

# 我国核能的现状和前景

郭 星 渠

(中国核工业经济研究所,北京 100037)

国民经济的发展及人口的增长,使我国对能源的需求与日俱增。本文从资源、技术、经济及环境影响出发,论述了我国煤、石油、天然气、水能、太阳能、风能和核能的发展现状和前景,认为开发核能是解决我国能源、环境和交通问题的根本出路。

当前,压水堆是我国核电的主要堆型。在目前及今后一段时期,核电是我国利用核能的主要方向。到下世纪,能增殖核燃料的快堆将成为我国的主要堆型。我国的快堆开发,要走金属型核燃料快堆的道路。快堆使人类有充裕的时间,去迎接聚变堆时代的到来。

我国核能的开发,经过了多年的犹豫和徘徊之后,终于迈出了第一步。今年、明年和后天,我国相继有三座核发电反应堆将建成投产,从而揭开我国能源建设的新篇章。我国核能的开发,将展示出光辉灿烂的前景。

## 一、开发核能是解决能源问题的根本出路

建国以来,我国能源工业取得了巨大成绩。从1949—1990年,我国发电站装机容量由0.0185亿千瓦增加到1.35亿千瓦,增加了72倍;年发电量由43.08亿度增加到6180亿度,增加了142.5倍;原煤产量由0.324亿吨,增加到10.8亿吨,增加了31.3倍;原油产量由12万吨,增加到1.38亿吨,增加了1149倍;我国商品能源总产量由0.2374亿吨标准煤,增加到10.4亿吨标准煤,增加了43倍。

尽管我国能源工业取得了举世瞩目的成绩,但能源工业的发展远远不能满足我国经济发展的需要,缺能问题越来越严重。由于能源短缺,使国民生产总值减少2000亿元以上。计划用电成了计划限电。近年由于经济过热现象有所降温,能源紧张状况有所缓解。但这种缓解是暂时的。1990年以前的42年,我国商品能源总消耗增加10亿吨标准煤。预计从1990—

2050年的60年间,商品能源总消耗将增加约40亿吨标准煤。我国总能耗如此巨大的增长,将会导致能源结构的巨大变化。

### 1. 以煤为主的能源结构带来了严重问题

1949年以来,煤一直是我国的主要能源,目前约占我国总能耗的四分之三。今后一段时期,煤仍将是我国能源的主要支柱。但要长期维持这种局面是不可能的。

据第12届世界能源大会估计的数据,世界煤的经济可采储量约为地质储量的6.2%。近年来,虽然关于我国煤的地质储量的估计不断上升,但煤的经济可采储量难以超过2000亿吨标准煤。由于经济可采储量有限,我国煤的年产量难以超过20亿吨标准煤(约合28亿吨原煤)。因而到2050年,煤在我国能源结构中的比重,将由目前的75%下降到40%以下。

我国煤炭产区大多集中在山西、陕西及内蒙古西部,而经济发达地区集中在东部。煤炭发现已占我国铁路货运量的40%。到下世纪,随着我国东部煤田的日益枯竭,以及煤炭生产基地进一步向山西、陕西和内蒙古西部的转移,加上煤炭消费量的急剧增加,煤炭的运输将越来越困难。

除经济可采储量和运输外,环境污染也越来越成为煤的使用的制约因素。从1949—1990年的42年,我国煤的累积消耗量虽然只有120

亿吨标准煤,但已造成十分严重的后果。二、三百年前,北京空气十分澄澈。1671年孙承泽写道,从60公里以外的百花山可以看到北京城;从40公里以外的史山看北京,更是“金碧炫目”<sup>[4]</sup>。1745年励宗万写道,从13公里以外的北京城内的广安门看郊区的卢沟桥,“行骑历历可数”<sup>[2]</sup>。

现在北京空气污染已相当严重。50年代,北京每年平均烟雾日只有45天,70年代为100天,80年代初就接近200天<sup>[5]</sup>。近年来,由于煤气化和集中供热,已有所缓和。但我国环境状况,局部有所改善,总体在恶化。我国每年排入大气的烟尘为两千多万吨,氧化硫约1500万吨,其中由于燃煤排放的烟尘及氧化硫分别占70%和90%。煤是造成我国环境特别是大气污染的主要原因。令人十分担忧的是,从1990年以后的42年,煤的累积消耗量将是这以前的42年的四倍左右。如此大量的消耗,将会带来十分严重的后果。

如果说燃煤引起的氧化硫及烟尘污染,还可以通过消烟除尘等措施来治理的话,那么由于煤等化石燃料燃烧排放二氧化碳引起的温室效应,则是无法治理的。

1860年以来,地球大气中二氧化碳浓度增加了约25%,其中约一半是1960年以后增加的。我国排放的二氧化碳占世界二氧化碳总排放量的比例,已由1950年的1.63%,上升到1987年的11%,今后还将继续增加。

1985年10月,联合国环境署、世界气象组织及国际科学家联盟,在奥地利召开了讨论二氧化碳问题的国际专门会议。会议声明指出,到2030年,大气中二氧化碳浓度将达到工业化以前的两倍,从而使地球气温比目前上升1.5—4.5℃,海平面上升0.2—1.4m。1986年5月中国科学院召开的关于世界温室效应对我国气候影响的专家会议指出,温室效应将使我国缺水的华北和西北更加干旱,沙漠将扩大;在多雨的南方,由于雨量的增加及季节分布的改变,水旱灾害也将增加。

上述预测表明,今后50年世界气温的变

化,有可能达到和超过地球历史上过去几万年间的最大幅度。如此迅速的变化,将使人类的生产活动难以进行同步调节。1988年6月在加拿大多伦多召开的世界大气会议指出,“温室效应的最终后果,将仅次于一场全球性的核战争。”减少温室效应的唯一途径是降低二氧化碳等温室效应气体的排放量。多伦多等一系列国际会议呼吁:作为第一步,到2005年,使二氧化碳排放量比目前减少20%;到2050年,比目前减少50%。在这种情况下,我国二氧化碳排放量的急剧增加,将受到越来越多的国际限制。

综上所述,由于资源、运输及环境保护的限制,要以煤为主要能源,来实现我国经济的长远战略目标是不可能的。

## 2. 解决能源问题主要依靠核能

1990年我国石油占一次能源总产量的19%,天然气占2%。到2000年,有可能维持这个比例,并略有上升,2000年后,油气在我国能源结构中的比重就将不断下降。煤、石油和天然气,不但是一种能源,而且是一种重要的化工原料,将它们付之一炬,是一种极大的浪费。

我国水能资源居世界第一,但人均量少,到2030年左右,我国可以经济开发的水能资源将大部开发完毕,其能量相当于每年二至三亿吨标准煤,在我国能源结构中的比重不大。

太阳能由于能流密度太低,随昼夜、晴雨和季节变化太大,要将其作为大规模的工业能源是十分困难的。空气密度是水的密度的八百分之一,所以风力机械的风轮直径是相同功率的水轮机的几百倍,使风力发电投资大。风能不但能流密度低,而且时大时小,方向变化。它只适合于平均风速大而缺乏其他能源的地方。目前风力发电约占全国总装机容量的万分之一,今后这个比例很难大量增加。地热和潮汐能在我国未来能源中的比重也是很小的。

能够大规模利用的可再生能源,除水能外,只有生物质能。但我国森林的过度采伐,已经造成严重的水土流失。今后应控制生物质能总量,通过发展省柴灶及沼气池,提高利用效率。

既然煤、石油和天然气等化石能源,日益无法挑起我国能源主要支柱的重担,可再生能源只是一种补充,因而解决我国能源的希望只能寄希望于核能<sup>[4,5]</sup>。

### 3. 核能是安全、清洁和经济的工业能源

核能的主要优点是能量的高度密集。在煤、石油和天然气等化石燃料中,只有百亿分之一的质量转化为能量。而在铀-235的裂变中,有约万分之九的质量转化为能量。因而一克铀-235全部裂变发出的能量,比一克标准煤发出的热量大280万倍。

能量高度密集的直接效果是运输量少。一座100万千瓦的煤电站每年需运送煤二百多万吨,而一座100万千瓦核电站每年只需运送核燃料组件三十多吨。核电站由于安全标准高,每千瓦的单位投资是煤电厂的1.5倍以上。但是按发热量计算,核电站的燃料成本比煤便宜得多,因而在国外,核电比煤电便宜。

人类受到的放射性照射中,80%以上来自天然本底,10%以上来自医疗,只有不到0.1%来自核电站等民用核设施。1979年三里岛事故以后,联合国原子辐射影响问题科学委员会1982年公布的报告中指出,假定核电站在技术上没有改进,世界核电站装机容量增加到100亿千瓦,相当于目前世界各种电站装机容量的四倍,因而当核电成为主要能源时,由核电引起的辐射将占天然本底的1%。

核电的主要优点是不会排放二氧化碳、氧化硫和氧化氮。据法国环境保护机构统计,从1980年到1986年,法国核电比例由24%上升到70%,在此期间,法国发电量增加40%,而排放的氧化硫减少56%,氧化氮减少9%,尘埃减少36%,大气质量有明显改善。

核电发展史上,出现过三里岛及切尔诺贝利两次事故。1979年3月28日,美国三里岛压水堆核电站二号堆,由于堆芯冷却水丧失,核燃料融化,造成放射性物质外溢。由于压水堆有多重安全保护系统,在事故中无一伤亡。这一事故中释放的放射性碘-131,比1957年英国一座军用堆的事故低一千倍,比1961年美国

一座军用堆的事故低四倍。这一事故从反面证明了压水堆的安全性。事故后压水堆有不少改进。

1986年4月26日,苏联一座石墨水冷堆在停堆后的试验中,由于试验人员违反操作规程,致使反应堆功率急剧上升,造成堆内蒸气过多而爆炸,堆内石墨燃烧。核反应与化学反应的交替,使这次事故规模大,时间长。事故中放出的碘-131,比三里岛事故大40万倍以上。这类核电站抗事故能力差。目前苏联已停止发展这类核电站。这类事故在压水堆上不可能出现。因此,核电史上的两次事故,改变不了核能作为安全、清洁的能源的结论。

## 二、我国开发核能的途径

50年代以来,我国建立了从铀的勘探、开采和核燃料加工到核反应堆的设计、建造和运行的完整的核工业体系,实现了原子弹、氢弹的爆炸和核潜艇的下水,取得了举世瞩目的成绩。改革开放以来,我国核工业走上了为国民经济服务的道路。根据专家们的意见,到下世纪中期,我国核能的开发将会经历补充—组成—支柱三个阶段。

在本世纪,我国核电的主要目的是掌握技术。在今、明、后三年三座核电反应堆建成后,到本世纪末,我国还将建设一批核电站,从而使核电成为我国能源的必要补充;到下世纪初期,核电在我国缺乏能源的东部沿海地区,将成为能源的重要组成部分;到下世纪中期,由于快中子反应堆的大量发展,核能将成为我国能源的重要支柱之一。

### 1. 压水堆是当前的主要堆型

目前世界上的反应堆,大多是将裂变后释放的快中子的速度减慢后,来实现裂变链式反应的。根据慢化剂和冷却剂的类型,反应堆又分为轻水堆、重水堆和气冷堆等。轻水也就是普通水,它在反应堆内作为慢化剂和冷却剂,不但使裂变后产生的快中子慢化为热中子,而且将裂变产生的热带出堆外发电,使堆内核燃料

处于正常的温度范围内。重水堆大多是利用重水作为慢化剂和冷却剂。也有个别重水堆以重水为慢化剂，轻水为冷却剂。气冷堆则是利用石墨作为慢化剂，二氧化碳或氦等气体作为冷却剂。

在轻水堆中，如果水在堆内不沸腾，则称为压水堆；如果水在堆内沸腾，则称为沸水堆。压水堆占世界上核电站装机容量的70%，是目前及今后一段时期的主要堆型。我国的核潜艇及正在建设和准备建设的核电站，都是压水堆。

压水堆是一个大的高压锅。由二氧化铀核燃料组成的三米多高的堆芯，放在高约13 m，直径约4 m的压力壳内。压力壳内保持150多个atm。从堆芯下部进来的约300℃的冷却水，经过堆芯后达到330℃左右，再进入压力壳外的蒸气发生器中，使蒸气发生器管外流动着的二回路的冷却水变成高温高压蒸气，来推动蒸气发生器发电。

普通水的慢化能力远高于重水及石墨，因而压水堆结构紧凑，建造成本低于重水堆和气冷堆。压水堆一旦出现功率上升、核燃料升温时，它的反应性下降，使核反应减慢，功率下降。这种过程物理上称为负反馈。而切尔诺贝利核电站在低功率时是正反馈，容易造成事故扩大。切尔诺贝利核电站内有大量石墨及锆，容易产生剧烈化学反应。压水堆内没有石墨，只有少量锆，不会出现切尔诺贝利核电站那种事故。目前压水堆在国际上已成为成熟技术。

我国将于1991年建成的30万千瓦的秦山核电站，是自己设计的，只有压力壳和主循环泵等关键设备是引进的，因此它的建成，将标志我国已初步掌握了核电技术。但压水堆要100万千瓦才比较经济。为尽快掌握国外先进技术，我国引进了法国90万千瓦压水堆两座，组成广东核电站，将分别于1992年和1993年投产。

实现核电国产化是当务之急。只有实现国产化，才能使核电的建造成本降到可以接受的水平，满足我国核电大发展的需要。而实现国

产化的关键，是设计自主化。只有设计自主化才能促进工程管理自主化和设备国产化。

按投资分，核反应堆的设备只占核电站设备的一小部分，大部分是发电及各种管线等辅助设备。所以我们在实现设备国产化时，第一步是大量常规及辅助设备的国产化。我国机械工业基础雄厚，对压力容器等反应堆上的关键设备，也要有计划地组织攻关。对于核燃料，我国目前已具备国产化的条件。

为了实现国产化，1987年国家已批准在秦山30万千瓦核电站建成后，再在秦山建两座60万千瓦的压水堆核电站，以此作为向100万千瓦压水堆过渡，并实现国产化的跳板。目前已开始组织设计。

## 2. 快堆是我国下一步发展的方向

我们前面提到的压水堆、沸水堆、重水堆和气冷堆，都是热中子反应堆。这些反应堆中有慢化剂，作用是将裂变产生的快中子慢化为热中子，以提高铀-235核裂变的几率。这类反应堆的主要缺点，是不能实现核燃料的增殖，只能利用很少一部分铀资源。以压水堆为例，它的核燃料是将铀-235为0.7%的天然铀浓缩到3%。浓缩后的尾料含0.25%的铀-235，称为贫铀。核燃料在压水堆中使用三年后，铀-235含量就由3%降到0.9%，称为乏燃料。在反应堆使用期间，每消耗一个铀-235原子核，可使0.5个左右的铀-238变成优质核燃料钚-239，核燃料越烧越少。在整个过程中，只有约0.5%的铀得到利用。

如果堆内不使用慢化剂，直接利用裂变产生的快中子引发裂变，则称为快中子反应堆，简称快堆。在快堆中，一方面由于快中子引发裂变后产生的裂变中子多，另一方面由于快中子的寄生俘获少，因而每次裂变产生的中子，除有一个用来继续维持链式反应并有少量泄漏外，还有1.2—1.6个中子可将铀-238变成钚-239，因而核燃料越烧越多。这叫核燃料的增殖。

世界上第一座发电用的反应堆是快堆，这就是1951年12月在美国爱达荷国家反应堆试验中心发电的“增殖堆一号”。经过40年的发

展,快堆技术已日益成熟。1986年投产的法国120万千瓦的“超凤凰”快堆,虽然反应堆外的贮钠罐出现过泄漏,检修后一直运行良好。目前快堆的基建成本为压水堆的一倍。到下世纪,随着核燃料价格的上涨以及快堆的成批建造,快堆的大发展将要到来。

由于快堆卸出的乏燃料经过“后处理”以后反复使用,而且后处理时对去除杂质的要求低,处理时产生的液体废物少,所以发一度电产生的放射性废物比压水堆少得多。因而人们称它是比压水堆更干净的能源。

### 3. 金属核燃料快堆是下世纪的主要堆型

目前的快堆燃料,有氧化物和金属型两种。氧化物燃料快堆中,使用二氧化铀-二氧化钚混合物,它的增殖比即消耗一个核燃料原子核得到的钚-239的数目为1.2左右。而且氧化物核燃料只能采用湿法后处理,堆外核燃料循环时间达2—3年以上。因此它的倍增时间,即核燃料增加一倍的时间为15年以上。金属核燃料快堆,使用铀钚合金为核燃料,增殖比可达1.6。由于用干法后处理,工艺简便,可在反应堆厂房内就地完成,因而倍增时间可以缩短到六年。为了满足我国下世纪核能大发展的需要,它将成为下世纪的主要堆型。

快堆由于能使占天然铀99.3%的铀-238转化为钚-239加以充分利用,使得那些品位低的铀矿也有开采的价值,因而快堆对铀资源的利用率就不只是比压水堆高一百多倍,而是高几千倍、几万倍。快堆使人类有充分的时间,去迎接聚变堆时代的到来。

### 4. 对聚变能的利用不能急于求成

虽然在1952年,人类就利用原子弹实现了大规模的聚变爆炸,但要实现受控聚变就困难得多。通过几十年的努力,在本世纪最后的10年有可能实现聚变点火,然而要实现有益的能量输出,并使之能与其他能源在经济上竞争,则是下世纪中期以后的事。

早在1953年,美国的鲍威尔(P.F.Powell)就提出了建设聚变-裂变混合堆的设计。他建议在聚变反应室外,布置一层由铀-238或钚-232组成的增殖层。聚变产生的高能中子,可以使铀-238或钚-232变成钚-239或铀-233。计算和实验表明,一个聚变中子除可引发裂变放出大量能量外,还可以生产出五个钚-239原子核。有的专家认为,这种混合堆是实现由裂变向聚变过渡的桥梁<sup>[6]</sup>;有的专家则认为,混合堆将聚变和裂变的困难集中在一起,由于裂变包层的放射性,使这种堆难以维护和检修,因而比纯聚变堆更困难。由于这些原因,1953年以来,建设混合堆的方案一个接着一个,至今尚未有一个可以进行工程设计的方案。

50年代以来,不少物理学家总过分乐观地向人们展示用聚变解决能源问题的前景。然而几十年来的实践表明,过早地将解决能源问题的希望寄托于聚变是不现实的,至少在下世纪是如此。解决下世纪能源问题的希望,主要是依靠快堆。

经济的发展和人口的增加,使人类对能源的需求与日俱增。我国以煤为主的能源结构,将和能源短缺、电力紧张、污染严重以及交通运输负担过重紧密相连。大力发展核能,是摆脱上述困境的根本出路。从本世纪末到下世纪初,我国核能的开发将以压水堆为主,并将它作为能源的一种补充。只有到下世纪,通过金属燃料快堆的逐步发展,核能才逐渐成为我国能源的主要支柱。

- [1] 孙承泽,天府广记,北京古籍出版社,(1982),500,509.
- [2] 励宗万,京城古迹考,北京出版社,(1964),11.
- [3] 郭方,自然辩证法通讯,7-2(1985),35.
- [4] 郭星渠,核能 20世纪后的主要能源,原子能出版社,(1987),271.
- [5] 郭星渠,核能——现实与未来的选择,中信出版社,(1990),178.
- [6] 李寿楠,物理,16(1987),487.