

# 中国能源效率影响因素分析

## ——基于省级面板数据的实证分析

陈光明

重庆大学, 重庆

收稿日期: 2022年12月3日; 录用日期: 2023年1月4日; 发布日期: 2023年1月12日

### 摘要

随着经济社会的快速发展, 我国的能源消费也呈现出较快的增长态势。降低能源消费强度、提升能源利用效率已成为保障国家能源安全、推动生态环境质量改善、促进温室气体减排的重要举措。本文通过我国30个省市2000~2018年的面板数据对影响我国能源效率的因素进行探究, 研究结果表明, 产业结构、能源消费结构、技术水平、经济发展水平都能显著影响能源效率。具体表现为: 一是第二产业增加值占GDP比重的下降、能源消费中煤炭消费量占比的下降能够显著降低能源强度, 提升能源效率; 二是技术进步和提升居民消费水平均能显著降低能源强度, 提升能源利用效率。

### 关键词

能源效率, 能源强度, 能源消费结构, 技术进步

# Analysis of Influencing Factors of Energy Efficiency in China

## —An Empirical Analysis Based on Provincial Panel Data

Guangming Chen

Chongqing University, Chongqing

Received: Dec. 3<sup>rd</sup>, 2022; accepted: Jan. 4<sup>th</sup>, 2023; published: Jan. 12<sup>th</sup>, 2023

### Abstract

With the rapid development of the economy and society, energy consumption in our country has shown a rapid growth trend. Reducing energy consumption intensity and improving energy efficiency have become important measures to ensure national energy security, promote the im-

文章引用: 陈光明. 中国能源效率影响因素分析[J]. 可持续发展, 2023, 13(1): 76-83.

DOI: 10.12677/sd.2023.131009

provement of ecological and environmental quality, and promote the emission reduction of greenhouse gases. In this paper, the panel data of 30 provinces and cities from 2000 to 2018 were used to explore the influencing factors of China's energy efficiency. The research results show that industrial structure, energy consumption structure, technology level and economic development level can all significantly affect energy efficiency. The specific performance is as follows: first, the decrease of the proportion of the added value of the secondary industry in GDP and the decrease of the proportion of coal consumption in energy consumption can significantly reduce energy intensity and improve energy efficiency; Second, technological progress and improvement of household consumption level can significantly reduce energy intensity and improve energy efficiency.

## Keywords

Energy Efficiency, Energy Intensity, Energy Consumption Structure, Technology Progress

Copyright © 2023 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

党的十九大报告强调“推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、构建安全高效的能源体系”、“构建政府为主导、企业为主体、社会组织和公众参与的环境治理体系”。能源效率的提升成为我国经济由高速增长转向高质量增长过程中必须要解决的重大问题之一。近年来，随着提升能源效率、推动节能减排和绿色发展的能源供给侧结构性改革的深入推进，中国的煤炭消费占比持续下降，清洁能源消费占比稳步提升。但是，中国的煤炭消费总量仍处于增长阶段，二氧化碳排放总量也尚未达到峰值，能源效率的提升仍面临着较大的压力。在第七十五届联合国大会一般性辩论上，习近平总书记根据我国的基本国情，提出了我国 2030 年前实现碳达峰和 2060 年前实现碳中和的行动目标。实现碳中和的道路上充满了机遇和挑战，其中一点就是在这个过程中将伴随着我国能源体系的深刻转型。这一行动目标也将有效地推动我国能源消费革命，降低我国的能源强度。

因此，降低我国能源强度，提升能源效率就显得至关重要。总体来说，提升能源效率主要可以通过三种途径，一是结构调整，二是技术进步，三是加强管理。就结构调整来说，其主要通过产业结构调整，使能源从利用率低的产业流向利用率高的产业，从而减少高能耗、高污染行业在经济体系中所占的比例，从而提升能源效率。需要指出的是，产业结构调整在很大程度上依赖于其他类型经济结构的调整，例如城乡结构、收入结构、能源消费结构等，因此影响能源效率的结构因素又可以进一步细化。就技术进步而言，其可以通过生产工艺、中间投入品以及制造技能等方面的革新和改进，例如提升煤炭燃烧效率设备的发明，从而提升能源效率。在管理上，可以通过能源政策、管理和制度上的优化，引导能源生产与消费发生变革，进而提升能源效率。

## 2. 文献综述

当前，国内外不少学者对上述三种途径涉及的影响因素开展了大量研究。在结构因素上，从世界各国的工业化发展路线来看，在各国发展过程中所必须经历的工业化阶段必然会消耗大量的化石能源，当前，中国能源强度上升与工业化进程加速有很大的关系，因此从长期来看，中国工业化进程中的能源消耗仍将遵循工业化中能源消耗的一般规律，因此，解决结构性问题是提高能源效率的重要途径[1] [2] [3]。

在技术因素上, 技术进步是经济发展的源泉, 可以带来资源配置效率与生产效率的提升, 从而提升能源利用效率[4]。在管理因素上, 加强管理(纯技术效率和规模效率)是工业部门能源效率提高的主要原因, 技术进步的贡献相对低些, 但随着时间推移技术进步的作用逐渐增强, 管理效率的作用慢慢减弱[5]。

在影响能源效率的因素以及测度的分析方法上, 大家主要使用数据包络分析方法、回归分布滞后(ARDL)方法、因素分解方法以及超效率全要素投入产出方法等[6]。在模型应用上, 主要有 BP 结构突变模型、线性回归模型、Probit 模型、空间滞后模型和 Tobit 回归模型等[7] [8]。

本文将以我国 30 个省市 2000~2018 年的面板数据为基础, 通过构建影响能源强度的计量模型, 分析影响我国能源强度的主要因素, 深入探究各个影响因素的影响途径, 以期为我国降低能源强度提供有效的政策建议。

### 3. 理论分析及模型构建

#### 3.1. 理论分析

1) 产业结构。能源消费与产业结构之间存在长期均衡的关系, 但是产业结构与能源效率之间并不是单纯的线性关系。从各产业对能源消耗的强度上来看, 工业、建筑业和第三产业的能源消耗强度较高。改革开放以来, 我国社会主义建设步伐逐渐加快, 我国的第二产业实现快速的生长, 但是第二产业的发展使得能源消耗不断增加, 而第二产业属于高能耗、粗放型, 因此第二产业对能源效率的提升作用相对较小。在这一阶段, 我国的经济是高耗能的增长模式, 能源消费增长较为迅速, 超过了世界的平均水平。因此, 产业结构的变动也成了促进我国能源效率提高的关键性因素。例如, 随着新兴产业的不断发展, 太阳能、风能、生物能等利用率将会进一步提高, 从而取代部分煤炭能源产业, 进而提升能源利用效率, 降低能源强度。

2) 能源消费结构。能源消费结构是影响能源效率的关键因素, 这种影响的大小和趋势可能会随着能源效率水平的不同而存在差异。不同的能源消费品种具有不同的利用效率, 不同品种的能源消费比例形成了不同的能源消费结构, 因此能源消费品种的不同组合会影响能源利用效率, 因此提升能源效率也应重视能源消费结构的优化和调整。世界工业化经验表明, 工业化初期, 能源消费主要以煤炭为主, 随着工业化的不断进步, 石油与天然气的逐渐上升并逐步取代传统煤炭的主导地位。随着工业化的进一步发展, 高新技术不断涌现, 核能、风能、地热能、生物质能等一些新能源被逐渐开发利用, 能源消费变得多样。从而, 能源消费结构不断变化, 能源效率也跟随着能源消费结构发生变化。

3) 技术进步。技术进步主要通过生产设备的改进与更新、开发新能源以及提升区域创新能力来促进能源强度下降。第一, 技术进步能够突破节能技术领域的技术壁垒。技术进步是指某一区域的企业或相关科研机构通过提升自身的研发与学习能力, 利用本身的技术知识存量等优势来突破技术瓶颈, 对旧产品及生产设备产生挤出作用。通过技术进步产生的新技术促进生产设备以及生产工艺的改进与更新, 逐步淘汰高能耗设备, 进而在降低生产成本的同时来增加产出, 提升生产效率, 促进经济增长, 推动能源强度下降。第二, 技术进步能够有效的促进新能源的开发, 新能源的出现会改变生产要素之间的投入比例, 对能源供给与消费结构产生影响, 进而降低能源强度。第三, 技术进步有利于驱动区域创新能力的提升。因为技术进步过程中所产生的新技术、新知识与新设备在生产过程中会具有更大的优势, 会对同行业产生挤出效应, 同行业只能选择进一步提升自己的技术和创新能力来维持或者提高自己的核心竞争力, 即形成技术进步进入良性循环, 区域创新能力提高, 进而改善原有的生产效率, 从而减少能源消费总量, 降低能源强度。总言之, 技术进步能够通过投入一定时增加产出或产出一定时减少投入来提升能源效率。

4) 经济发展水平。经济发展水平反映投入水平。高经济发展水平意味着高投入水平, 而高投入水平

也意味着可以采用新的节能技术，使企业利用更少的能源生产更多的产品，从而提高生产效率，提高能源利用效率，降低能源强度。

经济发展水平也可以反映居民收入水平。经济的发展水平提高，居民的收入水平也会随之提高；经济发展水平降低，居民的收入水平也会跟着降低。进一步，居民的收入水平影响居民的需求，居民收入水平的提高会改变居民的产品消费量及消费结构。在居民收入水平增加的过程中，会不断增加对大型商品的需求量，例如，汽车、电冰箱、洗衣机等耗能产品，这就增加了居民的能源需求，从而影响能源强度。

可见，经济发展水平可以反映投入以及收入水平，投入水平和收入水平进一步影响能源强度，也就是说经济发展水平对能源强度的影响是间接的，但也是不可忽视的。

5) 对外开放程度。对外开放程度与能源强度的关系有截然相反的两种结果在相互制衡。其一是“污染光晕”假说，该假说认为东道国在引入国外投资的同时会引入发达国家更为严格的环境标准、更完善的管理体系、更先进的清洁生产技术，这些因素对东道国发展起着重要的作用。跨国公司在海外投资过程中，往往会伴随着新的生产技术的输出，这一方面直接降低东道国的能源强度和污染水平；另一方面，也会对东道国的企业产生外溢效应和示范效应，东道国会学习到新的生产技术，改进自己原有的生产技术以及生产方式，从而降低能源强度。其二是“污染避难所”假说，该假说认为，由于发达国家的环保意识更强、环保标准更高，在开放经济的条件下，跨国企业集团为了达到降低成本的目的，会把生产部门大量的迁移到发展中国家，而这些生产部门往往都是高污染高能耗部门，这就让发展中国家成了发达国家的“污染避难所”。作为东道国的发展中国家，为了快速发展经济，往往会“欣然接受”这种发达国家的这种行为，甚至会主动降低环境标准来吸引外资，这也进一步使东道国的投资流向高能耗高污染部门，这一过程使东道国的能源消耗逐渐增加，能源利用效率逐渐降低，环境质量逐渐下降，能源强度上升。

### 3.2. 模型构建

通过上述分析，本文选取了五个因素作为影响能源效率的解释变量，详见下表 1：

**Table 1.** Index selection

**表 1.** 指标选取

	变量名称	变量解释	符号
被解释变量	能源效率	能源强度(万吨标煤/亿元)	ENI
	产业结构	地区第二产业增加值占 GDP 的比例(%)	INS
	能源消费结构	煤炭消费量占能源消费总量的比例(%)	ECS
解释变量	技术进步	地区申请专利受理量(件)	PAT
	经济发展水平	地区人均 GDP (元)	GDPP
	对外开放程度	外商投资企业投资总额(亿美元)	FIE

本文用能源强度来表征能源效率，能源强度下降代表着能源效率上升，反之代表能源效率下降；用地区第二产业增加值占 GDP 的比例来表征产业结构；用煤炭消费量占能源消费总量的比例来表征能源消费结构；用地区申请专利的受理量来表征技术进步；用地区人均 GDP 来表征经济发展水平；用外商投资企业投资总额来表征对外开放程度。

本文在选取上述五个能源效率影响因素作为解释变量的基础上，构建模型如下：

$$\ln ENI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 INS_{it} + \alpha_2 ECS_{it} + \alpha_3 \ln PAT_{it} + \alpha_4 \ln GDPP_{it} + \alpha_5 \ln FIE_{it}$$

其中,  $LnENI_{it}$  为能源强度的对数,  $INS_{it}$  为第二产业占 GDP 比例,  $ECS_{it}$  为煤炭消费量占能源消费总量的比例,  $LnPAT_{it}$  为地区申请专利受理量的对数,  $LnGDPP_{it}$  为地区人均 GDP 的对数,  $LnFIE_{it}$  为外商投资企业投资总额的对数,  $i$  为省份,  $t$  为年份。

## 4. 统计分析及计量结果分析

### 4.1. 我国能源强度区域分布

下表(表 2)展示了我国七个区域不同时期的能源强度,就区域总体而言,我国七大区域的能源强度呈现下降的趋势。“十五”期间,我国区域的能源强度主要分布在 1.00~2.66 之间,其中西北最高为 2.66,华南最低为 1.00;2016~2018 年间,我国区域能源强度在 0.43~1.31 之间,其中华东最低为 0.43,西北最高为 1.31。总的来说,我国能源强度的区域分布较不平衡,东北、华北、西北、西南的区域能源强度较高,华东、华南、华中的区域能源强度相对较低,从经济发展的角度来看,华东、华南、华中的区域经济发展水平相对较高,各种产业相对成熟,能源消费结构更加合理,能源技术相对较为发达,这是这三个区域能源强度相对较低的重要原因。

**Table 2.** Regional distribution of energy intensity

**表 2.** 能源强度区域分布

区域	省市	能源强度(万吨标煤/亿元)			
		2001~2005 (“十五”期间)	2006~2010 (“十一五”期间)	2011~2015 (“十二五”期间)	2016~2018
东北	黑龙江	1.62	1.25	0.85	0.71
	吉林	1.79	1.15	0.69	0.46
	辽宁	1.92	1.36	0.85	0.91
	<b>平均值</b>	<b>1.78</b>	<b>1.25</b>	<b>0.80</b>	<b>0.69</b>
华北	北京	0.95	0.59	0.36	0.25
	河北	1.96	1.60	1.08	0.94
	内蒙古	2.43	1.79	1.14	1.21
	山西	3.55	2.31	1.57	1.31
	天津	1.28	0.85	0.58	0.43
	<b>平均值</b>	<b>2.03</b>	<b>1.43</b>	<b>0.94</b>	<b>0.83</b>
华东	安徽	1.39	0.96	0.62	0.48
	福建	0.87	0.78	0.53	0.39
	江苏	0.91	0.74	0.50	0.37
	江西	1.13	0.81	0.54	0.45
	山东	1.30	1.04	0.70	0.56
	上海	1.01	0.74	0.52	0.37
	浙江	0.96	0.72	0.50	0.41
	<b>平均值</b>	<b>1.08</b>	<b>0.83</b>	<b>0.56</b>	<b>0.43</b>

## Continued

华南	广东	0.82	0.66	0.47	0.36
	广西	1.22	0.97	0.65	0.55
	海南	0.95	0.78	0.56	0.47
	<b>平均值</b>	<b>1.00</b>	<b>0.80</b>	<b>0.56</b>	<b>0.46</b>
华中	河南	1.49	1.10	0.72	0.51
	湖北	1.58	1.18	0.68	0.46
	湖南	1.29	1.13	0.65	0.45
	<b>平均值</b>	<b>1.45</b>	<b>1.13</b>	<b>0.68</b>	<b>0.47</b>
西北	甘肃	2.45	1.74	1.18	0.99
	宁夏	4.09	2.92	1.90	1.85
	青海	2.95	2.37	1.80	1.57
	陕西	1.56	1.07	0.69	0.58
	新疆	2.24	1.77	1.60	1.58
	<b>平均值</b>	<b>2.66</b>	<b>1.97</b>	<b>1.43</b>	<b>1.31</b>
西南	贵州	3.56	2.14	1.22	0.74
	四川	1.64	1.25	0.77	0.53
	云南	1.72	1.40	0.90	0.69
	重庆	1.43	1.17	0.68	0.43
	<b>平均值</b>	<b>2.09</b>	<b>1.49</b>	<b>0.89</b>	<b>0.60</b>

## 4.2. 计量结果分析

本文采用 Stata16 进行固定效应回归, 结果如表 3 所示。

**Table 3.** Regression results  
**表 3.** 回归结果

变量	LnENI
INS	1.052 <sup>***</sup> (0.112)
ECS	0.253 <sup>***</sup> (0.0376)
LnPAT	-0.0540 <sup>***</sup> (0.0156)
LnGDPP	-0.431 <sup>***</sup> (0.0256)
LnFIE	0.00407 (0.0169)
Constant	4.151 <sup>***</sup> (0.119)
Observations	570

从回归结果来看，一是产业结构对能源强度的影响显著为正，这表明第二产业占 GDP 比例的上升将会对能源强度产生显著的正向影响，这是因为第二产业中有相当部分的产业都是高能耗的产业，能源利用效率较低，因此，要想降低能源强度，可以从产业结构调整的角度入手，降低第二产业在 GDP 中所占的比例，可以有效的降低能源强度；二是能源消费结构对能源强度的影响显著为正，这表明煤炭消费量占能源消费总量的比例上升将会对能源强度产生显著的正向影响，这是因为煤炭作为基础能源，虽然具有开采运输方便，价格低的特点，但是燃烧效率也较低，废气废渣产量大，能源利用效率较低；三是技术进步对能源强度的影响显著为负，即技术水平的提升能够显著的降低能源强度，这是因为，技术水平的提升，能够带来新的生产技术、技能技术、新能源利用技术，从而提升能源利用效率，降低能源强度；四是经济发展水平对能源强度的影响显著为负，即人均 GDP 的提升，能够显著的降低能源强度，这是因为随着人均 GDP 的上升，人们的生活水平得到提高，对环境等要求逐渐提高，一方面消费者更倾向于消费绿色环保产品，另一方面企业为迎合消费者需求在生产上也将采取新能源技术、新生产技术，从而提升能源利用效率，降低能源强度。

## 5. 结论及政策建议

中国作为世界上最大的发展中国家，能源消费量巨大，因此我国面临着严峻的环境问题。随着“双碳”目标的提出，碳达峰与碳中和问题是当前中国发展过程中不得不面对的问题，这也使得能源效率问题显得尤为重要，提升能源效率可以显著降低二氧化碳排放率，助力中国“双碳”目标实现。此外，当前我国正处在由高速增长阶段向高质量增长阶段转变的关键时期，提升能源效率、改善能源结构正是其中的关键一环，能源效率的提升可以促进中国的绿色发展。本文根据研究结果得出以下结论及启示：

一是降低第二产业比重可以有效地降低能源强度，提升能源利用效率。第二产业中存在大量的传统制造业与重工业，尤其是重工业部门，其生产过程中不仅会消耗大量的化石能源，还会带来碳排放、环境污染等问题。因此我国可以进一步优化产业结构，提升第三产业占比，降低第二产业的比重。产业结构的优化不仅仅体现在三次产业结构之间，也存在于产业内部，因此产业内部的结构优化也很重要，例如新能源产业的发展将有效地提升能源效率，降低能源强度。因此我国可以加大对新能源产业的优惠政策，采取生产补贴、消费补贴的方式促进新能源产业的生产与消费，从而促进新能源产业的发展，进而促进产业结构向更加清洁更加高效的方向调整。

二是降低煤炭消费量可以有效降低能源强度。我国作为发展中国家，煤炭等化石能源的消费量巨大，化石能源在开采及利用过程中会带来严重的环境污染问题。因此，我国应进一步优化能源消费结构，降低煤炭能源在能源消费中的比例，优化能源消费结构。同时，我国应该鼓励新能源的开发与利用，这进一步改善能源的消费结构、提升能源利用效率，还可以使我国的能源结构更加“绿色”化，从而促进我国的绿色发展、可持续发展。

三是技术进步可以显著降低能源强度。技术的进步可以促进能源应用技术的发展，从而促进能源利用效率进步。这给我们的启示是，一是相关机构或者部门可以进一步加大对能源技术的研发投入，加大相关人才的培养力度，从而为我国能源技术研发提供资金与人才支持；二是国家在制度上保障研发顺利进行，例如国家对相关的企业采取研发补贴制度、奖励制度，同时加大对知识产权的保护，提升企业研发动力，促使企业之间的技术研发形成良性竞争，从而促进技术进步。

四是人均 GDP 可以显著降低能源强度，提升能源效率。这意味着当前阶段，随着我国居民收入的提高，居民的消费能够有效地引导能源利用方式转变，从而提升能源利用效率，降低能源强度。因此我国应该更加注重对宏观经济的引导，保障居民收入的提升。同时，国家应该加大对“绿色发展”的宣传力度，鼓励人们进行绿色消费。

---

## 参考文献

- [1] 金碚. 中国工业化的资源路线与资源供求[J]. 中国工业经济, 2008(2): 5-19.
- [2] 李世祥. 中国工业化进程中的能耗特征及能效提升途径[J]. 中国软科学, 2010(7): 23-35.
- [3] 王秋彬. 工业行业能源效率与工业结构优化升级——基于 2000~2006 年省际面板数据的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2010, 27(10): 49-63.
- [4] 王班班, 齐绍洲. 有偏技术进步、要素替代与中国工业能源强度[J]. 经济研究, 2014, 49(2): 115-127.
- [5] 李廉水, 周勇. 技术进步能提高能源效率吗?——基于中国工业部门的实证检验[J]. 管理世界, 2006(10): 82-89.
- [6] 张少华, 蒋伟杰. 能源效率测度方法: 演变、争议与未来[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(7): 3-24.
- [7] 石旻, 张大永, 邹沛江, 等. 中国新能源行业效率——基于 DEA 方法和微观数据的分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(4): 60-77.
- [8] 陈菁泉, 连欣燕, 马晓君, 米军. 基于动态 StoNED-空间误差面板 Tobit 模型的中国全要素能源效率测算及驱动因素研究[J]. 中国环境科学, 2022: 1-14.