

# 國外船用 大功率中速柴油機

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

U664-121

S29

## 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。”以及“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,收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等方面的一些资料,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,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

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 一、概述 .....              | ( 1 )  |
| 二、参数分析 .....            | ( 6 )  |
| 三、增压系统 .....            | ( 11 ) |
| 四、喷射系统 .....            | ( 19 ) |
| 五、主要件的结构 .....          | ( 24 ) |
| 1. 机架与底座 .....          | ( 24 ) |
| 2. 缸盖与气阀 .....          | ( 27 ) |
| 3. 缸套及其润滑 .....         | ( 31 ) |
| 4. 曲轴与连杆 .....          | ( 34 ) |
| 5. 活塞及其冷却 .....         | ( 37 ) |
| 六、使用寿命与检修 .....         | ( 41 ) |
| 七、减速箱与离合器 .....         | ( 42 ) |
| 附：国外船用大功率中速柴油机剖面图 ..... | ( 49 ) |

船用大功率中速柴油机的兴起是六十年代船舶动力装置发展的显著特点之一。采用大功率中速柴油机的船舶逐年增加。国外有些柴油机制造厂,包括制造船用低速重型柴油机的著名工厂,纷纷研究发展新机型或所谓“第二代”、“第三代”产品。估计今后几年内,中速柴油机将在船舶上得到更广泛的应用。

概括来说,近年来中速柴油机的发展表现在:平均有效压力不断地增大;单缸功率和单机功率日益提高;零部件的寿命逐步延长;发动机的可靠性获得改善;几乎所有机型都能燃烧重油,更有不少机型能使用双燃料。

对于上述情况,本文将进行综合性的报道,并探讨其今后的发展方向。本文所指的大功率中速柴油机是:转速为 300~600 转/分,单缸功率为 450 马力以上的机型。

## 一、概 述

第二次世界大战以来,柴油机作为船舶的推进装置,获得了很大的发展。由于基本理论研究工作的广泛开展,单机功率迅速增大,过去已建造和目前正在建造中的民用船,大部分采用柴油机推进装置,但仍以低速重型柴油机直接驱动者为多。中速柴油机用于船舶的历史虽然较长,而过去主要是用作小型船舶的主机和大型船舶的辅机。这是由于当时中速柴油机不能燃用重油,运行费用较大,且不如低速重型柴油机那么可靠,维护保

养又比较麻烦所致。至六十年代前期,中速柴油机燃用重油问题获得初步解决,结构的可靠性也逐步地得到改善,而且这种机型具有高度低、重量轻等优点,其耗油率已基本上与低速重型相同,于是选用中速柴油机作为推进装置的船舶日益增多。近年来,大功率中速柴油机发展得更快。表 1 是 1965~1971 年国外新建 2,000 吨以上船舶的主机类型及功率统计表<sup>[79]</sup>。从统计表中可以看出,中速柴油机装船的马力总数已由 1965 年的 6.0% 增长至 1971 年的 19.4%。虽然还低于低速重型柴油机和蒸汽轮机,而以台数计,则中速柴油机已居首位。这主要是因为中速柴油机

表 1 1965~1971 年新建二千吨以上船舶主机统计表

| 年<br>份 | 机<br>种 | 低 速 重 型 柴 油 机 |           |      | 中 速 柴 油 机 |           |      | 汽 轮 机 |           |      |
|--------|--------|---------------|-----------|------|-----------|-----------|------|-------|-----------|------|
|        |        | 台 数           | 马 力       | %    | 台 数       | 马 力       | %    | 台 数   | 马 力       | %    |
| 1971   |        | 591           | 6,890,300 | 54   | 726       | 2,469,370 | 19.4 | 111   | 3,393,000 | 26.6 |
| 1970   |        | 492           | 5,984,140 | 52.7 | 769       | 2,404,750 | 21.1 | 105   | 2,968,250 | 26.2 |
| 1969   |        | 514           | 5,397,970 | 53.1 | 659       | 2,124,080 | 20.9 | 101   | 2,650,550 | 26.0 |
| 1968   |        | 593           | 6,624,050 | 68.2 | 537       | 1,561,700 | 16.1 | 62    | 1,517,770 | 15.7 |
| 1967   |        | 653           | 7,470,810 | 79.8 | 388       | 1,093,310 | 11.7 | 38    | 790,800   | 8.5  |
| 1966   |        | 571           | 6,241,100 | 75.0 | 364       | 835,810   | 10.0 | 66    | 1,253,620 | 15.0 |
| 1965   |        | 561           | 5,739,860 | 73.1 | 138       | 473,696   | 6.0  | 77    | 1,631,870 | 20.9 |

注:有些数字与“Motor ship”杂志每年一月份所刊载的数据略有出入,但相差不大。

的功率较小,不能满足船舶的发展需要。近年试制成功的1,000马力/缸以上的中速柴油机,由于缺乏长期的实船使用经验,有些用户尚抱有怀疑态度,不愿采用。今后通过实践,大功率中速柴油机的可靠性取得足够证明后,必将更迅速地发展。据Smit预测:至1976年,新建造2,000载重吨船舶的总功率将达 $15.5 \times 10^6$ 马力,其中低速重型柴油机约为 $8 \times 10^6$ 马力,中速柴油机约为 $3.5 \times 10^6$ 马力<sup>[85]</sup>。

六十年代中期,中速柴油机的单缸功率最大是500马力左右(除对置活塞式柴油机外),且单缸功率为400~500马力的机型,仅有四、五种。最大单机功率约为8,000~9,000马力。目前,最大单缸功率已超过1,000马力,最大的单机功率已达20,000马力和以上(表3)。从功率增长率中亦可看出中速柴油机的发展速度和基本趋向。

近十年来,不少国家的柴油机公司,均积极地进行大功率中速柴油机的研制工作,有的公司从事新的设计。例如,原生产低速重型柴油机而著名的荷兰Stork-Werkspoor公司,1963年就开始设计单缸功率为600马力的TM410型中速柴油机,直列机型在1966年已进行试验,接着发展V型<sup>[75]</sup>,且决定自1969年起停止生产低速重型柴油机。又如,瑞典Götaverken公司于1967年联合其它三家企业组成瑞典联合柴油机公司,从事UDAB型中速柴油机(单缸功率为1,150马力)的研制工作<sup>[33]</sup>。有些柴油机厂将原生产的机型,加大缸径并提高平均有效压力,借以增大单缸功率。例如M.A.N.在40/54型柴油机的基础上,将缸径由400毫米加大至520毫米,发展单缸功率为1,000马力的52/55型<sup>[24]</sup>。又如S.E.M.T.-Pielstick公司,1966年在单缸功率500马力的PC2-2型柴油机的基础上,将缸径由400加大至480毫米,设计了所谓“第二代”的PC3型,PC3的设计指标是900马力/缸,1969年完成样机,单缸功

率稳定在850马力,目前已达到950马力/缸;现又计划发展1,500马力/缸的“第三代”产品PC4型<sup>[76,29]</sup>。目前,各国均大力进行大功率中速柴油机的试验研究工作。英国已决定把中速柴油机的研制发展放在船舶动力的首位来考虑。

所谓“第二代”、“第三代”,目前尚无统一的认识。有人认为:“第一代”四冲程大功率中速机是指单缸功率为400~600马力,转速为400~500转/分的机型,其平均有效压力为14~17公斤/厘米<sup>2</sup>;“第二代”的单缸功率为900~1,000马力,平均有效压力为16~20公斤/厘米<sup>2</sup><sup>[55]</sup>。“第三代”的柴油机向超高增压发展。有人预测,至1980年,“第三代”中速四冲程柴油机的平均有效压力可能达28公斤/厘米<sup>2</sup>或更高<sup>[72]</sup>。

大功率中速柴油机之所以能在船舶上得到如此迅速的发展,除柴油机本身克服了不能燃用重油、可靠性较差、维护保养不便等缺点外,尚有下列因素。

### 1. 船舶发展的推动

近年来,世界上对于工业和船舶用柴油机的需要量大大地增加。据统计,五年内增长了25%,估计至1980年将再上升50~60%<sup>[72]</sup>。同时由于海运事业的发展,货船和油船的吨位越来越大,并在继续增大;新型船舶也陆续出现,如高速集装箱船、滚上滚下船等。船舶的发展就对推进装置提出了更高功率的要求。为了改善推进器效率,又希望柴油机动力装置能提供更低的转速。况且在某些船舶上,如集装箱船、大型渡船、客轮等,希望有较宽大的甲板,要求机舱的高度较小。对于这些要求,中速柴油机则更为适宜。于是船用大功率中速柴油机就随着船舶的发展而兴起。

### 2. 重量轻、体积小

与低速重型柴油机相比较,中速机既轻又小。虽然中速柴油机必需配备减速齿轮箱,但包括减速箱在内的总长度,一般仍不超

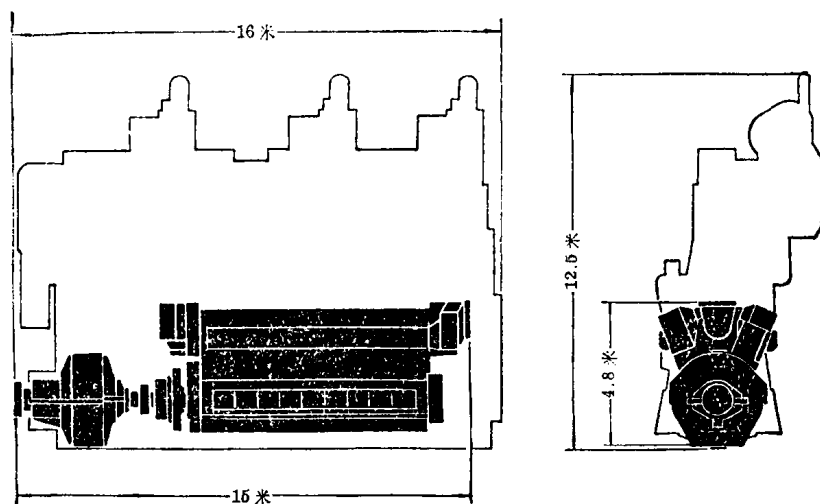


图1 中速和低速柴油机外形尺寸的比较

过相同功率的低速柴油机。中速柴油机的高度仅为低速柴油机的40%左右,这就使机舱上面的甲板有闭合的可能。图1是西德M.A.N.公司生产的K9Z78/155F型低速重型柴油机和V9V52/55型中速柴油机外形尺寸的比较<sup>[51]</sup>。图中轮廓线表示低速柴油机,黑影表示中速柴油机(并带有行星齿轮减速箱),前者为17,100马力,后者为18,000马力。从图1中可以看出:中速柴油机的高度是低速柴油机的38.4%;单位体积功率,中速是低速的五倍。中速柴油机的重量一般是10~14公斤/马力,仅为低速重型机的30~40%。虽然加上离合器、弹性联轴节、减速箱等,中速柴油机动力装置的总重量一般为低速重型机的60~75%。动力装置重量轻,就有可能提高船的载重能力,也意味着动力装置本身所消耗的金属材料少。

### 3. 造价低、装置简单

中速柴油机必须配备减速齿轮箱,这就有可能由主机通过齿轮箱直接驱动发电机和泵类,借以减少辅柴油机的配置,所以中速柴油机动力装置一般比较简单,也比较便宜。从中速柴油机本身来看,由于零件的尺寸较小、重量较轻,且零部件的通用性较强,显然可以进行更为合理、更为经济的生产(与低速重型柴油机的生产相比较)。

中速柴油机动力装置的造价在一般情况下,比低速重型柴油机低。表2是瑞士某船厂对115,000载重吨油船用汽轮机、低速重型柴油机和中速柴油机三种推进装置进行比较的结果<sup>[42]</sup>。在汽轮机动力装置中,发电机及货(油)泵由蒸汽驱动,舱底泵由电机驱动,不另装设辅锅炉。在低速重型柴油机动力装置中,三台发电机和三台货泵均由辅柴油机驱动,舱底泵用电机驱动,另外装有辅锅炉。中速柴油机动力装置,只用一套柴油发电机组,其余的发电机、货泵及舱底泵均由主机通过减速齿轮箱来驱动。从表2中可以看出,中速柴油机动力装置所需的机舱长度为最短,航速最快,造价略高于汽轮机,但比低速重型柴油机便宜。

### 4. 可提高螺旋桨的推进效率

大功率中速柴油机必须配备减速齿轮箱。这样就有可能根据船型的要求选配最佳的螺旋桨转速。而对低速重型柴油机来说,转速是固定的。因此采用中速柴油机,螺旋桨的推进效率一般可能提高6%左右。现代减速齿轮箱的机械效率可达97~98%<sup>[55]</sup>,所以总效率仍有所提高。

### 5. 大功率中速柴油机的通用范围广

一个大功率中速柴油机的系列,缸数为6~20个,所以功率范围很大。例如:意大利

表2 三种推进装置的比较<sup>[42]</sup>

|         | 汽 轮 机                            | 低 速 重 型 柴 油 机                    | 中 速 柴 油 机                        |
|---------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 机型及制造者  | Kockum DeLaval                   | MAN K7Z 105/180                  | MAN 2×V8V 52/55                  |
| 轴马力/转速  | 24,000/91.5                      | 28,000/106                       | 28,800/90                        |
| 使用功率(%) | 100                              | 90                               | 90                               |
| 航速(节)   | 15.6                             | 15.6                             | 15.8                             |
| 发电机:    |                                  |                                  |                                  |
| 蒸汽驱动    | 1×1,000+1×2,000 千伏安              |                                  |                                  |
| 柴油机驱动   |                                  | 2×1,000+1×2,000 千伏安              | 1×1,000 千伏安                      |
| 齿轮驱动    |                                  |                                  | 1×1,000+1×2,000 千伏安              |
| 货(油)泵:  |                                  |                                  |                                  |
| 蒸汽驱动    | 3×3,400 米 <sup>3</sup> /小时×130 米 |                                  |                                  |
| 柴油机驱动   |                                  | 3×3,400 米 <sup>3</sup> /小时×130 米 |                                  |
| 齿轮传动    |                                  |                                  | 3×3,400 米 <sup>3</sup> /小时×130 米 |
| 舱底泵:    |                                  |                                  |                                  |
| 电力驱动    | 1×3,400 米 <sup>3</sup> /小时×30 米  | 1×3,400 米 <sup>3</sup> /小时×30 米  |                                  |
| 齿轮传动    |                                  |                                  | 1×3,400 米 <sup>3</sup> /小时×30 米  |
| 螺旋桨     | 固定螺距                             | 固定螺距                             | 可变螺距                             |
| 辅锅炉     |                                  | 2×8+1×2.5 吨/时                    | 5×8+1×2.5 吨/时                    |
| 机舱长     | a                                | a+1.6 米                          | a-4.0 米                          |
| 型深      | 67'5"                            | 68'3"                            | 66'4"                            |
| 造价(%)   | 100                              | 106                              | 102                              |

Fiat C420SS 型柴油机, 每缸最大功率是 600 马力, 六缸直列机为 3,600 马力, 二十缸 V 形则为 12,000 马力。如果用四台联合驱动, 总功率可达 48,000 马力。由于功率范围大, 故同一系列的柴油机, 可用于多种船舶, 这样就给船舶使用部门的管理工作带来了不少方便。

另一方面, 大功率中速柴油机也可用于军用舰艇, 如护 P 舰等。又可用作发电站的动力和其他动力。所以大功率中速柴油机是一种军民通用和船陆通用的产品, 使用范围很广。

#### 6. 提高了船舶的功率适应性和安全性

船舶降低航速时, 螺旋桨需要的功率也降低。中速柴油机动力装置常常以两机或多机并车, 在船舶低速航行时, 就可以停掉一台或多台发动机。关于提高船舶安全性的问题, 目前尚有不同的看法。有人认为, 在中速柴油机动力装置中, 如果有一台发动机发生故障, 船仍可继续航行。且可利用这一特点,

能做到有计划地在港内作业或航行时轮流停机进行检修。但是也有人提出不同的意见, 认为: 对于成熟的机型来说, 发生故障而迫使船舶不能行动的情况是很少的, 况且如果齿轮装置发生故障, 却会使整个装置处于瘫痪<sup>[4]</sup>。

目前, 中速柴油机动力装置仍存在着不少缺点, 主要有下述几点。

#### 1. 滑油消耗量高

重型低速柴油机的滑油消耗, 主要是供给气缸, 实际在曲拐箱中的损失很少。而中速柴油机绝大部分是筒形活塞, 除气缸润滑所消耗的油量外, 曲拐箱滑油飞溅到气缸壁的油量是难以控制的。所以中速柴油机的滑油耗量通常比低速重型机要高 50% 或更多。况且, 曲拐箱中的滑油, 特别是在燃烧重油时, 容易被燃烧产物所染污, 这就增加了滑油的实际消耗量。但据 Werkspoor 公司在 1972 年广告中称, TM410 柴油机的滑油耗量仅 0.85 克/马力·时, 若果如此, 则将接近

低速重型柴油机的水平。

## 2. 排气阀的寿命短

中速柴油机的热负荷和机械负荷都比较高。在燃烧重油时, 燃烧产物又有较强的腐蚀作用, 将严重地影响筒形活塞式柴油机排气阀的寿命。近年来, 经过大量的试验研究, 目前排气阀的实际修理间隔期约为 3,000 小时(在燃烧重油时)<sup>[70]</sup>。虽然有的机型已提高至 6,000 小时, 仍远低于低速重型柴油机。

## 3. 气缸数目多, 增加了维修保养工作量

同等功率的动力装置, 中速柴油机的气缸数目比低速重型多几倍, 这就增加了维修保养的工作量。况且多机装置的管系比较复杂, 在管理上也增添了麻烦。目前, 各中速柴油机制造厂一方面注意提高机器的可靠性, 以减少检修工作量; 另一方面从便于装拆的

角度来改进结构, 并设计特种专用工具, 为检修提供方便。

## 4. 噪音较大

大功率中速柴油机的噪音较大。一般的噪音水平如图 2 所示<sup>[19]</sup>。多年来, 国外为降低噪音进行了大量的试验研究工作。几乎所有机型, 在增压器的进气口处都备有消音装置。在曲拐箱设计中, 也对振动和噪音问题给予极大的注意。M.A.N. 公司在 VV52/55 型柴油机的空气冷却器之前加装了内管消音器<sup>[24]</sup>。PC3 柴油机增压器和空气冷却器之间的管道内, 也采取了消音措施, 其目的是吸收来自压气机的噪音, 并阻止噪音向空气冷却器方向传出<sup>[29]</sup>。进一步降低噪音是今后的研究课题之一。但实现主机遥控或无人机舱后, 噪音已不成为一个严重的问题。

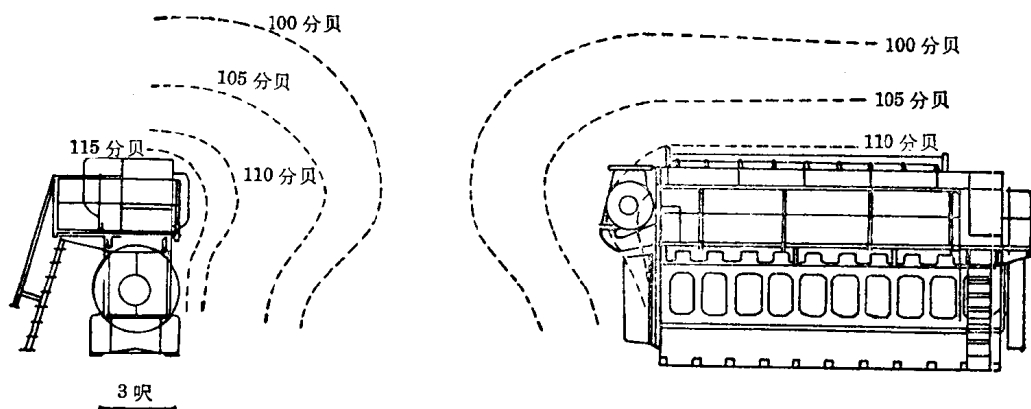


图2 铸铁曲拐箱的大功率中速柴油机噪音分布图

## 5. 需要配备减速齿轮箱等传动装置

减速齿轮箱不可避免地会产生机械损失, 又增大了维护保养的工作量, 并且增多了损坏的机会。如果传动装置损坏, 则整个动力装置处于瘫痪, 船舶无法航行。近年来, 随着柴油机的发展, 减速齿轮箱、离合器、弹性联轴节等均有较大的发展, 外形尺寸逐步缩小, 可靠性日益提高, 操纵方面也已能适应无人机舱的自动化要求。

国外柴油机工厂为在竞争中取得领先地位, 均设有一定规模的科研部门, 研究人员约

占工厂总人数的 5~10%, 从事新产品的 发展研究工作。

由于电子计算技术的发展, 给新机型的 发展带来了不少方便。过去一般都进行单缸 试验, 以确定热工参数和某些主要件的结构。 现在可以根据已成熟的机型的试验数据, 运 用计算机推测新机型的热工过程, 不必依靠 单缸试验。至于主要件的结构可以依靠有限 要素法计算和模拟试验来初步确定。所以近 年来新机型的发展, 有些工厂不进行单缸试 验, 直接采用多缸试验机。不论是否进行单

缸试验,在发展过程中都要大量地进行主要零部件的测试和计算工作。例如 UDAB 公司在决定了设计方案之后,即设计制造两台试验机,一台是三缸直列式,另一台是六缸 V 形机。试验过程中除进行一般的热工参数测量外,着重于燃烧室周围和轴承的温度测量和热负荷计算,以及机架、曲拐箱等主要件的应力测定。并在试验机上进行与增压器的配合试验和燃烧重油的试验。每台试验机的试验时间均在 1,000 小时以上。同时用电子计算机对曲轴、连杆、曲拐箱等主要件进行理论计算,并用立体光弹分析研究应力分布情况<sup>[33]</sup>。又如 MAN 公司在 40/54 的基础上发展 V 52/55 时,试验研究工作直接在 12 缸 V 型样机上进行,因为很多数据可以通过 40/54 型柴油机的实测结果,用电子计算机精确地计算,使之节省了大量的试验工作<sup>[30]</sup>。过去也有工厂是先进行单缸试验的。例如 Ruston 公司为发展 AO 型柴油机,于 1963 年 5 月开始单缸试验,然后用三缸试验机进行增压系统的试验,1964 年再用四缸机进行重油试验<sup>[15]</sup>。

国外在发展新机型的过程中,极着重零部件的测试。先进行模拟试验,用有限要素法和电子计算机精确地分析计算,然后在试验机上实测。计算结果与实测数据一般是比较接近的。有些关键性的零件,如活塞、缸套等,往往制定几种结构方案,进行比较。

样机的台架试验时间一般都比较长,往往要花费 1~2 年的时间。考虑到船上的工作条件比试验台上的条件差,所以正式产品上标定的最大功率一般都比试验时所得的最大功率低一些。设计时也留有进一步提高功率的余地。总的说来,新机型是大量试验研究工作的产物,而电子计算技术又大大地缩短了试验研究的周期,压缩了试验研究的工作量。因此电子计算技术在柴油机研究工作中的应用问题应给予重视,同时也应注意测试技术的研究。

由于新机型的发展是大量试验研究工作的成果,因此费用是很大的。据报导,发展一种新机型使其成为商品约需 200~300 万英镑<sup>[53]</sup>,周期约为 3~4 年,一种新产品的继续生产和销售时期约为 7~10 年<sup>[81]</sup>。正因为试验研究费用很大,国外资本家最近采取联合设计的道路。例如 MAN 和 Sulzer 公司于去年宣布合作, Sulzer 公司已放弃原准备发展的 Z56 型中速柴油机,而合作发展 1,600 马力/缸的 65/65 型柴油机<sup>[53]</sup>。现正在发展的“海马”型柴油机也是 Doxford 和 Hawthorn Leslie 两家公司合作的。Götaverken 和 B&W 公司也订立了合作协议。

## 二、参数分析

表 3 列举了 27 种单缸功率在 450 马力以上的大功率中速柴油机。27 种机型中,对置活塞机型有两种,气口-阀直流扫气机型两种, Sulzer 公司的 40/48 有两冲程和四冲程两种变型,其余 22 种均为四冲程。由此可见,四冲程占大功率中速柴油机的绝大多数。关于四冲程和二冲程究竟谁优谁劣问题,长期来国外有很多的争论,也曾做过不少的试验比较工作<sup>[20]</sup>,但迄今仍未能得出一个一致公认的结论。事实上,二冲程和四冲程至今仍然并存,且两者都正在沿着增大单缸功率、提高平均有效压力的方向继续发展。UDAB 公司宣称,它采用四冲程的理由是:当二冲程的气口上结碳后,气流阻力将大大地超过四冲程;且根据实际经验,二冲程柴油机的缸套和活塞环的磨损较严重,活塞环漏气的可能性也较大;另一方面,虽然四冲程的排气阀处于较恶劣的环境中工作,而二冲程柴油机活塞销的工作条件也非常差<sup>[33]</sup>。B&W 公司向来以制造直流扫气大功率低速重型柴油机著名,而在发展中速柴油机时,该公司则采用四冲程。其主要理由是,四冲程柴油机燃烧室的热负荷较低,容易获得高的平

均有效压力<sup>[81]</sup>。在已公布的船用大功率中速柴油机资料中,尚未找到已生产或准备发展的回流扫气机型。估计在七十年代内,四冲程仍将在大功率中速柴油机的领域内占绝对优势。

从表3中得知单缸功率超过900马力者有13种机型(包括备注中的三种机型),其中已正式生产者有六种。在正在发展的九种机型中,有七种机型的单缸功率超过1,000马力,这也反映了船用大功率中速柴油机正向着增大单缸功率的方向发展。

从理论上来说,增大单缸功率有三个有效途径:增大缸径或行程、加快转速和提高增压度。转速和行程将与活塞平均速度( $C_m$ )成正比,提高转速或增大行程均使 $C_m$ 上升。 $C_m$ 的增大不但加快运动件的磨损,而且影响有效地充气。目前各机型的 $C_m$ ,除个别外,一般不超过8.8米/秒(表3)。正在发展中的机型 $C_m$ 多在8米/秒以下。这说明尚无加大转速的方法来提高单缸功率的趋势。

单缸功率的提高,每一循环所需的燃料增多,而喷油时间一般不能过多地大于 $35\sim 40^\circ$ 曲拐转角,所以喷油率必须增大。不增压的机型与现代高增压机型相比较,喷油量大二倍多,今后随着单缸功率的提高,还可能增至四倍以上。短时期内喷射和燃烧如此大量的燃料将成为一个极重要的设计问题和研究课题。如果增大 $C_m$ ,而保持在中速的转速范围内,势必促使喷射时间进一步缩短,从而增加了困难。这是今后单缸功率的提高不能依靠加大 $C_m$ 的另一个理由<sup>[72]</sup>。估计这类柴油机的 $C_m$ 仍将小于或略高于9米/秒。

从表3中也可以看出,国外发展的所谓“第二代”、“第三代”柴油机,主要是依靠增大缸径和平均有效压力,但在缸径增加的同时,减小 $S/D$ 比,并适当地降低转速,使 $C_m$ 基本上维持不变或少量提高。例如法国S.E.M.T.-Pielstick公司的PC型柴油机,缸

径从400毫米增至480毫米,并将进一步加大至570毫米,平均有效压力从15公斤/厘米<sup>2</sup>提高至18公斤/厘米<sup>2</sup>及19.3公斤/厘米<sup>2</sup>,而 $C_m$ 仅从8.0米/秒增至8.27米/秒。又如M.A.N.公司,缸径从400毫米增至520毫米, $S/D$ 从1.35降至1.05,转速保持不变,平均有效压力提高了0.7公斤/厘米<sup>2</sup>。值得注意的是,日本三井正在试验的1,500马力/缸中速柴油机,缸径达600毫米,平均有效压力达20.2公斤/厘米<sup>2</sup><sup>[46, 76]</sup>;B&W公司也正在发展600缸径的60P型<sup>[81]</sup>;Werkspoor公司最近计划发展TM620,2,000马力/缸,缸径大至620毫米,行程为660毫米,转速约为400~428转/分,平均有效压力将为21~22.5公斤/厘米<sup>2</sup>,计划1974年开始六缸试验机的试验工作<sup>[83]</sup>;Sulzer与M.A.N.公司合作试制的65/65型柴油机,缸径达650毫米。继续增大缸径是否是今后发展的趋势之一,尚难预料。不过从 $C_m$ 的角度来分析,缸径加大必须伴随着 $S/D$ 比值或转速降低。转速过低将有损于中速柴油机的主要优点,且使用范围也将受到限制。减小 $S/D$ 比虽有不少好处。如:降低机器高度,提高曲轴刚度,改善扭振性能等。但 $S/D$ 过低将对活塞环密封、结构设计、容积效率等方面带来不利的影响<sup>[20]</sup>。近几年新出厂的四冲程中速柴油机,大多数的 $S/D$ 在1.1左右。因此,转速在350转/分以上的中速柴油机,缸径难以超过650毫米。从目前正在发展中的机型来看,平均有效压力都提高至20公斤/厘米<sup>2</sup>(四冲程)或10公斤/厘米<sup>2</sup>(二冲程)以上,这也说明今后几年的发展趋势主要是提高平均有效压力,而缸径亦将适当地增大至不超过650毫米。

平均有效压力的提高将促使热负荷和机械负荷进一步的增大。如果以单位面积功率来表示热负荷,则平均有效压力与热负荷的关系如图3所示。不增压的柴油机的单位活塞面积功率一般是0.17马力/厘米<sup>2</sup>左右,现

表3 国外大功率中速柴油机(每

| 序号 | 国别  | 制造者                 | 型号        | 缸径<br>D<br>(毫米) | 行程<br>S<br>(毫米) | S/D  | 冲程数      | 气缸排列<br>及缸数                | 最大连续<br>运转工况 |         | 平均有效<br>压力, $P_e$<br>(公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 活塞平均<br>速度, $C_m$<br>(米/秒) |
|----|-----|---------------------|-----------|-----------------|-----------------|------|----------|----------------------------|--------------|---------|--------------------------------------------|----------------------------|
|    |     |                     |           |                 |                 |      |          |                            | 每缸<br>功率     | 转 速     |                                            |                            |
| 1  | 瑞士  | Sulzer              | ZVB 40/48 | 400             | 480             | 1.2  | 4        | V10, 12, 16                | 650          | 500~530 | 19.4~18.3                                  | 8~8.5                      |
|    |     |                     | Z 40/48   | 400             | 480             | 1.2  | 2        | 直列 5~9                     | 600          | 450     | 10.0                                       | 7.1                        |
| 2  | 丹麦  | B & W               | 45 H      | 450             | 540             | 1.2  | 4        | 直列 5~9<br>V 8~18           | 605          | 450/465 | 14.0/13.6                                  | 8.1/8.4                    |
| 3  |     | B & W               | 50 H      | 500             | 540             | 1.08 | 4        | 同上                         | 750          | 450/465 | 14.1/13.6                                  | 8.1/8.34                   |
| 4  | 日本  | 三菱                  | UEV 42/56 | 420             | 560             | 1.33 | 2        | V 12, 18                   | 650          | 380     | 9.93                                       | 7.1                        |
| 5  |     | 赤阪                  | U 50      | 500             | 620             | 1.24 | 4        | 直列 6, 8, 9                 | 917/813      | 380/340 | 17.83                                      | 7.85                       |
| 6  |     | 阪神                  | MU 37     | 370             | 430             | 1.16 | 4        | 直列 6, 8                    | 465          | 500     | 18.1                                       | 7.17                       |
| 7  |     | 新潟                  | MG40X     | 400             | 520             | 1.3  | 4        | 直列 6, 8, 9<br>V 12, 16, 18 | 495          | 400     | 17.0                                       | 6.94                       |
| 8  |     |                     | MG54X     | 540             | 580             | 1.07 | 4        | 同上                         | 1,000        | 360/375 | 18.8/18.1                                  | 6.96/7.25                  |
| 9  |     | 三井                  | 60M       | 600             | 640             | 1.06 | 4        | 同上                         | 1,500        | 370     | 20.2                                       | 7.90                       |
| 10 |     | 富士                  | WM32H     | 320             | 380             | 1.19 | 4        | 直列 6, 8                    | 500          | 600     | 24.6                                       | 7.6                        |
| 11 | 英   | Doxford             | 海马        | 580             | 880+420         | 1.5  | 对置<br>活塞 | 直列 4~7                     | 2,500        | 300     | 10.9                                       | 8.8                        |
| 12 |     | Ruston              | AOM       | 362             | 470             | 1.3  | 2        | 直列 6~9<br>V 12, 16         | 500          | 450     | 10.5                                       | 7.05                       |
| 13 |     | English<br>Electric | Vulcan    | 438             | 534             | 1.22 | 4        | 直列 8, V 12                 | 530          | 428     | 14.2                                       | 7.7                        |
| 14 |     | Mirrlees            | K Major   | 381             | 457             | 1.20 | 4        | 直列及 V                      | 600          | 600     | 17.57                                      | 9.15                       |
| 15 | 意大利 | GMT-Fiat            | C420SS    | 420             | 500             | 1.19 | 4        | 直列 6~10<br>V 10~20         | 600          | 480     | 16.2                                       | 8.0                        |
| 16 |     |                     | 550SS     | 550             | 590             | 1.07 | 4        | 同上                         | 1,200        | 430     | 17.92                                      | 8.47                       |
| 17 | 西德  | MAK                 | M551AK    | 450             | 550             | 1.22 | 4        | 直列 6, 8<br>V 12, 16        | 667          | 425     | 16.2                                       | 7.8                        |
| 18 |     | M.A.N.              | V 40/54   | 400             | 540             | 1.35 | 4        | 直列 6~9<br>V 10~18          | 625          | 450     | 18.4                                       | 8.1                        |
| 19 |     |                     | V 52/55   | 520             | 550             | 1.06 | 4        | 同上                         | 1,000        | 430     | 17.92                                      | 7.88                       |
| 20 |     | Deutz               | BVM540    | 370             | 400             | 1.08 | 4        | 6, 8, 12, 16               | 400          | 600     | 13.95                                      | 8.0                        |
| 21 | 法   | SEMT-<br>Pielstick  | PC2-2     | 400             | 460             | 1.15 | 4        | 直列及 V                      | 500          | 520     | 15.0                                       | 8.0                        |
| 22 |     | SEMT-<br>Pielstick  | PC2-5     | 400             | 460             | 1.15 | 4        | V 8~18                     | 650          | 520     | 18.0                                       | 8.0                        |
| 23 |     | SEMT-<br>Pielstick  | PC3       | 480             | 520             | 1.08 | 4        | 直列 6~8<br>V 12~18          | 950          | 470     | 19.3                                       | 8.12                       |
| 24 |     | SEMT-<br>Pielstick  | PC4       | 570             | 620             | 1.09 | 4        | V 10~18                    | 1,500        | 400     | 21.3                                       | 8.27                       |
| 25 | 瑞典  | UDAB                | UDAB      | 520             | 570             | 1.10 | 4        | 直列 6~9<br>V 8~18           | 1,150        | 425     | 20.0                                       | 8.07                       |
| 26 | 荷兰  | Werkspoor           | TM410     | 410             | 470             | 1.15 | 4        | 直列 6~9<br>V 10~20          | 667          | 550     | 17.6                                       | 8.62                       |
| 27 | 美   | F.M.                | 38A20     | 254/508         | 273/546         | 1.07 | 对置<br>活塞 | 直列 6, 9<br>V 12            | 1,000        | 400     | 9.16                                       | 7.3                        |

缸马力 450 以上)主要参数表

| 单位活塞面<br>积功率<br>(马力/厘米 <sup>2</sup> ) | $C_m \cdot P_e$ | 最大爆发<br>压力, $P_z$<br>(公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 压缩压力<br>$P_c$<br>(公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 热效率<br>% | 机械<br>效率<br>(%) | 耗 油 率<br>$g_e$<br>(克/马力·时) | 资料来源     | 是否已<br>生 产 | 备 注                                                                                                                        |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|----------|-----------------|----------------------------|----------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.521                                 | 155             | 120                                        | 78                                     | 40       | 87.5            | 158                        | [76]     | 已生产        | 原计划发展 Z56 机型, 现已放<br>弃。已与 MAN 公司合作<br>发展 1,600 马力/缸的 65/65<br>型, $D=8=650$ 毫米, $P_e=$<br>17.8 公斤/厘米 <sup>2</sup> , 375 转/分 |
| 0.478                                 | 71              |                                            |                                        |          |                 |                            | [76]     | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.382                                 | 117             | 91                                         | 62                                     | 41       |                 | 155                        | [12]     | 已生产        | 该公司正在发展 60P 型, 1,500<br>马力/缸, 375 转/分, $D=600$<br>毫米, $S=645$ 毫米, $P_e=$<br>18.75 公斤/厘米 <sup>2</sup> [81][88]              |
| 0.383                                 | 113.5           | 85                                         | 65                                     | 40       |                 | 155                        | [81][76] | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.469                                 | 70.4            | 85                                         | 65                                     | 40       | 90              | 160                        | [76]     | 已生产        | 二级废气涡轮增压                                                                                                                   |
| 0.468                                 | 140             | 110                                        | 76                                     | 41       | 90              | 156                        | [35][61] | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.483                                 | 130             |                                            |                                        |          |                 |                            | [67]     | 发展中        | 装船后经常发生事故, 已于<br>1972 年年底停止订货和生产                                                                                           |
| 0.394                                 | 118             |                                            |                                        |          |                 | 151                        | [14]     | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.437                                 | 131             | 100                                        | 75                                     |          |                 | 149+3%                     | [36]     | 已生产        | 8, 16 缸机型仅 625 马力/缸;<br>准备提高至 750 马力/缸,<br>500 转/分, 改为 M552 型                                                              |
| 0.530                                 | 158             | 130                                        | 90                                     | 41.5     | 90              | 153                        | [46][84] | 发展中        |                                                                                                                            |
| 0.620                                 | 187             | 130                                        |                                        |          |                 |                            | [61]     | 发展中        | 现已提高至 500 马力/缸,<br>$P_e=17.4$ [73]                                                                                         |
| 0.473                                 | 95.9            | 106                                        | 55                                     | 40       | 91              | 158                        | [76]     | 样机试<br>验中  |                                                                                                                            |
| 0.486                                 | 74              | 105                                        | 63.2                                   | 40.2     |                 | 155                        | [76]     | 已生产        | 正在发展 TM620, 2000 马力<br>/缸 [83]                                                                                             |
| 0.352                                 | 109.3           | 112                                        |                                        |          |                 | 152                        | [10]     | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.530                                 | 160             | 116                                        |                                        | 41       | 94              | 155                        | [76]     | 已生产        | 已提高至 1250 马力/缸, 450<br>转/分 [48]                                                                                            |
| 0.435                                 | 130             | 100                                        | 70                                     | 41       | 85              | 154                        | [76]     | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.457                                 | 151             | 114                                        | 75                                     | 41       | 85              | 154                        | [65][76] | 已生产        | 正在发展                                                                                                                       |
| 0.420                                 | 126             | 110                                        | 85                                     | 41.5     |                 | 152                        | [76][88] | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.497                                 | 149             | 120                                        | 87                                     | 41.5     |                 | 154                        | [76]     | 已生产        | 正在发展                                                                                                                       |
| 0.471                                 | 141             | 120                                        | 78                                     | 41.5     | 90              | 152                        | [76]     | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.372                                 | 111             |                                            |                                        |          |                 | 155                        | [41]     | 已生产        | 正在发展                                                                                                                       |
| 0.43                                  | 111.6           | 90                                         |                                        | 39.5     | 90              | 160                        | [76]     | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.515                                 | 134             | 115                                        |                                        | 41       | 90              | 151                        | [54][88] | 已生产        | 正在发展                                                                                                                       |
| 0.528                                 | 158.4           | 120                                        |                                        | 41.3     | 90              | 153                        | [76]     | 已生产        |                                                                                                                            |
| 0.587                                 | 176             | 120                                        |                                        | 43.2     | 94<br>(无泵)      | 146                        | [74][88] | 发展中        | 正在发展                                                                                                                       |
| 0.542                                 | 161.4           | 130                                        | 90                                     | 41.6     | 89              | 152                        | [76]     | 样机试<br>验中  |                                                                                                                            |
| 0.505                                 | 151             | 113                                        | 74                                     | 40.8     | 89              | 155                        | [45]     | 已生产        | 正在发展                                                                                                                       |
|                                       | 67              | 70.3~73.8                                  |                                        |          |                 | 159                        | [3][8]   | 已生产        |                                                                                                                            |

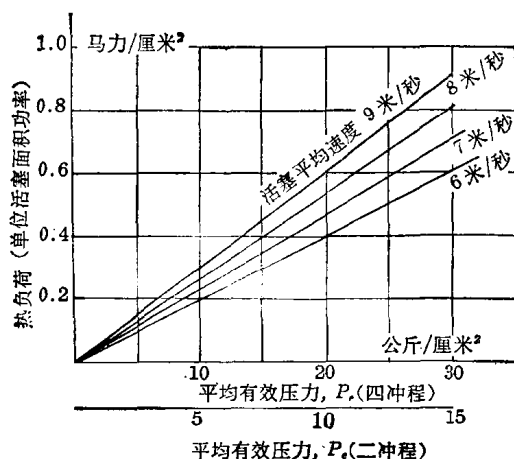


图3 平均有效压力与热负荷的关系

代高增压柴油机一般是0.35~0.50，正在发展中的超高增压机型有高至0.620者。为了解决热负荷成倍地增长，活塞从不冷却而强制冷却，并在提高冷却效果方面，进行了大量的研究改进工作。值得提出的是，最近AO型柴油机在使用过程中，发现燃烧室的热负荷过大，引起活塞变形和咬缸等严重事故，有两艘使用AO型柴油机的船已在日本改装Pielstick主机，制造该机型的公司已停止接受订货，正在改进燃烧室及活塞的设计<sup>[82]</sup>。

机械负荷主要表现在最高爆发压力，过去有人认为平均有效压力( $P_e$ )与最高爆发压力( $P_z$ )的比值约为1:10<sup>[20]</sup>，但现代的四冲程中速柴油机一般在1:5~1:7之间。虽然平均有效压力已接近20公斤/厘米<sup>2</sup>，而 $P_z$ 仍保持在120公斤/厘米<sup>2</sup>以下，最高的也不超过130公斤/厘米<sup>2</sup>。 $P_e/P_z$ 比值的降低，将给进一步提高 $P_e$ 制造了有利条件。

表4是PC2型柴油机的改进过程，从表4中可以了解过去几年中速柴油机平均有效压力的提高情况。目前正在生产的大型四冲程的平均有效压力处于16~18公斤/厘米<sup>2</sup>的水平，二冲程的则在9~10公斤/厘米<sup>2</sup>之间。不久将增至20公斤/厘米<sup>2</sup>（四冲程）和11公斤/厘米<sup>2</sup>（二冲程）。正在试验中的机型，四冲程的平均有效压力已高至25公斤/

厘米<sup>2</sup><sup>[61]</sup>。日本三菱重工已在1UT30/40H型二冲程单缸试验机上获得15.2公斤/厘米<sup>2</sup>（外源增压）的水平，该单缸试验机的转速为630转/分，当 $P_e=15.2$ 公斤/厘米<sup>2</sup>时， $P_z=105\sim115$ 公斤/厘米<sup>2</sup>，扫气压力为1.75公斤/厘米<sup>2</sup>（表压）<sup>[82]</sup>。预计至1980年，一般四冲程中速柴油机的 $P_e$ 可达25公斤/厘米<sup>2</sup>，个别甚至高达28公斤/厘米<sup>2</sup><sup>[72]</sup>。是时，活塞单位面积功率将达0.6~0.7以上， $P_z$ 可能至140公斤/厘米<sup>2</sup>或更高。

表4 PC2型柴油机改进过程

|                             | PC2   | PC2-1 | PC2-2 | PC2-5 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 最大单缸功率(马力)                  | 410   | 465   | 500   | 600   |
| 转速(转/分)                     | 520   | 520   | 520   | 520   |
| $P_e$ (公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 12.16 | 14.0  | 15.0  | 18.0  |
| 年 份                         | 1965  | 1966  | 1969  | 1971  |

各柴油机研究部门曾采取多种方案，企图降低 $P_z$ 值。米勒系统有些机型已采用。二级喷射也正在试用中。前几年英国曾提出变压缩比活塞的设计，促使 $P_z$ 降低，而由于结构复杂，在大功率中速柴油机上至今未见采用。最近日本有人曾提出采用低压缩比，并以进气加热来弥补低压缩比的启动困难<sup>[68]</sup>，但仍处于试验研究阶段。改善喷射规律，控制燃烧速度，扩大等压燃烧部分，借以减小最高燃烧压力与压缩终点压力的比值( $\lambda$ )，可以降低 $P_z$ 值。目前各机型的 $\lambda$ 值一般在1.3~1.5之间。不过 $\lambda$ 值越低，越接近等压燃烧，热效率将下降。总之，关于如何降低机械负荷和热负荷的研究以及承受高热负荷和高机械负荷的设计研究是今后大功率中速柴油机发展道路中亟待解决的问题之一。

目前各机型的热效率在40~41%之间，最高达41.6%（表3）。图4表示在不同 $P_e$ 值的情况下，热平衡的变化<sup>[72]</sup>。图中示出，平均有效压力提高后，热效率略有提高，但高至一定程度后，曲线变成平坦并转向下，也就是

说,今后随着平均有效压力的增长,热效率不会有较大的变化。至于机械效率,现代产品一般在90%左右。今后的机型,在结构上只会越来越复杂,机械负荷也将逐步增大,机械效率难以进一步提高。所以耗油率在七十年代内不会有大的变化,仍将维持在150~155克/马力·小时左右。

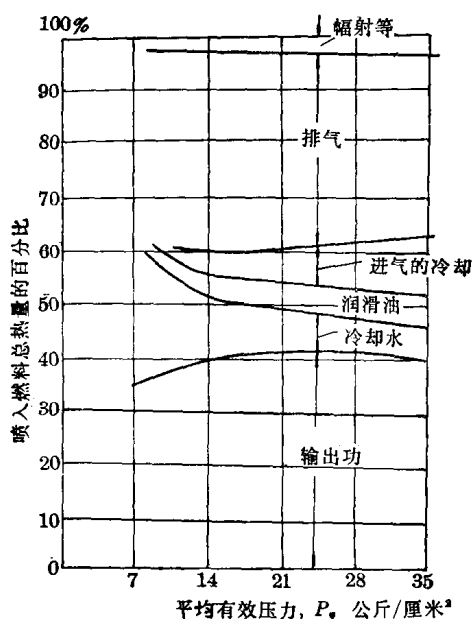


图4 不同 $P_e$ 情况下的热平衡

大功率中速柴油机的单位马力重量,较中等功率的中速机略大,约在10~15公斤/马力之间。

### 三、增压系统

众所周知,柴油机的增压系统有等压和脉冲两种。目前的大功率中速柴油机,虽然增压压力较高,而绝大多数仍采用脉冲增压系统(表5)。一般来说,等压增压系统由于涡轮进口处的压力变化不大,涡轮效率较高;而脉冲增压能直接利用排气脉冲能量,使空气量较容易地适应发动机的负荷。因此脉冲增压系统更适于在较低的负荷工况下运转。而在高增压的情况下,脉冲能量相对于整个排气能量来说,越来越小,故压比愈高,脉冲

和等压系统之差愈小。船用大功率中速柴油机不仅作为船舶主机推动螺旋桨,通常还要驱动发电机和泵类等,有时要在较低的工况下工作,所以目前各机型仍多采用脉冲增压系统。今后随着压比的进一步提高,等压系统是否将代替脉冲,至今仍无显明的征兆。

本文第二节中,预计至1980年柴油机的平均有效压力将达25~28公斤/厘米<sup>2</sup>,相应的增压器压比约为3.5~4。如果采用米勒吸气系统,需要的增压器压比更要高一些。目前生产的大型增压器,最大压比在3~3.5之间。根据目前涡轮增压技术的经验,单级增压的压比约可发展到4.0<sup>[72]</sup>。再进一步发展,似乎要用两级增压。两级增压技术至今尚处于发展阶段,在结构上显然要比单级复杂得多,其发展前途,颇难预料。日本富士公司正在缸径为260毫米、转速为750转/分的中速柴油机上采用两级废气涡轮增压。低压部分用等压系统,装置VTR 320增压器,高压部分用脉冲系统,装VTR 200。第一级出口风压为1.4公斤/厘米<sup>2</sup>,第二级出口风压为3.5公斤/厘米<sup>2</sup>左右。为了限制 $P_e$ 值,采用米勒系统。当负荷达60%时,随负荷的增加,进气阀关闭时间逐渐向上死点前推移,直至全负荷时,进气阀在上死点前20°关闭。采用米勒系统后, $P_e$ 仅130公斤/厘米<sup>2</sup>,降低了30公斤/厘米<sup>2</sup>。这种两级废气涡轮增压系统,平均有效压力可能高达29.5公斤/厘米<sup>2</sup><sup>[52]</sup>。但在产品上实际使用的平均有效压力,规定为24.6公斤/厘米<sup>2</sup>。该公司又计划发展缸径为320毫米、转速为600转/分的二级增压机型<sup>[61]</sup>。Sulzer公司正在S40/48二冲程柴油机上进行二级废气涡轮增压试验,使每缸功率达900马力, $P_e$ 为15公斤/厘米<sup>2</sup><sup>[49]</sup>。

目前,很多大功率中速柴油机采用脉冲转换器,使增压系统的效率有所提高,同时使几个气缸的排气共用一个涡轮进口,大大地减少了一台柴油机上的增压器数目。目前大

表5 大功率中速柴油机增压、润滑、冷却、燃油系统主要参数表<sup>[76]</sup>

| 制造者                 | 机型             | 增压系 |                                |                                        |          | 统                             |                 |                    | 润滑系               |                 | 燃油系                            |                                   | 耗油量<br>(克/马力·时) |
|---------------------|----------------|-----|--------------------------------|----------------------------------------|----------|-------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
|                     |                | 类型  | 增压器<br>台数                      | 增压器<br>型号                              | 增压器<br>号 | 充气压力<br>(公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 气量<br>(公斤/马力·时) | 涡轮增压<br>温度<br>(°C) | 涡轮增压<br>度<br>(°C) | 空气冷却<br>器台数     | 牌号                             | 牌号                                |                 |
| B&W                 | 45H            | 脉冲  | 5~9缸1<br>10~18缸2<br>V形2<br>直列1 | HSM TH22<br>或 VTR 400                  |          | 1.95                          | 6.1             |                    | 385               | 同增压器            | SAE 30                         |                                   |                 |
|                     | 50HU           | 脉冲  | 12缸4<br>18缸6<br>V形2<br>直列1     | Elsinore 或 BBC                         |          | 1.95                          | 6.1             |                    | 385               | 同增压器            | HD                             | HD                                | 7~9<br>公斤/缸/天   |
| 三菱                  | UEV 42/56      | 脉冲  | 12缸4<br>18缸6                   | MET 85                                 |          | 1.05                          | 8.0             | 450                | 320               | 12缸2<br>18缸3    | SAE 30                         | SAE 40<br>碱性                      | 0.5~0.8         |
| 赤阪                  | 6U50           | 脉冲  | 1                              | VTR 500                                |          | 1.5                           | 5.7             | 520                | 400               | 1               | SAE 30<br>TBN > 10<br>毫克 KOH/克 | SAE 40<br>TBN = 90~40<br>毫克 KOH/克 | 0.8             |
| Doxford             | 海马             | 等压  | 2                              | VTR 500, 630, 631<br>或 Napier 510, 610 |          | 1.37                          | 8.0             | 450                | 350               | 4               | SAE 30                         | SAE 50,<br>TBN 60~70              | 0.45            |
| GMT-Fiat            | 550SS          | 脉冲  | 6~9缸1<br>10~20缸2               | VTR 500~630                            |          | 1.8                           | 6.2             | 560                | 420               | 同增压器            | 重载油                            | 同系统油                              |                 |
|                     | O 420SS        | 脉冲  | 6~9缸1<br>10~18缸2<br>20缸4       | VTR 400~500                            |          | 1.5                           | 6.1             | 520                | 410               | 同增压器            | 重载油                            | 同系统油                              |                 |
| Atlas Mak           | M 551AK        | 脉冲  | 1或2                            | BBC                                    |          |                               |                 |                    | 340~370           | 1或2             |                                |                                   | 1.2             |
| MAN                 | RH<br>VV 40/54 | 脉冲  | 直列1<br>V形2                     | M.A.N.<br>N 40 或 N 48                  |          | 1.9                           | 5.9             |                    | 400               | 2               |                                |                                   | 1.2             |
|                     | RH<br>VV 52/55 | 脉冲  | 直列1<br>V形2                     | M.A.N.                                 |          | 1.9                           | 6.0             | 490                | 370               | 2               |                                |                                   | 1~1.2           |
| Ruston              | AOM            | 脉冲  | 6~8缸2<br>9缸3<br>12~18缸4        |                                        |          |                               | 8.35            | 417                | 357               |                 |                                |                                   |                 |
| SEM-T-<br>Pielstick | PC2-2          | 脉冲  | 2                              |                                        |          | 1.07                          | 5.4             | 540                | 430               | 2               |                                |                                   |                 |
|                     | PC2-5          | 脉冲  | 2                              |                                        |          | 1.4                           | 5.2             | 520                | 400               | 2               |                                |                                   |                 |
|                     | PC3            | 脉冲  | 2                              | VTR 500                                |          | 1.5                           | 5.4             | 580                | 470               | 12缸2<br>14~18缸4 |                                |                                   |                 |
| Sulzer              | ZVB 40/48      | 脉冲  | 2                              | VTR 400                                |          | 1.85                          | 5.5             | 580                | 420               | 2               |                                | SAE 40,<br>HD, 低碱                 | 0.9~1.1         |
| UDAB                | UDAB           | 脉冲  | 2                              | VTR 500                                |          | 2.0                           | 5.4             | 575                | 420               | 2               | 中等碱性                           | 中等碱性                              | 0.9~1.1         |
| Werkspoor           | TM410          | 脉冲  | 1~4                            | BBC                                    |          | 2.2                           | 6.3             | 500                | 375               | 同增压器            | SAE 30<br>TBN 20               | 同系统油                              | 0.7             |
| Mirreles            | K-Major        | 脉冲  | 直列1<br>V形2                     | VTR 400 H                              |          | 1.83                          | 5.9             | 565                | 398               | 同增压器            |                                |                                   | 0.433           |
| 新潟                  | MG54X          | 脉冲  | 直列1                            | Niigata-Napier                         |          | ~1.5                          |                 | 500                | 400               | 直列1             |                                |                                   |                 |
| 三井                  | 60M            | 脉冲  | 直列2或3<br>V4                    | 三井 MX                                  |          | 2.9 大气                        | 5.5             | 530                | 380               | 同增压器            | SAE 30                         | 同系统油                              | 0.7~0.9         |

(续表)

| 制 造 者              | 机 型            | 冷 却 系 统  |                                            |                                                            |     | 燃 油 系 统                                                    |     |                              | 备 注 |                  |                                                |                                                            |
|--------------------|----------------|----------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                    |                | 活 塞 冷 却  |                                            | 缸 套 冷 却                                                    |     | 喷 油 器 冷 却                                                  |     | 可 燃 烧 的 油 料<br>(雷氏1号, 100°F) |     | 可 否 改 用<br>双 燃 料 | 喷 射 压 力<br>( $\frac{\text{公斤}}{\text{厘米}^2}$ ) |                                                            |
|                    |                | 介 质      | 压 力<br>( $\frac{\text{公斤}}{\text{厘米}^2}$ ) | 循 环 量<br>( $\frac{\text{公升}}{\text{马 力} \cdot \text{时}}$ ) | 介 质 | 循 环 量<br>( $\frac{\text{公升}}{\text{马 力} \cdot \text{时}}$ ) | 介 质 |                              |     |                  |                                                | 循 环 量<br>( $\frac{\text{公升}}{\text{马 力} \cdot \text{时}}$ ) |
|                    |                |          |                                            |                                                            |     |                                                            |     |                              |     |                  |                                                |                                                            |
| B&W                | 45H            | 油        | 5                                          |                                                            | 淡水  | 110米 <sup>3</sup> /时                                       | 柴油  | 3.5米 <sup>3</sup> /时         |     | 800              |                                                |                                                            |
|                    | 50 HU          | 油        | 4.5~5.0                                    |                                                            | 淡水  |                                                            | 柴油  |                              | 能   | 800              | [81]                                           |                                                            |
| 三 菱                | UEV 42/56      | 油        | 3.0~3.5                                    | 20.5                                                       | 淡水  | 22.5                                                       | 柴油  | 0.5                          | 否   | 800              |                                                |                                                            |
| 赤 坂                | 6U50           | 油        | 4                                          | 9.6                                                        | 淡水  | 24.3                                                       | 柴油  | 0.22                         | 否   | 890              |                                                |                                                            |
| Doxford            | 海 马            | 上水<br>下水 | 3.0<br>5.0                                 | 5.0<br>10.0                                                | 淡水  | 17.0                                                       | 柴油  | 0.6                          |     | 550              |                                                |                                                            |
| GMT-Fiat           | 550SS          | 油        | 3~4                                        | 12~14                                                      | 淡水  | 25                                                         | 柴油  | 0.5                          | 能   | 800              |                                                |                                                            |
|                    | O420SS         | 油        | 3~4                                        | 12~14                                                      | 淡水  | 25                                                         | 柴油  | 0.4                          | 能   | 750              | 现已取消气缸润滑油装置、<br>依靠飞溅油                          |                                                            |
| Atlas Mak          | M551AK         | 油        |                                            |                                                            |     | 30                                                         | 柴油  | 0.7                          |     | 900              |                                                |                                                            |
| MAN                | RH 40/54<br>VV | 油        | 4.0                                        | 13                                                         | 淡水  | 18~19.5                                                    | 淡水  | 0.5                          |     | 750              | [88]                                           |                                                            |
|                    | RH 52/55<br>VV | 油        | 3.5                                        | 12                                                         | 淡水  | 18~19.5                                                    | 淡水  | 0.5                          | 能   | 800              |                                                |                                                            |
| Ruston             | AOM            | 油        |                                            |                                                            | 淡水  |                                                            | 淡水  |                              |     |                  |                                                |                                                            |
| SEMT-<br>Pielstick | PC2-2          | 油        | 5.5                                        | 13.3                                                       | 淡水  | 21                                                         | 淡水  | 150公升/喷油器                    | 能   | 1,000            |                                                |                                                            |
|                    | PC2-5          | 油        | 5.5                                        | 13.4                                                       | 淡水  | 21                                                         | 淡水  | 150公升/喷油器                    | 能   | 1,000            |                                                |                                                            |
|                    | PC3            | 油        | 5.5                                        | 13.8                                                       | 淡水  | 21                                                         | 淡水  | 150公升/喷油器                    | 能   | 900              | PC1的充气压力为2.55<br>公斤/厘米 <sup>2</sup>            |                                                            |
| Sulzer             | ZVB40/48       | 油        | 5                                          | 20~22.5                                                    | 淡水  | 22                                                         | 淡水  | 0.75                         | 已计划 |                  |                                                |                                                            |
| UDAB               | UDAB           | 油        | 3.5                                        | 12.5                                                       | 淡水  | 30.0                                                       | 柴油  | 0.8                          | 能   | 800              |                                                |                                                            |
| Werkspoor          | TM 410         | 油        | 5                                          | 9.0                                                        | 淡水  | 11                                                         | 淡水  | 0.2                          | 否   | 900              |                                                |                                                            |
| Mirrlees           | K-Major        | 油        |                                            | 20.2                                                       | 淡水  | 23.6                                                       | 淡水  | 直列8,730升/时<br>V 17,200升/时    | 能   | 738              |                                                |                                                            |
| 新潟                 | MG54X          | 油        |                                            |                                                            | 淡水  |                                                            | 重油  |                              |     |                  |                                                |                                                            |
| 三井                 | 60M            | 油        | 5                                          | 15                                                         | 淡水  | 20                                                         | 水   |                              |     | 900              |                                                |                                                            |

多数直列机型只用一台增压器，V型用两台，这样就简化了增压系统，也给总布置带来了极大的方便。由于增压器少，很多机型将增压器置于发动机的端部，这意味着发动机上面的机舱空间能得到更有效的利用。

脉冲转换器的作用，简单地说，就是改变排气脉冲至某一适合形态，借以消除来自其他气缸的脉冲干扰，使对相邻气缸的扫气或充气过程无不利的影响。用脉冲转换器后，使废气涡轮增压系统兼有等压和脉冲的主要优点。采用脉冲转换器的柴油机，仍然用直径较细的排气管，但将几个气缸的排气管接在一个脉冲转换器上。排气在脉冲转换器内将完成下列变化：首先来自各缸的排气压力被转换成动能，转换后的各缸气体在高速低压的状态下混合，将混合气体的动能再转换成压力。转换后的混合气体被送至涡轮进口。这样的转换就能将脉冲能量转换成压力。因此，涡轮进口处的压力几乎是常压，但略高于气缸排气背压。这个压力差就显示出脉冲转换器优于一般等压增压系统；与一般的脉冲增压系统比较，涡轮可能有较高的效率。图5是四个气缸的排气管通过脉冲转换器形成一个涡轮进口的示意图<sup>[13]</sup>。脉冲转换器不但可用于四冲程，亦可用于二冲程柴油机。对于

4、8、16缸的柴油机来说，用脉冲转换器的效果更为显著。图6是从AO型二冲程四缸试验机第3缸上测得的压力曲线<sup>[13]</sup>。从图中得知，用脉冲转换器后，排气中可利用的能量显著地增加。16PC2V型柴油机，过去用四只VTR320增压器，采用脉冲转换器后，只用二台VTR400<sup>[37]</sup>。用脉冲转换器后，由于涡轮的流通面积较小，所以柴油机可以配较小的增压器<sup>[13]</sup>。例如Mirrlees 8 KSS Major型四冲程柴油机，没有用脉冲转换器之前，配置一台VTR500增压器，在用脉冲转换器之

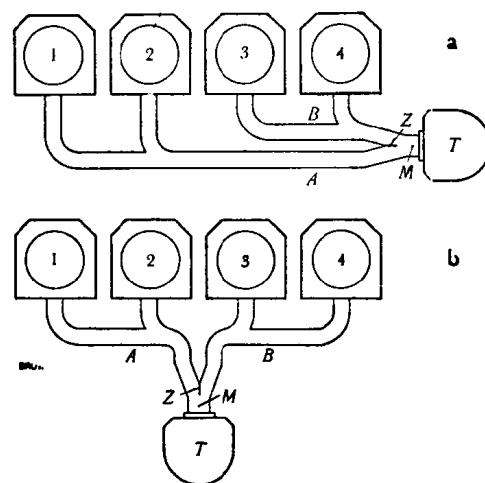


图5 脉冲转换器示意图

1、2、3、4—气缸编号 A、B—排气管 Z—脉冲转换器隔板 T—废气涡轮 M—混合管

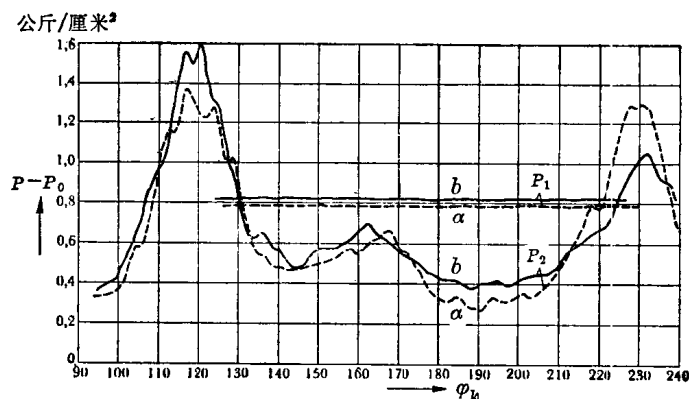


图6 AO试验机的压力曲线

α—无脉冲转换器 b—带脉冲转换器，其截面积为排气管的75% 发动机的转速450转/分，平均有效压力10.5公斤/厘米² P—绝对压力 P<sub>1</sub>—扫气压力 P<sub>0</sub>—大气压力 P<sub>2</sub>—气缸背压 φ<sub>k</sub>—曲拐转角

后，则改用VTR400增压器。

近几年来，随着柴油机的发展，废气涡轮增压器也有较大的提高。在体积不增大或增大很少的情况下，增压器的压比不断上升，气量不断增大。图7是BBC公司VTR630增压器在1946~1970年之间压比和风量的变化<sup>[38]</sup>。1946年的最大压比仅2.5，进行了两次改进，在外形尺寸不变的情况下，最大压比提高至3.5，风量也增加了85%。后来，为了提高涡轮效率，改进设计，发展了VTR631，使压气机的风量进一步扩大了25%<sup>[38]</sup>。目前，各国的大功率中速柴油机多采用VTR增