

SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂 掺入重油在燃气轮机上的燃烧试验

(哈尔滨七〇三研究所) 刘敏 闻雪友 陈洪发 王铁成 韩立中 荀柏秋
(中国人民解放军驻哈汽轮机厂军代表) 冀光
(常州新区发展集团公司) 汤正鸣

[摘要] SAYVOL-EC2 是英国塞维尔化学有限公司(SAYVOL CHEMICALS LTD)研制的燃油全能增效剂。文中给出了常规镁盐抑钒剂和 SAYVOL-EC2 添加剂分别掺入重油在燃气轮机燃烧试验台的对比燃烧试验结果。试验结果初步表明: SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂在燃烧效率、抑钒、降 NO_x 等方面都优于常规镁盐抑钒剂。

关键词 增效剂 抑钒 重油燃烧 燃气轮机

中图分类号 TK478.9

1 前言

随着燃气轮机技术的不断进步和对提高运行经济性的迫切要求, 燃气轮机燃烧重油已在许多国家, 特别是在我国, 越来越广泛地得到应用。重油作为一种廉价的并适用于燃气轮机燃烧的燃料已成为燃油燃气轮机电厂为降低运营成本、保持良好经济效益所采取的一项有效措施和对策。

重型燃气轮机对液体燃料的适应性是很强的, 燃用原油、渣油等劣质燃料也是安全可靠的, 但是对燃油尤其是重油的特性及其所含的微量元素是有原

(见表1)。它们的危害是腐蚀热通道金属, 缩短热部件寿命, 严重积垢, 影响机组出力, 排放废气, 污染环境。研究者们正在研究、开发和试验, 寻求新型的燃油添加剂, 达到价格便宜、运作简单、性质稳定、改善燃烧、减少腐蚀和环境污染的目的。

表1 微量金属元素含量极限表
GE系列资料 GEI-4107, 单位: mg/kg

	Na+K	Pb	Ca	V	
				有抑钒剂	无抑钒剂
蒸馏油	1	1	2	—	0.5
原油及混合油	1	1	10	100	0.5
渣油	1	1	10	500	0.5
燃机入口空气	总量小于 0.005				
燃机入口水蒸气	总量小于 0.5				

2 SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂

SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂是英国 SAYVOL

收稿日期 1998-11-09

本文联系人 刘敏 男 1966年生 硕士、工程师 150036 哈尔滨香坊红旗大街108号

则要求的, 我国通常遵守美国 GE 公司的规定指标

4 结论

给出的四种盘管式蓄冰空调系统的设备总功率分别为常规空调系统的 75%、86%、60%、77%; 全年耗电量分别为 103%、118%、87%、110%; 全年使用电费分别为 63%、71%、52%、62%; 包括电力增容费在内的初投资分别为 96%、107%、85%、98%。由此得出结论, 给出的四种蓄冰空调系统在经济上都是可行的, 其中以方案 C 因采用冷媒直接蒸发储冰和低温送风, 因而电力削峰率最大, 初投资及运行

费用最低。这种系统的供冷部分是由压缩冷凝机组与盘管式储冰槽组成, 结构简单, 可以组装成储冰式空调冷水机组, 实现产品的标准化和系列化。不但降低成本, 而且减少和减化工程设计的工作量, 是一种值得推广的储冰空调系统。

参考文献

- 1 马昌. 关于冰蓄冷空调几个问题的浅见. 制冷学报, 1996, (1): 38~41.
- 2 钱南平. 国内空调冰蓄冷动态. 制冷学报, 1995, (1): 62.
- 3 张彤. 蓄冷设备及蓄冷系统的评价与探讨. 制冷学报, 1996, (4) (何静芳 编)

化学有限公司研制的高科技产品,经十多年的机上试验和工厂用户的实际运行使用,取得了环保、节能和运行操作的显著实效,生产厂家已获国际承认的英国质量机构颁发的 ISO 9002 质量管理标准证书,并获得国际环保审核机构颁发的 ISO 14001 环保管理系统认证书, SAYVOL-EC2 产品还由英国的国际保险公司提供产品的责任保险。

SAYVOL-EC2 产品着重针对解决燃用劣质燃料油所产生的各种问题而研制的,它可以帮助燃油较完全燃烧,降低 SO_2 和 NO_x 的废气排放和减少酸雾酸雨的产生,抑制灰尘及结焦炭灰等问题,添加了 SAYVOL-EC2 增效剂后,可改善劣质燃油的油质,降低燃油的整体粘度,使喷嘴雾化优良,达到完全燃烧的效果,减少了不完全燃烧的炭粒及其它污染物,达到节油效果 2%~5% 以上,而且使用简单,不需增加设备和复杂流程,安全可靠。

SAYVOL-EC2 的作用机理是:采用化工高科技技术,引入溶在富氧有机溶液中的活性燃烧促进剂(EC2),不仅可以降低燃烧的起始温度,还可以为火焰中心提供自由氧,从而降低过量空气的需求,使燃油中的粗碳粒子全部燃烧,从而达到节约燃油的效果,还有改造燃油中的钒、硫、钠等有害微量元素,使之在燃烧的高温条件下,不易参与氧化,使它的无机物分子结构变成较高熔点的松散微粒,大大减少燃油中的钒、硫、钠等有害元素相互氧化结合的氧化物总量,通过改变以上有害元素在燃烧过程中的氧化特性,有效地阻碍了氧化硫和钒类氧化物的生成,达到既保护环境又节能的效果。

3 试验的内容和目的

为了检验该添加剂的效果,在燃气轮机燃烧室单管燃烧试验台上,进行了 SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂与常规镁盐抑钒剂掺入重油的对比燃烧试验。

试验内容包括:

- (1) 油品化验。
- (2) 试验台改造,在出口排气管中,增设可拆式涡轮叶片,观测抑钒效果。
- (3) 进行掺入常规镁盐抑钒剂的重油燃烧试验。
- (4) 进行掺入 SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂的重油燃烧试验。
- (5) 进行有害气体排放成分测量。

试验目的:

(1) 对比镁盐抑钒剂和 SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂的抑钒效果。

(2) SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂的节油效果。

(3) SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂的减少有害气体排放的效果。

4 燃气轮机燃烧试验台

哈尔滨 703 研究所燃烧试验台,主要用于燃气轮机燃烧室的性能测试、性能调试、燃烧室定型和性能鉴定。

4.1 试验装置及系统

针对本试验的目的,主试验段采用 PG 5 3 6 1 P1 型燃气轮机燃烧室的实尺寸火焰筒,配上了燃气收集器,设计加工了带有观察窗的燃烧室外壳,与压气机排气机匣的十分之一扇形段相配而构成。燃气轮机回流式燃烧室的结构示于图 1。这种回流式燃烧室是在我国燃气轮机电站得到广泛应用的 Fram5、Fram6 和 Fram9 的典型结构。

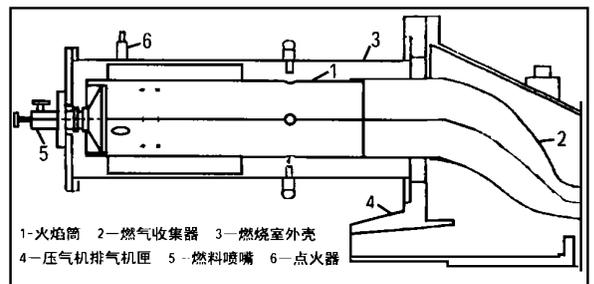


图 1 回流式燃烧室

燃烧台试验系统示于图 2。它包括了压缩空气系统、燃料系统(轻油系统和重油系统)、雾化空气系统、蒸汽加热及伴热系统、燃气及排气管与装置的水冷却系统、空气加温系统、数据测量显示记录系统。

4.2 试验参数的测量

4.2.1 温度的测量 空气温度、油温、蒸汽温度用铂电阻温度计测量;雾化空气温度、燃烧室进口空气温度用镍铬-镍铝热电偶测量;燃烧室出口温度场用七排四点梳状铂-铂铑高温热电偶测量;火焰壁温用感温漆测量。

4.2.2 压力的测量 压力用指针式压力表测量。

4.2.3 压差的测量 压差用 U 形管压差计测量。

4.2.4 流量的测量 轻油流量用计量油箱测量;重油流量用电子秤称量;空气流量用流量孔板计量。

4.2.5 烟气排放物 用精密烟气分析和排放测试仪器测量。

4.3 试验数据的处理与计算

试验数据由数据采集系统采集。

4.3.1 燃烧室效率:

$$\eta = \frac{(M_a + M_f + M_{f0}) \cdot i_3 - (M_a + M_{f0}) \cdot i_2 - i_f}{H_u \cdot M_f + H_{f0} \cdot M_{f0} \cdot (1 - \frac{\eta_{f0}}{100}) \cdot \frac{2}{\alpha_2}}$$

式中: $\alpha_2 = \frac{M_a}{M_{f0} \cdot L_{f0}}$

4.3.2 燃烧室总压恢复系数:

$$\sigma^* = 1 - \Delta P^* / P_2^*$$

4.3.3 燃烧室阻力系数:

$$\xi = P^* / (0.5 \times \rho_2 \times V_2^2)$$

4.3.4 最大不均匀度:

$$+ \Delta \tau = (T_{3max}^* - T_3^*) / (T_3^* - T_2^*) \times 100\%$$

4.3.5 径向温度最大不均匀度:

$$+ \alpha = (T_{3Rmax}^* - T_3^*) / (T_3^* - T_2^*) \times 100\%$$

5 试验及其结果

5.1 重油油样分析

本次试验使用的重油为两种重油混合而成,其中一半为南山电厂引进的新加坡加德士 180[#] 重油,其含钒量较高,另一半为广东佛山沙口燃机电厂使用的低硫油,其含钒量较低。本次试验的一项重要内容便是验证 SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂的抑钒效果,为此将上述两种油按 1:1 混合。混合重油的油质化验结果见表 2,其钒含量为 80.5 mg/kg,比较适合于试验常规镁盐抑钒剂和 SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂的抑钒效果。

表 2 重油油质化验结果

名称	单位	结果	
粘度	mm ² /s	50°	70
		90°	16.4
Na	mg/kg	150.3	
K	mg/kg	10.3	
V	mg/kg	80.5	
S	%	0.5	
低热值	kJ/kg	40,884	

5.2 重油试验模化参数

重油试验模化参数见表 3。

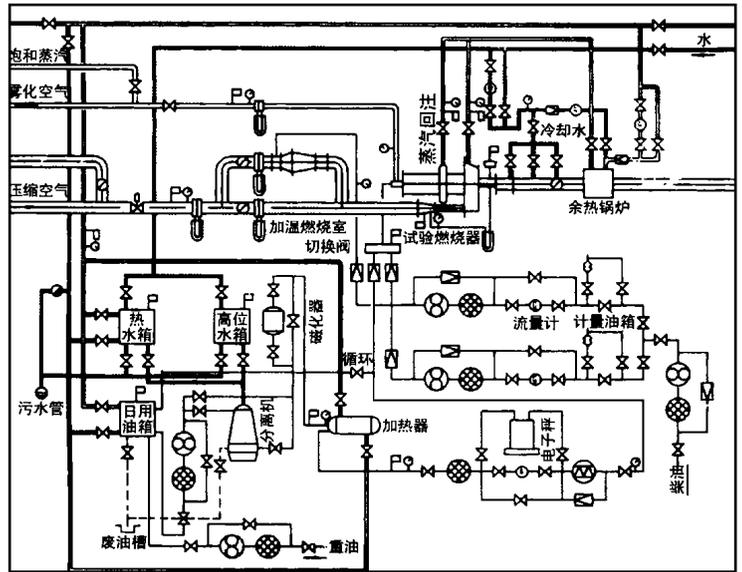


图 2 燃烧试验台系统图

表 3 重油低压模化试验参数

名称	称号	单位	数值
燃烧室入口空气压力	P_2	MPa	0.2
燃烧室入口空气温度	T_2^*	°C	313.8
燃烧室入口空气流量	M_a	kg/s	2.3
燃烧室出口燃气温度	T_3^*	°C	894
过量空气系数	α	/	4.07
燃油耗量	M_f	kg/h	144.24
燃料低热值	H_u	kJ/kg	40884
雾化空气压比	π	/	1.6

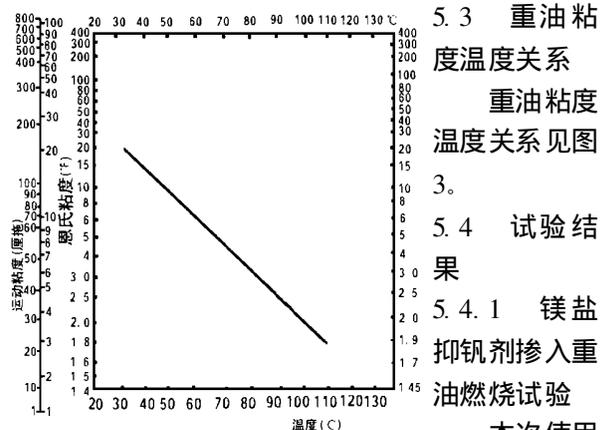


图 3 重油粘度温度关系曲线

5.3 重油粘度温度关系

重油粘度温度关系见图 3。

5.4 试验结果

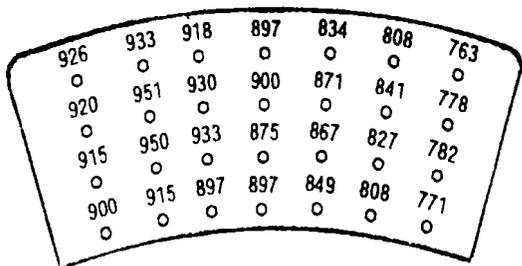
5.4.1 镁盐抑钒剂掺入重油燃烧试验

本次使用的常规镁盐抑钒剂是从广东顺德德胜燃机发电厂购得,含镁量 13%,镁盐抑钒剂与重油的配比按抑钒剂含镁量与重油含钒量比为 3:1 的比例,将镁盐抑钒剂与重油经搅拌均匀充分混合而成镁盐抑钒剂重油。

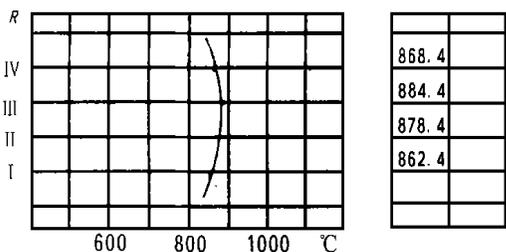
a. 试验参数

P_2	t_2	W_2	a_g	t_{3sp}	P_1/P_2	$+\Delta\alpha$	$+\delta$
MPa	°C	m/s	—	°C	—	%	%
0.181	320	79.8	4.03	873.4	1.8	14.02	1.99

b. 出口截面温度分布



c. 出口径向温度场



5.4.1.1 镁盐抑钒剂重油试样 1 001.85 kg, 其中:

南山新加坡加德士 180[#]重油 500 kg

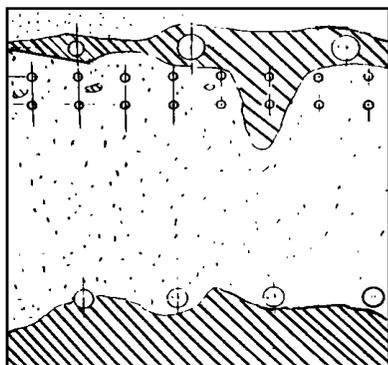
恒生公司提供的广东佛山沙口电厂重油 500kg

镁盐抑钒剂溶液 1.82 kg。

5.4.1.2 镁盐抑钒剂重油燃烧试验结果

a) 燃烧效率 96.2%, 与一般重油的燃烧效率相当。

b) 燃烧室总压恢复系数 94.35%。



- — 主燃孔
- — 点火器
- — 掺混孔
- — 联焰管
- ▨ — 650°C
- ▨ — 500°C

图 4 镁盐抑钒剂重油的燃烧室出口温度场

图 5 镁盐抑钒剂重油的火焰筒壁温

表 4 燃烧室主要排放成分表

测量次序	添加剂类别	排放成分				备注
		O ₂	CO ₂	CO	NO _x	
		%V	%V	mg/m ³	mg/m ³	
1	镁盐抑钒剂	13.3	5.6	58	310	1. 排气温度: 870°C~920°C 2. 环境大气氧气的体积百分数为 20.6%
	EC-2 增效剂	13.3	5.6	34	238	
2	镁盐抑钒剂	13.4	5.6	57	305	
	EC-2 增效剂	13.4	5.5	35	236	
3	镁盐抑钒剂	13.5	5.5	59	297	
	EC-2 增效剂	13.5	5.4	34	246	
4	镁盐抑钒剂	13.6	5.4	60	287	
	EC-2 增效剂	13.6	5.4	39	230	
5	镁盐抑钒剂	13.7	5.3	65	291	
	EC-2 增效剂	13.7	5.3	45	221	
6	镁盐抑钒剂	13.8	5.1	68	285	
	EC-2 增效剂	13.8	5.2	48	221	
7	镁盐抑钒剂	13.9	5.1	67	285	
	EC-2 增效剂	13.9	5.1	45	224	
8	镁盐抑钒剂	14.0	5.0	69	279	
	EC-2 增效剂	14.0	5.0	47	219	
9	镁盐抑钒剂	14.1	4.9	70	281	
	EC-2 增效剂	14.1	4.9	48	219	
10	镁盐抑钒剂	14.2	4.8	73	285	
	EC-2 增效剂	14.2	4.8	48	221	



6 结论

SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂掺入重油在燃气轮机燃烧室单管燃烧试验台上的试验结果初步表明:

(1) 燃烧效率提高约 2.7%。

因为 EC2 活性燃烧促进剂使燃油中的粗碳粒子充分燃烧。

(2) 具有较好的抑钒效能, 减少了高温烟气的钒化腐蚀, 减少了结焦积碳量 30%, 尤其是空气旋流器齿槽根部没有积碳和结焦, 这对于重油的正常燃烧有好处, 因为 EC2

活性燃烧促进剂改变了燃油中钒、硫、钠等有害元素的性质, 使它们在燃烧区高温下不易参与氧化, 并使它的无机物分子结构变成较高融点的松散微粒, 不易沉积在通道部件表面上。

(3) 由于 EC2 活性促进剂使燃烧更完全并降低了燃烧的起始温度, 有害气体 NO_x 和 CO 的排放量

减少了 30% 左右。

文中符号说明

H -燃料低热值, kJ/kg , i -热焓, kJ/kg

L -理论空气量, kg/kg , M -流量, kJ/s

P -压力, MPa , ΔP -压差, Pa

T -温度, K

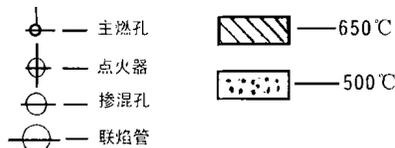
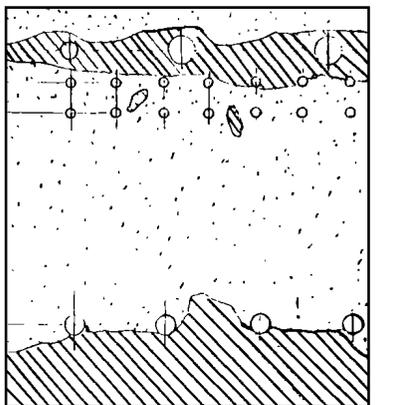


图 9 增效剂重油的火焰筒壁温

图 10 增效剂重油的火焰筒和空气旋流器积炭

d) 火焰筒由感温漆示出的壁温列于图 9。高温区范围在联焰管孔附近明显缩小。

e) 排放情况见表 4, NO_x 和 CO 的排放优于镁盐抑钒剂重油燃烧时测得的值。

f) 在空气旋流器端面有积碳, 而火焰筒内无积碳, 积碳情况见图 10。

g) 出口排气管道中叶片的积灰情况见图 11。

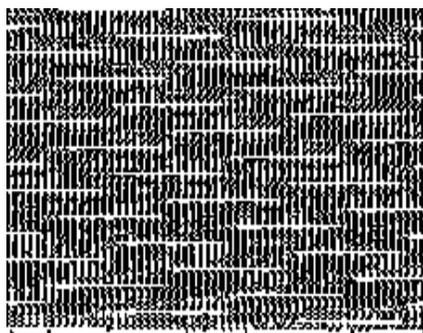


图 12 燃烧室出口管道中的叶片(试验前)

图 11 增效剂重油的燃烧室出口管道中叶片的积灰

适用于舰用汽轮机的准三维设计体系

(哈尔滨工业大学) 黄洪雁 冯国泰 王仲奇
(哈尔滨七〇三研究所) 马云翔 林志鸿 闻雪友

[摘要] 建立了以多级 S_2 流面计算为主, S_1 流面计算程序和单列叶栅全三元 Euler 方程求解程序为辅的舰用汽轮机设计体系。 S_2 流面计算中考虑了变比热并引入损失模型, 用来比较准确地估算机组的效率, 进行汽轮机级间和动静叶之间的匹配计算。 S_1 流面和三维有粘、无粘计算程序用来考核叶栅空间通流性能。该体系适用于舰用汽轮机的校核计算和变工况性能分析。

关键词 设计体系 舰用汽轮机 S_2 流面 3D 计算 损失

中图分类号 TK262

1 引言

随着计算机技术的高速发展, 建立在经典流体力学、数值计算方法基础之上的计算流体力学成为汽轮机机械设计中的一个重要组成部分, 是进行叶轮机械设计的有效手段。40 年代以前, 一元流设计方法为设计部门广泛采用, 取平均半径上的参数来表示机组的流动状况。1952 年由我国著名学者吴仲华教授提出的两类流面理论给叶轮机械设计带来了革命性的变革, 建立在该理论基础上的 S_2 、 S_1 流面计算方法^[1,2] 在叶轮机械设计中发挥了巨大作用。在涡轮整体性能的评估过程和机组性能匹配计算中, 现在采用的主要手段仍是 S_2 流面计算程序。

当今计算机技术的飞速发展, 使全三元 Euler 方程求解已完全成为可能^[5], 90 年代还出现了非定常三维粘性流计算程序在涡轮机内部流场设计中的应用。但在国内, 仍采用一元流设计方法, 这种方法很难设计出高性能的舰用汽轮机, 不能了解这类机组较细的流动状况。鉴于此, 本文建立了一套以 S_2 流面正问题计算为主, S_1 流面对叶型进行考核和以全三元 Euler 方程求解来了解叶栅局部性能的涡轮设计体系。这一体系适用于舰用汽轮机的设计计算和变工况性能分析。

2 考虑损失的多级准三元设计体系

计算机技术的进步, 高精度差分格式的出现使比较准确地模拟叶栅内流流动成为可能。在国外已经出现比较完善的叶轮机械三元设计体系, 国内这方面的工作起步较晚, 主要受机器内存、计算速度和多级叶列间处理技术的限制, 对于象具有 5 级或更多级的汽轮机组, 全三维多级联算还存在一些有待解决的问题。 S_2 流面完整的理论和国内外同行多年的工作, 使 S_2 流面多级联算成为可能, 成了多级汽轮机性能估算中最重要的工具。伴随着汽轮机机

收稿日期 1998-12-08 本文联系人 黄洪雁 男 1968 年生 讲师、博士 150006 哈尔滨工业大学 458 信箱

α -空气过量系数

v -工质流动速度, m/s

ρ -密度, kg/m³

σ -压力恢复系数, %

η -燃烧效率, %

ξ -阻力系数 + $\Delta\tau$ -温度场最大不均匀度, %

+ α -径向温度不均匀度, %

上标:

*-滞止参数

下标:

a -空气

2-进口

3-出口

f -试验燃料

f_0 -加温燃料

max-最高

Rmax-径向最高

参考文献

- 1 焦树建. 燃气轮机燃烧室. 机械工业出版社, 1990.
- 2 Lefebvre A H. Gas turbine combustion, 1983.
- 3 Zou Jizhong, et al. An experimental study on steam injection into a singletube Combustion of a MS5001 Gas Turbine Proceedings of The Second APISCEU, 1993.

sistance under the conditions of in-tube intensified convection heat transfer. Thus obtained are functional relations between thermodynamic performance indexes Q/Q_s , P/P_s and F/F_s on one side and in-tube convection heat transfer Nu and in-tube resistance factor l on the other side. On this basis an analysis was conducted of the thermodynamic performance of the intensified in-tube heat transfer inside spirally corrugated tubes. **Key words:** intensified in-tube heat transfer, convection heat transfer, thermodynamic performance, spirally corrugated tube

高效液力偶合器的设计方法分析 = **The Design Method and Analysis of a High-efficiency Fluid Coupling** [刊, 中] / Wang Liwen, Li Guohong, Li Rong (China National Civil Aviation Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14 (2). — 108~110

The problem of excessive heat generation in a high-capacity (> 300 KW) fluid coupling was resolved by the use of a high-efficiency coupling with a no-slip feature at rated operating conditions. This paper analyses the design method of such a coupling with the method for determining the number of buckets and bucket wheels being proposed. Furthermore, through tests of a sample unit the features of the coupling are identified. **Key words:** high-efficiency fluid coupling, bucket, bucket wheel, design method, test of characteristics

盘管式蓄冰空调系统评价 = **Evaluation of an Coiled-tube Ice Storage Air-conditioning System** [刊, 中] / Zhou Wei, Yin Gang, Liao Mingyi, et al (Heilongjiang Provincial Commercial Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14 (2). — 111~112

Four schemes of coiled-tube ice storage air-conditioning systems are presented in this paper with an analysis and comparison being conducted by the use of specific examples. It is noted that all these four schemes are economically feasible. The one based on a direct evaporation of refrigerant and low-temperature air supply system enjoys the best economy. Compared with a conventional system its peak-clipping rate is 40% with investment cost and operating expenses being reduced respectively by 15% and 48%. **Key words:** cold storage rate, ice storage air-conditioning system, electric tariff structure

SAYVOL-EC2 燃油全能增效剂掺入重油在燃气轮机上的燃烧试验 = **Heavy Oil-fired Gas Turbine Combustion Test with the Heavy Oil being admixed with SAYVOL-EC2 All-purpose Fuel Oil Synergist** [刊, 中] / Liu Ming, Wen Xueyou, Chen Hongfa (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14 (2). — 113~118

SAYVOL-EC2 all-purpose fuel oil synergist is a product developed by British Sayvol Chemicals Ltd. Combustion tests were conducted on a gas turbine combustion test rig, firing heavy oil admixed respectively with conventional magnesium salt vanadium inhibitor and SAYVOL-EC2 additive. Test results indicate preliminarily that the SAYVOL-EC2 all-purpose fuel oil synergist is superior to the conventional magnesium salt vanadium inhibition agent in terms of combustion efficiency, vanadium inhibition effectiveness, NO_x reduction, etc. **Key words:** synergist, vanadium inhibition, heavy oil combustion, gas turbine

适用于舰用汽轮机的准三维设计体系 = **A Three-dimensional Design System Applicable to Naval Steam Turbines** [刊, 中] / Huang Hongyan, Feng Guotai, Wang Zhongqi (Harbin Institute of Technology), Ma Yunxiang, Lin Zhihong, Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14 (2). — 119~121

A naval steam turbine design system has been set up based mainly on a multi-stage S_2 stream surface calculation and assisted by a S_1 stream surface calculation program and single-row cascade full three-dimensional Euler equation solution program. In the S_2 stream surface calculation a variable specific heat is taken into account with a loss model being introduced. This is done so that the machine efficiency can be evaluated in a relatively accurate way and a matching calculation of the steam turbine both in terms of interstage as well as between rotating blades and stator vanes may be performed. The S_1 stream surface and three-dimensional viscous and non-viscous calculation programs can be employed to verify and check cascade space flow passage performance. The system under discussion is suited for the naval steam turbine verification calculation and performance analysis for off