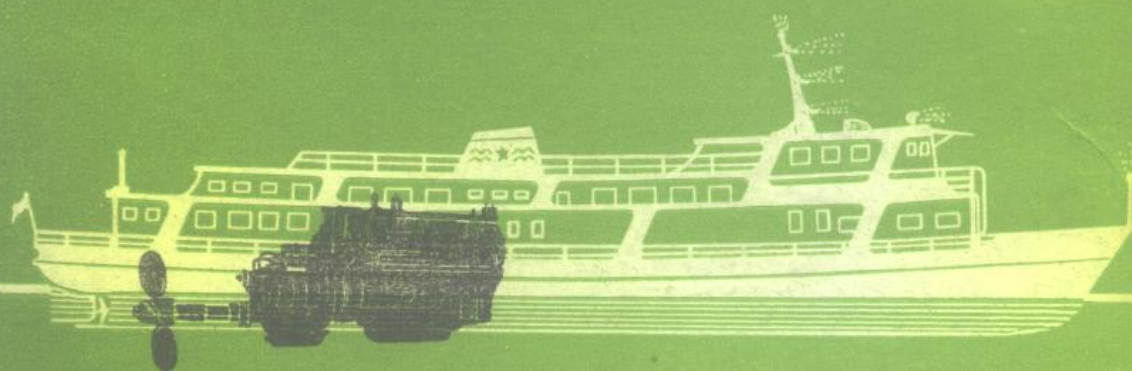


内河船舶动力装置

上册

《内河船舶动力装置》编写组编



人民交通出版社

U664.1
N34
1

122

内河船舶动力装置

上册

《内河船舶动力装置》编写组编

人民交通出版社

1980年·北京

内河船舶动力装置

上册

《内河船舶动力装置》编写组编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 27 插页: 2 字数: 563千

1980年8月 第1版

1980年8月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,700册 定价: 2.30元

内 容 提 要

本书分上、下两册。本册包括《第一篇船舶柴油机》，共有以下六章：1、船舶柴油机的基本知识；2、船用柴油机的性能与结构介绍，对90到300各系列国产船用柴油机的性能与结构分别作了介绍；3、柴油机的增压及增压器；4、柴油机的常见故障及排除；5、柴油机的检查和维修；6、船舶主机的使用和保养。本书主要供内河柴油机船舶轮机管理人员和机务工作者阅读，亦可供其他用途的柴油机管理人员、船舶修造厂轮机工人和工程技术人员参考。

23753/06

前 言

我们伟大的祖国幅员辽阔，有漫长的海岸线，密如蛛网般的江河湖泊遍布全国，水运条件十分优越。解放后，我国的水运事业有了很大的发展。这对支援工农业生产，加强城乡物资交流，都起着极其重要的作用。

船舶动力装置包括带动螺旋桨的主发动机，保证主机工作的辅助机械和系统，轴系及其设备，柴油发电机组等机电设备。船舶动力装置是个有机的整体，任何机电设备的损坏和失灵都可能使船舶失去推进或操纵的能力。因此，整个动力装置运转可靠是船舶安全航行的保证。

柴油机动力装置具有经济性高、设备简单、重量轻、尺寸小、运转可靠且机动性好等优点。我国柴油机的制造迅速发展，生产的柴油机的产量和质量不断提高，品种也大大增多。因此，柴油机动力装置在内河船舶上得到广泛的应用。

随着航运事业飞速发展，内河机动船舶越来越多，装备越来越先进，对轮机管理人员也提出越来越高的要求。为了帮助轮机管理人员熟悉和掌握船舶动力装置的使用与管理，进一步提高技术水平，以适应内河航运事业日益发展的需要，由广东省航运管理局及其所属珠江航运公司、新中国船厂、粤中船厂和船舶保养场同华南工学院造船系一起组织了编写小组，有工人、干部、轮机员、技术员和教师参加共同编写了此书。

全书共有六篇，主要内容有：船舶柴油机、船用齿轮箱、轴系及设备、船舶电器、船舶辅助机械以及船舶管系等。着重介绍它们的性能、结构和使用维修方面的基本知识。

在编写过程中，我们曾到江西、浙江、江苏、上海、山东、天津、武汉、大连等省、市学习，得到这些省、市航运部门、船厂、柴油机厂、齿轮箱厂以及其他有关部门的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

由于业务水平不高，经验欠缺，本书内容会有不少缺点和错误，希望读者提出宝贵意见，以便再版时修改。

参加本书编写工作的有毛业番、曹允升、陈昌禄、李福平、李裕源、廖贺金、徐超禹、莫少奇。

《内河船舶动力装置》编写组

目 录

前 言

第一篇 船舶柴油机

第一章 船舶柴油机的基本知识	1
第一节 柴油机的工作原理.....	1
第二节 柴油机的类型与型号.....	5
第三节 船舶对柴油机的要求.....	7
第四节 中、小型柴油机的主要技术指标及特性曲线简介.....	7
第二章 船用柴油机的性能与结构介绍	17
第一节 90系列柴油机的性能与结构.....	17
第二节 95系列柴油机的性能与结构.....	38
第三节 100系列柴油机的性能与结构.....	46
第四节 105系列柴油机的性能与结构.....	58
第五节 2E105型柴油机的性能与结构.....	78
第六节 110系列柴油机的性能与结构.....	93
第七节 135系列柴油机的性能与结构.....	108
第八节 4E135型柴油机的性能与结构.....	146
第九节 4140型柴油机的性能与结构.....	163
第十节 160系列柴油机的性能与结构.....	186
第十一节 250系列柴油机的性能与结构.....	211
第十二节 260系列柴油机的性能与结构.....	239
第十三节 300系列柴油机的性能与结构.....	259
第三章 柴油机的增压及增压器	301
第一节 增压柴油机的特点.....	301
第二节 废气涡轮增压器的分类及型号的表示方法.....	305
第三节 常用涡轮增压器的结构与拆装.....	307
第四节 涡轮增压器的使用及注意事项.....	336
第五节 涡轮增压器的故障判断及其排除.....	339
附表: 国产常用废气涡轮增压器技术性能表	
第四章 柴油机的常见故障及其排除	343
第一节 柴油机不能起动.....	344
第二节 柴油机功率不足.....	348
第三节 柴油机发出噪杂声和振动.....	351
第四节 柴油机的排烟色泽分析.....	354
第五节 柴油机润滑系统的故障.....	354

第六节 柴油机冷却水出水温度过高.....	355
第五章 柴油机的检查与维修.....	355
第一节 柴油机的拆卸.....	356
第二节 柴油机的安装.....	358
第三节 柴油机主要部件的检查、维修与安装.....	360
一、机座的检查和维修.....	360
二、曲轴及主轴承的检查和维修.....	360
三、机体的检查和维修.....	371
四、气缸的检查和维修.....	371
五、活塞连杆组的检查和维修.....	373
六、气缸盖的检查和维修.....	386
七、凸轮轴的检查和维修.....	391
八、喷油泵及喷油器的检查和维修.....	393
九、柴油机附件的安装.....	396
第四节 柴油机的调整.....	397
第五节 柴油机的试车.....	409
第六节 柴油机的启封和临时油封.....	410
第六章 船舶主机的使用和保养.....	411
第一节 柴油机的燃油.....	411
第二节 柴油机的润滑油(机油).....	415
第三节 柴油机的冷却水.....	418
第四节 船舶主机操作规程.....	420
第五节 船舶主机的保养.....	422

第一篇 船舶柴油机

第一章 船舶柴油机的基本知识

第一节 柴油机的工作原理

一、柴油机的主要机件名称

图 I-1-1 为柴油机构造简图，图中标出各主要机件的名称，它包括：

(一)运动件：活塞、活塞销、连杆、曲轴等。

(二)固定件：机座、气缸体、气缸盖、主轴承等。

(三)配气机构：凸轮轴、顶杆、摇臂、进气阀、排气阀等。

(四)燃油系统部分：喷油泵、喷油器、高压油管、进气管、排气管等。

此外，为了使柴油机持续工作，还须有一些系统，如润滑系统、冷却系统及起动系统等。这些系统在图中未表示出来。

二、主要名称解释

为了便于下面介绍柴油机工作原理，先介绍几个常用的名称。

上死点——曲柄转到最高点时，活塞顶部所达到的位置。

下死点——曲柄转到最低点时，活塞顶部所达到的位置。

燃烧室——当活塞到达上死点时，活塞顶部与气缸盖底面之间的全部空间。也称压缩容积或压缩空间。

冲程——上、下死点之间的距离，也就是活塞的行程，又叫活塞冲程，常用 S 表示。

三、四冲程柴油机的工作原理

柴油机根据其完成一个工作循环所需的行程不同分为四冲程柴油机和二冲程柴油机。即每完成一个工作循环需要活塞往复来回四次（曲轴转两转）的柴油机称为四冲程柴油机；而需要活塞往复来回两次（曲轴转一转）的柴油机称为二冲程柴油机。

柴油机的一个工作循环包括进气、压缩、燃烧和膨胀、排气等四个过程。下面先介绍在

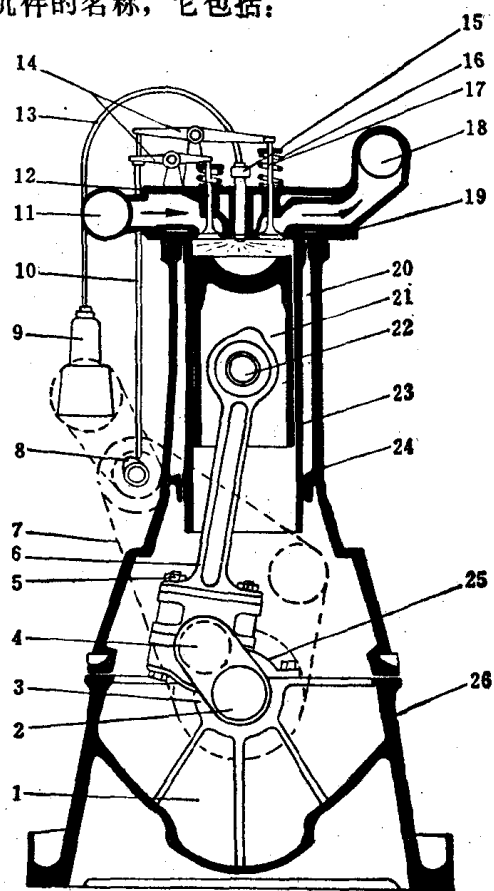


图 I-1-1 柴油机的构造简图

1-曲轴箱；2-曲轴；3-主轴承；4-曲柄销；5-连杆螺栓；6-连杆；7-凸轮轴传动装置；8-凸轮轴；9-喷油泵；10-顶杆；11-进气总管；12-进气阀；13-高压油管；14-气阀摇臂；15-喷油器；16-气阀弹簧；17-排气阀；18-排气总管；19-气缸盖；20-气缸体；21-活塞；22-活塞销；23-气缸衬；24-气缸体；25-轴承座；26-机座

四冲程柴油机中这四个过程是如何进行的（参看图 I-1-2）。

（一）第一冲程——进气冲程。活塞从上死点下行，进气阀 I 打开，由于活塞往下行，气缸容积增大，使缸内压力下降到大气压力以下，靠着气缸内外压力差的作用，新鲜空气通过进气阀被吸入气缸，直至活塞到达下死点为止。但实际上，为了在进气过程中吸入更多的新气，一般进气阀在活塞到达上死点前就提早打开；同样道理，进气阀的关闭也不是在下死点，而一直延迟到下死点以后。气阀的开启或关闭的时刻一般以曲柄的位置来表示，如图中曲柄位置点 1 表示进气阀开始打开的时刻，点 2 表示进气阀关闭时刻。这样，实际上的进气过程所占的曲轴转角（曲柄转角）不是 180° ，而是要比 180° 大得多，一般约为 $220^\circ \sim 250^\circ$ 曲轴转角。图中阴影线所占的角度 φ_{1-2} 表示进气过程。

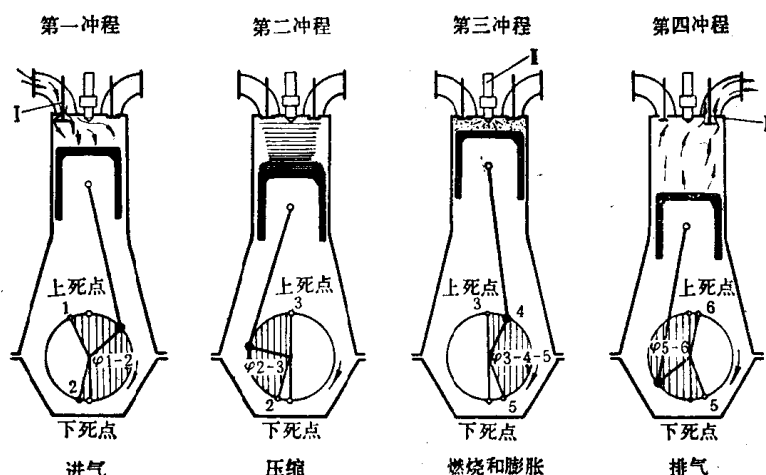


图 I-1-2 四冲程柴油机的工作原理图
I-进气阀；II-喷油器；III-排气阀

为什么进气阀提前打开和延迟关闭可以使气缸在进气过程中吸入更多的新气呢？其道理主要是：

1. 进气阀处存在阻力，其阻力的大小与进气阀的通道面积有关，如通道面积大，则其阻力小；反之，则其阻力大。进气阀提前开启，可以保证当活塞到达上死点时，进气阀有较大的开启量，以降低进气阀的流动阻力，这样相对地可以吸入更多的新气。

2. 在进气过程中，虽然在下死点后活塞开始上行，但此时外界空气压力还大于气缸内的压力，同时，流动的气流有惯性，因此，在下死点后还可以继续让进气阀开启一段时间，以便使气缸吸进更多的新气。

（二）第二冲程——压缩冲程。空气的压缩是在活塞从下死点向上运动时，自进气阀关闭（点 2）开始至活塞到达上死点（点 3）的时间内进行的。第一冲程吸入新气，经此冲程后，压力增高到 $30 \sim 40$ 公斤/厘米²，温度升至 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ ，燃油在压缩过程的后期（即上死点 3 之前）通过喷油器 II 射入气缸与其中的空气混合，由于此时空气的温度较燃油的着火温度高得多，故燃油射入气缸后就自行着火燃烧。由此可见，在这过程中，除了主要进行空气的压缩过程外，还包括进气的延迟部分，燃油和空气的混合，以及发火燃烧。全部压缩过程所占的曲轴转角一般约为 $140 \sim 160^\circ$ ，图中用曲轴转角 φ_{2-3} 表示。

（三）第三冲程——燃烧及膨胀冲程。燃油在压缩过程的后期，即上死点稍前就通过喷油器 II 射入气缸，自此喷油开始，经过极短的滞燃时间后就一面喷油，一面燃烧，直至喷油结束（点 4），燃烧也基本结束。在此冲程之初期，由于燃油的强烈燃烧，使气缸内压力温度急剧升高、压力增至 $60 \sim 90$ 公斤/厘米²，温度升至 $1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ ，当活塞越过上死点后，至射油结束前（即点 4 之前）这一阶段中，由于燃油不断经喷油器射入，燃气一边燃烧一边膨胀，气缸内的压力几乎不变，直至射油结束。此后，高温高压的气体就开始进入膨胀过程，活塞在高温高压的气体膨胀作用下推向下行，同时对外做功。由于燃气的膨胀，气缸内的压力温度也逐渐下降，一直到排气阀（点 5）打开，膨胀才结束，此时燃气的压力一般降至

2.5~4.5公斤/厘米²，温度降到600~750℃。在此冲程中，燃气膨胀对外做功，故又称工作冲程，图中用曲轴转角 φ_{3-4-s} 表示。

(四)第四冲程——排气冲程。在工作冲程结束后，气缸里充满了废气，当活塞往上行时，排气阀打开，废气被活塞经排气阀推挤出去，直至活塞到达上死点为止。但是，实际上为了降低活塞上行时的背压，排气阀总是提前开启的，一般在下死点前20~45°曲轴转角。在这段时间内，废气是在气缸内外压差的作用下经排气阀排出气缸，而气缸内的压力迅速下降到1.05~1.1公斤/厘米²，温度下降到350~450℃。当活塞经下死点上行时，废气被活塞推出气缸。为了尽可能把废气排净，排气阀也总是延迟（点6）关闭的，一般在上死点后10~15°曲轴转角时才关闭，此时仍可利用气缸内外压力差及气流的惯性继续把废气排出。在图中用曲轴转角 φ_{s-6} 表示排气过程。

进行了上述四个过程，柴油机就完成了一个工作循环。当活塞继续运动时，另一个新的工作循环按同样的顺序重复进行。

由上述可知，四冲程柴油机完成一个工作循环曲轴要转两转。而每个工作循环中只有第三冲程是对外做功的，其他三个冲程都是为工作冲程服务的辅助过程，完成这些过程需要消耗能量（负功）。在单缸柴油机中，完成这些辅助过程所需的能量，是由飞轮贮藏的动能来供给的，在多缸机中，是由其他正在做功的气缸来供给的。

四、气阀定时

气阀定时，又称配气定时，它表示进排、气阀的开闭时刻，一般用气阀定时图来表示。图 I-1-3 为 6160 型柴油机的气阀定时图。由图可以知道进、排气阀的开闭时间以及它们所占的曲轴转角。

由图看出，进气阀和排气阀在上死点前后有一段时间是同时开启的，这个同时开启的时间用所占的曲轴转角表示，称为气阀重叠角，图中这个气阀重叠角为26°。

在进排气阀同时开启的时间内，只要气阀重叠角选择得当，由于排气将近结束时气流的惯性，使得废气沿着原先的流动方向继续排出气缸，加上此时进气阀的开度不大，故废气是不会向进气管倒流的。而且，由于废气排出时，在燃烧室内会形成低压，造成吸入气体的有利条件，就象滴滴涕喷筒抽吸液体一样，将新气吸入气缸中，而新气的充入又能起将废气赶出气缸的作用。

恰当的气阀重叠角随机型不同而异。增压柴油机较非增压柴油机的气阀重叠角来得大。这是由于进气压力高于大气压力，因此可以更早的打开进气阀，使进气量增大，而且这样还可利用新气清扫气缸中的残留废气和冷却气缸、活塞及排气阀。对于非增压柴油机，气阀重叠角一般在15~50°的范围内。增压柴油机的气阀重叠角还要大些。

正确的气阀定时，一般都是通过实验的方法才能确定。表 I-1-1 是四冲程柴油机气阀定时值的范围。

气阀定时是否恰当，对柴油机的经济性和正常运转影响很大，因此，在拆装维修时，要检查和调整气阀定时是否正确。另外，柴油机在使用过程中，由于配气机构的磨损或调节螺钉的松动而引起气阀定时改变，也会影响柴油机的经济性并使柴油机运转不正常，这时也需

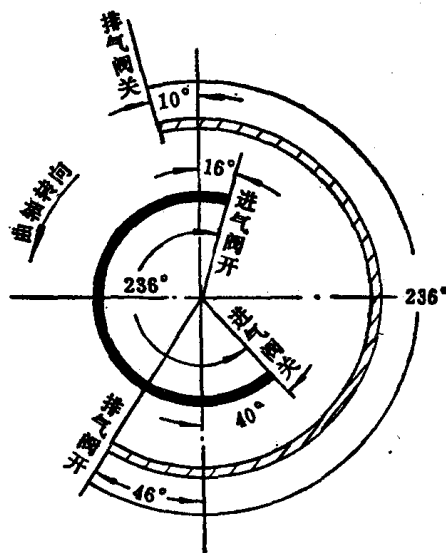


图 I-1-3 气阀定时图

表 I-1-1

机 型	非 增 压 式		增 压 式	
名 称	开 启	关 闭	开 启	关 闭
进 气 阀	上死点前 $15\sim 30^\circ$	下死点后 $10\sim 30^\circ$	上死点前 $40\sim 80^\circ$	下死点后 $20\sim 40^\circ$
排 气 阀	下死点前 $35\sim 45^\circ$	上死点后 $10\sim 20^\circ$	下死点前 $40\sim 55^\circ$	上死点后 $40\sim 50^\circ$

检查调整气阀定时。如何调整和检查气阀定时，可参考柴油机的拆装与维修一章。

五、二冲程柴油机的工作原理

(一)二冲程柴油机的工作原理

图 I-1-4 为二冲程柴油机的工作原理图。从图中可以看出，二冲程柴油机与四冲程柴油机在构造上不同的地方是它没有进排气阀和配气机构，而在气缸套的下端开有一排扫气口 5、6，并且设有扫气泵 1，扫气泵 1 是由柴油机的曲柄连杆机构带动的。二冲程柴油机的进气是利用扫气泵进行的。空气从泵的吸入阀 2 吸入，经压缩后由排出阀 3 排出，储存在具有较大容积的容器 4 中（一般称扫气箱），并在其中保持一定的压力。在膨胀冲程中，活塞下行，先把排气口 6 打开，气缸内的大量废气经排气口排入排气管 7 内。当气缸内压力降低至近于扫气压力时，活塞亦刚好下行到把扫气口 5 打开，于是，扫气箱中的空气经进气口 5 进入气缸。从此时起，进气和排气同时进行，此时新鲜空气充入气缸还起着把废气推赶出气缸的作用，直至活塞下行至下死点又向上运动，活塞将进气口关闭，气缸才停止充气，然后把排气口关闭，至此进排气过程全部结束，而开始压缩过程和燃烧膨胀过程。这些过程的进行情况与四冲程柴油机相同。因此，二冲程柴油机与四冲程柴油机的工作过程的不同之处仅在于进气过程和排气过程。二冲程柴油机的进排气过程是在前一循环的膨胀冲程末了和后一循环的压缩冲程初期的一段时间内完成的。二冲程柴油机每两个冲程内完成一个工作循环，从而提高了柴油机的作功能力。2E135、4E135A、6E135 型和 2E105 型柴油机就是采用这种工作原理。

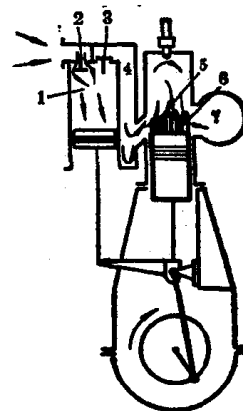


图 I-1-4 二冲程柴油机的工作原理

(二)二冲程柴油机的扫气形式

二冲程柴油机的扫气（或称换气）形式，根据气流在气缸中流动方向分为弯流式和直流式两大类。一般的扫气形式有下面三种。

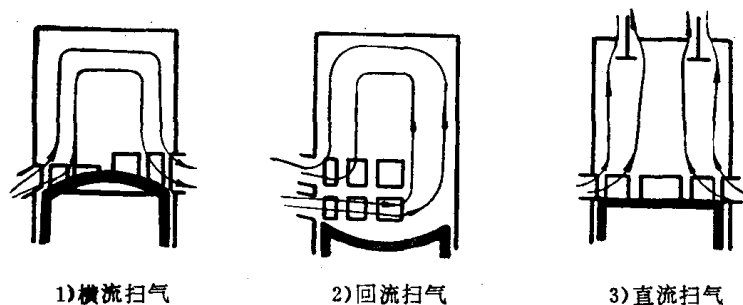


图 I-1-5 二冲程柴油机的扫气形式

排气口与进气口均布置在气缸的同一边，排气口布置在进气口的上面，如图 I-1-5 2) 所示。扫气时的气流的路线是沿气缸壁引向气缸上部后折回，使废气由排气口排出。

3. 直流扫气

这种扫气形式如图 I-1-5 3) 所示, 在气缸下部的一整圈上均为进气口, 而排气是由装在气缸盖上的排气阀来完成的。扫气时气流的路线是由下向上流动的。

前两种形式在低速二冲程柴油中用得较多, 而后一种形式用得最广泛, 不论是低速、中速或高速柴油机都有采用。

(三) 四冲程柴油机与二冲程柴油机的比较

理论上, 在气缸容积和转速相同的条件下, 二冲程柴油机的功率应为四冲程的二倍。然而, 由于二冲程柴油机的压缩和膨胀冲程被进、排气过程占去了一部分, 加上带动扫气泵又要消耗柴油机一部分功率, 故实际上二冲程柴油机的功率只为四冲程的 1.6~1.7 倍。其次, 二冲程柴油机由于相邻的作功冲程之间的间隔短, 故运转时要比四冲程柴油机均匀。这些是二冲程柴油机的优点。二冲程柴油机的缺点主要是由于进、排气过程时间短, 因而废气的清除和新气的充入不如四冲程完善, 特别是在高速时, 这个缺点更为突出。其次是由于废气和新气的掺混, 使进入气缸的新气在排气口开着的时候要随着废气一起排出一部分, 这就增加了新气的消耗, 从而损失了柴油机的一部分有效功。故一般来说, 二冲程柴油机在经济性方面较四冲程柴油机稍低一些。由于这些理由, 在实际使用中, 四冲程柴油机和二冲程柴油机都有采用, 一般来说, 大型低速柴油机都是采用二冲程的, 而小型高速柴油机多采用四冲程的。

第二节 柴油机的类型与型号

一、柴油机的分类

应用在船舶上的内燃机的种类很多, 按其基本特征可以分为以下各类。

(一) 按柴油机实现循环的方法来分类

1. 四冲程柴油机;
2. 二冲程柴油机。

(二) 按其新鲜空气充入气缸的方法分类

1. 非增压式柴油机;
2. 增压式柴油机。

(三) 按柴油机转速 n 或活塞平均速度 C_m 分类

1. 低速柴油机—— $n < 500$ 转/分, $C_m = 4 \sim 6$ 米/秒;
2. 中速柴油机—— $n = 500 \sim 1000$ 转/分, $C_m = 6 \sim 9$ 米/秒;
3. 高速柴油机—— $n > 1000$ 转/分, $C_m \geq 9$ 米/秒。

(四) 按柴油机在船上的应用分类

1. 船用主机——用来驱动螺旋桨;
2. 船用辅机——用来驱动船上的辅助机械, 如带动发电机、水泵、空气压缩机等。

(五) 按柴油机的结构特点分类

1. 箱式柴油机和十字头式柴油机。一般中、小型柴油机多属前者, 而大型低速柴油机多采用后者。

2. 可反转及不可反转式柴油机。

3. 右型柴油机和左型柴油机。右型柴油机是从船尾向船首看, 曲轴是顺时针方向转的, 反之为左型柴油机 (简称为右机或左机)。

4. 直列式柴油机和斜列式（又称多列式）柴油机。其中有 V 型、W 型、X 型、H 型、 ∇ 型、 $\square$ 型、星型等，图 I-1-6 即为其中的几种型式。

(六) 按柴油机的动作方法分类

1. 单动式柴油机——柴油机的工作循环仅在活塞上部气缸空间内完成。

2. 双动式柴油机——柴油机的工作循环在活塞上部空间及下部空间同时完成两个循环。

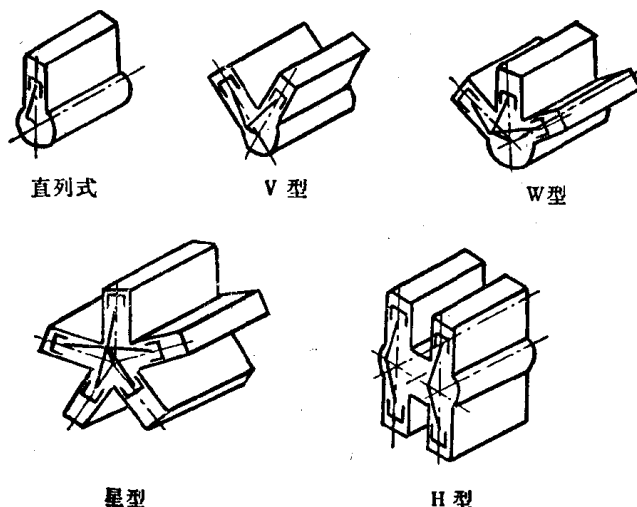


图 I-1-6 气缸排列型式

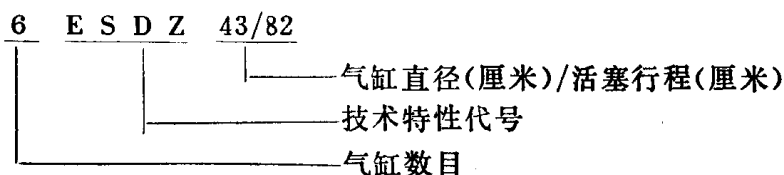
二、船舶柴油机的型号

每一种柴油机都有一个特定的型号作为该种柴油机的代号。型号通常用简单的几个字母和数字来表示柴油机的某些基本技术特性以及气缸直径和活塞行程等。各国柴油机的型号所用的代号不同，而且型号代表的内容也不一致。

现将我国有关部门关于柴油机型号表示方法作一般介绍。

(一) 船用大型柴油机

这类柴油机的型号由三部分组成，首部表示缸数，中部是技术特性代号，尾部表示气缸直径和活塞行程。其中中部，选取柴油机的几个主要技术特性，各以汉语拼音第一个字母代表，首部和尾部则以数字表示。例如：



中部技术特性代号的含义是这样：

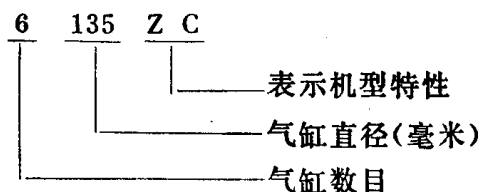
E (Er) —— 二冲程；D (Dao) —— 倒转；

S (Shi) —— 十字头；Z (Zhen) —— 增压。

上例所举的型号即表示该柴油机为六缸、二冲程、十字头式、可倒转、增压式船用柴油机，它的气缸直径是43厘米，活塞行程是82厘米。

(二) 船用中、小型柴油机的型号

我国中小型柴油机已定型生产的有好几个系列品种，但是型号的统一表示方法尚未确定。现用的表示方法与船用重型柴油机的表示方法基本相同，柴油机的型号也分三部分，首部数字表示缸数，中部三个数字表示气缸直径，尾部则表示机型特性。例如：



柴油机的机型特性代号的含义是这样：

Z—增压，D—可倒转，F—风冷，L—直立式，C—船用，J—机车用，Q—汽车用，

T—拖拉机用。

如为 V 型柴油机，则在首部与中部之间加写字母 V，例如 12V135 型柴油机。

如为二冲程柴油机，则在首部与中部之间加写字母 E，例 4E135 型柴油机。

第三节 船舶对柴油机的要求

船舶是水上运输工具，水上的情况复杂而且多变，因此，对船用柴油机的要求与其它用途的柴油机有所不同。一般说来，船用柴油机应满足下列一些要求。

1. 工作可靠、寿命长。即柴油机长期在额定功率下和短期超负荷运转时不发生故障，而且其大修前的工作时间一般应在下列范围：

对高速柴油机为 5000~6000 小时；

对中速柴油机为 7000~8000 小时；

对低速柴油机为 40000~60000 小时。

2. 功率大，重量轻，尺寸小。即单位马力的重量和尺寸要小，以便使船舶提高其装载量及获得较高的航速。

3. 机动性能好。柴油机起动时，应能保证曲轴在任何位置时都能起动，而且起动时间不得超过 8 秒。换向时间要短，一般应在 15 秒内。

4. 柴油机在负荷变化时，运转要稳定。即由部分负荷到全负荷时，加速性能良好；而在低转速时能稳定运转。

5. 经济性好。即要求在额定功率和部分功率时，燃油和滑油的耗量要低。

6. 柴油机应保证能在船舶长期纵倾 15° 及横倾 15° 的条件下运转，并保证能在短期纵倾 25° 及横倾 45° 的条件下正常工作。

7. 噪音、振动尽可能的小，以保证船员能持续顺利地进行工作和仪表设备正常运行。

8. 操纵管理方便，维修保养容易。柴油机的构造必须适合在船舶条件下进行拆装和紧急修理的需要。

9. 船用柴油机主要零件的强度及有关装置构造应符合船舶检验规范的有关规定。

第四节 中、小型柴油机的主要技术指标及特性曲线简介

我们常用压缩比、平均有效压力、机械效率、额定功率、耗油率等技术指标来说明和评价柴油机的工作性能和经济性，下面把这些常用的技术指标的意义及它们之间的关系加以说明。

一、压缩比

压缩比就是气缸的总容积与压缩容积之比值，常以符号 ϵ 表示。若气缸的总容积以 V_s 表示，气缸的工作容积以 V_e 表示，压缩容积（又称燃烧室容积）以 V_c 表示（图 1-1-7 所示），则：

$$\epsilon = \frac{V_s}{V_c} = \frac{V_s + V_c}{V_c}$$

由此可知，压缩比也就是表示进入气缸的空气被压缩后缩小的倍数。

压缩比的大小将影响柴油机的热效率、起动的可靠性以及工作时的振动和噪音等。

二、平均有效压力和平均指示压力

平均有效压力表征柴油机的工作能力的大小。例如，不同的两台柴油机，它们的转速、缸径、行程、机械效率等都相同，而只是平均有效压力不同，则平均有效压力大的功率就

大，也就是它的做功能力大。

平均有效压力常以 P_e 表示，它等于平均指示压力乘以机械效率，即：

$$P_e = P_i \cdot \eta_m \text{ (公斤/厘米}^2\text{)}$$

式中： P_i 为平均指示压力 (公斤/厘米²)；

η_m 为柴油机的机械效率。

平均指示压力在数值上等于气缸在一个实际工作循环中所做的功与气缸工作容积之比值。活塞在一个实际工作循环中所做的功可用示功器测得，它等于示功图所包的面积 W_i (见图 I-1-8)，则：

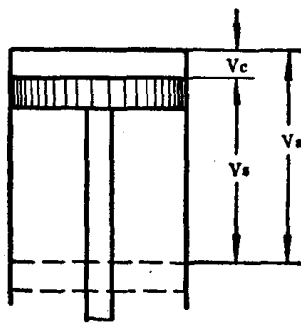


图 I-1-7 气缸容积示意图

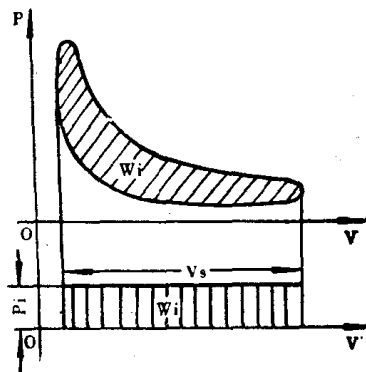


图 I-1-8 平均指示压力示意图

$$P_i = \frac{\text{活塞在一工作循环中所做的功}}{\text{气缸的工作容积}} = \frac{W_i}{V_s} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)}$$

这就是说，平均指示压力表示气缸在一个工作循环中单位气缸容积所做的功。因此，平均指示压力与平均有效压力一样，也是用来表征柴油机的工作能力的。

三、柴油机的指示功率、有效功率和机械效率

功率就是每秒钟所做的功，其单位用公斤-米/秒来表示。工程上一般采用“马力”为单位，1 马力 = 75 公斤-米/秒，即表示在一秒钟内完成 75 公斤-米的功称为 1 马力。

(一) 指示功率

指示功率就是柴油机在单位时间内燃气推动活塞所作的功，常以 N_i 来表示。

若用示功器测得柴油机在某一转速下的示功图，然后根据示功图求得平均指示压力 P_i ，则柴油机在该转速下发出的指示功率可用下式求得：

$$N_i = \frac{P_i \cdot S \cdot F \cdot n}{75 \times 60} \cdot \frac{i}{m} \text{ (马力)}$$

式中： P_i ——平均指示压力 (公斤/厘米²)；

F ——活塞面积 (厘米²)；

S ——活塞行程 (米)；

n ——曲轴转速 (转/分)；

i ——柴油机的气缸数目；

m ——每工作循环的冲程数目。对四冲程柴油机 $m = 2$ ；对二冲程柴油机 $m = 1$ 。

对于某一机型柴油机来说， S 、 F 、 i 及 m 是给定的，即 $\frac{S \cdot F \cdot i}{75 \cdot 60 \cdot m}$ 为一常数，设为 K ，

这样上式可改写成：

$$N_i = K \cdot P_i \cdot n$$

由此可知，当转速 n 一定，指示功率 N_i 只与平均指示压力 P_i 有关， P_i 大，则 N_i 就大，即柴油机的工作能力大。

(二)有效功率

有效功率就是指从曲轴飞轮端输出的功率，它是用来带动螺旋桨的有效功率。有效功率又称轴功率或制动功率。它常用 N_e 来表示，可用下式计算：

$$N_e = \frac{P_e \cdot F \cdot S \cdot n \cdot i}{75 \cdot 60 \cdot m} \quad (\text{马力})$$

式中： P_e ——平均有效压力（公斤/厘米²）；

与指示功率一样，对于某一机型，上式也可简化为：

$$N_e = K \cdot P_e \cdot n$$

因此，当转速 n 一定时，平均有效压力 P_e 大，则柴油机的有效功率 N_e 也大。而提高平均有效压力 P_e 最有效的办法就是采用废气增压。

(三)机械效率

机械效率就是曲轴所获得的有效功率与气缸内的指示功率之比，常以 η_m 来表示，即：

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

机械效率表示活塞所获得的指示功率，通过活塞连杆机构、曲轴等部件变为曲轴飞轮端的有效功率这一过程中的机械摩擦损失，以及带动辅助机构，如凸轮轴、水泵、润滑油泵、高压油泵等所消耗的功率的大小。

在额定工况下，各种型式的船用柴油机的平均指示压力 P_i ，平均有效压力 P_e 及机械效率 η_m 值的大致范围如表 I-1-2 所示。

表 I-1-2

型 式	P_i (公斤/厘米 ²)	P_e (公斤/厘米 ²)	η_m
非增压四冲程柴油机	6.5~10	5.2~6.5	0.78~0.85
增压四冲程柴油机	9~25	7.0~2.0	0.80~0.92
非增压二冲程柴油机	5.5~9.0	4.2~6.5	0.73~0.86
增压二冲程柴油机	9.0~18	6.5~15	0.80~0.92

柴油机的平均有效压力、平均指示压力、有效功率和指示功率都是表征柴油机工作性能的技术指标，这类指标分为指示指标和有效指标。指示指标是以燃气对活塞所做的功为基础的性能指标，它表示了气缸内工作循环完成的好坏，即表示燃油在气缸中燃烧后，由热能转变为活塞的机械功的过程中，热能被利用的程度。或者说，这些指标仅考虑了柴油机在能量转变过程中的热损失（如冷却水和排气带走的热量）。而有效指标是指相对于曲轴处来说的指标。柴油机气缸内发出的指示功率，要通过活塞连杆一曲柄机构才传给曲轴的，在这个能量传递过程中，不可避免地产生一系列机械损失（如运动机件间的摩擦损失，带动辅助机械的损失等）。有效指标就是除了考虑热损失外，还考虑能量传递过程中的机械损失。机械损失的大小常以一相对数值来表示，这个相对数值就是机械效率。

四、柴油机的燃油消耗率和燃油消耗量

燃油消耗率简称耗油率，是柴油机的经济性指标。它有指示耗油率和有效耗油率之分。

指示耗油率就是每指示马力小时所消耗的燃油量，常以 g_i 表示。

若在柴油机试验时，测得柴油机每小时的耗油量 G_T （单位为公斤/小时）及柴油机的指示功率 N_i ，则：

$$g_i = \frac{G_T}{N_i} \quad (\text{公斤/指示马力一小时})$$

在实用上，用得更多的是有效耗油率，它表示每有效马力小时所消耗的燃油量，常以 g_e 表示。只要测得柴油机每小时耗油量 G_T （公斤/小时）及有效功率（马力），则：

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} \quad (\text{公斤/指示马力一小时})$$

例如，测得6135型柴油机每小时耗油量为 20 公斤/小时，此时用测功器测得有效功率为 120 马力，则有效耗油率为：

$$g_e = \frac{20}{120} = 0.175 \quad (\text{公斤/有效马力一小时})$$

船用柴油机的有效耗油率 g_e 的数值范围如下：

四冲程非增压柴油机 $g_e = 0.165 \sim 0.185$ ；

四冲程增压柴油机 $g_e = 0.140 \sim 0.168$ ；

二冲程非增压柴油机 $g_e = 0.160 \sim 0.200$ ；

二冲程增压柴油机 $g_e = 0.150 \sim 0.160$ 。

五、额定功率、持续功率及最大功率

额定功率是经有关部门鉴定核准的标准数值（以马力计）。它是指在大气压为 760 毫米水银柱，气温为 20°C ，相对湿度为 50% 时，柴油机牵带消音器、冷却水泵、滑油泵、燃油输送泵、高压油泵、充电发电机、空气分配器、增压器及扫气泵等辅助设备的情况下，允许连续运转 12 小时的有效功率。

持续功率又称持久功率或连续运转功率，它是指长时间（12 小时以上）连续运转的功率，一般为额定功率的 90%，如以 6135 型柴油机为例，其额定功率为 120 马力，其持续功率为 $120 \times 90\% = 108$ 马力。

最大功率也称超额功率，它是指柴油机在一小时内允许超过额定功率的 10%（即 110% 额定功率）的条件下运转的功率。同样以 6135 型柴油机为例，其最大功率为 $120 \times 110\% = 132$ 马力，在此功率下运转不得超过一小时。

上述三种功率的标定就是陆用柴油机三级功率制。

六、船用柴油机的功率说明

根据船舶标准规定，船用柴油机的额定功率是指在船上的环境温度为 30°C ，大气压力为 760 毫米水银柱，相对湿度为 60% 的条件下，长期运转的功率。而其最大功率为船用额定功率的 110%，此时转速为额定转速的 103%。在此最大功率下应能运转一小时。船用柴油机的功率标定是采用二级功率制。例如 6300C 型船用柴油机，其额定功率（即持续功率）为 400 马力，其最大功率为 440 马力，此时转速为 412 转/分。

陆用柴油机功率的标定是采用三级功率制，且其标准条件规定为大气压力为 760 毫米水银柱、气温为 20°C ，相对湿度为 50%。当陆用柴油机用在船上时，其功率的标定应按船舶