

〈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

前

言

《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:罗阳汉、刘堂炜、冯桐笙、周德震、程守燕等。

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	26
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
四	法国阿尔斯通公司	168
五	英国罗尔斯·罗依斯公司	177
六	英国约翰·勃朗燃气轮机工程公司	190
七	日本三菱重工——高砂制作所	203
八	日本日立工场——燃气轮机制作	209
九	苏联燃气轮机制造工厂	217
十	英国精密锻造有限公司	220
十一	英国唐卡斯特·蒙克·布里基公司	233
十二	日本日特金属工业公司	246
	参 考 文 献	258

西德电站设备联合制造公司

1. 概 况

西德电站设备联合制造公司 (Kraftwerk Union AG) 简称 K W U。是 1969 年由西德西门子公司和通用电气公司合并而成。1977 年西门子公司又将通用电气公司在电站设备联合制造公司的股份全部接受。电站设备联合制造公司的基本资金达到 5 亿西德马克, 1971 年营业额为 6.8 亿西德马克, 1976 年营业额达到 47.5 亿西德马克, 相当于基本资金总额的九倍, 五年内生产值增长七倍。该公司历史并不太长, 但发展速度较快。

该公司成立后, 对老厂生产进行了调整, 根据工厂的地点、厂房、设备条件等因素, 决定柏林工厂生产燃气轮机和单缸船用汽轮机。为了不断扩大生产能力, 每年为工厂购置现代化设备和增加投资, 在柏林工厂到 1972 年便购置了 86 台新的工作母机。

柏林工厂原系西德通用电气公司 (A E G) 的一个透平工厂。该厂建于 1904 年, 是德国第一个透平工厂, 合并后才改为生产燃气轮机。该厂 1909 年建立了机械加工主厂房, 至今仍继续使用。

K W U 公司原先制造燃气轮机是在米海姆老厂, 后来转为柏林工厂生产, 并没有从米海姆老厂搬来机床。柏林工厂首先把试验台建立起来开始时由老厂供应转子, 以后逐步自己制造, 到 1972 年柏林工厂才全套生产燃气轮机。

2 总图和厂房

柏林工厂位于西柏林市中心东北部, 占地面积 75000 平方米, 建筑系数 55%, 厂区较拥挤。

厂区内有铁路专用线接入, 柏林市河道系统西港口区亦离厂区不远, 运输条件较好。空运机场离厂仅 6~9 公里, 可运输 25 吨以下的零部

件。工厂最大运出产品重量可达 160 吨，系利用总装试车车间两台 80 吨吊车同时吊装。

主要厂房有：

(1) 焊接车间：最大起重能力 20 吨，旁边侧跨的中小件加工及工具修理部；

(2) 大件加工车间：前部为加工，后部为转子装配场地，旁边侧跨为叶片车间（两层建筑）；超速动平衡试验室紧连厂房；

(3) 总装试验车间：连接于焊接车间后部，最大吊车有 80 吨两台，并设有 3 吨单臂吊；

(4) 中小件车间：分设于垂直焊接车间的厂房内；

(5) 弯管车间；

(6) 材料试验室、锅炉房、各种材料堆放场地等；

(7) 一座七层（部分为四层）的办公、管理、设计大楼。

3. 主要产品

柏林工厂生产的燃气轮机，是在原西门子公司产品上发展起来的。第一台燃气轮机用于高炉鼓风机于1961年投入运行，1962年制出首台VM80的2.34万瓩机组用于发电。在VM80基础上提高压比和初温，发展了V82、V43、V93等系列，其中V43型功率较小，为1.1万瓩，适用于油田管线和化肥流程。1976年生产的最大单轴机组V94.1型，已在KTH公司柏林工厂负荷试验台经过试车，最高负荷可达11.35万瓩。

该厂生产的燃气轮机由于采用的燃烧初温较低，因此机组的性能指标如机组重量、起动功率、效率等，略低于其他公司同类机组的性能，而且至今还没有生产一台是烧原油或重油的机组。

柏林工厂生产的燃气轮机主要性能如下表，这些数据是在15℃，压力为1.013巴的条件下得到的，大部分燃料是天然气。

项 目	单 位	V 8 2	V 4 3	V 9 3	V 9 4
首台制成年月		1969.6	1970.10	1971.3	1974
功 率	万 瓩	3.38/3.55	1.11	5.55/5.78	8.12/8.8
输出转数	转/分	3000	6200	3000	3000
空气流量	公斤/秒	206	71	340	480
机组效率	%	27.5/27.9	25.9	27.7/27.9	28.2/28.9
透平前燃气温度	°C	780/800	810	800/820	820/850
压 比		6.7	7.5	8.7	9.2
透平排气温度	°C	/420	418	/411	404/422
压缩机级数		17	16	16	16
透平级数		6	4	4	4
燃料消耗量	公斤/秒	2.93/3.31	1.12	4.73/5.37	6.62/7.46
机组重量	吨	160	54.8	228	296.2
转子重量	kg	20	3.75	34.5	43

注：表中分子指正常负荷，分母指尖峰负荷。

最近该厂发展的V93和V94几种新型号机组功率情况如下表：

型 号	燃 料	基本负荷 (万瓩)	尖峰负荷 (万瓩)	最大负荷 (万瓩)
V93.1	天然气	6.42	6.71	7.00
	油	6.28	6.56	6.84
V93.2	天然气	7.23	7.62	7.99
	油	7.06	7.45	7.81
V94.0	天然气	9.12	9.79	10.44
	油	8.93	9.58	10.22
V94.1	天然气	10.34	10.97	11.58
	油	10.11	10.72	11.31

该厂燃气轮机结构大体相似，主要特点：采用轴流式压气机，多级透平和二个燃烧室。透平为反动级，一般为四级（低转速采用6级）。采用初温较低，为780~850℃。压气机和透平转动部分为混合型转子结构，利用叶轮二端面齿传扭，一根中心拉杆紧固的组合转子支承在二个轴承上。气缸采用内外缸双层结构，中间还有冷却空气相隔，为钢板构件拼接而成。外缸承受压力，内缸承受温度引起的变形和膨胀，内缸多采用透平持环结构，一方面使外缸可以做成直径一样，刚性一致；另一方面可以在装配时调整静叶片之间的轴向间隙。二个回流式单管燃烧室分别垂直安置在机组的二侧，可得到均匀的温度，并使机组高度不致太高，也可单独运输。燃烧室采用陶瓷衬砖，具有寿命长、耐高温、通

用性大、对透平无危害等方面特点，是该厂研究成果之一，机组的设计寿命为10万小时。

该厂燃气轮机各主要部件的构成和重量详见下表：

X W U 公司生产的几种燃气轮机部件构成和重量表

(单位：公斤)

序号	机 组 编 号		V 62031	V 30035	V 30058	V 50081	部件主要元件构成
			V 43	V 22	V 93	V 94	
1	进 气 缸	上半/下半	1100/900	1600/2050	4500/4200	6000/6000	钢板焊接
2	中 气 缸	"	2500/2600	11800/12000	18600/19200	25150/26350	"
3	排 气 缸	"	1200/1350	7100/7800	9600/10100	11600/12700	"
4	前轴承座				1600/4000	1400/12100	
5	后轴承架外壳				1500	1800	
6	静 叶 片 架	No 1	720/720	3200/3200	6280/6250	5500/5500	锻 件
7	"	No 2	600/600	3000/3000	3500/3500	3800/3800	"
8	"	No 3			3550/3550	4600/4600	"
9	透平静叶片架		450/450	3200/3200	3450/2450	5200/5200	
10	透平进汽内缸				1650/1660	1750/1750	
11	扩 压 器				1950/1950	2250/2250	锻 件
12	中间轴承				3290/3570	3100/4260	"
13	透平叶片	1+2 级	共 4 级	共 6 级	2020	2830	"
14	"	3+4 "			1130/1180	2575/2565	"
15	压气机叶轮	1+2 "	共 16 级	共 17 级	2280/2380	3150/2945	"
16	"	3+4 "			2400/1200	1350/1585	"
17	"	5+6 "			1150/1160	1385/1315	"
18	"	7+8 "			1070/750	1450/1125	"
19	"	9+10 "			740/710	1135/910	"
20	"	11+12 "			580/730	910/1055	"
21	"	13+14 "			570/580	720/720	"
22	"	15+16 "			580/550	690/600	"
					553/552	600/595	"

序号	机 组 型 号 项 目 名 称	V 52011	V 50934	V 30958	V 30982	设备主要部件 构 成
		V 43	V 32	V 98	V 94	
23	中间紧固拉杆			3355	3600	假 件
24	螺帽及零件部件			1320	1700	
25	透平小型部件			2070	5000	铸 铁 件
26	油箱 框架			13500	21000	钢板结构件
27	进气部分框架			9500		"
28	全部框架构成	15500	21000	31100	21000	"
29	框架连泵、调节器、轴承箱			40000		"
30	框架支块			5000		"
31	增压混合室的燃烧室			7000	15300	"
32	燃烧室顶盖平台			3000	3700	"
33	火焰筒带耐火砖			2450	2300	
34	火焰筒托架			1000	2400	
35	二个支架及其它			1250	3000	
36	二个燃烧室	2 × 5000	2 × 13000	2 × 15000	2 × 17000	钢板结构件
37	排气尾管	1800	4000	7000	9500	
38	"	1800	4000	7000	9500	
39	调节和输油系统			5500	10000	
40	除燃烧室排气尾管外总重	43000	130000	191000	217000	
41	全部总重	54800	160000	228000	296200	
42	转子总重	3750	20000	34500	43000	

注：机组型号的分子为新型号，分母为老型号。

产品主要材料：

- | | |
|--------------|---------------------------------|
| (1) 压气机内缸 | 前段为粒状结晶球墨铸铁
后段为片状 |
| (2) 透平持环 | 含钼的耐热钢 |
| (3) 前轴承箱 | 灰 铸 铁 |
| (4) 燃烧室外壳 | 碳 钢 |
| (5) 中心拉紧螺杆 | 低镍铬钼锻件 |
| (6) 压气机叶轮 | $\sigma_s = 60 \text{ kg/cm}^2$ |
| (7) 透平叶轮 | 含少量钼的 12% 铬钢 |
| (8) 压气机叶片 | 13% 铬钢 |
| (9) 透平进气蜗壳 | 8% 镍、18% 铬的奥氏体钢板 |
| (10) 燃烧室混合室 | 13% 镍、16% 铬 |
| (11) 过渡段 | |
| (12) 透平第一级叶片 | ST 816 |
| (13) 透平第二级叶片 | ST 590 |
| (14) 透平第三级叶片 | NiMoNiC 90 |
| (15) 透平第四级叶片 | NiMoNiC 80 A |

4 生产和协作

柏林工厂生产主要协作范围：

- (1) 本厂产品所需铸锻件毛坯均由外厂协作供应。
- (2) 本厂所需燃气轮机叶片精锻毛坯由国外购得。
- (3) 燃气轮机外缸的弯板工作也是与外厂协作取得。
- (4) 燃气轮机燃烧室的陶瓷衬砖由埃森 (ESSEN) 地区的 Koppers 厂供应。
- (5) 燃气轮机排气的消音器也由外厂生产。

(5) 燃气轮机起动系统、液压变扭器、调相连轴节、起动电机等均
由外厂制造，电器控制系统、监视和测量系统所需的电器和仪表均由母
公司制造。

产量规模：

该公司自生产燃气轮机以来至1974年共生产了60多台，其中
1969~1971年就生产V93机组23台，均为单轴机组，总功率达
250万瓩。机组容量从1.1万瓩至8.1万瓩，多数用于发电。

柏林工厂生产燃气轮机的总能力为年产20台V93，约100万瓩，
另外可以生产20根备用转子，该厂还生产单缸冷凝式汽轮机，单机容
量3~12万瓩，用于使用廉价燃料的小型电站；船用汽轮机生产单机
容量为1万马力~8万马力。

5. 人员和设备

全厂人员约2000人，其中约一半为高级熟练工人。

全厂设备共850台（包括台钻），其中数控机床12台。

(1) 主要机械加工设备

A 立车：最大加工直径 $\varnothing$ 10000毫米，加工高度5800毫米，
花盘直径8000毫米，转速8~100转/分，最大加工件重量140吨，
并带磨削附件，西德席士（Schies）厂生产，是1958年为加工汽
轮机购置的；

B 立车：最大加工直径 $\varnothing$ 6000毫米；

C 数控立车：共五台，均为多立斯（Dorris）厂生产。其中加
工直径 $\varnothing$ 3000毫米一台（花盘 $\varnothing$ 2800毫米，配AEG311数控装置，
自动换刀，刀具库容量99把，换刀时间少于一分钟，并带切屑清除
器和冷却系统）， $\varnothing$ 2200毫米一台， $\varnothing$ 1500毫米二台（花盘直径

φ 1400 毫米)、φ 1000 毫米一台；

D 大型落地搪床：搪杆直径 φ 220 毫米，搪杆轴向最大移动范围 2200 毫米，搪头箱沿立柱上下移动范围 4000 毫米，立柱行程移动范围 6700 毫米，工作台平板长 8000 毫米，西德弗罗里普厂(Froriep)生产；

E 重型转子车床：加工件长度可达 10000 毫米，零件重量最大可达 100 吨；

F 数控重型加工车床：最大加工直径 φ 1150 毫米，加工长度 12500 毫米，双导轨并带自动工具迴转头；

G 立式拉床：拉刀行程 2000 毫米，拉力 25 吨，拉刀头可装 8 把拉刀自动调换，机床全部程序控制；

H 卧式拉床：拉刀行程 2000 毫米，拉力 16 吨；

I 加工端面齿专用机床：由搪床改装制成；

J 双轴电脉冲加工机床：2 × 100 安培，双石墨电极；

K 电化学加工机床；

L 加工叶根双砂轮专用磨床；

M 六轴液压靠模铣床：精度 ± 0.1 毫米，美国辛辛纳提 (Cincinnati) 厂生产；

N 数控六角车床：加工燃气轮机中小型零件、

(2) 装配试验设备

A 液压控制立式转子装配台，最大提升高度 10 米；

B 超速动平衡试验室，与机械加工主厂房的装配部分相连，其规格如下：

被试转子重量 2 ~ 65 吨 (超载可达 70 吨)；

• 外径最大 φ 3600 毫米；

转子轴承距离 1800 ~ 11500 毫米；

传动功率 2500 瓩；

转速范围：不带齿轮箱 0 ~ 4500 转/分；

带 齿 轮 箱 11000 " ；

真空室内腔直径 $\varnothing$ 6 米，长度 13.5 米；

真空度 0.5 ~ 1 毫米汞柱；

真空室壁厚 1.5 米。

真空室外建有辅助机房，装置有：传动机组、增速箱、抽真空设备。地下室安装有抽真空润滑系统和油箱等。测试仪器装在 45° 斜撑的弹簧架上，由遥控测得数据。

转子由运输平车送入试验室。

动平衡设备由西德辛克厂 (Schenck) 生产。建造这座试验室需 250 吨钢材、1200 吨混凝土，壁厚足以防止转子断裂飞出。

C 燃气轮机总装试验台：

燃气轮机总装台位共四个，其中有两个是新建的，试验台位一个。蒸汽轮机试验台位一个。

试验设备有：试验锅炉、本生式 (Benson)，蒸汽压力 150 公斤/平方厘米，蒸汽温度 520°C；冷凝器，冷凝面积 2000 平方米；水力测功器，最大可测功率为 15000 瓩；室外有冷却塔、烟囱高度 35 米，装有消音器装置。燃气轮机试验时采用移动式电气操纵室。

总装试验车间安装有 80 吨行车 2 台，尚设有壁行吊车以便装配小型部件。

D 调节、保安系统试验台

在试验台上装有各种测试仪表，自动记录调节系统的动态数据。

E 材料检验设备

400 千伏 X 光探伤仪，用于焊缝检查；

冲击疲劳试验机，能把测试材料快速加热（感应加热）到 800°C ，然后在冷水中冷却，如此反复进行，以便测得材料承受热冲击的疲劳极限；

X 光荧光放射检验设备，检验高强度材料中镍钴成份；

超声波探伤仪等。

F 负荷试验台：

1976 年 K W D 公司报道，世界上功率最大的燃气轮机负荷试验台已在柏林工厂成功地投入运行。以往，燃气轮机在试验台上仅能进行空负荷试验，带负荷试验则由电厂进行。现在变转速和功率超过 10 万千瓦的大型燃气轮机带负荷试验首次在试验台上已获成功。测量范围比电站进行的大，试验时间比电站进行的短。燃气轮机在试验过程内可以测试各种运行状态下包括 140 种温度和 100 种压力试验。采用测针来测量机组在八个重要位置上速度分布和温度场。1976 年底进行 116000 瓩世界上最大的燃气轮机带负荷试验。

该试验台所用水力测功器是西德联合电站设备公司和霍夫曼兄弟公司联合设计、提供的。测功器重 50 吨，是目前世界上最大的，由六个旋转盘组成，装在一个壳体內的圆盘，受导入的水制动。燃气轮机和与之相连的测功器构成一个整体，在一根轴上；轴的转速升至所需转速，一般为 3000 转/分。旋转水环的高度决定摩擦面的大小，并从而确定制动力的大小。试验运转 1 小时，有近 2900 立方米的冷却水通过测功器（保持恒温）；流入的水量电液调节阀调节，从而控制燃气轮机的负荷。

三 法国阿尔斯通公司

法国发电设备制造公司有三家，即 *Alsthom*、*CEM* 和 *J-S*。这三家公司在技术上均依赖外国，*Alsthom* 承美国 *GE* 公司专利，*J-S* 买美国 *WH* 公司专利，*CEM* 公司则与瑞士 *BBC* 公司订有技术合同，全部用其专利，实际上是瑞士 *BBC* 公司在法国的一家子公司。

阿尔斯通公司 (*Alsthom*) 是法国最大的机电企业，自 1970 年起加入法国电力总公司 (*CGE*) 集团以来，并占有 *CGE* 公司的三分之一股份，它的力量更为强大。

1973 年阿尔斯通公司与美国 *GE* 公司联合成立欧州燃气轮机公司 (*CETAG*)。1976 年阿尔斯通·大西洋公司的汽轮机制造部又与 *CEM* 公司的布尔歇发电设备 (*Bourget*) 厂合并，以便增强法国发电设备制造能力及其在世界上的竞争能力。*CEM* 公司把布尔歇厂卖给阿尔斯通·大西洋公司，并占有该公司 6% 的股份，这样，即使阿尔斯通·大西洋公司不再采用 *BBC* 技术，也仍须将汽轮机营业额的 1.9% 付给 *BBC* 公司。

阿尔斯通公司生产燃气轮机是在贝尔福特厂 (*Belfort*)，这个厂还生产蒸汽轮机、原子能汽轮机、水轮机、发电机、电动机、电站锅炉以及各种电气机车等。

贝尔福特厂建于 1879 年，是阿尔斯通公司最早的生产基地，如今是该公司最大的一个发电设备制造厂。

二厂占地 46 公顷，其中车间和仓库建筑 28 公顷，厂区比较拥挤。该厂拥有 3300 台设备，350 台起重机，8600 名职工，其中 540 名工程师和干部。

贝尔福特厂年产单机容量 2.5 万至 100 万千瓦的蒸汽轮机 600 万千瓦，水轮机 380 万千瓦以及与汽轮机和水轮机相配套的发电机，同时还具有年