

引用格式: 吕明元, 陈维宣. 中国产业结构升级对能源效率的影响研究——基于1978-2013年数据[J]. 资源科学, 2016, 38(7): 1350-1362. [Lv M Y, Chen W X. The study on the impact of industrial structure upgrading on energy efficiency in China based on the data from 1978 to 2013[J]. *Resources Science*, 2016, 38(7): 1350-1362]. DOI: 10.18402/resci.2016.07.15

# 中国产业结构升级对能源效率的影响研究 ——基于1978-2013年数据

吕明元, 陈维宣

(天津商业大学, 天津 300134)

**摘要:** 产业结构升级对能源效率贡献的差异需要从结构演进方向上进行研究。本文将产业结构演进方向分解为合理化与高级化两个维度, 以劳动和资本要素生产率为基础重新构建产业结构升级的评价指标, 并通过建立普通模型、增长模型与弹性模型实证检验产业结构演进方向对能源效率及其增长率的影响。研究结果表明: 产业结构演进方向对能源效率及其增长率具有显著影响, 能源效率的提高主要来自产业结构高级化的贡献, 产业结构合理化程度的降低显著地抑制了能源效率的提高, 并且产业结构合理化与高级化两者之间差距的扩大有可能会进一步导致进一步的负效应, 而清洁能源消费比重的上升对能源效率提高具有正向效应。因此, 本文认为未来产业政策的方向应重点引导改变不合理的产业结构现状, 降低其对能源效率的抑制作用, 并同时缩小产业结构合理化与高级化之间的差距; 而能源政策的倾向则应重点提高清洁能源的消费比重, 以天然气等清洁能源替代煤炭投入来促进能源效率的改善。

**关键词:** 产业结构升级; 能源效率; 产业结构合理化; 产业结构高级化; 中国

DOI: 10.18402/resci.2016.07.15

## 1 问题提出

中国“粗放型”的经济增长方式使得经济增长与能源消费之间的矛盾逐渐明显且日益突出, 不仅面临着能源供给的“流量约束”, 还面临着“存量约束”的威胁, 而且从“流量约束”向“存量约束”转变的速度不断加快, 严重制约着中国经济的可持续发展。能源效率则是将经济增长与能源消费联系起来的重要指标, 受到技术水平、产业结构及能源结构等方面的显著影响, 它的高低反映了一个经济体可持续发展潜力的一个方面。

从学术界的 research 情况来看, 关于产业结构升级对能源效率影响的讨论存在不同的观点。

支持产业结构升级能够对能源效率及其增长率产生显著影响的观点认为, 中国如果继续保持过去的增长速度而不进行结构调整与提高能源效率,

中国的经济增长将会对全球环境造成严重破坏<sup>[1]</sup>; 能源效率与产业结构之间存在长期均衡关系, 降低第二产业比重或提高第三产业比重将会提高能源效率<sup>[2,3]</sup>。在三次产业中, 第二产业的能源消费量最大但能源效率却最低; 工业、交通运输业及服务业与生活部门对能源消费的影响程度最大, 而商业、建筑业和农业的影响程度较小<sup>[4]</sup>; 第二产业比重与能源投入冗余量呈现显著正相关关系, 与其他产业相比, 第二产业中的能源密集型产业更容易形成能源浪费<sup>[5]</sup>, Hong Li 等利用超SBM模型比较了中国轻工业与重工业的能源效率差距<sup>[6]</sup>。

但是, 另一些学者却持有不同的观点。史丹认为影响区域能源效率的主要因素可能是第二产业尤其是工业部门的生产技术水平, 而不是第二产业的比重<sup>[7]</sup>; 余泳泽等、Guan Yang 等则认为第三产业的比重<sup>[8]</sup>。

收稿日期: 2015-03-25; 修订日期: 2016-05-25

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(13BJY007)。

作者简介: 吕明元, 男, 山东胶南人, 博士, 教授, 研究方向为产业经济理论。E-mail: lvmingyuan808@163.com

2016年7月

比重的上升对能源效率提高的贡献有限<sup>[8,9]</sup>;而 He Tianli 等则认为产业结构中第三产业比重的上升导致了能源强度的提高,即能源效率的降低<sup>[10]</sup>。

总起来看,关于产业结构升级对能源效率贡献差异的争论,学者们至少从产业结构的作用临界和区域差异两个方面进行了解释。在产业结构的作用临界方面,Ke Li 等利用非线性方法证明产业结构对能源强度作用的转折点为40.435%,当第二产业占GDP比重大于临界值时,产业结构升级促进能源强度的提高<sup>[11]</sup>;而当第二产业占GDP比重小于临界值时,产业结构升级则会导致能源强度的下降。在产业结构的区域差异方面,Guo Guangtao 等以中国西部地区为例证明,在其他条件不变的情况下,仅通过产业结构调整便可降低单位GDP能耗2.7%,并保证西部地区GDP总值和劳动者报酬年均增长超过8%<sup>[12]</sup>;贾慧婷也表明产业结构升级有利于减轻中国中部和西部地区经济活动对环境造成的压力,东部地区则不明显<sup>[13]</sup>。而 Liu Jiajun 等则认为产业结构合理或产业结构调整初期的地区,产业结构变动对区域能源效率提高的贡献明显,而产业结构合理低端的地区,产业结构变动对区域能源效率提高的贡献不明显<sup>[14]</sup>。

现有的研究成果表明,目前学术界对产业结构升级是否能够提高能源效率还存在争论,产业结构作用临界和区域差异方面的研究有助于解释目前的争论,但是产业结构升级与演进的方向如何影响能源效率仍有待进一步探讨。因此,本文拟从以下几个方面做出努力:第一,将产业结构升级的方向分解为合理化与高级化两个维度,并重新构建基于劳动和资本要素的产业结构升级评价指标;第二,通过建立计量经济模型实证检验产业结构在合理化与高级化两个维度上的升级对能源效率的影响,并比较两个方向上演进效应的差异。

本文结构安排如下:第二部分构建产业结构升级的评价指标,第三部分设定模型形式与数据说

明,第四部分进行实证分析,并加以稳健性检验,第五部分得出结论与提出相应的政策建议。

## 2 产业结构升级与能源效率评价指标构建

产业结构演进与升级一般包括产业结构合理化和产业结构高级化两个维度,本部分将从劳动和资本要素生产率的视角,重新设计与构建产业结构合理化与高级化的评价指标,以及能源效率评价指标。

### 2.1 产业结构合理化评价指标

结合资源配置论与结构动态均衡理论的主要观点,本文认为产业结构合理化是指生产要素通过在产业间的配置、利用、转移与流动等方式实现各产业部门之间协调能力的加强和关联水平的提高,并显示出一定的结构效应。

在对产业结构合理化水平进行测度时,通常采用产业结构偏离度指标,但是这种评价指标存在诸多缺点,干春晖等引入泰尔指数对此作出修正<sup>[15]</sup>;吕明元等详细评价了这两种计算方式的缺点,并进一步做出修正<sup>[16]</sup>。但是这些指标都是在单要素条件下对产业结构合理化进行的评价,而实际经济生产活动中则还包括资本等其他要素,这些要素的配置状态也会对产业结构产生重要影响<sup>1)</sup>。

针对产业结构偏离度设置过程中存在的各种问题,本文根据上述对产业结构合理化的定义,重新定义基于劳动与资本多要素条件下的偏离度评价指标:

$$Instru\_depa = \left\{ \prod_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_i}{Y} \right) \sqrt{\left( \frac{Y_i/Y}{F_{ij}/F_j} - 1 \right)^2} \right] \right\}^{\left( \frac{1}{m} \right)} \quad (1)$$

式中  $Instru\_depa$  为产业结构偏离度 (Departure degree of industrial structure);  $Y$  为产值;  $F$  为生产要素;  $i$  为第  $i$  产业;  $j$  为第  $j$  种生产要素;  $m$  为生产要素种类总数;  $n$  为产业总数;  $m$  与  $n$  都是开放的集合,可

1) 如果按照生产函数形式对经济活动进行划分,可以分为线性形式、柯布-道格拉斯形式和里昂惕夫形式。由于在线性生产函数和里昂惕夫生产函数中,资本与劳动可以完全替代或具有某种固定的比例关系。因此,单要素形式的评价指标是合适的,且能有效避免因对资本存量进行估计而带来的困难。但是,现实经济往往不符合这种严格假定,而是大致符合于柯布-道格拉斯形式的生产函数。在该函数中,资本与劳动具有可变的替代率与流动性,因此,对资本偏离度的考察也就由于与劳动偏离度同样重要的意义,且能有效避免因采用单要素指标而导致的评价误差。从而,在构建产业结构偏离度评价指标时,必须考虑资本要素的偏离。

以根据研究的不同需要对其进行相应的设定<sup>1)</sup>。 $Y_i/Y$ 为第*i*产业的产值比重; $F_{ij}/F_j$ 为第*i*产业中第*j*种生产要素的比重;相应地, $\frac{Y_i/Y}{F_{ij}/F_j}$ 则为第*i*产业中第*j*种生产要素的比较要素生产率。产业结构偏离度越高,表示生产要素在各产业部门中的配置越不合理,产业结构的合理化水平也就越低,经济发展更倾向于不平衡;反之,则表示生产要素在各产业部门中的配置更趋合理,产业结构的合理化水平则越高,经济发展也趋于均衡。因此,产业结构合理化与产业结构偏离度之间存在反向变动关系,本文以产业结构偏离度的倒数形式来表征产业结构合理化水平,其公式为:

$$Instru\_rati = \frac{1}{Instru\_depa} \quad (2)$$

式中  $Instru\_rati$  为产业结构合理化 (Industrial structure rationalization), 通过多要素的引入, 该指标能更准确地测度中国产业结构合理化水平。限于数据可得性, 本文中对生产要素  $F$  的拓展仅限于  $m=2$  且  $F=K, L$  的情况, 其中  $K$  为资本,  $L$  为劳动。

观察产业结构偏离度公式中等号右边第二个圆括号内的部分  $\frac{Y_i/Y}{F_{ij}/F_j} - 1$ , 当且仅当  $\frac{Y_i/Y}{F_{ij}/F_j} = 1$  时, 有  $Instru\_depa = 0$ , 即产业结构偏离度最低, 产业结构合理化水平最高。这是一种理想状态, 实际研究中并不能达到这一目标, 但是并不妨碍本文对产业结构合理化与偏离度关系的设定。同时, 该式表明, 对于第*j*种生产要素, 当该值为正时表明第*i*产业的产值比重高于其要素比重, 即在第*i*产业内第*j*种生产要素表现为投入不足, 此时该要素投入相对于产值呈负向偏离; 反之, 当该值为负时, 则表明在第*i*产业内第*j*种生产要素表现为投入冗余, 此时该要素相对于产值呈正向偏离。由于第*i*产业内同时有多种要素投入, 当第*p*种要素与第*q*种要素同时呈现出正向偏离或负向偏离时 ( $p \neq q$ ), 两种要素之间的关系为同向偏离; 当第*p*种要素呈现正向偏离

(负向偏离), 而第*q*种要素呈现负向偏离(正向偏离)时 ( $p \neq q$ ), 两种要素之间的关系则为反向偏离。两种生产要素的同向或反向偏离都会对产业结构与要素生产率产生重要影响。

## 2.2 产业结构高级化评价指标

传统的衡量产业结构高级化的指标通常采用产值之比, 如非农产业与农业的产值之比或第三产业与第二产业的产值之比以及三次产业产值之间的某种组合方式, 刘伟等、国家发改委宏观经济研究院课题组都对这一数量指标提出了批评<sup>[17, 18]</sup>。刘伟等指出单纯采用数量份额度量产业结构高度, 并不能反映产业结构高度化的本质, 是一种“虚高度化”, 甚至会在不发达经济体向发达经济体发展过程中出现产业结构高度的下降<sup>[17]</sup>; 国家发改委宏观经济研究院课题组则进一步将产业结构的产值比例关系与技术结构比例关系变化定义为产业结构名义高度化, 而把能够有效提升生产率并改善分配效应和环境效应的结构变化定义为实际高度化<sup>[18]</sup>。部分学者认为产业结构高级化与产业结构高度化是两个不同的概念与过程, 但在本文中并不对此进行区分, 而将其作为同义语使用。在不同地方使用高级化或高度化概念, 仅是为了表达与理解上的通顺与方便。实际上, 产业结构高级化包含了两个内涵: 一是比例关系的演进, 表示的是量的内涵; 二是要素生产率的提高, 表示的是质的内涵。

因此, 本文综合考虑产业结构高级化的两个内涵, 重新设计包括资本在内的基于劳动与资本多要素生产率的产业结构高级化评价指标<sup>2)</sup>。其公式如下:

$$Instru\_opti = \left[ \prod_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{Y} \times \frac{Y_i}{F_{ij}} \right) \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} \quad (3)$$

式中  $Instru\_opti$  表示产业结构高级化 (Industrial structure optimization), 式中所有符号的意义均与前文合理化指标中的符号意义保持一致。相对单要素生产率来讲, 这一指标能更全面地反映各产业中

1) 本文在构建产业结构偏离度评价指标时, 采用几何平均值这种表示方式, 其原因在于如下两个方面。首先, 它能够表示出单个要素偏离度对总偏离度的影响; 其次, 又能表示出多种要素偏离度之间的相互作用对总偏离度的影响。因此, 几何平均值形式能够全面反映个体效应与综合效应对总偏离度的影响, 是一种较好的评价指标。

2) 本文在刘伟等的基础上对产业结构高度化的评价指标作出了改进。



2016年7月

不同生产要素对产业结构高度的贡献。一个经济中基于多要素生产率较高的产业所占的比重越大,该经济的产业结构高度水平  $Instru\_opti$  也就越大,产业结构也就越高级化。

产业结构高度的提升意味着产值比重不变的情况下要素生产率的提高,或要素生产率不变的情况下生产率较高的产业所占比重增大,或产值比重与要素生产率的共同提高。在多要素投入情况下,产业结构的高度取决于各要素生产率以产值为权重的几何加权平均。这是因为在第  $i$  产业中,在产值结构既定的情况下,当第  $p$  种要素生产率较高而第  $q$  种要素生产率较低 ( $p \neq q$ ) 时,整体的生产率同时受到多种要素的生产率的制约;而且当第  $p$  种要素的生产率进一步提高时,第  $q$  种要素就成为  $p$  种要素生产率进一步提高的瓶颈,尤其是在里昂惕夫生产函数中这种作用更为明显。

### 2.3 能源效率评价指标

经济学中用能源效率(Energy Efficiency)来衡量一个经济体利用能源要素生产经济产出的能力。能源效率值越大,说明该经济体的这种能力越高,其计算公式为:

$$ee = \frac{Y}{EC} \quad (4)$$

式中  $ee$  为能源效率;  $Y$  为产值,通常以  $GDP$  衡量;  $EC$  为能源消费量。能源效率的提高表示在能源消费量不变的情况下增加产出,或者在产出不变的情况下减少能源消费,或者增加经济产出的同时减少能源消费。能源效率与能源强度(Energy Intensity)指标互为倒数。能源强度也通常称为单位  $GDP$  能耗,表示每生产一单位经济产出需要的能源消费量。

能源效率与产业结构升级之间存在密切的关系,一方面,产业结构升级通过促进经济增长,扩大经济产出的规模,使得公式中  $Y$  的值增大从而提高能源效率;另一方面,产业结构升级通过不同产业之间的交替演进与生产规模变化,改变公式中的  $EC$ 。当产业结构向着能源密集型产业演进时会增加能源消费量,但是当产业结构向着非能源密集型产业演进时则会相应地减少能源消费量,都会使得公式中的能源效率发生变化。因此,可以就产业结构升级与能源效率提高之间的关系提出如下两个

假设:

假设1:产业结构升级与演进方向对能源效率的提高具有显著影响作用;

假设2:产业结构合理化与高级化程度的上升将会促进能源效率的提高;反之,则会对能源效率的提高起到抑制作用。

## 3 模型设定与数据说明

本文旨在检验中国三次产业结构和工业内部结构在合理化与高级化两个维度上的升级对能源效率的影响,即产业结构升级是否能够真正地提高能源效率,因此,在本部分中将利用上文构建的产业结构升级评价指标,建立计量经济学模型,并对涉及到的相关数据进行解释。

### 3.1 模型设定

为验证上述假设,本文构建如下计量经济模型:

$$ee_t = Constant + \alpha X_t + \beta Controls_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

式中  $ee$  为能源效率;  $Constant$  为截距项;  $X$  为本文需要检验的主要解释变量;  $Controls$  为其他对能源效率变化起到重要影响作用的控制变量,一般包括经济发展水平、对外开放程度和能源消费结构等,但是由于本文的产业结构升级指标内含地在一定程度上与经济发展及对外开放之间存在共线性,因此为了避免发生不必要的共线性问题,本文只选取对能源效率具有显著影响的能源消费结构及其二次项作为控制变量加入到模型中来,分别表示为  $Energy\_stru$  与  $Energy\_stru^2$ ;  $t$  为以年份表示的时间序列;  $\varepsilon$  为随机扰动项。

由于产业结构的合理化与高级化之间存在着较为严重的共线性,因为要素配置结构的恶化将导致其利用效率的降低,即合理化程度的降低将会抑制高级化水平的提高,并间接降低产业结构高级化对能源效率提高的促进作用;而要素利用效率的提高则有助于改善其在产业间的配置结构,即高级化程度的提高将会缓解合理化程度的下降,并间接缓解合理化水平下降对能源效率提高的抑制作用。基于此,本文分别以产业结构合理化( $Instru\_rati$ )和高级化( $Instru\_opti$ ),以及两者的交叉项( $Rati \times Opti$ )作为主要解释变量,以检验产业结构升级对能源效率的作用,并验证如下假设3。

假设3:产业结构合理化与高级化对能源效率的影响同时存在直接与间接的双重作用。

### 3.2 数据来源及说明

本文分别检验三次产业结构与工业内部结构升级对各自能源效率的影响作用。其中,三次产业结构的样本期间为1978–2013年,所有变量中的产值均经过以1978年为基期的经过价格调整后的不变价GDP(亿元);能源要素投入以历年能源消费总量衡量(万吨标准煤);能源消费结构以折算成万吨标准煤的天然气消费量与煤炭消费量之比表示;劳动要素投入以历年年底三次产业就业人员数衡量(万人);以上所有数据均来源于1979–2014年《中国统计年鉴》<sup>[19]</sup>。由于目前中国并没有官方公布的资本存量数据,因此需要通过一定的方法进行估计,本文采用永续盘存法进行这一工作。其中,基期数据采用徐现祥等的估计结果<sup>[20]</sup>,基期投资额和1978–2004年的固定资本形成总额指数均取自《中国国内生产总值核算历史资料1952–2004》<sup>[21]</sup>,2005–2013年固定资本形成总额指数采用单豪杰的方法<sup>[22]</sup>,投资平减指数的构造采用徐现祥等给出的方法<sup>[20]</sup>。对于折旧率的处理,本文与王小鲁等的处理方法一致,假定其为一个稳定不变的值 $\delta_t = \delta = 5\%$ ,并能与统计年鉴上国有企业固定资产折旧率保持一致<sup>[23]</sup>。

工业内部结构数据的样本期为1980–2013年,

包括工业内部37个主要行业,列示在表1中。其中工业各行业的增加值、资本存量与劳动投入数据均来自陈诗一,以1990年为基期,并在此基础上外推至2013年<sup>[24]</sup>。由于2013–2014年《中国统计年鉴》<sup>[19]</sup>未公布文中计算所需的部分数据,所以对于2012–2013年的部分缺失数据本文依照陈诗一的线性插值方法补齐<sup>[24]</sup>。能源消费数据来自历年《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》<sup>[19, 25]</sup>,其中部分年份或部分行业的缺失数据按照钦晓双提供的数据补齐<sup>[26]</sup>。

根据上述公式与数据能够计算出三次产业与工业的能源效率,以及三次产业结构和工业内部结构的合理化与高级化水平在1978–2013(1980–2013)年间的变动情况见图1。

分析图1可以发现,三次产业和工业行业在能源效率与合理化及高级化方面既有相似性又有差异性。相似性主要表现为三次产业和工业行业的能源效率与结构高级化水平呈现出整体的上升趋势,且工业行业的上升速度要略快于三次产业。差异性主要体现在两个方面:一方面,自2008年国际经济危机后工业行业的能源效率和结构高级化开始出现下降的趋势,而三次产业的能源效率与结构高级化水平一直处于上升态势,该现象意味着在这两方面工业行业相较于三次产业而言开始恶化;另

表1 37个主要工业行业

Table 1 37 main industries

序号	行业	序号	行业	序号	行业
1	煤炭开采和洗选业	14	家具制造业	27	金属制品业
2	石油和天然气开采业	15	造纸及纸制品业	28	通用设备制造业
3	黑色金属矿采选业	16	印刷业和记录媒介的复制	29	专用设备制造业
4	有色金属矿采选业	17	文教体育用品制造业	30	交通运输设备制造业
5	非金属矿采选业	18	石油加工、炼焦及核燃料加工业	31	电气机械及器材制造业
6	农副食品加工业	19	化学原料及化学制品制造业	32	通信设备、计算机及其他电子设备制造业
7	食品制造业	20	医药制造业	33	仪器仪表及文化、办公用机械制造业
8	饮料制造业	21	化学纤维制造业	34	电力、热力的生产和供应业
9	烟草制品业	22	橡胶制品业	35	燃气生产和供应业
10	纺织业	23	塑料制品业	36	水的生产和供应业
11	纺织服装、鞋、帽制造业	24	非金属矿物制品业	37	其他工业(包括)
12	皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业	25	黑色金属冶炼及压延加工业		
13	木材加工及木制品业	26	有色金属冶炼及压延加工业		

注:本表由作者根据《中国统计年鉴》工业行业分类整理,其中第37个行业其他工业主要包括其他采矿业,工艺品及其他制造业,废弃资源和废旧材料回收加工业等行业。

2016年7月

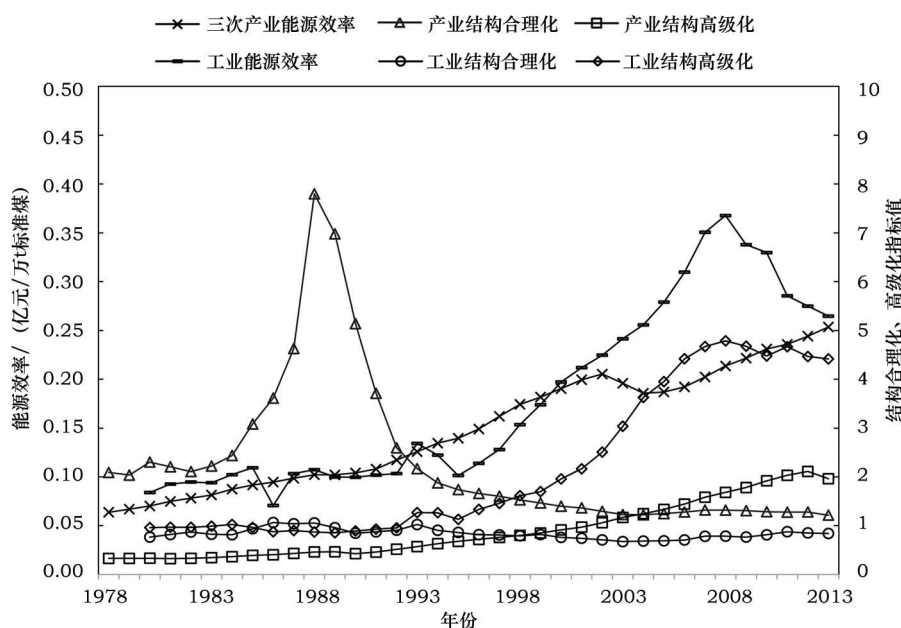


图1 三次产业与工业行业的能源效率及其结构的合理化与高级化

Figure 1 Energy efficiency of three industries and sub-industries and their structural rationalization and optimization

一方面,三次产业结构的合理化水平在1984–1993年的10年间出现一个极大的波峰,而工业内部结构合理化水平则以相对稳定的态势运行,1994年以后两者的运行态势基本一致,工业行业的情况还要略优于三次产业。

## 4 实证分析与稳健性检验

### 4.1 模型形式与虚拟变量选择

虽然上文设计了用于参数估计的模型结构,但是计量经济模型的参数估计结果通常依赖于一定的模型设定形式,不同的模型形式下会导致参数符号和显著性的明显差异,为了较为全面地检验上文提出的三个假设,本文采取常用三种模型形式分别进行验证。第一种形式为普通模型,直接对各种变量进行参数估计,考察解释变量变动一个单位对能源效率的影响;第二种形式为仅对能源效率取对数的“增长模型”,即只对能源效率取对数而其他所有解释变量均不作对数处理的偏对数方式,分析解释变量变动一个单位对能源效率增长率的影响;第三种形式为双对数形式的“弹性模型”,即对所有变量均取对数,研究解释变量变动一个百分比单位对能源效率影响变动的百分比大小<sup>1)</sup>。并且为了避免模

型中可能会出现产业结构合理化与高级化之间的严重共线性问题,在进行参数估计时对结构合理化和交叉项、结构高级化和交叉项分别进行回归分析。

由于三次产业结构合理化在1984–1993年间出现特殊变化趋势,直接进行全时间序列回归可能会忽略对阶段性特征的考察,因此,本文引入一个虚拟变量 *dummy*,其在1994年之前取值为0,1994年开始到2013年均取值为1,以考察产业结构升级的阶段性特征,并比较三次产业结构和工业内部结构升级对能源效率影响的异同。

在参数估计之前还需要对所有变量进行平稳性与协整关系检验以保证估计结果的有效性。ADF检验结果表明所有变量经过二阶差分后变为同阶单整序列,Johansen检验结果表明三种模型形式中的变量均具有协整关系,限于篇幅,文中不再列示单位根检验及协整检验结果。本文采用常用的普通最小二乘法(Ordinary Least Square, OLS)对上述模型进行参数估计。

### 4.2 参数估计与结果分析

表2和表3分别报告了三次产业结构和工业内部结构升级对能源效率的影响。两幅表的回归结

1)在弹性模型中,能源消费结构的二次项通过先对能源消费结构取对数然后再平方的方式获得,合理化与高级化交叉项通过先对各自取对数然后相乘的方式获得。

表2 1978—2013年三次产业结构升级对能源效率的影响

Table 2 The effect of three industrial structure upgrading on energy efficiency in year from 1978 to 2013

变量	普通模型		增长模型		弹性模型	
	(1)ee	(2)ee	(3)lnee	(4)lnee	(5)lnee	(6)lnee
<i>Instru_rati</i>	-0.028*** (-7.975)		-0.243*** (-9.691)		1.101*** (7.716)	
<i>Instru_opti</i>		0.089*** (7.119)		0.767*** (8.590)		0.664*** (13.820)
<i>Rati × Opti</i>	0.061*** (8.788)	-0.001 (-0.596)	0.530*** (10.773)	-0.006 (-0.420)	1.356*** (8.269)	0.012 (0.552)
<i>Energy_stru</i>	-0.020*** (-2.838)	-0.028*** (-4.199)	-0.269*** (-5.189)	-0.338*** (-6.779)	0.327 (0.601)	-0.868*** (-2.850)
<i>Energy_stru</i> <sup>2</sup>	0.002** (2.237)	0.002*** (3.252)	0.018*** (3.372)	0.022*** (4.720)	-0.056 (-0.298)	0.208* (1.872)
<i>dummy</i>	0.032*** (2.919)	0.032*** (2.826)	0.202** (2.704)	0.208** (2.618)	0.224*** (2.938)	0.072 (1.397)
<i>Constant</i>	0.148*** (9.263)	0.125*** (8.081)	-1.664*** (-14.184)	-1.856*** (-16.173)	-2.590*** (-7.171)	-1.071*** (-5.810)
<i>N</i>	36	36	36	36	36	36
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.961	0.964	0.963	0.967	0.944	0.976
<i>adj-R</i> <sup>2</sup>	0.954	0.958	0.957	0.961	0.934	0.972
<i>F</i>	435.661	582.195	374.738	506.233	142.546	420.572

注:①本表结果由 stata11 给出,\*,\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平上显著,括号内为 t 值;②弹性模型为双对数模型,除虚拟变量外对其他所有变量均取对数形式,为了简化表格起见,表中并未标出解释变量的对数形式。

表3 1980—2013年工业内部结构升级对能源效率的影响

Table 3 The effect of industrial internal structure upgrading on energy efficiency in year from 1980 to 2013

变量	普通模型		增长模型		弹性模型	
	(7)ee	(8)ee	(9)lnee	(10)lnee	(11)lnee	(12)lnee
<i>Instru_Rati</i>	-0.140*** (-3.262)		-0.854** (-2.337)		0.898 (1.635)	
<i>Instru_Opti</i>		0.058*** (2.996)		0.339*** (3.273)		0.929*** (10.142)
<i>Rati × Opti</i>	0.078*** (17.095)	0.002 (0.090)	0.378*** (10.097)	-0.065 (-0.489)	-2.118*** (-6.905)	0.443 (1.569)
<i>Energy_stru</i>	0.080** (2.343)	0.074** (2.368)	0.256 (1.001)	0.237 (1.074)	0.500 (0.308)	2.119** (2.321)
<i>Energy_stru</i> <sup>2</sup>	-0.013*** (-2.812)	-0.011** (-2.702)	-0.045 (-1.441)	-0.037 (-1.404)	-0.035 (-0.057)	-0.949** (-2.568)
<i>dummy</i>	0.004 (0.420)	0.012 (1.283)	0.136 (1.471)	0.192** (2.190)	0.355*** (3.551)	-0.036 (-0.709)
<i>Constant</i>	0.038 (0.428)	-0.079 (-1.326)	-2.198*** (-3.188)	-2.944*** (-6.949)	-2.765** (-2.686)	-3.417*** (-6.242)
<i>N</i>	34	34	34	34	34	34
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.973	0.976	0.947	0.949	0.907	0.973
<i>adj-R</i> <sup>2</sup>	0.968	0.972	0.937	0.940	0.890	0.969
<i>F</i>	225.853	212.898	177.767	233.329	73.224	316.117

注:①本表结果由 stata11 给出,\*,\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平上显著,括号内为 t 值;②弹性模型为双对数模型,除虚拟变量外对其他所有变量均取对数形式,为了简化表格起见,表中并未标出解释变量的对数形式。



2016年7月

果显示调整后的决定系数大都在0.9以上,模型的拟合效果较好。

(1)观察回归结果中的合理化、高级化与交叉项系数的显著性水平可以发现,在大多数情况下的显著性都大于10%,这意味着产业结构升级与演进方向对能源效率变动的影响是显著的,验证假设1。

(2)比较合理化与高级化的系数符号可以发现,多数情况下合理化系数为负而高级化系数为正,表明产业结构合理化程度的降低抑制了能源效率的提高,而高级化程度的上升对能源效率的提高起到了显著地促进作用,验证了假设2。

(3)观察在不同的模型结构下的交叉项系数可以发现,多数情况下在交叉项与合理化的模型结构中交叉项的符号显著为正,说明了高级化的间接效应为正,即高级化的提高有利于改善合理化程度并间接提高能源效率;而在交叉项与高级化的模型结构中交叉项符号是负的但并不显著,意味着合理化的间接效应为负,即合理化的降低抑制了高级化程度的提高并间接抑制了能源效率的提高,验证了假设3。

比较表2和表3的结果还可以发现三个重要的现象:

(1)虚拟变量 *dummy* 在三次产业结构的模型中对能源效率的影响显著为正,而在工业内部结构的模型中对能源效率的影响虽然为正但却并不十分显著。这说明在三次产业结构升级过程中的确在1993年或1994年左右发生了明显的阶段性变化,而且这一阶段性变化对能源效率的影响在后一阶段中要更加强烈,但是在工业内部结构升级过程中却没有这一特征。

(2)正如上文所述,在表2与表3的结果中结构合理化的间接效应并不显著,这说明了结构合理化的降低对能源效率的提高具有显著的直接抑制作用但间接作用却不明显,而与之相对比的则是结构高级化同时具有显著地直接与间接的双重作用。

(3)表3的模型(11)中出现了交叉项的符号为负,按照前文的假设该符号应该是正号,但在回归结果中却表现为显著地负效应,这是因为随着经济的发展工业内部的结构合理化和高级化之间的矛盾越来越突出。从图1中可以看出,工业内部结构

中合理化和高级化的差异越来越大,正是因为这种逐渐扩大的差异导致了系数符号的变化,即当高级化程度远远高于合理化程度时,高级化水平的进一步提升反而会导致结构的不稳定并间接引起能源效率的降低。

#### 4.3 稳健性检验

对模型参数回归结果的分析检验了前文提出的三个假设的成立性,但是为了验证这些结论的可靠性与稳定性,还需对模型进行进一步的稳健性检验,因为模型的输出结果既取决于模型的设定形式,也取决于指标的构建方法。如果模型输出结果对变量指标的构建方法极其敏感,或者在不同的方法下出现相互矛盾的结论,那么该模型的结果以及据其得出的结论便是不可靠的。本文对产业结构升级指标的构建方法为几何平均的方式,为了检验模型的稳健性,再采用算数平均的方式构建产业结构升级的评价指标对模型进行重新估计。产业结构升级与演进方向对能源效率及其增长率的稳健性检验结果如下。

表4和表5分别报告了三次产业结构和工业内部结构升级对能源效率影响的稳健性检验结果。

从表4和表5的回归结果中可以看出,在对主要解释变量的构建方法进行变换后,稳健性检验结果与表2和表3的参数估计结果基本一致。虽然稳健性检验结果中的参数估计值在绝对值上与表2和表3之间略有差异,但各参数的显著性、符号方向及彼此间的大小关系并没有改变。因此,可以认为本文中对产业结构升级的评价指标的构建是合理的,产业结构升级对能源效率及其增长率的模型设定与相关结果具有较强的稳健性,据此所得出的结论是可靠的,因此前文提出的三个假设得到验证和支持。

## 5 主要结论与政策建议

本文将产业结构升级与演进方向在合理化与高级化两个维度进行了分解,以劳动和资本的要素生产率为基础重新构建了产业结构升级的评价指标,该指标综合考虑劳动与资本要素在三次产业和工业行业间的配置、流动与利用,比传统的以劳动生产率为基础的单一要素生产率指标能更加准确



表4 1978–2013年三次产业结构升级对能源效率影响的稳健性检验

Table 4 The robustness test of the effect of industrial structure upgrading on energy efficiency in year from 1978 to 2013

变量	普通模型		增长模型		弹性模型	
	(1)ee	(2)ee	(3)lnee	(4)lnee	(5)lnee	(6)lnee
<i>Instru_rati</i>	-0.027*** (-7.530)		-0.230*** (-8.370)		0.821*** (8.433)	
<i>Instru_opti</i>		0.090*** (7.910)		0.785*** (9.680)		0.731*** (12.833)
<i>Rati × Opti</i>	0.053*** (7.809)	-0.000 (-0.271)	0.462*** (8.747)	-0.001 (-0.242)	1.124*** (8.690)	0.007 (0.385)
<i>Energy_stru</i>	-0.016** (-2.268)	-0.028*** (-4.110)	-0.239*** (-4.373)	-0.338*** (-6.786)	0.003 (0.007)	-0.988*** (-3.156)
<i>Energy_stru</i> <sup>2</sup>	0.002** (2.214)	0.002*** (3.116)	0.017*** (3.419)	0.021*** (4.668)	0.078 (0.513)	0.229* (2.015)
<i>dummy</i>	0.034*** (3.235)	0.035*** (3.172)	0.219*** (2.958)	0.227*** (2.956)	0.238*** (2.808)	0.091 (1.609)
<i>Consant</i>	0.139*** (8.706)	0.120*** (7.780)	-1.729*** (-14.104)	-1.898*** (-17.116)	-2.412*** (-7.696)	-0.982*** (-4.993)
<i>N</i>	36	36	36	36	36	36
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.955	0.963	0.953	0.965	0.940	0.973
<i>adj-R</i> <sup>2</sup>	0.947	0.957	0.945	0.960	0.931	0.969
<i>F</i>	331.987	584.799	245.194	506.311	175.657	395.586

注:①本表结果由 stata11 给出,\*,\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平上显著,括号内为 t 值;②弹性模型为双对数模型,除虚拟变量外对其他所有变量均取对数形式,为了简化表格起见,表中并未标出解释变量的对数形式。

表5 1980–2013年工业内部结构升级对能源效率影响的稳健性检验

Table 5 The robustness test of the effect of industrial internal structure upgrading on energy efficiency in year from 1980 to 2013

变量	普通模型		增长模型		弹性模型	
	(7)ee	(8)ee	(9)lnee	(10)lnee	(11)lnee	(12)lnee
<i>Instru_rati</i>	-0.107** (-2.551)		-0.613* (-1.720)		1.197** (2.162)	
<i>Instru_opti</i>		0.040*** (2.838)		0.219*** (3.028)		0.826*** (11.476)
<i>Rati × Opti</i>	0.055*** (17.943)	0.004 (0.228)	0.262*** (10.247)	-0.019 (-0.195)	-1.933*** (-7.347)	0.431* (1.938)
<i>Energy_stru</i>	0.067* (2.007)	0.059* (1.942)	0.216 (0.855)	0.180 (0.823)	0.234 (0.143)	1.730* (2.016)
<i>Energy_stru</i> <sup>2</sup>	-0.011** (-2.524)	-0.009** (-2.272)	-0.039 (-1.271)	-0.029 (-1.118)	0.103 (0.167)	-0.805** (-2.337)
<i>dummy</i>	0.008 (0.887)	0.014 (1.564)	0.170** (2.049)	0.209** (2.429)	0.379*** (4.066)	-0.048 (-1.014)
<i>Constant</i>	0.049 (0.557)	-0.039 (-0.666)	-2.260*** (-3.424)	-2.781*** (-6.569)	-2.643** (-2.573)	-3.213*** (-6.221)
<i>N</i>	34	34	34	34	34	34
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.975	0.979	0.946	0.950	0.908	0.977
<i>adj-R</i> <sup>2</sup>	0.971	0.975	0.937	0.941	0.891	0.973
<i>F</i>	281.718	289.777	190.804	233.727	72.779	390.700

注:①本表结果由 stata11 给出,\*,\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%水平上显著,括号内为 t 值;②弹性模型为双对数模型,除虚拟变量外对其他所有变量均取对数形式,为了简化表格起见,表中并未标出解释变量的对数形式。

2016年7月

地反映产业结构升级的效果。通过建立计量经济模型,实证检验产业结构升级与演进方向对能源效率及其增长率的影响作用,并进行了相应的稳健性检验,得出一些与现有文献不同的结论,提出更具有导向性的政策建议。

### 5.1 主要结论

(1)产业结构升级与演进方向对能源效率及其增长率具有显著影响。现有文献在争论产业结构升级对能源效率影响的研究中往往重视各产业相对比重的变化,虽然在一定程度上揭示出产业结构升级和能源效率间的关系,却很少涉及到生产要素相对配置结构和利用效率的变化方面。由于资本、劳动与能源等要素投入之间存在一定的替代关系,资本和劳动要素配置结构和利用效率的改善必将有助于提高能源利用率。因此,可以将产业结构调整与能源效率改善结合起来进行,通过系统合理的产业结构规划与调整促进能源效率的提高。

(2)能源效率的提高主要来自产业结构高级化的贡献,产业结构合理化程度的降低显著地抑制了高级化与能源效率的提高。尤其是通过图1可以看出,三次产业结构的合理化水平正在逐年降低,而工业内部结构的合理化水平也基本维持在一个较为稳定的范围内,虽然近几年来有所提高但幅度并不大。产业结构合理化的这种刚性或顽固性极大地妨碍了能源效率的提高,并且在工业内部结构中已经逐渐体现出合理化与高级化之间差距的扩大导致的间接副作用,这一负效应未来有可能会向三次产业结构中蔓延,单纯地提高产业结构高级化程度已经不能进一步拉动能源效率的提升。因此,产业结构合理化水平亟待改善,也是未来提高能源效率的关键。

(3)能源消费结构的变化在能源效率增长中具有重要地位。天然气与煤炭消费量比值的提高对能源效率的增长具有正向效应,以天然气替代煤炭投入对能源效率增长具有强烈的政策含义。整体而言能源消费结构对能源效率的改善是极为重要的,但是由于工业行业中天然气的相对比重较低难以对工业能源效率的下降起到缓冲作用,因此,无论从三次产业还是从工业内部来看,改善能源消费结构都是提高能源效率的重要途径。

### 5.2 政策建议

根据上述实证分析结论,本文认为应当利用劳动与资本要素在产业间配置结构的变化与生产率的提高来促进能源效率及其增长率的提高。因此,在未来阶段中,政府在制定改善能源效率的产业结构调整政策时,首先要从劳动和资本要素的角度着手改变不合理的产业结构现状,降低产业结构不合理对能源效率及其增长率的抑制与阻碍作用,缩小合理化与高级化之间的差距,充分发挥产业结构高级化的促进作用,并促进与加快以天然气等清洁能源替代煤炭等化石能源的进程。具体建议如下:

(1)促进资本存量与投资流量的产业间与产业内转移,改善资本要素配置结构。本文测算结果表明,2013年经济总体中的资本存量在三次产业间的配置结构为21.54:35.11:43.35,第一产业资本存量比重远高于其产值比重,而第二产业的资本存量比重却远低于其产值比重。因此,需要有效促进资本要素在三次产业间的转移与流动,尤其是要从第一产业向第二产业的流动。首先,促进金融业间的市场竞争,推进利率的市场化改革,使得资本要素能够按照市场收益率的差异从收益率较低的第一产业流向收益率相对较高的第二产业。其次,切实解决银行惜贷与中小企业融资难问题,促进投资流量在产业间的自由流动。但是由于第二产业内部不同行业间的能源效率存在显著差异,因此,在调整产业间资本要素配置结构时应当注意,需要促进资本要素从第一产业和第二产业内部能源效率较低的行业流向第二产业中能源效率较高的行业,如从采矿业、造纸业等转移到仪器仪表制造业、通信设备与计算机制造业等,从普通产业向高科技制造业中转移。

(2)形成劳动力的产业间与产业内动态流动机制,改善劳动要素的配置结构。截止到2013年底,三次产业就业人口所占比重分别为31.4%、30.1%和38.5%,第二产业比重最低,第一产业中仍存在大量剩余劳动力,因此还需要促进劳动人口从第一产业向第二、第三产业转移。进一步放开户籍制度对人口流动的限制,推进人口城市化进程,促进农业人口中的非熟练劳动力向低端制造业和服务业转移,第二产业内部的熟练劳动力向高端制造业和高技

术产业转移,第三产业内部的熟练劳动力向高端服务业转移等,形成劳动力在产业间与产业内的动态流动机制。通过取消对产业间与区域间人口流动的限制,促进农业人口向建筑业、纺织工业等第二产业部门转移,促进熟练劳动力从不再具有竞争优势的产业向战略性新兴产业和金融业、现代物流业等高端服务业转移。

(3)加快能源消费结构调整,提高天然气等清洁能源所占比重。表2和表3的实证结果表明,当能源消费结构中天然气占煤炭消费比重降低时,与能源效率提高之间具有负相关关系;而天然气与煤炭消费量比值的上升对能源效率的提高具有显著的正向效应。因此,为了进一步提高能源效率,需要加快以天然气替代煤炭投入的步伐。首先,为了从源头上减少煤炭使用量而增加天然气使用量,需要逐步减少煤炭产量而增加天然气产量。其次,加快推进能源价格的市场化改革,逐步实现煤炭、火电、天然气等能源的价格由市场决定,使各类能源能够在市场中按照价格机制在国民经济各行业间与区域间相对自由地流动,实现最优配置。最后,加快对传统产业进行改造升级,对能源消费量较大行业的燃煤设备进行更新与换代,提高能源利用率并以使用天然气的设备部分地替代燃煤设备,逐步淘汰落后产能。以火电行业为例,需要逐渐降低电力供应业中火电的比重而提高风电水电等的比重,淘汰各地或明或暗地存在的小锅炉,并对存留下来的企业进行设备改造与升级,降低燃煤设备比重而代之以燃烧天然气等清洁能源的设备。

## 参考文献(References):

- [1] Yao S J, Luo D, Rooker T. Energy efficiency and economic development in China[J]. *Asian Economic Papers*, 2012, 11(2): 99-117.
- [2] 丁建勋, 罗润东. 技术进步和产业结构对能源利用效率的影响[J]. 山西财经大学学报, 2009, 31(5): 45-51. [Ding J X, Luo R D. Effect of technological progress and industrial structure on energy efficiency[J]. *Journal of ShanXi Finance and Economics University*, 2009, 31(5): 45-51.]
- [3] 张唯实. 能源效率、产业结构与中国区域经济发展差距[J]. 山西财经大学学报, 2010, 32(10): 28-34. [Zhang W S. Energy efficiency, industrial structure and regional economic development in China[J]. *Journal of ShanXi Finance and Economics University*, 2010, 32(10): 28-34.]
- [4] 李金铠. 产业结构对能源消费的影响及实证分析: 基于面板数据模型[J]. 统计与信息论坛, 2008, 23(10): 30-35. [Li J K. Empirical analysis on influence of industrial structure on energy consumption: Based on panel data models[J]. *Statistics & Information Forum*, 2008, 23(10): 30-35.]
- [5] 李兰冰. 中国全要素能源效率评价与解构—基于“管理—环境”双重视角[J]. 中国工业经济, 2012, (6): 57-69. [Li L B. Evaluation on regional energy efficiency in China: Based on managerial and environmental viewpoints[J]. *China Industrial Economics*, 2012, (6): 57-69.]
- [6] Li H, Shi J F. Energy efficiency analysis on Chinese industrial sectors: An improved Super-SBM model with undesirable outputs[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 65(4): 97-107.
- [7] 史丹, 吴利学, 傅晓霞, 等. 中国能源效率地区差异及其成因研究—基于随机前沿生产函数的方差分解[J]. 管理世界, 2008, (2): 35-43. [Shi D, Wu L X, Fu X X, et al. Research on China's regional energy efficiency differences and its causes: Based on stochastic frontier production function variance decomposition[J]. *Management World*, 2008, (2): 35-43.]
- [8] 余泳泽, 杜晓芬. 技术进步、产业结构与能源效率—基于省域数据的空间面板计量分析[J]. 产业经济评论, 2011, 10(4): 36-68. [Yu Y Z, Du X F. Technological progress, industrial structure and energy efficiency—based on spatial econometrics of panel data with provincial data[J]. *Review of Industrial Economics*, 2011, 10(4): 36-68.]
- [9] Guan Y, Li M. Analysis on the degree of the industrial structure's impact on the energy consumption: Based on empirical study of Guangdong Province[J]. *Energy Procedia*, 2011, 5: 1488-1496.
- [10] He T, Li Z, He L. On the relationship between energy intensity and industrial structure in China[J]. *Energy Procedia*, 2011, 5: 2499-2503.
- [11] Li K, Lin B Q. The nonlinear impacts of industrial structure on China's energy intensity[J]. *Energy*, 2014, 69: 258-265.
- [12] Guo G, Guo Y, Xi Y, et al. Energy-saving effect calculation and implementation strategy study on the industrial structure adjustment in Western China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2008, 18(4): 44-49.
- [13] 贾惠婷. 能源效率、产业结构与环境库兹涅茨曲线—基于中国省际数据的实证分析[J]. 企业经济, 2013, (4): 28-32. [Jia H T. Energy efficiency, industrial structure and environmental Kuznets curve: Empirical analysis based on provincial data in China[J]. *Enterprise Economy*, 2013, (4): 28-32.]
- [14] Liu J, Dong S, Li Y, et al. Spatial analysis on the contribution of industrial structural adjustment to regional energy efficiency: A case study of 31 provinces across China[J]. *Journal of Recourses*



2016年7月

- and Ecology, 2012, 3(2): 129-137.
- [15] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, (5): 4-16. [Gan C H, Zheng R G, Yu D F. An empirical study on the effects of industrial structure on economic growth and fluctuations in China[J]. *Economic Research Journal*, 2011, (5): 4-16.]
- [16] 吕明元, 尤萌萌. 韩国产业结构变迁对经济增长方式转型的影响-基于能耗碳排放的实证分析[J]. 世界经济研究, 2013, (7): 73-80. [Lv M Y, You M M. The effects of industrial structure changing on transformation of the economic growth mode in South Korea: An empirical study based on the perspective of energy consumption and carbon emission[J]. *World Economy Study*, 2013, (7): 73-80.]
- [17] 刘伟, 张辉, 黄泽华. 中国产业结构高度化与工业化进程和地区差异的考察[J]. 经济学动态, 2008, (11): 4-8. [Liu W, Zhang H, Huang Z H. A study on the process of industrial structure and the process of industrialization and regional differences in China [J]. *Economic Perspectives*, 2008, (11): 4-8.]
- [18] 国家发改委宏观经济研究院课题组. “十二五”时期我国产业结构调整战略与对策研究[J]. 经济研究参考, 2010, (43): 28-61. [Research group of national development and reform commission. Study on the strategy and countermeasure of China's industrial structure adjustment in the period of "12th Five-Year" [J]. *Review of Economic Research*, 2010, (43): 28-61.]
- [19] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1979-2014. [National Bureau of Statistics of China. China Statistics Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 1979-2014.]
- [20] 徐现祥, 周吉梅, 舒元. 中国省区三次产业资本存量估计[J]. 统计研究, 2007, 24(5): 6-13. [Xu X X, Zou J M, Shu Y. Estimates of fixed capital stock by sector and region: 1978- 2002[J]. *Statistical Research*, 2007, 24(5): 6-13.]
- [21] 国家统计局国民经济核算司. 中国国内生产总值核算历史资料 1952-2004[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004. [Department of National Accounts National Bureau of Statistics of China. Data of Gross Domestic Product of China: 1952-2004[M]. Beijing: China Statistics Press, 2004.]
- [22] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952-2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, (10): 17-31. [Shan H J. Reestimating the capital stock of China: 1952-2006[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2008, (10): 17-31.]
- [23] 王小鲁, 樊纲. 中国经济增长的可持续性-跨世纪的回顾与展望[M]. 北京: 经济科学出版社, 2000. [Wang X L, Fan G. Sustainability of China's Economic Growth: Retrospect and Prospect of the Cross Century[M]. Beijing: Economic Science Press, 2000.]
- [24] 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, 10(3): 735-776. [Chen S Y. Reconstruction of sub-industrial statistical data in China (1980-2008)[J]. *China Economic Quarterly*, 2011, 10(3): 735-776.]
- [25] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1979- 2014. [Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics of China. China Energy Statistics Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 1979-2014.]
- [26] 钦晓双. 中国工业行业资本存量测算[D]. 南京: 南京大学, 2013. [Qin X S. The Measurement of Capital Stock of China's Sub-Industries[D]. Nanjing: Nanjing University, 2013.]

# The study on the impact of industrial structure upgrading on energy efficiency in China based on the data from 1978 to 2013

LV Mingyuan, CHEN Weixuan

(Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

**Abstract:** The difference in the contribution of industrial structural upgrading to energy efficiency needs to be studied from the structural evolution direction as different directions have different influences on energy efficiency. We decomposed the structural evolution direction into two dimensions of industrial structure rationalization and industrial structure optimization, rebuilt the industrial structural upgrading evaluation index on the basis of factor productivity of labor and capital, and analyzed the effects of industrial structural upgrading on energy efficiency and its growth rate using regular, growth and elastic models. We found that the industrial structural evolution direction has a significant influence on energy efficiency and its growth rate; the improvement in energy efficiency is mainly because of optimization of industrial structure, while a decrease in rationalization level inhibits improvements in energy efficiency and its growth rate. The expansion of the gap between the two directions of industrial structural rationalization and industrial structural optimization is likely to lead to further negative effects to energy efficiency and its growth rate. The rise in the proportion of clean energy in energy consumption structure has a positive effect on improving energy efficiency and its growth rate. Therefore, we believe that the future trend of industrial policy should be to change the status of irrational industrial structure, reduce its inhibitory effect on energy efficiency, and narrow the gap between industrial structural rationalization and optimization. The tendency of future energy policy should improve the proportion of clean energy consumption and substitute energy inputs from natural and other clean energy sources to promote energy efficiency and its growth.

**Key words:** industrial structure upgrading; energy efficiency; industrial structure rationalization; industrial structure optimization; China