



资源环境约束下中国 TFP 增长的空间差异和影响因素

刘华军¹, 杨 骞²

1 山东财经大学 经济学院, 济南 250014

2 山东财经大学 公共管理学院, 济南 250014

摘要: 运用 DDF 模型和 ML 生产率指数, 对中国分省资源环境约束下的区域全要素生产率进行测算, 采用 Theil 指数测算资源环境约束下中国全要素生产率增长的地区差异并按照多种空间尺度进行区域分解; 构建空间面板数据模型, 采用广义空间面板自回归最小二乘法对资源环境约束下全要素生产率增长的影响因素进行实证研究。研究表明, 在 2010 年之前, 资源环境约束下中国全要素生产率增长的空间差异总体上呈下降态势, 地区内而非地区间差距是造成总体空间差异的主要来源。空间计量模型回归估计结果表明, 资源环境约束下全要素生产率增长存在显著的正向空间溢出效应, 经济发展水平、贸易开放和科技创新水平对资源环境约束下全要素生产率增长存在显著的促进作用, 产业结构、能源结构和要素禀赋结构等结构因素对全要素生产率增长存在显著的负向影响, 外商直接投资和环境规制水平对全要素生产率增长的影响在统计上并不显著。

关键词: 资源环境约束; 全要素生产率; 空间差异; 方向性距离函数; 广义空间面板自回归两阶段最小二乘法

中图分类号: F222.33

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2014.05.011

文章编号: 1672-0334(2014)05-0133-12

1 引言

促进区域经济协调发展是中国的一项长期战略。随着资源消耗和环境污染与经济发展之间的矛盾日益突出, 传统以高投入、高消耗、高排放为特征的粗放型增长方式难以为继, 不断提升全要素生产率 (total factor productivity, TFP) 对经济增长的贡献逐渐成为加快转变区域经济发展方式的必然选择。当前, 中国已提出能源消费强度和消费总量双控制的节能目标以及 CO₂ 和 SO₂ 等主要污染物减排目标, 并将其作为约束性指标分解到地方政府。随着区域开放程度的不断深化, 区域间的相互联系不断增强, 空间溢出效应已经成为区域协调中不可忽视的重要因素^[1-3]。在此背景下, 研究资源消耗和环境污染双重约束下 TFP 增长的空间差异问题, 对于促进区域经

的协调发展具有重要的理论和现实意义。

2 相关研究评述

2.1 资源环境约束下的 TFP 测度

与传统的 TFP 测度不同, 资源环境约束下的 TFP 测度在考虑资本、劳动和能源等诸多投入变量以及 GDP 等好产出的同时, 还必须考虑污染排放这种坏的产出。Chung 等^[4]提出的方向性距离函数 (directional distance function, DDF) 通过方向向量的设置成功地将环境污染作为非期望产出进行处理, DDF 逐渐成为考虑非期望产出效率测度的重要工具^[5]。同时, 由于数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 的诸多优势, 成为计算方向性距离函数的主要方法。目前, 采用 DDF 模型和 ML (malmquist-luenberger)

收稿日期: 2014-03-19 **修返日期:** 2014-08-02

基金项目: 国家社会科学基金 (13CJL069); 山东省自然科学基金 (ZR2013GM015)

作者简介: 刘华军 (1979-), 男, 山东广饶人, 毕业于山东大学, 获经济学博士学位, 山东财经大学经济学院教授, 研究方向: 资源环境管理和区域发展管理等。E-mail: huajun99382@163.com

生产率指数成为测度资源环境约束下TFP的最重要的方法之一^[6-11]。此外少量研究采用SBM-DDF模型和Luenberger生产率指数测度资源环境约束下中国分省工业或区域TFP^[12-17]，然而尽管SBM-DDF模型考虑了变量的松弛性问题，但是在线性规划求解的过程中，相对于DDF，由于增加了更多的约束条件，不可行解的次数大大增加，进而影响了测度结果的准确性^[18]。此外，已有研究考虑的污染物不够全面，田银华等^[6]仅考虑SO₂，王兵等^[12]忽视了CO₂，尽管刘瑞翔等^[13]同时考虑了CO₂、SO₂、废水和烟尘4种污染物，但是其样本数据的时间跨度为1995年至2010年，由于环境污染统计口径的问题，在2000年之前环境污染排放量仅有工业排放数据，缺少生活污染物排放数据。

2.2 资源环境约束下TFP增长的空间差异和影响因素研究

目前对资源环境约束下TFP增长的空间差异研究主要包括两个方面，即对不同区域TFP增长比较^[6,18,19]和区域TFP增长趋同^[20-24]。在区域TFP增长比较的研究中，除田银华等^[6]采用八大区域的划分方法外，其他研究大多采取传统的东、中、西三大区域的划分方法，同时这些研究也没有进一步揭示资源环境约束下TFP增长的区域差异程度及来源。与资源环境约束下TFP的测度及区域差异研究相比，对资源环境约束下TFP增长影响因素的研究较少。已有少量实证研究表明，经济发展水平、对外开放程度、技术进步、要素禀赋、产业结构、能源结构、政府干预、环境管理能力、公众环保意识等因素对资源环境约束下TFP增长有影响^[6,12]，但由于在指标测度和计量模型设定等方面的差异而导致研究结论存在不一致，甚至互相矛盾。此外，已有研究均忽视了空间溢出效应，导致实证结果有偏，影响了政策建议的有效性。

本研究在已有研究基础上，采用DEA的方向性距离函数模型和ML生产率指数，以资本、劳动和能源作为投入，以地区实际生产总值作为期望产出，以CO₂、SO₂、化学需氧量(COD)和烟尘4种污染物作为非期望产出，对资源环境约束下中国的区域TFP进行测度，采用Theil指数对其空间差异程度进行测度，分别按两大区域、三大区域、四大区域和八大区域等进行空间分解，以揭示资源环境约束下TFP增长空间差异的来源。同时，以邻接空间权重矩阵、地理距离空间权重矩阵和经济空间权重矩阵表示TFP增长的空间关联模式，构建广义空间计量模型，采用广义空间面板自回归两阶段最小二乘法对资源环境约束下区域TFP增长的影响因素进行实证分析，最终为制定差别化的区域调控政策提供可行的对策建议。

3 研究方法和数据

3.1 资源环境约束下TFP的测度

(1)环境技术。假设生产过程中使用各种要素投入并产生期望产出和非期望产出，借鉴Färe等^[25]的

环境技术分析框架，本研究构造包含期望产出和非期望产出的生产可能性集合，并将中国每个省作为一个决策单元(DMU)来构造最优的生产前沿面。假设有K个DUM， x^k 为第k个N维投入向量， y^k 为第k个M维期望产出向量， b^k 为第k个L维非期望产出向量， $k=1,2,\dots,K$ 。在时期 $t(t=1,2,\dots,J)$ 3个向量满足 $x^{t,k}=(x_1^{t,k},x_2^{t,k},\dots,x_N^{t,k})\in R_+^N,y^{t,k}=(y_1^{t,k},y_2^{t,k},\dots,y_M^{t,k})\in R_+^M,b^{t,k}=(b_1^{t,k},b_2^{t,k},\dots,b_L^{t,k})\in R_+^L$ 。在投入 x 和期望产出 y 满足强可处置以及非期望产出 b 仅满足弱可处置时，时期 t 的生产技术 P 可以表示为

$$P^t = \{ (x^t, y^t, b^t) : \sum_{k=1}^K \lambda_k^t y_{km}^t \geq y_{km}^t, m=1,2,\dots,M, \sum_{k=1}^K \lambda_k^t x_{kn}^t \leq x_{kn}^t, n=1,2,\dots,N, \sum_{k=1}^K \lambda_k^t b_{kl}^t = b_{kl}^t, l=1,2,\dots,L, \lambda_k^t \geq 0 \} \quad (1)$$

其中， λ 为K维权重向量， $\lambda=(\lambda_1^t,\lambda_2^t,\dots,\lambda_K^t)$ 。若所有 λ 的和等于1，生产技术为可变规模报酬；若所有 λ 的和不等于1，生产技术为不变规模报酬。

(2)DDF模型和ML生产率指数。根据Chung等^[4]的研究，第 k' 个DMU在时期 t 的DDF模型可以表示为

$$\begin{aligned} \bar{D}^t(x^{t,k'}, y^{t,k'}, b^{t,k'}, g^x, g^y, g^b) &= \max \beta \\ \text{s. t. } \sum_{k=1}^K \lambda_k^t x_{kn}^t &\leq (1-\beta)x_{k'n}^t, n=1,2,\dots,N \\ \sum_{k=1}^K \lambda_k^t y_{km}^t &\geq (1+\beta)y_{k'm}^t, m=1,2,\dots,M \\ \sum_{k=1}^K \lambda_k^t b_{kl}^t &= (1-\beta)b_{k'l}^t, l=1,2,\dots,L \\ \lambda_k^t &\geq 0, k=1,2,\dots,K \end{aligned} \quad (2)$$

其中， \bar{D}^t 为不变规模报酬下的DDF， $(x^{t,k'},y^{t,k'},b^{t,k'})$ 为第 k' 个DUM的投入、期望产出和非期望产出向量， (g^x, g^y, g^b) 为投入、期望产出和非期望产出的方向向量，本研究选择 $(-x, y, -b)$ 作为方向向量。

根据Chung等^[4]提出的方法，资源环境约束下的TFP可以通过构造ML生产率指数进行测度。时期 t 与 $(t+1)$ 之间的ML生产率指数可表示为

$$ML_t^{t+1} = \left[\frac{1 + \bar{D}^t(x^t, y^t, b^t; g^t)}{1 + \bar{D}^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^{t+1})} \cdot \frac{1 + \bar{D}^{t+1}(x^t, y^t, b^t; g^t)}{1 + \bar{D}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

3.2 区域差异测度

本研究使用Theil指数测度资源环境约束TFP的区域差异程度，并进行空间分解，具体测算方法为

$$T = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{ML_k}{\mu} \log \frac{ML_k}{\mu} \quad (4)$$

$$T = T_w + T_b = \frac{1}{K} \sum_h \frac{K_h \mu_h}{\mu} T_h + \frac{1}{K} \sum_h \frac{K_h \mu_h}{\mu} \log \frac{\mu_h}{\mu} \quad (5)$$

其中， T 为Theil指数； K 为样本个数，即所有省份的个数， $k=1,2,\dots,K$ ； ML_k 为第 k 个样本的TFP指数； μ 为所有

样本 TFP 的均值; T_w 为地区内差异的 Theil 指数; T_b 为地区间差异的 Theil 指数; h 为子群数, 即所有样本可被分为 h 个子群, $h = 1, 2, \dots, H; K_h$ 为第 h 个子群包含的样本数; μ_h 为第 h 个子群 TFP 的算术平均数; T_h 为第 h 个子群的 Theil 指数。

3.3 TFP 空间相关性检验和空间计量模型设定

(1) Moran 指数和 Moran 散点图。为了明确资源环境约束下区域 TFP 增长的空间相关性及其相关程度, 本研究采用探索性空间数据分析方法中的 Moran 指数^[26] 对其进行检验。Moran 指数的定义如 (6) 式, 即

$$Moran's I = \frac{K \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K w_{ij} (ML_i - \overline{ML})(ML_j - \overline{ML})}{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K w_{ij} (ML_i - \overline{ML})^2} \quad (6)$$

其中, $Moran's I$ 为 Moran 指数; i 和 j 为空间单元, $i = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, K; w_{ij}$ 为空间权重矩阵元素; ML_i 为第 i 个空间单元的 TFP 增长; ML_j 为第 j 个空间单元的 TFP 增长; \overline{ML} 为 K 个空间单元平均的 TFP 增长。 $Moran's I$ 的取值范围为 $[-1, 1]$, 其绝对值表征了空间相关程度的大小, 绝对值越大表明空间相关程度越大, 反之则越小。

(2) 计量模型设定。面板空间计量模型通常有空间滞后模型和空间误差模型, 这两类模型分别针对空间滞后依赖性和空间误差依赖性。考虑到本研究采用的面板数据可能同时存在两种类型的空间依赖, 因此构建广义空间面板计量模型^[27], 具体模型为

$$\ln Y_{k,t} = \alpha + \eta W \ln Y_{k,t} + \gamma \ln X_{k,t} + u_{k,t} \quad (7)$$

$$u_{k,t} = \lambda W u_{k,t} + \varepsilon_{k,t} \quad (8)$$

其中, $Y_{k,t}$ 为第 k 个省份时期 t 资源环境约束下的 TFP 指数; W 为空间权重矩阵; X 为解释变量; $\alpha, \eta, \gamma, \lambda$ 为回归系数; u 和 ε 为扰动项, 满足独立同分布, 期望为 0, 方差为 σ^2 。广义空间面板计量模型由两部分组成, (7) 式为空间滞后模型, (8) 式为空间误差模型。在估计方法上, 本研究选择广义空间面板自回归两阶段最小二乘法, 该方法可以用来同时处理空间滞后和空间误差两种类型的空间相关性。

3.4 数据和处理

(1) 数据来源和处理。本研究使用分省面板数据, 考虑到数据的可得性, 研究期间为 2000 年至 2011 年。①投入。投入要素包括资本、劳动和能源 3 种, 分省资本存量的估算参考单豪杰^[28] 的方法进行拓展, 并以 2000 年为基期进行平减处理; 劳动投入采用分省就业人数; 能源投入采用一次能源消费量。②期望产出。采用分省地区生产总值, 以 2000 年为基期进行平减处理。③非期望产出。根据国家十二·五规划的减排任务, 选择 CO_2, SO_2, COD 和烟尘 4 种。

(2) 空间尺度和区域划分标准。TFP 增长的空间差异与地域单元的划分密切相关, 由于区域经济差异在不同的空间层次和空间格局上、在不同的时段上所表现出的特征不同, 不同的空间尺度选择标准下的区域 TFP 测度结果往往存在一定的差异。因此与已有研究采用较为单一的空间尺度不同, 本研究

在区域 TFP 增长及其演变趋势分析中, 除考虑全国层面外, 还考虑两大区域、三大区域、四大区域和八大区域, 多种空间尺度的选择有助于本研究从多个层面全面审视资源环境约束下中国区域 TFP 增长的空间特征。①两大区域。分为东部沿海和内陆地区, 沿海地区包括北京、天津、河北、辽宁、山东、江苏、浙江、上海、福建、广东、海南, 其他省份为内陆地区。②三大区域。东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、山东、江苏、浙江、上海、福建、广东、海南、广西, 中部地区包括山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南, 西部地区包括重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。③四大区域。东北地区包括吉林、黑龙江和辽宁, 东部地区包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南, 中部地区包括山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南, 西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。④八大区域。北部沿海地区包括山东、河北、北京、天津, 南部沿海地区包括广东、福建、海南, 东部沿海地区包括上海、江苏、浙江, 东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江, 长江中游地区包括湖南、湖北、江西、安徽, 黄河中游地区包括陕西、河南、山西、内蒙古, 西南地区包括广西、云南、贵州、四川、重庆, 西北地区包括甘肃、青海、宁夏、新疆。

(3) 空间权重设置。本研究分别构建邻接空间权重矩阵、地理距离空间权重矩阵和经济空间权重矩阵表示资源环境约束下区域 TFP 增长之间不同的空间关联模式。

①邻接空间权重矩阵。所谓邻接空间权重矩阵是指如果两个空间单元之间相邻, 认为二者存在空间相关; 反之, 不相邻则不相关。二进制的邻接空间权重矩阵 W_1 的矩阵元素 w_{ij}^1 满足

$$w_{ij}^1 = \begin{cases} 1, & \text{空间单元 } i \text{ 与 } j \text{ 相邻, } i \neq j \\ 0, & \text{空间单元 } i \text{ 与 } j \text{ 不相邻, } i = j \end{cases} \quad (9)$$

②地理距离空间权重矩阵。按照地理距离构造空间权重矩阵符合地理学第一定律^[29], 本研究使用地理距离平方的倒数构造地理距离空间权重矩阵。地理距离空间权重矩阵 W_2 的矩阵元素 w_{ij}^2 可以表示为

$$w_{ij}^2 = \begin{cases} \frac{1}{d^2}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (10)$$

其中, d 为两省的省会城市之间的球面距离。

③经济空间权重矩阵。为了考察各地区经济发展之间相互影响(即经济距离)对资源环境约束下 TFP 增长的影响, 本研究建立经济空间权重矩阵 W_3 , $W_3 = W_2 E$, E 为描述地区间差异性的一个矩阵, 其矩阵元素 $E_{i,j}$ 和 $E_{i,i}$ 表示为

$$E_{i,j} = \frac{1}{|\bar{z}_i - \bar{z}_j|}, E_{i,i} = 0 \quad (11)$$

其中, \bar{z}_i 为第 i 个省在样本考察期内人均地区生产总值的平均值, \bar{z}_j 为第 j 个省在样本考察期内人均地区

生产总值的平均值。

4 资源环境约束下中国全要素生产率增长的空间差异

4.1 资源环境约束下分省TFP测度结果和空间分布特征

在运用DEA对资源环境约束下分省TFP进行测度之前,需要对投入、产出之间的相关关系进行检验。表1给出投入、产出变量之间的相关系数矩阵,相关系数均通过5%的显著性水平检验,说明投入、产出之间满足DEA的等张性要求。换言之,当投入增长时产出也同时增加,表明前文所构建的方向性距离函数模型对于效率测度是合适的。表2给出基于DDF模型和ML生产率指数(累积形式)的分省测度结果。

由表2可知,在样本考察期内,北京的累积TFP指

数增长率最大,累积增长超过1.658,而广西最小,为-0.280;上海的累积TFP指数增长达1.299,而海南、广东、天津、浙江和山东的累积TFP指数增长均在50%以上,福建、江苏、新疆、辽宁、黑龙江、河北、重庆、青海、湖北、安徽和贵州的累积TFP指数均呈增长态势,而四川、江西、宁夏、湖南、山西、陕西、河南、吉林、内蒙古、云南、甘肃和广西的累积TFP指数增长为负值。由此可以初步判断资源环境约束下中国分省TFP呈现出明显的空间非均衡性。同时,TFP增长的空间分布呈现出一定的梯度特征,具体表现为从沿海向内陆逐步递减的演变态势。此外,TFP增长的空间分布并不存在明显的分界线,地区之间存在交叉重叠现象。换言之,内陆地区的TFP增长尽管总体上要低于沿海地区,但内陆地区某些省TFP增长率要

表1 投入、产出的相关矩阵

Table 1 Correlation Matrix of Input and Output

	地区生产 总值	化学 需氧量	二氧化硫	烟尘	二氧化碳	资本	就业	能源消费
地区生产总值	1.000							
化学需氧量	0.586***	1.000						
二氧化硫	0.459***	0.592***	1.000					
烟尘	0.152***	0.500***	0.742***	1.000				
二氧化碳	0.722***	0.406***	0.732***	0.564***	1.000			
资本	0.977***	0.500***	0.454***	0.124**	0.751***	1.000		
就业	0.700***	0.812***	0.670***	0.432***	0.555***	0.654***	1.000	
能源消费	0.883***	0.557***	0.703***	0.448***	0.930***	0.888***	0.702***	1.000

注:***为1%的显著性水平,**为5%的显著性水平,下同。

表2 分省累积TFP指数及排序

Table 2 Provincial Cumulative TFP Index and Its Sorting

省份	TFP	排序	省份	TFP	排序	省份	TFP	排序
北京	2.658	1	辽宁	1.196	11	宁夏	0.973	21
上海	2.299	2	黑龙江	1.169	12	湖南	0.962	22
海南	1.981	3	河北	1.154	13	山西	0.934	23
广东	1.671	4	重庆	1.143	14	陕西	0.930	24
天津	1.590	5	青海	1.109	15	河南	0.909	25
浙江	1.536	6	湖北	1.057	16	吉林	0.908	26
山东	1.527	7	安徽	1.035	17	内蒙古	0.907	27
福建	1.276	8	贵州	1.010	18	云南	0.894	28
江苏	1.227	9	四川	0.993	19	甘肃	0.839	29
新疆	1.216	10	江西	0.983	20	广西	0.720	30

高于沿海地区的某些TFP增长率较低的省份。

4.2 不同空间尺度下的区域TFP增长及其演变趋势

表3给出不同空间尺度下ML生产率指数(累积形式)。

由表3数据可知,从全国层面看,样本考察期内全国的TFP增长整体上呈现递增态势,年均增长2.062%。从区域层面看,①在两大区域中,东部沿海的TFP在样本考察期内实现了持续增长,TFP累积增长指数达到1.647,年均TFP增长率达到5.881%,明显高于全国平均水平;内陆地区的TFP在2004年之前呈增长态势,此后则呈快速下降态势,样本考察期内的累积TFP指数为0.984,年均增长为-0.148%。②在三大区域中,东部地区的TFP呈快速增长态势,累积TFP指数达到1.570,TFP年均增长达到5.178%,超过全国平均水平;西部地区TFP增长尽管大大低于全国平均水平,但其TFP也表现为增长,只是增长幅度非常有限,年均增长仅为0.107%;中部地区的TFP在

2005年之前呈低增长态势,此后逐年衰退,考察期内的累积TFP指数为0.985,年均增长-0.137%。③在四大区域中,东部地区的TFP呈快速增长趋势,样本考察期内累积TFP指数达到1.692,年均增长率高达6.290%;东北地区在2007年之前其TFP呈现小幅增长趋势,此后则不断衰退,整个样本考察期内累积TFP指数仅为1.091,年均增长0.827%;中部地区和西部地区的TFP则整体上呈现出持续衰退趋势,它们的累积TFP指数均小于1,表现为负增长,年均增长分别为-0.181%和-0.221%。④在八大区域中,沿海地区的TFP增长占据绝对优势,北部沿海的TFP呈快速增长态势,累积TFP增长最大,年均增长达到6.658%;东部沿海和南部沿海的TFP也均保持了较高增长趋势,年均增长分别为6.252%和5.839%;东北地区、西北地区和长江中游的累积TFP尽管实现了增长,但增长率相对低迷,年均增长分别为0.827%、0.310%和0.085%;而黄河中游和西南地区的TFP总体上呈现

表3 累积TFP指数在不同空间尺度下的测度结果
Table 3 Measurement Results of Cumulative TFP Index at Different Spatial Scales

区划	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	年均 增长(%)	
全国	1.047	1.080	1.100	1.135	1.146	1.164	1.195	1.211	1.205	1.205	1.227	2.062	
两大区域	东部沿海	1.106	1.163	1.200	1.276	1.329	1.376	1.448	1.500	1.526	1.555	1.647	5.881
	内陆地区	1.013	1.032	1.042	1.054	1.040	1.040	1.048	1.043	1.018	1.002	0.984	-0.148
三大区域	东部地区	1.097	1.152	1.185	1.255	1.304	1.345	1.407	1.452	1.472	1.490	1.570	5.178
	中部地区	1.014	1.045	1.062	1.085	1.082	1.079	1.081	1.066	1.030	1.002	0.985	-0.137
	西部地区	1.014	1.018	1.025	1.025	0.998	1.006	1.024	1.034	1.024	1.027	1.012	0.107
四大区域	东部地区	1.113	1.171	1.206	1.285	1.341	1.391	1.467	1.524	1.560	1.590	1.692	6.290
	中部地区	1.010	1.022	1.036	1.063	1.058	1.050	1.055	1.042	1.011	0.995	0.980	-0.181
	西部地区	1.014	1.024	1.031	1.031	1.008	1.010	1.021	1.024	1.008	0.997	0.976	-0.221
	东北地区	1.026	1.098	1.130	1.160	1.172	1.196	1.202	1.188	1.126	1.100	1.091	0.827
八大区域	东部沿海	1.049	1.130	1.188	1.266	1.285	1.348	1.439	1.507	1.548	1.597	1.688	6.252
	南部沿海	1.205	1.220	1.188	1.243	1.296	1.300	1.361	1.390	1.452	1.487	1.642	5.839
	北部沿海	1.091	1.165	1.233	1.331	1.418	1.490	1.567	1.636	1.651	1.663	1.732	6.658
	东北地区	1.026	1.098	1.130	1.160	1.172	1.196	1.202	1.188	1.126	1.100	1.091	0.827
	长江中游	1.007	1.012	1.016	1.035	1.022	1.018	1.029	1.033	1.026	1.022	1.009	0.085
	黄河中游	1.015	1.042	1.067	1.090	1.093	1.080	1.074	1.054	0.991	0.949	0.920	-0.728
	西南地区	0.998	0.996	0.986	0.984	0.970	0.970	0.981	0.970	0.974	0.968	0.952	-0.437
	西北地区	1.034	1.049	1.073	1.076	1.033	1.043	1.061	1.082	1.055	1.053	1.034	0.310

持续下降态势,年均增长分别为 -0.728% 和 -0.437% 。

为了考察资源环境约束对TFP增长测度结果的影响,不考虑资源投入和环境污染产出(其他投入和产出数据完全相同),采用传统的DEA模型和Malmquist生产率指数对中国分省TFP进行测度(限于篇幅,没有报告结果,有需要的读者可以向作者索取)。测度结果表明,在样本考察期内,只有5个省的TFP年均增长率低于资源环境约束下的TFP年均增长率,分别是吉林、黑龙江、江苏、青海和宁夏,而其他25个省的TFP年均增长率均高于考虑资源环境约束下的TFP年均增长率。此外,从全国层面看,不考虑资源环境约束下的TFP年均增长率为 0.434% ,远低于资源环境约束下的TFP年均增长率;从区域层面看,在不同的空间尺度标准下,不考虑资源环境约束下的TFP年均增长率低于资源环境约束下的TFP年均增长率的区域只有东北地区。出现这一结果的原因在于,2000年以来中国采取节能减排措施,对于多数地区的TFP增长产生了促进作用,但对个别地区(如东北地区)TFP的效果并不明显,这些地区的能源消耗和环境污染对TFP的提高形成了一定的阻碍。

4.3 资源环境约束下TFP的空间差异:基于Theil指数及其分解

表4给出资源环境约束下TFP指数的测度及分解结果,图1则直观地描述了资源环境约束下TFP空间差异的演变趋势。由表4和图1可知,①总体上,资源环境约束下TFP增长的空间差异在2010年之前处于下降态势,而2011年从下降迅速转为上升,达到2.965,这也成为整个样本考察期内Theil指数的最大值。②从资源环境约束下TFP增长空间差异的地区分解结果看,两大区域、三大区域和四大区域划分标准下,地区内差距是造成总体空间差异的主要来源,而且地区内差距对总体空间差异的贡献率也远远大于地

区间差距,尽管地区内差距的贡献率总体呈下降趋势。而在八大区域的空间划分标准下,除2001年、2004年、2009年和2011年外,其他年份的地区内差距对总体空间差异的贡献均大于地区间差距。

5 资源环境约束下中国全要素生产率增长的影响因素

5.1 资源环境约束下TFP增长的空间相关性检验

在进行影响因素分析之前,需要明确资源环境约束下TFP增长的空间相关性。采用探索性空间数据分析的Moran指数进行全局性空间相关性检验,表5给出3种空间关联模式下Moran指数的检验结果。根据这一结果,在3种空间关联模式下TFP增长的Moran指数基本上都通过了1%的显著性水平检验,说明资源环境约束下TFP增长存在显著的空间依赖特征,因此在考察资源环境约束下TFP增长影响因素时不能忽视TFP增长在不同区域之间的空间溢出效应。此外,3种空间关联模式下TFP增长的空间相关性的演变趋势大致保持一致,经济空间权重下TFP增长的空间相关性大于另外两种空间权重,说明经济空间关联模式下TFP增长的空间依赖更为突出。

5.2 影响因素及代理变量的选择

借鉴王兵等^[12]和庞瑞芝等^[15]的研究,本研究选择资源环境约束下TFP增长的影响因素如下。①经济发展水平($LN(GRPPC)$)。用2000年不变价的人均地区生产总值的对数表示经济发展水平,人均地区生产总值对数的平方项 $LN^2(GRPPC)$ 也纳入回归模型,以检验环境库兹涅茨假说,即环境污染与经济发展之间是否存在倒U形关系。②结构因素。结构因素主要考察能源结构(ES)、产业结构(IS)和要素禀赋结构(FS),用煤炭消费量占能源消费总量的比重表示能源结构,用地区工业增加值占地区生产总值的比重表示产业结构,用资本劳动比的对数表示要素禀赋结构。③经济开放因素。经济开放因素包括外

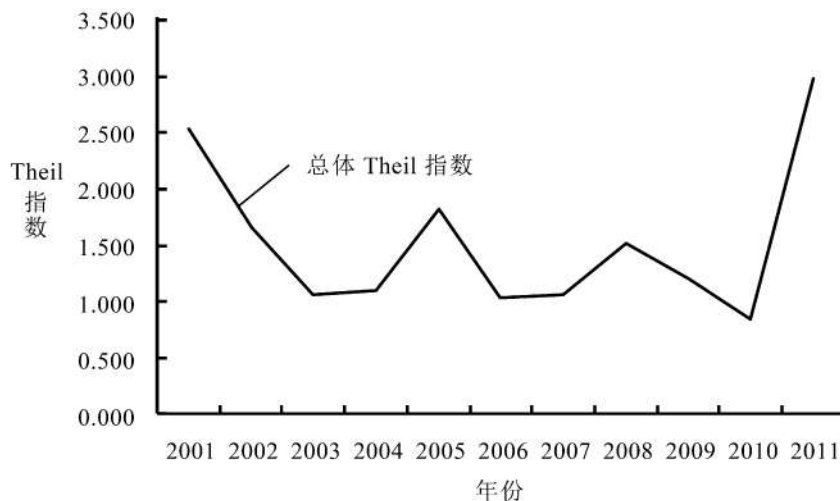


图1 资源环境约束下TFP增长的总体空间差异

Figure 1 Overall Spatial Disparity of TFP Growth under the Constraints of Resource and Environment

表4 TFP的Theil指数及其分解结果
Table 4 Theil Index and Its Decomposition Results of TFP Index

年份	T	两大区域		三大区域		四大区域		八大区域	
		T_w	T_b	T_w	T_b	T_w	T_b	T_w	T_b
2001年	2.520	63.877	36.123	69.696	30.304	61.235	38.765	36.970	63.030
2002年	1.641	90.248	9.752	87.846	12.154	81.782	18.218	72.064	27.936
2003年	1.047	92.889	7.111	94.190	5.810	92.659	7.341	57.276	42.724
2004年	1.091	58.770	41.230	61.621	38.379	52.883	47.117	49.905	50.095
2005年	1.812	71.575	28.425	71.680	28.320	69.317	30.683	59.651	40.349
2006年	1.024	76.352	23.648	82.248	17.752	73.722	26.278	59.129	40.871
2007年	1.048	57.874	42.126	68.796	31.204	53.830	46.170	50.036	49.964
2008年	1.514	76.163	23.837	80.350	19.650	72.661	27.339	66.249	33.751
2009年	1.190	74.003	25.997	76.215	23.785	53.585	46.415	33.333	66.667
2010年	0.834	72.264	27.736	78.710	21.290	72.268	27.732	58.866	41.134
2011年	2.965	54.652	45.348	64.411	35.589	49.393	50.607	42.607	57.393

注: T 为总体Theil指数; T_w 为地区内差距的贡献率, T_b 为地区间差距的贡献率, 单位%。

表5 资源环境约束下TFP增长的Moran指数
Table 5 Moran's Index of TFP Growth under the Constraints of Resource and Environment

年份	邻接空间权重矩阵(W_1)		地理距离空间权重矩阵(W_2)		经济空间权重矩阵(W_3)	
	$Moran's I$	p 值	$Moran's I$	p 值	$Moran's I$	p 值
2001年	0.304	0.002	0.190	0.005	0.249	0.010
2002年	0.246	0.009	0.224	0.002	0.388	0.000
2003年	0.222	0.013	0.258	0.001	0.390	0.000
2004年	0.250	0.007	0.305	0.000	0.417	0.000
2005年	0.261	0.005	0.309	0.000	0.414	0.000
2006年	0.255	0.005	0.309	0.000	0.445	0.000
2007年	0.244	0.006	0.278	0.000	0.428	0.000
2008年	0.232	0.007	0.241	0.001	0.392	0.000
2009年	0.231	0.008	0.217	0.002	0.373	0.000
2010年	0.228	0.009	0.192	0.004	0.350	0.001
2011年	0.241	0.007	0.170	0.010	0.305	0.002

商直接投资(FDI)和贸易开放度(TOD),外商直接投资用各省外商直接投资额占当年地区生产总值的比重表示,贸易开放度用各省当年进出口总额占当年

地区生产总值的比重表示,引入经济开放因素是为了检验污染天堂假说。④科技创新水平(R&D)。用各省R&D经费内部支出占地区生产总值的比重表

示。⑤环境规制力度(REG)。与王兵等^[12]和庞瑞芝等^[15]一致,用排污费收入占工业增加值的比重表示环境规制。以上数据除前文介绍的数据来源外,产业结构、要素禀赋结构、贸易开放度涉及的相关数据均来源于历年《中国统计年鉴》,外商直接投资额来源于商务部网站统计资料,R&D经费内部支出数据来源于历年《中国科技统计年鉴》,排污费收入数据来源于历年《中国环境年鉴》。

5.3 经验估计结果及分析

本研究采用广义空间面板自回归两阶段最小二

乘法对广义空间面板数据模型进行经验估计,同时为了便于对比,采用面板数据估计方法对不考虑空间变量的情况进行回归,表6给出所有估计结果。根据估计结果,在不考虑空间变量的情况下,Hausman检验支持固定效应。根据固定效应的回归结果,仅有人均地区生产总值对数及其平方项、要素禀赋结构通过了显著性水平检验,其他影响因素在统计上并不显著。而考虑TFP增长的空间溢出效应后,各影响因素回归系数的显著性水平明显提高,各种检验结果良好。下面根据估计结果依次探讨资源环境约

表6 经验估计结果
Table 6 Empirical Estimation Results

模型及 回归系数	固定效应		广义空间面板自回归两阶段最小二乘法					
			W_1		W_2		W_3	
	系数	t	系数	t	系数	t	系数	t
常数项	0.628	3.270***	1.928	7.630***	2.784	7.580***	2.609	7.360***
WLNLTFP			0.284	2.230**	0.513	3.290***	0.493	3.160***
LN(GRPPC)	0.455	2.950***	0.200	3.280***	0.191	3.410***	0.173	3.030***
LN ² (GRPPC)	0.107	4.240***	0.094	5.510***	0.084	5.020***	0.092	6.070***
ES	-0.100	-1.070	-0.251	-4.010***	-0.268	-4.580***	-0.292	-4.850***
IS	0.087	0.490	-0.412	-3.340***	-0.406	-3.390***	-0.306	-2.590**
FS	-0.466	-3.340***	-0.238	-6.040***	-0.233	-6.180***	-0.232	-6.140***
FDI	0.040	0.060	-0.009	-0.020	-0.230	-0.520	0.221	0.490
TOD	0.085	1.400	0.160	3.770***	0.147	3.720***	0.133	3.420***
R&D	5.367	1.290	3.299	1.940*	3.432	2.060**	3.923	2.340**
REG	5.904	0.920	3.833	0.600	4.932	0.770	2.857	0.450
Hausman 值	67.600	0.000						
R ²	0.627		0.738		0.717		0.686	
F 值	10.770	0.000	27.197	0.000	38.006	0.000	37.079	0.000
Sigma ²			0.127		0.132		0.139	
LogL			235.107		222.120		204.821	
Wald 值			271.970	0.000	380.059	0.000	370.788	
Global Moran MI 值			-0.187	0.000	-0.168	0.000	-0.301	0.000
LM Error 值			17.545	0.000	21.724	0.000	38.761	0.000
LM Lag 值			17.492	0.000	20.288	0.000	43.061	0.000
LM SAC(1)			18.493	0.000	22.068	0.000	43.928	0.000
LM SAC(2)			18.493	0.000	22.068	0.000	43.928	0.000
样本数	330		330		330		330	

注: *为10%的显著性水平。

束下TFP增长的各种影响因素及其效应。

(1)空间变量。观察空间变量($WLNTFP$)的系数,在3种空间关联模式下回归系数均显著为正。观察不同空间权重矩阵下空间变量回归系数的大小,地理距离空间权重和经济空间权重下空间变量的系数分别为0.513和0.493,邻接空间权重下空间变量的回归系数仅为0.284,明显低于地理距离空间权重和经济空间权重。

(2)经济发展水平。在所有回归模型中,人均地区生产总值及其平方项的系数均显著为正,这一结果支持环境库兹涅茨曲线假说。然而,不论在何种空间关联模式下,加入空间变量后人均地区生产总值及其平方项的系数大大降低。其原因是考虑了其他地区TFP增长对本地区的空间溢出效应,而固定效应回归没有考虑其他地区TFP增长对本地区的正向空间溢出效应,因此放大了本地区经济发展对资源环境约束下TFP增长的影响。

(3)结构因素。①能源结构。在所有回归模型中能源结构的回归系数均为负值,但在固定效应回归中能源结构的系数没有通过显著性检验,加入空间变量后,提升了能源结构回归系数的显著性水平。同时,考虑空间溢出效应后,加大了能源结构对TFP增长的负面影响。该结论一方面表明各地区在今后的发展中必须加快发展新型能源,对以煤炭为主的能源结构进行不断改善,进一步优化能源结构;另一方面也表明,若考虑空间溢出效应,通过改善能源结构提升TFP增长的任务更为艰巨。②产业结构。在固定效应回归模型中产业结构的回归系数为正值,但是在统计上并不显著。加入空间变量后,在3种空间关联模式下产业结构的回归系数均显著为负,由此表明,随着中国工业化程度的提高,资源环境约束下的TFP增长趋于下降。因此一方面需要各地区加快产业结构升级,提高第三产业在地区生产总值中的比重;另一方面,也需要调整工业内部结构,减少高污染、高排放和高耗能产业的比重,坚持走新型工业化道路。③要素禀赋结构。在所有的回归模型中要素禀赋结构的系数均显著为负,这与王兵等^[12]的结论相反。由于资本密集型产业多属于重污染产业,而劳动密集型产业多属于轻污染产业^[30],随着地区资本劳动比的上升,经济结构将逐步从重污染向轻污染转变,降低了资源环境约束下的TFP增长。同时对比固定效应回归和空间面板回归结果可以发现,引入空间变量后,减弱了要素禀赋结构对资源环境约束下TFP增长的负面效应。④对比空间面板回归中3个结构因素的系数可以发现,产业结构对资源环境约束下TFP增长的负面效应最大,能源结构和要素禀赋结构对TFP增长的负面影响则相对较小。由此表明,不断调整产业结构是提升资源环境约束下TFP增长的关键。

(4)经济开放因素。①外商直接投资。在固定效应回归模型和经济空间权重矩阵下,外商直接投资的回归系数为正值,但没有通过显著性水平检验;在

邻接空间关联模式和地理距离空间关联模式下,外商直接投资的回归系数为负值,在统计上也不显著。从外商直接投资的回归结果看,并不支持污染天堂假说。②贸易开放。在所有回归模型中贸易开放度的回归系数均为正值,但是在固定效应回归模型中回归系数没有通过显著性水平检验,而在3种空间关联模式下贸易开放度的回归系数均显著为正,表明提升贸易开放水平将有利于提升资源环境约束下的TFP增长。综合外商直接投资和贸易开放的回归结果,均不支持污染天堂假说。

(5)科技创新水平。在所有回归模型中科技创新水平的回归系数均为正值,但固定效应回归中的回归系数没有通过显著性水平检验,引入空间变量后提高了科技创新水平回归系数的显著性。由此表明,不断提升科技创新水平将有助于提升资源环境约束下TFP的增长,同时考虑TFP空间溢出效应后,科技创新水平对TFP增长的提升效应更为显著。

(6)环境规制水平。在所有回归中,环境规制水平的回归系数均为正值,这与王兵等^[12]和庞瑞芝等^[15]的结论正好相反。然而在所有回归中环境规制水平的系数均没有通过显著性检验,这表明提高排污费收入占工业增加值的比重将有助于提升资源环境约束下的TFP增长,但是回归系数在统计上不显著也说明以排污费收入占工业增加值的比重来衡量环境规制水平可能不够恰当。因此,未来研究可以考虑环境规制的多种指标和代理变量,全面检验环境规制手段和规制强度对资源环境约束下TFP增长的影响。

6 结论

本研究将资源环境约束纳入DEA分析框架,构建方向性距离函数模型,并在该模型基础上利用ML生产率指数测度资源环境约束下中国分省及区域TFP增长,利用Theil指数对资源环境约束下中国TFP增长的空间差异进行测度,并按照多种空间尺度进行分解,利用空间面板计量模型和估计技术实证考察资源环境约束下中国TFP增长的影响因素,得到以下研究结论。

(1)资源环境约束下中国分省TFP呈现出明显的空间非均衡特征,总体上呈现出东部沿海高、中西部地区低的梯度分布态势。在样本考察期内,TFP累积增长排名前五位的分别为北京、上海、海南、广东和天津,广西、甘肃、云南、内蒙古和吉林则排名靠后。

(2)在2010年之前,全要素生产率增长的空间差异总体上呈下降态势,但2011年出现了迅速扩大态势;在二、三、四大区域空间尺度下,地区内差距是造成总体空间差异的主要来源,在八大区域的空间尺度下,除2001年、2004年、2009年和2011年外,其他年份的地区内差距对总体空间差异的贡献均大于地区间差距。

(3)在3种空间关联模式下,资源环境约束下区域全要素生产率增长之间均存在显著的空间相关

性。采用广义空间面板自回归最小二乘法对资源环境约束下TFP增长影响因素的经验估计结果表明,资源环境约束下TFP增长存在显著的正向空间溢出效应,经济发展水平、贸易开放度和科技创新水平对资源环境约束下TFP增长存在显著的促进作用,产业结构、能源结构、要素禀赋结构等结构因素对资源环境约束下TFP增长存在显著的负向影响,外商直接投资和环境规制力度对资源环境约束下TFP增长的影响在统计上并不显著。

在资源消耗和环境污染对经济发展约束日益严峻的形势下,不断提升TFP对经济增长的贡献成为加快转变区域经济发展方式的必然选择,因此未来区域经济发展之间的不协调将在很大程度上表现为资源环境约束下TFP增长在区域之间的不协调和不均衡。根据本研究结论,未来的区域协调可以着重考虑以下几个方面。①进一步开放地区经济,破除地区之间的壁垒,尤其是打破不同形式的地区垄断,增强地区之间的交流,加快推进区域经济一体化进程,以最大限度地发挥地区之间的空间溢出效应对资源环境约束下TFP增长的促进作用。②加快对高污染、高排放和高耗能行业的治理力度,加快产业结构和工业内部结构调整的步伐,通过结构调整降低“三高”行业在地区生产总值中的比重,进一步优化产业结构,坚持走新型工业化道路。同时,在发展资本密集型产业的过程中,要避免发展高污染、高排放和高耗能产业。要不断优化能源结构,加快提高新型清洁能源在能源消费中的比重,当然也可以通过引导绿色消费倒逼能源结构的调整。③提升科技创新水平,加大科技创新投入,尤其是通过技术创新对传统行业进行改造和升级,充分发挥科技创新对提升资源环境约束下TFP增长的促进作用。④调整环境规制手段和规制强度,针对不同区域、不同部门和不同行业采取多样化的环境规制政策,以充分发挥环境规制在提升资源环境约束下TFP增长的积极作用。⑤进一步扩大并深化国际贸易,避免在国际贸易中增加本地环境污染,同时在吸引外商直接投资过程中避免高污染产业进入本地区,力争使对外因素对资源环境约束下的TFP提升产生良好的促进作用。

本研究实证考察资源环境约束下中国TFP增长的影响因素,对于这些因素是否存在空间溢出效应,仍需要进行深入研究,一个可能的方法是采用空间面板Durbin模型和空间效应分解方法,将影响因素的空间效应分解为直接效应、间接效应和总效应,以此更为细致地考察这些影响因素对TFP增长是否存在以及存在何种程度的跨区域溢出效应。

参考文献:

- [1] 潘文卿. 中国的区域关联与经济增长的空间溢出效应[J]. 经济研究, 2012, 47(1): 54-65.
Pan Wenqing. Regional linkage and the spatial spillover effects on regional economic growth in China [J]. Economic Research Journal, 2012, 47(1): 54-65. (in Chinese)
- [2] Ying L G. Measuring the spillover effects: Some Chinese evidence [J]. Papers in Regional Science, 2000, 79(1): 75-89.
- [3] Ying L G. Understanding China's recent growth experience: A spatial econometric perspective [J]. The Annals of Regional Science, 2003, 37(4): 613-628.
- [4] Chung Y H, Färe R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach [J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.
- [5] Zhou P, Ang B W, Poh K L. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 189(1): 1-18.
- [6] 田银华, 贺胜兵, 胡石其. 环境约束下地区全要素生产率增长的再估算: 1998~2008 [J]. 中国工业经济, 2011(1): 47-57.
Tian Yinhua, He Shengbing, Hu Shiqi. Re-estimation of China's regional total factor productivity growth under environment regulation: 1998-2008 [J]. China Industrial Economics, 2011(1): 47-57. (in Chinese)
- [7] 范丹, 王维国. 中国区域环境绩效及波特假说的再检验 [J]. 中国环境科学, 2013, 33(5): 952-959.
Fan Dan, Wang Weiguo. Environmental performance in China's regional economies and re-testing the Porter Hypothesis [J]. China Environmental Science, 2013, 33(5): 952-959. (in Chinese)
- [8] 李斌, 彭星, 欧阳铭珂. 环境规制、绿色全要素生产率与中国工业发展方式转变: 基于36个工业行业数据的实证研究 [J]. 中国工业经济, 2013(4): 56-68.
Li Bin, Peng Xing, Ouyang Mingke. Environmental regulation, green total factor productivity and the transformation of China's industrial development mode: Analysis based on data of China's 36 industries [J]. China Industrial Economics, 2013(4): 56-68. (in Chinese)
- [9] 肖攀, 李连友, 唐李伟, 苏静. 中国城市环境全要素生产率及其影响因素分析 [J]. 管理学报, 2013, 10(11): 1681-1689.
Xiao Pan, Li Lianyou, Tang Liwei, Su Jing. Analysis of the city's environment total factor productivity and influencing factors in China [J]. Chinese Journal of Management, 2013, 10(11): 1681-1689. (in Chinese)
- [10] 郑丽琳, 朱启贵. 纳入能源环境因素的中国全要素生产率再估算 [J]. 统计研究, 2013, 30(7): 9-17.
Zheng Lilin, Zhu Qigui. Re-estimation of total factor productivity in China accounting for the energy and

- environment factors [J]. *Statistical Research*, 2013, 30(7):9-17. (in Chinese)
- [11] 吴军, 笄凤媛, 张建华. 环境管制与中国区域生产率增长[J]. *统计研究*, 2010, 27(1):83-89.
Wu Jun, Da Fengyuan, Zhang Jianhua. Environmental regulation and regional TFP growth of China [J]. *Statistical Research*, 2010, 27(1):83-89. (in Chinese)
- [12] 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, 45(5):95-109.
Wang Bing, Wu Yanrui, Yan Pengfei. Environmental efficiency and environmental total factor productivity growth in China's regional economies [J]. *Economic Research Journal*, 2010, 45(5):95-109. (in Chinese)
- [13] 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, 47(11):34-47.
Liu Ruixiang, An Tongliang. Trend and factor analysis of Chinese economic growth performance under restrictions of resource and environment: A research based on a new method of productivity index's construction and decomposition [J]. *Economic Research Journal*, 2012, 47(11):34-47. (in Chinese)
- [14] 庞瑞芝, 李鹏. 中国新型工业化增长绩效的区域差异及动态演进[J]. *经济研究*, 2011, 46(11):36-47, 59.
Pang Ruizhi, Li Peng. Regional disparity and dynamic evolution about China's new industrialization growth performance [J]. *Economic Research Journal*, 2011, 46(11):36-47, 59. (in Chinese)
- [15] 庞瑞芝, 李鹏, 路永刚. 转型期间我国新型工业化增长绩效及其影响因素研究: 基于“新型工业化”生产力视角[J]. *中国工业经济*, 2011(4):64-73.
Pang Ruizhi, Li Peng, Lu Yonggang. Study on “new-type” industrialization growth performance and its factors during the transitional period: Based on “new-type” industrialization total factor productivity [J]. *China Industrial Economics*, 2011(4):64-73. (in Chinese)
- [16] 董敏杰, 李钢, 梁泳梅. 中国工业环境全要素生产率的来源分解: 基于要素投入与污染治理的分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2012, 29(2):3-20.
Dong Minjie, Li Gang, Liang Yongmei. The sources of China's environmental total factor productivity [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2012, 29(2):3-20. (in Chinese)
- [17] 王兵, 梁淑珍. 节能减排约束下中国制造业行业的效率和生产率的研究[J]. *工业技术经济*, 2012, 31(3):124-133.
Wang Bing, Liang Shuzhen. The study of efficiency and total factor productivity in China's manufacturing industries under the constraint of energy saving: An empirical analysis based on SBM directional distance function [J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2012, 31(3):124-133. (in Chinese)
- [18] 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, 47(7):62-74.
Kuang Yuanfeng, Peng Daiyan. Analysis of environmental productivity efficiency and environmental total factor productivity in China [J]. *Economic Research Journal*, 2012, 47(7):62-74. (in Chinese)
- [19] 齐亚伟, 陶长琪. 我国区域环境全要素生产率增长的测度与分解: 基于 Global Malmquist-Luenberger 指数[J]. *上海经济研究*, 2012, 24(10):3-13, 36.
Qi Yawei, Tao Changqi. Measurement and decomposition of environmental total factor productivity growth in China's regional economies [J]. *Shanghai Journal of Economics*, 2012, 24(10):3-13, 36. (in Chinese)
- [20] 孙传旺, 刘希颖, 林静. 碳强度约束下中国全要素生产率测算与收敛性研究[J]. *金融研究*, 2010(6):17-33.
Sun Chuanwang, Liu Xiyang, Lin Jing. On the measurement and convergence of total factor productivity under the constraint of carbon intensity [J]. *Journal of Financial Research*, 2010(6):17-33. (in Chinese)
- [21] 胡晓珍, 杨龙. 中国区域绿色全要素生产率增长差异及收敛分析[J]. *财经研究*, 2011, 37(4):123-134.
Hu Xiaozhen, Yang Long. Analysis of growth differences and convergence of regional green TFP in China [J]. *Journal of Finance and Economics*, 2011, 37(4):123-134. (in Chinese)
- [22] 李婧, 朱承亮, 安立仁. 中国经济低碳转型绩效的历史变迁与地区差异[J]. *中国软科学*, 2013(5):167-182.
Li Jing, Zhu Chengliang, An Liren. The fluctuation and regional difference of low carbon transition performance in China [J]. *China Soft Science*, 2013(5):167-182. (in Chinese)
- [23] 王维国, 马越越. 环境约束下中国地区物流业全要素生产率重估及收敛性研究[J]. *数学的实践与认识*, 2012, 42(11):38-49.
Wang Weiguo, Ma Yueyue. Total factor productivity re-estimation and convergence research of China's regional logistics industry under environmental constraints [J]. *Mathematics in Practice and Theory*,

- 2012,42(11):38-49. (in Chinese)
- [24] 韩海彬,赵丽芬. 环境约束下中国农业全要素生产率增长及收敛分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013,23(3):70-76.
Han Haibin, Zhao Lifan. Growth and convergence of agricultural total factor productivity in China under environmental regulations [J]. China Population, Resources and Environment, 2013,23(3):70-76. (in Chinese)
- [25] Färe R, Grosskopf S, Pasurka C A, Jr. Environmental production functions and environmental directional distance functions [J]. Energy, 2007,32(7):1055-1066.
- [26] Anselin L. Spatial econometrics: Methods and models [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988: 101-110.
- [27] LeSage J, Pace R K. Introduction to spatial econometrics [M]. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC Press, 2009:33-41.
- [28] 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, 2008,25(10):17-31.
Shan Haojie. Reestimating the capital stock of China: 1952-2006 [J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2008,25(10):17-31. (in Chinese)
- [29] Tobler W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region [J]. Economic Geography, 1970,46:234-240.
- [30] 涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性[J]. 经济研究, 2008,43(2):93-105.
Tu Zhengge. The coordination of industrial growth with environment and resource [J]. Economic Research Journal, 2008,43(2):93-105. (in Chinese)

The Spatial Disparities and Influence Factors of China's Total Factor Productivity Growth under the Constraints of Resource and Environment

Liu Huajun¹, Yang Qian²

¹ School of Economics, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China

² School of Public Management, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China

Abstract: The directional distance function model and Malmquist-Luenberger productivity index are used to measure the provincial Total Factor Productivity (TFP) under the constraints of resource and environment. Theil index is adopted to measure the regional disparities of TFP growth in China and decomposed according to a variety of space division standard. And spatial panel data model is constructed to empirically study the influence factors of TFP growth by using general spatial panel autoregression two stages least square under the constraint of resource and environment. The results show, under the constraints of resource and environment, the regional disparity of TFP growth in China exists downward trend, and the disparity within regions rather than the disparity between regions is the main source of overall spatial disparity. The estimation results of spatial econometrics show that there is a significant positive spatial spillover effects among regional TFP growth. Economic development, trade openness and R&D can significantly promote TFP growth. However, industrial structure, energy structure and factor endowment structure play negative roles. The impacts of FDI and environment regulation on TFP growth are not significant statistically.

Keywords: constraints of resource and environment; total factor productivity; spatial disparity; directional distance function; general spatial panel autoregression two stages least square

Received Date: March 19th, 2014 **Accepted Date:** August 2nd, 2014

Funded Project: Supported by the National Social Science Foundation of China (13CJL069) and the Natural Science Foundation of Shandong (ZR2013GM015)

Biography: Dr. Liu Huajun, a Shandong Guangrao native (1979 -), graduated from Shandong University and a Professor in the School of Economics at Shandong University of Finance and Economics. His research interests include resource and environmental management, region development management, etc. E-mail: huajun99382@163.com

□