

To Develop Circular Economy in Order to Handle Energy Problem

发展循环经济，解决能源问题

文 / 吴季松

能源是人类社会赖以生存的物质基础之一，是经济发展和社会进步的重要资源。与此同时，目前现代化工业化所利用的主要能源如煤、石油、天然气和核裂变物质等又都是不可再生能源。当今世界各国都把能源战略作为其经济发展战略的重要组成部分。随着经济的发展和工业化程度的不断提高，世界各国对能源的需求都保持着强劲的增长势头，能源问题愈来愈成为世界发展的制约。

建立能源强度国际比较理念是中国解决能源问题的重要途径

能源是实现经济增长的重要生产因素。工业革命以来，世界经济和能源都保持着较快的增长态势。不同国家由于资源禀赋、经济发展阶段以及能源战略的差异，其能源消费结构也存在较大差别，但世界各国的能源消费总量均在持续增长。然而，绝大部分的能源消费都是不可再生资源，储量有限。随着现代工业的不断发展，能源需求量随之而来的不断提升，能源耗竭的一天离我们越来越近。根据国际能源组织 2004 年的估计，地球上煤炭、石油和天然气可供开采的年限分别是 240 年、41 年和 50 年。中国能源需求与日俱增，而主要能源的人均储量均低于世界平均水平，如果不采取一定的措施，中国的能源问题将在很大程度上制约国家经济的发展。

能源强度是衡量一个国家或地区能源消费量和经济发展水平关系的一个重要指标，其表现形式为单位标准煤 / 单位 GDP。包括中国在内的一些发展中国家现在都处于传统工业经济阶段，由于高能耗产业的大量存在（主要是钢铁、有色冶金、炼油、化工、水泥、电力和包括汽车在内的重型装备制造业），能源强度都保持在一个比较高的水平。这是工业发展的一个阶段，不可能完全避免。但是，从长远来说，发展中国家又必须达到国际平均水平，否则，走的就不是工业现代化的道路，更谈不上新型工业化了。因此，传统工业要进行节能改造，其衡量的指标就是能源强度。对于新建的产业，也必须根据这个指标进行考察。如果新建产业的能源强度高于世界平均水平，这个行业就不宜新建。

工业化是经济发展中的一个阶段，但是重工业化并不是经济发展中的一个必经阶段。所谓重工业化就是第二产业中的重工业，或者说工业中除轻工业的部分，所谓“化”，不说彻头彻尾，至少要占主要部分，定量地说，要占 2/3 以上。从经济发展看，法国从来是轻、重工业并重，没有经历这个阶段（笔者曾在法国做过 6 年经济考察），澳大利亚的第二产业以资源型产业为主，也没有经历这个阶段。而中国 2003 年重工业占工业比重 64.3%，2004 年占 67.6%，目前还在增长，可以说正在走上重工业化的道路。重工业化的产业结构注定了中国的高能源强度，这种强度是中国的能源现状所承受不起的。因此，要降低中国的能源强度，关键还在于改变这种产业结构，其中包括高效益重工业，从而进入新型工业化阶段。

随着科技的发展，如今发达国家都进入了后工业化阶段，产业结构得到了调整，传统高耗能产业的比例大幅下降，因此他们都保持了相对较低的能源强度。世界主要国家的能源强度如表 1 所示。

由表 1 可见，中国现在的能源强度 9.94 吨标准煤 / 万美元 GDP 约为世界平均水平 3.37 吨

吴季松

博士、教授及博士生导师。现任北京航空航天大学经济管理学院院长，北京循环经济促进会会长，北京航空航天大学循环经济研究中心主任，奥组委奥运总体影响项目顾问。

表1 2005年世界主要国家GDP能源强度(单位:吨标准煤/万美元GDP)

国家(地区)	GDP能源强度	国家(地区)	GDP能源强度
英国	1.48	土耳其	3.54
意大利	1.52	加拿大	4.07
日本	1.65	韩国	4.07
德国	1.66	波兰	4.32
法国	1.76	印度	6.87
澳大利亚	2.32	南非	7.19
美国	2.62	中国	9.94
墨西哥	2.74	俄罗斯	12.71
巴西	3.49	世界	3.37

根据世界银行公布的GDP数据和BP2006公布的能源消费量数据计算得到。

标准煤/万美元GDP的3倍。即使不和英国、日本等发达国家相比,和巴西、印度等发展中国家相比,中国也有很大差距。如巴西的能源强度和世界平均水平相当,印度的能源强度也仅仅为世界平均水平的2倍。因此,只有建立了这种能源强度国际比较的理念,才能够优化配置资源、保护环境、节约能源。面对日渐严峻的能源形势,中国必须把能源强度提高到世界平均水平的2倍甚至1.5倍,才能保证中国的可持续发展。

发展循环经济 合理使用能源

循环经济是指在社会经济、科学技术和自然生态的大系统内,在资源投入、企业生产、产品消费及其废弃的全过程中,不断提高资源的利用效率,把传统的、依赖资源净消耗线性增加的发展,转变为依靠生态型资源循环来发展,从而维系和修复生态系统的经济。当今世界发达国家的后工业化和发展中国家的新型工业化都是循环经济理念的体现,循环经济是已露端倪的知识经济的第一阶段。面对世界能源短缺的今天,走循环经济的道路是解决能源问题的唯一选择。

节约能源

党的十六届五中全会指出,到2010年人均GDP比2000年翻一番,单位GDP能耗比“十五”期末降低20%左右的发展目标。也就是说到2010年,中国的能源强度应该降到7.95吨标准煤/万美元GDP左右。如果按照这个速度发展下去,到2015年,中国的能源强度为6.36吨标准煤/万美元GDP,到2020年中国的能源强度能达到5.09吨标准煤/万美元GDP,相当于2005年世界平均能源强度的1.5倍。只有达到了这个能源强度,才可能达到能源的供需平衡。

国外一些国家在节约能源方面已经做出了很好的表率,比如日本。日本吸取上个世纪70年代石油危机的教训,不断开发节能技术。在生活消费方面,日本首先发起空调夏天制冷不高于28°C,冬天制热不超过20°C的社会活动,节约了大量能源。中国必须学习国外节能方面的先进经验,立法建规,才能够达到“十一五”规划提出的能源强度目标。

能源再利用

能源再利用是循环经济的一个重要原则。能源再利用要求建立以利用废弃物为原料的“再制造”产业,尽可能利用可再生资源替代短缺资源。只有这样,才能做到当代留给下一代不少于自己的可利用资源,真正实现

可持续发展。

根据中国的实际国情,能源再利用的重点在于构建生态工业链,不同产业应在国家政策协调下逐步按循环经济的原则构成生态产业链,实现原料和排出废物的循环,并使不同生态产业链之间产生耦合效应。例如,炼钢厂、水泥厂和热电厂可以构成一个生态产业链,炼焦的废渣可以成为水泥厂的原料,这个生态产业链又可以和热电厂能量循环利用链产生耦合。

利用可再生能源

对于能源利用来说,走循环经济道路较重要的一点,就是大力开发利用可再生能源。可再生能源利用比例的提高,对于调整能源结构、减排温室气体、保障国家能源安全、保护生态系统、维护社会经济的可持续发展具有重大的现实意义和深远的历史意义。目前,欧盟要求到2020年可再生能源占总能源消耗的20%以上。如果中国法律法规和各项政策落实到位,可再生能源技术迅速发展,产业化进度加快,规模化程度大大提高,加上水力发电的天然优势,到2020年可再生能源应该能达到中国一次能源消耗的25%左右。目前,可再生能源中,开发技术发展速度较快的主要是水电、生物质能、太阳能和风能,它们也是今后十几年最有发展潜力的可再生能源。

太阳能是各种可再生能源中最重要、也是人类可利用的最丰富的能源。太阳每年投射到地面上的辐射能高达 1.05×10^{18} 千瓦时(3.78×10^{24} 焦耳),相当于 1.3×10^6 亿吨标准煤。根据目前的发展趋势,预计到2010年,中国太阳能利用可达到0.3亿~0.5亿吨标准煤。据国际原子能机构IAEA预测,到2020年,发达国家太阳能利用将达到总能源消费的11%。如果加大投入,提高太阳能利用技术,降低太阳能的利用成本,中国太阳能利用率可以达到一次能源总消费的5%以上,这将在很大程度上减轻中国的能源负担,并为保护环境做出巨大的贡献。

生物质能也是重要的可再生能

源。中国每年约可产生6.5亿吨标准煤生物质能源。国外一些国家如巴西,其生物质能的应用主要在于开发和发展能源农业,即种植甘蔗、油菜、向日葵、油棕榈、大豆等农作物,并用于加工生产燃料油,以替代石油和煤炭等矿物能源的生产活动。这对于中国是不可取的。根据中国的实际情况,目前可利用开发的资源主要为生物质废弃物,包括农作物秸秆、薪柴、禽畜粪便、工业有机废弃物和城市固体有机垃圾等。中国生物质能开发利用已经取得了一定成绩,但从总体上看,大多数生物质能技术尚处于初期发展阶段,产业化和商业化程度较低,缺乏自我持续发展能力。“十一五”期间,中国将重点发展农林生物质发电、生物液体燃料、沼气及沼气发电,开拓农村新型产业发展,为农村提供更高效清洁的生活燃料,并为替代石油开辟新的渠道。

受控热核聚变——彻底解决人类能源问题的根本途径

受控热核聚变利用的是氢元素,即氢(H)核聚变所释放的能量。目前实验反应利用的是氢的同位素氘(D)和氚(T)在特定的高温和约束条件下进行的可以控制的核聚变反应,聚合成较重的He原子核,并释放出巨大的能量,反应简式如为 $D+T=He+能量$ 。1千克氘和氚的混合物进行热核聚变反应可以释放出相当于9000吨汽油燃烧的能量,是相同重量的铀进行核裂变反应释放能量的大约5倍。氘和氚与铀等稀有重金属不同,可以取自海水,1千克海水中可以提取34毫克氘,也就是说1升海水可以顶300升汽油,即所谓“海水变汽油”。世界上的海水至少可以提取23万亿吨氘。以1993年世界能源的消耗来计算,可供人类使用100亿年以上。因此,可以说人类找到了取之不尽、用之不竭的能源。同时,热核聚变又不产生放射性污染,所以,它还是一种清洁能源。

受控热核聚变的实验研究始于20

世纪60年代,由于耗资很大和技术困难,在很长时期内被认为是基础研究,变为高技术的前景渺茫。因此,发达国家对于人、物和财力的投入长期举棋不定,时起时落,使人们对这项研究的应用前景产生了悲观的论调。

自20世纪90年代以来,受控热核聚变的研究取得了突破性的进展。1991年11月9日,建在英国牛津郡卡拉姆实验室的欧洲受控热核聚变研究中心的欧洲大环(JET)在实验中取得了功率输出,从实验上证明了热核聚变能量可控、可利用的可能性。这次反应的温度达到了 2×10^8 ℃,为太阳表面温度的10倍,并且首次获得了2兆瓦(2×10^6 瓦)的功率输出。1993年12月10日,美国普林斯顿大学等离子体物理实验室又创造了5.6兆瓦的可控热核聚变反应功率输出的新世界记录。1994年1月5日,普林斯顿实验室再次创造了功率输出10.7兆瓦的记录,这一输出相当于一个小型电站的功率,输出功率与输入功率之比为28%,而且仅用了4亿美元就达到了原来预计耗费18亿美元才能达到的指标。

1997年10月31日夜,在欧洲受控热核聚变研究中心的环状受控热核聚变实验器——欧洲大环(JET)上做出了16.1兆瓦输出功率的世界记录。更为重要的是,输出功率和输入功率之比达到了65%,也创造了世界记录,在不到4年的时间内把世界记录翻了一番。

目前,世界三大Tokamak受控热核聚变装置JET(欧洲大环)、JT-60(日本)和TFTR(美国)都做到了正功率输出,即热核聚变能量略大于加热到聚变条件所需能量100%以上,产生总能量>1万KW。其中JET达到1.6万KW/1秒,聚变能 22×10^6 J。但只有JET和JT-60仍在运行,TFTR由于美国会削减预算已于1998年终止。

1976年,美国聚变计划是2000年以前实现聚变示范电厂联网,1980年10月7日写入《磁聚变能量工程法》,当时美国正值能源危机末期。但以后

由于各种原因并未执行,预算不断削减。此后又在科学上受到质疑,于上个世纪90年代把计划修改为2025年建成第一个示范电厂。由于政治原因,美国不断削减预算,其具体情况如表2所示。

年份	1995	1996	1997
预算(美元)	3.65亿	2.4亿	2.25亿

表2 美国不同年份对受控热核聚变预算的改变

但是,由于国际社会共同努力,1985年,欧盟、日本、俄罗斯、美国制定了ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor)计划,即国际热核试验器计划,输出功率>150万KW。1998年美国退出,2003年又重新加入。

2003年2月18日,在俄罗斯圣彼得堡召开的“ITER第八次政府间谈判会”上,中国宣布作为全权独立成员加入ITER计划谈判。这意味着中国承诺承担ITER工程总造价46亿美元的10%,并享受全部知识产权。

中国、韩国于2005年正式加入ITER,预计8~10年完成计划,目前已完成物理、工程设计。2005年6月28日,包括中国在内的ITER国际计划六大伙伴国在莫斯科签署联合声明,正式确认ITER将落户在法国罗纳河口省的卡达拉什(Cadarac)。

笔者从事过10年受控热核聚变研究,为欧洲大环(JET)设计了中性注入器的真空装置。1992年笔者初步预测,此后又在1995年,在外交学院讲课时正式预测,2030年受控热核聚变可以商用(发表于《中国高新技术企业评价》1995年第4期),后来被联合国有关的权威预测机构认同。

尽管受控热核聚变能源的商用还有20~30年的长周期,但它是最终解决人类能源问题的途径,目前人们必须未雨绸缪,紧密跟踪这项关于人类可持续发展前途的高技术研究,适时加大投入,这是以循环经济理念解决能源问题的根本途径。