

〔专题连续报导〕

# PG5361 STIG 燃气轮机 注汽喷嘴长度调整的试验研究

邹积钟 闻雪友 王长胜 刘中如  
陈洪发 李福安 张明婉  
(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 探讨在掺混孔处注汽时,注汽管的插入深度对燃烧室性能的影响,同时也简要地介绍了试验设备及测试方法。

关键词 燃气轮机 燃烧室 试验研究 回注蒸汽

## 符号

$D$ : 火焰筒直径

$h$ : 注蒸汽喷嘴端面与火焰筒之间距, mm

$H$ : 燃烧室外壳与火焰筒之间距, mm

$L$ : 燃烧室长度, mm

$T_1$ : 燃烧室进口平均温度, K

$T_2$ : 燃烧室出口平均温度, K

$T_{2, \max}$ : 燃烧室出口最高温度, K

$T_{2, \min}$ : 燃烧室出口径向平均最低温度, K

$T_{2, \max}$ : 燃烧室出口径向平均最高温度, K

$$+\Delta\tau = \frac{T_{2, \max} - T_2}{T_2 - T_1} \times 100\%$$

燃烧室出口温度场最大不均匀系数, %

$$\delta_r = \frac{T_{2, \max} - T_{2, \min}}{T_2} \times 100\%$$

径向温度不均匀系数, %

## 1 前言

在燃气轮机回注蒸汽的工业装置中,蒸汽回注部位及方式各异<sup>〔1-4〕</sup>,但从燃烧室中回注蒸汽是一种主要的方式。从燃烧室头部

注入蒸汽时对降低排放物中的 $\text{NO}_x$ 含量有较明显的效果,但其注入量不宜过大,从燃烧室掺混段则可大剂量注汽,以增大发动机功率。

当从燃烧室火焰筒掺混孔注汽时有逆流喷注、正交喷注和顺流喷注三种方式,不同的喷注方式又对排放物中的 $\text{NO}_x$ , HC, CO含量分别有不同的影响<sup>〔4〕</sup>。

为了在PG5361型燃气轮机上实施蒸汽回注,进行了一些必要的试验研究。

该机具有回流式燃烧室,我们采用回注的主要目的是为了提高机组出力,适当降低耗油率,因此在掺混孔处用正交喷注(图1)。

此外,该燃气轮机的燃料是柴油与重油,因此要考虑用重油时回注蒸汽的影响。

本文仅讨论注汽喷嘴的插入深度对燃烧室出口温度场影响的试验研究,以探究最佳插入深度,为此进行了四种喷嘴插入深度( $h/H$ : 0.125、0.25、0.4和0.625)的研究。

收稿日期 1993-03-12

本文联系人 邹积钟 男 高工 150030 哈尔滨 77 信箱

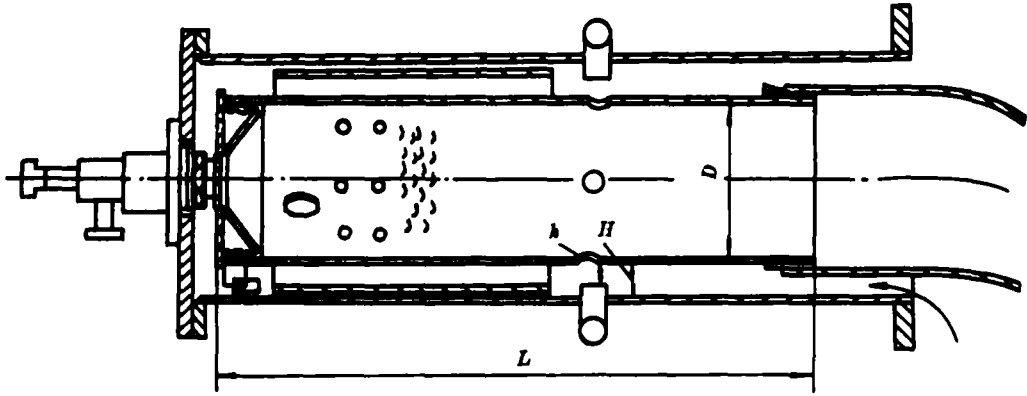


图1 试验燃烧室

## 2 试验设备及测量

单管燃烧室试验系统及测点布置见图2。

### 2.1 试验系统

试验系统主要由以下五大部分组成：

#### 2.1.1 高压空气系统

高压空气系统的作用是在喷油嘴中引入一部分高压空气喷吹燃料，使燃料雾化为更细的液滴。

通常，控制雾化空气的压力及流量是改善雾化质量的关键。

#### 2.1.2 空气系统

空气系统的作用是为燃烧室试验输送设计所要求的压缩空气。系统中的主要设备有：加温(预热)燃烧室，试验燃烧室，调节阀门及各种测量元件。

试验燃烧室是取机组燃烧室的十分之一(即一个单管燃烧室及压气机排气机匣的十分之一)作为试验件。

#### 2.1.3 饱和蒸汽系统

饱和蒸汽系统的作用是用来加热重油和水，为重油管道伴热并作为回注过热蒸汽用汽源(将该饱和蒸汽经余热锅炉升温至过热蒸汽)。

#### 2.1.4 燃油系统

##### ■ 柴油系统

提供燃烧室柴油试验燃料，重油试验时的启动和停机的切换燃料及加温燃烧室用的燃料。

##### ■ 重油系统

提供重油试验燃料。

重油系统中的主要设备有：油滤、供油泵、日用油箱、离心式分离机、水箱、重油加热器、前置油泵、流量计(或电子秤)、螺杆泵、温度计、压力表等。

#### 2.1.5 水系统

水系统的主要作用是冷却出口排气管，冷却出口蝶阀及向燃烧室排出的燃气中喷水，以降低排出燃气的温度。

## 3 试验参数的测量与数据处理

### 3.1 燃烧效率的测量

用热平衡法测定燃烧效率。空气流量采用孔板流量计测量。柴油消耗量采用容积量瓶测量，重油消耗量用电子秤计量。燃烧室入口的空气温度采用镍铬—镍铝热电偶测量。燃烧室出口平均温度，采用七排四点屏蔽式高温热电偶(铂—铂铑)进行测量。

### 3.2 流阻损失系数的测量

流阻损失系数通过测量燃烧室入口空气静压，入口截面积及燃烧室进出口静压差来计算。

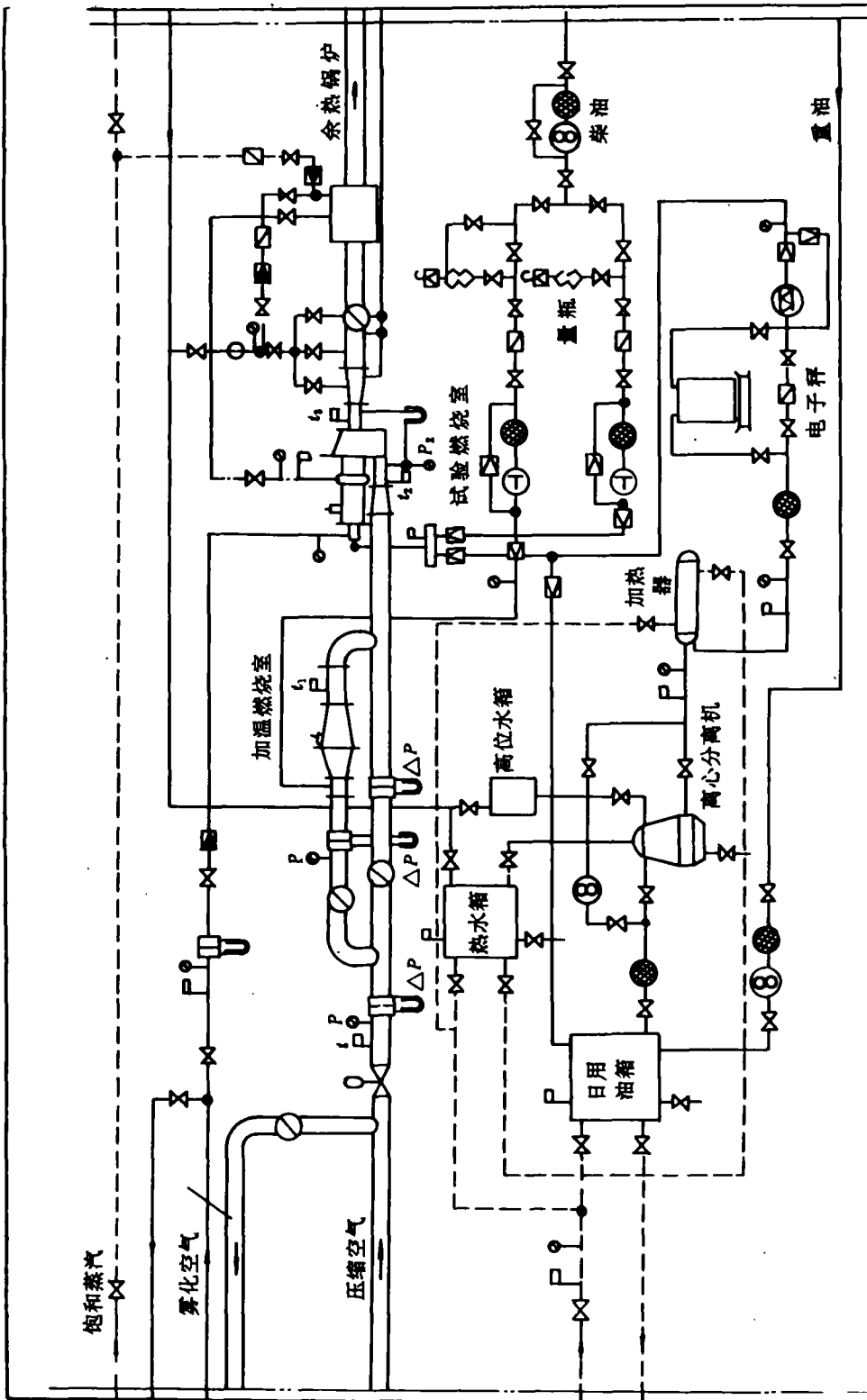


图 2 单管燃烧室试验台系统图

### 3.3 火焰筒壁温的测量

用感温涂层进行测量。

本试验台是通过数据采集系统进行数据采集,并通过微机进行数据处理得出试验结果。

## 4 试验及试验结果

### 4.1 试验使用的燃料

轻质燃料:国产的0#, -10#柴油

重质燃料:加德士180#重油

### 4.2 试验

试验是在专门的试验台上用PG5361燃气轮机的燃烧室进行的。

采用低压模化的方法。

在四种不同回注蒸汽喷嘴插入深度条件下进行了烧柴油和重油时的各种方案试验。

### 4.3 试验结果

图3表示了未回注蒸汽,雾化空气压比

为1.34,各种喷嘴长度下烧柴油的出口温度沿径分布的情况。

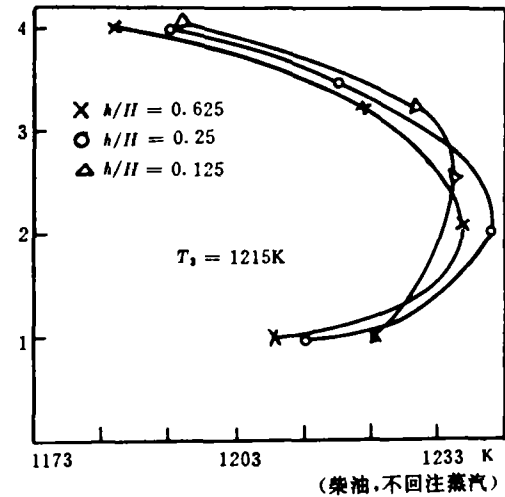
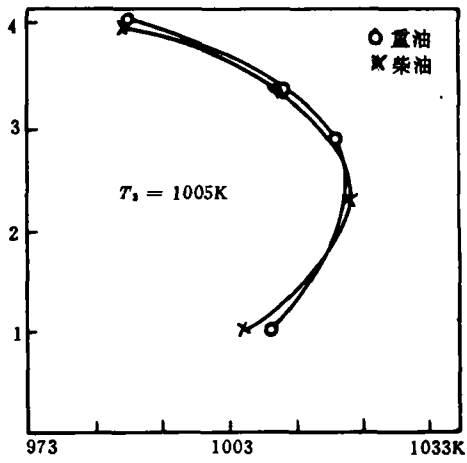
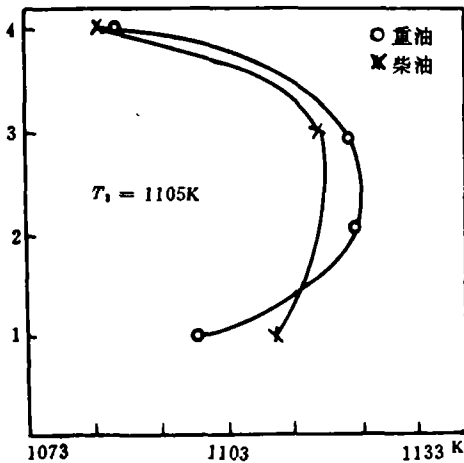


图3

图4示出了在同一喷嘴长度下烧重油和柴油时的出口温度沿径分布。



( $h/H = 0.625, \pi = 1.34$ , 无回注蒸汽)

图4

图5表示了回注蒸汽,各种喷嘴长度下烧柴油的出口温度沿径分布情况。

图6表示了回注蒸汽在同一喷嘴长度下

烧重油和柴油时的出口温度沿径分布。

图7表示了回注蒸汽、烧重油、喷嘴长度变化时,燃烧室出口温度沿径分布。

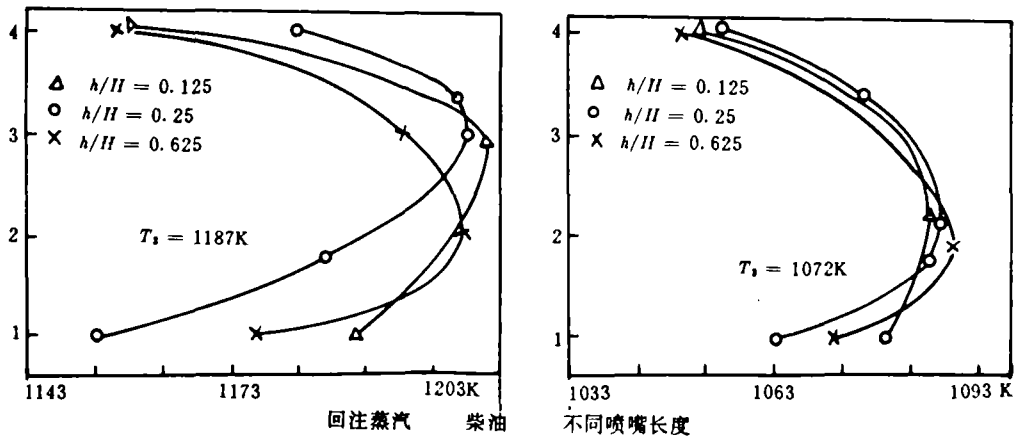


图5

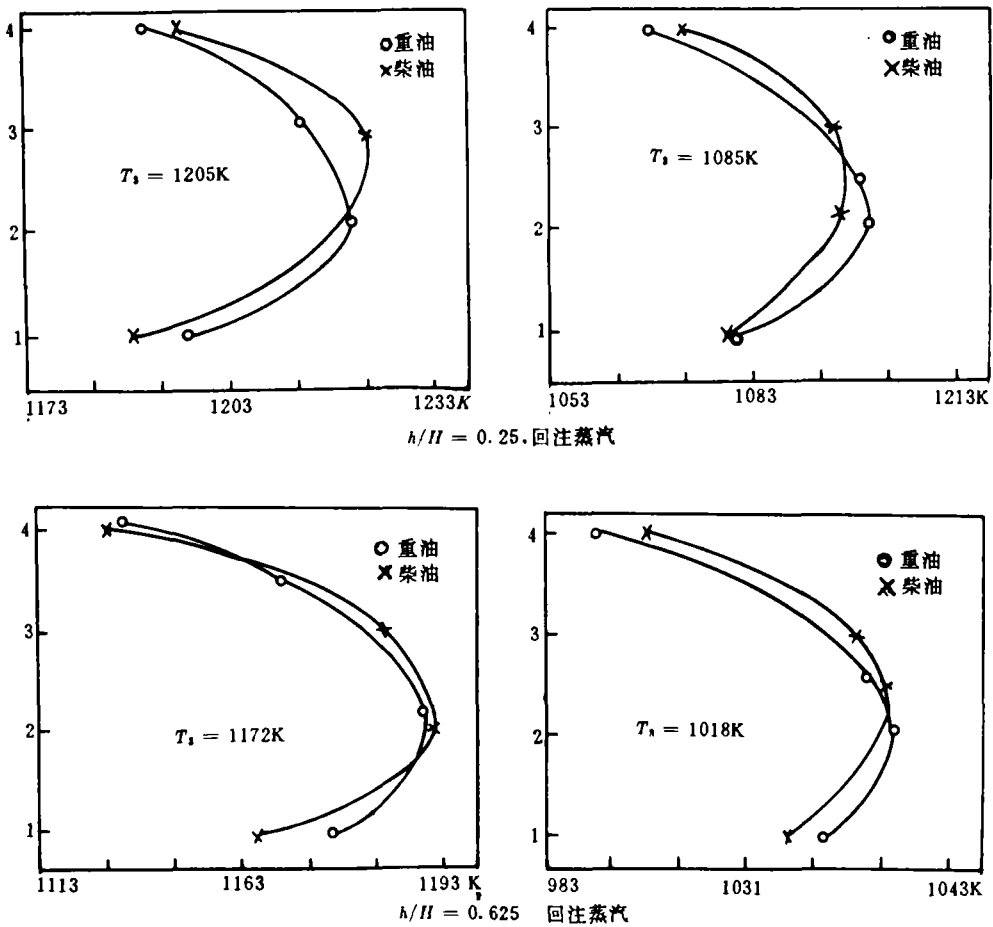


图6

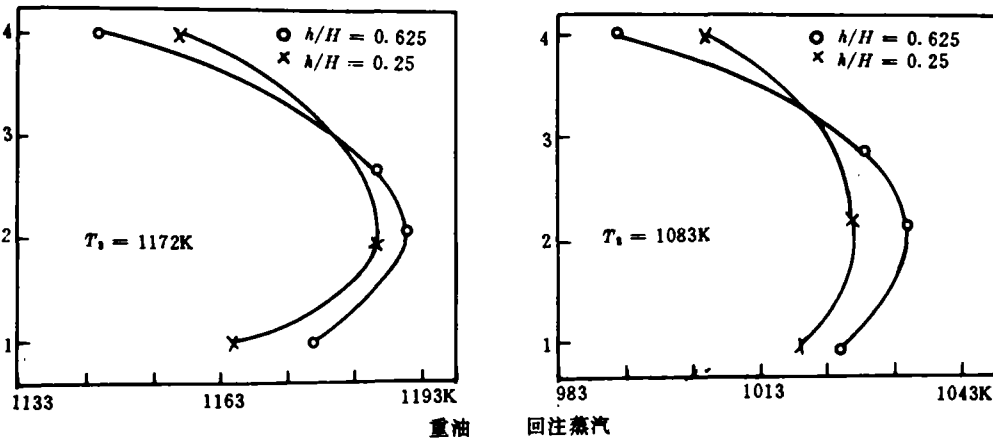


图 7

4.3.1 燃烧室出口温度分布的主要结果

a 温度场不均匀系数  $\Delta \tau$

在烧柴油注蒸汽条件下,当喷嘴插入深度增大时, $\Delta \tau$ 值增大,即喷嘴距掺混孔越近, $\Delta \tau$ 越大。

在短喷嘴时对 $\Delta \tau$ 的影响较平坦,即喷嘴距掺混孔远, $\Delta \tau$ 值变化比较平缓,见图 8,当燃料由柴油改烧重油时 $\Delta \tau$ 值有所增加。

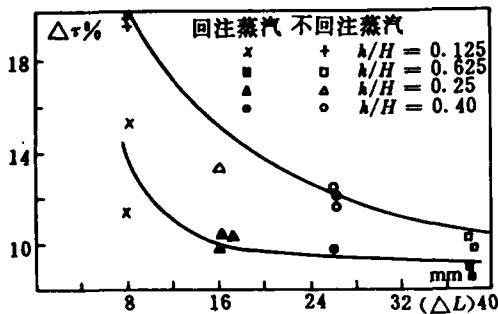


图 8 不同管长对出口温度场最大不均匀系数的影响

b 关于沿径温度分布规律及不均匀系数  $\delta \tau$  的影响,见图 9。

总的看来,无回注时喷嘴插入深度对温度分布规律没有质的变化。长喷嘴时顶部温度略有升高,短喷嘴时叶根部温度略有降低

(图 3)。

在注蒸汽并燃用重油时,当喷嘴缩短及在喷嘴长度不变而由柴油改烧重油时,沿径温度分布呈下移趋势(图 6、7)。

在烧柴油,当注汽或不注汽时,随喷嘴插入深度增加,沿径温度不均匀系数一般呈减小趋势。试验表明,在喷嘴为中等长度时,该系数变化已趋向平坦(图 9);当燃料由柴油改烧重油时,不均匀系数  $\delta \tau$  通常情况下有所增加。

4.3.2 对燃烧室压力恢复系数

不同长度的注蒸汽喷嘴对燃烧室的压力恢复系数的影响见图 10。

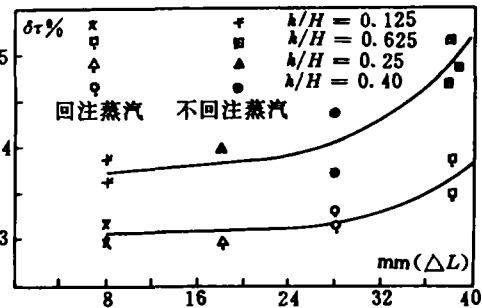


图 9

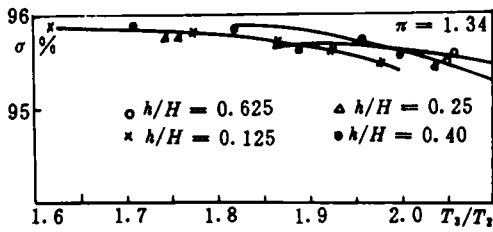


图 10 不同管长对压力恢复系数的影响

由图 10 可见,当喷嘴插入深度减小时,压力恢复系数略有增大。在加热比 1.92—1.93 时,压力恢复系数在(95.7—95.85)%,可见变化不大。

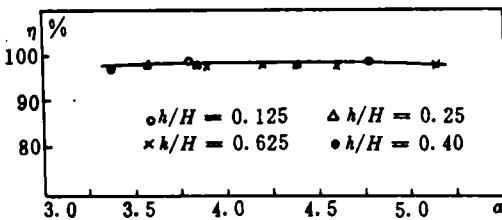


图 11 不同管长对燃烧室效率的影响

#### 4.3.3 对燃烧室燃烧效率

烧柴油,雾化空气压比为 1.34 时,不同长度注蒸汽喷嘴对燃烧效率的影响很微弱,见图 11。

## 5 结束语

对不同长度的注汽喷嘴在不同的出口燃气温度,不同的燃油以及注或不注蒸汽等条件下所得到的试验结果和根据对燃烧室出口温度场不均匀系数  $\Delta \tau$ 、燃烧室出口沿径温度分布不均匀系数  $\delta \tau$ 、燃烧室出口沿径温度分布规律、燃烧室总压恢复系数,燃烧室燃烧效率的影响,可以明确得出这样的结论:对所研究的燃烧室来说,喷嘴的插入深度在  $h/H = 0.25 \sim 0.4$  的区间是最佳区。

这一回注系统已在三套燃气轮机回注蒸汽热电联供机组上应用。

## 参 考 文 献

- 1 Digumarthi R, Chang C N. Cheng-Cycle implementation on a small gas turbine ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power July, 1984, 106 pp, 699-702
- 2 Larson E D, Williams R H. Steam-injected gas turbines. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. Jan 1987, 109, pp, 55-63
- 3 Smith S S. Aero-derivative gas turbine performance emissions and STIG. Turbomachinery International Jan/Feb, 1989, 30(1), 21-31
- 4 Kazunori sato, Takao Sato. Development of kawasaki Cheng Cycle cogeneration system. KHI Technical Review Dec, 1988, pp, 44-53

## 学 术 会 议 消 息

中国造船工程学会轮机学术委员会锅炉、涡轮机学组拟于 1993 年 10 月份召开学术年会。年会内容包括:1.“八五”部分预研课题科研成果交流;2.我国大型舰船动力方案可行性研讨;3.部件设计和计算方法的研讨;4.介绍原苏联舰船燃气轮机研制特点与发展趋势;5.国内外舰船汽轮机、燃气轮机及锅炉的发展趋势。欢迎同仁们踊跃参加,请于 6 月 30 日前向学会交 500 字的论文摘要。请寄哈尔滨邮政 77 号信箱周渭稿收。开会地点:初步拟定湖南省张家界。

**JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL  
ENERGY AND POWER**  
1993 Vol. 8 No. 3

---

**CONTENTS**

**(113)МАШИНОЕКТ-the Cradle of Marine Gas Turbines of the Former Soviet Union.....**

Wen Xueyou (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

**(117)Design Features of ГТД 8000 and ГТД 15000 Marine Gas Turbine Engines.....**

Victor I. Romanov (*NPO Mashproject, Nikolayev, Ukraine*)

This paper describes the design features and performance data of new generation ГТД 8000 and ГТД15000 engines. The efficiency of these engines is (34-35)% (simple cycle, ISO conditions). This paper presents the basic trends of design and technology improvements resulting in high performance engines. Some examples of new gas turbine applications are given. **Key words:** *gas turbines*

**(123)An Experimental Study on the Adjustment of Steam Injection Tube Insertion Length for a PG 5361 STIG Gas Turbine.....Zhou Jizhong, et al. (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)**

The authors discussed the effect of tube insertion depth at mixing-dilution holes on the performance of a gas turbine combustor. Briefly described are also the relevant test facilities and experimental test methods. **Key words:** *gas turbine, combustor, steam injection, experimental study*

**(130)Performance Test of the Gas Generator of a Double-Flow Fan Engine With Variable Duct Resistance.....Ye Zide, et al. (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)**

This paper deals with the test plant and test results of a gas generator of a by-pass dual-rotor engine with variable duct flow path resistance. The said test results will provide valuable data for the potential on-land applications of turbofan engines and create an effective avenue for relevant engine modifications. **Key words:** *test plant, test results, turbofan engine, engine inner and outer duct*

**(134)The Design and Study of Naval Steam Turbine Last Stage Blades.....Sun Xianliang, et al. (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)**

With regard to a high-capacity naval steam turbine last stage blades a study has been conducted of the following items: thermal parameter, geometric dimensions, the calculation of geometric characteristic data of various blade section profiles, blade configuration, the selection of blade root profile, blade strength calculation, blade mounting and blade vibration calculation, etc. **Key words:** *steam turbine, last stage blade, blade profile, blade root, strength and vibration*