

从资源角度看核电发展

张秋妙

一、世界能源现状

能源储量

能源按其生成方式,分为天然能源(初次能源)和人工能源(二次能源)两大类。天然能源是指自然界中以天然的形式存在并且没有经过加工或转换的能量资源,如煤炭、石油、天然气、核燃料、风能、水能、太阳能、地热能、海洋能、潮汐能等;人工能源则是指由初次能源直接或间接转换成其他种类和形式的能量资源,如煤气、汽油、煤油、柴油、电力、蒸汽、热水、氢气、激光等。其中,人类广泛利用并在人类生活和生产中起过重要作用的能源,称为常规能源,通常是指煤炭、石油、天然气、水能等四种,其中,煤炭、石油、天然气又称为化石能源。而新近才被人类开发利用、有待于进一步研究发展的能量资源称为新能源。

据专家估计,占世界目前耗能 87% 的化石燃料(煤炭、石油、天然气)的世界能耗正以年 5% 的速度增长,预计只够人类使用一二百年。随着石油、天然气等优质能源的逐步枯竭,全世界都面临着化石能源资源日益枯竭的巨大压力,而对发展中的中国来讲,这一形势更为严峻。

中国是一个能源生产和消费大国,中国能源开采和利用技术落后,传统高能耗产业比重大,单位 GDP 能耗落后于发达国家,甚至比世界平均水平落后许多。中国又是世界上最大的发展中国家,经济高速发展,中国能源消耗增长速度居世界首位,这更加剧了中国能源替代形势的严重性和紧迫性。

我国陆地面积 960 万平方千米,我国煤炭探明储量为 11 450 亿吨(占世界的 11.63%),石油探明储量为 25 亿吨(占世界的 1.5%),天然气探明储量为 1.51 亿立方米(占世界的 0.97%),而我国的人口占世界的 20% 以上,我国化石能源基本格局是富煤、贫油、少气。与我国陆地面积相仿的美国在 936 万平方千米的土地上,相应的数据煤炭为 24 664.3 亿吨,石油为 30.75 亿吨,天然气为 5.2 亿立方米。三项化石能源储量均明显高于我国。

对于能源消耗大国美国,考虑到自身石油及天然气储量的危机,新上任的奥巴马政府决心大力发

展新能源,开发全球最大的新能源市场。而对于石油及天然气储量更少的中国,由于巨大的人口数量,中国的一次能源资源的人均储量远低于世界的平均水平,中国的能源形势远比美国乃至世界能源形势要严峻得多,开发新能源已是大势所趋。

能源结构

从目前世界能源平均的消耗结构看,在初次能源供应中,煤炭占 26.5%、石油占 37.3%、天然气占 23.9%、核能及其他占 12.3% (见图 1)。

再分地区看世界各地的能源结构,据 2004 年国际能源统计报告,在初次能源消费结构中,亚太地区:煤炭占 44%、石油占 36%、天然气占 10%、核能及其他占 10%;欧洲地区:煤炭占 18%、石油占 32%、天然气占 30%~32%、核能及其他占 10%~32%;北美地区:煤炭占 21%、石油占 40%、天然气占 25%、核能及其他占 14%。

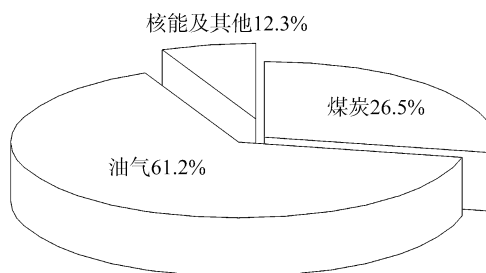


图 1 世界初次能源消费结构示意图

2002 年,中国的初次能源消费结构中,煤炭占 65.1%、石油占 23.4%、天然气占 2.7%、核能及其他占 8.8% (见图 2)。

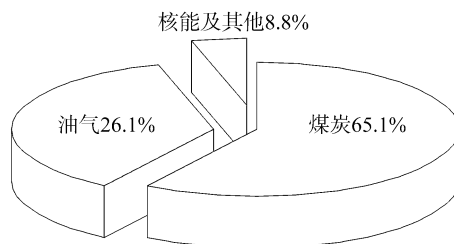


图 2 中国初次能源消费结构示意图

就电力能源结构来说,世界发电量煤炭占 25%,核电占 17%;在中国煤电占 80%,核电仅占 2%。

从上面我们可以看出,我国在初次能源消费结构中煤炭要高出世界整体水平的一倍还多,从地区看,也远远高于其他地区。而相对清洁的能源天然气所占比例仅 2.7%,远不及世界平均水平的 23.9%,这与我国相对富煤和绝对少气的能源资源国情是相适应的。然而,环保的压力又迫使我们降低煤炭的消耗,因此开发新能源是我国不得不面对的现实选择。

环保压力

由于工业革命以来的人类活动,尤其是发达国家在工业化过程中大量消耗煤炭等能源资源,大气中二氧化碳等温室气体浓度增加,导致近 50 年来全球气候发生变暖等一系列变化,对人类社会的生存和发展带来严重挑战。根据国务院新闻办 2008 年 10 月发布的《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书,中国近百年来(1908~2007 年)地表平均气温升高了 1.1 摄氏度,自 1986 年以来经历了 21 个暖冬,2007 年是自 1951 年中国有系统气象观测以来最暖的一年。

我国大气污染的一个重要特征就是煤烟型污染,煤炭燃烧排放出大量烟尘、二氧化硫和氮氧化物,是主要的大气污染源。全国煤炭消耗量已从 1990 年的 9.8 亿吨增加到 2007 年的 18.4 亿吨标准煤。二氧化硫排放总量随着煤炭消费量的增长而急剧增加,到 2007 年全国二氧化硫排放总量达到 2468.1 万吨;2007 年全国烟尘排放量为 986.6 万吨,其中工业排放量 771.1 万吨,生活排放量 215.5 万吨;2007 年工业粉尘排放量为 699 万吨。据科学家研究,中国未来的气候变暖趋势将进一步加剧;极端天气气候事件发生频率可能增加;降水分布不均现象更加明显,强降水事件发生频率增加;干旱区范围可能扩大;海平面上升趋势进一步加剧。

据世界卫生组织报告(2006 年),在全球空气污染最严重的 10 个城市排名中,中国有包括北京在内的 7 个,山西省的太原市名列第一,是世界上大气污染最严重的城市。以煤炭为主的能源消费形成的大气污染已经威胁到人民群众的健康和经济社会的可持续发展。2007 年,我国除二氧化硫排放连年为世界第一外,二氧化碳排放达 60.2 亿吨,也超过了美国(二氧化碳排放 59.1 亿吨),成为世界第一。这给我国节能减排、改善能源结构以及能源可持续发展带来了巨大压力。

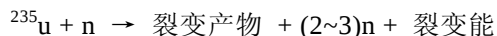
虽然中国人均排放、历史排放还远低于美国等其他发达国家,但作为一个负责任大国,我国采取更加有效的措施来降低大气污染义不容辞,更是造福于国家和民族的千秋大计。因此加快新能源的发展,优化能源消费结构,增加清洁能源比例,减少温室气体和有害气体排放是中国能源和环境可持续发展的当务之急。

二、核电的发展

核能

核能又称原子能,是原子核中的核子重新分配时释放出来的能量。核能首先由德国科学家奥托·哈恩在 1939 年发现,在实验中哈恩发现,元素铀的同位素铀-235 原子核在中子的轰击下可以发生核裂变并同时放出能量,后来人们发现很多重核同位素,如铀-233、钚-239 等,都能产生核裂变反应从而释放能量。

铀-235 裂变反应式如下:



铀-235 原子核在裂变后生成裂变碎片并同时放出 2~3 个中子(n),如果新产生的中子能够轰击其他的铀-235 原子核并导致新的核裂变,裂变反应就可以不断持续下去,我们将这个过程形象地称做“链式反应”。在不断的链式反应下,核能被源源不断地释放出来。在核电反应堆设计时如果控制中子数目保持一定的量,核能的释放就会被人为地控制起来,核裂变时释放的能量就会按设计要求缓慢、有序地进行,这就是核电反应堆的设计原理。

核能与化学能的区别在于,化学能是靠化学反应中原子间的电子交换而获得能量。例如煤或石油燃烧时,每个碳或氢原子氧化过程中,只能释放出几个电子伏能量,而核能靠原子核里的核子(中子或质子)重新分配获得能量,这种能量大得出奇。例如,每个铀原子裂变时,就能放出 2 亿电子伏能量,所以 1 千克铀裂变时释放出来的能量相当于 2500 吨标准煤。

核能除了裂变能,还有聚变能和放射能。放射能是原子核衰变时发出的能量,核衰变由于是自然的慢得多的裂变形式,产生的能量较少,实际上并不能产生大规模能量,一般用于原子电池。聚变能则是由氢元素(氘和氚)原子核发生聚合反应时释放出来的能量。等量的聚变燃料在聚变时释放出来的能量又比裂变能大 4~5 倍,所以,核聚变

能更是人们憧憬的能源，不过核聚变能迄今尚未实现工业化应用。因此，我们今天谈的核能一般就是指核裂变能。现在，人们早已可以利用核裂变能发电、供热。

核资源不是限制核能发展的约束条件

世界上有比较丰富的核资源，核燃料有铀、钍、钚、锂、硼等等。地球上目前探明的可靠铀的储量约为 447 万吨，就目前的核能成熟技术而言，通过对铀及其生成物钚的循环利用，447 万吨的可靠铀资源可供人类利用 3000 年。实际上，在巨大的海水水体中，更是含有丰富的铀矿资源。据估计，海水中溶解的铀的数量可达 45 亿吨，相当于陆地总储量的几千倍。如果能将海水中的铀全部提取出来，所含的裂变能可保证人类数十万年甚至更多年的能源需要，因此完全可以说，铀的供应不是限制核能发展的约束条件。假如核聚变能得以实现工业化应用，使用海水中的钚作燃料，则更是取之不尽，用之不竭。不过，海水含铀的浓度很低，1000 吨海水只含有 3 克铀，只有先把铀从海水中提取出来，才能应用。而要从海水中提取铀，从技术上是件十分困难的事情，需要处理大量海水，技术工艺十分复杂。但是，人们已经试验了很多种海水提铀的办法来开发核燃料铀资源。现在海水提铀已从基础研究转向开发应用研究的阶段。目前日本已建成年产 10 千克铀的中试工厂，一些沿海国家也计划建造百吨级甚至千吨级工业规模的海水提铀厂。

核电在世界能源结构中的地位

自 20 世纪 50 年代中期第一座商业核电站投产以来，核电发展已历经 50 多年。20 世纪 70 年代前期，核电厂迅速发展成实用化、大型化的发电厂，并开始系列化、规模化的建设，核电容量的增长极为迅速，直至 20 世纪 90 年代核电增长率甚至超过了电力总增长率。

根据国际原子能机构 2005 年 10 月发表的数据，全世界正在运行的核电机组共有 442 台，其中：压水堆占 60%，沸水堆占 21%，重水堆占 9%，石墨堆等其他堆型占 10%。这些核电机组已累计运行超过 1 万堆·年。全世界核电总装机容量为 3.69 亿千瓦，分布在 31 个国家和地区；核电年发电量占世界发电总量的 17%。核电发电量超过 20% 的国家和地区共 16 个，其中包括美(20%)、法(78%)、德(32%)、日(29%)、韩(38%)、瑞典(52%)等发达国家，

美、法、日核电站数量分别达到了 103、59、55 座。各国核电装机容量的多少，很大程度上反映了各国经济、工业和科技的综合实力和水平。核电与水电、火电一起构成世界能源的三大支柱，在世界能源结构中有着重要的地位。

核能的优势

核能作为缓和世界能源危机的一种经济有效的能源有许多优点。

首先是同体积的核燃料具有比化石燃料大得多的能量，核能比化学能大几百万倍，1 千克铀裂变时释放出来的能量相当于 2500 吨标准煤，这可以带来许多好处。①节省运输成本。一座 100 万千瓦的大型烧煤电站，每年需原煤 300 万~400 万吨，运这些煤需要 2760 列火车，相当于每天 8 列火车，还要运走 4000 万吨灰渣。而同功率的压水堆核电站，一年仅耗铀含量为 3% 的低浓缩铀燃料 28 吨；②核电站的基本建设投资一般是同等火电站的一倍半到两倍，不过它的核燃料费用却要比煤便宜得多，而且核电站的运行维修费用也比火电站少。世界核能协会按照发电厂建造及运营的全部电成本以两种利率进行了计算。按照 10% 的利率计算，每千瓦中等发电成本，核能为 4.0 美分，煤为 4.7 美分，天然气为 5.1 美分；按照 5% 的利率，每千瓦中等发电成本有所下降，核能为 2.6 美分，煤 3.7 美分，天然气为 4.3 美分。此外，化石燃料价格的上涨和大幅波动使便宜稳定的核电更具优势。③由于核燃料的运输量小，占地面积少，所以核电站可建在最需要的工业区附近，这不仅减少了输电设备的投入，也减少了电能的中途损耗，这一点与太阳能和风能相比更具有优势。太阳能和风能也是人们非常向往的清洁能源，不过这两种能源不仅受反复无常的气候、地形等条件的限制，而且由于其能量具有散在性，只能在特定的范围内应用，而对一个有着巨大能源需求的国家来说，它们的贡献可能就显得远远不够了。

其次是核能是一种环境友好的绿色能源，污染少。火电站不断地向大气里排放二氧化硫和氧化氮等有害物质，同时煤里的少量铀、钍和镭等放射性物质，也会随着烟尘飘落到火电站的周围，污染环境。而核电站设置了层层屏障，基本上不排放污染环境的物质，即便是放射性污染也比烧煤电站少得多。据统计，核电站正常运行时，一年给居民带来的放射性影响，还不到一次 X 光透视所受的剂量。

另外，固体废物占地面积煤电链： 2.1×10^4 米²/吉瓦年（ 10^9 瓦年），核电链： 1×10^4 米²/吉瓦年；地表塌陷煤电链： 1×10^6 米²/吉瓦年，核电链 1.6×10^2 米²/吉瓦年；温室气体二氧化碳排放煤电链：1123.7 克二氧化碳/千瓦时，核电链：13.71 克二氧化碳/千瓦时，约为煤电链的 1%，而且主要是在核电站建设过程中产生。美国环保局的有关数据表明，每制备 1 千瓦时的电力，各种燃料排放的废气量依次为：煤>油>天然气>核能。

第三是安全性强。从第一座核电站建成以来，全世界投入运行的核电站达 400 多座，50 多年来基本上是安全正常的。虽然有 1979 年美国三里岛压水堆核电站事故和 1986 年苏联切尔诺贝利石墨沸水堆核电站事故，但这两次事故都是由于人为因素造成的。随着压水堆的进一步改进，核电站会变得更加安全。实际上，核电不仅是清洁能源，而且也是安全能源。从整个发电的燃烧链（即从采矿到发电的所有环节）考虑，有数据显示每吉瓦发电装机容量每年的死亡人数煤电燃烧链为 37 人（即 37 人/吉瓦年），而核电燃烧链仅为 3.5 人/吉瓦年，而且基本是由铀矿开采引起的。显然，核电燃烧链比煤电燃烧链更为安全。这种高安全的运行纪录，在能源发展史上，包括常规电厂、煤矿、油井、水坝等，都是绝无仅有的。

三、我国发展核电的必要性

有利于我国的能源布局

我国的能源分布很不平衡，煤炭资源的 65% 集中在山西、内蒙古西部和陕西；45% 的油气资源蕴藏在西部；水电资源的 70% 主要集中在西南；风力资源主要集中在西北。而我国经济比较发达的东南沿海地区则恰恰缺乏初次能源，对能源有极度的渴求。因此，发展电力应采取因地制宜的方针，在煤炭资源丰富的地区应该多发展一些火电；在水力资源丰富的地区要多发展一些水电；在风力资源较多的地区可采取风力发电，而对初次能源都缺乏的地区，比如东南沿海，则应该多发展一些核电。这样，既可以促进国家的经济发展，也可以逐步降低煤炭在初次能源中的比例，优化能源结构，保护我国的生态环境。

有利于我国的能源安全

尽管我国煤炭蕴藏量丰富，能源结构以煤为主，但人均拥有的煤炭资源只不过世界平均水平的 1/2，

而且分布很不均匀。石油和天然气按人均水平与世界人均相比更少。以汽车和住房迅速发展为标志，目前的中国正处在重化工发展阶段，能源消费正处于快速发展阶段。我国在 1993 年成品油成为净进口国，1996 年原油也成为净进口国，2003 年石油年消费量、进口量都超过了日本，成为仅次于美国的第二大石油年消费国和进口国。图 3 是 1983~2003 年近 20 年来我国石油净进口量变化示意图。2008 年，我国石油对外依存度已突破了 50% 这条国际警戒线，达到了 55%。而国际能源署在《2003 世界能源展望》中预测：到 2030 年，进口占中国石油总需求的比例可能达到 82%。2007 年至 2008 年初国际油价的大幅上涨，已为我们敲响了警钟，再加上我国后备资源的严重不足，我国能源面临的巨大挑战是显而易见的。显然，作为不可或缺的替代能源核能的发展有着重大的战略意义。

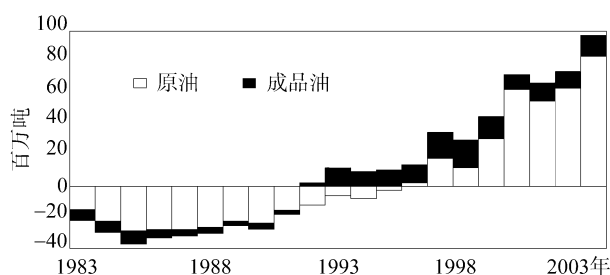


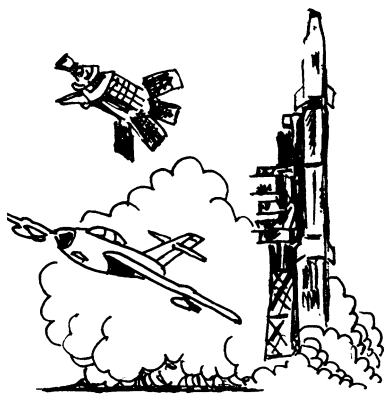
图 3 近 20 年来中国石油净进口量变化示意图

有利于突破社会发展带来的电力供应瓶颈

近两年来，由于国民经济持续快速增长，电力包括煤炭、石油等能源已经开始出现十几年前中国经济起飞时期的瓶颈制约征兆。随着中国经济的增长，作为主要动力的电力，预计到 2020 年装机总量将达到 8 亿—9 亿千瓦左右，由于目前中国电力结构以煤电为主，要实现上述目标，如全部用煤就必须新增 12 亿吨以上电力用煤，由此将给我国的资源、采掘、运输及环境带来难以承受之重。电力结构如果得不到优化，能源与环境两大问题的负面影响不仅难以克服，而且将更加恶化。在这种情况下，在我国经济发达的东南沿海地区，加快发展核电成为解决电力供应问题的必然选择。

有利于扩大内需，促进产业结构升级

核电涉及工业行业几十个，结合和依托核电项目建设，有利于利用高新技术改造传统产业，推动制造业技术创新和高科技产业进程。同时，核工业



光纤传感器的发展与应用

张 朋 王 宁 陈 艳 王海燕

光纤传感技术是随着光导纤维和光纤通信技术的发展而形成的崭新技术。自从20世纪70年代末

光纤传感器诞生以来,便由于其具有的防火、防爆、精度高、损耗低、体积小、重量轻、寿命长、性价比、复用性好、响应速度快、抗电磁干扰、频带范围宽、动态范围大、易与光纤传输系统组成遥测网络等优点而被广泛地应用于各行各业。随着对其研究的不断深入,光纤传感器势必会对科学研究、国民生产、日常生活等诸多领域产生深远影响。

1. 光纤传感器的发展

1966年华人科学家高锟提出了用玻璃代替铜线传输信息的大胆设想:利用玻璃清澈透明的性质,使用光来传送信号,使得一根头发般细小的光纤传输的信息量相当于一条饭桌般粗大的铜“线”!许多人都认为是匪夷所思,甚至认为高锟神经有问题。

但高锟经过理论研究,充分论证了光导纤维的可行性。他说:所有的科学家都应该固执,都要觉得自己是对的,否则不会成功。后来,他发明了石英玻璃,制造出世界上第一根光导纤维,使科学界大为震惊。高锟的发明为信息高速公路奠定了基石,在很大程度上改变了世界的通讯模式。他因此获得了巨大的世界性声誉,被冠以“光纤之父”的称号。

光纤是光导纤维的简称,虽然其最初的研究是为了通信,但不久后人们发现光纤具有许多新的优良性质,因而在其他领域也广泛应用,其中之一就是构成光纤传感器。虽然早在1978年就有光纤传感器的报道,但大量研究是在1989年才开始的。20世纪90年代初只有少数光纤传感器在市场上出现,其原因主要是技术不成熟、可靠性不高。另外由于早期的光纤传感器是小批量生产,性价比相对较低。之后越来越多的光纤传感器不断地商业化,比如压力应力传感器、液体流量传感器、电流电压传感器、化学传感器、湿度传感器等。目前世界上已有五百多家企业生产各类光纤传感器。

作为高科技的重要组成部分,是综合国力的重要体现。发达的核能高科技工业,将是21世纪发达国家的重要标志之一。通过发展核电,保存和发展一支高水平的军民结合的核电量,对我国社会主义现代化建设,具有重要意义。尤其是在当前应对全球金融危机的新形势下,加快核电的发展对扩大内需,拉动经济增长,又有重要的现实意义。

我国核电发展取得的成绩

我国是世界上少数几个拥有比较完整核工业体系的国家之一。党中央、国务院对发展核电极为重视,我国20世纪70年代初就提出了发展核电的问题,并开始起步,“九五”规划提出了“适当发展核电”的方针。经过30多年的努力,我国核电从无到有,现在已形成一定的规模,得到了很大的发展。自1983年确定压水堆核电技术路线以来,目前在压水堆核电站设计、设备制造、工程建设和运行管理

等方面已经初步形成了一定的能力,为实现规模化发展奠定了基础。

虽然我国核电发展进展显著,但距世界水平仍有很大的差距。目前我国核发电量占总量仅2%,远不到世界平均水平的17%。长远来看,中国的核能发电潜力巨大。根据规划,到2020年,中国核电装机比重将从目前的2%上升到4%左右,核电的装机容量将达到3600万千瓦左右,这个速度相当于每年建一座“大亚湾”。从配套发展角度来看,核电的发展将带动核燃料各个环节的能力和规模到2020年翻两番,必将为国家带来丰厚的经济利益,同时也将有效地解决资源及环境问题,产生良好的社会效益。它对初次能源缺乏的东南沿海地区实现可持续发展,推进节能减排,加快能源结构调整更是具有十分重要的意义。

(中国核电工程有限公司河北分公司 050021)