

# 第一章 能源消费革命是中国能源革命的核心

能源是我国实现经济快速增长的重要引擎，同时也是我国未来经济发展面临的重大约束与挑战。现阶段，能源消费中的总量问题、结构问题和环境问题已经成为制约我国经济发展的“瓶颈”。我国既有的能源消费模式难以为继，在此背景下，我国的能源战略正在发生重大变化。

在2014年6月13日召开的中央财经工作会议上，国家主席习近平提出了要推动我国在能源消费、能源供给、能源技术和能源体制四个方面的革命，这是从能源安全的战略高度出发，应对能源供需格局的新变化，保障国家繁荣发展与社会长治久安。研究我国能源安全战略，强调能源安全是关系国家经济社会发展的首要问题。处于当今国际能源供需新格局下，保障国家能源安全必须推动能源消费、能源供给、能源技术和能源体制四方面的“革命”。因此，能源革命不再是对我国现有能源战略的微调与修补，而是对我国能源领域的顽疾进行彻底和根本性的变革。推动能源革命意义深远。

## 第一节 能源革命战略是国家安全的重要保障

能源革命战略旨在保障我国能源安全。习近平主席在中央财经领导小组会议讲话中指出，我们必须从国家发展和安全的战略高度，审时度势，借势而为，找到顺应能源大势之道。能源安全是国家安全的重要组成部分。能源是国家发展与经济增长的重要引擎，能源安全是关系国家经济社会发展的基础性、全局性、战略性问题，对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要。面对能源



供需格局新变化、国际能源发展新趋势，保障国家能源安全，必须推动能源革命战略。

我国能源安全形势严峻。中国节能协会的数据显示，2013年，我国石油对外依存度已达60%，天然气对外依存度达30%，成为世界原油进口国中第二大。石油的供需结构严重失衡成为我国面临的重大问题之一。此外，我国油、气进口集中来源于固定地区，无法自主掌控进口通道，能源储备相对不足，极其欠缺能源保障能力。因此，必须因地制宜，开源节流，多管齐下，从能源消费、能源供给、能源技术、能源体制革命四个方面入手，实现能源革命战略。

其中，推动能源消费革命，需要抑制不合理的能源消费，把节能贯穿于经济社会发展全过程和各领域，加快形成能源节约型社会；推动能源供给革命，需要建立多元供应体系，大力推进煤炭清洁高效利用，着力发展非煤能源，形成煤、油、气、核、新能源、可再生能源多轮驱动的能源供应体系；推进能源技术革命，需要以绿色低碳为方向，分类推动技术创新、产业创新、商业模式创新，并同其他领域高新技术紧密结合，把能源技术及其关联产业培育成带动我国产业升级的新增长点；推进能源体制革命，需要还原能源商品属性，构建有效竞争的市场结构和市场体系，形成主要由市场决定能源价格的机制，转变政府对能源的监管方式，建立健全能源法治体系。

表 1-1 习近平总书记关于“能源革命”的战略规划

目标	内容
能源消费革命	抑制不合理能源消费，坚决控制能源消费总量
能源供给革命	推动能源供给革命，建立多元供应体系，着力发展非煤能源，形成煤、油、气、核、新能源、可再生能源多轮驱动的能源供应体系，同步加强能源输配网络和储备设施建设
能源技术革命	推动能源技术革命，带动产业升级。以绿色低碳为方向，分类推动技术创新、产业创新、商业模式创新，把能源技术及其关联产业培育成带动中国产业升级的新增长点
能源体制革命	推动能源体制革命。坚定不移推进改革，还原能源商品属性，构建有效竞争的市场结构和市场体系，形成主要由市场决定能源价格的机制，转变政府对能源的监管方式，建立健全能源法治体系
加强国际合作	全方位加强国际合作，实现开放条件下能源安全

资料来源：人民网。



## 第二节 能源消费革命是能源革命的首要任务

能源短缺制约经济增长曾经刺痛全球。在 20 世纪 70 年代两次石油危机中，全球石油供应出现严重短缺，石油价格在短期内出现井喷态势，主要经济体也一定程度上受“石油危机”的影响陷入长期滞胀。能源危机促使世界能源消费大国开始反思能源发展战略并采取应对手段。从成功的历史经验看，主要有“开源”和“节流”两种策略保障能源安全。前者以美国为代表，为促进经济增长，千方百计扩大并保障化石能源供应，长期维持非常低的能源价格，近期美国的“页岩气革命”更是让其离“能源独立”的目标更近一步。后者以欧洲和日本为代表，通过市场化的政策手段，提高化石能源价格、减少能源消费、提高能源效率，并积极发展清洁的可再生能源。

推动能源革命需要“节流”与“开源”并行。较长时间以来，我国在很大程度上是利用“开源”的策略去解决能源问题，包括积极开展能源外交、寻求能源稳定供给，但这并不能从根本上解决节能与能源的高效利用的问题，更无法解决我国可持续发展所面临的环境污染问题。中美两国能源禀赋差距巨大，美国煤炭和石油的经济开采储量是中国的 2 倍，天然气经济开采储量是中国的 2.7 倍，但我国目前的能源强度是美国的 2.45 倍，德国与法国的 3.65 倍，日本、英国和意大利的 4 倍左右。<sup>①</sup>根据北京大学国家发展研究院发布的《中国能源体制改革研究报告》推算，如果中国的能源强度可以继续下降到日本、英国等主要经济体的水平，中国则可以用略高于当前的能源总消费水平支撑 4 倍于当前的经济总量。因此，“节流”比“开源”具有更大的空间，这也是近期提出的能源革命战略顶层设计把能源消费革命置于首要位置的考虑所在。能源革命重塑现代能源体系，能源消费在总量上的减少和结构上的优化无疑是现代能源体系运转成功与否的试金石。能源消费革命既是手段也是目的，与供给革命、技术革命和体制革命互为支撑、互为保障。所以说，能源消费革命是能源革命的首要任务，是能源革命的核心。

<sup>①</sup>《BP 世界能源统计年鉴 2013》。



### 第三节 能源消费革命抑制不合理的能源消费

我国经济社会发展严重依赖能源消耗，其中大量的能源因为不良的能源消费观、落后的节能技术等原因被白白浪费，不合理的能源消费是造成我国能源消费总量“虚高”的重要原因。目前，我国能源消费总量高居世界第一位，且能源强度是世界平均水平的 1.93 倍，美国的 2.45 倍，德国和法国的 3.65 倍，日本、英国和意大利的 4 倍。因此，只能通过能源消费革命抑制不合理的能源消费，有效落实节能优先方针，才能保障能源安全与经济社会的可持续发展。如何抑制不合理的能源消费需要？需要从强化总量控制理念、明确节能策略与措施、完善节能工作制度保障三大环节入手。

第一，要强化总量控制的理念。过去的能源消费理念在总量上对能源利用没有给予明确的限制信号，值得注意的是，在 2013 年国务院发布的《能源发展“十二五”规划》（以下简称《规划》）中已经明确提出要对能源消费强度和消费总量进行严格控制。《规划》提出“能源消费总量 40 亿吨标煤，用电量 6.15 万亿千瓦时，单位国内生产总值能耗比 2010 年下降 16%。能源综合效率提高到 38%”等重要目标。其中，“能源消费总量 40 亿吨”更是在全国范围内划定了“能源消费红线”，在理念上强化了能源消费的总量控制。习近平总书记关于能源消费革命的阐述中也有“坚决控制能源消费总量，有效落实节能优先方针”的表述，节能也必须一分为二地看待：既需要提高能源效率、降低能源强度，又需要控制能源消费的绝对量，否则居高不下的能源消耗永远是悬在我国经济发展命脉上的“达摩克里斯之剑”。

第二，要明确节能策略与措施。有了正确的理念，必须依靠适当的策略与措施，使能源消费总量真正被控制在适度的范围内。具体而言，需要从短期、中期、长期的维度提出不同的策略：短期策略需要立竿见影，中期策略可以巩固战果，长期策略贵在一贯执行。就短期策略而言，需要特别强调习近平总书记在对能源消费革命表述中提出的“高度重视城镇化节能”这一重要思想。城镇化进程释放出对能源消费的刚性需求，同样需要城镇化进程释放的“集聚效应”降低能



源强度来消融，因此，进一步提升产业集聚水平，发挥城镇化节能的优势，无疑成为最立竿见影的短期策略。就中期策略而言，需要在降低能源强度的基础上，控制能源消费总量。总量控制不可能一蹴而就，并且由于“能源回弹效应”的存在，更高的能源效率并不会减少能源消费总量。这也意味着短期策略的节能效果并不能持续较长时间，需要在中期真正落实“能源消费红线”的规划，严格控制能源回弹带来的负面效应。就长期策略而言，能源消费革命意味着一种新的生产要素组合方式，即经济增长较少依赖于传统化石能源，其他的新要素比如清洁能源、人力资本、节能资本等被纳入生产函数。这种熊彼特式的技术进步产生的奇妙的化学反应，让有限的能源存量不再成为经济增长的“不可承受之重”，其中的关键就在于不断提高要素间的替代弹性。工业革命的进程，就是机器对于人工的替代过程，也是资本—劳动替代弹性不断提高的过程。能源革命的进程，也需要清洁能源对于传统能源的替代，更需要非能源要素对于能源要素的替代。在这个过程中，要素替代弹性需要被准确测度，作为长期策略实现与否的一把重要标尺。

第三，要完善节能工作制度保障。我国能源市场化改革的严重滞后带来能源市场主体不规范、市场结构不合理、价格机制不灵活等缺点，这些顽疾如果一直存在会造成能源消费革命无法达成既定目标，上述的策略也无法避免失败的命运。必须完善节能工作的制度保障，重点就是推进能源体制改革。现阶段，我国能源体制已经打破了“政企合一、高度集中、行政垄断”的模式，基本形成了“政企分开、主体多元、国有企业占主导地位”的能源产业组织格局，但依旧存在市场主体不规范、市场结构不合理、价格机制不灵活等顽疾。能源体制积弊严重，要保障节能工作的顺利开展，需要全面升级目前的能源价格政策、税收政策和补贴政策，让能源体制变革向市场化的方向迈进。

据此，本书将紧紧围绕能源消费革命的策略与保障进行阐述。



## 第二章 能源消费与能源效率的现状

改革开放以来，我国用 30 多年的时间走完了西方发达国家上百年的发展道路。在短时间内实现经济腾飞的“中国速度”令世界惊叹，然而，以“高污染、高耗能、高排放”为特征的粗放型经济增长模式却让世人唏嘘不已。2009 年，我国能源消费高达 22.52 亿吨石油当量，一跃成为世界最大能源消费国。此后，能源需求量更是连年攀升，能源供给“捉襟见肘”，能源短缺成为制约社会经济发展的主要因素。尤为严重的是，十面“霾”伏使 6 亿人生命健康受到威胁，政府公信力面临危机。近年来，随着经济发展方式的转变，我国能源强度有所降低，但能源效率依然与世界发达国家存在较大差距，能源压力并未得到有效缓解。

### 第一节 中国陷入能源消费困局

#### 一、能源供需矛盾日益突出

##### 1. 能源需求“急速攀升”

粗放式经济增长模式下，我国能源需求呈现出“急速攀升”的态势，如图 2-1 所示。2000~2013 年，我国能源消费总量几乎呈直线上升。2013 年，能源消费总量达 37.5 亿吨标准煤，占全球能源消费总量的 22.4%，较 2000 年增长了 1.57 倍，稳居世界能源消费总量首位。若要维持我国经济持续稳定的增长态势，能源需求的增长趋势不会就此改变。国际能源署（IEA）预测，即便我国经济平均增长速度只有 6%，2030 年能源需求总量也将达 51.63 亿吨标准煤，



为 2013 年的 1.38 倍。<sup>①</sup>

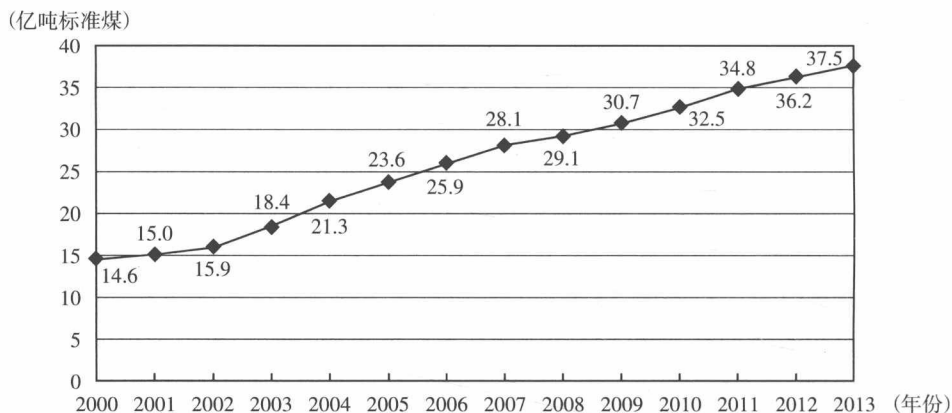


图 2-1 2000~2013 年我国能源消费总量

## 2. 能源供给“捉襟见肘”

我国能源资源储备总量大，但人均占有量少，对外依存度屡创新高，能源资源约束日益趋紧。截至 2013 年年末，我国人均煤炭、石油、天然气可采储量分别为 84.14 吨/人、13.30 桶/人、0.24 万立方米/人，分别仅为世界人均水平的 66.4%、5.5%、9.1%，如表 2-1 所示。其中，我国煤炭总储量虽位列世界第三，但人均煤炭储量只有煤炭总量排名第四的澳大利亚的 7.3%，能源资源供给压力

表 2-1 2013 年各地区人均能源资源储备

地区	人均煤炭储量 (吨/人)	日均石油储量 (桶/人)	人均天然气储量 (万立方米/人)
世界	126.72	239.92	2.64
中国	84.14	13.30	0.24
美国	750.05	139.71	2.94
巴西	33.44	78.67	0.25
俄罗斯	1098.52	650.67	21.90
印度	48.74	4.58	0.11
加拿大	187.49	4965.10	5.70
英国	3.56	46.81	0.31
澳大利亚	3292.11	172.36	15.94

资料来源：由 IMF 网站各地区人口总数和 BP 网站各地区能源资源储备数据整理计算所得。

<sup>①</sup> IEA 发布的《世界能源展望 2007》。





巨大。此外，我国能源资源分布极不均衡，与地区经济发达程度呈逆向分布，优质资源相对不足，开采地质条件复杂。较低的人均能源储量，将越来越难以满足未来经济社会发展的需要。

同时，能源供给不足带来的能源安全问题不容小觑。自1993年成为石油进口国至今，我国已然成为煤炭、石油、天然气和铀资源全品种的净进口国，总体对外依存度超过10%。2001年以来，我国石油净进口量急剧增长，截至2011年年末，原油净进口量为25378万吨，对外依存度高达57.72%（见图2-2）。2001~2011年，我国原油对外依存度的平均增速高达5.5%，能源供给约束引发的能源安全问题日趋突出。

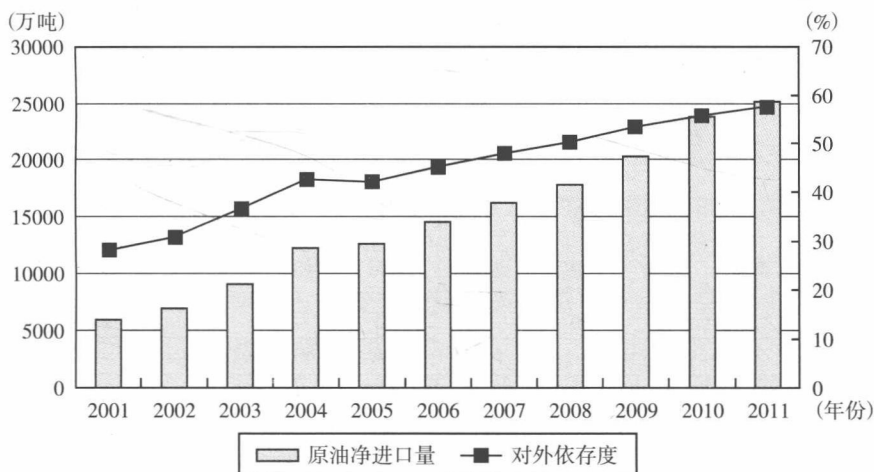


图 2-2 2001~2011 年我国原油净进口量和对外依存度

资料来源：根据我国能源统计年鉴数据整理。

综合来看，能源需求的“急速攀升”与能源供给的“捉襟见肘”，使我国能源缺口日渐扩大。随着我国工业化、城镇化进程的不断推进，能源需求的刚性特征，引致能源供需矛盾的进一步深化。2010年年底的“柴油荒”和2011年大规模的“电荒”，给国民敲响了能源危机的警钟。

## 二、能源消费结构亟待调整

从能源结构的视角分析，在全球经济总量前10名的主要经济体中，我国煤炭在能源消费中所占比重远远高于其他国家，而天然气比例则远低于其他主要国家，非化石能源比例仅高于日本和印度。值得重点关注的是，表2-2中数据显



示，截至 2011 年，美国的化石能源经济可采储量无论是煤炭、石油还是天然气，都达到我国的 2 倍之高。然而，美国不但能源消费总量低于我国，并且其煤炭消费占比仅为 20%，远低于中国 68% 的比例，清洁能源（非化石能源以及天然气）占比更为我国的 3 倍之高。

由此可见，过度偏煤的能源消费结构才是造成我国诸多能源问题的罪魁祸首。如果能及时优化我国能源消费结构，大力降低我国煤炭消费比重，当前能源领域所面临的总量不足问题、消费结构问题和生态环境破坏问题都将会得到有效解决。2012 年，我国每万美元 GDP 能耗 4.75 吨标准煤，非化石能源消费占比 9%。相比欧美发达国家或地区，还存在相当大的差距和极大的提升空间。未来我国能源领域的整体发展重点应该转向对天然气、非化石能源等清洁能源的开发和利用，着力促进清洁能源对传统化石能源的替代。

表 2-2 2011 年经济总量前 10 国家的相关能源数据

地区	能源消费结构 (%)								化石能源经济可采储量 (亿吨标准煤)
	化石能源				非化石能源				
	煤炭	石油	天然气	总计	核能	水能	其他可再生能源	总计	
美国	20	37	30	87	8.3	2.9	2.3	13	1868
中国	68	18	5	91	0.8	7.1	1.2	9	893
日本	26	46	22	94	0.9	3.8	1.7	6	3
德国	25	36	22	83	7.2	1.5	8.3	17	291
法国	5	33	16	53	39.0	5.4	2.2	47	0
英国	19	34	35	87	7.8	0.6	4.1	13	11
巴西	5	46	10	60	1.3	34	4.1	40	70
俄罗斯	14	21	54	89	5.8	5.4	0.02	11	1730
意大利	10	40	38	88	0	5.8	6.7	12	3
印度	53	30	9	92	1.3	4.6	1.9	8	461
世界	30	33	24	87	4.5	6.7	1.9	13	12009

资料来源：《BP 世界能源统计年鉴》(2013)。<sup>①</sup>

### 三、失衡的能源消费加剧环境恶化

频繁的能源活动，偏煤的能源结构和过度集中的碳排放加剧了生态环境的恶

<sup>①</sup> 转引自《中国能源体制改革研究报告》(2014)。



化,发达国家上百年工业化过程中分阶段出现的环境污染问题,在我国近 20 多年来集中出现。大范围的雾霾、沙尘暴、酸雨等极端天气成为举国之痛,雾霾天气已波及我国 25 个省份,受困人口达 6 亿人;温室气体排放引起的气候变化日益明显,对人类的生存与发展构成了严重威胁。李克强总理在 2014 年两会报告中指出,我们要像对贫困宣战一样,坚决向污染宣战。国家政府将下决心用硬措施完成硬任务,直面与生态环境污染的这场持久战。

我国“富煤、少气、缺油”的资源禀赋特征,决定了以煤为主的能源消费结构,煤炭消费量约占能源消费总量的 2/3。煤炭的高消费带来了高排放,煤炭燃烧带来的大量二氧化硫、二氧化碳以及烟尘排放,是造成大气污染的主要来源。目前,我国已成为世界第一大二氧化碳与二氧化硫排放国。截至 2013 年年末,我国二氧化碳排放量达 9524.3 百万吨(见图 2-3),较 2012 年同期增长 4.2%,占全球二氧化碳排放总量的 27.1%,为美国二氧化碳排放量的 1.6 倍,而我国超越美国成为世界第一大二氧化碳排放国仅用了 6 年。我国二氧化碳排放量仍在以惊人的速度增长,据 IEA 预测,我国强劲的经济增长仍在持续,工业行业对煤炭的严重依赖会带来 2004~2030 年我国二氧化碳排放量的成倍增加。同时,2006 年的 Stern 报告指出,如果人类继续按照目前的模式发展,到 21 世纪末,全球温度将升高 2~3℃,造成全球 GDP 下降 5%~10%,我国承受着巨大的二氧化碳减排压力。

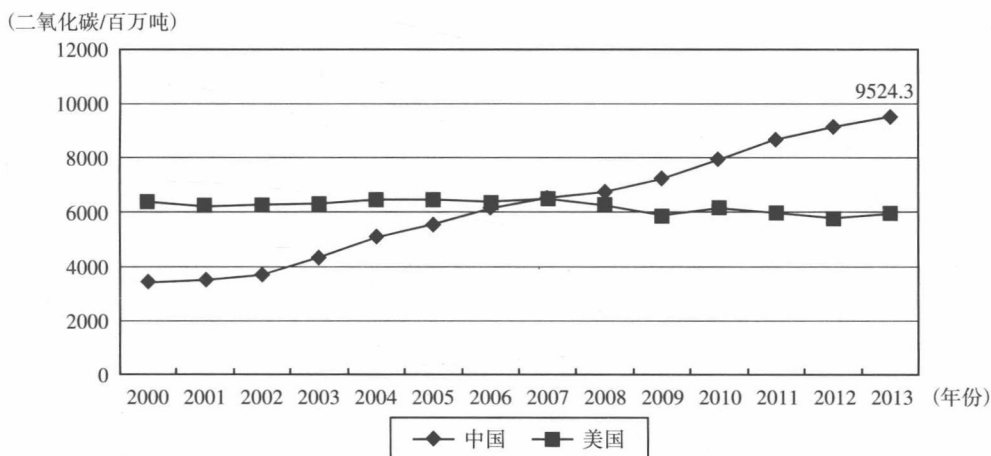


图 2-3 中国与美国二氧化碳排放量

资料来源:《BP 世界能源统计年鉴》(2014)。



## 第二节 中国能源效率持续偏低

近年来，我国能源强度有所下降，节能工作取得了一定进展。全国能源效率保持上升趋势，但是提升速率十分缓慢。此外，尽管能效整体有所提升，但纵观全球我国的能源效率仍处于世界较低水平，缺乏国际竞争力。截至 2011 年年末，我国单位 GDP 能耗为 0.62 吨油当量/千美元，为世界平均水平的 2.5 倍，如图 2-4 所示。2011 年，我国 GDP 总量仅次于美国，与日本相当，但单位 GDP 能源消耗量却是美国的 1.41 倍，日本的 6.2 倍；在“金砖”国家中，我国单位 GDP 能源消耗量也远远高于巴西与印度。行业与地区间的能效差距也较为明显，高耗能行业、地区的能源效率始终处于较低水平。消耗了 7 成左右能源的工业却仅仅创造了不到一半的产出；西部地区虽然能源资源蕴藏丰富，但受落后的经济水平与科技水平拖累，能源效率也远远低于东部地区。中国的能源资源约束日益趋紧、环境保护压力持续增加。严峻的能源形势，已严重制约我国社会经济的可持续发展，经济增长、能源短缺与环境污染矛盾日益深化。

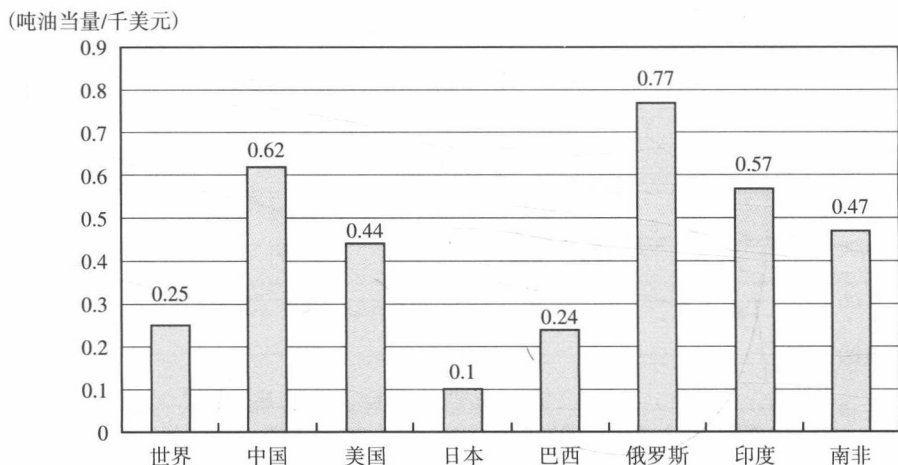


图 2-4 2011 年各主要地区单位 GDP 能耗

资料来源：IEA, Energy Indicator for 2011, Key World Energy Statistic (2013)。



值得注意的是，全球的主要经济体尤其是发达国家与地区，其传统化石能源储量并不如我们预想的那样蕴藏丰富。很大程度上是得益于高效的能源利用和合理的能源结构，它们才未面临如同中国这么严重的能源资源和环境问题。从上一节表 2-2 可以看出，在全世界经济总量排名处于前 10 位的国家中，中国的化石能源储量仅低于美国和俄罗斯。但是，中国的单位 GDP 能耗却远远高于俄罗斯以外的所有主要国家。绝对能源储量与单位 GDP 能耗间的极度不对称性充分揭露了这一事实：中国能源的总量约束并非源于储量的匮乏，而是来自粗放发展方式带来的能源利用效率低下的难题。如果中国高投入高消耗的粗放经济发展方式不得到彻底的改变，那么能源供应紧张、环境日趋恶化等问题将永远不会得到有效根治。有关研究认为，以石油为例，假设中国在未来的 10~20 年继续保持现在的能源强度和消费结构而不诉诸任何积极尝试，那么当全国 GDP 达到 200 万亿元时，预计石油消费将达 4000 万千桶/天，进口量将超过 3000 万千桶/天。如此庞大的石油进口量不但会使石油供应趋向于极度不稳定的境况，导致国内的环境污染问题继续恶化，同时也将大大削弱我国在国际原油市场中的议价能力，极易让我国陷入“一买就涨”的困境难以翻身。

鲜明的数据表明，我国经济的发展对能源具有十分强的依赖性，且资源浪费情况严重，在未来的国际博弈中，缺乏强有力的竞争力。但同时，也应该看到能源效率的提升潜力巨大。与世界的主要经济体相比，我国还存在极大的技术差距与发展潜力。掌握世界上领先的技术，充分发挥我国的后发优势，“世界第一能源”——能源效率将创造难以想象的价值。

从前文对于我国能源消费和能源效率现状的描述可以得出结论：开源节流是当务之急，也是应对能源问题的必要途径。其中“开源”即扩大资源供给来源，受资源禀赋的约束，能源要素的持续增加难以为继，能源替代的发展能有效为此解困；而“节流”即减少能源消费量，但结合经济持续增长的事实，究其实质，提高能源效率是效果最优、见效最快的“节流”方式。因此，提升能源效率与促进能源替代并重的能源革命战略，成为我国社会与经济现实的现实选择。

一方面，提升能源效率是提高经济效益、转变经济发展模式、促进节能减排的关键。纵观人类历史的工业化进程，亦是能源效率不断改善的过程，三次产业革命依托于“三次能源革命”，由“煤气时代”、“油气时代”到现在的“新能源革命”，每一次对能源效率都提出了新的要求；提升能源效率，能显著提高经济



效益，增强企业与国家的竞争力，促进经济的腾飞。同时，提高能源效率有利于优化产业结构，内在地推动经济向“低耗、高效、清洁”发展模式转变，有效缓解能源压力，改善环境质量，是最重要的“能源”资源。

我国能源效率的提升潜力巨大。其一，我国现在的能源效率远远低于世界其他国家，面临生产设备低效、节能技术落后等制约，如能充分利用后发优势，借鉴先进技术与设备，能效具有较大提升空间。其二，近年来，虽然我国对提升能源效率越来越重视，但相关的政策滞后且缺乏法律保障，节能减排效果大打折扣，与预期目标存在很大差距，良好的政策法律保障能显著提升能源效率，如加拿大早在 1992 年便颁布《能源效率法》，硬性划定了相关能效指标，并定期修订相关条例，为提升能效创造了良好环境。

另一方面，则要推进能源替代进程。能源替代的发展包含两层解释：第一，用资本、劳动、人力资本等其他要素替代能源，在直接减少能源消费的同时，增加能源边际产出，提高能源效率；第二，采用清洁、高效、可再生的高品质能源替代传统、低效、不可再生的化石能源，能有效缓解能源供需压力，改善环境污染问题，实现节能减排。用替代的思想考虑能源问题，给人以新的启发，是思维的一种创新，无论是哪一种替代，都将创造巨大的财富，促进能源替代时不我待。

在要素替代方面，改革开放以来的资本积累，为资本对能源的替代创造了条件，具有较强的现实可行性。“人才红利”带来的人力资本积累在应对能源挑战中，将发挥重要作用。在替代能源方面，据《全球新能源发展报告》，2013 年，我国凭借超过 610 亿美元的年度新能源总投资、近 200GW 的新能源发电累计总装机量，成为世界新能源领域的领跑者，新能源大规模替代传统能源的时代已经来临。我国应从实际国情出发，重视新能源的开发与利用，逐步提高替代能源在能源结构中的比重，从战略高度形成替代能源发展的合力。

### 第三节 全要素能源效率的测度

随着经济的快速增长，能源需求迅速攀升，能源过度消耗导致的能源短缺和环境污染日益成为制约我国经济社会发展的重要因素。前文定性地描述了我国目



前的能源状况和亟待解决的难题，但是并没有对能源效率进行一个准确的测度。我国的能源效率到底处于什么样的水平呢？能源效率变动的内在因素是什么？本节实际测度了我国的全要素能源效率，紧接着采用面板门槛模型分析了能源效率变动的内在因素，得出了我国目前陷入“偏低能效陷阱”的现实，为进一步寻求提升能源效率的途径奠定了基础。

本节的结构安排如下：首先，对国内外有关能源效率测度的研究文献进行归纳与梳理，主要对单要素能源效率和全要素能源效率两种测算方法进行介绍；其次，运用 DEA 方法分别对我国省域和行业的全要素能源效率进行了测算；再次，在测算出的分省全要素能源效率基础上，建立以能源效率为门槛变量的面板门槛模型（PTM），从宏观角度分析了能源效率变动的内在动力；最后，总结和回顾了本节内容，并给出相应政策建议。

## 一、能源效率测度方法回顾

能源效率一词最早是指在生产同样数量产品的情况下，使用较少的能源投入。<sup>①</sup>按照能源效率的一般化定义，精确计量能源效率的关键在于界定投入和产出，由此能源效率可以划分为单要素能源效率和全要素能源效率。单要素能源效率将能源作为唯一的投入要素，全要素能源效率则考虑了经济活动的所有投入要素。在能源效率的研究早期，学者主要基于单要素的视角，对某一国家或地区能源使用效率进行研究。

### 1. 单要素能源效率测度

传统的基于单要素生产率框架的能源效率只将能源要素作为投入，根据不同的投入产出指标，可以分为以下四类：热力学指标、物理—热量指标、经济—热量指标和纯经济指标。

热力学视角的能源效率测度又可以分为第一定律能源效率、理想限制的第二能源效率等。该视角的能源效率方法将所有能源要素的投入看作同质的，这一假设一直受到其他学者的质疑。在此基础上，物理—热量指标有了进一步的发展，该指标可以用于纵向比较，但受限于一定的产业和部门，且无法对不同产出合并

<sup>①</sup> Patterson M. G. An accounting framework for decomposing the energy-to-GDP ratio into its structural components of change [J]. Energy: The International Journal, 1993, 18 (7): 741-761.



进而得到总的能源效率。经济—热量指标一般用于测量不同生产部门和产业的经济活动效率，可突破物理—热量指标的局限。使用最多的经济—热量指标为能源—GDP 指标，即能源消耗强度，然而，其同样存在无法测量潜在的能源技术效率的缺陷。<sup>①</sup> 纯经济指标是指完全依据投入和产出的市场价值来计算的指标，使用最多的为：国民能源投入（美元）/国民产出（美元），该指标与能源消耗强度比，能够通过能源价格信息更加准确地体现出能源经济生产率，真实地表现对能源的供需变化。Turkey、Norbay 和 Berndt 认为，使用能源价格而不是热量单位来测量能源投入，可以解决能源非同质问题，使得不同质量的能源投入可以进行加总计算。<sup>②③</sup>

以上阐述的能源效率计量方法都是基于单要素理念，计算简单且易于接受，但它们对“投入”和“有效产出”的界定有很大的差别，测量的结果也难以一致。甚至有些学者对这些方法的有效性提出了质疑，例如 Leach（1975）和 Roberts（1979）。因此，在 20 世纪末，对能源效率学术研究的方向转向全要素能源效率的测量。

## 2. 全要素能源效率测度

单要素能源效率仅考虑将能源作为投入要素本身的效率，没有考虑其他要素。全要素能源效率则将其他投入要素纳入分析的范畴，其计算结果更加合理。在 Farrell（1957）提出技术效率的概念后，全要素生产率的计量有了巨大的进步。该方法的核心在于估计效率最大化情况下的生产前沿曲线，然后比较观测值与前沿曲线的距离，从而达到衡量全要素效率的目的。对于前沿曲线的估计，目前采用的方法主要有两种：基于参数法的随机前沿分析（SFA）和基于非参数法的数据包络分析（DEA）。在全要素生产率的范畴下，国内外学者对能源效率进行了大量的测度。

国外学者对全要素能源效率的研究过程中，倾向于利用跨国数据进行横向比较。Sun 和 Meristo（1999）提出了一个分解模型，对 OECD 国家 1960~1999 年的能源效率进行了测量，并分别分析了产业结构变化对能源效率的影响。Markandya

<sup>①</sup> Wilson B., Trieu L. H., Bowen B. Energy efficiency trends in Australia [J]. Energy Policy, 1994, 22 (4): 287-295.

<sup>②</sup> Turvey R., Norbay A. R. On measuring energy consumption [J]. The Economic Journal, 1965, 75 (300): 787-793.

<sup>③</sup> Berndt E. R. Aggregate energy, efficiency and productivity measurement [J]. Annual Review of Energy, 1978 (3): 225-273.





等 (2004) 分析了各个欧盟成员国不同的能源禀赋对经济的影响, 其实证的结果也表明欧盟成员各国的能源效率将趋于一致。其研究结果还表明, 随着欧盟的不断扩张, 欧盟国家新的成员国和老的成员国能源消费的程度将逐步趋于一致。Miketa (2005) 基于 56 个国家的面板数据, 研究了国家之间能源效率差异性, 其实证结果表明大部分产业部门的能源效率具有收敛的特征。其研究结果还表明, 能源效率收敛的特征主要出现于一个国家内部的不同产业之间, 在国家与国家之间鲜有这种趋势存在。

国内学者对全要素能源效率的研究, 除了侧重不同计量方法的使用, 还注重了我国地域差异, 采用省际数据进行研究。魏一鸣和廖华 (2010) 总结了能源效率的 7 类测度指标及其测度方法, 对能源效率的测度方法进行了全面的分析和比较, 并得出全要素能源效率是测量能源效率较为科学的方法。续竞秦和杨永恒 (2012) 则使用 SFA 方法对我国省际全要素能源效率进行了计量, 并比较了 SFA 与 DEA 计量结果的异同。另外, 有国内学者更是将经济发展过程中的外部性纳入全要素能源效率的计量模型。袁晓玲等 (2009) 将废水、废气排放等环境污染物作为产出的一部分, 即非合意产出, 并构建了一个污染物排放指数, 对此进行衡量。基于生产理论框架的 DEA 分析法, 测度我国 28 个省市自治区 1995~2006 年的能源效率。

DEA 模型和 SFA 模型在对能源效率的测量上各有优劣。从模型构建角度, DEA 测量的是建立在样本上的相对效率, 而 SFA 则在给定的生产函数模型上对能效进行求解, 所以, 与 DEA 模型相比, SFA 模型测量出的结果更接近于真实效率值, 但灵活性较差。从产出角度来说, DEA 模型的用途更为广泛, 可用于多输出的情形, 而 SFA 模型只适用于单一输出的情形。

## 二、全要素能源效率的测度

基于上述分析, 本节运用 DEA 方法对全要素能源效率进行测度。本节内容主要分为两部分, 分别对工业行业 36 个细分行业和省域的全要素能源效率进行了测量。

### 1. 工业全要素能源效率

(1) DEA 模型介绍。1978 年, 著名的运筹学家 Charnes、Cooper 和 Rhodes 首先提出用基于规模报酬不变 CRS (Constant Return to Scale) 的数据包络分析方