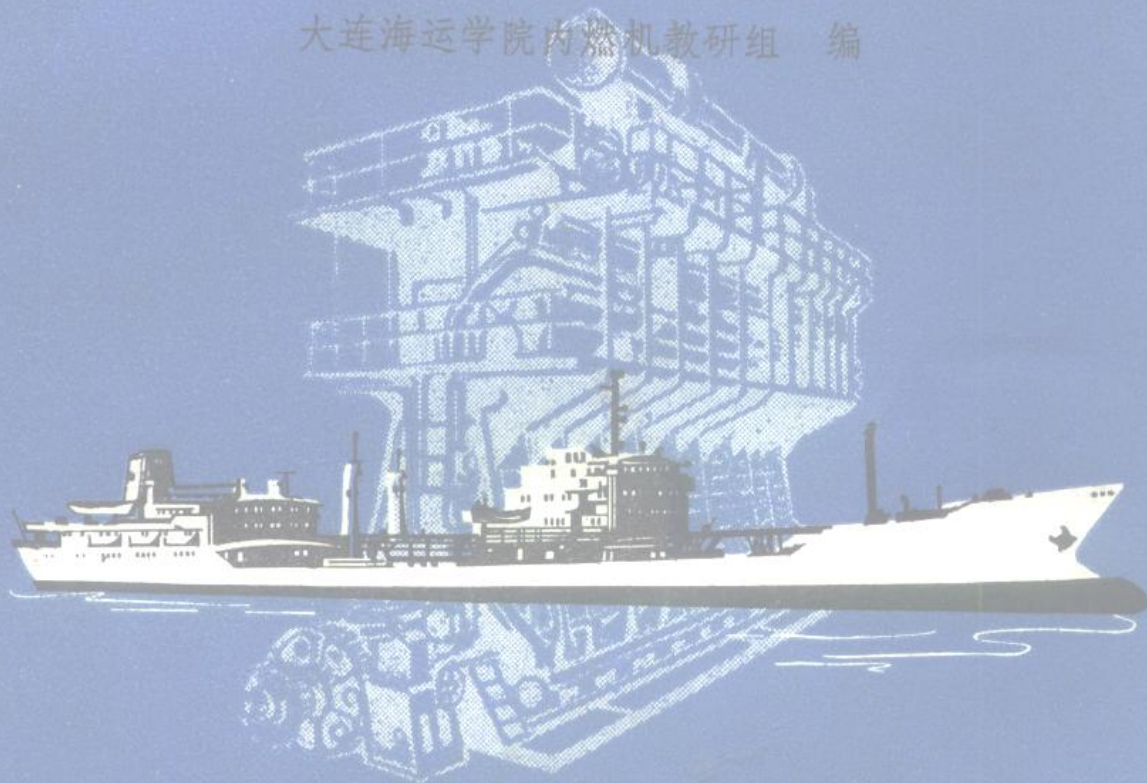


船舶柴油机

(修订本)

大连海运学院内燃机教研组 编



人民交通出版社

U664.121

D05

(2)

74402

船舶柴油机

(修订本)

大连海运学院内燃机教研组 编



人民交通出版社

1978·北京

内 容 提 要

本书为1974年版的修订本。同第一版相比,修订本增加了沿海船舶使用较多的国产机型内容,增写了《柴油机和轴系的减振》和《主要部件的故障及其处理》两章,重写了增压系统的喘振、柴油机与螺旋桨的配合以及调速器等理论性较强的章节,删减了某些线图。

本书主要从我国远洋船舶实际出发,同时兼顾沿海船舶的需要,着重介绍大型低速二冲程柴油机的构造、原理、性能和使用管理。内容力求理论联系实际,结合几种典型柴油机,重点讨论其使用、操作、调整、故障及其处理,并对燃油处理和燃烧,润滑和冷却,增压器和增压系统的喘振,调速器的性能和调节以及柴油机与螺旋桨的配合等问题作了较为详细的叙述。此外,还对柴油机和轴系的减振问题作了简单介绍。

本书作为水运院校轮机管理专业教材,并供远洋和沿海轮机管理人员以及船机修造人员阅读。



船 舶 柴 油 机

(修 订 本)

大连海运学院内燃机教研组 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

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: 24.5 插页: 6 字数: 573 千

1974年2月 第1版

1978年9月 第2版 第2次印刷

印数: 23,501—40,200册 定价: 2.10 元

目 录

第 一 章 柴油机一般介绍	1
第一节 四冲程柴油机工作原理	1
第二节 二冲程柴油机工作原理	6
第三节 二冲程柴油机的换气	8
第四节 柴油机的类型	12
第 二 章 主要部件	14
第一节 主要部件的工作条件	14
第二节 气缸盖、气缸和活塞的构造	18
第三节 气缸盖、气缸和活塞的保养和管理	37
第四节 曲柄连杆机构、机座和机架	43
第五节 曲柄连杆机构的维护和管理	58
第六节 换气机构及其管理	74
第 三 章 燃烧和喷油设备	82
第一节 燃油的喷射和可燃混合气的形成	83
第二节 燃油的燃烧过程	86
第三节 喷油设备	90
第四节 喷油设备的维护和管理	110
第 四 章 主要工作指标和示功图	114
第一节 主要工作指标	115
第二节 机械示功器的结构和使用	119
第三节 示功图的分析	127
第四节 其他热工仪表	134
第 五 章 柴油机的增压	138
第一节 废气涡轮增压	139
第二节 二冲程柴油机的增压系统	143
第三节 废气涡轮增压器	146
第四节 增压器的喘振及其消除	156
第五节 增压系统的故障和维护管理	165
第 六 章 燃油系统	171
第一节 燃油	171
第二节 低质燃料油的使用	181
第三节 燃油的净化处理	183
第四节 燃油系统及其管理	193
第 七 章 润滑和冷却	202

第一节	润滑的基本原理	202
第二节	滑油的性质和使用中的化验	205
第三节	气缸的润滑	218
第四节	滑油系统	224
第五节	柴油机的冷却	229
第八章	起动、换向和调速	235
第一节	起动装置	236
第二节	换向装置	247
第三节	调速装置	252
第四节	操纵系统	272
第九章	柴油机和轴系的减振	294
第一节	机体的减振	295
第二节	轴系的扭转振动	299
第十章	柴油机和螺旋桨特性及其配合	303
第一节	螺旋桨的工作原理和特性	303
第二节	船舶柴油机的特性	311
第三节	柴油机与螺旋桨的配合	316
第四节	各种航行条件下主机的操纵	320
第十一章	主要部件的故障及其处理	324
第一节	气缸盖、气缸套和活塞的故障	325
第二节	柴油机的拉缸及其应急处理	337
第三节	曲轴和轴承的故障及其应急处理	341
第四节	尾轴和螺旋桨的故障和检修	348
第十二章	柴油机的运转管理	353
第一节	开航前的备车	353
第二节	运转中的管理	354
第三节	运转中常见的故障及其消除方法	357
第十三章	柴油机总体介绍	361

第一章 柴油机一般介绍

柴油机是一种热机，但是，柴油机这种热机在能量的转换上同其他热机（如蒸汽机、汽轮机等）是有本质区别的。

在柴油机中，燃油的燃烧是在机器内部进行的，燃油所具有的化学能经燃烧转变为热能，并直接加热燃烧产物（即燃气）。燃气被加热后，其气体分子的活动能力大增，表现出气体压力和温度急剧增高。这种高温高压的燃气就具有了做功的能力，我们称这种工作物质为工质，这种工质就在柴油机中膨胀做功。在蒸汽机中，燃料（煤或油）的燃烧则是在机器外部特设的锅炉中进行。燃料燃烧时放出的热能加热水，使水变成蒸汽（即所谓中间工质），蒸汽进入蒸汽机内膨胀做功。所以，在蒸汽机内只是进行着热能和机械能的转换。

在机器内部先将燃油的化学能转变为热能，再将热能转变为机械能的能量两次转换，就是柴油机区别于其他热机的特殊本质。正因为柴油机燃油的燃烧是在机器内部进行的，所以柴油机也称为内燃机。

柴油机的类型很多，有四冲程和二冲程柴油机；非增压和增压柴油机；筒状活塞式和十字头式柴油机；高速、中速和低速柴油机等。

第一节 四冲程柴油机工作原理

在柴油机中，化学能、热能、机械能之间的转换是怎样实现的呢？恩格斯指出：“这些形式本身，以所起的作用，证明自己是同一运动的不同形式，因为在一定的条件下它们是互相转化的。”现在来讨论使它们相互转化的条件。

在日常生活中，我们所见到的可燃物质，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。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，进入空气只是燃油燃烧的条件之一，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低温空气靠活塞上行压缩，使空气达到足够高的温度和压力。此时，将燃油喷入高温高压的空气中，燃油即可发火燃烧。由于柴油机中的燃油都是靠压缩发火的，所以柴油机也称为压燃式内燃机。

燃油燃烧后放出大量热能，使工质的压力、温度急剧增高。此工质在柴油机中膨胀推动活塞而做功，膨胀终了的气体失去做功能力，变成了废气。为了使新气再次进入，在膨胀之后，还应将废气排出。

综上所述，燃油在柴油机中燃烧做功，必须通过进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程才能实现，进行了这五个过程就完成了个工作循环，图 1-1 所示即为柴油机的基本工作原理。

一、工作原理

柴油机工作循环中的进气、压缩、燃烧、膨胀和排气各过程，是通过活塞、连杆、曲轴

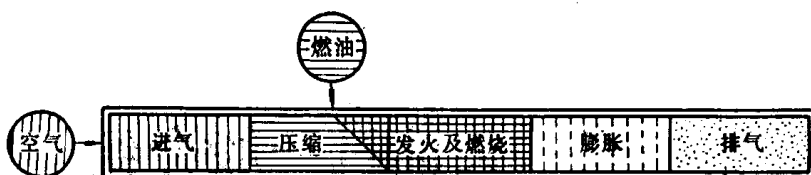


图1-1 柴油机的基本工作过程

等部件之间互相配合的动作来进行的。图1-2所示为四冲程柴油机的构造原理。活塞3在气缸2中作上下往复运动，它与气缸、气缸盖1共同组成密闭的空间即燃烧室，燃油在此空间燃烧膨胀。连杆4把活塞的往复运动变成曲轴5的回转运动。气缸盖、气缸、活塞等部件由机架6和机座7支承，机座用螺栓固定在船基板上。

当活塞从上部往下运动时，设在气缸盖上的进气阀 a 被专设的传动机构顶开，空气被吸入气缸，直至活塞运动到最下部转向上行时（相当于曲轴从 0° 转到 180° ），进气阀关闭，进气过程结束，压缩过程开始。当曲轴从 180° 转到 360° 时，活塞行至气缸上部，喷油器 c 将燃油喷入气缸，并开始燃烧和膨胀，推动活塞下行。当曲轴从 360° 转到 540° 时，活塞行至气缸下部又转向上运动，排气阀 b 被传动机构打开，开始排气，直到活塞行至气缸上部，排气结束，此时曲轴从 540° 转到了 720° 。

由上述可见，活塞在往复运动中从上行转向下行，或从下行转向上行时，都有一个转向点，这个转向点分别称为活塞的上死点和下死点。活塞从上死点行至下死点（或相反）所走过的行程叫做冲程。如果柴油机的五个过程分别在四个冲程中完成，就叫做四冲程柴油机。

图1-3所示的四个简图分别表示五个过程进行的情况和活塞、曲轴等部件的有关动作位置。

第一冲程——进气冲程。活塞从上死点下行，进气阀 a 打开。由于气缸容积增大，缸内压力下降到大气压力以下，靠着气缸内外的压力差和活塞下行时的抽吸作用，新气通过进气阀被吸入气缸。进气阀一般在活塞到达上死点前即提早打开。气阀开启的时刻可用曲柄位置来表示，如图中所示，曲柄位于点1时，进气阀开启，直到下死点之后（点2）进气阀关闭。曲柄转角 φ_{1-2} （图中阴影线所占的角度）表示进气过程。

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）至活塞到达上死点（点3）的期间内进行的。第一冲程吸入的新气，经过此冲程后，压力增至 $30\sim 40$ 公斤/厘米²（或更高一些），温度升至 $600\sim 700^\circ\text{C}$ （燃油的自燃发火温度为 $210\sim 270^\circ\text{C}$ ）。压缩终了的气体压力和温度用 p_c 和 t_c 表示。燃油在压缩过程的后期（即点3之前）通过喷油器 c 射入气缸与其中的空气混合，并在高温下自行发火。不难看出，在这一冲程中，除主要进行压缩过程外，还包括进气的延迟、燃油和空气的混合过程以及发火燃烧。图中，压缩过程用曲柄转角 φ_{2-3} 表示。

第三冲程——工作冲程。在此冲程内进行着燃烧和膨胀过程。在冲程之初，由于燃油强烈燃烧，气缸内的压力和温度急剧升高，压力达 $50\sim 80$ 公斤/厘米²，温度达 $1400\sim 1800^\circ\text{C}$ 。

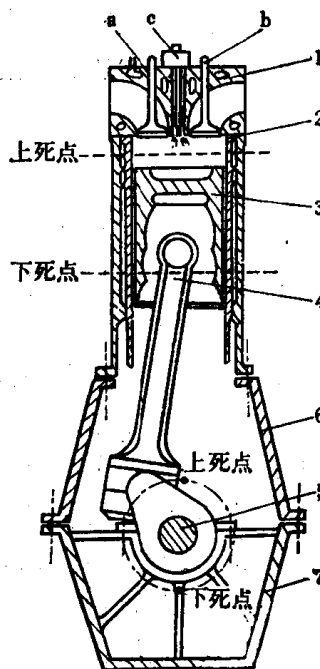


图1-2 四冲程柴油机构造原理

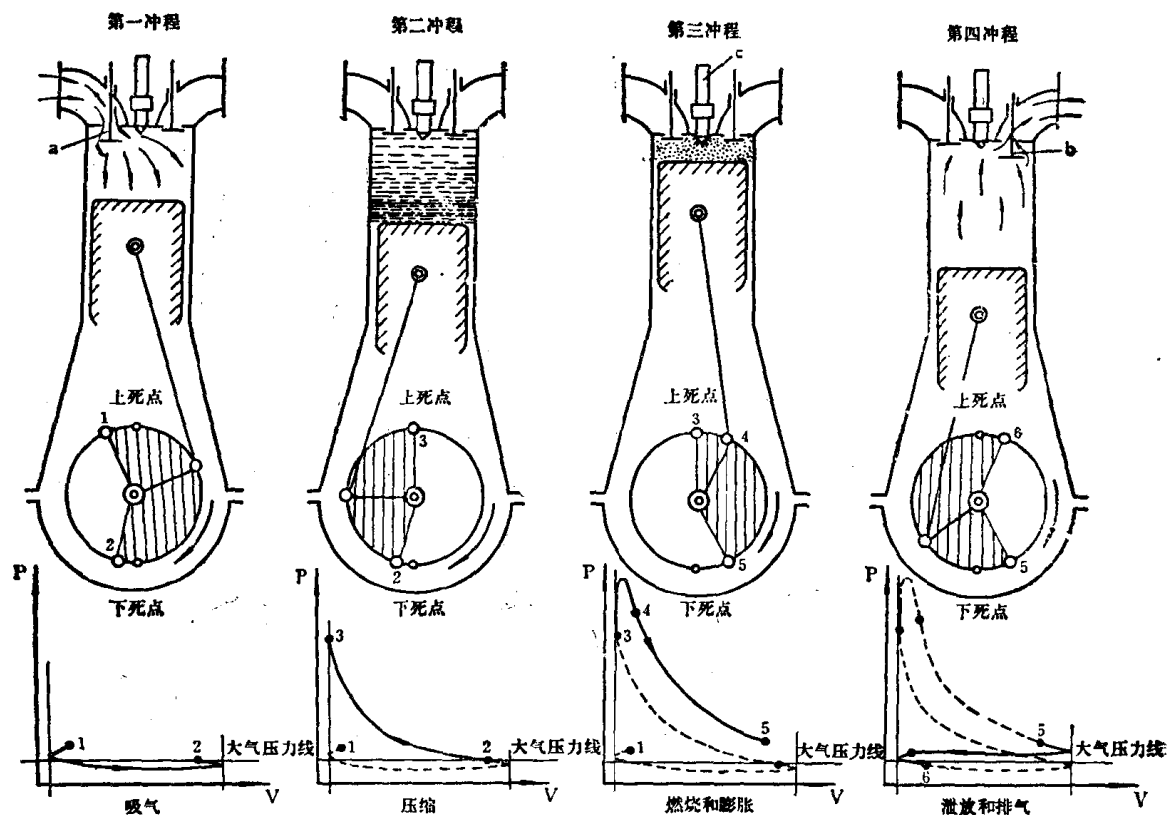


图1-3 四冲程柴油机工作原理

燃烧的最高压力和最高温度用 p_z 和 t_z 表示。活塞越过上死点后，在燃气压力作用下被推下行。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），燃烧基本结束。气缸中的压力和温度随着燃气的膨胀而逐渐下降，一直到排气阀 b 开启时膨胀结束。膨胀终了时，燃气压力降至2.5~4.5公斤/厘米²，温度降至600~750°C。与进气阀相同，排气阀总是提早在下死点前（点5）开启，因此在这一冲程末期，排气过程已经开始。图中，燃烧和膨胀过程用曲柄转角 φ_{3-4-5} 表示。

第四冲程——排气冲程。在上一冲程末，排气阀 b 开启，气缸内的燃气压力和温度迅速下降。这时活塞尚在下行，废气靠气缸内外压力差经排气阀排出气缸。当活塞由下死点上行时，废气被活塞推出气缸，此时的排气过程是在高于大气压且在压力基本不变的情况下进行的。与进气阀一样，排气阀也一直延迟到上死点后（点6）才关闭，在图中它用曲柄转角 φ_{5-6} 表示。

进行了上述的四个冲程，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。

可见，四冲程柴油机每完成一个工作循环，曲轴要回转两转，每个工作循环中只有第三冲程（工作冲程）是作功的。在这个冲程里，完成了燃油从化学能转变为热能，又从热能转变为机械能的两次能量转换，其他三个冲程都是为工作冲程服务的，都需要外界供给能量。柴油机常做成多缸的，这样，进气、压缩、排气冲程的能量可由其他正在工作的气缸供给。如果是单缸柴油机，那就由飞轮供给，飞轮把工作冲程的部分能量储存起来而在其余三个冲程进行时给出。

二、示 功 图

图 1-3 的下方用 $P-V$ 图表示出一个工作循环内气缸中燃气压力随活塞位移而变化的情况。纵座标表示气缸内的气体压力 P 公斤/厘米²，横座标相当于活塞行程的气缸容积 V 。采用 $P-V$ 图的原因，是工作过程在气缸内进行，无法直接感知它。在过程进行时，气缸内气体的压力和容积是同时变化的，我们可用示功仪器测量出来。因此， $P-V$ 图可用来研究柴油机工作过程进行的情况，并且可用来计算柴油机完成一个工作循环所作的功，我们就把这种 $P-V$ 图称为示功图。

在 $P-V$ 图中，线 1-2 表示进气过程中气缸内的压力随容积变化的情形。活塞在上死点时，气缸内压力高于大气压力，这时新气不能吸入。随着活塞下行，气缸容积增大，压力随之下降至大气压力以下，新气才开始进入。在上死点时气缸内压力比大气压力高，这是由于上一循环排气终了时有一部分废气残留在气缸内的结果。此后，进气过程一直延续到进气阀关闭时为止，此时活塞已从下死点上行了一小段距离。在进气过程的大部分时间里，气缸内的压力低于大气压力。

$P-V$ 图中线 2-3 表示压缩过程进行时压力随气缸容积减小而增高的情形，线 3-4-5 表示燃烧和膨胀过程中压力随气缸容积而变化的情形，线 5-6 则表示排气过程进行时的情形。排气过程中，气缸内的压力略高于大气压力。

上述工作循环各过程线的综合，就构成了四冲程柴油机的示功图（图 1-3 右下角）。在实际测绘的柴油机示功图上，进气线、排气线和大气压力线重合为一水平横线，这是因为与最高压力相比较，它们的压力差甚小而不能在示功图上区分出来的缘故。关于示功图的计算和分析详见第四章。

三、压缩比（理论压缩比）

从大气吸入的新气经压缩后容积减小，压力升高。为了表明空气被活塞压缩的程度，采用了压缩比 ϵ 这个参数。所谓压缩比，就是活塞在下死点时气缸容积与活塞在上死点时气缸容积的比值，它的计算式为

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

式中： V_c ——压缩空间容积，即活塞在上死点时的气缸容积，也称燃烧室容积；

V_a ——气缸总容积，即活塞在下死点时的气缸容积， $V_a = V_c + V_s$ ；

V_s ——气缸工作容积，即活塞从上死点至下死点的气缸容积。

压缩比是柴油机的一个重要性能参数。压缩比大，说明空气被压缩得厉害，压缩后的压力和温度就高，因而它对燃油燃烧的好坏和柴油机所受机械负荷的影响很大。此外，压缩比大，燃气有足够的膨胀作功的余地，可以提高柴油机的热效率。压缩比的大小随柴油机的机型而异，大型低速柴油机的 ϵ 值一般为 11~13。

四、气阀定时

四冲程柴油机的进气阀和排气阀的启闭都不是在上、下死点，而是在上、下死点的前后某一时刻，它们的开启时间都大于 180° 曲柄转角。这种进、排气阀在上、下死点前后启闭的时刻叫做气阀定时。用曲柄转角表示气阀定时的圆图叫做气阀定时圆图，如图1-4所示。

在图1-4中，进气阀在上死点前点1开启，在下死点后点2关闭。排气阀在下死点前点5开启，在上死点后点6关闭。角 φ_1 为进气阀提前开启角， φ_2 为进气阀延后关闭角， φ_{1-2} 为进气过程。 φ_3 为排气阀提前开启角， φ_4 为排气阀延后关闭角， φ_{3-4} 为排气过程。

为什么进排气阀的启闭不在上、下死点，而在上、下死点前后呢？我们知道，一定数量燃油的燃烧是以相应数量的空气为前提的。大体说来，燃烧一份燃油大约需要十四倍于燃油的空气量。在一定气缸工作容积的条件下，吸入的空气量越多，越有利于燃油的燃烧。如果进气阀启闭时刻适宜，就能增多空气的吸入量。至于排气阀的启闭时刻，则是由于新气能否吸入更多是以废气能否排出干净为先决条件的。废气能否排出干净，当然与排气阀启闭的时刻密切相关。因此，正确的气阀定时乃是影响四冲程柴油机作功的重要因素。那末，提前开启和延后关闭排气阀又怎样能够增多新气的吸入量呢？

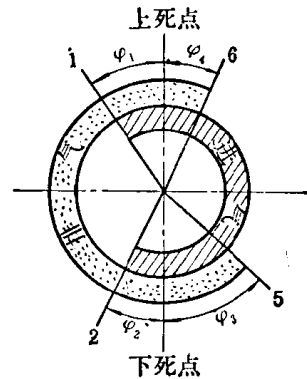


图1-4 定时圆图

首先，气阀不是一下子就开大的。在气阀开启之初，它的通道截面很小，气体流过狭小通道时的阻力就大。如果在上、下死点才打开进排气阀，进气和排气必然要在活塞下行和上行一段时间后才开始，结果使进气不充分，排气不干净。进、排气阀提早于上、下死点之前开启，就可减小吸、排气时的阻力，并能使进气和排气在上、下死点附近开始，从而有利于废气的排出和新气的充入。

其次，新气和废气借气缸内外压力差和活塞的运动都以一定的速度进入和排出气缸，而气体在流动时有惯性。当活塞由下死点转向上死点运动时，由于空气的惯性作用，仍能继续向气缸充气，将进气阀延迟至下死点之后关闭，就能利用气流的惯性吸入更多的空气。同理，排气阀延迟至上死点后关闭，也是为了利用惯性更好地排出废气。

排气阀在下死点前开启，一方面能使排气阻力减小，废气排得干净；另一方面，当活塞由下死点转向上行推赶废气时，能使消耗的功减少。

总之，气阀的定时是为了获得较高的换气质量并在排气时损失最少的功。

但是，并不是气阀提前和延后启闭的时间越长越好。进气阀开启过早，废气将通过进气阀冲入进气管，产生废气倒灌。进气阀延迟关闭过晚，由于活塞从下死点转向上行，气缸内压力逐渐升高，当缸内压力高于环境压力时，已充入气缸的新鲜空气便从开启着的进气阀跑出气缸，并使压缩压力减小。过早地打开排气阀将使有效功损失增大，排气阀延迟关闭过晚，会将废气重新吸入气缸。

由上述气阀定时中不难看出，进气阀和排气阀在上死点前后的一段时间里同时开启，这个同时开启的曲柄转角称为气阀重叠角。进、排气阀在上死点前后同时开启是否会发生废气倒灌入进气管呢？应该说，适宜的气阀重叠角不仅不会使废气倒灌入进气管，而且还有助于

废气的清除和新气的充入。因为在排气终了时，由于废气的流动惯性，废气按原方向继续排出气缸，加上此时进气阀开度较小，因此废气不会向进气管倒灌。同时，当废气由于惯性排出时，在燃烧室内形成低压，造成抽吸气体的有利条件，遂将新气吸入气缸。新气充入后又更好地将废气扫出，实现了所谓燃烧室扫气。

合适的气阀定时和气阀重叠角随机型而异，一般都是通过实验方法才能得出。柴油机气阀定时和气阀重叠角的范围列于下表。

名 称	非 增 压		增 压	
	开 启	关 闭	开 启	关 闭
进 气 阀	上死点前 $15\sim30^\circ$	下死点后 $10\sim30^\circ$	上死点前 $40\sim80^\circ$	下死点后 $20\sim40^\circ$
排 气 阀	下死点前 $35\sim45^\circ$	上死点后 $10\sim20^\circ$	下死点前 $40\sim55^\circ$	上死点后 $40\sim50^\circ$
重 叠 角	$25\sim50^\circ$		$80\sim130^\circ$	

第二节 二冲程柴油机工作原理

从分析四冲程柴油机的工作过程中可以知道，在四冲程柴油机的四个冲程中，只有第三个冲程是作功的，其余三个冲程不但不能向外输出有用的功，反而需要外界供给能量。为了进一步提高柴油机的功率，通过生产实践，改造和发展了四冲程柴油机，制造出活塞在两个冲程内完成一个工作循环的柴油机，这种柴油机即称为二冲程柴油机。

如前所述，任何柴油机都必须经过五个过程才能完成一个工作循环。这就是说，二冲程柴油机要把五个过程压缩在活塞的两个冲程内完成，从而使柴油机在气缸容积和转速相同的情况下将作功能力提高一倍。

那末，怎样才能把柴油机的五个工作过程压缩在活塞的两个冲程内完成呢？如前所述，在五个过程中，燃烧和膨胀过程是作功过程，必须在一个冲程里完成。燃油的燃烧又必须在上死点附近进行，并使压缩终了的压力和温度足够高，以便保证燃油能自行发火燃烧，因此压缩过程也需要一个冲程。而进气和排气过程则是辅助过程，它们仅仅起到气泵的作用，因而并非一定要各占一个冲程，只要能设法使进、排气过程在一个很短的时间内进行完毕，就能在两个冲程内完成一个工作循环，从而出现了二冲程柴油机。

在四冲程柴油机中，进、排气之所以各需一个冲程，是因为新气靠着外界与缸内的压力差自然地吸入，由于压力差小，流速慢，空气只能随活塞下行不断充满气缸。同样，废气也要靠活塞上行被排挤出气缸。因此，进、排气各需一个冲程才能完成。不难想见，只要设法提高进气的压力，就能增加进气的流速。为此目的，采用了一个专设的扫气泵。扫气泵先将空气从大气吸入泵内压缩，使压力提高到一个大气压以上，再打入气缸中。但是，仅加设扫气泵还不能完全解决问题，因为要使进、排气在很短时间内完成，必须使进排气过程同时进行，并利用新气驱扫废气。把进、排气机构改为气口或气口-气阀机构就可实现上述要求。

图 1-5 所示为一种采用特设的活塞式扫气泵的二冲程柴油机的工作原理。扫气泵附设在柴油机的一侧，它的活塞由柴油机的曲柄连杆机构带动。空气从泵的吸入阀 b 被吸入气缸，经过压缩后由排出阀 c 排出，储存在具有较大容积的扫气箱 d 中，并在其中保持一定的压力。在膨胀冲程中，活塞下行，先将排气口 f 打开（相当于曲柄在点 1 的位置），气缸内的大量

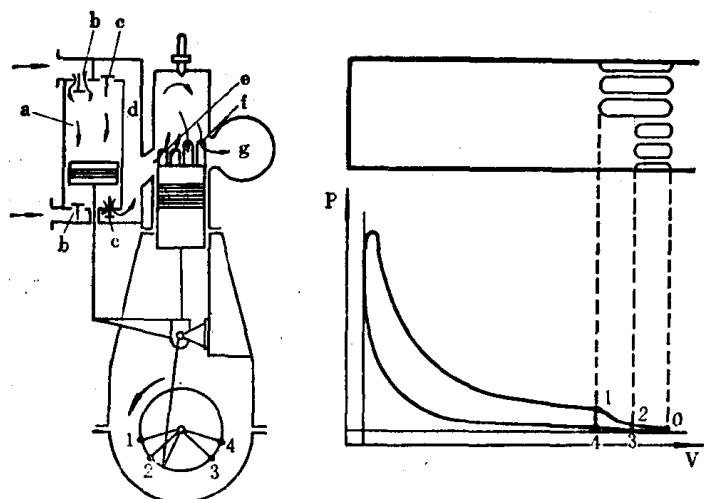


图1-5 二冲程柴油机工作原理

废气从排气口泄入排气管 g 。当气缸内的压力降至接近扫气压力时（一般扫气压力为 $1.1 \sim 1.4$ 公斤/厘米²），活塞下行把扫气口 e （相当于曲柄在点 2 的位置）打开，扫气箱 d 中的空气经进气口 c 进入气缸。从此时起，进气和排气同时进行，一直到活塞行至下死点又转而向上运动，先把进气口关闭（相当于曲柄在点 3 的位置），空气停止充入，活塞继续上行，最后把排气口关闭（相当于曲柄在点 4 的位置）。至此，进排气过程全部结束，而开始了压缩、燃烧和膨胀过程。这些过程的进行情况与四冲程柴油机基本相同。其中 1-2-3-4（见图中曲柄位置）即为扫气过程。点 1 为排气口开启时刻，点 2 为扫气口开启时刻，点 3 为扫气口关闭时刻，点 4 为排气口关闭时刻。图 1-5 中的右面是它的示功图，示功图尾部 1-2-0-3-4 为扫气过程。

显然，二冲程柴油机的进气和排气过程是在前一循环膨胀冲程末和后一循环压缩冲程初的一段时间内完成的，它比四冲程柴油机的进排气过程短得多。

比较四冲程和二冲程柴油机的工作循环，可以看出，在二冲程柴油机中，由于用扫气泵代替柴油机活塞来完成进、排气过程，因此使每一工作循环减少了两个辅助冲程，而能在每两个冲程内得到一个作功冲程，这样就大大提高了柴油机的作功能力。按理，在柴油机气缸容积和转速相同的条件下，二冲程柴油机的功率应为四冲程柴油机的两倍。但由于二冲程柴油机的压缩和膨胀冲程被进、排气过程占去了一部分，加上带动扫气泵又要消耗柴油机一部分功率，因此实际上，二冲程柴油机的功率仅为四冲程柴油机的 $1.6 \sim 1.7$ 倍。此外，二冲程柴油机由于每两个相邻的作功冲程之间的间隔较短，因此它的回转要比四冲程柴油机均匀。

二冲程柴油机的主要缺点，是废气的清除和新气的充入不如四冲程完善。此外，进入气缸的新气在排气口开启着的时候要同废气一起泄出一部分，这就增加了新气的消耗量，从而损失了柴油机的一部分有效功。

可以认为，二冲程柴油机的出现是柴油机在提高功率途程中的一次飞跃。但是，船舶对功率的需求仍不能由二冲程柴油机得到满足，而要求人们继续寻找提高柴油机功率的更有效方法。

向气缸内多喷油显然能在机器尺度和重量不变的情况下提高柴油机的功率。但是，喷油量的增加必然要引起空气量的相应增多，否则，喷入气缸的过量燃油会由于空气量不足而燃

烧不完全，致使热量不能完全释放出来，所以提高柴油机功率的关键在于增加空气量。

既然二冲程柴油机可借助扫气泵来提高进气压力而实现扫气，那也就可以用它产生更高的空气压力来增加气缸的进气量。我们把用增加进气压力来提高功率的方法称为柴油机增压。但是，扫气泵是由柴油机带动的，因此，进气压力的提高会使柴油机消耗于扫气泵的功增多，在进气压力超过一定值时，消耗于扫气泵的功将大大增加，这时柴油机所提高的功率几乎全部消耗在带动扫气泵本身上。显然，这是得不偿失的。若使扫气泵不由柴油机带动，上述矛盾就可获得解决。

正如毛主席所指出的：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”实践发现，柴油机排出的废气温度还很高，燃油燃烧所放出的热量约有三分之一随同废气排走。把废气中的能量利用起来，使之带动气泵工作，既能增加柴油机的功率，又可提高柴油机的经济性。为此，将柴油机排出的废气送入一涡轮机中，使涡轮机高速回转来带动一离心式压气机工作，我们称这种增压方式为废气涡轮增压。废气涡轮和同轴安装的压气机合称涡轮增压器。可以认为，废气涡轮增压的实现是柴油机在提高功率途程中的又一次飞跃。

图1-6所示为一种废气涡轮增压二冲程柴油机的工作原理。这种柴油机的构造有以下主要特点。

新气通过气缸下部的气口 a 进入气缸，而废气则通过气缸盖上的排气阀 b 排出气缸。气缸盖两侧装有喷油器 c 。增压器由废气涡轮 d 和由它带动的离心式压气机 e 组成。当柴油机工作时，涡轮机从废气中获得能量而带动压气机一起转动。空气由吸入口 f 进入压气机，经压缩后压力增高，然后由管 g 经冷却器 k 导入进气管 h 和扫气箱 i ，准备进入气缸。

气缸内工作循环的各主要过程——压缩、燃烧和膨胀的进行情况与非增压柴油机一样，只是由于采取了增压，使各过程的压力和温度有所增高。至于扫气过程，则与前面介绍过的二冲程柴油机相似。当活塞下行还没有打开进气口 a 之前，排气阀 b 首先被气阀机构打开（相当于曲柄在点1位置）。废气大量泄出气缸，并经排气阀和排气管 i 进入废气涡轮 d 中。当活塞继续下行使气缸内压力降低到接近于增压压力时，活塞将进气口 a 打开（相当于曲柄在点2位置），等待在进气口外边的增压空气即进入气缸，并把废气扫出。当活塞运动到下死点并转向上行，进气口 a 被关闭（相当于曲柄在点3位置），接着排气阀关闭（相当于曲柄在点4位置），于是扫气过程结束，压缩过程开始。

至于四冲程增压柴油机，因其工作原理没有更多特点，故这里不再作介绍。

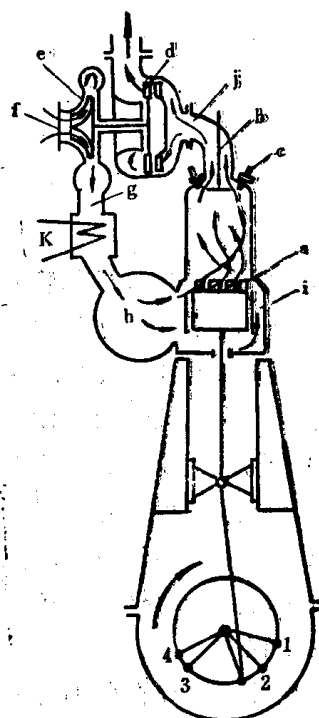


图1-6 废气涡轮增压二冲程柴油机工作原理

第三节 二冲程柴油机的换气

二冲程柴油机的换气与四冲程柴油机相比，显得较为困难且具有特殊性，它对二冲程柴油机工作的影响也就大得多。

一、换气过程的特点

如第二节所述，二冲程柴油机的换气过程有以下特点。

首先，它的换气过程只占活塞冲程的一部分，一般不大于 $130\sim 150^\circ$ 曲柄转角，而四冲程的进、排气过程则各占一个活塞冲程，约为 $400\sim 450^\circ$ 曲柄转角。其次，在大部分换气时间里，进气与排气过程同时进行，一方面排气，另一方面又进气，因而容易发生气体掺混，并使部分新鲜空气随废气排出。最后，由于这两方面的特点，若只依靠大气的压力，要使新鲜空气充入气缸是不可能的，也就是说它没有自吸能力。所以，为了使新鲜空气在进行排气的同时能够充入气缸，就需要提高进气压力，借助进气与气缸内的压力差使新鲜空气迅速充入气缸。这样一来，就需要单独装设一个扫气泵，专门供给换气用的新鲜空气。同时，为了使气体的流动阻力最小，还要特别注意它的换气形式。

二冲程柴油机换气过程的这些特点，使得它的换气过程成为一个突出的矛盾。一般来讲，二冲程柴油机的换气质量要比四冲程为差，而且当它的扫气泵一旦发生故障而不能供给一定压力的空气时，它就会丧失工作能力，使船舶失去推进力。

二、换气过程

二冲程柴油机的换气过程到底是怎样进行的？它本身有些什么规律？这可利用换气过程中气缸内的压力 P 随曲柄转角 φ 变化的曲线来进行分析，如图 1-7 所示。

根据换气过程中气缸内的压力变化特点，可以把整个换气过程划分为三个主要阶段：

第 I 阶段——自由排气阶段 ($B-R$)。在膨胀冲程的末期，下行的活塞首先在点 B 打开排气口，从排气口（或阀）开启的点 B 到进气口开启到一定大小并开始进气的点 R （此时气缸内的压力与扫气压力 P_r 相等）为止的这一阶段，叫做自由排气阶段。在这个阶段里，气缸内的废气借缸内与排气管中的压力差 ($P-P_r$) 经开启着的排气口（或阀）高速地流到排气管

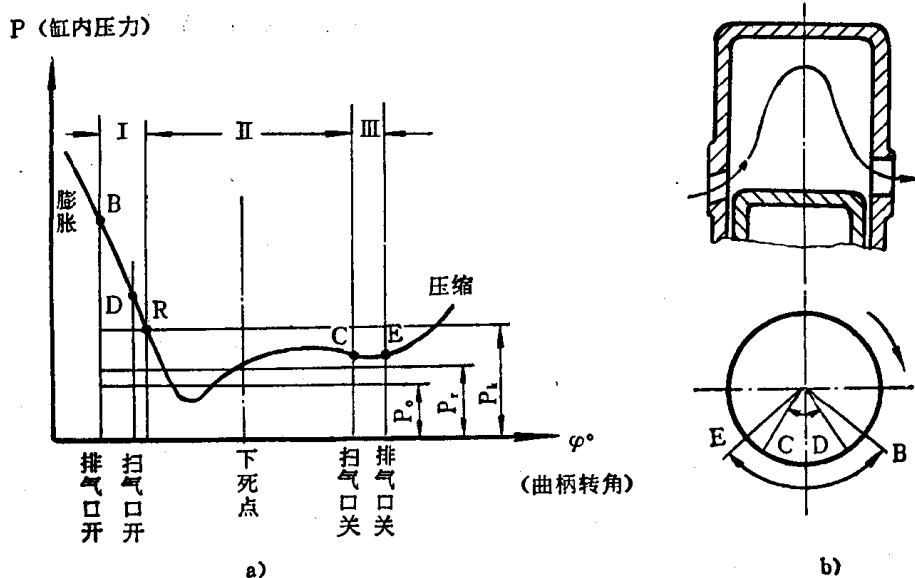


图1-7 二冲程柴油机的换气过程曲线

中,使气缸内的压力急剧降低。随着缸内压力 P 的不断降低,压力差 $(P-P_r)$ 也逐渐减小。一般,当活塞下行到点 D 开启扫气口时,气缸内的压力 P_d 仍然稍高于扫气压力 P_k 。这时,不必担心会发生废气经扫气口倒冲至扫气箱去。但是,若 P_d 值超过扫气压力 P_k 很多(当排气口堵塞时),就可能发生废气倒冲现象,甚至引起扫气箱着火。

第Ⅱ阶段——强制排气和扫气阶段($R-C$),即从进气开始(点 R)到活塞经下死点转向上行而在点 C 关闭扫气口为止的阶段。在此阶段开始时,由于进气口还开得较小而排气口却开得很大,废气由于惯性作用仍继续大量地流出气缸,因此气缸中的压力还是急剧下降,一直到点 P 出现了真空度(在某些高速柴油机中甚至能形成相当大的真空度)。此后,扫气口逐渐开大,扫气空气才开始大量进入气缸,同时把废气从气缸中强制排出。由于新气的进入,气缸内的压力逐渐上升,形成振幅不大的压力波动,在一般情况下,可以近似地认为这一阶段中气缸内的压力是一个常数。在此阶段中,新鲜空气与废气发生掺混,并有部分新气从排气口排出。若扫气口堵塞,气缸的进气量将受到影响而降低换气质量。

第Ⅲ阶段——过后排气阶段($C-E$),即从扫气口关闭(点 C)到排气口(或阀)关闭(点 E)为止的阶段。活塞经下死点上行,首先关闭进气口,此时,气缸中的部分新鲜空气经由尚在开启着的排气口被排到排气管中,直到排气口在点 E 关闭为止。这个阶段是一个损失新气的阶段,因此越短越好。若以某种方式控制排气口,使它与进气口同时关闭,则可避免过后排气损失。若控制排气口早于进气口关闭,则在排气口已经关闭的情况下还可以使更多的新气充入气缸,从而实现过后充气。点 E 后,气缸内开始压缩冲程。

三、基本换气形式

通过上述分析,我们知道,换气过程就是以新鲜空气驱赶并置换废气的过程。为了减少换气过程中气体的掺混,避免过后排气损失,使废气尽量排得干净,新气尽量充入得多,以获得良好的换气质量,要求气体在气缸中有一种最合理的流动路线。然而,气体的流动路线主要是由换气机构的型式来决定的。通过长期生产实践,目前已发展了数种合理的换气形式,分别以不同的方式控制气体在换气过程中的流动路线,并获得了满意的换气效果。根据气体在气缸中流动的不同方向,这些换气形式可以分为直流式和弯流式两类,弯流式又包括回流和横流两种。

1. 直流换气

直流换气有气口式和气口-气阀式两种,大型柴油机常用后者。气口-气阀式直流换气是在气缸盖上装有排气阀机构(目前有一阀、二阀、三阀、四阀和六阀机构),在气缸套的下部周围均布着一圈扫气口,如图1-8所示。在活塞下行打开扫气口前,通过排气阀传动机构先把排气阀打开,气缸中的废气经排气阀排出,进行自由排气,使气缸内的压力降低到可以进行扫气的数值。随后,扫气口开启,新鲜空气从扫气口周围的扫气箱中经扫气口进入气缸下部进行扫气,并强迫废气由下而上经排气阀排出气缸,这样,气体在气缸中的流动方向是自下而上的直线流动。扫气口在气缸的水平平面内一般做成具有一定的倾斜角,使空气回旋地进入气缸,以形成气垫而向上运动,从而使新气与废气隔开。采用这种换气形式,废气和新气很少混杂,换气质量好。这种具有排气阀机构的换气形式又称直流阀式换气。它的主要优点是排气干净,换气质量好,气缸套下部受热均匀不易变形,而且还可以通过调整排气阀的定时使排气阀早关,避免过后排气损失,实现过后充气。但是,这种换气形式也有一定缺

点，主要是排气阀机构比较复杂，管理检修麻烦，因此，在一定程度上限制了它的使用范围。

我国的9ESDZ43/82B型（一个阀）和6ESDZ75/160B型（六个阀）以及国外的B&W型柴油机等都是采用这种换气形式。

2. 横流换气

横流换气与直流换气不同，气缸盖上没有排气阀机构，进气和排气都是经过气缸下部的扫气口和排气口进行的。扫气口和排气口分别布置在气缸周围的两侧，排气口高于扫气口，如图1-9所示。当活塞下行时，首先打开排气口，进行自由排气，使大量废气以高速冲出气缸，气缸内的压力迅速降低。当气缸内的压力降低到接近扫气压力时，活塞下行将扫气口打开，开始进气和强制排气。扫气口沿垂直和水平方向均有倾斜角，借以控制气体的流动方向，达到减少新气与废气掺混、避免死角（新气流不到的部位）和提高换气质量等目的。气体在气缸内的流动路线是这样的：新鲜空气从气缸一侧沿倾斜的扫气口进入气缸并向上流动把废气推向上行，然后在气缸上部转向下行，经气缸另一侧的排气口排出，这样，气体在气缸中是横向流动，故称横流换气。当活塞经下死点转向上行时，首先关闭扫气口，进气结束，但排气口仍然开启着，所以将有部分新鲜空气从排气口排出，形成过后排气损失。这种换气形式因没有排气阀机构，具有结构简单、管理方便的优点。但是，与直流换气相比，横流换气也存在着一定的缺点。由于气体在气缸内的流动路线长而且需要转向，因此一般说来，换气质量较差。气缸下部两侧受热不同，因而容易变形。由于气口的这种布置，必然要产生过后排气损失。此外，由于进、排气口分别布置在气缸两侧，当采用废气涡轮增压时，则不得不把位于排气口一侧的涡轮增压器排出的增压空气用长管绕过机器送到气缸另一侧的扫气口，从而增加了设备，加大了气体输送过程中的阻力损失，给柴油机的增压带来更多的困难。正是由于这些问题，

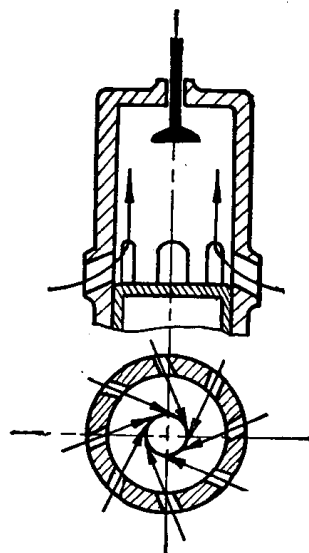


图1-8 直流换气

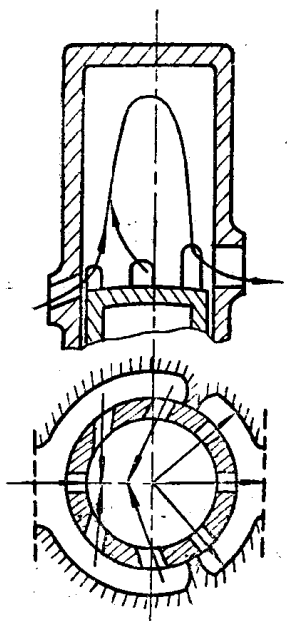


图1-9 横流换气

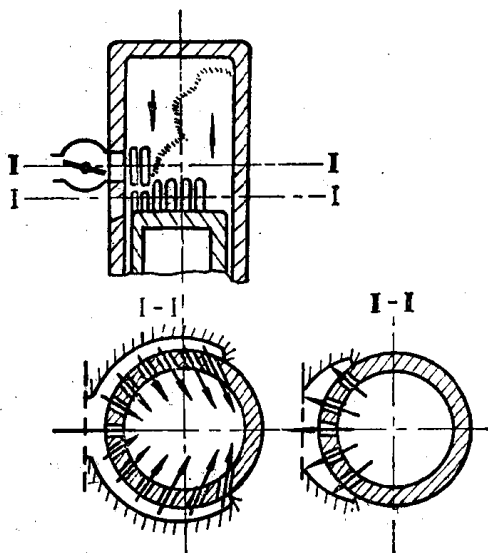


图1-10 新型横流换气

横流换气形式近期又有了新的发展，其最大特点是把扫气口从排气口的对侧分别移到排气口的下方和两侧（见图1-10），分布在排气口下方和两侧三分之二的圆周上，这样就能够把扫气箱和排气管置于气缸的同侧，解决了增压时在进、排气系统布置上所遇到的困难。同时，为了避免过后排气损失，排气口又加装了排气回转阀机构，借助该阀的回转运动，可以控制排气口的启闭时刻，实现过后充气。此外，它还可以防止当活塞在上死点时新鲜空气经开启着的进、排气口逃逸到排气管中去（因为该柴油机采用短活塞，活塞在上死点时，进、排气口是同时开启的）。

这种换气形式既具有横流换气的基本优点，又解决了前者的缺陷，因而目前很受使用者欢迎。我国的6ESDZ76/160型柴油机和苏尔寿RD型柴油机都是采用这种换气形式。采用了排气回转阀机构虽然有以上优点，但它毕竟使设备复杂，增加了维护费用，而且在高增压的情况下，回转阀片的工作条件更加恶劣，因而目前又取消了回转阀机构。将排气回转阀取消后，采用长活塞，它在上死点时可封闭气口，以防止新气损失，我国的9ESDZ58/100型以及苏尔寿RND型柴油机都采用这种结构。

3. 回流换气

回流换气与横流换气一样，气缸盖上也没有排气阀机构，进气和排气也都是经过气缸下部的扫气口和排气口进行的。排气口和扫气口位于气缸的同一侧，排气口也设在扫气口的上方，以保证活塞下行时首先打开排气口进行自由排气，如图1-11所示。气口沿垂直和水平方向均有倾斜角，以控制气体的流动方向。当进行换气时，新鲜空气从向下倾斜的扫气口进入气缸，流经活塞顶部，驱扫废气上行，在气缸顶部转向下行，最后由倾斜的排气口排出。显然，气体的流动呈回线状，因此称为回流换气。气口的这种布置使它无法避免过后排气损失。为了解决这个矛盾，也曾在排气口外加装过排气回转阀装置。但近年来，由于成功地利用了排气管中的压力波动现象，使某一气缸的排气压力波峰恰好在另一气缸强制排气结束时到达，阻止了新气的外泄，避免了过后排气损失，从而使排气回转阀机构成为不必要，简化了装置。这种换气形式主要使用在曼恩（M.A.N）型二冲程柴油机上。

以上两种换气形式，因气体均需在气缸内转向流动，因而都属于弯流式。它们的最大优点是结构简单，管理方便。它们的共同缺点，一般地讲，是换气质量稍差于直流换气。不过，由于对弯流换气进行了不断的改进，上述各种换气形式都能保证令人满意的换气质量。在这种情况下，结构简单、管理方便就成为人们关心的主要问题，因而弯流换气的优越性就变得更加明显。

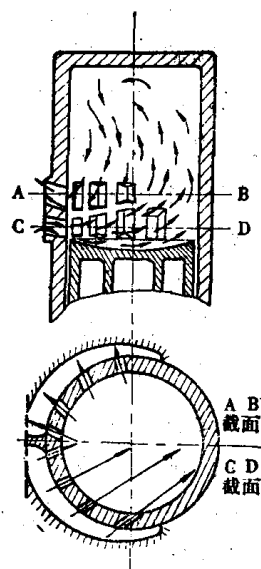


图1-11 回流换气

第四节 柴油机的类型

柴油机在国民经济的许多部门应用极广，用途不同，对柴油机的要求也各不相同，因此柴油机的型式繁多，即使是船舶柴油机，也不下数十种。但是，不论何种柴油机，它们的基本工作原理都是一样的，只是在不同的方面（工作循环或构造等）各有其特点而已。前面已经介绍了一些类型的柴油机，例如四冲程和二冲程柴油机，非增压和增压式柴油机。在二冲