

## 2. 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构包括活塞、连杆总成、曲轴和飞轮等，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

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

## 4. 燃料供给系统

燃料供给系统包括油箱、油泵、燃油滤清器、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气缸，并将燃烧生成的废气排出发动机。

## 5. 点火系统

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气缸中被压缩的可燃混合气。

## 6. 冷却系统

水冷式发动机的冷却系统主要包括水泵、散热器、风扇、节温器、水温表以及气缸体等；风冷式发动机的冷却系统主要包括冷却风扇、导风罩、风道以及气缸体和气缸盖上铸出的散热片等。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

润滑系统包括油底壳、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、油压表、油标尺等。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. 起动系统

起动系统包括起动机、冷起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 1.1.9 所示为轿车用的汽油发动机。其主要结构特点为 4 气缸直列 (L4)、16 气门 (16 V)、水冷却、双列凸轮轴顶置 (DOHC)、增压和电子控制燃油喷射装置 (FSI)。



图 1.1.9 轿车用的汽油发动机

## (四) 发动机工作原理

往复式活塞式内燃机所用的燃料主要是汽油或柴油。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所差异。

### 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混合比形成良好的混合气，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。

以气缸容积  $V$  为横坐标、气缸内气体压力为纵坐标构成示功图，如图 1.1.10 所示，表示活塞在不同位置时各个行程中气体压力  $p$  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。

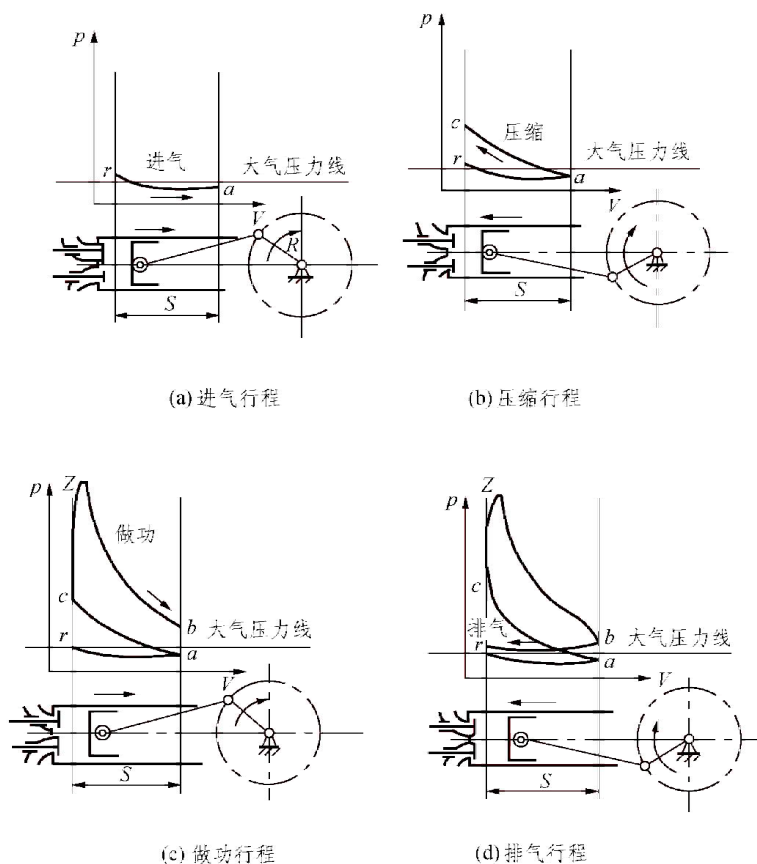


图 1.1.10 四冲程汽油机的  $p-V$  示功图

### 1) 进气行程

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，气缸容积逐渐增大，气缸内气体压力从  $p_r$  逐渐降低到  $p_a$ ，气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气缸，并在气缸内进一步混合形成可燃混合气(缸内直喷机型为把燃油直接喷入气缸)。由于进气系统存在阻力，进气终点(图中  $a$  点)气缸内气体压力小于大气压力  $p_0$ ，即  $p_a = (0.80 \sim 0.90) p_0$ 。进入气缸内的可燃混合气的温度，由于进气管、气缸壁、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

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  $a-c$ 。

### 3) 做功行程

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，使气缸内气体的压力和温度迅速提高。燃烧最高压力高达  $3\,000 \sim 6\,000\text{ kPa}$ ，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，气缸容积增加，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  $c-Z-b$ 。

### 4) 排气行程

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气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  $T_r = 900 \sim 1\,100\text{ K}$ 。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  $b-r$ 。

## 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，柴油自燃温度高、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 1.1.11

所示。

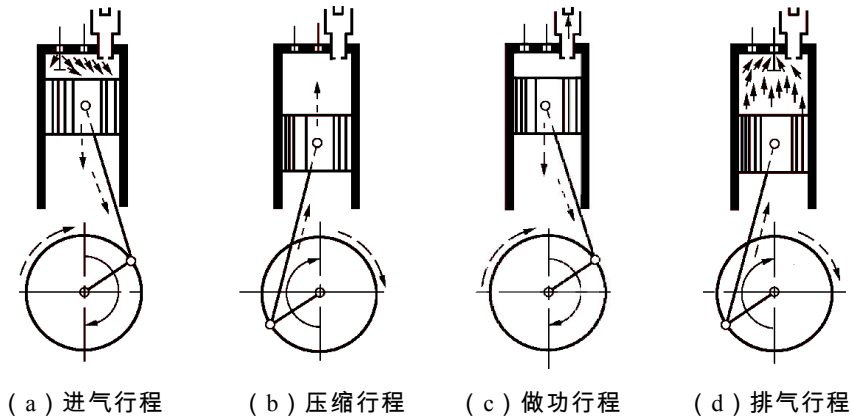


图 1.1.11 四冲程柴油机的工作原理图

### 1) 进气行程

进入气缸的工质是纯空气。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  $T_a = 300 \sim 400 \text{ K}$ ，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  $10 \text{ MPa}$  以上的高压通过喷油器喷入气缸燃烧室中，在很短的时间内与空气混合后立即自行发火燃烧。气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

柴油机在排气终了时，气缸内残余废气的压力为  $100 \sim 120 \text{ kPa}$ ，温度为  $700 \sim 900 \text{ K}$ 。

与汽油机比较，柴油机的压缩比高，热效率高，燃油消耗率低，同时柴油价格较低，因此，柴油机的燃料经济性较好，而且柴油机的排气污染较少。它的主要缺点是转速低、比质量大、噪声大、振动大、制造和维修费用高。但是，随着柴油机技术水平的提高，柴油机的这些弱点不断得到克服，使用范围也不断扩大。

### 3. 汽油机和柴油机的比较

四冲程汽油机和柴油机的工作循环既有共同点，又有差别，归纳如下：

(1) 两种发动机中，每完成一个工作循环，曲轴转两周 ( $720^\circ$ )，每完成一个行程曲轴转半周 ( $180^\circ$ )，进气行程是进气门开启，排气行程是排气门开启，其余两个行程进、排气门均关闭。

(2) 无论是汽油机还是柴油机，在 4 个行程中，只有做功行程产生动力，其余 3 个行程是为做功行程做准备的辅助行程，都要消耗一部分能量。

(3) 两种发动机运转的第一循环，都必须靠外力使曲轴旋转完成进气和压缩行程，做功行程开始后，做功能量储存在飞轮内，以维持循环继续进行。

(4) 汽油机的混合气是在气缸外部形成的（现在有缸内直喷的汽油机除外），进气行程中吸入气缸的是可燃混合气；柴油机的混合气是在气缸内部形成的，进气行程中吸入气缸的是纯空气。

(5) 汽油机在压缩终了时，靠火花塞强制点火燃烧，而柴油机则靠混合气自燃着火燃烧。

(6) 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。

（7）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<sub>x</sub>（氮氧化物）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。

（8）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。

## （五）发动机主要性能指标

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. 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  $N \cdot m$ 。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  $kW$ 。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 ( $N \cdot m$ )；

$n$ ——曲轴转速 ( $r/min$ )。

### 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  $r/min$ 。

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。

## 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 kW·h 的有效功所消耗的燃油量（以 g 为单位）称为有效燃油消耗率，记作  $b_e$ ，单位为 g/(kW·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（kg/h），可由试验测定；

$P_e$ ——发动机的有效功率（kW）。

显然，有效燃油消耗率越低，经济性越好。

## 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气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化（CO）和碳氢化合物（HC）含量；对柴油机来说主要是废气中的氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和颗粒（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可测得这些含量。

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定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 日通过型式认证，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 GB 18352.3—2005《轻型汽车污染物排放限值及测量方法》(中国 III、IV 阶段)规定：自 2007 年 7 月 1 日起，正式执行国家第三阶段机动车排放标准（相当于欧洲 III 号排放标准），2010 年 7 月 1 日起，正式执行国家第四阶段机动车排放标准（相当于欧洲 IV 号排放标准），2017 年 1 月 1 日起，全国范围内将全部执行国家第五阶段机动车排放标准。具体排放值可参见表 1.1.2。

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 1495—2002）中规定，M1 类汽车加速行驶车外噪声不得大于 74 dB (A)。

表 1.1.2 第一类汽车排放限值

法规名称	车型	CO	HC	NMHC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	PM	PN
中国 III 号	汽油车	2.3	0.2		0.15			
	柴油车	0.64			0.5	0.56	0.05	
中国 IV 号	汽油车	1.0	0.1		0.08			
	柴油车	0.5		0.3	0.25	0.3	0.025	
中国 V 号	汽油车	1.0	0.1	0.068	0.06		0.0045	
	柴油车	0.5		0.23	0.18	0.3	0.0045	6.0×10 <sup>11</sup>

#### 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。

### 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 1.1.12 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速度特性。

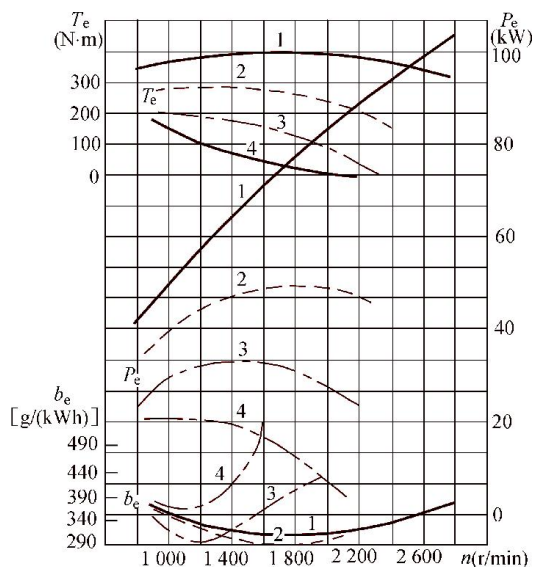


图 1.1.12 发动机的速度特性

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

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扭矩，所以外特性是最重要的速度特性。发动机的额定功率、额定扭矩的标定就是以外特性为依据的。图 1.1.13 和图 1.1.14 所示分别为传统汽油机和柴油机的外特性示意图。现代电控汽油机和柴油机的速度特性曲线已大大优化，不管是电控汽油机还是柴油机均可在较宽广的范围内具有较经济的燃油消耗率和较好的扭矩特性。

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 1.1.15 得知，在  $n = 3\,500\text{ r/min}$  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 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 kW 和 20 kW 的功率。根据上述定义，可求出  $a$ 、 $b$ 、 $c$  和  $d$  4 个工况下的负荷值：

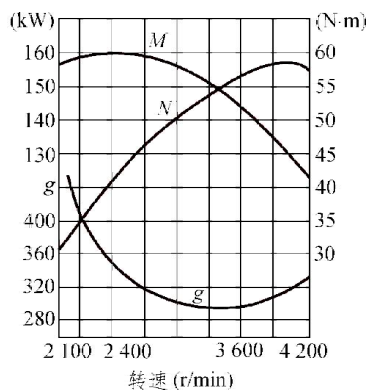


图 1.1.13 汽油机外特性

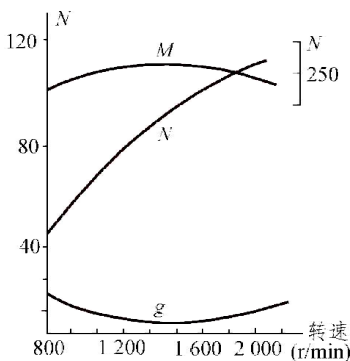


图 1.1.14 柴油机外特性

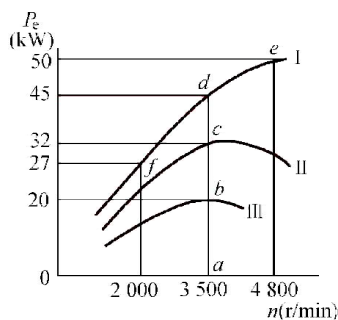


图 1.1.15 发动机的  $P_e$ - $n$  特性

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的。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。

## (六) 发动机产品名称与型号

为了便于内燃机的生产管理和使用,我国颁布了国家标准《内燃机产品名称和型号编制规则》(GB/T 725—2008),对内燃机的名称和型号作了统一规定。

### 1. 内燃机的名称和型号

内燃机名称均按所使用的主要燃料命名,例如汽油机、柴油机、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字和汉语拼音字母组成。内燃机型号由以下 4 部分组成,如图 1.1.16 所示。

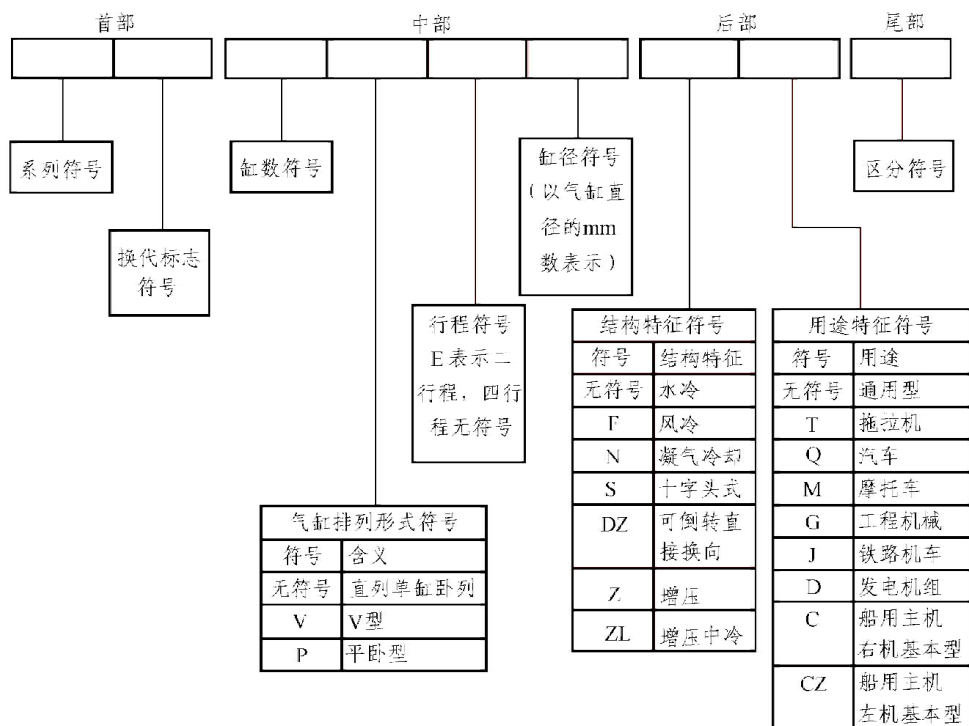


图 1.1.16 内燃机型号

- (1) 首部。它是产品系列符号和换代标志符号，由制造厂根据需要自选相应字母表示，但需主管部门或由主管标准化机构核准。
- (2) 中部。由缸数符号、行程符号、气缸排列形式符号和缸径符号等组成。
- (3) 后部。后部是结构特征和用途特征符号，以字母表示。
- (4) 尾部。尾部是区分符号，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。

## 2. 型号编制举例

### 1) 汽油机

- (1) 1E65F：表示单缸，二行程，缸径 65 mm，风冷通用型。
- (2) 4100Q：表示四缸，四行程，缸径 100 mm，水冷车用。

(3) CA6102：表示六缸，四行程，缸径 102 mm，水冷通用型，CA 表示一汽。

(4) 8 V100：表示八缸，四行程、缸径 100 mm，V 型，水冷通用型。

## 2) 柴油机

(1) 165F：表示单缸，四行程，缸径 65 mm，风冷通用型。

(2) 495Q：表示四缸，四行程，缸径 95 mm，水冷车用。

(3) X4105：表示四缸，四行程，缸径 105 mm，水冷通用型，X 表示系列代号。

(4) YC6112ZLQ：表示六缸，四行程，缸径 112 mm，水冷车用；YC 表示玉柴机器股份有限公司，Z 为增压，L 为中冷。

(5) EQ6BTA5.9：表示六缸，四行程，水冷车用；EQ 表示二汽，B 为发动机的系列号，A 为水冷中冷，T 为增压，5.9 为发动机排量。

在此需要说明的是，近几年有不少的发动机生产企业为了追求个性，型号的编制命名已不完全按国家标准要求执行，如上述的 EQ6BTA5.9 型发动机，是以发动机的总排量为型号的基本特征，有的是以发动机能输出的最大功率为型号的基本特征。这些命名方式严格来讲已不符合国家标准的规定。

## 二、检验与评估

项目一任务 1.1 检验与评估见《学生学习工作页》“表 1 发动机总体认识检验与评估”。

### 【思考与练习】

#### 1. 选择题

(1) 四冲程发动机曲轴与凸轮轴的转速比是 ( )。

A. 1:1

B. 2:1

C. 1:2

(2) 四冲程发动机完成一个工作循环，曲轴转( )圈。

A. 1 圈

B. 半圈

C. 2 圈

(3) 四冲程六缸发动机的做功间隔角为( )曲轴转角。

A.  $120^\circ$

B.  $180^\circ$

C.  $60^\circ$

(4) 四冲程柴油机与汽油机的着火方式不同，主要是因为( )。

A. 燃料特性不同

B. 压缩比不同

C. 喷油嘴不同

(5) 四冲程柴油机是由两大机构( )大系统组成。

A. 五

B. 四

C. 六

## 2. 简答题

(1) 简述四冲程发动机的上止点、下止点、发动机排量、压缩比的概念。

(2) 简述四冲程柴油机的工作原理。

(3) 什么是发动机的速度特性？