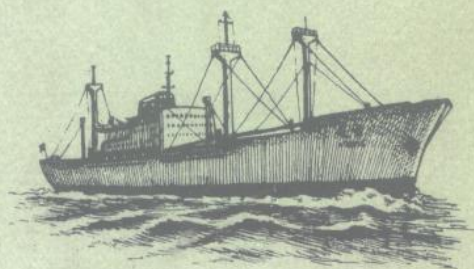


船舶柴油机

大连海运学院内燃机教研组编



人民交通出版社

船舶柴油机

大连海运学院内燃机教研组编

人民交通出版社

1974年·北京

船 舶 柴 油 机

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二厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 20.25 插页: 9 字数: 439 千

1974 年 2 月 第 1 版

1974 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—23,500 册 定价(科三): 1.75 元

毛主席语录

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。

内 容 简 介

本书主要从我国远洋船舶实际出发,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,滑油和润滑,增压和增压系统的喘振以及起动、换向、调速等问题作了较为详细的叙述。此外,还对几种典型柴油机作了比较和评论。

本书主要供远洋和沿海轮机员以及有关院校师生阅读,也可供船机修造人员参考。

目 录

第 一 章 柴油机一般介绍	3
第一节 柴油机工作原理.....	3
第二节 四冲程柴油机的换气.....	9
第三节 二冲程柴油机的换气.....	13
第四节 柴油机的类型.....	17
第 二 章 主要部件	20
第一节 概述.....	20
第二节 气缸盖、气缸和活塞的构造.....	22
第三节 气缸盖、气缸、活塞的故障和管理.....	37
第四节 曲柄连杆机构、机座和机架.....	43
第五节 曲柄连杆机构的故障和管理.....	57
第六节 曲轴拐档差和运动部件船上找正.....	60
第七节 换气机构及其管理.....	70
第 三 章 燃烧和喷油设备	79
第一节 燃油的喷射和可燃混合气的形成.....	79
第二节 燃油的燃烧过程.....	82
第三节 喷油设备.....	86
第四节 喷油设备的维护和管理.....	104
第 四 章 主要工作指标和示功图	110
第一节 主要工作指标.....	110
第二节 机械示功器的结构和使用.....	115
第三节 示功图的分析.....	122
第四节 其他热工仪表.....	130
第 五 章 柴油机的增压	135
第一节 柴油机废气能量的分析和利用.....	136
第二节 二冲程柴油机的增压系统.....	141
第三节 废气涡轮增压器.....	144
第四节 喘振的发生和消除.....	153
第五节 增压系统的维护和管理.....	159
第 六 章 燃油系统	162
第一节 燃油.....	162
第二节 重油的使用.....	170

第三节	燃油的净化处理·····	172
第四节	燃油系统及其管理·····	187
第七章	润滑和冷却·····	191
第一节	轴承和气缸的润滑·····	191
第二节	滑油的性质和选择·····	197
第三节	滑油的检验和处理·····	205
第四节	滑油系统·····	210
第五节	海、淡水系统·····	214
第八章	起动、换向和调速·····	222
第一节	起动装置·····	222
第二节	换向装置·····	228
第三节	调速装置·····	234
第四节	操纵系统·····	247
第九章	柴油机的运转特性·····	262
第一节	概述·····	262
第二节	船舶阻力·····	263
第三节	螺旋桨·····	264
第四节	柴油机的外特性·····	269
第五节	柴油机的推进特性·····	271
第六节	各种航行条件下主机的操纵·····	274
第七节	柴油机的负荷特性·····	280
第十章	典型柴油机介绍和比较·····	281
第一节	主要机型介绍·····	281
第二节	三种机型的比较·····	303
第十一章	柴油机的运转管理·····	309
第一节	开航前的备车·····	309
第二节	运转中的管理·····	310
第三节	运转中常见的故障及其消除方法·····	312

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；无十字头式和十字头式柴油机；高速和中速及低速柴油机等。

第一节 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：“相反地，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一个工作循环，图 1-1 所示即为柴油机的基本工作原理。

一、四冲程柴油机的工作原理

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

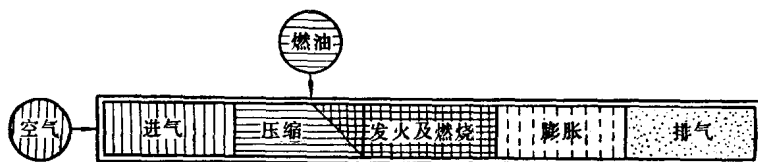


图1-1 柴油机的基本工作过程

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。

1. 各过程进行情况

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 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ ）。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。

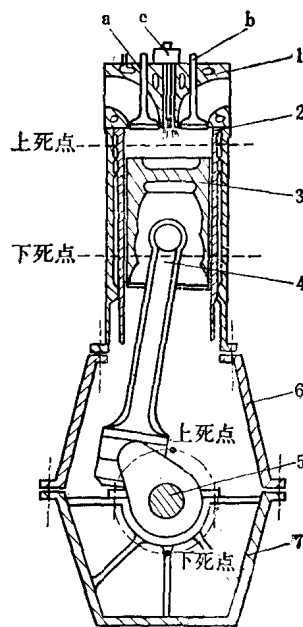


图1-2 四冲程柴油机构造原理

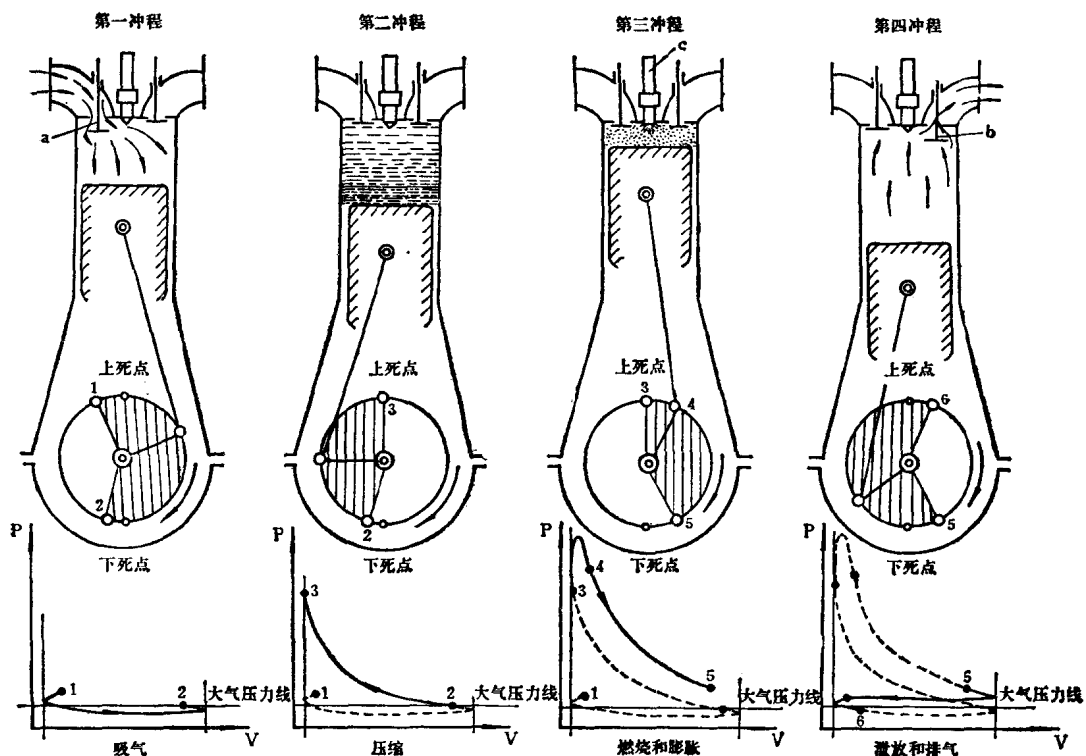


图1-3 四冲程柴油机工作原理

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 $1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ 。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向下行。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 $2.5 \sim 4.5$ 公斤/厘米²，温度降至 $600 \sim 750^\circ\text{C}$ 。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（飞轮把工作冲程中的部分能量储存起来而在其余三个冲程进行时给出）。

2. 示功图

图 1-3 的下方用 PV 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形。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 PV 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， PV 图可用来研究柴油机工作过程进行的情况，并且可用来算出柴油机完成一个工作循环所作的功，我们就把这 PV 图称为示功图。

在 PV 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，也就是活塞已从下死点上行一段距离后。在进气过程的大部分时间里，气缸内的压力低于大气压力。

PV 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况。排气过程中，气缸内的压力高于大气压力。

上述工作循环各过程的 PV 线的综合，就构成了四冲程柴油机的示功图（图 1-4）。图中各过程线与横座标间包围的面积表示各过程所作的正功和负功。燃烧膨胀过程所作的功，减去其他过程所消耗的功，就是柴油机一个工作循环向外输出的功（图中阴影线所包围的面积）。

3. 压缩比（理论压缩比）

从大气吸入的新气经压缩后容积减小，压力增高。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

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

式中： V_c ——压缩室容积，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， $V_a = V_s + V_c$ ；

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。压缩比的大小随柴油机的型式而异。

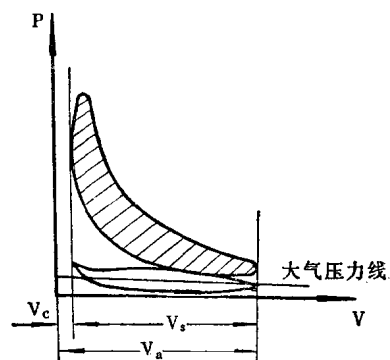


图 1-4 示功图

二、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，从而实现二冲程柴油机。

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，废气也主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，采用了一个专设的气泵，这个气泵叫做扫气泵。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-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，

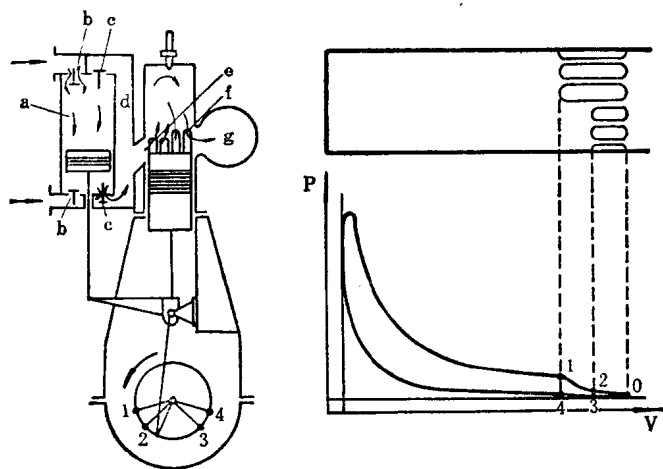


图1-5 二冲程柴油机工作原理

经过压缩后由排出阀 c 排出，储存在具有较大容积的容器 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，容器 d 中的空气经进气口 e 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。

三、二冲程增压柴油机工作原理

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尺度、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，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，那也就可以用泵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，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气泵的功增多，在进气压力超过一定值时，消耗于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气泵的本身。显然，这是得不偿失的。若使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气泵工作，我们称这种增压方式为废气涡轮增压。这个气泵就叫做增压泵。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。

新气是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 。增压装置由废气涡轮 d 和由它带动的离心式增压泵 e 组成。当柴油机工作时，涡轮机从废气中获得能量而带动增压泵一起转动。空气由吸入口 f 进入泵中，经压缩后压力增高，然后由管 g 经冷却器 k 导入容器 h 和进气口周围空间 i ，准备进入气缸。

气缸内工作循环的各主要过程——压缩和混合、燃烧和膨胀的进行情况与以上各种柴油机一样，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 j 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。

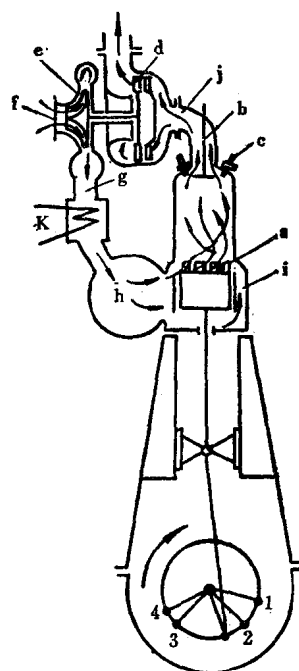


图1-6 废气涡轮增压二冲程柴油机工作原理

第二节 四冲程柴油机的换气

如前所述，无论是四冲程柴油机还是二冲程柴油机，为了连续工作，必须把上一个工作循环的废气排出气缸，并充入足够量的新鲜空气，这个以新鲜空气取代废气的过程叫做柴油机的换气过程。

柴油机的功率、经济性和工作可靠性首先取决于喷入气缸的燃油量和燃油燃烧的好坏程度，而燃油燃烧的好坏在很大程度上又取决于充入气缸的空气量。在喷油量不变的情况下，充入气缸的空气量多，燃烧就好，柴油机的功率和经济性就高；反之，则差。燃油燃烧得好，部件不易过热，工作就可靠。因此，换气过程进行的好坏，也就在相当程度上影响着柴油机的功率、经济性和工作可靠性。

根据第一节所述，在四冲程柴油机换气过程中，进、排气过程各占一个活塞冲程，约为 $400 \sim 450^\circ$ 曲柄转角。在非增压四冲程柴油机中，新鲜空气直接从大气吸入，进气是靠气缸

与大气间的压力差和活塞下行的抽吸作用实现的。由于四冲程柴油机换气时间较长，进、排气分别在活塞两个冲程内进行，废气排得干净，新气与废气掺混少，因而换气质量好。

一、充气量和充气系数

在换气过程中，活塞从上死点下行到下死点气缸内充入的空气量叫做气缸充气量，简称为充气量。在气体初始状态参数不变的情况下，能够充入气缸的最大空气量，叫做理想充气量。非增压四冲程柴油机的理想充气量 G_s 可用理想气体状态方程式表示：

$$G_s = \frac{P_0 V_s}{RT_0}$$

式中： V_s ——气缸的工作容积，米³；

P_0 ——环境压力，公斤/米²；

T_0 ——环境温度，°K；

R ——空气的气体常数。

实际上，气缸的充气量要比 G_s 小。为什么实际充气量比理想充气量小呢？下面通过实际换气过程的分析来说明这个问题。

图 1-7 所示为非增压四冲程柴油机换气过程中气缸内压力随容积变化的情况。

活塞从下死点上行，废气在活塞的推挤下经排气阀排出气缸。在排气过程中，由于排气阀的节流以及流动过程中阻力的存在，排气压力必然要高于 P_0 。排气结束时，在气缸压缩室容积内残留一部分废气，其数量用 G_r （公斤）表示，称为残余废气量。它的压力为 P_r ，温度为 T_r ，分别称为废气压力和废气温度。显然， $P_r > P_0$ 。

活塞从上死点下行，气缸内的残余废气进行膨胀，虽然进气阀已经打开，但新气尚不能充入。待气缸内的压力稍低于 P_0 时（图中点 r_0 ），靠着这个压力差，新气才充入气缸。

在进气过程中，同样由于气流流经进气阀的节流损失和流动过程中的阻力损失，进气终点时气缸内的压力 P_a 小于 P_0 。同时，由于气缸壁、活塞顶和气缸内残余废气对新气的加热，使进气终点时气缸内的空气温度 T_a 高于环境温度 T_0 ，即 $T_a > T_0$ 。结果，气缸的实际充气量 (G_0) 为

$$G_0 = \frac{P_a V_s}{RT_a}$$

上式中的 R 是个常数，而对于一定的柴油机， V_s 是不变的，因此 G_0 只与 $\frac{P_a}{T_a}$ 有关。 G_0 越大，说明充气过程进行得越完善。如果 $G_0 = G_s$ ，那么，充气量就达到了最大值。

同理，残余废气量 (G_r) 为

$$G_r = \frac{P_r V_c}{R_r T_r}$$

式中： V_c ——压缩室容积；

R_r ——废气的气体常数。

对于一定的柴油机， V_c 和 R_r 是不变的，则 G_r 也只与 $\frac{P_r}{T_r}$ 有关， G_r 越小，说明排气过程

进行得越完善。如果 $G_r = 0$ ，就说明废气全部排出气缸。

综上所述，对于一定的柴油机，可用 G_0 和 G_r 作为表征其换气过程完善程度的参数，也可用充气系数 η_v 在数量上来评判充气过程的完善程度。充气系数是实际进入气缸的新鲜空气量 G_0 与在环境空气参数 P_0 、 T_0 （增压时为增压压力 P_H 、增压空气温度 T_H ，二冲程柴油机为扫气压力 P_k 、扫气温度 T_k ）下能充满工作容积 V_s 的理想充气量 G_s 的比值：

$$\eta_v = \frac{G_0}{G_s}$$

充气系数对柴油机的热力过程及其所能发出的功率大小起着很大作用， η_v 越大，说明新鲜空气充入得越多，柴油机作功能力越大。

影响充气系数 η_v 和残留废气量 G_r 的因素很多，有构造因素和运转因素等，下面着重讨论与管理有关的因素。

1. 进、排气管道中的阻力。管道阻力的大小影响进排气过程中气流的压力损失，因而影响充气量 G_0 和残余废气量 G_r 。管道阻力主要取决于管道本身的粗糙程度、清洁程度、管道的形状和气体流动的相对速度。管道越粗糙，表面不清洁，弯头太多和气流的流速太快，都会使流动阻力增大，尤其是气流的速度，它以二次方的关系影响着阻力的大小。

管道的形状和粗糙度一般由设计制造决定，不易变动。流速决定于柴油机的转速，而流动阻力与流速是二次方关系，故高速柴油机的流动阻力较大，其换气质量较低速柴油机为差。至于管道表面清洁度，则会因为结碳和其他污物沉积在排气管道中而变差，故应注意排气管道的清洁。

2. 进排气阀的定时。气阀定时恰当能使废气排得干净，新气充入增多。在实际柴油机中，可能由于检修和安装时的差错或运转中传动机构的磨损等原因而导致气阀定时失常，结果使流动阻力增大， η_v 减小， G_r 增加，换气质量变差。因此，必须注意气阀定时的检查、测量和调整。

3. 环境温度。若环境温度 T_0 高，在进气结束时，气缸内空气的温度 T_a 就高，充气量 G_0 也就减少。在一般情况下，大气温度的变化不大，影响亦不显著。但当船舶航行到热带地区时，环境温度可高达 $40 \sim 50^\circ\text{C}$ ，由于充气量 G_0 减少（即 η_v 减小），燃烧显著恶化，排气冒黑烟。在这种情况下，就只有通过减少每一循环的喷油量来改善燃烧状况。

二、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，它们开启的总时间大于曲柄转角 180° 。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，即为气阀定时圆图，如图 1-8 所示。

图 1-8 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 3

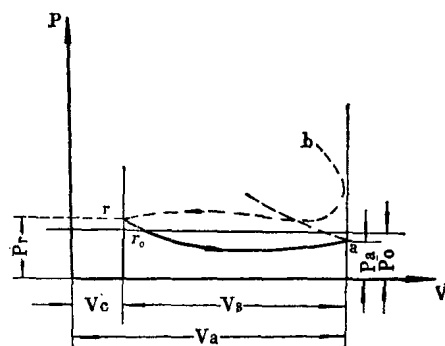


图1-7 四冲程柴油机的进排气过程

开启，在上死点后点4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。

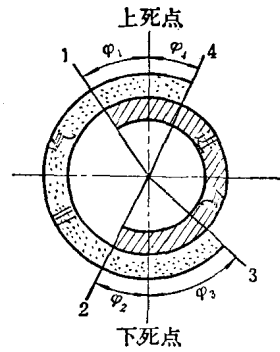


图1-8 定时圆图

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题的。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，则是由于新气的能否更多吸入，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进排气阀又怎样能够增多新气的吸入量呢？

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

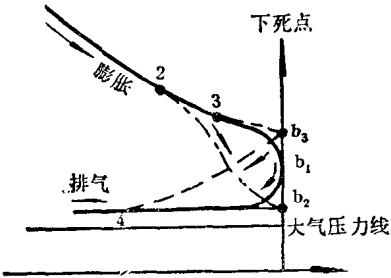


图1-9 排气过程

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，并使压缩比 ε 减小。过早地打开排气阀将使有效功损失增大，如图1-9中点2所示。同样，若开启过迟，如图点 b_3 所示，将使排气消耗功过多。只有在某一合适位置（图中点3）排气阀开启，消耗的功最少。当然，排气阀延迟关闭过晚，也将使新气损失增加。

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