

# 能源效率对产业结构及能源消费结构演变的响应

王 强<sup>1</sup>, 郑 颖<sup>2</sup>, 伍世代<sup>1</sup>, 李婷婷<sup>1</sup>

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 福建师范大学协和学院, 福州 350108)

**摘要:**伴随人类社会经济发展、人口规模增加、城市化和工业化进程加快,由能源消费迅速增长导致的碳循环非对称性加剧与全球气候变化已成为当前世界各国共同关注的焦点。如何提高能源效率是积极响应节能减排措施、实现社会可持续发展的有效途径。通过分析中国与5个发达国家能源效率、产业结构、能源消费结构演变特征,建立向量自回归(VAR)模型、脉冲函数(IRF)和方差分解函数(VD)来揭示中国能源效率对产业结构、能源消费结构演变的响应机理。结果显示近40年来,中国第三产业较第二产业发展对能源效率提高具有更大推动作用,虽第二产业发展与能源效率提高也成正向弱相关,但根据发达国家发展经验,中国第二产业发展对能源效率提高的抑制效应尚未显现,经济发展仍需粗放、耗能工业拉动,另外,中国能源消费过度集中于煤炭能源的结构特征对能源效率的提高具有抑制效应,未来中国能源效率对产业结构、能源消费结构演变的响应具体表现在:① 相较发达国家,中国产业结构调整对能源效率在短期内具有抑制效应,直至中期,能源效率受产业结构调整冲击才呈现持续加大的趋势;② 由于中国“以煤为主”的能源消费结构特征长期存在,其结构调整效应较发达国家滞后显现,发达国家能源消费结构演进的效应也表明短期内能源消费结构调整对能源效率的提高效果不显著;③ 中国产业结构演变对能源效率变动影响程度大于能源消费结构演变影响程度,产业结构调整与升级是影响中国能源效率提高、节能减排政策实施的关键环节。

**关键词:**能源效率;产业结构;能源消费结构;响应;机理;中国

## 1 引言

目前,中国能源消费增长占全球能源消费增长的3/4,已是全球能源消费和二氧化碳排放总量第一大国<sup>[1]</sup>。面对经济发展、人口增加、环境保育和国际舆论等内外部压力,节能减排已是中国各项发展战略中重大决策之一。其中,能源效率的提高被认为是有效降低能源消费、减少温室气体排放的重要途径。因此,正确认识能源效率时序演变特征及其影响机制已成为各级政府和相关学者关注热点。能源效率即单位能源投入的经济产出,主要用以衡量能源要素对经济产出的支持程度,其水平高低不但取决于技术和管理的进步程度,还受到能源品种、产业结构演变对经济产出的支持程度变化影响。现有国内外研究中以产业结构调整、能源消费结构演进对能源效率的影响程度的识别与度量最为集中<sup>[2-17]</sup>,但相关文献多关注于国内政策和技术层面,较少将国外发达国家能源效率作为参照,从整体上把握中国能源效率水平变动机制与未来趋势。为此,本文以美国、日本、英国、法国、德国等5个发达国家为参照,从产业结构、能源消费结构演变与能源效率变化的相关性入手,分析中国与发达国家能源效率差异及其产生因素,揭示“两大结构”演变对能源效率的作用机理,为中国节能减排战略的实施提供参考与建议。

收稿日期: 2010-07-25; 修订日期: 2010-10-25

基金项目: 福建师范大学地理科学学院人文地理学重点学科项目 [Foundation: Key Project of Human Geography from College of Geographical Science, Fujian Normal University]

作者简介: 王强 (1982-), 男, 汉族, 河北成安人, 助教, 中国地理学会会员 (S110007604M), 主要从事区域可持续发展与规划。E-mail: wangqiang\_1102@126.com

2 产业结构、能源消费结构演变特征

2.1 产业结构演变特征

产业结构演变用以表征基本功能、生产方式、产品属性和资源基础各异的产业更迭过程<sup>[18]</sup>,根据三次产业生产活动的性质及其产品属性,本文用二、三次产业产出占总产出的比重衡量产业结构演变速率与发展高度。

结果表明(图1):① 1970年以来中国长期坚持“以工为纲”的发展思路,逐渐稳固了第二产业在经济发展中的基础和核心地位,其比重基本保持在45%左右,同期,发达国家第二产业比重呈现直线下降趋势,第二产业比重均下降至35%左右;② 中国与其他发达国家一样,国民经济中第三产业比重增速明显加快,但其发展高度与发达国家之间差距甚远,中国目前第三产业比重还不及发达国家40年前的水平。可见,发达国家在完成工业化之后逐步向“后工业化”阶段过渡,产业结构演变高度远高于中国。

2.2 能源消费结构变化特征

能源消费结构变化属于功能相同、开发技术各异、经济产出效率不同的种类替代过程。1970年以来,中国能源消费以煤炭为主导,虽其所占比重逐渐下降(由1970年的84%逐降到2008年的70%),但其绝对主体地位优势长期保持,而发达国家于20世纪60年代加快了石油和天然气取代传统煤炭主导地位,煤炭消费比重至今未超过40%;中国石油消费主要对外依赖程度高(图2),所占结构比重长期低于发达国家水平,同时受科技因素影响,新能源开发利用程度低于发达国家,尤其与法国新能源消费结构比重相差7倍。总之,相较发达国家,中国能源消费结构突出问题在于过度依赖煤炭能源消费,石油、天然气、核电和其他新能源的开发、使用力度亟待提高。

3 能源效率变动与产业结构、能源消费结构演变相关机理

为便于国际能源效率比较,本文利用世界银行颁布的单位能源产出数据(本文已将各国各年GDP按照2005年美元购买力转换为不变价,单位为美元/千克油当量,简写:\$/kg·oe)比对、分析发达国家与中国能源效率变动特征与差异。1970年以来,发达国家能源效率均远高于中国,截至2008年,英国能源效率高达10.20\$/kg·oe,远高于同期中国4.07\$/kg·oe,美国能源效率达5.55\$/kg·oe,虽是样板发达国家中最低,也是同期中国能源效率的1.5倍(图3)。鉴于此,下文将就能源效率差异机理进行深入分析。值得注意的是,能源消费结构、产业结

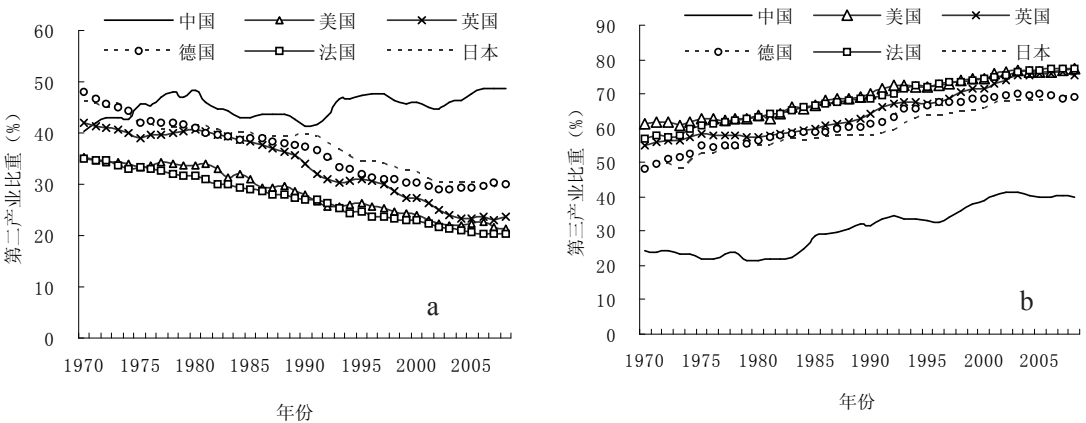


图1 1970-2008年产业结构演变的国际比较

Fig. 1 The industrial structure evolution of selected countries, 1970-2008

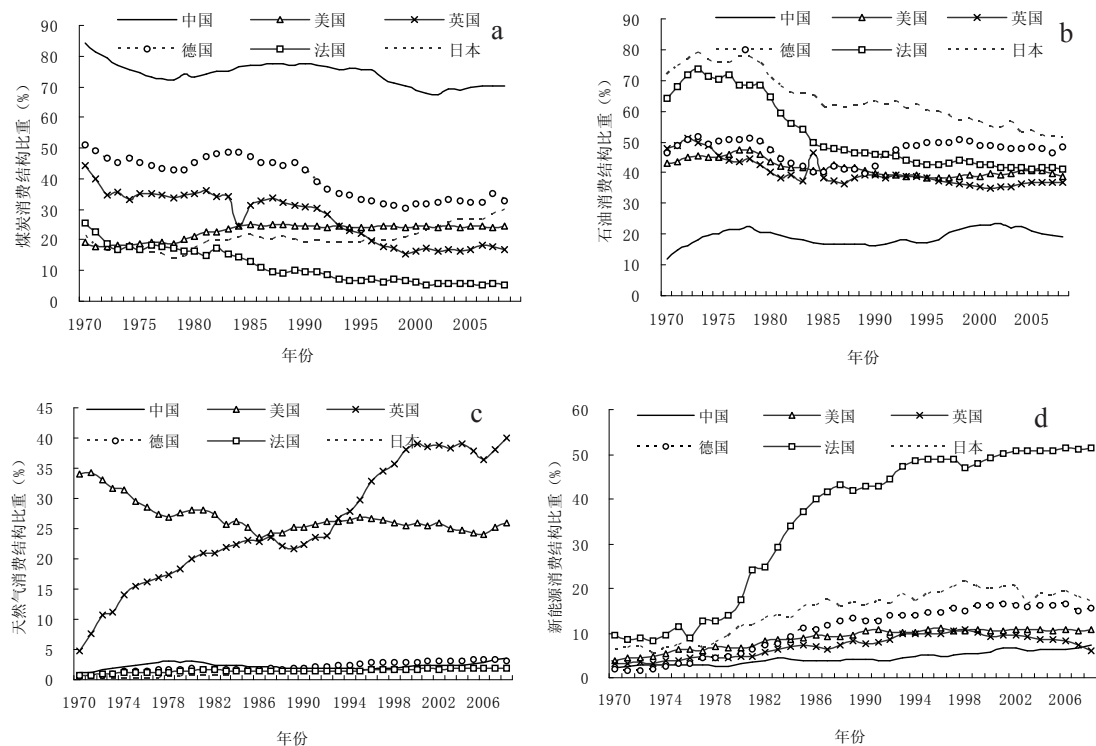


图2 1970-2008年能源消费结构演变的国际比较

Fig. 2 The energy consumption structure evolution of selected countries, 1970-2008

构演进可忠实体现能源投入分布、经济产出变化发展进程和方向,探讨其与能源效率三者互动关系就成为揭示中国与发达国家之间能源效率差异内部机理的切入点。

3.1 产业结构演变与能源效率变动

产业结构演变过程中,能源具有明显的社会“公共”消费属性<sup>[19]</sup>,有效地促进经济结构性更迭与资源基础性保障。通过对各国二、三产业比重与能源效率相关变动观察(表1),发现中国第三产业结构比重较第二产业结构比重演变对能源效率的提高具有更大相关性(能源效率与第三、第二产业相关系数分别为0.95、0.49),而发达国家能源效率变动与第二、第三产业结构比重演变分别存在明显的负相关、正相关,这与中国第二产业结构比重演变对能源效率提高的正向弱相关规律相悖,但结合中国基本国情,这一结论并不代表中国工业发展较发达国家更具高效节能优势,恰好说明中国工业化进程较为落后,经济发展仍需粗放、耗能工业拉动,能源效率提高潜力较大,第二产业发展对能源效率提高的抑制效应尚未显现。

3.2 能源消费结构演变与能源效率变动

世界工业化经验表明,工业化初期能源消费主要以煤炭为主,之后石油和天然气的生产

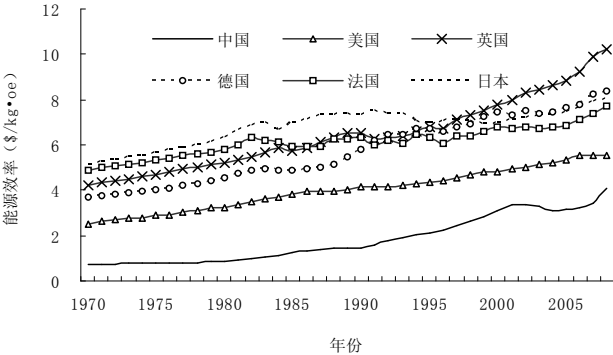


图3 1970-2008年能源效率演变的国际比较

Fig. 3 The energy efficiency evolution of selected countries, 1970-2008

与消费持续上升,并开始取代传统煤炭主导地位;再之,随着国家经济的发展、财富积累和高新技术的研发,核能、风能、水力、地热等其他形式的新能源逐渐被开发和利用,最终形成以化石燃料为主和可再生能源、新能源并存的能源消费结构格局。相关分析结果显示,能源效率高的发达国家均与多项能源品种高度相关,而中国能源效率除与可再生资源高度相关之外,仅与煤炭保持显著负相关。由此可见,长期以来中国煤炭在总能源消费中的主体地位对中国能源效率的提高具有滞后性,但发达国家能源消费结构多元化演进对能源效率的正向推动效应影响程度如何需进一步分析。

表 1 1970—2008 年产业结构、能源消费结构演变与能源效率变化相关性的国际比较

Tab. 1 The international comparison of correlation among energy efficiency, industrial structure and energy consumption structure, 1970—2008

类别		能源效率变化相关性					
		中国	美国	日本	英国	德国	法国
产业	第二产业	0.49	-0.97**	-0.78	-0.95**	-0.97**	-0.92**
	第三产业	0.95**	0.98**	0.83	0.96**	0.97**	0.93**
能源消费结构	煤炭	-0.94**	0.81	0.69	-0.89**	-0.91**	-0.86**
	石油	0.31	-0.88**	-0.91**	-0.75	0.10	-0.84
	天然气	0.37	-0.75	0.93**	0.93**	0.96**	0.92**
	其他	0.97**	0.91**	0.89**	0.68	0.93**	0.86**

注:其他能源主要包括核能、风能、水力、地热等其他形式的可再生能源;  
本表中相关系数均在  $\alpha = 0.01$  水平下进行显著性检验,  
\*\*表示变量间存在显著相关;

4 能源效率变动的产业结构、能源消费结构动态冲击响应

在明确能源效率变动与产业结构、能源消费结构演变之间存在相关性后,为进一步分析产业结构、能源消费结构中各要素在能源效率演变中的重要程度,本文利用向量自回归 (VAR) 模型、脉冲响应函数 (IRF) 和方差分解 (VD) 来考察能源效率对各影响因素的冲击响应及其差异性。

4.1 模型构建

通过上文相关分析可知,能源效率 (EE)、产业结构 (IS) 和能源消费结构 (ECS) 之间存在明显依存关系,以此构建联立方程模型 (式 1),其中  $y_{1,t} = EE_t, y_{2,t} = IS_t, y_{3,t} = ECS_t$ 。模型中唯一的外生变量为时间趋势  $t$ ,并引入内生变量的 1 个滞后期,方程如下:

$$\begin{aligned} y_{1,t} &= c_1 + \beta_{11,1}y_{1,t-1} + \beta_{12,1}y_{2,t-1} + \beta_{13,1}y_{3,t-1} + \varepsilon_{1t} \\ y_{2,t} &= c_2 + \beta_{21,1}y_{1,t-1} + \beta_{22,1}y_{2,t-1} + \beta_{23,1}y_{3,t-1} + \varepsilon_{2t} \\ y_{3,t} &= c_3 + \beta_{31,1}y_{1,t-1} + \beta_{32,1}y_{2,t-1} + \beta_{33,1}y_{3,t-1} + \varepsilon_{3t} \end{aligned} \tag{1}$$

式中:  $u_{1t}, u_{2t}, u_{3t} \sim IID(0, \sigma^2)$ ,  $cov(u_{1t}, u_{2t}, u_{3t}) = 0$ 。方程 (1) 写成矩阵形式为:

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{11,1} & \beta_{12,1} & \beta_{13,1} \\ \beta_{21,1} & \beta_{22,1} & \beta_{23,1} \\ \beta_{31,1} & \beta_{32,1} & \beta_{33,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ y_{3t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \end{bmatrix} \tag{2}$$

设  $Y_t = \begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ y_{3t} \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix}, \beta_1 = \begin{bmatrix} \beta_{11,1} & \beta_{12,1} & \beta_{13,1} \\ \beta_{21,1} & \beta_{22,1} & \beta_{23,1} \\ \beta_{31,1} & \beta_{32,1} & \beta_{33,1} \end{bmatrix}, \varepsilon_t = \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \end{bmatrix}$ , 则:

$$y_t = c + \beta_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \tag{3}$$

如引入内生变量的 2 个滞后期,则方程矩阵形式如下:

$$Y_t = c + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \varepsilon_t \quad u_t \sim IID(0, \sigma^2) \tag{4}$$

考虑扰动或变化  $\varepsilon_t$  会对模型的影响,因此,EE 对 IS、ECS 变动的脉冲响应 (IRF) 自然成立。



此外,与 *IRF* 函数追踪能源效率系统中各结构变量的冲击效果不同,方差分解 (VD) 则将系统中每一个结构冲击对系统变化的影响程度进行评价。为此,假设  $y_{it}$  为  $Y_t$  的第  $i$  个分量,且  $\varepsilon_j$  无序列相关,则由式 3 可知:

$$y_{it} = \sum_{j=1}^k (\beta_{ij}^{(0)} \varepsilon_{jt} + \beta_{ij}^{(1)} \varepsilon_{jt-1} + \beta_{ij}^{(2)} \varepsilon_{jt-2} + \cdots), \quad i = 1, 2, \dots k, \quad t = 1, 2, \dots T$$

(5)

$$\text{Var}(y_{it}) = \sum_{j=1}^k \left\{ \sum_{q=1}^{\infty} (\beta_{ij}^{(q)})^2 \sigma_{\varepsilon_j} \right\}, \quad i, j = 1, 2, \dots k$$

(6)

式中:各个括号中数字是第  $j$  个扰动项  $\varepsilon_j$  从无限过去到现在时点对  $Y_t$  影响的总和,若取有限项  $s$ ,则各个扰动项对  $Y_t$  的相对方差贡献率则可定义为:

$$RVC_{j-i}(S) = \frac{\sum_{q=1}^{s-1} (\beta_{ij}^{(q)})^2 \sigma_{\varepsilon_j}}{\sum_{j=1}^k \left\{ \sum_{q=1}^{s-1} (\beta_{ij}^{(q)})^2 \sigma_{\varepsilon_j} \right\}}, \quad i, j = 1, 2, \dots k$$

(7)

式中: $RVC_{j-i}(S)$  愈大表明第  $j$  个变量对第  $i$  变量影响愈大。

4.2 能源效率脉冲响应分析

遵循产业结构、能源消费结构演进规律,构建 *IS*、*ECS* 演变测度指数:

$$IS_t = \frac{S_t + T_t}{P_t}$$

(8)

$$ECS_t = \frac{O_t + G_t + E_t}{C_t}$$

(9)

式中: $IS_t$ 、 $P_t$ 、 $S_t$ 、 $T_t$  分别为  $t$  年产业结构演变测度指数、第一产业结构比重、第二产业结构比重、第三产业结构比重; $ECS_t$ 、 $C_t$ 、 $O_t$ 、 $G_t$ 、 $E_t$  分别为  $t$  年能源消费结构演变测度指数、煤炭消费结构比重、石油消费结构比重、天然气消费结构比重、水力和核能等其他可再生能源消费结构比重。

建立 VAR 模型之前,需对 *EE*、*IS*、*ECS* 3 个序列进行平稳性检验,本文运用单位根检验方法、按 AIC 准则选取最佳滞后阶数来对各国数据序列进行平稳性检验<sup>[20-22]</sup>,结果显示(表 2),可以  $\Delta EE$ 、 $\Delta IS$ 、 $\Delta ECS$  为变量建立 VAR 模型。为使 VAR 模型可视化,本文在数量分析的基础上模拟出脉冲响应函数曲线(图 4),其中,实线为脉冲函数响应值,代表能源效率(*EE*)对产业结构(*IS*)、能源消费结构(*ECS*) 演进影响因素冲击的反应,虚线为正负两倍标准差的置信带,横轴表示追踪期数,将其设定为 10 期。

从图 4 可以看出,受产业结构演进的正向冲击,中国能源效率处于波动响应状态:① 受社会工业化发展阶段和推进速度影响,前两期能源效率小幅降低,说明短期内中国经济发展、产业结构调整仍需依赖能源投入的外延型增长;② 产业结构调整的正向推动效应从第 3 期开始显现,能源效率呈现持续正向加大的趋势,并于第 8 期末达到最大值,并自此后出现稳态收敛的迹象;③ 发达国家能源效率受产业结构调整冲击后均呈现增长响应,在追踪期限内持续增加或基本保持稳定,再次说明,中国当前产业结构的相对落后对中国能源效率提高具有滞后效应,其中第二产业作为中国经济主体的阶段性特征是主要 诱因。

另外,受能源消费结构演进的正向冲击,中国能源效率变化在整体上呈现“U”型:①

表 2 数列平稳性检验结果

Tab. 2 The stationary test result of series

变量	ADF 检验值	各显著性水平下的临界值			检验结论
		1%	5%	10%	
EE	-1.61	-3.62	-2.94	-2.61	不平稳
$\Delta EE$	-4.02	-3.63	-2.95	-2.61	平稳
IS	1.78	-3.62	-2.94	-2.61	不平稳
$\Delta IS$	-5.01	-3.62	-2.94	-2.61	平稳
ECS	-2.43	-3.62	-2.94	-2.61	不平稳
$\Delta ECS$	-4.40	-3.62	-2.94	-2.61	平稳

注:表中  $\Delta$  表示一阶差分

长期以来,中国“以煤为主”的能源消费结构没有得到根本性改善,能源消费结构调整短期内在节能降耗方面无所实质性作用,处于“无作为”状态;② 能源消费结构调整的负向抑制效应从第3期开始显现,能源效率呈现持续降低的趋势,并于第7期末达到最小值,自第8期又出现抑制力趋小、能源效率逐步正向收敛的态势,说明中国能源消费结构调整对能源效率改善的抑制力将长期存在,这一时期处于“抑制状态”;③ 从发达国家能源效率响应情况来看,其能源消费结构调整的短期效应较中国颇为明显,皆在短期内能源效率做出响应,且能源消费结构演变对能源效率提高的抑制力趋小时间也较中国提前,其中,尤以英国最为明显,自第2期末能源消费结构的抑制力趋小并于第3期末为0,自此能源消费结构调整的正向推动效应显现,持续推动能源效率的直线提高。

4.3 能源效率方差分解分析

方差分解结果表明,中国能源效率影响因素依重要程度排序为:能源效率>产业结构>能源消费结构。从短期看,能源效率自身变化对能源效率变化的贡献率在86%以上,产业结构的贡献率在11%左右,能源消费结构在3%左右;从长期来看,产业结构贡献率将伴随经济转型和产业升级不断增加到60%。为此,产业结构调整与升级是影响中国能源效率提高、节能减排政策实施的关键环节,这一结论亦可从发达国家能源效率变动规律中给予肯定。另外,发达国家能源效率发展经验表明,当社会经济发展到“后工业化”时代,产业结构、能源消费结构演变效应

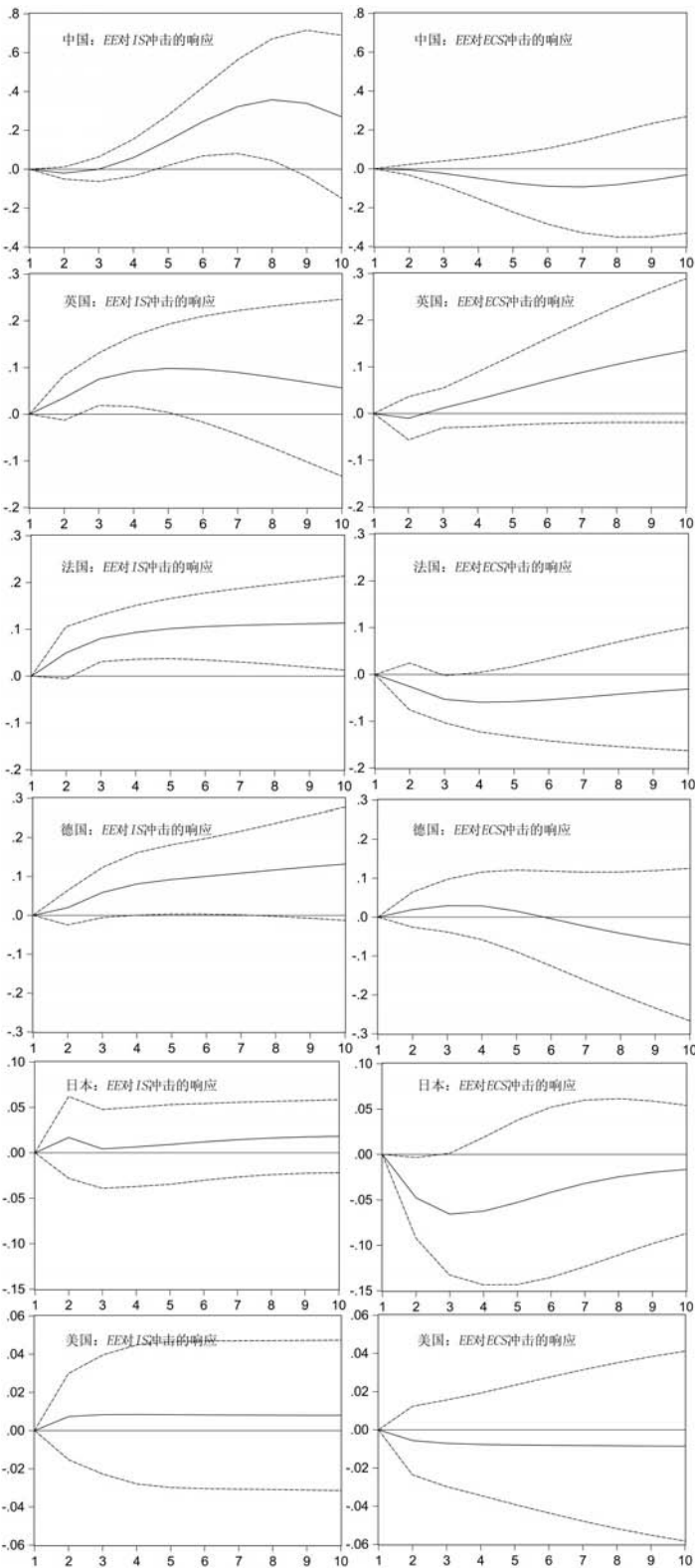


图4 脉冲响应函数曲线

Fig. 4 Curves of impulse response function

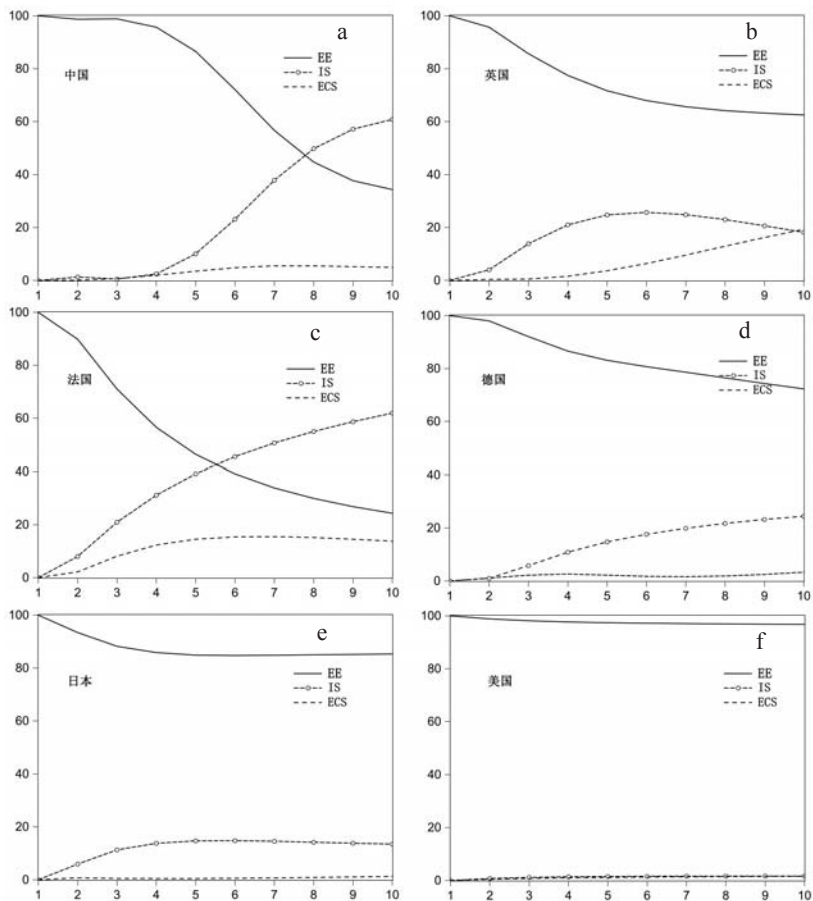


图5 能源效率方差分解结果

Fig. 5 The variance decomposition results of energy efficiency

逐渐趋小,能源效率变动主要受自身水平影响而保持在某一稳定高度。

5 结论

近40年来,中国产业结构演进高度较发达国家明显落后,经济发展仍需粗放、耗能工业拉动,第二产业发展对能源效率提高的抑制效应尚未显现,同时,中国能源消费结构过度集中于煤炭能源消费对能源效率的提高具有抑制效应。具体分析结果显示:

(1) 短期内中国经济发展、产业结构调整仍需依赖能源投入的增长来拉动,能源效率受产业结构演进冲击呈现小幅降低趋势;但从中长期来看,能源效率受产业结构调整冲击呈现持续加大的趋势;相较中国,发达国家能源效率受产业结构调整冲击后均立即呈现增长响应,说明中国当前产业结构的相对落后对中国能源效率提高具有滞后性,其中,第二产业发展的阶段性特征变化是主要干扰因素。

(2) 由于中国“以煤为主”的能源消费结构特征长期存在,其结构调整的负效应较发达国家滞后显现,短期内能源消费的多元化供给仍无法提高中国能源效率;从中长期来看,能源效率受能源消费结构演进冲击影响分别呈现持续降低的趋势、逐步正向收敛的态势;另外,基于中国和发达国家能源消费结构演进的效应分析,可知能源消费结构调整对能源效率的提高影响不大。

(3) 总体来看,中国产业结构演进对能源效率提高的影响程度远大于能源消费结构演进效应。为此,产业结构调整与升级是影响中国能源效率提高、节能减排政策实施的关键环节,但发达国家能源效率发展经验表明,发展到“后工业化”社会,产业结构、能源消费结构演变的效应逐渐趋小,能源效率变动主要受自身水平影响而保持在某一稳定高度。

## 参考文献 (References)

- [1] BP. Statistical Review of World Energy. London: British Petroleum (BP), 2009.
- [2] Robert K Dixon, Elizabeth McGowan et al. US energy conservation and efficiency policies: Challenges and opportunities. *Energy Policy*, 2010, doi:10.1016/j.enpol.2010.01.038.
- [3] Philip Andrews-Speed. China's ongoing energy efficiency drive: Origins, progress and prospects. *Energy Policy*, 2009, 37: 1331-1344.
- [4] Zhou P, Ang B W. Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. *Energy Policy*, 2008, 36: 2911-2916.
- [5] Nan Zhou, Mark D Levine, Lynn Price. Overview of current energy-efficiency policies in China. *Energy Policy*, 2009, doi: 10.1016/j.enpol.2009.08.015.
- [6] Shi Guangming, Bi Jun, Wang Jinnan. Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a DEA model of fixing non-energy inputs. *Energy Policy*, 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.06.003.
- [7] Ashok Sarkar, Jas Singh. Financing energy efficiency in developing countries: Lessons learned and remaining challenges. *Energy Policy*, 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.05.001.
- [8] Ang B W. Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy-GDP ratio to composite efficiency index. *Energy Policy*, 2006, 34: 574-582.
- [9] Hu Jin-Li, Wang Shih-Chuan. Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*, 2006, 34: 3206-3217.
- [10] Ming Yang. Energy efficiency policy impact in India: Case study of investment in industrial energy efficiency. *Energy Policy*, 2006, 34: 3104-3114.
- [11] Zhang Xiaoping. Regional disparities in energy consumption intensity in China and determining factors. *Resources Science*, 2008, 30(6): 883-889. [张晓平. 中国能源消费强度的区域差异及影响因素分析. *资源科学*, 2008, 30(6): 883-889.]
- [12] Wang Qunwei, Zhou Dequn, Shen Xuan et al. The measurement and analysis of total factor energy efficiency in China. *Management Review*, 2010, 22(3): 37-43. [王群伟, 周德群, 沈璇 等. 我国全要素能源效率的测度与分析. *管理评论*, 2010, 22(3): 37-43.]
- [13] Wei Yiming, Liao Hua. Seven energy efficiency indicators and their measurement approaches. *China Soft Science*, 2010, (1): 128-137. [魏一鸣, 廖华. 能源效率的七类测度指标及其测度方法. *中国软科学*, 2010, (1): 128-137.]
- [14] Wang Junsong, He Canfei. Technological development, structural change and Chinese energy consumption efficiency. *China Population, Resources and Environment*, 2009, 19(2): 157-161. [王俊松, 贺灿飞. 技术进步、结构变动与中国能源利用效率. *中国人口资源与环境*, 2009, 19(2): 157-161.]
- [15] Wei Chu, Shen Manhong. Current progresses and new trend of research on energy efficiency: A literature review. *Journal of Zhejiang University: Humanities and Social Sciences*, 2009, (3): 55-63. [魏楚, 沈满洪. 能源效率研究发展及趋势: 一个综述. *浙江大学学报: 人文社会科学版*, 2009, (3): 55-63.]
- [16] Qu Xiao'e. An analysis on Chinese inter-provincial differences in energy efficiency and their determinants. *Economic Theory and Business Management*, 2009, (2): 46-52. [屈小娥. 中国省际能源效率差异及其影响因素分析. *经济理论与经济管理*, 2009, (2): 46-52.]
- [17] Fenga Taiwen, Sun Linyan, Zhang Ying. The relationship between energy consumption structure, economic structure and energy intensity in China. *Energy Policy*, 2009, 37: 5475-5483.
- [18] Liu Yanjun, Li Chenggu. Regulation model and mechanism of urbanization response to the industrial structure evolvement in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(2): 153-166. [刘艳军, 李诚固. 东北地区产业结构演变的城市化响应机理与调控. *地理学报*, 2009, 64(2): 153-166.]
- [19] Zhang Lei. Economic development and its bearing on CO<sub>2</sub> emissions. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 629-637. [张雷. 经济发展对碳排放的影响. *地理学报*, 2003, 58(4): 629-637.]
- [20] Wang Hongrui, Feng Qilei, Lin Xin et al. Ergodicity analysis of air temperature variation process of Shanghai. *Journal of Tianjin University*, 2010, 43(1): 55-63. [王红瑞, 冯启磊, 林欣 等. 上海气温变化过程遍历特征分析. *天津大学学报*, 2010, 43(1): 55-63.]
- [21] Zeng Wenyi, Li Hongxing, Shi Yu. Fuzzy linear regression model (I). *Journal of Beijing Normal University: Natural*



Science, 2006, 42(2): 120-125. [曾文艺, 李洪兴, 施煜. 模糊线性回归模型(I). 北京师范大学学报: 自然科学版, 2006, 42(2): 120-125.]

[22] Nie Qiaoping, Zhang Xiaodong. The analysis of united test of F statistics in ADF unit root test. Statistical Research, 2007, 24(2): 73-80. [聂巧平, 张晓峒. ADF单位根检验中联合检验F统计量研究. 统计研究, 2007, 24(2): 73-80.]

## Mechanism of Energy Efficiency Response to Industrial Restructuring and Energy Consumption Structure Change

WANG Qiang<sup>1</sup>, ZHENG Ying<sup>2</sup>, WU Shidai<sup>1</sup>, LI Tingting<sup>1</sup>

(1. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

2. Concord University College, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** With the economic development of the human society, growth of population, and accelerated urbanization and industrialization, increase of asymmetric carbon cycle and global climate change caused by rapid growth of energy consumption are becoming the current hot spots of all walks of life worldwide. Therefore, improving energy efficiency has become an effective way of active response to energy saving and realization of sustainable development. This paper, by analyzing the characteristics of energy efficiency, industrial structure and energy consumption structure of China and five other developed countries, establishes a VAR model and uses impulse responses function and variance decomposition methods to reveal the mechanism of energy efficiency response to industrial structure evolvement and energy consumption structure change. Research suggests that in the last 40 years, China's tertiary industry has played a greater role than its secondary industry in improving energy efficiency. Although the development of the secondary industry has a positively weak correlation with energy efficiency, according to the experience of developed countries, the inhibition of secondary industry on the energy efficiency improvement has not yet appeared in China, which indicates that the economy still needs pushing by industry with extensive and high energy consumption. Otherwise, the energy consumption relies on coal, which also has the inhibition on the energy efficiency improving. In the end, basing on such analysis, the paper discusses the response of energy efficiency to industrial restructuring and energy consumption structure change. Some conclusions can be drawn as follows: (1) Compared with developed countries, the industrial restructuring has inhibition on energy efficiency improvement in the short term until the mid-term, then the positive impact of industrial restructuring will emerge, which will improve energy efficiency. (2) Since existence of "coal-based" energy consumption structure for a long time, its negative effect appeared later in China than in developed countries, and the evolution of energy consumption structure in both China and developed countries has little effect on energy efficiency. (3) The influence of industrial structure change is greater than the evolution of energy consumption structure, so the impact of industrial restructuring and upgrading is the key to improve energy efficiency and carry out energy saving policies.

**Key words:** energy efficiency; industrial structure; energy consumption structure; response; mechanism