

# DEA 方法在水雷障碍效能评估中的应用\*

鲍鸿飞<sup>1</sup>, 赵祚德<sup>2</sup>, 杜毅<sup>3</sup>

(1. 海军潜艇学院, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 简要介绍水雷障碍效能评估的特点和 DEA 方法的基本原理, 分析了将 DEA 方法引入水雷障碍效能评估中的可行性, 针对 4 种水雷阵进行了效能分析评估. 讨论了有效性的含义、效能因素的选择及评价结果的意义.

**关键词:** DEA 方法; 水雷障碍; 效能评估

**中图分类号:** T630; O159

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006 - 0707(2009)01 - 0066 - 03

布设水雷障碍的效能评估要求从以下因素入手, 首先是布雷兵力的运用、雷区覆盖率、雷型的选择及雷阵抗扫性, 其次要考虑敌舰船触雷概率、敌反水雷能力等因素, 显然布设水雷障碍是一个多输入多输出系统适合应用 DEA 方法对其进行评估.

入和产出的客观数据, 进行评价和分析. 通过对投入产出数据的综合分析, DEA 可以得出每个决策单元的综合效率的数量指标, 据此对决策单元排序, 确定相对有效的决策单元, 并指出其他单元非有效的原因和程度. DEA 方法还能判断决策单元的投入规模是否适当, 并能给出各决策单元调整投入规模的正确方向.

## 1 DEA 方法

### 1.1 C<sup>2</sup>R 模型的建立

DEA 方法由美国运筹学家 A. Charnes 和 W. W. Cooper 创建, 是借鉴了英国经济学家 Farrel 最早提出的包络思想后在“相对效率评价”基础上发展起来的一种统计分析的新方法. 在解决多指标投入和多指标产出决策单元的相对有效性评价问题上有其独具的优势. 它根据决策单元的投

设有  $n$  个决策单元 (Decision Making Units, 简记 DMU), 每种 DMU 都有  $m$  种输入,  $s$  种输出. 其数据可以用图 1 给出, 其中:  $u$  及  $v$  的变量,  $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj})^T > 0$ .  $x_{ij}$  表示第  $j$  个决策单元第  $i$  种投入指标的投入量,  $y_{rj}$  表示第  $j$  个决策单元第  $r$  种产出指标的产出量 ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, s$ ).

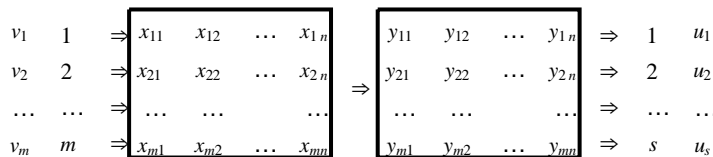


图 1 DMU 评价系统模型

由图 1 所给出的评价系统, 可设投入指标和产出指标的权系数向量分别为  $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T$ ,  $u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$ , 对应于权系数, 每个决策方案都有相应的效率评价指标, 表示如式 (1).

$$h_j = \frac{u^T y_j}{v^T x_j} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (1)$$

其中,  $1 \leq j \leq n$ . 效率评价指标  $h_j$  表示第  $j$  个决策单元多指标投入和多指标产出所取得的作战效率, 可以适当地选择

权系数  $u, v$ , 使其满足  $h_j < 1$ . 此时对第  $j_0$  个单元进行效率评价 ( $h_j < 1, j = 1, 2, \dots, n, 1 \leq j_0 \leq n$ ), 以权系数  $u$  及  $v$  的变量, 以第  $j_0$  个决策单元的效率指标为目标, 以所有决策单元的效率指标为约束构成如下模型式 (2):

$$\begin{cases} \max h_0 = \frac{u^T y_0}{v^T x_0} \\ \left( \begin{matrix} \rightarrow \\ p \end{matrix} \right) \begin{cases} h_j = \frac{u^T y_j}{v^T x_j} & 1 (j = 1, 2, \dots, m) \\ v & 1 \\ u & 1 \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

\* 收稿日期: 2008 - 09 - 10

作者简介: 鲍鸿飞 (1982 - ) 男, 河北武邑人, 硕士研究生, 主要从事军事装备学研究.

式(2)即为要建立的  $C^2R$  模型,是最基本的 DEA 模型,  $(\hat{p})$  是一个分式规划,利用查尼斯(科泊变换),可以转化为一个等价的线性规划问题  $(p)$ ,在这里我们引入非阿基米德无穷小量  $\epsilon$ ,利用  $(p)$  的对偶规划  $(D_{C^2R})$  来解决方案的优选问题,模型公式(3)

$$(D_{C^2R}) \begin{cases} \min [ - (\hat{e}^T s^- + e^T s^+) ] \\ \sum_{i=1}^m (x_{ij0} - i + s_i^-) = x_{ij0} \quad (i=1, 2, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m (x_{ij0} - i + s_i^+) = y_{j0} \quad (r=1, 2, \dots, s) \\ s_i^- \geq 0, s_i^+ \geq 0, \quad i = 1, \dots, l \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $\hat{e} = (1, 1, \dots, 1)^T \in E^m, e = (1, 1, \dots, 1)^T \in E^s$   
 松弛变量  $s^- = (s_1^-, s_2^-, \dots, s_m^-)^T, s^+ = (s_1^+, s_2^+, \dots, s_m^+)^T$ .

### 1.2 DEA 方法的评估步骤

采用 DEA 方法对方案进行相对有效性评价,通常采用图 2 所示步骤.

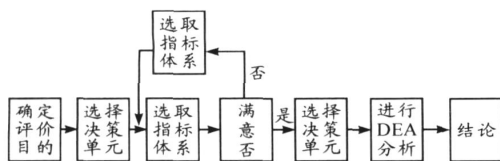


图 2 DEA 方法的评估步骤

## 2 实例分析

针对 4 种典型的水雷阵,使用 DEA 方法对其综合效能进行评价,分别称为 A、B、C、D 型.其中,A 型为空布或潜布自航式水雷阵,B 型为空布或潜布其他新式水雷阵,C 型为舰布新式水雷阵,D 型为舰布或渔船布普通水雷阵.

### 2.1 有效性含义

水雷是布设在指定海域,捕获目标信号后对目标实施攻击并造成目标的一定毁伤甚至沉没的一种有效海战武器装备.从 DEA 的角度来看,水雷阵的各种技术指标反映了其消耗资源(广义的国防资源,即可用于实现其它国防目的的一切因素)的程度,而资源的消耗换来的是对目标的毁伤.因此,前者可看作“效能代价”,即为获得效能而付出的.优秀的水雷阵应当能够以相对较小的效能代价实现较大的能力.

DEA 方法的基本理念是从相对有效性概念出发给出待评目标的有效性指标.标准 DEA 方法给出的结果是计算出每一个 DMU 的相对有效性指数,用一个介于 0 和 1 之间的实数表示,当等于 1 时即代表 DEA 有效.DEA 有效包含两层含义:技术有效和规模有效.技术有效是指输出相对投入而言已达最大,即该决策单元位于生产函数曲线上;规模有效是指投入量既不偏大也不偏小,是介于规模收入从递增到递减的状态.

当用于水雷阵效能评估时,若某型阵达到“技术有效”,可以理解为在所研究的阵型范围内,该型阵以最小的

效能代价达到了最大作战效能(其总体设计是最优的);若某型阵达到“规模有效”,则可认为水雷投入量已经足够大,如果继续加大投入作战效能也不会再增加,与其花费资源不如增加水雷阵数量.

### 2.2 效能因素选取考虑

在 DEA 模型中,随着指标集的扩大,每决策单元的有效性系数也会增大,指标多到一定程度就可能出现绝大多数甚至全部 DMU 效率值都达到 1,随着评价指标数的增加或 DMU 数量的减少,DEA 评价结果的区分度会越来越差.考虑到本文所研究待评阵型较少,而影响作战效能的因素又很多,因此不宜将所有参数直接用于比较评价.可结合层次分析法,对水雷阵进行因素分解,分别建模计算,再综合得到总的效能评价.

现在水雷阵主要由锚雷、沉底雷组成,在实施对敌港口或航道封锁时,我方投入的布雷兵力、雷型及雷数是主要的投入指标,而雷阵的封锁效果是输出指标如表 1 和表 2.

表 1 4 种水雷阵输入效能指标(数据为参考值)

	A	B	C	D
布雷兵力(美元/h)	100	100	90	80
雷型指标(万美元/枚)	100	90	90	80
雷数指标(枚)	10	15	20	25
布雷成功率	0.9	0.8	0.6	0.2

表 2 4 种水雷阵的输出效能指标(数据为参考值)

	A	B	C	D
雷阵覆盖面积/ km <sup>2</sup>	10	8	8	8
触雷概率	0.9	0.8	0.8	0.5
触雷期望	1.73	1.61	1.50	0.97
抗扫能力	0.88	0.87	0.79	0.45
毁伤能力(敌舰吨位)/t	8 000	8 000	8 000	5 000

以 A 型阵为参考基准,对其他各阵型的对应指标进行归一化处理后可得到表 3.

表 3 效能指标基准

	A	B	C	D	
投入指标	布雷兵力(美元/h)	1	1	0.9	0.8
	雷型指标(万美元/枚)	1	0.9	0.9	0.8
	雷数指标(枚)	1	1.5	2	2.5
	布雷成功率	1	0.89	0.67	0.22
产出指标	雷阵覆盖面积/ km <sup>2</sup>	1	0.8	0.8	0.8
	触雷概率	1	0.89	0.89	0.56
	触雷期望	1	0.93	0.87	0.56
	抗扫能力	1	0.99	0.89	0.51
	毁伤能力(敌舰吨位)/t	1	1	1	0.63

### 2.3 DEA 模型及计算程序

对于本研究而言,标准  $C^2R$  模型能够反映评价单元间

的有效性关系,并具有简单清晰、易于计算的优点。所以这里采用  $C^2R$  模型评价。计算程序采用澳大利亚新英格兰大学 TimCoelli 开发的 DEAP2.1 版,计算时选取“面向输入型”模型,可变规模收益和多阶段松弛变量。最后输出结果如表 4。

表 4 DEA 模型及计算程序最后输出结果表

水雷阵型	技术有效性	规模有效性
A	1.000	1.000
B	0.725	0.921
C	0.882	0.815
D	0.337	0.642

#### 2.4 分析评价结果

水雷阵型相对有效性排序为:  $A > C > B > D$ 。

从评价结果来看, A 型阵的技术有效性和规模有效性指数都为 1,达到了 DEA 有效,因此在所评阵型中,该阵技术上是最先进的,同时水雷潜力到了较大的发掘,是综合效能最佳的阵型。B 型阵的技术有效性较低,列第 3 位,而规模有效性接近 1,反映出该阵型中水雷的战术技术指标已经落后,但是水雷潜力已经得到了较大的发掘,与其再实施改进,不如另外开发或采购新型水雷替换。C 型阵的技术有效性接近 0.9,列第 2 位;规模有效性略大于 0.8,列第 3 位,反映出该阵型作战能力较强,同时具备一定的改进潜力,也是比较优秀的阵型。与“同行”相比较之下, D 型机的两项指标都处于下游且有不小的差距。这也反映出该阵各方面性能都已落后,不应作为攻势布雷考虑之列。

### 3 结束语

DEA 方法是一种比较分析法,具有不依赖主观判断,不要求严格限定输入数据等优点,特别适用于多输入多输出系统的分析评价。现代武器系统的效能受多方面因素影响,同时同一种武器的效能又反映在不同的方面,是典型多输入多输出情况。水雷武器是一个典型的例子,DEA 方法在这方面有很广泛的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 安静,孟祥劝. DEA 方法在防空作战方案优选中的应用[J]. 指挥控制与仿真,2006(6):68-71.
- [3] 程赐胜,苏玲利. DEA 法在物流中心选址中的应用[J]. 长沙理工大学学报,2004(12):8-12.
- [4] 盛昭翰,朱乔,吴广谋. DEA 理论与应用[M]. 北京:北京科学出版社,1996.
- [5] 李登峰,许腾. 海军作战运筹分析及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [6] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the Efficiency of DMU[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6):429-444.
- [7] Boles J S, Donthu N, Lohtia R. Salesperson Evaluation Using Relative Performance Efficiency: the Application of Data Envelopment Analysis[J]. The Journal of Personal Selling & Sales Management, 1995, 15(3):11-22.

(上接第 65 页)

### 4 结束语

Retinex 理论是对人眼成像过程的一种数学表达,其理论为图像增强开辟了新的方向,即从成像原理着手,更直接地展开图像增强工作。本研究中基于 Retinex 理论的图像增强算法原理简单新颖,计算简便,增强效果好,时效性较高,适合视频处理领域的应用。

#### 参考文献:

- [1] 危疆树. 结合局部对比度增强的直方图均衡化图像增

强算法[J]. 计算机与信息技术,2005(10):23-25.

- [2] Land E, McCann J. Lightness and the Tetinex theory[J]. Opt Soc Am, 1971, 61:1-11.
- [3] Jobso D J, Rahman Z, Woodell G A. Properties and performance of a center/surround retinex[J]. IEEE Trans Image Processing, 1997, 6(3):451-462.
- [4] Iketani T, Unagmi N, SuWa M, et al. Human Detection System using stereovision sensor[J]. SSII 2004(4):231-234.