

《国外机械工业基本情况》参考资料

汽 轮 机

汽轮机基本情况编写组编

第一机械工业部科学技术情报研究所

内容简介 本资料为《国外机械工业基本情况》的汽轮机部分。内容主要介绍了国外火电站、核电站汽轮机的发展特点，产品的改型和更新，主要制造工艺——汽缸、转子、叶片、装配试验以及美、苏、日、英等国汽轮机行业、企业的生产组织概况。可供汽轮机制造行业及有关应用部门的科技人员及大专院校的教学工作者作参考。

汽 轮 机

汽轮机基本情况编写小组

(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10月北京

代号：79—61 定价：1.45元

目 录

第一章 综述

第一节	美、苏、日、英等国电站装机容量、发电量和汽轮机产量	1
第二节	火电站汽轮机的发展特点	2
第三节	电站汽轮机的改型和更新	5
第四节	行业情况	8
第五节	制造技术和工艺	10

第二章 各国汽轮机制造企业、生产和产品的发展概况

第一节	美国	12
第二节	苏联	22
第三节	瑞士	41
第四节	西德	50
第五节	日本	62
第六节	法国	73
第七节	英国	80

第三章 制造

第一节	汽缸	89
一、	汽缸加工的发展	89
二、	门框式机床加工汽缸	91
三、	落地铣镗床加工汽缸	99
四、	单工序机床加工汽缸	104
五、	隔板加工	106
第二节	转子	109
一、	转子的大型化和加工精度	109
二、	广泛以数控车床车削转子	110
三、	在普通车床上改进转子加工方法	111
四、	现场修理大型转子用拼装式车床	112
五、	铣削转子枞树形叶根槽的专用车床	112
六、	专用机床钻削叶轮销钉孔	113
七、	叶轮加工	113
八、	焊接透平转子	115
第三节	叶片	117
一、	叶片少无切削工艺	117

二、叶片毛坯的材质、精度和公差要求.....	118
三、锻压叶片主要工艺过程.....	120
四、锻压设备的选用.....	121
五、叶型加工.....	127
六、叶根加工.....	129
第四节 装配试验.....	131
一、电子技术在汽轮机装配上的应用.....	131
二、汽轮机的光学找中、激光找中.....	133
三、建立大容量出厂试车装置.....	133
四、转子高速动平衡工艺.....	134
五、高速动平衡机.....	134
六、高速动平衡试验室.....	137
七、挠性转子动平衡准则和平衡方法.....	143

第一章 综述

第一节 美、苏、日、英等国电站装机容量、发电量和汽轮机产量

在1973~1977年这五年中，美国和苏联的电站设备总装机容量分别达2亿4千万千瓦和2亿4千万千瓦，日本的电站设备总装机容量于1975年达1亿千瓦以上，并持续增长，于1975年超过了英国，成为电站装机容量居世界第四位的国家。

在电站设备的构成中，多数国家仍以常规火力发电设备占比重最大，在70~90%。但在这五年中，不少国家火电站的比重略有下降，而核电站的比重则有显著的增长，如日本，1973年核电站设备容量比重为2.8%，1976年增加到7.2%，1977年的5.9%，增加到1976年的7.9%。美国核电站比重最大，1977年达9%。

汽轮机年产量，美国1972年曾达4250万千瓦，日本在1970年和1971年曾达4250万千瓦，但在这五年中产量均减少了。这与1973年“石油冲击”的影响分不开的。

各国电站总装机容量、发电量、火电设备与核电设备的比重以及汽轮机产量见表1-1、表1-2、表1-3、表1-4。

表1-1 1973~1977年各国电站总装机容量 (万千瓦)

年份	国别	装机容量 (万千瓦)				
		美国	苏联	日本	西德	英国
1973		43,988	19,660	8,441	6,566	7,112
1974		47,617	20,510	9,250	7,012	7,212
1975		50,841	21,500	9,970	7,436	7,112
1976		53,145	22,800	10,379	7,755	7,212
1977		55,682	24,000		8,460	

表1-2 1973~1977年各国发电量 (亿度)

年份	国别	发电量 (亿度)				
		美国	苏联	日本	西德	英国
1973		15,884	9,150	4,702	2,990	2,620
1974		15,662	9,750	4,591	3,117	2,520
1975		16,176	10,350	4,758	3,018	2,520
1976		17,541	11,080	5,118	3,132	2,520
1977		19,025	11,520		3,362	2,620

表1-3 各国电站设备的构成 (%)

类别	国别	构成 (%)							
		美国		苏联		日本		英国	
		1973	1977	1973	1977	1973	1977	1973	1977
火电站		80	77.8	75.8	74.5	71.8	68.9	83	
核电站		4.9	9	1.6	3	2.8	7.2	7.5	
水电站		14	12.3	17.8	18.8	25.4	23.9	2.85	

	1970	1975	1977
	1.042		
	1.310	1.165	

六十年代初，各主要工业国经历了所谓“液体燃料革命”，就是在能源消耗中大幅度增加石油和天然气的消费量，以致在1967年长期占能源消耗首位的煤炭被天然气和石油所取代。

在石油冲击下，大幅度调整了能源政策和努力改变电力中的能源消耗结构，以减少对进口石油的依赖程度。与电力设备有关的主要措施有：

- (1) 美国、法国、日本、西德等大力推进核电站的生产。
- (2) 在煤炭丰富的国家，如美国、西德、苏联，电力用燃料又以用煤为主，美、苏还大量调用煤，尤其是用低品位煤作燃料。

第二节 火电站汽轮机的发展特点

五十年代以来，国外火电站汽轮机始终是以提高蒸汽参数和增大单机功率为中心。提高蒸汽参数和增大单机功率在经济上有一系列好处。有些国家为进一步增大机组功率，正研制关于150~250万千瓦机组的有关技术，并提出了机组的选型方案。另一方面，由于大机组取得的大量运行经验，特别是由于蒸汽参数过高和机组过大而遇到的问题；在提高蒸汽参数和增大单机功率上，采取了审慎的态度，发展势头远不如六十年代，而是处于较为稳定，甚至有所回降的状态。在考虑机组的综合技术经济指标时，由一味追求经济性转为重视机组可靠性与机动性。

尽管一些国家已有制造单机功率为100~150万千瓦机组的能力，但由于单机功率为20~30万千瓦的机组目前已能满足国内外需要，故科研工作和生产管理的着重点，放在提高机组的可靠性和经济性，致力于扩大生产能力，以强化国际市场的竞争力。

(1) 蒸汽参数的选择——强调可靠性和机动性

美国于六十年代初，在爱迪斯顿等六个电厂建造的闻名于世的300~350大气压、600~650℃、12~35万千瓦的高参数工业性试验机组，经过多年的运行，至今仍然是否定的答案。

西德曾是高参数机组的先驱者，在1951~1959年期间共投运24台高温机组，大部份用超临界压力，最高达650℃，其中有四台为超临界压力，最高压力达350大气压。

由于锅炉、过热器和汽轮机部份部件要用奥氏体钢，价昂，运行性能很差，现都放弃了。

机组运行可靠性与蒸汽温度的关系，比与蒸汽压力的关系更为密切，目前国外大机组多倾向于采用偏低的蒸汽温度，一般都采用535~540℃的温度，美国和西德近几年新制造的机组甚至采用更低的温度，多在510~520℃。多年来，苏联在30~80万的机组采用560~570℃的蒸汽温度，120万汽轮机原来也打算用此温度，但近来50~120万千瓦机组已全部改为采用540℃的温度，就连生产批量最大的30万千瓦机组，今后也主要用540℃的温度。

唯有日本，因困于依赖进口石油作电站燃料，为追求电站经济性，大部份机组（或是新机组，或是再热蒸汽）采用566℃的温度。但近来生产的50、70万千瓦机组，也用538/538℃的温

德、美、法也由500大气压下降到510/535℃, 而日本则由500/535℃下降到450/535℃, 这反映了超临界压力机组发展的趋势。

蒸汽压力对可靠性影响不大, 据报道, 亚临界压力机组的可靠性比超临界压力机组高, 所以过去多用超临界压力的国家, 如美、苏、西德、日本等, 至今仍有超临界压力机组。但超临界压力机组因管道、汽缸、阀门等壁厚, 为了减小热应力, 制造难度大, 故影响了机组的负荷适应性或机动性。为提高机组的机动性, 蒸汽参数采用超亚临界大气压, 525~535℃。为了适应电网尖峰负荷的需要, 不少国家设计了多种参数、结构较简单, 机动性好的机组。

考虑到将来以核电站承担基本负荷, 火电站将在很大程度上作为调峰机组, 因此新建机组中超临界压力机组逐年减少, 1971年新建机组中超临界压力机组占50%, 1972年占39%, 1973年—28%, 1974年—16.8%, 1977年—10.8%。

苏联拟以新设计的亚临界参数50万, 80万千瓦机组调峰, 故目前超临界机组比例仍较高。1975年超临界机组占46.3%, 1980年估计达51.8% (30万千瓦以上全部为超临界压力机组)。此外, 300大气压、650℃的P100~300型10万千瓦高参数试验机组, 仍在继续试验中。日本35万千瓦以上机组全部用超临界压力, 占功率比重32%。

西德、英、法均用亚临界压力。

2) 单机功率——增长势头消失

自1955年到1970年这段时期, 火电站汽轮机的单机功率的增长一直保持很高的速度, 美国始终处于领先地位。五十年代中期, 一些国家已制成15万千瓦左右的机组, 而美国则达45万千瓦, 六十年代中期各国大机组达到30万千瓦的水平, 而美国则为70万千瓦, 1967年投运了第一台100万千瓦双轴机组。六十年代末期和七十年代初, 各国大机组功率多在60~70万千瓦, 苏联制成了80万千瓦双轴机组, 美国于1972年投运了130万千瓦双轴机组。到目前为止, 这仍然是国外最大的火电机组。

各国已投运的最大火电机组功率如下:

双轴机组——130万千瓦 (美国)、100万千瓦 (日本)

单轴机组——88.4万千瓦 (美国GE), 80万千瓦 (苏联)

70万千瓦 (日本、西德、法国)

66万千瓦 (英国、意大利)

到1977年为止, 只有美国和日本拥有大于100万千瓦的火电机组, 美国投运了10台, 日本四台。苏联首台120万千瓦单轴机组原计划1975年制成, 估计1980年以后投运。

从美国火电站新机组订货看, 100万千瓦以上的机组处于停滞状况。在1974~1977年订货中, 没有一台机组单机功率超过90万千瓦。而且70万千瓦以上的大机组订货量也在下降, 如1974年72台订货中, 只有5台为70~85万千瓦, 而67%的机组是50万千瓦以下, 与六十年代类似。

美国的这一动向引起人们普遍关注。其原因究竟何在, 尚待深入探讨, 但有些因素有助于对这一问题的分析。

其一是, 七十年代初美国爱迪生研究所发表了机组可靠性随单机容量增大而下降的研究报告。据计算100万千瓦级的大机组若事故率增加1%, 所带的损失将使增大单机容量得不偿失, 甚至殆尽。

100万千瓦的机组，正在向130万千瓦机组过渡。

其特点如下：

由表可见，在一定的技术水平下，从可靠性和经济性观点，大机组的台数上界功率是有限度的，有些国家认为，目前没有必要制造大于130万千瓦的机组。

此外，由于成熟，制造批量较大，而且逐步成为主力机组，多是功率为30万~70万千瓦。

美国新投运机组一半以上是40~70万千瓦机组。

苏联目前的主力机组是20万和30万千瓦，正在向50万和80万千瓦级过渡。但后者运行指标尚差，未达到设计值，在1976~1980年中，计划各投运8台，进展不快。为了利用东部地区的劣质煤，苏联计划制造一些160、200和240万千瓦级的机组，供长距离输电用。

意大利的标准机组是12万和33万千瓦，正计划成批生产66万千瓦机组。

日本30~70万千瓦机组占全部火电机组的65%（1974年）。

英国的标准机组功率是20、50、66万千瓦，目前建造的电站大部份是由四台50万千瓦或三台66万千瓦机组组成的200万千瓦电站。

西德主力机组正在由30万千瓦机组向60万千瓦级过渡。

由此看来，各国选择的大机组单机功率，目前多集中在30~60万千瓦，100万千瓦级大机组尚未普及。

5. 建立科研基地，深入开展试验研究

大型电站汽轮机在高温、高压、高速下工作，再加上湿蒸汽的作用，使汽轮机的实际工作条件很复杂，尽管依靠大型电子计算机，使计算精度大为提高，但对于汽轮机零部件在工作条件下的气动性能、振动、强度、热应力、湿蒸汽的双相流动、传热和水蚀等现象，主要有赖于试验验证，以得到更符合实际的结果，而且更倾向于以大型实物试验台进行试验。

美国一向以科研试验力量雄厚著称，近几年来也不断新建试验设备，其中最引人注目的，是西屋公司以800万美元建造世界上最大的低压汽轮机实物试验台，制动功率为6.8万马力。

该台有光学测试手段、电子计算机处理数据，可对全速机低压叶片作全尺寸试验，研究振动、湿蒸汽流动状况。该公司宣称这种试验台可揭示汽轮机内部情况，将开创汽轮机发展的“新纪元”。

苏、日等国也建造了类似的试验台。日本三菱重工的低压汽轮机试验台制动马力为2万马力。

日本虽是以引进技术起家的，但近来也很重视科研工作。日本三大主要重型电力设备制造公司都纷纷建立了齐全的汽轮机试验研究基地，开展了富有成效的科研工作，其中突出的三菱公司自行研制成70万千瓦单轴机组35英寸（3600转/分机组用）的末级叶片。

西德 AEG 等公司的发电设备过去依赖美国技术，七十年代起与西门子公司合并成立 SIEMENS，集中力量开展科研工作以来，不仅在技术上已完全独立于美国，而且在压水堆核电站设备的研制工作方面，甚至超过美国，打入了美国市场。

（1）保持各自的技术传统，争夺国际市场

随着汽轮机技术发展，就原理上讲，仍然分为两类，即以美国 GE 公司为代表的冲动式结构，和以美国西屋、瑞士 BBC 公司为代表的反动式结构。这三家公司的传统技术在国际上影响最大，出售的许可证最多。

美国的GE公司和西屋公司的传统技术,不仅对日本、苏联等国产生过很大的影响,而且曾对西德、法国等产生过很大的影响。此外,还向瑞士等国取得过某些许可证。

瑞士BBC的汽轮机技术在欧洲具有强大的地位,象西德、瑞典等国都有以BBC为技术基础的分公司。BBC在法国的分公司CEM只是在1976年才被法国政府强行收买的。美国投运的许多大型汽轮机组都是瑞士BBC制造的。

这些公司的生产能力都远远大于国内的需要,所以在国际市场上展开激烈的竞争,造成了大出口量。

法国在1976年经过大规模的兼并后,成立了独家垄断的阿尔斯通-大西洋公司(Alstom),它以拉托结构的传统技术为基础,投入了国际市场的逐鹿。

冲动式汽轮机和反动式汽轮机在国际市场上均占有牢固的地位,据悉1977年全世界汽轮机总产量中,冲动式和反动式约各占一半。

为了在国际市场上保持信誉,各公司很重视发扬各自的传统结构和传统技术,不轻易作大幅度变动,而是在原有的传统技术基础上,反复试验研究,精益求精,不断提高其可靠性和经济性。

例如,BBC的几项具有鲜明特色的传统技术都具有数十年的历史。其焊接转子是1929年开始采用的,至今低压部份全部用焊接转子,据称自1929年以来没有一根焊接转子坏掉。该公司自1951年以来就采用与轴锻成一体刚性联轴节,效果良好,用于各种容量等级的汽轮机,直到最大的机组也不准备改掉,该公司已研制用于200万千瓦汽轮机的整体式联轴节。在轴承布置方面,坚持在任何两个汽缸之间只用一个轴承,这种传统自1950年以来一直沿用。

5) 扩大生产能力,提高产品质量

1. 建立专业化协作生产体系,完善生产配套。

为了适应核电站汽轮机巨大零部件的加工需要,美、苏等都新建大型核电站汽轮机专业厂,西屋公司建有叶片和中小件专业加工厂,美国GE公司建有汽缸、隔板专业生产厂,汽器、热交换器、冷油器专业生产厂。

2. 毛坯制造专业化

这是影响汽轮机产量、质量的一个重大措施,国外汽轮机大件,如汽缸、转子毛坯等在铸锻专业生产厂并粗加工、热处理检验合格后才交付汽轮机制造厂,这可避免制造厂在加工中发现缺陷而造成退修的损失。

3. 流水线,自动线生产日益增加,已发展到电子计算机控制和指挥全厂的生产水平,使生产效率大幅度提高。

第三节 电站汽轮机的改型和更新

电站汽轮机不象电子计算机那样,由电子管式发展到大规模集成电路,经历了几代的质变,而是在原有基本结构上进行的改型和更新;其工作原理和基本构件和二十世纪初,并没有质的变化,只是功率、蒸汽参数、尺寸等的变化大。国外大量制造的轻水堆核电站汽轮机也是如此。至于新一代的快中子增殖堆及以最终解决人类能源问题的受控热核聚变反应堆用的电站汽轮机,其结构型式将同目前的火电站汽轮机几乎相似。看来,作为将一次能源转换为电能的基本热机——电站用汽轮机和发电机,将长期地牢固地站稳脚跟,所以,如国家

在汽轮机制造上，掌握汽轮机主机各零部件的性能，掌握汽轮机制造的基本原理，掌握汽轮机制造适应各种需要的系统，是汽轮机改型和更新的基本途径。

国外各主要汽轮机制造厂，所以能满足用户的不同需要，快速地进行设计、制造不同系列汽轮机，一般都不是按过去的设计方式进行的，而是在设计、研究部门搞一些基本部件的系列，如基本叶片级、高压缸、低压缸、轴承、转子等，并根据用户的要求选择适当的部件，进行热力计算，绘出总图并估出价格，签订合同后再正式修改设计，待主要参数确定后，再行施工设计和制造。由于其基本部件的设计都是现成、经过试验考验的，所以这样设计的机组生产周期短、可靠性良好。采用这种所谓“积木式”设计方式的公司，有美国GE、西屋、瑞士BBC、日本东芝、三菱、日立和法国AA公司等等。

如BBC公司以九种末级自由叶片，组成系列；末叶高度为532~1200毫米，其中六种已成功运行。次末级也同样系列化了。BBC的所有动静叶片（除末级外）均采用同一型线，只是高度、弦长和安装角有变化。

某些国家在提高主力机组的功率等级过程中，采取不同方式，收到了不同的效果。

（一）稳步上升的西德

西德提高机组功率的速度缓慢，从15万千瓦提高到30万千瓦经历了十年，从30万千瓦提高到60万千瓦经历了八年，到1970年才投运首台60万千瓦机组。其原因之一，是西德过去认为单机功率超过35万千瓦，对制造成本和运行经济性均无好处；另外是，西德发展大机组的方针是：当前一级机组运行数量已相当多，下一级机组的某些重要部件已在运行中经受了考验，这时才开始订货。

由于西德在提高功率等级时，采取了稳妥而扎实的方针，不是盲目追求速度，所以西德电站汽轮机功率由15万翻到30万，由30万翻到60万千瓦时，机组可靠性非但不下降反而提高了。在各国普遍遇到大机组可靠性下降的情况下，西德取得的这一经验尤为显得突出。

（二）苏联对大机组调试改型后再成批生产，并不断改进。每种产品首台试制投运后，需经过改型才能成批生产，是苏联汽轮机制造业的传统。在发展新产品的同时，也对原有产品不断改进。

如30万千瓦机组于1960年制成，1963年投运，采用240公斤/厘米²，580/565℃的新汽参数，由于首次采用超临界参数和新的末级叶片等新技术，所以，在最初运行的几年中暴露了不少缺陷和问题，而进行了大量调试改进工作。1970年生产2型，蒸汽温度降至540/540℃。现在列宁格勒金属工厂生产的是第2型，哈尔科夫工厂生产的是第3型。目前，30万千瓦机组是苏联超临界参数机组中可靠性最好的机组（至1977年已投运137台），大修周期由三年提高到三年半。然而，苏联30万千瓦机组也还存在一些较严重的问题，如末级叶片运行了3~5万小时后发生严重水蚀，这已列为苏联电力行业的一项重大研究课题。又如通流部份结铜垢，使机组效率下降3~7%，甚至更多，以及表面式低压加热器端差大（5~6℃），加剧振动和破裂，6~7年需更换一次（设计寿命为30年）。

此后，苏联对50万和80万机组采取更慎重的步骤。每台新机组投运后，经过3~5年的调试、改进、再制造第二台。1970年制成的单轴80万千瓦机组（2型），到1977年已改为4型。1966年制成的50万千瓦机组，也将采用第3型。热耗由1844下降到1830大卡/千瓦·时。

（三）英国急于求成而受挫

英国在发展新一代汽轮机时，由于未经过首台样机的试验就投入大批生产，遭受到挫折。

美国自1966年起集中生产50万千瓦单轴机组，到1973年，就投运了40多台。由于汽轮机振动过大，达不到额定功率，由于采用565/565℃的蒸汽温度，汽轮机转子要用蒸汽冷却，蒸汽室需用特殊钢，运行性能差。后来，对高压转子重新设计，才达到额定功率。

目前，英国不得不改为主要发展66万千瓦机组，蒸汽温度下降到537/532℃。汽轮机产品更新的主要技术措施：

总的趋势是在保证安全可靠的前提下，采用较少的汽缸数和较少的排汽口数，因而研制了很多高中压合缸结构和研制成功一系列新的末级长叶片。

1) 高中压合缸

美国 GE 公司、日本各公司等认为，当高压、中压缸都能设计为单流时，应采用高中压合缸。只是在功率超过一定界限，由于蒸汽容积大，中压缸无法设计成单流时，才用一个高压缸和一个双流中压缸的分缸结构。由于分缸结构多用一个汽缸，不仅造价高，运行性能也较差，因此应尽量作出努力，采用高中压合缸。这一功率界限，一般认为在60~70万千瓦的。BBC认为高中压合缸可用到100万千瓦的机组。

GE高中压合缸结构最大功率为55万千瓦，日本已用于50万千瓦机组，均为三缸四排汽结构。

标准机组，即是一个高中压合缸再加一个双流低压缸，末级叶片850毫米（3000转/分）。美国 GE 公司在1974~1977年期间，用850毫米（33.5"）末级叶片生产了14台约42万千瓦的双缸双排汽机组。

60万千瓦的机组，一般都用四缸四排汽结构，并采用与30万千瓦通用的后汽缸，如苏联的50万千瓦机，意大利的66万千瓦机和西德的60万千瓦机。英国 GEC 的66万千瓦汽轮机，原用五缸六排汽，现改为四缸四排汽，计划于1978年以后投运。此外，西德由于水源困难，大力推广冷却塔，因此背压较高，故西德的第二代60万千瓦机也用双缸双排汽结构（背压 $0.07\sim 0.083$ 公斤/厘米²）。美国 GE 公司的60万千瓦级汽轮机，一般用762毫米末级叶片（3600转/分），也是四缸四排汽口。用850毫米的末级叶片的四缸四排汽口机组功率，一般在75~83万千瓦内。

大于80万千瓦的单轴汽轮机，一般用五缸六排汽的结构，五个汽缸是目前单轴机组的界限，苏联的200万千瓦单轴汽轮机设计，也是五缸结构，即一个双流高中压缸和四个双流低压缸。

2) 末级叶片

采用更长的末级叶片，一方面可提高单机功率，另一方面在同样的功率和热力参数下，采用较长的末级叶片可减少排汽口数，从而使低压缸数减少，缩短机组轴向长度。

目前，国外全速汽轮机（即3000转/分和3600转/分的汽轮机）研制成功的长叶片，其长度约在1000~1200毫米内。

苏联哈尔科夫透平厂用1050毫米，列宁格勒金属工厂为960毫米，用于120万千瓦机组的是1200毫米钛合金末级叶片。

瑞士 BBC 公司为1000毫米，拟用于Graben电厂120万千瓦核电站的全速机的末级叶片为1200毫米钢叶片，均为自由叶片。

法国 A A 公司和西德 M. A. N 公司制成的是870毫米（3600转/分），相当于3000转/分的

1020毫米长叶片。

西德KWU公司为1030毫米自由叶片。

美国、日本为850毫米(33.5")，相当于3000转/分的1020毫米长叶片。

30万千瓦级机组采用四缸四排汽的结构仍是常见的。也有三缸三排汽的，如苏联和西德，但近来更流行的是用双缸双排汽结构，如意大利的32万千瓦。

第四节 行业情况

国外大型电站汽轮机的制造企业在经历了不断兼并过程后，到七十年代初已达到高度集中垄断的程度，在那些汽轮机技术发达，产量甚高的国家中，都形成了汽轮机制造的垄断体制，大多集中于2~3个公司内。其分布情况如下：

美国

通用电气公司 (General Electric-GE)，是世界上最大的汽轮机制造企业，最高年产量超过3000万千瓦。

威斯汀豪斯公司，又称西屋公司 (Westinghouse-WH)，规模仅次于GE，年产量最高近2000万千瓦。

爱里斯·查尔摩公司 (Allis-Chalmers)，系购买西德KWU公司的专利生产核电站汽轮机，产量不高。

苏联

列宁格勒金属工厂透平生产联合企业 (Производственное Объединение Турбин-Ленинградский Металлический Завод-ПОТ ЛМ) 是苏联最大的汽轮机制造企业，年产量约1200万千瓦。

哈尔科夫透平工厂 (Харьковский Турбинный Завод-ХТГЗ)，是苏联第二位汽轮机制造厂。目前正在改建，拟专门生产核电站汽轮机。

乌拉尔透平发动机厂透平生产联合企业 (ПОТ Уральский Турбино-Моторный Завод-ПОТ УТМЗ)，主要生产供热机组，目前最大供热机组容量为25万千瓦。

此外，苏联目前正在新建伏尔加—顿河《原子能设备厂》 (Волгодонский Завод «Атом-машин»)，计划于1981年前建成，主要生产原子能电站设备。

日本

东芝公司 (Toshiba)

日立公司 (Hitachi)

三菱公司 (Mitsubishi)

这三家公司的汽轮机制造能力相近，约各占日本总产量的1/3。此外，富士公司 (Fuji) 购买西德 KWU 的专利，生产25万千瓦以下的电站汽轮机，但主要生产工业汽轮机。

西德

电站设备联合制造公司 (Kraftwerk Union-KWU)，生产能力约800万千瓦/年。

西德BBC公司 (BBC, Mannheim)

奥格斯堡—纽伦堡机器厂 (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG)

英国

通用电气公司(General Electrical Company-GEC),是美国最大的电工制造企业。

派生斯公司(NEI-Parsons),该公司于1969年与雷罗尔公司(A. Reyroller)合并为雷罗尔·派生斯集团(Reyroller-Parsons Group),1977年又并入北方工程公司(North Engineering Industry Ltd),故现称NEI-Parsons公司。

英国这两家公司汽轮机生产能力相近,分别约400万千瓦。

法国

阿尔斯通-大西洋公司(Alstom-Atlantique-AA)是法国唯一的电站汽轮发电机组企业,生产能力达到年产800万千瓦。该公司系于1976年将法国其它几家汽轮机制造企业(拉托公司,机械电气公司,克雷索·鲁瓦尔公司)吞并和签订合同后,形成的独家经营垄断企业。

瑞士

勃朗·鲍维利公司(Brown Boveri Company-BBC Baden),生产能力约800万千瓦/年。

意大利

安莎多原子能机械设备公司(Ansaldo Meccanico Nuclear S.P.A简称:AMN)

弗朗柯·托西公司(Franco-Tosi)

自1973年石油冲击以来,资本主义各国汽轮机制造企业普遍面临着国内需要下降,订货减少的形势。

英国的电力工业,由于能源危机和英国整个经济衰退,电力需要减少,英国中央电力局(CEGB)对发电设备的订货愈来愈少,最近甚至声称,1980年前英国不需要建造任何新电站。1975年底CEGB电网内电站总装机功率约5850万千瓦,已超过1975~1976年冬季最高负荷的47%,比1982~1983年的预计最高负荷亦超过32%(包括20%的储备功率)。为了提高电站效率,英国每年约拆除50~60万千瓦的旧机组。国内需要主要用于填补拆除机组。在1973~1977这五年中,英国电站设备总装机容量增长很少,保持在7100~7200万千瓦上下。而英国两家公司的制造能力目前已达800万千瓦,为了寻求出路,制造企业和有关部门多次提出要求和建议,要求政府协助建立承包整套大型电站设备的强有力商业组织,以强化国际市场的竞争能力。

美国由于经济衰退和用电业的财政困难,汽轮机产量,由1972年的4250万千瓦下降到1973年的3307万千瓦,以后各年是1974年——3582万千瓦,1975年——3298万千瓦,1976年——3100万千瓦,其原因是六十年代后期核电站订货减少,建造脱期以及用电部门资金不足而取消定货等。与此同时,美国透平发电设备的出口量逐年增加,以满足世界各地农村及小城市的迅速电气化及产油国加紧工业化,估计这一趋势将继续到八十年代。1975年美国透平发电设备出口额约7亿美元,比1972年的2.4亿美元增长约2.9倍。

日本汽轮机年产量最高水平是1970年和1971年,分别生产约1260万千瓦。1972年以来,基本保持在1100万千瓦,其中大部份供出口,1972年汽轮机出口量占23.4%,1976年增加到57%。

第五节 制造技术和工艺

由于汽轮机是在高速、高温、高应力状态下长期运转，为了获得较高的效率，要求各级动静叶片之间间隙尽量小，因而对汽轮机的材料性能和加工精度，都提出了相当高的要求。此外，长期以来，由于汽轮机生产批量不大，而且品种较多，其主要大件，多处于小批生产乃至单件生产的生产状况。在六十年代，汽轮机单机功率迅速增大下，上述工艺要求和生产特点显得更为突出。为了适应汽轮机制造的这种特点，国外各主要汽轮机制造企业，在六十年代后期和七十年代初期进行了大规模的企业改造，其主要方向是，在汽缸、转子等大件加工中，采用专业化程度更高、效率更高和加工精度更好的设备和工艺，如加工中心，大型龙门铣镗床、数字控制和数字显示技术等；而对那些生产批量较大的零部件，如叶片，隔板等，则尽量集中生产，以追求成批和大批生产的生产效果。由于大型汽轮机一般有3~5根转子，再加上发电机和励磁机，整个机组的转子数一般达5~7根，整个轴系长达30~50米，为了确保轴系的振动安全可靠，提高轴系的动平衡质量，采用高速动平衡装置已成为必由之路。为了提高生产效率，各制造企业在进行技术改造时，尽量按流水线的方式安排机床设备，以减少搬运工作量，并采用电子计算机进行生产管理，使生产管理效能得以大幅度提高。采取了上述措施之后，各制造厂普遍大幅度提高了生产能力，大部分公司年产量提高到600~800万千瓦，而美国GE公司和西屋公司年产量分别约达到3000万和2000万千瓦。

汽轮机主要部件加工中的新技术：

1. 汽缸

1) 采用多工序的加工中心：即在一次装夹中完成更多的工序，减少工件移动次数，以提高加工精度，缩短辅助时间。设备多用天桥式铣镗床、龙门式铣镗床及卧式铣镗床等。

2) 采用数显和数控技术：可快速地高精度定位，减少大量试刀测量时间，减少人工操作误差及划线工作量，使生产效率提高。

3) 采用先进的刀夹量具：汽缸中分面上的大螺孔加工，是一项困难的工艺。较有效的方法是，采用旋风切削装置加工螺纹，加工一个M140×10，深200毫米的螺孔，只需四分钟。加工螺栓孔多用套料钻和喷吸钻。

2. 转子

汽轮机的转子、主轴和叶轮的机械加工，主要工作量在于车削。国外多在大型卧式车床上，配以数控装置或数显装置，此外，还采用拼合式车床为现场维修服务，简易车床加工围带，用数控镗床加工主轴上联轴器的精密螺栓孔等。转子特殊部位的加工采用了更多的专用机床，如转子叶根槽铣床，叶轮铆钉孔钻孔机，叶轮双头车床等。

3. 叶片

叶片是汽轮机零部件中唯一批量较大的零件。为了提高生产率，组织成批生产，国外多建立了供应叶片毛坯或成品的叶片专业生产厂。采用各种少无切削工艺制造叶片坯件，各种高效机床组成流水生产线及自动生产线。叶片机加工普遍采用多轴仿形铣床，长叶片机加工多用圆铣法。

叶片毛坯生产方式繁多，但大体上静叶片多用精密铸造，宽度小的直叶片多用拉制坯件，长度为200毫米以下的宽度较大的直叶片，仍多用方钢坯件，扭曲叶片和长叶片多用模锻或

精锻工艺。

美国GE公司和瑞士BBC公司的中小叶片用方钢铣削，仅末几级长叶片采用模锻精锻。

汽轮机大型长叶片采用只留磨光或抛光余量的精密模锻，可以大量节省加工工时和提高材料利用率。其优越性随叶片尺寸增大和形状复杂性的增高而更为显著。目前国外能模锻的精锻叶片最大尺寸如下：

叶身长度	1600毫米
叶片弦宽	400毫米
叶片扭角	90°
叶片单件重	200公斤

长叶片的精锻设备有模锻锤，对击锤、摩擦压力机，液压螺旋压力机以及机械压力机。但总的来看，国外精锻设备倾向于采用压力机，而压力机中似乎以液压螺旋压力机更为适宜。

4. 热交换器管板钻孔工艺：

汽轮机冷凝器，高低压加热器的管板加工，大部份工作量是钻孔。用摇臂钻钻孔，效率低，劳动强度大。为此，国外采用了一系列新工艺，如日本用数控专用镗床加工高压加热器管板深孔，每孔只需10分钟左右即可钻通。日本还用2~4块管板重叠加工，采用带有油孔的麻花钻，工时节省一半以上。冷凝器管板多用多轴数控钻床加工。

5. 装配试验

在套装转子的低速动平衡中，先对主轴联轴器作动平衡，然后每装上几个叶轮作一次平衡，以提高平衡精度。采用电子力矩秤进行叶片称重，称重数据数字显示，并由计算机计算叶片合理的安装顺序。在汽轮机总装中采用光学找中和激光找中。

6. 转子的高速动平衡：

六十年代至七十年代，各主要汽轮机制造企业都建立了高速动平衡试验室。法国AA公司的高速动平衡试验室内舱尺寸达 $\phi 10$ 米，长27米。第一期安装辛克公司目前生产中的最大动平衡机DH13，拖动功率为4000千瓦，第二期考虑安装更大的动平衡机，拖动功率将增大到16000千瓦。GE已建成试验室，拖动马力为10000马力，用工业汽轮机驱动。

各国汽轮机厂几乎都用西德辛克公司生产的高速动平衡机。

第二章 各国汽轮机制造企业、生产和产品的发展概况

第一节 美国

一、概况

1977年底,美国电站的总装机功率为55681.8万千瓦,比1976年增5.2%,1977年中投入的新功率仅为2660.9万千瓦,比1976年的2357.4万千瓦增加了11.8%,但低于1973年的3900万千瓦和1974年的3600万千瓦。

新投入的装机功率中,大功率机组仍占较大比重,机组平均功率亦略有增长,例如1976年中投入的54台机组的平均功率为55万千瓦,其中53.7%的机组功率是在50万~69.9万千瓦范围内,1977年新投机组的平均功率为52.5万千瓦,其中一半以上的机组功率是在40万~69.9万千瓦内,而前几年的新机组平均功率是在50万千瓦以下。

1976年美国城市电网中最小机组功率为20万千瓦,1975年为5.6万千瓦,1974年还有4台功率在10万千瓦以下和7台在20万千瓦以下的机组。

电站装机中的最大单机功率双轴机组是1972年首次投入的130万千瓦机组,单轴机组的最大功率为88.4万千瓦,是由美国通用电气公司于1974年制造的,共有三台,先后于1974和1975年间投运。

美国电力工业目前仍以火电为主,其中燃煤机组增长比例尤为特出,1977年的化石燃料蒸汽发电功率比1976年增330万千瓦,1977年的燃煤机组占总功率的93.3%,而1974年在105台常规汽轮机组中只有58台(占55%)是燃煤的,从1977~1986年10年,预期将要投运的951台大功率机组中有47.5%是化石燃料机组,其中燃煤机组占78.6%。目前许多发电企业都在作长期燃煤的打算。

在七十年代,美国的原子能电站有较大发展,到1977年末已有66台原子能机组投运,总功率将近5000万千瓦,占全国总发电能力的9%,而1973年末只有35台原子能机组投运,总功率为2111.8万千瓦。

估计到1980年火电仍占75%,核电约占17%,到1985年核电比例将增到28%。到2000年核电估计将增到50%左右,火电将减到45%以下。

近年来,美国汽轮机的产量显著在下降。1972年美国汽轮机产量曾达4250万千瓦,1974年降为3580万千瓦,1975年为3300万千瓦,而1976年只有3100万千瓦,比1972年下降竟达27%。但美国发电设备年制造能力有6000万千瓦。据“1978年美国工业展望”预测,即使在今后的5年中(1977~1982),美国的汽轮机制造亦只能有限的增长,平均的年增长率仅为2.1%。

过去,美国一般较大功率的机组都设计为双轴机组,特别是常规165~240公斤/厘米²,538/538℃,3600转/分的机组,由于受发电机出力的限制,汽轮机制造厂都按美国的传统,不供应100万千瓦以上的单轴机组,而采用双轴机组。

从1965年,美国的大功率机组已逐渐由双轴型转变到单轴型。已制造和正在制造中的大

功率机组中单轴机组反已占多数，打破了美国汽轮机制造中过去的传统。

在蒸汽参数方面，据1976年的“电站设计统计，”只有16.8%的机组用超临界压力，比9年前减少30%，在1977年的统计报告中只有9.1%的机组用超临界压力，近两年来的新机组多用182公斤/厘米²的高亚临界压力，这种蒸汽压力的机组在总功率中的比例，1970年时只占18%，到1974年增到37%，预计到1978年将增到83%。

大功率机组的新汽温度和再热温度，仍稳定在538°~541℃之间。1960年美国曾在50万千瓦的超临界压力机组上采用过566℃的新汽温度，以后超临界、亚临界压力的机组都用538~541℃的新汽温度和再热温度。目前，美国的新机组上未再采用566℃的新汽温度。

据说，用这样压力和温度设计的机组，在经济上最合适。

现在，美国的大功率机组都用一次再热来提高机组的效率，1973~1977年间投运的机组中，没有一台是用二次再热的，原因是用二次再热后所提高的效率，只不过是出于多附加投资和复杂的运行条件所带来的损失。

近年来，汽轮机制造的另一突出点，是提高机组的可靠性和电站经济运行的重要性。对提高汽轮机及其主要部件的可靠性更为重视。

广泛采用计算机技术，有限元素法，全息摄影及断裂力学等，来进行设计计算；添置大尺寸试验透平等新试验设备，作改善汽轮机性能的试验研究。

由于汽轮机可靠性的提高，汽轮机的强迫停机率已从1974年的5%降到1976年1.5%。

表2-1 美国汽轮机年产量

(万千瓦)

1972	1974	1975	1976
4250	3582.3	3298.0	3100

表2-2 1973~1977美国电站总装机功率

(万千瓦)

	1973	1974	1975	1976	1977	%
水电站	6178.2	6356.0	6594.9	6782.5	6831.2	12.3
火电站	35207.2	37594.0	39764.9	41540.0	43334.5	77.8
核电站	2111.8	3166.2	3979.4	4291.8	4988.0	9
内燃机发电	490.3	500.6	506.2	530.6	530.6	0.9
总计	43987.5	47616.8	50841.4	53144.9	55681.8	100

表2-3 1973~1977美国总发电量(净)

(亿度)

	1973	1974	1975	1976	1977
核电站	833	1140	1725	1911	2497
火电站中:					
煤	8490	8300	8530	9446	9853
油	3130	2994	2889	3198	3579
气	3408	3231	2998	2947	3055
总计	15884	15662	16176	17541	19025

表2-4 1973~1977美国每年新增装机功率

(万千瓦)

1973	1974	1975	1976	1977
3900	3600	2900	2357.4	2680.9

二、企业

美国制造发电用汽轮机的公司，主要是通用电气公司和西屋电气公司，其次是生产规模