

舰用燃气轮机研制新动向

骆凤标 (中国船舶工业总公司)

〔提要〕 本文介绍了最近英、美和西德等国研制高效率、低油耗舰用燃气轮机的现状。对中冷回热循环舰用燃气轮机做了重点叙述。

主题词 舰用燃气轮机 中间冷却 回热循环 情报资料

目前航空发动机改型的舰用燃气轮机已广泛用于各国海军舰艇。在满足海上环境条件、舰艇使用要求和改善经济性、可靠性等方面做了大量研究实验工作,采取了新技术、新工艺,产品已几次更新换代。但燃气轮机经济性尤其在部份负荷时还较差。为进一步降低耗油率,改善舰艇低工况性能,最近英国、美国和联邦德国投入一定人力、物力,积极开发中冷回热循环舰用燃气轮机。本文重点介绍中冷回热循环舰用燃气轮机的研制现状。

在改进工业和舰船燃气轮机的循环性能方面有燃—蒸联合循环(COGAS),也称废热回收兰金循环、回热循环、中冷回热循环。近年来蒸汽喷入燃气轮机和双工质平行——复合循环燃气轮机已在工业上投入应用。它对舰船燃气轮机的改进颇具吸引力,现分别介绍如下:

一、燃—蒸联合循环(COGAS)

该循环由燃气轮机排出的燃气导至余热锅炉,产生过热蒸汽,输入蒸汽轮机膨胀做功,做功后排至冷凝器凝成水,由泵泵回余热锅炉(如图1)。燃气轮机和蒸汽轮机输出的功通过

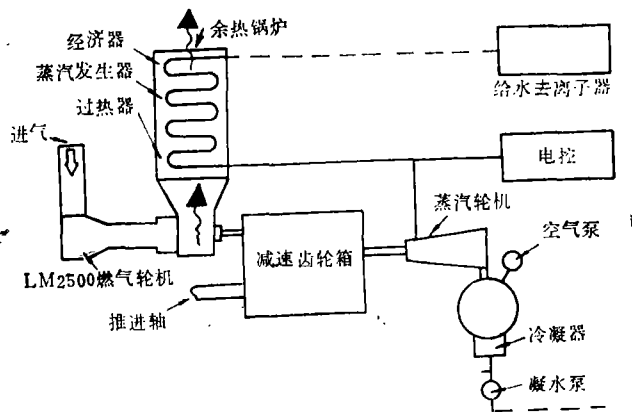


图1 燃—蒸联合循环线路图(兰金循环)(COGAS)

拼车减速齿轮箱驱动螺旋桨。

美国乔治夏普公司在 1975 年下半年曾就采用美国通用电气公司的 LM-2500 燃气轮机的船用燃—蒸联合循环作了论证研究。以 22.06MW (30000 马力) 的燃—蒸联合循环为例, LM-2500 燃气轮机的废气余热所产生的蒸气可推动约 6.6kW (9000 马力) 的蒸汽轮机, 为装置总功率的 30%, 在全功率时总耗油率为 102.9g/(kW·h) (140克/马力·时), 在 7.35MW (10000 马力) 时为 144g/(kW·h) (196克/马力·时), 如与装相等功率的蒸汽轮机船相比, 可节能30%。

美国海军计划在1985年开工建造的DDG-51驱逐舰, 曾选用右舷由二台LM-2500 和余热锅炉, 左舷由二台LM-2500和蒸汽轮机组成的燃蒸联合循环系统(如图2)。在巡航低工况时, 采用这种布置只需由右舷一台 LM-2500 和余热锅炉运转带动右舷轴, 用所产生的蒸汽推动左舷轴的蒸汽轮机。这样, 既避免了单轴工作, 又增加续航力30%。

燃—蒸联合循环要有两套独立的动力系统, 并增加蒸汽轮机、余热锅炉、冷凝器等较多设备, 控制系统和维护保养相对简单循环燃气轮机来说也较复杂, 要求空间较大, 与蒸汽动力装置相等。同时, 余热锅炉在船上使用, 当时还常发生故障, 所以美国海军在1986年取消这一研制项目, 而用发展中冷回热循环来代替。

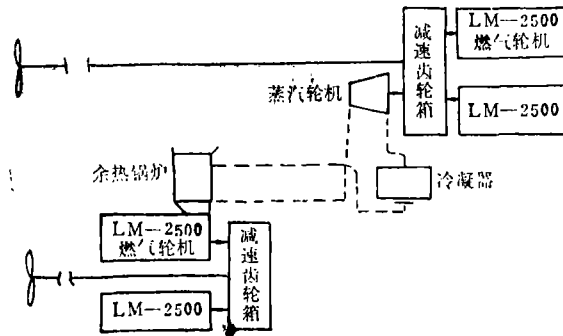


图 2 DDG-51舰兰金循环(COGAS)循环能量回收装置布置图

二、蒸汽喷入燃气轮机、双工质平行—复合循环

1985年美国通用电气公司开发了蒸汽喷入的LM-2500、LM-5000燃气轮机, 它已被用于电力和化学工业。其原理如图3。由于喷入蒸汽, 使流量增加, 从而功率增加。如蒸汽喷入 LM-2500 燃气轮机, 发出的功率可从 21MW 增大到28MW, 热效率从 34.5% 提高到 38.1%。

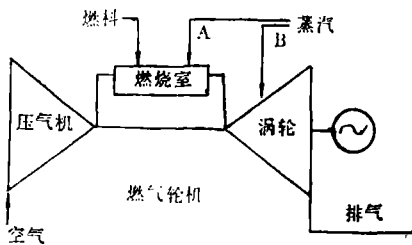


图 3 蒸汽喷入燃气轮机原理图

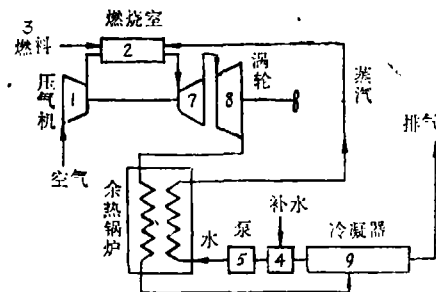


图 4 双工质平行—复合循环线图

在双工质循环闭式系统中则再增设冷凝器，将凝水回收（图4）。计算分析表明，采用双工质平行一复合循环，在相同的涡轮进口温度和最佳的汽/气比下，与简单循环燃气轮机相比，循环效率可增加37%左右，变工况性能曲线也较平坦，耗油率也较低。由于其排气温度较低，有利于抑制红外辐射和降低 NO_x 含量。如与燃—蒸联合循环相比，两者的经济性相当，重量尺寸可略小于后者，它作为舰船主动力是具有一定吸引力的。但还有不少技术问题有待进一步研究实验，特别是在远航时，它要求有高质量的水。水的处理和回收技术比较复杂，目前尚未解决。

三、中冷回热循环

英国、美国和联邦德国都在积极开发研制中冷回热循环舰用燃气轮机。1985年10月美国海军同时签定了两项研制合同，一是与英国罗—罗公司（包括美国Allison公司和GARRETT公司）签定将SMIC改型为中冷回热的合同；一个是与美国通用电气公司的合同，研制LM—1600中冷回热舰用燃气轮机。目前，论证设计即将完成，美国海军将在1988年内进行工程预研招标，1991年使中标方案投产。

1. 英国罗—罗公司以简单循环舰用斯贝SMIC机加中冷回热改型为斯贝SMA—ICR舰用燃气轮机，图5为循环原理图，图6为剖面图，图7为箱装体图。在两压气机之间介入一中

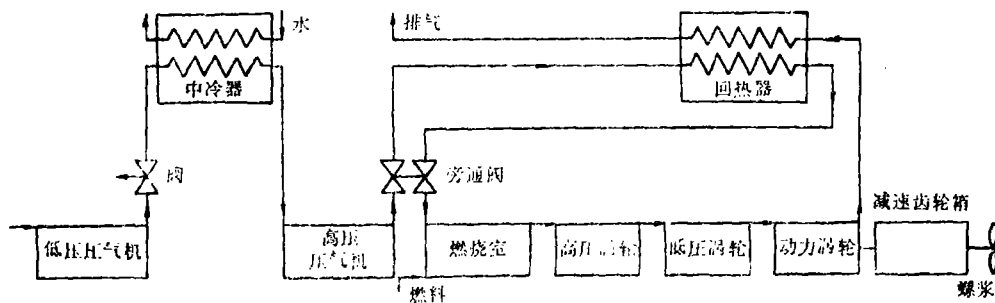


图5 SMIC中冷回热循环原理图

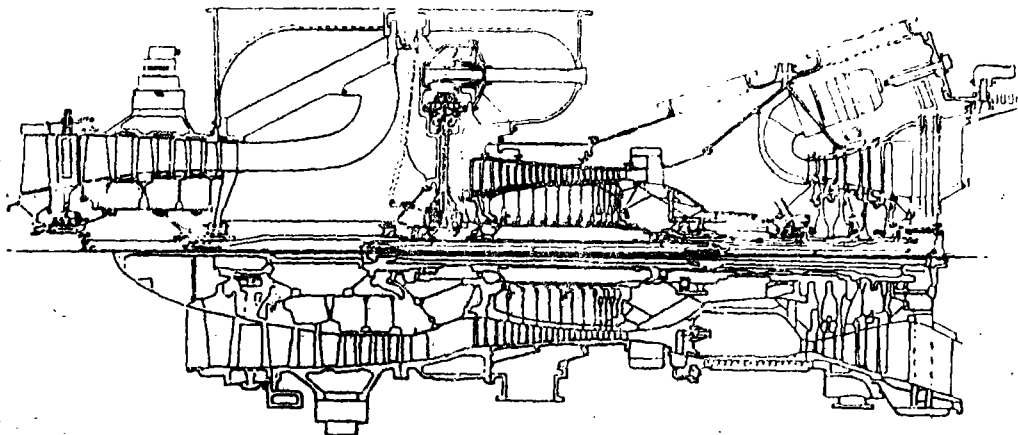


图6 舰用斯贝SMIC—ICR中冷回热型剖面图，下半部为舰用斯贝SMIA型

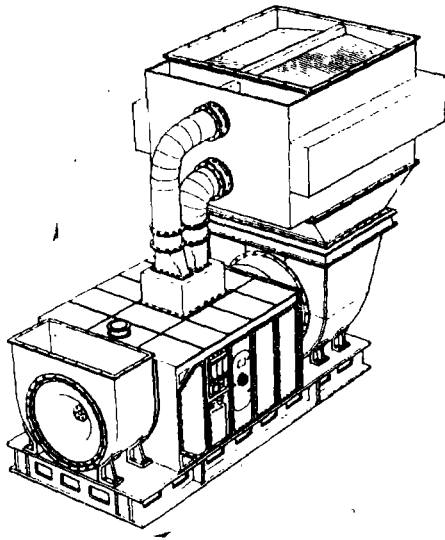


图 7 舰用斯贝SMIC—ICR中冷回热箱装体

冷器，为高压压气机气流提供空间。环管燃烧作了重新布置，以便高压气流转向，经过回热器。设计表明，在相同的流量和燃气初温下，最大功率可提高20%，热效率可提高到41.5%，变工况和低工况时的经济性都较好，有较高的功率重量比，可用作舰艇的巡航机和加速机。据罗—罗公司报导，如在动力涡轮采取可变几何措施，总的经济性将优于多数舰用柴油机。图8为舰用斯贝中冷回热机与简单循环机的耗油率和热效率比较图，图9为舰用斯贝中冷回热机与简单循环机的功率与耗油关系的比较。

2. 美国通用电气公司研制的中冷回热舰用燃气轮机LM—1600—ICR是将该公司在七十年代后期研制的，目前美国海军航空兵大量使用的F404涡扇发动机改型为LM—1600加中冷回热机型。通用电气公司选F404航机作为母型，主要是F404技术先进，有长期运行经验，可靠性高，易于维修保

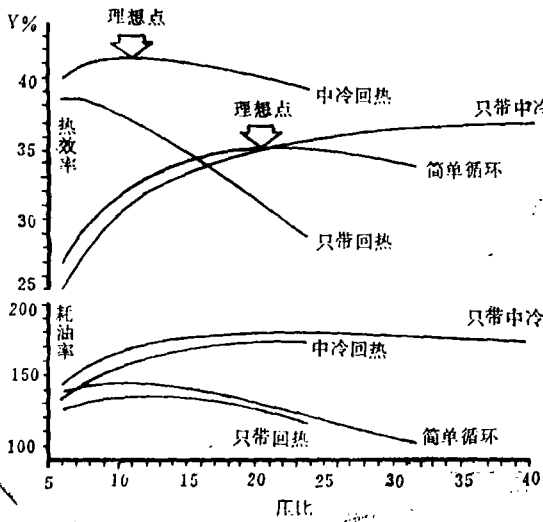


图 8

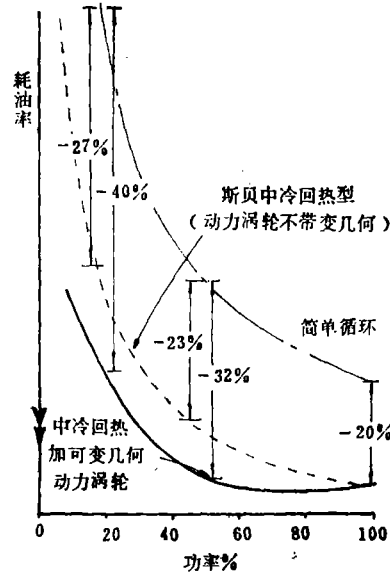


图 9

养，改型时间短。第一步是将其改为简单循环舰用机LM—1600，在此基础上加中冷回热改型为LM—1600—ICR机，图10为其循环原理图。与斯贝SMIC中冷回热相同，低压压气机压出的空气经中冷器冷却后送到高压压气机，从它出来的高压气流进入回热器，在回热器中用从涡轮排出的废气余热加热，加热后进入燃烧室。图11为第一步改善的简单循环LM—1600舰用燃气轮机剖面图，下半部为未改前的F404航空发动机剖面图。从图中可见，LM—1600

是由 F404 取消外涵道，由一级低压涡轮驱动三级轴流低压压气机，一级高压涡轮驱动七级高压压气机和燃烧室组成燃气发生器，再加装五级动力涡轮，其主要性能如下：

	第一步改装后	第二步发展到
轴马力MW(hp)	12.14(16 500)	13.23(18 000)
燃气初温℃(°F)	1 210(2 210)	1 240.5(2 265)
空气流量kg/s(1b/s)	43.54(96)	45.36(100)
压比	21.5	22.5
耗油率g/(kW·h)(g/hp·h)	129.7(176.5)	125.8(171)

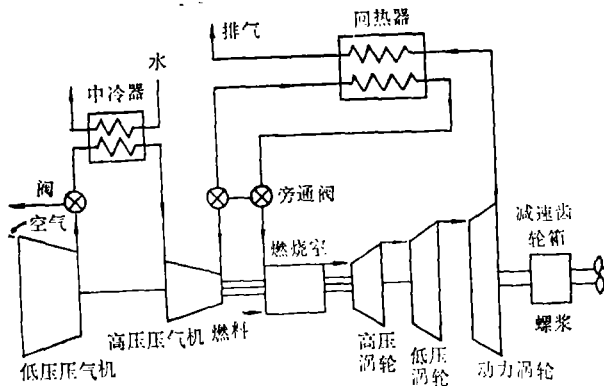


图10

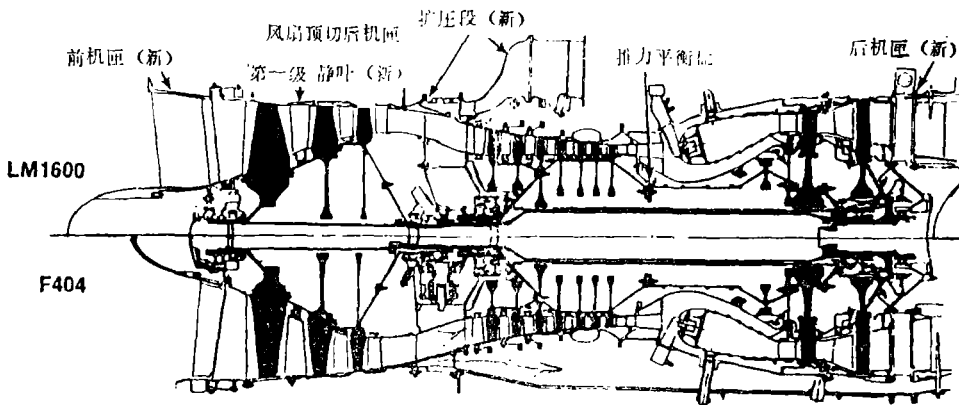


图11

图12为 LM—1600—ICR 中冷回热舰用燃气轮机剖面。从图中可见，低压压气机由三级改为二级，第二级改为径流式压气机；高压压气机由七级改为三级，第三级也为径流式压气机。其目的在于基本保持相等流量下缩短长度，高低压轴流压气机的进口导叶和动力涡轮的第一、第二级导叶都是可转导叶。图13为 LM—1600—ICR 中冷回热机的外形布置图，中冷器布置在箱装体模件底座下部，回热器布置在箱装体模件排气道上部。为减少流动损失，压气机和燃烧室进出口都设计成体积较大的排气蜗壳。

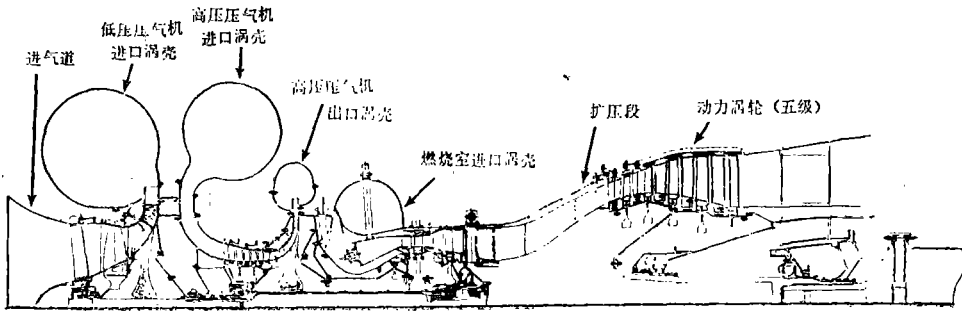


图12

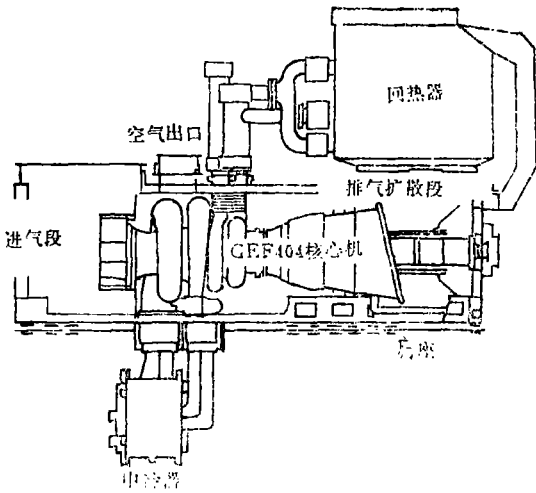


图13

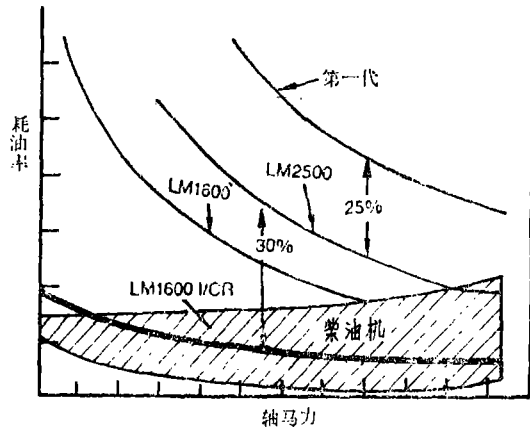


图14

图14为LM—1600—ICR中冷回热型与LM—2500、LM—1600及第一代简单循环型的经济比较图(马力与耗油率之间关系),耗油率与LM—2500相比可减少30%,LM—1600—ICR的初步尺寸长为6480mm,宽为2290mm,高为2100mm,可比LM—2500缩短长度1500mm,宽度缩小250mm。美国海军对中冷回热循环舰用斯贝SMIC—ICR(SM4)和LM—1600—ICR计划在1988年内进行工程预研招标,1991年中标方案投产,1993年完成机组及系统试验,包括抗冲击试验。争取1995年服役。

3. 联邦德国MTU公司慕尼黑分部也在论证研制中冷回热舰用燃气轮机,型号SGT12的设计原理和功率与SMIC—ICR、LM—1600—ICR相当。

MTU公司对燃气轮机的发展方针是:第一步引进多种型号先进航空发动机的制造许可证,分工生产一定比例部件,生产比例逐步扩大,其目的在于对这些发动机认真消化吸收,在此基础上发挥自己在生产工艺和开发方面的优势,与国防上有名的公司合作改进老机型,开发新机型。MTU公司与美国通用电器公司、埃利森公司、英国罗—罗公司、法国透博美格公司、意大利弗阿脱公司都有合作开发项目,包括军用的、民用的涡喷、涡扇和涡桨发动机。如J79、Tyne、RB199、250—C20、CF6—80、PW2037、V2500、JT—80—200等在其中承担一定比例的研究开发项目。MTU公司研制的低压涡轮,在性能和结构方面有创新。

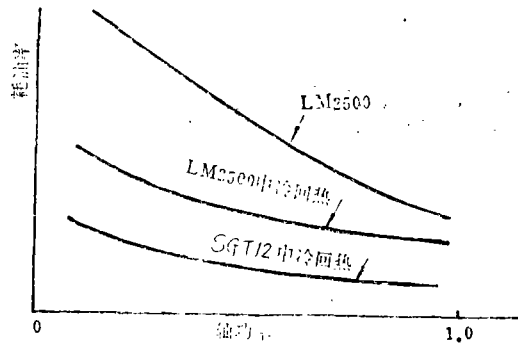


图15 SGT12中冷回热型与LM—2500经济性比较图

MTU 公司认为,这样做扩大了市场销售,增加了经济收益,共同投资改进和开发新项目,既节省科研费,又共享科技成果,技术进步也快。最近推出的中冷回热SGT12舰用燃气轮机的设计思想是结构简单、可靠性高,在所有工况下耗油率低和抗冲击性好,可适应于功率范围变化较广的基本机型。SGT12中冷回热循环舰用燃气轮机的特点是低压压气机和高压压气机都是径流式的,均由一级涡轮驱动,动力涡轮为三级,导叶都可转动。从提供的资料表明,设计的经济性将比 LM—2500 加中冷回热好(如图15)。耗油率将为 $97.02\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ($132(\text{g}/\text{hp}\cdot\text{h})$), 尺寸:长5000mm,宽2500mm,高2300mm,长度小于LM—1600—ICR,中冷器和回热器部件已进行了试验,取得了进展。

从以上三种循环比较,中冷回热循环有较强的吸引力和竞争性。因为该循环仍保留了由先进的、成熟的航空发动机改型的这一技术途径,先改成简单循环型,再改成中冷回热型,技术上容易实现,机组可靠性有充分保证,并可基本保持原有的维修保养和后勤支援体系,在不增加燃气初温适当降低转速情况下,使功率和效率有较大幅度提高,低工况经济性的改善尤为显著,其排温的降低,使红外辐射也大幅度降低。

注:本文所引机组的效率、耗油率是在进气温度 15°C ,大气压力 101.3kPa 、无进排气损失和燃油热值为 $43.125\text{kJ}/\text{kg}$ 条件下取得的。

本文根据“美国GE公司与CSTC技术座谈资料”、英国R·R公司与CSTC技术座谈资料”与“赴西德MTU公司慕尼黑分部考察时技术座谈资料”撰写。

新产品新技术信息

No. R88—34 沸腾锅炉设计 SHF 全沸腾锅炉为双锅筒横置式或纵置式自然循环水管锅炉。该炉结构简单,布置紧凑合理,维修方便,运行安全可靠,燃料适应性广。采用微正压给煤,有上下烟道和飞灰再燃床,炉内除尘,能改善环境污染,并提高了锅炉热效率。能燃用低发热值的煤矸石、褐煤、炉渣及甘蔗渣、木屑等劣质燃料。SHF 型

沸腾炉已有下列系列产品:SHF2—13—H、SHF4—13—H、SHF6—13—H、SHF8—13—H、SHF10—13—H、SHF12—13—H、SHF20—25/400—S、SHF35—39/450—H

(其中后两种可作为发电机组配套设备,亦可作为热电联供及其他工业供汽)。可根据客户要求,设计燃用各种燃料、各种参数的沸腾炉。

Application of Expert Systems in Marine Power Engineering

Xu Yigui, Cao Yueyun

(Naval Academy of Engineering)

Abstract

In this paper, the authors make a exploratory study of the application of expert systems in marine power engineering and give a relatively comprehensive exposition on the design and creation of a failure diagnosis type expert system, which can serve as an effective means for ensuring and enhancing power plant tactical combat performance.

Key words: expert system, application, marine power plant

New Trends in Naval Gas Turbine Development

Luo Fengbiao

(China State Shipbuilding Corporation)

Abstract

This paper describes the present status of high-efficient, low-fuel-consumption naval gas turbines in UK, USA and West Germany with main emphasis on ICR (Intercooler Recuperative Cycle) naval gas turbines.

Key words: naval gas turbine, intercooler, recuperative cycle, information