

## 国外公司及产品介绍

## M1A-01-CC程氏循环热电联供装置

闻雪友(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

日本川崎重工业株式会社(KHI)自1972年起一直在进行工业燃气轮机的发展研究工作。最初发展S1A-01型(190千瓦)发电用燃气轮机,当取得预期结果后又开始发展M1A-01型(1177千瓦)和S2A-01型(700千瓦)。它们在气动设计概念及结构方面都是类似的:简单开式循环、两级离心式压气机,单管迴流式燃烧室、多级轴流式涡轮。1977年川崎开始生产应急/备用燃气轮机发电机组,现在已有额定功率从180千瓦到2400千瓦的十四型燃气轮机发电装置,约1500台燃气轮机在各应用场合作应急和尖峰负荷使用。

几年前,川崎重工与美国国际动力技术公司(IPT)签订了制造、使用和 销售程氏循环发电系统的协议,该许可证允许川崎重工在全世界独享基础发动机功率(未注蒸汽的功率)在500到2000千瓦间的程氏循环系统的市场。

**程氏循环用于热电联供系统的主要优点是:**

1) 利用把燃气轮机排气余热产生的过热蒸汽注入燃烧室的方法,提高了发动机的功率并改进了热效率。

2) 电/热比值可随季节和时间的要求而变化,在满足热电平衡方面非常灵活。

3) 程氏循环可使 $\text{NO}_x$ 的排放大大减小。

4) 程氏循环简化了COGAS的RACER设计概念,因而比联合循环更紧凑,成本更低。

川崎重工首先选用它的M1A-01发动机(图1)来发展一个程氏循环系统。M1A-01压气机的压比为8,流量7.7公斤/秒,三级轴流涡轮,干重约3吨,外形尺寸为2.2米 $\times$ 1.4米 $\times$ 1.4米。

川崎的发展工作分两步进行。首先进行改型发动机的原型试验,然后建造一生产型机组安装于明石工厂进行运行验证。1986年2月开始原型机试验,发动机的改动主要是在燃烧室上增加了蒸汽喷注系统(图2),并对涡轮导向器面积作调整,以适应蒸汽喷注。在原型机上是用打磨第一、二级导向叶片尾缘的方法来实现的(在生产型机上用改变导向叶片安装角及增加叶片高度来实施)。初时,齿轮箱尚未更换,因此试验必须在1500千瓦以下进行,1987年春换上新的生产型齿轮箱,使试验功率达到1860千瓦,在原型机试验中蒸汽是由另一单独的锅炉提供的。1988年1月第一套生产型装置在现场安装完毕,该装置采用多单元撬装件设计,因而安装时间短,项用低。装置经试验调整于1988年4月正式投运,发电功率提高约70%,发电效率提高约30%。整个装置的流程见图3,平面布置见图4,外观见图5。装置可藉微机控制自动运行和监测,使其一直在最佳条件下运行,并设有燃气轮机故障预告系统。

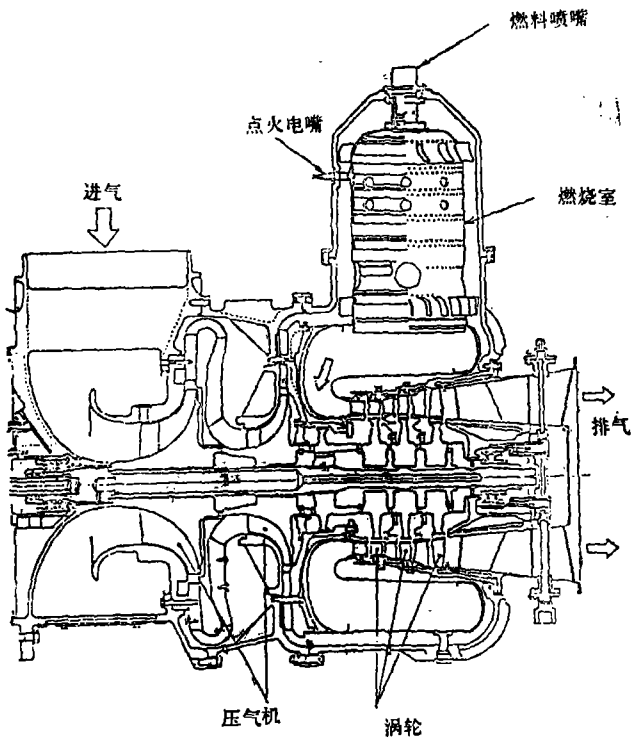


图 1 M1A-01 燃气轮机

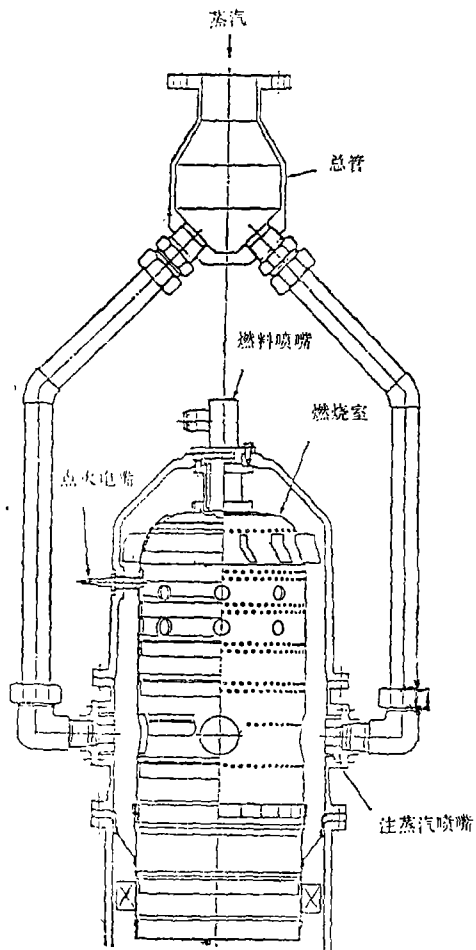


图 2 M1A-01-CC 的喷注蒸汽燃烧室

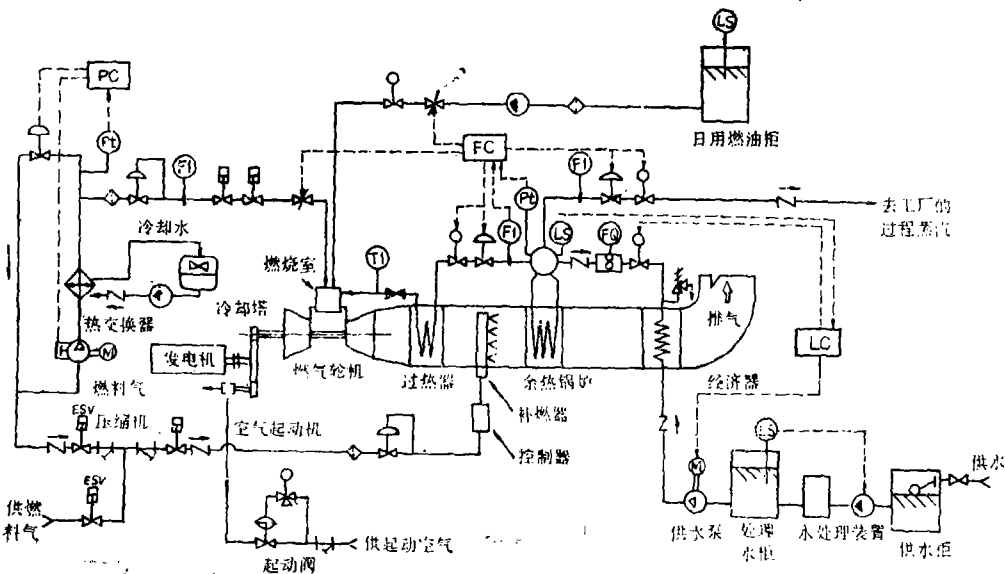


图 3 程氏循环热电联供装置流程图

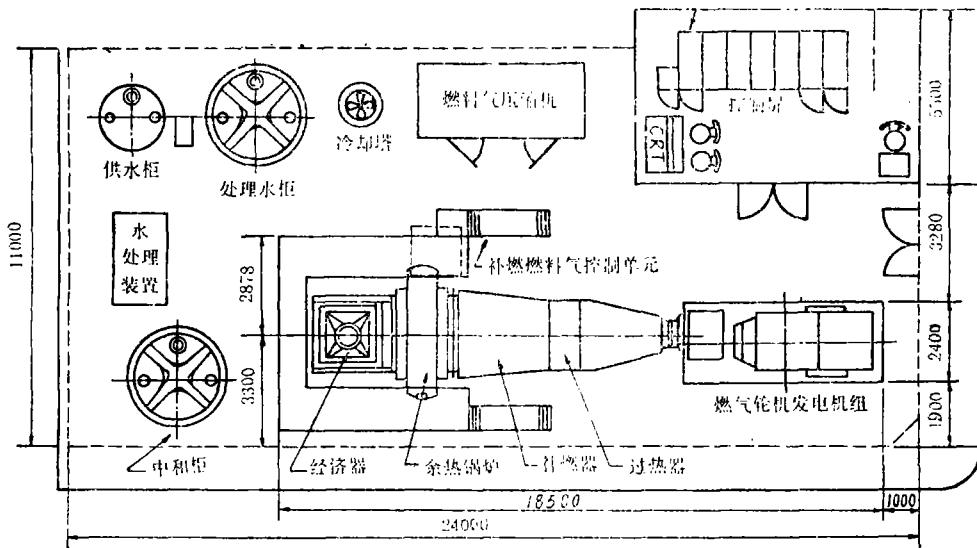


图 4 明石工厂程氏循环热电联供装置平面布置图

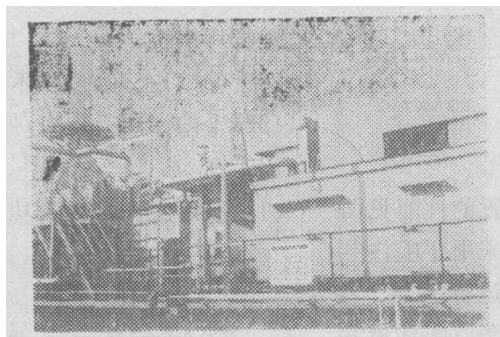


图 5 明石工厂程氏循环装置外观

装置各部分的性能如下:

1) 燃气轮机

型号

M1A-01-CC

额定功率

1940千瓦 (蒸汽注入量1.2公斤/秒)

1090千瓦 (无蒸汽注入)

转速

涡轮转子 22 000转/分

发电机 1 800转/分

燃料

城市煤气 (13A), 煤油

2) 发电机

型式

空冷, 无刷

功率

1750 千瓦

电压

6600伏

频率

60赫兹

- 3) 锅炉
  - 型式 自然循环水管锅炉
  - 额定压力 1422千帕(14.5公斤力/厘米<sup>2</sup>)
  - 额定蒸汽产量 9000公斤/小时 (使用补燃时)
  - 蒸汽温度 饱和蒸汽温度
- 4) 蒸汽过热器
  - 额定压力 1373千帕 (14公斤力/厘米<sup>2</sup>)
  - 额定蒸汽产量 4320公斤/小时
  - 蒸汽温度 428℃
- 5) 补燃器
  - 型式 带火焰稳定器
  - 燃料 城市煤气 (13A)
  - 燃料量 400米<sup>3</sup>/小时(最大)
  - 调节范围 10~100%
- 6) 气体燃料压缩机
  - 型式 螺杆压缩机
  - 入口压力 98千帕 (1公斤力/厘米<sup>2</sup>)
  - 出口压力 1373千帕 (14公斤力/厘米<sup>2</sup>)
  - 耗功 73千瓦

整个程氏循环热电联供装置的性能见图6和表1。图6清晰地表明由于采用了喷注蒸汽和补燃，大大扩大了可能的运行区域。A区域内各点的特征是有不同的蒸汽喷注量和补燃量，而燃气初温不变(为最大持续功率时的燃气初温值)；B区域的特征是有不同的蒸汽喷注量和补燃量，而无补燃；C区域的特征是有不同的燃气初温和补燃量，而无蒸汽喷注。所示的性能均系在ISO标准条件、气体燃料低热值为41577千焦/米<sup>3</sup>(9930大卡/米<sup>3</sup>)、发电机效率为95%、过程蒸汽为1433千帕(14.5公斤力/厘米<sup>2</sup>)下的饱和蒸汽、给水温度为10℃，进气损失980.6帕(100毫米水柱)、排气损失3922.4帕(400毫米水柱)条件下的值。分析表明，其最大汽/气比值在该燃气初温和压比下相应于最大循环效率点。

川崎现正在开发以M1A-13型为基础的M1A-13CC程氏循环系统。M1A-13型是M1A-01型的发展型，其参数比M1A-

自然循环水管锅炉  
 1422千帕(14.5公斤力/厘米<sup>2</sup>)  
 9000公斤/小时 (使用补燃时)  
 饱和蒸汽温度

蒸汽过热器  
 1373千帕 (14公斤力/厘米<sup>2</sup>)  
 4320公斤/小时  
 428℃

补燃器  
 带火焰稳定器  
 城市煤气 (13A)  
 400米<sup>3</sup>/小时(最大)  
 10~100%

气体燃料压缩机  
 螺杆压缩机  
 98千帕 (1公斤力/厘米<sup>2</sup>)  
 1373千帕 (14公斤力/厘米<sup>2</sup>)  
 73千瓦

01型有所提高，因而功率也增大。它们的结

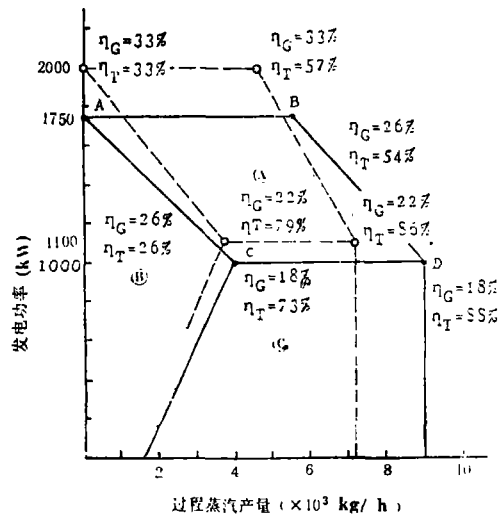


图6 程氏循环装置性能

构类同，具有发动机整体互换性，但部件不能互换。M1A-13CC的估计性能亦示于图6(以虚线表示)和表1。

表1 程氏循环装置性能

型 号	M1A-01-CC 程氏循环				M1A-13CC 程氏循环			
	A	B	C	D	A	B	C	D
输出功率 (千瓦)	1750	1750	988	988	2000	2000	1100	1100
过程蒸汽产量 (公斤/小时)	0	5600	4070	9000	0	4600	3700	7200
喷注蒸汽 (公斤/小时)	4320	4320	0	0				
燃气轮机燃料 (米 <sup>3</sup> /小时)	583	583	491	491	524	524	433	433
补燃燃料 (米 <sup>3</sup> /小时)	0	386	0	293	0	322	0	232
发电效率 (%)	26.0	26.0	17.4	17.4	33	33	22	22
总效率 (%)	26.0	54.4	73.0	87.9	57	37	79	86

## 参 考 文 献

- 1) YUKIO OTSUKI, MIDDLE AND SMALL SIZE INDUSTRIAL GAS TURBINES IN JAPAN. *BULLETIN OF GTSJ*. 1987
- 2) IRWIN STAMBER, KHI STEAM INJECTED MIA-01 BASE RATED AT OVER 1800KW GAS TURBINE WORLD. MAY JUNE. 1987
- 3) KAWASAKI CHENG CYCLE GAS TURBINE COGENERATION SYSTEM KHI, JET ENGINE DIVISION. 1988

