

# 长江干线主要港口综合效率时空演化研究\*

杜利楠, 郭紫莹, 邢虎松

(交通运输部水运科学研究院, 北京 100088)

**摘要:**运用三阶段 DEA 方法,剔除了环境变量和随机因素的影响,定量测算 2010、2013、2016、2020 年我国长江干线 20 个主要港口综合效率,明确各港口效率的时空演化特征。结果表明:1)环境变量和随机因素对港口效率具有显著影响。2)长江干线各主要港口效率差距较大。下游港口普遍效率较高,中上游港口效率偏低。3)规模效率低是导致综合效率未能达到 DEA 有效的主要因素。大部分港口存在资源、固定资产及资本等要素投入不足或结构不合理现象,未能有效发挥其规模效应。4)部分港口技术效率低下,其管理效能、信息化水平等需要加快提升,需要结合各港口发展实际,优化资源配置、提升港口效率。

**关键词:**三阶段 DEA; 长江干线港口; 效率; 时空演化

中图分类号: F 552.7; U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)09-0041-07

## Spatiotemporal evolution of resource allocation efficiency of main ports along the Yangtze River trunk line

DU Li-nan, GUO Zi-ying, XING Hu-song

(China Waterborne Transport Research Institute Beijing 100088, China)

**Abstract:** This paper uses the three-stage DEA method to eliminate the influence of environmental variables and random factors, measures the efficiency of 20 major ports on the Yangtze River trunk line in 2010, 2013, 2016 and 2020, and clarifies the temporal and spatial evolution characteristics of each port efficiency. The results show that: 1) The environmental variables and random factors have a significant impact on port efficiency. 2) The efficiency of the main ports of the Yangtze River trunk line is quite different. The downstream ports are generally more efficient, while the middle and upstream ports are less efficient. 3) Low scale efficiency is the main factor that leads to the failure of comprehensive efficiency to achieve DEA effectiveness. Most of the ports have insufficient investment in resources, fixed assets and capital or have unreasonable structures, and have not been able to effectively exert their scale effects. 4) Some ports have low technical efficiency, and management efficiency and information level need to be accelerated. It is necessary to optimize the resource allocation and improve the port efficiency according to the actual development of each port.

**Keywords:** three-stage DEA; the Yangtze River trunk port; efficiency; spatiotemporal evolution

港口作为重要的货运枢纽,是构建现代物流体系、促进经济社会发展的重要支撑。伴随着全球经济一体化,国际贸易和现代物流实现快速发展,港口的服务功能已由传统的货物中转转变成

为产业链、供应链的重要环节。当前,世界百年变局与世纪疫情叠加,全球产业链和供应链遭受重创,不稳定因素突显,技术变革与产业革命深入推进,港航业运营环境和外部条件发生深刻变

收稿日期: 2022-01-25

\*基金项目: 科技部重点研究项目(2021YFB3901502); 交通运输部水运科学研究院基本科研业务费项目(92003)

作者简介: 杜利楠(1986—), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为交通运输规划与管理、港口经济。

通讯作者: 郭紫莹(1993—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为多式联运、交通运输规划。E-mail: guoziying@wti.ac.cn

化, 港口间竞争态势日趋激烈, 行业发展面临新机遇、新挑战。与之相比, 内河港口发展相对滞后、起步晚, 但在构建新发展格局背景下, 坚持扩大内需战略基点, 内河港口与航运业承担着畅通国内大循环、沟通国际国内双循环的使命与责任, 这对内河港口进一步优化资源配置、提高生产效率和综合竞争力提出了更高的要求。

港口效率评价一直是交通经济、航运经济领域关注的热点问题, 国内外相关学者已形成丰富的研究成果。港口效率评价方法从单要素生产率、全要素生产率、回归分析到随机前沿法(SFA)、数据包络分析(DEA), 综合评价方法因考虑要素指标多、能够更加客观反映不同指标的影响而广泛应用, DEA更是成为效率评价最重要的方法之一。De Oliveira 等<sup>[1]</sup>、Beuren 等<sup>[2]</sup>分别利用传统 DEA 模型研究了不同区域范围内港口的运营效率和竞争力。也有不少学者尝试 DEA 方法与其他计量分析模型相结合, 比如庞瑞芝<sup>[3]</sup>、滕炜超等<sup>[4]</sup>分别探讨了 Malmquist 生产率指数、TOPSIS 等方法与 DEA 的结合, 对比分析测度沿海港口的效率; 王玲等<sup>[5]</sup>、王玄霜等<sup>[6]</sup>则运用三阶段 DEA 方法对我国主要内河(集装箱)港口的效率进行了测度实证研究。

本文构建三阶段 DEA 评价模型, 针对 2010、2013、2016、2020 年我国长江干线主要港口的投入产出效率, 剔除了环境变量和随机因素对港口效率的影响, 从时间、空间两个维度揭示港口综合效率的时空演化特征。研究结论对提升长江港口综合效率、服务内河港口高质量发展具有重要的借鉴意义。

## 1 研究方法与模型

数据包络分析最初由 Charnes 等<sup>[7]</sup>于 1978 年提出, 但传统模型难以有效克服外部环境等因素带来的误差问题, 为此 Fried<sup>[8-9]</sup>将环境因素和随机噪声引入模型, 即三阶段 DEA, 以提高评价结果的真实性、准确性。

### 1.1 第一阶段: 传统 DEA-BCC 建模

构建传统的 DEA-BCC 模型, 即投入导向的规模保持可变模型, 测算得出原始投入产出数据下的评价单元效率, 该模型是一种较为成熟的方法, 其原理与数学模型不再赘述; 利用 DEAP 2.1 和 FRONTIER 4.1 软件输入相应的样本、投入、产出指标值即可。

### 1.2 第二阶段: 随机前沿分析法(SFA)

在传统 DEA 评价基础上, 构建随机前沿分析模型验证环境变量、管理无效率和统计噪声对传统 DEA 评价结果的影响。

1) 建立松弛变量。

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

式中:  $x_{ni}$  为第  $i$  个决策单元(DMU)的第  $n$  个投入值;  $N$ 、 $I$  分别为投入指标和决策单元的个数;  $\lambda x_{ni}^*$  为第  $i$  个 DMU 的第  $n$  个投入值在效率前沿面的最优映射;  $S_{ni}$  为相应的投入松弛变量。

2) 构造 SFA 回归函数模型。

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

式中:  $Z_i$  和  $\beta_n$  分别表示环境变量及其系数;  $\nu_{ni} + \mu_{ni}$  是混合误差项,  $\nu_{ni}$  表示随机干扰项,  $\mu_{ni}$  表示管理无效率, 其中  $\nu$  和  $\mu$  分别是随机误差项和管理无效率。

3) 调整投入变量。

$$X_{ni}^A = X_{ni} + [\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)] + [\max(\nu_{ni}) - \nu_{ni}] \quad (i=1, 2, \dots, I; n=1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

式中:  $X_{ni}$ 、 $X_{ni}^A$  分别表示调整前、后的投入;  $[\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)]$  是调整外部环境因素;  $[\max(\nu_{ni}) - \nu_{ni}]$  是用于剔除外部因素影响, 将全部决策单元置于无外部因素干扰环境下。

### 1.3 第三阶段: 调整投入要素后的 DEA-BCC 建模

在此阶段, 利用调整投入要素, 再次运用 DEAP 2.1 和 FRONTIER 4.1 软件构建 DEA-BCC 模型, 可得出无外部因素干扰下的真实效率值。评价结果包括综合效率、规模效率和技术效率, 其中规模效率是指通过优化投入要素结构配置对产出单元所发生作用的大小; 技术效率是指投入要素结构能否符合总体要求(综合效益)并使之发

挥最大的经济和社会效益; 综合效率为规模效率和技术效率二者的乘积。

## 2 实证分析

### 2.1 指标体系构建和数据来源

本文以长江干线 20 个主要港口为研究样本, 重点考虑从资源(包括岸线及土地资源)、设施设备及建设投资等 3 个维度选取投入指标, 具体包括生产用码头泊位长度、生产用仓库面积、堆场面积、装卸机械数量和港航建设投资。选取各港口历年的货物吞吐量、集装箱吞吐量作为产出指标。国内外港口发展实践表明, 港口所在城市经济、贸易发展水平对港口运营产生较大影响, 因此, 选用人均 GDP、对外贸易额两个因素作为环境变量, 分别反映某地区经济发展综合水平和贸易活动对港口货运需求、运营效果的影响。港口资源配置效率评价指标与数据来源见表 1。

表 1 港口资源配置效率评价指标与数据来源

类别	具体指标	数据来源
投入指标	生产用码头泊位长度(m)	
	生产用仓库面积( $m^2$ )	《全国交通运输统计资料汇编》
	堆场面积( $m^2$ )	《中国港口年鉴》
	生产用装卸机械数量(台)	各港口集团官方网站
产出指标	港航建设投资(亿元)	
	货物吞吐量(万 t)	《全国交通运输统计资料汇编》
	集装箱吞吐量(TEU)	
	人均 GDP(元)	《中国城市统计年鉴》
环境变量	对外贸易额(亿美元)	各城市《国民经济和社会发展统计公报》

### 2.2 环境变量对港口效率的影响

#### 2.2.1 SFA 回归结果分析

运用 FRONTIER4.1 将传统 DEA 分析结果中 5 个投入变量的松弛值作为被解释变量, 将人均地区生产总值、对外贸易额 2 个环境变量作为解释变量, 构建 SFA 回归模型处理后, 可以得出投入变量的回归系数、标准差, 2020 年回归分析结果见表 2。

表 2 2020 年长江干线主要港口 SFA 回归分析结果

指标	解释变量			$\sigma^2$	$\gamma$
	常数项	人均 GDP	对外贸易额		
码头泊位长度	$-1.95 \times 10^3$ (1.00)	$1.15 \times 10^{-2}$ (0.034)	$-3.69^{**}$ (1.55)	$2.18 \times 10^8$ (1.00)	1.00(0.00)
仓库面积	$-5.16 \times 10^4$ (1.00)	$-1.74 \times 10^{-1}^*$ (0.098)	26.1*** (1.00)	$6.70 \times 10^{10}$ (1.00)	1.00(0.00)
堆场面积	$-5.37 \times 10^5$ (1.00)	$2.31^{**}$ (0.391)	19.4*** (1.00)	$6.17 \times 10^{11}$ (1.00)	1.00(0.00)
装卸机械数量	$-4.72 \times 10^2$ (0.997)	$2.02 \times 10^{-3}^{***}$ (0.00)	2.30 $\times 10^{-2}$ (0.091)	$4.96 \times 10^5$ (1.00)	1.00(0.00)
港航建设投资	$-8.37 \times 10^{-2}$ (0.027)	$3.68 \times 10^{-7}^{**}$ (0.00)	$-1.14 \times 10^{-5}^*$ (0.00)	18.1(4.74)	1.00(0.00)

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示显著水平为 10%、5%、1%; 括号内为标准差。 $\sigma^2$  为随机误差的方差;  $\gamma$  为管理技术无效率方差占总方差的比率, 接近于 1, 表明适用于 SFA 模型。

根据 SFA 回归分析结果, 长江干线主要港口所在城市的人均 GDP 和对外贸易额能够显著影响港口投入产出效率, 即随着港口城市发展和对外贸易水平的提升, 港口经济实现快速发展, 有利于提高港口的投入产出比<sup>[10]</sup>。其中, 人均 GDP 与投入指标主要表现为正相关关系, 主要原因为: 随着经济水平提升, 拉动码头、航道、堆场等基础设施、作业设备等建设及投资, 同时降低岸线、堆场、设施等资源浪费或降低浪费发生的频率, 可能进一步提升港口的资源配置效率。而对外贸易额与仓库面积、堆场面积和装卸机械数量表现为正相关, 与港航建设投资、码头泊位

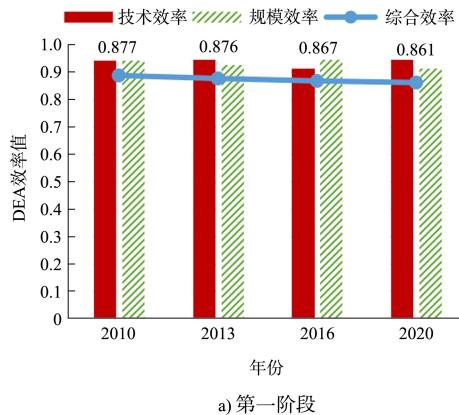
长度表现为负相关, 可能是由于与沿海港口相比, 内河港口所在城市自身对外贸易规模偏小, 外贸货物对港口的依存度偏弱<sup>[11]</sup>。

#### 2.2.2 港口 DEA 效率对比

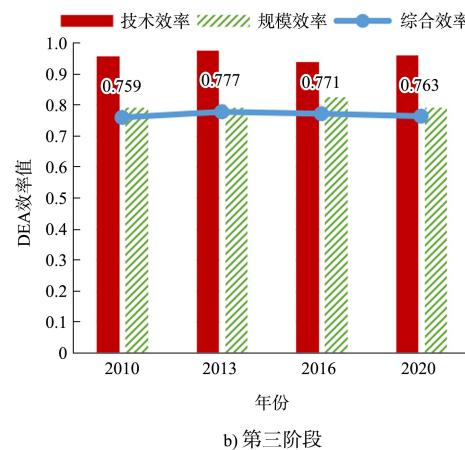
对比第一阶段与第三阶段 DEA 综合效率可以看出, 不考虑外部环境变量的影响, 长江干线 20 个主要港口的 DEA 综合效率更高。环境变量对技术效率、规模效率均产生一定影响。传统第一阶段 DEA 分析中, 技术效率基本稳定在 0.85~0.88; 而剔除环境变量影响后, 规模效率受环境变量影响更为显著, 提出环境变量后的第三阶段规模效率明显低于第一阶段规模效率(图 1)。这

也侧面反映出港口基础设施投资规模与经济、贸易等外部变量密切相关，而经济、贸易等外部变

量的影响会叠加到基础设施投入效果上，带来规模效率提高。



a) 第一阶段



b) 第三阶段

图 1 长江干线主要港口 DEA 综合效率变化

## 2.3 港口效率的变化趋势

### 2.3.1 指标变化情况

2010—2020 年，长江干线 20 个主要港口投入产出指标(表 3)呈现增长趋势，产出指标——货物吞吐量、集装箱吞吐量分别实现 6.46% 和 5.30% 的快速增长，而码头泊位长度、堆场面

积、装卸机械数量等指标增幅分别为 1.05%、1.95% 和 1.46%，仓库面积和港航建设投资增幅较大，分别为 4.36% 和 6.22%。其中港航建设投资额实现先升后降，2013 年超过 200 亿元投资额，随后建设投资降低，至 2020 年完成 148.93 亿元投资。

表 3 2010—2020 年港口投入产出各项指标变化情况

年份	货物吞吐量/万 t	集装箱吞吐量/万 TEU	生产用码头泊位长度/km	生产用仓库面积/万 m <sup>2</sup>	堆场面积/万 m <sup>2</sup>	装卸机械数量/万台	港航建设投资/亿元
2010	16.70	1 120.01	313.90	1 024.96	2 601.43	1.21	81.43
2013	19.87	1 369.04	342.18	1 120.63	2 822.32	1.31	206.74
2016	24.40	1 556.92	333.70	1 284.26	3 019.47	1.31	162.45
2020	31.23	1 876.84	348.43	1 571.03	3 156.58	1.40	148.93
年均增速/%	6.46	5.30	1.05	4.36	1.95	1.46	6.22

### 2.3.2 DEA 效率的变化趋势

2010—2020 年长江干线港口三阶段 DEA 效率比较见表 4。2020 年，20 个主要港口综合效率达到 0.765，比 2010 年小幅上升，且纯技术效率始终处于 0.95 以上的较高水平。其中 13 个港口纯技术效率达到最优；7 个港口规模效率达到最优，大部分港口规模效率偏低，部分港口处于规模报酬递增状态，存在投入要素结构不优和产出水平低下的现实情况，港口资源投入未能发挥

其应有效率。同时，由于 DEA 效率是决策单元间的投入与产出指标的相对效率，受疫情等多方面因素影响，2020 年长江干线主要港口的综合效率有所下降，但结合各项投入产出指标的变化情况可以看出，投入指标增速明显低于产出指标增速，也就是说投入要素增加带来产出更大幅度的增长，DEA 效率在不同的经济发展环境、技术条件、管理水平下，实现了更高水平的投入产出效率。

表4 2010—2020年长江干线港口三阶段DEA效率比较

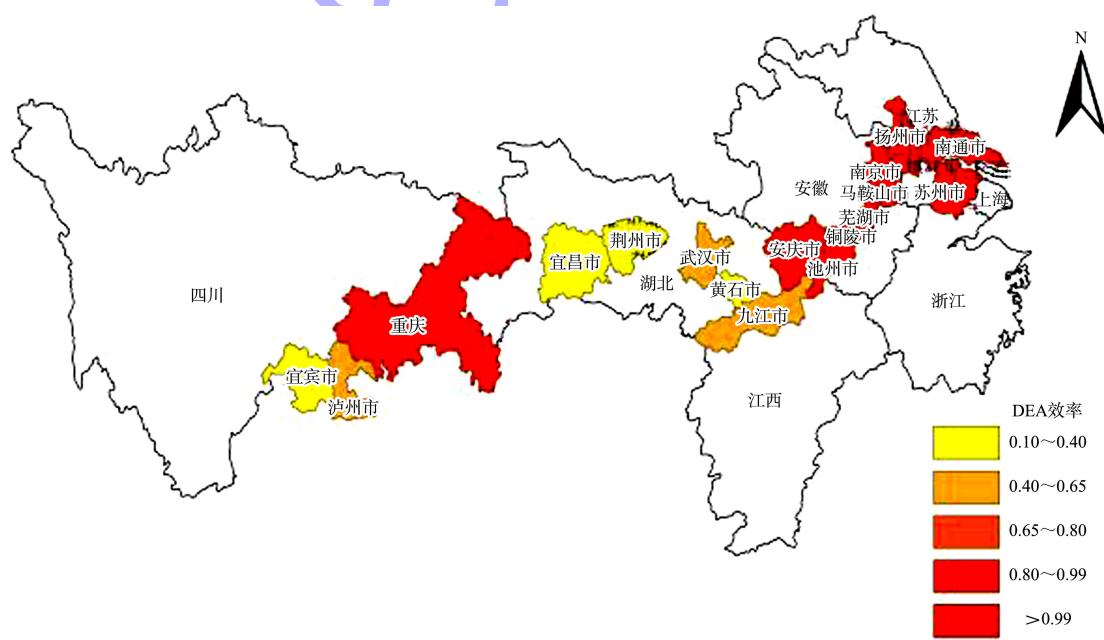
年份	流域	TE	PTE	SE
2010	长江下游	0.992	0.999	0.993
	长江中游	0.698	0.908	0.770
	长江上游	0.489	1.000	0.489
2013	长江下游	0.886	0.975	0.905
	长江中游	0.656	0.967	0.676
	长江上游	0.858	1.000	0.858
2016	长江下游	0.905	0.950	0.954
	长江中游	0.642	0.939	0.689
	长江上游	0.827	0.923	0.900
2020	长江下游	0.968	0.999	0.968
	长江中游	0.749	0.954	0.781
	长江上游	0.437	0.912	0.509

注: TE为综合效率, PTE为纯技术效率, SE为规模效率。

## 2.4 港口效率的时空演化特征

从流域划分来看, 下游港口效率普遍更高, 2020年, DEA综合效率达到1的港口有5个(分别是南京、镇江、苏州、江阴、泰州); 中上游港口效率偏低, 且差距较大。下游港口中, 南京、苏州、南通、江阴、泰州等江苏省5个港口在观察期内几乎一直处于DEA有效状态, 即达到效率前沿

面, 且下游港口技术效率均达到1, 说明下游港口在信息处理、运营管理等方面水平相对较高。长江中游芜湖港、铜陵港、武汉港DEA效率表现较优, 其中武汉港DEA综合效率明显提高, 表明其在要素资源投入与产出效能提升方面改善比较明显。大部分港口规模效率偏低, 说明码头岸线、土地资源、装卸机械设备、建设投资等要素投入可能存在不足或结构不合理的情况, 需要根据实际情况调整各类生产要素的结构, 进一步提升港口综合效率。相比而言, 上游4个港口在观察期内表现出DEA效率明显波动, 主要原因有: 近几年长江经济带坚持“共抓大保护、不搞大开发”, 重庆、四川两地在严禁河道采砂、整治关停小散码头方面开展专项行动, 导致港口货物吞吐量明显下降, 影响了评价结果。此外, 长江上游内河港口基础条件相对较差, 发展初期随着基础设施及作业条件不断改善, 带来港口产出大幅增加, 但之后要素投入的规模效应逐步降低, 同时其信息化手段、管理效能与下游港口相比仍有一定差距(图2)。



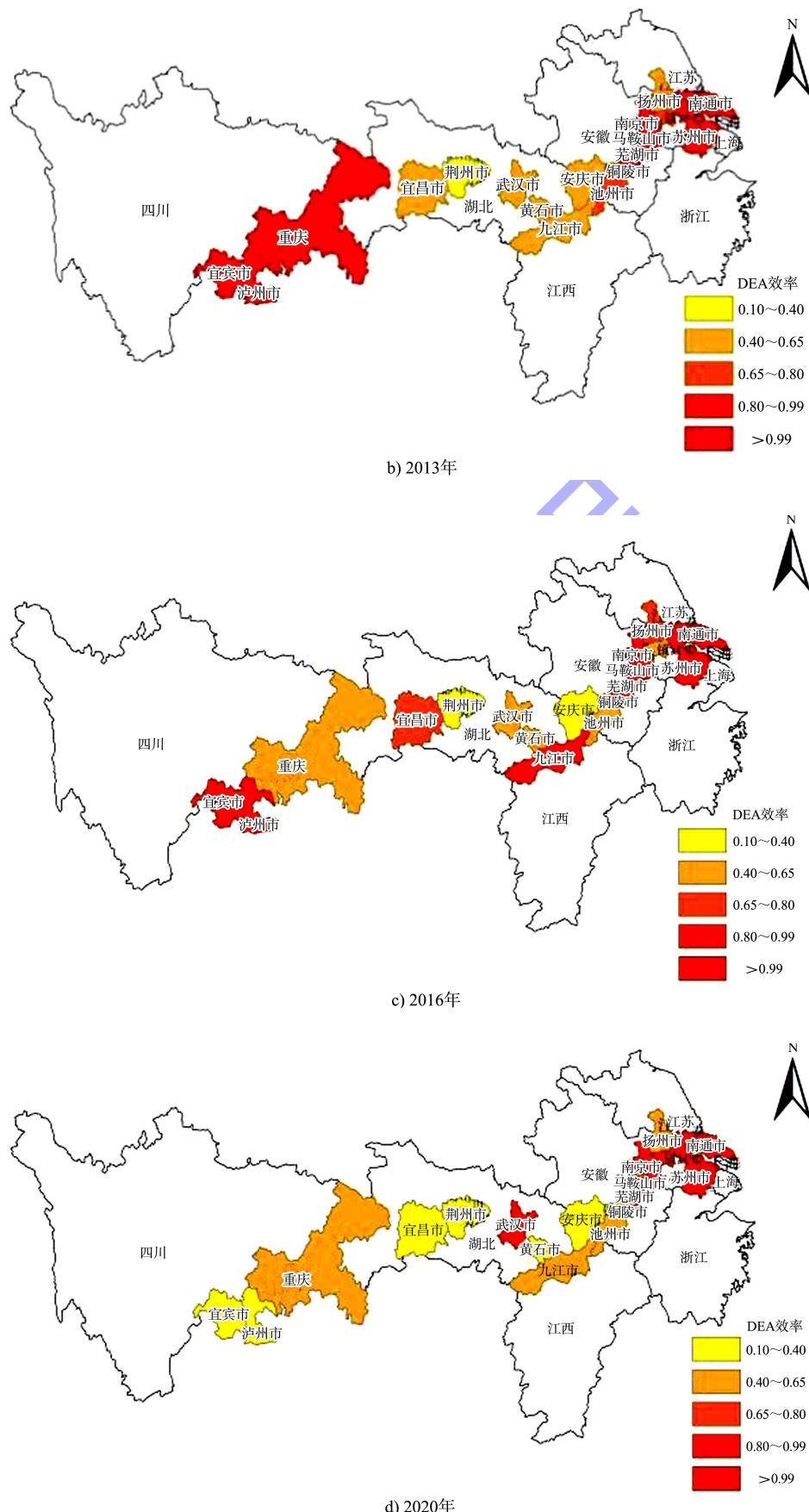


图 2 长江干线港口 DEA 效率空间演化过程

### 3 结语

1) 第一阶段、第三阶段 DEA 效率差别明显, 表明环境变量和随机因素显著影响港口的投入产出效率, 需要科学把握和调整外部环境变量以提升港口效率。

2) 从时间维度看, 剔除外部环境因素影响, 10 年间港口综合效率略有提升, 且投入指标增长率远低于产出指标, 表明内河港口实现了更高水平的效率值。

3) 从空间维度看, 综合效率达到最优的港口主要集中在长江下游, 特别是江苏省港口几乎一直处于 DEA 效率前沿面; 而长江中上游港口的综合效率, 尤其是规模效率相对较低且差距较大。

4) 长江干线有 13 个港口纯技术效率达到最优, 仍有部分港口技术和管理水平偏低的现实情况, 港口信息化、管理水平需加快提升。

5) 不同港口的效率评价结果差异明显, 需要结合各港口发展实际, 因地制宜, 制定相应的发展策略, 更好地推进港口转型升级和高质量发展。

6) 以长江干线 20 个主要港口为研究对象, 验证了三阶段 DEA 模型在评价港口综合效率方面的适用性, 但考虑到近 10 年是内河港口快速发展期, 原本水上过驳或临时性码头完成矿建材料、矿石、煤炭等货物运输比例较高, 近几年随着内河港口的严格规范管理, 统计口径、统计指标数值有较大的变化, 对本文研究结论产生一定影响, 在港口策略选择和实际应用中需综合考虑上述问题。

### 参考文献:

[1] DE OLIVEIRA G F, Cariou P. The impact of competition

on container port( in) efficiency[J]. Transportation research Part A (Policy and Practice), 2015, 78: 124-133.

- [2] BEUREN M M, ANDRIOTTI R, VIEIRA G B B, et al. On measuring the efficiency of Brazilian ports and their managementmodels[J]. Maritime economics & logistics, 2018, 20(1): 149-168.
- [3] 庞瑞芝. 我国主要沿海港口的动态效率评价[J]. 经济研究, 2006(6): 92-100.
- [4] 滕炜超, 胡志华. 基于 TOPSIS 法和 DEA 法的中国沿海港口竞争力分析[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2017, 31(4): 537-543.
- [5] 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): 40-48.
- [6] 王玄霜, 刘名武, 林刚. 基于三阶段 DEA 的内河集装箱港口效率研究[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(16): 18-31.
- [7] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European journal of operational research, 1978, 2(6): 429-444.
- [8] FRIED H O, SCHMIDT S, Y AISAWARNG S. Incorporating the operating environment into a nonparametric measure of technical efficiency[J]. Journal of productivity analysis, 1999, 12(3): 249-267.
- [9] FRIED H O, LOVELL C A K, SCHMIDT S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. Journal of productivity analysis, 2002, 17(1/2): 157-174.
- [10] 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(3): 89-96.
- [11] 王玲, 孟辉. 我国内河港口与沿海港口的效率对比: 基于共同边界和序列 SBM-DEA 的研究[J]. 软科学, 2013, 27(3): 90-95.

(本文编辑 武亚庆)

### 征订通知

2023 年《水运工程》杂志征订工作已经开始, 请登录《水运工程》杂志社官方网站 [www.sygc.com.cn](http://www.sygc.com.cn) 首页下载中心下载“2023 年《水运工程》征订通知单”, 有关要求和反馈信息一应俱全。