



作用：将燃料燃烧的热能转换为机械能，将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动，并将能量传输出去。

组成：

- 1、 机体组
- 2、 活塞连杆组
- 3、 曲轴飞轮组

工作特点：高温、高压、高速、化学腐蚀。

wt55pub@scau.edu.cn

第一节 曲柄连杆机构的受力及运动分析

一、运动分析

活塞组、连杆小头：上下往复运动

连杆大头、杆身、连杆盖：主要做左右摆动，同时伴有上下往复运动；

曲轴、飞轮：主要做旋转运动。

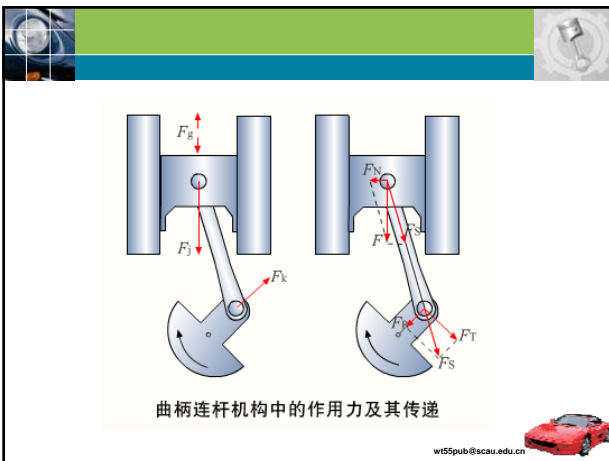
以上各零部件均是做**变速运动**、**周期性的**。

wt55pub@scau.edu.cn

二、受力种类及受力分析

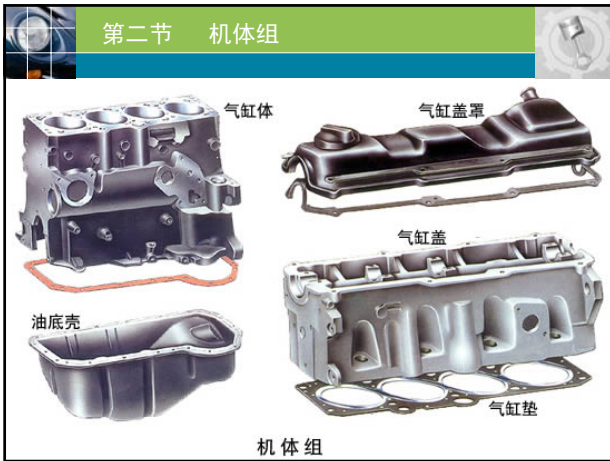
- 1) 气体作用力（主要）
- 2) 往复惯性力与离心力（主要）
- 3) 摩擦力和其它（因为较小，故分析时忽略）

wt55pub@scau.edu.cn



- 由于发动机工作循环的周期性和曲柄连杆机构运动的周期性，上述各力随曲轴转角呈周期性变化。
- 引起发动机振动，降低汽车行驶的平顺性和舒适性。
- 改善方法：减小曲柄连杆机构运动件质量以减小惯性力；在曲轴上加平衡重和设置平衡机构。

wt55pub@scau.edu.cn



汽缸体

工作条件和材料

1) **气缸工作条件:**
 气缸受到高温、高压的冲击; 受到腐蚀; 活塞在气缸里作高速运动而受到磨损等。

2) **材料:** 优质合金铸铁。
 但是为了降低成本, 通常是机体用灰铸铁, 气缸孔用优质合金铸铁, 而采用气缸套。

分类

(1) 按气缸体与油底壳安装平面位置不同分为

名称	性能	应用
一般式	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。
龙门式	强度和刚度较好。工艺性差、结构笨重、加工困难。	捷达轿车、富康轿车、桑塔纳轿车。
隧道式	结构紧凑、刚度和强度高。难加工、工艺性差、曲轴拆卸不方便。	负荷较大的柴油机上。

(2) 根据冷却方式不同

- 1、水冷
- 2、风冷

风冷气缸体和气缸盖

(3) 根据气缸的排列方式

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。六缸以上发动机使用

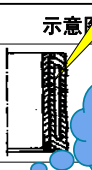
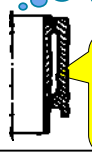
高度小, 总体布置方便。轿车中应用不多

(4) 整体式气缸体和镶嵌式气缸体

- a、整体式气缸体: 气缸直接镗在气缸体上。
- b、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。


(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。壁厚1~3mm。	
湿缸套	外壁 直接 与冷却水接触。壁厚5~9mm。	

强度和刚度都较好，加工复杂，拆装不便，散热不良。

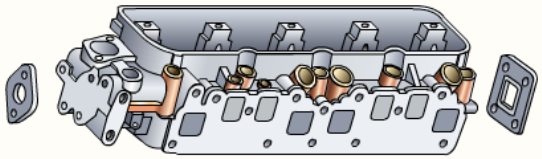
性能如何？

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。




w155pub@scau.edu.cn

气缸盖



气缸盖




w155pub@scau.edu.cn

1、作用

封闭气缸上部；与活塞顶部和气缸壁一起构成燃烧室；是配气机构的多数零件的安装机体。

2、工作条件和材料


- 工作条件：**受到高温、高压的冲击；受到腐蚀作用。
- 材料：**灰铸铁、合金铸铁、铝合金（汽油机用）



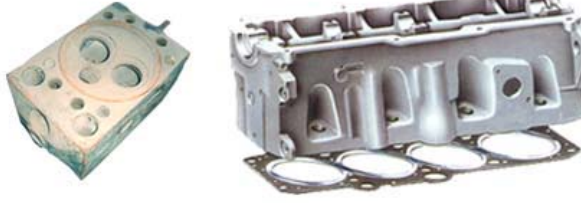
w155pub@scau.edu.cn

3、结构形式

- 整体缸盖：**一台发动机一个气缸盖。
结构较紧凑，零件数目少，成本低，发动机的总长度减少；但刚性差，易变形，使得发动机的密封性下降，系列化程度差，加工报废率高；适用于缸径<105mm的发动机。
- 块状缸盖：**2缸或2缸以上共用一个缸盖。
适用于105mm<缸径<160mm的发动机。
- 单体缸盖：**一缸一个缸盖。
缸径>105mm可用；缸径>120mm的优先采用；缸径>160mm 都采用。




w155pub@scau.edu.cn



单体式气缸盖 整体式气缸盖

缸盖螺栓：
拧紧：从中间往两边依次对角分次进行；
拧松：从两边往中间依次对角进行




w155pub@scau.edu.cn

燃烧室

1) 对汽油机燃烧室的要求


- (1) 有利于提高热效率
- (2) 有利于排气净化
- (3) 有利于换气
- (4) 有利于燃烧平静
- (5) 有利于组织气流运动



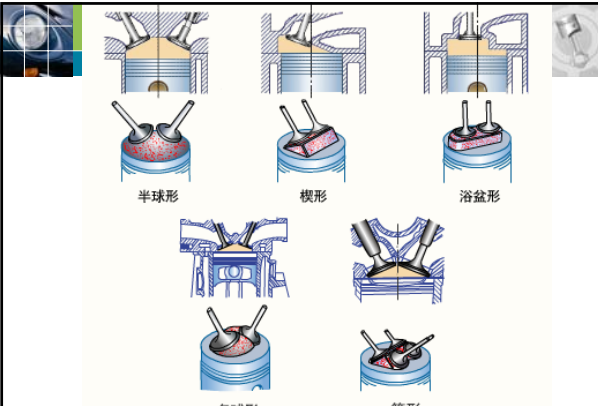
w155pub@scau.edu.cn

2) 几种典型燃烧室:


- (1) **盆型**: 结构简单, 但不够紧凑。
- (2) **楔形**: 结构简单, 较紧凑, 能形成挤气流, 但使得HC排放增加。
- (3) **半球型**: 结构紧凑, 但配气机构复杂, 工作较粗暴, 多用于高速汽油机。



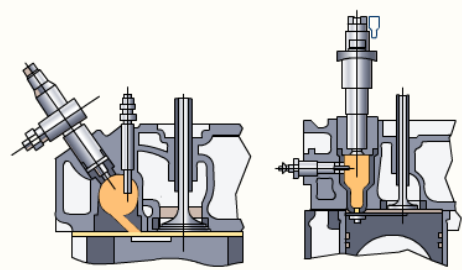
wt55pub@scau.edu.cn




汽油机燃烧室



wt55pub@scau.edu.cn



柴油机燃烧室




wt55pub@scau.edu.cn

气缸垫

1. 气缸衬垫的功用、工作条件及要求

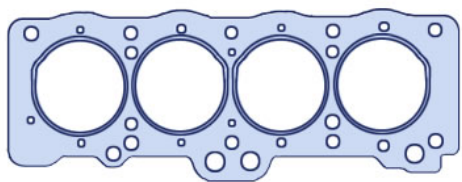
- 其作用是保持气缸密封不漏气, 保持由机体流向气缸盖的冷却液和机油不泄漏。
- 气缸衬垫承受拧紧气缸盖螺栓时造成的压力, 并受到气缸内燃烧气体高温、高压的作用以及机油和冷却液的腐蚀。
- 气缸衬垫应该具有足够的强度, 并且要耐压、耐热和耐腐蚀。另外, 还需要有一定的弹性, 以补偿机体顶面和气缸盖底面的粗糙度和不平度以及发动机工作时反复出现的变形。




wt55pub@scau.edu.cn

2. 气缸衬垫的分类及结构

- 金属—石棉衬垫、金属—复合材料衬垫和全金属衬垫等多种。



气缸衬垫



wt55pub@scau.edu.cn

油底壳

放油螺塞带磁性, 对随着润滑油进入油底壳的铁屑进行吸附。

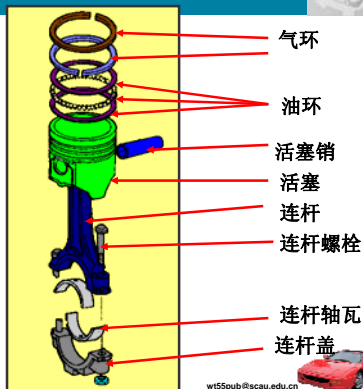



wt55pub@scau.edu.cn

第三节 活塞连杆组

活塞组：活塞、活塞环（气环、油环）、活塞销、卡环等。

连杆组：连杆、连杆盖、连杆轴瓦、连杆螺钉等。



一、活塞

1、作用

- 1) 承受力、传力。
- 2) 组成燃烧室。

2、工作条件（非常恶劣）

三高：高温、高压、高速

两难：冷却困难、润滑困难

一腐蚀：受到酸性物质的腐蚀

3、材料

常用：铸铝合金（高硅铝合金、铝铜合金）

强化发动机：高级铸铁、耐热钢（主要为了提高其强度）

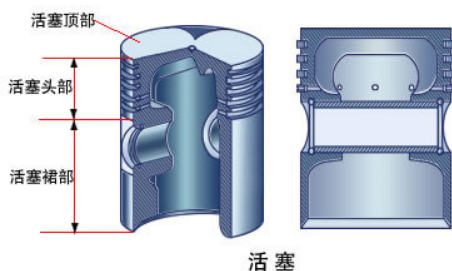
新型：金属陶瓷（有组合式的（陶瓷用于活塞顶部），也有整体式的）

总之，对于转速较高的发动机来说，活塞材料多选择质量较轻的铝合金；而对于低速机，现在多用灰铸铁。

4、加工制造方法

- 1) 铸造
- 2) 锻造
- 3) 液态模锻

5、结构



1) 顶部：

汽油机：二冲程机多用凸顶活塞，其它汽油机多用平顶。

柴油机：有平顶、凹顶、 ω 形、碗形、盆型、花瓣形等。

活塞顶分类

平顶活塞 凸顶活塞 凹顶活塞

平顶活塞: 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。

凸顶活塞: 凸起呈球状、顶部强度高，起导向作用、有利于改善换气过程。

凹顶活塞: 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。

wt55pub@scau.edu.cn

2) 头部 (又叫环槽部、防漏部)

头部: 又叫防漏部、环槽部。加工有活塞环槽的部分。

作用: 密封、传热、传力。

由活塞顶到气缸壁的热流

活塞隔热槽

wt55pub@scau.edu.cn

3) 裙部: 指最后一道油环槽下缘起至活塞底面的部分。

(1) 作用: 承受侧压力、导向。

(2) 裙部的椭圆变形

销座热膨胀 挤压变形

弯曲变形 裙部变形

wt55pub@scau.edu.cn

(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

wt55pub@scau.edu.cn

A、原因

A) 沿活塞销的方向，金属量较多，所以在其受热膨胀后，此处的膨胀量就最大。

B) 在受到气缸内气体燃烧后产生的气压力的作用后，使活塞顶部在销座跨度内发生弯曲变形。

C) 气缸壁对活塞的侧压力作用，引起活塞变形也沿活塞销的轴线方向。

wt55pub@scau.edu.cn

B、预防和控制裙部椭圆变形的措施

I、尽量减少活塞的受热。

II、使活塞的侧表面形状与变形相适应。

III、对汽油机活塞，在裙部开纵向补偿槽。


IV、在活塞上镶铸钢片，以限制活塞的变形量。

V、采用油冷活塞。

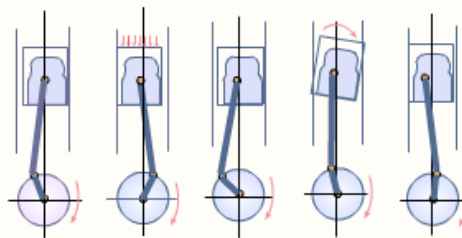
VI、减少销座方向的金属量，以减少其受热变形。

wt55pub@scau.edu.cn


□ 活塞销孔轴线通常与活塞轴线垂直相交。这时，当压缩行程结束、做功行程开始，活塞越过上止点时，侧向力方向改变，活塞由次推力面贴紧气缸壁突然转变为主推力面贴紧气缸壁，活塞与气缸发生“拍击”，产生噪声，且有损活塞的耐久性。在许多高速发动机中，活塞销孔轴线朝主推力面一侧偏离活塞轴线1~2mm。压缩压力将使活塞在接近上止点时发生倾斜，活塞在越过上止点时，将逐渐地由次推力面转变为由主推力面贴紧气缸壁，从而消减了活塞对气缸的拍击。



wt55pub@scau.edu.cn



销孔位置对侧向力变向时活塞运动的影响



wt55pub@scau.edu.cn

活塞的冷却

□ 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。

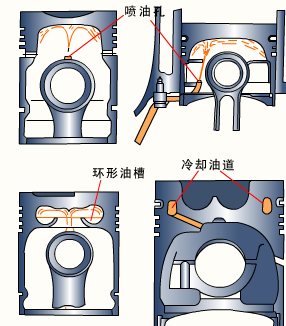
- 从连杆小头上的喷油孔将机油喷入活塞内壁的环形油槽中，由于活塞的运动使机油在槽中产生振荡而冷却活塞。

□ 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。



wt55pub@scau.edu.cn



油冷活塞



wt55pub@scau.edu.cn

二、活塞环

按照用途分为：气环和油环。

汽油机：气环2~3道；油环数1道。

柴油机：气环3~4道；油环数1~2道。


柴油机气环数多于汽油机的原因：

- 1) 柴油机压缩比大于汽油机；
- 2) 柴油机转速低于汽油机；
- 3) 柴油机的配缸间隙大于汽油机。

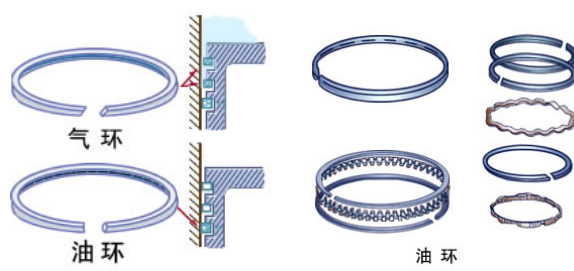
(一) 气环

1、作用

- 1) 与活塞一起密封高温高压的燃气下窜入曲轴箱。(主要)
- 2) 将活塞头部的热量传给气缸壁。
- 3) 辅助油环控制气缸壁上的润滑油。




wt55pub@scau.edu.cn



气环


油环



wt55pub@scau.edu.cn

2、工作条件
恶劣：活塞环（气环）是发动机零件中工作寿命最短的。
总的说：高温、高压、高速、润滑困难、磨损严重等。


3、材料
 多用合金铸铁、钢片、粉末冶金、金属陶瓷等。
 对于强化发动机：则用球墨铸铁，以加强环的强度和冲击韧性。



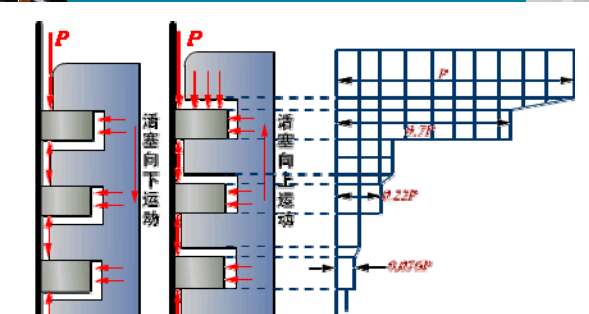
wt55pub@scau.edu.cn

第一环：条件最恶劣，所以要求表面镀铬。
其余各环：镀锡或者磷化、喷石墨及硫化处理，以提高其与气缸壁的磨合性。

4、密封原理
第一密封面：由气环装入气缸后在自身的弹力作用下形成，为气环外缘面与缸壁接触的面。
第二密封面：由下窜入上侧隙的气体压力形成，为气环的下端面与环槽下面形成。
第二次密封：由下窜入背隙的气体压力形成，加强了第一密封面的密封性。




wt55pub@scau.edu.cn



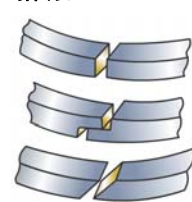
气环的密封原理

活塞向下运动
 活塞向上运动




wt55pub@scau.edu.cn

5、气环的切口形状
 四种：1) 直切口 2) 斜切口
 3) 搭切口 4) 封闭切口



气环开口形状



wt55pub@scau.edu.cn

6、常见气环的断面形状
 1) 矩形断面（气环横剖面为矩形）
 结构简单，加工容易，成本较低，报废率少，贴合性、结合性、磨合性较差，耐磨性也较差，密封效果不好，**泵机油现象严重。**



矩形环的泵油作用




wt55pub@scau.edu.cn

2) 微锥面环
 环的磨合性和贴合性大大提高，此环多用在第二、三道上，起强化密封的作用。

3) 扭曲断面环
 正扭曲内切环（用作第二、三道环）和反扭曲锥面环（多用于第一道环上）。

4) 梯形环（图2-32）
 用于热负荷比较高的柴油机上，多用于第一道。
 优点：（1）抗胶结作用比较强，有自洁作用。
 （2）与其它环比较，提高了环的密封性。




wt55pub@scau.edu.cn

5) 桶面环
 普遍用在强化柴油机中的第一道。
 特点：结构有利于润滑；对气缸的表面适应性和对活塞偏摆适应性均好，有利于密封。
 缺点：凸圆弧表面加工困难。

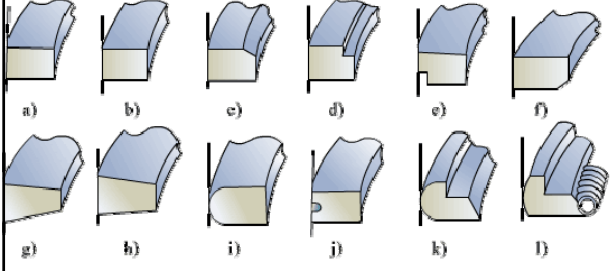
6) 桶面梯形环：现代高速柴油机广泛使用。

7) 开槽环：开槽内储存对润滑油有较强吸附能力的多孔性氧化铁。有利于润滑、磨合和密封。

8) 顶岸环：有利于密封，有利于降低HC排放。




wt55pub@scau.edu.cn



气环的断面形状

a) 矩形环; b) 锥面环; c), d) 上侧面内切正扭曲环; e) 下侧面内切正扭曲环; f) 下侧面内切反扭曲环; g) 桶形环; h) 楔形环; i) 桶面环; j) 开槽环; k) 顶岸环; l) 顶岸环



wt55pub@scau.edu.cn

(二) 油环

1、作用


- 1) 刮掉缸壁上多余的机油，并且均匀分布缸壁上的机油。
- 2) 辅助密封。

2、分类

- 1) 普通油环（整体式油环）
- 2) 组合式钢片油环


(三) 安装活塞环的注意事项

- 1、活塞环装入气缸之后，环的开口间隙要适当，0.2~0.4mm。



wt55pub@scau.edu.cn

- 2、活塞环在环槽中的上下侧隙要适当，0.04~0.15mm。
- 3、安装活塞环时，应将活塞环切口错开，以减少漏气。另外，切口不能朝向活塞销轴线方向。
- 4、镀铬环应装入第一环槽（外表面光亮的为第一环）。
- 5、微锥面环、扭曲环、倒角油环上下不能装反，否则将产生将机油泵入燃烧室的危险。
- 6、先装油环再装气环。



wt55pub@scau.edu.cn


三、活塞销

(一) 作用

- 1、连接活塞与连杆小头。
- 2、将活塞承受的气体力传给连杆。

(二) 材料

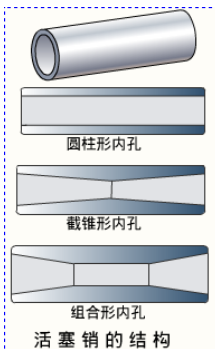
多用**低碳钢**和**低碳合金钢**。
 同时要求其芯部具有一定的韧性。为了减轻质量，常将其做成空心圆柱形。




wt55pub@scau.edu.cn

(三) 内孔形状

- 1) 圆柱形（加工容易，但质量较大）
- 2) 两段截锥形（质量较小，但加工较难）
- 3) 组合形（介于前后两者之间）



圆柱形内孔
 截锥形内孔
 组合形内孔
 活塞销的结构



wt55pub@scau.edu.cn

四、连杆组

(一) 作用


- 1、传力：将活塞所承受的力传给曲轴。
- 2、转变运动形式：将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动。

(二) 工作条件

连杆组主要受**压缩**、**拉伸**和**弯曲**等交变负荷。最大压缩载荷出现在作功行程上止点附近，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作平面运动时产生的横向惯性力的共同作用下，连杆体可能发生**弯曲变形**。

(三) 材料

多用合金钢与优质锻钢。如40#、45#、40Cr等。



wt55pub@scau.edu.cn

□ 连杆构造

- 连杆由小头、杆身和大头构成



连杆组

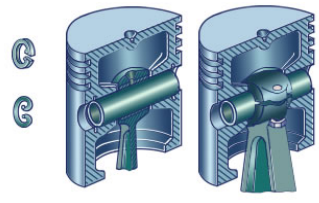


wt55pub@scau.edu.cn


□ 小头

□ 小头的结构形状取决于活塞销的尺寸及其与连杆小头的连接方式

- 全浮式
- 半浮式



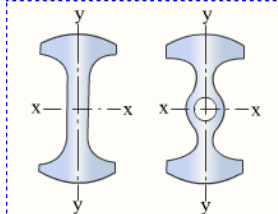
全浮式 半浮式




wt55pub@scau.edu.cn

□ 杆身

□ 杆身断面为工字形，刚度大、质量轻、适于模锻。



杆身的工字形断面

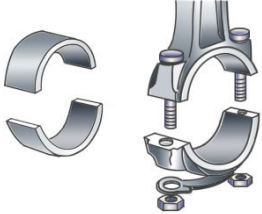



wt55pub@scau.edu.cn

□ 大头

□ 连杆大头除应具有足够的刚度外，还应外形尺寸小，质量轻，拆卸发动机时能从气缸上端取出。


□ 连杆大头是剖分的，连杆盖用螺栓或螺柱紧固，为使结合面在任何转速下都能紧密结合，连杆螺栓的拧紧力矩必须足够大。

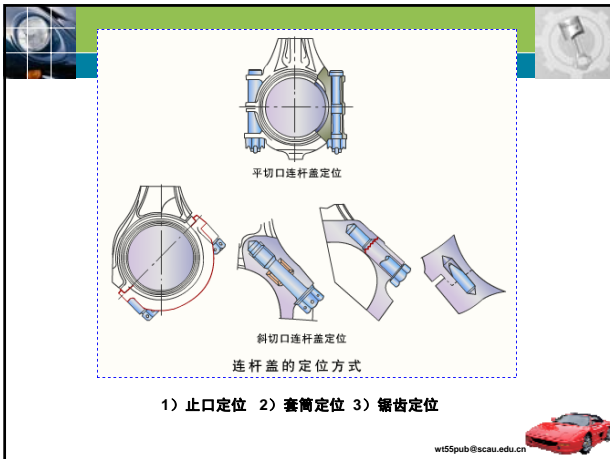
wt55pub@scau.edu.cn

□ 剖分形式:

- 平剖：剖分面与连杆中心线垂直。刚性好，加工方便，对于连杆螺栓只受拉伸力，而不受剪切力。多用于小型汽油机。但在装配时易出现大头碰伤气缸壁的现象。
- 斜剖：剖分面与连杆中心线成 $30 \sim 60^\circ$ 夹角。减少了连杆大头的外形尺寸。但使得连杆螺栓不仅受到拉伸力而且还受到剪切力。多用于功率较大的发动机，比前者多用。



wt55pub@scau.edu.cn

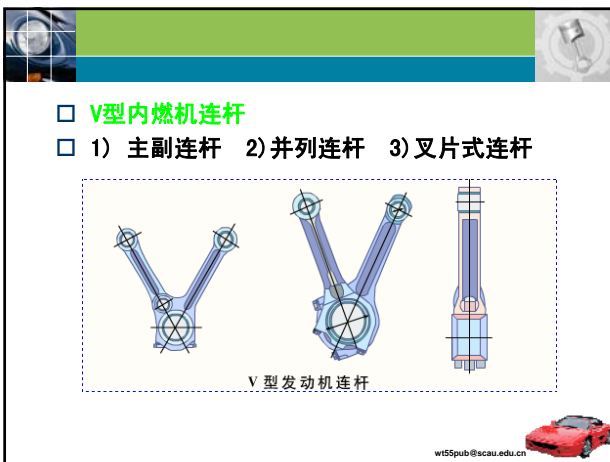


□ 连杆轴瓦

- 组成：钢背和减摩合金层（作用：具有保持油膜、减少摩擦阻力和加速磨合的作用）。

□ 连杆螺栓

- 为标准件。
- 材料：40Cr、35CrMo、40CrMo等。
- 拧紧后，应安装防松装置。



第四节 曲轴飞轮组

□ 一、曲轴

□ 作用：承受连杆传来的力，并将此力转换成绕其自身的轴线的力矩。

□ 工作条件及材料

工作条件：是高速旋转件，承受弯曲和扭转载荷。

材料要求：刚度、强度、耐磨性要好。

材料：中碳钢（45#）或中碳合金钢（40Cr等）

□ 结构：

- 前端：正时齿轮、正时链轮、皮带轮端；车用发动机还装有曲轴扭转减震器、启动爪（中、小发动机）。
- 后端：飞轮端（功率输出端）。
- 曲轴轴颈、曲柄（臂）、曲柄销（连杆轴颈）、平衡重等。

□ 类型

- 1) 按照结构分：整体式和组合式
- 2) 按照支承形式分：全支承和非全支承

□ 连杆轴颈（曲柄销）

- 一般采用空心轴颈。连杆轴颈的润滑依靠与主轴颈之间的斜油道来润滑。

□ 曲柄（臂）和平衡重

- 曲柄臂：多采用椭圆形。
- 平衡重：减轻主轴颈负荷；减轻曲轴的内力矩，平衡发动机不平衡的离心力矩，一般不平衡往复惯性力。

□二、主轴承

- 用来支承曲轴主轴颈，采用滑动轴承。多用分开式，安装在机体的主轴承座上。主轴承盖与主轴承配对加工，配对安装。轴瓦分上、下瓦，安装轴瓦时，不能将上下瓦装反，上瓦上有油孔，加工有油槽，以润滑主轴颈。

□三、多缸机曲拐布置及发火顺序

□发火顺序：各缸做功冲程交替进行的次序。

□发火顺序设定原则：

- 1、使连续做功的两缸相距应尽可能的远。
- 2、三缸以上发动机做功间隔时间（发火间隔角）应力求均匀。四缸发火间隔角为 $720/4=180$

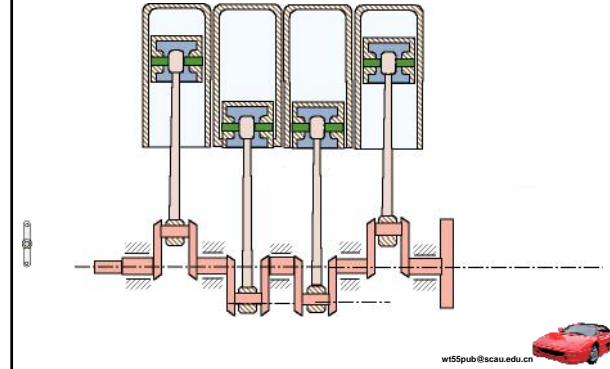
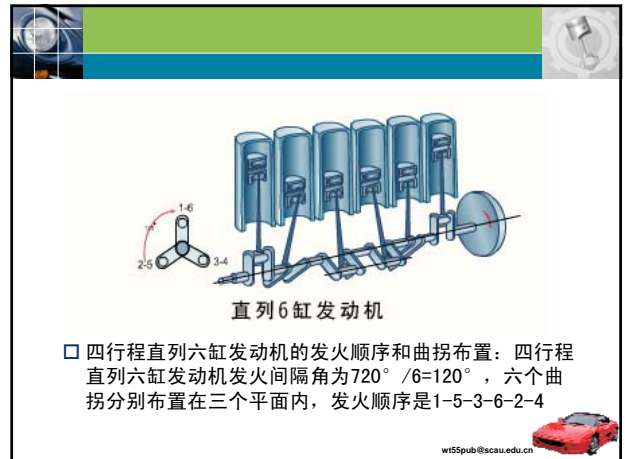


表2-1(工作顺序1-3-4-2)

曲轴转角(°)	第一缸	第二缸	第三缸	第四缸
0-180	做功	排气	压缩	进气
180-360	排气	进气	做功	压缩
360-540	进气	压缩	排气	做功
540-720	压缩	做功	进气	排气

表2-2(工作顺序1-2-4-3)

曲轴转角(°)	第一缸	第二缸	第三缸	第四缸
0-180	做功	压缩	排气	进气
180-360	排气	做功	进气	压缩
360-540	进气	排气	压缩	做功
540-720	压缩	进气	做功	排气



直列6缸发动机

- 四行程直列六缸发动机的发火顺序和曲拐布置：四行程直列六缸发动机发火间隔角为 $720^\circ/6=120^\circ$ ，六个曲拐分别布置在三个平面内，发火顺序是1-5-3-6-2-4

表2-3 四冲程直列六缸发动机(工作顺序1-5-3-6-2-4)

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

□四、曲轴前后端密封-结合拆装实习观察。

□五、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。
- 橡胶扭转减振器、
- 硅油扭转减振器
- 硅油橡胶扭转减振器


六、飞轮

1、作用：


- 1) 克服短暂过载
- 2) 动力输出
- 3) 点火正时
- 4) 启动发动机

2、安装注意事项

- 1) 飞轮与曲轴一起进行动平衡试验后，不能互换。
- 2) 飞轮的安装螺栓应按造规定的力矩拧紧。




飞轮

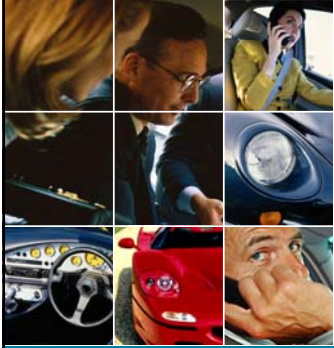


wt55pub@scau.edu.cn


□ 发动机滑动轴承-结合拆装实习观察



wt55pub@scau.edu.cn



Thank You !



wt55pub@scau.edu.cn