

基于环境约束的长江经济带全要素能源效率实证研究¹

潘敏杰¹ 张继良² 王紫绮³

【摘要】：本文利用DEA-Malmquist指数测算了考虑环境因素后的长江经济带全要素能源效率。研究发现：长江经济带全要素能源效率整体出现下降，下降的原因可归结为技术进步和技术效率的下降，其中技术进步下降又是主要因素。对影响因素分析得出，产业结构与能源效率负相关，对外开放程度与能源效率正相关，而政府影响力、能源结构、能源价格对能源效率没有显著影响。因此，我们可以通过加速产业结构升级和提高对外开放水平来提高长江经济带的能源效率。

【关键词】：长江经济带；能源效率；Toboit模型；Malmquist指数

【中图分类号】：F205 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1637-324X(2015)-06-102-11
1-10

一、引言

改革开放以来，长江经济带已发展成为我国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一。2012年，长江经济带国内生产总值达到235914.95亿元，所占GDP的比重高达40.92%，它已成为我国经济发展的重要驱动力，具有很高的战略价值和研究意义。2014年9月25日颁布的《国务院关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》中指出长江经济带横跨我国东中西三大区域，具有独特优势和巨大发展潜力。目前，“长江经济带”已经被纳入国家区域协调发展战略体系。

能源效率直接反映着能源生产和消费过程中管理“技术”经济等因素的影响及其效果，是考察能源利用程度和水平的一项综合指标^[1]。在“十二五”规划中，国家明确提出建设资源节约型和环境友好型社会，面对日趋匮乏的资源、以雾霾为代表的环境污染，提高能源利用效率对我国建成资源节约型和环境友好型社会起着至关重要的作用^[2]。中国经济的增长长期以来都是以环境污染、能源资源的高消耗为代价的，这是一种典型的“高投入、高消耗、低效率、难循环”的粗放模式。我国的能源结构仍然存在单位产品能耗较高、工业产业结构处于全球价值链的中低端等现状（余泳泽，2011）^[3]。此外，我国以煤炭为主的能源结构，产生了SO₂等多种有害物，影响人们的健康生活。因此，如何科学合理的测出长江经济带能源效率并有效地提高能源效率，是需要解决的一项课题。

二、文献综述

国内关于全要素生产率的实证文献研究，一是从国家维度探讨某个行业的TFP Total Factor Productivity，如陈静（2010）^[4]通过对我国制造业28个行业TFP的研究发现，制造业全要素增长率的增加主要源

收稿日期：2015-11-27

作者简介：1. 潘敏杰，江苏宜兴人，南京财经大学产业发展研究院硕士研究生，研究方向：区域经济学与产业政策；

2. 张继良，江苏宝应人，经济学博士，南京财经大学产业发展研究院教授，硕士生导师，研究方向：区域政策与差异；

3. 王紫绮，江苏常熟人，南京财经大学产业发展研究院硕士研究生，研究方向：区域经济学。
(南京财经大学产业发展研究院，中国南京210023)

于技术水平和纯技术效率的提高,制造业规模效率则表现为下降。刘勇(2014)^[2]运用测度了中国物流业全要素能源效率,并考察了基础设施水平、人力资本因素、制度因素、人力资本因素、以及区域经济发展水平对物流业全要素能源效率的影响。二是从省域维度研究某个行业TFP的情况,如宫俊涛(2008)^[5]利用非参数Malmquist指数方法研究中国制造业28个省市的制造业面板数据,发现省级TFP的增长来源于技术进步,与技术效率变化负相关。三是研究全要素生产率的区域差异性。石腾超(2014)^[6]认为我国各省制造业的全要素生产率存在区域性差异,东部地区TFP主要由技术进步推动,而西部地区主要由技术效率推动。吴文洁,巩芯仪(2015)^[1]通过对陕西省的数据研究发现,考虑碳排放因素后,其全要素能源效率值往往较高,高于未考虑碳排放的因素。

从目前的研究结论来看,对制造业和服务业全要素生产率的研究成果较为丰富,对全要素能源效率的研究也取得了一定成果。Hu^[7]和Wang^[8]基于数据包络分析最早提出了全要素能源效率的概念。当前,对全要素能源效率的研究主要包括因素分析法和非参数的DEA-Malmquist法,其中后者的分析方法被较多学者采用,如李廉水(2006)^[9]、屈小娥(2009)^[10]、张伟和吴文员(2011)^[11]等。国内外对全要素能源效率的研究主要包括三个方面。一是通过对中国各地区全要素能源的测算比较区域差异性,例如,汪克亮(2010)^[12]运用2000—2007年中国省级面板数据,利用BCC-DEA模型,得出中国全要素能源效率较低,三大地区的能源效率差异显著。屈小娥(2009)^[10]认为我国东部地区处于效率前沿面,中西部远离效率前沿面。刘战伟(2011)^[13]认为我国全要素能源生产率呈现上升趋势,动力主要来源于技术进步。二是对能源效率的影响因素进行分析,例如张伟(2011)^[11]对长三角都市圈城市群的影响因素进行测度分析,发现累积的技术效率增长率、人均GDP、FDI、单位GDP废气排放量等对能源效率有不同程度的影响。汪克亮(2011)^[14]的研究表明经济结构、技术进步和能源消费结构的优化对能源效率的提高有显著影响。林伯强和杜克锐(2013)^[15]利用反事实计量和固定效应SFA模型,得出要素市场扭曲对我国能源效率提升有显著影响。三是侧重于研究地区能源效率的收敛性,主要学者包括史丹(2006)^[16]、师博和张良悦(2008)^[17]、李国璋和霍宗杰(2009)^[18]等。

综上所述,现有文献对全要素能源效率的研究做了广泛分析,给本文很多启发,但仍然具有进一步研究的空间。首先,以上研究都只注重全国或者各省的全要素能源效率,对具体区域的全要素能源生产率的研究较少,对长江经济带全要素能源生产率的研究为空白,而长江经济带作为特殊的区域,横跨我国东、中、西部地区,其研究意义不言而喻,也更具有现实指导意义。其次,很多学者在研究全要素能源效率时候,没有考虑环境约束,仅采用GDP这一单纯指标作为产出变量,忽略了伴随GDP的一些污染物的产生,容易使得测量结果出现偏差,因此,本文在测算产出时候同时考虑了“好的产出”和“坏的产出”。总之,本文通过实证分析长江经济带全要素能源效率及其影响因素,为长江经济带的能源效率提升提供建议。

三、基于DEA-Malmquist指数长江经济带全要素能源效率测算及结果分析

(一) 研究方法简介

对全要素生产率的测算主要包括参数法和非参数法。参数法主要包括索洛余值法、回归生产模型法和随机前沿法(SFA),非参数法主要包括数据包络法(DEA)和指数法。本文主要采用基于非参数估计的Malmquist指数法,该方法的优点在于不需要测定具体的生产函数,可以有效的避免模型设定随意性带来的误差,因此被广泛采用。

Malmquist指数最早是由瑞典经济学家Malmquist于1953年提出的,最初用于分析不同时期的消费变化。直到1994年,Fare^[19-22]将Malmquist指数用来分析全要素生产率变化(TEPCH)。

在t时期的技术下,从t期到t+1期的技术效率变化的基于投入的Malmquist指数可表示为

$$M_t^i = D_t^i(x^t, y^t) / D_t^i(x^{t+1}, y^{t+1})$$

其中 x_t 代表 t 时期的投入量, y_t 代表 t 时期的产出量。

同理, $t+1$ 期的技术条件下的 Malmquist 指数可表示为

$$M_i^{t+1} = D_i^t(x^t, y^t) / D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})$$

根据 Fare 等 (1997) 经济学家的思路, 一般用两个指数的几何平均数来计算全要素生产率的变化 (TFPCH)。

$$M_i(x^{t+1}, y^{t+1}; x^t, y^t) = \left[\frac{D_i^t(x^t, y^t)}{D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \cdot \frac{D_i^{t+1}(x^t, y^t)}{D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}}$$

当 $M_i(x_{t+1}, y_{t+1}; x_t, y_t) > 1$, 表示全要素生产率上升, 反之则下降。

Malmquist 的生产率变化 (TFPCH) 又可分解为技术进步变化 (TECHCH) 与技术效率变化 (TECH) 的乘积 (Fare et al, 1992)。分解过程如下:

$$\begin{aligned} TFPCH &= TECHCH \times EFFCH \\ \text{其中, } TECHCH &= \left[\frac{D^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \cdot \frac{D^t(x_t, y_t)}{D^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ EFFCH &= \frac{D^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D^t(x_t, y_t)} \end{aligned}$$

TECHCH 是技术进步变化指数, 测度不同时期技术边界的移动, 若 $TECHCH > 1$, 则表明技术进步, 反之则表示衰退。EFFCH, 是技术效率变化指数, 当 $EFFCH > 1$ 时, 表明技术效率的提升, 生产决策单位利用既有技术的能力和效率提高, $EFFCH < 1$ 则表明技术效率的下降。

技术效率变化又可分解为规模效率变化和纯技术效率变化的乘积:

$$EFFCH = PECH \times SECH$$

纯技术效率变化 (PECH) 是通过计算不同时期在规模报酬可变条件下本期距离函数的比率而得出。规模效率变化 (SECH) 是规模报酬不变条件下距离函数和规模报酬可变条件下距离函数的比率。若 $PECH > 1$ 和 $SECH > 1$, 分别表示变动规模报酬下效率的改善和规模效率的改善, 反之则相反。

(二) 变量的选取

在计算全要素生产率时, 需要采用投入指标和产出指标。绝大部分学者在进行全要素能源效率分析时候, 主要集中于合意产出, 而忽略了一些非合意产出, 这是不合理的。仅考虑生产要素的能源约束, 而没有考虑环境因素的约束时, 容易扭曲社会

福利和经济绩效的真实水平，从而影响能源政策的制定，导致能源的过度使用，造成环境污染。本文在选取产出指标时候参考了张伟（2011）[11]郭海华（2011）^[23]的做法，在选择变量时候加入了一些非合意产出。投入指标和绝大部分学者一样选取资本投入、劳动投入、能源投入。以下数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和各省的统计年鉴。其中重庆的数据包括在四川之中。

1. 合意产出

计算合意产出时，我们使用GDP作为产出指标。同时，各地区生产总值以2000年为基年做了缩胀处理。

2. 非合意产出

污染物排放。以各省历年的SO₂和CO_D排放量作为环境污染物的排放指标，单位为“万吨”。选择废气中的SO₂和废水中的CO_D，是因为它们是我国环境管制中的主要污染物，与经济发展过程密切相关。其中，SO₂既是“酸雨”形成的主要原因之一，又与我国以煤炭为主的能源结构密切相关。因此，可以将SO₂作为非合意产出的代理变量之一。排放量数据均来自对应年份的《中国统计年鉴》。为了更好的反应这些非合意产出的负效应，我们在计算时，取其倒数。

3. 资本投入

在计算资本投入时，国际上流行永续盘存法，国内张军（2004）^[24]、徐现祥（2007）^[25]等也采用这类方法。我们也采用这种方法。

计算时利用公式： $K_{i,t} = I_{i,t} + (1 - \delta_{i,t}) K_{i,t-1}$ ，其中 $K_{i,t}$ 表示， i 个样本在 t 期的资本存量， $I_{i,t}$ 表示固定资产投资， $\delta_{i,t}$ 表示折旧率。参照张军的做法， $\delta_{i,t}$ 一般取9.6%。我们以2000年为不变价格为基期，做了缩胀处理，剔除价格因素。固定资产投资价格指数来源于《中国统计年鉴》。

4. 劳动投入

我们选取从业人员年均人数表示当年劳动投入量，单位为“万人”。

5. 能源投入指标

我们用各省每年的能源消费总量作为能源的投入指标，单位是“万吨标准煤”。1998—2012年能源消耗量来源于《中国能源统计年鉴》以及各省的统计年鉴。

（三）长江经济带全要素能源效率实证结果及分析

长江经济带共包括11个省市，上游包括重庆、四川、云南、贵州四个省市，中游包括安徽、江西、湖北、湖南四个省份，下游包括上海、江苏、浙江三个省市。为了研究长江经济带的空间差异性，本文将其分成上、中、下游三个区域。本文运用DEAP 2.1软件计算1999—2012年长江经济带11个省份的全要素能源生产率及其分解指数。

表 1 1999—2012 年长江经济带 10 个省市全要素能源生产率

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	四川	贵州	云南	年均值
1999	1.043	1.005	1.002	1.002	1.031	0.996	0.995	1.000	0.975	0.921	0.996
2000	0.916	0.995	0.977	0.962	0.891	0.982	0.983	0.995	0.842	0.725	0.923
2001	1.012	1.002	1.002	1.003	1.027	0.992	0.994	0.998	1.050	1.010	1.010
2002	0.988	1.003	0.993	1.001	1.016	0.995	0.998	1.001	1.002	0.993	0.999
2003	0.995	1.008	1.014	0.964	0.817	0.995	1.002	1.000	0.951	0.927	0.966
2004	1.008	1.000	0.998	0.956	0.909	0.995	1.001	0.999	0.979	0.968	0.981
2005	0.957	0.995	0.990	0.934	0.939	0.997	0.992	0.997	0.985	0.935	0.972
2006	1.006	0.997	1.001	0.996	0.996	0.996	0.997	1.000	0.978	0.958	0.992
2007	1.012	1.002	1.003	1.000	1.001	0.999	1.000	1.001	1.002	1.011	1.003
2008	1.055	1.000	1.000	0.998	1.002	0.999	0.997	0.998	1.014	1.039	1.010
2009	1.081	0.998	1.000	0.998	0.997	0.997	0.996	0.999	1.016	1.009	1.009
2010	1.053	0.999	1.001	0.999	1.000	0.997	0.995	1.000	1.019	1.002	1.007
2011	1.135	0.998	1.002	0.988	1.001	0.994	0.994	0.995	0.806	0.984	0.987
2012	1.022	0.998	1.006	0.997	1.007	0.991	0.992	0.994	0.990	1.001	1.000
均值	1.019	1.000	0.999	0.985	0.972	0.995	0.995	0.998	0.970	0.960	—

注：重庆和四川同属长江经济带上游，将重庆的数据包括在四川。

1. 从时间维度看长江经济带的全要素能源生产率

表 2 1998—2012 年 Malmquist 全要素能源效率平均变化及分解

地区	全要素能源效率	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模效率
上海	1.019	1.000	1.019	1.000	1.000
江苏	1.000	0.999	1.001	1.000	0.999
浙江	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000
安徽	0.985	1.000	0.986	1.000	0.999
江西	0.972	0.998	0.974	1.000	0.998
湖北	0.995	0.999	0.996	0.999	1.000
湖南	0.995	0.999	0.997	0.999	1.000
四川	0.999	1.001	0.998	1.000	1.000
贵州	0.970	0.995	0.975	1.000	0.995
云南	0.960	0.995	0.965	0.998	0.996

1999—2012 年全要素能源生产率的结果见表 1。从时间跨度上来看，全要素能源生产率年均值较高的年份为 2001 年和 2008 年。说明加入世贸组织以及金融危机对全要素能源生产率产生了一定影响，也进一步说明全要素能源生产率受到国家经济形势和国家宏观政策的影响。观察 1999 年到 2012 年的数据可以发现，全要素能源生产率的变化情况大体可以分为两个阶段，以 2007 年为分界点。从 1999—2006 年，除 2001 年外，全要素能源生产率出现了负增长，

而从2007—2012年这6年中，除2011年略有回落外，其余5年全要素能源生产率都出现了一定程度的增长。这表明长江经济带全要素能源生产率总体呈现先递减后递增的趋势。随着经济的增长，全要素能源效率得到了一定程度的提高。

2. 长江经济带各省市全要素能源效率变动及其差异性

根据表2，从长江经济带整体来看，1998—2012年平均全要素能源生产率为0.998，未到达效率前沿面，其平均增长率为-1.1%。屈小娥（2009）^[10]利用1999—2006年省级数据计算出来的结果为-0.54%，主要是因为其在计算全要素能源生产率时候，未考虑有害物的排放，仅考虑单一的产出目标，因此计算结果偏小。长江经济带全要素能源生产率出现下降的原因主要为技术效率和技术进步的同时下降，其中技术效率下降0.2%，技术进步下降0.9%，所以技术进步的下降是全要素能源下降的主要原因。而规模效率的下降又促使技术效率的下降。值得注意的是，上游和中游地区的全要素能源生产率主要由技术效率贡献，而下游地区主要由技术进步贡献。这表明，上游和下游地区的全要素能源生产率的提高应从技术进步的角度考虑，加快新能源和节能技术的创新，加快技术引进的步伐，改善技术进步的政策环境。此外，这也表明经济和技术的落后，是导致长江经济带上、中、下三游全要素能源生产率差距的主要原因。

从省份上看，上海、江苏、浙江、四川（含重庆）的全要素能源效率较高，而贵州、云南、江西的全要素能源效率较低。考虑污染物排放因素后，仅上海地区处于能源效率前沿面上，其全要素能源效率出现小幅上涨，上涨幅度为1.9%，这反映长江经济带整体能源效率较低。上游地区的贵州、云南，中游地区的江西、湖北、湖南其技术进步和技术效率都出现了不同程度的下降，对全要素能源效率的贡献为负。像云南、贵州等地，虽然能源资源较为丰富，但能源利用水平低，能源价格便宜，市场化程度和对外开放程度低，产业升级缓慢，这些因素导致了这些地区能源消耗大，能源效率低下。

经济带下游地区的江、浙、沪地区虽然能源资源少，能源利用率却较高，而资源禀赋较高的贵州等地能源利用效率较低。这一方面反应出中西部地区由于市场化程度低，能源领域资源禀赋优势没有得到发挥，另一方面反应出受市场分割的分权体制影响，资源能源的有效配置受到扭曲，从而使得能源效率受损。

表3 长江经济带上、中、下游全要素能源效率平均变化及分解

地区	全要素能源效率	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模效率
上游平均	0.976	0.997	0.979	0.999	0.997
中游平均	0.987	0.999	0.988	1.000	0.999
下游平均	1.006	0.999	1.007	1.000	1.000
整体平均	0.989	0.998	0.991	1.000	0.999

注：数据结果保留三位小数

3. 长江经济带上、中、下游全要素能源效率及其差异性

表3列出了长江经济带上、中、下游地区全要素能源效率及其分解的情况。从三大区域来看，长江经济带下游地区全要素能源效率最高，中游其次，上游最低，增加率依次为0.6%，-1.3%，-2.4%。长江下游地区，其全要素能源效率的提高主要依赖于技术进步。下游地区具有较为优越的地理优势、经济较为发达，拥有较为先进的管理技术和较为丰富的管理经验，吸引了大量的外资和人才，这些因素都能在一定程度上提高能源利用率。长江中游和下游地区全要素能源生产率的降低主要是技术进步降低和技术效率的降低。地理位置较为封闭，经济发展水平相对落后，国际贸易和外商投资较少，导致其能源领域难以取得技术上的突破，经济发展呈现“高投入、低产出”的模式。与此同时，长江经济带中、下游地区的项目往往具有“能源消耗大、技术含量低，经济效益低”的特点，这也是上游和中游地区落后于下游地区的原因。为此，史丹（2008）^[2]^{6]}曾经提出，改善落后地区的资源能源配置效率，并且促进区域间的技术扩散是提高落后地区的能源利用效率的一种有效方法。

如何提高上游地区的能源利用效率，促进上、中、下三游地区共同提高是我们需要面对的问题。为解决这一问题，下面将进一步分析长江经济带的影响因素。

四、长江经济带全要素能源效率影响因素的实证分析

不同的学者从不同的角度去研究了全国或者某个区域之间的全要素能源效率的影响因素。在此，本文罗列出部分学者的研究成果，如下表。

表4 我国部分学者全要素能源效率的影响因素及其基本结论

学者	影响因素	主要结论
屈小娥	经济结构、工业化水平、市场化程度、技术进步、能源价格	结构调整、技术进步、能源价格提高均对全国及三大地区提高能源效率有促进作用。
宋一弘	能源禀赋、产业结构、技术水平、政府干预、能源价格、行政分割	技术水平、产业结构及效率对城市整体能效有正向影响，政府干预等因素扭曲了能源要素的合理流动及配置，阻碍了城市能效的提高
李国璋、霍宗杰	产业结构、国有经济比重、对外开放程度、政府影响力、能源禀赋、能源消费结构和能源价格	总体来看产业结构、政府影响力、国有经济比重、能源禀赋和消费结构对能效有负向影响，开放程度和价格对能效有正向影响
师博、沈坤荣	能源禀赋的富裕度、市场分割程度、工业化水平、对外开放度、能源价格	能源禀赋相对充裕的地区全要素能源效率较低的原因在于市场分割扭曲了资源配置，阻碍了地区工业规模经济的形成，从而造成全要素能源效率损失。

(一) 数据的选取

1. 变量的选取

借鉴屈小娥(2009)[10]、宋一弘(2012)[27]、林伯强(2013)[15]等的研究成果。笔者认为对长江经济带的影响因素可以分成对外经济、结构因素(包括能源结构和产业结构)、政府因素(政府R&D经费支出比重和政府影响力)、能源因素(能源价格)这几个方面。

2. 影响因素指标选取

(1) 对外开放程度(FT): 用各省进出口总额占GDP比重表示。(2) 技术效应(INM): 各省市R&D活动经费内部支出占各省市GDP比重。(3) 产业结构(IS), 大部分学者采用各省第二产业增加值占GDP的比重表示, 如李国璋(2009)等, 也有学者用第三产业增加值占GDP的比重来表示, 如林伯强(2013)[15]。我们这里采用第一种方法。(4) 经济效应(GDP): 各省市GDP的数值。按不变价格计算。(5) 能源价格(EP), 我们用原材料、燃料动力购进价格指数表示, 以1998年为基期。林伯强(2013)[15]认为能源价格的上升有利于企业加强节能意识以及推广更加节能的技术, 从而提高能源效率。(6) 政府影响力(IOC), 我们用政府财政支出占GDP的比重表示。(7) 能源结构(NYJG), 参考王宾(2011)[28]等的做法, 我们用煤炭消费量占能源消费总量的比重表示。当然, 有的学者还考虑衡量能源禀赋的富裕程度(COAL), 这一指标学者们选用的方式不一, 有的学者如宋一弘(2012)[27]采用采掘业从业人数占从业总人口的比重来表示, 有的学者如师博(2008)[29]和李国璋(2009)[18]采用各省煤炭产量占全国总产量的比重来表示, 本文不采用这一指标, 主要原因这一变量与能源效率的关系容易受到指标的影响, 如史丹(2006)[16]用分组统计的方法得出结论, 能源效率与能源禀赋负相关, 而宋一弘用采掘业人数占从业总人数的比重这一指标分析时, 得出能源禀赋与能源效率同向变动。故不同的方法对这一变量的影响不一。

3. 数据来源

上述数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《对外经济贸易统计年鉴》以及各省统计年鉴，部分数据进行了价格平减处理。

（二）模型的选择

由于我们在计算全要素能源效率时，采用的TFP指数位于0~2之间，数据被截断，属于因变量受限的情况，故我们采用Tobit模型研究长江经济带全要素能源效率。

因为全要素能源效率的最低值为0，可以对模型做如下设定：

$y_i = \eta_i x_i' + u_i \quad i = 1, 2, \dots, n$ 且 u_i 服从 $N(0, \sigma^2)$ ， $x_i' = (x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$ 为自变量的集合， y_i 的截断点为0，即：

$$Y = \begin{cases} Y^*, & Y^* > 0 \\ 0, & Y^* \leq 0 \end{cases}$$

模型构建如下：

$$TFP_{it} = C + \beta_1 FT_{it} + \beta_2 INM_{it} + \beta_3 IS_{it} + \beta_4 GDP_{it} + \beta_5 EP_{it} + \beta_6 NYJG_{it} + \beta_7 IOCI_{it} + \varepsilon_{it}$$

其中， t 和 i 分别表示不同年份和不同省份的对应值。 TFP_{it} 表示 i 省份在 t 年份的全要素能源效率值， ε_{it} 为随机误差项。

（三）模型实证结果

Tobit模型的结果不能直接给出偏效应，也就是不能用普通最小二乘回归得到的结果来直接解释因变量与自变量之间的影响大小，但估计系数的符号和偏效应的符号是一致的，且统计显著性也一致。本文注重于研究各种因素对于全要素能源效率的影响方向而非具体效应大小，故只判断影响符号，不再对系数值进行更多解释。Tobit的控制变量选择经济效应GDP。回归结果如下表所示。

（四）实证结果分析

产业结构对长江经济带全要素能源效率有显著的负影响，即第二产业的比重增加时能源效率降低，且能源效率与上游和下游地区也呈现显著的负相关性。这一结论与很多学者是一致的。如王兵（2010）^[30]利用基于DEA的方向性距离函数，通过对省级全要素能源效率的研究也发现产业结构对我国整体及中西部地区有显著的负影响。汪克亮（2010）^[31]、魏楚和沈满红（2008）^[32-34]通过实证研究也得出了相类似的结论。

就长江经济带整体而言，政府影响力与能源效率无明显的相关性。但可以观察到，中游地区政府影响力与能源效率正相关，这一结论与王维国（2012）^[35]的结论基本相同，却与李国璋（2009）^[18]和魏楚（2007）^[33]的结论相反。王维国（2012）^[35]通过对全国28个省市的能源效率的研究发现政府支持力度与中西部地区的能源效率显著正相关。而李国璋的研究表明，政府过多的介入会影响市场的正常运行，从而降低能源效率。这一不同的原因主要是：中游地区的经济水平

较为一般，政府财政支持一方面有利于促进财政流入到与能源效率相关的部门，另一方面也能有效地改善资源能源配置。

表5 长江经济带全要素能源效率的影响因素的Tobit回归结果

变量	长江经济带	上游	中游	下游
GDP	-0.0197544**	-0.0158737	-0.0208185**	-0.0386211*
	(-2.16)	(-1.46)	(-2.18)	(-1.88)
IS	-0.1145586***	-0.3194494**	-0.0275189	-0.2211884*
	(-3.23)	(-2.43)	(-1.14)	(-1.84)
NYJG	-0.0125268	-0.0284426	-0.0134651	-0.0916344*
	(-1.8)	(-1.49)	(-1.78)	(-1.86)
INM	-0.0033383	-0.0001274	0.0028539	-0.0131006*
	(-1.34)	(-0.02)	(-0.98)	(-1.85)
FT	0.0200405***	0.0168579	0.0024949	0.0204700
	(5.11)	(1.68)	(1.18)	(0.97)

变量	长江经济带	上游	中游	下游
EP	0.0340183	0.0569163	-0.0248787	0.0947903*
	(1.5)	(1.78)	(-1.82)	(1.66)
IOC	-0.0101893	-0.0833507	0.0830484***	-0.0440845
	(-1.81)	(-1.45)	(2.63)	(-1.08)
常数项	-0.1074205	-0.5536857**	0.4553025**	-0.4770182**
	(-1.21)	(-2.17)	(2.24)	(-2.06)
N	140	42	56	42
Wald 检验	50.29***	32.59***	19.89***	12.31*

注：***、**、*分别表示在1%、5%、10%上显著，括号内为t值。

对外开放程度与长江经济带能源效率显著正相关。一般而言，进出口贸易额的提高可以产生技术溢出，加快先进的技术和模式的引进，促使技术扩散从而提高能源的利用效率。这一结论与大多数学者的结论相一致，包括王维国（2012）^[35]、魏楚（2008）^[32]等。对外开放度与长江经济带上游、中、下游的显著性不强，这主要与选择的样本量过少有关。

技术效应与长江经济带能源效率整体相关性不强，且与长江经济带下游地区负相关。这主要是R&D活动具有明显的滞后性，一般而言与当期相关性不显著，但是会对后几期的能源效率产生影响。

能源结构与长江经济带能源效率相关性不高，但与下游地区显著负相关。即煤炭的消耗比重越高，能源的效率越低。目前而言，煤炭消费占中国能源效率的70%，而燃煤能产生大量的二氧化硫、烟层、二氧化碳。因此，若降低煤炭的使用，增加更多高效清洁能源的使用一方面可以提高能源利用效率，另一方面也可以改善经济增长与环境污染的矛盾。

能源价格与长江经济带能源效率相关性不强，但与下游地区呈现显著的正相关性。下游地区包含江浙沪三省，经济较为发达，市场经济发展较为完备，对价格也十分敏感，因此在下游地区适当提高能源价格能有效改善能源效率。

五、结论及建议

本文利用DEA-Malmquist指数测算了1998—2012年长江经济带各省份以及上、中、下游全要素能源效率，并构建Tobit模型对长江经济带的能源效率的影响因素进行分析，研究结论表明：

第一，长江经济带全要素能源效率整体处于较低水平，距离生产前沿面还有很大距离，存在效率改进空间。长江经济带上、中、下游全要素能源效率存在区域差异性。下游地区全要素能源效率高于中游和上游地区，上游地区能源效率最低。上游地区虽然能源资源禀赋较高，但是能源利用效率较低。长江经济带能源效率出现下降，下降的原因是技术效率和技术进步的下降，其中技术进步的下降是最主要的因素。其中，上游地区的能源效率小幅增加，中游和下游地区的能源效率略有下降。

第二，在长江经济带整体全要素能源效率的影响因素分析中，产业结构对长江经济带能源效率有显著负向影响，对外开放程度对长江经济带整体能源效率有显著正向影响。政府影响力、能源价格、能源结构、R&D投入对长江经济带的影响并不显著。从长江经济带分区域的研究中可以观察到，产业结构对上游和下游地区的能源效率有显著的负向影响，能源结构对下游地区的能源效率有显著的负向影响，能源价格对下游地区有显著的正向影响。政府影响力对中游地区有显著的正向作用。

根据上述结论，考虑环境因素的影响后，我们给出如下的政策建议。

第一，加强长江经济带上、中、下游之间的人才、技术、资金流动，有效地促进下游地区的先进技术和管理经验向上游和中游地区转移。如此，我们可以通过上游地区的能源效率的提高带动中游、下游地区能源效率的提高，从而达到长江经济带能源效率的整体提高。同时，制定相关政策，完善上游和中游地区的基础设施和配套设施建设，提高能源利用效率。

第二，加快长江经济带的产业升级，降低第二产业在GDP中的比重，大力发展第三产业。此外，促进长江经济带的进出口，改善贸易条件。调整能源价格，使能源价格能够充分体现资源稀缺程度和市场供需关系以及环境成本，从而促进能源效率的提高。建立完善的市场，发挥市场对资源的配置作用，对建设节约型社会、提高能源效率具有重大的现实意义。

[参考文献]：

- [1] 吴文洁, 巩芯仪. 碳排放约束下陕西省全要素能源效率研究 [J]. 当代经济科学. 2015 (02).
- [2] 刘勇. 物流业全要素能源效率评价及其影响因素分析 [J]. 统计与决策. 2014 (01).
- [3] 余泳泽, 杜晓芬. 技术进步、产业结构与能源效率——基于省域数据的空间面板计量分析 [J]. 产业经济评论. 2011 (04).
- [4] 陈静, 雷厉. 中国制造业的生产率增长、技术进步与技术效率——基于DEA的实证分析 [J]. 当代经济科学. 2010 (04).
- [5] 宫俊涛. 中国制造业省际全要素生产率变动分析——基于非参数Malmquist指数方法 [J]. 数量经济技术经济研究 2008.
- [6] 石腾超, 邹一南. 我国制造业全要素生产率区域差异及其原因研究——基于制造业2003—2011年面板数据的实证分析 [J]. 区域经济评论. 2014 (01).

[7] Hu J L, Wang S C. Total-Factor Energy Efficiency of Regions In China [J]. Energy Policy, 2006, 34 (17).

[8] Hu J L, Kao C H. Efficient Energy-Saving Targets For APEC Economies [J]. Energy Policy, 2007, (35).

[9] 李廉水, 周勇. 技术进步能提高能源效率吗——基于中国工业部门的实证检验 [J]. 管理世界, 2006, (10): 82-89.

[10] 屈小娥. 中国省际全要素能源效率变动分解 [J] 数量经济技术研究, 2009 (8): 29-43.

[11] 张伟, 吴文元. 基于环境绩效的长三角都市圈全要素能源效率研究 [J]. 经济研究. 2011 (10).

[12] 汪克亮, 杨宝臣, 杨力. 考虑环境效应的中国省际全要素能源效率研究 [J]. 管理科学. 2010 (06).

[13] 刘战伟. 区域全要素能源效率测算及其收敛分析——基于中国省级面板数据的实证研究 [J]. 中国石油大学学报 (社会科学版). 2011 (05).

[14] 汪克亮, 杨宝臣, 杨力. 基于DEA和方向性距离函数的中国省际能源效率测度 [J]. 管理学报. 2011 (03).

[15] 林伯强, 杜克锐. 要素市场扭曲对能源效率的影响 [J]. 经济研究. 2013 (09).

[16] 史丹: 中国能源效率的地区差异与节能潜力分析, [J] 中国工业经济, 2006 (10).

[17] 师博、张良悦. 我国区域能源效率收敛性分析, [J] 当代财经, 2008 (2).

[18] 李国璋, 霍宗杰. 中国全要素能源效率、收敛性及其影响因素——基于1995—2006年省际面板数据的实证分析 [J]. 经济评论. 2009 (06).

[19] Fare, R., S. Grosskopf and D. Margaritis, 2001a, "Accounting for Air Pollution Emissions in Measuring Productivity Growth", Journal of Regional Science, 41, 381-409.

[20] Fare, R., S. Grosskopf, D. W. Noh and W. Weber, 2005, "Characteristics of a Polluting Technology: Theory and Practice", Journal of Econometrics, 126, 469-492.

[21] Fare, R., S. Grosskopf, A. Carl and Jr. Pasurka, 2007, "Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions", Energy, 32, 1055-1066.

[22] Fare, R., S. Grosskopf, A. Carl and Jr. Pasurka, 2007, "P

ollution Abatement Activities and Traditional Productivity”, *Ecological Economics*, 62, 673–682.

[23] 郭海华, 张庆云. 基于环境因素的中国省级能源效率评价 [J]. 暨南学报 (哲学社会科学版). 2011 (02).

[24] 张军, 吴桂荣, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000 [J]. 经济研究, 2004, (10).

[25] 徐现祥, 周吉梅, 舒元. 中国省区三次产业资本存量估计 [J]. 统计研究. 2007 (05).

[26] 史丹, 吴利学, 傅晓霞, 吴滨. 中国能源效率地区差异及其成因研究——基于随机前沿生产函数的方差分解 [J]. 管理世界. 2008 (02).

[27] 宋一弘. 环境约束下城市能源效率及其影响因素分析——基于三阶段DEA—malmquist指数的实证分析 [J]. 暨南学报 (哲学社会科学版). 2012 (11).

[28] 王兵, 张技辉, 张华. 环境约束下中国省际全要素能源效率实证研究 [J]. 经济评论. 2011 (04).

[29] 师博, 沈坤荣. 市场分割下的中国全要素能源效率: 基于超效率DEA方法的经验检验, 世界经济, 2008 (9).

[30] 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 (5): 95–108.

[31] 汪克亮, 杨宝臣, 杨力. 中国能源利用的经济效率、环境绩效与节能减排潜力 [J]. 经济管理. 2010 (10).

[32] 魏楚, 沈满洪. 结构调整能否改善能源效率: 基于中国省级数据的研究 [J]. 世界经济. 2008 (11).

[33] 魏楚, 沈满洪. 能源效率及其影响因素: 基于DEA的实证分析 [J]. 管理世界, 2007 (8): 67–76.

[34] 魏楚, 沈满洪. 能源效率研究发展及趋势: 一个综述 [J]. 浙江大学学报, 2009, (5).

[35] 王维国, 范丹. 中国区域全要素能源效率收敛性及影响因素分析——基于Malmquist-Luenberger指数法 [J]. 资源科学. 2012 (10).

[36] 魏楚, 杜立民, 沈满洪. 中国能否实现节能减排目标: 基于DEA方法的评价与模拟 [J]. 世界经济, 2010 (3): 141–160.

(责任编辑 / 韩狄明)