

核能发电的发展和前景

洪忠悌 俞良铎

(兰州大学) (黄河大学)

摘要: 本文以明确有力的论据阐明了核能在人类能源和进步中的战略地位, 综述了世界核能发展概况, 并预测了裂变能和聚变能核电站的发展前景。最后从我国国情出发, 对发展经济所需的能源及能源结构作了综合分析, 认为要使我国的国民收入在 21 世纪中接近发达国家水平, 只有把我国的能源结构逐步向核能转化才能达到目的。

核能利用是人类发展史中的一件划时代的大事, 它标志着人类从必然王国走向自由王国的一个新阶段。1954 年在苏联建成人类第一座核电站, 它标志着第二次能源革命的开始, 从此人类开始了化石能源向核能的转化。由一百多年前开始的、从薪炭能源向化石能源转化为标志的第一次能源革命已给人类进步产生巨大作用。第二次能源革命将使人类永远摆脱能源危机, 给人类进步带来更为巨大的推动作用。

一、核能在世界能源中的地位

能源不仅是生产过程的原动力, 而且与日常生活有着越来越密切的联系。由于生产的发展及生活水平的提高, 能源消耗大幅度增长, 按标准煤* 计算, 1960 年世界能耗约 4.2×10^9 t, 1980 年约 1.0×10^{10} t, 估计到 2000 年将达 1.6×10^{10} t 以上, 如果 2060 年全世界人均能耗要达到美国 1980 年的水平, 则那时全世界每年约需 1.3×10^{11} t 标准煤。因此英国能源大臣沃克认为(1986 年): 石油资源在 2040 年—2065 年将枯竭, 天然气在 2056 年—2066 年将会枯竭, 煤炭资源亦将在 2066 年—2076 年耗尽。从合

理利用自然资源角度来看, 煤、天然气、石油都是重要的化工原料, 利用它们可以制造合成纤维、合成橡胶、塑料、染料、医药等, 全把它们作燃料烧光将造成无法弥补的损失。煤、石油、天然气是不可再生能源, 用掉多少就少多少, 所以尽快寻找替代能源是人类生存和发展的一个关键问题。

分析表明, 地球上还可得到的太阳能、地热能、风能、生物能以及潮汐、波浪等海洋能都不可能成为主导能源, 而核能也只有核能可以取代煤、石油、天然气并从 21 世纪开始逐渐成为世界能源的主要支柱, 这是一个不以人们主观意志为转移的客观存在。

*: 1 t 标准煤 \approx 1.4 t 原煤。煤的燃烧值是石油的一半。

二、核能发电的发展概况和前景

1. 以裂变能为基础的核电站

这类核电站的核心是裂变反应堆, 在人工控制的条件下, 其中所装的核燃料(铀-235 或钚-239)在中子轰击下会因核裂变反应而释放出巨大的能量(热能), 它通过冷却剂回路传递到堆外, 在蒸汽发生器里使水变成蒸汽, 再以蒸汽去推动汽轮发电机发电, 所以核电站中的核反应堆相当于火电站中的锅炉, 而核燃料相当于煤。

核燃料是高效能的燃料, 1 kg 的铀全部裂变后所释放的能量相当于 2500 t 煤燃烧所放出的热量, 所以一座 10×10^8 W 的火电站, 每年要烧煤 3.5×10^6 t 左右, 而相同规模的核电站, 每年只需核燃料元件 30—40 t, 两者重量相差 10 万倍。

核电站经过三十多年的发展,技术上已逐渐成熟,经济上亦有竞争力,工业上已到大规模推广阶段。到1985年,世界上核电发电量已占总发电量的10%,已有26个国家和地区建成336座核电站,装机容量约 $2.4 \times 10^{11} \text{W}$,正在建造和计划建造核电站的国家和地区还有二十个左右,正在建造的核电站有184座,装机容量 $1.8 \times 10^{11} \text{W}$,计划建造的有132座,装机容量 $1.3 \times 10^{11} \text{W}$,预计到1990年,核电发电量近 $4 \times 10^{11} \text{W}$ 以上。近几年,世界主要核电国家或地区核电在其总发电量中所占的百分比如表1所示。1985年世界主要核电国家和地区的核电发电能力如表2所示。1988年欧洲共同体12个国家的发电量中核能已占33.9%。

表1. 核电所占的百分比

国别或地区	核电百分比	年份
苏	12.7	1988
美	13.6	1984
南朝鲜	13	1984
英	16	1984
日	23	1984
西德	39	1988
保加利亚	29	1985
匈牙利	46.5	1988
中国台湾	40	1985
瑞典	~ 50	1988
比利时	66.1	1988
法	69.9	1988

现在核电站是各类电站中增长速度最快的,虽然它的基建投资大(为同等规模火电站的1.5—2倍),可是其核燃料的费用比煤、石油燃料费要便宜得多,所以核电站的发展成本已低于火电站,有较好的综合经济效益。

核电站的安全和环境污染是世人最关心的问题。公众对核电站的担心主要有以下几

个方面:一是担心核电站一旦发生事故会像原子弹一样爆炸。其实反应堆的设计已使这种情况不可能发生。二是核废物的处理和贮存问题。这确实是核电站发展中遇到的头痛问题,目前尚未有妥善的处理办法,这是影响核电站发展的重要因素。三是担心放射性污染环境的问题。为了防止放射性进入周围环境,从堆芯开始至外壳设有多层屏障,最后还有非居住隔离区。在核电站正常运行时,只给环境增加4—25%辐照量,10年的积累剂量大约相当于一个人一次X光诊断所

表2. 主要核电发电国家和地区的核发电能力

国家或地区	美	法	苏	日	西德	英	瑞典	加拿大	中国台湾
发电能力 (10^9W)	69	28	21	20	12	11	9.5	8.1	5.1

受的剂量,可见核电站的放射性影响在正常运行时是可以忽略的。可是烧煤火电站在正常运行时,出人意料,其数量巨大的煤渣和灰尘中的放射性物质造成的污染程度,在正常情况下比核电站严重得多(甚至严重100倍)。

一座年发电量 $1.3 \times 10^9 \text{W}$ 的烧煤火电站,每年排放二氧化硫 $4.9 \times 10^4 \text{t}$,氮氧化物 $1.5 \times 10^4 \text{t}$,若烧油,其排放量亦差不多。二氧化硫等与雨结合形成酸雨,会给土壤、森林及水产资源造成灾难性的影响,破坏生态平衡。现在全世界由于煤和石油等燃烧而排入大气的二氧化碳每年达 $1.8 \times 10^{10} \text{t}$ 。长此下去,大气中由于二氧化碳含量的大幅度增加而可能导致温室效应,它会使气候反常,旱涝风灾频繁,给人类生存带来极大的后顾之忧。火电站还大量排放其它有害气体和尘埃,其中还有强致癌物质,核电站则不会排放上述有害物质,是干净的电站。

三十多年来,近四千堆年的运行证明:核电站是安全的。在苏联切尔诺贝利核电站事故前,世界上还未发生过因放射性泄漏而造成人员伤亡事故,即使曾引起一场轩然大波的美国三里岛核电站事故,事后检查表明:只有三名核电站职员经受了较强但未到急性致伤水平的辐射剂量。有人从能源开发利用的

全过程来分析各种能源的危险性,它表明:天然气危险性最小,核能次之,其它如煤、水、石油等都比核能大。人们对核能利用的恐惧感大部分是从核弹的巨大破坏力影响过来的,可以说是事出有因,查无实据。

当然核电站达到相当的安全度是人们采用了众多的先进而严密的措施,又通过不断改进得来的,并不是说核反应堆的运转本身就是不存在危险。总的来说,核电是相当安全、干净的能源。

目前核电站使用的热中子反应堆,铀的利用率很低,而地球上的铀资源却十分有限,所以能使铀资源得到充分利用的快中子反应堆及聚变——裂变反应堆将在下世纪先后大量发展。这样,到下世纪中期,以裂变能为主的核能将在能源中占主导地位。

2. 以聚变能为基础的核电站

两个轻原子核(如氘、氚等)结合成一个较重的原子核时所释放的能量称为聚变能,在人工控制下,通过聚变反应而释放能量的装置称为聚变反应堆。轻原子核(如氘、氚等)结合后释放的能量(聚变能)比相同质量的重原子核(如铀-235等)裂变所释放的能量大好几倍。地球上的核聚变资源又非常丰富,它的充分利用,足以满足人类在地球上生存的时间内所需要的能量。

聚变能不仅是地球上储量最大的能源,而且是一种比裂变能安全得多,清洁得多的能源。聚变反应堆中的燃料是按一定速度加入的,聚变反应时没有临界质量问题,燃料数量少,因此不会出现严重事故。裂变反应堆中的裂变产物具有很强的放射性,某些产物具有很强的化学毒性。我们说裂变堆清洁,是由于它对放射性物质采取了严格的隔离措施所致。聚变堆产生的放射性比裂变堆少得多,而且聚变堆中聚变反应产物是氦,它既没有放射性也没有化学毒性。

聚变能是人类的一种较理想的能源,虽然人类实现不可控制的聚变爆炸及研究受控核聚变都已有三十多年,可是由于实现受控

聚变反应所需条件的复杂性,要实现持续有益能量输出的受控聚变反应(此时聚变反应产生的能量持续地大于创造聚变反应条件所消耗的电能)可能还得二十年左右的时间,至于实现有工业推广价值的聚变堆,可能要到下世纪中了。

3. 苏联切尔诺贝利核电站事故及影响

切尔诺贝利核电站有四台核电机组,每台输出功率 $1.0 \times 10^9 \text{ W}$ 。发生事故的第四号机组是1983年才达到临界的。它用的是石墨沸水堆,即以石墨为慢化剂,普通水作冷却剂,低浓度二氧化铀作燃料的。该机组的反应堆于1986年4月25日发生故障,4月26日1时23分反应堆厂房爆炸,石墨起火。当时此反应堆冷却系统出了故障,核燃料元件温度升至 1200°C 以上,由高温所生成的水煤气(CO 及 H_2)积聚到一定程度即发生爆炸。造成此重大事故的原因已有专门报告,国际专家认为此次事故是由众多因素综合造成的:(1)石墨沸水型反应堆本身就是一种安全性差的反应堆类型,西方已经淘汰;(2)缺少先进的反应堆电脑安全系统,这种系统能测出事故隐患,将事故消除在萌芽状态之中;(3)电站人员技术素质差,不严格执行规章制度等。

世界核电站至今已积累了近四千堆年的运行经验,切尔诺贝利核电站事故是世界核动力发展史上最严重的一次,此前还未发生过一次死亡事故和放射性严重危害人身健康事故。此次事故中死伤人数好几百,事故发生一星期后,事故地点放射性剂量率还高达人体允许剂量率的二万倍。由于放射性逸出严重,致使核电站周围30km内的所有牲畜和庄稼全部废弃,84000人迁离,放射性飘尘遍及很多欧洲国家,弄得人心惶惶。此次事故发生在半夜,厂内人员很少,事故地点附近没下雨,风又大,否则损失会更大。事故发生后,造成如此严重的后果,则是由于苏联对这种安全性本来就差的石墨沸水型反应堆竟然没有设置安全壳,而只有一般的厂房。

国际上,即使安全性好的反应堆都建有很厚的、非常坚固的钢筋混凝土安全壳,以免出事时,放射性大量逸出。

综上所述,切尔诺贝利核电站事故的发生是由一系列人为因素造成的,这些人为因素本来是可以而且应该避免的,所以国际原子能机构表态:苏联切尔诺贝利核电站事故不应使人们怀疑核电的安全。欧洲议会通过决议支持继续在西欧发展核能。几个主要核电国家也宣布:苏联核电事故不会影响它们的核电建设计划。

就全世界来说,由于苏联核电事故所造成的损失巨大,危害面广,加重了不少人对核电安全性的顾虑,所以在一定时期内,不影响核电建设计划的进度是不可能的,但它不会影响核电建设的总方向。

4. 核能在我国能源发展中的地位

我国能源较丰富,但也有严重的能源问题,不能高枕无忧。

(1) 我国能源现状

我国有可利用的水力资源 $3.0 \times 10^{11} \text{W}$, 煤碳储量 $6.0 \times 10^{11} \text{t}$, 石油可开采量近 $2.0 \times 10^{10} \text{t}$ 。按人口平均计算,人均占有量是不多的(见表3)。

表 3. 我国和有关国家人均占有量

国 别	中国	美	苏	巴西	加拿大	西德	澳大利亚
人均水力资源 (千度/年)	2.7	3.6	4.2	8.8	22		
人均煤碳资源 (kt)	0.6	13	22		4.5	4.7	14

我国能源资源的地区分布很不均匀,水力资源70%以上在西南,煤碳资源60%以上在华北,集中在山西和内蒙。而人口和工业集中的两湖、两广、苏、浙、闽、赣、沪人口占全国36.5%,水力资源只占10%,煤碳资源只占2%,若用远距离输电和运煤的办法来解决能源问题,当数量超过一定值时,在技术上、经济上都是不合理甚至不大可能的。

我国人口众多,总能耗大。世界经济发展表明:总能耗量是衡量一个国家的国民经济总产值的主要指标,国民经济总产值总是与总能耗量成比例地增长的。而每人平均能耗量又是经济发

展和生活水准的综合尺度。我国1980年商品能源折合标准煤 $6.0 \times 10^8 \text{t}$, 其中煤碳为 $4.4 \times 10^8 \text{t}$ 占72%, 1985年商品能源达到 $7.9 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤,其中煤碳为 $6.1 \times 10^8 \text{t}$, 占77%, 有人估计,我国每年人均产值达到一千美元时,需年耗 $1.8 \times 10^9 \text{t}$ 标准煤。假定到2010年每人平均能耗提高到1980年世界平均水平(我国1980年人均能耗约为世界平均水平的四分之一),每年需供给 $2.8 \times 10^9 \text{t}$ 标准煤。近几年,商品能源虽大幅度增加,但电力仍感不足,致使全国有20—30%工业生产不能发挥作用,损失巨大。由于大量烧煤,已使某些地区酸雨严重,目前我国每年烟尘排放量已约 $2.0 \times 10^7 \text{t}$, 按国土面积平均,已为世界平均负荷量的两倍。今后,能源消耗还必将大幅度增加,由于中国能源结构的特点,预计几十年内,能耗的增加还将不得不主要依赖煤碳,这将给交通运输带来难以承受的压力,给环境污染带来严重后果。

综上所述,大力发展其它能源是我国四化建设所需要,不仅要大力开发水力、石油及其它能源,还应积极发展核电,这样才能填补近期能源的不足,发展核电还能为中期能源供应奠定基础。

(2) 我国核电的发展

为了在我国建国一百周年时,使我国的国民收入达到或接近发达国家的水平,如前所述,只依靠煤、石油和水力是不行的,而只有把我国的能源结构逐步向核能转化,才能达到目的。这既受常规能源储量有限这个客观存在所制约,也受能源需求总量过大所迫使,不是人们的主观意愿所能左右的。

我国已建成了原子能工业体系,设计、建造和运行过十多座各种类型的核反应堆,所以具有建立核电站的基本条件。核电站的建设是一项复杂的高科技工程,我们还缺乏经验,所以采用自力更生与国外引进相结合的方针。我国自行设计的 $3.0 \times 10^9 \text{W}$ 核电站预计将在1990年左右在浙江海盐建成,从国外引进的装机容量为 $1.8 \times 10^9 \text{W}$ 的广东大亚湾核电站已动工兴建。通过这两座核电站的建设,掌握技术,积累经验,为大规模开发核电打下基础。预计在本世纪末我国将建设总容量近 $1.0 \times 10^{10} \text{W}$ 的核电站。