

中国全要素生产率再估计及不同经济增长模式下的可持续性比较^①

尹向飞¹ 欧阳晓²

(1. 湖南财政经济学院经济学院; 2. 湖南师范大学大国经济研究中心)

研究目标: 对中国全要素生产率进行再估计, 比较不同经济增长模式下的可持续性。**研究方法:** 提出 Network-IOSP 指数法, 利用该方法对中国省级数据进行实证研究。**研究发现:** 中国 TFP 增长缓慢, 年均增长 1.64%, 生产阶段 TFP 的增长是其主要推动力。各时间段的东部地区全要素生产率都高于中西部地区, 这主要归因于生产阶段 TFP 差异。通过对 8 类经济增长模式之间优劣进行单边检验, 发现大多数模式不存在显著性优劣差异。**研究创新:** 将污染排放物的综合利用纳入 TFP 测算体系, 提出 Network-IOSP 指数法, 并从生产阶段和环境治理阶段进行分解, 打开了 TFP 增长的黑箱, 并比较不同经济增长模式下的可持续性。**研究价值:** 有利于正确认识 TFP 增长的源泉, 为相关政策的制定提供理论依据。

关键词 Network-IOSP 指数法 全要素生产率 生产阶段 环境治理阶段

中图分类号 F124.5 **文献标识码** A

引 言

党的十九大报告指出, 我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段, 正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻坚期。我国应该“推动经济发展质量变革、效率变革、动力变革, 提高全要素生产率”, 从而不断增强经济创新力和竞争力。改革开放以来, 中国保持了 40 年的中高速增长, 但是, 经济增长的可持续性問題一直备受争议。除生产要素、资源高投入的增长方式所导致的要素投入难以为继之外, 环境污染也是中国经济所面临的现实问题, 经济增长所带来的环境恶化严重影响人民的生活质量。为了解决上述问题, 中央政府反复强调增长方式的转变, 从源头上确保经济增长的可持续性, 但是由于经济发展水平的差异, 地方政府在推动经济增长方式转变方面存在较大差异。目前, 有不少地方政府仍然采取“高投入、高排放、重治理”“低投入、高排放、高治理”等经济增长模式, 试图在不转变增长方式的前提下, 通过增加环境治理投入, 缓解经济增长所带来的环境压力, 延续经济增长的可持续性。有些地方通过增加投入来促进产业升级, 通过提高投入、降低排放来维持经济增长的可持续性等。那么, 哪种经济增长模式在现实经济运行中更能保障经济增长的可持续性? 如何构建模型来研究该问题? 地方政府所采取的“高投入、高排放、重治

^① 本文获国家社科基金项目“全要素生产率测算及分解方法研究”(17BJJ1119)、国家自然科学基金项目“实现要素供需均衡的大国经济模型与实证研究”(71573083)的资助。

理”“高投入、高排放、轻治理”等模式在经济增长可持续性方面的效果如何？如果效果不佳，那么导致效果不佳的原因是什么，如何提高其效果？对上述问题的研究，绕不开生产、排放和治理，以及可持续性指标——全要素生产率的科学测算。因此，本文将生产、排放和治理纳入全要素生产率测算体系的研究，这既能提高全要素生产率测算的科学性，又能为更好地制定相关政策提供理论依据。

基于全要素生产率是经济持续增长的唯一源泉（Solow, 1957）的观点，不少学者通过将环境污染纳入全要素生产率测算体系，根据全要素生产率的测算结果来判断中国经济增长的可持续性。通过梳理相关文献，发现有如下几种思路：第一，以环境污染作为投入变量，来测算全要素生产率。如陈诗一（2009）、Ramanathan（2005）、Lu 等（2006）、Mohtadi（1996）等，该方法主要将环境污染作为投入变量，基于超越对数生产函数，利用 SFA 分析方法测算全要素生产率并进行分解。尽管该方法能够压缩环境污染这一“坏”产出，但与实际生产过程不符（李平，2017）。第二，将环境污染作为“坏”产出，基于径向、角度的方向性距离函数，利用 Malmquist-Luenberger 指数法以及改进方法测算全要素生产率并进行分解。Malmquist-Luenberger 指数由 Chung 等（1997）提出，并用于测算环境全要素生产率（ETFP）；Färe 等（2007）利用该方法测算美国电力企业的全要素生产率。国内学者如岳书敬和刘富华（2009）、陈超凡（2016）利用 ML 指数法，对中国工业行业环境全要素生产率进行测算；杨俊和邵汉华（2009）、杨文举（2011）、吴军（2009）利用 ML 指数法，对中国地区工业环境全要素生产率进行测算；ML 指数法的改进主要体现在径向、角度的方向性距离函数的改进上，例如为克服测算结果可能会出现的技术退步问题，Oh 和 Heshmati（2010）将序列 DEA 的思想引入径向、角度的方向性距离函数测算模型，提出 SML 指数；Oh（2010）基于 Pastor 和 Lovell（2005）的全局 DEA 思想，将其引入径向、角度的方向性距离函数，提出 GML 指数。为了克服前沿面上的决策单元效率不能比较的问题，超效率 DEA 被提出，而后被引入 ML 指数，如胥敬华和杜娟（2016）放松了规模报酬不变的假定，借鉴了超效率方法，对 Malmquist-Luenberger 进行了改进；吴传清和董旭（2016）运用了超效率模型，构建 Malmquist-Luenberger 指数法，对长江经济带全要素能源效率进行测算。ML 指数很好地解决了“坏”产出是产出而非投入的问题，但是径向、角度方向性距离函数的角度选取具有一定主观性，而且大多数研究径向和角度的选取都是相同的，而为什么这样处理相关研究没有给出原因。第三，基于松弛变量的非径向、非角度的方向性距离函数来测算全要素生产率并进行分解。从理论上来看，径向、角度的 DEA 效率测算无法从根本上解决投入变量或产出变量的松弛性问题，由此基于松弛程度的非径向、非角度的 SBM 效率测度模型被提出（Tone, 2001），而后被 Färe 等（2013）、Fukuyama 和 Weber（2009）加以改进。结合 Chambers 等（1996）提出的卢恩伯格生产率指数，SBM-Luenberger 指数法被广泛应用于测算全要素生产率及其分解，如王兵等（2010）、李政大等（2017）利用该方法测算中国各省环境全要素生产率；李兰冰和刘秉镰（2015）将序列 DEA 思想引入该方法，测算中国区域经济的生态全要素生产率，并从生产要素视角进行分解。第四，基于 Network DEA 的全要素生产率测算和分解。Network DEA 最初主要用于具有网络结构的经济活动静态效率测算，建立系统总体效率和各阶段效率之间的联系，进而将传统 DEA 方法的黑箱打开。如涂正革和谌仁俊（2013）将工业生产过程分为生产和环境治理两个阶段，基于 Network DEA 方法，测算工业环境治理效率和环境技术效率。李静和倪冬雪（2015）利用 SBM 网络模型和全局 Malmquist 指数法，测算了工业绿色生产和治理效率以及 TFP。基于

Network DEA 方法的效率测算模型,结合 Malmquist 指数法,李小胜和张焕明(2015)对中国上市银行全要素生产率进行了测算。上述基于网络 DEA 的全要素生产率测算和分解方法无法建立整个系统的全要素生产率和各阶段全要素生产率之间的联系。尹向飞和段文斌(2017)基于 Kao(2009)的网络 DEA 模型,提出 Network DEA-Malmquist 指数法,建立整个系统全要素生产率和各阶段效率变化之间的联系,从而将全要素生产率增长的黑箱打开,但是产出仅仅涉及“好”产出,未涉及“坏”产出问题。

通过对上述文献进行梳理,我们发现不管将污染排放作为投入变量的 SFA 方法,还是将污染作为“坏”产出的 ML 方法或者 SBM-Luenberger 指数法等传统方法,都将整个经济过程看作一个黑箱,依据最初投入和最终产出来测算决策单元的效率以及全要素生产率,从而无法深入探究全要素生产率增长的源泉。基于 Network DEA 理论的绝大多数研究主要从静态上关注总体效率和各阶段效率之间的关系,而从动态上关注全要素生产率和各阶段效率之间联系的研究,目前所见到的仅有尹向飞和段文斌(2017)一篇文献,并且该研究尚未涉及“坏”产出问题。同时,全要素生产率研究的投入产出变量中,极少见到文献将污染物的综合利用纳入测算体系,而在全球资源日益短缺的今天,提高污染物的综合利用,对于促进中国经济持续增长意义重大,因此在测算全要素生产率时,很有必要将其纳入测算体系。

本文的贡献如下:第一,借鉴 Färe 等(2013)的研究,将整个经济过程分为生产阶段和环境治理阶段,建立两阶段经济活动模型。借鉴 ISP 和 SBM 生产率的思想,提出 Network IOSP (Input and Output Slack-based Productivity) 指数,用于测算全要素生产率,并在两个阶段上进行分解,分解为生产阶段全要素生产率和治理阶段全要素生产率,并进一步分解为技术进步和技术效率改进、各阶段的技术进步和技术效率改进。该方法从各阶段对全要素生产率、技术进步和技术效率改进进行分解,能够打开全要素生产率增长的黑箱,进一步探讨全要素生产率增长的源泉,进而为相关政策的制定提供理论依据。如果是生产阶段全要素生产率增长缓慢导致整个经济系统的全要素生产率增长缓慢,我们就应该主要从生产阶段着手制定政策,促进整个经济系统全要素生产率的增长;如果是环境治理阶段全要素生产率增长缓慢,那么就应该从环境治理阶段针对性制定政策。一项政策可能促进生产阶段全要素生产率的提升,但是不利于环境治理阶段全要素生产率的提升,从而对整个经济系统全要素生产率的影响存在不确定性,因此在制定政策时,要综合考虑其对不同阶段全要素生产率的影响。本文在两个阶段上对全要素生产率进行分解,有利于提高相关政策的针对性和有效性。第二,将“坏”产出的综合利用纳入全要素生产率测算体系。不同于以往研究仅仅将“坏”产出纳入测算体系,本文将“坏”产出的综合利用同“坏”产出一同纳入测算体系,这一方面使得全要素生产率更能贴近现实情况,另一方面可以从理论上为如何推动全要素生产率增长提供一条新的思路。第三,本文试图比较“高投入、高排放、重治理”等不同增长模式在促进经济增长可持续性方面的优劣,能够为相关政策的制定提供依据,这对于正处于艰难转型时期的中国经济意义尤其重大。如果某种增长模式在促进经济增长的可持续性方面优于其他增长模式,那么我们就应该推广这种增长模式;反之,如果某种增长模式劣于其他增长模式,那么,就很有必要在全国避免该种增长模式。

一、模型构建及数据来源说明

1. 经济活动模型

假定经济活动分为两个阶段,第一阶段为生产阶段,经济活动主体利用资本(记为 K)

和劳动力（记为 L ）两种生产要素进行生产，生产出“好”产出——国内生产总值（记为 Y ）和“坏”产出（记为 b ）；第二阶段为环境治理阶段，经济活动主体利用第一阶段的“坏”产出和污染治理资本（记为 PK ）作为投入变量，生产出“坏”产出的综合利用量（记为 PA ）。第二阶段的产出变量没有使用“坏产出”的排放量而使用“坏”产出的综合利用量，主要是因为在“坏”产出一定时，“坏”产出的综合利用量越多，其排放量可能就越少，所以在大多数情况下只要考虑一个变量就行了。经济活动模型见图 1。

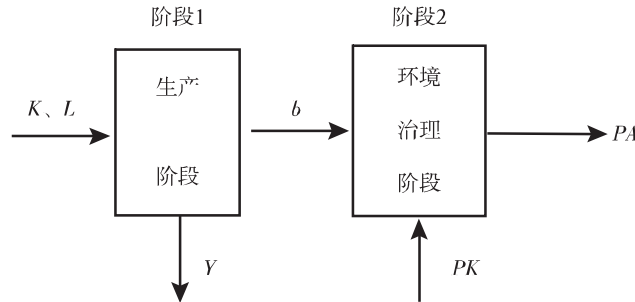


图 1 两阶段的经济活动模型

2. 效率测算模型的选择

全要素生产率指数的构建，首先涉及效率测算模型的选择问题。效率测算模型主要用到传统 DEA 测算的距离函数，径向、角度的方向性距离函数和基于松弛变量的非径向、非角度的方向性距离函数三种。传统 DEA 模型未涉及“坏”产出变量，一般是将“坏”产出变量当作投入变量进行处理，这与实际生产过程不符，同时如果其作为投入变量，那么只能作为第一阶段——生产阶段的投入变量，从而导致第二阶段（环境治理阶段）核心投入变量的缺失，也就是说传统 DEA 模型可能不适合用于测算含有“坏”产出的网络结构系统效率。而径向、角度的方向性距离函数可以用于测算含有“坏”产出的系统效率，但是除了径向、角度的选择难以避免主观性以外，也较难建立系统总体效率变化和各阶段效率变化之间的直接联系。因此本文选择基于松弛变量的非径向、非角度的方向性距离函数。非径向、非角度的方向性距离函数主要有 SBM 模型和 ISP 模型，SBM 模型可以同时将投入和产出松弛程度纳入目标函数，来构建方向性距离函数，但是比 ISP 模型更为复杂；而 ISP 模型仅仅将投入变量的松弛程度纳入目标函数，来构建方向性距离函数，而未考虑产出变量松弛程度。为此本文构建的效率测算模型结合了 SBM 模型和 ISP 模型的优点，将产出松弛程度纳入 ISP 模型中，提出 Network-IOSP 模型。在测算网络系统的效率时，ISP 模型和 SBM 模型目标函数中各阶段的权重都是相同的，即假定对各阶段的重视程度是相同的，这可能与现实情况存在差距。就目前中国实际情况来看，环境治理固然重要，但是经济增长的重要性明显排在环境治理之前，因此在构建方向性距离函数时，应该给生产阶段赋予更大权重，而给环境治理赋予较小权重，这样才更符合现实情况。本文赋予生产阶段的权重为 0.75，而环境治理阶段的权重为 0.25^①。综合上述考虑，本文通过如下方式建立 Network-IOSP 模型。

假设有 n 个决策单元格，每个决策单元格在 T 个时期存在经济活动，对第 t 期第 k 个决策单元格，在第 t 期技术水平下，构建如下效率模型度量该决策单元格当期系统效

① 该权重的选取建立在和政府、高校专家充分讨论的基础上，当然也可以对权重进行适当调整。

率:

$$\begin{aligned}
 IOSP_k^t = \max & \frac{3}{4} \left(\frac{1}{4} \sum_{i=1}^2 \beta_i + \frac{1}{4} \sum_{i=3}^4 \beta_i \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{4} \sum_{i=5}^6 \beta_i + \frac{1}{2} \beta_7 \right) \\
 \text{s. t. } & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j L_j^t \leq L_k^t (1 - \beta_1) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j K_j^t \leq K_k^t (1 - \beta_2) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^t \geq Y_k^t (1 + \beta_3) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j^t \leq b_k^t (1 - \beta_4) \end{array} \right\} \text{the first phase} \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j^t \leq b_k^t (1 - \beta_5) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j PK_j^t \leq PK_k^t (1 - \beta_6) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j PA_j^t \geq PA_k^t (1 + \beta_7) \end{array} \right\} \text{the second phase} \\
 & \lambda_j \geq 0; \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7 \geq 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \quad (1)$$

模型(1)中的第一个到第四个约束条件表示第一阶段——生产阶段的约束条件,这和已有文献的研究思路和处理方法基本一致。第5个到第7个约束为第二阶段——环境治理阶段的约束条件,其中第6个、第7个约束与已有文献的处理方法是一致的,但是第5个约束表明“坏”产出在环境治理阶段为投入变量,也就是说在环境治理阶段,在技术一定的条件下,生产阶段的“坏”产出越多,“坏”产出的综合利用量越大,这也和现实情况相符。在循环经济中,垃圾也是一种资源,垃圾数量越多,垃圾利用量自然越大。

设模型(1)中 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7$ 的最优解为 $\beta_1^*, \beta_2^*, \dots, \beta_7^*$,将其代入模型(1)的目标函数,则该函数第一个括号里面的公式表示第一个阶段——生产阶段资源投入量和“坏”产出能够下降的程度、“好”产出能够上升的程度,是一个非效率指标,因此本文将其定义为在第 t 期技术水平下第 k 个决策单元格在第 t 期生产阶段的非效率,具体如下:

$$IOSPF_k^t = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^2 \beta_i^* + \frac{1}{4} \sum_{i=3}^4 \beta_i^* \quad (2)$$

同理可以定义在第 t 期技术水平下第 k 个决策单元格在第 t 期环境治理阶段的非效率,具体如下:

$$IOSPS_k^t = \frac{1}{4} \sum_{i=5}^6 \beta_i^* + \frac{1}{2} \beta_7^* \quad (3)$$

显然,系统总体非效率和各阶段非效率存在如下关系:

$$IOSP_k^t = \frac{3}{4} IOSPF_k^t + \frac{1}{4} IOSPS_k^t \quad (4)$$

考虑到不同时期决策单元效率值具有可比性, 本文借鉴 Oh (2010) 的思想, 建立全局 Network-IOSP 模型, 具体如下:

$$\begin{aligned}
 GOISP_k^t = \max & \frac{3}{4} \left(\frac{1}{4} \sum_{i=1}^2 \beta_i + \frac{1}{4} \sum_{i=3}^4 \beta_i \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{4} \sum_{i=5}^6 \beta_i + \frac{1}{2} \beta_7 \right) \\
 \text{s. t. } & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j L_j^s \leq L_k^t (1 - \beta_1) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j K_j^s \leq K_k^t (1 - \beta_2) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^s \geq Y_k^t (1 + \beta_3) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j^s \leq b_k^t (1 - \beta_4) \end{array} \right\} \text{the first phase} \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j^s \leq b_k^t (1 - \beta_5) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j PK_j^s \leq PK_k^t (1 - \beta_6) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j PA_j^s \geq PA_k^t (1 + \beta_7) \end{array} \right\} \text{the second phase} \\
 & \lambda_j \geq 0; \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7 \geq 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, n; s = 1, 2, \dots, T
 \end{aligned} \tag{5}$$

按照前面的研究思路, 我们也可类似地定义各阶段非效率, 建立系统总体非效率和各阶段非效率之间的联系, 具体见式 (6) ~ 式 (8)。

$$GIOSPF_k^t = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^2 \beta_i^{**} + \frac{1}{4} \sum_{i=3}^4 \beta_i^{**} \tag{6}$$

$$GIOSPS_k^t = \frac{1}{4} \sum_{i=5}^6 \beta_i^{**} + \frac{1}{2} \beta_7^{**} \tag{7}$$

$$GIOSP_k^t = \frac{3}{4} GIOSPF_k^t + \frac{1}{4} GIOSPS_k^t \tag{8}$$

其中 $\beta_1^{**}, \beta_2^{**}, \dots, \beta_7^{**}$ 为模型 (5) 中变量 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7$ 的最优解, $GIOSPF_k^t$ 为以所有决策单元共同构造前沿面的前提下第 k 个决策单元格在第 t 期生产阶段的非效率, $GIOSPS_k^t$ 为环境治理阶段的非效率, $GIOSP_k^t$ 为系统的总体非效率。

3. 全要素生产率指数的构建

在效率测算的基础上, 构建全要素生产率, 主要有两种思路, 一种思路是根据 Malmquist 指数法进行测算和分解。Malmquist 指数一般用于基于传统意义上的 DEA 模型、SBM 模型和角度的、径向的方向性距离函数模型的全要素生产率测算和分解, 或者用于总体效率和分阶段效率具有乘法结构关系的 Network DEA 模型全要素生产率的测算和分解 (尹向飞和段文斌, 2017), 而且该方法一般基于四个方向性距离函数测算模型。本文利用全局包络分析法的思路, 只有两个方向性距离函数, 并且本文所定义的系统总体效率和各阶段

效率之间具有相加结构关系,而 Luenberger 生产率指数法具有基于差分的相加结构优势,因此本文采用 Luenberger 生产率指数法来对全要素生产率进行测算和分解。

按照 Luenberger 生产率指数法,结合全局包络分析法的思想,将全要素生产率定义如下:

$$TFPCH_k^t = GIOSP_k^{t-1} - GIOSP_k^t \quad (9)$$

将式(8)带入式(9),可得:

$$TFPCH_k^t = \frac{3}{4}(GIOSPF_k^{t-1} - GIOSPF_k^t) + \frac{1}{4}(GIOSPS_k^{t-1} - GIOSPS_k^t) \quad (10)$$

式(10)中第一个括号里面的公式表示第一个阶段——生产阶段第 t 期非效率下降的程度,因此本文将其定义为生产阶段全要素生产率($TFPCHF_k^t$),同理可以定义式(10)第二个括号里面的公式为环境治理阶段全要素生产率,那么全要素生产率可以表示为生产阶段和环境治理阶段全要素生产率的加权平均,相关公式如下:

$$TFPCHF_k^t = GIOSPF_k^{t-1} - GIOSPF_k^t \quad (11)$$

$$TFPCHS_k^t = GIOSPS_k^{t-1} - GIOSPS_k^t \quad (12)$$

$$TFPCH_k^t = \frac{3}{4}TFPCHF_k^t + \frac{1}{4}TFPCHS_k^t \quad (13)$$

按照相关研究,技术效率改进定义如下:

$$EFFCH_k^t = IOSP_k^{t-1} - IOSP_k^t \quad (14)$$

将式(4)代入式(14),可得:

$$EFFCH_k^t = \frac{3}{4}(IOSPF_k^{t-1} - IOSPF_k^t) + \frac{1}{4}(IOSPS_k^{t-1} - IOSPS_k^t) \quad (15)$$

式(15)中第一个括号里面的公式表示第一个阶段——生产阶段以当前技术水平为基础测算的第 t 期非效率下降的程度,表示生产阶段从第 $t-1$ 时期到第 t 时期决策单元格向前沿面的追赶程度,因此本文将其定义为生产阶段技术效率改进($EFFCHF_k^t$),同理可以定义式(15)第二个括号里面的公式为环境治理阶段技术效率改进,那么经济系统的技术效率改进可以表示为生产阶段和环境治理阶段技术效率改进的加权平均,相关公式如下:

$$EFFCHF_k^t = IOSPF_k^{t-1} - IOSPF_k^t \quad (16)$$

$$EFFCHS_k^t = IOSPS_k^{t-1} - IOSPS_k^t \quad (17)$$

$$EFFCH_k^t = \frac{3}{4}EFFCHF_k^t + \frac{1}{4}EFFCHS_k^t \quad (18)$$

全要素生产率为技术进步和技术效率改进之和,那么技术进步 $TECH_k^t$ 等于全要素生产率减去技术效率改进,即 $TECH_k^t = TFPCH_k^t - EFFCH_k^t$,将式(13)和式(18)代入该等式,得到如下等式:

$$TECH_k^t = \frac{3}{4}(TFPCHF_k^t - EFFCHF_k^t) + \frac{1}{4}(TFPCHS_k^t - EFFCHS_k^t) \quad (19)$$

式(19)第一个括号里的项表示生产阶段的技术进步($TECHF_k^t$),第二个括号里面的

项表示环境治理阶段的技术进步 ($TECHS_k^t$)。

式(1)~式(19)表明,各阶段的全要素生产率等于对应阶段的技术进步和技术效率改进之和,因此要提高各阶段的效率,可以从对应阶段的技术进步和技术效率改进着手。而全要素生产率是生产阶段和环境治理阶段全要素生产率的加权平均,可以通过提升两阶段的技术效率改进和技术进步来提升全要素生产率。

4. 投入产出变量及其来源

本文实证研究的对象为中国省级全要素生产率,考虑到海南、青海、西藏的数据缺失严重,因此将其排除在研究范围之外。研究时间段为1995~2016年,由于重庆市是1997年设立为直辖市,本文将重庆市、四川省1997年各变量的占比乘以1995年、1996年四川省对应变量数据,对这两个省份的相关指标进行推算^①。本文所用到的变量 Y 为以1995年价格表示各地区实际GDP。出于数据的可获得性,本文所用到的“坏”产出为工业固体废弃物产生量,“坏”产出的综合利用量为工业固体废弃物综合利用量^②。资本存量的处理方法同张军等(2004)一致,折旧率也取9.6%,因为张军等(2004)是中国资本存量测算的权威文献,众多学者都借鉴该文献,资本存量也以1995年价格表示。如非特别指出,所有数据来自历年的《中国统计年鉴》,其他指标定义如下。

(1) 就业。《中国统计年鉴》仅提供2010年之前各地区的就业数据,2011年以后的数据不再提供。通过对比2010年之前的《中国统计年鉴》和各省份统计年鉴的就业数据发现,有些省份相差不大,大多数省份相差较大,有的省份提供的数据甚至比《中国统计年鉴》高三分之一左右。考虑到就业数据变化相对平稳,因此本文利用如下公式来推算2010年以后各省份的就业:

$$L_k^t = \frac{ZL_k^{2010}}{SL_k^{2010}} SL_k^t \quad (20)$$

其中 $t=2011, 2012, \dots, 2016$, ZL_k^{2010} 表示《中国统计年鉴》所提供的2010年第 k 个省份的就业数据、 SL_k^t 表示各省份统计年鉴所提供的第 t 年第 k 个省份的就业数据。

(2) 污染治理资本。本文利用固体废物治理资本作为污染治理资本的度量。借鉴大多数学者测算资本存量的做法,本文也采用永续盘存法估算固体废物治理资本,计算公式如下:

$$PK^t = PK^{t-1}(1 - \delta) + PI^t \quad (21)$$

其中 PI^t 为以1995年价格表示的固体废物治理投资,价格指数利用固定资产投资价格指数表示,表示固体废物治理资本的折旧率,由于固定废弃物治理资本也是资本,因此本文取9.6%,期初的固体废物治理资本借鉴张军等(2004)的方法计算得到。

二、实证研究

1. 国家层面

以各省份GDP为权重,对各省份的各种效率变化指标求加权平均,作为国家层面各种效率变化的度量,最终测算结果见表1。通过对表1的数据进行分析,发现如下结论:

^① 如果1995年、1996年重庆相关变量数据存在,那么仍然利用该数据,但四川对应的变量数据利用四川的该变量数据减去重庆的对应数据进行调整。

^② 工业废气、废水的产生量等数据在2010年以后国家统计局以及省份统计局就不再提供。

第一,在生产阶段,全要素生产率增长主要来源于技术进步,其中“九五”期间,技术进步每年均为正,并且四年维持在3.6%以上,而大多数年份的技术效率改进为负,拖累该阶段全要素生产率的增长;“十五”期间技术进步比“九五”期间有所下降,但也基本维持在2.4%以上,是生产阶段全要素生产率增长的主要动力,同样技术效率改进拖累了该阶段全要素生产率的增长;“十一五”期间,技术进步进一步下降,但是技术效率改进明显,这说明该阶段较多省份存在向前沿面追赶现象;“十二五”期间技术进步较前一个时期有所改善,但技术效率改进下降十分明显,这说明各省份生产阶段效率呈扩大变化趋势。2006年以后,除了2015年技术进步较快以外,2008年爆发的美国次贷危机对生产阶段的技术进步影响非常明显,导致该年度技术进步为-2.5%,可能原因在于危机导致中国出口下降,进而导致很多企业停产甚至倒闭;2006年以后大多数年份的技术效率改进呈现负增长,从而

表1 中国生产阶段、环境治理阶段和整个经济系统各种效率变化

年 份	经济系统			生产阶段			环境治理阶段		
	TFPCH	TECH	EFFCH	TFPCHF	TECHF	EFFCHF	TFPCHS	TECHS	EFFCHS
1996	3.43	3.92	-0.50	5.69	6.34	-0.66	-3.37	-3.34	-0.03
1997	3.94	4.38	-0.44	5.10	5.46	-0.36	0.46	1.16	-0.70
1998	1.84	1.53	0.31	1.68	1.48	0.20	2.30	1.67	0.63
1999	4.20	4.82	-0.62	5.18	6.03	-0.86	1.27	1.18	0.09
2000	2.10	2.78	-0.68	2.79	3.65	-0.86	0.03	0.17	-0.14
2001	4.64	2.67	1.97	3.78	2.44	1.34	7.19	3.33	3.86
2002	1.84	2.81	-0.96	2.58	3.66	-1.07	-0.37	0.25	-0.62
2003	2.13	1.34	0.79	1.95	1.19	0.76	2.69	1.80	0.89
2004	2.26	3.20	-0.94	1.86	3.03	-1.17	3.49	3.74	-0.25
2005	2.62	4.61	-1.99	3.03	5.31	-2.27	1.38	2.53	-1.15
2006	2.64	1.97	0.68	2.01	0.82	1.19	4.54	5.40	-0.87
2007	1.66	2.11	-0.45	1.58	2.45	-0.87	1.91	1.09	0.82
2008	0.32	-1.76	2.08	0.32	-2.18	2.50	0.32	-0.50	0.82
2009	0.11	0.04	0.07	-0.22	-0.19	-0.03	1.11	0.72	0.39
2010	0.96	0.68	0.28	0.83	1.33	-0.51	1.36	-1.28	2.64
2011	-1.79	-0.34	-1.45	-2.06	-0.43	-1.63	-0.99	-0.06	-0.92
2012	0.55	-1.09	1.64	0.47	-1.32	1.79	0.80	-0.40	1.20
2013	0.91	1.69	-0.78	0.97	1.81	-0.84	0.72	1.31	-0.58
2014	-0.70	0.66	-1.36	-0.76	0.99	-1.75	-0.54	-0.35	-0.19
2015	0.51	3.88	-3.37	0.88	4.98	-4.10	-0.60	0.61	-1.21
2016	0.31	1.42	-1.11	0.60	2.13	-1.53	-0.55	-0.68	0.13
平均值	1.64	1.97	-0.33	1.82	2.33	-0.51	1.10	0.87	0.23
1996~2000年 平均值	3.10	3.49	-0.39	4.09	4.59	-0.50	0.14	0.17	-0.03
2001~2005年 平均值	2.70	2.93	-0.23	2.64	3.12	-0.48	2.88	2.33	0.55
2006~2010年 平均值	1.14	0.61	0.53	0.90	0.45	0.46	1.85	1.09	0.76
2011~2016年 平均值	-0.04	1.04	-1.07	0.02	1.36	-1.34	-0.19	0.07	-0.26

导致该段时间全要素生产率呈波动变化趋势。“十五”“十一五”“十二五”和 2011~2016 年生产阶段的技术进步平均值分别为 4.59%、3.12%、0.45% 和 1.36%，技术效率改进分别为 -0.50%、-0.48%、0.46% 和 -1.34%，全要素生产率分别为 4.09%、2.64%、0.90% 和 0.02%。只有“十二五”期间生产阶段技术效率改进超过技术进步，成为推动全要素生产率的主要动力，其他时间段技术效率改进拖累了生产阶段效率的提升。

第二，在环境治理阶段，按照技术进步的变化趋势，可以将整个时间段分为三个时间段，1996~2000 年为第一个时间段，在此时间段除了技术进步在 1996 年下降 3.34% 以外，其余年份基本上呈低幅增长趋势，而技术效率改进为正和为负的年份大致相同，并且下降幅度基本上小于技术进步增长幅度，从而导致全要素生产率基本上为正，该时间段的平均技术进步、技术效率改进和全要素生产率分别为 0.17%、-0.03% 和 0.14%。2001~2007 年为第二个时间段，在该时间段，所有年份环境治理阶段的技术进步为正，技术效率改进为正和为负的年份大致相同，从而导致绝大多数年份的全要素生产率为正，平均技术进步、技术效率改进和全要素生产率分别为 2.97%、2.59% 和 0.38%。2008~2016 年为第三个时间段，环境治理阶段的平均技术进步、技术效率改进和全要素生产率分别为 -0.07%、0.25% 和 0.18%。中国环境政策改革对环境治理阶段全要素生产率的影响十分明显，2000 年之前，我国环境政策主要以末端治理和分散治理为主，从而导致治理效率低下；2001~2010 年，20 世纪末所制定的以全过程治理和集中治理为主的环境政策逐步显示出成效，并且这阶段系列循环经济法律法规的制定以及循环经济试点工作的推广，环境评价、绿色 GDP 核算、资源节约和环境友好型社会建设等政策的制定，多方面加强环境约束对企业生产经营的影响，提升了环境治理阶段效率。2008 年以后，尽管我国出台了多部环保法规，但是主要以预防为主，从源头上降低污染，而在发展循环经济等方面基本上没有颁布新的法律法规，因此对环境治理阶段效率的影响不明显。

第三，从整个系统效率来看，2007 年之前，全要素生产率保持较高速度的增长，这主要来源于技术进步，2007 年以后呈现低幅增长变化趋势。绝大多数年份技术进步为正，而技术效率改进为负。1996~2000 年、2001~2005 年、2006~2010 年和 2011~2016 年四个时间段的技术进步分别为 3.49%、2.93%、0.61% 和 1.04%，技术效率改进分别为 -0.39%、-0.23%、0.53% 和 -1.07%，全要素生产率分别为 3.1%、2.7%、1.14% 和 -0.04%。全要素生产率年均增长 1.64%，而技术进步和技术效率改进分别增长 1.97% 和 -0.33%。

图 2 反映各个时间段生产阶段和环境治理阶段全要素生产率对整个经济系统的全要素生产率的贡献，各阶段技术进步对整个经济系统技术进步的贡献以及各阶段技术效率改进对整个经济系统技术效率改进的贡献。从图 2 可以看出，除了第四个时间段环境治理阶段全要素生产率对整个经济系统全要素生产率起主要作用以外，其他三个时间段以及整个时间段都是生产阶段全要素生产率起主要作用。对于技术效率改进，四个时间段都是生产阶段技术效率改进起着主要作用，其贡献率都在 64% 以上，而环境治理阶段技术效率改进在第二个时间段起负的作用，在其他时间段起正作用，但贡献率都在 36% 以下。

2. 地区层面

按照地理位置，将 28 个省份划分为东、中、西部三个地区，其中北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东和广东属于东部地区；山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南属于中部地区；内蒙古、广西、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏和新疆属于西部地区。以各省份 GDP 为权重，对相关效率指标进行加权平均，得到各

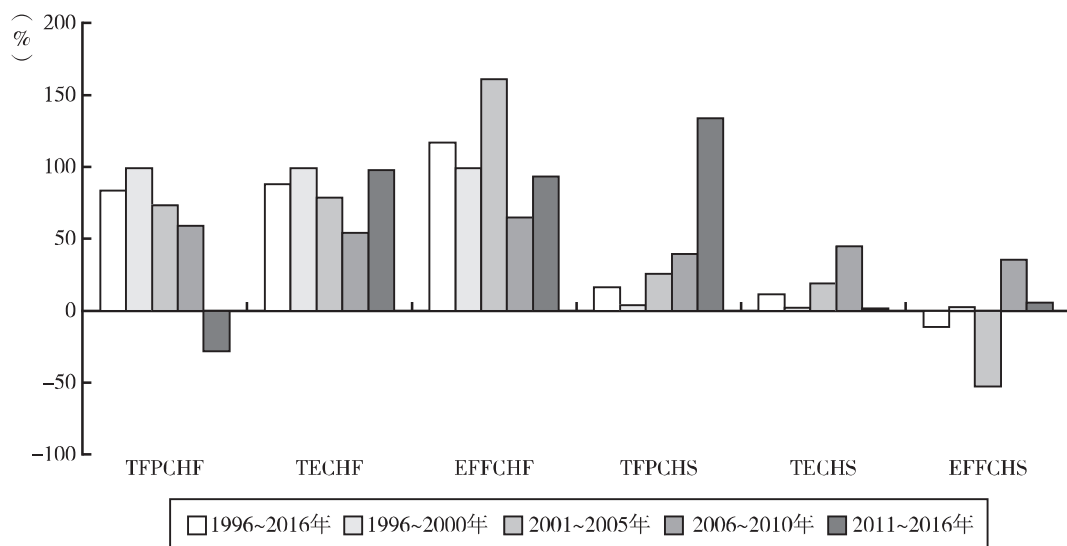


图2 生产阶段和环境治理阶段效率变化对整个经济系统效率变化的贡献

地区效率指标，具体见表2，从表2可以得出如下结论。

首先，从技术进步来看，1996~2000年和2011~2016年东部地区在生产阶段和环境治理阶段都高于中西部地区，从而导致整个经济系统的技术进步高于中西部地区。2001~2005年生产阶段技术进步高于中、西部地区，但环境治理阶段低于中、西部地区，从而导致系统的技术进步低于中部地区，但高于西部地区。2006~2010年三个地区生产阶段技术进步缓慢，西部地区环境治理阶段技术进步较快，使得这个时间段西部地区的技术进步最快；中部地区环境治理阶段技术进步高于东部地区，东部地区技术进步最慢。从整个时间段来看，东部地区两个阶段技术进步都高于中西部地区，中部地区排第二，西部最低。所有地区在所有时间段的生产阶段技术进步都为正，在环境治理阶段少数为负，使得所有地区的技术进步为正。

其次，从技术效率改进来看，东部地区在1996~2000年、2001~2005年和2011~2016年三个时间段两个阶段的技术效率改进都为负，在2006~2010年为正，但是在整个时间段为负，从而导致1996~2000年、2001~2005年和2011~2016年以及整个时间段的技术效率改进都为负，在2006~2010年为正。西部地区环境治理阶段的技术效率改进在所有时间段都为正，这说明西部地区在环境治理阶段存在向前沿面的追赶；但在生产阶段存在三个时间段远离前沿面的情况，因此导致经济系统的技术效率改进仅仅在2001~2005年为正，在其他三个时间段和整个时间段为负。中部地区在环境治理阶段只有1个时间段为负，但在生产阶段技术效率改进只有在2006~2010年为正，使得经济系统的技术效率改进在这个时间段为正。

最后，从全要素生产率来看，东部地区在所有时间段的全要素生产率都大于0，这说明东部地区的经济增长质量是上升的，从经济活动的阶段来看，所有时间段全要素生产率都得益于生产阶段和环境治理阶段两个阶段全要素生产率的提升；从技术进步和技术效率改进的分解来看，1996~2000年、2001~2005年、2011~2016年这主要得益于东部地区的技术进步，尤其是生产阶段的技术进步，而在2006~2010年主要得益于技术效率改进。中西部地区在2011~2016年生产阶段和环境治理阶段全要素生产率都为负，导致经济系统的全要素生产率为负；在其他时间段生产阶段和环境治理阶段全要素生产率基本上都为正，从而导致系统的全要素生产率为正；从技术进步和技术效率改进的分解来看，这主要得益于技术进步。东部地区全要素生产率在所有时间段都高于中部地区和西部地区，其中生产阶段的全要

素生产率是主要原因；中部地区生产阶段的全要素生产率都排第二，西部排最后，除了1996~2000年中部地区系统的全要素生产率略低于西部地区以外，其他三个时间段都高于西部地区；这说明就经济增长质量而言，东部地区最高，中部地区次之，西部地区最差。

表 2 东中西部地区各种效率变化

效率指标	地区	1996~2016 年	1996~2000 年	2001~2005 年	2006~2010 年	2011~2016 年
TFPCH	东部地区	1.92	3.75	2.61	1.20	0.42
	中部地区	1.38	2.20	2.93	1.10	-0.38
	西部地区	1.13	2.30	2.66	0.99	-1.00
TFPCHF	东部地区	2.26	4.60	2.99	1.24	0.56
	中部地区	1.51	3.48	2.66	0.62	-0.36
	西部地区	0.81	3.34	1.35	0.10	-1.18
TFPCHS	东部地区	0.90	1.22	1.45	1.07	0.02
	中部地区	0.98	-1.61	3.74	2.53	-0.44
	西部地区	2.11	-0.82	6.58	3.67	-0.48
TECH	东部地区	2.22	4.19	3.16	0.40	1.30
	中部地区	1.91	2.40	3.58	0.65	1.18
	西部地区	1.25	2.77	1.11	1.31	0.07
TECHF	东部地区	2.63	5.00	3.66	0.41	1.64
	中部地区	2.32	3.89	3.58	0.36	1.58
	西部地区	1.39	4.27	0.54	0.70	0.25
TECHS	东部地区	0.98	1.74	1.67	0.36	0.31
	中部地区	0.70	-2.10	3.59	1.51	-0.04
	西部地区	0.86	-1.73	2.79	3.14	-0.49
EFFCH	东部地区	-0.30	-0.43	-0.56	0.80	-0.88
	中部地区	-0.54	-0.19	-0.65	0.45	-1.55
	西部地区	-0.12	-0.48	1.55	-0.32	-1.07
EFFCHF	东部地区	-0.37	-0.40	-0.67	0.83	-1.08
	中部地区	-0.81	-0.42	-0.92	0.27	-1.94
	西部地区	-0.58	-0.94	0.81	-0.60	-1.43
EFFCHS	东部地区	-0.09	-0.52	-0.21	0.71	-0.29
	中部地区	0.28	0.48	0.15	1.02	-0.40
	西部地区	1.25	0.91	3.78	0.53	0.01

3. 省级层面

表 3 汇报了各省份的各种效率变化的平均值，从表 3 可以得出如下结论：（1）存在 8 个省份环境治理阶段的技术效率改进为负，19 个省份在生产阶段为负，18 个省份整个经济系统的技术效率改进为负。（2）所有省份生产阶段技术进步为正，只有吉林、河南、新疆、广西等省份的环境治理阶段技术进步为负，并且这 4 个省份生产阶段技术进步增长幅度高于环境治理阶段技术进步下降幅度，因此所有省份经济系统的技术进步为正。（3）得益于技术进步以及各阶段的技术进步，使得大多数省份各阶段的全要素生产率和系统的全要素生产率呈

表3 各省份各阶段和系统的全要素生产率、技术进步和技术效率改进

省 份	TFPCH	TFPCHF	TFPCHS	TECH	TECHF	TECHS	EFFCH	EFFCHF	EFFCHS
北京	2.77	3.32	1.10	2.39	2.97	0.66	0.38	0.36	0.44
天津	1.89	2.38	0.44	1.89	2.38	0.44	0.00	0.00	0.00
河北	2.14	2.74	0.32	2.14	2.74	0.32	0.00	0.00	0.00
山西	2.57	2.54	2.67	2.58	2.54	2.68	0.00	-0.01	0.00
内蒙古	2.48	2.39	2.76	1.16	1.26	0.88	1.32	1.13	1.88
辽宁	1.62	1.60	1.67	2.15	2.22	1.94	-0.53	-0.62	-0.27
吉林	0.66	0.95	-0.18	1.04	1.62	-0.69	-0.38	-0.67	0.51
黑龙江	0.49	0.61	0.12	1.18	1.51	0.20	-0.70	-0.90	-0.08
上海	2.57	3.21	0.66	2.57	3.21	0.66	0.00	0.00	0.00
江苏	1.63	1.87	0.91	1.63	1.87	0.91	0.00	0.00	0.00
浙江	2.19	2.67	0.78	2.90	3.61	0.79	-0.71	-0.94	-0.01
安徽	1.25	1.44	0.69	1.23	1.41	0.66	0.02	0.02	0.02
福建	1.86	2.15	0.96	3.31	3.78	1.90	-1.46	-1.63	-0.94
江西	1.98	1.32	3.94	3.14	2.75	4.34	-1.17	-1.42	-0.40
山东	1.41	1.61	0.83	1.74	2.01	0.91	-0.32	-0.40	-0.08
河南	1.66	1.91	0.91	1.88	2.68	-0.55	-0.21	-0.77	1.47
湖北	1.83	2.39	0.13	2.70	3.56	0.11	-0.87	-1.16	0.02
湖南	0.74	0.65	1.00	1.77	1.95	1.22	-1.03	-1.30	-0.22
广东	2.10	2.43	1.08	2.34	2.75	1.11	-0.24	-0.32	-0.02
广西	0.06	-0.12	0.61	0.99	1.41	-0.26	-0.93	-1.53	0.88
重庆	0.41	0.27	0.84	1.07	1.33	0.29	-0.65	-1.05	0.55
四川	0.53	0.44	0.80	1.29	1.55	0.52	-0.76	-1.11	0.28
贵州	0.09	-0.61	2.18	1.30	1.32	1.26	-1.21	-1.93	0.92
云南	1.01	0.17	3.51	1.39	1.14	2.14	-0.38	-0.97	1.38
陕西	3.06	2.00	6.24	1.30	0.82	2.75	1.76	1.18	3.49
甘肃	0.47	-0.01	1.90	1.69	1.85	1.22	-1.23	-1.86	0.67
宁夏	0.53	0.19	1.52	0.54	0.30	1.23	-0.01	-0.11	0.29
新疆	2.65	2.98	1.66	1.66	2.38	-0.51	0.99	0.60	2.17

现正增长变化趋势。(4) 生产阶段技术进步最快的五个省份分别为福建、浙江、湖北、上海和北京, 技术进步年均增长 3.78%、3.61%、3.56%、3.21%和 2.97%, 最慢的五个省份全是西部省份, 分别为宁夏、陕西、云南、内蒙古和贵州, 增长率分别为 0.3%、0.82%、1.14%、1.26%和 1.32%。环境治理阶段技术进步最快的省份分别为江西、陕西、山西、云南和辽宁, 增长率分别为 4.34%、2.75%、2.68%、2.14%和 1.94%, 最慢的省份分别为吉林、河南、新疆、广西和湖北, 增长率分别为-0.69%、-0.55%、-0.51%、-0.26%和 0.11%; 在两阶段技术进步共同作用下, 经济系统技术进步最快的 5 个省份分别为福建、江西、浙江、湖北和山西, 年均增长率分别为 3.31%、3.14%、2.90%、2.7%和 2.58%; 最慢的 5 个省份分别为宁夏、广西、重庆、陕西和黑龙江, 增长率分别为 0.54%、0.99%、1.04%、1.07%和 1.16%。(5) 生产阶段全要素生产率增长最快的 5 个省份分别为北京、

上海、新疆、河北和浙江,增长率分别为 3.32%、3.21%、2.98%、2.74%和 2.67%;最慢的 5 个省份全部是西部省份,分别为贵州、广西、甘肃、云南和宁夏。环境治理阶段全要素生产率增长最快的 5 个省份分别为陕西、江西、云南、内蒙古和山西,最慢的 5 个省份分别为吉林、黑龙江、湖北、河北和天津。从系统全要素生产率来看,陕西、山西和内蒙古由于其环境治理阶段和生产阶段全要素生产率都呈现高增长,使得其系统的全要素生产率分别排第一、第四和第六;而北京、新疆和上海尽管其环境治理阶段全要素生产率不高,但生产阶段全要素生产率较高,使得这些省份的系统全要素生产率分别排列为第二、第三和第五。系统全要素生产率最低的五个省份主要是西部省份,分别为广西、贵州、重庆、甘肃和黑龙江。(6)所有效率指标实现非负增长的省份有 8 个,分别为陕西、内蒙古、北京、上海、天津、江苏、河北和安徽,说明绝大多数省份没有坚持经济与环境两手都要抓、两手都要硬,存在重经济增长、轻环境的现象。

三、不同增长模式的可持续性比较分析

1. 相关概念的界定

转变增长方式一直是中国政府所关注的问题,不管是过去提到的从“高投入、高排放、低产出”的粗放型扩张经济增长方式向“低投入、低排放、高产出”的集约型经济增长方式转变,还是现在提出的质量型增长方式,投入、产出、排放以及环境的治理始终是绕不开的话题。相关文献对此进行了大量研究,但是对高投入、高排放等定义没有明确的界定。

高投入等概念一方面可以从绝对量上来理解,根据生产要素投入量、污染的排放量的多少来界定,这种界定存在一定问题,因为在技术水平一定情况下,生产要素投入量、污染排放量和总产出存在直接关系,总产出越大,则所需要的生产要素投入越高,污染排放量越多。美国属于低投入、低排放型国家,但其投入和污染排放高于很多发展中国家,而对应的发展中国家属于高投入、高排放型国家。因此,本文对高投入、高排放相关概念建立在生产要素与产出比和污染排放强度的基础上。

生产要素投入主要包括资本和劳动力,考虑到劳动力增长速度缓慢,1995~2016 年,中国的劳动力年均增长率大约为 0.62%,而资本存量增长较快,因此在衡量某个省份是高投入型还是低投入型省份时,本文考虑固定资产投资。本文投入类型是根据固定资产投资和产出比而非资本产出比进行界定,主要原因在于期初资本存量对资本产出比影响较大,而且期初资本的确定建立在一定假设基础上,不能避免主观性。资本存量一般根据永续盘存法进行测算,永续盘存法首先在一定假定的基础上测算期初资本存量,然后按照折旧以及固定资产投资等指标测算资本存量,而期初资本存量对资本产出比影响非常大,而且影响非常久,按照 10%的折旧,10 年后期初资本存量还存在 35%左右,20 年后还存在 12%左右。而使用固定资产投资,首先,数据的精确度能够得到保障;其次,固定资产投资不但属于资本存量的一部分,还直接形成当年的 GDP。按照各省份的平均固定资产投资产出比进行排序,最高的 14 个省份被划分为高投入类型,其他的 14 个省份被划分为低投入类型。

我国很多环保政策的制定均与排放强度相关,如国家环境保护“十二五”规划中两处提到降低排放强度,2016 年制定的《“十三五”生态环境保护规划》四处提到降低排放强度,所以,我们基于排放强度来定义是否属于高排放。本文利用各省份污染排放强度平均值为基础,按照平均排放强度进行排序,最高的 14 个省份被划分为高排放类型,其他的 14 个省份被划分为低排放类型。

治理类型的分类问题，主要根据平均治理强度——各省份固体废物治理投资和对应省份 GDP 之比的平均值来进行分类，按照平均治理强度进行排序，最高的 14 个省份被划分为重治理类型，其他的 14 个省份被划分为轻治理类型。

由于全要素生产率是经济可持续发展的唯一源泉，那么全要素生产率越高的地区，经济增长的可持续性越强，否则越弱。因此，本文按照各省份全要素生产率的平均值对各省份经济增长可持续性进行排序。

2. 经济增长模式与可持续性的初步分析

首先，利用上述模型对相关数据进行分析，可以将所有省份分为 8 种类型（见表 4），其中：第一种属于“低投入、低排放、轻治理”的省份，有北京、上海、湖南、浙江、天津、江苏和广东；第二种属于“低投入、低排放、重治理”的省份，有黑龙江、福建、河南和山东；第三种属于“低投入、高排放、轻治理”的省份，有广西和辽宁；第四种属于“低投入、高排放、重治理”的省份，有四川；第五种属于“高投入和低排放、轻治理”的省份，有重庆；第六种属于“高投入、低排放、重治理”的省份，有湖北、吉林；第七种属于“高投入、高排放、轻治理”的省份，有陕西、河北、江西和安徽；第八种属于“高投入、高排放、重治理”的省份，即其他省份。

其次，通过对 8 类省份的经济增长可持续性排名进行分析，发现在低投入、低排放型省份中，轻治理型省份的可持续性排名普遍高于重治理型省份。对于低投入、轻治理型的省份，大多数低排放型省份高于高排放型省份。对于高投入、低排放型省份，大多数重治理型省份高于低治理型省份，而其他类型省份之间可持续性排名尚不能得出较为明确的结论。

表 4 污染类型、投入和排放类型以及可持续性分析

省 份	TFPCH	I/Y	b/Y	PI/Y	可持续性排名	经济增长模式或者类型
北京	2.77	0.51	0.32	0.45	2	低投入、低排放、轻治理
上海	2.57	0.39	0.26	0.57	5	低投入、低排放、轻治理
浙江	2.19	0.51	0.22	0.34	7	低投入、低排放、轻治理
广东	2.10	0.34	0.17	0.61	9	低投入、低排放、轻治理
天津	1.89	0.54	0.30	0.85	11	低投入、低排放、轻治理
江苏	1.63	0.45	0.34	0.43	15	低投入、低排放、轻治理
湖南	0.74	0.45	0.62	0.72	20	低投入、低排放、轻治理
福建	1.86	0.47	0.54	1.20	12	低投入、低排放、重治理
河南	1.66	0.53	0.76	0.97	14	低投入、低排放、重治理
山东	1.41	0.46	0.62	1.71	17	低投入、低排放、重治理
黑龙江	0.49	0.37	0.80	0.97	24	低投入、低排放、重治理
辽宁	1.62	0.52	1.67	0.91	16	低投入、高排放、轻治理
广西	0.06	0.53	0.91	0.90	28	低投入、高排放、轻治理
四川	0.53	0.52	0.99	1.00	22	低投入、高排放、重治理
重庆	0.41	0.61	0.64	0.75	26	高投入、低排放、轻治理
湖北	1.83	0.55	0.68	1.05	13	高投入、低排放、重治理
吉林	0.66	0.56	0.83	1.11	21	高投入、低排放、重治理
陕西	3.06	0.57	1.33	0.62	1	高投入、高排放、轻治理

(续)

省 份	TFPCH	I/Y	b/Y	PI/Y	可持续性排名	经济增长模式或者类型
河北	2.14	0.57	1.88	0.48	8	高投入、高排放、轻治理
江西	1.98	0.62	2.09	0.56	10	高投入、高排放、轻治理
安徽	1.25	0.59	1.03	0.52	18	高投入、高排放、轻治理
新疆	2.65	0.65	1.02	1.12	3	高投入、高排放、重治理
山西	2.57	0.57	3.82	2.83	4	高投入、高排放、重治理
内蒙古	2.48	0.57	2.20	1.24	6	高投入、高排放、重治理
云南	1.01	0.55	1.83	1.59	19	高投入、高排放、重治理
宁夏	0.53	0.83	2.11	2.86	23	高投入、高排放、重治理
甘肃	0.47	0.65	1.77	2.83	25	高投入、高排放、重治理
贵州	0.09	0.70	2.52	2.96	27	高投入、高排放、重治理

3. 各种经济增长模式可持续性的比较研究

利用各省份的 GDP 对各种经济增长模式的 TFPCH 进行加权平均, 得到 1996~2016 年各种模式的平均 TFPCH, 具体见表 5。从表 5 可以看出, “高投入、高排放、轻治理”模式的平均全要素生产率最高, “低投入、低排放、轻治理”模式排第二, 最低的两种模式分别为“低投入、高排放、重治理”和“高投入、低排放、轻治理”模式。

表 5 各种经济增长模式的全要素生产率

年 份	模式 1 低投入、 低排放、 轻治理	模式 2 低投入、 低排放、 重治理	模式 3 低投入、 高排放、 轻治理	模式 4 低投入、 高排放、 重治理	模式 5 高投入、 低排放、 轻治理	模式 6 高投入、 低排放、 重治理	模式 7 高投入、 高排放、 轻治理	模式 8 高投入、 高排放、 重治理
1996	3.76	1.78	1.22	3.93	3.96	3.68	4.03	6.35
1997	4.88	3.81	5.10	3.02	2.85	3.28	1.75	3.42
1998	3.43	2.91	4.46	1.04	-4.50	2.85	-1.42	-3.97
1999	5.05	3.68	2.41	-2.74	-0.34	1.70	5.61	6.91
2000	3.94	0.59	-0.28	1.22	2.76	0.22	0.28	3.61
2001	1.45	5.62	2.48	5.15	8.57	4.69	11.99	7.01
2002	1.40	3.47	7.38	0.88	1.57	0.53	-0.78	0.64
2003	2.23	2.16	-1.77	0.37	-0.12	3.32	3.62	3.02
2004	3.31	1.50	0.60	4.91	0.59	0.65	0.95	2.49
2005	2.86	4.55	1.08	0.43	-0.59	1.38	0.77	2.89
2006	5.42	-1.22	-1.15	-1.57	-0.52	0.75	6.50	0.75
2007	0.92	1.26	3.30	-0.60	0.84	3.45	1.14	5.63
2008	0.25	-3.25	1.75	3.91	0.53	-1.29	3.19	3.47
2009	-2.01	3.45	0.70	-3.49	0.20	-0.30	4.77	-2.97
2010	0.95	0.01	-1.47	-0.50	-0.05	3.21	1.52	3.96
2011	-1.88	-5.23	-2.46	-2.06	-2.54	-1.05	0.76	3.70

(续)

年 份	模式 1 低投入、 低排放、 轻治理	模式 2 低投入、 低排放、 重治理	模式 3 低投入、 高排放、 轻治理	模式 4 低投入、 高排放、 重治理	模式 5 高投入、 低排放、 轻治理	模式 6 高投入、 低排放、 重治理	模式 7 高投入、 高排放、 轻治理	模式 8 高投入、 高排放、 重治理
2012	-0.57	4.27	3.50	-0.15	0.90	-0.92	-0.69	-2.69
2013	1.38	-0.91	0.81	-2.01	1.19	3.37	0.85	3.05
2014	0.87	-3.64	2.40	1.91	-1.57	-1.84	-1.74	-2.07
2015	2.85	2.62	-7.56	-0.23	-1.03	-5.64	3.86	-7.97
2016	0.53	2.35	-0.26	-2.29	-3.99	7.86	-4.28	-1.69
平均值	1.95	1.42	1.06	0.53	0.41	1.42	2.03	1.69

当然,平均值的高低并不能说明各种经济增长模式的优劣,需要更进一步从统计上进行检验。根据表5的数据,本文从中任取选择两种模式,进行成对t检验,检验结果见表6^①。在5%的检验水平下,临界值为1.72472或者-1.72472,通过表6中的t统计量和临界值进行比较,发现低投入、低排放、轻治理模式显著地优于低投入、高排放、重治理模式和高投入、低排放、轻治理模式;低投入、高排放、重治理模式和高投入、低排放、轻治理模式显著地劣于高投入、高排放、轻治理模式;高投入、低排放、轻治理模式显著地劣于高投入、高排放、重治理模式。其他模式之间比较没有统计意义上的显著性。

表6 各种经济增长模式检验

模式比较	t 统计量	模式比较	t 统计量	模式比较	t 统计量	模式比较	t 统计量
模式 1~模式 2	0.79	模式 2~模式 3	0.46	模式 3~模式 5	0.81	模式 4~模式 8	-1.31
模式 1~模式 3	1.11	模式 2~模式 4	1.11	模式 3~模式 6	-0.48	模式 5~模式 6	-1.26
模式 1~模式 4	2.31**	模式 2~模式 5	1.41	模式 3~模式 7	-0.88	模式 5~模式 7	-2.73**
模式 1~模式 5	2.18**	模式 2~模式 6	-0.01	模式 3~模式 8	-0.67	模式 5~模式 8	-1.76**
模式 1~模式 6	0.73	模式 2~模式 7	-0.71	模式 4~模式 5	0.21	模式 6~模式 7	-0.61
模式 1~模式 7	-0.10	模式 2~模式 8	-0.25	模式 4~模式 6	-1.08	模式 6~模式 8	-0.34
模式 1~模式 8	0.29	模式 3~模式 4	0.70	模式 4~模式 7	-1.78**	模式 7~模式 8	0.38

四、结论及启示

本文针对宏观经济活动具有生产过程和环境治理过程不同阶段的特点,提出 Network-IOSP 指数法,对全要素生产率进行测算。

研究表明:(1)我国全要素生产率增长缓慢,年均增长1.64%,其主要推动力来源于技术进步以及生产阶段的全要素生产率,环境治理阶段全要素生产率的作用较小,因此,如何提高环境治理阶段的效率是中国政府应该关注的问题。(2)各时间段的东部全要素生产率均高于中西部地区,主要归因于在生产阶段的全要素生产率高于中西部地区,2001~2010年西部地区环境治理阶段全要素生产率增长较快,超过中部地区,而中部地区超过东部地

^① 本文比较不同经济增长模式的优劣,因此使用单边检验。

区,但在其他两个时间段,东部地区和中部地区均低于东部地区。在技术进步和生产阶段,全要素生产率在大多数时间段都高于中西部地区,因此,要缩小东中西部地区经济增长质量差距,应该从提升中西部地区生产阶段效率着手。(3)从平均数来看,所有省份全要素生产率都呈现正增长,主要归因于生产阶段全要素生产率的提升以及技术进步;绝大多数省市的技术进步为正,主要归因于生产阶段技术进步。所有效率指标实现正增长的省份有八个,分别为陕西、内蒙古、北京、上海、天津、江苏、河北和安徽,说明其他的绝大多数省份没有坚持经济增长与环境治理两手抓、两手硬,存在重经济增长、轻环境治理的现象。(4)依照固定资产投资强度、排放强度和治理投资强度,将所有省份的经济增长模式分为8种类型,通过单边检验发现:“低投入、低排放、轻治理”模式显著地优于“低投入、高排放、重治理”模式和“高投入、低排放、轻治理”模式;“高投入、高排放、轻治理”模式优于“低投入、高排放、重治理”模式和“高投入、低排放、轻治理”模式;“高投入、高排放、重治理”模式优于“高投入、低排放、轻治理”模式,而其他模式之间的比较没有统计意义上的显著性。

基于上述研究,本文得到如下启示:(1)从提高生产阶段和环境治理阶段两个方面着手,增加中国经济增长的可持续性。从本文的测算结果来看,不管是生产阶段,还是环境治理阶段,中国各省份都存在低效率的问题,全要素生产率尚未成为中国经济增长的主要驱动力,大多数省份在处理两阶段的效率时,没有做到经济增长与环境治理两手都要抓、两手都要硬。(2)中国很多省份存在重经济增长、轻环境治理的现象,也存在表面上重视环境治理投入,但实际上并没有重视环境治理效率的现象。有不少省份在生产阶段和环境治理阶段都存在重投入、轻效率的粗放型经济增长模式和环境治理模式,这种模式不利于在环境问题突出现状下增加中国经济增长的可持续性,因此,无论是经济增长还是环境治理,都应该转变方式和注重效率。(3)从总体上看,除少数几种经济增长模式可能不利于或有利于经济增长的可持续性以外,其他经济增长模式并没有明显优劣之分,重投入并不一定导致低效率,高排放、轻治理也同样如此。可见,关键在于效率的高低,那么,如果我们能够处理好生产阶段和环境治理两阶段的效率问题,大多数经济增长模式都可以有利于经济的可持续性增长。

参 考 文 献

- [1] Chambers R. G., Chung Y., Färe R., 1996, *Benefit and Distance Functions* [J], *Journal of Economic Theory*, 70 (2), 407~419.
- [2] Kao C., 2009, *Efficiency Decomposition in Network Data Envelopment Analysis: A Relational Model* [J], *European Journal of Operational Research*, 192 (3), 949~962.
- [3] Chung Y. H., Färe R., Grosskopf S., 1997, *Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach* [J], *Journal of Environmental Management*, 51 (3), 229~240.
- [4] Färe R., Grosskopf S., Pasurka C., 2013, *Joint Production of Good and Bad Outputs with a Network Application* [J], *Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics*, 2, 109~118.
- [5] Färe R., Grosskopf S., Pasurka C. A., 2007, *Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions* [J], *Energy*, 32 (7), 1055~1066.
- [6] Fukuyama H., Weber W. L., 2009, *A Directional Slacks-Based Measure of Technical Inefficiency* [J], *Socio-Economic Planning Sciences*, 43 (4), 274~287.

- [7] Lu X., Pan J., Ying C., 2006, *Sustaining Economic Growth in China under Energy and Climate Security Constraints* [J], *China & World Economy*, 14 (6), 85~97.
- [8] Mohtadi H., 1996, *Environment, Growth and Optimal Policy Design* [J], *Journal of Public Economics*, 63 (1), 119~140.
- [9] Oh D., 2010, *A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index* [J], *Journal of Productivity Analysis*, 34 (3), 183~197.
- [10] Oh D., Heshmati A., 2010, *A Sequential Malmquist-Luenberger Productivity Index: Environmentally Sensitive Productivity Growth Considering Progressive Nature of Technology* [J], *Energy Economics*, 32 (6), 1345~1355.
- [11] Pastor J., Lovell C. A., 2005, *A Global Malmquist Productivity Index* [J], *Economics Letters*, 88 (2), 266~271.
- [12] Ramanathan, 2005, *An Analysis of Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions in Countries of the Middle East and North Africa* [J], *Energy*, 30 (15), 2831~2842.
- [13] Solow R. M., 1957, *Technical Change and the Aggregate Production Function* [J], *Review of Economics and Statistics*, 39 (3), 312~320.
- [14] Tone K., 2001, *A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis* [J], *European Journal of Operational Research*, 130 (3), 498~509.
- [15] 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年第3期。
- [16] 陈诗一:《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》[J],《经济研究》2009年第4期。
- [17] 李静、倪冬雪:《中国工业绿色生产与治理效率研究——基于两阶段 SBM 网络模型和全局 Malmquist 方法》[J],《产业经济研究》2015年第3期。
- [18] 李兰冰、刘秉镰:《中国区域经济增长绩效、源泉与演化:基于要素分解视角》[J],《经济研究》2015年第8期。
- [19] 李平:《环境技术效率、绿色生产率与可持续发展:长三角与珠三角城市群的比较》[J],《数量经济技术经济研究》2017年第11期。
- [20] 李胜、张焕明:《中国上市银行效率与全要素生产率再研究——基于两阶段网络方向性距离 SBM 模型的实证分析》[J],《财经研究》2015年第9期。
- [21] 李政大、袁晓玲、苏玉波:《中国经济发展方式转型效果评估——基于 EBM-Luenberger 模型》[J],《财贸经济》2017年第1期。
- [22] 涂正革、湛仁俊:《传统方法测度的环境技术效率低估了环境治理效率?——来自基于网络 DEA 的方向性环境距离函数方法分析中国工业省级面板数据的证据》[J],《经济评论》2013年第5期。
- [23] 王兵、吴延瑞、颜鹏飞:《中国区域环境效率与环境全要素生产率增长》[J],《经济研究》2010年第5期。
- [24] 吴传清、董旭:《环境约束下长江经济带全要素能源效率研究》[J],《中国软科学》2016年第3期。
- [25] 吴军:《环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛分析》[J],《数量经济技术经济研究》2009年第11期。
- [26] 胥敬华、杜娟:《规模收益可变下中国环境全要素生产率变化——基于改进的 Malmquist-Luenberger 指数》[J],《中国管理科学》2016年第11期。
- [27] 杨俊、邵汉华:《环境约束下的中国工业增长状况研究——基于 Malmquist-Luenberger 指数的实证分析》[J],《数量经济技术经济研究》2009年第9期。
- [28] 杨文举:《基于 DEA 的绿色经济增长核算:以中国地区工业为例》[J],《数量经济技术经济研究》2011年第1期。
- [29] 尹向飞、段文斌:《中国科技创新对经济增长的支撑作用研究》[J],《上海经济研究》2017年第

12 期。

[30] 岳书敬、刘富华：《环境约束下的经济增长效率及其影响因素》[J]，《数量经济技术经济研究》2009 年第 5 期。

[31] 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 年第 10 期。

The Re-estimation of Total Factor Productivity and the Economic Growth Sustainability Comparison among Different Economic Growth Mode in China

Yin Xiangfei¹ Ouyang Yao²

(1. School of Economics, Hunan University of Finance and Economics;

2. Center of Large Country Economy Research, Hunan Normal University)

Research Objectives: This paper is to re-estimate the TFP growth and compare the economic growth sustainability among different economic growth mode in China. **Research Methods:** Network-IOSP index method is put forward, by which the empirical study on the China province data is carried out. **Research Findings:** The TFP grows 1.64% every year, in which the TFP growth of the production phase is the main driving force; The TFP of eastern region grows faster than that of the middle region and western region, owing to TFP of the production phase growing faster than that of the middle region and western region; There is no significant difference between the most kinds economic growth models by single side test. **Research Innovations:** Bring comprehensive utilization of pollutants discharged into TFP measurement system, Network-IOSP index method is put forward, by which TFP is decomposed from the production stage and the environmental governance stage, and the black box of total factor productivity growth is opened. This paper also compare the sustainability of economic growth in different economic growth models. **Research Value:** It helps to understand the source of TFP growth and provide theoretical basis for the formulation of relevant policies.

Key Words: Network-IOSP Index Method; TFP; Production Phase; Environmental Governance Phase

JEL Classification: C60; O33

(责任编辑：王喜峰)