



国家级重点技工学校推荐教材

现代大型低速 柴油机

李 斌 主编



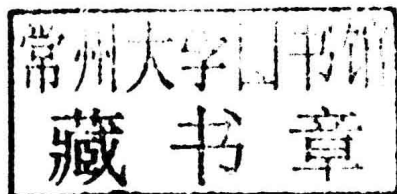
HEUP 哈尔滨工程大学出版社

国家级重点技工学校推荐教材

现代大型低速柴油机

主 编 李 斌

副主编 倪春明 赵 磊 周卫杰



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书结合生产实际,对现代大型低速柴油机的使用原理、结构设计、制造安装等方面进行阐述,是国内少有的对此方面进行专业论述的专著,有着重要的理论和实际意义。

本书可供船舶修造企业、技校和职校作为教材使用,也可供动力和机电专业的学生、教师,以及工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代大型低速柴油机/李斌主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2015.7

ISBN 978-7-5661-0943-9

I. ①现… II. ①李… III. ①低速柴油机
IV. ①TK429

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 190669 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 18.5
字 数 482 千字
版 次 2015 年 7 月第 1 版
印 次 2015 年 7 月第 1 次印刷
定 价 37.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

教材编写委员会

总 编：殷先海

副总编：郑永佳

编委会成员：殷先海 冉凯峰 李康宁 吴周杰

郑永佳 赵汝荣 丁训康 朱继东

张 铭 李 斌

教材审定行业专家委员会

刘新华 龚利华 王力争 陈昌友 陈凤双

李骁峯 陈景毅 杜逸明 赵汝荣 丁巧银

董三国 朱伯华 刘汉军 朱明华

目 录

项目一 船舶柴油机的认识	1
模块一 柴油机类型的认识	1
模块二 柴油机构造的认识	20
模块三 柴油机性能指标的计算	26
模块四 柴油机装配工艺的认识	34
项目二 十字头式柴油机部件的装配	60
模块一 机架的装配	60
模块二 汽缸体总成的装配	70
模块三 汽缸盖组件及排气阀总成的装配	79
模块四 曲轴总成的装配	91
模块五 连杆总成的装配	98
模块六 活塞组件的装配	107
模块七 凸轮轴总成的装配	117
模块八 燃油泵及排气阀传动机构的装配	122
模块九 扫气箱、空冷器及排气管的装配	137
项目三 柴油机的总装	145
模块一 主机基座(底座)的准备	145
模块二 主机的吊运	152
模块三 主机的定位	157
项目四 柴油机系统的认识	166
模块一 燃油系统的认识	166
模块二 滑油系统的认识	199
模块三 冷却系统的认识	223
模块四 换气与增压系统的认识	229
模块五 控制系统的认识	249

项目一 船舶柴油机的认识

模块一 柴油机类型的认识

【学习目标】

1. 能根据柴油机的基本知识,熟练识别柴油机的类型;
2. 能根据柴油机的型号表示,描述柴油机的结构特点;
3. 能按照柴油机的工作顺序,描述柴油机的工作原理和特点;
4. 能根据柴油机的工作过程,分析和绘制四冲程和二冲程柴油机的定时圆图;
5. 能根据柴油机的特点,分析柴油机的应用范围。

【模块描述】

船舶柴油机是驱动螺旋桨旋转或带动发电机发电的动力源。本模块主要介绍柴油机的基本概念,增压的原理,柴油机的基本结构,四冲程和二冲程柴油机的工作原理。本模块要求学生能够熟练地识别柴油机的类型,画出柴油机的定时圆图,描述柴油机进气、压缩、燃烧、膨胀和排气各个工作过程,能比较四冲程和二冲程柴油机的优缺点。

【任务分析】

柴油机是以柴油或劣质燃油为燃料,压缩发火的往复式内燃机。柴油机的基本结构由固定部件、运动部件和配气机构等三大部件组成。同时,为了保证柴油机正常运转,还需要具有燃油、润滑、冷却、增压和操纵等 5 大系统。柴油机每做一次功,必须完成进气、压缩、燃烧、膨胀和排气 5 个过程,即一个工作循环。柴油机通过活塞的四个冲程或两个冲程完成一个工作循环,分别称为四冲程或二冲程柴油机。在柴油机中,用增加进气压力来提高功率的方法称为柴油机的增压,采用废气涡轮增压,二冲程柴油机的扫气形式分直流和弯流两大类。

本模块要求能够熟练地识别柴油机的类型和型号表示,了解柴油机的性能特征。

【知识准备】

一、柴油机的基本概念

(一)热机

把热能转换成机械能的动力机械称之为热机。

热机的基本工作原理是燃料在一个特设的装置中燃烧,将燃料的化学能通过燃烧,再通过燃烧产物(工质)的膨胀做功把热能转变为机械能。热机在工作过程中需要完成两次能量转化,如图 1-1 所示。蒸汽机、蒸汽轮机、柴油机以及汽油机等都是较典型的热机。根据燃料燃烧时所在部位不同,热机分为外燃机和内燃机两种类型。



图 1-1 燃料的能量转换

(二) 外燃机

外燃机是燃料的燃烧(燃料的化学能转变成热能)是在汽缸外部特设的锅炉中进行的,燃料燃烧时放出的热能加热水,使水变成蒸汽,再将蒸汽引入汽缸内膨胀做功,推动机械运动。往复式蒸汽机、蒸汽轮机等都是外燃机。

(三) 内燃机

1. 内燃机的概念

工作机械如果两次能量转化过程是在同一机械设备的内部完成的,则称之为内燃机。如汽油机、柴油机以及燃气轮机和煤气机等。

2. 内燃机的优点

内燃机与外燃机相比,其主要优点是:

(1) 在内燃机中,两次能量转换均发生在汽缸内部,受热部件可以在大大低于最高循环工作温度下工作,可以采用较高的循环最高温度,具有较高的热效率;

(2) 热能不需要中间工质(水蒸气)传递,减少了热能在工质传递过程中的热损失,结构简单。另外尺寸和质量等方面也具有明显优势,例如,燃气轮机在热机中的单位质量功率最大。

(四) 柴油机

1. 柴油机的特点

柴油机是一种压缩发火的往复式内燃机。柴油机使用挥发性较差的柴油或劣质燃料油作燃料;采用内部混合法(燃油与空气的混合发生在汽缸内部)形成可燃混合气;缸内燃烧采用压缩式发火(靠缸内空气被压缩后形成的高温自行发火)。这些特点使柴油机在热机领域内具有最高的热效率,因而应用十分广泛。在船用发动机中,柴油机已经取得了绝对统治地位。

2. 柴油机的优点

通常,柴油机具有以下突出优点:

(1) 经济性好,柴油机的有效热效率可达 50% 以上,可使用价廉的重油,燃油费用低;

(2) 功率范围宽广,单机功率为 0.6 kW ~ 87 200 kW,适用领域广;

(3) 尺寸小,质量轻,有利于船舶机舱的布置;

(4) 机动性好,启动迅速、方便,加速性能好,有较宽的转速和负荷调节范围,并可直接反转,能适应船舶航行的各种工况要求;

(5) 可靠性高,寿命长,维修方便。

3. 柴油机的缺点

同时,柴油机也具有以下缺点:

(1) 存在机身振动、轴系扭转振动和噪声;

(2) 某些部件的工作条件恶劣,承受高温、高压作用并具有冲击性负荷。

(五) 柴油机与汽油机比较

柴油机与汽油机的比较,有以下特点。

根据所用燃料的不同,内燃机可大致分为汽油机、煤气机、柴油机和燃气轮机,它们都具有内燃机的共同特点,但又具有各自的工作特点。柴油机与汽油机的比较如表 1-1 所示。汽油机使用挥发性好的汽油作燃料,采用外部混合法(汽油与空气在汽缸外部进气管中的汽化器内进行混合)形成可燃混合气;其燃烧为点火式(电火花塞点火)。这种工作特点使汽油机不能采用高压压缩比,因而限制了汽油机经济性的大幅提高,也不允许作为船用发动机使用(汽油的火灾危险性大),但它工作柔和平稳、噪音低、质量小,因而广泛应用于轿车和轻型运输车辆。

表 1-1 柴油机与汽油机的比较

特点 \ 机型	柴油机	汽油机
燃料(燃烧工质)	柴油或劣质燃油	汽油
点火方式	压缩自行发火	电火花塞点燃
混合气的形成方式	汽缸内混合	汽缸外混合
压缩比	12 ~ 22	6 ~ 10
有效热效率	30% ~ 55%	15% ~ 40%

二、柴油机的基本结构和常用几何术语

(一) 柴油机的基本结构

四冲程柴油机主要由固定部件、运动部件、配气机构和一些系统组成。其主要部件如图 1-2 所示。

1. 固定部件

固定部件主要包括机座、机体、汽缸盖、汽缸套和主轴承等。固定部件构成柴油机主体,支撑运动部件并由汽缸盖、汽缸套与活塞组件组成燃烧室和燃气工作的空间(汽缸)。

2. 运动部件

运动部件主要包括活塞组件、连杆组件和曲轴飞轮组件等。它们构成曲柄连杆机构,使活塞的往复运动转换为曲轴的回转运动,实现热能向机械能的转换。

3. 主要系统

柴油机除主要部件组成外,还要设置燃油系统、润滑系统、冷却系统、换气与增压系统以及操纵和控制系统。

柴油机的基本结构可使进入汽缸的新鲜空气被压缩以提高温度和压力,并以压缩点火方式使喷射进汽缸的燃料燃烧,所产生

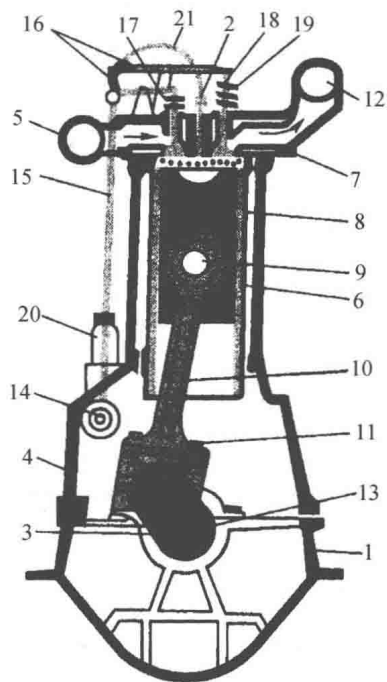


图 1-2 四冲程柴油机的主要部件示意图

1—机座;2—喷油器;3—主轴承;4—机体;5—进气管;6—汽缸套;7—汽缸盖;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

的高温、高压的工质在汽缸中膨胀,推动活塞运动,再通过曲柄连杆机构转变为曲轴的回转运动,从而带动工作机械,最后还可将汽缸内的废气排出,再吸入新鲜空气,进行下一个做功过程。

(二) 柴油机的常用术语

柴油机常用几何术语如图 1-3 所示。

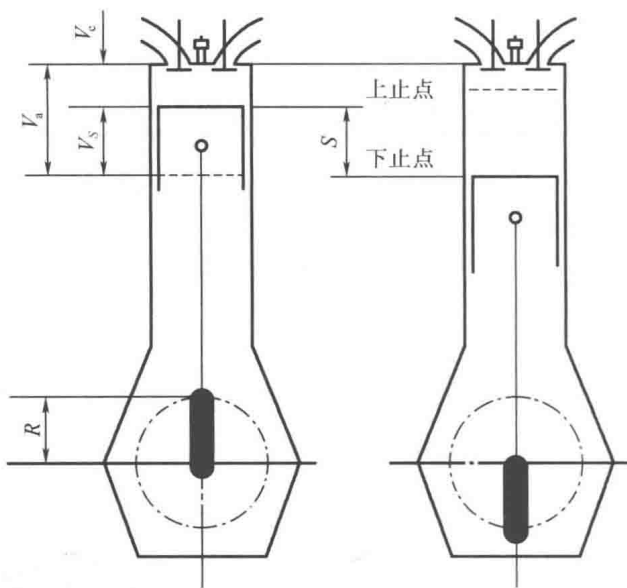


图 1-3 柴油机主要几何术语

1. 上止点(TDC):活塞在汽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. 下止点(BDC):活塞在汽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。

活塞在上下止点时将改变其运动方向,此瞬间的活塞速度为零,所以称为上(下)止点或死点。

3. 行程(S):指活塞从上止点移动到下止点间的直线距离。行程又称冲程,行程 S 等于曲轴曲柄半径 R 的两倍,即 $S = 2R$ 。活塞移动一个行程,相当于曲轴转动 180°CA (曲轴转角)。

4. 缸径(D):汽缸的内径。

5. 压缩室容积 V_c :活塞在上止点时,活塞顶、汽缸盖底面与汽缸套表面之间所形成的空间容积,又称燃烧室容积或汽缸余隙容积。

6. 余隙高度(顶隙):上止点时活塞最高顶面与汽缸盖底平面之间的垂直距离。

7. 汽缸工作容积(V_s):活塞在汽缸中从上止点移动到下止点时所扫过的容积,即

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

8. 汽缸总容积(V_a):活塞在汽缸内位于下止点时,活塞顶以上的汽缸全部容积,即

$$V_a = V_c + V_s$$

9. 压缩比(ϵ):汽缸总容积与压缩室容积的比值,亦称几何压缩比或理论压缩比,即

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c}$$

压缩比是柴油机的一个重要结构参数,它表示缸内工质被压缩的强烈程度。柴油机压缩比为 12~22。中高速柴油机的 ε 高于低速机。实际上柴油机的压缩比取决于进、排气定时,因此运转中柴油机的压缩比与几何压缩比有所不同。

三、柴油机的工作原理

柴油机每做一次功,就是在汽缸内完成一个由进气、压缩、燃烧、膨胀和排气 5 个过程组成的工作循环。柴油机持续地运转做功过程,是汽缸内周而复始地重复一个个工作循环的过程。柴油机可通过活塞的四个冲程或两个冲程完成一个工作循环,分别被称为四冲程或二冲程柴油机。

(一) 四冲程柴油机的工作原理

柴油机的基本工作原理是采用压缩发火方式使燃料在缸内燃烧,以高温高压的燃气做工质,在汽缸中膨胀推动活塞往复运动,并通过活塞—连杆—曲柄机构将往复运动转变为曲轴的回转运动,从而带动工作机械。

根据柴油机的上述工作特点,燃油在柴油机汽缸中燃烧做功必须通过进气、压缩、燃烧、膨胀与排气 5 个过程。包括进气、压缩、混合气形成、着火、燃烧与放热、膨胀做功和排气等在内的全部热力循环过程,称为柴油机工作过程;包括进气、压缩、膨胀和排气等过程的周而复始的循环叫工作循环。

如果柴油机工作循环的 5 个过程是通过进气、压缩、膨胀和排气 4 个行程来实现的(曲轴转动 720 °CA),这种柴油机叫作四冲程柴油机。

1. 工作过程

图 1-4 中所示的四个简图分别表示四个活塞行程的进行情况,以及活塞、曲轴、气阀等部件的有关动作情况。

第一冲程——进气冲程:空气进入汽缸时相应的活塞行程。

作用:吸入新鲜空气。

活塞从上止点下行,进气阀 a 打开。由于汽缸容积不断增大,缸内的气体压力降低,由于进入汽缸的新鲜空气流经进气管、进气阀时存在一定的阻力,因此进气压力线(1—2)低于大气压力线,依靠汽缸内气体压力与大气压力的压差,新鲜空气经进气阀被吸入汽缸。进气阀一般在活塞到达上止点之前一定角度即提前打开(曲柄位于点 1),下止点之后一定角度延迟关闭(曲柄位于点 2)。曲柄转角 φ_{1-2} (图中阴影线所占的角度)表示进气持续角,约为 220 °CA~250 °CA(曲柄转角)。

第二冲程——压缩冲程:工质在汽缸内被压缩时相应的活塞行程。

作用:吸入气体被压缩,产生高温、高压气体。

活塞从下止点向上运动,自进气阀 a 关闭(点 2)才开始压缩,一直到上止点(点 3)为止。第一行程吸入的新鲜空气经压缩后,压力增高到 3~6 MPa,温度升高到 600~700 °C,此温度可以保证喷入汽缸的雾状燃油自燃(燃油的自燃温度为 210~270 °C)。压缩终点的压力和温度分别用符号 p_c 和 t_c 表示。在压缩过程的后期,由喷油器 c 喷入汽缸的燃油与高

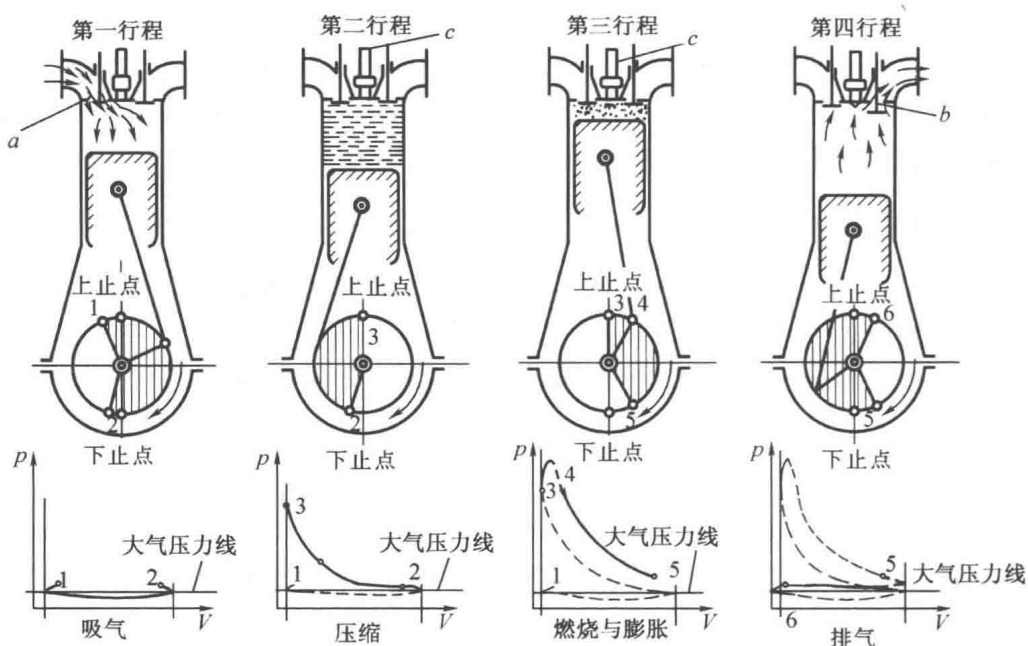


图 1-4 四冲程柴油机的工作原理图

温空气混合、加热,并自行发火燃烧。曲柄转角 φ_{2-3} (图中阴影线所占的角度) 表示压缩过程,约为 $140^\circ\text{CA} \sim 160^\circ\text{CA}$ 。

第三冲程——燃烧和膨胀冲程:工质在汽缸内燃烧膨胀时相应的活塞行程。

作用:吸入气体膨胀做功。

活塞在上止点附近,由于燃油强烈燃烧,使汽缸内的气体温度和压力急剧升高,压力约为 $5 \sim 8 \text{ MPa}$,甚至高达 15 MPa ,温度约为 $1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ 或更高。此压力推动活塞下行,带动曲柄转动,从而输出机械功。燃烧时产生的最大压力称为最大爆发压力 p_z ,它一般出现在上止点后的某一曲柄转角位置上(一般在上止点后 $10^\circ\text{CA} \sim 15^\circ\text{CA}$)。汽缸内的最高温度 T_x 一般出现在上止点后的某一曲柄转角位置上(一般不超过上止点后 40°CA)。膨胀一直到排气阀 b 开启时结束,膨胀终了时的汽缸内的气体压力约为 $250 \sim 450 \text{ kPa}$,气体温度约为 $600 \sim 700^\circ\text{C}$,曲柄转角 φ_{3-4-5} (图中阴影线所占的角度) 表示膨胀过程,占 $130^\circ\text{CA} \sim 150^\circ\text{CA}$ 。

第四冲程——排气冲程:燃烧后的废气从汽缸内排出时相应的活塞行程。

作用:做完功的气体排出汽缸。

在上一行程末,活塞尚在下行,排气阀 b 开启,废气靠汽缸内外压力差经排气阀排出,废气的压力迅速下降。当活塞经下止点上行时,废气被活塞推挤出汽缸,此时的排气压力略高于大气压力(约 1.05 至 1.1 大气压),且是在压力基本保持不变的情况下进行的。为了尽可能将废气排除干净,排气阀一直延迟到上止点后(点 6)才关闭。曲柄转角 φ_{5-6} (图中阴影线所占的角度) 表示排气持续角,为 $230^\circ\text{CA} \sim 260^\circ\text{CA}$ 。

进行了上述的四个行程,柴油机就完成了一个工作循环。当活塞继续运动时,另一个新的循环又按同样的顺序重复进行,以维持柴油机的连续运转。

四冲程柴油机每完成一个工作循环,曲轴需要回转两转(720°CA),活塞运行四个行

程。每个工作循环中只有第三行程(膨胀行程)是做功的,其他的三个行程都是为膨胀行程服务的,都需要消耗能量。柴油机常做成多缸的,这样进气、压缩、排气行程需要的能量借助其他正在做功的汽缸或飞轮来供给。如果是单缸的柴油机,则由相对较大的飞轮来提供。

2. $p-V$ 示功图

图 1-4 下方的 $p-V$ 图表示一个工作循环内汽缸中气体压力随活塞位移(即汽缸容积)而变化的情形。在 $p-V$ 图中,进气过程曲线为 1—2;压缩过程曲线为 2—3;燃烧和膨胀过程曲线为 3—4—5;排气过程曲线为 5—6。把一个工作循环的各过程线综合起来,就构成了四冲程柴油机的示功图。在工作过程进行中,汽缸内气体的压力和容积是同时变化的。 $p-V$ 示功图可以用来研究柴油机各工作过程进行的情况,且可以用来计算柴油机一个工作循环的指示功。

3. 定时圆图

四冲程柴油机进、排气阀的开启和关闭都不在上、下止点,而是在上、下止点前后的某一时刻。它们的开启持续角均大于 180°CA 。进、排气阀在上、下止点前后启闭的时刻称为气阀定时。通常气阀定时用距相应止点的曲柄转角($^\circ\text{CA}$)来表示。用曲柄转角表示气阀定时的圆图称为气阀定时圆图。如图 1-5 所示,它表示了各工作过程的次序与规律。

从图 1-5 可以看出,进气阀在上止点前点 1 开启,在下止点后点 2 关闭。其与相应止点的夹角 φ_1 , φ_2 分别称为进气提前角和进气滞后角。排气阀在下止点前点 5 开启,在上止点后点 6 关闭。其与相应止点的夹角 φ_3 , φ_4 分别称为排气提前角和排气滞后角。气阀提前开启是为了减少进、排气的阻力,滞后关闭是为了增加进气时间和利用气流的流动惯性,使废气排除干净,并增加空气的吸入量,以利于燃油的燃烧,另外还可减少排气耗功。因此气阀定时是影响四冲程柴油机做功的重要因素。

4. 气阀重叠角

由图 1-5 可以看出,在上止点前后进气阀与排气阀同时开启着,同一汽缸的进、排气阀在上止点前后同时开启所对应的曲轴转角称为气阀重叠角。在气阀叠开期间,进气管、汽缸、排气管连通,此时利用废气的流动惯性,除可避免废气倒冲入进气管外,还可以抽吸新鲜空气进入汽缸,并利用此压力差在将新鲜空气吸入汽缸的同时将燃烧室内的废气排出汽缸,实现所谓燃烧室扫气。此时不但可提高换气质量,还可利用进气冷却燃烧室有关部件。因而四冲程柴油机均有一定的气阀重叠角,而且增压柴油机的气阀重叠角均大于非增压机,如表 1-2 所示。

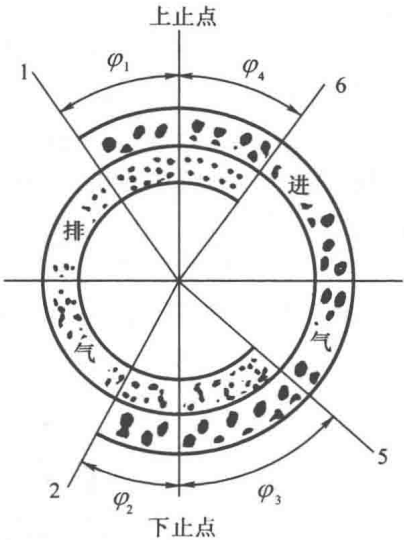


图 1-5 气阀定时圆图

表 1-2 四冲程柴油机气阀定时及气阀重叠角

名称	非增压		增压	
	开启	关闭	开启	关闭
进气阀	上止点前 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$	下止点后 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$	上止点前 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$	下止点后 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$
排气阀	下止点前 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$	上止点后 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$	下止点前 $40^{\circ} \sim 55^{\circ}$	上止点后 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$
重叠角	$25^{\circ} \sim 50^{\circ}$		$80^{\circ} \sim 130^{\circ}$	

(二)二冲程柴油机的工作原理

活塞在两个行程内完成一个工作循环(曲轴转动 360°CA)的柴油机,叫作二冲程柴油机。

在四冲程柴油机中,新鲜空气的吸入与废气的排出是靠活塞的抽吸和推挤作用完成的;而在二冲程柴油机中没有单独的进气和排气行程。其进气与排气过程几乎重叠在下止点前后约 $120^{\circ}\text{CA} \sim 150^{\circ}\text{CA}$ 内同时进行。因此二冲程柴油机在结构上,必须在汽缸套下部开设气口,采用汽缸套扫气口——排气口,或采用汽缸套下部设扫气口——汽缸盖上设排气阀的换气机构,而且还必须提高进气压力,使进气能从扫气口进入汽缸并将废气扫出汽缸。提高进气压力可以由机械驱动的扫气泵或由废气涡轮驱动的增压器来实现。这样,就可以把进、排气过程(扫气过程)缩减到下止点前后的部分行程中完成。图 1-6 中汽缸右侧为排气口,左侧为进气口。排气口比进气口略高,进排气口的开关均由活塞控制。此外,二冲程柴油机设有扫气泵。扫气泵预先将空气压缩并送入扫气箱中,扫气箱中的空气压力(扫气压力)要比大气压力稍高。

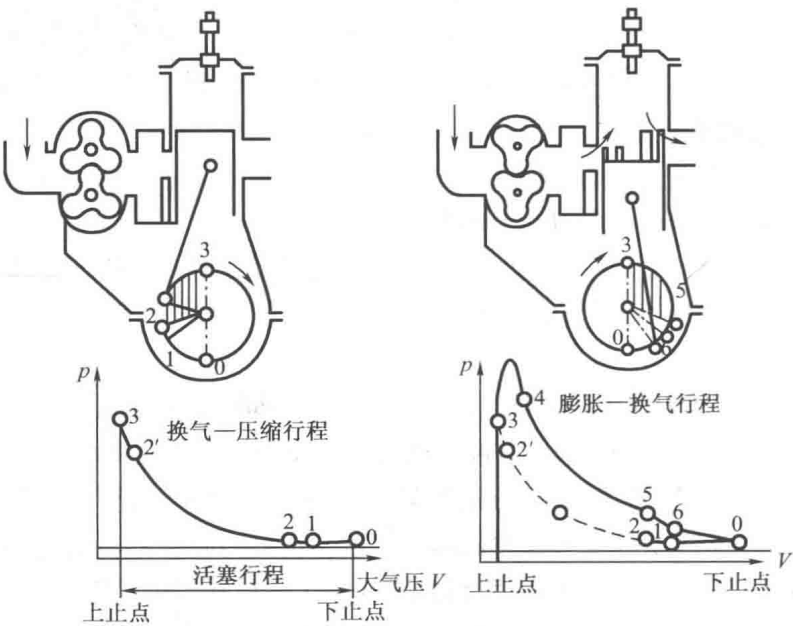


图 1-6 二冲程柴油机工作原理

1. 工作过程

第一冲程——扫气、排气及压缩行程。

活塞由下止点向上运动。在活塞遮住进气口之前,新鲜空气通过进气口不断充入汽缸,并将汽缸内的废气经排气口驱除出去。当活塞上行到将进气口全部遮闭时(点1),新鲜空气停止进入汽缸。当活塞继续上行排气口被遮闭后(点2),汽缸内的空气就被上行的活塞压缩,压力和温度亦随之升高。在活塞到达上止点前的某一时刻(点2'),柴油经喷油器喷入汽缸,并与高温高压空气混合后着火燃烧。在这一行程中,进行了换气(曲线0—1—2)、压缩(曲线2—3)和喷油着火燃烧等过程。

第二冲程——膨胀、排气及扫气行程。

活塞由上止点向下运动。在此行程的初期,燃烧仍在猛烈地进行,到点4才基本结束。高温高压的燃气膨胀推动活塞下行做功。当活塞下行将排气口打开时(点5),由于此时缸内的燃气的压力和温度仍较高,分别为0.25~0.6 MPa和600~800℃,因而汽缸内燃气借助汽缸内外的压差经排气口高速排出,缸内的压力也随之下降。当缸内压力下降到接近扫气压力时,下行的活塞将进气口打开(点6),新鲜空气便通过进气口充入汽缸,并对汽缸内进行扫气,将汽缸内的废气经排气口驱除出去。这个过程一直要延续到下一个循环活塞再次上行将进气口关闭时为止,称为扫气过程。在这一行程中,进行了燃烧与膨胀(曲线3—4—5)、排气(曲线5—6)和部分扫气(曲线6—0)过程。

在柴油机中,我们把用增加进气压力来提高功率的方法称为柴油机的增压。增压柴油机和非增压柴油机的主要区别在于进气压力不同,非增压柴油机是在大气压力下进气的,而增压柴油机则是在较高的压力下进气的。

为了实现柴油机的增压,必须在柴油机上装设一台压气泵,若压气泵由柴油机带动则称为机械增压。进气压力的提高会使柴油机消耗于压气泵的功增多,甚至当进气压力超过某一定值后,柴油机因其增加的功率几乎全部消耗在驱动压气泵上,因此机械增压的进气压力都较低,一般不超过150 kPa,否则,将得不偿失。

如果将柴油机排出的废气送入涡轮机中,使涡轮机高速回转来带动一离心式压气机工作,从而提高进入柴油机的空气压力以实现增压,我们称这种增压方式为废气涡轮增压。目前,船用二冲程低速柴油机都采用废气涡轮增压的方式提高进气压力,图1-7所示为一种具有废气涡轮增压的二冲程柴油机工作原理图。它的工作原理为新鲜空气通过吸入口 f 进入废气涡轮增压器(由废气涡轮和离心式压气机组成),经压气机 e 压缩后,新鲜空气的压力和温度升高,然后经冷却器 g 冷却后导入进气管和扫气箱 h ,经过汽缸下部的进气口 a 进入汽缸;而废气则通过汽缸盖上的排气阀 b 排出汽缸,废气经排气管 j 后进入废气涡轮增压器的涡轮端 d ,带动涡轮旋转从而驱动压气机一起工作,不断地将新鲜空气吸入到压气机。

2. $p-V$ 示功图

对于排气口—扫气口式二冲程柴油机的工作过程如图1-8所示。

二冲程柴油机的工作过程包括第一行程(压缩行程)、第二行程(膨胀冲程)和换气过程(进、排气过程)。压缩行程指活塞从下止点上行遮住排气口开始(图中点4),当活塞到达上止点时,压缩过程结束(图中的点 c)。膨胀行程是指从上止点燃油发火燃烧开始到活塞下行打开排气口结束(图中的点1), z 点表示缸内的最大爆发压力点, d_2 点表示工作循环的最高温度点,在此过程中燃气膨胀推动活塞下移向外输出有效功。换气过程是指从膨胀行程终止后开始,随着活塞的移动,活塞依次打开排气口(点1)、打开扫气口(点2)、到达下止点(点0)、关闭扫气口(点3)、关闭排气口(点4),到压缩行程开始前结束。废气排出汽缸,

新鲜空气进入汽缸进行清扫的过程,不占有单独的行程,因而又称为“扫气过程”。

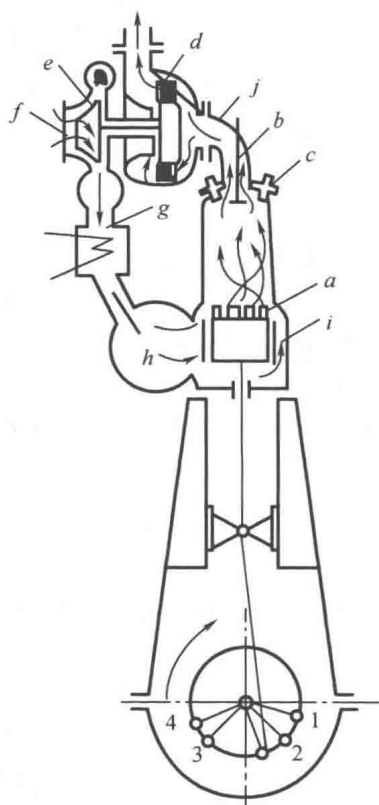


图 1-7 废气涡轮增压示意图

a—扫气口;b—排气阀;c—喷油器;d—涡轮;
e—压气机;f—吸气口;g—中冷器;
h—扫气箱;i—内扫气箱;j—排气管

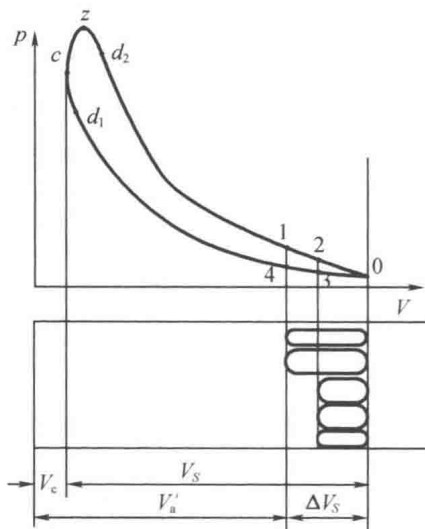


图 1-8 二冲程柴油机的 $p-V$ 示功图

3. 定时圆图

二冲程柴油机也可以用定时圆图来表示它的各项定时时刻。图 1-9 为某二冲程柴油机的定时圆图。

4. 有效压缩比

由柴油机的工作原理可知,无论四冲程或二冲程柴油机,它们真正压缩的始点均不在下止点,而在进气阀或排气阀(口)全部关闭时的时刻。通常将进或排气阀(口)全部关闭瞬时的汽缸容积(汽缸有效工作容积)与压缩室容积的比值称为有效压缩比 ε_e 。二冲程柴油机有效压缩比 ε_e 可以表示为

$$\varepsilon_e = 1 + \frac{(1 - \varphi_s) V_s}{V_s}$$

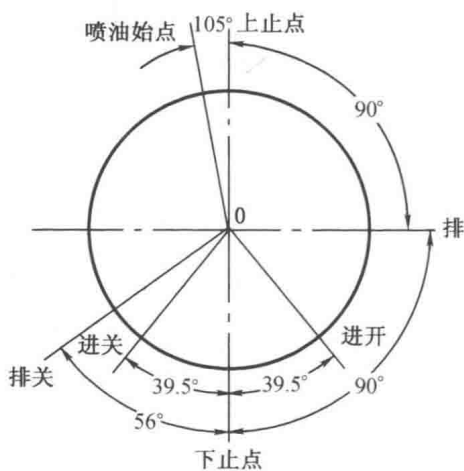
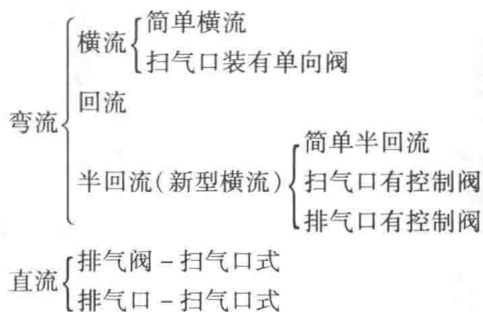


图 1-9 二冲程柴油机的定时圆图

式中, φ_s 为行程失效系数; $\varphi_s = \text{气口高度}(h) / \text{行程}(S)$ 。

5. 二冲程柴油机的换气形式

在二冲程柴油机中,不同的换气形式对换气质量有重要影响。根据气流在汽缸中的流动路线,二冲程柴油机的换气形式可分为弯流与直流两大类。每一大类中又有不同的换气形式,即



(1) 直流扫气

在排气阀-扫气口直流扫气中,汽缸下部均布一圈扫气口,在缸盖上有排气阀(1~6个),如图1-10所示。空气从扫气口进入汽缸,沿汽缸中心线上行驱赶废气从汽缸盖上的排气阀排出汽缸。显然,气流在缸内的流动方向是自下而上的直线流动。扫气口在汽缸轴线和汽缸半径两个方向上都有倾斜角,使扫气空气进入汽缸后向上并绕汽缸轴线做螺旋运动,形成“气垫”。扫气过程中空气与废气不容易掺混,扫气效果好。此外,排气阀的启闭由排气凸轮控制,所以排气阀可以与扫气口同时或提前关闭,避免了“过后排气”。

在船用柴油机中 B&W, UEC 等机型是传统的排气阀-扫气口直流扫气式柴油机,现代船用超长冲程柴油机 MAN B&W MC/MCE 机型、Sulzer RTA 系列也是采用排气阀-扫气口直流扫气形式。

(2) 横流扫气

简单横流扫气如图1-11所示。扫、排气口位于汽缸中心线的两侧,排气口的位置比扫气口略高一些。空气从扫气口一侧沿汽缸中心线向上,在靠近燃烧室部位回转到排气口一侧,再沿汽缸中心线向下把废气从排气口清扫出汽缸。为了使扫气进行得完善,扫气口和排气口在汽缸轴线方向和汽缸半径方向上都有一定的倾斜角,防止进气直接流向排气口。

(3) 回流扫气

如图1-12所示,扫、排气口在汽缸下部同一侧且排气口在扫气口的上方。进气流沿活塞顶面向对侧缸壁并沿缸壁向上流动,到汽缸盖转而向下流动,把废气从排气口清扫出汽缸。气流在缸内做“回线”流动。在船用大型柴油机中,MAN KZ 型低速柴油机即为回流扫气形式。

(4) 半回流扫气

半回流扫气的扫气口布置在排气口的下方和两侧,如图1-13所示。气流在缸内的流动兼有横流和回流的特点。某些早期的半回流扫气,在排气管中装有回转控制阀。当活塞上行遮住扫气口后,通过回转控制阀把排气口关闭,以避免“过后排气”带来的空气损失。在船用大型柴油机中 Sulzer RD, RND, RLA, RLB 等机型均为半回流扫气。

弯流扫气柴油机的主要特点,如表1-3所示。

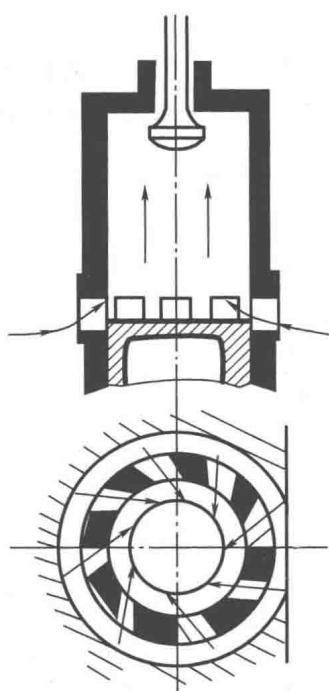


图 1-10 直流扫气示意图

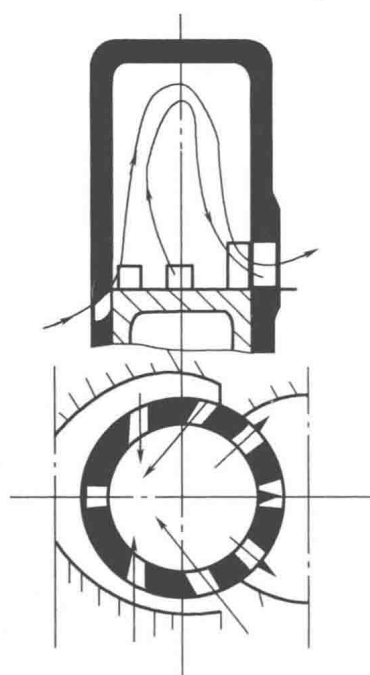


图 1-11 横流扫气示意图

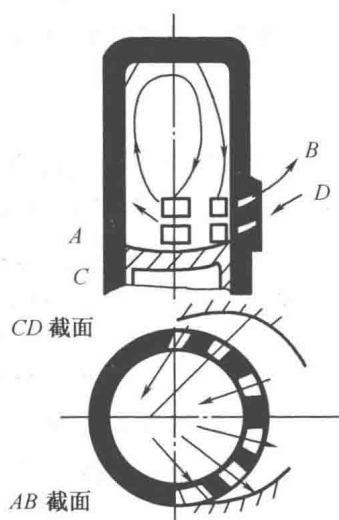


图 1-12 回流扫气示意图

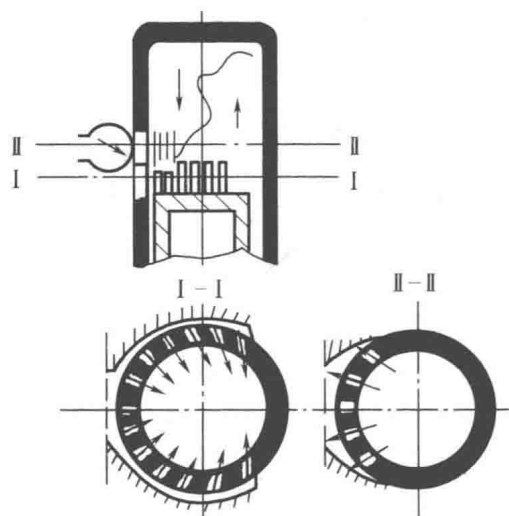


图 1-13 半回流扫气示意图