

全国职业院校机电类专业课程改革规划教材

发动机 结构与原理

FADONGJI JIEGOU YU YUANLI

刘发军 主编



配电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国职业院校机电类专业课程改革规划教材

发动机结构与原理

主 编 刘发军
副主编 戴勤军 常 亮
参 编 杨晓强 李有兰 高 吉
朱晓亮 彭来森



机械工业出版社

本书根据汽车检测与维修专业人才对发动机基本结构和原理知识的需求,结合汽车专业人才培养的目的而编写。本书以当前典型的发动机结构作为素材,将发动机的结构和原理一一剖析。全书分为九章,第一章为发动机的工作原理和总体构造。第二章为机体组及曲柄连杆机构,第三章为配气机构,第四章为起动系统,第五章为点火系统,第六章为冷却系统,第七章为润滑系统,第八章为燃料供给系统,第九章为发动机电子控制的原理与维修。

本书内容脉络清晰、叙述简练,配有大量实物图片,明了直观。本书可供汽车“发烧友”学习发动机基础知识,也可供汽车维修从业人员学习发动机专业知识。本书适宜作为职业院校汽车检测与维修技术专业发动机结构和原理课程的教材和参考书。

为方便教学,本书配备电子课件等教学资源。凡选用本书作为教材的教师均可登录机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 注册后免费下载。如有问题请致信 cmpgaozhi@sina.com,或致电 010-88379375 联系营销人员。

图书在版编目 (CIP) 数据

发动机结构与原理/刘发军主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 10
全国职业院校机电类专业课程改革规划教材
ISBN 978-7-111-43708-6

I. ①发… II. ①刘… III. ①汽车-发动机-结构-高等职业教育-教材②汽车-发动机-理论-高等职业教育-教材 IV. ①U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 190883 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 赵志鹏 责任编辑: 赵志鹏
责任校对: 李锦莉 责任印制: 乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2016 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·12.5 印张·309 千字
0 001—3 000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-43708-6
定价: 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

随着我国汽车工业的飞速发展，整个汽车工业技术提升较快，发动机作为汽车的心脏部分，其结构和技术也得到了极大的更新和进步。除了传统机械制造工艺技术更新之外，发动机电子控制技术在发动机的使用中也得到普及和推广。本书作为汽车维修类的书籍，以当前主流的发动机作为素材，重点介绍了发动机的整体结构和原理，详细讲解了发动机的机体组、曲柄连杆机构、配气机构、起动系统、点火系统、冷却系统、润滑系统、燃料供给系统以及发动机的电子控制系统等。

本书由宁波技工学校刘发军老师任主编，宁波技工学校戴勤军、常亮老师任副主编，宁波市交通科学技术研究所何南炎所长、宁波工程学院焦新龙副教授（博士）、浙江万里学院汪永斌教授任主审。参加本书编写的有：杨晓强（第一章），朱晓亮（第二章），常亮（第三章），刘发军（第四、五章），彭来森（第六章），戴勤军（第七章），李有兰（第八章），高吉（第九章）。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第一章 发动机的工作原理和总体构造 1	
第一节 发动机的分类..... 1	
第二节 四冲程发动机的工作原理..... 4	
第三节 二冲程发动机的工作原理..... 9	
第四节 多缸发动机的工作原理..... 11	
第五节 发动机的总体构造..... 11	
第六节 发动机主要性能指标与特性..... 15	
第七节 内燃机产品名称和型号编制规则..... 17	
思考题..... 19	
第二章 机体组及曲柄连杆机构 20	
第一节 机体组..... 20	
第二节 曲柄连杆机构..... 32	
第三节 活塞连杆组..... 34	
第四节 曲轴飞轮组..... 54	
第五节 曲柄连杆机构异响的诊断..... 70	
思考题..... 73	
第三章 配气机构 74	
第一节 配气机构的作用和组成..... 74	
第二节 配气机构的分类和工作原理..... 74	
第三节 配气相位..... 76	
第四节 气门组和气门传动组的构造..... 77	
第五节 可变配气相位及其控制技术..... 85	
思考题..... 86	
第四章 起动系统 87	
第一节 起动系统的组成和工作原理..... 87	
第二节 不同形式的起动机..... 89	
第三节 起动系统的检修..... 91	
思考题..... 94	
第五章 点火系统 95	
第一节 传统点火系统的结构与原理..... 95	
第二节 电子点火系统..... 97	
第三节 微计算机控制点火系统..... 98	
思考题..... 101	
第六章 冷却系统 102	
第一节 冷却系统的分类和组成..... 102	
第二节 水冷却系统主要部件的构造与维修..... 106	
第三节 冷却系统常见故障分析..... 112	
思考题..... 113	
第七章 润滑系统 114	
第一节 润滑系统的作用..... 114	
第二节 润滑系统的润滑方式和滤清方式..... 114	
第三节 润滑系统的组成..... 115	
第四节 润滑系统油路..... 116	
第五节 润滑系统主要部件的构造与维修..... 117	
第六节 润滑系统常见故障分析..... 124	
思考题..... 125	
第八章 燃料供给系统 126	
第一节 电控燃油喷射系统的作用、分类及组成..... 126	
第二节 燃油供给系统的结构组成、工作原理及检修..... 129	
第三节 空气供给系统的结构组成、工作原理及检修..... 132	
第四节 电子控制系统的组成及作用..... 136	
思考题..... 147	
第九章 发动机电子控制系统的原理与检修 148	
第一节 发动机电子控制系统的原理..... 148	
第二节 发动机电子控制系统的检修..... 170	
思考题..... 195	
参考文献 196	

第一章 发动机的工作原理和总体构造

学习目标

1. 了解发动机的分类。
2. 掌握四冲程、二冲程、多缸发动机的工作原理。
3. 掌握发动机的构造。
4. 掌握发动机的性能指标和特征。
5. 了解内燃机产品名称和型号编制规则。

第一节 发动机的分类

本节主要介绍的内容有：

- 发动机的概述
- 发动机的分类

汽车的动力源是发动机。发动机是将某一种形式的能量转化为机械能的机器。

将燃料燃烧所产生的热能转化为机械能的装置称为热力发动机，简称热机。内燃机是热力发动机的一种，其特点是液体或气体燃料与空气混合后直接输入机器内部燃烧而产生热能，然后再转变成机械能。另一种热机是外燃机，如蒸汽机，其特点是燃料在机器外部的锅炉内燃烧，将锅炉内的水加热而产生高温、高压的水蒸气，输送至机器内部，使所含的热能转变为机械能。

内燃机具有热效率高、体积小、重量轻、便于移动以及起动性能好等优点，因而广泛应用于飞机、舰船以及汽车、拖拉机、坦克等各种车辆上。但是，内燃机一般要求使用石油燃料，同时排出的废气中所含有害气体成分较高。为解决能源与大气污染的问题，目前国内外正致力于排气净化以及其他新能源发动机的研究工作。

根据将热能转化为机械能的主要构件的不同，内燃机可以分为活塞式内燃机和燃气轮机。活塞式内燃机可以分为往复式活塞式内燃机和旋转活塞式内燃机。

往复式活塞式内燃机在汽车上应用最广泛，是本课程的主要讨论对象。汽车用活塞式内燃机可以根据不同的特征分类。

1) 按所用的燃料分类。按所用燃料可分为液体燃料发动机（汽油机、柴油机等）和气体燃料发动机（如天然气发动机、液化石油气发动机等）。

2) 按点火方式分类。按点火方式可分为压燃式发动机与点燃式发动机。汽油机一般采用点燃式，柴油机一般采用压燃式，如图 1-1 所示。柴油的特性是在同样的条件下其自燃点比汽油的自燃点低，因此采用压燃式（自燃式）发火。一般利用喷油泵和喷油器将柴油直接喷入发动机的气缸内，在气缸内与压缩空气混合后，在高温下自燃，这种发动机称为压燃式发动机。

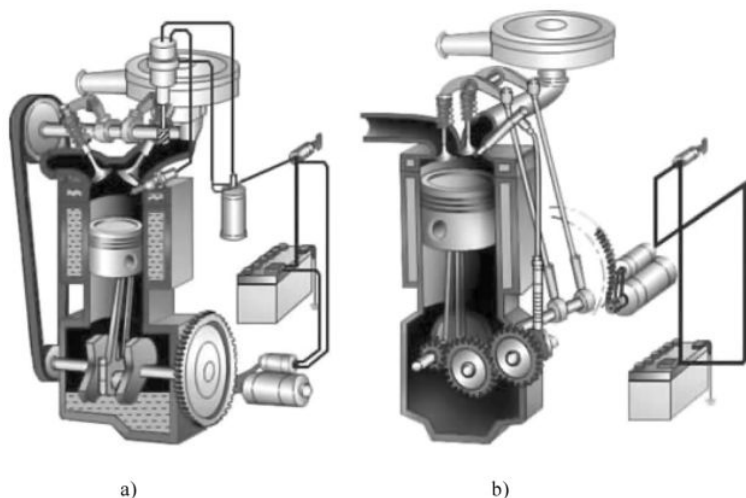


图 1-1 汽油机和柴油机

a) 汽油机 b) 柴油机

汽油的特性是其自燃的温度（ 425°C ）比柴油（ $320 \sim 338^{\circ}\text{C}$ ）的要高，因此常采用点燃式发火。利用火花塞发出的电火花强制点燃汽油，使其发火燃烧，这种发动机称为点燃式发动机。

汽油机与柴油机各有特点：汽油机转速高，重量轻，噪声小，起动容易，制造成本低；柴油机压缩比大，热效率高，经济性能和排放性能都比汽油机好。

3) 按工作循环的冲程数分类。在发动机内，每一次将热能转变为机械能都必须经过吸入空气、压缩和输入燃料，使之发火燃烧而膨胀做功，然后将生成的废气排出这样一系列连续过程，这一过程称为一个工作循环。对于往复活塞式发动机，可以根据每一工作循环所需活塞行程数来分类，如图 1-2 所示。凡曲轴转两圈（ 720° ），活塞往复四个单程完成一个工作循环的称为四冲程发动机。曲轴转一圈（ 360° ），活塞往复两个单程即完成一个工作循环的称为二冲程发动机。汽车上广泛使用四冲程发动机。

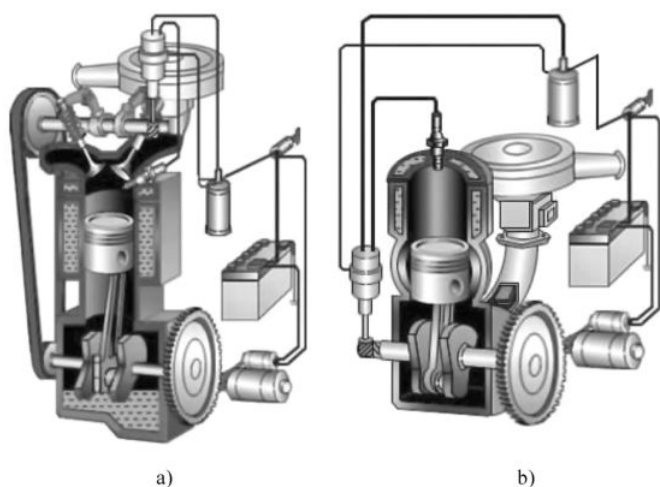


图 1-2 四冲程和二冲程内燃机

a) 四冲程 b) 二冲程

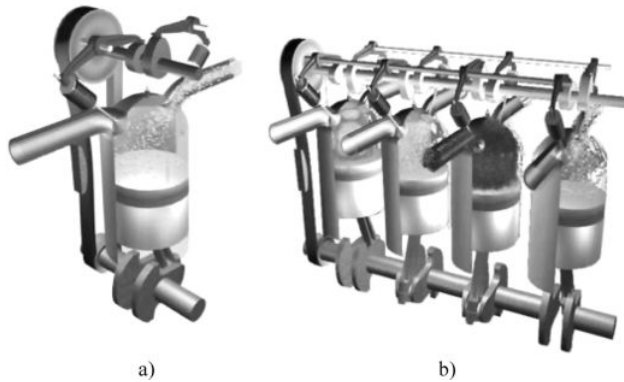


图 1-3 单缸和多缸发动机

a) 单缸 b) 多缸

4) 按气缸数及其排列方式分类。如图 1-3 所示，仅有一个气缸的称为单缸发动机，有两个以上气缸的称为多缸发动机。如双缸、三缸、四缸、五缸、六缸、八缸、十二缸等都是多缸发动机。单缸有立式与卧式，多缸有直列、V 形与对置式。现代车用发动机多采用四缸、六缸、八缸发动机。

5) 按冷却方式分类。根据冷却方式不同，发动机可以分为水冷式和风冷式两种，如图 1-4 所示。水冷发动机是利用在气缸体和气缸盖冷却水套中进行循环的冷却液作为冷却介质进行冷却的；而风冷发动机是利用流动于气缸体与气缸盖外表面散热片之间的空气作为冷却介质进行冷却的。水冷发动机冷却均匀，工作可靠，冷却效果好，被广泛地应用于现代汽车。

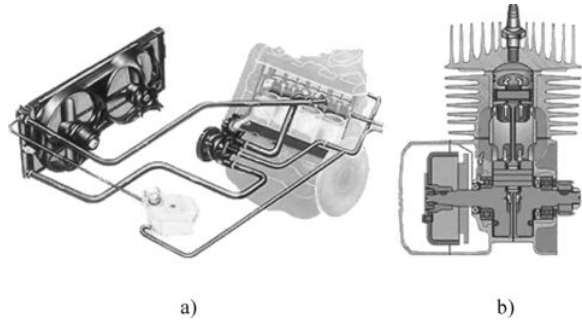


图 1-4 水冷式和风冷式

a) 水冷式 b) 风冷式

6) 按照气缸排列方式分类。内燃机按照气缸排列方式不同可以分为单列式和双列式。单列式发动机的各个气缸排成一列，一般是垂直布置的，但为了降低高度，有时也把气缸布置成倾斜的甚至水平的；双列式发动机把气缸排成两列，两列之间的夹角小于 180° （一般为 90° ），称为 V 形发动机，如图 1-5 所示，若两列之间的夹角等于 180° ，称为水平对置式发动机。

7) 按照进气系统是否采用增压方式分类。当发动机不装增压器，空气是靠活塞的抽吸作用进入气缸内的发动机，称为非增压式发动机（或自然吸入式发动机）；发动机上装有增压器，空气通过增压器可以提高进气压力的发动机，称为增压式发动机，如图 1-6 所示。

汽油机常采用自然吸气式；柴油机为了提高功率有采用增压式的。

8) 按每气缸中的气门数来分类。每气缸中设有一个进气门和一个排气门的发动机，称为二气门发动机；每缸中设有 2 个进气门和 2 个排气门的，称为四气门发动机；每个气缸中设有 3 个进气门和 2 个排气门的，称为 5 气门发动机。

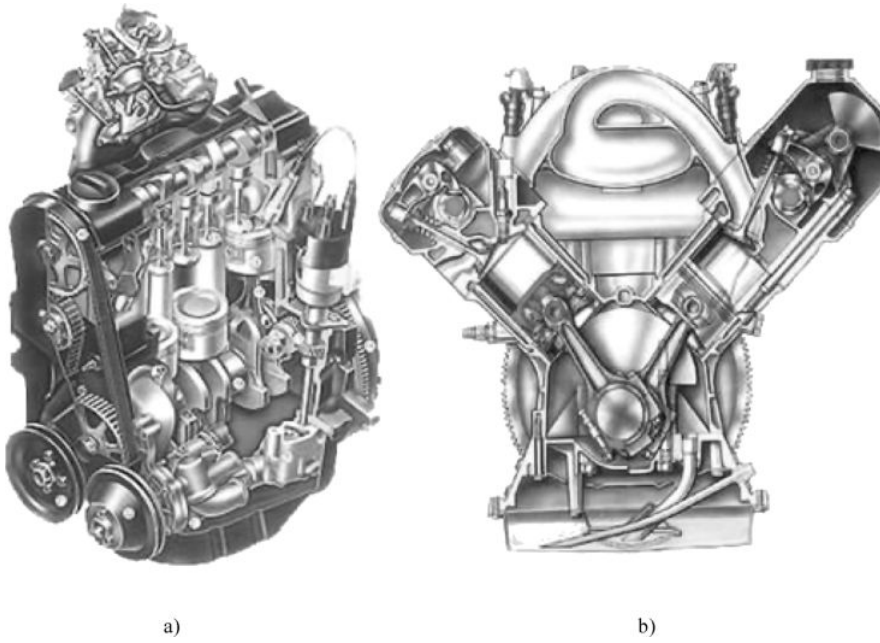


图 1-5 直列排列与 V 型排列

a) 直列排列 b) V 形排列

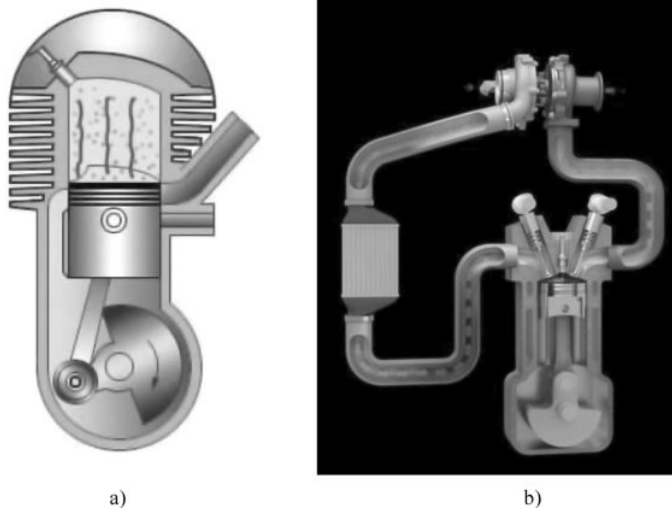


图 1-6 自然吸气式和增压式

a) 自然吸气 b) 增压

第二节 四冲程发动机的工作原理

本节主要介绍的内容有：

- 四冲程汽油机的工作原理
 - 四冲程柴油机的工作原理
- ### 1. 四冲程汽油机的工作原理

气缸内装有活塞，活塞通过活塞销、连杆与曲轴相连接。活塞在气缸内做往复运动，通过连杆推动曲轴转动，如图 1-7 所示。为了吸入新鲜气体和排出废气，气缸内设有进、排气系统等。

上止点：活塞顶面离曲轴中心最远处，即活塞运动最远位置。

下止点：活塞顶面离曲轴中心最近处，即活塞运动最近位置。

活塞行程：上、下止点间的距离 S 。

曲柄半径：曲轴与连杆下端的连接中心至曲轴中心的距离 R 。

活塞每走一个行程相应于曲轴转角 180° 。对于气缸中心线与曲轴中心线相交的发动机，活塞行程 S 等于曲柄半径 R 的两倍。

活塞从上止点到下止点所扫过的容积称为气缸工作容积或气缸排量，可用符号 V_L 表示。多缸发动机各气缸工作容积的总和，称为发动机排量，如图 1-8 所示，用符号 V_L (L) 表示，即

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

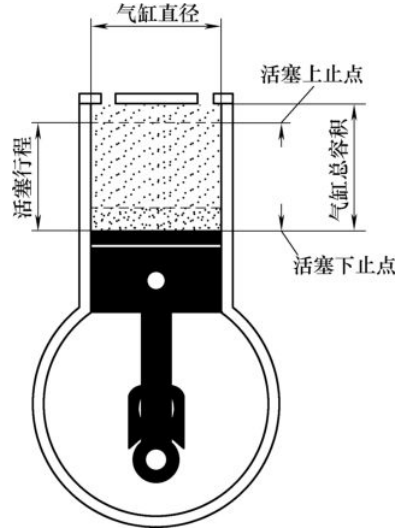


图 1-7 气缸

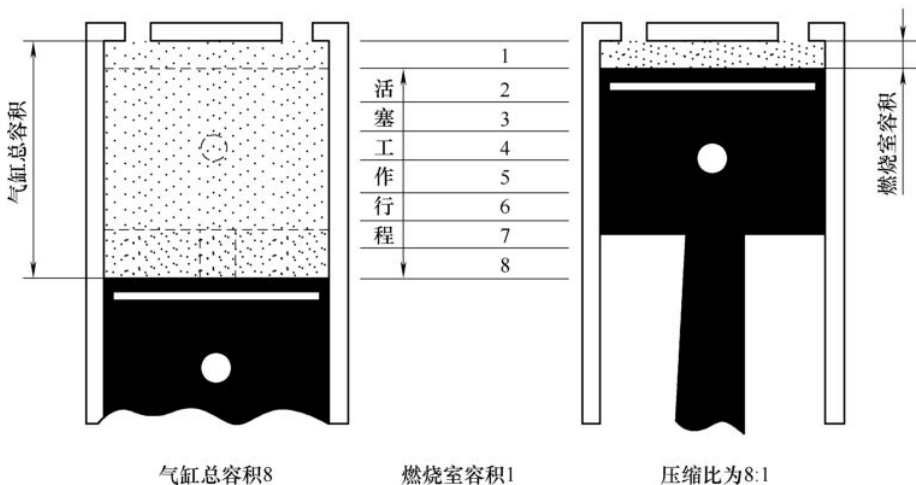


图 1-8 气缸总容积与燃烧室容积的区分情况

四冲程汽油机的运转是按进气行程、压缩行程、做功行程和排气行程的顺序不断循环反复的。通常利用发动机循环的示功图来分析工作循环中气体压力 p 和相应于活塞不同位置的

气缸工作容积 V_s 之间的变化关系。示功图表示了活塞在不同位置时气缸内压力的变化情况。其中，曲线所围成的面积表示发动机整个工作循环中气体在单个气缸内所做的功。

(1) 进气行程

如图 1-9 所示，由于曲轴的旋转，活塞从上止点向下止点运动，这时排气门关闭，进气门打开。进气过程开始时，活塞位于上止点，气缸内残存有上一循环未排净的废气，因此，气缸内的压力稍高于大气压力。随着活塞下移，气缸内容积增大，压力减小，当压力低于大气压时，在气缸内产生真空吸力，空气经空气滤清器并与化油器供给的汽油混合成可燃混合气，通过进气门被吸入气缸，直至活塞向下运动到下止点。

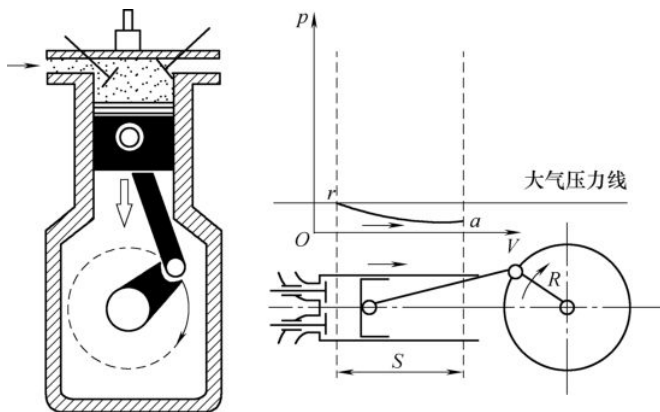


图 1-9 进气行程示功图

在进气过程中，受空气滤清器、化油器、进气管道、进气门等阻力影响，进气终了时，气缸内气体压力略低于大气压，约为 $0.075 \sim 0.09\text{MPa}$ ，同时受到残余废气和高温机件加热的影响，温度达到 $370 \sim 400\text{K}$ 。实际汽油机的进气门是在活塞到达上止点之前打开，并且延迟到下止点之后关闭，以便吸入更多的可燃混合气。

ra 线与大气压力线的差值表示气缸内的真空度。

(2) 压缩行程

曲轴继续旋转，活塞从下止点向上止点运动，这时进气门和排气门都关闭，气缸内成为封闭容积，可燃混合气受到压缩，压力和温度不断升高，当活塞到达上止点时压缩行程结束。此时气体的压力和温度主要由压缩比的大小而定，可燃混合气压力可达 $0.6 \sim 1.2\text{MPa}$ ，温度可达 $600 \sim 700\text{K}$ 。

1) 压缩比概念。压缩前气缸中气体的最大容积与压缩后的最小容积之比称为压缩比，以 ε 表示。换言之，压缩比 ε 等于气缸总容积 V_s 与燃烧室容积 V_c 之比，如图 1-10 所示。

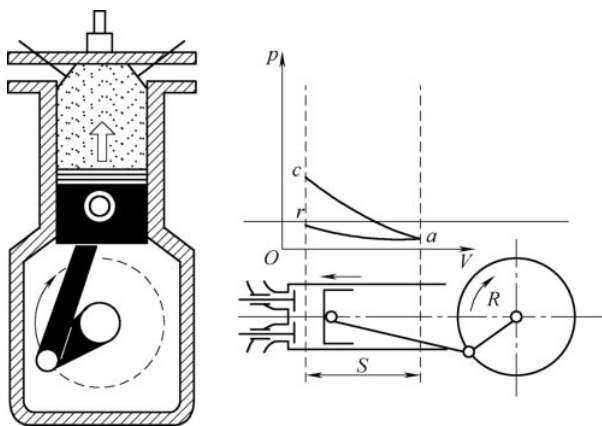


图 1-10 压缩行程示功图

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} > 1$$

现代汽油机的压缩比一般为 8~11。柴油机的压缩比一般为 16~22。

2) 压缩比的物理意义。反映气体被压缩的剧烈程度。压缩比越大，压缩终了时气缸内的压力和温度越高，则燃烧速度越快，热效率越高，经济性越好，发动机功率也越大。但压缩比过高，不仅不能进一步改善功率和经济性，反而会引起爆燃和表面点火等不正常燃烧现象。

3) 爆燃。所谓爆燃就是由于气体压力和温度过高，可燃混合气在火焰前锋面到达之前自行燃烧，且火焰以高于正常燃烧数倍的速度向外传播，造成尖锐的敲缸声。爆燃会使发动机过热、功率下降、汽油消耗量增加以及机件损坏。轻微爆燃是允许的，但强烈爆燃对发动机是有害的。严重爆燃可造成气门烧毁、轴瓦破裂、活塞烧顶、火花塞绝缘体被击穿等机件损坏现象。

4) 表面点火。表面点火是由于燃烧室内炽热表面（如排气门头、火花塞电极、积炭）点燃混合气产生的一种不正常燃烧现象。表面点火发生时，也伴有强烈的敲击声（较沉闷），产生的高压会使发动机机件承受的机械负荷增加，寿命降低。

因此，在提高发动机压缩比的同时，必须注意防止爆燃和表面点火的发生。此外，发动机压缩比的提高还受到排气污染法规的限制。

(3) 做功行程

做功行程包括燃烧过程和膨胀过程，在这一行程中，进气门和排气门仍然保持关闭。当活塞位于压缩行程，接近上止点（即点火提前角）位置时，火花塞产生电火花点燃可燃混合气，可燃混合气燃烧后放出大量的热使气缸内气体温度和压力急剧升高，最高压力可达 3~5MPa，最高温度可达 2200~2800K，高温高压气体膨胀，推动活塞从上止点向下止点运动，通过连杆使曲轴旋转并输出机械功，除了用于维持发动机本身继续运转外，其余用于对外做功。随着活塞向下运动，气缸内容积增加，气体压力和温度降低，当活塞运动到下止点时，做功行程结束，气体压力降低到 0.3~0.5MPa，气体温度降低到 1300~1600K。如图 1-11 所示。

(4) 排气行程

可燃混合气在气缸内燃烧后生成的废气必须从气缸中排出去以便进行下一个工作循环。当膨胀接近终了时，排气门开启，进气门仍然关闭，靠废气的压力先进行自由排气，活塞到达下止点再向上止点运动时，继续把废气强制排出到大气中去。活塞越过上止点后，排气门关闭，排气行程结束。实际汽油机的排气行程也是排气门提前打开，延迟关闭，以便排出更多的废气。由于燃烧室容积的存在，不可能将

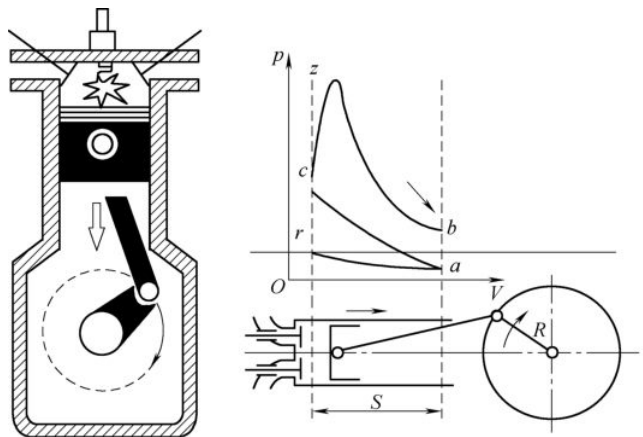


图 1-11 做功行程示功图

废气全部排出气缸。受排气阻力的影响，排气终止时，气体压力仍高于大气压力，约为 $0.105 \sim 0.115\text{MPa}$ ，温度约为 $900 \sim 1200\text{K}$ 。如图 1-12 所示。

曲轴继续旋转，活塞从上止点向下止点运动，又开始了下一个新的循环过程。可见四冲程汽油机经过进气、压缩、做功、排气四个行程完成一个工作循环，这期间活塞在上、下止点往复运动了四个行程，相应地曲轴旋转了两圈。

2. 四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机和四冲程汽油机的工作过程相同，每一个工作循环同样包括进气、压缩、做功和排气四个行程。但由于柴油机使用的燃料是柴油，柴油与汽油有较大的差别，柴油黏度大，不易蒸发，自燃温度低，故可燃混合气的形成、点火方式、燃烧过程

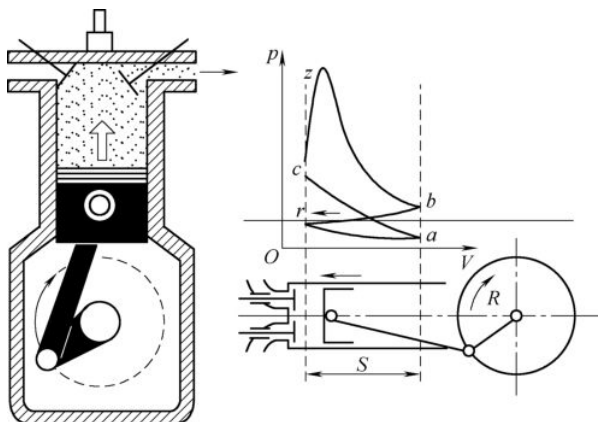


图 1-12 排气行程示功图

以及气体温度压力的变化都和汽油机不同。下面主要分析一下柴油机和汽油机在工作过程中的不同点，见表 1-1。

表 1-1 汽油机与柴油机在工作过程中的不同点

		汽油机	柴油机
进气行程	气体性质	可燃混合气	纯空气
	压力、温度	$0.075 \sim 0.09\text{MPa}$ 、 $370 \sim 400\text{K}$	$0.0785 \sim 0.0932\text{MPa}$ 、 $300 \sim 370\text{K}$
	特点	柴油机进气通道中没有化油器，进气阻力小，进气终了时气体压力略高于汽油机而气体温度略低于汽油机。	
压缩行程	气体性质	可燃混合气 + 残余废气	纯空气 + 残余废气 + 柴油（雾状）
	压力、温度	$0.6 \sim 1.2\text{MPa}$ 、 $600 \sim 700\text{K}$	$3.5 \sim 4.5\text{MPa}$ 、 $750 \sim 1000\text{K}$
	特点	柴油机压缩接近终了时喷油，形成可燃混合气。压缩比大，柴油机被压缩后自然着火	
做功行程	气体性质	混合气在气缸外部的化油器中形成混合时间长	柴油与空气混合时间短
	压力、温度	$3 \sim 5\text{MPa}$ 、 $2200 \sim 2800\text{K}$	$6 \sim 9\text{MPa}$ 、 $2000 \sim 2500\text{K}$ ，
	特点	柴油机做功终了时，气体压力约为 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ ，气体温度约为 $1200 \sim 1500\text{K}$ 。汽油机约为 $0.3 \sim 0.5\text{MPa}$ ，气体温度 $1300 \sim 1600\text{K}$ 。	
排气行程	气体性质	废气	废气
	压力、温度	$0.105 \sim 0.115\text{MPa}$ 、 $900 \sim 1200\text{K}$	$0.105 \sim 0.125\text{MPa}$ 、 $800 \sim 1000\text{K}$
其他性能		压缩比低，热效率低，燃油消耗率高，汽油价格较高，排气污染大，排放性能差	压缩比高，热效率高，燃油消耗率低，燃料经济性能好，柴油价格较低，排气污染少，排放性能较好

汽油机具有转速高（目前轿车汽油机最高转速达 $5000 \sim 6000\text{r/min}$ ，货车汽油机转速达

4000r/min 左右)、重量轻、工作噪声小、起动容易、制造和维修费用低等特点, 故在轿车和轻型货车及越野汽车中得到广泛的应用; 其不足之处是燃油消耗率高, 燃油经济性差。

柴油机因压缩比高, 燃油经济性好。一般装载重量为 5t 以上的货车大都采用柴油机。柴油机的主要缺点是转速低 (一般转速在 2500 ~ 3000r/min 左右)、重量大、噪声大、振动大、制造和维修费用高 (因为喷油泵和喷油器加工精度要求高)。但目前柴油机的这些缺点正在逐渐得到克服, 其应用范围正在向中、轻型货车扩展。国外有的轿车也采用柴油机, 其最高转速可达 5000r/min。

在多缸四冲程发动机的每一个气缸内, 所有的工作过程是相同的、并按上述次序进行, 但所有气缸的作功行程并不同时发生。例如, 在 4 缸发动机内, 曲轴每转半周便有一个气缸在做功; 在 8 缸发动机内, 曲轴每转 1/4 周便有一个做功行程。气缸数越多, 发动机的工作越平稳。但发动机气缸数增多, 一般将使其结构复杂, 尺寸及重量增加。

第三节 二冲程发动机的工作原理

本节主要介绍的内容有:

- 二冲程汽油机的工作原理
- 二冲程柴油机的工作原理

1. 二冲程汽油机的工作原理

二冲程汽油机的工作循环也是由进气、压缩、燃烧膨胀、排气行程组成, 但它是在曲轴旋转一圈 (360°), 活塞上下往复运动的两个行程内完成的。因此, 二冲程发动机与四冲程发动机工作原理不同, 结构也不一样, 如图 1-13 所示。

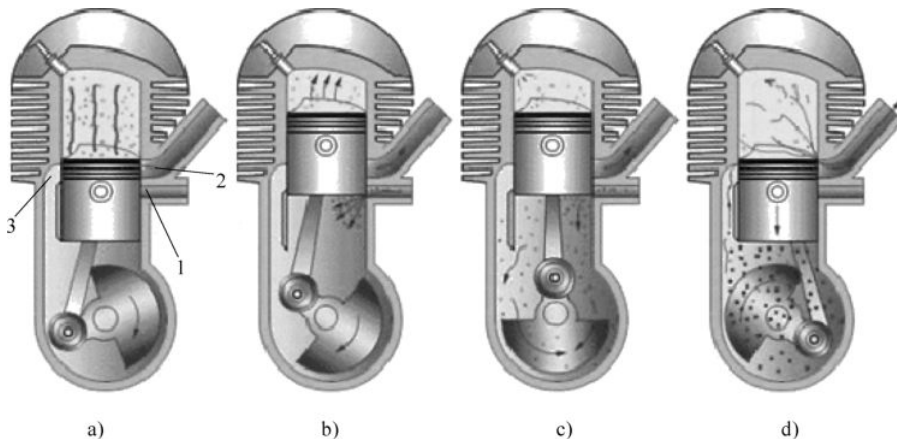


图 1-13 二冲程汽油机工作循环图

a) 压缩 b) 进气 c) 燃烧 d) 排气

1—进气孔 2—排气孔 3—换气孔

曲轴箱换气式二冲程汽油机, 气缸上有三排孔, 利用这三排孔分别在一定时刻被活塞打开或关闭进行进气、换气和排气的。工作原理如下:

图 1-13a: 活塞向上运动, 将三排孔都关闭, 活塞上部开始压缩。上部压力增大, 下部

压力降低。

图 1-13b: 当活塞继续上行时, 活塞下方打开了进气孔, 可燃混合气进入曲轴箱。

图 1-13c: 活塞接近上止点时, 火花塞点燃混合气, 气体燃烧膨胀, 推动活塞向下运动, 进气孔关闭, 曲轴箱内的混合气受到压缩。

图 1-13d: 当活塞接近下止点时, 排气孔打开, 排出废气, 活塞再向下运动, 换气孔打开, 受到压缩的混合气便从曲轴箱经换气孔流入气缸内, 并扫除废气。

将这个工作过程定义为两个行程:

第一行程: 活塞从下止点向上止点运动, 事先已充满活塞上方气缸内的混合气被压缩, 活塞下方容积增大, 产生真空, 新的可燃混合气又被吸入活塞下方的曲轴箱内。

第二行程: 活塞从上止点向下止点运动, 活塞上方进行做功过程和换气过程, 而活塞下方则进行可燃混合气的预压缩, 为快速换气做好准备。

由于二冲程汽油发动机结构特点, 新鲜混合气会随废气一起排出气缸。为了防止因此而造成浪费, 活塞顶做成特殊的形状, 使新鲜混合气的气流被引向上部, 这样还可以利用新鲜混合气来扫除废气, 使排气更为彻底。但是在二冲程发动机中, 要完全避免可燃混合气的损失是很困难的。

二冲程发动机与四冲程发动机相比较, 其主要优点如下:

①曲轴每转一周就有一个做功行程, 因此, 当二冲程发动机的工作容积和转速与四冲程发动机相同时, 在理论上它的功率应等于四冲程发动机的 2 倍。

②由于发生做功过程的频率较高, 故二冲程发动机的运转比较均匀平稳。

③由于没有专门的换气机构, 所以其构造较简单, 重量也比较轻。

④使用方便。因为附属机构少, 所以易受磨损和经常需要修理的运动部件数量也比较少。

由于构造上的原因, 二冲程发动机的最大缺点是不易将废气自气缸内排除干净, 并且在换气时减少了有效工作行程。因此, 在同样的工作容积和曲轴转速下, 二冲程发动机的功率并不等于四冲程发动机的 2 倍, 只等于 1.5 ~ 1.6 倍; 而且在换气时有一部分新鲜可燃混合气随同废气排出, 因此二冲程发动机不如四冲程发动机经济。

由于上述的缺点, 二冲程发动机在汽车上较少被采用。但这种发动机重量轻、生产制造费用低, 在摩托车、发电机组上应用较多。随着技术进步, 目前电控喷射二冲程汽油发动机在汽车上也开始应用。

2. 二冲程柴油机的工作原理

二冲程柴油机和二冲程汽油机工作类似, 所不同的是, 柴油机进入气缸的不是可燃混合气, 而是纯空气, 如图 1-14 所示。带有扫气泵的二行程柴油机工作过程如下:

第一行程: 活塞从下止点向上止点运动。行程开始前不久, 进气孔和排气门均已开启, 利用从扫气泵流出的空气使气缸换气。当活塞继续向上运动进气孔被关闭, 排气门也关闭, 空气受到压缩, 当活塞接近上止点时, 喷油器将高压柴油以雾状喷入燃烧室, 燃油和空气混合后燃烧, 使气缸内压力增大。

第二行程: 活塞从上止点向下止点运动, 开始时气体膨胀, 推动活塞向下运动, 对外做功, 当活塞下行到大约 2/3 行程时, 排气门开启, 排出废气, 气缸内压力降低, 进气孔开启, 进行换气。换气一直延续到活塞向上运动 1/3 行程进气孔关闭结束。

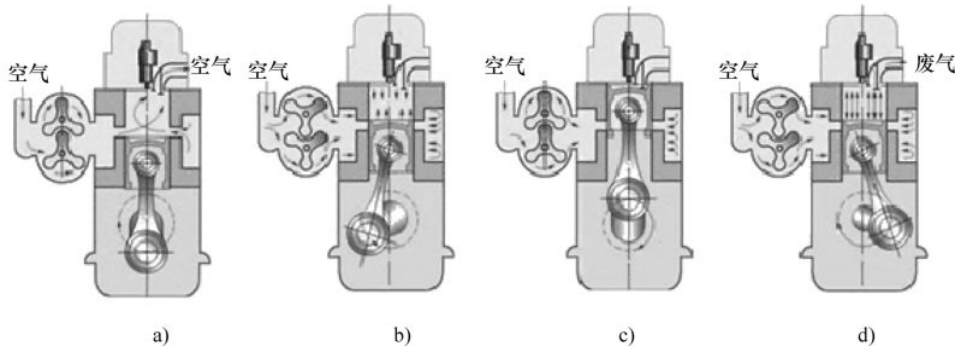


图 1-14 二冲程柴油机工作循环图

a) 换气 b) 压缩 c) 燃烧 d) 排气

第四节 多缸发动机的工作原理

本节主要介绍的内容有：

● 多缸发动机的工作原理

前面介绍的是单缸发动机的工作过程，而现代汽车发动机都是多缸四冲程发动机，那么，多缸四冲程发动机与单缸四冲程发动机的工作过程有什么区别呢？就能量转换过程而言，多缸发动机的每一个气缸和单缸发动机的工作过程是完全一样的，都要经过进气、压缩、做功和排气四个行程。

但是单缸发动机的四个行程中只有一个行程做功，其余三个行程不做功，即曲轴转两圈，只有半圈做功，所以运转平稳性较差。功率越大，平稳性就越差。为了使运转平稳，单缸机一般都装有一个大飞轮。多缸发动机的做功行程是错开的，按照一定的工作顺序做功，即曲轴转两圈各缸交替做功，因此，运转平稳，振动小。缸数越多，做功间隔角越小，同时参与做功的气缸越多，发动机运转越平稳。多缸机使用最多的有四缸发动机、六缸发动机和八缸发动机。

实际使用的发动机是个什么样子呢？下面介绍发动机的总体构造。

第五节 发动机的总体构造

本节主要介绍的内容有：

● 发动机的各个组成部分

发动机是一部由许多机构和系统组成的复杂机器。无论是汽油机还是柴油机，无论是四冲程发动机还是二冲程发动机，无论是单缸发动机还是多缸发动机，要完成能量转换，实现工作循环，保证长时间连续正常工作，都必须具备以下一些机构和系统。

1. 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构是发动机实现工作循环，完成能量转换的主要运动零件。它由活塞连杆组和曲轴飞轮组等组成，如图 1-15 所示。在做功行程中，活塞承受燃气压力在气缸内作直线

运动，通过连杆转换成曲轴的旋转运动，并从曲轴对外输出动力。而在进气、压缩和排气行程中，飞轮释放能量又把曲轴的旋转运动转化成活塞的直线运动。

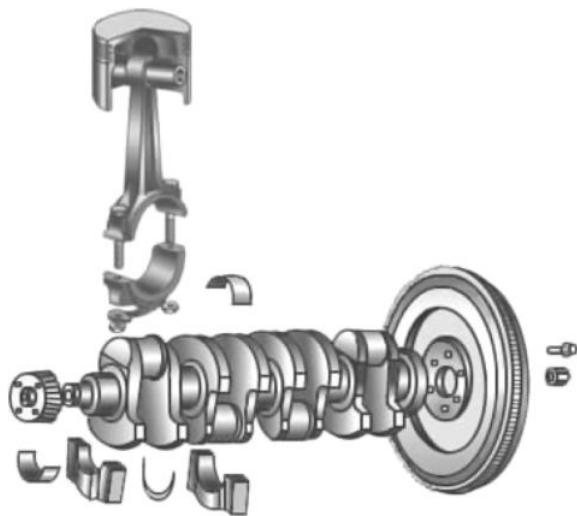


图 1-15 曲柄连杆机构

2. 配气机构

配气机构的功用是根据发动机的工作顺序和工作过程，定时开启和关闭进气门和排气门，使可燃混合气或空气进入气缸，并使废气从气缸内排出，实现换气过程。配气机构大多采用顶置气门式配气机构，一般由气门组、气门传动组和气门驱动组组成，如图 1-16 所示。

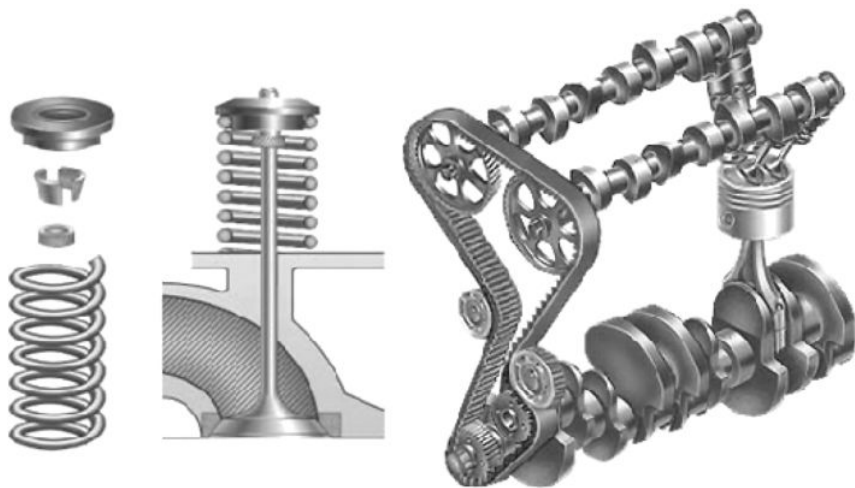


图 1-16 配气机构

3. 燃料供给系统

汽油机燃料供给系统的功用是根据发动机的要求，配制出一定数量和浓度的混合气供入气缸，并将燃烧后的废气从气缸内排出；柴油机燃料供给系统的功用是把柴油和空气分别供入气缸，在燃烧室内形成混合气并燃烧，最后将燃烧后的废气排出，如图 1-17 所示。