

舰用柴油机结构

WARSHIP DIESEL ENGINE CONSTRUCTION

刘向东 编

中国人民解放军海军工程学院

舰用柴油机结构
WARSHIP DIESEL
ENGINE CONSTRUCTION

刘向东 编

中国人民解放军海军工程学院

船用柴油机结构

*

刘向东 * 编

海军工程学院教材处 出版
海军工程学院印刷厂 印刷

*

787×1092毫米·1/16开本·20印张·487千字·4插图

95年12月第1版第1次印刷 印数1-2000册

院内统一书号 95205.14 定价 10.2元

海军工程学院图书馆

前 言

本教材是在黄言华副教授一九八五年编写的《舰用柴油机结构》的基础上改编的。结构框架与其第一篇基本相同,内容的改变约占 3/5 强。

本教材的主要特点是:

1. 突出阐述柴油机各部件结构中主要和本质的问题,以便学员掌握柴油机基本知识。在结构的论述中,以海军现役舰艇所使用的中、高速柴油机为典型,采用共性与个性相合的写法。突出共性,以培养学员的综合归纳能力,兼顾个性,以增强学员认识事物的特殊性和本质性的能力。

2. 本教材所选机型,高速柴油机以国产机 135、12V180 和 42-160,引进机以 MTU396 等柴油机为重点,中速机以国产 12VE230ZC、6E390、引进机 MTU956、PC2-5 等柴油机为重点,并兼顾低速大功率的二冲程柴油机,如 RTA58 型柴油机等。这样选用的柴油机面比较宽广,给学员认识舰用柴油打开了广阔的思路。

3. 本教材突出了新技术在柴油机上的使用,特别是电子技术、遥测与监控技术在柴油机上的应用,放在了较重要的位置。这给学员接受新生事物、学习现代科技开创了一个新的途径。

4. 本教材既论述了内燃机的发展简史,又阐明了新型内燃机的研制和发展方向,对于学员树立牢固的专业思想和激发学员的学习积极性有一定裨益。

5. 为促进学员英语学习,保持英语不断线,本教材的大小标题都采用了英文。

本教材主要适用舰艇机电管理专业的本科生学员使用,同时也可以作为其它专业的参考书。

本教材在编写过程中曾得到本教研室王昌一教授和结构强度教研组全体同志的支持和帮助,他们对教材的选材、编写、插图和指导思想,都提出了宝贵意见。最后由庄永华同志审阅,并对具体内容提出了非常好的修改意见,夏尚能等同志负责校对,特此致谢。

由于编者水平有限,许多新技术又缺乏资料,本教材的不足、缺点和错误也就在所难免,敬请读者批评指正为感。

编 者

1995 年 10 月

目 录

绪 论

- 一、柴油机在舰船中的应用 (1)
- 二、内燃机发展简史 (4)

第一章 柴油机工作原理

- 第一节 柴油机工作原理 (10)
 - 一、四冲程柴油机工作原理 (10)
 - 二、二冲程柴油机工作原理 (13)
 - 三、增压柴油机的工作特点 (15)

- 第二节 舰用柴油机分类 (16)
 - 一、按工作循环方法分 (16)
 - 二、按填充新鲜空气的方法分 (16)
 - 三、按曲柄连杆机构的结构型式分 (16)
 - 四、按气缸排列方法分 (16)
 - 五、按曲轴数目分 (16)
 - 六、按曲轴转速或活塞平均速度分 (17)

- 第三节 曲柄连杆机构受力简介 (18)

- 一、气体压力和惯性力 (18)
- 二、力在曲柄连杆机构上的传递 (20)

- 第四节 柴油机的主要参数 (20)

- 一、主要性能参数 (20)
- 二、主要结构参数 (23)

第二章 燃烧室组件

- 第一节 气 缸 (29)

- 一、气缸的结构 (29)
- 二、气缸的材料与热处理工艺 (33)

- 第二节 气缸盖 (34)

- 第三节 活塞组件 (38)

- 一、活塞本体 (39)
- 二、活塞环 (47)
- 三、活塞销 (53)

第三章 动力传递组件

- 第一节 连杆 (56)

- 一、单列式柴油机连杆 (56)
- 二、V型柴油机连杆 (62)

三、星型连杆	(64)
四、十字头式柴油机连杆	(65)
第二节 曲轴	(67)
一、曲轴的组成和基本构型	(67)
二、曲轴各组成部分的结构型式	(68)
三、曲柄的排列和发火次序	(71)
四、曲轴实例	(75)
五、飞轮与减振器	(76)
第三节 机体和主轴承	(79)
一、机体	(79)
二、主轴承	(83)
三、曲轴箱防爆安全装置	(86)
第四章 配气机构	
第一节 气门机构	(88)
一、气门	(89)
二、气门导管和气门座	(92)
三、气门弹簧及气门旋转器	(93)
第二节 凸轮及凸轮轴	(94)
一、凸轮的型线及其在凸轮轴上的排列	(94)
二、凸轮轴的结构及材料	(97)
三、凸轮轴实例	(98)
第三节 配气机构的传动装置	(100)
一、凸轮轴对气门机构的传动	(100)
二、曲轴对凸轮轴的传动	(103)
第五章 柴油机增压装置	
第一节 增压系统分类	(105)
一、机械增压系统	(105)
二、废气涡轮增压系统	(106)
三、复合式增压系统	(106)
第二节 机械增压系统	(107)
一、压气机	(107)
二、传动装置	(111)
三、机械增压系统实例	(112)
第三节 废气涡轮增压器	(116)
一、轴流式废气涡轮增压器	(116)
二、径流式废气涡轮增压器	(127)
第四节 空气冷却器和进排气消音器	(132)
一、空气冷却器	(132)
二、进气消音器	(133)

三、排气消音器	(134)
第六章 柴油机供油装置及燃油系统	
第一节 柴油机燃烧室	(137)
一、直喷式燃烧室	(137)
二、分隔式燃烧室	(37)
第二节 燃油喷射系统	(140)
一、喷油泵	(141)
二、喷油器	(151)
三、泵—喷油器	(154)
四、自动调喷器	(157)
五、电子控制喷射系统	(158)
第三节 燃油系统附件	(159)
一、燃油输送泵	(159)
二、柴油滤清器	(162)
第七章 调速器	
第一节 概述	(168)
一、调速器的功用	(168)
二、现代柴油机调速器的主要类型	(168)
三、机械离心式调速器的基本结构及工作原理	(169)
四、机械离心式调速器分类	(170)
第二节 调速器的主要性能参数	(170)
一、不均匀度和稳定调速率	(173)
二、不灵敏度	(176)
三、瞬时速速率	(177)
四、转速波动率	(177)
五、稳定时间	(177)
六、调速器的工作能力	(178)
第三节 机械离心式调速器	(178)
一、135型柴油机调速器	(178)
二、6—150柴油机调速器	(180)
三、4—105P型柴油机调速器	(180)
第四节 液压调速器	(182)
一、液压调速器的基本组成和工作原理	(183)
二、液力伺服器的结构类型	(186)
三、液压调速器的结构类型	(186)
第五节 电子调速器	(199)
一、电子调速器的基本组成	(200)
二、电子调速器的基本工作原理	(201)
三、电子调速器实例	(201)

第六节 飞车保护装置.....	(229)
一、用断油方法停车的飞车保护装置.....	(230)
二、用断气方法停车的飞车保护装置.....	(231)
第八章 起动装置	
第一节 电起动装置.....	(235)
一、惯性式传动装置.....	(235)
二、电磁式传动装置.....	(235)
三、带摩擦离合器的电磁式传动装置.....	(238)
第二节 压缩空气起动装置.....	(241)
一、起动装置概述.....	(242)
二、12VE230ZC 柴油机起动装置.....	(244)
第三节 039 潜艇电站用柴油机起动装置.....	(245)
一、压缩空气进入气缸起动柴油机.....	(245)
二、用空气马达起动柴油机.....	(246)
三、起动系统的主要部件.....	(247)
第四节 保证可靠起动的措施.....	(252)
一、冷却水预热.....	(253)
二、润滑油加热.....	(253)
三、进气加热.....	(254)
四、添加易燃燃料.....	(254)
五、减压起动.....	(255)
第九章 换向装置与操纵系统	
第一节 换向装置综述.....	(257)
一、不同转向时的凸轮相对位置.....	(257)
二、换向装置.....	(259)
第二节 换向装置和操纵系统实例.....	(263)
一、8—300 柴油机换向装置和操纵系统.....	(264)
二、12VE230ZC 柴油机换向装置及操纵系统.....	(269)
三、12VPC2—5 柴油机换向装置和操纵系统.....	(278)
第十章 润滑系统	
第一节 润滑的意义和方法.....	(283)
第二节 润滑系统的组成.....	(284)
一、135 型柴油机润滑系统.....	(285)
二、12VE230ZC 柴油机润滑系统.....	(285)
三、MTU16V396SE84 柴油机润滑系统.....	(286)
第三节 润滑系统的主要部件.....	(288)
一、机油泵.....	(288)
二、机油滤清器.....	(290)
三、自动信号和保护装置.....	(295)

第十一章 冷却系统

第一节 冷却的意义和方法.....	(297)
第二节 冷却系统的组成.....	(297)
一、开式冷却系统.....	(298)
二、闭式冷却系统.....	(298)
三、MTU16V396SE84 柴油机冷却系统.....	(299)
第三节 冷却系统的主要部件.....	(301)
一、水泵.....	(301)
二、冷却器.....	(306)
三、调温器.....	(308)
参考资料.....	(312)

绪 论 (Preface)

柴油机的发展已有百余年的历史。从德国工程师鲁道夫·狄赛尔(R·Diesel)在1892年获得柴油机的发明专利权以来,经历了一个世纪的发展,性能不断改进,工作的可靠性和寿命不断提高,现已达到相当完善的程度。因此,在国民经济建设和舰船上获得了广泛的应用。

一、柴油机在舰船中的应用(Diesel Engine Uses in Combatant Ship)

当前的舰船动力主要有两种类型:一是以核燃料为能源的核动力装置,一是以石油产品为能源的常规动力装置。而我国现阶段的海军舰船中,仍然以常规动力为主,其中又以柴油机动力装置居多。按照我国国民经济和科学技术发展的可能,根据我国海军舰船发展的需要以及舰船动力装置发展的趋势,在本世纪末和下世纪初,海军舰船动力仍然是以柴油机为重点,积极发展燃气轮机,改进并努力提高和相应发展现有的蒸汽动力和核动力,开展对新型动力装置的研究工作。

柴油机与其它常规动力机器(蒸汽轮机和燃气轮机)比较,其主要优点是:

1. 燃油消耗率低,经济性好,这是柴油机最突出的优点。燃气轮机中只有先进的机型,燃油消耗率才能接近中速柴油机的水平,如果与低速柴油机比较则相差甚远。对于蒸汽轮机来说,由于整个装置的效率较低,所以油耗较高,特别是中小功率范围内油耗更高。表0-1列出了它们的几项主要性能指标作对比。

表0-1 常规动力机的几项主要性能指标对比

项目	柴油机	蒸汽轮机	燃气轮机
单机功率(千瓦)	低速机可达40500 中速机可达23500 高速机可达5200~5900	一般为25743~33100 最大可达88200	大档 18400~36800 中档 7400~31000 小档 3700
燃油消耗率 (克/千瓦·小时)	低速机 177~190 中速机 190~204 高速机 204~218	一般为 286~313 少数 245~258 先进 214~218	一般 272~408 少数 231~258 先进 203~214
单位功率重量 (公斤/千瓦)	低速机 30~54 中速机 8.8~20 高速机 1.8~5.4	14~20	单机 0.27~0.82 整套装置 12.2~15
振动与噪音	差	良好	中等
故障率(次/1000小时)	1.3	0.85	1.2
起动性能	几秒钟	30~60分钟	1~3分钟

由上表可知,柴油机的耗油率是最低的,也就是说,柴油机的经济性是最好的。主要原因是柴油机的燃料是直接气缸中燃烧,其燃烧产物立即推动活塞膨胀作功,热损失少。其次是起动前和停车后,柴油机不需要消耗燃料。再则柴油机能燃用重油,降低了燃料费用,同时,燃油消耗率低,舰船的续航力增大,相对的经济性又得到提高。

2. 柴油机动力装置的机动性能好。柴油机起动方便,起动所需时间短,而且从起动到带全

负荷的过渡工况时间也很短,有较宽广的转速范围和负荷范围,能适用舰船航行的各种要求,并且操纵简便可靠。

3. 柴油机动力装置的尺寸较小,重量轻。柴油机的工质直接在气缸里燃烧做功,无需锅炉、冷凝器等大型设备和部件,减少了机舱设备所占的容积,减少了动力装置的重量,有利于舰船机舱的布置。

4. 柴油机可以设计成直接反转,倒车性能好,装置结构简单、工作可靠。

由于上述优点,柴油机在中小型军用和民用舰船中获得广泛的应用。当前在排水量 3000 吨以下的中、小型水面舰艇(如护卫舰、登陆舰、扫雷舰、猎潜艇、导弹艇和别的辅助舰艇)和常规潜艇,都普遍采用柴油机作为主动力装置。

柴油机的主要缺点是:

1. 柴油机的振动与噪声较大,这是它的最大缺点。柴油机在工作时,由于往复运动机件引起的振动往往不易消除,还存在扭转振动问题。燃烧与进排气噪声也很大,这对于军舰的隐蔽性是一大危害。现在可以采用减振降噪的措施来加以改进。

2. 柴油机气缸内气体压力的变化剧烈,并产生周期性的冲击和振动,使受力机件产生较大的机械应力和疲劳裂纹,甚至出现故障和破损。

3. 燃烧室组件直接受到高温高压燃气的作用,工作条件恶劣,机件受到热应力的作用,使强度下降,直接影响到柴油机的可靠性和寿命。

为此,在柴油机的选用,操纵管理与维护保养中,要做到扬长避短,充分利用和发挥柴油机的优点和长处,避免和克服它的缺点与不足,以保证柴油机在规定的条件下,可靠持续地工作。

柴油机在舰船上主要用作驱动螺旋桨的主机和发电机的副机。就作主机而言,柴油机在各类舰船中有不同的主动力装置结构形式,主要有下列各种型式:

1. 单机单轴动力装置(Single-Engine and Single-Shaft Power Device)

用一台柴油机通过传动轴系直接驱动螺旋桨的动力装置,如图 0-1 所示。柴油机(1)如果是可以正反转的,则离合器(2)只起离合作用,使柴油机能与轴系自由地结合和脱开;如果柴油机不能反转,则离合器(2)为一减速反转离合器,通过它的作用,在柴油机转向不变的情况下,使螺旋桨(4)实现正、反转;如果采用变距桨,则离合(2)可以省去不要。螺旋桨在柴油机的驱动下旋转,产生的推力经轴承(3)传给舰体,使舰船前进或后退。这种动力装置的特点是结构简单,推进效率高,操纵管理简便,易于实现操纵自动化。但致命的弱点是生命力差。如果动力装置一旦发生故障或战斗损坏,舰船将完全失去动力,进退不得,因此,该系统在民用船只应用最多。

2. 双机单轴或多机单轴动力装置(double-Engine and Single-Shaft or Mult-Engine and Single-Shaft Power Device)

用两台或两台以上柴油机通过减速并车装置共同传动一个螺旋桨,如图 0-2 所示。这种装置常用在中高速柴油机作主机的舰船上,以获得功率大、重量轻、体积小而且有较强的生命力的动力装置上。该系统的最突出特点就是多台柴油机中只要还有一台些柴油机能正常工作,在轴系工作正常的条件下,舰艇就不会失去动力,因此,其生命力明显强于单机单轴动力装置。

3. 双机双轴或多机多轴动力装置(Double-Engine and Double-Shaft or Mult-Engine and Mult-Shaft Power Device)

双机单轴和多机单轴虽然比单机单轴的生命力提高了,但是轴系的生命力是个薄弱环节,

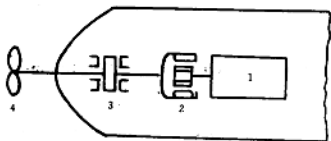


图 0-1 单机单轴动力装置简图

1. 柴油机; 2. 离合器; 3. 推力轴承; 4. 螺旋桨

一旦轴系机械(如支点轴承、推力轴承、离合器等)中任何一个部件出了故障,不能正常工作,都会造成舰船失去动力,因为这种状况出现时,虽然柴油机能发出功率,但螺旋桨得不到功率,就产生不了推力,于是舰船就失去了动力。为了提高轴系的生命力,就设计了双机双轴或多机多轴的动力装置,如图 0-3 所示。(a)图为双机双轴动力装置系统,(b)图为多机多轴动力装置系统。这种系统由于生命力高,所以常为军舰所采用。因这种轴系多装了一套以上的轴系,造价也就提高了,故民用船舶很少采用。

上述三种动力装置有一个共同特点,就是柴油机通过传动轴系直接驱动螺旋桨,所以又统称为直接传动的动力装置。

4. 间接传动(又称电力传动)动力装置 (Indirect Transmission (or Electron Power Transmission) Power Device)

这种动力装置,柴油机不直接传动螺旋桨,它的主要功用是驱动发电机发电,向带动螺旋桨的主电动机供电,或向蓄电池充电。螺旋桨由

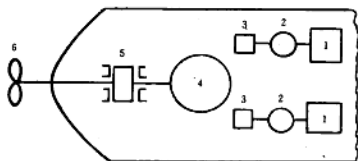


图 0-4 间接传动(电机驱动)动力装置简图

1. 柴油机; 2. 发电机; 3. 离合器;
4. 主电动机; 5. 推力轴承; 6. 螺旋桨

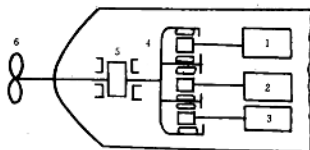
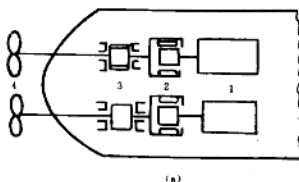
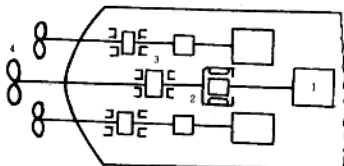


图 0-2 双机单轴或多机单轴动力装置简图

1~3. 柴油机; 4. 减速并车装置; 5. 推力轴承; 6. 螺旋桨



(a)



(b)

图 0-3 双机双轴或多机多轴动力装置简图

1. 柴油机; 2. 离合器; 3. 推力轴承; 4. 螺旋桨

主电动机来驱动(该电动机可以是交流电动机,也可以是直流电动机或交直流电动机串联),电动机可以由柴油发电机组直接供电,也可以由蓄电池组供电,也可以两者同时供电。

该传动系统的最大特点是柴油机只有一个转速、一种工况工作,从而可以充分发挥柴油机的效率,按最佳工作状态设计配置。而螺旋桨也可以按特性线选择最高效率区工作,采用低转速、大螺距螺旋桨,减小空泡噪声,

达到提高舰艇隐蔽性的目的,特别适合于潜艇动力装置,如我国海军“039”潜艇就采用这种传动装置。

二、内燃机的发展简史(The Developed Brief History of the Internal Combustion Engine)

(一) 柴油机的初期发展阶段

柴油机是内燃机的一种。世界上第一台商品内燃机在1860年由勒尼尔(Lenoir)制造成功。它在活塞冲程开始时(冲程上止点)吸入煤气和空气的混合物,然后电火花点燃燃烧,推动活塞到冲程终点,在活塞回行冲程中排出废气。该机的运转虽然较平稳,但一个明显的缺点是热效率只有4%左右。这主要是由于在大气压力状态下燃烧作功的结果。

为了提高内燃机的热效率,改善经济性,朴·底·罗卡斯(B·D·Rochas)在1862年提出了四冲程循环工作原理:1.在活塞外行冲程期间吸气;2.在活塞内行冲程期间压缩;3.压缩到活塞的上止点时点火,并在第三个冲程期间燃烧、膨胀作功;4.在第四个也就是最后一个回行冲程期间排出气缸中的废气。1876年奥图(Otto)按照朴·底·罗卡斯的四冲程原理创制出了“Otto 轻声”煤气机,由于热效率达到16%而得到当时的普遍采用。

柴油机的鼻祖鲁道夫·狄塞尔(Rudolf Diesel)博士在1892年提出了压缩发火而不用电火花点火的发动机并获得了专利,该机内的空气被压缩到远远超过燃油的着火温度时,燃油从上止点开始逐渐喷入,活塞开始外行冲程时着火燃烧,随着燃烧的进行,活塞也离开上止点,气缸容积逐渐扩大,所以燃烧可以在压力和温度无显著升高的情况下进行。狄塞尔原设想制造一个很长的膨胀冲程来利用燃烧的热量而不需要进一步冷却的发动机,但此尝试未获成功(缸内空气企图压缩到103.4巴=10.34兆帕)。1895年他研制的第三台发动机,按四冲程循环原理工作,压缩压力达到31巴=3.1兆帕,水冷,燃油由高压空气喷射,这样就解决了发动机的热负荷和燃油喷散雾化的问题,使该机的热效率达到24%,远远超过了当时所有的发动机,与现在的发动机很相近了。从此,柴油机就以它的全新面貌走向世界,为当时欧洲的工业革命增辉添彩,为世界所瞩目。

以上所述,就是柴油机的初期发展阶段。

柴油机出现后,德国、瑞典、丹麦、瑞士等国相继获得生产柴油机的专利权。由于当时航运事业发展的需要,很多人都想将柴油机用于船舶动力。到1903年,瑞典诺贝尔兄弟(Nobel brother)石油公司在俄国建造的油船“万达尔”号首先装上柴油机作为动力试航成功,开创了航运史上的先例。该船上安装了瑞典公司制造的二台四冲程箱式柴油机,每台柴油机的功率为88.3千瓦,转速为240转/分。当时柴油机用于船上的主要技术难题是倒车,因为那时柴油机不能反转。“万达尔”号采用的方法是,螺旋桨用电动机驱动,柴油机驱动直流发电机向电动机供电,利用直流电动机的变速来实现航船的变速,所以这种动力装置操纵灵活方便,换向容易。它的致命弱点是能量损耗大,重量大,部件多。人们经过不断奋斗与实践,终于在1905年瑞士的苏尔寿公司建造了世界上第一台直接反转的二冲程柴油机,该机的缸径为175毫米,活塞行程为250毫米,功率为66.2千瓦,转速为375转/分。到1907年,俄国的考洛姆娜工厂建造了一艘具有推进轮的拖船“美里斯”号,并采用变向离合器换向,通过空气系统来操纵,柴油机的功率达到221千瓦,为航运史上又添了一位新成员。

(二) 废气涡轮增压和机力喷射技术在柴油机上的应用

柴油机发展到这种地步,技术已达到相当水平,热效率也达到当时热机中的最高水平了。

但是事物总是不断发展的,永远不会停留在一个水平上。在对柴油机工作原理作进一步研究后发现柴油机的功率和经济性还可以进一步提高。1911~1914年瑞士人波希(Bosch)首先完成废气涡轮增压试验,并于1925年成功地安装在德国曼恩(MAN)公司的四冲程机上,结果使该机的功率提高了50%以上,而重量只增加了3%~20%。1951年丹麦的B&W公司最早在二冲程机上采用废气涡轮增压,使该机的功率提高了35%,燃油消耗率下降了13.6克/千瓦·小时。废气涡轮增压的采用,为提高柴油机的功率和经济性找到了一条十分有效的新途径。

原先采用的柴油机气力喷射系统要带动一个沉重的空气压缩机,不仅增加了装置的重置,还要消耗很大一部份功率。到1910年前后,英国首先在小缸径柴油机上开始使用机力喷射燃油的方法,这种方法就是今天采用的高压喷油泵将燃油直接喷入燃烧室中去,提高了喷射压力,改善了燃油的喷散雾化质量,使柴油机的燃烧获得了改善,进一步提高了柴油机的功率和经济性。

(三) 现代大功率柴油机及其发展动向

由于海军舰船发展和民用航运事业的迅速进步,对大功率柴油机的需求越来越高。以海军为例,从世界各国对中小型水面舰艇(主要指4000吨级以下的舰艇)动力装置的选型来看,柴油机、燃气轮机及它们的联合动力装置在逐年增加,而蒸汽动力装置却在逐年减少,而且大部分都是70年代中期以前建造的,以后建造的数量不多,如表0-2与0-3所示。

表0-2 4000吨~1800吨级的护卫舰和轻型护卫舰(单位:艘)

动力形式 建造年代	柴油机	蒸汽机	燃气轮机
60~64	28	33	65
65~69	21	50	77
70~74	35	53	82
75~79	49	5	93
80~84	66	4	158
共计	199	145	475

表0-3 89个国家1800吨级以下水面舰艇动力装置选型统计

总计	舰艇总数		动力形式				
	水翼艇气垫船	快艇	全燃	柴燃	全柴	汽油机	蒸汽机
3030	241	2789	35	175	2789	27	4
占总数的百分比	7.95	92.05	1.56	5.78	92.05	0.89	0.13

由上表可以看出,在中小型舰艇动力装置的选型中,主要是选择柴油机、燃气轮机或柴燃联合动力装置。

舰船用大功率柴油机近年来发展很快,在功率、经济性、可靠性和寿命等方面都达到了较高水平。

低速二冲程大功率船用柴油机是民用运输船舶的主要推进动力,我海军运输补给船也有使用的,其单缸最大功率可达到1000~5500千瓦,最大单机功率可达到10000~55000千瓦。

提高功率的主要途径是靠改变增压技术。有的机型采用压比3.5的增压器,一级增压的平

均有效压力 P 。就达 1.5 兆帕,近年来研制成功了二级增压机型,在脉冲级之后加装定压级,使之在热负荷和机械负荷不变的情况下 P 。达到 1.54 兆帕的水平,使强化系数由 80 提高到 100 以上。由于高增压的研制成功,使热效率提高到 43% 左右,燃油消耗率降低到 204 克/千瓦·小时以下。

低速大功率柴油机现在普遍燃用重油,大大降低了燃料费用。它的热能综合利用程度是当前最高的,机油消耗率也是最低的,达到 1.09 克/千瓦·小时。

低速大功率柴油机可靠性最高、寿命长,其最高寿命可达 80000~100000 小时。

1. 低速大功率柴油机的发展趋势

(1) 继续改进增压技术提高功率。依靠增大缸径,研制超大缸径型来提高功率的趋势已处于停顿状态。

(2) 研制低速长行程的主机。为了进一步提高推进效率,改进主机与螺旋桨的配合而研制了长行程低速主机。例如 B&W 公司的 K-GF 系列柴油机发展成为 L-GF 系列柴油机时,行程加长 22%,转速降低 18%,使推效率提高了 5%。

(3) 提高经济性。进一步改进扫气增压系统、燃油喷射与燃烧系统,进一步综合利用热能,使废热充分地回收,以便进一步降低燃油消耗率,朝着 190 克/千瓦·小时的方向努力。

2. 中速大功率柴油机的发展趋势

近十几年来发展最快的要算中速大功率柴油机了,以四冲程高增压柴油机占绝大多数。与低速机相比,中速机的重量轻,相同功率条件下,重量仅是低速机的 25%,体积小,仅为低速机的 50%;而寿命和经济性已与低速机很接近;如果选配适当的减速器也可以获得较高的推进效率,所以是中小型舰艇选择的主要机型。目前第三代开发的中速机,其单缸功率已达到 1500~1800 千瓦。通过适当的气缸排列,单机功率可达到 18400~44100 千瓦,可以与低速机、汽轮机相匹敌了。

中速机的经济性也提高很快,大部分中速机都能燃用重油,且燃油消耗率仅达 204 克/千瓦·小时,个别可达 197 克/千瓦·小时;热效率保持在 39.5~42.5% 之间,个别高达 43%,与低速柴油机几乎接近。

中速大功率柴油机的寿命也是比较长的,有些机型的使用寿命已接近低速机。中速大功率柴油机今后发展的趋势是:

(1) 主要发展四冲程机,因为二冲程的热负荷较大。

(2) 提高功率的途径主要靠增大缸径和提高平均有效压力。目前中速机的最大缸径已达到 650 毫米,再继续增大的可能性较少,主要需解决热负荷问题。提高平均有效压力的主要措施是靠改进增压技术。当前 P 。已达到 2.1 兆帕,两级增压可达到 2.55 兆帕。

(3) 为了延长中速机的工作寿命,活塞的平均速度不能太高,应基本保持在 8~9.4 米/秒之间。

(4) 采用低压缩比的两级增压技术,可以保证在 P 。不变的条件下提高功率,而热负荷比非两级增压还低。

(5) 采用行星齿轮减速器,使螺旋桨的转速降低,以得到较高的推进效率。

3. 高速大功率柴油机的发展趋势

高速大功率柴油机一直是我海军重点发展的机型,因为中小型舰艇受到体积重量的限制,只能选用高速大功率柴油机作为动力源。

由于轻型高速大功率柴油机的缸径小、缸数多,具有X型星型等排列型式,结构复杂,制造、安装、维修都不方便,且造价昂贵,所以难于向民用推广;现在未见有新的发展。但是通用型高速大功率柴油机的开发却成绩斐然。像世界著名的PA和MTU公司推出的各种高速大功率柴油机,都是寿命长、功率大、经济性好的机型。现代高速大功率柴油机的共同特点是:

(1) 通用性强。它们不仅可以用于快艇、巡逻艇、护卫舰、小型军舰,而且能用于机车、陆用电站,还可以用于潜艇及核动力舰船的应急推进动力等,从而有广阔的发展前途。

(2) 结构简单。一般采用V型排列结构,为保证机身与曲轴的刚度,其气缸数不超过20缸。这样也便于维修保养。

(3) 功率大,单位功率重量轻。当前单机功率已达到2000~4000千瓦,少数高速柴油机已达到6000千瓦(如AGO16V-240型和PA6-280型柴油机)以上,个别的已达10000千瓦。

高速大功率的发展趋势:

(1) 主要开发四冲程机,二冲程机极少。主要原因是二冲程机的热负荷大,热效率较低。

(2) 结构型式上以简单的V型机为主,未见研制星型等复杂结构的机型。

(3) 提高功率的途径多用适当增大缸径和行程而不过多地增加气缸数。

(4) 提高平均有效压力的途径是提高增压度。目前一级增压可使 P_c 达到2.0兆帕,如果采用低压缩比的二级增压技术, P_c 可提高到3.0兆帕。

(5) 注重提高可靠性和使用寿命,而不是过度追求轻的比重量。因为可靠性和寿命直接影响到舰艇的战斗力和企业厂家的生产,是普遍关注的问题,有的甚至采取降低功率的办法来提高使用寿命,如MA16V956柴油机, $N_e=4410$ 千瓦时使用寿命为6000小时;将功率降到 $N_e=2400\sim 2620$ 千瓦时,使用寿命提高到9000小时。

(6) 注意提高经济性。由于各种措施的综合运用,高增压的高速大功率柴油机的热效率已达到40%,耗油率已降低到204~231.2克/千瓦·小时。

综上所述,大功率柴油机的研制与开发已经进入了一个新阶段,其发展趋势,将朝着大功率、高经济性、长寿命方向发展,结构上趋于简单、紧凑,便于维护保养和操作使用。但是,还存在许多问题有待进一步研究解决:

(1) 进一步完善增压技术

从瑞士的波希开创柴油机的增压技术到现在,历经80余年的艰辛发展,其技术已日臻完善,柴油机的功率和效率都因增压技术而获益匪浅。但是,随着高增压和超高增压技术的使用,许多新的问题又突出起来有待研究解决,其主要方面有:

① 研究控制机械负荷和热负荷的措施。

随着增压度的提高,柴油机的机械负荷和热负荷相应增加,给柴油机的继续强化设置了障碍。在高增压柴油机中,最高爆发压力 P_c 过高会严重影响柴油机的可靠性和寿命,为此应采取适当措施:

降低压缩比,虽然可以有效降低 P_c 值,但又会引起柴油机的起动困难,因此又应在进排气系统中采取补救措施以保证柴油机的起动性能。

采用可变压比活塞,这种活塞的压缩比可以随负荷的改变而自动调节。这种活塞有内外两个活塞体,两者之间有储油室,室内机油的压力与柴油机的负荷相对应,负荷越高,压力就越大,当室内油压超过规定时就会自动放掉一部分油而使内活塞体向增大燃烧容积方向移动,从而改变压缩比,使 P_c 值控制在允许的范围之内。但该装置制造要求高,其可靠性和耐用性还有

待解决。

采用两级喷射系统以控制 P_c 值,还可以采用改变凸轮型线、电子控制喷射装置和变容积、变喉口预燃室等措施,都有降低爆压的效果。

还可以采用改变进排气的正时规律,例如采用进气门在下止点前关闭的米勒方式、两次排气等措施。这些措施对降低 P_c 值都有不同程度的效果,但还有许多问题待进一步研究解决。

随着增压度的提高,燃烧室零部件的热流强度增大,热负荷增高。热负荷是一个非常复杂的问题,要从结构设计、改善增压扫气系统、改善燃烧过程、选择合理的总过量空气系数等多方面采取有效措施。

② 研制适应高增压需要的高压比、大流量、高效率的增压器。目前高增压的压比已达到 3.5~4,最高综合效率已达到 0.63~0.75。

③ 研究在高增压条件下,能量利用与能量转换的规律及其装置。

④ 研究高增压后,如何改善柴油机的低负荷性能和起动性能。

(2) 改进燃烧及燃烧室的研究。

有效的组织燃烧可以改善柴油机的技术性能和经济性能,研究适应高增压燃烧系统对降低热负荷、机械负荷、减少噪声与振动、减少排气污染都是有效的。

(3) 研究适应高强度要求的结构。

重点是对承受机械负荷与热负荷较大的燃烧室组件和传递动力组件的研究,它们对保证柴油机工作的可靠性和耐久性起着决定性的作用。比如当前设计的对受热部件进行强背式钻孔冷却的结构很有效益。

(4) 加强对减少排气污染、减少振动噪声的研究。

(5) 研究柴油机的自动控制、自动监护及远距离监控等。

(6) 新型内燃机的研制,仍然是方兴未艾,如:

① 对绝热陶瓷发动机的研究,正出现新的热潮;

② 对旋转活塞式发动机的研制与应用正在取得新的成果;

③ 智能型柴油机的研究已经取得重大成果;

④ 斯特林发动机的开发与应用正在取得新的进展;

⑤ 斜盘发动机和其它新型发动机还在不断涌现。