



海军舰艇机电教材

柴油机原理与管理

一九七四年十二月





数据加载失败，请稍后重试！

毛主席语录

全党都要注重战争，学习军事，准备打仗。

读书是学习，使用也是学习，而且是更重要的学习。从战争学习战争——这是我们的主要方法。

练兵方法，应开展官教兵、兵教官、兵教兵的群众练兵运动。

为了反对帝国主义的侵略，我们一定要建立强大的海军。

通 知

根据总参谋部关于组织力量编写专业教材的通知精神,海军部队的舰艇机电教材,由东海舰队负责编写。现已写出《柴油机原理与管理》(试用稿),印发部队试行。望各部队在使用中,提出修改补充意见,上报海司军训部,以便修改定稿。

海军司令部

一九七四年十二月

目 录

第一章 柴油机的工作过程	1
第一节 概述	1
第二节 换气过程	4
第三节 压缩过程	13
第四节 可燃混合气体的形成	16
第五节 燃烧过程和膨胀过程	24
第二章 柴油机的功率及经济性	34
第一节 指示参数	34
第二节 有效参数	37
第三章 舰用柴油机的增压	40
第一节 概述	40
第二节 四冲程柴油机增压系统	40
第三节 燃气涡轮增压器基本工作原理	42
第四节 四冲程燃气轮增压柴油机的扫气	48
第五节 二冲程柴油机增压系统	50
第六节 燃气轮增压器的使用管理	52
第四章 柴油机的特性	56
第一节 柴油机的外部特性及其测定	56
第二节 柴油机的负荷特性	58
第五章 柴油机主要部件的受力与强度	61
第一节 材料强度的基本知识	61
第二节 作用在柴油机主要部件上的力	67
第三节 燃烧室组件的受力与强度	72
第四节 动力传递组件的受力与强度	79
第六章 柴油机动力装置的振动和防振	83
第一节 机体的振动与防振	83
第二节 轴系弯曲振动	91
第三节 轴系扭转振动	92
第四节 振动的判定	94
第七章 磨损与润滑	96
第一节 轴与滑动轴承的磨损与润滑	96
第二节 活塞与气缸壁的磨损与润滑	100
第三节 润滑油及润滑系统的管理	102
第八章 腐蚀与防腐蚀	106

第一节	化学腐蚀和电化学腐蚀	106
第二节	孔蚀	110
第九章	舰用调速器	112
第一节	概述	112
第二节	舰用柴油机调速器分类	114
第三节	调速器性能	120
第四节	调速器管理	127
第十章	舰艇运动的阻力及螺旋桨	129
第一节	舰艇运动的阻力	129
第二节	螺旋桨	131
第十一章	柴油机外特性和螺旋桨特性的配合	145
第一节	柴油机的推进特性	145
第二节	柴油机外特性和螺旋桨特性的配合特点	148
第十二章	柴油机的操纵使用与管理	151
第一节	柴油机的启动	151
第二节	柴油机的暖机	155
第三节	柴油机运转中管理	156
第四节	柴油机的停机	162
第五节	使用已久柴油机的管理	163
第六节	柴油机故障分析的基本原则与排除方法	165
第十三章	特定条件下柴油机的工况与管理	167
第一节	在不同海区气象条件下柴油机工况	167
第二节	执行特定任务时柴油机的工况与管理	171
第三节	舰艇进行各种运动时柴油机的工况与管理	176
第四节	多机多桨(或共桨)舰艇柴油机的工况与管理	183
第五节	柴油机在局部破损后的使用与管理特点	186

附： 主要符号

汉语拼音字母,拉丁字母和希腊字母读音表

第一章 柴油机的工作过程

柴油机在舰艇上大量用作主机和副机。当用作主机时，它是带动螺旋桨旋转，推动舰艇运动的；当用作副机时，它主要是带动发电机的。因此它工作的好坏直接影响到舰艇的战术技术性能。本章着重研究分析柴油机工作循环的进行情况及其影响因素，为实践中正确管理柴油机提供基本理论知识。

第一节 概 述

在自然界里，蕴藏着无穷无尽的能量，这些能量在一定的条件下，都是可以互相转换的。热机就是将燃料氧化产生热能，再由热能转变为机械能的一种机械。内燃机（包括柴油机、汽油机和燃气轮机）及外燃机（包括蒸汽机和汽轮机）都是属于热机一类。目前在我国的舰艇动力装置中，很多是采用柴油机作为动力的。

在讲述柴油机之前我们先介绍一下有关柴油机的一些基本知识。

一、柴油机的基本名词(图 1-1)

(一) 缸径

表示气缸内径的大小，通常用“D”表示。

(二) 上死点

活塞离曲轴中心最远时的位置。

(三) 下死点

活塞离曲轴中心最近时的位置。

(四) 冲程长度

活塞从上死点到下死点之间的距离，通常用“S”来表示。它等于曲柄半径的两倍。

(五) 燃烧室容积

当活塞在上死点时，活塞、气缸和气缸头三者所包围的空间称为燃烧室，它的容积用“ V_c ”表示。

(六) 气缸工作容积

活塞从上死点走到下死点所让出来的容积，所以也叫冲程容积，用“ V_s ”表示。

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

(七) 气缸总容积

当活塞在下死点位置时，活塞、气缸和气缸头三者所包围的空间的容积，用“ V_a ”表示。

$$V_a = V_c + V_s$$

(八) 压缩比

指气缸总容积和燃烧室容积之比，用“ ϵ ”表示。它说明气体被压缩的程度，压缩比愈大说

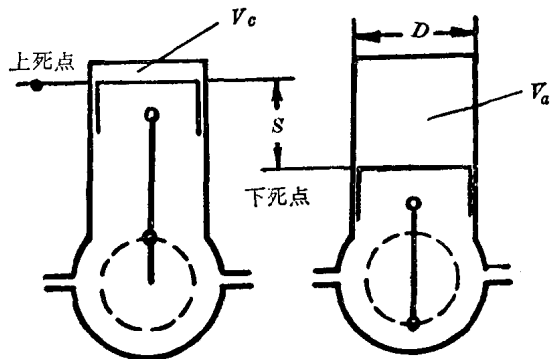


图 1-1 柴油机的基本名词

明气体被压缩得愈厉害。

$$\epsilon = \frac{V_a}{V_c}$$

一般柴油机, $\epsilon = 12 \sim 22$ 。

二、柴油机的示功图

柴油机把燃料的热能转化为机械能必须经过进气、压缩、燃烧膨胀和排气等工作过程,这几个过程进行一次就组成了柴油机的一个工作循环。

柴油机的一个工作循环可以在活塞移动四个冲程中完成,也可在两个冲程中完成。前者称为四冲程柴油机,后者称为二冲程柴油机。

表示柴油机气缸内每个工作循环中压力和容积变化的图形称为示功图。

柴油机的示功图,其纵座标为压力(P),横座标为容积(V),如图 1-2a 所示。另外还有一种表示法,即纵座标为压力(P),横座标为曲轴转角(φ),称为展开示功图,如图 1-2b 所示。

图 1-2a 为四冲程柴油机示功图, P_0 表示大气压力线。

进气过程以 r—a 线表示,它说明进气过程中气体压力及容积的变化情况,当活塞从上死点向下行时,新鲜空气不断进入气缸,由于缸内容积也相应地增大,因此在进气过程中压力变化不大。同时由于进气系统的阻力,所以进气终点的压力稍低于大气压力,一般进气终点压力 $P_a = 0.85 \sim 0.95$ 公斤/厘米²,进气终点温度 $T_a = 40 \sim 60^\circ\text{C}$ 。

压缩过程以 a—c 线表示,从 a 点开始压缩,随着活塞向上死点运动,气体压力也在不断升高,一般压缩终点的压力 $P_c = 30 \sim 45$ 公斤/厘米²,压缩终点的温度 $T_c = 500 \sim 700^\circ\text{C}$ 。

燃烧过程以 c—y—z 线表示,当将近压缩终点时,燃油便喷入气缸,它碰到高温高压气体立即发火燃烧,这时压力和温度急剧升高,到燃烧终点时压力 $P_z = 45 \sim 90$ 公斤/厘米²,温度 $T_z = 1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ 。

膨胀过程以 z—b 线表示,这时活塞由于气体压力的作用向下死点运动,作用于活塞上的力经连杆、曲轴向外输出作功。这时气缸容积不断增大,气体的温度和压力不断降低,到膨胀过程终点时,气体压力 $P_b = 2.5 \sim 6$ 公斤/厘米²,温度 $T_b = 450 \sim 700^\circ\text{C}$ 。

排气过程以 b—r 线表示,这时活塞向上死点运动,气缸容积不断在减小,气体也不断被排出,其压力在不断地减小,由于排气系统的阻力,所以排气终点的压力 P_r 略高于大气压力, $P_r = 1.02 \sim 1.15$ 公斤/厘米²,温度 $T_r = 330 \sim 530^\circ\text{C}$ 。

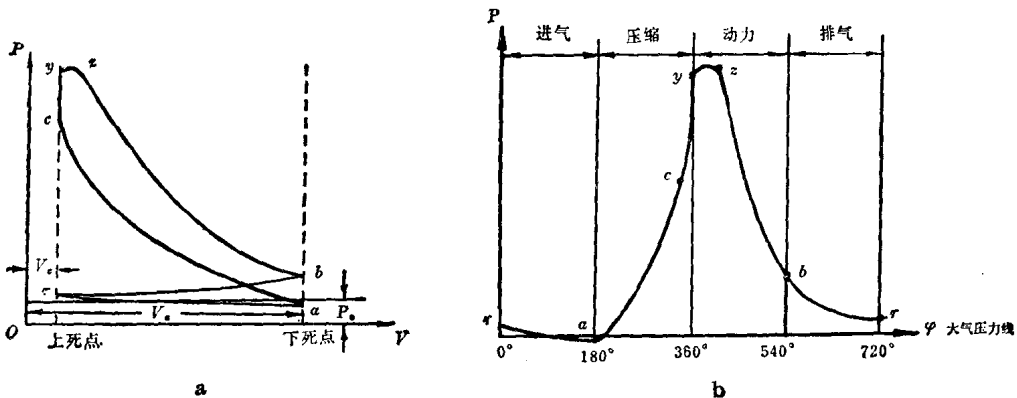


图 1-2 柴油机的示功图

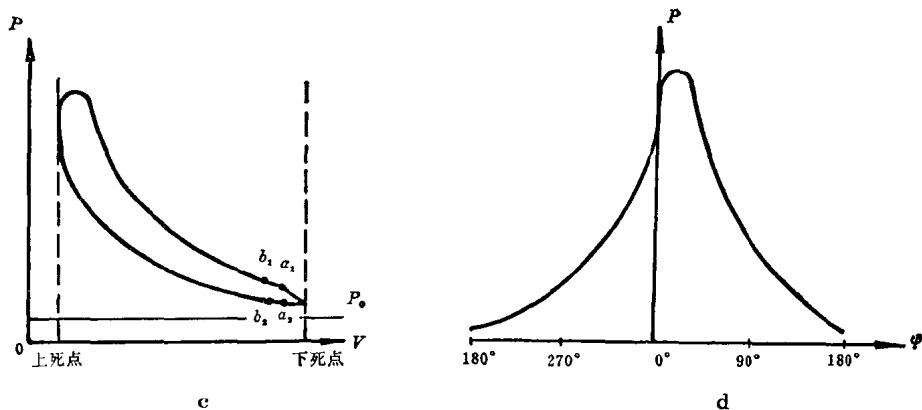


图 1-2 柴油机的示功图

图 1-2c 为二冲程柴油机示功图, d 为展开示功图, 它同样具有进气、压缩、燃烧、膨胀、排气等过程, 所不同的只是这些过程只用两个活塞冲程来完成。其中压缩、燃烧和膨胀过程和四冲程柴油机基本上相同, 而差别较大的则是进气和排气两个过程, 在二冲程柴油机中, 进气和排气是利用膨胀过程的后期和压缩过程的初期一段较短的时间内来完成的。如图(c)中, b_1-b_2 为排气过程, a_1-a_2 为扫气过程。

为什么我们把表示工作循环中各工作过程进行时压力和容积变化的图形称为示功图呢?

因为: 压力(公斤/厘米²) $\times 10^4 \times$ 容积(米³) = 力(公斤) \times 距离(米)

而: 力(公斤) \times 距离(米) = 功(公斤一米)

在示功图上, 压力与容积的乘积正好表示功的面积, 如图 1-3 所示。因此, 示功图上面积的大小就可以表示做功的大小, 故称为示功图。

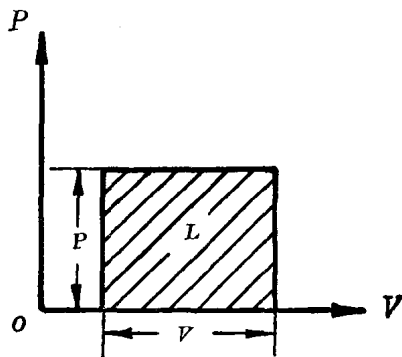


图 1-3 示功图上的面积功

在图 1-2 的 P-V 示功图上, 各工作过程线下面所包含的面积即表示该过程之功, 但是压缩过程是消耗功的, 所以是负值, 只有燃烧和膨胀过程所发出的功是正值。进排气过程也是消耗功的。这样在示功图上, 由燃烧、膨胀和压缩线之间所围起来的那一块面积 ($a-c-y-z-b-a$) 就可代表在每个工作循环中气体所作的功。这种示功图形状可用专门的示功器画出来。

三、柴油机的分类

舰用柴油机的种类很多, 按其不同的基本特征可有不同的分类方法, 这里只介绍几种常见的分类方法。

(一) 按完成工作循环的冲程数来分类

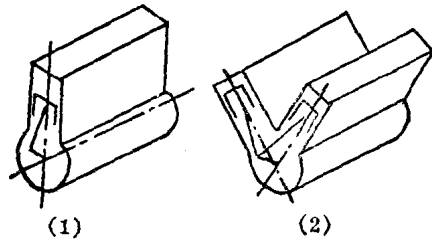
1. 四冲程柴油机;
2. 二冲程柴油机。

(二) 按进气压力来分类

1. 非增压式柴油机;
2. 增压式柴油机。

(三) 按气缸排列形式来分类

1. 单列式(图 1-4 (1));
 2. V型(图 1-4 (2));
 3. W型(图 1-4 (3));
 4. 星型(图 1-4 (4));
- 此外,还有X型、△型等。



(四) 按速度来分类

通常以活塞平均速度 C_m 转速 n 来区分内燃机的速度范围

低速: $C_m = 4-6$ 米/秒

$n \approx 100-500$ 转/分

中速: $C_m = 6-9$ 米/秒

$n \approx 500-1000$ 转/分

高速: $C_m = 9-12$ 米/秒

$n \approx 1000-2000$ 转/分

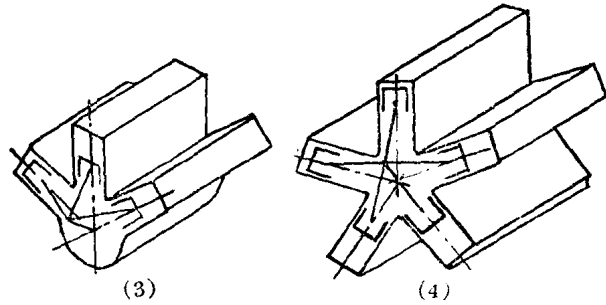


图 1-4 柴油机按气缸排列形式分类

也有按“ C_s ”值来区分低、中、高。 $C_s = n \times C_m \times 10^{-3}$

低速: $C_s < 1.5$

中速: $C_s \approx 1.5-4.6$

高速: $C_s \approx 4.6-13.75$

第二节 换气过程

柴油机的换气过程就是将废气排出气缸,把新鲜空气吸入气缸的过程,其实质就是“吐故纳新”,使柴油机能够连续不断地工作。

对换气过程的要求是尽量多进一些新鲜空气,较为彻底地排除废气,同时消耗功率少,以便提高柴油机的输出功率。本节就围绕着这些中心问题来进行讨论。

一、四冲程柴油机的换气过程(无增压)

(一) 换气过程的进行情况

1. 排气过程的进行情况:

排气过程是在膨胀过程之末,排气阀打开时开始,到活塞上行越过上死点,排气阀关闭时止。整个过程可分三个阶段,如图 1-5 所示。

第一阶段:从排气阀打开时起(b点),至活塞运动到下死点附近时止。在这个阶段中,气体的排出是依靠气缸与排气管压力差以很高的流速自行冲出气缸的,气缸内压力迅速下降。当活塞越过了下死点后,由于活塞移动很慢(下死点附近),废气自行排除出缸的速度超过活塞移动的速度,

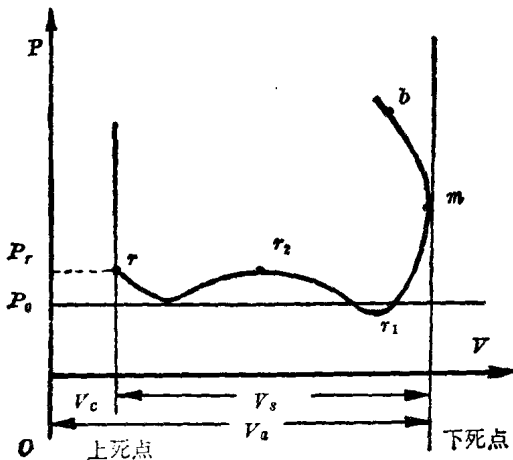


图 1-5 四冲程排气过程图

因此压力继续下降,甚至短时间会出现低于大气压现象,如图上 r_1 点。

第二阶段:活塞由下死点附近开始,至活塞运动到上死点附近为止。这一阶段是利用活塞的推挤作用,把废气排除出缸外的,所以叫强迫排气;气体在活塞推挤下,压力开始升高,并在此以后,缸内压力均高于排气管压力,特别在连杆和曲柄夹角为 90° 附近时,废气压力为最高 (r_2)。

第三阶段:利用废气高速流动时所具有的惯性加强排气。所以当活塞过了上死点以后,排气阀才关闭,利用此惯性的抽吸作用排除废气,故叫惯性排气。

从排气过程进行情况中可以看出排气终点的压力比大气压力要高。为什么废气压力比大气压力要高呢?我们知道缸内废气从排气阀排出以后,不是直接到达大气的,而是要经过弯弯曲曲的管道,由于排气时废气具有一定的流速,经过管道时会受到阻力,因此在排气时有流阻损失,所以废气压力高于大气压力。

废气流经管道时的流阻损失也叫排气压降,用 ΔP_r 来表示,故排气终点压力 $P_r = P_0 + \Delta P_r$ 。

排气压降由三方面的损失所组成:

- (1) 在排气阀及气缸头通道内的流阻损失,用 ΔP_{r1} 表示;
- (2) 在排气支管及总管内的流阻损失,用 ΔP_{r2} 表示;
- (3) 在排气系统中的一些特殊装置内(如消音器、燃气轮增压器)的流阻损失,用 ΔP_{r3} 来表示。

总的流阻损失为 $\Delta P_r = \Delta P_{r1} + \Delta P_{r2} + \Delta P_{r3}$ 。

由此可知,如果我们在管理中增加转速,排气系统截面积减少(管道积碳、堵塞等),特殊装置内阻力的增加等,都会导致流阻损失的增加,使排气终点压力升高,从而使燃烧室内残余废气量增加。

2. 充气过程的进行情况:

非增压四冲程柴油机中进气,是利用气缸内空气与大气间的压力差来达到的。当排气过程未到终了时,进气阀已经开启,活塞由上死点向下死点移动,气缸内容积逐渐增大,但这时气缸内存在着上一循环的残余废气,而且废气压力高于大气压力。所以这时新鲜空气还不能进入气缸,等到活塞下行,残余废气膨胀至大气压力时,新鲜空气才开始进入气缸。

由于活塞从上死点到下死点不是作等速运动,所以在进气过程中,气缸内压力也是有波动的,其压力变化情况如图 1-6 所示。

由于气体在进入气缸时,需要克服气阀及进气系统的阻力。因此在进气过程中,气缸内压力常常低于大气压力,从而使进入气缸的空气量减少。

此外,由于新鲜空气进入气缸以后会被热的机件和废气加热,使其温度升高,密度减小,也使进入气缸的空气量减少。

因此,在工作循环的进气终点,实际进入气缸的空气量要比在环境压力和环境温度下充满该气缸工作容积的空气量少。

我们用 P_a 表示进气过程终点压力,从进气过程进行的情况中知道,进气终点的压力 P_a 是低于大气压力的,这主要与进气系统中流阻损失有关系。

进气系统的流阻损失也叫进气压降,用 ΔP_a 表示, $\Delta P_a = P_0 - P_a$,它包括进气管道内的损失、气缸头进气管道内的损失和气阀的损失。

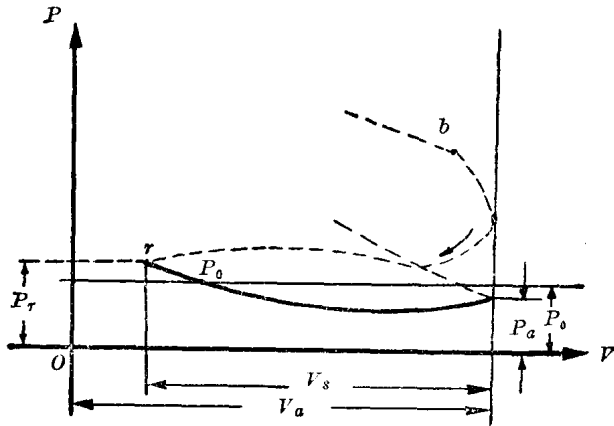


图 1-6 四冲程进气过程图

进气压降的大小,还与柴油机转速、气阀定时等有关。转速越高,阻力损失就越大。

我们用 T_a 表示进气终点的温度,当新鲜空气进入气缸时,由于与气缸内灼热表面接触并与残余废气渗混,因此使新鲜空气温度升高,使 T_a 高于环境温度 T_0 。我们用 ΔT_a 表示气体受热后上升的温度, $\Delta T_a = T_a - T_0$ 。

ΔT_a 与负荷转速等有关系。为了增加进气量,要求有较高的进气终点压力 P_a 和较低的进气终点温度 T_a 。但在降低进气终点温度的同时,还必须考虑到由此而引起的其他方面的影响,如对柴油机工作可靠性的影响等。

通过换气过程一般情况的分析,我们知道进气终点压力低,排气终点压力高,最终使充气量减少,这对换气来说是不利的。因此研究换气过程的最终目的是要提高进入气缸的充气量,以便改善燃料燃烧情况,增加柴油机的功率。

一般认为进入气缸的充气量与以下三个因素有关系:

(1) 与柴油机的基本尺寸(如气缸直径和冲程长度)有关,也就是与冲程容积的大小有关。显然,如冲程容积大,则进气量就多。

(2) 与环境空气的压力和温度有关,如环境空气压力高、温度低,空气密度就大,充气量就多。如采用增压,则进气量就更多。

(3) 与充气过程进行的完善程度有关系。

对我们柴油机管理者来说,要着重研究第三个因素。

(二) 充气系数

所谓充气过程的完善程度,是指实际充入气缸的空气量,接近理论充气量的程度。理论充气量是指在环境压力和温度条件下,在四冲程机中充满冲程容积的空气量,在二冲程机中充满有效冲程容积 V_e 的空气量, $V_a = V_e - V_\varphi$ (V_φ ——扫气口容积)。

为了分析充气过程的完善程度,我们引用了充气系数 η_H 的概念。充气系数就是实际充入气缸的空气量与理论上充满气缸的空气量之比,即:

$$\eta_H = \frac{\text{实际充入气缸的空气量}}{\text{理论上充满气缸的空气量}}$$

根据充气系数 η_H 的概念,我们知道它只是对柴油机本身的构造及充气效能的一种估计,而并不是对外界空气的状态及充入气缸的的空气的绝对量的估计。

充气系数 η_H 对柴油机的循环有效性及其所能发出的功率大小起着很大的作用。下面我们分析影响充气系数 η_H 的因素。

1. 充气终点压力 P_a 对充气系数 η_H 的影响

对四冲程柴油机来说, 充气终点压力 P_a 是影响充气系数 η_H 的主要因素。充气终点压力高, 则充气系数即高, 反之, 则降低。

由实验可以知道, 在柴油机气缸尺寸一定的情况下, 转速的提高, 或者气阀通道截面的减少, 都将导致进气压降 ΔP_a 的增加, 充气终点压力 P_a 的减少, 从而使充气系数 η_H 降低。进气压降 ΔP_a 与转速 n 的平方成正比, 而与气阀通道截面积的平方成反比。

柴油机转速 n 对充气系数 η_H 的影响如图 1-7 所示, 图中纵座标为充气系数 η_H , 横座标为转速 n 。从图上可以看出, 当转速 n 增高时, 充气系数 η_H 就下降, 这是因为转速升高时, 流阻损失随着增加。

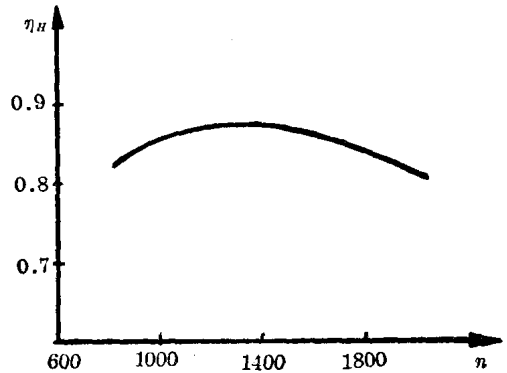


图 1-7 转速对充气系数的影响

从图上还可以看出, 当转速 n 比额定转速低得太多时, 充气系数 η_H 也会降低, 这是因为流速太低时, 气流的惯性便无法利用, 同时气阀定时也不合适。

为了减少进气损失, 可以采用较大的气阀通道截面, 同时使充气管路园滑, 流线型, 少急转弯, 这样可以使进气压降 ΔP_a 减小, 使充气终点压力 P_a 增加。对管理者来说主要是及时地清洁管路、滤网等, 保持管路畅通无阻。

2. 残余废气系数 γ_r 对充气系数 η_H 的影响

残余废气是指在充气过程终了时, 尚留在气缸内而未被排出的工作过的气体。

在前面排气过程中谈到, 四冲程柴油机排气过程之末, 整个燃烧室空间, 占满残余废气。其压力 P_r 大于大气压力 P_0 。在充气过程开始时, 残余废气将膨胀, 使充气过程的有效冲程减少。而且废气也是使进入气缸内的新鲜空气温度升高的原因之一, 所以, 残余废气量越多, 则充气量也就越小, 也就是充气系数 η_H 越低, 所以说应该使废气所占的比例越少越好。

气缸内残余废气量的多少, 我们用残余废气系数 γ_r 来表示, 它就是在充气终了时残留在气缸内的废气量与进入缸内的新鲜空气量的比值。

$$\gamma_r = \frac{\text{排气终了时残留在气缸内的废气量}}{\text{进气终了时进入气缸的新鲜空气量}}$$

显然, 如果废气压力 P_r 越是增高, 或者废气温度越是降低, 则废气系数 γ_r 值也越高。这是因为废气压力 P_r 的增高和废气温度的降低都会使废气密度的增加, 从而使气缸中残余废气量增加。在进气冲程开始时, 这部份废气首先膨胀, 活塞有效冲程损失增加, 从而使充气系数 η_H 下降。

残余废气系数的大小很难精确的计算, 一般用实验方法确定,

无增压 四冲程机一般为 $\gamma_r \approx 0.02 \sim 0.06$

增压 四冲程机 $\gamma_r \approx 0.00 \sim 0.04$

在换气完善的增压四冲程机上, 残余废气系数可接近于零, 这是由于增压柴油机的气阀重

叠角大及用增压空气进行燃烧室扫气所致。

从上所说废气压力 P_r 对残余废气系数 γ_r 的影响很大，所以我们在管理中要经常注意排气系统畅通无阻，防止管道堵塞。

3. 充气终点温度 T_i 对充气系数 η_H 的影响

充气终点温度提高，使充入气缸的空气密度下降，空气量减少，从而使充气系数下降；反之，则充气系数提高。前面已经谈到，当新鲜空气进入气缸时，由于和气缸内部灼热表面相接触和与残余废气掺混，因此使新鲜空气的温度提高。新鲜空气进入气缸受暖热后所提高的温度对充气终点的温度影响很大，它与气缸的热状态有关系，也就是说它与柴油机的负荷、转速、冷却情况以及气缸基本尺寸等有关系。

(1) 当柴油机负荷增加时，因为在每一循环中所燃烧的燃料增多，使每一循环的平均温度升高，因此新鲜空气的温升也就增加，从而使充气终点温度增加，使充气系数 η_H 下降。

(2) 柴油机转速对新鲜空气的温升的影响有两种相反的情况：当柴油机转速升高时，一方面由于循环次数增加，使气缸内部表面温度增加，因此有使温升增加的趋势。但另一方面由于转速的增加，新鲜空气受暖热的时间缩短，因此又有减少的趋势，具体情况由实验来确定。

(3) 当柴油机的气缸直径和活塞冲程增加时，新鲜空气的温升将会减低。这是因为当气缸直径和活塞冲程增加时，气缸内热表面积与气缸容积之比将减少，从而使新鲜空气与热表面接触的面积相对减少的缘故。

至于柴油机的冷却情况对气体温升的影响，是很明显的，冷却可以使气体温升降低。但在使用冷却方法降低气体温升时，必须考虑到对机件热应力和燃烧完善有无不利的影响。

上面我们分析了影响气体进入气缸后温度升高的各种因素，除此以外还有其他一些因素：如残余废气系数 γ_r 和废气温度 T_r 。废气温度对充气终点温度的影响由废气量决定，对一般柴油机来说由于残余废气系数很小，故废气温度对充气终点温度的影响不很大。

4. 配气定时对充气系数 η_H 的影响

在实际柴油机中，气阀往往是提前开启和延迟关闭的，以利于排气干净，提高充气量。进排气阀最恰当的开启与关闭时间，是由实验来确定的。下面对四冲程机进行扼要的讨论。

(1) 排气阀提前开启：

排气阀是在下死点前开启的，主要目的是为了依靠缸内的气体压力与大气压力之差，形成自由排气，使得废气更有效地排除。但开启时间过早（如在2点），也是不适合的，这会使得本来可以继续膨胀做功的气体能量，随着过早排气而损失，如图1-8所示， $2b_2b_3$ 所包围的面积即为损失功。但若在下死点开始打开的话（如在 b_3 点），由于气阀通道不能瞬时开至最大，因此当活塞上行开始进行强迫排气时，缸内气体压力必然较高，这时耗于强迫排气的功也必然增加，如图 b_34b_2 所包围的面积，即为损失功。因此需要选择适当的排气点（如在3点），损失功较小，图中

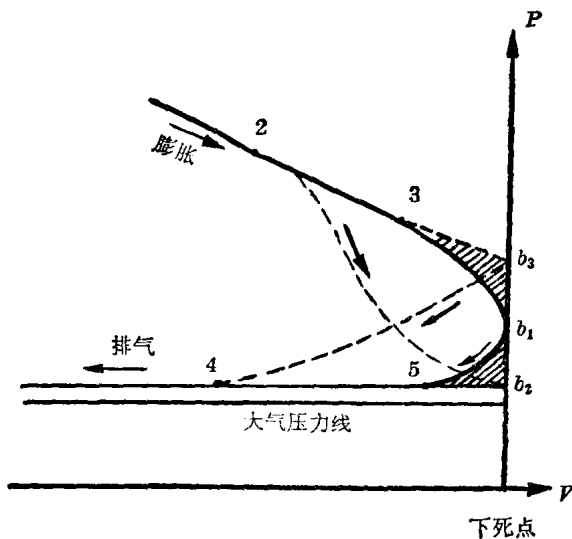


图 1-8 排气过程图

3, b_1 , 5, b_2 , b_1 , b_3 , 所包围的面积(划斜线部份)即为损失功。

(2) 排气阀延迟关闭:

排气阀是延迟在上死点后关闭。这样做的目的可以保证活塞在上死点时, 仍有足够的气阀通道截面排气; 另外, 由于废气在排气管中流动时, 具有惯性, 因此延迟关闭排气阀就可能利用此惯性对缸内气体的抽吸作用而使废气排干净。

(3) 进气阀的提前开启:

进气阀是提前在上死点以前开启, 这一方面是为了活塞在上死点充气开始时有较大的通道截面, 另一方面也是为了利用进排气阀重叠开启时对燃烧室进行扫气, 减少残余废气量。此时虽然排气过程仍在进行, 但新气可以进入气缸, 帮助扫除废气。从进气阀开启到排气阀关闭之间的曲轴转角称为气阀重叠角, 如图 1-9 所示, 在无增压柴油机中重叠角一般较小, 增压柴油机因为进气压力较高, 为了充分利用其进行燃烧室扫气, 因此重叠角一般较大。

(4) 进气阀的延迟关闭:

进气阀是延迟在活塞下死点以后关闭的, 这样当活塞接近下死点时, 进气阀尚有足够的通道截面, 不至于因通道截面积变小而使充气终点压力下降; 另外, 因为在下死点时气缸内的压力小于周围环境压力, 这样即使已开始压缩行程, 还可以充入一些新鲜空气, 而且还可以利用进气的惯性进入更多的空气。

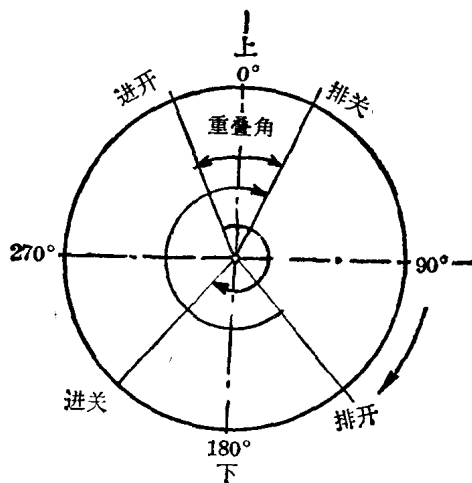


图 1-9 气阀重叠角

从上面的讨论中可以看出, 正确地决定气阀定时, 可以使充气系数 η_H 有一定的提高。但是我们知道, 若转速愈高, 要求气阀提前打开与延迟关闭的角度就愈大, 而在每一个转速下均有一个最适当的气阀定时, 所以有的柴油机采用两套凸轮, 以适应高低速时气阀定时的需要。但在变速运转下, 要达到在各种转速下, 充气系数 η_H 都提高是不可能的。一般柴油机的气阀定时是根据额定转速来确定的。下表列出不同类别柴油机的一般气阀定时:

类 别	进 气 阀		排 气 阀	
	提前开启角	延迟关闭角	提前开启角	延迟关闭角
低速柴油机	18~22°	18~25°	35~40°	10~15°
中速柴油机	20~30°	40~50°	45~55°	20~30°
高速柴油机	25~35°	45~55°	48~60°	25~35°

充气系数 η_H 的一般范围为:

高速四冲程柴油机: $\eta_H = 0.75 \sim 0.85$

低速四冲程柴油机: $\eta_H = 0.80 \sim 0.90$

二冲程柴油机: $\eta_H = 0.75 \sim 0.90$

增压柴油机的充气系数比上述数据高。

二、二冲程柴油机的换气过程

二冲程柴油机的换气过程与四冲程机相比较,则显得更为重要。如果这过程进行得不完善,就会降低柴油机的功率和经济性,特别是高速二冲程柴油机,其功率和转速使用范围很广,这对换气带来了不少困难。

下面从二冲程柴油机换气特点与要求出发,分析各种换气的形式。

(一) 二冲程柴油机换气的特点与基本要求

1. 换气特点

(1) 换气过程是在下死点附近很短的时间内进行($130^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 曲轴转角),而且有部分废气的排出是依靠新鲜空气将其推挤出去的,这就要求新鲜空气具有较高的压力,因此在二冲程柴油机上都装有扫气泵,它要消耗相当一部分马力,使柴油机的机械效率下降。

(2) 残余废气量大,直流式 $\gamma_r = 0.04\sim 0.08$,横流式 $\gamma_r = 0.07\sim 0.15$,影响新气的充填。因此在二冲程柴油机上实现良好的换气是比较复杂和困难的。

2. 换气的要求

(1) 尽可能地排除废气,多进一些新鲜空气。

(2) 进入气缸的新鲜空气,和排出的废气,气流方向合适,避免新鲜空气和废气过多掺混。扫气时损失的扫气空气少。

(3) 对可燃混合气体的形成有利。

(4) 构造简单,动作可靠。

(二) 二冲程柴油机换气的形式

在现有二冲程柴油机换气形式中,按扫气空气在气缸中流动的路线,可分为弯流式和直流式两种基本换气形式:

1. 弯流换气形式

弯流换气形式的基本特点是:扫气空气在气缸中流动的路线是先从下往上流动,到达气缸顶部后转为由上而下的流动。这种换气形式使得空气易与气缸中的废气掺混,而且空气流未能经过的某些死角,都得不到可靠的扫清,因此换气质量一般较差。

弯流式换气结构简单动作可靠,因此对某些低速大功率柴油机尚有采用。

弯流式换气根据扫气口和排气口的结构,以及相互配制的不同,一般可分为:简单横流式、装有单向阀的横流式以及回流换气三种基本形式,如图 1-10 所示。

由于弯流换气形式新鲜空气损失多(指没有单向阀的),气流路线复杂,以及新鲜空气与废气掺混较多,致使扫气质量不好,因此弯流式在商船低速大功率柴油机上尚有采用。对现代舰艇来说,已广泛采用直流换气形式。

2. 直流换气形式

直流换气形式的扫气空气在气缸中流动的路线是朝着一个方向的,这样空气与废气的掺混较少,换气质量也较好。直流换气形式主要分以下两种:

(1) 气阀气口换气形式

如图 1-11 所示。这种换气形式的扫气口,布置于气缸下部整个周壁上,气缸头装置 1~4 个排气阀。气口对气缸的纵横截面都有倾斜角,以控制气流产生有规则的由下而上的涡旋运动,借以充分地清除气缸中的废气,促使燃料与空气的混合。

气阀排气是由凸轮轴控制的,这样就比较容易地控制排气阀开闭定时,以满足排气阀和扫气口同时关闭,甚至让排气阀提前关闭,而继续进入一部份新鲜空气以实现过给。

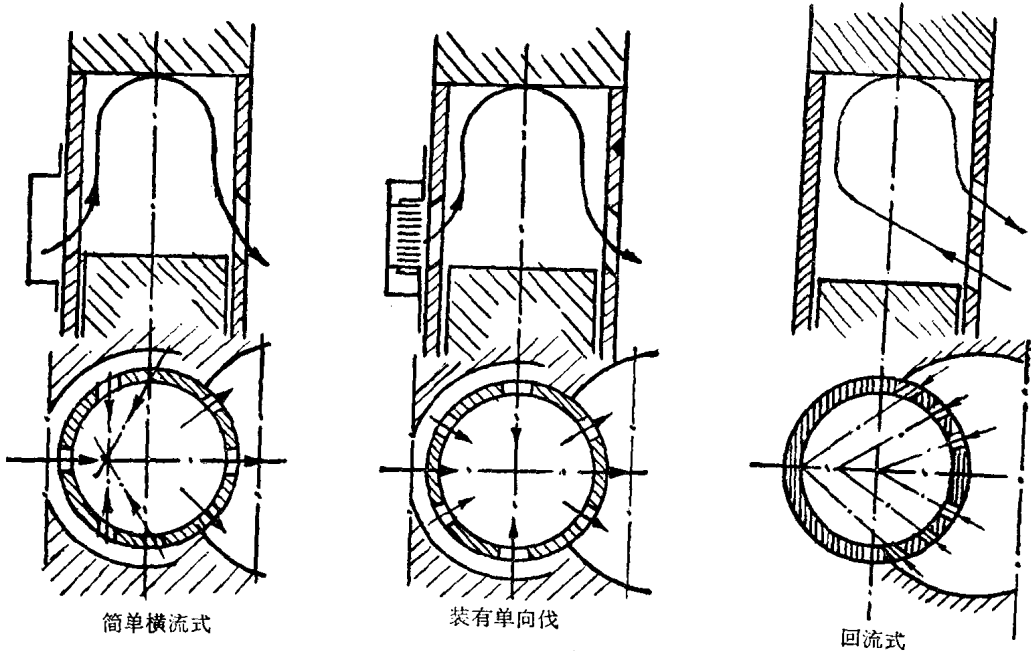


图 1-10 弯流换气形式图

这种换气形式与弯流换气形式比较,清除气缸的残余废气较好,新鲜空气损失少,因此残余废气系数 γ_r 小,充气系数 η_H 高。但气阀机构比较复杂。

目前在船用二冲程柴油机中,这种形式被广泛地采用。

(2) 气口直流换气形式

如图 1-12 所示,这种形式在现有柴油机中大多用在对置式柴油机上,其扫气口和排气口分别地置于气缸两端圆周上,扫气空气从扫气口进入气缸单向地流至排气口一端。废气经排气口流出。扫气口对气缸纵横截面都有倾斜角。

这种形式的气口分别由上下活塞(或者称排气、进气活塞)控制,若上下活塞运动对称于内止点时,这时扫气口关闭后有一部分新鲜空气还要经排气口流出。为了改善这个缺点,将控制排气口的活塞领先一个角度 φ ,即两个活塞的运动不对称于内止点。领先角 $5^\circ \sim 12^\circ$ 曲轴转角,有时甚至大到 20° 。这样两气口就可以达到同时关闭,或者排气口先关。

气口直流换气形式的换气质量较高,因为排气口和扫气口布置在气缸两端的整个圆周,气流的流通能力强,加上路线短,气流作螺旋上升运动,故残余废气系数 γ_r 小,充气系数 η_H 大,平均指示压力 P_i 比弯流式增高 10% 左右。

但这种形式存在结构复杂等不足之处,而且造价也较高。

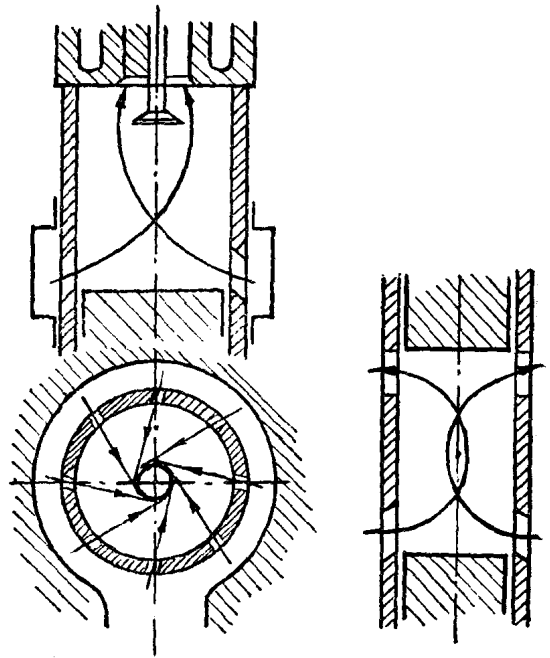


图 1-11 气阀气口式

图 1-12 气口直流式