

# 产业结构调整对能源消费结构变动的 影响研究

付彤昕

重庆大学，公共管理学院，重庆

收稿日期：2021年12月12日；录用日期：2022年1月14日；发布日期：2022年1月21日

## 摘要

在我国工业化和城镇化进程中，各方面生产活动对能源的需求都逐渐增大，各类环境问题也成为能源消耗所导致的恶果，究其主要原因是我国的能源利用效率不高，产业结构合理度较差等。因此本文选取了在地理位置、能源储备、经济发展现状等各方面都较有特色的江苏省为目标区域，研究产业结构调整对能源消费结构所带来的影响，探索能够提高能源利用效率的方法，这不仅能够为类似的省份提供借鉴，同时对改善生态环境，刺激经济发展也有重要意义。本文首先对江苏省的能源消费结构、产业结构发展情况、三大产业的能源消费量以及能源消费效率进行了定性的分析，根据产业发展情况总结能源消费结构特点。然后，基于2003年~2017年的数据，本文选用灰色关联分析法和回归分析法对三大产业与能源消费总量的关联度和影响程度进行了定量的分析，实证结果表明第二产业对能源消费量有显著的关联度，第三产业排名第二，第一产业最小。最后，本文在上述分析的基础上总结了结论并根据江苏省的现状提出了政策建议。

## 关键词

产业结构，能源消费，灰色关联分析，回归分析

# Study on the Influence of Industrial Structure Adjustment on Energy Consumption Structure Change

Tongxin Fu

School of Public Administration, Chongqing University, Chongqing

Received: Dec. 12<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 14<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 21<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

China is in an important stage of industrialization and urbanization. The demand for energy in all aspects of production activities remains at a high level. With the large consumption of energy, various environmental pollution problems come one after another. The main reason is that China's industrial structure is unreasonable and energy efficiency is not high. Therefore, this paper chooses Jiangsu Province as the target region, which has its own characteristics in geographical location, energy reserves, economic development status and so on, as the target area to study the impact of industrial structure adjustment on energy consumption structure and explore methods to improve energy utilization efficiency, which can not only provide reference for similar provinces, but also improve the ecological environment. Stimulating economic development is also of great significance. Firstly, this paper makes a qualitative analysis on the energy consumption structure, industrial structure development, energy consumption and energy consumption efficiency of the three industries in Jiangsu Province, and summarizes the characteristics of energy consumption structure according to the industrial development. Then, based on the data from 2003 to 2017, this paper selects the grey correlation analysis method and regression analysis method to make a quantitative analysis on the correlation degree and influence degree between the three industries and the total energy consumption. The empirical results show that the secondary industry has a significant correlation degree to the energy consumption, the tertiary industry ranks second and the primary industry is the smallest. Finally, based on the above analysis, this paper summarizes the conclusions and puts forward policy suggestions according to the current situation of Jiangsu Province.

## Keywords

Industrial Structure, Energy Consumption, Grey Relational Analysis, Regression Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

作为人类生产活动和国家经济发展的“源动力”，能源是经济生产系统的重要生产要素。随着我国经济的迅速发展以及工业化、城镇化的快速推进，我国对能源的需求也在逐步提升，能源消费总量和人均能源消费量同时增长。与此同时，我国能源消耗需求较大，能源供求矛盾突出、使用效率偏低等问题都较为突出，供给侧改革不能拖延，能源转型也还有很长的路要走。而产业结构作为经济结构的重要组成部分，其变动会影响着能源消费的波动。从我国的产业结构来看，低附加值、污染度较高的产业占有较高的比重，相比较而言高附加值产业、绿色低碳产业、具有国际竞争力的产业比重偏低，这也是我国产业结构较为突出的问题[1]。并且我国的工业化发展已经进入到中后期阶段，能源需求激增。依据《中国统计年鉴》，我国2000年和2017年的煤炭能源缺口分别为8394万吨标准煤和90000万吨标准煤，前者是后者的10.72倍。由此我们可以看出，现如今我国能源缺口逐年增大，产业结构和能源供给不足的矛盾日益凸显，如何优化产业结构，转变能源消费模式，从而实现可持续发展已经成为实现我国经济水平进一步提升的重要先决条件。产业结构的调整会对能源消费结构产生什么样的影响？不同产业与能源消费的关联度如何？该如何正确调整产业结构，才能让能源消费结构达到最优？这些问题在学界上暂时

没有统一的定论，具有理论和实践上的多重挑战。

## 2. 文献综述

国内外学者基本上都运用了定性定量实证分析的方法来分析产业结构调整对能源消费结构的影响，如回归分析法、协整和向量误差修正模型、面板数据、矩阵分析等。不同学者运用了不同的方法和数据，得出的结论也有差异，但基本上都肯定了产业结构调整对能源消费结构的影响。

Malenbaum 开创的资源生命周期理论分析了全球经济中能源强度和不同产业所贡献 GDP 的关系变化，得出能源消费强度随产业结构的变化呈现出“倒 U 型”发展趋势的结论。Harry Bloch 和 Rafiq (2012) [2] 从供给侧和需求侧两个方向，对中国煤炭消费总量和产业结构以及 GDP 的进行了分析，从长期来看，煤炭消费量与 GDP 增长之间存在互相作用的关系，产业结构的调整也和煤炭消费之间存在单向因果关系。刘宇(2017) [3]通过构建面板数据，创建了煤消费模型、焦炭消费模型以及其他能源消费模型，计算出行业影响因子和时间影响因子，得出能源消耗和产业结构有着密切联系，同时能源的大量消耗会阻碍我国经济的可持续发展，需要改变产业结构的结论。张慧楠(2018) [4]采用空间杜宾模型来对产业结构对能源消费影响的空间效应进行了研究，得出结论：在样本空间内，产业结构变动会对能源消费产生积极影响，同时还伴随着非常明显的溢出效应；同时，她又建立了不同年份的地理加权回归模型，对产业结构在能源消费上的地区差异性以及时间变化规律进行了研究。尹春华和顾培亮(2003) [5]采用灰色关联分析法分析了产业的能源消费量与能源消费总量的关系，最终得出对能源消费总量产生最显著作用的是第二产业的结论。汪小英(2013) [6]等分析了产业结构和能源消费的结构协调性，认为可以通过产业和能源两方面的调整弱化能源对经济发展的限制作用，减小环境因素的影响。

上述研究对于产业结构调整对能源消费结构变动影响的研究极具理论价值和现实意义，但现有文献并没有细化各产业的结构变动情况，且未对不同产业对能源消费结构产生的具体影响达到一致结论。因此本文将在研究三大产业的结构变动的基础上，细化产业结构，更加细致地研究产业结构变动对于能源消费结构的影响。与已有研究相比，本文的贡献在于：第一，细化分析了江苏省产业结构与能源消费结构的现状及特点，为后续研究奠定了基础。第二，选用灰色关联度分析及回归分析两种实证方法来多角度实证产业结构调整对能源消费结构的影响，提高了实证的精度和准确度。

## 3. 江苏省产业结构和能源消费结构现状分析

### 3.1. 江苏省能源消费总量分析

江苏省位于长三角地区，自改革开放后，其凭借具有优势的地理环境、交通和政策等多重因素，经济发展迅速。然而伴随着经济高速发展的是巨大的能源消费量，2003 年，江苏省煤炭消费总量达到了 10848.83 万吨标准煤，标准煤消耗第一次高达 9 位数吨位。2008 年江苏省煤炭消费量为 22232.2 万吨标准煤，仅五年时间煤炭消费量便翻了一倍，到 2016 年，江苏省煤炭消费量为 31053.89 万吨标准煤。在能源消费总量逐渐上升的过程中，能源供应量却没有明显的变化。2003 年，江苏省可供消费煤炭产量为 2234.44 万吨标准煤，能源缺口为 8614.39 万吨标准煤。2008 年，江苏省可供消费的煤炭产量为 2405.84 万吨标准煤，能源缺口为 19826.36 万吨标准煤，2016 年，江苏省可供消费的煤炭产量为 3096.99 万吨标准煤，能源缺口为 27956.9 万吨标准煤。从 2003 年~2016 年，能源消费量增长了 186.2%，而可供消费量只增长了 38.6%，能源自给率也从 2003 年的 20.6% 下降到 2016 年的 9.97%。可以看出，能源缺口越来越大，能源供需严重不平衡。

江苏省所处地段资源相对贫乏，能源产出较少。煤炭的可采储量、能源资源储量等均不占优势，能源短缺问题可能成为江苏省经济水平进一步提升的阻碍。

### 3.2. 江苏省能源消费结构分析

江苏省能源消费品种丰富，传统能源和清洁能源相结合，主要有煤炭、焦炭、原油、汽油、柴油、天然气、电力等，表 1 为具体数据，其中天然气以亿立方米计量，电力以亿千瓦时计量，其它能源均以万吨来计量。

**Table 1.** Various energy consumption in Jiangsu Province from 2000 to 2016

**表 1.** 2000 年~2016 年江苏省各类能源消费量

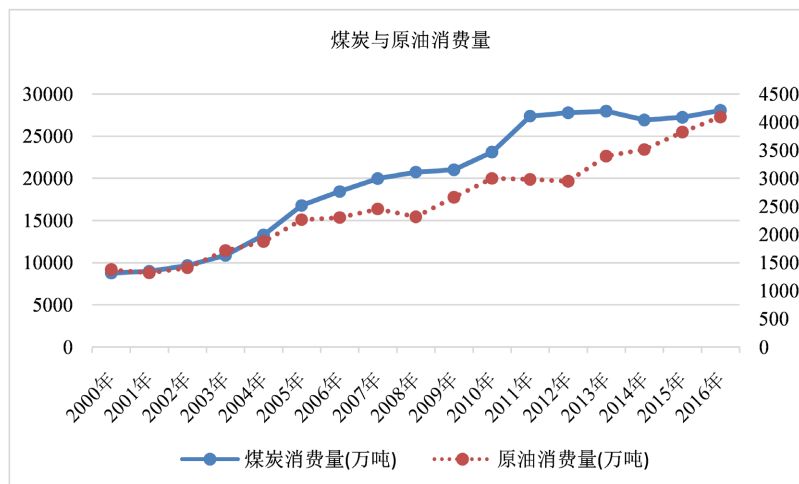
时间	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力
2000	8769.8	383.69	1376.65	187.3	38.94	345.02	202.44	0.24	971.34
2001	8963	374.61	1317.61	247.71	6.08	355.95	170.64	0.23	1078.44
2002	9663	398.92	1407.68	293.39	6.52	379.28	181.52	1.01	1245.14
2003	10848.82	448.06	1714.54	339.17	14.92	413.94	216.31	0.62	1505.13
2004	13272.08	801.07	1875.39	364.23	20.18	508.11	328.2	3.14	1820.08
2005	16778.57	1593.12	2264.76	420.13	21.55	515.12	257.72	13.62	2193.45
2006	18427.68	1844.49	2302.7	449.51	18.41	587.17	201.06	31.3	2569.75
2007	19951.8	1884.7	2454	481.56	20.79	607.99	236.59	44.58	2952.02
2008	20736.71	1888.95	2313.13	561.8	21.45	646.21	218	63.13	3118.32
2009	21003.02	2221.2	2661.44	585.66	21.18	655.87	217.1	63.43	3313.99
2010	23100.48	2663.47	2998.55	749.84	35.69	727.96	157.71	71.57	3864.37
2011	27364	3151.47	2981.07	827.38	44.73	759.4	151.19	93.74	4281.62
2012	27762	3170.1	2947.99	935	53.14	803.54	158.35	113.14	4580.9
2013	27946.07	3190.61	3394.78	891.46	63.79	752.28	182.7	124.47	4956.6
2014	26912.61	3408.6	3511.4	974.61	82.77	814.06	151.78	127.7	5012.54
2015	27209.12	3588.61	3823.2	1003.89	84.85	819.38	143.73	165.02	5114.7
2016	28048.13	3840.21	4092.04	1012.31	90.58	821.31	151.6	172.73	5458.95

本文选取煤炭、原油作为传统能源代表，天然气、电力作为新兴清洁能源的代表，对这四类能源进行具体分析。

#### 3.2.1. 传统能源消耗分析

煤炭在我国的储量丰富，也是我国使用最多的能源。从图 1 可以看出，自 2011 年开始，煤炭消费量变化基本平稳，增长的速度开始缓慢，江苏省对煤炭的依赖程度逐渐下降，这是因为人们认识到传统能源的使用所导致的一系列环境问题不利于经济的可持续发展，政府采取了相应的节能减排等措施来限制对传统能源的使用。同时随着科技的发展，生产工艺得到优化，这也对工业对煤炭能源的依赖度降低产生了一定的作用。江苏省以煤炭为主要消费能源的结构在短期内是很难改变的，但是增长速度呈现出逐渐缓慢的状态，这也是一个较为乐观的趋势。

原油主要用来加工石油制品，其消费量由 2000 年的 1376.65 万吨增长到 2016 年的 4092.04 万吨，增长了 197.2%。原油消费量在 2008 年有一个明显的下降趋势，但在后续几年又恢复到上升的状态，由图 1 可看出，原油仍然持续增长，增长速度并没有减缓的趋势。



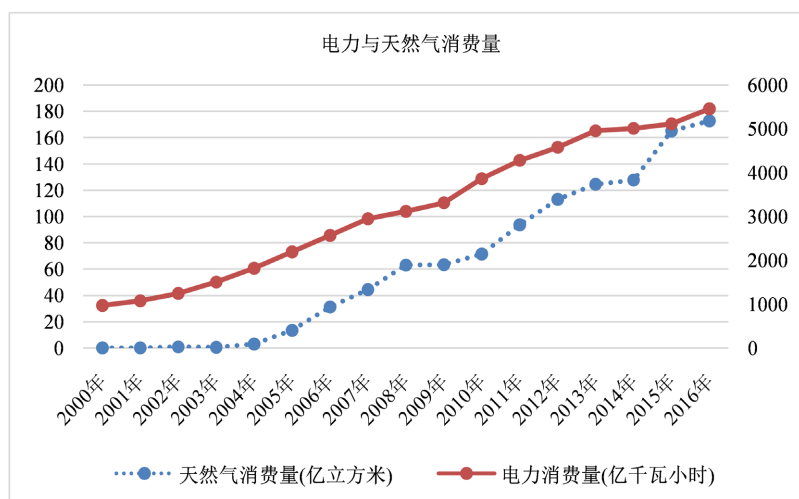
**Figure 1.** Coal and crude oil consumption trends in Jiangsu Province from 2000 to 2016

**图 1.** 2000 年~2016 年江苏省煤炭与原油消费趋势图

### 3.2.2. 清洁能源消耗分析

电力在近几年也发展成为江苏省最主要的能源之一，一方面的原因是工业的发展对电力的需求也越来越大，另一方面也有家用电器的快速增长的影响。电力的消费量从 2000 年的 971.34 亿千瓦时增长到 2016 年的 5458.85 亿千瓦时，增长了 461.9%，增速惊人，未来几年，随着江苏省经济的发展，作为清洁能源的电力能源会有巨大的发展空间。

天然气是一种安全、经济、环保、方便的能源。江苏省本身天然气资源并不丰富，从图 2 中可以看出，2004 年后天然气的消费量逐年增长，这是因为自 2004 年开始，江苏省开始把天然气从外省调入，特别是“西气东输”、“川气东送”等工程开启后，天然气的消费量更是进一步增长，从 2000 年到 2016 年江苏省消耗的天然气翻了 700 多番。天然气的大面积应用也代表江苏省对能源的清洁性非常重视，在发展经济的同时也更加注重环境的保护。



**Figure 2.** 2000~2016 year electricity and natural gas consumption trends in Jiangsu Province

**图 2.** 2000 年~2016 年江苏省电力与天然气消费趋势图

### 3.3. 江苏省三大产业发展情况

产业结构是把一个国家(地区)的国民经济作为研究主体,通过社会的再生产把国民经济划分为若干个产业部门,用产业发展的眼光去研究不同产业所占比重及其变化规律。对于产业结构的分类,目前有很多种方法,本文中主要采用由统计学家克拉克总结出的“三次产业分类法”,他认为,第一产业是可以从大自然直接得到的部门,即农业(包括种植业、林业、牧业、副业及渔业)这类可以直接将自然资源用来进行生产活动的产业;第二产业的生产活动是对自然资源进行加工或者再加工,需要对初级产品进行再加工,包括制造业、采掘业、建筑业等;第三产业是为生产和消费提供各种服务的部门,主要包括服务业(运输业、交通业、批发零售、金融、教育科学、政府活动等),第三产业的主要生产活动是满足人类除了物质外更高的需求。

为了更好的观察江苏省三大产业的发展情况,分别用表 2 和图 3 来展现江苏省三大产业的生产总值及占比情况变化。

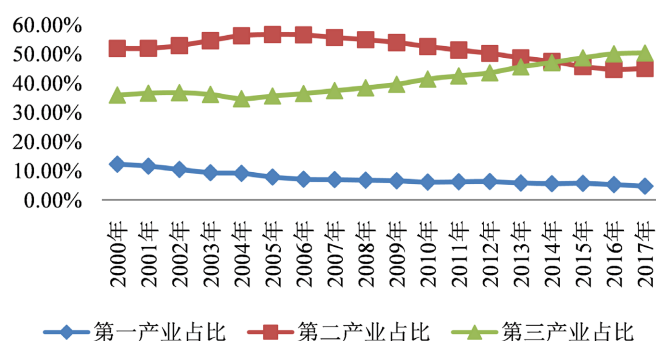


Figure 3. Changes in the proportion of the three major industries in Jiangsu Province from 2000 to 2017

图 3. 2000 年~2017 年江苏省三大产业占比变化图

Table 2. The GDP of the three major industries in Jiangsu Province from 2000 to 2017

表 2. 江苏省 2000 年~2017 年三大产业生产总值

时间	第一产业	第二产业	第三产业	江苏省生产总值
2000 年	1048.34	4435.89	3069.46	8553.69
2001 年	1094.48	4907.46	3454.9	9456.84
2002 年	1110.44	5604.49	3891.92	10606.85
2003 年	1162.45	6787.11	4493.31	12442.87
2004 年	1367.58	8437.99	5198.03	15003.6
2005 年	1461.51	10524.96	6612.22	18598.69
2006 年	1545.05	12282.89	7914.11	21742.05
2007 年	1816.31	14471.26	9730.91	26018.48
2008 年	2100.11	16993.34	11888.53	30981.98
2009 年	2261.86	18566.37	13629.07	34457.3
2010 年	2540.1	21753.93	17131.45	41425.48
2011 年	3064.78	25203.28	20842.21	49110.27

Continued

2012 年	3418.29	27121.95	23517.98	54058.22
2013 年	3469.86	29086.08	27197.43	59753.37
2014 年	3634.33	30854.5	30599.49	65088.32
2015 年	3986.05	32044.45	34085.88	70116.38
2016 年	4077.18	34619.5	38691.6	77388.28
2017 年	4045.16	38654.87	43169.73	85869.76

可以看出,江苏省是一个以工业为先导,以第二产业为重点的典型省份。2012年,全国第三产业结构已达到“三、二、一”的比例,但江苏省在2014年第三产业才追平并超过第二产业。江苏省产业结构的基本特征是在第二产业全面发展后,产业结构开始转向中高端第三产业。第二产业给第三产业提供了坚实的经济基础,因此不会出现由于缺少第二产业经济的支撑而导致的第三产业表面繁荣实则资金匮乏的情况。1988年以来,江苏省产业结构进入了“二、三、一”型的阶段,在这一阶段的较长时期内,第三产业保持平稳发展,没有明显的增长,甚至在2002年到2005年的阶段,第三产业比重下降,第二产业比重进一步上升。2005年以后,江苏省的第三产业开始重新崛起,增速明显高于第二产业。江苏省第一产业始终处在末位,因为对第一产业产品的需求弹性小,第一产业对国内生产总值的贡献了也逐渐下降,因此,江苏省的产业结构特征近期为,第一产业不断削弱,第三产业开始崛起,并超越第二产业,产业结构进入到第二产业和第三产业同等重视的阶段,这是一种工业化和现代化的表现。

### 3.4. 江苏省产业结构与能源消费的关系分析

本文将从第一、第二、第三产业的能源消费以及生活用能来分析江苏省的能源消费,这四种消费形式基本可以代表江苏省的能源消费状况,本文采用《江苏省统计年鉴》中《能源平衡表》的数据,其中,农、林、牧、渔、水利业的能源消费总量为第一产业的消费总量,工业和建筑业能源消费总和为第二产业能源消费总量,交通运输仓储、邮电通讯业、批发和零售贸易餐饮业和其他能源消费的总量为第三产业的能源消费总量,其中“其他”项中包含信息传输、计算机服务和软件业、住宿和餐饮业、金融业、房地产业、租赁和商务服务业以及公共服务及组织管理业。其数据如表3所示。

**Table 3.** Energy consumption of the three major industries in Jiangsu Province from 2003 to 2017 (unit: 10,000 tons of standard coal)

**表 3.** 2003 年~2017 年江苏省三大产业能源消费情况(单位:万吨标准煤)

年份	能源消费总量	第一产业		第二产业		第三产业		生活消费
		农林牧渔水利业	工业	建筑业	交通运输业及仓储邮电通讯业	批发和零售贸易餐饮业	其他	
2003 年	11060.68	363.53	8692.59	77.08	718.83	157.95	237.57	803.15
2004 年	13651.69	369.43	11029.6	93.24	878.06	191.66	255.92	822.25
2005 年	17167.39	321.59	14020.33	204.68	899.45	249.86	373.21	1098.27
2006 年	18742.19	327.97	15401.34	218.02	957	260.27	416.19	1161.4
2007 年	20948.04	330.16	17307.23	227.77	1058.69	293.51	476.52	1254.16
2008 年	22232.23	330.89	18133.51	232.93	1201.71	341.13	538.59	1453.47

Continued

2009年	23709.28	360.96	19260.23	249.09	1254.1	366.74	628.2	1589.96
2010年	25773.7	394.68	20597.82	281.22	1462.56	400.8	753.8	1882.82
2011年	27588.97	451.96	22013.25	328.45	1566.3	422.59	850.81	1935.61
2012年	28849.84	515.26	22636.42	355.74	1701.85	500.34	937.38	2202.85
2013年	29205.38	440.98	22548.91	397.04	1835.07	529.46	1028.91	2425.01
2014年	29863.03	462.61	23080.21	415.54	2014.31	531.53	1031.45	2327.38
2015年	30235.3	516.32	23119.51	377.84	2125.45	531.92	1101.72	2462.54
2016年	31053.89	534.04	23456.02	349.66	2200.99	571.63	1196.69	2744.86
2017年	31430.41	546.16	23325.09	357.57	2311.91	609.2	1323.02	2957.46

随着江苏省经济的发展和产业结构的调整,第一产业的能源消费量从2003年的362.53万吨标准煤发展到2017年的546.16万吨标准煤,是原来的1.5倍;第二产业从2003年的8769.67万吨标准煤上升到2017年的23682.66万吨标准煤,是原来的2.7倍;第三产业从2003年的1114.35万吨标准煤增长到4244.13万吨标准煤,是原来的3.8倍。三大产业均呈增长状态,可以看出第三产业增速最快。

图4具体展示了2003年~2017年不同产业能源消费占比的变化趋势,可以看出,江苏省90%以上的能源用于经济的发展,居民生活用能仅占一小部分。第一产业所消费的能源一直处于2%以下,并且逐年减少,在2017年仅占全部耗能的1.74%。第二产业所消耗的能源占比一直远超过其他产业,在2007年达到最高峰83.71%,之后一直处于下降状态,2017年,第二产业消费的能源占总能源消费的75.35%。第三产业所消费的能源占比随着产业结构的调整不断增长,从最低峰的8.72%在2017年上升到13.50%,这也代表着江苏省的第三产业发展蓬勃。在今后的发展中,第一产业和第二产业的耗能占比可能会继续下降,第三产业的耗能占比会不断上升。

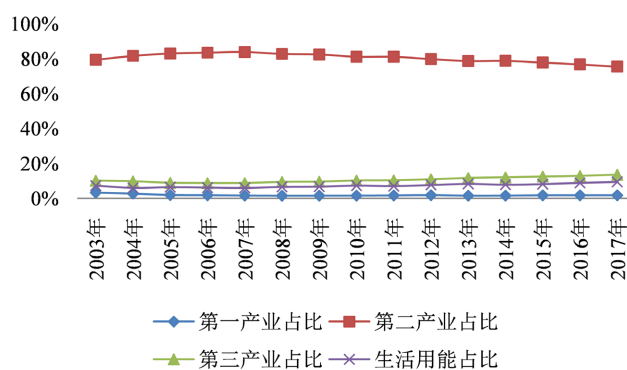


Figure 4. The proportion of energy consumption in different industries from 2003 to 2017

图4. 2003年~2017年不同产业能源消费占比图

## 4. 江苏省产业结构对能源消费结构的影响

### 4.1. 江苏省能源消费强度的分析

能源强度也称为单位GDP能耗,是指一定时期内一个国家(地区)每生产一个单位的国内(地区)生产总值所消耗的能源。其主要说明一个国家(地区)经济活动中对能源的利用程度,反应经济结构和能源利用



效率的变化，计算公式为：

$$e = \frac{E}{G}$$

其中， $e$  表示能源强度， $E$  为能源消费总量(万吨标准煤)， $G$  为生产总值(亿元)。2003 年-2017 年江苏省的能源强度如表 4 所示，可以看出江苏省的能源消费强度是呈下降趋势的，说明随着产业结构的调整，每单位的经济价值所消耗的能源越来越少，即能源消耗效率越来越高。

**Table 4.** Energy Intensity of Jiangsu Province from 2003 to 2017

**表 4.** 2003 年~2017 年江苏省能源强度

年份	能源消费总量(万吨标准煤)	生产总值(亿元)	能源强度
2003 年	11060.68	12442.87	0.888917
2004 年	13651.69	15003.6	0.909894
2005 年	17167.39	18598.69	0.923043
2006 年	18742.19	21742.05	0.862025
2007 年	20948.04	26018.48	0.805122
2008 年	22232.23	30981.98	0.717586
2009 年	23709.28	34457.3	0.688077
2010 年	25773.7	41425.48	0.62217
2011 年	27588.97	49110.27	0.561776
2012 年	28849.84	54058.22	0.533681
2013 年	29205.38	59753.37	0.488765
2014 年	29863.03	65088.32	0.458808
2015 年	30235.3	70116.38	0.431216
2016 年	31053.89	77388.28	0.401274
2017 年	31430.41	85869.76	0.366024

## 4.2. 江苏省能源消费与产业结构的灰色关联分析

### 4.2.1. 灰色关联分析方法和模型

灰色系统理论是由邓聚龙于 1982 年提出的一种系统科学理论，主要由“部分信息已知，部分信息未知”的样本量较少的不确定性系统为研究对象，通过生成、开发、提取较少的已知信息中有价值的信息，形成对运行规律的正确描述和有效控制。其基本原理是两个变量之间的曲线越接近，相应数列的关联性就越大，曲线距离越远，关联性就越小[7]。灰色系统理论对样本的数量和规律性没有具体的要求，不会出现定量分析和定性分析出现偏差的现象。因此本文会从灰色系统理论入手，对数据进行灰色关联分析，研究不同产业与能源消费的关联度。

### 4.2.2. 模型构建

灰色关联计算主要有绝对关联计算、相对关联计算和综合关联计算。其步骤如下：

第一步，确定分析数列。

参考数列为：

$$X_0(k) = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\} \quad (3-1)$$

比较数列为:

$$X_i(k) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}, i = 1, 2, \dots, m \quad (3-2)$$

第二步, 对始点进行零向化处理, 并根据下列公式计算不同产业与江苏省能源消费总量之间的灰色绝对关联度。

$$|S_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X_i^0(k) + \frac{1}{2} X_i^0(n) \right| \quad (3-3)$$

$$|S_i - S_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (X_i^0(k) - X_0^0(k)) + \frac{1}{2} (X_i^0(n) - X_0^0(n)) \right| \quad (3-4)$$

$$\varepsilon_{0i} = \frac{1 + |S_0| + |S_i|}{1 + |S_0| + |S_i| + |S_i - S_0|} \quad (3-5)$$

第三步, 根据下列公式计算不同产业的能源消费量和江苏省能源消费总量的灰色相对关联度。

$$|S'_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X_i'^0(k) + \frac{1}{2} X_i'^0(n) \right| \quad (3-6)$$

$$|S'_i - S'_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (X_i'^0(k) - X_0'^0(k)) + \frac{1}{2} (X_i'^0(n) - X_0'^0(n)) \right| \quad (3-7)$$

$$\gamma_{0i} = \frac{1 + |S'_0| + |S'_i|}{1 + |S'_0| + |S'_i| + |S'_i - S'_0|} \quad (3-8)$$

其中,  $X_i'^0 = \left( \frac{X_i(1)}{X_i(1)}, \frac{X_i(2)}{X_i(1)}, \dots, \frac{X_i(n)}{X_i(1)} \right)$ , 是初值像的始点零化像。

第四步, 带入灰色绝对关联以及灰色相对关联的数据, 根据下列公式计算不同产业的能源消费量和江苏省能源消费总量的灰色综合关联度。

$$\rho_{0i} = \theta \varepsilon_{0i} + (1 - \theta) \gamma_{0i} \quad (\text{取 } \theta = 0.5) \quad (3-9)$$

#### 4.2.3. 实证分析

由于我国统计局所提供的数据具有滞后性, 故能获得的数据截至 2017 年, 我们对 2003 年~2017 年的数据进行计算, 得出以下结果:

**Table 5.** Correlation between energy consumption and industrial structure in Jiangsu Province

**表 5.** 江苏省能源消费量和产业结构的关联度

指标	绝对关联度	相对关联度	综合关联度
第一产业能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{01} = 0.5019$	$\gamma_{01} = 0.572$	$\rho_{01} = 0.537$
第二产业能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{02} = 0.9039$	$\gamma_{02} = 0.991$	$\rho_{02} = 0.9475$
第三产业能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{03} = 0.5567$	$\gamma_{03} = 0.9459$	$\rho_{03} = 0.7513$
农林牧渔水利业能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{11} = 0.5019$	$\gamma_{11} = 0.572$	$\rho_{11} = 0.573$
工业能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{21} = 0.8962$	$\gamma_{21} = 0.996$	$\rho_{21} = 0.9461$

## Continued

建筑业能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{22} = 0.5077$	$\gamma_{22} = 0.7288$	$\rho_{22} = 0.6183$
交通运输业及仓储邮电通讯业能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{31} = 0.5286$	$\gamma_{31} = 0.9419$	$\rho_{31} = 0.7352$
批发和零售贸易餐饮业能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{32} = 0.5091$	$\gamma_{32} = 0.896$	$\rho_{32} = 0.7025$
其他能耗与能源消费总量	$\varepsilon_{33} = 0.519$	$\gamma_{33} = 0.7863$	$\rho_{33} = 0.6526$

根据表 5 可以看出, 从灰色绝对关联度来看  $\varepsilon_{02} > \varepsilon_{03} > \varepsilon_{01}$ , 从灰色相对关联度来看  $\gamma_{02} > \gamma_{03} > \gamma_{01}$ , 从灰色综合关联度来看  $\rho_{02} > \rho_{03} > \rho_{01}$ 。利用三种灰色关联度得出的结论一致, 第二产业对能源消费量有显著的关联度, 其次是第三产业, 第一产业最小。从产业内部来看, 第二产业中工业对能源消费总量的影响大于建筑业对其的影响, 第三产业内部各类产业对能源消费总量的影响程度基本相同。

### 4.3. 江苏省能源消费与产业结构的回归分析

灰色关联分析可以反映出不同产业结构和能源消费之间的关联度, 但是没办法反映产业结构的调整对能源消费影响的大小[8]。回归分析是研究一个变量关于另一个(些)变量的依赖关系的计算方法和理论, 故本文将采用回归分析法来进行补充研究, 用三大产业的能源消费占比的变化来代表产业结构的调整, 具体的数据如表 6 所示。

**Table 6.** Energy consumption and proportion of the three major industries in Jiangsu Province from 2003 to 2017 (unit: 10,000 tons)

**表 6.** 2003 年~2017 年江苏省三大产业能源消费量及占比(单位: 万吨)

年份	第一产业占比	第二产业占比	第三产业占比
2003 年	3.29%	79.29%	10.07%
2004 年	2.71%	81.48%	9.71%
2005 年	1.87%	82.86%	8.87%
2006 年	1.75%	83.34%	8.72%
2007 年	1.58%	83.71%	8.73%
2008 年	1.49%	82.61%	9.36%
2009 年	1.52%	82.29%	9.49%
2010 年	1.53%	81.01%	10.15%
2011 年	1.64%	80.98%	10.29%
2012 年	1.79%	79.70%	10.88%
2013 年	1.51%	78.57%	11.62%
2014 年	1.55%	78.68%	11.98%
2015 年	1.71%	77.71%	12.43%
2016 年	1.72%	76.66%	12.78%
2017 年	1.74%	75.35%	13.50%

#### 4.3.1. 数据平稳性检验

回归分析要求时间序列数据具有平稳性, 不然将会出现“虚假回归”或者“伪回归”的现象, 不能

得到有意义的结果。因此本文将利用 ADF 检验法检验数据的平稳性。

把第一、第二、第三产业的能源消耗占比分别用  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  来表示, 农林牧渔水利业、工业、建筑业、交通运输业及仓储邮电通讯业、批发和零售贸易餐饮业和其他行业的能源消耗占比分别用  $X_{21}$ ,  $X_{22}$ ,  $X_{31}$ ,  $X_{32}$ ,  $X_{33}$  来表示, 江苏省能源消费总量用  $y$  来表示。为了消除异方差的影响, 将数据进行取对数处理, 细分产业同理, 单位根检验结果如表 7 所示。可以看出, 所有变量的 P-value 均小于 0.05, 所以数据不存在单位根, 数据平稳。

**Table 7.** ADF test results  
**表 7.** ADF 检验结果

变量	ADF 值	临界水平			P-value
		1%	5%	10%	
$\ln y$	-9.75279	-4.004425	-3.0989	-2.69044	0
$D(\ln X_1, 2)$	-3.966787	-4.200056	-3.17535	-2.72899	0.0144
$\ln X_2$	-11.1707	-4.004425	-3.0989	-2.69044	0
$\ln X_3$	-4.048888	-4.004425	-3.0989	-2.69044	0.0092
$\ln X_{21}$	-11.56387	-4.00425	-3.0989	-2.69044	0
$D(\ln X_{22}, 1)$	-6.522789	-4.12199	-3.14492	-2.71375	0.0003
$D(\ln X_{31}, 1)$	-6.033989	-4.05791	-3.11991	-2.7011	0.0004
$D(\ln X_{32}, 2)$	-5.61398	-4.12199	-3.14492	-2.71375	0.001
$D(\ln X_{33}, 2)$	-10.30117	-4.12199	-3.14492	-2.71375	0.0007

注: 其中  $D(\ln X, 1)$  表示  $\ln X$  的一阶差分,  $D(\ln X, 2)$  表示  $\ln X$  的二阶差分。

#### 4.3.2. 回归分析

本文以江苏省能源消费总量作为被解释变量, 第一、第二、第三产业的能源消费占比分别作为解释变量建立模型, 使用 Eviews8.0 进行回归分析, 可得表 8:

**Table 8.** Results of regression analysis  
**表 8.** 回归分析结果

变量	系数	标准差	T 统计值	概率
$c_1$	0.795634	0.117263	6.785025	0.0000
$\ln X_1$	0.001605	0.016314	0.098377	0.0034
$\ln X_2$	0.785239	0.015943	49.25322	0.0000
$\ln X_3$	0.195788	0.016352	11.97352	0.0000
调整后的 $R^2$			0.999859	
回归标准差			0.003798	
残差平方和			0.000159	

可得回归方程:  $\ln y = 0.796 + 0.0016 \ln X_1 + 0.7852 \ln X_2 + 0.1958 \ln X_3$ , 且模型的  $R^2 = 0.99$ , 证明方程

拟合效果很好。所以可以看出，第二产业对能源消费影响最大，能源消费占比每增加 1%，能源消费总量将增加 0.7852%；第三产业次之，能源消费占比每增加 1%，能源消费总量增加 0.1958%；第一产业对能源消费总量影响最小。

将三大产业分别细化为农林牧渔水利业、工业、建筑业、交通运输业及仓储邮电通讯业、批发和零售贸易餐饮业和其他行业，选用能源消费占比作为解释变量，建立模型，使用 Eviews8.0 进行回归分析，可得表 9：

**Table 9.** Results of regression analysis  
**表 9.** 回归分析结果

变量	系数	标准差	T 统计值	概率
$c_2$	1.302728	0.093092	13.99391	0.0000
$\ln X_1$	0.006472	0.009117	0.709931	0.0079
$\ln X_{21}$	0.750509	0.012153	61.75390	0.0000
$\ln X_{22}$	0.002185	0.005889	0.370975	0.0703
$\ln X_{31}$	0.063661	0.012951	4.915449	0.0012
$\ln X_{32}$	0.050511	0.018927	2.668685	0.0284
$\ln X_{33}$	0.087856	0.011678	7.522970	0.0001
调整后的 $R^2$		0.999960		
回归标准差		0.002016		
残差平方和		0.004265		

可以看出，若将产业细分，第二产业中的工业对能源消费总量的影响最大，每增加 1%，能源消费总量将增加 0.7505%，第二产业中的建筑业对能源总量的影响就远远小于工业；第三产业中的行业对能源总量的消费影响都相差不多，但是也明显小于工业对能源消费总量的影响。

## 5. 结论及政策建议

### 5.1. 结论分析

本文首先介绍了江苏省的能源消费结构和产业结构在现阶段的具体情况，探究了江苏省能源消费和产业结构的发展变化规律，并主要选取了煤炭、原油、天然气、电力，分别作为能源代表对它们的发展规律和未来趋势进行了研究与预测。然后，在第三章选取 2003 年~2017 年江苏省的能源消费总量和不同产业的能源消费量及占比作为样本目标，采用灰色关联分析和回归分析对数据进行了研究，得到了以下结论：

1) 从江苏省的能源消费结构来看，煤炭、原油等传统能源仍是主导地位，但其消费增长速度已经逐渐开始变慢；电力、天然气这类绿色能源的增长速度惊人，增长幅度远大于传统能源。我国能源消费的结构正在改变，能源利用效率不断提高。

2) 江苏省三大产业的生产总值都是增长的趋势，由于对第一产业的需求弹性不高，故其增长比较平稳，增速也比较缓慢；第二产业和第三产业的增速都非常快，并且第二产业的生产总值已经被第三产业超越，产业结构已经逐渐向高级化转型。

3) 通过分析三大产业的能源消费情况，第二产业能耗最多，尤其是工业行业中的部分高耗并且产值

低的行业，次之的是第三产业和第一产业。绝大部分的能源消耗还是用在了拉动经济增长上，用于居民生活的能源相对较少。

4) 在三大产业中，第二产业对能源消费量有显著的关联度，第三产业排名第二，第一产业最小。从产业内部来看，工业比建筑业与能源消费总量的关联度要大，而第三产业中的不同产业与能源消费总量的关联度相差不大，但高技术产业与能源消费总量的关联度最小。

5) 三大产业结构的变动对能源消费的影响从小到大分别为第二产业、第三产业、第一产业，且第二产业对能源消费的影响程度明显比第一产业和第三产业强很多，其中工业对能源消费的影响最大。

## 5.2. 政策建议

产业结构调整包括产业结构合理化和产业结构高级化两个方面。产业结构合理化是指各产业之间相互协调，具有产业结构转换的能力和适应市场需求变化的能力，具体表现为产业之间数量比例关系、经济技术联系和相互作用关系趋向协调平衡的过程。产业结构高级化即为产业结构升级，是指产业结构系统从较低形式向较高级形式的转化过程[9]。因此在产业结构调整方面的建议，需要涉及到合理化和高级化两个层次。针对以上的研究分析和结论，结合江苏省的实际状况和国家政策，提出以下建议。

### 1) 产业结构合理化，重点发展第三产业

从江苏省的产业结构来看，主力产业主要还是第二产业的工业行业，这类行业是耗能最严重的产业，并且产能较低，所以应该在经济稳固增长的基础上，减少高耗能产业的比重，减少不必要的能源损耗，促进高耗能的企业转型。

第三产业的能源消费量远远低于第二产业，并且其生产总值的增长速度已经超过了第二产业的增长速度。所以提高第三产业的占比是降低能源消费的有效手段，加大对金融、信息、互联网、教育等知识密集型行业的比重，重点发展优质服务型行业，使第二产业向第三产业稳步转移。

### 2) 优化能源消费结构，积极开发新能源

政策强调要壮大清洁能源产业，促进能源生产和消费的改革。江苏省能源消费中，使用传统能源所产生的废气、污水等附加物对环境的影响是很大的。因此在能源结构调整中应该侧重于以清洁能源代替传统能源。一方面从根源入手，在能源开发上将绿色清洁能源的开发代替煤炭、原油的开采，增加清洁能源的供给，从而降低新能源的使用成本；另一方面在使用的过程中入手，通过煤改电、煤改气等方式减少传统能源的消费量。

### 3) 加大研究投入，促进生产技术进步

科技是第一生产力，也是推进能源效率提高的有力工具。能源十四五规划中强调要采用能源效率更高的技术，逐渐淘汰耗能高产能低的旧技术，从而做到节约能源并且减少后续产生的污染物。政府应提供优惠政策、减免税款、技术补贴等政策支持企业自主研究节能技术，同时也要从宣传方面入手，帮助企业认识到能源效率提高的优势和能够带来的效益，提高企业间的科技竞争意识，从而促使企业提高对技术引进和自主研发工作的积极性，构建能源科技创新氛围。

### 4) 政府加强补贴力度，引导传统产业与新能源结合

为了促进新能源的广泛使用，我国推出了一系列的能源补贴政策。我国新能源汽车就是一个较为成功的案例，其改变了传统汽车使用柴油、汽油驱动的模式，同时在购买方面国家又提供了较为可观的补贴比例，从而使得使用新能源汽车的人数逐年增加。除了企业开发将产品和新能源结合的新型产品，企业还应当在生产过程中，引进新能源，从而减少化石能源的使用，但是新能源的使用成本的确高于传统能源的成本，因此国家要从企业补贴入手，减少企业使用新能源的成本，同时通过加大新能源的产量，降低新能源的价格。

### 5) 加大宣传力度, 培养节能意识

近几年国家出台了《节约能源法》、《环境保护法》等能源方面的法律, 建立了一套较为完整的规章制度, 引导政府、企业和社会公众形成更加环保的能源消费观, 鼓励企业进行节能技术的研发并使用节能设备。同时政府也要顺应现在新媒体的发展, 利用新型的宣传方法提高企业的社会责任感, 培养公民的节能习惯。

### 参考文献

- [1] Li, K. and Lin, B.Q. (2014) The Nonlinear Impacts of Industrial Structure on China's Energy Intensity. *Energy*, **69**, 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.106>
- [2] Bloch, H., Rafiq, S. and Salim, R. (2012) Coal Consumption, CO<sub>2</sub> Emission and Economic Growth in China: Empirical Evidence and Policy Responses. *Energy Economics*, **34**, 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.014>
- [3] 刘宇, 陈国庆, 王辉艳. 我国能源消耗与产业结构关系的实证研究[J]. 现代商贸工业, 2017(20): 13-14.
- [4] 张慧楠. 产业结构变动对能源消费的空间效应分析[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州财经大学, 2018.
- [5] 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(自然科学与工程技术版), 2003, 36(1): 104-107.
- [6] 汪小英, 成金华, 易杏花. 产业结构和能源消费结构协调性分析及对策[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2013, 26(2): 201-208.
- [7] 王为东, 杨健. 基于灰色关联法的江苏产业结构调整对能源消费的作用研究[J]. 中国集体经济, 2018(22): 39-42.
- [8] 张路蓬, 苏屹, 刘晓静. 基于灰色关联的能源消耗与产业结构调整分析[J]. 统计与决策, 2011(15): 122-125.
- [9] 欧晓万. 产业结构调整的能量消费约束研究[J]. 甘肃科学学报, 2008, 20(3): 151-155.