

# 第一章 汽车总体构造和行驶原理

## § 1—1 汽车类型与型号

### 一、汽车的类型

汽车的类型很多，按照发动机使用的燃料，汽车分为汽油车、柴油车和液化气汽车。

按照驱动型式，汽车分为普通汽车和越野汽车。普通汽车通常是两个后轮作驱动轮，越野汽车一般都是全轮驱动。汽车的驱动型式，常用两个数字中间隔乘号“×”来表示。如普通汽车东风 EQ1090E 为 4×2；越野汽车北京 BJ2022 为 4×4。前一个数字为汽车的全部车轮数，后一个数字表示驱动轮数。

按照 GB 3730.1—88 《汽车和半挂车的术语和定义 车辆类型》规定可将汽车分为：

载货汽车、越野汽车、自卸汽车、牵引汽车、专用汽车、客车、轿车等。其中载货汽车按最大总质量分为微型、轻型、中型和重型货车，见表 1—1。客车按车辆长度分为微型、轻型、中型、大型客车，见表 1—2。轿车按发动机排量分为微型、普通级、中级、中高级轿车，见表 1—3。

表 1—1 货车类型

类型	说 明
微型货车	运行时，厂定最大总质量小于或等于 1.8 t 的货车
轻型货车	运行时，厂定最大总质量大于 1.8 t 但小于或等于 6 t 的货车
中型货车	运行时，厂定最大总质量大于 6 t 小于或等于 14 t 的货车
重型货车	运行时，厂定最大总质量大于 14 t 的货车

表 1—2 客车类型

微型客车	车长小于或等于 3.5 m
轻型客车	车长大于 3.5 m 但小于或等于 7 m 的客车
中型客车	车长大于 7 m 但小于或等于 10 m 的客车
大型客车	车长大于 10 m 的客车

表 1—3 轿车类型

微型轿车	发动机排量小于或等于 1 L 的轿车
普通级轿车	发动机排量大于 1 L 但小于或等于 1.6 L 的轿车
中级轿车	发动机排量大于 1.6 L 但小于或等于 2.5 L 的轿车
高级轿车	发动机排量大于 2.5 L 但小于或等于 4 L 的轿车
高级轿车	发动机排量大于 4 L 的轿车

## 二、汽车产品型号规则

汽车产品型号的构成：根据国家标准 GB 9417—88 《汽车产品型号编制规则》的规定，汽车产品型号由企业名称代号、车辆类型代号（表 1—4）、主参数代号、产品序号组成。必要时可附加企业自定代号。如图 1—1 所示。

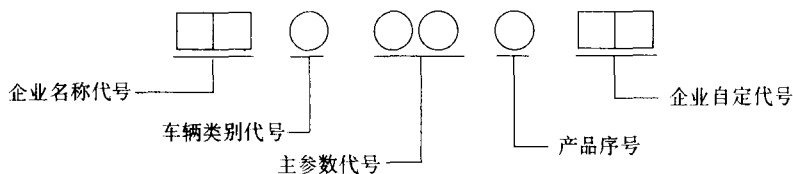


图 1—1 汽车产品型号的构成

1. 企业名称代号 用两个或三个汉语拼音字母表示，位于产品型号的第一部分。
2. 车辆类别代号 用一位阿拉伯数字表示，位于产品型号的第二部分。
3. 主参数代号 用两位阿拉伯数字表示，位于产品型号的第三部分。

(1) 载货汽车、越野汽车、自卸汽车、牵引汽车、专用汽车与半挂车的的主参数代号为车辆的总质量。牵引车的总质量应包括牵引座上的最大质量。当总质量在 100 t 以上时允许用三位数字表示。

(2) 客车及半挂客车的主参数代号为车辆长度 (m)。当车辆长度小于 10 m 时，应精确到小数点后一位，并以长度值的十倍数值表示。

(3) 轿车的主参数代号为发动机排量 (L)，应精确到小数点后一位，并以其值的十倍数值表示。

(4) 主参数不足规定位数时，在参数前以“0”占位。

4. 产品序号 用阿拉伯数字表示，位于产品型号的第四部分。数字按 0、1、2……依次使用。

5. 企业自定代号 位于产品型号的最后部分，同一种汽车结构有变化而需要区别时，可用汉语拼音字母和阿拉伯数字表示，位数由企业自定。

车辆类型代号如表 1—4 所示。

表 1—4

车辆类型代号

车辆类型代号	车辆种类	车辆类型代号	车辆种类	车辆类型代号	车辆种类
1	载货汽车	4	牵引汽车	7	轿车
2	越野汽车	5	专用汽车	8	
3	自卸汽车	6	客车	9	半挂及专用半挂车

专用汽车产品型号的构成如图 1—2 所示。专用汽车产品分类及代号见表 1—5。

表 1—5

专用汽车分类代号

厢式汽车	罐式汽车	专用自卸汽车	特种结构汽车	起重牵引汽车	全棚式汽车
X	G	Z	T	J	C

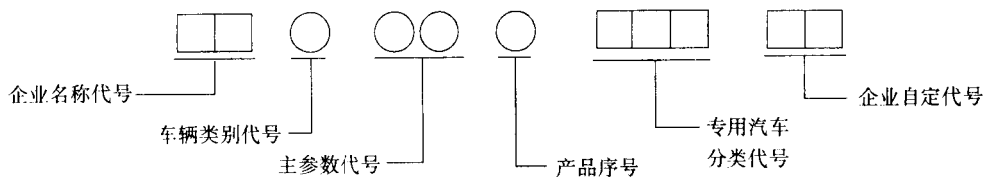


图 1—2 专用汽车产品型号的构成

## § 1—2 汽车的总体构造和主要技术参数

### 一、汽车的总体构造

各类汽车的总体构造有所不同，但基本上由四个部分组成：发动机、底盘、车身和电气设备。一般货车的基本构造形式如图 1—3 所示。

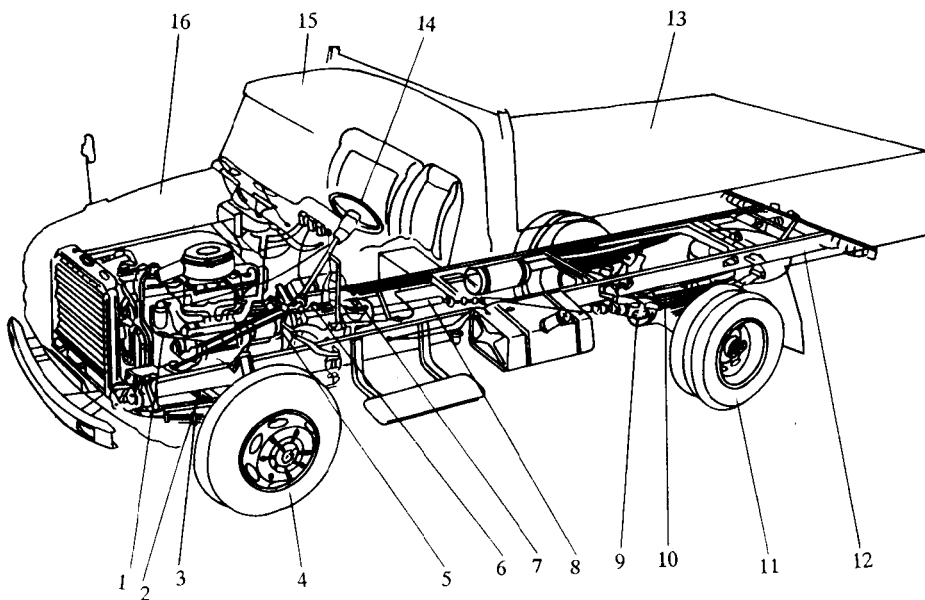


图 1—3 典型货车的基本构造形式

- 1—发动机 2—前轴 3—前悬架 4—转向车轮 5—离合器 6—变速器  
7—驻车制动器 8—传轴 9—驱动桥 10—后悬架 11—驱动车轮  
12—车架 13—车厢 14—转向盘 15—驾驶室 16—车前钣金制件

1. 发动机 是汽车的动力装置，其作用是使燃料燃烧后产生动力。

2. 底盘 是汽车的基础，由传动系、行驶系、转向系和制动系四大部分组成。

传动系由离合器、变速器、万向传动装置和驱动桥等总成组成。其作用是把发动机的动力传给驱动车轮。

行驶系由车架、车桥、车轮、悬架等组成。其作用是把汽车各总成、部件连接成一整体，支撑全车并保证汽车行驶。

转向系由转向盘、转向器和转向传动装置组成，其作用是使汽车按驾驶员所规定的方向

行驶。

制动系由制动器和制动传动装置组成，其作用是迅速降低汽车行驶速度直至停车。

3. 车身 用以乘坐驾驶员、旅客或装载货物。货车的车身包括驾驶室和货厢两部分，客车和轿车一般是一个整体的车身。

4. 电气设备 由电源（蓄电池、发电机）、发动机的启动系、点火系以及照明、信号和仪表等组成。

## 二、汽车的主要技术参数

汽车的主要技术性能，通常用技术性能参数来表示。

1. 整车装备质量 指汽车完全装备好的质量，包括发动机、底盘、车身、全部电气设备的质量，车辆正常行驶所需辅助设备的质量及加足的润滑油、燃料、冷却液的质量，还要加上随车工具、备用车轮及其他备用品的质量。

2. 最大总质量 指汽车满载时的总质量。

3. 最大装载质量 指最大总质量与整车装备质量之差。

4. 汽车外廓尺寸 组成如图 1—4 所示。

(1) 车宽( $B$ ) 平行于车辆纵向对称平面并分别抵靠车辆两侧最外刚性固定突出部位（除后视镜、侧面标志灯、方位灯、转向指示灯等）的两平面之间的距离。

(2) 车长( $L$ ) 垂直于车辆纵向对称平面并分别抵靠在汽车前、后最外突出部位的两垂直面间的距离。

(3) 车高( $H$ ) 车辆最高点与车辆支撑平面之间的距离。

(4) 轴距( $L_1$ 、 $L_2$ ) 汽车处于直线行驶位置时，同侧相邻两轴的车轮落地中心点到车辆纵向对称平面的两条垂线间的距离。

(5) 轮距( $A_1$ 、 $A_2$ ) 在支撑平面上，同轴左右车轮两轨迹中心间的距离（轴两端为双轮时，为左右两条双轨迹的中线间的距离）

(6) 前悬( $S_1$ ) 汽车处于直线行驶位置时，汽车前端刚性固定件的最前点到通过两前轮轴线的垂面间的距离。

(7) 后悬( $S_2$ ) 汽车后端刚性固定件的最后点到通过最后车轮轴线的垂面间的距离。

(8) 最小离地间隙( $C$ ) 满载时，车辆支撑平面与车辆最低点之间的距离。

(9) 接近角( $\alpha_1$ ) 汽车前端突出点向前轮引的切线与地面的夹角。

(10) 离去角( $\alpha_2$ ) 汽车后端突出点向后轮引的切线与地面的夹角。

5. 转弯直径 指车辆转弯时，外转向轮（转向盘转到极限位置）的中心平面在车辆支撑平面上的轨迹圆直径。

6. 最高车速 指汽车在平坦公路上行驶时能达到的最高速度。

7. 最大爬坡度 指汽车满载时的最大爬坡能力。

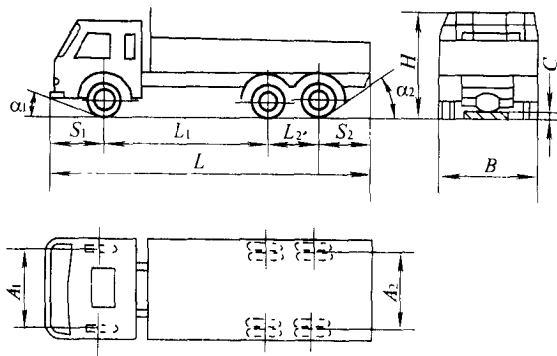


图 1—4 汽车外廓

8. 平均燃料消耗量 指汽车在公路上行驶时平均的燃料消耗量。

## § 1—3 汽车行驶基本原理

汽车的动力性与汽车沿行驶方向的运动状况有关，为此需要掌握沿汽车行驶方向作用于汽车上的各种外力，即驱动力和行驶阻力。

### 一、汽车的驱动力

1. 驱动力的产生 汽车发动机产生的转矩经传动系传至驱动轮，驱动轮上的转矩  $T_t$  产生一个对地面的圆周力  $F_0$ ，地面则对驱动轮作用一个反作用力  $F_t$ ， $F_t$  与  $F_0$  大小相等，方向相反，如图 1—5 所示。 $F_t$  即为驱动汽车行驶的外力，称为汽车的驱动力。其值为：

$$F_t = \frac{T_t}{r} \quad (\text{N}) \quad (1-1)$$

式中  $T_t$ ——作用于驱动轮的转矩， $\text{N}\cdot\text{m}$   
 $r$ ——车轮半径。

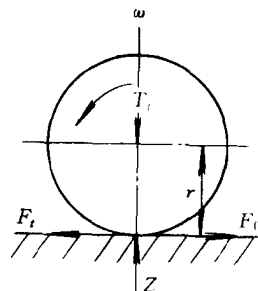


图 1—5 汽车的驱动力

2.  $T_t$  与发动机转矩  $T_e$  的关系  $T_e$  经传动系传到驱动轮，由于传动系的降速增矩作用，使驱动轮上获得的转矩  $T_t$  比发动机的转矩  $T_e$  扩大数倍。

$$T_t = T_e i_k i_0 \eta_T \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (1-2)$$

式中  $T_e$ ——发动机的有效转矩， $\text{N}\cdot\text{m}$ ；  
 $i_k$ ——变速器传动比；  
 $i_0$ ——主减速器传动比；  
 $\eta_T$ ——传动系的机械效率。

将式(1—2)代入式(1—1)得

$$F_t = \frac{T_e i_k i_0 \eta_T}{r} \quad (\text{N}) \quad (1-3)$$

可见，汽车的驱动力与发动机的有效转矩、变速器传动比、主减速器传动比和传动系的机械效率成正比，与车轮半径成反比。

3. 传动系的机械效率 发动机发出的功率  $P_e$ ，经传动系传至驱动轮的过程中，在传动系内部消耗了部分功率，称为传动系的功率损失  $P_T$ 。传动系的机械效率为

$$\eta_T = \frac{P_e - P_T}{P_e} = 1 - \frac{P_T}{P_e} \quad (1-4)$$

传动系的功率损失由离合器、变速器、万向传动装置及主减速器的功率损失组成。其中以变速器、分动器和主减速器的功率损失所占比例最大。

传动系的功率损失包括机械损失和液力损失两大部分。机械损失是：传动齿轮、轴承、油封等部件中的机械摩擦损失。机械损失与啮合齿轮对数，传递转矩大小，齿轮的加工工艺有关。液力损失是转矩在传递过程中，消耗于润滑油的搅动、润滑油与旋转零件之间的表面摩擦损失。液力损失决定于润滑油的黏度、工作温度、油面高度及传动齿轮的工作转速等。

传动系效率等于各总成传动效率的乘积，是在专门试验台上测得的。对于不同类型的汽

车，其机械效率范围一般如下：

小客车 0.90~0.92

载货汽车 0.80~0.90

## 二、汽车的行驶阻力

汽车的行驶阻力有滚动阻力  $F_f$ 、空气阻力  $F_w$ 、上坡阻力  $F_i$  和加速阻力  $F_j$ 。汽车行驶的总阻力

$$\Sigma F = F_f + F_w + F_i + F_j$$

上述阻力中，滚动阻力和空气阻力在任何行驶条件下均存在，上坡阻力和加速阻力仅在一定行驶条件下才存在，在水平道路上等速行驶就没有上坡阻力和加速阻力。

### 1. 滚动阻力 产生的原因有：

(1) 道路变形。车轮在松软路面上滚动时会挤压土壤，轮胎与土壤间具有摩擦，土壤受挤压产生塑性变形要消耗一定的能量。

(2) 轮胎变形。汽车行驶时，轮胎在径向、切向及侧向都会产生变形，并处于变形、恢复的循环中，因此有一部分能量要消耗在轮胎各组成部分相互间的摩擦及橡胶、帘线等物质内分子间的摩擦上，使轮胎发热最后转化为热能消失在大气中。

试验表明，车轮滚动时的滚动阻力等于滚动阻力系数  $f$  与汽车重力  $G$  的乘积。

$$F_f = Gf \quad (\text{N}) \quad (1-5)$$

影响滚动阻力的因素很多，由式 (1—5) 可知滚动阻力的大小首先决定于汽车的总重力  $G$ ， $G$  值越大，轮胎与路面变形越大，滚动阻力值越大。滚动阻力的大小还与滚动阻力系数有关。滚动阻力系数的数值由试验确定，它与路面的种类、行驶速度以及轮胎的构造、材料和气压有关。

2. 空气阻力 汽车行驶时，汽车在空气中运动，空气本身也有运动，从而形成汽车在空气中的相对运动。汽车前部挤压空气，车身后部形成一定程度的真空，空气与车身的摩擦，这些形成了空气阻力。汽车直线行驶时受到空气作用力在行驶方向上的分力称为空气阻力。

实验证明，空气阻力可用下式计算，并认为空气阻力的作用线通过重心。

$$F_w = \frac{C_D A v_a^2}{21.15} \quad (\text{N}) \quad (1-6)$$

式中  $v_a$ ——空气相对于汽车的速度，km/h：

无风时， $v_a =$  汽车速度

顺风时， $v_a =$  汽车速度 - 风速

逆风时， $v_a =$  汽车速度 + 风速

$A$ ——迎风面积， $\text{m}^2$ ；

$C_D$ ——空气阻力系数。

空气阻力系数  $C_D$  表示汽车流线形的好坏， $C_D$  值越小，表示汽车的流线形越好。

### 3. 上坡阻力

(1) 坡度的表示方法。道路纵向坡道的大小可用坡道角  $\alpha$  或坡度  $i$  表示。坡度常用坡高与底长之比的百分数来表示。即

$$i = \frac{h}{s} \times 100\% = \tan \alpha$$

如坡度为 5%，表示该坡道每 100 m 的水平距离上升的高度为 5 m

(2) 上坡阻力 汽车上坡行驶时，重力沿坡道斜面的分力起着阻碍汽车行驶的作用，称为上坡阻力，用  $F_i$  表示，如图 1—6 所示。 $F_i$  与汽车重力  $G$  及坡道角  $\alpha$  的关系为

$$F_i = G \sin \alpha \quad (\text{N}) \quad (1-7)$$

#### 4. 加速阻力 汽车行驶过程中，

其质量速度发生变化时会引起惯性作用，产生的惯性力将作用在汽车上，并与路面平行。汽车加速时，产生的惯性力作用方向始终与汽车运动方向相反，称加速阻力。汽车减速行驶时，惯性力与汽车运动方向相同，其值取负号。

汽车的质量分为平移质量和旋转质量两部分，其计算公式如下：

$$F_j = \frac{\delta G}{g} a \quad (\text{N}) \quad (1-8)$$

式中  $\delta$ ——旋转质量换算系数 ( $\delta > 1$ )， $\delta$  主要与飞轮的转动惯量、车轮的转动惯量及传动系的传动比有关；

$a$ ——行驶加速度， $\text{m/s}^2$ ；

$g$ ——重力加速度， $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

### 三、汽车行驶方程式

以上分析了汽车的驱动力和各种行驶阻力，表示汽车驱动力与行驶阻力之间关系的等式，称为汽车的驱动力平衡方程，即

$$F_t = F_f + F_w + F_i + F_j \quad (1-9)$$

将驱动力与各行驶阻力的表达式代入上式，则汽车的行驶方程为

$$\frac{T_d i_k i_0 \eta_T}{r} = fG \cos \alpha + \frac{C_D A v_a^2}{21.15} + G \sin \alpha + \frac{\delta G}{g} \frac{dv}{dt} \quad (1-10)$$

这个等式说明了驱动力与各行驶阻力的平衡关系。

### 四、汽车行驶的驱动与附着条件

1. 汽车行驶的驱动条件 汽车的驱动力用以克服各种阻力。若驱动力大于滚动阻力  $F_f$ 、空气阻力  $F_w$  和上坡阻力  $F_i$ ，则汽车加速行驶；若驱动力小于这三个阻力之和，则汽车无法开动或正常行驶的汽车将减速行驶以至停车。因此，汽车行驶的第一个条件是：

$$F_t \geq F_f + F_w + F_i \quad (\text{N}) \quad (1-11)$$

上式称汽车行驶的驱动条件。反映了汽车本身的行驶能力。可以用增大发动机转矩，加大传动比的方法来增大汽车的驱动力，以保证汽车的驱动条件。

2. 汽车行驶的附着条件 增大驱动力只有在驱动轮与路面不发生滑转时才有效。在一定的轮胎和路面条件下，驱动力增大到一定程度时，驱动轮将出现滑转现象。增大发动机转矩，只能加速驱动轮旋转，地面切向反作用力并不增加。这表明汽车行驶除受驱动条件的制约外，还受轮胎与地面附着条件的限制。

地面对轮胎切向反作用力的极限值称为附着力  $F_\varphi$ ，在硬面上它与地面对驱动轮的法向

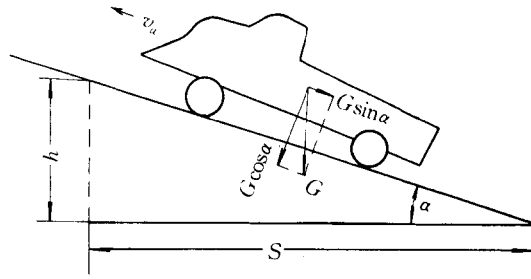


图 1—6 汽车的上坡阻力

反作用力  $Z$  成正比。为了避免驱动轮产生滑转现象，汽车行驶的第二个条件即附着条件是：

$$F_t \leq F_\varphi = Z \cdot \varphi \quad (1-12)$$

式中  $Z$ ——作用于所有驱动轮的地面法向反作用力；

$\varphi$ ——附着系数，与轮胎结构及路面条件有关。

3. 汽车的驱动与附着条件 汽车若要在道路上正常行驶，必须同时满足第一个和第二个条件，即：

$$F_f + F_w + F_i \leq F_t \leq F_\varphi = Z \cdot \varphi \quad (1-13)$$

上式称为汽车行驶的驱动与附着条件。

如汽车在不同阻力的道路上行着时，当行驶阻力增大，所需的驱动力也增大。若路面所能提供的附着力不能满足时，正在行驶的汽车将要降速。若陷在泥坑里，则汽车车轮原地滑转而不能前进。此时，尽管驾驶员把加速踏板踩到底，但由于受到地面附着条件的限制，汽车仍不能正常行驶。只有改善车轮与地面的附着条件（往泥坑中填石块、树枝等物），才能使汽车获得较大的驱动力，驶出泥坑。

## 复 习 题

1. 汽车的主要类型有哪些？
2. 轿车按发动机排量可分为几种类型？
3. 汽车由哪几部分组成？
4. 底盘包括哪几个系统？
5. 传动系由哪些装置组成？
6. 行驶系由哪些装置组成？
7. 解释汽车型号 TJ6481 的含义。
8. 什么叫整车装备质量？
9. 什么叫汽车的最大装载质量？
10. 什么叫汽车的前悬和后悬？
11. 什么叫汽车的接近角和离去角？
12. 什么叫汽车的最大爬坡度？
13. 什么叫汽车的平均燃料消耗量？
14. 什么是汽车的驱动力？驱动力如何进行计算？
15. 汽车行驶中通常会遇到哪些阻力？
16. 汽车行驶的驱动与附着条件是什么？

## 第二章 汽车发动机总体构造和工作原理

### § 2—1 发动机的总体构造

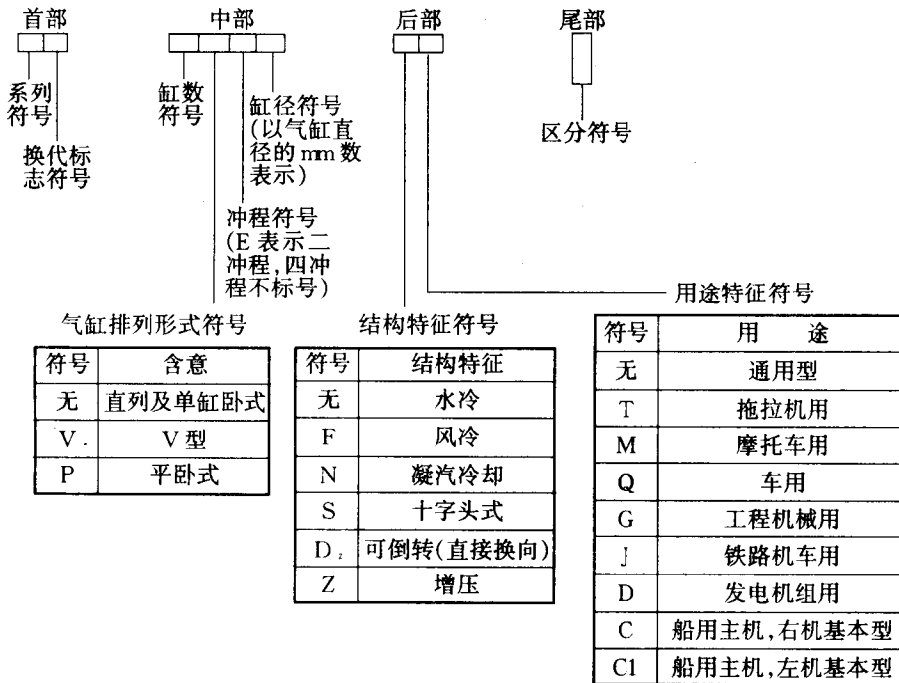
#### 一、发动机的种类

现代汽车所用的发动机主要是往复式活塞式内燃机，其特点是燃料在气缸内部燃烧，将热能直接转变为机械能。

车用内燃机根据活塞运动方式可分为往复式活塞式和旋转活塞式两种；按工作冲程可分为四冲程和二冲程两种；按所使用的燃料可分为汽油机和柴油机两种。

#### 二、发动机编号

根据国家标准 GB 725—82 《内燃机产品名称和型号编制规则》，内燃机型号的排列顺序及符号所代表的意义规定如下：



#### 三、汽油发动机的组成

发动机的基本原理相似，其基本构造大同小异。汽油机通常由两大机构和五大系统组成。具体组成如下页所示。

单缸汽油机的一般构造如图 2—1 所示。

柴油发动机的一般构造示意图如图 2—2 所示。它由气缸、曲轴箱、活塞、活塞销、连杆、曲轴、气门、喷油泵、喷油器、飞轮等组成。其结构大体上与汽油机相同，但由于使用的燃料不同，混合气形成和点燃的方式不同。柴油机没有化油器、火花塞，而另设喷油泵和喷油器等。喷油泵产生高压柴油，然后由喷油器喷入气缸，与压缩后的高温、高压空气进行混合并自行燃烧。

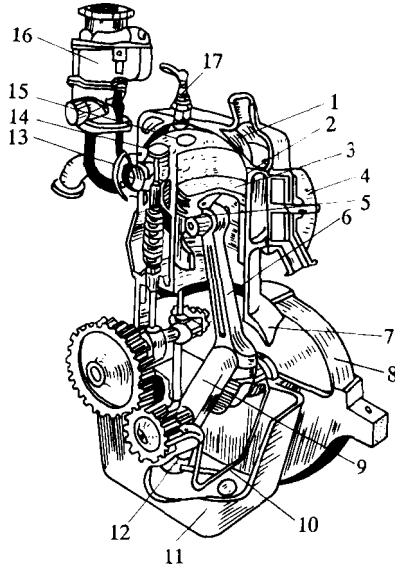


图 2—1 汽油机的一般构造

- 1—缸盖 2—气缸 3—活塞 4—水泵 5—活塞销  
6—连杆 7—曲轴箱 8—飞轮 9—曲轴 10—机油管  
11—油底壳 12—机油泵 13—进气管 14—进气阀  
15—排气阀 16—化油器 17—火花塞

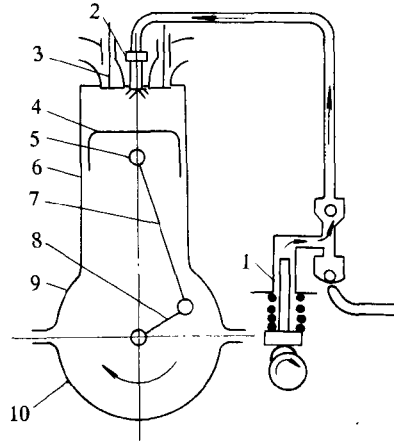


图 2—2 柴油机的一般构造

- 1—喷油泵 2—喷油器 3—气阀 4—活塞  
5—活塞销 6—气缸 7—连杆  
8—曲轴 9—曲轴箱 10—油底壳

#### 四、基本术语

活塞在气缸中作往复直线运动，通过连杆连接曲轴，曲轴作旋转运动，见图 2—3。

1. 上止点 活塞顶离曲轴回转中心最远处，即活塞在气缸中的最高位置。
2. 下止点 活塞顶离曲轴回转中心最近处，即活塞在气缸中的最低位置。

汽油发动机 总体构造	曲柄连 杆机构	{	气缸体曲轴箱组：气缸体、气缸盖、气缸垫、上曲轴箱、下曲轴箱（油底壳）等
			活塞连杆组：活塞、活塞环、活塞销、连杆等
			曲轴飞轮组：曲轴、飞轮等
	配气机构	{	气门组：气门、气门导管、气门弹簧等
			气门传动组：凸轮轴、挺杆、推杆、摇臂、摇臂轴、凸轮轴正时齿轮
	燃料供 给系	{	汽油机：油箱、汽油滤清器、化油器、汽油泵、空气滤清器、进排气歧管等
柴油机：油箱、柴油滤清器、输油泵、喷油泵、空气滤清器、进排气歧管等			
			点火系（汽油机）：蓄电池、发电机、点火开关、点火线圈、分电器、火花塞等
			冷却系：散热器、风扇、百叶窗、水泵、节温器、分水管等
			润滑系：机油滤清器、集滤器、机油泵、限压阀等
			启动系：启动机及其附属装置

3. 活塞行程 (S) 上、下两止点间的距离，通常用 S (mm) 表示。若曲轴回转半径

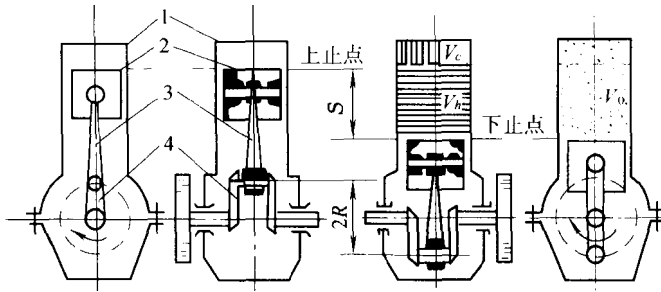


图 2—3 往复式发动机基本的运动关系图  
1—气缸 2—活塞 3—连杆 4—曲轴

(曲轴与连杆大端连接中心至曲轴回转中心的距离)为  $R$  ,则  $S = 2R$ 。

4. 气缸工作容积 ( $V_h$ ) 活塞从上止点移动到下止点所让出来的空间的容积 ( $L$ )。

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

式中  $D$ ——气缸直径, mm。

发动机工作容积 ( $V_L$ ) 为发动机所有气缸工作容积之总和, 也称发动机排量。设气缸数为  $i$  ,则  $V_L = V_h i (L)$ 。

5. 燃烧室容积 ( $V_c$ ) 活塞在上止点时, 活塞顶上面的空间叫燃烧室容积。

6. 气缸总容积 ( $V_a$ ) 活塞在下止点时, 活塞顶上面整个空间的容积。等于气缸工作容积与燃烧室容积之和, 即

$$V_a = V_h + V_c$$

7. 压缩比 ( $\epsilon$ ) 气缸总容积与燃烧室容积的比值, 即

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

压缩比表示活塞由下止点移动到上止点时, 气缸内气体被压缩的程度。压缩比越大, 压缩终了时气缸内气体的压力和温度越高。

目前一般汽油机的压缩比为 6~11, 柴油机压缩比为 16~22。

## § 2—2 四冲程发动机的工作原理

### 一、四冲程汽油机工作原理

发动机的功能是将燃料在气缸内燃烧产生的热能转换为机械能, 从而输出动力。上述能量转换过程是通过不断地依次反复进行“进气—压缩—作功—排气”四个连续过程来实现的。发动机气缸内进行的每一次将热能转换为机械能的过程叫做一个工作循环。

在一个工作循环内, 曲轴旋转两周, 活塞往复四个行程, 称为四冲程发动机。

四冲程汽油机的工作原理如图 2—4 所示。

1. 进气行程 活塞由上止点向下止点移动, 活塞上方容积逐渐增大, 形成一定真空度。同时, 排气门关闭, 进气门开启, 可燃混合气通过进气门被吸入气缸。活塞到达下止点时,

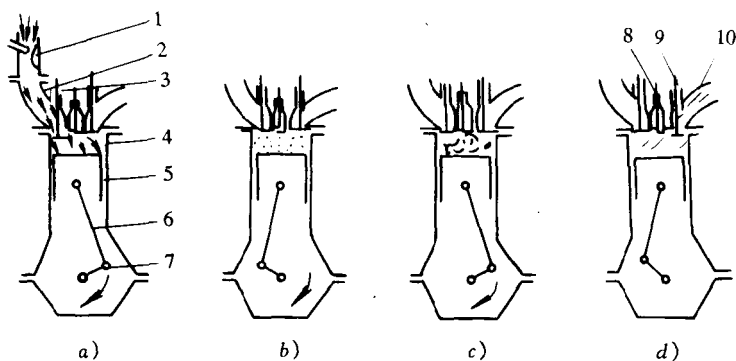


图 2—4 单缸四冲程汽油机工作循环示意图

a) 进气行程 b) 压缩行程 c) 做功行程 d) 排气行程

1—化油器 2—进气管 3—进气门 4—气缸 5—活塞 6—连杆 7—曲轴 8—火花塞 9—排气门 10—排气管

进气门关闭，停止进气。

进气过程中化油器、进气管、进气门等处有进气阻力，气缸内压力低于大气压力，约为  $70\sim 90\text{ kPa}$ ；由于气缸壁、活塞等高温机件及上一循环残留高温废气的加热，气体温度大约为  $380\sim 440\text{ K}$ 。

2. 压缩行程 活塞在曲轴的带动下，由下止点向上止点运动。同时，进、排气门均关闭，气缸内的可燃混合气被压缩到燃烧室内，使其温度和压力均升高。当活塞到达上止点时，压缩行程结束。

压缩行程结束时，可燃混合气的压力约为  $600\sim 1\ 500\text{ kPa}$ ，温度约为  $600\sim 800\text{ K}$ 。

3. 做功行程 压缩行程末，火花塞产生电火花点燃混合气并迅速燃烧，使气体的温度、压力急剧升高而膨胀，推动活塞由上止点向下止点运动，并经连杆带动曲轴旋转做功。活塞到达下止点，做功行程结束。

做功行程初期，气体瞬时压力可达  $3\ 000\sim 5\ 000\text{ kPa}$ ，瞬时温度可达  $2\ 000\sim 2\ 800\text{ K}$ 。

4. 排气行程 排气门开启，曲轴通过连杆推动活塞从下止点向上止点运动。废气在自身压力和活塞的挤压下，被排出气缸。活塞到达上止点，排气行程结束。

排气行程结束时，气体压力约为  $105\sim 125\text{ kPa}$  温度约为  $900\sim 1\ 200\text{ K}$ 。

## 二、四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油机的工作循环和汽油机一样，也由进气、压缩、做功和排气四个行程组成。由于燃料性质不同，可燃混合气的形成、着火方式等与汽油机有较大区别。单缸四冲程柴油机工作原理如图 2—5 所示。

1. 进气行程与汽油机相比，进入柴油机气缸的不是可燃混合气而是纯空气。进气行程结束时，气体压力为  $80\sim 95\text{ kPa}$ ，温度约为  $310\sim 350\text{ K}$ 。

2. 压缩行程 压缩的是纯空气。由于柴油机压缩比大，压缩终了气体的温度和压力比汽油机高。压力约为  $3\ 000\sim 5\ 000\text{ kPa}$ ，温度约为  $800\sim 1\ 000\text{ K}$ 。

3. 做功行程 压缩行程末，高压柴油经喷油器呈雾状喷入气缸，迅速汽化并与空气形成混合气。由于压缩终了气缸内温度远高于柴油的自燃温度（约  $500\text{ K}$  左右），柴油立即自行着火燃烧。因此，柴油发动机没有点火系统。

燃烧最高压力约为  $5\ 000\sim 10\ 000\text{ kPa}$ ，最高温度约为  $1\ 800\sim 2\ 200\text{ K}$ 。

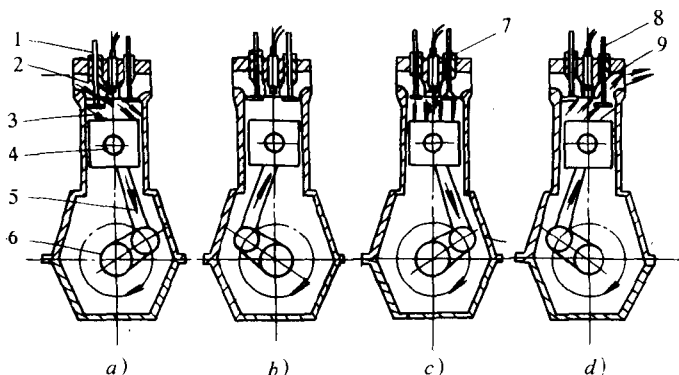


图 2—5 单缸四冲程柴油机工作循环示意图

a) 进气行程 b) 压缩行程 c) 作功行程 d) 排气行程

1—进气门 2—进气管 3—气缸 4—活塞 5—连杆 6—曲轴 7—喷油器 8—排气门 9—排气管

4. 排气行程 基本上与汽油机排气行程相同。

## § 2—3 发动机主要性能指标和特性

### 一、发动机性能指标

#### 1. 动力性指标

(1) 有效转矩  $T_e$  发动机通过飞轮对外输出的转矩称为有效转矩，单位为  $N \cdot m$ 。

(2) 有效功率  $P_e$  发动机通过飞轮在单位时间内对外作功量称为有效功率，单位为 kW 其计算公式为：

$$P_e = T_e \frac{2\pi n}{60} \times 10^{-3} = \frac{T_e n}{9550} \quad (\text{kW}) \quad (2-1)$$

式中  $n$  为曲轴转速，单位  $r/\text{min}$ 。

发动机铭牌上标明的功率及相应的转速称为标称功率和标定转速。按内燃机台架试验国家标准规定，发动机的标称功率有 15 min 功率、1 h 功率、12 h 功率和持续功率四种。由于汽车发动机经常在部分负荷下工作，为了保证发动机轻量化、汽车发动机常用 15 min 功率作为标称功率。

2. 经济性指标 为了评价发动机的经济性，应有一个可比性指标，一般用燃油消耗率  $g_e$  表示。它的定义为发动机在 1 h 内持续发出 1 kW 有效功率所消耗的燃油质量，可以按下式计算：

$$g_e = \frac{G_T}{P_e} \times 10^3 \quad [\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})] \quad (2-2)$$

式中  $G_T$ ——发动机单位时间内耗油量， $\text{kg}/\text{h}$ ；

$P_e$ ——发动机的有效功率，kW。

### 二、发动机性能的特性

1. 发动机速度特性 指发动机的功率、转矩和燃油消耗率三者随曲轴转速变化的规律。这一特性可以通过发动机在试验台上测试得出。试验时，使发动机节气门在某一开度，用测

功器施加一定的阻力矩，当发动机运转稳定时，用转速表测得转速  $n$ ，在测功器上测出有效转矩  $T_e$ ，进而计算出有效功率  $P_e$ 、有效燃油消耗率  $g_e$ 。用上述方法，可以得到不同转速下各组  $T_e$ 、 $P_e$ 、 $g_e$  数值，据此可画出  $T_e$ 、 $P_e$ 、 $g_e$  随转速变化的特性曲线。

当节气门开到最大时，得到的速度特性称为发动机外特性。图 2—6 为 BJ492 型车用汽油机的外特性。节气门在其他开度情况下得到的速度特性称为部分特性。

在实际使用时，当驾驶员将加速踏板保持在一定位置时，如果汽车遇到的阻力不同，车速即发生变化，阻力越大，车速越低，这时汽油机即在按与速度特性相似的工况下工作。此时，如果转矩不能随之增大或增大很少，则必须换入低速挡，否则发动机会熄火。这样就降低了汽车的平均技术速度。因此，希望  $T_e$  变化大，随转速的下降而增大的较多。

2. 发动机负荷特性 研究负荷特性的目的是为了研究在各种负荷下工作的发动机经济性。

汽油机的点火提前角和化油器调整在最佳状态，发动机固定在某一转速时的每小时耗油量  $G_T$  和有效燃油消耗率  $g_e$  随负荷（以有效功率  $P_e$  表示）的变化关系，称为发动机的负荷特性。图 2—7 为 6100 型车用汽油机的负荷特性。

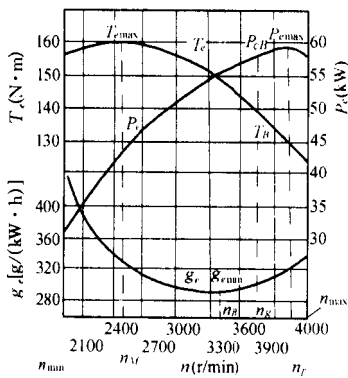


图 2—6 BJ492 型车用汽油机的外特性曲线

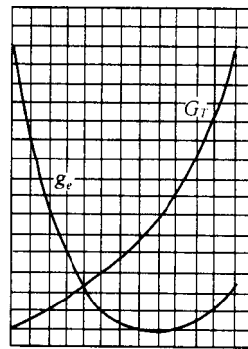


图 2—7 6100 型车用汽油机的负荷特性

当汽车在道路条件变化的情况下行驶时，驾驶员通过加速踏板来改变节气门的开度，使汽油机的转速不变，即汽车保持等速行驶。此时，汽油机的工作情况近似符合负荷特性的条件。

从负荷特性曲线可知，当发动机在较高负荷工作时，有效燃油消耗率  $g_e$  较低，经济性较好，但负荷也不能过高。因此，经常使汽车保持满载和合理拖带挂车是提高经济性的有效措施。

## 复 习 题

1. 什么叫上止点？什么叫下止点？
2. 什么叫活塞行程？
3. 什么叫燃烧室容积、气缸工作容积、气缸总容积？
4. 什么叫发动机排量？

5. 什么叫压缩比？
6. 四冲程汽油机和四冲程柴油机在工作循环中有什么相同点和区别？
7. 什么叫四冲程发动机？对于四冲程发动机，一个工作循环曲轴转多少度？进、排气门各开启几次？
8. 汽油机是由哪些系统和机构组成的？
9. 柴油机为什么没有点火系？
10. 什么叫有效转矩和有效功率？
11. 什么叫有效燃油消耗率？
12. 什么是发动机的速度特性、外特性？
13. 什么是发动机的负荷特性？

## 第三章 曲柄连杆机构

### § 3—1 概 述

曲柄连杆机构的功用是把燃烧气体作用在活塞顶上的力转变为曲轴的转矩，并通过曲轴对外输出机械能。曲柄连杆机构由三部分组成：

气缸体一曲轴箱组，主要包括气缸体、气缸套、曲轴箱、气缸垫和气缸盖等；

活塞一连杆组，主要包括活塞、活塞环、活塞销和连杆等；

曲轴—飞轮组，主要包括曲轴和飞轮等。

发动机内燃烧膨胀时，气缸内温度可达 2 200 以上，最高燃烧压力可达 5~9 MPa，曲轴转速可达 3 000~6 000 r/min；可燃混合气和废气还会造成机件的化学腐蚀。因此，曲柄连杆机构的工作环境特点是高温、高压、高速和化学腐蚀。

曲柄连杆机构在高压下作变速运动，因此，在工作中的受力情况很复杂。其中有气体作用力、运动质量的惯性力、摩擦力及外界阻力等。

#### 一、气体作用力

在每个工作循环的各个行程中，气体压力始终存在。但由于进气、排气两个行程中气体压力较小，对机件影响不大，故这里主要分析膨胀和压缩两行程中的气体作用力。

1. 在膨胀行程中气体压力是推动活塞向下运动的力。这时，燃烧气体产生的高压直接作用在活塞顶部，如图 3—1a 所示。活塞所受到的压力  $F_p$  传到活塞销上，可分解成  $F_{p_1}$  和  $F_{p_2}$ 。分力  $F_{p_1}$  通过活塞销传给连杆，并沿连杆方向作用在曲柄销上。 $F_{p_1}$  还可分解为两个分力  $R$  和  $S$ ：沿曲柄方向分力  $R$  使曲轴主轴颈与主轴承之间产生压力；与曲柄垂直方向的分力  $S$  对曲轴主轴颈轴线形成转矩  $T$ ，推动曲轴旋转。力  $F_{p_2}$  把活塞压向缸壁，形成活塞与缸壁间的压力，有使机体翻转的趋势，故机体下部的两侧应支撑在车架上。

2. 在压缩行程中气体压力是阻碍活塞向上运动的阻力。作用在活塞顶上的气体压力  $F'_p$ ，也可以分解成两个分力  $F'_{p_1}$  和  $F'_{p_2}$ ，如图 3—1b 所示。 $F'_{p_1}$  又分解为  $R'$  和  $S'$ 。 $R'$  使曲轴主轴颈与主轴承之间产生压力； $S'$  对曲轴主轴颈轴线形成旋转阻力矩  $T'$ ，阻碍曲轴旋转。 $F'_{p_2}$  则将活塞压向气缸的另一侧壁。

$F_{p_1}$  和  $F'_{p_1}$  均称侧压力，由于膨胀行程活塞顶部受到气体压力比压缩行程活塞顶部受到的气体压力大，所以膨胀行程的侧压力  $F_{p_2}$  比压缩行程的侧压力  $F'_{p_2}$  大，即  $F_{p_2} > F'_{p_2}$ 。

在工作循环的任一行程中，气体作用力的大小总是随着活塞的位移而变化的，再加上连杆的左右摇摆，因而作用在活塞销和曲轴轴颈及二者的支撑面上的力和作用点不断变化，造成各处的磨损不均匀。同样，缸壁沿圆周方向的磨损也不均匀。

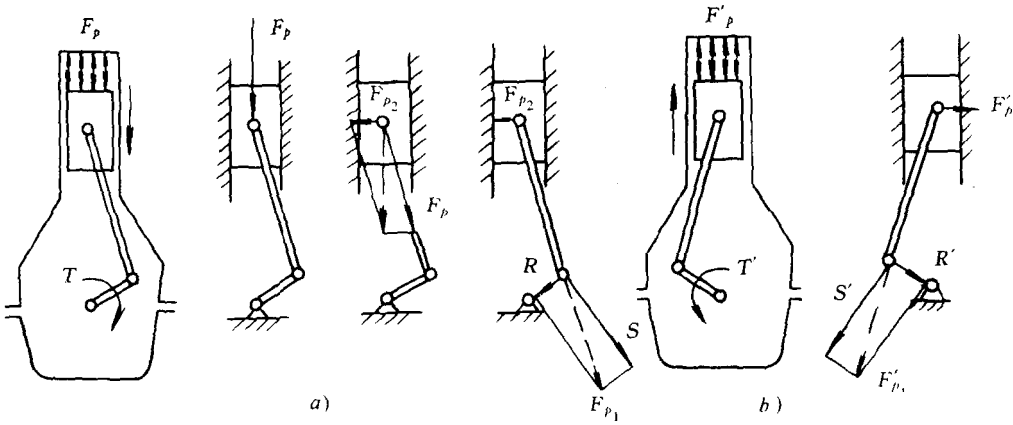


图 3—1 气体作用力的示意图  
a) 膨胀行程 b) 压缩行程

## 二、惯性力

1. 往复运动中的惯性力 活塞和连杆小头在气缸中作往复直线运动时，平均速度很高，而且数值在不断变化。当活塞从上止点向下止点运动时，其速度变化规律是：从零开始，逐渐增大，临近中间达最大值，然后又逐渐减小至零。也就是说，当活塞向下运动时，前半行程是加速运动，惯性力向上，以  $F_j$  表示，如图 3—2a 所示；后半行程是减速运动，惯性力向下，以  $F'_j$  表示，如图 3—2b 所示。同理，当活塞向上运动时，前半行程惯性力向下，后半行程惯性力向上。

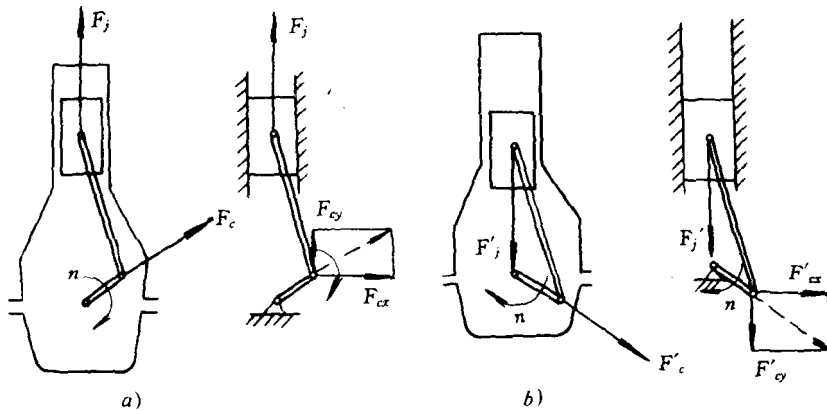


图 3—2 惯性力作用情况示意图  
a) 活塞在上半行程时的惯性力 b) 活塞在下半行程时的惯性力

活塞、活塞销和连杆小头的质量越大，曲轴转速越高，惯性力也就越大。惯性力使曲柄连杆机构的各零件和所有轴颈承受交变载荷，加快轴承的磨损，还会引起发动机的振动。

2. 旋转运动中的惯性力 偏离曲轴轴线的曲柄、曲柄销和连杆大头绕曲轴轴线旋转，也要产生惯性力，俗称离心力。其方向沿曲柄半径向外，其大小与曲柄半径、旋转部分的质心位置及曲轴转速有关。曲柄半径愈长，旋转部分质心离曲轴轴线愈远，曲轴转速愈高，则惯性力愈大。如图 3—2a (图 b 亦同) 所示，惯性力  $F_c$  在垂直方向分力  $F_{cy}$  与惯性力  $F_j$  方向