



中国社会科学院数量经济与技术经济研究所
Institute of Quantitative & Technical Economics
Chinese Academy of Social Sciences

推动能源革命，促进经济持续健康发展 ——创造更自由的能源选择

李平、刘强等

全球能源安全智库论坛 2016 年会

2016 年 6 月 30 日-7 月 1 日

中国，北京

本报告为中国社会科学院数量经济与技术经济研究所“能源安全与新能源技术经济研究”创新工程研究项目组为全球能源安全智库论坛 2016 年会准备的主题报告。

项目组首席研究员：李平、

项目组成员：刘强、吴滨、董惠梅、刘丹、胡安俊、王怡。

主要观点

(1) 能源革命本质上是要求我们能够在不同的供给来源与方式、消费的结构与模式、技术路径上实现更为多样、更为自由的选择。可选择的能源组合，在相互补充又充分竞争的框架下，我们的能源体系才更为安全，使我们能够无障碍地享受现代能源体系所带来的便利与自由。可以说，能源革命的基础是为社会提供充分的能源选择。

(2) 在较低油价短期不会改变的情况下，我们仍然需要推动能源革命。这是由我们对清洁能源、智慧能源的追求所决定的。在低油价下，推动能源革命不应该靠提高石油价格，而是应该通过机制创新与技术进步，让清洁能源有更好的经济性。只有在经济性上有充分地提高，各种替代能源才会有长远的发展前景。

(3) 亚太地区已经成为世界上最大的能源消费者。同时，世界主要的能源供给者也都位于亚太周边地区。中国成为世界能源市场的重要力量，是俄罗斯、中东和非洲产油国的竞争对象，在美国原油出口解禁之后也成为了美国石油的买家，同时对煤炭和天然气也都有很大的进口需求。

(4) 因此，中国可以利用世界范围内的优质资源，实现自身能源供给与消费结构的优化，降低综合能源成本，实现绿色能源，保护国内资源与环境，提升能源安全保障水平，促进中国经济的持续健康发展。

(5) 中国利用国际优质能源资源，有利于推动国内的能源市场化改革和资源优化配置。同时，利用各国普遍欢迎“一带一路”倡议的机会，通过加强与世界能源出口国、进口国、跨境国的合作，也有利于维护区域的和平与稳定，推动周边地区与世界的融合发展。中国的能源革命，是世界能源革命的重要组成部分，未来将成为这一趋势的领军国家。

(6) 东亚地区在中国市场的带动下，有形成一体化天然气市场的潜力。这一地区是未来天然气需求增长最快的地区，自身天然气资源丰富，也有充裕的管道天然气和液化天然气供给保障。通过天然气市场的一体化，有利于推动全球能源互联网的形成。为促进东亚地区天然气市场的一体化进程，中国需要在这一领域进行实质性的市场化改革措施。

(7) 供给侧能源革命的目标：更为清洁、成本更低、创造新的能源选择，从不清洁的能源转向清洁能源，开发新的可用能源，让消费者有更为自由的选择。供给侧革命更主要地依靠市场的力量，而非政府补贴。

(8) 供给侧能源革命的主要方向有：以清洁化应对环境污染问题；以低碳化应对全球气候变化；以智能化增强可再生能源经济性；以分布式供给提高能源服务自由度。未来的主要突破方向包括：非常规化石能源的发展；传统能源的清洁化；以柔性消纳为主要特点的智能电网；形成燃料之间的竞争，推动能源体制改革，提高市场效率。

(9) 能源需求侧革命，需要我们改变能源消费的模式，优化我

们的能源消费结构，从智能设计上实现节能（城市、建筑、人居、交通体系），提高能源消费的效率，减少无效能源消费。

（10）需求侧能源革命的主要方向有：以节能为能源消费革命的最重要目标；以智能化为实现节能与用户友好目标的主要手段。主要突破方向；发展灵活燃料能源单元；以“互联网+”为支撑的能源产品与能源系统网络化；分布式与集中供应相互融合的自由能源；节能是最有潜力的领域，包括工业节能、家庭能源设备节能、广义节能才是最大的节能等。

目 录

1 世界需要能源革命	1
1.1 现代能源体系的特性	2
1.1.1 大规模、低成本生产.....	2
1.1.2 普遍服务.....	3
1.1.3 对大规模基础设施的依赖.....	4
1.1.4 能源部门有形成垄断的内在动力.....	5
1.1.5 环境影响.....	6
1.2 能源革命的要求与主要内容	6
1.2.1 能源革命的要求.....	6
1.2.2 能源革命的主要内容.....	7
2 能源选择：成本与环保压力下的能源转换	9
2.1 历史经验	9
2.2 新的发展趋势	10
2.3 世界经济与能源供求的基本面决定了短期内油价将维持在较低价位	12
2.3.1 全球经济表现低迷，能源需求不振.....	12
2.3.2 能源供给能力增强.....	13
2.4 低油价下的能源革命	14
3 借力“一带一路”，推动亚太地区能源合作	14
3.1 亚太地区能源合作有重要意义	14
3.2 推动亚太天然气市场的一体化	16
3.3 重点推动东亚、东南亚天然气交易和定价中心与相关基础设施建设	17
4 供给侧能源革命	18
4.1 供给侧能源革命的主要方向	19
4.1.1 以清洁化应对环境污染问题.....	19
4.1.2 以低碳化应对全球气候变化.....	20
4.1.3 以智能化增强可再生能源经济性.....	20
4.1.4 以分布式供给提高能源服务自由度.....	20
4.2 主要突破方向	20

4.2.1	非常规化石能源的发展.....	20
4.2.2	传统能源的清洁化.....	21
4.2.3	以柔性消纳为主要特点的智能电网.....	22
4.2.4	形成燃料之间的竞争，推动能源体制改革，提高市场效率.....	23
5	需求侧革命	23
5.1	需求侧能源革命的主要方向	23
5.1.1	以节能为能源消费革命的最重要目标.....	24
5.1.2	以智能化为实现节能与用户友好目标的主要手段.....	24
5.2	主要突破方向	24
5.2.1	发展灵活燃料能源单元.....	24
5.2.2	以“互联网+”为支撑的能源产品与能源系统网络化	24
5.2.3	分布式与集中供应相互融合的自由能源.....	25
5.2.4	节能是最有潜力的领域.....	25

能源革命：创造更自由的能源选择

——推动能源革命，促进经济持续健康发展

推动能源革命，为社会提供清洁、高效、智能且低成本的普遍能源服务，是实现经济可持续健康发展的必然要求与基本条件。2014年7月以来，曾经高企的石油价格推动了能源供给侧与需求侧的革命性进步，在美国产生了页岩气革命，页岩油产量也迅速增长。这一革命性的突破，使得石油价格以至整体能源价格普遍下降。在这一新的能源价格形势下，能源企业的利润空间缩小，可用于增加资源储量与供给能力的投资能力下降。然而，较低的能源价格，也促使能源企业更加致力于降低单位能源生产成本，或者在较低价格下致力于提高产量，以此来弥补财务压力。总体而言，社会和产业追求能源革命的动力不会消失，但是在新的价格形势下如何推动能源革命，包括供给侧革命与需求侧革命，是利用技术进步还是利用市场机制的变革来推动，是一个非常重要的课题。

中国在1949年之后走了一条不同于其他大多数国家的能源道路。依托中国丰富的煤炭资源，我们在供给侧建立了以煤炭为主要能源供给形式的能源供给结构，同时在需求侧形成了以工业需求为主的能源需求结构。时至2015年，煤炭在中国能源消费中的比例仍高达64%^①，工业需求占能源消费的69.4%（2014年数据）^②。由于煤炭资源特性，在中国推动能源革命，实现向清洁能源的转换，提高能源效率，降低能源服务综合成本，并以此推动经济的长期健康可持续发展，具有更加重要的意义。同时，这也是中国承担全球应对气候变化大国责任的一部分。本报告将对这一问题进行研究。

1 世界需要能源革命

能源革命并非始于今日，而是伴随着人类社会的整个历史。可以说，能源革命推动了人类进化的历史。在工业革命之前，火的控制使用使人类摆脱生食，利用木炭冶炼青铜与铁使人类进入了文明时期。在1000多年前的中国宋朝，已经开始大规模使用煤炭作为生活和生产的能源，也几乎在同时，中国开始使用天然气和石油作为能源。

^① 国家统计局，《2015年国民经济和社会发展统计公报》。

^② 国家统计局，《中国经济统计年鉴2015》。

13 世纪之后，西欧地区经历了从泥炭向煤炭能源的过度，并在 18 世纪导致了蒸汽机的出现。19 世纪 60 年代，美国和俄罗斯几乎同时开始建立了现代石油工业。19 世纪 80 年代，法国与美国率先建立了电力供应系统。这些能源领域的革命性突破，奠定了今天现代化生活方式的基础。

人类对社会福利与幸福生活的追求是没有止境的。在享受各种燃料与电力所带来便利的同时，我们也关注环境与生态所面临的挑战，关注全球气候变化的潜在风险，同时，我们也希望能源系统能够更加智能化、更加个性化，能够为所有人口包括贫困人口提供普遍的能源服务。同时，作为经济的基础产业，上下游产业也希望能源系统能够提供更低成本、更高效率和更公平的能源服务，来支持整体经济的稳定与技术进步。这些要求构成了社会对能源革命的目标要求。

1.1 现代能源体系的特性

现代能源体系，已经成为人类有史以来最为复杂的人工系统。它是现代工业体系的缩影与最复杂的体现。现代能源系统有以下几大特点：

现代能源系统与传统能源系统的区别在于，它具有低成本生产、普遍服务、依赖输配网络基础设施等三大特点。这三大特点相互关联，相互支持，使能源系统成为有史以来最为复杂的人造系统。由这三大特点产生了另外两个特点：垄断倾向与环境影响。

1.1.1 大规模、低成本生产

规模经济是现代能源体系实现低成本生产的根本原因。同时，为了向全社会提供普遍服务，就必须实现低成本生产。作为工业社会的基础支持部门，没有低成本生产，它就不可能实现大规模供应，那些依赖廉价能源的制造业就难以发展起来，也不可能实现普遍服务的目标。

规模经济这一特点也是化石能源的特点决定的。化石能源由于地质和地球物理化学的过程，集中分布在特定地域，为大规模低成本开采提供了便利条件。随着工业技术的进步和现代交通运输体系的建立，勘探、开采、生产与运输的成本都有效降低，使得现代能源系统的综合成本伴随着生产和市场规模的扩大而持续下降，为工业体系和居民消费等最终用户提供了廉价和不间断的能源服务。此外，借助于现代化的信息控制技术，现代电力输送网络和石油天然气输配送网络把能源生产与消费的各个环节有效地连接起来，构成了一个复杂的能源体系。

化石能源与核能、水电甚至地热发电等都有一个共同特性：资源集中分布。煤炭、石油、天然气都发现了超大规模储量的矿藏，它们可以在一个地点进行大规模生产。沙特的大型油田可以实现每年亿吨左右的开采能力，中国的大庆油田在高峰时期也维持着4000多万吨的年生产能力。中国的山西、陕西、东北、新疆地区也都有巨型煤田。在江河上拦坝建设的大规模水电项目，和大规模燃煤发电项目，都为能源供给的规模效应提供了基础。

技术进步的力量同样也不可低估。在现代石油工业创立的初期，油田的采出率经常只有10%到20%，导致当时资源枯竭论十分流行。但是随着技术的进步，采出率很快提高到40%以上；煤炭的开采，在一开始只是露天开采，后来发展为井工开采，井下采出率从最开始的10%多一些，很快提高到60%；天然气一开始作为废气被直接排放掉，现在已经成为全球最为重要的能源之一；页岩气、页岩油的工业化开采，使非常规油气成为能源界的新宠，并大大延长了化石能源的预期寿命；燃煤电厂的度电煤耗，从开始时的超过500克标准煤，下降到现在的300克左右……

正是化石资源的资源集中分布属性与技术进步的无限潜力，使能源大规模供应与普遍服务成为可能。未来的能源转换，和新能源与可再生能源的发展，仍然需要遵循这一原则。

1.1.2 普遍服务

普遍服务不是现代能源系统的技术要求，然而它却是一个典型的正外部性。这是因为，现代能源系统的初建成本高，或者说其不变成本非常高，但是其可变成本却非常低。因此，市场规模越大，越能分散其不变成本。比如油田和天然气田一旦建成，那么在资源属性许可的范围内，增加产量的成本非常低，甚至其产量非常高，高到无法限制其产量，此时只有发现足够的市场需求，才能消化其产品，否则就只能废弃。发电系统的属性也是相似的，在已建成的发电能力之内，如果市场小于其发电能力，成本就会无法有效分摊。因此现代能源体系与前工业社会以木炭为主体的能源体系有本质的区别，木炭完全可以以销售定产量，而现代能源体系在短期内相当于以产量定销售。从这一特性看，现代能源体系是典型的扩展秩序，其技术特性要求它不断地通过降低成本来扩大市场。

在实际生活中，我们可以看到普遍服务的各种例子。现代社会几乎家家户户

都有不间断的电力供应、燃气供应，车辆行驶在大部分地区都可以在燃油耗尽之前找到加油站。正是在普遍服务的基础上，大量的家用电器和办公电器产业才能得以发展，并且在全球基本实现了互联互通。

但是，如果没有来自外部的规制，普遍服务这一要求有时得不到彻底的贯彻。由于能源基础设施网络建设需要协调各个方面，而且投资巨大，很可能一开始难以启动，甚至长时间无法建设，造成覆盖地区无法享受到能源服务。而在那些条件不好的地区，比如边境地区，沙漠腹地，海岛等等边缘地区，从经济性角度不能符合能源公司的赢利原则，也会导致能源服务的缺失。这就是著名的“能源贫困”。此时，就需要外部的规制来强制实现能源普遍服务。

1.1.3 对大规模基础设施的依赖

能源基础设施更多地表现为能源供应网络，包括油气输送管道、油气储备设施、电力输送网络及其配套设施。电力网络连接发电厂、主干网络和工矿企业、千家万户；燃气网络连接油气田、化工厂、城市管网和居民家庭；油品则通过管道、火车、卡车等把成品油输送到加油站，再加入各种车辆；城市的冬季供热体系也是一个复杂的网络系统。

现代的油气管道始于19世纪中叶，1865年美国宾夕法尼亚建成了世界上第一条输油管道，管道直径50mm，长约10km，之后输油管道虽在世界范围内有所发展但也较为缓慢。直到第二次世界大战，当时的美国因战争需要，开始大规模建设长距离输油管道。二战结束后，世界范围内兴建了多条大型跨国界输油管道，一批海洋输油管道也得到建成，海底管道已经深达海底100多米。美国目前拥有约30万公里的输油管道，约3万公里的输油管道系统，俄罗斯和中东国家也拥有复杂的输油管道系统。中国的输油管道起步于1950年代，中国已经建成的国际油气输送管道包括中亚—中国油气管道、中俄东线油气管道、中缅油气管道^③。

在能源网络的硬件——如管网和电力网络之外，更重要的是软件的信息控制系统。能源系统是一个生产与消费同时进行的复杂人为系统，尤其是电力系统更是如此。电源点与负荷中心多数处于不同地区，而电力无法大量储存，因此其生产、输送、分配和消费都在同一时间内完成，并在同一地域内有机地组成一个整体，电能生产必须时刻保持与消费平衡。电力系统要实现其功能，就需在各个环

^③ 维基网络，<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%BE%93%E6%B2%B9%E7%AE%A1%E9%81%93>。

节和不同层次设置相应的信息与控制系统,以便对电能的生产 and 输运过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度,确保用户获得安全、经济、优质的电能。

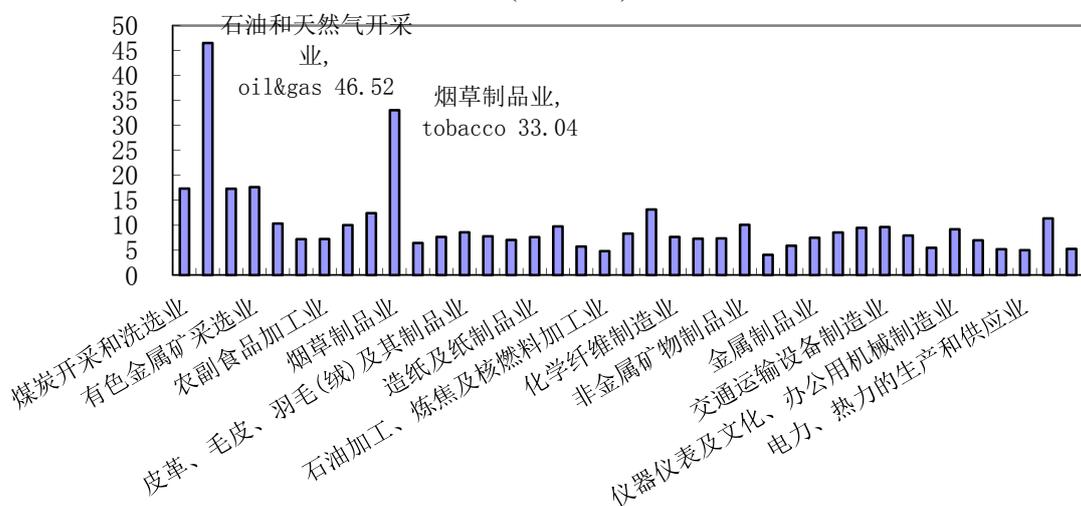
1.1.4 能源部门有形成垄断的内在动力

能源部门具有天然垄断特性,由于其供给依赖网络,实力强的能源企业更有扩张的能力,强者愈强,弱者最后被挤压出局,如不加控制,最后就会形成完全垄断或寡头垄断。一旦形成垄断或者寡头垄断局面,对这样一个竞争不充分的部门如何管理,就成为社会的一个难题。因此,能源部门经常是规制经济学的一个重要议题。

对能源进口国来说,如果能源价格超过了正常的水平,那么就会造成下游工业的利润空间大幅度减少,并因而扭曲了经济资源配置格局,甚至扼杀了制造业的创新与发展能力,并给消费者带来较高的生活成本。而对于能源出口国来说,较高的能源价格会带来大量的货币流入,并带动本币的升值和利息率的提高以及较高的劳动成本和物价水平,同样也会使其他工业的发展失去动力,因为任何其他工业都无法提供像能源工业那样高的利润率,这也就是经济学上的“荷兰病”。

图 1.1 显示出石油与天然气开采业在中国经济中的地位。这一行业的利润率是所有部门中最高的,达到 46.5%,只有烟草这一特殊行业才能勉强与之相比。这就反映出了石油与天然气开采业对其他部门利润的剥夺。

图1.1 中国工业成本费用利润率
(2010, %)



数据来源: 国家统计局,《中国经济统计年鉴 2011》。

1.1.5 环境影响

每一个生产与消费过程都有可能产生环境影响，但是能源系统由于其大规模生产与资源依赖属性，它的环境影响尤其值得关注。

生产、使用化石燃料和传统能源，会增加二氧化碳排放量，减少森林面积、降低水质、酸化或碱化水体、向生态系统中排放有害物质，进而威胁到全球生态多样性和生态系统（UNEP 2010）^④。这些危害同时又遏制了地球对气候变化的自然调节能力（UNEP, 2011）^⑤。

燃烧化石燃料和传统燃料形成的污染将造成很高的间接成本。化石燃料的不完全燃烧产生的PM10和PM2.5污染，以及其他形式的空气污染（硫化物、氮化物、光化学烟雾、重金属等）对人类健康有致命危害（UNEP and WMO, 2011）^⑥。

可再生能源技术并非不会带来社会及环境负面影响，因此慎重规划对规避可能的环境和社会影响非常重要。比如，生物燃料的生产过程会造成对生物多样性和生态系统的负面影响；大规模水力发电对环境和社会的影响更是不可估量；可再生能源特别是光伏组件需要稀土元素，因此可能造成重金属污染问题（IPCC, 2011）^⑦。

1.2 能源革命的要求与主要内容

能源系统的这些特性既帮助现代能源系统完成了它维持工业社会的任务，也造成了一些需要改变的问题。这些特性也决定了能源革命的要求与未来方向。

1.2.1 能源革命的要求

我们需要的是一种最优化的能源系统：

首先，它应具备普遍服务的能力，它必须有足够大的规模、足够低的成本与价格、覆盖全体居民的网络输送能力，使得在世界任何角落的所有人口，都能够享受到能源服务所带来的现代生活。哪怕是边远沙漠、海岛，甚至南极科考站。

^④ UNEP. (2010). *Advancing the Biodiversity Agenda: A UN System-wide Contribution*, United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.

^⑤ UNEP, 绿色经济，实现可持续发展和消除贫困的各种途径，2011。

^⑥ UNEP and WMO. (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers*. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi; World Meteorological Organization (WMO), Geneva.

^⑦ IPCC. (2011). *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Working Group III – Mitigation of Climate Change. Edited by O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, and Y. Sokoma. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change.

其次，安全稳定。能源系统关系到社会的每一个家庭，每一个组织，甚至每一个经济活动。因此，安全稳定成为最基本的要求。

第三，环境友好。能源的生产与消费过程的每一个环节，都应该是清洁的、无害的。它的排放应该处于自然系统能够实现自净的范围之内，同时不能对地质、水资源、生物多样性产生损害。

第四，智能化。智能化的能源服务，是对能源革命更新的、更高的需求。它包括供给侧和需求侧两方面的要求。在供给侧，由于能源系统可能面对各种各样的扰动和波动，比如风电的波动性、水电的季节波动性、局部电源的生产事故等，因此要求整个能源系统能够自动化地、智能化地应对这些扰动和波动；在需求侧，它希望能源系统能够根据消费者多样性的需求特性，自动地改变服务模式，提高能源服务效率，实现节能与舒适的双重目标，比如智能楼宇系统、智能家电等。

第五，自由、开放，社会友好。虽然能源系统具有自然垄断的属性与动力，但是我们仍然可以通过各种规制措施，促使它形成一个自由、开放的市场，并且其行为是社会友好的，应摒弃垄断行为带来的效率低下与供给不足。能源的上游生产领域、中游的输配领域、下游的分销领域，都应该实现开放与有规制的自由准入。市场的充分竞争将带来效率与充分供给，并进一步推动能源革命的进程。在个别暂时需要集中的领域，也要实现充分的规制与信息公开。

我们需要的就是这样的能源系统。只要符合这些原则，就是一个优化的能源系统。我们不必去追究它是化石能源还是非化石能源，但是我们要求它符合环境友好、安全稳定、智能、经济、并能一直提供我们所需要的服务。

能源革命的所有方面，本质上是要求我们能够在不同的供给来源与方式、消费的结构与模式、技术路径上实现更为多样、更为自由的能源选择。可选择的能源组合，在相互补充又充分竞争的框架下，我们的能源体系才更为安全，使我们能够无障碍地享受现代能源体系所带来的便利与自由。可以说，能源革命的基础是为社会提供充分的能源选择。

1.2.2 能源革命的主要内容

能源革命不是一次简单的技术革命，它是以技术革命为推动力的全面变革，涉及到能源供给、能源消费与能源市场与管理体制的各个环节与方面。同时，技术革命也需要市场机制的激励与推动。

1、供给革命

能源供给革命的目的是建立更为安全、更为高效、更为清洁和低碳、更为经济、供给更加灵活和多样、更能提供普遍服务的能源生产与输送体系。

对于中国来说，能源供给革命要建立多元供应体系。在 2014 年 6 月 13 日的中央财经领导小组会议上，习近平主席提出立足国内多元供应保安全,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，同步加强能源输配网络和储备设施建设。

2、消费革命

能源消费革命的目的是提高能源消费利用过程中的效率，有效降低能源消费水平，提高绿色能源消费比重，同时能够享有更加自由、更加廉价的能源服务供应。

中国已经成为世界最大的能源消费国，更需要推动能源消费革命，抑制不合理的能源消费。中国要坚决控制能源消费总量，有效落实节能优先方针，把节能贯穿于经济社会发展的全过程和各领域，坚定调整产业结构，高度重视城镇化节能，树立勤俭节约的消费观，加快形成能源节约型社会。

3、技术革命

能源技术革命是推动经济升级的重要来源之一。主要方向是实现更加高效、更为清洁、更为灵活、更加安全的能源生产方式。中国推动能源技术革命的目的还包括带动产业升级。

我国能源技术革命的措施是立足国情，紧跟国际能源技术革命新趋势，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。

4、体制革命

能源行业管理国民经济中的重要领域。能源体制革命的目标是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。

5、国际合作

通过加强与能源出口国、能源进口国、能源过境国的合作，可以有效保障中国的能源安全，降低能源总体成本，优化资源配置，提高经济整体效率。

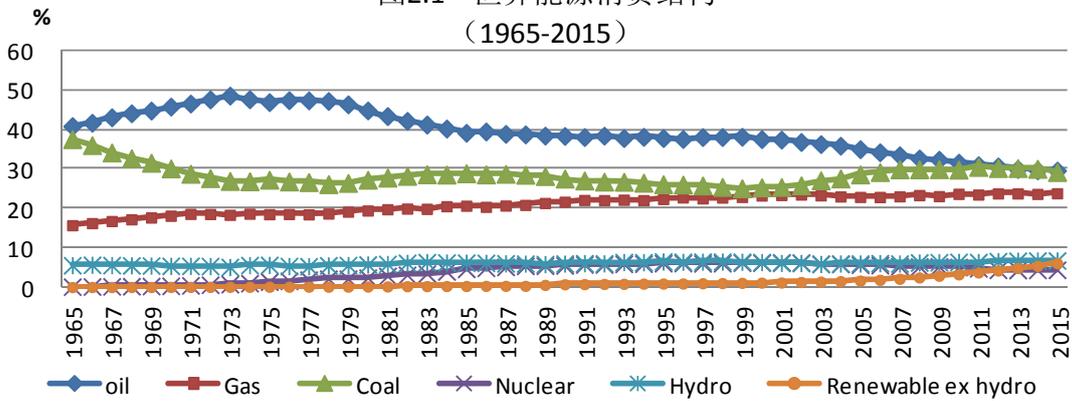
本报告将主要讨论供给侧与需求侧的能源革命及其措施。技术革命、体制改革、国际合作等将分别体现在供给侧与需求侧的能源革命之中。

2 能源选择：成本与环保压力下的能源转换

2.1 历史经验

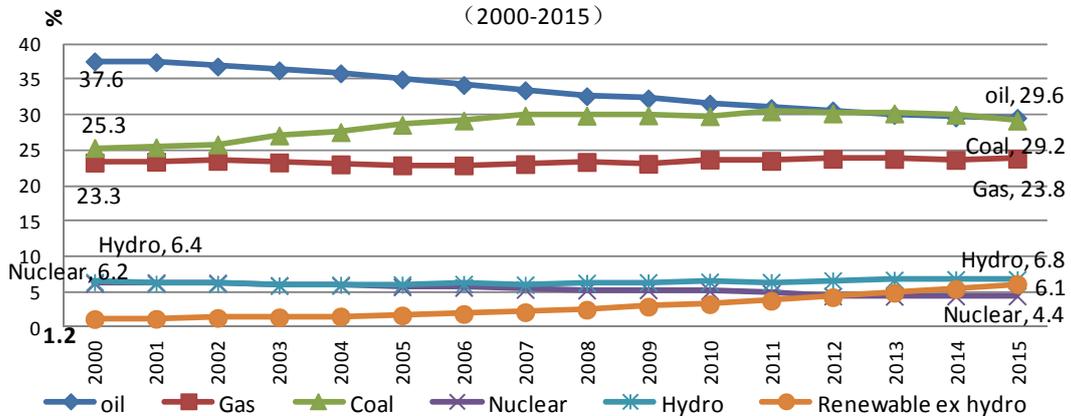
历史上看，1973 年第一次石油危机之后，有一个明显的能源转换过程，就是石油和煤炭比例的下降，而天然气与核能的比例上升（图 2.1、图 2.2）。煤炭比例的下降，来自社会对能源清洁化的需求；而石油比例的下降，一方面源自 OECD 国家对石油价格上涨带来的成本压力，另一方面则是 OECD 国家摆脱对中东石油依赖的政策努力。

图2.1 世界能源消费结构
(1965-2015)



数据来源：BP statistical review of world energy 2016 workbook。

图2.2 世界能源消费结构
(2000-2015)



数据来源：BP statistical review of world energy 2016 workbook。

2.2 新的发展趋势

这一趋势一直持续到上个世纪末。2000 年之后，煤炭的比例出现逆趋势的上升。在 1999 年，煤炭的比例为 25.1%，2011 年达到这一阶段的最高，30.5%。但是在 2011 年之后，煤炭比例再次开始下降，到 2015 年，下降到 29.2%。可以说，这一变化过程主要是来自中国因素的影响。中国经济在 2000 年之后的高速增长，贡献了世界煤炭需求上升的主要部分。

随着中国经济进入新常态，世界煤炭需求的增长速度已经慢下来。因此可以期望，未来的世界能源需求结构中煤炭比例将进一步下降。

经济增长速度的下滑意味着能源需求增速的下降。《2015 年国民经济和社会发展统计公报》初步核算，全年能源消费总量 43.0 亿吨标准煤，比上年增长 0.9%，创 17 年来增速最低值。一次能源生产总量达到 36.2 亿吨标准煤，与 2014 年相比实现零增长。发电量为 58105.8 亿千瓦时，比 2014 年增长 0.3%。其中，火电为 42420.4 亿千瓦时，比 2014 年下降 2.7%（表 1）。

表 2.1 2015 年能源消费总量及增长率

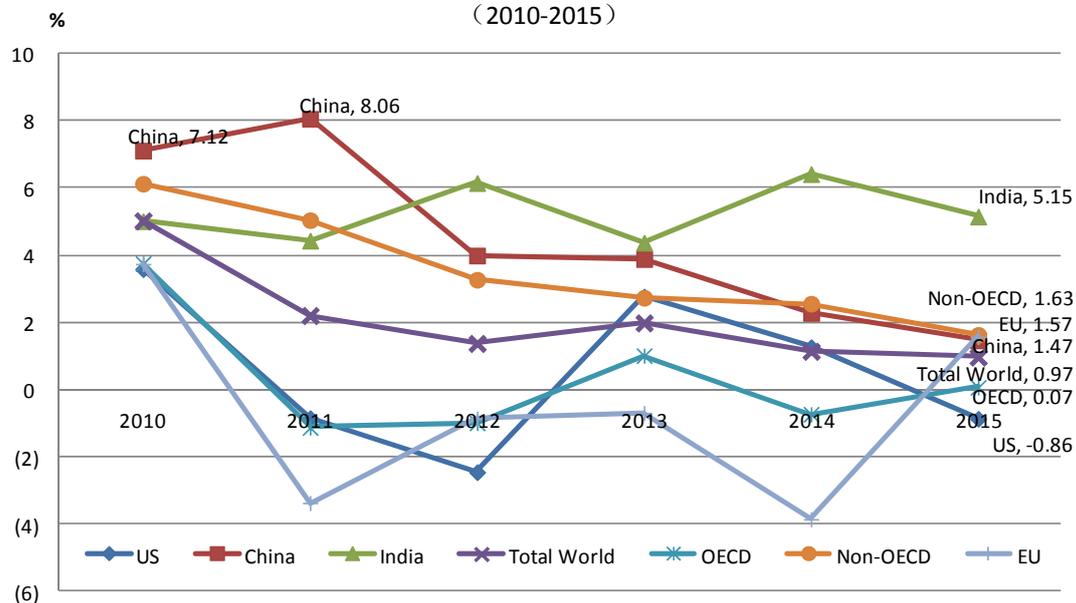
	总量	增速
能源消费总量（亿吨标准煤）	43.0	0.9%
一次能源生产总量（亿吨标准煤）	36.2	0.0%
发电量（亿千瓦时）	58105.8	0.3%
火电（亿千瓦时）	42420.4	-2.7%

数据来源：2015 年国民经济和社会发展统计公报。

但是，世界能源结构向非煤能源的转换过程，仍然存在一个变数，那就是印度对能源的需求和对煤炭的需求近期出现了较快的增长（图 2.3，图 2.4）。2011 年以来，世界能源需求增速趋缓。作为世界能源需求增长发动机的中国，其速度开始减慢。从 2011 年 8.06% 的增速，下降到了 2015 年的 1.47%。全球能源需求增速从 2010 年的 5.03% 下降到了 2015 年的 0.97%。主要经济体中唯一的例外是印度，在这六年中保持了较高的增长速度，六年平均为 5.26%，显示出印度经济比较强劲的增长。而 OECD 国家、美国、欧盟都保持了接近于零增长的趋势。其

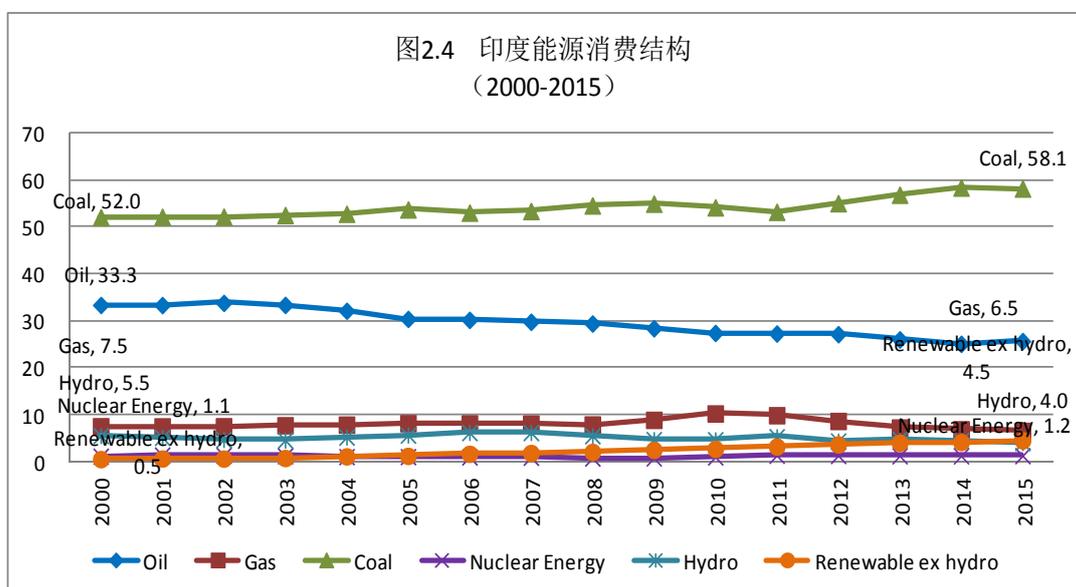
中, OECD 整体的平均增速为 0.33%, 美国的平均增速为 0.58%, 而欧盟为负增长, 年均下降 0.58%, 六年中仅有 2010 年和 2015 年为正增长 (图 2.3)。

图2.3 能源消费增长趋势
(2010-2015)



数据来源: BP statistical review of world energy 2016 workbook。

图2.4 印度能源消费结构
(2000-2015)



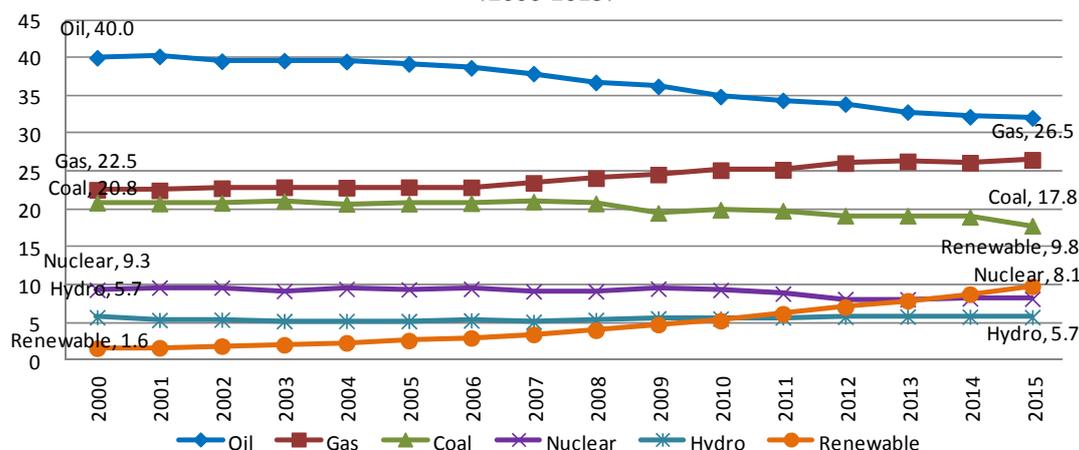
数据来源: BP statistical review of world energy 2016 workbook。

较高的石油价格, 一方面确实具有降低石油比例的作用。然而另一方面, 它却会增加煤炭的经济性。高油价在中国和印度导致了煤炭比例的提高, 而在 OECD

国家则导致了天然气和可再生能源比例的上升。这是因为，OECD 国家在历史上大多经历了大量利用煤炭过程所带来的空气污染。

因此，如果单纯由市场做出选择，较高油价对于世界能源结构向更清洁方向发展的作用和可再生能源的作用都是不确定的。如果不能在环境规制和提高其他非煤能源经济性方面做出努力，清洁能源革命的目标仍然无法实现。

图2.5 OECD能源消费结构
(2000-2015)



数据来源：BP statistical review of world energy 2016 workbook。

2.3 世界经济与能源供求的基本面决定了短期内油价将维持在较低价位

2.3.1 全球经济表现低迷，能源需求不振

2015 年，世界经济普遍低迷，世界工业生产低速增长，贸易持续低迷，金融市场动荡加剧，大宗商品价格大幅下跌。发达国家经济复苏缓慢，新兴经济体增速进一步回落，世界经济整体复苏疲弱乏力，增长速度放缓。国际货币基金组织（IMF）1 月份发布的《世界经济展望最新预测》，估计全球经济 2015 年增长 3.1%，并预计 2016 年和 2017 年的增长率分别为 3.4%和 3.6%。

2015 年，国际市场大宗商品价格大幅下跌。能源价格比 2014 年下跌 45.1%，非能源价格比 2014 年下跌 15.1%，均连续 4 年下跌。今年 1 月份，纽约 WTI 曾跌至每桶 30 美元以下。2 月份以来，国际原油价格有所上涨，目前达到 40 美元每桶左右（纽约 WTI 和北海 Brent 油价）。

与此同时，全球经济形势分化。OECD 国家经济体基本稳定并有所改善，2015

年，美国、日本、欧元区失业率分别为 5.3%、3.4%和 10.9%，较上年降低 0.9、0.2 和 0.7 个百分点。而新兴市场和发展中国家经济体的风险增加，复苏前景不明朗。国际金融协会认为，2015 年主要新兴经济体总金额超过 5000 亿美元，2016 年还将面临 3000 多亿美元资本净流出。

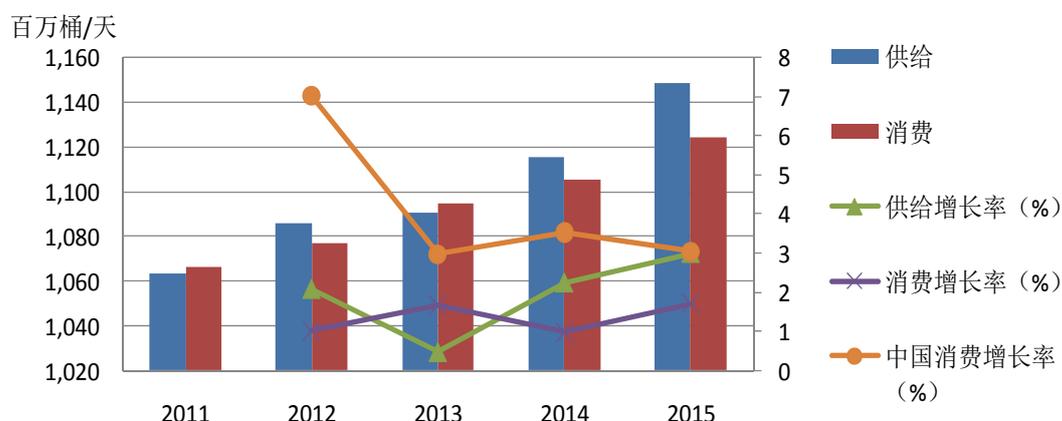
新兴经济体中中国能源需求已经到达拐点。由于中国大规模基础建设和房地产开发已经结束，同时中国正在推进去产能、去库存、去杠杆、降成本、补短板的供给侧结构性改革。这些措施将导致来自中国的能源需求（扣除中国加工原油出口成品油的因素），将难以增长甚至会出现下降。2015 年，中国能源需求已经接近零增长。

由于近十年来新兴经济体是全球能源需求增长的主要动力，在新兴市场经济体增长乏力和美元升值的大背景下，全球能源需求增长前景有限，2016 年国际油价大幅上涨的可能性不大。

2.3.2 能源供给能力增强

尽管近期国际石油价格有所上涨，但是从市场供求关系看，并没有出现大幅度上涨的市场基本面变化。供给能力增长仍然快于消费的增长（图 2.6）。2015 年，世界石油和其他液体燃料的供给为 1148.73 百万桶/天，高出消费（1124.48 百万桶/天），超供约 2.16%，远高于 2014 年的 0.87%，供大于求的局面甚至有所加剧，这是去年石油价格继续下跌的市场基本面。

图 2.6 世界石油与其他液体燃料的供给与消费



数据来源：U.S. Energy Information Administration, Short-Term Energy Outlook, February 2015.

围绕国际油价的持续下跌，OPEC 国家和俄罗斯等非 OPEC 石油出口国开始讨论如何应对。但是，由于全球经济的不景气，对石油产品的需求增长有限，所以各方很难达成一致的约束产量意见。

影响油价前景的另一个重要因素是伊朗。2015 年 7 月，伊朗与与六大国间就核问题达成协议，持续多年的对伊朗制裁开始解禁。今年 1 月 16 日，伊朗核协议开始执行，对伊朗伊斯兰共和国的所有国际和单边制裁基本解除。由于长期制裁造成的生产设施落后，伊朗因素对全球石油供给的增量并不会立即表现出来。但是从长期来看，对油价来说这毫无疑问是一个压制力量。日本能源经济研究所 (Institute of Energy Economics) 表示，如果达成协议，到 2016 年下半年伊朗的原油日产出可能增加 70-80 万桶。在这种背景下，作为伊朗的竞争者，沙特很可能为了争夺市场份额而选择增产，这就会进一步压低国际油价。

除供求关系的改善外，目前美国经济形势明显好于其他经济体，导致美元汇率升值。以美元计价的国际石油价格在美元升值背景下出现下跌，也是非常正常的事情。随着美元的进一步升值，石油价格保持在低价位是可以预见的。

在这种背景下，美国能源信息署 (EIA) 预测，2016 年世界石油和其他液体燃料供给增长 0.74%，世界消费的增长率为 1.22%。EIA 在今年 3 月份的预测报告中，认为 2016 年布伦特油价平均为每桶 34 美元，2017 年预计为每桶 40 美元。

2.4 低油价下的能源革命

尽管背后也会有各种各样的非经济力量，但是勿用怀疑，低油价是市场的选择。在较低油价短期不会改变的情况下，我们仍然需要推动能源革命。这是由我们对清洁能源、智慧能源的追求所决定的。在低油价下，推动能源革命不应该靠提高石油价格，而是应该通过机制创新与技术进步，让清洁能源有更好的经济性。只有在经济性上有充分地提高，各种替代能源才会有长远的发展前景。

3 借力“一带一路”，推动亚太地区能源合作

3.1 亚太地区能源合作有重要意义

美国页岩气革命之后，国际能源版图发生了巨大变化。不断增长的油气产量使美国从全球最大的油气进口国转型成为全球最大的油气生产国之一。这一转变正在重塑能源贸易流向和与之相关的地缘政治格局。美国能源对外依存度持续下降，提高了其他能源进口国家在全球范围内的可获取量。

亚太地区已经成为世界上最大的能源消费者，同时，世界主要的能源供给者也都在亚太周边地区。中国目前已经成为世界上第二大油气消费市场，紧随美国之后。中国成为世界能源市场的重要力量，是俄罗斯、中东和非洲产油国的竞争对象，在美国原油出口解禁之后也成为了美国石油的买家，同时对煤炭和天然气也都有很大的进口需求。（表 3.1，表 3.2）

这是中国与外国进行经济贸易活动的最大资源。虽然中国能源资源并不丰富，巨大的市场仍然可以成为中国的优势，它为中国通过合理利用世界能源资源来优化能源结构提供了条件。中国可以利用世界范围内的优质资源，实现自身能源供给与消费结构的优化，降低综合能源成本，实现绿色能源，保护国内资源与环境，提升能源安全保障水平，促进中国经济的持续健康发展。

利用国际优质能源资源，有利于中国推动国内的能源市场化改革和资源优化配置。同时，利用各国普遍欢迎“一带一路”倡议的机会，通过加强与世界能源出口国、进口国、跨境国的合作，也有利于维护区域的和平与稳定，推动周边地区与世界的融合发展。中国的能源革命，是世界能源革命的重要组成部分，未来将成为这一趋势的领军国家。

“一带一路”是中国和亚太地区新的发展机遇。中国能源供给对国际市场的依存度逐年提高，亚洲是世界能源市场的重要组成部分，也是我国石油、天然气、煤炭进口的主要来源地。同时，亚洲地区也是主要的能源消费地区，东亚地区更是主要的能源买方。中国是世界上最大的能源生产国、消费国。但是长期以来，亚洲和中国在全球能源价格上的话语权不足，导致亚洲的能源成本明显高出欧美地区。

表 3.1 2014-2015 年亚太部分国家在世界石油贸易中的比重

	2014				2015			
	原油进口	成品油进口	原油出口	成品油出口	原油进口	成品油进口	原油出口	成品油出口
澳大利亚	26.8	21.7	11.4	3.4	24.5	25.8	9.2	3.0
中国	309.2	56.9	0.6	31.4	335.8	69.5	2.8	36.7
印度	188.4	16.9	†	57.7	195.1	23.3	0.2	55.0
日本	168.5	47.8	†	13.6	167.8	46.7	0.3	17.4
新加坡	45.5	109.1	†	81.6	45.7	125.7	0.1	88.7
全球	1,904.4	953.7	1,904.4	953.7	1,977.2	1,029.3	1,977.2	1,029.3
占全球%	38.8	26.5	0.6	19.7	38.9	28.3	0.6	19.5

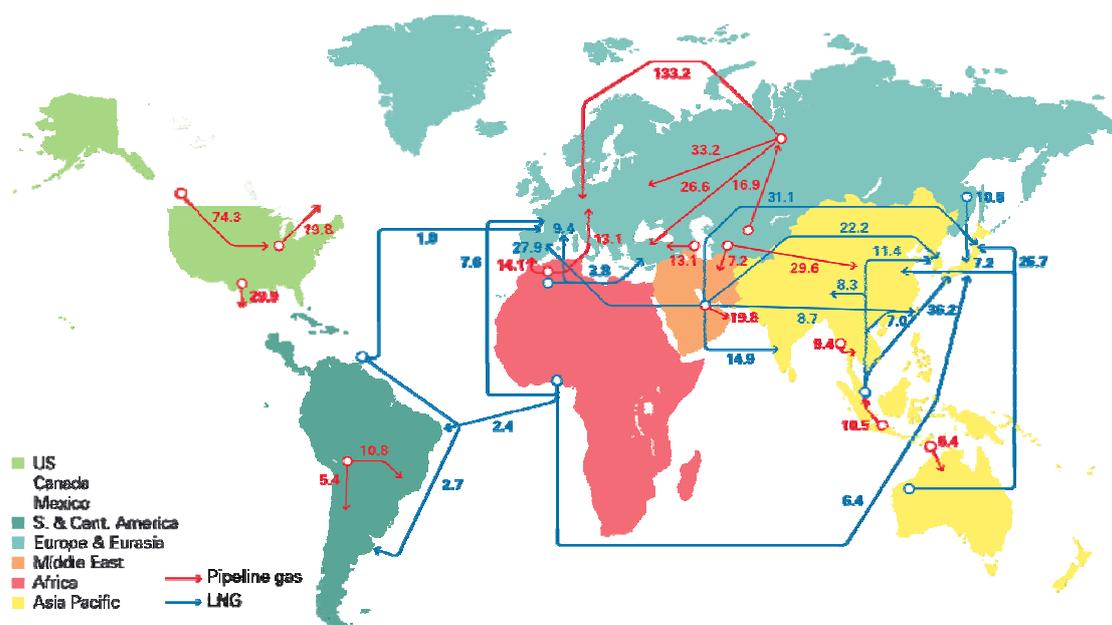
数据来源：BP statistical review of world energy 2016 workbook。

表 3.2 2014-2015 年亚太部分国家在世界天然气贸易中的比重

	2014				2015			
	管道进口	LNG 进口	管道出口	LNG 出口	管道进口	LNG 进口	管道出口	LNG 出口
中国	31.3	26.5	-	-	33.6	26.2	-	-
日本	-	122.9	-	-	-	118.0	-	-
印尼	-	-	9.7	21.8	-	-	10.5	21.9
韩国	-	48.6	-	0.2	-	43.7	-	0.3
其他亚太地区	25.4	44.6	18.7	78.4	27.6	50.7	21.0	93.0
合计	56.7	242.7	28.4	100.4	61.2	238.6	31.5	115.2
占全球%	8.4	73.0	4.2	30.2	8.7	70.5	4.5	34.1

数据来源：BP statistical review of world energy 2016 workbook。

图 3.1 2015 世界天然气贸易流
(10 亿立方米)



来源：BP Statistical Review of World Energy 2016.

发展亚太能源合作机制，推动亚太能源市场的一体化，增强亚太地区在全球能源市场上的话语权，对于提高中国能源安全保障，降低能源成本，推动能源生产革命、消费革命、技术革命、体制革命都有重要的意义，是我国能源对外合作战略的重要组成部分。

3.2 推动亚太天然气市场的一体化

借助于天然气输配网络建设，天然气可以像电力网络那样连接到城乡各地，成为清洁、高效、相对廉价的优质能源。通过向天然气能源的转换，将创造出巨大的经济机会，带动相关产业的快速发展。建设覆盖全国城乡和进口来源的天然气管输网络，对于中国和亚太地区的居民生活质量和能源安全，都会得到巨大的改善。

东亚地区在中国市场的带动下，有形成一体化天然气市场的潜力。这一地区是未来天然气需求增长最快的地区，自身天然气资源丰富，也有充裕的管道天然气和液化天然气供给保障。通过天然气市场的一体化，有利于推动全球能源互联网的形成。为促进东亚地区天然气市场的一体化进程，中国需要在这一领域进行实质性的市场化改革措施。

目前天然气长期供应潜力巨大，未来价格将保持较低水平。目前澳大利亚、俄罗斯、挪威、卡塔尔、伊朗甚至美国都已经或正在建设天然气产能（包括液化天然气，LNG），欧洲也有可能发展页岩气生产，未来国际市场供应充足。天然气价格与石油价格脱钩的趋势日益明显，未来甚至会低于煤炭价格。

中国的天然气供给既可以利用进口资源，也可以通过发展国内天然气资源和各种非常规天然气资源，如煤层气、致密气、页岩气、酸气等等。从进口渠道看，既可以通过跨境管道进口，也可以通过海上进口 LNG。

3.3 重点推动东亚、东南亚天然气交易和定价中心与相关基础设施建设

东北亚地区是全球天然气消费需求增长最快的地区。但是这一地区却没有一个交易中心，只有陆上的天然气管线与海上的 LNG 进口，其价格要依赖于其他的定价机制。甚至也可以说，这一地区并没有一个天然气市场，而只是一个供求关系。

随着中俄签署两国东线天然气合作项目协议，出现了一次改变这一状况的机遇。目前中国陆上从中亚和俄罗斯进口的天然气、国内来自西部气田的天然气和来自东北气田的天然气、海上来自东南亚、澳大利亚、西亚地区的 LNG 进口，为东亚的天然气市场创造良好的发展机遇。

东亚和东南亚地区是世界主要的能源消费区，但是该地区没有形成统一的天然

然气价格，也没有对进口天然气的定价权[®]。不过，2009年以来全球天然气供应过剩导致英美、欧洲和亚太三大天然气市场体系间建立了价格互动。东北亚、中亚、西亚、南亚、东南亚统一的天然气管网也正在建设和完善，东亚和东南亚地区已经具备建立天然气交易和定价中心的条件。

建设东亚、东南亚天然气交易与定价中心，是解决这一市场多年来供求关系不稳这一问题的关键。这一天然气定价中心不是一个地理中心，而是一个由交割中心和金融结算中心组成的多中心虚拟网络。大连、唐山、天津、上海、广州、基隆、新加坡都可以建设为交割中心；新加坡、香港、上海、基隆、釜山等则拥有较好的建设金融结算中心的条件。

东亚和东南亚天然气定价中心的建设，前提是建设统一的天然气管网，核心是完善市场竞争，需要分步骤、分阶段逐步实施。

(1) 建立东亚和东南亚天然气定价中心，首先需要完善东北亚、中亚、西亚、东南亚天然气管网，形成互联互通的、统一的市场。

(2) 借鉴欧美天然气储备库建设经验，完善天然气储备库的建设，实施管输分离、独立运营的管理办法，调节市场终端价格和井口价格，增加市场的竞争性。

(3) 降低市场准入门槛，鼓励更多民营企业进入市场尤其是上游生产领域参与竞争，加强天然气资源上、中、下游企业的竞争性。

(4) 设计和发展天然气金融衍生品，加快天然气现货、期货贸易的电子交易和实货交易平台建设，设计天然气现货和期货产品及合约，发挥市场发现价格的功能，为建立具有影响力的天然气基准价格打牢基础。

(5) 培育具有市场影响力的报价和指数机构，建立天然气市场的报价体系，为天然气贸易商签订合同提供定价依据。

(6) 探索天然气价格与其他可替代能源和竞争性能源的比价关系，引导天然气资源合理配置，推动与其他能源的合理竞争。

4 供给侧能源革命

供给侧能源革命的目标：更为清洁、成本更低、创造新的能源选择，从不清

[®]全球有八种天然气定价模式，四个相互独立的天然气定价体系：北美和英国的不同气源之间的竞争定价；欧洲大陆的与油价挂钩的定价；东北亚实行与日本进口原油加权平均价格挂钩的定价；前苏联地区的双边垄断定价模式。

洁的能源转向清洁能源，开发新的可用能源，让消费者有更为自由的选择。

供给侧的能源革命，是能源革命的最重要部分。历史上，能源供给革命一般来自资源的压力。比如农业文明时期，薪柴的快速消耗使得人们的目标转向泥煤和煤炭。进入工业文明时期，能源供给革命的驱动因素多元化。从煤向石油的转变源自对能源效率的追求；从石油向天然气的转换源自对更清洁能源的需求，以及对资源利用效率的考虑；从化石能源转向非化石能源的需求，既源自对资源可持续发展的担忧，也来自对环境风险和气候变化的考虑；从常规油气向非常规油气则是对常规能源资源约束的突破。

2003-2013 年间世界范围内供给能力与快速增长的需求之间的矛盾，导致能源价格的快速上涨。同时，也催生了新的能源供给侧革命。这一次革命发生的领域，并不是各国政府都高度重视的可再生能源，如美国小布什政府时期推动的生物乙醇，中国和欧洲推动的风电、光伏，而是发生在美国政府几乎没有给予任何补贴的页岩气、页岩油领域。这也表明，供给侧革命更主要地依靠市场的力量，而非政府补贴。

4.1 供给侧能源革命的主要方向

4.1.1 以清洁化应对环境污染问题

环境是人类赖以生存的基础。如前所述，能源生产与利用过程中可能带来严重的环境与健康代价，而且这种代价可能一时还不能完全认识清楚。现代工业技术体系已经可以为各种环保目标提供了选择方案，而不是一定要付出环境与健康代价才能实现经济发展。

在涉及能源的所有经济活动中，包括规划、设计、开发、生产、消费、输送等过程，都应树立环境优先这一原则。这一原则不仅要控制污染物的排放，更要注意对生态环境、土地利用方式等方面的影响。

传统能源的清洁化与发展新型清洁能源是应对能源环境效应的两个重要方面。能源本身并无脏洁之分，污染主要发生于能源利用过程。如果实现能源清洁化利用，能源使用并不一定形成污染。

传统能源仍然是能源供给与消费的主体，目前还看不到传统化石能源被其他能源大规模取代的前景。2012 年，中国能源消费结构中煤炭占据 68.5%，印度为 52.9%。可再生能源难以大规模替代传统化石能源的另一个重要原因，是目前除

水电外的可再生能源不可能满足现代工业所需的大规模稳定能源需求。无论风电、光伏发电、还是风光互补发电，一般用于满足城市和乡村居民点的照明和一般家用能源需求时还可行，但是难以想象它们能为大规模的工厂提供持续的能源供应。

因此，实现传统化石能源生产与利用过程中的清洁化，才是减少污染物排放和改善环境的关键因素。

4.1.2 以低碳化应对全球气候变化

全球气候变化是人类共同面对的重大挑战，发展低碳能源是能源革命的重要方面。低碳能源既包括传统能源的节约与低碳化替代，也包括核能、水电、风电、太阳能、地热能等可再生能源。在安全、高效、清洁的前提下，发展低碳能源是应对全球气候变化与化石能源资源挑战的重要方面。

4.1.3 以智能化增强可再生能源经济性

可再生能源对于未来能源革命有重要的意义，发展智能电网是实现可再生能源大规模发展的前提。电网调控技术目前实际上已经比较成熟，而且还有进一步提高的空间。虽然智能电网对电网企业提出了较高的要求，但是为了中国的环境改善和能源结构的优化，电网企业应该承担起这一责任。

4.1.4 以分布式供给提高能源服务自由度

分布式能源系统，是相对于传统的集中能源系统而言的，是指分布在用户端的能源综合利用系统。它具有能源利用率高、节能环保等优点，有助于实现能源体系的多元清洁发展。一般来讲，一次能源投入主要以天然气等气体燃料为主，可再生能源为辅；二次能源投入以冷热电联供为主，其他中央能源供应系统为辅。分布式能源主要特点就是通过能源梯级利用，提高能源利用效率，实现满足用户冷、热和电需求。同时，中央能源供应系统还可以对分布式能源提供支持和补充。分布式能源系统可为那些不适合建设集中电站的地区、输电网末端用户与输配电系统提供电力服务，而且由于分布式能源靠近用户端，热、电、冷等较中央能源集中供应而言，输送损失会大大降低。

4.2 主要突破方向

4.2.1 非常规化石能源的发展

尽管可再生能源经常成为关注的焦点和政策的新宠，但是非常规的化石能源，如页岩油、页岩气、致密气、煤层气、油砂等等非常规化石能源的潜力可能更大，

其生产和供应上的经济性会更优于分布密度非常低的可再生能源，如风能、太阳能、生物质能。这些可再生能源资源的分布几乎是散布的，不像化石能源经常是非常集中地分布在狭小地域。

美国页岩气、页岩油为代表的非常规油气的成功开发，表明非常规油气化石能源资源还有很大的开发潜力。2013年7月，美国超过俄罗斯和沙特成为全球最大油气生产国，美国的石油及其他能源的自给率大幅上升。2014年，美国非常规油气供应占到了总油气供应的约50%，为增加世界能源供应做出了巨大贡献。此前曾经普遍估计美国页岩气产业的油价盈亏平衡点在60—80美元/桶当量之间，但是目前来看，美国有很多页岩气生产井的盈亏平衡点在60美元之下，甚至有低至30美元的生产井。这说明非常规油气化石能源资源已经具备了与常规油气资源相竞争的条件。

除美国外，加拿大的油砂和委内瑞拉的重油资源也非常巨大，北极地区和全球深海地区的油气资源蕴藏量也非常可观，中国、东欧地区、阿根廷等国也都有丰富的非常规化石能源资源。在生产技术日益成熟、成本逐步下降的背景下，未来非常规化石能源资源很可能承担全球能源供应的重要角色。

4.2.2 传统能源的清洁化

实现传统化石能源的清洁化有很多途径。近年来，由煤炭转向天然气是近年来能源转换的一个重要内容。这也导致了全球尤其是中国对天然气这一比较清洁能源的需求增长非常迅速。

由于中国以煤炭为主的生产与消费结构无法改变，洁净煤技术是就地实现环境改善的重要技术手段。煤洁净燃烧技术：煤炭可以通过燃前净化来达到减少污染排放的目标，但也可以通过燃烧过程的控制来实现污染物的排放量减少，包括改变燃料性质、改进燃烧方式、调整燃烧条件、适当加入添加剂等方法来控制污染物的形成，从而实现减排，就称为煤洁净燃烧技术。具体的技术路线有很多种，对于这些技术路线也有较多的争论。有的水资源消耗比较高，有的仍然存在一定的污染物排放。只要坚持环境优先的原则进行技术路线筛选，就能够推动煤炭的清洁利用。

提高燃油环境标准是清洁能源的另一项重要内容。在这一方面，中国还有很大的提升空间。以车用汽油二氧化硫含量标准为例，美国的标准为10ppm，而当

前我国国三和国四汽油中的硫含量分别是不大于 150PPM 和 50PPM。美国的柴油硫含量是 10PPM，我们的国家标准是 2000PPM，是美国的 200 倍。国十条也仅仅是要求到 2017 年达到 137PPM，仍然是美国的 10 倍多。这个标准也不是完全得以实行。因此，即使中国与美国汽车保有量相近，且每车平均行使历程相似，中国的车辆二氧化硫排放也将是美国的 5 倍。二氧化硫在空气中的存在与雾霾形成有直接的关系^⑨。

我国大气污染物排放控制标准低。除电厂、钢铁厂等大型用户外，大多数用煤的小用户的排放标准低、管理不严。我国好的燃煤电厂烟尘的排放可达到每立方米 30 微克，二氧化硫排放可以控制到 30PPM 或者以下，但是国家控制标准是国际先进水平的 3-4 倍^⑩。

4.2.3 以柔性消纳为主要特点的智能电网

尽管智能电网目前还处于概念和试验阶段，但是电网的智能化无疑是发展的方向。提高电网消纳能力成为大规模风电基地良性运转的必要条件，也是解决存在多年的弃风弃光问题的主要抓手。而提高消纳能力的核心在于电网的智能化。

根据美国能源部《Grid 2030》：一个完全自动化的电力传输网络，能够监视和控制每个用户和电网节点，保证从电厂到终端用户整个输配电过程中所有节点之间的信息和电能的双向流动。电力能源消费是总能源消费中最重要的组成部分。利用智能电网技术最大程度实现可再生能源电力上网，是有效降低可再生能源成本、实现能源转换的关键。同时，通过智能电网的超强预测能力、计算能力，能够实现最大程度的节能。

由于电网的垄断属性，建设智能电网的任务只能落在电网公司身上。但是，发展智能电网的许多障碍涉及到监管问题。不止在中国，现行监管结构和监管权限只能松散地协调关系，电网公司和政府部分建设智能电网的意愿都是不确定的。发展智能电网迫切需要研究出一个能调动起投资意愿的体制机制，因此，也就要求加快电力监管体制与电力投资体制的改革。

接入可再生能源电力的智能化电网的关键是发电预测系统，要对不稳定发电出力的未来发展做到准确把握才能及时采取有效的调峰调频措施，保障电网的安

^⑨ 中国循环经济学会可再生能源专业委员会网站，李俊峰谈雾霾控制，2014 年 02 月 27 日。
<http://www.creia.net/news/creianews/1700.html>。

^⑩ 来源同上。

全稳定运行。要做到准确预测虽然有一定难度，但是在现代气象预测能力条件下还是能够实现的。

由于可再生能源发电出力的波动性，调峰调频电站就非常重要。由于燃煤电厂并不适合作为调峰调频电源，发展天然气发电或者抽水蓄能电站对于建设智能电网就非常重要。我国北方的几大风电基地，蒙西和河西走廊两个基地可以与黄河上的水电站形成调峰调频组合，其他几个基地虽然没有这一条件，但是可以利用附近煤矿的煤层气资源作为天然气调峰电厂。目前蒙东煤炭基地、晋陕蒙煤炭基地的煤层气资源都没有好好利用，未来可以用于这一用途。

互联网技术与应用模式的发展为智能电网的实现提供了重要的技术保障，基于海量气象数据、能源消费者数据等全过程全周期的大数据支持系统，将为智能化电力网络加速成为现实。在这一背景下，可再生能源的经济性与发展前景会有较大改善，并可能实现与传统能源的相当的竞争力。

4.2.4 形成燃料之间的竞争，推动能源体制改革，提高市场效率

竞争性原则是市场经济的基本原则。垄断是制约创新、抬高价格、降低服务水平的重要障碍，对少数供应商和供应商品的依赖是能源不安全的重要原因。供给竞争意味着更多的选择空间，从而可以促进企业加大对创新的投入，降低个别厂商、个别行业提高价格的可能性，从而有利于降低能源组合的整体成本。

在能源领域，不仅应在每一个细分市场如石油、天然气、煤炭、热力、电力内实现市场竞争，打破少数企业的垄断，还应通过消费端的技术手段，实现不同能源品种之间的竞争。比如对汽车领域，除传统的燃油汽车之外，还可以有天然气汽车、纯电动汽车、混合动力汽车，以后还可以有基于太阳能的汽车可供选择。更进一步，如果通过发动机技术的改造，单辆汽车既可以在较大范围空间内实现燃油、醇醚燃料、电力之间的自由选择，则石油对车用燃料的垄断地位就可以有效打破。

5 需求侧革命

能源需求侧革命，需要我们改变能源消费的模式，优化我们的能源消费结构，从智能设计上实现节能（城市、建筑、人居、交通体系），提高能源消费的效率，减少无效能源消费。

5.1 需求侧能源革命的主要方向

5.1.1 以节能为能源消费革命的最重要目标

化石能源是有限的可耗竭资源，可再生能源在工业技术层次上也不是无限供应的，它只是可再生而已。即使能源限制可以突破，人类生存环境的约束也是不可逾越的。因此，节约使用是最大的能源安全选项。

5.1.2 以智能化为实现节能与用户友好目标的主要手段

在需求侧，能源系统面临多种多样的消费者和消费需求。历史上，能源系统几乎是对各种需求一视同仁，没有个性化定制。然而，在信息技术和信息系统能力日新月异的新时代，各种新理念、新技术为个性化能源服务提供了可能，也为进一步提高能源消费、实现节能目标提供了潜在空间。能源系统可以根据消费者多样性的需求特性，自动地改变服务模式，提高能源服务效率，实现节能与舒适的双重目标，比如智能楼宇系统、智能家电等。

5.2 主要突破方向

5.2.1 发展灵活燃料能源单元

能源单元是指每一个进行能源最终消费的单元，如锅炉、汽车、电脑、家用电器等。随着工业技术的进步，设计能够适应多种燃料的设备已经不是问题。比如汽车发动机经过改造，可以在一定范围内实现汽油与甲醇、乙醇燃料的任意比例混合，有的卡车发动机可以适应柴油和甲醇在一定范围内的混合。有的工业锅炉可以在天然气、煤制气之间转换，发电机组可以接受煤炭与煤矸石、生物质燃料在一定比例内的混配。此外，在新能源发电领域，风电、光伏发电与天然气发电相结合，可以建立高效的分布式供电系统。

灵活燃料是未来能源利用技术的一个重要发展方向。这种技术不但能够有效降低对少数能源的依赖，而且能够催生出新的经济增长点。建议各国政府出台对灵活燃料技术的支持政策。

5.2.2 以“互联网+”为支撑的能源产品与能源系统网络化

能源互联网作为第三次工业革命的核心内容，尤其是对未来电力工业体系形成有重要作用。能源互联网可以保证分布式可再生电源和电动汽车的大规模接入，实现各类型分布式可再生电源，储能设备以及可控负荷之间的协调优化控制，从而平抑分布式可再生能源间歇特性对局部电网的冲击。

能源互联网可以提高需求侧管理精细化和用户用电个性化水平。基于高度信

息化的基础设施，以及大数据分析技术，售电企业能够针对不同电力消费群体的用电习惯进行分析，制定针对不同消费群体的个性化用电服务模式，同时用电客户也将有更多的用电模式选择，通过移动智能终端调整自身的用电行为。

能源互联网可以推动广域内电力资源的协调互补和优化配置。未来能源互联网的电力网络结构应该是大电网与微电网相结合的形式，各个区域各种形式可再生能源都能够通过能源互联网柔性接入，从而进一步推动广域内电力资源的协调互补和优化配置。

5.2.3 分布式与集中供应相互融合的自由能源

工业时代的能源供应虽然以大规模集中网络式供应为主，但是随着能源生产技术和效率的提高，在局部地区利用本地能源资源发展分布式能源越来越具有优势。分布式能源供应与大规模供应并不冲突，而是互相调剂、互为补充，可以有效提高能源效率，降低输送损耗。同时分布式能源可以与资源循环利用和环境保护相结合，比如污水发电、森林与农业废弃物资源化利用、离网小风电、离网太阳能发电等。

毫无疑问，向社会供电的主体仍然大型电网。但是如果所有地区的电力都由主干电网来供电，则未免成本太高，而且随着电网覆盖地区增加，其复杂程度也迅速提高，风险迅速累积。对那些偏离主干电网的地区和相对独立的地区，发展分布式电力和微电网供电，则是即经济又安全的办法，而且能够有效利用各种可再生能源，并能够与主电网实现互联。

后工业时代，更注重享受自由，个体活动随意性增大，未来分布式能源将向更加微型化方向发展，随时随地提供人类活动所需的能源服务，比如车载能源设备、野外能源设备等等。

5.2.4 节能是最有潜力的领域

1、工业节能

2013年1月，“世界经济论坛”与埃森哲咨询管理公司（Accenture）共同推出了《2013-全球能源工业效率研究》报告。该研究报告对世界不同国家的能源强项和弱项从经济、生态和能源安全观点进行了评估。在评估中，中国仅位列第74位。这一结果表明，中国在工业节能方面的潜力依然巨大。

工业能耗占我国总能源消费的68.5%（2011年），是节能工作的重点领域。

在结构节能空间日趋缩小的情况下，技术节能更具实效性。《工业节能“十二五”规划》圈定的三项节能工程——工业锅炉窑炉节能改造、电机系统节能改造、余热余压回收利用，成为工业节能重点领域。我国工业锅炉和窑炉年煤炭消耗量分别约占 25% 和 14%，但是锅炉平均运行效率较国外先进水平低 15~20%。余热余压回收利用工程可回收利用的余热资源约占余热总资源的 60%。我国电动机耗能占终端设备耗能的 60% 以上，但是电机系统效率较低，其运行效率比国外先进水平低 10-20%。

我国工业部门的升级换代工作还远未结束，大量技术落后产能的产品仍然充斥市场。未来伴随中国产业升级的步伐，工业节能潜力还可以继续发挥。即使是国际上的先进国家，提升能源效率也大有可为。

2、家庭能源设备节能

家庭产品和各种能源设备的能源效率提升也有很大的空间。从能量流分析来看，以家庭烧开水为例，以天然气为燃料，从初始资源到最后把水烧开，能源的利用效率为 31%，而如果使用煤炭为燃料的话，能源利用效率仅为 19%。因此，如果实现燃煤向燃气的转变，这一部分的能源利用效率就可以提高 12 个百分点。

3、广义节能才是最大的节能

减少过度消费，体现的就是广义的节能。以酿酒为例，每吨白酒的综合能源约为 1.3 吨标准煤，同时每生产一吨白酒，大约会产生等量的二氧化碳。而 2010 年各种酒类消费中的纯酒精含量约为 400 万吨，同期的生物乙醇燃料产量约为 200 万吨。因此，我们可以看出，新八项规定能够给中国带来多么大的能源节约。

奢华性建筑上的材料生产能耗与建设运行能耗都很高。以 2011 年统计数据为例，当年房屋建设面积中，住房建设只占 55.5%，竣工面积中住房面积只占 60%，这表明大量的建筑不是用于必要性的住房建设支出，而是投向了各种办公楼宇。有资料显示，我国建筑的平均寿命只有 30 年，而在国外，则普遍达到 100 年。可以想象，这会造成多大的能源与资源浪费。

此外，城市建设过程中的过度设计与过度建设也应是广义节能的重点领域。其中，城市建设过程中的地面过度硬化是一个重要领域。与西方国家相比，我国城市地面的硬化率过高，简单地说，就是大面积使用水泥、沥青进行地面硬化，有些城市地面硬化率高达 90% 以上。这种过度硬化，不仅大量使用能源投入强

度很高的水泥等建筑材料，而且也是造成城市排水不畅的主要原因。

还有最重要的，是能源消费的自律行为，既包括个人减少能源消费的努力，也包括其他能源消费终端减少能源消费的能力，比如智能楼宇系统，可以有效利用太阳能、地热能，可以在无人时减少空调耗电量。