

基于 DEA-CA-MI 的全国沿海主要港口运营效率评价

隋晓艳¹, 姜桂艳^{1,2,3,4*}, 曹朋亮¹, 杜春承¹

(1.宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211; 2.国家道路交通管理工程技术研究中心 宁波大学分中心, 浙江 宁波 315211;
3.现代城市交通技术江苏高校协同创新中心, 江苏 南京 210096; 4.港口经济协同创新中心, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为揭示我国沿海港口运营效率及其发展态势, 运用 DEA-CA-MI 方法, 对全国沿海 37 个主要港口在 2009~2014 年间的运营效率进行静态和动态评价。结果表明: 我国沿海主要港口运营效率的水平、结构与发展态势存在较大差异; 在静态评价中, 港口综合技术效率与港口平均规模之间存在倒“U”型关系, 纯技术效率不高是导致港口运营效率水平偏低的主要影响因素; 在动态评价中, 除福州港外, 其他港口的运营效率在评价期内均有所改善, 全要素生产率指数及其离散程度随港口规模增加而减小。

关键词: 沿海港口; DEA-CA-MI; Malmquist 指数; 聚类分析; 效率评价

中图分类号: U693

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 01-0082-07

港口是综合运输网络的枢纽性节点, 也是区域经济发展的战略性资源。港口运营效率是港口投入产出转化能力、竞争能力以及经营管理水平的综合体现。对港口运营效率进行评价比较, 有助于各港口判断自身与其他港口的差距, 也有助于国家和地区掌握港口的总体发展状况, 从而为制定更为合理的发展规划和管理政策提供重要依据。由于沿海港口在促进所在城市及其腹地经济发展, 参与国际经济合作过程中发挥着重要作用, 因此其运营效率分析一直是该领域的重要课题。

港口运营效率评价研究, 最初主要采用 DEA (Data Envelopment Analysis, DEA) 方法对港口的运营效率进行静态评价^[1-3], 以体现特定年份评价对象运营效率的水平。由于 DEA 方法无法揭示港口运营效率随时间变化的动态性, 近年来运用 DEA 方法和 MI (Malmquist Index, MI) 方法对港口运营效率进行静态和动态联合评价逐渐受研究者的关注。Chudasama 等^[4]利用 DEA 和 MI 方法对印度沿海主要港口的运营效率进行了静态和动态评价; 李兰冰等^[5]应用 DEA 和 MI 方法对两岸三地 16 个主要沿海港口的效率进行了静态和动态研究;

Barros^[6]运用 DEA 和 MI 方法对安哥拉、尼日利亚和莫桑比克海港运营效率的静态和动态进行了联合评价; 曹玮等^[7]运用 DEA 和 MI 方法对福建省沿海港口的运营效率进行了静态和动态分析; Wilmsmeier 等^[8]运用 DEA 和 MI 方法对美国、哥伦比亚、西班牙等 10 国的 20 个港口的运营效率进行了静态和动态研究; Ding 等^[9]利用 DEA 和 MI 方法, 对中国 21 个沿海中小型港口的运营效率进行了静态和动态分析。但是, 目前既有文献所评价的港口样本量普遍偏小, 而少数样本量较大的研究其评价的广度和深度存在明显的局限性。

鉴于此, 本文以我国沿海 37 个主要港口为评价对象, 以 2009~2014 年为评价时段, 联合运用 DEA-CA-MI 方法对样本港口的运营效率进行静态评价、聚类分析和动态评价, 以期揭示我国沿海主要港口运营效率的水平差异与发展态势特点, 为各港口及其管理部门提供决策支持。

1 评价指标与方法

1.1 评价指标

在现有文献中, 港口运营效率评价所采用的

收稿日期: 2017-03-06。

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journal.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (71431001); 包兆龙包玉刚中国留学生奖学金。

第一作者: 隋晓艳 (1989-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 港口物流。E-mail: 965040516@qq.com

*通信作者: 姜桂艳 (1964-), 女, 黑龙江鸡西人, 博士/教授, 主要研究方向: 智能运输系统。E-mail: jiangguiyan@nbu.edu.cn

投入和产出指标见表 1.

表 1 已有文献港口运营效率评价采用的典型指标

投入指标	文献
港口泊位数	[1,3-8,10-11]
港口泊位长度	[3-4,6-8,10-11]
堆场面积	[2,4-6,9]
起重机数量	[4,6,8]
员工数量	[1,6,8,10]
船舶数量	[1,6]
固定资产投资额	[1]
产出指标	文献
港口货物吞吐量	[1-7,9,11-12]
集装箱吞吐量	[4,7-10,12]
旅客吞吐量	[7,9,13]
港口利润	[1-2]
港口服务水平	[1]
港口货物吞吐量年增长率	[11]

鉴于现有文献中港口各投入与产出指标被采用的频次, 兼顾统计数据的可得性, 本文选取港口泊位数和泊位长度作为评价的投入指标, 选取货物和集装箱吞吐量作为评价的产出指标.

1.2 评价方法

1.2.1 DEA 方法

DEA 方法借助数学规划模型确定有效的生产前沿面, 根据各决策单元(Decision Making Units, DMU)偏离生产前沿面的距离, 确定其是否为 DEA 有效^[12]. 本研究中 DMU 指待评价的沿海港口. DEA 方法通过比较各 DMU 投入/产出指标的同期数据评价运营效率, 因此又被称为静态评价. DEA 方法中最基本模型是 CCR 和 BCC^[13-14]. CCR 模型以规模报酬不变为前提, 所计算的运营效率 θ_i 是第 i 个 DMU 的综合技术效率(Technical Efficiency, TE). 设有 n 个 DMU, DMU_i 的投入、产出向量分别为:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i &= (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ai}, \dots, x_{mi})^T, \\ x_{ai} &> 0, \forall a, \forall i, \\ \mathbf{y}_i &= (y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{bi}, \dots, y_{ki})^T, \\ y_{bi} &> 0, \forall b, \forall i, \end{aligned} \quad (1)$$

式中: m 为 DMU 投入指标的个数; k 为其产出指标的个数. 以产出为导向的 CCR 模型为^[15-16]:

$$\min \theta - \varepsilon(e_1^T \mathbf{S}^- + e_2^T \mathbf{S}^+), \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i x_{im} + s_i^{m-} = \theta_i x_0, \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i y_{ik} - s_i^{k+} = y_0, \\ \lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, s_i^{m-} \geq 0, s_i^{k+} \geq 0, \end{cases} \quad (3)$$

式中: θ 表示综合技术效率的矢量; $\mathbf{T}$ 表示单位向量 e 的转置; $\mathbf{S}^-$ 和 $\mathbf{S}^+$ 分别表示投入和产出指标的松弛变量; θ_i 表示第 i 个 DMU 的 TE; x_0 和 y_0 分别为 DMU 集合中的最佳投入和产出指标; x_i 和 y_i 分别为第 i 个 DMU 的投入和产出指标; s_i^{m-} 和 s_i^{k+} 分别表示第 i 个 DMU 投入和产出指标的松弛变量; λ_i 为第 i 个 DMU 的权重变量, 是非阿基米德无穷小量. $\theta_i = 1$ 说明第 i 个 DMU 的 TE 相对有效, $\theta_i < 1$ 则说明第 i 个 DMU 的 TE 相对无效.

由于规模报酬不变假设的适用性有限, 在 CCR 模型基础上, 增加凸性假定条件 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, 得到如下规模报酬可变的 BCC 模型:

$$\min \eta - \varepsilon(e_1^T \mathbf{S}^- + e_2^T \mathbf{S}^+), \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i x_{im} + s_i^{m-} = \eta_i x_0, \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i y_{ik} - s_i^{k+} = y_0, \\ \lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \\ s_i^{m-} \geq 0, s_i^{k+} \geq 0, \end{cases} \quad (5)$$

式中: η 表示纯技术效率的矢量; η_i 表示第 i 个 DMU 的纯技术效率(Pure Technical Efficiency, PTE), 当 $\eta_i = 1$ 时, 说明第 i 个 DMU 的 PTE 相对有效, 当 $\eta_i < 1$ 时, 说明第 i 个 DMU 的 PTE 相对无效. 令 ξ_i 为规模效率(Scale Efficiency, SE), 其计算公式为:

$$\xi_i = \frac{\theta_i}{\eta_i}, \quad (6)$$

式中: ξ_i 为规模效率, 当 $\xi_i = 1$ 时, 说明第 i 个 DMU 的 SE 相对有效; 当 $\xi_i < 1$ 时, 说明第 i 个 DMU 的 SE 相对无效.

当特定 DMU 的 PTE 和 SE 均有效时, 该 DMU 的 TE 有效, 否则其 TE 相对无效. 因 BCC 模型不但考虑了规模报酬可变的假设条件, 且可区分 PTE 和 SE 对 DMU 的 TE 影响. 因此, 本研究采用 BCC 模型对沿海主要港口的运营效率进行静态评价, 评价指标包括 TE、PTE 和 SE, 简称为静态指标.

1.2.2 CA 方法

因涉及的沿海港口数量较多,为进一步揭示不同港口之间运营效率的差异,对各港口运营效率的静态评价指标进行聚类分析.考虑到最长距离法易产生团块状的类,其分类结果较为均匀^[17-18].因此,将其用于港口运营效率静态评价结果的聚类分析.对 n 个 DMU, 待聚类 DMU 的集合为 $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, 最长距离法系统聚类的计算公式为:

$$D(G_h, G_l) = \max \{D(r_h, r_l) | r_h \in G_h, r_l \in G_l\}, \quad (7)$$

其中: $D(r_h, r_l)$ 表示第 h 个 DMU 的效率指标和第 l 个 DMU 的同类效率指标之间的距离. 设某步聚类过程将 G_h 和 G_l 合并成新类 G_m , 则新类 G_m 与已有任一类 G_p 的距离为:

$$D(G_m, G_p) = \max \{ \max \{D(r_h, r_p) | r_h \in G_h, r_p \in G_p\}, \max \{D(r_l, r_p) | r_l \in G_l, r_p \in G_p\} \} = \max \{D(G_h, G_p), D(G_l, G_p)\} \quad \forall p. \quad (8)$$

聚类分析过程的基本步骤为: (1)将待聚类的 n 个港口各自看成一类, 共有 n 类. (2)计算每两类之间的距离, 将距离最近的两类合为一类, 其余不变, 即得到 $(n-1)$ 类. 重复上述两个基本步骤, 直到所有的港口都归为一类为止.

1.2.3 MI 方法

MI 也称为全要素生产率指数 (Total Factor Productivity Index, TFPI), 最早由 Caves 等将其用于生产力分析^[19], 后 Fare 等将其应用到跨年的运营效率评价^[20]. 由于 MI 涉及不同年份运营效率的比较, 因此主要用于对 DMU 运营效率的动态评价. 在规模报酬不变的条件下, 对于 DMU_i 从 t 时期到 $(t+1)$ 时期的全要素生产率指数表达式为^[21]:

$$\phi_i = \sqrt{\frac{D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C) D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C)}{D_i^t(x_i^t, y_i^t | C) D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t | C)}} = \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C)}{D_i^t(x_i^t, y_i^t | C)} \cdot \sqrt{\frac{D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C) D_i^t(x_i^t, y_i^t | C)}{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C) D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t | C)}} \quad (\forall i). \quad (9)$$

式中: ϕ 表示全要素生产率指数; (x_i^t, y_i^t) 和 (x_i^{t+1}, y_i^{t+1}) 分别表示 t 时期和 $(t+1)$ 时期 DMU_i 的投入和产出; D_i^t 和 D_i^{t+1} 分别表示以 t 时期技术为基准的 DMU_i 在第 t 时期和第 $(t+1)$ 时期的产出距离函数;

C 表示规模报酬不变条件. 令

$$\varphi_i = \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C)}{D_i^t(x_i^t, y_i^t | C)} \quad (\forall i), \quad (10)$$

$$\psi_i = \sqrt{\frac{D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C) D_i^t(x_i^t, y_i^t | C)}{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C) D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t | C)}} \quad (\forall i), \quad (11)$$

式(10)和(11)中 φ_i 和 ψ_i 分别为 DMU_i 的综合技术效率变化指数 (TECI) 和技术变化指数 (ECI), 二者的乘积为 TFPI. 为明确影响 TECI 的主要因素, 在规模报酬可变的条件下, TECI 可进一步分解为纯技术效率变化指数 (PTECI) 和规模效率变化指数 (SECI), 即

$$\varphi_i = \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | V)}{D_i^t(x_i^t, y_i^t | V)} \cdot \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C)}{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | V)} \cdot \frac{D_i^t(x_i^t, y_i^t | V)}{D_i^t(x_i^t, y_i^t | C)} \quad (\forall i), \quad (12)$$

式中: V 表示规模报酬可变条件, 令

$$\gamma_i = \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | V)}{D_i^t(x_i^t, y_i^t | V)} \quad (\forall i), \quad (13)$$

$$v_i = \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | C) D_i^t(x_i^t, y_i^t | V)}{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1} | V) D_i^t(x_i^t, y_i^t | C)} \quad (\forall i), \quad (14)$$

$$\phi = \varphi_i \gamma_i v_i \quad (\forall i), \quad (15)$$

式中: γ_i 为纯技术效率变化指数; v_i 为规模效率变化指数; 其他符号同前.

当 $TFPI > 1$ 时, 说明在 t 至 $(t+1)$ 期间 DMU_i 的全要素生产率提高; $TFPI < 1$ 时, 说明 DMU_i 的全要素生产率下降. 当 $TECI$ 和 $TECI$ 大于 1 时, $TECI$ 将增长; 反之, 则下降. 同理当 $PTECI$ 和 $SECI$ 大于 1 时, $TECI$ 将增长; 反之, 则下降.

本研究采用 MI 模型对我国沿海主要港口的运营效率进行动态评价, 评价指标包括 TFPI、TCI、TECI、PTECI 和 SECI, 简称为动态指标.

2 实证分析

2.1 数据来源与方案设计

对我国沿海以散货和集装箱业务为主的 37 个主要港口在 2009~2014 年的统计数据进行分析. 其中港口泊位长度和港口泊位数数据来源于《中国港口年鉴》(2009~2014 年), 部分来源于省市自治区的官方网站以及国民经济与社会发展的统计公报;

港口的货物和集装箱吞吐量数据来源于《中国统计年鉴》(2009~2014 年)。

为了更全面地揭示我国沿海主要港口运营效率的差异, 在实证分析中采用 Deap 2.1 软件对沿海主要港口的运营效率进行静态和动态评价, 采用 SPSS 21.0 软件对评价期内沿海主要港口运营效率静态评价指标的平均值进行聚类分析。

2.2 沿海主要港口运营效率的静态评价

运用 Deap 2.1 软件中的 DEA 模块, 对沿海 37 个主要港口 2009~2014 年间的投入/产出数据进行运算, 获得各港口在各年度的 TE 值、PTE 值和 SE 值, 计算评价期内各指标的算数平均值, 按 TE 平均值从小到大排序, 结果如图 1 所示。由图 1 可知, 我国沿海大部分港口的运营效率偏低。

为了进一步揭示港口运营效率的特点, 采用基于最长距离的系统聚类法, 以评价期内各效率指标的平均值为基础, 进行聚类分析, 结果如图 2 所示。根据图 2 的聚类结果, 将 37 个主要港口的运营效率分为 4 种类型, 各类型港口运营效率静态指标的平均值和标准差如图 3 所示。

第 1 类是“低效率型”港口, 包括汕尾港、八所港、盘锦港、茂名港、阳江港、葫芦岛港。尽管这类港口的 PTE 较高, 但由于 SE 太低, 导致其综

合 TE 在 4 类港口中最低。与其他类型的港口相比, 这类港口的各项静态指标的标准差最大, 说明港口间的运营效率存在明显差异。进一步分析表明, 评价期内这类港口的货物吞吐量平均值为 1 450.50 万 t, 集装箱吞吐量平均值为 3.40 万 TEU, 港口规模最小。

第 2 类是“高规模效率型”港口, 包括中山港、台州港、钦州港、盐城港、洋浦港、汕头港、北海港、防城港、江门港、珠海港、嘉兴港、威海港、福州港、温州港、泉州港、烟台港、湛江港、大连港和厦门港。这类港口 SE 较高, 位列第二。但由于 PTE 最低, 导致其 TE 仅略高于第 1 类港口。这类港口的各项静态指标的标准差与第 1 类港口相近, 说明港口间的运营效率也存在较大差距。进一步分析表明, 评价期内这类港口的货物吞吐量的平均值为 9 499.78 万 t, 集装箱吞吐量的平均值为 141.18 万 TEU, 港口规模偏小。

第 3 类为“高效率型”港口, 包括锦州港、连云港港、丹东港、唐山港、营口港、日照港、深圳港和青岛港。这类港口的 PTE 和 SE 在 4 类港口中均位列第一, 说明其 TE 最高。这类港口的各项静态指标的标准差最小, 表明港口间运营效率的差别最小。进一步分析表明, 评价期内这类港口货物

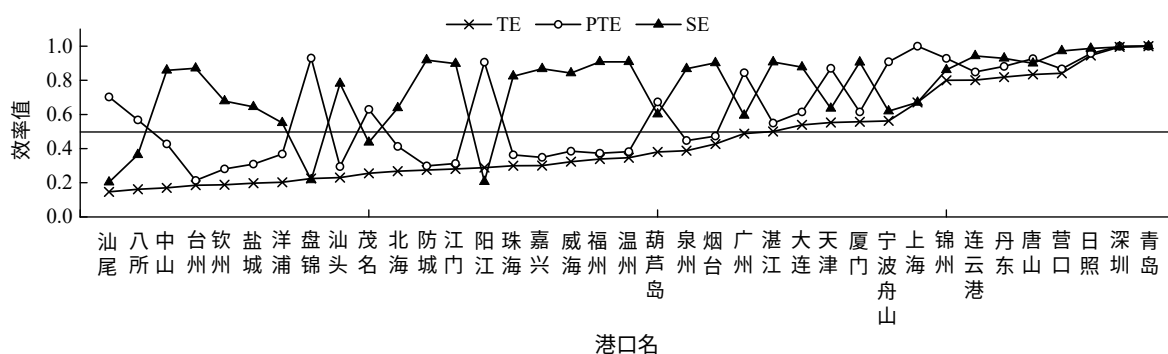


图 1 沿海主要港口运营效率静态评价指标的均值

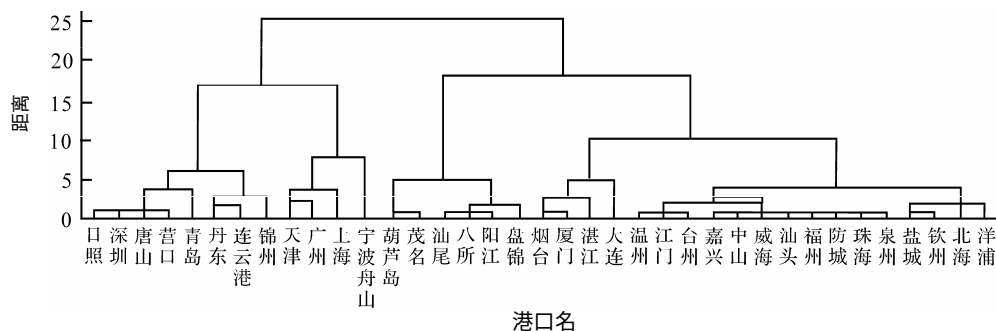


图 2 沿海主要港口运营效率静态评价指标的聚类结果

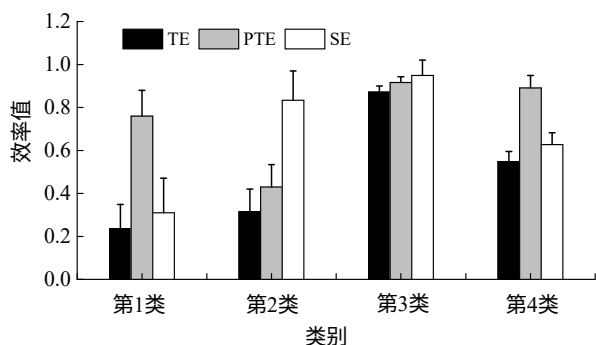


图3 沿海主要港口分类别的运营效率静态评价指标均值
吞吐量平均值和集装箱货物吞吐量平均值分别为22 764.51 万 t 和 608.74 万 TEU, 港口规模偏大。

第4类是“高纯技术效率型”港口, 包括广州港、天津港、宁波舟山港和上海港。这类港口的PTE与第3类相似, 但由于SE偏低, 导致其TE明显低于第3类港口。这类港口的各项静态指标的标准差高于第3类港口, 说明港口间的运营效率存在一定程度的分化。进一步分析表明, 评价期内这类港口货物吞吐量和集装箱货物吞吐量的平均值分别为55 954.77 万 t 和 1 806.50 万 TEU, 港口规模最大。

综上分析可知, 随着港口平均规模的增加, 港口的TE和SE均呈倒“U”型变化趋势; PTE的变化相对复杂, 当港口平均规模中等偏小时, 其纯技术效率明显偏低, 而其他平均规模的港口纯技术

效率相差不大。

根据聚类结果, 将沿海 37 个主要港口在评价期内的运营效率静态指标均值按类排列, 且每类港口按照 TE 均值从小到大排列, 结果如图 4 所示。

由图 4 可见, 第 1 类港口的 PTE 明显高于 SE, 是港口运营效率的拉动因素, 但同类港口间二者存在较大的差异; 第 2 类港口的 SE 明显高于 PTE, 是港口运营效率的拉动因素, 但 PTE 是同类港口间运营效率水平差异的主要影响因素; 第 3 类港口的 PTE 与 SE 具有最佳的一致性, 二者共同拉动港口运营效率水平的提高; 第 4 类港口的 TE 和 SE 均显著低于第 3 类港口, 但二者均呈现出稳步上升的趋势, 这与第 1 类港口明显不同。

与图 1 相比, 图 4 中港口运营效率各项静态评价指标的均值曲线具有更好的规律性。聚类分析结果进一步揭示了港口之间运营效率的差异, 可从新的角度为港口及主管部门提供决策支持。

2.3 沿海主要港口运营效率的动态评价

利用 Deap 2.1 软件对上述港口同期投入和产出数据进行 MI 分析, 分别计算各港口的 TFPI、TCI、TECI、PTECI 和 SECI。按图 4 的港口顺序, 给出各港口 TFPI、TCI 和 TECI 的平均值(图 5)。

由图 5 可知, 在评价期内, 除福州港外, 我国

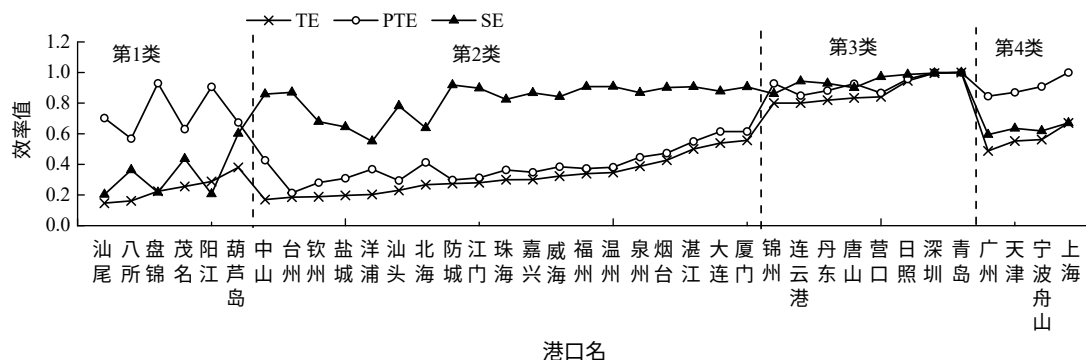


图4 评价期内沿海主要港口运营效率静态评价指标均值的聚类结果

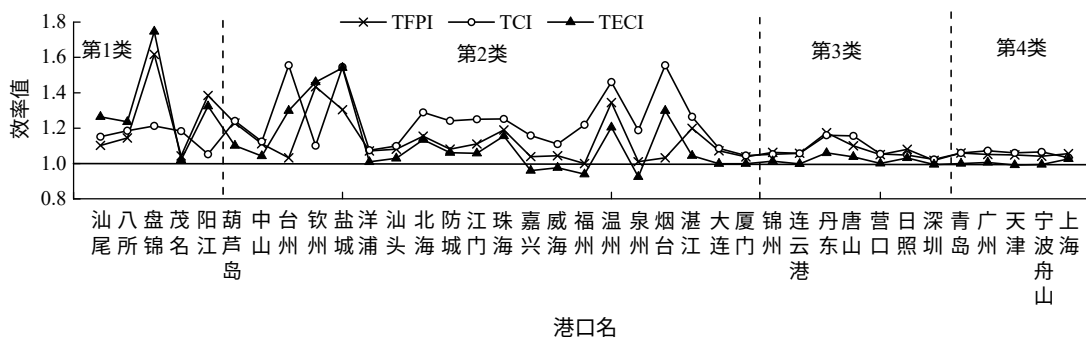


图5 评价期内沿海主要港口运营效率动态评价指标的均值

沿海各主要港口的 TFPI 均大于 1, 说明其运营效率均有所提升. 为了更好地分析静态评价中 4 类港口运营效率的发展态势, 根据聚类结果分别计算 4 类港口运营效率的各项动态评价指标的均值与标准差, 结果如图 6 所示.

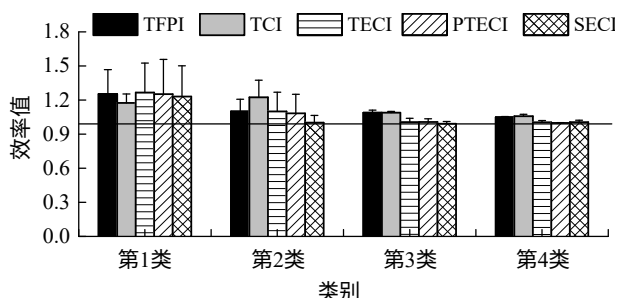


图6 沿海主要港口分类别的运营效率动态评价指标均值

从图6可看出, 前述4类港口运营效率的发展态势具有如下特点: (1)“低效率型”港口的运营效率提升幅度最高、差异性最大. 这类港口规模最小, TFPI 提升幅度最大, TCI 和 TECI 均表现为上升趋势, 而 TECI 升幅大于 TCI, 明显不同于其他类型港口. (2)“高规模效率型”港口的运营效率提升幅度变小, 差异性减弱. 这类港口的规模偏小, TCI 在4类港口中最大, TECI 的发展主要受 SECI 制约. (3)“高效率型”和“高纯技术效率型”港口的运营效率提升幅度进一步变小、差异性进一步减弱、结构一致性较高. 其中“高纯技术效率型”港口规模最大, TFPI 最小, 各项动态指标一致性最高.

综上分析可知, 评价期内我国沿海各类港口的运营效率均有所改善, 其中中小型港口运营效率改善明显, 但港口间差异性较大; 大中型港口运营效率改善幅度较小, 但港口间的一致性较高; 除小型港口外, 其他规模的港口 TCI 均大于 TECI, 表明其技术进步作用较强.

3 结论

本研究首先运用 DEA 方法对我国沿海 37 个主要港口在 2009~2014 年间的运营效率进行了静态评价, 并基于运营效率静态评价结果的平均值进行了聚类分析. 结果表明, 根据 TE、PTE 和 SE 这 3 个运营效率指标, 可将我国沿海主要港口分成“低效率型”“高规模效率型”“高效率型”和“高纯技术效率型”4 类, 其平均规模渐次由小及大; 随着平均规模的增加, 港口的 TE 和 SE 均与之呈倒

“U”型关系, 且 TE 是导致我国沿海主要港口运营效率不高的主要原因.

在静态评价的基础上, 运用 MI 方法对同期各港口的运营效率进行了动态评价. 结果表明, 除福州港外, 在评价期内我国沿海主要港口的运营效率均呈现改善态势, 各类港口运营效率的平均改善幅度及其标准差与港口的平均规模成反比, “低效率型”港口的运营效率改善幅度最大, 但差异性也最大, 而“高纯技术效率型”港口的运营效率改善幅度最小, 但一致性最高.

参考文献:

- [1] Roll Y, Hayuth Y. Port performance comparison applying data envelopment analysis[J]. Maritime Policy and Management, 1993, 20(2):153-161.
- [2] Tongzon J L. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis[J]. Transportation Research Part A (Policy and Practice), 2002, 35:113-128.
- [3] 王玲, 毕志雯. 基于三阶段 DEA 模型的我国主要内河港口效率研究[J]. 产业经济研究, 2010(4):40-49.
- [4] Chudasamma K M, Kiran P. Measuring efficiency of Indian ports: An application of data envelopment analysis [J]. The ICFAI University Journal Infrastructure, 2008, 6(2):45-64.
- [5] 李兰冰, 刘军, 李春辉. 两岸三地主要沿海港口动态效率评价——基于 DEA-Malmquist 全要素生产率指数[J]. 软科学, 2011(5):80-84.
- [6] Barros C P. Productivity assessment of African seaports [J]. African Development Review, 2012, 24(1):67-78.
- [7] 曹玮, 于清波. 基于 DEA 和 Malmquist 指数的福建沿海港口效率分析[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(4): 89-96.
- [8] Willmsmeier G, Tovar B, Sanchez R J. The evolution of container terminal productivity and efficiency under changing economic environments[J]. Research in Transportation Business & Management, 2013, 8(3):50-66.
- [9] Ding Z Y, Jo G S, Wang Y, et al. The relative efficiency of container terminals in small and medium-sized ports in China[J]. The Asian Journal Shipping and Logistics, 2015, 31(2):231-251.
- [10] Martinez B E, Diaz A R, Navarroi M, et al. Study of the efficiency of Spanish port authorities using data envelopment analysis[J]. International Journal of Transport Economic, 1999(XXVI):237-253.

- [11] Martinez B, Muhammad Z S. Technical efficiency analysis of container terminals in the middle eastern region[J]. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 2015, 31(4):477-486.
- [12] Charens A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978(2):429-444.
- [13] Banker R D. Estimating most productive scale size using data envelopment analysis[J]. European Journal of Operations Research, 1984, 17:35-44.
- [14] Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some model for estimating technical and scale inefficiencies data envelopment analysis[J]. Management Science, 1984, 30(9):1078-1092.
- [15] 魏权龄, 岳明. DEA 概论与 C^2R 模型—数据包络分析[J]. 系统工程理论与实践, 1989(1):58-69.
- [16] 陈珊珊, 刘桂云. 基于 DEA 模型的集装箱港口柔性服务效率评价[J]. 宁波大学学报(理工版), 2016, 29(3): 128-132.
- [17] 沈毅, 陈锋. 六种常见的条件系统聚类法比较[J]. 中国卫生统计, 2004, 21(6):338-340.
- [18] 周开乐, 杨善林, 丁帅, 等. 聚类有效性研究综述[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(9):2417-2431.
- [19] Caves D W, Christensen L R, Diewart W E. The economic theory of index numbers and measurement of input, output and productivity[J]. Economic, 1982, 50: 1393-1414.
- [20] Fare R, Grosskopf S, Russell R. Index Numbers: Essays in Honor of Sten Malmquist[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998:85-101.
- [21] 成钢, 钱振华. 基于相邻共同参比方法的 Malmquist 模型[J]. 系统工程, 2012, 30(2):105-109.

Evaluation of national coastal major ports' efficiency based on DEA-MI-CA method

SUI Xiao-yan¹, JIANG Gui-yan^{1,2,3,4*}, CAO Peng-liang¹, DU Chun-cheng¹

(1.Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Ningbo University Sub-centre, National Traffic Management Engineering & Technology Research Centre, Ningbo 315211, China;

3.Jiangsu Province Collaborative Innovation Center for Modern Urban Traffic Technologies, Nanjing 210096, China;

4.Collaborative Innovation Center of Port Economics, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to reveal the operational efficiency and development trend of China's coastal ports, DEA, CA and MI methods are used to conduct static and dynamic evaluation of 37 major national costal ports from 2009 to 2014. The results show there are great differences in the level, structure and development trend of the operation efficiency of main coastal ports in China. In the static evaluation, there is an inverted "U" relationship between the port's comprehensive technical efficiency and the average port size. Additionally, the low purely technical efficiency is the main factor which leads to the lower operational efficiency of ports. In the dynamic evaluation, besides Fuzhou port, the operating efficiency of other ports have improved during the evaluation period, the total factor productivity index and its dispersion degree decrease with the increase of port size.

Key words: coastal ports; DEA; Malmquist index; cluster analysis; efficiency evaluation

(责任编辑 史小丽)