

中等专业学校试用教材

内燃机

济南铁路机械学校

王墨泽 主编

NEIRANJI

中国铁道出版社

内 容 简 介

本书是按照起重与养路机械专业《内燃机》课程教学大纲编写的，共分二篇：第一篇叙述起重与养路机械所用内燃机的构造和工作原理；第二篇叙述内燃机主要部件的检验和修理，以及故障的判断和排除方法。

本书第一篇由济南铁路机械学校王墨泽编写，第二篇由郑州铁路机械学校陈志明编写。沈阳铁路机械学校任守春、南昌铁路机械学校饶少敏参加审核定稿。

郑州铁路机械学校范鸿淳、济南铁路机械学校王岩对书中插图绘制给予大力帮助。

中等专业学校试用教材

内 燃 机

济南铁路机械学校

王墨泽 主编

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/16 印张：17 字数：416千

1985年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—7000册 定价：2.65元

目 录

第一篇 内燃机的构造与工作原理	1
第一章 内燃机的工作原理与一般构造	1
第一节 内燃机的一般构造	1
第二节 内燃机的工作原理	3
第三节 内燃机的总体构造	8
第四节 内燃机的主要性能指标	8
第二章 曲柄连杆机构	9
第一节 概 述	9
第二节 机 体	11
第三节 气缸盖和气缸垫	15
第四节 活塞连杆组	17
第五节 曲轴飞轮组	30
第三章 配气机构	40
第一节 配气机构的组成和型式	40
第二节 配气机构主要零件的构造	42
第三节 配气相位	50
第四章 汽油机燃料供给系	52
第一节 汽油机燃料供给系的组成和汽油	52
第二节 简单化油器和可燃混合气的形成	54
第三节 可燃混合气浓度及汽油机各种工况对可燃混合气的要求	56
第四节 化油器各供油装置	58
第五节 化油器的类型与构造	63
第六节 汽油供给装置	73
第七节 空气滤清器及进、排气装置	77
第五章 汽油机蓄电池点火系	79
第一节 汽油机点火系的工作原理	79
第二节 蓄电池点火系主要机件	81
第三节 晶体管点火装置	88
第六章 柴油机燃料供给系	90
第一节 柴油机燃料供给系的组成与柴油	91
第二节 柴油机可燃混合气的形成及燃烧室	92
第三节 喷 油 器	96
第四节 喷 油 泵	98

第五节 调速器	104
第六节 喷油提前角调节装置	112
第七节 柴油机供给系的辅助装置	114
第七章 冷却系	116
第一节 冷却系的组成	116
第二节 水冷却系主要部件的构造	118
第八章 润滑系	124
第一节 概 述	124
第二节 润滑系的组成	127
第三节 润滑系主要部件的构造	129
第四节 曲轴箱通风	137
第九章 起动装置	137
第一节 内燃机的起动	137
第二节 电动机起动装置	138
第三节 汽油机起动及起动辅助装置	143
第十章 内燃机电源与电气设备	145
第一节 蓄 电 池	145
第二节 直流发电机及调节器	147
第三节 硅整流发电机及调节器	149
第十一章 内燃机的主要特性	153
第一节 负荷特性	154
第二节 速度特性	155
第二篇 内燃机修理、故障判断与排除	158
第一章 气缸体和气缸盖的修理	158
第一节 内燃机的解体	158
第二节 气缸体和气缸盖常见损伤及修理	160
第三节 气缸的修理	164
第二章 活塞连杆组的修理	172
第一节 活塞和活塞环的选配	172
第二节 连杆的修理	177
第三节 活塞连杆组的组装与检查	180
第三章 曲轴和轴承的修理	182
第一节 曲轴的修理	182
第二节 曲轴轴承的修理	188
第四章 配气机构的修理	191
第一节 气门组件的修理	191
第二节 气门传动组件的修理	197
第三节 气门间隙调整	201
第五章 燃料供给系的修理	204
第一节 汽油机燃料供给系的修理	204

第二节 柴油机燃料供给系的修理	210
第六章 点火系的修理	219
第一节 分电器的修理	219
第二节 点火线圈、火花塞的检验及点火正时调整	221
第七章 冷却系的修理	223
第一节 水泵的修理	223
第二节 散热器的修理	224
第三节 节温器的修理	225
第八章 润滑系的修理	225
第一节 机油泵的检修	225
第二节 机油泵的装配与试验	227
第九章 内燃机的总装与试验	228
第一节 内燃机总装	228
第二节 内燃机的磨合与试验	231
第十章 内燃机主要故障判断与排除	233
第一节 内燃机不能起动或起动困难	233
第二节 内燃机运转动力不足	241
第三节 内燃机运转异常与震动	243
第四节 内燃机回火、放炮和突然熄火	247
第五节 燃料消耗过量	250
第六节 润滑油压力异常和消耗过量	252
第七节 内燃机过热	253
第八节 内燃机冒烟	254
第九节 内燃机运转中的异常响声	256
第十节 内燃机漏水、漏油、漏气	259
第十一节 内燃机测试仪对内燃机故障的诊断	261

第一篇 内燃机的构造与工作原理

凡是把燃料中的化学能经过燃烧过程转变为热能，并通过一定的机构再转变为机械能的机器，称为热力发动机。内燃机是热力发动机的一种；它与其他热力发动机的不同点在于：燃料在机器内部（内燃机的气缸内）燃烧，燃料燃烧所放出来的热量使燃烧后的气体膨胀，从而推动机械做功。

内燃机按照活塞运动的方式可分为往复活塞式和旋转活塞式两种。目前在起重机械和工程机械上广泛采用的是往复活塞式内燃机。本篇主要介绍往复活塞式内燃机的工作原理与构造。

第一章 内燃机的工作原理与一般构造

第一节 内燃机的一般构造

一、内燃机的一般构造

图 1—1—1 所示，为单缸四冲程汽油机的一般构造。圆柱形的活塞 3 装于圆筒形的气缸 2 中，活塞可沿气缸轴线作往复直线运动。活塞通过活塞销 4 与连杆 5 的小端相连，连杆大端滑套在曲轴 9 的曲柄销上。曲轴两端支承在曲轴箱 7 的轴承中。当活塞作往复运动时就可通过连杆带动曲轴作旋转运动。曲轴的后端装有圆盘形的飞轮 8。气缸顶部用气缸盖 1 密封，进气门 15、排气门 16 与火花塞 17 装在气缸盖上。化油器 13 装在进气管 14 上。此外，为了冷却高温零件还设有水腔和水泵 6；为了减少机件磨损，还设有机油泵 12 和机油管 10 等，以便向各摩擦表面输送润滑油。

柴油机一般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。

二、内燃机的常用术语

（一）活塞止点与冲程

活塞在气缸内作往复运动的两个极端位置称为止点。活塞离曲轴旋转中心最远位置称为上止点，最近位置称为下止点。上下止点间的距离称为活塞冲程（又称行程），用符号 S 表示（图 1—1—2）。

曲轴每转动半圈（即 180° ），相当于一个冲程，用符号 R 表示曲柄半径，则

$$S = 2R$$

（二）气缸容积

活塞在气缸中作往复运动的过称中，气缸内的工作容积在不断变化着。当活塞处于上止点位置时，活塞上面的气缸空间叫做燃烧室，这个空间的容积称为燃烧室容积（也叫压缩容

积)，用符号 V_c 表示。

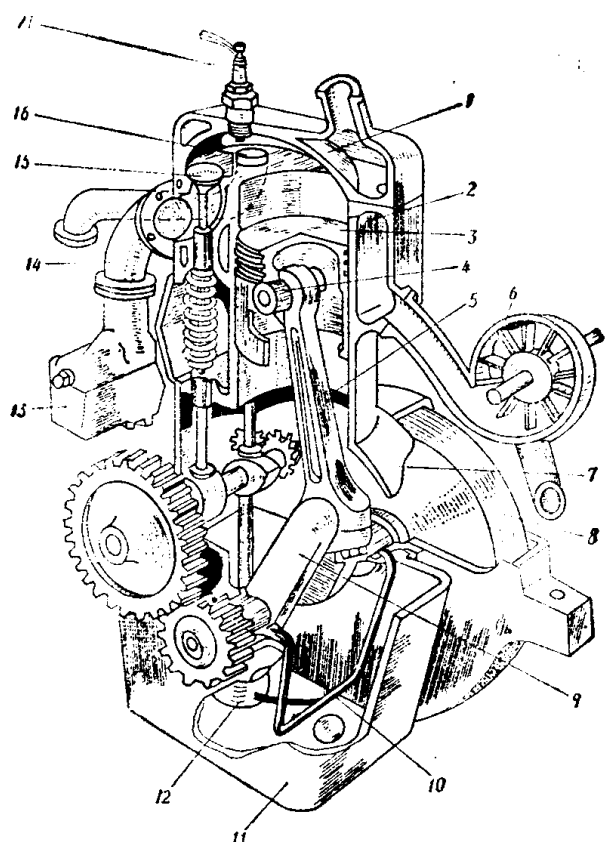


图 1—1—1 单缸四冲程汽油机结构示意图

1——气缸盖；2——气缸；3——活塞；4——活塞销；
5——连杆；6——水泵；7——曲轴箱；8——飞轮；9——曲
轴；10——机油管；11——油底壳；12——机油泵；13——化油器；
14——进气管；15——进气门；16——排气门；17——火花塞。

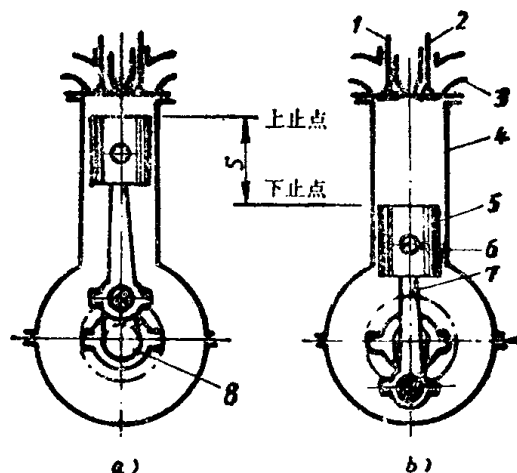


图 1—1—2 内燃机工作简图

1——进气门；2——排气门；3——
排气管；4——气缸；5——活塞；
6——活塞销；7——连杆；8——曲
轴。

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

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

式中 D ——气缸直径 (mm)；

S ——活塞冲程 (mm)。

活塞位于下止点时，活塞上部的全部气缸工作容积称为气缸总容积，用符号 V_a 表示。它等于燃烧室容积与气缸工作容积之和，即

$$V_a = V_c + V_h$$

多缸内燃机（指二个或二个以上气缸的内燃机）所有气缸工作容积的总和称为内燃机的排量（也叫活塞总排量），用符号 V_H 表示。若气缸数为 i ，则

$$V_H = \frac{\pi}{4} i D^2 S \times 10^{-6}$$

(三) 压缩比

气缸总容积与燃烧室容积的比值，称为压缩比，用符号 ε 表示。

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

压缩比表示活塞从下止点移到上止点时，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。

压缩比是内燃机的一个重要结构参数。由于燃料性质不同，所以不同类型的内燃机对压缩比的要求也不同。柴油机要求较大的压缩比，一般 $\varepsilon=12\sim22$ ；而汽油机的压缩比较小，一般 $\varepsilon=6\sim9$ 。

三、内燃机的分类

往复活塞式内燃机的种类很多。为了表示和区别各种内燃机在构造和工作上的特点，通常按所采用的燃料、工作循环、结构型式及用途等的不同，分为：

（一）按所用的燃料分类

可分为汽油机、柴油机和煤气机等。

（二）按工作循环的冲程数分类

按照完成一个工作循环所需的冲程数可将内燃机分为两类：活塞连续运行四个冲程（曲轴转两圈）完成一个工作循环的内燃机称为四冲程内燃机。活塞连续运行二个冲程（曲轴转一圈）完成一个工作循环的内燃机称为二冲程内燃机。

（三）按气缸数及排列方式分类

按气缸数可分为单缸内燃机和多缸内燃机两类。所有气缸轴线在同一垂直平面内的称为直列立式内燃机；所有气缸中心线在同一水平平面内的称为直列卧式内燃机；而气缸中心线分别在两个平面上，并且两平面相交呈“V”形的称为V型内燃机；当V型夹角为 180° 时则称为对置式内燃机。

（四）按冷却方式分类

利用水作为冷却介质的称为水冷内燃机；利用空气作为冷却介质的称为风冷内燃机。

（五）按进气方式分类

内燃机上没有增压器，空气靠活塞的抽吸作用进入气缸内的，称为非增压式内燃机。内燃机上装有增压器，空气通过增压器提高压力后进入气缸内的，称为增压式内燃机。

（六）按着火方式分类

利用气缸内的空气被高度压缩后所产生的高温，使燃料自行着火燃烧的称为压燃式内燃机。柴油机就属此类。

利用火花塞发出的电火花强制点燃燃料而使其着火燃烧的称为点燃式内燃机。汽油机就属此类。

（七）按用途分类

作为固定设备动力的内燃机称为固定式。如发电机及抽水机等用的内燃机均属固定式。

作为移动式机械动力的内燃机称为移动式。如汽车拖拉机、起重机械、工程机械、机车、船舶等所用的内燃机均属移动式。

第二节 内燃机的工作原理

内燃机对外输出扭矩并正常运转时必须经过一系列连续工作的过程（进气、压缩、燃烧膨胀和排气），每完成一个工作过程称为一个工作循环。曲轴旋转二圈完成一个工作循环的称为四冲程内燃机，曲轴旋转一圈完成一个工作循环的称为二冲程内燃机。

一、四冲程汽油机的工作原理

四冲程汽油机的工作循环由进气、压缩、膨胀和排气四个冲程组成。图 1—1—3 为单

缸四冲程汽油机工作原理图。

(一) 进气冲程

当曲轴转动时, 活塞由上止点向下止点运动 (图 1—1—3 a), 由于活塞下移, 活塞上部气缸容积逐渐增大, 气缸内的压力随之减小, 此时排气门关闭, 进气门开启, 在气缸内的压力低于外界大气压力时, 外界新鲜空气便经过空气滤清器、化油器, 并与化油器供给的汽油相混合形成可燃混合气, 经进气管和进气门进入气缸。这一过程一直延续到活塞到达下止点, 进气门关闭为止。

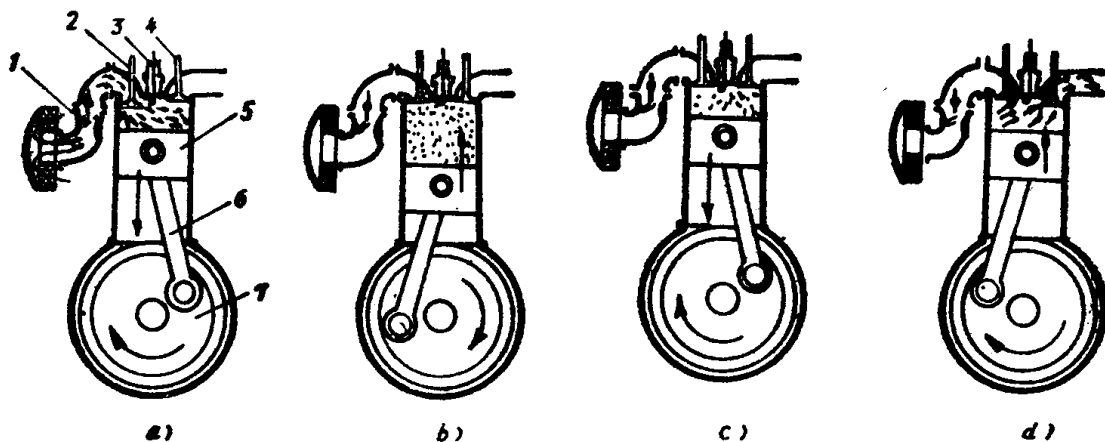


图 1—1—3 单缸四冲程汽油机工作原理图

1 —— 化油器; 2 —— 进气门; 3 —— 火花塞; 4 —— 排气门; 5 —— 活塞; 6 —— 连杆; 7 —— 曲轴。

在进气过程中, 由于进气管道阻力以及气缸壁、活塞等高温零件和上一循环遗留的残余废气的影响, 使进气终了的气缸内气体压力, 将低于大气压力其值约为 $73.58\text{kPa} \sim 88.29\text{kPa}$ ($0.75 \sim 0.9\text{kg/cm}^2$), 进气温度约为 $90 \sim 120^\circ\text{C}$ 。

(二) 压缩冲程

继上面冲程后, 曲轴继续转动, 活塞便由下止点向上止点移动 (图 1—1—3 b)。此时进气门和排气门均处于关闭状态。随着活塞的上移, 气缸容积逐渐减小, 气缸内的可燃混合气被压缩, 压力和温度同时升高。活塞到达上止点时压缩冲程结束。压缩终了的压力值约为 $784.8\text{kPa} \sim 1373\text{kPa}$ ($8 \sim 14\text{kg/cm}^2$), 温度约为 $300 \sim 430^\circ\text{C}$ 。

(三) 膨胀冲程

在压缩终了之前的适当时机, 火花塞产生火花, 点燃了被压缩的混合气并迅速燃烧, 气缸内的压力和温度急剧上升, 最大爆发压力可达 $2.94\text{MPa} \sim 4.41\text{MPa}$ ($30 \sim 50\text{kg/cm}^2$), 而最高燃烧温度可达 $2000 \sim 2500^\circ\text{C}$ 。

在高温高压气体的作用下, 活塞由上止点向下止点运动, 并通过连杆带动曲轴转动而做功 (图 1—1—3 c)。随着活塞的下移, 气缸内的压力和温度逐渐下降。活塞到达下止点时膨胀过程结束, 此时的压力约为 $294.3\text{kPa} \sim 392.4\text{kPa}$ ($3 \sim 4\text{kg/cm}^2$), 温度约为 $900 \sim 1200^\circ\text{C}$ 。这一冲程驱动曲轴旋转作了功, 所以也称为做功冲程。

(四) 排气冲程

当活塞到达下止点时, 排气门开启, 气缸内燃烧后产生的废气便在自身剩余压力和活塞上移的作用下, 被排出气缸 (图 1—3 d)。活塞到达上止点, 排气门关闭, 排气冲程结束。此时, 由于气缸内尚有少量废气未排出以及排气阻力所致, 气缸内压力高于大气压力, 压力约为 $103\text{kPa} \sim 122.6\text{kPa}$ ($1.05 \sim 1.25\text{kg/cm}^2$), 温度约为 $500 \sim 800^\circ\text{C}$ 。

二、四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机的工作原理和汽油机一样，每个循环同样经历进气、压缩、膨胀和排气四个冲程。但其可燃混合气的形成与着火方式不同于汽油机，其工作过程如图1—1—4所示。

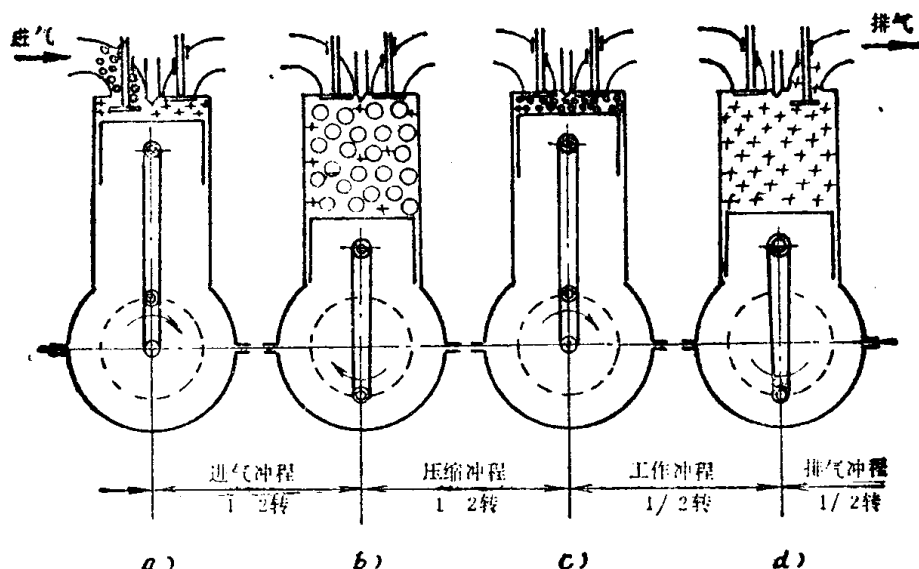


图1—1—4 单缸四冲程柴油机工作过程示意图

(一) 进气冲程

由于曲轴的转动，带动活塞由上止点向下止点移动，此时，进气门开启，排气门关闭，空气进入气缸。柴油机进气阻力比汽油机小，上一循环残留废气的温度较低，所以进气终了的压力与温度与汽油机稍有不同。其压力值约为 $74.48\text{kPa} \sim 91.23\text{kPa}$ ($0.8 \sim 0.93\text{kg/cm}^2$)，温度约为 $50 \sim 70^\circ\text{C}$ 。

(二) 压缩冲程

活塞由下止点向上止点运动，进气门和排气门均处于关闭状态。活塞到达上止点时，压缩终了，由于柴油机的压缩比大，压缩终了的压力和温度比较高，压力约为 $2.94\text{MPa} \sim 4.9\text{MPa}$ ($30 \sim 60\text{kg/cm}^2$)，温度约为 $477 \sim 677^\circ\text{C}$ 。

(三) 膨胀冲程

在压缩终了之前的适当时机，高压的柴油呈雾状喷入气缸，在高温气体中迅速着火燃烧，产生大量热能，使气缸内的气体温度和压力急剧升高。温度可达 $1500 \sim 2000^\circ\text{C}$ ，压力值约为 $5.89\text{MPa} \sim 8.83\text{MPa}$ ($60 \sim 90\text{kg/cm}^2$)。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。膨胀终了的温度约为 $800 \sim 900^\circ\text{C}$ ，压力值降为 $294.3\text{kPa} \sim 392.4\text{kPa}$ ($3 \sim 4\text{kg/cm}^2$)。

(四) 排气冲程

活塞由下止点向上止点运动，排气门开启，由于废气自身剩余压力和活塞的推动，将废气排出气缸。排气终了的温度约为 $300 \sim 500^\circ\text{C}$ ，压力值约为 $103\text{kPa} \sim 122.6\text{kPa}$ ($1.05 \sim 1.25\text{kg/cm}^2$)。

三、二冲程汽油机的工作原理

图1—1—5所示为一种用曲轴箱换气的单缸二冲程汽油机工作原理图。

在二冲程汽油机的气缸壁上开有三种气孔：进气孔 1、排气孔 2 和扫气孔 3，这些气孔分别在一定的时刻为活塞所关闭。孔 1 与化油器相通，可燃混合气经孔 1 流入曲轴箱，继而可经孔 3 进入气缸，而废气则经过与排气管连通的孔 2 被排出。

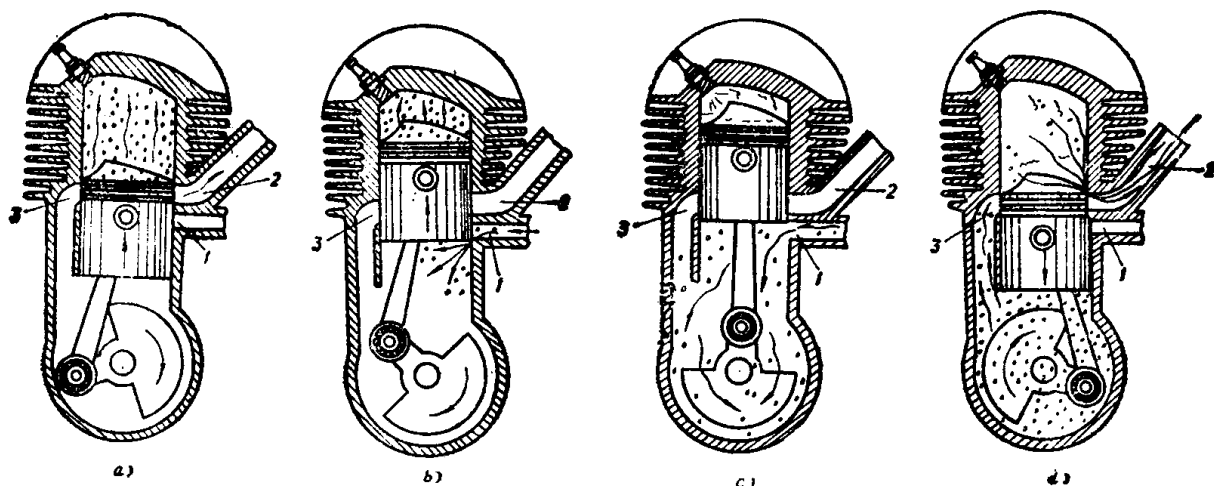


图 1—1—5 单缸二冲程汽油机工作原理图
1——进气孔；2——排气孔；3——扫气孔。

图 1—1—5 a 表示活塞向上移动。当活塞将三种孔都关闭时，开始压缩混合气。同时，在活塞下面的曲轴箱内形成真空度（这种内燃机的曲轴箱必须是密封的）。当活塞继续上行时，进气孔 1 开启，在大气压力的作用下，可燃混合气便从化油器进入曲轴箱（图 1—1—5 b）活塞将要接近上止点时（图 1—1—5 c），火花塞发出电火花，点燃了被压缩的混合气。燃烧后的高温高压气体膨胀迫使活塞下移。进气孔逐渐被关闭，流入曲轴箱的可燃混合气则因活塞下移而被预先压缩。当活塞接近下止点时，排气孔开启，废气经孔 2、排气管和消音器排出，受到预压的可燃混合气便自曲轴箱经孔 3 流入气缸内，并驱除废气（图 1—1—5 d）。废气从气缸内被驱除的过程称为扫气（换气）过程，故孔 3 称为扫气孔。

由此可知，在二冲程汽油机内，发生的二个冲程是：

第一冲程：活塞自下止点向上移动，事先已充入活塞上方气缸内的可燃混合气体被压缩，而新的可燃混合气体又从化油器被吸入曲轴箱内。

第二冲程 活塞自上止点向下移动，活塞上方进行着做功过程和换气过程，而活塞下方则进行着可燃混合气的预压。

由此可知第一冲程是做做功前的准备工作，故也称辅助冲程。第二冲程则为做功冲程。为了防止可燃混合气和废气大量混合一起排出而造成浪费，往往把活塞顶部做成特殊的导流形状（图 1—1—5）或具有仰角的扫气孔，使可燃混合气的气流导向气缸上部。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

二冲程柴油机是通过位于气缸中间部位、沿气缸四周开出的进气孔（或扫气孔）进行进气，而进气孔的开闭则靠活塞上下移动位置的变化来加以控制。进气过程系通过压气机（扫气泵）将新鲜空气提高压力约 117.7kPa ， $\sim 137.2\text{kPa}$ （ $1.2\sim 1.4\text{kg/cm}^2$ ），然后经气缸外部的空气室、进气孔压入气缸内。

二冲程柴油机的排气机构常见的有两种型式：一种装有排气门；另一种系在气缸中部周围开有排气孔（比进气孔略高），也靠活塞上下移动位置控制开闭。

图 1—1—6 所示为单缸二冲程柴油机工作原理示意图。

第一冲程：活塞从下止点向上移动（图 1—1—6 a），此时进气孔 2 和排气门 4 都打开，新鲜空气通过扫气泵 1 提高压力后从进气孔压入气缸内，并将上一循环所存留在气缸中的废气从排气门排出，这个过程叫做扫气过程（换气过程）。

当活塞继续上移，进气孔被活塞遮盖（图 1—1—6 b），然后排气门也随之关闭，此时扫气过程结束。活塞继续上移，缸内新鲜空气和少量未排尽的废气被压缩，直到活塞移到上止点（图 1—1—6 c）完成压缩过程后，第一冲程结束。

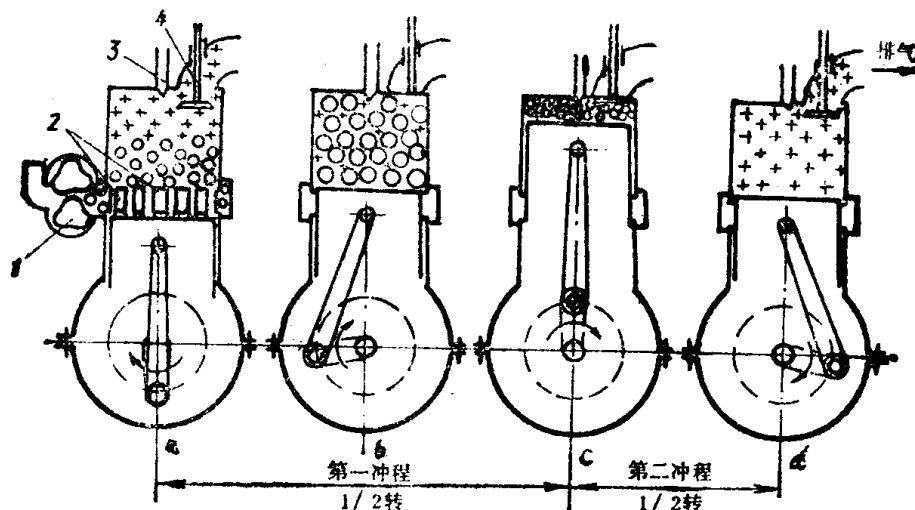


图 1—1—6 单缸二冲程柴油机工作原理示意图

1 — 扫气泵；2 — 进气孔；3 — 喷油器；4 — 排气门。

第二冲程：当活塞接近上止点时，缸内压力增高到约 2.94MPa (30kg/cm^2)，温度约升至 $600\sim 700^\circ\text{C}$ ，柴油在高压下喷入气缸，并自行着火燃烧，使气缸内气体温度和压力急剧上升，温度可达 $1700\sim 2000^\circ\text{C}$ ，压力可达 $5.8\text{MPa}\sim 8.82\text{MPa}$ ($60\sim 90\text{kg/cm}^2$)。

在高温高压气体的作用下，活塞从上止点推向下止点，并带动曲轴旋转做功。

当活塞下行约三分之二冲程时，排气门打开（图 1—1—6 d），废气先利用本身较高的压力自行排气，气缸内压力降低，待活塞继续下移，进气孔露出，扫气泵开始将压力较高的新鲜空气压入气缸，从而进一步把废气由排气门排出，进行扫气（换气）。活塞一直移到下止点位置，此时第二冲程结束，至此完成一个工作循环。

二冲程内燃机与四冲程内燃机相比有以下几个特点：

1. 二冲程内燃机曲轴每转一圈就有一个做功冲程，而四冲程内燃机曲轴每转两圈才有一个做功冲程。因此，当排量、转速和压缩比相同时，在理论上二冲程比四冲程内燃机功率大一倍。但是，由于二冲程内燃机废气不易排净，废气冲淡了可燃混合气，造成燃烧效率降低；同时，由于气缸壁上气孔的存在，使活塞有效工作冲程的长度缩短；另外扫气泵还需消耗功率，所以，功率只增加 $50\%\sim 80\%$ 左右。

2. 由于二冲程内燃机每二个冲程作一次功，所以，运转比较平稳，飞轮尺寸可以减小，结构比较紧凑、轻巧。

3. 二冲程汽油机在换气过程中还有一部分可燃混合气混杂在废气中被排出，一部分燃料被损失，其经济性比四冲程的要差。

二冲程柴油机在进气时，进入气缸的是空气，换气过程不会浪费燃料，但扫气泵仍要消耗一部分功率。

第三节 内燃机的总体构造

内燃机主要由曲柄连杆机构、配气机构、燃料供给系、点火系（汽油机）、润滑系、冷却系以及起动装置组成。这些机构和系统保证了内燃机很好地进行各工作过程和连续不断地正常工作，实现能量转换对外输出功率。

一、曲柄连杆机构

曲柄连杆机构的作用是将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动，并将活塞承受的气体膨胀压力转变为扭矩，通过曲轴向外输出。曲柄连杆机构的主要机件有：气缸体、气缸盖、活塞组、连杆组、曲轴飞轮组、曲轴箱等。

二、配气机构

配气机构的作用是按照内燃机的工作过程定时的吸入新鲜空气（柴油机）或可燃混合气体（汽油机），并定时的排出废气。配气机构由气门组和气门传动组组成。其构造包括进气门，排气门，气门弹簧、气门弹簧座和锁片，气门导管，挺杆、推杆、摇臂、摇臂轴、摇臂轴支架，凸轮轴及正时齿轮等。

三、燃料供给系

汽油机：根据工作要求将空气和汽油混合成一定比例的可燃混合气供应给气缸，以供燃烧。其构造包括汽油箱、汽油滤清器、汽油泵、化油器等。

柴油机：根据工作要求将柴油定时，定量、定压的喷入气缸，满足燃烧的需要。其构造包括柴油箱、低压输油泵、柴油滤清器、喷油泵、喷油器和调速器等。

四、点火系

点火系的作用是定时的产生火花点燃汽油机气缸内的可燃混合气体，使其燃烧。它由蓄电池、点火线圈、分电器、火花塞等组成。

五、润滑系

它的作用是将润滑油送至各运动件的摩擦面，以减小摩擦阻力及磨损。润滑系主要由机油泵、机油滤清器、限压阀和机油道等组成。

六、冷却系

它的作用是用冷却介质带走受热零件的热量，确保内燃机在正常温度下连续工作。水冷冷却系由水泵、冷却水腔、风扇、散热器、节温器等组成。风冷却系由气缸体、气缸盖上的散热片、导流罩、风扇等组成。

七、起动装置

它的作用是驱动内燃机从静止状态转入运转状态。由于起动方式不同起动装置有起动机、起动汽油机或压缩空气起动设备等。

第四节 内燃机的主要性能指标

内燃机的性能通常用其动力性和经济性的好坏来表达，而动力性与经济性的好坏是用动力性指标（有效扭矩、有效功率等）和经济性指标（耗油率）来评价的。

一、有效扭矩

内燃机曲轴对外输出的扭矩称为有效扭矩，用符号 M_e 表示（单位为 $N \cdot m$ ， $1 N \cdot m = 0.102$

kgf·m)。它是指燃料在气缸中燃烧发热、膨胀做功所产生的力，除去克服各部摩擦阻力和驱动各辅助装置（包括水泵、机油泵、风扇和发电机等）所消耗的功率以外，最后可在曲轴输出端供外界使用的扭矩。

二、有效功率

内燃机在单位时间内对外做功的量称为有效功率，用符号 N_e 表示，单位为kW。当在台架试验测得有效扭矩（ $N\cdot m$ ）和转速（r/min）后，有效功率 N_e 可按下式计算：

$$N_e = \frac{2\pi n}{60} M_e \times 10^{-3}$$

式中 n —— 内燃机转速 r/min

有效功率是内燃机最主要的性能指标之一。在产品铭牌和使用说明书中，都明确规定有效功率的最大使用界限，按国家标准称为标定功率。我国根据内燃机的不同用途规定有四种标定功率，其名称和主要用途如下：

1. 15分钟功率

为内燃机允许连续运转15分钟的最大有效功率。适用于汽车、摩托车等用途的内燃机的功率标定。

2. 1小时功率

内燃机允许连续运转1小时的最大有效功率称1小时功率，它适用于工程机械、装卸机械、拖拉机和内燃机车等用途内燃机的功率标定。

3. 12小时功率

内燃机允许连续运转12小时的最大有效功率，称12小时功率，它适用于拖拉机、内燃机车及农业排灌等用途内燃机的功率标定。

4. 持续功率

内燃机允许长期连续运转的最大有效功率称持续功率，它适用于发电站、船舶以及农业排灌等用途内燃机的功率标定。

在标定任一功率时，必须同时标出相应的转速，称为标定转速。

三、有效燃料消耗率

内燃机对外作相同的功，所消耗的燃料越少，则经济性越好。内燃机每发出一千瓦有效功率，在一小时内所消耗的燃油克数，称为有效燃料消耗率。用符号 g_e 表示，单位为 $g/kW\cdot h$ （ $1 g/kW\cdot h = 0.736 \text{克/马力}\cdot\text{小时}$ ），很明显， g_e 越低，表示内燃机经济性越好。 g_e 可按下式计算：

$$g_e = \frac{G}{N_e} \times 10^3$$

式中 G —— 内燃机每小时的燃料消耗量，单位为kg/h，可在台架试验中测得。

第二章 曲柄连杆机构

第一节 概 述

曲柄连杆机构是内燃机将气缸中的可燃混合气体燃烧时放出的热能转换为机械能的重要机构。它由机体、活塞连杆组和曲轴飞轮组组成。

曲柄连杆机构是在高温、高压、高速和受有化学腐蚀的条件下工作的,工作条件很差,受力情况复杂。其中有气体作用力、往复惯性力、离心力与摩擦力。

一、气体作用力

作用在活塞顶部的气体压力在一个循环的四个冲程中始终存在。进排气过程压力较小,对机件影响不大,故只需研究作功和压缩两个冲程时气体压力的作用。

在作功冲程中,气体压力作用在活塞顶部,方向向下。如图 1—2—1 a 所示,设活塞所受总压力为 P ,传到活塞销上,分解为 P_1 与 P_2 。分力 P_1 可由活塞销传给连杆,并由连杆传给曲柄销,而 P_1 在此又可分为两个分力 R 与 T 。沿曲柄方向的分力 R 使曲轴的主轴颈与主轴颈之间产生压紧力;分力 T 除使主轴颈与主轴颈之间产生压紧力之外,主要可使曲轴产生扭矩 M ,推动曲轴旋转。分力 P_2 把活塞压向缸壁,形成活塞与缸壁之间的侧压力。该力有使机体产生翻倒的趋势,故机体必须支承固定。

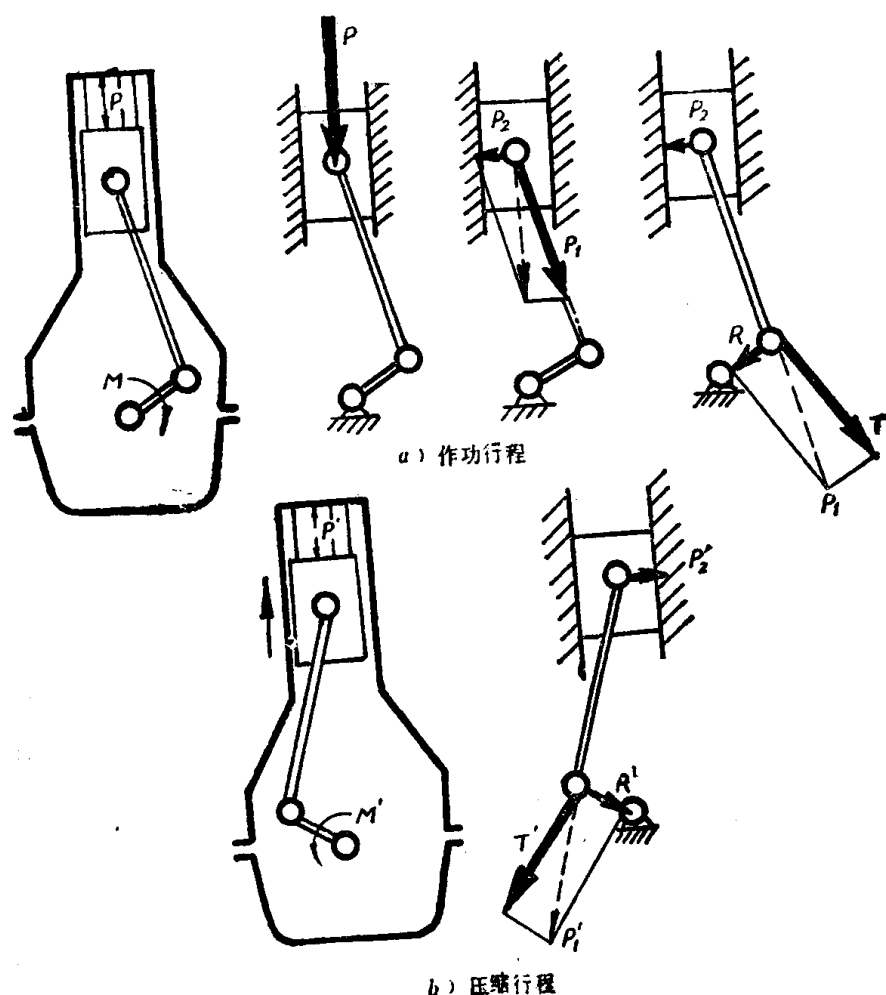


图 1—2—1 气体压力作用情况示意图

在压缩冲程中,气体压力是阻碍活塞向上运动的阻力,此时的总压力为 P' ,经分解得 P'_1 与 P'_2 (图 1—2—1 b), P'_1 又分为 R' 与 T' 。 R' 产生主轴颈与主轴颈之间的压紧力; T' 产生一个阻止曲轴旋转的力矩 M' 。 P'_2 使活塞产生向缸壁另一侧的侧压力。

在工作循环的任何冲程中,气体作用力的大小都随活塞位置不同而变化着。再加上连杆左右摆动,因而作用在活塞销和曲轴轴颈的表面与二者支承表面上的压力和作用点也在不断变化,造成各处磨损的不均匀性。同样,气缸壁也因侧压力的原因沿圆周方向磨损不均匀。

二、往复惯性力和离心力

往复运动的零件，在运动速度和方向发生变化时，就会产生往复惯性力。零件绕某一中心旋转时，就会产生离心力。这两种力在曲柄连杆机构运动中都是存在的。

活塞与连杆小端在气缸中作往复运动时，速度很高而数值不断变化。活塞从上止点向下止点运动时，其速度变化规律是：从零开始，逐渐增大，临近中间达最大值，然后又逐渐减小至零。也就是说，当活塞向下运动时，前半冲程是加速运动，惯性力向上，以 F 表示（图 1—2—2 a）；后半冲程为减速运动，惯性力向下，以 F' 表示（图 1—2—2 b）。同理，活塞向上运动时，前半冲程惯性力向下，后半冲程惯性力向上。

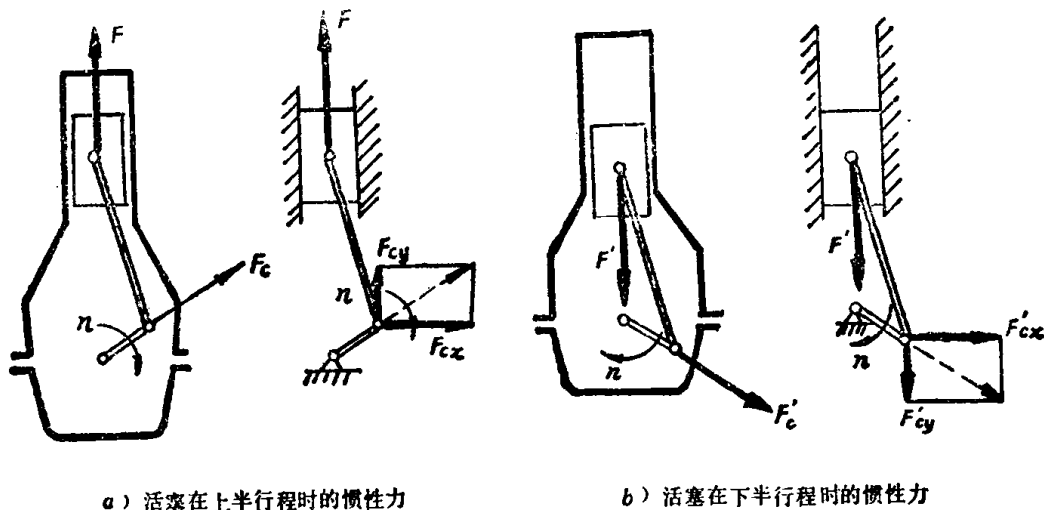


图 1—2—2 往复惯性力和离心力作用情况示意图

活塞、活塞销及连杆小端的质量越大，曲轴转速越大，则往复惯性力也越大。它会使曲柄连杆机构各零件及所有轴颈承受周期性的附加载荷，加快轴承磨损。未被平衡的变化着的惯性力传到气缸体后，还会引起内燃机的振动。

偏离曲轴轴线的曲柄、曲柄销和连杆大端绕曲轴轴线旋转，产生旋转惯性力，即离心力。其方向沿曲柄半径向外，其大小与曲柄半径大小、旋转部分的质量及曲轴转速有关。曲柄半径长，旋转质量大，曲轴转速高，则离心力就大。如图 1—2—2 所示，离心力 F_c 在垂直方向的分力 F_{cy} 与往复惯性力的方向总是一致的，因而加剧了内燃机的上下振动。而水平方向的分力 F_{cx} 则使内燃机产生水平方向的振动。离心力使连杆大端的轴承和曲柄销、曲轴主轴颈及轴承受另一附加载荷，增加其变形和磨损。

三、摩擦力

摩擦力是任何一对互相压紧并作相对运动的零件表面之间必定存在的。其最大值决定于上述各种力对摩擦面形成的正压力和摩擦系数。

上述各力作用在曲柄连杆机构和机体的各有关零件上，使它们受到压缩、拉伸、弯曲和扭转等不同形式的载荷。为了保证工作可靠，减少磨损，在结构上必须采取相应的措施。

第二节 机 体

机体由气缸体、曲轴箱及油底壳组成。机体是内燃机的骨架，在其内外安装着内燃机所有主要的零部件和附件。

水冷式内燃机的各气缸整体地合成一个铸件，在机体内设有冷却系统和润滑系统的回路。而气缸体和上曲轴箱也多铸成一体，保证机体有较大的强度。对于风冷式的内燃机，气缸周围上下都带有散热片，为了便于浇铸气缸需单独铸成，而气缸体和上曲轴箱也分开铸造，再用螺栓连接。

内燃机工作时，机体承受了很大的气体作用力和运动件的惯性力，因此，机体必须确保有足够的强度和刚度，以使机体在受力情况下，仅产生很微小的变形，则各部件几乎保持原有的配合面和中心位置，而不致引起各部件间的异常磨损。不发生漏水漏气和漏油等现象。

机体的材料，一般用灰铸铁，少数内燃机为了提高机体强度，也有用球墨铸铁的。为了减轻重量，有些高速内燃机采用铝合金铸造。风冷式内燃机机体多采用铝合金或灰铸铁。

一、机体的结构型式

移动式的内燃机，利用机体两侧的下部作为整个内燃机的支承点。而曲轴则是通过倒挂式的主轴承支承在上曲轴箱内，主轴承盖倒置在曲轴的下方。这种支承方式载荷由机体承受，因而可采用重量较轻的油底壳，以减轻整机重量。为了增强机体的刚度，

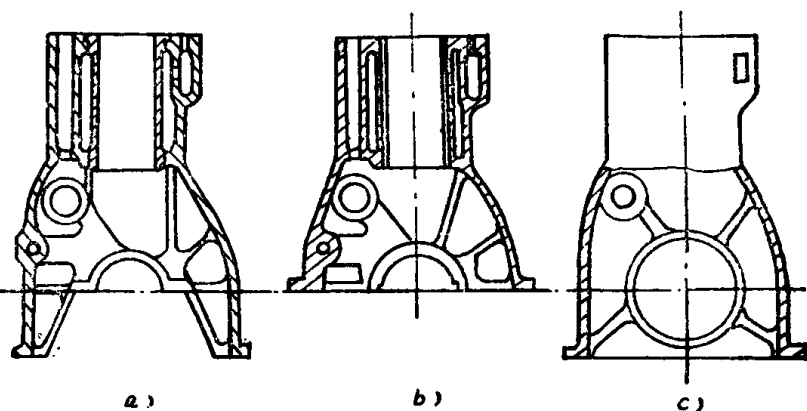


图 1—2—3 机体的结构型式
a) 龙门式；b) 一般式；c) 隧道式。

在上曲轴箱前、后壁和中间隔板上设有加强筋（见图 1—2—3）。

常见的机体型式有三种，如图 1—2—3 所示。

曲轴轴线与气缸体下表面在同一平面上的称为一般式机体，如图 1—2—3 b 492Q 和 475C 型汽油机采用这种结构。

为了增大机体刚度，机体的下平面移至曲轴轴线以下的称为龙门式机体，如图 1—2—3 a。CA15、Q6100-1 型汽油机与 4125、2100 型柴油机都采用这种型式。

主轴承盖和主轴承座制成一体的称为隧道式机体，如图 1—2—3 c。6135Q 型柴油机为了便于安装用滚动主轴承支承的曲轴，采用了隧道式的机体。

图 1—2—4 a 是侧置气门式内燃机的气缸体、气缸盖和气缸垫。由于气门侧置，在气缸体一侧设有气门室 4，以安装配气机构的机件。气门室上部有进、排气道和气门座。图 1—2—4 b 是顶置气门并镶有湿缸套的内燃机气缸体。顶置气门的气缸体一侧有挺杆室，而进、排气道和气门座在气缸盖上。

气缸体内引导活塞作往复运动的圆筒称为气缸。多缸内燃机气缸的排列形式，通常六缸以下采用结构比较简单的单排直列式（如图 1—2—5 a）；对于缸数较多（八缸以上）的内燃机，为了缩短长度，减轻重量和提高刚度，常采用“V”型排列（如图 1—2—5 b）。

二、气缸套

为了节省优质材料，降低制造成本，少数汽油机和几乎所有柴油机采用在气缸体内镶入气缸套的结构。这样，气缸套可用耐磨性较好的材料，以延长使用寿命。而气缸体则采用价格较低的普通铸铁。对于铝合金的气缸体，都镶有气缸套。

常用的气缸套有干式和湿式两种。