

# CHUANBO CHAIYOUJI

交通系统中等专业学校教材

## 船舶柴油机



(轮机管理专业用)

重庆河运学校柴油机教研组

陈太文 主编

人民交通出版社

交通系统中等专业学校教材

# 船舶柴油机

(轮机管理专业用)

重庆河运学校 柴油机教研组 陈太文 主编

人 民 交 通 出 版 社

## 内 容 提 要

本书主要从我国内河船舶柴油机实际出发，着重介绍中、小型柴油机的构造、原理、性能和管理维修。

本书与第一版试用本的主要区别是：把结构与管理维修有机地结合在一起；大量删减了与培养河船轮机员关系不大的和即将淘汰的机型的资料，介绍了一些较先进机型的特点。

本书为中等专业学校河船轮机管理专业教材，也可供轮机管理人员和船机修理人员参考。

交通系统中等专业学校教材

**船 舶 柴 油 机**

(轮机管理专业用)

重庆河运学校 柴油机教研组 陈太文 主编

人民交通出版社出版

(100013北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

民航局印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：27 字数：654千

1987年6月 第1版

1991年12月 第1版 第2次印刷

印数：5801—9800册 定价6.50元

ISBN7-114-01171-7

U·00771

# 前 言

本书系根据交通部水运中专河船轮机管理专业联络网于1981年6月在广东航运学校召开的第二次会议所确定的编审分工，1983年11月在重庆河运学校召开的第四次会议修订的教学大纲重新编写而成。

本书由重庆河运学校柴油机教研组陈太文主编，黑龙江交通学校朱尚文、梁承学主审，并经1985年11月在南通河运学校召开的交通部水运中专河船轮机专业委员会柴油机组全体代表审定。

全书由重庆河运学校柴油机教研组编写。编写人员：第一、四、六、七、九、十一章陈太文；第二、三章周维基；第五、十二、十三、十四章崔季辰；第八、十、十五章屈昌志；第十六章严峻。

在本书的编写和初稿试用过程中，得到河船轮机专业委员会各成员学校及本课程教师的大力支持，在此表示感谢。由于水平有限，错误之处恳切希望读者批评指正。

编 者

1986年4月

# 目 录

<b>第一章 柴油机的结构组成和工作原理</b> .....	( 1 )
§ 1-1 柴油机的结构组成 .....	( 1 )
§ 1-2 柴油机的主要几何名称 .....	( 3 )
§ 1-3 四冲程柴油机的工作原理 .....	( 4 )
§ 1-4 二冲程柴油机的工作原理 .....	( 7 )
§ 1-5 增压柴油机的工作原理特点 .....	( 10 )
§ 1-6 船舶柴油机的分类和型号解释 .....	( 12 )
<b>第二章 柴油机的主要部件</b> .....	( 15 )
§ 2-1 主要部件的组成 .....	( 15 )
§ 2-2 气缸盖 .....	( 18 )
§ 2-3 气缸套 .....	( 22 )
§ 2-4 活塞组件 .....	( 28 )
§ 2-5 燃烧室组件的管理要点 .....	( 35 )
§ 2-6 连杆组件 .....	( 37 )
§ 2-7 曲轴组件 .....	( 45 )
§ 2-8 支承联接组件 .....	( 53 )
§ 2-9 曲轴轴线检查校正 .....	( 61 )
§ 2-10 主要机件的组合安装 .....	( 68 )
<b>第三章 配气系统</b> .....	( 77 )
§ 3-1 配气系统的功用、组成和要求 .....	( 77 )
§ 3-2 气阀装置 .....	( 79 )
§ 3-3 气阀传动机构 .....	( 88 )
§ 3-4 凸轮轴 .....	( 90 )
§ 3-5 凸轮轴传动机构 .....	( 95 )
§ 3-6 进、排气管路及设备 .....	( 97 )
§ 3-7 气阀间隙的检查调整 .....	( 99 )
§ 3-8 气阀定时和气阀升程的检查调整 .....	( 101 )
§ 3-9 配气系统的管理维护要点 .....	( 103 )
<b>第四章 燃油系统</b> .....	( 104 )
§ 4-1 燃油系统的功用、组成和要求 .....	( 104 )
§ 4-2 船用燃油 .....	( 106 )
§ 4-3 供应系统设备 .....	( 112 )
§ 4-4 回油孔调节式喷油泵的结构 .....	( 114 )

§ 4-5	回油孔调节式喷油泵的工作原理	(120)
§ 4-6	回油孔调节式喷油泵的维修	(123)
§ 4-7	回油阀调节式喷油泵	(128)
§ 4-8	喷油器	(131)
§ 4-9	泵-喷油器	(137)
§ 4-10	燃油的喷射过程和喷油规律	(139)
§ 4-11	燃油系统的管理要点	(145)
§ 4-12	喷油泵的检查与调整	(148)
<b>第五章</b>	<b>调速装置</b>	(154)
§ 5-1	柴油机的调速	(154)
§ 5-2	机械式调速器	(155)
§ 5-3	液压操纵机械式调速器	(162)
§ 5-4	液压调速器	(166)
§ 5-5	超速保险装置	(176)
§ 5-6	调速器的管理维护	(180)
<b>第六章</b>	<b>润滑系统</b>	(182)
§ 6-1	摩擦与润滑	(182)
§ 6-2	(润)滑油	(185)
§ 6-3	润滑系统的分类、布置及其设备	(188)
§ 6-4	润滑系统的管理维护要点	(194)
<b>第七章</b>	<b>冷却系统</b>	(197)
§ 7-1	冷却系统的功用、组成和布置	(197)
§ 7-2	冷却系统的设备	(200)
§ 7-3	冷却系统的管理维护要点	(203)
<b>第八章</b>	<b>起动系统</b>	(204)
§ 8-1	柴油机的起动	(204)
§ 8-2	电力起动系统	(205)
§ 8-3	压缩空气起动系统	(210)
§ 8-4	辅助起动装置及低温起动装置	(216)
<b>第九章</b>	<b>直接换向原理和间接换向装置</b>	(219)
§ 9-1	船舶的换向方法	(219)
§ 9-2	双凸轮换向原理	(220)
§ 9-3	单凸轮换向原理	(223)
§ 9-4	改变喷油泵供油顺序的换向原理	(224)
§ 9-5	120型船用齿轮箱的构造	(226)
§ 9-6	HC135型船用齿轮箱	(233)
§ 9-7	HC250型船用齿轮箱	(236)
<b>第十章</b>	<b>操纵系统</b>	(241)
§ 10-1	NVD36型柴油机操纵系统及其起动设备	(242)
§ 10-2	NVD36型柴油机的换向设备	(246)

§ 10-3	NVD36型柴油机操纵台及油量和转速控制传动机构	(249)
§ 10-4	NVD36型柴油机的操纵程序及操纵原理	(252)
§ 10-5	8NVD48A-2U型柴油机操纵系统及其起动设备	(253)
§ 10-6	8NVD48A-2U型柴油机的换向设备	(256)
§ 10-7	8NVD48A-2U型柴油机的油量和转速控制传动机构	(258)
§ 10-8	8NVD48A-2U型柴油机操纵台	(259)
§ 10-9	8NVD48A-2U型柴油机操纵系统的操纵原理	(263)
§ 10-10	8NVD48A-2U型柴油机操纵系统的故障分析	(266)
§ 10-11	6L350PN型柴油机操纵系统的主要设备	(269)
§ 10-12	6L350PN型柴油机操纵系统	(275)
§ 10-13	新300系列柴油机操纵系统	(279)
<b>第十一章</b>	<b>实际工作循环</b>	<b>(286)</b>
§ 11-1	换气过程	(286)
§ 11-2	压缩过程	(295)
§ 11-3	可燃混合气的形成过程	(298)
§ 11-4	燃烧过程	(308)
§ 11-5	膨胀过程	(314)
<b>第十二章</b>	<b>平衡与减振</b>	<b>(316)</b>
§ 12-1	曲柄连杆机构的惯性力	(316)
§ 12-2	曲柄连杆机构上的作用力	(319)
§ 12-3	柴油机平衡概述	(324)
§ 12-4	单缸柴油机的平衡	(325)
§ 12-5	多缸柴油机的平衡	(328)
§ 12-6	减振与减振器	(342)
<b>第十三章</b>	<b>柴油机的工作指标及其测定</b>	<b>(346)</b>
§ 13-1	柴油机的指示指标及其测定	(346)
§ 13-2	柴油机的有效指标	(357)
§ 13-3	柴油机有效指标及机械损失的测定	(360)
<b>第十四章</b>	<b>柴油机的特性</b>	<b>(364)</b>
§ 14-1	柴油机的工况与特性	(364)
§ 14-2	负荷特性	(365)
§ 14-3	速度特性	(365)
§ 14-4	柴油机的推进特性	(368)
§ 14-5	调速特性	(373)
§ 14-6	万有特性	(376)
§ 14-7	船舶在各种运动状态下的主机工况	(378)
<b>第十五章</b>	<b>柴油机的增压</b>	<b>(381)</b>
§ 15-1	增压概述	(381)
§ 15-2	废气涡轮增压的两种基本型式	(382)
§ 15-3	废气涡轮增压器的结构	(386)

§ 15-4	废气涡轮增压器的工作原理	(390)
§ 15-5	增压器在运转中的喘振及其消除方法	(394)
§ 15-6	废气涡轮增压柴油机的特点	(397)
§ 15-7	废气涡轮增压器的拆装及间隙调整	(401)
§ 15-8	涡轮增压器的常见故障及其排除方法	(404)
§ 15-9	涡轮增压器的管理维护要点	(405)
<b>第十六章</b>	<b>船用柴油机的管理</b>	<b>(408)</b>
§ 16-1	系泊试验和航行试验	(408)
§ 16-2	运转中的管理	(411)
§ 16-3	运转中的常见故障分析及其排除方法	(412)



# 第一章 柴油机的结构组成和工作原理

## § 1-1 柴油机的结构组成

### 一、柴油机的基本工作原理

用柴油或燃料油作燃料的内燃机称为柴油机。它的基本工作原理是使燃油直接在气缸内燃烧，将燃油的化学能转变为热能，并利用燃气为介质，再将热能转变为机械功。

在柴油机内完成两次能量转变，即完成一次工作循环，必须经过以下几个热力过程：

1. 进气过程 向气缸内充入足够的新鲜空气，为燃油燃烧提供氧气。

2. 压缩过程 升高气缸内气体的温度和压力，促使喷入气缸内油滴的蒸发，油气与空气的混合，并确保混合气自行燃烧。

3. 燃烧及膨胀过程 将燃油喷散成很细的雾状，使燃油与新鲜空气均匀混合，得到完全燃烧。燃气膨胀对活塞做功，并借助曲柄连杆机构，把活塞的往复运动变为曲轴的回转运动。燃烧及膨胀过程总称为工作过程。

4. 排气过程 把做功后的废气排出气缸之外，使气缸内再能进行进气、压缩、喷油燃烧、膨胀和排气过程，保证柴油机能连续地进行工作。

### 二、柴油机的基本结构组成

柴油机的基本结构组成如图 1-1 所示，它包括：

#### 1. 主要机件

气缸盖 1 和能作往复运动的活塞 2 密封气缸套 3。缸内是两次能量转换的场所。

连杆 5 的小端用活塞销 4 与活塞连接，大端与曲轴 7 的曲柄销铰连。曲柄连杆机构将活塞的往复运动转变成曲轴的回转运动。

主轴承 9 置于机座 8 上，用来支承曲轴。机座上连有机身 10。机身内置有气缸套。

#### 2. 配气系统

它包括进气系统和排气系统。

进气系统主要由空气滤清器、进气管 14、气缸盖内的进气道、进气阀 16、气阀弹簧 20、摇臂 15、顶杆 13、凸轮轴 11 和凸轮轴传动机构等组成，用来在规定的时间内向气缸里充入足够的新鲜空气，

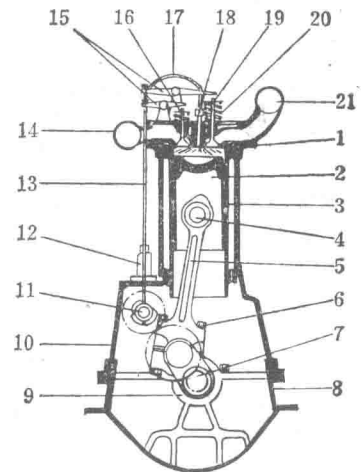


图 1-1 柴油机的基本结构组成

1. 气缸盖 2. 活塞 3. 气缸套 4. 活塞销  
5. 连杆 6. 连杆螺栓 7. 曲轴 8. 机座 9. 主轴承 10. 机身 11. 凸轮轴 12. 喷油泵  
13. 顶杆 14. 进气管 15. 摇臂 16. 进气阀  
17. 高压油管 18. 喷油器 19. 排气阀 20. 气阀弹簧 21. 排气管

排气系统主要由排气消声器、排气管21、排气阀19、气阀弹簧20、摇臂、顶杆、凸轮轴和凸轮轴传动机构等所组成，用来在规定的时间内将气缸内作功后的废气排入大气。

### 3. 喷射系统

它由喷油泵12、高压油管17和喷油器18组成，用来在规定的时间内将燃油呈雾状喷入气缸。

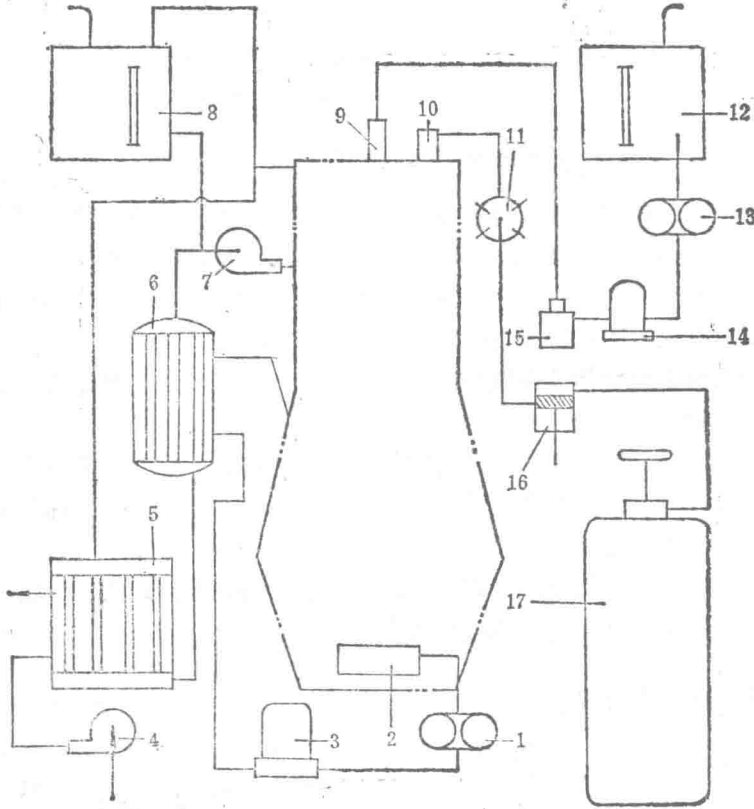


图 1-2 柴油机的辅助系统

1. 润滑油泵 2. 滤网 3. 润滑油滤清器 4. 海水泵 5. 淡水冷却器 6. 润滑油冷却器 7. 淡水泵 8. 膨胀水箱 9. 喷油器 10. 气缸起动阀 11. 起动空气分配器 12. 日用油柜 13. 燃油输送泵 14. 燃油滤清器 15. 喷油泵 16. 主起动阀 17. 储气瓶

## 三、柴油机的辅助系统

柴油机的辅助系统如图 1-2 所示，它主要包括：

### 1. 润滑系统

润滑油泵 1 经滤网 2 从柴油机下部油池吸入润滑油，压送经润滑油滤清器 3、润滑油冷却器 6 后进入柴油机内的摩擦面，使作相对运动机件的摩擦面得到润滑。

### 2. 冷却系统

它包括淡水系统和海水系统。海水泵 4 从船外吸入江水，压送至淡水冷却器 5 冷却淡水后排入江中。冷却过气缸套、气缸盖和排气管等的出机淡水，经淡水冷却器降温后，进入润滑油冷却器冷却润滑油，再被淡水泵 7 压入柴油机冷却水空间。膨胀水箱 8 用来补充调节淡水系统的水量。

### 3. 压缩空气起动系统

起动时, 打开储气瓶17的排出阀和主起动阀16后, 起动空气经起动空气分配器11、气缸起动阀10后进入气缸内, 代替燃气膨胀对活塞做功, 使柴油机投入工作。

### 4. 调速装置、换向装置和操纵系统 (图中未示出)

调速装置能随外界负荷变化而自动改变喷油泵的供油量, 以使柴油机转速基本稳定。换向装置用来改变柴油机的转向。操纵系统用来控制柴油机的起动、调速、换向和停车等。

## § 1-2 柴油机的主要几何名称

柴油机的主要几何名称如图 1-3 所示。

1. 气缸直径  $D$  气缸套的名义内径。

2. 曲柄半径  $R$  曲轴的曲柄销轴线与主轴颈轴线间的距离。

3. 上死点 活塞在气缸中运动所达到的最高位置。

4. 下死点 活塞在气缸中运动所达到的最低位置。

5. 冲程  $S$  上下死点之间的距离。活塞移动一个冲程, 曲柄回转  $180^\circ$ , 所以冲程等于曲柄半径的两倍, 即  $S = 2R$ 。

6. 压缩容积  $V_c$  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。

7. 气缸工作容积  $V_s$  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。

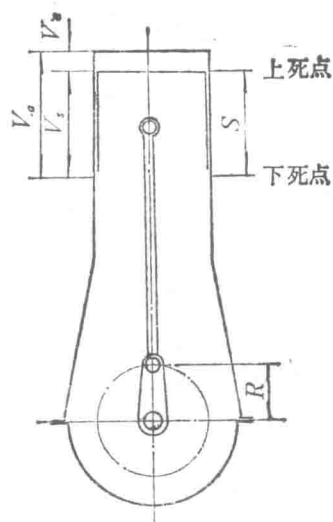


图 1-3 柴油机的主要几何名称

$$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 S$$

8. 气缸总容积  $V_o$  活塞在下死点时, 活塞顶以上的全部空间, 它是压缩容积和工作容积之和。

$$V_o = V_c + V_s$$

9. 压缩比  $e$  气缸总容积与压缩容积的比值。

$$e = \frac{V_o}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c}$$

压缩比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。压缩比愈大, 压缩终点的压力和温度便愈高; 反之, 压缩终点的压力和温度便愈低。已有的各种柴油机, 其压缩比均有一个确定值。

## § 1-3 四冲程柴油机的工作原理

柴油机每作一次功，必须经过进气、压缩、燃烧及膨胀、排气四个过程。这四个过程连续地进行一次就称为一个工作循环。每四个冲程（即曲轴回转两周）完成一个工作循环的柴油机称为四冲程柴油机。

从图 1-1 可见，四冲程柴油机的基本结构特点是：进气和排气过程的控制方式都采用气阀式配气机构；曲轴每转两周，凸轮轴只转一周，进气、排气、供油凸轮分别在规定的时间内驱动其进气阀、排气阀、喷油泵各一次。

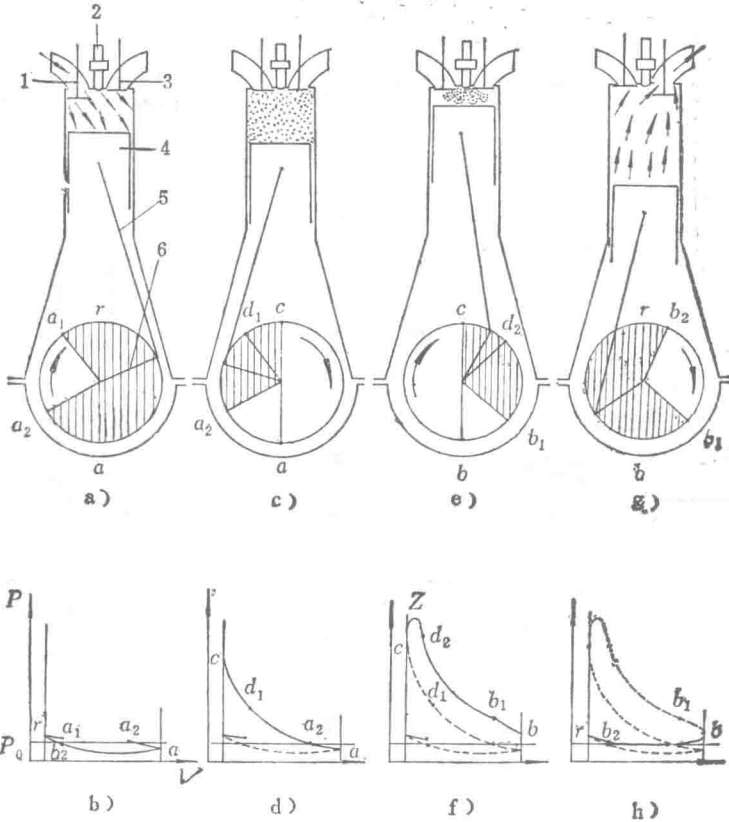


图 1-4 四冲程柴油机工作原理

1. 进气阀 2. 喷油器 3. 排气阀 4. 活塞 5. 连杆 6. 曲轴

### 一、四冲程柴油机工作原理

图 1-4 为四冲程柴油机的工作原理图。a)、c)、e)、g) 分别表示四个冲程的进行情况和进气阀 1、喷油器 2、排气阀 3 与活塞 4 等的有关动作位置。活塞在气缸中的位置，用曲柄 6 相应的位置端点表示。各冲程对应的热力过程如 b)、d)、f)、h) 所示。

#### 第一冲程——进气过程

这一冲程的任务是使气缸内充满新鲜空气。曲柄从  $r$  点转到  $a$  点，活塞从上死点移动至下死点。在此冲程中，进气阀开启着，而排气阀和喷油器关闭。由于气缸容积增大，缸内压力

下降, 在出现真空度后, 依靠气缸内外的气压差和活塞下行的抽吸作用, 新鲜空气通过进气阀吸入气缸, 如图a)所示。

由于进气凸轮控制的进气阀不能瞬时全开和全关, 致使在冲程的初期和末期气阀通过面积很小, 流阻损失大, 进气量减少。为了增加进气量, 进气阀提前在上死点前的 $a_1$ 点时开启, 延迟到下死点后的 $a_2$ 点时关闭。进气过程的曲柄转角 $\varphi_{a_1-a_2}$  (图a)中阴影线所占的角度)约为 $220\sim 250^\circ$ 。

图b)示出了进气过程。 $a_1-r$ 为提前进气阶段, 由于缸内压力高于环境大气压力 $p_0$ , 新鲜空气不能进入气缸, 实际上是准备进气阶段。 $r-a$ 为主要进气阶段, 在 $p_0$ 线以上部分, 是缸内剩余废气的膨胀线, 以下部分才是主要进气过程。 $a-a_2$ 为补充进气阶段, 利用气流流动惯性继续进气, 可望使 $p_{a_2}$ 略高于 $p_0$ 。

在新鲜空气进入气缸的过程中, 由于受空气滤清器、进气管、进气门等处阻力的影响, 主要进气阶段终点时气缸内气体压力 $p_c$ 略低于 $p_0$ , 其值约为 $(0.85\sim 0.95)p_0$ 。又因新鲜空气从高温的剩余废气和燃烧室壁面等高温机件吸收热量, 故主要进气阶段终点时气缸内气体温度 $T_c$ 可达 $300\sim 340\text{K}$ 。

### 第二冲程——压缩过程

这一冲程的任务是压缩第一冲程吸入气缸内的空气, 提高缸内气体的压力和温度, 为燃油燃烧及膨胀做功创造条件。曲柄从 $a$ 点转至 $c$ 点, 活塞从下死点移动至上死点。在活塞上行至进气阀完全关闭的 $a_2$ 时开始, 气缸密闭, 随着活塞上行, 气缸容积不断减小, 气体被压缩, 其压力和温度不断升高, 如图c)所示。压缩过程的曲柄转角 $\varphi_{a_2-c}$ 约为 $140\sim 160^\circ$ 。

图d)示出了压缩过程 $a_2-c$ 。不喷油燃烧的纯压缩过程终点 $c$ 的气体温度 $T_c$ 比柴油的自燃温度(约 $600\text{K}$ )高出 $200\sim 300\text{K}$ , 即 $T_c = 750\sim 950\text{K}$ , 而压力 $p_c = 3\sim 5\text{MPa}$ 。

### 第三冲程——做功(燃烧及膨胀)过程

这一冲程的任务是完成两次能量转变。曲柄从 $c$ 点转至 $b$ 点, 活塞从上死点移动至下死点, 如图e)所示。由于燃油喷入气缸内必须经过一个着火准备阶段才能实现燃烧, 所以, 在压缩过程后期(即 $c$ 点之前)的 $d_1$ 点时, 从喷油泵来的高压燃油, 经喷油器开始喷入气缸内的高温高压空气中。燃油与空气混合, 蒸发成油气后燃烧, 至上死点后的 $d_2$ 点基本结束, 燃油燃烧把化学能转变成热能并加热燃气, 最高温度 $T_s = 1800\sim 2200\text{K}$ , 最高压力 $p_s = 6\sim 9\text{MPa}$ 。

从上死点 $c$ 至燃油燃烧基本结束点 $d_2$ , 是边燃烧边膨胀阶段, 燃气膨胀推动活塞下行做功。从 $d_2$ 开始, 至活塞下行到排气阀提前打开的 $b_1$ 点为止, 是燃气继续膨胀做功的后膨胀阶段, 随着燃气的容积增大, 压力和温度迅速下降, 如图f)所示。膨胀终点 $b_1$ 时的燃气温度 $T_{b_1} = 1000\sim 1200\text{K}$ , 压力 $p_{b_1} = 250\sim 450\text{kPa}$ 。

### 第四冲程——排气过程

这一冲程的任务是将做功后的废气排出气缸外, 为下一循环新鲜空气的进入提供条件。曲柄从 $b$ 点转至 $r$ 点, 活塞从下死点移动到上死点。在此冲程中, 排气阀开启着, 依靠活塞上行的推挤作用, 把废气经排气阀排出气缸, 如图g)所示。

为了减小活塞上行的背压, 排气阀提前到下死点前的 $b_1$ 点时开启, 利用缸内外的气压差, 自由排气。为使气缸内的废气尽可能排干净些, 排气阀延迟到上死点后的 $b_2$ 点才完全关闭。排气过程的曲柄转角 $\varphi_{b_1-b_2}$ 约为 $210\sim 240^\circ$ 。

图h)示出了排气过程。 $b_1-b$ 为自由排气阶段,  $b-r$ 强制排气阶段,  $r-b_2$ 惯性排气阶段。

柴油机经过上述连续的四个过程，便完成了一个工作循环。活塞继续运动，下一工作循环又按进气、压缩、工作和排气的同样顺序进行，使柴油机连续运转。

综上所述，四冲程柴油机有如下特点：

1. 一个工作循环是在曲轴转两转内完成，每一个过程都约占一个活塞冲程。
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转速慢一半。
3. 在每一工作循环中，只有工作冲程对外做功，其余三个冲程都是辅助冲程，需要消耗能量。
4. 进气阀在上死点前开启，排气阀在上死点后关闭，两者同时开启时间内曲柄所转过的角度  $\varphi_{\alpha_1 - \beta_2}$ ，称为进排气重叠角。

## 二、四冲程柴油机的定时

### 1. 柴油机的定时

在每一个工作循环中，各过程的始点和终点一般不在上、下死点，而是偏离上、下死点一定的曲柄转角。以上、下死点为基准，用曲柄转角表示的进排气阀、喷油器(喷油泵)、起动阀等开始开启和完全关闭时刻的规定总称为柴油机的定时。

柴油机定时主要包括配气定时、起动定时、喷油(供油)定时。定时的概念和角度及表示法可参见图1-4。

#### 1) 配气定时

它包括进气定时和排气定时。进气阀开始开启的曲柄位置  $\alpha_1$  偏离上死点  $r$  的曲柄转角  $\varphi_{\alpha_1 - r}$  称为进气提前角，进气阀完全关闭的曲柄位置  $\alpha_2$  偏离下死点  $a$  的曲柄转角  $\varphi_{\alpha_2 - a}$  称为进气滞后角，如图a)。

排气阀开始开启的曲柄位置  $\beta_1$  偏离下死点  $b$  的曲柄转角  $\varphi_{\beta_1 - b}$  称为排气提前角。排气阀完全关闭的曲柄位置  $\beta_2$  偏离上死点  $r$  的曲柄转角  $\varphi_{\beta_2 - r}$  称为排气滞后角，如图g)。

#### 2) 起动定时

用压缩空气起动的柴油机，起动时，向气缸内充入1~3.5MPa的压缩空气，代替燃气膨胀做功，使曲轴旋转。起动阀开始开启的曲柄位置偏离上死点的曲柄转角称为起动提前角。起动阀完全关闭的曲柄位置，为工作冲程上死点之后的某一曲柄转角(或下死点前的某一曲柄转角)。

#### 3) 喷油(供油)定时

喷油器开始向气缸喷油的曲柄位置  $d_1$  偏离上死点  $c$  的曲柄转角  $\varphi_{d_1 - c}$  称为喷油提前角。而喷油泵开始向喷油器供油的曲柄位置偏离上死点  $c$  的曲柄转角称为供油提前角。一些说明书提供的喷油提前角数值，实际上是供油提前角数值。随着负荷的不同，工作循环的喷油量就不同，所以，一般说明书中就不指出喷油(供油)结束的时间。

### 2. 定时图

各种柴油机的定时是不同的，常用表格法和定时图来表示。所谓定时图，就是将柴油机的各种定时，以上下死点为基准，按一定的转向和冲程数，用曲柄转角位置表示在同一个圆上的图形。四冲程柴油机的定时图，实际上就是四冲程柴油机工作原理图1-4中，各热力过程始点和终点曲柄位置的综合图。

图1-5是6135G型柴油机的定时图。曲柄转向(面向自由端看)为顺时针。从图可读出它

的各种定时数据, 时间以曲柄转角计。

进气阀开启始点	上死点前 $20 \pm 6^\circ$
进气阀关闭终点	下死点后 $48 \pm 6^\circ$
排气阀开启始点	下死点前 $48 \pm 6^\circ$
排气阀关闭终点	上死点后 $20 \pm 6^\circ$
喷油开始	上死点前 $28 \sim 31^\circ$

从定时图还可读出各热力过程所占的曲柄转角。由过程起点的曲柄位置, 沿转向箭头方向, 到过程终点的曲柄位置为止的曲柄转角。进气过程所占的时间为 $248^\circ$ , 压缩过程为 $132^\circ$ , 膨胀过程为 $132^\circ$ , 排气过程为 $248^\circ$ 。进排气重叠角为 $40^\circ$ 。

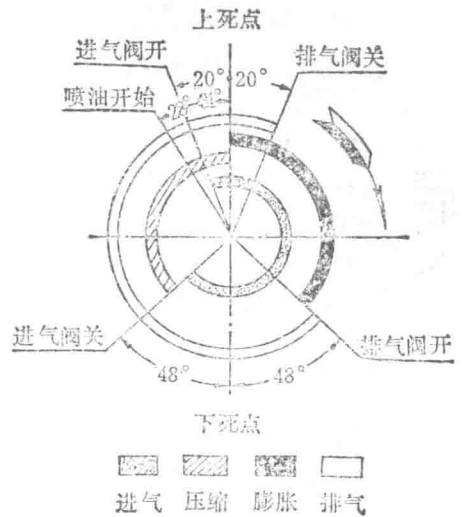


图 1-5 四冲程柴油机的定时图

## § 1-4 二冲程柴油机的工作原理

每两个行程(曲柄回转一周)完成一个工作循环的柴油机称为二冲程柴油机。采用它, 主要是为了提高柴油机的功率。其工作循环也是由进气、压缩、燃烧及膨胀、排气四个过程所组成。因而与四冲程柴油机在结构与工作原理方面有很大的差异, 下面以图1-6所示的气口-气阀直流扫气式二冲程柴油机为例介绍。

进气和排气过程总称为换气过程。二冲程柴油机与四冲程柴油机在工作原理方面的主要区别, 是换气过程不同。四冲程柴油机有独立的进、排气冲程, 而二冲程柴油机的换气过程则是在膨胀冲程末期及压缩冲程初期进行的。四冲程柴油机中, 新鲜空气是靠活塞下行抽吸作用造成的真空度自然充入气缸, 废气是靠活塞上行推挤作用而排出气缸; 二冲程柴油机中, 废气的排出, 除了一部分靠缸内外的气压差自由排出外, 其余部分则是靠压入气缸的新鲜空气扫出去的。新鲜空气进入气缸并把废气驱赶出去的过程称为扫气过程。

二冲程柴油机与四冲程柴油机基本结构相同。从本例可见, 不同的是, 设有扫气泵 1, 扫气箱 2, 气缸套下部的扫气口 3; 气缸盖上仅设有排气阀装置, 而没有进气阀装置。有的连排气阀装置也没有, 而是在气缸套上开设排气口, 使柴油机结构简化, 管理维护方便。

### 一、二冲程柴油机的工作原理

#### 第一冲程——扫气和压缩过程

##### 第一阶段——扫气

曲柄从点 $a$ 转至扫气口完全关闭时的位置点 $a_2$ , 如图1-6中a)所示, 活塞从下死点上行 $S_1$ 距离, 由扫气泵压送的新鲜空气经扫气口进入气缸, 把气缸内的废气通过排气阀挤出。

##### 第二阶段——过后排气

曲柄从扫气口完全关闭位置的点 $a_2$ 开始转至排气阀完全关闭的曲柄位置点 $b_2$ 为止, 活塞上行了 $S_2$ 距离, 缸内气体继续经排气阀排出缸外, 损失了进入缸内的部分空气。

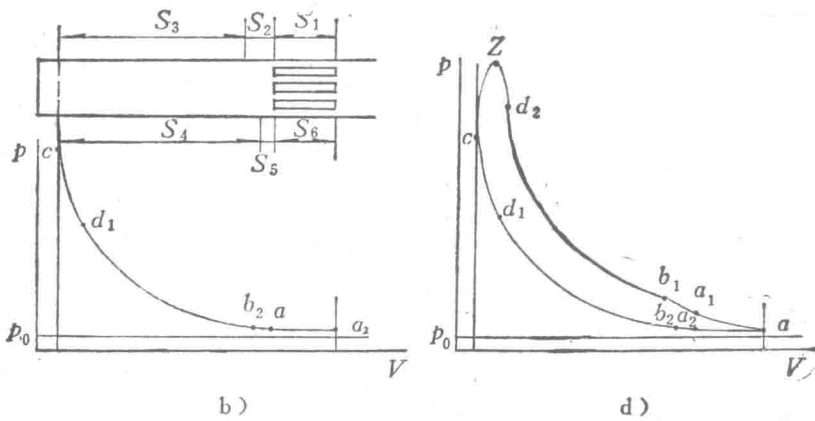
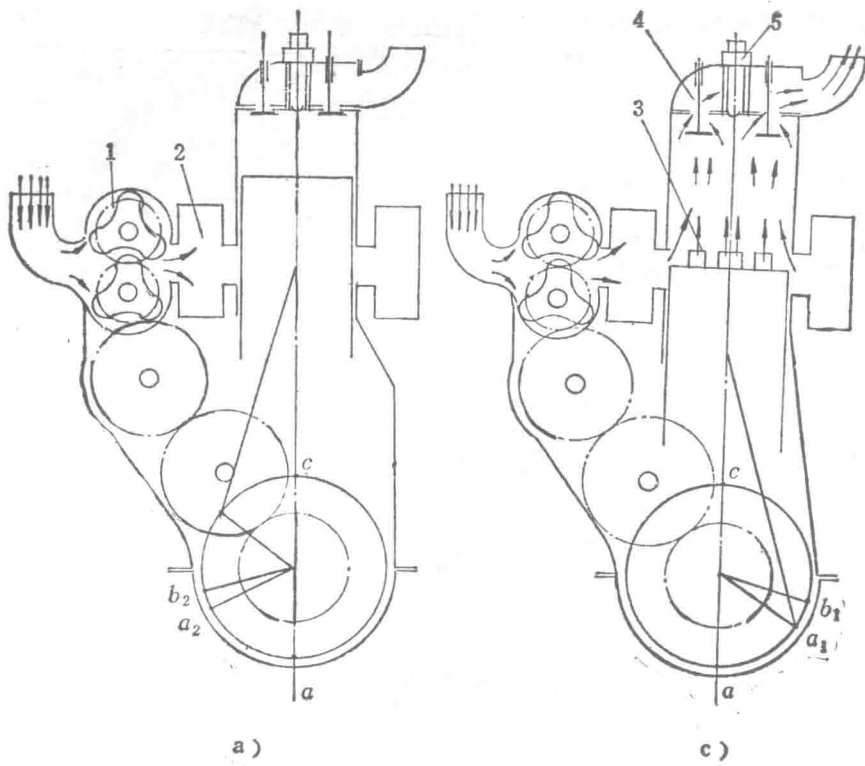


图1-6 二冲程柴油机的工作原理

1.扫气泵 2.扫气箱 3.扫气口 4.排气阀 5.喷油器

### 第三阶段——压缩

曲柄从点 $b_2$ 转至上死点 $c$ , 活塞上行了 $S_3$ 距离, 缸内气体受到活塞的压缩。在曲柄转至上死点前的 $d_1$ 位置时, 喷油开始。不喷油燃烧的纯压缩过程终点的温度 $T_c = 900 \sim 1000\text{K}$ , 压力 $p_c = 3.5 \sim 4.5\text{MPa}$ 。

### 第二冲程——工作、排气和扫气过程

### 第四阶段——工作



曲柄从点 $c$ 转至燃油燃烧基本结束的点 $d_2$ ，如图c)所示，气缸内是边燃烧边膨胀的过程，燃气推动活塞做功。最高燃烧温度 $T_z = 2000 \sim 2200\text{K}$ ，最高燃烧压力 $p_z = 5 \sim 8\text{MPa}$ 。

曲柄从点 $d_2$ 转至排气阀开始打开的点 $b_1$ 前，为后膨胀过程，燃气继续膨胀做功。膨胀终点的气体温度 $T_{b_1} = 900 \sim 1200\text{K}$ ，压力 $p_{b_1} = 300 \sim 500\text{kPa}$ 。第四阶段活塞下行了 $S_4$ 距离。

#### 第五阶段——自由排气

曲柄从点 $b_1$ 转至扫气口开始被开启的点 $a_1$ ，活塞下行 $S_5$ 距离过程中，为自由排气过程，缸内废气压力迅速下降至稍低于扫气空气的压力。

#### 第六阶段——扫气

曲柄从点 $a_1$ 转至下死点 $a$ ，活塞下行 $S_6$ 距离过程中，为扫气过程。

从图b)、d)可见，二冲程柴油机的换气过程，是由自由排气 $b_1-a_1$ 、扫气 $a_1-a-a_2$ 、过后排气 $a_2-b_2$ 组成的。

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柄转一转内完成，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。不设进气阀，甚至排气阀也可不设，而在气缸套上开设气口，使结构简化。
2. 凸轮轴的转速与曲柄转速相同。
3. 工作循环中，活塞下行做功，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。

## 二、二冲程柴油机的定时图

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1-7是国产ESDZ43/82B型二冲程柴油机的定时图，其定时表如下：

扫气口开	下死点前 $39.5^\circ$
扫气口关	下死点后 $39.5^\circ$
排气阀开	下死点前 $90^\circ$
排气阀关	下死点后 $56^\circ$
起动阀开	上死点后 $0^\circ$
起动阀关	下死点前 $90^\circ$
喷油器开	上死点前 $10.5^\circ$

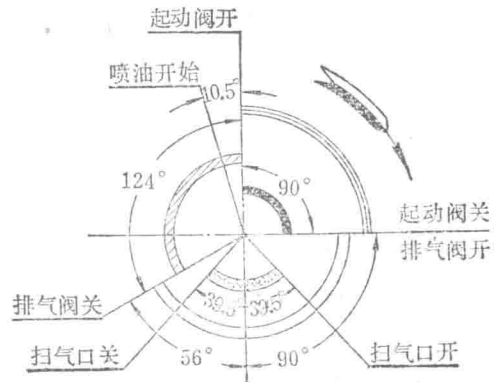


图1-7 二冲程柴油机定时图

## 三、二冲程与四冲程柴油机的比较

二冲程柴油机与四冲程柴油机相比有如下优点：

### 1) 提高了柴油机的做功能力

完成一次工作循环，四冲程柴油机要占用四个行程，而二冲程柴油机只占用两个行程。对于两台气缸尺寸及转速相同的柴油机，二冲程柴油机的功率似乎应比四冲程的大一倍。但实际上，由于二冲程柴油机气缸上开有气口而使工作容积有所减小，机械传动的扫气泵也要消耗一定的功率等，二冲程柴油机的功率只能增大 $60 \sim 80\%$ 。显然，若两者功率相同，则二冲程柴油机的尺寸较小，重量较轻。