

教育部人文社科青年项目“能源贫困对健康的影响——
基于多维度视角的中国家庭实证研究（19YJC790059）”资助

中国家庭能源消费 行为与效率研究

The Study on Energy Consumption
Behavior and Efficiency of Chinese Households

李佳珈 / 著



西南财经大学出版社

教育部人文社科青年项目“能源贫困对健康的影响——
基于多维度视角的中国家庭实证研究（19YJC790059）”资助

中国家庭能源消费 行为与效率研究

The Study on Energy Consumption
Behavior and Efficiency of Chinese Households

李佳珈 / 著



西南财经大学出版社

• 成都 •

图书在版编目(CIP)数据

中国家庭能源消费行为与效率研究/李佳珈著. —成都:西南财经大学出版社, 2019. 7

ISBN 978-7-5504-3381-6

I. ①中… II. ①李… III. ①居民—能源消费—研究—中国
IV. ①F426. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 001724 号

中国家庭能源消费行为与效率研究

Zhongguo Jiating Nengyuan Xiaofei Xingwei Yu Xiaolu Yanjiu

李佳珈 著

策划编辑:何春梅

责任编辑:朱斐然 何春梅

封面设计:墨创文化

责任印制:朱曼丽

出版发行	西南财经大学出版社(四川省成都市光华村街 55 号)
网 址	http://www.bookcj.com
电子邮件	bookcj@foxmail.com
邮政编码	610074
电 话	028-87353785
照 排	四川胜翔数码印务设计有限公司
印 刷	四川五洲彩印有限责任公司
成品尺寸	170mm×240mm
印 张	13.75
字 数	254 千字
版 次	2019 年 7 月第 1 版
印 次	2019 年 7 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5504-3381-6
定 价	88.00 元

1. 版权所有,翻印必究。
2. 如有印刷、装订等差错,可向本社营销部调换。

摘要

当今社会，环境污染和能源贫困问题是人类在可持续发展道路上面临的两大难题。与二者密切相关的能源消费行为受到世界各国的广泛关注。学术界在该领域的研究大多聚焦宏观能源消费、行业能效和技术设备等方面，然而现有文献在微观家庭能源消费领域的研究却十分有限，导致我国家庭能源消费行为缺乏科学引导。本书从家庭能源消费这一重要的经济学领域出发，重点探讨了家庭能源消费的使用效率、潜在行为类型和能源贫困三个方面，填补了国内在该领域的研究空白。

基于中国家庭追踪调查（CFPS）数据，本书首先估算我国家庭能源使用效率，并验证了能源阶梯理论；然后，本书通过内生分组方式深入挖掘家庭能源消费行为的异质性，获取家庭能源消费的潜在行为类型；最后，针对中国家庭的能源贫困问题，我们从多维度、多层面视角估算家庭的能源贫困值并分别研究能源贫困对家庭生产效率和健康的影响。

本书共设置八章，研究的主体思路是从家庭层面的能源消费现状和能源阶梯理论出发，提出研究问题；然后以微观数据为支撑，运用经济学的相关技术手段解决研究问题；最后总结研究结果并提出相关的政策建议。各章的主要内容如下：

第一章系统地介绍了我国宏观层面和微观层面的能源消费背景和特征，随后归纳了与我国能源和环境相关的政策和规划，在此背景下引出相关研究话题。

第二章介绍了本书的研究概况，明确提出了三个研究命题，归纳了研究的意义。随后，这一章理清了本书的研究思路与内在逻辑框架，并总结了本书在理论模型和实证方法方面的创新。

第三章以能源效率为出发点阐述效率领域研究的发展趋势和国内外宏

观层面的研究，并且介绍效率的相关研究方法；接下来，聚焦微观家庭层面的能源消费，包括家庭能源效率和家庭能源阶梯理论的相关文献；然后，重点归纳家庭能源消费行为方面的研究，包括能源消费的影响因素及其异质性分析；最后，本章梳理了家庭能源贫困的相关研究及其影响。

第四章着手本书的第一个研究命题，实证研究我国家庭的能源使用效率。本书通过构建前沿需求函数，分解出家庭能源消费行为中的无效因子，即能源超额消费量；通过估算这部分超额消费量获得每个家庭的能源使用效率。进一步地，我们运用共同前沿函数（Meta-frontier）的技术手段，统一了城、镇、乡家庭能效的估算准则，并得出我国家庭能源使用效率的整体分布。这一章的研究有助于我们充分评估家庭能源消费行为的优劣，并且从全新视角探讨家庭能源使用效率与能源阶梯理论的关系。

第五章集中研究异质性在家庭能源消费行为中的潜在影响。在这一章中，我们通过挖掘潜在行为类型，深入地理解家庭能源消费行为模式的差异化成因。本章采用有限混合模型（Finite Mixture Models）得出潜在最优组别。该方法是通过判定家庭行为条件分布的相似度，获取样本归为每组的后验概率而重新拟合模型。研究结果表明，我国家庭能源消费行为共存在三个组别，其中第二组家庭的能源消费水平不受收入的影响，第一组家庭的能源消费水平最低。该研究加深了对微观家庭异质性的认识，进一步剖析了家庭能源消费行为的理性程度。

第六章在家庭能源消费差异化的基础上，重点关注我国家庭的能源贫困问题。本书从能源贫困的基本概念入手，分析现有文献在能源贫困衡量中的局限性。对此，我们构建了多维能源贫困指数，进而揭示了能源贫困在家庭行为中的深远影响。本书从能源可得性和经济因素方面，多维度、多层次度量了家庭能源贫困，在此基础上获悉不同维度的能源贫困在全国的分布情况，并且从生产效率角度探索能源贫困与家庭经济的关系。以上重要信息有助于优化各项扶贫资源的配置，从而达到有效减缓我国能源贫困现象的目的。

第七章深入探讨能源贫困对健康的影响。本书基于多维度能源贫困视角，实证研究能源贫困对健康的负面影响，并通过一系列稳健性检验证实以上结论。本章聚焦能源贫困的影响，为政府的精准能源扶贫提供了科学依据，并且对世界上其他发展中国家的相关研究有一定借鉴意义。

第八章总结并评述了全书的主要研究结论。为了提升我国家庭能源使用效率以及优化家庭能源消费的行为模式,本章在如何找到能源贫困对象并采取有针对性的扶贫援助措施方面提出了相应的政策建议。此外,结尾处明确指出了后续研究的方向。

本书在理论模型和实证方法两个方面为该领域研究做出了贡献。具体的创新性体现在以下几个方面:

(1) 理论模型的创新。首先,本书从微观家庭视角,深入探讨我国家庭能源消费的行为与效率,并得出了丰富的研究结论。这一研究视角本身具备显著的理论创新价值。因为绝大部分能源经济学领域的中国问题研究聚焦国家、区域和行业层面,目前对以微观家庭为行为主体的能源消费探讨非常有限。具体而言,在能源使用效率的研究中,本书首先通过构建家庭能源需求函数获取每个家庭的最低能源需求量。其次,本书将能源阶梯理论充分融入家庭层面的实证研究中,并且该理论贯穿了本书的三个研究命题。我们依次探讨了能源阶梯理论与家庭能源使用效率、能源阶梯理论与收入因素以及能源阶梯理论与能源贫困的关系,进一步从实证角度完善了该理论。最后,本书将研究重点聚焦能源贫困群体,首次从多维度、多层面的视角度量家庭能源贫困值,在此基础上核算我国的多维能源贫困指数,并分别探讨能源贫困对家庭生产效率和健康的影响。多维能源贫困的估算开启了我国家庭能源贫困研究的理论探索。

(2) 实证方法的创新。本书从全新视角探讨我国家庭能源消费行为的异质性。针对现有文献对分组的主观性,本书通过数据和模型,对样本进行了灵活分组。基于分组结果,我们进一步揭示家庭特征变量(例如健康、教育)以及主观社会态度对能源消费行为的潜在影响。具体而言,通过验证能源消费行为的潜在影响因素,我们获得消费行为的潜在组别,从更高层次剖析了我国家庭能源消费行为的模式和特征。在能源效率的估算中,本书充分考虑家庭在生活习惯、能源设备和经济水平等方面的差异,首先分别构造城、镇、乡家庭的能源需求前沿函数。随后,我们采用共同前沿函数,通过线性编程和自助法实现全样本的能源使用效率估算。另外,本研究通过家庭的投入产出函数,从效率角度创新性地解释能源贫困与家庭产出的关系。在能源贫困指数的计算中,本书借用多维贫困指数(Multidimensional Poverty Index)的思路,但是国际通用的维度中并未考虑

收入因素，我们则根据多维能源贫困的定义设立了经济因素维度，这在一定程度上扩展了多维贫困指数的应用范围。

本书的主要研究结论如下：我国 2012 年的家庭平均能源使用效率为 63%，其中城市家庭的能源使用效率低于乡、镇家庭，并且其能源使用效率的跨度最大。我们发现城市家庭中存在能源使用效率非常低的群体，而能效相对高的家庭（能源使用效率为 100%，占全样本的 0.1%）也来自城市。以上结果表明，城市家庭虽然有条件率先获取高效能源设备，但是城市家庭在能源消费行为中存在较多的浪费现象。传统能源阶梯理论认为能源效率与家庭财富存在紧密的联系，本书的研究从设备效率和消费效率两个角度进一步完善了能源阶梯理论。

在微观家庭能源消费的异质性研究中，我国家庭共存在三组能源消费行为，并且各组家庭的能源消费行为受到不同因素的影响，例如教育水平的提高将抑制第二组家庭的能源消费；一些主观态度，例如环保意识、社会不公的感受将会引起第三组家庭的能源消费变化。此外，每组家庭的主要特征如下：第一组家庭总体上社会经济地位偏低；第二组家庭具备能耗较高的特征；第三组家庭占比为 76%，为我国最普遍的能源消费类型。

对能源贫困的研究结果显示，我国家庭能源贫困程度控制在一个较低的水平，但是能源贫困发生率在全国范围内高达 45%。其中，我国家庭能源贫困具有地区差异性：农村家庭的能源贫困指数显著高于城镇家庭，东部发达地区在资源获取维度与经济因素维度均优于西部偏远地区的家庭。通过对多维能源贫困的测算，本书证实了能源贫困对家庭生产效率和健康的负面影响。

关键词：家庭能源消费行为；能源阶梯理论；能源使用效率；潜在行为类型；多维能源贫困测量；健康影响

目录

1	中国能源消费现状 / 1
1.1	宏观能源消费现状 / 1
1.2	微观能源消费现状 / 7
1.3	相关能源政策 / 12
2	研究概要 / 19
2.1	理论机制 / 19
2.2	学术背景 / 20
2.3	研究意义 / 21
2.3.1	理论意义 / 21
2.3.2	现实意义 / 22
2.3.3	政策指导意义 / 23
2.4	研究思路和研究框架 / 23
2.4.1	研究思路 / 23
2.4.2	研究框架 / 24
2.5	研究创新 / 25
2.5.1	理论模型的创新 / 25
2.5.2	实证方法的创新 / 26
3	文献综述 / 27
3.1	能源效率的研究背景 / 27
3.1.1	能源效率研究的起源 / 28
3.1.2	宏观视角的能源效率研究 / 29
3.1.3	能源强度与能源效率 / 31

3.1.4	前沿函数的效率估算方法 /	32
3.1.5	全样本的能源效率估算方法 /	34
3.2	家庭能源效率研究 /	35
3.2.1	微观视角的能源效率研究 /	35
3.2.2	家庭能源阶梯理论 /	36
3.2.3	总结与评述 /	37
3.3	家庭能源消费行为研究 /	37
3.3.1	家庭能源消费的影响因素 /	37
3.3.2	家庭能源消费行为的分组研究 /	40
3.3.3	有限混合模型的分组研究方法 /	44
3.3.4	能源文化 /	45
3.3.5	总结与评述 /	48
3.4	家庭能源贫困研究 /	49
3.4.1	能源贫困的定义 /	49
3.4.2	能源贫困的衡量 /	50
3.4.3	能源贫困的影响 /	54
3.4.4	应对能源贫困 /	57
3.4.5	总结与评述 /	59
4	家庭能源使用效率研究 /	60
4.1	本章概述 /	60
4.2	理论框架 /	62
4.2.1	能源阶梯理论 /	62
4.2.2	家庭能源使用效率的估算 /	65
4.3	数据处理与变量选取 /	67
4.3.1	截面数据分析与变量选取 /	68
4.3.2	面板数据分析与变量选取 /	74
4.4	计量模型与实证方法 /	76
4.4.1	前沿需求函数 /	76
4.4.2	共同需求函数 /	77

4.4.3	自助法 /	79
4.5	实证结果 /	79
4.5.1	随机前沿函数结果 /	80
4.5.2	共同前沿函数结果 /	86
4.5.3	家庭能源阶梯理论探讨 /	92
4.6	相关延伸研究 /	94
4.7	本章小结 /	97
5	家庭能源消费行为的异质性研究 /	98
5.1	研究背景 /	98
5.2	能源消费的影响因素 /	101
5.3	计量模型 /	103
5.3.1	基础模型 /	103
5.3.2	分位数模型 /	103
5.3.3	有限混合模型 /	104
5.4	数据处理与描述统计 /	106
5.5	实证结果 /	109
5.5.1	基础回归结果 /	109
5.5.2	分位数回归结果 /	113
5.5.3	有限混合模型回归结果 /	116
5.5.4	家庭能源消费行为的异质性分析 /	123
5.6	本章小结 /	128
6	能源贫困对中国家庭产出的影响：基于多维度能源贫困 视角 /	130
6.1	研究背景 /	130
6.2	衡量方法与理论模型 /	132
6.2.1	能源贫困的衡量 /	132
6.2.2	家庭投入产出函数 /	133
6.2.3	随机生产前沿函数 /	134

6.3	计量模型 /	135
6.4	家庭能源贫困的多维度估算 /	136
6.4.1	数据整理 /	136
6.4.2	多维能源贫困指标 /	137
6.4.3	多维能源贫困的全国分布 /	140
6.5	实证结果 /	141
6.6	结论与启示 /	147
7	能源贫困对健康的影响 /	149
7.1	研究背景 /	149
7.2	文献回顾 /	151
7.2.1	能源贫困的概念 /	151
7.2.2	能源贫困对健康的影响研究 /	152
7.3	数据分析和能源贫困分布 /	152
7.3.1	CFPS 数据的描述统计 /	152
7.3.2	能源贫困的分布 /	153
7.3.3	能源贫困的衡量 /	156
7.3.4	主要变量介绍 /	157
7.4	回归结果 /	161
7.4.1	基础回归 /	161
7.4.2	内生性问题 /	164
7.5	本章总结 /	167
8	结论、政策建议与展望 /	168
8.1	主要结论 /	168
8.2	政策建议 /	169
8.3	研究展望 /	172
	参考文献 /	175
	附录 /	200

1 中国能源消费现状

1.1 宏观能源消费现状

能源在我国工业化进程中发挥着日益重要的作用。中国经济从 20 世纪 80 年代至今快速发展，特别是在 1994—2014 年这 21 年间，GDP 保持在平均约 8% 的增长速度。然而，工业化过程中不可避免地采用高能耗、高污染的生产 and 建设方式，是引起雾霾天气和水源污染等环境问题的主要原因，进而对居民的健康造成了严重危害。这一重大问题引起社会各界对“新世纪中国经济发展何去何从”的思索。党的十九大提出，必须坚持以节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式。推进绿色发展、资源全面节约和循环利用，实施国家节水行动，降低能耗、物耗，实现生产系统和生活系统循环链接。着力解决突出环境问题，坚持全民共治、源头防治，持续实施大气污染防治行动，打赢蓝天保卫战。政府在“十三五”规划（2016—2020 年）中提出积极应对全球气候变化，坚持减缓与适应并重，主动控制碳排放，落实减排承诺，增强适应气候变化能力，深度参与全球气候治理，为应对全球气候变化做出贡献。

在上述宏观政策的背景下，政府及社会各界对环境保护提出了多项治理策略，近年来我国能源消费总量的增速有逐渐放缓趋势（见图 1-1）。《BP 世界能源统计年鉴》指出，2015 年和 2016 年是中国自 1997 年以来能源消费增速最为缓慢的两年（BP，2017）。国家统计局能源消费总量数据显示，我国能源消费从 2013 年 3.7% 的增速逐渐放缓至 2016 年 1.3% 的增速。

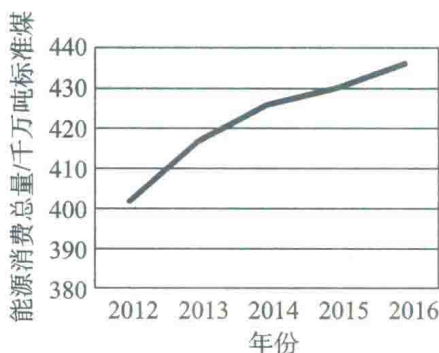


图 1-1 2012—2016 年能源消费总量变化趋势

数据来源：国家统计局（<http://www.stats.gov.cn/>）

尽管如此，中国已连续第十六年成为全球范围内增速最快的能源消费市场。我国能源消费以煤炭为主，2016 年我国煤炭消费总量占据所有能源消费的 62%；天然气和新兴能源消费水平明显低于煤炭消费水平，两者加总仅占我国能源消费总量的 20%（见图 1-2）。以化石能源为主的能源消费结构严重制约了中国的可持续发展进程。

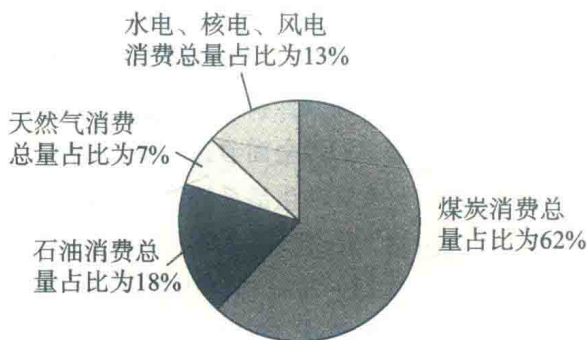


图 1-2 2016 年我国能源消费结构

数据来源：国家统计局（<http://www.stats.gov.cn/>）

我国长期以煤炭为主的能源消费结构，不可避免地带来能源利用效率低下和环境污染严重等问题。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）自 1990 年起发布了四次关于全球气候变化的评估报告，认为气候变暖是当今世界最为突出的环境问题，而能源消耗排放的大量温室气体则是引起全球变暖的重要原因（Huang et al., 2008），全球变暖甚至会产生严重的雾霾（Xu et al., 2013）。目前，我国煤炭消费量的 80% 是原煤直接燃烧，由此产生的污染较为严重。世界上半的煤炭在中国消耗，煤炭燃烧产生的二氧化硫、氮氧化物、烟尘排放

分别占中国相应排放量的 86%、56%、74% (林伯强 等, 2015)。

据图 1-1 和图 1-2 可以得出, 虽然我国能源消费增速放缓, 资源性、高耗能、高排放产业发展逐渐衰减, 能源消费日趋合理, 但是随着工业化、城镇化进程加快和消费结构持续升级, 我国能源需求刚性增长, 资源环境问题仍是制约我国经济社会发展的瓶颈之一, 节能减排依然形势严峻、任务艰巨。

基于目前所面临的严峻形势, 国务院印发了《关于“十三五”节能减排综合工作方案的通知》。该通知充分肯定了在“十二五”期间各单位在节能减排中的突出表现。“十二五”时期, 全国单位国内生产总值能耗降低 18.4%, 化学需氧量、二氧化硫、氨氮、氮氧化物等主要污染物排放总量分别减少 12.9%、18%、13% 和 18.6%, 超额完成节能减排预定目标, 为经济结构调整、环境改善、应对全球气候变化做出了重要贡献。同时, 该通知也指出, 要在“十三五”期间, 采取更有效的政策措施, 切实将节能减排工作推向深入。预计到 2020 年, 国内生产总值能耗比 2015 年下降 15%, 能源消费总量控制在 50 亿吨标准煤以内。全国化学需氧量、氨氮、二氧化硫、氮氧化物排放总量分别控制在 2 001 万吨、207 万吨、1 580 万吨、1 574 万吨以内, 比 2015 年分别下降 10%、10%、15% 和 15%。全国挥发性有机物排放总量比 2015 年下降 10% 以上 (国务院, 2016)。

新型清洁能源建设便是其中重要的一环。《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》指出, 发展光伏产业对调整能源结构、推进能源生产和消费革命、促进生态文明建设具有重要意义, 各部门应充分认识促进光伏产业健康发展的重要性, 并要求要做到积极开拓光伏应用市场; 加快产业结构调整和技术进步; 完善并网管理和服务 (国务院, 2016)。国家能源局在 2016 年 9 月印发《关于建设太阳能热发电示范项目的通知》, 启动首批 20 个太阳能热发电示范项目建设, 建立电价退坡机制, 即在 2018 年 12 月 31 日前全部建成投产的首批示范项目执行每千瓦时 1.15 元 (含税) 标杆上网电价; 并建立建设内容调整机制, 在不影响行业公平情况下稳步推进太阳能热发电产业发展。同时, 要建立项目退出机制, 及时淘汰不能按计划完成太阳能热发电建设的项目, 以期保证太阳能热发电产业建设高质量完成 [国家发展和改革委员会 (简称国家发改委), 2018]。

在上述应对政策的背景下, 我国能源结构正在向更清洁、更低碳的燃料转型。图 1-3 显示, 2016 年我国煤炭产量实现负增长。这一改变主要反映了能源结构方面的两个调整: 一个是来自政府和社会的压力促使能源结构向更清洁

和更低碳的方向转变，另一个是天然气和可再生能源的资源可获得性与竞争力日益增强。



图 1-3 1986—2016 年中国煤炭产量增长率

图片来源：2017 年版《BP 世界能源统计年鉴》（BP，2017）

可再生能源在生产方面有显著发展。《BP 世界能源统计年鉴》指出亚太地区取代欧洲和欧亚地区，成为最大的可再生能源产区（BP，2017）。2015 年，我国可再生能源发电累计并网装机容量达到 50×10^4 兆瓦，占全部发电装机容量的 33.3%；可再生能源年发电量达到 13.93×10^8 兆瓦时，占全部发电量的 24.8%（国家可再生能源中心，2016）；同年，我国在水电、风电以及太阳能领域的装机量均排名世界第一。2016 年，中国贡献了全球可再生能源增长的 40%，超越美国成为全球最大的可再生能源生产国（见图 1-4）。与此同时，中国成为世界水电（2.8%，120 太瓦时）和核能（1.3%，41 太瓦时）增长的主要来源（BP，2017）。在再生能源中，太阳能装机增速最显著，相比 2006 年，我国实现了近 540 倍的增长。另外，我国风电和水电领域的发展也不容小觑。2006—2015 年，我国风电装机实现了近 50 倍的增长，水电装机增加 191 吉瓦，增长 146%。

从消费角度，我国政府在《中国的能源状况与政策》白皮书中提到，到 2020 年，可再生能源消费量在能源消费总量中的比重要达到 15%，重点发展水电、风电、太阳能和现代生物质能四个领域。图 1-5 表明，2012—2016 年，我国煤炭消费总量占比从 69% 下降至 62%。图 1-6 对比了此 5 年间清洁能源在我国的消费占比。其中，水电、核电、风电消费总量从 10% 增加到 13%。以上数据表明，我国能源结构转型初显成效。

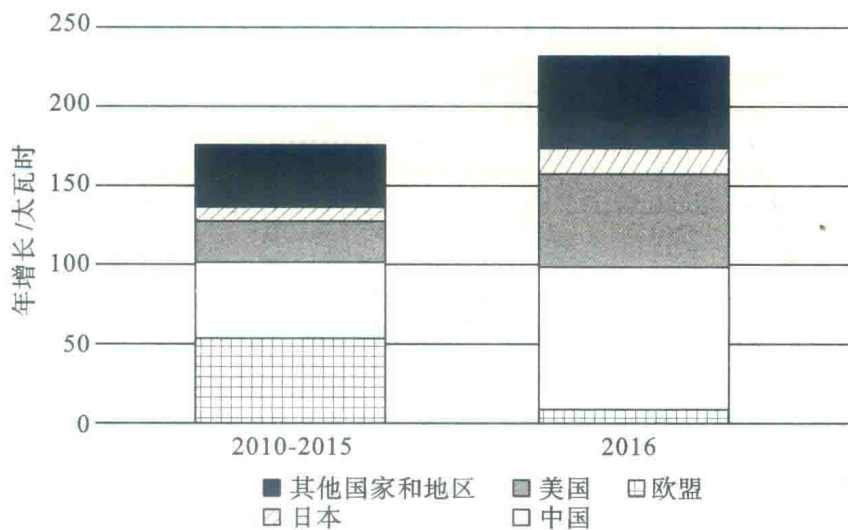


图 1-4 各国可再生能源增长比例

图片来源：2017 年版《BP 世界能源统计年鉴》(BP, 2017)

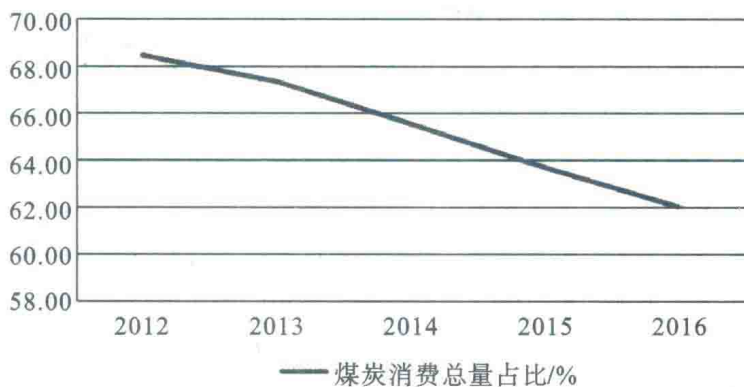


图 1-5 2012—2016 年我国煤炭消费占比

数据来源：国家统计局 (<http://www.stats.gov.cn/>)

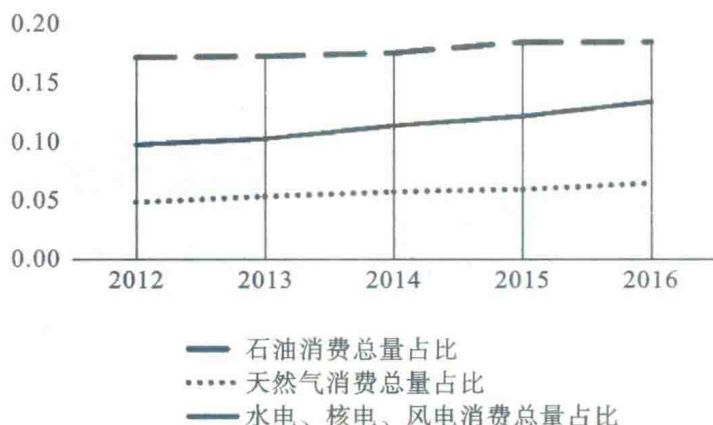


图 1-6 2012—2016 年我国石油、天然气和再生能源消费占比

数据来源：国家统计局（<http://www.stats.gov.cn/>）

除了以上因能源消费结构不合理造成的一系列环境污染问题以外，我国因能源消费城乡差异、地域差异导致的相关问题也亟待解决。张金良等（2007）发现传统生物质能在燃烧过程中会释放大量的二氧化碳、二氧化氮等致癌物质，因此以生物质能源消费为主的地区环境污染更加严重。

2016 年我国主要城市 AQI^① 值的分布呈区域的差异化分布：以京津冀为首的黄河中下游和新疆西部是该年度全国大气污染最严重、最集中的区域。显然导致这两个区域污染严重的主要原因有所不同，前者污染严重是由经济发展所需能源消耗巨大导致的，而后者则是由于沙尘暴等恶劣自然因素导致的。

基于上述现状描述，我国宏观能源消费现状可以概括为以下三个特征：首先，我国能源消费仍然以煤炭为主，能源消费结构亟待优化；其次，由于经济发展等因素造成能源需求量巨大，从而导致区域性环境污染严重；最后，近期国家积极出台了相关能源政策，这些政策向清洁、可再生、安全能源倾斜，在一定程度上优化了宏观能源消费结构。在充分了解我国宏观层面的能源消费背景之后，本书将从微观层面展示我国家庭能源消费行为的基本特征。

^① AQI：它是由 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 和 CP 6 种常规大气污染物拟合的以定量描述空气质量的无量纲指数，其值越大，说明空气污染越严重。