

《国外机械工业基本情况》参考资料

汽轮发电机、大型电机

哈尔滨大电机研究所编

第一机械工业部科学技术情报研究所

一九八〇年

汽轮发电机、大型电机

哈尔滨大电机研究所编

(内部资料)

*

第一机械工业部科学技术情报研究所编辑出版

机械工业出版社印刷厂印刷

北京市中国书店 上海市科技书店 重庆市新华书店

经 售

*

1980年8月北京

代号: 79—82 · 定价: 1.60 元

出版说明

以华主席为首的党中央向全国人民提出了新时期的总任务，全国从上到下一心一意搞四个现代化。机械工业要适应“四化”的要求，必须为国民经济各部门提供现代化的技术装备。为此，需要研究和学习国外机械工业的先进技术和经验。在这种形势下，我们组织有关单位编写一套《国外机械工业基本情况》参考资料。这项工作第一次开始于1973年，1975年基本完成。这次是第二轮，在内容和范围上都比上次有所充实和扩大。

这套参考资料按专业分册出版。本册为《汽轮发电机、大型电机基本情况》部分，编写单位是哈尔滨大电机研究所，由曲述曾同志主编，主要执笔人员有邱建甫、张海学、韩在龙、应书梁、付绍尹等。

第一机械工业部科学技术情报研究所

目 录

第一章 汽轮发电机

一、国外汽轮发电机发展水平概述	1
(一) 前言	1
(二) 各国汽轮发电机发展情况	2
(三) 当前汽轮发电机发展的几个特点	8
(四) 发展趋势与展望	12
二、汽轮发电机的生产技术	15
(一) 汽轮发电机结构的若干问题	15
(二) 汽轮发电机的冷却技术	17
(三) 主要加工手段测试及运输	19
(四) 材料—硅钢片、转子锻件	27
(五) 生产专业化	30
(六) 产品质量管理体制	32
(七) 汽轮发电机的改型换代	35
三、汽轮发电机励磁系统	35
(一) 带静止整流器的他励励磁系统	36
(二) 无刷励磁系统	37
(三) 静止可控硅励磁系统	39
(四) 旋转可控硅励磁系统	41
(五) 有关结论意见	41
四、汽轮发电机的科研工作	43
(一) 基础理论	43
(二) 汽轮发电机的科研工作	44
(三) 测试技术	46
(四) 产品科研发展的一些规律	46
(五) 大型汽轮发电机的关键课题	47
(六) 汽轮发电机的引进技术	49

第二章 大型交流电机

一、近年来在各种工业系统中应用的大型交流电动机单机容量增长情况	51
(一) 电工行业	51
(二) 电力工业	51
(三) 钢铁工业	53
(四) 采矿工业	55
(五) 化学工业	56
(六) 石油工业	56
(七) 水泥工业	57
(八) 制纸工业	58
(九) 水道事业	58

(十) 交通事业	58
二、大型交流电动机品种规格发展情况	60
(一) 无刷励磁同步电动机	60
(二) 无齿轮传动磨机用带可控硅变频装置的低速同步电动机	61
(三) 拟采用高频电源的超高速同步电动机	62
(四) 应用可控硅整流励磁的同步电动机	62
(五) 应用电子技术进行调速、起动和控制的交流电动机	63
三、两用电机的发展	65
(一) 应用空气蓄能发展汽轮发电电动两用电机	65
(二) 利用回收废气的潜在能量发展异步发电电动两用电机	65
四、超导交流电机的研制	66
(一) 超导强磁型线形电动机的试运	66
(二) 超导轻小型中频发电机的试制	66
(三) 超导大功率船用电动机的研讨	66
五、大型交流电机的试验研究、测试技术、新结构、新材料、新工艺	66
(一) 理论研究	67
(二) 新结构设计	70
(三) 新材料的应用	73
(四) 新工艺技术	73
(五) 试验基地和测试监视技术	75
(六) 单机水平	76
第三章 大中型直流电机	
一、现状与趋势	77
(一) 综述	77
(二) 目前制造水平	80
二、系列与品种	91
(一) 系列	91
(二) 可控硅供电	97
(三) 直流测功机	99
(四) 超导直流电动机	105
三、结构、绝缘与工艺	107
(一) 结构	107
(二) 绝缘	114
(三) 工艺	116
四、设计与科研	119
(一) 设计	119
(二) 研究	128
附录一国外大中型直流电机制造主要厂家一览表	138
附录二国外专利	139
参考文献	143
第四章 大型电机绝缘	146
一、综述	146

(一) 材料.....	146
(二) 绝缘制造及处理.....	147
(三) 绝缘评定.....	148
国外大电机绝缘发展情况一览表.....	149
二、大型发电机绝缘.....	150
三、大型交、直流电机绝缘.....	155
四、今后科研及发展方向.....	158
参考文献.....	159

第一章 汽轮发电机

一、国外汽轮发电机发展水平概述

(一) 前言

电力工业是发展国民经济和实现现代化的重要基础工业。二十世纪以来，世界上以大型火电（包括核电）、水电等为标志的现代电力工业，以突飞猛进的速度进入到了一个新阶段。国外一些工业发达的国家发展经验表明，电力工业发展速度均大于其它工业发展速度。到1976年为止，世界发电设备总装机容量约15亿千瓦，其中四分之三左右为火电机组。在电站设备装机中，分别以美、苏、日、英、西德、法、加、意等依次优先。而这些国家中，大部分又以火电为主（见表1-1）。火电机组单机容量大致5~8年提高一倍。自1956年世界上第一台25万千瓦机组投运后，到七十年代初，50万、80万、100万、120万千瓦级的机组相继投运，而且火电机组单机容量和电厂规模越来越大。表1-2和表1-3分别为几个国家电站装机及发展速度和电站火电机组容量构成。

表1-1 几个国家75年火电占总发电量的比例

国 别	美	苏	日	西德	英	法	意
火电占比例 (%)	76.3	87	76.6	87.3	87.1	56.8	66.7

表1-2 几个国家75年底总装机容量及增长率（70~75年）

美	总装机	50434万千瓦	西德	总装机	7436万千瓦
	平均年增长率	6.9%		平均年增长率	7.9%
苏	总装机	21800万千瓦	法	总装机	5070万千瓦
	平均年增长率	5.5%		平均年增长率	5.5%
日	总装机	11229万千瓦	加	总装机	5891万千瓦
	平均年增长率	10.5%		平均年增长率	6.6%
英	总装机	7967万千瓦	意	总装机	4336万千瓦
	平均年增长率	3.6%		平均年增长率	5.4%

与此同时，为电力工业提供装备的发电设备制造业也相应发展。目前，国外许多厂家已成批生产50~80万千瓦机组，并试制成功了百万千瓦级的发电机。苏联制成了120万千瓦二

表1-3 若干国家电站火电机容量构成

国 别	年 份	单机容量(万千瓦)	台 数	占火电总容量的百分比 (%)
美 国	1975	80~138	34	30.3
		50~79.9	114	27.7
		20~49.9		42
		20以下		
苏 联	1976	80	6	3.91
		50	3	41.34
		20~30	263	18.74
		10~16	246	36.1
日 本	1975	50~100	17	25.5
		20~49	105	48.6
		10~19	83	19.4
		10以下	66	6.8
法 国	1975	60	7	68.4
		25	53	31.6
		12.5以下	48	
英 国	1973~1974	50~66	45	35.3
		10~49.9	103	30
		10以下		34.7

极发电机,瑞士和西德等国家也分别制造144.7万千伏安和114.1万千伏安二极机。正在制造的最大四极原子能机组是KWU的164万千伏安和BBC的163.5万千伏安发电机。

现在,全世界制造的大于90万千伏安发电机已超过百台。容量从50万增到100万千瓦时,二极转子的运输重量从45吨增到80吨,定子从250~300吨增至350~400吨。而100万千瓦四极转子重达150~160吨,定子为280~320吨。

由于各国对电力要求的不断增长,要求不断地提高发电机的运行可靠性和技术经济指标,使得发电设备向高参数、大容量、设备成套和自动化方向发展。以其高水平的名牌产品取得国际市场竞争的优势。因此,近些年来,国外许多火电机制造厂家进行了许多旨在提高产品质量、产量及降低产品成本的工作。综合起来大致有以下几方面:

- 实现了企业兼并和联合,成立成套公司;
- 各公司的有关制造厂相继进行了厂房扩建、技术改造和设备更新;
- 提高了产品的通用化、标准化和系列化水平;
- 加强了产品的科研工作,不断采用新技术、新材料;
- 生产合理调整,实现生产专业化;
- 加强产品质量管理体制。

表1-4和表1-5分别为目前国外最大容量二极机和四极机。

(二) 各国汽轮发电机发展情况

据统计,目前世界上大约有十几个国家二十几个厂家能够生产50万千瓦以上的大型汽轮发电机。由于资本主义生产技术垄断,形成了几大技术派系。同一派系内互购专利、签定技术合同,甚至收买股份,相互渗透。这些厂家基本上可分为三类:

表1-4 国外目前最大的二级汽轮发电机

制造公司	现 状	容 量 (万千瓦安)	功率因数	频 率 (赫)	电 压 (千伏)	冷却方式			注
						定 子	转 子	铁 心	
BBC (瑞士)	制造中	144.7	0.85	50	27	水	水	水	格拉本核电站 (瑞士)
BBC (瑞士)		118.5	0.85	50		水	氢	氢	莱布达核电站 (瑞士)
KWU (西德)	试验中	114.1		50		水	氢	氢	哥茨根核电站 (瑞士)
KWU (西德)	运 行	92.5	0.85	60	26	水	氢	氢	系列生产 (供美国)
GE (美)	运 行	128.0	0.9	60	26	水	氢	氢	系列的最大容量
WH (美)	运 行	112.0	0.9	60		水	氢	氢	系列的最大容量
阿尔斯托姆 (法)	运 行	96.0	0.9	60		水	氢	氢	系列的最大容量
苏“电力”厂	安 装	133.3	0.9	50	24	水	氢	氢	科斯特罗马电站

注: 本表系根据《国外动力事业》(俄) 77年№5整理

表1-5 国外目前最大的四极汽轮发电机 (核电站)

制造公司	现 状	容 量 (万千瓦安)	功率因数	频 率 (赫)	电 压 (千伏)	冷 却 方 式			电 站
						定子	转子	铁心	
KWU (西德)	在制	164	0.8	50		水	水	氢	比布利斯B 比布利斯A 菲利布斯 布隆斯比 大古力 (美)
	运行	153	0.85	50	27	水	水	氢	
	运行	150	0.8	50	27	水	水	氢	
	安装*	106	0.85	50	27	水	水	氢	
	安装*	100.6	0.8	50	27	水	水	氢	
	在制	152.5	0.9	60	22	水	水	氢	
BBC (瑞士)	在制	163.5	0.8	50	27	水	水	水	姆里海 (西德)
	在制	148	0.9	60	27	水	氢	氢	多拿德 (美)
	运行*	133.3	0.85	60	26	水	氢	氢	
阿尔斯托姆 CEM (法国)	在制	151.8	0.85	50					定货 8 台
	发货	139	0.9	60		水	氢	氢	弗尔柯 (美)
	运行	112	0.9	50	24	水	氢	氢	定货 8 台
	运行	107.8	0.9	60	24	水	氢	氢	菲欣海
GE (美国)	在制	157		60		水	氢	氢	108~140万KVA 84~108万KVA
	运行*	140		60		水	氢	氢	
	运行*	108		60		水	氢	氢	
	运行*	130	0.9	60	22	水	水	氢	
GEC (英)	发货	135	0.9	60	22	水	氢	氢	安里柯 (美)
WH (美国)	在制	140	0.9	60	24	水	氢	氢	沙里姆 印第安
	运行*	130	0.9	60	22	水	氢	氢	
	运行*	114	0.9	60	22	氢	氢	氢	
	设计	142	0.85			水	水	氢	
三菱 (日)	运行	130	0.9	60	24	水	氢	氢	大阪
东芝 (日)	运行	92	0.9	60	22	氢	氢	氢	
	运行	91.1	0.9	50	17	水	氢	氢	

注: * 系成批生产, 来源: 《国外动力事业》(俄) 77年№5

1. 人力财力雄厚, 技术上独立的国际垄断集团。如美国GE公司、WH公司, 瑞士BBC公司等。

2. 技术上、经济上有一定的独立性, 但也吸收外国技术。如英国CAP和GEC等。

3. 技术上仍附于外公司, 按别人所供资料进行生产。如法国前CEM公司, 加拿大的

CGE 等。

表 1-6 列出了国外汽轮发电机有关厂家技术分类情况。当然并不是不变的，往往原属某体系的厂家等到自己力量壮大慢慢也就独成一派了。如西德的KWU 公司。

表1-6 国外汽轮发电机技术派系

代 表	成 员
GE 系统 (美)	日 本: 东芝 (TOSHIBA)、日立 (HITACHI) 意大利: 阿斯金 (Asgen) 加拿大: 通用电气 (CEG) 法 国: 阿尔斯托姆 (ALSTHOM)
WH 系统 (美)	日 本: 三菱 法 国: 日蒙-施奈德 (SSW) 意大利: 马列里 (MArelli) 比利时: 沙城电气 (ACEC)
BBC 系统 (瑞士)	西 德: BBC 法 国: 重型电工机械 (CEM) (现已与法阿尔斯托姆合并) 瑞 典: 通用电气 (ASEA)
KWU 系统 (西德)	日 本: 富士电机 (FUJI)
比较独立厂家	英派生斯 (CAP)、通用电气 (GEC); 捷克斯柯达 (ČKD); 匈牙利冈茨 (ganz) 苏联电力厂 (Э. К)、哈尔科夫重型电机厂 (ХЭТЗ)、新西伯利亚重型电机厂 (НТЗ)

1. 美国

美国的电力工业和发电设备制造业在世界上一直处于领先地位。1976年电站总装机为50434万千瓦。75年新装火电机组3894万千瓦。

美国核能机组发展较快，至1985年止核电机组将达20119万千瓦（占总装机的24.2%）。77~78年新增机组81%以上是百万千瓦核能机组，而常规火电机组平均容量则为50~60万千瓦。核能机组单机容量1965年前是80万千瓦，1972年增到120万千瓦，73年为130万千瓦。可见，美国的原子能发电发展是非常快的。又从77年电站调查结果表明：45台机组平均单机容量为50万千瓦；而76年为55万千瓦，73年为62万千瓦。所以，美国近年的火电机组发展趋势特点是：常规机组单机容量停滞，而核能机组单机容量不断提高。

美国火电机组主要生产厂家有通用电气公司 (GE) 和西屋电气公司 (WH)。两公司在汽轮发电机技术上各成体系。在国外有许多跨国公司并和国外许多厂家有技术合同关系。在冷却技术上，GE 公司重点发展水氢冷方式，WH 公司则发展全氢冷方式（大机组已向水氢冷方式过渡）。发电机技术较成熟，产品质量较高，运行较可靠。两个公司经过对氢冷转子冷却系统的不断完善（增加气隙隔板结构），使发电机单机容量大幅度提高。

GE 公司曾对900台各型发电机进行调查，指出最近10年平均年强迫停机率为17.5小时。其中59台30~59.5万千瓦伏安发电机73年平均强迫停机率为10.2小时，60万千瓦伏安机为15.8小时，17台24.5~12.5万千瓦伏安的核能电机为14小时。

2. 苏联

苏联到第九个五年计划（71~75年），电站装机总容量为21800万千瓦，其中火电为16200万千瓦，占总装机容量的74.5%。核能机组620万千瓦，占2.9%。到1976年，已有20台共717万千瓦核能机组投入运行。

在火电机组中，大机组比重继续增长。到1976年底，20~80万千瓦机组已达272台，其中20万千瓦机组120台，25万千瓦机组8台，30万千瓦机组135台，50万千瓦机组3台，80万千瓦机组6台。在“九五”计划中，投入各种机种为105台，共2930万千瓦，其中30万千瓦机组61台，共1830万千瓦。

在苏联的电力系统中，50万千瓦机组投入数量少于80万千瓦机组。原因是50万千瓦机组技术不过关，没有达到设计指标。因此，77年前后对此曾进行了大量的完善工作。1976年制成120万千瓦二极汽轮发电机，正在科斯特罗马电站进行调试工作。表1-7为苏联投入机组情况。

表1-7 “九、五”计划和“十、五”计划投入机组情况

单机容量 (万千瓦)	“九、五”计划 (71~75)		“十、五”计划 (到80年)	
	机组台数	总容量 (万千瓦)	机组台数	总容量 (万千瓦)
120			1	120
80	3	240	8	640
50	1	50	8	400
30	61	1830	14	420
20	34	714	30	630
16	6	96	1	16
总 计	105	2930	62	2220

根据发展规划，苏联到1980年，火电装机容量将达到20200万千瓦，将占总装机的71.3%，核能机组将达1940万千瓦，占2.8%。

苏联发电设备生产71~75年平均年产量为1530万千瓦，76年为1660万千瓦。

为了提供可靠性高的成套设备，近几年来苏联先后以几个电机制造厂为主，联合有关科研部门和工厂，组成成套设备联合公司。一些电机厂并先后地进行了技术改造工作，使其具有生产单机150~200万千瓦机组的能力。

《电力》厂定型产品是TBB型汽轮发电机，容量有16万、20万、30万、50万、80万和120万千瓦。采用水氢氢冷却方式。50万千瓦以下发电机、转子线圈为侧面铣槽斜流式风道（气隙取氢），原50万千瓦发电机转子温升较高（86℃），因而80万千瓦以上发电机转子线圈已改为中间开孔的斜流式氢隙取气系统，使转子温升大为降低（80万千瓦机为30℃，120万千瓦机为36.6℃）。此外，120万千瓦汽轮发电机（二极）在通风系统中增加了轴间气隙隔板，从而为研制更大容量的水氢氢型汽轮发电机创造了条件。此外，80和120万千瓦机的经验反过来又进一步完善50万及以下的发电机。目前，《电力》厂开始研制全水冷技术，试制一台相当于120万千瓦的样机（10万千瓦），预计在1980年前试运行。

哈尔科夫重型电机厂定型产品为TГВ型汽轮发电机，30万千瓦以下为全氢冷方式。50万千瓦发电机为水氢氢冷却。50万千瓦机在电网运行中投入数量很少，几年来未见运行情况的报导，说明该机在技术上可能不过关。而早年宣布制造的TГВ型四极100万千瓦机，目前无消息，包括新西伯利亚厂TBM型50万千瓦全液冷发电机情况也是如此。

苏联三家电机制造厂均从事水冷转子的研究。它们曾研制过3万、6万、20万、50万千瓦不同容量的水冷转子，但实际运行的很少，不像西德卓有成效。所以，苏联在冷技技术发展上是曲折的。

3. 日本

截至1975年,日本电站总装机容量是11172万千瓦,其中火电约8739万千瓦。火电装机容量年新增量从72年的975万千瓦为顶峰,以后每年约500万千瓦,其中核能机组为400万千瓦。70~75年电站装机平均年增长率为10.5%,高于美、苏、英、法、西德等国家。

日本1976年原子能电站共13座,总容量为743万千瓦,占电站总装机比例由72年的2.2%增长到75年的6.5%。电网中的平均主力机组是30万千瓦。运行的最大机组,二极机是知多电站70万千瓦汽轮发电机(东芝制),四极机最大是大饭核电站133万千瓦伏安(120万千瓦)汽轮发电机(三菱制)。

近几年来,由于电站选点日趋困难,造成国内火电设备需求不振,使火电机组生产肖条发生严重“吃不饱”现象,有500~1400万千瓦的生产潜力不能发挥。如果以1970年汽轮发电机指数为100%,则74年、75年和76年分别为94.8%、85.9%和83.3%。因此,日本不得不把出路放在出口上,汽轮发电机出口占63%。

汽轮发电机78年实际完成1059万千瓦,79年产量为888万千瓦(其中出口机组为441万千瓦),比上一年减少16%。

日本几家生产公司几年来汽轮发电机单机容量(特别是二极机)没有更大的突破,四极机最大的是三菱制的133万千瓦伏安发电机。该机为水氢冷系统,采用径向气隙隔板结构、无励磁等几项新技术。日立制作所为发展百万千瓦以上发电机,研制了一台10万千瓦安全水冷样机,进行了一系列试验研究。表1-8为日本近些年来汽轮发电机产量。

表1-8 日本汽轮发电机年产量

年 代	产量(万千瓦)	出口(万千瓦)	年 代	产量(万千瓦)	出口(万千瓦)
1973	1049	277	1977	781	610
1974	938	492	1978	1059	643
1975	1111	449	1979	888	441
1976	1281	496	1980(计划)	678	443

4. 英国

英国近十年来电站装机增长缓慢。至1975年底,总装机7967万千瓦,其中火电及核能约占97%以上。

英国原子能发电发展较快,装机容量仅次于美国。至1976年6月,已有31台共748万千瓦机组投入运行,此外,还有10台662万千瓦机组正在建设。英国原子能反应堆是采用改进型气冷(AGR)反应堆,发电机转速仍为3000转/分。

英国汽轮发电机技术比较保守。在发展新产品时,由于科研工作不够,结果使发电机发生事故。例如派生斯公司在设计66万千瓦发电机时,采用外推法设计转子平衡槽,仍采用原50万千瓦发电机结构,以致在运行15000小时后两台转子平衡槽发现裂纹,损失达1700万美元。为减少发展大机组的损失,通过这一事件,英国内部增加了使派生斯和GEC两公司合并的舆论。

GEC公司近几年来生产的66万千瓦机组达16台,有40%以上不同容量的机组供出口。例如为美国Enrico Fermi核电站提供二台120万千瓦四极水氢型发电机,已发货。另两台同容量机将陆续交付使用。此外,又为南朝鲜提供一台60万千瓦四极原子能汽轮发电机。

据报导,英国发电设备制造业面临困境。在火电机组方面,英国两家公司年产能力为800万千瓦以上,而已签定订货合同的只有400万千瓦,还是供出口,国内只有核能机组的订货。

5. 西德

截至1975年止,西德总装机为7300万千瓦,其中火电(包括核电)6790万千瓦。74~78年的五年中,一共投入10万千瓦以上的机组共54台,容量达2914万千瓦,平均单机容量54万千瓦。其中核能机组11台1147万千瓦,最大单机为120万千瓦和130万千瓦,平均单机为100万千瓦。常规机组43台,共1767万千瓦,最大单机为70万千瓦,平均单机为41万千瓦,因此,核能机组发展大于常规机组。

西德大机组虽起步较晚,但由于吸取美国的经验,近五年来大机组发展非常快,而且成熟期短,运行可靠性较高。例如第一台40万千瓦机组起动比较顺利,74年投入的五台60万千瓦机组中,除一台不正常外,其它均未见有异常情况的报导。毕布利斯核电站120万千瓦机组可靠性达96.3%,而发电机本身运行可靠性达98.9%。由于第一台新容量机组投入后随即成批采用,所以新增机组每年保持10台左右。

西德原子能机组发展很快,至1976年6月,已有九台共561万千瓦机组投入运行。75~85年计划新安装机组容量为6000万千瓦~6500万千瓦,而原子能机组占4500万千瓦。

西德电机工业比较发达。汽轮发电机技术自成体系,欧洲等一些国家多采用西德技术或进口设备。垄断火电设备生产的企业是69年由原西门子和AEG火电设备部份合并组成的电站设备联合公司(KWU)。该公司集中了两公司的技术经验,成为世界上火电设备竞争的一支劲旅。近几年的主要发展标志有:

- 1969年制成了60万千瓦全氢冷汽轮发电机;
- 70年制成了40万伏安水氢型试验性电机;
- 74年制成120万千瓦水氢型四极发电机,并成批生产百万千瓦级机组。

从西德汽轮发电机发展来看,从60万到80万千瓦机组历经了四年,而从80万到120万千瓦机组只用了一年多时间。120万千瓦发电机从设计到出成品只用了四年时间,这说明KWU公司有较丰富的技术储备。

KWU对汽轮发电机进行了新的系列设计,提出了新系列产品。其特点是:

——发电机参数较高,如30万千瓦发电机空载气隙磁密达9600高斯,定子线负荷达2050安/厘米,电压27千伏,氢压高达5公斤/厘米²;

——同一型号发电机可采用不同氢压与不同级数的风扇配合,可得到不同容量。如右表:

——冷却方式:容量在80万伏安以下的二极机用全氢冷;80万千瓦以上者为水氢冷;大容量(百万千瓦及以上)四极机为水水氢方式;

——侧重发展无刷励磁;

容量(万千瓦安)	33	35	38.5
氢压(表压)	3	3	4
风扇级数	4	5	5

6. 法国

法国1975年电站总装机为4871万千瓦,其中火电装机(包括核电)为3191万千瓦。核电装机10台301万千瓦(1976年)。76~79年内拟有15台90万千瓦机组和7台130万千瓦机组投入运行。1985年核能机组将达到4000万千瓦。

法国电网中主力机组容量是25万千瓦（48台）。该型机组已运行了十几年，比较成熟。60万千瓦机组第一台于1968年投入，开始事故较多，现在趋于正常。目前，法国正在制造的最大二极发电机为86.4万千瓦，运行中的最大核能机组为100万千瓦四极发电机，正在制造的最大四极机是128.4万千瓦发电机。均为阿尔斯托姆的产品。

法国制造火电设备的厂家有：阿尔斯托姆、日蒙和CEM公司。阿尔斯托姆已生产和正在订货的汽轮发电机已达5000万千瓦。其中20万千瓦以上核能机组100多台。正在制造的100万千瓦四极机六台，85万千瓦机两台和60万千瓦机4台。发电机特点是：冷却方式为水氢氢系统，发电机效率较高，如60万千瓦机总损耗是6100千瓦，效率达98.98%。

CEM公司属于瑞士BBC系统。CEM制造厂的设备较陈旧，只是在72年向西德购买了几台大型设备。工厂自制设备很多，没有设计和研究力量，全靠BBC协助。75年产量约300万千瓦以上。25万千瓦机组已生产了24台。70年试制60万千瓦机组，现已成批生产。12.5万千瓦共生产了50多台，现已停产。此外，CEM于75年为美国制成了130万千瓦核能发电机。76年又向南非提供四台50万千瓦发电机。1977年1月该公司汽轮发电机组部份与阿尔斯托姆公司合并，组成阿尔斯托姆——大西洋公司（A—A）。

7. 瑞士

瑞士BBC汽轮发电机技术在国际上自成体系，在国际市场上享有盛名。该公司不仅输出产品，而且还出口技术。汽轮发电机在结构和冷却方式上独具风格。例如：组合转子、液冷技术开发、新型绝缘和可控硅励磁方式。特别是组合转子现已用于133万和163万伏安四极发电机上。

BBC公司在七十年代初期，曾向美国电力公司提供72.2万伏安二极机及133.3万伏安四极发电机。目前正在制造163.5万伏安四极全液冷发电机。

BBC的冷却技术独具风格，水平较高。早期从事定子全油冷研究，以后向全水冷技术过渡。曾研制一台30万伏安安全水冷试验性发电机，并成功的进行了运行考验。目前已把全液冷经验应用到163万伏安四极汽轮发电机上。

BBC虽在各种场合（如国际大电网会议）和刊物上强调水冷转子也适用在中等容量发电机上，但实际上还是在百万千瓦级大型发电机上采用，还是把氢冷转子的水氢冷汽轮发电机作为主要生产手段。就是说，BBC既积极大胆创新发展独特的全水冷技术，又稳妥慎重的充分利用成熟的氢冷技术。

（三）当前汽轮发电机发展的几个特点

1. 相继研制百万千瓦级机组

国外一些工业发达国家，近几年汽轮发电机单机容量已达百万千瓦至130万千瓦级的水平。目前，已有美、苏、英、日、西德、瑞士、法国等先后制成百万千瓦级汽轮发电机，并陆续投入运行。

采用大机组的优点是非常明显的。对制造部门来说，可降低发电机造价、减少每千伏安的材料消耗、减少制造周期、提高产量，从而提高劳动生产率。对运行的部门：可减少电站布点、降低厂房造价和发电成本。根据国外资料，单机容量从20万千瓦提高到60万千瓦时，设备造价平均降低10~20%，安装工期缩短30%左右。

美国运行的最大机组为130万千瓦，76~84年之间，将陆续投入67台大容量机组（平均

容量为53.2万千瓦)。西德制成了120万千瓦核能机组,法国制造了125~132万千瓦核能机组,英国制成了120万千瓦核能机组,瑞士制成了120万千瓦核能机组,日本制成了120万千瓦核能机组,苏联制成了120万千瓦常规机组。上述机组有的已投运,有的正在安装。

大机组虽然得到了发展,但近来单机容量进一步提高的势头开始缓慢下来。美国电力部门今后将不过于追求安装更大容量机组,所有电力部门将控制130万千瓦以上机组的订货。主要原因是大机组的利用率和可靠性有下降的趋势,而国外近几年来建设大机组时强调经济性必须建筑在较高可靠性的基础上。

大机组发展的另一特点是,核能机组单机容量的增长大于常规机组。发展的趋势是,常规机组单机容量继续增大至少已暂时停止。

2. 原子能机组后来居上

在世界能源危机情况下,作为现代科学技术标志之一的原子能发电技术近几年来发展非常快,规模越来越大,应用者由工业发达国家普及到一些发展中国家(如伊朗、巴基斯坦等)。因而促使核能机组产量逐年增加,单机容量越来越大(达160万千瓦安)。

到1976年为止,世界上已有19个国家共投入了178台核能机组,总容量达8735万千瓦。其中美国遥遥领先,共60台4245万千瓦。英国31台748万千瓦。苏联20台717万千瓦。日本12台660万千瓦。西德9台561万千瓦。法国10台301万千瓦。预计到1981年,美国将达到9700万千瓦(占本国总装机的16.6%),法国将达2269万千瓦(占20%)、日本达1692万千瓦(占11%),西德1600万千瓦(占20%),苏联1300万千瓦(占5.8%)。运行中单机容量最大的是K W U公司制造的毕布利斯120万千瓦机组。美、法、英、日、瑞士的核能机组都已达到100~130万千瓦。

3. 汽轮发电机的高参数化

汽轮发电机单机容量已突破百万千瓦,发电机一些参数水平不断提高。电压已由20~22千伏提高到24~27千伏。氢压也由4公斤/厘米²提高到5公斤/厘米²以上。功率因数由0.85提高到0.9。电负荷也随之增大,由60万千瓦机的2000~2400安/厘米发展到百万千瓦级的2400~2800安/厘米,转子励磁电流增加到9560安。

发电机参数的提高,使发电机设计越加困难,并对运行稳定增加了不利因素。例如电压提高要求绝缘水平高(包括防晕技术)功率因数提高对电网稳定度变得不利,最大瞬时稳定度要求发电机瞬变电抗必须低,而发电机容量提高后瞬变电抗也将提高,在对瞬时稳定度不构成特别问题条件下,瞬变电抗通常在0.3~0.35范围内。氢压提高轴密封技术要求更高,电负荷增大将引起电动力增大,导致绝缘磨损。转子励磁电流增加使滑环引流更加困难。这些问题构成了大型汽轮发电机的急需要解决的技术关键。

4. 机组运行可靠性放在首位

机组运行可靠性是发展大机组的一个重要问题。因为现代高蒸汽参数大容量机组,主辅机电设备比较复杂,自动化程度较高,有成千上万个元件要求协调动作,而且往往是新设计新技术,设计制造前虽经过局部模拟试验而有些初步把握,但仍没有成熟经验可循,全凭初试运行调整和完善,因此,运行初期事故较多,利用率不高,可靠性下降。此种情况美、英比较突出。日本由于利用美国技术,有时间借鉴前者的经验和教训,故事故较少。

根据美国第十九次电厂调查资料:50~99.9万千瓦机组的可用率为72.4%,而50万千瓦机组可用率为86.6%。根据统计,20万千瓦机组事故停机率:锅炉占3%,汽机占1%,发

电机占0.3%；60万千瓦机组的事故停机率：锅炉占9%，汽机和发电机各占4%。又据美国GE公司对1.16亿千瓦机组事故统计分析，在火电机组事故中，设计问题占41%，制造安装问题占7%，运行不当占52%。表1-9为美国不同容量机组停机时间。

表1-9 美国火电机组事故停机时间

机组容量 (万千瓦)	每年事故停机时间 (天)	事故停机时间百分比 (%)	每年不能运行时间 (天)	可运行时间百分比 (%)
60以上	45	12.4	79	78.5
30~59	31	8.4	68	81.5
20~38.9	18	5.0	46	87.5
13~19.9	11	3.0	37	90.0
9~12.9	11	3.0	40	89.0
6~8.9	6	1.0	31	91.5

据1977年世界电工会议美国代表宣称：1964~1974年期间，美国汽轮发电机平均事故率，60万千瓦以上的为6.8%，36~59.9万千瓦的为3.3%，而最好机组的事故率可低到0.2~0.5%。会上提出今后提高大容量汽轮发电机可靠性的目标，应使平均事故率降到1%左右。为此，单机容量增长的级差不应太大，而且规定，新型机组至少要在2台试验机组上取得成功经验后才能成批制造。

日本鹿岛电站两台100万千瓦双轴机组的利用率分别为75%和76%。苏联80万千瓦机组利用率为75%。西德毕布利斯核电站(A)的120万千瓦机组头一年的运行可靠性是96.3%。美国GE公司对700台大型机组进行事故统计，平均停机率为0.7%，即可靠性达99.3%。美国火电机组一般保证20~30年。

关于大修期，76年日本曾对苏、西德、法、意四个国家16个电站22台机组(12.5~100万千瓦)进行调查，平均大修期为4~8年，小修期平均1~3年。可见，欧美一些国家机组运行水平是比较高的。

值得注意的是美国掌握130万千瓦机组的经验。美国根据其130万千瓦机组成长过程认为：提高机组容量不会引起新问题，即提高机组容量和采用更高参数不会降低机组的可靠性。由于消除了第一批130万千瓦机中所出现的缺陷，使葛文一号机组的运行初期取到良好效果。机组设备完好率达92.3%。到目前为止美国正在运行的130万千瓦机组有六台，成功的运行经验促使1974年初提出七台机组的新订货。

大机组近几年来较多的强调可靠性，而可靠性取决于设计的合理和完善性、制造的精湛技术、优质材料、安装及维护等一系列复杂因素。

为了提高机组的可靠性，国外厂家非常重视产品质量，制定了一系列科学的质量保证措施。

此外，国外还有断电罚款制度以及降低事故率(产品可靠性提高)提高产品价格的规定，用以刺激提高产品的可靠性。例如美国机组事故率每降低1%，则产品价格提高20~25%，日本提高15~20%。

苏联为保证机组质量提高产品运行可靠性，对新设计和制造的机组提出如下要求：

- (1) 保证机组不少于三年进行一次大修；
- (2) 连续运行时间应不少于4000小时；

(3) 达到设计可靠性指标, 即可用率应为87~89%; (4) 成批生产机组投运后不超过两年达到设计经济指标。

5. 发电机冷却技术的进展

冷却方式是发电机的重大技术问题, 也是一个厂家发展汽轮发电机的重要技术政策。因为它涉及到制造厂家工艺装备、传统工艺技术, 涉及发电机本身结构、性能、技术经济指标, 涉及电力部门的运行和维护, 进而影响运行可靠性。所以, 国内外都非常重视它。

近几年来, 发电机冷却技术进一步发展。主要表现在: 转子氢冷系统进一步改进, 使发电机单机容量一跃而到120万千瓦或更大; 水冷转子在大机组上进一步扩大应用。

大容量发电机定子绕组水冷的优越性, 已被所有厂家所公认, 就是氢冷派的代表厂家美国WH公司, 也在80万千瓦机的定子(线圈)上采用了水冷(原传统方式是定子氢冷)。至于转子冷却方式, 认识很难统一。但应该指出的是, 国外的主力机组30~80万千瓦发电机, 转子氢冷仍占绝对优势。由于氢冷转子通风系统采用了气隙隔板结构, 大大提高了转子冷却效果, 使120万千瓦发电机转子平均温升仍在一个不高的水平上。所以, 对于当今或今后一个相当时期内, 氢冷转子发电机仍是电力系统的主力。

水冷转子目前已从试验室和样机迈入到实用阶段。现在世界上约有25台转子水冷发电机投入运行。比较突出的是西德KWU公司, 经过一系列试验研究后, 已开始成批用到大容量四极百万千瓦发电机上。

全液冷发电机又有新进展。BBC公司充分利用过去的经验, 把全液冷技术应用到163万伏安四极发电机上。此外, “电力”厂和日立制作所, 目前正在研制全水冷技术。但是, 多年从事全液冷研究的苏联新西伯利亚厂的TBM50万千瓦全液冷发电机, 近几年不见任何情况报导, 说明该技术关键还没有被掌握。

水冷转子对于超大型发电机有广阔的发展前途。它们将是电网中的有生力量。特别是对于迅速发展的核能机组——大直径转子和低速的发电机来说, 更有意义。但是, 水冷转子技术要求严格, 制造工艺必须精湛。因为目前水冷转子有薄弱环节和未知因素, 如果设计制造不当, 运行时一旦渗漏水, 往往发生扩大性事故, 危及运行。所以也是一些厂家不敢贸然采用的原因之一。它们宁愿把原来氢冷转子加以改进。因为氢冷转子技术比较成熟, 可靠性较高, 仍有发展潜力。

6. 无刷励磁系统受到重视

发电机容量越来越大, 输电系统急需解决系统稳定问题。因此, 急需发展大机组的快速励磁装置, 来提高机组的可靠性。

国外许多厂家对于半导体静止和旋转整流器励磁系统进行了许多试验研究工作。励磁功率已达4400千瓦, 励磁电压达460伏, 励磁电流达9560安, 顶值电压提高到9倍, 时间常数达到0.15秒。

由于无刷的旋转整流器励磁系统具有系统简单、便于维护、可靠性高的特点, 对于大容量机组更适合于采用。目前, 一些传统发展无刷励磁的厂家, 例如美国的WH公司, 日本三菱、西德的KWU公司等都在大机组上实现了无刷励磁, 就连原来发展静止整流器半导体励磁的厂家, 如美国GE公司、英国、苏联《电力》厂等, 近几年来都热衷于发展无刷励磁。目前, 百万千瓦以上机组, 如苏联的120万千瓦机组、KWU的120万千瓦机组、三菱的120万千瓦四极发电机均采用无刷励磁系统。