

【产业经济】

中国高耗能行业真实全要素生产率研究 (1995—2010)

——基于投入产出的视角

胡鞍钢, 郑云峰, 高宇宁

(清华大学公共管理学院, 北京 100084)

[摘要] 本文利用世界银行关于真实储蓄的计算框架,考虑过度能源消耗、矿产消耗和二氧化碳排放因素,计算了中国高耗能行业的真实增加值、真实资本存量和真实全要素生产率。主要结论为:行业间投入产出关系导致行业在使用端的自然资本损耗分布与生产端分布不一致。在投入产出视角下,高耗能行业是相对低能耗、低矿耗和低排放的行业。位于产业链上游的行业,在生产环节大量补贴了下游行业产出环节的自然资本损耗。从真实全要素生产率核算结果看,上游行业在生产环节为下游行业的产出环节补贴了真实全要素生产率。有效地控制上游行业的生产端的自然资本损耗将大幅影响下游行业的全要素生产率。因此,节能减排治理应当从“谁排放,谁负责”的生产导向政策转向行业间共同而有区别责任的综合产业链政策。

[关键词] 投入产出; 自然资本损耗; 真实全要素生产率; 高耗能行业; 产业链
[中图分类号]F4247.7 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2015)05-0044-13

一、引言

工业是中国GDP的最大贡献者,也是中国最大的能源、矿产消费和二氧化碳排放的制造者。能源、矿产资源作为必须的投入要素,提供了经济增长的动力,也造成了巨大的碳排放、能源过度消耗、矿产过度消耗等环境负外部作用。高耗能行业是工业行业的典型代表,国家统计局根据能源消耗水平划分出六个高耗能行业,分别为电力热力的生产和供应业、石油加工炼焦及核燃料加工业、化学原料及化学制品制造业、有色金属冶炼及压延加工业、黑色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业。1994—2010年高耗能行业增加值占工业的比重稳定在30%左右,但能源消耗占工业的比重则从65.1%上升至72.9%,二氧化碳排放占工业的比重从68.0%上升至77.8%,工业行业的矿产消耗主要来源于化学原料及化学制品制造业、有色金属冶炼及压延加工业和黑色金属冶炼及压延加工业。高耗能行业同时还具有高矿产消耗、高碳排放的特点。按照真实GDP(绿色GDP)的计算框架,高耗能行业的碳排放和资源消耗大幅影响其真实经济产出。进一步地,高耗能行业的巨额真实产出与真实资本的损失也大幅影响了其全要素生产率。

[收稿日期] 2015-02-28

[作者简介] 胡鞍钢(1953—),男,浙江嘉善人,清华大学公共管理学院教授,博士生导师;郑云峰(1985—),男,吉林延吉人,清华大学公共管理学院博士研究生;高宇宁(1979—),男,河北邢台人,清华大学公共管理学院助理教授。

如何将能耗、二氧化碳排放、不可再生资源的损失纳入全要素生产率的计算框架,有效地消除环境要素对工业行业全要素生产率的影响,还原真实的全要素生产率,对于理解节能减排和工业增长具有重要意义。20世纪70年代,Førsund and Hjalmarsson^[1]采用面板数据,应用确定性前沿生产函数模型,以时间趋势变量估算了技术变迁率。该模型的一个重要发展就是在概念上和经验估算上将生产率拆分为技术进步、效率变化和规模效率的改善。以数据包络分析(DEA)为基础的Malmquist指数法就属于这类模型,张军等^[2]利用DEA方法对中国结构改革与工业增长的关系进行了分析,郑京海和胡鞍钢^[3]对省际全要素生产率组成进行了分析。Chung et al.^[4]将方向性距离函数应用于考虑环境因素的生产率测算,定义了以方向性距离函数表述的Malmquist-Luenberger生产率变化指数,并将生产率拆分为技术进步和技术效率改善两个部分,提出了基于方向距离函数的环境行为规制分析模型,将环境污染作为非合意产出,在考虑环境因素的前提下,讨论了其对全要素生产率的影响。在研究考虑环境因素的中国全要素生产率问题的学者中,胡鞍钢等^[5]利用方向性距离函数,计算了1999—2005年中国省际环境因素全要素生产率,发现各地区考虑环境因素的技术效率提高与地区增长模式之间有重要关联。涂正革^[6]分析了环境管制和产业环境结构变化对工业增长模式转变的影响。王兵等^[7]测算了1980—2004年APEC中的17个国家和地区包含CO₂的全要素生产率。陈诗一^[8,9]测算了中国环境全要素生产率,并对中国经济增长趋势进行了预测^[10]。孙广生等^[11],景维民和张璐^[12]还对环境因素的全要素生产率的影响因素进行了研究。

现有对环境因素的全要素生产率的研究主要是将环境污染作为非合意产出,纳入DEA为基础的Malmquist指数方法,其局限性在于:①脱离了经济核算体系,无法与联合国环境与经济综合核算体系(SEEA)相适应,导致不同研究结果的可比性较弱;②以不同污染物作为非合意产出的影响是线性不可加的,只能通过增加产出维度来增添变量,导致估计点与前沿面的距离拉近,影响结果的精度;③行业间的产业链关系使得生产中的环境负外部性与生产最终使用所造成的总负外部性之间的分布不一致,现有方法仅从生产的视角测算了环境要素对生产率的影响,无法从投入产出的视角回答环境因素对全要素生产率的影响。针对以上不足,本文提出了真实储蓄核算体系与传统增长核算相结合的真实全要素生产率理论框架,利用中国投入产出表,计算了投入产出视角下的中国高耗能行业真实全要素生产率。

二、计算框架

对于考虑环境因素的真实全要素生产率的计算,关键是有效地衡量经济活动的环境负外部性对生产函数的影响。能源和矿产等不可再生资源是基础性的自然资本,其损失不仅直接影响当期经济产出,还会影响经济的可持续发展。在世界银行对环境损害核算的真实储蓄框架下,不可再生资源的过度使用将影响真实储蓄^[13-16],其对经济核算的影响,一方面体现在产出上,即是对当期经济产出的扣除,是未被计入的非合意产出,影响当前经济产量;另一方面体现在资本积累上,即是对资本存量的扣除,影响长期的生产能力。本文使用价值量指标的自然资本损耗衡量行业对能源、矿产的过度消耗以及二氧化碳排放的环境负外部性。

本文的投入产出视角是针对行业最终使用端的产品在整个产业链的生产过程中所造成的自然资本损耗的计算。行业的中间投入与其产出之间的转换使得各个行业最终产出所造成的能源、矿产消费以及碳排放将不同于行业生产过程中的能源、矿产消费以及碳排放。因此,有别于生产视角的估算,投入产出视角的行业自然资本损耗估算能够从产业链的角度反映出行业的最终产出所造成的资源消耗与环境污染。本文认为,使用端的自然资本损耗才是各个行业,特别是高耗能行业的“真实”自然资本损耗。相较于生产视角,投入产出视角的自然资本损耗的减少将使高耗能行业的真实增加值和真实资本存量远高于生产视角的真实增加值和真实资本存量。

在行业的生产过程中将产生自然资本损耗,其通过投入产出关系来影响行业最终产出所包含

的自然资本损耗,进而通过真实产出和真实资本存量来影响全要素生产率的增长。对应于传统生产函数,以真实增加值替代增加值,以真实资本存量替代资本存量,由此得到计算真实全要素生产率的真实生产函数,即:

$$GVA = GTFP \cdot GK_t^{1-\alpha'} L^{\alpha'} \quad (1)$$

其中, GVA 为扣除自然资本损耗的真实增加值, GK_t 为扣除自然资本损耗的当期资本存量, L 为劳动投入, α' 为劳动报酬占真实增加值的比重, $GTFP$ 为相应口径下的真实全要素生产率。真实全要素生产率的核算方法及其与传统核算方法的比较如表1所示。

表 1 传统全要素生产率与真实全要素生产率核算方法比较

方法		产出	资本投入	劳动投入系数
传统全要素生产率核算		增加值	资本存量	劳动报酬占增加值的比重
真实全要素生产率核算	生产视角	真实增加值(扣除自然资本损耗)	真实资本存量(投资扣除自然资本损耗)	劳动报酬占真实增加值的比重
	投入产出视角	真实增加值(扣除投入产出视角下使用端的自然资本损耗)	真实资本存量(投资扣除投入产出视角下使用端的自然资本损耗)	劳动报酬占真实增加值的比重

资料来源:作者整理。

基于真实生产函数,真实全要素生产率的计算结果是扣除自然资本损耗影响的真实全要素生产率的增长率。参考涂正革^[6]、王兵等^[7]、陈诗一^[8,9]的研究结果,本文也同样提出真实全要素生产率的增长率高于传统全要素生产率增长率的计算预期目标。

生产视角与投入产出视角下的真实全要素生产率的差别在于,两个视角所对应的自然资本损耗的计算结果不同,使得真实生产函数中真实增加值与真实资本存量不同,进而导致真实全要素生产率的计算结果不同。本文以投入产出视角下的真实全要素生产率为目标,辅以生产视角下的真实全要素生产率的对比,说明产业链对真实全要素生产率的转移作用。

因此,基于投入产出视角的真实全要素生产率的具体计算方法如下:通过投入产出分析法,推算行业的最终使用部分所造成的环境负外部性,在此基础上,计算行业的真实产出和真实资本存量,进而通过索洛残差方法对行业进行真实增长的分解,计算出行业的真实全要素生产率。通过生产端的自然资本损耗计算得到的生产端视角下的真实全要素生产率,与投入产出视角下的真实全要素生产率做比较,可计算出投入产出关系所导致的行业真实全要素生产率的补贴或损失,即真实全要素生产率的投入产出效应。

三、生产视角与投入产出视角下的自然资本损耗计算方法

世界银行在 Atkinson et al.^[14]的包含资源环境部门的社会核算矩阵基础上,提出了真实储蓄的概念与计算方法^[17,18],并提供了能源、矿产过度消费和二氧化碳排放等环境损害的价值量计算方法及数据。本文利用其中的中国能源损耗、矿产损耗和二氧化碳损害数据,基于中国工业行业实物量数据,估算中国行业的自然资本损耗。

1. 生产视角下的工业行业自然资本损耗计算

(1)行业能源损耗的计算。根据世界银行的定义,能源损耗是将煤炭、原油和天然气三类不可再生能源的存量价值除以开采年份,其中,存量价值是根据当年开采的租金,以4%的折现率,按照25年的开采年份来估算。租金是当年能源使用量的国际市场价值与开采成本之差^[17]。能源损耗的计算公式为:

$$D^E = \frac{\pi q}{T} \left(1 + \frac{1}{r}\right) \left(1 - \frac{1}{(1+r)^T}\right) \quad (2)$$

其中, π 为单位资源收益, q 为产量(使用量), πq 为租金, T 为开采年限。

根据(2)式给出的损耗与租金的关系可知, 自然资本损耗与租金成正比。世界银行数据库提供了煤炭、原油和天然气三类资源的租金占 GDP 的比重, 利用其比例结构可以计算三类资源所对应的能源损耗 D^{coal} 、 D^{oil} 、 D^{gas} 。三类资源的能源损耗对应不同的实物量与价值量转换关系, 每单位的煤炭、原油和天然气消费对应的损耗价值量各不相同。利用《中国能源统计年鉴》中行业的煤炭、原油和天然气的实物消费量的比例关系, 分别计算出行业的三类能源损耗, 加总得到行业能源损耗, 具体计算公式为:

$$D_i^E = \frac{E_i^{coal}}{E^{coal}} D^{coal} + \frac{E_i^{oil}}{E^{oil}} D^{oil} + \frac{E_i^{gas}}{E^{gas}} D^{gas} \quad (3)$$

其中, E^{coal} 、 E^{oil} 、 E^{gas} 分别为中国煤炭、原油、天然气的消费总量, E_i^{coal} 、 E_i^{oil} 、 E_i^{gas} 为 i 行业的煤炭、原油、天然气消费量。受世界银行数据库能源损耗的数据限制, 这里只考虑了行业的原油、煤炭和天然气, 没有考虑其他不可再生能源的消费情况。

(2)行业矿产损耗的计算。矿产损耗的定义与能源损耗的定义相似。类似于工业行业能源损耗的计算, 直接计算工业行业的矿产损耗较为复杂。鉴于世界银行未提供不同矿产所对应的租金数据, 本文用金属产量与国际金属价格的结构替代租金结构。化学原料和化学制品制造业的消耗总价由当年磷酸盐的国际价格和化肥产量的乘积得到; 黑色金属冶炼和压延加工业的消耗总价由当年铁矿石的国际价格和钢铁产量的乘积得到; 有色金属冶炼和压延加工业的消耗总价为铜、铝、铅、锌、镍、锡六种金属各自的国际价格与产量乘积之和, 由于金、银两种金属的价格波动大, 缺少稳定的价格指标, 所以, 没有纳入计算范畴。各类矿产价格取自世界银行的商品价格数据(Pink Sheet)。

矿产损耗的特殊之处在于, 只有 3 个行业在生产过程中消耗了矿产资源。其中, 化学原料和化学制品制造业使用了磷酸盐, 黑色金属冶炼和压延加工业使用了铁矿石, 有色金属冶炼和压延加工业使用了各种有色金属矿石。因此, 中国工业的矿产损耗相当于化学原料、黑色金属和有色金属三个行业的矿产损耗之和, 即:

$$D_i^M = \begin{cases} \frac{E_i^M}{E^M} D^M, & i=2,4,5 \\ 0, & i \neq 2,4,5 \end{cases} \quad (4)$$

其中, D^M 为中国当年的矿产损耗, 根据世界银行数据库计算得到; E^M 为中国当年的矿产消耗总价; D_i^M 为 i 行业当年的矿产损耗; E_i^M 为 i 行业当年的矿产消耗总价。

(3)行业二氧化碳损害的计算。国家统计局未公布中国工业行业层面的二氧化碳排放数据。由于二氧化碳排放的精细估算不是本文的重点, 关键工作是获得行业层面的二氧化碳排放比例关系, 据此计算行业二氧化碳损害。本文选择基于行业化石能源消费数据、水泥产量对二氧化碳排放数据的简化了的二氧化碳估算方法。估算公式如下:

$$E^{CO_2} = C^C \times Coef^{EC} \times Coef^{CO_2} + P^{Cement} \times Coef^{PE} \quad (5)$$

其中, C^C 为全国化石能源消费量, $Coef^{EC}$ 为碳排放系数, $Coef^{CO_2}$ 为碳氧化系数, P^{Cement} 为全国水泥产量, $Coef^{PE}$ 为水泥的生产排放系数。碳氧化系数是碳中转化为二氧化碳的比重, 为常数 3.67(即 44:12)。碳排放系数是单位化石燃料消耗所产生的碳排放。常用的碳排放系数有三种: ①中国国家发展和改革委员会(简称“发改委”)能源研究所提出的 0.67; ②美国能源部二氧化碳信息分析中心提出的 0.68; ③日本能源经济研究所提出的 0.69。本文使用发改委提出的 0.67。对于水泥的生产排放

系数, 因为需要煅烧石灰石, 生产水泥比消耗化石能源将释放更多的二氧化碳, 根据中国水泥网 2007 年测算数据, 生产 1 吨水泥, 平均释放 0.365 吨二氧化碳。通常, 工业行业的二氧化碳排放总量与该行业的化石能源消费量相关。由于水泥生产属于非金属矿物制品业, 其造成的二氧化碳排放计入非金属矿物制品业的二氧化碳排放量。

根据二氧化碳损害的定义, 行业的二氧化碳损害与其二氧化碳排放量成正比, 因此, 行业二氧化碳损害的计算公式为:

$$D_i^{CO_2} = \frac{E_i^{CO_2}}{E} D^{CO_2} \quad (6)$$

行业的能源损耗、矿产损耗和二氧化碳损害数据之和就是行业的自然资本损耗, 计算公式如下:

$$D_i = D_i^E + D_i^M + D_i^{CO_2} \quad (7)$$

由此可以计算出高耗能行业的自然资本损耗情况。

2. 投入产出转换公式的推导

行业间的投入产出反映了不同行业之间产品价值转换的过程^[20], 自然资本损耗将跟随产业链流动转移。本文采用中国投入产出表, 分析工业行业的自然资本损耗在行业间的转移情况。

按照投入产出表反映的工业各部门之间的投入产出关系, 已知 i 部门的行向平衡关系为:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + f_i = x_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (8)$$

其中, z_{ij} 表示 j 部门对 i 部门中间品的消耗量, f_i 表示 i 部门产品作为最终品的数量, x_i 为 i 部门的总产出。

根据投入产出表的行向关系, 得到投入产出的直接转换系数 h_{ij} , 因此, i 行业通过中间投入转移给 j 行业的自然资本损耗为 $h_{ij}d_i$ 。那么, 对于 j 行业, 通过中间品使用, 作为中间投入转移给 j 行业的总的自然资本损耗为 $\sum_{i=1}^n h_{ij}d_i$ 。所以, 从使用端视角, 经过投入产出关系调整后的 j 行业的自然资本损耗计算公式为:

$$d_j^{out} = \sum_{i=1}^n h_{ij}d_i + (1 - \sum_{i=1}^n h_{ji})d_j \quad (9)$$

令 $F = \text{diag}(1 - \sum_{i=1}^n h_{1i}, 1 - \sum_{i=1}^n h_{2i}, \dots, 1 - \sum_{i=1}^n h_{ji}, \dots, 1 - \sum_{i=1}^n h_{ni})$, 即以行业使用的最终品占总产出的比重作为对角线上元素的 $n \times n$ 的对角矩阵, 可得:

$$D^{out} = H^T D + FD = (H^T + F)D \quad (10)$$

需要依据生产流程, 在直接转换的自然资本损耗下, 进一步求出完全转换后的自然资本损耗。自然资本损耗的第一次分配结果为:

$$D_1^{out} = H^T D + FD = (H^T + F)D = D_{mid,1}^{out} + D_{fin,1}^{out} \quad (11)$$

实际上是一次中间消耗, 作为中间产出的那一部分 $D_{mid,1}^{out}$ 通过产业链在行业间再次分配。第二次分配结果为:

$$D_2^{out} = (H^T + F)D_{mid,1}^{out} = (H^T + F)H^T D = (H^T)^2 D + FH^T D \quad (12)$$

类似地, $D_{mid,2}^{out} = H^T H^T D = (H^T)^2 D$, 是投入端的新一轮的自然资本损耗, 依据投入产出关系进行损耗的再分配; 以此类推, 第 i 次分配结果的公式为:

$$D_i^{out} = D_{mid,i}^{out} + D_{fin,i}^{out} = (H^T)^i D + F(H^T)^{i-1} D \quad (13)$$

其中, $D_{mid,i}^{out} = (H^T)^i D$, $D_{fin,i}^{out} = F(H^T)^{i-1} D$ 。因此, 完全转换情况下的自然资本损耗的分配结果为:

$$D^{out} = D_{fin,1}^{out} + D_{fin,2}^{out} + D_{fin,3}^{out} + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} F(H^T)^{i-1} D = F(I-H^T)^{-1} D \quad (14)$$

由于投入产出关系涉及到全部行业,所以,本文使用全行业的自然资本损耗的数据。《中国投入产出表》中的行业分类与《国家行业分类标准》不完全一致,需要对投入产出表和损耗的行业分类进行相应处理;投入产出表的行业按同类相加合并的方法,对行向、列向进行处理;对于损耗的行业数据,做同类加总;完成使用端的数据计算后,对被合并的行业,根据行业的总产值比例进行损耗拆分。

四、两个视角下的自然资本损耗计算结果

这里基于生产视角与投入产出视角的自然资本损耗的计算方法,计算了中国高耗能行业的自然资本损耗。

1. 生产视角下的自然资本损耗

1994—2010 年高耗能行业的自然资本损耗占工业增加值的比重在 2008 年达到 48.48% 的峰值,而同期整个工业部门的自然资本损耗占工业增加值的比重一直保持在 10% 左右,2008 年达到 17.32% 的峰值,依然不超过 20%。如果考虑自然资本损耗对工业增加值和投资进而对资本存量的影响,高耗能行业受到的影响远远高于工业平均水平(见图 1)。

在生产视角下,高耗能行业的自然资本损耗占中国损耗的比重从 1995 年的 63.3835% 增

长到 2010 年的 83.3993%(如表 2 所示)。高耗能行业不仅是能源资源的主要消耗者,也是二氧化碳的主要排放者和矿产资源的消耗者,从生产端看,高耗能行业是中国自然资本损耗最大的行业。

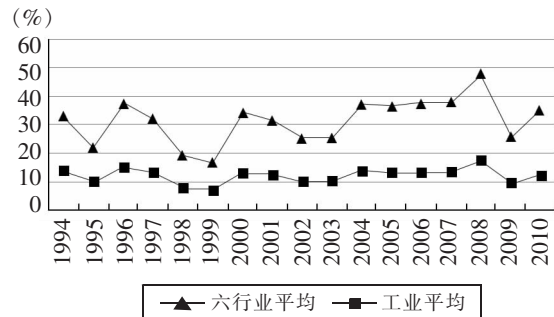


图 1 能源损耗、矿产损耗和二氧化碳损害占增加值比重

资料来源:作者绘制。

表 2 生产视角下的高耗能行业与工业的自然资本损耗

	1995	2000	2005	2010
高耗能行业损耗(亿元)	1764.7227	2568.1095	8321.6647	20018.0444
全工业损耗(亿元)	2304.7309	3324.4981	9577.3211	22008.2068
中国损耗总量(亿元)	2784.1992	3914.8512	10977.8080	24002.6591
高耗能行业占中国比重(%)	63.3835	65.5992	75.8044	83.3993

资料来源:作者计算整理。

2. 投入产出视角下的自然资本损耗

在投入产出视角下,1995 年高耗能行业的自然资本损耗为 152.8698 亿元,仅占全国的 5.4906%;2005 年增长到 1159.5920 亿元,占全国的 10.5631%;2010 年进一步增长到 2306.5507 亿元,但占比下降到 9.6096%(如表 3 所示)。经过投入产出关系转换,高耗能行业的自然资本损耗大幅下降,下降幅度超过了 80%,说明高耗能行业使用端的产出在产业链上造成的自然资本损耗远低于其在生产端造成的自然资本损耗。

投入产出转换前后的自然资本损耗的变化体现了在行业间的产业关联中自然资本损耗从生产端向使用端的转移过程。在这一过程中,行业在生产端和使用端的自然资本损耗差异可被解释为行业在投入产出关系中所处的地位。如果行业产出中包含的自然资本损耗高于行业在生产过程中所造成的自然资本损耗,说明该行业在产出环节获得了其他行业在生产环节的补贴;如果行业产出中

包含的自然资本损耗低于行业在生产过程中所造成的自然资本损耗,说明该行业在生产环节补贴了其他行业的产出环节(如表4所示)。

表3 投入产出视角下的高耗能行业与工业的自然资本损耗

	1995	2000	2005	2010
高耗能行业损耗(亿元)	152.8698	331.3294	1159.5920	2306.5507
全工业损耗(亿元)	944.1154	1619.1338	5197.5653	12442.9279
中国损耗总量(亿元)	2784.1992	3914.8512	10977.8080	24002.6591
高耗能行业占中国比重(%)	5.4906	8.4634	10.5631	9.6096

资料来源:作者计算整理。

表4 投入产出转换前后的自然资本损耗变化

损耗比较	含义
$d_i^{out} > d_i$	产出中包含的自然资本损耗高于行业在生产过程中所造成的自然资本损耗
$d_i^{out} - d_i > 0$	产出环节获得其他行业在生产环节的补贴
$d_i^{out} < d_i$	产出中包含的自然资本损耗低于行业在生产过程中所造成的自然资本损耗
$d_i^{out} - d_i < 0$	生产环节补贴了其他行业的产出环节

资料来源:作者整理。

从由生产端到使用端完全转换的自然资本损耗变化看(如表5所示),高耗能行业的自然资本损耗大幅下降,非高耗能工业以及非工业部门的自然资本损耗均大幅上升。这说明高耗能行业在生产端造成的过度能源和矿产消费以及二氧化碳排放中,一大部分是通过产业链转移至下游行业的绿色补贴。

表5 由生产端到使用端完全转换的自然资本损耗变化 单位:亿元

	1995	2000	2005	2010
高耗能行业	-982.1130	-2263.3621	-7434.0939	-18414.4335
非高耗能工业	370.7497	587.7757	2938.6669	7381.6645
非工业	1128.4560	1483.3002	3988.0785	8454.8974

资料来源:作者计算整理。

在投入产出视角下,高耗能行业与非高耗能的工业以及非工业部门的关系是高耗能行业在生产环节造成的自然资本损耗大量补贴了非高耗能工业和非工业部门的产出环节,这些补贴使得高耗能行业在投入产出视角下是名副其实的“低耗能行业”。在产业分工体系中,高耗能行业是基础材料和基础能源的生产部门,位于产业链的上游,其大量产品用于其他行业的中间投入,决定了其高水平的能耗、矿耗、碳排放为整个经济体系提供了绿色要素补贴。

五、高耗能行业的全要素生产率

基于生产视角和投入产出视角下的自然资本损耗,可以计算行业的真实增加值和真实资本存量,进而计算出行业在两个视角下的真实全要素生产率。

1. 高耗能行业的真实增加值和真实资本存量

(1)增加值与真实增加值。工业增加值在价值量衡量的传统财富体系中,是工业产出的经济指标,衡量了工业系统的经济产出。1994—2008年的工业增加值数据使用《中国统计年鉴》中的行业

增加值数据,2009年和2010年数据根据国家统计局分行业的现价增加值的增长率推算得到。计算全要素生产率需要使用不变价的工业增加值数据,1994—2010年的行业不变价增加值数据(2000年不变价)使用行业的工业品出厂价格指数平减计算^[21]。

按照真实储蓄的思路,对真实产出的计算需要相应地扣除自然资本的损失。以增加值作为生产的产出量,相应地减去自然资本损耗值,得到真实增加值为:

$$GVA_i = VA_i - D_i \quad (15)$$

其中, GVA_i 为*i*行业的真实增加值, VA_i 为*i*行业的增加值, D_i 为*i*行业的自然资本损耗。

在转换前后,高耗能行业的自然资本损耗占增加值的比重差异巨大。按照真实增加值的核算方法,投入产出转换前,高耗能行业的自然资本损耗将抵扣掉30%左右的工业增加值,造成真实增加值与增加值之间的巨大鸿沟。但经过投入产出的转换,真实增加值与增加值之间的差异仅占到增加值的5%左右。

(2)投资与真实投资。资本存量的计算核心在于对每一年投资的计算。每一年投资作为新增的资本投入,是资本投入端的增量。对于本文所要考察的行业,利用相邻年份间的固定资产原价数据之差计算当年行业投资,即 $I_{i,t} = FC_{i,t} - FC_{i,t-1}$,其中, $I_{i,t}$ 为行业投资, $FC_{i,t}$ 为*t*年*i*行业的固定资产原值, $FC_{i,t-1}$ 为*t-1*年*i*行业的固定资产原值。与增加值相似,投资对资本形成的影响需要以不变价的价值量计算。由于缺少行业的固定资本形成价格指数,本文使用中国的固定资本形成价格指数对高耗能行业的不变价投资进行平减。

自然资本被纳入真实资本的范畴。当年的投资即是资本存量的增加,自然资本损耗未被计入名义投资中,对自然资本存量的破坏会部分地抵消投资对资本存量的促进作用,以真实投资进行表征,即当年名义投资扣除自然资本损耗^[22]。公式如下:

$$GI_{i,t} = I_{i,t} - D_i = FC_{i,t} - FC_{i,t-1} - D_i \quad (16)$$

其中, $GI_{i,t}$ 是*t*年*i*产业的真实投资。对真实投资的不变价做平减,同样参照不变价投资的方法,使用中国固定资本形成价格指数对高耗能行业的不变价投资进行平减。

参照投资率的计算公式,可以在真实储蓄的框架下,通过计算当年真实投资占真实增加值的比重得到真实资本形成率,即真实投资率。

(3)资本存量与真实资本存量。基于投资数据,通过永续盘存法计算资本存量。计算公式如下:

$$K_{i,t} = K_{i,t-1}(1 - \delta_{i,t}) + I_{i,t} \quad (17)$$

其中, $\delta_{i,t}$ 是*t*年*i*行业的资本折旧率。折旧率通过2年的累计折旧之差与固定资产原价的比值得到。本文通过固定资本形成价格指数对投资进行不变价的折算,并代入(17)式,求得资本存量。初始资本存量是通过固定资本形成价格指数折算为1994年的固定资产净值(2000年不变价)。

对于真实资本存量,同样利用永续盘存法,在(17)式中用不变价的真实投资取代不变价的投资。真实资本存量的计算公式如下:

$$GK_{i,t} = GK_{i,t-1}(1 - \delta_{i,t}) + GI_{i,t} \quad (18)$$

受到可获得数据的限制,出于计算便利,对真实初始资本存量的计算同样是通过固定资本形成价格指数折算的1994年的行业固定资产净值(2000年不变价)。

根据行业间的投入产出关系,对自然资本损耗做了重新分配,高耗能行业的真实资本存量占资本存量的比重存在相当大的差距。未经过投入产出关系调整的比重在2008年下降到25.14%,之后稍有回升。然而,经过投入产出调整后的比重一直保持在88%以上的水平(如图2所示)。

2. 高耗能行业全要素生产率与投入产出视角下的真实全要素生产率

计算全要素生产率一般采用索洛残差法和距离向量法。由于可以直接采用收入账户中的要素报酬权重,收紧了对潜在生产函数的假定,本文采用索洛残差法和以指数为基础的增长要素核算

(Growth Accounting)^[23,24]。该方法遵从新古典假设,即完全竞争、规模收益不变和希克斯中性技术。全要素生产率计算公式为:

$$TFP_i = \frac{VA_i}{K_{i,t}^{1-\alpha} L_i^\alpha} \quad (19)$$

其中, TFP_i 为 i 行业的全要素生产率; α 为行业的劳动报酬占增加值的比重, 依据 WIOD 的中国投入产出表数据。

通过微分公式, 得到:

$$\frac{\Delta TFP_i}{TFP_i} = \frac{\Delta VA_i}{VA_i} - (1-\alpha) \frac{\Delta K_{i,t}}{K_{i,t}} - \alpha \frac{\Delta L_i}{L_i} \quad (20)$$

这反映了全要素生产率的增长率和工业增加值、资本存量、劳动投入的增长率之间的关系。通过这一公式, 可以进一步计算全要素生产率在工业增长中的贡献。

基于(1)式中的真实生产函数, 得到真实全要素生产率的计算公式, 即:

$$GTFP_i = \frac{GVA_i}{GK_{i,t}^{1-\alpha'} L_i^{\alpha'}} \quad (21)$$

(21)式的变量符号与(1)式表述一致。需要指出的是, α' 为行业劳动报酬占真实增加值的比重, 是利用真实增加值与增加值的比例关系, 基于(19)式的传统生产函数推导得到。

进一步地, 通过微分公式, 得到:

$$\frac{\Delta GTFP_i}{GTFP_i} = \frac{\Delta GVA_i}{GVA_i} - (1-\alpha') \frac{\Delta GK_{i,t}}{GK_{i,t}} - \alpha' \frac{\Delta L_i}{L_i} \quad (22)$$

这反映了真实全要素生产率的增长率和真实工业增加值、真实资本存量、劳动投入的增长率之间的关系。根据该公式, 可以进一步计算出真实全要素生产率的增长贡献率。

利用(21)式计算逐年的真实全要素生产率值, 进而计算跨阶段的真实全要素生产率的平均增长率。以 1995—2003 年和 2003—2010 年两个阶段, 以及 1995—2010 年整个阶段, 计算高耗能行业的全要素生产率和真实全要素生产率的年均增长率和贡献率, 如表 6 所示。

从传统增长分解所得到的全要素生产率计算结果看, 1995—2010 年, 石油加工炼焦及核燃料加工业、化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、电力热力的生产和供应业的增加值年均增长率分别为 6.6350%、16.4675%、15.5027%、19.3456 和 12.2090%, 资本存量年均增长率分别为 14.1905%、13.6374%、10.8987%、13.4257%、15.7013%和 15.8557%, 全要素生产率年均增长率分别为 -1.9579%、5.6064%、8.0680%、3.3550%、3.9469%和 -0.4353%。石油加工、炼焦及核燃料加工业和电力、热力的生产和供应业资本增长率都远超增加值增长率, 属于资本密集的粗放型增长模式。全要素生产率增长贡献最高的是非金属矿物制品业。

分阶段比较看, 1995—2003 年, 石油加工炼焦及核燃料加工业、化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、电力热力的生产和供应业的增加值年均增长率分别为 5.1295%、13.8844%、9.5634%、13.7682%、17.7545%和 9.1835%; 2003—2010 年, 6 个行业的增加值年均增长率都有所提升, 其中非金属矿物制品业年均增长率增长了 13.12 个百分点, 提升幅度最多。高耗能行业的增长速度加快。从增长来源看, 相较于 1995—2003 年, 2003—2010 年, 除电力、热力的生产和供应业的资本存量年均增长率下降之外, 其余 5 个行业的资本存量年均增长率都有不同程度的提高, 相应的, 只有电力、热力的生产和供应业的全要素生

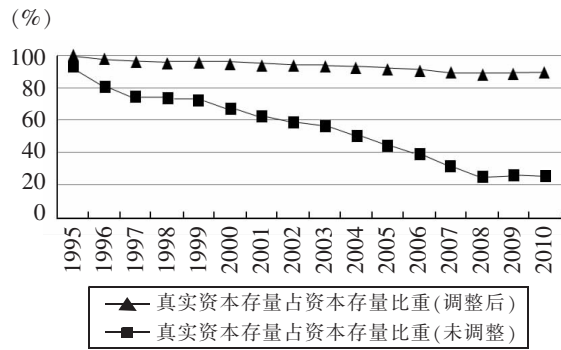


图 2 高耗能行业真实资本存量占资本存量比重

资料来源: 作者绘制。

表 6 1995—2010 年高耗能行业全要素生产率与真实全要素生产率增长及贡献 单位: %

	1995—2003		2003—2010		1995—2010	
	全要素 生产率增长	真实全要素 生产率增长	全要素 生产率增长	真实全要素 生产率增长	全要素 生产率增长	真实全要素 生产率增长
石油加工炼焦及核燃料加工业 (增长贡献)	-0.3502 -6.8268	1.7175 33.0631	-3.7635 -44.8993	-2.6971 -32.2100	-1.9579 -29.5081	-0.3670 -5.5059
化学原料及化学制品制造业 (增长贡献)	6.7619 48.7013	8.0802 60.0996	4.3012 22.0673	4.6708 23.4986	5.6064 34.0455	6.4755 39.4794
非金属矿物制品业 (增长贡献)	10.3252 107.9652	12.2325 121.2229	5.5448 24.4420	5.5419 23.9306	8.0680 52.0425	9.0590 56.5944
黑色金属冶炼及压延加工业 (增长贡献)	7.4466 54.0853	7.7221 58.7324	-1.1307 -6.1065	0.0143 0.0794	3.3550 21.0216	4.0539 26.3556
有色金属冶炼及压延加工业 (增长贡献)	8.9144 50.2090	9.2282 54.4350	-1.4534 -6.8588	0.0025 0.0124	3.9469 20.4020	4.8215 25.8561
电力热力的生产和供应业 (增长贡献)	-5.3024 -57.7389	-5.1567 -54.7797	5.4342 34.4601	5.8631 37.8665	-0.4353 -3.5655	-0.1647 -1.3491

资料来源:作者计算整理。

生产率的年均增长率提升,其余 5 个行业的全要素生产率的年均增长率全部下降。高耗能行业依赖资本投入的增长模式不但没有改变,反而进一步加强。

真实全要素生产率增长率和全要素生产率增长率之差体现了能源消耗、矿产消耗和二氧化碳排放对全要素生产率增长率带来的影响。考虑环境要素后,真实全要素生产率增长率高于传统全要素生产率增长率,这与涂正革^[6]、王兵等^[7]、陈诗一^[8,9]考虑环境因素的全要素生产率的计算结果是一致的,也符合计算框架的预期。

1995—2010 年,石油加工炼焦及核燃料加工业、化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、电力热力的生产和供应业的投入产出视角下的真实全要素生产率平均增长率分别为-0.3670%、6.4755%、9.0590%、4.0539%、4.8215%和-0.1647%,相对于全要素生产率,均有不同程度的提升。

分阶段比较看,1995—2003 年,石油加工炼焦及核燃料加工业、化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、电力热力的生产和供应业的投入产出视角下的真实全要素生产率平均增长率与全要素生产率平均增长率之差分别为 2.06、1.31、1.90、0.27、0.31、0.14 个百分点,石油加工、炼焦及核燃料加工业最高,电力热力的生产和供应业最低;2003—2010 年,6 个行业的投入产出视角下的真实全要素生产率平均增长率与全要素生产率平均增长率之差,有色金属冶炼及压延加工业最高,非金属矿物制品业最低。两阶段比较看,黑色金属冶炼及压延加工业和有色金属冶炼及压延加工业在 2003 年之后,真实全要素生产率与全要素生产率的增长率之差最大。

对于 6 个高耗能行业,尽管在投入产出视角下行业的自然资本损耗已经大幅下降,但生产视角下自然资本损耗的变化趋势依然体现在其对全要素生产率的影响上。一方面,中国的节能减排政策起到了明显的约束作用,碳排放的最大来源是非金属矿物制品业,环境因素对其全要素生产率的影响明显下降。但另一方面,因为中国矿产损耗的大幅上涨,直接造成了矿产消费的两大行业,即有色金属冶炼及压延加工业、黑色金属冶炼及压延加工业对资本损耗增长的贡献超过了碳排放、能源消耗下降所带来的负向贡献,导致真实全要素生产率与全要素生产率增长率的差距拉大。

3. 真实全要素生产率的投入产出效应

基于上述真实全要素生产率的计算方法,通过生产端的自然资本损耗和投入产出视角下使用端的自然资本损耗,可以计算生产端和使用端所对应的真实全要素生产率。两个口径下真实全要素生产率的差值为:

$$\frac{\Delta GTFP_i}{GTFP_i} = \frac{\Delta GTFP_i^{io}}{GTFP_i^{io}} = \Delta R_i - \Delta R_i^{vc} \quad (23)$$

其中, ΔR_i^{vc} 相当于使用端自然资本损耗的影响所导致的相应口径下全要素生产率被拉低的部分。 ΔR_i 相当于生产端真实全要素生产率的影响所导致的全要素生产率被拉低的部分。

真实全要素生产率的投入产出效应如下:在投入产出关系下,行业为整个经济体系提供了绿色技术效率补贴,即真实(绿色)生产要素和绿色产出随着投入产出关系的转移,即自然资本损耗的反向转移实现了该补贴。生产率的投入产出效应是双向的,既可能通过行业间的关联,在产出上获得产业链的绿色效率补贴,也可能在生产环节为产业链提供绿色效率补贴。随着整体的环境负外部性的降低,真实全要素生产率的投入产出效应也会随之降低。

以高耗能行业和非高耗能工业行业为例(计算结果如表7所示),1995—2003年高耗能行业和非高耗能工业行业的真实全要素生产率的投入产出效应分别为-5.9912和-2.8549个百分点,说明对于工业整体,无论是高耗能行业还是非高耗能工业行业,都在生产环节通过产业链补贴了非工业行业的真实全要素生产率。2003—2010年高耗能行业和非高耗能工业行业的真实全要素生产率的投入产出效应分别为-2.4166和2.7720个百分点,高耗能行业依然在生产环节通过产业链补贴了其他行业真实全要素生产率,但幅度有所下降,非高耗能工业行业转为从使用端获得真实全要素生产率的补贴。整体效应的提升说明整个工业部门的节能减排取得了明显的效果;非高耗能工业行业的真实全要素生产率的投入产出效应转为正值,说明非高耗能工业行业在产业链分工体系中,从产业链中能耗、排放的制造者转变为能耗排放的受补贴者,中国产业链上的能耗和排放结构得到优化。

	1995—2003	2003—2010	1995—2010
高耗能行业	-5.9912	-2.4166	-4.2996
非高耗能工业行业	-2.8549	2.7720	-0.1562

资料来源:作者计算整理。

可以看到,高耗能行业在生产过程中造成的大量自然资本损耗通过投入产出关系,大量转移到了非高耗能行业,即投入产出视角下高耗能行业在生产环节对各个部门提供了绿色补贴。使用端低水平的自然资本损耗并没有对高耗能行业的全要素生产率造成很大的影响,即高耗能行业的节能减排措施会大幅提高其他行业投入产出视角的全要素生产率。与生产端的真实全要素生产率相比较,高耗能行业的真实全要素生产率的大幅变化反映了投入产出视角下高耗能行业对其他行业的全要素生产率的补贴。

对比高耗能行业和非高耗能行业的真实全要素生产率的投入产出效应发现,行业在产业链上的位置决定了其真实全要素生产率的投入产出效应的大小。当位于产业链上游(如高耗能行业)时,投入产出效应小;当位于产业链下游时,投入产出效应大。

对于高耗能行业,不仅在生产端为产业链下游其他行业的使用端提供了自然资本损耗的补贴,也在生产端为产业链下游的其他行业的使用端提供了真实全要素生产率。真实全要素生产率的投入产出效应导致投入产出视角下产业链下游行业更高的真实全要素生产率水平。

六、结论

本文基于世界银行关于真实储蓄的思路,构建了投入产出视角下的真实全要素生产率的计算框架,计算了1995—2010年中国高耗能行业的真实全要素生产率,并分析了真实全要素生产率的投入产出效应。从计算结果看,高耗能行业为工业生产体系提供了重要的中间产品,其在生产环节所造成的能源消耗、矿产消耗和二氧化碳损耗等以价值的形式,通过行业间的投入产出关系转移到各个行业的最终品中。经过投入产出关系的转换,从最终品所占自然资本损耗的角度看,高耗能行业转变为相对低能耗、低矿耗、低排放的行业。从产业链分工角度看,位于产业链上游的高耗能行业在生产环节大量补贴了下游行业使用端的自然资本损耗,也补贴了下游行业使用端的真实全要素生产率。切实提高下游行业的生产率,需要减少整个经济体在生产环节中的过度能耗、矿耗和碳排放。随着中国经济步入新常态,资源消费进一步下降,生产端和使用端的自然资本损耗将进一步趋同,从而两个视角下的真实全要素生产率和传统全要素生产率进一步趋同。

相比于1995—2003年,2003—2010年中国高耗能行业和非高耗能工业行业的真实全要素生产率的投入产出效应都大幅提升,说明在生产端,工业行业的真实全要素生产率补贴水平大幅降低,中国节能减排的政策成效明显;非高耗能工业行业的真实全要素生产率的投入产出效应由负转为正,说明非高耗能工业行业在产业链中的分工层次得以提升,非高耗能工业行业在产业链分工体系中,从产业链上的能耗、排放的制造者转变为产业链中能耗、排放的受补贴者,中国产业链上的能耗、排放结构得到优化。投入产出视角下的真实全要素生产率为优化产业结构、提高工业整体的环境效率提供了可资借鉴的衡量工具。

从降低整体自然资本损耗的角度看,能源损耗和二氧化碳损耗都在大幅下降,体现了中国节能减排政策的实施效果,但矿产损耗的上升大幅扣除了中国的经济产出和财富积累,进而影响了工业下游行业的真实全要素生产率。进一步地集约型发展,不仅需要能源、排放进行约束,还应加入矿产资源过度消费的约束。对于高耗能行业的节能减排政策,不仅需要考察高耗能行业在生产过程中造成影响,同时要从行业间的投入产出视角,考虑上下游产业的需求供给关系间接导致的资源环境损耗,从“谁排放,谁负责”的生产导向政策转向行业间共同而有区别责任的综合产业链政策。

[参考文献]

- [1]Førsund, F. R., and L. Hjalmarsson. Frontier Production Functions and Technical Progress: A Study of General Milk Processing in Swedish Dairy Plants[J]. *Econometrica*, 1979,47(4):883-900.
- [2]张军,陈诗一,G. H. Jefferson. 结构改革与中国工业增长[J]. *经济研究*, 2009,(7):4-20.
- [3]郑京海,胡鞍钢. 中国改革时期省际生产率增长变化的实证分析(1979—2001年)[J]. *经济学(季刊)*, 2005,(1):263-296.
- [4]Chung, Y. H., R. Färe, and S. Grosskopf. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. *Journal of Environmental Management*, 1997,51(3):229-240.
- [5]胡鞍钢,郑京海,高宇宁,张宁,许海萍. 考虑环境因素的省级技术效率排名(1999—2005)[J]. *经济学(季刊)*, 2008,(3):933-960.
- [6]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.
- [7]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.
- [8]陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. *经济研究*, 2009,(4):41-55.
- [9]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.
- [10]陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展:2009—2049[J]. *经济研究*, 2010,(3):129-143.
- [11]孙广生,向涛,黄祎,杨先明. 效率提高、产出增长与能源消耗——基于工业行业的比较分析[J]. *经济学(季刊)*, 2012,(1):253-268.

- [12]景维民,张璐. 环境管制、对外开放与中国工业的绿色技术进步[J]. 经济研究, 2014,(9):34-47.
- [13]Mäler, K. National Accounts and Environmental Resources [J]. *Environmental & Resource Economics*, 1991,1(1):1-15.
- [14]Atkinson, G., R. Dubourg, K. Hamilton, M. Munasinghe, D. Pearce, and C. Young. *Measuring Sustainable Development: Macroeconomics and the Environment*[M]. Cheltenham Glos: Edward Elgar Publishing Ltd., 1999.
- [15]Kunte, A., K. Hamilton, J. Dixon, and M. Clemens. *Estimating National Wealth: Methodology and Results* [M]. Washington, D. C: World Bank, 1998.
- [16]Hamilton, K., and M. Clemens. *Genuine Savings Rates in Developing Countries*[J]. *World Bank Economic Review*, 1999,13(2):333-356.
- [17]World Bank. *The Changing Wealth of Nations: Measuring Sustainable Development in the New Millennium*[M]. Washington, D. C.: World Bank, 2010.
- [18]World Bank. *Expanding the Measure of Wealth: Indicators of Environmentally Sustainable Development*[M]. Washington, D. C.: World Bank, 1997.
- [19]Fankhauser, S. *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse* [M]. London: Earthscan Pub., 1995.
- [20]廖明珠. 基于“节能减排”的投入产出模型研究[J]. *中国工业经济*, 2011,(7):26-34.
- [21]陈诗一. 中国工业分行业统计数据估算:1980—2008[J]. *经济学(季刊)*, 2011,(3):735-776.
- [22]Hamilton, K., G. Ruta, and L. Tajibaeva. *Capital Accumulation and Resource Depletion: A Hartwick Rule Counterfactual*[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2006,34(4):517-533.
- [23]Jorgenson, D. W., and Z. Griliches. *Divisia Index Numbers and Productivity Measurement*[J]. *Review of Income and Wealth*, 1971,17(2):227-229.
- [24]Star, S., and R. E. Hall. *An Approximate Divisia Index of Total Factor Productivity* [J]. *Econometrica*, 1976, 44(2):257-263.

Study on Genuine TFP of China's High Energy-Consuming Industries(1995—2010) ——From the Perspective of Input-Output

HU An-gang, ZHENG Yun-feng, GAO Yu-ning

(School of Public Policy and Management of Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Using the calculation framework of genuine savings provided by World Bank, this paper calculated genuine value added, genuine capital stock and genuine TFP of China's high energy-consuming industries considering the excessive energy and mineral consumption and carbon emission. The main conclusions of this paper are as follows. The input-output relations among industries lead to the inconsistency of the natural depletion distribution between production end and output end. From the perspective of input-output, the high energy-consuming industries are industries of relatively low energy and mineral consumption and low emission. Upstream industries in the industry chain provide the downstream industries' output with a great quantity subsidies of natural capital depletion during production. The calculation results of genuine TFP accounting show that upstream industries in the industry chain provide the downstream industries' output with subsidies of genuine TFP. Controlling upstream industries' natural capital depletion of production end effectively will influence the downstream industries' TFP significantly. Energy-saving and emission reduction governance should turn from production-oriented policies of "the one who discharges takes charge" to comprehensive industry chain policies with common but differentiated responsibilities.

Key Words: input-output; natural capital depletion; genuine total factor productivity; high energy-consuming industries; industry chain

JEL Classification: D24 O47 Q01

[责任编辑:覃毅]