
理解中国能源强度的变化： 一个综合的分解框架

林伯强 杜克锐*

内容提要 为了更好地理解中国能源强度的变化,针对指数分解法(IDA)和生产理论分解法(PDA)的不足,本文提出了一个综合的分解框架。在此基础上,我们对中国各地区 2003~2010 年能源强度变化的驱动因素进行了经验分析,得到以下主要结论:(1)技术进步是中国能源强度下降的主要推动力;(2)能源替代劳动、产业结构变化和技术效率恶化阻碍了中国能源强度的下降;(3)从各地区对促进全国能源强度下降的作用来看,贡献最大的三个地区依次为河北、广东和安徽,与此相反,内蒙古对全国能源强度的下降起了抑制作用。

关键词 能源强度 全要素生产率 产业结构 要素替代

一 引言

能源强度是用于评价一个国家(地区)能源综合利用效率的常用指标之一,体现了一个国家(地区)经济发展过程中所付出的资源环境代价。随着中国能源消费量的快速增长,能源供需矛盾和环境问题的日益突出,提高能源综合利用效率成为当务之急。因此,对能源强度变化的机理进行深入分析无疑具有重大理论价值和现实意义。

* 林伯强:闽江学院新华都商学院 厦门大学能源经济与能源政策协同创新中心 中国能源政策研究院
通讯地址:厦门市厦门大学经济学院 B201 361005 电子信箱:bqlin@xmu.edu.cn;杜克锐:厦门大学能源学院
电子信箱:caike22@126.com。

本研究受到国家社科基金重大项目(12&ZD059)、教育部重大项目(10GBJ013)、新华都商学院低碳项目以及美国能源基金会项目(G-1305-18257)等基金的支持。杜克锐感谢银兴经济研究基金的资助。感谢匿名审稿人的宝贵修改意见。文责自负。

改革开放以来,中国能源强度的变化趋势大致可以分为3个阶段,即1978~2002年的快速下降阶段,2002~2005年的反弹阶段和2005~2010年的稳步下降阶段。^①中国能源强度的这种波动式下降引起了国内外学者的广泛关注。许多文献对此展开了深入的研究。从研究方法来看,指数分解法(Index Decomposition Analysis, IDA)是使用最为广泛的方法。代表性文献包括Huang(1993)、Sinton和Levine(1994)、Zhang(2006)、Ma和Stern(2008)、周勇和李廉水(2006)、齐志新和陈文颖(2006)、吴巧生和成金华(2006)、刘佳骏等(2011)及郑义和徐康宁(2012)等。

在IDA框架下,能源强度的变化主要分解为三个效应:强度效应、产业结构效应和能源消费结构效应。实质上,IDA是一种经济核算方法,具有数据获得性较好和分解过程简单等优点,但其缺点在于难以对经济现象提供合理解释。这一点主要体现在强度效应上。强度效应是指由产业部门自身能源强度发生变化引起整体能源强度的变化。IDA以产业部门的能源强度变化来解释整体能源强度的变化,由此产生的一个问题是:产业部门的能源强度变化是由哪些因素决定的?IDA框架缺乏对产业部门能源强度变化的机理分析。Huang(1993)、Sinton和Levine(1994)、Ma和Stern(2008)将部门能源强度的下降(上升)简单视为技术进步(退步)。但事实上,部门能源强度的下降并不完全等同于技术进步。除了技术进步以外,技术效率的提高及能源与其他投入要素之间的替代也会导致部门能源强度降低(林伯强和杜克锐,2013a)。

为了给能源强度变化提供更好的经济学解释,Wang(2007)提出了基于生产理论的分解方法(Production-Theory Decomposition Analysis, PDA)。^②具体而言,Wang(2007)基于谢泼德产出距离函数(the Shephard output distance function)将能源强度的变化分解为产业结构效应、能源结构效应(能源间替代效应)、生产技术效应、技术效率效应、资本能源替代效应和劳动能源替代效应6个成分。从这个角度而言,PDA不但为能源强度的变化提供了更好的经济学解释,而且其分解结果具有更多的政策含义。在经验研究方面,Wang(2011)、孙广生等(2012)和林伯强和杜克锐(2013a)利用不同的PDA模型对中国地区能源强度的变化进行了分析。

虽然PDA具有良好的经济解释能力,但主要的缺陷在于其对产业结构效应和能

^① 根据CEIC中国经济数据库测算,中国以1978年价格水平计算的单位GDP能耗从1978年的15.7吨/万元快速下降到2002年的4.9吨/万元,随后反弹到2005年的5.3吨/万元,从2006年起稳步下降到2010年的4.3吨/万元。

^② 在PDA文献方面,Wang(2007,2011)、孙广生等(2012)及林伯强和杜克锐(2013a)都是对能源生产率(即能源强度的倒数)变化进行的分解。对这些分解模型取倒数即是对能源强度变化的分解。为了讨论的方便,本文将之等同于对能源强度的分解。

源消费结构效应的测度上可能会给出与现实相悖的结论。具体而言,当产出结构从高能耗产业向低能耗产业转移时,我们预期这种产出结构的改变会降低经济整体的能源强度,而此时 PDA 分解可能会给出相反的结论。例如,Wang(2011)的研究结果显示,1990~2005年北京和上海产业结构的变化对其能源强度的下降产生了负面影响。然而,现实的情况是北京和上海在此期间产业结构从第二产业大幅度向第三产业转移。^①类似的情形也会出现在能源结构效应的测度上。当能源消费结构改善(能源消费比重从低质量能源品种向高质量能源品种转移)时,我们合理的预期是能源结构的转变应该促进能源强度的降低,至少不会对能源强度的下降产生负面影响。然而,PDA模型往往也会给出相反的结果。^②由此可见,PDA在产业结构效应和能源消费结构效应的测度上不具备良好的性质。

PDA存在上述缺陷的主要原因是:所有结构成分在产出距离函数中是对称的。在PDA模型中没有反映不同产业部门(能源品种)的不同属性。具体而言,诸如第三产业比第二产业能耗低的特征并没有在距离函数中体现出来,因而无法反映产业结构变化的真实效应。举个简单的例子,考虑如下经济结构的变化:第二产业产出比重有较大的下降,第一产业产出比重不变,则第三产业产出比重以第二产业下降的幅度上升。在PDA模型中,三个产业的产出比重同时包含在产出距离函数中。这种结构变化对产出距离函数产生两个相反的作用:一方面,第二产业比重下降使产出距离函数的值变小;另一方面,第三产业比重上升使产出距离函数的值变大。当后者的作用大于前者时,便会出现与我们预期不符的结论(即这种产业结构变化会使得能源强度上升)。

为了克服IDA和PDA的不足,本文尝试将IDA和PDA的优点结合起来,形成一个综合的分解框架。我们的基本思路包含两个阶段的分解:第一阶段利用IDA方法将整体能源强度变化分解为部门能源强度变化、产业结构变化和能源结构变化三个部分;第二阶段基于PDA方法我们将部门能源强度变化进一步分解为生产技术效应、技术效率效应、资本能源替代效应和劳动能源替代效应四个因素。综合第一阶段和第二阶段的分解,我们建立一个完整的能源强度变化分解模型。显然,我们的分解模型进一步拓展了IDA框架,为能源强度的变化提供了生产理论层面上(技术因素和要素替代因素)的解释。而与PDA框架相比,本模型克服了PDA在产业结构效应和能源消费结构效应上的缺陷,使分解结果更为合理。

^① 根据《中国统计年鉴》(1990~2005年),北京和上海的第二产业产出比重分别从52.4%和64.7%下降到29.1%和47.4%;而第三产业产出比重则分别从38.8%和30.9%上升到69.6%和51.6%。

^② 这样的例子见Wang(2007)。

利用本文提出的综合分解框架,我们首先对中国 30 个省(直辖市、自治区,以下简称市区)2003~2010 年能源强度变化的驱动影响进行经验分析,为地区能源政策的制定及实施提供科学的依据。其次,在对地区产业部门能源强度变化分解的基础上,我们进一步分析了中国整体能源强度及其影响因素的变化趋势。最后,我们对中国能源强度下降的各个地区贡献度进行了分析。在现行制度安排下,全国的能源强度下降目标都是分解到各个行政区的,通过各地区的经济调整来实现。因此,系统性地考察全国能源强度变化中的地区贡献,可以为更好地实现全国节能目标提供有价值的理论指导。

本文余下结构安排如下:第二部分介绍本文的综合分解框架和数据来源及处理;第三部分是检验结果及讨论;第四部分是主要结论。

二 理论模型与数据来源

(一)模型构建

1. 第一阶段分解:IDA 模型。根据分解方法所依据的指数理论基础,现有文献提出的多种指数分解方法大致可以分为两类:拉氏指数分解法(Laspeyres Index Methods)和迪氏指数分解法(Divisia Index Methods)。由于拉氏指数分解法分解的不完全性,其现在已经很少被使用。而迪氏指数分解法经过 Ang 等能源经济学家的努力,已经形成了一个比较完善的分解框架。Ang(2005)对各种指数分解方法进行了比较,认为对数平均迪氏分解法(LMDI)不但容易运用,而且具有时间可逆、因素可逆、聚合性和零值稳健等良好性质,是最优的方法。因此,在第一阶段分解的 IDA 模型中,我们采用 LMDI 分解法。

为方便起见,我们进行以下符号定义: $Y_{i,t}^n$ 表示地区 n 的产业部门 i 在时期 t 的产出; Y_t^n 表示地区 n 在时期 t 的产出; Y_t 表示整个国家在时期 t 的总产出; $S_{i,t}^n$ 表示产业部门 i 的产出在地区 n 总产出中所占的份额($Y_{i,t}^n/Y_t^n$); R_t^n 表示地区 n 的产出在全国总产出中所占的份额(Y_t^n/Y_t); $E_{j,t}^n$ 表示地区 n 的产业部门 i 在时期 t 的第 j 种能源消费量; $E_{i,t}^n$ 表示地区 n 的产业部门 i 在时期 t 的总能源消费量; E_t^n 表示地区 n 在时期 t 的总能源消费量; E_t 表示整个国家在时期 t 的总能源消费量; $ET_{i,t}^n$ 表示地区 n 的产业部门 i 在时期 t 的能源强度($E_{i,t}^n/Y_{i,t}^n$); ET_t^n 表示地区 n 在时期 t 的能源强度(E_t^n/Y_t^n); ET_t 表示整个国家在时期 t 的能源强度(E_t/Y_t); $F_{j,t}^n$ 表示地区 n 产业部门 i 消费的第 j 种能源占其能源总消费的份额($E_{j,t}^n/E_{i,t}^n$),其中, $n=1, \dots, N; i=1, \dots, I; j=1, \dots, J$ 。

由以上定义,我们可将地区 n 的能源强度表示为如下式子:

$$EI_t^n = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{E_{i,t}^n}{Y_{i,t}^n} \frac{Y_{i,t}^n}{Y_t^n} \frac{E_{ij,t}^n}{E_{i,t}^n} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{ij,t}^n \quad (1)$$

根据 Ang(2005) 的研究,利用 LMDI 乘法形式的分解方法,能源强度的变化可以分解为下式:

$$\begin{aligned} D_{tot}^n &= \frac{EI_t^n}{EI_\tau^n} = \exp \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{ij,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{ij,\tau}^n)}{L(EI_t^n, EI_\tau^n)} \ln \frac{EI_{i,t}^n}{EI_{i,\tau}^n} \right\} \\ &\quad \times \exp \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{ij,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{ij,\tau}^n)}{L(EI_t^n, EI_\tau^n)} \ln \frac{S_{i,t}^n}{S_{i,\tau}^n} \right\} \\ &\quad \times \exp \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{ij,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{ij,\tau}^n)}{L(EI_t^n, EI_\tau^n)} \ln \frac{F_{ij,t}^n}{F_{ij,\tau}^n} \right\} \\ &= D_{sei}^n \times D_{str}^n \times D_{ec}^n \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $L(\cdot, \cdot)$ 是权重函数,其具体形式如下:

$$L(x, y) = \begin{cases} (x - y) / (\ln x - \ln y), & x \neq y \\ x, & x = y \end{cases} \quad (3)$$

式(2)将地区 n 从时期 τ 到时期 t 的能源强度变化分解为三个部分:强度效应 (D_{sei}^n)、产业结构效应 (D_{str}^n) 和能源结构效应 (D_{ec}^n)。产业结构效应是指各个产业部门的产出比重变化所引起的能源强度变化;能源结构效应是指各种能源消费量在总能源消费的份额变化所导致的能源强度变化。事实上,能源消费结构变化反映了不同能源品种之间的替代,因此,我们也将能源结构效应称为能源间替代效应。强度效应 (D_{sei}^n) 是指部门能源强度变化所引起的地区整体能源强度变化。从式(2)我们可以看到,IDA 各分解成分的定义是非常直观的,例如,产业结构效应是各个产业份额变化构成的综合指数(以 $L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{ij,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{ij,\tau}^n) / L(EI_t^n, EI_\tau^n)$ 为权重)。在这个意义上,IDA 本质上是一种经济核算方法。因此,IDA 在测度产业结构效应和能源结构效应上优于 PDA。^①

2. 第二阶段分解:PDA 模型。为了进一步分析引起部门能源强度变化的机理,我们进行第二阶段的分解,即利用 PDA 模型将各个产业部门的能源强度变化进行分解。PDA 模型是建立在谢泼德距离函数(the Shephard distance function)基础之上的,因

^① PDA 分解方法是利用不同产业结构和能源消费结构所对应的产出距离函数之间的变化来测度产业结构效应和能源结构效应,具体的公式定义参阅 Wang(2007) 的研究。

此,我们需要对生产技术进行设定。首先,我们将每个地区的每个产业部门都视为一个决策单元(Decision-Making Unit, DMU)。其次,我们假定每个DMU都以劳动(L)、资本(K)和能源(E)作为投入要素生产单一商品(Y)。^① 考虑到不同产业部门具有不同的生产特征,我们为不同的产业部门构造不同的生产技术集。具体而言,产业部门 i 的生产技术可以表示为如下式子:

$$T_{i,t} = \{(L_{i,t}, K_{i,t}, E_{i,t}, Y_{i,t}) : (L_{i,t}, K_{i,t}, E_{i,t}) \text{ 可以生产 } Y_{i,t}\} \quad (4)$$

为了使生产技术具有良好的性质,我们进一步假定生产技术集为有界闭集。参考 Wang(2007, 2011)、孙广生等(2012)、林伯强和杜克锐(2013a)等的研究,我们定义时期 t 的谢泼德产出距离函数(下文简称产出距离函数):

$$D_{i,t}^n(L_{i,t}^n, K_{i,t}^n, E_{i,t}^n, Y_{i,t}^n) = \inf\{\theta : (L_{i,t}^n, K_{i,t}^n, E_{i,t}^n, Y_{i,t}^n/\theta) \in T_{i,t}\} \quad (5)$$

从式(5)可以看出,产出距离函数的倒数($1/\theta$)刻画了决策单元在给定生产技术和投入情况下其产出的最大扩张比例,即产出距离函数反映了DMU的现实生产行为与其生产边界之间的距离。因此,产出距离函数通常被用于测度DMU的技术效率。当产出距离函数小于1时,DMU偏离生产边界,意味着投入资源未得到最有效的利用,因而存在技术无效率;产出距离函数的值越低,其效率值越低。当且仅当产出距离函数等于1时,DMU位于生产边界之上,即各种投入资源得到充分利用,此时决策单元是技术有效率的。

以时期 t 的生产技术作为基准,我们可以将产业部门 i 在时期 τ 到时期 t 之间的能源强度变化分解如下:^②

$$\begin{aligned} \frac{E_{i,t}^n}{E_{i,\tau}^n} &= \frac{D_{i,\tau}^n(E_{i,\tau}^n, K_{i,\tau}^n, L_{i,\tau}^n, Y_{i,\tau}^n)}{D_{i,t}^n(E_{i,t}^n, K_{i,t}^n, L_{i,t}^n, Y_{i,t}^n)} \times \frac{D_{i,t}^n(E_{i,t}^n, K_{i,t}^n, L_{i,t}^n, Y_{i,t}^n)}{D_{i,\tau}^n(E_{i,\tau}^n, K_{i,\tau}^n, L_{i,\tau}^n, Y_{i,\tau}^n)} \\ &\times \left[\frac{D_{i,t}^n(1, k_{i,t}^n, l_{i,t}^n, 1)}{D_{i,t}^n(1, k_{i,\tau}^n, l_{i,t}^n, 1)} \times \frac{D_{i,t}^n(1, k_{i,t}^n, l_{i,t}^n, 1)}{D_{i,t}^n(1, k_{i,\tau}^n, l_{i,\tau}^n, 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &\times \left[\frac{D_{i,t}^n(1, k_{i,t}^n, l_{i,t}^n, 1)}{D_{i,t}^n(1, k_{i,t}^n, l_{i,\tau}^n, 1)} \times \frac{D_{i,t}^n(1, k_{i,\tau}^n, l_{i,t}^n, 1)}{D_{i,t}^n(1, k_{i,\tau}^n, l_{i,\tau}^n, 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= TEC_i^n \times TC_i^n(\tau) \times KE_{i,t}^n \times LE_{i,t}^n \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $k = K/E$ 和 $l = L/E$ 分别表示资本能源比和劳动能源比。式(6)等号右边前两项分别是技术效率变化和生产技术变化的倒数,刻画了技术效率变化和生产技术变

① 这是一个典型的新古典生产框架。

② 具体推导可参阅 Wang(2007)或向作者索取。

化所导致部门 i 的能源强度变化,因此分别称为技术效率效应和生产技术效应。显然,技术效率的提升和技术进步可以促进能源强度的下降。技术效应和效率效应两项的乘积正是全要素生产率指数的倒数,因而这两项之积测度了全要素生产率变化所引起的能源强度变化。第三项和第四项分别表示资本能源比和劳动能源比变化所带来的部门 i 的能源强度变化,刻画了资本能源替代和劳动能源替代对能源强度变化的效应。容易证明资本能源替代效应和劳动能源替代效应具有以下良好性质:当 $l_{i,t}^n > (<) l_{i,\tau}^n$ 时, $LE_{i,t}^n \leq (\geq) 1$,即能源强度与劳动能源比呈反方向变动;当 $k_{i,t}^n > (<) k_{i,\tau}^n$ 时, $KE_{i,t}^n \leq (\geq) 1$,即能源强度与资本能源比呈反方向变动。资本能源比和劳动能源比的变化反映了生产过程中资本、劳动与能源投入之间产生了相对替代。资本(劳动)能源比下降意味着生产活动中更多地使用能源,即能源对资本(劳动)产生了替代作用。这个性质说明资本和劳动对能源的替代可以降低能源强度。

类似地,如果以时期 τ 的生产技术作为基准,则产业部门 i 的能源强度变化分解为:

$$\begin{aligned} \frac{EI_{i,t}^n}{EI_{i,\tau}^n} &= \frac{D_{i,\tau}^n(E_{i,\tau}^n, K_{i,\tau}^n, L_{i,\tau}^n, Y_{i,\tau}^n)}{D_{i,t}^n(E_{i,t}^n, K_{i,t}^n, L_{i,t}^n, Y_{i,t}^n)} \times \frac{D_{i,t}^n(E_{i,t}^n, K_{i,t}^n, L_{i,t}^n, Y_{i,t}^n)}{D_{i,\tau}^n(E_{i,\tau}^n, K_{i,\tau}^n, L_{i,\tau}^n, Y_{i,\tau}^n)} \\ &\times \left[\frac{D_{i,\tau}^n(1, k_{i,t}^n, l_{i,\tau}^n, 1)}{D_{i,\tau}^n(1, k_{i,\tau}^n, l_{i,\tau}^n, 1)} \times \frac{D_{i,\tau}^n(1, k_{i,t}^n, l_{i,t}^n, 1)}{D_{i,\tau}^n(1, k_{i,\tau}^n, l_{i,t}^n, 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &\times \left[\frac{D_{i,\tau}^n(1, k_{i,\tau}^n, l_{i,t}^n, 1)}{D_{i,\tau}^n(1, k_{i,\tau}^n, l_{i,\tau}^n, 1)} \times \frac{D_{i,\tau}^n(1, k_{i,t}^n, l_{i,t}^n, 1)}{D_{i,\tau}^n(1, k_{i,t}^n, l_{i,\tau}^n, 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= TEC_i^n \times TC_i^n(t) \times KE_{i,\tau}^n \times LE_{i,\tau}^n \end{aligned} \quad (7)$$

为了避免技术参照选择的不同造成分解结果的不一致,我们取式(6)和式(7)的几何平均值,则产业部门 i 的能源强度变化分解为如下形式:

$$\begin{aligned} EI_{i,t}^n/EI_{i,\tau}^n &= TEC_i^n \times [TC_i^n(t) \times TC_i^n(\tau)]^{\frac{1}{2}} \\ &\times [KE_{i,\tau}^n \times KE_{i,t}^n]^{\frac{1}{2}} \times [LE_{i,\tau}^n \times LE_{i,t}^n]^{\frac{1}{2}} \\ &= TEC_i^n \times TC_i^n \times KE_i^n \times LE_i^n \end{aligned} \quad (8)$$

利用以上的分解结果,我们便可以对强度效应的机理进行分析。具体而言,将式(8)代入第一阶段分解的强度效应项,可得:

$$\begin{aligned} D_{sei}^n &= \exp \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^J \frac{L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{y,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{y,\tau}^n)}{L(EI_t^n, EI_\tau^n)} \ln(LE_i^n \times KE_i^n \times TC_i^n \times TEC_i^n) \right\} \\ &= \exp \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^J \frac{L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{y,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{y,\tau}^n)}{L(EI_t^n, EI_\tau^n)} \ln LE_i^n \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \times \exp \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^J \frac{L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{j,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{j,\tau}^n)}{L(EI_t^n, EI_\tau^n)} \ln KE_i^n \right\} \\
 & \times \exp \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^J \frac{L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{j,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{j,\tau}^n)}{L(EI_t^n, EI_\tau^n)} \ln TC_i^n \right\} \\
 & \times \exp \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^J \frac{L(EI_{i,t}^n S_{i,t}^n F_{j,t}^n, EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n F_{j,\tau}^n)}{L(EI_t^n, EI_\tau^n)} \ln TEC_i^n \right\} \\
 & = D_{le}^n \times D_{ke}^n \times D_{ic}^n \times D_{tec}^n \quad (9)
 \end{aligned}$$

3. 两个阶段分解的结合。将式(9)带入式(2),便可以得到最后的分解结果:

$$D_{tot}^n = D_{le}^n \times D_{ke}^n \times D_{ic}^n \times D_{tec}^n \times D_{str}^n \times D_{ec}^n \quad (10)$$

式(10)说明地区能源强度变化由6个因素决定:劳动能源替代效应、资本能源替代效应、生产技术效应、技术效率效应、产业结构效应和能源间替代效应(能源结构效应)。

与上文推导类似,我们可以将全国的能源强度表示如下形式:

$$EI_t = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{E_{j,t}^n}{E_{i,t}^n} \frac{E_{i,t}^n}{E_{i,t}^n} \frac{Y_{i,t}}{Y_t} \frac{Y_t}{Y_{i,t}} \quad (11)$$

则全国的能源强度变化可以分解为:

$$\begin{aligned}
 D_{tot} = \frac{EI_t}{EI_\tau} &= \exp \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(F_{j,t}^n EI_{i,t}^n S_{i,t}^n R_t^n, F_{j,\tau}^n EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n R_\tau^n)}{L(EI_t, EI_\tau)} \ln \frac{F_{j,t}^n}{F_{j,\tau}^n} \right\} \\
 & \times \exp \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(F_{j,t}^n EI_{i,t}^n S_{i,t}^n R_t^n, F_{j,\tau}^n EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n R_\tau^n)}{L(EI_t, EI_\tau)} \ln \frac{S_{i,t}^n}{S_{i,\tau}^n} \right\} \\
 & \times \exp \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(F_{j,t}^n EI_{i,t}^n S_{i,t}^n R_t^n, F_{j,\tau}^n EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n R_\tau^n)}{L(EI_t, EI_\tau)} \ln \frac{R_t^n}{R_\tau^n} \right\} \\
 & \times \exp \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(F_{j,t}^n EI_{i,t}^n S_{i,t}^n R_t^n, F_{j,\tau}^n EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n R_\tau^n)}{L(EI_t, EI_\tau)} \ln TEC_i^n \right\} \\
 & \times \exp \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(F_{j,t}^n EI_{i,t}^n S_{i,t}^n R_t^n, F_{j,\tau}^n EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n R_\tau^n)}{L(EI_t, EI_\tau)} \ln TC_i^n \right\} \\
 & \times \exp \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(F_{j,t}^n EI_{i,t}^n S_{i,t}^n R_t^n, F_{j,\tau}^n EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n R_\tau^n)}{L(EI_t, EI_\tau)} \ln KE_i^n \right\} \\
 & \times \exp \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{L(F_{j,t}^n EI_{i,t}^n S_{i,t}^n R_t^n, F_{j,\tau}^n EI_{i,\tau}^n S_{i,\tau}^n R_\tau^n)}{L(EI_t, EI_\tau)} \ln LE_i^n \right\} \\
 & = D_{ec} \times D_{str} \times D_{ros} \times D_{tec} \times D_{ic} \times D_{ke} \times D_{le} \quad (12)
 \end{aligned}$$

与式(10)相比,全国能源强度的变化分解要多出一个分解成分 D_{ros} 。 D_{ros} 表示地

区产出份额变化引起的能源强度变化,故称为地区(产出)格局效应。式(10)和(12)等号右边的每一个分解项的值小于1(大于1),表示推动能源强度的下降(上升)。各分解因素对能源强度变化的百分比贡献可以由下式计算得到。

$$(D_b - 1) \times 100\%, b \in \{ec, str, ros, tec, tc, ke, le\} \quad (13)$$

需要进一步指出的是,由于IDA和PDA都具有时间可逆、因素可逆、聚合性和零值稳健四个良好性质,本文的分解模型作为IDA和PDA的结合也继承了这些性质。

(二)数据来源及处理

本文以中国内地30个省市自治区为研究对象,^①以2003~2010年为研究窗口。^②考虑到数据的可获得性,我们将整个经济划分为三大产业部门,即第一产业、第二产业和第三产业。各地区三大产业的劳动投入(L)以年末从业人员数来衡量,数据来自CEIC中国经济数据库。各地区三大产业的产出以国民经济核算中的产业GDP来衡量,数据来自CEIC中国数据库。资本投入以资本存量作为代理变量。2003~2006年的各地区分产业资本存量直接来源于Wu(2009)的研究,我们依照其方法将时间序列进一步延伸到2010年。GDP和资本存量的数据都转化为2005年的不变价格水平。

地区分产业的能源消费原始数据来自《中国能源统计年鉴》中的各地区能源平衡表。地区能源平衡表提供了“农、林、牧、渔业”、“工业”、“建筑业”、“交通运输、仓储和邮政业”、“批发、零售业和住宿、餐饮业”、“生活消费”和“其他”等部门的能源消费数据。参考Ma和Stern(2008)的方法,我们将其能源消费量合并为三大产业的能源消费量。^③为了简化计算,我们进一步将各种能源消费量合并为煤炭、石油、天然气和电四个能源品种的消费量。

三 结果及讨论

(一)各地区能源强度变化及其决定因素分析

利用线性规划的方法,^④我们首先计算式(8)的各个分解成分,在此基础上我们计

① 一方面由于西藏能源数据缺失严重;另一方面西藏能源消费量在全国所占比重很小,可以忽略不计,故西藏不在本文研究范围之内。

② 由于2000~2002年的宁夏能源平衡表和2002年的海南能源平衡表缺失,为了保持面板数据的平衡(PDA模型的要求),我们以2003年作为研究的时间窗口起点。

③ 第一产业包括“农、林、牧、渔业”;第二产业包括“工业”和“建筑业”;第三产业包括“交通运输、仓储和邮政业”、“批发、零售业和住宿、餐饮业”、“生活消费”和“其他”。

④ 具体的线性规划问题形式及求解参阅Wang(2007)的研究。

算式(10)的各个分解效应值。^①表1报告了最终的计算结果。^②

从表1中我们可以看到,2003~2010年,除湖南和云南的能源强度略有上升外,大部分地区的能源强度经历了一个比较大的下降过程。从三大地区来看,中部地区能源强度下降最快,平均下降18%,略高于东部地区(17.9%);西部地区能源强度下降最慢,平均下降14%。具体从各个省(市区)的能源强度变化来看,天津和安徽能源强度下降最快,分别下降了39%和38.9%;而湖南和云南两地能源强度出现了反弹现象,分别上涨了1.6%和2.5%。

从能源强度变化的分解成分来看,技术进步和资本能源替代效应是中国地区能源强度下降的主要因素。技术进步在18个省(市区)中是能源强度下降的最大贡献者;在其他11个省(市区)中,资本能源替代效应是能源强度下降的最大推动力。从三大地区的均值来看,我们可以发现一个有趣的现象:东部和西部地区能源强度下降的主要推动力在于技术进步(分别推动能源强度下降24.1%和19.4%^③);而中部地区能源强度下降的最大推动力在于资本能源替代效应(平均推动能源强度下降21.9%)。此外,东部技术进步的速度快于中部地区,西部地区的技术进步最慢。这一结论与中国东中西三大地区的梯度发展现状非常吻合。在资本能源替代效应上,中西部地区领先于东部地区。一个可能的解释是中西部地区不断承接来自东部地区的产业转移,由此带来的投资加速了中西部地区的资本积累。资本投入的增加可以替代能源投入进而降低能源强度。另外,中西部地区能源资源丰富,而资本存量相对低,因此资本增加的边际效应要大于东部地区。

与资本能源替代效应相反,劳动能源替代效应在所有地区(广西除外)的值都大于1,即推动了能源强度的上升。主要原因在于进入21世纪之后,农村剩余劳动力大大减少,劳动力增长速度缓慢,而能源消费量迅速上升,劳动能源比下降,即能源在生产中替代了劳动,进而对能源强度的下降产生负面影响。能源间替代效应对能源强度变化的影响很小,基本可以忽略。在技术效率效应方面,我们可以看到有20个省(市

^① 由于IDA模型使用了连续时间的推导方法,因此时间间隔越小,分解精度越高。有鉴于此,我们采用Ma和Stern(2008)的建议,采用时间序列的方法进行分析,即采用逐年(year-by-year)进行分解,进而累乘获得整个研究区间(2003~2010年)的分解结果。事实上,时期区间的分解结果可以由时间序列的方法推导出来,反之则不行。

^② 为了节省篇幅,我们略去逐年分解等中间计算结果,只报告了2003~2010年的分解结果,感兴趣者可以向作者索取。

^③ 由表1中分解项的值减去1后乘以100%得到(见式(13))。下文各个因素对能源强度变化的百分比贡献都是通过相同方式得到的。

区)的技术效率效应值大于1,即这些地区的技术效率下降,进而推动了能源强度的上升。这一结果与孙广生等(2012)的发现基本一致。^①这一结论也说明了中国现阶段大部分地区的经济还是粗放型的发展模式,资源还没有得到充分的利用。事实上,这也是中国要素市场长期存在扭曲,要素价格被人为低估的必然后果。^②在产业结构效应方面,除了北京和上海外,其他省(市区)的产业结构效应值基本都大于1,说明产业结构变化在这些地区阻碍了能源强度的下降。这一结果与现阶段中国大部分地区正处于快速工业化阶段,工业比重不断上升的情况相符。与此相反,北京和上海分别是中国的政治文化中心和经济中心,其经济发展开始进入后工业化阶段,工业比重在不断下降,而服务业比重在不断上升。因此,北京和上海产业结构的调整促进了其能源强度的下降。这一结果也与我们的预期一致。

为了将我们的分解方法与PDA进行比较,我们利用Wang(2007)的PDA模型^③对中国30个省(市区)在2003~2010年间的能源强度变化进行了分解。表2报告了相关的计算结果。

从表2可以发现:不同于我们模型的分解结果,PDA分解结果显示大部分地区能源强度下降的主要推动力在于产业结构效应、资本能源替代效应和能源间替代效应。

然而,正如我们前面所讨论的,PDA模型在测度产业结构效应和能源间替代效应时存在明显的缺陷。例如,北京产业结构效应的值大于1,即在2003~2010年间产业结构变化提高了北京的能源强度,这与北京同时期的产业结构变化实际情况不符。相似的情况也出现在能源间替代效应上。2003~2010年,为了提高空气质量,北京着力于能源消费结构的调整,通过“煤改气”等工程降低煤炭的消费比重。^④由于煤炭是一种低质量的能源,因此我们预期其他能源对煤炭的替代可以促进能源强度的下降(至少不会导致能源强度的上升)。然而PDA模型却给出一个相反的结论,即能源间替代效应会使北京的能源强度上升6.4%。此外,PDA模型的分解结果显示,能源间替代效应对宁夏、内蒙古、安徽和湖南等多个地区能源强度的下降具有不同程度的推动作

① 孙广生等(2012)的研究结果显示,1986~2010年有12个地区的技术效率出现了下降。

② 林伯强和杜克锐(2013b)通过对要素市场扭曲和能源效率关系的分析发现,要素市场扭曲使得能源效率降低了10%。

③ Wang(2007)的PDA模型是对能源生产率(能源强度的倒数)进行的分解。因此,我们对其分解等式取倒数转化为对能源强度变化的分解。限于篇幅,我们这里没有给出PDA模型的分解等式,详细内容参阅Wang(2007)的研究。

④ 作者根据《中国能源统计年鉴》的北京能源平衡表测算,北京煤炭消费比重从2003年的56.3%下降到2010年的31.2%。

理解中国能源强度的变化:一个综合的分解框架

表 1 **2003 ~ 2010 年各地区能源强度变化及其决定因素**

| 地区 | 能源强度 变化 | 产业结构 效应 | 全要素生产率效应 | | 要素替代效应 | | |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| | | | 生产技术 效应 | 技术效率 效应 | 资本能源 替代 | 劳动能源 替代 | 能源间 替代 |
| 安徽 | 0.611 | 1.194 | 0.867 | 1.186 | 0.495 | 1.006 | 1.000 |
| 北京 | 0.739 | 0.980 | 0.743 | 0.990 | 0.988 | 1.037 | 1.000 |
| 福建 | 0.978 | 1.065 | 0.768 | 1.144 | 0.964 | 1.081 | 1.003 |
| 甘肃 | 0.814 | 1.058 | 0.829 | 1.036 | 0.766 | 1.170 | 1.000 |
| 广东 | 0.814 | 1.040 | 0.871 | 0.996 | 0.871 | 1.037 | 0.999 |
| 广西 | 0.859 | 1.198 | 0.870 | 1.070 | 0.780 | 0.988 | 1.000 |
| 贵州 | 0.634 | 1.067 | 0.870 | 0.963 | 0.705 | 1.005 | 0.999 |
| 海南 | 0.803 | 1.167 | 0.716 | 0.898 | 1.031 | 1.042 | 0.996 |
| 河北 | 0.768 | 1.059 | 0.789 | 0.999 | 0.814 | 1.132 | 1.000 |
| 河南 | 0.964 | 1.104 | 0.818 | 1.210 | 0.871 | 1.013 | 1.000 |
| 黑龙江 | 0.749 | 1.023 | 0.793 | 1.053 | 0.745 | 1.178 | 0.999 |
| 湖北 | 0.839 | 1.103 | 0.824 | 0.997 | 0.901 | 1.029 | 1.000 |
| 湖南 | 1.016 | 1.114 | 0.890 | 1.092 | 0.908 | 1.031 | 1.003 |
| 吉林 | 0.729 | 1.098 | 0.738 | 1.183 | 0.711 | 1.071 | 0.999 |
| 江苏 | 0.846 | 1.033 | 0.792 | 0.997 | 0.993 | 1.045 | 1.000 |
| 江西 | 0.814 | 1.097 | 0.840 | 1.082 | 0.809 | 1.007 | 1.001 |
| 辽宁 | 0.812 | 1.099 | 0.760 | 1.165 | 0.696 | 1.197 | 1.000 |
| 内蒙古 | 0.961 | 1.135 | 0.676 | 0.838 | 1.024 | 1.457 | 1.000 |
| 宁夏 | 0.917 | 1.138 | 0.756 | 1.002 | 0.862 | 1.227 | 1.007 |
| 青海 | 0.864 | 1.086 | 0.754 | 1.052 | 0.866 | 1.159 | 0.999 |
| 山东 | 0.976 | 1.059 | 0.779 | 1.064 | 0.937 | 1.184 | 1.002 |
| 山西 | 0.784 | 1.021 | 0.798 | 1.071 | 0.785 | 1.145 | 1.000 |
| 陕西 | 0.958 | 1.049 | 0.786 | 1.049 | 0.963 | 1.149 | 1.002 |
| 上海 | 0.914 | 0.988 | 0.715 | 1.000 | 1.006 | 1.287 | 1.000 |
| 四川 | 0.841 | 1.172 | 0.945 | 1.503 | 0.503 | 1.004 | 1.000 |
| 天津 | 0.610 | 1.020 | 0.664 | 0.878 | 0.900 | 1.141 | 1.000 |
| 新疆 | 0.816 | 1.057 | 0.563 | 1.144 | 0.887 | 1.351 | 1.000 |
| 云南 | 1.025 | 1.071 | 0.823 | 1.173 | 0.914 | 1.080 | 1.005 |
| 浙江 | 0.844 | 1.000 | 0.773 | 1.026 | 0.991 | 1.074 | 1.000 |
| 重庆 | 0.939 | 1.095 | 0.937 | 1.460 | 0.617 | 1.014 | 1.001 |
| 东部平均 ^a | 0.821 | 1.045 | 0.759 | 1.011 | 0.921 | 1.112 | 1.000 |
| 中部平均 ^a | 0.820 | 1.098 | 0.802 | 1.073 | 0.791 | 1.096 | 1.000 |
| 西部平均 ^a | 0.860 | 1.098 | 0.806 | 1.133 | 0.773 | 1.109 | 1.001 |

说明:^a表示几何均值,下同。东部地区包括辽宁、河北、天津、北京、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东和海南 11 个省市区;中部地区包括黑龙江、吉林、内蒙古、山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南 9 个省区;西部地区包括陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、四川、重庆、云南、广西和贵州 10 个省市区。

表 2 2003 ~ 2010 年各地区能源强度变化及其决定因素:PDA 模型分解结果

| 地区 | 能源强度 变化 | 产业结构 效应 | 全要素生产率效应 | | 要素替代效应 | | |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| | | | 生产技术 效应 | 技术效率 效应 | 资本能源 替代 | 劳动能源 替代 | 能源间 替代 |
| 安徽 | 0.611 | 0.853 | 1.605 | 1.000 | 0.849 | 1.028 | 0.511 |
| 北京 | 0.739 | 1.017 | 0.662 | 1.000 | 0.986 | 1.046 | 1.064 |
| 福建 | 0.978 | 0.824 | 2.875 | 1.000 | 0.977 | 1.342 | 0.315 |
| 甘肃 | 0.814 | 0.868 | 1.073 | 0.947 | 0.857 | 1.109 | 0.971 |
| 广东 | 0.814 | 0.924 | 1.595 | 1.000 | 0.926 | 1.092 | 0.546 |
| 广西 | 0.859 | 0.679 | 3.693 | 1.000 | 0.884 | 1.147 | 0.338 |
| 贵州 | 0.634 | 0.865 | 1.472 | 0.888 | 0.730 | 1.000 | 0.767 |
| 海南 | 0.803 | 0.843 | 0.790 | 1.000 | 0.983 | 1.119 | 1.095 |
| 河北 | 0.768 | 0.864 | 0.898 | 1.000 | 0.938 | 1.173 | 0.899 |
| 河南 | 0.964 | 0.889 | 1.009 | 1.000 | 0.929 | 1.119 | 1.035 |
| 黑龙江 | 0.749 | 0.940 | 0.849 | 1.000 | 0.844 | 1.086 | 1.023 |
| 湖北 | 0.839 | 0.715 | 1.202 | 1.010 | 0.933 | 1.223 | 0.847 |
| 湖南 | 1.016 | 0.864 | 2.501 | 1.000 | 0.897 | 1.106 | 0.474 |
| 吉林 | 0.729 | 0.735 | 1.077 | 1.000 | 0.866 | 1.178 | 0.903 |
| 江苏 | 0.846 | 0.952 | 0.873 | 1.000 | 0.959 | 1.227 | 0.866 |
| 江西 | 0.814 | 0.881 | NA | 1.000 | 0.891 | 1.106 | NA |
| 辽宁 | 0.812 | 0.838 | 0.834 | 0.981 | 0.872 | 1.352 | 1.004 |
| 内蒙古 | 0.961 | 0.673 | 0.939 | 1.000 | 1.008 | 1.844 | 0.817 |
| 宁夏 | 0.917 | 0.869 | 1.014 | 1.663 | 0.911 | 1.160 | 0.592 |
| 青海 | 0.864 | 0.834 | 0.903 | 1.074 | 0.949 | 1.215 | 0.926 |
| 山东 | 0.976 | 0.943 | 0.932 | 1.000 | 0.983 | 1.160 | 0.974 |
| 山西 | 0.784 | 1.019 | 0.981 | 1.238 | 0.839 | 1.063 | 0.710 |
| 陕西 | 0.958 | 1.009 | 0.893 | 0.912 | 0.994 | 1.062 | 1.104 |
| 上海 | 0.914 | 0.998 | 0.948 | 1.000 | 1.002 | 1.209 | 0.798 |
| 四川 | 0.841 | 0.786 | 1.437 | 1.000 | 0.768 | 1.050 | 0.925 |
| 天津 | 0.610 | 1.018 | 0.588 | 1.000 | 0.930 | 1.174 | 0.933 |
| 新疆 | 0.816 | 0.814 | 0.695 | 1.000 | 1.001 | 1.365 | 1.055 |
| 云南 | 1.025 | 0.811 | 1.092 | 1.042 | 0.985 | 1.169 | 0.966 |
| 浙江 | 0.844 | 0.984 | 1.836 | 1.000 | 1.000 | 1.167 | 0.401 |
| 重庆 | 0.939 | 0.958 | 1.045 | 1.000 | 0.939 | 1.091 | 0.915 |
| 东部均值* | 0.821 | 0.906 | 1.037 | 0.998 | 0.959 | 1.184 | 0.730 |
| 中部均值* | 0.820 | 0.834 | 1.193 | 1.025 | 0.894 | 1.176 | 0.762 |
| 西部均值* | 0.853 | 0.859 | 1.164 | 1.053 | 0.892 | 1.126 | 0.806 |

说明:NA 表示不存在可行解。

用。然而,通过统计数据分析,我们发现这些地区在样本区间内一直保持着相对稳定的能源消费结构,煤炭消费比例居高不下。因此,我们很难理解在样本时期内能源间替代能够对能源强度的下降产生如此大的作用。从生产技术效应来看,我们发现安徽、福建和广西等多个地区的生产技术效应值^①大于1,即技术出现了明显的退步。这明显与我们的常识相悖。通过对表1和表2进行比较,我们不难看出本文模型得到的结论比PDA模型更加合理。

(二)中国能源强度变化及其决定因素分析

利用式(12),我们对全国整体的能源强度变化进行了解。表3报告了相关的计算结果。2003~2005年,中国能源强度出现了一定程度的反弹。技术效率恶化、能源对劳动的替代和产业结构的变化是2003~2004年能源强度上升的主要原因;而2004~2005年能源强度上升的主要原因在于能源对资本和劳动的替代及产业结构的调整。这一结论与Wang(2011)和孙广生等(2012)的发现略有不同。Wang(2011)的研究结果显示:2003~2004年能源强度上升的主要原因在于技术效率恶化、能源对劳动和资本的替代;2004~2005年能源强度反弹的主要原因在于技术退步和能源对资本的替代;而产业结构的调整降低了2003~2005年的能源强度。孙广生等(2012)则认为投入替代和技术退步分别是2003~2004年和2004~2005年能源强度上升的主要原因。^②

表3 全国能源强度变化及其决定因素

| 年份 | 能源强度变化 | 结构调整效应 | | 全要素生产率效应 | | 要素替代效应 | | |
|-----------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|-------|
| | | 产业结构效应 | 地区格局效应 | 生产技术效应 | 技术效率效应 | 资本能源替代 | 劳动能源替代 | 能源间替代 |
| 2003~2004 | 1.003 | 1.013 | 0.998 | 0.947 | 1.031 | 0.994 | 1.022 | 1.000 |
| 2004~2005 | 1.056 | 1.011 | 1.000 | 0.999 | 0.993 | 1.020 | 1.033 | 1.001 |
| 2005~2006 | 0.961 | 1.011 | 0.999 | 0.963 | 0.989 | 0.983 | 1.015 | 1.000 |
| 2006~2007 | 0.952 | 1.011 | 1.000 | 0.958 | 1.014 | 0.958 | 1.011 | 1.000 |
| 2007~2008 | 0.956 | 1.006 | 1.001 | 0.976 | 1.012 | 0.957 | 1.005 | 1.000 |
| 2008~2009 | 0.953 | 1.007 | 1.001 | 0.975 | 1.016 | 0.950 | 1.005 | 1.000 |
| 2009~2010 | 0.953 | 1.010 | 1.002 | 0.960 | 1.012 | 0.961 | 1.009 | 1.000 |
| 2003~2010 | 0.841 | 1.071 | 1.000 | 0.797 | 1.069 | 0.835 | 1.104 | 1.000 |
| 各年均值* | 0.976 | 1.010 | 1.000 | 0.968 | 1.010 | 0.974 | 1.014 | 1.000 |

① 需要注意的是,本文的生产技术效应是技术变化的倒数。

② Wang(2011)和孙广生等(2012)的研究都是对能源生产率的分解。我们根据Wang(2011)论文中的表2和孙广生等(2012)论文中表1报告的结果推出以上结论。

从2006年开始,中国能源强度进入一个持续下降的阶段。总体来看,2003~2010年中国能源强度累计下降了15.9%,年均下降2.4%(见表3)。从能源强度变化的分解因素来看,技术进步是能源强度下降的最大

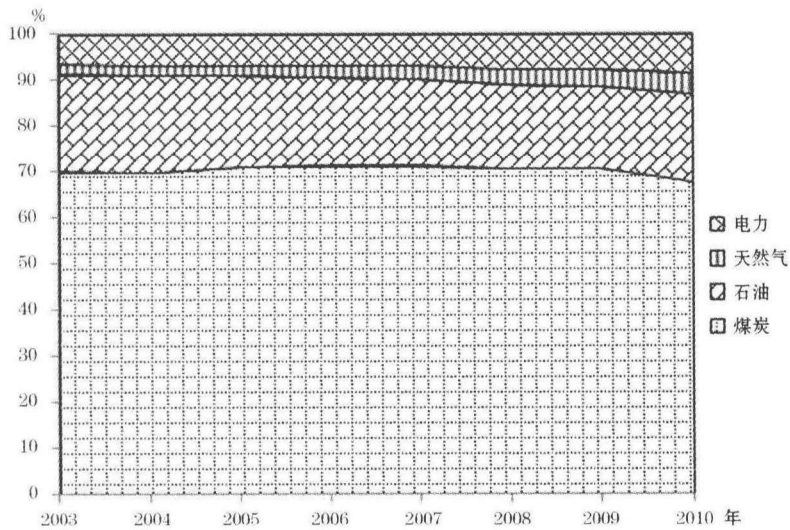


图1 中国能源消费结构

数据来源:《中国统计年鉴2011》。

推动力,推动能源强度累计下降20.3%,年均下降3.2%;资本对能源替代的作用次之,推动能源强度累计下降16.5%,年均下降2.6%。劳动对能源的替代是能源强度下降的最大不利因素,推动能源强度累计上升10.4%,年均上升1.4%。这一结论与Wang(2011)的结论基本一致。产业结构效应和技术效率效应是能源强度下降的另外两个阻碍因素。产业结构效应累计推动能源强度上升了7.1%。这主要是由于中国现阶段还处于工业化的快速发展阶段,高耗能工业部门的不断扩张对能源强度的下降产生负面影响。技术效率效应累计推动能源强度上升了6.9%。从表3第6列我们可以看到,除了2004~2005年和2005~2006年之外,技术效率效应的值都大于1,即技术效率下降。这一结论与孙广生等(2012)的结果一致。技术效率的下降意味着资源未能得到充分利用。由此可见,中国粗放型经济发展模式导致了资源的浪费,进而阻碍了能源强度的下降。当然,更深层次的原因可能在于中国要素市场的扭曲,阻碍了市场配置资源作用的充分发挥。

此外,地区格局效应和能源间替代对能源强度的影响很小。尽管中央政府一直都在大力扶持落后地区的经济发展,缩小地区差距,但通过统计数据的对比我们发现,2003~2010年,中国地区产出份额变动很小,经济格局基本不变,因此对能源强度变化的影响有限。与地区经济格局相似,从图1我们可以看到,2003~2010年,中国能

源消费结构变化非常小,煤炭消费比重基本保持在70%。由此可见,不同能源间的替代并不明显,所以对能源强度的影响非常小。这一结论与 Ma 和 Stern (2008) 的结果相一致。^①

(三) 中国能源强度变化的地区贡献度分析

对式(12)两边对数,并重新整理可得下式:

$$\ln \frac{EI_t}{EI_\tau} = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J w_{ij}^n \left(\ln \frac{F_{ij,\tau}^n}{F_{ij,t}^n} + \ln \frac{S_{i,\tau}^n}{S_{i,t}^n} + \ln \frac{R_\tau^n}{R_t^n} + \ln TEC_i^n + \ln TC_i^n + \ln KE_i^n + \ln LE_i^n \right) = \sum_{n=1}^N Regcontr^n \quad (14)$$

其中, $w_{ij}^n = L(F_{ij,t}^n, EI_{i,t}^n, S_{i,t}^n, R_t^n, F_{ij,\tau}^n, EI_{i,\tau}^n, S_{i,\tau}^n, R_\tau^n) / L(EI_{i,t}^n, EI_{i,\tau}^n)$ 。

显然,式(14)等号左边表示的是能源强度的变化率;等号右边 $Regcontr^n$ 表示能源强度变化的各个贡献因子按照地区进行加总。因此,通过式(14)我们可以计算各地区对全国能源强度变化的贡献。

图2刻画了30个省(市区)对全国能源强度在2003~2010年间变化的贡献。从图中我们可以看到,有6个省对能源强度下降的贡献大于1%,分别是河北(-1.90%)、广东(-1.70%)、安徽(-1.53%)、贵州(-1.37%)、山西(-1.05%)和黑龙江(-1.02%)。从表1我们可以看到,这些省份也是能源强度下降比较大的地区,技术进步和资本对能源的替代是主要的推动力。例如,安徽和贵州能源强度分别下降了38.9%和36.6%。湖南、福建、陕西和重庆4个省(市)对全国能源强度下降的贡献都小于0.1%,与我们的预期基本相符。2003~2010年,这4个省(市)的能源强度下降幅度都不及7%,远低于全国平均水平,技术效率的恶化阻碍了这些地区能源强度的下降。与其他省(市区)不同,内蒙古推动了全国能源强度上升了0.88%。这主要是内蒙古煤炭资源丰富,煤炭使用成本较低,使得内蒙古的能源强度长期位于全国平均水平之上。虽然在样本期间内蒙古的能源强度有小幅下降,但由于其产出份额的增加^②抵消了其能源强度下降的效应,最终使其推动全国能源强度的上升。^③

① 张伟和朱启贵(2012)对中国工业能源强度变化的研究也发现能源间替代对能源强度变化的影响十分微弱。

② 根据作者的测算,内蒙古产出占全国的比重由2003年的1.7%上升到2010年的2.3%。

③ 王锋等(2013)在对全国碳强度变化的地区贡献分析中也发现类似的现象:内蒙古在1997~2008年的碳强度虽然下降18.67%,但由于其产值份额的上升对全国碳强度的下降产生了相反的净效应(推动了全国能源强度上升1.1%)。

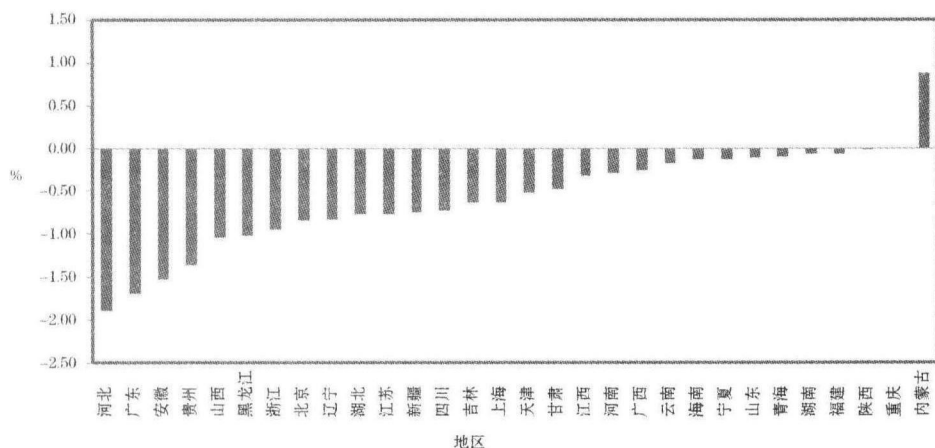


图2 各地区对全国能源强度变化的贡献(2003~2010年)

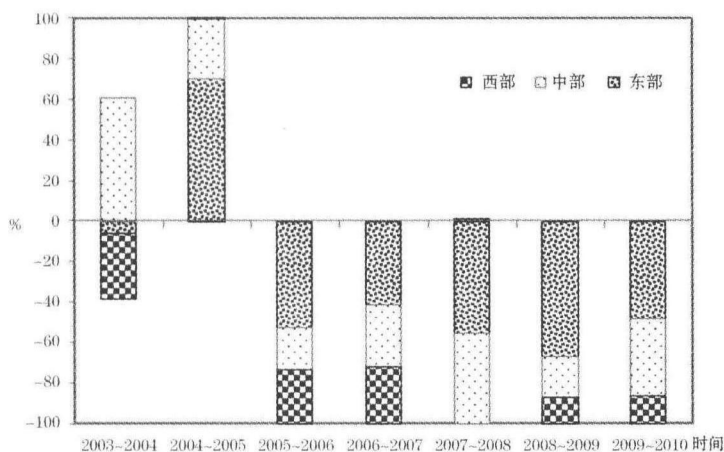


图3 三大地区对全国能源强度变化的贡献率

图3绘制了东中西三大地区对全国能源强度变化的相对贡献。从图中我们可以得到以下几个结论:(1)2003~2004年的能源强度上升是由中部地区造成的;(2)2004~2005年的能源强度上升主要由东部地区推动;(3)从2005年之后,三大地区都推动了全国能源强度

的下降,其中占主导地位的是东部地区,其对全国能源强度下降的贡献度保持在40%的水平以上。通过统计数据的分析,我们发现2003~2005年,湖南、河南、河北、吉林、黑龙江和内蒙古等中部地区省(区)由于技术效率的恶化和工业部门的快速扩张导致能源强度有不同程度的上升。东部地区的情况稍有不同,在2003~2004年期间,只有少数省和市,如海南、山东和上海等出现能源强度的反弹,而在2004~2005年期间,大部分东部省(市)都出现了能源强度的上升。

因此,2003~2004年,中国能源强度上升主要是由中部地区能源强度的上升所

致;而东部地区整体上对中国能源强度上升的贡献为负,即推动了中国能源强度的下降。由于东部地区在全国的经济比重较大,该地区在2004~2005年间出现能源强度反弹,成为中国能源强度上升的主要贡献者。对于西部地区而言,其能源强度高于全国平均水平,节能空间比较大,大部分省(市区)在2003~2005年都没有出现能源强度上升。因此,西部地区整体上并没有推动中国能源强度的反弹。相比三大地区的贡献度在2003~2005年间的波动,由于中央政府在“十一五”规划中明确制定了各个省(市区)的能源强度下降目标,各个地区都采取了阶段性的节能措施,因而2005~2010年,三大地区对能源强度变化的贡献都为负且相对稳定。

四 主要结论

针对IDA和PDA的缺陷,本文提出了一个分析能源强度变化的综合分解框架。与IDA和PDA相比,本文模型的贡献在于:(1)进一步分析了部门能源强度变化的机理,进而为IDA分解结果提供了更好的经济学解释;(2)解决了PDA模型在产业结构效应和能源结构效应(能源间替代效应)测度上的缺陷;(3)为全国层面的能源强度变化与地区经济变量之间建立了联系,使得地区层面的分解效应可以通过加总来反映各因素对全国层面能源强度变化的影响。

利用本文提出的模型,我们对2003~2010年中国30个省(市区)能源强度变化的驱动因素进行了分析,得到以下主要结论:(1)2003~2010年,技术进步是中国能源强度下降的最大推动力,推动能源强度累计下降20.3%,年均下降3.2%;资本替代能源的作用次之,推动能源强度累计下降16.5%,年均下降2.6%。能源替代劳动、产业结构变化和技术效率下降是阻碍中国能源强度下降的主要因素。地区经济格局的变化及能源间替代效应对能源强度变化的影响非常有限。(2)从地区能源强度变化的影响因素来看,东部和西部地区能源强度下降的主要推动力来自技术进步,而中部地区能源强度下降的最大推动力在于资本对能源的替代。在能源强度下降的不利因素方面,东部和西部地区的最大阻力是能源对劳动的替代,而中部地区的最大阻力在于产业结构变化。(3)从中国能源强度变化过程中的各个地区贡献来看,河北、广东、安徽、贵州、山西和黑龙江6个省对中国能源强度下降的推动作用较大,而湖南、福建、陕西和重庆4个省(市)的贡献比较小,内蒙古对全国能源强度的下降起到了抑制作用。

参考文献:

- 林伯强、杜克锐(2013a):《我国能源生产率增长的动力何在—基于距离函数的分解》,《金融研究》第9期。
- 林伯强、杜克锐(2013b):《要素市场扭曲对我国能源效率的影响》,《经济研究》第9期。
- 刘佳骏、董锁成、李宇(2011):《产业结构对区域能源效率贡献的空间分析—以中国大陆31省(市、自治区)为例》,《自然资源学报》第12期。
- 齐志新、陈文颖(2006):《结构调整还是技术进步? 改革开放后我国能源效率提高的因素分析》,《上海经济研究》第6期。
- 孙广生、黄祎、田海峰、王凤萍(2012):《全要素生产率、投入替代与地区间的能源效率》,《经济研究》第11期。
- 王锋、冯根福、吴丽华(2013):《中国经济增长中碳强度下降的省区贡献分解》,《经济研究》第9期。
- 吴巧生、成金华(2006):《中国工业化中的能源消耗强度变动及因素分析—基于分解模型的实证分析》,《财经研究》第6期。
- 张伟、朱启贵(2012):《基于LMDI的我国工业能源强度变动的因素分解——对我国1994-2007年工业部门数据的实证分析》,《管理评论》第9期。
- 郑义、徐康宁(2012):《中国能源强度不断下降的驱动因素—基于对数均值迪氏分解法(LMDI)的研究》,《经济管理》第2期。
- 周勇、李廉水(2006):《中国能源强度变化的结构与效率因素贡献—基于AWD的实证分析》,《产业经济研究》第4期。
- Ang, B. W. "The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide." *Energy Policy*, 2005, 33, pp. 867-871.
- Huang, J. P. "Industry Energy Use and Structural Change: A Case Study of The People's Republic of China." *Energy Economics*, 1993, 15, pp. 131-136.
- Ma, C. and Stern, D. I. "China's Changing Energy Intensity Trend: A Decomposition Analysis." *Energy Economics*, 2008, 30, pp. 1037-1053.
- Sinton, J. E. and Levine, M. D. "Changing Energy Intensity in Chinese Industry: The Relative importance of Structural Shift and Intensity Change." *Energy Policy*, 1995, 22, pp. 239-255.
- Wang, C. "Decomposing Energy Productivity Change: A Distance Function Approach." *Energy*, 2007, 32, pp. 1326-1333.
- Wang, C. "Sources of Energy Productivity Growth and Its Distribution Dynamics in China." *Resource and Energy Economics*, 2011, 33, pp. 279-292.
- Wu, Y. "China's Capital Stock Series by Region and Sector." Discussion Paper, University of Western Australia, 2009.
- Zhang, Z. "Why did the Energy Intensity fall in China's Industrial Sector in the 1990s? The Relative Importance of Structural Change and Intensity Change." *Energy Economics*, 2006, 25, pp. 625-638.

(截稿:2014年1月 责任编辑:李元玉)