

长江经济带全要素碳生产率的时空演化及提升潜力¹

刘传江^{1,2} 赵晓梦¹

(1 . 武汉大学经济发展研究中心, 湖北武汉 430072 ;

2 . 武汉大学经济与管理学院, 湖北武汉 430072)

【摘要】：将碳排放引入全要素生产率分析框架之中，利用 Malmquist 指数对长江经济带 2000~2013 年的全要素碳生产率进行测算。实证研究结果显示：(1) 从时间维度来看，在此期间长江经济带碳生产率一直处于震荡上升的趋势，而全要素碳生产率处于较平稳的状态，年均增长率为 2%；(2) 从空间差异来看，长江经济带上中下游碳生产率区域差异明显，下游>中游>上游，全要素碳生产率下游区域高于中上游区域，而中游区域和上游区域则处于“追赶-超越-被反超”的状态；(3) 上游区域全要素碳生产率增长的动力为技术效率的提高，中游区域全要素碳生产率平均下降了 0.1% 的原因为技术进步恶化的幅度已经完全抵消了技术效率提升带来的变化，下游区域主要是通过技术创新推动最优生产前沿向外移动使得全要素碳生产率平均增长了 4.4 个百分点；(4) 安徽和贵州两地碳生产率提高的空间最大，而云南、四川和重庆地区也可通过技术进步、技术创新促进碳生产率的提高，上海、浙江、江苏和江西的碳生产率提升空间最小。

【关键词】：长江经济带；碳生产率；全要素碳生产率；Malmquist 指数

【中图分类号】：F205 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1004-8227(2016)11-1635-10

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201611001

随着全球气候变暖及国内各中小城市频频出现的雾霾天气，低碳经济迅速成为国内外各界关注的焦点。目前，中国经济增长从高速增长转入中高速增长，经济发展的低要素成本优势将不再拥有，尽快转变经济增长方式和寻求新的经济增长点。低碳经济是支撑和实现生态文明的经济形态，是“中国两型社会”的核心追求和具体表达^[1]，其实质为完成二氧化碳减排目标的同时实现经济增长，而“碳生产率”这一概念表示的是单位二氧化碳排放带来的 GDP 产出水平，它将节能减排与经济增长两个目标有效地结合到一起。长江经济带是中国重要的经济轴带，是我国区域经济蓝图中最引人瞩目的二大战略之一，是优化经济发展空间格局的关键所在。2014 年 9 月，国务院发布的《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导建议》中明确地提出了将长江经济带打造成“生态文明下的先行示范带”的战略定位，并且通过创新驱动促进产业转型升级，打造“沿江绿色能源产业带”

¹收稿日期：2016-03-09；修回日期：2016-07-19

基金项目：教育部人文社会科学重点研究基地重大项目（11JJD790031）[The MOE（Ministry of Education，P. R. C）Project of Key Research Institute of Humanities and Social Sciences at University（11JJD790031）]

作者简介：刘传江（1966~）男，教授，博士生导师，主要从事低碳经济、生态文明和可持续发展等研究。Email:-:chjliu@whu.edu.cn

的任务。因此，研究长江经济带的全要素碳生产率问题对长江经济带碳生产率状况、减排空间，产业升级和低碳发展道路的选择具有重要意义。

碳生产率的概念由 Kaya 和 Yokobofi 于 1993 年首次提出，即单位二氧化碳排放所带来的 GDP 产出水平^[2]。2008 年，麦肯锡的《碳生产率挑战：遏制全球变化、保持经济增长》报告得出“在未来 50a 期间，要完成碳减排目标，碳生产率必须提高 10 倍”这一重要结论，碳生产率的概念被大众所熟悉。近些年来，学术界逐渐将碳生产率的研究纳入到低碳经济研究的范畴之中，并取得了丰硕的成果，大致来看主要包括以下 3 个方面：（1）碳生产率水平测度。张成^[3]，潘家华^[4]等通过借用收敛和脱钩指数的分析方法研究了碳生产率的动态演变及区域差异。徐大丰^[5]通过对沪陕两地碳生产率的计算发现，碳生产率既存在明显的区域差异又存在明显的行业差异；（2）碳生产率的影响因素分解。张永军^[6]运用拉式分解法将碳生产率的变动分解为产业结构变动、消费结构变动和技术进步 3 个影响因素，张丽峰^[7]则运用 LMDI 分解法将其影响

因素分解为能源效率、碳排放能耗和碳排放结构 3 个方面，而 Meng M 等^[8]借用对数平均迪氏指数法将碳生产率分解成各个产业的产业结构调整效应和技术创新效应。张正^[9]不仅考虑了能源结构对碳生产率的影响，还重点探析了资本、劳动和能源三者之间的替代效应对碳生产率波动的影响，进而对碳生产率增长率进行了七重因素的分解。（3）碳排放约束下的全要素生产率。研究方法主要有随机前沿（SFA）和数据包络（DEA）两种。因无需确定任何权重及具体函数的表达式，在学术界 DEA 方法更多地受到学者们的青睐，其中在计算 Malmquist 指数时，则多采用 Fare 等构建的 DEA 线性规划方法^[10]。有些学者在计算环境约束下的全要素生产率和全要素能源效率时，将 CO₂ 视为如同劳动、资本一样的生产要素计入全要素分析框架之中。如 Ramanathan^[11]，匡远凤等^[12]在计算环境全要素生产率时也将二氧化碳作为投入变量。张丽峰^[13]借用 DEA-Malmquist 全要素碳生产率模型对我国全要素碳^[10]生产率进行了测算，但是对于全要素碳生产率概念学术界至今没有统一的界定。事实上，在计算全要素环境生产率和全要素能源效率时更多的学者将二氧化碳视为一种非期望产出计入全要素分析框架之中，如 Nakano M 等^[14]，王兵等^[15]，刘瑞翔等^[16]，张丽峰^[17]等。

关于全要素碳生产率的概念，只有少数学者在文中涉及到（张成，2014；张丽峰，2013, 2014），但并没有对全要素碳生产率的概念进行界定。并且，目前国内外学术界关于全要素碳生产率的研究很少，选择长江经济带为研究对象的更是罕见，考虑到长江经济带 11 个省市的生产总值已超过全国总量的 45%，有望成为我国新的经济增长极，其未来产业升级和提高全要素碳生产率是其必然的选择。本文尝试对全要素碳生产率进行概念的界定，通过计算长江经济带中下游省市的碳生产率和全要素碳生产率，观察其时间演化规律和空间上的分布特点，分析测度长江经济带中下游区域的减排空间，在理论上期望对长江经济带的经济增长和低碳发展提供参考依据，同时在实践上为我国合理制定节能减排政策提供借鉴参考。

1 测度方法与数据来源

1.1 全要素碳生产率

继煤炭和石油之后，“碳排放空间”将成为 21 世纪重要的战略资源，碳排放交易权则会成为低碳经济、生态文明时代争夺的新焦点。有学者认为，二氧化碳作为一种稀缺资源，如同劳动资本一样可以作为商品进行交换，也可以作为一种生产要素投入来分析其对经济的增长^[18]。在传统思维视角下，计算碳排放约束下的全要素生产率时，劳动和资本为投入指标，GDP 和二氧化碳为产出指标，同样地在计算碳排放约束下的全要素能源效率时，劳动、资本和能源的投入换来经济的产出和二氧化碳的排放。而本文在计算全要素碳生产率时，借用植物光合作用的原理，通过逆向思维将碳排放表示为生产产品时所“需要”碳量，即将生产中的二氧化碳排放作为生产时所需要的一种生产要素，且此生产要素的需求量越少越好。本文全要素碳生产率是指除二氧化碳投入之外的其他要素保持不变的前提下，按照最佳生产实践，一定的产出所需的目标碳投入与实际投入的比值，主要考虑的是“温室气体”的减排成本和生产率的问题^①

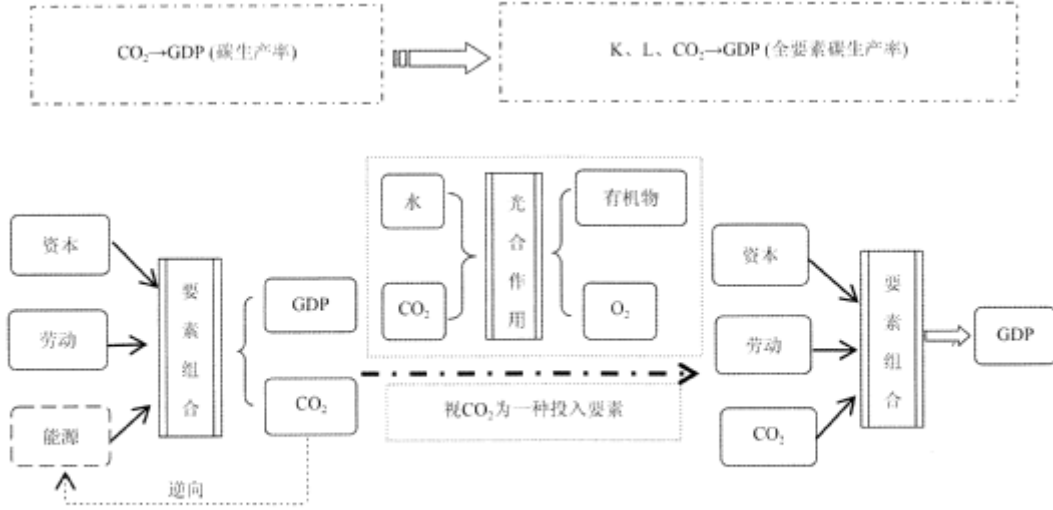


图1 全要素碳生产率概念图解
Fig.1 Diagram for Total Factor Productivity Carbon

1.2 测度方法

本文采用基于 DEA 的 Malmquist 指数来测度长江经济带全要素碳生产率, DEA 为无需假定函数形式的非参数分析方法, 它主要是借助数学规划和投入产出函数确定相对有效的随机前沿, 将每一个生产单元对生产前沿的偏离与 DEA 前沿面进行对比, 进而评价其有效性。Malmquist 指数的表达式为:

$$\begin{aligned}
 M^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k; x_t^k, y_t^k) &= \left[\frac{D_t^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k)}{D_t^k(x_t^k, y_t^k)} \times \frac{D_{t+1}^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k)}{D_{t+1}^k(x_t^k, y_t^k)} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \frac{D_{t+1}^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k)}{D_t^k(x_t^k, y_t^k)} \times \left[\frac{D_t^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k)}{D_{t+1}^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k)} \times \frac{D_t^k(x_t^k, y_t^k)}{D_{t+1}^k(x_t^k, y_t^k)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

其中, D_t^k 表示第 k 个决策单元 t 期的产出距离函数, D_{t+1}^k 表示第 k 个决策单元第 $t+1$ 期的产出距离函数。因为本文测度的为 2000~2013 年长江经济带 11 个省市的全要素碳生产率, 因此 $k=11, t=14$ 。将碳排放因素纳入到全要素生产率分析框架之中, 将 CO_2 同劳动、资本同时作为投入要素, 将 GDP 作为产出, 由此计算的 Malmquist 指数为全要素碳生产率指数 (视同全要素碳生产率)。M 指数测度的是全要素碳生产率, 将式 (1) 进行分解, 可以分解为技术效率变动 (EFFch) 和技术进步变动 (TECHch) 的乘积, 如 (2) 所以。

$$\begin{aligned}
 TFPCch &= EFFch \times TECHch \\
 &= PEch \times SEch \times TECHch \quad (2)
 \end{aligned}$$

其中 TFPCch 表示全要素碳生产率 t 期至 $t+1$ 期的变化, EFFch 表示技术效率 t 期至 $t+1$ 期的变化, TECHch 表示技术进步 t 期至 $t+1$ 期的变化。当 $TFPCch > 0$, $EFFch > 0$, $TECHch > 0$ 时, 表示全要素碳生产率, 技术效率和技术进步都得到了改善, 反之则表

示三者恶化。技术效率可以分解为纯技术效率（PEch）的变动和规模技术效率（SEch）的变动，同样，当 PEch>0, SEch>0 时，表示纯技术效率和规模效率都得到了改善，反之表示两者恶化。

1.3 指标选取

根据 DEA-Malmquist 指数测度全要素碳生产率，主要包括投入指标和产出指标两个方面。（1）资本投入指标。当前我国并没有资本存量的统计数据，本文根据“永续盘存法”进行推算而得，并换算成 2000 年不变价格（单位亿元）。计算公式为

$K_{i,t} = I_{i,t} + (1 - \delta_{i,t})K_{i,t-1}$ ，式中^① $\delta_{i,t}$ 表示该省市当年的资本折旧率， $I_{i,t}$ 表示固定资产投资，本文用各省市的固定资本形成总额表示， $K_{i,t}$ 表示第 i 个省市第 t 年的资本存量，它是由前一年的资本存量 $K_{i,t-1}$ 进行折旧之后与该省市第 t 年 $I_{i,t}$ 的加总而得。由于不同区域经济发展状况不尽相同，如采取统一的资本折旧率会造成测算结果的偏差，故本文借用吴延瑞（2008）的研究，选取与长江经济带 H 个省市相关的折旧率，上海（3.4）、江苏（4.2）、浙江（4.0）、安徽（5.0）、江西（3.7）、湖北（4.5）、湖南（4.5）、重庆（4.6）、四川（4.6）、贵州（2.8）、云南（2.7）。基期资本存量 $K_{i,0}$ 根据 $K_{i,0} = I_{i,0} / (\delta_{i,0} + r_{i,0})$ 推算得出， $r_{i,0}$ 表示第 i 个省市基期的固定资本形成总额增长速度^②。

（2）劳动投入指标。本文选取长江经济带 11 个省市 2000~2013 年劳动力从业人数之和代表劳动力投入指标。

（3）二氧化碳投入指标。我国目前还没有二氧化碳的检测数据，因此需对其进行计算。计算公式如下：

$CO_2 = \sum E_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times \frac{44}{12} (i = 1, 2, \dots, 11)$ ，其中 E_i 表示第 i 个地区的能源消费量， NCV_i 表示第 i 种能源的平均低位发热量， COF_i 表示第 i 种能源消费标准量的碳排放系数， COF_i 表示第 i 种能源的碳氧化系数。本文选取的是中国能源统计年鉴能源消费统计的 7 种能源，包括煤炭、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气^③。因此计算得出的 CO_2 排放量为各地区各行业能源消费所产生的 CO_2 排放量之和。

（4）地区产出指标。本文选取长江经济带 11 个省市 2000~2013 年地区生产总值代表地区产出指标，名义 GDP 折算为以 2000 年价格不变 GDP（单位：亿元）。

1.4 数据来源

本文的研究的时间范围为 2000~2013 年，研究对象为长江经济带 11 个省市，包括由重庆、四川、贵州和云南组成的上游地区，由安徽、江西、湖北和湖南组成的中游地区，以及由上海、江苏和浙江组成的下游地区。所采用数据为 11 个省市相关年份的统计年鉴、2001~2014 年《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》。

2 长江经济带全要素碳生产率的时空演化

^①全要素碳生产率的概念学术界没有统一界定，本文根据全要素能源生产率的概念转换而来。

^②由于云南省 1999~2000 年固定资本形成总额的增长率为负值，对计算结果造成偏差，故选取 2000~2001 年增长率进行替代。

^③能源统计年鉴统计的能源消费有 9 种，包括煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、电力和天然气，其中原油主要用于炼油和加工转化再投入，未避免重复计算不计入其中，电力在使用过程中并不直接产生碳排放，也未计入其中。

2.1 长江经济带碳生产率与全要素碳生产率测度结果

通过对 2000~2013 年长江经济带 11 个省市碳生产率和全要素碳生产率的计算, 结果如表 1 和表 2 所示。2000~2013 年, 长江经济带碳生产率均值为 0.48, 其中浙江 (0.70) 最高, 贵州 (0.16) 最低; 全要素碳生产率指数均值为 1.02, 表明长江经济带全要素生产率增长速度为 2%, 其中下游地区的全要素碳生产率增长速度较快, 接近 4%, 上游区域的增幅为 1%。全要素碳生产率平均增长速度最快的地区为上海 (7%), 而湖南和安徽的全要素碳生产率指数均小于 1, 表明其全要素碳生产率不仅没有增长, 反而下降了。

表 1 2000~2013 年 长江经济带 11 个省市的碳生产率(万元/t)^①

Tab.1 11 Provinces and Cities' Carbon Productivity in the Yangtze River Economic Belt, 2000-2013

年份	云南	贵州	四川	重庆	上游	湖南	湖北	江西	安徽	中游	浙江	江苏	上海	下游	平均
2000	0.29	0.09	0.32	0.23	0.23	0.47	0.30	0.35	0.23	0.34	0.50	0.44	0.35	0.43	0.33
2001	0.27	0.11	0.35	0.27	0.25	0.43	0.33	0.36	0.23	0.34	0.51	0.48	0.37	0.45	0.35
2002	0.25	0.11	0.34	0.28	0.24	0.42	0.32	0.39	0.24	0.34	0.55	0.50	0.40	0.48	0.36
2003	0.22	0.10	0.29	0.35	0.24	0.41	0.31	0.37	0.24	0.36	0.57	0.52	0.45	0.51	0.36
2004	0.21	0.10	0.31	0.37	0.25	0.40	0.30	0.37	0.28	0.38	0.60	0.49	0.52	0.54	0.37
2005	0.20	0.12	0.34	0.30	0.24	0.34	0.31	0.39	0.30	0.39	0.59	0.46	0.55	0.53	0.37
2006	0.21	0.12	0.36	0.31	0.25	0.37	0.32	0.42	0.32	0.41	0.59	0.49	0.61	0.56	0.39
2007	0.24	0.14	0.39	0.34	0.28	0.39	0.35	0.44	0.34	0.44	0.63	0.54	0.68	0.61	0.42
2008	0.28	0.18	0.45	0.45	0.34	0.47	0.44	0.55	0.36	0.46	0.70	0.63	0.76	0.70	0.50
2009	0.28	0.18	0.45	0.47	0.34	0.52	0.47	0.58	0.37	0.48	0.73	0.68	0.82	0.74	0.52
2010	0.31	0.21	0.53	0.52	0.39	0.60	0.50	0.61	0.43	0.53	0.83	0.73	0.85	0.81	0.58
2011	0.37	0.23	0.64	0.58	0.45	0.67	0.53	0.68	0.49	0.59	0.91	0.74	0.92	0.86	0.63
2012	0.41	0.25	0.69	0.66	0.51	0.78	0.60	0.76	0.52	0.66	0.99	0.79	1.00	0.93	0.70
2013	0.48	0.28	0.74	0.85	0.59	0.89	0.80	0.78	0.54	0.75	1.08	0.86	1.06	1.00	0.78
均值	0.29	0.16	0.44	0.43	0.33	0.51	0.42	0.50	0.35	0.46	0.70	0.60	0.67	0.65	0.48

表 2 2000~2013 年长江经济带 11 个省市的全要素碳生产率(Malmquist 指数)^②

Tab.2 11 Provinces and Cities' Total Factor Productivity Carbon in the Yangtze River Economic Belt, 2000-2013 (Malmquist Index)

年份	云南	贵州	四川	重庆	上游	湖南	湖北	江西	安徽	中游	浙江	江苏	上海	下游	平均
2000~2001	0.96	0.93	1.03	1.00	0.98	0.96	1.01	1.01	0.99	0.99	1.02	1.09	1.05	1.05	1.01
2001~2002	0.99	0.94	1.00	1.00	0.98	0.93	0.96	1.02	0.98	0.97	1.04	1.04	1.04	1.04	1.00
2002~2003	1.06	1.03	0.98	0.99	1.02	0.99	1.03	0.98	0.99	1.00	1.08	1.06	1.18	1.10	1.04
2003~2004	1.10	1.01	1.07	1.00	1.04	1.05	0.94	1.04	1.05	1.02	1.04	1.02	1.14	1.07	1.04
2004~2005	1.01	1.02	1.03	0.96	1.00	0.98	1.04	1.01	0.98	1.00	1.00	1.07	1.07	1.04	1.02
2005~2006	1.02	0.99	1.01	0.96	1.00	0.99	1.03	0.99	0.98	1.00	1.02	1.04	1.07	1.04	1.01
2006~2007	1.05	1.04	1.04	1.02	1.04	1.04	1.07	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.05	1.04
2007~2008	1.08	1.11	1.02	1.17	1.09	1.00	1.07	1.11	1.00	1.04	1.04	1.05	1.09	1.06	1.07
2008~2009	0.95	0.93	0.95	0.97	0.95	0.97	0.99	0.95	0.96	0.97	0.98	0.97	1.02	0.99	0.97
2009~2010	0.98	0.99	1.04	1.04	1.01	1.01	1.06	1.04	1.02	1.03	1.07	1.04	1.08	1.06	1.04
2010~2011	1.02	1.03	1.05	1.07	1.04	1.01	1.03	1.05	1.02	1.03	1.05	1.03	1.07	1.05	1.04
2011~2012	0.97	1.00	0.98	0.98	0.98	0.95	0.97	0.96	0.94	0.96	1.01	0.97	1.03	1.00	0.98
2012~2013	0.96	0.97	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.97	0.94	0.95	1.02	0.98	1.03	1.01	0.97
均值	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	0.99	1.01	1.01	0.99	1.00	1.03	1.03	1.07	1.04	1.02

2.2 长江经济带碳生产率与全要素碳生产率的时间演变

2001~2013 年长江经济带碳生产率、全要素碳生产率、碳生产率增长率以及全要素碳生产率增长率的时间演变过程如图 2 所示。从碳生产率角度分析, 2001~2013 年长江经济带碳生产率一直处于震荡上升的趋势, 其均值由 2000 年的 0.33 上升至 2013 年的 0.78, 增幅高达 136.37%, 这与我国节能减排政策的实施力度有着紧密的联系。碳生产率增长率呈“W 型”, 2005 年和 2009 年分别为增长率的两低点, 2010~2013 年碳生产率增长率在 10% 上下轻微震荡, 表明近些年碳生产率的增长趋于平缓。从全要素碳生产率角度分析, 2001~2013 年, 长江经济带全要素碳生产率指数一直处于较平稳的状态, 维持在上下。其中 2003~2004 年全要素碳生产率指数为 1.06, 表明这两年全要素碳生产率的增长速度为 6%, 2008~2009 和 2012~2013 年的全要素碳生产率指数为 0.97, 表明此年份的全要素碳生产率下降了。将全要素碳生产率增长率与碳生产率增长率相比发现, 碳生产率增长更加平稳, 而全要素碳生产率指数增长率震荡较为剧烈。

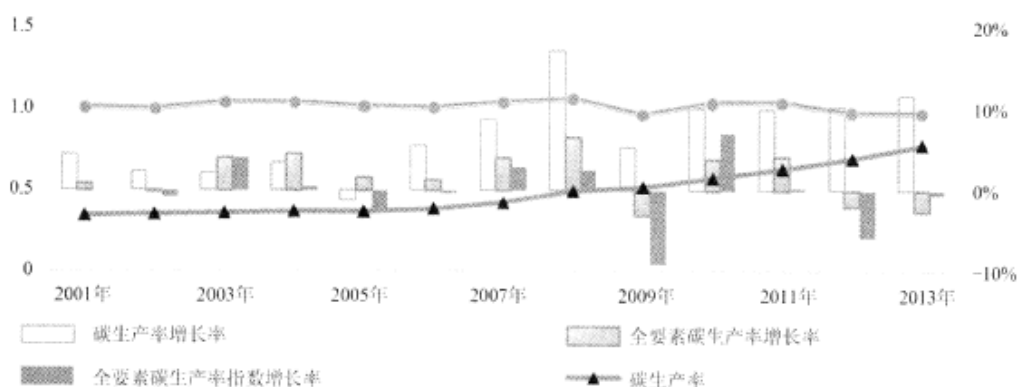


图2 长江经济带碳生产率与全要素碳生产率的时间演变

Fig.2 Temporal Evolution of Carbon Productivity and Total Factor Productivity Carbon in the Yangtze River Economic Belt

2.3 长江经济带碳生产率与全要素碳生产率的区域差异

由图3和表1可见,2000~2013年,长江经济带上中下游碳生产率区域差异明显,下游区域碳生产率最高,其次是中游区域,上游碳生产率最低。上游区域内部出现了较为严重的两极分化现象,贵州碳生产率水平和增长速度一直处于很低状态,而四川和重庆的碳生产率增速惊人,2013年重庆市的碳生产率已高于中游区域的平均水平。中游区域各省市碳生产率水平差异不大,除安徽之外的3个省市齐头并进,共同追赶下游区域。下游区域的碳生产率一直处于较高的状态,2013年长江经济带上游区域平均碳生产率已经高达1.00,上海和浙江两个地区的碳生产率均已超过1.05。由图3和表2可见,2000~2013年,长江经济带全要素碳生产率指数区域差异也十分明显,下游区域高于中上游区域,而中游区域和上游区域则处于“追赶—超越—被反超”的状态。2002~2008年,上游地区的全要素碳生产率指数高于中游地区,2009~2011年,中游地区的全要素碳生产率追赶并超越上游地区,2012年至今,上游地区被反超。由此可以看出长江经济带全要素碳生产率的增长速度也是下游区域增长最快,中游区域和上游区域的全要素碳生产率增长速度则亦为“追赶—超越—被反超”的状态。

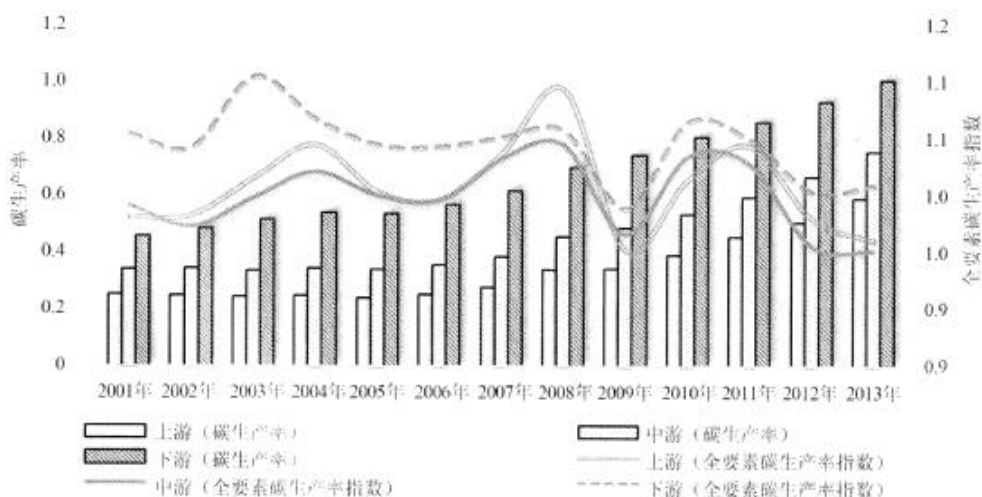


图3 2001~2013年长江经济带碳生产率与全要素碳生产率的区域分布

由表 2 和图 4 可以看出长江经济带 11 个省市的全要素碳生产率指数具体分布状况。上海的全要素碳生产率指数一直处于较高的状态,说明上海的全要素碳生产率增长速度较快;而湖南和安徽的全要素碳生产率指数一直处于较低的状态,说明此两个省份的全要素碳生产率增长速度较慢。从图中可以看出,重庆的全要素碳生产率指数变动呈“M 型”,2000 年其处于 11 个省市较低的水平,至 2008 年前后骤然提升至第一高点,随后急剧下降,至 2010 年时反弹至第二高点,随后又下降至平均水平,此情况也正好解释了图 2 中 2008 年下游全要素碳生产率指数在被上游超越的原因。

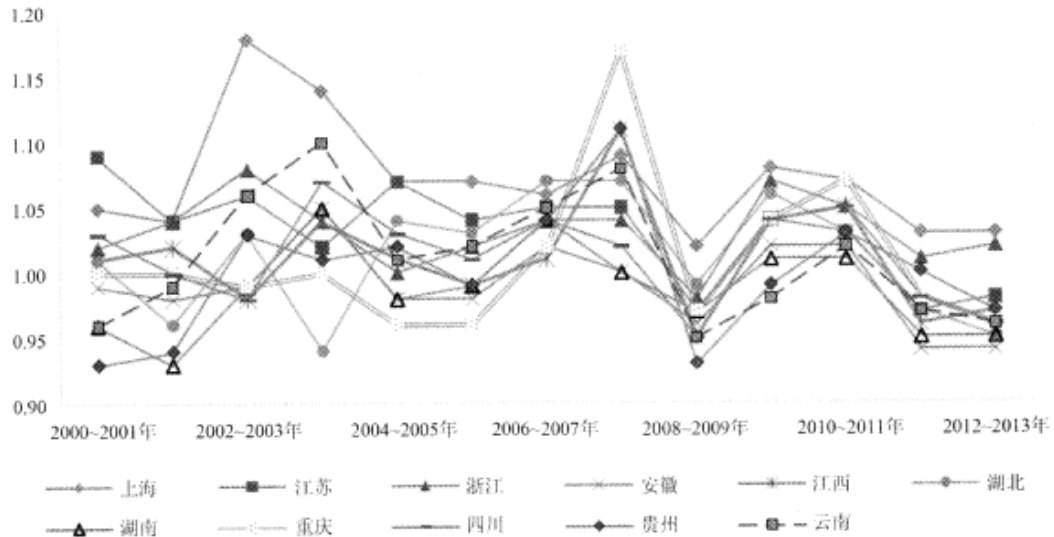


图 4 长江经济带 11 个省市的全要素碳生产率指数具体分布状况

Fig.4 11 Provinces and Cities' Total Factor Productivity Carbon Index in the Yangtze River Economic Belt

3 长江经济带全要素碳生产率提升潜力

3.1 长江经济带全要素碳生产率动力分解

根据 Malmquist 生产率指数对全要素碳生产率(TFP_{cch})进行分解,可以将其分解为技术效率的变动(EFF_{ch})和技术进步的变动(TECH_{ch}),而技术效率的变动可以分解为纯技术效率的变动(PE_{ch})和规模技术效率的变动(SE_{ch}),如表 3 所示。由表 3 可知,2000~2013 年,长江经济带全要素碳生产率平均每年增长 1.5%,其技术进步的平均增长率为 0.4%,技术效率的平均增长率为 1.1%,其中纯技术效率平均增长了 0.3%,规模技术效率

表3 长江经济带全要素碳生产率变动及分解(2000~2013年)

Tab.3 Changes and Decomposition on Total Factor Productivity Carbon in the Yangtze River Economic Belt (2000-2013)

地区	EFFch	TECHch	PEch	SEch	TFPCch
云南	1.012	0.999	0.997	1.016	1.011
贵州	1.024	0.977	1.000	1.024	1.001
四川	1.020	0.993	1.013	1.006	1.012
重庆	1.015	0.995	1.000	1.015	1.010
湖南	1.000	0.987	1.000	1.000	0.987
湖北	1.012	0.999	1.011	1.001	1.011
江西	1.016	0.994	1.000	1.015	1.009
安徽	1.011	0.980	1.010	1.001	0.990
浙江	1.000	1.031	1.000	1.000	1.031
江苏	1.010	1.021	1.000	1.010	1.031
上海	1.000	1.070	1.000	1.000	1.070
上游	1.018	0.991	1.003	1.015	1.008
中游	1.010	0.990	1.005	1.004	0.999
下游	1.003	1.041	1.000	1.003	1.044
长江经济带	1.011	1.004	1.003	1.008	1.015

注: $TFPCch = EFFch \times TECHch = PEch \times SEch \times TECHch$.

平均增长了 0.8%。因此,可以看出全要素碳生产率的提升主要是由技术效率的提高和技术进步的改善同时作用的结果,而技术效率提高是全要素碳生产率提升的主要原因。

全要素碳生产率指数在长江经济带中呈现出“两头高,中间低”的演变格局,下游地区高于上游地区,中游地区最低。上游区域全要素碳生产率平均增长 0.8%,其中技术效率增长率为 1.8,而技术进步平均降幅为 0.9%,这意味着技术进步恶化幅度并没有抵消技术效率改善带来的变化幅度,因此上游区域的全要素碳生产率还是增长的。值得注意的是,在 2000~2013 年期间,上游区域的技术效率提升最为明显,而促进技术效率提升的主要原因是规模技术效率的提升。中游区域全要素碳生产率平均下降了 0.1%,其中技术效率平均提高了 1%,而技术进步平均下降了 1%,这意味技术进步恶化的幅度已经完全抵消了技术效率提升带来的变化,故中游区域全要素碳生产率下降了。下游区域为东部经济发达的沿海省市,下游区域的全要素碳生产率平均增长 4.4%,其中技术效率提升了 0.3%,而技术进步平均提高了 4 个百分点,这说明在“十五”、“十一五”和“十二五”前半段期间内,长三角地区通过技术创新,推动了最有生产前沿向外移动,成为长江经济带的最佳“实践”区域。由此可以看出,长江经济带上游、中游和下游区域的技术效率都有不同程度的提高,其中上游技术效率的改善是其全要素碳生产率提高的主要原因,而中游区域技术进步的恶化则是造成其全要素碳生产率下降的主要原因,而下游区域全要素碳生产率提高的主要是源自技术进步的改善。

3.2 长江经济带全要素碳生产率提升潜力

根据计算可知,2000~2013 年长江经济带碳生产率平均为 0.48 万元/t,因此本文将碳生产率平均高于 0.48 万元/t 的地区划分为高碳生产率地区,将碳生产率平均低于 0.48 万元/t 的地区划分为低碳生产率地区。当全要素碳生产率大于 1 时,表明该地区的全要素碳生产率提升了,此地区为高全要素碳生产率地区,当其小于等于 1 时则为低全要素碳生产率地区。故如图 4 所示,将长江经济带 11 个省市划分为如下 4 类区域: I 区域(高碳生产率,高全要素碳生产率)、II 区域(低碳生产率,高全要素碳生产率)、III 区域(低碳生产率,低全要素碳生产率)和 W 区域(高碳生产率,低全要素碳生产率)。

由图 4 可以看出碳生产率高的地区其全要素碳生产率不一定高,而全要素碳生产率高的地区其碳生产率也不一定高。其中下游区域的 3 个省市均位于第 I 区域,这与现实情况相符,上海、江苏和浙江位于经济发达的长三角洲地区,其已经率先认识到经济发展与环境保护的协调性,并且由于该地区的技术进步的大幅提升,极大地促进了该地区全要素碳生产率和碳生产率的提高。而第 I 区域除了下游的 3 个省市之外,还有位于中游地区的江西,通过对江西的全要素碳生产率进行分解可知江西省全要素碳生产率提升的动因为技术效率的提升。第 II 区域包括 4 个省市:中游地区的湖北以及上游地区的云南、四川和重庆,此区域的碳生产率低而全要素碳生产率高。此区域虽然技术效率有了较高的提升,可是技术进步状况却逐渐恶化,故此地区提升

碳生产率应依赖于技术进步，通过技术不断创新，将生产可能性边界向外推移，进而全要素碳生产率会进一步提高。第 III 区域包括安徽和贵州两地，此区域碳生产率低而全要素碳生产率也低，此区域经济发展水平、科技创新、技术进步以及技术效率都相对落后，因此在促进经济增长的同时应通过提高技术效率和促进技术创新来提高此地区的碳生产率和全要素碳生产率。此地区的碳生产率和全要素碳生产率提升空间较大。只有湖南位于第 IV 区域，其碳生产率高而全要素碳生产率较低，湖南的经济发展水平相对于长江经济带其他省市相比应位于中上水平，而其全要素碳生产率较低的原因是由于其技术效率和技术进步情况都不容乐观，因此湖南应在保持较高经济产出的同时提高其技术效率，促进技术进步。

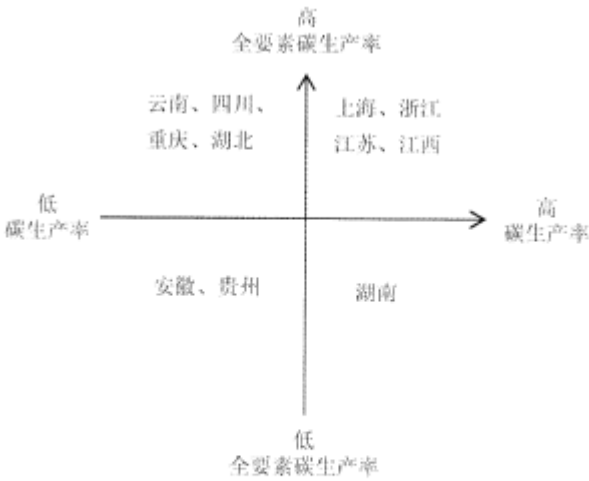


图 5 长江经济带各省市碳生产率与全要素碳生产率分布图
Fig.5 Distribution Diagram for Carbon Productivity and Total Factor Productivity Carbon in the Yangtze River Economic Belt

4 结论与建议

通过对 2000~2013 年长江经济带 11 个省市的碳生产率和全要素碳生产率进行计算，和对长江经济带全要素碳生产率的时空演化和提升动力进行分析，得出如下结论：

第一，2000~2013 年，长江经济带碳生产率一直处于震荡上升的趋势，增幅高达 136.37%，这与我国节能减排政策的实施力度有着紧密的联系。碳生产率增长率呈“W 型”，2005 年和 2009 年分别为增长率的两个低点。此期间，长江经济带全要素碳生产率指数一直处于较平稳的状态，维持在 1 上下。相比之下，碳生产率增长更加平稳，而全要素碳生产率指数增长率震荡较为剧烈。

第二，长江经济带上中下游碳生产率区域差异明显：下游>中游>上游，其中上游区域内部两极分化现象明显，中游区域内部碳生产率水平差异不大，下游区域的碳生产率一直处于较高的状态。长江经济带全要素碳生产率指数区域差异也十分明显，下游区域高于中上游区域，而中游区域和上游区域则处于“追赶—超越—被反超”的状态。

第三，全要素碳生产率指数在长江经济带中呈现出“两头高，中间低”的演变格局，下游地区高于上游地区，中游地区最低。上游区域全要素碳生产率增长的动力为技术效率的提高，而促进技术效率提升的主要原因是规模技术效率的提升；中游区域全要素碳生产率平均下降了 0.1%，这意味技术进步恶化的幅度已经完全抵消了技术效率提升带来的变化；下游区域全要素碳生产率平均增长 4.4%，其中技术效率提升了 0.3%，而技术进步平均提高了 4 个百分点，这说明在“十五”、“十一五”和“十二五”前半段期间内，长三角地区通过技术创新，推动了最有生产前沿向外移动，成为长江经济带的最佳“实践”区域。

第四，碳生产率高的地区其全要素碳生产率不一定高，而全要素碳生产率高的地区其碳生产率也不一定高。安徽和贵州两地区碳生产率提高的空间最大，而云南、四川和重庆地区也可通过技术进步、技术创新促进碳生产率应提高，上海、浙江、江苏和江西 4 个地区的碳生产率提升空间最小。

长江经济带作为我国重要的经济轴带，是实现优化经济发展空间格局的重要环节，因此，为了实现长江经济带的可持续发展，应注意以下几个方面。一是应将碳排放纳入到全要素生产率分析框架之中，因为碳排放与经济发展、能源结构有着紧密的联系，对于经济而言碳排放具有外部性，将其纳入到全要素生产率分析中更符合现实需求。二是提高能源利用率，通过技术进步促进碳生产率和全要素碳生产率的提升。三是加强长江经济带上中下游区域间的合作。无论是碳生产率还是全要素碳生产率区域之间都有着明显差异，因此，应促进上中下游区域间的合作和科学技术的交流，下游带动中游，中游联动上游，区域之间互帮互助、协调发展。四是优化长江经济带上中下游的产业结构。长江经济带上中下游各区域经济发展水平差异较大且资源禀赋各异，因此长江上中下游区域应根据自身比较优势的产业进行优化升级。

参考文献:

- [1]刘传江. 生态经济学视野下的中国生态文明发展道路[J]. 绿叶, 2015(3):47—57.
- [2]KAYA Y, YOKOBOR K. Environment, energy and economy: strategies for sustainability [M]. Strategies for Sustainability: United Nations University Press, 1997.
- [3]张成, 蔡万焕, 于同申. 区域经济增长与碳生产率—基于收敛及脱钩指数的分析[J]. 中国工业经济, 2013(5):18—30.
- [4]潘家华, 张丽峰. 我国碳生产率区域差异性研究[J]. 中国工业经济, 2011(5):47—57.
- [5]徐大丰. 碳生产率的差异与低碳经济结构调整—基于沪陕投入产出表的比较研究[J]. 上海经济研究, 2012(11):55—64.
- [6]张永军. 技术进步, 结构变动与碳生产率增长[J]. 中国科技论坛, 2011(5):114—120.
- [7]张丽峰. 基于 LMDI 分解法的我国碳生产率影响因素研究[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(7):742—745.
- [8]MENG M, NIU D X. Three-dimensional decomposition models for carbon productivity[J]. Energy, 2012, 46(1):179—187.
- [9]张成, 王建科, 史文悦, 等. 中国区域碳生产率波动的因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(10):41 共 7.
- [10]FÄRE R, GROSSKOPF S, NORRIS M, et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries[J]. The American Economic Review, 1994, 84(1):66—83.
- [11]RAMANATHAN R. An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the middle east and North Africa[J]. Energy, 2005, 30(15):2831—2842.
- [12]匡远凤, 彭代彦. 中国环境生产效率与环境全要素生产率分析[J]. 经济研究, 2012(7):62—74.
- [13]张丽峰. 基于 DEA 模型的全要素碳生产率与影响因素研究[J]. 工业技术经济, 2013(3):142—149.

[14]NAKANO M , MANAGI S . Productivity analysis with CO₂ emissions in Japan[J]. Pacific Economic Review, 2010, 15(5):708-718

[15]王兵, 吴延瑞, 颜鹏飞. 环境管制与全要素生产率增长: APEC 的实证研究[J]. 经济研究, 2008(5):19-32.

[16]刘瑞翔, 安同良. 资源环境约束下中国经济增长绩效变化趋势与因素分析—基于一种新型生产率指数构建与分解方法的研究[J]. 经济研究, 2012(11):34-47.

[17]张丽峰. 碳排放约束下中国全要素生产率测算与分解研究—基于随机前沿分析 (SFA) 方法[J]. 干旱区资源与环

[18]BEINHOCKER E , OPPENHEIMJ , IRONSB , et al . The carbon productivity challenge : Curbing climate change and sustaining economic growth[J]. McKinsey Global Institute, 2008(6):1-8.