

我国单位 GDP 能耗的投入占用产出影响因素分析^①

柴建, 郭莉娥, 席酉民
(西安交通大学管理学院, 西安 710049)

摘要: 单位 GDP 能耗反映国民经济生产和使用过程中对能源的利用效率, 它的变化同整个国民经济的消费、技术进步以及经济结构的调整等密切相关, 基于我国 1992 1997 2002 及 2004 年 30 部门能源投入占用产出表, 从国民经济生产总值、能源直接消耗技术、最终需求结构和最终需求总量等因素, 建立了我国单位 GDP 能耗的投入占用产出因素分析模型, 从宏观和微观层面揭示了我国 10 年来单位 GDP 能耗变化的成因, 为国家制定节能降耗的相关政策提供决策依据。

关键词: 单位 GDP 能耗; 因素分析模型; 能源投入占用产出表

中图分类号: F407.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2009)05-0140-09

0 引言

我国单位 GDP 能耗在 2003 2004 2005 年连续三年呈现比上年增加的趋势, 改变了我国 1980—2002 年单位 GDP 能耗连年不断降低的格局。为了引导我国经济的健康发展, “十一五”规划中明确提出了“在优化结构、提高效率和降低消耗的基础上, 实现 2010 年人均 GDP 比 2000 年翻一番; 资源利用效率显著提高, 单位 GDP 能源消耗比“十五”期末降低 20% 左右”的发展目标。2006 年作为“十一五”开局年, 预期目标是单位 GDP 能源消耗下降 4% 左右, 实际完成 GDP 能耗为 1.21 吨标准煤, 比上年同比下降 1.23%, 结束了连续三年上升的态势, 但未完成单位 GDP 能耗下降 4% 的目标。经济发展和节能降耗目标的实现受很多因素影响, 要实现目标, 关键需要准确把握其主要影响因素。因此, 本研究以编制我国 1992 1997 2002 和 2004 年 30 部门实物价值型能源投入占用产出表为突破口, 基于因素分析模型探索我国单位 GDP 能耗变化的影响因素, 为实现我国经济、能源与环境更好、更快可持续发展提供

决策依据。

1 投入占用产出因素分析建模的理论与实践依据

能源及环境问题是全球关注的焦点^[1], 由于节能降耗在能源战略中的重要作用, 国内外专家学者对此已进行了多方面的研究。具体有回归分析法^[2]、主成分分析^[3]、面板数据分析法^[4,5]等。Choi Ang^[6]讨论了关于能源强度问题的两类因素分析方法(比率法和差分法)及其在能源领域的作用, 并结合两类方法的结果对新加坡和台湾的电力消耗强度进行了分析; Andreas Schafer^[7]利用 1971—1998 年世界上 11 个不同区域的能源数据, 分析了产业结构的变化对能源强度下降的贡献, 说明了经济结构的变化对能源强度的降低有显著的作用。

由前可知, 在分析我国能源强度变化的研究中, 最常使用的方法包括因素分解法、描述性统计

① 收稿日期: 2007-09-26; 修订日期: 2009-07-05。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70473072 70773091)。

作者简介: 柴建(1982—), 男, 河南人, 博士, Email: chaijian037@126.com

以及回归分析。描述性统计主要是通过对行业产出及能源消耗数据进行分析, 总结经济发展与能源消耗的变化趋势, 从而得出影响能源强度变化因素的定性结论, 该方法虽然直观、易于理解, 但分析相对较为简单, 而且不能得出定量的结论。回归分析也是分析能源强度变化的重要工具, 该方法通过建立能源强度与其影响因素之间的回归方程, 通过数据回归得出相应的结论。回归分析不仅可以得出定量的结论, 而且也能将更多的因素纳入到统一的框架中。但回归分析往往只能得出各种因素对能源强度的影响程度, 而对能源强度变化影响的说服力较弱, 同时还存在数据处理和回归方程选择等方面的问题。相比较而言, 因素分解法更为直观和简洁, 该方法直接将能源强度变化分解, 从而能够对影响能源强度变化的因素进行定量分析, 此外该方法数据处理也更为容易。因此, 目前无论在国外还是国内, 因素分解法^[8, 9]成为分析能源强度变化的主要工具。

为研究各相关因素的变动对能源单耗的影响, 首先必须考虑因素变动的测度方法。由于投入产出表能清楚地反映国民经济系统中各部门之间生产和使用关系, 投入产出表可作为经济结构变动及技术变动的度量方法。前人的研究成果也表明, 投入占用产出因素分解方法更具有良好的效果, 而且理论基础较强。梁巧梅, Okada^[10]等基于投入产出建立了能源需求和能源强度情景分析模型, 并运用 1997 年的数据, 针对全面实现小康社会目标的各种情景, 定量地分析了社会经济发展因素对能源需求和能源强度的影响。Hu, McAleer^[4]以中国 1992、1995、1997 年的投入产出表为基础, 分析了中国产业结构的变动对经济快速增长的影响效应。Piyush Tiwari^[11]利用投入产出方法, 分析了印度各部门的能源强度变化, 以能源利用效率的高低变化对各部门进行了分类; Alcántara Duarte^[12]利用投入产出结构分解分析方法, 对引起欧盟各国及各部门能源消耗强度的差异的主要因素进行了分析, 结果表明在给定的经济结构下, 能源的消耗总量主要受能耗强度影响, 其中冶炼和制造业的能耗最高。

关于影响因素指标的选取方面, 国际经验表明, 一个国家经济增长与能源强度具有明显的关

系, 一般表现为倒 V 型, 即在经济增长的初期, 能源强度呈现上升趋势, 经济增长到一定时期后, 能源强度才转而下降。史丹^[13]认为, 改革开放以来, 我国能源消费增长速度减缓甚至于下降的根本原因是能源利用效率的改进。能源利用效率包括能源技术进步效率和能源经济效率。能源技术效率的改进, 往往是和生产技术以及技术创新和技术发明联系在一起。能源经济效率主要是指经济发展水平、产业结构、价格水平、管理水平、对外开放以及经济体制等经济因素对能源利用效率的影响。本文在剔出技术、价格及结构因素的影响外, 用 GDP 来反映经济发展水平、管理水平、政策以及经济体制等经济因素对能源利用效率的综合影响。

但钱振为利用联合国统计数据, 对我国能源消费状况进行分析, 认为在经济增长过程中单位能源消费产生 GDP 不一定与经济同方向同步增长, 不是评价一定时期能源利用效果的绝对指标, 单位 GDP 能源消耗强度除受经济发展水平影响外, 还有自然环境和资源条件、社会需求、经济结构和技术及管理水平的变化。戴彦德, 周伏秋等^[14]将单位 GDP 能耗的影响因素归结为两大类: 一是广义的结构因素, 包括产业结构、行业结构、产品结构等多层次内容; 二是技术因素, 是指由于技术进步而导致的单位产品(服务量)综合能耗的下降。

就技术进步来看, Vanden 等^[5]采用我国 2500 多家能源密集型大中型工业 1997—1999 年的面板数据, 研究指出技术进步、结构调整和可能的统计误差是中国能源强度下降的主要影响因素。国内也有相当多的理论与实证研究与国外得出了类似的结果。Ma Oxley^[15]分析了 1995 年到 2004 年中国宏观能源强度, 发现技术进步是我国能源效率提高的决定因素。

就最终需求变动来看, 王海建^[16]利用投入产出因素分解法, 将最终需求变动对能源消费的影响, 分解为最终需求结构系数变动和各项最终需求总量变动影响, 并对最终需求总量及结构变动导致的能源消费变化进行了分析。王玉潜^[17]运用投入产出技术与统计因素分析方法, 建立能源消耗强度的投入产出模型和因素分析模型, 将影响

效应分解为最终需求结构变动效应和技术进步效应,初步解释了 1987—1997年中国能源消耗强度变动的原因.说明最终需求结构及最终需求总量也是影响能源消费强度的重要因素之一.

由此可以得出,技术进步和最终需求变动是直接影响我国单位 GDP能耗变化的主要因素.而产业结构也是影响我国单位 GDP能耗的变动的主要因素,戴彦德,周伏秋等^[14]将所有因素(技术因素,最终需求因素等)对我国单位 GDP能耗的影响效应归结为产业结构的变动.但技术进步、最终需求结构变动对产业结构的变化也起着主导性作用.这样,技术进步、最终需求结构变动通过产业结构的变动将对我国单位 GDP能耗产生不可忽视的间接影响作用.

从技术进步的间接影响来看,不同产业出现的技术进步和技术创新,影响其自身实际的生产过程,使各产业的要素投入配比发生变化,导致各产业产出的变化,进而使整个产业结构发生相应的变化^[18],Pan^[19]利用动态投入产出技术结合情景分析法,以中国电力行业为背景,分析了技术进步对产业结构的影响效应.

从最终需求结构的间接影响来看,需求结构的变动,直接影响到有关产业的要素投入,推动各产业部门出现不同程度的技术进步,促使产业结构发生相应变动.张晖明,丁娟^[20]认为在所有的影响因素当中,技术进步和需求结构是推动产业结构调整升级的内生的直接动力,只有通过技术的跨越式发展,不断推动技术进步,才能切实带动产业结构的优化升级.史耀远^[21]利用投入产出技术和结构的分析方法研究了技术进步和最终需求结构变动对中国经济结构变动的影响.

总结近年来国内外的研究现状,由于能源问题是一个涉及多个方面的复杂系统,而投入占用

产出表能清楚地反映国民经济系统中各部门之间生产和使用关系,使得投入占用产出因素分解法成为国内外学者研究能源问题的主要工具,其在能耗强度的研究方面具有其它方法所不可比拟的优势,并取得了良好的效果.但前人大多在只考虑一个或两个关键影响因素的情况下,利用投入占用产出方法分解分析.在综合考虑多个影响因素(GDP增长,技术进步,最终需求结构,最终需求总量)的前提下,如何利用投入占用产出因素分解法重新分解,并能分析上述多种影响因素对我国的单位 GDP能耗影响效应,对如何核算我国单位 GDP能耗并提出针对性的对策建议十分必要和及时,但前人未作研究.

本文将利用投入占用产出结构分解方法,并利用中国 1992、1997、2002和 2004年 30部门能源投入占用产出表(这些表是以陈锡康研究员等提供的 1992、1997、2002年 42部门投入产出表为基础,借助全国统计年鉴、2005年中国能源统计年鉴和 2004年经济普查年鉴等统计资料信息,由西安交通大学 985工程二期项目“能源经济与安全战略管理研究平台”项目团队利用 HYBRID技术编制,本文作者参与编制),以不变价格为基础,消除价格变动影响,分阶段使用投入占用产出结构因素分解法对我国能源强度变化进行跟踪研究,利用投入占用产出因素分解法重新分解并分析 GDP增长(反映经济发展水平、管理水平、政策以及经济体制等经济因素对能源利用效率的综合影响)、各部门生产技术进步、最终需求总量变动和最终需求结构变动对这些年我国单位 GDP能耗的总的影晌.同时对技术进步、最终需求结构变动对产业结构变动的影响效应作了进一步的分析,解释了技术进步、最终需求结构变动在各阶段对降低能耗的直接和间接作用效果.其中的分析关系如图 1所示.

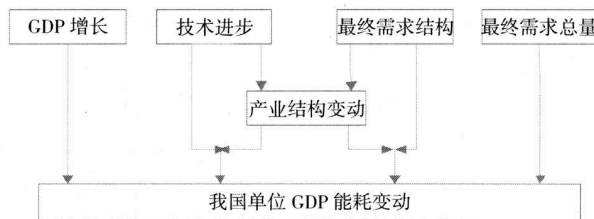


图 1 单位 GDP 能耗变动因素分析图

Fig. 1 The factors of energy use per unit of GDP and the path

2 我国单位 GDP 能耗变动因素分析模型及分析结果

本文利用的是中国 1992、1997、2002 和 2004 年 30 部门能源投入占用产出表, 该表将全部产业划分为能源部门和非能源部门, 其中能源部门又分为一次能源部门和二次能源部门, 非能源部门又分为高能耗部门和低能耗部门. 一次能源部门由煤炭采选业 (01)、石油开采业 (02)、天然气开采业 (03)、水电业 (04) 构成. 一次能源中的其它能源如水能、核能、生物质能、太阳能、风能等由于在能源总量中所占比重较小, 且难以获得完整数据, 暂不考虑.

投入产出分析中的因素分析法主要是指结构分解分析即 SDA (Structural Decomposition Analysis). SDA 是近年来投入产出分析领域主流经济分析工具, 其主要思想是利用投入产出表, 通过将某因变量的变动分解为各有关独立自变量变动的和或乘积, 从而测算各个自变量的变动对因变量变动贡献的大小. 由于它克服了传统投入产出分析的静态特性, 具备了动态分析功能, 从而成为了计量经济估计分析的替代方法. 许多学者把投入产出技术与 SDA 相结合, 研究了一系列的经济、资源、环境问题. 如 Han^[22] 研究了 1975—1985 年劳动力需求变动对日本经济结构的影响; Lin Polenske^[23] 对中国 1981—1987 年期间能源消耗强度下降的原因进行了深入的研究.

一般地, 若一个经济变量 Z 是由 X, Y 两因素决定, 即其可以写成 $Z = XY$ 的形式, 则可对其进行如下 SDA 分析:

令 $\Delta Z = Z_2 - Z_1, \Delta X = X_2 - X_1, \Delta Y = Y_2 - Y_1$, 其中下标 1 和 2 分别表示时期 1 和 2 则可有

$$\Delta Z = X_2 Y_2 - X_1 Y_1 = \{\Delta X Y_1 + X_1 \Delta Y\} + \{\Delta X \Delta Y\} \quad (1)$$

称 $\Delta X Y_1$ 为 X 因素变动对 Z 的初始影响, $X_1 \Delta Y$ 为 Y 因素变动对 Z 的初始影响, $\{\Delta X Y_1 + X_1 \Delta Y\}$ 为因素变动的综合初始影响 (或因素变动的一阶影响), 而 $\Delta X \Delta Y$ 为两个因素变动的交叉影响 (或者因素变动的二阶影响).

同理可得四影响因素 (X, W, T, Y) 时, 即 $Z =$

$WXTY$, 有

$$\begin{aligned} \Delta Z = & \{\Delta X W_1 T_1 Y_1 + X_1 \Delta W T_1 Y_1 + X_1 W_1 \Delta T Y_1 + \\ & X_1 W_1 T_1 \Delta Y\} + \{\Delta X \Delta W T_1 Y_1 + \Delta X W_1 \Delta T Y_1 + \\ & \Delta X W_1 T_1 \Delta Y + X_1 \Delta W \Delta T Y_1 + X_1 \Delta W T_1 \Delta Y + \\ & X_1 W_1 \Delta T \Delta Y + \Delta X \Delta W \Delta T Y_1 + \Delta X \Delta W T_1 \Delta Y + \\ & \Delta X W_1 \Delta T \Delta Y + X_1 \Delta W \Delta T \Delta Y_1 + \Delta X \Delta W \Delta T Y_1 + \\ & \Delta X \Delta W \Delta T \Delta Y\} \quad (2) \end{aligned}$$

式 (2) 是本文分析主要用到的关系式, 是本文计算分析的基础, 后面的模型部分将详细地分析其应用. 投入产出模型的一般关系式为 $X = (I - A)^{-1} Y = B Y$, 其中 X 为总产出列向量, A 为直接消耗系数矩阵, Y 为最终使用列向量, I 为单位矩阵, $B = (I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵. 考察各因素对总产值变动的的影响, 有

$$\Delta X = \Delta B Y_1 + B_1 \Delta Y + \Delta B \Delta Y \quad (3)$$

由于交叉项处理起来比较繁杂, 且一般情况下数值较小, 故通常将共同影响合并到其中一个单因素影响中去; 共有两种合并方法, 见式 (4) 和 (5).

$$\begin{aligned} \Delta X &= \{\Delta B Y_1 + \Delta B \Delta Y\} + B_1 \Delta Y \\ &= \Delta B Y_2 + B_1 \Delta Y \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta X &= \{B_1 \Delta Y + \Delta B \Delta Y\} + \Delta B Y_1 \\ &= \Delta B Y_1 + B_2 \Delta Y \quad (5) \end{aligned}$$

其中式 (4) 把技术变动的的影响作用于报告期 (时期 2), 而将产出的影响作用于基期 (时期 1); 式 (5) 则反之. 两种分解方法都有各自特定的含义. 同理, 这种思想也可应用到四影响因素的结构分解分析模型且便于经济解释, 本部分主要采用式 (4)、(5) 的合并思想来对我国能源消耗强度的影响因素进行分析.

2.1 我国单位 GDP 能耗价值量变动因素分析模型

由里昂惕夫投入产出表的行模型, 具体表示为

$$X = (I - A)^{-1} Y = B Y$$

其中 X 为各部门总产出列向量, A 为直接消耗系数矩阵, Y 为最终需求列向量. 假定 C 为最终需求结构系数 (C 中各分量之和为 1), F 为各项最终需求总量, G 为 GDP 总量, f 为单位 GDP 能耗, $E_i (i = 1, 2, \dots, 4)$ 表示各一次能源 (煤、石油、天然气、水电) 消费总量. 则 $Y = CF$.

若令 $B = (I - A)^{-1}$ 则

$$X = BY = BCF = (I - A)^{-1}CF$$

能源消费强度是国民经济单位 GDP 的能源消费量 (包括生产消耗量和生活消费量), 是一个国家或地区能源综合利用效率的相对指标. 为进行因素分析, 本文定义“能源消耗强度”是国民经济单位 GDP 的能源消耗量, 是一个国家或地区的生产对能源综合利用效率的平均指标. 若记 $e^T = (1, 1, 1, 1, 0, \dots, 0)_{1 \times 30}^T$ 则单位 GDP 能耗计算公式为

$$f = \frac{\sum E_i}{G} = \frac{eX}{G} = e \frac{1}{G} BCF = e \frac{1}{G} (I - A)^{-1} CF$$

因此, 在其他条件不变的情况下, 单位 GDP 能耗由技术系数矩阵 A 、国内生产总值 G 、最终需求结构 C 及最终需求总量 F 决定. 若令 $D = \frac{1}{G}$, 以下用下标 t 表示经济结构发生变动后的变量, 以下标 0 表示原来的变量. 经测算发现, 因素交叉项影响值相对各单因素项影响值来说可以忽略, 故可利用 SDA 合并思想将交叉项影响合并至单因素影响项, 这时可得单位 GDP 能耗的变动因素分析模型如下

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_t - f_0 = e(D_t B_t C_t F_t - D_0 B_0 C_0 F_0) \\ &= e[(D_t - D_0) B_t C_t F_t + D_0 (B_t - B_0) C_t F_t + \\ &\quad D_0 B_0 (C_t - C_0) F_t + D_0 B_0 C_0 (F_t - F_0)] \\ &= e[\Delta D B_t C_t F_t + D_0 \Delta B C_t F_t + D_0 B_0 \Delta C F_t + \\ &\quad D_0 B_0 C_0 \Delta F] \end{aligned}$$

又由于

$$\Delta B = (I - A_t)^{-1} - (I - A_0)^{-1}$$

$$\begin{aligned} &= (I - A_t)^{-1} (A_t - A_0) (I - A_0)^{-1} \\ &= (I - A_t)^{-1} \Delta A (I - A_0)^{-1} \end{aligned}$$

故 $\Delta f = e[\Delta D B_t C_t F_t + D_0 (I - A_t)^{-1} \Delta A (I - A_0)^{-1} C_t F_t + D_0 B_0 \Delta C F_t + D_0 B_0 C_0 \Delta F]$

由上可见, 单位 GDP 能源消耗强度的变动等于国内生产总值变动、技术变动及最终需求变动影响之和. 其中国内生产总值变动导致的单位 GDP 能源消耗强度的变化量为

$$e \Delta D B_t C_t F_t = e \Delta D (I - A_t)^{-1} C_t F_t \quad (6)$$

技术变动导致的单位 GDP 能源消耗强度的变化量为

$$e D_0 (I - A_t)^{-1} \Delta A (I - A_0)^{-1} C_t F_t \quad (7)$$

最终需求变动对单位 GDP 能源消耗强度的影响为 $e D_0 B_0 (C_t F_t - C_0 F_0)$ 其中, 最终需求结构系数变动导致的单位 GDP 能源消耗强度的变化量为

$$e D_0 B_0 \Delta C F_t = e D_0 (I - A_0)^{-1} \Delta C F_t \quad (8)$$

最终需求总量变动导致的单位 GDP 能源消耗强度的变化量为

$$e D_0 B_0 C_0 \Delta F = e D_0 (I - A_0)^{-1} C_0 \Delta F \quad (9)$$

将一次能源的计量单位均换算为以“吨标准煤”, 然后仿照价值量的计算得到我国单位 GDP 能耗实物量变动因素分析模型.

2.2 我国各阶段的单位 GDP 能耗变动因素分析结果

基于中国 1992、1997、2002 和 2004 年 30 部门能源投入占用产出表, 由以上模型中的公式 (6)、(7)、(8) 和 (9), 可以得到以下结果 (表 1、表 2).

表 1 我国单位 GDP 能耗变动及因素分析

Table 1 Factors and change of the energy use per unit of GDP of China

	1992年 - 1997年	1997年 - 2002年	2002年 - 2004年
单位 GDP 能源消耗强度的总变动 (万元 / 万元)	0.009	0.011	0.022
单位 GDP 能源消耗强度的总变动 (吨标准煤 / 万元)	- 1.190	- 0.900	0.200
GDP 增长引起的单位 GDP 能耗强度的变化 (吨标准煤 / 万元)	- 6.499	- 1.603	- 1.062
技术变动导致的单位 GDP 能耗强度的变化 (吨标准煤 / 万元)	5.756	- 0.554	1.324
最终需求结构变动引起的单位 GDP 能耗强度变化 (吨标准煤 / 万元)	- 2.387	1.167	- 0.403
最终需求总量变动引起的单位 GDP 能耗强度的变化 (吨标准煤 / 万元)	1.942	0.090	0.341

表 2 一次能源能耗变动及因素分析

Table 2 First energy consumption change and factor analysis

时间段	因素指标	煤炭	石油	天然气	电力
1992年— 1997年	GDP增长引起的单位 GDP 能耗的变化 (吨标准煤 / 万元)	- 3 207	- 2 192	- 0 157	- 0 944
	技术变动导致的单位 GDP 能耗的变化 (吨标准煤 / 万元)	2 831	1 538	0 121	1 265
	最终需求结构变动引起的单位 GDP 能耗变化 (吨标准煤 / 万元)	- 1 439	- 1 079	0 055	0 076
	最终需求总量变动引起的单位 GDP 能耗变化 (吨标准煤 / 万元)	1 037	0 852	0 019	0 033
	总计	- 0 779	- 0 881	0 038	0 431
1997年— 2002年	GDP增长引起的单位 GDP 能耗的变化 (吨标准煤 / 万元)	- 0 747	- 0 567	- 0 041	- 0 249
	技术变动导致的单位 GDP 能耗的变化 (吨标准煤 / 万元)	- 0 749	0 126	0 005	0 064
	最终需求结构变动引起的单位 GDP 能耗变化 (吨标准煤 / 万元)	0 935	0 151	0 015	0 067
	最终需求总量变动引起的单位 GDP 能耗变化 (吨标准煤 / 万元)	0 044	0 030	0 002	0 013
	总计	- 0 517	- 0 260	- 0 019	- 0 104
2002年— 2004年	GDP增长引起的单位 GDP 能耗的变化 (吨标准煤 / 万元)	- 0 568	- 0 317	- 0 021	- 0 157
	技术变动导致的单位 GDP 能耗的变化 (吨标准煤 / 万元)	0 850	0 342	0 011	0 121
	最终需求结构变动引起的单位 GDP 能耗变化 (吨标准煤 / 万元)	- 0 154	- 0 232	- 0 009	- 0 007
	最终需求总量变动引起的单位 GDP 能耗变化 (吨标准煤 / 万元)	0 159	0 121	0 009	0 053
	总计	0 287	- 0 086	- 0 011	0 010

由表 1 和表 2 可见, GDP 增长 (反映经济发展水平、管理水平、对外开放以及经济体制等经济因素对能源利用效率的综合影响) 起着降低我国单位 GDP 能耗强度的作用, 1992—1997 年 GDP 增长引起的我国每万元 GDP 能耗强度降低 6 499.7 吨标准煤, 到 2002—2004 年 GDP 增长引起的我国每万元 GDP 能耗强度降低 1 062.1 吨标准煤, 可见除技术及结构因素外的其它因素对我国单位 GDP 能耗强度的降低起显著作用, 但作用强度逐年明显降低。

故降低单位 GDP 能耗强度同保持 GDP 稳定增长是具有一致性的。值得注意的是以上分析过程中没有考虑产业结构这一关键因素的变动影响效应, 即我们把最终需求结构及技术进步通过产业结构的间接影响效应同直接影响效应进行了加总。这使得本文得到了与前人不同的结论, 技术变动在各个阶段对单位 GDP 能耗强度的影响效应, 包括了技术变动的直接影响和通过影响产业结构调整间接影响。在第一阶段 (1992—1997) 和第三阶段 (2002—2004) 通过产业结构变动的间接影响效应超过了技术变动的直接影响效应, 使得总影响效应竟然对降低能耗起负作用, 最终需求结构对单位 GDP 能耗强度变化的综合影响效应同技术变动相似, 波动较大, 而最终需求总量的

变动所引起的单位 GDP 能耗强度的变化大小同其它因素所产生的结果相比, 对单位 GDP 能耗的影响作用也是逐年递减, 所起的作用不显著。

为能证实技术及最终需求结构变动通过产业结构的间接影响效应的存在, 下面本文将分析技术进步及最终需求结构的变动对产业结构变动的影响。

3 技术进步及最终需求结构的变化对产业结构的影响

假定 $W = (w_1, w_2, \dots, w_{30})^T$ 为产出结构向量, 且 $\sum_{i=1}^{30} w_i = 1$, $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T$ 为最终需求结构向量, 且 $\sum_{i=1}^{30} c_i = 1$, A 为投入产出系数矩阵, $i^T = (1, 1, \dots, 1)_{1 \times 30}$, P 为总产出总量, F 为最终需求总量, 则投入产出模型为

$$WP = (I - A)^{-1}CF \quad (10)$$

故由 $\sum_{i=1}^{30} w_i = 1$ 得 $P = i^T WP = i^T (I - A)^{-1}CF$
带入式 (10) 则

$$W = (I - A)^{-1}CFP^{-1} \\ = (I - A)^{-1}C(i^T(I - A)^{-1}C)^{-1}$$

令 $B = (I - A)^{-1}$, 则上式变为 $W = BC(i^TBC)^{-1}$

表明列昂剔夫逆矩阵 B 的变动和最终需求结构矩阵 C 的变动共同影响着产业结构 W , 现采用因素分析法分析, 由 $W_i^T B C = B C$, 故有以下分析模型

$$\begin{aligned} B_i C_i - B_0 C_0 &= W_i^T B_i C_i - W_0^T B_0 C_0 \\ &= (W_i - W_0)^T B_i C_i + W_0^T (B_i C_i - B_0 C_0) \\ &= D W_i^T B_i C_i + W_0^T (B_i C_i - B_0 C_0) \end{aligned}$$

故

$$\begin{aligned} D W &= (I - W_0^T) (B_i C_i - B_0 C_0) (i^T B_i C_i)^{-1} \\ &= (I - W_0^T) D B C_i (i^T B_i C_i)^{-1} + \\ &\quad (I - W_0^T) B_0 D C (i^T B_i C_i)^{-1} \\ &= (I - W_0^T) B D A B_0 C_i (i^T B_i C_i)^{-1} + \end{aligned}$$

表 3 技术进步及最终需求结构的变化对产业结构变动的影响分析表

Table 3 The influence of technological progress and the final demand structure changes on the industrial structure

	1992—1997			1997—2002			2002—2004		
	产业结构变动	技术变动影响	最终需求结构变动影响	产业结构变动	技术变动影响	最终需求结构变动影响	产业结构变动	技术变动影响	最终需求结构变动影响
二次能源及高耗能部门	1.380	1.730 贡献为 125.36%	-0.350 贡献为 -25.36%	-1.450	-1.580 贡献为 108.97%	0.130 贡献为 -8.97%	3.160	0.310 贡献为 9.81%	2.850 贡献为 90.19%
低耗能部门	-1.650	-2.730 贡献为 165.45%	1.080 贡献为 -65.45%	0.960	1.860 贡献为 193.75%	-0.900 贡献为 -93.75%	-3.680	-1.260 贡献为 34.24%	-2.420 贡献为 65.76%

在表 2 中, 可以看到由于技术的变动导致单位 GDP 能耗呈上升趋势, 一般情况下, 技术是不断进步的, 在产业结构不变的前提下, 技术的进步将会使得单位 GDP 能耗呈现明显的下降趋势, 但结果却与常理相反, 一定是技术的变动导致了产业结构的较大变动, 这一结论在表 3 中得到了证明, 1992—1997 年, 二次能源及高耗能部门产业比例上升 1.38%, 低耗能部门比例下降 1.65%, 其中技术变动对二次能源及高耗能部门产业比例的上升和低耗能部门比例的下降均起着显著的正向推动作用, 抵消了最终需求结构变动的负向作用, 导致 1992—1997 年, 技术变动显著地提高了能源消耗强度, 而最终需求结构却起着降低能耗的作用. 1997—2002 年, 产业结构中能耗较高的二次能源及高耗能部门比例下降 1.45%, 低耗能部门比例上升 1.08%, 技术变动同样起着显著的正向推动作用, 故在 1997—2002 年技术变动起着降低我国单位 GDP 能耗的作用. 2002—2004 年的

$$(I - W_0^T) B_0 D C (i^T B_i C_i)^{-1}$$

由上式可以看出, 其中技术变动对产业结构 W 的影响程度为

$$(I - W_0^T) B_i D A B_0 C_i (i^T B_i C_i)^{-1} \quad (11)$$

最终需求结构变动对产业结构 W 的影响程度为

$$(I - W_0^T) B_0 D C (i^T B_i C_i)^{-1} \quad (12)$$

3.1 技术进步及最终需求结构的变化对产业结构变动的的影响分析

基于中国 1992、1997、2002 和 2004 年 30 部门能源投入占用产出表, 由以上模型中的公式 (11) 和 (12), 可以得到以下结果 (表 3).

情况同 1992—1997 年相似, 只是作用强度稍有降低, 故 2002—2004 年技术变动对能耗升高的正向推动作用小于 1992—1997 年的强度. 因此, 技术变动与产业结构升级之间是相互促进、相互影响的. 技术变动推进产业结构的升级, 反过来, 产业结构升级也会通过相关产业的发展, 为具体产业技术的发展构筑起高水平的操作“平台”, 推进产业技术变动. 由于这种相互作用机制, 技术变动必然成为促成和推进产业结构升级和良性循环的关键. 技术的进步在降低单部门的能耗之外也导致整个产业结构的调整, 并且在整个产业结构调整中的贡献具有决定性的作用.

4 结 论

能源强度反映的是能源的利用效率. 我国能源利用效率虽然有了很大的提高, 但相对发达国家来看, 能源强度的下降仍然有很大的空间. 在我

国制度变革和逐步开放的时期,正是持续不断的制度创新、管理进步、结构调整和技术进步并扩散推动了我国能源强度出现持续快速下降,这一下降趋势实际上反映了我国在经济体制、管理方法和技术水平等方面与世界逐步接轨融合的过程。以投入占用产出分析为基础,本文将能源强度变化影响因素分解为宏观因素(GDP 的增长、需求总量的变化)和微观因素(技术变动、结构调整),建立了我国单位 GDP 能耗的投入占用产出因素

分析模型,并基于我国现有的能源统计数据进行了分析。结果表明:过去十几年间我国能源强度下降的主要动力来自于宏观因素(以 GDP 的增长反映的制度创新、管理进步等其它因素)及部分微观因素(结构调整);但技术的变动为影响能耗变动的关键因素,其影响结果波动较大,对节能降耗的潜在影响最大,并在产业结构变动的影响效应持续降低的情况下,加强对技术水平的提高,将对实现我国节能降耗的目标起到关键作用。

参考文献:

- [1] 于渤,黎永亮,迟春洁. 考虑能源耗竭、污染治理的经济持续增长内生模型[J]. 管理科学学报, 2006, 9(4): 12—17.
Yu Bq, Li Yong-liang, Chi Chun-jie. Endogenous model with exhaustible energy, pollution abatement spending and sustainable growth induced[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(4): 12—17. (in Chinese)
- [2] Boyd G A, Pang J X. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity[J]. Energy Policy, 2000, (28): 289—296
- [3] Bernard J T, Cote B. The measurement of the energy intensity of manufacturing industries: A principal components analysis[J]. Energy Policy, 2005, (33): 221—233
- [4] M keta A. Analysis of energy intensity developments in manufacturing sectors in industrialized and developing countries[J]. Energy Policy, 2001, (29): 769—775
- [5] Fisher-Vanden K, Jefferson G H, Liu H M, et al. What is driving China's decline in energy intensity? [J]. Resource and Energy Economics, 2004, (26): 77—97.
- [6] Choi K H, Ang B W. Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: Ratio and difference[J]. Energy Economics, 2003, (25): 615—624
- [7] Schafe A R. Structural change in energy use[J]. Energy Policy, 2005, (33): 429—437.
- [8] Ma C B, Stem D I. China's changing energy intensity trend: A decomposition analysis[J]. Energy Economics, 2008, 30(3): 1037—1053
- [9] 郭菊娥,邢公奇,何建武. 黄河流域水资源空间利用结构的实证分析[J]. 管理科学学报, 2005, 8(6): 37—42
Guo Ju-e, Xing Gong-qij, He Jian-wu. Water spatial structural decomposition analysis based on Yellow River basin[J]. Journal of Management Sciences in China, 2005, 8(6): 37—42 (in Chinese)
- [10] 梁巧梅,魏一鸣,范英, Norio Okada 中国能源需求和能源强度预测的情景分析模型及其应用[J]. 管理学报, 2004, 1: 62—66
Liang Qiao-mei, Wei Yim-ing, Fan Ying. A model for scenario analysis of China's energy requirement and energy intensity and its applications[J]. Chinese Journal of Management, 2004, (1): 62—66 (in Chinese)
- [11] Piyush, Tiwari. An analysis of sectoral energy intensity in India[J]. Energy Policy, 2000, (28): 771—778
- [12] Alcántara V, Duarte R. Comparison of energy intensities in European Union countries: Results of a structural decomposition analysis[J]. Energy Policy, 2004, (32): 177—189
- [13] 史丹. 我国经济增长过程中能源效率的改进[J]. 经济研究, 2002, (9): 49—56
Shi Dan. The improvement of energy consumption efficiency in China's economic growth[J]. Economic Research Journal, 2002, (9): 49—56 (in Chinese)
- [14] 戴彦德,周伏秋,朱跃中,熊华文. 实现单位 GDP 能耗降低 20% 目标的途径和措施建议[J]. 中国工业经济, 2004, (4): 29—37.

- China's energy intensity of GDP by 20% to 2010[J]. *China Industrial Economy*, 2007, (4): 29—37. (in Chinese)
- [15] Ma H Y, Les O, John G, *et al*. China's energy economy: Technical change, factor demand and interfactor/interfuel substitution[J]. *Energy Economics*, 2008, 30(5): 2167—2183.
- [16] 王海建. 经济结构变动与能源需求的投入产出分析[J]. *统计研究*, 1999, (6): 30—34
Wang Haijian. An input-output analysis of economic structural changes and energy requirement[J]. *Statistical Research*, 1999, (6): 30—34. (in Chinese)
- [17] 王玉潜. 能源消耗强度变动的因素分析方法及其应用[J]. *数量经济技术经济研究*, 2003, (8): 151—154
Wang Yurqian. Energy intensity and factors decomposition analysis[J]. *Quantitative & Technical Economics*, 2003, (8): 151—154. (in Chinese)
- [18] Liu F L, Ang B W. Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry[J]. *Applied Energy*, 2003, (76): 15—23.
- [19] Pan H R. Dynamic and endogenous change of input-output structure with specific layers of technology[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2006, (17): 200—223.
- [20] 张晖明, 丁娟. 论技术进步、技术跨越对产业结构调整的影响[J]. *复旦学报(社会科学版)*, 2004, (3): 81—85
Zhang Huiming, Ding Juan. On the effect of technological progress and drastic technical advancement on the industrial structure adjustment[J]. *Fudan Journal(Social Sciences Edition)*, 2004, (3): 81—85. (in Chinese)
- [21] 史耀远. 中国经济结构变化的投入产出分析[J]. *系统工程理论与实践*, 1999, (10): 74—76
Shi Yaoyuan. Input-output analysis on Chinese economic structure change[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 1999, (10): 74—76. (in Chinese)
- [22] Han X L. Structural change and labor requirement of the Japanese economy[J]. *Economic System Research*, 1995, 7(1): 46—65.
- [23] Lin X N, Karen R P. Input-output anatomy of China's energy use changes in 1980s[J]. *Economic Systems Research*, 1995, 7(1): 67—84.

Input-occupancy-output factor analysis of energy use per unit of GDP in China

CHAI Jian, GUO Ju-e, XI Youmin

School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

Abstract Energy use per unit of GDP reflects energy efficiency in the process of production and consumption. The change of it has a strong correlation with consumption, technical advance and change of the economic structure. In this paper, we set up an input-occupancy-output factor analytical model of the energy use per unit of GDP in China. The data of the model is based on 30 sectors' energy input-occupancy-output table in 1992, 1997, 2002 and 2004, and this paper concluded that the total output value of national economy, the direct consumption technique of energy, the pattern of ultimate demand and the total of final demand were the affected factors. This model revealed the reason of the change in energy use per unit of GDP of our country from both the macro and micro perspective, and provided the gist of decision about the energy conservation.

Key words energy use per unit of GDP, factor analytical model, energy input-occupancy-output table