

《国外机械工业基本情况》参考资料

汽 轮 机

上海汽轮机研究所
哈尔滨汽轮机厂

第一机械工业部情报所

出 版 说 明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在党的十大精神鼓舞下，我国机械工业形势一派大好。广大革命职工，高举毛泽东思想伟大红旗，深入开展批林批孔运动，狠抓革命，猛促生产，巩固和发展了无产阶级文化大革命的丰硕成果，毛主席关于“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”的伟大号召，正在胜利地实现。

“知彼知己，百战不殆”。为了介绍国外机械工业基本情况，我们组织有关单位，按机械工业各行业分别编写与出版一套《国外机械工业基本情况》参考资料。

毛主席教导我们：“……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”资本主义、修正主义国家的东西，必然打上资本主义的社会烙印和带有资产阶级的阶级偏见。因此，在参考国外情况的过程中，必须遵照伟大领袖毛主席的教导，采取分析、批判的态度。

本册为国外汽轮机部分，参加编写工作的单位有：上海汽轮机研究所，哈尔滨汽轮机厂。由于我们水平有限，编辑工作中定有不少缺点和错误，请读者批评指正。

第一机械工业部情报所
一九七四年

目 录

第一章 综述	1
第二章 美国	19
一、电力工业和电机制造业	19
二、汽轮机制造业	20
(一) 一般情况	20
(二) 大型汽轮机	20
(三) 原子能电站及设备	23
(四) 燃气轮机	24
三、企业	25
(一) 通用电气公司	25
(二) 西屋电气公司	29
四、产品	33
(一) 通用电气公司	33
(二) 西屋电气公司1972年的汽轮机生产	39
五、科研设计	40
(一) 通用电气公司新建的试验室	40
(二) 西屋电气公司的科学研究部门	40
第三章 苏联	42
一、电力工业和电机制造业	42
二、企业	47
(一) 列宁格勒金属工厂	47
(二) 哈尔科夫透平工厂	49
(三) 乌拉尔透平发动机厂	49
三、产品与工艺	50
(一) 产品	50
(二) 三化工作	54
(三) 制造工艺	54
四、科研工作	59
(一) 科研机构与组织	59
(二) 科研项目	59
第四章 日本	62
一、电力工业和电机制造业	62
二、企业	64

(一) 日立公司	64
(二) 东芝公司	65
(三) 三菱重工	66
(四) 富士	67
三、产品	67
(一) 发展特点	67
(二) 产品系列	68
(三) 试制投产周期	69
(四) 发展中的主要问题及试验研究	70
(五) 主要零件工艺方法	72
(六) 汽轮机材料	74
四、科研设计	75
(一) 日立公司下属各研究所	75
(二) 东芝公司下属各研究所	75
(三) 三菱重工下属各研究所	76
第五章 英国	77
一、电力工业和电机制造业	77
二、企业	83
(一) 通用电气公司	84
(二) 派生斯公司	85
三、工艺方法及新技术	87
(一) 汽缸加工	87
(二) 隔板加工、围带冲孔	87
(三) 叶片制造	87
(四) 产品质量检验和设备	88
四、产品设计和结构	89
(一) 产品设计工作	89
(二) 派生斯公司的汽轮机结构	89
(三) 通用电气公司50万瓩汽轮机	91
(四) 英国中央电管局订制的50万千瓦机组结构特点	91
五、科学研究工作	92
(一) 机构	92
(二) 科研动态	92
(三) 英国各公司研究情况	94
六、自动化	95
七、英国原子能动力的发展	97
第六章 西德	100
一、电力工业和电机制造业	100
二、企业	105

(一) 电站设备联合制造公司 (KWU)	105
(二) 西德 BBC 公司	108
(三) 西德奥格斯堡——纽伦堡机器厂 (MAN)	110
三、产品	112
(一) KWU 公司产品	112
(二) BBC 公司产品	114
(三) MAN 公司产品	116
四、科研与设计	117
(一) 概况	117
(二) 研究机构	117
(三) 主要设备和课题	118
(四) 质量检查	118
第七章 法国	120
一、电力工业和电机制造业	120
二、企业	122
(一) Alsthom 公司	122
(二) C. E. M. 公司	123
(三) Rateau-Schneider 公司	124
四、欧洲透平技术集团 (GETT)	125
第八章 意大利	126
一、电力工业和电机制造业	126
二、企业	130
(一) 安莎多原子能机械设备公司	130
(二) 弗朗柯-托西公司	131
(三) 布莱达热力机械与机车公司	131
三、产品	132
(一) 产品主要品种和技术数据	132
(二) 产品的标准化	133
(三) 产品结构的主要特点	133
第九章 瑞士	135
一、电力工业和电机制造业	135
二、企业	136
三、产品	139
四、原子能电站设备	141

第一章 综 述

一、汽轮机行业发展的基本情况

(一) 汽轮机制造的发展

汽轮机发明于十九世纪末。1884年，英国的派生斯 (C. A. Parsons 1854~1931) 制成世界上第一台 7.5 千瓦的反动式汽轮机，在以后约三十年中，瑞典的拉伐尔 (C. G. P. de Laval)、法国的拉托 (C. E. A. Rateau)、美国的克蒂斯 (C. G. Curtis) 和瑞典的容克斯川 (Ljungström) 相继创制了单级冲动式、多级压力式、双列速度级和辐流式汽轮机。这是汽轮机事业的萌芽阶段〔1〕。

当时，资本主义世界的主要动力装置是蒸汽机。汽轮机出现后，经过一些改进，显现出功率大、单位重量小、效率高等优点，不久就压倒了蒸汽机，而成为工业应用的一种新动力。二十世纪初，各主要资本主义国家，如英、美、德、瑞典、瑞士、俄、日、意等均开始生产汽轮机。

二十年代，汽轮机发电设备出现了一些新技术。1920年英国制成世界上第一台中间再热机组，功率 2 万千瓦，蒸汽参数为 30.5 表大气压，343/350°C。1921年德国西门子公司制成第一台超临界参数本生锅炉。美国于1920年制成 6 万千瓦汽轮机，而瑞士于1928年就制成了 16 万千瓦的汽轮机，但参数都很低。

三十年代，德国采用了较多的 80~125 表大气压、450/530°C 的再热机组，其蒸汽参数居于领先地位。美国 1930 年制成了 20.8 万千瓦汽轮机，其单机容量领先。

四十年代，美国在较大机组上采用 537~565°C 的温度，1949 年投入第一台 162 表大气压、565/538°C 的再热机组〔2〕。

总的看来，二十世纪上半期除美国和德国采用较大容量的机组和较高参数外，其它各国的机组容量和蒸汽参数都较低。机组容量普遍为 6~7 万千瓦以下，蒸汽参数多在 45 大气压、435°C 以下。但中间再热、超临界参数等新技术的出现，为以后的技术发展奠定了基础。

五十年代及六十年代，汽轮机事业得到蓬勃的发展。在 1950~1959 年这十年中，国外最大机组单机功率普遍提高到 12~15 万千瓦，美国则是 33.5 万千瓦。六十年代末，日、西德、法、英、意等国投入了 60 万千瓦级的机组，而美、苏则分别为 110 万千瓦和 80 万千瓦。各国普遍掌握了 160~245 大气压、535~565°C 的蒸汽参数。

西德于 1956 年在休尔斯 (Hüls) 电站投入了第一台超临界参数机组 (1.6 万千瓦，300 大气压，600/560°C)，美国于 1957 年在费罗 (Philo) 电站也投入了一台超临界参数二次中间再热的机组 (12.5 万千瓦，316 大气压，621/566/538°C)，跨入了超临界参数的实用阶段。

这一时期，西德和美国都试图把蒸汽参数进一步提高到 300~350 大气压，600~650°C。

但由于在此高温下要用昂贵的奥氏体钢，运行维护困难，后来都放弃了。苏联于六十年代初作过类似的努力，也未实现，目前仍在继续研究。

近几年来大型电站汽轮机的蒸汽压力基本稳定在160~245大气压，而蒸汽温度却有下降趋势，多偏重于采用前述温度的下限——535°C。美国1973年新投运的37台大机组，新汽温度平均531°C。

目前，汽轮机单机容量仍在继续增大。美国于1973年投运了130万千瓦双轴机组。苏、日计划在1975年前后分别投运120万千瓦单轴机组和100万千瓦双轴机组。英、法、西德等也准备搞100万千瓦级的机组。

此外，近年来资本主义世界的能源危机泛滥，燃料问题严重，故加速了原子能发电设备的发展。到1972年6月底，世界已投运的原子能发电设备总功率为3038万千瓦，占总发电设备容量的2.5%（原子能发电设备比重最大的是英国，为6%），估计1980年将占5%，与水力发电的比重相当，到本世纪末将达50%。美、苏、日、西德、法、西班牙、瑞士、意大利等国计划在七十年代投入一批100万千瓦级的原子能汽轮发电机组〔3〕。

由此看来，七十年代是国外汽轮机普遍进入百万千瓦级，以及迅速发展原子能汽轮机的时期。

（二）几个国家发展汽轮机的情况对比

1. 增长速度

五十年代和六十年代国外发电设备增长情况见表1-1。

表1-1 国外发电设备增长率

	全国总装机容量 (万千瓦)			年平均增长率 (%)	火电总装机容量 (万千瓦)			年平均增长率 (%)	汽轮机产量 (万千瓦)	
	1950	1960	1970	五十年代/ 六十年代	1950	1960	1970	五十年代/ 六十年代	1960	1969
美 国	6,892	18,653	36,120	14.6/6.85	5124	15,335	28,529	12.2/6.4	992 (1962)	2,933
苏 联	1,961	6,672	16,560	13/9.53	1639	5,194	13,400	13.4/9.95		
日 本	1,077	2,365	6,734	7.7/11.4	401	1,098	4,003	10.6/13.8	99	800
英 国	1,456	3,186	6,054	9.9/6.02	1411*	3,080	5,834*	8.2/6.6	515	687
西 德	1,131 (1,951)	2,767	5,083	9.35/6.2	930*	2,432	4,605	10.1/10.8	311	513
法 国	1,156	2,185	3,857	6.58/5.84	480	1,162	2,336	9.25/7.2	111	283

* 为估算值

资料来源：1. 国外电力工业生产经济技术指标汇编 1966。

2. 五国汽轮机制造考察报告 1973。

3. 发电和输变电设备国外概况 一机部电器院编 1971。

由表1-1可见，1970年美国总装机容量为三亿六千多万千瓦，约占全世界总装机容量的三分之一。苏联约为美国的一半。

1971年和1972年国外总装机容量及组成结构见表1-2。

表1-2 1971、1972年国外总装机容量及组成结构

国 别	一 九 七 一 年				一 九 七 二 年			
	总装机容量 (万千瓦)	矿物燃料电 站(万千瓦)	原子能电站 (万千瓦)	火电比重* (%)	总装机容量 (万千瓦)	矿物燃料电 站(万千瓦)	原子能电站 (万千瓦)	火电比重 (%)
美	38,650	32,123	869	83.4	39,961	32,774	1,530	82.3
苏	17,537	14,192	203	82	18,600	15,754	260	84.5
日	7,647	5,493	133.6	72	8,529	6,272	183.6	73.2
英	7,212	6,435	560	89	7,793	6,964	613	89.5
西 德	5,398	4,682	96	87	5,613	4,894	231	87
法	4,149	2,373	230	57.5	4,280	2,427	292	57
意	3,605	1,970	67	54	3,812	2,136	67	56

* 火电比重中, 不包括原子能电站。

资料来源: 国外电力统计 (1972) 水电部情报室。

2. 行业规模

国外汽轮机制造业一般都属重型电机工业, 与锅炉、发电机、水轮机和变压器等配套生产。汽轮机制造厂一般还生产原子能汽轮机和燃气轮机。美、英、西德生产和输出包括原子能设备在内的所有重型电站设备。法、意、瑞士、瑞典和日本生产和输出除原子能设备以外的所有重型电站设备。它们具有综合电机制造业, 能配套生产全部电工设备〔4〕。

由于资本主义生产的垄断化, 企业倾轧和吞并不断加剧, 一些国家的汽轮机制造业都被少数公司所占有。

美国是通用电气公司 (General Electric Co., 简称GE) 和威斯汀豪斯电气公司* (Westinghouse Electric, 简称WH)。

西德为电站设备联合制造公司 (Kraftwerk Union, 简称KWU)、BBC公司 (Brown Boveri & Cie AG Mannheim——瑞士BBC的子公司) 及奥格斯堡-纽伦堡机器厂 (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg Aktiengesellschaft, 简称M. A. N)。

英国是通用电气公司 (General Electric Co., 简称GEC) 和派生斯公司 (C. A. Parsons Co.)。

法国是通用电气公司 (Cie General d' Electricité, 简称CGE集团) 中的阿尔斯通公司 (Alstom)、电气机械公司 (Cie Electro-Mécanique, 简称CEM, 是瑞士BBC的子公司) 和拉托-施耐德公司 (Rateau-Schneider)。

日本是日立制作所 (简称日立)、东京芝浦电气株式会社 (简称东芝) 和三菱重工株式会社 (简称三菱重工)。

瑞士是勃朗·鲍威利公司 (Brown Boveri Co., 简称BBC)。

瑞典是通用电气公司 (简称ASEA)。

苏联主要是列宁格勒金属工厂 (Ленинградский Металлический Завод, 简称ЛМЗ) 和哈尔科夫透平厂 (Харьковский Турбинный Завод, 简称ХТГЗ)。

意大利是安莎道核子机械公司 (Ansaldo Meccanico Nuclear S. p. A., 简称AMN 或Ansaldo) 和托西公司 (Franco Tosi S. p. A., 简称Tosi)。

* 一译西屋电气公司

国外汽轮机行业规模见表1-3。

表1-3 国外电站汽轮机行业规模

国 别	电 站 汽 轮 机 制 造 企 业 数	七十年代初产量 (万千瓦/年)
美	3	3,000
苏	5	1,500*
日	4	1,200
西 德	3	1,100
英	2	630
法	3	590
意	2	400
瑞	1	400

* 包括水轮机。

资料来源：五国汽轮机制造考察报告等。

英、西德、法、意、瑞士、瑞典、捷克斯洛伐克、波兰、罗马尼亚以及荷兰等；还有北美的加拿大和亚洲的日本。

国外大型电站汽轮机行业发展的共同特点主要是：

(1) 增大单机容量

表现在采用大机组、大电站和大电网。由于增大单机功率能节减制造工时，降低材料消耗和提高机组效率，自五十年代初以来，各国都遵循这一发展道路。六十年代后期单机功率达到百万千瓦以上，至今仍在继续增大。由于单机容量的增大，大电站和大电网也相继出现。

例如，美国汽轮机平均容量1950年为4万千瓦^[7]，1962年为13.5万千瓦，1972年为52万千瓦（按订货的93台机组计）。

苏联1960年初仅有5台16万千瓦机组，1970年底15万千瓦以上机组共有235台，其中30万千瓦机组有69台^[8]。

日本1950年最大单机容量为5万千瓦，1970年新建火电站全是15.6万千瓦以上的机组，其中35~60万千瓦的有41台^[9]。目前，正在制造单机容量100万千瓦的机组。

英国采取50万千瓦机组为骨干，到1972年已投运40余台。

法国以25万千瓦机组为骨干，到1972年已投运50台。

但是，单机容量的增长也有一定的限度。近年来，大型电站锅炉往往发生事故，造成地区缺电，以致在很大程度上抵销了大机组的经济性。如以大机组的可用率和可靠性作为主要判断依据，则单机容量的增长将会停滞一段时间。例如，对1980年最大火电机组容量的比较，美国一致估计为130~200万千瓦，重点在下限，平均容量将为60~80万千瓦。

(2) 合并企业

在资本主义经济的垄断下，为了强化生产，扩大市场竞争能力，减少科研、设计的重复投资费用，国外许多国家的公司相继合并或吞并。在欧洲，法国、西德等国为摆脱美国控制，并与之相竞争，这种情况更为明显。

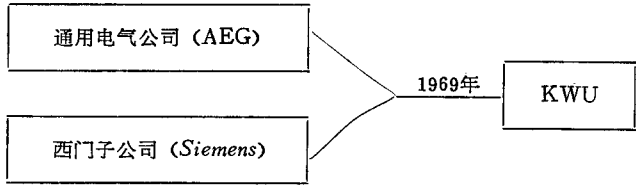
各国公司组合或吞并的变化现状如下。

3. 发展特点

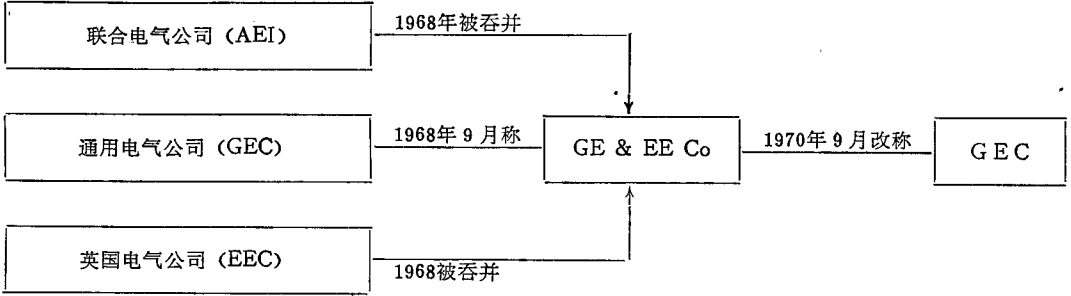
火力发电设备制造工业在世界工业经济中，特别是在工业技术发达的国家中，占有重要的地位，它是扩大电力生产及消费的决定因素之一。其生产需要庞大的工业基础以及熟练的技术工人，其研究与发展需要巨额经费，尤其是原子能发电设备更甚。而大型汽轮机几乎都是单台制造，故生产过程中机械化程度不高和工艺不够合理，因而迫切需要进行技术改造。

目前，国外具有中大型汽轮机制造能力的国家，除美、苏外，主要集中在欧洲

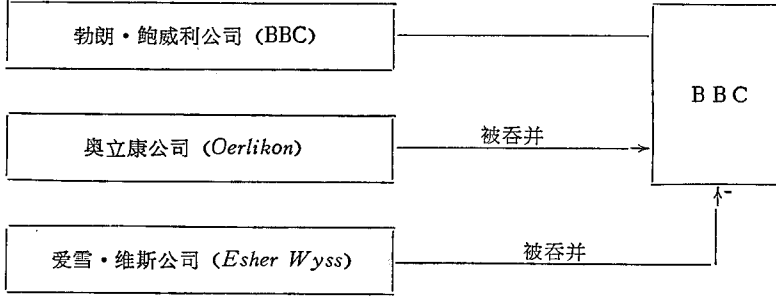
西 德



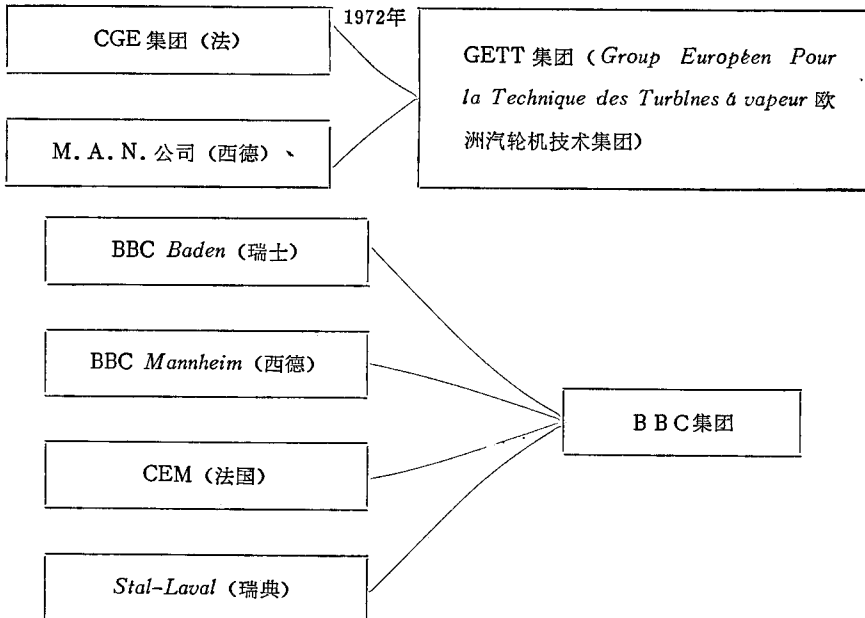
英 国



瑞 士



在国际间建立的集团关系有:



西德成立电站设备联合制造公司 (KWU) 的主要目的, 是为制造巨型汽轮发电机组而缩减庞大的双重机构, 其制造能力已大大超过本国需要。过去, AEG 生产汽轮机靠美国 GE 的专利, 现已摆脱。故 KWU 的技术已不再依赖美国, 并在世界上居于较强的地位。特别是原子能发电, 与美国已断绝技术关系。此外, KWU 还打入北美市场, 原已停止制造汽轮机的阿里斯·查摩 (Allis-Chalmers) 公司 (美) 近来以 KWU 的专利重新生产汽轮机。

上述企业在合并后, 对工厂进行扩建或改造, 大幅度提高了生产能力。

(3) 新建现代化工厂

各国新建了不少现代化汽轮机、原子能汽轮机、燃气轮机制造厂和叶片加工中心, 实现成批和流水线生产, 以增大制造能力, 提高产量。

例如, 美国 GE 于 1968 年兴建查尔斯顿 (Charlston) 工厂, 生产汽轮机低压内外缸和低压隔板。建筑面积 4.55 万平米², 并考虑到未来的发展, 每座厂房都留有扩大一倍面积的余地^[12]。

美国 WH 于同年在夏洛特 (Charlotte) 兴建一厂, 生产大型汽轮机低压部分及原子能汽轮机, 价值 6500 万美元, 设有二十多台大型数控机床和加工中心, 主要另件的毛胚制造和机械加工都采用直线流程。行车用无线电操纵, 整个工厂的生产过程用电子计算机管理^[18]。

西德 KWU 公司于 1971 年建成哈芬 (Hafen) 工厂, 制造发电机和低压汽轮机转子, 按单机容量 250 万千瓦来设计厂房, 二台 300 吨行车合起来可起吊 600 吨重物。

日本东芝和三菱重工于 1963 年前后分别建造了巨大的鹤见西透平工厂和神户的高砂工厂, 可制造单机容量 100 万千瓦的汽轮机, 1972 年三菱重工自称神户的透平制造能力达 700 万千瓦/年。

苏联于 1969 年开始在列宁格勒建立叶片加工中心, 锻造车间设计年产量为 4000 吨或 150 万吨, 据称除供应苏联汽轮机、燃气轮机和压气机的全部叶片毛胚外, 尚能出口。

此外, 美国 WH 在园石 (Round Rock)、苏联在伯力以及西德 KWU 都建立了专门生产燃气轮机的工厂^[14]。

(4) 改建原有工厂

美国 GE 的斯坎耐塔迪厂 (Schenectady) 于 1947 年建造。该厂的特点是, 基建布椿后铺上大平板, 再盖厂房, 换大设备时不用再布椿, 以利于不断更新设备。据称该厂设备现已全部更新^[13]。

英国派生斯公司 (Parsons) 的希顿 (Heaton) 厂已完成改建。该公司认为同时发展二个厂不经济, 就把 1968 年从 GEC 并来的爱里斯 (Erith) 厂关掉。虽然该厂经过一番改造后, 汽轮机年产量也能提高到 200 万千瓦。但仍将其好设备迁到希顿厂, 并添置了一批新的大型自动车床, 建造了一座大型超速试验台, 可生产单机容量 100 万千瓦以上的汽轮机。目前, Heaton 厂的汽轮机年产量由 1969 年的 325 万千瓦, 提高到 500 万千瓦。

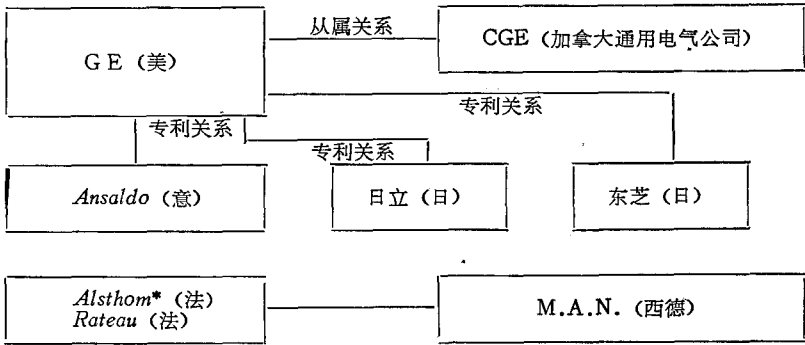
(5) 技术垄断加剧

美国的二大公司对各国汽轮机制造技术的渗透, 所占比重相当大。此外, BBC 集团在欧州的势力也很大。

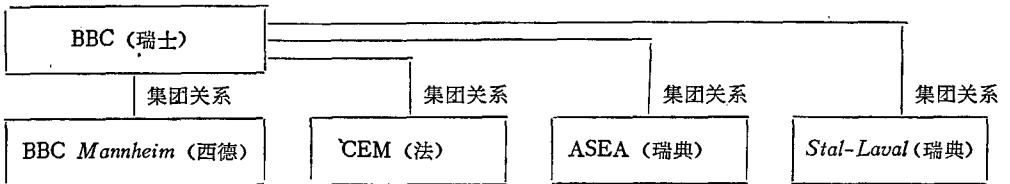
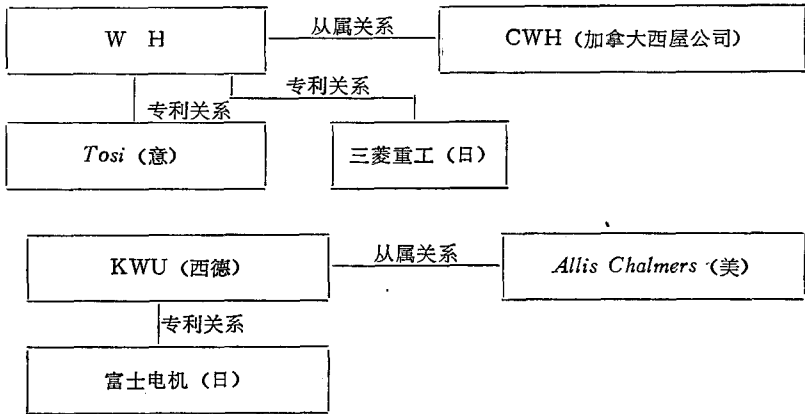
近来, 美国 GE 公司与苏修科学技术委员会签立协定, 以求在汽轮机、燃气轮机、原子能发电设备等方面的“合作”, 预定有交流专家、情报, 专利实施权的交换、取得、引渡等内容。GE 除打入苏联外, 也是对法国、西德同行业的一大威胁^[6]。

国外大型汽轮机主要技术纽带关系图示如下。

生产冲动式汽轮机的是：



生产反动式汽轮机的是：



现在，大型汽轮机一般不能纯粹分为冲动式或反动式，而是高压部分利用冲动力，中低压部分利用反动力的组合设计。

(6) 加强试验研究工作

美国 WH (西屋公司) 于1960年建立了汽轮机试验室，对大型汽轮机进行理论性和实验性研究。1967年后扩充并添置了很多新设备，如跨音速风洞、激光干涉仪、材料试验室、转子旋转地坑试验装置等。

美 GE 公司最新建成一座燃气轮机试验室，投资720万美元，1973年1月又建成一座汽轮

* Alsthom公司 (法) 原是用美国 GE 公司的专利生产汽轮机的。

机空气动力试验室，投资750万美元，其中有超音速和亚音速试验透平各一台。

至于苏、日、英、西德、瑞士等国，也都有相当规模的研究机构或试验基地。

大型电子计算机出现后，理论分析和计算的技术水平有了显著的提高，但汽轮机中的空气动力、热应力、振动等复杂现象，最后还必须通过试验方法予以验证，才能确保机组的安全可靠性和提高效率。因此，必须充分重视科研试验工作。

除上述各国发展中的一些主要共同特点外，还有一些各自的特征：

美国——保持技术领先

依靠剥削和侵略起家的美国，长期在汽轮机单机容量、产量和总装机容量方面，保持领先地位。由于美国二大公司试验室完善，发展新技术领先，因而向很多国家输出技术。如GE向日本的东芝、日立，西德的AEG，法国的Alsthom和意大利的Ansaldo出售专利，WH向日本的三菱，意大利的Tosi等出售专利〔5〕。

日本——以仿制起家

日本的汽轮机基本是从美国购买专利并仿制的。从1955年投运的6.6万千瓦机组到预定于1974年投运的100万千瓦机组，共十四个容量等级，基本上都由美国引进第一台样机，经一、二年后仿制一台，然后成批生产〔15〕。日本这样做，在技术上虽少走弯路，发展速度较快，但对美国依赖性很大。近来，日本也在致力于实现汽轮机制造国产化，据称除去叶片正在研究外，汽轮机的其余另部件已实现国产化。

西德——转向大机组

西德由于电网容量较小，过去不搞大机组，第一台30万千瓦机组于1965年才投运。1970年西德20万千瓦以下的机组仍占80%。现由于电网扩大，也转向采用以30~40万千瓦为主的大型新机组。

英国——电站效率低

英国的首台50万千瓦机组未经试验就大量投产，以致技术经济指标达不到设计值，现正考虑用改进结构的66万千瓦机替代之。此外，由于英国尚有很多陈旧的小机组在运行，其电站平均煤耗在国外各国中最高（见表1-4）。

表1-4 国外火电站平均供电煤耗

(克/千瓦·时)

	日本 九个电力公司	意大利	法国	美国	苏联	西德	英国
1960	412	371	399	385	468	405	460
1970	342	350	351	363	366	344	416

资料来源：发电和输变电设备国外概况，一机部电器院，1971年。

瑞士——致力于输出

瑞士本国装机容量不大，运行的最大机组为15万千瓦，但制造大型汽轮机的能力和技术水平则相当高。如瑞士BBC为美国制造5台130万千瓦的汽轮机，1台116万千瓦的原子能汽轮机，均是目前世界上最大容量的机组。

罗马尼亚——借鉴与引进技术

罗马尼亚1965年才开始制造5万千瓦汽轮机。1966年决定自制33万千瓦机组后，对国外八大

火电设备公司（包括苏联）进行了实地考察，选购了法国 Rateau 公司的汽轮机专利。首先购买了二台机组，于1968年投运。1973年自制成第一台33万千瓦汽轮机和发电机。

罗马尼亚把技术引进费用分发给制造、设计部门，并派员到技术协作国家去参加设计、制造。他们认为，这有利于对引进技术的借鉴^[16]。

二、企业情况

（一）厂房设备

国外汽轮机厂一般情况、主要厂房及关键设备分别见表1-5、1-6、1-7。

表1-5 国外汽轮机厂一般情况

工厂名称	工厂面积 (万平米)	建筑面积 (万平米 ²)	职工人数	投资	固定资产	年产量 (万千瓦/年)
GE大型汽轮机分厂	27.7	18.5	8,000		5亿美元	≈1,900
东芝透平工厂	18.5	12.6	2,555	83亿日元		≈550

国外汽轮机厂一般只包括汽轮机加工和叶片加工车间，其毛胚多由外厂制备。如日本某些钢厂对汽缸进行粗加工和补焊后，再交给汽轮机制造厂，而转子毛胚是热处理后进行细加工再交出。这样就大大节省了汽轮机制造厂的工作量。由表5可见，国外汽轮机厂的固定资产多，这主要是大型专用设备较多。

表1-6 国外汽轮机厂主要厂房情况

工厂	车间	厂房尺寸 跨度×长度(米)	厂房面积 (万平米 ²)	最大行车 (吨)	大机组总装台位
GE大型汽轮机分厂	273号车间（高压缸、转子、叶片车间）	25×300	3	400	
东芝西透平工厂	汽缸、转子、隔板车间	35×290	3.12	160	3×60万瓩

表1-7 国外汽轮机厂关键设备情况

工厂	炼钢电炉 (吨)	叶片模锻设备 (吨)	最大立车 φ(米)	最大车床长 φ×l(米)	最大镗床 (毫米)	最大龙门刨、铣床 宽×长(米)	超速试验坑
GE查尔斯顿工厂	100	叶片毛胚外购		1.8×14	700	4.27×12.2(铣)	有(值300万美元)
东芝西透平工厂		日本制钢供给	6	4.8×18	320/190 镗铣床	6.5×10(铣)	有
三菱高砂工厂		16	16				有

（二）技术改造后的特点

在近几年国外汽轮机厂经大规模技术改造后，大大提高了制造能力和产量。一般具有以下特点：

1. 厂房集中, 生产成线

新建厂房的特点是各跨长度大, 一般为300~400米。这便于按另部件组成流水线生产。日本三大汽轮机厂基本上是按汽缸、转子、隔板加工、隔板焊接、叶片和低压缸分跨组成流水线生产的〔5〕。

2. 汽缸和壳体等加工采用了各种新式机床, 以缩短辅助工时, 提高工效。

意大利依诺钦蒂 (Innocenti) 公司出品的加工中心 (由两台镗床组成) 在国外获得广泛采用。

美国 GE 对十九种不同方案比较后, 决定采用立轴轨式机床, 其特点是一次装夹能同时铣水平和垂直中分面, 又能钻出水平和垂直螺栓孔, 使精度和直角度都能得到保证〔18〕。此外, 西德、日本等国采用大型双轴龙门铣、立柱式铣镗床等专用设备加工汽缸。

3. 叶片集中生产, 采用多头铣

苏、西德、美国西屋等都有叶片集中生产的工厂。一般叶片机械加工, 都有多头仿型铣所组成的流水线。

4. 重视热加工装备

模锻叶片新近多用液压螺杆锤和模锻锤加工。西德已用7250吨液压螺杆锤。三菱用16吨空气模锻锤。

5. 采用超速动平衡装置

普遍建立了超速动平衡装置, 对转子作超速试验。使转子动平衡精度提高, 而且可省掉工厂试车。

美国 GE 建造一台汽轮机转子和发电机转子联在一起的超速动平衡装置, 价值3000万美元〔16〕。

三、国外产品的发展及对比

(一) 各国产品的发展及技术经济指标

在七十年代, 国外汽轮机产品发展的主要特点如下:

1. 单机容量继续增大

提高单机容量不仅可降低机组单位容量的造价, 提高机组效率及降低电站投资费用, 而且可大大提高产量。如苏联80万瓩机组成本为200万卢布, 而50万千瓦机组成本为150万卢布, 即80万瓩机组单位成本比50万千瓦机组低0.5卢布/千瓦 (17%)〔19〕。而120万千瓦机组单位成本又可比80万千瓦机组低15~20%〔13〕。汽轮机造价的降低, 还可以从单位重量和劳动量指标看出。如美国50万瓩机组的单位重量仅为1950年的产品6万千瓦机组的三分之一。换言之, 在同重量材料下近代的火电设备出力比1950年的产品约高2—3倍。苏联20万瓩机组的单位容量劳动量仅为10瓩机组的63%; 80万瓩机组的单位容量劳动量约为30万千瓦机组的79.5%。

法国1958年投运的12.5万瓩机组热耗为1920大卡/度, 1961年投运的25万瓩机组热耗为1875大卡/度, 而1968年投运的60万千瓦机组热耗为1854大卡/度。换言之, 以60万瓩机组与12.5万瓩机组相比, 由于单机容量增大, 使其热耗降低66大卡/度, 每年可节省大约4万吨标

准煤。

机组单机容量的增大使电站造价下降。如以20万千瓦机组的电站造价作比较基础，则50万千瓦机组的电站造价可降低15%，而100万千瓦机组的电站造价可降低25%〔19〕。

目前，美国GE公司的发电设备年产量约2000万千瓦，约为20年前的十倍。而该公司1951年的最大机组为12.5万千瓦，到1971年则为115万千瓦，即在此期间单机容量也增长约十倍。这说明年产量的提高不仅是由于年产台数的增多，还有单机容量大幅度提高的因素。

表1-8是目前有些国家已投运和在设计、制造的最大机组。到1973年止，国外已投运的最大常规电站机组是美国的84.8万千瓦单轴机组和130万千瓦双轴机组，其次是苏联的80万千瓦单轴和双轴机组。在制造的最大单轴机组是苏联的120万千瓦机组。

表1-8 各国已投运和在设计制造的最大机组

(到1973年底)

机组类型			国 别							
			美 国	苏 联	日 本	英 国	西 德	法 国	意 大 利	
已 投 运	常 规 电 站	单 轴	最大机组(万千瓦)	84.8	80	60	66	63	60	32
			投运年份	1973	1971	1972	1973	1973	1968	1961
		双 轴	最大机组(万千瓦)	130	80	60	60	—	—	64
			投运年份	1973	1968	1970	1968	—	—	1967
	原 电 子 能 站	最大机组(万千瓦)	110	60	78.4	66	67	54	27.5	
		投运年份	1974	1972	1973	1973	1972	1972		
	在 设 计 和 制 造	常 规 电 站	最大单轴机组(万千瓦)	100	120	100	120	85	110	
			投运年份		1975	1974				
原 电 子 能 站		最大机组(万千瓦)	132.4	100	112		125	93	82.2	
		投运年份	1978	1974	1974		1976	1974		

2. 蒸汽参数日趋稳定

蒸汽参数直接影响到机组的热效率。提高蒸汽参数的经济效果见表1-9。在五十年代有些国家(如美国)曾采用300~350大气压，593—650°C的蒸汽参数，但后又逐渐回降。到1964年后则停留在245大气压，538°C。参数回降的主要原因是高参数需用奥氏体钢，而成本贵，运行性能差。近十年来国外20万千瓦以上机组汽压一般稳定在160~170大气压(亚临界压)及240~250大气压(超临界压)两挡上，而汽温则稳定在525~566°C

表1-9 蒸汽参数对发电煤耗的影响

蒸汽压力 (大气压)	35	90	90	130	240
蒸汽温度(°C)	400	500	535	565/565	580/565
发电煤耗(克/度)	515	428	394	350	315
煤耗比(%)	100	83	76	68	61

内，并且最近趋向于采用低值。如美国GE公司认为从535°C升高到565°C，虽可提高机组效率，但并不显著。美国十年前大部分机组都采用565°C。从汽轮机设计、制造及材料来看，完全可采用565°C，但对锅炉有一定困难。温度提高后锅炉的过热器管、再热器管就要多用高温钢材，而造价增加，同时电站的管道投资也要增加。更主要的是电站维修困难，所以在美

国最近倾向于采用535°C。该温度能使机组起动快，负荷变化的适应性能较好^[20]。又如苏联在20~80万瓩再热机组上，原都采用560-565/565°C，但1971年初规定，额定压力为130和240大气压再热机组，其蒸汽温度不能超过540/540°C^[23]。日本日立公司在其50周波大型汽轮机通用化系列中采用的汽温值也为538/538°C^[22]。

国外10万瓩以上机组普遍采用一次中间再热。据美国GE公司计算，采用一次再热可使机组热耗降低4.5%。如采用两次再热，热耗虽可再降低2%，但机组结构趋于复杂，造价高，仅适用于燃料价格高的地区承担基本负荷机组，故一般很少采用。该公司1972年所制造的再热机组中没有一台机组是两次再热的。至于亚临界压和超临界压机组的技术经济性，各国所作比较见表1-10。但实际采用哪一档参数，各国有所不同。如日本45万瓩以上机组全采

表1-10 各国关于亚临界压与超临界压机组的技术经济比较

国别	机组容量 (万千瓦)	相比较的参数 (大气压/°C/°C)		投资增加 (%)	热耗降低 (%)
美国	30~60	169/538/538	266/538/538	2.8~4.4	0.66~1.83
日本	40	169/566/538	246/538/552/566	2.4~5.5	1.1~1.6
苏联	50	160/560/565	240/560/565	2.5~2.8	2.1
西德	25~30	166/525/525	240/525/525	1~2	1.2
英国	35~37.5	163/566/566	246/566/566	2.7~5.0	1.0
法国	60	163/565/565	246/540/540	3.8	0.005

用超临界压，主要原因是日本动力资源88%靠进口，故力求设备效率以节省燃料。苏联30万千瓦以上的机组也基本全是超临界压。西德最近也出现了一批10万和20万瓩超临界压机组。英法两国则认为亚临界压机组可不用直流锅炉，而采用汽包锅炉时运行较灵活，制造困难较少，热效率也大致相同。近两年美国似乎有从超临界压转向亚临界压的趋势。如1968年统计的50瓩以上的新机组中，采用超临界压的占78%，而1972年统计的新机组中，降为39%，1973年后五年内计划投运的机组，则平均为28%，另一方面，亚临界压机组的比重，从1964年的最高值（90%）逐渐下降到1971年的18%，但1972年又显着回升。在今后的五年内将平均占45%。这种趋势的一个重要因素是美国倾向于以原子能电站来承担基本负荷，而目前要求建造的许多火电机组，必须能满足胜任中间负荷运行，故改用亚临界压为宜。

3. 普遍采用单轴结构

苏、法、西德等国一直是采用单轴结构的机组。苏联1964年曾制造一台双轴80万瓩机组并于1967年投运；采用双轴结构的主要原因是，当时没有80万瓩的发电机。当能制造此容量的发电机后，又设计制造了80万瓩单轴机组以取代80万瓩双轴机组了。另外，美、日等国在过去较长一段时间内曾将大容量机组制成双轴结构，尤其是美国更为普遍。据美国GE公司介绍过去该公司常常通过“双轴”来加快提高单机容量的速度，即用双轴机组来达到当时单轴还不能达到的容量等级，这就能提前两三年，甚至七、八年，使容量等级满足市场的需要。例如30万瓩的双轴机组比单轴的早7年，40万瓩的双轴比单轴的早5年，50万瓩双轴机组比单轴的早7年。但是由于双轴机组比单轴造价高，占地面积大，电站建设费用多，加上近年来由于技术的进步，新材料新结构的采用，特别是大型末级长叶片的研制成功，双轴机组已逐渐让位于单轴机组。英国、日本目前也趋向于单轴机组。

4. 进一步发展长叶片