

中等专业学校教材

# 内燃机 构造与修理

NEIRANJI GOUZAO YU XIULI

哈尔滨铁路工程学校 裘建维 主编



铁道出版社

## 内 容 简 介

全书共分十三章,以实例为典型介绍了内燃机的结构与工作原理,并着重介绍CA6102型、EQ6100-1型汽油机及6110型柴油机的修理。

本书是中等专业学校机械专业教材,也可供从事内燃机专业的技术人员及现场人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

内燃机构造与修理/裘建维主编. —北京:中国铁道出版社,2004.2(重印)

中等专业学校教材

ISBN 7-113-03836-0

I. 内… II. 裘… III. ①内燃机-构造-专业学校-教材②内燃机-维修-专业学校-教材 IV. K40

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第38548号

书 名: 内燃机构造与修理

著作责任者: 裘建维 主编

出版·发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑: 吴桂萍

封面设计: 李艳阳

印 刷: 北京兴达印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16 印张:22.5 字数:565千

版 本: 2000年9月第1版 2004年2月第2次印刷

印 数: 3501—6000册

书 号: ISBN 7-113-03836-0/TH·83

定 价: 28.50元

**版权所有 盗印必究**

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

# 前 言

根据铁道部中等专业学校机械专业教学指导委员会 1999 年 9 月沈阳会议的要求,按照新的教学大纲编写了这本教材。本书可作为“内燃机构造与修理”课的教材、也可供从事内燃机有关工作的人员参考。

本书在阐述内燃机一般结构及工作原理的基础上,着重介绍了我国保有量较多的 CA6102 汽油机、EQ6100-1 汽油机及 CA6110 柴油机,同时对内燃机的重要部分的修理也做了介绍。为使书中的内容实用,既考虑到内容要新,又要兼顾到旧机的大量在用零部件。对于内燃机的修理,力求实用简捷。为提高学生独立分析问题的能力,在第十三章专门介绍了内燃机综合故障的判断。

本书由哈尔滨铁路工程学校袁建维主编,沈阳铁路机械学校任守春、南昌铁路机械学校孙剑萍主审。参加编写的有:任守春(第一、十一、十二、十三章),成都铁路工程学校杨良勇(第二章第一节~第五节),袁建维(第二章第六节、第五章第七节~第十一节、第九章及绪论),孙剑萍(第三、七章),郑州铁路机械学校毛胜辉(第四、六章),哈尔滨铁路工程学校白金峰(第五章第一节~第六节及第十二节),哈尔滨铁路工程学校孙向馨(第八章),哈尔滨铁路工程学校李建军(第十章)。白金峰、李建军对全书插图进行了整修。

在本书的编写过程中,得到了编者所在单位的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在错误和不足,恳请广大读者批评指正。

编者

2000 年 6 月

# 目 录

绪 论	1
第一章 内燃机的工作原理及总体构造	3
第一节 内燃机的基本知识	3
第二节 内燃机的工作原理	6
第三节 内燃机的主要性能指标	11
第四节 内燃机的总体构造	13
第二章 曲柄连杆机构	17
第一节 概 述	17
第二节 气缸体曲轴箱组	19
第三节 活塞连杆组	25
第四节 曲轴飞轮组	38
第五节 发动机的支承	47
第六节 曲柄连杆机构的修理	48
第三章 配气机构	59
第一节 配气机构的功用、组成与形式	59
第二节 配气机构的主要零件及组件	63
第三节 配气相位与气门间隙	75
第四节 配气机构的修理	77
第四章 汽油机燃料供给系	92
第一节 汽油机燃料供给系的组成及汽油	92
第二节 简单化油器及可燃混合气的形成过程	95
第三节 可燃混合气浓度与汽油机性能的关系	96
第四节 化油器的各供油装置	101
第五节 化油器的类型与构造	112
第六节 汽油供给装置	128
第七节 空气滤清器及进排气装置	134
第八节 电子控制汽油喷射系统	141
第九节 汽油机燃料供给系的修理	153

<b>第五章 柴油机燃料供给系</b> .....	157
第一节 柴油机燃料供给系组成及柴油 .....	157
第二节 柴油机混合气形成与燃烧过程 .....	159
第三节 柴油机的燃烧室 .....	163
第四节 喷油器 .....	167
第五节 喷油泵 .....	170
第六节 喷油泵的驱动与供油正时 .....	187
第七节 调速器 .....	191
第八节 柴油机燃料供给系的辅助装置 .....	206
第九节 废气涡轮增压器 .....	209
第十节 内燃机排气净化 .....	211
第十一节 柴油机燃油供给系修理 .....	219
第十二节 PT 燃油供给系统 .....	224
<b>第六章 冷却系</b> .....	230
第一节 水冷却系 .....	230
第二节 风冷却系 .....	242
第三节 冷却系的修理 .....	243
<b>第七章 润滑系</b> .....	246
第一节 润滑系的作用及润滑油 .....	246
第二节 润滑方式及润滑油路 .....	249
第三节 润滑系主要部件 .....	253
第四节 润滑系主要部件的修理 .....	262
<b>第八章 汽油机点火系</b> .....	268
第一节 概    述 .....	268
第二节 传统点火系的构造及工作原理 .....	269
第三节 传统点火系的主要元件 .....	271
第四节 电子点火系 .....	277
<b>第九章 起动系统</b> .....	286
第一节 电动机起动 .....	287
第二节 永磁起动机及减速起动机 .....	292
第三节 起动辅助装置 .....	292
<b>第十章 电源及电气设备</b> .....	296
第一节 蓄    池 .....	296
第二节 交流发电机 .....	298

第三节 调节器	303
<b>第十一章 内燃机的特性</b>	<b>308</b>
第一节 负荷特性	308
第二节 内燃机的速度特性	310
<b>第十二章 内燃机的总装与试验</b>	<b>312</b>
第一节 内燃机的总装	312
第二节 内燃机的磨合、热试和验收	315
<b>第十三章 内燃机主要故障判断与排除</b>	<b>318</b>
第一节 概    述	318
第二节 发动机起动系主要故障判断与排除	320
第三节 汽油机点火系主要故障的判断与排除	323
第四节 汽油机燃料供给系主要故障的判断与排除	332
第五节 柴油机燃料供给系主要故障的判断与排除	335
第六节 内燃机运转中异常响声的故障判断与排除	339
第七节 燃料消耗过量	342
第八节 润滑系主要故障的判断与排除	343
第九节 冷却系主要故障的判断与排除方法	344
第十节 内燃机排气烟色不正常	345
<b>参考文献</b>	<b>353</b>

# 绪 论

自 1876 年奥托创制了点燃式四冲程汽油机、1897 年狄塞尔创制了压燃式四冲程柴油机,到现在已有百余年的历史。由于内燃机具有热效率高(柴油机热效率可达 46%,汽油机热效率达 30%),功率、转速范围广、配套方便(内燃机最小输出功率 0.56 kW,最高可达 40 440 kW)以及经济性好,适应范围广等特点,被广泛应用到汽车、拖拉机、矿山机械、电站、排灌机械、军用坦克、舰艇及内河海洋船舶上,在远洋航运 10 万~20 万吨级的巨轮油船中也采用柴油机为主机动力。

在铁路运输业中用的铁路牵引动力内燃机车;装卸机械用的叉车、吊车、装载机;工程机械用的推土机、挖掘机、铺轨机、空压机、凿岩机、自卸汽车等;养路机械用的捣固机、清筛机等均采用内燃机做为动力。

从以上不难看出,内燃机在我国工业、农业、交通运输和国防建设中起到了非常重要的作用。

可以这么说,没有内燃机,会给我们的生活带来极大的不便。汽车运输做为主要的客货运手段,正在显示其巨大的作用。

随着科学技术的发展,内燃机正得到不断的改进并日趋完善。为提高内燃机的综合使用性能,汽油机广泛采用高转速、高压压缩比、增压技术、稀薄燃烧技术、用电子控制燃油喷射装置、电子控制无触点高能点火装置、数字式点火提前装置。沿用了多年的传统式汽化器、分电器正逐步退出历史舞台。

柴油机也在逐步采用电控装置,使得燃油系统更完善。

由于技术不断的发展,内燃机的性能越来越好。现在对环境保护越来越重视,所以对内燃机的排放提出了新的要求。

近年来我国的内燃机制造技术有飞速的发展,柴油机、汽油机种类已达百余种并全部系列化,如 85 系列、100 系列、110 系列、135 系列等。我国内燃机从设计技术水平、加工和装配等工艺水平正跨入世界先进行列。

我国第一汽车制造厂生产的 CA1092 汽车所用 CA6102 汽油机是自行设计制造的,具有先进结构、先进生产工艺、先进生产技术,是达到 20 世纪 70 年代国际水平的机型。这一机型根据使用中发现的问题和技术的进步,也在不断改进,使其性能日逐完善。

上海柴油机厂吸收国内外先进技术,开发的具有 20 世纪 90 年代初国际水平的 D6114 柴油机系列产品,其功率的覆盖范围,低排放,在人们日益重视环境保护的今天,具有良好的开发前景。事实上 D6114 系列柴油机现已被广泛应用到大中型客车、空调客车、载重汽车、工程机械、发电机组、船用动力等各方面。

随着电子技术在内燃机中的应用,对内燃机的维修工作提出了更高的要求。

在内燃机的维修作业中,更重视零部件及整机修理的质量及可靠性,逐渐放弃了过去那种定时对内燃机的零部件进行拆检的落后作法。现在普遍接受了以可靠性为中心的计使用,按需修理的维修思想。这一维修思想正被越来越多的人运用到生产实践中。但是,实现这一

转变必须具备先进的检测设备,否则难以实行。

本课程在学习中,应先弄懂内燃机的工作原理,并结合实物和各种实践教学手段搞清内燃机的结构以加深理解。这样才会记忆深刻,真正变为自己的知识。在学习中,实践环节相当重要。

对于内燃机的故障判断,必须先弄懂其工作原理与结构,这样才能对内燃机经常出现的故障进行正确分析。现在在内燃机的故障诊断中,计算机技术及专家系统正越来越多地被运用。但不管采用这种先进的诊断方法还是运用人的感官直接判断,维修经验的积累同样是非常重要的。



# 第一章 内燃机的工作原理及总体构造

## 第一节 内燃机的基本知识

### 一、内燃机的特点

凡是将其其他形式的能量转变为机械能的机器统称为发动机。发动机可分为热力发动机、电力发动机、原子能发动机等。热力发动机是将燃料中的化学能经过燃烧所产生的热能通过一定的机构再转变为机械能的机器。内燃机是热力发动机的一种,其特点是燃料在机器的气缸内燃烧后把所放出来的热能转化为机械能。相反,燃料在发动机外部的专用设备(如锅炉等)内燃烧的称外燃机。如蒸汽机,汽轮机等。

内燃机是指汽油机、柴油机、煤气机和燃气轮机及喷气式发动机等。内燃机又可按活塞运动方式分为往复活塞式和旋转活塞式两种。目前内燃机主要采用往复活塞式,因此本书仅介绍往复活塞式内燃机的工作原理及构造。

### 二、内燃机的一般构造

图 1-1 所示为单缸四冲程汽油机的一般构造示意图。活塞 14 装于气缸 12 中,活塞可沿气缸轴线作往复直线运动。活塞与连杆 15 的小端相连,大端滑套在曲轴 17 的曲柄销上。曲轴两端支承在曲轴箱 18 的轴承孔中。当活塞作往复运动时就可通过连杆带动曲轴作旋转运动。曲轴后端装有圆盘形飞轮 16。曲轴前端通过正时齿轮 1 驱动凸轮轴 2,凸轮轴上的进、排气凸轮通过气门挺柱 3 分别控制进气门 10、排气门 8 的开闭。进、排气门与火花塞 9 装在气缸盖 11 上,并密封气缸。化油器 7 装在进气管 6 上。为了冷却高温零件,气缸及缸盖均设有水套 13。为了减少机件磨损,曲轴箱装一定量润滑油可向各摩擦表面供润滑油。

柴油机构造大体上与汽油机相同,只是由于使用燃料不同它没有化油器和火花塞,而设有喷油泵和喷油器。喷油泵将柴油造成高压,然后通过喷油器喷入气缸和压缩后的高压高温空气混合后进行燃烧。

### 三、内燃机的基本名词术语(图 1-2 所示)

#### 1. 止点

活塞在气缸内作向上向下往复运动的两个极端位置称止点。活塞离曲轴旋转中心最远的位置称为上止点,最近的位置称为下止点,在上下止点时,活塞运动方向改变,运动速度等于零。上下止点间的距离称为活塞冲程(又称行程)用符号  $S$  表示。曲轴每转半圈(即  $180^\circ$ )相当于一个冲程。用符号  $R$  表示曲柄半径,则  $S$  等于曲柄半径  $R$  的两倍,即:

$$S = 2R$$

#### 2. 气缸容积

活塞从上止点移至下止点所扫过的空间容积称为气缸工作容积,用符号  $V_h$  表示,即:

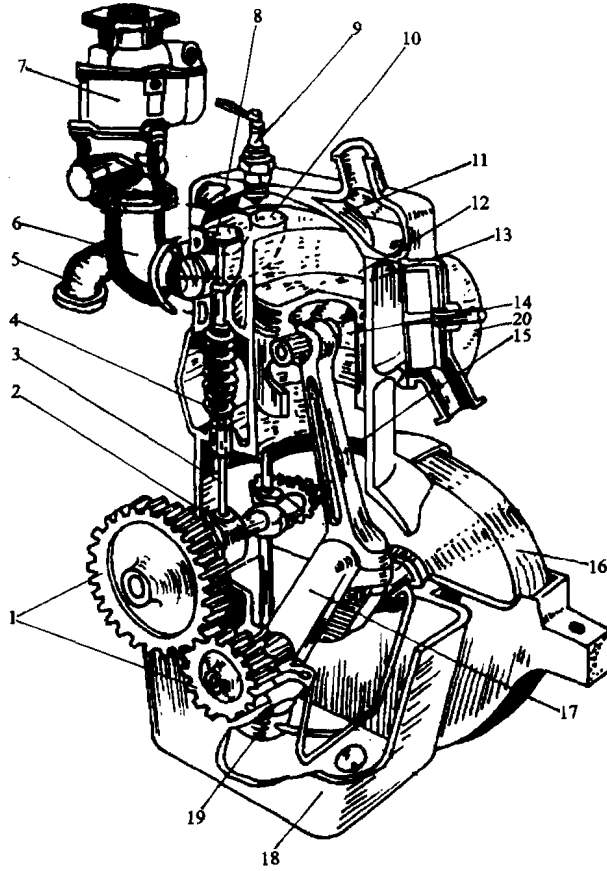


图 1-1 单缸四冲程汽油机结构示意图

1-正时齿轮;2-凸轮轴;3-气门挺柱;4-气门弹簧;5-排气管;6-进气管;7-化油器;  
8-排气门;9-火花塞;10-进气门;11-气缸盖;12-气缸;13-水套;14-活塞;15-连杆;  
16-飞轮;17-曲轴;18-曲轴箱;19-机油泵;20-水泵。

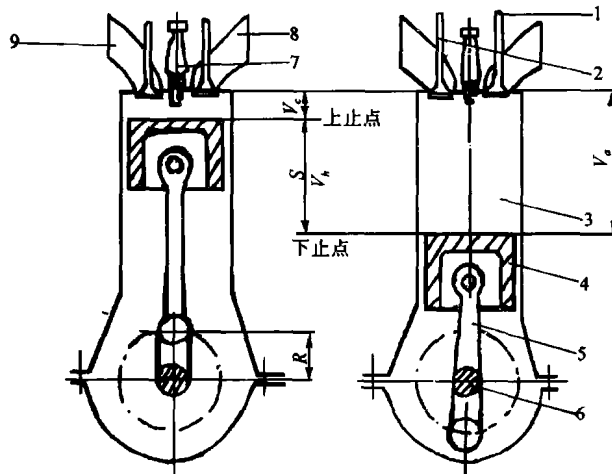


图 1-2 内燃机基本术语简图

1-进气门;2-排气门;3-气缸;4-活塞;5-连杆;6-曲轴;  
7-火花塞;8-进气管;9-排气管。

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4 \times 10^6} \cdot S \quad (\text{L})$$

式中  $D$ ——气缸直径(mm);

$S$ ——活塞冲程(mm)。

多缸内燃机各气缸工作容积的总和称为内燃机的排量(气缸总排量),用符号  $V_H$  表示。若气缸数为  $i$ ,则:

$$V_H = \frac{\pi D^2}{4 \times 10^6} \cdot Si \quad (\text{L})$$

活塞在上止点时,活塞顶部与气缸盖内表面所形成的空间叫做燃烧室,这个空间的容积称为燃烧室容积(或压缩室容积),用符号  $V_c$  表示。活塞在下止点时,活塞顶部与气缸盖、气缸套内表面形成的空间称为气缸总容积,用符号  $V_a$  表示。显然,它等于气缸工作容积  $V_h$  与燃烧室容积  $V_c$  之和,即:

$$V_a = V_h + V_c$$

### 3. 压缩比

气缸总容积与燃烧室容积之比值称为压缩比,用符号  $\epsilon$  表示,即:

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

压缩比表示活塞在压缩上止点时,气体在气缸内被压缩的程度。压缩比越大,气体在气缸内受压缩的程度就越大,压缩终了气体的压力和温度就越高。压缩比是内燃机一个重要结构参数。由于所采用燃料性质不同,汽油机压缩比一般  $\epsilon = 7 \sim 9$ ;柴油机要求大的压缩比,一般  $\epsilon = 12 \sim 22$ 。

## 四、内燃机的分类

往复式内燃机根据所采用的燃料、工作循环、结构形式不同等分类。

### 1. 根据所用燃料不同,可分汽油机和柴油机

汽油机是以汽油作燃料,空气与汽油在气缸外混合,形成可燃混合气后进入气缸,经压缩后依靠火花塞产生电火花引起燃烧,也称强制点火式内燃机。

柴油机是以柴油为燃料,气缸进入纯空气,压缩终了喷入柴油,柴油与空气在气缸中混合,由于空气经压缩后所达到的高温引起柴油的自燃,也称为压燃式内燃机。

汽油机进行适当改造,可变成以煤气作燃料的煤气机。柴油机改进设计,可变成以汽油作燃料的汽油机或煤气机。

### 2. 按照完成一个工作循环的活塞冲程数,可分为四冲程和二冲程

在每四个活塞冲程内(曲轴每转二圈)完成一个工作循环的内燃机称为四冲程内燃机;在每两个活塞冲程内(曲轴每转一圈)完成一个工作循环的内燃机称为二冲程内燃机。

### 3. 按照进气方式不同,可分为非增压与增压

在进气过程中,可燃混合气或空气是靠活塞的抽吸作用进入气缸内的称为非增压式内燃机;在进气过程中,是通过装在进气管道上的增压器提高压力后将可燃混合气或空气送入气缸的内燃机称为增压式内燃机。

### 4. 按冷却方式不同,可分为水冷式和风冷式

在工作时,利用水作冷却介质,使气缸盖和气缸套等得到冷却称水冷式内燃机。利用空气作为冷却介质,直接对气缸盖和气缸上的散热片进行冷却的内燃机称为风冷式内燃机。

## 5. 按照气缸数目和排列不同,可分为单缸和多缸

只有一个气缸的内燃机,称单缸内燃机;由几个气缸组成的内燃机称为多缸内燃机。多缸内燃机还可按气缸的排列方式分为直列式、V型、对置式、X型、星型等多种。

# 第二节 内燃机的工作原理

## 一、四冲程汽油机的工作原理

四冲程汽油机的一个工作循环包括四个冲程,即进气、压缩、作功和排气冲程。其基本原理如图 1-3 所示。为了分析进气、压缩、作功和排气四个冲程中气体在气缸内的变化情况,图 1-3(a)、(b)、(c)、(d)与之对应的下方  $P-V$  坐标图不仅表达了活塞在不同位置时气缸内容积  $V$  与压力  $P$  的变化规律,同时又展示出内燃机在整个循环中气体在气缸内作功的多少。这种图称为示功图,它是借助于专门的仪器从气缸内部测得的。

### (一)进气冲程(图 1-3(a))

曲轴转动时,通过连杆带动活塞从上止点向下止点移动,此时进气门打开,排气门关闭,由于活塞的下移,活塞上方的气缸容积不断增大,其压力随之减小,当降低到低于大气压力时,外界新鲜空气经空气滤清器和化油器的同时,将汽油吸出并雾化成细小油滴,形成可燃混合气,经进气管、进气门吸入气缸。这一过程延续到活塞到达下止点,曲轴由  $0^\circ$  转至  $180^\circ$ ,直到进气门关闭为止。由于进气系统对气流有阻力,以及活塞顶、气缸壁等高温零件和前一循环遗留下来的残余废气的影 响,使混合气温度升高,进入气缸内混合气压力略低于大气压力  $P_0$ 。进气终了时,气缸中气体压力  $P_a$  约为  $0.075 \sim 0.090 \text{ MPa}$ ,温度  $T_a$  约为  $370 \sim 400 \text{ K}$ 。

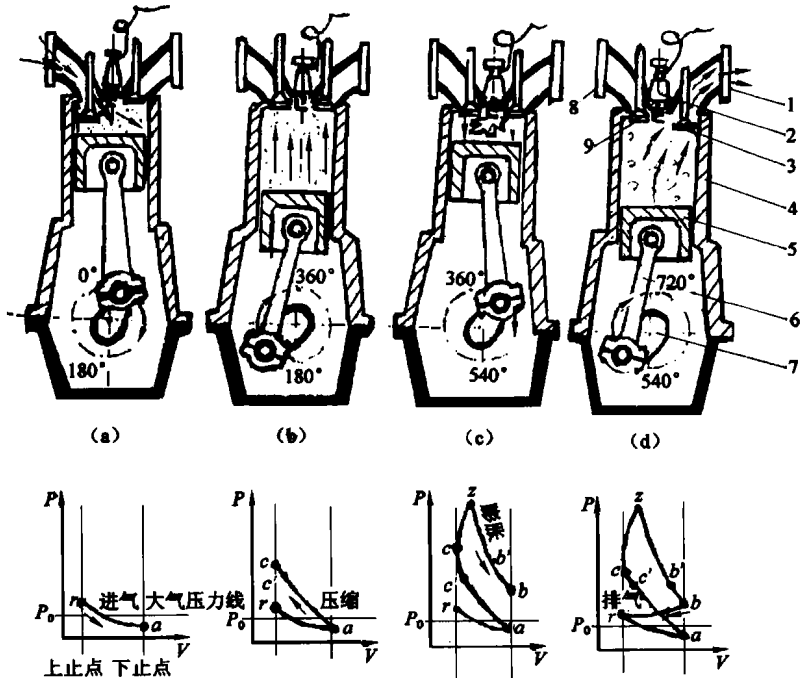


图 1-3 单缸四冲程汽油机工作原理及示功图

(a)进气冲程;(b)压缩冲程;(c)膨胀作功冲程;(d)排气冲程。

1-排气管;2-火花塞;3-排气门;4-气缸;5-活塞;6-连杆;7-曲轴;8-进气管;9-进气门。

在示功图上,进气冲程用曲线  $ra$  表示。且位于大气压力线下,其差值为气缸内真空度。

### (二)压缩冲程(图 1-3(b))

曲轴继续转动,活塞由下止点向上止点移动。此时进排气门均关闭。由于活塞上移,气缸容积逐渐减小,可燃混合气被压缩,气体压力不断升高,温度也随之增加。活塞到达上止点,曲轴由  $180^\circ$  转至  $360^\circ$ ,压缩冲程结束。

在示功图上,用曲线  $ac$  表示。压缩终了时气体压力  $P_c$  约为  $0.8 \sim 1.4$  MPa,温度  $T_c$  约为  $600 \sim 700$  K。由于可燃混合气的燃烧需要一定时间,燃烧应在上止点前开始,所以当压缩接近终了时,活塞在到达上止点前  $c'$  点时,火花塞就点燃被压缩的可燃混合气。

一般来说,压缩比越大,压缩终了时混合气的压力和温度越高,燃烧速度愈快,发动机发出的功率也愈大,经济性愈好。但压缩比过大时,气缸内可燃混合气会发生爆燃等不正常燃烧现象。它是由于压缩终了时气缸内可燃混合气的压力和温度过高,点火后在燃烧室内,部分可燃混合气未等火焰传播到就自行着火、燃烧形成瞬间的局部高温高压,产生爆震压力波,撞击燃烧室壁,发出尖锐的金属敲击声。爆燃将引起发动机功率下降,耗油率增加,零件磨损严重,因此压缩比不能过大。

### (三)作功冲程(图 1-3(c))

作功冲程又称膨胀冲程,此时进排气门仍关闭,被点燃的混合气迅速燃烧并放出大量热能,使气缸内燃气的温度与压力急剧升高,示功图曲线  $cz$  所示。最高温度  $T_z$  可达  $2200 \sim 2700$  K,最高爆发压力  $P_z$  可达  $3 \sim 5$  MPa。高温高压气体推动活塞从上止点向下止点移动,并通过连杆使曲轴旋转而做功。曲轴由  $360^\circ$  转至  $540^\circ$ 。气体所做的功其中一小部分用于克服机件运动阻力和带动附件及小部分储存在飞轮中,为以后排气、进气、压缩冲程作动力,其余大部分对外作功。

示功图上曲线  $zb$  表示随活塞下移,气缸内容积增加,气体压力和温度降低。排气门在  $b'$  点时提前打开, $b'b$  曲线为自由排气过程。当活塞运动到下止点,作功冲程终了的  $b$  点,压力  $P_b$  降到  $0.3 \sim 0.5$  MPa,温度  $T_b$  降到  $1200 \sim 1700$  K。

### (四)排气冲程(图 1-3(d))

在排气冲程中,排气门打开,进气门仍旧关闭。储有能量的飞轮带动曲轴旋转,使活塞由下止点向上止点移动,随着活塞的上移及已经燃烧并膨胀的残余废气经排气门排出气缸。活塞到达上止点,排气门关闭。曲轴由  $540^\circ$  转至  $720^\circ$ ,排气冲程结束。在示功图上用曲线  $br$  表示。由于气缸内有少量废气未排出及排气阻力影响,气缸内压力稍高于大气压力,在排气终了的  $r$  点,气体压力  $P_r$  约为  $0.105 \sim 0.115$  MPa,温度  $T_r$  约为  $800 \sim 1200$  K。

排气冲程结束时,活塞又回到上止点位置。在飞轮惯性力作用下,活塞又向下移动,重复上述四个冲程,周而复始地使汽油机连续不断运转。

通过上述分析:汽油机完成一个工作循环曲轴旋转两周( $720^\circ$ );进、排气门各开启一次;活塞在上下止点间移动四次;在四个冲程中,只有第三个冲程是作功冲程,其余都是消耗功的辅助冲程。因此内燃机起动必须有外力带动曲轴转动。

## 二、四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机工作原理和汽油机的工作原理基本相同,完成一个工作循环也需进气、压缩、作功和排气四个冲程。但是,由于柴油机所用燃料是柴油,所以可燃混合气的形成以及着火方式与汽油机不尽相同。

### (一)进气冲程(图 1-4(a))

当活塞由上止点向下止点运动的同时,进气门开启,排气门关闭,新鲜空气被吸人气缸。由于没有化油器,而且上一循环残留废气及活塞顶、燃烧室壁温度低,所以进气终了时气缸内压力、温度与汽油机稍不同。其压力略高,温度略低, $P_a$  约为  $0.08 \sim 0.095 \text{ MPa}$ ,  $T_a$  约为  $310 \sim 340 \text{ K}$ 。在示功图上用曲线  $ra$  表示。

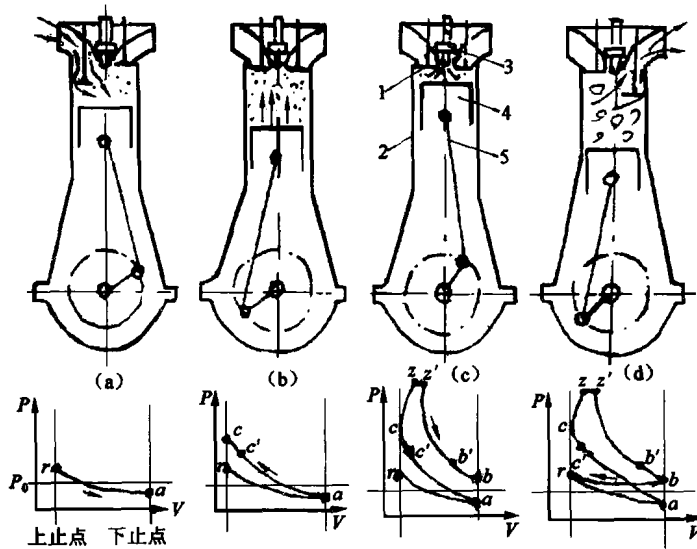


图 1-4 单缸四冲程柴油机工作原理及示功图

(a)进气冲程;(b)压缩冲程;(c)膨胀作功冲程;(d)排气冲程。

1-进气门;2-气缸;3-喷油器;4-活塞;5-连杆。

### (二)压缩冲程(图 1-4(b))

活塞由下止点向上止点移动,进、排气门均处于关闭状态,活塞到达上止点时,压缩终了。由于柴油机是压缩点火式,为使喷入气缸内的柴油能迅速和气缸内空气混合并着火燃烧,压缩终了时的温度要大大超过柴油自燃温度,因此柴油机压缩比较大。其压缩终了的温度  $T_c$  约为  $750 \sim 950 \text{ K}$ ,压力  $P_c$  达到  $3 \sim 5 \text{ MPa}$ 。在示功图上用曲线  $ac$  表示。

### (三)作功冲程(1-4(c))

为达到燃烧后的气体充分膨胀作功,要求燃烧过程能够在活塞移动到上止点稍后一些位置迅速完成。而柴油喷入气缸内须经一定时间混合和着火准备才能燃烧,因此,约在上止点前  $10^\circ \sim 35^\circ$  曲轴转角,压缩行程还没结束之前,喷油泵将油压提高到  $10 \text{ MPa}$  以上,将高压柴油通过喷油器以雾状喷入气缸内(在示功图的曲线  $ac$  上的  $c'$  点)与高温空气混合,然后自行着火燃烧,产生大量热能,使气缸内的气体压力和温度急剧升高; $P_z$  可达  $6 \sim 9 \text{ MPa}$ ,  $T_z$  升高到  $1800 \sim 2200 \text{ K}$ ,在示功图上用  $cz$  曲线表示。高温高压的燃烧气体推动活塞下移,通过连杆带动曲轴旋转而作功。

由于喷油及燃烧要延续一段时间,此时活塞虽已向下移动,但压力并不显著下降,因此示功图上出现  $zz'$  一段接近等压燃烧的压力线。由于气体膨胀作功,推动活塞下移,气缸容积逐渐增大,气体压力亦逐渐减小。排气门在  $b'$  点提前打开,  $b'b$  曲线表示充分利用废气能量进行自由排气。当活塞到达下止点时,气体压力  $P_b$  下降到  $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ,温度  $T_b$  相应降到  $1000 \sim$

1200 K。在示功图上用曲线  $z'b$  表示。

#### (四)排气冲程(图 1-4(d))

活塞由下止点向上止点移动,排气门开启,在废气剩余压力和活塞推动下,将废气排出。排气行程终了时的压力  $P_r$  约为 0.105 ~ 0.115 MPa,温度  $T_r$  约为 850 ~ 950 K。示功图上曲线  $br$  表示这一过程。

### 三、二冲程汽油机的工作原理

二冲程汽油机的一个工作循环也是由进气、压缩、作功、排气四个工作过程组成,但是,它是在曲轴转一周( $360^\circ$ )、活塞往复运动各一次的两个冲程中完成的。

图 1-5 为一种采用曲轴箱换气的单缸二冲程汽油机工作原理图。

这种内燃机的结构特点:曲轴箱是封闭的,在气缸壁上开有三个气孔。这三个孔随着活塞运动的位置而启、闭。孔 1 与化油器连通,为进气孔,可燃混合气即经此孔流入曲轴箱,继而可经换气孔 3 进入活塞上方的气缸内,而废气则经与排气管连通的孔 2 排出。

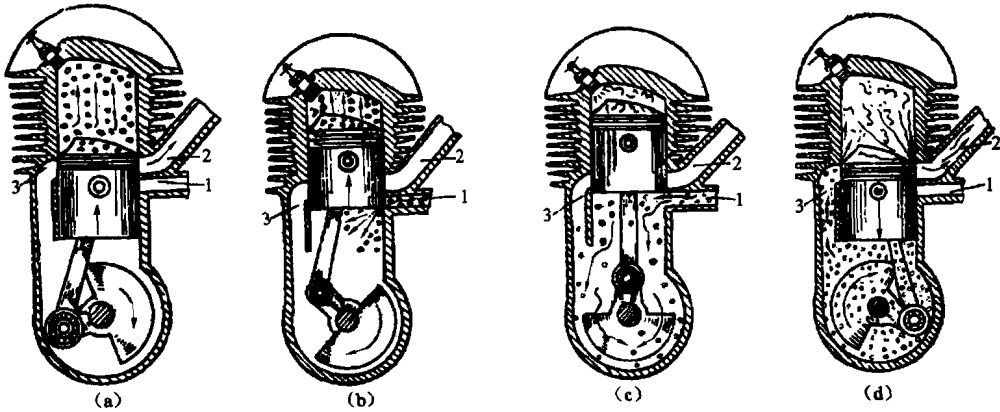


图 1-5 单缸二冲程汽油机工作原理图

1-进气孔;2-排气孔;3-换气孔。

**第一冲程:**活塞由下止点向上止点移动,图 1-5(a)的位置,活塞将三个孔都关闭,开始压缩上次循环已被吸入气缸的可燃混合气,与此同时,由于活塞上行曲轴箱内形成一定的真空度。当活塞上移到图 1-5(b)的位置时,进气孔 1 被打开,在大气压力的作用下,可燃混合气自化油器流入曲轴箱内。活塞接近上止点时,火花塞产生电火花,点燃被压缩的混合气,如图 1-5(c)所示。在此冲程中完成了压缩与进气两个工作过程。

**第二冲程:**高温高压气体膨胀,推动活塞向下移动而做功。随着活塞的下移进气孔被关闭,流入曲轴箱内混合气被压缩。当活塞下移到接近下止点时,活塞先将排气孔 2 打开,废气排出。随着活塞继续下移,又将换气孔 3 打开,曲轴箱内已被预先压缩的混合气便流入气缸内,并将气缸内的废气驱除到气缸外,如图 1-5(d)所示。在此冲程中完成了膨胀与排气两个工作过程。废气从气缸内被可燃混合气驱除并取代的过程称为换气(扫气)过程。

为防止可燃混合气和废气大量混合排出气缸造成浪费,将活塞顶部制成特殊凸起形状,以引导气流的方向减少混合气的流失,并形成涡流以利扫气与混合。但是,在二冲程汽油机中,要完全避免可燃混合气的损失是不可能的。

## 四、二冲程柴油机的工作原理

二冲程柴油机的工作过程如图 1-6 所示。它是一种带扫气泵扫气,气门-气孔式二冲程柴油机,只有排气门,而没有进气门。空气由扫气泵 1 提高到一定压力后,经过气缸壁上的进气孔 2 进入气缸,由活塞往复运动控制进气孔开启、关闭。喷油器 3 安装在气缸盖上,排气门 4 由专门的配气机构控制。

第一冲程:活塞从下止点向上移动,如图 1-6(a),此时进气孔和排气门均打开,新鲜空气经扫气泵提高一定压力约为  $0.12 \sim 0.14 \text{ MPa}$  充入气缸,并将上一循环所残留在气缸中的废气从排气门排出,此过程称扫气过程(换气过程)。活塞继续上移进气孔被遮盖,然后排气门也随之关闭,此时扫气过程结束(图 1-6(b))。活塞继续上移接近上止点时(图 1-6(c)),气缸内压力增高到约  $2.9 \text{ MPa}$ ,温度升高至  $850 \sim 950 \text{ K}$ 。完成压缩过程,第一冲程结束。

第二冲程:当活塞移到上止点时,柴油在高压油泵作用下,喷油器将柴油以雾状喷入气缸内,并自行着火燃烧,使气缸内气体压力和温度,急剧上升,温度可达  $2000 \sim 2200 \text{ K}$ ,压力可达  $6 \sim 9 \text{ MPa}$ 。燃烧后的高温高压气体膨胀,推动活塞从上止点向下止点移动,带动曲轴旋转做功。当活塞下移至顶平面接近进气孔(约  $2/3$  行程),排气门打开(图 1-6(d)),燃烧后的废气在自身压力作用下自行排出,气缸内压力降低。活塞继续下移,当活塞顶面低于进气孔时,扫气泵开始将具有一定压力的新鲜空气压入气缸,并进一步将废气从排气门排出,进行扫气(换气)。换气过程一直持续到活塞移动到下止点,第二冲程结束后,活塞又从下止点上移  $1/3$  行程,到进气孔完全被遮盖为止。

二冲程内燃机与四冲程内燃机比较有下列优点:

1. 二冲程内燃机曲轴每转一圈做功一次,而四冲程内燃机曲轴转两圈才做功一次。因此,当排量、转速和压缩比相同时,在理论上二冲程内燃机比四冲程内燃机功率大 1 倍,在相同功率情况下,二冲程内燃机尺寸和重量均小一些。

2. 二冲程内燃机每两个冲程做功一次,运转比较平稳,飞轮尺寸可以减小,且易起动。

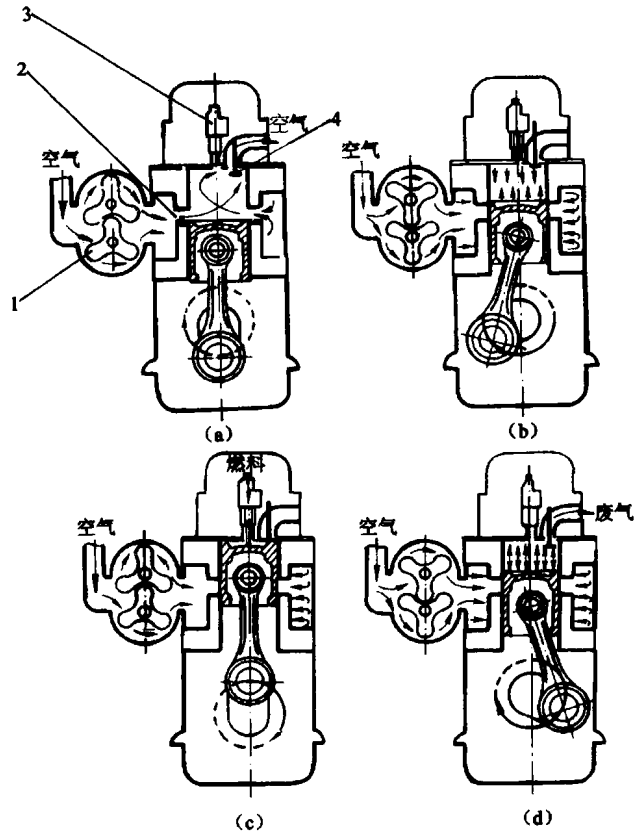


图 1-6 带扫气泵的二冲程柴油机工作示意图

(a)换气;(b)压缩;(c)燃烧;(d)排气。

1-扫气泵;2-进气孔;3-喷油器;4-排气门。



3. 采用曲轴箱扫气的二冲程汽油机,没有专门的配气机构,其结构简单,成本低。

二冲程内燃机的缺点是:

1. 由于采用扫气方法来驱除废气,废气不易排净,冲淡了可燃混合气,造成燃烧效率降低;同时,由于存在换气孔,使活塞有效工作冲程的长度缩短,实际工作容积较小;扫气泵需消耗功率,所以功率只增加 50% ~ 80% 左右。

2. 在换气过程中有一部分可燃混合气混杂在废气中被排出,又多损失了一部分燃油,其经济性比四冲程差。

据上述原因除一些摩托车外,一般车辆均不采用二冲程汽油机。二冲程柴油机在舰船上应用较多,但也不如四冲程柴油机应用得广泛。近些年将电控燃油喷射技术引入二冲程汽油机中,其性能已经接近四冲程汽油机水平,使其有进一步发展前景。

### 第三节 内燃机的主要性能指标

为便于评价各种内燃机的工作性能,通常采用内燃机的动力性指标(有效扭矩、有效功率等)和经济性指标(燃油消耗率等)评定其优劣。

#### 一、动力性指标

动力性指标是指内燃机对外做功能力的指标。一般指内燃机的有效扭矩、有效功率和转速。

##### 1. 有效扭矩

它是指内燃机在工作时,燃料在气缸内燃烧、膨胀作功的气体作用力作用在活塞上,通过连杆传递给曲轴产生的扭矩  $M$ 。除去克服各部摩擦阻力、驱动附件(如水泵、机油泵、风扇、发电机等)及泵气损失之后,曲轴对外输出的扭矩称为内燃机的有效扭矩  $M_e$ ,单位为(N·m)。

##### 2. 有效功率

内燃机在单位时间内所作的功称为功率。内燃机单位时间内所作的指示功,称为指示功率( $N_i$ )。指示功率除去消耗于内部零件的摩擦损失、泵气损失和驱动附件损失之后,从曲轴飞轮输出的功率称为有效功率,用  $N_e$  表示,单位为(kW)。

当在专门的试验台架上用测功器测定得到有效扭矩(N·m)和转速(r/min)后,曲轴飞轮输出的有效功率  $N_e$  可按下式计算:

$$N_e = \frac{2\pi n}{60} \cdot M_e \times 10^{-3} \quad (\text{kW}) \quad (1-1)$$

式中  $n$ ——内燃机转速(r/min);

$M_e$ ——内燃机有效扭矩(N·m)。

有效功率是内燃机最主要的性能指标之一。不同类型的内燃机,都有最高使用转速下的有效功率的最高使用界限。按照国家标准,称为标定功率。内燃机铭牌与产品说明书上所指的功率,就是指的标定有效功率。我国根据内燃机不同用途,规定有四种标定功率:

(1)十五分钟功率——内燃机允许连续运转 15 min 的最大有效功率。它适于汽车、摩托车、摩托艇等用途的内燃机的功率标定。

(2)一小时功率——内燃机允许连续运转 1 h 的最大有效功率。它适用于工程机械、装卸机械、拖拉机、内燃机车、船舶等用途的内燃机的功率标定。

(3)十二小时功率——内燃机允许连续运转 12 h 的最大有效功率。它适用于内燃机车、