文章编号：1006-4710(2012)04-0494-06

中国能源消耗与废气排放关系研究

孙赵勇[1,2]，史耀波[1]，于睿[1]

(1.西安理工大学 经济与管理学院，陕西 西安 710054；2.西北大学 经济管理学院，陕西 西安 710127)

摘要：采用 LMDI 法分析了影响我国能源消耗量和二氧化碳排放的因素，结果显示工业产出效应是导致我国能源消耗量和二氧化碳排放增长的主要因素，工业结构调整没有明显影响能源消耗量的变化；节能技术的应用大大降低了能源的消耗，但环保技术没有广泛使用，产业在区域的调整并未使得二氧化碳的排放得以降低；基于向量误差修正模型研究了工业产出、能源消耗、废气排放之间的关系；研究显示废气排放量增长率呈现波动特点的多少主要由生产过程中的能源决定，能源的消耗量具有一定的稳定性。

关键词：能源强度；废气排放；对数平均指数法；向量误差修正模型

中图分类号：F426　　**文献标志码**：A

Research on the Relationship Between Energy Consumption and Exhaust Gas Emission in China

SUN Zhaoyong[1,2], SHI Yaobo[1], YU Rui[1]

(1. Faculty of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China;
2. School of Economics and Management, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: LMDI method is adopted in this paper to analyze the factors affecting energy consumption and CO_2 emissions in our county. The results indicate that industrial output effects are the main factors leading to the growth in energy consumption and CO_2 emissions in our country, while the industrial structure adjustment cannot obviously affect the changes in energy consumption; the application of energy-saving technology had greatly reduced energy consumption, but the environmental protection technology cannot be widely used so that industry in the regional adjustment cannot decrease CO_2 emissions. Accordingly, based on vector error correction model, the relationships among industrial output, energy consumption and exhaust gas emissions are studied in this paper. Accordingly, research results have supported the above conclusions. The growth rate in exhaust gas emissions appears to have the fluctuating characteristics determined by the energy in production process so that energy consumption is of a certain stability.

Key words: energy intensity; exhaust gas emission; LMDI; VECM

2002—2010 年我国工业获得较快地增长，同时能源需求量和废气排放量也大幅增加，能源消耗量翻了一番，废气排放增加了二倍。中国资源并不丰富且生态环境较为脆弱，传统的粗放型增长模式难以为继，中国经济的可持续增长难以回避能源和环境问题。国家“十二五规划”明确提出，到 2015 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2010 年下降 17%，单位国内生产总值消耗比 2010 年下降 16%。我国中央经济工作会议提出了 2011 年二氧化碳排放强度要比 2010 年下降 3.5% 左右的目标要求。要减少能源消耗和废气等污染物的排放，必须从整体上分析能源消耗增加和废气等污染物排放增加的

收稿日期：2012-06-20

基金项目：陕西省软科学研究基金资助项目(2011KRM02，2010KRZ04)；西安市软科学研究基金资助项目(HJ1104-1)；陕西省青年科技新星基金资助项目(2012KJXX-36)；中国博士后第 51 批基金面上项目(2012M512018)；西安理工大学博士基金资助项目(107-210916，107-211001)。

作者简介：孙赵勇(1978-)，男，山西绛县人，讲师，研究方向为技术创新、资源环境与经济增长。E-mail：dakuamao@126.com。

原因,并研究工业产出、能源消耗及废气排放三者之间的关系,寻求减少能耗与废气等污染物排放的增长模式。

工业是三次产业中能耗最多的产业,影响工业能源消耗和碳排放因素的研究多采用因素分解法。吴巧生、成金华(2006)运用拉氏指数及其分解模型对中国能源消耗强度进行分解,认为中国能源消耗强度下降主要是各产业能源使用效率提高的结果。工业二氧化碳排放总量的影响因素可以分解为人口、经济发展因素、能源消费结构(工业结构)、能源强度以及二氧化碳排放系数。改革开放 30 年来中国能源消耗量不断攀升,而 GDP 能源消耗强度却呈下降态势。产业结构变动对能源消耗量贡献不明显,大多数研究认同效率份额对能源消耗强度的下降起主要作用。现有研究主要是采用 PDM2、拉氏指数等方法分解能源强度,研究影响能源强度变化的原因,采用加和法分解二氧化碳排放的变化,以探寻二氧化碳排放变化的原因。

本研究改变传统分解能源强度的方法,采用对数平均指数法(LMDI)分行业研究我国能源消耗量增加的原因。将能源强度、工业结构、节能技术纳入影响能源消费变化影响因素的分析框架。采用分行业、分地区数据研究我国二氧化碳排放增加的主要原因,较为直观地观察到产业地区间转移、环保技术对二氧化碳排放的影响。由于能源消耗量、废气排放量与工业产出值三者之间有很强的关联性,视能源消耗、废气排放和工业产出为一个系统,使用 VECM 模型分析三者短期冲击与长期均衡的关系。

1 能源消耗的影响因素分析

1.1 研究方法设计

对能源消费的变化量进行指标分解是研究能源消耗影响因素的主要研究方法。目前指标分解法主要有 Laspeyres 指数法和 Divisia 指数法两种。Divisia 算法可以分为算术平均值指数法(AMDI)和对数平均值指数法(LMDI)。Laspeyres 指数法与 AMDI 指数法均存在不能分解的剩余项,LMDI 指数法消除了剩余项,是目前较好的因素分解法,被广泛用于分析影响指标变化的原因。因为制造业是能源消耗和二氧化碳等污染物排放最多的部门,本研究应用该方法来实证检验影响中国制造业能源消耗量和碳排放量增大的主要因素,考察我国工业结构的调整及该调整是否降低了能源消耗,以及产业的区域调整是否改善了二氧化碳的排放。

工业产出、能源利用效率及工业结构是影响能源消耗量的主要因素。本研究使用 LMDI 指数法,借鉴 Ang B W (2005)的方法,采用加和分解和乘数分解两种方法,将影响能源消耗量变化的因素归结为生产效应、行业结构效应、能源强度三种效应。

能源消耗总量 E 为制造业各部门的能源消耗量(E_i) 之和,即:

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Y \frac{Y_i}{Y} \frac{E_i}{Y_i} \tag{1}$$

Y 为工业总产值,Y_i 为制造业各部门的产值。$S_i = \frac{Y_i}{Y}$ 为制造业部门 k 的产出在制造业总产出中所占的比例,$I_i = \frac{E_i}{Y_i}$ 为制造业部门 i 的生产的能源强度,是反映能源利用强度的重要指标;能源消耗总量分解为制造业总产值、制造业各部门所占比重与各部门能源强度乘积的和,为:

$$E = \sum_i YS_iI_i \tag{2}$$

基期能源消耗量为 E_0,T 期能源消耗量为 E_T,则制造业能源消耗总量变化为 $\Delta E_{tot} = E_T - E_0$。

基于(2) 式进一步将能源消耗变化量分解为生产效应(ΔE_{act})、行业结构效应(ΔE_{act})、能源强度效应(ΔE_I) 之和,即:

$$\Delta E_{tot} = E_T - E_0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_I \tag{3}$$

其中, ΔE_{act}、ΔE_{str}、ΔE_I 分别为各部门产值、产值百分比、能源强度变化所引起能源消费量的变化,即:

$$\Delta E_x = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln\left(\frac{X_{ij}^Y}{X_{ij}^0}\right) \tag{4}$$

(4) 式中,ΔE_x 中下标 x 取值为 act、str、I,它们分别表示生产效应、行业结构效应和能源强度效应,X_{ij} 表示 i 部门产值、产值百分比和能源强度的取值。

基期能源消耗量与 T 期能源消耗量的比值为 $D_{tot} = \frac{E^T}{E^0}$,将其分解为产出效应($D_{act}$)、行业结构效应($D_{str}$) 和能源强度效应($D_I$) 的乘积,即:

$$D_{tot} = \frac{E^T}{E^0} = D_{act} \times D_{str} \times D_I \tag{5}$$

(3) 式和(5) 式中的下标 tot、act、str、I 分别表示总体、生产效应、行业结构效应和能源强度效应。

$$D_x = \exp\left(\sum_j \frac{(E_j^T - E_j^0)/(\ln E_j^T - \ln E_j^0)}{(E^T - E^0)/(\ln E^T - \ln E^0)} \ln\left(\frac{X_{ij}^T}{X_{ij}^0}\right)\right) \tag{6}$$

式中,下标 x 取值为 act、str、I,表示生产效应、行业结构效应和能源强度效应,X_{ij} 表示 i 部门产值、产值百分比和能源强度的取值。根据公式(4)、(6) 可以分

别计算出工业生产、工业结构及能源强度对能源消耗的影响。

1.2 数据来源与分解结果

笔者对2000—2005年及2005—2010年间,制造业29个部门能源消耗的变化量进行LMDI指数乘数和加法分解。各部门的工业产值使用大中型企业的工业生产总值作为替代变量,数据均来源于《中国能源统计年鉴》,能源消耗变化的分解结果见表1和表2。

表1 中国能源消费乘积分解

Tab.1 The multiplication decomposition of energy consumption of China

统计年份	乘积分解			
	D_{tot}	D_{act}	D_{stur}	D_I
2000—2005	1.697 9	3.773	1.017	0.442
2005—2010	1.374 5	2.584	1.016	0.523

表2 中国能源消费加和分解

Tab.2 The additive decomposition of China energy consumption

统计年份	加和分解			
	ΔE_{tot}	ΔE_{act}	ΔE_{stur}	ΔE_I
2000—2005	56 368.4	141 370.7	1 767.5	-86 804.7
2005—2010	51 357.5	153 245.2	2 541.3	-104 472

由表1和表2可见,中国2005年能源消耗量比2000年增加了56 368.4万吨标准煤,增加量为69.79%;2005至2010年间,中国能源消耗量增加了51 357.5万吨标准煤,增幅为37.45%。LMDI分解结果显示,产出效应是中国能源消耗量大幅增加的主要原因,结构效应没有明显影响,能源消耗强度效应对能源消耗的负向影响明显。反映出中国制造业能源利用效率有所提高,我国工业结构的变化并没有对能源消耗量产生较大影响。

中国工业的能源利用效率虽有了较大提高,但产业结构并没有做出相应调整,工业总产值提高的同时很难降低能源消耗量。中国工业的发展若要降低对能源消耗的过度依赖,在注重发展节能生产技术的同时,必须鼓励我国产业结构的升级,限制高耗能产业的发展。

2 二氧化碳排放影响因素分解

2.1 分解方法设计

本研究将二氧化碳的排放量增加因素归结为工业生产效应、区域结构效应、能源强度效应,用于估计分省的二氧化碳排放,并分析影响二氧化碳排放的因素。二氧化碳排放为各地区二氧化碳排放之和,即:

$$Q = \sum_i Q_i = \sum_i Y \frac{Y_i}{Y} \frac{Q_i}{Y_i} = \sum_i YS_iU_i \quad (7)$$

式中,Q为二氧化碳排放量,下标i表示各地区,S表示各地区产值在全国所占的比重,U为各地区二氧化碳排放量与该地区产值的比重。

二氧化碳排放量增加量的LMDI指数乘积分解为:

$$D_{tot} = \frac{Q^T}{Q^0} = D_{act} \times D_{str} \times D_U \quad (8)$$

二氧化碳排放量增加量的LMDI指数加和分解为:

$$\Delta Q_{tot} = Q_T - Q_0 = \Delta Q_{act} + \Delta Q_{str} + \Delta Q_U \quad (9)$$

(8)、(9)式中的下标tot、act、str、u分别表示总体、生产效应、区域结构效应、碳排放强度效应。二氧化碳排放LMDI指数的分解计算方法可以参考(4)式和(6)式,结果见表3和表4。

表3 中国CO_2排放总量的乘积分解

Tab.3 The additive decomposition of China CO_2 emissions

年份	D_{tot}	D_{act}	D_{stur}	D_u
2005—2007	1.192 7	1.177 6	1.000 6	1.012 9

表4 中国二氧化碳排放总量的加和分解

Tab.4 The additive decomposition of China CO_2 emissions

年份	ΔQ_{tot}	ΔQ_{act}	ΔQ_{stur}	ΔQ_u
2005—2007	10.94	10.109 6	0.034 5	0.794 9

2.2 数据来源与分解结果

本研究对我国北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、广西、海南、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆,这29个省市二氧化碳排放量的变化量进行LMDI指数乘数和加法分解。各部门的工业产值使用各地区的国民生产总值(单位:亿元)作为替代变量,数据来源于《中国能源统计年鉴》。我国没有二氧化碳排放量的相关数据,杜立民(2010)根据《在中国能源统计年鉴》上历年的能源平衡表及各类排放源二氧化碳排放量系数,较为精确地估算了我国29个省市1995—2007年二氧化碳的排放量(单位:亿吨),本研究的二氧化碳排放量采用该文的测算结果。

从表3和表4可以看出从2005—2007年间,二氧化碳排放量上升了19.27%,绝对值增加了1 094亿吨。LMDI指数分解结果显示,生产效应导致二氧化碳排放量上升17.76%,工业产出规模的扩大是我国二氧化碳排放量增加的主要因素。产业区域结构效应接近于零,产业在区域间的调整对二氧化

碳的排放量没有产生较大影响。二氧化碳排放强度为正效应,因此可知低碳技术并没有在各地区进行推广。

3 能源消耗、废气排放与工业产值关系的检验

向量误差修正模型(VECM)由非结构的多方程组成,多用于构建的多个时间序列变量的相互作用系统,用于分析具有共同变化趋势的变量之间的关系及随机扰动对该系统的影响。

通过前述分析可知,工业产出效应是二氧化碳排放和能源消耗的主要因素。工业产值的上升,往往伴随着能源消耗量和废气排放量的增加,三变量在当期应为正向关系。能源消耗是工业生产的投入,能源消费在一定程度上决定了工业总产值和废气排放量的大小。工业环保技术和能源技术短期内不会发生较大变化,三变量之间的关系在短期具有一定的稳定性。可以通过构建 VECM 系统实证检验能源消耗量、废气排放、工业产出值三变量之间的动态关系,分析中国当前废气排放与工业产出和能源消耗量的短期冲击和长期均衡机制,进而为我国减排政策提供经验支持。

3.1 数据处理

工业总产出值和废气排放总量均呈现出递增趋势,对其取对数后仍表现出非平稳性特征。能源消耗总量增长率均大于零,说明我国能源消耗总量一直呈现递增趋势,增长率表现出一定的波动性。采用 PP 法对能源消费总量增长率(GE)、废气排放总量对数($\ln G$)、真实的工业总产出值增长率($\ln Y$)做单位根检验,工业废气排放总量(单位:亿标立方米)、工业总产值(单位:亿元)、能源消费总量(单位:万吨标准煤)为 1985—2010 年度的时间序列数据,数据均来自《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。工业总产值以 1978 年的不变价格调整为实际值。由检验结果可知三个时间序列均是非平稳的,一阶差分后在 10% 的显著水平下为平稳的时间序列(见表 5)。从表 5 可知,能源消费总量增长率(GE)、废气排放总量对数($\ln G$)、真实的工业总产出值增长率($\ln Y$)三序列均为一阶单整,可以进一步检验其协整关系。

表 5 $\ln G$ $\ln Y$ GE 序列的 PP 检验结果

Tab. 5 PP test result of $\ln G$ $\ln Y$ GE series

变量	PP 统计量	概率值	结论	变量	PP 统计量	概率值	结论
$\ln G$	2.576	1.000	不平稳	$\Delta\ln G$	-5.442***	0.002	平稳
$\ln Y$	1.172	0.997	不平稳	$\Delta\ln Y$	-2.650*	0.097	平稳
GE	-2.271	0.189	不平稳	ΔGE	-4.152***	0.004	平稳

注:* 表示在 10% 的水平下显著;*** 表示在 1% 的水平下显著。

3.2 协整检验

首先三个变量做 VAR 回归,并判断模型的最优滞后期(见表 6)。结果表明,在选择滞后期为 2 时,LR 统计量、FPE 统计量和赤池(AIC)信息准则通过检验,故选择最佳滞后期为 $k=2$,建立滞后 2 期的 VEC 模型。

表 6 滞后阶数判断结果

Tab. 6 Lag order judge result

滞后期	log$L$	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	26.473 93	NA	2.61e-05	-2.041 211	-1.893 103	-2.003 962
1	113.124 6	143.162 0*	3.08e-08	-8.793 447	-8.201 015*	-8.644 452
2	124.532 5	15.8718 7	2.62e-08*	-9.002 830*	-7.966 074	-8.742 089*

注:* 表示在 10% 的水平下显著。

选择不包含截距和趋势项且滞后期选择为 2 期的协整方程,进行 Johansen 协整检验。结果表明,迹检验与最大特征根检验均表明在 5% 显著性水平下有 1 个协整关系(见表 7),协整方程为:

$$\ln G_t = 36.225\ 6GE_t + 1.399\ 5\ln Y_t$$

在长期内废气排放与能源消耗及工业产出值存在均衡关系;能源消耗率增加 1%,废气排放增长 36.6%,工业产出值增加 1%,废气排放增加 1.4%。该结果表明我国单位工业产出值的废气排放呈现出增长的态势,能源消耗率的较少增长会导致废气排放的大幅增加,我国长期依赖能源消耗的增长模式不具备可持续性。

表7 Johansen协整检验结果

Tab. 7 Result of Johansen cointegration test

原假设	特征值	迹统计量	最大特征根统计量
至少0个协整向量	0.541 702	28.597 72*	17.945 41*
至少1个协整向量	0.295 908	10.652 31	8.069 476
至少2个协整向量	0.106 221	2.582 834	2.582 834

*表示0.05显著性水平下拒绝原假设

3.3 向量误差修正模型

能源消费总量增长率(GE)、废气排放总量对数($\ln G$)、真实的工业总产出值增长率($\ln Y$)均是具有协整关系的非平稳时间序列,可以建立VEC模型研究三个变量之间的短期关系。使用EVIEWS6.0估计VEC模型参数,其矩阵表达式为:

$$\nabla \boldsymbol{Z}_t = \begin{bmatrix} -0.308\ 3 & -0.290\ 9 & -0.175\ 8 \\ 0.087\ 8 & 0.210\ 2 & 0.100\ 5 \\ 0.083\ 1 & 0.227\ 8 & 0.720\ 4 \end{bmatrix} \times \nabla \boldsymbol{Z}_{t-1} + \begin{bmatrix} -0.387\ 1 \\ 0.007\ 3 \\ -0.005\ 8 \end{bmatrix} \times \boldsymbol{vecm}_{t-1} \tag{10}$$

其中,$\boldsymbol{Z}_t = [\ln G_t \quad GE_t \quad \ln Y_t]$;$\boldsymbol{vecm}_t = [1 \quad -36.225\ 6 \quad -1.399\ 5] \times \boldsymbol{Z}_t$

模型整体的相关检验,log likelihood值为26.46;AIC值为-1.95;SC值为-1.76,表明VEC模型整体效果较好。图1为废气排放$\ln G$的静态模拟结果,可以看出模型对历史数据的拟合效果不错,该模型可以用于废气排放的短期预测。

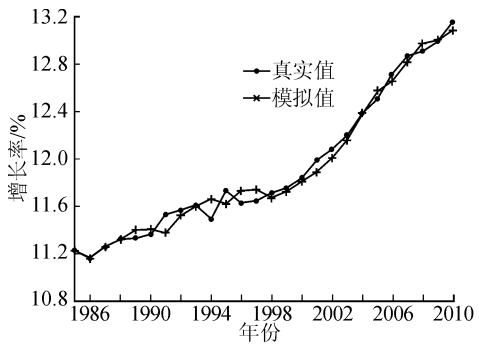

图1 VECM静态预测图

Fig. 1 Static forecast of VECM

由图1可见,样本期内工业总产出值、废气排放量、能源消耗量的下降,都会导致下一期废气排放量的反弹。在一定程度上反映在很长的时期内,工业技术结构并没有变化,废气排放呈现出波动特征。废气排放误差修正项的系数为-0.387,如果偏离长期均衡,短期内将以-0.387的力度向均衡值调整。工业产出量本期上升1%,导致下一期产出上升0.72%,下一期的能源消耗增长率为0.1%。

图2是基于VEC模型的工业总产出与能源总消耗对废气排放的脉冲响应函数图。由图2可见,能源消耗对废气排放的影响较为持久且远大于工业总产出的影响,说明依赖能源消耗的增长模式很难在短期内改变。工业总产出和能源消耗冲击的响应在初期均为零,能源消耗的冲击在第二期之后开始逐步增大,工业总产出的冲击在第四期才开始有较大影响,且逐步攀升。工业产出增加对第二期废气排放是负向,反映出了我国产能过剩的经济现实。由于市场规模的限制,当期工业产出上升会对下期工业产出产生负向影响,导致下一期废气排放降低。但长期来看,我国技术结构并没有变化,废气排放在长期仍呈增长趋势。

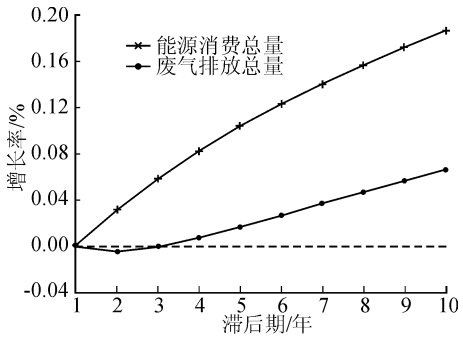

图2 工业总产出与能源总消耗冲击的废气排放响应

Fig. 2 Impulse responses of industry output and energy consum to emission

4 结论与启示

本研究改变传统分解能源强度的方法,采用对数平均指数法(LMDI),分行业研究我国能源消耗量增加原因,将能源强度、工业结构、节能技术作为影响能源消费上升的因素;采用分行业、分地区数据研究影响二氧化碳排放量增加的因素,进而寻找到我国废气等污染物排放增加的主要原因,较为直观的观察产业地区间转移、环保技术对二氧化碳排放量的影响。

研究发现表明:

1）中国高耗能和污染物的高排放问题不容乐观,长期内废气排放与能源消耗及工业产出值存在稳定的均衡关系,高耗能的增长模式很难在短期内改变;

2）我国工业结构调整没有明显影响能源消耗量的变化,我国工业产出值的持续上升会导致能源消费和废气排放较快的增长;

3）工业产出效应是导致我国能源消耗量和二氧化碳排放量增长的主要因素,技术水平提升带来的对二氧化碳排放量抑制因素被工业产出值带来的排放增加值所抵消,能源利用率有所提高不足以抵消规模扩大对能源的消耗;

4）工业产出增加对第二期废气排放是负向影响,反映出我国产能过剩,由于市场规模限制,当期工业产出上升,会对下期工业产出产生负向影响,导致下一期废气排放降低。产业的区域转移时环保技术没有被广泛使用,表现为高排放的产业迁移到环保标准低的地区,整个二氧化碳排放量并没有因此降低。工业技术结构并没有变化,能源消耗率的较小提升会导致废气排放的大幅增加,我国长期依赖能源消耗的增长模式不具备可持续性。

由本研究所得到的结论,笔者得到的启示为:

1）政府应注重经济增长的质量,改变依赖高耗能的粗放式经济增长方式。

2）要优化产业结构,促进绿色产业发展,提高我国能源利用效率,鼓励企业采取环保技术并向企业推广节能减排新产品。加大对产业过剩行业的限制,关停产能过剩行业环保不达标的小型生产企业。区域产业结构调整不能简单将高污染高耗能的产业简单转移到中西部地区,在产业转移的时候同时,应该考虑该产业对能源和环境的影响。由于能源利用效率主要来自技术进步,应鼓励节能技术的研发,进而推动能源开采、转换及利用等环节上的创新。

参考文献:

[1] Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide[J]. Energy Policy 2005,33:867-871.

[2] Richard F G. Why was the energy output ratio fallen in China[J]. The Energy Journal 2006,20(3) :63-91.

[3] 许士春,习蓉,何正霞. 中国能源消耗碳排放的影响因素分析及政策启示[J]. 资源科学,2012,34(1):2-12
Xu Shichun, Xi Rong, He Zhengxia. Influential factors and policy implications of carbon emissions for energy consumption in China[J]. Resources Science,2012,34(1):2-12.

[4] 韩智勇,魏一鸣,范英. 中国能源强度与经济结构变化特征研究[J]. 数理统计与管理,2004,23(1):1-6.
Han Zhiyong, Wei Yiming, Fan Ying. Research on change features of Chinese energy intensity and economic structure [J]. Journal of Applied Statistics and Management, 2004, 23(1):1-6.

[5] 杜立民. 我国二氧化碳排放的影响因素:基于省级面板数据的研究[J]. 南方经济,2011,11:20-33.
Du Limin. Impact factors of China s carbon dioxide emissions: provincial panel data analysis[J]. South China Journal of Economics,2011,11:20-33.

[6] 吴巧生,成金华. 中国能源消耗强度变动及因素分解1980-2004[J]. 经济理论与经济管理,2006,10:30-40.
Wu Qiaosheng, Cheng Jinhua. Changes and factors decomposion of Chinese energy consumption intensity:1980-2004 [J]. Economic Theory and Business Management, 2006, 10:30-40.

[7] 刘满平. 我国产业结构调整与能源协调发展[J]. 宏观经济管理,2006,2:24-27.
Liu Manping. Industrial structure adistment and energy coordinated development [J]. Macroeconomic Management, 2006,2:24-27.

[8] 于珍,李保明,施祖麟. 中国工业能源消耗结构演变实证研究[J]. 中国人口资源与环境,2010,20(11):7-11.
Yu Zheng, Li Baoming, Shi Zulin. Empirical study on the structure evolution of energy consumption in China s industry[J]. China Population, Resources and Environment, 2010,20(11):7-11.

[9] 刘红光,刘卫东. 中国工业燃烧能源导致碳排放的因素分解[J]. 地理科学进展, 2009, 2:285-292.
Liu Hongguang, Liu Weidong. Decomposition of energy-induced CO_2 emissions in industry of China[J]. Progress in Geography, 2009, 2: 285-292.

[10] 宋德勇,卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 中国人口资源与环境,2009, 3: 18-24.
Song Deyong, Lu Zhongbao. The factor decompositionand periodic fluctuations of carbon emission in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2009, 3: 18-24.

[11] 潘佳佳,李廉水. 中国工业二氧化碳排放的影响因素分析[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(4):86- 92.
Pan Jiajia, Li Lianshui. Analysis of factors affecting industrial carbon dioxide emission in China[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(4):86- 92.

(责任编辑 李虹燕)