

中国应否发展核电

SHOULD CHINA DEVELOP NUCLEAR POWER

刘万程

世界上所有先进国家,对核电的利用都很重视。中国这方面的发展起步较晚,但倒有好处,因为在今后发展核电时会比别的国家少走弯路。别的国家所积累的经验及技术可以充分利用。这样,不仅可以节省大量资金,而且可以加快发展速度。

首先看看世界核电发展的一般情况。根据国际原子能总署的报告,目前世界上已有32个国家及地区拥有核电厂或正在计划兴建核电厂。已经投产的,正在兴建的及计划兴建的核电厂,总数为561个。到1986年底,世界上已有397个核电厂投入生产。这些厂一年中可以提供电能273 715兆瓦,约占全世界发电总量的16%。此外,尚有133个核电厂正在兴建中,这些电厂完工后,又可增加117 848兆瓦的电能。

一、已经投产的核电厂 及其发电量

值得注意的是科学技术水平愈发达的国家,兴建的核电厂数目愈多(见表1)。美国、日本、法国、联邦德国、苏联等发达国家1986年底共有292个核电厂发电,占全世界核电厂总数的75%。此外,世界上还有26个国家已拥有可发电的核电厂。

二、核能发电所占的比例

从核能发电与总发电量之比,可以看出每个国家核电利用的比重。如表2中所示,法国为全世界核能利用最发达的国家,其核电厂所发的电

表1 已经投产的核电厂及其发电量
(1986年底资料)

国 家	核电厂数目	发电量(兆瓦)
阿 根 廷	2	935
比 利 时	8	5 486
巴 西	1	626
保 加 利 亚	4	1 632
加 拿 大	18	11 107
捷 克 斯 洛 伐 克	7	2 799
芬 兰	4	2 310
法 国	49	44 693
民 主 德 国	5	1 694
联 邦 德 国	21	18 964
匈 牙 利	3	1 235
印 度	6	1 164
意 大 利	3	1 274
日 本	35	25 821
南 朝 鲜	7	5 380
荷 兰	2	508
巴 基 斯 坦	1	125
南 非	2	1 840
西 班 牙	8	5 588
瑞 典	12	9 455
瑞 士	5	2 932
中 国 台 湾	6	4 918
英 国	38	10 161
美 国	99	84 592
苏 联	50	27 657
南 斯 拉 夫	1	632
总 计	397	273 715

刘万程 (Liu Wangcheng) 核电厂工程监察员 (Reactor Inspector), 现任职于美国联邦政府核能规章委员会第三区。

表2 核能发电占全部发电的百分比(%)
(根据1986年底资料)

国 家	百分比%	国 家	百分比%
法 国	69.8	匈 牙 利	18.3
比 利 时	67.0	美 国	16.6
瑞 典	50.3	加 拿 大	14.7
中国台湾省	43.8	民 主 德 国	11.6
南 朝 鲜	43.6	阿 根 廷	11.3
瑞 士	39.2	苏 联	10.0
芬 兰	38.4	南 非	6.8
保 加 利 亚	30.0	荷 兰	6.2
联 邦 德 国	29.4	南 斯 拉 夫	5.4
西 班 牙	29.4	意 大 利	4.5
日 本	24.7	印 度	2.7
捷克斯洛伐克	21.0	巴 基 斯 坦	1.8
英 国	18.4	巴 西	0.1

量占其全部发电量的69.8%。其次是比利时，为67.0%，瑞士为50.3%，而中国的台湾，南朝鲜及日本则分别为43.8%，43.6%及24.7%。美国虽是世界核电厂最多的国家(总数为126个)，但核电在全国发电总量中仅占16.6%。

三、美国核电厂发展状况

美国民用核电厂始建于50年代，那时的建造费用甚为低廉，核燃料尤其便宜。因此发展核电厂比火力电厂(烧油或煤)有利得多。美国每年的电力消耗量不断上升。在1975年以前的40年中，每年用电增长率平均为7%。需要的电厂数每10年要增加一倍。如此一来，全国各大电力公司都竞相发展核电厂，到1974年可以说是高潮时期，当时美国政府的报告估计，核能发电到1990年时将达到全国发电量的40%，到2000年将达到50%。可是1975年以后核电厂的造价增长，油价也上涨，电力公司发电成本增加，电费相应上涨。自1975年以后，实际用电增长率逐年减低，而且，由于电价上涨促使美国人开始节约用电，发电量反而过剩，许多电卖不出去，于是电力公司不得不将原来拟兴建的电厂作延期调整。有的延期五年，有的延期十年，还有的把原来计划兴建的电厂干脆取消。即使如此，美国电力公司每年仍有30%以上的储备电力未能卖出。

从表3中的数据可看出，1980~1983年美国的电力消耗增长率非常缓慢，而1982年的储备电量竟高达39.9%，换句话说，就是发电厂太多了。这就是为什么自70年代以后许多美国电力公司纷纷将原来拟兴建的电厂延期或取消的原因。这实际上也是一种“调整”。

表3 美国用电量、生产电量、储备电量及用电增长率

年 代	用电量 亿度	生产电量 亿度	储备电量 %	用电增长率 %
1975以前	—	—	—	7.0
1976	18 496	20 510	34.5	6.7
1977	19 508	21 456	31.1	5.5
1978	20 178	22 323	34.1	3.4
1979	20 844	22 737	36.3	3.3
1980	21 261	23 149	30.7	2.0
1981	21 507	23 368	35.8	1.2
1982	20 997	22 840	39.9	-2.4
1983	21 598	23 609	36.7	2.9
1984	22 806	24 779	34.1	5.6
1985	23 059	25 420	37.2	1.1
1986	23 553	25 697	35.2	2.1
*1987	24 369	26 513	34.0	3.5
*1988	24 995	27 169	34.4	2.6
*1989	25 075	27 256	33.6	0.3
*1990	25 503	27 671	31.7	1.7
*1991	26 261	28 493	30.4	3.0
*1992	27 058	29 358	28.1	3.0

* 表示估计数字。上述资料取自美国《电世界(Electrical World)》杂志1987年9月

美国核能电厂的兴建，自60年代到70年代可说是黄金时期。但至70年代后期，实际用电量锐减(电费猛增，人们不得不节省用电)，首当其冲的就是核电厂，根据1979年1月1日的统计，美国当时还有198个核电厂(其中包括72个已经投产的核电厂)，到1987年8月，美国核电厂减为126个，即在这一段期间内有72个核电厂被取消。据笔者所知，有的厂已经完工60%，有的厂主要设备早已购妥运到工地了，由于种种原因，这些厂都遭到停建的命运。造成人力财力上惊人的损失。

美国核电厂的数目减少，除了上述原因之外，还有经济原因。那一段时期的通货膨胀，利息高涨，都给电力公司带来种种财务上的困难。而对于核电工业打击最大的莫过于1979年3月28日发生的“三里岛”事件。顺便一提的是“三里岛”事件乃是人为的错误造成的。但这一事件并未造成任何人员的伤亡。

其次再看看美国过去10年中，核电厂与火力电厂投产的比较。由表4中我们看出美国电厂的兴建仍以火力电厂为主，核能居次。这个趋势仅能维持到1990年。如果没有什么变化的话，最后一个兴建的核电厂将于1996年投产。根据1987年8月核新闻杂志的估计，美国的126个核电厂投产后，每年将可生产116 939兆瓦的电能。这就相当

于全世界核电厂总产量的27%，是苏联的2倍，日本的3倍和法国的1.7倍。

表4 美国每年投产的火力电厂与每年投产的核电厂发电量的比较(以兆瓦计)

年 代	火力电厂发电量	核电厂发电量
1976	11 908	4 457
1977	16 506	6 530
1978	14 454	2 162
1979	10 999	1 874
1980	14 214	2 887
1981	6 506	4 286
1982	9 125	3 126
1983	5 256	4 210
1984	4 035	3 286
1985	5 525	9 099
1986	7 072	11 019
* 1987	3 373	7 890
* 1988	1 788	5 470
* 1989	2 746	5 627
* 1990	731	2 420
* 1991	3 584	855
* 1992	2 030	0

* 表示估计数字

表5 美国电力公司的投资额(以1987年美元作基准, 单位——百万美元)

年 代	电厂投资	输 配 电 及其他投资	总投资额
1976	30 608	15 801	46 409
1977	33 246	15 005	48 251
1978	35 853	13 558	49 411
1979	37 242	15 040	52 282
1980	35 179	13 925	49 104
1981	37 540	14 045	51 585
1982	38 529	13 849	52 378
1983	35 793	14 375	50 168
1984	31 081	14 558	45 639
1985	27 410	13 598	41 008
1986	21 350	13 397	34 747
* 1987	15 530	13 522	29 052
* 1988	11950	12 142	24 092
* 1989	10 270	10 390	20 660
* 1990	8 590	10 876	19 466

* 表示估计数字。

从表5可看出, 美国电力公司投资额最多的是1976~1984年。这段时间正是核电厂兴建的旺盛时期, 需要动用大量资金。1985年以后投资额显著减低, 这是因为大部分的核电厂已先后完工投产, 而还在兴建的核电厂已所剩无几的缘故。

四、中国发展核电的有利条件

1. 中国在核技术发展方面已经有了一段相当长的历史, 对设计、建造都有相当的经验, 因此有能力发展核电工业。

2. 中国的核燃料丰富, 不需依赖外国进口, 可以独立自主。

3. 中国可以与世界上其他先进国家进行技术合作, 吸取他国经验, 可使核电厂的发展与利用更为安全可靠。

4. 中国的工资低廉, 可使核电厂的造价成本降低。在美国一个核电厂所动用的人力物力至为惊人, 仅在工地工作的员工经常都在四五千人以上。由开工到发电总得花上8~12年的时间。光是工资支出就相当惊人。根据1987年8月美国工程新闻杂志的报道, 承包工程公司向电力公司索取的费用是: 高级工程师每小时46.34~55.91美元, 普通工程师也要27.50~34.50美元。工程公司扣除营利及其他开销后付给员工们的薪金自然没有上述的数字那么高, 然而从这些数字也可以看出来美国核电造价高得惊人。在美国如果要建造一个110万千瓦的核电厂, 现在的造价至少要30~50亿美元。例如: 美国乔治亚州的福高(Vogtle)核电厂, 两个110万千瓦共用去90多亿美元。德克萨斯州的康满祺皮克(Comanche, peak)核电厂, 两个110万千瓦也用去80多亿美元, 而伊利诺伊州巴伦(Byron)核电厂的两个110万千瓦于新近完成, 只用去45亿美元, 可见核电厂的造价差别极大, 内中原因复杂, 在此不予多述。笔者认为中国要造这样的核电厂, 不但可以造得一样多, 而且连一半的价钱都不需要。

五、建造核电厂的一些基本原则

笔者自1970年2月开始, 曾参加过多种核电厂的设计、施工与检查工作。对于核电厂的设计过程, 工地施工情形, 以及在检查时期所遭遇的种种问题, 都有所经历。我想根据自己的实际体验, 给国内同业们提一些参考。下面所列的仅是些基本原则, 实际上是极为复杂的。

设计要保守, 计算要谨慎。

施工要严格, 处处要细心。

程序要明确, 考虑要详尽。

检查要彻底, 试验要精密。

操作要留神, 安全是根本。

上面所列的几项原则, 看起来简单通俗, 实在没啥学问, 可是实行起来并不那么简单。实际发生的许多问题, 都是没有遵守上面的原则所致。试举几个实际例子: 根据1987年10月12日出版的

美国核能规章委员会内幕消息 (Inside NRC), 美国田纳西州河管局 (TVA) 的赛可亚 (SEQUIYAH) 核电厂在设计上所出的问题很多, 田州河管局的工程师们于1985年时发现反应堆外壳钢结构大楼 (Steel Containment) 的地震分析出了错误。新的计算是该大楼顶部的地震加速度比原先计算的大了七倍, 这是第一点。第二点是该局的设计审核工程小组在进行审核时, 竟也连普通计算上的错误都找不出来, 例如在分析混凝土墙与地板层时, 剪力未曾考虑在内。在地震分析主要设备如水或油槽 (Tank) 支撑时, 未曾考虑地震时翻转的可能性。其次在管道支撑方面的计算, 也错误多端, 到目前为止, 该局已重新分析了5,000个管道支撑, 赛可亚两个核电厂均为110万千瓦, 分别自1981年及1982年开始投产, 直到1985年发现问题时, 该局才予以关掉, 并在这两年把许多问题找出来后予以改正, 预计1987年底或1988年初开始发电。除了赛可亚核电厂之外, 田州河管局还拥有“布朗斯发锐” (Browns, Ferry) 三个105万千瓦的核电厂。这三个厂建在同一个工地, 分别自1974、1975及1977年投产, 每年该局生产300万千瓦的电能。这三个厂也因为发现许多问题于两三年前关掉。所以原来田州河管局所拥有的5个生产的核电厂, 现在全部停下来了。为此该局财政上的损失是无可估计的。另外一个例子是关于美国费城电力公司的皮齐巴顿 (Peach Bottom) 核电厂。美国核能规章委员会于1987年3月24日得到的消息是该厂控制室的员工在当班时打瞌睡, 这是非常严重的事情, 因为核电厂的运行, 操纵在控制室的人员手里。这些人要是睡着了, 核电厂出了问题, 后果就不堪设想了。结果在3月底核规章委员会下令将该厂关掉。其他的例子还很多, 不能一一叙述, 这是在美国方面发生的事情, 在中国有没有呢? 也有, 根据1987年10月13日美国《中报》报道, 大亚湾核电厂的地基工程出了差错, 第一层的混凝土填满后才发现少放了316条钢筋。由上面的例子可以看出, 核电厂的设计、施工、检查, 甚至于操作等都可能出问题, 怎样来消除这些问题呢, 那就要靠员工们的工作态度了, 要使员工们经常接受适当训练, 能够有充分能力胜任专业技术工作。同时还要牢记前面所列的那些原则。这样, 发生的问题就可大大地减少。

六、核能电厂的展望

首先让我们来看看美国的情形, 到1987年9月止, 全国已有106个核电厂投入生产 (分布于32个州)。从1973年起核能电厂 (与火力电厂相比) 已

替美国节省了大约350~600亿美元。在安全方面, 1979年3月“三里岛”核电厂发生严重事件在当时曾经轰动全美国, 震惊全世界。事隔八年以后的今天, 许多研究三里岛事件的报告出来了, 除了核电厂本身受到损坏外, 没有任何一个人受到伤亡, 对核电厂周围的环境与人员也没有发现任何不良的影响。再进一步来看, 在过去的30年中, 美国在发展核电技术的安全记录上没有一个人遭致死亡。美国核电厂运行 (发电) 的历史将近30年了, 其反应堆的操作经验总计已经超过1050堆年。由以上记录我们可以看出, 美国核电厂的发展与运用是相当安全的。此外, 美国核电厂的设计方面也是非常保守的。凡计算、施工、检验、调试、操作各方面, 都必须达到政府所订的各项标准, 即以安全为首要目标。下面我们来看看美国的电力需求与核电厂的关系, 最近美国橡树园 (Oak Ridge) 国家实验室的一位著名科学家提出的一份报告引起了全国的注意。该报告列举事实, 强调美国的电力需求量每年最少也得增加1500万千瓦, 换句话说每年需要新建15个100万千瓦的大型发电厂。根据这样的需求, 如果光靠烧煤来发电, 则煤的产量必须加倍。这是不可能也是不切实际的, 而其他发电的途径也各有其困难, 因此, 核能电厂的发展一定还会再度兴起。这是美国的情形。现在让我们来看看世界上其他国家的情形, 根据国际原子能总署 (IAEA) 1986年底的资料, 仍在兴建核电厂的几个主要国家如表6所列。可见世界上的工业先进国家, 目

表6 仍在兴建中的核电厂及其发电量

国 家	核电厂数目	发电量 (兆瓦)
加 拿 大	5	4 361
捷克斯洛伐克	9	5 508
法 国	14	17 809
联 邦 德 国	4	4 052
民 主 德 国	6	3 432
日 本	10	8 432
英 国	4	2 520
美 国	21	23 301
苏 联	32	29 910
中 国	1	288

前仍有相当数目的核电厂在兴建中。日本、法国、联邦德国、英国, 由于地理条件及资源的限制, 必将继续发展核电工业。美、苏两国由于用电量的不断增长, 光靠火力发电是不够的, 因此核能电厂的兴建也势所难免。此外, 根据1987年2月出版的一份报告指出, 日本在1985年利用核能电厂发出的电量约占全日本发电总量的25%。(下转第27页)

除了指导教师本身水平有限造成选题不当外, 指导思想上的错误也害人不浅。我们往往喜欢学生选有把握的课题, 不大敢选冒险性、挑战性课题, 实际后果是让学生跟着教师亦步亦趋。美国的教师则敢于让学生去闯, 这很有利于形成青出于蓝而胜于蓝的格局。我国现在建立了论文答辩制度, UCLA研究生在确定毕业论文选题时要经过答辩。我认为根据我国国情, 更需要这种论文选题答辩制度。一来集思广益, 更好发挥少数专家权威的作用, 二来也防患于未然, 免得青年人在一些陈旧、落后、无关紧要的选题上浪费精力。

第四, 改革毕业分配制度, 实行试用制, 提倡竞争、淘汰。中国一上大学, 淘汰就很少了, 研究生更不用说。一个人毕业后分配到一个单位, 从此生老病死都在那儿, 明明不称职, 也能一直混下去。这种人多了, 自然就形成一种庸俗气氛, 那些后来居上者则被压在一些难于施展才能的角落里。淘汰一个人, 似乎就违反了社会主义原则。二十多年“左”的这一套, 使我们的科学研究单位、高等院校、企事业单位、政府机关, 都背着一个沉重的包袱。淘汰, 对被淘汰者也许是一种残酷, 但不这样就不能维持一个生气勃勃的社会, 而且对被淘汰者也未必就是残酷, 因为这样做可以让他早些认识自己的才能所在。一个人在这方面无

才能, 并非表明他在其他方面也无才能。勉强留在一个不称职的位置上, 实际上也是束缚了他的才能, 何不让他去试试别的可能性呢? 因此建议, 今后用人采用试用制。

大学毕业, 研究生毕业, 正是一个人风华正茂的年代, 试用制度对他们可以形成一种压力, 逼他们努力奋斗, 做出优异成绩, 去争取最好的工作位置。美国博士后大概是竞争最激烈的阶段。目前美国物理学界一个像样的博士后职位总有几十个人去竞争; 一个有可能取得永久职位的位置, 会有上百人去竞争。原则上这些职位是向全世界开放的。正是这样, 逼着那些30岁左右的人做出成就来。有人说美国是儿童的天堂, 青壮年的战场, 老年人的坟场, 这话不无道理。一个社会如果不是青壮年的战场, 不逼着青壮年去奋斗, 这个社会怎能前进呢? 儿童时代轻松活泼一点, 更有利于儿童向多才多艺发展! 而从小把小孩子逼上考大学的独木桥, 进了大学也未必能成才。另一方面, 试用制度还可以防止有些单位把那些“千里马”关在马圈里, 阻碍人才成长, 浪费人才的现象。

以上仅凭个人所见所闻, 写下一些粗浅见解, 以表海外学子关心祖国的心意。

(上接第45页) 而到2000年时核能电厂所产生的电量将高达40%, 那时候火力电厂约占17%, 水力发电约占20%。由此看来日本将继续发展其核电工业, 并且核电工业将高踞其他发电工业之首。

中国由于地理条件的限制及资源分布不均, 有些地区大力发展火力电厂殊属困难, 因此可利用核能电厂弥补其不足。

七、结 语

中国应该发展核电吗? 回答是肯定的, 其理由如下:

一、世界上核能电厂的操作与运转已有30年, 有400个核电厂正在为世界上26个国家发电。其反应堆的操作经验相当于4210堆年 (Reactor-Years), 中国可以利用这些积累的经验发展核电工业, 为安全发电提供有力保证。

二、中国已经建造了十多个不同形式的反应堆, 已经累积了相当于160堆年的操作经验。因此中国

是有能力发展核电工业的。

三、中国工资低廉, 除了主设备要花大钱外, 总造价将比世界上其他国家便宜很多。这就给中国带来了巨大的潜力, 将来中国不但可以发展核电自用, 而且还可以向国际进军, 为别的国家提供核电厂的有关服务。这些看来虽觉遥远, 但并非不可能。

四、中国在发展核电厂时应尽量采用标准化方式, 先发展60万千瓦的标准电厂, 再发展90万千瓦的标准电厂。这不仅可以缩短建造时间, 而且也可以节省人力物力。在美国建造一个110万千瓦的核电厂, 一般说来要花6~12年之久。中国如果发展标准核电厂, 预计建造的时间不会超过六年。

五、核电厂的设计、施工、建造与运行所牵涉的范围极为广泛, 从事核电厂的发展, 还能使国家科学技术在多方面向前推进。