

国外船舶动力装置

上海市造船公司国外资料编译组

上海科学技术情报研究所

前 言

遵照伟大领袖毛主席关于“为了反对帝国主义的侵略,我们一定要建立强大的海军。”“洋为中用”的教导,结合当前造船工业发展的需要,我们在上海市造船公司组织领导下,在上海市造船技术情报网各成员单位及上海科学技术情报研究所的支持下,由江南造船厂、沪东造船厂、上海船厂、中华造船厂、东海船厂、上海渔轮厂、新中动力机厂、上海导航仪器厂、六机部第九设计院、上海船舶运输科学研究所、上海船舶设计院、上海渔业机械仪器研究所、六机部第十一研究所等单位的同志组成编译组,在六机部第十一研究所革委会具体领导下,搜集了近几年来国外船舶、动力装置、航海仪器、造船新工艺新设备以及船厂现代化改造方面的一些资料,通过翻译及研究分析,共编写成十三项专题资料供造船战线上的广大工人、干部和技术人员在赶超世界先进水平过程中作参考。目录如下:

- (1)国外标准型万吨级货船
- (2)国外船舶自动化
- (3)国外渔船
- (4)国外船舶动力装置
- (5)国外船用大功率中速柴油机
- (6)国外船用低速柴油机
- (7)国外渔船用中低速柴油机
- (8)国外船舶甲板机械
- (9)国外船舶导航仪器
- (10)国外造船设备选辑
- (11)国外船厂起重运输设备选辑
- (12)国外船厂现代化改造概况
- (13)国外电子计算和数控技术在造船中的应用

前面十一项资料均由上海科学技术情报研究所出版。

在资料收集和译校工作中,并承中国科学技术情报研究所、中国机械进出口总公司及上海分公司、上海交通大学等单位协助。

由于我们水平有限,在编译过程中定会有不少差错,敬希读者批评指正。

上海市造船公司国外资料编译组

一九七三年十月

目 录

概述.....	(1)
核动力装置.....	(3)
燃气轮机动力装置.....	(5)
汽轮机动力装置.....	(9)
柴油机动力装置.....	(15)
今后趋势.....	(21)

概

述

五十年代以来,船舶的吨位逐年增大,特别是油船。在五十年代中期,最大的油船仅50,000载重吨。现在日本建造的477,000载重吨的油船下水,法国正在建造540,000载重吨的油船,轴马力达65,000匹^[32]。散装货船也有增大吨位的明显趋势。1957年,散装货船的平均载重量仅13,000吨,而1971年已建成的245,323载重吨的“Hoegh Hill”号矿砂-石油两用船,它的动力是33,000轴马力的汽轮机,航速为15.3节^[28]。国外积极增大油轮及散装货船吨位的理由之一是:每吨的单位造价和所需的推进功率随着吨位的增大而减小^[4]。船舶吨位与所需推进功率的关系大致如图1所示^[3]。从图中可以看出,当航速为16节时,100,000载重吨的油船约需20,000马力的动力,而500,000载重吨的油船仅需60,000~70,000马力。现代油船和散装货船的航速一般为15~16节。目前散装货船动力装置的最大功率约需40,000马力,油船则在70,000马力左右。

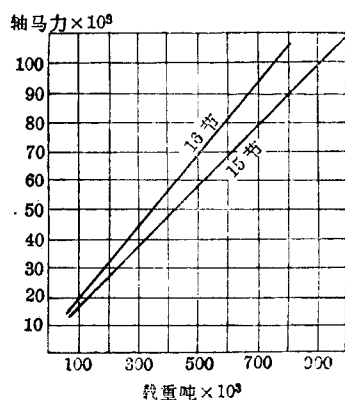


图1 大型油船及散装货船吨位与所需推进功率的关系

近年来,集装箱船发展得很快,不但吨

位逐步增长,航速也迅速提高。例如西德为英国海洋轮船公司建造的“东京湾”号集装箱船,已于1972年试航。该船全长289.55米,载货量为48,542吨,航速为30.6节,用两台40,560马力的汽轮机作为动力^[35]。荷兰和西德正在建造航速为33节的集装箱船,计划建造八艘,每艘采用两台美国通用电气公司制造的60,000马力的MST-19型汽轮机^[28]。因此,这类船舶动力装置的功率约需28,000~120,000马力^[8]。估计今后随着船舶的发展将需要更大功率的动力装置。

统货船的载重吨位不如油船和散装货船增长得那么显著,但在航速方面都提高得比较快。在统货船中,有相当大的一部份是标准化的“自由轮代替”型,航速一般是13.5~16.5节,而新的“先锋”型则达19节。目前各国设计建造的“自由轮代替”型及成批建造的类似统货船共有20多种。载重量一般是12,000~19,000吨,推进动力约为6,000~10,000马力。除定型统货船外,国外近年来还建造大量高速货船,航速都为20~24节,动力约需10,000~25,000马力。据说,不久可能出现30节的定期货船,是时动力装置的功率将高至35,000~40,000马力^[2]。

从上述几种主要船舶的发展情况中得知,近十年来船舶动力装置的功率提高得很快。十年前,船舶动力装置的功率约为3,000~13,000马力,1968年则上升至3,000~30,000马力,至1970年,更高达3,000~120,000马力^[28]。将来可能需要280,000轴马力的动力装置(图2)^[34]。

船舶动力装置除应满足功率要求外,还必须考虑不同类型船舶的特点。例如巨型油船的功率大而航速不高,可以采用大直径的

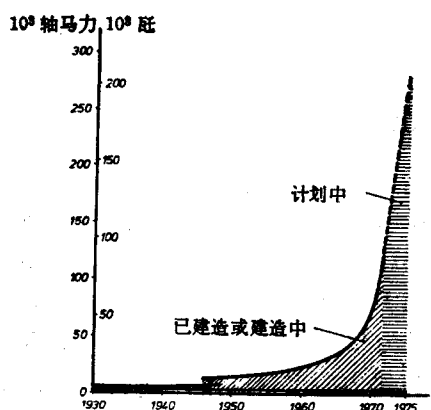


图 2 船舶推进功率增长情况

螺旋桨，转速最好小于100转/分；为了尽可能地扩大装油的容积，则希望机舱的长度越

短越好；况且油船需要有大功率的货油泵，以备装卸油料之用。这些特点，就给油船动力装置的选择提出了要求。又如高速集装箱船具有航速高、功率大、吃水不能过深、主机使用率高（即航行时间长而停靠港口的时间较短）、需有较大的甲板面积等特点，因此要求有重量较轻、高度较低的动力装置。对于多用途货船的机舱容积则不成为首先考虑的因素〔9〕。

既然不同类型的船舶对其动力装置有不同的要求，所以就不可能用一种动力机来适应各类船舶的发展。目前，国外所采用的船舶动力主要有核动力、燃气轮机、汽轮机和柴油机四种，下面将分别加以叙述。

核 动 力 装 置

1955年出现第一艘核潜艇以来,至1972年已有 200 余艘各种船舶和舰艇采用了核动力,但其中民用船舶仅有 4 艘^[48]。这 4 艘就是 1959 年开始航行的苏联“列宁”号破冰船,后来的美国“Savannah”号货船及西德

“Otto Hahn”号矿砂运输船,以及最近日本建造的“Mutsu”号核动力船^[51]。这些船舶的主要参数示于表 1。目前核动力船仍处于摸索研究阶段。

表 1 核动力船的主要参数^[48]

	1	2	3	4
船名	Lenin	Savannah	Otto Hahn	Mutsu
用途	破冰船	客货船	散装货船 (兼作研究用)	统货船 (兼作研究用)
总长(米)	134	165.2	172.05	116
型宽(米)	27.6	24	23.40	19
吃水(米)	9.2	9.0	9.2	6.9
排水量(吨)	16,000	22,000	25,182	10,400
载货量(吨)	—	9,990	15,000	3,000
最大连续功率(轴马力)	44,000	20,000	10,000	10,000
辅助动力(瓩)	6,200	2,500	1,660	4,100
蒸汽量(吨/小时)	360	110	64	61.2
蒸汽压力(公斤/厘米 ²)	28	32.2	31	40
反应堆型式	PWR*	PWR	PWR-FDR**	PWR
热功率(兆瓦)	90	70	38	36
第一回路压力(公斤/厘米 ²)	200	122	63	110

* PWR——加压水反应堆

** FDR——改进的加压水反应堆

核动力船有其突出的优点。首先它有很大的续航能力。例如,苏联的“列宁”号破冰船可以一年不靠港口;3万吨的油船在不补充燃料的条件下可航行一万哩,仅消耗约一公斤的铀²³⁵^[1]。由于消耗燃料少,就大大地减少了船舶必须携带的燃料重量。但核动力装置本身的重量较大,1~5万马力的动力装置每马力约重120~150公斤^[1]。核动力

装置的另一优点是不消耗空气,这就使水上船舶不需要设置烟囱和其他为主机输送空气的系统,对今后发展水下运输船舶极为有利。

核动力船舶的造价昂贵。据估计,20,000轴马力的核动力油船的造价每轴马力约为850美元,而同样大小的常规动力的油船仅每轴马力450美元^[10]。但是由于核动力船舶携

带的燃料少,可多装货,以弥补造价昂贵的经济损失。所以关于核动力船舶的经济性,应按各类不同船舶进行具体分析。例如日本有人对于装载1,000个标准箱的集装箱船进行分析研究,结论是:当航速低于29节时,核动力船舶的运输成本高于一般船舶;但当航速高于29节,此时所需功率约为10万马力,核动力则较经济^[14]。西德 GKSS 公司对于32,000马力集装箱船的动力装置进行了分析,认为采用核动力可增加6,000吨的载重量^[48]。

虽然核动力装置有不少优点,特别是对80,000轴马力以上的船舶更为有利,但由于尚有些技术上的问题有待改进,安全性也有待提高,故目前的发展速度极为缓慢。据报道,今后十年内亦无在船舶上广泛地使用核动力的趋势。但使人感兴趣的是,国外有人正在研究170,000吨的水下油船,以核动力推进,航速为18节^[81]。

目前所建造的核动力船舶,都采用加压水反应堆(PWR)。这种反应堆是以水作为第一迴路的冷却剂,并加以足够的压力,使水不致沸腾。西德建造的“Otto Hahn”号核动力

散装货船,采用改进的加压水反应堆(命名为FDR),后又以新设计的EFDR型代替,据称,EFDR更为紧凑^[48]。“Otto Hahn”号散装货船主要是供研究之用,企图从中获得核动力在船舶上的使用经验和技术资料。该船于1968年10月开始试航,至1970年5月底已航行了70,000浬。以汽轮机作为主机,通过两级减速驱动螺旋桨。反应堆及主辅机的运行时间如图3所示。经过长期航行,初步证明核动力装置非常可靠,有良好的变工况性能,也证明FDR反应堆用作船舶动力是适合的^[12]。

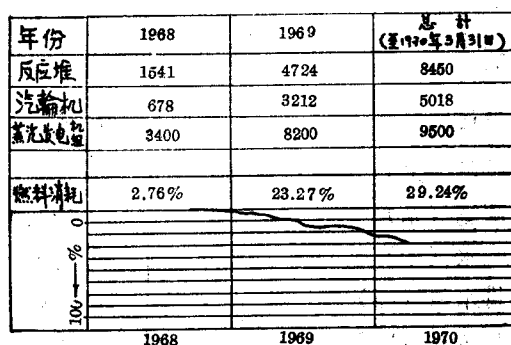


图3 “OttoHahn”号核动力船的统计

燃气轮机动力装置

1947年英国海军在炮艇上首次装用燃气轮机动力装置。六十年代以来,随着技术经济指标的大幅度提高,船用燃气轮机亦逐步从探索试验阶段跨入大量应用时代。但过去主要是用于军用舰艇,而近年来已在民用船舶上安装。例如新建的“Euvoliner”号集装箱船,则用两台 29,710 马力的 Pratt & Whitney FT4A12 型燃气轮机作为动力,航速 26 节,另有三艘姐妹船亦已订货^[21]。

燃气轮机具有体积小、重量轻、可靠性高、加速性能好及自动化程度高等一系列优点,而且安装方便、操作简单。船用燃气轮机目前有两种类型,一种是航空型,另一种是工业型(也称重型)。

航空型船用燃气轮机系由航空发动机改装的船用机型。例如英国的 Marine RB211、美国的 LM2500 及 FT4A-12 等船用燃气轮机都是以航空发动机为母型的。改装航空发动机可以充分利用航空工业的研究成果以及飞机上的大量使用经验,藉以节省巨额研制费用,大大地缩短研制设计周期。一般航空型燃气轮机需要燃烧优质燃油(蒸馏油)。有的机型,如 LM2500,虽可燃用多种燃油,但尚不能燃烧低质重油。这类燃气轮机的大修间隔期有显著的增长,目前已达 8,000 小时左右,且能在数小时内更换整台机器^[21]。

工业型(重型)燃气轮机系以陆用燃气轮机为母型而改装设计的。目前在船舶上实际使用者较少。1970年美国通用电气公司宣布,已完成重型船用燃气轮机系列,功率为 5,000~60,000 马力,例如该系列中的 MS5002RB 型,功率为 23,400 马力,耗油率为 200 克/马力·时,重量为 198 吨。重型燃气轮机的重量及外形尺寸均比航空型大。一般重型燃气

轮机本身的重量约为 6~10 公斤/马力,而航空型仅 0.15~1.0 公斤/马力;容积约比航空型大 2~4 倍。但是重型燃气轮机的寿命较长,一般的设计寿命为 100,000 小时以上,大修间隔期可达 30,000 小时。重型燃气轮机的最大优点是能使用较为便宜的低质重油^[21]。不过与汽轮机、柴油机相比,使用的燃料仍受到一定的限制,主要是含钒量不得超过 2ppm(百万分之二),含钠量也不能过高。

图 4 是工业型燃气轮机动力装置重量与柴油机(指低速重型)的比较^[11]。航空型燃气轮机动力装置重量更要小一些,约 30 公斤/马力左右^[34]。图 5 表示燃气轮机动力装置按其外形尺寸计算容积与柴油机之比较^[11]。

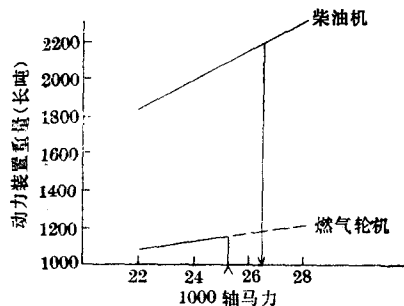


图 4 燃气轮机与柴油机动力装置的重量比较

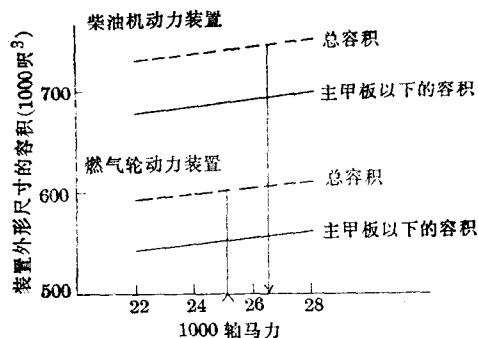


图 5 燃气轮机和柴油机动力装置外形尺寸的容积之比较

图6是英国 Marine RB211型燃气轮机安装在集装箱船上的简图^[26]。英国 Marine RB211型燃气轮机是从航空型改装设计的, 约20,000 马力, 外形尺寸是 $6.5 \times 3.0 \times 2.6$ 米。从上述的比较中得知, 燃气轮机的高度和长度很小, 这对于集装箱船、滚上滚下船、渡轮等都是非常有利的。关于燃气轮机的可靠性和加速性能已在飞机上和试验船中得到充分的证明, 可在几分钟内达到最大功率^[26]。重型燃气轮机的起动时间, 从停止到全负荷约需15分钟。目前, 有些燃气轮机制造厂将机组形成一个模件(module), 模件中包括全部附属设备, 使在船上的安装极为简便。船用燃气轮机的保养项目也比较少, 仅有压气机的清洗、滤器的检查等。

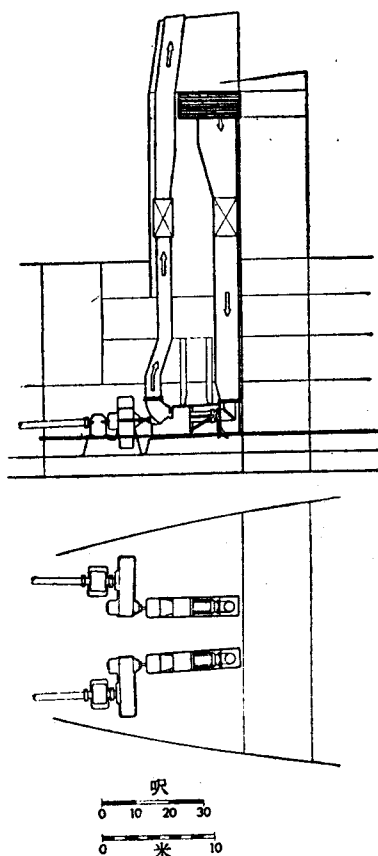


图6 两台RB211型燃气轮机安装在集装箱船上的示意图

燃气轮机虽有上述优点, 但经济性较差,

耗油率较高。近年来, 在降低耗油率方面进行了大量的研究工作, 功率在20,000马力以上的机组已降低至190~230克/马力·时的水平。例如美国 Pratt & Whitney 公司 FT4A-12型燃气轮机, 最大功率为29,710 马力, 3,600转/分, 耗油率为232克/马力·时, 而该公司1973年将生产的 FT4C-2型, 最大功率增大至34,700 马力, 耗油率将降至196克/马力·时左右^[21]。美国通用电气公司的 LM2500型, 最大功率为25,100 马力, 常用功率为20,100 马力, 耗油率为185~190克/马力·时^[14]。英国 Rolls-Royce 公司 Marine RB211 型的耗油率可降至183克/马力·时^[28]。但功率在4,000 马力以下的船用燃气轮机, 目前的耗油率仍多在300克/马力·时以上, 个别机型如英国 Marine Tyne 型, 3,400 马力, 耗油率为270克/马力·时^[14]。虽然耗油率比柴油机高, 而润滑油的消耗率都很低, 可以弥补一部分燃料费用。

改进经济性的主要措施之一是提高进气温度和增大压缩比。英、美等国家近年发展所谓“第二代”产品, 进气温度均有很大程度的提高。与“第一代”相比, “第二代”燃气轮机的性能有显著的改善, 特别是在燃油耗量方面。例如美国的 LM-2500 型船用燃气轮机系 LM-1500型的“第二代”, 它的涡轮进气温度在1,100℃左右(压比18:1), 这比其“第一代”提高了450℃, 耗油率比“第一代”降低了28%^[18]。目前船用燃气轮机的进气温度, 除个别外, 一般在900℃左右。为使叶片能在高温下有较长的寿命, 采用叶片冷却技术, 例如 LM-2500 型燃气轮机中采用叶片薄膜冷却与对流冷却。图7是一种现代气冷叶片的典型设计^[26]。冷却空气从叶根的两边流入, 通过椭圆形中孔, 由叶尖排出。用作冷却的空气量约为涡轮流量的2%, 而能使叶片中段的平均温度降低200℃。在未采用气冷叶片之前, 每年随着材料的改进, 进气温度平均提高10℃; 而用气冷后, 每年约提高

30℃。每上升30℃，约可使功率增大6%，效率提高2%。但是叶片冷却也与发动机的其它参数有关，如压比。压比越高，压缩空气的温度也升高，这就实际上降低了冷却效果。所以高压比的机型，最高循环温度也要低一些。一般来说，按照现代技术水平，涡轮进气温度约可达1,400°K(1,130℃)。在不久的将来，有可能再提高至1,500°K(1,230℃)。

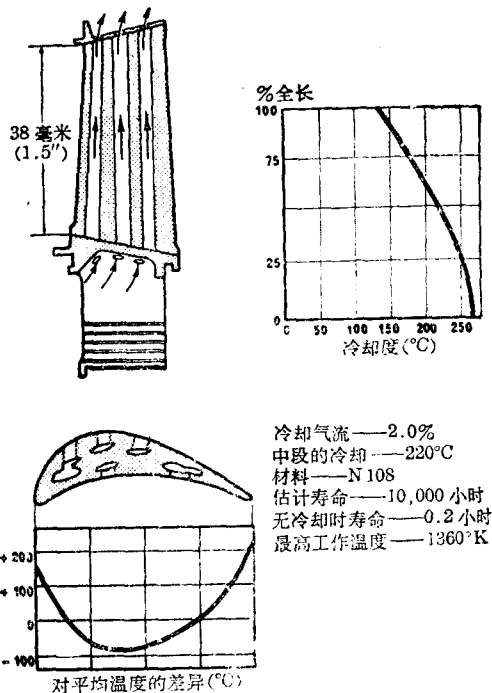


图 7 一种气冷叶片的设计及其效果

由于燃气轮机不能在船上修理，需要整台更换，甲板上应留有足够大的舱口，况且截面积很大的进排气管道都要穿过甲板，这样就给船体结构设计带来了一定的困难^[31]。但据目前燃气轮机船舶的使用和建造情况来看，这个技术问题似乎也已解决。

燃气轮机本身的成本虽然较贵，而整个动力装置的造价并不高于其它动力装置。有人估计，燃气轮机动力装置的总造价约为汽轮机的97%，为低速重型柴油机的82%^[6]。

国外军用船舶上，有以燃气轮机与其它

动力机配合使用的设计。例如用柴油机或汽轮机作为巡航时的主机，而燃气轮机作为加速机组。又如在巡航时以柴油机或汽轮机作为主机，而全速时则改用燃气轮机。在民用船舶上无此需要。但为了改进燃气轮机动力装置的经济性，国外有人提出燃气轮机与汽轮机复合装置，即利用燃气轮机废气的热能产生蒸汽，驱动汽轮机，汽轮机的功率通过齿轮箱传至螺旋桨或带动发电机等。

图 8 是一种带有辅助汽轮机的燃气轮机动力装置的示意图。图 9 是汽轮机的功率直接送至减速齿轮箱的简图^[11]。

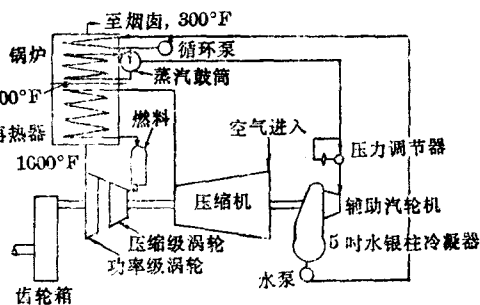


图 8 带有辅助汽轮机的燃气轮机装置

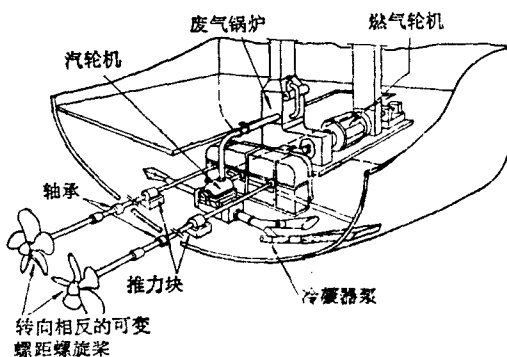


图 9 双螺旋桨的燃气轮机与汽轮机复合装置

如果燃气轮机不采用回热器，温度为510℃的废气直接进入废气锅炉，则汽轮机将获得相当于燃气轮机60%的功率。在这种情况下，虽然燃气轮机本身的耗油量较高，而复合装置的总耗油率将降低15.8%，热效率显著地提高。在现代汽轮机的热循环中，

约 32% 的热能转换成有用功, 58% 被冷凝器的循环水带走, 6% 排至大气; 单循环燃气轮机, 约 24% 转换成有用功, 73% 排至大气; 回热循环燃气轮机, 则有 31% 变成有用功, 66% 排至大气; 而在复合装置中, 约 27% 排至大气, 32% 由循环水带走, 有约 36.3% 转换成有用功。由于复合装置的热效率高, 耗油率可降至 180 克/马力·时以下, 达到与蒸汽轮机相比拟的程度^[25]。

国外有人对 43,000 轴马力的船舶, 采用燃气轮机和汽轮机复合装置进行了具体分析, 认为热效率甚至可高达 41%, 耗油率仅 165 克/马力·时, 已接近柴油机的水平^[38]。虽然这些分析是理论性的, 尚未通过实践证明, 但至少可以说明燃气轮机与汽轮机复合装置在改善燃油消耗量方面却具有很大的潜力。

虽然燃气轮机具有一系列的优点, 而目前采用燃气轮机的船舶不多。据 1970 年初的统计, 燃气轮机船舶的功率不及船舶总功率的 1%, 数量仅及船舶总数的 0.2%^[18]。这主要是由于船用燃气轮机进入实际使用阶段尚不久, 有些技术问题尚待改进, 且已生产的产品之经济性也较差。“Euroliner”等四艘燃气轮机集装箱船使用一年的经验证明, 燃气轮机作为船舶动力是良好的, 但维护保养工作量却较预计者为大, 特别是燃气发生器均未超过 2,500 小时即需更换。使寿命缩短的原因, 除某些外界因素外, 主要是盐分对喷嘴导叶及涡轮叶片的腐蚀^[48]。在海面上, 空气中所带海水的盐含量平均约为 0.01ppm。空气中的盐份加上燃料中的钠、钒等造成叶片的迅速腐蚀。解决腐蚀问题, 已成为进一步发展船用燃气轮机的关键之一。目前国外

所采取的措施是: 安装吸气滤清器、研究防蚀涂层、采用更耐蚀的材料等, 并规定水洗和喷碳等清洗方法和时间。

今后随着燃气轮机动力装置使用经验的累积、耗油率的逐步下降以及技术上的改进, 燃气轮机必将在船舶上获得广泛采用。估计至七十年代末期, 燃气轮机将在单轴功率 25,000 马力以上的船舶上与汽轮机和柴油机互相竞争。

由于燃气轮机有广阔的发展前途, 各国燃气轮机制造公司均纷纷研究发展更大功率、更经济的产品。目前重型燃气轮机的最大功率已达 60,000 马力, 航空型的单机最大功率接近 30,000 马力, 1973 年将出现 35,000 马力的航空型燃气轮机。英国 Rolls-Royce 公司将发展 Olympus 593 型船用燃气轮机, 其军用功率为 50,000 马力, 民用功率亦可达 40,000 马力^[37]。目前使用的船用燃气轮机绝大多数是由英国 Rolls-Royce、美国 Pratt & Whitney 和通用电气公司生产的。日本石川岛播磨重工则购买美国通用电气公司的专利来生产, 功率不超过 15,000 马力^[31]。日本为发展大功率船用燃气轮机, 三菱和川崎公司将引进国外技术; 制造工业用燃气轮机的日立造船公司已与美国通用电气公司签订协作合同^[20]。瑞士 Stal Laval 公司正在发展 10~35,000 马力的船用燃气轮机, 其 35,000 马力的机型系采用 Pratt & Whitney 公司的 GG4 机作为燃气发生器, 功率涡轮是该公司自己设计的, 据称寿命可高达 100,000 小时^[21]。

目前船用燃气轮机本身尚不能反转, 故多采用可变螺距螺旋桨。估计在今后不久, 燃气轮机本身反转将会实现^[21]。

汽轮机动力装置

汽轮机是现代船舶的主要动力之一。虽然在新建造的船舶中,汽轮机船舶仅占船舶总数的10%,而在功率方面却占功率总数的四分之一以上,目前尚有增长的趋势。表2

列举了1963~1971年建造的2,000载重吨以上船舶所采用柴油机和汽轮机作为主机的统计数字。

表2 1963~1971年建造2,000载重吨以上船舶的主机统计表

年 份	柴 油 机 船				汽 轮 机 船			
	艘数	载 重 吨	轴 马 力	占总功率的%	艘数	载 重 吨	轴 马 力	占总功率的%
1971	1,106	20,858,470	9,479,670	74.5	105	18,257,510	3,273,000	25.5
1970	1,043	17,634,600	8,364,040	74.0	102	17,479,400	2,968,290	26.0
1969	989	16,568,070	7,507,990	73.0	95	13,134,560	2,638,550	27.0
1968	964	18,906,130	8,166,500	84.0	61	6,240,730	1,527,320	16.0
1967	913	19,992,920	8,556,580	91.5	37	3,074,870	790,800	8.5
1966	789	15,647,970	7,066,910	85.0	62	3,971,460	1,253,620	15.0
1965	698	13,512,540	6,213,550	79.0	77	7,753,430	1,631,870	21.0
1964	582	9,438,570	4,845,970	77.5	75	3,930,340	1,384,400	22.5
1963	547	7,910,980	4,042,470	68.7	108	4,342,190	1,828,630	31.3

注:本表系按“The Motor Ship”杂志每年一月份所公布的数字汇编

按船舶类型来分析:30,000轴马力以上的大型油船、高速集装箱船等多选用汽轮机。据国外1971年10月报道,在已建造及已订货的240艘150,000载重吨的油船中,220艘是用汽轮机;78艘30,000马力以上的集装箱船中,63艘采用汽轮机^[27]。

日本的造船工业近年来一直处于世界领先的地位,表3是1967~1971年日本制造船用汽轮机的情况^[46]。

从上述的统计中得知,自1968年开始,汽轮机船舶的数量及其功率均有较大幅度的增长,且汽轮机的平均单机功率也由1967年的21,000~24,000马力提高至30,000马力和以上。一方面是因为近年来汽轮机在性能、可

表3 1967~1971年日本制造船用汽轮机的统计

年份	数量	总功率(马力)	平均功率(马力)
1967	24	579,900	24,200
1968	34	834,050	26,350
1969	39	1,136,500	29,100
1970	48	1,518,000	31,625
1971	60	1,976,900	32,943

靠性和技术方面都有较大的进步;另一方面是由于柴油机单机功率的提高跟不上船舶大型化高速化迅速发展的需要,而汽轮机具有陆用机型的成熟经验,能在较短时间内增大

单机功率。

与柴油机相比较汽轮机动力装置具有下列主要优缺点。

1. 汽轮机有较好的可靠性

据统计,在柴油机船舶中,因主机发生故障而停船的事故,每年平均约有10~15小时,而汽轮机仅1~2小时^[7]。最近在锅炉中采用水管壁的结构,克服了炉膛耐火砖需要定期检修的弱点,使汽轮机动力装置的可靠性进一步得到提高^[27]。

2. 汽轮机动力装置能适应大型船舶的转速要求,提高推进效率

由于汽轮机配有减速装置,故可使螺旋桨有最佳的转速。例如200,000吨油船,转速在80转/分时的推进效率可比100转/分时提高5%^[5]。低速重型柴油机就不可能获得如此低的持续工作转速。中速柴油机虽然也具有能减速的特点,但大功率中速柴油机的使用历史还不够长,有些使用者尚抱观望态度。

3. 汽轮机具有更大的单机功率

目前船用汽轮机的最大单机功率为60,000 马力^[38],并且可按照船舶需要提供

更高功率的机组。而低速重型柴油机的最大单机功率仅48,000 马力,中速柴油机的功率更小。虽然可用中速柴油机并车装置获得很高的单轴功率,但由于缸数过多,维修保养工作量增大,目前尚未被大多数用户所接受。

4. 汽轮机动力装置重量轻、体积小

汽轮机与柴油机动力装置的重量比较如图10所示^[34]。显然,在15,000马力以上,汽轮机动力装置的重量小于柴油机动力装置。重量轻,意味着船舶的载货量可增大。汽轮机动力装置所需的机舱长度一般比低速柴油机略短,而比中速柴油机则较长^[21]。如将冷凝器置于汽轮机的前端,而锅炉布置在冷凝器的上面(图11)^[34],则机舱长度可以更短。将冷凝器置于汽轮机前端,即布置在同一平面上,可使蒸汽进入冷凝器时避免了90°的转弯,对装置的效率有微小的提高。图12是“San Juan Vanguard”级130,000载重吨矿砂/石油运输船的动力装置,主锅炉亦置于汽轮机的上层,但冷凝器置于汽轮机之下。该船的主推进汽轮机功率为23,500轴马力,用一只日本按英国Combustion Engineering公司专利制造的V2M-8型双筒主锅炉^[27]。

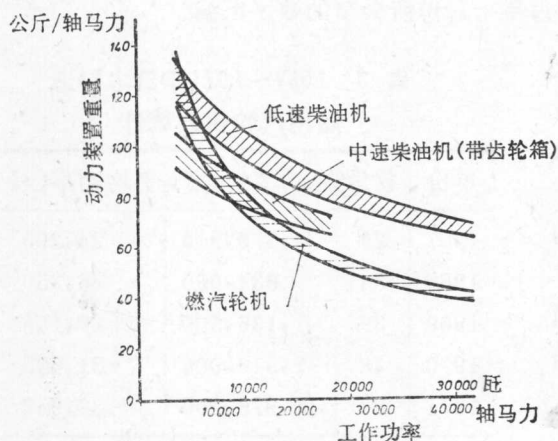


图 10 汽轮机与柴油机推进装置的重量的比较

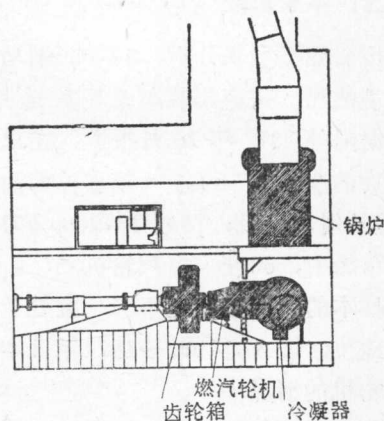


图 11 锅炉置于冷凝器上面的蒸汽推进装置

5. 经济性的比较

汽轮机的耗油率比柴油机高。

目前采用再热循环25,000马力以上机型的耗油率约180~190克/马力·时,甚至可低至172克/马力·时^[50]。

非再热循环约为200~210克/马力·时。汽轮机的滑油消耗量却比柴油机低,仅约0.05克/马力·时。燃油和滑油消耗的总费用,柴油机仍比汽轮机约低15%^[7]。但对于大型船舶来说,汽轮机动力装置有较高的推进效率,故可节省一些功率。

例如同样是285,000载重吨、航速15节的油船,汽轮机需要29,000马力,而柴油机则需31,000马力^[8]。主机功率的减少,意味着航行时油耗的降低。在维修费用方面汽轮机和柴油机几乎相等。虽然汽轮机本身的价格和安装费用均比柴

油机为廉,但汽轮机附属设备的价格和安装费用却比柴油机高。总的造价汽轮机动力装置要略微高一些^[8]。总之,关于动力装置经济性的比较,必须按照不同的船舶作具体分析。国外发表的分析资料虽然不少,但均系以某一类船舶为对象,故往往得出相反的结论。

多年来,国外对于提高汽轮机的经济性方面,进行了大量的研究工作。采用再热循环和提高蒸汽参数是改善经济性的主要措施之一。再热循环的结构较复杂,可靠性不如非再热循环那么高,也要求有较高水平的船员来操作,所以有些使用者宁愿采用耗油率较高的非再热循环汽轮机。

每提高27.8℃(50°F)的蒸汽温度,耗油率可降低3%。但是蒸汽温度超过510℃(950°F),钒和灰渣问题将造成困难。因此现代船用汽轮机的蒸汽温度多未超过510℃,个别的也有高至538℃的。陆用汽轮机虽曾有采用565℃者,但现已降低至537.8℃

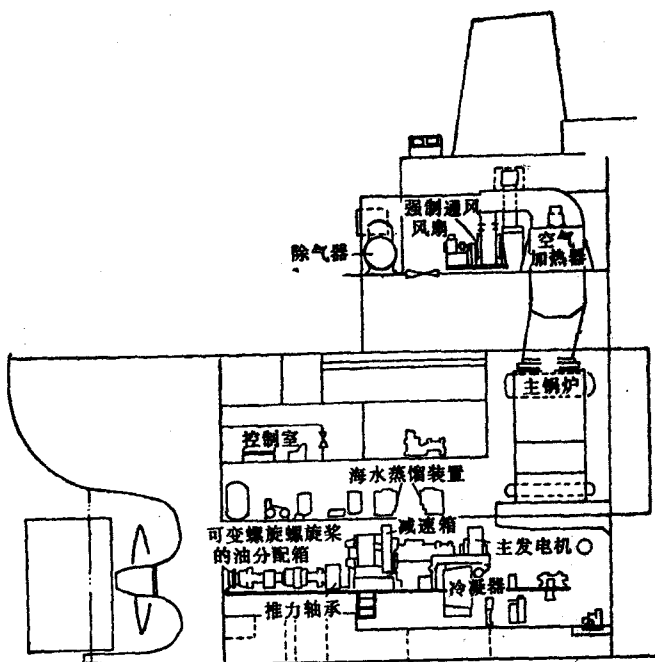


图12 Vanguard 矿砂/石油运输船的机械布置

(1,000°F)^[27]。

现代非再热循环船用汽轮机的蒸汽参数大多数是60.0公斤/厘米²(850磅/英寸²)和510℃(950°F)^[23],基本上已经标准化。最大单机功率达60,000马力。例如美国通用电气公司的MST-19型及西屋公司的船用汽轮机,目前已生产的最大单机功率都是60,000马力,进汽参数都是60.0公斤/厘米²和510℃。日本石川岛播磨重工的船用汽轮机也采用上述蒸汽参数,最大单机功率为50,000马力^[38]。再热循环汽轮机的蒸汽参数较高,温度为510~538℃,压力为100~102公斤/厘米²。例如日本川崎公司的UR型,最大功率为30,000马力,蒸汽参数是100公斤/厘米²和510℃再热至510℃,耗油率为185.4克/马力·时^[10]。日本三菱重工MR-50型,轴马力为50,000,蒸汽参数是102公斤/厘米²×538℃/538℃。又如美国通用电气公司的MST-14型,蒸汽参数为102公斤/厘米²×510℃/510℃^[23],耗油率为184.5克/马力·时。

目前的船用汽轮机有99%是双级式，蒸汽首先进入高压缸，然后进至低压缸，再在约28.5吋水银柱真空下流入冷凝器。汽轮机转子等主要零件都用经过真空脱气的钢材锻制，以提高质量。

现代冷凝器都采用镍铜合金管和管板，水箱用镍铜合金或镀有氧化物的合金钢材制造，以减轻海水的腐蚀。目前凝水系统的设计均考虑凝水加热和除气装置的应用。凝水加热和除气是利用涡轮排出的蒸汽热能来进行的。这样可提高动力装置的效率。冷凝器真空度的取得，近代有以电动机驱动的真空泵代替喷射抽吸的趋势，在25,000马力的装置中(60.0公斤/厘米²和510℃)，采用机械真空泵可提高循环效率0.1%^[2.7]。

目前各汽轮机制造公司的主要精力，一方面是发展更大功率的机型，另一方面致力于标准化和系列化工作，以满足船舶迅速发展以及各用户的不同要求。例如，据美国通用电气公司报道，该公司的MST-19系列将包括再热循环和非再热循环两种机型，功率均为45,000~120,000马力。该系列由两种高压涡轮和三种低压涡轮选配组成，如图13所示，图中的25呎²、36呎²及50呎²系最后一级的环形面积^[2.3]。这也可代表近期的发展方向。现有的非再热循环的蒸汽参数，预计将继续保持，因为蒸汽压力的提高不能进一步改善经济性^[3.0]；再热循环的蒸汽压力今后可能提高至120~150公斤/厘米²，但蒸汽温度提高的可能性不大。

叶片振动断裂是在汽轮机设计中遇到的困难问题之一。这种现象发生在最末一级，因为该级叶片的自然振动频率较低，往往在使用转速的范围内发生共振。陆用汽轮机都在常速下运转，而船用机型必须在较宽的转速范围内连续工作，因此船用汽轮机末级叶片应有更好的刚性，以使叶片能承受由于不可避免的共振所引起的振动应力。目前借助于计算机，振裂问题已可解决。图14是陆用

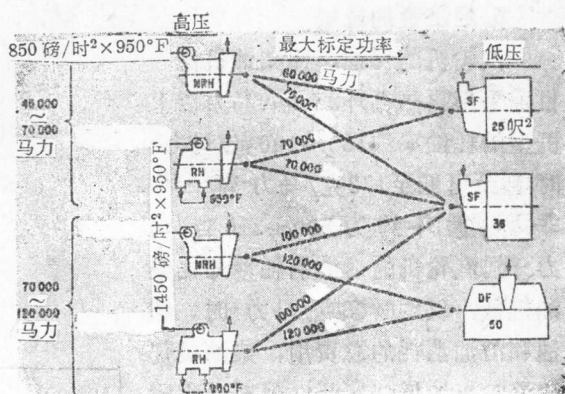


图 13 美国通用电器公司MST-19系列

NRH——非再热循环

RH——再热循环

SF——单流

DF——双流

(左图)和船用(右图)汽轮机叶片的比较，两种叶片均为17吋长^[2.3]。

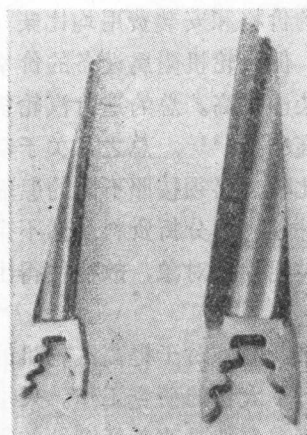


图 14 船用和陆用汽轮机叶片的比较

近年来，锅炉也有较大的改进。过去在锅炉中，耐火砖需要经常维修，现在采用水管壁结构，使锅炉的可靠性有较大的提高。目前的水管壁有两种，一种是焊接结构，将水管焊接成为气密的壁，其外覆以2~3吋的绝热材料，再包一层薄板作为外壳。这种结构重量轻，造价低，但修理比较麻烦。当某一水管阻塞或损坏时，必须将损坏部份切除，并焊以新管，亦可焊接临时旁通管绕过

损坏部份。英国 Combustion Engineering 公司和 Fosler-Wheeler 公司均采用这种焊接结构。另一种水管壁结构是 Babcock & Wilcox 公司所采用的双壳体结构(图15中的左图)。这种结构修理方便,当某一水管损坏时,可将该管闷塞,等大修时再更换。现代

过热器和预热器中的管子多系一根紧随一根对齐地排列,不再交错,管与管之间留有足够大的间距,这样对于加热效率虽然略有损失,但便于清洗。管道的清洗都采用可伸缩的蒸汽枪来实现^[27]。

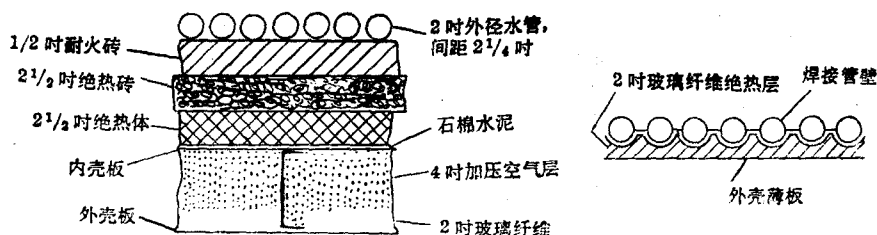


图 15 两种水管壁的示意图

锅炉的油燃烧器有机械雾化和蒸汽雾化两种,目前多采用后者(图16),雾化油料所需的蒸汽约为锅炉蒸汽流量的1/3%。由于油燃烧器的改进,使燃烧所需的过剩空气从过去的15%减至5%^[27]。

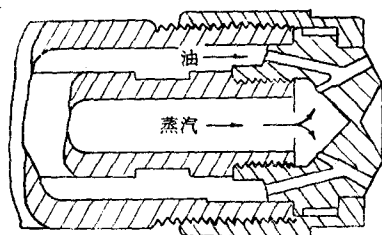


图 16 Racer型油燃烧器

锅炉效率一般都在90~91%之间。目前60,000马力的锅炉已设计制造,准备在 Sea-Land 公司订货的高速集装箱船上使用,估计其蒸发量约为200吨/小时。据 B&W 公司称,设计60,000马力以上的锅炉将遇到困难,主要是蒸汽鼓筒的尺寸和重量均过大。今后有采用增压燃烧的趋势,压力在5个大气压左右,但尚须解决一系列的技术问题^[27]。图17是 Babcock-Wilcox 公司约25,000马力的炉顶燃烧式锅炉。

为了提高汽轮机动力装置的效率,尽可能地减少冷凝器冷却时带走的和从烟囱中排走的热量。往往利用锅炉排烟和汽轮机排至冷凝器的废蒸汽来预热锅炉给水和燃烧空气,并从汽轮机的各涡轮级抽出少量蒸汽来进行预热。例如日本日立造船公司制造了蒸汽参数为60公斤/厘米²×525℃、蒸发量为25吨/时的带有蒸发预热器的双筒式水管锅炉,该锅炉的给水可加热到锅炉的饱和蒸汽温度,然后通过预热器部分地蒸发,形成汽水混合物馈给炉筒^[30]。有时也利用主汽轮机驱动发电机和水泵,以提高装置的经济性。

现代的锅炉给水泵,有用单级10,000转/分的高速泵代替过去的3,600转/分的多级泵的趋势。因为前者的体积小、零件少、成本低^[27]。

近年来,在减速装置方面也有较大的发展,虽然传递的扭矩迅速提高,而体积却增大不多,这主要是改进齿轮加工工艺、提高齿轮精度和增大齿面硬度的结果。特别是大功率行星齿轮减速器的成功,使外形尺寸和重量有较大幅度的减小。目前有采用三级减速的趋势。

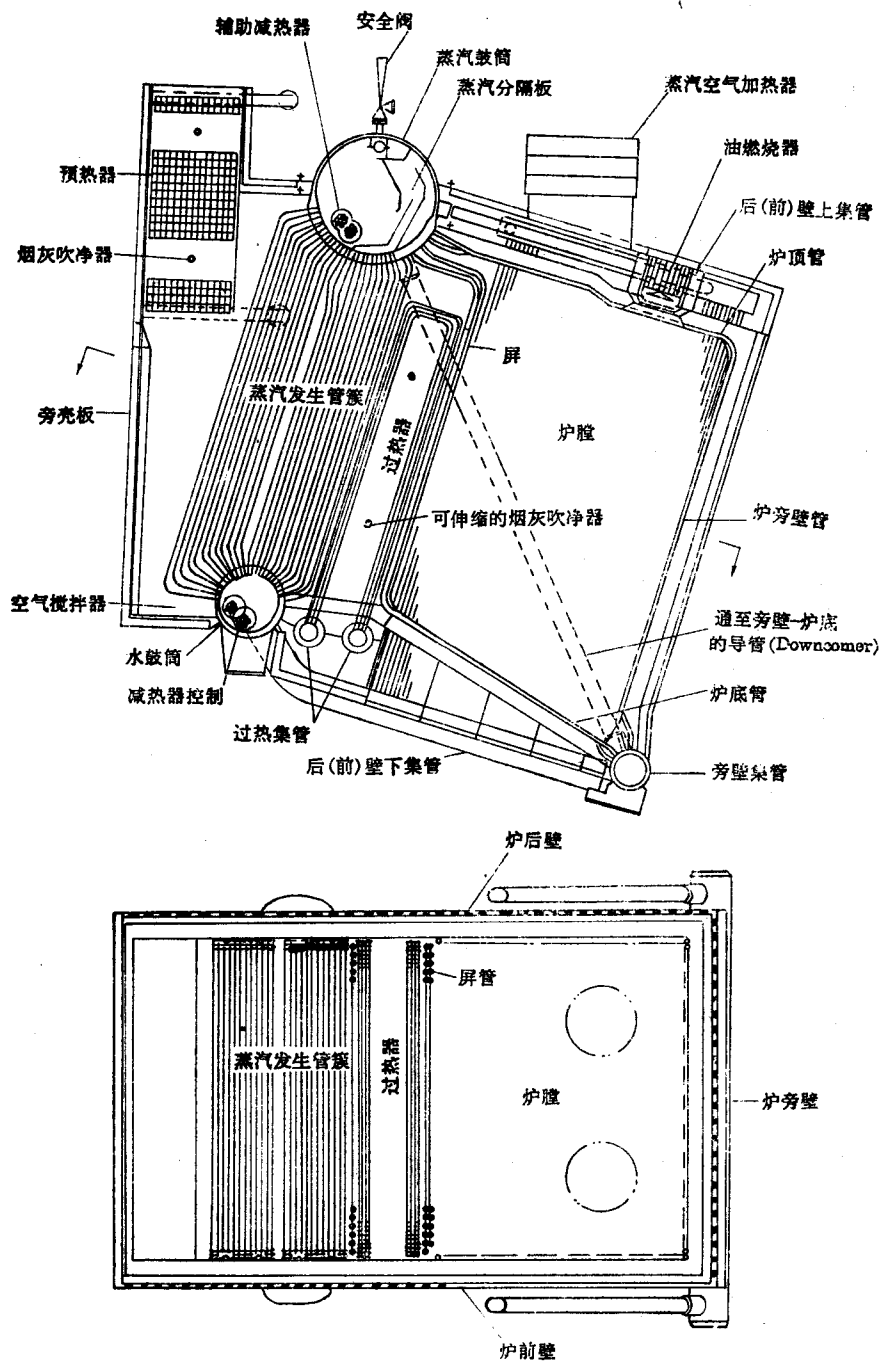


图 17 B&W公司炉顶燃烧式锅炉