计算贴近度

确定供评估参考的正、负理想点，先取各指标的最大值构成正理想点：

$$g_j^+ = (0.120, 0.126, 0.013, 0.249, 0.021, 0.128, 0.005, 0.507, 0.104, 0.142, 2.317, 3.144, 0.069, 0.175)$$

再取各指标的最小值构成负理想点：

$$g_j^- = (0.107, 0.107, 0.000, 0.188, 0.016, 0.115, 0.000, 0.451, 0.077, 0.134, 1.898, 3.083, 0.000, 0.140)$$

按式 (4)、式 (5) 分别计算评价方案与正、负理想方案的贴近度：

$$L = (0.087\ 4, 0.088\ 6, 0.087\ 6) \quad H = (0.431\ 5, 0.429\ 4, 0.430\ 5)$$

2.5 综合评估比较

最终用评估指标与理想指标的接近程度来评估作战效能的优劣，由式 (6) 可算得：

$K = (0.831\ 6, 0.828\ 9, 0.830\ 9)$ ，对结果进行排序： $C_1 > C_3 > C_2$ 。

所以这 3 种火炮武器系统的作战效能的评估结果排序为：国产某型自行加榴炮 > M109A6-155 mm 自行加榴炮 > GCT155 mm 自行加榴炮。

3 结束语

采用正负理想点法对所选的 3 种火炮武器系统的作战效能综合评估，在建立模型的过程中解决了指标体系合成中的量纲问题。相比模糊综合评估法和灰色评估法，该方法区分度明显，评估可信度高。

参考文献：

[1] 马亚龙, 王精业, 徐享忠, 等. 基于正负理想点的仿真结果评估方法研究[J]. 计算机工程, 2002, 28(2): 21-22.
 [2] 郑津生. 炮兵装备结构与作战效能[M]. 北京: 军事科学出版社, 2006.
 [3] 郑津生. 155 自行火炮武器系统作战使用及指挥系统操作[M]. 北京: 国防大学出版社, 2001.
 [4] 许柏树. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.

用蒙特卡洛方法对图 1 动态故障树进行仿真，时间为 100 个时间单位，仿真所得顶事件发生概率如表 2。从仿真结果可见，用蒙特卡洛仿真方法分析动态故障树有效，相对误差在可接受的范围内。

表 2 仿真结果

仿真次数	顶事件发生概率仿真结果	相对误差
100	0.260 0	0.054 1
300	0.243 3	0.013 6
500	0.242 0	0.018 9
1 000	0.243 0	0.014 8
5 000	0.251 4	0.019 3

3 结束语

动态故障树一般通过转化为马尔可夫链进而用马尔可夫理论进行分析，但不是所有的动态故障树都能转化为马尔可夫链，因此，用该方法对动态故障树进行分析是很有必要且十分有效的。

参考文献：

[1] 张传林, 林立东. 伪随机数发生器及其应用[J]. 数值计算与计算机应用, 2002, 23(3): 188-208.
 [2] A.杜比, 卫军胡. 蒙特卡洛方法在系统工程中的应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007: 88-106.
 [3] 王圣金. 基于蒙特卡洛仿真的液压系统动态可靠性研究[D]. 上海: 东南大学, 2006.
 [4] David W. Coppit, Kevin J.Sullivan and Joanne Bechta Dugan. Bridging the Gap Between Systems and Dynamic Fault Tree Models[C]//Proceedings of The 45th Annual Reliability and Maintainability Symposium. New York USA: IEEE, 1999: 105-111.
 [5] Tariq Assf, Joanne Bechta Dugan. Diagnostic Expert Systems from Dynamic Fault Trees[C]//Proceedings of The 50th Annual Reliability and Maintainability Symposium. New York: IEEE, 2004: 444-450.
 [6] Ragavan Manian, Joanne Bechta Dugan. Combining Various Solution Techniques for Dynamic Fault Tree Analysis of Computer Systems[C]//Proceedings of the 3rd International High-Assurance Systems Engineering Symposium. Washington, D.C, USA: IEEE Computer Society, 1998: 21-28.