

中国城市绿色全要素生产率测度研究

余奕杉¹ 卫平²¹

(1. 深圳大学 中国经济特区研究中心, 广东 深圳 518061;

2. 华中科技大学 经济学院, 湖北 武汉 430074)

【摘要】: 基于考虑“能源消耗”与“环境污染”的超效率 SBM 模型, 采用全局参比的 Globe-Malmquist-Luenberger (GML) 指数测算中国 283 个城市的绿色全要素生产率 (GTFP)。研究发现: (1) 城市绿色全要素生产率、技术效率和技术进步分别以年均 3.5%、1.2% 和 2.3% 的速度增长, GTFP 的增长动力主要来源于技术进步, 而作为“绿色软技术”的技术效率贡献相对不足; (2) 三大区域绿色全要素生产率平均增幅东部>中部>西部, 技术进步差异是 GTFP 区域差距形成的主要原因, 不同时期区域发展战略和环境政策在城市绿色转型中的作用存在异质性; (3) 超大及特大城市、行政等级较高的城市绿色全要素生产率增长具有领先优势, 且研究期内不同层级城市 GTFP 差距呈现先缩小后扩大的趋势。

【关键词】: 技术效率 城市层级体系 超效率 SBM 模型

【中图分类号】: F062.2; F224 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)03-043-10

经济新常态背景下, 党的十九大报告不再明确提出经济增长目标, 而是重点强调经济高质量发展。全要素生产率提升是可持续发展的主要动力, 是质量变革、动力变革、效率变革的高度统一。与此同时, 无论从资源环境的总量约束还是结构性约束看, 我国资源、环境和经济发展之间的矛盾都日益凸显, “绿色发展”是时代对经济增长的新诉求, 也是未来经济转型的发展方向。绿色全要素生产率将“能源消耗”和“环境污染”纳入经济增长分析框架, 强调经济—资源—环境协调发展的绿色发展理念, 是对传统全要素生产率的改进。因此, 考虑了能源投入与环境污染的绿色全要素生产率成为衡量经济发展质量的新指标。提升绿色全要素生产率意味着经济绩效和环境绩效的双赢, 是资源环境约束下转变经济发展方式的新动力。测算我国城市层面的绿色全要素生产率, 客观评价城市经济增长质量的时空差异, 有利于从城市维度为中国经济实现高速增长向高质量发展转变提供事实基础, 对促进我国区域经济高质量发展具有重要的现实意义。

本文的边际贡献在于: (1) 研究方法上, 构建非期望产出一超效率 SBM 模型, 结合基于全局基准技术的 Globe-Malmquist-Luenberger (GML) 指数, 科学地解决了绿色全要素生产率测算中的变量松弛、有效 DMU 可区分性、跨期可比较等关键问题, 确保了测算结果的稳健性。 (2) 数据选取上, 相较于省级层面数据, 城市数据能更真实客观地反映区域绿色全要素生产率的空间异质性, 因而测算我国 283 个城市的绿色全要素生产率弥补了城市层面相关研究的不足, 从城市层面为我国经济高质量发展的现状提供了事实基础。 (3) 研究视角上, 从总体特征、区域差异、不同城市规模层级、不同城市行政层级 4 个维度考察绿色全要素生产率的时空特征, 有利于深入分析中国经济增长质量的区域差异及其来源。

作者简介: 余奕杉, 博士, 深圳大学中国经济特区研究中心博士后, 研究方向为产业经济、区域经济。

E-mail: yushanshanyi@126.com

卫平, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为产业经济、国际贸易。E-mail: weipinghust@163.com

基金项目: 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“中国经济特区发展史”(16JJD790041); 中国科学技术协会项目“国际产业竞争中的专利战略及知识产权保护状况调查研究”(2015DCYJ07-2)

1 文献回顾

关于生产率和效率的测算方法,基于数据包络分析(DEA)基础上的 Malmquist 指数法,被广泛运用于传统全要素生产率的测算研究。为测算资源环境约束的全要素生产率,学者们将能源资源消耗产生的“非期望产出”纳入全要素生产率的 DEA 测算框架中。首先,从 DEA 效率测算方法的距离函数看,Färe 等^[1]提出了产出角度的方向性距离函数,有效解决了包含“非期望产出”的效率评价问题,但该方向距离函数没有充分考虑投入产出的变量松弛问题,估算结果存在偏差。为克服上述缺陷,Tone^[2]首先提出了基于松弛测度的包含“非期望产出”的非径向、非角度 SBM(slacks-based measure)模型。尽管非期望产出—SBM 模型在绿色效率的测算中被广泛应用,但该模型所测算的效率值介于 0 和 1 之间,无法对效率值等于 1 的有效单元进行进一步区分,而一般超效率 SBM 模型又未考虑非期望产出,现有相关文献同时考虑“非期望产出”和“超效率”的研究较少。其次,Malmquist 指数法本身是基于投入导向型或产出导向型的方向性距离函数计算 TFP,不能对称处理期望产出与非期望产出,对期望产出和非期望产出的不平衡处理会扭曲实际经济绩效评价。鉴于此,Chung 等^[3]提出基于方向性距离函数的 Malmquist-Luenberger (ML) 生产率指数,可以测度包含非期望产出的全要素生产率。但是,Malmquist-Luenberger 指数形式上不满足可传递性与可循环性要求,在测度跨期距离函数时难以克服线性规划无解问题,直到 Oh^[4]提出 Global Malmquist-Luenberger (GML) 指数方法,成功规避了线性规划无解难题,同时满足了可传递性的要求。

从绿色全要素生产率测算的样本选取看,现有研究主要从省际层面或产业层面展开,而基于城市层面数据的研究相对较少。王兵等^[5]、匡远凤和彭代彦^[6]、吴翔^[7]、谭政和王学义^[8]、李卫兵和梁榜^[9]、杨志江和文超祥^[10]等基于省级层面数据测算中国绿色效率和生产率。具体而言,王兵等^[5]、匡远凤和彭代彦^[6]测算了我国 30 个省份包含环境因素的生产效率和环境全要素生产率。吴翔^[7]测算并比较了中国三大区域及省际内的绿色经济效率和绿色全要素生产率。谭政和王学义^[8]运用动态空间面板模型分析中国省际绿色全要素生产率中的绿色软技术和硬技术,发现两种偏向绿色全要素生产率具有不同的省际空间学习效应。李卫兵和梁榜^[9]利用 SBM 方向性距离函数和 Malmquist-Luenberger 指数测算省级绿色全要素生产率及其在三大区域内的溢出效应,认为绿色全要素生产率在相邻省份存在显著的正向溢出效应且东部最大,中部次之。杨志江和文超祥^[10]使用跨期生产前沿 SBM 模型测算并分析了 1999—2012 年省际绿色发展效率,研究表明全国层面绿色发展效率“先降后升”且 2006 年后东部与中西部的绿色效率开始出现两极分化格局。也有学者基于产业层面测算中国工业行业的绿色 TFP,具体而言,陈诗一^[11]从行业角度采用方向性距离函数测算 38 个工业行业的绿色全要素生产率;杨文举在绿色经济增长核算模型框架下基于中国工业数据,采用 Malmquist-Luenberger 生产率指数分解考虑非期望产出的劳动生产率,认为忽视非期望产出会低估资本深化的经济增长贡献^[12]。岳鸿飞等^[13]基于 SBM 模型和 Luenberger 生产率指数测算我国 2006—2015 年 36 个工业行业的绿色全要素生产率,研究发现样本期内工业 GTFP 的年均增速为 0.356%,技术创新是其主要驱动因素。

从绿色全要素生产率测度的研究视角看,主要聚焦于生产率增长趋势特征和生产率增长动力来源两方面。首先,文献中对绿色全要素生产率增长趋势的研究结论包括“增长论”和“倒退论”。在“增长论”中,我国绿色全要素生产率测算结果的几何年均增长率也存在明显高低差异^[14-17],其中,部分学者认为绿色全要素生产率的正向增长速度呈现变缓趋势^[17-19]。“倒退论”观点则主要来自于对中国工业行业绿色全要素生产率的研究,认为工业绿色全要素生产率存在负增长现象^[20]。其次,关于绿色全要素生产率增长的动力源泉,多数学者指出绿色全要素生产率增长主要源于技术进步^[17-18, 21-23],也有少数学者的研究表明绿色全要素生产率增长的主要动力是技术效率改进^[16, 24]。

综上所述,由于测算方法和样本选取的差异,现有相关研究结论尚未形成共识。一方面,在测算方法上,绝大多数文献基于包含非期望产出的 SBM 模型和 ML 指数方法测度绿色全要素生产率,而综合运用非期望产出 SBM、超效率和 Global Malmquist-Luenberger (GML) 指数方法的研究较少,因而未能同时解决变量松弛、有效 DMU 可区分性、跨期可比较三大关键问题,影响了测算结果的稳健性。另一方面,大部分研究的区域尺度聚焦于省际层面,鲜有来自城市层面的证据。城市作为经济增长的核心区域,分析城市层面的绿色全要素生产率至关重要。

2 绿色全要素生产率测算方法与模型构建

2.1 非期望产出一超效率 SBM 模型

包含非期望产出的 SBM 模型仍属于标准效率模型,测得的效率值小于或等于 1,无法对 $\rho=1$ 的有效 DMU 进行进一步区分。而在超效率 SBM 模型中,允许有效 DMU 的效率值大于 1,从而可以对有效 DMU 单元进行评价和比较。因此,为同时考虑“非期望产出”与“超效率”,结合非期望产出一 SBM 模型和超效率 SBM 模型,借鉴 Li&Shi^[25]的方法构建包含非期望产出的超效率 SBM 模型。模型假设城市的生产活动是通过多种生产要素投入得到多种期望产出与非期望产出,依据环境技术框架,构建包含非期望产出的生产可能性集,进而由历年每个城市作为一个决策单元来设定最优的生产技术前沿面。定义测度绿色经济效率的环境技术集合即生产可能性集为:

$$PPS = \left\{ (X, \bar{Y}^g, \bar{Y}^b) \mid \bar{X} \geq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^L \lambda_j x_j, \bar{Y}^g \leq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^L \lambda_j y_j^g, \right. \\ \left. \bar{Y}^b \geq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^L \lambda_j y_j^b, L \leq e\lambda \leq \mu, \lambda_j \geq 0 \right\} \quad (1)$$

式中:每个城市的投入产出模式对应 m 种投入、 s_1 种期望产出和 s_2 种非期望产出。 X 表示 m 维投入向量, Y^g 表示 s_1 维期望产出, Y^b 表示 s_2 维非期望产出向量,分别符合 $X=(x_1, x_2, \dots, x_m) \in R_+^m$, $Y^g=(y_1^g, y_2^g, \dots, y_{s_1}^g) \in R_+^{s_1}$, $Y^b=(y_1^b, y_2^b, \dots, y_{s_2}^b) \in R_+^{s_2}$ 。其中, X 、 Y^g 符合强可处置性条件, Y^b 符合弱可处置性条件。 $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_L)$ 表示 L 维权重向量。($L=1, \mu=1$) 表示生产绿色技术规模报酬可变 (VRS); ($L=0, \mu=\infty$) 表示生产过程规模报酬不变 (CRS)。过度投入以向量 $s^- \in R_+^m$ 表示, $s^b \in R_+^{s_2}$ 表示非期望产出过多, $s^g \in R_+^{s_1}$ 表示期望产出不足。根据超效率 SBM 模型可推导出非期望产出一超效率 SBM 模型,模型构建为:

$$\rho = \min_{\lambda, \bar{x}, \bar{y}^g, \bar{y}^b} \frac{\sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}_i}{x_{io}}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{y_r^g}{y_{ro}^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{y_k^b}{y_{ko}^b} \right)}$$

$$s.t. \bar{X} \geq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^L \lambda_j x_j$$

$$\bar{Y}^g \leq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^L \lambda_j y_j^g \quad (2)$$

$$\bar{Y}^b \geq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^L \lambda_j y_j^b$$

$$\bar{X} \geq x_o, \bar{Y}^g \leq y_o^g, \bar{Y}^b \geq y_o^b$$

$$\bar{Y}^g \geq 0, \bar{Y}^b \geq 0, L \leq e\lambda \leq \mu, \lambda_j \geq 0$$

$$\bar{x}_i = x_{io} + s^- (i=1, \dots, m)$$

$$\bar{y}_r^g = y_{ro}^g - s^g (r=1, \dots, s_1)$$

$$\bar{y}_k^b = y_{ko}^b + s^b (k=1, \dots, s_2)$$

式中： $\bar{x}_t, \bar{y}_t^g, \bar{y}_t^b$ 表示被评价单元投入产出的投影值（目标值），而 $x_{it}, y_{it}^g, y_{it}^b$ 则为相应的原始值。

2.2 Globe-Malmquist-Luenberger 指数

绿色全要素生产率指数同时考虑了实际生产与生产前沿面的相对关系（效率变化），以及每个单元生产前沿面边界的变化（技术进步）两个方面。全局参比的 Globe-Malmquist-Luenberger 指数是将所有各期的总和作为参考集，具有跨期可比较的优点。可将 GML 指数分解为技术进步指数 (GTC) 和技术效率指数 (GEF)：

$$\begin{aligned} GML &= GEF * GTC \\ &= \frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^g(x^t, y^t)} = \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t)} \\ &\quad \left[\frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{E^t(x^t, y^t)}{E^g(x^t, y^t)} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

$$GEF = \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t)} \quad (4)$$

$$GTC = \frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{E^t(x^t, y^t)}{E^g(x^t, y^t)} \quad (5)$$

式中： x^t, y^t 表示被评价单元在 t 期的投入产出数值， E^g, E^t 分别表示全局前沿和前沿 t 期的效率值。

在非参数框架下，本文在非期望产出一超效率 SBM 效率测度模型的基础上，构造一个非角度、非径向的 MPI，公式为：

$$\begin{aligned} GML_o^{T,T+1} &= \frac{\rho_o^{T+1}(x_o^{T+1}, y_o^{g,T+1}, y_o^{b,T+1})}{\rho_o^T(x_o^T, y_o^{g,T}, y_o^{b,T})} * \left[\frac{\rho_o^g(x_o^{T+1}, y_o^{g,T+1}, y_o^{b,T+1})}{\rho_o^{T+1}(x_o^{T+1}, y_o^{g,T+1}, y_o^{b,T+1})} * \right. \\ &\quad \left. \frac{\rho_o^T(x_o^T, y_o^{g,T}, y_o^{b,T})}{\rho_o^g(x_o^T, y_o^{g,T}, y_o^{b,T})} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

式中： $GML_o^{T,T+1}$ 测度城市由 T 到 $T+1$ 时期绿色 TFP 的变动。 $\rho_o^T(x_o^T, y_o^{g,T}, y_o^{b,T})$ 、 $\rho_o^{T+1}(x_o^{T+1}, y_o^{g,T+1}, y_o^{b,T+1})$ 分别表示城市在 T 、 $T+1$ 时期的效率值； $\rho_o^g(x_o^T, y_o^{g,T}, y_o^{b,T})$ 是基于全局各期生产技术和 T 时期投入产出值的效率值； $\rho_o^{T+1}(x_o^{T+1}, y_o^{g,T+1}, y_o^{b,T+1})$ 是基于全局各期生产技术和 $T+1$ 时期投入产出值的效率值。 $\frac{\rho_o^g(x_o^{T+1}, y_o^{g,T+1}, y_o^{b,T+1})}{\rho_o^{T+1}(x_o^{T+1}, y_o^{g,T+1}, y_o^{b,T+1})}$ 反映了前沿 $T+1$ 与全局前沿的接近程度， $\frac{\rho_o^T(x_o^T, y_o^{g,T}, y_o^{b,T})}{\rho_o^g(x_o^T, y_o^{g,T}, y_o^{b,T})}$ 反映了前沿 T 与全局前沿的接近程度。若 $GML_o^{T,T+1} = 1$ ，表明绿色 TFP 没有变化；若 $GML_o^{T,T+1} < 1$ ，表明绿色 TFP 退步；若 $GML_o^{T,T+1} > 1$ ，表明绿色 TFP 提高。

3 变量设定与数据来源说明

3.1 变量设定

3.1.1 投入指标

(1) 劳动力投入。

选择各城市全市年末单位从业人员数、私营和个体从业人员数总和代表劳动投入。

(2) 资本投入。

关于资本存量的估算, Goldsmith 的永续盘存法计算公式为: $K_{it} = (1-d)K_{i,t-1} + I_{it}$, 其中 i 和 t 表示地区和年份, K 、 I 分别表示资本存量和新增社会固定资产投资, d 表示固定资产折旧率。使用永续盘存法估算城市资本存量时主要涉及当期投资指标的选择、基期资本存量的计算、折旧率的选择和投资平减四个问题。投资指标选择城市全市全社会固定资产投资总额, 并用所在省份历年固定资产投资价格指数进行平减处理。本文采用单豪杰^[26]的算法, 折旧率设定为 10.96%。基期资本存量的计算参考 Hall&Jones^[27]的做法, 用实际固定资本形成总额的年均增长率和折旧率之和计算, 公式为: $K_{i,t} = \frac{I_{i,t}}{g_i + d}$, 其中 g_i 为一段时间内实际投资的几何平均增长率。

(3) 能源投入。

在国家层面和省级层面的相关研究中, 多数学者选取“煤炭消费量”或“石油消耗量”衡量能源投入, 然而城市层面上煤炭与石油等能源数据没有统计, 且煤气、液化石油气数据严重缺失, 故本文采用全社会用电量做为城市能源投入的代理指标。

3.1.2 产出指标

(1) 期望产出。

产出指标由城市全市实际 GDP 表示, 以 2003 年为基期, 根据各城市所在省份的历年 GDP 指数算得 GDP 平减指数, 进而对各个城市历年名义 GDP 进行平减消除价格因素的影响。

(2) 非期望产出。

参考涂正革^[28]对省级层面的相关研究, 本文以城市全市工业 SO₂排放量、工业废水排放量和工业烟尘排放量作为非期望产出。

3.2 数据来源与变量描述性统计

由于我国大多数地级市 2003 年以前的相关数据严重缺失, 本文选取的样本是 2003—2016 年中国 283 个地级及以上城市的面板数据, 原始数据主要来源于相关年份的《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》。考虑到 2011—2013 年, 国务院撤销了安徽省的地级市巢湖, 在贵州省将毕节和铜仁升级为地级市, 在海南设立三沙市并在青海设立海东市, 为保证数据的完整性, 本文涉及的城市是除西藏自治区、巢湖市、毕节市、铜仁市、三沙市、儋州市、海东市、陇南市和中卫市之外的中国 283 个地级及以上城市, 个别城市的缺失数据均采用插值法补充。投入产出指标各变量的描述性统计见表 1 所示。

4 测算结果与分析讨论

4.1 中国城市绿色全要素生产率指数的总体特征与时间趋势

利用 MaxDEA7Ultra 软件, 基于包含非期望产出的超效率 SBM 模型与全局参比的 GML 指数方法, 测算我国 2004—2016 年 283 个城市的历年绿色全要素生产率指数及其分解成分。下面从各城市 GML 指数几何年均增长率、城市 GML 指数增长类型分类统计、

城市 GML 指数及其分解项时序变化、城市 GML 指数增长源泉分类统计等四个方面分析城市 GTFP 变化的总体特征与时间趋势。

(1) 中国 283 个城市 2004—2016 年绿色全要素生产率年均增长率分析。

表 2 所示为我国 283 个城市绿色全要素生产率指数在样本期内的几何均值。由样本期间城市 GML 指数几何均值看,我国 228 个城市的绿色全要素生产率得到了改善,占比达到样本城市总数的 80.5%,说明我国大部分城市近年来在不同程度上实现了绿色全要素生产率增长。从全国城市整体层面看,中国城市绿色全要素生产率在 2004—2016 年,年均上升了 3.5 个百分点。全国城市中,北京市是绿色全要素生产率增长最快的城市,其 GML 指数几何平均变化率达到 1.154,其次是三亚的 1.135 和长沙的 1.122。另一方面,GML 指数年平均下降程度最大的城市依次是汕尾市、宁德市和巴中市,下降幅度分别为 8.5%、7.9%和 6.4%。

(2) 城市 GML 指数增长类型分类统计。

对历年各城市绿色全要素生产率的变化程度进行分类统计,划分为高增长率城市(GTFP 变化量 $\geq 20\%$)、中速增长率城市($10\% \leq \text{GTFP 变化量} < 20\%$)、低增长率城市($0\% \leq \text{GTFP 变化量} < 10\%$)和负增长率城市(GTFP 变化量 $< 0\%$)4 种类型,不同时间点 4 种类型城市的统计分布情况见表 3 所示。从负增长率城市的个数变化看,可分为 3 个阶段:第一阶段,2004 年绿色全要素生产率负增长的城市多达 140 个,2006—2008 年这一状况得到显著改善,相应数目下降至 2007 年的 100 个及 2008 年的 76 个,可能的原因是 2000 年后我国加入 WTO 成为世界大工厂,经济增长方式粗放。而 2006 年国家加大环境规制和节能减排力度,促使部分污染型企业或减产退出市场,或迫于倒逼机制而加大对绿色技术的使用,从而改善了绿色效率。第二阶段为 2009—2011 年,GTFP 负增长的城市数量反弹至 136 个,可能的原因是 2008 年国际金融危机爆发,2009 年政府出台 4 万亿元投资项目对抗经济硬着陆风险,导致一批经济增长见效快但高耗能、高污染的项目卷土重来。第三阶段为 2011—2016 年,GTFP 负增长率城市数量在 2012 年降至 80 个,2016 年降至 53 个,这得益于“十二五”规划重点强调了环境保护、节能减排的政策目标。微观层面上,较强的环境规制力度加大了企业排污成本,倒逼企业生产流程技术创新、工艺创新与减排技术创新。宏观层面上,地方政府大力支持环境友好型的高新技术产业发展,积极布局战略新兴产业。低增长率城市与负增长率城市的数目变化存在一定的互补性关系,而中速增长率城市数量的变化幅度不大,基本趋势同以上各时段情况一致。高增长率城市数量主要在 2012 年以后显著增加,2016 年达到 88 个,说明在这一阶段国家实施的创新驱动战略和环境规制卓有成效,创新驱动政策是正向激励,而环境规制则是反向倒逼,自主创新和环境规制的双轮驱动有利于城市绿色全要素生产率的有效改善。

表 1 投入产出指标描述性统计

指标	变量	单位	观察值个数	均值	标准差	最小值	最大值
投入指标	劳动力投入	万人	3962	90.61129	129.6657	5.583	1729.076
	资本存量	万元	3962	29600000	43500000	510280.6	530000000
	能源投入	万千瓦时	3962	729566.9	1277758	2248	14900000
期望产出	实际 GDP	万元	3962	11300000	17200000	317731	218000000
非期望产出	工业 SO ₂ 排放量	万吨	3962	58512.26	59226.24	2	683162
	工业废水排放量	吨	3962	7472.749	9602.261	7	91260
	工业烟尘排放量	吨	3962	33076.27	120827.7	34	5168812

表 2 2004—2016 年中国 283 个城市绿色全要素生产率指数几何均值

地区 (GML)	地区 (GML)	地区 (GML)	地区 (GML)	地区 (GML)	地区 (GML)
北京 (1.154)	吉林 (1.031)	马鞍山 (1.052)	菏泽 (1.076)	佛山 (1.067)	雅安 (1.060)
天津 (1.097)	四平 (1.059)	淮北 (1.048)	郑州 (1.049)	江门 (0.967)	巴中 (0.934)
石家庄 (1.068)	辽源 (1.086)	铜陵 (1.069)	开封 (1.006)	湛江 (1.045)	资阳 (1.023)
唐山 (1.054)	通化 (1.010)	安庆 (1.028)	洛阳 (1.038)	茂名 (1.037)	贵阳 (1.017)
秦皇岛 (1.052)	白山 (1.061)	黄山 (1.004)	平顶山 (1.020)	肇庆 (0.985)	六盘水 (1.032)
邯郸 (1.028)	松原 (1.102)	滁州 (0.955)	安阳 (1.034)	惠州 (0.991)	遵义 (1.038)
邢台 (1.030)	白城 (1.052)	阜阳 (0.988)	鹤壁 (1.031)	梅州 (1.073)	安顺 (1.006)
保定 (1.016)	哈尔滨 (1.065)	宿州 (0.965)	新乡 (1.052)	汕尾 (0.915)	昆明 (1.026)
张家口 (1.069)	齐齐哈尔 (1.025)	六安 (0.984)	焦作 (1.046)	河源 (1.016)	曲靖 (0.988)
承德 (1.046)	鸡西 (1.008)	亳州 (0.981)	濮阳 (1.035)	阳江 (0.995)	玉溪 (0.996)
沧州 (1.058)	鹤岗 (1.017)	池州 (1.041)	许昌 (0.999)	清远 (1.048)	保山 (0.999)
廊坊 (1.025)	双鸭 (1.016)	宣城 (0.971)	漯河 (1.011)	东莞 (0.981)	昭通 (0.985)
衡水 (1.013)	大庆 (1.025)	福州 (0.999)	三门峡 (1.053)	中山 (1.042)	丽江 (0.996)
太原 (1.084)	伊春 (1.003)	厦门 (0.999)	南阳 (1.021)	潮州 (0.994)	普洱 (1.024)
大同 (1.050)	佳木斯 (1.020)	莆田 (0.980)	商丘 (1.025)	揭阳 (0.941)	临沧 (0.984)
阳泉 (1.049)	七台河 (1.014)	三明 (1.035)	信阳 (1.035)	云浮 (1.015)	西安 (1.072)
长治 (1.062)	牡丹江 (1.013)	泉州 (0.982)	周口 (1.019)	南宁 (1.026)	铜川 (1.051)
晋城 (1.028)	黑河 (1.007)	漳州 (0.970)	驻马店 (1.002)	柳州 (1.034)	宝鸡 (1.062)
朔州 (1.067)	绥化 (1.017)	南平 (0.996)	武汉 (1.071)	桂林 (1.024)	咸阳 (1.067)
晋中 (1.027)	上海 (1.098)	龙岩 (1.021)	黄石 (1.014)	梧州 (1.018)	渭南 (1.018)
运城 (1.044)	南京 (1.048)	宁德 (0.921)	十堰 (1.009)	北海 (1.021)	延安 (0.988)
忻州 (1.057)	无锡 (1.001)	南昌 (1.006)	宜昌 (1.024)	防城港 (0.990)	汉中 (1.049)
临汾 (1.012)	徐州 (1.041)	景德镇 (1.030)	襄阳 (1.022)	钦州 (1.017)	榆林 (1.082)
吕梁 (1.023)	常州 (1.018)	萍乡 (1.028)	鄂州 (1.016)	贵港 (1.027)	安康 (1.058)
呼和浩特 (1.082)	苏州 (1.002)	九龙 (1.051)	荆门 (1.013)	玉林 (1.028)	商洛 (1.005)
包头 (1.086)	南通 (1.014)	新余 (1.087)	孝感 (0.966)	百色 (1.055)	兰州 (1.065)

乌海(1.063)	连云港(1.036)	鹰潭(1.062)	荆州(0.984)	贺州(0.989)	嘉峪关(1.025)
赤峰(1.069)	淮安(1.028)	赣州(1.024)	黄冈(0.997)	河池(1.053)	金昌(1.002)
通辽(1.040)	盐城(0.988)	吉安(0.979)	咸宁(1.000)	来宾(1.027)	白银(1.038)
鄂尔多斯(1.068)	扬州(1.027)	宜春(0.984)	随州(1.013)	崇左(1.056)	天水(1.024)
呼伦贝尔(1.042)	镇江(1.038)	抚州(0.982)	长沙(1.122)	海口(1.040)	武威(1.003)
巴彦卓儿(1.035)	泰州(0.994)	上饶(0.995)	株洲(1.050)	三亚(1.135)	张掖(1.041)
乌兰察布(1.052)	宿迁(0.969)	济南(1.011)	湘潭(1.053)	重庆(1.060)	平凉(0.998)
沈阳(1.046)	杭州(1.048)	青岛(1.064)	衡阳(1.015)	成都(1.045)	酒泉(1.017)
大连(1.092)	宁波(1.032)	淄博(1.054)	邵阳(0.980)	自贡(1.010)	庆阳(1.017)
鞍山(1.017)	温州(0.993)	枣庄(1.061)	岳阳(1.005)	攀枝花(1.027)	定西(1.004)
抚顺(1.008)	嘉兴(1.011)	东营(1.101)	常德(1.000)	泸州(1.001)	西宁(1.074)
本溪(1.019)	湖州(1.019)	烟台(1.056)	张家界(1.082)	德阳(1.007)	银川(1.078)
丹东(1.036)	绍兴(0.985)	潍坊(0.963)	益阳(1.031)	绵阳(1.042)	石嘴山(1.058)
锦州(1.004)	金华(0.987)	济宁(1.062)	郴州(1.020)	广元(1.006)	吴忠(1.012)
营口(1.049)	衢州(1.049)	泰安(1.048)	永州(1.013)	遂宁(1.024)	固原(1.006)
阜新(1.030)	舟山(1.064)	威海(1.025)	怀化(1.009)	内江(1.003)	乌鲁木齐(1.033)
辽阳(1.054)	台州(1.014)	日照(1.027)	娄底(1.057)	乐山(1.032)	克拉玛依(1.009)
盘锦(1.018)	丽水(1.013)	莱芜(1.041)	广州(1.087)	南充(1.007)	几何平均值 1.035
铁岭(1.050)	合肥(1.055)	临沂(1.013)	韶关(1.070)	眉山(1.017)	
朝阳(1.038)	芜湖(1.032)	德州(1.070)	深圳(1.080)	宜宾(1.063)	
葫芦岛(1.021)	蚌埠(1.049)	聊城(1.083)	珠海(1.027)	广安(0.960)	
长春(1.020)	淮南(1.047)	滨州(1.010)	汕头(1.009)	达州(0.957)	

表 3 主要年份城市 GTFP 增长类型个数统计

年份	负增长率城市/个数	低增长率城市/个数	中速增长率城市/个数	高增长率城市/个数
2004	140	89	30	24
2006	100	116	44	23

2007	96	107	45	35
2008	76	100	70	36
2010	102	110	43	28
2011	136	92	26	29
2012	80	116	45	42
2016	53	92	50	88

(3) 城市 GML 指数及其分解项的时序变化趋势。

中国城市 2004—2016 年历年绿色全要素生产率 GML 指数及其分解指标 GEC 指数、GTC 指数见表 4 所示。GML、GTC 和 GEC 指数的几何年均增长率分别为 3.5%、2.3%和 1.2%，且 2007 年后 GML 指数和 GTC 指数始终大于 1，而 GEC 指数在 1 上下小幅波动。由此可见，样本期内城市绿色全要素生产率增长动力主要来自技术进步，而技术效率改进的贡献相对较小。这与近年来创新驱动背景下我国专利数量激增，技术进步成效显著，但发明专利市场转化率不高的事实基本一致。究其原因，技术创新、投资规模和投入产出率共同决定发明专利的市场转化率，技术创新成果转化的高市场风险导致创新成果产业转化率低，即使技术进步明显，但应用转化率和投入产出率低使得技术效率增长乏力。这意味着，创新驱动战略在支持技术创新的同时需进一步完善知识产权保护体系建设，降低高技术成果转化机会成本，促进绿色技术成果产业化，拓展技术效率的改进空间。

进一步，分阶段分析绿色全要素生产率及其分解项指数的变化趋势。如图 1 所示，2004 年和 2005 年 GML 指数显示城市绿色全要素生产率负增长，源于这一阶段我国凭借廉价的自然资源和劳动力优势成为世界工厂，单纯追求经济增长数量的粗放发展模式不利于经济增长质量提升。2006 年作为“十一五”开局之年，绿色全要素生产率呈现正向增长，同比增长 2 个百分点，技术效率显著提升的同时技术进步变化却出现倒退。可能的原因是，2006 年政府出台多项环保法律法规，而短期内技术进步难以奏效，故而地方政府和企业将环境保护节能减排的重点放在了改善绿色技术效率上，改善资源配置效率使城市经济的实际投入产出模式向自身的生产技术前沿面靠近。2006 年到 2008 年城市 GML 指数和技术进步指数持续上升，环境管制政策逐步通过促进技术进步推动绿色全要素生产率提升。然而，2009 年这一正向增长趋势开始回落并持续至 2011 年，原因在于 2008 年国际金融危机导致期望产出下降，为保增长稳经济，2009 年我国实施了为期 2 年的经济刺激计划，在 4 万亿投资及其强有力货币乘数效应作用下，地方快速上马大量固定资产投资，投资领域多为基础设施，重工业比例再次加大，中国经济 GDP“保八”任务得以完成，却也带来了产能过剩和环境污染。“十二五”期间我国开始实施“绿色发展指标”这一以“绿色发展”为核心的政绩考核指标，促使各地政府在重视经济增长的同时必须考虑生态环境代价，加之“十二五”期间国家大力倡导创新驱动战略，使得 2011 年后我国城市绿色全要素生产率增长率再次提高，2012 年三项指标恢复到 2009 年前的水平。在“十三五”规划的开局之年，2016 年城市 GML 指数和 GTC 指数均上升至样本期内最高水平。

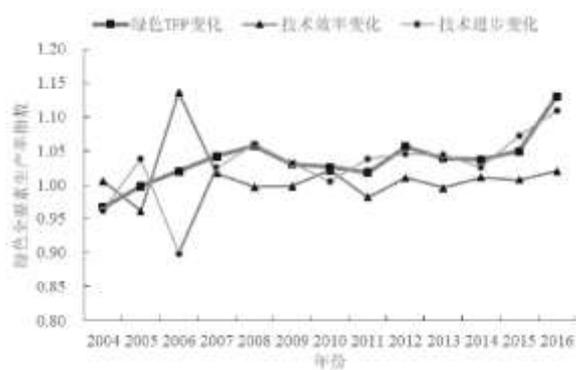


图 12004—2016 年中国城市绿色全要素生产率指数及其分解指标

(4) 城市 GML 指数增长源泉分类统计。

表 4 2004—2016 年中国 283 个城市绿色全要素生产率及其分解指标

指数	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	均值
GML	0.967	0.998	1.020	1.042	1.057	1.030	1.026	1.018	1.056	1.039	1.037	1.049	1.130	1.035
GEC	1.005	0.961	1.135	1.017	0.997	0.998	1.021	0.981	1.010	0.995	1.011	1.007	1.020	1.012
GTC	0.962	1.038	0.899	1.025	1.060	1.032	1.005	1.037	1.045	1.044	1.026	1.072	1.109	1.023

表 5 2004—2016 年城市 GTFP 几何平均值指标统计

指标	大于 1(城市个数)	占比/%
GML 指数	228	80.6
EC	138	48.8
TC	247	87.3
GTFP 改善总数	228	—
EC	122	53.5
TC	209	91.7
EC>1 且 TC>1	103	45.2
GTFP 下降总数	53	—
EC>1	14	26.4

TC>1	37	69.8
------	----	------

从绿色全要素生产率增长源泉角度,对 2004—2016 年城市 GTFP 几何均值分布状况进行统计,城市 EC 指数和 TC 指数变化情况的分类结果见表 5。绿色全要素生产率增长源泉包括代表“绿色硬技术”的技术进步和表征“绿色软技术”的技术效率提升,二者的交互效应为绿色全要素生产率增长效应。其中“绿色硬技术”是通过技术自主创新或技术引进模仿的方式使得城市的生产可能性前沿面向更高方向外推,实现“增长效应”。而“绿色软技术”则往往是在即有生产可能性边界的基础上,宏观上通过制度创新、政策激励,微观上通过技术管理模式创新等“软技术”改善资源配置效率,增强绿色技术的产业化能力,推进现实的投入产出模式向“最佳生产前沿面”逼近。由表 5 的统计数据可知,2004—2016 年全国有 87.3%的城市实现了技术进步增长率提升,48.8%的城市技术效率得到改善。一方面,从绿色全要素生产率增长得到改善的 228 个城市看,其中有 122 个城市的技术效率变化率正向增长,209 个城市的技术进步变化率正向增长,103 个城市的 EC 指数和 TC 指数同时大于 1,说明在绿色全要素生产率变化正向增长的城市中仅有 19 个城市是单纯源于技术效率改进的贡献,而有 106 个城市的绿色全要素生产率增长仅源于技术进步的贡献。另一方面,在绿色全要素生产率增长情况恶化的 53 个城市中,有 69.8%的城市技术进步变化率正向增长,仅有 26.4%的城市绿色技术效率改善,说明城市绿色全要素生产率变化负增长的症结在于技术效率改进明显不足。总之,GML 指数增长主要是技术进步变化的贡献,而技术效率对绿色全要素生产率增长的贡献相对不足,即绿色全要素生产率增长源泉主要得益于表征“最佳实践者”的生产前沿面改进,然而在现实生产过程中对技术创新成果的利用效率仍存在较大改善空间。这与上文的时序变化图中得出我国城市绿色全要素生产率增长主要得益于技术进步的结论相一致,进一步佐证了城市绿色转型的技术创新潜力得到了明显提升,但城市绿色转型“软环境”的改善尚需进一步加强。

4.2 分区域城市绿色全要素生产率指数的异质性分析

将 283 个城市按东、中、西三大区域分组,三大区域城市历年绿色 GML 指数及其分解项见表 6。三大区域绿色 GML 指数的变化趋势都经历了先上升后下降再上升的发展阶段,且近年来有趋同趋势。然而不同区域绿色 GML 指数发生明显增长变化的时间点存在差异,说明东、中、西区域内城市绿色转型的动力机制可能不同。总体上 GTFP 增长幅度东部>中部>西部,其中中部和西部 GTFP 增长差距较小。总体层面上绿色全要素生产率指数表明我国城市经济在 2006 年呈现绿色转型发展。2006—2008 年,三大区域绿色全要素生产率保持持续增长态势,东部城市绿色 GML 指数增长幅度最大,其次是中部。东部城市绿色全要素生产率增长率在 2005 年实现正向增长,时间上比全国平均水平提前 1 年。2009—2011 年,中西部绿色全要素生产率增长出现下降趋势,而东部 GML 指数的下降趋势相对平缓。2011 年后,三大区域的绿色全要素生产率指数均出现不同程度的复苏,到样本期末 2016 年三大区域 GML 指数增长差距再次缩小。从东、中、西三大区域绿色全要素生产率增长源泉看,东部城市绿色 GML 指数领先依靠的是技术进步。技术进步变化仍然是各区域城市绿色全要素生产率增长的主要动力,而作为“绿色软技术”的技术效率变化对城市绿色全要素生产率的贡献不足。这意味着,如果技术进步成果未能有效转换为企业绿色制造能力,则可能产生技术创新投入对其他实际生产投入的“挤出效应”,弱化技术进步对绿色全要素生产率增长的促进作用。

表 6 2004—2016 年城市绿色 GML 指数及其成分的区域比较

年份	GML 指数			EC 成分			TC 成分		
	东部	中部	西部	东部	中部	西部	东部	中部	西部
2004	0.983	0.965	0.952	1.004	1.007	1.006	0.981	0.958	0.944
2005	1.010	0.987	0.996	0.970	0.955	0.957	1.046	1.033	1.035
2006	1.036	1.009	1.014	1.058	1.202	1.148	0.983	0.837	0.870

2007	1.065	1.030	1.028	1.025	1.018	1.007	1.047	1.009	1.016
2008	1.077	1.053	1.037	1.012	0.998	0.977	1.069	1.053	1.058
2009	1.055	1.023	1.007	1.024	0.986	0.981	1.035	1.029	1.031
2010	1.051	1.018	1.005	1.028	1.002	1.036	1.027	1.012	0.970
2011	1.025	1.016	1.012	0.969	0.982	0.997	1.058	1.034	1.015
2012	1.046	1.057	1.066	0.997	1.019	1.016	1.050	1.038	1.049
2013	1.039	1.042	1.036	0.994	1.002	0.991	1.045	1.040	1.044
2014	1.032	1.030	1.051	1.004	1.009	1.023	1.030	1.021	1.027
2015	1.047	1.041	1.064	1.021	0.983	1.019	1.065	1.101	1.045
2016	1.139	1.127	1.123	1.026	1.019	1.014	1.110	1.106	1.108
几何均值	1.046	1.030	1.029	1.010	1.013	1.012	1.042	1.020	1.015

区域差异形成机制分析。从传统经济地理学角度看,经济发达地区往往具有区位优势,而欠发达地区存在空间上的非平衡初始制约因素。仅依靠西部大开发等政策的财政支持,而缺乏促进区域发展模式转型升级的制度型政策工具,仍然难以在短期内转变其粗放式的生产模式与不合理的产业结构,故而三大区域存在人力资本积累差异、技术创新差异、技术溢出差异、工业化城市化差异。东部地区尤其是三大城市群城市之间,在研发和生产加工方面形成了有效合理的分工协作机制,是中国先进制造业和高端服务业的聚集区。而中西部地区内部经济协作程度偏低,对外开放程度和市场化程度低于东部,投资主体相对单一,低碳高技术产业发展不足,难以通过有效的市场力量促进资源配置效率提升。1999年我国有色、钢铁和能源等重化工业的快速发展加剧了能源消耗与城市工业三废排放,多年的区域非均衡发展实现了GDP高速增长,却忽视了资源环境代价。伴随2000年开始实施的“西部大开发”和2006年“中部崛起”等区域协调发展战略,东部大量高耗能、高污染产业转移至中西部,加重了中西部地区节能减排压力,中西部城市绿色全要素生产率增长在一定程度上受到抑制。而东部凭借基础设施、技术、人才和信息等前置性的区位优势,承接国外高新技术产业,技术密集的高附加值产业在东部集聚,东部产业结构优化升级。2006年国家开始重视节能减排,并在各地区节能减排责任体系下制定相应的约束性目标,但这一阶段我国制定的节能减排政策具有地区非对称性特点,在区域间非均衡化实施的环境规制政策使得中西部地区成为东部地区的“污染避难所”。东部地区更为严格的环境标准在倒逼东部发达地区产业结构实现产业间和产业内升级的同时,进一步加速了污染产业向中西部城市转移。梯度差异化环境规制背景下的区域间产业转移致使中西部城市承受了更大的环境负外部性,使得这一阶段东部绿色全要素生产率指数明显高于中西部城市。这说明提升中西部城市绿色全要素生产率应该注重技术、信息和人才在中西部城市集聚的同时,限制高污染产业转移到中西部,引导高新技术产业特别是战略新兴型产业在中西部区域发展。2009—2011年,三大区域城市绿色全要素生产率指数出现一定程度的下降趋势,但中西部绿色GML指数的下降幅度明显高于东部。究其原因,2008年金融危机后国家4万亿投资计划的大量资金进入中西部,然而在欠发达地区生产模式、管理体系和产业结构低端锁定的背景下,以保增长为目的的投资加剧了高耗能、高污染产业产能过剩,进一步抑制了城市绿色转型的进程。“十二五”期间,随着五年规划不断推进,各级政府把产业结构调整、创新驱动和节能减排放到更加重要的位置,各区域大力发展高新技术产业,在一定程度上减小了三大区域间绿色全要素生产率指数的增长差异。

4.3 城市层级体系下绿色全要素生产率指数异质性分析

我国2004—2016年不同层级城市历年绿色全要素生产率指数统计结果见表7、图2所示。

表 7 2004-2016 年不同层级城市绿色全要素生产率指数比较

年份	不同人口规模城市				不同城市等级体系			
	中小城市	II 型大城市	I 型大城市	超大及特大城市	地级城市	省会城市	副省级城市	国家中心城市
2004	0.983	0.943	0.987	1.014	0.961	1.008	1.003	1.016
2005	1.011	0.979	0.990	1.016	0.992	1.056	1.013	1.065
2006	1.013	1.017	1.038	1.096	1.014	1.071	1.066	1.102
2007	1.028	1.050	1.065	1.073	1.037	1.064	1.073	1.081
2008	1.046	1.064	1.074	1.078	1.060	1.067	1.042	1.058
2009	1.037	1.022	1.027	1.041	1.026	1.042	1.037	1.051
2010	1.031	1.020	1.022	1.039	1.024	1.024	1.053	1.060
2011	1.026	1.010	1.014	1.018	1.019	1.010	1.016	1.020
2012	1.051	1.060	1.076	1.043	1.054	1.079	1.043	1.045
2013	1.032	1.038	1.064	1.087	1.035	1.047	1.078	1.090
2014	1.027	1.041	1.059	1.071	1.030	1.068	1.049	1.072
2015	1.047	1.042	1.076	1.112	1.042	1.097	1.090	1.102
2016	1.127	1.109	1.210	1.262	1.115	1.220	1.268	1.263
几何均值	1.035	1.030	1.053	1.074	1.031	1.064	1.062	1.077

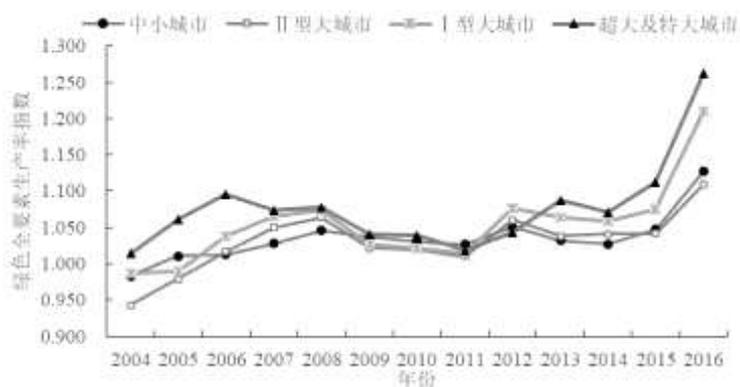


图 2 2004—2016 年中国不同人口规模城市的绿色全要素生产率指数

从不同城市人口规模层级看,2004—2016 年超大及特大城市的绿色全要素生产率增长率最高, I 型大城市次之, 而 II 型大城市 GML 指数最小。究其原因, 市辖区人口规模 500 万以上的城市大多具有人力资本储备优势、集聚经济的规模经济优势和完善的

公共基础设施优势,同时在公众环保意识和环境政策执行力度方面都相对较强,这些都有利于特大及超大城市内的企业形成“共享效应”和“学习效应”,通过绿色技术创新和技术效率提升促进城市经济高质量发展。从时序变化趋势看,不同规模层级城市绿色转型的起始时间存在差异,超大及特大城市从 2004 年就实现并保持了绿色全要素生产率的正增长,其他规模层级城市的 GML 指数均值在 2006 年开始出现正增长。值得注意的是,在 2006 年前中小城市的绿色全要素生产率增长率高于大城市,直到 2006 年后 I 型大城市的绿色全要素生产率增长优势才得以显现。可能的原因是,工业化阶段的规模经济效应使得大量工业企业选择在市场容量较大的城市进行生产,而 2006 年开始实施趋紧的环境规制迫使大城市重视经济增长与生态环境的协调发展,产业转移不仅发生在东中西区域间,同时也发生在不同层级城市之间。超大及特大城市和 I 型大城市的高耗能、高污染产业更倾向于转移到 II 型大城市而不是规模更小的中小城市,故而导致了从全样本时间段几何均值看中小城市的 GML 指数反而高于 II 型大城市。这也从侧面说明对于中小城市而言,提高城市绿色全要素生产率无须盲目追求城市规模扩张,重要的是要找到适合自身资源禀赋和区位特点的特色化产业发展模式。II 型大城市在选择自身产业发展模式的同时,也应尽量避免因承接高污染产业转移而导致走上“先污染后治理”的老路。而对于人口规模介于 300 万~500 万的 I 型大城市,适度扩大人口规模有利于进一步强化规模经济效应、劳动力蓄水池效应和知识溢出效应对绿色全要素生产率增长的拉动作用。

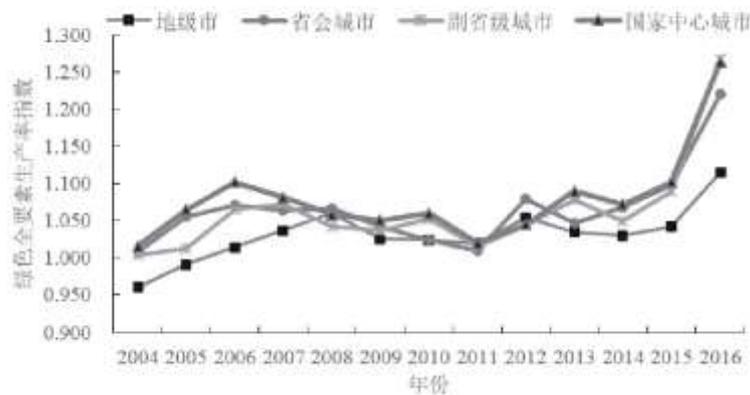


图 3 2004—2016 年中国不同行政级别城市绿色全要素生产率指数

从不同城市行政层级看,2004—2016 年城市绿色 TFP 指数与城市级别呈现出明显的正相关关系。表现为国家中心城市的绿色全要素生产率增长均值处于绝对领先地位,而地级城市的绿色全要素生产率增长明显低于省级和副省级城市,这也从城市绿色发展的角度佐证了国家中心城市的选择与建立在城市绿色转型示范效应上的深远意义。进一步与上文不同规模层级城市的分类情况进行比较,不难发现中小城市和 II 型大城市中绝大多数是地级城市,这说明中国城市绿色全要素生产率增长差异不能忽视行政等级体系下的城市级别,制约城市绿色发展的因素不能单纯着眼于城市规模的大小,城市规模背后的城市等级体系可能是更深层次的原因。究其原因,城市能够提供更高的生产效率得益于两个优势因素,一个是区位及自然条件形成的成本优势,另一个是集聚效应带来的正外部性优势。集聚效应的本质是降低成本,其中包括运输产品的运输成本、也应包括运输知识和创新思想的交易成本。不同于西方国家城市大多通过市场经济不断扩张自发形成资源集聚,我国城市化过程中重要的生产要素,从资金、基础设施投资到人力资本、先进技术以及优惠政策都存在从中央到地方、从上级到下级城市逐次分配的现象。人力资本、知识技术溢出、交通和信息基础设施是促进绿色全要素生产率提升的重要驱动因素,高行政级别城市更易于拥有完善的交通和信息基础设施,集聚高校和科研院所,吸引到更多的高端人才和龙头企业,激发城市集聚经济效应。

5 结论及政策启示

本文运用包含“能源消耗”与“非期望产出”的超效率 SBM 模型,结合基于全局基准技术的 GML 指数测算中国 2004—2016 年 283 个城市历年绿色全要素生产率指数及其分解成分,从总体特征、区域差异、不同城市规模层级和不同行政层级 4 个维度,

对绿色全要素生产率及其增长动力进行时空特征分析。研究表明：(1)城市绿色全要素生产率、技术效率和技术进步分别以年均3.5%、1.2%和2.3%的速度增长，绿色全要素生产率增长动力主要来源于技术进步，而技术效率的贡献相对不足。全国层面城市GTFP在2006年开始显现增长趋势，而2008—2011年为对应金融危机而稳增长的同时损失了经济增长质量，2012—2016年创新驱动战略与环境规制政策下城市GTFP再次呈现增长趋势。(2)三大区域城市绿色全要素生产率平均增幅东部>中部>西部，技术进步指数差异是GTFP区域差距形成的主要原因，区域发展战略和环境政策在城市绿色转型中的作用存在异质性。提升中西部城市绿色全要素生产率应缩小区域间环境规制梯度势差，注重技术、信息和人才等创新要素集聚，引导战略新兴型产业在中西部区域发展。(3)超大及特大城市、高行政等级城市的绿色全要素生产率增长具有领先优势，且研究期内不同层级城市GTFP差距呈现先缩小后扩大的趋势。当前迫切需要发挥核心城市的辐射带动功能，形成不同层级城市在区域经济高质量发展产业链中分工协作的城市产业体系。

基于上述研究结论，得出如下政策启示：

第一，完善科技创新成果转化市场激励机制，挖掘绿色技术效率改进空间。城市绿色全要素生产率的提高不仅要凭借技术创新驱动，还应重视对现有技术水平的能量进行充分挖掘。要围绕国家创新战略突破科技创新体制机制障碍，加强专利及知识产权保护体系建设，以具有技术合作、成果交易、金融支持功能的公共服务平台为着力点，形成转化思路清晰的科技创新机制。耦合研发政策、专利政策与环境规制政策，通过降低技术创新成果转化的机会成本，提高科技成果转化率，增强绿色技术进步成果的产业化和市场化能力，凭借从产品设计、生产流程、管理和营销模式全过程创新的绿色生产拓展技术效率的改进空间，将技术进步成果有效转换为企业绿色制造能力。

第二，改革节能减排目标责任体系，逐渐消除环境规制强度区域势差。综合运用排污权、碳排放交易和资源税等市场化多元化的环境规制工具，以地区差异化的环境规制模式取代差异化的环境规制强度，限制高污染、高耗能产业向中西部地区转移，加快中西部地区绿色全要素生产率增长。此外，各地区在引进外资的过程中，应重点评估外商直接投资项目对当地生态环境的影响，采用“负面清单”管理办法严禁高污染、高耗能企业进入，有针对性地对高科技、低污染的外资企业提供优惠政策和奖励机制，避免为达到经济增长数量指标而走上“先污染后治理”的老路。

第三，在城市层级体系下统筹空间、规模、产业三大结构，形成不同层级城市分工协作、优势互补的产业空间格局。基于不同规模层级城市 and 不同行政层级城市在经济发展水平、产业结构、市场潜能、人力资本结构、基础设施建设等方面的差异，应选择不同的产业发展次序和模式。在制度层面上加强区域经济联动性，促进城市层级体系中核心大城市与周边中小城市之间上下游产业协同集聚，发挥高层级城市知识溢出和规模经济效益的带动辐射作用，通过横向错位发展与纵向分工协作实现区域产业空间结构优化，促进区域经济高质量发展。

参考文献：

[1]Färe R,Grosskopf S,Lovell C A K,et al.Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable:A non-parametric approach[J].Review of Economics and Statistics,1989,71(1):90-98.

[2]Tone K.A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2001,130(3):498-509.

[3]Chung Y H H,Färe R,Grosskopf S.Productivity and undesirable outputs:A directional distance function approach[J].Microeconomics,1997,51(3):229-240.

[4]Oh D H.A global Malmquist-Luenberger productivity index[J].Journal of Productivity Analysis,2010,34(3):

- [5]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):95-109.
- [6]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.
- [7]吴翔.中国绿色经济效率与绿色全要素生产率分析[D].武汉:华中科技大学,2014.
- [8]谭政,王学义.绿色全要素生产率省际空间学习效应实证[J].中国人口·资源与环境,2016(10):17-24.
- [9]李卫兵,梁榜.中国区域绿色全要素生产率溢出效应研究[J].华中科技大学学报(社会科学版),2017(4):56-66.
- [10]杨志江,文超祥.中国绿色发展效率的评价与区域差异[J].经济地理,2017(3):10-18.
- [11]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(11):21-34.
- [12]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(1):19-34.
- [13]岳鸿飞,徐颖,周静.中国工业绿色全要素生产率及技术创新贡献测评[J].上海经济研究,2018(4):52-61.
- [14]汪克亮,杨力,程云鹤.要素利用、节能减排与地区绿色全要素生产率增长[J].经济管理,2012(11):30-43.
- [15]王兵,刘光天.节能减排与中国绿色经济增长——基于全要素生产率的视角[J].中国工业经济,2015(5):57-69.
- [16]李斌,祁源,李倩.财政分权、FDI与绿色全要素生产率——基于面板数据动态GMM方法的实证检验[J].国际贸易问题,2016(7):119-129.
- [17]Liu G T,Wang B,Zhang N.A coin has two sides:Which one is driving China's green TFP growth?[J].Economic Systems,2016,40(3):481-498.
- [18]Zhang Z B,Ye J L.Decomposition of environmental total factor productivity growth using hyperbolic distance functions:A panel data analysis for China[J].Energy Economics,2015,47:87-97.
- [19]Jiang Y Q.Total factor productivity,pollution and "green" economic growth in China[J].Journal of International Development,2015,27(4):504-515.
- [20]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(3):53-62.
- [21]Song M L,Guan Y Y,Song S.Environmental efficiency,advances in environmental technology and total factor of environmental productivity of China[J].Kybernetes the International Journal of Systems & Cybernetics,2013,42(6):943-954.

[22]Zhang J S, Tan W. Study on the green total factor productivity in main cities of China[J]. Proceedings of Rijeka School of Economics, 2016, 34(1):215-234.

[23]李小胜, 张焕明. 中国碳排放效率与全要素生产率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2016(8):65-80.

[24]任阳军, 汪传旭, 俞超. 中国区域绿色全要素生产率的空间溢出效应研究[J]. 软科学, 2019(4):40-43.

[25]Li H, Shi J F. Energy efficiency analysis on Chinese Industrial sectors: An improved super-SBM model with undesirable outputs[J]. Journal of Cleaner Production, 2014(65):97-107.

[26]单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952—2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008(10):17-31.

[27]Hall R E, Jones C I. Why do some countries produce so much more output per worker than others?[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1999, 114(1):83-116.

[28]涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性[J]. 经济研究, 2008(2):93-105.