

长江经济带绿色全要素生产率测度及现状分析

李嘉晨, 阿露斯

东华大学旭日工商管理学院, 上海

收稿日期: 2024年11月6日; 录用日期: 2024年11月19日; 发布日期: 2025年2月11日

摘要

2022年, 长江经济带GDP高达56万亿元, 占全国总产值的46.5%, 为我国经济发展做出极大贡献。但是, 在经济得到高速发展的同时, 大量工业企业生产带来的废水废气以及资源的大量消费, 对生态环境和经济的可持续发展非常之不友好, 为促进长江经济带工业企业绿色发展, 本文通过测度工业绿色全要素生产率作为长江经济带绿色绩效的评价指标, 具体分析长江经济带工业绿色发展历程及现状。

关键词

绿色全要素生产率, 长江经济带, SBM-DDF

Measurement and Current Status Analysis of Green Total Factor Productivity in the Yangtze River Economic Belt

Jiachen Li, Lusi A

Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai

Received: Nov. 6th, 2024; accepted: Nov. 19th, 2024; published: Feb. 11th, 2025

Abstract

In 2022, the Gross Domestic Product (GDP) of the Yangtze River Economic Belt reached a staggering 56 trillion yuan, accounting for 46.5% of the national total output, making a significant contribution to China's economic development. However, the rapid economic growth has been accompanied by substantial environmental challenges due to the wastewater and exhaust emissions from numerous industrial enterprises, as well as the massive consumption of resources, which are highly detrimental to ecological sustainability and the sustainable development of the economy. To foster green development among industrial enterprises in the Yangtze River Economic Belt, this paper evaluates the green performance of the region by measuring the green Total Factor Productivity (GTFP) of the

industry. The paper provides a detailed analysis of the historical development and current status of industrial greening in the Yangtze River Economic Belt.

Keywords

Green Total Factor Productivity (GTFP), Yangtze River Economic Belt, SBM-DDF

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2014年9月, 国务院印发《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》, 部署将长江经济带建设成为具有全球影响力的内河经济带、东中西互动合作的协调发展带、沿海沿江沿边全面推进的对内对外开放带和生态文明建设的先行示范带。长江经济带包括9个省份及两个直辖市, 横跨中国东中西部地区, 是中国“三个支撑带”战略中新的的发展区域之一, 凭借其发达的交通网络以及丰富的化石能源, 在中国整体工业体系中占有重要地位。2022年, 长江经济带GDP高达56万亿元, 占全国总产值的46.5%, 为我国经济发展做出极大贡献。但同时也带来严重的环境破坏以及巨额资源消费, 对生态环境和经济的可持续发展非常之不友好。

在此背景下, 长江经济带各城市应当大力推进传统企业转型, 优化资源配置效率, 鼓励清洁生产。为此, 本文选取污染排放最多、能源消耗最大的工业为研究对象, 以绿色全要素生产率作为工业绿色绩效的衡量指标, 对2014~2021年间长江经济带108个地级市绿色全要素生产率进行测度, 可以更好地掌握长江经济带各城市绿色全要素生产率发展水平, 了解发展格局及时空发展差异。

2. 文献综述

2.1. 工业绿色全要素生产率演变历程

1957年, Solow 提出全要素生产率作为衡量生产技术的指标。但随着工业化程度的提高, 能源和环境成为经济增长的主要制约因素[1], 传统的全要素生产率已不再适用于大多情况, 而绿色全要素生产率兼顾经济绩效与环境绩效[2], 可以更全面地反映经济发展的质量水平。李维民等(2018) [3]认为绿色全要素生产率可以体现一个地区经济可持续发展水平; 黄磊等(2018) [4]认为绿色全要素生产率的提高对推动我国经济绿色发展具有重要意义; 关于绿色全要素生产率的影响因素, 逯进、李婷婷(2021) [5]通过研究发现产业结构优化可以推动绿色全要素生产率发展; 文丰安(2023) [6]认为数字经济可以通过优化资源配置效率促进绿色全要素生产率的增长。

测算层面, 绿色全要素生产率与全要素生产率最大的区别是绿色全要素生产率将环境污染归为一种非期望产出, 纳入计算指标体系; 进一步, 绿色全要素生产率可以继续分解为技术进步(TC)和效率变动(EC), TC是指绿色全要素生产率发展过程中由科学技术创新创造的增长, EC是指绿色全要素生产率发展过程中由管理模式、资源配置等非技术因素的优化创造的增长。在后来的研究中, 越来越多的学者将绿色全要素生产率的使用情境转移到工业中, 将测算得到的结果作为工业绿色全要素生产率。

2.2. 工业绿色全要素生产率测算方法

当前学术界主要使用参数方法和非参数方法测算绿色全要素生产率。参数方法以规模报酬不变和生

产在技术前沿面充分有效为前提假设, 需要确定投入产出价格, 通过具体的生产函数计算全要素生产率; 非参数方法以数据包络分析构建生产函数的随机前沿面, 利用生产决策单元和最优前沿面的距离计算效率, 在此基础上引入“非期望产出”后即可测算得到绿色全要素生产率。

传统的全要素生产率没有考虑到非期望产出, 以至于在后来的一些研究方法中, 非期望产出会被作为投入来处理。在经过 Chung 等(1997) [7]和 Fukuyama 和 Weber (2009) [8]等众多学者对绿色全要素生产率测算方法的不断改良后, 最终得到可以更准确地对绿色全要素生产率进行测算的 SBM-DDF 模型。关于 ML 指数存在的线性规划无解以及不可传递等问题, Oh (2010) [9]上提出全局 Malmquist-Luenberger 指数(GML 指数), 实现了生产率测算结果的长期跨期可比, 并可以规避可能出现的“线性规划无解”问题, GML 指数也成为目前最受学者们青睐的测算方法。

目前主流的工业绿色全要素生产率的测算指标体系由三部分构成, 分别为投入指标、期望产出及非期望产出。学者们常用的方法是将投入指标分为劳动投入、资本投入和能源投入作为投入指标, 将实际经济效益作为期望产出, 将生产中产生的环境污染作为非期望产出。

3. 长江经济带绿色全要素生产率测度

3.1. 工业绿色全要素生产率测算方法

尽管 SBM-DDF 模型与 GML 指数都对传统测算方法做出了一定修正, 但二者在测算绿色全要素生产率时仍存在一定缺陷, SBM 方向距离函数未能有效处理生产单元在各期生产前沿的非一致性, 影响跨期结果间的可比性, GML 指数也无法克服因径向和角度问题所带来的测评偏差, 而基于 SBM 方向距离函数的 GML 指数既可以有效处理径向与角度问题, 同时又可以实现生产前沿的全局可比性, 因此本文采用 SBM 方向性距离函数与 GML 指数结合的方法来测算绿色全要素生产率增长。

本文借鉴 Fukuyama 等(2009) [4]的研究方法, 对当期 SBM 方向性距离函数的定义具体如下:

$$\begin{aligned} \bar{S}_v^t(x^{t,k'}, y^{t,k'}, b^{t,k'}, g^x, g^y, g^b) &= \max \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{S_n^x}{g_n^x} + \frac{1}{M+I} \left(\sum_{m=1}^M \frac{S_m^y}{g_m^y} + \sum_{k=1}^K \frac{S_k^b}{g_k^b} \right)}{2} \\ \text{s.t. } \sum_{k=1}^K z_k^t x_{kn}^t + s_n^s &= x_{kn}^t, \forall n; \sum_{k=1}^K z_k^t y_{km}^t - s_m^y = y_{km}^t, \forall m; \sum_{k=1}^K z_k^t b_{ki}^t + s_i^b = b_{ki}^t, \forall i; \\ \sum_{k=1}^K z_k^t &= 1, z_k^t \geq 0, \forall k; s_m^y \geq 0, \forall m; s_i^b \geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (1)$$

其中, x_i^t 、 y_i^t 、 b_i^t 分别表示 t 时期 i 地区的投入、期望产出与非期望产出, (g^x, g^y, g^b) 为方向向量, 分别表示投入减少、期望产出增加、非期望产出减少的方向, (S_n^x, S_m^y, S_k^b) 为松弛变量, 分别表示投入冗余、期望产出较少与非期望产出较多的量。同理, 全局 SBM 方向性距离函数表示为:

$$\begin{aligned} \bar{S}_v^t(x^{t,k'}, y^{t,k'}, b^{t,k'}, g^x, g^y, g^b) &= \max \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{S_n^x}{g_n^x} + \frac{1}{M+I} \left(\sum_{m=1}^M \frac{S_m^y}{g_m^y} + \sum_{k=1}^K \frac{S_k^b}{g_k^b} \right)}{2} \\ \text{s.t. } \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t x_{kn}^t + s_n^s &= x_{kn}^t, \forall n; \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t y_{km}^t - s_m^y = y_{km}^t, \forall m; \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t b_{ki}^t + s_i^b = b_{ki}^t, \forall i; \\ \sum_{k=1}^K z_k^t &= 1, z_k^t \geq 0, \forall k; s_m^y \geq 0, \forall m; s_i^b \geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (2)$$

基于 SBM 方向距离模型的 GML 模型定义如下:

$$GML_t^{t+1} = \frac{1 + \overline{S}_V^G(x^t, y^t, b^t; g^x, g^y, g^b)}{1 + \overline{S}_V^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^x, g^y, g^b)} \quad (3)$$

其中, $\overline{S}_V^G(x^t, y^t, b^t; g^x, g^y, g^b)$ 代表基于非径向、非角度测度方法构建的全域 SBM 方向距离函数; GML 指数代表每一期相对于前一期的变动, 若该指数大于 1, 则代表工业制造业绿色全要素生产率出现了增长; 若小于 1, 则代表工业制造业绿色全要素生产率出现了下降; 若等于 1, 则代表工业制造业绿色全要素生产率处于稳定状态。GML 指数可以进一步分解为技术进步变化(TC)和技术效率变化(EC), 技术进步变化主要源于由技术进步带来的产出增长, 技术效率变化源于企业内部效率提升带来的产出增长。

3.2. 工业绿色全要素生产率测度指标体系及数据来源

指标测度方面, 本文使用 2014 年至 2021 年长江经济带 108 个城市面板数据(贵州省毕节、铜仁二市数据缺失较多, 因此从样本中剔除), 利用 Matlab 软件对工业绿色全要素生产率进行测度, 测算所需的投入指标、期望产出及非期望产出具体如下:

(1) 本文研究中的投入指标有三种, 分别为劳动力投入、资本投入和能源投入, 其中劳动力投入学者们大多使用工业从业人员数量来衡量, 但从地级市层面难以获取这一数据, 因此本文使用各市第二产业就业人数表征; 能源投入本文采用各市域工业用电量来衡量; 资本投入学者们常用的指标是规模以上工业企业固定资产合计, 但是基于地级市层面难以完整获取各市工业企业固定资产合计统计数据, 因此本文选择全市固定资产合计, 并使用 Goldsmith 提出的永续盘存法(PIM), 对各市的资本存量加以测算, 公式如下:

$$K_t = K_{t-1}(1 - \delta_t) + I_t \quad (4)$$

其中 t 表示年份, K 表示资本存量, δ 和 I 表示折旧与投资额; 为保证数据的连续性与可比性, 本文利用各市所在省份历年的固定资产投资价格指数, 以 2014 年为基期对各市固定资本形成总额进行平减处理。根据张军等(2004) [10]的研究, 本文将各市固定资本形成总额的折旧率 δ 设定为 9.6%; 基期资本存量采用 Young (2003) [11]的估计方法, 将各市 2014 年固定资本形成总额除以 10%作为该市的初始资本存量。

(2) 期望产出: 本文以 2014 年作为基期, 使用城市所在省份发布的 GDP 指数, 计算 2015~2021 年各市第二产业实际 GDP, 以消除价格因素的影响。

(3) 非期望产出: 本文使用各市工业三废排放量来衡量, 具体包括工业二氧化碳排放量、工业烟粉尘排放量和工业废水排放量。

3.3. 数据来源

本文所用数据均来源于国家统计局及各省市统计局。由于基于 SBM 方向距离模型的 GML 模型所测算出的结果表示本年度工业绿色全要素生产率较上一年的比值, 因此本文以 2014 年为基期, 将 2014 年的工业绿色全要素生产率设置为 1, 往后余年进行累乘得到各年份的工业绿色全要素生产率, 具体计算结果见表 1。

4. 长江经济带绿色全要素生产率测度结果分析

4.1. 工业绿色全要素生产率测算结果整体分析

由表 1 可见, 2014 年至 2021 年间, 长江经济带工业绿色全要素生产率年均增长最快的城市是重庆市, 达到 1.2422, 苏州与上海分列第二与第三名; 增长年均值最低的是遂宁, 为 0.9996, 也是长江经济带城市群中唯一未实现工业绿色全要素生产率增长的城市。观察排名可知, 前十名中有 7 所城市来自下

游城市群, 后十名中有 7 所城市来自上游, 前三十名中有 16 所城市来自下游, 10 所来自中游, 仅有 4 座城市来自上游, 说明下游城市群工业绿色全要素生产率程度最好, 中游次之, 上游相对较弱; 可能的原因是上游大部分地区工业化水平较差, 工业基础薄弱, 发展大多依靠当地资源, 创新动力不足, 经济与技术水平较中下游更低, 在产出较低的同时又伴随大量的资源消耗与污染物排放, 此外重庆市作为长江经济带工业绿色发展最好的城市, 未有效发挥带动作用, 导致上游工业绿色发展形势整体并不乐观; 而下游地区经济发展与对外开放程度都明显优于中上游地区, 人才与技术流动性强, 拥有大量高学历人才与高新科技产业, 使得工业可以更有效率更清洁的进行生产, 从而促进工业绿色发展。

Table 1. The geometric mean of industrial GTFP from 2014 to 2021

表 1. 2014~2021 年绿色全要素生产率几何均值

排名	城市	得分	排名	城市	得分	排名	城市	得分
1	重庆	1.2422	37	黄石	1.0159	73	临沧	1.0073
2	苏州	1.1319	38	攀枝花	1.0158	74	阜阳	1.0069
3	上海	1.0910	39	金华	1.0158	75	张家界	1.0067
4	杭州	1.0633	40	益阳	1.0156	76	安庆	1.0066
5	南京	1.0547	41	常州	1.0155	77	蚌埠	1.0062
6	武汉	1.0515	42	九江	1.0141	78	湖州	1.0062
7	无锡	1.0443	43	新余	1.0137	79	随州	1.0061
8	徐州	1.0439	44	德阳	1.0136	80	十堰	1.0058
9	宁波	1.0335	45	湘潭	1.0133	81	鹰潭	1.0056
10	常德	1.0319	46	温州	1.0132	82	株洲	1.0055
11	南通	1.0294	47	嘉兴	1.0132	83	宿州	1.0054
12	盐城	1.0280	48	衢州	1.0132	84	宣城	1.0051
13	镇江	1.0273	49	连云港	1.0132	85	抚州	1.0051
14	六盘水	1.0260	50	台州	1.0130	86	昭通	1.0048
15	合肥	1.0258	51	邵阳	1.0128	87	池州	1.0047
16	衡阳	1.0244	52	安顺	1.0128	88	广安	1.0046
17	绍兴	1.0243	53	宜春	1.0128	89	舟山	1.0046
18	娄底	1.0228	54	绵阳	1.0125	90	宿迁	1.0046
19	宜昌	1.0218	55	景德镇	1.0123	91	成都	1.0042
20	岳阳	1.0216	56	丽水	1.0117	92	咸宁	1.0040
21	赣州	1.0216	57	荆门	1.0117	93	上饶	1.0036
22	淮安	1.0216	58	芜湖	1.0115	94	丽江	1.0031
23	曲靖	1.0212	59	淮北	1.0114	95	滁州	1.0029
24	淮南	1.0208	60	永州	1.0111	96	亳州	1.0029
25	长沙	1.0201	61	贵阳	1.0107	97	泸州	1.0028
26	萍乡	1.0201	62	保山	1.0106	98	吉安	1.0024
27	襄阳	1.0201	63	自贡	1.0098	99	黄冈	1.0021

续表

28	扬州	1.0195	64	宜宾	1.0095	100	六安	1.0020
29	内江	1.0194	65	马鞍山	1.0092	101	南充	1.0018
30	泰州	1.0187	66	孝感	1.0091	102	广元	1.0017
31	怀化	1.0185	67	资阳	1.0087	103	眉山	1.0012
32	玉溪	1.0183	68	鄂州	1.0083	104	雅安	1.0011
33	南昌	1.0180	69	乐山	1.0082	105	巴中	1.0008
34	遵义	1.0172	70	昆明	1.0078	106	普洱	1.0007
35	郴州	1.0167	71	达州	1.0076	107	黄山	1.0004
36	荆州	1.0167	72	铜陵	1.0075	108	遂宁	0.9996

4.2. 工业绿色全要素生产率指数分解分析

GML 指数可以进一步分解得到技术进步变化指数 TC 与技术效率变化指数 EC 指数,分解结果见表 2。2015~2021 年间, TC 指数逐年递增,各年份得分均大于 EC 指数且均大于 1,而 EC 指数绝大部分时间得分小于 1,且逐年递减,说明长江经济带工业绿色全要素生产率增长的主要动力来自技术进步变化。

Table 2. The decomposition of industrial GTFP index in the Yangtze river economic belt

表 2. 长江经济带工业 GTFP 指数分解

	GML	TC	EC
2015	1.0011	1.0144	0.9976
2016	1.0126	1.0182	1.0126
2017	1.0186	1.0638	0.9903
2018	1.0214	1.1575	0.9342
2019	1.0250	1.2014	0.9163
2020	1.0287	1.2541	0.8928
2021	1.0322	1.3126	0.8914
平均值	1.0199	1.1408	0.9467

4.3. 工业绿色全要素生产率时空演变分析

为更好地研究长江经济带工业绿色全要素生产率的时空发展趋势,本文借助 Arcmap10.8 软件,使用反距离权重法分析工具绘制出工业绿色全要素生产率在 2015、2017、2019 和 2021 四个年份的空间分布图,绘制结果见图 1。观察图 1 可知,长江经济带工业绿色全要素生产率总体呈现增长趋势。

观察 2015 年工业绿色全要素生产率空间分布图可知,除重庆市外,各市工业绿色全要素生产率均处于第一道阈值之下;到 2017 年时,重庆市已突破第五道门槛,领先其他地区,但除重庆市以外,上游其他地区依旧处于第一道阈值以下;中游地区一部分城市已高于第一道门槛,下游地区以上海为中心,周边小规模城市群增长明显,尤其上海和苏州更为显著;2019 年,重庆市依旧处于领先地位,其他上游小部分地区有所上升,中游地区湖南及湖北两省大部分地区得分高于第一道门槛,江西省小部分地区逐渐展现增长势头,下游地区上海和苏州增长依旧明显,合肥、杭州和南京三所省会城市在周边地区间显现出明显的领先状态,江苏、浙江大部分城市已经突破第二道阈值;至 2021 年时,整个长

江经济带近半数城市工业绿色全要素生产率突破第一道阈值, 重庆市、上海市仍保持领先, 苏州、杭州紧随其后, 其周边地区发展在整个长江经济带表现出明显领先, 武汉、长沙等中下游省会城市均在其周边呈现领先地位。整体来看, 下游城市群工业绿色全要素生产率明显优于中上游地区, 上游地区虽然有重庆市处于领先地位, 但没有充分发挥对周边地区的带动作用, 城市间发展不均衡问题明显, 相比之下, 中下游城市群工业绿色全要素生产率发展则较为均衡, 上海、苏州也表现出明显的周边带动作用。

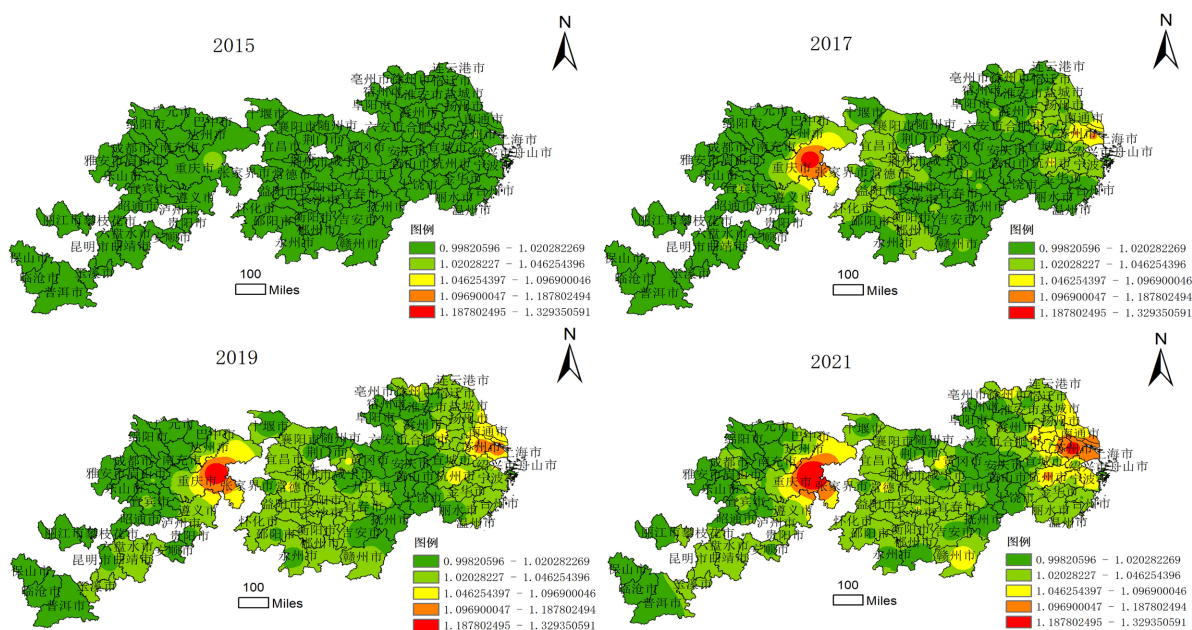


Figure 1. Spatial distribution of industrial GTFP in the Yangtze river economic belt
图 1. 工业绿色全要素生产率空间分布图

5. 结论

本文使用 SBM-DDF 方法对 2014~2021 年长江经济带绿色全要素生产率及其分解指数进行测度, 结果表明, 长江经济带整体绿色全要素生产率在样本期间呈现增长态势, 其中下游地区绿色全要素生产率整体得分最高, 中游次之, 上游地区重庆市得分居长江经济带各市中第一名, 但上游整体发展较弱于中下游; 指数分解结果表明长江经济带绿色全要素生产率增长的主要动力来源与技术进步变化。

参考文献

- [1] Lee, C. and Lee, C. (2022) How Does Green Finance Affect Green Total Factor Productivity? Evidence from China. *Energy Economics*, **107**, Article 105863. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105863>
- [2] Pittman, R.W. (1983) Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs. *The Economic Journal*, **93**, 883-891. <https://doi.org/10.2307/2232753>
- [3] 李维明, 高世楫, 许杰. 国际比较视角的中国绿色增长进程与对策[J]. *改革*, 2018(12): 27-41.
- [4] 黄磊, 吴传清. 长江经济带生态环境绩效评估及其提升方略[J]. *改革*, 2018(7): 116-126.
- [5] 逯进, 李婷婷. 产业结构升级、技术创新与绿色全要素生产率——基于异质性视角的研究[J]. *中国人口科学*, 2021(4): 86-97.
- [6] 文丰安. 数字经济发展、要素配置效率与城市绿色生产效率[J]. *产业经济研究*, 2023(3): 57-71+86.
- [7] Chung, Y.H., Färe, R. and Grosskopf, S. (1997) Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function

- Approach. *Journal of Environmental Management*, **51**, 229-240. <https://doi.org/10.1006/jema.1997.0146>
- [8] Fukuyama, H. and Weber, W.L. (2009) Estimating Indirect Allocative Inefficiency and Productivity Change. *Journal of the Operational Research Society*, **60**, 1594-1608. <https://doi.org/10.1057/jors.2009.62>
- [9] Oh, D. (2010) A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index. *Journal of Productivity Analysis*, **34**, 183-197. <https://doi.org/10.1007/s11123-010-0178-y>
- [10] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952-2000 [J]. 经济研究, 2004(10): 35-44.
- [11] Young, A. (2003) Gold into Base Metals: Productivity Growth in the People's Republic of China during the Reform Period. *Journal of Political Economy*, **111**, 1220-1261. <https://doi.org/10.1086/378532>