

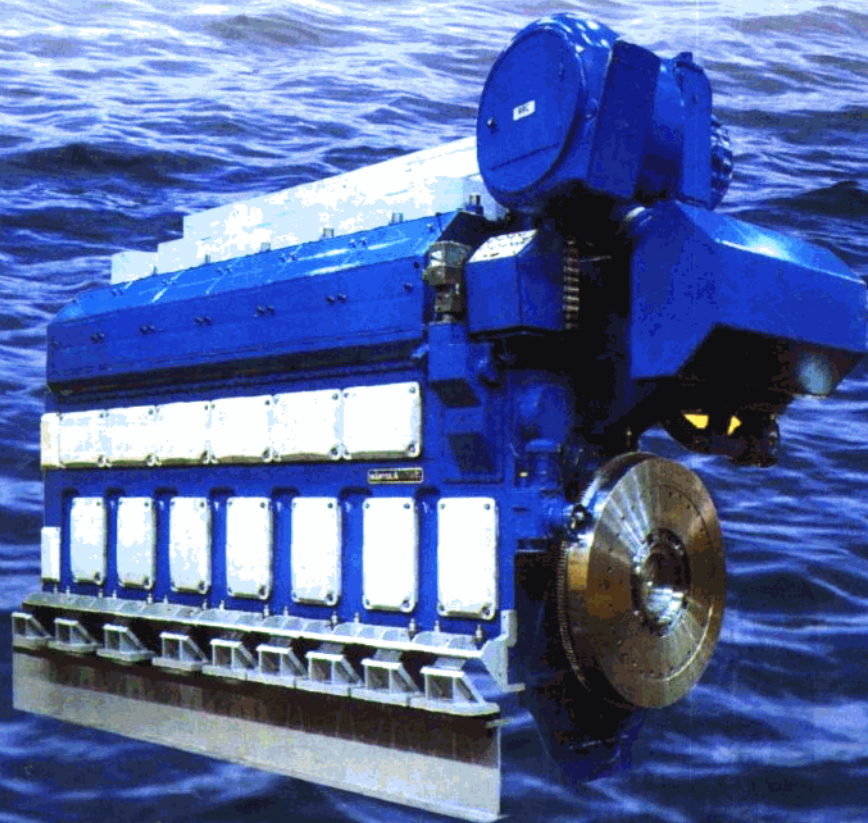


高等学校统编教材

符合 STCW 公约要求
航海类专业教学指导委员会推荐
交通部科技教育司审定
中华人民共和国海事局认可

船舶柴油机

钱耀南 主编



大连海事大学出版社

11554 121

高等学校统编教材

船舶柴油机

钱耀南 主编

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

船舶柴油机/钱耀南主编. —大连:大连海事大学出版社,1998
高等学校统编教材
ISBN 7-5632-1237-X

I. 船… II. 钱… III. 船用柴油机-高等学校-教材 IV. U664.121

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 26714 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4684394)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1999 年 1 月第 1 版 1999 年 1 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:19.25

字数:480 千 印数:1~4000 册

责任编辑:程策群 封面设计:王 艳

责任校对:由 人 版式设计:王瑞国

定价:29.00 元

内容提要

本书以中、低速船舶柴油机为典型,系统地阐述船舶柴油机的结构、工作原理、维护管理以及振动与平衡的基本概念。

本书主要作为水运院校轮机管理专业的教材,也可供轮机管理人员及从事船机修造的工程技术人员参考。

前 言

本书是根据全国高校航海类专业教学指导委员会 1995 年制定的“轮机管理专业四年制本科指导性教学计划”的要求和 1996 年审定的“船舶柴油机教材大纲”，并结合交通部各水运院校多年的教学经验编写的。

本教材以中、低速船舶柴油机为典型，系统地阐述船舶柴油机的结构、工作原理、维护管理以及振动与平衡的基本概念。使学生具备对船舶柴油机进行维护管理、保养、改进、分析故障和调整的能力。

本书内容力求贯彻理论联系实际、循序渐进和少而精的原则，并能反映出国内外最新的动向和水平。

本书主要作为水运院校轮机管理专业的教材，也可供轮机管理人员及从事船舶修造的工程技术人员参考。

本书由武汉交通科技大学钱耀南教授主编，大连海事大学郑克钊教授主审。参加编写工作的有大连海事大学杜荣铭教授、上海海运学院付克阳副教授和集美航海学院黄少竹副教授。全书共十二章，第一、二、三、六、八章由钱耀南编写；第七、十、十二章由杜荣铭编写；第五、十一章由付克阳编写；第四、九章由黄少竹编写。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

1998 年 7 月

目 录

第一章 船舶柴油机概述	(1)
第一节 柴油机的基本工作原理.....	(1)
第二节 船舶柴油机的分类和总体结构.....	(4)
第三节 船舶柴油机的主要技术指标.....	(7)
第二章 主要运动机件	(11)
第一节 活塞组	(11)
第二节 十字头组	(21)
第三节 连杆组	(24)
第四节 曲轴组	(29)
第五节 故障与维护管理	(34)
第三章 主要固定机件	(39)
第一节 机体、机座、轴承与贯穿螺栓	(39)
第二节 气缸套	(48)
第三节 气缸盖	(51)
第四节 故障与维护管理	(55)
第四章 换气和增压	(59)
第一节 柴油机换气过程	(59)
第二节 换气机构	(63)
第三节 废气涡轮增压系统和涡轮增压器	(72)
第四节 增压系统的故障与维护管理	(91)
第五章 燃油喷射与燃烧	(101)
第一节 燃油与燃油添加剂.....	(101)
第二节 燃油的喷射.....	(110)
第三节 喷油泵及喷油器.....	(115)
第四节 混合气的形成和燃烧.....	(124)
第五节 故障与维护管理.....	(135)
第六章 润滑和冷却	(142)
第一节 润滑油与滑油添加剂.....	(142)
第二节 气缸润滑.....	(147)
第三节 轴承润滑.....	(154)
第四节 冷却系统.....	(158)
第五节 故障与维护管理.....	(160)

第七章 柴油机的调速和操纵	(164)
第一节 起动装置.....	(164)
第二节 换向装置.....	(171)
第三节 调速和调速器.....	(175)
第四节 电子调速器.....	(187)
第五节 调速器的故障与管理.....	(190)
第六节 柴油机的操纵系统.....	(192)
第八章 柴油机工作循环和主要性能指标	(199)
第一节 柴油机的工作循环.....	(199)
第二节 柴油机的主要性能指标.....	(210)
第三节 提高柴油机功率和经济性的措施.....	(213)
第四节 柴油机的热平衡.....	(214)
第九章 柴油机的特性	(217)
第一节 概述.....	(217)
第二节 速度特性.....	(218)
第三节 推进特性.....	(219)
第四节 负荷特性.....	(223)
第五节 调速特性.....	(224)
第六节 柴油机的允许使用范围.....	(225)
第十章 测量与监控	(234)
第一节 示功图的测录.....	(234)
第二节 柴油机运转参数和性能参数的测量.....	(243)
第三节 柴油机的监控.....	(248)
第十一章 柴油机的振动与平衡	(253)
第一节 柴油机动力学.....	(253)
第二节 柴油机平衡.....	(259)
第三节 轴系扭转振动和减振.....	(267)
第四节 轴系纵向振动和减振.....	(275)
第十二章 柴油机运转时的应急处理	(282)
第一节 封缸运行.....	(282)
第二节 停增压器运转.....	(283)
第三节 拉缸.....	(284)
第四节 敲缸.....	(285)
第五节 扫气箱着火.....	(286)
第六节 曲轴箱爆炸.....	(288)
第七节 烟囱冒火.....	(290)
第八节 连杆螺栓断裂.....	(291)
第九节 紧急刹车.....	(293)

第一章 船舶柴油机概述

第一节 柴油机的基本工作原理

柴油机是以柴油作燃料的压燃式内燃机。工作时,空气在气缸内被压缩而产生高温,使喷入的柴油自行着火燃烧,产生高温、高压的燃气,燃气进而膨胀做功,将热能转变为机械功。柴油机的工作循环由进气、压缩、喷油着火燃烧、膨胀做功和排气等过程组成。这些过程可以由四冲程柴油机来实现,也可由二冲程柴油机来实现。

一、四冲程柴油机(非增压)的工作原理

图 1-1 所示是四冲程柴油机的基本结构图。工作时活塞作往复直线运动,曲轴作旋转运动。活塞改变运动方向的瞬时位置称止点(死点),止点处的活塞瞬时运动速度为零。离曲轴中心最远时的止点称上止点,最近时的止点称下止点。

曲柄销中心与主轴颈中心之间的距离称曲柄半径 R 。连杆大、小端中心间的距离称连杆长度 L 。

上、下止点间的距离称活塞行程(冲程) S 。活塞行程等于曲柄半径的两倍,即 $S = 2R$ 。

活塞在上、下止点间移动所扫过的容积称气缸工作容积 V_s 。

$$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot S \quad (1-1)$$

式中, D 为气缸直径(缸径)。

活塞位于上止点时活塞顶与气缸盖之间的气缸容积,称燃烧室容积(压缩室容积) V_c 。

气缸总容积与燃烧室容积之比称压缩比 ϵ 。

$$\epsilon = \frac{V_u}{V_c} = \frac{V_s + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} \quad (1-2)$$

用四个行程(曲轴回转两转)完成一个工作循环的柴油机称四冲程柴油机。

图 1-2 是四冲程柴油机的工作原理简图。图的上部表示四个行程中活塞、连杆、曲轴及气阀的相对位置。图的下部表示相对应的气缸内气体压力随气缸容积的变化情况,称 $p-V$ 示功图。

1. 进气行程

活塞从上止点下行,进气阀打开。由于活塞下行的抽吸作用,新鲜空气充入气缸。为了能充入更多的空气,进气阀一般在上止点前提前开启(曲柄位于点 1),在下止点后延迟关闭(曲柄位于点 2),进气阀开启的延续角度(图中阴影线部分)约为 $220^\circ \sim 250^\circ$ 。

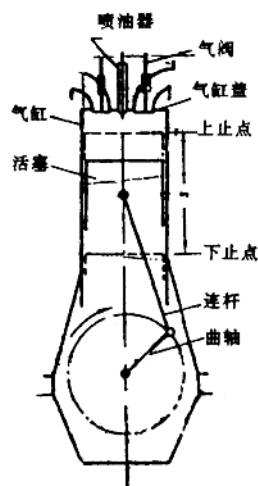


图 1-1 柴油机的基本结构图

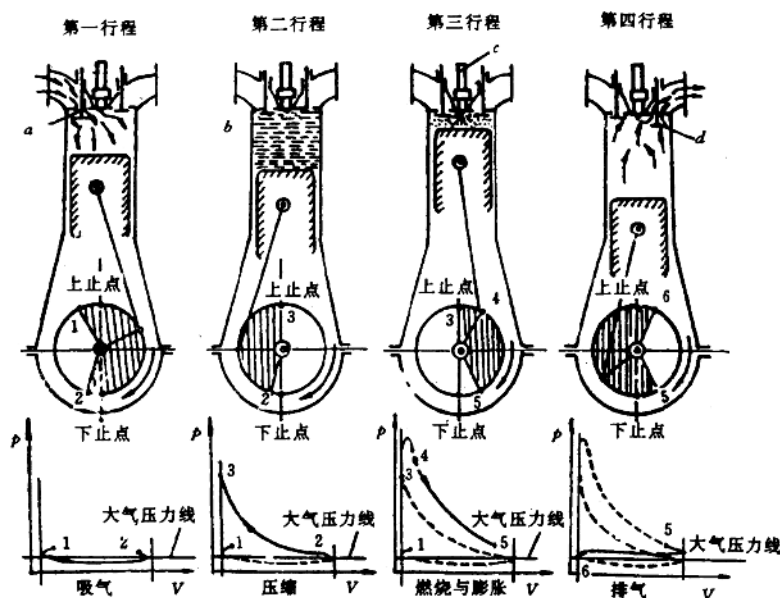


图 1-2 四冲程柴油机工作原理图

2. 压缩行程

活塞从下止点上行,进、排气阀均关闭。上行的活塞对缸内的空气进行压缩,使其温度和压力均不断升高(曲线 2-3)。压缩终点的压力 p_c 约为 $3 \sim 6\text{MPa}$; 温度 t_c 约为 $500 \sim 700^\circ\text{C}$ 。

在上止点(压缩终点)附近,燃油经喷油器以雾化的状态喷入燃烧室,并在高温高压空气的作用下,开始自行发火燃烧。

3. 膨胀行程

活塞由上止点向下运动,进、排气阀均关闭。在此行程的初期,燃烧仍在继续猛烈地进行,使缸内的压力和温度都急剧升高,其最大值分别可达 6MPa 和 $1500 \sim 2000^\circ\text{C}$ 左右。在高温高压燃气的作用下,活塞向下运动作功,在上止点后某一时刻(图中点 4),燃烧基本结束,但高温高压燃气继续膨胀作功推动活塞下行。当活塞到达下止点前某一时刻(图中点 5),排气阀开启,排气过程开始。此时,气缸内的压力 p_e 约为 $0.3 \sim 0.6\text{MPa}$, 温度 t_e 约为 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ 。活塞则继续下行到下止点。

4. 排气行程

活塞由下止点向上运动,排气阀继续开启着,上行的活塞将气缸内的废气强行推挤出去。为了实现充分排气和减少排气过程中所消耗的功,排气阀不但在下止点前提前开启,而且要在排气行程结束的上止点后关闭(图中点 6)。排气阀开启的延续角度(5-6)约为 $230^\circ \sim 260^\circ$ 。

综上所述,在四冲程柴油机中,要经历进气、压缩、膨胀、排气等四个行程才完成一个工作循环;与此相应的是曲轴回转两转,即 720° 曲轴转角。而且,在四个行程中,只有膨胀行程才作功,其余三个行程都要消耗功。因此,在单缸柴油机中,必须有一个足够大的飞轮来供给这三个行程所需的能量;而在多缸柴油机中,则借助于其他气缸膨胀作功过程来供给。

此外,柴油机由停车状态进入工作状态,必须借助外源能量的驱动使其起动运转,直至喷入气缸的燃油自发火燃烧,柴油机才能自行运转。

二、二冲程柴油机的基本工作原理

用两个行程(曲轴回转一转)完成一个工作循环的柴油机称二冲程柴油机。

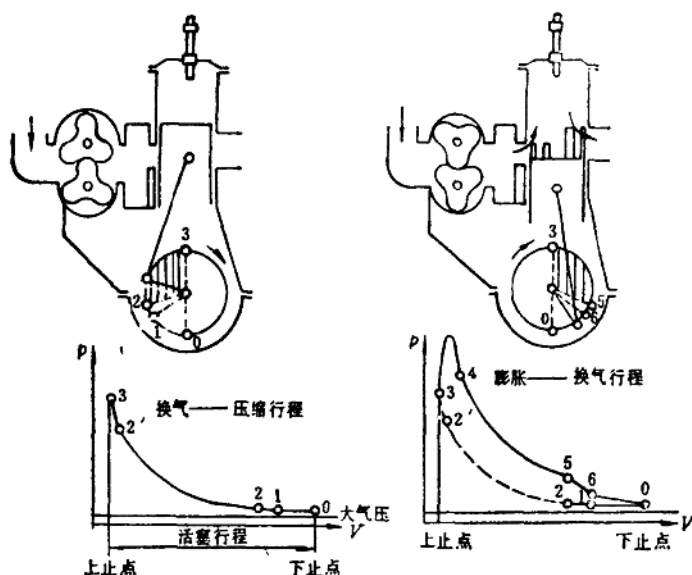


图 1-3 二冲程柴油机工作原理图

二冲程柴油机与四冲程柴油机不同,其气缸上设有气口,图 1-3 中气缸右侧为排气口,左侧为进气口。排气口比进气口略高,气口的开关均由活塞控制。此外,二冲程柴油机设有扫气泵。扫气泵预先将空气压缩并送入扫气箱中,扫气箱中的空气压力(扫气压力)要比大气压力稍高。

1. 换气—压缩行程

活塞由下止点向上运动。在活塞遮住进气口之前,新鲜空气通过进气口继续充入气缸并将气缸内的废气经排气口驱除出去。当活塞上行到将进气口全部遮闭时(点 1),新鲜空气就停止进入气缸。当排气口被活塞遮闭后(点 2),气缸内的空气就被上行的活塞压缩,压力和温度亦随之升高。在活塞到达上止点前的某一时刻(点 2'),柴油经喷油器喷入气缸,并与高温高压空气混合后着火燃烧。

在这一行程中,进行了换气(曲线 0-1-2)、压缩(曲线 2-3)和喷油着火燃烧诸过程。

2. 膨胀—换气行程

活塞由上止点向下运动。在此行程的初期,燃烧仍在继续猛烈地进行,到点 4 才基本结束。高温高压的燃气膨胀推动活塞下行做功。当活塞下行将排气口打开时(点 5),由于此时缸内的燃气的压力和温度仍较高,分别为 $0.25 \sim 0.6 \text{ MPa}$ 和 $600 \sim 800^\circ\text{C}$, 因而气缸内燃气借助于气缸内外的压差经排气口高速排出,缸内的压力也随之下降。当缸内压力下降到接近扫气压力时,下行的活塞将进气口打开,新鲜空气便通过进气口充入气缸,并对气缸内进行扫气,将气缸内的废气经排气口驱除出去。这个过程一直要延续到下一个循环活塞再次上行将进气口关闭

时为止,称为扫气过程。

在这一行程中,进行了燃烧与膨胀(曲线3-4-5)、排气(曲线5-6)和部分扫气(曲线6-0)过程。

由此可见,与四冲程柴油机相比,二冲程柴油机是将进气和排气过程合并到压缩与膨胀行程中进行,从而省略两个行程。因此,二冲程柴油机在曲轴回转一转中就可以完成一个工作循环。在气缸直径、活塞行程与转速相同的条件下,二冲程柴油机的功率似乎应为四冲程柴油机的2倍;但实际上,由于二冲程柴油机的气口使其有效行程减少等原因,其功率约为四冲程柴油机的1.6~1.8倍。

三、增压柴油机的基本工作原理

提高柴油机的进气压力,可使进气的密度增加,从而达到在同样的气缸容积中充进更多的空气量,以便喷入更多的燃油,作出更多的功来。这种用提高进气压力来提高柴油机功率的方法称为“增压”。

预先对新鲜空气进行压缩的压气机,有直接由柴油机的曲轴通过齿轮等机械驱动的方式,这种增压方式称机械增压;也有用柴油机气缸排出的废气的能量在涡轮机中膨胀作功,由涡轮机来驱动的方式,称废气涡轮增压。

图1-4是废气涡轮增压四冲程柴油机的工作简图。废气涡轮增压器由废气涡轮机8和与其同轴的离心式压气机2等组成。柴油机气缸排出的废气经排气管6进入涡轮机8,在其中膨胀作功推动涡轮机转动,并带动压气机2工作。被压缩后的新鲜空气经进气管3送往柴油机的各个气缸。

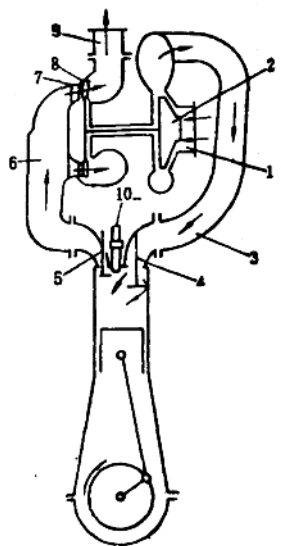


图1-4 废气涡轮增压四冲程柴油机工作简图

1、3-进气管;2-压气机;4-进气门;5-排气门;6、9-排气管;7、8-涡轮机

二冲程废气涡轮增压柴油机的工作原理和四冲程基本相同,所不同的是在二冲程柴油机中,增压空气是先供入扫气箱中,然后经扫气口进入气缸;此外,由于废气涡轮和压气机需能量平衡的原因,二冲程柴油机的废气涡轮增压系统中往往设有辅助压气机。

目前,船舶柴油机几乎全部都采用了废气涡轮增压。

第二节 船舶柴油机的分类和总体结构

柴油机自1897年问世以来,经过一个世纪的发展,其技术已经取得了很大进步并更趋完善,在动力机械中已占据极为重要的地位。在船舶动力中也占统治地位。目前,在所有的内河及沿海中、小型船舶中,都采用柴油机作为主机和辅机;在远洋民用船舶中,在2000t以上的船舶中,以柴油机作为主机的船舶占总艘数的98%以上,占总功率的96%以上。

柴油机能在动力机械以及船舶动力装置中占据极为重要的地位,是因为它具有许多优越的条件。与其它热机相比,它具有如下优点:

(1) 热效率高。大型低速柴油机的有效效率已达到50%~53%,远远高于其它热机;而且

柴油机在全工况范围内的热效率都较其它热机高。热效率高,也就是燃料消耗量小;柴油机又能燃用重油,甚至劣质燃油;而且柴油机在停车状态时不需要消耗燃料。故燃料费用低,船舶的续航力大。

(2) 功率范围大。柴油机的单机功率自 1 至 68 000kW,因此其适应的领域宽广。

(3) 机动性好。正常启动只需 3 ~ 5s,并能很快达到全负荷。有宽广的转速和负荷范围,能适应船舶航行的各种要求,而且操作简便。

(4) 尺寸小,重量轻。柴油机不需要锅炉等大型附属设备,使柴油机动力装置的尺寸小、重量轻,特别适合于在交通运输等动力装置中应用。

(5) 可直接反转。柴油机可设计成直接反转的换向柴油机,而且倒车性能好,使装置结构简单。

由于柴油机的应用广泛,因此,为满足各种不同的使用要求,柴油机的类型也就多种多样。根据柴油机的各种不同特点以及不同的分类方法,船舶柴油机大体上有以下类型:

(1) 按工作循环分类 有四冲程柴油机和二冲程柴油机。

(2) 按进气方式分类 有增压柴油机和非增压柴油机。

(3) 按曲轴转速分类 有高速、中速和低速柴油机。

高速柴油机: $n > 1000\text{r/min}$; 中速柴油机: $n = 300 \sim 1\,000\text{r/min}$;

低速柴油机: $n < 300\text{r/min}$

(4) 按柴油机结构特点分类 有筒状活塞和十字头式柴油机;有单列气缸和多列气缸式柴油机。

图 1-5 是筒状活塞和十字头式柴油机的构造示意图。筒状活塞式柴油机的活塞直接与连杆连接,活塞往复运动的导向作用和工作过程中所产生的侧压力都是由活塞本身承担。与筒状活塞式柴油机不同,十字头式柴油机的活塞是通过活塞杆和十字头与连杆连接,活塞的导向作用和侧压力由十字头滑块与导板承担。

图 1-6 a) 所示为气缸排成一列的直列式柴油机简图。为了提高柴油机的单位长度的功率,扩大单机功率范围,以及降低柴油机的重量指标,也有将柴油机设计成如图 b) ~ g) 所示的 V 型、H 型、辐射式或对置气缸式等多列气缸的形式。在民用船舶柴油机中,主要是直列式和 V 型。

(5) 按柴油机排气管的位置分类。有右或左单列柴油机。

由飞轮端向自由端看,排气管位于气缸中心线所在平面右侧的单列柴油机称为右单列柴油机;排气管位于气缸中心线所在平面左侧的单列柴油机称为左单列柴油机。

(6) 按柴油机的转向分类。由飞轮端向自由端看,有顺时针方向和逆时针方向旋转的柴油机。前者称右旋柴油机,后者称左旋柴油机。

(7) 按柴油机可否逆转分类。曲轴仅能按同一方向旋转的柴油机称不可逆转柴油机;可由

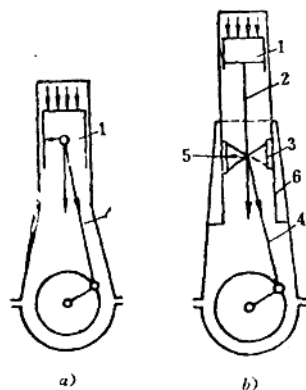


图 1-5 筒状活塞和十字头式柴油机的构造示意图

1- 活塞; 2- 活塞杆; 3- 滑块; 4- 连杆;
5- 十字头; 6- 导板

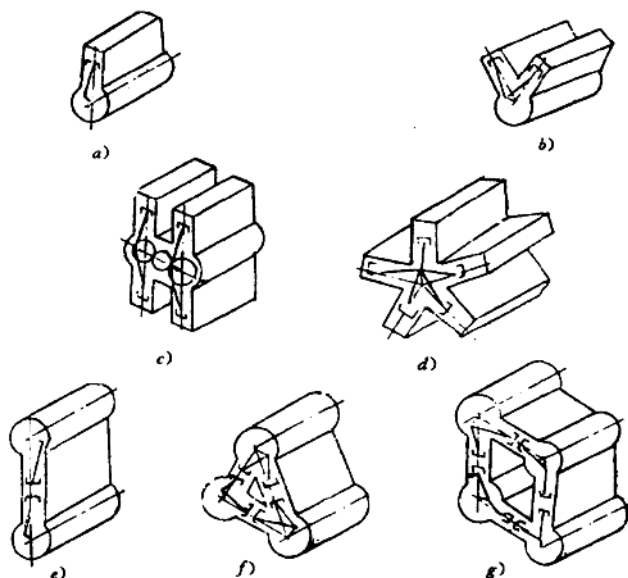


图 1-6 柴油机的气缸排列形式

操纵机构改变其曲轴转向的称可逆转柴油机。

为保证正常工作,一台柴油机应具备必需的机件、部件和系统。图 1-7 所示为 S60MC 型船用低速柴油机的总体结构图。根据其各组成部件的基本作用,可将它分成以下几个组成部分:

(1) 主要运动机件。它们是把气缸内燃烧气体所作的功,转换成以曲轴回转形式输出的机构。主要机件有活塞组、十字头组、连杆组和曲轴飞轮组等。

(2) 主要固定机件。它们是柴油机的骨架和支承。主要机件有机座、机架、气缸体、扫气箱和气缸盖等。

(3) 换气和增压系统。它们实现对新鲜空气的增压,并按柴油机工作循环的要求,保证换气过程的正常进行。主要部件有:增压器、空冷器、气阀机构、凸轮轴组和进排气管等。

(4) 燃油喷射系统。它们按工作循环的要求,定时、定量地向气缸内喷射燃油。主要的部件有喷油泵、凸轮轴组、喷油器等。

(5) 润滑系统。它向柴油机各摩擦副供给润滑油,以减少摩擦阻力和机件的磨损并带走部分热量。主要的部件有润滑油泵、滑油冷却器、滤器等。

(6) 冷却系统。它将柴油机受热部件的热量传出,以保证受热部件处于正常的工作温度范围内。

(7) 操纵系统。由起动装置(使柴油机从停车状态进入工作状态)、调速装置(控制和调节柴油机的转速、换向装置(实现柴油机的正、反转)以及操纵机构等组成。

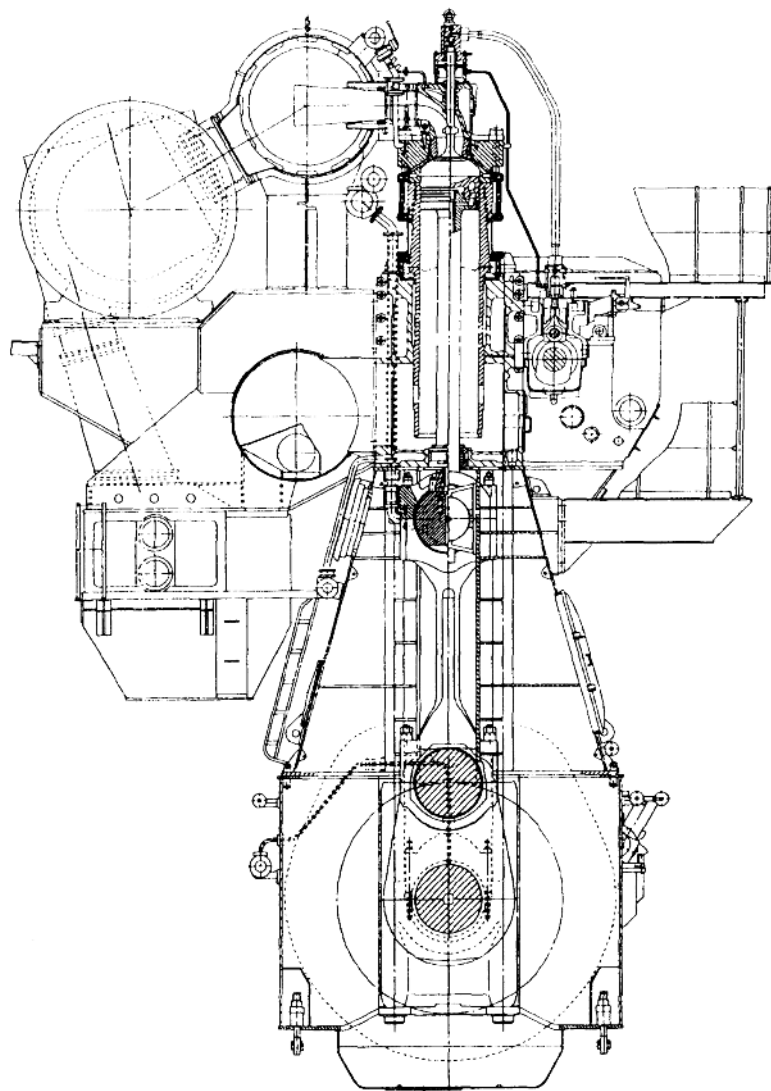


图 1-7 S60MC 柴油机总体结构

第三节 船舶柴油机的主要技术指标

为了从总体上或从某一方面去评估一台柴油机,常常利用柴油机的一些主要技术指标来判断和衡量。这些技术指标包括:动力性指标、经济性指标、重量和外形尺寸指标、排气污染指标等。

一、动力性指标

动力性指标是指柴油机对外作功能力的指标,一般指功率、平均有效功率、平均有效压力、转速和活塞平均速度等。

1. 有效功率

柴油机在单位时间内所作的功称功率,功率的单位为 kW, $1\text{ kW} = 1\,000\text{ N} \cdot \text{m/s}$ 。

柴油机在气缸中单位时间内所作的功称为指示功率。指示功率减去消耗于内部零件的摩擦损失、泵气损失和驱动附件损失等机械损失功率之后,从发动机曲轴输出的功率称为有效功率 N_e 。

如果柴油机曲轴每分钟的转速为 n ,曲轴每秒输出的有效功为 W_e ,由于:

$$W_e = \frac{2\pi n}{60} M_e \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-3)$$

则柴油机的有效功率为:

$$N_e = \frac{\pi n M_e}{30\,000} \quad (\text{kW}) \quad (1-4)$$

式中, M_e 为有效扭矩。

国家标准规定制造厂应在铭牌上写明厂方标定的有效功率,对船用柴油机,主要有:

(1) 1 小时功率:为柴油机允许连续运转 1 小时的最大有效功率。

(2) 持续功率:为柴油机允许长期运转的最大有效功率。

此外,为了衡量柴油机的强载度有时需使用升功率和单位活塞面积功率。

(1) 升功率 N_L :每升气缸工作容积发出的有效功率。

(2) 单位活塞面积功率 N_A :它是衡量燃烧室组件热负荷的尺度,表征发动机的热负荷特性。

2. 平均有效压力

通常用平均有效压力 p_e 来比较和评定各种发动机的动力性能。它是一个作用在活塞顶上的假想的大小不变的压力,它使活塞移动一个行程所作的功,等于每循环所作的有效功。

有效功率也可用下式表示:

$$N_e = iV_e p_e n / 30\tau \quad (\text{kW}) \quad (1-5)$$

式中: i ——气缸数;

V_e ——气缸工作容积, L;

p_e ——平均有效压力, MPa;

n ——发动机转速, r/min;

τ ——发动机的冲程数,对四冲程发动机 $\tau = 4$,对二冲程发动机 $\tau = 2$ 。

于是:

$$p_e = 30\tau N_e / iV_e n \quad (1-6)$$

可见 p_e 代表了单位气缸工作容积所发出的有效功率。 p_e 是一个重要指标,它不仅说明工作循环进行得好坏,而且还包括了机械损失的大小,在相同的条件下, p_e 值越高,发动机输出的有效功越多。 p_e 的数值一般如下:

非增压柴油机: $0.5 \sim 0.8\text{ MPa}$;

增压柴油机: $0.8 \sim 3.2\text{ MPa}$ 。

3. 转速和活塞平均速度

1) 转速

内燃机曲轴每分钟的转速,用 r/min 表示。转速对内燃机性能和结构影响很大,而且其范

围十分宽广。各种类型内燃机使用转速范围各不相同,其中有两个转速值得注意:

(1) 最高转速 $n_{\max}$ ——受调速控制时,柴油机所能达到的最高转速。

(2) 最低稳定转速 $n_{\min}$ ——柴油机能够稳定工作的最低转速。

在最低稳定转速和最高转速之间是柴油机转速的工作范围。

2) 活塞平均速度 C_m

活塞在气缸中运动的速度是不断变化的,在行程中间较大,在止点附近较小,止点处为零。

若已知内燃机转速 n 时,则活塞平均速度可由下式计算:

$$C_m = \frac{2 \cdot S \cdot n}{60} = \frac{S \cdot n}{30} \quad (\text{m/s}) \quad (1-7)$$

式中, S ——行程, m 。

二、经济性指标

经济性指标一般指柴油机的燃油消耗和润滑油消耗率。

1. 燃油消耗率

燃油消耗率简称比油耗或耗油率,它是柴油机工作时每千瓦小时所消耗油量的克数,单位为 $\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 以指示功率计的每千瓦小时的燃油消耗率称为指示燃油消耗率,以有效功率计的每千瓦小时的燃油消耗率称为有效燃油消耗率。前者表示柴油机经济性的指示指标,后者表示柴油机经济性的有效指标。在柴油机产品说明中所指的燃油消耗率都是指有效燃油消耗率。测出扭矩 M_e 和转速 n ,以及每小时燃油消耗量 $G_T(\text{kg/h})$ 和有效功率 N_e 后,用下式求出有效燃油消耗率 g_e :

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} \times 10^3 \quad \text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-8)$$

柴油机的 g_e 值 $\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 范围大致如下:

高速柴油机: $g_e = 212 \sim 215$; 中速柴油机: $g_e = 197 \sim 235$; 低速柴油机: $g_e = 169 \sim 190$ 。

2. 滑油消耗率

柴油机在标定工况时,每千瓦小时所消耗滑油量的克数称为滑油消耗率,单位为 $\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

柴油机的滑油是在机内不断循环使用的,其消耗的原因主要是:柴油机在运转时滑油经活塞窜入燃烧室内或由气阀导管流入气缸内烧掉,未烧掉的则随废气排出;另外,有一部分滑油由于在曲轴箱内雾化或蒸发,而由曲轴箱通风口排出。柴油机的滑油消耗率一般在 $0.5 \sim 4\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 左右。

三、重量和外形尺寸指标

柴油机的重量和外形尺寸是评价柴油机结构紧凑性和金属材料利用率的一项指标。各种类型的柴油机对重量和外形尺寸的要求是不同的。

1. 重量指标

柴油机的重量指标通常以比重量来衡量。比重量(g_w) 又称单位功率重量,是柴油机净重 G_w 与标定功率 N_e 的比值,即

$$g_w = \frac{G_w}{N_e} \quad (\text{kg/kW}) \quad (1-9)$$

所谓净重是指不包括燃油、滑油、冷却水以及其它未直接装在内燃机本体上的附属设备

与辅助系统的重量。

比重量的大小,除了和柴油机类型、结构、附件的大小有关外,还和所用材料和制造技术有关。

各类柴油机比重量(kg/kW)的一般范围如下:

船用高速机: 1.4 ~ 3.7; 船用中速机: 10 ~ 19; 船用低速机: 20 ~ 35。

2. 外形尺寸指标

外形尺寸指标又称紧凑性指标,是指柴油机总体布置紧凑程度的指标,通常以柴油机的单位体积功率来衡量。

单位体积功率 N_v 是柴油机的标定功率 N_e 与柴油机外廓体积 V 的比值,即

$$N_v = \frac{N_e}{V} \quad (\text{kW/m}^3) \quad (1-10)$$

式中: $V = L \cdot B \cdot H$, 其中 L, B, H 为柴油机的最大长、宽、高尺寸。

四、排气污染指标

在柴油机的排气中含有数量不大的但非常有害的排放物。它们是: 一氧化碳 CO、碳氢化合物 HC、氧化氮 NO 和二氧化硫 SO_2 。这些燃烧产物排入大气,污染环境而且有害于人体健康,从而造成社会公害。

船舶柴油机排放限制 表 1-1

排 放 物	中 速 机 g/(kW·h)	低 速 机 g/(kW·h)
NO _x	12	17
CO	1.6	1.6
HC	0.5	0.5
CO ₂	660	660
SO ₂	4.2 × %S	4.2 × %S

表中 S 为燃油中的含硫量,且不得大于 1.5%。

随着环境保护意识的增强,对柴油机排气污染的限制也日益严格。我国已实施的国家标准(GB267-87)对柴油机排放的 NO_x 限制如下:

当 $p_e > 300\text{kPa}$ 时,在 $g_e \leq 214\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 时,NO_x 限值为 $29\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$;

在 $g_e = 214\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h}) \sim 268\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 时,NO_x 限值为 $25\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h}) \sim 14\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$;

在 $g_e > 268\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 时,NO_x 限值为 $11\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

国际海事组织的《MARPOL 73/78 公约》中关于限制船舶柴油机排气污染的最新附则(1999 年 12 月 31 日开始实施),对船舶柴油机的排放规定如表 1-1 所示。