

• 交通运输 •

文章编号: 1002-3100 (2020) 07-0078-04

# “一带一路”下的福建省港口绩效评价研究 ——基于 PCA-DEA 组合模型

Research on Fujian Port Performance Evaluation under “the Belt and Road” Initiative  
——Based on PCA-DEA Combination Model

郭雨珏, 邵 博, 冯 昊, 叶 翀 GUO Yujue, SHAO Bo, FENG Hao, YE Chong  
(福州大学 经济与管理学院, 福建 福州 350116)

(School of Economics and Management, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

**摘 要:** 港口作为全球航运系统重要节点, 其在物流网络中所发挥的作用不可小觑, 而科学、全面、准确地评价港口绩效, 是保证港口物流系统高效运行, 实现其经济价值及目标的基石和关键。文章基于主成分分析法 (PCA) 和数据包络分析法 (DEA), 构建 PCA-DEA 组合评价模型, 建立适合港口物流的绩效评价体系。首先, 该组合模型针对港口物流企业指标主成分分析排序筛选, 再将提取结果作为数据包络分析的投入与产出指标进行 DEA 分析, 对福建省三大港口实证分析, 为“一带一路”港口建设提供参考和建议。

**关键词:** 港口物流; 绩效评价; PCA; DEA

**中图分类号:** U691 **文献标识码:** A

**DOI:** 10.13714/j.cnki.1002-3100.2020.07.019

**Abstract:** As an important node of the global shipping system, ports play an important role in the logistics network. Scientific, comprehensive and accurate evaluation of port per-

formance is the cornerstone and key to ensure the efficient operation of the port logistics system and realize its economic value and goals. Based on principal component analysis (PCA) and data envelopment analysis (DEA), this paper constructs a PCA-DEA combination evaluation model and establishes a performance evaluation system suitable for port logistics. Firstly, the combined model conducts index principal component analysis sorting and screening for port logistics enterprises, and then uses the extracted results as input and output indexes of data envelopment analysis to conduct DEA analysis, which provides reference and suggestions for the construction of “the belt and road” initiative port through empirical analysis of the three major ports in Fujian province.

**Key words:** port logistics; performance evaluation; PCA; DEA

## 0 引 言

近年来, 随着生产经营与经济贸易的日趋全球一体化, 我国积极探索与国际全面接轨的佳径, 与世界各国的经济贸易愈加频繁。2013 年至今, 在“一带一路”的合作领域互联互通, 基础建设全面开启的过程中, 物流与商流、资金流等并驾齐驱, 现代物流业已经发展为国民经济的重要支柱产业。而港口物流作为全球干线运输重要组成部分、全球运输网络的重要节点和货物集散地, 在“21 世纪海上丝绸之路”中扮演举足轻重的角色, 促进我国与其他国家、地区之间的商贸往来, 对经济进一步发展影响显著。

港口物流 (Port Logistics) 指沿海沿江的中心港口城市以原有临港产业为基础, 利用其口岸优势, 包含金融、科技、商贸的现代化综合物流服务体系。“一带一路”的实施对港口物流带来重大的发展机遇。据国家统计局公布的数据显示, 2018 年全国港口货物吞吐量 133 亿吨, 集装箱吞吐量 24 955 万 TEU, 比上年增长 2.7% 和 5.2%。而福建省作为“21 世纪海上丝绸之路”的核心区, 省内沿海重要港口皆被列为战略支点, 2018 年全省港口货物吞吐量同比增长 7.3%, 港口集装箱吞吐量同比增长 5.3%。在这样巨大的市场规模中, 科学、全面、准确地诊断港口物流状况, 合理地配置资源是港口长期持续发展的重要方

**收稿日期:** 2020-04-18

**基金项目:** 福建省软科学基金项目“跨界融合创新催生新业态的预测研究” (2018R0048); 省级大学生创新创业训练计划立项项目 (S201910386069)

**作者简介:** 叶 翀 (1976-), 本文通讯作者, 男, 福建福州人, 福州大学经济与管理学院, 副教授, 博士, 同济大学经济与管理学院博士后, 硕士生导师, 研究方向: 流通国际化、流通业态论。

式，而对其物流活动综合有效的绩效评价是至关重要的前提。科学研究港口物流绩效问题，减少港口物流系统成本，提高港口物流效率，对“一带一路”的推进实施和现代化物流产业的建设发展将起到促进作用。

## 1 研究现状

绩效研究需要多指标的综合评价，鉴于数据包络分析（DEA）能处理多投入、多产出指标的优点，该方法在港口物流绩效测度中的研究形式也已趋于成熟。云俊、张帆（2006）利用 DEA 对我国主要集装箱港口的物流效率进行综合评价，探讨各大港口的瓶颈问题与改善措施。学者们在研究进程中发现，当评价指标的数量扩大到一定程度时，通过 DEA 提取决策单元实际差异的可靠性和精确度将被限制。曹阳龙、史本山（2006）将主成分分析法（PCA）与 DEA 相结合，提出 PCA-DEA 复合评价模式，以解决直接采用 DEA 的限制问题。融入 PCA 的 DEA 应用领域广泛，逐渐受到广大学者的关注。帅斌、杜文（2006）分别用 DEA 和 PCA 计算物流产业数据，进行逐年评价与综合分析，助力物流产业的优化和发展。Chun-hua Ju 等（2012）采用 DEA 和 PCA 方法对长三角地区 25 个城市的物流网络基础设施进行了 4 个聚类的实证研究与比较，为物流网络基础设施的合理建设提出有效的改进建议。同时，陈思云、彭俊（2012）与蒋建洪、杨建波（2019）也将 PCA-DEA 两阶段法应用到港口物流绩效的研究中，分别对我国重要港口与多家上市港口类物流公司的绩效进行量化分析。而吕靖、张新放（2018）在 PCA 处理的基础上提出三阶段 DEA 法以剔除外部因素的干扰，基于港口效率评价提出有效发展对策。

## 2 研究方法

### 2.1 主成分分析法（PCA）

主成分分析（Principal Component Analysis）是一种得到广泛应用的多元统计分析方法，通过数学变换将原来相关的各原始变量转变为相互独立的分量后，再计算分量的综合评价值。其优点在于：能够消除评价指标之间的相关影响，降低信息损失；且具有较强的提取能力，能有效进行指标选取。

### 2.2 数据包络分析（DEA）

数据包络分析（Data Envelopment Analysis）是 1978 年由美国运筹学家 A.Charnel 和 W.W.Cooper 提出的一种交叉管理科学、运筹学和数理经济学的研究方法，它是根据多指标投入和多指标产出指标，运用线性规划的方法，对具有可比性的指标进行相对性评价的数学分析方法。

若在评价体系中共存在  $n$  个评价对象，即 DEA 中的决策单元 DMU，而指标体系由  $m$  个投入指标和  $\delta$  个产出指标构成，其中第  $j$  个决策单元的投入变量为  $X_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{mj})^T > 0, j=1, 2, \dots, n$ ，产出变量  $Y_j = (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{j\delta})^T > 0, j=1, 2, \dots, n$ 。则评价第  $j_0$  个决策单元的含有非阿基米德无穷小量  $\varepsilon$  的  $C^2R$  模型为：

$$(P) C^2R \begin{cases} \max \mu^T Y_{j_0} \\ \text{s.t. } \omega^T X_j - \mu^T Y_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n \\ \omega^T X_{j_0} = 1 \\ \omega \geq \varepsilon e, \mu \geq \varepsilon e, e = (1, \dots, 1)^T \in E_m \\ e = (1, \dots, 1)^T \in E_\delta \end{cases}$$

## 3 港口物流绩效评价指标体系的选取

港口物流绩效指标的选取反映港口物流的内涵，体现港口各方面的实际状况。综合考虑现实中投入与产出指标的可获取性、可代表性与可比较性，本文海选出高频且富有象征性的港口物流评价指标，从港口建设水平和港口物流服务水平层面建立包括码头泊位数和货物综合能力在内的 5 个投入指标；从港口吞吐量、港口经济环境与港口发展潜力三个层面建立包括货物吞吐量、港口城市 GDP 与其增长率在内的 14 个产出指标。评价指标体系见表 1。根据所构建的指标体系，本文选取福建省重要港口 2009~2018 年的截面数据进行实证研究，数据来源于《中国港口统计年鉴》。

## 4 基于 PCA-DEA 的福建省港口物流绩效实例分析

应用 PCA-DEA 模型解决港口物流绩效评价问题的核心：首先应用 PCA 针对港口物流指标进行主成分分析

表 1 港口物流绩效评价指标体系

指标类型	准则层	具体指标	单位
投入指标	港口建设水平	固定资产投资	亿元
		生产用码头泊位数	个
		万吨级以上泊位数	个
	物流服务水平	货物综合能力	万吨
		船舶运载力	万载重吨
产出指标	港口吞吐量	货物吞吐量	万吨
		外贸货物吞吐量	万吨
		集装箱吞吐量	万 TEU
		旅客吞吐量	万人次
	港口经济环境	港口城市 GDP	亿元
		港口城市人均 GDP	亿元
		对外贸易进出口总额	万美元
		社会消费品零售总额	亿元
	港口发展潜力	货物吞吐量增长率	%
		外贸货物吞吐量增长率	%
		集装箱货物增长率	%
		旅客吞吐量增长率	%
		港口城市 GDP 增长率	%
		港口城市人均 GDP 增长率	%

排序筛选,对评价指标体系中的众多指标进行特征提取,选出对港口物流绩效累计贡献率较大的指标作为数据包络分析的投入与产出指标;然后再通过 DEA 计算各个港口的效率值和规模报酬,进而结合计算结果进行综合评价。

#### 4.1 PCA 分析提取指标

在企业实际生产中,管理者往往以经营数据信息中可获取的指标为基础,在构建投入产出指标体系时尽可能增加评价指标的数量,同时考虑实际问题中各投入产出指标的可比性,以期产生全面的数据评价结果。再利用 PCA 模型对评价数据进行降维处理,在几乎完整保留原始变量信息的基础上有效提取信息,从而增强绩效评价的客观性和科学性。港口物流数据经 SPSS 软件处理,得到总方差解释,提取 4 个主要成分,其累积贡献率达 89.66%。

表 2 成分系数矩阵

成 分	1	2	3	4
固定资产投资 (亿元)	.060	.384	-.233	-.044
货物综合通过能力 (万吨)	.171	-.071	-.099	.095
生产用码头泊位 (个)	.115	.287	-.047	.413
万吨级及以上泊位 (个)	.174	.074	.094	.112
旅客吞吐量 (万人次)	.128	-.105	.373	-.315
货物吞吐量 (万吨)	.174	-.115	.025	-.031
外贸货物吞吐量 (万吨)	.166	.039	-.144	.249
集装箱吞吐量 (万 TEU)	.157	-.177	.222	-.169
货物吞吐量增长率 (%)	-.026	.308	.429	.176
外贸货物吞吐量增长率 (%)	-.081	-.092	.382	.573
集装箱吞吐量增长率 (%)	-.004	.389	.203	-.465

通过 SPSS 软件运行得出的成分系数矩阵 (见表 2),取前四个特征值,计算相应的特征向量,进而得到 4 个主成分表达式如下:

$$F_1 = 0.06X_1 + 0.17X_2 + 0.12X_3 + 0.17X_4 + 0.13X_5 + 0.17X_6 + 0.17X_7 + 0.16X_8 - 0.03X_9 - 0.08X_{10} - 0.004X_{11}$$

$$F_2 = 0.38X_1 - 0.07X_2 + 0.29X_3 + 0.07X_4 - 0.11X_5 - 0.12X_6 + 0.04X_7 - 0.18X_8 + 0.31X_9 - 0.09X_{10} - 0.39X_{11}$$

$$F_3 = -0.23X_1 - 0.10X_2 - 0.05X_3 + 0.09X_4 + 0.37X_5 + 0.03X_6 - 0.14X_7 + 0.22X_8 + 0.43X_9 + 0.38X_{10} + 0.20X_{11}$$

$$F_4 = -0.04X_1 + 0.10X_2 + 0.41X_3 + 0.11X_4 - 0.32X_5 - 0.03X_6 + 0.25X_7 - 0.17X_8 + 0.18X_9 + 0.57X_{10} - 0.47X_{11}$$

依照以上 4 个主成分所对应特征值占所提取主成分总特征值之和的比例,计算出对应的权重,从而得到综合得分模型如下:

$$F = 0.063X_1 + 0.077X_2 + 0.153X_3 + 0.137X_4 + 0.076X_5 + 0.076X_6 + 0.104X_7 + 0.071X_8 + 0.127X_9 + 0.057X_{10} + 0.051X_{11}$$

根据该综合得分模型,本文选取权重较大的 8 个指标,其中货物综合通过能力、生产用码头泊位、万吨级及以上泊位数这 3 个指标可作为 DEA 分析的投入指标;另外的旅客吞吐量、货物吞吐量、外贸货物吞吐量、集装箱吞吐量以及货物吞吐量增长率 5 个指标可作为 DEA 分析的产出指标。

#### 4.2 DEA 综合评价绩效

由以上分析得到 DEA 分析指标,利用 DEAP2.1 软件处理指标数据,对港口有效性分析与规模效益进行分析,进而得到投入导向下 2009~2018 年福建省福州、泉州、厦门三大港口的物流综合技术效率  $TE$ 、纯技术效率  $PTE$ 、规模效率  $SE$  与规模报酬  $RTS$  (见表 3)。

根据表 3 的数据处理结果,从综合技术效率角度分析,除了 2009 和 2016 年,福建省在另外 8 年均存在 1 个及以上港口物流综合技术效率为 1 的情形。其中,厦门港的综合技术效率在这 8 年均均为 1;泉州港的综合技术效率为 1 的年份有 2012、2015、2017 和 2018 年;福州港的综合技术效率为 1 的年份有 2011 和 2014 年。上述情况表示这些港口在各自综合技术效率为 1 的年份里投入合理,产出效率实现最大化,纯技术效率与规模效率均有效。福州港在这 10 年间的物流综合技术效率仅有 2 年达到 DEA 有效,说明该港投入冗余或产出不足的情况出现得较为频繁,相比于厦门港和泉州港还存在一定的差距。从规模效率角度看,除厦门港 (2016) 和福州港 (2018) 之外,各年份规模效率小于 1 的福建省港口,规模报酬均呈递增状态。港口规模效率无效是因港口物流资源利用效率低而导致,不理想的产出与投入之比造成规模效率未达到 DEA 有效值。而在此情形下规模报酬递增主要有两方面的原因,其一是政府对港口产业逐渐增强的重视程度与建设投入;其二是客户对港口基础设施要求的逐步提高,共同促成了近 10 年来港口发展规模的递增趋势。

表 3 2009~2018 年福建省港口企业物流效率分析

Firm	Crste	Vrste	Scale	规模报酬	Firm	Crste	Vrste	Scale	规模报酬
1	0.997	1.000	0.997	irs	16	1.000	1.000	1.000	—
2	0.829	1.000	0.829	irs	17	0.860	0.928	0.927	irs
3	0.879	1.000	0.879	irs	18	1.000	1.000	1.000	—
4	0.711	0.961	0.740	irs	19	0.890	0.912	0.976	irs
5	0.931	1.000	0.931	irs	20	1.000	1.000	1.000	—
6	1.000	1.000	1.000	—	21	1.000	1.000	1.000	—
7	1.000	1.000	1.000	—	22	0.898	0.907	0.990	irs
8	0.927	1.000	0.927	irs	23	0.966	0.966	1.000	—
9	1.000	1.000	1.000	—	24	0.994	1.000	0.994	drs
10	0.925	1.000	0.925	irs	25	0.853	0.853	1.000	—
11	1.000	1.000	1.000	—	26	1.000	1.000	1.000	—
12	1.000	1.000	1.000	—	27	1.000	1.000	1.000	—
13	0.993	1.000	0.993	irs	28	0.990	1.000	0.990	drs
14	0.928	0.966	0.960	irs	29	1.000	1.000	1.000	—
15	1.000	1.000	1.000	—	30	1.000	1.000	1.000	—

注：本表中 Crste=Technical Efficiency From CRS DEA; Vrste=Technical Efficiency From VRS DEA; Scale=Scale Efficiency=Crste/Vrste

## 5 总 结

本文运用 PCA 和 DEA 相结合的评价模型定性选取港口物流绩效指标体系，并进行定量的数据包络分析，全面有效地对福建省港口进行绩效评价，本文研究的意义主要体现在以下方面：

(1) 运用 PCA-DEA 组合模型进行物流绩效评价，既考虑到物流体系中难以量化的定性因素，又通过具体数据分析避免定性过程中的主观因素，因此该港口物流绩效评价结果更为全面可靠。

(2) 该模型运用 PCA 选取到的物流指标评价体系，克服了数据包络分析 (DEA) 中提取能力弱、不符合客观实际等缺陷，综合考虑主客观因素分析得到最优评价。

(3) 本研究根据模型计算结果对福建省重要沿海港口近 10 年的发展状况进行分析，在一定程度上为今后发挥港口优势，建立战略合作联盟，加速融入“一带一路”规划建设提供参考和建议。

对港口物流绩效进行客观有效的分析，有助于监测港口经营活动，实现合理的资源配置分配，对于维持港口物流系统高效运行有着不可或缺的意义。由于数据的局限性，本文的评价体系还存在部分缺陷，需要依靠物流大数据分析等，构建更加全面的港口物流绩效评价指标体系，助力我国的港口物流健康发展。

## 参考文献：

- [1] Chun-hua Ju, Chang-bing Jiang, Ming-yao Chen. Research on logistics network infrastructures based on DEA-PCA approach: Evidence from the yangtze river delta region in China[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), 2012,17(1):98-107.
- [2] 曹阳龙, 史本山. 基于主成分分析的 DEA 复合评价模式及其应用研究[J]. 现代管理科学, 2006(9):26-28.
- [3] 云俊, 张帆. 基于 DEA 模型的港口物流效率评价[J]. 统计与决策, 2006(19):39-40.
- [4] 帅斌, 杜文. 物流产业结构的 DEA/PCA 评价[J]. 西南交通大学学报, 2006(5):599-602.
- [5] 陈思云, 彭俊. 基于 PCA 和 DEA 分析法的港口物流绩效评价[J]. 物流工程与管理, 2012,34(2):40-42.
- [6] Liang Liang, Yongjun Li, Shibing Li. Increasing the discriminatory power of DEA in the presence of the undesirable outputs and large dimensionality of data sets with PCA[J]. Expert Systems With Applications, 2008,36(3):5895-5899.
- [7] Reet Põldaru, Jüri Roots. A PCA-DEA approach to measure the quality of life in Estonian counties[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2014,48(1):65-73.
- [8] 蒋建洪, 杨建波. 基于 PCA-DEA 的港口物流效率评价研究[J]. 价值工程, 2019,38(1):87-89.
- [9] 杜纲, 郭均鹏, 张建国, 等. 产业经济评价的 DEA/PCA 分析模型[J]. 天津大学学报 (社会科学版), 2000(4):311-314.