文章编号：1008－8857(2015)03－0162－06 DOI：10.13259/j.cnki.eri.2015.03.008

产业结构对能源消费的影响分析
——以江苏省为例

程文荣，姚天祥
（南京信息工程大学 经济管理学院，南京 210044）

摘 要：研究了2000年、2002—2012年江苏省的产业结构与能源消费之间的关系.首先，使用灰色关联分析法分析了江苏省三大产业及生活用能与能源消费之间的关系，获得了灰色绝对关联度、灰色相对关联度、灰色综合关联度.分析结果表明，第二产业与能源消费的关联度最大.然后，使用对数回归分析法分析了各大产业对能源消费具体的影响程度，得出对能源消费总量影响最大的是第二产业.优化产业结构，提高能源使用效率，是实现江苏省可持续发展的重要任务.

关键词：产业结构；灰色关联分析；能源消耗；对数回归分析

中图分类号：F 061.2 **文献标志码**：A

Analysis of the impact of industrial structure on energy consumption: Taking Jiangsu Province for example

CHENG Wenrong, YAO Tianxiang
(School of Economics and Management, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: The relationship between the industrial structure and energy consumption in Jiangsu Province in 2000 and from 2002 to 2012 was investigated. Firstly, gray incidence analysis was used to analyze the relationship between three major industries and energy consumption in Jiangsu Province. Their gray absolute correlation, gray relative correlation, and gray comprehensive correlation were attained. The results shown that the largest correlation degree between the second industry and energy consumption was achieved. Secondly, logarithmic regression analysis was used to analyze the impact of three major industries on energy consumption. It could be concluded that the impact of the second industry on total energy consumption was the greatest. It is of significance for Jiangsu Province to optimize the industrial structure and improve energy efficiency to achieve the goal of sustainable development.

Keywords: industrial structure; gray incidence analysis; energy consumption; logarithmic regression analysis

收稿日期：2014－09－24
基金项目：国家自然科学基金资助项目(71171116)；教育部人文社会科学青年基金资助项目(09YJC630129)
第一作者：程文荣(1990—)，女，硕士研究生. 研究方向：灰色系统理论. E-mail：chengwrong@163.com
通信作者：姚天祥(1971—)，男，副研究员. 研究方向：灰色系统理论. E-mail：ytxnj@163.com

能源消费系统是非常复杂而庞大的，产业结构的调整、经济的发展、技术的进步等诸多因素都与其密切相关，其中结构变动是影响我国能源消费的主要因素[1]. 因此研究产业结构与能源消费之间的关系，对于能源战略的制定具有重大的意义.

国内外学者对于产业结构和能源消费之间的关系进行了很多的研究. Kakali 等[2]研究了印度能源消费和经济增长之间的关系，发现重工业化及其导致的产业结构变动是决定短期能源消费的主要因素. Krausmann 等[3]研究了 1830—1995 年澳大利亚的工业化过程和相应的能源消费的结构变化，证实了能源消费在总量和结构上都与工业化带来的产业结构变化存在很强的相关关系. 国内学者对于产业结构与能源消费的关系的研究主要使用了回归分析法、面板数据方法、灰色关联法、协整分析法等方法. 史丹[4]使用统计指数分析法和回归分析法，定量分析了我国产业结构变动对能源消费总量和能源消费结构的影响；李金铠[5]采用面板数据模型针对六大产业部门分别建立了能源消费总量、煤炭、石油、电力、天然气的模型，研究了产业结构对能源消费的影响；尹春华等[6]采用灰色关联分析法分析了我国产业调整与能源消费总量之间的关系，计算了三大产业和生活用能与能源消费之间的关联度，最后根据我国现状对今后的能源消费进行了详细分析；郭志军等[7]利用协整检验和误差修正模型分析了中国的产业结构变动对能源消费影响，结果表明，从短期看，三大产业的变动对能源消费的效应皆为正，但从长期看，第一产业的变动对能源消费的效应为负，第二产业和第三产业为正.

国内有关产业结构与能源消费之间关系研究的文献主要集中在对全国总的情况进行分析，而对于地方省市的研究较少，本文将对江苏省产业结构与能源消费之间的关系进行研究. 鉴于数据的可得性和充分性，本文将首先从三大产业本身的能源消费角度，使用灰色关联分析法分析三大产业结构与能源消费之间的关系；然后，使用回归分析法分析产业结构的变动对能源消费所发挥的作用.

1　能源消费与产业结构的灰色关联分析

灰色关联分析法的基本原理是两个因素之间的曲线越接近，相应序列之间的关联度就越大，反之就越小. 该方法计对样本数量和样本数据的规律性没有特殊的要求，且不会出现定量分析与定性分析不符的情况. 本文分别采用灰色绝对关联度、灰色相对关联度、灰色综合关联度进行分析.

1.1　数据来源及说明

第一产业能源消费、第二产业能源消费、第三产业能源消费和生活用能这四部分构成了江苏省的能源消费. 这四大能源消费的形势直接影响到江苏省能源消费状况. 鉴于数据的可得性，本文采用江苏省统计年鉴[8-15]中能源平衡表的数据. 由于第一产业主要指的是农林牧渔业，所以本文将农林牧渔水利业的能源消费总量作为第一产业的能源消费总量；将工业和建筑业能源消费之和作为第二产业能源消费总量；将交通运输仓储及邮电通讯业、批发和零售贸易餐饮业、其它三者的能源消费总量作为第三产业的能源消费总量.

2000 年、2002—2012 年江苏省能源消费情况如表 1 所示. 江苏省能源消费总量 2000 年为 8 612.43 万 t 标准煤，2012 年上升到 28 849.84 万 t 标准煤，是 2000 年的 3.35 倍. 三大产业的能源消费量发生了很大的变化，第一产业由 400.39 万 t 标准煤上升到 515.26 万 t 标准煤，是原来的 1.29 倍；第二产业由 6 785.29 万 t 标准煤增长到 22 992.16 万 t 标准煤，是原来的 3.39 倍；第三产业由 737.84 万 t 标准煤增长到 3 139.57 万 t 标准煤.

1.2　三种灰色关联度

1.2.1　灰色绝对关联度[16]

灰色绝对关联度是序列之间关联程度的度量，它只与几何形状有关. 计算式为

$$\varepsilon_{0i} = \frac{1 + |s_0| + |s_i|}{1 + |s_0| + |s_i| + |s_i - s_0|} \tag{1}$$

$$|s_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_0^0(k) + \frac{1}{2} x_0^0(n) \right| \quad (k, n = 1, 2, \cdots, 12) \tag{2}$$

$$|s_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_i^0(k) + \frac{1}{2} x_i^0(n) \right| \tag{3}$$

表 1 江苏省能源消费情况

Tab. 1 Energy consumption in Jiangsu Province 万 t 标准煤

序号	年份	能源消费总量 x_0	第一产业 农林牧渔水利业 x_1	第二产业 x_2		第三产业 x_3			生活能源消费 x_4
				工业 x_{21}	建筑业 x_{22}	交通运输业及仓储邮电通讯业 x_{31}	批发和零售贸易餐饮业 x_{32}	其它 x_{33}	
1	2000	8 612.43	400.39	6 743.95	41.34	358.52	169.94	209.38	688.91
2	2002	9 608.60	365.21	7 069.87	58.53	548.46	165.05	280.25	712.46
3	2003	11 060.68	363.53	8 702.57	77.08	718.83	157.95	237.57	803.15
4	2004	13 651.69	369.43	11 041.13	93.24	878.06	191.66	255.92	822.25
5	2005	16 895.39	321.59	14 020.57	204.68	899.45	249.86	373.21	1 098.27
6	2006	18 742.19	327.97	15 401.34	218.02	957.00	260.27	416.19	1 161.4
7	2007	20 948.04	330.16	17 307.23	227.77	1 058.69	293.51	476.52	1 254.16
8	2008	22 232.23	360.89	18 133.51	232.93	1 201.71	341.13	538.59	1 453.47
9	2009	23 709.28	360.96	19 260.23	249.09	1 254.10	366.74	628.20	1 589.96
10	2010	25 773.70	394.68	20 597.82	281.22	1 462.56	400.80	753.80	1 882.82
11	2011	27 588.97	451.96	22 013.25	328.45	1 566.30	422.59	850.81	1 935.61
12	2012	28 849.84	515.26	22 636.42	355.74	1 701.85	500.34	937.38	2 202.85

$$|s_i - s_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} [x_i^0(k) - x_0^0(k)] + \frac{1}{2}[x_i^0(n) - x_0^0(n)] \right| \quad (4)$$

式中：ε_{0i}为江苏省各产业能源消费量与能源消费总量的绝对关联度；$x_0^0(k)$、$x_0^0(n)$分别为江苏省第 k 年、第 n 年能源消费总量；$x_i^0(k)$、$x_i^0(n)$分别为江苏省各产业以及生活用能第 k 年、第 n 年能源消费总量；s_i、s_0 均为中间参数，无具体含义.

根据式(1)～(4)得：江苏省第一、二、三产业能源消费与能源消费总量的绝对关联度 ε_{01}、ε_{02}、ε_{03}分别为 0.501 5、0.904 8、0.551 3；江苏省生活用能能源消费与能源消费总量的绝对关联度 ε_{04} = 0.528 5；江苏省工业、建筑业、交通运输业及仓储邮电通讯业、批发及零售贸易餐饮业能源消费与能源消费总量的绝对关联度 ε_{021}、ε_{022}、ε_{031}、ε_{032} 分别为 0.911 8、0.507 5、0.533 4、0.505 8；江苏省其它能源消费与能源消费总量的绝对关联度ε_{033} = 0.513 5.

1.2.2 灰色相对关联度

灰色相对关联度是序列相对于起始点的变化速率联系的数量表征[17]. 计算式为

$$r_{0i} = \frac{1 + |s'_0| + |s'_i|}{1 + |s'_0| + |s'_i| + |s'_i - s'_0|} \quad (5)$$

$$|s'_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x'^0_0(k) + \frac{1}{2} x'^0_0(n) \right| \quad (6)$$

$$|s'_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x'^0_i(k) + \frac{1}{2} x'^0_0(n) \right| \quad (7)$$

$$|s'_i - s'_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} [x'^0_i(k) - x'^0_0(k)] + \frac{1}{2}[x'^0_i(n) - x'^0_0(n)] \right| \quad (8)$$

式中：r_{0i}为江苏省各产业能源消费量与能源消费总量的相对关联度；$x'^0_0(k)$、$x'^0_0(n)$、$x'^0_i(k)$、$x'^0_i(n)$分别为$x_0^0(k)$、$x_0^0(n)$、$x_i^0(k)$、$x_i^0(n)$初值像的起始点零化像；s'_i、s'_0 均为中间参数，无具体含义.

根据式(5)～(8)得：r_{01} = 0.548 7；r_{02} = 0.987 1；r_{03} = 0.919 9；r_{04} = 0.862 0；r_{021} = 0.976 3；r_{022} = 0.663 9；r_{031} = 0.815 8；r_{032} = 0.803 7；r_{033} = 0.952 2.

1.2.3 灰色综合关联度[8]

灰色综合关联度既体现了序列的相似程度，

又体现了序列相对于始点的变化速率接近程度. 计算式为

$$\rho_{0i} = \theta\varepsilon_{0i} + (1-\theta)r_{0i} \tag{9}$$

式中：ρ_{0i} 为江苏省各产业能源消费量与能源消费总量的综合关联度；θ 一般取 0.5.

根据式(9)计算得：ρ_{01} = 0.525 1；ρ_{02} = 0.945 9；ρ_{03}=0.735 6；ρ_{04} =0.695 3；ρ_{021}=0.944 0；ρ_{022} = 0.585 7；ρ_{031} = 0.674 6；ρ_{032} = 0.654 8；ρ_{033} = 0.738 2.

1.3　结果分析

由以上数据分析可知，三大产业的灰色相对关联度 $\varepsilon_{02}>\varepsilon_{03}>\varepsilon_{04}>\varepsilon_{01}$，这表明了江苏省第二产业与能源消费关联度最大，高达 0.904 8，其次是第三产业与生活用能，最后是第一产业；灰色绝对关联度 $r_{02}>r_{03}>r_{04}>r_{01}$，与灰色相对关联度规律相同；灰色综合关联度 $\rho_{02}>\rho_{03}>\rho_{04}>\rho_{01}$. 利用三种灰色关联度得出的结论是相同的：产业结构中第二产业对能源消费影响最大，其次是第三产业与生活用能，最后是第一产业. 三大产业与能源消费总量的关系如图 1 所示. 从产业内部分析可知，第二产业中建筑业对能源消费总量的影响大于工业，在第三产业中交通运输业及仓储邮电通讯业与批发及零售贸易餐饮业对能源消费的影响程度基本相同.

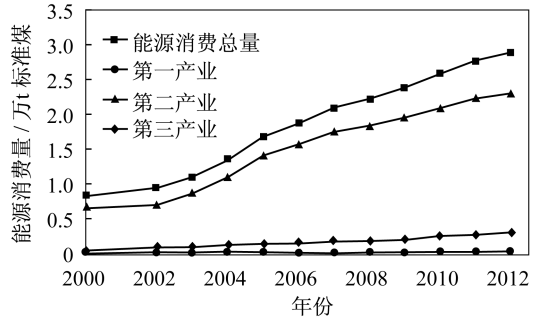

图 1　江苏省能源消费总量相关图

Fig. 1　The total energy consumption correlation diagram in Jiangsu Province

2　产业结构的能源消费效应分析

灰色关联分析法只能反映产业结构对能源消费的关联度，但是不能反映产业结构的变动对能源消费发挥作用的大小. 本文将采用回归分析法弥补这一不足.

2.1　数据说明

本文采用第一、二、三产业能源消费量代表三大产业结构，使用 1.2 节中的计算方法. 具体数据如表 2 所示.

表 2　江苏省三大产业能源消费及能源消费总量

Tab. 2　Energy consumption and total energy consumption of three main industries in Jiangsu Province　　万 t 标准煤

年份	能源消费总量	三大产业能源消费		
		第一产业	第二产业	第三产业
2000	8 612.43	400.39	6 785.29	737.84
2002	9 608.60	365.21	7 128.40	993.76
2003	11 060.68	363.53	8 779.65	1 114.35
2004	13 651.69	369.43	11 134.37	1 325.64
2005	16 895.39	321.59	14 225.01	1 522.52
2006	18 742.19	327.97	15 619.36	1 633.46
2007	20 948.04	330.16	17 535.00	1 828.72
2008	22 232.23	330.89	18 366.44	2 081.43
2009	23 709.28	360.96	19 509.32	2 249.04
2010	25 773.70	394.68	20 879.04	2 617.16
2011	27 588.97	451.96	22 341.70	2 839.70
2012	28 849.84	515.26	22 992.16	3 139.57

2.2　产业结构与能源消费的平稳性检验

回归分析要求时间序列数据具有平稳性，如果一个序列为非平稳，将会导致“伪回归”现象，降低统计检验的功效. 目前平稳性的检验方法主要有迪基(Dickey)和福勒(Fuller)提出的 DF 检验和 ADF 检验(augment Dickey-Fuller test)，但由于在实际检验中，时间序列可能由更高阶的自回归过程生成，或者随机误差项，并非是白噪声，若采用普通最小二乘法(ordinary least squares，OLS)进行估计随机误差项均会出现自相关，导致 DF 检验无效，故本文采用 ADF 检验法[18].

为了检验平稳性，把第一产业、第二产业、第三产业分别用 x_1、x_2、x_3 表示，用 x_0 表示能源消费总量. 为了消除异方差的影响和数据的剧烈波动，分别对这些变量取对数，$\ln x_0$、$\ln x_1$、$\ln x_2$、$\ln x_3$ 分别代表能源消费强度、第一产业、第二产业、第三产业能

源消费的对数. ADF 检验结果如表 3 所示,表中符 号"D"表示一阶差分.

表 3 ADF 检验结果

Tab. 3 Results of ADF test

变量	ADF 值	临界水平			检验结果
		1%	5%	10%	
$\ln x_0$	-4.266 663	-4.297 073	-3.212 696	-2.747 676	平稳
$\ln x_1$	0.405 006	-5.835 186	-4.246 503	-3.590 496	不平稳
$\ln x_2$	-5.924 699	-4.297 073	-3.212 696	-2.747 676	平稳
$\ln x_3$	-3.642 619	-5.521 860	-4.107 833	-3.515 047	平稳
$D\ln x_1$	-11.058 400	-5.835 186	4.246 503	-3.590 496	平稳

2.3 回归分析

回归分析是根据被预测变量与其它解释变量之间的因果关系建立的方程. 本文将能源消费总量作为被预测变量,第一、第二、第三产业能源消费均作为解释变量,建立的模型为

$$\ln x_0 = c + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + a_3 \ln x_3 \quad (10)$$

式中,c、a_1、a_2、a_3 均为常数.

使用 eviews7.2 软件进行回归分析,结果发现 a_1 的 T 检验统计量概率为 55.5%,不能通过检验. 于是将模型修正为

$$\ln x_0 = a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + a_3 \ln x_3 \quad (11)$$

结果表明,修正后的模型明显好于原来的模型. 表 4 为修正后模型的回归系数及检测标准值.

表 4 修正后的模型参数

Tab. 4 Abstract of the modified model

变量	系数	标准差	T 检验统计量	概率
$\ln x_1$	0.144 458	0.022 171	6.515 527	0.000 1
$\ln x_2$	0.871 967	0.041 121	21.204 820	0
$\ln x_3$	0.078 075	0.044 302	1.762 349	0.111 8

虽然 $\ln x_3$ 系数 T 检验的概率为 0.111 8,大于 0.1,但是比未修正前的模型结果好,而且在 0.1 附近,所以本文认为修正后的模型是可以接受的. 该模型的 $R^2 = 0.998\ 310$,回归标准差为 0.019 030,残差平方和为0.003 259.

根据表 4 得到回归方程

$$\ln x_0 = 0.14 \ln x_1 + 0.87 \ln x_2 + 0.08 \ln x_3 \quad (12)$$

由模型的 R^2 值,可知方程拟合效果很好,且模型的回归标准差远大于残差平方和,说明该线性模型解释了总平和的大部分[19]. 可以看出,第二产业对能源消费影响最大,其每增加 1%,能源消费总量将增加 0.87%;第一产业次之,每增加 1%,能源消费总量将增加 0.14%;第三产业对能源消费总量影响最小,每增加 1%,能源消费总量将增加0.08%. 所以,江苏省应继续加大力度调整产业结构,缩减第二产业结构比重,增加第三产业比重.

3 结 论

对产业结构进行不断的优化,处理好与能源消费的关系,是建设节约型城市的重要任务[20]. 本文首先使用灰色关联分析法分析了江苏省三大产业及生活用能对能源消费的影响,结果表明第二产业能源消费与能源消费总量的关联度最大,灰色绝对关联度高达 0.904 8,灰色相对关联度高达 0.987 1,灰色综合关联度高达 0.945 9;然后用回归分析法分析了产业结构的变动对能源消费总量具体发挥作用的大小,结果表明,三大产业结构变动对能源消费总量的影响从大到小依次为第二、第一、第三产业,且第二产业结构变动对能源消费的影响明显比第一产业和第三产业的强,约为第一产业的 6 倍,约为第三产业的 11 倍. 可见,第三产业服务业耗能最小,应该继续大力发展江苏省的现代服务业,促进产业结构优化;第二产业是耗能最严重的产业,应该继续优化工业结构,严格淘汰耗能大、污染重、技术难以提升的工业企业,大力发展高新技术产业,不断延伸产业链条,优化产业结构,提高能源使用效率.

参考文献：

[1] 史丹.结构变动是影响我国能源消费的主要因素[J].中国工业经济，1999(11)：38－43.

[2] MUKHOPADHYAY K，CHAKRABORTY D. India's energy consumption changes during 1973/74 to 1991/92 [J]. Economic Systems Research，1999，**11**(4)：423－438.

[3] KRAUSMANN F，HELMUT H. The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism：Socioeconomic energy flows in Austria 1830—1995[J]. Ecological Economics，2002，**41**(2)：177－201.

[4] 史丹.产业结构变动对能源消费需求的影响[J].数量经济技术经济研究，1999(12)：50－52.

[5] 李金铠.产业结构对能源消费的影响及实证分析：基于面板数据模型[J].统计与信息论坛，2008，**23**(10)：30－35.

[6] 尹春华，顾培亮.我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，**36**(1)：104－107.

[7] 郭志军，李飞，覃巍.中国产业结构变动对能源消费影响的协整分析[J].工业技术经济，2007，**26**(11)：97－101.

[8] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京：中国统计出版社，2005.

[9] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京：中国统计出版社，2006.

[10] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京：中国统计出版社，2007.

[11] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京：中国统计出版社，2008.

[12] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京：中国统计出版社，2009.

[13] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京：中国统计出版社，2010.

[14] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京：中国统计出版社，2011.

[15] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京：中国统计出版社，2012.

[16] YUAN C Q，LIU S F，FANG Z G，et al. The relation between Chinese economic development and energy consumption in the different periods[J]. Energy Policy，2010，**38**(9)：5189－5198.

[17] 丁岩，范强.基于灰色理论的辽宁省农民收入来源结构分析[J].安徽农业科学，2011，**39**(3)：1829－1831.

[18] 韩智勇，魏一鸣，焦建玲，等.中国能源消费与经济增长的协整性与因果关系分析[J].系统工程，2004，**22**(12)：17－21.

[19] 苏屹，张成功，宋俊娇.区域经济增长与核能发展相关性及其效率分析[J].中国管理科学，2012，**20**(专辑)：900－905.

[20] 亓燕艳，马宪国.上海工业结构调整与节能潜力分析[J].能源研究与信息，2006，**23**(1)：1－4.

(上接第 161 页)

[3] 全国能源基础与管理标准化技术委员会.综合能耗计算通则 GBT 2589—2008[M].北京：中国标准出版社，2008.

[4] 马庆国.应用统计学：数理统计方法、数据获取与 SPSS 应用[M].北京：科学出版社，2008.

[5] 杨有，李晓虹.多重共线性的逐步回归检验分析[J].重庆三峡学院学报，2006，**22**(3)：39－41.

[6] 李松臣，张世英.基于逐步回归法的人口出生率影响因素分析[J].统计与决策，2008(4)：7－9.