

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.08.013

基于 DEA 方法的炮兵火力毁伤实时评估模型

王金山, 倪敏, 胡贵安
(解放军炮兵学院 基础部, 安徽 合肥 230031)

摘要: 针对炮兵火力毁伤实时评估模型方法存在的缺点, 提出运用数据包络分析 (DEA) 方法进行评估。对炮兵火力毁伤实时评估模型进行研究, 利用偏好锥模型加入指挥人员对各指标的偏好信息。从非有效单元对有效面投影的角度分析火力毁伤效率不高的原因, 提出改进方向, 并以某部 20 次炮兵火力毁伤数据为例进行分析。结果表明, 该模型能给出科学、明确、可靠的量化评估结果, 避免一般评估方法主观因素过多的缺点, 对指挥人员具有一定的参考价值。

关键词: 火力毁伤评估; DEA; 投影分析; 超效率
中图分类号: O211; N945.16 **文献标识码:** A

Model of Efficiency Real-Time Evaluation of Artillery Firepower Damage Based on DEA

Wang Jinshan, Ni Min, Hu Guian
(Dept. of Basic Theories, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: Aiming at the disadvantage of the model of efficiency real-time evaluation of artillery firepower damage, put forward to use the data envelopment analysis (DEA) method to evaluate. Research the efficiency real-time evaluation model of artillery firepower damage, and join the commanders' partial information by the reference cone model. On the point of the projection of the ineffective DMU to the effective surface, put forward improved direction, and analyzes by the 20 times data of artillery firepower damage. The model could give the scientific, clear, and credible evaluation result, avoiding the defects of ecumenical evaluation method, and reference value for the commanders.

Keywords: firepower damage evaluation; DEA; projection analysis; super-efficiency

0 引言

目前, 对炮兵火力毁伤评估模型的方法主要有: AHP 方法、模糊综合评估法、系统分析方法^[1]等, 但这些方法仍然存在主观性判断较多, 定量评估分析较少, 计算实时复杂等缺点。数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 方法是美国著名运筹学家 A.Charnes, W.W.Cooper 等人在 1979 年提出的一种以相对效率概念为基础发展起来的效率评价方法。它避免了确定指标权重系数, 具有内在的客观性。在 DEA 方法中不需要确定投入指标和产出指标之间关系的任何形式表达式, 具有黑箱类型研究方法特色。故运用 DEA (数据包络分析) 方法对炮兵火力毁伤实时评估模型进行研究。

1 DEA 模型

1.1 基本思想及投影定理^[2]

CCR 模型是最基本的 DEA 模型, 对于某个多指标的决策问题, 它将所有指标分成输入指标和输出指标, 输入指标越小越好, 输出指标越大越好,

建立一个目标规划模型, 以各指标的权重为决策变量, 输出指标的加权和与输入指标的加权和比值为目标函数, 对每一个决策单元都考虑一个线性规划问题, 对 n 个决策单元都计算它们的目标函数即 DEA 效率值 θ , 若第 j_0 个决策单元的效率值 $\theta^0 = 1$, 则此决策单元为弱 DEA 有效, 若 $\theta^0 = 1$ 且约束变量 $S^{-0} = 0, S^{+0} = 0$, 则此决策单元为 DEA 有效。

定义 设权重 $\hat{u} > 0, \hat{v} > 0$, 以及

$$L = \{ (X, Y) | \hat{v}^T X - \hat{u}^T Y = 0 \}$$

满足

$$T_{C^2R} \subset \{ (X, Y) | \hat{v}^T X - \hat{u}^T Y \geq 0 \}; L \cap T_{C^2R} \neq \emptyset$$

则称 L 为生产可能集 T_{C^2R} 的有效面, 称 $L \cap T_{C^2R}$ 为生产可能集的生产前沿面。

判断决策单元的有效性可以通过判断它是否在生产可能集 T_{C^2R} 的生产前沿面上。如果决策单元不为 DEA 有效, 通过对原有的投入向量和产出向量进行调整, 使其成为 DEA 有效。

收稿日期: 2010-01-13; 修回日期: 2010-04-16

基金项目: 解放军炮兵学院资助项目 (070827)

作者简介: 王金山 (1962-), 男, 安徽人, 理学硕士, 教授, 从事预测与决策研究。

投影定理 决策单元 j_0 的投影 (\hat{x}_0, \hat{y}_0) :

$$\begin{cases} \hat{x}_0 = \theta^0 X_0 - S^- = \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j^0, \\ \hat{y}_0 = Y_0 + S^+ = \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j^0 \end{cases} \quad (1)$$

为 DEA 有效。

由投影定理可知, 对于一个非有效的决策单元, 可以通过式 (1) 的变换, 将其变为有效。

1.2 超效率模型和锥结构模型

在 DEA 模型中, 通常都存在多个有效单元, 对有效单元的排序, 传统 DEA 模型是无能为力的, 而对 DEA 的有效单元排序已成为 DEA 领域研究的一个重要方向。对 DEA 模型中有效单元的排序, 被称为超效率 DEA 模型, 目前, 超效率模型主要有 AP 模型^[3]、MAJ 模型^[4]、JJLA 模型^[5]、LJK 模型^[6]等, 文献[6]中指出 AP 模型和 MAJ 模型存在在零输入时的不可解性和不稳定性缺点, JJLA 模型存在不能完全排序的问题, 它给出的 LJK 模型克服了这些的缺点、并对 MAJ 模型中的“唯一变量”无实际意义问题进行了改进。

在一般的 DEA 模型中, 所有输入指标和输出指标地位都是平等的, 在实际应用中无法体现决策者的偏好, 为此, 有学者提出了带有体现决策者对输入和输出目标之间重要性的“偏好锥”和体现对决策单元侧重的“偏袒锥”的 DEA 模型, 具体锥结构定义如下^[2]:

“偏好锥”的选取体现的是评价者对某些指标的重要程度不同, 它是通过限制各指标前的权系数进行计算: $\begin{pmatrix} v \\ u \end{pmatrix} \in W$, “偏袒锥”是体现评价者对决策单元的重要程度不同, 它是通过限制各决策单元前的权系数进行计算: $\lambda \in -K^*$ 。

2 炮兵火力毁伤实时评估模型

2.1 炮兵火力毁伤评估基本理论

炮兵火力毁伤评估, 是对炮兵实施火力毁伤, 完成火力毁伤任务的程度、效益、火力毁伤效果等做出评估, 文献[7]按照评估性质、时机和作用划分为先验评估、实时评估和后验评估, 主要对实时评估模型进行研究。

实时评估通常是制定火力毁伤计划、定下火力毁伤决心阶段进行, 它的目的是对某次炮兵火力毁

伤进行分析, 评估其毁伤效果。参照文献[7]和文献[1], 建立实时评估的指标体系如图 1。

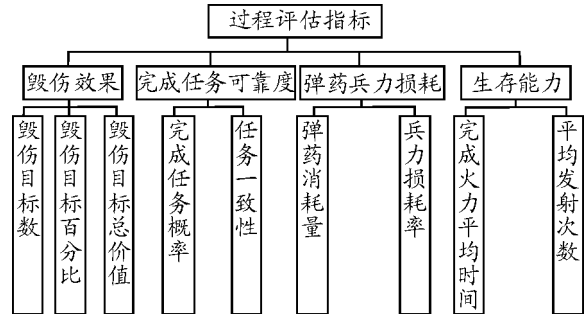


图 1 先验指标体系

运用文献[8]提供的标准化方法, 可以将不同种类的火炮、弹药转化为一种标准火炮、弹药, 将战场上各类目标折算为标准目标, 建立标准毁伤体系, 这样就可以建立完整的实时指标体系。

2.2 建立实时评估模型

如图 1, 可以建立共 9 个指标进行炮兵火力毁伤实时评估, 各指标定义和计算可参考文献[7]和文献[8]。在建立指标体系后, 可将这 9 项指标分为输入指标和输出指标, 利用 DEA 方法评估火力毁伤的有效性。输入指标: 弹药消耗量、兵力损耗率、完成火力任务平均时间、平均发射次数, 这些指标数据都是越小越好; 输出指标: 毁伤目标数、毁伤目标百分比、毁伤目标总价值、完成任务概率、任务一致性, 这些指标数据越大越好。

1) 建立基本的 CCR 模型 (主要研究输入 DEA 模型) 如下: 设有 n 次待评价的火力毁伤, 4 个输入指标, 5 个输出指标。令 x_{0i} = 第 j_0 次毁伤的第 i 个输入指标值, $j_0 = 1, \dots, n$; $i = 1, \dots, 4$; Y_{0r} = 第 j_0 次毁伤的第 r 个输出指标值, $j_0 = 1, \dots, n$; $r = 1, \dots, 5$ 。

$$\begin{cases} \min [\theta - \varepsilon(\hat{e}^T S^- + \hat{e}^T S^+)] \\ \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0, j = 1, \dots, n, \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0, \\ \lambda_j \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

可以通过收集过去火力毁伤数据或是计算机模拟得到 n 次待评价的火力毁伤数据, 代入式 (2) 计算, 可以得出所有火力毁伤的 DEA 效率值。

2) 对某次火力毁伤进行分析, 若其 DEA 效率值 $\theta^0 = 1$, 则认为其为 CCR 有效, 若其 DEA 效率值 $\theta^0 < 1$, 利用式 (1), 通过其在 DEA 相对有效面上的投影, 对各个指标进行评估分析, 若

$S_i^{-0} > 0, S_r^{+0} > 0$, 说明此次火力毁伤的第 i 个输入指标偏高, 第 r 个输出指标偏低, 下一步火力毁伤需要进行改进。

3) 对有效的火力毁伤, 利用超效率模型—LJK 模型进行分析, 具体模型如下:

$$\begin{cases} \min & 1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_{i2}^+}{R_i^-} = h \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^n x_{ij} \lambda_j + s_{i1}^- - s_{i2}^+ = x_{i0}, i = 1, \dots, m, \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{r0}, r = 1, \dots, s, \\ \lambda_j, s_{i1}^-, s_{i2}^+, s_r^+ \geq 0, j = 1, \dots, n \end{cases} \quad (3)$$

其中 $R_i^- = \max_j(x_{ij})$, 对每次火力毁伤计算 LJK 模型的最优目标值, 若 $h^0 > 1$, 则第 j_0 次为 CCR 有效, 可以根据 h^0 对 CCR 有效的火力毁伤进行排序, 并可以依据 s_{i2}^+ 对 CCR 有效的火力毁伤进一步评估分析, 如若第 j_0 次和第 j_1 次都为 CCR 有效, 但 $s_{i2}^{+0} > s_{i2}^{+1}$, 说明第 j_0 次火力毁伤的第 i 个输入指标优于第 j_1 次火力毁伤, 同理利用 LJK 模型的输出模型可以评估分析有效火力毁伤的输出指标。

4) 在 CCR 模型基础上, 加入决策人员的偏好信息。炮兵火力毁伤实时评估主要是需要体现对决策人员对各指标的偏好信息, 故引入带有“偏好锥”

的 DEA 模型, 具体模型如下^[2]:

$$\begin{cases} \max & v^T Y_0 = V_p \\ s.t. & v^T \bar{X} - u^T \bar{Y} \geq 0, \\ & u^T X_0 = 1, \\ & \begin{pmatrix} v \\ u \end{pmatrix} \in W \end{cases} \quad (4)$$

和

$$\begin{cases} \min & z = V_p \\ s.t. & \begin{pmatrix} \bar{X} \lambda - \theta X_0 \\ -\bar{Y} \lambda + Y_0 \end{pmatrix} \in W^*, \\ & \lambda \geq 0, \end{cases} \quad (5)$$

其中: V_p 称为第 j_0 次决策单元的效率指数;

$\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $4 \times n$ 矩阵; $\bar{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, $s \times n$ 矩阵; $W \subseteq E^{m+s}$ 为闭凸锥, $W^* \subseteq E^{m+s}$ 为 W 的负极锥。

闭凸锥 W 是根据决策者的偏好而引进的表明不同的输入输出指标重要性程度的“偏好锥”。具体结构要根据实际情况和决策者需要进行定义, 可利用相关性分析或其他方法, 分析各项投入指标或产出指标的偏好函数关系, 这样就可以得到偏好锥— W 。在加入偏好锥后, 再利用前三步的方法对 n 次火力毁伤进行评估分析。

2.3 实例分析

建立的火力毁伤评估模型需要有多多个火力毁伤的数据, 根据文献[2], 一般决策单元的个数是所有指标数的 2 倍。以某部演习 20 次炮兵火力毁伤数据为例, 具体数据见表 1。

表 1 20 次炮兵火力打击数据

火力打击	输入指标				输出指标				
	弹药消耗量(发)	兵力损耗率	完成火力任务平均时间(min)	平均发射次数	毁伤目标数(个)	毁伤目标百分比	目标总价值	完成任务概率	任务一致性
1	78	0.351 4	5	3	17	0.333 1	3.012 3	0.905 0	0.782 6
2	49	0.105 9	6	5	19	0.269 4	2.637 0	0.763 8	0.604 7
3	64	0.304 4	9	5	15	0.306 2	4.572 8	0.951 8	0.604 9
4	59	0.213 8	5	4	18	0.233 6	1.651 0	0.888 6	0.657 0
5	75	0.349 54	5	5	11	0.373 2	4.211 0	0.740 1	0.776 1
6	70	0.250 8	6	4	19	0.290 4	4.900 9	0.762 1	0.617 3
7	58	0.312 8	5	3	12	0.431 9	4.966 3	0.882 2	0.710 3
8	40	0.228 6	8	3	12	0.304 1	4.282 1	0.889 0	0.789 4
9	72	0.191 3	6	3	18	0.211 9	3.091 4	0.811 1	0.815 3
10	57	0.156 8	5	4	17	0.356 2	3.294 3	0.872 5	0.807 8
11	64	0.158 0	5	4	11	0.283 6	2.327 5	0.835 4	0.625 2
12	71	0.304 6	8	3	10	0.351 9	3.787 9	0.713 2	0.736 3
13	76	0.190 8	7	5	18	0.313 3	2.688 1	0.708 2	0.732 5
14	69	0.262 5	9	4	11	0.272 3	4.864 3	0.793 8	0.706 0
15	47	0.145 2	7	3	12	0.384 4	4.070 5	0.703 9	0.646 1
16	56	0.309 3	7	4	16	0.227 1	3.000 6	0.815 2	0.802 7
17	77	0.213 5	9	4	12	0.317 7	4.131 5	0.904 9	0.809 8
18	76	0.358 0	7	3	14	0.223 7	2.511 0	0.727 9	0.818 3
19	56	0.356 0	6	4	10	0.341 1	3.095 7	0.710 6	0.743 5
20	75	0.278 0	8	4	19	0.220 1	4.773 5	0.883 7	0.766 5

注: 任务一致性指标数据取值[0,1], 由参谋人员打分取平均值, 其余指标计算方法参考文献[2]。

对表 1 中数据, 利用本文建立的 DEA 评估模型 进行分析计算, 利用式 (2) 计算, 得到结果如表 2。

表 2 CCR 模型计算结果

火力打击 (次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
θ	1.000 0	1.000 0	0.821 4	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
s^{-0}	0.000 0	0.015 1	0.000 0	0.003 4	0.007 6	0.003 8	0.002 7	0.000 0	0.009 7	0.006 7
	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	0.000 0	0.002 1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 5	0.000 0
	0.000 0	0.002 1	0.335 2	0.000 3	0.000 6	0.000 2	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 3
s^{+0}	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.001 0	0.000 0	0.001 2	0.000 0	0.000 0	0.001 5
	0.000 0	0.000 0	0.127 7	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	0.000 0	0.000 3	0.000 0	0.000 5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 2	0.000 2
	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	0.000 0	0.000 1	0.204 9	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

火力打击 (次)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
θ	0.957 2	0.927 7	0.867 9	0.839 4	1.000 0	0.943 4	0.914 3	1.000 0	0.916 0	0.962 8
s^{-0}	6.663 2	23.802	5.778 8	1.521 2	0.006 7	0.000 0	18.24 2	0.006 9	0.000 0	0.000 0
	0.000 0	0.076 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.104 2	0.000 0	0.000 0	0.158 7	0.000 5
	0.000 0	0.310 4	0.000 0	0.410 6	0.001 6	0.000 0	1.083 4	0.000 5	0.000 0	0.000 0
	0.000 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.021 6	0.000 0
s^{+0}	5.290 7	2.061 8	0.028 3	2.430 0	0.000 8	0.000 0	3.041 9	0.000 6	5.312 8	0.000 0
	0.137 7	0.079 7	0.000 0	0.010 0	0.000 0	0.058 4	0.000 0	0.000 1	0.000 0	0.317 5
	0.793 1	0.000 0	1.050 7	0.000 0	0.000 0	0.691 1	0.035 3	0.000 3	0.305 8	0.000 0
	0.000 0	0.099 4	0.211 3	0.055 5	0.000 0	0.073 6	0.000 0	0.000 0	0.135 9	0.092 5
	0.145 0	0.000 0	0.105 9	0.039 2	0.000 0	0.000 0	0.013 0	0.000 0	0.032 7	0.118 6

从表 2 中计算结果可以看出, 有效和弱有效火力毁伤共有 11 个: 1、2、4、5、6、7、8、9、10、15、16。对于非有效火力毁伤可以利用式 (1) 进行投影分析, 如第 3 个火力毁伤的 DEA 效率值为 0.8214, 它的参数 $s_4^{-0} = 0.335 2$, $s_2^{+0} = 0.127 7$, $s_5^{+0} = 0.204 9$, 将其变为有效的投影变换:

$$\hat{x}_{43} = 0.821 4 * 5 - 0.335 2 \approx 4,$$

$$\hat{y}_{23} = 0.306 2 + 0.127 7 \approx 0.433 9,$$

$$\hat{y}_{53} = 0.604 9 + 0.204 9 \approx 0.809 8。$$

说明此次火力毁伤平均发射次数指标过高, 毁伤百分比过低, 而且任务一致性较差, 要使其变为有效, 需要降低其平均发射次数 1 次, 提高毁伤百分比 12.77%, 任务一致性提高 0.204 9。同理可对其它非有效火力毁伤进行分析;

对于有效火力毁伤利用模型 (3) 进行计算分析, 计算结果见表 3。

在表 3 中, $h=1$ 的火力毁伤为 CCR 非有效, $h>1$ 的火力毁伤为 CCR 有效, 可以根据 h 的大小对 CCR 有效火力毁伤进一步排序, 顺序为:

$$7>2>10>8>9>6>15>1>4>5>18$$

如第 7 次火力毁伤超效率优于第 2 次火力毁伤, 但第 7 次火力毁伤的 $s_{12}^{+7} = 0$, $s_{22}^{+7} = 0$, $s_{32}^{+7} = 2.765 5$, $s_{42}^{+7} = 0.750 9$, 第 2 次火力毁伤 $s_{12}^{+2} = 14.706$, $s_{22}^{+2} = 0.069 3$, $s_{32}^{+2} = 0$, $s_{42}^{+2} = 0$, 故可知第 7 次火力毁伤的完成火力任务平均时间和平均发射次数指标优于第 2 次火力毁伤, 而第 2 次火力毁伤的弹药消耗量和兵力损耗率指标优于第 7 次火力毁伤。同理可以对其他火力毁伤进行分析。

首先建立偏好锥 W , 根据实际作战情况, 假设偏好信息如下: 决策人员对火力毁伤时的兵力损耗率指标偏好与弹药消耗量指标偏好的函数关系是 $v_2 = 2 \times v_1$, 说明决策人员在制定作战计划时对兵力损耗率的重视程度是弹药消耗量的 2 倍, 而任务一致性和毁伤目标数指标的重要性与其他几项指标的重要性关系可

如下表示, $u_5 = 4 \times v_1 + 2 \times v_2$, $u_4 = 3 \times v_3$ 。这样可以建立偏好锥 W 如下:

$$W = \left\{ (v, u) \begin{cases} v_2 = 2 \times v_1; \\ u_5 = 4 \times v_1 + 2 \times v_2; \\ u_4 = 3 \times v_3 \end{cases} \right\} \quad (6)$$

由于篇幅所限, 这里仅给出加入偏好锥后计算第一步计算有效单元的结果, 在加入偏好锥有效单元变为 7 个: 1、4、5、7、10、15、16。

(下转第 45 页)

(上接第 42 页)

表 3 LJK 模型计算结果

有效火力打击 (次)	1	2	4	5	6	7
h	1.041 8	1.095 6	1.022 7	1.003 0	1.051 2	1.114 4
s_2^{+0}	0.000 0	14.706	0.000 0	0.000 0	1.014 9	0.000 0
	0.000 0	0.069 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	1.073 6	0.000 0	0.390 1	0.108 8	0.714 7	2.765 5
	0.240 3	0.000 0	0.238 0	0.000 0	0.562 8	0.750 9
有效火力打击 (次)	8	9	10	15	18	
h	1.090 6	1.054 7	1.094 3	1.048 4	1.000 6	
s_2^{+0}	19.117	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	
	0.000 0	0.000 0	0.041 9	0.069 3	0.000 0	
	0.000 0	0.000 0	2.340 8	0.000 0	0.000 0	
	0.585 7	1.094 4	0.000 0	0.000 0	0.011 0	

3 结束语

该模型能评估火力毁伤效果, 给出可靠、科学、明确的量化结果, 避免了一般评估方法的主观因素过多的缺点, 并且分析了火力毁伤效率不高的原因, 提出了改进方向, 对指挥人员的具有一定参考价值。

参考文献:

[1] 任富兴, 王雪琴. 联合火力战控制理论[M]. 北京: 解放军出版社, 2008: 327-333.

[2] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 51-54.

[3] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993, 39(10): 1261-1268.

[4] S.mehrabian, A. Aliezaee, G.R.Jahanshaloo, A complete efficiency ranking of decision making units in DEA[J]. Computational Optimization and Application(COAP), 1999, 14(1): 261-266.

[5] Jahanshaloo G R, Junior H V, Lotfi F H, Akbarian D. A new DEA ranking system based on changing the reference set [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 181(1): 331-337.

[6] Shanling L, Jahanshaloo G R, Khodabakhshi M. A super-efficiency model for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 184(2): 638-648.

[7] 许梅生, 冯钟林, 邢立新. 火力毁伤评估理论[M]. 北京: 解放军出版社, 2007: 195-200.

[8] 郑津生, 欧阳豪. 炮兵火力毁伤指标体系研究与应用[J]. 火力指挥与控制, 2004, 29(3): 96-98.

[9] 苏汉民, 等. 基于系统动力学方法的毁伤效率评估[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(12): 46-48.

[10] 杨玉林, 等. 装甲目标毁伤评估的等效靶方法[J]. 火力

指挥与控制, 2003, 29(6): 43-45.

[11] 张强华, 李德君. 建立炮兵毁伤评估指标体系的 2 种方法[J]. 四川兵工学报, 2009(12): 115-116.