

内河船舶轮机员培训教材

船 舶 柴 油 机

·Chuanbo Chaiyouji

武汉河运专科学校 编

人 民 交 通 出 版 社

前 言

本书根据1982年6月交通部在南宁召开的全国九省、区职工教育研究会议所制定的“内河船舶轮机员培训教学计划与大纲”编写而成。

本书结合我国内河船舶上常用的105型、135型、160型及300型等几种柴油机,着重介绍了船舶柴油机的工作原理,柴油机主要机件和各系统的功用、工作条件、结构特点、使用管理、检查调试及故障修理等基本知识。

本书由武汉河运专科学校陈红均主编,王介文主审,全体编写人员共同审定。第一、二、三、四章由陈红均编写;第五章由王介文编写;第六、十章由温兆振编写;第七章由叶小明编写;第八、九章由盛觉新编写。林幼生、袁力军等协助制图。

本书主要作为功率在29.4千瓦(40马力)~750千瓦(1020马力)、吨位在50总吨~1600总吨的各级船舶轮机部船员培训用教材,也可供内河中等专业学校、技工学校轮机管理专业的学生及其他轮机管理人员参考。

由于时间仓促,水平有限,错误难免,恳请读者批评指正。

编 者

1983年10月

内 容 提 要

本书主要从我国内河船舶的实际出发,结合内河船舶上常用的105型、135型、160型及300型等几种柴油机,着重介绍了船舶柴油机的工作原理、柴油机主要机件和各系统的功用、工作条件、结构特点、使用管理、检查调试及故障修理等知识。

本书主要作为功率在29.4千瓦~750千瓦、吨位在50总吨~1600总吨的各级船舶轮机部船员培训用教材,也可供内河中等专业学校、技工学校轮机管理专业的学生及其他轮机管理人员参考。

内河船舶轮机员培训教材 船 舶 柴 油 机 武汉河运专科学校 编

人民交通出版社出版
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: 16.375 字数: 350千

1984年10月 第1版

1984年10月 第1版 第1次印刷

印数: 0001~9,850册 定价: 1.70元

目 录

第一章 柴油机工作原理	1
第一节 概述.....	1
第二节 四冲程柴油机的工作原理.....	7
第三节 二冲程柴油机的工作原理.....	14
第四节 增压柴油机的工作原理.....	18
第五节 国产柴油机的型号表示法.....	22
第二章 柴油机主要部件	27
第一节 机座.....	28
第二节 机体.....	34
第三节 主轴承.....	40
第四节 气缸套.....	50
第五节 气缸盖.....	62
第六节 活塞组件.....	69
第七节 连杆组件.....	91
第八节 曲轴组件.....	105
第三章 配气系统	122
第一节 配气机构的功用及组成.....	122
第二节 气阀配气机构的检查和修理.....	141
第三节 气阀间隙与配气定时的检查与调整.....	148
第四节 柴油机的进排气管路.....	157
第四章 燃油系统与调速装置	168
第一节 燃油.....	168

第二节	燃油系统的功用、组成和要求	176
第三节	输油泵	181
第四节	喷油泵	184
第五节	喷油器	205
第六节	燃油系统的维护管理	212
第七节	柴油机调速器的作用、分类及工作原理	228
第八节	调速器的构造	237
第九节	调速器的使用与维护	258
第五章	润滑系统与冷却系统	266
第一节	摩擦与润滑	266
第二节	润滑油	270
第三节	润滑系统的组成	273
第四节	润滑系统的分类	279
第五节	润滑系统的管理	283
第六节	受热与冷却	288
第七节	冷却系统的组成	291
第八节	冷却系统的分类	296
第九节	冷却系统的管理	302
第六章	操纵系统	306
第一节	柴油机的起动方法及要求	306
第二节	电力起动	307
第三节	压缩空气起动	314
第四节	辅助起动的装置	326
第五节	起动装置的常见故障及其排除方法	328
第六节	柴油机的换向	329
第七节	直接换向装置	331
第八节	船用液压齿轮箱	351

第九节	液压齿轮箱的故障及排除	374
第七章	柴油机的燃烧过程、热平衡、工作指标 和特性	379
第一节	柴油机燃烧的基本原理	379
第二节	燃烧室的功用、分类和构造	382
第三节	柴油机的热平衡	387
第四节	柴油机的工作指标	389
第五节	柴油机的特性	394
第八章	柴油机增压	407
第一节	柴油机增压的意义和增压的方式	407
第二节	废气涡轮增压器概述	412
第三节	柴油机加装废气涡轮增压后结构和性能的变化	427
第四节	废气涡轮增压器使用中的维护管理	430
第五节	增压器常见故障及其排除方法	432
第六节	涡轮增压器的拆装和间隙调整	436
第九章	船舶轴系与螺旋桨	441
第一节	船舶轴系的组成与功用	441
第二节	轴系的安装及校中	461
第三节	螺旋桨的结构及测量方法	475
第十章	柴油机的使用与维护保养	481
第一节	柴油机的操作管理	481
第二节	柴油机运转中常见的故障及其排除 方法	485
第三节	柴油机的装配、检验与试车	501
第四节	系泊试验与航行试验	505

第一章 柴油机工作原理

第一节 概 述

一、什么叫柴油机

发动机是将某种能量转变为机械能的机器，如水力发动机、风力发动机、电力发动机、原子能发动机及热力发动机等。

热力发动机简称热机，它是把燃料燃烧时所产生的热能转变为机械能的机器。按燃料燃烧时场合的不同，热机可分为外燃机和内燃机两大类。

燃料的燃烧在发动机气缸以外特设的锅炉中进行的热机称为外燃机，如蒸汽机、汽轮机等。在这种热机中，燃料燃烧时放出的热能用来加热水，使水变成蒸汽后，再进入蒸汽机或汽轮机中膨胀作功。所以外燃机在机器内部只进行从热能到机械能的一次能量转换。

燃料在气缸内部燃烧，放出热能，并直接利用高温高压的燃气的膨胀，推动活塞对外作功的机器称为内燃机，如汽油机、煤气机、柴油机等。内燃机在机器内部要完成从化学能到热能，再从热能到机械能的两次能量转换。

柴油机是内燃机中的一种，它是以柴油作燃料的热机。柴油机与汽油机的主要区别在于气缸中点燃燃料的方式不同。汽油机是利用电火花塞来点燃气缸中汽油与空气的混合气

体；在柴油机中，燃料不是靠外界火源点燃的，而是在高温下自己发火燃烧的。为此，在压缩冲程中，活塞压缩气缸中的新鲜空气，使其温度升高到超过柴油自燃的温度，然后使喷入的柴油自行发火燃烧做功，所以也称柴油机为“压燃式内燃机”。

由于柴油机具有很多突出的优点，因此得到迅速的发展和广泛的应用。其主要优点如下：

1. 经济性好

目前，柴油机动力装置的热效率在各种动力装置中是最高的。往复蒸汽机的热效率为11~16%、汽油机小于30%，而柴油机则高达30~46%。同时，柴油机能燃用重质柴油，燃料费用低，而且耗油率较低。起动前和停车后不消耗燃料。

2. 结构紧凑

柴油动力装置的总重量较轻，尺寸较小。不需要锅炉、冷凝器等大型设备，减少了机舱设备所占的容积和重量，有利于船舶机舱布置。

3. 功率范围广

目前，柴油机气缸直径最小为55毫米，最大已达1060毫米。单机功率最小为1.1千瓦(1.5马力)，最大可达35,328千瓦(48000马力)。

4. 使用操作方便

在正常情况下，柴油机能在3~5秒钟内发动起来，并能在很短时间内达到最大功率。有较大的调速范围，能适应船舶航行的各种要求。可以直接反转，倒车性能良好。

5. 安全可靠

柴油在常温下不易着火燃烧，贮存、运输、使用均较安

全可靠。

由于柴油机具有上述优点，因此在船舶上的应用与日俱增。当前，三万吨以下的民用船舶中，绝大多数以柴油机为推进动力。军用舰艇中，除少数大型舰艇外，中小型仍以柴油机推进为主。内河及沿海中小型船舶绝大部分都采用柴油机作为推进动力。所以，柴油机在船舶动力装置中占有绝对的优势，它是一种最经济和最合理的船舶动力装置。

二、柴油机的主要部件

四冲程柴油机的主要部件如图 1-1 所示。

1) 固定部件 (机座1、机体4、主轴承3、气缸套6、气缸盖7等)。

2) 运动部件 (活塞8、活塞销9、连杆10、连杆螺栓11、

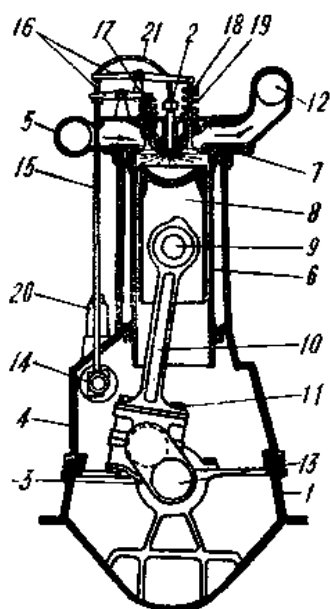


图1-1 四冲程柴油机的主要部件
1-机座；2-喷油器；3-主轴承；4-机体；5-进气管；6-气缸套；7-气缸盖；8-活塞；9-活塞销；10-连杆；11-连杆螺栓；12-排气管；13-曲轴；14-凸轮轴；15-顶杆；16-摇臂；17-进气阀；18-排气阀；19-气阀弹簧；20-喷油泵；21-高压油管

曲轴13等)。

3)配气系统(凸轮轴14、顶杆15、摇臂16、进气阀17、排气阀18、气阀弹簧19、进气管5、排气管12等)。

4)燃油系统(喷油泵20、高压油管21、喷油器2等)。

此外,柴油机还必须具备润滑、冷却、起动、调速、换向、操纵及增压等系统。

二冲程柴油机的主要部件与四冲程略有区别,如图1-2所示。

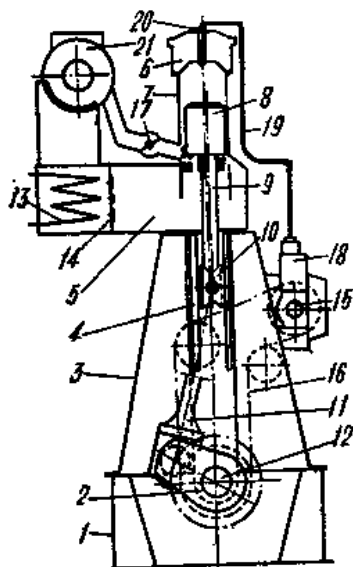


图1-2 二冲程柴油机的主要部件
1-机座; 2-主轴承; 3-机架; 4-导板; 5-扫气箱; 6-气缸盖; 7-气缸体; 8-活塞; 9-活塞杆; 10-十字头; 11-连杆; 12-曲轴; 13-空气冷却器; 14-气阀; 15-凸轮轴; 16-凸轮轴传动链; 17-排气转阀; 18-喷油泵; 19-燃油管; 20-喷油器; 21-增压器

1)固定部件(机座1、主轴承2、机架3、导板4、扫气箱5、气缸盖6、气缸体7等)。

2)运动部件(活塞8、活塞杆9、十字头10、连杆11、曲轴12等)。

3)配气系统(凸轮轴15、凸轮轴传动链16、排气转阀17等)。

4)燃油系统(喷油泵18、燃油管19、喷油器20等)。

5)增压系统(增压器21、口琴阀14、空气冷却器13等)。

此外,二冲程柴油机也具备润滑、冷却、起动、调速、换向、操纵等系统。

三、柴油机常用的几何名称

如图1-3所示,柴油机的主要几何名称如下:

1.上死点

活塞在气缸中运动的最上端位置,也就是活塞离曲轴中心线最远的位置。

2.下死点

活塞在气缸中运动的最下端位置,也就是活塞离曲轴中心线最近的位置。

3.冲程

上下死点之间的垂直距离,常用 S 表示。它等于曲柄半径 R 的两倍,即 $S=2R$ 。若用曲柄转角来表示,一个冲程相当曲柄转角 180° 。

4.曲柄半径

曲轴的曲柄销轴线与主轴颈轴线的垂直距离,常用 R 表示。

5.缸径

气缸直径,常用 D 表示。

6.压缩容积

活塞位于上死点时,活塞顶与气缸盖底面之间的气缸容

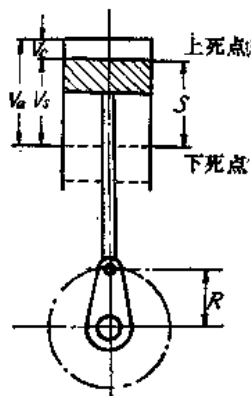


图1-3 柴油机的几何名称

积，又称燃烧室容积，常用 V_c 表示。

7. 气缸工作容积

活塞从上死点到下死点所扫过的空间，又称冲程容积或活塞排量，常用 V_s 表示。

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

8. 气缸总容积

活塞在下死点时，活塞顶以上的全部空间称为气缸总容积，它是压缩容积和工作容积之和，常用 V_a 表示。

$$V_a = V_c + V_s \quad (1-2)$$

9. 压缩比

气缸总容积与压缩容积的比值称为压缩比，常用 ε 表示。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} \quad (1-3)$$

压缩比 ε 是柴油机的一个重要性能参数，它表明气缸内空气被活塞压缩的程度。压缩比若过大，压缩终了的气体压力就大，温度也高，燃油就越容易着火燃烧，致使燃烧爆炸压力过高，使零部件受力大、磨损增加。压缩比过小，压缩终了时的气体压力和温度就低，燃油不易着火燃烧，使柴油机起动困难、燃油燃烧不良、排气冒黑烟、耗油率增大、功率降低。总之，压缩比对柴油机的燃烧、效率、起动性能、工作平稳性及机械负荷等都有很大的影响，其大小随柴油机不同而异。船用柴油机的压缩比一般为：

低速柴油机 $\varepsilon = 13 \sim 14$

中速柴油机 $\varepsilon = 14 \sim 15$

高速柴油机 $\varepsilon = 15 \sim 19$

可以通过调整气缸盖垫片的厚度或者调整分制式连杆大端与连杆体之间的垫片厚度来适当的调整压缩比的大小。

第二节 四冲程柴油机的工作原理

柴油机是一种压燃式的内燃机。它和其他内燃机一样，都是使燃料在发动机的气缸中燃烧，从而生成高温高压的燃气，随后燃气膨胀，推动活塞运动，通过曲柄连杆机构对外做功，从而完成燃料的化学能转化为热能、热能再转化为机械能的两次能量转换。

柴油机中燃油的化学能要经过燃烧才能转变为热能。要燃烧就必须有空气，所以在燃油送入气缸之前，应先进入空气。有空气仅是燃烧条件之一，要使燃油燃烧，还必须使空气具有一定的温度。因吸进气缸内的空气温度很低，必须给予迅速的压缩，使之达到足够高的温度和压力，此时再将燃油以雾化状态喷入，即可在高温高压的空气中燃烧。燃油燃烧后放出大量的热能，使燃气的压力、温度急剧增高，在气缸中膨胀，推动曲柄连杆机构运动对外做功。膨胀終了需将作过功的废气排出，以便新气再次进入。

综上所述，柴油机每作一次功，都必须经过进气、压缩、膨胀做功、排气等四个过程，这四个过程进行一次称为一个工作循环。循环不断地进行，柴油机即能连续地工作。

在结构上，柴油机工作循环中的进气、压缩、膨胀做功和排气等各个过程是通过活塞、连杆、曲轴、配气系统和燃油系统等部件之间互相配合的动作来实现的。

活塞上下运动四次完成一个工作循环的柴油机称四冲程

柴油机，只用两个冲程完成一个工作循环的柴油机叫做二冲程柴油机。

一、四冲程柴油机的工作原理

图 1-4 a)、b)、c)、d) 分别表示四冲程柴油机各冲程进行的情况和活塞、曲轴等部件的相互位置。

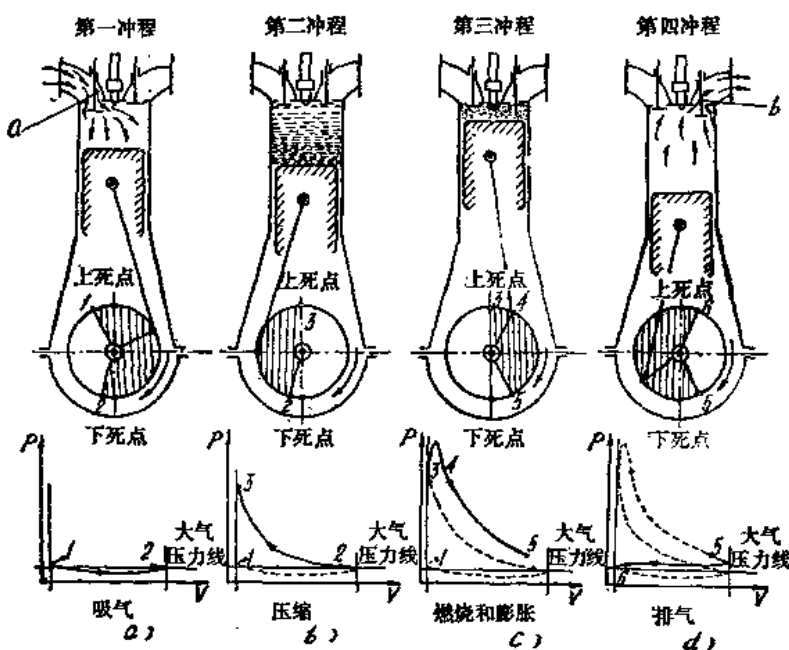


图 1-4 四冲程柴油机工作原理

1. 第一冲程——进气冲程

这一冲程的任务是使气缸内充满新鲜空气。如图 1-4 a) 所示，进气冲程开始时，活塞由上死点往下移动，进气阀 a

打开。由于气缸容积增大，使气缸内压力下降到大气压力以下，依靠气缸内外的压差和活塞下行时的抽吸作用，新鲜空气被不断地吸进气缸。在进气过程的大部分时间里，气缸内的压力低于大气压力，其值约为80~95千帕(0.8~0.95千克力/厘米²)。这时，排气阀和喷油器均关闭着。

为了使柴油机能发出较大的功率，必须在进气过程中更多地吸入新鲜空气。为此，整个进气过程是超过曲柄转角180°的，即进气阀是提前开启而延迟关闭的。气阀开启时刻可用曲柄位置来表示，进气阀一般在活塞到达上死点前就打开，即曲柄位于点1处时进气阀打开。这样可以保证当活塞到达上死点时，进气阀能有较大的流通面积，可以多进气。进气阀开启至上死点的曲柄转角叫做进气提前角。进气提前角与柴油机类型有关，对于非增压柴油机，其值约为15~18°。

进气阀是延迟在下死点后点2处关闭的。下死点后，活塞上行，气缸压缩过程已经开始。虽然气缸内的压力此时已略高于大气压力，但由于气流具有惯性，仍然可以延长一定的进气时间，让更多的空气进入气缸。下死点至进气阀关闭位置的曲柄转角叫做进气延迟角，其值也与柴油机类型有关。对于非增压柴油机，进气延迟角约为20~40°。

全部进气过程所占的总角度 φ_{1-2} (图中阴影线所占的角度)约为215~268°曲柄转角。

2. 第二冲程——压缩冲程

空气的压缩过程是在活塞从下死点向上运动，自进气阀关闭(点2处)至活塞到达上死点(点3处)的期间内进行的。其任务是压缩第一冲程吸入的空气，提高空气的温度和压力，为柴油燃烧及膨胀做功创造条件。

活塞上行，气缸容积逐渐减小，空气被压缩，其温度和

压力随之升高。活塞到达上死点时(即压缩终点), 气体温度约为 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$, 压力增至 $3.0\sim 4.5$ 兆帕($30\sim 45$ 千克力/厘米²)。通常压缩终了的气体压力和温度用 p_c 和 t_c 表示。

非增压四冲程柴油机压缩冲程所占的总角度 φ_{2-3} 约为 $140\sim 160^{\circ}$ 曲柄转角, 如图 1-4 b) 所示。

3. 第三冲程——工作冲程或称动力冲程

此冲程内进行燃烧与膨胀的过程, 是柴油机对外做功的过程。

在活塞到达上死点稍前, 燃油经喷油器以雾状喷入气缸的高温高压空气中, 并与其混合后爆发燃烧, 使气缸内气体温度迅速上升到 $1400\sim 1800^{\circ}\text{C}$, 压力增至 $5\sim 8$ 兆帕 ($50\sim 80$ 千克力/厘米²)。燃烧的最高压力(或称最大爆炸压力)常用 p_z 表示, 是柴油机的一个重要性能参数。

活塞越过上死点后, 在燃气压力作用下被推向下行, 由于气缸容积增大, 压力开始下降, 在上死点后某一时刻(点 4 处)燃烧基本结束, 燃气进入膨胀阶段。随着活塞下移, 气缸容积增大, 气缸中的压力和温度逐渐降低, 到排气阀 b 在下死点前点 5 开启时膨胀过程结束。膨胀终了时, 燃气压力降至 $250\sim 450$ 千帕 ($2.5\sim 4.5$ 千克力/厘米²), 温度降至 $600\sim 750^{\circ}\text{C}$ 。

非增压四冲程柴油机工作冲程所占的总角度 φ_{3-4-5} 约为 $130\sim 160^{\circ}$ 曲柄转角, 如图 1-4 c) 所示。

4. 第四冲程——排气冲程

这个冲程的任务是将作过功后的废气排出气缸外。

残留在气缸内的废气数量是影响下一个工作循环充气质量好坏的一个重要因素。所以, 希望废气排得越干净越好。为此, 也采取排气阀提前开启和延迟关闭。排气阀提前在工

作冲程末期5点打开，利用废气与大气压力差进行自由排气。当活塞到达下死点开始上行时，由于已有一段自由排气阶段，气缸压力已迅速降低，从而可减小活塞上行时的背压。同时，在下死点时，排气阀已有足够的开度，亦可减少排气阻力。从排气阀开启至下死点的曲柄转角叫做排气提前角，其值约为 $20\sim 45^\circ$ 。

排气阀在上死点后的点6处才关闭，这样仍可利用气缸内外压力差及气流的惯性作用，继续排出一些废气。上死点至排气阀关闭位置的曲柄转角叫做排气延迟角，其值约为 $10\sim 15^\circ$ 。

排气终了时，气缸内的压力约为 $105\sim 115$ 千帕($1.05\sim 1.15$ 千克力/厘米²)，温度约为 $300\sim 400^\circ\text{C}$ 。非增压四冲程柴油机排气冲程所占的总角度 φ_{6-5} 约为 $210\sim 240^\circ$ 曲柄转角，如图1-4 d)所示。

柴油机经过进气、压缩、工作和排气四个过程，完成一个工作循环。以后活塞继续运动，另一个新的循环又按同样的顺序重复进行。连续不断，使柴油机持续运转。

综上所述，四冲程柴油机有如下几个特点：

1) 一个工作循环是在曲轴转两转内完成，每一工作过程几乎都占一个活塞冲程。

2) 在曲轴转两转过程中，排气阀、进气阀、喷油器均只启闭一次，因此凸轮轴的转速比曲轴慢一半。

3) 在每一个工作循环中，只有工作冲程是对外做功，其余三个冲程都是辅助冲程，需要外界供给能量。

4) 进气阀在上死点前开启，排气阀在上死点后关闭，两者在同时开启时间内所转过的角度叫做进排气重叠角。四冲程柴油机的进排气重叠角是比较小的，约为 $25\sim 60^\circ$ 。