

# 中国能源消费与经济增长的灰色关联分析

李晓燕

(四川大学 经济学院,四川 成都 610064)

**摘要:**文章依据1997年-2007年的GDP和能源消费总量、能源消费的产业结构以及能源消费种类有关统计数据,运用灰色关联,建立3个模型对能源消费与经济增长的关联度进行定量分析,并在此基础上提出了实施节能措施,提高能源利用效率;发展农业和服务业,降低对能源的依赖;发展清洁能源,促进能源消费结构多元化等建议。

**关键词:**能源消费;经济增长;灰色关联

**中图分类号:**F206

**文献标志码:**A

**文章编号:**1008-5831(2010)05-0031-05

## 一、问题的提出

能源消费与经济增长的关系是资源经济学研究的核心问题。研究表明,能源消费和经济增长相互影响、相互制约。

首先,经济增长对能源的依赖程度很高。统计数据显示:中国能耗从1997年的137 798万吨标准煤增长到2007年的265 583万吨标准煤,短短的11年间,能源的消费量增加了1倍,2007年全国能源消费占世界能源消费总量的16%<sup>①</sup>,并且中国GDP每增长1%,能源消费增长超过1.5%<sup>②</sup>,能源消费强度高不下,可见,中国的经济增长是以牺牲环境和过度消耗能源为代价的。

其次,中国现有矿产资源、能源紧缺对经济可持续发展的制约作用日益明显。如石油、天然气人均剩余探明可采储量仅为世界平均水平的7.72%和7.07%,在国际公认的工业化过程中不可缺少的45种矿产资源,中国的人均占有量不到世界平均水平的一半,铁矿石、铜、铝土矿等重要矿产资源的人均储量分别为世界人均水平的42%、18%和7.3%<sup>③</sup>;另外,中国部分矿产资源对外依存度高。随着工业化和城市化进一步加快,能源短缺将成为制约中国经济增长的瓶颈。因此,在能源总量有限且经济增长对能源需求不断增加的现实条件下,正确认识能源消费与经济增长的关系,寻求提高能源使用效率,改变能源利用方式的方法,促进经济可持续发展之路是当务之急。

目前,国内外对能源消费与经济增长关系研究较多,其中,国外主要从因果关系的角度对能源消费与经济增长的关系进行研究,多数研究支持两者的因果

收稿日期:2009-11-16

作者简介:李晓燕(1982-),女,江苏淮安人,四川大学人口资源环境经济学博士研究生,主要从事能源经济研究。

①国土资源网,2007-07-25。

②中国化工在线,2005-03-23。

③资源短缺严重约束中国经济可持续发展. 经济参考报,2007-08-23。

关系。如 Kraft J. 和 Kraft A. 最早分析能源消费与经济增长的关系,发现美国存在从经济增长到能源消费之间的单向因果关系<sup>[1]</sup>; Glasure 和 Lee 分别利用格兰杰因果检验方法和误差修正模型,对韩国与新加坡的经济增长与能源消费关系进行了检验,结果发现,利用不同的检验方法,两国的经济增长与能源消费之间的因果关系不同<sup>[2]</sup>; Asafu diaye 认为印度和印度尼西亚两国能源消费对经济增长存在单向因果关系,但菲律宾和泰国两国能源消费和经济增长之间有双向因果关系<sup>[3]</sup>。

国内的学者在国外研究的基础上,运用各种方法对中国能源消费与经济增长关系进行了研究,其中也有对经济增长与能源消费的灰色关联研究,均证实了经济发展对能源的依赖关系,并提出了相应观点。如黄飞、何明分析某市 17 年的主要能源消费与经济发展研究,认为有“以油代煤、以电代煤、以气代煤”发展趋势<sup>[4]</sup>; 苏宣明等根据近几年的产业消费能源的量与经济增长的关联分析提出了发展低能耗、高附加值产业,降低第二产业单位能耗的建议; 于超等进行了 2001 - 2006 年的能源消费与经济增长的关联分析,通过建立 GM(1,1) 模型预测中国未来 5 年的能源消费走势,提出要加大节能减排项目的投资力度、加快新技术、新产品开发和研制等对策<sup>[5]</sup>。

虽然国内外学者对能源消费与经济增长的关系进行了研究,但是尚缺少对能源消费产业结构、能源消费种类与经济增长关系的具体研究。笔者拟运用灰色关联法对能源消耗总量、能源消费产业结构、能源消费种类与经济增长的关系进行分析,探索其中规律,期望在一定程度上缓解能源对经济发展的制约。

## 二、灰色关联分析方法介绍

1982 年邓聚龙教授创立灰色系统理论以来,灰色系统理论已经广泛应用于各个学科。对于两个系统之间的因素,其随时间或不同对象而变化的关联性大小的量度,称为关联度。灰色关联分析方法是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,亦即“灰色关联度”,作为衡量因素间关联程度的一种方法。在系统发展过程中,若两个因素变化的趋势具有一致性,即同步变化程度较高,即可谓二者关联程度较高;反之,则较低。因此,灰色关联度分析对于一个系统发展变化态势提供了量化的度量,非常适合动态历程分析<sup>[6]</sup>。和其他分析方法相比,灰色关联分析有其特殊的优越性,它对样本量的多少和样本有无规律同样适用,即不需要大容量的样本,对样本的

分布没有要求。基于中国能源统计数据的有限性及结构突变的影响,考虑到现有统计数据灰色度较大,灰色关联分析在一定程度上可以弥补统计及计量分析方法的欠缺。

灰色系统关联分析的具体计算步骤如下:

(1) 确定反映系统行为特征的参考数列和影响系统行为的比较数列。反映系统行为特征的数据序列,称为参考数列,影响系统行为的因素组成的数据序列,称比较数列。如果说参考数列为  $x_0$ , 比较数列为  $x_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$ , 且

$$x_0 = x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)$$

$$x_i = x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N$$

(2) 对参考数列和比较数列进行无量纲化处理。

由于系统中各因素的物理意义不同,导致数据的量纲也不一定相同,不便于比较,或在比较时难以得到正确的结论。因此在进行灰色关联度分析时,一般都要进行无量纲化的数据处理,笔者采用如下的方法进行无量纲化处理:

$$x_0(k) = x_i(1) / x_i(1); x_i(2) / x_i(1); x_i(3) / x_i(1); x_i(4) / x_i(1) \dots \dots$$

(3) 求参考数列与比较数列的灰色关联系数  $\xi_i(k)$ 。

所谓关联程度,实质上是曲线间几何形状的差别程度。因此曲线间差值大小,可作为关联程度的衡量尺度。对于一个参考数列  $X_0$  有若干个比较数列  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , 各比较数列与参考数在各个时刻(即曲线中的各点)的关联系数  $\xi(k)$  可由下列公式算出:

$$\xi(k) = \frac{\min |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max |x_0(k) - x_i(k)|}$$

为曲线  $x_0, x_i$  求参考在第  $k$  点的关联系数,上式中  $|x_0(k) - x_i(k)|$  称为第  $k$  点  $x_0$  与  $x_i$  的绝对差。 $\min |x_0(k) - x_i(k)|$  为两数列最小差,  $\max |x_0(k) - x_i(k)|$  是两个最大差<sup>[7]</sup>。

$\rho$  为分辨系数,  $0 < \rho < 1$ 。在文中由于数据相差较大,所以取  $\rho = 0.3$ <sup>[8]</sup>。

(4) 求关联度  $P$ 。

因为关联系数是比较数列与参考数列在各个时刻(即曲线中的各点)的关联程度值,所以它的数不止一个,而信息过于分散不便于进行整体性比较。因此有必要将各个时刻(即曲线中的各点)的关联系数集中为一个值,即求其平均值,作为比较数列与参考数列间关联程度的数量表示:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

$P$  越接近 1, 说明关联度越大。

## 三、中国能源消费与经济发展灰色关联度模型建立和运用

(一) 模型建立、指标选取

模型 I 对中国能源消费总量与经济发展关系进行分析,并选取了国外的能源消费与经济发展关联度进行比较分析;选择中国 1997 - 2007 年的相关数据,对能源消费的总量与经济增长的关系进行分析。参考数列为 GDP,比较数列为能源消费总量,  $x_0$  为 GDP,  $x_1$  为能源消费总量;并用同样的方法计算美国、日本、德国、巴西、印度能源消费与经济增长的关联度,以进行该关联度国际比较。

模型 II:研究产业的能源消费结构与经济增长的关系。参考数列为 GDP,比较数列为五类行业,  $x_0$  仍然表示 GDP,  $x_1$  为农林牧水利业的能源消费,  $x_2$  为工业的能源消费,  $x_3$  为建筑业,  $x_4$  为交通运输仓储业,  $x_5$  为批发零售贸易餐饮。

模型 III:研究能源消费种类与经济增长的关系,主要是研究水电核能风能、天然气、电力、煤炭、石油对经济增长的影响。参考数列为 GDP,比较数列为能源消费种类,参考数列  $x_0$  仍然表示 GDP,  $x_1$  为水电核能风能消费量,  $x_2$  为天然气消费,  $x_3$  为电力消费量,  $x_4$  为煤炭消费量,  $x_5$  为石油消费量。

(二) 灰色关联计算

以中国 GDP 增长和能源消费总量为例进行分析。

1. 确定参考数列和比较数列

参考数列为 GDP,比较数列为能源消费总量,  $x_0$  为 GDP,  $x_1$  为能源消费总量。

2. 无量纲化处理

为了消除各因素的量纲,增强因素间的可比性,用同一数列的所有数据除以第一个数据,得到一组数据:

$$x_0(k) = \{ 1; 0.954; 0.972; 1.006; 1.041; 1.101; 1.279; 1.486; 1.635; 1.792; 1.938 \}$$

$$x_i(k) = \{ 1; 1.052; 1.102; 1.288; 1.382; 1.375; 1.574; 1.838; 2.459; 2.831; 2.980 \}$$

3. 求比较数列与参考数列的绝对差

按照  $|x_0(k) - x_i(k)|$ , 得出如下的数列:

$$\Delta = \{ 0; 0.098; 0.129; 0.282; 0.342; 0.274; 0.296; 0.352; 0.823; 1.040; 1.042 \}$$

4. 找出上述序列的最大值和最小值

$$\Delta_{\max} = 1.402, \Delta_{\min} = 0$$

5. 计算关联系数

根据公式:

$$\xi(k) = \frac{\min |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max |x_0(k) - x_i(k)|}$$

得:

$$\xi_1 = \{ 1; 0.761; 0.707; 0.526; 0.478; 0.533; 0.513; 0.471; 0.275; 0.231; 0.230 \}$$

6. 求关联度(即求平均值)

$$P = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

得出:中国经济增长与能源消耗总量的关联度为 0.521。

(三) 计算结果

根据灰色关联理论以及模型,运用中国统计年鉴、世界能源统计年鉴的数据,用上述方法计算国外经济增长与能源消费总量的关联度、经济增长与能源消费的产业关联度、经济增长与能源消费种类的关联度,计算结果见表 1、表 2,关联度见表 3,全面反映了能源消费与经济的密切关系。

表 1 能源消费的关联系数(1)

印度	巴西	美国	德国	中国	日本
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.561
0.862	0.911	0.883	0.320	0.928	0.382
0.854	0.730	0.767	0.323	0.690	0.933
0.795	0.687	0.692	0.316	0.628	1.000
0.674	0.495	0.628	0.338	0.699	0.421
0.584	0.403	0.550	0.338	0.675	0.363
0.532	0.334	0.481	0.350	0.618	0.282
0.450	0.296	0.415	0.376	0.361	0.232
0.371	0.231	0.359	0.380	0.304	0.276
0.269	0.257	0.335	0.537	0.303	0.397

表 2 能源消费的关联系数(2)

能源消费产业					能源消费种类				
$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$\xi_5$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$\xi_5$
1	1	0.495	0.985	0.989	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.912	0.830	1	0.688	0.839	0.893	0.637	0.657	0.738	0.862
0.810	0.739	0.329	0.7268	0.941	0.619	0.613	0.635	0.631	0.857
0.716	0.597	0.682	0.9578	0.753	0.611	0.958	0.556	0.519	0.770
0.650	0.571	0.691	0.8248	0.725	0.806	0.791	0.460	0.448	0.631
0.5464	0.557	0.587	0.9448	1	0.632	0.650	0.506	0.419	0.596
0.492	0.518	0.268	1	0.950	0.450	0.790	0.701	0.418	0.533
0.412	0.456	0.324	0.615	0.480	0.443	0.364	0.503	0.381	0.485
0.345	0.384	0.374	0.4295	0.349	0.379	0.628	0.416	0.338	0.369
0.269	0.307	0.536	0.271	0.231	0.305	0.231	0.343	0.288	0.300

表3 能源消费的关联度

模型 I		模型 II		模型 III	
指标关联度		指标关联度		指标关联度	
中国	0.621	农林牧水利业	0.615	水电核能风能	0.579
印度	0.639	工业	0.596	天然气	0.696
巴西	0.535	建筑业	0.529	电力	0.546
美国	0.611	交通运输仓储业	0.744	煤炭	0.492
德国	0.428	批发零售贸易餐饮业	0.726	石油	0.603
日本	0.485				

#### 四、结果分析

根据经验  $r = 0.3$ , 两因素的关联度  $\rho > 0.6$  时, 可以认为两者关联度显著。从表3可以看出, 中国能源消费与经济增长关联度显著, 在产业能源消费中交通运输仓储业、批发零售贸易餐饮业、农林牧水利业关联度显著; 在能源消费种类中天然气、石油关联度显著。当前能源消费总量、能源消费产业结构、能源消费种类对经济增长的关联度存在着的差异, 可以发现能源消费存在的问题。

(一) 经济增长依赖于能源消费总量, 能源利用效率不高

从表3的第一列, 中国的能源消费总量与经济增长是关联度显著, 说明能耗总量在经济增长中贡献率很大, 即中国是通过高能耗、高投入来换取经济的增长, 可以预测随着经济的发展, 能源消费量将加大, 将会给能源供应造成很大的压力; 同时通过与国外一些国家的能源消费总量与经济增长关联度比较看出, 中国的能源利用效率不仅远远低于发达国家, 也低于一些发展中国家, 这与中国的经济实力、科技实力和国际地位很不相称, 改进和提高中国的能源使用效率成为当务之急。

(二) 中国产业消费结构不合理, 第二产业消费比重太高

从表3的第二列, 我们可以看出交通运输仓储业消耗能源的量对经济增长的关联度最大0.744, 其次是批发零售贸易餐饮0.743, 农林牧水利业0.615, 三者均属于关联度显著。交通运输仓储业能源消费量和批发零售业的能源消费量不是很大, 但是对经济的关联度很大, 说明中国应该大力发展以能耗小为特征的第三产业, 工业能源的消费和建筑业的能源消费占总能源的消费比重高达70%多, 但是关联度不是很显著, 农林牧水利业对经济增长的关联度介于服务业和第二产业之间。从消费量说明了中国的产业消费结构还不合理(图1)。

产业消费能源量

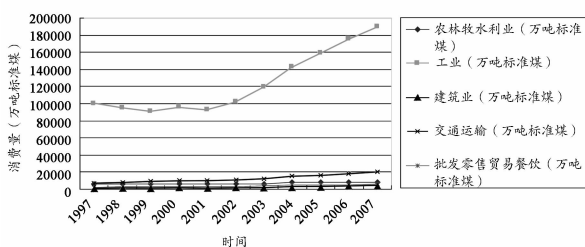


图1 产业能源消费量图

(三) 能源消费构成中过分依赖煤炭能源, 消费结构较单一

从表3的第三列, 看出能源消费种类中关联度大小排序为: 天然气 > 石油 > 水电核能风能 > 电力 > 煤炭。天然气、石油与经济增长关联度显著, 天然气与经济增长的关联度最大, 部分原因是中国是天然气大国, 天然气使用进入快速增长阶段, 同时天然气是安全污染小的能源, 国家提倡大力使用安全无污染的能源; 石油消费和经济增长的关联相对大, 意味着经济增长速度越快石油消耗越多, 这反映了中国经济增长对石油资源的消耗依赖; 水电核能风能对经济关联度相对较强是因为中国水资源丰富, 中国大力提倡发展清洁能源, 水电核能产业发展迅速; 电力与经济增长的关联度表明中国经济增长并不是依赖电力; 煤炭的消费量与经济的关联度小, 但是从中国统计数据显示, 中国的煤炭消费一直占能源消费65%以上, 煤炭依然是能源消费的主体, 消耗大但是关联度小, 说明煤炭的使用效率低下。

#### 五、未来中国能源利用的对策建议

根据关联系数调整能源消费方式和能源消费结构, 通过以上分析提出如下建议。

(一) 实施节能措施, 提高能源的利用效率

能源已经成为影响中国经济发展的重要因素, 我们必须要加强节能宣传力度, 牢固树立生态文明的理念, 降低物耗能耗, 提高利用效率。通过制定法律法规、实施细则与执行标准, 明确各行业的节能目标; 政府可以对企业、公司安装节能设备、采取节能措施、改进能源管理技术等提供一定的补助和优惠; 大力发展民间的能源服务产业, 形成以赢利为目的的能源专业化服务公司, 如: 节能技术服务公司、节能产业生产商、节能产品销售商等, 使节能走上市场的轨道; 加强制度建设, 建立长效的节能机制, 如建立节能会员制度, 推进节能技术成果的转化等, 通过提高能源利用效率, 走出粗放型增长的老路, 走上集约化发展的轨道。

(二) 加大产业结构调整力度, 发展农业和服务业

工业和建筑业对能源的消费量最大, 是能源的消费主体, 但是对经济增长的关联度只是中等关联度, 因此加大对能源消费的宏观调控, 以对工业和建筑业为主, 注重工业和建筑业内部结构的调整, 引导产业结构向低能耗方向发展; 要严格控制高耗能产业的过快发展, 坚决淘汰能耗高、效益低的工业; 同时看到交通运输仓储业、批发零售贸易餐饮消耗能

源少,但是它们对经济的关联度大,所以我们要大力发展交通运输仓储业、批发零售贸易餐饮新兴的生产服务业和生活服务业,提高他们在国民经济中的比重。

再从能源消费弹性看(能源消费弹性系数=能源消费量年增长率/国民经济年增长率,反映了能源消费增长速度与国民经济增长速度之间比例关系的指标),中国近几年农业的能源消费弹性是0.16,农业耗能大约占到了总耗能的4%,但是它所创造的GDP却占到了总量的17%<sup>[9]</sup>。中国农业比较落后,属于劳动密集型产业,现代化、机械化、集约化程度低下,所以耗能相对较少。由于中国是农业大国,农民是主体,且中国存在粮食危机,所以农业的落后将制约中国国民经济长远发展的障碍;从能源消费的角度来看,农业的发展潜力巨大。因此,在加快发展低能耗的第三产业的同时,也应加快发展农业。

(三)加大开发利用清洁能源,促进能源结构多元化

鉴于煤炭对经济的关联度最小,煤炭的不可再生性,同时国家重视煤炭的消费对环境污染所带来的负面影响,建议要调整以煤炭为主的产业结构,当前调整和优化经济结构的重点是大力发展低能耗、高附加值的高新技术产业。

天然气、石油与经济增长的关联度显著,天然气由于其污染少,对经济增长关联度显著,应积极发展,但是在加大天然气消费力度的同时,一定要调整天然气的消费结构,适当增大二次能源消费量,注重提高天然气利用率;石油对经济的增长关联显著,但是由于中国石油能源有限,石油的安全存在隐患,要注意石油的使用,从实际情况看,中国石油的储存比是小于15,而世界平均的储存比在40左右,中国2007年进口石油近2亿吨,依存度达到约50%,预计到2020年,石油进口的依存度达到60%以上<sup>[10]</sup>。为此我们要重视石油供应所带来的安全问题,要建立石油储备体系,提高抗风险的能力;尽快征收燃油税,调整石油消费水平,推动石油市场价格改革;加强国际能源合作,建立稳固的国际能源合作机制,实现长远发展;水电核能风能由于无污染、可再生等特性,为此要加大国内水电核能电能资源的开发力度,

加强水电核能风能开发利用。

最后依靠科技,积极发展清洁无污染的能源、新能源和可再生能源,全面促进能源资源的开发和利用,以能源的可持续发展促进中国经济社会的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] KRAFT J, KRAFT A. On the relationship between energy and GNP [J]. Journal of Energy and Development, 1978 (3):23.
- [2] GLASURE Y U, LEE A R. Cointegration error-correction and the relationship between GDP and ease of South Korea and Singapore [J]. Resource and Electricity Economics, 1997, 20:80.
- [3] ASAFU ADJAYE J. The relationship between electricity consumption, electricity prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries [J]. Energy Economics, 2000, 22:16.
- [4] 黄飞,何明. 能源消费与国民经济发展的灰色关联分析[J]. 能源研究与利用,2000(6).
- [5] 于超. 中国能源消费与经济增长的灰色关联分析及能源预测[J]. 电力学报,2007,22(4).
- [6] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及应用[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [7] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:中国科技出版社,1999.
- [8] 郭原. 灰色关联分析中分辨系数的确定方法[J]. 干旱环境监测,1994(9).
- [9] 彭志龙. 能源消费与GDP增长关系研究[J]. 统计研究,2007,24(7):6-10.
- [10] 王丽敏. 中国能源消费结构与经济发展的实证分析[J]. 能源技术与管理,2008(1):110-113.
- [11] 刘爱琴. 山东省能源消费与工业经济增长的灰色关联分析[J]. 中国人口资源环境,2008,18(3):103-107.
- [12] 杨文培. 能源发展与经济增长互动关系探讨[J]. 煤炭经济研究,2005(1):20-21.
- [13] 张明慧,李永峰. 论中国能源与经济增长关系[J]. 工业技术经济,2004(8):77-80.
- [14] 尹春华,顾培亮. 中国产业结构的调整与能源消费的灰色关联分析[J]. 天津大学学报,2003(1).

## Analysis of Relationship between Energy Consumption and Economic Growth Based on Gray Relevance

LI Xiao-yan

(School of Economics, Sichuan University, Chengdu 610064, P. R. China)

**Abstract:** Based on such statistical data from 1997 - 2007 as GDP, total energy consumption, industrial structure of energy consumption and energy consumption types, drawing on gray relevance, this thesis establishes three models to computationally analyze the correlation between energy consumption and economic development, and on this basis puts forward ways to imply energy conservation measure, increase energy utilization efficiency; develop agriculture and service industry, reduce the dependence on energy; develop the clean new energy, promote structure of energy consumption multiplication and so on.

**Key words:** energy consumption; economic growth; gray relevance

(责任编辑 傅旭东)