



“十四五”职业教育国家规划教材

汽车发动机构造与一般操作

QICHE FADONGJI GOUZAO YU YIBAN CAOZUO

AR/VR版

主审 ◎ 尹万建

主编 ◎ 周定武 黄志勇 罗灯明



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

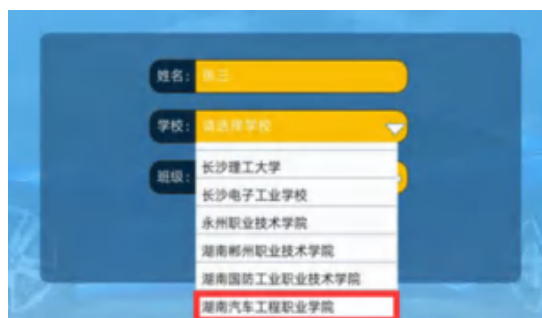
移动终端 VR 汽车教育实训平台注册使用指南



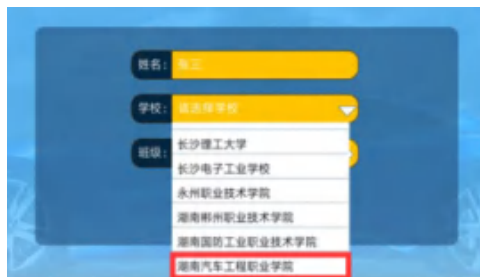
1. 用手机或平板浏览器(或者 QQ)扫描二维码, 下载客户端并安装。下载时请选择“其他方式下载→普通下载”。(请用安卓系统, 暂未开放苹果系统)



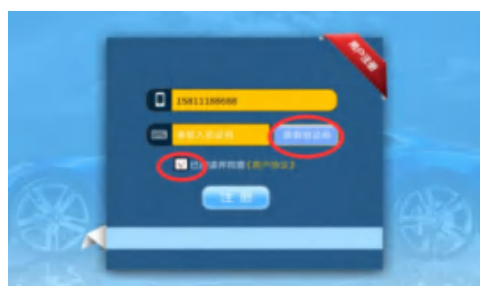
2. 安装后打开并注册。



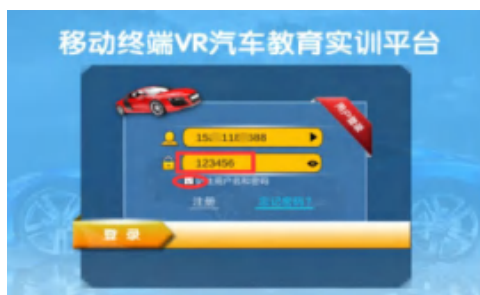
3. 选择学校(班级任意)。



4. 输入手机号码后, 点击获取验证码, 并选择“已阅读并同意”。



5. 注册完成后, 输入注册手机号码登录, 默认密码: 123456。



提示: 在第 5 步获取验证码时提示“此手机号码已注册”, 如果忘记密码请返回登录界面点击下方“忘记密码?”进行短信密码找回!



备注: 本平台目前仅适用安卓 5.0 及以上版本、中高端处理器(处理器过低或者内存过小, 可能会出现系统卡顿或者闪退现象)!



1 概述	1
1.1 汽车发动机简介	1
1.2 发动机的历史	2
1.3 发动机基本结构	4
1.4 发动机基本术语	9
1.5 四冲程汽油发动机工作原理.....	14
1.6 二冲程发动机工作原理.....	16
1.7 汽油机和柴油机的比较.....	17
1.8 发动机舱的检查(VR)	18
单元练习	22
2 曲柄连杆机构.....	24
2.1 曲柄连杆机构的作用、组成及工作原理	24
2.2 机体组.....	24
2.2.1 气缸盖罩.....	25
2.2.2 气缸盖.....	25
2.2.3 气缸垫.....	26
2.2.4 气缸体.....	26
2.2.5 油底壳.....	29
2.3 活塞连杆组.....	29
2.3.1 活塞.....	30
2.3.2 活塞环.....	32
2.3.3 活塞销.....	33

2.3.4	连杆·····	34
2.4	曲轴飞轮组·····	36
2.4.1	曲轴·····	37
2.4.2	曲轴曲拐·····	38
2.4.3	曲轴扭转减振器·····	40
2.4.4	飞轮·····	40
2.4.5	主轴承·····	40
2.4.6	曲轴止推轴承·····	41
2.5	机体组的拆装(VR)·····	42
	单元练习·····	46
3	配气机构·····	48
3.1	配气机构的作用及组成·····	48
3.2	配气机构的类型·····	49
3.3	气门组·····	50
3.4	气门传动组·····	53
3.5	配气相位·····	56
3.6	正时校对(VR)·····	57
	单元练习·····	60
4	燃油供给系统·····	61
4.1	汽油、柴油及其使用性能·····	61
4.2	燃油供给系统的组成及工作原理·····	62
4.2.1	汽油发动机燃油供给系统·····	62
4.2.2	柴油发动机燃油供给系统·····	66
4.2.3	发动机不同运行工况对混合气成分的要求·····	68
4.3	电控汽油喷射系统·····	69
4.3.1	电控汽油喷射系统的类型·····	69
4.3.2	冷起动喷油器和热时间开关·····	70
4.4	燃油滤清器更换(VR)·····	71
	单元练习·····	74
5	润滑系统·····	75
5.1	润滑系统的作用及分类·····	75
5.1.1	润滑系统的作用·····	76

5.1.2 润滑系统润滑方式分类	76
5.2 润滑系统的组成及工作原理	77
5.3 发动机机油的选用	81
5.4 废机油处理不当对环境的影响	82
5.5 发动机机油、机油滤清器的更换(VR)	83
单元练习	87
6 冷却系统	88
6.1 冷却系统的作用	88
6.2 冷却系统的组成及工作原理	89
6.2.1 冷却系统的组成	90
6.2.2 冷却系统的工作原理	94
6.2.3 冷却液	96
6.3 废防冻液处理不当对环境的影响	96
6.4 冷却系统的检查(VR)	97
单元练习	100
7 点火系统	101
7.1 点火系统概述	101
7.1.1 点火系统的分类	101
7.1.2 点火提前角	102
7.2 点火系统的组成及工作原理	102
7.3 电子点火系统	105
7.3.1 磁脉冲式无触点点火装置	106
7.3.2 霍尔效应式无触点点火装置	108
7.4 微机控制点火系统	109
7.4.1 有分电器电控点火系统	110
7.4.2 无分电器电控点火系统	110
7.5 火花塞的检查及更换(VR)	113
单元练习	119
8 起动系统	120
8.1 起动系统的作用	120
8.2 起动系统的组成及工作原理	120
8.3 发动机起动过程	123

8.4 蓄电池的检查及更换(VR)	125
单元练习	128
9 进气系统	130
9.1 进气系统概述	130
9.2 进气系统的组成及工作原理	130
9.3 空气滤芯的检查与更换(VR)	135
9.4 节气门清洗(VR)	137
单元练习	141
10 排气系统	143
10.1 排气系统概述	143
10.2 排气系统的组成及工作原理	144
10.3 汽车尾气对环境的影响	146
单元练习	148
参考文献	149

1 概述

学习目标

- ◇ 熟悉发动机的基本结构。
- ◇ 熟悉发动机相关术语。
- ◇ 熟悉四冲程汽油机工作原理。
- ◇ 了解发动机的历史。

1.1 汽车发动机简介

汽车发动机是为汽车提供动力的装置，是汽车运行的动力来源，决定着汽车的动力性、经济性和环保性。

将热能转化为机械能的机械动力装置简称为热力机，热力机是借助工质的状态变化将燃料燃烧产生的热能转变为机械能。内燃机是热力机的一种，其特点是将液体或气体燃料与空气混合后在发动机内部燃烧而产生热能，然后再将热能转变成机械能。

另一种热力机是外燃机，其特点是燃料在机器外部燃烧将水加热，然后把产生的高温、高压水蒸气输送至机器内部，使其所含的热能转变为机械能，如蒸汽机车。目前，汽车发动机主要采用内燃机，因为内燃机具有热效率高、体积小、质量小、起动性能好等优点。

车用内燃机大体分为活塞式内燃机和燃气轮机两大类，活塞式内燃机按活塞运动方式不同分为往复活塞式和旋转活塞式两种。汽车上应用最广泛的是往复活塞式内燃机，目前汽车上装备的活塞式发动机自 19 世纪 60 年代问世以来，经过不断改进和发展，已是比较完善的机械装置。

往复活塞式内燃机根据工作行程的不同，可分为二冲程发动机和四冲程发动机，汽车发动机普遍采用四冲程发动机。

四冲程发动机根据燃料不同，可分为汽油发动机、柴油发动机以及生物燃料发动机等。目前在汽车用发动机中，最为常见的是汽油发动机(图 1-1)和柴油发动机(图 1-2)。

汽车发动机(engine)，是汽车的动力来源，也称为引擎，是将燃料燃烧的化学(热)能转化为活塞运动的机械能的机器(把电能转化为机械能的称为电动机)。



发动机总体结构

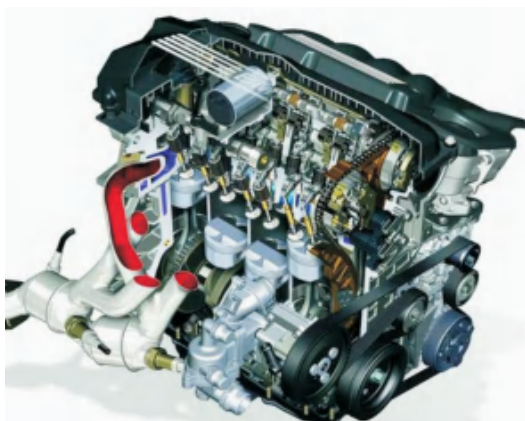


图 1-1 汽油发动机



图 1-2 柴油发动机

发动机最早诞生在英国，所以，发动机的概念也源于英语，它的本义是指“产生动力的机械装置”。简而言之，发动机是一种能量转换装置。

1.2 发动机的历史

◎1794 年

英国人斯垂特首次提出把燃料和空气混合制成混合气体以供燃烧的构想。

◎1801 年

法国人勒本提出煤气机原理。

◎1838 年

英国发明家亨纳特发明了世界第一台内燃机点火装置，该项发明被世人称之为“世界汽车发展史上的一场革命”。

◎1858 年

法国工程师洛纳因发明了世界上第一只用陶瓷绝缘制成的电点火火花塞。

◎1860 年

法国工程师莱诺制成了第一部用电火花点燃煤气的煤气机。

◎1867 年

奥托制成了单缸卧式、压缩比为 2.5 的 3 kW 煤气机。



Nicolaus Otto
奥托
(1832—1891)



Gottlieb Daimler
戴姆勒
(1834—1900)

◎1889 年

戴姆勒的 V 型发动机在德国获得专利，后来卡尔·奔驰在自己的汽车上采用了这种类型的发动机，并付给戴姆勒 3.7 万马克专利费。

◎1893 年

德国人狄塞尔在其论文《转动式热机原理和结构》中，论述了柴油发动机原理。

◎1897 年

狄塞尔制成压缩点火式 1.1 kW 柴油发动机，热效率高达 26%，世界为之震惊。

◎1898 年

美国人富兰克林研制出顶置气门 4 缸风冷式发动机。

◎1901 年

德国博世公司发明高压磁电点火装置。

◎1903 年

法国研制出第一台 V 型发动机。

◎1912 年

自动起动机在凯迪拉克汽车上被首次装用；双凸轮顶置式发动机在瑞士问世；别克 V12 型发动机采用了铝制活塞。

◎1931 年

离心式、真空式点火提前角自动调节装置由克莱斯勒公司研制成功。

◎1951 年

克莱斯勒公司推出具有半球形燃烧室的 V8 发动机。

◎1953 年

晶体管被应用于汽车点火系统。

◎1954 年

新中国第一台航空发动机，是 1954 年在湖南株洲国营三三一厂仿制成功的 M-11 型活塞航空发动机（国内型号 50 号发动机）。



Carl Benz
卡尔·奔驰
(1844—1929)



Rudolf Diesel
狄塞尔
(1858—1913)



Robert Bosch
博世
(1861—1942)



新中国第一台航空发动机

◎1956 年

德国人汪克尔 (Wankel) 发明了转子发动机, 使发动机转速有较大幅度的提高。1964 年, 德国 NSU 公司首次将转子发动机安装在轿车上。

◎1958 年

1958 年 4 月, 新中国第一台摩托车发动机 M-72, 由湖南株洲国营三三一厂试制成功。

◎1959 年

控制污染的曲轴箱通气阀研制成功。

◎1964 年

半球形燃烧室 (完整版) 问世。

◎1971 年

日本本田公司研制出复合涡流控制燃烧式 (CVCC) 发动机, 该机装有催化式排气净化器, 其排气净化水平达到美国 1975 年开始实施的《净化空气法案》标准。

◎1975 年

美国汽车开始采用电控燃油喷射系统。

◎1983 年

涡轮增压发动机技术被广泛使用。



转子发动机



新中国第一台摩托车发动机

1.3 发动机基本结构

汽油发动机种类及型号众多, 但其基本结构大体相似, 如图 1-3 所示, 一般由两大机构和六大系统组成: 曲柄连杆机构、配气机构、燃油供给系统、润滑系统、冷却系统、点火系统 (柴油机无此系统)、起动系统和进排气系统。

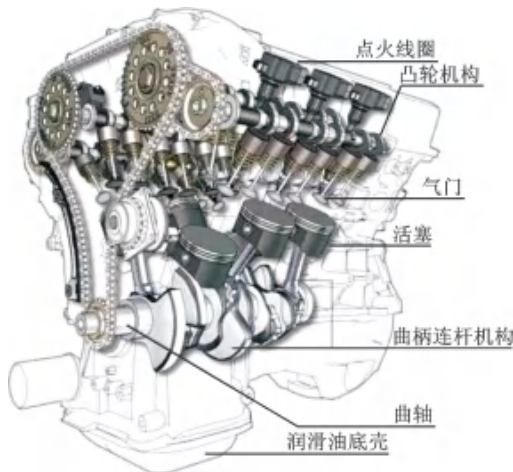


图 1-3 汽油发动机基本结构

1. 曲柄连杆机构

在做功行程中，活塞承受燃气压力在气缸内做直线运动，通过连杆转换成曲轴的旋转运动，并通过安装在曲轴上的飞轮对外输出动力。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。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。

曲柄连杆机构由机体组(图 1-4)、活塞连杆组和曲轴飞轮组等组成(图 1-5)。

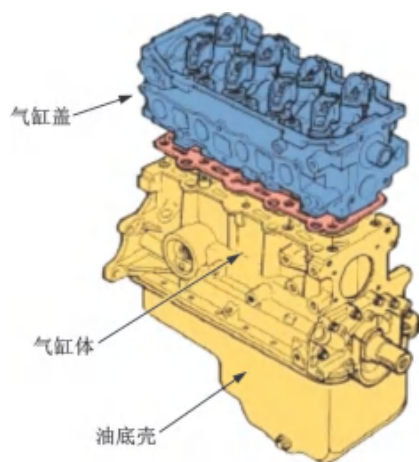


图 1-4 机体组

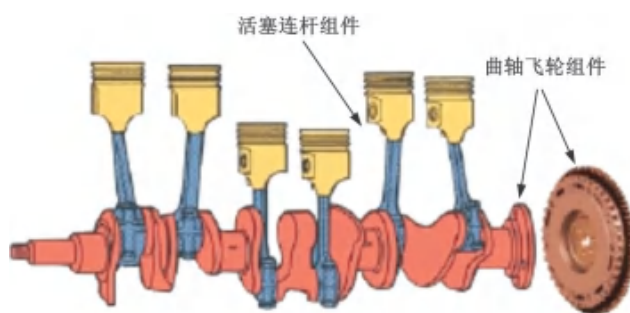


图 1-5 活塞连杆组和曲轴飞轮组

2. 配气机构

配气机构的作用是根据发动机的工作顺序和过程，定时开启或关闭进气门和排气门，使可燃混合气(或纯空气)进入气缸，并使废气从气缸内排出。这种按照发动机工作循环配置进排气门开闭时刻的过程称为配气正时。

配气机构大多采用顶置式气门配气机构，主要包括气门组和气门传动组两部分，如图 1-6 所示。

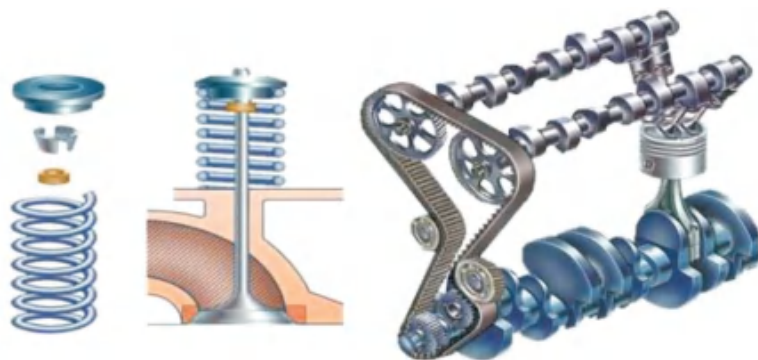


图 1-6 气门组和气门传动组

3. 燃油供给系统

燃油供给系统的作用是向发动机燃油喷射系统提供具有一定压力的燃油。

目前汽油发动机普遍采用电子燃油喷射技术，其燃油供给系统一般由燃油箱、燃油泵、燃油滤清器、燃油导轨、燃油压力调节器、喷油器以及进油管和回油管等组成，如图 1-7 所示。

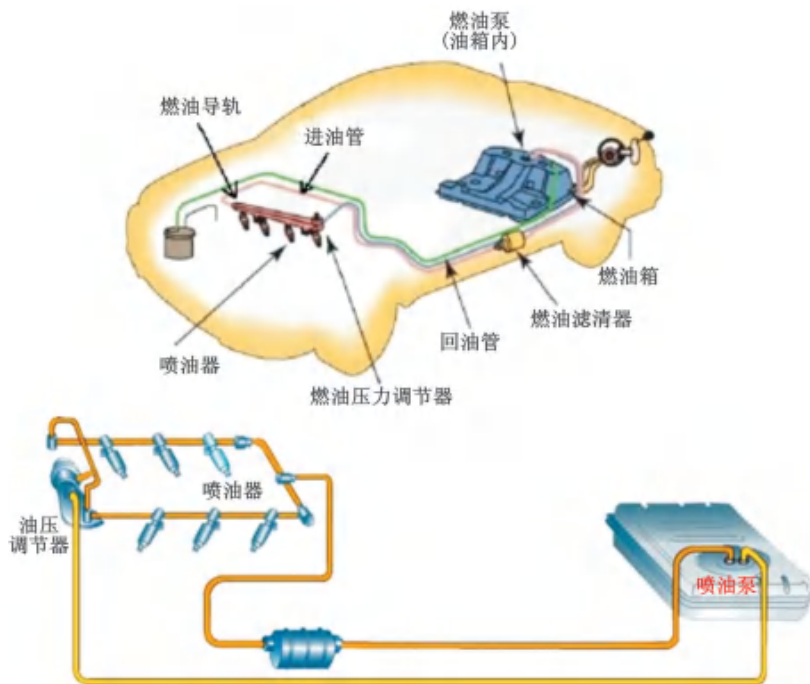


图 1-7 汽油发动机燃油供给系统

电动燃油泵安放在燃油箱内。当打开点火开关时，电动燃油泵运转几秒钟，提高燃油管路中的压力以利于起动发动机。当电动燃油泵持续工作时，汽油从燃油箱泵出，经过燃油滤清器过滤后，通过输油管进入燃油导轨。燃油导轨上有燃油压力调节器和喷油器。燃油压力调节器用来调节燃油的压力达到一定值。当喷油器打开时，燃油被喷射到进气歧管内靠近进气门的地方，并与进气歧管内的空气混合，当进气门打开时，混合气被吸入气缸。有的发动机燃油导轨上还有燃油脉动衰减器，燃油脉动衰减器用来衰减燃油压力的波动，保证发动机喷油量的精度不受燃油压力波动的影响。

随着发动机燃油喷射技术的发展，越来越多的发动机采用缸内直喷技术（在不同汽车品牌中各自有着不同的学名，比如宝马 HPI、奥迪 TFSI、大众 TSI、通用 SIDI），即燃油在加压后由喷油器直接喷入气缸。采用了智能缸内直接喷射技术的汽油发动机，可以实现燃油分层燃烧和均质燃烧，这种发动机热效率更高，动力性能更佳。

4. 润滑系统

发动机曲柄连杆机构及配气机构的摩擦部件由于运行速度较快，需要良好的润滑，否则将导致发动机相关部件迅速磨损直至损坏。发动机润滑系统有许多油道通向这些摩擦部件，并依靠机油泵向这些油道输送润滑油。

发动机润滑系统主要包括机油集滤器、油泵、限压阀、机油滤清器、润滑油道等部件,如图 1-8 所示。其主要作用除了可以对摩擦部件进行润滑外,还具有冷却、清洗、密封、防腐蚀等功能。

5. 冷却系统

发动机工作过程中产生的热量会使发动机的温度越来越高,如果不及时疏散热量,将导致发动机无法工作。冷却系统主要利用气体流动(风冷)或液体循环(液冷)将受热机件多余的热量带走并散发到大气之中,使发动机在适宜的温度下工作。

冷却系统主要由发动机气缸体水套、水泵、节温器、散热器、冷却风扇、冷却液膨胀箱(储液罐)以及水管等组成,如图 1-9 所示。

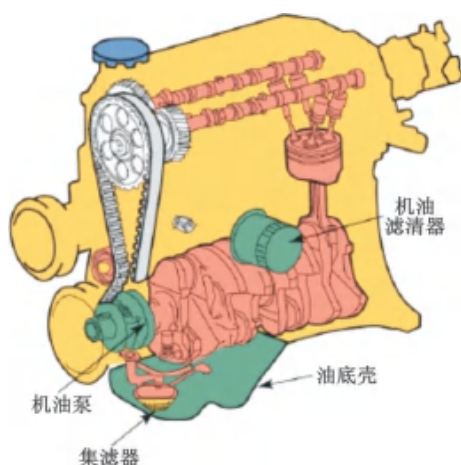


图 1-8 发动机润滑系统

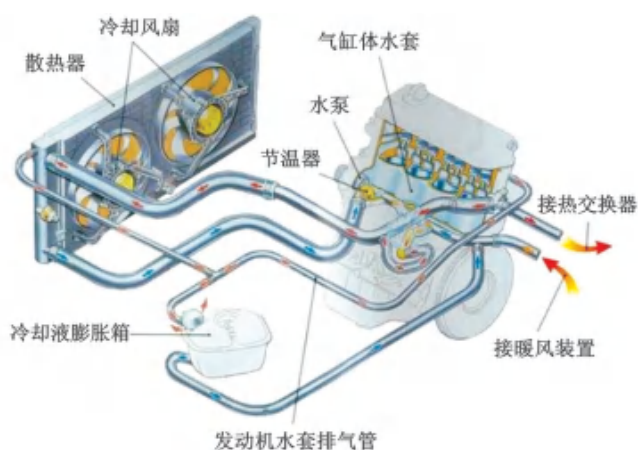


图 1-9 发动机冷却系统

6. 点火系统

在汽油机中,气缸内的可燃混合气是由电火花点燃的,因此在汽油机的气缸盖上装有火花塞,火花塞头部伸入燃烧室内,能够按时在火花塞电极间产生电火花。

点火系统通常由蓄电池、发电机、分电器、点火线圈、分缸线和火花塞等组成。

目前汽油发动机大都采用控制精度高、响应速度快的无分电器电子控制点火系统。有些发动机点火系统采用集成点火线圈,取消了分缸线。

电子控制点火系统一般由低压电源、发动机控制模块(或点火控制模块)、点火线圈、火花塞、高压线以及传感器等部件组成,如图 1-10 所示。

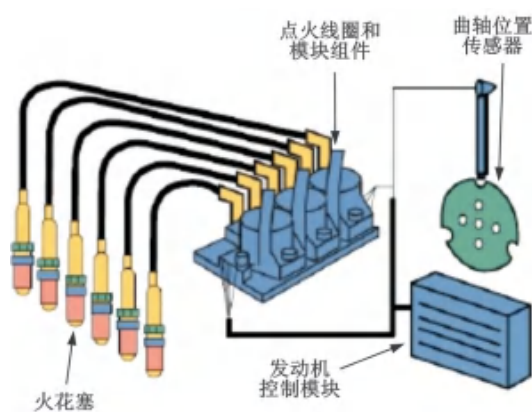


图 1-10 电子控制点火系统

7. 起动系统

要使发动机由静止状态过渡到工作状态,必须先使用外力转动发动机曲轴,带动活塞做往复运动。在活塞的作用下,气缸内的可燃混合气燃烧做功,推动活塞向下运动使曲轴旋转,这个过程我们称之为发动机起动。

发动机起动系统主要由蓄电池、起动机和起动控制电路等组成,起动控制电路包括点火开关、起动继电器、保险丝、线束连接器以及导线等,如图 1-11 所示。

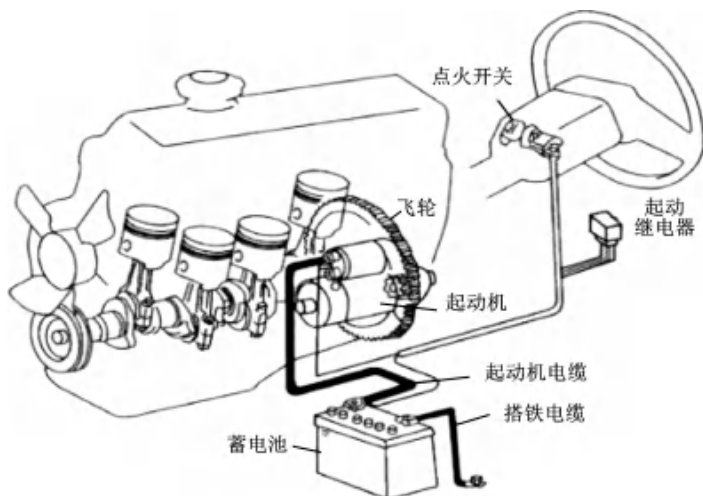


图 1-11 发动机起动系统

8. 进排气系统

发动机工作需要可燃混合气,可燃混合气是空气和燃油按照一定比例混合形成的能够燃烧的混合气。可燃混合气中的空气由进气系统提供,燃油由燃油供给系统供给。

普通发动机的进气系统一般由谐振腔、空气滤清器、节气门体、进气歧管等组成,如图 1-12 所示。空气从进气口被吸入空气滤清器进行过滤,然后洁净的空气通过进气软管、节气门体和进气歧管进入气缸。为了提高发动机的性能和降低排放污染,有些发动机在进气系统上采用了一些先进的进气控制技术,例如机械增压、涡轮增压、可变进气歧管等。

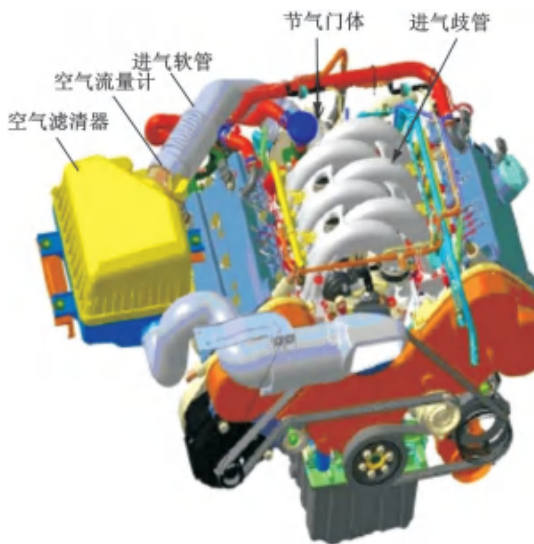


图 1-12 发动机进气系统

发动机排气系统的作用是将空气和燃油的混合气燃烧后产生的废气排出气缸，同时还具有净化和过滤作用。

排气系统的组成主要有排气歧管、氧传感器、三元催化器、排气管以及排气消声器等，如图 1-13 所示。

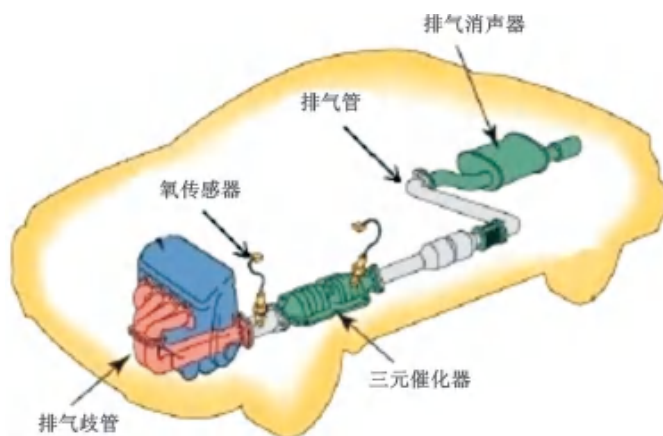


图 1-13 发动机排气系统

1.4 发动机基本术语

1. 上止点(Top Dead Center)

活塞上下往复运动时活塞顶部离曲轴旋转中心最远处，即图 1-14 中活塞最高位置。

2. 下止点(Bottom Dead Center)

活塞上下往复运动时活塞顶部离曲轴旋转中心最近处，即图 1-14 中活塞最低位置。

3. 活塞行程(S)

活塞上、下止点间的距离称为活塞行程，如图 1-15 所示。曲轴每转动半圈(即 180°)相当于一个行程。通常用符号 S 表示。

在发动机排量一定的情况下，发动机可以有两种设计思路：大缸径小行程和小缸径大行程。小行程意味着活塞的行程相对较小，这也就意味着活塞更容易在单位时间内往复运行更多的次数，也就是说更容易达到较高的转速。而大行程则意味着活塞行程相对较大，这也就意味着活塞拥有更长的加速距离，也就是说更容易输出较高的扭矩。另外小行程决定了发动机缸体高度就会相对较小，因此重心较低；反之，大行程决定了发动机重心会较高。两者相比较特点如下(表 1-1)：



发动机专用术语

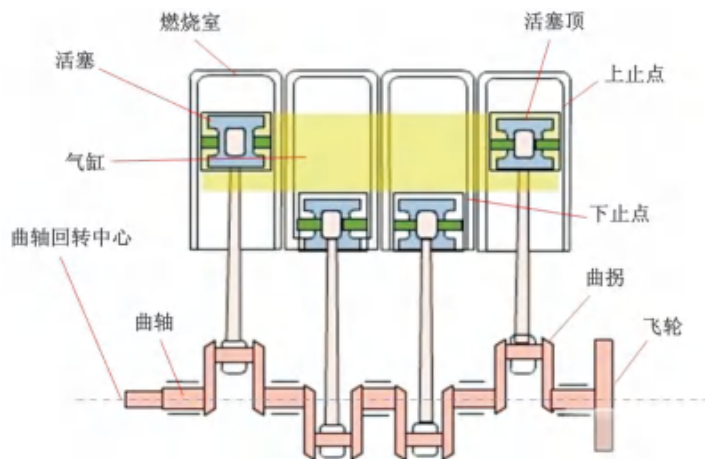


图 1-14 上、下止点

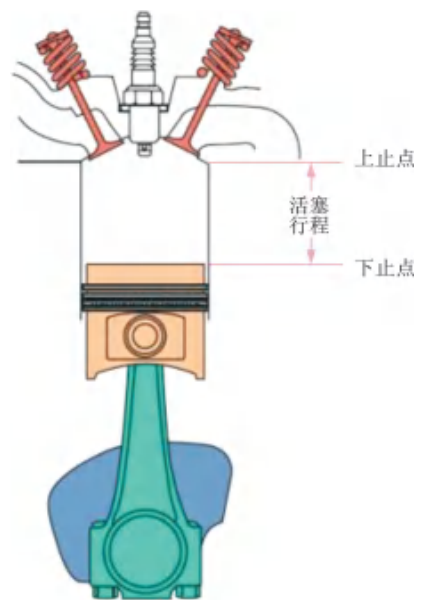


图 1-15 活塞行程

表 1-1 行程特点

行程	优点	缺点	举例车型
小行程	容易获得高转速，重心低	低速扭矩不足	卡罗拉 1.6 L 行程：78.5 mm 最大扭矩转速(r/min)：5200
大行程	更容易获得低速大扭矩输出	重心高， 不易达到高转速	高尔夫 1.6 L 行程：86.9 mm 最大扭矩转速(r/min)：3500

4. 气缸工作容积(V_h)

气缸工作容积是指活塞从上止点到下止点所扫过的容积，又称为单缸排量，它取决于缸径和活塞行程，如图 1-16 所示。

$$\text{计算公式：} V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S \times 10^{-6} (\text{L})$$

D ——气缸直径，单位 mm；

S ——活塞行程，单位 mm。

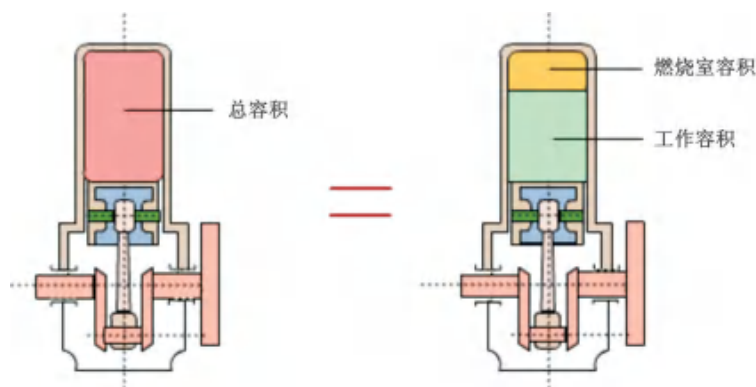


图 1-16 气缸工作容积

5. 燃烧室及燃烧室容积(V_c)

活塞位于上止点时, 活塞顶部与气缸盖形成的空间称为燃烧室, 其容积称为燃烧室容积, 如图 1-16、图 1-17 所示。通常用符号 V_c 表示。

6. 气缸总容积(V_a)

活塞位于下止点时, 活塞顶部上方的整个空间称为气缸总容积。通常用符号 V_a 表示。

$$V_a = V_h + V_c$$

7. 发动机工作容积(V_L)

发动机工作容积(Engine Displacement)简称排量, 是发动机各缸工作容积的总和, 单缸排量 V_h 和缸数 i 的乘积。

计算公式: $V_L = V_h \cdot i$

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

i ——气缸数。

发动机排量一般用升(L)来表示。发动机排量是最重要的结构参数之一, 它比缸径和缸数更能代表发动机的大小, 发动机的许多指标都同排量密切相关。通常排量大, 单位时间发动机所释放的能量(即将燃料燃烧的热能转化为机械能)大, 也就是“动力性”好, 所以越野车、跑车通常排量都相对较大。

汽车的排量一般为 1.5~4.0 L。每缸排量为 0.5 L, 4 缸的排量为 2.0 L, 如果 V 型排列的 6 缸缸, 那就是 V6 3.0 L。排量越大, 进入气缸的可燃混合气或空气量就越多, 发动机可输出的功率就越大。所以增加气缸数量或增加每个气缸工作容积可以获得更多的动力。

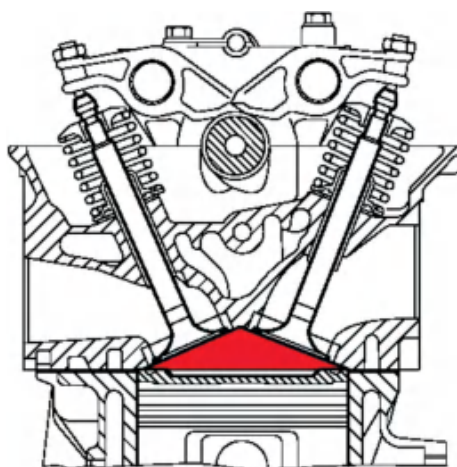


图 1-17 燃烧室容积

8. 压缩比(ε)

气缸总容积与燃烧室容积之比,称为压缩比。通常用符号 ε 表示。

$$\varepsilon = V_a : V_c$$

通常来说提高压缩比可以提高发动机的输出功率,节省燃料,提高转换效率,但过高的压缩比会产生严重的爆震,这将会影响到发动机的工作。通常汽油发动机的压缩比为 8~12,柴油发动机的压缩比可达 20 以上。压缩比形象表示如图 1-18 所示。

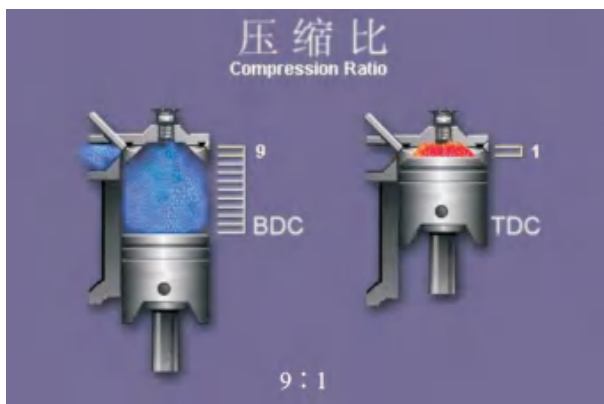


图 1-18 压缩比

9. 空燃比

可燃混合气中空气质量与燃油质量之比称为空燃比,空燃比是发动机运转时的一个重要参数,它对发动机的动力性和经济性及尾气排放都有很大的影响。理论上,1 kg 汽油完全燃烧需要 14.7 kg 的空气,这种空燃比被称为理论空燃比(14.7:1),这种比例的混合气完全燃烧后几乎不产生污染环境的有害气体。

10. 发动机有效功率

发动机有效功率是发动机机轴上所输出的净功率,即发动机扣除本身机械摩擦损失和带动其他辅助装置的外部损耗后向外有效输出的功率。

11. 升功率

升功率是从发动机有效功率的角度对气缸工作容积的利用率作出的总评价。升功率越高表明每升气缸工作容积发出的有效功率就越大,发动机经济性就越好。

12. 功率

夏天到了,要买一台空调,您当然会选择一台功率较大的空调,因为您知道空调的功率越大,制冷效果就越好。同样,汽车功率是指发动机做功的快慢,是一个用来比较及评估汽车发动机的参数。

功率用 P 来表示,单位为瓦特(W)或马力(Ps)。

单位换算: 1 kW=1.36 马力; 1 马力=0.735 kW。

例如: 大众(迈腾)EA888 系列发动机,1.8TSI 最大功率为 118 kW(5000~6200 rpm)也即 118 kW×1.36≈160 马力。

瓦特是国际单位制的功率单位。1 瓦特的定义是 1 焦耳/秒(1 J/s)，即在 1 s 内，转换、使用或耗散的能量是 1 J。

马力这个术语是工程师詹姆斯·瓦特发明的。据说瓦特在煤矿工作时用马来拉煤，他想用一种方法来表示每匹马可提供的动力。他发现，一匹采矿的马平均一分钟内可以做 29.832 kN·m 的功。然后他增加了 50% 的数量，规定 1 马力的大小为 1 分钟内做 44.748 kN·m 的功，如图 1-19 所示，这里的马力是指英制马力。这是一个人为规定的测量单位，几个世纪以来沿用至今，现在的空调、割草机、链锯甚至有些真空吸尘器都还在使用这个单位。



图 1-19 马力

13. 扭矩

描述发动机的另一个重要参数是扭矩，扭矩以牛顿·米(N·m)为单位。您是否见过以前的老式蒸汽机车？想象一下，要拉动 10 节车厢，车头需要产生多大的功率？动力是怎么传输的？蒸汽机车的功率是通过连杆机构传输给多个带有杠杆臂的车轮，为车轮传输巨大的动力，也就是极高的扭矩，让机车开始移动。现在将这一原理应用到发动机上(图 1-20)：活塞动力(F)通过连杆(与蒸汽机车上的联接机构类似)转换为旋转运动。杠杆臂(L)对应曲轴的行程(类似于蒸汽机车上的车轮半径)。扭矩可以表述为做功行程中活塞通过连杆作用在曲轴上的推动力。

在汽车上，通常采用功率/扭矩曲线图来描述发动机的性能，如图 1-21 所示。

从图 1-21 可知，功率曲线在较低转速下数值很小，但随转速增加而迅速增长，但转速增加到一定区间后，功率(A)增长速度变缓，直至最大值后就会下降，尽管此时转速(C)仍会继续增长。扭矩(B)曲线随着转速升高而升高，达最大值后随转速上升而下降。

通俗说来，功率，表示单位时间内机器做功的能力；扭矩，则表示爆发力强不强，有没有“劲”(表 1-2)。

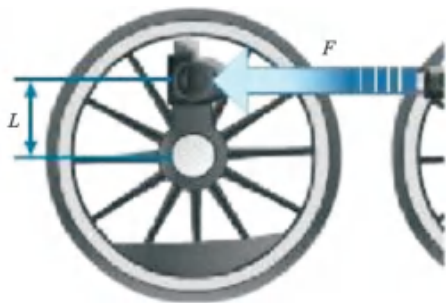


图 1-20 扭矩图

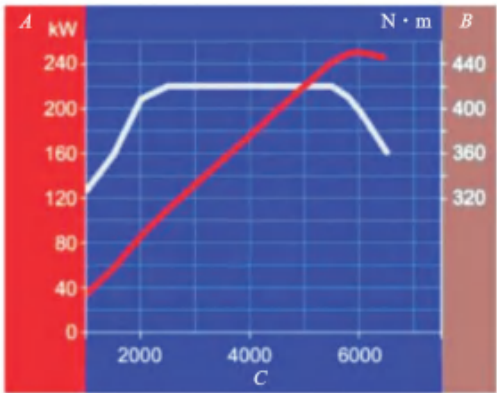


图 1-21 2006 款保时捷 Cayenne V8 发动机的功率/扭矩曲线图

表 1-2 扭矩/功率对比表

车型信息	雅阁2016款2.0L舒享版	凯美瑞2018款2.0E精英版
发动机型号	—	—
排量(mL)	1997	1998
排量(L)	2.0	2.0
最大马力(Ps)	155	167
最大功率(kW)	114	123
最大功率转速(rpm)	6500	6500
最大扭矩(N·m)	190	199

1.5 四冲程汽油发动机工作原理

当前几乎所有汽车都使用往复式内燃发动机，因为这种发动机具有以下优点：

- 相对高效(与外燃发动机相比)；
- 相对廉价(与燃气轮机相比)；
- 相对来说易于加注燃料(与电动汽车相比)。

这些优点使得其成为驱动汽车的首选技术。

四冲程汽油发动机工作过程依次为进气行程、压缩行程、做功行程和排气行程。

1. 进气行程(图 1-22)

发动机工作的第一步是进气行程，即向气缸内提供足够的新鲜空气和燃油。曲轴的旋转带动活塞从上止点向下止点运动，此时排气门关闭，进气门打开，进气行程开始。随着活塞下移，气缸容积增大，压力减小，气缸内产生真空吸力，可燃混合气通过进气门进入气缸，直至活塞运动到下止点。在进气终了时，气缸内的气体压力为 75~90 kPa。

2. 压缩行程(图 1-23)

当活塞从下止点开始向上止点运动时,进气门关闭,排气门依然处于关闭状态,因此气缸内空间被封闭,在活塞上行过程中,可燃混合气受到压缩,压力和温度不断升高,直至活塞到达上止点。压缩终了时,气缸内可燃混合气的压力可达 800~1500 kPa,温度可达 327℃ 以上。



图 1-22 进气行程



四冲程发动机
工作原理

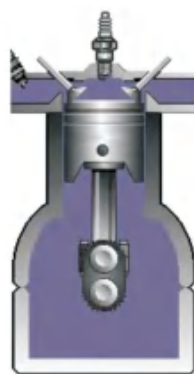


图 1-23 压缩行程



气缸压力的检测

3. 做功行程(图 1-24)

在压缩接近终了,即活塞即将到达上止点时,进气门和排气门仍然保持关闭。火花塞产生电火花,点燃气缸内的可燃混合气,可燃混合气燃烧后的热量使气缸内气体温度和压力急剧升高,高温高压气体推动活塞从上止点向下止点运动,再通过连杆驱动曲轴旋转做功,并对外输出动力。活塞到达下止点时,做功行程结束。

4. 排气行程(图 1-25)

做功行程结束后,当活塞下行到下止点时,排气门开启,进气门依然关闭。在飞轮的作用下,曲轴继续旋转,活塞在曲轴的带动下由下止点向上止点运行。废气在气缸内部压力和活塞的驱赶作用下从排气门被强制排出气缸。至活塞运行到上止点时,排气门关闭,排气行程结束。排气行程结束后,进气门再次开启,发动机又开始下一个工作循环。如此周而复始,发动机就自行运转起来。

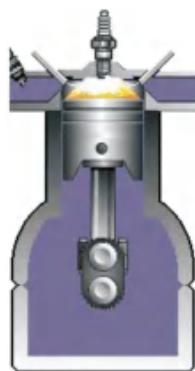


图 1-24 做功行程



图 1-25 排气行程

1.6 二冲程发动机工作原理

1. 二冲程汽油机工作原理

二冲程发动机的工作循环是在活塞上下往复运动两个行程即曲轴旋转一圈(360°)的时间内完成的。



两冲程发动机原理

图 1-26 为曲轴箱换气式二冲程汽油机工作原理示意图,曲轴箱换气式二冲程汽油机不设进、排气门,而在气缸的下部开设进气孔、排气孔和扫气孔,并由活塞来控制三个孔的开闭,以实现换气过程。

(1) 第一行程

活塞在曲轴带动下由下止点移至上止点。

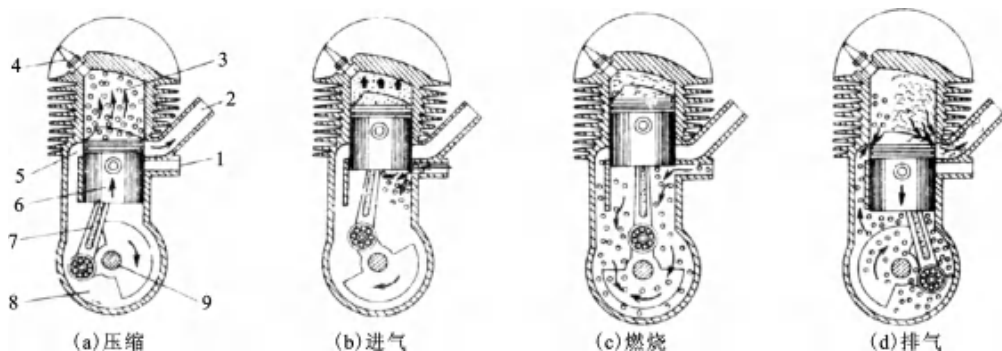


图 1-26 二冲程汽油机工作原理示意图

1—进气孔; 2—排气孔; 3—气缸; 4—火花塞; 5—扫气孔; 6—活塞; 7—连杆; 8—曲轴箱; 9—曲轴

当活塞处于下止点时,进气孔被活塞关闭,排气孔和扫气孔开启。随着活塞向上止点运动,活塞头部首先将扫气孔关闭,扫气终止。但此时排气孔尚未关闭,仍有部分废气和可燃混合气经排气孔继续排出,称其为额外扫气。当活塞将排气孔也关闭之后,气缸内的可燃混合气开始被压缩,如图 1-26(a)所示。直至活塞到达上止点,压缩过程结束。

在活塞到达上止点之前,随着活塞上移,曲轴箱容积增大,形成一定的真空,当活塞裙部将进气孔开启时,空气和汽油的混合物被吸入曲轴箱,开始进气,如图 1-26(b)所示。空气和汽油在曲轴箱内进一步混合形成可燃混合气。

(2) 第二行程

活塞由上止点移下下止点。

在压缩过程终了时,火花塞产生电火花,将气缸内的可燃混合气点燃,如图 1-26(c)所示。燃烧气体膨胀做功。此时排气孔和扫气孔均被活塞关闭,进气孔仍然开启。

随着活塞向下止点运动,活塞裙部将进气孔关闭,进气结束。随着活塞继续向下止点移动,曲轴箱容积不断压缩。

此后,活塞头部先将排气孔开启,膨胀后的燃烧气体已成废气,经排气孔排出。至此做功过程结束,开始先期排气。随后活塞又将扫气孔开启,经过预压缩的可燃混合气从曲轴箱

经扫气孔进入气缸,如图 1-26(d)所示,扫除其中的废气,开始扫气过程。这一过程将持续到第一行程中扫气孔被关闭时为止。

2. 二冲程柴油机工作原理

图 1-27 所示为带扫气泵的气门-气孔式直流扫气二冲程柴油机工作原理示意图。

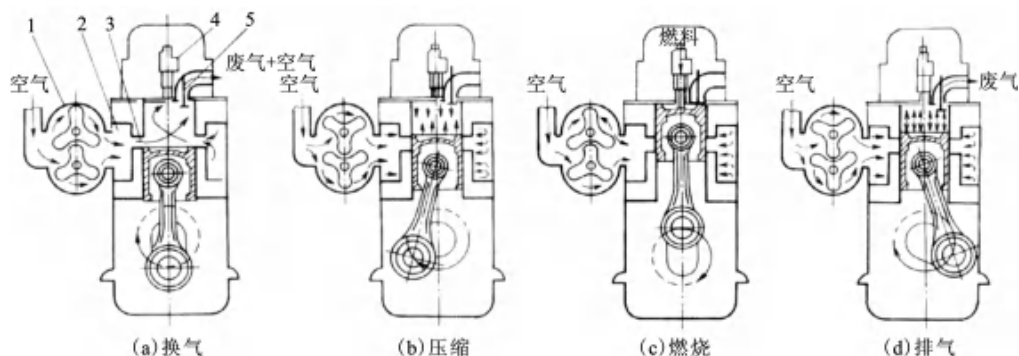


图 1-27 二冲程柴油机工作原理示意图

1—扫气泵; 2—空气室; 3—进气孔; 4—喷油器; 5—排气门

(1) 第一行程

活塞由下止点移至上止点。

当活塞处于下止点位置时,进气孔和排气门均已开启。扫气泵将纯空气增压到 0.12~0.14 MPa 后,经空气室和进气孔送入气缸,扫除其中的废气。废气经气缸顶部的排气门排出,如图 1-27(a)所示。

当活塞上移将进气孔关闭的同时,排气门也关闭,进入气缸内的空气开始被压缩,如图 1-27(b)所示,活塞运动至上止点,压缩过程结束。

(2) 第二行程

活塞由上止点移至下止点。

当压缩过程终了时,高压柴油经喷油器喷入气缸,并自行着火燃烧,如图 1-27(c)所示,高温高压的燃烧气体推动活塞做功。

当活塞下移到排气门开启,废气经排气门排出,如图 1-27(d)所示。活塞继续下移,进气孔开启,来自扫气泵的空气经进气孔进入气缸进行扫气。扫气过程将持续到活塞上移时将进气孔关闭为止。

1.7 汽油机和柴油机的比较

1. 四冲程汽油机与柴油机的比较

汽油和柴油在蒸发性和流动性上的差别使得两种发动机的混合气形成方式不同。除了缸内汽油直接喷射的汽油机外,目前绝大部分汽油机的可燃混合气是在气缸外部形成的;而柴油机的可燃混合气是在气缸内部形成的。

两种发动机在可燃混合气着火方式上不同。汽油机的可燃混合气由电火花强制点火燃烧(点燃),而柴油机的可燃混合气则在高温高压环境下自行着火燃烧(压燃)。

汽油机的压缩比受到汽油爆燃的限制,而柴油机压缩的是空气,压缩比比汽油机高,燃气膨胀充分,膨胀终了的气体温度较低,热量利用率高,所以柴油机燃油消耗相对较低。由于柴油机压缩比高,不仅造成起动困难,同时零件所受的机械负荷也大。与相同功率的汽油机相比,柴油机的体积大,质量重,制造和维修成本高,运转时振动和噪声较大。

由于柴油机的柴油与空气在气缸内混合的时间极短,通常需要比理论空气量多的过量空气,因此废气中的 CO(一氧化碳)含量比汽油机低。由于柴油在气缸内能充分燃烧,所以总的 HC(碳氢化合物)排放量比汽油机低得多,但柴油机的 NO_x (氮氧化合物)和 PM(颗粒)排放量较高。此外,由于柴油机的燃油经济性好,相应的 CO_2 (二氧化碳)排放量也比汽油机低。

汽油机具有质量轻、体积小、升功率高、噪声小、起动性能好、制造和维修成本低等特点,在汽车上、特别在轿车上得到广泛应用。自 20 世纪 70 年代以来,人们对环境污染和能源问题的日益重视,低油耗、低排放(主要指 CO、HC 和 CO_2)的柴油机在各种货车和中型以上客车上得到越来越多的应用,并且在轿车上也有应用。

2. 二冲程与四冲程发动机的比较

二冲程发动机曲轴每转一周完成一个工作循环,做功一次。当曲轴转速相同时,二冲程发动机单位时间的做功次数是四冲程发动机的两倍,由于曲轴每转一周做功一次,因此曲轴旋转的角速度比较均匀。

二冲程发动机的换气过程时间短,仅为四冲程发动机的 $1/3$ 左右。另外,进、排气过程几乎同时进行,利用新气扫除废气,新气可能流失,废气也不易清除干净。因此,二冲程发动机的换气质量较差。

曲轴箱换气式二冲程发动机因为没有进、排气门,而使结构大为简化。

1.8 发动机舱的检查(VR)



操作微课



VR操作

1. 准备工具和耗材

- (1) 车内、外防护件;
- (2) 手套;
- (3) 抹布。

2. 检查工作

- (1) 记录车辆信息(即:VIN 码、生产日期、发动机型号、行驶里程等);
- (2) 查找维修手册,记录相关信息;
- (3) 连接尾气排放管;
- (4) 做好车内防护,并降下左侧车窗,拉起发动机舱盖释放杆(下车时应当关好车门);
- (5) 做好车外防护,并检查油液、蓄电池,即:方向助力液、机油、制动液、冷却液、玻璃清洗液液位,蓄电池电压,如图 1-28 至图 1-33 所示。

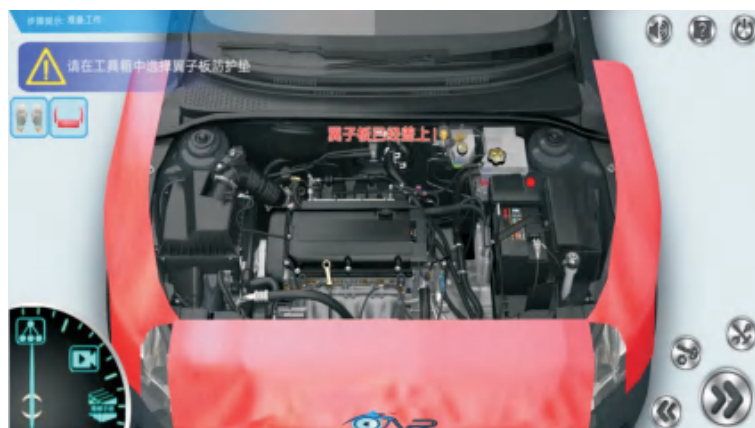


图 1-28 车外防护



图 1-29 检查方向助力液

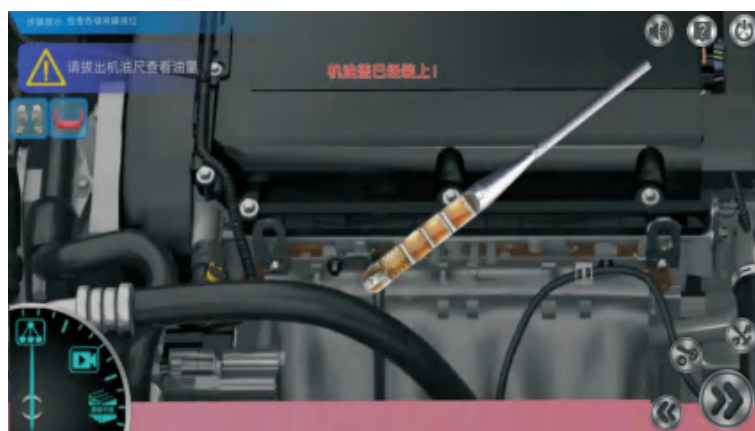


图 1-30 检查机油液位



图 1-31 检查防冻液



图 1-32 检查玻璃清洗液



图 1-33 检查蓄电池电压

(6) 检查保险盒、继电器以及各个连接管路是否有异常，如图 1-34 至图 1-37 所示。



图 1-34 检查保险丝、继电器



图 1-35 检查各软管



图 1-36 检查燃油管路



图 1-37 检查冷却水管路

单元练习

选择题

- 在四冲程发动机中, 曲轴在整个进气行程中转过角度是()。
 - 180°
 - 360°
 - 540°
 - 720°
- 四冲程发动机每完成一个工作循环曲轴旋转的角度是()。
 - 180°
 - 360°
 - 540°
 - 720°
- (多选) 进气门和排气门同时关闭的行程是()。
 - 进气行程
 - 压缩行程
 - 做功行程
 - 排气行程
- 在四冲程发动机工作循环中, 气缸内压力最大的行程是()。
 - 进气行程
 - 压缩行程
 - 做功行程
 - 排气行程
- 发动机中, 将热能转变为机械能并对外输出动力的是()。
 - 配气机构
 - 燃油供给系统
 - 冷却系统
 - 曲柄连杆机构
- 活塞由上止点运动到下止点所扫过的容积称为()。
 - 燃烧室容积
 - 气缸工作容积
 - 发动机排量
 - 气缸总容积
- 关于发动机排量的说法, 正确的是()。
 - 发动机工作容积与燃烧室容积之和

- B. 发动机各燃烧室容积之和
- C. 发动机各气缸工作容积之和
- D. 气缸吸入的气体体积

8. (多选) 发动机润滑系统的作用包括()。

- A. 冷却
- B. 清洁
- C. 密封
- D. 防锈



精益求精, 匠心筑梦
——大国工匠李凯军

2 曲柄连杆机构

学习目标

- ◇ 熟悉曲柄连杆机构的作用、组成及工作原理。
- ◇ 熟悉机体组的组成及作用。
- ◇ 熟悉活塞连杆组的组成及作用。
- ◇ 熟悉曲轴飞轮组的组成及作用。

2.1 曲柄连杆机构的作用、组成及工作原理

1. 作用

曲柄连杆机构是往复式活塞式内燃机将热能转变为机械能的主要机构。其功用是把燃气作用在活塞顶面上的压力转变为曲轴的转矩，向外输出动力。

2. 组成

曲柄连杆机构由机体组、活塞连杆组和曲轴飞轮组组成。机体组主要包括气缸体、曲轴箱、气缸盖、气缸盖罩、气缸垫及油底壳等；活塞连杆组主要包括活塞、活塞环、活塞销和连杆等；曲轴飞轮组主要由曲轴、飞轮、扭转减振器等组成。

3. 工作原理

发动机工作过程中，燃料燃烧产生的气体压力直接作用在活塞顶上，推动活塞做往复直线运动，经活塞销、连杆，传递给曲轴，使曲轴旋转。

2.2 机体组

机体组是发动机的支架，是两大机构和六大系统主要零部件的装配基体。气缸盖用来封闭气缸顶部，与活塞顶和气缸壁一起形成燃烧室。气缸盖和机体内的水套、油道以及油底壳又分别是冷却系统和润滑系统的组成部分。

发动机机体组主要包括气缸盖罩、气缸盖、气缸体和油底壳等，在以上元件结合面都有密封垫片，如图 2-1 所示。



机体组

2.2.1 气缸盖罩

1. 作用

气缸盖罩封闭气缸盖上平面，主要用来密封气缸盖及配气机构等零部件，防止灰尘污染机油或灰尘进入加快气门传动机构的磨损及润滑油的泄漏，如图 2-2 所示。

2. 工作条件

中温、中压。

3. 材料

塑料、钢板、铝合金。

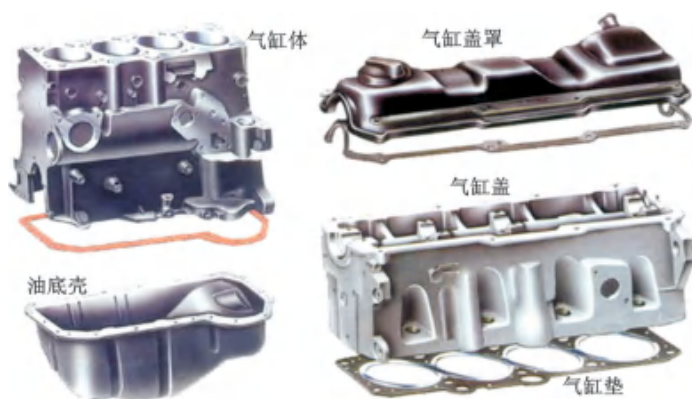


图 2-1 发动机机体组

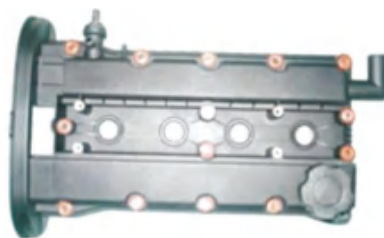


图 2-2 气缸盖罩

2.2.2 气缸盖

1. 作用

气缸盖主要用来封闭气缸上部，构成燃烧室，并作为凸轮轴和摇臂轴以及进排气歧管的支承。发动机运行时，由于气缸盖承受燃烧室内混合气体燃烧时产生的高温和气门开闭时产生的振动，因此气缸盖一般采用铝合金或铸铁等耐高温、耐磨损的材料来提高其强度和刚度。

2. 气缸盖结构

气缸盖一般由优质铸铁或铝合金材料铸造，现在越来越多的发动机采用铝合金气缸盖，因其具有质量轻、易浇铸、散热好等特点。气缸盖是气门机构的安装基体，与气缸及活塞顶部组成燃烧室。气缸盖上端面与气缸盖罩相接合，下端通过气缸衬垫与气缸体上端面连接，并由气缸盖螺栓固定。气缸盖的上部钻有火花塞安装孔、喷油器安装孔，侧面铸有进排气通道孔，内部还加工有气门导管及冷却液通道。若凸轮轴安装在气缸盖上，则气缸盖上还加工有凸轮轴轴承孔或凸轮轴轴承座及其润滑油道。气缸盖如图 2-3 所示。

2.2.3 气缸垫

1. 作用

气缸盖与气缸体之间置有气缸盖衬垫, 简称气缸垫, 如图 2-4 所示。其功用是填补缸体与缸盖结合面上的微观孔隙, 保证结合面处有良好的密封性, 进而保证燃烧室的密封, 防止气缸漏气和水套漏水。

2. 结构特点

气缸垫上面一般标有朝向标记, 安装气缸垫时保证有标记的一面朝上。目前应用较多的有以下几种缸垫, 一种是金属-石棉缸垫, 石棉中间夹有金属丝或金属屑, 且外覆铜皮或钢皮。水孔和燃烧室周围另用镶边增强, 以防被高温燃气烧坏, 这种缸垫压紧厚度为 1.2~2 mm, 有很好的弹性和耐热性, 能重复使用, 但强度较差, 厚度和质量也不均匀。另一种缸垫采用实心金属片制成, 这种缸垫多用在强化发动机上, 轿车和赛车上较多采用这种缸垫。这种缸垫由单块光整冷轧低碳钢板制成, 很多强化的汽车发动机采用实心的金属片作为缸垫。这种缸垫在需要密封的气缸孔和水孔、油孔周围冲压出一定高度的凸纹, 利用凸纹的弹性变形实现密封。



图 2-3 气缸盖

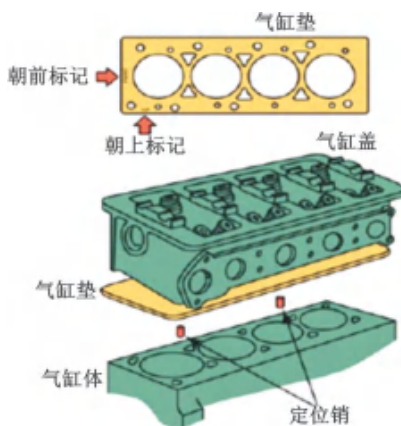


图 2-4 气缸垫

2.2.4 气缸体

1. 作用

水冷式发动机的气缸体和上曲轴箱常铸成一体, 统称为气缸体。气缸体上半部有若干个为活塞在其中运动导向的圆柱形空腔, 称为气缸。下半部为支承曲轴的曲轴箱, 其内腔为曲轴运动的空间。作为发动机各个机构和系统的装配基体, 还要承受高温高压气体的作用力及活塞在其中做高速往复运动, 因而要求气缸体应具有足够的刚度和强度。

2. 结构特点

气缸内表面受高温高压燃气作用, 并与高速运动的活塞有相对滑动, 极易磨损。为提高缸筒耐磨性, 延长其使用寿命, 在气缸结构和缸筒表面处理上要采取措施。

气缸体上部的圆柱形空腔称为气缸, 下半部为支承曲轴的曲轴箱, 其内腔为曲轴运动的空间; 在气缸体内部铸有许多加强筋、冷却水套和润滑油道等, 如图 2-5 所示。

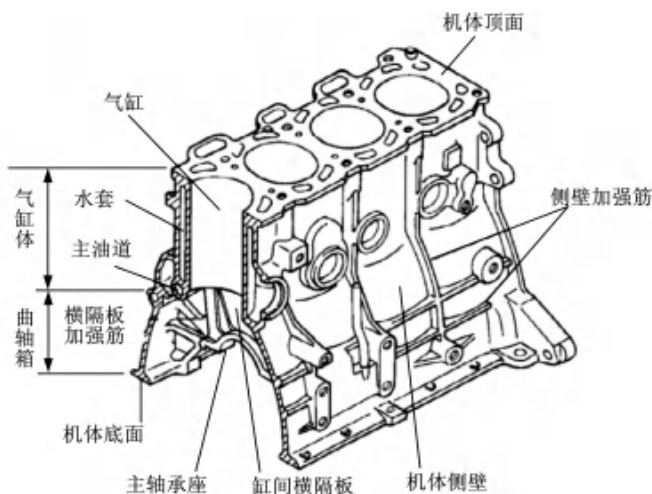


图 2-5 气缸体

3. 气缸套结构形式

气缸套内表面由于受高温高压燃气的作用并与高速运动的活塞(环)接触而极易磨损。可通过采取不同的气缸套结构形式和表面处理方法,来选择气缸套内表面的耐磨性及其使用寿命。常见气缸套的结构形式有三种:无气缸套式、干式气缸套式、湿式气缸套式,如图 2-6 所示。

无气缸套式,即在气缸体上直接加工出气缸(套),不镶嵌任何气缸套到气缸体上。优点是可以缩短各缸之间的中心距,使气缸体尺寸和质量减小,但成本较高。

干式气缸套不与冷却液接触,壁厚为 1~3 mm,外表面和气缸套座孔内表面均须精加工,以保证必要的装配精度和便于拆装。优点是气缸体刚度大,各缸中心距小,质量轻。缺点是加工工艺较为复杂,导热较差,温度分布不均匀,容易发生局部变形。

湿式气缸套外壁与冷却液直接接触,壁厚 5~9 mm,利用上下定位环带实现径向定位,轴向定位靠气缸套上部凸缘与气缸体顶部相应的支承面配合实现。湿式气缸套的优点是机体上没有密封水套,容易铸造,导热好,温度分布比较均匀,修理方便,不必将发动机从汽车上拆下就可更换气缸套。缺点是气缸体刚度差,容易漏水。

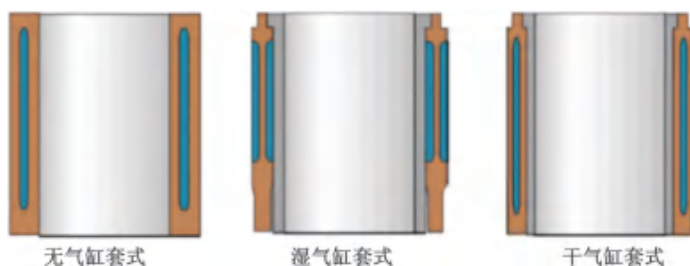


图 2-6 气缸套结构形式

4. 曲轴箱结构形式

按曲轴箱结构形式的不同机体有一般式、龙门式和隧道式 3 种,如图 2-7 所示。

(1) 一般式(平分式)

底面与曲轴轴线基本齐平,差 3~4 mm 的制口。机体高度小,重量轻,结构紧凑,便于



气缸体的认知



缸套



气缸内部检查

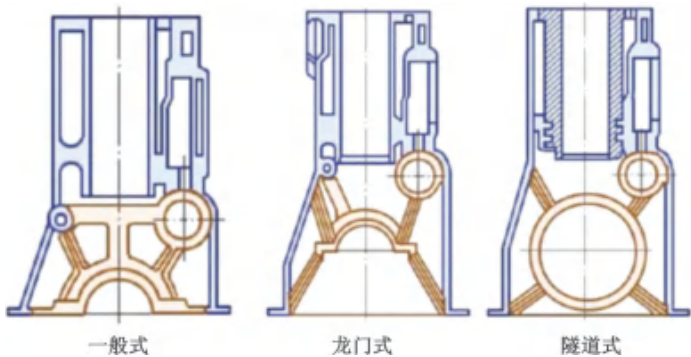


图 2-7 曲轴箱结构形式

加工，曲轴拆装方便。与油底壳密封不好，刚度和强度较差。主要应用于中小型发动机。

(2) 龙门式

龙门式机体是指底平面下沉到曲轴轴线以下的机体。机体底平面到曲轴轴线的距离称作龙门高度。龙门式机体由于高度增加，其弯曲刚度和扭转刚度均比一般式机体有显著提高。机体底平面与油底壳之间的密封也比较简单。

(3) 隧道式

隧道式机体是指主轴承孔不剖分的机体结构。这种机体配以窄型滚动轴承可以缩短机体长度。隧道式机体的刚度大，主轴承孔的同轴度好，但是由于大直径滚动轴承的圆周速度不能很大，而且滚动轴承价格较贵，因此限制了隧道式机体在高速发动机上的应用。

5. 气缸排列形式



气缸排列

对于多缸发动机，气缸的排列形式决定了发动机的外形尺寸和结构特点，对发动机机体的刚度和强度也有影响，并关系到汽车的总体布置。按照气缸排列方式的不同，气缸体还可以分成直列式、V 型、对置式及 W 型四种，如图 2-8 所示。

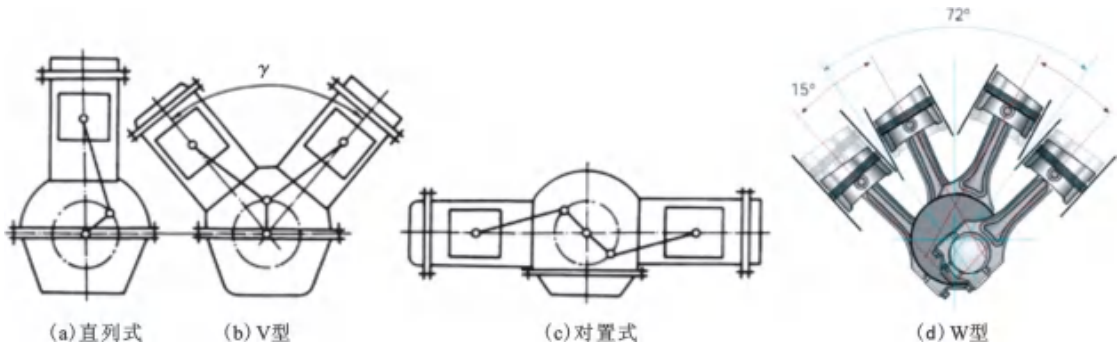


图 2-8 气缸排列形式

(1) 直列式气缸排列

如图 2-8(a) 所示，发动机各气缸排成一直列称为直列式气缸排列，一般是垂直布置的。其特点是结构简单，加工容易，但发动机长度和高度较大。通常把采用直列式气缸排列的发动机称为直列式发动机。一般多用于排量在 2.0 L 以下的发动机。

(2) V 型气缸排列

如图 2-8(b) 所示, 发动机气缸排成两列, 左右两列气缸中心线的夹角 $\gamma < 180^\circ$, 称为 V 型气缸排列。V 型气缸体与直列式气缸体相比, 缩短了机体长度和高度, 增加了气缸体的刚度, 减轻了发动机的重量, 但加大了发动机的宽度, 且形状较复杂, 加工困难。采用 V 型气缸排列的发动机称为 V 型发动机, 目前有 V4、V6、V8、V10、V12 及 V16 等机型。

(3) 对置式气缸排列

如图 2-8(c) 所示, 发动机气缸排成两列, 左右两列气缸在同一水平面上, 即左右两列气缸中心线的夹角 $\gamma = 180^\circ$ 。它的特点是高度小, 重心低, 总体布置方便, 平衡性好, 有利于风冷。

(4) W 型气缸排列

W 型发动机是德国大众专属发动机技术。实际上, W 型发动机的气缸排列形式是由两个小 V 型发动机组成的, 如图 2-8(d) 所示。严格说来 W 型发动机属 V 型发动机的变种。

2.2.5 油底壳

油底壳受力很小, 一般采用薄钢板冲压而成, 其形状取决于发动机的总体布置和润滑油的容量。油底壳能散去部分机油热量, 内装有稳油挡板, 以防止汽车颠簸时油面波动过大。油底壳底部装有放油螺塞, 通常铁质的放油螺塞带磁性, 以吸附润滑油中的金属屑, 减少发动机的磨损。一般油底壳与上曲轴箱接合面之间装有密封垫, 防止润滑油泄漏。油底壳结构如图 2-9 所示。

2.3 活塞连杆组

活塞连杆组将活塞的往复运动变为曲轴的旋转运动, 同时将作用于活塞上的力传给曲轴对外输出转矩, 以驱动汽车车轮转动。它是发动机的传动件, 它把燃烧气体的压力传给曲轴, 使曲轴旋转并输出动力。

活塞连杆组由活塞、活塞环、活塞销、连杆、连杆轴瓦等组成, 如图 2-10 所示。



活塞连杆组

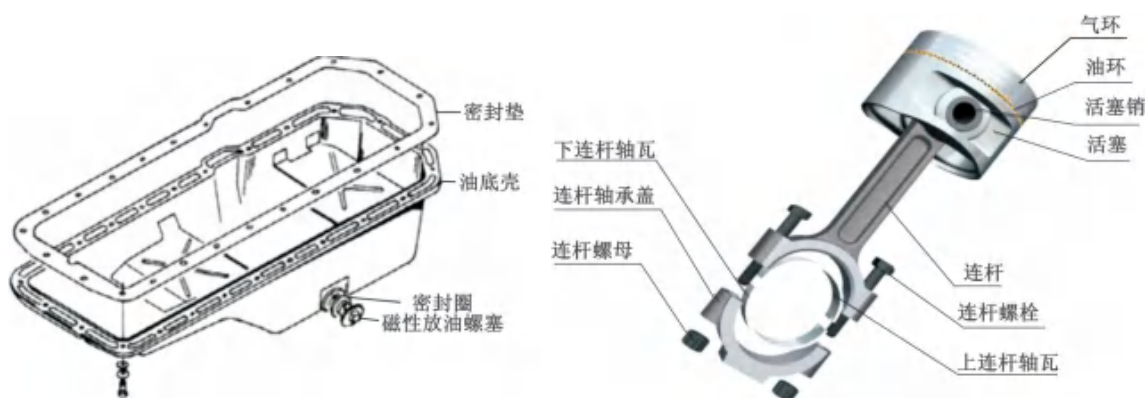


图 2-9 油底壳



图 2-10 活塞连杆组

2.3.1 活塞

1. 作用

活塞的作用是与气缸盖、气缸壁等共同组成燃烧室，并承受气缸中气体压力，通过活塞销将作用力传给连杆，以推动曲轴旋转。

由于活塞顶部直接与高温燃气接触，受周期性变化的气体压力和惯性力的作用，且散热及润滑条件差，因此要求活塞具有足够的强度和刚度，以免活塞环被击碎；活塞要具有良好的导热性和极小的膨胀性，以保持较小的安装间隙；活塞质量要小，以保持较小的惯性力；活塞与气缸壁间要有较小的摩擦因数。

活塞是发动机中工作条件最严酷的零件。作用在活塞上的有气体力和往复惯性力。活塞顶与高温燃气直接接触，使活塞顶的温度很高。活塞在侧压力的作用下沿气缸壁面高速滑动，由于润滑条件差，因此摩擦损失大，磨损严重。

2. 组成

活塞是由活塞顶部、活塞头部和活塞裙部组成的，如图 2-11 所示。

(1) 活塞顶部

活塞顶部是燃烧室的组成部分，其形状取决于燃烧室的形式。常见的活塞顶部形状有平顶式、凹顶式和凸顶式，如图 2-12 所示。

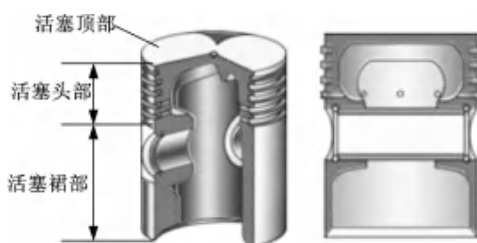


图 2-11 活塞



活塞



图 2-12 活塞顶部形状

平顶活塞顶部是一个平面，结构简单，制造容易，受热面积小，顶部应力分布较为均匀，一般用在汽油机上，柴油机上很少采用。

凸顶活塞顶部凸起呈球形，其顶部强度高，起导向作用，有利于改善换气过程。二冲程汽油机常采用凸顶活塞。

柴油机一般采用凹顶活塞。柴油机活塞顶部形状取决于混合气形成方式和燃烧室形状。在分隔式燃烧室的活塞顶部设有形状不同的浅凹坑，以便在主燃烧室内形成二次涡流，增进混合气形成与燃烧。柴油机还有另一类燃烧室，称为直喷式燃烧室。其全部容积都集中在气缸内，且在活塞顶部设有深浅不一、形状各异的燃烧室凹坑。在直喷式燃烧室的柴油机中，喷油器将燃油直接喷入燃烧室凹坑内，使其与运动气流相混合，形成可燃混合气并燃烧。

(2) 活塞头部

活塞头部主要有活塞环槽。活塞环安装在活塞环槽内。汽油机一般有 2~3 道环槽，上面 1~2 道用来安装气环，实现气缸的密封；最下面的一道安装油环。在油环槽底面上钻有许多径向回油孔，当活塞向下运动时，油环把气缸壁上多余的机油刮下来经回油孔流回油底壳。若温度过高，第一道环容易产生积碳，出现过热卡死现象。活塞环槽的磨损是影响活塞使用寿命的重要因素。在强化程度较高的发动机中，第一道环槽温度较高，磨损严重。为了增强环槽的耐磨性，通常在第一道环槽或第一、二道环槽处镶嵌耐热护圈。在高强化直喷式燃烧室柴油机中，在第一道环槽和燃烧室喉口处均镶嵌耐热护圈，以保护喉口不致因为过热而开裂。

(3) 活塞裙部

活塞头部以下的部分为活塞裙部。裙部的形状应该保证活塞在气缸内得到良好的导向，气缸与活塞之间在任何工况下都应保持均匀的、适宜的间隙。间隙过大，活塞敲缸；间隙过小，活塞可能被气缸卡住。此外，裙部应有足够的实际承压面积，以承受侧向力。活塞裙部承受膨胀侧向力的一面称主推力面，承受压缩侧向力的一面称次推力面，如图 2-13 所示。

3. 活塞的冷却

高强化发动机尤其是活塞顶上有燃烧室凹坑的柴油机，为了减轻活塞顶部和头部的热负荷而采用油冷活塞，如图 2-14 所示。用机油冷却活塞的方法有：

- (1) 自由喷射冷却法。从连杆小头上的喷油孔或从安装在机体上的喷油嘴向活塞顶内壁喷射机油。
- (2) 振荡冷却法。从连杆小头上的喷油孔将机油喷入活塞内壁的环形油槽中，由于活塞的运动使机油在槽中产生振荡而冷却活塞。
- (3) 强制冷却法。在活塞头部铸出冷却油道或铸入冷却油管，使机油在其中强制流动以冷却活塞。强制冷却法广为增压发动机所采用。

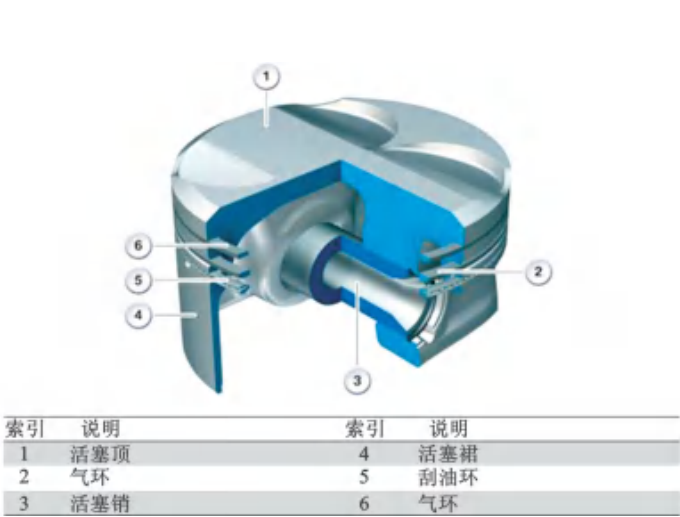


图 2-13 活塞裙部

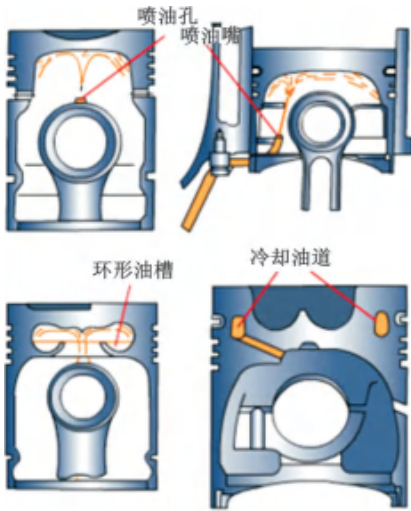


图 2-14 活塞的冷却

4. 活塞的表面处理

根据不同的目的和要求，进行不同的活塞表面处理，其方法有：

- (1) 活塞顶进行硬膜阳极氧化处理，形成高硬度的耐热层，增大热阻，减少活塞顶部的吸热量。
- (2) 活塞裙部镀锡或镀锌，可以避免在润滑不良的情况下运转时出现拉缸现象，也可以起到加速活塞与气缸的磨合作用。
- (3) 在活塞裙部涂覆石墨，石墨涂层可以加速磨合过程，可使裙部磨损均匀，在润滑不良的情况下可以避免拉缸。

2.3.2 活塞环

1. 作用

活塞环包括气环(或压缩环)和油环两种，如图 2-15 所示。

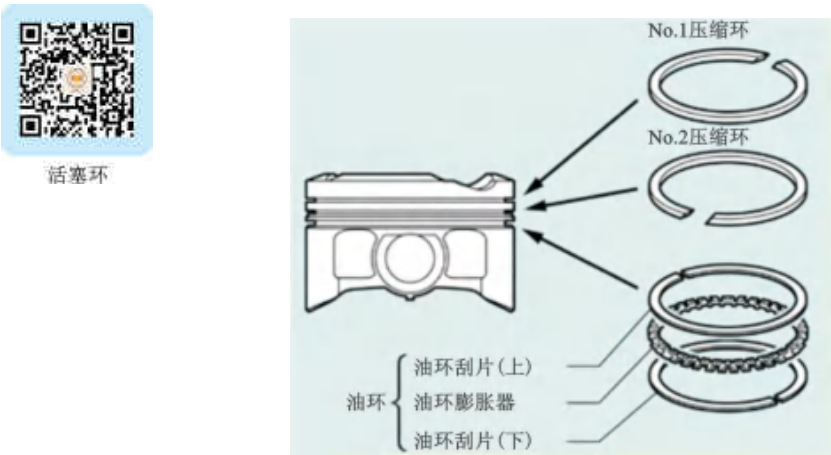


图 2-15 活塞环

气环：保证活塞与气缸壁间的密封，防止气缸中的高温、高压燃气大量漏入曲轴箱，同时它还将活塞头的热量传导给气缸壁。

油环：刮除气缸壁上多余的机油，并在气缸壁布油。

2. 活塞环的材料及结构特点

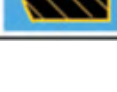
活塞环工作时受到气缸中高温、高压燃气的作用，并在润滑不良的条件下在气缸内高速滑动。由于气缸壁面的形状误差，使活塞环在上下滑动的同时还在环槽内产生径向移动。这不仅加重了环与环槽的磨损，还使活塞环受到交变弯曲应力的作用而容易折断。

根据活塞环的功用及工作条件，制造活塞环的材料应具有良好的耐磨性、导热性、耐热性、冲击韧性、弹性和足够的机械强度。目前广泛应用的活塞环材料有优质灰铸铁、球墨铸铁、合金铸铁和钢带等。第一道活塞环外圆面通常进行镀铬或喷钼处理。多孔性铬层硬度高，并能储存少量机油，可以改善润滑、减轻磨损。钼的熔点高，也具有多孔性，因此喷钼同样可以提高活塞环的耐磨性。

(1) 气环

气环常见的断面形状及结构特点如表 2-1 所示。

表 2-1 气环的类型

形状	特点	示意图
矩形环	结构简单、制造方便、易于生产、应用面广；磨合性差，有“泵油作用”（桑塔纳JV第一道）	
扭曲环	断面不对称，受力不平衡，活塞环扭曲，消除“泵油作用”。做功行程同矩形环。内圆上边或外圆下边切掉为正扭曲环；内圆下边切掉为反扭曲环（捷达EA827、切诺基2.4、依维柯第一、二道）	
锥面环	减少了环与汽缸壁的接触面，提高了表面接触压力，有利于磨合和密封。传热性差，不作第一道环。记号向上（TJ376、富康TU第二道）	
梯形环	抗黏结性好，经常用作柴油机（奔驰）第一道气环	
桶面环	外为凸圆弧形，密封性、磨合性、适应性好，减轻磨损（CA488、TJ376、富康TU第一道）	

(2) 油环

油环分为普通油环和组合油环两种，无论活塞上行或下行，油环都能将气缸壁上多余的润滑油刮下来，经活塞上的回油孔流回油底壳。

①普通油环：一般由合金铸铁制造，其断面与矩形气环相似。为增强刮油效果，提高对缸壁的压力，在其外圆上切有环形槽，槽底开有若干回油用的小孔或狭缝。普通油环结构简单、造价低，但刮油效果差、寿命短。

②组合油环：由上、下刮片和产生径向、轴向弹力作用的衬簧组成。主要优点为刮油能力强，对缸套变形的适应性好，回油通路大。因此，组合油环的应用日益增多，如图 2-16 所示。



图 2-16 组合油环

2.3.3 活塞销

1. 作用

活塞销用来连接活塞和连杆，并将活塞承受的力传给连杆或相反传送。活塞销在高温条件下承受很大的周期性冲击负荷，且由于活塞销在销孔内摆动角度不大，难以形成润滑油膜，因此润滑条件较差。为此活塞销必须有足够的刚度、强度和耐磨性，质量尽可能小，销与销孔应该有适当的配合间隙和良好的表面质量。在一般情况下，活塞销的刚度尤为重要，如果活塞销发生弯曲变形，可能使活塞销座损坏。

2. 活塞销材料及结构特点

活塞销的材料一般为低碳钢或低碳合金钢，如 20、20Mn、15Cr、20Cr 或 20MnV 等。外

表面渗碳淬硬,再经精磨和抛光等精加工。这样既提高了表面硬度和耐磨性,又保证有较高的强度和冲击韧性。活塞销的结构形状很简单,基本上是一个厚壁空心圆柱,如图 2-17 所示。其内孔形状有圆柱形、两段截锥形和组合形。圆柱形孔加工容易,但活塞销的质量较大;两段截锥形孔的活塞销质量较小,且因为活塞销所受的弯矩在其中部最大,所以接近于等强度梁,但锥孔加工较难。

活塞销与活塞销座孔和连杆小头衬套孔的连接采用全浮式和半浮式连接,如图 2-18 所示。

全浮式:活塞销可以在孔内自由转动。

半浮式:销与连杆小头之间为过盈配合,工作中不发生相对转动;销与活塞销座孔之间为间隙配合。

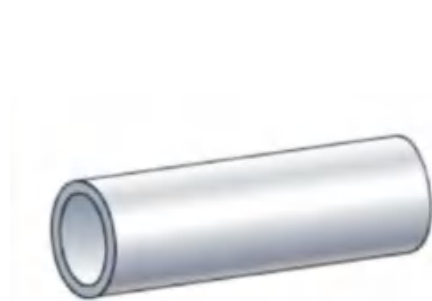


图 2-17 活塞销

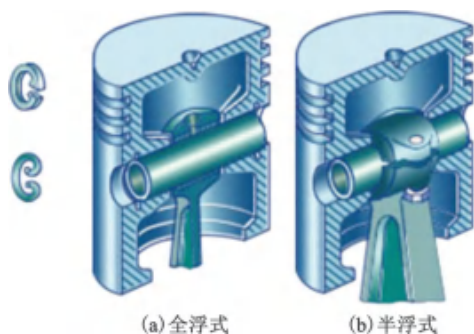


图 2-18 活塞销类型

2.3.4 连杆

1. 作用

连杆的作用是将活塞承受的力传给曲轴,并将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动。连杆小头与活塞销连接,同活塞一起做往复运动;连杆大头与曲柄销连接,同曲轴一起做旋转运动,因此在发动机工作时连杆做复杂的平面运动。



2. 连杆的连接

连杆主要受压缩、拉伸和弯曲等交变负荷。最大压缩载荷出现在做功行程上止点附近,最大拉伸载荷出现在进气行程上止点附近。在压缩载荷和连杆组做平面运动时产生的横向惯性力的共同作用下,连杆可能发生弯曲变形。连杆结构示意图如图 2-19 所示。

(1) 小头:用来安装活塞销,以连接活塞。

(2) 杆身:常做成“工”字形断面。

(3) 大头:与曲轴的连杆轴颈相连。大头一般做成分开式,即连杆大头和连杆盖。

平切口连杆利用连杆螺栓上一段精密加工的圆柱面与精密加工的螺栓孔来实现连杆盖的定位[图 2-20(a)]。

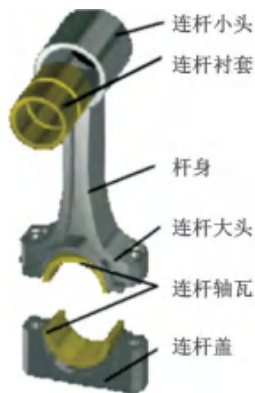


图 2-19 连杆

斜切口连杆的连杆螺栓由于承受较大的剪切力而容易发生疲劳破坏。为此,应该采用能够承受横向力的定位方法。

(1) 止口定位: 利用连杆盖与连杆大头的止口进行定位[图 2-20(b)], 由止口承受横向力。这种方法工艺简单, 但连杆大头外形尺寸大, 止口变形后定位不可靠。

(2) 套筒定位: 在连杆盖上的每一个连杆螺栓孔中, 同心地压入刚度大、抗剪切的定位套筒[图 2-20(c)], 套筒外圆与连杆大头的定位孔为高精度动配合。这种定位方法的优点是多向定位, 定位可靠。缺点是工艺要求高, 若定位孔距不准, 则会发生过定位而引起连杆大头孔失圆。另外, 连杆大头的横向尺寸较大。

(3) 锯齿定位: 在连杆大头与连杆盖的结合面上拉削出锯齿, 依靠齿面实现横向定位[图 2-20(d)]。这种定位方法的优点是锯齿接触面大, 贴合紧密, 定位可靠, 结构紧凑, 因此在斜切口连杆上应用广泛。

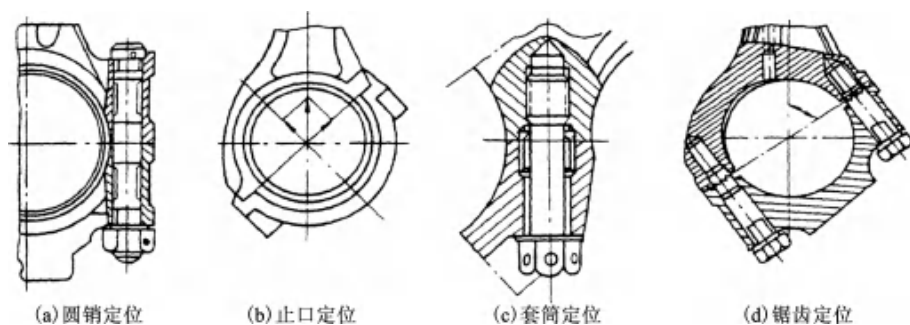


图 2-20 连杆大头定位方式

连杆与连杆盖配对加工, 加工后, 在它们同一侧打上配对记号, 安装时不得互相调换或变更方向。

将连杆盖和连杆大头连接在一起的连杆螺栓, 在工作中要承受很大的冲击力, 若折断或松脱, 将造成重事故。为此, 连杆螺栓都采用优质合金钢, 并经精加工和热处理特制而成。拧紧连杆螺栓螺母时, 要用扭力扳手分 2~3 次交替均匀地拧紧到规定的扭矩, 拧紧后还应可靠地锁紧。连杆螺栓损坏后绝不能用其他螺栓来代替。

为了减小摩擦阻力和曲轴连杆轴颈的磨损, 连杆大头孔内装有瓦片式滑动轴承, 简称连杆轴瓦。如图 2-21 所示, 轴瓦由上、下两个半片组成。目前多采用薄壁钢背轴瓦, 在其内表面浇铸有减磨合金层, 背面有很高的光洁度。减磨合金层具有质软、容易保持油膜、磨合性好、摩擦阻力小及不易磨损等特点。连杆轴瓦的半个轴瓦在自由状态下不是半圆形, 当它们装入连杆大头孔内时, 由于有过盈, 故能均匀地紧贴在大气孔壁上, 具有很好地承受载荷和导热的能力, 并可以提高工作可靠性和延长使用寿命。

连杆轴瓦上制有定位凸键, 供安装时嵌入连杆大头和连杆盖的定位槽中, 以防轴瓦前后移动或转动。有的轴瓦上还制有油孔, 安装时应与连杆上相应的油孔对齐。

V 型发动机左右两侧对应两个气缸的连杆是装在曲轴的一个连杆轴颈上的, 其布置形式有三种, 如图 2-22 所示。

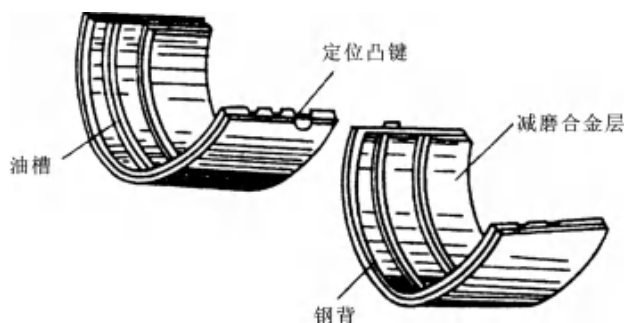


图 2-21 连杆轴瓦

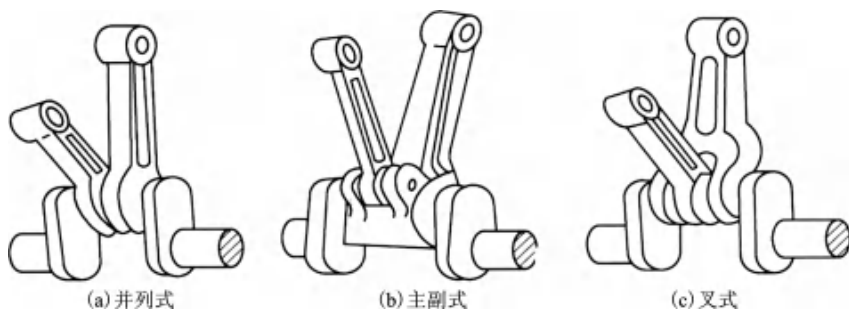


图 2-22 V 型发动机的连杆

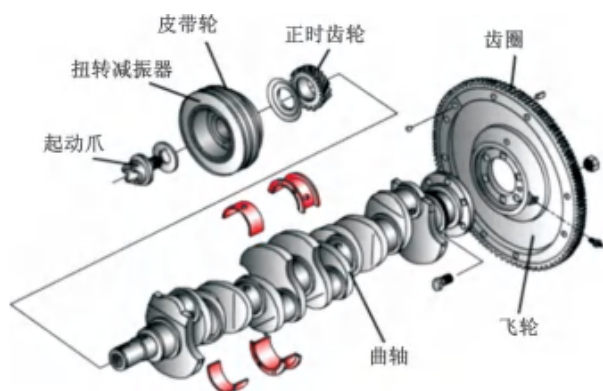
(1) 并列式连杆[图 2-22(a)]: 左右两缸的连杆一前一后装在同一连杆轴颈上。这种形式的优点是连杆可以通用, 两列气缸的活塞连杆组运动规律相同。缺点是两列气缸的轴心沿曲轴的轴向要错开一段距离, 因而曲轴总长度增加, 刚度降低。

(2) 主副式连杆[图 2-22(b)]: 一列气缸的连杆为主连杆, 其连杆大头直接安装在曲轴的曲柄销上; 另一列气缸的连杆为副连杆, 其连杆大头通过销轴铰连在主连杆上。这样布置不会增加曲轴的长度, 但缺点是主副连杆不能互换, 且左右两列气缸的活塞连杆组的运动规律和受力都不相同。

(3) 叉式连杆[图 2-22(c)]: 两列气缸对应的两个连杆中, 一个连杆大头做成叉形, 跨装在另一个连杆厚度较小的片形大头两端。其优点是两列活塞连杆组的运动规律相同, 左右对应的气缸不需要错位。缺点是叉形连杆大头的结构和制造工艺较复杂, 而且大头的刚度也不高。

2.4 曲轴飞轮组

曲轴飞轮组主要由曲轴、飞轮、正时齿轮、皮带轮及曲轴扭转减振器等组成, 如图 2-23 所示。



曲轴飞轮组

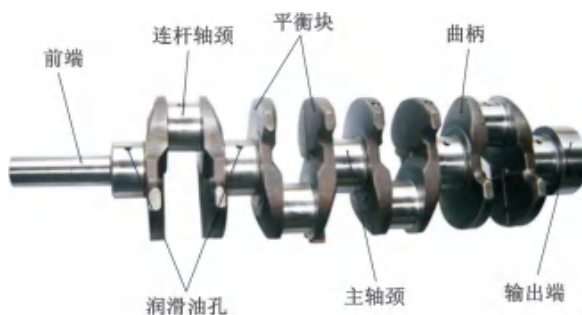
图 2-23 曲轴飞轮组

2.4.1 曲轴

曲轴的主要功用是把活塞连杆组传来的气体压力转变为扭矩对外输出，还用来驱动发动机的配气机构及其他各种辅助装置，如图 2-24 所示。

在发动机工作中，曲轴受到周期性变化的气体压力、往复惯性力、离心力及由此产生的转矩和弯矩的共同作用。因此要求曲轴有足够的刚度、强度，各工作表面润滑良好、耐磨，并具有良好的平衡性。

现代汽车发动机广泛采用球墨铸铁曲轴。为提高曲轴的抗疲劳强度，消除应力集中，轴颈表面应进行喷丸处理，圆角处要经滚压处理。



曲轴

图 2-24 曲轴

按曲轴主轴颈的数目的多少曲轴分为全支撑曲轴及非全支撑曲轴。

在相邻两曲拐间都设置一个主轴颈的曲轴，称为全支撑曲轴，如图 2-25 所示；否则称为非全支撑曲轴，如图 2-26 所示。全支撑曲轴主轴颈数目比气缸数多一个。V 型发动机全支撑曲轴，主轴颈数目比气缸数的一半多一个。

平衡块可以与曲轴制成一体，也可以单独制成后再用螺栓固定在曲轴上，称为装配式平衡块。有些刚度较大的全支撑曲轴也可不设平衡块。曲轴不论有无平衡块，都必须经动平衡试验，对不平衡的曲轴常在其偏重的一侧钻去一些质量。

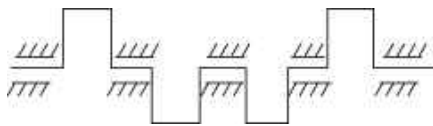


图 2-25 全支撑

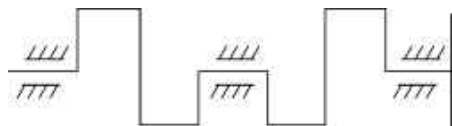


图 2-26 非全支撑

2.4.2 曲轴曲拐

各曲拐的相对位置或曲拐布置取决于气缸数、气缸排列形式和发动机工作顺序。当气缸数和气缸排列形式确定之后，曲拐布置就只取决于发动机工作顺序。在选择发动机工作顺序时，应注意以下几点：

(1) 应该使接连做功的两个气缸相距尽可能地远，以减轻主轴承载荷和避免在进气行程中发生抢气现象。

(2) 各气缸发火的间隔时间应该相同。发火间隔时间若以曲轴转角计则称发火间隔角。在发动机完成一个工作循环的曲轴转角内，每个气缸都应发火做功一次。对于气缸数为 i 的四冲程发动机，其发火间隔角应为 $720^\circ/i$ ，即曲轴每转 $720^\circ/i$ 时，就有一缸发火做功，以保证发动机运转平稳。

(3) V 型发动机左右两列气缸应交替发火。

四冲程直列四缸发动机的发火间隔角为 $720^\circ/4 = 180^\circ$ ，4 个曲拐在同一平面内，如图 2-27 所示。

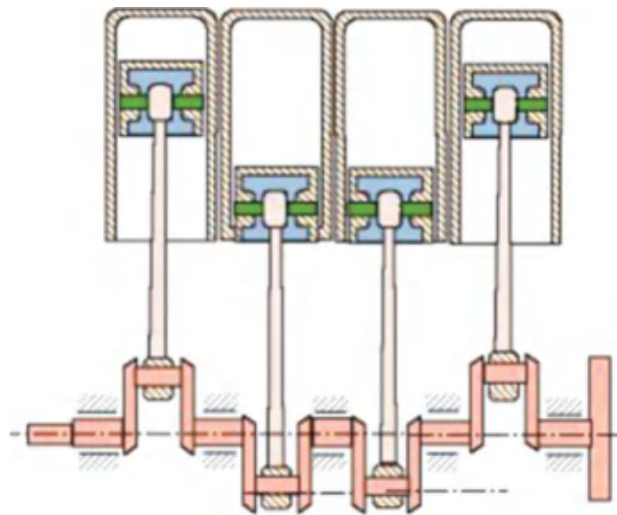


图 2-27 四冲程直列四缸发动机

四冲程四缸发动机工作循环为 1-2-4-3，如表 2-2 所示。

2.4.3 曲轴扭转减振器

当发动机工作时,曲轴在周期性变化的转矩作用下,各曲拐之间发生周期性相对扭转的现象称为扭转振动,简称扭振。当发动机转矩的变化频率与曲轴扭转的自振频率相同或成整数倍时,就会发生共振。共振时扭转振幅增大,并导致传动机构磨损加剧,发动机功率下降,甚至使曲轴断裂。为了消减曲轴的扭转振动,现代汽车发动机多在扭转振幅最大的曲轴前端装置扭转减振器,如图 2-29 所示。汽车发动机多采用橡胶扭转减振器、硅油扭转减振器和硅油-橡胶扭转减振器等。



图 2-29 扭转减振器

2.4.4 飞轮

飞轮由飞轮盘和飞轮齿圈组成,如图 2-30 所示。

对于四冲程发动机来说,每四个活塞行程做功一次,即只有做功行程做功,而排气、进气和压缩三个行程都要消耗功。因此,曲轴对外输出的转矩呈周期性变化,曲轴转速也不稳定。为了改善这种状况,在曲轴后端装置飞轮。

飞轮是转动惯量很大的盘形零件,其作用如同一个能量存储器。在做功行程中发动机传输给曲轴的能量,除对外输出外,还有部分能量被飞轮吸收,从而使曲轴的转速不会升高很多。在排气、进气和压缩三个行程中,飞轮将其储存的能量放出来补偿这三个行程所消耗的功,从而使曲轴转速不致降低太多。

除此之外,飞轮还有下列功用:飞轮是摩擦式离合器的主动件;在飞轮轮缘上镶嵌有供起动发动机用的飞轮齿圈;在飞轮上还刻有上止点记号,用来校准点火定时或喷油定时以及调整气门间隙。



图 2-30 飞轮

2.4.5 主轴承

汽车发动机滑动轴承有连杆衬套、连杆轴承、主轴承和曲轴止推轴承。

连杆轴承和主轴承均承受交变载荷和高速摩擦,因此轴承材料必须具有足够的抗疲劳强度,而且要摩擦小、耐磨损和耐腐蚀。

主轴承均由上、下两片轴瓦对合而成,如图 2-31 所示。每一片轴瓦都是由钢背和减磨合金层或钢背、减磨合金层和软镀层构成,前者称为二层结构轴瓦,后者称为三层结构轴瓦。钢背是轴瓦的基体,由 1~3mm 厚的低碳钢板制造,以保证有较高的机械强度。在钢背上浇铸减磨合金层,减磨合金材料主要有白合金、铜铅合金和铝基合金。白合金也叫巴氏合金,应用较多的锡基白合金减磨性好,但抗疲劳强度低,耐热性差,温度超过 100℃ 硬度和强度均明显下降,因此常用于负荷不大的汽油机。铜铅合金的突出优点是承载能力大,抗疲劳强度高,耐热性好。但磨合性能和耐腐蚀性差。为了改善其磨合性能和耐腐蚀性,通常在铜铅合金表面电镀一层软金属而成三层结构轴瓦,多用于高强化的柴油机。铝基合金包括铝锡镁合金、低锡铝合金和高锡铝合金。含锡 20% 以上的高锡铝合金轴瓦因为有较好的承载能力、抗疲劳强度和减磨性能而被广泛地用于汽油机和柴油机。软镀层是指在减磨合金层上电镀一层锡或锡铅合金,其主要作用是改善轴瓦的磨合性能并作为减磨合金层的保护层。



图 2-31 主轴承

2.4.6 曲轴止推轴承

汽车行驶时由于踩踏离合器而对曲轴施加轴向推力,使曲轴发生轴向蹿动。过大的轴向蹿动将影响活塞连杆组的正常工作和破坏正确的配气正时和柴油机的喷油正时。为了保证曲轴轴向的正确定位,需装设止推轴承,而且只能在一处设置止推轴承,以保证曲轴受热膨胀时能自由伸长。曲轴止推轴承有翻边轴瓦(图 2-32)、半圆环止推片(图 2-33)和止推轴承环 3 种形式。



图 2-32 翻边轴瓦



图 2-33 半圆环止推片

翻边轴瓦(是将轴瓦两侧翻边作为止推面,在止推面上浇铸减磨合金。轴瓦的止推面与曲轴止推面之间留有 0.06~0.25mm 的间隙,从而限制了曲轴轴向蹿动量。

半圆环止推片一般为四片,上、下各两片,分别安装在机体和主轴承盖上的浅槽中,用定位舌或定位销定位,防止其转动。装配时,需将有减磨合金层的止推面朝向曲轴的止推面,不能装反。

止推轴承环为两片止推圆环,分别安装在第一主轴承盖的两侧。

2.5 机体组的拆装 (VR)



操作微课

1. 准备工具和耗材

- (1) 扭力扳手;
- (2) 常用工具;
- (3) 手套。

2. 操作流程

- (1) 先用扭力扳手将连杆轴承盖的固定螺栓对角卸力, 如图 2-34 所示;



图 2-34 将连杆轴承盖固定螺栓卸力

- (2) 再用棘轮扳手对角拆卸连杆轴承盖的固定螺栓, 如图 2-35 所示;



图 2-35 拆卸连杆轴承盖固定螺栓