

# 基于改进 DEA 模型的我国主要沿海港口效率评价

侯琳, 贾明雪

(大连海事大学交通运输工程学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** 沿海港口对于城市和国家的发展都发挥着重要作用, 而港口效率是影响港口贸易往来是否畅通的重要因素。因此本文选取我国 14 个主要沿海港口为样本, 建立 DEA 交叉模型探究港口效率, 并针对模型中存在平均交叉效率无法反映交叉效率值的权重关联性问题, 在交叉效率矩阵中引入信息熵赋予各个决策单元 (DMU) 权重, 从而得到综合交叉效率值。研究结果表明: 改进的 DEA 交叉模型既能够区分并排序伪有效的 DMU, 又避免了极端权重导致结果偏大的缺陷, 同时, 还考虑了各个 DMU 之间的关联性, 使结果更加符合客观实际。

**关键词:** 港口效率; DEA; 信息熵; 交叉效率

中图分类号: F552 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2022) 11-0043-03

港口效率评价方法一般被分为两种类型: 参数化和非参数化方法。其中, 大多学者采用非参数化方法进行港口效率评价, 原因是该方法能够考虑投入和产出之间的复杂线性关系。而在非参数化方法中, 学者最常用的是 DEA 方法。该方法最早出现在 1978 年, 由 A.Charnes 等人提出<sup>[1]</sup>。于是, 越来越多的学者采用 DEA 模型, 并在此基础上对该模型进行了一系列的改进, 使得模型更加适用于实证研究。Tongzon 等人采用 CRS 方法评价 16 个港口的效率, 并对比不同港口的研究结果, 针

对效率低的四个港口提出了改进建议<sup>[2]</sup>; Wanke 等人为了提升巴西港口的规模效率, 采用 DEA 模型与截断回归相结合的方法探究改进空间<sup>[3]</sup>; 叶士琳采用 SBM 模型研究集装箱码头效率<sup>[4]</sup>; 杜利楠等人采用三阶段 DEA 模型评价长江干线的 20 个港口的运营效率, 并对比不同年份的数据结果进行分析<sup>[5]</sup>; 刘勇等人采用网络 DEA 模型, 先后从港口的生产效率、环境效率和集装化效率进行分析<sup>[6]</sup>; 隋晓艳等人将港口总体效率分为静态和动态效率, 采用 DEA-MI 方法进行评估<sup>[7]</sup>。

集卡的数量、外集卡平均滞留时间基本无影响。

## 4 结论

根据上述仿真结果分析, 可以得出以下主要结论:

(1) 翻箱率越高, 整体码头通过能力越低, 堆场内部集卡排队情况越明显, 集卡在堆场内平均滞留时间变长。

(2) 当每台岸桥配置集卡数量由 4 辆增加至 5 辆时, 海侧装卸效率增加明显, 对陆侧装卸效率基本无影响; 当每台岸桥配置集卡数量由 5 辆增加至 6 辆, 对于海侧、陆侧装卸效率略有增加, 但是内集卡在堆场平均滞留时间显著增加, 存在交通拥堵的风险。

(3) 岸桥数量与集卡数量以 1:5 配置是较优方式。

## 参考文献:

[1] 胡蕊. 基于作业面模式的集装箱码头集卡调度问题研

究 [J]. 物流工程与管理, 2020, 31(8): 10-14.

[2] 孟庆雨. 集装箱码头装卸设备优化配置研究 [D]. 天津: 河北工业大学, 2010: 38-45.

[3] 杨双华, 蔡黄河, 林意斐. 平行布置集装箱堆场双机调度策略仿真分析 [J]. 港口科技, 2019(5): 4-9.

[4] 王璇, 于佳乾. 南京港龙潭港区集装箱码头装卸设备配置优化与仿真 [J]. 港口科技, 2019(7): 18-20.

[5] 魏晨, 胡志华, 高超峰. 自动化集装箱码头堆场内双起重机调度模型与算法 [J]. 大连海事大学学报, 2015, 41(4): 75-80.

[6] 杨静蕾, 丁以中. 集装箱码头设备配置的模拟研究 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15(8): 1069-1073.

[7] 朱龔. 自动化码头内集卡作业调度优化 [J]. 港口装卸, 2021, 259(4): 6-8.

[8] 吴邵强, 袁金虎, 彭骏骏. 基于三维仿真的自动化集装箱码头堆场布置形态 [J]. 水运工程, 2019, 554(4): 67-73.

虽然关于港口效率的研究取得了一定的成就，但仍有不足之处：一是尽管多阶段 DEA 模型排除了环境因素的影响，但本质上还是采用传统 DEA 模型进行港口效率评价，未考虑到 DMU 之间的竞争关系，导致结果偏大，且 SFA 方法对数据的要求极高，易影响结果的可靠性；二是在 DEA 交叉模型中，最终的交叉效率值取的是交叉矩阵中的效率平均值，该计算方式忽略了交叉效率和 DMU 权重的关联性。因此本文运用 DEA 交叉模型评价港口效率，采用信息熵赋予交叉效率矩阵中各个 DMU 权重，以期为我国主要沿海港口的发展提出建议。

## 1 研究方法与数据

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 DEA 模型

DEA 模型是从投入和产出的角度出发，并能够在测度效率时不被投入和产出的指标纲量影响，因而具有一定的客观性，其模型如下：

$$\begin{cases} \max_{r=1}^b u_r y_{rj} = \theta \\ s.t. \sum_{r=1}^b u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^a v_i x_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^a v_i x_{ij} = 1, \\ u_r \geq 0, v_i \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中，n 为 DMU 的个数，a 为投入指标，b 为产出指标， $x_{ij}$  为第 j 个 DMU 对第 i 种 a 的投入量， $y_{rj}$  为第 j 个 DMU 对第 r 种 b 的产出量， $X_j = [x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{aj}]^T$  为第 j 个 DMU 的投入向量， $Y_j = [y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{bj}]^T$  为第 j 个 DMU 的产出向量， $v_j = [v_1, v_2, \dots, v_a]^T$  为 a 的权重， $u_j = [u_1, u_2, \dots, u_b]^T$  为 b 的权重。

根据上述模型可求得最优解  $u^*$  和  $v^*$ 。若  $\theta = 1$ ，则决策单元为 DEA 有效；若  $\theta < 1$ ，则为非 DEA 有效。

#### 1.1.2 基于改进的 DEA 交叉模型

本文引入 Sexton 等人提出的 DEA 交叉效率模型，该模型不仅能够保证 DMU 自身效率值最大，还尽可能使其他 DMU 的效率值最大，其模型如下：

$$\begin{cases} \max_{r=1}^b u_r y_{rf} = \theta_{ef} \\ s.t. \sum_{r=1}^b u_r y_{rf} \leq \sum_{i=1}^a v_i x_{ij}, \\ \sum_{i=1}^a v_i x_{ij} = \theta_{ee} \sum_{r=1}^b u_r y_{re} \\ \sum_{i=1}^a v_i x_{if} = 1 \\ v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, a \\ u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, b \\ e, f \in j, \text{ 且 } e \neq f \end{cases} \quad (2)$$

交叉效率矩阵为：

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & \cdots & E_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{n1} & \cdots & E_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中， $E_{11}, E_{22}, \dots, E_{nn}$  为自评效率值，该数值等于传统 DEA 模型下测得的结果，其余矩阵元素为交叉效率值，即其他 DMU 对第 i 个 DMU 的评价值，评价值越大，说明 DMU 越好。

首先，标准化处理交叉效率矩阵中的交叉效率值：

$$d_{ij} = \frac{E_{ij}}{\max\{E_{1j}, E_{2j}, \dots, E_{nj}\}} \quad (4)$$

然后，通过信息熵衡量各 DMU 的重要程度：

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n D_{ij} \ln D_{ij} \quad (5)$$

$$\text{其中, } D_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{j=1}^n d_{ij}} \quad (6)$$

其次，采用信息熵计算各个 DMU 的权重：

$$w_j = \frac{1-e_j}{n-\sum_{j=1}^n e_j} \quad (7)$$

最后，计算综合交叉效率值：

$$\theta_i = \sum_{j=1}^n w_j E_{ij} \quad (8)$$

### 1.2 指标构建与数据来源

#### 1.2.1 指标构建

港口效率评价的基础是合理构建指标体系，本文考虑数据的可得性，遵从客观性和科学性等原则，并借鉴现有研究成果，将港口视作生产者，选取 3 个投入指标和 2 个产出指标，投入指标分别为生产用码头长度、生产用泊位数以及生产用万吨级以上泊位数，产出指标分别为货物吞吐量和集装箱吞吐量。

#### 1.2.2 数据来源

本文的研究对象选取了 14 个主要沿海港口，港口位置由北到南分布，且存在于五大港口群中，因而具有良好的代表性，它们分别是大连港、天津港、烟台港、青岛港、连云港、上海港、宁波-舟山港、福州港、厦门港、汕头港、深圳港、广州港、湛江港和海口港。本文数据主要来源于 2019 年中国港口官网和《中国统计年鉴》。

## 2 实证分析

本文运用 DEAP2.1 软件求解传统 DEA 模型、运用 matlab2018a 求解 DEA 交叉模型和改进的 DEA 交叉模型，对结果进行对比分析，具体结果见表 1。

表 1 14 个沿海港口效率评价结果

港口	传统 DEA 模型	排序	DEA 交叉模型	排序	改进 DEA 交叉模型	排序
大连港	0.514	11	0.462	11	0.451	11
天津港	0.693	8	0.648	6	0.650	4
烟台港	0.590	10	0.491	10	0.481	10
青岛港	1.000	1	1.000	1	1.000	1
连云港	0.730	7	0.601	7	0.605	7
上海港	0.758	6	0.588	8	0.551	8
宁波·舟山港	0.821	5	0.702	3	0.670	3
福州港	0.455	13	0.383	13	0.368	13
厦门港	0.490	12	0.420	12	0.404	12
汕头港	0.244	14	0.213	14	0.201	14
深圳港	1.000	1	0.692	4	0.637	5
广州港	1.000	1	0.890	2	0.834	2
湛江港	0.841	4	0.660	5	0.631	6
海口港	0.654	9	0.515	9	0.507	9

## 2.1 与传统 DEA 模型进行对比

相较传统 DEA 模型, DEA 交叉模型是将一个港口和其他港口的全部指标做全面的分析比较, 使结果更为客观, 主要体现在两个方面: 一是传统 DEA 模型无法区分和排序多个效率值为 1 的决策单元, 如表 1 所示, 在传统 DEA 模型下, 青岛港、深圳港和广州港这三个港口的效率值都为 1, 而 DEA 交叉模型可以实现对这三个港口有效区分, 青岛港、深圳港和广州港的效率值分别为 1、0.692 和 0.890; 二是通过传统 DEA 模型测得的数值偏大, 如广州港在该模型下的效率值为 1, 而在 DEA 交叉模型下的效率值为 0.890。这主要是因为传统 DEA 模型在计算时会采取对自身最优的权重, 赋予指标极端权重, 而 DEA 交叉模型能够避免此现象发生。

## 2.2 与 DEA 交叉模型进行对比

相较 DEA 交叉模型, 改进 DEA 交叉模型的测度下仅深圳港、湛江港、天津港的排序发生变化, 天津港的效率排名由第六名上升到第四名, 其原因是在改进的 DEA 交叉效率模型测度下, 深圳港和湛江港的效率值下降, 而天津港的效率上升了 0.02。说明改进的 DEA 交叉模型只是微调了数值, 使结果更加精确, 对原有的交叉效率值未产生重大影响。其利用信息熵的客观性和精确度, 不仅避免了传统 DEA 模型极端权重导致效率过大的问题, 还考虑了各个 DMU 之间的关联性, 提高了结果的精确度和可信度。

## 2.3 改进 DEA 交叉模型结果分析

由表 1 可知, 各个港口的效率发展不平衡, 差距较为明显, 效率最高的港口和最低的港口之间的效率值差

达到 0.799, 这也是对于效率最低的港口的改进空间值, 除了青岛港, 其余每个港口均存在不同的改进空间, 通过计算可得出 14 个港口综合交叉效率均值是 0.571, 处于中等水平。港口效率超过 0.8 的港口仅有青岛港和广州港 2 个, 占总数的 14.29%; 港口效率在 0.6–0.8 之间港口的有天津港、连云港、宁波·舟山港、深圳港和湛江港 5 个, 占总数的 35.71%; 港口效率在 0.4–0.6 之间港口的有大连港、烟台港、上海港和海口港 4 个, 占总数的 28.57%; 港口效率值在 0.4 以下的港口有福州港和汕头港, 占总数的 14.29%。总的来说, 14 个沿海港口效率处于中等水平, 有较大的改进空间。

## 3 结论

提升港口效率是我国港口发展的重要工作, 本文建立改进的 DEA 交叉模型, 将信息熵引入到 DEA 交叉模型中, 使结果更加客观。结果表明, 除了青岛港, 其余各个港口的效率均有改进空间, 说明港口的资源利用率较低, 应提高基础设施的利用率, 加强产出转化。

### 参考文献:

- [1] Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E.. Measuring the efficiency of decision making units[J]. North-Holland, 1978, 2(6):429–444.
- [2] Jose Tongzon. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis[J]. Transportation Research Part A, 2001, 35(2): 107–222.
- [3] Peter F. Wanke, Carlos Pestana Barros. Public-private partnerships and scale efficiency in Brazilian ports: Evidence from two-stage DEA analysis[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2015, 51:13–22
- [4] 叶士琳, 蒋自然, 祁新华. 长三角集装箱码头效率时空演化及其影响因素 [J]. 地理研究, 2020, 39(08):1782–1793.
- [5] 杜利楠, 张建宝. 基于三阶段 DEA 模型的长江干线主要港口效率评价 [J]. 上海海事大学学报, 2020, 41(03):89–96.
- [6] 刘勇, 汪传旭. 基于非期望输出网络 DEA 的集装箱港口群效率评价 [J]. 系统工程, 2018, 36(04):121–126.
- [7] 隋晓艳, 姜桂艳, 曹朋亮等. 基于 DEA-CA-MI 的全国沿海主要港口运营效率评价 [J]. 宁波大学学报(理工版), 2018, 31(01):82–88.