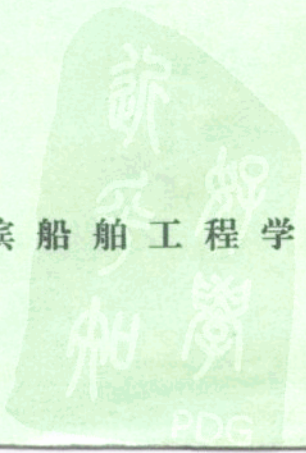


船用柴油机结构

哈尔滨船舶工程学院



毛主席语录

为了反对帝国主义的侵略，我们一定要建立强大的海军。

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

无论何人要认识什么事物，除了同那个事物接触，即生活于（实践于）那个事物的环境中，是没有法子解决的。……你要知识，你就得参加变革现实的实践。……一切真知都是从直接经验发源的。

前 言

“船用柴油机结构”是第一门专业课，其目的是使学员掌握船用柴油机的基本结构及工作原理。

遵照毛主席的教导：“**有比较才能有鉴别。有鉴别，有斗争，才能发展。**”本教材以舰用四冲程，V型12缸，机械增压的高速“轻12-180柴油机”和二冲程，6缸直列式，中速“6-390柴油机”为典型，叙述其主要结构和系统。为了使学员对柴油机结构有个较系统和全面的知识，其中也讲到其它柴油机的个别零件。

为加强学员的实际操作能力并对柴油机调整有个初步知识，而设有两次实作课。一为测定柴油机的上死点，配气定时和喷油提前角及调整气阀间隙；一为起动柴油机。

为了使学员更好的掌握零部件的结构，本教学是在专业第一次认识性实践的基础上，在柴油机阵列室中结合实物进行讲解，而大部分章节分小组进行。

由于我们对毛主席思想学习不够，在教材改革方面还很不彻底，再加上时间仓促，水平有限，教材中一定存在许多问题，希望同志们批评指正。

一〇三教研室

一九七三年八月

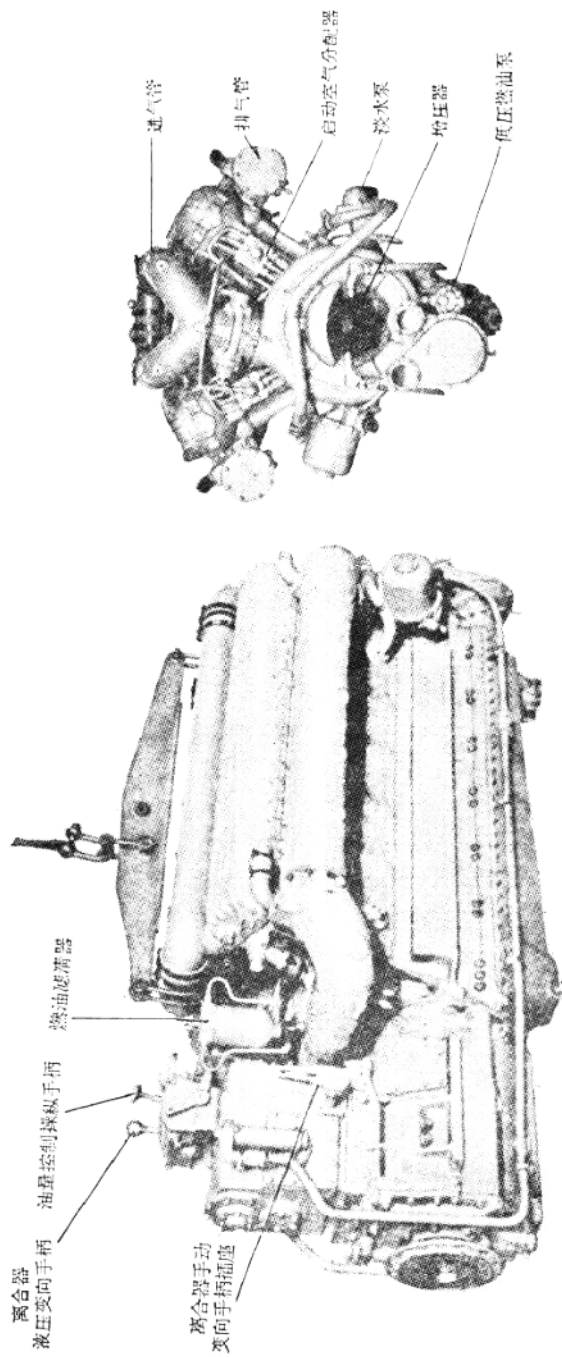


图 1 轻 12—180(M50%)柴油机的右转机

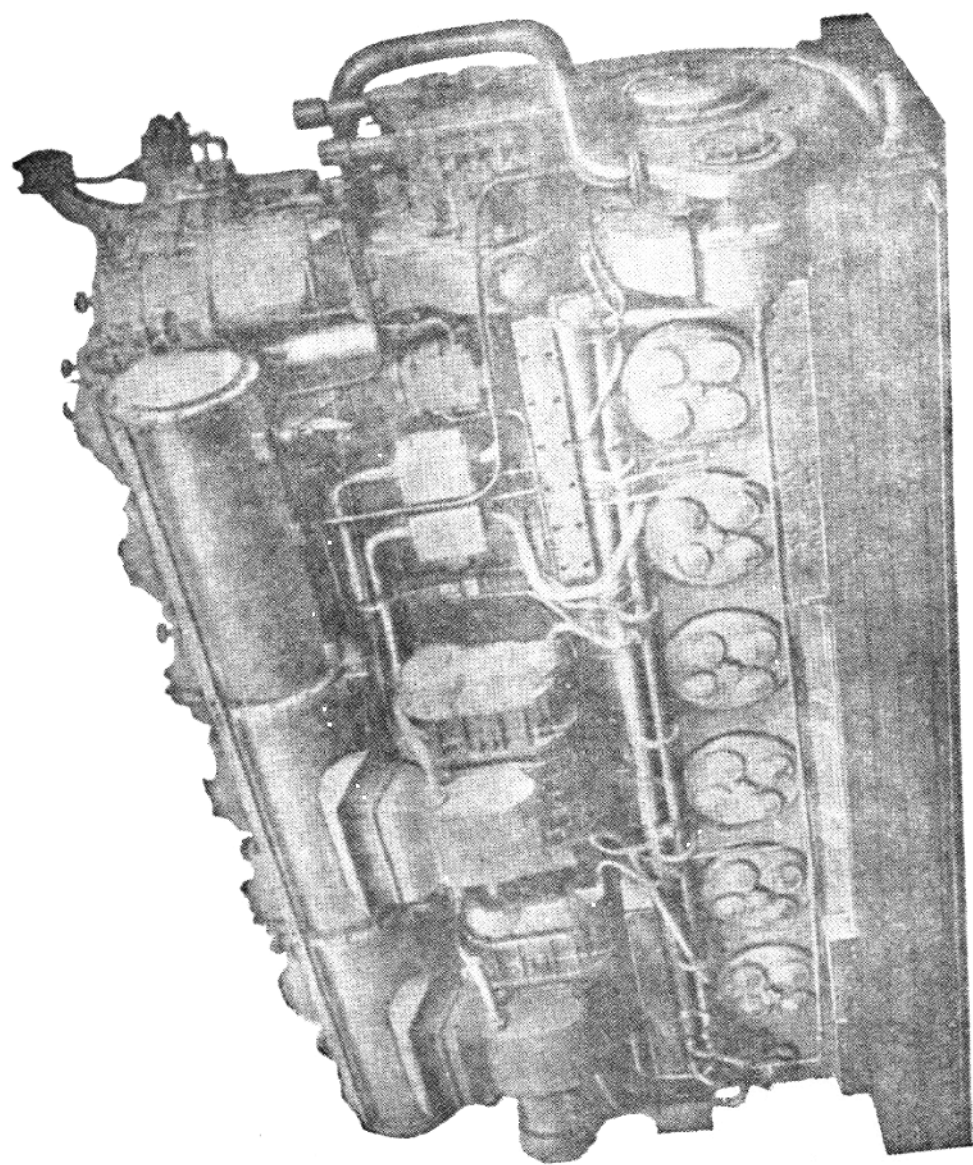


图 2 6-390 柴油机

目 录

第一章 柴油机的工作原理	1
第一节 柴油机的基本机件和主要名词	1
第二节 柴油机的工作原理	3
一、四冲程柴油机的工作原理	3
二、增压柴油机的特点	5
三、二冲程柴油机的工作原理	6
四、多缸柴油机的气缸布置	8
第三节 柴油机的主要参数	8
第二章 运动机件	11
第一节 活塞组	11
一、活塞	11
二、活塞环	16
第二节 连杆	19
一、直列式柴油机的连杆	19
二、V型柴油机的连杆	20
第三节 曲轴	22
一、轻12—180柴油机的曲轴	24
二、6—390柴油机的曲轴	25
三、曲柄的排列和发火次序	27
第三章 固定机件	29
第一节 曲轴箱	29
一、曲轴箱的结构	29
二、主轴承	34
第二节 气缸体和气缸套	36
第三节 气缸头	40
第四章 配气机构	43
第一节 气阀机构	44
一、气阀	44
二、气阀弹簧	46
三、气阀导管及气阀座	47
四、摇臂	47
五、推杆和挺杆	47
第二节 凸轮轴	48
第三节 凸轮轴的传动机构	50
一、圆柱齿轮传动	50



二、直轴与伞形齿轮传动	51
第四节 配气定时和气阀间隙	52
第五章 燃油系统	55
第一节 柴油机混合气的形成及燃烧室的型式	55
一、混合气的形成	55
二、燃烧室的型式	55
第二节 燃油系统概述	57
第三节 高压油泵	59
一、高压油泵的基本结构	59
二、高压油泵的工作原理	61
三、高压油泵供油定时的调整	62
四、各油泵供油量均匀性的调整	63
五、输油阀	63
六、轻 12—180 柴油机的高压油泵	63
第四节 喷油器	68
一、开式喷油器	68
二、闭式喷油器	68
三、闭式喷油器的喷嘴种类	70
第五节 泵-喷油器	70
一、泵-喷油器的结构	71
二、泵喷油器的工作原理	73
三、6—390 柴油机的泵-喷油器	74
第六节 自动调节喷油提前角的机构	75
第七节 输油泵和滤清器	76
第六章 调速器	82
第一节 调速器的功用	82
第二节 调速器的基本结构和工作原理	82
第三节 全程式调速器	83
一、离心式调速器	83
二、液压离心式调速器	85
第四节 超速安全装置——极限转速限制器	92
第七章 润滑系统	96
第一节 润滑系统	96
一、轻 12—180 柴油机的润滑系统	96
二、6—390 柴油机的润滑系统	98
第二节 润滑系统中的主要部件	98
一、滑油压力泵	98
二、滑油抽油泵	102
三、滑油滤清器	102
四、滑油冷却器	104
五、温度调节器	104

六、自动信号及安全装置	107
第八章 冷却系统	109
第一节 冷却系统	109
一、开式冷却系统	109
二、闭式冷却系统	110
三、防止腐蚀的方法	111
第二节 冷却系统中的主要部件	112
一、淡水泵	112
二、海水泵	114
三、淡水冷却器	116
四、恒温器	116
第九章 起动系统	119
第一节 电力起动装置	119
第二节 空气起动系统	123
一、系统简图	123
二、空气分配器	123
三、起动阀	125
第三节 改善起动的措施	126
第十章 增压器	128
第一节 转子式增压器	128
一、转子式扫气泵	128
二、螺旋形转子增压器	130
第二节 离心式增压器	130
第三节 废气涡轮增压器	137
一、涡轮机的基本原理	138
二、轴流式涡轮和经流式涡轮	139
三、废气涡轮增压器的结构	140
第十一章 柴油机的反转装置	142
第一节 间接反转装置	142
一、摩擦片式反转减速器	142
二、轻 12—180 柴油机的变向离合器工作原理	143
第二节 直接反转装置	150
一、概述	150
二、6ED390 柴油机的直接反转装置	151
附图 1 6—390 柴油机横剖面图	155
附图 2 6—390 柴油机纵剖面图	156
附图 3 轻 12—180 柴油机横剖面图	
附图 4 轻 12—180 柴油机传动装置的横剖面图	
附图 5 轻 12—180 柴油机纵剖面图	

第一章 柴油机的工作原理

内燃机是将燃料在机器内部燃烧时放出的热能转变成机械功的发动机。一般所说的活塞式内燃机主要包括柴油机和汽油机。

柴油机与汽油机的基本区别如下：

1. 所用的燃料不同，柴油机用柴油，而汽油机用的是汽油；
2. 柴油机吸入气缸的是空气，而汽油机通过汽化器将汽油与空气的混合气吸入气缸；
3. 燃料点火的方法不同，汽油机用电火花将燃料点燃，而柴油机是将吸入气缸的空气被压缩后所产生的高温使喷入的燃料自燃。所以柴油机又叫做压燃式(或自燃式)内燃机。

因为中、小型舰艇上大都采用柴油机做为动力，所以本教材只讲舰用柴油机的结构及其动作原理。

柴油机在舰艇上大多数做为主机带动螺旋桨驱使舰艇航行。但也可做为辅机带动发电机或空气压缩机等。

毛主席教导我们说：“大家明白，不论做什么事，不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”我们要设计和制造柴油机，就要了解柴油机是由那些部件组成的，它是如何工作的等。本章主要介绍柴油机的基本工作原理。

第一节 柴油机的基本机件和主要名词

一台柴油机虽然由成千上万的零件组成，但它的主要部件(图 1-1)如下：

气缸头 2：位于机器的最上部，其作用是将气缸密封，并组成燃烧室的一壁，其上装有进气阀 12，排气阀 13 和喷油器 14。

气缸 1：其功用是限制活塞在其中作往复直线运动，其上部为燃烧室的一壁。

曲轴箱：分上下两部分，由机座 4 和机架 3 组成，其上连接气缸，其下部固定在底座上，其中装有主轴承以便安放曲轴。

活塞 8：是组成燃烧室的一个活动壁，承受燃气压力，并将此压力传给连杆。

连杆 9：是连接活塞与曲轴的机件，将活塞传来的力量传给曲轴。

曲轴：接受由连杆传来的力，带动螺旋桨或发电机等旋转。

除上述主要部件外，还有不可缺少的燃油系统，润滑系统，冷却系统和起动系统等。

为了研究柴油机的工作原理，必须要了解柴油机的几个主要名词。现根据图 1-2 加以说明。

1. 上死点：活塞距曲轴中心最远的位置称为活塞的上死点。
2. 下死点：活塞距曲轴中心最近的位置称为活塞的下死点。
3. 活塞冲程(S)：活塞上死点与下死点之间的距离称为活塞的冲程(或称行程)。活塞走一个冲程曲轴就旋转 180° ，活塞冲程等于曲柄半径 R 的两倍；即 $S=2R$ 。
4. 压缩室容积(V_c)：当活塞位于上死点时，活塞上面的气缸容积称为压缩室容积。由于

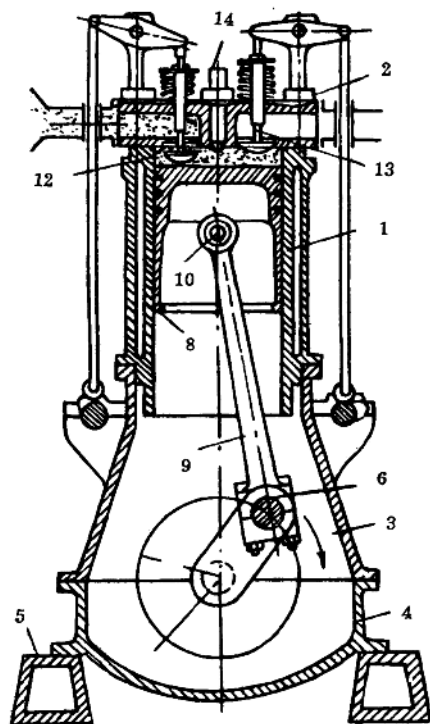


图 1-1 柴油机主要部件

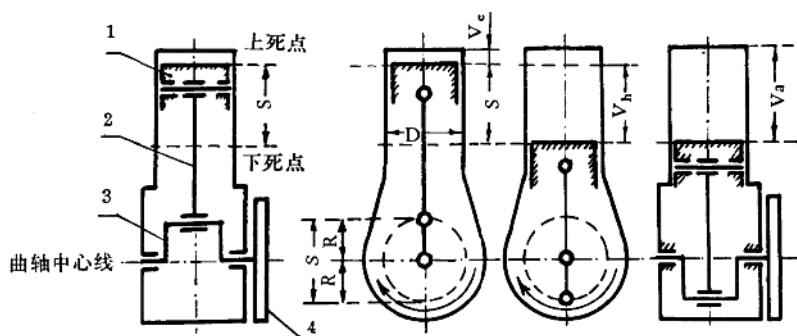


图 1-2 单缸柴油机曲柄连杆机构示意图

1-活塞 2-连杆 3-曲轴 4-飞轮

燃料就在这里燃烧所以又称燃烧室容积。

5. 工作容积(V_h): 活塞上、下死点之间的容积称为一个气缸的工作容积, 它可用气缸直径 D 由下式来表示:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4 \cdot 10^3} S \text{ 公升}$$

式中：S——活塞冲程，单位为厘米

D——气缸直径，单位为厘米

6. 气缸的总容积(V_a)：活塞位于下死点时，活塞上面的气缸容积称为一个气缸的总容积，显然：

$$V_a = V_b + V_c$$

7. 柴油机的总容积V(又称总排量)：是柴油机所有气缸的工作容积的总和。即

$$V = V_b \cdot i \quad \text{公升}$$

式中：i——气缸数目。

8. 压缩比(ϵ)：气缸的总容积与压缩室容积之比，称为压缩比。即

$$\epsilon = \frac{V_a}{V_c}$$

压缩比说明当活塞由下死点移动到上死点时，气缸内空气容积减小的倍数。柴油机的压缩比一般都大于 12。

第二节 柴油机的工作原理

一、四冲程柴油机的工作原理

毛主席教导我们：“感觉了的东西，我们不能立刻理解它，只有理解了的东西才更深刻地感觉它。”为了掌握柴油机的结构，必须首先了解它的工作原理。

柴油机的工作是由进气、压缩、燃烧膨胀和排气这四个过程来完成的，这四个过程构成了一个工作循环。活塞走四个冲程才能完成一个工作循环的柴油机称为四冲程柴油机。活塞走二个冲程就完成一个工作循环的柴油机，称为二冲程柴油机。下面首先研究四冲程柴油机的工作原理。

第一冲程——**进气**(图 1-3a)。它的任务是使气缸内充满新鲜空气。当进气冲程开始时，活塞位于上死点，气缸内的燃烧室中还留有一些废气。

当曲轴旋转时，连杆使活塞自上死点向下死点移动，同时，利用与曲轴相联的传动机构使进气阀打开。

随着活塞的向下移动，气缸内活塞上面的容积逐渐增大，造成气缸内的空气压力低于进气管内的压力，因此外面的空气就不断地充入气缸。

进气过程中气缸内气体压力随气缸容积变化的情况可用图线来表示，如图 1-4 所示，图中纵座标表示气体压力 P，横座标表示气缸容积 V(或活塞冲程 S)。这个图形称为示功图。图中的压力曲线表示柴油机工作时，气缸内气体压力的变化规律。图中 r-a 线表示进气冲程中气体压力的变化情况。进气开始时(r 点)，由于存在残余废气，所以高于大气压力 P_0 ，在进气过程中由于空气通过进气管和进气阀时产生流动阻力，所以进气冲程的气体压力低于大气压力，其值为 $0.85 \sim 0.95$ 公斤/厘米²，在整个进气过程中，气缸内气体压力大致保持不变。

当活塞向下运动接近下死点时，冲进气缸的气流仍具有很高的速度，惯性很大，为了利用气流的惯性来提高充气量，进气阀在活塞过了下死点以后才关闭。虽然此时活塞上行，但由于气流的惯性，气体仍能充入气缸。

第二冲程——**压缩**(图 1-3b)，压缩时活塞从下死点向上死点运动，这个冲程的功用有

二：一是提高空气的温度，为燃料自行发火作准备；二是为气体膨胀作功创造条件。当活塞上行，进气阀关闭以后，气缸内的空气受到压缩，随着气缸容积的不断缩小，空气的压力和温度也就不断升高。压缩终点的压力和温度与空气的压缩程度有关，即与压缩比有关。一般压缩终点的压力和温度为：

$$P_c = 40 \sim 80 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$t_c = 500 \sim 700^\circ\text{C}$$

柴油的自然温度约在 $270 \sim 290^\circ\text{C}$ ，压缩终点的温度要比柴油自燃的温度高很多，足以保证喷入气缸的柴油自行发火燃烧。

喷入气缸的柴油，并不是立即发火的，而是经过压缩空气的预热以及经过物理化学变化之后才发火，这段时间大约有 $0.001 \sim 0.005$ 秒，称为发火延迟期。因此，要在曲柄转至上死点前 $10^\circ \sim 35^\circ$ 时开始将雾化的燃料喷入气缸，并使曲柄在上死点后 $5^\circ \sim 10^\circ$ 时，在燃烧室内达到最大爆炸压力，迫使活塞向下运动。

在示功图(图 1-4)上，压缩冲程用 a-c 线表示。

第三冲程——燃烧膨胀(图 1-3c)，在这个冲程开始时，大部分喷入燃烧室内的燃料都燃烧了。燃烧时放出大量的热量，因此气体的压力和温度便急剧升高，活塞在这高温高压气体的作用下向下运动，并通过连杆使曲轴转动，对外作功。所以这一冲程又叫做工作冲程。

随着活塞的下行，气缸的容积增大，气体的压力下降，工作冲程在活塞行至下死点，排气阀打开时结束(图 1-3d)。

在图 1-4 上，工作冲程的压力变化用 c-z-b 线来表示。这条线的 c-z 段表示燃料在气缸内燃烧时压力的急剧上升，而 z 点表示最高爆炸压力 P_z ，此点的压力和温度为：

$$P_z = 65 \sim 120 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$t_z = 1700 \sim 2000^\circ\text{C}$$

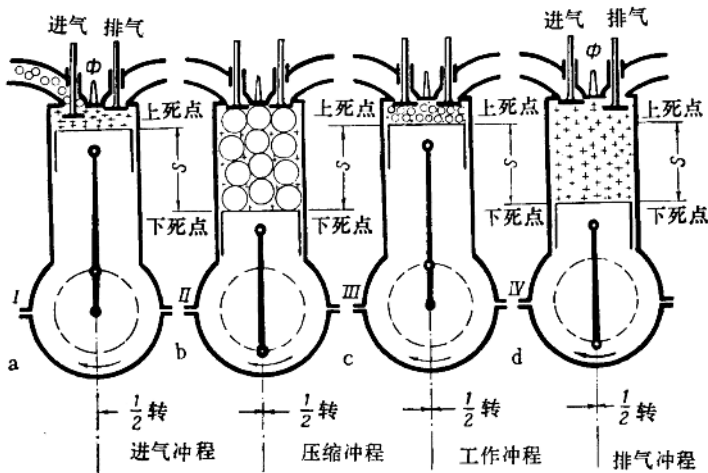


图 1-3 四冲程柴油机工作原理图

第四冲程——排气(图 1-3d)，排气冲程的作用是把膨胀作功后的废气排出去，以便充填新鲜空气，为下一个循环的进气作准备。当工作冲程活塞行到下死点附近时，排气阀开起，

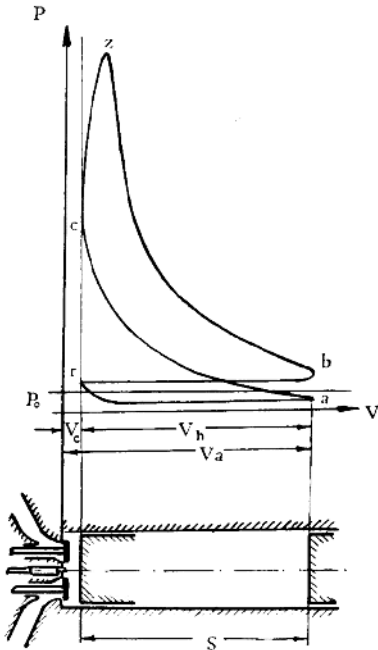


图 1-4 柴油机的示功图

即工作冲程才产生动力对外作功。而其余三个冲程都是消耗功的准备过程。为此在多缸，特别是单缸柴油机上都安装飞轮。利用飞轮的转动惯性，使曲轴在四个冲程中连续而均匀地运转。

二、增压柴油机的特点

提高柴油机功率的有效方法是增加进入气缸的空气量和燃料。要使燃料达到完全地燃烧，空气重量与燃料重量要有一定的比例。一公斤轻柴油完全燃烧，理论上需要 14.22 公斤空气，但实际供入气缸的空气量还要多，否则达不到良好的燃烧。增加喷入气缸的燃料只要燃油系统的主要部件设计得合理是容易做到的。要增加充入气缸的空气量则必须在柴油机上安装增压器。

增压器将空气压缩到增压压力 P_k (一般 $P_k = 1.3 \sim 2.5$ 公斤/厘米²) 后，压入进气管内并在进气冲程中充入气缸。由于压缩后空气密度增大，所以充入气缸的空气量就增多。

装有增压器的柴油机称为增压柴油机。而直接从大气中吸入空气的柴油机称为非增压柴油机。现代舰艇用的主机，大多数都是增压柴油机。

根据增压器的传动方式不同，在增压柴油机中又分为机械传动的增压柴油机和废气涡轮增压柴油机。

图 1-5 所示为机械传动的增压柴油机。轻 12-180 柴油机就属于这一种。由图可见这种柴油机的特点是增压器叶轮 1 通过传动齿轮由曲轴来带动。当柴油机工作时，空气从进气口被吸入，经叶轮 1 增压后，进入进气管 2 的空气压力可达 1.5 公斤/厘米² 以上。

活塞在曲轴、连杆的带动下，由下死点向上死点运动。并把废气排出气缸外。由于排气系统存在着阻力，所以在排气冲程开始时，气缸内的气体压力 P_0 比大气压力高 2.5~3.5 公斤/厘米²，为了减少排气时活塞运动的阻力，排气阀在下死点前就开起了，排气阀一打开，具有一定压力的气体就立即冲出缸外。缸内压力迅速下降，这样当活塞向上运动时，气缸内的废气依靠活塞上行排出去，为了利用排气时的气流惯性使废气排出得干净，排气阀在上死点以后才关闭。

在图 1-4 上，排气冲程用 b-r 线表示。这条线表示在排气过程中缸内的气体压力几乎是不变的，但比大气压力稍高一些。

由于进、排气阀都是早开晚关的，所以有一段时间进、排气阀同时开启，这段时间用曲轴转角来表示，称为气阀重叠角。

排气冲程结束之后，又开始了进气冲程，于是整个工作循环就依照上述程序重复进行。由于这种柴油机的工作循环是由四个活塞冲程即曲轴旋转两转完成的，故称四冲程柴油机。

在四冲程柴油机的四个冲程中，只有第三冲程，

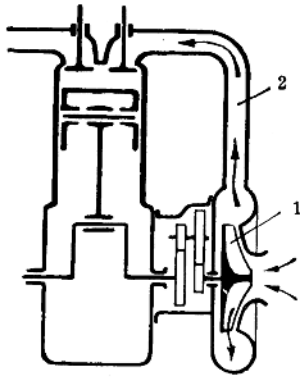


图 1-5 机械传动的增压柴油机
1-增压器叶轮 2-进气管

高的程度主要取决于增压压力 P_k 值。

增压柴油机与非增压柴油机的每个工作循环中都有进气、压缩、燃烧膨胀和排气这四个过程。其主要区别是进气压力增加了。因此，每个循环中的压力和温度都提高了。这对柴油机的耐磨性和可靠性都有不良的影响。故在柴油机的结构上必须注意这些特点。

图 1-6 所示为废气涡轮增压的柴油机。这种柴油机上的增压器叶轮 5（压气机）是直接由废气涡轮来驱动的，增压器和曲轴没有机械联系。柴油机排出的废气沿排气管 1，经过导向器 2 进入废气涡轮的叶片 3，并推动其旋转，此时就带动了和它同轴的增压器叶轮 5 转动。空气经过进气管 6 被吸入，增压后的空气经蜗形管 8 沿进气管 9 进入柴油机。

上海柴油机厂生产的重 12—180 和新 12V135 柴油机就采用这种增压方式。

废气涡轮增压是提高柴油机单机功率的有效方法。例如，一台非增压的 12V135 柴油机，在 $n=1500$ 转/分时，功率 $N_e=240$ 马力。装上废气涡轮增压器之后，同样在 $n=1500$ 转/分时，其功率 N_e 可提高到 380 或 700 马力。功率提高

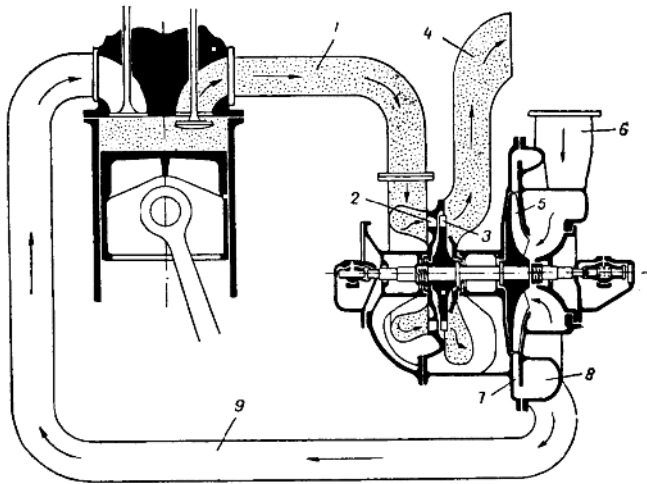


图 1-6 废气涡轮增压的柴油机简图

1、4-排气管 2-涡轮导向器 3-废气涡轮叶片 5-增压器叶轮 6、9-进气管 7-扩散管
8-蜗形管

三、二冲程柴油机的工作原理

在四冲程柴油机内，活塞走四个冲程才完成一个工作循环，其中两个冲程（进气和排气），活塞的功用相当于一个空气泵。在二冲程柴油机中，曲轴每转一周，即活塞每两个冲程就完

成一个工作循环，而进气和排气过程是利用压缩及工作冲程的一部分来完成的，所以二冲程柴油机的活塞没有空气泵的作用，为了排除燃烧后的废气，并把新鲜空气充满气缸，必须在柴油机上安装专用的扫气泵(增压器)，图 1-7 所示为二冲程 6—390 柴油机的工作原理图。

扫气泵 3 将空气压缩至 $P_k = 1.23 \sim 1.3$ 公斤/厘米²，送入气缸周围的贮气室 1。气缸上有进气孔 2，当活塞下行一打开进气孔时，贮气室 1 中的空气便进入气缸内(如图 1-7(a) 所示)。并冲向打开的排气阀，于是使气缸充满新鲜空气，同时产生扫除废气的作

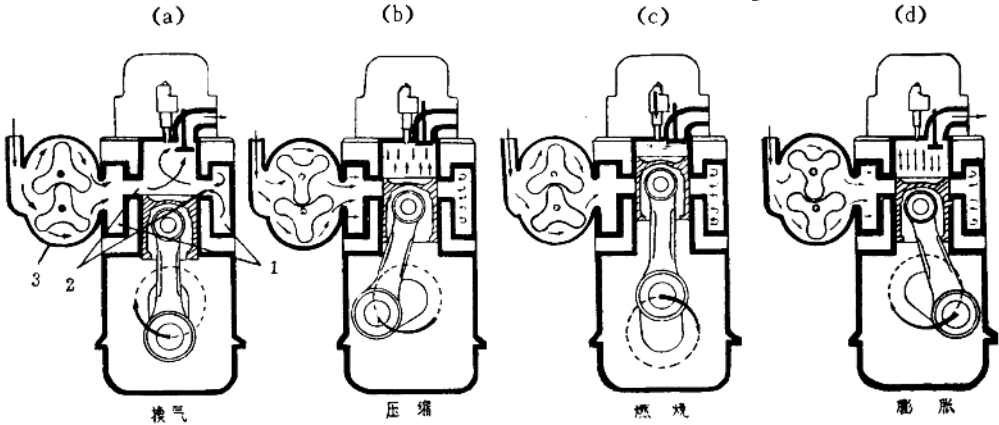


图 1-7 二冲程柴油机工作原理图
1-贮气室 2-进气孔 3-扫气泵

当活塞由下死点向上运动时，进气孔首先由活塞关闭，然后排气阀也关闭，空气在气缸内受到压缩，如图 1-7(b) 所示。

活塞行至上死点前，喷油器将燃油喷入燃烧室中，如图 1-7(c)，压缩空气所产生的高温，立刻点着雾化的燃油，燃烧所产生的压力，推动活塞下行，直到排气阀再打开时为止。当排气阀打开时，如图 1-7(d) 所示，燃烧后的废气在内外压力差的作用下，自行从排气阀排

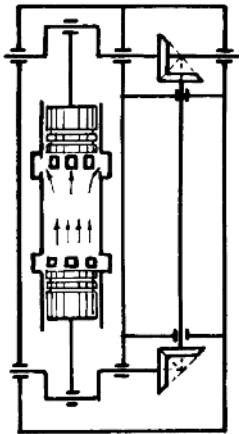


图 1-8 对顶活塞式二冲程柴油机

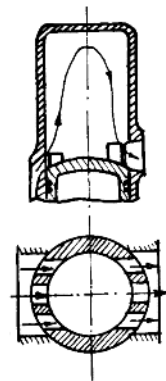


图 1-9 横流扫气的二冲程柴油机

出。当进气孔被活塞打开后,气缸内又进行扫气过程,如图1-7(a)所示。曲轴每转一转,活塞走了两个冲程就完成一个工作循环。因此叫二冲程柴油机。

由于这种柴油机的换气是由气孔和气阀来实现的,所以称为气孔-气阀式直流扫气的二冲程柴油机。

图1-8所示为对顶活塞式柴油机,它的换气是由上下的进、排气孔完成的,故称气孔式直流扫气的二冲程柴油机。

图1-9所示的柴油机是由气缸两侧的进、排气孔来进行换气的,且气流方向为横向,故称气孔式横流扫气的二冲程柴油机。

四、多缸柴油机的气缸布置

为了增加柴油机的单机功率,船用柴油机都制成多缸的形式。当气缸数目在8~10个以下时,气缸多布置成单列的(图1-10a),气缸数目超过10个以上,为了不过分的增加柴油机的长度,气缸可布置成两列V型(图1-10b),称V型柴油机,除此而外,还有将气缸排列成W型, X型,星型和△型等。如图1-10cdef所示。

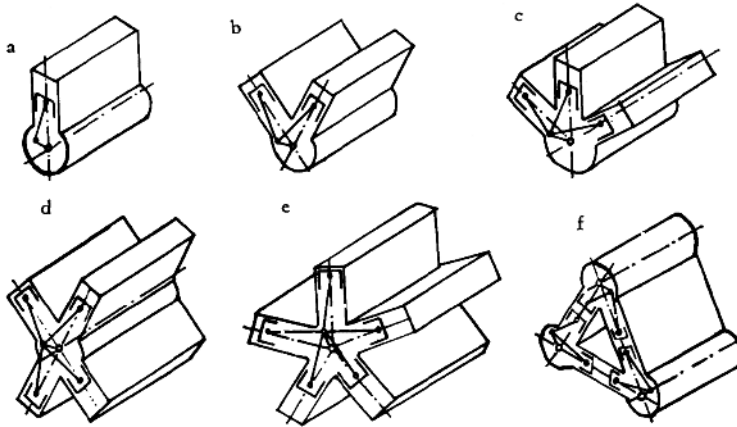


图1-10 柴油机的气缸布置

第三节 柴油机的主要参数

船用柴油机的基本要求是马力大,重量轻,尺寸小,并且经济可靠。这些指标通常可用一些参数表示,下面就研究各主要参数的意义。

1. 转速 n : 柴油机曲轴每分钟转动的转数,用转/分表示。其中有两个转速值得注意:

1) 最高转速 n_{max} ——能发出最大功率的转速。

2) 最低稳定转速 n_{min} ——柴油机能够稳定工作的最低转速。如果 n_{min} 较高,则对舰艇的靠离码头是不利的。

在最低稳定转速 n_{min} 和最高转速 n_{max} 之间是柴油机转速的工作范围。

2. 有效功率 N_e : 柴油机对外输出的功率称为有效功率,一般用马力表示。而柴油机气

缸内燃料燃烧所发出的功率称为指示功率 N_i ，指示功率不能全部对外输出，它需要消耗于摩擦和进排气损失上以及带动柴油机的辅助机械上。因此，有效功率 N_e 就是指示功率减去机械损失所相当的功率。

3. 有效耗油量 g_e ：它代表柴油机每小时发出一有效马力所消耗的燃油量。单位为：克/马力·小时。

这是柴油机的一个极为重要的技术指标，它代表了柴油机的经济性。一般柴油机的 $g_e = 145 \sim 220$ 克/马力·小时。

4. 平均有效压力 P_e ：其意义为在工作冲程中它作用在活塞上所做的有效功等于一个循环中所做的有效功。平均有效压力，单位为公斤/厘米²。它表征柴油机的“强载”程度。

一般柴油机的 $P_e = 4.5 \sim 20$ 公斤/厘米²。

5. 活塞平均速度 C_m ：活塞在气缸中的运动速度是不断变化的，在死点附近速度较小，死点处为零。若已知柴油机的转速 n ，则活塞平均速度由下式求出：

$$C_m = \frac{2 \cdot s \cdot n}{60} = \frac{s \cdot n}{30} \text{ 米/秒}$$

式中： s ——冲程 米

n ——转速 转/分

活塞平均速度 C_m 的大小，表示柴油机的高速性。

根据活塞平均速度，可将柴油机分成高速、中速和低速三种，其具体数值大致如下：

低速柴油机： $C_m \leq 6.5$ 米/秒

中速柴油机： $6.5 \text{ 米/秒} < C_m < 9.5 \text{ 米/秒}$

高速柴油机： $C_m \geq 9.5$ 米/秒

6. 柴油机的单位马力重量 G_N ：是柴油机的净重与最大有效功率之比，单位为公斤/马力。这是表示柴油机重量大小的主要参数。

一般柴油机的 $G_N = 0.5 \sim 15$ 公斤/马力。

轻 12-180 和 6-390 等柴油机的主要参数见表 1。