

# 内燃机构造

镇江农业机械学院编



中国农业机械出版社

3

《内燃机构造》是工科院校内燃机专业的第一门专业课教材。以讲述内燃机基本工作原理和常用内燃机的构造为主，对于内燃机的新技术及新结构也作了一般介绍。

本课程是一门实践性较强的课程，因此在教学中应尽可能地利用实物、挂图及实感较强的其他教具或教学手段，如幻灯片、电影等结合进行讲授。

学习本课程后，能对内燃机的基本工作原理和构造有一个较全面的认识，为学习后继专业课打下基础。

本书除作为大专院校内燃机专业教材之外，并可作为其他专业学习内燃机构造的教材，也可供广大内燃机工作者学习参考。

## 内 燃 机 构 造

镇江农业机械学院 编

\*

中国农业机械出版社出版

民族印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

\*

787×1092 16开 17 6/8印张 434千字

1981年2月北京第一版·1981年2月北京第一次印刷

印数：00,001—14,800 定价 1.85元

统一书号：15216·037

## 前 言

一九七八年三月，第一机械工业部在天津召开了全国高等院校对口专业座谈会，会上各高等院校内燃机专业讨论决定：统编《内燃机构造》、《内燃机原理》、《内燃机设计》、《内燃机制造工艺学》及《内燃机测试技术》等教材。并确定《内燃机构造》由镇江农机学院主编，由安徽工学院主审。

同年六月，全国二十余所高等院校内燃机专业的教师参加在南宁召开的内燃机教材编写会议，经决定：由于各高等院校内燃机专业要求不同（有的偏重柴油机，有的侧重汽油机，有的着重中小型，有的结合大中型等等），为了减少重复劳动，应使教材具有更大的适应性，这就要求《内燃机构造》对汽油机和柴油机采取兼顾的原则，并以中小型为主，适当照顾大中型高速柴油机，以供各高等院校教学时选用。本书就是根据此次会议所通过的编写大纲进行编写的。

本教材由我院内燃机教研室姜景德等同志编写，由安徽工学院内燃机教研室傅元等同志审阅。在编写过程中，承有关单位及个人提供宝贵资料和协助绘图，对此深表感谢。采用本教材的院校较多，要求不一，加之编写时间紧迫，调查研究不够，难免有不足之处，希各任课教师和广大读者提出宝贵意见，以便再版时修正。

一九七九年八月

# 目 录

绪 论	1	第二节 汽油机燃料供给系的组成	139
第一章 内燃机的基本工作原理 和总体构造	4	第三节 简单化油器与可燃混合气 的形成	145
第一节 内燃机的基本名词术语及分类	4	第四节 可燃混合气浓度及汽油机各种 工况对可燃混合气浓度的要求	147
第二节 四冲程内燃机工作原理	7	第五节 化油器的各供油装置	150
第三节 二冲程内燃机工作原理	12	第六节 化油器的类型及产品型号	156
第四节 多缸内燃机工作顺序	15	第七节 典型化油器构造	159
第五节 内燃机的总体构造	16	第八节 汽油喷射	176
第六节 内燃机的主要性能指标	21	第七章 润滑系	181
第七节 内燃机名称和型号编制规则	22	第一节 机油的性能与选用	181
第二章 曲柄连杆机构	24	第二节 润滑方式和润滑系的组成	184
第一节 曲柄连杆机构的运动和受力	24	第三节 润滑系主要部件	191
第二节 内燃机平衡概念	26	第四节 曲轴箱通风	201
第三节 运转平稳性	27	第八章 冷却系	203
第四节 活塞组	27	第一节 水冷却系统	203
第五节 连杆组	37	第二节 风冷系统	214
第六节 曲轴飞轮组	44	第三节 几种内燃机的冷却系统	217
第三章 机体及气缸盖	55	第九章 起动机	224
第一节 机体	55	第一节 概述	224
第二节 气缸盖和气缸垫	59	第二节 电动机起动机	225
第三节 风冷式内燃机的气缸体和气缸盖	62	第三节 柴油机用汽油机起动机	231
第四章 配气机构	66	第四节 压缩空气起动机	236
第一节 气门式配气机构的布置及传动	66	第五节 其他起动机	238
第二节 配气机构的组成及其零件	70	第六节 改善内燃机起动机性能的措施	239
第三节 配气相位与气门间隙	80	第十章 汽油机点火系	244
第四节 进、排气系统	82	第一节 点火系的功用和要求	244
第五章 柴油机燃料供给系	86	第二节 蓄电池点火系	245
第一节 柴油的主要性能与选用	86	第三节 磁电机点火系	255
第二节 柴油机燃料供给系的功用和组成	89	第四节 点火系的点火正时	260
第三节 柴油机燃料供给系低压油路 的组件	90	第五节 晶体管点火系	261
第四节 柴油机中混合气的形成和燃烧	96	第十一章 电源及电气设备	264
第五节 喷油泵	101	第一节 蓄电池	264
第六节 喷油器及喷油提前角调节器	116	第二节 直流发电机	266
第七节 调速器	120	第三节 直流发电机调节器	268
第六章 汽油机燃料供给系	137	第四节 永磁式交流发电机	273
第一节 汽油的性能和选用	137	第五节 硅整流发电机及其调节器	275

# 绪 论

## 一、内燃机发展简史

早在古代，风力与水力便一直用作行船、碾谷及提水工具等的动力，以后风磨得到很好的发展，而水力机也发展到了近代的水涡轮。但它们在使用上受到诸如地区、气候、应用范围及使用效率等的各种限制。

约在1700年，英国人纽卡姆制成了直立气缸、密封式活塞、缸内喷水冷却的蒸汽机。1763年英国人瓦特改良了纽卡姆蒸汽机，并于1764~1786年间研究革新，对促进蒸汽机近代化作出了贡献。1814~1829年英国人司蒂芬生制成蒸汽机车。1889年商用冲击式蒸汽轮机问世。

蒸汽机的发展与推广经历了约50年，广泛应用的全盛时代约70年，连续应用约140年。蒸汽机的应用虽使工业飞跃发展，促成了工业上的革命，但它存在着效率低、贮水锅炉预热时间长、设备投资大、移动不便及操作麻烦等缺点，因而不能适应生产发展的需要。

自古以来一切发明创造都是广大劳动群众实践活动的成果。内燃机的创制和发展也是劳动群众劳动智慧的集中和长期工作经验的积累。内燃机的发明是在使用蒸汽机的基础上、仿照蒸汽机的结构，在气缸中燃烧照明煤气作为开端的。内燃机的发明发展过程是首先成功地创制了煤气机，在煤气机的基础上创新地改进为汽油机，并创制为柴油机。

煤气机的原始型式是1678年法国人浩特佛勒发明用枪炮的火药进行爆炸，给予活塞以推动压力，使其在圆筒内作功的一种发动机。此后又经一些人的研制，分别解决了进气压缩及电火花点火等问题。1883年英国人莱特发明直立双作用煤气机，系用空气及煤气混合物的燃烧，交互作用在活塞的两端，如同蒸汽机中蒸汽的作用一样。1860年法国人勒纳仿蒸汽机制成煤气机。至于实用的煤气机的制成，则应归功于德国人奥托，他于1876年创制了按等容燃烧的四冲程煤气机。

汽油机的发明，系自1883年英国人司派尔仿照奥托四冲程煤气机创制汽油机开始。1885年汽油机得到广泛应用。1887年第一台汽油机汽车制成。汽油机具有轻小价廉，运转轻松及启动、使用简便等优点，经不断改进，迄今已日益完善，现在游览车、轻型卡车、低功率航空机以及某些军用动力均大量应用汽油机，在美国汽油机汽车占有很大比重。

柴油机的发明创制系沿以下两个方向进行的：

1. 从改进已有汽油机故障，特别是防止早燃的实用方面进行。它以1885~1890年英国人斯托尔特为代表，后来他们发明了烧球式柴油机或称半柴油机。

2. 从提高汽油机热效率，特别是通过提高压缩压力，达到燃料自燃的理论研究着手。进行这一工作的有1890年德国班克教授及1893~1897年德国狄塞尔工程师。

狄塞尔最初致力于实现具有最高热效率的卡诺循环。后因在发动机中，加热过程的性质不能做到等温压缩及等温膨胀，乃改用等压燃烧。他首创了压缩点火方式，采用较高的压缩比提高了热效率并首创燃烧的理论。1897年创制柴油机成功，1898年柴油机作为商品出售。

柴油机的发展在 1914 年以前是缓慢的，1914~1918 年第一次世界大战期间，迫于战争的需要才大量生产。但柴油机的广泛应用系在 1950 年左右，当喷油泵日益完善之日起。

柴油机的专业应用：1898 年首先用于固定式。1902 年用于商船动力，1904 年装于海军舰艇。1912 年第一台柴油机车建成。1920 年左右应用于汽车及农业机械。1932 年德国制成容托航空柴油机，1936 年至 1939 年负有盛名的容克式航空柴油机制成。

早期的柴油机均系四冲程，1905 年瑞士制成第一台船用二冲程柴油机，1936 年美国通用汽车公司中、小功率柴油机采用了二冲程型式。二冲程柴油机具有较高的单位容量功率和均匀的扭矩，并且结构简单、价廉。但它的燃油及润滑油消耗量较高、冷却较难和耐用性较差，以上缺点近年来已有显著改进。

废气增压从 1930 年开始大量应用于四冲程柴油机，1942 年起在低速、重型二冲程柴油机上应用。目前四冲程柴油机增压，可提高有效功率 50~200%，二冲程柴油机增压，提高 35~150%。

现在柴油机已发展到较为完善程度，在动力机中占有极重要地位。它的最高有效效率已达 46%。目前往复蒸汽机有效效率约为 16%，高参数蒸汽轮机约为 35%，汽油机约为 30%。柴油机的功率范围，单机功率最小为 1.5 马力，最大为 48000 马力。它已广泛应用于工业及农业、军用和民用等各种不同用途。

柴油机今后的发展将从改进结构、采用新材料、应用新工艺、改善燃烧过程、采用较高的废气增压以及用重油作为燃料等一些方面进行。以求达到增长寿命、提高功率及提高经济性等目标。

## 二、我国内燃机发展概况

我国为世界最早文明古国之一，历史悠久，人民勤劳智慧，世界上最重大的发明如指南针、火药、造纸及印刷术等均源始于我国。

我国人民自古代起，在喜庆节日中燃放的火药铳、土枪及土炮等的制成使用，实系煤气机的原始型式。1901 年上海均和安机器厂研制了我国第一台内燃机。1909 年上海求新机器轮船厂生产了我国第一台 5 马力煤气机。由于我国人民长期以来深受封建主义和官僚资本主义的压迫以及帝国主义的侵略，致使人民高度智慧的发明创造得不到发展，造成科学技术停滞不前和工农业生产十分落后。旧中国的内燃机工业事实上已沦为帝国主义国家机器销售市场和零件装配的工厂。

1949 年我国人民获得解放，全国人民在共产党领导下进行社会主义建设，内燃机工业如同其它工业一样得到蓬勃的发展。上海、南京、天津、重庆、长春和洛阳等大城市，现代化的大型内燃机制造厂迅速建成生产；各省、市、县的内燃机厂或农机厂均纷纷设立开工。现不仅已完成从无到有的仿造内燃机阶段，并能自行设计制造，自力创新。所有汽车、拖拉机、机车、船舶、发电站及工程机械等配套的内燃机已大、中、小各型并举，多种用途配套齐全，除已能大量供应国内需要外并已有一部分销售国际市场。目前我国正为实现四个现代化开始了新的长征，并准备有计划地引进国外的新技术及先进设备，期于短期内建成中国式现代化的内燃机工业，赶超世界先进水平。

### 三、内燃机在国民经济中及实现四个现代化中的地位和作用

内燃机具有体积小、重量轻、机动性能好、热效率高、功率和转速范围广、配套方便、造价较廉、使用经济性好以及使用维修方便等特点。因此在国民经济和军事装备中应用广泛并极为重要。

内燃机在机械排灌和小型发电站常用作动力；在汽车、拖拉机、内燃机车、内河航运和远洋巨轮作为动力装置；它是工业、农业、林业及各种繁重劳动过程机械化的强大动力基础；它是坦克、装甲车、自动炮、海军舰艇和低速飞机的动力心脏。

我国现正为实现四个现代化，加速发展工业、农业的生产和对科学技术及国防工业的兴建。百业待举，动力居先。在发展内燃机工业和提高内燃机性能方面，对设计和生产多品种、一机多用（多种性能和用途）、功率大、重量轻、体积小、热效率高、经济性好、成本低、可靠耐用以及振动轻、噪音小、公害少的内燃机，更具有重大作用和深远意义。

### 四、内燃机分类

发动机是将一种能量转变为机械能的机器。按照转变能量的方法，发动机可分为热力机，电力机，水力机，风力机及原子能发动机。

热力发动机将燃料燃烧而得的热能转变为机械能。燃料在发动机外部燃烧的热力发动机叫做外燃机，它包括活塞式蒸汽机和蒸汽轮机；燃料在发动机内部燃烧的热力发动机叫做内燃机，它包括活塞式内燃机、燃气轮机、复合式发动机和喷气式发动机。

活塞式内燃机应用范围很广泛，可用作固定式和移动式作业，目前，正广泛用于汽车、拖拉机、农业机械、机车、船舶及工程机械等。

活塞式内燃机根据活塞运动方式不同分为往复式及旋转活塞式。往复式内燃机的气缸为圆筒形，活塞在气缸中作直线往复运动，它的应用最早且最为广泛；旋转活塞式内燃机的活塞作为转子，在特定型面气缸内绕转轴作旋转运动，它是近年来新发展的机型。旋转活塞式与往复式内燃机相比较：它的优点有结构简单、体积小、振动小、重量轻、运动平稳及成本低等。它的缺点是经济性差、低速动力性差和起动性差等。

# 第一章 内燃机的基本工作原理和总体构造

## 第一节 内燃机的基本名词术语及分类

活塞式内燃机按活塞运动方式的不同，可分为往复式及旋转式两种。后者是近一、二十年发展起来的新型内燃机，而前者则是长期以来广泛应用的一种内燃机。本书仅介绍往复式内燃机的构造。

往复式内燃机（以下简称为内燃机）按所用燃料的不同，可分为柴油机、汽油机等。下面以一种具体的内燃机——柴油机为例，以说明其一般构造。

### 一、内燃机的一般构造

图1-1为单缸柴油机的构造简图。圆柱形的活塞8装在圆筒形的气缸11内，并可沿气缸中心线作往复运动。活塞通过活塞销9与连杆10的小头相连。连杆的大头滑套在曲轴12的曲柄销上。曲轴的两端支承在曲轴箱13的轴承上。因此，活塞作往复运动时就可带动曲轴作旋转运动。曲轴的尾端装有圆盘形的飞轮14。气缸上部装有气缸盖4，使活塞顶部与气缸盖之间构成密闭的空间作为燃烧室。装在气缸盖上的进气门7和排气门6，根据工作需要而开启或关闭。

当柴油机工作时：首先由曲轴带动活塞由上向下移动，空气经进气管、进气门进入气缸内；继之活塞反向上移，气缸内空气受到活塞的压缩，随后柴油通过进油管2经喷油器喷入燃烧室，与被压缩的高温空气接触而着火燃烧，由于燃气膨胀而产生巨大的压力推动活塞向下运动，并通过连杆使曲轴旋转，因而对外输出扭矩做功；最后，活塞由下向上移动，将膨胀后的废气排出气缸。至此，完成了一个工作循环。一个又一个工作循环的重复进行，使内燃机连续运转起来。

### 二、内燃机的基本名词术语

图1-2分别表示当曲轴转动时活塞在气缸内的两个极端位置。

#### 1. 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的最远位置称为上止点，离曲轴旋转中心的最近位置称为下止点。上、下止点间的距离称为活塞冲程，简称冲程（又叫行程），用符号 $S$ 表示。

曲轴每转动半圈（即 $180^\circ$ ），相当于一个冲程。若用符号 $r$ 表示曲柄半径（即由曲轴旋转中心到曲柄销中心的距离），则

$$S = 2r$$

即活塞冲程等于两倍的曲柄半径长度。

#### 2. 气缸容积

活塞在气缸内作往复运动的过程中，气缸内的工作容积不断变化着。当活塞位于上止点位置时，活塞顶上面的气缸空间叫做燃烧室。这个空间容积称为燃烧室容积（也叫压缩容积），用符号 $V_c$ 表示。



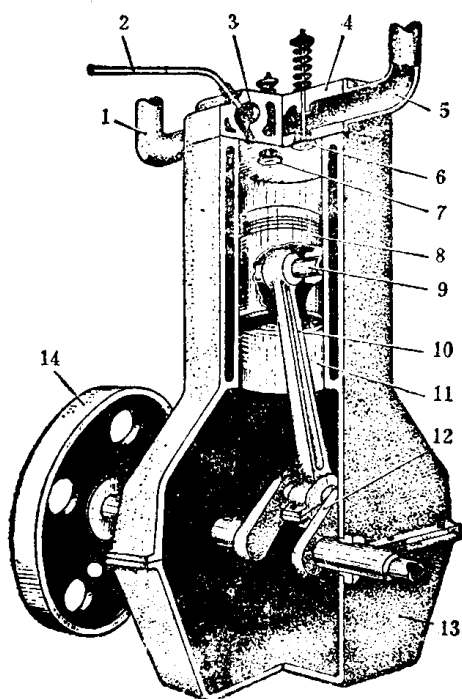


图 1-1 单缸柴油机构造简图

- 1—进气管 2—进油管 3—燃烧室 4—气缸盖  
5—排气管 6—排气门 7—进气门 8—活塞  
9—活塞销 10—连杆 11—气缸 12—曲轴  
13—曲轴箱 14—飞轮

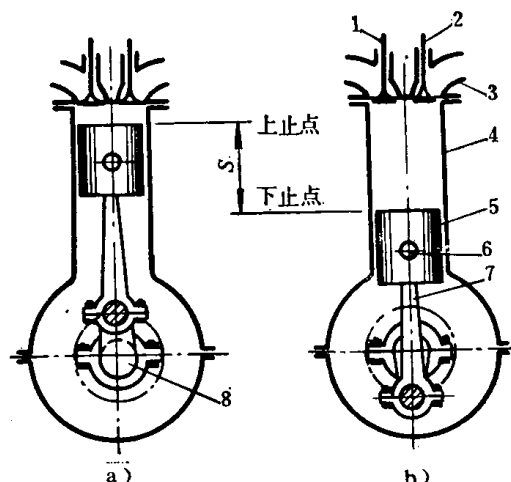


图 1-2 内燃机工作简图

- 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

活塞从上止点移动到下止点,它所扫过的空间容积称为气缸工作容积,用符号  $V_h$  表示。

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

式中  $D$ ——气缸直径 (毫米);  
 $S$ ——活塞冲程 (毫米)。

活塞位于下止点时,活塞顶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 (指具有两个或两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

$$V_H = \frac{\pi}{4} i D^2 S \times 10^{-6} \quad (\text{升})$$

### 3. 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  $\varepsilon$  表示,即

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

压缩比表示了活塞从下止点移动到上止点时,气体在气缸内被压缩的程度。压缩比越大,表示气体在气缸内受压缩的程度就越大,压缩终点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。由于燃料性质的不同,不同类型的内燃机对压缩

比有不同的要求。柴油机要求较大的压缩比，一般  $\varepsilon = 12 \sim 22$ ；而汽油机的压缩比较小，一般  $\varepsilon = 6 \sim 9$ 。

### 三、内燃机的分类

往复式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，通常按照所采用的燃料、工作循环、结构型式和用途等的不同，大致分类如下：

#### 1. 按所用的燃料分类

可分为柴油机、汽油机、煤气机等。

#### 2. 按工作循环的冲程数分类

内燃机的工作循环由进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个工作过程所组成。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（即曲轴旋转两圈）完成一个工作循环的内燃机称为四冲程（或四行程）内燃机；活塞连续运行两个冲程（即曲轴旋转一圈）完成一个工作循环的内燃机称为二冲程（或二行程）内燃机。

#### 3. 按气缸数及其排列方式分类

按气缸数可分为单缸内燃机和多缸内燃机两类。所有气缸中心线在同一垂直平面内的称为直列立式（图 1-3a）；所有气缸中心线在同一水平平面内的称为直列卧式（图 1-3b）；而气缸中心线分别在两个平面内，并且两平面相交呈“V”形的称为 V 型（图 1-3c）；当 V 型夹角为  $180^\circ$  时，则称为对置式（图 1-3d）。

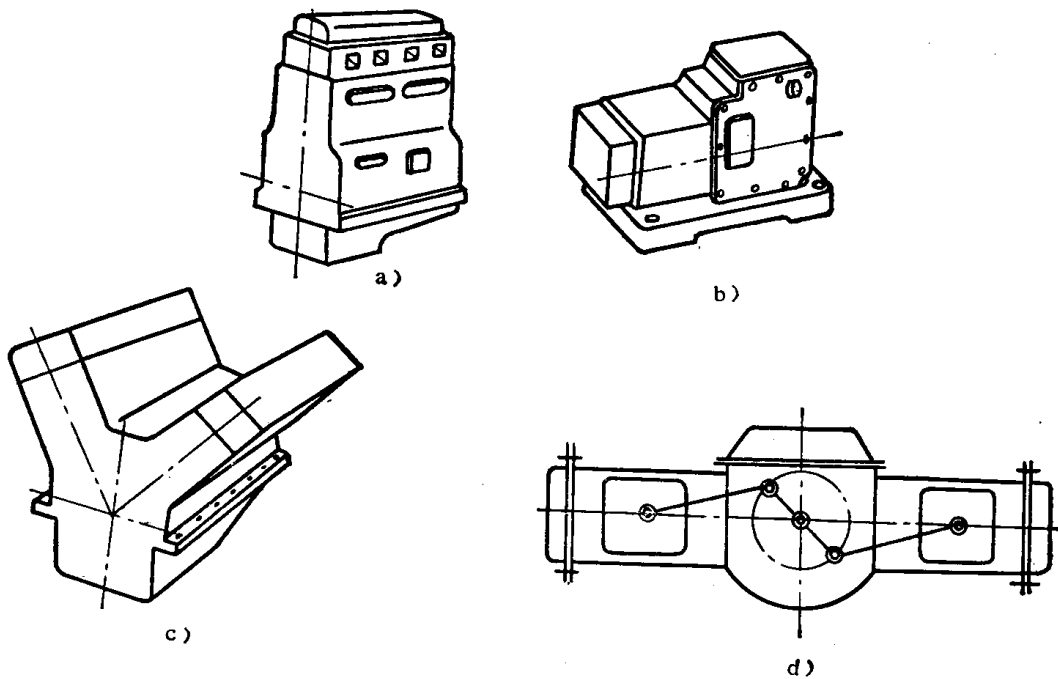


图 1-3 气缸排列型式

a) 直列立式 b) 直列卧式 c) V 型 d) 对置式

#### 4. 按冷却方式分类

利用水作冷却介质的称为水冷内燃机，利用空气作冷却介质的称为风冷内燃机。

#### 5. 按照进气方式分类

内燃机上没有增压器，空气是靠活塞的抽吸作用进入气缸内的称为非增压式（或自然吸

入式) 内燃机。

内燃机上装有增压器, 空气通过增压器提高压力, 然后进入气缸内的称为增压式内燃机。

#### 6. 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内燃机, 称为压燃式(或自燃式)。柴油机就属于这种着火方式, 所以, 它又称作压燃式内燃机。

利用火花塞发出的电火花强制点火点燃燃料, 使其着火燃烧的内燃机称为点燃式。汽油机和煤气机都属于这种着火方式, 它们又称作点燃式内燃机。

#### 7. 按可燃混合气形成的方法分类

燃料和空气在气缸外先混合好然后进入气缸的, 称为外部形成混合气。如汽油机和煤气机均为外部形成混合气的内燃机。

燃料在临近压缩终了时再喷入气缸, 在气缸内与空气混合的, 称为内部形成混合气。如柴油机为内部形成混合气的内燃机。

#### 8. 按用途分类

作为固定设备动力的内燃机称为固定式。转速固定不变是它的重要特点。如发电机用及农用(抽水、脱粒等固定作业)内燃机均属固定式。

作为移动机械动力的内燃机称为移动式。如汽车拖拉机用、船用、工程机械用、机车用等内燃机均属移动式。

## 第二节 四冲程内燃机工作原理

### 一、四冲程柴油机工作原理

图 1-4 为单缸四冲程柴油机工作过程的示意图。四个图形 a b c d 分别表示四个冲程在开始与终了时的活塞位置。

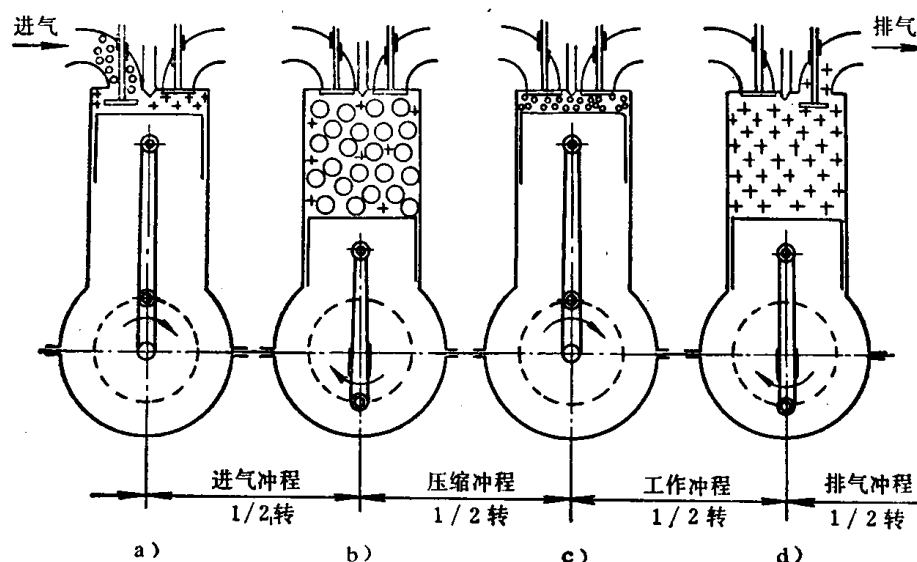


图 1-4 单缸四冲程柴油机工作过程示意图

为了分析工作循环中气体压力在气缸内的变化情况，图 1-5 绘出了单缸四冲程柴油机气缸内压力  $p$  和相应于活塞不同位置的气缸容积  $V$  之间的变化关系曲线，它所包围的面积能表示内燃机整个工作循环中气体在气缸内所作的功，故称为示功图。该图可由实验方法测定。

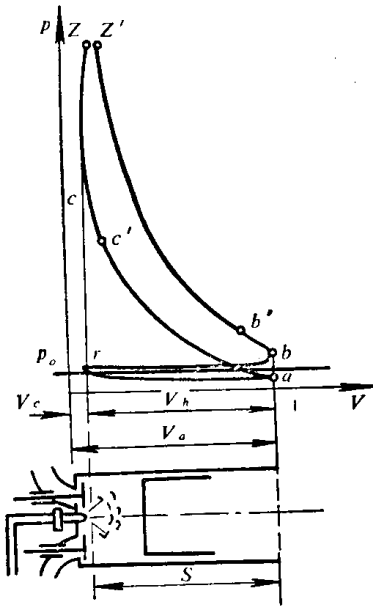


图 1-5 单缸四冲程柴油机示功图

下面对照单缸四冲程柴油机工作过程的示意图和示功图，来说明它的工作过程。

### 第一冲程——进气冲程

活塞从上止点移动到下止点。这时进气门打开，排气门关闭。

当进气冲程开始时，活塞位于上止点位置(图 1-4a)。气缸内(燃烧室)残留着上一工作循环未排净的残余废气(图中以小十字符号表示)。它的压力  $p_r$  (图 1-5 中  $r$  点)稍高于大气压力  $p_0$  (图 1-5 中水平线)，约为 1.05~1.15 巴 (1 巴 =  $10^6$  达因/厘米<sup>2</sup> = 1.02 公斤力/厘米<sup>2</sup>)。

当曲轴沿图 1-4a 中箭头所示方向旋转时，通过连杆带动活塞向下移动，同时进气门打开。随着活塞下移，活塞顶部的气缸容积逐渐增大，压力随之减小，当压力低于大气压力  $p_0$  时，外部新鲜空气开始被吸入气缸。直到活塞移动到下止点位置，气缸内充满了新鲜空气以及残余废气。

在新鲜空气进入气缸的过程中，由于受空气滤清器、进气管、进气门等处阻力的影响，使进气终了时气缸内的气体压力  $p_a$  略低于大气压力  $p_0$ ， $p_a$  约为 0.80~0.95 巴。又因新鲜空气从高温的残余废气和燃烧室壁、活塞顶等高温机件处吸收热量，故进气终了气缸内气体的温度  $T_a$  可达 300~340K ( $T_k = t^\circ\text{C} + 273.15$ )。在示功图上， $r-a$  线即表示进气冲程中气缸内气体压力随容积变化的情况。由图可看出，进气冲程中气缸内气体压力基本保持不变。

### 第二冲程——压缩冲程

活塞由下止点移动到上止点。在这期间，进、排气门都严密关闭。

当压缩冲程开始时，活塞位于下止点(图 1-4 b)。曲轴在飞轮惯性作用下带动旋转，通过连杆推动活塞向上移动，气缸内气体容积逐渐减小，气体被压缩，其压力和温度随着升高。

为了实现高温气体引燃柴油的目的，柴油机都具有较大的压缩比，使压缩终了时，气缸内气体温度  $T_c$  比柴油的自燃温度(约 600 K)高出 200~300 K，即  $T_c = 750\sim 950$  K，而压力  $p_c = 30\sim 50$  巴(图 1-5 中  $c$  点)。

在示功图上， $a-c'-c$  线表示了压缩冲程中气缸容积与压力的变化情况。

为了充分利用燃料燃烧所产生的热能，要求燃烧过程能够在活塞移动到上止点略后位置迅速完成，以使燃烧后的气体充分膨胀多做功。但是，由于燃料喷入气缸内时必须经过一定的着火准备阶段，才能实现燃烧。因此，在实际柴油机工作中，在压缩冲程结束前(约在上止点前  $10^\circ\sim 35^\circ$  曲轴转角)开始将燃料喷入气缸内。图 1-5 中  $c'$  点表示喷油开始时间，它所对应的至上止点的曲轴转角称为喷油提前角。

### 第三冲程——做功冲程(燃烧膨胀冲程)

活塞又从上止点移动到下止点。此时，进、排气门仍然都关闭着。

由于喷入气缸内的燃料在高温空气中着火燃烧,产生大量热能,使气缸内的气体温度、压力急剧升高。高温、高压气体推动活塞向下移动,通过连杆,带动曲轴旋转。因为只有这一冲程才实现热能转化为机械能,因此,通常把这一冲程称为作功冲程。

在作功冲程中,气缸内气体的最高温度  $T_z = 1800 \sim 2200 \text{ K}$ , 最高压力(最大爆发压力)  $p_z = 60 \sim 90 \text{ 巴}$ 。随着活塞被推动着下移,气缸容积逐渐增大,气体压力随之逐渐减小。示功图上  $c-z-z'-b$  线表示出这一冲程中气缸容积与压力的变化情况。在这一曲线上,几乎垂直的  $c-z$  段,表示出燃料急剧燃烧时压力的升高程度。还应指出,由于柴油的喷射、与空气的混合及燃烧要延续一个时期,此时相应的活塞位置已向下止点移动了一小段距离,但气缸中压力并不立即下降,直至燃烧基本结束 ( $z'$ ),因此,在示功图上出现  $z-z'$  一段等压燃烧线。

活塞到达下止点时,作功冲程结束,燃气温度降至  $T_b = 1000 \sim 1200 \text{ K}$ , 压力降至  $p_b = 3 \text{ 巴}$  左右。

#### 第四冲程——排气冲程

活塞又从下止点移动到上止点。此时,排气门打开,进气门关闭。

排气冲程开始时,活塞位于下止点,气缸内充满着燃料燃烧后并已膨胀作功的废气。排气门打开后,废气随着活塞上移,被排出气缸之外。

在示功图上,  $b-r$  线表示了排气冲程中气缸容积与压力的变化情况。从图上可以看出,排气压力几乎保持不变,略高于大气压力  $p_0$ 。排气终了时的温度  $T_r = 700 \sim 900 \text{ K}$ , 压力  $p_r = 1.05 \sim 1.2 \text{ 巴}$ 。

排气冲程结束时,活塞又回到上止点位置(图 1-4a 及图 1-5 中  $a$  点)。至此,单缸四冲程柴油机经历了活塞上下往复各两次的四个冲程,完成了由进气、压缩、燃烧、膨胀、排气的五个工作过程所组成的一个工作循环。

排气冲程结束后,曲轴依靠飞轮转动的惯性作用仍继续旋转,上述各过程又重复进行。如此周而复始地进行一个又一个的工作循环,使柴油机能连续不断地运转起来,并带动工作机械作功。

## 二、四冲程汽油机的工作原理

四冲程汽油机和四冲程柴油机一样,每个工作循环同样经历进气、压缩、作功、排气四个冲程。图 1-6 及图 1-7 为单缸四冲程汽油机的工作原理图及示功图。

### 第一冲程——进气冲程

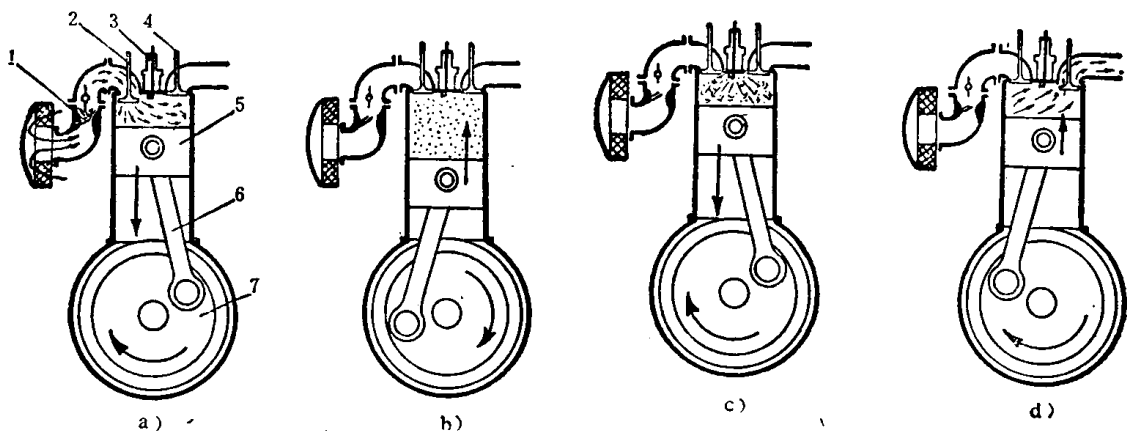


图 1-6 单缸四冲程汽油机工作原理图

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

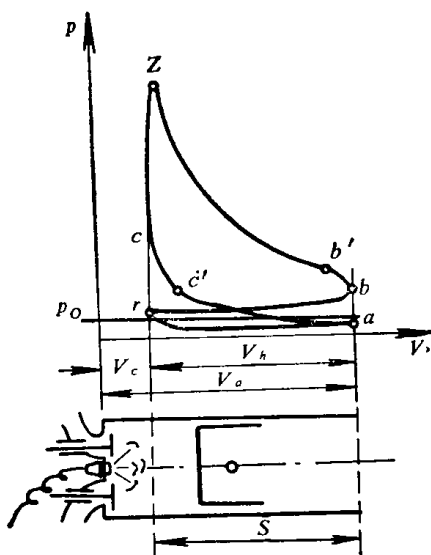


图 1-7 单缸四冲程汽油机示功图

### 第二冲程——压缩冲程

如图 1-6b、c 所示。当压缩冲程将近结束时 (图 1-7 上  $c'$  点), 一个装在气缸盖上其头部伸入燃烧室内的附件——火花塞 3 便发出电火花, 点燃被压缩的工作混合气。其压缩终了的压力和温度都比柴油机低, 一般  $p_c = 8 \sim 14$  巴,  $T_c = 600 \sim 700$  K。

在示功图 1-7 上,  $a-c'$  表示了压缩冲程。

### 第三冲程——作功冲程

由于混合气在燃烧前已混合得相当均匀, 因此, 在火花塞点火后, 燃烧过程进行得很快, 燃烧的延续时间很短。在示功图 1-7 上, 从  $c'$  点开始, 到  $z$  点燃烧基本结束, 它没有柴油机的等压燃烧阶段。由于其压缩比比柴油机低, 故其最大爆发压力  $p_z$  也较柴油机低,  $p_z$  约为  $30 \sim 50$  巴。而其最高燃烧温度  $T_z$  则比柴油机高,  $T_z$  约为  $2200 \sim 2700$  K。

作功冲程 (燃烧膨胀冲程) 在示功图 1-7 上如  $c-z-b$  所示。膨胀终了的压力  $p_b$  约为 4 巴, 温度  $T_b$  约为  $1200 \sim 1500$  K, 均比柴油机高, 这是由于汽油机压缩比较低而造成膨胀不充分所致。

### 第四冲程——排气冲程

与柴油机基本相同。在示功图上用曲线  $b-r$  表示。排气终了时的废气温度  $T_r$  约为  $800 \sim 1100$  K, 压力  $p_r$  约为  $1.05 \sim 1.2$  巴。

## 三、柴油机与汽油机的比较

1. 柴油机压缩比较大, 燃气膨胀较充分, 膨胀终了的燃气温度较低, 热量利用程度较好, 比汽油机省燃料。同时, 柴油的价格比汽油便宜, 因此, 柴油机的使用经济性更好。
2. 柴油机坚固耐用。
3. 柴油机没有点火系统, 所以故障较少, 保养容易, 工作可靠。
4. 柴油机气缸内压力较高, 机件受力较大, 刚度和强度要求较高。因此, 与相同功率的汽油机相比, 其体积较大, 重量也大一些。
5. 柴油机中喷油泵和喷油器的精密度高, 加工比较困难, 其制造成本较高。
6. 柴油机运转时噪声较大。

进气冲程是汽油与空气的混合气被吸进气缸的过程。与柴油机不同的是: 进入气缸的不是空气而是汽油与空气的可燃混合气。如图 1-6 a 所示。在进气通道上装有专门配制可燃混合气的部件——化油器 1, 空气流经化油器喉管时通常具有较高的速度, 将吸出的汽油吹散和雾化, 并随同空气一起经进气管道、进气门进入气缸内。

由于汽油机的转速一般比柴油机高, 以及化油器中节气门的存在, 其进气阻力高于柴油机, 故其进气终了压力  $p_a$  略低于柴油机, 一般  $p_a$  约为  $0.75 \sim 0.9$  巴。其进气终了的温度  $T_a$  比柴油机略高,  $T_a$  约为  $370 \sim 400$  K。

在示功图 1-7 上,  $r-a$  即表示进气过程。曲线  $ra$  位于大气压力线  $p_0$  以下, 它与大气压力线纵座标之差即表示气缸内的真空度。

7. 柴油机借助于压缩终了空气的高温来使柴油着火，所以较难起动。

因此，柴油机广泛应用在农用动力、拖拉机、载重汽车、工程机械、机车、船舶等方面；而汽油机则具有结构轻巧、制造方便、工作平稳、起动容易等优点，常用在小客车、轻型载重汽车及小型农用动力（如喷粉喷雾机、插秧机）等方面。

#### 四、增压式内燃机工作原理

前面介绍的内燃机不带增压器，称为非增压式内燃机；而带增压器的内燃机，则称为增压式内燃机。

增压是将进入内燃机气缸的空气，通过压气机构（增压器）预先压缩，提高进气压力，有时还通过中间冷却器加以冷却，降低进气温度，以提高其重度，同时增加喷油量，从而达到多烧燃料，提高功率的目的。增压是现代内燃机的重要发展趋势之一，特别是在中等以上功率的柴油机中，得到愈来愈广泛的应用。

增压器的种类很多，按照它所用能量的来源不同，可分为机械式增压、废气涡轮增压及复合式增压等型式。目前使用最广泛的是废气涡轮增压。

废气涡轮增压柴油机的工作原理如图1-8所示。将柴油机排气管1接到增压器的涡轮壳4上。柴油机排出的具有770~920K高温和一定压力的废气经涡轮壳4进入喷嘴环2，由于喷嘴环的通道面积做成由大到小，因而废气的压力和温度下降，而速度却迅速提高。这个高速的废气气流，按着一定的方向冲击着涡轮3，使涡轮高速旋转。废气的压力、温度和速度越高，涡轮转的越快。通过涡轮的废气最后排入大气。

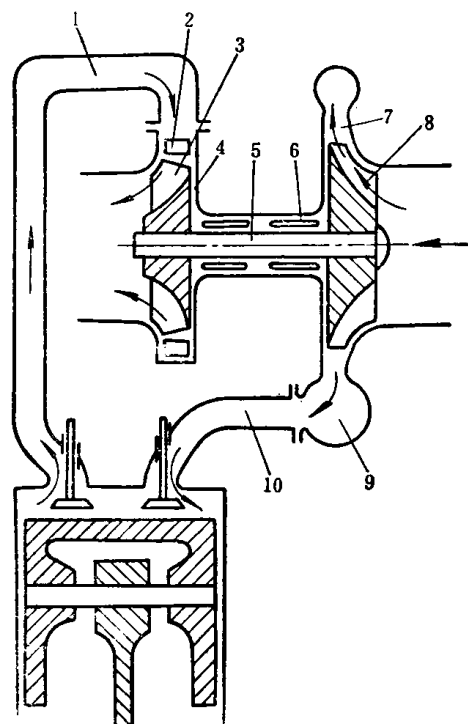


图1-8 废气涡轮增压柴油机工作原理图

1—排气管 2—喷嘴环 3—涡轮 4—涡轮壳  
5—转子轴 6—轴承 7—扩压器 8—压气机  
叶轮 9—压气机壳 10—进气管

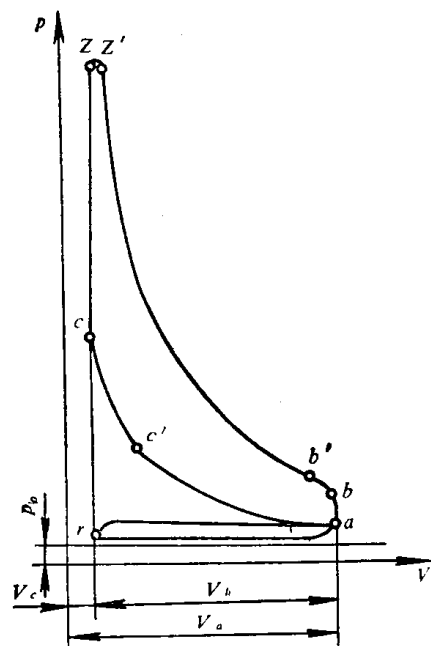


图1-9 四冲程增压式柴油机示功图

因为涡轮3与压气机叶轮8固装在同一根转子轴上，所以压气机叶轮也与涡轮以相同的速度旋转，将经过空气滤清器滤清过的空气吸入压气机壳。高速旋转的压气机叶轮8把空气甩向叶轮的外缘，使其速度和压力增加，并进入扩压器7。扩压器7的形状做成进口小出口大，因此，气流的速度下降压力升高。再通过断面由小到大的环形压气机壳9使空气气流的压力继

续提高。这个高压气体经柴油机进气管 10 进入气缸与柴油混合燃烧，从而保证发动机发出更大的功率。由于涡轮和压气机作成一体，所以这种增压器称为废气涡轮增压器。

增压内燃机的缺点是增加了发动机的机械负荷和热负荷，还要有一套适当的增压器，涡轮转速很高，以致对材料、制造和使用有较高的要求。表 1-1 所列为增压式四冲程柴油机工作循环各特征点的压力和温度数值，图 1-9 为它的示功图。

由示功图 1-9 可知，当增压时进气线  $r-a$  的位置高于排气线  $b-r$ ，而非增压内燃机则相反（见图 1-5 及图 1-7）。

表 1-1 高速四冲程增压式柴油机工作循环各特征点参数

特征点 参数	进气 终了 $a$	压缩 终了 $c$	燃烧 终了 $z$	膨胀 终了 $b$	排气 终了 $r$
压力 $p$ (巴)	1.3~2.5	50~90	90~160	5~8	1.2~1.3
温度 $T$ (K)	320~450	1200~1400	2300~2600	1300~1500	1000~1100

### 第三节 二冲程内燃机工作原理

二冲程内燃机的工作循环也是由进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个工作过程所组成，由于它要在两个冲程内完成，因而与四冲程内燃机在结构与工作原理方面有很大的差别。

#### 一、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、沿气缸四周开有的进气孔（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。

二冲程柴油机的进气过程，系通过压气机（扫气泵）将新鲜空气提高压力（压力约为 1.2~1.4 巴），然后经过气缸外部的空气室和气缸上的进气孔压入气缸内。

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 1-10 为单缸二冲程柴油机的工作过程示意图。

#### 第一冲程——辅助冲程

活塞从下止点位置向上移动（图 1-10a），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，并将上一循环所存留在气缸内的废气（叫做残余废气）从排气门排出，这个过程称做扫气过程（换气过程）。

当活塞继续上移至约三分之一冲程的距离时，进气孔被活塞遮盖（图 1-10b），然后排气门也随之关闭，扫气过程结束。活塞继续上移，封闭在气缸内的新鲜空气和少量未排尽的废气被压缩，直到活塞移动到上止点位置（图 1-10c），完成压缩过程，第一冲程（辅助冲程）结束。



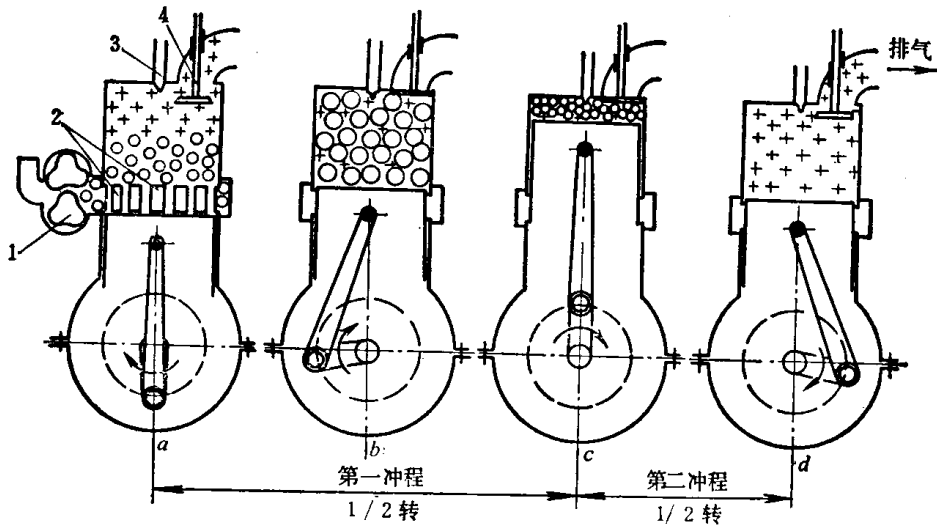


图 1-10 单缸二冲程柴油机工作过程示意图

1—扫气泵 2—进气孔 3—喷油器 4—排气门

### 第二冲程——作功冲程

当活塞接近上止点时，气缸内气压约增到 30 巴，温度约升至 900~1000K，柴油在高压下（约 170~200 巴）喷入气缸内，这时柴油便自行着火燃烧，使气缸内气体温度和压力急剧增高。温度可达 2000~2300K，压力可达 60~90 巴。

在高温、高压气体的作用下，活塞从上止点被推向下止点，并带动曲轴旋转作功。

当活塞下行至约三分之二冲程时，排气门打开（图 1-10d），废气先利用本身较高的压力自行排气，气缸内压力降低，待活塞继续向下移动，进气孔露出，扫气泵开始将压力较高的新鲜空气压入气缸，从而继续把废气由排气门排出，进行扫气（换气）。

活塞一直下移到下止点位置（图 1-10a），第二冲程结束。至此完成一个工作循环。

### 二、二冲程汽油机工作原理

二冲程汽油机的工作过程与二冲程柴油机相似，不同处只是：进入汽油机气缸的不是纯空气，而是可燃混合气。

图 1-11 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。

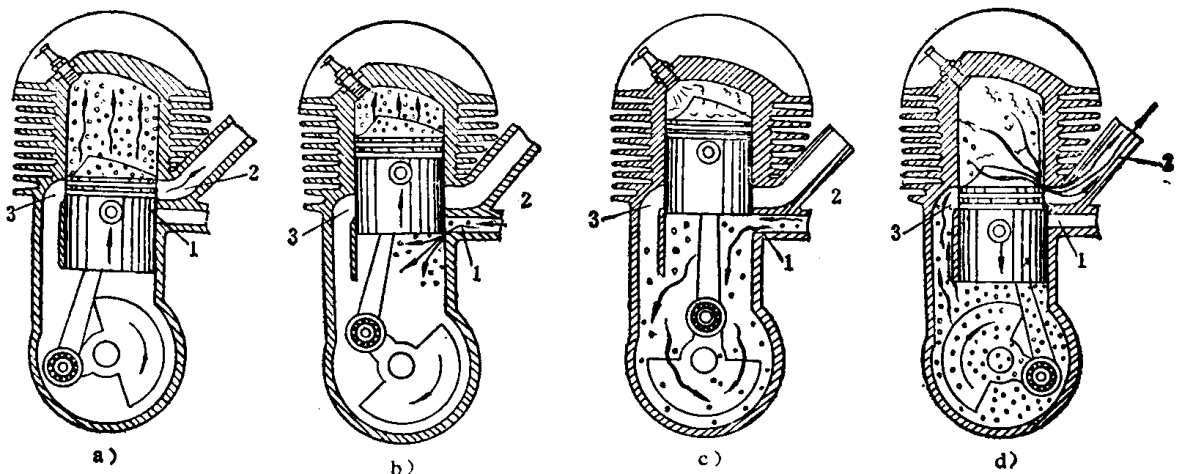


图 1-11 二冲程汽油机工作原理图