

基于三阶段超效率DEA的港口运行效率研究

杜浩^{1,2},周昱彤^{1,2},匡海波^{1,2},孟斌^{1,2}

(1.大连海事大学综合交通运输协同创新中心,辽宁大连116026;2.大连海事大学航运经济与管理学院,辽宁大连116026)

摘要:港口作为国内和国际贸易的关键节点,如何提高其运行效率成为焦点话题。针对目前国内港口效率低下的问题,使用超效率DEA模型来测度2007—2016年我国主要沿海港口的运行效率,研究发现港口的超效率平均值呈上升趋势,个别年份存在明显的下滑现象。由于2016年是航运港口整合的关键一年,本文对2016年的港口数据单独采用三阶段超效率DEA方法进行效率测度,第一阶段利用超效率DEA模型得出的结果进行分析,第二阶段利用随机前沿模型(SFA)将影响港口效率的腹地GDP等环境变量纳入模型,尽可能剔除随机误差和外部环境对效率的影响。第三阶段使用调整后的投入产出值重新评估港口效率,获得更加准确的港口效率排名,与第一阶段的超效率结果比较发现,前后数值存在明显差异,除青岛港和上海港外其他港口都未达到DEA有效,港口效率提升的空间较大。最后基于吞吐量-效率矩阵将港口划分为精干型、强壮型、肥胖型和瘦弱型4种类型,针对性的对每种类型的港口提出改进建议。

关键词:港口效率;三阶段超效率DEA;吞吐量-效率矩阵;投入产出

中图分类号:F552 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2021)07—0022—14

一、引言

随着国家“一带一路”倡议的深入、全国区域性自贸区的不断落成及中国首个海南自由港的诞生,港口作为客货进行水陆运输转换的节点是国际贸易中不可缺少的枢纽,在国家发展中扮演着日益重要的角色。针对目前港口效率低下、港口发展不均衡的现状,各大港口积极响应交通运输部2015年1月发布的《关于全面深化交通运输改革的意见》,开始重新整合港口布局,各家航运企业也加快实施企业重组,取得了显著的阶段性成果,港口之间的资源整合态势已初步形成。2017年,交通运输部继续对港口问题进行深化改革,实施《深入推进水运供给侧结构性改革行动方案(2017—2020)》,抢抓交通运输发展黄金时期,加快水运行业提质增效升级,更好服务国家重大战略。在改革过程中,港口和企业面临许多关键问题,一是港口资源整合是不同港口资源的再配置,港口的运营效率在改革适应期间可能会受到影响;二是港口与港口之间条件不一致,形成高效率的合作模式需要进行磨合;三是港口资源整合能否真正提高港口运营效率需要进一步探究。面对这些问题,急需对改革前后的港口运营效率进行测评,直观展示出各个港口的发展情况,找出制约港口高效运营的关键原因,对港口改革的模式和方向继续完善。

另一方面,我国各大港口的发展情况有一定差距,如何对我国港口进行分类,从而有针对性地对不同类型的港口进行区别化的优化改进值得研究和重视。目前测评港口发展情况主要通过港口效率进行度量,港口效率评价能够对港口的发展情况进行具体和客观的分析,不仅有利于港口判断自身水平从而高效提升效率,也能为政府制定规划政策提供依据。

二、文献综述

目前对于港口效率特别是港口运行的效率评价方法最常用的是参数法随机前沿分析(SFA)和非参数包络分析(DEA)法。参数法评价效率问题存在指标选取任意性的问题,且变量之间可能存在复杂的非线性关系,Odeck和Brathen(2012)对比了利用SFA和DEA这两种模型评价港口效率的文献,发现使用非参数DEA模型的研究比使用SFA模型具有更低的技术效率得分。Chang和Tovar(2014)为了评估和比较秘鲁和智利港

收稿日期:2020—04—16

基金项目:辽宁省社会科学规划基金项目“辽宁省船舶融资中金融机构与航运企业双向多重风险管理研究”(L19CGL002)

作者简介:杜浩,大连海事大学航运经济与管理学院博士研究生,研究方向:管理科学与工程;周昱彤,大连海事大学航运经济与管理学院硕士研究生,研究方向:交通运输规划与管理;(通讯作者)匡海波,博士,大连海事大学航运经济与管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:港航经济管理;孟斌,博士,大连海事大学航运经济与管理学院副教授,硕士研究生导师,研究方向:港航经济管理。

口的运行效率,以2004—2010年14个港口为样本,使用随机前沿模型(SFA)来估计全要素生产率(TFP)的增长,并使用距离函数来评估它们的效率水平。然而这种参数法较为简单,并且被默认的指标可能没有相关性,随意性较大。而DEA法不需要指定技术函数关系,可以处理含有多投入和产出的系统,不仅可以测度效率,还可以进行灵敏度测试,且DEA模型测度有利于公平比较各个决策单元。因此非参数方法已成为港口效率评价的主流方法。

国内外众多学者采用DEA方法进行港口效率测量,Roll和Hayuth(1993)首次将DEA模型引入港口效率评价领域,通过理论研究,他们发现数据包络分析(DEA)在服务行业中具有特殊的适用性。但并没有用实际数据进行分析,因而后人在此基础上基于不同的假设将DEA模型演变出不同的模型,展开了更加深入的实证研究。如传统的CCR和BCC模型被广泛地应用,Tongzon(2001)将DEA-CCR和DEA可加性模型相结合分析1996年澳大利亚4个港口和其他12个国际集装箱港口的效率状况。匡海波和陈树文(2007)基于DEA-CCR模型分析比较了我国主要的七大沿海港口,得出了各个港口的效率得分与排名。之后一些学者又将CCR和BCC模型结合起来分析,可将规模效率从效率中分解出来,先通过CCR模型获得技术效率(TE),然后从BCC模型中获得纯技术效率(PTE),由此算出规模效率(SE, $SE=TE/PTE$),这是为了辨识低效率的原因是否是规模上存在问题,从而决定是扩大规模还是缩减规模来提高港口运行的低效率。例如,Hung et al(2010)利用DEA的经典的CCR和BCC模型来研究了亚洲31个集装箱港口的效率。Beuren et al(2018)采用BCC、CCR模型对巴西的主要港口进行效率测度。

随着研究的进一步深入,Tone和Tsutsui(2009)基于DEA模型发展出SBM-DEA模型,这一模型进一步将效率分解,细化为3个部分:混合效率(MIX)×纯技术效率(PTE)×规模效率(SE),这可以进一步分析决策单元效率低下的具体原因。冯烽等(2017)利用DEA-SBM模型对我国2010—2015年17个港口上市公司的运营效率进行测度,从各个港口上市公司的财务指标出发,从微观上考察了包括固定资产、运营成本、管理费用在内的投入对企业营业收入和净利润的效率,从而得出资源的投入是否有效地为企业带来了相应的利润产出。Na et al(2017)利用SBM-DEA模型分解出纯技术环境效率(PTEE),检测了环境效应因素对中国八大沿海港口效率的影响,得出环境效应对港口效率会产生挤出效应。

但是为了进一步确定在有效率的决策单元中哪一个更有效率,学者将SBM-DEA模型进一步发展到超效率(SUPER-SBM)模型用于判别有效单元中存在的效率差异。Wu和Goh(2010)运用超效率DEA模型对7个发达国家和14个发展中国家集装箱港口展开了研究。鲁渤和汪寿阳(2017)综合运用传统DEA方法和超效率DEA方法对中韩两国31个主要集装箱港口效率进行对比分析。而普通的DEA模型难以排除随机误差,无法考虑外部环境因素,出现了多阶段DEA模型,在处理多投入和多产出效率的问题时具有明显的优势,许多学者采用多阶段DEA模型对港口效率进行评价。Yuen et al(2013)选取码头长度、码头区域、码头起重机和堆场龙门吊数量作为输入指标,货物吞吐量作为输出变量,采用DEA两阶段研究了2003—2007年我国21大集装箱港口的运行效率。Oliveira和Cariou(2015)采用三阶段级联DEA模型动态评估了2007—2010年全球200个主要集装箱港口的运营效率,所用的投入指标有堆场面积、码头长度和装卸设备的数量。

现有研究在港口效率评价方面取得了一定进展,但还存在一些不足之处,一是传统的DEA模型只能评价港口的有效和无效,难以进一步对港口效率详细排名;二是研究只是从单方面分析了投入变量对产出的影响是否有效,并未考虑其他影响港口运作效率的因素,如腹地规模、交通网络状况、腹地人均GDP、股权结构等,这些外部变量同时会影响港口效率的打分。这时单纯使用非参数法的DEA模型无法考虑其他外部因素,因而无法克服随机误差,得出的结果会有失偏颇;三是从数据上看,指标体系不完整,或是对效率没有进一步分解,缺乏详细的分析。

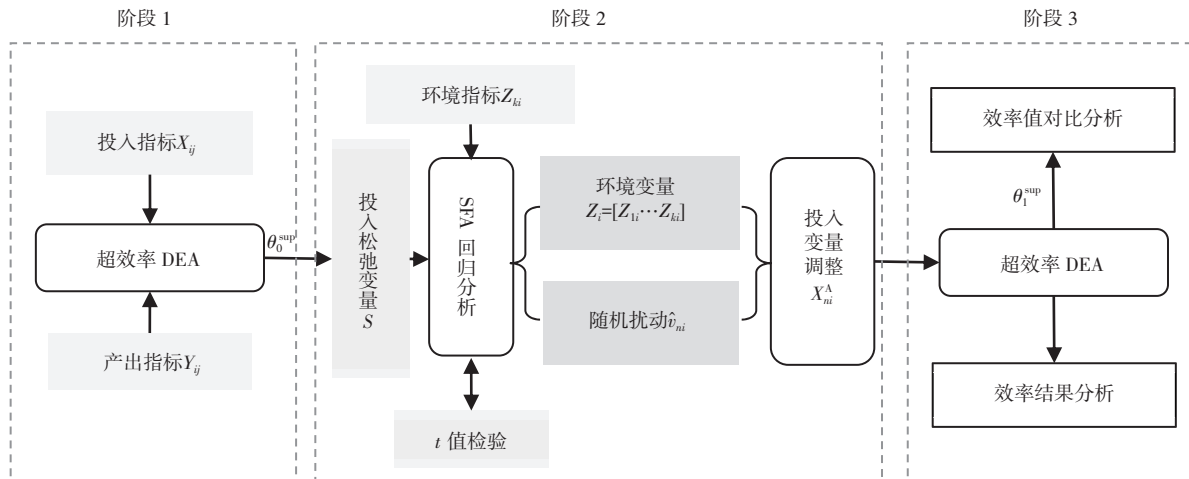
基于以上分析,对于港口效率评估问题,本文对原有的传统DEA模型做出了改进,采用以超效率DEA模型为基础的三阶段DEA法评价我国沿海港口运行效率。三阶段DEA模型是参数法和非参数法的结合,通过三阶段DEA模型能够将外部的环境因素投入模型,弥补非参数模型的测量误差,得到修正的结果。本文基于港口改革后的关键一年(2016年)的港口数据,选择码头长度、生产用泊位长度等投入指标和集装箱吞吐量、货物吞吐量等产出指标,剔除腹地GDP、对外贸易依存度等环境因素和随机扰动对效率值的影响,利用超效率DEA模型对港口的运行效率进行测度与排名。同时在第一阶段利用2007—2016年10年的港口数据,对10年间港口效率的情况进行对比,分析得出10年间港口的发展情况,更加直观地判断港口改革的成效性。最后根据港口先天性的差异,利用吞吐量-效率矩阵对港口进行分类,将每个港口的不同环境特征纳入

影响港口效率的因素中,分析港口效率产生差异的原因,为各个港口提供有针对性的参考意见,帮助瘦弱型港口向精干型港口发展,肥胖型港口向强壮型港口发展。

三、三阶段超效率 DEA 模型

(一) 第一阶段

三阶段 DEA 模型最早是由 Fried 在 1999 年和 2002 年相继提出的,前者只考虑了环境因素的影响,而后者将环境因素、随机噪声和管理无效率同时引入到 DEA 模型,被称为三阶段 DEA 模型,基本原理如图 1 所示。本文在剔除环境因素的影响下,拟通过超效率 DEA 模型改进三阶段 DEA 模型,测算我国 10 个主要沿海港口的运行效率。



θ_0^{sup} 表示超效率 DEA 模型的效率值; θ_1^{sup} 表示经过调整后的超效率 DEA 模型的效率值

图 1 三阶段超效率 DEA 结构原理

第一阶段目的:采用 SUPER-DEA(超效率 DEA)模型进行初始效率的测量,在这一阶段得到的决策单元效率值为后续第二阶段提供输入数据,经过第二阶段将环境变量和随机扰动排除后进入第三阶段,与第三阶段的效率结果进行对比。

思路:超效率 DEA 模型由 Andersen 和 Petersen 于 1993 年提出,可以解决传统 DEA 模型只能评价决策单元的有效和无效这一局限,能对各有效决策单元之间的效率高低进行比较。在对决策单元进行评价时,将该决策单元本身排除在单元的集合之外。在进行第 i_0 个决策单元效率评价时,使第 i_0 个决策单元的投入和产出被其他所有决策单元投入和产出的线性组合代替,而将第 i_0 个决策单元排除在外,一个有效的决策单元可以使其投入按比率增加,而其效率可保持不变,其投入增加比率即其超效率评价价值。

模型:选择以投入为导向的 SUPER-DEA 模型,如公式(1)所示。

$$\begin{aligned} & \min \theta_0^{sup} - \varepsilon(e^T S^- + e^T S^+) \\ & \text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + S^- = \theta_0^{sup} X_{i_0} \\ \sum_{j=1}^n Y_{ij} \lambda_j - S^+ = Y_{i_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, S^-, S^+ \geq 0, j \neq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

其中: θ_0^{sup} 表示综合超效率值;每个决策单元有 r 项输入, s 项输出,即 $DMU_j = (x_j, y_j)$, $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{rj})^T$, $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$, X_{ij} 表示第 i 年第 j 个决策单元的投入值; Y_{ij} 表示第 i 年第 j 个决策单元的产出值; $i = 1, 2, \dots, m$ 为 m 年; $j = 1, 2, \dots, n$ 表示 n 个决策单元; λ_j 表示第 j 个决策单元的权重; X_{i_0} 、 Y_{i_0} 表示评价单元的投入、产出值; S^- 、 S^+ 表示松弛变量。

式(1)中目标函数释义:目标函数值关于松弛变量 S^- 、 S^+ 递减,超效率值 θ_0^{sup} 在 $S^+ = S^- = 0$ 情况下最大,即 DMU 有效, $\tilde{e}^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_r$, $e^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_s$, ε 表示非阿基米德无穷小量。

式(1)中约束条件释义:第 1 个和第 2 个约束条件分别为投入变量和产出变量的约束条件。等式左端为各类指标的实际值加(减)松弛量,右端为在有效前沿面的理想值。其中, $\sum_{j=1}^n X_{ij}\lambda_j$ 表示决策单元(DMU_o)投入指标达到有效前沿面的线性组合, $\sum_{j=1}^n Y_{ij}\lambda_j$ 表示决策单元(DMU_o)产出指标达到有效前沿面的线性组合。

式(1)的经济学含义:相较于传统 DEA 模型效率有效为 1,超效率 DEA 模型的效率值 θ_0^{sup} 可以大于 1, $\theta_0^{sup} \geq 1$ 表示决策单元有效,可以根据超效率值的大小进行有效决策单元效率排序。若 $\theta \geq 1$, $S^+ = S^- = 0$, 则 DMU 的综合效率(technical efficiency, TE)有效,且纯技术效率(pure technical efficiency, PTE)与规模效率(scale efficiency, SE)均有效;若 $\theta \geq 1$, $S^+ \neq 0$, 或 $S^- \neq 0$, 则决策单元为弱 DEA 有效,为技术有效而非规模有效;若 $\theta < 1$, 则决策单元为非 DEA 有效。

(二)第二阶段

第二阶段目的:通过随机前沿模型(SFA)剔除环境变量和统计噪声对决策单元有效性的影响。在第一阶段通过 SUPER-DEA 模型可以得到各投入项的松弛变量值,而松弛变量主要由三个因素组成:环境因素、随机噪声和管理无效率。因此在第二阶段利用随机前沿模型主要是为了将环境变量和统计噪声排除出去,只留下由管理无效率造成的松弛变量。

SFA 检验方法:使用随机前沿模型之前需要检验管理无效率项是否存在,若不存在,则不需要使用随机前沿模型进行回归,仅使用最小二乘法(OSL)消除统计噪声来估计模型。本文通过单边的广义似然比模型进行检验,并采用 Frontier4.1 软件实现检验。

模型:由于第一阶段采用了以投入为导向的模型。因此第二阶段仅对投入松弛变量执行 SFA 回归。其次,在回归方程的选择上有两种方法,一是每个投入松弛变量都需要一个回归方程,二是所有投入松弛变量结合起来使用一个回归方程。本文借鉴了 Fried et al(2002)的观点,采用第一种方法,选择估计 N 个单独的 SFA 回归,即允许环境变量对不同的松弛变量有不同的影响,这样大大提高了模型的灵活性。

步骤一:建立松弛变量,即投入指标的实际效率值与最优边界效率的差值,如式(2)所示:

$$S_{ni} = x_{ni} - x_{ni} \times \lambda, \lambda > 0, i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

其中: S_{ni} 表示第 i 个决策单元的第 n 项投入的松弛变量值; x_{ni} 表示第 i 个决策单元的第 n 项投入值; $x_{ni} \times \lambda$ 表示第 i 个决策单元的第 n 项投入值在效率前沿面的最优映射。

步骤二:构建类似随机前沿模型,建立松弛变量和环境变量的回归模型,其模型公式参考 Zhao et al (2019),如式(3)、式(4)所示:

$$S_{ni} = f(Z_i; \beta_n) + v_{ni} + \mu_{ni}, i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$\gamma_n = \frac{\sigma_{\mu n}^2}{\sigma_{v n}^2 + \sigma_{\mu n}^2} \quad (4)$$

其中: S_{ni} 表示第 i 个决策单元的第 n 项投入的松弛变量值; $Z_i = [Z_{i1} \dots Z_{ik}]$ 表示 k 个对投入指标产生影响的外部环境变量; $\beta_n = [\beta_{n1} \dots \beta_{kn}]$ 表示 k 个外部环境变量的待估系数; v_{ni} 表示随机误差项; μ_{ni} 表示管理无效率; $v_{ni} + \mu_{ni}$ 是一组混合误差项, v_{ni} 与 μ_{ni} 相互独立; v_{ni} 表示随机扰动对投入松弛变量的影响,它对总成本有不可控的影响,既可以降低成本也可能提高成本,且服从正态分布 $v_{ni} \sim N(0, \sigma_{v n}^2)$; $f(Z_i; \beta_n)$ 表示确定的可行松弛前沿; $f(Z_i; \beta_n) + v_{ni}$ 表示随机的可行松弛前沿; μ_{ni} 表示管理无效率对投入松弛变量的影响,它表示由于管理无效而引起的总成本的增加,当 $\mu_{ni} = 0$ 时表示港口达到了最低成本的效率前沿,反之若 $\mu_{ni} > 0$, 则港口因管理无效付出了更大的成本,因而其服从在零点截断的单边正态分布,即 $\mu_{ni} \sim N^+(0, \sigma_{\mu n}^2)$ 。 γ_n 接近 1 表示管理效率的低下是 DMU 效率低下的主要原因,而 γ_n 接近于 0 表示 DMU 的效率低下主要由白噪声导致。

(三)第三阶段

(1)第三阶段目的。根据第二阶段的结果,将投入变量值调整为考虑了环境因素和统计噪声后的修正的投入变量值,然后再次使用第一阶段方法重新评估 DEA 效率。调整的本质是将所有决策单元置于相同的外

部环境和相同的运气水平之下,使低效率产生的原因只限于由港口内部投入变量所引起。

(2)模型。本文调整方式为增加环境较好或运气较好的决策单元的投入,其调整公式参考 Jondrow et al (1982),如式(5)所示:

$$X_{ni}^A = X_{ni} + [\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)] + [\max(\hat{v}_{ni}) - \hat{v}_{ni}], i = 1, 2, L, I; n = 1, 2, L, N \quad (5)$$

其中: X_{ni}^A 表示调整后的投入; X_{ni} 表示调整前的投入; $Z_i = [Z_{i1} \dots Z_{ik}]$ 表示 k 个对投入指标产生影响的外部环境变量; $\hat{\beta}_n = [\hat{\beta}_{1n} \dots \hat{\beta}_{kn}]$ 表示第二阶段估计出来的 k 个外部环境变量前的系数; \hat{v}_{ni} 表示估计的随机误差项(估计公式见下文); $[\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)]$ 是对外部环境因素的调节,这样对所有决策单位来说都具有相同的运气水平; $[\max(\hat{v}_{ni}) - \hat{v}_{ni}]$ 是将所有决策单元至于相同运气水平下。

本文估计随机误差项的方法借鉴罗登跃(2012)的思想,其期望值的计算公式为

$$E[v_{ni} | v_{ni} + \mu_{ni}] = s_{ni} - f(z_i; \beta_n) - E[\mu_{ni} | v_{ni} + \mu_{ni}], i = 1, 2, L, I; n = 1, 2, L, N \quad (6)$$

其中: $E[v_{ni} | v_{ni} + \mu_{ni}]$ 表示管理无效的期望值。

设 $\varepsilon = v + \mu, \sigma_v = \frac{\sigma_\mu \sigma_v}{\sigma}, \sigma = \sqrt{\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2}, \lambda = \sigma_\mu / \sigma_v$,三阶段 DEA 模型管理无效率的计算公式为

$$E(\mu | \varepsilon) = \sigma \left[\frac{\phi\left(\lambda \frac{\varepsilon}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\lambda \frac{\varepsilon}{\sigma}\right)} + \frac{\lambda \varepsilon}{\sigma} \right] \quad (7)$$

通过以上步骤可以计算出调整后的投入变量值 X_{ni}^A ,然后再利用第一阶段 DEA 模型重新测算港口效率,此时的效率已经剔除环境因素和随机误差项的影响,其结果相对真实准确。

式(1)~式(7)的特点:利用超效率 DEA 模型对决策单元效率进行测算,决策单元超效率值可以大于 1,可以将已经有效的决策单元进行效率值排序,解决传统 DEA 模型只能得出决策单元有效而无法进一步排序的问题。利用三阶段 DEA 模型,在第一阶段使用超效率 DEA 模型进行效率测度,在第二阶段引入参数法的随机前沿模型(SFA),考虑了环境因素对模型的影响,使得第三阶段重新测得的效率结果与客观情况更加一致。通过三阶段超效率 DEA 模型可以剔除环境因素和随机误差项的影响,克服传统 DEA 模型难以将环境因素投入模型的及随机误差扰动的缺点,使得到的结果更加客观真实。本文中运用式(1)对 2007—2016 年我国 10 个港口的超效率进行测算,运用式(2)~式(6)对 2016 年港口的效率进行三阶段 DEA 测算。

四、实证分析

(一)指标筛选及数据来源

港口生产不同于其他工业制造企业,并不会产出实体化的产品,而是以提供运输、物流、仓储服务为主,所以根据我国集装箱港口行业的生产特点(Tongzon, 2001; Turner et al, 2004; 毕功兵等, 2010; Low et al, 2013; 李丹等, 2015)与本文研究目的,本文中投入指标主要从资本、土地、劳动力 3 个方面考虑,共选用了 4 个投入变量,包括:生产用码头长度总计、生产用泊位数量、装卸设备台数、年末的在岗职工人数。关于产出变量的选取,纵观国内外港口绩效评价的文献,学者们普遍都把港口货物吞吐量和集装箱吞吐量作为主要的期望产出指标,因而本文同样选择这两个指标反映港口的产出能力。

另外,将外部环境变量考虑其中,将腹地城市 GDP、地区固定资产投资总额及对外贸易依存度作为影响港口运营的环境变量。港口物流业的发展与腹地经济存在一种协同发展的关系,一方面港口物流业是腹地经济重要的组成部分,为腹地城市融入贸易全球化提供了平台;另一方面,腹地城市为港口发展提供充足的货源供给与强大的经济支持(郎宇和黎鹏, 2005; Kveiborg 和 Fosgerau, 2006)。货运来源及国内外货运渠道的发展趋势表明:一个国家和地区的货运需求主要取决于总人口数、固定资产投资、国内生产总值、货运通道线路长度、进出口总量和运输工具保有量等因素(Wanke, 2013)。一般情况下如果一个港口的腹地城市 GDP 总量较大、人口数量位居前列、固定资产投资较多则它对航运的需求也会较大,投入的港口基础设施也会较多,

使得它在港口效率评价中占据优势。为了剔除腹地经济状况对港口效率评价的影响,选择腹地GDP与地区固定资产投资总额作为环境指标。对外贸易依存度指的是进出口总额占GDP的比重,它可以反映一个地区的外向性,由于本文所选的沿海港口都是各省份最主要的进行对外贸易的运输节点,也就是说各省份的海上运输大部分都是由本文所选取的沿海港口完成的,所以对外贸易依存度选用的是分省数据,也就是说,同一省内的港口对外贸易依存度相同。若一个港口所在省份的进出口总额占本省GDP的比重较大,外向程度较高,则说明港口贸易是其经济的重要组成部分,一般来说,较大的航运需求会促使本地航运业的进步与繁荣,在很大程度上会有利于提高港口的运行效率,所以为了平滑对外贸易对港口效率的影响,将对外贸易依存度纳入环境指标体系。变量定义及数据来源见表1。

本文中选取我国10个主要沿海港口,包括大连港、天津港、青岛港、烟台港、连云港、上海港、宁波-舟山港、广州港、汕头港、湛江港。这些港口存在两个共同点:一是均为沿海港口,涉及较多的进出口贸易,是我国航运经济的主要力量;二是均为我国规模以上的主要港口,货物吞吐量均超过亿吨,集装箱吞吐量均超过1万标准箱,占据全国港口总吞吐量的65%以上,且均匀分布于我国四大港口群:环渤海湾港口群、长三角港口群、珠三角港口群和北部湾港口群,可以反映我国港口的整体水平。

表1 变量定义及数据来源

变量类型	变量名称	变量代码	数据来源	参考文献
投入变量	码头长度	<i>low</i>	2007—2016年前瞻数据库-行业经济数据-交通	毕功兵等(2010),Low et al(2013)
	生产用泊位长度	<i>lob</i>	2007—2016年前瞻数据库-行业经济数据-交通	Tongzon(2001),Turner et al(2004),毕功兵等(2010),Low et al(2013)
	企业年末的在岗职工人数	<i>now</i>	2007—2016年《中国港口集装箱运输年鉴》	Tongzon(2001)
	装卸设备台数	<i>noe</i>	2007—2016年《中国港口年鉴》	Turner et al(2004),毕功兵等(2010)
产出变量	集装箱吞吐量	<i>ct</i>	2007—2016年《中国港口年鉴》	Tongzon(2001),毕功兵等(2010),Low et al(2013),Wanke(2013)
	货物吞吐量	<i>gt</i>	2007—2016年前瞻数据库-行业经济数据-交通	Turner et al(2004),毕功兵等(2010),Low et al(2013),Wanke(2013)
环境变量	腹地GDP	<i>gdp</i>	2007—2016年各省统计年鉴	Kveiborg和Fosgerau(2006),Wanke(2013)
	地区固定资产投资总额	<i>ifa</i>	2007—2016年各省统计年鉴	Kveiborg和Fosgerau(2006),Wanke(2013)
	对外贸易依存度	<i>fi</i>	2007—2016年各省统计年鉴	Kveiborg和Fosgerau(2006)

在投入产出指标方面,主要是从2007—2016年的《中国港口年鉴》中提取了生产用码头长度总计、生产用泊位数量、装卸设备台数、年末在岗职工人数、货物吐量、集装箱吞吐量6个指标的数据,共600个样本点。

在环境指标方面,根据各个港口的腹地范围找到各个省份的统计年鉴,从中提取各市的GDP总量、固定资产投资总额、对外贸易进出口总额这3个宏观经济变量,共300个样本点。例如,针对大连港,其腹地城市大连市所在省份为辽宁省,从《辽宁省统计年鉴》中提取出其中的GDP总量、固定资产投资总额、对外贸易进出口总额3个指标。

根据上述指标数据对我国10个主要沿海港口进行效率的10年间的效率比较分析,并基于改革后的关键一年(2016年)的港口效率数据投入三阶段DEA模型中,通过随机前沿面法对投入值进行处理剔除干扰,使结果更加准确,最后使用调整后的投入值进行2016年我国10个港口DEA效率值的分析。

(二)第一阶段初始DEA效率分析

在三阶段DEA的第一阶段过程中,需要根据我国10个主要沿海港口样本的数据指标,运用DEA模型计算出各个港口对应的效率值。本文在第一阶段运用超效率DEA模型进行港口效率值的测算,进行港口效率排名,并对10个港口在2007—2016年10年间的超效率平均值进行结果比较,首先分析了10年内港口效率变化,得出我国港口发展趋势,再选择港口改革后的关键一年(2016年)的港口效率作为三阶段DEA模型主要分析对象。

1. 超效率DEA模型结果分析

在第一阶段先利用超效率(SUPER-DEA)模型对我国2007—2016年10个主要沿海港口进行效率比较分析,这样可以初步观察到10年来我国航运业的整体情况及各港口近10年来的发展趋势。通过模型分析的结果,可以得到2007—2016年10大沿海港口超效率结果的平均值,如图2所示。

从图 2 的结果可知,从整体来看 2007—2016 年 10 个主要沿海港口的超效率平均值是呈上升趋势,从 0.7185 提升至 0.8393,港口的运行效率在稳步提升,但是可以发现在少数年份存在明显的下滑现象,例如,在 2008 年由于国际金融危机的影响,港口效率受到重创,平均值从 0.7185 一度下滑至 0.6607,降幅达到 8.04%,是 10 年来同比跌幅最大的一次。2008 年的金融海啸波及全球市场,并从虚拟经济扩散到实体经济,特别是对于航运业,全世界进出口贸易额的急剧收缩使得各集装箱港口的吞吐量大幅减少,融资困难,运价狂跌,在港口基础设施投入不变的情况下,产出的减少使得港口运行效率明显下滑,但是我国各港口应对这场危机的策略是及时且有效的,从实证结果可以看出,在 2009 年港口超效率的平均值迅速回升,涨幅近 12%,这与国家出台的各项整顿港口的政策是密不可分的,在金融危机的冲击下我国航运企业根据市场格局变化,适时调整产能结构,拓展新的航运市场,在一定程度上扭转了颓势,如中国远洋 2009 年的业绩报表“逆势上涨”,化危机为转机。在此后的三年 10 个港口的超效率平均值都处于缓慢爬升的阶段,这与全世界航运业低迷的环境密不可分,但在 2013 年效率平均值再一次显著下跌,航运业进入低谷,我国各大港口大多运力过剩,在市场萎缩的环境下竞争日益加剧,使得运行效率普遍下降,港口改革迫在眉睫。在过去的三年中,从 2014—2016 年,我国港口改革的方向是实现航运企业重组,通过成立自贸区,港群整合,资源共享,抱团取暖的方式来缓解港口间恶性竞争、效率低下的问题,在政策的带动和码头运营商的努力下,10 个港口的效率平均值也在稳步提升,整体而言港口效率情况在不断改善,但各个港口的效率仍存在差异,表 2 显示了 2007—2016 年 10 个主要沿海港口各自的超效率值和排名情况。

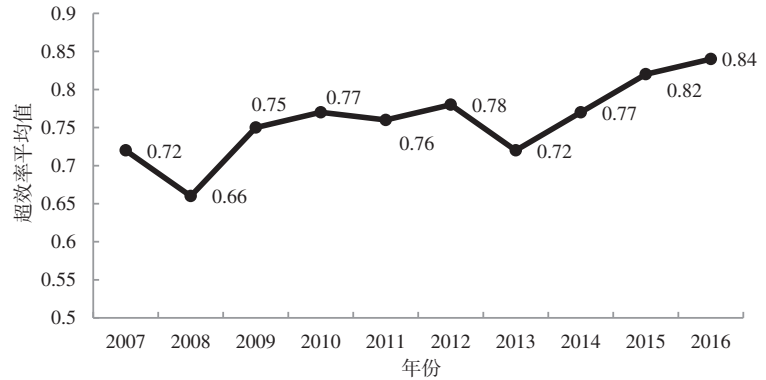


图 2 2007—2016 年 10 大港口超效率平均值

从表 2 可知,10 年来青岛港和天津港的效率值一直处于前列,特别是青岛港 10 年的效率值都大于 1,处

表 2 2007—2016 年 10 个主要沿海港口的超效率值和排名

年份	上海港		青岛港		天津港		连云港		宁波-舟山港	
	超效率值	排名	超效率值	排名	超效率值	排名	超效率值	排名	超效率值	排名
2007	2.2022	1	1.2041	2	0.6817	3	0.6508	4	0.5063	5
2008	0.5652	6	1.4636	1	0.8115	3	0.8292	2	0.5784	5
2009	0.5720	7	1.8490	1	0.9528	2	0.7290	3	0.6402	5
2010	0.5733	8	1.9303	1	0.8588	2	0.8187	3	0.6019	6
2011	0.4278	8	1.9098	1	0.8638	3	0.9237	2	0.7023	5
2012	0.5957	7	1.9714	1	0.8577	3	0.9128	2	0.6121	6
2013	0.5863	6	1.9979	1	0.7833	3	0.8678	2	0.6679	4
2014	0.7696	5	2.0198	1	0.9289	2	0.8504	3	0.8058	4
2015	0.7194	4	2.0324	1	0.9381	2	0.8989	3	0.6419	6
2016	0.8534	3	2.0106	1	0.9542	2	0.7358	7	0.8360	4

年份	烟台港		广州港		大连港		湛江港		汕头港	
	超效率值	排名	超效率值	排名	超效率值	排名	超效率值	排名	超效率值	排名
2007	0.4828	6	0.4354	7	0.4030	8	0.3893	9	0.2298	10
2008	0.5359	7	0.5863	4	0.4999	8	0.4339	9	0.3036	10
2009	0.6095	6	0.6594	4	0.5583	9	0.5652	8	0.3171	10
2010	0.6760	4	0.6400	5	0.5899	7	0.5578	9	0.4117	10
2011	0.8753	4	0.6271	5	0.4605	7	0.4905	6	0.3272	10
2012	0.8036	4	0.5788	8	0.4965	9	0.6284	5	0.3535	10
2013	0.5731	7	0.4513	8	0.3993	9	0.6096	5	0.2484	10
2014	0.3935	9	0.4620	8	0.4922	7	0.6088	6	0.3531	10
2015	0.5991	8	0.6118	7	0.5230	9	0.7127	5	0.4768	10
2016	0.7919	6	0.6043	8	0.4231	9	0.8135	5	0.3700	10

于效率的前沿面,其高效率相比于其他9个港口越来越突出,这与其发展现状是符合的,1995年以来,青岛港一直是全国交通运输系统的典型代表,同时青岛市政府也十分支持港口经济的发展,提出“以港兴市”的战略,在一系列投资建设的带动下青岛港集装箱吞吐量在2007—2016年10年间涨幅达到118%,货物吞吐量的涨幅也达到了89%,是在基数较大的大港中增幅最快的港口,在2015年青岛港已跃居世界吞吐量港口第七位,与世界吞吐量排名第一的上海港相比,其运行效率值得借鉴。

从表2中可以看出,上海港在2007年的效率值排名第一,并在数值上远远超过其他港口,但在2008年急剧跌至第六名,且在之后的五年中排名靠后,处于无效率的状态。这也是由于上海港在所有港口中与国际接轨,也最能感受到金融风暴带来的切肤之痛。对于上海港而言,出口到美国的集装箱占集装箱吞吐量的20%,在全球贸易缩减,运力过剩,航运业不景气的背景下,上海港的产出并不乐观,增速明显低于湛江港、营口港等一些小港的增速,导致其投入产出没有达到最优。但在近三年,上海港着力于建设成为现代化国际性枢纽港,重视港口先进基础设施的建设,同时发展“长江战略”,与长三角港口群形成战略联盟,实现资源整合,2013年上海自贸区的建成扩大了上海港的货源腹地,也得到了更多的政府支持,因而效率在近三年稳步提升,在2016年超效率值重新名列第三。

通过表2还可以发现,汕头港在10个港口中效率值一直排名末尾,且数值较低,与其他港口的差距较大,主要是由于其港口功能更多地面向客运而非货运,所以货物吞吐量和集装箱吞吐量的产量明显较低。而且由于珠三角港口群中广州港和深圳港占据了较大的市场份额,因而汕头港的货源严重不足,只有不断转型调整才能有所突破。

2. 关键年份的效率分析

通过超效率DEA模型结果分析可以看出,近10年10个港口的效率变化,但由于超效率DEA模型忽视了外部因素对决策单元的影响,因而其效率结果仍不准确,所以本文考虑加入随机前沿模型(SFA)完善其效率评价。由于三阶段DEA模型运行较为复杂,且具有适用性,并非每年的数据都能通过最大似然比的检验,所以本文将选取近年来我国航运改革最关键的一年进行单独分析。

作为国际干散货航运市场趋势的晴雨表,BDI指数是航运业最关键的经济指标,因而本文借助BDI指数走势图,发现2016年是国际航运市场较为关键的一年,其走势图如图3所示。

从图3可以观察到,在2016年BDI指数实现了触底反弹,可以说是国际航运业持续低迷达到谷底后逐渐复苏的转折点。同时,对于中国航运市场来说,2016年被称为是航运整合年,在这一年各大船公司不断落实自2015年出台的国家港口整合政策,因而本文选取2016年进行重点研究,可以此分析近几年的港口改革是否取得成效。图4具体展示了2016年第一阶段10大港口的超效率值得分情况。

从图4可看出,在第一阶段中,2016年港口超效率值大于1的只有青岛港,紧随其后的是天津港、上海港和宁波-舟山港这三大港口,它们的超效率值也都超过了0.8,但仍然存在改进

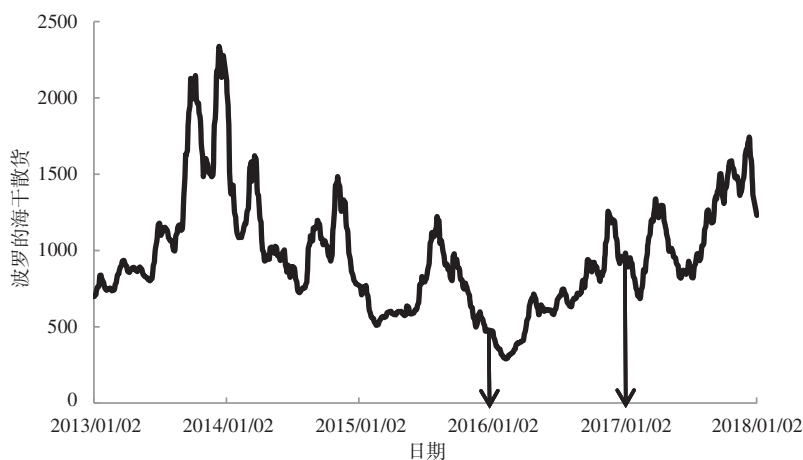


图3 2013—2017年BDI走势图

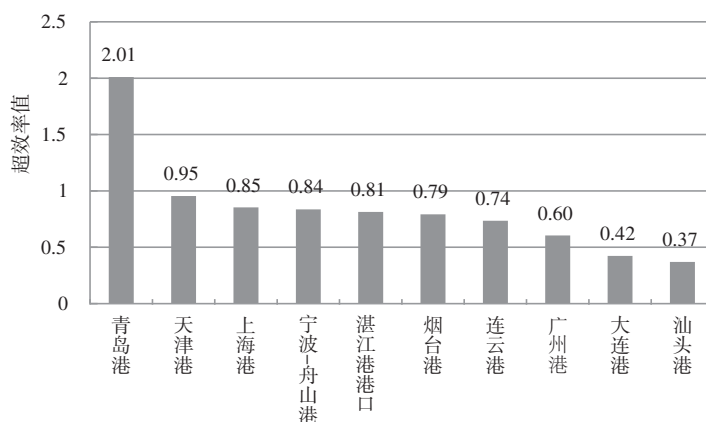


图4 2016年10大港口超效率值

的空间。同样作为国内主要大港之一的广州港却效率较低,为了探究以上 9 个港口无效率的原因,本文基于“投影原理”对非 DEA 有效的港口进行改进,表 3 显示了各投入指标的实际值、目标值与松弛变量。

表 3 各投入指标的实际值、目标值与松弛变量

港口	投入实际值				投入目标值				投入松弛变量			
	<i>low</i>	<i>lob</i>	<i>now</i>	<i>noe</i>	<i>low</i>	<i>lob</i>	<i>now</i>	<i>noe</i>	<i>low</i>	<i>lob</i>	<i>now</i>	<i>noe</i>
	A-(1)	A-(2)	A-(3)	A-(4)	P-(1)	P-(2)	P-(3)	P-(4)	S-(1)	S-(2)	S-(3)	S-(4)
大连港	44642	222	6164	171	44642.00	187.90	6147.25	148.74	0.00	34.10	16.75	22.26
天津港	39389	160	4239	99	31251.53	110.76	4239.00	89.26	8137.47	49.24	0.00	9.74
青岛港	26762	94	3676	77	19119.46	94.00	1173.65	37.24	7642.54	0.00	2502.35	39.76
烟台港	20624	94	2462	96	18485.84	69.42	2462.00	60.82	2138.16	24.58	0.00	35.18
连云港	15817	64	2505	42	14919.65	54.64	2137.16	42.00	897.35	9.36	367.84	0.00
上海港	109222	592	8922	286	71445.29	281.50	8922.00	201.42	37776.71	310.50	0.00	84.58
宁波-舟山港	91029	606	8103	290	64244.82	272.60	8103.00	189.45	26784.18	333.40	0.00	100.55
广州港	54508	485	5451	243	44066.91	241.59	5450.80	152.12	10441.09	243.41	0.00	90.38
汕头港	9898	87	990	54	8901.92	64.17	989.80	41.69	996.08	22.83	0.00	12.31
湛江港	18494	144	2313	154	17147.71	74.97	2313.00	68.13	1346.29	69.03	0.00	85.87

注:A表示投入指标的实际值;P表示投入指标的目标值;S表示投入指标的松弛变量。

3. 基于投入变量的改进分析

由于本文采用的是投入导向型的超效率 DEA 模型。因此这里只改进投入变量。

码头长度(*low*):除了大连港达到了最优前沿面,其余 9 个港口都存在冗余,特别是像上海港、宁波-舟山港、广州港这类传统意义上的大港修正幅度分别达到了 35%、29%、19%,说明这些港口在码头建设上投入过多,存在一定的资源浪费现象,可以适当缩减码头的修建。

生产性泊位个数(*lob*):除了青岛港实现最优,其他 9 个港口都存在冗余,修正幅度最大的是宁波-舟山港,这是由于宁波港和舟山港在合并之后,基础设施充足,特别是生产性泊位个数较以前大幅增加,但两个港口的一体化程度并不高,在港口的组织管理和资源配置上没有做到统一规划,存在重复建设,多重管理的状况,因而宁波-舟山港在资源共享后应进一步整合资源,利用合并优势抢占市场,提高产出,特别是要避免不必要的重复建设。

年末企业职工人数(*now*):除了大连港、青岛港、连云港需要修正,其余港口都实现了最优,可见大部分港口人力资源的投入是合理有效的,因而对于大连港、青岛港、连云港可以适当降低人员增长速度,注重提升职工质量,在招聘、培训、考核绩效上多加改进。

装卸设备数量(*noe*):除了连云港达到最优前沿面,其余港口在设备投入上均存在冗余。修正幅度最大的是湛江港和青岛港,均超过了 50%,可见这些港口的装卸设备利用率并不高,这与设备的购买、租赁、合理使用、报废和折旧密切相关,因而这些港口有必要对设备的采购与维护加强管理,提升设备利用效率。

(三)第二阶段 SFA 回归分析

在进行完第一阶段的初步效率测度后,为了得到更加客观准确的效率值,在第二阶段纳入(*gdp*、*ifa*、*fi*) 3 个环境变量,对 2016 年 10 个港口的投入松弛变量进行 SFA 回归,本文采用的是 Frontier4.1 软件,4 个回归方程的回归结果见表 4。

通过 *t* 值可以判断系数的显著性水平,回归结果可以得到,腹地 GDP、腹地固定资产投资、对外贸易依存度这 3 个环境变量对投入指标码头长度、生产性泊位个数、年末企业职工人数、装卸设备数量的松弛变量都是在 5% 水

表 4 SFA 回归结果

指标	S-(1) <i>low</i>			S-(2) <i>lob</i>		
	系数	标准误差	<i>t</i> 值	系数	标准误差	<i>t</i> 值
常数项	-3213.2525	0.99891552	-3216.741	-75.2587	1.0000	-75.2589
<i>gdp</i>	-1.130697	0.008164438	138.4905	-0.0152	0.0035	4.3015
<i>ifa</i>	-0.59359138	0.05049609	-11.755195	-0.0137	0.0066	-2.0612
<i>fi</i>	-5603.5674	0.99964908	-5605.5345	-32.3322	1.0000	32.3322
σ^2	110397650	1	110397650	16868.9000	1.0000	16868.9000
γ	0.99999999	—	—	1.0000	—	—
指标	S-(3) <i>now</i>			S-(4) <i>noe</i>		
	系数	标准误差	<i>t</i> 值	系数	标准误差	<i>t</i> 值
常数项	728.32138	0.99999942	728.3218	-6.4114	9.5903	-0.6685
<i>gdp</i>	-0.072426705	0.18434804	0.39288025	-0.0040	0.0011	3.5985
<i>ifa</i>	-0.14495666	0.32615712	-0.4444381	-0.0046	0.0017	-2.7196
<i>fi</i>	-1882.5401	1	-1882.5401	-7.8959	7.4094	1.0657
σ^2	1071665.2	1	1071665.2	1844.8090	1.0007	1843.4653
γ	0.99999999	—	—	1.0000	—	—

注:S-(1) *low* 表示码头长度的松弛变量;S-(2) *lob* 表示生产性泊位个数的松弛变量;S-(3) *now* 表示年末企业职工人数的松弛变量;S-(4) *noe* 表示装卸设备数量的松弛变量。

平下显著的,表明本文所选取的3个环境变量对投入松弛有着显著的影响,有必要剔除环境因素对效率的影响。其次,可以发现4个回归方程的 γ 值都接近于1,说明在混合误差项中,管理无效率对松弛变量的影响较大,占据了99.99%(接近全部),而随机干扰项对松弛变量的影响微乎其微,并且通过系数值的正负,可以得出松弛变量与腹地GDP、腹地固定资产投资和对外贸易依存度之间是呈负相关的关系,即港口腹地城市的GDP总量越大,固定资产投资越多,对外贸易依存度越大,则投入资源的松弛变量越小,有助于减少各投入变量的浪费,从而提高效率。

下文将利用分离式(6)进一步剔除环境因素和管理无效率对松弛变量的影响,并重新调整投入变量的值,将各个决策单元置于相同的经营环境和管理水平下,结果报告见表5。

表5 DEA第二阶段调整结果

港口	low				lob			
	原始投入	随机扰动调整	环境变量调整	调整后的投入	原始投入	随机扰动调整	环境变量调整	调整后的投入
大连港	44642	0.000140256	18380.5829	63022.5832	222	0.000140256	325.3006	547
天津港	39389	0.000305354	12248.0131	51637.0134	160	0.000305354	272.3629	432
青岛港	26762	0.000320633	15511.2575	42273.2577	94	0.000320633	282.2654	376
烟台港	20624	0.00021862	18210.4324	38834.4326	94	0.00021862	310.9348	405
连云港	15817	0.000206537	22428.3975	38245.3977	64	0.000206537	325.2238	389
上海港	109222	0.000731288	16782.3324	126004.332	592	0.000731288	178.443	770
宁波-舟山港	91029	0	16396.4984	107425.4984	606	0	264.5054	871
广州港	54508	0.000365938	7910.9712	62418.9719	485	0.000365938	112.0359	597
汕头港	9898	0.000199417	25296.1269	35194.1271	87	0.000199417	319.9432	407
湛江港	18494	0.000120435	24499.4118	42993.4120	144	0.000120435	309.3642	453

港口	now				noe			
	原始投入	随机扰动项调整	环境变量调整	调整后的投入	原始投入	随机扰动项调整	环境变量调整	调整后的投入
大连港	6164	2.15475×10^{-5}	330.8454	6495	171	6.03793×10^{-7}	84.9016	256
天津港	4239	1.63036×10^{-5}	871.9892	5111	99	7.92632×10^{-7}	78.5384	178
青岛港	3676	0	230.1123	3906	77	5.52171×10^{-7}	72.5648	150
烟台港	2462	2.47172×10^{-5}	30.6259	2493	96	5.37007×10^{-7}	78.6583	175
连云港	2505	1.89403×10^{-5}	240.4849	2745	42	3.55033×10^{-6}	78.8892	121
上海港	8922	2.37086×10^{-5}	131.4889	9053	286	8.29611×10^{-7}	65.0001	351
宁波-舟山港	8103	2.22234×10^{-5}	280.0095	8383	290	0	66.9932	357
广州港	5450.8	2.08685×10^{-5}	415.4929	5866	242.5	4.8864×10^{-7}	28.3005	271
汕头港	989.8	1.45545×10^{-5}	1046.8959	2037	54	7.74951×10^{-7}	77.7370	132
湛江港	2313	1.50401×10^{-5}	998.3326	3311	154	6.66325×10^{-8}	75.0108	229

(四)第三阶段DEA效率分析

第三阶段利用第二阶段调整后的投入值对2016年10个港口的运行效率重新进行测度,同样是采用超效率DEA模型,得到的结果见表6。

比较第一阶段和第三阶段的超效率,可以明显发现前后数值存在差异,由1个港口DEA有效变为2个港口DEA有效,这就解释了进行第二阶段SFA回归的必要性,环境因素和随机误差确实会对港口效率产生影响,因而利用三阶段DEA法比单独使用超效率DEA模型更为客观,更能真实评价各个港口的运行效率。

(1)从总体上看:10个港口的效率平均值由0.8393降低至0.7587,这是由于在第二阶段对投入变量增加了环境较好和运气较好的投入调整值,投入增加产出不变,自然会使超效率值降低。其中效率出现下降的港口分别是:青岛港、天津港、宁波-舟山港、烟台港、连云港、湛江港和汕头港,这主要是由于这些港口所在腹地城市的GDP总量较大,固定资产投资较多,对外贸易依存度较大,这些环境因素的存在使得它们在第一阶段的效率值虚高,所以在剔除了环境变量的影响之后效率值就下降了,这与大多数论文得到的结论一致。而其余3个港口,上海港、广州港和大连港都出现了效率上升,以上海港为例探究其原因,主要是由于青

表6 第一阶段和第三阶段效率值结果对比

第一阶段			第三阶段		
排名	港口	效率值	排名	港口	效率值
1	青岛港	2.010638	1	青岛港	1.361412
2	天津港	0.954178	2	上海港	1.115486
3	上海港	0.853362	3	天津港	0.807682
4	宁波-舟山港	0.836024	4	宁波-舟山港	0.798099
5	湛江港	0.813517	5	烟台港	0.782137
6	烟台港	0.791866	6	广州港	0.707264
7	连云港	0.735806	7	连云港	0.68825
8	广州港	0.604284	8	大连港	0.60979
9	大连港	0.423086	9	湛江港	0.537376
10	汕头港	0.370005	10	汕头港	0.179816
平均值		0.839277	平均值		0.758731

岛港在第一阶段达到 DEA 有效,处于随机前沿面的外侧,而在剔除了环境因素后,上海港调整后的投入值增大,其投入变量之间的结构趋向于青岛港,由于前沿面的分析是由多组数据决定,综合的投入结构决定该模型中特定的有效港口,因而这种结构上的趋同,使得上海港也位于随机前沿面上,从而达到 DEA 有效。

(2)从个体港口上看:上海港由无效率修正为效率值大于 1,说明考虑到环境变量和随机误差后上海港的运行效率其实是有效的,这与实际情况相符,上海港作为国际化的枢纽港口,市场份额较大,货源较其他港口最为充足,在码头建设上也受到政府更多的支持,在近几年一直发展向好。青岛港在修正后依然名列第一,但效率值有所下降,与第二名的差距缩小,这主要归结于其原来的高效率受到腹地经济的推动,对于“以港兴市”的青岛市来说,腹地 GDP 和对外贸易依存度对青岛港效率的影响较大,所以剔除这些因素后它的高效率不再明显。天津港的排名虽然由第二修正至第三,但它的效率值是小幅增加的,说明环境因素和随机误差对天津港的影响并不大。对于其他港口,修正后广州港和大连港的效率值和排名都明显上升了,而修正后的湛江港和连云港的效率值和排名都有所下降,这也较能真实反映其效率水平。修正后的宁波-舟山港和烟台港效率值小幅下降,排名正常,环境因素和随机干扰对它们影响不大,而汕头港依然排名末尾,效率值很低,投入冗余过多且产出不足,需要引起重视,有必要对港口的资源重新进行配置。

(五)基于吞吐量-效率矩阵的港口竞争力比较

在对各个港口的效率值重新修正后,本文又借鉴了李兰冰等(2011)运用的吞吐量-效率矩阵图进一步对 10 个港口的综合竞争能力进行了比较。这种方法可以综合产出量和效率值,从数量和质量两个方面综合评价港口的竞争能力。从现有数据来看,拥有较高吞吐量的港口,并不一定拥有较高的运行效率,如根据第四大节第(四)小节中第三阶段的超效率结果可以发现,宁波-舟山港 2016 年货物吞吐量排名第一,但运行效率则位于第四位,处于非 DEA 有效,而吞吐量远不及其二分之一的青岛港效率值却位于第一,达到了 DEA 有效,说明港口的吞吐量与效率值并不一定呈线性相关,因而港口是否高效、是否具有竞争力并不完全取决于其规模大小。基于此,本文利用 2016 年的数据,以货物吞吐量为纵坐标,以修正后的超效率值为横坐标构建吞吐量-效率矩阵,并以货物吞吐量的平均值(42491.31 万吨)和效率平均值(0.7587)为界限,划分出 4 个象限,并由此将 10 个港口分为 4 种类型,考查不同经营规模下各港口的效率水平,分析各港口的竞争态势,如图 5 所示。

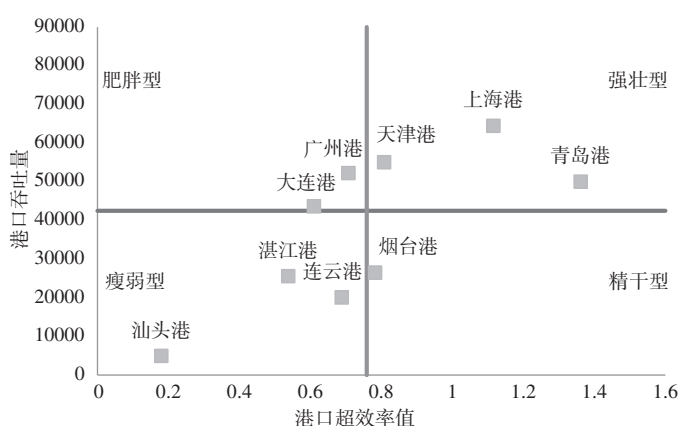


图 5 2016 年十大港口吞吐量-效率矩阵

第一类是精干型港口。这类港口具有吞吐量规模不大,但效率较高的特征,在本文的研究对象中烟台港就属于这一类型。这类港口得益于其合理的基础设施投资和相对高效的产出,虽然港口吞吐量不大,在 2016 年 10 个港口吞吐量中排名第七,但是与其匹配的基础设施却能够得到高效利用,具有较好的发展潜力,从第三大节第(二)小节第一阶段初始 DEA 效率分析的结果可以观察到,烟台港在年末企业职工人数这一变量上不存在投入松弛变量,说明在人力资源的投入上烟台港实现了效率最优,其次在生产用码头长度、泊位数量和装卸设备台数这 3 个投入变量上松弛变量也较小,修正幅度不超过 10%,因而得到的效率值在十个港口中处于中上,属于极具潜力的港口。

第二类是强壮型港口。这类港口是指那些吞吐量较大且运行效率也较高的标杆港口,包括有青岛港、上海港、宁波-舟山港和天津港。这类港口的共同特点是腹地经济较发达,具有良好的天然港区优势,综合竞争能力较强,都是国内规模较大、排名靠前的大港。在货物吞吐量指标上这四大港口位居前五,在近几年向船舶大型化、深水化、专业化、智能化方向发展,属于国内沿海港口中的排头兵。

第三类是肥胖型港口。这类港口是指那些吞吐量较大,但经营效率却较低的港口,包括广州港和大连港。这类港口有着较强大的经济腹地做支撑,因而货物吞吐量较为庞大,但高产出却是建立在高投入的基础上,从第三大节第(二)小节中的表 3 可以观察到广州港在生产用码头长度、泊位数量和装卸设备台数这 3 个投入变量上的修正幅度均接近 20%,投入存在过多的冗余,大连港在生产用泊位数量这一投入指标中存在过

多的冗余,偏离目标值近15%。由于这些硬性的港口投资具有不可逆转的特征。因此应该如何调整资源的合理配置是提升肥胖型港口走向强壮型港口的关键。

第四类是瘦弱型港口。这类港口吞吐量规模不大,且效率也较低,包括连云港、湛江港和汕头港。这其中有部分港口是由于规模较小,主要业务集中在客运运输而非货运运输上,非国内运输的主要集散地,从而产出较小,效率较低,如汕头港。而连云港和湛江港的吞吐量弱低于烟台港,但效率却和烟台港差距较大,从而导致两个港口竞争力较差,成为瘦弱型港口的代表。因此对于小型港口如何整合好现有资源,是瘦弱型港口走向精干型港口的关键。

五、结论

本文基于2007—2016年中国10个主要沿海港口的面板数据,第一阶段利用超效率DEA模型对港口效率进行了10年间的比较分析,并选取国际航运业持续低迷达到谷底后逐渐复苏的转折点2016年进行重点剖析。第二阶段对码头长度、生产用泊位长度、企业年末的在岗职工人数、装卸设备台数4个投入指标的松弛变量进行SFA回归,在剔除腹地GDP、固定资产投资和对外贸易依存度3个环境因素对港口效率的影响后,根据分离公式,重新调整4个投入变量值。第三阶段结合修正后的投入值重新计算中国10个主要沿海港口的运行效率,并与第一阶段进行对比分析。最后,根据吞吐量-效率矩阵模型测算中国10个主要沿海港口的运营规模类型,以期为我国港口指出当前发展的薄弱环节,为目前存在的问题提供有针对性的解决方案,从而进一步提升我国港口的运营效率,提高港口的竞争力。研究结果表明:

(1)时期效率分析:2007—2016年这一时期,我国10个港口的平均超效率总体上呈波动上升趋势,但除了青岛港其他港口都还未达到DEA有效,港口效率提升的空间较大。结合各个港口具体的超效率值可以发现2008年金融危机对港口效率影响严重,特别是以上海港为例的超大型港口吞吐量严重减少,造成效率值显著下降。而各大港口自2008年后就危机采取的应对措施均有一定成效,可以从效率分析中得出港口运营情况在逐年好转。

(2)三阶段DEA效率分析:2016年我国10个港口的投入都有一定的冗余,松弛量参差不齐,结合第二阶段SFA回归,发现腹地GDP、腹地固定资产投资、对外贸易依存度3个环境变量对投入松弛变量影响显著,且是负向关系,说明腹地经济越发达,固定资产投资越多,对外贸易依存度越大时港口效率越高。剔除相应外部环境影响后,我国10个港口的效率平均值降低,上海港和青岛港DEA有效,其余港口DEA无效,其中天津港、宁波-舟山港、烟台港和广州港的属于相对高效率;大连港、湛江港和连云港的效率值属于中等效率;汕头港效率值属于低效率港口,说明我国的主要港口还有较大提升空间,有必要进行改革与资源配置。

(3)港口竞争力分析:基于2016年我国10个港口的吞吐量-效率矩阵的分析,可以发现我国主要港口运营规模类型有很大不同,分为精干型、强壮型、肥胖型和瘦弱型港口。精干型港口如烟台港运营效率较高但港口规模较小,具有较高发展潜力;强壮型港口包括青岛港、上海港、宁波-舟山港和天津港,吞吐量较大且运行效率也较高,综合竞争能力强;肥胖型港口包括广州港和大连港,吞吐量较大,但经营效率却较低,需要合理配置资源向强壮型港口发展;瘦弱型港口包括连云港、湛江港和汕头港,规模不大,且效率也较低,需要整合资源向精干型港口发展。

针对以上研究结果,对于提高港口效率,本文提出以下相应的对策建议:

(1)各港口应重新整合内部资源,根据自身实际情况合理定位,避免港口的重复建设和冗余投入。通过本文投入值与目标值的对比可以看出,大部分港口都存在投入冗余的现象,且需要修正的幅度平均超过了20%,因而各个港口不应急于扩建,而是开发未利用的各项资源。特别是一些传统意义上的大港,如上海港、宁波-舟山港、广州港在码头修建方面投入过多,存在一定的资源浪费现象,可以适当缩减码头的修建,注重效率的考核与提升。

(2)各港口应继续深入落实港口整合的发展政策。基于各省港口特点,采用横向、纵向或供应链的整合模式,实现港口群的协同发展,同时应避免因垄断经营、组织不善导致的缺乏活力或效率下降的潜在风险。港口群是指服务共同腹地、遵循共同规范、共享公共资源的港口集合,例如,浙江省以海港集团和宁波-舟山港集团为依托,整合省内五大港口;上港集团投资沿江港口,通过与中远海运集团在码头、集装箱班轮的交叉持股,实现港航融合;而宁波-舟山港更是实现了行政资源、自然资源和经营资源的全面整合,以上港口整合都带来了初步成效,在一定程度上缓解了港口间的无序竞争,减少了重复投资与产能过剩、打价格战等资源

浪费,但是在运力过剩的航运大环境下,相邻港口间的兼并整合仍需进一步深入,比如作为中国沿海港口综合实力最强的上海港和宁波-舟山港可以打破行政区域划分,实现资源共享。上海港的优势在于完善的基础设施、完备的集疏运系统、优惠的国家政策和优越的区位条件及遍布世界的众多航线,而宁波-舟山港则拥有优良的深水港条件,可以满足船舶大型化的发展趋势,不同的优势为两港的合作提供了可能。

(3)各港口应积极利用自贸试验区政策优势,增加港口吞吐量,提高港口资源配置效率。例如,上海港应实现把区内港口建设成为国际或国内航运中心的功能定位,发挥港口的辐射联动作用,带动长三角港口群的整体发展。为此,要充分利用好自贸试验区在投资自由化、贸易便利化等方面的政策优势,既要加快航运要素集聚,形成港口内各企业的分工协作和竞争体系,又要提升自贸试验区港口的国际航运能力和国际中转能力。通过改善经济腹地的交通通达性、建立无水港等措施,构建海港、空港和无水港的交通联动机制,不断拓展港口的经济腹地,实现港腹或港城的良性互动。同时进一步延伸港口产业链,发展港口、海运物流和临港产业,建设临港物流园区,提高港口企业的物流服务能力。

(4)各港口应注重提升技术进步,强制老旧船舶退出市场,建设生态绿色港口。由于老旧船舶采用煤炭供能,增加了碳排放和硫排放,不仅耗用更多的自然资源,运行效率低下,而且危害海洋环境。所以各港口应注重纯技术效率的提升,通过推行港口设备“油改气”“油改电”工程、改造老旧船舶、引进高效能的装卸设备、增加专业化泊位、实行港口的先进化和集约化经营以提高规模效率,降低港口生产运营对环境造成的污染。

参考文献

- [1] 毕功兵, 罗艳, 郭晓丹, 等, 2010. 中国港口生产效率再评价[J]. 科研管理, 31(1): 20-25.
- [2] 冯烽, 陈磊, 黄晗, 2017. 中国港口上市公司运营效率的测度与提升路径——基于SBM-DEA模型[J]. 中国流通经济, 31(6): 106-112.
- [3] 匡海波, 陈树文, 2007. 中国港口生产效率研究与实证[J]. 科研管理, 28(5): 170-177.
- [4] 郎宇, 黎鹏, 2005. 论港口与腹地经济一体化的几个理论问题[J]. 经济地理, 25(6): 767-770.
- [5] 李丹, 栾维新, 片峰, 2015. 航运企业投资对码头运营效率的影响研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 15(1): 43-48.
- [6] 李兰冰, 刘军, 李春辉, 2011. 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, 25(5): 80-84.
- [7] 鲁渤, 汪寿阳, 2017. 中韩集装箱码头运营效率的比较研究[J]. 管理评论, 29(5): 175-182.
- [8] 罗登跃, 2012. 三阶段DEA模型管理无效率估计注记[J]. 统计研究, 29(4): 104-107.
- [9] ANDERSEN P, PETERSEN N C, 1993. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis [J]. *Management Science*, 39: 1261-1264.
- [10] BEUREN M M, ANDRIOTTI R, VIEIRA G B, et al, 2018. On measuring the efficiency of Brazilian ports and their management models[J]. *Maritime Economics and Logistics*, 20(1): 149-168.
- [11] CHANG V, TOVAR B, 2014. Efficiency and productivity changes for Peruvian and Chilean ports terminals: A parametric distance functions approach[J]. *Transport Policy*, 31(1): 83-94.
- [12] FRIED H O, LOVELL C A K, SCHMIDT S S, et al, 2002. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 17(1-2): 157-174.
- [13] FRIED H O, SCHMIDT S S, YAISAWARNG S S S, 1999. Incorporating the operating environment into a nonparametric measure of technical efficiency[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 12(3): 249-267.
- [14] HUNG S W, LU W M, WANG T P, 2010. Benchmarking the operating efficiency of Asia container ports [J]. *European Journal of Operational Research*, 203(3): 706-713.
- [15] JONDROW J, KNOX L C A, MATEROV I S, et al, 1982. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model[J]. *Journal of Econometrics*, 19: 233-238.
- [16] KVEIBORG O, FOSGERAU M, 2006. Decomposing the decoupling of Danish road freight traffic growth and economic growth[J]. *Transport Policy*, 14(1): 39-48.
- [17] LOW J M W, LAM S W, TANG L C, et al, 2013. Evaluations of port performances from a seaborne cargo supply chain perspective[J]. *Polish Maritime Research*, 20: 20-31.
- [18] NA J H, CHOI A Y, JI J, et al, 2017. Environmental efficiency analysis of Chinese container ports with CO₂ emissions: An inseparable input-output SBM model[J]. *Journal of Transport Geography*, 65: 13-24.
- [19] ODECK J, BRATHEN S, 2012. A meta-analysis of DEA and SFA studies of the technical efficiency of seaports: A comparison of fixed and random-effects regression models[J]. *Transportation Research Part A*, 46(10): 1574-1585.
- [20] OLIVEIRA G F D, CARIU P, 2015. The impact of competition on container port (in) efficiency [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78: 124-133.
- [21] ROLL Y, HAYUTH Y, 1993. Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA) [J]. *Maritime Policy*

- & Management, 20(2): 153-161.
- [22] TONE K, TSUTSUI M, 2009. Network DEA: A slacks-based measure approach [J]. *European Journal of Operational Research*, 197(1): 243-252.
- [23] TONGZON J, 2001. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis[J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 35(2): 107-122.
- [24] TURNER H, WINDLE R, DRESNER M, 2004. North American containerport productivity: 1984-1997[J]. *Transportation Research Part E*, 40(4): 339-356.
- [25] WANKE P F, 2013. Physical Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: A two-stage network-DEA approach[J]. *Transport Policy*, 29(7): 145-153.
- [26] WU Y C J, GOH M, 2010. Container port efficiency in emerging and more advanced markets[J]. *Transportation Research Part E*, 46(6): 1030-1042.
- [27] YUEN C L, ZHANG A, CHEUNG W, 2013. Foreign participation and competition: A way to improve the container port efficiency in China?[J]. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 49(1): 220-231.
- [28] ZHAO H, GUO S, ZHAO H, 2019. Provincial energy efficiency of China quantified by three-stage data envelopment analysis [J]. *Energy*, 166: 96-107.

Research on Port Operation Efficiency Based on Three-stage Super-efficiency DEA

Du Hao¹, Zhou Yutong^{1,2}, Kuang Haibo^{1,2}, Meng Bin^{1,2}

(1. Collaborative Innovation Center for Transport Studies, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China; 2. School of Shipping Economics and Management, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China)

Abstract: As a key node of domestic and international trade, the way to improve the operational efficiency of port has become a hot topic. For the current inefficiency problem of domestic ports, the super-efficiency DEA model to measure the operational efficiency of China's major coastal ports from 2007 to 2016 is used. It has been shown that the average super-efficiency values of ports are on the rise, but there is a significant decline in individual year. Since 2016 is a pivotal year for the integration of shipping ports, the three-stage super-efficiency DEA method to measure the efficiency of the ports in 2016 is used. The first stage uses the results of the super-efficient DEA model to analyze the second stage. The stochastic frontier model (SFA) is used to incorporate environmental variables such as hinterland GDP that affect port efficiency into the model, eliminating random errors and the impact of external environment on efficiency. The third stage uses the adjusted input-output value to re-evaluate the port efficiency and obtain a more accurate port efficiency ranking. Compared with the first-stage super-efficiency results, the difference between the previous and the following values is significant. Except Qingdao Port and Shanghai Port, all of the ports have not achieved the effectiveness of DEA, and the space for improving is relatively large. Finally, based on the throughput-efficiency matrix, the ports are divided into four types: lean, strong, obese and thin, and targeted improvements are proposed for each type of ports.

Keywords: port efficiency; three-stage super efficiency DEA; throughput-efficiency matrix; input and output