

〈国外机械工业基本情况〉

燃 气 轮 机

〈行业概况〉

上 册

第一机械工业部第二设计院

一九七九年二月

档案号： CX 278 (上) - 79

《国外机械工业基本情况》燃气轮机册系根据(77)一机情字第1089号文的通知,由上海汽轮机厂研究所、南京汽轮机厂、一机下第二设计院共同主编。

其内容:综述、产品等二下分由南京汽轮机厂负责编写,科研下分由上海汽轮机厂研究所负责编写,行企业概况、主要工艺等二下分由一机下第二设计院负责编写。

我院参加编写的有:罗陞汉、刘堂炜、冯桐笙、周德震、程守焘等。

在编写过程中,有哈尔滨汽轮机厂、清华大学、一机下情报所、一机下电工局等单位给予大力支持,提供不少宝贵资料,并此致谢。

由于我们水平有限,编写工作中定有不少缺点和错误,请读者批评指正。

一机下第二设计院

一九七九年二月

目 录

上 册

一	行业概述	1
二	美国通用电气公司	36
三	美国斯坎奈克特迪中型燃气轮机厂	52
四	美国格林维尔大型燃气轮机厂	63
五	美国西屋电气公司	76
六	美国莱斯特燃气轮机厂	96
七	美国圆石燃气轮机厂	106
八	美国寇蒂斯·莱特公司	123
九	美国索拉公司	135
十	瑞士勃朗·鲍维利公司	142
十一	瑞士苏尔寿公司	150

下 册

三	西德电站设备联合制造公司	156
三	法国阿尔斯通公司	168
西	英国罗尔斯·罗依斯公司	177
三	英国约翰·勃朗燃气轮机工程公司	190
天	日本三菱重工——高砂制作所	203
七	日本日立工场——燃气轮机制作	209
六	苏联燃气轮机制造工厂	217
六	英国精密锻造有限公司	220
三	英国唐卡斯特·蒙克·布里基公司	233
三	日本日特金属工业公司	246
	参 考 文 献	258

《 企 业 概 况 》

一 行业概述

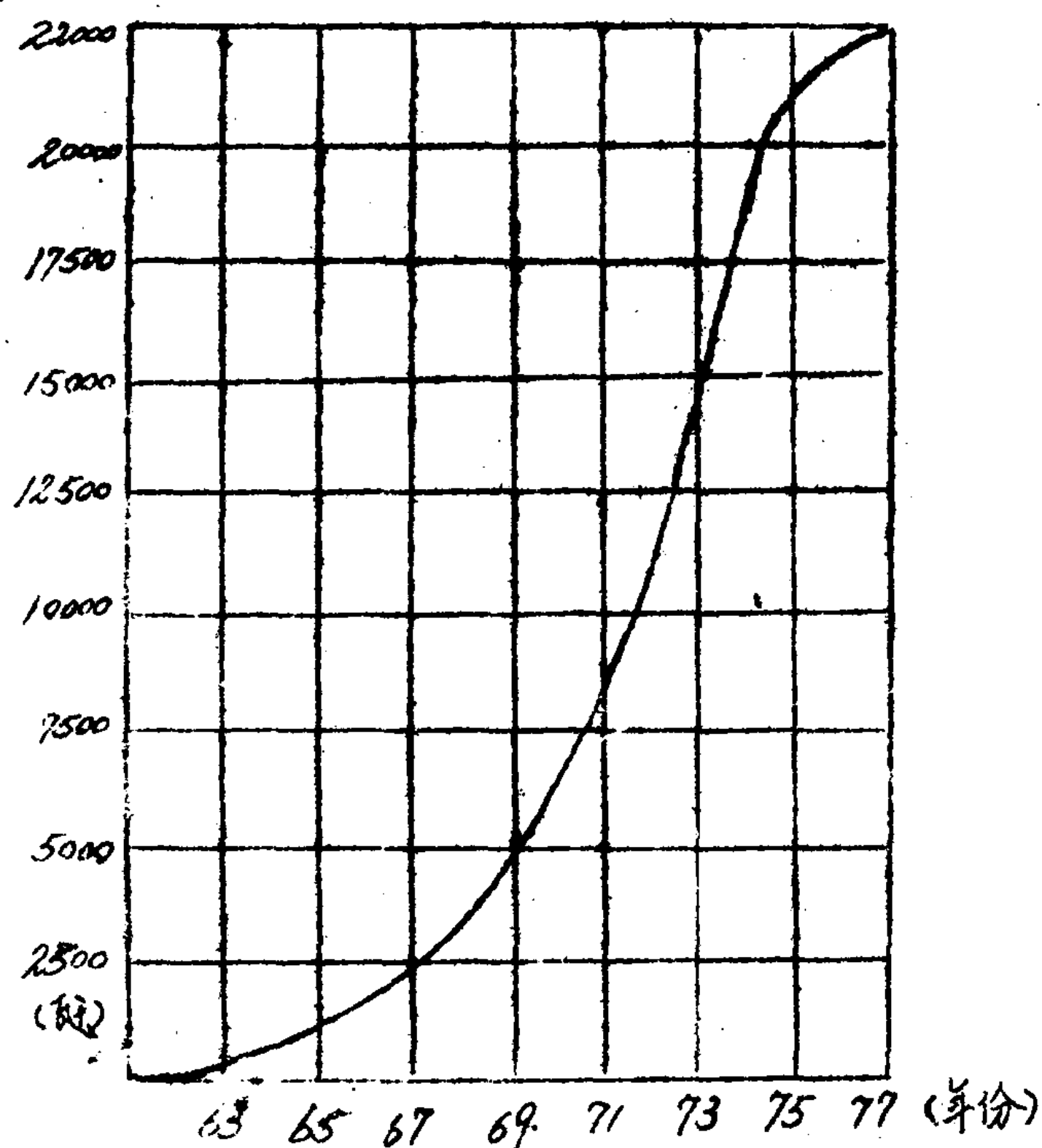
(一) 国外燃气轮机行业生产技术经济水平

自1937年瑞士制造第一台工业燃气轮机问世以来，至今已有四十年历史。由于燃气轮机具有体积小、重量轻、起动快、造价低、安装周期短、可无电源起动、少用或不用冷却水等一系列优点，应用范围日益扩大，除航空领域外，在发电、油气工业、舰船、交通运输、冶金、化工等部门亦得到广泛应用。特别是六十年代中期以来，发展更为迅速。据报导：到1976年底世界工业燃气轮机装机总容量已达22000万瓩，为1964年的装机总容量的232倍，从64到74年平均年增长率达30%以上。但七十年代中后期，国外燃气轮机发展趋向缓慢。

国外燃气轮机装机容量增长情况

年 份	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
装机总容量(万瓩)	950	1240	1760	2250	3600	5000	6700
增 长 率 (%)		31	42	34	60	39	34
年 份	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
装机总容量(万瓩)	8400	11500	14500	18100	21000	22000	
增 长 率 (%)	47	37	26	25	16	5	

国外燃气轮机装机容量发展趋势



从1937年到五十年代，工业燃气轮机发展不快。六十年代中后期由于高温材料和冷却技术的发展，空气动力学研究成果的应用，为燃气轮机发展提供了技术条件，透平进口温度达 800°C 左右，功率等级以 $1.5 \sim 2$ 万千瓦机组为主，热效率为 $22 \sim 25\%$ ，故多用于辅助用途和排热利用。

到了七十年代，随着高温材料、冷却技术、燃烧理论、空气动力学等进一步提高，更促进了各国燃气轮机工业向大功率、高参数方向发展，使燃气轮机的研制提高到一个新水平。

燃气轮机技术水平的提高，主要是围绕提高机组的功率、经济性、机动性、可靠性进行的，目前国外燃气轮机生产的主要技术经济指标水平如下表。

国外燃气轮机生产主要技术经济指标水平

序号	项 目	主 要 数 据
1	最大单机功率 (瓩)	10万
2	燃气初温 ($^{\circ}\text{C}$)	透平初温900~1000, 最高1150
3	单缸压比	压气机10~12, 最高16
4	空气流量 (公斤/秒)	130
5	机组效率 (%)	简单循环 30 回热循环 34 联合循环 42
6	自动化程度	采用全集成化的模拟——数字组合控制系统, 可实现全自动化远距离遥控
7	起动时间 (分)	达到满负荷5~15
8	整机比重量 (公斤/瓩)	1.25~2
9	机组成本费 (美元/瓩)	GE和WH (MS7001和W501) 85~90
10	运行费用 (美分/瓩小时)	GE 0.25~0.4 FT-50 为 0.1
11	维修费 (美分/瓩小时)	0.21
12	机组运行可靠率 (%)	97~99
13	高温部件寿命 (小时)	一般3万, BBC的11、13型 机组为5万

序号	项 目	主 要 数 据
14	(1) 透平叶片	瑞士 BBC 25000~50000 美国 GE 25000 美国 WH 15000 苏联 IT-100-750-2 10000~20000
	(2) 转 子	瑞士 BBC 100000
	(3) 喷 油 咀	" " 4000
	(4) 燃烧室挂片	" " 50000
	(5) 锥 顶	" " 20000
	检修周期 (小时)	
	(1) 不揭缸停机检查周期	瑞士 BBC 8000 美国 WH 7500
	(2) 大修间隔期	瑞士 BBC 16000或起动400次 美国 GE 20000~25000 美国 WH 30000 瑞典 Stal Laval 10000~ 30000 西德 Kva 16000或紧急起动 40次

(一) 若干国家燃气轮机产量

随着燃气轮机应用的日趋广泛，为了适应日益增长的需要，很多国家对发展燃气轮机生产十分重视。据不完全统计，当前世界上生产燃气轮机的工厂已超过100家，由于相互并吞和生产竞争结果，实际上世界燃气轮机行业大部分还是美国通用电气公司（GE）、西屋公司（WH）和瑞士勃朗、鲍维利公司（BBC）三大财团所垄断。据70年统计，这三大公司按其专利生产的厂家，控制了资本主义国家燃气轮机总产量的90%以上。近年来，西德的动力工程联合公司（KWU）扩建了柏林工厂，燃气轮机生产发展也较快。

据报导：1973年各主要国家的燃气轮机产量已达1300万瓩，目前世界每年生产燃气轮机的能力已超过1500万瓩，各主要国家的年产量和工厂的生产能力列于以下二表。应该指出的是，近年来由于能源危机，以及燃气轮机价格上涨，各国燃气轮机总产量的增长趋势有所缓慢，有些工厂生产能力尚未充分发挥。如美国通用公司的格林维尔工厂，生产能力为年产60台大型燃气轮机，总功率可达300万瓩以上，但只有1973年生产过59台，以后便产量下降，1974年生产47台，比73年下降20%。西屋公司的圆石工厂生产能力为燃气轮机50台，总功率400万瓩以上，而1974年只生产20台，功率160万瓩，几乎有60%的能力是生产别的产品，以弥补任务不足。但是据美国工业统计，1976年燃气轮机产量又开始回升，其产值比上年提高16%。

若干国家燃气轮机产量 (单位: 万瓩)

年 份 国 别	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
美 国	603.7	823.6	767.2	868.7	500.1 604.0	260.0 350.0	300.0
日 本	33.0	49.5	87.1	64.5	107.0		
英 国	52.6	89.1	67.2	97.7			
西 德	40.7	53.6	49.0	150.0			
法 国	21.8	28.0	42.7	30.9			
意 大 利	15.4	37.8	49.3	40.8			
瑞 典	11.8	30.7	30.3	18.9			
瑞 士	21.5	19.4	27.7	29.1			

注: ① 分母数为74年的订货数

② 分子数为售出装船量 (4000瓩及以上)

各主要工厂燃气轮机生产能力

厂名	主要产品	职工人数			厂房面积(万平方米)			生产能力(年产量)		劳动生产率 (万美元/人·年)	主要设备
		总数	工人	技术人员	总面积	生产面积	其它	台数	万瓩		
美国GE公司 斯坎奈克特迪工厂	中小型机组 5000~25000 马力 MS 1000、3000、5000	2000	1200	800	3.8	2.8	1	100~125	~150	4.13 (GE)	200 台 数控机床 8 台
美国GE公司 格林维尔工厂	大型机组 4.4~7.1 万瓩 MS 7000 系列机组	1200	800	400	6.23	4.31	1.92	60	300		112 台 数控机床 42 台 占总数 36%
美国WH公司 莱斯特工厂	3.2~4.8 万瓩 W 251、W 301、W 501	1770	1200	570	3.71			~60	250~300	3.83 (WH)	142 台 数控机床 42 台 占30%,专用机床20台
美国WH公司 圆石工厂	W 251、W 501	650	565	85	2.42	1.86	0.56	~50	~400		44 台 多数为数控设备
瑞士BBC公司	9型、11型、13型	600	450	150				30	~120		和生产气轮机的设备通用
西德KWU公司 西柏林工厂	1~8 万瓩 V 93	2008			7.5~8			20	~100		数控机床 12 台
日本日立公司	MS1000~9000系列机组 主要是MS 5000系列	1000	820	180	6.1			40	80		加工燃机的数控设备6台
美国索拉公司	土星式 865 瓩 人马座式 2866 " 火星式 7400 " (包括生产成套压缩机)	2800	2200	600	10.8			500~700			25%为数控设备

世界燃气轮机总产量中，美国要占一半以上，始终处于领先地位，具有透平行业当前生产水平的代表意义。现将其历年生产发展趋向列示如下表：

美国历年燃气轮机生产动态表

序号	名 称	1967	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1	企业装船总值 (亿美元)	10.43	22.02	21.89	23.22	24.70	24.20	25.00
2	职工总人数	36000	49000	46000	48000	48000	47000	47000
3	生产工人人数	25000	31000	29000	29000	28000	28000	28000
4	技术及管理人员占%	31	37	37	40	42	40.5	40.5
5	产品装船总容量 (万千瓦)	2581.9	4478.3	5187.2	4350.7	4427.0	3678.0	3550.0
6	水力透平发电机组 (万千瓦)	307.1	184.7	165.2	175.3	244.6	120.0	150.0
7	蒸汽 " (万千瓦)	2019.6	3470.0	4254.7	3306.7	3582.3	3298.0	3100.0
8	燃气 " (万千瓦)	252.2	823.6	723.6	868.7	600.1	260.0	300.0
9	每一职工生产装船值 (美元)	29000	45000	47500	48300	51500	51500	53000
10	每一职工生产装船量 (吨)	720	910	1130	910	920	780	755

注：① 上表系美国国内商业局统计；

② 所有产品及服务价值系由透平及透平发电机组制造业售出数；

③ 透平及透平发电机组装船价值系由所有工业制造。

三 燃气轮机的广泛应用

燃气轮机在发电行业中的应用比例最大，据统计，世界燃气轮机的总装机容量中有50%是用作发电机组。由于近年来原子能电站的发展，但其可靠性较差；另一方面大容量火电机组的增长，大电网又经常发生一系列重大事故；以及现代化大电网的峰荷很不平衡，所以燃气轮机作为应急备用电源和电网尖峰机组有很大优点，据国外资料表明，为提高电网可靠性，最好有20%的应急电源，调峰机组的最佳容量应占电网容量的15~20%。随着原子能电站比重的增加，甚至要求调峰机组的容量增加到25%。其它如作为蒸汽——燃气联合循环、船舶电站、空气蓄能电站、氢气轮机等也都有很快的发展。

美国燃气轮机用作发电机组的容量要占世界燃气轮机容量的一半，始终处于遥遥领先地位。1975年美国发电设备总装机容量为52005万千瓦，其中燃气轮机4353万千瓦，约占8.6%，预计1980年将占装机总容量的10%，而2000年将增长至20%。美国发电用燃气轮机组增长情况如下表。1976年底西德公用和发电的燃气轮机组总功率为352万千瓦，约占电站总容量的5.5%。英国中央电力局也明确规定，每50万千瓦汽轮发电机组必须配备1.75~2.5万千瓦的燃气轮机组。

美国发电用燃气轮机增长情况

年 份	1971	1972	1973	1974	1975	1980	2000
发电装机容量 (万千瓦)	36613	39504	42817	48075	52005	66500	
其中燃气轮机 (台)	2196·8	2804·8	3373·9	3977·9	4327·9	6900	
燃机所占比例 (%)	6	7·1	7·7	8·27	8·32	10	20

燃气轮机用于油气工业和油气输送中，有40%是用于发电，60%用于直接传动，直接传动主要是管线增压输送，油田注水、注气、钻进动力、油井压裂和其它机械传动等。如英国新开发的北海油田，就有近200台燃气轮机投入运行，总功率在106万千瓦以上。苏联为开发西伯利亚天然气，先后与西德和美国签订近10亿美元的交易，近几年向美国GEC公司就购买了65台14500马力燃气轮机压缩机，用于输气管线。据美国GEC公司74年9月统计，该公司用于油气输管线的燃气轮机有496台，共624·6万马力，其中多数为MS3000系列双轴机组，并有近一半带回热装置。

燃气轮机在舰艇动力方面更占有很大优势。据报导，至1975年1月止，世界上三十多个国家共拥有644艘燃气轮机舰艇，装机总数达1573台，总功率约1569万马力，比1971年的780万马力增加了一倍。苏、美、英等主要海军国家的舰艇动力多走向燃气轮化。苏联燃气轮机装舰总功率居世界第一位，1974年约占74%，1971年服役的“克里瓦克”号导弹驱逐舰，装有8台14000马力的燃气轮机，其“巡航—加速”推进方式为“燃气轮机+燃气轮机”，航速达33~40节，被称为世界上最快的驱逐舰。到目前为止，燃气轮机更大的功率范围4万~5万马力机组正在研制，以满足舰艇更大单机功率的需要。

此外，燃气轮机在商船、机车、高炉鼓风、水泵拖动、化工流程、坦克动力等方面实际应用的品种和数量也是不少的。

四 主要技术性能和发展途径

七十年代燃气轮机的显著特点是向高性能和大型化的方向发展。最大单机功率已达10万瓩，燃气初温达 950°C ~ 1150°C ，单缸压比12~16，效率达到30%以上，机组自动化程度高，采用先进模拟数字组合调节控制系统，可远距离遥控，由起动到全负荷的时间仅5分钟，机组可用率达95%以上，整机比重量一般是3~5公斤/瓩，航空改型机组可达0.7公斤/马力，占地面积小，通常为简单循环组装式轻型机组，可以很快安装完毕投入运行。

国外主要燃气轮机厂大功率机组性能详见表。

国外大功率燃气轮机主要性能数据

工 厂 型 号 主要性能	美 国 G E 公 司			美 国 W H 公 司			瑞 士 B B C 公 司		西 德 K W U 公 司		苏 联 ИМЗ工厂	瑞 典 Stal-Laval 美 国 P & W 公 司
	MS7001B	MS7001E	MS9001*	W501**	W1101	W1501	13B	13D	V93	V96	FT-100 -750-2	GT200 FT 50
功 率 (万瓩)	5.9	7.07	8.5	8.6	9.14	14.6	6.1	7.6	5.5	10	10	9
透平初温 (°C)	982	1085	1005	924	1083		870	1040	800	920	750 二次燃烧 750	1115
压 比	12	9.3	9.6	11.8	11.8	15	9.3	9.7	8.7	9.7	总压比26.5	16
机组效率 (%)	30.7	31.8	30.8	30.7	31	30	28.9	28.8	27.7	29.5	28.2	32.5
空气流量 (公斤/秒)	273	270	345	354	374	490	348	367	340		447	354
压气机级数	17		17	20	20	20		17	16		高压13 低压8	7/10
透平级数	3		3	4	4	4		5	4		高压3 低压5	1/2***
燃烧室数目	10		14	18	18	20		1	2		12/12	8
功率轴转速 (转/分)	3600	3600	3000	3600	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000或 3600
整机总重量 (吨)	329		268	212	382		295		228		418	125
整机比重量 (公斤/瓩)	5.5		3.15	2.44	4.2		4.8		4.15		4.2	1.4
组 装 水 平	组 装 箱 式			不 详			快 装 式		组 装 式	不 详	快 装 式	组装箱式
调 节 控 制 系 统	模拟-数字组合控制系统必要时可实现远距离遥控			不 详			电液调节系统		电液调节系统			不 详
到满负荷时正常起动时间(分)	10	10	15	15-20	20		14-18	~15	4-7		40	5-10
热力循环型式	单 轴			简 单							双轴同冷 二次燃烧	三轴 简单循环
产 品 目 前 状 况	已批量生产	正试制	首台在电站 负荷试验 另三台在制	已批量生产	首台在运行	在设计	已批量 生 产	在试制	已批量 生 产	首 台 试运行	已生产三台	首台样机 在 试 验
机组尺寸(长×宽×高)(米)	29.2×8.64 ×4.95			36.5×16.8 ×15.2					14.6×10.5 ×8			11×3.2

* 由法国制造； ** 由比利时制造； *** 二级动力透平。

各国燃气轮机的发展虽然生产条件不一，但其技术发展的途径大体有下列几种情况：

1. 大容量机组的发展一般都在性能良好的模型级和母型压气机的基础上，模拟放大和前后加级或增加燃烧室部分来达到。如美国GE公司MS系列，WH公司W系列，BBC公司9B、11B、13B系列，KWO公司V型系列等，几乎都是在—个母型基础上发展的。

2. 英美等国西方资本主义国家着重研制解决耐高温材料和有效冷却等技术，主要发展高温、高压比的简单循环机组，这种机组结构紧凑、重量轻、起动快、机动性好。

3. 苏联为了避开高温材料和高温腐蚀的限制，而发展有间冷和再热措施的多轴复杂循环结构，这种机组的材料要求不高，因此各种性能指标较低。

4. 采用航空发动机组改装发电机组，这种机组造价低、尺寸小、起动快，但运行可靠性稍差。英国的罗尔斯·罗伊斯公司，美国的普帕脱、怀特公司等在这方面的的发展都有很好的成效。

目前各国大部分工厂都采取第一、二两种方法，大力发展高初温、高压比、简单循环的大功率、高效率组装式机组，欧美等航空发动机较发达的国家，也同时发展航空发动机改型的陆用机组。

在发展大功率机组的同时，各国对中小型燃气轮机的性能提高也十分重视，很多工厂在研制中都按高效率、轻型、长寿命、多用途的设计思想进行，采用了较高的透平初温和压比，从而提高机组的功率和效率。如索拉公司功率为7400瓩的火星机组，透平初温 980°C ，压比为1.6，效率32.7%，已达到同类机组的先进水平。另外，有些机组如索拉公司的土星、人马座机组，苏尔寿公司的S₃型机组等，多设计