

# 世界能源发展趋势及对我国能源革命的启示

张玉卓<sup>1</sup>, 蒋文化<sup>2</sup>, 俞珠峰<sup>2</sup>, 李全生<sup>1</sup>, 张军<sup>2</sup>

(1. 神华集团有限责任公司, 北京 100011; 2. 神华科学技术研究院有限责任公司, 北京 102211)

**摘要:** 当前世界能源发展面临诸多严峻挑战, 伴随国际政治、经济发展和技术进步, 全球能源发展呈现出能源结构向低碳化演变、能源供需格局逆向调整、能源价格持续震荡、能源地缘政治环境趋于复杂化、气候变化刚性约束增强、新一轮能源技术革命正在孕育等趋势。结合我国能源革命的发展要求, 从国内能源发展情况、战略安全、绿色低碳、新型能源体系、科技创新、政策制度、国际合作等方面, 提出了世界能源发展新趋势对我国能源生产和消费革命的启示。

**关键词:** 世界能源; 发展趋势; 能源革命; 启示

**中图分类号:** F416 **文献标识码:** A

## The Trend of World Energy Development and Its Enlightenment to China's Energy Revolution

Zhang Yuzhuo<sup>1</sup>, Jiang Wenhua<sup>2</sup>, Yu Zhufeng<sup>2</sup>, Li Quansheng<sup>1</sup>, Zhang Jun<sup>2</sup>

(1. Shenhua Group Corporation Ltd., Beijing 100011, China; 2. Shenhua Science and Technology Research Institute, Beijing 102211, China)

**Abstract:** The world energy development is facing serious challenges. With the international political and economic changes and technological progress, the global energy development shows a trend of energy structure change to low carbon, reverse adjustment between energy supply and demand, continuously shocking on energy price, more complicated energy geopolitics, enhancing on climate change constraints, energy technology revolution, and so on. The author puts forward the enlightenment of the world energy development trend to China's energy production and consumption revolution from the aspects of domestic supply, energy security, green and low carbon, new energy system, science and technology innovation, supporting policy, and international energy cooperation.

**Key words:** world energy; development trend; energy revolution; enlightenment

### 一、前言

随着经济全球化的发展及其相关因素的影响, 世界能源的格局正在发生重大调整。我国是世界能源贸易的重要参与者, 世界能源版图的变化对我国经济社会发展、能源供应安全等都将产生深远的影响。

在此背景下, 我国提出了推动能源生产和消费革命战略, 以保障我国能源安全和产业转型升级。本文通过分析当今世界能源发展面临的挑战, 剖析世界能源未来发展的趋势, 提出了对我国能源生产和消费革命的若干启示, 为进一步研究和制订能源战略提供支撑。

收稿日期: 2015-11-03; 修回日期: 2015-11-11

作者简介: 张玉卓, 神华集团有限责任公司, 董事长, 中国工程院院士, 研究方向为煤洁净转化与能源战略规划;

E-mail: zhangyuzhuo@shenhua.cc

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“推动能源生产和消费革命战略研究”(2013-ZD-14)

本刊网址: www.enginsci.cn

## 二、世界能源发展面临的挑战

能源为消除贫困、改善民生、推动社会进步发挥了重要的基石作用，随着世界政治、经济形势的复杂变化，全球能源发展正面临着越来越严峻的挑战。

### （一）世界能源持续稳定的供应面临巨大挑战

世界能源需求继续保持快速增长。据联合国经济和社会事务部预测，世界人口将从 2015 年的 73 亿增加到 2050 年的 97 亿。2014 年，经济合作与发展组织（OECD）国家（占世界人口约 14%）消耗了全球 43% 的能源，人均能耗为非经济合作与发展组织国家的 3 倍；随着新兴国家的经济社会发展和城镇化水平的提高，人均能耗将会大幅增加。在世界人口和人均能耗持续增长的双重推动下，世界能源需求将持续增加，预计到 2035 年，世界能源需求将在目前的基础上增长 37%<sup>[1]</sup>。

世界能源可持续供应压力增大。化石能源在世界一次能源消费结构中所占比例长期保持在 85% 以上，2014 年达到 86.3%。预计到 2040 年，化石能源在世界能源需求结构中的比例仍将超过 70%<sup>[2]</sup>。随着石油、天然气、煤炭消费量的大幅增加，化石能源储采比将会下降，长远看全球化石能源资源储量难以为继。同时，化石能源的分布不均进一步加剧了世界能源公平供应的压力。

### （二）能源开发利用带来的生态环境挑战

大规模化石能源开发利用带来的生态环境挑战，主要体现在对大气环境的严重影响、加剧破坏水资源环境、增大对生态系统的影响等方面。

化石能源利用排放了大量的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、烟尘等污染物。目前，全球每年  $\text{SO}_2$  排放总量约  $9 \times 10^7$  t，导致大量的土壤和河流酸化，建筑和古迹被侵蚀，我国硫沉积超过临界负荷的土壤面积已约占国土面积的 30%。能源利用排放的  $\text{NO}_x$  对陆地、河流和海洋生态系统以及臭氧层有较大的影响，目前城市交通、火电排放的  $\text{NO}_x$  成为  $\text{PM}_{2.5}$  的主要来源。同时，火电、交通及其他工业排放的颗粒物持续增加，容易诱发大面积雾霾天气，威胁人类的健康。

能源开发利用带来了水资源大量消耗和污染的问题。据国际能源署（IEA）发布的《世界能源

展望（2012）》数据，目前全球有 20% 的人口居住在水资源短缺地区，当年世界能源生产耗水量达  $6 \times 10^{11}$  t，约占当年世界总用水量的 15%，能源发展面临着水资源短缺掣肘。能源开发利用容易造成水资源污染问题，包括煤炭利用的废水排放、油气开采的海洋和地下水污染等。同时，传统能源大量开发破坏地表植被、地形地貌，可再生能源和新能源利用还面临生产过程排污、光学污染、核废料处理等严峻问题。

### （三）全球气候变化带来的能源发展挑战

全球气候变化已经严重影响人们的生产生活。工业革命以来，人类对化石能源的大量利用导致大气中  $\text{CO}_2$  浓度升高，据美国国家海洋和大气管理局监测数据，2015 年 3 月全球大气中的  $\text{CO}_2$  平均浓度突破  $4 \times 10^{-8}$ ，较 100 年前提高了 40% 左右。大量温室气体排放引发了全球气候变化系列问题，如近几十年频发的厄尔尼诺和拉尼娜等现象。实现温室气体排放控制目标存在巨大压力。全球变暖升温不超过  $2^\circ\text{C}$ （相对于工业化革命前期）成为当前国际社会的共识目标；据国际能源署发布的《世界能源展望（2013）》预测，到 2035 年与能源相关的  $\text{CO}_2$  排放量仍将增长 20%，世界平均气温上升  $3.6^\circ\text{C}$ ，人类的生存和发展环境面临严峻挑战。

## 三、世界能源发展的趋势

针对世界能源发展面临的诸多严峻挑战，变革传统能源开发利用的方式、推动能源新技术应用、构建新型能源体系成为世界能源发展的方向。主要大国也都加强了自身能源战略地调整，希望在新一轮世界能源变革中获得发展主动权。总体来说，世界能源发展呈现出以下趋势。

### （一）能源结构向低碳化演变

世界一次能源结构一直处于高碳化石能源向低碳化石能源转变的进程中。煤炭、石油、天然气的氢碳比逐步提高，以产生相同单位热量计算，煤炭、石油、天然气排放的  $\text{CO}_2$  比例达到 5:3:2<sup>[3]</sup>。19 世纪到 20 世纪初，由于蒸汽机的大规模应用，煤炭在一次能源结构中比例快速增长，1920 年达到 62%。伴随 19 世纪内燃机的发明，石油工业开

始迅速发展,世界能源逐步向“石油时代”过渡,1965年世界石油消费量首次超过煤炭占据首位。近年,天然气消费占比稳步提高。从化石能源内部结构来看,能源低碳化发展趋势明显。

新能源和可再生能源成为未来世界能源结构低碳演变的重要方向。20世纪70年代以来,伴随核能、风能、太阳能等大规模的利用,世界能源结构进一步向低碳无碳演变。1974—2014年,在世界终端能源消费中非化石能源比重增加7%,天然气提高超过5%,石油降低近15%,煤炭上升2.9%。未来,新能源和可再生能源的比例将会进一步提高。

电力将成为终端能源消费的主体。发达国家的发展历程表明,人均用电量随经济发展水平提高而提高;目前,多数发达国家终端用能电气化水平普遍在20%以上。未来,随着能源新技术革命的深入推进,特别是电动汽车、电热技术、储能技术的不断突破,世界终端用能电气化程度将进一步提高。

### (二) 能源供需格局逆向调整

世界能源消费重心逐步向亚洲地区和太平洋沿岸地区转移。据《BP世界能源统计年鉴2015》数据,2014年亚洲地区和太平洋沿岸地区能源消费达 $53.3 \times 10^8$  t标准油,占世界能源消费总量的41.3%,较1974年提高25.5%,较1994年提高15.8%。目前,西方发达国家的近10亿人基本完成了工业化;未来20年,中国、印度等新兴经济体的30亿人口将陆续实现现代化。世界能源消费重心明显东移,世界能源消费格局已经从发达国家主导转变为发达国家与发展中国家共同主导。

国际油气供应重心显著西移。中东和俄罗斯是世界油气的主要供应地区,过去30多年间,这两个地区石油产量长期保持在世界石油产量的40%~45%。目前,世界常规油气产量正逐步达到峰值,非常规油气受到重视。受非常规油气加速发展的影响,世界油气供应格局逐步演变为中东、俄罗斯和美洲地区共同主导的“三极”格局,供应中心将显著西移。经测算,全球重油、油砂、页岩油可采资源量近 $6 \times 10^{11}$  t,相当于常规石油可采资源量,约70%分布于美洲地区。目前,美洲非常规油气开发已经走在世界前列,2013年美国页岩气产量超过 $3 \times 10^{11}$  m<sup>3</sup>,占天然气总产量的43.6%;

加拿大油砂年产量达到 $7.5 \times 10^7$  t,占其石油总产量的一半;委内瑞拉重油产量达 $3 \times 10^7$  t,占其总产量的20%左右;巴西深海油田开发也取得重大突破,这些都加速推进了世界油气供应重心的西移。

### (三) 能源价格持续震荡成为常态

开采成本提高推动世界石油价格总体趋升,石油金融属性加剧价格波动。21世纪前十年,国际原油价格从20世纪八九十年代的20美元/桶飙升至150美元/桶。据统计,全球主要石油公司开采成本已从2003年的13美元/桶,上升到2013年的30美元/桶以上<sup>[9]</sup>。未来,随着石油开采逐步走向深海、极地和重油、油砂资源的勘探开发,开采成本将继续增加,进而推动石油价格总体趋升。目前,全球原油期货交易量超过实际贸易量的400倍之多,石油金融属性愈发凸显,加剧了能源价格波动的放大效应。2008年7月,纽约、伦敦交易所国际原油价格突破147美元/桶,随后全球金融危机爆发,投机资金大量抽逃,国际油价快速下跌至2009年初的40美元/桶。

近年全球油气供需宽松,价格维持在低位运行。受世界经济复苏缓慢影响,全球油气需求增长乏力。在供应方面,石油产量持续增长,体现在主要油气大国为了维护本身市场份额,不断提高自身油气产量;伴随非常规油气的大规模开发,北美国家大幅减少了从中东的石油进口;北非、里海等地原油产量持续增加,伊朗、伊拉克重回石油市场。当前,世界石油呈现供大于求的总体态势,且仍将维持一段时期,世界石油市场由过去的“买方”博弈转变为“卖方”博弈。

近期全球煤炭价格持续降低,长远看将稳步提高。伴随国际经济增速放缓,全球煤炭市场呈现供大于求的态势,全球煤价已经跌至8年以来新低。从长远看,由于煤炭价格相对低廉,多数发展中国家依赖煤炭,并逐步建成大规模的基础设施,煤炭市场将会达到新的供需平衡;另外,受采煤成本增加以及生态环境成本的内部化等影响,煤炭价格将会稳步提高。

### (四) 能源地缘政治环境趋于复杂化

美国通过“能源独立”,重新调整全球战略布局。20世纪70年代的两次“石油危机”之后,美国一



直寻求“能源独立”，随着近些年美国页岩油气的大规模开发和近海石油开采限制放宽，美国原油产量大幅提升。据美国能源信息署发布的数据，美国石油对外依存度从 2005 年的 66.4% 降低到 2014 年的 26.0%，预计 2015 年进一步下降到 21.3%。美国“能源独立”对世界能源格局和地缘政治变化产生了深远的影响。一是美国对中东石油依赖降低，推动其全球战略转向亚太地区，以抑制中国等发展中大国的崛起。二是推动全球石油市场格局调整，形成了以“俄罗斯-欧洲”“美洲-美国”“中东-亚太”为主的新市场格局，并通过发展与中亚、高加索地区国家的关系，修建新的油气运输管道等，加强对里海资源的控制，削弱俄罗斯、伊朗等国的地缘政治影响力。三是页岩油气技术革命为重点，加大新能源、可再生能源技术研发，引领全球能源变革方向。四是利用其国内较低能源价格的优势，提高该国产业的竞争力，实现制造业回归，进而改变当前国际产业转移的趋势。

我国海陆能源通道安全的不确定性越来越突出。以美国为首的西方国家不断插手我国南海区域事务，通过举行联合军演、加强马六甲海峡控制等方式，威胁我国海上石油通道的安全。中亚、中缅、中俄是我国进口国外能源的三条陆上战略通道，其可靠性和安全性也存在较大的变数，美国在中亚建立军事基地、介入缅甸事务等，威胁我国陆上通道战略安全；中俄互相倚重但难以依赖，加上日本、韩国插手中俄油气国际合作，远东能源通道格局也面临不稳定性。

### （五）气候变化刚性约束增强

共同应对气候变化逐步成为国际社会的共识。越来越多的证据表明，人类活动排放的温室气体成为全球气候变暖的重要原因。国际社会正在积极推动共同应对气候变化问题，欧盟计划到 2020 年温室气体排放量较 1990 年减少 20%；美国制订了“清洁电力计划”，到 2030 年电力行业 CO<sub>2</sub> 排放比 2005 年减少 32%；中国政府承诺到 2030 年碳排放达到峰值，单位国内生产总值 CO<sub>2</sub> 排放较 2005 年下降 60%~65%。<sup>①</sup>

应对气候变化将严重制约化石能源的使用构成，发展中国家承受更大的压力。降低温室气体排

放需要转变现有能源结构，逐步转向天然气等低碳能源以及非化石能源。在当前技术条件下，非化石能源依然是成本较高的能源品种，伴随当前国际能源价格下降，非化石能源发展面临更大的压力。近年来，美欧等西方国家和地区通过征收碳关税、减排政治化等手段向发展中大国施压，以牵制发展中大国的工业化进程。发展中国家能源消费量大，且以高碳化石能源为主，未来在应对气候变化问题上将受到越来越大的国际压力。

### （六）新一轮能源技术革命正在持续孕育

技术进步是推进能源持续发展的重要动力，近年来，新能源、页岩油气开发、分布式能源、储能系统、碳循环系统等重大能源技术被逐步突破，新一轮能源技术革命正在孕育。

可再生能源成为部分国家新增能源的主体。受全球气候变化、能源安全供应和国际经济增长乏力等多重因素影响，美国、日本、欧盟等主要发达国家和经济体纷纷制订能源科技创新规划，希望在新一轮全球能源技术革命中掌握主动权。受此影响，可再生能源已经成为部分发达国家新增能源的主体，2005—2014 年，英国、法国、德国等国家能源消费增量全部来自可再生能源。

以页岩油气为代表的非常规油气技术正在发生革命。目前，除甲烷水合物外的大部分非常规油气都实现了商业化开发利用，包括美国的页岩油气开采、加拿大和委内瑞拉的油砂开采、澳大利亚和阿根廷的低渗透油开采等。据国际能源署（IEA）发布的《世界能源展望（2013）》数据预测，到 2035 年，非常规天然气在世界天然气供应中的比重将由 2010 年的 14% 增长到 2035 年的 26%，非常规石油和生物液体燃料将占新增石油供应量的 3/4。

此外，储能和智能电网技术正在加速研发并逐步推广，分布式能源发展也正在改变传统的能源集中供应方式，碳捕集、利用和封存技术有可能成为温室气体减排的重要选择。

## 四、对我国能源革命的启示

### （一）立足我国能源状况是推动能源革命的基础

美国的“能源独立”、俄罗斯的“能源向东看”、

<sup>①</sup> 数据源自欧盟委员会、美国《清洁电力计划》、我国政府承诺并提交联合国的《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》

欧盟的“低碳能源”等都对世界能源格局产生巨大的影响。世界主要国家的能源战略调整都以各自国家的特有国情、能源发展情况为基础，凸显了自身在能源发展中的竞争力。我国推动能源革命需要重点立足以下四个方面：一是我国经济社会发展仍处于工业化阶段，能源消费仍将保持增长；二是我国当前面临巨大的生态环境压力，能源消费带来的负影响较大；三是我国缺油少气、相对富煤，保障能源安全必须立足国内、依托煤炭；四是我国化石能源资源人均量较低，必须走出一条新型能源之路。

推动能源生产和消费革命，应着力加强以下三个方面：一是推进我国能源供给多元化，包括能源品种结构多元、能源进口来源多元，重点以构建海陆油气安全通道为着力点，加强“一带一路”建设，增强我国在地缘政治中的影响力；二是加快构建我国新型绿色能源体系，着力发展煤炭清洁利用技术，大力推进新能源和可再生能源地开发利用，构建立足实际又着眼长远的可持续发展能源产业结构；三是加强实施科技创新驱动战略，以生态环境保护、产业低碳发展为未来能源科技着力点，逐步构建我国科技创新型能源技术体系。

### （二）战略安全是推动能源革命的先导

能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题，既要加强能源供应方式变革和渠道扩展，也要从国际地缘政治和区域合作中融入全方位能源安全理念，提升我国全球能源治理水平和话语权。制订明确的国家能源战略是保障能源安全、推动社会进步和经济发展的重要依托，也是推动能源革命的首要任务。战略制订既要综合考虑国际能源形势、主要国家能源战略调整的影响，也要加强评估我国能源战略制订、实施对全球能源格局变化的影响，从而提高能源战略的战略性、前瞻性和针对性。

### （三）绿色低碳是推动能源革命的方向

世界能源发展正经历着从高碳向低碳的演变历程，主要国家都大力发展新能源、可再生能源等低碳能源技术，以期引领国际绿色低碳能源产业的发展。推动能源革命，需要把握国际能源潮流，借鉴先进国家战略调整方向，加大绿色低碳产业发展<sup>[5]</sup>。新能源和可再生能源发展方面，加大风电、太阳能

等的研发投入，培育和发展可持续科技创新能力；传统化石能源利用方面，提高能源效率、大力鼓励节能，加快减少污染物排放、推进CO<sub>2</sub>回收利用和封存等系统技术的研发。

### （四）构建新型能源系统是推动能源革命的核心

构建新型能源系统是新时期推动我国能源革命的最直接体现。能源供应系统方面，加强能源多元化供应和渠道建设，构建以煤为基础、油气为支撑、新能源和可再生能源快速发展的能源供应系统是当前我国经济社会发展和资源基础条件下的必然选择。能源消费系统方面，大力推进煤炭的清洁利用，加快提高天然气的消费占比，不断引导和提高终端用电比例。能源发展方式方面，推动能源生产由集中到集中与分布式协调并举，推动能源消费由以需定供到合理供应和集约消费并重。能源安全运行方面，充分吸收美国、印度、日本等大规模停电、核电事故等教训，构建更为安全的能源输配基础设施和控制系统。

### （五）科技创新是推动能源革命的支撑

科技创新是能源发展过程中的先导力量，各国科技创新方式和途径不同。美国有十分开放的市场环境，中小企业创新活跃，科技创新体系极具活力；日本和欧盟通过政府引导和大型集团科技创新培育了引领世界的精细能源科技产业。中国能源科技创新需重点关注以下几个方面：一是打通科技创新制度通道，构建以企业为主体的科技创新体系；二是健全产权保护制度，构建保护企业创新成果的市场氛围；三是紧密围绕世界能源发展关键技术方向，构建我国特色的可持续能源科技体系；四是审慎研究引进能源技术和产业模式，防止陷入技术引进依赖陷阱。

### （六）合理政策和制度安排是推动能源革命的保障

20世纪70年代石油危机后，世界能源供应形势紧张，主要能源大国相继加快了能源立法进程，这些法规随着国际形势变化而进行调整，对缓解能源危机、发展经济起到了积极的作用。推动能源体制革命是打通能源发展快车道的重要手段，在能源法律法规体系方面，重点构建由市场决定能源价格的机制及配套市场结构和体系，健全能源监管体

系,推动能源体制良性高效运行;在生态环境保护方面,加快构建排放权交易制度,推动外部成本内部化;在温室气体减排方面,加强配套产业政策制订,加快战略储备技术研发示范;在节约能源方面,始终坚持节能在能源革命中的关键作用,从政策和制度上,加大节能鼓励力度,加强抑制不合理能源消费。

### (七) 加强国际合作是推动能源革命的重要助力

加强全方位的能源合作,成为世界主要大国能源发展的重点。当前,开展全方位的能源国际合作,可以有效地提高我国利用国际资源的能力,提高我国能源发展整体水平。未来,应充分抓住我国“一带一路”战略,加快推进国际能源合作:一是加强科技和重大装备合作,加强与先进能源科技大国开展全方位的技术合作,增强国际先进能源科技的引进、消化和再创新,为我国能源科技水平提高创造重要支撑;二是加强能源开发利用合作,更好地利用“两种资源、两个市场”,增强海外油气保障能力,实现安全不间断的能源供应;三是构建通畅安全的运输通道,加强北线中亚油气能源合作,疏通我国能源供应陆上大通道;深化南线海上能源通道合作,保障我国能源运输安全;四是大力拓展能源

国际合作的范围,创新合作的方式和手段,构建更加安全稳定的能源保障体系。

## 五、结语

我国是世界最大的能源消费国,煤炭、石油、天然气进口都处于世界前三位。世界能源结构、供需格局、价格变动、地缘政治、气候变化、新技术发展等变化对我国能源发展产生了重要的影响。推动能源生产和消费革命是长期战略,我国能源发展需充分把握当前世界能源发展趋势,立足我国能源发展基本情况,围绕绿色低碳方向,着力开展能源科技创新、管理体制创新和国际交流合作,重点推进能源战略安全和新型能源体系建设。

### 参考文献

- [1] 英国石油公司. BP 2035世界能源展望[EB/OL]. [2015-10]. [http://www.bp.com/zh\\_cn/china/reports-and-publications/bp\\_20351.html](http://www.bp.com/zh_cn/china/reports-and-publications/bp_20351.html).
- [2] International Energy Agency. World energy outlook 2014[EB/OL]. [2015-10]. <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2014/>.
- [3] 胡见义, 郭彬程. 天然气是能源低碳化发展的重要阶段和趋势[J]. 中国工程科学, 2011(4): 9-14.
- [4] 郑德鹏. 2003—2013年中外石油公司上游成本变动特点及其启示[J]. 国际石油经济, 2014(7): 54-60.
- [5] 杜祥琬. 绿色低碳发展应对气候变化. 国际石油经济[J]. 2015(8): 38.