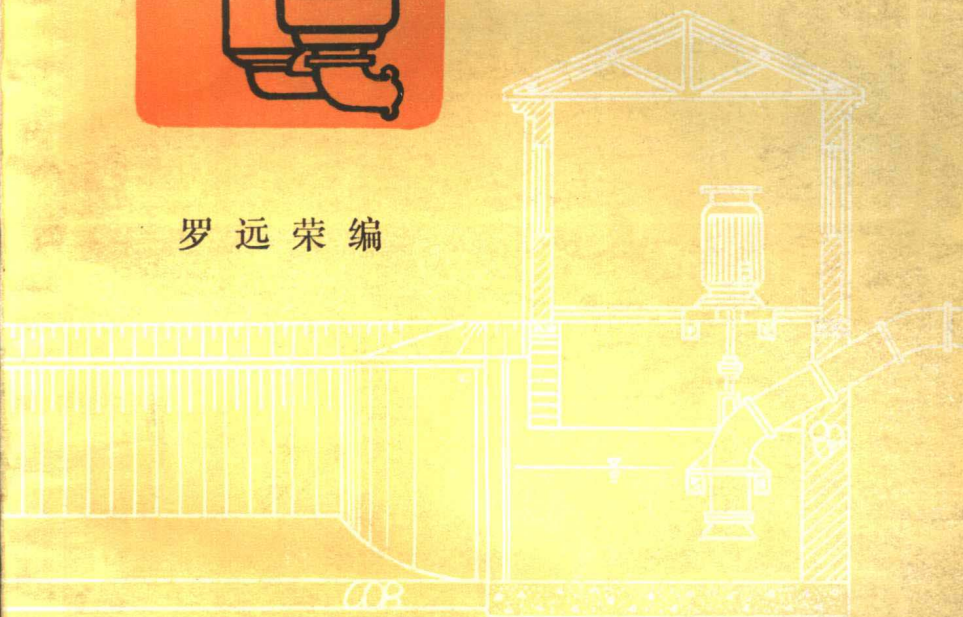




机电排灌培训教材

罗远荣 编



柴油机

水利电力出版社

内 容 提 要

本书结合农村常见机型，对柴油机及其零部件的工作原理、结构型式、使用保养、换件维修和故障排除等内容作了通俗系统的介绍。

本书主要供培训机电排灌站技工及管理人员使用，也可供具有初中文化的广大农机人员及有关同志自学参考。

机电排灌培训教材

柴 油 机

罗远荣编

(根据水利出版社纸型重印)

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 10.375印张 230千字

1982年7月第一版

1984年12月新一版 1984年12月北京第一次印刷

印数 00001—15540 册 定价 1.10 元

书号 15143·5564

出版者的话

建国以来，我国机电排灌事业发展很快，在农田抗旱排涝中发挥了显著作用。为了提高机电排灌站职工的技术管理水平，水利电力部农田水利司与水利电力出版社共同组织编写了一套比较通俗实用的“机电排灌培训教材”。这套培训教材共有《柴油机》、《农用水泵》、《机械基础》、《电工基础及仪表》、《电动机与电气设备》、《机电排灌站经营管理》等六个分册。其中《农用水泵》分册采用原水利出版社1980年出版的《农用水泵》第二版。

《柴油机》分册是山东工学院罗远荣副教授执笔编写的；山东省内燃机研究所高级工程师陈允杰、水利水电科学院高级工程师朱岩对全书进行了审查并提出了宝贵意见。

我们热忱地希望广大读者在使用本书及这一套培训教材时，将发现的问题和改进意见随时告诉我们，以便再版时修改补充。

一九八二年四月

目 录

出版者的话

第一章 柴油机的工作原理	1
第一节 工作循环	1
第二节 换气过程	13
第三节 燃烧过程	19
第四节 混合气形成与燃烧室	23
第五节 主要技术规格	33
第六节 使用特性	40
第二章 柴油机的主体结构	45
第一节 气缸体与气缸盖	45
第二节 活塞连杆组	51
第三节 曲轴飞轮组	65
第四节 平衡轴	73
第五节 轴承	76
第三章 配气机构	81
第一节 配气机构的作用与组成	81
第二节 凸轮轴与正时齿轮	83
第三节 气门中间传动件	89
第四节 气门组件	93
第五节 配气机构的保养	96
第六节 进排气系统	107
第四章 供油与调节	113
第一节 供油系统的组成与分类	113
第二节 喷油泵	119

第三节	喷油器	146
第四节	柴油滤清器和输油泵	150
第五节	调速器	158
第六节	供油机组的使用调整	175
第七节	喷油过程	184
第五章	冷却与润滑	191
第一节	冷却系统的作用与形式	191
第二节	冷却系统的主要部件	195
第三节	冷却用水与水垢处理	200
第四节	摩擦、磨损与润滑的基本知识	203
第五节	润滑系统的功用与组成	206
第六节	润滑系统的主要部件	212
第七节	润滑油、脂的牌号与选用	219
第六章	起动装置	224
第一节	人力起动	225
第二节	压缩空气起动	226
第三节	电动机起动	228
第七章	使用与维修	260
第一节	机器的拆装和保养	260
第二节	主要零件的配合间隙及磨损极限	279
第三节	使用操作	292
第四节	柴油机常见故障的判断与处理	298
第五节	怎样节省油料	318
第六节	如何延长机器的使用寿命	323
参考文献		326

第一章 柴油机的工作原理

第一节 工作循环

一、柴油机的组成

柴油机是一种常见的热机，是利用柴油在其气缸中燃烧，使气体膨胀推动活塞做功，将热能转变为机械能的一种动力机械。为使柴油机连续工作，必须使已经燃烧作过功的废气排出气缸，然后引进新气，再经压缩，提高气体工质的温度和压力后，重新喷进柴油，自行发火燃烧，再次膨胀做功。这些动作周而复始地不断重复，一次再次的循环，就能维持柴油机持续地工作。

为了实现上述工作循环，柴油机必须具备下列机构和系统。

1. 主体机构

主体机构，又叫曲柄连杆机构，如图 1-1 所示。它由气缸体、活塞、连杆、曲轴、飞轮等零件组成。它的作用是将活塞的往复运动，变成曲轴的旋转运动，承受气体工质的膨胀并对工质进行压缩，以完成热能和机械能的相互转变。

曲轴转动通过连杆带动活塞上下移动。曲轴每转一转，活塞就一上—

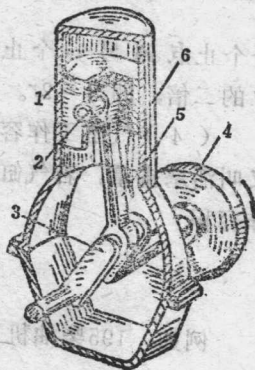


图 1-1 曲柄连杆机构

- 1—活塞；2—活塞销；
3—曲轴；4—飞轮；5—
连杆；6—气缸体

下完成一个来回。当曲轴均匀转动时，活塞在气缸内移动速度是不均匀的，中间快，两头慢。在两端改变运动方向的时候，速度等于零。这种速度变化，对组织工作循环是有利的，便于过程变换和组织燃烧过程。但是活塞移动速度的变化，就要产生惯性力，引起机器的振动。

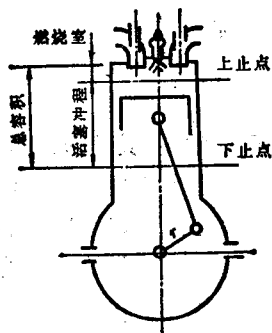


图 1-2 曲柄连杆机构示意

下面介绍一下与曲柄连杆机构（图 1-2）有关的几个名词术语。

（1）上止点 活塞能达到的最高位置，即离曲轴中心最远的位置。

（2）下止点 活塞能到达的最低位置，即离曲轴中心最近的位置。

3）活塞冲程 活塞从一个止点到另一个止点的距离。活塞冲程 S 等于曲柄半径 r 的二倍，即 $S = 2r$ 。

（4）气缸工作容积 指上、下止点之间的气缸容积，又叫活塞排量，若气缸直径为 D ，活塞行程为 S ，则气缸工作容积

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

例如：195柴油机 $D = 95$ 毫米， $S = 115$ 毫米，故

$$V_h = \frac{\pi}{4} \times 0.095^2 \times 1.15 = 0.815 \text{ 升}$$

（5）燃烧室 当活塞处于上止点时，活塞顶上部的空间叫燃烧室，它的容积代号为 V_c 。

(6) 气缸总容积 气缸工作容积加上燃烧室容积就是气缸总容积, 代号 V_a , 即

$$V_a = V_h + V_c$$

(7) 压缩比 气缸总容积与燃烧室容积之比, 代号 ε , 即

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

(8) 活塞平均速度 指每秒钟活塞平均移动的距离, 代号 C_m , 若曲轴转速为 n 转/分, 则每秒钟活塞移过的冲程数为 $\frac{2n}{60}$, 故

$$C_m = \frac{2n}{60} S = \frac{nS}{30}$$

例如, 95系列柴油机额定转速 $n = 2000$ 转/分, $S = 115$ 毫米, 故

$$C_m = \frac{2000 \times 0.115}{30} = 7.67 \text{ 米/秒}$$

现代农用高速柴油机的活塞平均速度一般不超过每秒12米。

2. 配气机构及进排气系统

它由空气滤清器、进排气管道、排气消音器、进排气门及其控制机构组成。其功用是把废气排出气缸, 并让新气进入。对换气质量起关键作用的是进排气门及其控制机构, 合称配气机构。四冲程柴油机的配气机构见图 1-3。曲轴和凸轮轴之间用正时齿轮传动, 凸轮通过推杆摇臂等传动件使气门按时开闭。

3. 供油系统

柴油机的供油系统如图 1-4 所示。包括油箱、柴油滤清

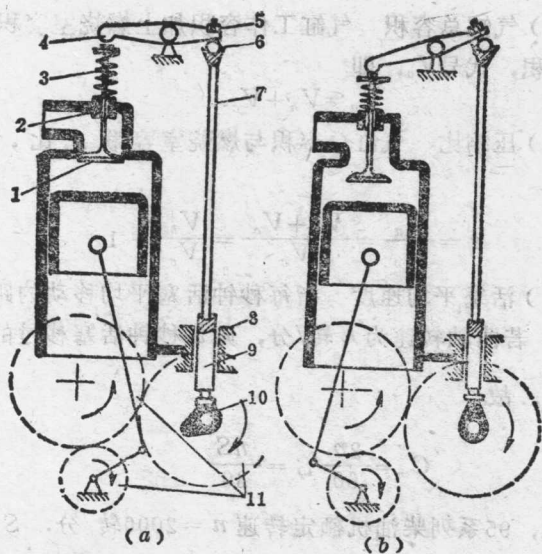


图 1-3 配气机构工作状态

(a)气门处于关闭状态；(b)气门处于开启状态

1—气门，2—导管，3—弹簧，4—摇臂，5—锁紧螺母，6—调整螺钉，
7—推杆，8—挺柱导管，9—挺柱，10—凸轮轴，11—传动齿轮

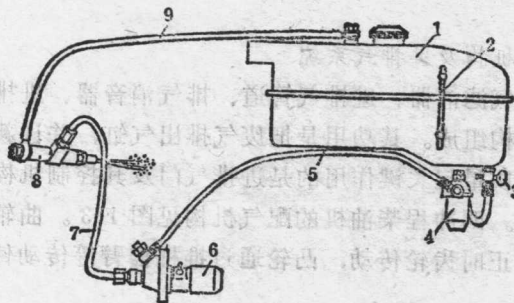


图 1-4 供油系统

1—油箱，2—油面管，3—开关，4—柴油滤清器，5—输油管，6—喷
油泵，7—高压油管，8—喷油器，9—回油管

器、油管、喷油泵等部件。用以定时定量的向燃烧室供给柴油，以满足燃烧过程的需要。

4. 冷却系统

向气缸和气缸盖周围的水套中供水，以降低同高温燃烧气体接触零件的温度，避免烧坏。

5. 润滑系统

向运动零件的表面供给机油，使运动表面变得滑溜，减小摩擦阻力，防止零件过快磨损，并起一定的冷却和密封作用。

6. 起动装置

用来使柴油机由停机状态进入工作状态，有人力起动、电动机起动和压缩空气起动等多种类型。

二、单缸四冲程柴油机的工作循环

活塞运行四个冲程，即曲轴转过两转，完成一个工作循环的柴油机，叫做四冲程柴油机。单缸四冲程柴油机的工作循环如图 1-5。现结合示意图来分析工作循环中的诸过程。图中四个画面分别表示四个冲程开始时的活塞位置。

1. 进气冲程

曲轴转第一个半转，活塞由上往下移动，进气门打开，排气门关闭，气缸内容积增大，压力降低，空气由进气管道流入气缸，进气过程开始[图1-5(a)]。

为了使气缸内不出现过低的压力，减小活塞下行的阻力，进气门是提前打开的。当活塞由上止点下行时，进气门已开大，空气能顺利流入。活塞到达下止点时，气缸内的压力仍低于大气压，由于气流的惯性，空气还会继续流向气缸。为了多进气，进气门是当活塞转过下止点之后一段时间才关闭的。由于进气门提前打开，延迟关闭，进气门开启持

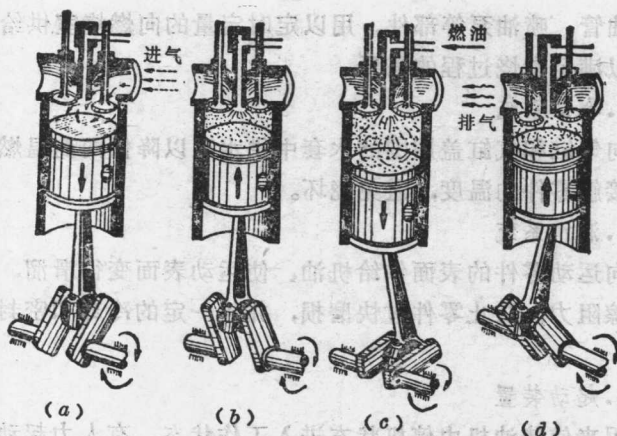


图 1-5 单缸四冲程柴油机工作过程

(a) 进气; (b) 压缩; (c) 作功; (d) 排气

续期占了曲轴转角的大半转。但是值得注意的是，在进气门刚刚开启时气缸内的压力通常还高于大气压，并且活塞还在继续上行，因此新气不能立即流入。要等曲轴转过上止点活塞下行一段距离，气缸内压力降低低于大气压力后，实际进气过程才会开始。故进气门打开的时刻和实际开始进气的时刻并不完全一致，通常是前者较早，后者较晚。

2. 压缩冲程

曲轴转第二个半转，活塞由下往上回行，进气门关闭（排气门仍处于关闭状态），工质被压缩，开始了压缩过程[图1-5(b)]。因为机器转动得很快，压缩过程是接近绝热的，此时工质的压力和温度逐渐升高。表明工质压缩程度的主要指标是压缩比。柴油依靠压缩空气自身的温度引燃，因此柴油机都采用较大的压缩比，通常压缩比 $\varepsilon = 16 \sim 20$ 。压缩终点的压力一般为 $30 \sim 50$ 大气压；温度为 $500 \sim 700^\circ\text{C}$ 。

这一温度比柴油的自燃温度（ $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ）要高得多，所以能保证喷入的雾状柴油在与空气混合后迅速着火燃烧。

3. 燃烧和膨胀冲程

曲轴开始转第二转，活塞重新由上止点向下止点运动，开始了第三冲程[图1-5（c）]，在这一冲程里要完成燃烧和膨胀两个过程。为使燃烧后的气体能够充分膨胀，达到少烧油多做功的目的，即提高机器的热效率。燃烧过程最好在上止点附近完成，因此第二冲程结束之前，柴油就应开始喷入气缸，以便适时开始燃烧过程，使曲柄转过上止点以后不多的角度，燃烧过程能够基本结束。喷油开始于上止点之前的曲轴转角，称为喷油提前角，一般在上止点之前十几度。当活塞到达上止点时，约有半数左右的油量喷入气缸，喷油一般在上止点之后十几度结束。燃油进入气缸后，经过蒸发及与热空气混合，隔一个很短的时间就能着火。一般燃烧开始于上止点前数度，在上止点后 $30\sim 40$ 度燃烧过程基本结束。由于燃烧过程放出大量的热，工质的温度和压力急剧升高，最高燃烧压力达 $60\sim 80$ 公斤/厘米²，温度达 $1700\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 。高压气体膨胀，推动活塞下行做功，因此第三冲程又称工作冲程。

4. 排气冲程

膨胀冲程末期活塞到达下止点之前，排气门提前打开。此时气缸内的气体具有 $3\sim 5$ 大气压，会很快自行排出气缸，使气缸内的压力迅速降低，称自由排气。排气门在曲柄转到下止点之前开启的角度，称排气提前角，一般为 $40\sim 60$ 度。排气门早开，就保证了曲轴转第四个半转。活塞上行时，气缸内的压力很低，接近于大气压力，减小了活塞回行的运动阻力。活塞继续上行，将气缸内的废气强行挤出，称为强制

排气[图1-5(d)]。为了使废气尽可能干净地排出气缸，活塞到达上止点时排气门还留有少量的开度，待到活塞移过上止点之后一个角度才关闭，这一角度称排气延迟角。排气过程也占有曲轴大半转。排气平均温度一般为 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ ，它是燃烧完善程度和进气量多少的综合衡量指标。排气温度低，表示柴油机工作过程较为完善，燃烧迅速及时，进气量较大。

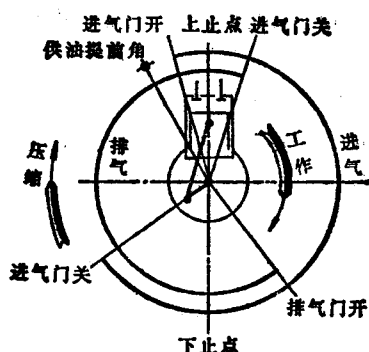


图 1-6 四冲程柴油机一个工作循环的安排

排气过程结束之后，燃烧室内还存有少量的废气，称为残余废气。这些废气要掺混到下一个循环进入的新气中去。为了多进气，残余废气越少越好。

在四冲程柴油机中，上述工作循环诸过程在曲轴两转中的安排，见图1-6。

由上述可知，在活塞的四个冲程中，只有一个冲程是作功的，其余三个冲程都是准备冲程。也就是说，只在一个冲程中活塞产生推力，其余三个冲程不仅不对外作功，而且还要消耗能量。曲轴能够不停地转动，并输出扭矩，主要依靠工作冲程中将一部分能量预先储存在飞轮中，再借飞轮的惯性供给其余三个冲程需要的能量，所以柴油机都有一个飞轮。

为了保证换气过程的实现，在每一个循环中，进排气门必须定时地各打开一次，而且只能各打开一次。所以控制气

门开闭的凸轮轴（用单凸起的凸轮）每一循环只应转一转，即为曲轴转速的二分之一。因此凸轮轴正时齿轮的齿数总是比曲轴上正时齿轮的齿数多一倍。为了实现燃烧过程，在每一循环中，必须喷油一次，所以控制喷油的油泵轴应为曲轴转速的二分之一，因此喷油凸轮有可能与配气凸轮做在同一根凸轮轴上。

三、多缸四冲程柴油机工作过程的特点

多缸柴油机由几个气缸组成。排灌机械中比较常见的多缸柴油机有两缸、四缸和六缸几种。三缸机和五缸机用得较少。这些气缸通常都排成一行，称为直列多缸机。随着缸数增多，机器的功率相应增大。在多缸柴油机中，每个气缸都与单缸机所完成的工作过程相同。但各缸的燃烧膨胀等冲程都是错开一定的角度轮流进行的。不同时刻，由不同的气缸向曲轴发出推力，所以多缸机运转起来比较均匀平稳。

四缸柴油机工作过程如图1-7所示。图中第一缸为进气冲程开始；第二缸为压缩冲程开始；第三缸为排气冲程开始；第四缸为工作冲程开始。这样安排使曲轴每旋转半转都有一个气缸处于工作冲程，使曲轴每半转里都受到推动力。这样输出扭矩比较均匀，曲轴就不会象单缸机那样，要依靠一个老大的飞轮的惯性使其稳定。另外，这样安排使得凸轮轴上的凸轮轮流起作用，驱动凸轮轴的力矩也比较均匀，并不需要单缸机的四倍。该图还表明，在多缸机中各缸的燃烧，并不是从一端到另一端顺次进行，而是尽量避免相邻两缸接连发火，最好使一缸发火后相隔较远的气缸接着发火。这样作可减小曲轴主轴承的受力，使曲轴受力更加均匀，因而使发动机运转更加平稳。例如，四缸机的发火次序一般为1-3-4-2，即第一缸发火后，然后依次第三、第四和第二缸

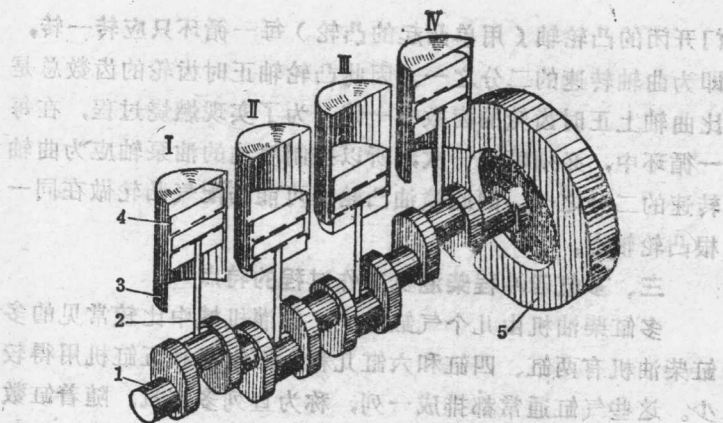


图 1-7 四缸机工作过程

1—曲轴；2—连杆；3—气缸；4—活塞；5—飞轮

发火。也有的四缸机采用1-2-4-3的发火次序。

按1-3-4-2发火次序工作的四缸机各缸冲程交替顺序如表1-1所示。

表 1-1 四缸机各缸冲程交替表

曲轴转角	各缸冲程安排			
	1	3	4	2
0°~180°	进气	排气	工作	压缩
180°~360°	压缩	进气	排气	工作
360°~540°	工作	压缩	进气	排气
540°~720°	排气	工作	压缩	进气

六缸机的发火次序为1-5-3-6-2-4或1-4-2-6-3-5。

若多缸发动机有 i 个气缸，则发火间隔角应为

$$\varphi = \frac{2 \times 360^\circ}{i} = \frac{720^\circ}{i}$$

四缸机的间隔角 $\varphi = \frac{720^\circ}{4} = 180^\circ$ ，六缸机的间隔角 $\varphi = \frac{720^\circ}{6} = 120^\circ$ 。

上述四缸机和六缸机各缸发火间隔都是均匀的，但是两缸机就有所不同。为了照顾到曲轴的平衡，两缸机的曲轴总是作成一个拐向上，另一个拐向下，这样发火间隔就不是均匀的。一缸发火后，曲轴转过半转（即转过 180° ）二缸发火，曲轴再转一转半（ 540° ）一缸才再发火，这种发火顺序称为1-2-0-0。也有采用1-0-0-2次序的，即一缸发火后，隔 540° 二缸才发火，然后再隔 180° ，一缸又发火。

气缸编号习惯上都是按自由端往飞轮端的顺序。

四、从示功图看工作循环

可以利用气缸内工质的压力随容积而变化的关系来分析柴油机的工作循环。这种变化关系可在由两条垂直相交直线组成的直角坐标上，以曲线形象地表示出来。横座标表示气缸容积的变化，纵座标表示工质压力的变化。这种工质压力随容积的变化曲线就叫做示功图（即 $P-v$ 图）。它可以用实验的方法测出。由于气缸中气体容积取决于活塞所处的位置，所以示功图也就反映了活塞在不同位置时气缸内气体压力的变化情况。

图1-8是一个四冲程柴油机的实际示功图。当进气冲程开始，活塞从上止点向下止点移动时，由于气缸内残留有上一循环未排净的废气。所以在活塞向下移动的初期，这些压力高于大气压的废气首先膨胀降压。当活塞继续下行，气缸

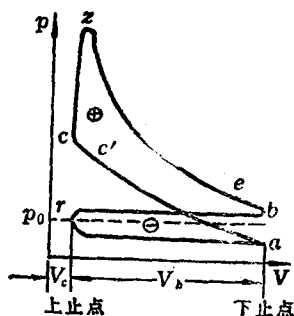


图 1-8 四冲程柴油机的示功图

内的压力降到稍低于大气压时，新鲜空气才开始流入气缸。由于空气在流动时要受到进气系统的阻力，所以在整个进气冲程中气缸内的压力一般都低于大气压，进气压力在图上用 ra 曲线表示。由于气缸壁面和废气的温度都较高，所以进入气缸后的空气也受热，它的温度比外界高些。

进气冲程之后，活塞由下止点向上移动，开始压缩过程。工质受到压缩后，压力和温度不断升高，如曲线 ac 所示。当压力上升到 c' 点时，柴油喷入气缸，燃烧过程开始。此时活塞临近上止点，气缸容积缩小的速率逐渐减慢，而工质的温度和压力则剧烈上升，并很快达到最大压力，开始推动活塞下行，即达图上的 z 点。由于燃烧有一个过程，所以在 z 点之后燃烧还要延续一段时间，正是在这段时间内活塞开始下行，气缸容积逐渐增大，但由于燃烧不断补充进来的热量，使缸内压力不致很快降低。示功图上的 $c'z$ 段曲线，只是表示燃烧过程的开始部分。燃烧过程中，由于柴油中的碳、氢和空气中的氧化合，转变为二氧化碳和水蒸汽，加之在高压下气缸漏气现象会变得更明显，所以在这个阶段中工质的成分和数量都有很大的变化。同时燃烧产生的热量要向气缸壁很快传递。

在高压燃气的作用下，活塞被强行从上止点推向下止点，开始了膨胀做功冲程。随着活塞下行，气缸容积迅速增大，工质的压力和温度不断降低。活塞下行到达 e 点时，排