

# 第二章

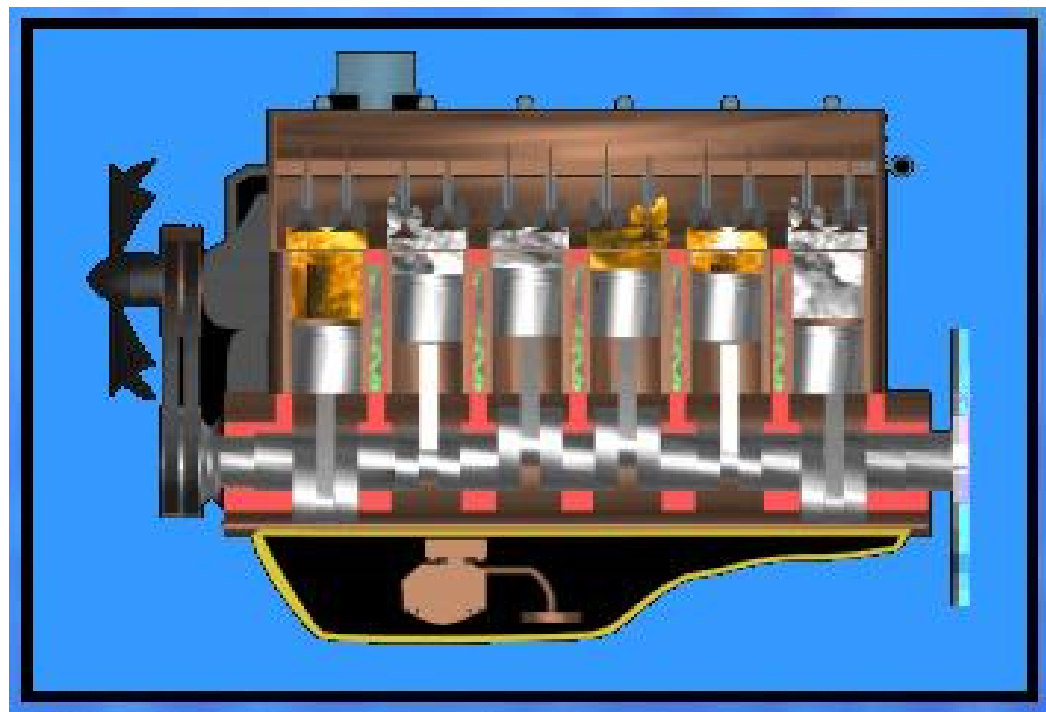
## 曲柄连杆机构

# 概述

## 一、功用：

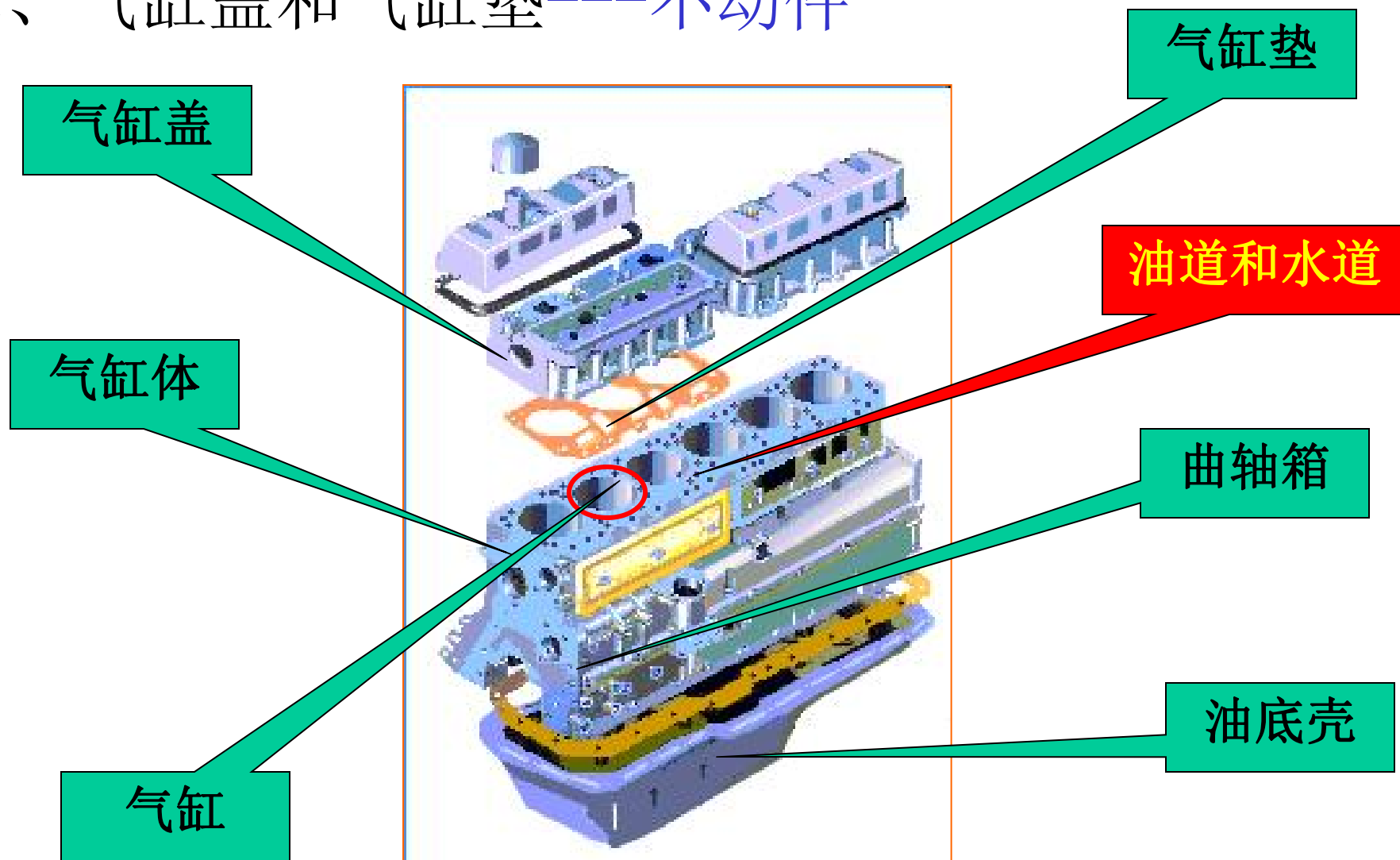
做功冲程：将燃料燃烧时产生的热能转变为活塞往复运动的机械能，再转变为曲轴旋转运动而对外输出动力

其他冲程：把曲轴的旋转运动变成活塞的往复直线运动（依靠曲轴与飞轮的惯性）



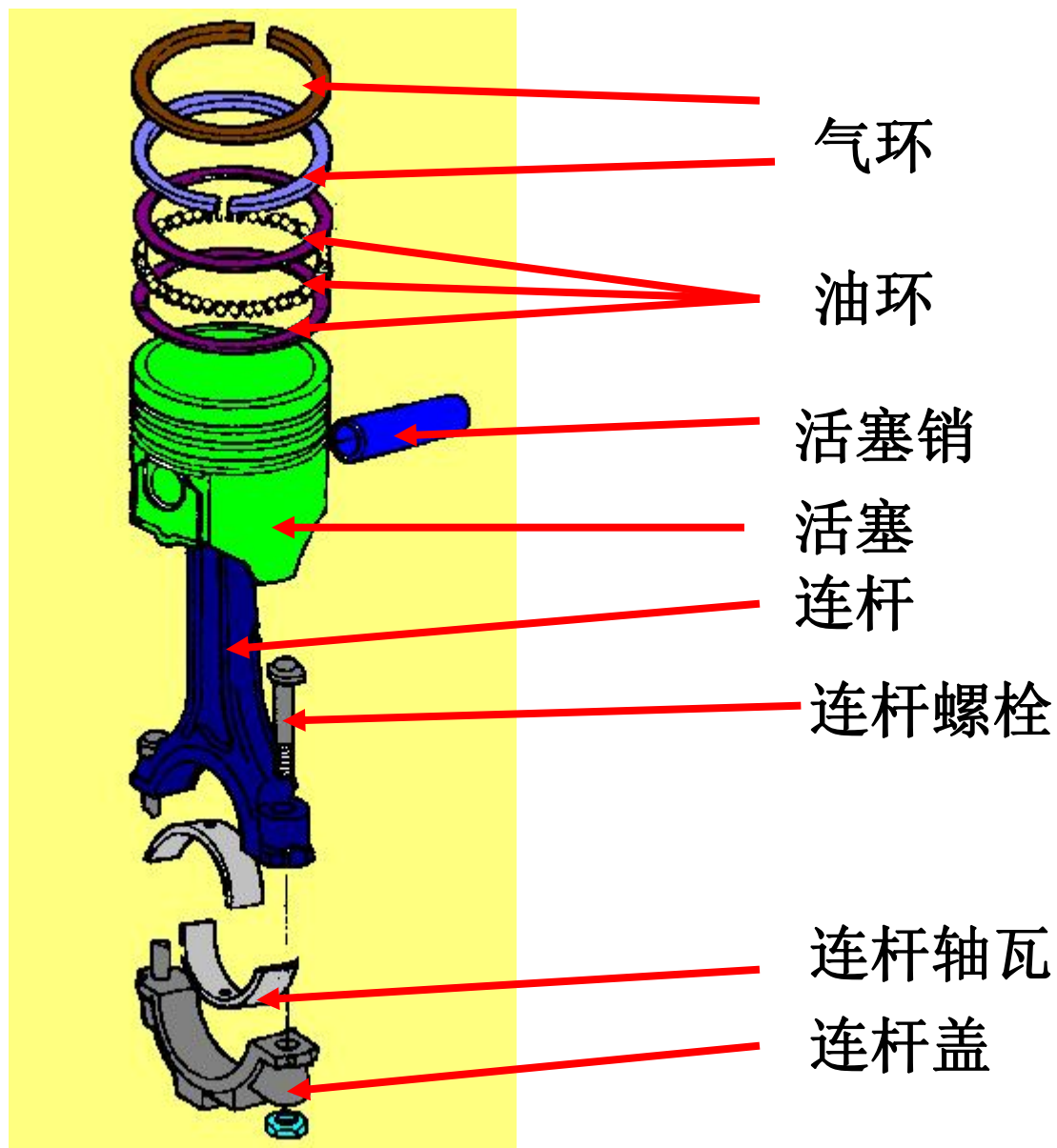
## 二、组成：

1、**机体组**：气缸体、曲轴箱、油底壳、气缸套、气缸盖和气缸垫——**不动件**

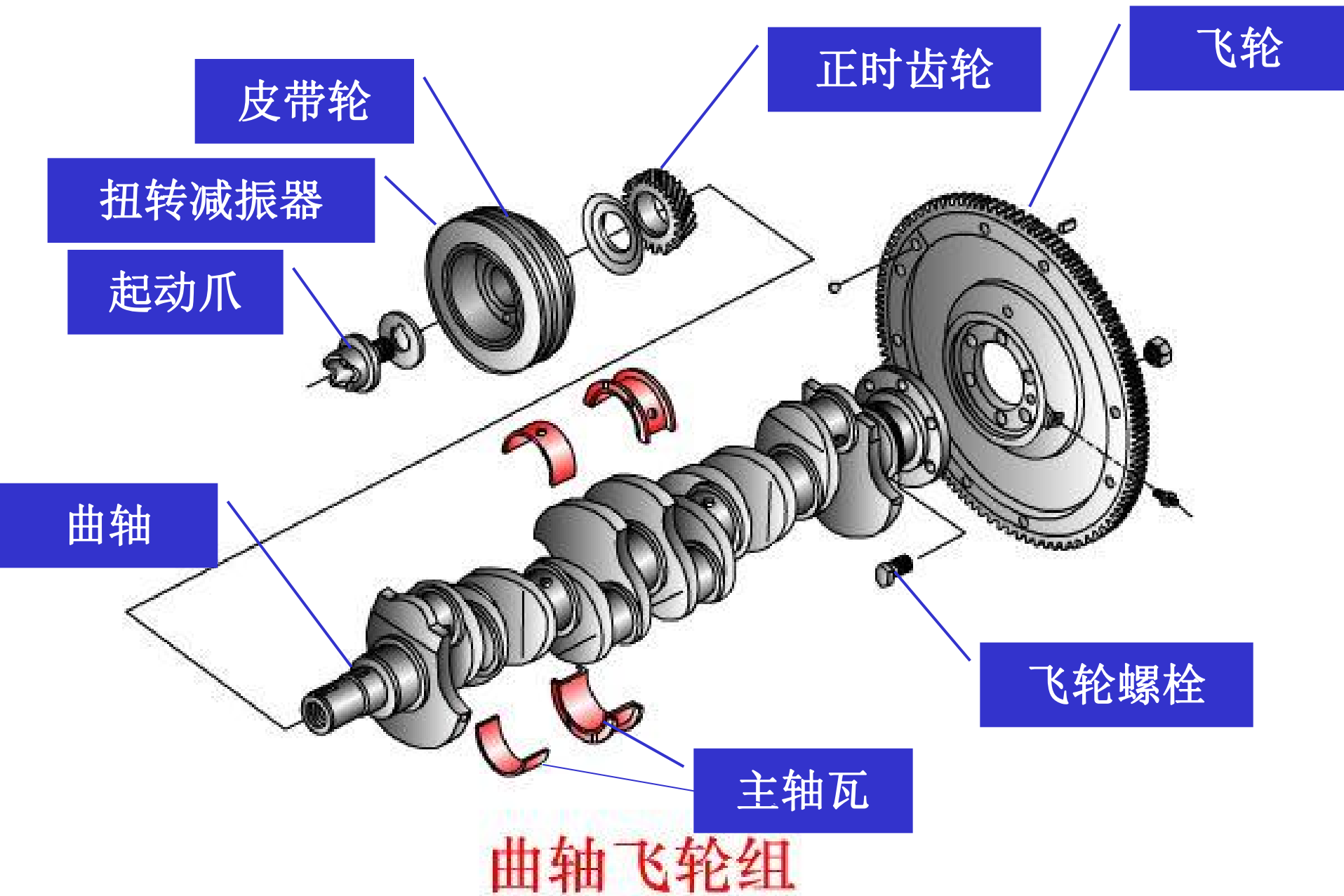


## 2、活塞连杆组：

由活塞、活塞环、活塞销和连杆-----运动件



### 3、曲轴飞轮组：曲轴、飞轮 减振器



### 三、工作条件:

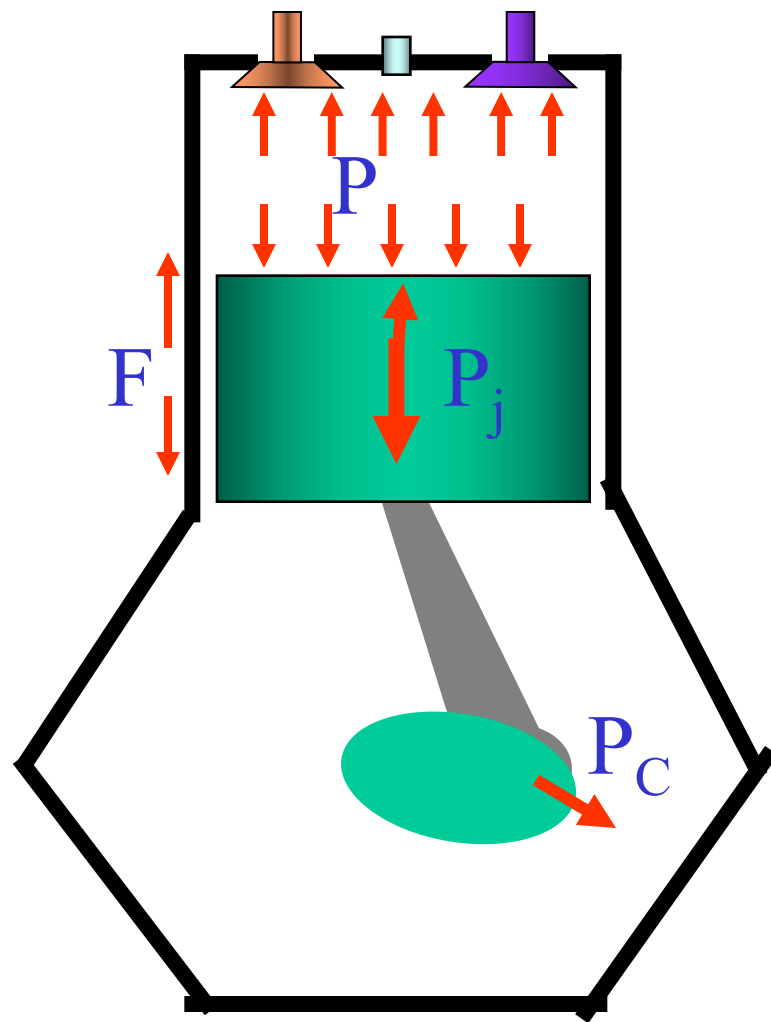
发动机工作时，曲柄连杆机构直接与高温高压气体接触，曲轴的旋转速度又很高，活塞往复运动的线速度相当大，同时与可燃混合气和燃烧废气接触，曲柄连杆机构还受到化学腐蚀作用，并且润滑困难。可见，曲柄连杆机构的工作条件相当恶劣，它要承受高温、高压、高速和化学腐蚀作用。

工作条件:高温, 高压, 高速, 化学腐蚀

受力分析:气体作用力, 往复惯性力, 离心力, 摩擦力

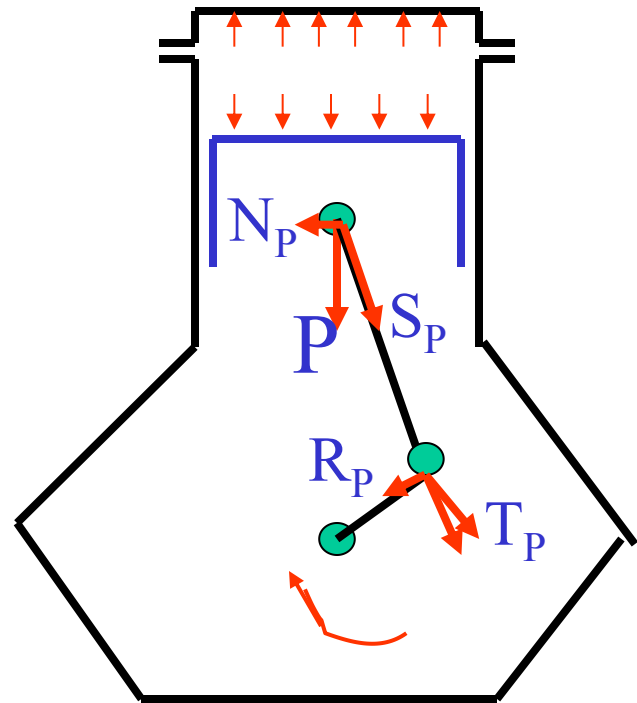
### 三、受力分析

曲柄连杆机构受的力主要有气压力 $P$ ，往复惯性力 $P_j$ ，旋转离心力 $P_c$ 和摩擦力 $F$ 。

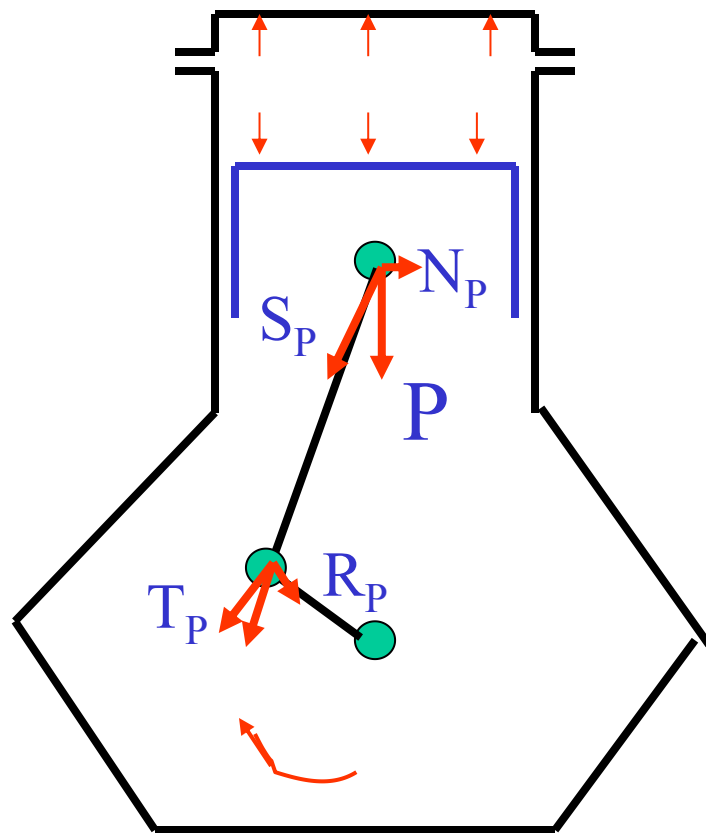


1、 气压力：气压力 $P$ 的集中力 $P_p$ 分解为侧压力 $N_p$ 和 $S_p$ ， $S_p$ 分解为 $R_p$ 和 $T_p$ ， $R_p$ 使曲轴主轴颈处受压， $T_p$ 为周向产生转矩的力。

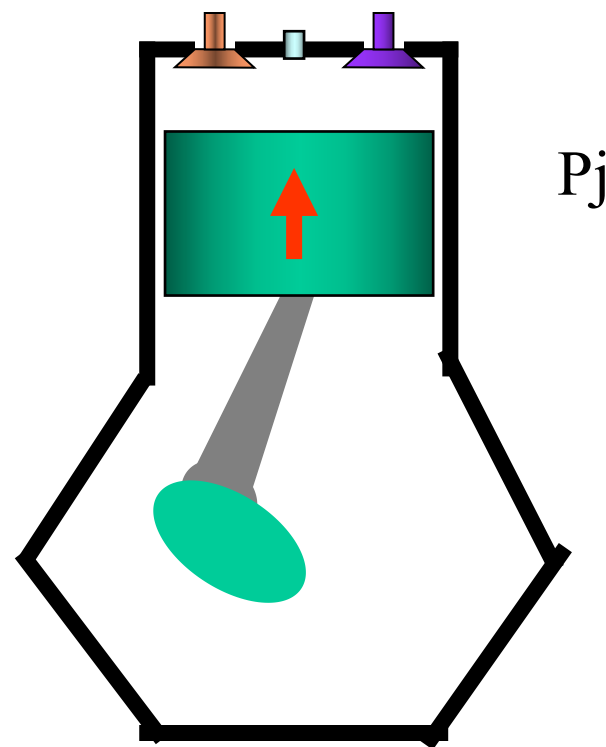
(1) 做功行程：侧压力 $N_p$ 向左，活塞的左侧面压向气缸壁，左侧磨损严重



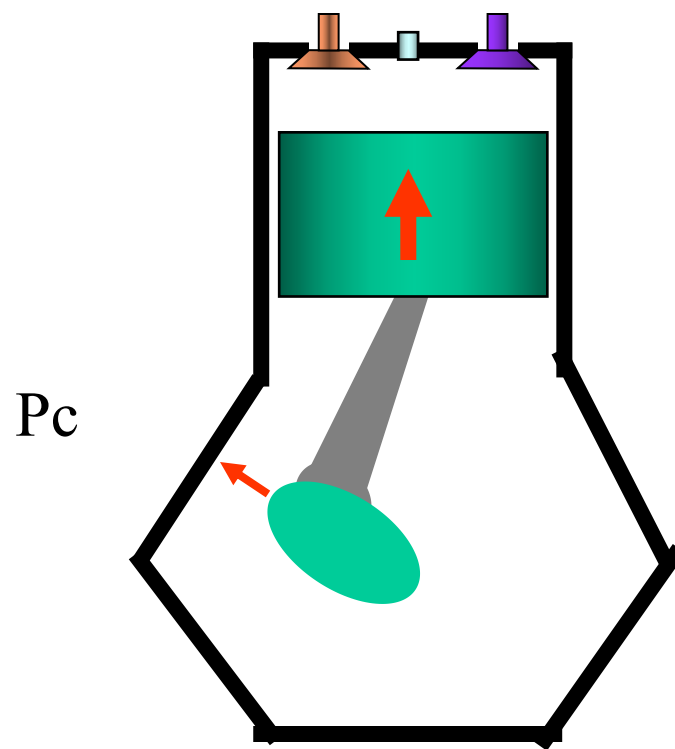
(2)压缩行程：侧压力 $N_P$ 向右，活塞的右侧面压向气缸壁，左侧磨损严重



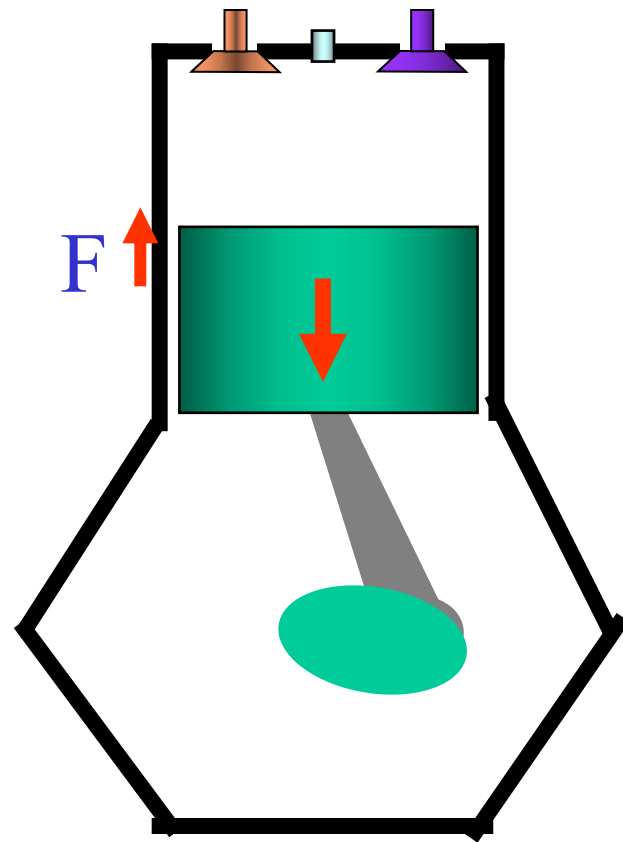
2、 往复惯性力 $P_j$ ：活塞在上半行程时，惯性力都向上，下半行程时，惯性力都向下。在上下止点活塞运动方向改变，速度为零，加速度最大，惯性力也最大；在行程中部附近，活塞运动速度最大，加速度为零，惯性力也等于零。



3、离心惯性力 $P_C$ ：旋转机件的圆周运动产生离心惯性力，方向背离曲轴中心向外。离心力加速轴承与周颈的磨损，也引起发动机振动而传到机体外。

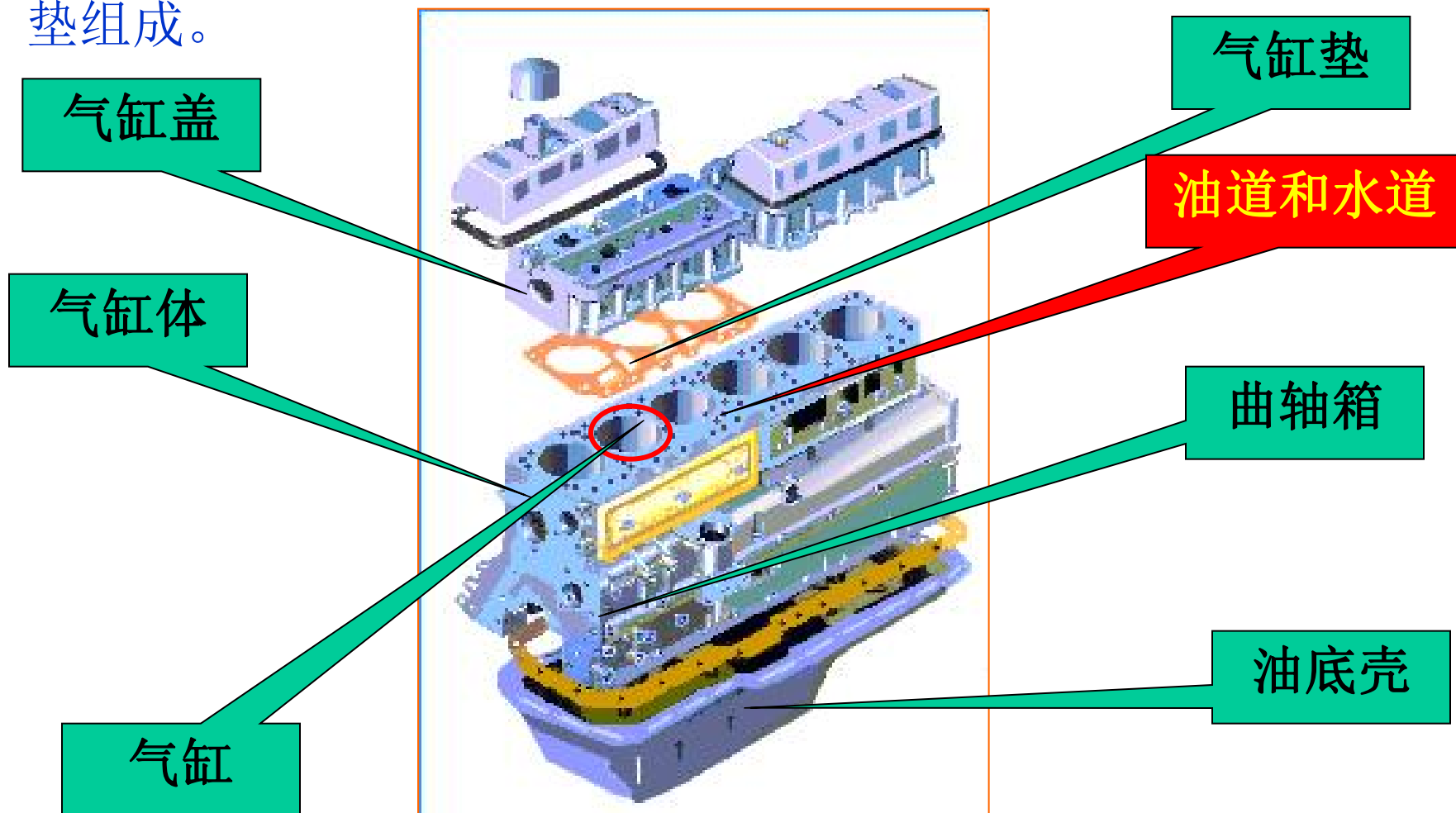


4、摩擦力 $F$ ：指相互运动件之间的摩擦力，它是造成配合表面磨损的根源。



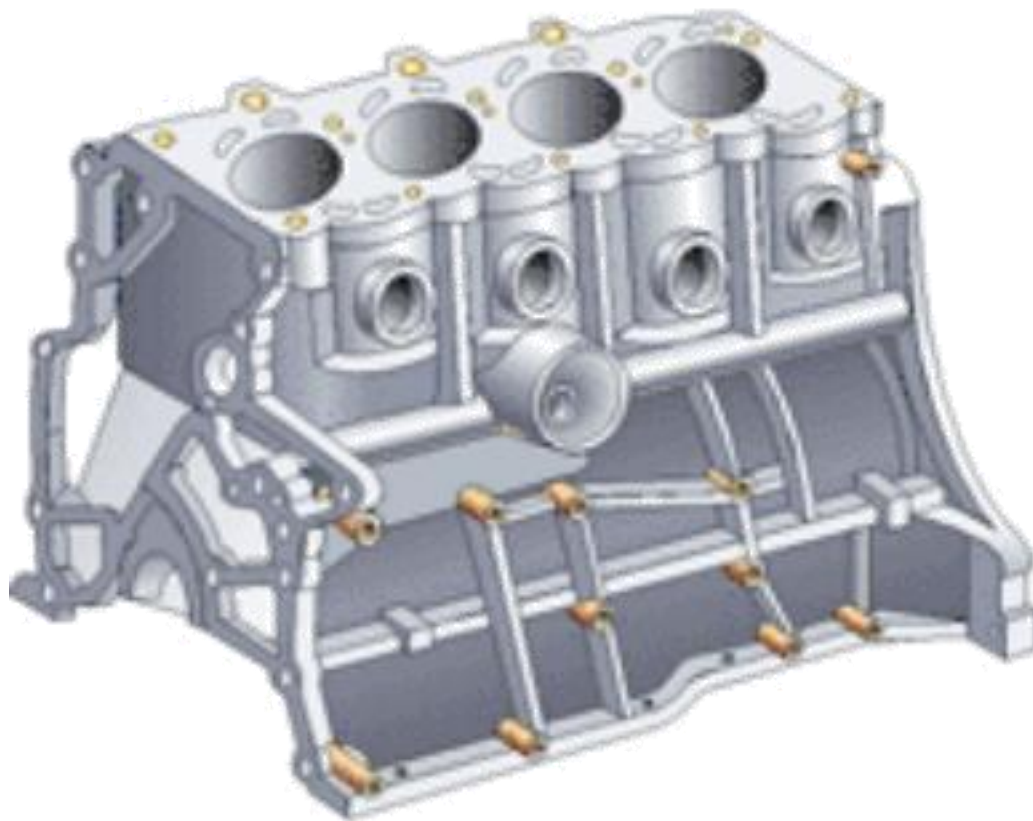
## 2.1 机体组

机体是构成发动机的骨架，是发动机各机构和各系统的安装基础，其内、外安装着发动机的所有主要零件和附件，承受各种载荷。因此，机体必须要有足够的强度和刚度。机体组由气缸体、曲轴箱、油底壳、气缸套、气缸盖、气缸垫组成。



## 1、 气缸体

水冷发动机的气缸体和上曲轴箱常铸成一体，称为气缸体——曲轴箱，也可称为气缸体。气缸体一般用灰铸铁铸成，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。



汽缸体

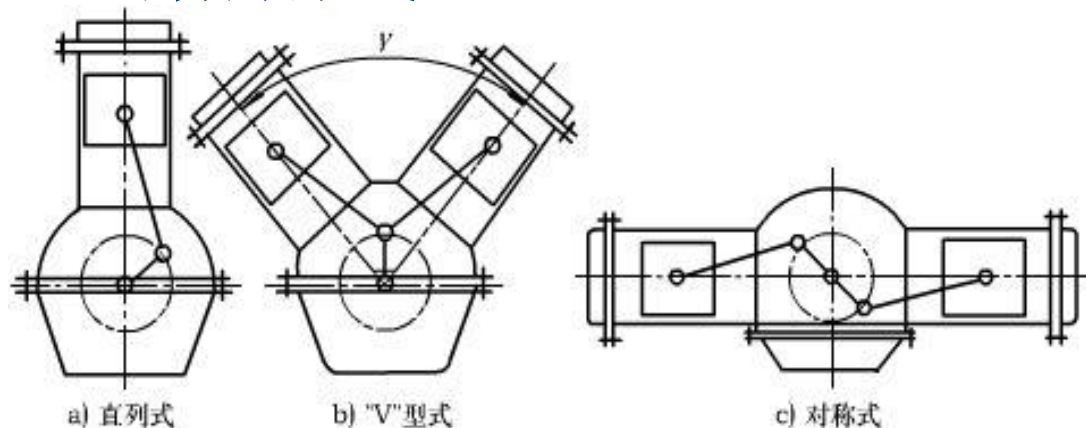
# 气缸体的分类

## 1) 根据气缸的排列方式

(1) 直列式：多用于六缸以下的发动机。

(2) V型式：缩短了发动机的长度和高度，多用于八缸以上发动机。

(3) 对置式：是V型的特殊形式。



汽缸的排列型式



直列型

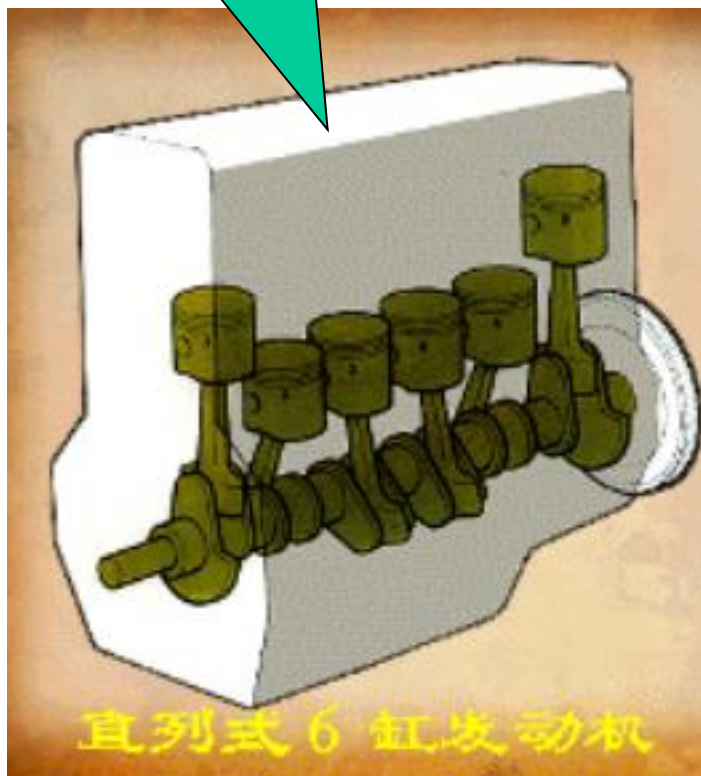


V 型



对置型

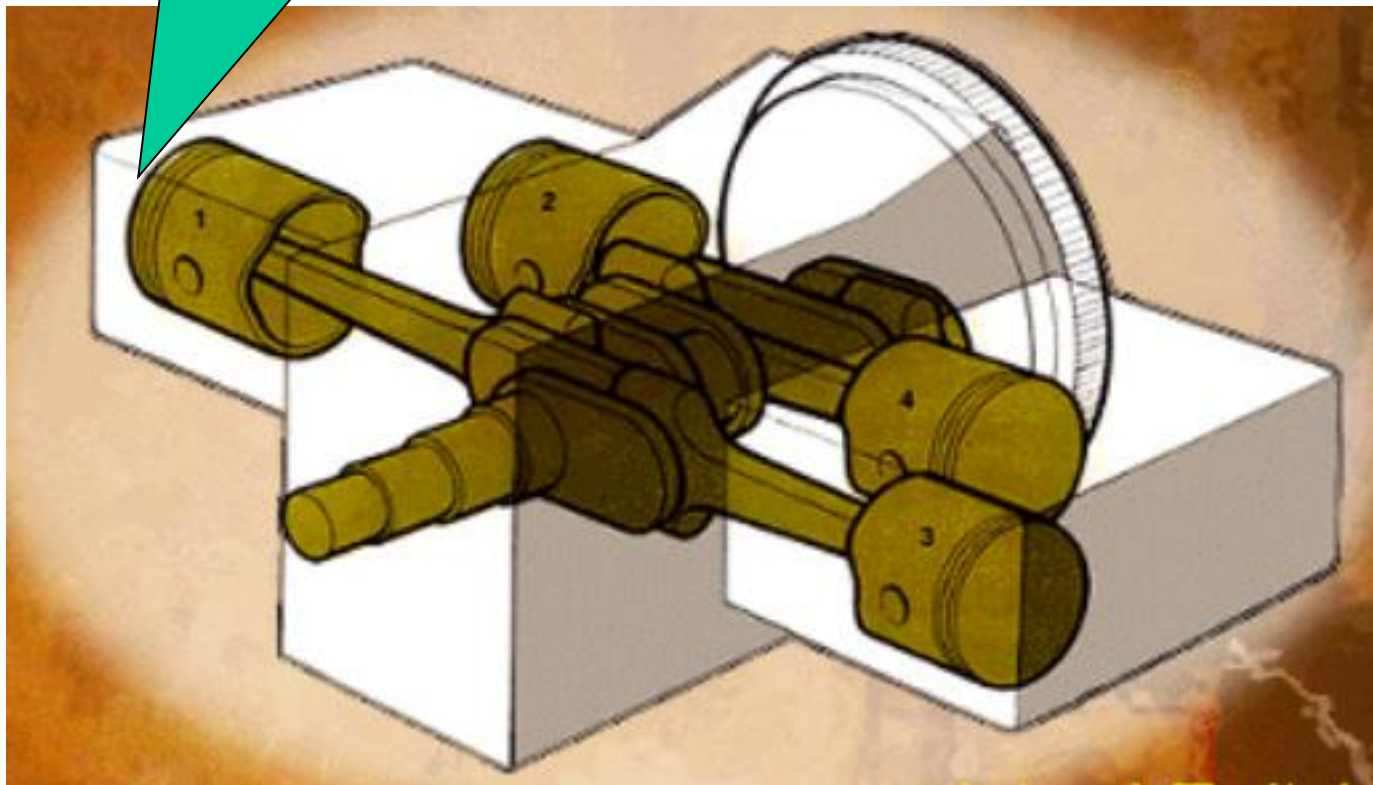
结构简单、加工容易，但发动机长度和高度较大。



缩短了机体的长度和高度，增加了刚度，减轻了发动机的重量；形状复杂，加工困难。



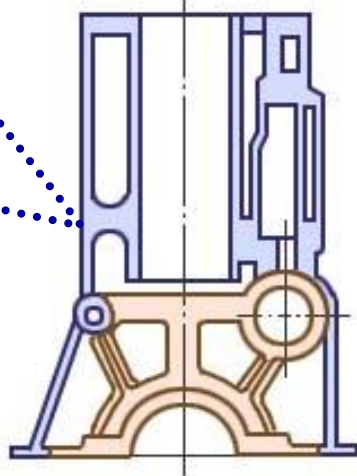
高度小，总体布置方便。



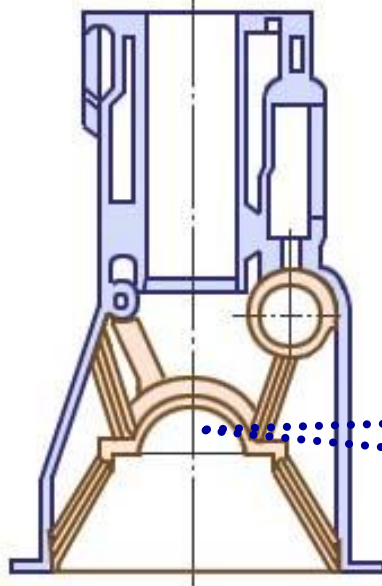
对置气缸式发动机

## 2) 按气缸体与油底壳安装平面位置不同分为

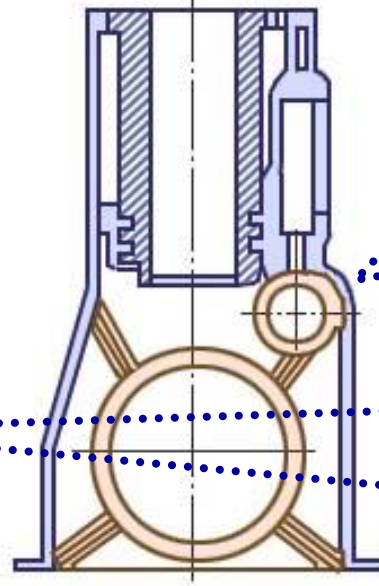
油底壳安装平面和曲轴旋转中心在同一高度。



一般式



龙门式



隧道式

气缸体上曲轴的主轴承孔为整体式。

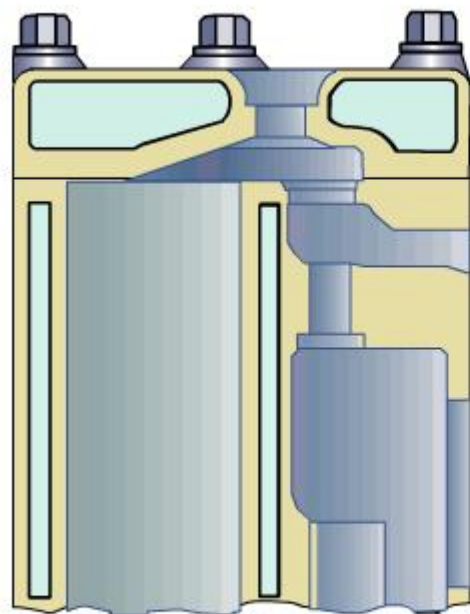
油底壳安装平面低于曲轴的旋转中心。

| 名称           | 性能                                              | 应用                    |
|--------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| 一般式<br>(平分式) | 机体高度小、重量轻、结构紧凑，便于加工拆卸。刚度和强度差。                   | 492Q汽油机，90系列柴油机。（中小型） |
| 龙门式          | 强度和刚度较好。工艺性差、结构笨重、加工困难。（大中型发动机）                 | 捷达轿车、富康轿车、桑塔纳轿车       |
| 隧道式          | 结构紧凑、刚度和强度好。难加工、工艺性差、曲轴拆卸不方便。主轴承同轴度易保证，主轴承用滚动轴承 | 负荷较大的柴油机上。            |

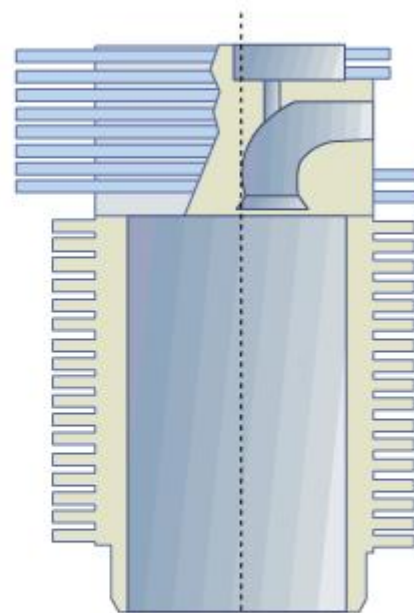
### 3) 根据冷却方式不同

(1)、水冷

(2)、风冷



水冷



风冷

#### 4) 整体式气缸体和镶嵌式气缸体

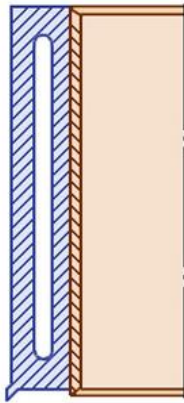
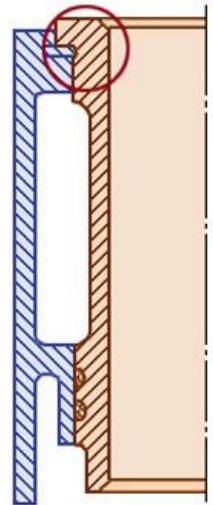
- (1)、整体式气缸体：气缸直接镗在气缸体上。
- (2)、镶嵌式气缸体：气缸套镶嵌到气缸体内的气缸。

| 类型  | 构造                           | 性能及应用                           |
|-----|------------------------------|---------------------------------|
| 整体式 | 气缸直接镗在气缸体上                   | 强度和刚度好，能承受大负荷。成本高。              |
| 镶嵌式 | 用耐磨优质材料制成气缸套，再装到一般材料制成的气缸体内。 | 降低了制造成本，便于修理和更换气缸套，延长了气缸体的使用寿命。 |

## 气缸套

目的：解决成本与寿命之间的矛盾。  
气缸内镶了用耐磨的高级铸铁材料制成的气缸套，而缸体则可用价廉的普通铸铁或质量轻的铝合金制成，这样，既延长了使用寿命，又节省了好材料。

5) 干缸套和湿缸套

| 名称  | 特点                                                                    | 示意图                                                                                  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 干缸套 | 外壁不直接与冷却水接触。<br>1) 壁厚较薄（1mm~3mm）；<br>2) 与刚体承孔过盈配合；<br>3) 不易漏水漏气。      |   |
| 湿缸套 | 外壁直接与冷却水接触。<br>1) 壁厚较厚（5mm~9mm）；<br>2) 散热效果好；<br>3) 易漏水漏气；<br>4) 易穴蚀。 |  |

强度和刚度都较好，加工复杂，拆装不便，散热不良。

性能如何？

散热良好、冷却均匀、加工容易。  
强度和刚度不如干缸套，易漏水。

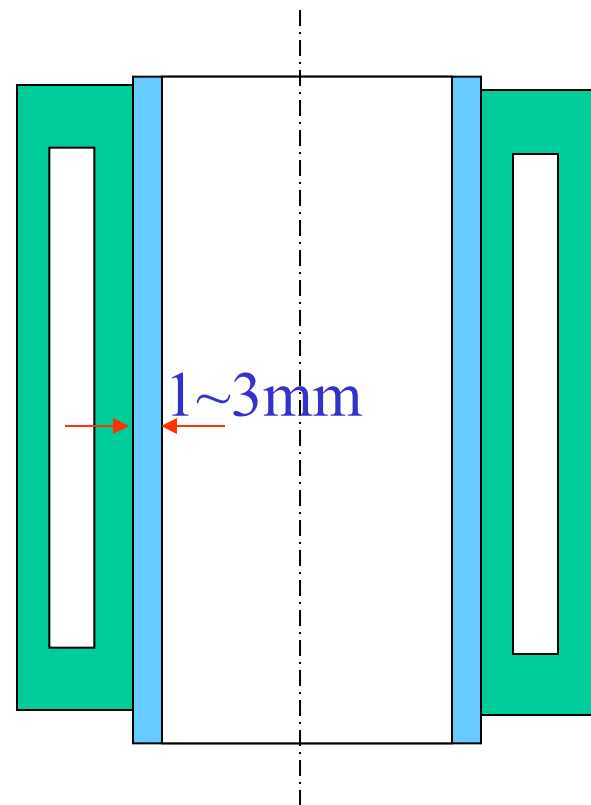
## 2.型式

### (1) 干式缸套1~3mm

**定义：**其外表面不直接与冷却水接触。

**特点：**

- 1) 壁厚较薄（1mm~3mm）；
- 2) 与缸体承孔过盈配合；
- 3) 不易漏水漏气。

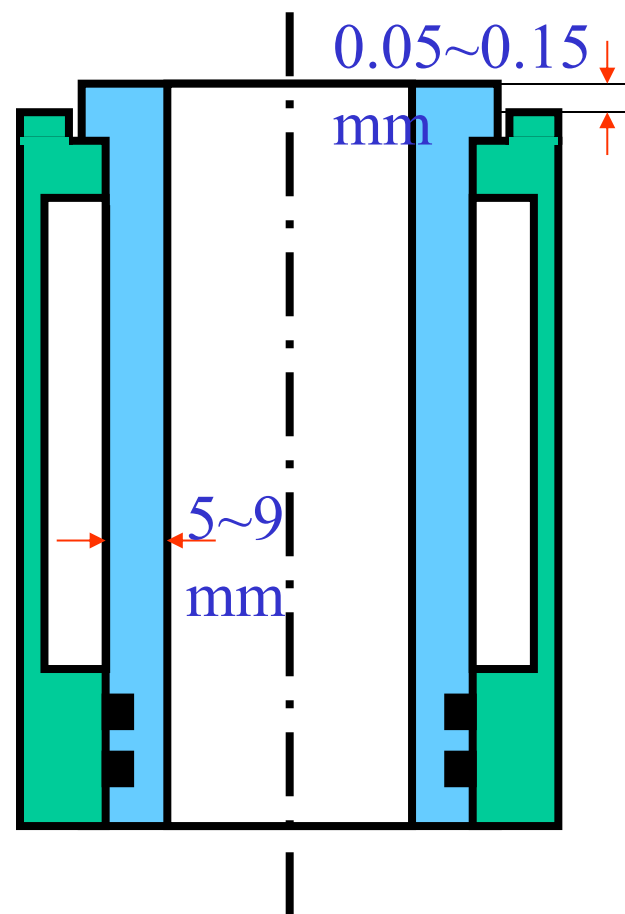


## (2) 湿式缸套

**定义：**其外表面直接与冷却水接触。

**特点：**

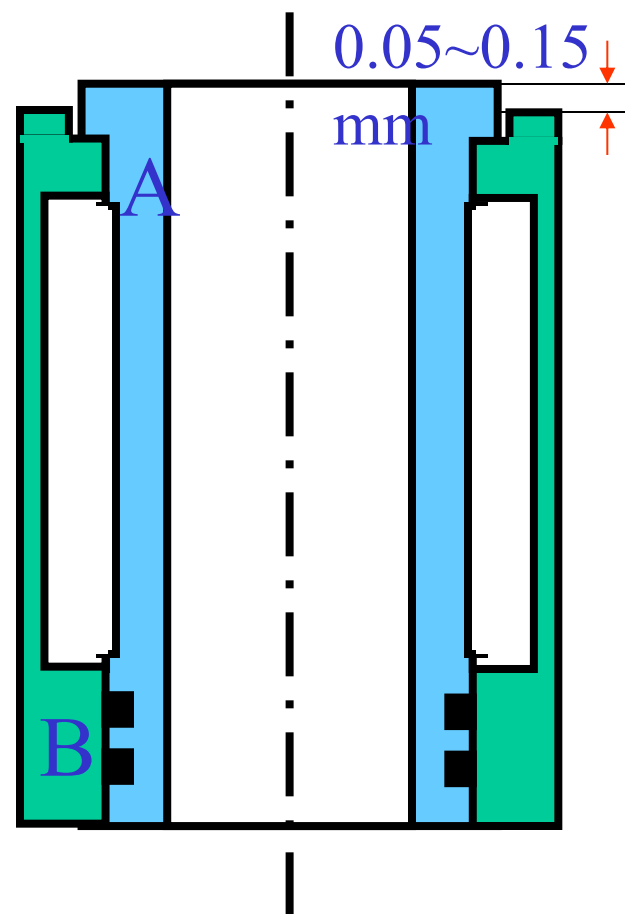
- 1) 壁厚较厚  
(5mm~9mm) ;
- 2) 散热效果好;
- 3) 易漏水漏气;
- 4) 易穴蚀



定位：

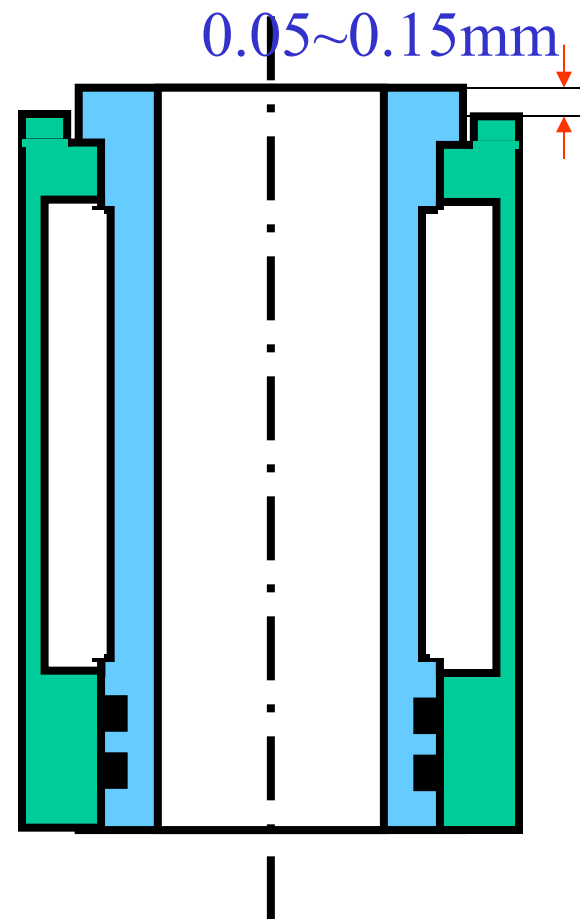
1) 径向：靠上下两个凸出的、与气缸体间为动配合的圆环带A和B。

2) 轴向：利用缸套上部凸缘与缸体相应的台阶。



## 密封:

上部：缸套顶面高出缸体  
 $0.05\text{mm}\sim 0.15\text{mm}$ ，当气缸  
盖螺栓拧紧后，缸套与缸体  
凸台接合处、缸套与缸垫接  
合处，承受较大的压紧力。



1) 下部: 1~3个耐热耐油的橡胶密封圈。

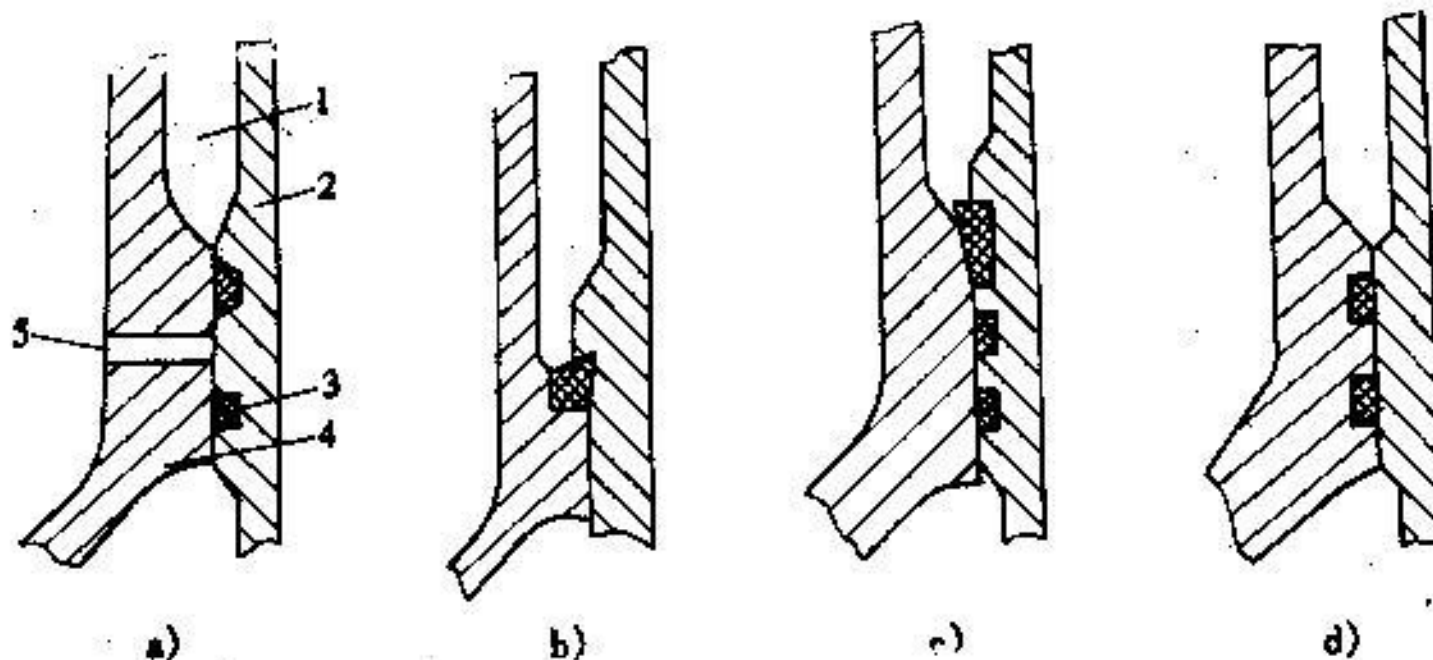


图 2-9 缸套下端的密封形式

a)、c)、d) 涨封式, b) 压封式

## 2、气缸盖与燃烧室

### 1)、气缸盖（汽油机多为整体式；柴油机多为分开式）

功用：密封气缸的上部，与活塞、气缸等共同构成燃烧室。

工作条件：由于接触温度很高的燃气，所以承受的热负荷很大。

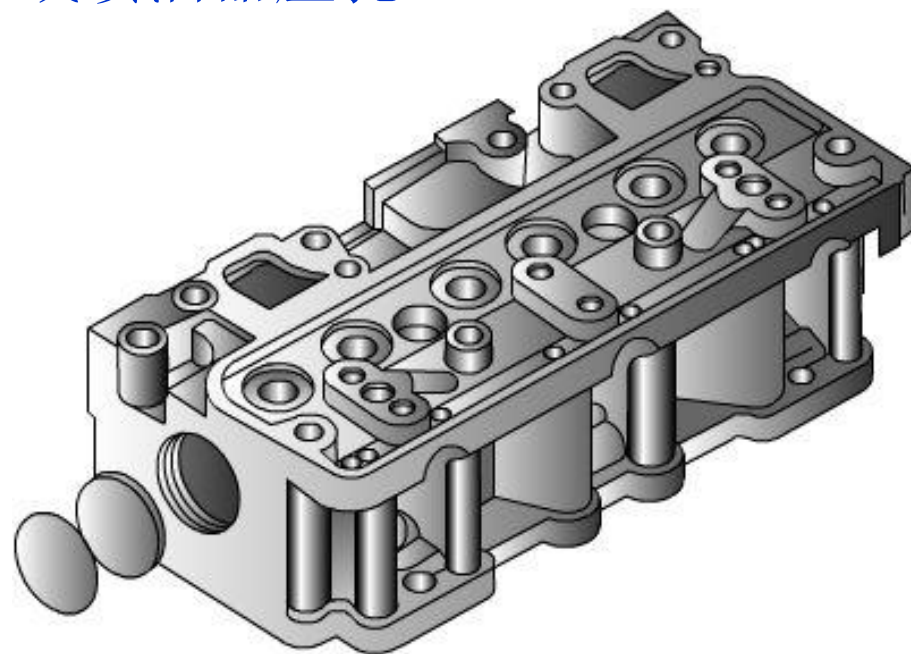
材料：灰铸铁或合金铸铁，铝合金。

气缸盖上有冷却水套、燃烧室、进排气门道、气门导管孔和进排气门座、火花塞孔（汽油机）或喷油器座孔。

多缸一盖安装时：由中央对称向四周扩展拧紧螺栓分2~3次。拆卸相反顺序。

铝合金缸盖冷机拧紧即可；

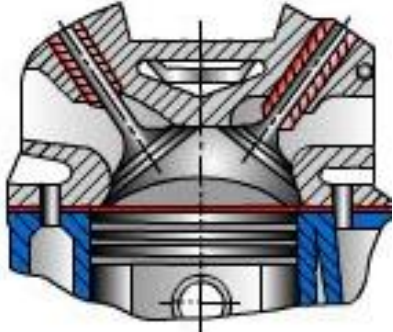
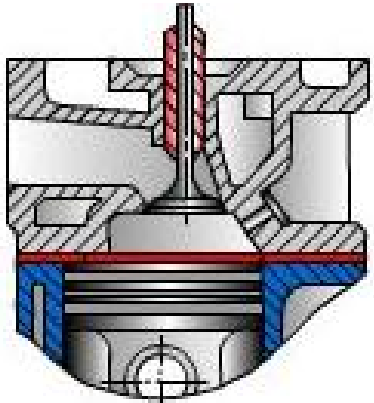
铸铁缸盖冷机拧紧后热机还需拧紧一次



EQ6100-1型汽油机气缸盖

## 2)、汽油机燃烧室

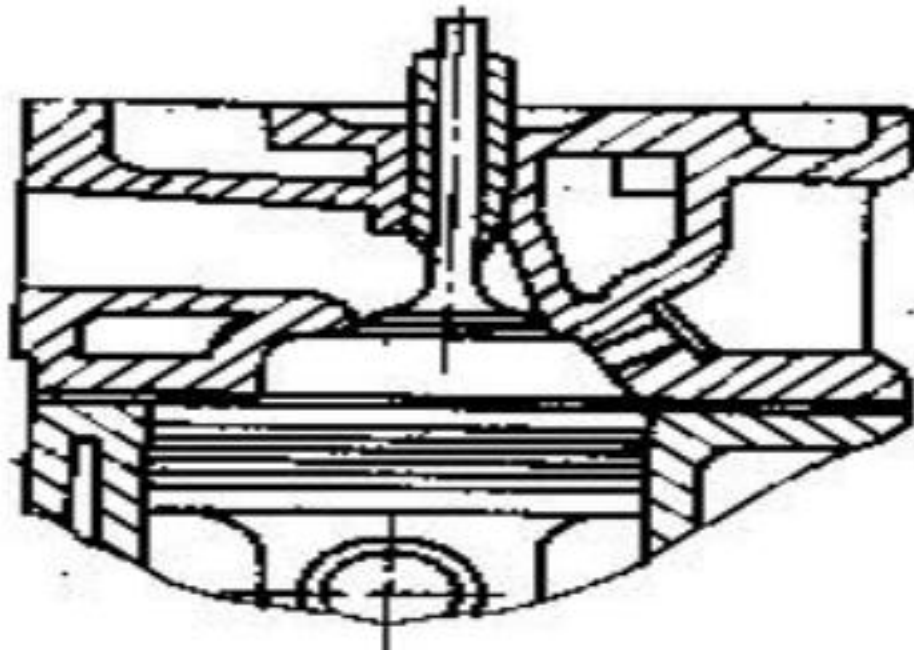
要求：结构紧凑，冷却面积小；能使混合气在压缩行程中形成良好的涡流运动  
类型

| 名称  | 特点                                            | 示意图                                                                                   | 应用           |
|-----|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 半球形 | 结构紧凑、排气效果好<br>火焰行程短、燃烧速率高、热损失小、热效率高           |    | 桑塔纳 夏利<br>富康 |
| 楔形  | 结构简单、紧凑、散热面积小、热损失少；火花塞置于燃烧室最高处，火焰传播距离长，燃烧速度较快 |    | 切诺基          |
| 盆形  | 工艺性好、成本低、进排气效果不如半球形燃烧室，燃烧速度较低                 |  | 捷达<br>奥迪     |

## 2)、汽油机燃烧室

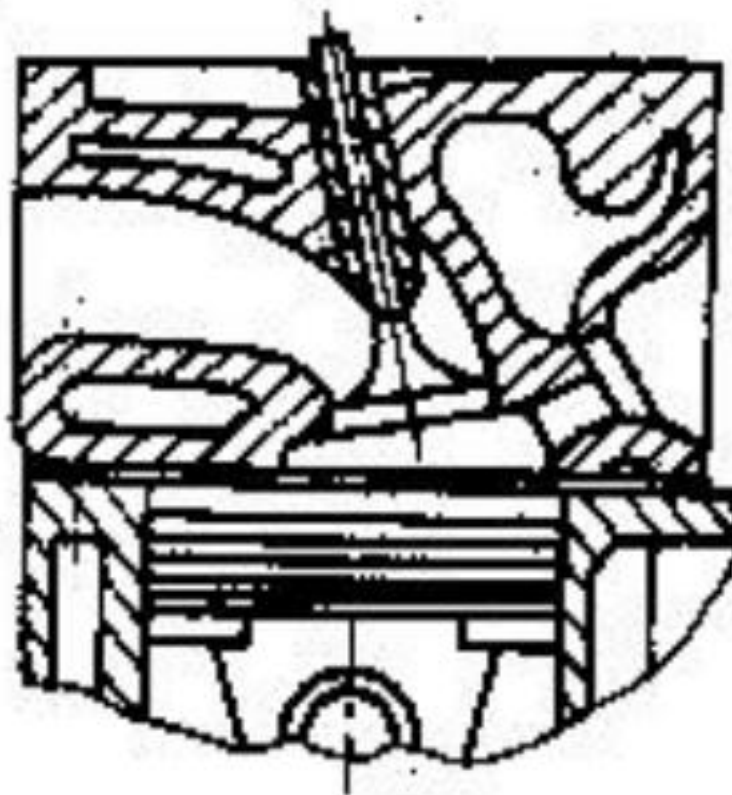
(1) 盆形燃烧室：其特点为

- 1) 气门平行于气缸轴线；
- 2) 有挤气—冷激面，可形成挤气涡流；
- 3) 盆的形状狭窄，气门尺寸受限，换气质量较差，燃烧速度较低，CO和HC排放较高而NO的排放较低。



(2) 楔形燃烧室：其特点为

- 1) 气门斜置，气流导流较好，充气效率高；
- 2) 有挤气—冷激面，可形成挤气涡流；  
燃烧速度较快，CO和HC排放较低而NO的排放稍高。

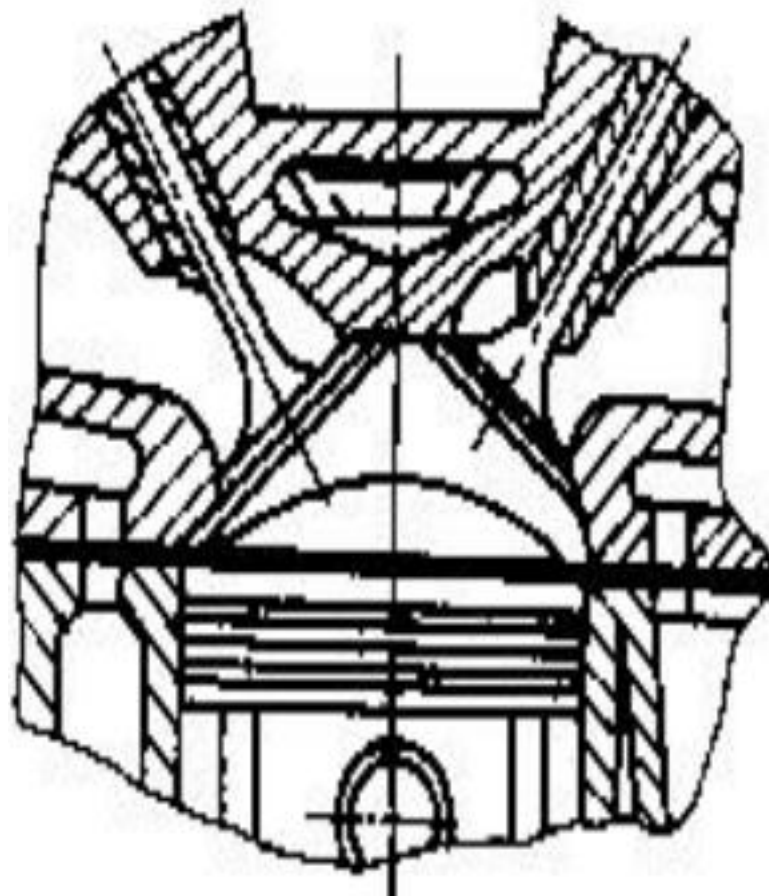


(3) 半球形燃烧室：其特点为

1) 气门成横向V型排列，因此气门头部直径可以做得较大，换气好；

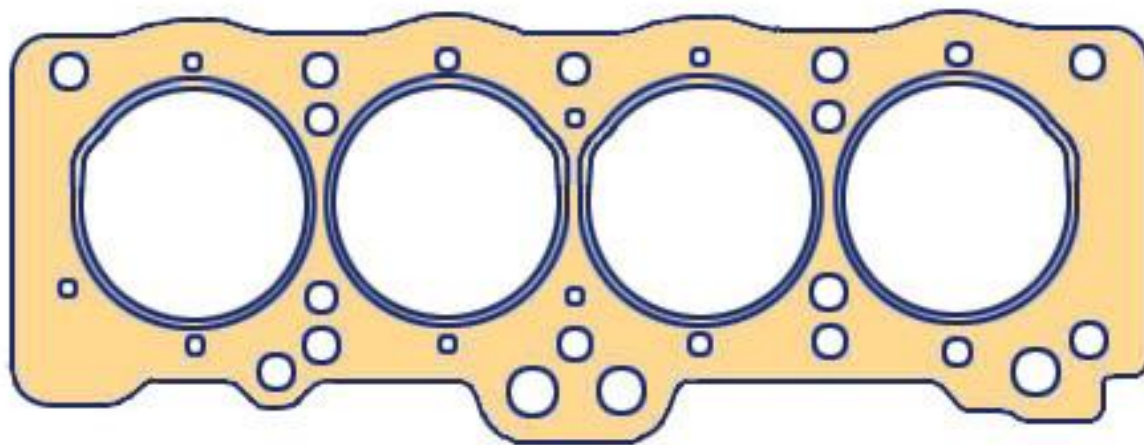
2) 火花塞位于燃烧室的中部，火焰行程短，燃烧速度最高，动力性、经济性最好。是高速发动机常用的燃烧室；

3) CO和HC排放最少，而NO的排放较高。



### 3、气缸垫

- 1) . 作用：保证缸体与缸盖间的密封，防止漏水、漏气、窜油 。
- 2) . 材料：有弹性、耐热性、耐压性
- 3) . 安装时注意方向



汽缸垫

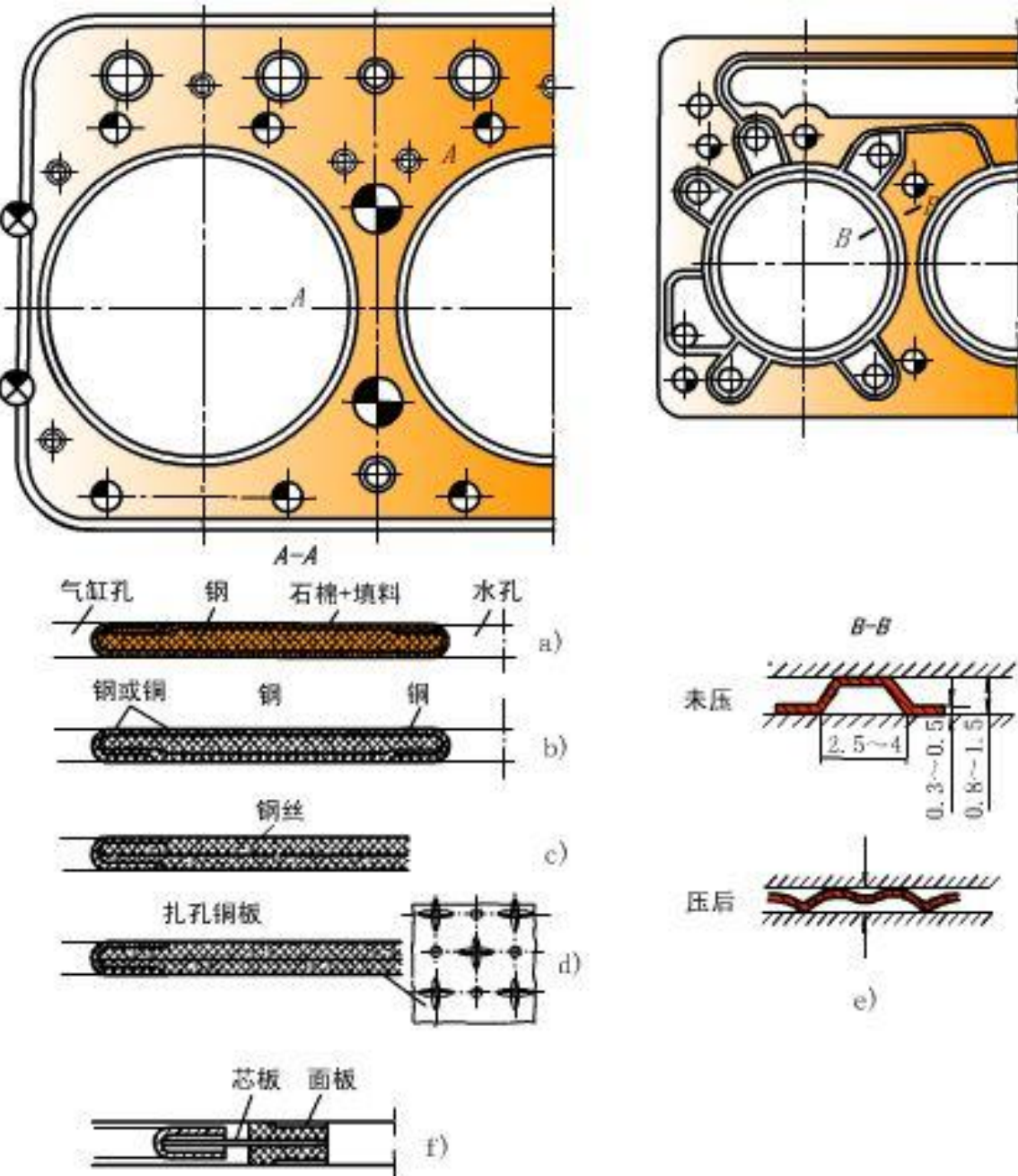
4) . 构造

(1) 金属—石棉垫：（见a、b 外包铜皮和钢片，且在缸口、水孔、油道口周围卷边加强，内填石棉（常掺入铜屑或钢丝，以坚强导热）。

(2) 金属骨架—石棉垫：以编织的钢丝网（图c）或有孔钢板（图e）为骨架，外覆石棉，只在缸口、水孔、油道口处用金属片包边。

(3) 纯金属垫：（见图e）由单层或多层金属片（铜、铝或低碳钢）制成，用于某些强化发动机。

(4) 安装注意：金属皮的金属—石棉垫，缸口金属卷边一面应朝向易修整接触面或硬平面。因卷边一面会对与其接触的平面造成压痕变形。

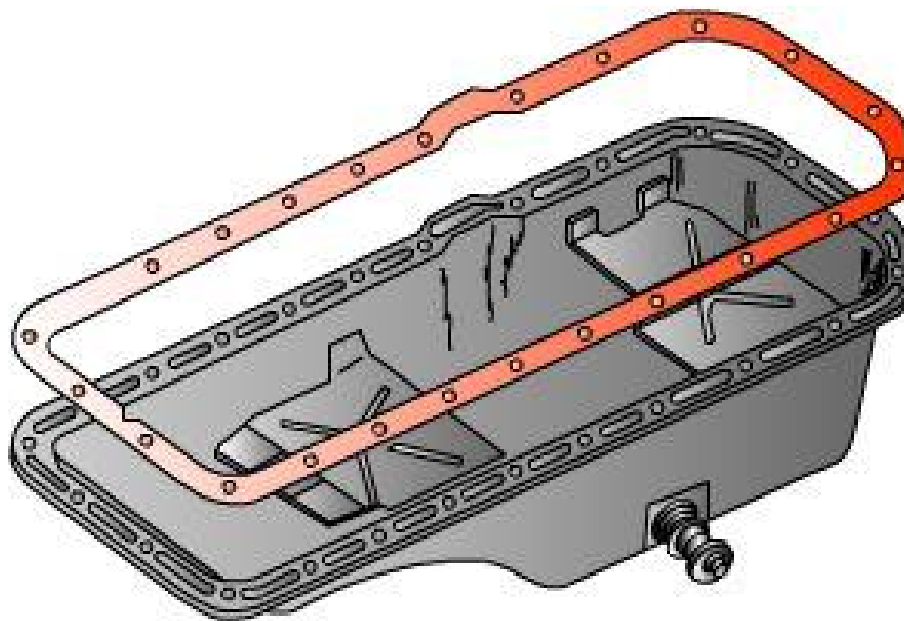


气缸盖衬垫的结构

a)、b)、c)、d)金属—石棉板；e)冲压钢板；f)无石棉气缸垫

## 4、油底壳

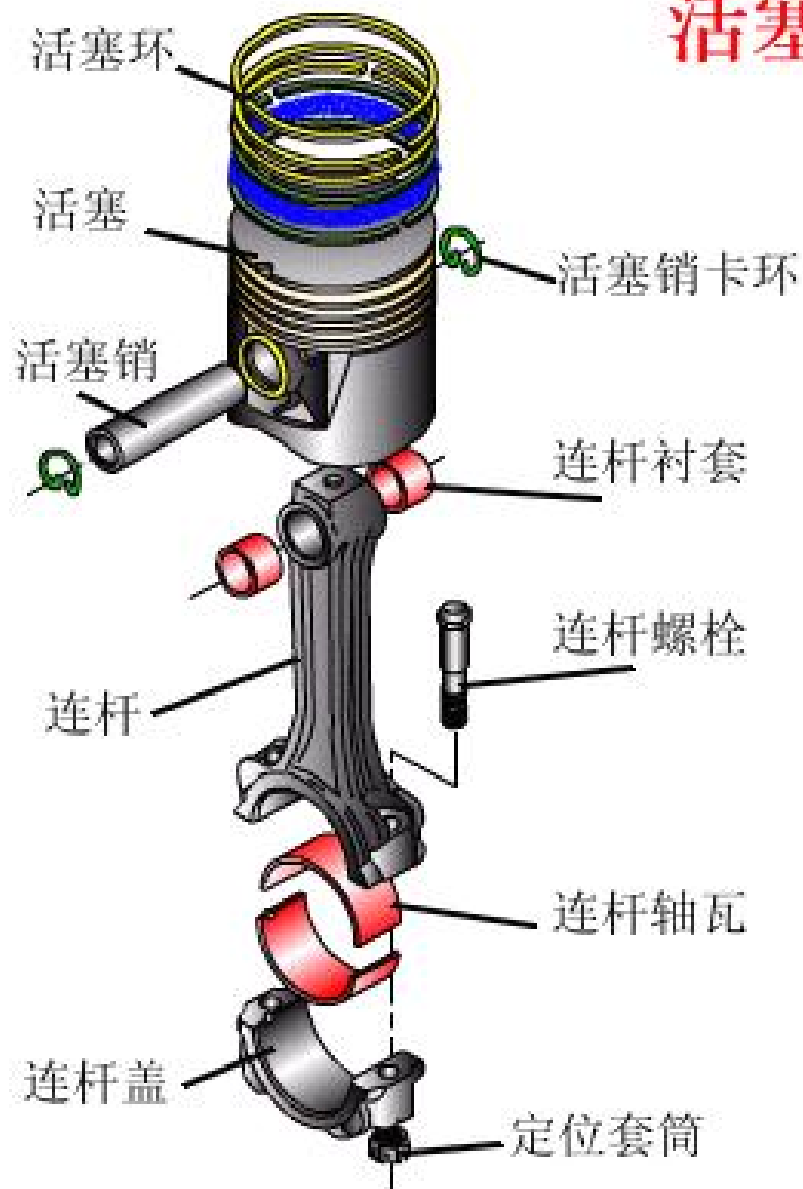
- 1). 功用：贮存和冷却机油并封闭曲轴箱。
- 2). 构造：
  - (1) 用薄钢板冲压而成。
  - (2) 内部设有稳油挡板，以防止汽车振动时油底壳油面产生较大的波动。
  - (3) 最低处有放油塞(磁性)
  - (4) 曲轴箱与油底壳之间有密封衬垫。

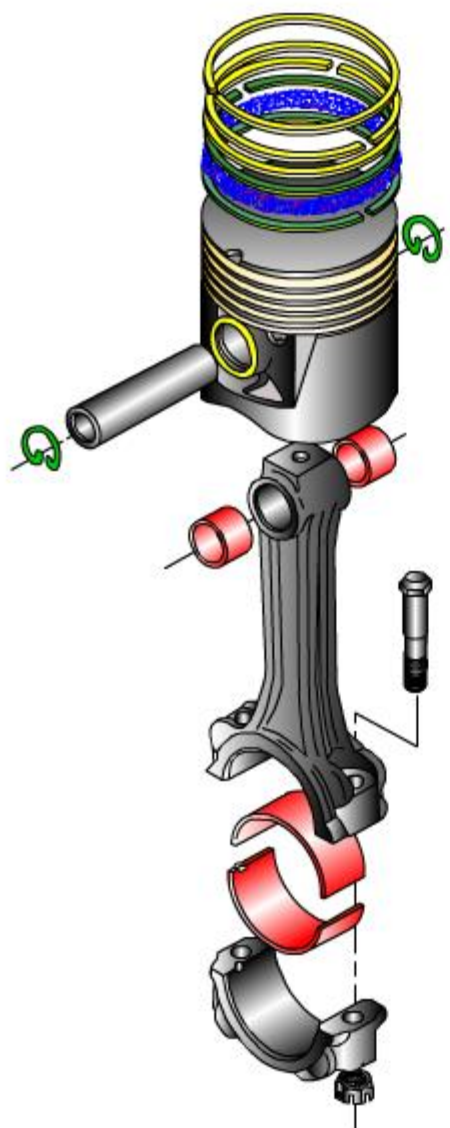


油底壳

## 2.2 活塞连杆组

### 活塞连杆组





活塞连杆组拆装工艺



# 1 活塞

## 1) 功用:

(1) 与气缸盖、气缸壁等共同组成燃烧室;

(2) 承力传力: 承受气体压力, 并将此力传给连杆, 以推动曲轴旋转。

## 2) 工作环境:

高温、散热条件差; 顶部工作温度高达600-700K, 且分布不均匀; 高速, 线速度达到10m/s, 承受很大的惯性力。活塞顶部承受最高可达3-5MPa (汽油机) 的压力, 使之变形, 破坏配合联结。

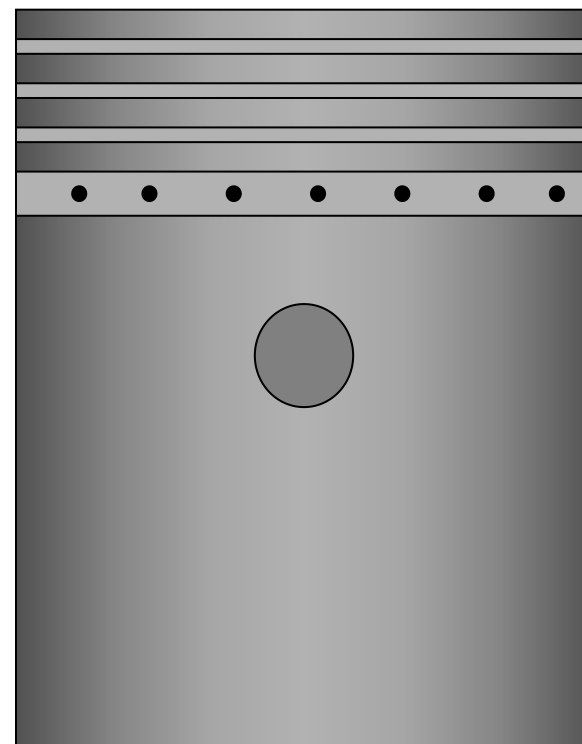
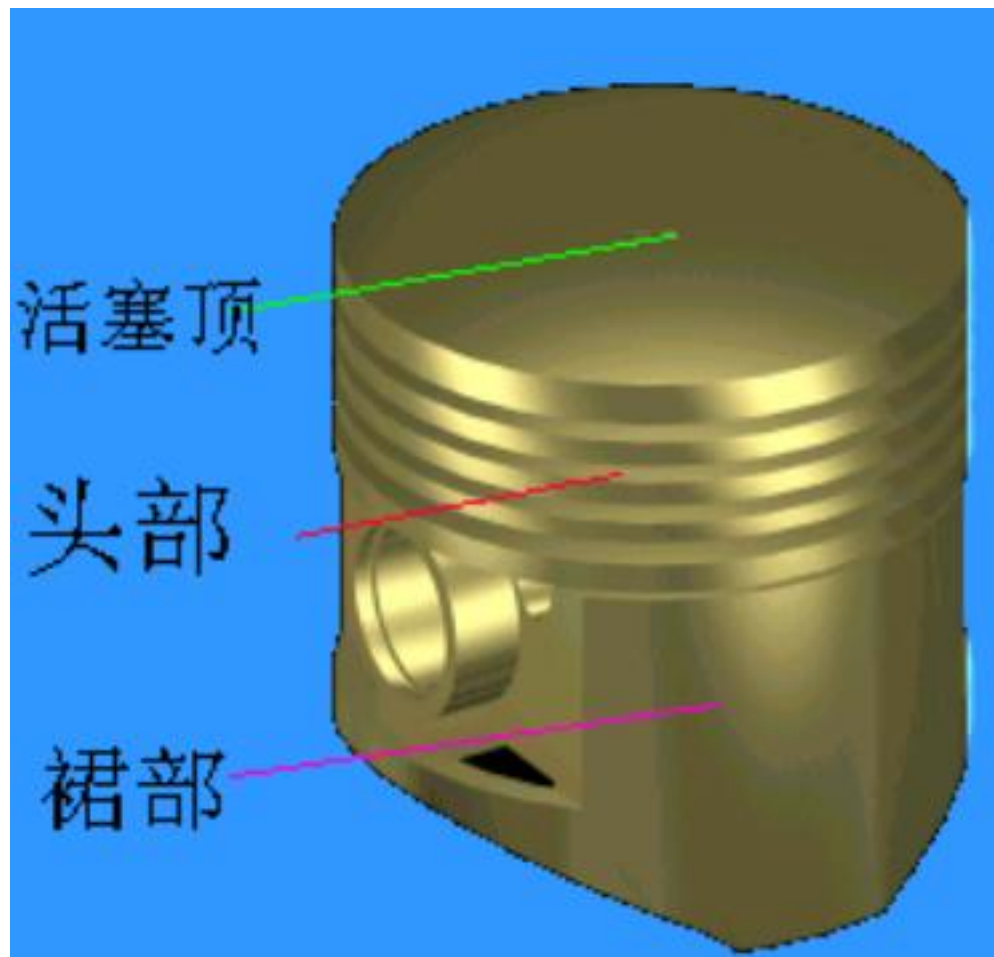
## 3) 材料:

铝合金: 质量小 (约为铸铁活塞的50%~70%);  
导热性好 (约为铸铁的三倍); 3. 热膨胀系数大。

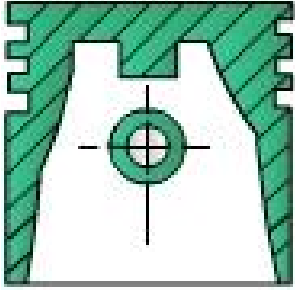
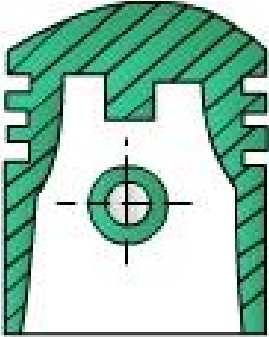
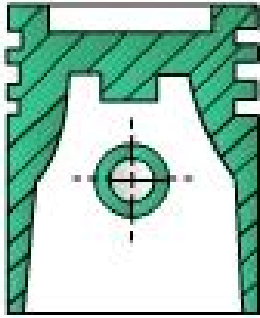
灰铸铁

|          |                    |
|----------|--------------------|
| 活塞应具备的特点 | A 刚度和强度应足够大, 传力可靠。 |
|          | B 导热性能好, 耐高压、高温、磨损 |
|          | C 质量较小, 尽可能减少往复惯性力 |

#### 4) 构造：活塞可分为顶部、头部、裙部

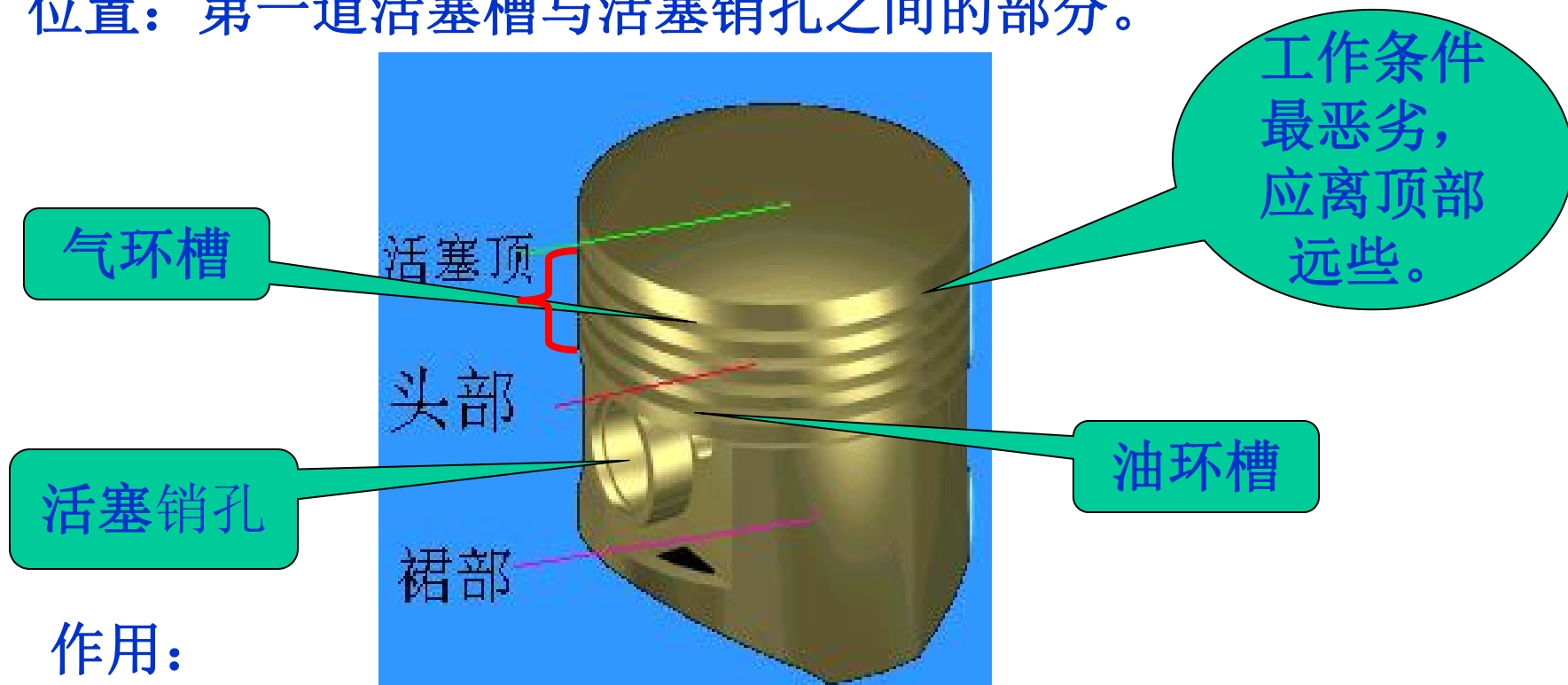


(1)、顶部：是燃烧室的组成部分，用来承受气体压力。

| 形状 | 示意图                                                                                  |                                                                     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 平顶 |    | 结构简单、制造容易、受热面积小、应力分布较均匀，多用在汽油机上。                                    |
| 凸顶 |   | 凸起呈球状、顶部强度高，起导向作用、有利于改善换气过程。                                        |
| 凹顶 |  | 凹坑的形状、位置必须有利于可燃混合气的燃烧；提高压缩比，防止碰气门。（高压压缩比发动机为了防止碰撞气门，也可用凹坑的深度来调整压缩比） |

## 2) 活塞头部

位置：第一道活塞槽与活塞销孔之间的部分。



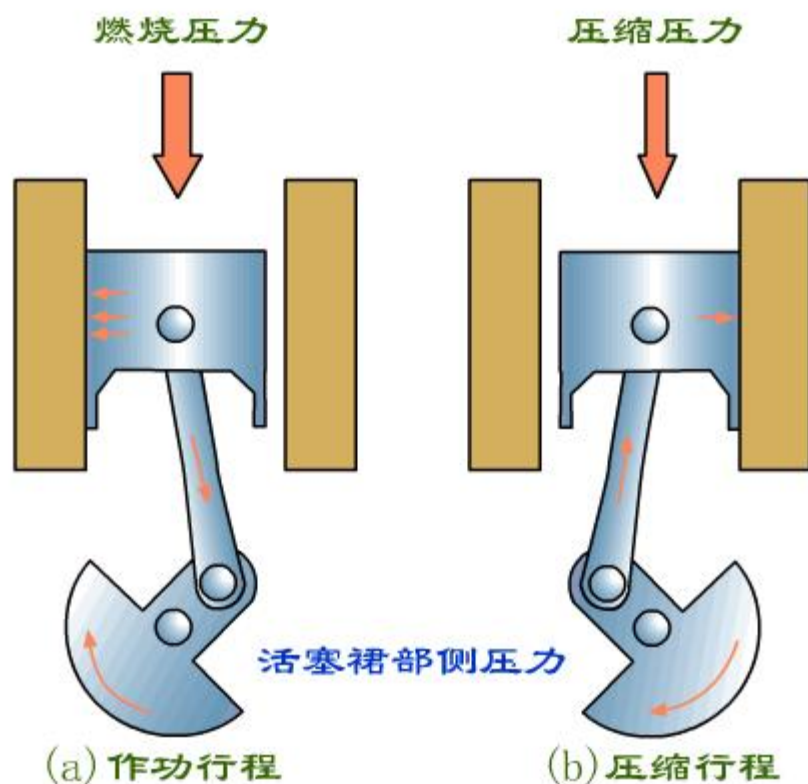
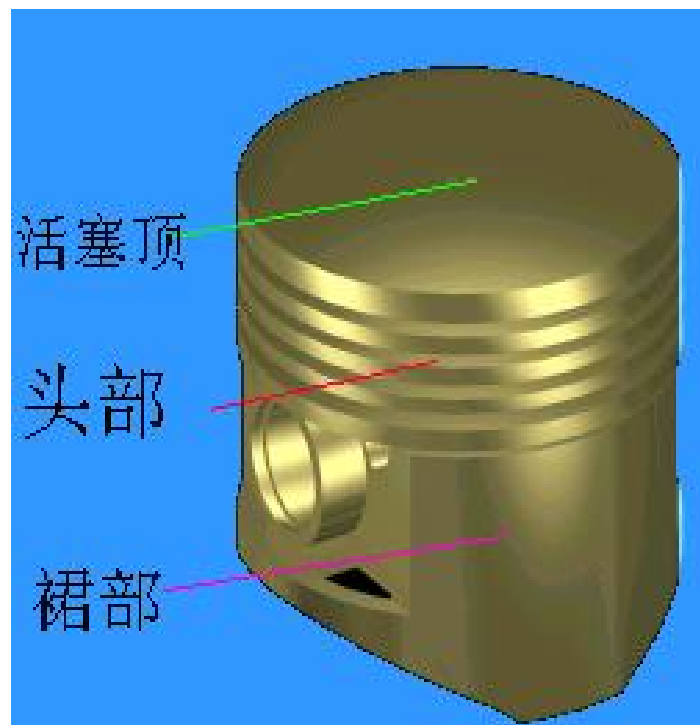
作用：

- (1)、安装活塞环、与活塞环一起密封气缸、
- (2)、防止可燃混合气漏到曲轴箱内，
- (3)、将顶部吸收的热量通过活塞环传给气缸壁。

### 3) 活塞裙部

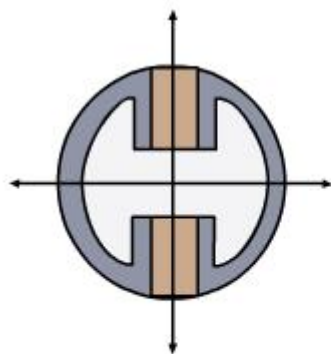
(1) 位置：从油环槽下端起至活塞最下端的部位，包括销座孔。

(2) 作用：对活塞在气缸内的往复运动起导向作用，并承受侧压力，防治破坏油膜。

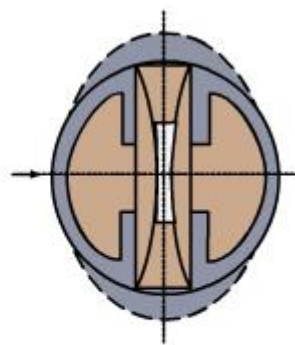


### (3) 活塞的变形及采取的相应措施

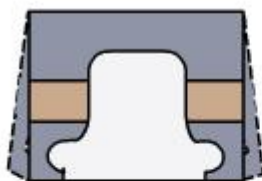
a、变形原因：热膨胀、侧压力和气体压力。



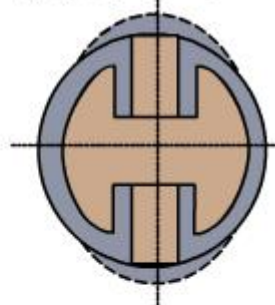
(a) 销座热膨胀



(b) 挤压变形



(c) 弯曲变形



(d) 裙部变形

### 活塞裙部变形

a演示

b演示

c演示

d演示

## b、变形规律

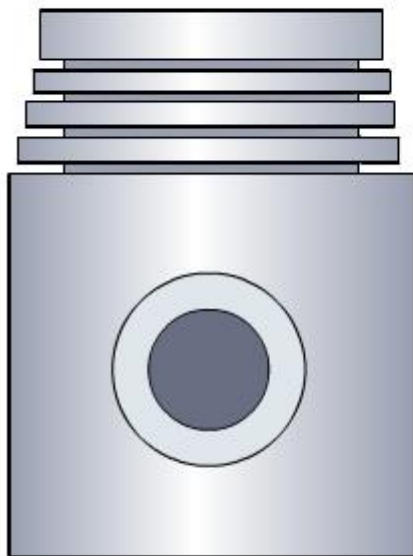
(1) 活塞的热膨胀量大于气缸的膨胀量，使配缸间隙变小。因活塞温度高于气缸壁，且铝合金的膨胀系数大于铸铁；

(2) 活塞自上而下膨胀量由大而小。因温度上高下低，壁厚上厚下薄；

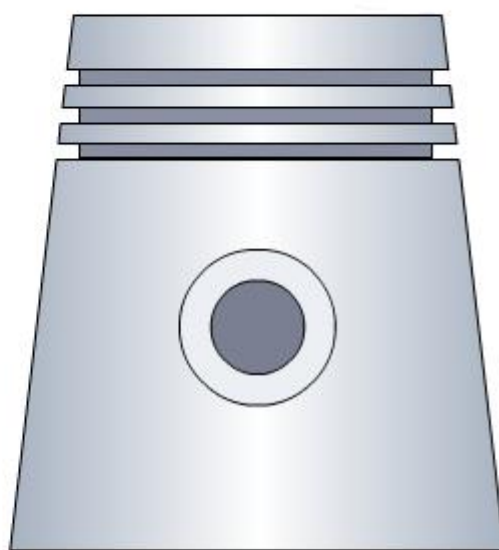
(3) 裙部周向近似椭圆形变化，长轴沿销座孔轴线方向。因销座处金属量多而膨胀量大，以及侧压力作用的结果。

### c. 结构措施

(1) 活塞纵断面制成上小下大的截锥形。

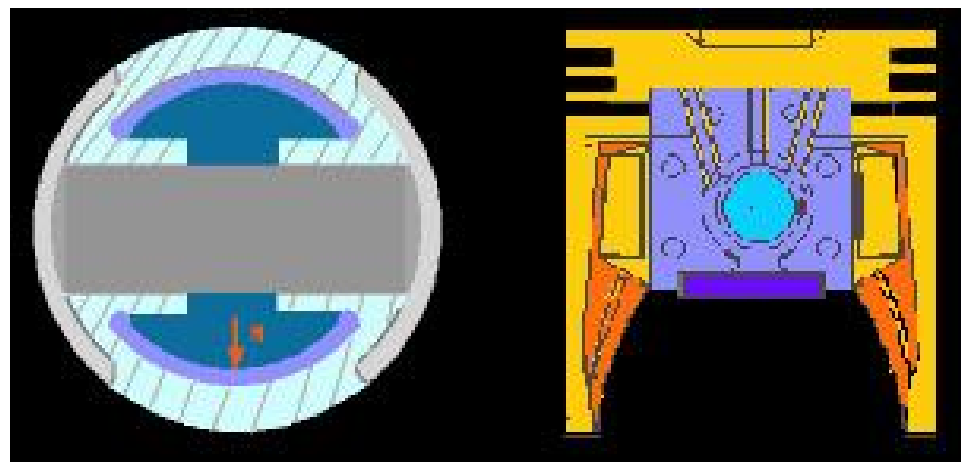
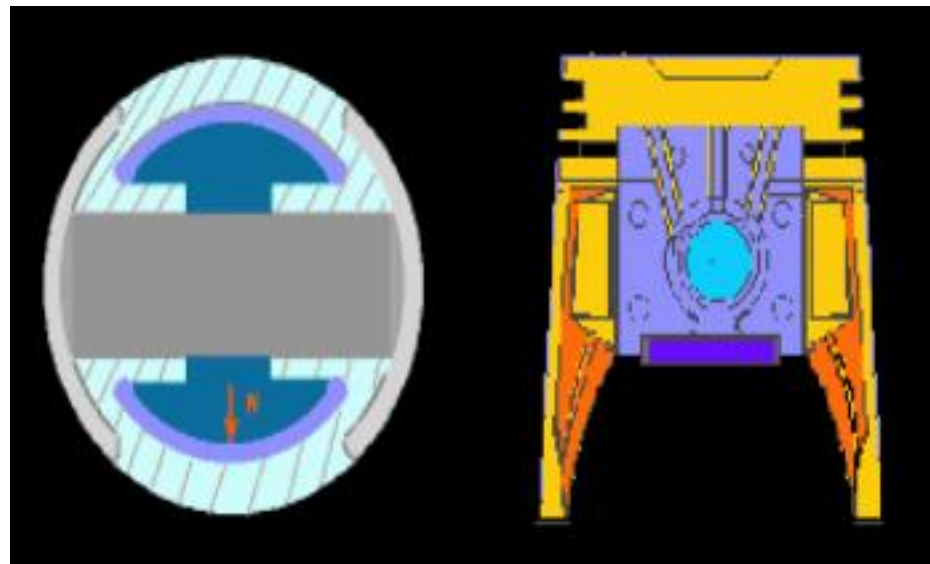
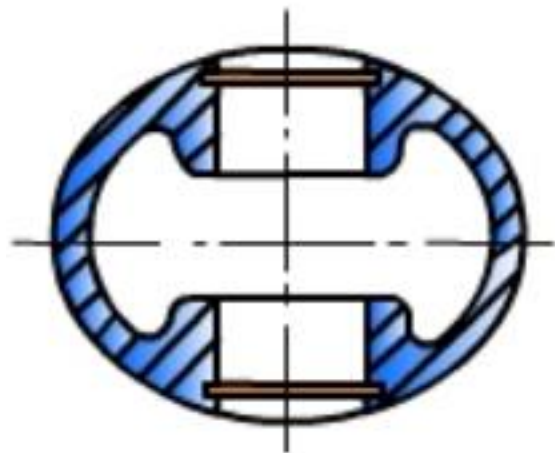
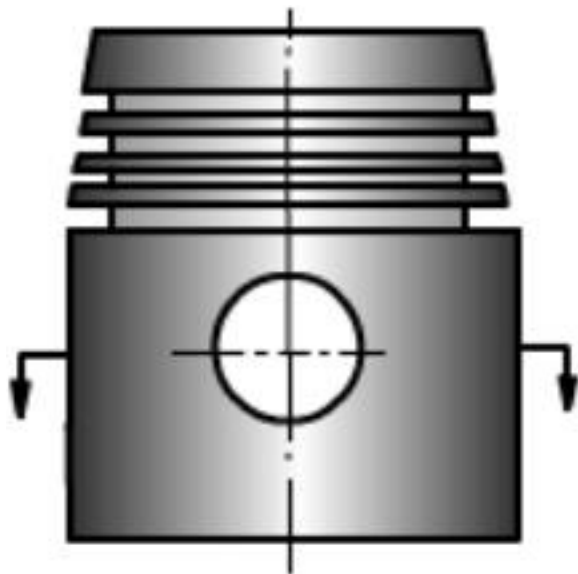


阶梯形活塞

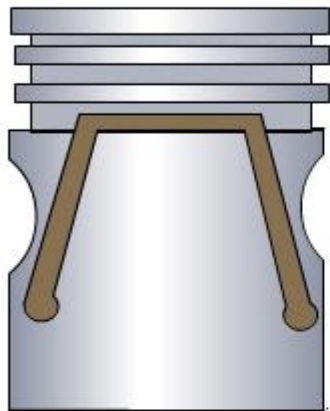


锥形活塞

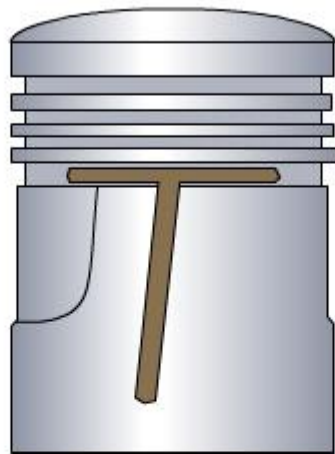
(2) 活塞裙部制成椭圆形，长轴垂直于销座孔轴线方向，即侧压力方向。销座处凹陷0.5mm~1.0mm。



(3) 裙部开隔热—膨胀槽，其中横槽叫隔热槽，竖槽叫膨胀槽。(柴油机一般不开)

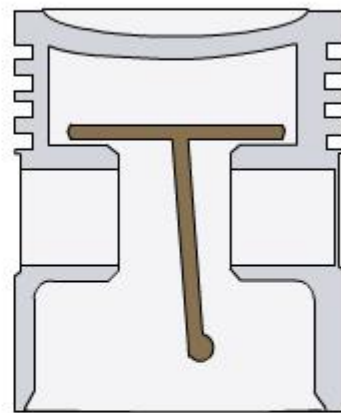


U形槽



T形槽

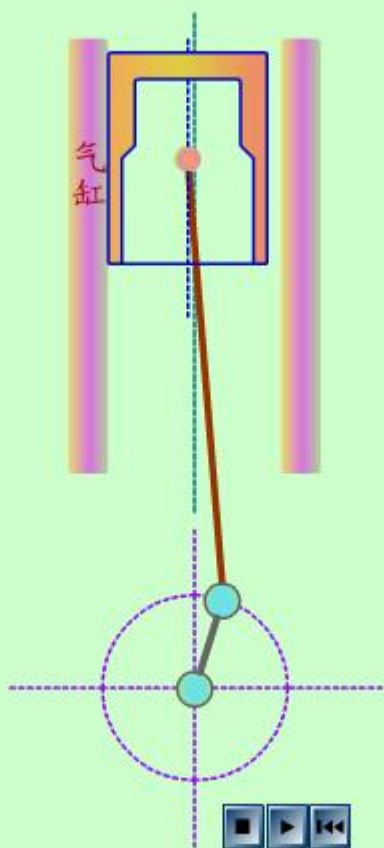
裙部开槽



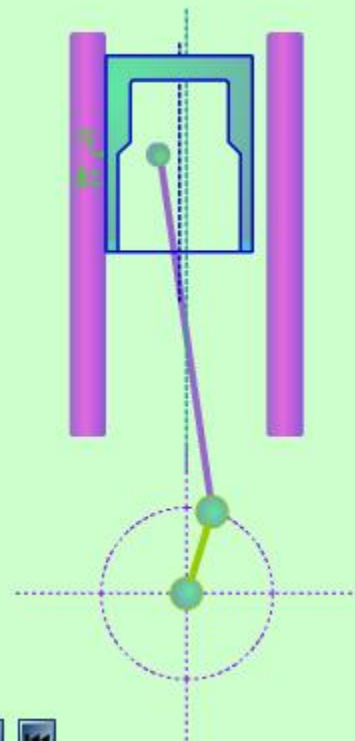
#### (4) 偏置销座

- 1、定义：活塞销座朝向承受做功侧压力的一面（图示左侧）偏移1mm~2mm。
- 2、作用：减轻活塞换向时对气缸壁的敲击。

非偏置销座运动示意图

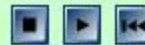
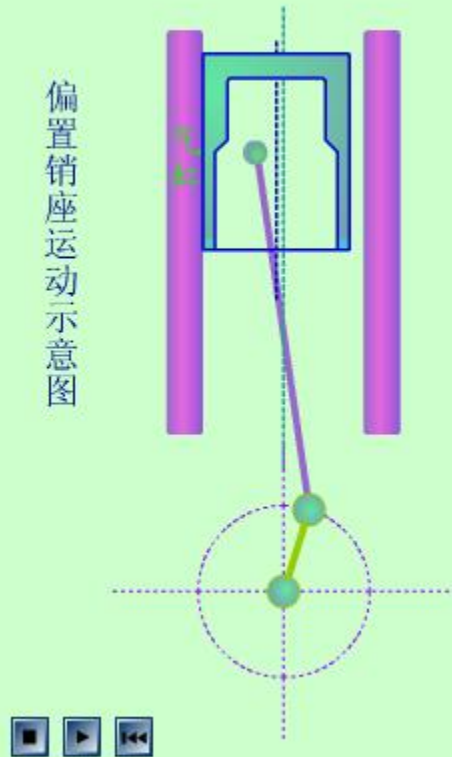


偏置销座运动示意图



3、原理：因销座偏置，在接近上止点时，作用在活塞销座轴线以右的气体压力大于左边，使活塞倾斜，裙部下端提前换向。而活塞在越过上止点，侧压力反向时，活塞才以左下端接触处为支点，顶部向左转（不是平移），完成换向。可见偏置销座使活塞换向分成了两步，第一步是在气体压力较小时进行，且裙部弹性好，有缓冲作用；第二步虽气体压力大，但它是个渐变过程。为此，两步过渡使换向冲击力大为减弱。

偏置销座运动示意图



## 二、活塞环

是具有弹性的开口环，分为气环和油环。

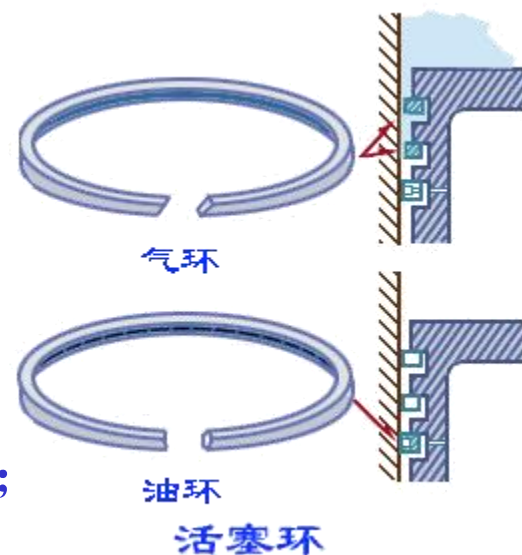
工作条件：高温、高压、高速、极难润滑。

平均寿命：6万公里

1气环

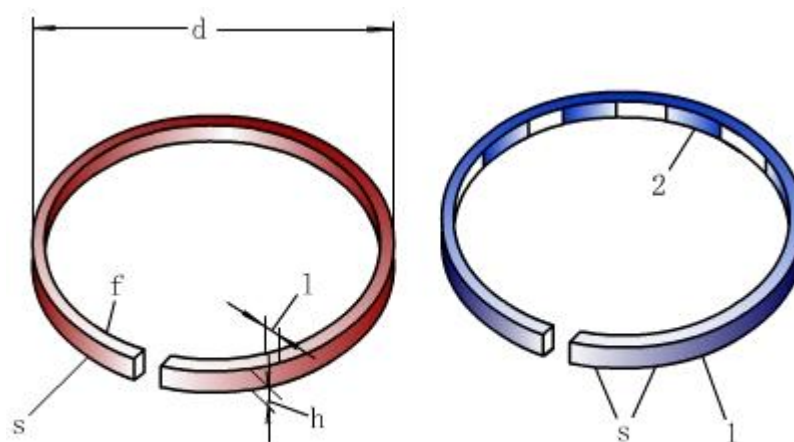
1) .作用：

- (1) 密封：防止气缸内的气体窜入油底壳；
- (2) 传热：将活塞头部的热量传给气缸壁；
- (3) 辅助刮油、布油。



气环尽量少（2-3）；

安装时切口错开（迷宫）

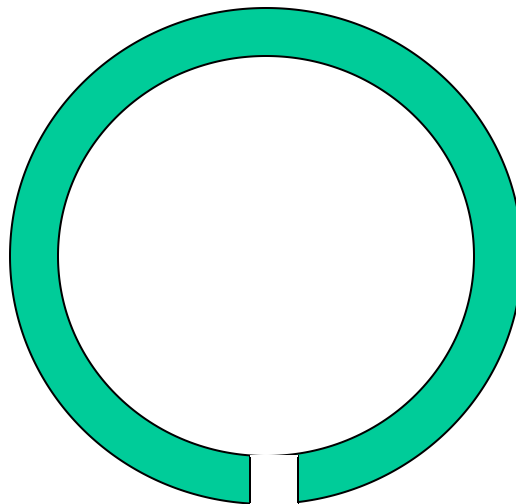


活塞环

## 2) . 结构与密封原理:

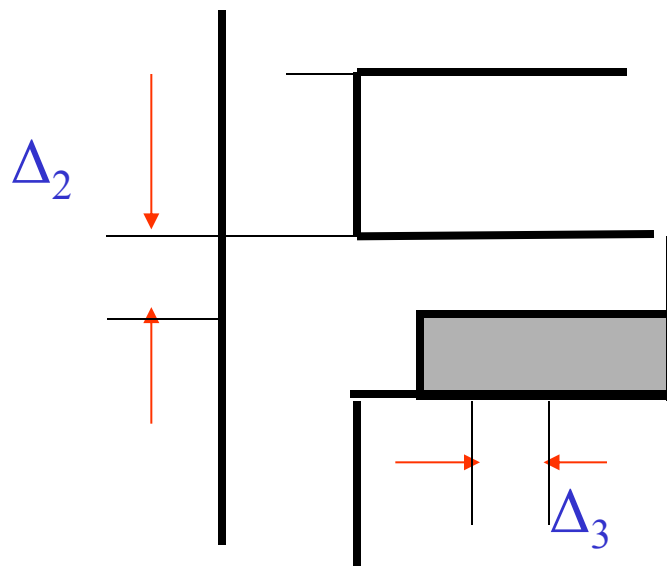
### 活塞环的间隙

(1) 端隙  $\Delta_1$ : 又称开口间隙, 是活塞环装入气缸后开口处的间隙。一般为0.25mm~0.50mm;



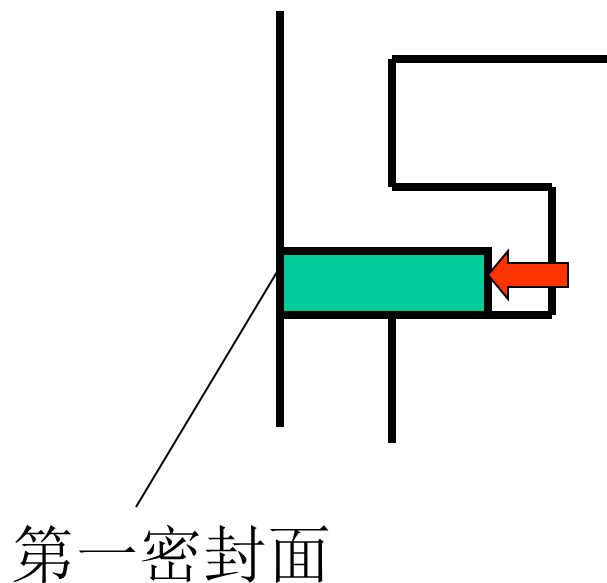
(2) 侧隙 $\Delta_2$ : 又称边隙, 是环高方向上与环槽之间的间隙。第一道 $0.04\text{mm}\sim 0.10\text{mm}$ ; 其它气环 $0.03\text{mm}\sim 0.07\text{mm}$ 。油环一般侧隙较小,  $0.025\text{mm}\sim 0.07\text{mm}$ ;

(3) 背隙 $\Delta_3$ : 是活塞环装入气缸后, 活塞环背面与环槽底部的间隙。 $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ ;

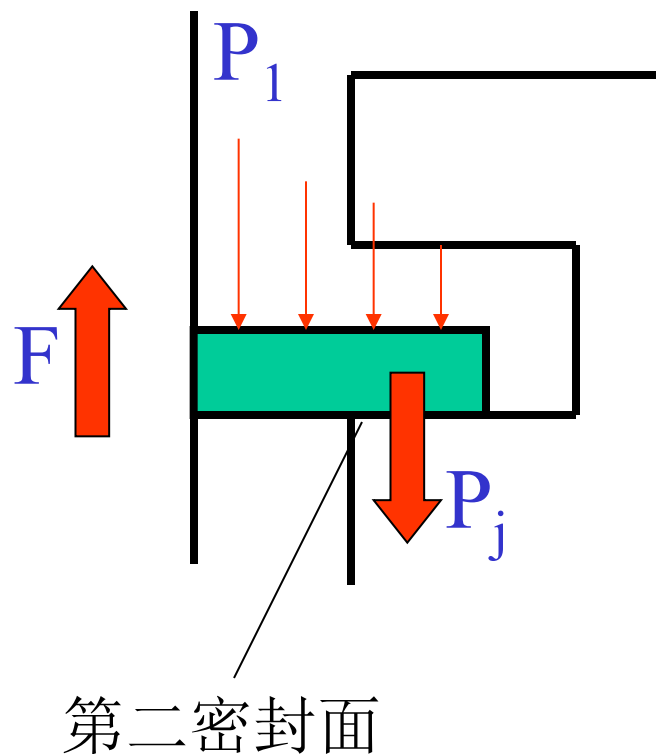


## 气环的密封原理

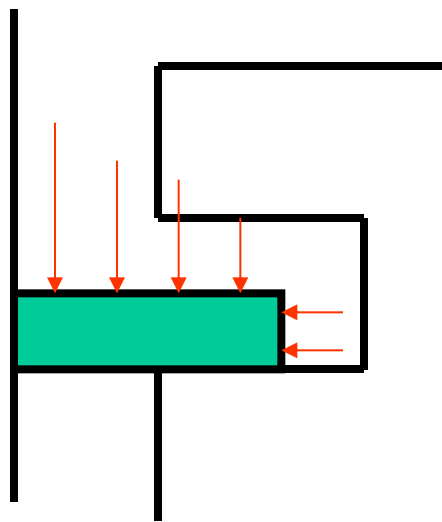
(1) 第一密封面的建立：环在自由状态下，环外径 $>$ 缸径，装缸后在其弹力 $P_0$ 作用下与缸壁压紧，形成第一密封面。



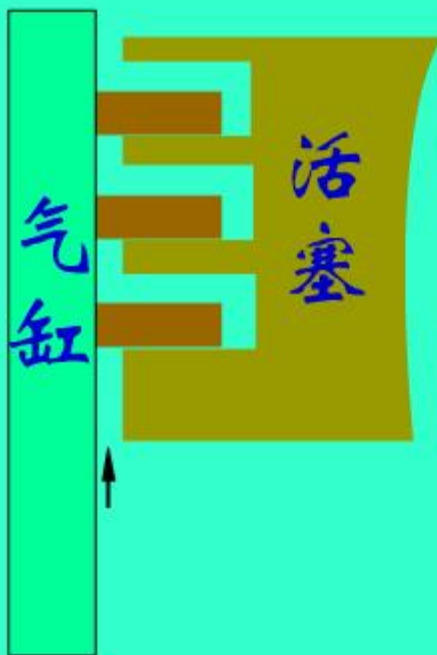
(2) 第二密封面的建立：活塞环在运动时产生惯性力 $P_j$ ，与缸壁间产生摩擦力 $F$ ，以及侧隙有气体压力 $P_1$ ，在这三个力的共同作用下，使环靠在环槽的上侧或下侧，形成第二密封面。



(3) 气环的第二次密封：窜入背隙和侧隙的气体，使环对缸壁和环槽进一步压紧，加强了第一、二密封面的密封。



## 活塞环泵油作用



3) . 活塞环的泵油作用及危害

原因:

(1) 存在侧隙和背隙;

(2) 环运动时在环槽中靠上靠下。

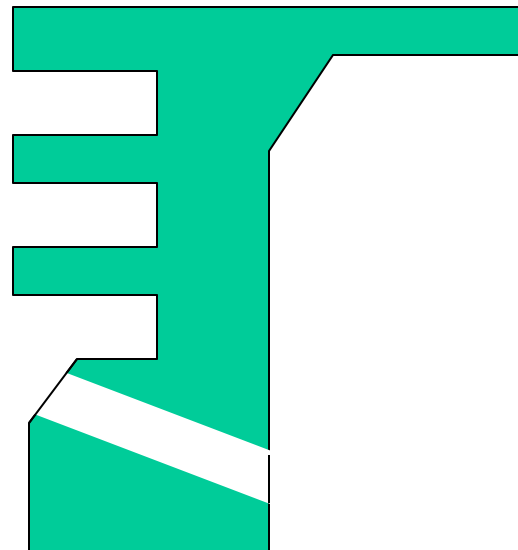


危害：

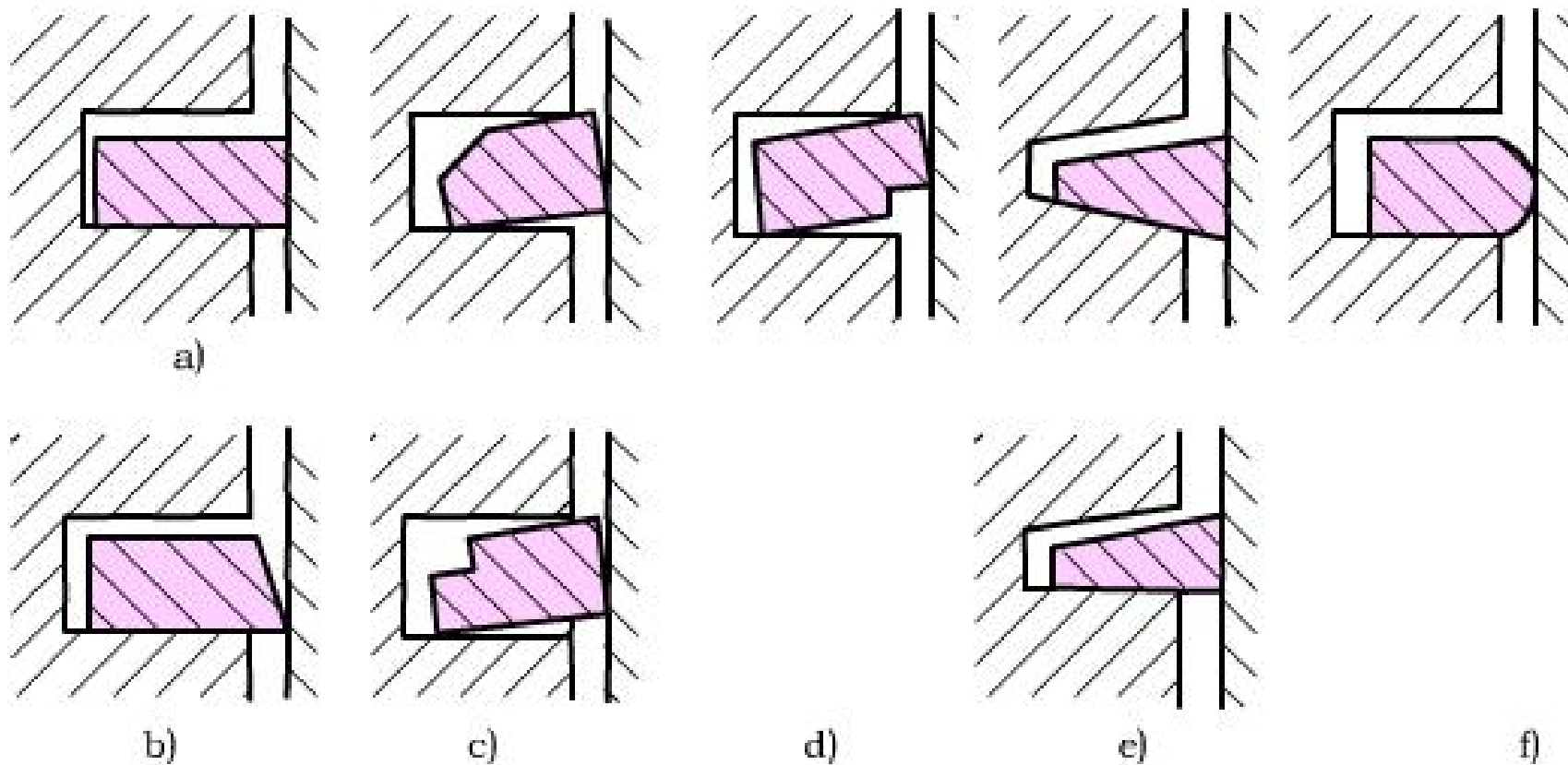
- (1) 增加了润滑油的消耗；
- (2) 火花塞沾油不跳火；
- (3) 燃烧室积炭增多，燃烧性能变坏；
- (4) 环槽内形成积炭，挤压活塞环而失去密封性；
- (5) 加剧了气缸的磨损。

措施：

- (1) 采用扭曲环；
- (2) 采用组合式油环；
- (3) 油环下设减压腔



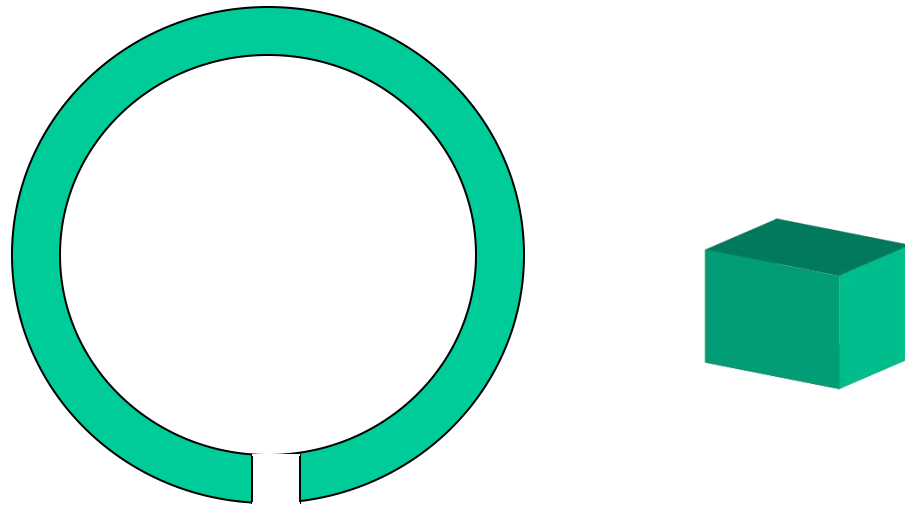
## 4) . 气环的断面形状



### 气环的断面形状

a) 矩形环； b) 锥形环； c) 内切口扭曲环； d) 外切口扭曲环；  
e) 梯形环； f) 桶形环

(1) 矩形环：结构简单，与缸壁接触面积大，散热好，但易泵油。



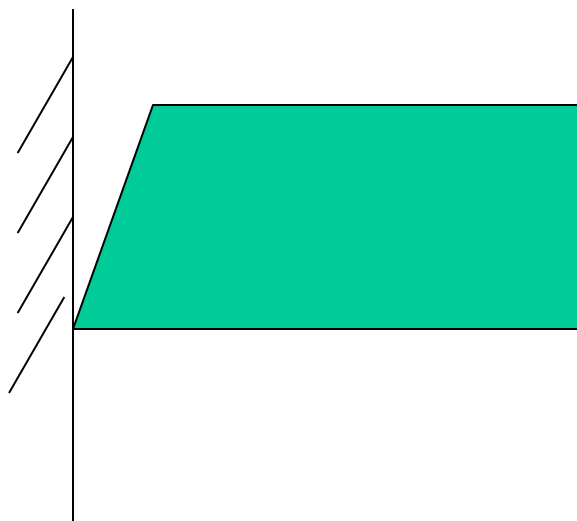
## (2) 锥形环

1) 特点：与缸壁线接触，有利于密封和磨合。下行有刮油作用，上行有布油作用，并可形成楔形油膜。

2) 安装注意：

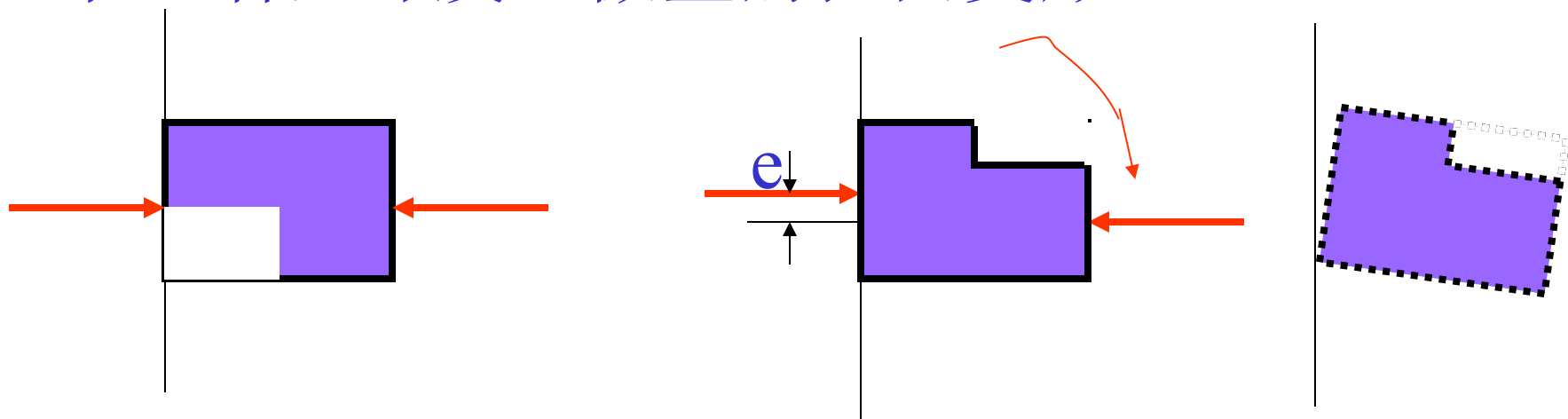
⌚ 锥角朝下（在环端有向上或TOP等标记）；安装时，不能装反，否则会引起机油上窜

⌚ 锥形环传热性差，常装到第二、三道环槽上。



(3) 扭曲环：将矩形环内圆上方或外圆下方切成台阶或倒角而成。

扭曲原理：当活塞环装入气缸后，环受到压缩产生弯曲变形，断面中性层以外产生拉应力、中性层以外产生压应力，矩形环由于中性层内外断面不对称，使 $F$ 和 $F$ 不在同一平面内，从而形成力偶 $M$ ，在力偶的作用下，活塞环发生微量的扭曲变形。



## 1) 特点

⌚ 具有锥形环的特点；

⌚ 减小了泵油作用；

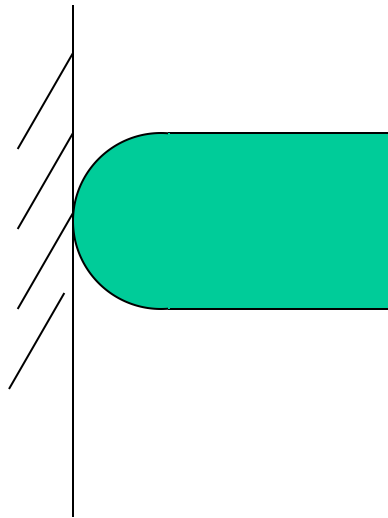
⌚ 做功行程环不再扭曲，两个密封面达到完全接触，利于散热。

⌚ 安装：内上切扭曲环装入第一道环槽，外下切扭曲环装入第二、三道环槽。

⌚ 安装：注意断面形状和方向，内切口朝上，外切口朝下，不能装反。

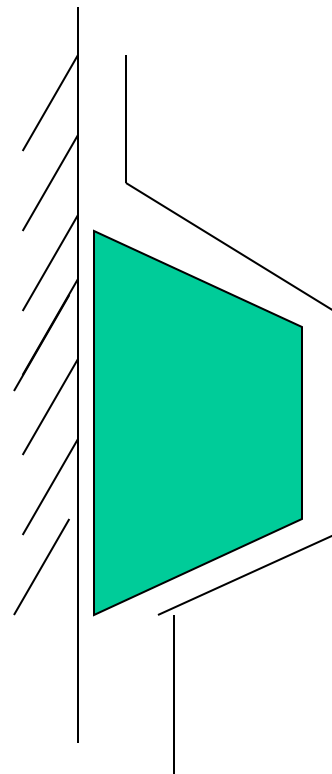
(4) 桶形环：其特点为

- 1) 环的外圆面为凸圆弧形；
- 2) 环面与缸壁圆弧接触，避免了棱角负荷；  
环上下运动时，均能形成楔形油膜。

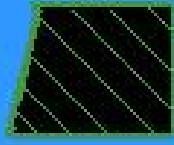
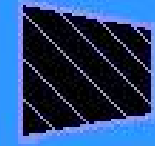
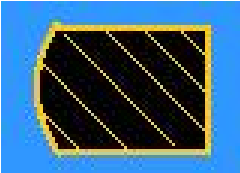


### （5）梯形环：

当活塞在侧压力作用下左、右换向时，环的侧隙和背隙将不断变化，使胶状油焦不断从环槽中被挤出。梯形环用于热负荷较大的柴油机的第一道环。

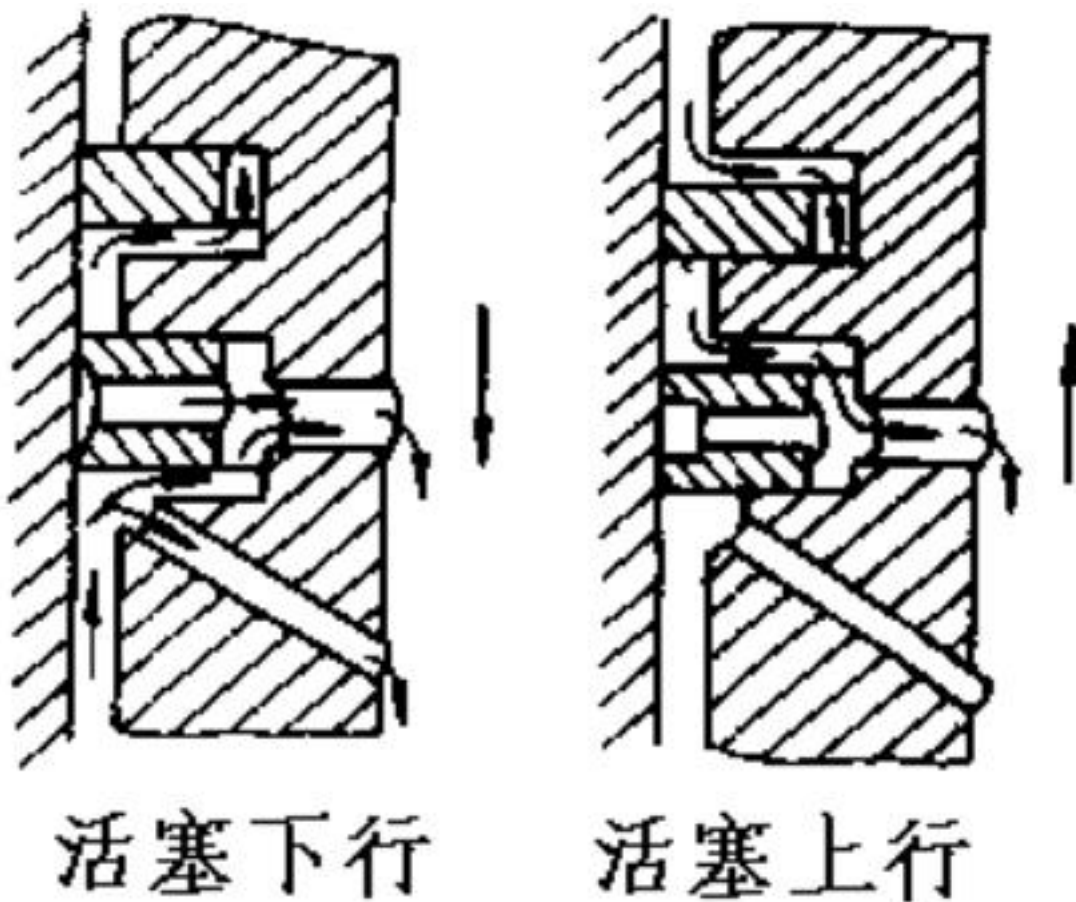


# 气环断面形状:

| 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              |   |
| 扭曲环 | 断面不对称，受力不平衡，使活塞环扭曲               |   |
| 锥面环 | 减少了环与气缸壁的接触面，提高了表面接触压力，有利于磨合和密封。 |   |
| 梯形环 | 加工困难，精度要求高                       |   |
| 桶面环 | 外圆为凸圆弧形                          |  |

## （二）油环（一般为一道，柴油机一般两道）

1. 作用：刮油。即将气缸壁上多余的润滑油刮下来。



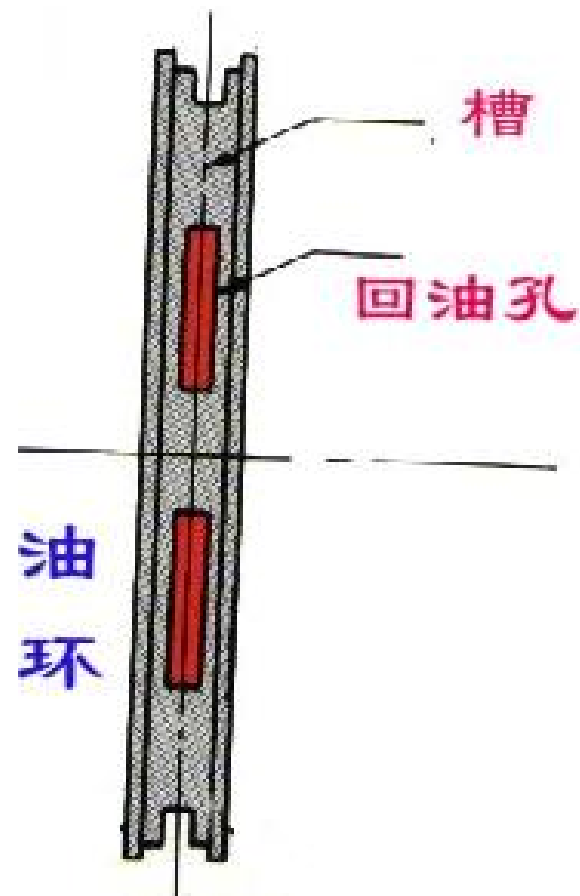
## 2. 类型

### (1) 整体式

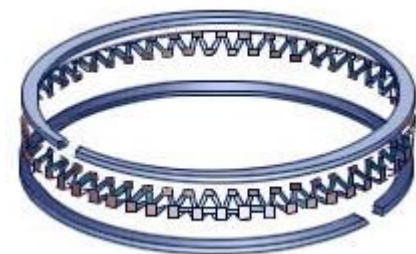
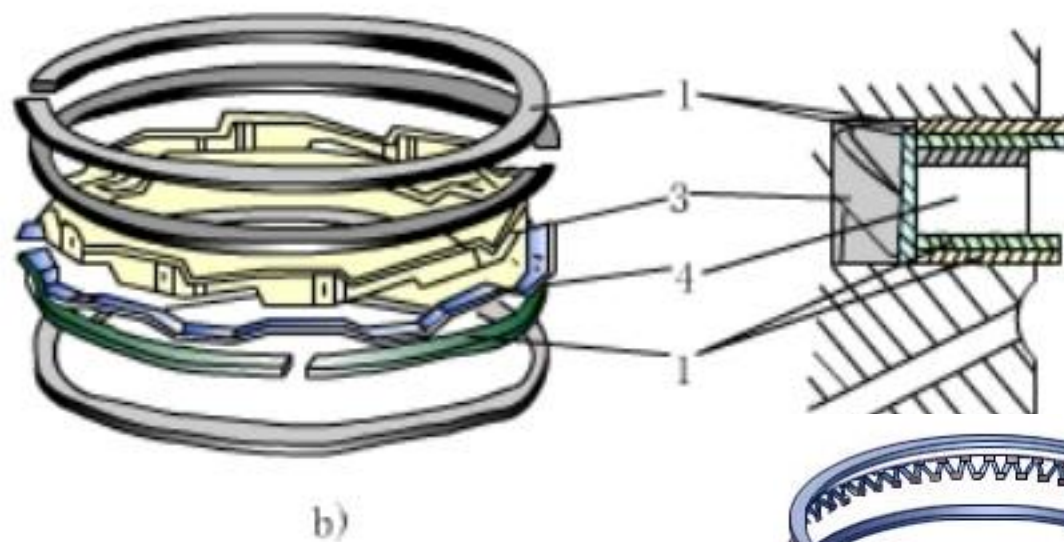
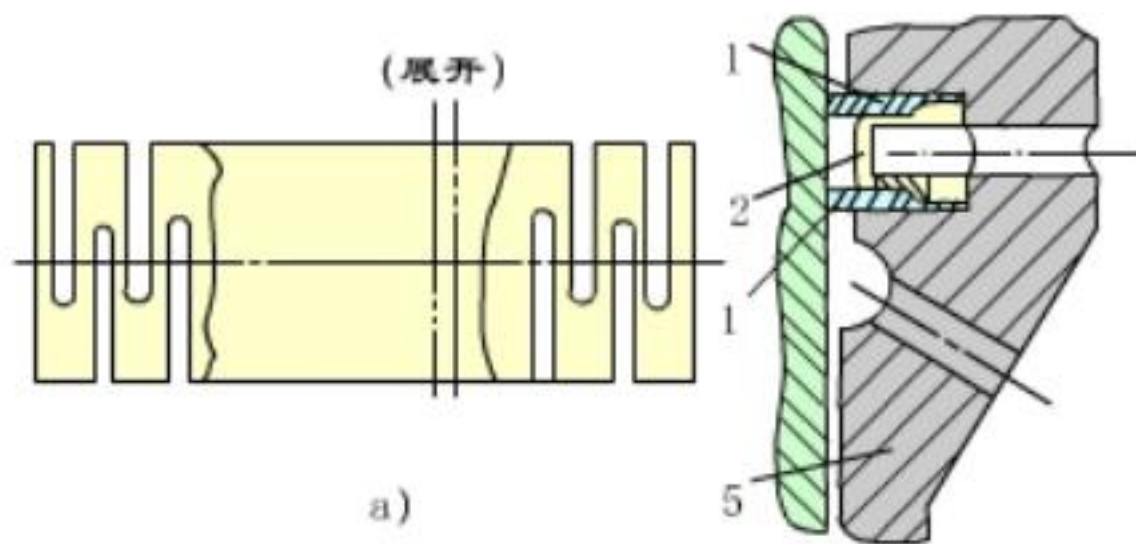
其外圆上切有环形槽，槽底开有回油用的小孔或窄槽。



普通油环



成。



## 其特点为

1) 密封好：第一密封面，靠径向力，因衬簧长大于刮片长而产生径向力。

第二密封面，靠轴向力，因衬簧和钢片总厚度大于环槽高而产生轴向力。

2) 无侧隙，不窜油。

3) 刮油能力强：因钢片薄，对缸壁比压大。

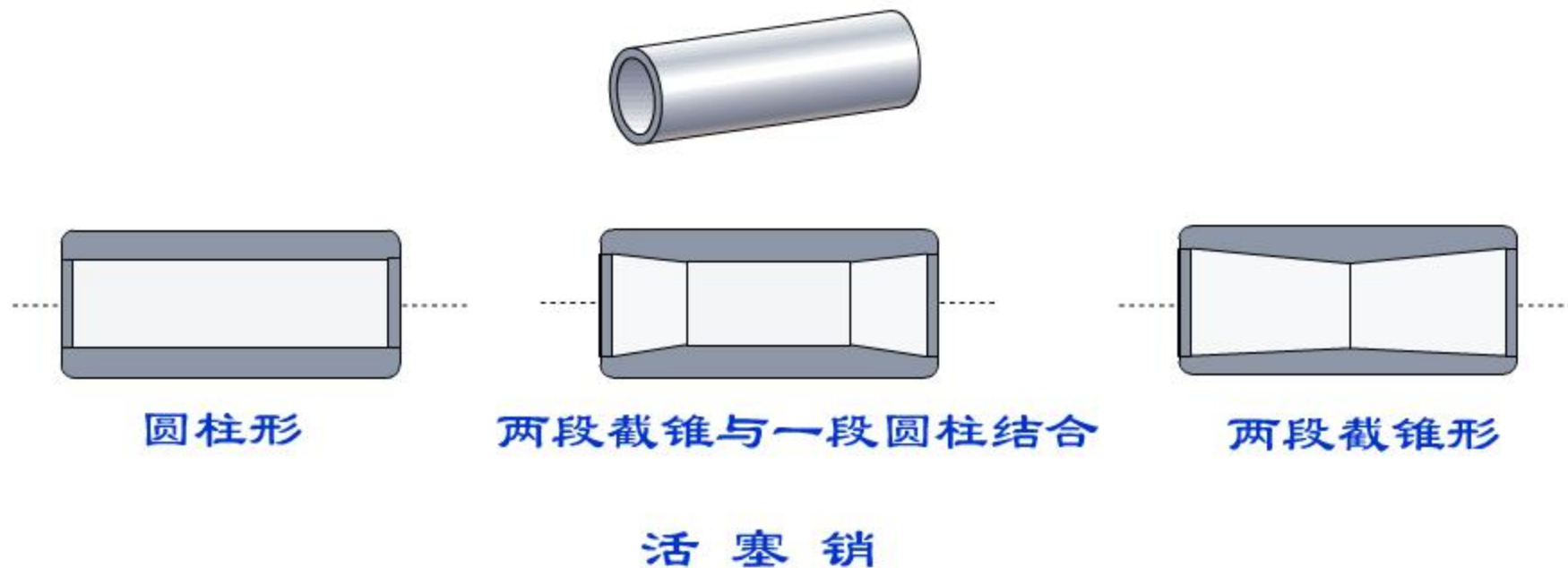
4) 上下片可分别动作，适应性好。

5) 回油能力强。

### 三、活塞销

1作用：连接活塞和连杆，并传递活塞的力给连杆。

2结构：用低碳钢或低碳合金钢制成的厚壁管状体。



### 3连接方式

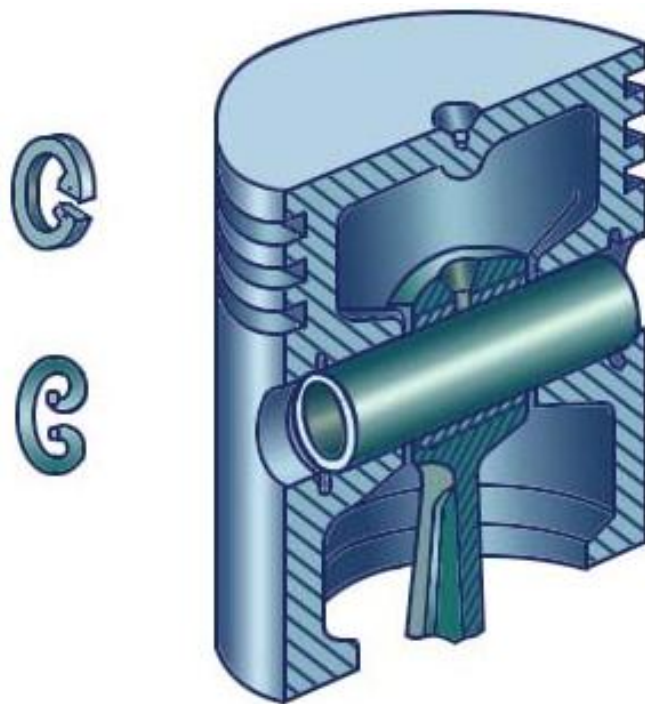
#### 1. 全浮式

(1) 定义：在发动机正常工作温度下，活塞销在连杆小头孔和活塞销座孔中都能转动。

(2) 装配：

1) 销与销座孔在冷态时为过渡配合，采用分组选配法。

2) 热装合：将活塞放入热水或热油中加热后，迅速将销装入。

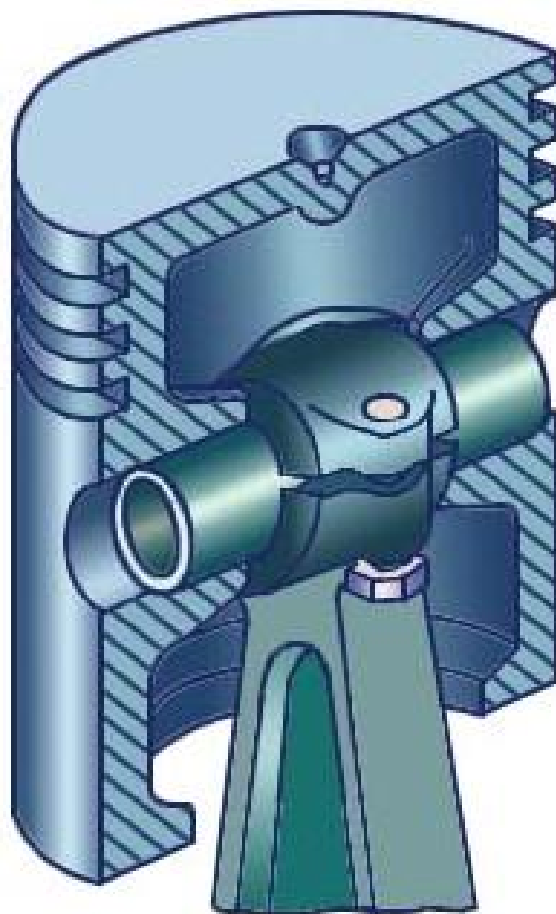


全浮式

## 2. 半浮式

(1) 定义：销与销座孔和连杆小头两处，一处固定，一处浮动。  
(一般固定连杆小头)

(2) 装配：加热连杆小头后，将销装入，冷态时为过盈配合。



半浮式

## 四、连杆

### 1功用：

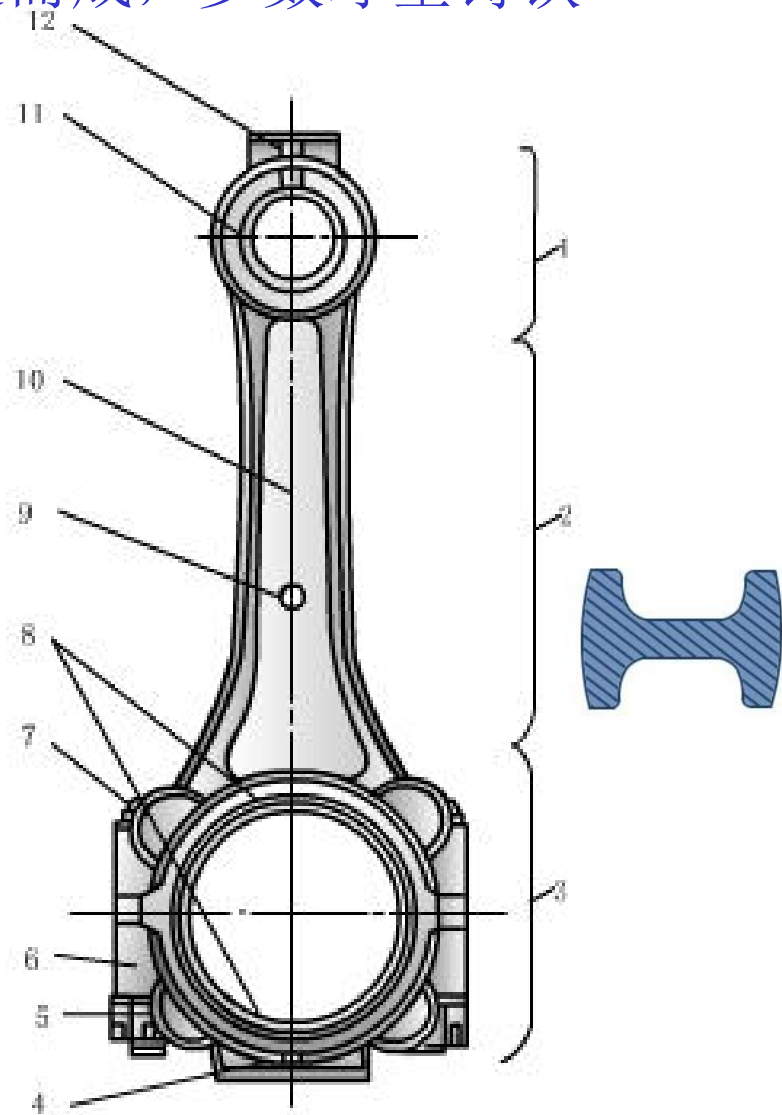
将活塞的力传给曲轴，变活塞的往复运动为曲轴的旋转运动。

连杆一般都采用中碳钢或合金钢锻造而成，少数球墨铸铁

### 2 组成

- 1)、小头：用来安装活塞销，以连接活塞。（全浮式有油沟）
- 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，即连杆体大头和连杆盖。

1-小头；2-杆身；3-大头；4、9-装配记号（朝前）；5-螺母；6-连杆盖；7-连杆螺栓；8-轴瓦；10-连杆体；11-衬套；12-集油孔



### 3连杆大头

(1) 切口形式：有平切口(汽油机)和斜切口(柴油机)两种。

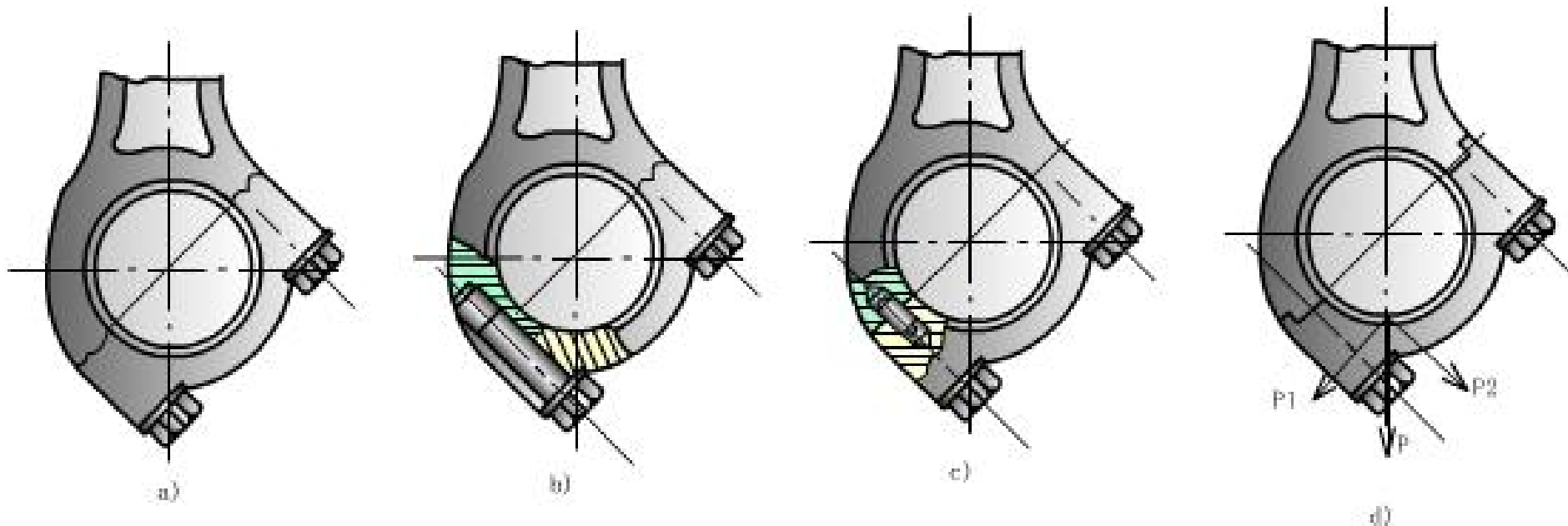
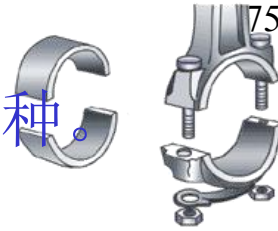
(2) 定位方式

①连杆螺栓定位：靠连杆螺栓的光圆柱部分与螺栓孔的配合来定位。其定位精度较差，用于切口连杆。

②锯齿形定位：依靠接合面的齿形定位。

③套或销定位：依靠套或销与连杆体（或盖）的孔紧配合定位。

④止口定位



斜切口（30-60 一般45）

### (3) 喷油孔:

有的连杆的大头面对气缸主承压面的一侧，钻一喷油孔（1mm～1.5mm），以润滑气缸主承压面。 。

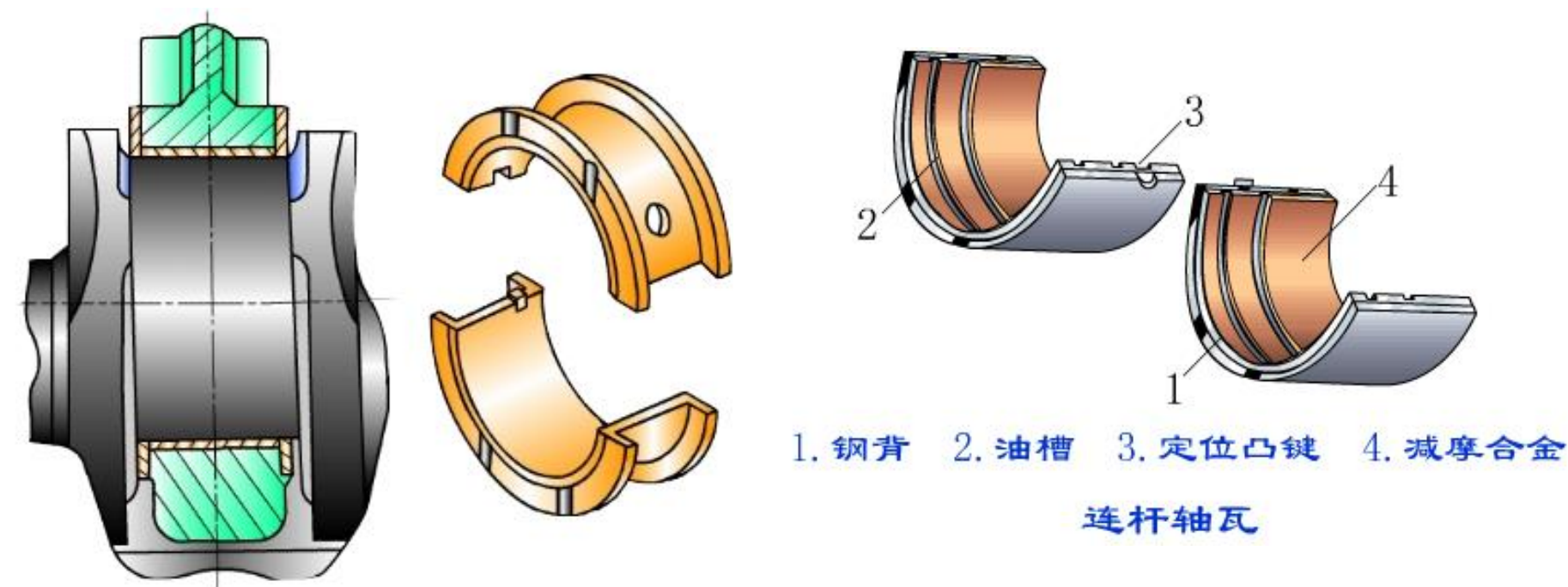
### 4 连杆的安装

- (1)、不能破坏连杆杆身与盖的配对及装合方向，在二者的一侧打有配对标记。
- (2)、不能装反，也不能乱缸，在杆身上有方向标记，大头侧面有缸号标记。

#### 4 连杆轴承（俗称小瓦）

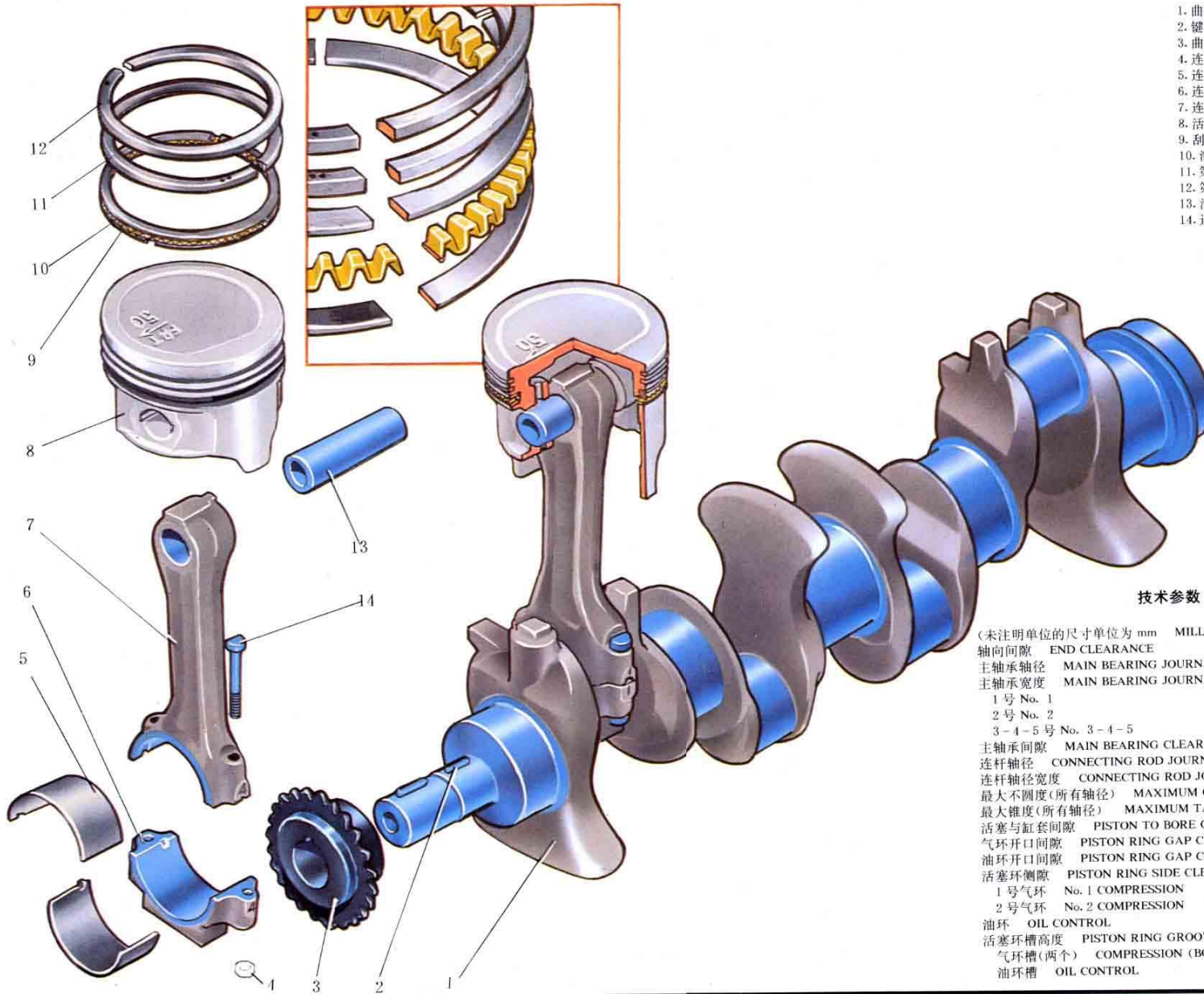
1. 作用：保护连杆轴颈及连杆大头孔。
2. 组成：由钢背和减磨层组成。钢背由1mm~3mm的低碳钢制成。减磨层为0.3mm~0.7mm的减磨合金，层质较软能保护轴颈。

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。



# 曲轴连杆机构

## CRANKSHAFT & CONNECTING



- |           |                         |
|-----------|-------------------------|
| 1. 曲轴     | CRANKSHAFT              |
| 2. 键      | KEY                     |
| 3. 曲轴链轮   | CRANKSHAFT SPROCKET     |
| 4. 连杆螺母   | NUT, CONNECTING ROD     |
| 5. 连杆轴承   | BEARING, CONNECTING ROD |
| 6. 连杆盖    | CAP, CONNECTING ROD     |
| 7. 连杆     | CONNECTING ROD          |
| 8. 活塞     | PISTON                  |
| 9. 刮油环    | OIL CONTROL RAIL        |
| 10. 油环衬簧  | EXPANDER OIL RAIL       |
| 11. 第二压缩环 | SECOND COMPRESSION RING |
| 12. 第一压缩环 | TOP COMPRESSION RING    |
| 13. 活塞销   | PISTON PIN              |
| 14. 连杆螺栓  | BOLT, CONNECTING ROD    |

### 技术参数 SPECIFICATIONS

(未注明单位的尺寸单位为 mm MILLIMETERS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED)

|                  |                                       |               |
|------------------|---------------------------------------|---------------|
| 轴向间隙             | END CLEARANCE                         | 0.038~0.165   |
| 主轴承轴径            | MAIN BEARING JOURNAL DIAMETER         | 63.489~63.502 |
| 主轴承宽度            | MAIN BEARING JOURNAL WIDTH            |               |
| 1号 No. 1         |                                       | 27.58~27.89   |
| 2号 No. 2         |                                       | 32.28~32.33   |
| 3-4-5号 No. 3-4-5 |                                       | 30.02~30.18   |
| 主轴承间隙            | MAIN BEARING CLEARANCE                | 0.03~0.06     |
| 连杆轴径             | CONNECTING ROD JOURNAL DIAMETER       | 53.17~53.23   |
| 连杆轴径宽度           | CONNECTING ROD JOURNAL WIDTH          | 27.18~27.33   |
| 最大不圆度(所有轴径)      | MAXIMUM OUT-OF-ROUND(ALL JOURNALS)    | 0.013         |
| 最大锥度(所有轴径)       | MAXIMUM TAPER (ALL JOURNALS)          | 0.013         |
| 活塞与缸套间隙          | PISTON TO BORE CLEARANCE              | 0.023~0.043   |
| 气环开口间隙           | PISTON RING GAP CLEARANCE—COMPRESSION | 0.25~0.64     |
| 油环开口间隙           | PISTON RING GAP CLEARANCE—OIL CONTROL | 0.25~0.64     |
| 活塞环侧隙            | PISTON RING SIDE CLEARANCE            |               |
| 1号气环             | No. 1 COMPRESSION                     | 0.043~0.081   |
| 2号气环             | No. 2 COMPRESSION                     | 0.043~0.081   |
| 油环               | OIL CONTROL                           | 0.03~0.20     |
| 活塞环槽高度           | PISTON RING GROOVE HEIGHT             | 2.019~2.045   |
| 气环槽(两个)          | COMPRESSION (BOTH)                    | 4.78~4.80     |
| 油环槽              | OIL CONTROL                           |               |

### 3. 减磨层材料

(1) 白合金（巴氏合金）：减磨性能好，但机械强度低，且耐热性差。常用于负荷不大的汽油机。

(2) 铜铅合金：机械强度高，承载能力大，耐热性好。多用于高负荷的柴油机。但其减磨性能差。

(3) 铝合金：有铝锡镁合金、低锡铝合金和高锡铝合金三种。

1) 铝锡镁合金和低锡铝合金：机械性能好，负载能力强，但其减磨性能差。

主要用于柴油机。

2) 高锡铝合金：具有较好的机械性能和减磨性能，广泛应用于柴油机和汽油机。

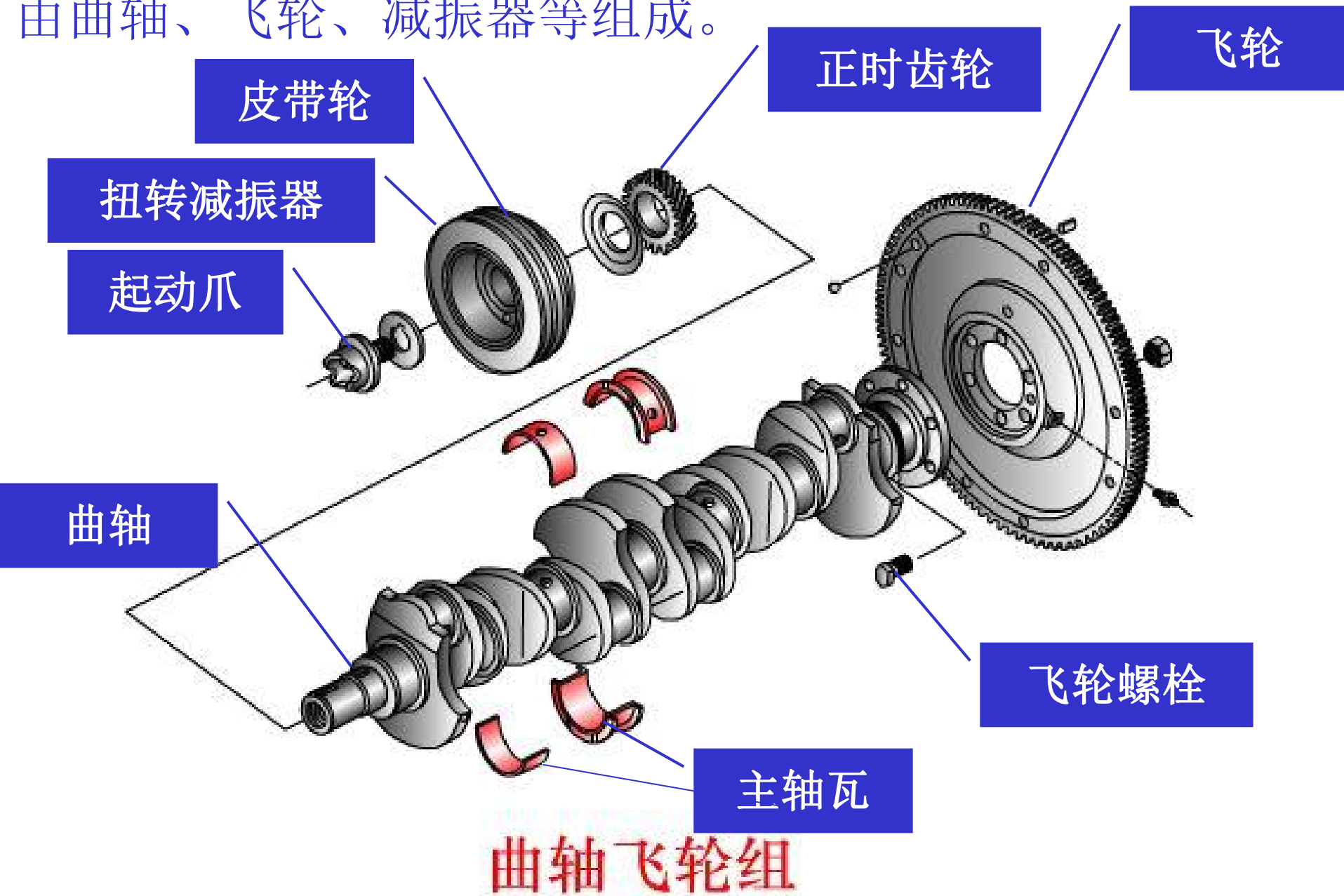
### 4、轴瓦的自由弹势

(1) 定义：轴瓦在自由状态下的曲率半径略大于座孔半径，其直径之差称为自由弹势或张开量。

(2) 配合过盈：因轴瓦外径周长较座孔周长稍大，连杆螺栓紧固后，便产生一定的配合过盈量。靠合适的过盈量保证轴瓦在工作时不转、不移、不振，并可使轴瓦与座孔紧密贴合，以利散热。

## 2.3 曲轴飞轮组

由曲轴、飞轮、减振器等组成。



## 一、曲轴

### （一）功用

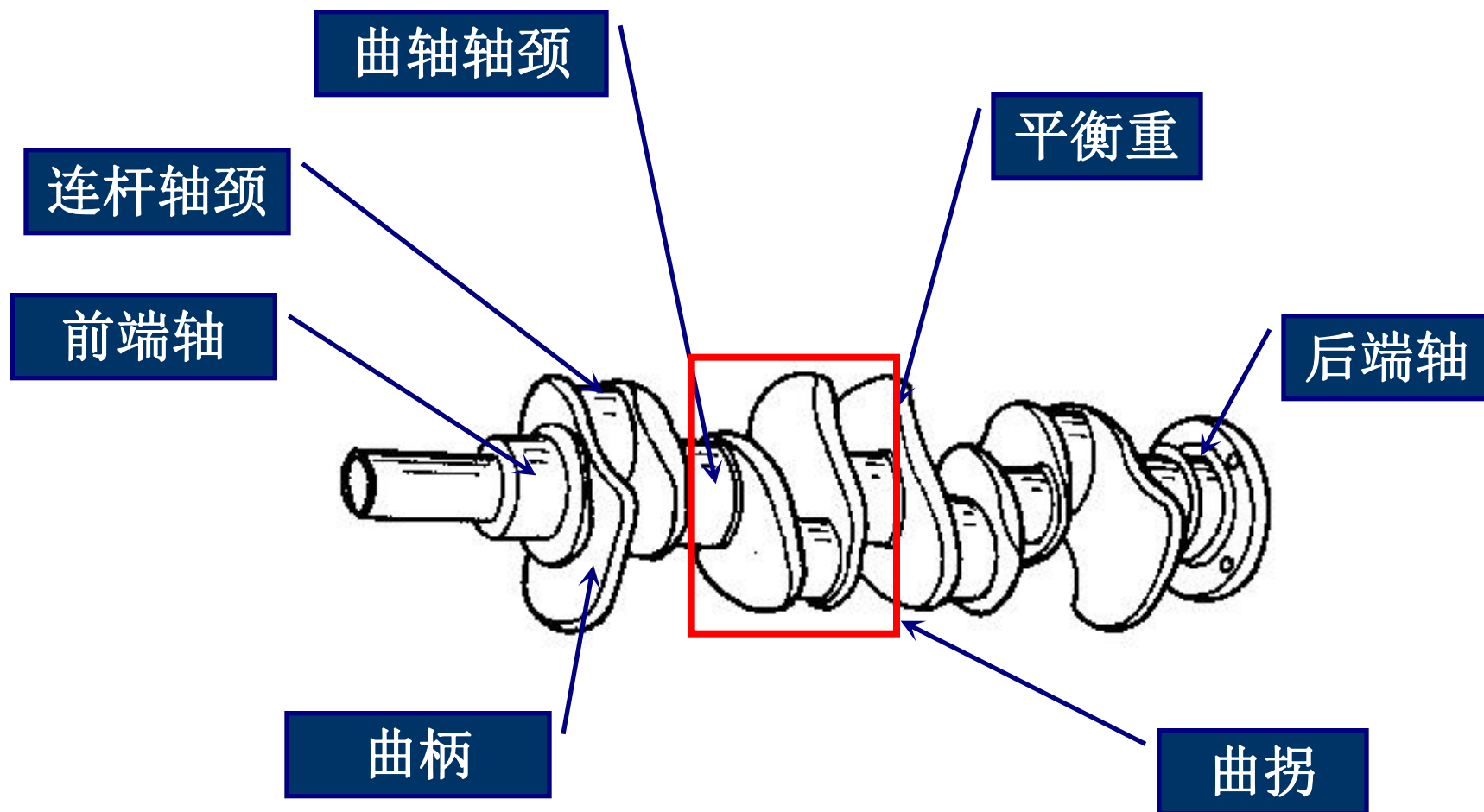
1. 把活塞连杆组传来的气体压力转变为扭矩对外输出。
2. 驱动配气机构及其它附属装置。

材料：大多采用优质中碳钢或中合金碳钢。有的采用球墨铸铁。

工作条件：受气体压力、惯性力、惯性力矩。承受交变载荷的冲击。

## (二) 构造:

曲轴包括前端轴、主轴颈、连杆轴颈、曲柄、平衡重、后端轴等，一个连杆轴颈和它两端的曲柄及主轴颈构成一个曲拐。

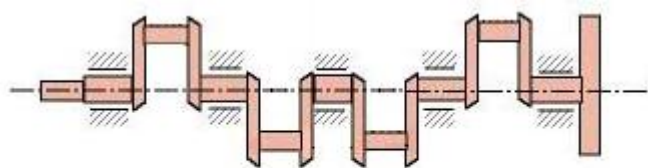


曲轴的曲拐数目等于气缸数(直列式发动机);  
V型发动机曲轴的曲拐数等于气缸数的一半。

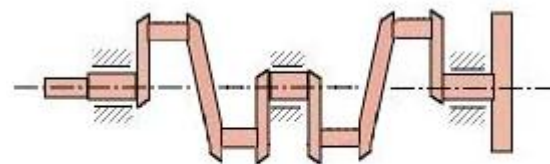
# 1. 主轴颈和连杆轴颈

## 1) 主轴颈是曲轴的支承部分(主轴承)。

每个连杆轴颈两边都有一个主轴颈者，称为全支承曲轴；主轴颈数等于或少于连杆轴颈数者称为非全支承曲轴。



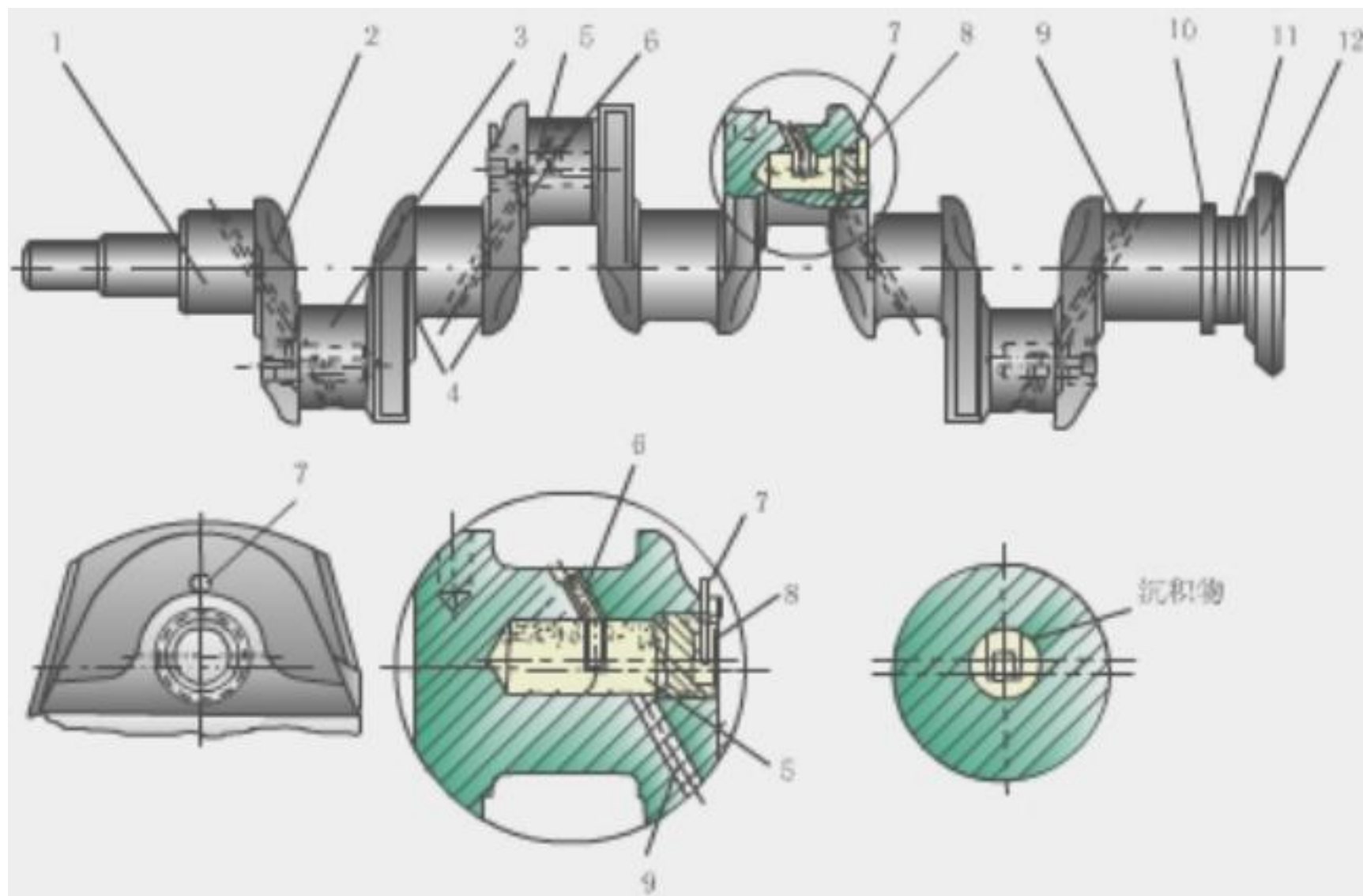
全支承曲轴



非全支承曲轴

|        | 优点                    | 缺点                     | 应用                 |
|--------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| 全支承曲轴  | 提高曲轴的刚度和弯曲强度，减轻主轴承的载荷 | 曲轴的加工表面增多，主轴承数增多，使机体加长 | 柴油机一般多采用此种支撑方式     |
| 非全支承曲轴 | 缩短了曲轴的长度，使发动机总体长度有所减小 | 主轴承载荷较大                | 承受载荷较小的汽油机可以采用此种方式 |

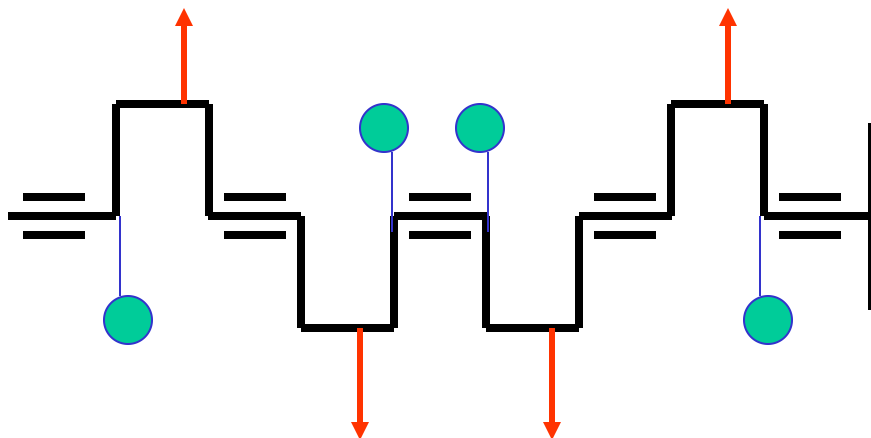
2) 曲轴上有贯穿主轴颈、曲柄和连杆轴颈的油道，以便润滑主轴颈和连杆轴颈。



1-主轴颈；2-曲轴；3-连杆轴颈；4-圆角；5-积污腔；6-油管；7-开口销；  
8-螺塞；9-油道；10-挡油盘；11-回油螺纹；12-飞轮结合盘

## 2. 曲轴臂：

曲轴臂是用来连接主轴颈和连杆轴颈的。平衡重的作用是平衡各机件产生的离心惯性力及其力矩。



### 3. 前端轴与后端轴

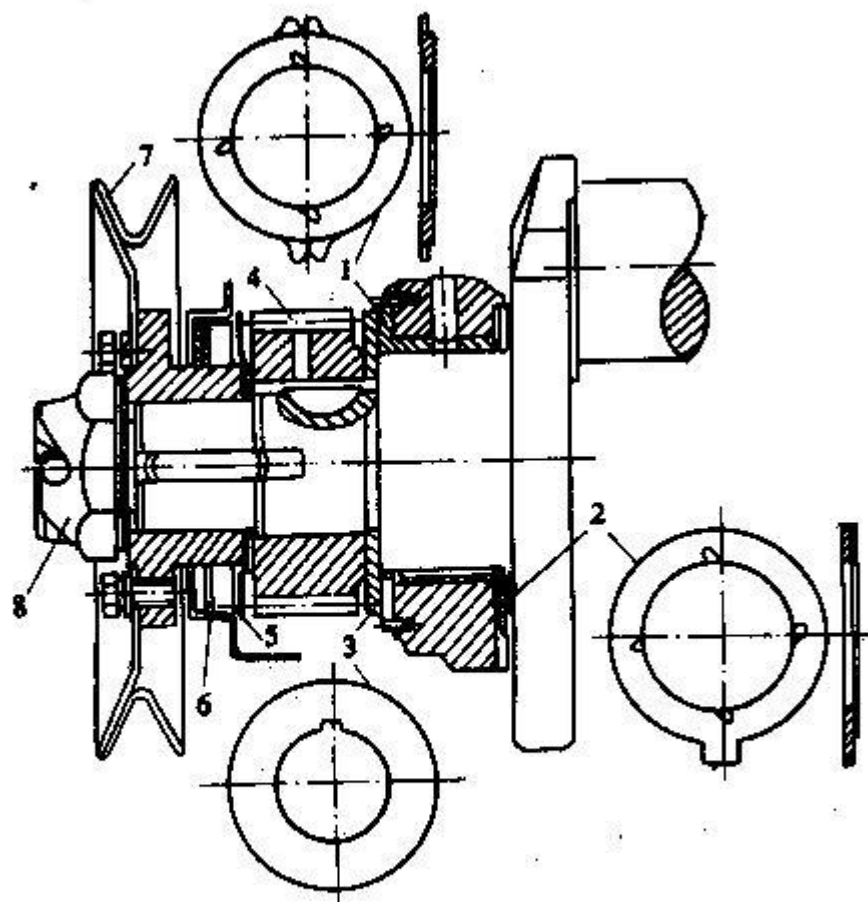
#### (1) 作用：

前端轴用来安装正时齿轮、皮带轮、扭转减振器及起动爪等；后端轴有飞轮结合盘(凸缘盘)，用来安装飞轮。

#### (2) 前后端的密封：

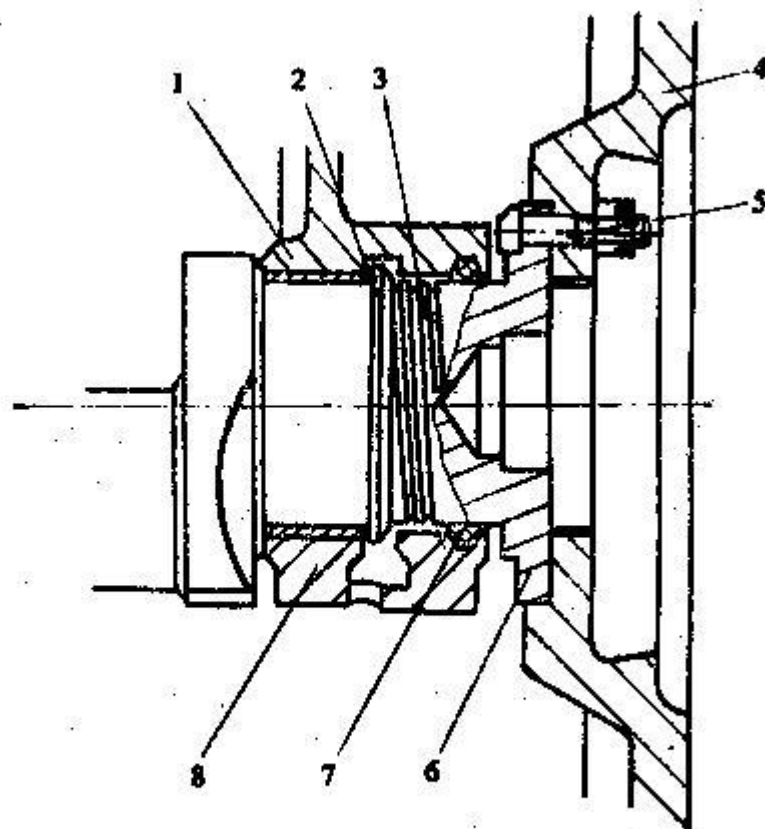
曲轴前后端都伸出曲轴箱，为了防止润滑油沿轴颈流出，在曲轴前后都设有防漏装置。

常用的防漏装置有挡油盘、填料油封、自紧油封、回油螺纹等。



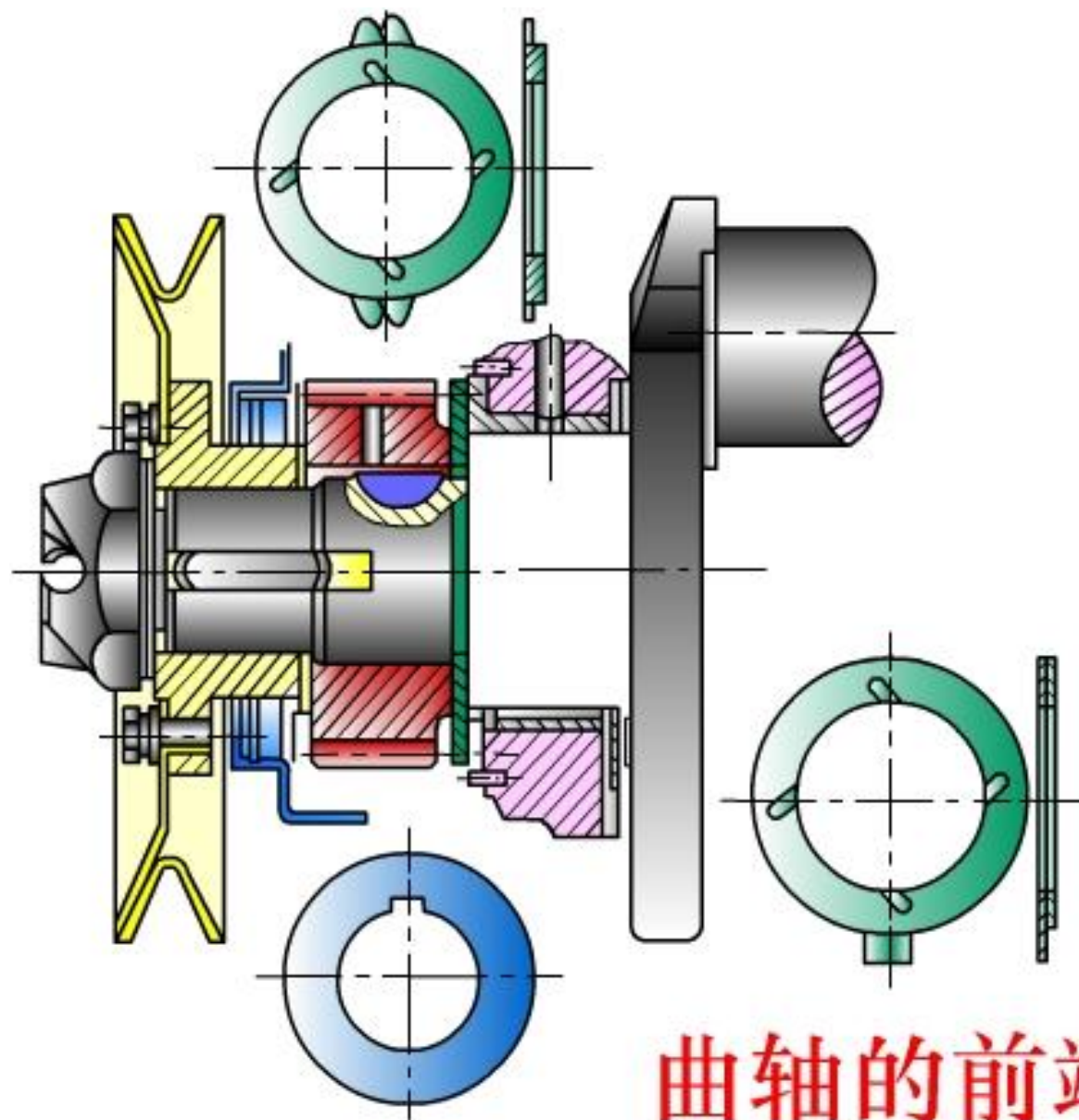
曲轴的前端

1、2-滑动推力轴承；3-止推片；4-正时齿轮；5-甩油盘；6-自紧油封；7-皮带轮；8-起动爪



EQ6100-1 型汽油机曲轴的后端

1-轴承座；(曲轴箱体)2-挡油盘；3-回油螺纹；4-飞轮；5-飞轮螺栓、螺母；6-曲轴凸缘盘；7-盘根；8-轴承盖

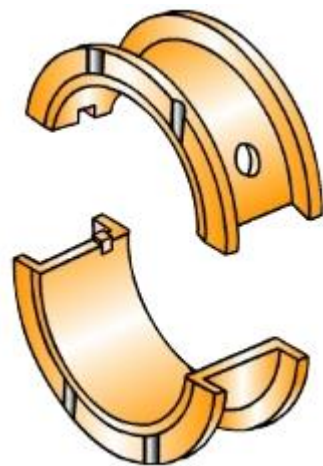
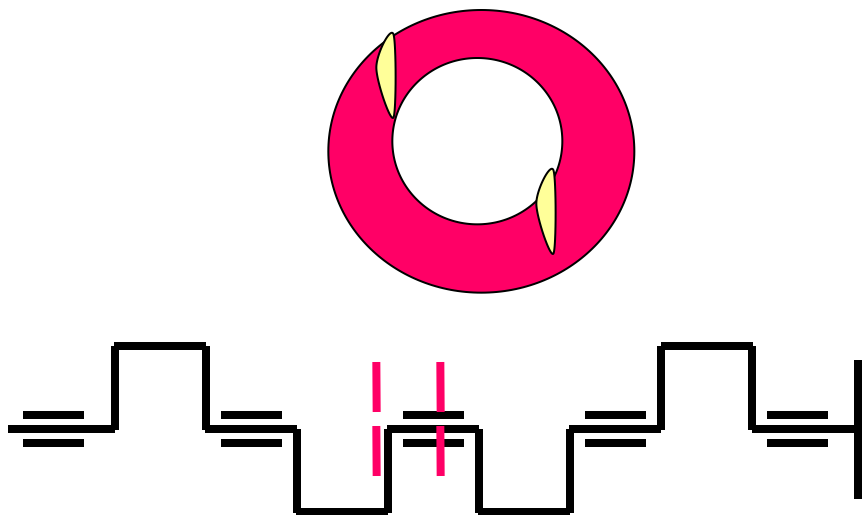


## 4. 曲轴的轴向定位

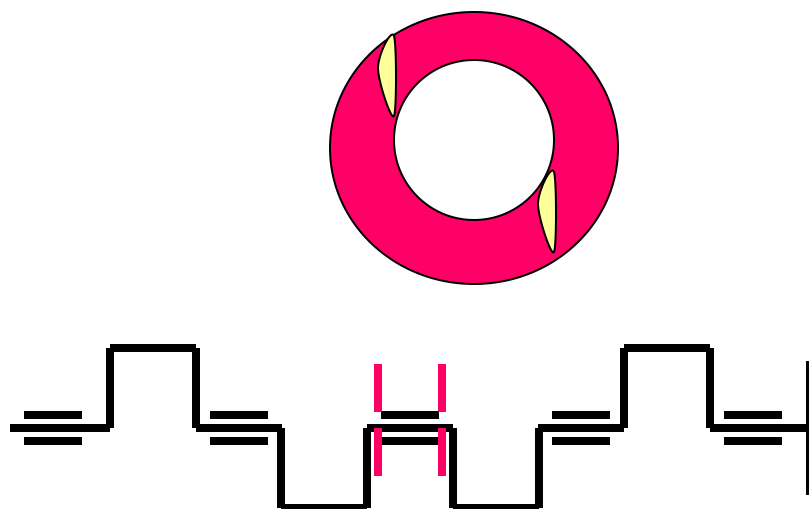
### (1) 结构:

止推片：在某一道主轴承的两侧装止推片。止推片由低碳钢背和减磨层组成。

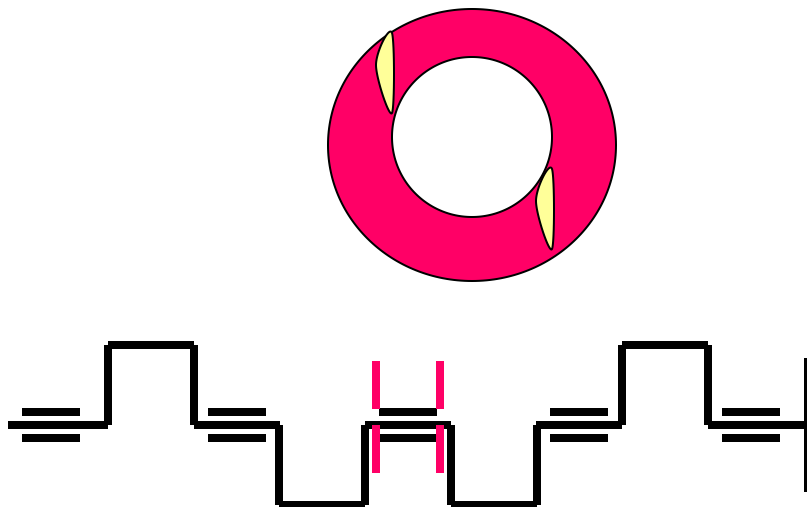
翻边轴瓦：



(2) 安装注意：止推片有减磨层的一面朝向转动件(有油槽一面)。当曲轴向  
前窜动时，后止推片承受轴向推力；向  
后窜动时，前止推片承受轴向推力。



(3) 曲轴的轴向间隙的调整：  
更换止推片的厚度。



## 5.曲拐的布置

### (1) 布置原则

- 1) 使各缸作功间隔角尽量相等。对直列多缸四冲程发动机，作功间隔角为 $720^\circ/\text{缸数}$ 。
- 2) 连续作功的两缸相隔尽量远，减少主轴承连续载荷和避免相邻两缸进气门同时开启的抢气现象。
- 3) V型发动机左右两气缸尽量交替作功

## (2) 常用曲拐布置

### 1) 直列四冲程四缸发动机

⌚ 曲拐对称布置于同一平面内。

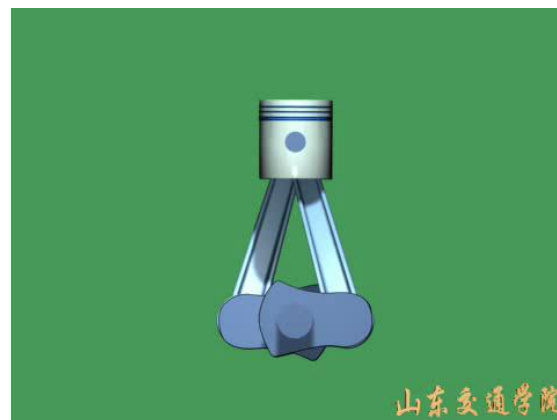
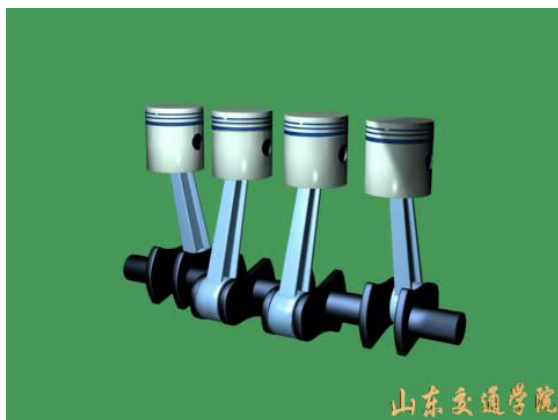
⌚ 相邻做功气缸的曲拐夹角为  $720^\circ/4=180^\circ$ 。

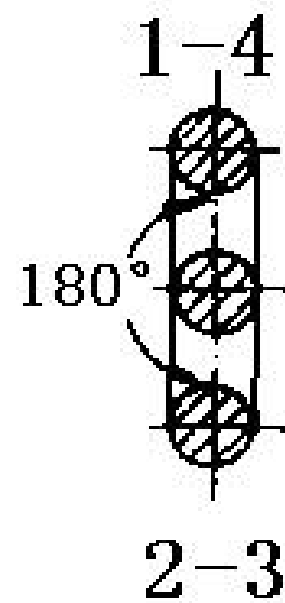
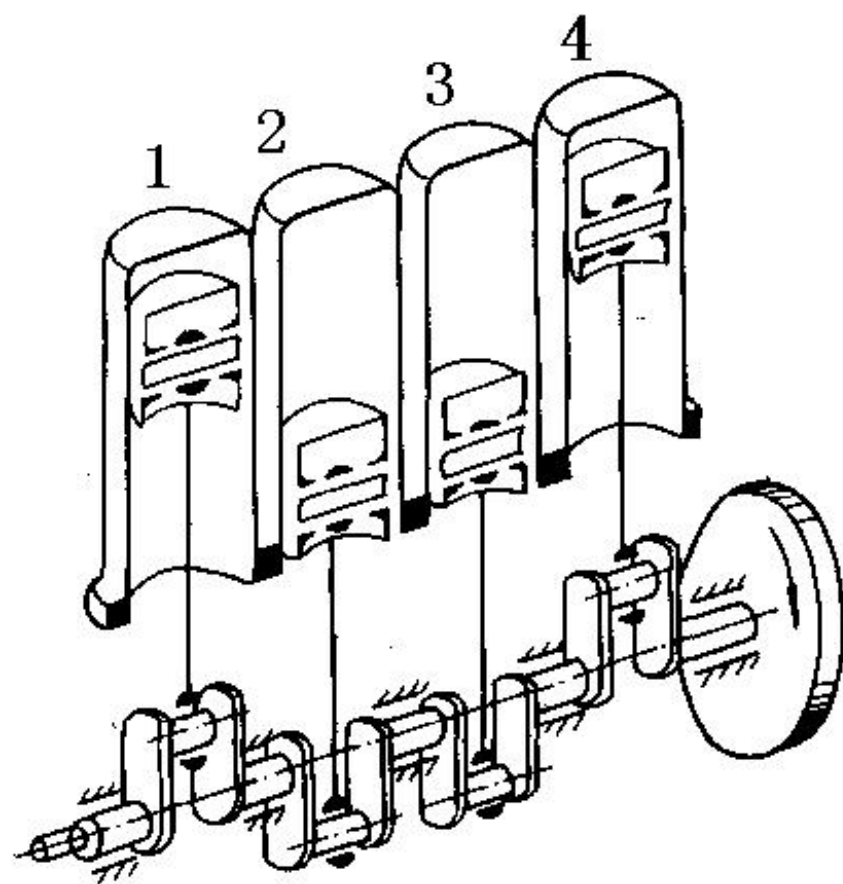
⌚ 发动机工作顺序有

1—3—4—2

1—2—4—3

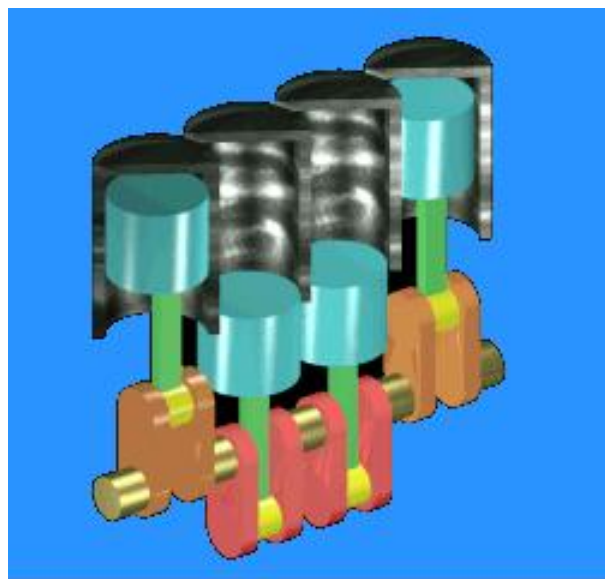
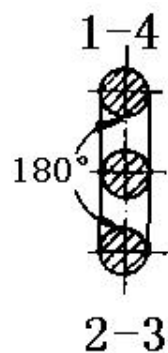
工作顺序：各缸完成同名行程的次序。





(发火次序:1—3—4—2)

| 曲轴转角(°) | 第一缸 | 第二缸 | 第三缸 | 第四缸 |
|---------|-----|-----|-----|-----|
| 0~180   | 作功  | 排 气 | 压 缩 | 进 气 |
| 180~360 | 排 气 | 进 气 | 作功  | 压 缩 |
| 360~540 | 进 气 | 压 缩 | 排 气 | 作功  |
| 540~720 | 压 缩 | 作功  | 进 气 | 排 气 |



1-2-4-3

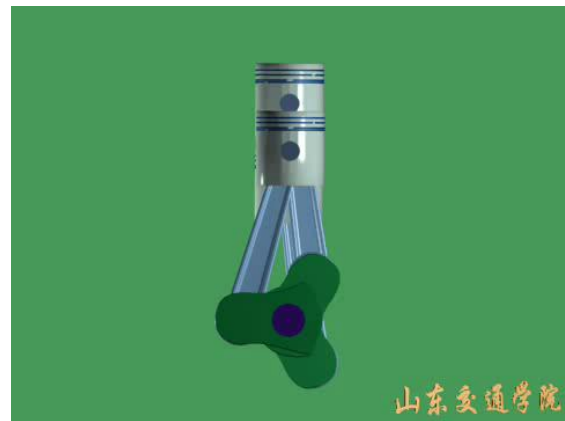
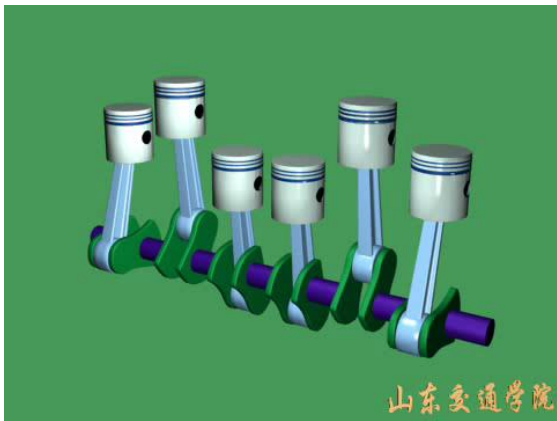
| 曲轴转角( $^{\circ}$ )             | 第一缸 | 第二缸 | 第三缸 | 第四缸 |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| $0 \sim 180^{\circ}$           | 作功  | 压缩  | 排气  | 进气  |
| $180^{\circ} \sim 360^{\circ}$ | 排气  | 作功  | 进气  | 压缩  |
| $360^{\circ} \sim 540^{\circ}$ | 进气  | 排气  | 压缩  | 作功  |
| $540^{\circ} \sim 720^{\circ}$ | 压缩  | 进气  | 作功  | 排气  |

## 2) 直列四冲程六缸发动机

⌚ 发动机工作顺序有1—5—3—6—2—4 ； 1—4—2—6—3—5

⌚ 曲拐对称布置于三个平面内。

⌚ 相邻做功气缸的曲拐夹角为  
 $720^{\circ}/6=120^{\circ}$ 。



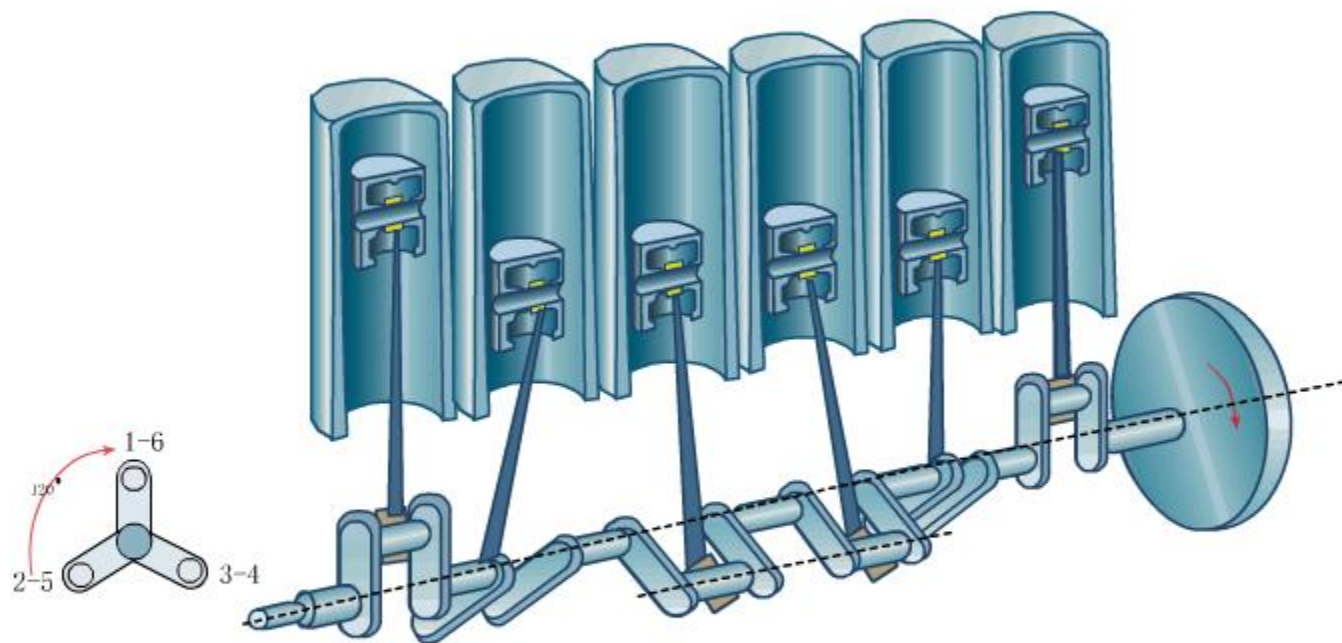
(1)直列式. 分左手排列和右手排列两种形式。左手排列. 即：从曲轴前端看第二缸在第一缸左侧，右手排列，即：从曲轴前端看，第二缸在第一缸的右侧。第一缸与第六缸、第二缸与第五缸、第三缸与第四缸在同一平面内，曲轴配角为 $120^{\circ}$ ，使用四道或七道轴颈。

点火顺序：

左手曲轴为1—5—3—6—2—4。

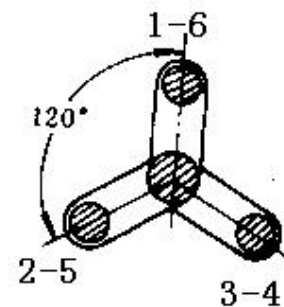
右手曲轴为1—4—2—6—3—5

(2)v型，左右排的相对气缸共用一道曲柄销，使用四道轴颈，点火顺序为1—6—5—4—3—2(右1—左3—右3—左2—右2—左1)。

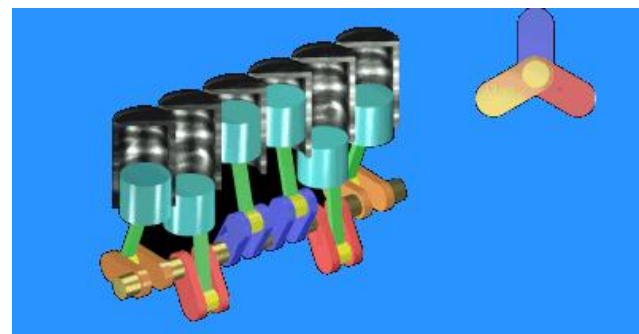


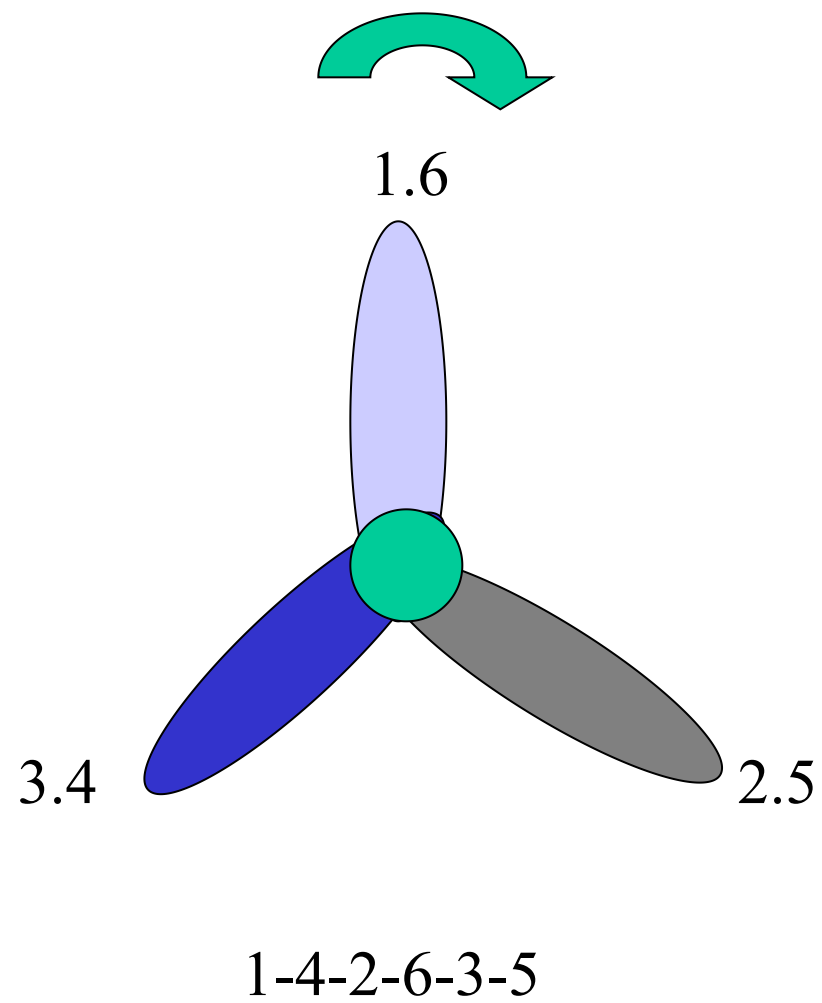
六缸机曲拐布置

发火顺序为1-5-3-6-2-4发动机工作循环表。



| 曲轴转角(°)    |      | 第一缸 | 第二缸 | 第三缸 | 第四缸 | 第五缸 | 第六缸 |
|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0~180°     | 60°  | 作功  | 排气  | 进气  | 作功  | 压缩  | 进气  |
|            | 120° |     |     | 压缩  | 排气  |     |     |
|            | 180° |     | 进气  |     |     | 作功  |     |
| 180° ~360° | 240° | 排气  | 压缩  | 作功  | 进气  |     | 压缩  |
|            | 300° |     |     |     |     |     |     |
|            | 360° |     | 作功  | 进气  |     |     |     |
| 360° ~540° | 420° | 进气  | 压缩  | 排气  | 压缩  | 排气  |     |
|            | 480° |     |     |     |     |     |     |
|            | 540° |     | 作功  | 进气  |     |     |     |
| 540° ~720° | 600° | 压缩  | 作功  | 进气  | 作功  | 压缩  |     |
|            | 660° |     |     |     |     |     |     |
|            | 720° |     | 排气  |     |     |     |     |



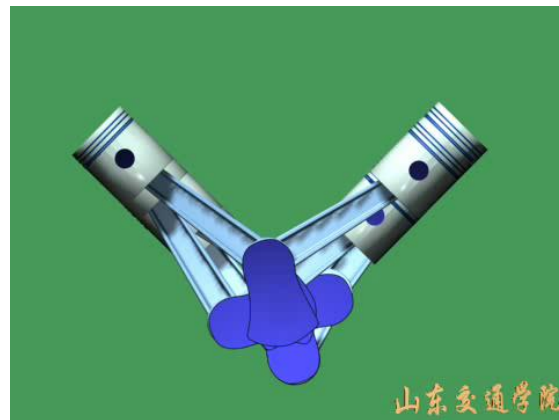
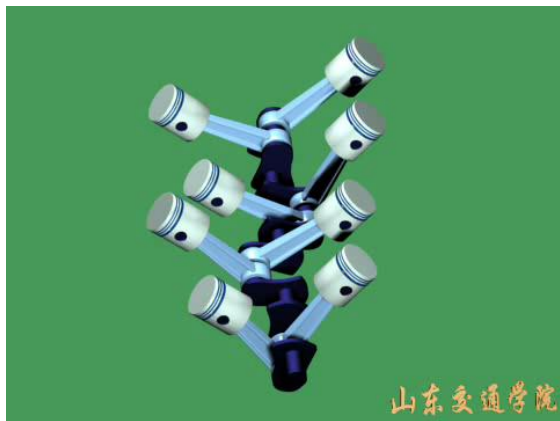


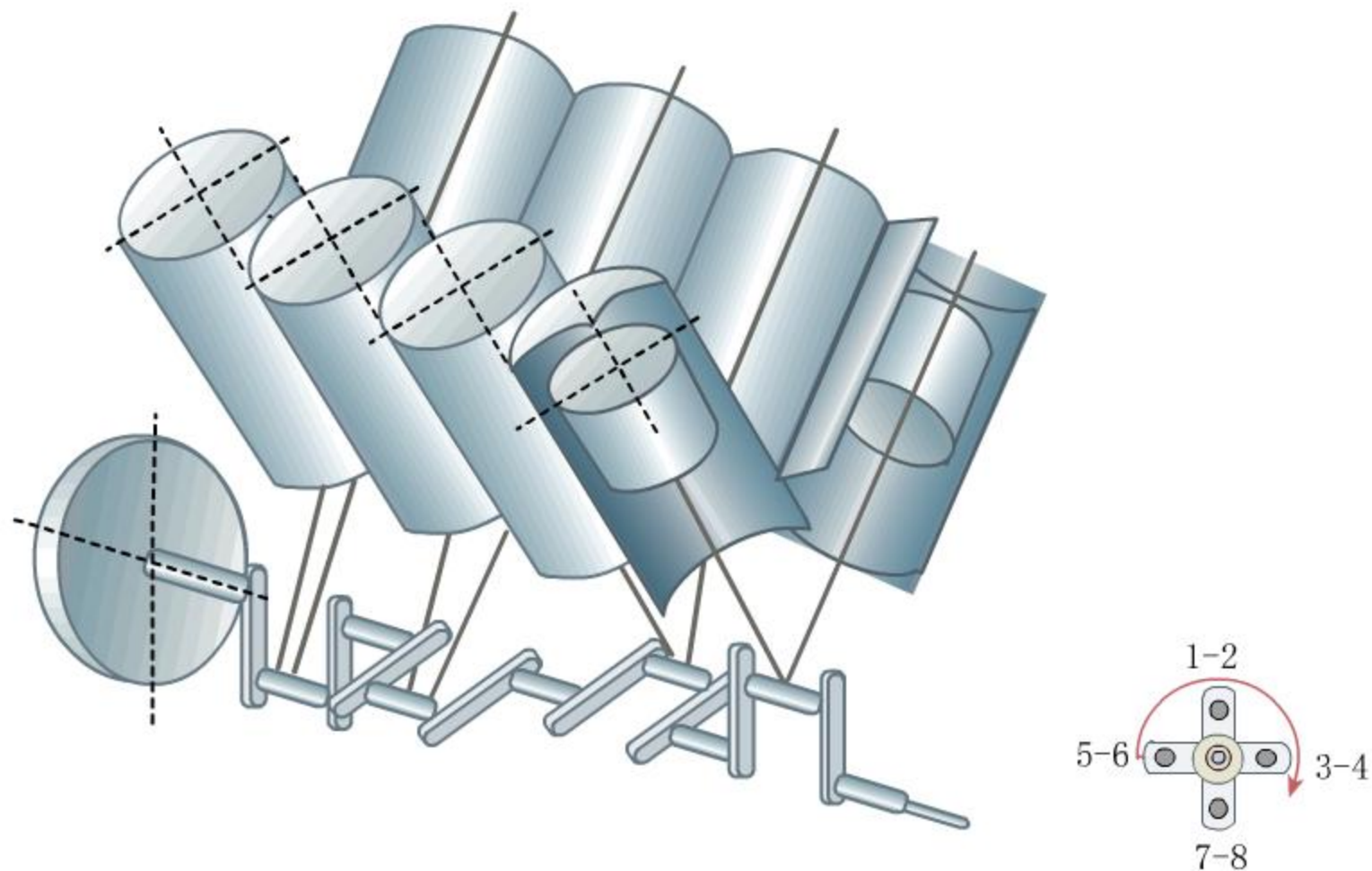
### 3) 四行程V型八缸发动机

⌚ 发动机工作顺序有1—8—4—3—6—5—7—2

⌚ 曲拐对称布置于四个平面内  
(或1个)。

⌚ 相邻做功气缸的曲拐夹角为  
 $720^{\circ}/8=90^{\circ}$ 。





八缸机曲拐布置

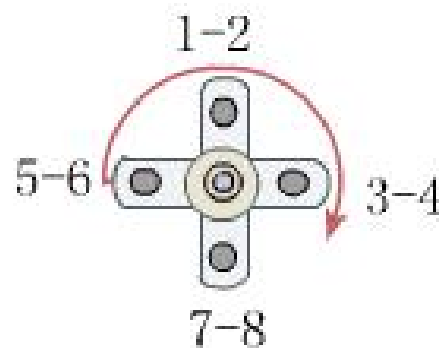
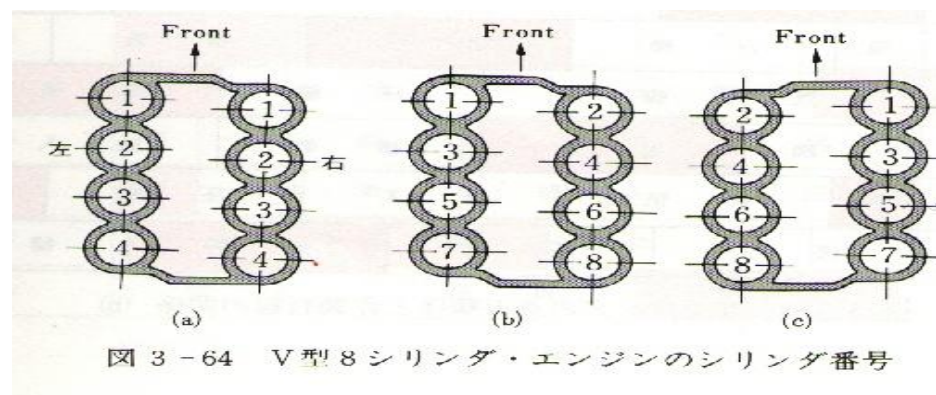


表 2-4 发火顺序为 1-8-4-3-6-5-7-2 V 型八缸四行程发动机循环表

| 曲轴转角(°) |      | 第一缸 | 第二缸 | 第三缸 | 第四缸 | 第五缸 | 第六缸 | 第七缸 | 第八缸 |
|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0~180   | 90°  | 做功  | 做功  | 进气  | 压缩  | 排气  | 进气  | 排气  | 压缩  |
|         | 180° |     | 排气  | 压缩  |     | 进气  |     |     | 做功  |
| 180~360 | 270° | 排气  | 进气  | 做功  | 做功  | 压缩  | 压缩  | 进气  | 排气  |
|         | 360° |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 360~540 | 450° | 进气  | 压缩  | 排气  | 排气  | 做功  | 做功  | 压缩  | 进气  |
|         | 540° |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 540~720 | 630° | 压缩  | 做功  | 进气  | 进气  | 排气  | 排气  | 做功  | 压缩  |
|         | 720° |     |     |     |     |     |     |     |     |



(1)直列式：八缸直列式曲轴又分4—4型和2—4—2型。用两根直列四缸曲轴成 $90^\circ$ 连接在一起，称为4—4曲轴，将一根四缸直列曲轴断成二节，分别接在另一根曲轴的前后端的称为2—4—2曲轴。4—4曲轴第一与第四缸，第二与第三缸，第五与第八缸，第六与第七缸在同一平面，点火顺序为1—8—3—7—4—5—2—6，2—4—2曲轴第一与第八缸，第二与第七缸，第三与第六缸，第四与第五缸在同一平面，点火顺序为：1—6—2—5—8—3—7—4，这两种型式的曲轴使发动机整体结构变长，且平衡性较差。现代发动机已不采用。

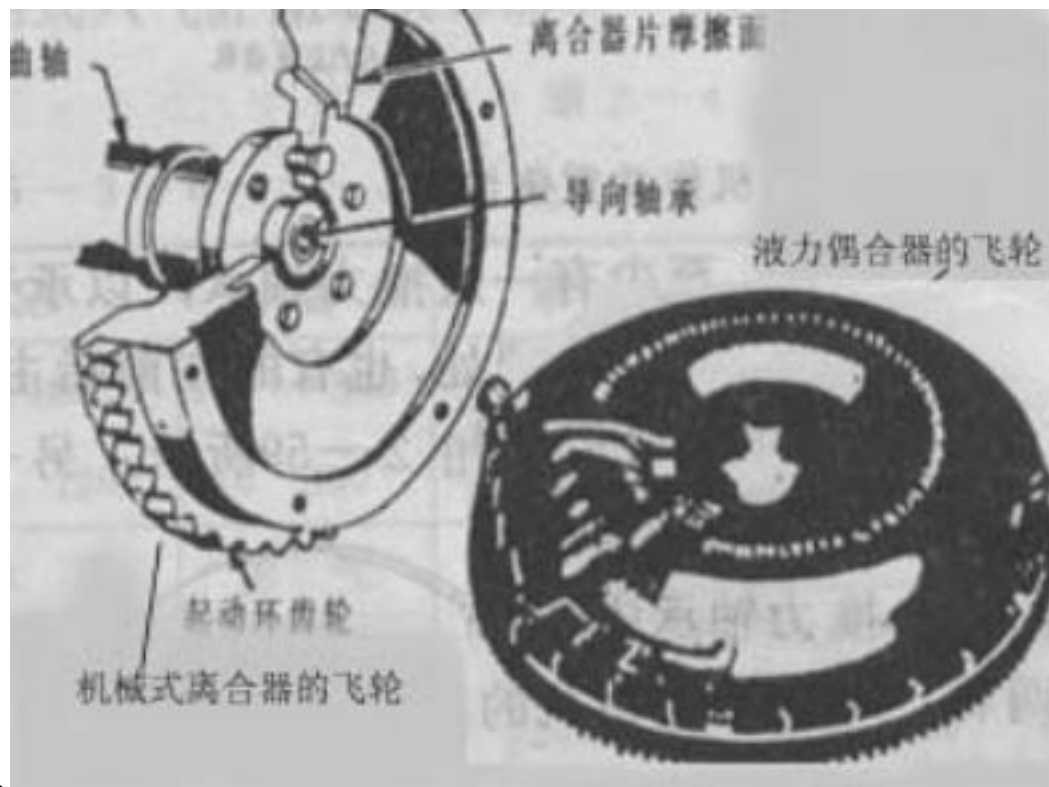
(2)V式：左右相对的气缸共用一个曲柄销，曲轴配角为 $90^\circ$ ，使用三道或五道轴颈，因各发动机标法不同，点火顺序也不相同，但基本的点火顺序有两种，即1—5—4—8—6—3—7—2(左1—右1—左4—右2—左3—右3—左2)；1—8—4—3—6—5—7—2(右1—右4—左2—右2—左3—右3—右4—左1)，

## 二、飞轮

### （一）功用

- 1、贮存能量：在作功行程贮存能量，用以完成其它三个行程，使发动机运转平稳。
- 2、利用飞轮上的齿圈起动时传力。
- 3、将动力传给离合器。
- 4、克服短暂的超负荷。

发动机使用的飞轮因离合器不同而不同，分机械式离合器和液力偶合器两类。



### (1) 用于机械式离合器的飞轮

机械式离合器使用的飞轮，用铸铁制成，用螺丝与曲轴凸缘相连接。中间有支承曲承，飞轮与离合器摩擦片接触的平面经精密加工而成。圆周装有齿环，安装齿环时通常将齿环加热后套入，冷却后即紧密结合在一起。有些飞轮上打有上止点及点火正时记号。

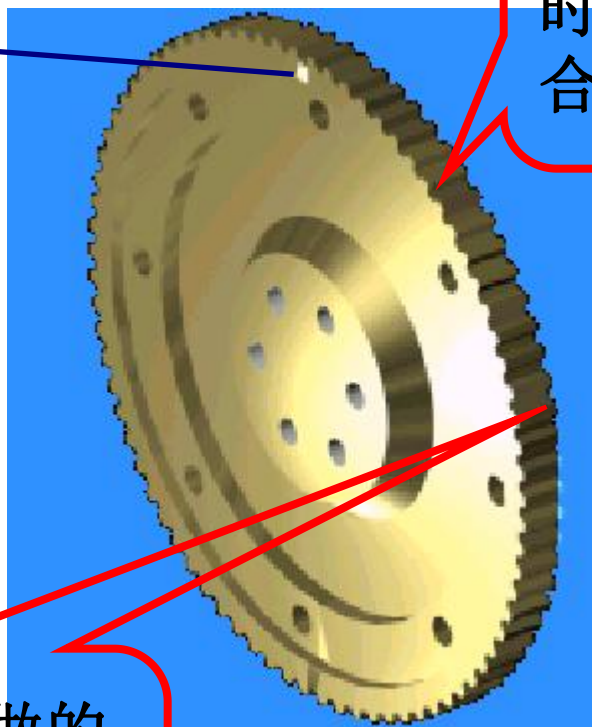
### (2) 用于液力偶合器的飞轮

液力偶合器用的飞轮。飞轮与主动叶轮焊在一起，被动叶轮与导轮等包在内部，而形成液力偶合器组。

## （二）构造

### 1、飞轮为一外缘有齿圈的铸铁圆盘。

一缸上止点记号

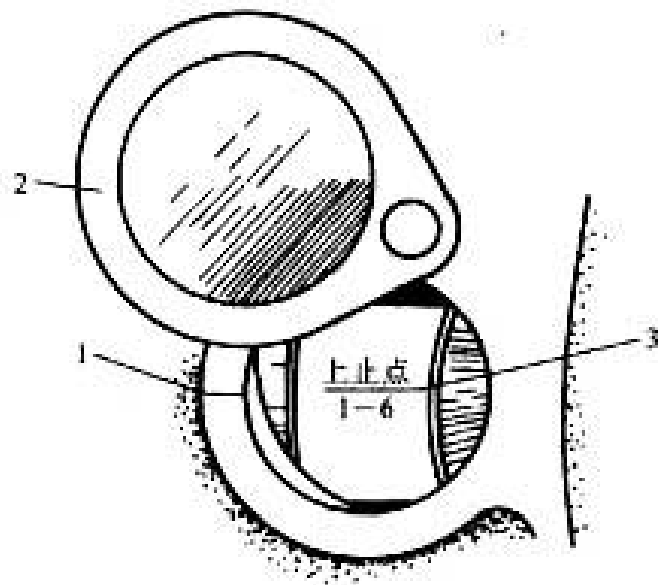


齿圈在发动机启动时与起动机齿轮啮合，带动曲轴旋转。

飞轮边缘部分做的厚些，可以增大转动惯量

圆周装有齿环，安装齿环时通常将齿环加热后套入，冷却后即紧密结合在一起。

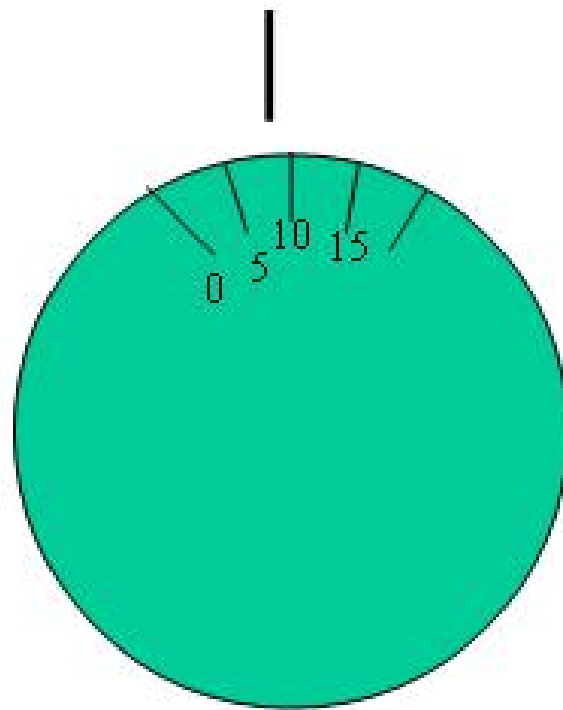
2、有的飞轮上有一缸上止点记号和点火提前角刻度线（汽油机）或供油提前角刻度线（柴油机），以便调整和检验点火正时，供油提前角和气门间隙。



发动机发火定时记号

1—离合器外壳的记号 2—观察孔盖板

3—飞轮上的记号



3、飞轮与曲轴在制造时一起进行过动平衡实验，在拆装时为了不破坏它们之间的平衡关系，飞轮与曲轴之间应有严格不变的相对位置。通常用定位销和不对称布置的螺栓来定位。

# 三、曲轴扭转减振器

## （一）扭转振动

在发动机工作过程中，经连杆传给连杆轴颈的作用力的大小和方向都是周期性变化的，所以曲轴各个曲拐的旋转速度也是忽快忽慢呈周期性变化。安装在曲轴后端的飞轮转动惯量最大，可以认为是匀速旋转，由此造成曲轴各曲拐的转动比飞轮时快时慢，这种现象称之为曲轴的扭转振动。

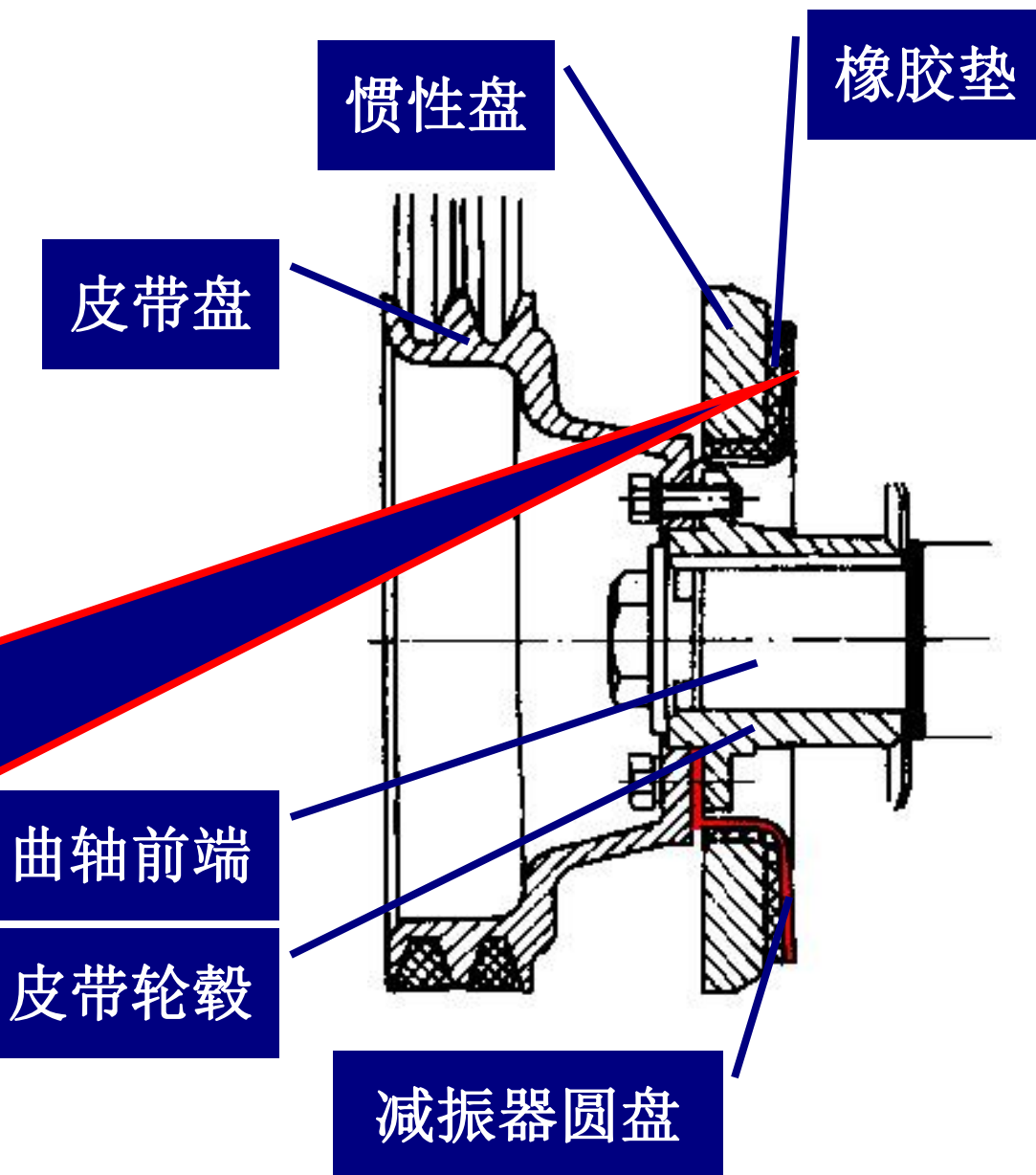
当曲轴第一、二缸做功行程时，有使曲轴前部向前转动的倾向，而曲轴后部则因飞轮惯性不能立刻跟随转动，此时曲轴产生扭曲现象。第一，二缸做功行程以后，飞轮惯性反使曲轴后部较前部转得快，而发生另一方向扭转。这种来回扭转若不加以控制，在某种转速时会产生共振，而曲轴经长时间承受扭转应力会产生疲劳而折断。减振器就是起吸收振动的作用。当曲轴前端发生加速或减速时，减振器上的配重就发生迟滞作用，而吸收扭转振动。减振器有磨擦片式、橡胶式和液体式三种。

## (二) 扭转减振器

### 橡胶摩擦式扭转减振器

功用：吸收曲轴扭转振动的能量，消减扭转振动。

当曲轴发生扭转振动时，力图保持等速转动的惯性盘便与橡胶层发生了内摩擦，从而消耗了扭转振动的能量，消减了扭振。



## 曲轴的平衡

曲轴如果局部重量不均，运转时将产生剧烈振动，致使曲轴疲劳折断。因此，在曲柄销对面必须加上配重以保持平衡。配重有些可用螺丝固定，可拆卸，有的配重直接铸造在曲轴上。现代的高速发动机为减小噪音，平衡轴来提高平衡度。平衡轴通常使用两根，断面为半圆，使用胶木齿轮与曲轴齿轮相啮合，平衡轴与曲轴转动方向相反，以消除曲轴转动的惯性力。

