

基于动态随机前沿模型的集装箱码头技术效率分析

张世斌^{1,2}, 时 寰²

(1. 上海海事大学 数学系, 上海 201306; 2. 上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306)

摘要: 基于动态随机前沿模型, 利用贝叶斯统计方法, 通过 2007—2012 年长三角地区 14 个主要集装箱码头的面板数据对技术效率及其影响因素进行动态分析. 研究集装箱码头设备、建港条件等对其产出的影响, 以及集疏运体系、人力资源状况等对其技术效率的影响. 研究发现: 码头装卸设备对其产出的提升作用高于集装箱堆场面积和泊位长度等要素; 水水中转比例、劳务工比例均对提升码头效率有正向作用; 国际中转比例及员工教育水平对码头效率影响甚微.

关键词: 动态随机前沿模型; 贝叶斯分析; 集装箱港口; 技术效率

中图分类号: F 42; O 212.8; U 651 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2861(2018)04-0609-08

Analysis of technical efficiency of container terminals based on a dynamic stochastic frontier model

ZHANG Shibin^{1,2}, SHI Huan²

(1. Department of Mathematics, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

2. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on a dynamic stochastic frontier model and the Bayesian statistical method, the technical efficiency and its effect factors of the ports are analyzed by aid of the 2007—2012 panel data of 14 container terminals in the Yangtze Delta. In the modeling, handling equipment and regional factors are introduced as covariates to analyze their effects on the output of the terminal. The transportation system of the port and the employee composition are introduced as covariates to study their effects on the technical efficiency. It is evidenced that the output of the port benefits more from the inputs of handling equipment than from the area of yards and the length of berths. For exogenous variables, improvement in technical efficiency benefits more from the higher ratio of water transshipment and the larger number of worker than from the longer period of employee education and the higher ratio of international transshipment business.

Key words: dynamic stochastic frontier model; Bayesian analysis; container terminal; technical efficiency

生产和消费的全球化对国际贸易产生了深远影响. 作为国际物流网络的关键节点, 集装箱港口在国际贸易网络中的重要作用不断增强. 在港口运输竞争激烈的环境下, 学术界和政府有关部门都对提升集装箱港口的技术效率水平极为重视^[1].

收稿日期: 2016-09-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11671416); 全国统计科学研究资助项目(2015LY33)

通信作者: 张世斌(1976—), 男, 教授, 博士, 研究方向为航运统计、海运物流管理中的计算统计方法等.
E-mail: sbzhang@shmtu.edu.cn

随机前沿模型(stochastic frontier model, SFM)由 Aigner 等^[2]与 Meeusen 等^[3]分别提出, 因为该模型既考虑了统计误差, 又能够给出各生产单元的具体效率指标, 所以在各行业技术效率分析中被广泛应用. 例如, Chen 等^[4]基于 SFM 对中国石化燃料发电企业技术效率进行了研究. Tabak 等^[5], 对银行业务处理系统的技术效率进行了分析. 在港口技术效率研究方面, 对港口考核指标的选择不同, 研究的侧重点也会有所差异. 例如, Cullinane 等^[6]选择员工工资、管理费用及设备的维修费用等作为投入指标, 将港口的主营收入作为产出指标, 研究了集装箱码头的私有化和解除港口管制政策对韩国港口技术效率的影响. 艾亚钊等^[7]在效率项中引入码头是否为枢纽型集装箱码头和港口经营人的性质作为外生变量, 研究了港口所有权结构、码头的性质与港口运作效率的关系.

在以往的港口技术效率分析研究中, 大多基于静态SFM, 其技术效率不随时间而改变. 对技术效率的分析是通过先计算出港口的技术效率, 然后再寻找技术效率与其影响因素间的联系^[6-10]. 但是, 影响港口技术效率的外生变量往往会动态变化, 用静态观点研究港口技术效率可能会在评估技术效率时造成更大的随机误差. 本工作基于技术效率随外生变量的变化而呈现随时间动态变化的 SFM(动态 SFM)进行港口技术效率分析. 该方法不仅可以估计出投入产出及外生变量的影响参数, 而且可以计算出各经济单元的技术效率以及随时间的变化规律, 实现外生变量对经济单元技术效率的动态定量分析^[11-12]. 另外, 在港口技术效率影响因素分析中, 多数研究只考虑了港口所有权性质、港口腹地经济等因素^[6-8]. 然而, 就长三角地区而言, 其雄厚的经济实力需要发达的集疏运体系和高效运作的港口群来支撑^[13]. 因此, 本工作基于动态SFM, 借助 2007—2012 年长三角地区 14 个主要集装箱码头的面板数据, 引入集装箱港口集疏运体系及人力资源状况作为外生变量, 对长三角地区主要集装箱码头的技术效率进行动态分析, 重点探讨集疏运体系、人力资源状况对集装箱港口技术效率的影响, 为港口发展规划提供重要参考.

1 模型和变量

1.1 动态随机前沿模型

基于确定性的生产函数模型, 同时考虑统计误差与技术无效率性的 SFM^[2-3] 的基本形式为

$$y_i = f(x_i; \beta) e^{v_i - u_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

式中: x_i 和 y_i 分别表示第 i 个生产单元投入与产出的观测值; $f(x_i; \beta) e^{v_i}$ 为随机生产前沿, 即最大可能产出; β 为参数向量; v_i 为随机误差; u_i 为无效率项, 是一随机非负向量. 基于模型(1), 生产单元 i 的技术效率(technical efficiency, TE)为 e^{-u_i} .

在模型(1)中, 生产函数采用 Cobb-Douglas 生产函数形式, 两边取对数, 并考虑变量随时间的影响, 得到基于面板数据的动态 SFM:

$$\log(y_{it}) = \beta^T \log(x_{it}) + v_{it} - u_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (2)$$

式中, y_{it} 表示第 i 个生产单元在 t 时间的产值; x_{it} 为 $k \times 1$ 维向量, 表示第 i 个生产单元在 t 时间的投入; β 是 $k \times 1$ 维的参数向量; v_{it} 是统计误差, 设 v_{it} 关于 i 和 t 独立同分布, 且 $v_{it} \sim N(0, \sigma^2)$; u_{it} 是无效率项, 为非负的随机变量. 假设 $\{u_{it}\}$ 和 $\{v_{it}\}$ 相互独立, 且无效率项 u_{it} 满足

$$\log u_{it} = \gamma^T z_{it} + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (3)$$

式中: z_{it} 为 $m \times 1$ 维的协变量, γ 为 $m \times 1$ 维的参数向量, ε_{it} 关于 i 和 t 独立同分布, 且 $\varepsilon_{it} \sim N(0, \omega^2)$. 基于模型 (2) 和 (3), 生产单元 i 在时间 t 的技术效率为 $e^{-u_{it}}$.

1.2 变量选择

1.2.1 投入产出变量

参考文献 [6-10] 中投入指标与产出变量的选择, 在式(2)中, y_{it} 取为第 i 个码头第 t 年的集装箱吞吐量, 选取 $k = 6$ 个指标作为投入变量, 即 $x_{it} = (x_{it}^{(1)}, x_{it}^{(2)}, \dots, x_{it}^{(6)})^T$, 其中 $x_{it}^{(1)}, x_{it}^{(2)}, \dots, x_{it}^{(6)}$ 依次为码头的泊位长度、岸桥数量、龙门吊数量、集装箱堆场面积、前沿水深和期末在岗职工数量.

1.2.2 外生变量

采用 $m = 4$ 个指标作为影响技术效率的外生变量, 即在式(3)中, 取 $z_{it} = (z_{it}^{(1)}, z_{it}^{(2)}, z_{it}^{(3)}, z_{it}^{(4)})$, 其中 $z_{it}^{(1)}, z_{it}^{(2)}, z_{it}^{(3)}, z_{it}^{(4)}$ 依次为码头集装箱吞吐量水水中转占比、国际中转比例、本科及以上的学历人数在岗职工总人数的比例以及劳务工数量占总员工数量的比例. 选取上述 4 个指标作为外生变量进行分析, 主要依据如下:

(1) 水水中转占比. 水水中转是世界大型集装箱港口的主要集疏运方式之一, 水水中转规模比例很大程度地决定了港口作为集疏运枢纽的地位^[14]. 另外, 长三角地区的铁路运输占比不足 0.5%, 集疏运相当大的比例集中于水路运输.

(2) 国际中转比例. 以新加坡港、釜山港和香港港等为代表的国际重要枢纽, 平均国际中转比例高达 50% 以上, 新加坡超过 80%. 港口的技术效率是决定港口成为国际中转港的一个重要因素. 另外, 政府也出台多项政策要求提高港口国际中转业务量, 由此可见, 该指标对港口技术效率及地位的作用.

(3) 劳务工占比与本科及以上学历人员的占比. 在集装箱港口的财政开支结构中, 员工管理费用和员工薪资的支出超过 50%, 员工的工作水平直接体现在港口的总体运作水平上^[6]. 另外, 港口优化人力资源主要通过两种方式: 一是雇佣高学历人才, 优化员工的教育水平; 二是降低人员冗余, 雇佣劳务派遣工从事一些技术含量低、可代替性强的职位以节约人力成本并增强组织管理的灵活性.

1.3 动态 SFM 贝叶斯推断与实现

对于由式(2)与(3)决定的 SFM, 可观测数据有 $y = \{y_{it} : i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T\}$, $x = \{x_{it}^{(j)} : i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, k\}$ 与 $z = \{z_{it}^{(j)} : i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, m\}$. 模型的待估参数为 $\theta = (\beta, \gamma, \sigma^2, \omega^2)$ 和隐含变量 $u = \{u_{it} : i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T\}$. 本工作中取 $k = 6, m = 4$.

对动态 SFM 的未知参数进行贝叶斯推断. 变量系数 β 和 γ 均采用无信息先验, 尺度参数 σ^2 和 ω^2 的先验皆取为倒 Gamma 分布^[11,15-16], 即

$$p(\beta) \propto 1, \quad p(\gamma) \propto 1, \quad \sigma^2 \sim IG((p_1 - 1)/2, q_1), \quad \omega^2 \sim IG((p_2 - 1)/2, q_2),$$

其中 $p_1 > 0, q_1 > 0, p_2 > 0, q_2 > 0$ 为先验分布的参数.

根据贝叶斯理论, θ, u 的联合后验分布为

$$\begin{aligned}
 p(\theta, u | \log x, \log y, z) &\propto p(\log y, u | \log x, z, \theta) p(\theta), \\
 &\propto (\sigma^2)^{-(NT+p_1+1)/2} (\omega^2)^{-(NT+p_2+1)/2} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (\log(y_{it}) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + u_{it} - \log(x_{it}^T) \beta)^2 + 2q_1 \right) \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{2\omega^2} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (\log u_{it} - z_{it}^T \gamma)^2 + 2q_2 \right) - \log u_{it} \right]. \quad (4)
 \end{aligned}$$

贝叶斯推断采用最小化后验均方误差准则对参数进行估计. 因直接计算参数后验均值较为复杂, 这里借助马尔可夫链蒙特卡罗(Markov chain Monte Carlo, MCMC)方法实现后验分布(式(4))的近似. 通过计算可以得到各参数后验分布的核, 其中参数 β, γ 的后验分布都具有正态核, 参数 σ^2, ω^2 都具有 χ^2 分布的核, u 的后验分布可进行切片抽样^[17]. 因为参数后验分布的满条件分布都较容易抽样, 所以采取 Gibbs 抽样方法对后验参数进行抽样以得到后验分布的近似经验分布, 具体抽样方法参见文献[11].

设 Gibbs 抽样得到的 Markov 链为 $\theta^{(j)} = \{\beta^{(j)}, \gamma^{(j)}, \sigma^{2(j)}, \omega^{2(j)}\}$ 与 $u^{(j)} = \{u_{it}^{(j)}\}$, $j = 1, 2, \dots, H$, 参数后验期望及各港口 t 年的平均技术效率 $E[\exp(-u_{it})]$ 通过 Gibbs 抽样得到的平均值来近似, 去掉前面不收敛的 h 个迭代值, 用后面的 $H - h$ 个迭代值来计算, 即

$$E[\theta] \approx \frac{1}{H-h} \sum_{j=h+1}^H \theta^{(j)}, \quad \overline{TE}_{it} \approx \frac{1}{H-h} \sum_{j=h+1}^H \exp(-u_{it}^{(j)}). \quad (5)$$

2 实证分析

选用 2007—2012 年长三角地区 14 个主要集装箱码头面板数据作为研究样本, 数据来源于《中国港口年鉴》和各港口门户网站. 主要投入指标原始数据的描述性统计如表 1 所示.

表 1 集装箱码头面板数据描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of the collected data container terminals

变量	均值	最小值	最大值	标准差
吞吐量(y /TEU)	299 1442	331 360	7 550 082	1 720 776
泊位长度($x^{(1)}$ /米)	1 449.85	385	3 000	709.63
岸桥数量($x^{(2)}$ /个)	17.08	4	34	8.01
龙门吊数量($x^{(3)}$ /个)	47.85	7	108	24.54
堆场面积($x^{(4)}$ /m ²)	854 700	230 000	1 490 000	357 900
前沿水深($x^{(5)}$ /米)	-14.65	-11.5	-17.5	2.092
在岗人数($x^{(6)}$ /人)	606.49	202	1 062	200.53

使用 R 软件进行 Gibbs 抽样, 在式(5)中取 $H = 50\,000$, $h = 20\,000$, 得到各参数和长三角地区各码头每年技术效率的后验均值, 如表 2 与 3 所示. 表 2 中, 参数后验估计值后括号中的数值为参数估计标准差.

表 2 模型参数估计结果

Table 2 Parametric estimates of the model

投入指标	估计值(标准差)	外生变量	估计值(标准差)	方差参数	估计值(标准差)
截距	11.85(0.95)	截距	-0.11(0.41)	σ^2	0.039(0.01)
$\ln(x_{it}^{(1)})$	0.057(0.13)	$z^{(1)}$	-0.73(0.73)	ω^2	0.072(0.07)
$\ln(x_{it}^{(2)})$	0.66(0.19)	$z^{(2)}$	0.50(0.69)		
$\ln(x_{it}^{(3)})$	0.36(0.17)	$z^{(3)}$	1.25(0.95)		
$\ln(x_{it}^{(4)})$	-0.14(0.15)	$z^{(4)}$	-1.80(0.67)		
$\ln(x_{it}^{(5)})$	1.25(0.42)				
$\ln(x_{it}^{(6)})$	0.57(0.17)				

2.1 投入指标分析

通过投入指标参数估计结果可以发现: ①码头的装卸设备对码头的产出起着重要的正向作用, 且岸桥数量比龙门吊数量对码头产出影响更大; ②集装箱码头的泊位长度对码头产出起到正向作用; ③堆场面积对码头产出影响起到负向作用; ④码头前沿水深对码头产出起到正向作用. 近年来, 港口环境竞争激烈, 码头盲目扩张现象严重, 由于缺乏长远战略规划, 而导致港口资源浪费和产能过剩. 长三角港口群, 位于长江入海口处依托我国经济最发达的长三角经济区, 为多条国际航线的交通枢纽, 其码头前沿水深优势能够吸引更多的超大型船只靠泊.

表 3 2007—2012 年长三角码头年度平均技术效率

Table 3 Annual average technical efficiency of the Yangtze River Delta terminals in 2007—2012

港口(码头)名称	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
浦东	0.62	0.64	0.62	0.61	0.64	0.69
振东	0.70	0.71	0.70	0.72	0.73	0.73
沪东	0.79	0.78	0.78	0.79	0.81	0.81
明东	0.78	0.73	0.76	0.75	0.71	0.67
盛东	0.73	0.74	0.70	0.73	0.77	0.78
冠东	0.59	0.64	0.68	0.78	0.79	0.79
大榭	0.69	0.76	0.74	0.79	0.82	0.82
北仑	0.72	0.73	0.77	0.79	0.80	0.80
北二	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.84
港吉	0.83	0.83	0.80	0.82	0.79	0.79
远东	0.85	0.87	0.80	0.84	0.82	0.77
连云港	0.68	0.76	0.77	0.84	0.85	0.85
南通港	0.50	0.46	0.44	0.51	0.55	0.58
南京港	0.70	0.70	0.71	0.73	0.76	0.78

2.2 外生变量分析

注意到平均技术效率为 $E[\exp(-u_{it})]$, 且 u_{it} 具有式(3)的形式. 通过外生变量参数估计结果可以得出如下结论.

(1) 水水中转占比与港口技术效率具有正相关性. 根据长三角港口各年的统计数据, 水水中转比例平均约为 25%, 远低于国际中转大港的平均水平, 提高水水中转比例能够有效提升港

口技术效率.

(2) 国际中转占比对港口技术效率提升作用微弱.

(3) 港口员工的教育水平对港口技术效率有负向影响,这主要由于集装箱码头的业务操作的技术性单一且港口企业的高层管理人员、生产经营管理人员以及基层操作人员等所具备的知识技能远不能满足港口发展需求^[10].相比之下,劳务工人数占比对码头技术效率具有正相关性,港口企业在优化人力资源结构时,使用技术性不强的岗位用劳务员工代替正式员工,可有效地节约人力成本,提升组织管理的灵活性,提升管理效率.

2.3 港口效率分析的若干启示

港口(码头)技术效率随时间的变化如图 1 所示.由表 3 和图 1 可以得到如下结论.

(1) 港口技术效率与全球经济形势密切相关.由图 1 可见,由于 2008 年全球金融危机的影响,大部分港口在 2008 年效率值都呈现下降趋势,从 2009 年出现经济回暖现象,港口效率值增长较快,2010 年之后效率值趋于平稳且略有下降.上海明东集装箱码头是一个特例,其技术效率一直处于下滑状态,这是由于明东码头由外高桥五期、六期构成,且六期码头于 2010 年正式投产,使得码头的设计吞吐能力由原来的 280 万 TEU 增加到 490 万 TEU,而整个码头的集装箱吞吐量却没有明显的提升,出现了产能过剩的现象,因此导致了港口技术效率出现急速下滑的问题.

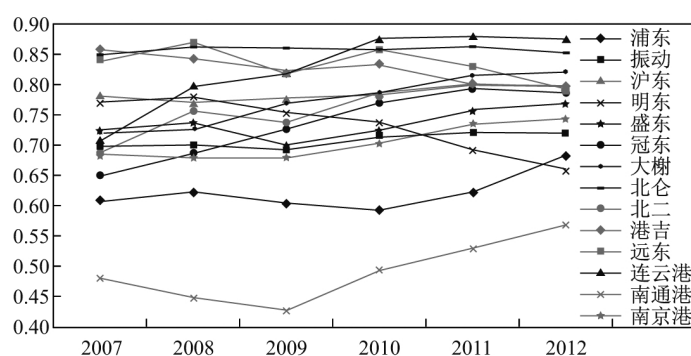


图 1 港口(码头)技术效率随时间的变化

Fig. 1 Time-varying technical efficiency of container terminals

(2) 优化人力资源以提升港口技术效率.由于港口企业工作的特殊性,企业员工具有流动率低、总体年龄偏大、文化程度低且技能单一、岗位冗余量较大等特征.企业员工的教育水平及知识技能已不能满足港口发展的需求,且在现代化港口物流体系中,物流专业型人才和优秀的管理人才是港口竞争的核心,因此港口应着力于企业员工的专业培训,靠人才优势提升自身的管理水平与港口的技术效率.另外,雇佣劳务工增强技术效率已经受到港口企业的普遍重视,且已成为港口企业优化人力资源管理的重要手段.

(3) 增加水水中转比例,提升港口技术效率.以宁波港为例,宁波港依靠优越的自然条件和长远的发展战略,近十几年来发展势头迅猛,港口吞吐量以平均每年 10% 左右的速度递增.宁波港员工结构合理,注重港口专业型人才培养,劳务工数量比例合适,这些都是宁波港快速发展的重要内在因素.但是宁波港的集疏运体系不够合理,其中水水中转比例较低,仅为 14.7%.尽管宁波港近年来大力发展海铁联运,但其海铁联运箱量仍只占总吞吐量的 0.5% 左右,其集疏运系统中公路占比高达 85% 左右,是港口技术效率提升的重要制约因素.

(4) 抓住发展机遇,建设国际化强港.由外生变量分析可以看出,就长三角地区而言,集装

箱国际中转比例对港口效率贡献率十分微弱。文献[18]认为港口发展的目标是为了推动其腹地的经济发展和提高港口企业的经济效益,扩大国际中转比重是为达到这两个目标服务的。就长三角港口群而言,其背靠经济实力雄厚的长三角经济区且坐落于长江入海口,上海自贸区的试行进一步优化了港口群的政策环境,集装箱国际中转比例对港口效率贡献率偏低是由该地区国际中转业务量普遍较低造成的。因此,需抓住自贸区设立所带来的发展机遇,发展国际中转业务,提升其对技术效率的贡献,打造国际性强港。

3 结束语

本工作借助动态随机前沿模型的贝叶斯统计推断方法,对长三角地区集装箱码头的技术效率进行动态评价,并着重分析了集疏运体系、人力资源状况对集装箱港口技术效率的影响。对投入指标的分析发现:码头的装卸设备对码头的产出影响较大;泊位长度对码头的产出具有正向影响。对外生变量的分析发现:水水中转比例对码头技术效率有正向影响,而国际中转比例对技术效率影响不大;集装箱码头的劳务工所占比重对技术效率有正向影响,而员工教育程度的提高对技术效率无明显的提升作用。这启示港口管理者应密切关注航运经济形势,优化人力资源结构,加强水水中转业务发展,通过制定正确有效的港口发展战略提升港口技术效率。

参考文献:

- [1] YAN J, SUN X, LIU J J. Assessing container operator efficiency with heterogeneous and time-varying production frontiers [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2009, 43(1): 172-185.
- [2] AIGNER D, LOVELL C, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models [J]. *Journal of Econometrics*, 1977, 6(1): 21-37.
- [3] MEEUSEN W, VAN DEN BROECK J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error [J]. *International Economic Review*, 1977, 18(2): 435-444.
- [4] CHEN Z F, BARROS C, BORGES M. A Bayesian stochastic frontier analysis of Chinese fossil-fuel electricity generation companies [J]. *Energy Economics*, 2015, 48(C): 136-144.
- [5] TABAK B M, TECLES P L. Estimating a Bayesian stochastic frontier for the Indian banking system [J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 125(1): 96-110.
- [6] CULLINANE K, SONG D W. A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminals [J]. *Applied Economics*, 2003, 35(3): 251-267.
- [7] 艾亚钊, 周晓坤. 基于随机前沿分析(SFA)法的集装箱港口效率分析 [J]. *上海海事大学学报*, 2015, 36(2): 31-35.
- [8] YIP T L, SUN X Y, LIU J J. Group and individual heterogeneity in a stochastic frontier model: container terminal operators [J]. *European Journal of Operational Research*, 2011, 213(3): 517-525.
- [9] 陈春芳, 宗蓓华. 基于 SFA 的上海港集装箱码头效率评价 [J]. *上海海事大学学报*, 2008, 29(3): 87-92.
- [10] 邓蕾, 唐沙沙. 中国集装箱港口企业技术效率影响要素研究 [J]. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2014, 20(1): 75-79.
- [11] TSIONAS E G. Inference in dynamic stochastic frontier models [J]. *Journal of Applied Econometrics*, 2006, 21(5): 669-676.

- [12] ZHANG Q, XU Z Z, FENG T J, et al. A dynamic stochastic frontier model to evaluate regional financial efficiency: evidence from Chinese county-level panel data [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 241(3): 907-916.
- [13] 罗芳, 赵景景. 长江三角洲主要港口的功能定位分析 [J]. *工业技术经济*, 2012(4): 15-21.
- [14] 王桂英. 发展国际集装箱水水中转助推上海国际航运中心建设 [J]. *物流工程与管理*, 2012, 34(5): 1-3.
- [15] 刘晓君, 张世斌. 正态倒 Gamma 随机前沿模型的 Bayesian 推断 [J]. *高校应用数学学报*, 2013, 28(4): 488-496.
- [16] 程迪, 张世斌. 动态异方差随机前沿模型的 Bayesian 推断 [J]. *高校应用数学学报*, 2016, 31(2): 127-135.
- [17] ROBERT C P, CASELLA G. *Monte Carlo statistical methods* [M]. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2005.
- [18] 肖忠熙. 集装箱国际中转比重大并非国际航运中心的必备条件 [J]. *水运管理*, 2006, 28(12): 6-9.