

# 燃气轮机联合循环机组在沿海地区的应用

刘定远 张晓苏  
(深圳南山热电有限公司)

**[摘要]** 本文介绍了燃气轮机联合循环机组在沿海地区的发展,并介绍了深圳南山热电有限公司在燃用重油方面的经验。

**关键词** 燃气轮机 联合循环 重油燃烧

**分类号** TM 611.3:TK16

## 0 引言

燃气轮机联合循环机组以其较高的热效率,低廉的安装费用,安全可靠,符合环保要求和灵活的运行方式而获得广泛应用,并在国外电力工业中占有相当地位。80年代以后,我国沿海地区为解决工业发展与电力要求之间的矛盾,政府给予优惠的电价,鼓励燃气轮机投放市场,从而使燃气轮机在沿海地区迅速发展。

## 1 国外应用概况

燃气轮机用于发电基本上从本世纪40年代开始,燃气轮机联合循环几乎是同步前进,最早安装在美国某个电站的第一台燃气轮机就被用于联合循环,当时燃气轮机的功率为3.5 MW,将燃气轮机的排气余热用于加热一台35 MW蒸汽轮机的给水。1987年6月,上述第一台燃气轮机作为一个历史的里程碑举行仪式,并将其重新安装在纽约 Schenectady 供展览。

50年代和60年代装备的燃气轮机联合循环系统基本上采用燃气轮机的排气作为锅炉的一次风应用,提高热效率5%~6%。1959年加肋管锅炉开始服役,燃气轮机排气余热回收的联合循环更为可行,并随着单机容量的逐渐增大,将热效率提高到53%。

## 2 国内的发展

我国首座燃机电站建于大庆油田。由于燃气轮机具备安装快(集装箱式),占地少,启停快速,安全可靠,用水少等一系列优点,深受油田青睐。随后其它各大油田也相继开发应用。

70年代北京、天津等地又建设了一批燃机自备电站,主要用于调峰。1986年投产的大庆喇二燃机电厂、华能汕头燃机电厂是我国第一批高效率联合循环发电厂,功率为100 MW,热效率为45%。这两个电厂的成功经验,带动了我国油田和沿海地区一批联合循环电厂的发展。90年代以后,联合循环发电的优势更为人们所认识。本公司引进 GEMS 9001 E型燃气轮机经两年多的运行,设备可调性在95%以上。广东佛山的顺德引进功率近300 MW的联合循环电厂,上海闸北电厂正在筹建大容量联合循环机组以备调峰,深圳大铲岛准备引进三套每套350 MW的燃机联合循环(燃用廉价的天然气),但从整体上来讲,我国燃气轮机的发展速度还很缓慢,其主要原因为:

(1)我国的能源政策一直要求“以煤代油”,不鼓励发展燃油机组,从而限制了燃气轮机的发展。

(2)受燃料价格的影响,我国沿海地区早期引进的燃气轮机因容量小、单循环、成本高、热效率低,且用于调峰,系统限制运行小时等等,这样也就限制了燃气轮机的发展。

收稿日期 1996-07-19 收修改稿 1996-08-26

本文联系人 刘定远,男,1957年生,主任工程师,518052 广东深圳南山热电厂

(3)目前我国并未实现生产大功率燃气轮机的制造能力,发展大功率燃气轮机尚需依赖进口,因而限制了燃气轮机的发展。

### 2.1 燃气轮机联合循环发电机组

在沿海地区由于市场经济的需要,政府鼓励发展电力,推行电力优惠政策,燃机电厂如雨后春笋不断兴起。然而,随着大容量火力发电厂和大容量核电站的相继投产,电价逐渐下调,而油价却不断上涨,使燃机电厂面临严峻考验。要求经营者不断地挖潜,寻找高效率的机组,从而来降低成本获取效益。

1994年7月本公司引起 GTMS 9001 E型燃气轮机正式发电,从设备到货到安装调试以及正式发电仅用1个多月时间。这台燃气轮机投产后将油耗从原来 25MW 机组(法国生产)的 345 g/(kW·h)下降到 282g/(kW·h),且运行可靠。随着电力系统紧张局面不断地缓解,燃机调峰电厂的售电价进一步下调,油价继续盘升,系统又对燃机调峰电厂的发电小时给了严格控制,逐年降低发电小时,这些因素再次冲击燃机电厂。出路只能是寻找低价燃料,提高机组热效率,降低成本。本公司在 MS 9001 E型机组投产发电一年后又配套安装 186 t/h DELTAK公司的余热锅炉,哈汽厂生产的 50 MW 蒸汽轮机联合发电。这样将油耗从原来该台燃机单循环 282 g/(kW·h)降低到 188~190 g/(kW·h)热效率提高到 51%以上,大大降低了成本,使企业的生存与发展出现生机。本公司还对两台 36 MW 燃气轮机分别由哈尔滨 703研究所设计安装的两台 52 t/h(烧重油时)余热锅炉,带一台南汽产 25 MW(厂家允许最大 27.2 MW)蒸汽轮机联合发电,正常运行时燃重油带联合循环,将成本进一步降低,为企业带来显著效益。

### 2. 燃气轮机的 IGV 在联合循环上的应用

燃气轮机出厂即给出 IGV(温控线)控制曲线,选基本负荷时随环境温度来决定燃机的出力。燃机排气温度与压气机压比、环境温度以及负荷有一定的关系。IGV 是以压气机压比(CPD)为横作标,燃机排气温度(TTX)为纵坐标绘制的曲线,给出了 CPD-TTX 以及环境温度和发电机电功率之间的关系。通常是环境温度越低,压气机压比就越大,TTX 就越低,且发电机电功率就越大(燃烧不变)而油耗越低。IGV 主要是控制压气机可转导叶。

燃气轮机联合循环运行所配带的余热锅炉,要求燃气轮机的排气温度越高越好,因为燃气温度越

高,锅炉的蒸发量就越大,蒸汽轮机的发电功率就越高。但是在一定的环境温度下要想提高排气温度就需要用 IGV 来控制。本公司在 MS 9001 E型燃气轮机组上进行试验,试验数据表明当该台燃机负荷 > 70 MW 且低于当时环境温度下的基本负荷,投入 IGV 温度控制是比较经济的。当投入 IGV 温控时虽然此时油耗高于单循环单位油耗,但蒸汽轮机所增加的电负荷累加后,比燃气轮机不投 IGV 运行要经济得多,这条途经是经现场实测并充分利用燃气轮机的可调性、灵活性得出的运行经验。

## 3 燃气轮机烧重油

随着油价的不断上涨,燃气轮机的成本不断增加,迫使燃机电厂寻找廉价的燃料——重油。当然,燃烧重油还需要对燃机各辅助件进行必要的改型(例如燃油分配器、燃烧室等)。实际上在国外从 1950 年至 1960 年有 7 台燃用重油燃气轮机分别用于工业运行和发电行业,它们提供大约 2 700 000 小时颇为经济的燃用重油的运行经验。下面是 GE 公司燃气轮机燃用重油的有关统计数据:

表 1 GE 重型燃气轮机中的燃料应用情况  
(从 1983 年 1 月起)

燃 料	台 数
天然气	1408
脱硫气(工业气)	13
混合气	60
精制油	783
矿物油	14
煤油	30
精制油或燃气	964
精制油和燃气	82
原油	59
原油和精制油	32
渣油	120
渣油或燃气	4
渣油 精油 燃气	1
总计	3570

表2 燃烧原油的 GE重型燃气轮机的运行经验

用 户	透平 型号	应用 编码	机组 数量	安装 日期	总的运行 小时数	烧重燃料 小时数	重燃料燃烧 温度(°F)	重燃料金属含量	
								钠 (ppm)	钒 (ppm)
<b>MS 3000</b>									
SO PED公司	3002(B)	M	2	1961	220 000	120 000	1500	-	-
菲律宾	3002(J)	M	6	1976	15 000		17300	5.8	0.6
<b>MS 5000</b>									
Abu Dahbi公司	5001	EU	7	1969	288 000	1 000	1650/1550	25	0.15
Caltex公司	5001	EI	9	1970	580 000	200 000	1650	10	0.6
E. G公司	5001	EU	2	1977	50 000	22 000	1650/1750	max 50	max 8
沙漠阿拉伯	5001(P)	EU	4	1977	43 000	41 000	1650/1750	max 20	max 15
<b>MS 7000</b>									
佛罗里达 Bartow 电力公司	7001(B)	EU	4	1972	37 400	12 000	1840	10	3
A. P. S公司	7001(B)	EU	1	1975	2 700	200	1800	14	0.1
亚历桑那公众服务公司	7001(C)	EU	3	1976	20 700	3 340	1840	14	0.1
利雅得电力公司	7001(E)	EU	16	1980	138 000	150 000	1930	10	7~ 9

注: MS5000- GE5000系列产品; MS7000- GE7000系列产品; EI- 工业发电; EU- 公用设施电力生产; M- 工业机械驱动。

表3 燃烧渣油的 GE重型燃气轮机的运行经验

用 户	透平 型号	应用 编码	机组 数量	安装 日期	总的运行 小时数	烧重燃料 小时数	重燃料燃烧 温度(°F)	重燃料金属含量	
								钠 (ppm)	钒 (ppm)
<b>MS 5000</b>									
意大利 F R公司	5001	EU	1	1961	10 550	700	1450	-	-
意大利 F R公司	5001	EI	2	1963	170 000	54 000	1400	9-90	20-118
意大利公益事业公司	5001	EI	1	1970	32 000	31 000	1650	max 100	max 100
G. M 动力公司	5001	EI	1	1965	8 500	600	1500	-	-
O. N. E公司	5001	EU	6	1974	75 000	63 000	1650	max 100	max 70
B. H动力公司	5002	SP	2	1973	32 000	30 600	1650	40	2
Reksten公司	5002	SP	1	1974	10 000	9 100	-	max 100	50- 280
EM SA公司	5001	EU	2	1983	8 000	1 500	1630	50	20
<b>MS 7000</b>									
苏里南 Alcoa公司	7001(B)	EU	1	1976	26 000	24 000	1750	60- 150	80
佛罗里达 De Bary 电力公司	7001(B)	EU	6	1976	42 500	33 500	1840	22- 23	28- 45
台湾电力公司	7001(E)	EU	1	1980	1 300	200	1955	1.2	24

注: EI- 工业发电; SP- 船用发动机; EU- 公用设施电力生产; M- 工业机械驱动

表 4 燃烧混合燃料的 GE 重型燃气轮机的运行经验

用 户	透平 型号	应用 编码	机组 数量	安装 日期	总的运行 小时数	烧重燃料 小时数	重燃料燃烧 温度 (°F)	重燃料金属含量	
								钠 (ppm)	钒 (ppm)
MS 5000									
S. C 公司	5001	EI	1	1971	53 000	17 000	1700	0.6	0.5
印尼— PLN 公司	5001	EU	2	1974	42 000	40 000	1730	2.0	1.0
MS 7000									
G. V 公司	7001(R)	EU	2	1976	47 500	47 500	1860	-	-
利雅得电力公司	7001(B)	EU	5	1977	173 000	168 000	1840	2~3	7
MS 9000									
E D F 公司	9001	EU	1	1975	72 000	100	1840	1.0	0.5

本公司从 1999 年 6 月份在 1 号燃气轮机 (环境温度 15°C 时 25 MW) 试烧 # 8 重油 (即渣油) 成功, 提高了经济效益, 其后燃用重油比例逐年提高, 1999 年单机燃用重油占轻油的 43%, 1999 年为 65%, 1999 年为 78%, 1995 年达 80%。1 号机试烧正常后对同型号 2 3 号机也烧重油, 随后又在两台 36 MW 燃气轮机上烧重油, 并且由两台 36 MW 燃机带一台 25 MW 蒸汽轮机联合循环, 成本大幅度降低。

本公司正在进一步挖潜, 由原来燃烧 # 8 重油改烧 # 12 重油 (渣油), 试烧经验是成功的, # 12 重油现价约 13 (美元/吨), 而轻油则要 210 (美元/吨) (合资企业政策许可的部分免税) 重油来源于进口, 经处理线处理合格后, 且钾加钠小于 1 ppm, 送往机组燃烧, 在燃烧中用了有机的溶油镁添加剂作防腐剂, 每吨重油仅需 1 (美元) 处理费用, 成本核算令人满意。当然燃烧重油也带来一系列问题, 正在逐步完善、解决。总的说来, 本公司燃机燃用重油长达三年之久, 运行正常, 设备完好, 效益显著。

#### 4 燃气轮机向内地扩展

由于燃气轮机具有很多优点, 而且这些优点正是电力系统所不可缺少的, 因此燃气轮机作为调峰机组非常合理, 需要电力系统在售电价格上给予优惠, 一旦达到协调且合适的售电价格, 在今后一段时

期, 燃气轮机联合循环发电将在整个发电行业中占据越来越重要的地位。

据美国能源部 (DOE) 能源信息局 (EIA) 预测: 1990~2000 年期间美国将新增发电容量 1 亿千瓦, 其中燃气轮机联合循环, 将占 4500 万 kW。

尽管国内燃气轮机在电力网中占的比重很小, 受到如前所述诸多因素限制, 但是今后一段时期电力行业将着重发展燃气轮机联合循环机组的总趋势不会改变, 而且必将由沿海开放城市逐渐向内地延伸。上海闸北电厂正在兴建四套 MS 9001 E 型燃机联合循环, 绍兴燃机电厂、金华燃机电厂、厦门燃机电、苏州高达电厂、安徽合肥电厂等等燃机联合循环电厂都在大力兴建中。可以预期, 燃机联合循环电厂在我国相当长的一段时间内, 仍然有其广阔的市场。

#### 5 结论

燃气轮机联合循环因其热效率高达 51%~53%, 安全可靠, 便于调峰, 投产速度快, 建设周期短, 运行方式灵活而获得广泛应用。在沿海地区经过十多年的运行经验, 经营厂家不断挖潜、改造, 使燃气轮机燃烧重油带联合循环发电, 缩小燃油与燃煤机组的差价, 从而大大提高燃气轮机联合循环的竞争能力。因此, 大力发展燃机联合循环乃是当务之急, 具有强大的生命力和光明的前景。

燃气轮机联合循环在沿海地区的应用 = **The Application of Gas Turbine-based Combined Cycle Units in Coastal Regions of China** [刊, 中] / Liu Dingyuan, Zhang Xiaosu (Shenzhen Nanshan Cogeneration Co. Ltd.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -52- 55

Described in this paper is the development of gas turbine-based combined cycle units in the coastal area of China with a brief account of the experience gained by the Shenzhen Nanshan Cogeneration Co. Ltd. in burning heavy oil. **Key Words** gas turbine, combined cycle, burning of heavy oil

锅炉烟管管束阻力最优匹配的研究 = **A Study on the Optimum Matching of a Boiler Flue Gas Tube Bank Resistance** [刊, 中] / Xu Shiming, Yuan Yi (Dalian University of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -56- 59

Discussed in this paper is the optimum distribution of flue gas speed in the flue gas tube bank of an industrial smoke tube boiler. The aim is to achieve a maximum tube bank heat exchange rate under the conditions of a given flue gas resistance and heat exchange area or attain a minimum convection heat exchange area under the condition of a given heat exchange rate, and set up a calculation model with an optimum matching of pressure drop in the flue gas tube bank. **Key words** industrial boiler, flue gas tube bank, optimization, resistance

直流锅炉启动分离器数学模型与仿真 = **A Mathematical Model of the Start-up Separator for an Once-through Boiler and Its Simulation** [刊, 中] / Wang Zongqi, Wang Tao (North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -60- 63

Starting from the mechanism of the working process of an object under study established is an analytical mathematical model of the start-up separator for an once-through boiler. On this basis a simulation model was set up to conduct a simulation test. The validity of the model was verified, thus providing essential conditions for the establishment of a full-load operating condition mathematical model of the once-through boiler unit. **Key words** oncthrough boiler, start-up separator, mathematical model

火电厂监控与信息管理的计算机网络系统——PPIS100 = **Computer Network System PPIS100 for the Monitoring and Information Management of Thermal Power Stations** [刊, 中] / Wang Tongqing, Wang Peihong, et al. (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -64- 67

Described in this paper is a computer network system for the monitoring and information management of the production process of several thermal power stations. With the system employing a distributed intelligent data acquisition device serving as its basis the whole network is divided into a management level and process monitoring level to conduct data exchange, which makes it possible for various workstations of the management level to readily obtain real-time information and to provide real-time information service for production management. The system from the hardware system to software one features good configuration possibility.

**Key words** network system, computer monitoring, information management, intelligent data acquisition device

锅炉燃料加工新工艺的研究 (I)——新工艺原理及其关键技术 = **A Study on the New Technology for Processing Boiler Coal (I) — Theory of the New Technology and Its Key Techniques** [刊, 中] / Yang Guohua (China Mining University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -68- 70

In the light of the present status of coal use in industrial boilers and coal processing the author has come up with a new technology for processing boiler fuel and proposed two items of its key techniques. **Key words** industrial boiler, profiled coal, fuel processing, grading of coal, modification of profiled coal