

日本火电技术发展的新特色

乐永卓

(东方锅炉厂)

[提要] 本文介绍了日本电力工业发展概况,列举实例说明日本已从发展燃油火电转向发展核电和燃煤火电。本文着重介绍了日本火电技术的发展特色。

关键词: 火力发电 日本 发展 科技情报

一九七三年石油危机给以燃油火电为主的日本电力工业以致命的打击,促使日本致力于发展核电和燃煤火电。从近年来日本的发电量及装机容量变化可看到这一趋势。

日本一九八五年的发电量比一九八四年增加了3.8%,约为5 788亿度。其燃油、燃气(天然气、石油液化气及燃煤的发电量构成比是24%、24%及10%。与一九八四年相比燃油火电下降幅度较大(17.9%),而燃煤火电增长较快(12.9%)。

在装机容量方面,一九八五年日本全国火电装机达9 145万千瓦,核电2 452万千瓦,火电3 306万千瓦。其比例是61:17:22。而火电中燃油、燃气及燃煤的比例是32:22:7。一九八六年末火电的装机容量增至10 945万千瓦^[1]。

预计到一九九五年末发电设备构成比例变化是(与一九八五年比较):燃油从32%降至22%;燃气从22%增至24%;燃煤从7%增至11%。到一九九四年末新增设的机组容量是:火电3 047万千瓦;核电2 697万千瓦;水电875万千瓦;使一九九五年全国总装机容量达20 314万千瓦^[1]。

综上所述,日本电力2000年前的总趋势是:燃气火电发展平稳,核电、燃煤火电发展迅速,将逐渐改变日本过去长期以燃油火电占优势的电力结构。今后十年内日本发电能源构成见表1。

表1

1985~1995年日本电力能源^[1]

装机容量单位:万千瓦

种类 年代	核	水	煤	气 (液化天然气液化 石油气)	地 热	油	总 计
1985	17% 2 452	22% 3 306	7% 994	22% 3 320	18	32% 4 831	14 921
1990	18% 3 148	21% 3 639	8% 1 324	25% 4 402	24	28% 4 821	17 258
1995	23% 4 648	20% 4 130	11% 2 145	24% 4 819	79	22% 4 495	20 314

本文收到日期:1987年5月2日

近年来日本火电技术的发展有以下特点:

1. 大容量燃煤机组的崛起与燃煤技术的开发

近年来发电机组的大容量化(表2, 3), 尤其是燃煤大机组的崛起引人注目。1955年最大单机容量为6.6万千瓦。1965, 1969及1974年就分别投运了32.5万、60万及100万千瓦容量的机组。至今已造成5台100万千瓦的燃油、气机组。大型的燃煤机组自1981年投运两台50万千瓦机组后, 又发展了70万千瓦级的燃煤机组。目前正全力投建两台100万千瓦的燃煤机组。

表2 1985年以来日本投运的与正投建的大型火电机组^[1]

公司名称	机组名称	功率 万千瓦	汽压公斤 力/厘米 ²	汽温 °C	汽机 制造厂	锅炉蒸发 量吨/时	炉型	燃料	锅炉制 造厂	投运时间
东京 电力	广野№3	100	246	538/566	日立	3190	变压直流炉	重油	三菱	1989.7
	东扇岛№1	100	"	"	东芝	3120	"	天然气	日立	1987.9
	" №2	100	"	"	三菱	"	"	"	石川岛	1989.9
东北电力	熊代№1	60	250	538/538		1920	"	煤		1991.12
北海道 电力	知内№2	35	246	538/566	东芝	1130	"	油	石川岛	1996年后
中部 电力	川越№1	70	316	566/566	东芝	2150	"	天然气	三菱	1989.7
	川越№2	"	"	"	"	"	"	"	"	1990.7
	尾鷲三田	50	246	538/566	"	1650	"	油	日立	1987.6
关西 电力	赤穗№1	60	246	538/566	三菱	1900	"	"	三菱	1987.8
	" №2	"	"	"	东芝	"	"	"	石川岛	1987.12
	官津研究所 №1	37.5	246	"	三菱	1260	"	"	三菱	1989.8
	№2 南港№1	60	246	"	富士电机	1240 1920	"	天然气	川崎 三菱	1989.12 1989.11
中国 电力	大崎№1	50	246	538/566	日立	1730	直流变压炉	油, 气	日立	1986.4 1987.2
	新小野田№1	50	246	"	东芝	1670	"	煤, 油	石川岛	
	" №2	"	"	"	"	"	"	"	"	
九州 电力	川内№2	50	246	538/566	三菱	1700	"	油	石川岛	1985.9
	松蒲№1	70	"	"	日立	2300	"	煤	三菱	1989.7
电源 开发	松蒲№1	100	246	538/566	三菱	3170	"	"	日立	1990.7
北海道 电力	苫东厚真 №2	60	246	538/566	日立	1920	"	煤	石川岛	1985.10

注: 石川岛-石川岛播磨重工, 三菱-三菱重工, 川崎-川崎重工

表3 日本目前正在准备开工投建的大型火电机组^[1]

公司名称	机组名称	功率 万千瓦	燃料	公司名称	机组名称	功率, 万千瓦	燃料
东北电力	厚町№1、2	100	煤	中国电力	柳井№1、2	70	气煤
	熊代№2、3	60	"		三隅№1、2	70	"
东京电力	广野№4	100	油, 气	九州电力	松蒲№2	70	"
北陆电力	七尾№1	50	气煤		苓北№1、2	70	"
	敦贺№1	50	"		新大分№2	87	气
关西电力	南港№1、2	60	气	电源开发	松蒲№2	100	煤
				相马共同	新地№1、2	100	"

日本电力部门计划2000年前将投运10台100万千瓦级和7台70万千瓦级燃煤机组。2000年前后日本火电主力机组是50~100万千瓦级,主要带中间负荷,核电水电带基本负荷,抽水蓄能电站带尖峰负荷。

日本新建的大型燃煤电站主要烧从中国、美国、澳大利亚等进口的煤。一台锅炉烧多种煤,必然造成其燃烧、排渣、吹灰及磨煤等运行条件频繁变化。为了提高锅炉对此的适应性,近年来研制并推广使用了微机燃烧及运行管理系统。该系统的特点是微机分散型数字式自动控制。值得一提的是,1985年研制出利用光导纤维监测锅炉煤燃烧的监控系统。该系统可以精确测定炉膛内几十个燃烧器中每一个的燃烧状态,准确快速测定 NO_x 量及烟气量,以提高锅炉的运行效率^[3]。此外,近年来又开发了低 NO_x 的 PM 燃烧器,燃低挥发分煤的 PM 燃烧器,以及燃无烟煤的 U 型燃烧器^[4]。 PM 燃烧器的结构特点是在每只燃烧器前装设一特制的煤粉分配器,一定浓度的风粉混合物流经分配器时,分成不同一次风煤比的浓淡两股煤粉气流,分别通过各自喷嘴送入炉内燃烧。该燃烧系统已在两台出力为1160t/h锅炉上获得成功的运用。拟定在1985年1月中标的中国山东黄台30万千瓦机组锅炉上使用。用于烧挥发分10%以下无烟煤的 U 型燃烧器结构及原理至今未透露。此外还研制成功了新型的火焰扫描器—— $OPTIS$,以代替误差大,且视野窄,用光谱分析的旧式火焰扫描器。该新型扫描器是摄像机直接捕捉火焰,经微机分析火焰图象信号,并转换成火焰亮度分布图^[4]。

2. 广泛采用超临界变压运行方式^[6]

日本发展火电机组的超临界参数起步较晚,却相当成功,不象美国曾有过反复。从60年代初期引进超临界技术,到1974年引进变压运行的超临界技术,再到80年代发展超超临界技术,短短二十余年,跳越了亚临界阶段,把超临界技术发展的速度与质量推到目前世界之前列。美国电力研究协会(EPR)认为,超临界技术水平目前最高的是日本,而机组数量最多的除美国就是苏联(约250台)^[6]。(我国发展超临界机组才起步,上海石洞口电厂60万千瓦机组拟采用超临界参数)。

日本发展超临界机组特点是后来居上,快而稳。日立公司1961年首先从美国引进首台60万千瓦超临界机组。锅炉为美国 BW (拔伯葛)公司的 UP (通用压力)直流炉,汽机为美国 GE (通用电气)公司产品,蒸汽参数为 $246kgf/cm^2$, $538/538^\circ C$,于1967年底投运。这就是姉崎电厂No1机组。该电厂继后又投运了No2、3机组。这两台与No1机完全一样,不过1969年投运的No2机组自行仿制,1971年投运的No3机已完全国产化。所以说姉崎电厂No1~3机组是日本发展超临界技术的缩影——从引进技术到利用许可证生产,再到采用本国技术,制造出成熟的国产化机组。这个过程只用了10年。继日立之后,三菱重工、石川岛播磨、川崎重工等公司纷纷分别引进美国 CE 复合循环炉、 FW (福斯特惠勒)炉及本生炉,并使之国产化,形成了各自的锅炉技术流派。

从1967年第一台超临界机组投运到1983年底,日本已投运了约72台,总容量为4200万千瓦,占火电总装机容量的48%。投运机组中60万千瓦级最多。汽压大部是 $246kgf/cm^2$,汽温以 $538/566^\circ C$ 、 $538/538^\circ C$ 的一次再热占优势。两次再热以 $538/552/566^\circ C$ 为最

多。投运的最大容量的定压运行超临界机组为5台100万千瓦机组。

日本超临界机组运行可靠性也是相当高的,很少有因汽压引起的事故。

日本最初引进变压运行超临界机组是川崎重工公司60年代初从西德引进螺旋管圈本生炉技术开始。通过多年的实践与对比,日本三大公司发现此炉型能经济地快速启停与变压运行,而美国的垂直管屏UP炉、复合循环炉难以适应此要求。因此三大公司从1974年起毅然地引进西欧的螺旋管圈直流炉技术。这与美国举棋不定的态度恰恰相反,日本果断而成功地改造了定压运行炉型,将超临界机组推向更完善的阶段——变压运行,使日本超临界技术保持了世界前列的地位。

日本发展变压运行超临界机组也是经历了两个台阶^[8]:第一代机组——60万千瓦燃油机组相继于1980年投运。自投运以来这两台机组运行良好。但是,日本燃料政策对变压运行机组也要求燃煤。这就迫使发展燃煤的螺旋管圈直流炉的火力机组——第二代变压运行超临界机组。1985年9月投运了完全国产化的60万千瓦全燃煤机组,其锅炉就是IHI—FW SOVR超临界变压运行再热式螺旋管圈直流炉,蒸汽参数为:255kgf/cm², 541/568℃,出力为1920t/h^[9],从此,大容量的燃煤螺旋管圈直流炉在日本的发展方兴来艾,三大公司都设计了100万千瓦级的这种燃煤变压运行机组。60万千瓦级大机组甚至也是采用变压运行的每日启停(DSS)方式^[10]。

3. 超超临界压力机组接近实用化

为了进一步提高机组热效率,日本从1981年起开始超超临界技术的应用研究。

他们认为,对于火电燃料依靠国外的日本来说,最大限度提高火电机组的热效率是至关重要的,而采用超超临界参数则是达到此目的有效方式。因为主蒸汽压力从246kgf/cm²提高到316及352kgf/cm²时,电厂热效率可分别提高1%及1.4%。主蒸汽与再热蒸汽温度提高28℃,电厂热效率可分别提高1%与0.8%。再热次数从1次增至2次,电厂热效率可提高2%^[11]。100万千瓦级燃煤机组蒸汽参数,从246kgf/cm², 538/566℃提高到350kgf/cm², 620/595/595℃时,电厂热效率从41.79%增至44.08%,此时锅炉效率未变——89.56%,汽机效率从46.86%增至49.51^[12]。

日本根据未来技术开发水平的发展,预测超超临界机组发展阶段是:现行水平为246kgf/cm², 538/566℃;发展的第1阶段目标是316kgf/cm², 538~566/566/566℃的两次再热机组,可望在80年代中期实现;第二阶段是在第一阶段经验的基础上,突破一些开发技术,汽温再提高28℃,即达到316kgf/cm², 593/593/593~566℃;第三阶段是通过新材料、新结构的开发,使蒸汽参数达到352kgf/cm², 650/593/593℃,预计此目标可在1995年实现^[11]。

世界上首台超超临界机组——25万千瓦燃煤中间试验机组,由日本电源开发公司1982年开工投建,预计今年可投运。电站热效率可达44.5%,蒸汽参数最终可达350kgf/cm², 690~595℃。

现在日本三大公司均进行了100万千瓦级的超超临界燃煤机组的可行性研究。三菱重工的方案是两次再热变压运行,蒸汽参数为350kgf/cm², 620/595/595℃,热效率44.08%,烧进口煤^[3]。

开发超超临界压力机组, 标志着一个国家火电技术高度发展的综合水平。这要求解决不少重大的技术课题: 高压化方面——防止循环泵的泄漏与热应力增大, 防止阀门泄漏、腐蚀; 解决随锅炉耐压部件壁厚增大而使吊挂重量增大与热应力增大问题; 研制耐蚀钢管材料、耐蚀涂层、双层管及防蚀添加剂; 开发防止管内蒸汽氧化技术; 研究锅炉在超临界压力下的变负荷的适应性与起动性。

综上所述, 日本火电机组蒸汽参数从60年代后期引进定压运行的超临界技术, 到80年代发展变压运行的超临界技术, 直到现在又迈进了超超临界领域, 有力地证明日本火电技术发展的确是推进到世界前列的地位。

4. 积极开发大容量燃气蒸汽联合循环机组^[15, 16]

燃气轮机具有体积小、重量轻、启动快、不需大量工业用水、机动性好、运行维护方便、造价低等一系列优点。加之近年来随着燃气轮机冷却技术的进步与高温材料的开发, 新型高温燃气轮机的出现, 使人们更加重视燃气蒸汽联合循环发电方式, 以进一步提高热效率与减少环境污染。尤其是采用高温燃气轮机与现代化的煤炭氧化技术相结合的蒸汽燃气联合系统, 将大大提高发电热效率(达46%以上)。目前各国正在此领域大力开发。

日本在燃气蒸汽联合循环系统开发上的起步, 是从1971年投运的坂岳电厂22.5万千瓦联合循环机组开始的。其型式是多轴排气再燃式。汽机与燃气轮机各1台。焦炉煤气在燃气轮机内燃烧作功后, 排入锅炉中助燃, 混烧重油。其后, 1984年底投运了燃液化天然气的大型联合循环机组——54.5万千瓦机组, 1986年底投运了100万千瓦的机组。它们发电端的热效率高达43~44%^[1], 显示了此一发电方式的优越性。由于燃气轮机固有的长处, 使此发电方式有良好启停与调负荷性能, 正适合大容量电网负荷调峰用。同时在燃用气体燃料时, 机组可靠性也很高。

日本联合循环方式大部是排热回收式。即将燃气轮机高温排气导入余热锅炉, 锅炉产生蒸汽供汽机发电。这一方式对燃气轮机担任基本负荷的电厂来说, 既保持了燃气轮机简单可靠的特点, 又充分利用了余热。这也是各国常采用的形式。此外日本联合循环机组目前绝大多数都是燃液化天然气与液化石油气。将来拟采用煤气, 将煤直接用于高热效率的联合循环机组。故目前日本正在努力发展用于此方式的煤气化技术。

此外, 还努力把燃气涡轮的入口温度从1100℃提高到1300℃。日本最近又研制出中间再热循环式燃气轮机(进气温度达1300℃, 压力54kgf/cm², 排气温度608℃), 已于1984年起在东京袖浦电厂投入试验。

总之, 日本在联合循环发电技术上的发展也是令人瞩目的(见表4)。

表4 1985年后日本投运与正投建的大型燃气蒸汽联合循环机组^[1, 15, 16]

公司名称	机组名称	功率 万千瓦	压力 (蒸汽) (燃气) kgf/cm ²	温度 (蒸汽) (燃气) °C	型式	台数 (汽机) (燃机)	透平生产 厂家	蒸发量 吨/时	锅炉型式	燃料	锅炉生 产厂家	投运 年月
东北 电力	东新潟 3号系列	54.5×2	65	500	多轴排 热回收式	2	三菱 重工	194	余热 汽包 炉	余热	三菱 重工	85.10
			13.5	1154		6						
东京 电力	富津 1号系列	100	64.6	531/198	单轴排 热回收式	7	美国 GE	220	控制循环 炉	余热 天然气	美国 GE	86.11
	11.6		1145	7								
	富津 2号系列	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	88.11
中部 电力	四日市 4号系列	56	62	544/182	"	5	东芝 GE	126	"	液化气 天然气	东芝 GE	88.7
			11.6	1206		5						
九州 电力	新大分 1号系列	69	57.8	514	"	6		151	汽包炉	天然气		87.10
	12		1085	6								
	新大分 2号系列	87	"	"	"	"	"	"	"	"	"	88.10
北陆 电力	七尾大田 1号系列	55			多轴排 热回收式	1 5				液化气		87.12

5. 稳步发展沸腾炉技术

日本对沸腾炉燃烧技术的开发工作开始于1960年,迄今已经历了两个阶段,现正向高性能大容量化发展^[17]。

最初开发沸腾炉旨在用于焚烧废弃物。直接用于燃煤的沸腾炉开发是从1973年通过小型试验台开始的。1978年沸腾炉的科研工作正式列入国家计划。1979年研制出力为20t/h的试验装置。该装置于1981年投运,而后经历了三年的运行试验,到1983年进行了七种煤的试烧、脱硫、运行条件及可靠性试验,取得了许多成果,这就是日本开发沸腾炉技术的基础阶段^[8]。

在此炉的三年运行试验基础上,又致力于投建功率为5万千瓦的160t/h循环沸腾炉验证装置。该试验炉1983年设计,1985年投建,1987年上半年建成,将进行为期五年的运行验证试验。在此试验炉的成果基础上,将实现采用实用化的大型沸腾炉发电机组的计划^[18],现在已拟定了70万千瓦循环沸腾炉发电机组的初步设计方案^[1]。

沸腾炉不仅在发电机组的运用中有长足的进步,在工业锅炉中使用也较广泛。

虽然如此,日本沸腾炉技术的发展速度与规模仍落后于美国与西德。

6. 强化煤利用技术的开发^[4]

这是日本今后火电技术发展的重要趋势,也是改变日本火电对燃油过分依赖和适应能源多样化的重要措施。这方面的内容有:沸腾炉燃烧,煤气化与液化,以及煤油浆(COM)与煤水浆(CWM)的开发利用。前者上节已述。

日本COM从制备、贮运到燃烧发电,作为整个总体系统完全成熟,已开始实用化。1985年上半年第一座燃COM的新型电厂正式投入商业运行^[30]。

在CWM开发利用上也有显著的进步。日本从1985年8月至1986年12月进行了世界上迄今最大规模最多项目的CWM实炉燃烧鉴定试验。总共制备并燃烧了56 000吨CWM,锅炉烧CWM时间达3200小时。试验结果达到了预期的目的。为今后日本CWM正式投入商业化使用奠定了技术基础^[4]。

7. 日臻完善的火电环保技术^[19]

日本新建一座燃煤电厂首要的问题就是环保措施,即妥善解决随煤粉燃烧而出现的三种污染:粉尘、 SO_x 及 NO_x ,以及煤灰渣及粉尘的综合利用。随着大容量燃煤机组的崛起和社会对环保越来越严格的要求,日本在开发以锅炉排烟处理设备为中心的环保技术方面取得显著成绩。

在除尘方面,电气除尘,特别是高温电气除尘已完全普及。目前烟囱出口的粉尘浓度约为100毫克/标米³。现正在研制无泄漏式气一气加热器和半湿式电除尘器的高效除尘系统。其除尘效果可达99.8%,除尘后的粉尘浓度为30~40毫克/标米³。

在烟气脱硫方面,目前已普及了湿式脱硫技术,其效率可达90%以上。但是为了解决湿式脱硫所需的大量用水,现正在开发干式脱硫技术与廉价的活性碳。此技术采用活性碳,吸收烟气中的 SO_x ,几乎不用水。脱硫装备昂贵,几乎接近锅炉本体造价。1986年10月三菱重工访问东方锅炉厂时,公布了他们已研制出新型脱硫设备,其造价不到锅炉本体的一半。

在烟气除 NO_x 方面^[19],降低烟气 NO_x 的燃烧技术有二级燃烧、烟气再循环,低 NO_x 燃烧器等。尤其是近年开发的PM燃烧器(两股不同风煤比的浓淡煤粉气流混合燃烧器),可将烟气中的 NO_x 降至200ppm以下^[1],显示其降 NO_x 的效能。但是,煤中含氮量远比石油中的高,故仅采用这些除 NO_x 措施是不够的。

为了更有效地减少锅炉机组烟气中的 NO_x ,采用了干式氨接触还原法的烟气除 NO_x 装置的验证试验,并取得了良好效果。

投建燃煤机组另一重大课题,就是粉煤灰的综合利用。一般灰分占其重量10~20%,一台100万千瓦的燃煤机组年出灰量高达25~50万吨,需极大的堆灰场地。为此,日本开发以煤灰为资源的有效利用技术。现在对其开发更加深化,不仅作为水泥混合材料、肥料、人工鱼礁、建材、回填材料广泛使用。而且开拓更广的使用范围,如用作耐蚀涂料,从中提取飘珠作高级耐热材料等。因篇幅有限,不再赘叙。

参 考 文 献

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| [1] 《燃料协会志》(日)1986, №7, P575~581 | [6] 《技术通讯》1986, №2, P6—11 |
| [2] 《火力原子力发电》(日)1987, №1, P1 | [7] 《动力快讯》1984, №7, P17—19 |
| [3] 《电气评论》(日)1985, №11, P25 | [8] 《动力译报》1984, №5, P56~73 |
| [4] 三菱重工技术座谈资料,北京1987, 3, | [9] 《石川岛播磨技报》(日)1983, №5 |
| [5] 《电力技术》, 1985, №7 | [10] 《日本机械学会志》(日)1986, №813 |

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| [11] 《动力》(日)1984, №168, P34~44 | [17] 《省 エネルギー》(日)1986, №8, P13~15 |
| [12] 《超临界机组译文集》1985, P1~57 | [18] 《动力》(日)1983, №11 |
| [13] 《动力快讯》1984, №11 | [19] 《OHM电气杂志》(日)1986, №1 |
| [14] 《国外动力建设》(俄)1983, №2, P6~7 | [20] 《日立评论》1986, №1 |
| [15] 《电气评论》(日)1985, №6 | [21] 《火力原子力发电》1980, №12 |
| [16] 《OHM》(日)1985, №12 | [22] 《电气评论》(日)1985, №1 |

NEW FEATURES IN THE DEVELOPMENT OF THERMAL POWER PLANT ENGINEERING IN JAPAN

Le Yongzhuo
(Dongfang Boiler Works)

Abstract

This paper gives a short description of the development of electric power industry in Japan. A change of development priority from oil-firing power stations to nuclear and coal-firing thermal power ones has been illustrated in this paper by giving specific examples. Some highlights of the thermal power plant development features in Japan are presented.

Key words: thermal power plants, Japan, development, technical information.

(上接54页)

地热汽轮机的功率为124兆瓦。四台这样的机组已安装在美国的格伊泽尔斯地热电站。在美国有该厂生产的11台装置在运行, 每台单机功率大于100兆瓦。

按东芝工厂专家们的意见, 建设地热汽轮机装置这样的任务, 要比制造、组织生产核电站和核电站汽轮机复杂得多。对核电站和电站汽轮机设计和制造而言, 只需考虑补充一些综合的、特殊的数据即可, 而这些数据可以在广泛的实机和实验室试验的基础上获得。东芝工厂对材料探索研究了近12年, 结果解决了长寿命的、可靠的地热汽轮机的建造问题。

必要的研究的提出本身就是有益的。除了团体性的科研中心外, 制造厂也研究这些问题, 但在制造厂里进行的是旨在寻求零件加工的原则性解决办法的研究。《西方工厂》的三个主要分厂之一制造核电站和核电站设备也包括地热汽轮机设备。该厂有5000名职工, 其中1000人在设计处工作, 该处有自己的计算中心(50人)。该厂的试验大楼(约250人)包括材料研究室, 通流部分研究室, 部套、零部件结构研究室, 生产工艺研究室以及新型动力设备(联合循环、燃料成分等等)研究室。

目前该厂保证在一年半内生产并供应新的、针对用户给定的载热体特性设计的、在具体运行条件下有高度工作可靠性的地热电站汽轮机装置。

(参考文献略)