

引用格式: 桑丹丹, 王元月, 丁黎黎. 中美产业部门全要素生产率比较: 基于环境友好全球价值链视角[J]. 资源科学, 2022, 44(3): 570-582. [Sang D D, Wang Y Y, Ding L L. Comparison of total factor productivity between industrial sectors in China and the united states: From the perspective of environmentally friendly global value chains[J]. Resources Science, 2022, 44(3): 570-582.] DOI: 10.18402/resci.2022.03.11

中美产业部门全要素生产率比较 ——基于环境友好全球价值链视角

桑丹丹, 王元月, 丁黎黎

(中国海洋大学经济学院, 青岛 266100)

摘 要: 中间品贸易隐含能源要素与碳排放所带来的产业发展影响问题已开始引起重视。本文从环境友好全球价值链视角出发, 将增加值核算方法与 SupSBM 模型相结合, 分别测算出 2000—2014 年中国和美国两个贸易强国产业部门整体及三次产业的全要素生产率、要素投入效率及碳排放效率。研究发现: ①美国整体产业部门的全要素生产率高于中国, 但是这种差距逐渐变小。主要归因于中国第一产业、第三产业国内劳动投入效率的提升。②按年平均统计, 中国整体产业部门国内劳动投入效率高于美国, 而其他要素投入效率均低于美国。③按年平均统计, 与美国相比, 中国第三产业发展向环境友好方向演变, 但第一、第二产业环境友好发展不显著, 有待进一步提高。因此, 以政策为引导, 补齐产业部门投入产出效率短板, 扩大产业链间效率溢出效应, 是实现中国产业部门环境友好全球价值链视角下全要素生产率提升的关键。

关键词: 环境友好型; 全球价值链; 全要素生产率; 产业部门; 中国; 美国

DOI: 10.18402/resci.2022.03.11

1 引言

2020 年中国的外贸规模已经达到了 4.6 万亿美元, 货物与服务贸易总额跃居全球第一, 充分显示了中国外贸的韧性与潜力。然而在贸易增长的背后, 也带来了大量能源消耗与碳排放。由于中间品贸易会促使形成增加值的劳动、资本与能源要素在全球范围内再配置, 造成中间品的碳排放国与消费国不一致。因此, 在碳达峰和碳中和目标下, 中国需要在全球视野下重新审视产业部门的全要素生产率。本文选择中国与美国产业部门为研究对象, 基于全球价值链视角, 测算中国与美国产业部门隐含碳情形下的全要素生产率。通过比较全球两个贸易强国的全要素生产率差距, 挖掘出中国产业部门隐含要素投入及碳排放效率的不足, 为制定中国产业高质量发展政策提供有力依据。

对于全要素生产率的测度方法主要包括参数方法和非参数方法, 其中前者以随机前沿分析 (Stochastic Frontier Analysis, SFA) 模型为代表, 后者主要以数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 为代表。DEA 方法因不受生产函数形式约束受到学者青睐。2003 年 Tone^[1] 将碳排放等作为非期望产出加入非径向非角度的 SBM (Slacks-Based Measure) 模型, 提出利用包含非期望产出的 SBM 模型来测度全要素生产率。尔后, 学者运用包含非期望产出 SBM 模型计算的最优值与实际值的比例, 定义投入要素与非期望产出的效率。研究发现中国中部地区的能源效率最差^[2,3], 北京、上海和广东的能源效率是有效的^[4], 三大城市群的节能潜力从高到低排序为京津冀、长三角、珠三角^[5]。为解决有效决策单元排序问题, 含非期望产出的超效率 SBM 模

收稿日期: 2021-04-14, 修订日期: 2021-06-30

基金项目: 山东省社会科学规划项目 (19CGLJ30)。

作者简介: 桑丹丹, 女, 山东聊城人, 博士研究生, 研究方向为资源开发与国民经济可持续发展。E-mail: 1531227944@qq.com

通讯作者: 丁黎黎, 女, 山东五莲人, 教授, 博士生导师, 研究方向为绿色发展与海洋经济。E-mail: llding@ouc.edu.cn

2022年3月

型(SupSBM)被提出^[6]。研究结果发现中国城市层面碳排放绩效与省级层面农业生态效率呈波动上升趋势^[7,8],中国黄河流域能源综合效率总体呈“高一低一高”的U型变化特征^[9]。学者 Song 等^[10]、Xiao 等^[11]采用将非期望产出加入投入侧,对有效决策单元的效率进行排序,研究发现1995—2009年间中国多数行业的能源环境效率呈上升趋势。现有文献对全要素生产效率以及投入要素效率的研究存在以下不足:一是研究多是基于国家、省级、城市、产业层面的直接投入和产出,未考虑决策单元间因中间投入引致的投入要素的关联关系;二是SupSBM模型的文献多是基于全要素生产率的研究,缺乏要素投入或者非期望产出效率的差异性分析。

考虑中间投入引致的要素投入的关联关系,利用投入产出表测算中国隐含能源消耗。区域层面研究显示:中国的能源消耗近一半是为了满足资本需求^[12];中国隐含能源从华北、华东、华中、东北地区向华南、西北、西南地区流动^[13]。在产业层面,高鹏等^[14]将投入产出分析方法与DEA方法结合,研究发现中国产业部门的全要素隐含能源效率增幅较大,且节能潜力更大。但是该研究在测算隐含能源消耗时仅考虑了国内消耗部分,忽略了国内生产国外消耗和进口中间品消耗的部分^[15]。随着世界投入产出表(World Input-Output Data, WIOD)的公布,考虑中间品贸易与最终产品贸易的差异性,按照是否跨境生产的原则提出了包含全球价值链(Global Value Chain, GVC)前向参与度与GVC后向参与度的增加值核算方法,也被称为WWYZ方法^[16]。运用WWYZ方法,研究结果发现GVC前向参与度与中国工业行业碳排放呈U型关系,GVC后向参与度与中国工业行业碳排放呈正相关关系^[17]。

在GVC与DEA的研究基础之上,学者们研究了GVC参与度、GVC分工地位对产业发展的影响效应。研究结果发现,具有较高全要素生产率的制造业可通过参与GVC获得更大效应,且前向参与GVC比后向参与GVC更具有促进作用^[18]。GVC嵌入更有利于提升“一带一路”沿线国家技术密集型行业的碳排放效率,而对沿线国家的劳动密集型和资本密集型行业的碳排放效率表现为显著抑制^[19]。在具体产业方面,全球价值链地位的显著提升促进制造业碳效率的提升,且对发展中国家更为明显;

技术密集型制造业地位的提升比劳动、资本密集型制造业更能促进碳排放效率的提升^[20]。GVC嵌入、GVC分工均能促进中国工业行业的绿色全要素生产率^[21,22],且其主要通过规模效率与技术进步途径传导^[23]。在全球价值链视角下,劳动、资本、能源要素在全球产业间发生替代,碳排放国与消费国不一致,环境友好型全球价值链(Environmental Friendly Global Value Chain, EFGVC)演化成为主要趋势^[24],产业全要素生产率需要重新评估。Grifell-Tatjé等^[25]提出运用生产函数参数方法测算了产业全要素生产率。但该研究未考虑最终产品隐含的国内外能源、国内外碳排放,从而无法体现环境友好型全球价值链的内涵。

本文首先依据全球范围内产业间中间品投入关联关系,核算产业最终产品隐含的国内外劳动、资本、能源投入和隐含的国内外非期望产出。其次将WWYZ方法与SupSBM模型相结合,给出产业部门的全要素生产率、要素投入效率及碳排放效率测度方法。最后以最新WIOD表中2000—2014年中国和美国的44个产业为研究对象进行了测度结果的比较分析,从三次产业层面为中国产业部门全要素生产率的改善提出政策建议。

2 测算方法、模型构建与数据说明

2.1 最终产品中隐含要素投入与隐含碳排放的核算

对于 k 个国家 i 个行业的WIOD表,参照WWYZ分解方法,可以得到某国某行业最终产品中所包含各国各产业的增加值,具体如式(1)所示。

$$\hat{V}B\hat{Y} = \hat{V}(I-A)^{-1}\hat{Y} = \begin{bmatrix} V_1^1 & & & & \\ & V_2^1 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & V_{i-1}^k & \\ & & & & V_i^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I-A_{11}^{11} & -A_{12}^{11} & \cdots & \cdots & \cdots \\ -A_{21}^{11} & I-A_{22}^{11} & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & I-A_{(i-1)(i-1)}^{kk} & -A_{(i-1)i}^{kk} \\ \cdots & \cdots & \cdots & -A_{i(i-1)}^{kk} & I-A_{ii}^{kk} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_1^1 & & & & \\ & Y_2^1 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & Y_{i-1}^k & \\ & & & & Y_i^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: \hat{V} 为直接增加值率对角矩阵; B 为里昂惕夫

逆矩阵; \hat{Y} 为最终产品对角矩阵; I 为单位矩阵; A 为直接消耗系数矩阵; V_i^k 代表 k 国 i 产业的直接增加值率, 即 k 国 i 产业直接增加值与 k 国 i 产业总产出的比率; $A_{(i-1)i}^{(k-1)k}$ 为 k 国 i 产业对 $(k-1)$ 国 $(i-1)$ 产业的直接消耗系数, 即为 $(k-1)$ 国 $(i-1)$ 产业对 k 国 i 产业中间投入与 k 国 i 产业总产出的比率; Y_i^k 为 k 国 i 产业的总产出。式(1)中, 竖向则表示某国某行业最终产出中所隐含各国各产业的增加值, 其中与本国位置相对应的为国内增加值, 其他为国外增加值。

同理, 将式(1)中的直接增加值率对角矩阵, 分别换为劳动投入系数对角矩阵(\hat{L})、资本投入系数对角矩阵(\hat{K})、能源投入系数对角矩阵(\hat{E})、碳排放系数对角矩阵(\hat{C}); 依据全球范围内产业间中间品投入关联关系, 则可以计算某国某行业最终产品隐含的国内外劳动投入、国内外资本投入、国内外能源投入和国内外碳排放, 具体如式(2)–(5)所示。

$$\hat{L}\hat{B}\hat{Y} = \hat{L}(I - A)^{-1}\hat{Y} \quad (2)$$

$$\hat{K}\hat{B}\hat{Y} = \hat{K}(I - A)^{-1}\hat{Y} \quad (3)$$

$$\hat{E}\hat{B}\hat{Y} = \hat{E}(I - A)^{-1}\hat{Y} \quad (4)$$

$$\hat{C}\hat{B}\hat{Y} = \hat{C}(I - A)^{-1}\hat{Y} \quad (5)$$

2.2 SupSBM 模型构建、要素投入效率与碳排放效率排序方法

2.2.1 SupSBM 模型构建

假定某生产系统存在 n 个决策单元, 每个决策单元使用 m 种投入可以得到 s_1 种期望产出和 s_2 种非期望产出。投入向量表示为 $x \in R^m$, 期望产出向量表示为 $y^g \in R^{s_1}$, 非期望产出向量表示为 $y^b \in R^{s_2}$ 。定义矩阵 X 、 Y^g 、 Y^b :

$$X = [x_1, \dots, x_m] \quad (6)$$

$$Y^g = [y_1^g, \dots, y_{s_1}^g] \quad (7)$$

$$Y^b = [y_1^b, \dots, y_{s_2}^b] \quad (8)$$

式中: $x_i > 0$, $y_i^g > 0$, $y_i^b > 0$ 。生产可能性集合则为:

$$P = \{(x, y^g, y^b) | x \geq X\delta, (y^g \leq Y^g\delta, y^b \geq Y^b\delta, \delta \geq 0)\}.$$

按照 Tone^[1] 包含非期望产出的 SBM 模型, 建立模型如式(9)所示。其中, \bar{s} , \bar{s}^{g+} , \bar{s}^{b-} 代表投入、期望产出、非期望产出的冗向量; \bar{s}_i 为第 i 种投入冗余值; \bar{s}_r^{g+} 为第 r 种期望产出冗余值; \bar{s}_k^{b-} 为第 k 种非期望产出冗余值; x_0 代表所评价决策单元的第 i 种投入; y_{r0}^g 代表所评价决策单元的第 r 种期望产出; y_{k0}^b

代表所评价决策单元的第 k 种非期望产出; ρ 代表所评价决策单元 (x_0, y_0^g, y_0^b) 的环境友好全球价值链视角下全要素生产率值, 且 $0 \leq \rho \leq 1$ 。若 $0 \leq \rho < 1$, 则所评价决策单元是无效的; 若 $\rho = 1$, 则所评价决策单元是有效的。式(9)模型线性规划后如式(10)所示。

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{s}_i}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{\bar{s}_r^{g+}}{y_{r0}^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{\bar{s}_k^{b-}}{y_{k0}^b} \right)}, \quad (9)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} x_0 = X\delta + \bar{s} \\ y_0^g = Y^g\delta - \bar{s}^{g+} \\ y_0^b = Y^b\delta + \bar{s}^{b-} \\ \bar{s} \geq 0, \bar{s}^{g+} \geq 0, \bar{s}^{b-} \geq 0, \delta \geq 0 \end{cases}$$

$$\tau = \min \left(t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{s}_i}{x_{i0}} \right),$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} 1 = t + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{\bar{s}_r^{g+}}{y_{r0}^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{\bar{s}_k^{b-}}{y_{k0}^b} \right) \\ t x_0 = XA + \bar{s} \\ t y_0^g = Y^g A - \bar{s}^{g+} \\ t y_0^b = Y^b A + \bar{s}^{b-} \\ \bar{s} \geq 0, \bar{s}^{g+} \geq 0, \bar{s}^{b-} \geq 0, A \geq 0, t > 0 \end{cases} \quad (10)$$

式中: $\bar{s} = t\bar{s}$, $\bar{s}^{g+} = t\bar{s}^{g+}$, $\bar{s}^{b-} = t\bar{s}^{b-}$, $A = t\delta$ 。式(9)、式(10)得到模型的最优解存在如下关系: $\rho^* = \tau^*$, $\delta^* = A^*/t^*$, $\bar{s}^* = \bar{s}^*/t^*$, $\bar{s}^{g+*} = \bar{s}^{g+*}/t^*$, $\bar{s}^{b-*} = \bar{s}^{b-*}/t^*$, 其中*代表模型的最优解。

为区分 SBM 模型中效率为 1 的决策单元, 参考 Song 等^[14]、Xiao 等^[15]的方法, 建立包含非期望产出的 SupSBM 模型, 具体如式(11)所示。式(11)模型线性规划后如式(12)所示。

$$\theta = \min \frac{1}{m + s_2} \left(\sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}_i}{x_{i0}} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{\bar{y}_k^b}{y_{k0}^b} \right), \quad (11)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n z_j x_j \\ \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, j \neq 0}^n z_j y_j^g \\ \bar{y}^b \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n z_j y_j^b \\ \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b, \bar{y}^g \geq 0, \bar{y}^b \geq 0, z \geq 0 \end{cases}$$

2022年3月

式中: θ 为所评价超效率决策单元的效率值, 满足 $\theta \geq 1$; \bar{x} 、 \bar{y}^g 、 \bar{y}^b 为约束条件下决策变量的向量; \bar{x}_i 为第 i 种投入的决策变量; \bar{y}_r^g 为第 r 种期望产出的决策变量; \bar{y}_k^b 为第 k 种非期望产出的决策变量。

$$\sigma = \min \frac{1}{m + s_2} \left(\sum_{i=1}^m \tilde{x}_i + \sum_{k=1}^{s_2} \tilde{y}_k^b \right),$$

$$\begin{cases} 1 = \frac{1}{s_1} \sum_{r=1}^{s_1} \tilde{y}_r^g \\ \tilde{x} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \eta_j x_j \\ \text{s.t.} \begin{cases} \tilde{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \eta_j y_j^g \\ \tilde{y}^b \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \eta_j y_j^b \\ \tilde{x} \geq t x_0, \tilde{y}^g \leq t y_0^g, \tilde{y}^b \geq t y_0^b, \\ \tilde{y}^g \geq 0, \tilde{y}^b > 0, \eta \geq 0, t > 0 \end{cases} \end{cases} \quad (12)$$

式中: $\tilde{x} = t\bar{x}$, $\tilde{y}^g = t\bar{y}^g$, $\tilde{y}^b = t\bar{y}^b$, $\eta = t\bar{\eta}$ 。依据式(11)和式(12)可得模型的最优解, 且存在如下关系: $\theta^* = \sigma^*$, $z^* = \eta^*/t^*$, $\bar{x}^* = \tilde{x}^*/t^*$, $\bar{y}^{g*} = \tilde{y}^{g*}/t^*$, $\bar{y}^{b*} = \tilde{y}^{b*}/t^*$ 。若决策单元 (x_0, y_0^g, y_0^b) 存在超效率, 则用式(11)中的 θ 值代替式(9)中的 ρ 值来测度环境友好全球价值链视角下决策单元的全要素生产率。

2.2.2 要素投入效率与碳排放效率排序方法

Hu等^[26]提出用“理想能源投入与实际能源投入的比值”测度全要素能源效率。魏楚等^[4]将该效率定义为全要素能源相对效率, 在此基础上提出与全要素能源相对效率互为镜像的节约潜力概念。郭姣等^[5]、王有森^[27]在SBM模型基础上提出节约潜力为各投入与非期望产出的冗余值与实际值的比率, 尔后通过计算节约潜力来测算要素投入效率与碳排放效率。用实际投入与冗余值的差额在实际投入中的占比测度要素投入效率, 用实际碳排放与冗余值的差额在实际投入中的占比测度碳排放效率。

在决策单元有效情况下, 为区分要素投入效率与碳排放效率的差异, 本文用SupSBM模型结果对其进行排序, 且要素投入效率与碳排放效率均 ≥ 1 。具体如下: 计算理想值与实际值的比值, 依据要素

理想投入高于实际投入的程度不同, 对要素投入效率进行排序。依据非期望产出理想产出高于实际产出的程度不同, 对碳排放效率进行排序。要素投入效率(XE_{i_super})排序方法如式(13)所示, 碳排放效率(YE_{i_super})排序方法如式(14)所示。

$$XE_{i_super} = \bar{x}_i^*/x_i \quad (13)$$

$$YE_{i_super} = \bar{y}_i^{b*}/y_i^b \quad (14)$$

式中: \bar{x}_i^* 为投入 i 的理想投入, 即式(11)所得投入 i 的最优解; x_i 为投入 i 的实际投入; \bar{y}_i^{b*} 为非期望产出 i 的理想产出, 即式(11)所得非期望产出 i 的最优解; y_i^b 为碳排放 i 的实际产出。

2.3 数据说明

在2016年最新公布的WIOD表的基础上, 本文以2000—2014年中国和美国的44个产业为研究对象^①。其中, 产业r1—r4为第一产业, 产业r5—r22为第二产业, 产业r23—r56为第三产业^②。由于在全球价值链跨境生产的过程中运输成本极为重要^[28], 本文在国内外劳动投入、国内外资本投入、国内外能源投入的基础上将运输成本作为投入加入模型, 共7种投入要素。期望产出为每个产业的最终产品产出值, 非期望产出为国内外碳排放, 共2种产出。除运输成本外, 本文利用Matlab 2019b软件完成WWYZ方法测算所得投入要素和非期望产出。期望产出和运输成本原始数据来自WIOD表。WIOD表所列国家各产业的劳动直接投入和资本直接投入来自与WIOD对应的社会经济账户^③。世界其他国家(ROW)的劳动直接投入和资本直接投入来自Penn表^④。直接碳排放数据来自与WIOD对应的环境账户。

3 结果与分析

3.1 中国和美国整体产业部门最终产品隐含要素投入及非期望产出分析

3.1.1 中美整体产业部门最终产品隐含国内外要素投入及非期望产出趋势分析

基于WWYZ计算方法, 可以得到2000—2014

① 由于WIOD表中部分产业的总产出为0或者最终产出为负, 产业r2、r14、r23、r26、r28、r37、r38、r43、r46、r48、r55、r56未作为研究对象。

② 限于篇幅, r1—r56的具体产业名称查阅WIOD表。

③ 以WIOD表中的增加值与社会经济账户中的增加值比值为汇率, 将社会经济账户中的资本存量进行换算。

④ 下载网址: <https://econdata.com/databases/imf-and-other-international/penn-world-table/>。

年中国和美国产业部门最终产品隐含国内外要素投入及非期望产出值。由计算结果可知,中国整体产业部门最终产品隐含国内外要素投入和国内外碳排放增速均超过美国^⑤。为分析具体差异,以2000年、2005年、2010年、2014年为例,对两个国家的整体产业部门最终产品隐含国内外投入要素及非期望产出,在各自国内外要素总投入或国内外总非期望产出的占比进行测算,具体趋势图如图1所示。

由图1可知,中国和美国保持一致,即两个国家整体产业部门最终产品隐含国内要素投入及国内碳排放占比都远高于国外,且国内劳动投入、国内能源投入和国内碳排放产出占比美国低于中国,国内资本投入占比美国高于中国。从中国和美国各自国内外要素投入或非期望产出差异看,2000年、2005年、2010年、2014年美国整体产业部门最终产品隐含国内投入要素占比、国内碳排放占比均高于国外;国内外劳动占比差距呈“V”状变化,国内外资本占比差距呈“倒V”状变化,国内外能源、国内外碳排放占比差距呈“倒N”状变化;国内外劳动占比差距整体略有变大趋势,国内外能源、国内外碳排放占比差距波动中略有下降趋势,国内外资本占比差距波动幅度较小。中国整体产业部门最终产品隐含国内投入要素占比、国内碳排放占比均高于国外;国内外劳动投入占比、国内外碳排放投入占比差距呈变小趋势;国内外资本占比差距整体略有变

大趋势;国内外能源占比差距呈先变小后趋于平稳的趋势。

3.1.2 中美整体产业部门隐含要素投入及非期望产出差异原因分析

中国和美国所处的全球价值链发展阶段和采取的对外经济发展战略不同、产业结构不同,使得整体产业部门最终产品隐含要素投入和非期望产出存在差异。第一,中国和美国经济全球化发展阶段和对外经济发展战略存在差异。美国经济参与全球化时间较长,使得美国最终产品隐含的各要素投入平稳增长;美国通过“对外输出资本,并在资本输入国获取原材料并进行生产”的方式参与全球化,使得“国内资本雇佣国外劳动”、国内能源投入和国内碳排放占比低于中国^[29]。中国经济处于上升期,使得中国最终产品隐含的各投入要素增速较快;中国采取吸收FDI和出口导向的外贸政策,使得“国外资本雇佣国内劳动”、国内资源投入和国内碳排放占比高于美国^[30]。第二,中国和美国产业结构的差异。中国在经济飞速发展的同时,注重由量升向质升的转变,产业结构也在进一步完善,实现了三二一结构。但是,美国的三二一产业结构中第三产业占比非常高,由此引发了两个国家在第三产业中间品贸易的隐含投入要素及碳排放规模的差异。

3.2 中国和美国整体产业部门的全要素生产率分析

为全面反映中国和美国产业部门的环境友好全球价值链视角下全要素生产率的差异,本文采用

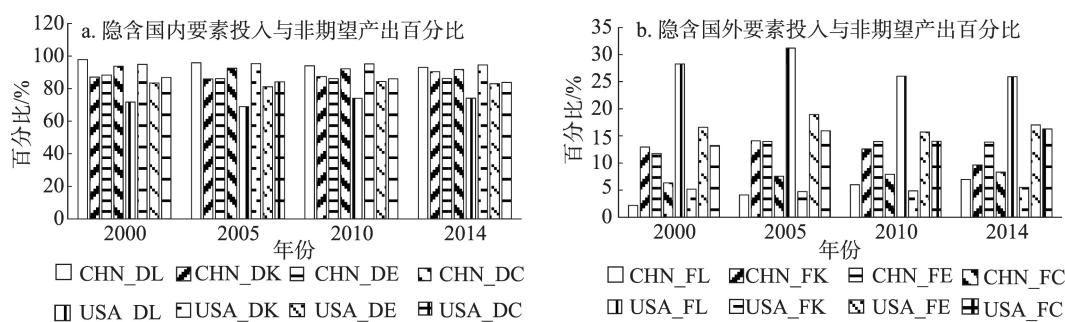


图1 2000—2014年中国和美国整体产业部门最终产品隐含国内外要素投入及非期望产出百分比趋势图

Figure 1 Trend of implied domestic and foreign factor input and undesired output percentages in the final products of the overall industrial sector of China and the United States, 2000-2014

注:“%”表示该投入要素或非期望产出在本国国内外投入要素或非期望产出加和中所占的百分比。国家简称后“_DC”为国内碳排放,“_FC”为国外碳排放,“_DL”为国内劳动,“_FL”为国外劳动,“_DK”为国内资本,“_FK”为国外资本,“_DE”为国内能源,“_FE”为国外能源。

⑤ 限于篇幅,中国和美国整体产业部门最终产品隐含国内外要素投入及非期望产出统计表未列出。

2022年3月

按产业平均和年份平均2种方式统计^⑥。其中,表1为按产业平均统计的中国和美国产业部门的全要素生产率(CHNE、USAE列)、要素投入效率(CHN_X、USA_X列)、碳排放效率(CHN_b、USA_b列),图2为按年份平均统计的2000—2014中美两国整体产业部门全要素生产率、碳排放效率、要素投入效率的变动趋势图^⑦。

由表1可知,按产业平均值看,中国整体产业部门中仅4.5%产业的全要素生产率、要素投入效率、碳排放效率值大于1,是有效的;美国产业部门中

13.6%产业的全要素生产率、要素投入效率、碳排放效率值大于1,是有效的。总而言之,美国多数产业的全要素生产率、要素投入效率、碳排放效率高于中国,但是中国整体产业部门中13.6%产业的全要素生产率、9.1%产业的要素投入效率、36.4%产业的碳排放效率均高于美国。这说明中国从21世纪开始,深刻把握住经济结构战略性调整的重要意义,在能源与碳排放治理方面的成效显著。

由图2a可知,美国整体产业部门全要素生产率、碳排放效率均高于中国,但是中国与美国的差

表1 按产业平均统计的中国和美国整体产业部门的全要素生产率、要素投入效率、碳排放效率

Table 1 Total efficiencies, input factor efficiencies, and undesired output efficiencies of the overall industrial sector in China and the United States according to industry average statistics

行业	全要素生产率		要素投入效率		碳排放效率		行业	全要素生产率		要素投入效率		碳排放效率	
	CHNE	USAE	CHN_X	USA_X	CHN_b	USA_b		CHNE	USAE	CHN_X	USA_X	CHN_b	USA_b
r1	0.166	0.174	0.245	0.270	0.235	0.168	r27	0.215	0.958	0.338	0.968	0.133	0.950
r3	0.198	0.240	0.278	0.343	0.313	0.353	r29	0.409	1.054	0.529	1.067	0.451	1.009
r4	0.268	0.898	0.394	0.938	0.240	0.854	r30	0.401	0.694	0.520	0.798	0.449	0.706
r5	0.201	0.222	0.296	0.344	0.262	0.180	r31	0.255	0.185	0.374	0.289	0.299	0.161
r6	0.173	0.182	0.267	0.283	0.187	0.170	r32	0.202	0.204	0.308	0.325	0.207	0.110
r7	0.164	0.187	0.252	0.291	0.188	0.168	r33	0.181	0.177	0.280	0.282	0.172	0.106
r8	0.161	0.196	0.251	0.311	0.158	0.120	r34	0.183	0.303	0.278	0.433	0.213	0.349
r9	0.186	0.220	0.282	0.336	0.212	0.205	r35	0.267	0.275	0.389	0.398	0.310	0.324
r10	0.791	1.098	0.818	1.125	0.780	1.000	r36	0.248	0.291	0.356	0.423	0.304	0.318
r11	0.181	0.986	0.283	1.004	0.132	0.967	r39	0.360	0.904	0.490	0.937	0.452	0.920
r12	0.216	1.017	0.323	1.022	0.253	1.000	r40	0.276	0.546	0.395	0.673	0.345	0.605
r13	0.154	0.205	0.241	0.322	0.140	0.138	r41	1.374	1.113	1.460	1.140	1.072	1.041
r15	0.176	0.192	0.279	0.310	0.117	0.079	r42	0.590	1.747	0.692	1.918	0.583	1.148
r16	0.177	0.217	0.280	0.340	0.134	0.147	r44	1.551	1.237	1.677	1.302	1.110	1.010
r17	0.369	0.773	0.459	0.829	0.352	0.789	r45	0.230	0.626	0.339	0.742	0.283	0.701
r18	0.190	0.239	0.297	0.370	0.149	0.169	r47	0.248	0.479	0.371	0.627	0.254	0.525
r19	0.222	0.230	0.342	0.356	0.177	0.172	r49	0.409	0.479	0.522	0.627	0.448	0.525
r20	0.239	0.380	0.366	0.506	0.197	0.329	r50	0.283	0.430	0.414	0.566	0.304	0.514
r21	0.277	0.444	0.392	0.562	0.232	0.412	r51	0.465	0.249	0.605	0.361	0.444	0.324
r22	0.197	0.244	0.302	0.369	0.196	0.223	r52	0.249	0.316	0.365	0.455	0.268	0.335
r24	0.545	0.482	0.623	0.681	0.496	0.351	r53	0.281	0.351	0.413	0.490	0.262	0.404
r25	0.290	0.543	0.410	0.715	0.239	0.437	r54	0.128	0.373	0.197	0.510	0.188	0.442

注:对于全要素生产率 ≥ 1 ,可能由于某一要素投入效率或者碳排放效率,并非所有的要素投入效率或者碳排放效率均 ≥ 1 ,所以美国产业r10和产业r12按产业平均统计的碳排放效率为1;2005年美国产业r11部分要素投入效率、碳排放效率小于1,但2000—2014年按产业平均统计要素投入效率大于1。

⑥ 为方便实证结果分析,本文未将要素投入效率 ≥ 1 和碳排放效率 ≥ 1 单独列出。

⑦ 按年份统计中,“CHNE”代表中国整体产业部门全要素生产率,“USAE”代表美国整体产业部门全要素生产率,国家简称后“DC”为国内碳排放效率,“FC”为国外碳排放效率,“DL”为国内劳动投入效率,“FL”为国外劳动投入效率,“DK”为国内资本投入效率,“FK”为国外资本投入效率,“DE”为国内能源投入效率,“FE”为国外能源投入效率。

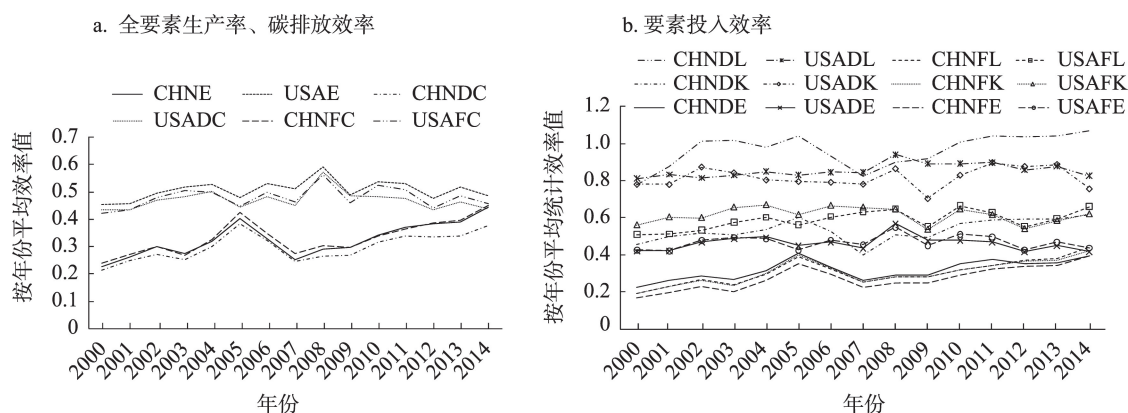


图2 2000—2014年中美两国整体产业部门全要素生产率、碳排放效率、要素投入效率变动趋势图

Figure 2 Trend of change in the overall efficiencies, undesired output efficiencies, and input factor efficiencies of the overall industrial sector in China and the United States, 2000-2014

距有缩小趋势。对于中国,国外碳排放效率均高于国内碳排放效率,且在2011年后中国国内外碳排放效率差距有变大趋势;而美国国外碳排放效率在2010年后高于国内碳排放效率,美国国内外碳排放效率差距较小。这表明中国整体产业部门绿色生产水平虽与美国比仍有差距,但推动高质量发展的政策已初见成效,中国政府仍需继续深化产业部门改革,逐步加快产业部门绿色生产水平提升步伐。

由图2b可知,除国内劳动投入效率外,美国整体产业部门其他要素投入效率远高于中国,但中国与美国其他要素投入效率差距有缩小趋势。对于劳动投入效率,中国整体产业部门国内劳动投入效率除2000年、2007年、2008年低于美国外,其他年份均高于美国,2009年后美国与中国的国内劳动投入效率差距有变大趋势。对于能源投入效率,中国整体产业部门国外能源投入效率在2014年略高于国内能源投入效率外;美国整体产业部门国外能源投入效率在2010年后高于国内能源投入效率,其他年份则相反。这说明中国整体产业部门的国内劳动绿色生产水平提升显著,中国政府还需要在其他要素投入效率提升方面多关注。

3.3 中国和美国三次产业的全要素生产率分析

3.3.1 第一产业

由图3a可知,多数年份美国第一产业全要素生产率、碳排放效率高于中国,但中国与美国的国内碳排放效率差距呈现变小趋势,表明中国全球治理的能力提升。对于美国,多数年份第一

产业国内碳排放效率高于国外碳排放效率;而中国正好相反,且在2011年后国内外碳排放效率差距有变大趋势。这种变大趋势需要引起政府注意。

由图3b可知,除劳动投入效率外,美国第一产业其他要素投入效率远高于中国,中国和美国要素投入效率差距波动较大。对于第一产业国内劳动投入效率,除2000年和2009年外,其他年份中国高于美国;对于第一产业国外劳动投入效率,仅2002年中国高于美国。中国与美国国外劳动投入效率、国外资本投入效率、国内外能源投入效率差距波动中有明显上升趋势,国内资本投入效率差距波动中有明显下降趋势。这表明中国第一产业国内劳动、国内资本绿色生产水平提升显著,中国政府需要关注第一产业国内能源绿色生产水平的提升。

3.3.2 第二产业

由图4a可知,多数年份美国第二产业全要素生产率、碳排放效率高于中国,且中国与美国国外碳排放效率差距小于全要素生产率、国内碳排放效率的差距。对于美国,第二产业国内碳排放效率高于国外碳排放效率,且国内外碳排放效率的差距呈小幅度变小趋势。但是,中国第二产业国外碳排放效率在2004年后高于国内碳排放效率,且2008年后国内与国外碳排放效率差距呈变大趋势。这主要是由于金融危机后,中国政府实施经济刺激计划,使得碳排放水平增加,因此中国第二产业国内碳排放效率仍有较大提升空间。

由图4b可知,多数年份美国第二产业要素投入

2022年3月

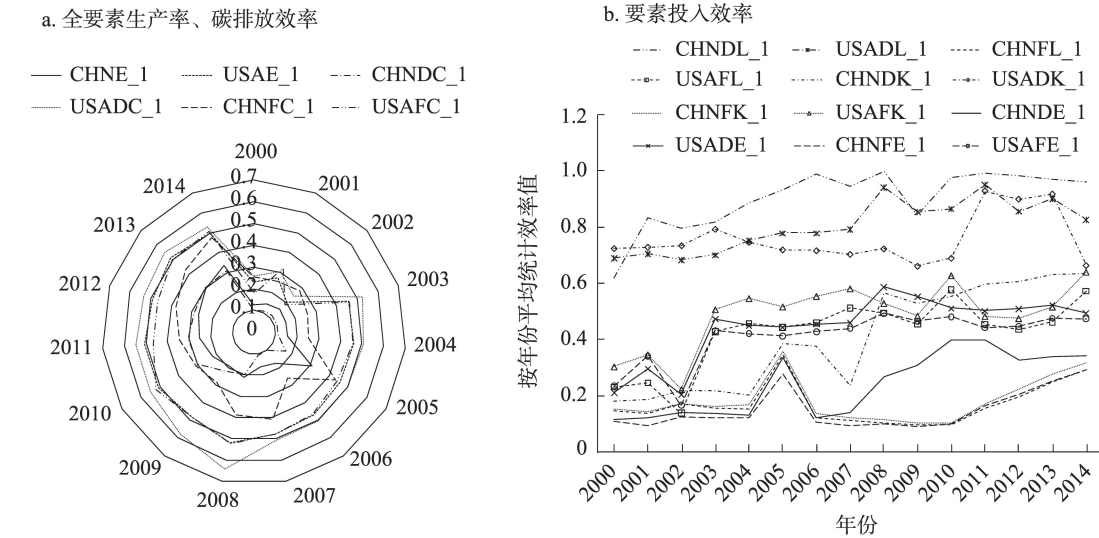


图3 2000—2014年中国和美国第一产业全要素生产率、碳排放效率、要素投入效率变动趋势图

Figure 3 Radar chart of changes in total efficiencies, undesired output efficiencies and input factor efficiencies of the primary industry in China and the United States, 2000-2014

效率高于中国,且中国与美国的要素投入效率差距波动中没有明显缩小趋势。除中国能源投入效率外,中国和美国国内其他要素投入效率均高于国外,且国内外其他要素投入效率差距有变小趋势,国内外能源投入效率的差距小于其他国内外要素投入效率差距。对于中国,国内能源投入效率由高于变为低于国外能源投入效率。这说明中国第二

产业投入要素绿色生产水平有待更高地提升。

3.3.3 第三产业

由图5a可知,仅2014年中国第三产业全要素生产率、碳排放效率分别超过美国,其他年份均低于美国。中国和美国第三产业国外碳排放效率高国内,且中国第三产业国外与国内碳排放效率的差距小于美国。对于中国与美国第三产业效率差距,

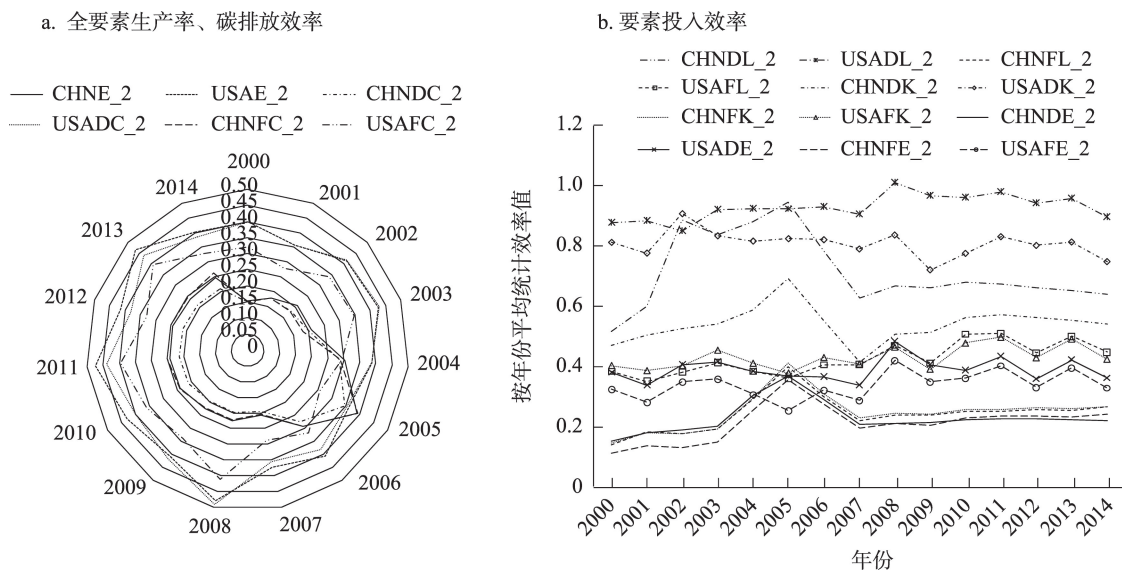


图4 2000—2014年中国和美国第二产业全要素生产率、碳排放效率、要素投入效率变动趋势图

Figure 4 Radar chart of changes in total efficiencies, undesired output efficiencies and input factor efficiencies of the secondary industry in China and the United States, 2000-2014

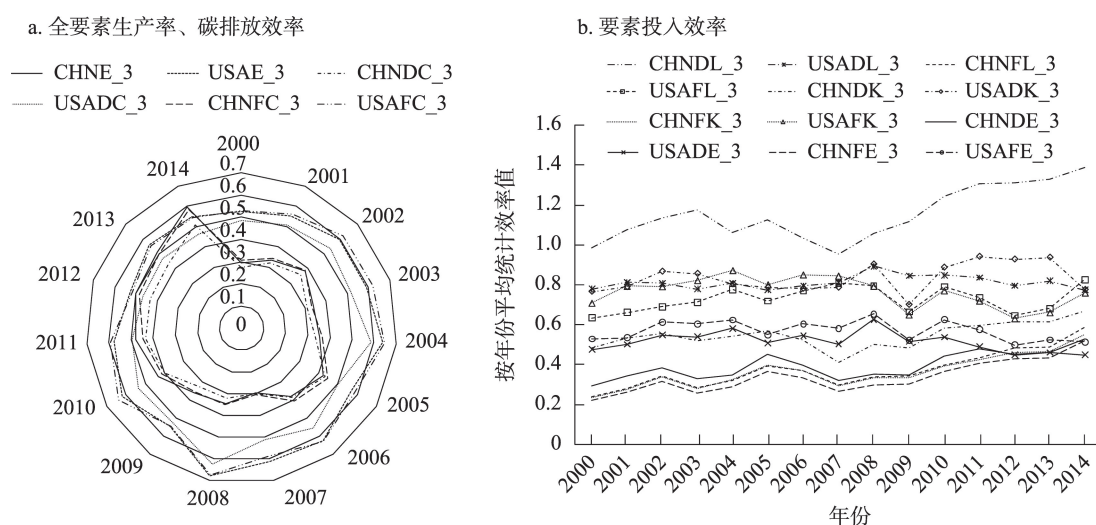


图5 2000—2014年中国和美国第三产业全要素生产率、碳排放效率、要素投入效率变动趋势图

Figure 5 Radar chart of changes in total efficiencies, undesired output efficiencies, and input factor efficiencies of the tertiary industry in China and the United States, 2000-2014

全要素生产率、国内碳排放效率、国外碳排放效率的差距呈“W+V”状变化。这说明中国第三产业全要素生产率、碳排放效率提升显著,中国政府应继续支持第三产业发展,并发挥第三产业对第一、第二产业效率提升的带动效应。

由图5b可知,除国内劳动投入效率外,多数年份美国第三产业其他要素投入效率高于中国,但中国与美国其他要素投入效率的差距有缩小趋势。2000—2014年中国第三产业国内要素投入效率高于国外,但是美国多数年份国内劳动投入效率高于国外,国外能源投入效率高于国内,近半数年份国内资本投入效率高于国外。多数年份中国和美国第三产业国内外能源投入效率差距小于国内外其他要素投入效率差距。对于第三产业国内劳动投入效率,中国高于美国。这说明中国第三产业投入要素绿色生产水平有显著提升,应充分发挥第三产业投入要素对第一、第二产业的示范效应。

3.4 中国和美国三次产业全要素生产率差异原因分析

环境友好全球价值链视角下,中国和美国三次产业全要素生产率存在差异的原因如下:第一,中国和美国三次产业技术复杂程度的差异。中国第二产业部门技术复杂度与美国差距较大^[31],而第一、第三产业技术复杂度接近甚至超过美国^[32]。这解释

了按年平均统计的中国和美国第一、第三产业全要素生产率差距变小,甚至2014年中国第三产业全要素生产率对美国的赶超,而第二产业中国和美国全要素生产率差距较大。第二,中国和美国不同要素密集度、污染密集度产业占比存在差异。以2014年为例,参考Rahman等^[33]按照要素密集度将产业部门分为8类,中国第二产业最终产品中劳动、资本、知识密集型产业部门的占比分别为15.5%、26.0%、58.5%,美国的占比分别为7.7%、39.8%、52.5%;中国第三产业最终产品中劳动、资本、知识密集型产业部门的占比分别为51.6%、13.9%、4.6%,美国的占比分别为26.2%、22.0%、8.5%。这说明中国和美国产业部门在最终产品生产过程中所需的密集度要素投入及产生的碳排放存在差异。产业间中间品投入使得上述产业的密集度要素、其他投入要素和非期望产出在全球范围内进行分配。这解释了中国和美国三次产业要素投入效率及碳排放效率存在差异的原因。

4 结论及政策建议

4.1 结论

本文将WWYZ方法与SupSBM模型相结合,运用世界投入产出表以及与之对应的社会经济账户、环境账户,计算了产业部门最终产品中隐含的国内外要素投入及国内外碳排放。以中国和美国产业

2022年3月

部门为研究对象,分别测算了2000—2014年整体产业部门及三次产业在环境友好全球价值链视角下的全要素生产率,以及要素投入效率和碳排放效率,并进行对比分析。得出如下结论:

(1)美国整体产业部门的全要素生产率高于中国,但是这种差距逐渐变小。基于整体产业部门全要素生产率与三次产业要素投入效率、碳排放效率对比可知,差距变小主要归因于中国第一产业、第三产业国内劳动投入效率的提升。按年平均统计,多数年份中国第一产业国内劳动投入效率与第三产业国内劳动投入效率高于美国,第一产业与第三产业的其它要素投入效率和碳排放效率、第二产业要素投入效率和碳排放效率美国高于中国。

(2)按年平均统计来看,中国整体产业部门国内劳动投入效率高于美国,而其他要素投入效率均低于美国。其中,中国整体产业部门国内劳动投入效率仅2000年、2007年和2008年低于美国。除国内劳动投入效率外,美国整体产业部门全要素生产率、其它要素投入效率、国内外碳排放效率均高于中国。

(3)与美国相比,中国第三产业发展向环境友好方向演变,但第一、第二产业环境友好发展不显著,有待进一步提高。按年平均统计,中国与美国第一产业国内外能源投入效率差距波动中有明显上升趋势,第二产业能源投入效率和碳排放效率差距波动中没有明显缩小趋势。但是第三产业国内外碳排放效率、国外能源投入效率由2013年前美国高于中国演变为2014年中国高于美国;国内能源投入效率2012年、2014年中国高于美国,其他年份美国高于中国。数据表明中国第三产业能源与环境治理成效开始显现。

4.2 政策建议

当前,中国整体产业部门及三次产业的全要素生产率、要素投入效率、碳排放效率有了一定的提升,但是多数效率与美国仍有一定的差距。为提高中国整体产业部门的全要素生产率,本文基于实证结果提出如下政策建议:

(1)以政策为引导,加强低效企业职工技能培训、资本运营能力、低能低碳环保生产能力培训,补齐效率短板。政府通过补贴、购买低碳技术专利、

构建知识共享平台等方式鼓励高效企业对低效企业进行指导与培训,重点提高中国第一产业国内资本、国内能源、国内碳排放效率,第二产业国内劳动、国内资本、国内能源、国内碳排放效率,第三产业国内资本投入效率。

(2)加强国内产业链管理,强化超效率产业,引导投入要素产业链间流动,提高效率的国内溢出效应。以高效率产业链为例,对其他低效产业链通过采用严格环境准则,引进低碳技术与设备完成过程升级;通过转向初级产品深加工、低碳产品的自主设计完成产品升级;通过向研发设计、销售渠道等低碳环节的转移完成功能升级;通过高效率产业的低碳化引导,自身所在功能模块的低碳强化升级,企业间的低碳知识共享完成链条升级。存在高效率的生产性服务行业的劳动力可以稳步向第二产业相应制造业流动,以客户需求为引导,优化制造业生产流程,进一步提高第二产业的劳动投入效率。

(3)转变粗放式全球价值链嵌入模式,提高效率的国际溢出效应。进一步提高开放度,积极引入发达国家的要素投入,逐渐从事高附加值的绿色生产活动,提升行业内大企业吸收发达国家国外投入要素的能力,以此借鉴先进技术和管理经验,并结合自身特点进行改革创新。

(4)以国内大循环为主体,扩大内需,防止国外投入要素对国内的过度替代。虽然当前中国国外投入要素对国内的替代程度不高,但是随着全球价值链参与程度的不断提高,若国外投入要素替代国内投入要素,可能会引发国内就业、金融、能源等方面的风险问题。

参考文献(References):

- [1] Tone K. Dealing with Undesirable Outputs in Dea: A Slacks-Based Measure (Sbm) Approach[R]. GRIPS Research Report Series, 2004.
- [2] 周敏,王腾,严良,等. 财政分权、经济竞争对中国能源生态效率影响异质性研究[J]. 资源科学, 2019, 41(3): 532-545. [Zhou M, Wang T, Yan L, et al. Heterogeneity in the influence of fiscal decentralization and economic competition on China's energy ecological efficiency[J]. Resources Science, 2019, 41(3): 532-545.]

- [3] 张士强, 孟璐莎, 李跃. 能源产能空间集聚对区域能源效率的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(5): 58–66. [Zhang S Q, Meng L S, Li Y. Impact of spatial agglomeration of energy production capacity on regional energy efficiency[J]. China population, resources and environment, 2021, 31(5): 58–66.]
- [4] 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, 33(3): 141–160. [Wei C, Du L M, Shen M H. Are China's energy-saving and emission reduction targets feasible: An evaluation and simulation analysis based on DEA[J]. The Journal of World Economy, 2010, 33(3): 141–160.]
- [5] 郭姣, 李健. 中国三大城市群全要素能源效率与节能减排潜力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(11): 17–24. [Guo J, Li J. Total-factor energy efficiency and the potentials of energy conservation and emission reduction in China's three urban agglomerations[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(11): 17–24.]
- [6] Zhao P J, Zeng L E, Lu H Y, et al. Green economic efficiency and its influencing factors in China from 2008 to 2017: Based on the Super-SBM model with undesirable outputs and spatial Dubin model[J]. Science of the Total Environment, 2020, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140026.
- [7] 王少剑, 高爽, 黄永源, 等. 基于超效率SBM模型的中国城市碳排放绩效时空演变格局及预测[J]. 地理学报, 2020, 75(6): 1316–1330. [Wang S J, Gao S, Huang Y Y, et al. Spatio-temporal evolution and trend prediction of urban carbon emission performance in China based on super-efficiency SBM model[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(6): 1316–1330.]
- [8] 侯孟阳, 姚顺波. 空间视角下中国农业生态效率的收敛性与分异特征[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(4): 116–126. [Hou M Y, Yao S B. Convergence and differentiation characteristics on agro-ecological efficiency in China from a spatial perspective[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(4): 116–126.]
- [9] 关伟, 许淑婷, 郭岫垚. 黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 150–158. [Guan W, Xu S T, Guo X Y. Spatiotemporal change and driving factors of comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 150–158.]
- [10] Song M L, Guan Y Y. The electronic government performance of environmental protection administrations in Anhui Province, China [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2015, 96(7): 79–88.
- [11] Xiao C M, Wang Z, Shi W F, et al. Sectoral energy-environmental efficiency and its influencing factors in China: Based on S-U-SBM model and panel regression model[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 182: 545–552.
- [12] 李虹, 王帅. 需求侧视角下中国隐含能源消费量及强度的影响因素[J]. 资源科学, 2021, 43(9): 1728–1742. [Li H, Wang S. Research on influencing factors of China's energy consumption and intensity: Based on the demand-side perspective[J]. Resources Science, 2021, 43(9): 1728–1742.]
- [13] 郭珊, 韩梦瑶, 杨玉浦. 中国省际隐含能源流动及能效冗余解析[J]. 资源科学, 2021, 43(4): 733–744. [Guo S, Han M Y, Yang Y P. Multiregional embodied energy flows and energy efficiency redundancy in China[J]. Resources Science, 2021, 43(4): 733–744.]
- [14] 高鹏, 岳书敬. 中国产业部门全要素隐含能源效率的测度研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(11): 61–80. [Gao P, Yue S J. Measurement of total-factor embodied energy efficiency of China's industry sectors[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2020, 37(11): 61–80.]
- [15] 黄群慧, 倪红福. 中国经济国内国际双循环的测度分析: 兼论新发展格局的本质特征[J]. 管理世界, 2021, 37(12): 40–58. [Huang Q H, Ni H F. Measurement of domestic and international double cycle of China's economy: The essential characteristics of the new development pattern[J]. Management World, 2021, 37(12): 40–58.]
- [16] Wang Z, Wei S J, Yu X D, et al. Measures of Participation in Global Value Chains and Global Business Cycles[R]. National Bureau of Economic Research Working Paper, 2017.
- [17] 蔡礼辉, 张朕, 朱磊. 全球价值链嵌入与二氧化碳排放: 来自中国工业面板数据的经验研究[J]. 国际贸易问题, 2020, (4): 86–104. [Cai L H, Zhang Z, Zhu L. Global Value Chain embeddedness and carbon dioxide emissions: An empirical study based on Panel Data of China's industries[J]. Journal of International Trade, 2020, (4): 86–104.]
- [18] 郑玉, 姜青克. 全球价值链双向参与下的生产率效应: 基于WIOD数据库的实证研究[J]. 财贸研究, 2019, 30(8): 26–42. [Zheng Y, Jiang Q K. Effect of two-way participation of global value chains on productivity: Empirical research based on the World Input-Output Database[J]. Finance and Trade Research, 2019, 30(8): 26–42.]
- [19] 李焱, 李佳蔚, 王炜瀚, 等. 全球价值链嵌入对碳排放效率的影响机制: “一带一路”沿线国家制造业的证据与启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(7): 15–26. [Li Y, Li J W, Wang W H, et al. Effect and mechanism of global value chain embedding on carbon emission efficiency: Evidence and implications from the manufacturing industries in the Belt and Road countries[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(7): 15–26.]
- [20] Sun C W, Li Z, Ma T M, et al. Carbon efficiency and international specialization position: Evidence from global value chain position

2022年3月

- index of manufacture[J]. *Energy Policy*, 2019, 128(5): 235–242.
- [21] 许冬兰, 韩婧彤. 双循环价值链嵌入对低碳全要素生产率的影响效应研究[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2022, 22(1): 99–114. [Xu D L, Han J T. The effect of dual circulation value chain embeddedness on low carbon total factor productivity[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2022, 22(1): 99–114.]
- [22] 陈颂, 卢晨. 国际产品内分工对中国工业行业环境技术效率的影响效应研究[J]. *国际贸易问题*, 2019, (12): 46–60. [Chen S, Lu C. Study on the effect of international intra-product specialization on the environmental technological efficiency of Chinese industries[J]. *Journal of International Trade*, 2019, (12): 46–60.]
- [23] 许冬兰, 于发辉, 张敏. 全球价值链嵌入能否提升中国工业的低碳全要素生产率[J]. *世界经济研究*, 2019, (8): 60–72. [Xu D L, Yu F H, Zhang M. Can Global Value Chain participation promote the low-carbon total factor productivity of industry in China[J]. *World Economy Studies*, 2019, (8): 60–72.]
- [24] 桑丹丹, 王元月, 丁黎黎. 中美制造业环境友好型全球价值链地位的测算: 基于世界投入产出表及其环境账户[J]. *当代财经*, 2020, (8): 101–113. [Sang D D, Wang Y Y, Ding L L. Estimation of the environmental friendly global value chain position for China and USA manufacturing industries: Based on world input-output tables and their environmental accounts[J]. *Contemporary Finance & Economics*, 2020, (8): 101–113.]
- [25] Grifell-Tatjé E, Lovell C A K, Sickles R C, et al. *The Oxford Handbook of Productivity Analysis*[M]. New York: Oxford University Press, 2018.
- [26] Hu J L, Wang S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. *Energy Policy*, 2006, 34(17): 3206–3217.
- [27] 王有森. 中国工业出口产品绿色全要素生产效率评价研究: 基于产业关联视角[D]. 上海: 上海大学, 2018. [Wang Y S. Research on the Evaluation of Green Total Factor Productivity of China's Industrial Export Products: Based on Interindustry Linkage[D]. Shanghai: Shanghai University, 2018]
- [28] 谢雨蓉, 高咏玲, 王庆云. 经济全球化背景下的国际物流格局演变[J]. *宏观经济研究*, 2020, (2): 102–111. [Xie Y R, Gao Y L, Wang Q Y. The evolution of international logistics pattern in the context of economic globalization[J]. *Macroeconomics*, 2020, (2): 102–111.]
- [29] 朱燕. 马克思主义分工理论视角下两种经济全球化模式比较研究[J]. *马克思主义研究*, 2017, (10): 52–59. [Zhu Y. A comparative study of two modes of economic globalization from the perspective of Marxist theory of the division of labor[J]. *Studies on Marxism*, 2017, (10): 52–59.]
- [30] 包伟杰. 中美两国产业结构演进驱动因素比较研究[D]. 昆明: 云南大学, 2018. [Bao W J. A Comparative Study on the Driving Factors of Industrial Structure Evolution between China and the United States[D]. Kunming: Yunnan University, 2018.]
- [31] 赵玉林, 谷军健. 中美制造业发展质量的测度与比较研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(12): 116–133. [Zhao Y L, Gu J J. Measurement and comparative of the development quality in manufacturing between China and the US[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2018, 35(12): 116–133.]
- [32] 贺京同, 杨珏立. 素质提高、结构调整与产业升级: 基于中、美两国三次产业的对比[J]. *经济与管理研究*, 2016, 37(3): 54–61. [He J T, Yang Y L. Quality improvement, structural adjustment and industrial upgrading: Based on motion of industry growth in China and America[J]. *Research on Economics and Management*, 2016, 37(3): 54–61.]
- [33] Rahman J, Zhao T. *Export Performance in Europe: What do We Know from Supply Links*[R]. Washington: International Monetary Fund Working Paper, 2013.

Comparison of total factor productivity between industrial sectors in China and the United States: From the perspective of environmentally friendly global value chains

SANG Dandan, WANG Yuanyue, DING Lili

(School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The impact of industrial development brought about by the energy factors and carbon emissions embodied in intermediate trade has begun to attract attention. From the perspective of environmentally friendly global value chain, this paper combines the value-added accounting method with the SupSBM (slacks-based measure) model to calculate the total factor productivity, factor input efficiency and carbon emission efficiency of the overall industrial sector and the three industries of the two major trading powers China and the United States in 2000-2014. The results show that: (1) The total factor productivity of the overall industrial sector in the United States is higher than that in China, but the gap is gradually narrowing. This is mainly attributable to the improvement of domestic labor input efficiency in China's primary and tertiary industries. (2) According to the annual average statistics, the domestic labor input efficiency of China's overall industrial sector is higher than that of the United States, while the input efficiency of other factors is lower than that of the United States. (3) According to the annual average statistics, compared to the United States, the development of China's tertiary industry is becoming environmentally friendly, but the environmentally friendly development of the primary and secondary industries is not significant and needs to be further improved. Therefore, under the guidance of policies, making up for the shortcomings of input-output efficiency in industrial sectors and expanding the efficiency spillover effect between industrial chains are the keys to realizing the improvement of total factor productivity from the perspective of environmentally friendly global value chains in China's industrial sectors.

Key words: environmentally friendly; global value chain; total factor productivity; industrial sectors; China; the United States