

## 基于 DEA 方法对东南亚港口物流相对效率的比较研究 Comparative Study on the Relative Efficiency of Southeast Asian Port Logistics Based on DEA Method

程国卿<sup>1\*</sup>      刘沧<sup>2</sup>      邱碧珍<sup>3</sup>  
Guo-Qing Cheng      Cang Liu      Bi-Zhen Qiu

### 摘要

作为境内外贸易的重要中转站，港口在国民经济体系中具有重要的地位。随着海洋的优势被发现，各个国家陆续把海洋港口作为经济贸易的重要窗口。港口作为全球综合运输网络的节点，其功能不断拓宽，在发展现代物流中扮演着越来越重要的角色。为顺应经济全球化的需要，现代港口需要总体上建立起港口物流中心，不断完善其物流职能，并通过物流的绩效评价，完善和健全港口的现代物流服务模式。数据包络分析 DEA 方法为物流与供应链领域中的绩效评价、物流效率比较提供了一个有效的工具。本文以东南亚国家的 12 个典型港口为样本对象，通过 DEA 方法计算出这些港口物流的相对效率和基本分类。在数据分析的基础上，研究这 12 个港口在投入产出效率方面所存在的问题，找出不同港口效率不足的原因，并根据不同港口所存在的不同问题提出改进方向，以及增进物流效率的方法与建议。

**关键词：**港口物流、相对效率、DEA 方法、投影分析

### Abstract

As an important transit station of domestic and foreign trade, ports play an important role in the national economic system. With the discovery of the advantages of the ocean, various countries have taken the marine port as an important window of economic and trade. In order to meet the needs of economic globalization, the modern port needs to establish the port logistics center as a whole, constantly improve its logistics functions, and improve the port's modern logistics service mode through the logistics performance evaluation. Data Envelopment Analysis (DEA) provides an effective tool for performance evaluation and efficiency comparison of logistics and supply chain. This paper takes 12 typical ports in Southeast Asian countries as samples to calculate the relative efficiency and basic classification of port logistics by DEA method. Problems existing in the input-output efficiency of the 12 ports are studied to find out the reasons of inefficiency of different ports for suggestions to improve the logistics efficiency according to the different problems existing in different ports.

**Keywords:** Port Logistics, Relative Efficiency, DEA Method, Projection Analysis

<sup>1</sup> 厦门大学嘉庚学院管理学院教授 cheng@xujc.com\*通讯作者

<sup>2</sup> 厦门大学嘉庚学院管理学院讲师

<sup>3</sup> 厦门大学嘉庚学院管理学院副教授

\* 本研究获得 2018 年度福建省哲学社会科学规划课题支持 (FJ2018B025 号)

## 1. 绪论

随着经济全球化趋势的加强，国与国之间的经济交往日益密切，现代化的港口便利了国家之间、区域之间贸易的开展，港口已经成为国家间贸易活动的对接平台，大大提高了国家之间、区域之间的贸易往来，促进了商业繁荣。

现代港口物流的功能主要体现在以港口所在的城市为依托，建立强大的现代物流系统，进而发展仓储、配送等产业，并带动临港产业的发展。对于国际贸易来说，港口可以提供航运的功能，港口又可以提供装卸货物、中转货物、仓储货物的许多功能，所以港口对于当今世界经济发展具有重要的影响力。随着港口市场的竞争越来越激烈，每个港口都想发挥其自身的优势，从而获得更多的经济收益；而提高经济效益的关键，就在于港口物流效率问题，要比其他港口有更好的技术经济效益指标。只有把效率提高了，港口物流才能更好地进一步发展。

东南亚位于亚洲与大洋洲，太平洋与印度洋的十字路口，地理位置十分优越，东南亚成为亚洲物流经济体系的中心地带，是我国直通亚洲乃至是全球的物流通道。东南亚各个港口之间都有其先天的优势，但是港口规模大小不一；东南亚各个港口都利用优越的地理位置与天然海港的优势发展港口物流，增加进出口贸易数量和港口的集装箱吞吐量，但各个港口之间的商品出口数量和集装箱吞吐量也不尽相同；如何对港口物流效率进行客观评价，需要采取科学的方法。数据包络分析方法（DEA）因其对多因素影响的系统相对相率评价的有效性而广受采用，本文借助 DEA 对不同港口之间进行分析，计算他们的相对效率，对效率空间优化的方向进行分析，并针对各个港口存在的问题提出建议和解决措施。

本文查找所要研究的东南亚 12 个典型港口 2010~2018 年度的历史资料，其中包括集装箱吞吐量、货物吞吐量、泊口数量、桥吊数量、泊位深度和集装箱堆场面积等；基于这 12 港口的发展现状，尝试将集装箱吞吐量与货物吞吐量作为输出，泊口数量、桥吊数量、泊位深度和集装箱堆场面积作为输入，通过这些数据计算出这些港口的综合效率、纯技术效率、规模效率、规模报酬、松弛变量值和剩余变量值，然后对综合效率、纯技术效率、规模效率、规模报酬、松弛变量值和剩余变量值进行分析，从而得出哪些港口存在效率不足的问题，最后对效率低下的港口提出改进的建议与措施。

## 2. 数据包络分析 DEA 的相关理论

数据包络分析 DEA 是美国著名运筹学家 Charnes 等提出的一种效率评价方法。他把单输入、单输出的工程效率概念推广到多输入、多输出同类决策单元的有效性评价中，为决策单元（DMU）之间的相对效率评价，提出了一个可行的方法和有效的工具。DEA 方法极大地丰富了微观经济学中的生产函数理论及其应用技术，同时避免主观因素对评价的干扰，简化了算法，并减少误差，有着不可低估的优越性。

CCR模型是初始的DEA法，通过多个决策单元的效率状况来从整体上判断投、入产出指标的合理性和有效性。CCR的公式如下：

$$\min \left[ \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right) \right]$$
$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + S_i^- = \theta X_{ik}, \quad i \in (1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{ij} \lambda_j - S_r^- = Y_{rk}, \quad r \in (1, 2, \dots, s)$$

$$\theta, \lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

其中， $S_i^-$ 、 $S_r^+$  分别为松弛变量； $\varepsilon$  为非阿基米德无穷小，在计算时取正无穷小（如  $\varepsilon = 10^{-7}$ ）； $X_{ij}$  为第  $j$  决策单元的第  $i$  项投入， $Y_{rj}$  为第  $j$  单元的第  $r$  项产出。在 DEA 模型中，称被评价单元为决策单元。

对具有  $\varepsilon$  的 CCR 对偶输入模型，可以根据以下规则来判断 DEA 的有效性：

1. 若  $\theta < 1$ ，则  $DUM_{j_0}$  为 DEA 无效。
2. 若  $\theta = 1$ ， $\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ > 0$ ，则  $DUM_{j_0}$  仅为弱 DEA 有效。
3. 若  $\theta = 1$ ， $\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ = 0$ ，则  $DUM_{j_0}$  为 DEA 有效。

CCR 模型不仅能用来评价研究对象的运营效益，还能判断每个决策单元的规模效应，具有一定的实用性。但对于无效的决策单元，是很难分辨出是由纯技术无效还是规模无效导致的。1984 年，Banker、Charnes 和 Cooper 进一步提出了 BCC 模型，通过对  $\lambda$  值进行上限约束，将技术效率分解为规模效率和纯技术效率，因而增加了决策的准确性。BCC 模型侧重分析研究对象的纯技术效率和规模效率，总结决策单元的投入产出数量恰当与否；并在分析结果上进行调整，或缩减过多的投入，或增加不足的产出，从而改善经营效率，提高运营效益。

在 DEA 法中，涉及以下三个效率概念：

- (1) 纯技术效率 (PTE)，即技术层面对生产效率的影响。只有当 PTE=1 时，决策单元的纯技术才被视为有效状态，除此之外都是无效的。
- (2) 规模效率 (SE)，即规模变化对运营效益的影响。只有当 SE=1 时，规模处于有效状态，其余情况下则为无效。
- (3) 综合技术效率 (TE)，即对 DMU 的技术效率、资源配置能力整体状况的综合衡量，也可看作为 PTE 和 SE 的乘积。同样，只有当 TE=1 时，决策单元技术才有效。

想要判断决策单元是否是 DEA 有效的，本质上是在判断它是否在生产可能集  $T_{CCR}$  的生产前沿面上；如果决策单元不是 DEA 有效，可以通过计算、求解和分析，对原来的投入和产出的数据进行调整，让它成为 DEA 有效的决策单元。称这个调整后的点为决策单元在生产与投入前沿面上的投影。本文利用 DEAP 软件，对收集到的数据进行分析，从而得到这 12 个港口的综合效率、纯技术效率、规模效率和规模报酬，并对这些数据进行进一步的分析研究。

### 3. 东南亚 12 个港口物流的现状

#### 3.1 港口介绍

##### 3.1.1 新加坡港

新加坡是一个因港而兴的国家，经过长期苦心的经营，已成为亚太地区最重要的

国际贸易、国际金融、国际航运中心。

新加坡港是世界上最繁忙的港口，自然条件优越，水域宽敞，很少风暴影响，治区面积达 538 万平方米，水深适宜，吃水在 13m 左右的船舶可顺利进港靠泊，港口设备先进完善。装卸设备有各种岸吊、门吊、集袋箱吊、汽车吊、铲车、叉车、卸货机、吸扬机、牵引车、拖船及滚装设施等。

### 3.1.2 丹戎帕拉帕斯港

丹戎帕拉帕斯港是世界航运的咽喉要道，是马士基在东南亚集装箱运输和转运的基地，不仅如此，丹戎帕拉帕斯港可以满足世界上最大集装箱船舶的靠岸作业。

丹戎帕拉帕斯港自然条件优越，其河谷水深达 15 公尺以上，其可供航运的河道长达 12.6 公里，宽有 250 公尺。现在的 TPP 港口规模已经不小，配备了 14 台超巴拿马岸边桥吊，可以满足目前世界上最大的集装箱船的靠泊作业。

### 3.1.3 林查班港

由于泰国经济发展迅速，货物吞吐量和集装箱吞吐量都增加的较快，而曼谷港吞吐能力无法追赶上泰国的经济发展，于是政府就大力投资林查班港；在政府政策的帮助下，林查班港就发展为了一个集自动化、现代化、一体化，操作管理水平和基础设施规格标准均较高的一个港口。

林查班港拥有码头集装箱堆场面积 55 公顷，码头集装箱堆场总面积将超过 155 公顷。目前林查班港拥有巴拿马型岸边装卸桥 13 座，超巴拿马型岸边装卸桥 3 座。

### 3.1.4 曼谷港

曼谷港有东方威尼斯之称号，这说明曼谷港在东南亚，甚至于世界都是一个重要的港口；但是由于曼谷港码头水较为浅，导致靠岸的船舶和集装箱船不能太大。

港区主要码头泊位岸线长 1,900，最大水深为 8.2m。装卸设有各种岸吊、门吊、可移式吊、集装箱吊、叉车、牵引车、跨运车及拖船等，其中可移式吊最大起重能力达 50 吨。货棚面积有 13 万平方米，露天堆场面积达 31 万平方米，集装箱货运站有 4 个，面积为 2.9 万平方米。

### 3.1.5 胡志明港

由于越南是东南亚港口发展较为快速的国家之一，所以国家政府大力支持胡志明港的发展；也由于胡志明港自然条件较为优秀，更受到国家的青睐。通过国家政府的支持，胡志明港口发展得相当不错。

胡志明港有商港区和油港区两部分，商港区位于市区西贡河右岸，主要有新顺码头、第五仓库码头、双龙码头等 10 多个泊位，有岸壁码头线长 1,800 米，前沿水深 8.1-11.2 米，江中心设有浮筒泊位 12 个，国际间干货贸易往来均在此港口装卸。

### 3.1.6 马尼拉港

马尼拉港是菲律宾最大的一个港口，但是马尼拉港的地理位置并不好，这注定了马尼拉港想要成为一个世界性的集装箱港口是不太现实的。

本港有南港、北港及国际集装箱 3 个港区，主要码头泊位有 26 个，岸线长达 2,931 米，最大水深 11.6 米。装卸设备有各种岸吊、龙门吊、浮吊、集装箱吊及滚装设施等，其中岸吊最大起重能力达 80 吨。

### 3.1.7 海防港

港区主要码头泊位有 20 个，包括矿砂、煤炭、粮谷、集装箱等码头，最大水深约 9m。装卸设备有各种岸吊、浮吊及拖船等，其中浮吊最大起重能力达 200 吨。

海防港是越南港口中，仅次于胡志明港的第二大港口。海防港位于越南的北部，由于越南的港口发展在东南亚港口中相对比较快速，越南政府对海防港的发展给予大力的支持。海防港通过更新和改造后，能够停泊载重一万吨的货船。

### 3.1.8 光丹港

光丹港是位于马来西亚北部的一个深水港，是马来西亚东海岸第一座可供船舶全年进出的港口；分内外两港，水深 13-14 米，各有一条 1.6 公里长的防波堤。但光丹港是一个小型支线港口，无论是岸线长度、吃水深度和装卸设备都显得力不从心。由于这些原因使光丹港的集装箱装卸运输效率相对较低，导致港口的效益不足。

随着东南亚贸易的繁荣，在港口的集装箱船也不断的增加，因此光丹港急需更新换代，努力更新码头的装卸设备，从而提高港口的经济效益。

### 3.1.9 西哈努克城港

西哈努克城港位于柬埔寨的西南部，是柬埔寨最大的港口，并且也是柬埔寨唯一的现代化商港。西哈努克城港主要由三个部分组成，该港口拥有九个泊位，泊位最大深度为 13 米，拥有一定数量的桥吊，但相对仍是不足。西哈努克城港也属于小型支线港口，也需要更新换代，来提高自身的经济效益。

### 3.1.10 丹戎不碌港

丹戎不碌港位于印度尼西亚中部爪哇岛的西北部，是印度尼西亚最大的货物港口，该港口拥有 40 个泊位数量，泊位长度达到 12,958 米；丹戎不碌港的地理位置比较优越，是亚洲通往大洋洲的桥梁。

虽然丹戎不碌港拥有一定的优势，但由于丹戎不碌港还在扩建之中，会对进出的船舶造成一定程度上的影响，导致很多船舶只是将丹戎不碌港作为经过的港口，只进行补给物资，这对丹戎不碌港造成很大的经济损失。要想丹戎不碌港更好的发展，就需要加快完成扩建，对港口的设备进行更新，这才能使丹戎不碌港有更好的发展。

### 3.1.11 檳城港

檳城港位于马来西亚，是马来西亚的第二大港口，檳城港由乔治港区和北海港区组成，该港的泊位数量为 8 个，泊位的最大深度为 12.8 米，拥有许多的装卸设备。该港可同时停靠 15 艘万吨级船舶进行过驳装卸作业，集装箱堆场可存放 1,080TEU。

檳城港属于小型支线港口，随着经济的发展，跟不上集装箱船的需求，所以港口需要进行更新换代。

### 3.1.12 巴生港

巴生港是马来西亚的最大港口，地理位置优越，位于马六甲海峡，是远东至欧洲贸易航线的理想停靠港，因此在航运市场中具有明显的竞争优势。巴生港毗邻设有自由贸易区，其腹地广阔，产业发达，已发展成为区域性的配发中心。

巴生港的基础设施也十分的先进，设有吊重 35 吨的集装箱、起重机 4 台、吊重 30 吨的跨运车 19 台、低门架叉式铲车 23 台、高门架叉式铲车 30 台、拖运车 50 台和牵引车 33 台。不仅如此，港务局还十分的支持巴生港，为了满足集装箱运输发展

的需要，巴生港再建两个集装箱码头，到时巴生港将会成为亚洲主要的转口港之一。

### 3.2 港口的主要业务

港口的业务包括的方面较为广泛，主要的业务是港口的装卸业务和港口的水路运输业务。

装卸业务包括滚装船业务、能源业务、散杂货业务和集装箱业务。对于东南亚这 12 个港口来说，虽然港口大小、泊口大小、码头长度、桥吊数量等方面都有一定程度上的不同，但都有从事装卸业务。对于港口来说，装卸业务能够帮助港口了解市场的需求，积极开拓市场，合理利用资源，不断提高效率和降低耗能，能够得到更好的经济收益。

港口是具有水路联运设备以及条件，供船舶安全进出和停泊的运输枢纽，而水路运输对于港口也有十分重要的意义。在这东南亚 12 个港口之中，既有存在集疏运条件高、地理位置优越的港口，比如新加坡港、巴生港等，也有存在集疏运条件不高、地理位置不优越的港口，比如马尼拉港、光丹港等港口。虽说条件不同，但这 12 个港口都有水路运输业务，这说明了水路运输业务是一个港口非常重要的业务。

## 4. 港口物流指标选取和数据来源

### 4.1 指标选取

本文将东南亚 12 个港口作为 12 个决策单元。许多数据包络分析模型研究文献指出，输入输出指标数之和的 2 倍，不应该超过所评估的决策单元总数，所以必须从众多指标之中选取最能体现港口物流效率的指标。本文以泊口数量、泊口深度、桥吊数量和集装箱堆场作为输入，以货物吞吐量和集装箱吞吐量作为输出。

分析港口效率时，对于产出而言，货物的吞吐量是港口效率评价中最重要的产出指标之一，能够体现一个港口的整体生产水平和能力；港口需要大量资本作为基础，集装箱吞吐量可以反映一个港口的资本投入情况和港口规模。对于投入而言，码头的泊位深度和泊位数量，可以说明港口所能容纳船舶的能力；桥吊数量直接决定了码头货物的吞吐能力和效率。集装箱堆场作用是当集装箱船到港前，有计划有次序地按积载要求，将出口集装箱整齐地集中堆放；卸船时将进口集装箱暂时堆放在码头前方，以加速船舶装卸作业，提高装卸的效率。东南亚 12 个港口的投入产出指标体系如表 1。

表 1. 东南亚 12 个港口物流效率投入-产出指标体系

指标类型	指标名称	变量名	单位	指标说明
输入 指标	泊口数量	X1	个	反映容纳船舶的能力
	泊口深度	X2	米	反映容纳船舶的能力
	桥吊数量	X3	个	决定货物的吞吐能力和效率
	集装箱堆场面积	X4	万平方米	反映装卸作业的效率
输出 指标	货物吞吐量	Y1	亿吨	体现港口的生产能力与水平
	集装箱吞吐量	Y2	万/TEU	反映港口的资本投入情况和规模

资料来源：本文自行整理

## 4.2 数据来源

本文研究 2010 到 2018 年东南亚 12 个港口的物流效率，分别对这 12 个港口的基本投入产出数据进行筛选，然后将筛选出的投入产出数据进行 DEA 分析，得出这 12 个港口物流的相对效率，并对无效的单元进行分析与改进。

为了确保研究结果的客观性和可靠性，本研究样本对象为东南亚 12 个港口物流，每一个港口为一个样本对象，从而得出每个港口物流的效率值。具体的数据主要来源于 CEIC 全球经济数据库以及一些网站（如表 2、表 3 和表 4）。

表 2. 东南亚 12 个港口 2010-2018 年的货物吞吐量 Y1（单位：亿吨）

港口 年份	胡志明 港	马尼拉 港	海防 港	关丹 港	新加坡 港	丹戎帕 拉帕斯 港	林查班 港	曼谷 港	西哈努 克城港	丹戎不 碌港	檳城 港	巴生 港
2010	0.2619	0.4953	0.1568	0.1208	5.1000	0.7540	0.5394	0.1753	0.0173	0.1869	0.2357	1.7096
2011	0.2773	0.5381	0.1789	0.1521	5.3120	0.7820	0.6214	0.1710	0.0205	0.2153	0.2548	1.9417
2012	0.2772	0.5546	0.1812	0.1606	5.376	0.8210	0.6547	0.1947	0.0190	0.2583	0.2766	1.9791
2013	0.2440	0.5641	0.1880	0.1933	5.5800	0.7920	0.6706	0.2145	0.0213	0.2285	0.2602	2.0028
2014	0.2791	0.5777	0.1975	0.2137	5.4500	0.8570	0.7221	0.2144	0.0230	0.2241	0.2428	2.1729
2015	0.3099	0.8813	0.2374	0.4003	5.4700	0.8780	0.7336	0.2136	0.0260	0.1972	0.2892	2.1984
2016	0.3618	0.5969	0.2632	0.1680	5.7000	0.9120	0.7835	0.2100	0.0277	0.2162	0.2939	2.3559
2017	0.3817	0.9617	0.2720	0.1746	6.3000	0.9310	0.8362	0.2050	0.0333	0.1978	0.2958	2.1164
2018	0.4680	1.0760	0.3287	0.1632	6.2620	1.3025	1.2150	0.1735	0.0431	0.3000	0.2892	2.2070

数据来源：CEIC 全球经济数据库

表 3. 东南亚 12 个港口 2010-2018 年的集装箱吞吐量 Y2（单位：万/TEU）

港口 年份	胡志明 港	马尼拉 港	海防港	关丹港	新加坡 港	丹戎帕 拉帕斯 港	林查班 港	曼谷港	西哈努 克城港	丹戎不 碌港	檳城港	巴生港
2010	410	449	73.8	142	2,843	653	579	149.8	18.1	471	110	887
2011	481	493	85	132	2,993	750	573	145.4	21.4	580	119	999
2012	506	521	80	136	3,165	770	583	127.4	21.1	638	116	960
2013	510	523	91.3	126	3,258	760	620	150.5	23.1	570	123	1031
2014	516	552	98.4	131	3,386	850	658	153.6	25.3	560	126	1095
2015	531	572	102	140	3,090	910	682	153.8	25.8	520	121	1189
2016	569	652	108	141	3,094	828	723	149.8	15.7	540	134	1317
2017	620	701	117	147	3,370	833	776	149.6	23.1	609	143	1420
2018	633	505	476	138	3,667	896	807	208	45.6	780	151	1232

数据来源：CEIC 全球经济数据库

表 4. 东南亚 12 个港口的投入数据 (单位: 个、米、万平方米)

港口投入	胡志明港	马尼拉港	海防港	关丹港	新加坡港	丹戎帕拉帕斯港	林查班港	曼谷港	西哈努克城港	丹戎不碌港	檳城港	巴生港
泊口数量 (X1)	15	26	21	19	76	14	11	8	9	40	8	25
泊口深度 (X2)	11	11.6	10.5	11.2	16	19	16	8.2	10.5	14	12.8	13.4
桥吊数量 (X3)	40	48	65	30	212	27	16	60	18	28	28	95
堆场面积 (X4)	50	64	40.4	30	150	120	155	14.8	6.5	110	25	84

数据来源: www.ufsoo.com

## 5. DEA 基本效率分析

现在通过 DEAP2.1 软件, 完成对收集到的东南亚 12 个港口的数据进行测算, 从而得到这 12 个港口 2010-2018 年的综合效率、纯技术效率、规模效率和规模报酬, 测算结果如表 5、表 6、表 7 和表 8, 并对这些测算结果进行进一步的分析 and 研究。

### 5.1 综合效率分析

综合效率主要是说明了投入要素的生产效率是否存在一定的问题, 港口的结构能否符合总体要求并使之发挥最大的经济效益。表 5 为东南亚 12 个港口 2010-2018 年的综合效率。

表 5. 2010-2018 年东南亚 12 个港口物流的综合效率

港口年份	胡志明港	马尼拉港	海防港	光丹港	新加坡港	丹戎帕拉帕斯港	林查班港	曼谷港	西哈努克城港	丹戎不碌港	檳城港	巴生港
2010	0.695	0.599	0.114	0.300	1	1	1	0.531	0.146	0.76	0.436	1
2011	0.758	0.611	0.125	0.261	1	1	1	0.491	0.165	0.875	0.437	1
2012	0.760	0.618	0.125	0.259	1	1	1	0.407	0.153	0.933	0.467	1
2013	0.752	0.608	0.125	0.232	1	1	1	0.467	0.163	0.817	0.428	1
2014	0.718	0.605	0.135	0.231	1	1	1	0.458	0.17	0.743	0.391	1
2015	0.772	0.653	0.161	0.421	1	1	1	0.502	0.194	0.675	0.463	1
2016	0.839	0.759	0.171	0.257	1	1	1	0.491	0.112	0.718	0.446	1
2017	0.855	0.758	0.160	0.247	1	0.993	1	0.451	0.157	0.761	0.442	1
2018	0.819	0.684	0.482	0.248	1	1	1	0.575	0.287	0.929	0.416	1

资料来源: 本文自行整理

从上述可以看出, 综合效率为 1 的四个港口 (新加坡港、丹戎帕拉帕斯港、林查班港、巴生港), 其物流投入-产出相对效率在 DEA 中是有效状态, 其余港口物流效

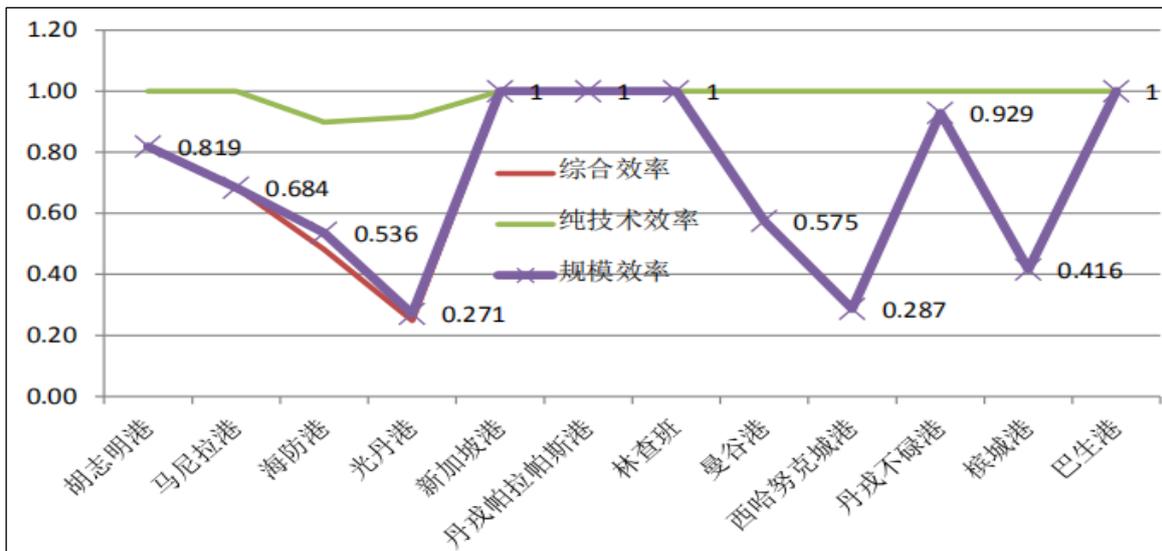
率则为非有效状态；其中海防港、西哈努克城港和光丹港的综合效率过低，为明显无效状态，说明这三个港口的投入要素的生产效率过低，需要宏观的政策调整或者是资源配置进行变革，才能使其效率回到正轨。马尼拉港、曼谷港、檳城港和丹戎不碌港的综合效率存在一些效率问题，说明港口需要一定的调整措施，才能达到相对均衡的状态。

表 5 显示了 2010-2018 年东南亚 12 个港口物流的综合效率的计算结果。从表 5 之中可以得出，在 2010 年中，只有林查班港、新加坡港、丹戎帕拉帕斯港和巴生港的综合效率为 1，其他港口的综合效率都不足 1；尤其是海防港和西哈努克城港的综合效率都比较偏低。在 2011 中，东南亚这 12 个港口的综合效率相对于 2010 来说都是处于增加的状态，但是综合效率到达 1 的还是只有林查班港、新加坡港、丹戎帕拉帕斯港和巴生港，其余的港口的综合效率相对于新加坡港、林查班港、丹戎帕拉帕斯港和巴生港来说还是较低的。

在 2012 年，大部分的港口的综合效率是逐渐增加或者不变的，仅光丹港、曼谷港和西哈努克城港是处于降低状态，说明这三个港口并没有在综合效率上保持良好的态势。在 2013 年时，除了新加坡港、林查班、丹戎帕拉帕斯港和巴生港之外，大部分港口的综合效率都出现降低情况，这说明除了这四个港口，其他港口的物流效率都出现一定程度上的下降。

在 2014 年到 2015 年除了丹戎不碌港的综合效率下降，其他 11 个港口的综合效率值都是处于增长状态，说明这 11 个港口物流的效率是增长的。在 2016 到 2017 年除了丹戎不碌港、胡志明港和西哈努克城港的综合效率是处于上升状态外，其他 9 个港口的综合效率维持平稳。2018 年丹戎不碌港的综合效率值上升到 0.929 接近于 1。

图 1 为 2017 年东南亚 12 个港口物流的综合效率折线统计图。可以看出，除了丹戎帕拉帕斯港在 2017 的综合效率略微波动外，这 12 个港口之中只有林查班港、新加坡港、巴生港和丹戎帕拉帕斯港在 2010-2018 年的综合效率一直都是为 1，在综合效率上总体保持着良好的态势，这也说明这三个港口物流的效率相对于其他港口更加的稳定。



资料来源：本文自行整理

图 1. 2018 年东南亚港口的综合效率、纯技术效率和规模效率比较图

## 5.2 纯技术效率分析

纯技术效率主要说明港口投入产出规模的问题，指规模能否符合要求，并使之发挥最大的经济效益。表 6 为 2010-2018 东南亚 12 个港口的纯技术效率。

表 6. 2010-2018 年东南亚 12 个港口物流的纯技术效率

港口年份	胡志明港	马尼拉港	海防港	光丹港	新加坡港	丹戎帕拉帕斯港	林查班港	曼谷港	西哈努克城港	丹戎不碌港	檳城港	巴生港
2010	1	0.954	0.819	0.934	1	1	1	1	1	0.960	1	1
2011	1	0.953	0.825	0.929	1	1	1	1	1	1	1	1
2012	1	0.955	0.821	0.930	1	1	1	1	1	1	1	1
2013	1	0.954	0.818	0.929	1	1	1	1	1	0.976	1	1
2014	1	0.958	0.820	0.934	1	1	1	1	1	0.961	1	1
2015	1	1	0.830	0.995	1	1	1	1	1	0.936	1	1
2016	1	0.969	0.835	0.928	1	1	1	1	1	0.931	1	1
2017	1	1	0.836	0.925	1	1	1	1	1	0.940	1	1
2018	1	1	0.899	0.916	1	1	1	1	1	1	1	1

资料来源：本文自行整理

表 6 显示的是 2010-2018 年东南亚 12 个港口的纯技术效率计算结果。从表 6 可见，纯技术效率始终保持为 1 的港口有胡志明港、新加坡港、丹戎帕拉帕斯港、林查班港、曼谷港、西哈努克城港、檳城港和巴生港这 8 个港口，说明这 8 个港口的纯技术效率处于较好的状态，也表明这 8 个港口物流投入-产出结构是协调发展的；而马尼拉港、海防港、光丹港和丹戎不碌港的纯技术效率，相对与其他八个港口来说是处于比较差的状态。

海防港、光丹港在 2010-2018 年始终低于 1，马尼拉、丹戎不碌港则时有波动，但 2018 年均提升达 1。在表 6 之中可以看出，虽然说马尼拉港的纯技术效率没有在 2010-2018 年全部为 1，但是马尼拉港在 2015 年、2017 年和 2018 年纯技术效率达到了 1，并且马尼拉港的纯技术效率在大部分时间是相对增长的。海防港的纯技术效率在 2010-2018 年中没有一年达到 1，但是 2010-2011 和 2014-2018 年都处于增长，只有在 2012 到 2013 年期间是处于下降的。光丹港的纯技术效率也是在 2010-2018 年之中没有一年达到 1，并且在后面三年是处于下降状态。丹戎不碌港的规模效率在 2011 年、2012 年和 2018 年达到了 1，然而在 2013 到 2017 年每年的纯技术效率都是处于递减的状态，这表明港口物流投入-产出规模并未抵达最优状态，港口物流规模程度的重新调整尚有空间。

在这四个港口之中，马尼拉港和丹戎不碌港的纯技术效率，相对于海防港和光丹港来说是处于比较好的状态，而海防港和光丹港的纯技术效率是处于较差的状况，这表明了海防港和光丹港的物流投入-产出规模是较差的，需要对其进行深度的调整。

结合图 1 的 2018 年东南亚港口的纯技术效率折线图，可以看出除了海防港、光丹港和丹戎不碌港的纯技术效率没有达到 1，其他 9 个港口的纯技术效率全部达到 1，这表明了海防港、光丹港和丹戎不碌港的物流投入-产出规模未臻理想，需要对规

模进行更加深度的调整。

### 5.3 规模效率分析

规模效率是指产业结构通过优化配置对产出单元所发生作用的大小，主要说明资源是否能够高效的利用。表 7 为东南亚 12 个港口 2010-2017 的规模效率。

表 7. 2010-2018 年东南亚 12 个港口物流的规模效率

港口年份	胡志明港	马尼拉港	海防港	关丹港	新加坡港	丹戎帕拉帕斯港	林查班港	曼谷港	西哈努克城港	丹戎不碌港	檳城港	巴生港
2010	0.695	0.628	0.140	0.321	1	1	1	0.531	0.146	0.791	0.436	1
2011	0.758	0.641	0.152	0.281	1	1	1	0.491	0.165	0.875	0.437	1
2012	0.760	0.647	0.153	0.279	1	1	1	0.407	0.153	0.933	0.467	1
2013	0.752	0.637	0.153	0.250	1	1	1	0.467	0.163	0.837	0.428	1
2014	0.718	0.632	0.164	0.247	1	1	1	0.458	0.170	0.773	0.391	1
2015	0.772	0.653	0.194	0.423	1	1	1	0.502	0.194	0.722	0.463	1
2016	0.839	0.784	0.205	0.277	1	1	1	0.491	0.112	0.772	0.446	1
2017	0.855	0.758	0.192	0.267	1	0.993	1	0.451	0.157	0.809	0.442	1
2018	0.819	0.684	0.536	0.271	1	1	1	0.575	0.287	0.929	0.416	1

资料来源：本文自行整理

表 7 显示 2010-2018 年东南亚 12 港口规模效率的计算结果。在这 12 个港口之中，规模效率始终为 1 的有新加坡港、林查班港、巴生港和丹戎帕拉帕斯港，在 2010-2018 年技术效率不足 1 的港口有 8 个港口。

从表 7 还可以看出，在规模效率不足 1 的港口之中，海防港、光丹港、西哈努克城港的规模效率是偏低的，而在其他规模效率不足 1 的港口中，胡志明港、马尼拉港、曼谷港、丹戎不碌港和檳城港的规模效率相对来说还是比较可观的，海防港在 2018 年规模效率值达 0.536，有较大进步。

结合图 1 的 2018 年东南亚港口的规模效率折线图可知，在 2018 年规模效率达到 1 或接近 1 的有新加坡港、林查班港、巴生港、丹戎不碌港和丹戎帕拉帕斯港，这说明这 5 个港口的资源利用效率非常合理，其他规模效率不足 1 的港口需要提高资源的利用率。优化港口的资源，使资源能够高效的利用，要坚持走集约化、多元化的发展道路，从而提高资源的利用率。

### 5.4 规模收益变动趋势分析

规模收益能够反应港口的物流产出以及物流投入的情况，能够反应港口将生产要素等比例增加时，产出增加价值大于增加价值的情况。表 8 是 2010-2017 东南亚 12 个港口的规模收益。

这 12 个港口中，新加坡港、丹戎帕拉帕斯港、林查班和巴生港的规模收益始终不变。胡志明港在 2014、2016-2018 年规模收益呈现递增状态的，马尼拉港在 2017-2018 年呈现递增状态，海防港在 2013-2014 和 2016-2018 年呈现递增状态，光丹港

在 2016-2018 年呈现递增状态，曼谷港在 2014、2017-2018 年递增状态，其他除了几个成熟的港口，如新加坡港、林查班港、巴生港、巴生港和丹戎帕拉帕斯港，则在 2018 年均处于递增状态的。

表 8. 2010-2018 年东南亚 12 个港口物流的规模收益

港口年份	胡志明港	马尼拉港	海防港	关丹港	新加坡港	丹戎帕拉帕斯港	林查班港	曼谷港	西哈努克城港	丹戎不碌港	檳城港	巴生港
2010	-	-	irs	irs	-	-	-	-	drs	irs	-	-
2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	irs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2013	-	irs	irs	-	-	-	-	-	-	-	drs	-
2014	irs	-	irs	irs	-	-	-	irs	drs	-	drs	-
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	irs	-	-
2016	irs	-	irs	-	-	-	-	-	drs	-	-	-
2017	-	-	-	-	-	-	-	irs	-	irs	drs	-
2018	irs	irs	irs	irs	-	-	-	irs	irs	irs	irs	-

注：irs 表示规模报酬递增；drs 表示规模报酬递减；-表示规模报酬不变  
资料来源：本文自行整理

总之，东南亚 12 个港口物流投入-产出规模收益整体来说是表现为递增的，其中新加坡港、丹戎帕拉帕斯港、林查班港和巴生港的规模收益是处于成熟稳定和不变的状态的，这说明了这 4 个港口物流效率的重心，应该聚集在现有的资源如何利用与管理上；胡志明港、马尼拉港、海防港、光丹港、曼谷港、丹戎不碌港是处于规模收益递增状态，表明其物流产出增加的速率明显高于其投入值，故应适当增加物流投入的资源，并采用科学的方法加以利用；只有檳城港和西哈努克城港常处于规模效益递减状态，因此这两个港口应该进行适当物流投入资源的调整，进一步完善资源分配，增强港口物流的管理水平。

## 5.5 港口分类

通过上述的数据，可以得出这 12 个港口的优劣势所在，将通过港口效率的高低对这 12 个港口进行分类，以便航商对港口的选择。在此选择 2017 年东南亚 12 个的综合效率对港口进行分类（见表 9），以为航商对港口的选择提供参考。

表 9. 2017 年东南亚 12 港口综合效率分类

效率值	港口
1	新加坡港、林查班港、巴生港
0.8-1	胡志明港、丹戎帕拉帕斯港
0.5-0.8	马尼拉港、丹戎不碌港
0.3-0.5	曼谷港、檳城港
0-0.3	海防港、光丹港、西哈努克城港

资料来源：本文自行整理

## 6. 投入产出分析和投影分析

### 6.1 投入冗余产出不足分析

投入冗余产出不足分析主要能够分析出这些存在问题的港口，可以通过一些方法来减少投入和增加产出。下面重点分析最新年度 2018 年东南亚 12 个港口存在投入产出存在冗余的港口。如表 10，original value 是表示原始值，radial movement 是投入冗余值，slack movement 是产出不足值，projected value 是达到 DEA 有效的目标值。如果投入和产出没有冗余和不足，所以其 DEA 有效目标值是原始值，而像海防港、光丹港和丹戎不碌港存在一定的产出不足和投入冗余，所以其有效 DEA 目标值要加上投入冗余值和产出不足值。

表 10. 2018 年东南亚存在投入冗余和产出不足的港口

	Variable	Original value	Radial movement	Slack movement	Projected value
海防港	吞吐量	0.3287	0	0.160	0.489
	集装箱吞吐量	476	0	0	476
	泊口数量	21	-2.121	-6.078	12.801
	泊口深度	10.5	-1.060	0	9.440
	桥吊数量	65	-6.564	0	58.436
	堆场面积	40.4	-4.080	-4.633	31.687
	光丹港	吞吐量	0.1632	0	0
集装箱吞吐量		138	0	0	138
泊口数量		19	-1.593	-7.419	9.988
泊口深度		11.2	-0.939	0	10.261
桥吊数量		30	-2.516	0	27.484
堆场面积		30	-2.516	-16.460	11.024

资料来源：本文自行整理

在表 10 可以看出海防港在 2018 年比 2017 年的产出有了较大的提升，弥补了 2017 年集装箱吞吐量 61.332 万 TEU 的缺口，仅货物吞吐量差 0.16 亿吨。在投入之中也出现了冗余的情况，在泊口数量投入冗余了 8.199，这说明了泊口数量可以减少 8 个；在泊口深度冗余了 1.060 米，说明泊口深度可以减少 1 米；在桥吊数量上冗余了 6.564 个，说明桥吊数量可以减少 6 个；在堆场面积上冗余了 8.713 万平方米，说明堆场面积可以减少 8.7 万平方米。

光丹港在投入方面，泊口数量应当减少 9.012 约等于 9 个，泊位深度应当减少 0.939 米，在桥吊数量上应减少 2.516 个，在堆场面积上应当减少 18.976 万平方米。

从上述可以看出海防港和光丹港在产出出现不足，这说明这两个港口已经拥有的基础设施建设，可以负载更多的集装箱和货物吞吐。这两个港口投入也存在不同程度冗余的情况，无独有偶这两个港口的规模收益处于递增的状态，于是对加大投资以扩大规模而跃跃欲试，但是又由于港口本身技术无效率，管理和技术等方面不具有规模经济，如此循环，就成为了投入冗余而又产出不足的主要原因。

### 6.2 投影分析

决策单元在 DEA 相对有效的投影分析，是 DEA 方法中的重要内容，DEA 方法

通过投影来分析决策单元非有效的原因和程度，预测决策单元可能达到的有效程度，发现各个决策单元调整投入规模的正确方向和程度，为管理提供重要的决策信息。投影分析如表 11 至表 15。

### 6.2.1 非 DEA 有效根据 DEA 有效投影 (SUMMARY OF PEERS)

PEERS 表示的是可以作为效率改进参照的港口序号，非 DEA 有效的港口可以根据相应的 DEA 有效港口进行投影，对投入产出进行调整，便可以实现 DEA 有效。由表 11 可知海防港可以参照新加坡港、曼谷港和胡志明港，对投入产出进行调整，从而实现 DEA 有效。光丹港可以参照新西哈努克城港、新加坡港、曼谷港和胡志明港，对投入产出进行调整，从而实现 DEA 有效。

表 11. 非 DEA 有效根据 DEA 有效的投影

DUM	FIRM	PEERS WEIGHTS
胡志明港	1	1
马尼拉港	2	2
海防港	3	5、8、1
光丹港	4	9、1、8、5
新加坡港	5	5
丹戎帕拉帕斯港	6	6
林查班港	7	7
曼谷港	8	8
西哈努克城港	9	9
丹戎不碌港	10	10
檳城港	11	11
巴生港	12	12

资料来源：本文自行整理

### 6.2.2 非 DEA 有效根据 DEA 有效投影权重 (SUMMARY OF PEERS WEIGHTS)

PEERS WEIGHTS 表示作为效率改进参照港口所占的权重，在表 12 中可以看出海防港要想实 DEA 有效，参考港口的权重曼谷港占了 0.620，胡志明港占了 0.345，新加坡港占了 0.035。光丹港想要实现 DEA 有效，参考港口的权重西哈努克城港占 0.812，胡志明港占 0.029，新加坡港占 0.014，曼谷港占 0.145。通过参考这些港口的权重占比，能够使海防港和光丹港更加成功的实现 DEA 有效。

### 6.2.3 非 DEA 有效根据 DEA 有效投影次数 (SUMMARY OF PEERS COUNT)

PEERS COUNT 表示有效样本被参考的次数，在表 13 可知胡志明港被参考了 2 次，新加坡港被参考了 2 次，曼谷港参考了 2 次，西哈努克城港被参考了 1 次，其他港口没有被参考。

表 12. 非 DEA 有效根据 DEA 有效的投影的权重

DUM	FIRM	PEERS WEIGHTS
胡志明港	1	1
马尼拉港	2	2
海防港	3	0.035、0.345、0.620
光丹港	4	0.029、0.014、0.812、0.145
新加坡港	5	5
丹戎帕拉帕斯港	6	6
林查班港	7	7
曼谷港	8	8
西哈努克城港	9	9
丹戎不碌港	10	10
檳城港	11	11
巴生港	12	12

资料来源：本文自行整理

表 13. 非 DEA 有效根据 DEA 有效的投影的次数

DUM	FIRM	PEERS COUNT
胡志明港	1	2
马尼拉港	2	0
海防港	3	0
光丹港	4	0
新加坡港	5	2
丹戎帕拉帕斯港	6	0
林查班港	7	0
曼谷港	8	2
西哈努克城港	9	1
丹戎不碌港	10	0
檳城港	11	0
巴生港	12	0

资料来源：本文自行整理

#### 6.2.4 产出的目标值 (SUMMARY OF OUTPUT TARGETS)

SUMMARY OF OUTPUT TARGETS 是各输出单元的目标值，如果是 DEA 有效单元则是原始值。在表 14 中可知除了海防港、光丹港是非 DEA 有效单元，其他都是 DEA 有效单元。

#### 6.2.5 投入的目标值 (SUMMARY OF INPUT TARGETS)

SUMMARY OF INPUT TARGETS 是各投入单元的目标值，DEA 有效就是原始值，在表 15 可知海防港、光丹港和丹戎不碌港是非 DEA 有效。其他港口都是 DEA 有效。

表 14. 产出的目标值

DUM	FIRM OUTPUT	1	2
胡志明港	1	0.468	633.0
马尼拉港	2	1.076	505.0
海防港	3	0.489	476.0
光丹港	4	0.163	138.0
新加坡港	5	6.262	3,667.0
丹戎帕拉帕斯港	6	1.302	896.0
林查班港	7	1.215	807.0
曼谷港	8	0.173	208.0
西哈努克城港	9	0.043	45.6
丹戎不碌港	10	0.300	780.0
檳城港	11	0.289	151.0
巴生港	12	2.207	1,232.0

资料来源：本文自行整理

表 15. 投入的目标值

DUM	FIRM INPUT	1	2	3	4
胡志明港	1	15.000	11.000	40.000	50.000
马尼拉港	2	26.000	11.600	48.000	64.000
海防港	3	12.801	9.440	58.436	31.687
光丹港	4	9.988	10.261	27.484	11.024
新加坡港	5	76.000	16.000	212.000	150.000
丹戎帕拉帕斯港	6	14.000	19.000	27.000	120.000
林查班港	7	11.000	16.000	16.000	155.000
曼谷港	8	8.000	8.200	60.000	14.800
西哈努克城港	9	9.000	10.500	18.000	6.500
丹戎不碌港	10	40.000	14.000	28.000	110.000
檳城港	11	8.000	12.800	28.000	25.000
巴生港	12	25.000	13.400	95.000	84.000

资料来源：本文自行整理

## 7. 结论与建议

本文利用 DEA 分析法，分析东南亚港口物流的相对效率，主要分析港口存在综合效率、纯技术效率、规模效率和规模报酬不足问题。首先在 CEIC 全球数据库之中，获取分析对象的基本数据，在对这些数据进行整理的基础上，借助 DEAP 软件计算出东南亚这 12 个港口的综合效率、纯技术效率、规模效率和规模报酬，找出这 12 个港口之中存在的基本问题，并对综合效率、纯技术效率、规模效率和规模报酬不足问题，进一步进行投影分析，基于实际情况与理论相结合，提出相应的解决方案，指出完善的空间，依此形成对港口运作的初步建议。

### (1) 对资源配置进行优化

对于这 12 个港口来说，综合效率存在问题的港口有胡志明港、马尼拉港、海防港、光丹港、曼谷港、西哈努克城港、丹戎不碌港和槟城港，所以需要对这些港口的资源配置进行优化，这样才能使港口的效率不断地提高。

港口资源优化有利于港口的发展，能够提高港口的竞争力，从而提高港口的经济收益，也能使港口争取到更多的资源和发展空间。资源配置的优化还有利于港口的资源供给与需求的关系得到更好的协调；最重要的是港口资源配置的优化，能够帮助港口物流核心技术的提高，这不管是对于港口的经济收益还是港口未来的发展，都是具有重大意义的。

### (2) 调整港口物流的规模

在东南亚这 12 个港口之中，存在纯技术效率不足的港口有海防港和光丹港，纯技术效率不足说明了投入产出规模较差，要对这些港口的物流规模进行调整。港口规模的调整对港口物流经济的发展具有重大的意义，能够改善港口发展的协调性，能够提高港口的效率。对于港口规模不足的港口来说，需要一定程度上扩大一些规模，但是港口规模不能超过市场的需求，否则就会存在“过热”的问题。对于港口存在过多的规模，则需要对港口的规模进行一些缩小，这样才能够使港口的规模更加的适当与合理，提高物流效率。

### (3) 提高资源的利用率

由于东南亚这 12 个港口之中，规模效率不足的港口有胡志明港、马尼拉港、海防港、光丹港、曼谷港、西哈努克城港、丹戎不碌港和槟城港，要想改变这个问题，就需要提高港口资源的利用率，从而能让港口有更好的效率。想要提高港口资源的利用率，可以通过两个环节来提高资源利用率：第一是加强港口建设，第二是提高技术。

东南亚这 12 港口除了一些港口的基础设施建设是相对完整，大多数港口的基础设施尚不够完善，想要提高港口的资源利用率，就要对基础设施进行进一步的建设；这 12 个港口之中，技术水平不高的港口偏多，想要提高资源的利用率，就必须提高港口的技术，这样才能让港口更好地发展。

总之，综合效率存在不足的港口，需要对宏观政策进行调整和资源配置进行优化，纯技术效率不足的港口，需要对物流规模进行一定程度上的调整；规模效率不足的港口，需要提高资源的利用率；规模报酬不足的港口，需要增强港口的物流水平，对投入资源进行适当的调整。

## 参考文献

1. 魏权龄 (2004)。数据包络分析。北京：科学出版社。
2. 马占新 (2010)。数据包络分析模型与方法。北京：科学出版社。
3. 何逢标 (2010)。综合评价方法 MATLAB 实现。北京：中国社会科学出版社。
4. 刘波 (2014)。基于数据包络分析的保险应用研究。北京：科学出版社。
5. 龙勇、纪晓锋 (2005)。高技术产业技术进步的 DEA 分析。统计与决策，6，72-74。
6. 赵冰梅、高磊、任冬 (2015)。基于投入主导 DEA 模型的我国沿海主要港口物流效率研究。对外经贸，10，66-69。
7. 徐超 (2006)。基于 DEA 法的我国第三方物流企业效率评价研究 (未出版之硕

- 士论文)。浙江省：浙江工业大学。
8. 吴文江 (1993)。有关决策单元变为 DEA 有效的方法。上海建材学院学报, 1, 62-68。
  9. 林仁灶 (2015)。中国港口上市公司绩效 DEA 分析。重庆科技学院学报 (社会科学版), 8, 105-106+114
  10. 岳巧红、封学军 (2008)。基于 DEA 模型的港口企业规模效率评估。水运工程, 1, 46-49。
  11. 黄勇、彭文冲、裘伟超 (2010)。基于 DEA 的广东省物流系统效率评价。物流工程与管理, 32(10), 23-25+41。
  12. 庄茜、李绍武 (2008)。改进 DEA 在港口效率评价中的应用。天津城市建设学院学报, 2, 102-105。
  13. 邓娟 (2012)。中国港口效率的 DEA 测度与提升研究-基于动态比较优势增进的视角 (未出版之博士论文)。浙江省：浙江大学
  14. Cullinane, K., Song, D. W., & Wang, T. F. (2004). An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. *Review of Network Economics*, 3, 186-208.
  15. Nahangi, M., Chen, Y. T., & McCabe, B. (2019). Safety-based efficiency evaluation of construction sites using data envelopment analysis. *Safety Science*, 113, 382-388.
  16. Jiang, B., & Li, J. (2009). DEA-based performance measurement of sea-ports in Northeast Asia: Radial and non-radial approach. *The Asian Journal of Shipping and logistics*, 25(2), 219-236.

收稿日期：2020-12-23  
责任编辑、校对：曾晶蕊、江雅轩