

CHAIYOUJI YUANLI

柴油机原理

编者 · 张连方 刘炽棠 顾宏中

出版 · 上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书讲述柴油机工作过程的基本理论。着重论述了柴油机的换气、混合气形成与燃烧、燃油喷射、增压和柴油机与增压器的配合问题。对柴油机的性能指标、特性以及热量的综合利用作了简要的介绍。在内容组织上注意了理论阐述、工程实践中的实验与调试以及理论计算三方面的有机配合。

本书供动力机械专业本科学生作教材使用,也可供从事内燃机设计、制造和科研工作的技术人员参考。

柴 油 机 原 理

上海交通大学出版社出版

(淮海中路1984弄19号)

新华书店上海发行所发行

商务印刷厂常熟分厂印装

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 14.5 字数 356,000

1987年11月第1版 1987年12月第1次印刷

印数: 1—7,000

ISBN 7-313-00054-5/TK42

科技书目: 158-284

定价: 2.40 元

前 言

本书是根据上海交通大学动力机械专业必修课《柴油机原理教学大纲》，在上海交通大学内燃机研究室编写的《柴油机原理和实践》(1982年)及《柴油机原理》(1984年)的基础上重新编写的。考虑到教育必须改革的潮流，教育要面向现代化、面向世界、面向未来；开拓大学学习的知识范围，同时又要发扬读者自学能力，本书在内容上又作了精选和更新。本书既保持了柴油机领域中完整的基本理论，又突出了当前柴油机发展的新技术和新概念。在文字阐述上力求解释详尽，语言通顺，便于自学。

本书主要内容是组织好柴油机的工作过程和保证其具有良好性能的基本理论和方法。为此，书中着重介绍了柴油机的燃烧过程和燃烧系统，进、排气过程及其系统，燃油喷射及雾化过程，增压技术及其系统等的基本原理、理论计算和试验方法。本书内容着重针对大、中型柴油机，但也适用于当前保有量最大的中、小功率柴油机。通过对本书的学习，可使读者对柴油机的基本理论有一个系统的、清晰的概念。

本书主要读者是动力机械专业的本科生，但也可以供从事动力机械和内燃机设计、制造和研究的工程技术人员作参考之用。

本书由上海交通大学动力机械工程系张连方担任主编。各章编写分工如下：张连方教授编写第一、四、五章，刘炽棠副教授编写第二、三章及第八章的第一、二节，顾宏中教授编写第六、七章及第八章的第三节。

本书在编写过程中，参考了有关书籍和兄弟院校的讲义和教材，在此表示深切的感谢。

由于编者水平有限，书中一定会有不少缺点和错误，望国内同行及使用本书的读者提出宝贵意见。

编 者

1986年12月于上海交通大学

目 录

第一章 柴油机总论	1
§ 1-1 四冲程柴油机的工作特点	1
§ 1-2 二冲程柴油机的工作特点	6
§ 1-3 四冲程与二冲程柴油机的比较	11
第二章 柴油机的实际循环及性能指标	12
§ 2-1 柴油机的实际循环	12
§ 2-2 柴油机的指示性能指标	15
§ 2-3 柴油机的有效性能指标	17
§ 2-4 柴油机的速度及强化性指标	19
第三章 柴油机的换气过程	21
§ 3-1 四冲程柴油机的换气	22
§ 3-2 四冲程柴油机的气道吹风试验	34
§ 3-3 二冲程柴油机的换气	41
§ 3-4 进气管内动力效应的应用	53
第四章 柴油机混合气形成、燃烧及燃烧室	58
§ 4-1 柴油机的混合气形成	58
§ 4-2 柴油机的燃烧室	64
§ 4-3 燃油的着火及燃烧	76
§ 4-4 柴油机燃烧的放热规律	90
第五章 柴油机燃油的喷射	95
§ 5-1 燃油的喷射	95
§ 5-2 喷油泵结构对柴油机性能的影响	103
§ 5-3 喷油嘴结构对柴油机性能的影响	106
§ 5-4 柴油机供油系统中的不稳定流动及不正常喷射	108
§ 5-5 喷油规律数值计算简介	119
第六章 柴油机增压	124
§ 6-1 柴油机增压概述	124
§ 6-2 柴油机废气中的可用能	125
§ 6-3 增压系统的形式及其选择	129
§ 6-4 二冲程柴油机增压系统的特点	138
§ 6-5 超高增压	140
第七章 柴油机与涡轮增压器的配合与计算	153
§ 7-1 柴油机增压系统中涡轮增压器主要参数的确定	153

§7-2 柴油机与涡轮增压器的配合与调整	161
§7-3 柴油机工作过程与匹配计算	169
第八章 柴油机特性	194
§8-1 机械损失	194
§8-2 柴油机的热平衡与余热利用	199
§8-3 柴油机的特性	205

柴油 机 总 论

柴油机是内燃机的一种,它是这样一种热机:燃料的燃烧直接在气缸中进行,放出了化学能并转变为热能,利用燃气为介质,再把热能转变为机械能。

柴油机是以柴油为主要燃料的内燃机。由于柴油的着火是靠被压缩的空气的高温而自燃的,因此柴油机又称为压缩引燃式(简称压燃式)内燃机。柴油机中燃料燃烧时气体的最高温度(1800~2500 K)及膨胀过程终点时气体的最低温度(800~1000 K)两者之间的温差很大,因此工作循环的效率很高。从燃油消耗率方面来讲,现代柴油机是热机中最经济的。因此,它也就是最完善的一种热机。

§ 1-1 四冲程柴油机的工作特点

一、四冲程非增压柴油机基本结构及其工作原理

四冲程非增压柴油机基本结构如图 1-1 所示。它们包括:

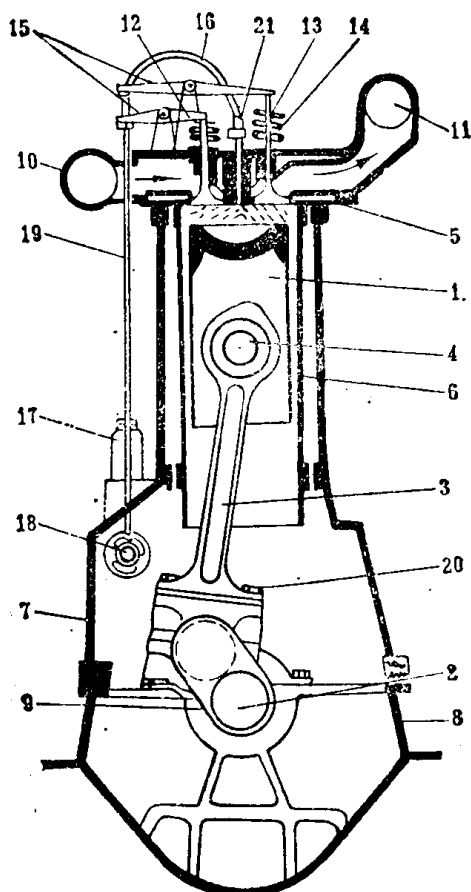


图 1-1 四冲程非增压柴油机的基本结构

1—活塞; 2—曲轴; 3—连杆; 4—活塞销; 5—气缸盖; 6—气缸套; 7—机身;
8—机座; 9—主轴承; 10—进气管; 11—排气管; 12—进气阀; 13—排气阀;
14—气阀弹簧; 15—摇臂; 16—高压油管; 17—喷油泵; 18—凸轮轴; 19—挺
杆; 20—连杆螺钉; 21—喷油器

(1) 运动部件。运动部件是把燃料燃烧后的热能转变为机械能的机件，同时把往复运动形式的机械功转变为旋转形式输出。运动部件中有：活塞 1、曲轴 2、连杆 3、活塞销 4 等。

(2) 固定部件。固定部件是承受燃气压力、运动部件的惯性力，支承运动部件及所有附属设备的机件。固定部件中主要有：机座 8、机身 7、主轴承 9、气缸套 6、气缸盖 5 等。

(3) 配气机构。此机构是按规定的开启或关闭进、排气阀的机件，以保证新鲜空气的进入气缸和使膨胀后的废气从气缸中排出。配气机构中有：进气阀 12、排气阀 13、气阀弹簧 14、摇臂 15、挺杆 19、凸轮轴 18 等。

(4) 燃油系统。此系统的作用是按照柴油机工作过程的需要，按时地向气缸内喷入一定数量的燃油，并使燃油良好的雾化，与空气形成良好的可燃混合气。燃油系统中主要有：喷油泵 17、喷油器 21、高压油管 16 等。

(5) 辅助部件。进气管 10、排气管 11 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。

四冲程非增压柴油机的工作原理如下：

柴油机的工作循环是由进气、压缩、燃烧及膨胀、排气等四个过程组成的。在四冲程柴油机中该四个过程分别在四个活塞冲程中实现。图 1-2 表示了四冲程柴油机全部工作过程的程序和形态。

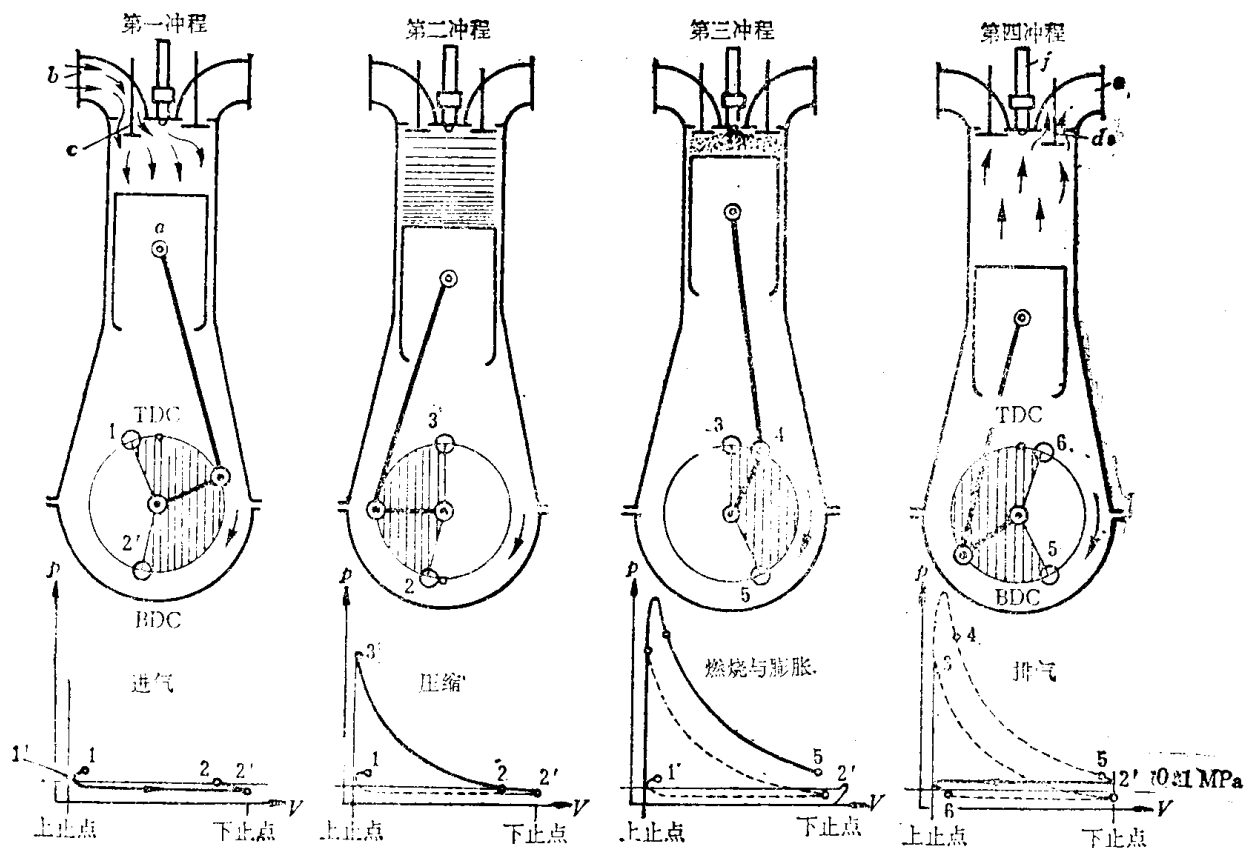


图 1-2 四冲程柴油机的工作原理示意图

第一冲程——进气过程。活塞从上止点往下止点下行。由于气缸容积的不断增大，缸内压力下降，依靠缸内压力与大气压力的压差，新鲜空气经进气阀被吸入气缸。此时进气阀 c 是被打开着的，它是由凸轮轴 18(图 1-1)来带动的。后者的转速是曲轴转速的 $1/2$ 。在进气过程中，排气阀 d 、喷油器 f 等都是关闭着的。

在进气过程结束时,气缸内的压力要比大气压力稍低,其值约为 $0.083 \sim 0.093 \text{ MPa}$ 。这是由于进气管内,特别是进气阀处有流阻损失的缘故。为了保证气缸能吸入较多的新鲜空气,应使:

(1) 进气阀在上止点稍前的位置开始打开(图 1-2 的点 1),这样可以保证当活塞到达上止点时,阀口处有较大的通道面积。进气阀提前打开的角度 $\varphi_{1-1'}$ 同柴油机的转速有关,其值约 $20^\circ \sim 30^\circ$ 曲轴转角,其中较大的 φ 值适用于转速较高的柴油机。

(2) 进气阀关闭时刻在下止点以后(点 2),这样可以延长气缸充气的时间。进气阀迟后关闭的角度 $\varphi_{2-2'}$ 也与柴油机的转速有关,其值约 $20^\circ \sim 40^\circ$ 曲轴转角,其中较大的 φ 值适用于转速较高的柴油机。

因此,全部进气过程所占的总曲轴转角 φ_{1-2} (图中阴影线所占的角度)约为 $200^\circ \sim 250^\circ$ 。

第二冲程——工质的压缩过程。为了要使气缸中燃油自行着火燃烧,必须使气缸中的空气具有足够的温度。对吸入的新鲜空气进行压缩,才能使空气达到足够的温度和压力。工质的压缩过程是在活塞从下止点往上止点的上行运动期间进行的。从进气阀关闭时起(点 2)到活塞到达上止点(点 3),进气冲程吸入的新鲜空气,经过压缩后压力增高到 $3 \sim 6 \text{ MPa}$ (此压力称为压缩终点压力,用 p_c 表示),温度升高到 $600 \sim 700^\circ\text{C}$,这个温度保证了喷入气缸内的燃料的自行着火。

当活塞在上止点位置时,活塞与气缸盖之间所包含的容积,称作为压缩容积又称余隙容积,用 V_c 表示,它大约等于活塞行程所占的总容积 V_h 的 $6.5 \sim 7.5\%$ 。

压缩过程所占的总曲轴转角 φ_{2-3} 约为 $140^\circ \sim 160^\circ$ 。

第三冲程——燃烧及膨胀过程,又称工作过程。在上止点稍前(图 1-2 上的点 3'),燃油通过喷油器 f 喷入气缸。在此冲程之始,由于燃油的强烈燃烧,使气缸内的压力和温度急剧上升。压力约达 $5 \sim 8 \text{ MPa}$,温度约为 $1400 \sim 1800^\circ\text{C}$ 或更高些。燃烧基本结束时刻约在上止点后 $40^\circ \sim 50^\circ$ 曲轴转角(点 4)。此后就开始了燃烧产物的膨胀过程。

在燃烧及膨胀过程中,气体的压力直接传给活塞,完成有用的工作。当活塞下行时,燃烧产物的膨胀过程一直继续到排气阀打开为止(点 5),在膨胀终点,气缸内的压力降低到 $0.25 \sim 0.45 \text{ MPa}$,气体温度降低到 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ 。

第四冲程——排气过程。为了使下一个循环的新鲜空气再次进入,应先把气缸内的废气排出。在燃烧和膨胀过程末期,即活塞到达下止点前排气阀 d 开启。排气阀提前打开的角度 $\varphi_{5-5'}$ 约为下止点前 $20^\circ \sim 45^\circ$ 曲轴转角。这种安排,目的是为了在活塞下行到达冲程终点时,排气压力可以降至接近大气压力。这样可以保证排气时所遭受的背压不致很大。排气阀打开后,气缸内的气体压力下降至 $0.103 \sim 0.108 \text{ MPa}$,气体温度降到 $350 \sim 450^\circ\text{C}$ 。

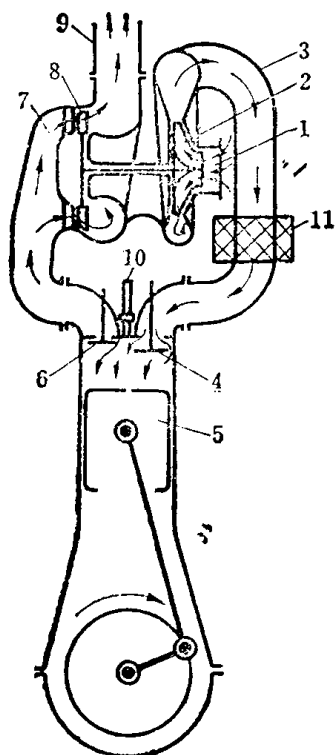
当活塞再次从下止点向上行时,气缸中的剩余废气被活塞推出,为了尽量把燃烧产物排除干净,排气阀的关闭设在上止点以后,排气阀迟后关闭的角度 $\varphi_{6-6'}$ 约为 $10^\circ \sim 15^\circ$ 曲轴转角。

在排气冲程之后,又开始了第一冲程,于是工作循环依照上述程序重复进行。

在图 1-2 下部还给出了相当于每一冲程的示功图,图中横坐标代表活塞行程(或气缸容积),纵坐标代表气缸内的压力。

二、四冲程增压柴油机基本工作原理

四冲程增压柴油机的工作原理基本上和四冲程非增压柴油机相同。主要差别在于气缸内的工质——新鲜空气不是直接从大气中吸入，而是利用专门设置的压气机（称为增压器）在高于大气压力的情况下把空气压入气缸。根据带动增压器方式的不同，组成不同的增压系统。目前用得最普遍的是由废气涡轮带动的增压器。装有这种增压器的柴油机称为废气涡轮增压柴油机。四冲程废气涡轮增压柴油机的简图如图 1-3 所示。从图上可以看出，除了柴油机本体以外，四冲程柴油机上还有废气涡轮增压器，



它由一个单级的离心式压气机 2 及一个单级废气涡轮机 8 组成。压气机与涡轮机一般都装在同一根轴上。涡轮是利用柴油机排出的废气来作功的，这机械功就用来驱动压气机。

新鲜空气经管 1 吸入压气机 2，在压气机中压缩到 $p_k \approx 0.13 \sim 0.3 \text{ MPa}$ 或更大些。在此压力下，空气经过中冷器 11 冷却后再经过进气阀 4 进入气缸（当 p_k 较低时则不用中冷器）。增压四冲程柴油机的第一、第二及第三冲程与非增压的相同。

第四冲程，即相当于燃烧产物的排气过程，此过程是在活塞上行及排气阀 6 开着的期间内进行的。废气从阀 6 排入排气管 7，之后进入涡轮机的喷嘴，废气经过喷嘴后推动涡轮机的叶轮旋转，同时带动离心式压气机作功。

三、柴油机的示功图

图 1-3 四冲程废气涡轮增压柴油机示意图

柴油机的工作循环用展开式示功图（又称 $p-\varphi$ 图）来表示（图 1-4）就特别清楚。这种示功图是利用示功器记录下来的在不同曲轴转角时的气缸内工质压力。示功图是研究柴油机工作过程的重要实验依据。从这种示功图上可以看出：

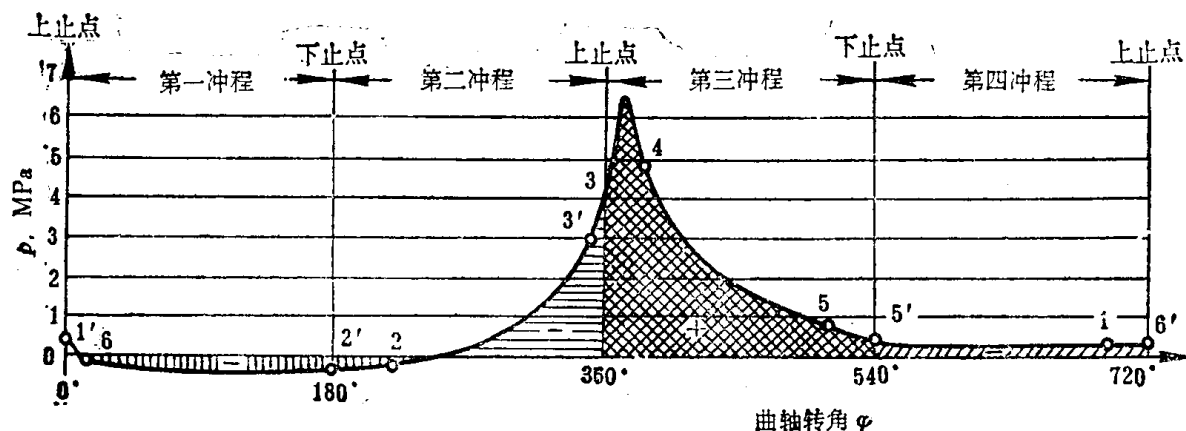


图 1-4 四冲程柴油机的展开式示功图

(1) 四冲程柴油机的一个工作循环是在 720° 曲轴转角内完成，也就是曲轴转两圈后完成的。

(2) 工作循环中的四个冲程, 只有第三个冲程, 即燃烧与膨胀过程是工作冲程, 即只有此冲程向外提供机械功。

(3) 其他三个冲程, 即第一、二及四冲程时, 气缸内进行的是一些必要的辅助性质的过程。完成这些辅助过程需要消耗能量。在单缸机上, 完成这些辅助过程所需的能量由储存在飞轮中的动能来供给。在多缸柴油机上则由其他气缸的工作冲程来提供。

根据示功图可以得知柴油机的功率的大小, 也可以了解到柴油机性能好坏的原因, 它在以下的有关章节中详细介绍。

四、四冲程柴油机实机举例

L20/27 柴油机, 如图 1-5 所示, 是一台四冲程中速柴油机, 由上海新中动力机厂生产。机型为直立式, 气缸直径为 20cm, 活塞行程为 27cm, 每缸功率为 100kW, 曲轴转速为 1000r/min, 平均有效压力 p_e 为 1.415 MPa, 燃油消耗率为 204g/(kW.h) 左右。整个系列有 4, 5, 7, 8, 9, 12V, 14V, 16V 及 18V 等机型, 功率范围为 400~1800 kW。

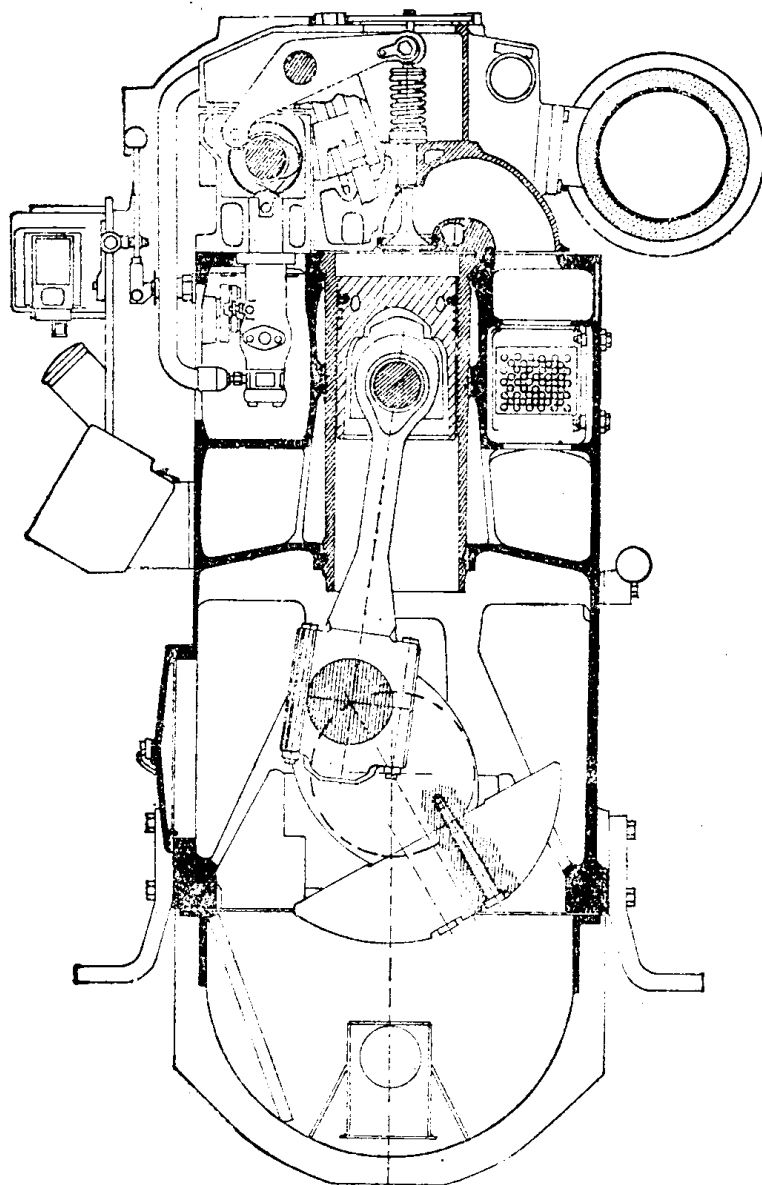


图 1-5 直立式 L20/27 发动机横剖面

L20/27 是不能反转、筒形活塞、带有废气涡轮增压器和空气中间冷却器的四冲程发动机。

L20/27 柴油机主要部件的结构如下：

机体是用灰铸铁整体铸造的，目的是提高其刚性。曲轴系悬挂式。主轴承盖自下方用螺栓和定位销紧固在机体上。薄钢板做的油底壳，用作日用机油箱，贮存全部机油。

气缸套用特殊铸铁浇铸而成，从上面压入机体，支承在机体上部，气缸套凸缘直接与机体相应的表面连接，并可自由地向下膨胀。机体上下二个导向段和O形密封圈，把冷却水腔与进气腔、进气腔与机体密封起来。

气缸盖用灰铸铁浇铸而成，用四只螺栓固定于机体上。气缸盖内装一只进气阀、一只排气阀和一只喷油器。

曲轴为整锻式，上面装有平衡块，使质量得到良好的平衡。主轴承和曲柄销轴承为滑动轴承，轴颈在两块薄壁轴瓦中转动。在曲轴的自由端装了传动气阀及喷油泵的齿轮。此外，还装上套筒弹簧式减振器。

连杆是模锻的，连杆大端切口垂直于连杆轴线。轴承盖用四只螺栓和螺母固定。

活塞。燃烧轻柴油和煤气时活塞是整体铝合金的，第一道气环槽有铸铁镶圈。烧重油时则采用组合活塞、球铁顶、铝裙。所有活塞均喷油冷却，冷却油从固定在机体上的喷嘴喷入冷却腔。

凸轮轴是单节或多节的，凸轮和轴颈与轴是整体加工而成的。凸轮轴安装在气缸盖高度上，使凸轮能直接驱动摇臂开闭气阀，而省去了挺杆。

喷油泵每缸一只，装在机体里面，倒挂在凸轮轴下方，通到喷油器去的高压油管的检查和维修也很方便。

调速器安装在发动机的操纵侧，通过燃油控制杆控制喷油泵的齿条位置。

发动机用强制润滑系统供给轴承以机油。气阀与喷油泵传动装置的凸轮接触部位以及正时齿轮的啮合部位，用喷嘴喷油润滑。摇臂和活塞销轴承用飞溅润滑。

气缸套和气缸盖用闭式系统的循环水冷却。进气空气中冷器有独立的冷却系统。

发动机的起动系统可选择电起动或用空气起动。

§ 1-2 二冲程柴油机的工作特点

一、二冲程柴油机的工作原理及其示功图

在二冲程柴油机中，进气、压缩、燃烧及膨胀、排气等四个过程在两个活塞冲程中完成，即曲轴每旋转一圈完成一个工作循环。

二冲程柴油机上没有专门的排气冲程和进气冲程。而排气与进气是在膨胀冲程末及压缩冲程初进行的。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的压力，把气缸中的剩余废气扫除掉。这个进气和扫气过程统称为“换气过程”。

二冲程柴油机的换气方式种类很多，但其工作原理基本相同。下面以直流扫气二冲程柴油机为例说明其工作原理。

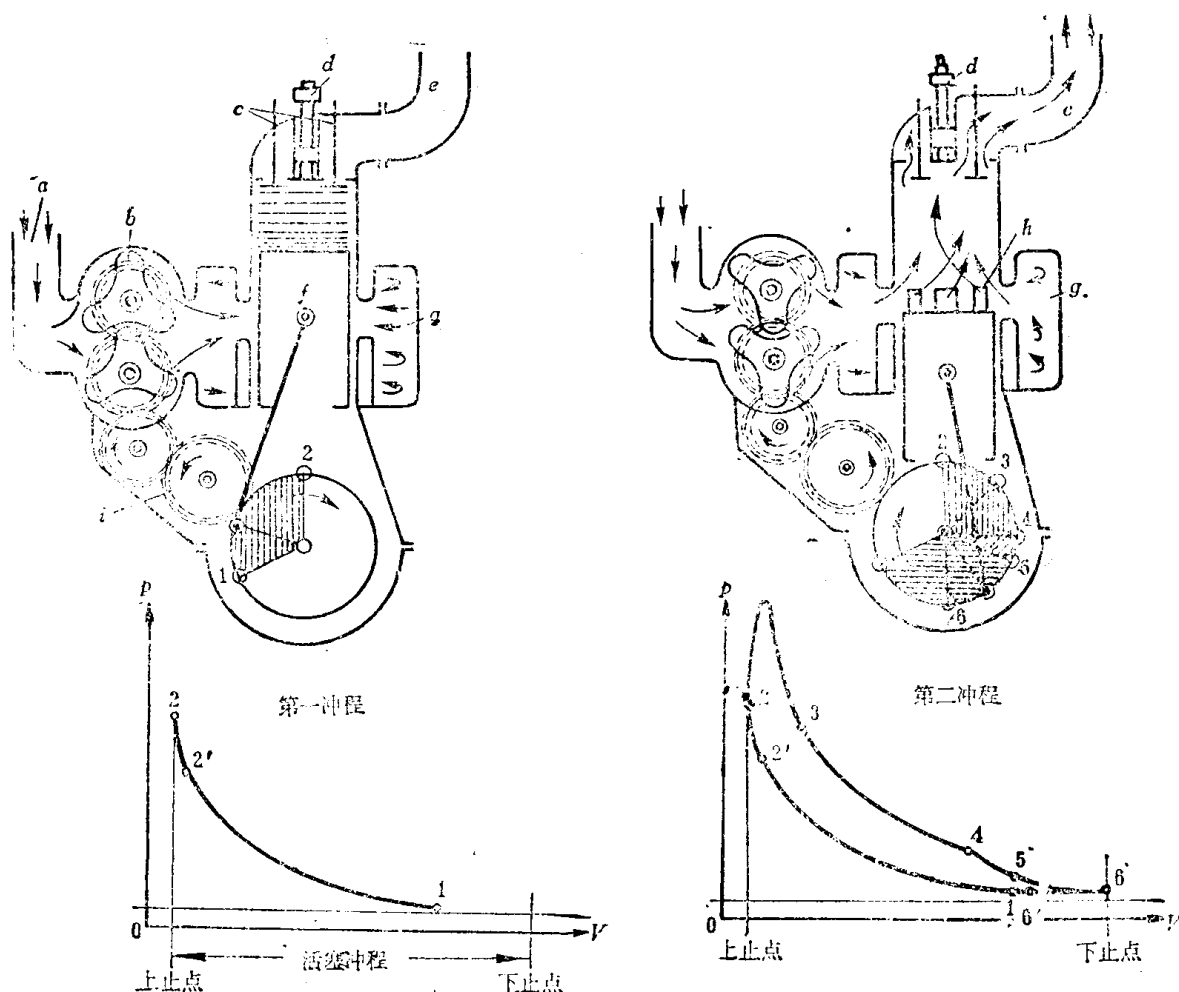


图 1-6 直流扫气二冲程柴油机工作原理图

图 1-6 为直流二冲程柴油机的工作原理图。

直流二冲程柴油机的气缸盖上只有排气阀，在气缸套的下部周围布置了一圈扫气口。这种柴油机的工作原理如下：

第一冲程——扫气及压缩过程。活塞由下止点向上移动，活塞在遮住扫气口之前，由扫气泵 *b* 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从排气阀 *c* 驱除。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(点 1)，气缸中的空气就开始被压缩，当压缩至接近上止点处(点 2') 开始喷油，接着着火燃烧。

第二冲程——燃烧膨胀及排气过程。燃油着火燃烧后，活塞由于高压燃气的推动而向下运动，对外膨胀做功，直到排气阀打开(点 4)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接近于扫气空气的压力，然后，扫气口开启(点 5)，扫气空气进入气缸，同时把气缸内的废气经排气阀排挤出去。扫气过程一直持续到下一冲程排气阀关闭(点 1)为止。

图 1-6 的下方为二冲程柴油机的示功图($p-V$ 图)。

二、二冲程柴油机实机举例

L35MC/MCE 型低速二冲程柴油机,如图 1-7 所示,是一台 80 年代的产品,它已由我国沪东造船厂根据丹麦 B&W-MAN 柴油机有限公司的专利许可证进行制造。该发动机的气缸直径为 350mm,活塞行程为 1050mm,转速为 200r/min。每缸功率为 500kW,平均有效压力为 1.48 MPa,燃油消耗率为 176.8~179.5 g/(kW·h)。该 L-MC 系列机除有缸径为 350mm 外,还有 500, 600, 700, 800 及 900mm 等缸径的发动机。整个系列的功率范围为 1470~22000 kW。

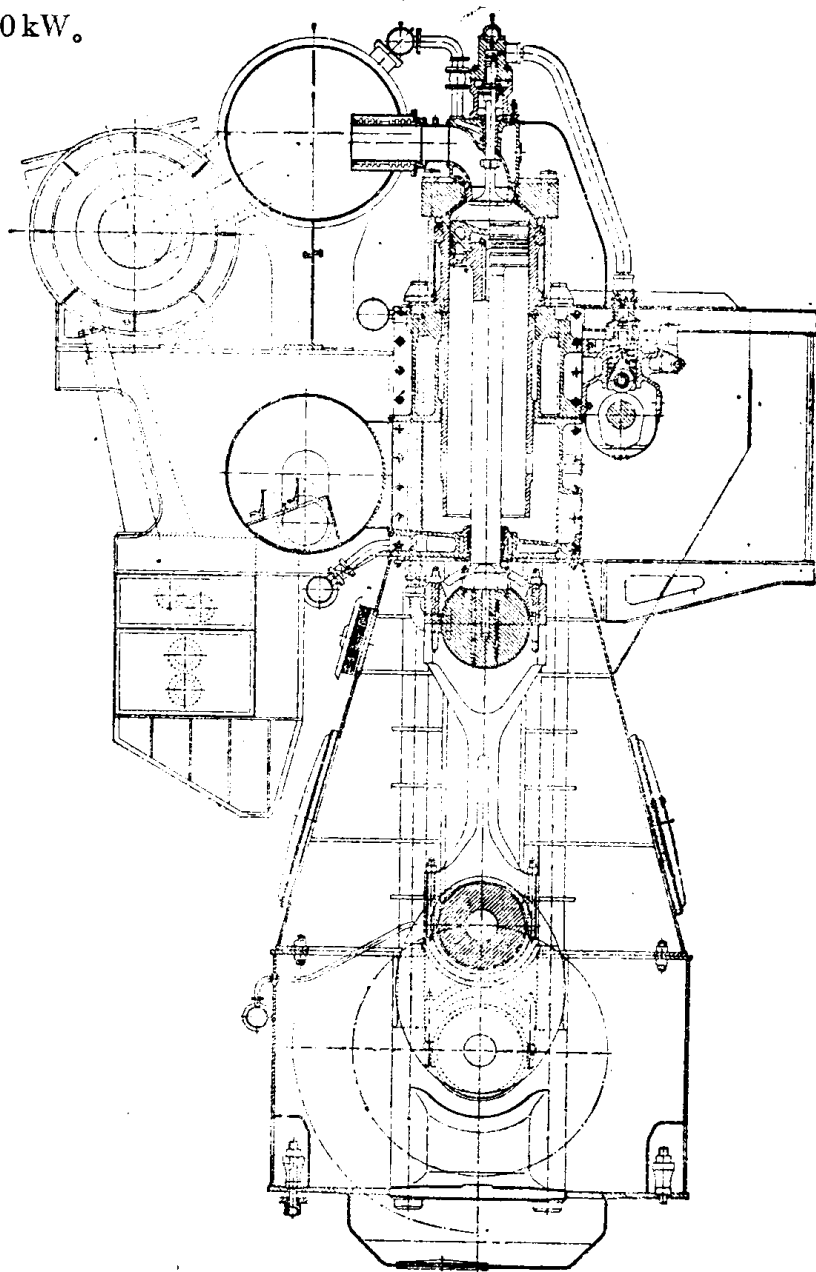


图 1-7 L35 MC/MCE 二冲程低速柴油机横剖面图

该机的主要件结构如下:

机座是整体式结构,是由高的纵向焊接构件与铸钢主轴承焊接而成。

主轴承是由钢板浇铸白合金轴瓦组成。

机架为整体式铸铁结构。在前端布置有链传动装置。机架在每只气缸的凸轮轴侧和排气侧都装有铰链门,在排气侧装有防爆门。十字头导板与铸铁机架为一体结构。机架用贯穿螺栓与机座和气缸体连结成一体。

气缸体为整体的铸造结构,由铸铁制成。气缸套由合金铸铁制成,并籍低置凸肩装在气缸体。气缸套的上部套有单个铸铁冷却水套,气缸套的下部有扫气口,中部钻有气缸润滑油孔。

气缸盖用钢整体制成,并钻有很多冷却水孔。气缸盖的中间装一个排气阀。此外,气缸盖上装了两个喷油器,安全阀及起动阀等。

排气阀组件由阀壳和气阀组成,阀壳用铸铁制成并由水冷却,阀壳的底部和阀座上堆焊专用耐热耐磨合金。气阀由耐热钢制成,在阀面上也堆焊专用耐热耐磨合金。排气阀用液压开启,由空气“弹簧”关闭。排气阀在工作时会旋转,此旋转运动是靠排气冲击设置在排气阀杆上的导流片来完成。

曲轴,包括推力盘是整体连续纤维锻造而成。曲轴的尾端有法兰供安装盘车飞轮及中间轴用,首端有法兰供安装链轮及调频飞轮。曲轴通过调频飞轮和盘车飞轮上的配孔来平衡。

连杆由钢锻制而成。十字头轴承及曲柄销轴承都由薄壁钢瓦组成,润滑油通过十字头和连杆的油路供给。

活塞头由耐热钢制成,并有四道环槽,每个环槽的上下两面都镀有铬。活塞裙由铸铁制成,并经表面处理,以有利于柴油机的磨合。活塞杆系锻钢制成,活塞杆有法兰与十字头连接。杆内有中孔,它和冷却油管 and 水平冷却油路相连接,形成冷却油的进出管路。十字头由锻钢制成,并置有用于分配冷却油和润滑油的油路。

每个气缸有一个喷油泵,它由燃油凸轮驱动。喷油提前角通过增加或减少顶盖和泵体之间的垫片进行调整。

凸轮轴由曲轴通过链条驱动。链传动有链条张紧机构和几个支承长链条的导轨。凸轮轴装有一个气动换向机构,它可使凸轮轴转到对应于曲轴旋转方向的位置。

该柴油机装有一台 VTR304 的 BBC 涡轮增压器。增压器直接从机舱通过进气消声器吸入空气。由增压器压出的空气经冷却、分离水分后进入气缸。该机采用定压增压系统。

该柴油机还配装有两台电动鼓风机,一台为主鼓风机,另一台为应急鼓风机。柴油机起动前,开动主鼓风机,保证在起动阶段能充分清扫气缸,从而提供安全起动的最佳条件。在柴油机运行期间,每当负荷下降到(30~40)%左右,主鼓风机便自动启动,并将继续工作到

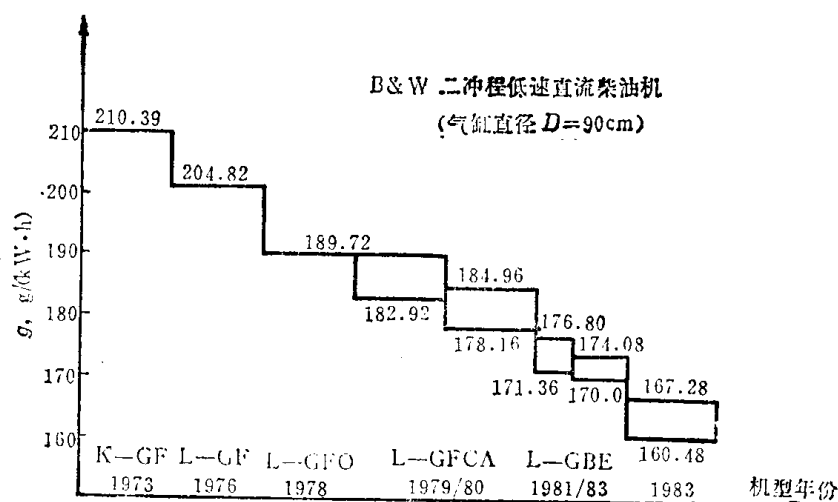


图 1-8 B&W 低速柴油机的发展趋势

表 1-1 国内外典型柴油机油技术参数表

类别	柴油机型号	国别	冲程数	D		S	N _e /i		转速 n r/min	P ₀		C _m m/s	p _c ·C _m		P _z MPa	g _z g/(kW·h)	增压方式
				mm	mm		kW	mm		MPa	MPa		MPa·m/s	MPa			
高速机	经 12V180 ZC	中	四	180	200	200	73.5	1250	1250	0.638	0.638	12.32	11.569	—	—	—	机械增压
	12V190 Z	中	四	190	210	210	66.2	1500	1500	0.990	0.990	10.50	10.392	—	—	—	脉冲增压
	160V240 ZL	中	四	240	275	275	133.8	1100	1100	1.569	1.569	10.08	15.843	—	—	—	定压增压
	42—160	中	四	160	170	170	70	2200	2200	1.275	1.275	12.46	15.882	—	—	—	—
	PA6—280	法	四	280	290	290	303.8	1100	1100	1.843	1.843	10.63	19.61	0.245	215	—	谐振复合
低速机	D2566 MK	西德	四	125	155	155	39.2	2200	2200	1.125	1.125	11.37	12.794	—	220	—	增压中冷
	MTU 396	西德	四	165	185	185	120	2100	2100	1.730	1.730	13.0	22.5	—	—	—	—
	ESDZ75/160	中	二	750	1600	1600	1471	115	115	1.088	1.088	6.0	6.528	0.210	—	—	脉冲增压
	ESDZ 43/82C	中	二	430	820	820	368	200	200	0.927	0.927	5.47	5.071	0.179	204	—	脉冲增压
	ESDZ 76/160	中	二	760	1600	1600	1103	115	115	0.857	0.857	6.0	5.142	0.167	—	—	定压增压
中速机	L35MC/MCE	中,丹	二	350	1050	1050	500/430	200	200	1.48/1.23	1.48/1.23	7.0	10.36/8.96	0.210	179.5	—	定压增压
	L60MC/MCE	中,丹	二	600	1944	1944	1530/1330	110	110	1.50/1.30	1.50/1.30	7.13	10.635/9.269	—	165.9	—	定压增压
	18V330 E	中	二	390	480	480	490	490	490	—	—	—	—	—	—	—	脉冲增压
	12VE 230 ZC	中	二	230	300	300	135	750	750	0.869	0.869	7.50	6.524	—	—	—	机械增压
	新 6—300 ZC	中	四	300	380	380	123	400	400	1.388	1.388	5.08	7.112	—	—	—	脉冲增压
	PC 2—5	中法	四	400	460	460	478	520	520	1.913	1.913	7.97	15.206	0.249	—	—	脉冲增压
	6-50 GZC-III	中	四	250	270	270	123	600	600	1.205	1.205	5.40	6.507	—	—	—	脉冲增压
	L 20/27	中德	四	200	270	270	100	1000	1000	1.415	1.415	9.0	12.735	—	—	—	脉冲增压
	D 39	中	二	390	450	450	245	500	500	0.549	0.549	7.5	4.118	—	—	—	机械增压
	6—320 ZC	中	四	320	440	440	162	400	400	1.373	1.373	5.87	8.057	—	—	—	脉冲增压
低速机	PC—4	法	四	570	620	620	1103	400	400	2.088	2.088	8.27	17.25	0.250	—	—	多脉冲
	TM 620	荷	四	620	660	660	1250	427	427	1.768	1.768	9.42	16.67	0.294	—	—	脉冲增压

注: N_e/i 为单缸功率。

负荷再次回升到(40~50)%以上为止。

该柴油机可使用 100° F 雷氏 No1 粘度为 3500s 的重油。

图 1-8 为 B&W 公司二冲程柴油机近十多年来发展中的机型、增压系统的形式、燃油消耗率变化的趋势。从此图中也可对二冲程低速大功率柴油机的发展倾向有一概括的了解。在这十多年中柴油机的燃油消耗率得到大幅度的降低,从 1973 年的 210.4 g/(kW·h)降到 1983 年的 160~167 g/(kW·h)。增压形式则由脉冲系统改为定压增压系统。

§ 1-3 四冲程与二冲程柴油机的比较

四冲程与二冲程柴油机各有其特点,各适用于不同的场合,它们在特定的领域中得到发展,在表 1-1 上列出了国内外比较典型的柴油机的主要参数,从中略可了解各类柴油机的工作范围。

二冲程与四冲程柴油机相比有如下一些优点:

(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(弯流扫气)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,这一类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,因而它的转速要比四冲程的均匀,这样可使用较小的飞轮。

二冲程柴油机的缺点如下:

(1) 换气过程没有四冲程柴油机进行得那样完善,气缸内废气的清除和新鲜空气的充入都较四冲程来得困难;

(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,要随同废气一起排出一部分,这就增加了空气的消耗量;

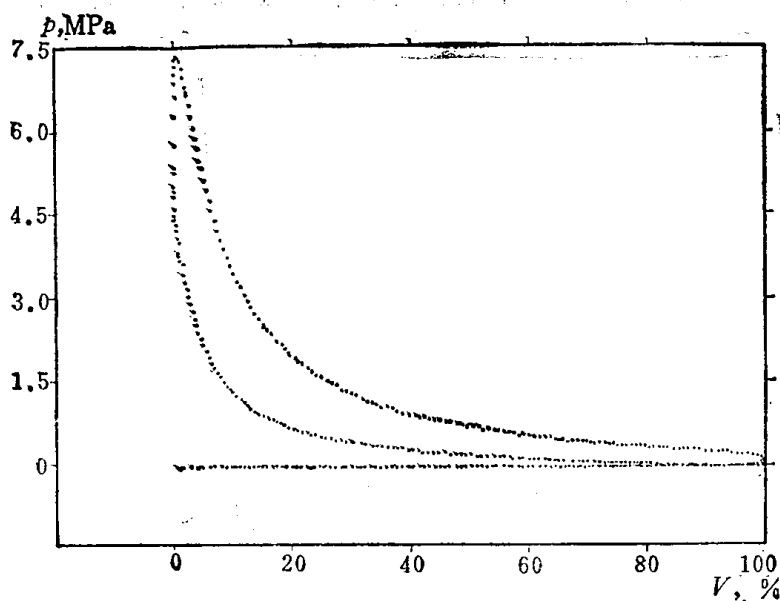
(3) 二冲程柴油机由于循环进行得更为频繁,气缸周围零件冷却较困难,因而热负荷比较高。

柴油机的实际循环及性能指标

§2-1 柴油机的实际循环

柴油机的实际工作循环是与热力学所研究的理论循环不同的。实际柴油机中燃料的喷射与燃烧放热,在理论循环中以向工质加热的过程来代替,并且把加热过程归结为定容-定压加热模式。实际压缩及膨胀过程中,缸内气体与气缸等零件的热交换在理论循环中是不考虑的,因而压缩及膨胀均视作绝热过程。由于燃烧放热过程为加热所替代,理论循环研究的焦点就集中在找出那些主要的因素——加热条件、热量分配与压缩比是如何影响循环的效率的。而实际工作循环要讨论的是具体的压缩、燃烧、膨胀、缸内工质更换等过程。通过有关这些过程的质量守恒和能量守恒方程可以看出,各有关因素对这些过程的影响都会在柴油机气缸内的压力变化上有所反映。换句话说对整个柴油机的工作循环进行分析研究,可以从对缸内压力变化进行分析做起。因此测量及记录柴油机气缸内的压力变化一直是柴油机研究工作中最基本的一环。

记录下来的气缸压力变化有两种表现形式。其一为缸内压力随气缸容积而变化的图形如图 2-1 所示,通常叫作 $p-V$ 图,图上曲线所包含的面积为缸内工质对活塞所作的指示功,所以 $p-V$ 图又叫作示功图。其二为缸内压力随曲轴转角而变化的图形如图 2-2 所示,叫作 $p-\varphi$ 图,在图形上它与 $p-V$ 图不同,不成封闭的回环而是伸展开的一条曲线,它实际上说明的是缸内压力随时间而变化的规律,虽然并不能直接说明指示功的大小,但依照 $p-V$ 图叫作示功图的作法,有把 $p-\varphi$ 图叫作展开式示功图的。根据柴油机曲柄连杆机构的几何关系可以求得气缸容积与曲轴转角的关系,因此 $p-\varphi$ 图与 $p-V$ 图是可以互相转化的。由于测量仪器的演变,目前在文献资料中几乎全都用 $p-\varphi$ 图来记录缸内的压力变化,已难得见

图 2-1 $p-V$ 图