

中国绿色全要素生产率时空分异及因素分解研究

——基于超效率SBM和Malmquist指数

宋祎楠*, 杨洲木

南京信息工程大学数学与统计学院, 江苏 南京

收稿日期: 2023年12月1日; 录用日期: 2023年12月20日; 发布日期: 2024年2月28日

摘要

本文使用超效率SBM和Malmquist指数方法对中国30个省(区、市)2003~2019年的绿色全要素生产率(GTFP)进行测算, 并采用RD分解法将Malmquist指数分解为效率变动、技术变动和规模变动, 通过对比全国及东中西地区GTFP变动及其分解值, 本文的主要结论有: 1) 我国整体的GTFP呈现出上升态势, 区域间的GTFP表现为东部 > 西部 > 中部, 东部和西部地区GTFP增速快得益于区域内个别增长极拉动地区GTFP的增长, 而中部地区GTFP的增速慢受限于区域内个别省份增长势能不足; 2) 全国层面存在技术进步、规模扩大和效率下降情况, 并且在东、中、西部地区之间存在区域异质性。为进一步提高中国GTFP, 提出如下建议: 全国层面要加强要素的跨区域流动, 促进区域协调发展。东部地区更应促进优势产业集聚、扩大规模, 而中西部地区更应加大研发投入、促进技术进步。

关键词

绿色全要素生产率, 数据包络分析, RD分解法, 区域异质性

A Study on the Spatio-Temporal Differentiation and Factor Decomposition of China's Green Total Factor Productivity

—Based on the Super-Efficiency SBM and Malmquist Index

Yinan Song*, Zhoumu Yang

School of Mathematics and Statistics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

*通讯作者。

Abstract

In this paper, we use the super-efficiency SBM and Malmquist index methods to measure green total factor productivity (GTFP) for 30 provinces (autonomous regions and municipalities) in China from 2003 to 2019, and used the RD decomposition to decompose Malmquist index into efficiency change, technology change and scale change, by comparing national and sub-regional GTFP's change and the decomposition values, the main conclusions of this paper are: 1) China's GTFP shows an upward trend, GTFP between regions shows East > West > Central. The faster growth of GTFP in eastern and western regions is due to some growth poles within the region driving regional GTFP growth, and the slow growth of GTFP in the central region was limited by insufficient growth potential in some provinces. 2) Technical progress, scaling up and efficiency degradation exist at national level, and there is regional heterogeneity between eastern, central and western regions. To improve China's GTFP, the suggestions are as follow: At the national level, it is important to enhance factors' cross-regional flow and promote coordinated regional development. The eastern region should promote the clustering expansion of advantaged industries, and the central and western regions need to increase investment in R&D and promote technological progress.

Keywords

Green Total Factor Productivity, Data Envelopment Analysis, RD Decomposition Method, Regional Heterogeneity

Copyright © 2024 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

环境问题是中國可持续发展道路上的巨大挑战[1], 越来越多的学者认为解决环境问题的关键是实现经济高质量发展[2]。全要素生产率是衡量经济发展质量的常用指标[3]。在经济增长中, 一部分增长来源于劳动、资本等投入要素引致的增长, 另一部分则来源于技术进步与效率提高引致的增长, 这一部分即为全要素生产率[4]。传统的全要素生产率缺乏对能源和环境要素考虑, 而绿色全要素生产率(GTFP)在传统全要素生产率核算框架上, 将能源作为投入要素、污染物排放作为非期望产出, 在考虑经济增长的同时考虑了环境状况, 可以更加全面地衡量经济发展的质量[4]。

现有文献对 GTFP 的研究主要集中在以下方面。首先, 关于 GTFP 的测算方法, 最常用的方法是将 DEA 方法与 Malmquist 指数结合, 宋长青等[5]使用基于 DEA 的 Malmquist 生产率指数和基于方向距离性函数的 Malmquist-Luenberger 生产率指数对 1985~2010 年间中国 GTFP 进行了测算及分解, 在测算生产率时引入了环境因素, 为我国经济质量增长测度提供了新方法。其次, 学者们还对 Malmquist 指数进行分解, 这可以得到影响 GTFP 变动的内部因素的变化情况, 有助于探究 GTFP 变动的内部原因[6], 国内现有研究对 GTFP 变动指数的分解主要运用了 FGNZ 分解法, 将 Mamlquist 指数分解为技术进步、纯效率和规模效率, 周祎庆等[7]运用超效率 EBM 和全局 Malmquist-Luenberger 指数测算了中国 GTFP, 并采用 FGNZ 分解法对 GTFP 变动指数进行分解, 发现我国 GTFP 的提升主要受益于技术进步。此外, 关于

测算主体的选择,主要集中在行业层面,刘战豫等[8]通过考虑非期望产出的超效率 SBM 与 Malmquist 指数模型,测算了 2000~2014 年中国物流业 GTFP,发现物流业 GTFP 的演化经历了下降、波动、复苏三个阶段;Chen 等[9]运用非径向方向距离性函数与 Luenberger 指数测算了 2013~2019 年中国 30 个省份的林业 GTFP,发现我国林业 GTFP 保持总体稳定增长态势。

现有文献虽已对 GTFP 取得丰硕的研究成果,但仍有不足之处。第一,传统的 DEA 模型将非期望产出作为投入要素处理,这违背了实际生产情况,基于此, Tone 提出了超效率 SBM 模型,不仅加入了非期望产出变量,还考虑了投入与产出的松弛问题[10]。第二,国内现有文献对 GTFP 变动指数的分解主要运用 FGNZ 分解法,但 FGNZ 分解法对于技术进步的定义是不严谨的[11],RD 分解法针对这个问题对 FGNZ 分解法提出了改进¹。第三,现有研究主要测算各行业的 GTFP,即便是关注到区域层面,研究主题也多关注其他变量与 GTFP 的关系。为进一步丰富现有研究,本文将使用超效率 SBM 和 Malmquist 指数方法对中国 30 个省(区、市)2003~2019 年的 GTFP 进行测算,并采用 RD 分解法将 Malmquist 指数分解为效率变动、技术变动和规模变动,由此得到全国及东中西地区 GTFP 及其分解值,最后根据研究结论,就如何提高 GTFP、实现经济高质量发展提出建议。

2. 研究方法、指标选取及数据来源

2.1. 研究方法

2.2.1. 超效率 SBM 模型

将我国每个省份视作一个决策单元 DMU,总共有 n 个 DMU,假设每个省份使用 m 种投入(X),得到 s_1 种期望产出(Y), s_2 种非期望产出(B),则决策单元 $DMU(x_o, y_o, b_o)$ 的超效率 SBM 模型可表示为:

$$\delta^* = \min \delta = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^+}{y_{ro}} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{s_k^-}{b_{ko}} \right)} \quad (1)$$

s.t.

$$x_{io} \geq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_{ij} - s_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$y_{ro} \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_{rj} + s_r^+ \quad j = 1, 2, \dots, s_1$$

$$y_{ro} \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_{rj} + s_r^+ \quad j = 1, 2, \dots, s_1$$

$$\gamma_j \geq 0, s_i^- \geq 0, s_r^+ \geq 0, s_k^- \geq 0.$$

其中, γ_j 是非负的权重向量, x_{io} 、 y_{ro} 和 b_{ko} 分别表示第 o 个 DMU 的第 i 种投入、第 r 种期望产出和第 k 种非期望产出; s_i^- 、 s_r^+ 、 s_k^- 为松弛变量,分别表示投入冗余、期望产出不足和非期望产出过量。 δ^* 代表第 o 个 DMU 的效率,若 $\delta^* \geq 1$,表示该 DMU 处于效率前沿面上,是有效的;若 $0 \leq \delta^* < 1$,表示该 DMU 是无效率的,需要对投入和产出进一步改进。

2.2.2. Malmquist 指数

超效率 SBM 模型可测算某一时时间点的效率,反映各 DMU 与生产前沿面的相对关系,而 Malmquist 指数可以分析每个 DMU 与生产前沿面的相对位置变动(技术效率变化)和生产前沿面变动(技术进步水平)的情况[12]。Malmquist 指数的基本思想就是通过测度 DMU 与生产前沿面的距离来反映生产率的变化情

¹下一节将对两种分解方法进行详细介绍。

况。由于在测算 Malmquist 指数前必须先确定生产前沿面的计算方法, 常将 DEA 方法与 Malmquist 指数结合, 本文使用超效率 SBM-Malmquist 方法。

从第 t 期到 $t+1$ 期的 GTFP 的变化率可以用第 t 期到 $t+1$ 期的 Malmquist 变动指数(tfpch)衡量[13]:

$$\text{tfpch} = \left[\frac{D^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D^t(x_t, y_t, b_t)} \times \frac{D^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

根据 Malmquist 指数分解方法, 可将 tfpch 分解为技术进步指数(techch)和技术效率指数(effch) [14]:

$$\text{tfpch} = \text{techch} \times \text{effch} \quad (3)$$

$$\text{techch} = \left[\frac{D^t(x_t, y_t, b_t)}{D^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \times \frac{D^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\text{effch} = \frac{D^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D^t(x_t, y_t, b_t)} \quad (5)$$

其中, techch 为第 t 期到第 $t+1$ 期的技术进步水平, 若 techch 大于 1, 表示生产可能性边界向外扩张, 技术进步; effch 为第 t 期到第 $t+1$ 期的技术效率变化情况, 若 effch 大于 1, 表示技术效率提高, 缩小了 DMU 与生产前沿面的差距。

公式(2)和(3)是在规模报酬不变(CRS)条件下对 tfpch 的分解, 但在超效率 SBM 模型中引入约束条件 $\sum_{j=1}^n \gamma_j = 1$, 则可转变为规模报酬可变(VRS)的超效率 SBM 模型[10], 在此基础上可进一步对 effch 和 techch 进行分解。现在主流的分解方法有两种, 一种是 Fare [14]提出的 FGZ 分解法, 一种是 Ray 和 Desil [15]提出的 RD 分解法。

FGZ 分解法将 effch 进一步分解为纯效率变化指数(pech)和规模效率变化指数(sech), 即:

$$\text{effch} = \text{pech} \times \text{sech} \quad (6)$$

$$\text{pech} = \frac{D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \quad (7)$$

$$\text{sech} = \frac{D_C^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})/D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_C^{t+1}(x_t, y_t, b_t)/D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \quad (8)$$

其中, pech 表示纯效率变化, 为 VRS 条件下的 effch 值, 若 pech 大于 1, 表示管理、制度创新和生产经验的积累引致的效率提高; sech 表示规模效率变化, 为 CRS 条件下 effch 值除以 VRS 条件下 effch 值, 若 sech 大于 1, 表示规模扩大所带来的规模经济而引致的效率提高。

综上所述, FGZ 分解法认为 tfpch 的分解形式为:

$$\begin{aligned} \text{tfpch} &= \frac{D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \times \left[\frac{D_C^t(x_t, y_t, b_t)}{D_C^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \times \frac{D_C^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_C^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &\quad \times \frac{D_C^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})/D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_C^{t+1}(x_t, y_t, b_t)/D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \end{aligned} \quad (9)$$

三者分别表示效率变动、技术变动和规模变动。

RD 分解法将 techch 分解为纯技术变化指数(ptechn)和规模技术变化指数(stech), 即:

$$\text{techch} = \text{ptechn} \times \text{stech} \quad (10)$$

$$\text{ptech} = \left[\frac{D_V^t(x_t, y_t, b_t)}{D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \times \frac{D_V^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$\text{stech} = \left[\frac{D_C^t(x_t, y_t, b_t) D_C^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_C^{t+1}(x_t, y_t, b_t) D_C^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \times \frac{D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t) D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_V^t(x_t, y_t, b_t) D_V^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

其中, ptech 表示纯技术变化, 为 VRS 条件下的 techch 值, 若 ptech 大于 1, 表示创新所引致的技术进步; stech 表示规模技术变化, 为 CRS 条件下 techch 值除以 VRS 条件下 techch 值。

与 FGNZ 分解法不同, RD 分解法认为规模变动(SCH)表示为 CRS 条件下 tfpch 值除以 VRS 条件下 tfpch 值, 也可表示为 sech 值与 stech 值的乘积:

$$\text{SCH} = \left[\frac{D_C^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})/D_V^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_C^t(x_t, y_t, b_t)/D_V^t(x_t, y_t, b_t)} \times \frac{D_C^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})/D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_C^{t+1}(x_t, y_t, b_t)/D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

综上所述, RD 分解法认为 tfpch 的分解形式为:

$$\begin{aligned} \text{tfpch} = & \frac{D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \times \left[\frac{D_V^t(x_t, y_t, b_t)}{D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \times \frac{D_V^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \\ & \times \left[\frac{D_C^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})/D_V^t(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_C^t(x_t, y_t, b_t)/D_V^t(x_t, y_t, b_t)} \times \frac{D_C^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})/D_V^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{D_C^{t+1}(x_t, y_t, b_t)/D_V^{t+1}(x_t, y_t, b_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (14)$$

三者分别表示效率变动、技术变动和规模变动。其中效率变动反应 DMU 距离上产前沿面的距离变化, 技术变动反应生产前沿面整体的移动情况, 规模变动反应 DMU 的生产点在生产前沿面上的变动情况。

综上所述, FGNZ 分解法和 RD 分解法对于效率变动的表示一致, 区别在于对技术变动和规模变动的表示, 其根源在于 FGNZ 分解法对技术变动的理解是不严谨的[10]。FGNZ 分解法承认技术变动是 VRS 的, 但在分解时却采用了 CRS 的假设, 对技术变动分解的差异也导致二者对规模变动分解的差异。因此, 本文对效率变动、技术变动和规模变动的分解参照 RD 分解法进行。

2.2. 指标选取

为了测算我国各省份的 GTFP, 借鉴陈思杭[16]、周晓光[17]等人的做法, 选取就业人数作为劳动力投入指标, 固定资产投资总额作为资本投入指标, 各能源消耗量折算成标准煤数量为能源投入指标, 地区生产总值作为期望产出指标, 工业“三废”排放量作为非期望产出指标, 具体说明如表 1 所示。

Table 1. Input and output indicators of GTFP

表 1. 绿色全要素生产率投入、产出指标

一级指标	二级指标	单位
投入	就业人数	万人
	固定资产投资	亿元
	能源消耗量	万吨标准煤
期望产出	地区生产总值	亿元
	工业废水排放量	万吨
非期望产出	工业粉尘尘排放量	万吨
	工业固体废弃物产生量	万吨

2.3. 数据来源

根据样本数据的可获得性, 本文选取 2002 年至 2019 年我国 30 个省(西藏、台湾、港澳地区除外)的面板数据作为研究样本。其中, 就业人数、固定资产投资和地区生产总值来源于《中国统计年鉴》, 能源消耗量来源于《中国能源统计年鉴》, 工业“三废”排放量来源于《中国环境年鉴》。各投入产出指标描述性统计结果如表 2 所示。

Table 2. Descriptive statistics for variables

表 2. 指标描述性统计

变量	均值	标准差	最小值	最大值
就业人数	2599.5	1702.2	279.0	7150.3
固定资产投资	11588.5	15505.6	225.4	233634.0
能源消耗量	12250.1	8226.6	650.0	41390.0
地区生产总值	16490.8	16999.6	329.3	107671.0
工业废水排放量	109591.1	118746.9	3453.0	938261.0
工业粉烟尘排放量	51.3	36.2	1.5	181.7
工业固体废弃物产生量	8378.9	8332.5	91.0	52037.0

3. 实证分析

本文采用超效率 SBM 模型和 Malmquist 指数相结合的方法, 使用省级 2002~2019 年投入产出数据, 借助 DEArun 软件, 对我国 2003~2019 年各省份 GTFP、GTFP 变动指数及其分解项进行了测算。需特别指出, 本文将 2002~2003 的变动指数计入 2003 年。

鉴于 Malmquist 指数(tfpch)得到的是 GTFP 的增长率, 故需要对其进行调整以得到 GTFP 的实际值。借鉴陈超凡[18]的调整方法, GTFP 实际值是根据变动指数相乘获得的。计算方法是: 假定 2003 年为基期即 GTFP 值为 1, 2004 年的 GTFP 为 2003 年的 GTFP 乘 2004 年的 tfpch, 2005 年的 GTFP 为 2004 年的 GTFP 乘 2005 年的 tfpch, 以此类推。最终可得到 2004~2019 年 GTFP 的实际值。

3.1. 绿色全要素生产率静态分析

首先参照张成等[19]的做法, 本文将中国 30 个省份按照东部、中部和西部划分, 进行分地区讨论, 具体划分方式如表 3 所示。

Table 3. Division of eastern, central and western provinces

表 3. 东部、中部、西部省份划分

地区	范围
东部地区	北京 天津 河北 辽宁 上海 江苏 浙江 福建 山东 广东 海南
中部地区	山西 吉林 黑龙江 安徽 江西 河南 湖北 湖南
西部地区	内蒙古 广西 重庆 四川 贵州 云南 陕西 甘肃 青海 宁夏 新疆

我国 2003 至 2019 年各地区 GTFP 计算结果如表 4 所示, 受限于篇幅, 仅展示部分年份的计算结果。从整体看, 2003~2019 年我国 GTFP 有所提升, 除少数省份 GTFP 出现下降, 整体均值为 1.461。GTFP 增长前十名的省份为四川、北京、上海、天津、宁夏、浙江、广东、江苏、内蒙古和陕西, GTFP 在研

究期内下降的省份包括黑龙江、河北、河南、广西、安徽、福建和云南。其余省份稳步提升, 为推动全国 GTFP 提高起到关键作用。从三大区域看, 中部地区的 GTFP 最低, 且低于全国平均水平; 而东部和西部地区的 GTFP 均高于全国平均水平, 且东部地区的 GTFP 略高于西部地区的 GTFP。

Table 4. GTFP results by regions in 2003~2019

表 4. 2003~2019 年各地区 GTFP 测算结果

地区	2004	2007	2011	2015	2019	均值	地区	2004	2007	2011	2015	2019	均值
北京	1.078	2.382	3.822	6.828	6.795	3.571	河南	0.953	0.805	0.907	0.993	1.264	0.942
天津	1.050	1.236	2.031	2.596	1.525	1.753	湖北	0.967	0.863	0.988	1.342	1.579	1.081
河北	0.990	0.873	0.960	0.982	1.078	0.939	湖南	0.949	0.881	1.011	2.073	1.400	1.111
山西	0.999	1.112	1.318	1.103	1.764	1.233	广东	0.996	1.336	1.668	2.117	1.898	1.557
内蒙古	0.888	1.057	1.606	1.954	1.920	1.466	广西	0.941	0.863	0.928	1.075	1.049	0.948
辽宁	0.864	0.778	1.055	1.492	1.685	1.153	海南	1.044	1.185	1.346	1.584	1.510	1.266
吉林	1.009	0.874	1.229	1.551	1.171	1.168	重庆	0.948	0.857	1.383	2.038	2.234	1.412
黑龙江	1.020	0.829	0.848	1.021	0.736	0.842	四川	4.040	3.844	4.630	6.185	6.632	4.634
上海	1.066	1.455	2.434	4.886	5.051	2.466	贵州	1.033	1.229	1.266	1.615	1.808	1.348
江苏	1.023	1.095	1.460	1.936	2.278	1.490	云南	0.962	0.866	0.952	1.078	1.336	0.983
浙江	1.036	1.295	1.704	1.863	2.177	1.569	陕西	0.995	1.045	1.469	1.899	1.824	1.438
安徽	0.949	0.741	0.949	1.072	1.437	0.968	甘肃	1.040	1.175	1.086	1.121	1.371	1.124
福建	0.961	0.791	0.899	1.058	1.376	0.973	青海	1.058	1.146	1.265	1.326	1.342	1.209
江西	1.004	0.983	1.221	1.343	1.634	1.187	宁夏	1.041	1.390	1.778	1.779	2.228	1.604
山东	1.011	1.093	1.269	1.539	1.535	1.274	新疆	1.022	1.148	1.120	1.078	1.423	1.114
东部	1.011	1.229	1.695	2.444	2.446	1.637	中部	0.981	0.886	1.059	1.312	1.373	1.066
西部	1.270	1.329	1.589	1.922	2.106	1.571	全国	1.098	1.174	1.487	1.951	2.035	1.461

东部地区 GTFP 的均值为 1.637, 但在东部地区的 11 个省份中, 仅有北京、天津和上海三地的 GTFP 超过地区均值, 且河北与福建的 GTFP 甚至出现下降。这说明东部地区主要依靠北京、天津和上海拉动地区 GTFP 的增长, 但区域内部发展并不协调, 京津沪对周边地区的辐射带动作用应进一步增强。

中部地区 GTFP 的均值为 1.066, 全国 GTFP 下降的 6 个省份中有 3 个属于中部地区, 但中部地区其余 5 个省份的 GTFP 均值均高于地区平均水平。说明中部地区 GTFP 的发展主要受限于黑龙江、河南和安徽 GTFP 增长势能的不足, 提高黑豫皖的 GTFP 是提高中部地区 GTFP 的关键所在。

西部地区 GTFP 的均值为 1.571, 西部地区的 11 个省份中, 仅有四川和宁夏的 GTFP 高于地区均值, 且四川的 GTFP 均值为 4.634, 不仅是西部地区 GTFP 最高的省份, 在全国 30 个省份中也处于最高水平。这说明西部地区 GTFP 主要靠四川拉动, 但“一家独大”是优势也是挑战, 区域内部协调发展才是长久之计。

3.2. 绿色全要素生产率动态变化及因素分解

根据前文理论, Malmquist 指数(tfpch)反映了 GTFP 的变动情况, 且其可以分解为技术进步变动指数(ttech)、技术效率变动指数(efch)等。各指数年均值如表 5 所示。

Table 5. China's annual average GTFP change index and its decomposition terms
表 5. 中国年均 GTFP 变动指数及其分解项

年份	tfpch	techch	effch	ptech	stech	pech	sech	SCH
2003	0.921	1.005	0.919	0.979	1.043	0.915	1.022	1.042
2004	1.098	1.068	1.001	1.004	1.061	1.012	0.990	1.048
2005	1.030	1.224	0.852	1.121	1.099	0.874	0.973	1.061
2006	1.009	1.194	0.865	1.114	1.075	0.901	0.957	1.027
2007	1.023	0.950	1.083	0.959	0.996	1.046	1.042	1.029
2008	1.046	1.140	0.934	1.095	1.073	0.979	0.974	1.003
2009	0.978	1.047	0.933	1.001	1.055	0.961	0.981	1.032
2010	1.079	1.095	0.991	1.064	1.032	1.003	0.988	1.017
2011	1.126	1.150	0.979	1.091	1.083	1.025	0.964	1.032
2012	1.025	1.060	0.965	1.045	1.019	0.985	0.980	0.999
2013	1.092	1.120	0.974	1.072	1.048	1.001	0.974	1.020
2014	1.043	1.099	0.948	1.029	1.332	0.979	0.942	1.012
2015	1.076	1.071	1.057	1.071	1.006	1.056	0.996	1.000
2016	0.858	0.839	1.092	0.926	1.032	1.109	1.193	1.022
2017	1.087	1.095	0.972	1.092	1.578	0.991	0.960	0.989
2018	1.087	1.233	1.011	1.138	0.995	1.015	1.051	0.997
2019	1.080	1.090	1.021	1.223	1.014	1.040	0.989	0.977
平均值	1.039	1.090	0.976	1.060	1.091	0.993	0.999	1.018

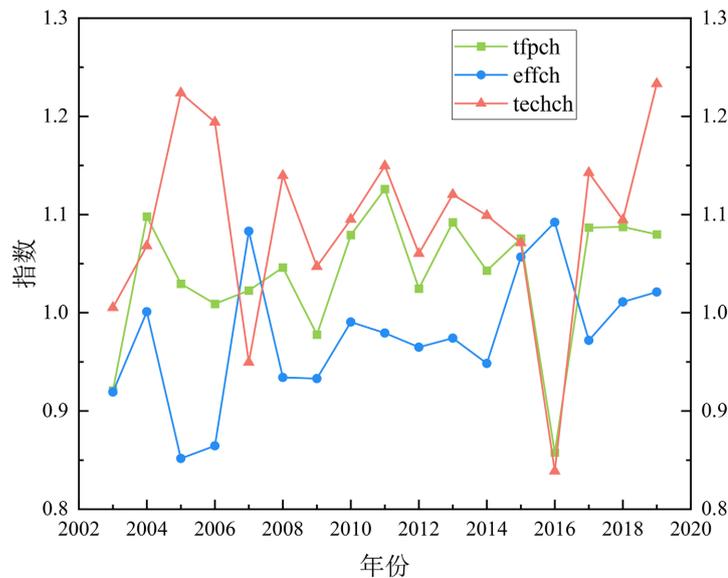


Figure 1. Annual trends of tfpch, effch and techchs' annual average
图 1. 年均 tfpch、effch 与 techch 年变化趋势

tfpch 反映了 GTFP 的年变化, 从表 5 可以看出, 研究期内 tfpch 虽有所变动, 但数值基本都超过 1, 表示 GTFP 相较于上一年有所增长, 平均值为 1.039, 即年均增长率为 3.9%, 说明研究期内我国 GTFP 总体处于增长趋势。

根据 Malmquist 指数分解法, $tfpch$ 可分解为 $techch$ 和 $effch$, 三者年变化情况如图 1 所示, 从中可以看出, $techch$ 变动趋势与 $tfpch$ 变动趋势相近, 说明技术进步变化是影响 $GTFP$ 变化的主要因素。 $techch$ 的平均值为 1.090, 即年均增幅为 9%; $effch$ 的平均值为 0.976, 年均增幅为 -2.4%, 说明技术进步的增幅较大, 而技术效率总体上呈现出下滑态势, 但综合而言技术进步的正效应超过了技术效率下降的负效应, 使我国 $GTFP$ 整体呈现出上升态势。

进一步对分解后的指数进行分析。首先, $effch$ 可分解为 $pech$ 和 $sech$, 从图 2 中左图可以看出, $effch$ 变动趋势与 $pech$ 变动趋势更接近, 说明纯效率变动对技术效率变动影响更大。 $pech$ 的平均值为 0.993, 年均增幅为 -0.7%; $sech$ 的平均值为 0.999, 年均增幅为 -0.1%, 说明二者在研究期内均呈现出下降态势。其次, $techch$ 可分解为 $ptech$ 和 $stech$, 从图 2 中右图可以看出, $techch$ 变动趋势与 $ptech$ 变动趋势更接近, 说明纯技术变动对技术进步变动影响更大。 $ptech$ 的平均值为 1.060, 年均增幅为 6%; $stech$ 的平均值为 1.091, 年均增幅为 9.1%, 说明二者在研究期内均处于上升水平。

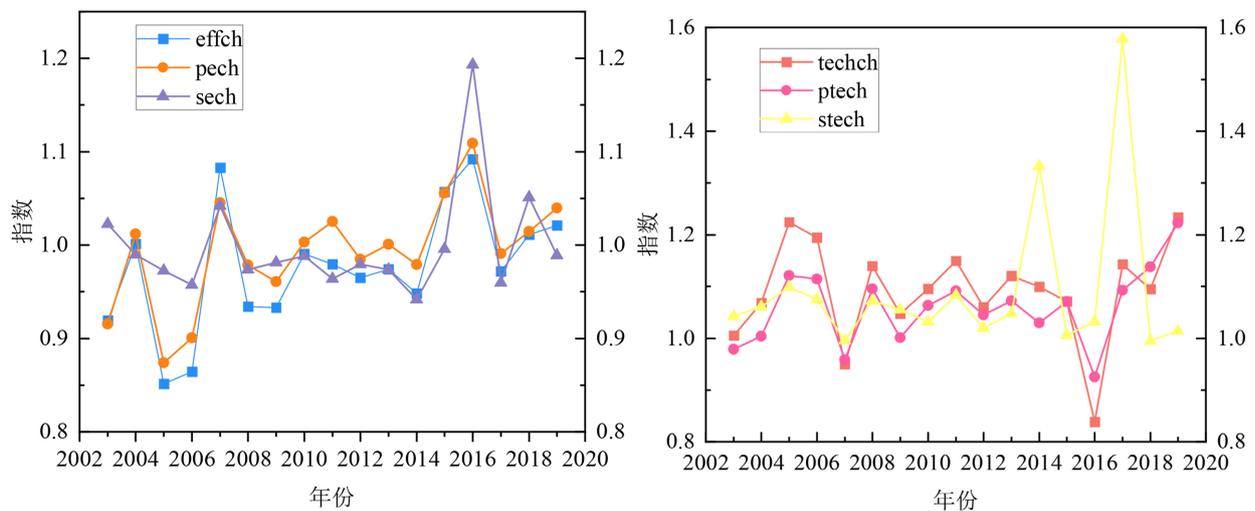


Figure 2. Annual trends of $effch$, $techch$ and decomposition terms' annual average

图 2. 年均 $effch$ 与 $techch$ 及其分解项年变化趋势

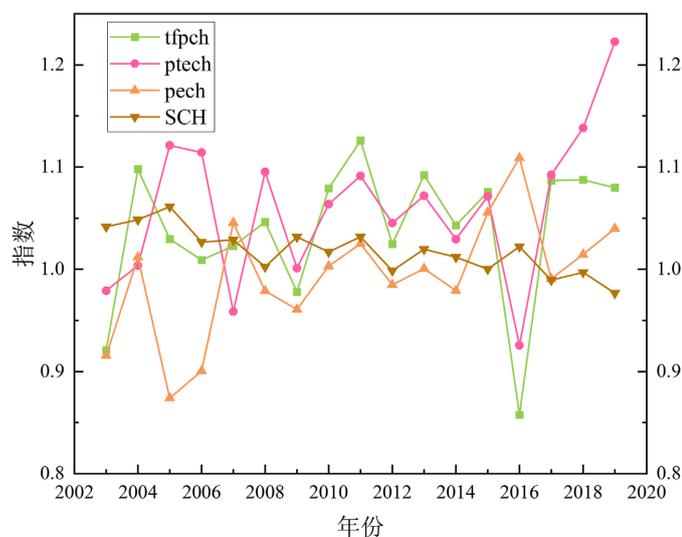


Figure 3. Annual trends of indices' annual average by RD decomposition method

图 3. RD 分解法各指数年均值变化趋势

根据 RD 分解法, tfpch 可分解为 ptech、pech 与 SCH, 图 3 为各指数年均值的变化趋势。根据前文分析, pech 的平均值为 0.993, ptech 的平均值为 1.060, 说明在研究期内效率下降、技术进步。SCH 的平均值为 1.018, 年均增幅为 1.8%, 说明规模变动指数在研究期内提高, 规模扩大。综上, 技术进步和规模扩大的正效应超过了效率下降的负效应, 使我国 GTFP 整体呈现出上升态势。

3.3. 分区域绿色全要素生产率动态变化及因素分解

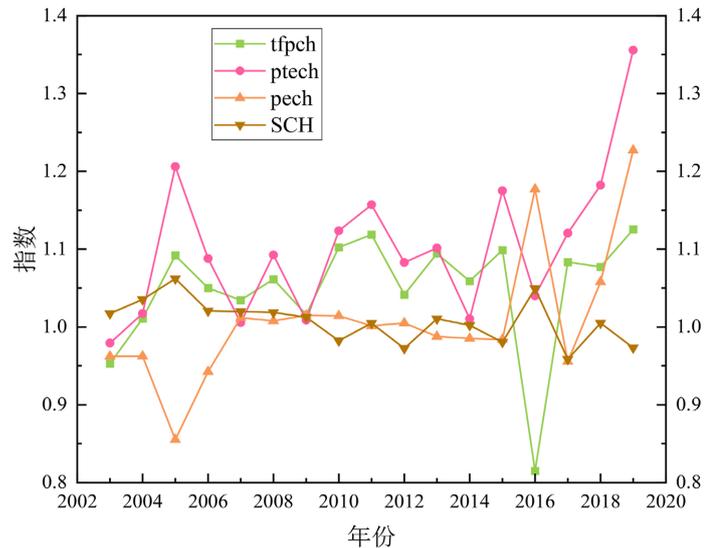


Figure 4. Annual trends of indices' annual average in eastern sub-region
图 4. 东部地区各指数年均值的变化趋势

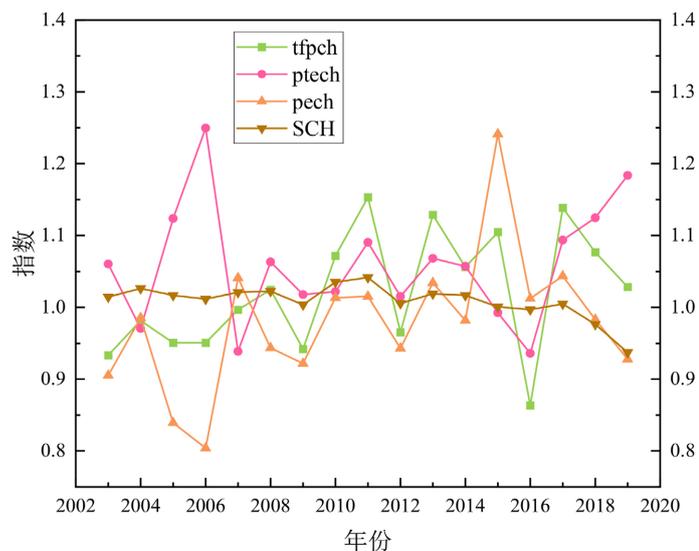


Figure 5. Annual trends of indices' annual average in central sub-region
图 5. 中部地区各指数年均值的变化趋势

图 4 为东部地区各指数年均值的变化趋势, tfpch 的平均值为 1.049, 年均增幅为 4.9%; ptech 的平均值为 1.103, 年均增幅为 10.3%; pech 的平均值为 1.009, 年均增幅为 0.9%; SCH 的平均值为 1.007, 年均增幅为 0.7%, 说明在研究期内存在技术进步、效率提高、规模扩大, 三者的正效应使东部 GTFP 提高。

与全国层面进行比较, 东部地区技术进步和效率提高的增长率均高于全国平均水平, 而规模扩大的增长率低于全国平均水平。

图 5 为中部地区各指数年均值的变化趋势, tfpch 的平均值为 1.021, 年均增幅为 2.1%; ptech 的平均值为 1.059, 年均增幅为 5.9%; pech 的平均值为 0.9786, 年均增幅为 -2.14%; SCH 的平均值为 1.009, 年均增幅为 0.9%, 说明在研究期内存在技术进步和规模扩大, 但效率下降了, 技术进步和规模扩大的正效应超过了效率下降的负效应, 使中部 GTFP 提高。与全国层面进行比较, 中部地区技术进步的增长率与全国平均水平接近, 但效率提高和规模扩大的增长率低于全国平均水平。

图 6 为西部地区各指数年均值的变化趋势, tfpch 的平均值为 1.041, 年均增幅为 4.1%; ptech 的平均值为 1.019, 年均增幅为 1.9%; pech 的平均值为 0.9908, 年均增幅为 -0.92%; SCH 的平均值为 1.036, 年均增幅为 3.6%, 说明在研究期内存在技术进步和规模扩大, 但效率下降了, 技术进步和规模扩大的正效应超过了效率下降的负效应, 使西部 GTFP 提高。与全国层面进行比较, 西部地区规模扩大的增长率高于全国平均水平, 效率提高的增长率与略低于全国平均水平, 而技术进步的增长率低于全国平均水平。

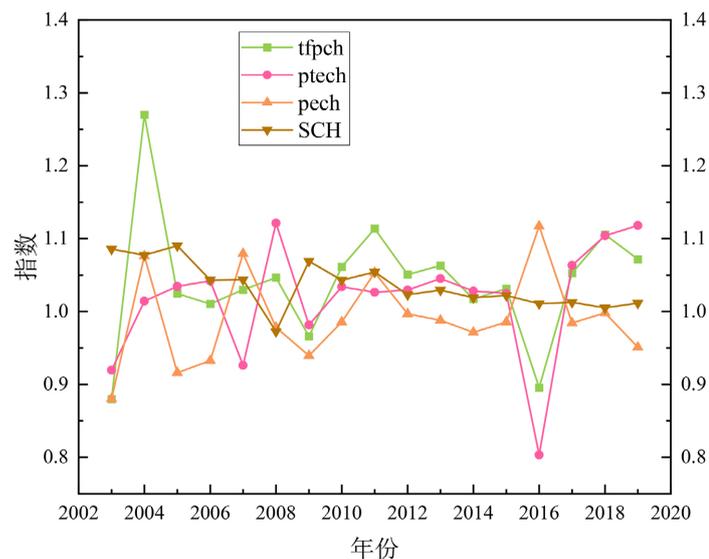


Figure 6. Annual trends of indices' annual average in western sub-region
图 6. 西部地区各指数年均值的变化趋势

4. 结论与建议

根据实证结果, 本文主要研究结论有: 第一, 2003~2019 年我国 30 个省的 GTFP 呈现出上升态势, 区域间的 GTFP 表现为东部 > 西部 > 中部。东部和西部地区 GTFP 增速快得益于区域内个别增长极拉动地区 GTFP 的增长, 而中部地区 GTFP 的增速慢受限于区域内个别省份增长势能不足, 说明我国区域间及区域内部的经济并不协调。第二, 技术变动指数和规模变动指数均大于 1, 而效率变动指数小于 1, 说明我国 GTFP 提高的拉动因素是技术进步和规模扩大, 效率仍需进一步提高。且区域间存在异质性, 效率提高、技术进步和规模扩大均为东部地区 GTFP 提高的因素, 而中部和西部地区 GTFP 的提高依赖于技术进步和规模扩大, 说明中西部与东部 GTFP 存在差距主要源自地区间效率的失衡。

针对上述结论, 本文提出如下建议:

其一, 加强要素跨区域流动, 促进区域协调发展。根据 GTFP 测算结果, 我国 GTFP 虽整体呈现出上升态势, 但区域间及区域内部的发展并不协调, 因此需要实现要素的跨区域流动, 形成优势互补。各

区域间要打破要素流动壁垒, 实现资本、劳动、资源等要素的合理分配, 政府应出台相关激励政策, 吸引和鼓励生产要素向中西部转移。区域内部应发挥增长率高的区域对周边地区的辐射带动作用, 将部分产业向增长率低的区域转移, 实现区域间及区域内的协调发展。

其二, 完善科技创新体系, 发挥技术进步对 GTFP 的带动作用。根据 Malmquist 指数分解结果, 技术进步的正效应是 GTFP 提高的主要原因, 尤其是中西部地区相较于东部地区的技术进步增长率偏低。因此应加大中西部地区 R&D 经费投入, 对科技创新型企业给予补助支持, 营造良好的创新氛围。

其三, 优化投入产出结构、促进产业集聚, 发挥效率提高和规模扩大对 GTFP 的带动作用。我国整体效率呈下降态势, 故要在现有技术水平下, 提高投入要素在使用上的效率, 将管理、制度创新和生产经验的积累转化为生产力, 已期实现期望产出的最大化。此外, 还应促成区域内优势产业的集聚, 尤其是东部地区规模变动增长率明显低于全国平均水平。应促成现代服务业和高新技术密集型产业的集聚, 推动地区产业高端化、智能化和绿色化发展。

最后, 本文可能存在以下不足: 本文虽在理论部分中阐述了 RD 分解法与 FGNZ 分解法的差异, 但未在实证分析中对两种方法的分解结果进行对比。对此, 可再测算出 FGNZ 分解法下的技术变动、效率变动和规模变动结果, 与 RD 分解法的结果进行比较, 能够更直观体现两种方法的差异, 以期形成更加全面的研究结果。

基金项目

本文受国家自然科学基金重大项目“大数据时代雾霾污染经济损失评估及防治对策研究”(项目编号: 17ZDA092)、2020 年江苏高校“大学素质教育与数字化课程建设”专项课题“概率论与数理统计课程思政的路径及保障机制研究”(项目编号: 2020JDKT032)资助。

参考文献

- [1] Yang, Y. and Xu, Y. (2023) Do Governance Patterns of Environmental Regulation Affect Firm's Technological Innovation: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, **11**, 138767. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138767>
- [2] Zheng, Q.Q., Wan, L., Wang, S.Y. and Chen, Z.X. (2023) Will Informal Environmental Regulation Induce Residents to form a Green Lifestyle? Evidence from China. *Energy Economics*, **9**, 106835. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106835>
- [3] 殷宝庆. 环境规制与我国制造业绿色全要素生产率——基于国际垂直专业化视角的实证[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 12(22): 60-66.
- [4] 陈诗一. 中国的绿色工业革命: 基于环境全要素生产率视角的解释(1980-2008) [J]. *经济研究*, 2010, 45(11): 21-34+58.
- [5] 宋长青, 刘聪粉, 王晓军. 中国绿色全要素生产率测算及分解: 1985-2010 [J]. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2014, 14(3): 120-127. <https://doi.org/10.13968/j.cnki.1009-9107.2014.03.017>
- [6] 王兵, 刘光天. 节能减排与中国绿色经济增长——基于全要素生产率是视角[J]. *中国工业经济*, 2015(5): 57-69.
- [7] 周祎庆, 聂元昆. 中国绿色全要素生产率动态测算与区域特征分解[J]. *统计与决策*, 2022, 38(20): 37-42. <https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyj.2022.20.007>
- [8] 刘战豫, 孙夏令. 中国物流业绿色全要素生产率的时空演化及动因分析[J]. *软科学*, 2018, 32(4): 77-81+114. <https://doi.org/10.13956/j.ss.1001-8409.2018.04.17>
- [9] Chen, C., Ye, F., Xiao, H. and Xie, W. (2023) The Digital Economy, Spatial Spillovers and Forestry Green Total Factor Productivity. *Journal of Cleaner Production*, **405**, 136890. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136890>
- [10] Tone, K. (2002) A Slacks-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, **143**, 32-41. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00324-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00324-1)
- [11] 章祥荪, 贵斌威. 中国全要素生产率分析: Malmquist 指数法评述与应用[J]. *数量经济技术经济研究*, 2008(6): 111-122.

-
- [12] Ying, T. and Chao, F. (2022) The Internal-Structural Effects of Different Types of Environmental Regulations on China's Green Total Factor Productivity. *Energy Economics*, **113**, 106246. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106246>
- [13] 张婷, 王玮蓉, 姚昀晨. 中国 31 个省(区、市)及重点省域科技创新效率评价研究——基于超效率 SBM-Malmquist 模型[J]. 科技管理研究, 2023, 43(3): 87-95. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-7695.2023.3.011>
- [14] Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M. and Zhang, Z. (1994) Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries. *The American Economic Review*, **84**, 66-83.
- [15] Ray, S.C. and Desli, E. (1997) Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries: Comment. *The American Economic Review*, **87**, 1033-1039.
- [16] 陈思杭, 雷礼, 周中林. 环境规制、绿色技术进步与绿色经济发展——基于长江经济带 11 省市面板数据的实证研究[J]. 科学进步与对策, 2022, 39(10): 52-60. <https://doi.org/10.6049/kjbydc.C202106043>
- [17] 周晓光, 汤心萌. 时空一致视角下异质性环境规制与绿色经济效率[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(8): 2114-2128. <https://doi.org/10.12011/SETP2021-2370>
- [18] 陈超凡. 中国工业绿色全要素生产率及其影响因素——基于 ML 生产率指数及动态面板模型的实证研究[J]. 统计研究, 2016, 33(3): 53-62. <https://doi.org/10.19343/j.cnki.11-1302/c.2016.03.007>
- [19] 张成, 陆旸, 郭路, 于同申. 环境规制强度和生产技术进步[J]. 经济研究, 2011, 46(2): 113-124.