

船舶柴油机

吴寿民 朱敏学 合编

国防工业出版社

船舶柴油机

吴寿民
朱敏学 合编



国防工业出版社

内 容 简 介

本书根据一九七八年全国造船专业统编教材会议通过的《船舶柴油机》大纲编写。

本书共分十章，主要内容包括：柴油机的基本概念、柴油机的工作过程、柴油机的动力学和平衡、柴油机的主要零部件、柴油机的增压、柴油机的特性和调节、柴油机的配气机构、柴油机的辅助系统、柴油机的换向和操纵等。

本书为高等学校船舶动力装置专业教材，也可作为从事柴油机和柴油机船舶动力装置设计、制造工作的工程技术人员参考。



船 舶 柴 油 机

吴寿民 朱敏学 合编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 17¹/₂ 406 千字

1982年1月第一版 1982年1月第一次印刷 印数：0,001—2,700册

统一书号：15034·2302 定价：1.80元

前 言

本书根据一九七八年全国造船专业统编教材会议通过的《船舶柴油机》大纲编写的。可供高等学校船舶内燃动力装置专业应用。计划学时为 80 学时。

本书是在多年教学经验的基础上，参考了各兄弟院校有关教材和国内外有关资料写成的。

由于本书内容广泛，但篇幅有限，因此着重阐述柴油机的基本构造、基本原理、基本特性、动力学和平衡以及柴油机主要零部件和辅助系统与设备等方面内容，为船舶内燃动力装置专业学生进一步学习船舶内燃动力装置原理与设计、轮机自动化等专业课程提供有利条件。并使学生学习后能够扎实地掌握柴油机的基本理论和结构特点，为今后从事设计和科研工作打下一定基础。

本书由华中工学院 604 教研室潘立新、应启光、向忠祥同志负责主审。我们根据审查意见进行了修改。在编写过程中承上海交通大学陈大荣、张连方、朱孟华同志审阅并提出不少宝贵意见，另外还得到上海交通大学热工教研组、内燃机教研组、船舶动力装置教研组的大力协助和支持；特别是郑佩芝、樊应观、严济宽、谢贤宗、吴志兴等同志提供许多宝贵意见和资料，在此谨对他们和教研组有关同志表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，本书一定有不少缺点，希望广大读者和使用本教材的兄弟院校师生提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一章 船舶柴油机的基本概念

§ 1-1 柴油机的基本工作原理	1
§ 1-2 柴油机的主要部件及名词解释	2
§ 1-3 船舶柴油机的分类	4
§ 1-4 船舶柴油机的型号解释	6
§ 1-5 四冲程柴油机的工作原理	6
§ 1-6 二冲程柴油机的工作原理	8
§ 1-7 四冲程与二冲程柴油机的比较	9

第二章 柴油机的实际工作过程

§ 2-1 工作循环的四个过程	10
§ 2-2 二冲程柴油机的换气	28
§ 2-3 柴油机的实际循环	35
§ 2-4 柴油机的工作参数	39
§ 2-5 混合气的形成及燃烧室	42
§ 2-6 柴油机的热平衡	47

第三章 柴油机动力学和平衡

§ 3-1 曲柄连杆机构的运动分析	54
§ 3-2 曲柄连杆机构的惯性力	57
§ 3-3 曲柄连杆机构上的作用力	60
§ 3-4 柴油机平衡概述	63
§ 3-5 单缸发动机的平衡	64
§ 3-6 多缸发动机的平衡	68
§ 3-7 V型发动机的平衡	87
§ 3-8 发动机发火次序的选择	96

第四章 柴油机的运动部件

§ 4-1 活塞组	102
§ 4-2 十字头与连杆	115
§ 4-3 曲轴	127

第五章 柴油机的固定部件

§ 5-1 机座	140
§ 5-2 主轴承	141
§ 5-3 机架	144
§ 5-4 气缸与气缸套	145
§ 5-5 气缸盖	147
§ 5-6 机体的典型结构	150

第六章 柴油机的增压

§ 6-1 增压的目的和分类	153
----------------------	-----

§ 6-2 废气涡轮增压的两种基本型式	154
§ 6-3 废气涡轮增压器	158
§ 6-4 柴油机与废气涡轮增压器的配合	172
第七章 柴油机的特性和调节	
§ 7-1 柴油机的特性	175
§ 7-2 调速和调速器	181
第八章 柴油机的配气机构	
§ 8-1 配气机构的作用和组成	195
§ 8-2 配气机构零件的结构型式和材料	199
§ 8-3 凸轮轴及其传动机构	204
第九章 柴油机的辅助系统	
§ 9-1 燃油系统	206
§ 9-2 润滑系统	222
§ 9-3 冷却系统	230
§ 9-4 起动系统	237
第十章 柴油机的换向和操纵	
§ 10-1 换向原理和换向装置	246
§ 10-2 变速控制装置	259
§ 10-3 操纵系统应用实例	261
参考文献	274

第一章 船舶柴油机的基本概念

内燃机是一种热力发动机（简称热机）。它们的基本工作原理是使燃料在气缸中燃烧，将燃料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。

柴油机就是以柴油为燃料的内燃机。由于它的发火是靠空气的压缩而自燃的，不需火花塞点火，因此也叫做压燃式内燃机。由于它的热效率高、经济性好、使用安全可靠，因此在船舶上获得了广泛的应用。

§ 1-1 柴油机的工作原理

在柴油机中，要使柴油在机器内燃烧放出热量，并把它变为有效的机械功，需要具备以下几个条件：

第一、需要有足够的空气供柴油燃烧。任何可燃物质，如果不与空气接触，是不能燃烧的。所以，要使燃油在柴油机中燃烧，必须在喷入燃油之前先使空气进入气缸；

第二、要有很高的温度促使油滴蒸发成油气以进行燃烧。在柴油机中，燃油不是靠外界火源点燃的，而是在高温下自己发火燃烧的，因此，要使燃油燃烧还必须使空气具有一定的温度。从大气吸入柴油机中的空气靠活塞压缩，使空气达到足够高的温度和压力才能保证燃料的着火；

第三、需将柴油喷散成很细的雾状，以保证燃料与新鲜空气均匀混合，得到充分和完善的燃烧。

因此，柴油机首先要有一个密封的气缸，一个活塞，先把空气吸进来，再把它压缩到很高的压力和温度，此时，将燃油喷入高温高压的空气中，燃油才能发火燃烧，而燃烧产生的大量热能，使工质的压力、温度急剧升高，此时工质在气缸中膨胀推动活塞做功（见图 1-1）。再借助如图 1-2 所示的曲柄连杆，就能将活塞的往复运动变为曲轴的回转运动，这就构成一个最简单的柴油机。

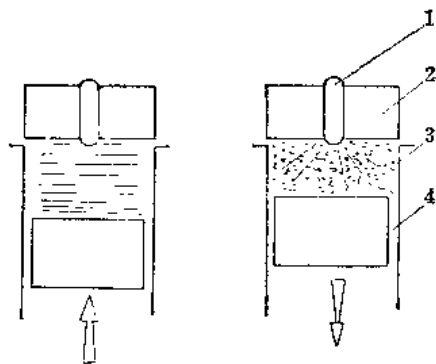


图 1-1 柴油机的喷射和燃烧

1—喷油器；2—气缸盖；3—气缸；4—活塞。

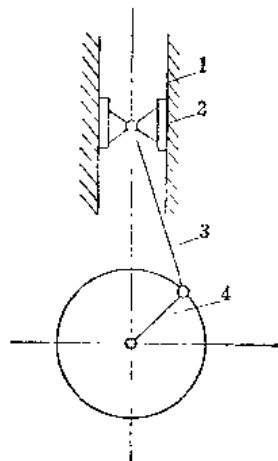


图1-2 曲柄-连杆机构

1—导板；2—滑块；3—连杆；4—曲轴。

§ 1-2 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 1-3 所示，它包括：

(1) 固定部件

机座 1、机身 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、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

高压喷油泵 20、高压油管 21、喷油器 2 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 1-4 所示。

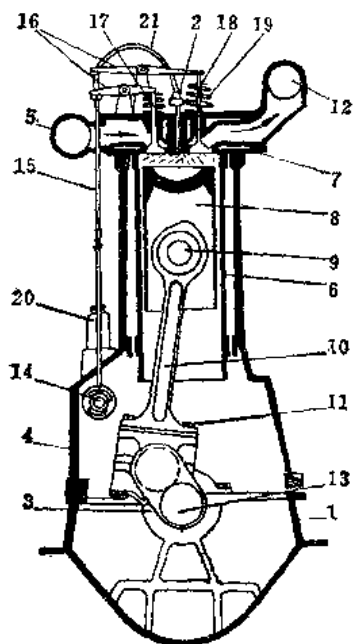


图 1-3 四冲程柴油机的主要部件

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—高压喷油泵；21—高压油管。

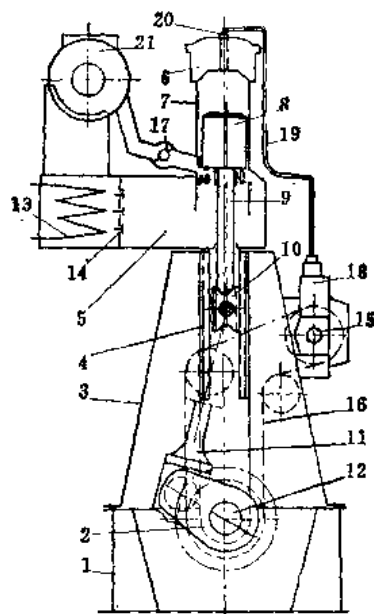


图 1-4 二冲程柴油机的主要部件

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。

(1) 固定部件

机座 1、主轴承 2、机架 3、导板 4、扫气箱 5、气缸体 7、气缸盖 6 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、排气转阀 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

增压器 21、单向阀 14、空气冷却器 13 等。

此外, 它也具备润滑、冷却、传动机构、操纵调节等系统。

二、柴油机的常用名词

(1) 上止点 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, 俗称上死点。

(2) 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, 俗称下死点。

(3) 冲程(行程) 指活塞从上止点到下止点间的直线距离, 常用 S 表示。它等于曲柄半径 R 的两倍 ($S = 2R$)。活塞移动一个冲程相当曲柄转动 180° 。

(4) 缸径 气缸内径, 常用 D 表示。

(5) 压缩容积 活塞在气缸内位于上止点时, 在活塞顶上的全部空间(活塞顶与气缸盖底面之间所包含的空间), 称为压缩容积, 以 V_c 表示(图 1-5)。

(6) 气缸工作容积 活塞在气缸中从上止点移到下止点时所经过的空间。又可称为活塞排量, 以 V_h 表示(图 1-5)。

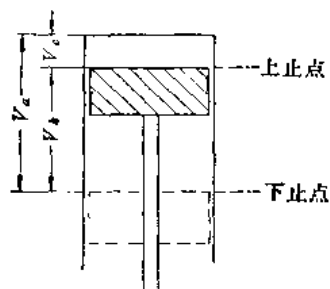


图 1-5 气缸容积

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

气缸工作容积常用“升”作为计算单位。

(7) 气缸总容积 活塞在下止点时, 活塞顶以上的气缸全部容积叫做气缸总容积, 以 V_s 表示, 则

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

(8) 压缩比 气缸总容积与压缩容积之比值称为压缩比, 用字母 ε 表示, 则

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

§ 1-3 船舶柴油机的分类

柴油机的用途极为广泛，型式繁多。

一、按工作循环特点分

柴油机每四个行程（即曲轴回转二周）完成一个工作循环称为四冲程柴油机。

柴油机每二个行程（即曲轴回转一周）完成一个工作循环称为二冲程柴油机。

二、按气缸冷却方式分

气缸用水冷却的柴油机称为水冷柴油机。

气缸用空气来冷却的柴油机称为风冷柴油机。

三、按柴油机进气方式分

自然吸气柴油机称为非增压柴油机。

带有增压器增加进气充量以提高功率的柴油机称为增压柴油机。

压比 $\pi_k < 1.7$ 的增压柴油机称为低增压柴油机。

压比 $\pi_k = 1.7 \sim 2.5$ 的增压柴油机称为中增压柴油机。

压比 $\pi_k > 2.5$ 的增压柴油机称为高增压柴油机。

四、按柴油机转速和活塞平均速度分

转速大于 1000 转/分和活塞平均速度大于 9 米/秒习惯称为高速柴油机。

转速为 350~1000 转/分和活塞平均速度为 6~9 米/秒习惯称为中速柴油机。

转速小于 350 转/分和活塞平均速度低于 6 米/秒习惯称为低速柴油机。

五、按结构特点分

(1) 筒形活塞式和十字头式柴油机

筒形活塞式柴油机（图 1-6(a)）：它的特点是活塞直接与连杆相连，活塞的导向和侧推力由活塞的裙部来承受。

十字头式柴油机（图 1-6(b)）：它的特点是活塞通过活塞杆以及十字头而与连杆相连接。活塞的导向和侧推力由十字头来承受。

(2) 立式与卧式柴油机

图 1-7(a) 所示气缸中心线与地面垂直称之为立式柴油机。

图 1-7(b) 所示气缸中心线与地面平行称之为卧式柴油机。

(3) 按气缸排列分类

按气缸排列可分为单列式柴油机〔图 1-8(a)〕、双列式柴油机〔图 1-8(b)〕、V 型柴油机〔图 1-8(c)〕、W 型柴油机〔图 1-8(d)〕、X 型柴油机〔图 1-8(e)〕、星型柴油机〔图 1-8(f)〕。

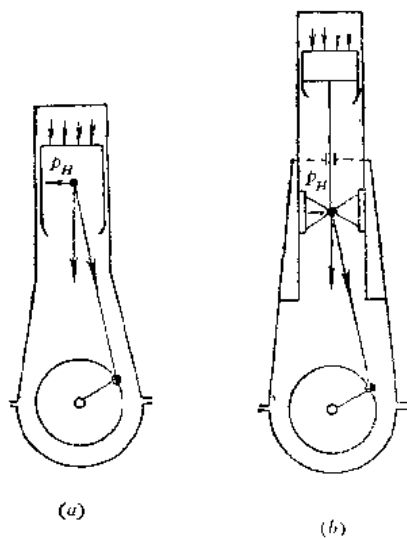


图1-6 筒形活塞与十字头柴油机简图

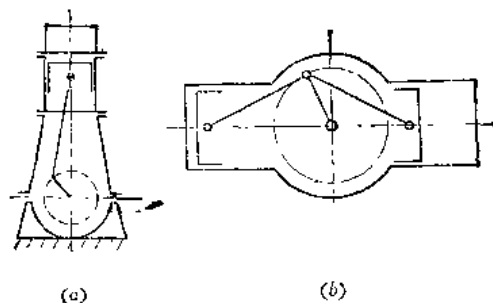


图1-7 立式与卧式柴油机简图

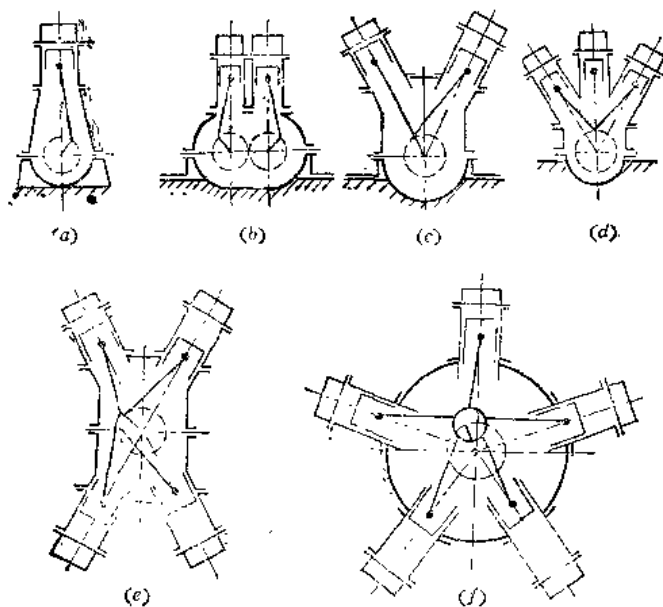


图1-8 柴油机按气缸排列分类

六、按柴油机能否反转分

凡直接带动螺旋桨，曲轴可反转的柴油机称为可反转柴油机。

凡带有倒顺车离合器、倒顺车齿轮箱或可变螺距螺旋桨，柴油机曲轴不能反转的柴油机称为不可反转柴油机。

七、按船舶动力装置需要分

由船尾向船首看，适宜布置在机舱右舷的柴油机称为右机。它的曲轴的转向（从飞轮

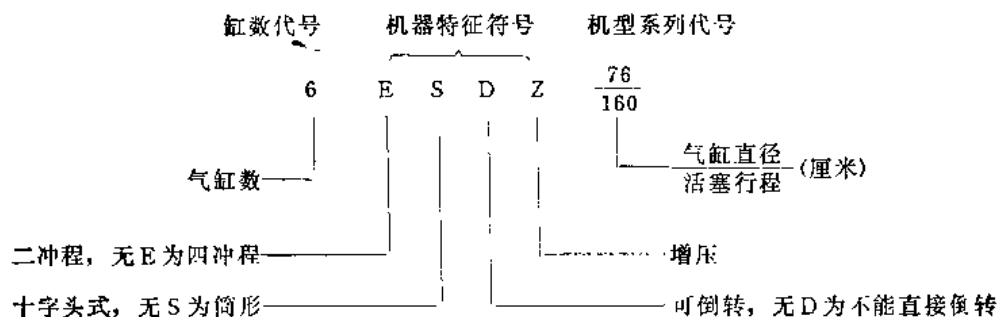
端向自由端看)为顺时针。需要维护保养的零件尽可能布置在柴油机的左侧(从飞轮端向自由端看)。

由船尾向船首看,适宜布置在机舱左舷的柴油机称为左机。它的特点与右机相反。

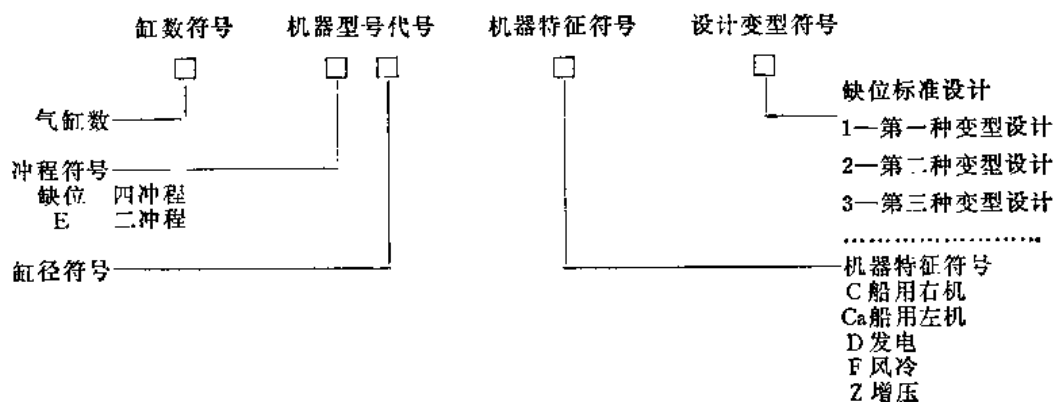
§ 1-4 船舶柴油机的型号解释

为了便于柴油机的选择和使用,现将国产柴油机型号编制规则介绍如下。

一、大型低速柴油机型号解释



二、中小型柴油机型号解释



例如: 6135ZCa 为 6 缸 135 型增压船用左机。

§ 1-5 四冲程柴油机的工作原理

柴油机的循环是通过进气、压缩、工作(燃烧及膨胀)、排气四个过程来实现的。这样四个连续的过程就称为柴油机的一个工作循环。

图 1-9 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和活塞等零件的有关动作位置。

第一冲程——进气冲程。由于燃烧必须要有空气, 故在燃油送入之前, 应先进入空气。活塞从上止点下行, 进气阀 1 打开。由于气缸容积的不断增大, 缸内压力下降, 依靠气缸内外的压差, 新鲜空气经进气阀被吸入气缸。气阀开启的时刻由曲柄位置点 a 表示, 一般

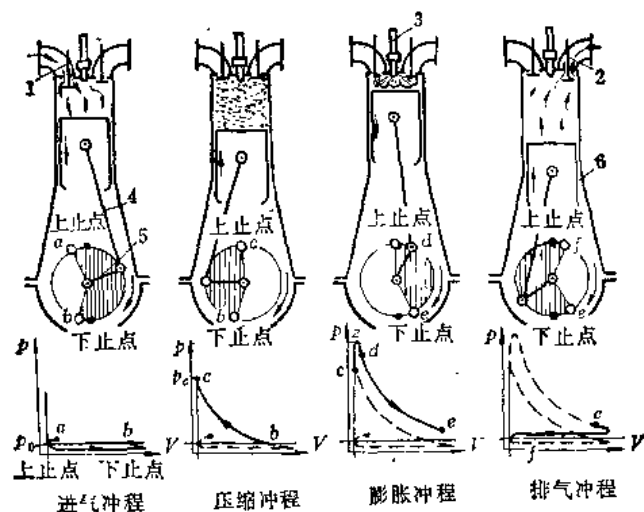


图1-9 四冲程柴油机工作原理

1—进气阀；2—排气阀；3—喷油器；4—连杆；5—曲轴；6—活塞。

进气阀在活塞到达上止点之前就提早打开，它的关闭也一直延迟到下止点之后（点 b ）。曲柄转角 $\varphi_{a,b}$ （图中阴影线所占的角度）表示进气过程，约为 $220^\circ \sim 250^\circ$ 。

第二冲程——压缩冲程。要使燃油自行发火燃烧，必须使空气具有足够的温度。将吸入的空气进行压缩，才能使空气达到足够高的温度和压力。当活塞从下止点向上运动到点 b 时，进气阀1关闭，开始压缩，一直到上止点 c 为止。进气冲程吸入的新鲜空气，经压缩后，压力增高到 $30 \sim 60$ 公斤/厘米²（此压力称为压缩终点压力，用 p_c 表示），温度升至 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ ，这个温度已可保证燃油的发火。高压燃油在压缩过程的后期（即点 c 之前，通过喷油器3喷入气缸，并与气缸中的空气混合、加热，并自行发火燃烧。图中压缩过程用曲柄转角 $\varphi_{b,c}$ 表示，约 $140^\circ \sim 160^\circ$ 。

第三冲程——工作（燃烧及膨胀）冲程。在冲程之初，由于燃油强烈燃烧，使气缸内的压力和温度急剧升高，压力约达 $50 \sim 80$ 公斤/厘米²（甚至高达 130 公斤/厘米²以上），温度约为 $1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ 或更高些。高温高压的燃气（即工质）膨胀推动活塞下行而做功。活塞的往复运动通过连杆4推动曲轴5作回转运动。由于气缸容积逐渐增大，压力开始下降，约在上止点后 $40^\circ \sim 60^\circ$ 曲柄转角后（点 d ）燃烧基本结束。而气缸中的压力和温度随着燃气的膨胀而逐渐下降，一直到气缸盖上的排气阀2开启时膨胀结束。膨胀终了时，燃气压力降至 $2.5 \sim 4.5$ 公斤/厘米²，温度降到 $600 \sim 750^\circ\text{C}$ 。排气阀则在下止点前（点 e ）开启，因而在此冲程的末期，排气过程已开始。图中工作（燃烧和膨胀）过程用曲柄转角 $\varphi_{c,d,e}$ 表示。

第四冲程——排气冲程。为使下一循环的新鲜空气再次进入，应先将气缸内的废气排出。在燃烧和膨胀冲程末期，排气阀2开启，这时活塞尚在下行，废气靠气缸内外压差，经排气阀排出气缸。当活塞由下止点向上行时，剩余的废气被活塞推出气缸，此时的排气过程是在略高于大气压力（约 $1.05 \sim 1.1$ 大气压）且其压力基本上保持稳定的情况下进行的。排气阀在下止点前（点 e ）开启，延迟到上止点后（点 f ）关闭，排气过程以 $\varphi_{e,f}$ 表示。

在进行了上述四个冲程后，柴油机就完成了一个工作循环，即曲轴回转两周，活塞移动四个冲程完成一个工作循环。每个工作循环中只有工作冲程（燃烧及膨胀冲程）是做功的，在这个冲程里，完成了燃料化学能转变为热能和热能转变为机械功的两次能量转换。其它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。

§ 1-6 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、排气过程紧缩在活塞的两个冲程内完成，使曲轴每旋转一周完成一个循环。

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末及压缩冲程之初进行的，其废气的排除除了一部分自由泄放外，剩余部分则是靠压入气缸的新鲜空气来把废气扫出去的。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，以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”。扫气泵可采用罗茨泵、活塞泵等。

二冲程柴油机有许多换气方式，但这些换气方式的工作原理基本相同。现以直流扫气二冲程柴油机为例介绍其工作原理。

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 1-10 所示。

现以图 1-10 所示的直流扫气二冲程柴油机来说明它的工作原理。

第一冲程——扫气及压缩。活塞由下止点向上移动，活塞在遮住扫气口之前，由扫气泵供给的新鲜空气通过扫气口进入气缸，气缸中的残存废气被进入气缸的扫气空气

通过排气阀中挤出。活塞继续上行，逐渐遮住扫气口，扫气口完全关闭后，空气停止充入，接着排气阀关闭（曲轴在点 1 的位置），气缸中的空气就开始被压缩，当压缩至接近上止点处（点 2'）通过喷油器喷入高压雾化燃油，接着便迅速发火。

第二冲程——燃烧膨胀及排气。活塞由于高压燃气的推动向下运动，对外膨胀做功，直到排气阀打开（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。气缸内的压力迅速下降到稍低于扫气空气的压力，然后扫气口开启（曲轴在点 5 位置），扫气空气进入气缸，同时把气缸内的废气经

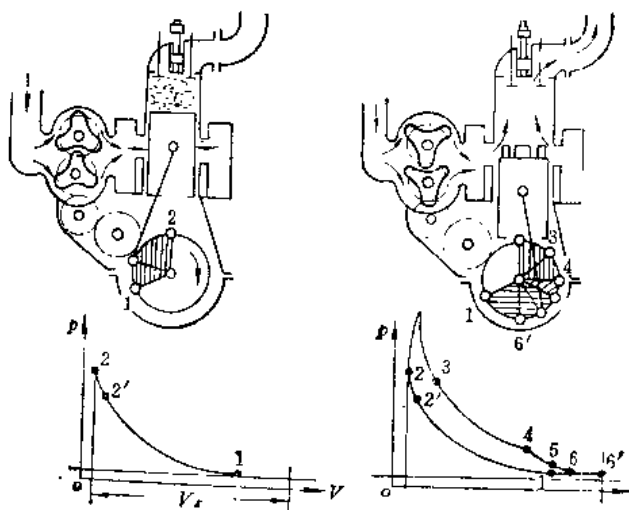


图 1-10 直流扫气二冲程柴油机简图

排气阀挤出去。扫气过程一直继续到下一冲程排气阀关闭（点1）为止。

§ 1-7 四冲程与二冲程柴油机的比较

与四冲程柴油机相比，二冲程柴油机有如下优点：

① 二冲程柴油机能在每两个冲程内完成一个工作循环，作一次功。这样，就提高了柴油机的作功能力。对于二台气缸尺寸及转速相同的非增压柴油机，考虑了气口的冲程损失和扫气所消耗的功率等影响，二冲程柴油机的功率约为四冲程的 1.6~1.8 倍。

② 二冲程柴油机较四冲程的结构简单一些。这主要由于省去了气阀及其传动装置，所以二冲程柴油机的维护、保养就比较简单。

③ 由于二冲程柴油机在活塞的二个冲程内就完成一个工作循环。因而它的回转要比四冲程柴油机均匀，可使用较小的飞轮。

二冲程柴油机虽然有以上优点，但它也有其本身固有的缺点：

① 即其换气过程没有四冲程进行得那样完善，气缸内废气的清除和新气的充入都较四冲程困难得多。

② 二冲程柴油机进入气缸的新鲜空气在排气口开启着的时候，要随同废气一起泄出一部分，这就增加了空气的消耗量。

③ 二冲程柴油机由于循环进行得更为频繁，气缸周围零件冷却较困难，因而热负荷比较高。

第二章 柴油机的实际工作过程

本章具体地研究柴油机的实际工作过程中各个参数对功率和效率的影响，以加深对各个过程之间的联系和各工作参数之间关系的了解。

§ 2-1 工作循环的四个过程

一、充换气过程，充气系数 η_v 。

在讨论柴油机理想循环时，我们假定工质是封闭在气缸内的，但在实际柴油机中，为使工作循环重复地进行，必须更换工质，也就是不断地从外界吸入新鲜空气，并将废气排除出去，这就是“换气”。

由于工作循环的进行方式不同，四冲程与二冲程柴油机的换气过程也是不同的。

这主要表现在：

(1) 在四冲程中，整个换气过程约占 $390^\circ \sim 450^\circ$ 曲轴转角；而在二冲程中，只有 $120^\circ \sim 150^\circ$ 曲轴转角，相差了三倍左右。

(2) 在四冲程中，新鲜空气是靠气缸内外的压差吸入的（非增压柴油机），而在二冲程中则是用扫气泵强制打入的。

(3) 在四冲程中，废气的排除是用活塞强制推出的，而在二冲程中废气的清除是用新鲜空气来“扫”走的，因此难以避免新鲜空气和废气的相互掺混。为了提高换气的质量不得不用较多的新鲜空气进行扫气，这就使得新鲜空气的消耗量要比四冲程多。

所以二冲程柴油机的换气质量要比四冲程差得多。

图 2-1 所示是用弱弹簧的示功器测出的柴油机换气过程的示功图。

图 2-1(a) 是非增压四冲程柴油机的换气过程。当活塞在膨胀过程中到达下止点前 b 时，排气阀开始打开，气缸中压力很快下降。此后活塞回行，由于活塞在行程中间位置附近速度较大，废气来不及排

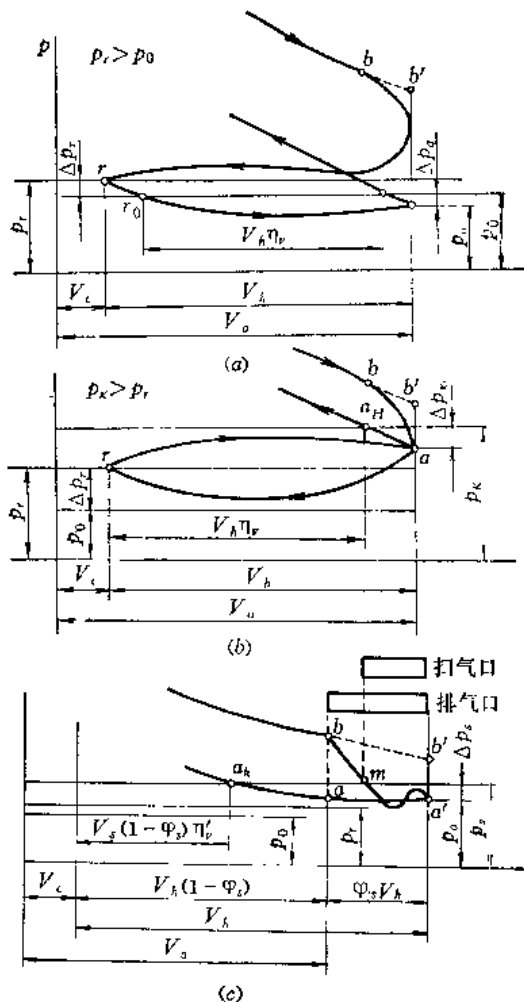


图 2-1 柴油机换气过程示功图
(a) 非增压四冲程柴油机；(b) 增压四冲程柴油机；
(c) 二冲程柴油机。

除, 因此气缸压力略有升高, 当活塞到达上止点 r 时, 排气冲程结束。由于排气系统中存在阻力, 所以废气的压力要大于外界大气压力, 即 $p_r > p_0$ 。因此吸气冲程之初, 气缸内的剩余废气由压力 p_r 先膨胀到 p_0 (r_0 点), 然后才开始吸入新鲜空气, 由于在进气系统中同样存在阻力, 所以吸气冲程中气缸压力低于外界大气压力 p_0 , 而且当活塞在行程中间位置时压力最低, 到下止点 a 时的压力是 p_a , $p_a < p_0$ 。

图 2-1(b) 是增压四冲程柴油机的换气过程。由图可以看出, 增压后进气冲程中气缸压力是大于废气压力 p_r 和大气压力 p_0 的, 但它却小于增压压力 p_K 。

图 2-1(c) 是二冲程柴油机的换气过程。当活塞在膨胀冲程下行到点 b 时, 排气口(阀)开始打开, 这时由于气缸内压力很高而排气管中压力低, 所以气体靠其压差以很高的速度流出。此时活塞继续下行, 气缸内压力急剧下降。到 m 点扫气口开始打开时, 气缸压力尚稍大于扫气压力 p_s , 但因为扫气口刚打开, 通道截面还很小, 而排气口的通道截面很大。气缸内气体由于惯性的作用, 继续向外流出, 而使气缸内压力继续下降, 而同时扫气口却渐渐地开大了。所以从此时新鲜的扫气空气就开始进入气缸。气缸内压力开始回升, 同样地由于惯性影响, 产生了压力波动。柴油机的转速愈高这种压力波动也愈大。

此后, 活塞经过下止点 a' 转向上行。由于扫气口关闭后, 排气口尚未关, 所以 a 点时气缸内的压力要比 a' 点略低些。

当然, 我们希望进入气缸的新鲜空气越多越好, 但是实际上在 p_0 、 T_0 (在增压时为 p_K 、 T_K , 二冲程为 p_s 、 T_s) 状态下的空气在换气过程中不可能全部充满气缸, 其原因在于:

① 进气系统中有阻力, 它使充气终点压力 p_a 要比外界压力小一个流阻损失 Δp_a , 流阻损失的大小是和空气滤清器、进气管、进气阀、进气道的流通截面的大小和进气的流速等因素有关。对于气缸尺寸 (D 、 S) 一定的柴油机, 一般可认为流阻损失和柴油机转速的平方成正比, 和气阀(气口)通道截面 (f_K) 的平方成反比, 即

$$\Delta p_a \propto \frac{n^2}{f_K^2}$$

一般, 充气终点压力 p_a 的数据范围如下

四冲程非增压 $p_a = (0.85 \sim 0.95) p_0$

四冲程增压 $p_a = (0.92 \sim 1.0) p_K$

二冲程直流扫气 $p_a = (0.85 \sim 1.1) p_s$

二冲程横流扫气 $p_a = \frac{p_s + p_r}{2} - (0.02 \sim 0.05)$

这里 p_K 、 p_s 、 p_r 相应地代表增压压力, 扫气压力及废气压力, 其数值范围如下

增压压力 p_K

低增压 $p_K < 1.7$ 公斤/厘米²

中增压 $p_K = 1.7 \sim 2.5$ 公斤/厘米²

高增压 $p_K > 2.5$ 公斤/厘米²

扫气压力 p_s

低速 $p_s = 1.10 \sim 1.15$ 公斤/厘米²

中速 $p_s = 1.20 \sim 1.35$ 公斤/厘米²

高速 $p_s = 1.30 \sim 1.50$ 公斤/厘米²