

# 第 1 章 汽车发动机的基本知识

**教学提示：**发动机是将某一种能量转换为机械能的机器，是汽车的动力之源，被称为汽车的心脏。本章重点介绍了发动机的分类、术语、工作原理、总体构造及其性能指标。

**教学目标：**要求学生了解发动机的发展历程；掌握发动机的分类和基本术语；重点掌握四冲程发动机的工作原理；了解发动机的总体构造和国产发动机编号规则；熟悉发动机的主要性能指标。

## 1.1 概 述

发动机(engine)是将某一种形式的能量转换为机械能的机器。发动机为汽车提供动力。发动机还广泛应用于交通运输机械、农业机械、工程机械和发电机组等各个方面。

### 1.1.1 发动机的发展

往复式活塞式四冲程汽油机是德国人奥托(Nicolaus A.Otto)在大气压力式发动机基础上，于 1876 年发明并投入使用的。由于采用了进气、压缩、做功和排气四个冲程，发动机的热效率从大气压力式发动机的 11%提高到 14%，而发动机的质量却降低了 70%。1892 年德国工程师狄塞尔(Rudolf Diesel)发明了压燃式发动机(即柴油机)，实现了内燃机历史上的第二次重大突破。由于采用高压压缩比和膨胀比，热效率比当时其他发动机又提高了 1 倍。1956 年，德国人汪克尔(F.ankel)发明了转子式发动机，使发动机转速有较大幅度的提高。1964 年，德国 NSU 公司首次将转子式发动机安装在轿车上。

1926 年，瑞士人布希(A.Buchi)提出了废气涡轮增压理论，利用发动机排出的废气能量来驱动压气机，给发动机增压。50 年代后，废气涡轮增压技术开始在车用内燃机上逐渐得到应用，使发动机性能有很大提高，成为内燃机发展史上的第三次重大突破。

1967 年德国博世(Bosch)公司首次推出由电子计算机控制的汽油喷射系统(Electronic Fuel Injection, EFI)，开创了电控技术在汽车发动机上应用的历史。经过 30 年的发展，以电子计算机为核心的发动机管理系统(Engine Management System, EMS)已逐渐成为汽车、特别是轿车发动机上的标准配置。由于电控技术的应用，发动机的污染物排放、噪声和燃油消耗大幅度地降低，改善了动力性能，成为内燃机发展史上第四次重大突破。

20 世纪 50 年代中期，我国有了自己成批制造的汽车发动机——CA10 型六缸 5.56L 汽油机，用于解放牌 CA10 型中型货车上。在以后的 20 年中，又成批制造了跃进 NJ70 型六缸 3.5L 汽油机、东风 EQ6100 型六缸 5.42L 汽油机和黄河 6135Q 型六缸 12L 柴油机等。轿车用发动机有红旗 8V100 型 5.6L 汽油机和上海 680Q 型 2.23L 汽油机。

改革开放以后，随着汽车工业的高速发展，我国先后从发达国家引进生产了一批较为先进的汽车发动机。如从意大利引进 Sofim8140 系列四缸 2.5L 柴油机；从美国引进 Cummins6BT5.9 系列六缸 5.8L 柴油机；从奥地利引进 Steyr WD615 系列六缸 9.72L 柴油机

等。此间,对原有一些产品改进和更新。同时,我国自主开发和研制了一批具有较先进水平的车用发动机,如 YC6105Q 型 6.5L 柴油机、6110A 型 6.8L 柴油机和 X6130 型 11.95L 柴油机等。用于桑塔纳 2000GLi 型轿车上的 AFE 型 1.8L 电控汽油喷射发动机已批量生产。1998 年 3 月问世的 AIR 型 1.8L 无分电器电控汽油喷射发动机使我国制造轿车发动机的水平提高到一个新的台阶。

### 1.1.2 发动机的分类

发动机是汽车的动力源。汽车发动机大多是热能动力装置,简称热力机。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。

热力机分内燃机和外燃机两种。直接以燃料燃烧所生成的燃烧产物为工质的热机为内燃机,反之则为外燃机。内燃机包括活塞式内燃机和燃气轮机。外燃机则包括蒸汽机、汽轮机和热气机(也称斯特灵发动机)等。内燃机与外燃机相比,具有结构紧凑、体积小、质量轻和容易启动等优点。因此,内燃机尤其是活塞式内燃机被广泛地用作汽车的动力装置。本书以后涉及发动机的内容,主要指活塞式内燃机。

活塞式内燃机按不同的特征分类:

(1) 按活塞运动方式的不同,分为往复活塞式和旋转活塞式两种。前者活塞在汽缸内做往复直线运动,后者活塞在汽缸内做旋转运动。旋转活塞式发动机(也称转子发动机),主要在日本马自达轿车上应用。本书内容以往复活塞式发动机为主。

(2) 根据所用燃料种类的不同,分为汽油机、柴油机和气体燃料发动机三类。以汽油或柴油为燃料的活塞式内燃机分别称作汽油机或柴油机。使用天然气、液化石油气和其他气体燃料的活塞式内燃机称作气体燃料发动机。汽油和柴油都是石油制品,是汽车发动机的传统燃料。非石油燃料称作代用燃料。燃用代用燃料的发动机称作代用燃料发动机,如乙醇发动机、氢气发动机、甲醇发动机等。

(3) 按冷却方式的不同,分为水冷式和风冷式两种。以水或冷却液为冷却介质的称为水冷式内燃机,而以空气为冷却介质的则称为风冷式内燃机。

(4) 按在一个工作循环期间活塞往复运动的行程数,分为四冲程和二冲程发动机。在一个工作循环中活塞往复四个行程的内燃机称作四冲程往复活塞式内燃机,而活塞往复两个行程完成一个工作循环的则称作二冲程往复活塞式内燃机。

(5) 按进气状态不同,分为增压和非增压两类。若进气是在接近大气状态下进行的,称作非增压内燃机或自然吸气式内燃机;若利用增压器增高进气压力,进气密度增大,则称作增压内燃机。

(6) 根据汽缸布置形式的不同,分为 L 型(直列式)发动机、V 型发动机、W 型发动机、斜置式发动机和对置式发动机等。

### 1.1.3 发动机基本结构与术语

#### 1. 发动机的基本结构

如图 1.1 所示为单缸发动机的基本结构,它由汽缸 10、活塞 8、连杆 7、曲轴 3、汽缸盖 11、机体、凸轮轴 16、进气门 25、排气门 15、气门弹簧、曲轴齿形带轮等组成。

往复活塞式内燃机的工作腔称作汽缸,汽缸内表面为圆柱形。在汽缸内作往复运动的活

塞通过活塞销与连杆的一端铰接,连杆的另一端则与曲轴相连,构成曲柄连杆机构。活塞在汽缸内作往复运动时,连杆推动曲轴旋转,或者相反。同时,汽缸的容积在不断的由小变大,再由大变小,如此循环不已。汽缸的顶端用汽缸盖封闭。汽缸盖上装有进气门和排气门。通过进、排气门的开闭实现向汽缸内充气 and 向汽缸外排气。进、排气门的开闭由凸轮轴驱动。凸轮轴由曲轴通过齿形带或齿轮驱动。构成汽缸的零件称作汽缸体,曲轴在曲轴箱内转动。

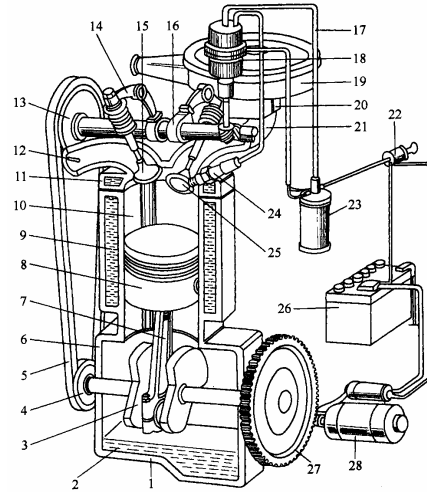


图 1.1 单缸发动机的基本结构

1—油底壳 2—机油 3—曲轴 4—曲轴同步带轮 5—同步带 6—曲轴箱 7—连杆 8—活塞 9—水套 10—汽缸 11—汽缸盖  
12—排气管 13—凸轮轴同步带轮 14—摇臂 15—排气门 16—凸轮轴 17—高压线 18—分电器 19—空气滤清器  
20—化油器 21—进气管 22—点火开关 23—点火线圈 24—火花塞 25—进气门 26—蓄电池 27—飞轮 28—启动机

## 2. 发动机的基本术语

以图 1.2 为例说明发动机的一些基本术语。

(1) 工作循环(cycle) 由进气(intake)、压缩(compression)、做功(power)和排气(exhaust)等四个工作过程组成的封闭过程。

(2) 上、下止点 活塞顶离曲轴回转中心最远处为上止点(Top Dead Center, TDC); 活塞顶离曲轴回转中心最近处为下止点(Bottom Dead Center, BDC)。活塞从一个止点运动至另一个止点的过程称为冲程(stroke)。

(3) 活塞行程(piston stroke) 上、下止点间的距离  $S$  称为活塞行程。曲轴的回转半径  $R$  称为曲柄半径。显然, 曲轴每回转 1 周, 活塞移动 2 个活塞行程。对于汽缸中心线通过曲轴回转中心的内燃机, 有  $S=2R$ 。

(4) 汽缸工作容积 上、下止点间所包容的汽缸容积称为汽缸工作容积(swept volume), 记作  $V_s$ , 单位为 L。

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

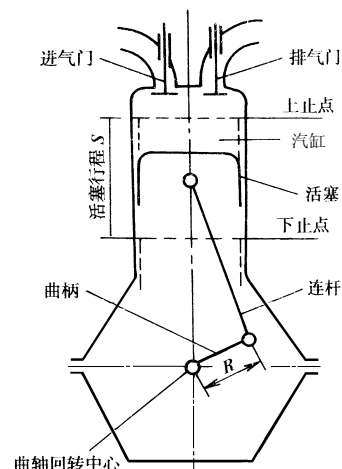


图 1.2 往复活塞式内燃机示意图

式中:  $D$ ——汽缸直径(Bore)(mm);  $S$ ——活塞行程(mm)。

(5) 发动机排量 发动机所有汽缸工作容积的总和称为发动机排量(engine displacement), 记作  $V_L$ , 单位为 L。

$$V_L = i \cdot V_s$$

式中:  $i$ ——汽缸数;

$V_s$ ——汽缸工作容积(L)。

(6) 燃烧室容积 活塞位于上止点时, 活塞顶面以上汽缸盖底面以下所形成的空间称为燃烧室, 其容积称为燃烧室容积(clearance volume), 也叫压缩容积, 记作  $V_c$ , 单位为 L。

(7) 汽缸总容积 汽缸工作容积与燃烧室容积之和称为汽缸总容积, 记作  $V_a$ , 单位为 L。

$$V_a = V_s + V_c$$

(8) 压缩比 汽缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比(compression ratio), 记作  $\varepsilon$ 。

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

压缩比的大小表示活塞由下止点运动到上止点时, 汽缸内的气体被压缩的程度。压缩比越大, 压缩终了时汽缸内的气体压力和温度就越高。轿车用汽油机的压缩比  $\varepsilon$  一般为 8~11。表 1-1 为国产主要轿车发动机的压缩比。

表 1-1 国产轿车汽油机的压缩比  $\varepsilon$

车 名	长安奥拓	夏 利	富 康	桑 塔 纳	捷 达	标 致	奥 迪
压缩比 $\varepsilon$	8.7	9.5	9.3	8.5	10	8.0	9.3

(9) 工况 内燃机在某一时刻的运行状况简称工况, 以该时刻内燃机输出的有效功率和曲轴转速表示。曲轴转速即为内燃机转速(speed)。

(10) 负荷率 内燃机在某一转速下发出的有效功率与相同转速下所能发出的最大有效功率的比值称为负荷率, 以百分数表示。负荷率通常简称负荷(load)。

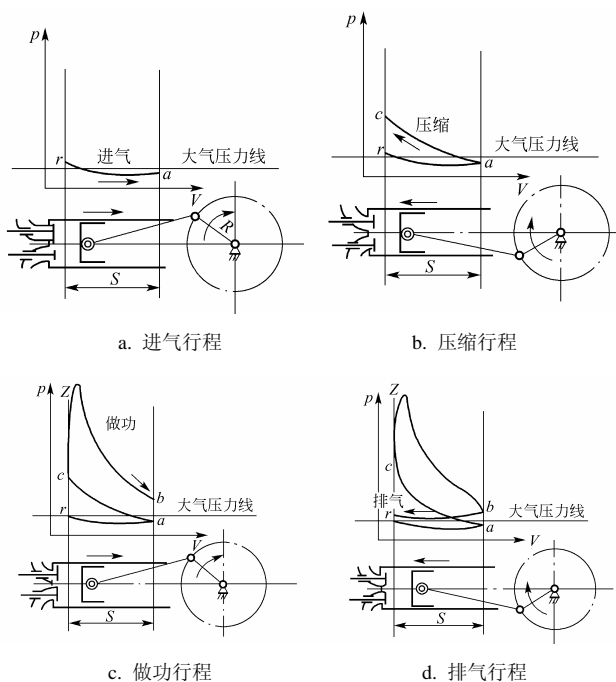
## 1.2 四冲程发动机的工作原理

往复活塞式内燃机所用的燃料主要是汽油(gasoline)或柴油(diesel)。由于汽油和柴油具有不同的性质, 因而在发动机的工作原理和结构上有差异。

### 1.2.1 四冲程汽油机工作原理

汽油机是将空气与汽油以一定的比例混合成良好的混合气, 在进气行程被吸入汽缸, 混合气经压缩点火燃烧而产生热能, 高温高压的气体作用于活塞顶部, 推动活塞作往复直线运动, 通过连杆、曲轴飞轮机构对外输出机械能。四冲程汽油机在进气行程、压缩行程、做功行程和排气行程内完成一个工作循环。

以汽缸容积  $V$  为横坐标、汽缸内气体压力  $p$  为纵坐标构成示功图(如图 1.3 所示), 表示活塞在不同位置时各个行程中  $p$  与  $V$  的变化关系。下面结合示功图来说明汽油机的工作过程。

图 1.3 四冲程汽油机的  $p$ - $V$  示功图

## (1) 进气行程(intake stroke)

活塞在曲轴的带动下由上止点移至下止点。此时进气门开启,排气门关闭,曲轴转动  $180^\circ$ 。在活塞移动过程中,汽缸容积逐渐增大,汽缸内气体压力从  $p_r$  逐渐降低到  $p_a$ ,汽缸内形成一定的真空度,空气和汽油的混合气通过进气门被吸入汽缸,并在汽缸内进一步混合形成可燃混合气。由于进气系统存在阻力,进气终点(图中  $a$  点)汽缸内气体压力小于大气压力  $p_0$ ,即  $p_a = (0.80 \sim 0.90) p_0$ 。进入汽缸内的可燃混合气的温度,由于进气管、汽缸壁、活塞顶、气门和燃烧室壁等高温零件的加热以及与残余废气的混合而升高到  $340 \sim 400\text{K}$ 。在示功图上,进气行程为曲线  $r-a$ 。

## (2) 压缩行程(compression stroke)

压缩行程时,进、排气门同时关闭。活塞从下止点向上止点运动,曲轴转动  $180^\circ$ 。活塞上移时,工作容积逐渐缩小,缸内混合气受压缩后压力和温度不断升高,到达压缩终点时,其压力  $p_c$  可达  $800 \sim 2\,000\text{kPa}$ ,温度达  $600 \sim 750\text{K}$ 。在示功图上,压缩行程为曲线  $a \sim c$ 。

## (3) 做功行程(power stroke)

当活塞接近上止点时,由火花塞点燃可燃混合气,混合气燃烧释放出大量的热能,使汽缸内气体的压力和温度迅速提高。燃烧最高压力  $p_z$  达  $3\,000 \sim 6\,000\text{kPa}$ ,温度  $T_z$  达  $2\,200 \sim 2\,800\text{K}$ 。高温高压的燃气推动活塞从上止点向下止点运动,并通过曲柄连杆机构对外输出机械能。随着活塞下移,汽缸容积增加,气体压力和温度逐渐下降,到达  $b$  点时,其压力降至  $300 \sim 500\text{kPa}$ ,温度降至  $1\,200 \sim 1\,500\text{K}$ 。在做功行程,进气门、排气门均关闭,曲轴转动  $180^\circ$ 。在示功图上,做功行程为曲线  $c \sim Z \sim b$ 。

## (4) 排气行程(exhaust stroke)

排气行程时,排气门开启,进气门仍然关闭,活塞从下止点向上止点运动,曲轴转动  $180^\circ$ 。排气门开启时,燃烧后的废气一方面在汽缸内外压差作用下向缸外排出,另一方面

通过活塞的排挤作用向缸外排气。由于排气系统的阻力作用,排气终点  $r$  点的压力稍高于大气压力,即  $p_r=(1.05\sim 1.20)p_0$ 。排气终点温度  $T_r=900\sim 1100\text{K}$ 。活塞运动到上止点时,燃烧室中仍留有一定容积的废气无法排出,这部分废气叫残余废气。在示功图上,排气行程为曲线  $b-r$ 。

### 1.2.2 四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油机和汽油机一样,每个工作循环也是由进气行程、压缩行程、做功行程和排气行程组成。由于柴油机以柴油作燃料,与汽油相比,柴油自燃温度低、黏度大不易蒸发,因而柴油机采用压缩终点自燃着火,其工作过程及系统结构与汽油机有所不同,如图 1.4 所示。

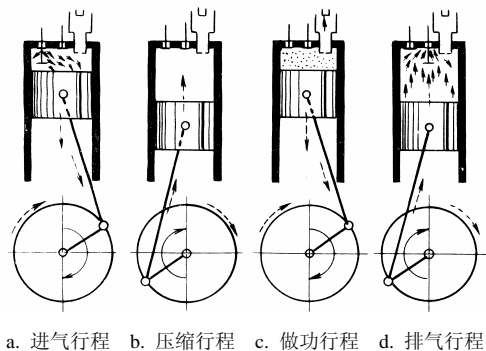


图 1.4 四冲程柴油机的工作原理图

#### (1) 进气行程

进入汽缸的工质是纯空气。由于柴油机进气系统阻力较小,进气终点压力  $p_a=(0.85\sim 0.95)p_0$ ,比汽油机高。进气终点温度  $T_a=300\sim 340\text{K}$ ,比汽油机低。

#### (2) 压缩行程

由于压缩的工质是纯空气,因此柴油机的压缩比比汽油机高(一般为  $\varepsilon=16\sim 22$ )。压缩终点的压力为  $3\,000\sim 5\,000\text{kPa}$ ,压缩终点的温度为  $750\sim 1\,000\text{K}$ ,大大超过柴油的自燃温度(约  $520\text{K}$ )。

#### (3) 做功行程

当压缩行程接近终了时,在高压油泵作用下,将柴油以  $10\text{MPa}$  左右的高压通过喷油器喷入汽缸燃烧室中,在很短的时间内与空气混合后立即自行发火燃烧。汽缸内气体的压力急速上升,最高达  $5\,000\sim 9\,000\text{kPa}$ ,最高温度达  $1\,800\sim 2\,000\text{K}$ 。由于柴油机是靠压缩自行着火燃烧,故称柴油机为压燃式发动机。

#### (4) 排气行程

柴油机的排气与汽油机基本相同,只是排气温度比汽油机低。一般  $T_r=700\sim 900\text{K}$ 。

对于单缸发动机来说,其转速不均匀,发动机工作不平稳,振动大。这是因为四个行程中只有一个行程是做功的,其他三个行程是消耗动力为做功做准备的行程。为了解决这个问题,飞轮必须具有足够大的转动惯量,这样又会导致整个发动机质量和尺寸增加。采用多缸发动机可以弥补上述不足。现代汽车用多采用四缸、六缸和八缸发动机。

### 1.2.3 汽油机和柴油机的比较

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汽缸外部准备好的;而柴油机的可燃混合气是在汽缸内部形成的。

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,热效率可达40%左右(汽油机只有30%左右),所以柴油机燃油消耗率低。由于柴油机压缩比高,不仅造成启动困难,同时零件所受的机械负荷大。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汽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。由于柴油在汽缸内能充分燃烧,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<sub>x</sub>(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<sub>2</sub>(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、启动性能好、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<sub>2</sub>)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。

### 1.3 发动机的总体构造与产品型号编制规则

#### 1.3.1 发动机的总体构造

发动机是一部由许多机构和系统组成的复杂机器。发动机的类型各不相同,但其基本构造相似。通常,汽油机由两大机构五大系统组成,柴油机由两大机构四大系统组成(无点火系)。

下面以图1.5为例,介绍四冲程汽油机的一般构造。

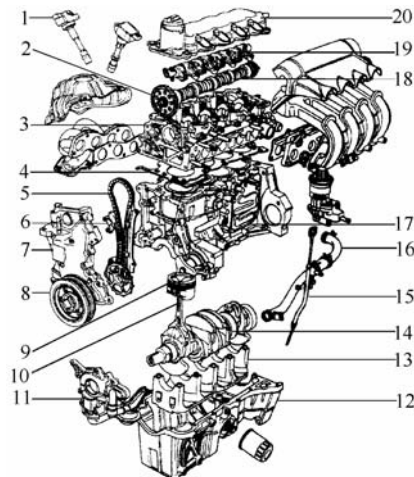


图 1.5 轿车发动机

- 1—火花塞 2—凸轮轴正时齿轮 3—汽缸盖 4—汽缸垫 5—正时传动带 6—张紧机构 7—正时齿轮罩盖  
8—水泵、发电机曲轴带轮 9—活塞 10—连杆总成 11—曲轴前端封油挡板 12—油底壳 13—曲轴轴承盖  
14—曲轴 15—油标尺 16—机油加油 17—汽缸体 18—凸轮轴 19—凸轮轴轴承盖 20—凸轮轴罩盖

### 1) 机体组(engine body)

发动机的机体组包括汽缸盖 3、汽缸盖罩盖、汽缸垫 4、汽缸体 17 及油底壳 12 等。在进行结构分析时,常把机体组列为曲柄连杆机构。

### 2) 曲柄连杆机构(crankshaft and connecting rod system)

曲柄连杆机构包括活塞 9,连杆总成 10,曲轴 14 和飞轮等。这是发动机借以产生动力,并将活塞的往复直线运动转变为曲轴的旋转运动而输出动力的机构。

### 3) 配气机构(valve system)

配气机构包括进气门、排气门、液力挺杆总成、凸轮轴 18、凸轮轴正时齿轮 2、曲轴正时齿轮、正时传动带 5。其作用是将可燃混合气更多地充入汽缸并及时从汽缸排出废气。

### 4) 燃料供给系统(fuel system)

燃料供给系统包括汽油箱、汽油泵、汽油滤清器、油管、空气滤清器、喷油器(或化油器)、进气歧管、排气歧管、排气消声器等。其作用是根据发动机各种工况要求,配制具有一定数量和浓度的可燃混合气供入汽缸,并将燃烧生成的废气排出发动机。

### 5) 点火系统(ignition system)

点火系统包括电源(蓄电池和发电机)、分电器、点火开关、点火线圈、火花塞等。其作用是保证按规定时刻及时点燃汽缸中被压缩的可燃混合气。

### 6) 冷却系统(cooling system)

冷却系统主要包括水泵、散热器、风扇、节温器、水温表以及汽缸体 17 和汽缸盖 3 里铸出的水套等。其功用是散发受热机件的热于大气之中,以保证发动机在最适宜的温度下工作。

### 7) 润滑系统(lubrication system)

润滑系统包括油底壳 12、机油集滤器、机油泵、限压阀、润滑油道及油管、油温和油压传感器、油温和油压表、油标尺 15 等。润滑系统的功用是将润滑油不断地供给作相对运动的零件以减少它们之间的摩擦阻力,减轻机件的磨损,并部分地冷却摩擦零件,清洗摩擦表面。

### 8) 启动系统(starting system)

包括启动机、冷启动加热器及其附属装置,用以使静止的发动机启动并转入自行运转。如图 1.6 所示为本田 Accord 轿车 F20B 型 DOHC(VTEC)汽油发动机。其主要结构特点为四汽缸直列(L4)、16 气门(16V)、水冷却、双列凸轮轴顶置(DOHC)、可变配气相位(VTEC)和电子控制燃油喷射装置(EFI)。

## 1.3.2 内燃机名称及型号编制规则

### 1. GB 725—1991 主要内容简介

为了便于内燃机的生产管理和使用,我国于 1991 年对内燃机的名称和型号编制方法重新审定颁布了国家标准(GB 725—1991)。该标准的主要内容如下:

内燃机产品名称均按所采用的燃料命名。例如,柴油机、汽油机、煤气机、沼气机、双(多种)燃料发动机等。

内燃机型号由阿拉伯数码和汉语拼音字母组成,包含下列四部分内容:

① 首部 产品特征代号,由制造厂根据需要自选相应字母表示,但需经行业标准化归口单位核准、备案。

② 中部 由缸数符号、行程符号、汽缸排列形式符号和缸径符号组成。

③ 后部 结构特征和用途特征符号,以字母表示。



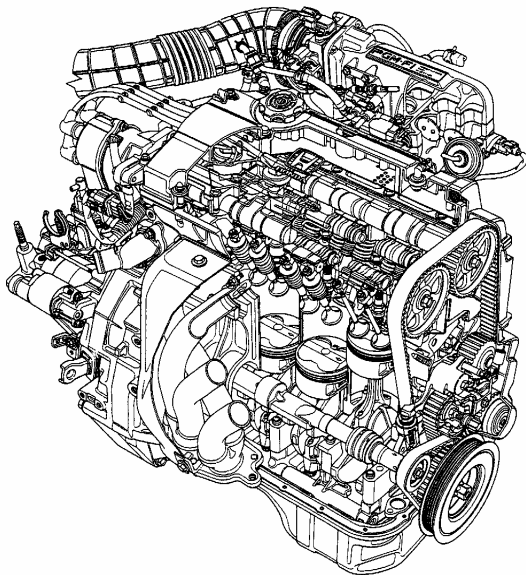


图 1.6 本田 Accord 轿车 F20B 型 DOHC(VTEC)汽油发动机

④ 尾部 区分符号。同一系列产品因改进等原因需要区分时，由制造厂选用适当符号表示。

内燃机符号的排列顺序及符号所代表的意义规定如图 1.7 所示。

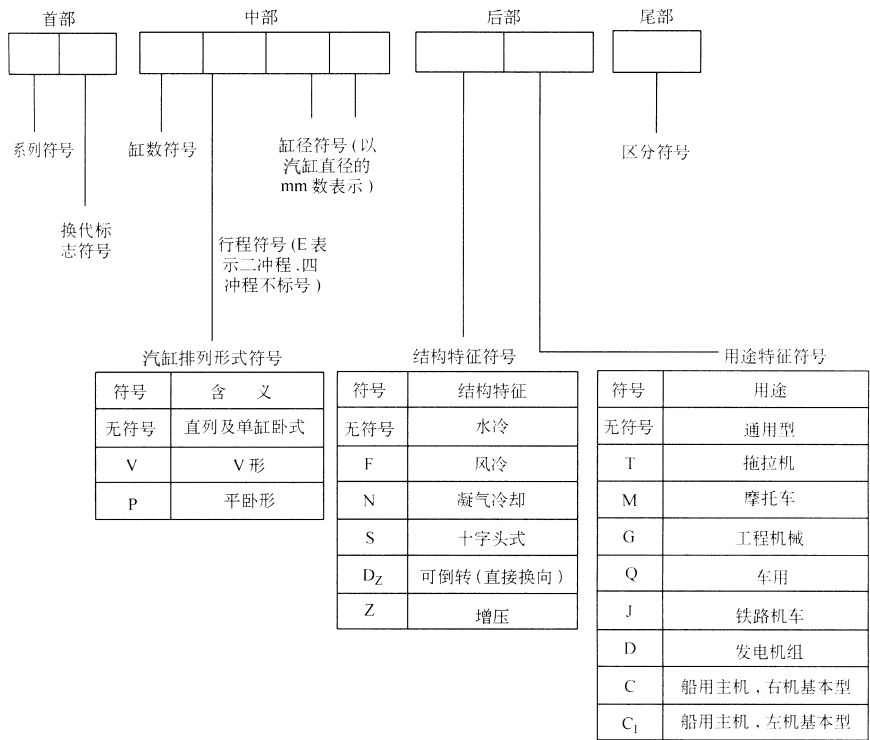


图 1.7 内燃机符号的排列顺序及符号代表意义

## 2. 型号编制示例

### 汽油机:

1E65F——表示单缸, L 型(汽缸布置形式, 即直列), 二冲程, 缸径 65mm, 风冷, 通用型汽油机。

CA6102——表示第一汽车制造厂制造, 六缸, L 型, 四冲程, 缸径 102mm, 水冷, 汽车用。

EQ6100-1——表示第二汽车制造厂制造, 六缸, L 型, 四冲程, 缸径 100mm, 水冷, 汽车用, 第二代变型产品。

### 柴油机:

6135Q——表示 6 缸, L 型(汽缸布置形式, 即直列), 四冲程, 缸径 135mm, 水冷, 汽车用柴油机。

10V120FQ——表示 10 缸, V 型, 四冲程, 缸径 120mm, 风冷, 汽车用柴油机。

R175ND——表示单缸, L 型, 四冲程, 缸径 75 mm, 凝气冷却, 发电用(R 表示 175 的换代标志符号)。

495T——表示四缸, L 型, 四冲程, 缸径 95mm, 水冷, 拖拉机用。

12VE230ZCz——表示 12 缸, V 型, 二冲程, 缸径 230 mm, 水冷, 增压, 船用主机, 左机基本型。

## 1.4 发动机的性能指标与特性

发动机的性能指标用来表征发动机的性能特点, 并作为评价各类发动机性能优劣的依据。发动机的性能指标主要有: 动力性指标、经济性指标、环境指标、可靠性指标和耐久性指标。

### 1.4.1 动力性指标

动力性指标是表征发动机做功能力大小的指标, 一般用发动机的有效转矩、有效功率、发动机转速等作为评价指标。

#### (1) 有效转矩

发动机对外输出的转矩称为有效转矩, 记作  $T_e$ , 单位为  $\text{N} \cdot \text{m}$ 。有效转矩与曲轴角位移乘积即为发动机对外输出的有效功。

#### (2) 有效功率

发动机在单位时间对外输出的有效功称为有效功率, 记作  $P_e$ , 单位为  $\text{kW}$ 。它等于有效转矩与曲轴角速度的乘积。发动机的有效功率可以用台架试验方法测定, 也可用测功器测定有效转矩和曲轴角速度, 然后用如下公式计算出发动机的有效功率  $P_e$ :

$$P_e = T_e \frac{2\pi n}{60} \times 10^{-3} = \frac{T_e n}{9550}$$

式中:  $T_e$ ——有效转矩( $\text{N} \cdot \text{m}$ );

$n$ ——曲轴转速( $\text{r/min}$ )。

### (3) 发动机转速

发动机曲轴每分钟的回转数称为发动机转速，用  $n$  表示，单位为  $\text{r/min}$ 。

发动机转速的高低，关系到单位时间内做功次数的多少或发动机有效功率的大小，即发动机的有效功率随转速的不同而改变。因此，在说明发动机有效功率大小时，必须同时指明其相应的转速。在发动机产品标牌上规定的有效功率及其相应的转速分别称作标定功率和标定转速。发动机在标定功率和标定转速下的工作状况称作标定工况。标定功率不是发动机所能发出的最大功率，它是根据发动机用途而制定的有效功率最大使用限度。同一种型号的发动机，当其用途不同时，其标定功率值并不相同。

有效转矩也随发动机工况而变化。因此，汽车发动机以其所能输出的最大转矩及其相应的转速作为评价发动机动力性的一个指标。

### 1.4.2 经济性指标

发动机经济性指标一般用有效燃油消耗率表示。发动机每输出  $1\text{kW} \cdot \text{h}$  的有效功所消耗的燃油量(以  $\text{g}$  为单位)称为有效燃油消耗率，记作  $b_e$ ，单位为  $\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。 $b_e$  可按下式计算：

$$b_e = \frac{B}{P_e} \times 10^3$$

式中： $B$ ——发动机在单位时间内的耗油量( $\text{kg}/\text{h}$ )，可由试验测定；

$P_e$ ——发动机的有效功率( $\text{kW}$ )。

显然，有效燃油消耗率越低，经济性越好。

### 1.4.3 环境指标

环境指标主要指发动机排气品质和噪声水平。由于它关系到人类的健康及其赖以生存的环境，因此各国政府都制定出严格的控制法规，以期削减发动机排气和噪声对环境的污染。当前，排放指标和噪声水平已成为发动机的重要性能指标。

排放指标主要是指从发动机油箱、曲轴箱排出的气体和从汽缸排出的废气中所含的有害排放物的量。对汽油机来说主要是废气中的一氧化碳( $\text{CO}$ )和碳氢化合物( $\text{HC}$ )含量；对柴油机来说主要是废气中的氮氧化物( $\text{NO}_x$ )和颗粒( $\text{PM}$ )含量。通过发动机台架试验，采用专门的测试设备，按有关标准制订的测试方法测得这些含量。

汽车排放对人类生态环境的危害已日益受到重视，自 20 世纪 70 年代以来，美国、日本、欧洲联盟等发达国家和地区都已先后制订出越来越严格的法规，限制汽车的排放。因此，排放指标是和有关法规联系在一起的。其中美国，尤其是美国加利福尼亚州的汽车排放法规最为严格，一直是世界汽车工业界(特别是轿车工业界)追求的目标。在国外，欧洲 IV 号排放标准已经于 2005 年 1 月 1 日通过形式认证，并于 2006 年 1 月 1 日通过一致性认证。在我国，北京从 2004 年 1 月 1 日起，将机动车的尾气排放标准由欧洲 I 号改为欧洲 II 号；在 2005 年 12 月 23 日发布政策：自 2005 年 12 月 30 日起，正式执行国家第三、四阶段机动车排放标准(相当于欧洲 III 号、IV 号排放标准)；其中，对轻型汽油车和轻型燃气汽车实施国 III 排放标准；对重型柴油发动机和重型燃气发动机(重型汽车)实施国 III 排放标准；自 2007 年 1 月 1 日起，对轻型柴油车实施国 IV 排放标准。具体排放标准见表 1-2。

噪声是指对人的健康造成不良影响及对学习、工作和休息等正常活动发生干扰的声音。

由于汽车是城市中的主要噪声源之一，而发动机又是汽车的主要噪声源，因此控制发动机的噪声就显得十分重要。如我国的噪声标准(GB/T 18697—2002)中规定，轿车的噪声不得大于 79dB(A)。

表 1-2 汽车排放标准

(g/km)

法规名称	车型	CO	HC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	PM
欧洲 I 号	汽油车	2.72			0.97	0.14
	柴油车	3.16			1.13	0.18
欧洲 II 号	汽油车	2.2			0.5	
	非直喷柴油车	1.0			0.7	0.08
	直喷柴油车	1.0			0.9	0.10
欧洲 III 号	汽油车	2.3	0.2	0.15		
	柴油车	0.64		0.5	0.56	0.05
欧洲 IV 号	汽油车	1.0	0.1	0.08		0.025
	柴油车	0.5		0.25	0.3	

#### 1.4.4 可靠性指标和耐久性指标

可靠性指标是表征发动机在规定的使用条件下，在规定的时间内，正常持续工作能力的指标。可靠性有多种评价方法，如首次故障行驶里程、平均故障间隔里程等。

耐久性指标是指发动机主要零件磨损到不能继续正常工作的极限时间。通常用发动机的大修里程，即发动机从出厂到第一次大修之间汽车行驶的里程数来衡量。大修里程的长短与发动机的结构特点、强化程度、零件的材料及加工精度以及使用条件等诸多因素密切相关。

#### 1.4.5 发动机速度特性

汽车发动机的工况能在很广泛的范围内变化。当发动机的工况(即功率和转速)发生变化时，其性能(包括动力性、经济性、排放性和噪声等)也随之改变。发动机性能指标随调整状况及运行工况而变化的关系称为发动机特性。利用特性曲线可以简单而又方便地评价发动机性能。

发动机的有效功率  $P_e$ 、有效转矩  $T_e$  和有效燃油消耗率  $b_e$  随发动机转速  $n$  的变化关系称为发动机速度特性，如图 1.8 所示。发动机速度特性通过试验测得，节气门全开时测得的速度特性称为外特性；节气门部分开启时测得的速度特性称为部分负荷特性。

外特性曲线上的每一点都代表在此转速下的最大功率及最大转矩，所以外特性是最重要的速度特性。发动机的额定功率、额定转矩的标定就是以外特性为依据的。

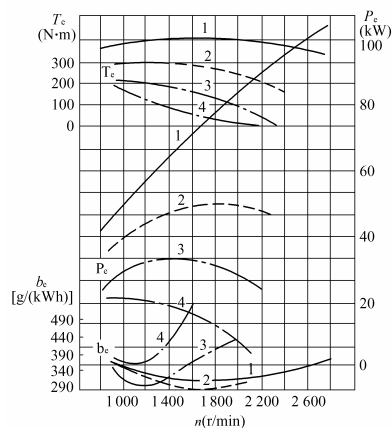


图 1.8 发动机的速度特性

1—外特性 2、3、4—节气门开度分别为 75%、50%、25%的部分速度特性

图 1.9 和图 1.10 所示分别为汽油机和柴油机的外特性, 从图中可以看出, 汽油机的转矩特性曲线与柴油机的转矩特性曲线有着明显的不同。随着转速的下降, 汽油机的转矩在一个较宽的转速范围内是增加的, 从而有利于发动机运转的稳定性和发动机克服超载。因此, 从转矩特性曲线看, 汽油机比柴油机更适合用于在负荷变化较大的汽车上。

发动机的工况通常以发动机功率与转速或发动机负荷与转速来表示。利用发动机的速度特性来说明负荷率或负荷的概念。

由图 1.11 得知, 在  $n=3500\text{r/min}$  时, 若节气门全开, 可得到该转速下可能发出的最大功率为  $45\text{kW}$ 。如果节气门开到 II 和 III 的位置, 在同样转速下只能发出  $32\text{kW}$  和  $20\text{kW}$  的功率。根据上述定义, 可求出 a、b、c 和 d 四个工况下的负荷值:

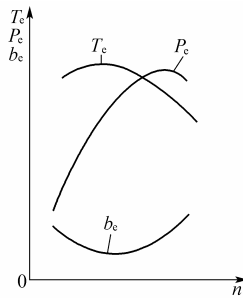


图 1.9 汽油机外特性

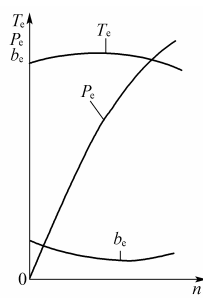
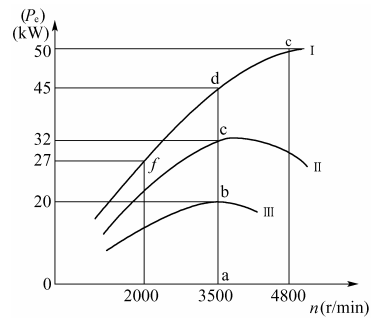


图 1.10 柴油机外特性

图 1.11 发动机的  $P_e-n$  特性

工况 a 负荷为零(即发动机空转);

工况 b 负荷  $= \frac{20}{45} \times 100\% = 44.4\%$ ;

工况 c 负荷  $= \frac{32}{45} \times 100\% = 71.1\%$ ;

工况 d 负荷  $= \frac{45}{45} \times 100\% = 100\%$  (即发动机全负荷)。

应当注意的是, 不要把负荷和功率的概念相混淆。如某一转速时全负荷(如 d 点), 并不意味着此时发动机的功率是最大。发动机的最大功率, 应当是工况 e 的功率。又如, 在工况 f 下, 虽然功率比工况 c 小, 但却是全负荷。就是说, 功率的大小并不代表负荷的大小。

## 思考题

1. 什么是发动机排量、燃烧室容积和压缩比?
2. 简述四冲程汽油机的工作原理。
3. 简述四冲程柴油机的工作原理。
4. 汽油机和柴油机在可燃混合气形成方式和点火方式上有何不同?
5. 四冲程汽油机和柴油机在总体结构上有哪些相同点和不同点?
6. BJ492Q 型发动机排量为 2.445L, 求该发动机的曲柄半径?
7. 发动机的主要性能指标有哪些? 什么是发动机的速度特性?