

台湾的核电事业

NUCLEAR ELECTRICITY IN TAIWAN

我国的台湾省，从六十年代起大规模引进西方的现代技术，经济发展较快，需用大量的电力。台湾唯一的电力开发机构是台湾电力公司，经营所有发电站的建造、运行和销售；其拥有的发电设备容量1964年为275,000千瓦(实际有效的为34,000千瓦)，目前已超过1400万千瓦，其中核电设备容量已超过1/3，核发电量在1984年已占总发电量的47.9%。

一、核电发展概况

台湾本岛能源资源有限，据1982年末发表的能源资源储藏量：煤为2亿吨，石油16.9亿升，天然气247亿立方米，水力5300兆瓦(至1983年末已开发1431兆瓦)。因此，随着工业的发展，愈来愈多的能源依赖于进口。1964年进口能源占总消费的30%以下，到1984年已占总消费的89%。进口能源中主要是石油，约占进口外汇的五分之一。从1982年的能源资源生产量来分析，自产部分占13.9%，其中煤5.2%，石油0.4%，天然气4.5%，水力3.8%。

进口部分占86.1%，其中煤(包括制品)12.5%，石油(包括制品)63.3%，核能原料10.3%。为了减轻对进口化石燃料的依赖性，将原有燃油发电改为燃煤或煤油混烧，同时开始发展核电事业。核发电量1977年仅占总发电量的0.31%，到1984年已达47.9%；燃油发电从1980年的59.8%降至1984年的19.1%。核电成本较低，还不到燃油发电的一半，这更加速了核电的发展，计划至2000年台湾核电比例要增至总发电量的52%。

目前台湾有三座核电站，第一

座为金山核电站，第二座为国圣核电站，均设在岛的北端沿海，第三座为马鞍山核电站，在岛的南端。每座核电站各装有两台机组，都是美国制造，如表1所示。

各核电站的进度，由开始浇灌混凝土算起，至正式投入商业运行，约需六年左右的时间。

台湾核电站机组的主要特性如表2所示。

1977年，台湾总发电量的组成比例如表3所示，1984年核电所占比例已经超过了火电的比例，达47.9%。

表1 台湾核电站

站名	核蒸汽系统			汽轮机/发电机	
	制造厂	型式	热功率 万千瓦	制造厂	电功率(毛/净) 万千瓦
金山1号	GE	BWR 4	177.5	WH	63.6/60.4
金山2号	GE	BWR 4	117.5	WH	63.6/60.4
国圣1号	GE	BWR 6	289.4	WH	98.5/94.8
国圣2号	GE	BWR 6	289.4	WH	98.5/94.8
马鞍山1号	WH	PWR	277.5	GE	95.1/89
马鞍山2号	WH	PWR	277.5	GE	95.1/89

注：GE——通用电气公司 WH——西屋公司

表2 台湾核电机组主要特性表

项目	堆 芯					冷 却 剂				汽 轮 机		
电站名	设计电功率 (兆瓦)	燃料装载量 (吨)	有效尺寸 高/直径 (米)	燃料元件 数	设计燃耗 兆瓦·天/吨	设计压力 公斤/厘米 ²	入口温度 (℃)	出口温度 (℃)	主泵台数和 流量 (吨/时)	转 速 (转/分)	主汽压力 (公斤/厘米 ²)	主汽温度 (℃)
金山1,2	636	76	3.66/3.47	408	26800	71.9	215.5	284	2×5260	1800	67.8	282
国圣1,2	985	114	3.76/4.18	592	27500	73.2	215.5	284	2×5600	1800	66.4	280.8
马鞍山1,2	951	66.5	3.6/3.04	157	50000	153	290	326	3×16300	1800	62.2	290

表3 台湾近年发电量组成比例(单位%)

年 份 (财政年度)	火 电			核 电	水 电
	石 油	煤	合 计		
1977	86.24			0.31	13.45
1978	78.31			7.34	14.35
1979	72.16			15.85	11.99
1980	59.80	13.94	73.74	19.14	7.12
1981	51.93	10.85	62.78	25.34	11.88
1982	48.04	9.72	57.76	30.61	11.63
1983	32.41	16.83	49.24	39.85	10.91
1984	19.10	24.10	43.20	47.90	8.90

表4 近年发电设备容量和发电量(台湾电力公司)

年 份	设 备 容 量 (兆瓦)				发 电 量 (兆度)			
	火 电	水 电	核 电	合 计	火 电	水 电	核 电	合 计
1976	4519	1365	—	5884	23,679	4282	—	27,961
1977	5019	1365	636	7020	26,847	4023	98	30,968
1978	5019	1392	1272	7683	28,210	4966	2670	35,846
1979	5519	1392	1272	8183	28,650	4567	6330	39,547
1980	6398	1386	1272	9059	31,482	2926	8198	42,606
1981	6515	1387	2257	10,159	26,469	4791	10,688	41,928
1982	7240	1387	3242	11,869	24,859	4781	13,084	42,724
1983	7740	1431	3242	12,413	*22,412	*4409	*18,138	*44,959

• 为减除厂用电量后的净输出电量。

表5 台湾核电站的负荷率(%)

年	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
金山1号	1.8	47.8	55.2	72.8	87.3	52.5	80.0	84.6
金山2号	—	0.2	58.4	74.0	75.2	80.3	77.4	84.2
国圣1号	—	—	—	—	18.7	51.1	56.7	71.6
国圣2号	—	—	—	—	—	14.9	60.8	69.1
马鞍山1号	—	—	—	—	—	—	—	35.8

表6 核电的开发计划

核电站	机组号	容 量(兆瓦)	预计投入期	堆 型
第四座核电站	盐寮1号	1000(900~1000)	1994. 3	LWR
	盐寮2号	1000(900~1000)	1995. 6	LWR
第三座核电站	马鞍山3号	1000(1200~1300)	1999. 6	
	马鞍山4号	1000(1200~1300)	2000. 6	
第二座核电站	国圣3号	1000	2000	

表4是台湾电力公司近几年发电设备容量和发电量的变化。可以看出1983年核电容量虽只占1/4,但发电量已占40%,可见核电站较火电水电有较高的利用率。各机组

的负荷率如表5所示。反应堆由于故障而快速停堆的平均次数为3~4次/堆年。台湾电力公司为了提高堆的运行性能,计划缩短因装燃料而停堆的时间,争取第一

次换料为60天,以后换料要做到45天,两次换料间隔的运行周期要延长到18个月。

核电的燃料目前都是从美国进口。因台湾没有铀矿和开发浓缩的能力,已与美国签订合同供应前八台机浓缩燃料的70%;现在正与法国核燃料公司举行会谈,希望购买其浓缩燃料,但最早可能在1988年供应一部分。

燃料的后处理目前还没有安排计划。现在是将低放射性废料储放在台湾岛南端以东75公里,面积为45平方公里的兰屿岛上。从核电站来的桶装核废料储存于周围6英尺混凝土的地下库内。设有检验放射性泄漏的水井,如有泄漏可经过稀释后排入大海。该处估计至少可储存100年。至于高放射性废料,目前是存放在核电站内,每个核电站都有足够的放置处,可容纳4~6个堆的废料,所以还可以放一段时间。

台湾核电的发展,后来有一段适当放慢了进程。原计划的第四座核电站(盐寮)由于经费原因搁置了两年,现在又批准建设而重新招标,据说已经筹集了工程所需费用的40%。为了进一步减少对石油的依赖性,至2000年计划有11台核电机组投入运行,其总功率达10,140兆瓦(一说是14台机组,总功率12,144兆瓦)。台湾核电的近期开发计划如表6。

二、对台湾核电发展的几点分析

1. 核电的经济性优于火电

1984年台湾核能发电成本为每度电2.5美分(包括后处理费用),而燃煤发电的成本为每度电4.4美分,燃油发电为每度电5.6美分,核电发电成本还不到燃油发电的一半。所以虽然核电的投资要比火电高,但总的算来还是经济的。台湾电力公司的各类电站的发电成本见表7。从表中可以看出核电的成本低,主要由于燃料费用低,火电占

表7 1984财政年度各类发电成本比较 (美分/度)

项 目	核 电	燃油发电	燃煤发电	水力发电
燃 料 费 用	0.557	4.391	3.130	—
折 归 费 用	0.785	0.660	0.653	0.837
维 修 费 用	0.158	0.141	0.148	0.262
其 他 费 用	0.136	0.115	0.172	0.381
贷 款 利 息	0.576	0.311	0.308	0.581
后 处 理 费	0.315	—	—	—
合 计	2.527	5.618	4.411	2.061

表8 台湾核电站计划投资费用

电站名	毛 出 力 (兆瓦)	堆 型	总 费 用 (亿美元)	单位造价 美元/千瓦	
				包括堆芯	不算堆芯
金 山	2 × 636	BWR4	6.52	514	475
国 圣	2 × 985	BWR6	16.39	832	744
马 鞍 山	2 × 951	PWR	24.40	1284	1217
盐 寮(预计)	2 × 1000	LWR	44.60	2230	

70%以上,核电仅占20%左右。

2. 台湾核电站的建设费用较低

台湾电站的建设费和每千瓦设备的造价如表8所示,可以看出造价是比较低的。例如,与马鞍山核电站同时期建造的美国23个核电站(已完成80%以上)比较,其单位造价大部分在1500~2500美元/千瓦之间。

另外,台湾已建成的三座核电站,都是双机组,第一台建成后接着第二台,投入运行的时间前后相差最短7个月,最长15个月。这对核电站的运行调试、管理、培训等都有利。前一台机组的经验可以及时应用于后一台,基建力量也便于安排、管理。如果一座核电站装备机组更多(例如法国以4台机组为典型),其建设费用和发电成本还可以进一步降低10%。

3. 有一套核能管理体制和机构

前面已讲过,台湾电力公司是台湾唯一的电力公司,也负责核电

站的计划开发、运行管理、质量监督、在役检查等业务,设置各有关部门进行管理。公司共有二万多名工作人员,其股份组成为台湾政府占63%,省政府占31%,个人及法人为6%,由“行政院”经济部进行监督业务。“行政院”设有原子能委员会,约有100名职工,其中60名技术人员进行核能管理事宜,并在每一个核电站设一名驻厂检查员。原子能委员会对下设三个机构进行监督管理,即核能研究所,辐射侦测工作站和放射性废料管理局。

核能研究所始建于1968年,至1985年中期有雇员1166名,其中有521名科学家和工程师,569名技术人员和76名行政管理人员。其工作范围涉及反应堆物理、化学与安全分析、新燃料的开发、废物管理研讨、矿藏资源研究等方面;其设备有研究用反应堆,燃料制作实验室,强放射性物质研究实验室(热室),低放射性废料库以及钴60放射性辐照

加工厂,可以看出,核能研究所不是搞基础理论研究而是密切联系核电站的实际进行工作,如最近对一座核电站进行概率风险评价,还进行无损检验人员的培训等。辐射侦测工作站有职员约40名,对核电站的各种排放物质进行审查校核工作。废料管理局也有约40名职员,对低放射性废物处理、运输和贮存进行规划和管理。

台湾电力公司还参加了美国的核电运行研究所(INPO),与它的核数据报告系统网联机,它也对台湾电力公司的核电站进行评价。台湾电力公司也是美国电力研究所(EPRI)的核安全分析中心的成员。

4. 重视培训

台湾电力公司比较重视核电工作人员的培训,早在五十年代中期就着手培养一批掌握核能技术的骨干力量。从1968~1983年,共有700多人被派到别的国家(主要是美国)去学习,包括到反应堆制造厂、公用设备制造厂、建造部门、管制部门及大学接受教育和培训。他们强调送出去学习的人员要具有学位和三年的工作经验。

台湾电力公司的反应堆操作人员有3/4具有合格证和学位,其他1/4是公司按照自己的要求培训出来并且承认其学历的。对于维修人员则在模拟装置上进行培训。

目前每一座核电站都设有一台模拟机。金山核电站的BWR-4型模拟机已在1976年运行。马鞍山核电站的PWR模拟机,于1982年运行。国圣核电站的BWR-6型模拟机在去年夏季才完成。此外台湾电力公司正在兴建一个集中的核电培训中心,以加强对人员的培训工作。

(董树善整理)

· 更正 ·

本刊1986年第三期(总第十期)将美方顾问编委吴先标博士的姓名误排在美方编委名单中,现在本期中改正,特致歉。