文章编号：1000-8608(2012)05-0641-07

中国能源消费特征分析——基于完全因素分解模型的实证研究

宁亚东*[1]， 丁 涛[1]， 外冈丰[2]

（1.大连理工大学 能源与动力学院，辽宁 大连 116024；
2.日本国立埼玉大学 经济学部，日本 埼玉 338-0875）

摘要： 采用完全因素分解模型，对1994～2009年中国产业部门和民生部门（居民生活消费）的能源消费特征进行了量化分析.将影响产业部门能源消费变化的因素分解为经济因素、结构因素和效率因素，将影响民生部门能源消费变化的因素分解为人口因素、经济因素和效用因素.实证研究结果表明，产业部门中经济因素是中国能源消费量持续增长的主要原因，效率因素缓解了能源消费量的增长趋势，结构因素没有实现减少能源消费的作用.民生部门的能源消费量正处在快速增长阶段，并且经济因素是民生部门能源消费量增加的主要原因.

关键词： 能源消费；完全因素分解；产业结构；能源强度

中图分类号： TE01 **文献标志码：** A

0 引 言

随着改革开放政策的不断深入，中国已经进入了工业化、城市化的快速发展阶段，能源的消耗强度高，消费规模不断扩大，供需矛盾越来越突出，对经济增长的约束作用越来越明显.中国的能源消费主要用于产业部门（包括物质生产部门和服务部门）和居民生活消费（民生部门）.居民生活消费并不直接参与国民经济价值的创造，在能源消费体系中相对独立，需要将其与产业部门分开进行单独分析.因此，选择合适的方法研究和探讨中国能源消费特征，找出影响中国产业部门和民生部门能源消费的主要因素，对研究中国节能效果、分析节能潜力和明确节能的重点与方向具有重要意义.

1871年Laspeyres提出了以基期价格为权重的指数分解方法，主要用来解决一些经济问题.到了20世纪70年代，由于石油危机的爆发，能源消费问题越来越受到关注，指数分解方法逐渐被应用到能源消费问题的研究中.1995年，Ang总结了51篇文献，搭建了一个Divisia指数参数分解模型框架，并将其应用于工业能源消费的分解[1].Liu等总结了8种能源强度的指数分解方法，其中常用的因素分解方法有Laspeyres和Divisia分解方法，但是两者均存在分解剩余项，属于不完全因素分解，而且Divisia分解方法还存在“0”值问题，使得对数运算无法进行[2].然而，在通常情况下，剩余项往往较大.1996年，Ang等提出了一种剩余项相对较小的因素分解模型[3].在1998年，Ang等又提出了一种使用对数平均权重函数的Divisia分解法，可以实现完全分解，并且可以解决计算中出现的“0”值问题[4].1998年，Sun提出了完全分解的Laspeyres方法，解决了Laspeyres指数分解方法中剩余项的问题，并对中国1980～1994年的能源消费量、能源效率以及节能量进行了分析，并在之后又对这种方法进行了完善[5～7].之后Sterner和Raggi等又分别针对Sun提出的“联合产生，平等贡献”的理论进行了相关研究[8,9].Ang等详细介绍了LMDI（log-mean divisia index）分解方法，该方法有效解决了分解中的剩余项问题，从而避免了参数估计的主观性和随意性[10,11].2001年其又提出了一种新的能源分解模型——LMDI Ⅰ方法，该方法不但可以完

收稿日期： 2011-10-05； **修回日期：** 2012-07-21.
基金项目： 教育部留学回国人员科学研究资助专项（2011年）；日本环境省地球环境综合推进费资助课题（E0809）.
作者简介： 宁亚东*（1966-），男，副教授，E-mail：ningyd@dlut.edu.cn.

全分解而且具有聚集一致性[12]. 国内对指数分解分析的研究在最近几年才开始,而且基本都属于应用性研究,从研究所采用的方法上来看,应用较为普遍的是 Laspeyres 和 Divisia 分解方法. 如韩智勇等将能源强度分解为结构份额和效率份额,对中国的能源强度进行了定量分析,并得出 1980～2000 年中国能源强度的降低主要源自各产业能源利用效率的提高的结论[13]. 吴巧生等运用 Laspeyres 指数分解模型对中国能源强度进行了分解,得出中国能源强度下降主要是各产业能源使用效率提高的结果,结构因素对能源消耗强度的影响要少得多,除了少数年份外,产业结构的调整对降低能源消耗强度的作用是负面的[14]. 齐志新等[15]应用 Laspeyres 指数分解模型,师博[16]应用 Refined Laspeyres 指数分解模型,对中国能源强度变动的主导效应也进行了研究,得出了相似的结论,即产业内部尤其是工业部门能源强度的下降是总能源强度显著改进的主要原因.

本文将中国的能源消费量划分为产业部门和民生部门,并利用完全因素分解模型对 1994～2009 年的相关数据进行分解,探讨影响中国产业部门和民生部门能源消费的主要因素及其影响效果.

1 分析模型

1.1 产业部门

根据因素分解模型的建模思路,本文将影响产业部门能源消费量的因素分解为以下 3 个因素:一是经济因素,即经济的规模效应对能源消费量的影响;二是结构因素,即产业结构变化对能源消费量的影响;三是效率因素,也称技术因素,即能源消费强度变化对能源消费量的影响. 模型如下:

$$E=\sum_{i=1}^{3}\left(G\times\frac{G_i}{G}\times\frac{E_i}{G_i}\right) \tag{1}$$

式中:E 为产业部门能源消费量,G 为国内生产总值(GDP),G_i 为各个产业的国内生产总值($i=1,2,3$),E_i 为各个产业的能源消费量. 这里,G 为经济因素,G_i/G 为结构因素,E_i/G_i 为效率因素.

这样,利用统计数据,可以将每年能源消费量的变化量分解到以上 3 个因素,如下所示:

$$\Delta E=\sum_{i=1}^{3}\left(\frac{E_i}{G_i}\times\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right)+\sum_{i=1}^{3}\left(\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times G\right)+\sum_{i=1}^{3}\left(\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\frac{G_i}{G}\times G\right)+\Delta r \tag{2}$$

式中:Δ 表示当期与基期的差值. 由于存在剩余项 Δr,模型分析结果误差较大. 为了提高模型分析精度,本文根据“联合产生,平等贡献”理论,对剩余项进行分解,即采用完全因素分解模型,表达式如下:

经济因素

$$G_{\mathrm{e}}=\sum_{i=1}^{3}\left(\frac{E_i}{G_i}\times\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right)+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3}\left(\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right)+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3}\left(\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right)+\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}\left(\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right) \tag{3}$$

结构因素

$$S_{\mathrm{e},i}=\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times G+\frac{1}{2}\left(\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times G\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right)+\frac{1}{3}\left(\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right) \tag{4}$$

效率因素

$$I_{\mathrm{e},i}=\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\frac{G_i}{G}\times G+\frac{1}{2}\left(\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times G\right)+\frac{1}{2}\left(\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right)+\frac{1}{3}\left(\Delta\frac{E_i}{G_i}\times\Delta\frac{G_i}{G}\times\Delta G\right) \tag{5}$$

在时间区间$(0,t)$内,令

$$\frac{E_i}{G_i}=I_i,\frac{G_i}{G}=S_i,I_i^t-I_i^0=\Delta I_i,S_i^t-S_i^0=\Delta S_i$$

可将式(3)～(5)进一步简化,得到

$$G_{\mathrm{e}}^t=\Delta G\sum_{i=1}^{3}I_i^0S_i^0+\frac{1}{2}\Delta G\sum_{i=1}^{3}\left(I_i^0\Delta S_i+S_i^0\Delta I_i\right)+\frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}\Delta G\Delta I_i\Delta S_i \tag{6}$$

$$S_{\mathrm{e},i}^t=G^0I_i^0\Delta S_i+\frac{1}{2}\Delta S_i\left(I_i^0\Delta G+G^0\Delta I_i\right)+\frac{1}{3}\Delta G\Delta I_i\Delta S_i \tag{7}$$

$$I_{\mathrm{e},i}^t=G^0S_i^0\Delta I_i+\frac{1}{2}\Delta I_i\left(S_i^0\Delta G+G^0\Delta S_i\right)+\frac{1}{3}\Delta G\Delta I_i\Delta S_i \tag{8}$$

则当期与基期的能源消费变化量可表示为

$$\Delta E = G_e^t + \sum_{i=1}^{3} I_{e,i}^t + \sum_{i=1}^{3} S_{e,i}^t \tag{9}$$

1.2　民生部门

由于中国城市和农村居民生活水平和生活方式存在很大差异，能源消费结构相差也非常大，应将城市和农村分开进行分析. 本文将影响民生部门能源消费量的因素分解为人口因素（人口数量变化对能源消费量的影响，用 P_e 表示）、经济因素（人均收入变化对能源消费量的影响，用 E_e 表示）和效用因素（单位收入能源消费量变化对能源消费量的影响，用 U_e 表示）. 模型如下：

$$E = P \times \frac{G}{P} \times \frac{E}{G} \tag{10}$$

式中：E 为民生部门能源消费总量；P 为人口；G 为居民收入（其中城市为可支配收入，农村为纯收入）. 这里，G/P 为经济因素，E/G 为效用因素.

同样，采用完全因素分解模型，将每年能源消费量的变化量分解到以上 3 个因素，表达式如下：

人口因素

$$P_e = \Delta P \times \frac{G}{P} \times \frac{E}{G} + \frac{1}{2}\left(\Delta P \times \Delta \frac{G}{P} \times \frac{E}{G}\right) + \frac{1}{2}\left(\Delta P \times \frac{G}{P} \times \Delta \frac{E}{G}\right) + \frac{1}{3}\left(\Delta P \times \Delta \frac{G}{P} \times \Delta \frac{E}{G}\right) \tag{11}$$

经济因素

$$E_e = P \times \Delta \frac{G}{P} \times \frac{E}{G} + \frac{1}{2}\left(\Delta P \times \Delta \frac{G}{P} \times \frac{E}{G}\right) + \frac{1}{2}\left(P \times \Delta \frac{G}{P} \times \Delta \frac{E}{G}\right) + \frac{1}{3}\left(\Delta P \times \Delta \frac{G}{P} \times \Delta \frac{E}{G}\right) \tag{12}$$

效用因素

$$U_e = P \times \frac{G}{P} \times \Delta \frac{E}{G} + \frac{1}{2}\left(\Delta P \times \frac{G}{P} \times \Delta \frac{E}{G}\right) + \frac{1}{2}\left(P \times \Delta \frac{G}{P} \times \Delta \frac{E}{G}\right) + \frac{1}{3}\left(\Delta P \times \Delta \frac{G}{P} \times \Delta \frac{E}{G}\right) \tag{13}$$

则当期与基期的民生部门能源消费变化量可表示为

$$\Delta E = P_e + E_e + U_e \tag{14}$$

2　数据来源

国内生产总值、人口数及人均收入等数据来源于《中国统计年鉴》，并采用最新的数据修正值（注：中国统计局几次修订有关数据），另外，考虑到变量之间的可比性，为了消除价格因素的影响，将国内生产总值和收入均按 2005 年可比价格进行了换算. 能源消费量数据来自《中国能源统计年鉴》，并以国家统计局最新的修正数据为准. 此外，居民生活能源消费量是指商品能源消费量，不包括农村消费的沼气、秸秆、薪柴等非商品能源消费量.

3　分析结果

3.1　产业部门

按照式(6)～(8)对 1994～2009 年中国产业部门能源消费数据进行完全因素分解，结果如表 1 所示，各影响因素的分析结果中，正值表示能源消费量增加，负值表示能源消费量减少. 另外，模型的计算值与理论值（各年能源消费量的差值）的误差都很小，均在 0.01% 以内，说明模型效果比较理想. 由表 1 可知，经济因素对能源消费量变化的贡献显著，即经济的规模效应是影响中国产业部门能源消费量增长的最主要因素，说明经济的快速增长对中国能源消费量增加的驱动效果明显. 效率因素起到了缓解能源消费量增长的作用，除 2003 和 2004 年外，都起到了节能的效果. 结构因素均为正值，说明近年来的产业结构变化拉动了能源消费量的增长，没有实现节能的效果.

经济因素及结构因素变化对能源消费量影响结果如表 2 所示，表中 $G_e/\Delta G$、$S_{e1}/\Delta S_1$、$S_{e2}/\Delta S_2$、$S_{e3}/\Delta S_3$ 分别代表国内生产总值及第一、二、三产业的产业结构比重每变化 1 个百分点能源消费量发生相应变化的数值，如 2009 年国内生产总值每增加 1 个百分点，能源消费量则增加 $2\ 548.0 \times 10^4$ tce，第一、二、三产业对应的数值分别为 630.3×10^4、$4\ 490.7 \times 10^4$、$1\ 000.9 \times 10^4$ tce，其中第二产业的数值远远高于第一、第三产业，分别是第一、三产业的 7.12 倍和 4.49 倍. 由表 2 还可以看出，在结构因素中，能源消费量的增加主要来自第二产业，说明我国第二产业比重的持续扩大是能源消费量增长的最直接原因，这也表明如果中国不改变过分依赖投资的经济增长方式和以第二产业（工业）为主的经济结构的话，能源消费量的快速增加趋势还将持续下去.

表1 影响产业部门能源消费变化的因素分解结果(1995～2009)

Tab.1 Decomposition results of industry energy consumption change (1995-2009)

年份	G_e/10^4 tce	S_e/10^4 tce	I_e/10^4 tce	ΔE		
				计算值/10^4 tce	理论值/10^4 tce	误差/%
1995	11 549.0	2 486.2	−5 927.9	8 107.3	8 107.3	0
1996	11 261.2	1 907.9	−8 080.1	5 088.9	5 088.9	0.000 2
1997	10 760.4	1 200.8	−11 249.0	712.2	712.2	−0.000 7
1998	9 159.1	1 068.3	−10 055.1	172.3	172.3	0.000 5
1999	9 062.0	586.9	−5 742.3	3 906.6	3 906.6	0.000 1
2000	10 334.6	1 056.3	−6 784.7	4 606.2	4 606.2	−0.000 1
2001	10 535.8	370.8	−6 600.8	4 305.8	4 305.8	0
2002	12 018.4	871.2	−4 843.8	8 045.8	8 045.8	0
2003	14 603.9	2 634.8	4 519.9	21 758.6	21 758.6	0
2004	17 004.9	1 208.9	8 446.6	26 660.4	26 660.4	0
2005	21 487.9	1 157.0	−2 641.2	20 003.7	20 003.6	0
2006	26 344.4	1 168.7	−7 293.1	20 219.9	20 219.9	0.000 1
2007	31 841.4	1 571.4	−14 629.9	18 782.9	18 782.9	−0.000 1
2008	23 433.5	512.3	−14 089.9	9 855.9	9 855.9	0.000 2
2009	23 219.8	1 454.1	−11 419.7	13 254.3	13 254.3	−0.000 1

表2 因素分解结果——经济因素及结构因素(1995～2009)

Tab.2 Decomposition results of economy and structure factor (1995-2009)

年份	G_e/10^4 tce	S_{e1}/10^4 tce	S_{e2}/10^4 tce	S_{e3}/10^4 tce	ΔG	ΔS_1	ΔS_2	ΔS_3	$G_e/\Delta G$	$S_{e1}/\Delta S_1$	$S_{e2}/\Delta S_2$	$S_{e3}/\Delta S_3$
1995	11 549.0	−270.0	2 829.9	−73.7	10.9	−1.1	1.3	−0.2	1 057.1	254.4	2 218.9	344.0
1996	11 261.2	−197.2	2 141.7	−36.6	10.0	−0.9	0.9	−0.1	1 125.2	231.5	2 276.6	410.4
1997	10 760.4	−198.3	1 150.6	248.5	9.3	−1.0	0.5	0.5	1 157.4	194.6	2 260.0	487.6
1998	9 159.1	−147.2	1 103.9	111.6	7.8	−0.7	0.5	0.2	1 169.2	203.8	2 241.3	485.6
1999	9 062.0	−171.7	466.9	291.8	7.6	−0.8	0.2	0.6	1 189.3	215.2	2 255.6	493.7
2000	10 334.6	−217.8	1 024.2	249.9	8.4	−0.9	0.4	0.5	1 225.7	233.5	2 311.3	510.6
2001	10 535.8	−207.1	201.1	376.8	8.3	−0.8	0.1	0.7	1 269.3	257.2	2 375.3	522.9
2002	12 018.4	−244.1	838.0	277.3	9.1	−0.9	0.3	0.5	1 323.3	285.8	2 473.9	538.2
2003	14 603.9	−326.1	3 056.0	−95.2	10.0	−1.0	1.1	−0.2	1 456.7	335.1	2 695.1	591.4
2004	17 004.9	−184.6	1 391.5	2.0	10.1	−0.5	0.5	0	1 686.2	404.6	3 069.8	685.9
2005	21 487.9	−327.9	1 214.9	270.0	11.3	−0.7	0.4	0.3	1 899.9	468.2	3 449.7	775.2
2006	26 344.4	−437.6	1 161.6	444.6	12.7	−0.8	0.3	0.5	2 078.2	525.7	3 773.5	847.7
2007	31 841.4	−601.4	1 575.7	597.2	14.2	−1.0	0.4	0.7	2 248.3	578.7	4 086.6	913.5
2008	23 433.5	−242.3	475.3	279.3	9.6	−0.4	0.1	0.3	2 432.2	603.0	4 316.3	957.6
2009	23 219.8	−283.6	1 656.6	81.1	9.1	−0.4	0.4	0.1	2 548.0	630.3	4 490.7	1 000.9

注:下标1代表第一产业,2代表第二产业,3代表第三产业;ΔS_i 表示各产业结构的变化率

能源消费强度变化对能源消费量的影响效果如表3所示,表中 $I_{e1}/\Delta I_1$、$I_{e2}/\Delta I_2$、$I_{e3}/\Delta I_3$ 分别代表第一、二、三产业的能源消费强度每变化1个百分点能源消费量发生相应变化的数值,同样可以看出,第二产业的数值也远远高于第一、三产业.即降低第二产业的比重和能源消费强度,节能效果远远高于第一、三产业.在效率因素中,多数年份的结果为负值,说明效率因素缓解了能源消费量的快速增长,起到了节能的效果.另外,由表2和3可知,结构因素每变化1个百分点的效果要高于效率因素每变化一个百分点的效果.但从以上分析结果可以看出,1995～2009年期间,我国的节能效果主要是通过效率因素实现的,结构调整非但没有实现节能,反而增加了能源消费,主要原因是中国第二产业比重的扩大.这也说明了结构调整的节能效果虽然明显,但并不易实现.

3.2 城市居民生活消费

按照式(10)～(12)对中国城市居民生活能源消费量进行完全因素分解,结果如表4所示.表中 $P_{e1}/\Delta P_1$、$U_{e1}/\Delta U_1$、$E_{e1}/\Delta E_1$ 分别代表人口因素、效用因素、经济因素每变化1个百分点城市居民生活能源消费量发生相应变化的数值,可以看出,

3 种因素对城市居民生活能源消费量的影响程度基本相当，1995～2009 年期间，中国城市居民生活能源消费量的减少主要体现在效用因素上，而人口因素和经济因素都推动了能源消费量的增加. 随着人民生活水平的提高，居民的生活质量和消费水平正处在一个快速变化期，特别是城市居民的消费结构正在形成逐步升级的变化态势，由温饱型向舒适型转变，住房面积的扩大、汽车拥有量的提高、家用电器的普及等，都将推动城市居民生活能源消费量的进一步扩大.

3.3　农村居民生活消费

同样，对中国农村居民生活能源消费量进行完全因素分解，结果如表 5 所示. 表中 $P_{e2}/\Delta P_2$、$U_{e2}/\Delta U_2$、$E_{e2}/\Delta E_2$ 分别代表人口因素、效用因素、经济因素每变化 1 个百分点农村居民生活能源消费量发生相应变化的数值，同样可以看出，3 种因素对农村居民生活能源消费量的影响程度也基本相当. 1995～2009 年期间农村居民生活能源消费量的减少主要体现在人口因素上，即农村人口的减少缓解了农村居民生活能源消费量的增加.

表 3　因素分解结果——效率因素(1995～2009)

Tab. 3　Decomposition results of efficiency factor (1995-2009)

年份	$I_{e1}/10^4$ tce	$I_{e2}/10^4$ tce	$I_{e3}/10^4$ tce	ΔI_1	ΔI_2	ΔI_3	$I_{e1}/\Delta I_1$	$I_{e2}/\Delta I_2$	$I_{e3}/\Delta I_3$
1995	120.1	−4 184.3	−1 863.7	2.3	−4.4	−13.6	52.5	955.5	136.9
1996	−2 061.2	−10 215.0	4 196.0	−36.4	−9.9	32.3	56.6	1 035.5	130.0
1997	−126.1	−9 383.6	−1 739.3	−3.4	−9.0	−9.2	37.6	1 040.4	189.7
1998	−138.3	−8 548.1	−1 368.6	−3.7	−8.2	−7.2	37.6	1 039.0	188.8
1999	−8.4	−4 989.0	−744.9	−0.2	−4.8	−3.9	37.4	1 035.2	190.8
2000	40.2	−5 889.3	−935.6	1.0	−5.5	−4.7	38.3	1 072.3	200.9
2001	88.4	−5 350.2	−1 339.0	2.2	−4.8	−6.4	39.7	1 104.5	210.8
2002	92.8	−4 018.0	−918.5	2.2	−3.5	−4.2	41.8	1 147.9	218.0
2003	506.1	2 908.6	1 105.2	11.5	2.4	4.8	43.9	1 233.6	229.8
2004	416.3	6 462.4	1 568.0	8.1	4.6	5.9	51.1	1 413.3	264.5
2005	71.0	−2 254.6	−457.5	1.2	−1.4	−1.5	58.5	1 650.4	311.7
2006	−43.6	−6 108.0	−1 141.5	−0.7	−3.3	−3.3	62.3	1 836.4	347.8
2007	−334.8	−11 682.1	−2 613.0	−5.2	−5.8	−6.7	64.6	2 029.0	387.3
2008	−536.9	−11 243.2	−2 309.7	−8.4	−5.2	−5.7	64.0	2 147.7	408.2
2009	−13.4	−10 068.0	−1 338.3	−0.2	−4.5	−3.2	61.4	2 236.9	423.1

注：下标 1 代表第一产业，2 代表第二产业，3 代表第三产业；ΔI_i 表示各产业能源强度的变化率

表 4　城市居民生活能源消费变化的因素分解结果(1995～2009)

Tab. 4　Decomposition results of urban household energy consumption (1995-2009)

年份	$P_{e1}/10^4$ tce	$U_{e1}/10^4$ tce	$E_{e1}/10^4$ tce	ΔP_1	ΔU_1	ΔE_1	$P_{e1}/\Delta P_1$	$U_{e1}/\Delta U_1$	$E_{e1}/\Delta E_1$	ΔE 计算值/10^4 tce	ΔE 实际值/10^4 tce	ΔE 误差/%
1995	238.1	−248.0	390.8	2.94	−2.97	4.88	81.0	83.4	80.1	381.0	381.2	−0.060
1996	501.2	−596.7	325.2	6.06	−6.75	3.89	82.8	88.3	83.6	229.8	230.5	−0.284
1997	484.4	−734.2	291.1	5.75	−8.14	3.42	84.2	90.3	85.2	41.2	40.1	2.664
1998	466.5	−820.2	491.3	5.47	−8.92	5.77	85.2	91.9	85.1	137.6	139.1	−1.123
1999	449.9	−962.5	797.7	5.14	−10.17	9.31	87.5	94.6	85.7	285.1	285.4	−0.092
2000	445.6	−726.4	575.9	4.93	−7.54	6.41	90.3	96.3	89.9	295.1	294.0	0.371
2001	440.0	−873.7	780.7	4.70	−8.73	8.50	93.6	100.1	91.9	347.1	346.2	0.263
2002	439.4	−1 128.0	1 263.5	4.47	−10.60	13.41	98.3	106.4	94.2	574.9	576.5	−0.288
2003	467.8	148.7	954.8	4.31	1.35	9.00	108.5	110.2	106.2	1 571.3	1 570.9	0.027
2004	456.5	389.0	945.8	3.64	3.09	7.70	125.4	126.0	122.9	1 791.3	1 790.6	0.041
2005	507.3	−122.0	1 330.7	3.55	−0.85	9.60	142.7	143.2	138.6	1 716.0	1 713.5	0.143
2006	425.3	−390.0	1 607.0	2.66	−2.37	10.42	160.0	164.7	154.2	1 642.3	1 642.7	−0.022
2007	515.2	−604.7	2 072.8	2.90	−3.28	12.20	177.7	184.4	170.0	1 983.3	1 986.7	−0.171
2008	414.9	−1 382.4	1 557.7	2.17	−6.89	8.40	191.3	200.7	185.5	590.2	593.6	−0.575
2009	498.0	−1 353.0	1 877.1	2.50	−6.53	9.77	198.9	207.2	192.1	1 022.1	1 014.3	0.774

注：Δ 表示各影响因素的变化率，下同

表 5 农村居民生活能源消费变化的因素分解结果(1995～2009)

Tab. 5 Decomposition results of rural household energy consumption (1995-2009)

年份	P_{e2}/ 10^4 tce	U_{e2}/ 10^4 tce	E_{e2}/ 10^4 tce	ΔP_2	ΔU_2	ΔE_2	$P_{e2}/\Delta P_2$	$U_{e2}/\Delta U_2$	$E_{e2}/\Delta E_2$	ΔE 计算值/10^4 tce	ΔE 实际值/10^4 tce	ΔE 误差/%
1995	22.8	−453.3	378.13	0.31	−5.97	5.30	73.6	76.0	71.4	−52.3	−49.9	4.694
1996	−67.6	−1 813.1	579.4	−1.00	−23.78	8.99	67.4	76.3	64.4	−1 301.3	−1 303.0	−0.134
1997	−64.6	−241.5	270.2	−1.07	−3.92	4.59	60.5	61.6	58.8	−35.9	−35.2	1.974
1998	−73.2	−216.2	251.9	−1.22	−3.53	4.30	60.2	61.2	58.6	−37.5	−36.4	2.864
1999	−81.8	48.0	227.7	−1.34	0.79	3.81	61.0	60.6	59.7	193.9	192.9	0.485
2000	−91.3	26.4	126.6	−1.46	0.41	2.09	62.3	65.2	60.5	61.7	61.8	−0.170
2001	−100.6	61.9	260.9	−1.58	1.00	4.20	63.8	61.7	62.1	222.2	223.0	−0.349
2002	−111.3	203.6	311.4	−1.66	3.10	4.80	67.0	65.8	64.8	403.6	402.8	0.196
2003	−131.9	852.1	311.4	−1.78	12.32	4.30	74.3	69.2	72.4	1 031.6	1 031.3	0.030
2004	−127.4	785.4	556.9	−1.49	9.70	6.79	85.4	81.0	82.0	1 214.9	1 213.2	0.140
2005	−146.9	398.8	571.2	−1.53	4.28	6.21	95.8	93.1	92.0	823.1	823.5	−0.043
2006	−111.7	192.7	737.0	−1.08	1.88	7.40	103.8	102.4	99.6	818.0	817.1	0.114
2007	−152.6	193.1	1 021.1	−1.35	1.73	9.50	113.4	111.4	107.5	1 061.6	1 062.0	−0.035
2008	−102.2	−334.5	926.0	−0.85	−2.73	8.00	121.0	122.5	115.7	489.2	490.8	−0.335
2009	−150.6	40.2	1 038.4	−1.17	0.32	8.50	128.3	124.0	122.2	928.0	930.3	−0.243

另外,个别年份的效用因素也起到了降低能源消费量的作用.而经济因素则是农村居民生活能源消费量增加的主要因素,并且有逐步扩大的趋势.随着农村生活水平的提高,人均收入不断增加,住宅面积和居住条件不断得到改善,非商品能源(秸秆、薪柴和沼气等)的消费量将会大幅减少,取而代之的煤炭、LPG 等商品能源的消费量将不断增加;还有各种家用电器的普及率也不断提高,电力的消费量也在不断扩大.今后中国农村居民生活能源消费量还将进一步扩大.

4 结 论

(1)产业部门中的经济因素对能源消费量变化的贡献显著,即经济的规模效应是影响中国能源消费量增长的最主要因素.

(2)降低第二产业的比重和能源消费强度,节能效果远远高于第一、三产业.从效率因素和结构因素的节能效果上看,结构因素高于效率因素,但在 1995～2009 年期间,中国的节能效果主要是通过效率因素实现的,结构因素非但没有实现节能,反而增加了能源消费量,主要原因是中国第二产业比重的扩大.

(3)民生部门的能源消费量正处在快速增长阶段,不论城市还是农村,经济因素是民生部门能源消费量增加的主要因素.生活水平的提高、人均收入的增加、住宅条件的改善、家用电器的普及等因素都将推动中国民生部门能源消费量的快速增长.因此,引导消费者选择可持续的生活方式和理念非常重要.

(4)从模型分析的结果可以看出,要想控制中国能源消费量的快速增长,转变经济增长方式是重要途径,同时结构因素和效率因素也都具有较好的节能效果,而且结构因素的节能效果要高于效率因素的节能效果,结构调整将成为中国未来节能的关键.

参考文献:

[1] Ang B W. Decomposition methodology in industrial energy demand analysis [J]. **Energy**, 1995, **20**(11): 1081-1095.

[2] LIU F L, Ang B W. Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry [J]. **Applied Energy**, 2003, **76**(2): 251-258.

[3] Ang B W, Lee P W. Decomposition of industrial energy consumption: The energy coefficient approach [J]. **Energy Economics**, 1996, **18**(1-2): 129-143.

[4] Ang B W, ZHANG F Q, Choi K. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition [J]. **Energy**, 1998, **23**(6): 489-495.

[5] SUN J W. Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model [J]. **Energy Economics**, 1998, **20**(1): 85-100.

[6] SUN J W. Accounting for energy use in China, 1980-94 [J]. **Energy**, 1998, **23**(10): 835-849.

[7] SUN J W, Ang B W. Some properties of an exact energy decomposition model [J]. **Energy**, 2000, **25**(12):1177-1188.

[8] Sterner T. Structural change and technology choice: energy use in Mexican manufacturing industry, 1970-1981 [J]. **Energy Economics**, 1985, **7**(2):77-86.

[9] Raggi A, Barbiroli G. Factors influencing changes in energy consumption: the case of Italy, 1975-85 [J]. **Energy Economics**, 1992, **14**(1):49-56.

[10] Ang B W, Pandiyan G. Decomposition of energy-induced CO_2 emissions in manufacturing [J]. **Energy Economics**, 1997, **19**(3):363-374.

[11] Ang B W, ZHANG F Q. Inter-regional comparisons of energy-related CO_2 emissions using the decomposition technique [J]. **Energy**, 1999, **24**(4): 297-305.

[12] Ang B W, LIU F L. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation [J]. **Energy**, 2001, **26**(6):537-548.

[13] 韩智勇,魏一鸣,范　英. 中国能源强度与经济结构变化特征分析[J]. 数理统计与管理, 2004, **23**(1): 1-7.
HAN Zhi-yong, WEI Yi-ming, FAN Ying. Research on change features of Chinese energy intensity and economic structure [J]. **Applications of Statistics and Management**, 2004, **23**(1): 1-7. (in Chinese)

[14] 吴巧生,成金华. 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[J]. 财经研究, 2006, **32**(6):75-85.
WU Qiao-sheng, CHENG Jin-hua. Change in energy consumption intensity and the main factors during the process of China's industrialization - an empirical analysis based on the decomposition model [J]. **Journal of Finance and Economics**, 2006, **32**(6):75-85. (in Chinese)

[15] 齐志新, 陈文颖. 结构调整还是技术进步——改革开放后中国能源效率提高的因素分析[J]. 上海经济研究, 2006(6):8-16.
QI Zhi-xin, CHEN Wen-ying. Structural adjustment or technological progress - factor analysis of China's energy efficiency after the reform and opening up [J]. **Shanghai Economic Review**, 2006(6):8-16. (in Chinese)

[16] 师　博. 中国能源强度变动的主导效应分析——一项基于指数分解模型的实证研究[J]. 山西财经大学学报, 2007, **29**(12):24-28.
SHI Bo. Analysis of the dominant effect of China's energy change - An empirical research based on the index decomposition model [J]. **Journal of Shanxi Finance and Economics University**, 2007, **29**(12):24-28. (in Chinese)

Feature analysis of Chinese energy consumption — empirical study based on complete decomposition model

NING Ya-dong*[1], DING Tao[1], Tonooka Yutaka[2]

(1. School of Energy and Power Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. Faculty of Economics, Saitama University, Saitama, 338-0875, Japan)

Abstract: Based on the complete decomposition model, a quantitative analysis is conducted on the characteristics of energy consumption of China's industry and household departments from 1994 to 2009. The effects on the energy consumption changes of industry departments are decomposed into economy factor, structure factor and efficiency factor. The effects on the energy consumption changes of household departments are decomposed into population factor, economy factor and efficiency factor. The results of the empirical study show that the economy factor is the most important one, which influences China's ever-increasing energy consumption. In the other hand, the efficiency factor decreases the growth tendency of energy consumption. However, the structure factor doesn't reduce the energy consumption significantly. The energy consumption of household departments is in rapid increase stage. The economy factor is the main aspect of the increasing energy consumption in household departments.

Key words: energy consumption; complete decomposition; industrial structure; energy intensity