

交通系统高等学校内部教材

船舶柴油机

陈红均 主编



武汉河运专科学校

交通系统高等学校内部教材

船舶柴油机

陈红均 主编

武汉河运专科学校

前 言

本书是根据一九八六年武汉河运专科学校通过的“船舶柴油机”教学大纲编写的。计划学时数100学时。

本书具有“以河为主，海、河兼顾”的特点，它结合我国内河船舶常用的135型、160型、300型、350型、NVD型等四冲程柴油机及海轮用的部分大型低速二冲程柴油机，着重介绍了船舶柴油机的工作原理、主要机件和各系统的功用、工作条件、结构特点、材料、使用管理、检查调试等专业知识。

本书由陈红均主编，温兆振主审，韩世来副教授最后审阅了书稿，对本书提出了某些修改与参考意见。第一、二、三、十一章由温兆振编写；第四、五、六、十六章由韩世来编写，第七、八、九、十章由陈红均编写；第十二、十三、十四、十五章由盛觉新编写。胡建龙等协助制图。

本书主要作为三年制高等专科学校轮机管理专业学生用书，也可作内河一等船舶轮机员培训用教材及其他轮机管理人员参考。

由于我们水平有限，错误难免，希望使用本教材的学生及其他读者批评指正。

编 者

1987年12月

目 录

第一章 船舶柴油机的基本概念	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 柴油机的主要部件及名词解释.....	(2)
第三节 四冲程柴油机的工作原理.....	(4)
第四节 二冲程柴油机的工作原理.....	(8)
第五节 增压柴油机的工作原理.....	(10)
第六节 柴油机的分类和型号.....	(11)
第二章 主要固定部件	(14)
第一节 机座.....	(14)
第二节 机体、机架.....	(16)
第三节 气缸.....	(19)
第四节 气缸盖.....	(26)
第五节 主轴承.....	(30)
第六节 扫气箱和曲轴箱通风.....	(34)
第三章 主要运动部件	(36)
第一节 活塞组件.....	(36)
第二节 连杆组件与十字头及导板.....	(48)
第三节 曲轴组件.....	(56)
第四章 配气系统	(64)
第一节 四冲程柴油机的配气机构.....	(64)
第二节 气阀间隙及其调整.....	(72)
第三节 配气定时的检查与调整.....	(77)
第四节 二冲程柴油机的换气型式.....	(79)
第五节 进排气管路.....	(81)
第五章 燃油系统	(84)
第一节 燃油系统的要求和组成.....	(84)
第二节 输油泵.....	(87)
第三节 喷油泵.....	(88)

第四节	喷油器	.....	(104)
第五节	喷油泵—喷油器	.....	(107)
第六章	润滑、冷却系统	.....	(110)
第一节	摩擦与润滑	.....	(110)
第二节	润滑油的选用	.....	(115)
第三节	润滑系统的分类和布置	.....	(117)
第四节	润滑系统的主要设备	.....	(123)
第五节	润滑系统的维护与管理	.....	(127)
第六节	冷却系统的功用与冷却方式	.....	(129)
第七节	冷却系统的设备	.....	(132)
第八节	冷却系统的维护管理	.....	(134)
第七章	起动系统	.....	(136)
第一节	柴油机的起动	.....	(136)
第二节	电力起动	.....	(137)
第三节	压缩空气起动	.....	(141)
第四节	其他起动方法和改善起动性能的措施	.....	(149)
第八章	调速装置	.....	(153)
第一节	柴油机调速	.....	(153)
第二节	调速器的性能和工作指标	.....	(156)
第三节	机械式调速器	.....	(160)
第四节	液压操纵机械式调速器	.....	(166)
第五节	间接作用式(液压)调速器	.....	(172)
第六节	QJY型液压调速器	.....	(175)
第七节	YT型液压调速器	.....	(182)
第九章	换向装置	.....	(186)
第一节	船舶换向概述	.....	(185)
第二节	直接换向装置	.....	(187)
第三节	间接换向装置	.....	(197)
第四节	液压齿轮箱的故障及排除	.....	(208)
第十章	操纵系统实例	.....	(210)
第一节	NVD36型柴油机操纵系统	.....	(210)
第二节	8NVD48A-2U型柴油机操纵系统	.....	(218)
第三节	6300型柴油机操纵系统	.....	(227)

第四节	新 300 型柴油机操纵系统	(236)
第五节	ESDZ ³⁰ / ₅₅ 型柴油机操纵系统	(238)
第六节	RLA 型柴油机操纵系统	(242)
第十一章	船用柴油机增压	(248)
第一节	柴油机增压的意义和分类	(248)
第二节	废气涡轮增压器的分类及型号表示方法	(250)
第三节	废气涡轮增压器	(253)
第四节	柴油机加装废气涡轮增压器后结构和性能的变化	(266)
第五节	废气涡轮增压器使用中的维护管理	(267)
第六节	废气涡轮增压器常见故障及其排除方法	(268)
第七节	涡轮增压器的拆装和间隙调整	(271)
第十二章	燃油的喷射、燃烧及燃烧室	(274)
第一节	燃油的种类及选用	(274)
第二节	燃油的喷射和混合	(277)
第三节	燃烧室	(282)
第四节	燃油的燃烧	(289)
第十三章	工作循环与主要性能指标	(294)
第一节	柴油机的实际循环	(294)
第二节	柴油机的工作参数	(304)
第三节	柴油机的热平衡	(308)
第四节	影响柴油机功率和经济性的主要因素	(311)
第十四章	船用柴油机的运转特性	(315)
第一节	概述	(315)
第二节	柴油机的速度特性	(316)
第三节	柴油机的负荷特性	(318)
第四节	柴油机的推进特性	(318)
第五节	柴油机的万有特性	(321)
第六节	柴油机的调速特性	(323)
第七节	船用柴油机的允许使用范围	(323)
第八节	各种航行条件下主机的工作	(326)
第十五章	柴油机动力学	(333)
第一节	曲柄连杆机构的受力分析和运动分析	(333)
第二节	单列式柴油机振动力源的分析及其平衡方法	(341)

第十六章 船舶轴系	(351)
第一节 船舶轴系的组成与作用	(351)
第二节 轴系的工作条件	(360)
第三节 轴系的维护管理	(367)

第一章 船舶柴油机的基本概念

第一节 概 述

自然界蕴藏着丰富的能量资源，如风力、水力、各种燃料（如煤炭、石油、天然气等）的热能、原子能等。

人类在长期劳动实践中，逐渐地掌握了各种能源的特性，并制作出各种各样的动力机械，利用自然界的能源，为人类作功。

将一种能量转变为机械能的机器叫做发动机。各种发动机按照能源不同，可分为：风力发动机（简称风力机）；水力发动机（简称水力机）；热力发动机（简称热机）等。

将燃料燃烧所产生的热能转化为机械能的发动机叫做热机。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。

燃料在发动机的外部进行燃烧的热机，叫做外燃机。如蒸汽机、汽轮机等。

燃料直接在发动机内部进行燃烧的热机，叫做内燃机。如汽油机、煤气机、柴油机等。

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，而是在高温下自行发火燃烧的。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温度，然后使喷入的柴油自行发火燃烧作功，所以也称柴油机为“压燃式内燃机”。

柴油机具有以下优点：

1. 热效率高，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。往复式蒸汽机的热效率为11~16%，汽油机小于30%，而柴油机则高达30~46%。同时，柴油机能燃用重质燃油，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，重量轻，尺寸小

柴油机不需要象蒸汽机那样设置庞大的锅炉、冷凝器等辅助设备，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马匹），最大可达35294千瓦（48000马匹）。

4. 使用操作方便，起动快

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。而且便于驾驶室遥控柴油机运行。

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，因此在船舶上获得了广泛应用。当前，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。③万吨以下的远洋船舶中，也多数以柴油机作为推进动力。在军用舰艇中，除少数大型舰艇外，中小型仍以柴油机推进为主。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。

第二节 柴油机的主要部件及名词解释

一、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。

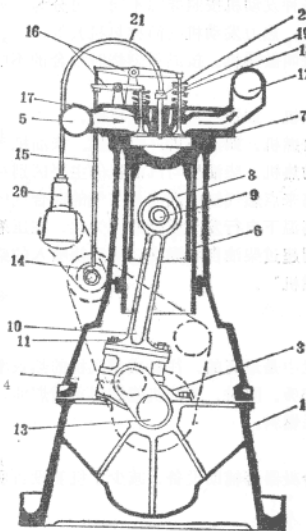


图 1-1 四冲程柴油机的主要部件

1-机座；2-喷油器；3-主轴承；4-机身；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-高压油泵；21-高压油管。

1. 固定部件
机座 1、主轴承 3、机身 4、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、曲轴 13 等。
3. 配气机构
凸轮轴 14、顶杆 15、摇臂 16、进气阀 17、排气阀 18、气阀弹簧 19 等。
4. 燃油系统
喷油器 2、高压油泵 20、高压油管 21 等。
5. 辅助部件
进气管 5、排气管 12 等。

此外，柴油机还必须具备润滑、冷却、操纵控制、调速、传动机构等系统的零部件。

二冲程柴油机的主要部件与四冲程的略有区别，如图 1-2 所示。

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. 配气机构
凸轮轴 15、凸轮轴传动链 16、排气阀 17 等。
4. 燃油系统
喷油泵 18、高压燃油管 19、喷油器 20 等。
5. 增压系统

空气冷却器13、单向阀14、增压器21等。

此外，它也具备润滑、冷却、传动机构、操纵调节等系统。

二、柴油机工作时曲柄连杆机构传递的力

图1-3是柴油机工作时曲柄连杆机构传递的力简图。A点是连接活塞及连杆上端的活塞销的中心，B点为连接连杆下端的曲柄销的中心，O点是曲柄的回转中心。燃烧室内气体压力作用在气缸壁、气缸盖和活塞上，作用在活塞顶面上的力，我们用P来表示（还包括活塞运动的往复惯性力），其方向是沿着气缸中心线。

作用在活塞上的力P，在活塞销A处分解为两个力N和S。力N垂直作用于气缸壁，称为侧推力。力S的方向沿着连杆的中心线，并通过连杆传至曲柄销B，在B处它又分解为两个力Z和T。力Z的方向沿着曲柄半径R，叫做径向力。它沿曲柄半径传到主轴颈及其轴承上。力T垂直曲柄，叫做切向力。它使曲柄销绕着曲轴中心旋转，其力矩 $M=T \cdot R$ ，就是柴油机的输出扭矩。

三、柴油机的常用名词

1. 上死点（上止点）

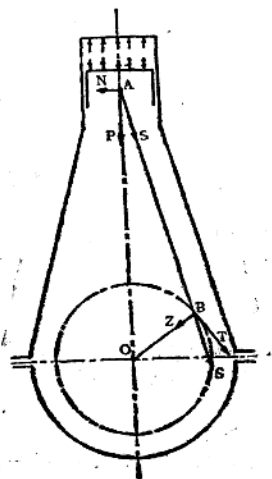


图1-3 曲柄连杆机构所传递的力

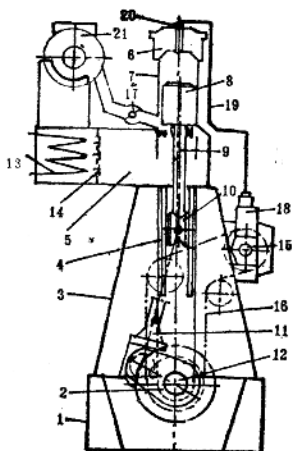


图1-2 二冲程柴油机的主要部件

- 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-单向阀；15-凸轮轴；16-
凸轮轴传动链；17-排气阀；18-喷油泵；
19-高压燃油管；20-喷油器；21-增压器

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（下止点）

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（行程）

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（图1-4）。

5. 缸径

气缸内径，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积，又称燃烧室容积，以 V_c 表示。

7. 气缸工作容积

活塞从上死点移动到下死点时所经过的空间。又称冲程容积或活塞排量，以 V_s 表示。

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

8. 气缸总容积

活塞在下死点时，活塞顶以上的气缸全部空间称为气缸总容积，它是压缩容积和工作容积之和，以 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之比值称为压缩比，常用 ϵ 表示。

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

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。压缩比越大，压缩终了时的压力和温度就越高，燃油就越容易燃烧，致使燃烧爆炸压力过高，使零部件受力

大、磨损增加。反之，压缩比越小，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，在设计柴油机时应周密考虑后选定。压缩比的大小随柴油机型式而异，船用柴油机的压缩比一般为：

低速柴油机	$\epsilon = 13 \sim 14$
中速柴油机	$\epsilon = 14 \sim 15$
高速柴油机	$\epsilon = 15 \sim 19$
增压柴油机	$\epsilon = 11 \sim 13$

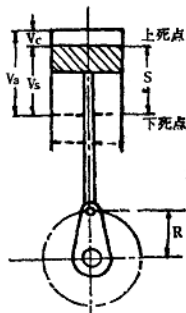


图1-4 柴油机的几何名称

第三节 四冲程柴油机的工作原理

柴油机是一种压燃式的内燃机，它是使燃料在气缸中燃烧，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，所以在燃油进入气缸之前，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。膨胀终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。

活塞运动四个冲程完成一个工作循环的柴油机称四冲程柴油机，只用二个冲程完成一个工作循环的柴油机叫做二冲程柴油机。

一、四冲程柴油机的的工作原理

图 1-5 所示的四个简图, 分别表示四冲程柴油机四个冲程进行的情况。

1. 第一冲程——进气冲程

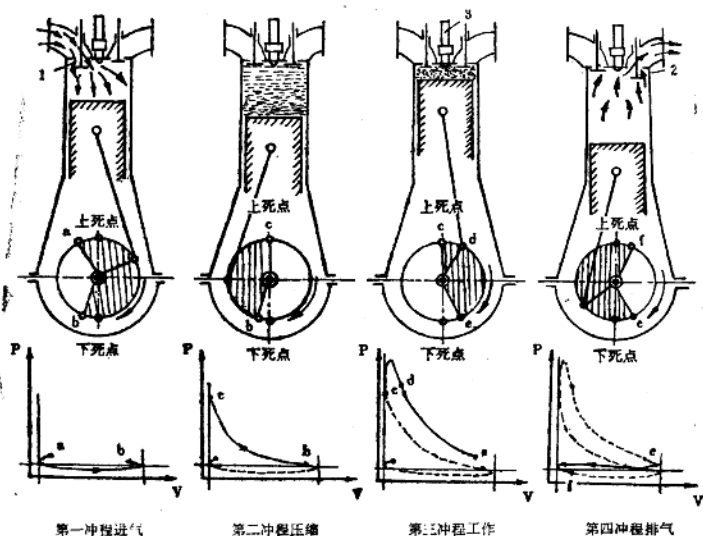


图 1-5 四冲程柴油机工作原理
1-进气阀; 2-排气阀; 3-喷油器

这一冲程的任务是使气缸内充满新鲜空气。进气冲程开始时, 活塞由上死点往下移动, 进气阀 1 打开, 排气阀 2 和喷油器 3 均关闭。由于活塞下行, 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入气缸。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 $80 \sim 96$ 千帕 ($0.8 \sim 0.96$ 千克力/厘米²)。

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, 整个进气过程超过了曲柄转角 180° , 即超过一个冲程的时间。进气阀一般在活塞到达上死点前就打开, 即曲柄位于点 a 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 $15 \sim 20^\circ$ 。

进气阀是在下死点后 b 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 $20 \sim 40^\circ$ 。

因此，全部进气过程所占的总角度 φ_{s-b} （图中阴影线所占的角度）约为 $215\sim 240^\circ$ 曲柄转角。

2. 第二冲程——压缩冲程

这一冲程的任务是压缩第一冲程吸入的空气，提高空气的温度和压力，为柴油机燃烧及膨胀做功创造条件。当活塞从下死点向上运动到点b时，进气阀1关闭，开始压缩，一直到上死点c为止。空气经压缩后，压力增高到 $3.0\sim 4.5$ 兆帕（ $30\sim 45$ 千克力/厘米²），温度升至 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 。通常压缩终了的气体压力和温度用 p_c 和 t_c 表示。压缩冲程所占的总角度 φ_{b-c} 约为 $140\sim 160^\circ$ 。

3. 第三冲程——工作冲程（或称动力冲程）

当活塞到达上死点稍前，即压缩过程的后期，燃油经喷油器3以雾状喷入气缸，并与气缸中高温高压的空气混合、加热，并自行发火燃烧，使气缸内气体温度急剧升高到 $1400\sim 1800^\circ\text{C}$ ，压力增压 $5\sim 8$ 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_e 表示，是柴油机的一个重要性参数。

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，在上死点后某一刻（点d）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2在下死点前点e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 $600\sim 750^\circ\text{C}$ 。工作冲程所占的总角度 φ_{c-e} ，约为 $130\sim 160^\circ$ 曲柄转角。

4. 第四冲程——排气冲程

这一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点e打开，利用废气与大气压力差进行自由排进。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2在上死点后的点f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，气缸内废气的压力约为 $105\sim 115$ 千帕（ $1.05\sim 1.15$ 千克力/厘米²），温度约为 $300\sim 400^\circ\text{C}$ 。排气过程所占的总角度 φ_{e-f} ，约为 $210\sim 240^\circ$ 曲柄转角。

柴油机经过进气、压缩、工作和排气四个冲程，完成了一个工作循环。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，周而复始，连续不断，使柴油机不断运转。

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回转两转内完成。

2) 在曲轴两转过程中，进气阀、排气阀和喷油器均只启闭一次，因此凸轮的转速比曲轴慢一半。

3) 每个工作循环中只有工作冲程是对外做功，其余三个冲程都是为工作冲程作准备，都需要外界供给能量。因此柴油机常做成多缸的，这样，进气、压缩、排气冲程所需的能量可由其它正在工作冲程的气缸供给。如果是单缸柴油机，则可由较大的飞轮供给，即在工作冲程时，柴油机带动飞轮旋转加速，依靠飞轮的旋转惯性，带动柴油机完成其它三个冲程。

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约为 $25^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。

二、四冲程柴油机示功图

图 1-5 的下方表示一个工作循环内气缸中燃气压力随活塞位移(即气缸容积变化)而变化的情况。图中纵坐标表示气缸内气体压力 P , 横坐标表示气缸容积 V , 通常称为压容图, 即 $P-V$ 图。在过程进行时, 气缸内气体的压力和容积是同时变化的, 这个变化关系可以用专用仪器(示功仪)测绘出来。 $P-V$ 图可用来研究柴油机工作过程进行的情况, 并且可以用来计算柴油机完成一个工作循环所作的功, 因此 $P-V$ 图又可称之为“示功图”。

在 $P-V$ 图中, 曲线 $a\sim b$ 表示进气过程中气缸内的压力随容积变化的关系曲线。当活塞在上死点时, 缸内压力高于大气压力, 这时新气不能吸入。活塞下行, 气缸容积增大, 压力下降至大气压力以下, 新气开始进入。进气过程一直延续到进气阀关闭(点 b 处)为止。曲线 $b\sim c$ 表示压缩过程中缸内压力随容积减少而增高的变化曲线, 点 c 处的压力就是压缩终点的压力。曲线 $c\sim e$ 表示燃烧膨胀作功过程中压力随容积变化的关系曲线, 该曲线最高点的压力就是燃烧最高压力 P_{max} 。曲线 $e\sim f$ 则表示排气过程中压力随容积变化的关系曲线, 缸内压力高于大气压力, 且变化值不大。

上述工作循环各过程的 $P-V$ 曲线, 按顺序连贯起来就构成四冲程柴油机的示功图。图中封闭曲线所围成的面积即为柴油机一个工作循环对外输出的指示功。

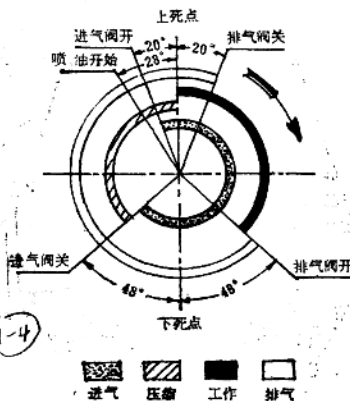


图 1-6 四冲程柴油机的定时图

三、四冲程柴油机定时图

柴油机在运转中, 进气阀、排气阀及喷油器等器的启闭都是在一定的时刻开始和结束的。柴油机各过程开始和结束的时刻叫做定时, 气阀启闭时刻称为配气定时, 喷油器开启时刻称为喷油定时。柴油机定时常用曲柄偏离上下死点的角度来表示, 把各种定时集中反映在一个圆形图中, 就构成柴油机定时图, 如图 1-6 所示。图中直线表示曲柄位置, 弧线表示工作过程, 箭头表示曲轴转动方向, 直线与上下死点轴的夹角表示其定时角度。

不同类型的柴油机都有各自的定时, 当柴油机制造出厂时, 说明书上均附有定时图。图

1-6 为 135 系列柴油机的定时图, 其定时情况如下:

1-4

进气阀开	上死点前 20°
进气阀关	下死点后 48°
排气阀开	下死点前 48°
排气阀关	上死点后 20°
喷油器开	上死点前 28°

4135

用压缩空气起动的柴油机，除了上述的配气、喷油定时外，还有起动空气阀的开闭定时。

柴油机飞轮的轮缘上一般刻有角度线及各缸上的点的标志，以便检查柴油机的各种定时。

第四节 二冲程柴油机的工作原理

二冲程柴油机把进气、压缩、燃烧及膨胀（工作）、排气过程紧缩在活塞的两个冲程内完成，使曲轴每旋转一周就完成一个工作循环。

二冲程柴油机的特点是没有专门的排气冲程和进气冲程，它的排气与进气是在膨胀冲程之末及压缩冲程之初进行的，其废气的排出，除了一部分依靠废气与大气的压力差自由的排出外，其余部分则是靠压入气缸的新鲜空气把废气扫出去的。为此，必须采用专设的扫气泵，以便增加进入的新鲜空气压力，将剩余废气扫出气缸。这个进气和扫气过程就称为“换气过程”，又叫“扫气过程”。

一、二冲程柴油机工作原理

二冲程柴油机有直流扫气和弯流扫气等类型，但它们的工作原理都是相同的。现以直流扫气二冲程柴油机为例说明其工作原理。

这种柴油机的结构特点是气缸盖上只有排气阀，没有进气阀，但在气缸套的下部周围布置一圈扫气口，如图1-7所示。

1. 第一冲程——扫气和压缩

活塞由下死点向上行，活塞在遮住扫气口之前，来自扫气泵具有110~140千帕（1.1~1.4千克力/厘米²）压力的新鲜空气通过扫气口进入气缸，将气缸中的废气从开启的排气阀处排出。活塞继续上行，当扫气口被上行的活塞完全遮闭时，排气阀也差不多在同一时刻关闭（曲轴在点1的位置），气缸中的空气就开始被压缩，活塞到达上死点时（点2），气缸内空气压力达到3.5~4.5兆帕（35~45千克力/厘米²），温度达到700~800°C。

2. 第二冲程——工作、排气和扫气

当活塞到达上死点稍前位置（点2'）时，通过喷油器喷入高压雾化燃油，与气缸内高温气体混合后，即自行发火燃烧。燃烧时最高燃烧压力达到5~8兆帕（50~80千克力/厘米²），最高温度达到1600~1800°C。活塞由于高压燃气的推动向下运动，对外膨胀作功，直到排气

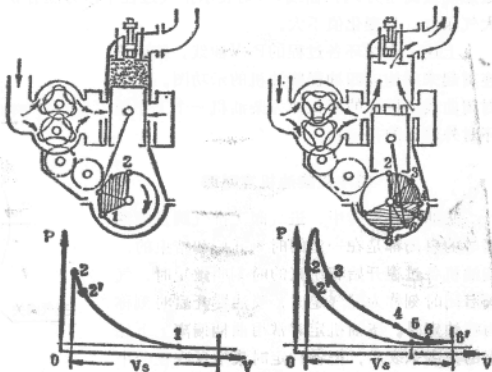


图1-7 二冲程柴油机工作原理

阀打开（曲轴在点4位置）为止。排气阀打开的时间比扫气口要早些，排气阀开启后，压力较高的大量废气便从排气阀排出，这样就有一段自由排气过程。气缸内的压力迅速下降到低于扫气空气的压力，然后扫气口开启（曲轴在点5位置），新气进入气缸将废气经排气阀排出去。扫气过程一直继续到下一冲程排气阀关闭（点1）为止。活塞再次上行，第一冲程又开始，工作循环按上述顺序重复进行。

综上所述，二冲程柴油机具有如下特点：

1) 工作循环在活塞两个冲程即曲轴转一圈内完成，扫气过程时间短，为此，它需要设置扫气泵来提高进气压力，提高其换气质量。可以不要进气阀，甚至排气阀也可不要。

2) 凸轮轴转速与曲轴转速相同。

3) 工作循环中，活塞下行时对外做功，上行时则靠外力驱动。

4) 进、排气过程几乎同时进行，因此具有较大的进排气重叠角，其值约为 $80\sim 100^\circ$ 曲柄转角。

二、二冲程柴油机定时图

与四冲程柴油机一样，二冲程柴油机也可以用定时图来表示它的各项定时时刻。图1-8为一台二冲程柴油机的定时图，其定时情况如下：

进气口开	在上死点前	46.5°
进气口关	在下死点后	46.5°
排气阀开	在下死点前	91°
排气阀关	在下死点后	58.5°
起动阀开	在上死点前	5°
起动阀关	在上死点后	105°
喷油器开	在上死点前	7°

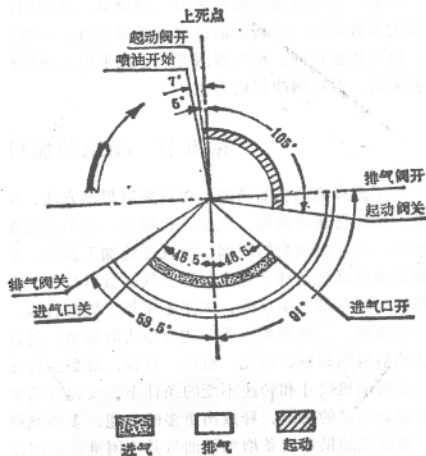


图1-8 二冲程柴油机定期图

三、四冲程与二冲程柴油机的比较

二冲程柴油机与四冲程柴油机相比有如下优点：

1) 因为四冲程柴油机曲轴转两转作一次功，二冲程曲轴转一转作一次功。对于两台气缸直径、活塞行程及转速等都相同的柴油机，二冲程功率似乎应比四冲程大一倍，但由于二冲程柴油机的气缸上开有气口，使工作容积有所减少，同时机械传动的扫气泵也要消耗一定的功率，所以二冲程机的功率实际上只增大了 $60\sim 80\%$ 。显然，如果柴油机功率相同，则二冲程柴油机重量较轻。

2) 由于二冲程柴油机两个冲程完成一个工作循环，作一次功，转矩较均匀，因此它的

运转要比四冲程机平稳，其飞轮尺寸也比四冲程机要小一些。

3) 在构造方面，二冲程柴油机较四冲程要简单一些。特别是弯流扫气二冲程柴油机，它完全省去了进、排气阀及其传动装置，其维修保养就简单方便得多。

二冲程柴油机虽有以上一些优点，但也有一些缺点，它的换气过程远没有四冲程机进行得那样完善，气缸内废气的清除和新鲜空气的充入都较四冲程机困难得多。进入气缸的新鲜空气在排气口开启时要随废气一起泄出一部分，增加了空气的消耗量。换气不完善，新气废气渗混影响燃烧，热能利用不充分，因此，二冲程柴油机的热效率比四冲程要低。二冲程机作功次数频繁，其机械负荷较大，主要零部件（如活塞、气缸套、气缸盖等）受力、受热严重而较易损坏，影响柴油机的使用寿命和工作可靠性。

一般，大型低速柴油机采用二冲程机，这是因为转速低，换气矛盾不突出，故远洋大型船舶大多数采用二冲程柴油机作为船舶主机。一般小型高速柴油机绝大多数采用四冲程柴油机，因为转速越高，换气越困难，不宜采用二冲程机。中型中速柴油机，二、四冲程柴油机均有采用，但以四冲程机为主。

第五节 增压柴油机的工作原理

为了提高柴油机的功率，可以采取很多方法，如加大气缸直径、加长活塞行程、增加气缸数、增加转速等措施。气缸直径增大，不但会引起柴油机尺寸和重量的增加，还会引起散热恶化，受到热负荷的限制，而且还给加工制造、装配等带来一定的困难。加长活塞行程，将使柴油机高度增加，宽度加宽。气缸数目过多，会使曲轴过长，不但制造困难，且刚性难于保证，易变形发生事故，工作不可靠。提高转速，虽能提高功率，但它对柴油机的机械应力、热负荷、二冲程换气质量均有很大的影响。过高的转速会使燃烧恶化，而且转速的提高还受到材料的限制。因此，缸径、行程、缸数、转速等均限制在一定的范围内。

在柴油机尺寸和转速不变的情况下，要提高功率，只有设法在气缸里燃烧更多的燃料，释放出更多的热能。多燃烧燃料就要多消耗空气，柴油机的供油设备增加供油量并不困难，如何设法增加充入气缸中的空气量呢？这就靠增压来解决。所谓增压，简单地说就是在专门的增压器内，预先把空气进行压缩，使其压力提高后再送入气缸。由于压力的提高，使空气密度增加，充入气缸的空气量就增多了，这样就可以喷入更多的燃料进行燃烧。我们把这种增加进气压力来提高功率的方法称为柴油机增压。把利用这种方法工作的柴油机叫做增压柴油机。

一、增压柴油机工作原理及其压容图

图1-9是一台废气涡轮增压四冲程柴油机工作原理简图。在柴油机的进气管道5和排气管道3上分别安装了离心式压气机7和废气涡轮2。压气机与废气涡轮同轴，由废气涡轮带动，两者组合成废气涡轮增压器。当柴油机工作时，排出气缸的废气通过废气涡轮，使废气涡轮从废气中获得能量，涡轮叶片高速转动并带动同轴的压气机一起

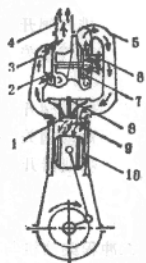


图1-9 废气涡轮增压四冲程柴油机

1-排气阀；2-废气涡轮；3-排气管；4-排气口；5-进气管；6-进气口；7-压气机；8-喷油器；9-进气阀；10-活塞