

第 4 章 运动机件

4.1 第四章说明

运动机件在整个柴油机中占有举足轻重的地位,所以课件第四章是内燃机结构课最重要的部分之一。第四章内容多、结构复杂,对课件开发小组来说是一个挑战。纵观整个第四章可以说,第四章是综合运用 3dsmax 等软件而制作完成的。3dsmax 涉及的知识摄像机、材质、灯光、特殊光效等等实在过于复杂,而且本章中使用到的动画种类繁多,现在只对本章中所使用的动画进行一个简单的分类总结。至于软件的使用将在以后的小结中来阐述。

本章课件中使用到的动画大致可分为结构演示动画、结构组装动画、原理演示动画等。结构演示动画中,主要是表现物体结构特点,通过三维动画演示并用一些视觉效果来突出零件整体或局部结构中一般或特殊的地方,最主要的是让学习者通过观看动画对零件结构特点能有一目了然的效果。如在第四章的蛇形油管冷却活塞中,为突出活塞内的蛇形油管,在活塞结构演示后期蛇形管出现后将活塞外部设置为由 0-0.2 透明度的渐变透明动画,这样蛇形管的形态就很清晰了。

结构组装动画涉及动画技术因素较多,特别是对摄像机的复杂运动控制较繁琐,另外零件结构较复杂,数目较多,因此制作中会经常遇到很多问题。这就需要动画制作这对 3dsmax 有一定的认识和运用能力。

原理演示动画中,首先要求动画制作者本身对运动机件的工作原理有很清楚的了解,才能保证动画制作的正确性,如在制作多缸内燃机发火顺序是就要求动画制作这对多缸发火顺序有一个清楚的认识。如果动画制作者对发火顺序不能做到心中有数,那做出来的动画就可想而知了。

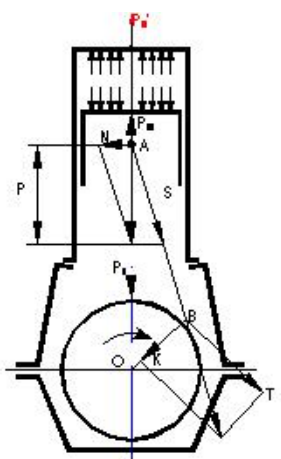
总之,对 3dsmax 动画制作和控制要涉及众多的修改命令和控制技巧,也要求动画制作者本身具有一定的内燃机专业知识。

在内燃机中运动机件,主要指曲柄连杆机构。由活塞组,连杆组和曲轴等部分组成。

4.2 运动件受力状况

曲柄连杆机构的功用是将热能转变为机械功，也就是说燃料燃烧是的气体压力使活塞做直线运动，通过连杆变成曲轴旋转运动而对外输出有效功。旋转着的曲轴又使活塞不断地往复运动，从而保证了连续地实现柴油机的工作循环。

作用在曲柄连杆机构上的力主要有：



1: 汽缸内的气体压力 P_I

2: 运动机件的惯性力 P_{II}

$$P = P_I + P_{II}$$

受力分析如图 4-1

将合力 P 分解得：

1. 垂直于汽缸中心线的侧推力 N ；

2. 沿连杆中心线的连杆力 S

作用：侧推力 N 产生摩擦

连杆力 S 使连杆压缩或拉伸

3*图 4-1 曲柄连杆受力分析

分解 S 为 T , K

切向力 T 对曲轴中心的力矩 $M = T \cdot R$

法向力 K 引起曲轴弯曲

注意：根据牛顿第三定律，侧推力 N 对曲轴中心的力矩等于旋转力矩 M ，作用在机件上，与 M 方向相反。并使柴油机倾倒。故称为颠覆力矩。

4.3 活塞组

一．活塞组的组成

活塞组由活塞、活塞销、活塞环、衬套和活塞销盖。

二．活塞组的作用

1. 与汽缸，汽缸盖共同构成发动机的密闭的工作空间防止燃气漏入曲轴箱，阻止过多的润滑油窜入汽缸内。

2. 承受燃气压力，并将其传给连杆和曲轴。

3. 承受侧推力，起到了导向作用。
4. 二冲程发动机中还有控制气口的作用。

4.3.1 活塞



一. 活塞的工作条件

1. 活塞承受很高的气体压力作用，如图 4-2
中速机 13-15MPa。

以 PA6-280 为例：PZ 为 13.5MPa，D=280mm 受力 $8.3 \times 10^4 \text{N}$ 。且受力为周期性的冲击力，容易产生交变应力和变形，引起疲劳破坏。

要求：活塞应具有足够的强度和刚度。

2. 活塞承受往复惯性力的作用

3@图 4-2 活塞工作条件 对于中高速机往复惯性力已经达到相当可观的程度。

要求：在保证强度的前提下，尽量减轻重量，以见效 往复惯性力，从而减少机械负荷。

3. 活塞承受侧推力的作用

润滑不良，引起活塞裙部的磨损，活塞裙部材料有高的耐磨性。

4. 活塞受到高温燃气周期性的加热作用

高速大功率瞬时温度达 2273K，活塞表面温度达 623-773K，长期高温—材料强度下降，会出现热疲劳，热变形和龟裂。

结构要求：要求在保证强度的前提下，尽量减轻重量，以见效往复惯性力，从而减少机械负荷活。塞应具有足够的刚度和强度。

- (1) 良好的结构形式，合理的散热和冷却方式，以减小热负荷。
- (2) 材料有足够的抗热性，较好的导热性，，保证有足够的热强度。
- (3) 热膨胀系数小，以保持与缸套的合理配合间隙。

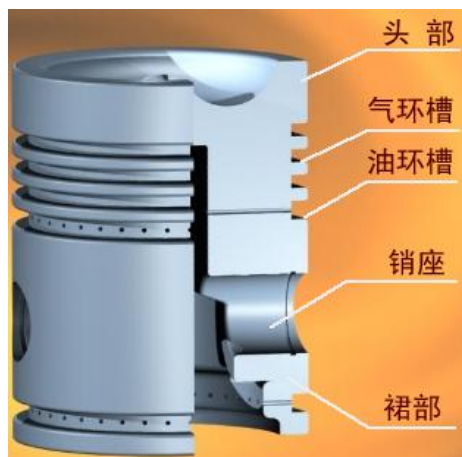
二. 活塞的结构形式

从有无冷却的角度可分为：非冷却活塞和冷却式活塞

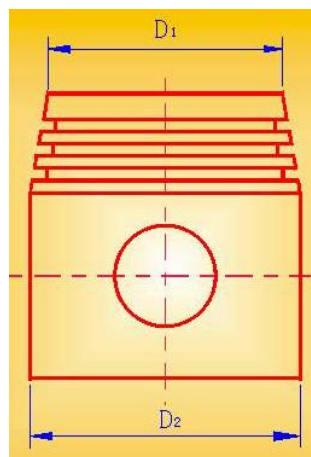
整体铝活塞，整体油冷活塞，组合式油冷塞，组合式水冷活塞。

1. 整体铝活塞

(1) 活塞的基本结构包括：顶部、环槽、活塞销座和裙部。活塞顶部、汽缸盖和汽缸壁组成燃烧室组成燃烧室。如图 4-3



3@图 4-3 整体吕活塞



@图 4-4 活塞头部特点

(2) 活塞头部：从活塞顶至活塞销座以上最末一道环槽之间的部分成为活塞头部。开有数道环槽，2-3 道气环槽，1-2 道油环槽。高速机较少，低速机较多。

a. 活塞头部特点：因温度及压力沿高度方向变化很大，引起各处热变形不一致，为了保证活塞在工作温度下与缸套间有一定的均匀间隙，活塞头在常温下加工成锥体，或多个锥度不同的截锥体的组合，上部锥度大，下部锥度小。如图 4-4

b. 活塞顶部形状 如图 4-5

I. 平顶

II. 盆顶

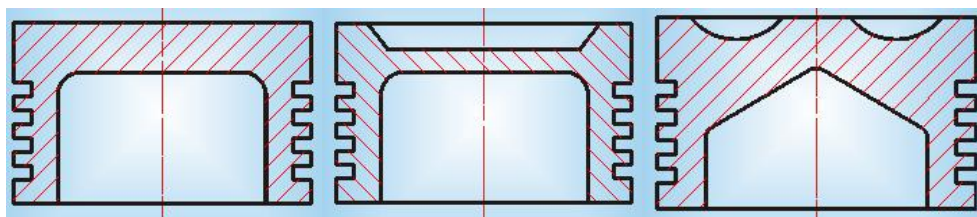
III. W 型

IV. 凹顶

V. 凸顶

VI. 深坑 1

VII 深坑



a 平顶

b 盆顶

c W 型

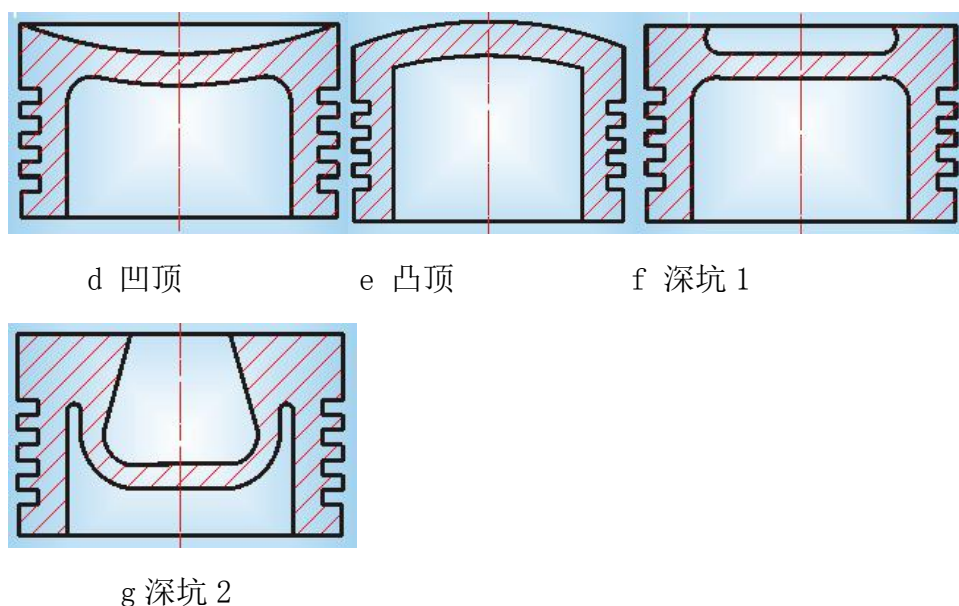


图 4-5 活塞顶部形状

注：为了防止气阀早开晚关而引起启发与活塞顶相碰，在活塞表面加工出避碰凹坑。

(3) 活塞裙部：头部以下部分统成为裙部。受机械负荷和热负荷

(4) 结构特点：由于活塞在工作过程中，承受较强的机械负荷和热负荷，工作条件十分恶劣，因此，活塞在结构上具有一些共同的特点。

(5) 温度分布分布线图如图 4-6

散热方式：

- 顶部吸收的热量 62-67%由活塞环传给汽缸盖，由汽缸套传给冷却水。
- 14%由活塞裙部传给缸套。
- 期于部分由活塞内表面传给曲轴箱中飞溅的滑油和气体。

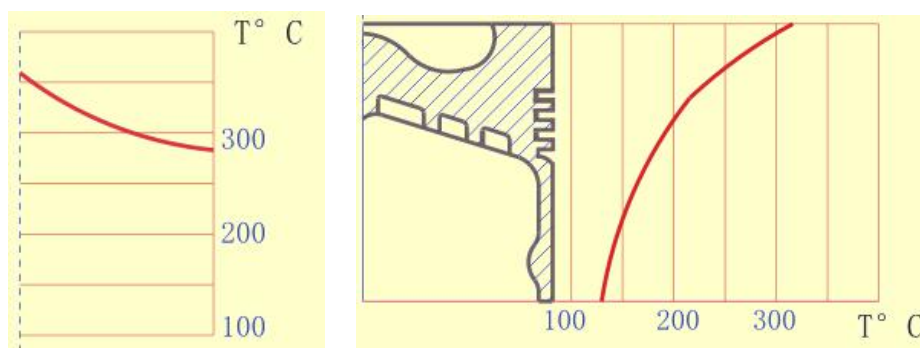


图 4-6 活塞温度分布

(6) 改善措施

a. 圆弧过渡：非冷却整体铝活塞的头部热流密度很大，为降低活塞头部和环槽温度，加大散热面积，保证热流密度大致相等，顶底内壁和侧壁相连接部分多用大圆弧过渡，同时减少了应力集中。（见课件动画演示）

b. 隔热槽：整体铝活塞第一环槽因温度高，材料硬度下降较多，及润滑条件差，环槽磨损严重。这些常常是限制活塞使用期限的重要因素。为了改善这种情况，某些柴油机活塞在第一道环槽上方车隔热槽，改变顶部热流方向，将部分原来由第一道环散走的热量分散到第二、三道环散走。如图 4-7

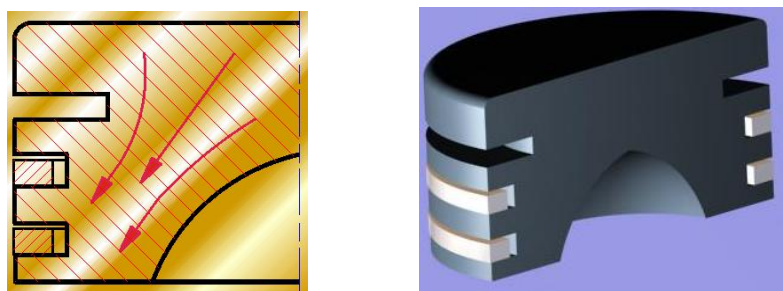


图 4-7 隔热槽

(图片说明：前图为示意图片①和图为三维图片 3①)

c. 耐磨镶座：整体铝活塞第一环槽因温度高，材料硬度下降较多，及润滑条件差，环槽磨损严重。这些常常是限制活塞使用期限的重要因素。为了改善这种情况，有些柴油机活塞在第一或第一和第二道环槽处铸入耐磨镶座以提高环槽部分的耐磨性。如图 4-8

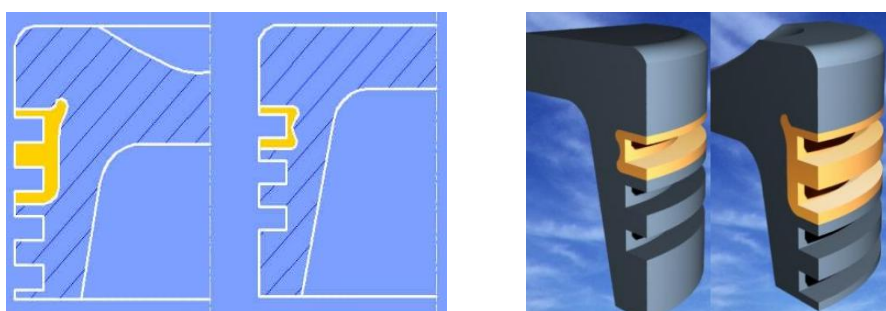


图 4-8 耐磨镶座

(7) 功能特点

优点：铝合金的特点是密度小，仅为铸铁的三分之一；导热性好，导热系数比铁高 1-2 倍。对于高速轻型、强化度不高（ $P_e < 1\text{MPa}$ ）的柴油机的活塞，为降低惯性力，减轻重量，增强导热性，广泛采用铝合金整体活塞

不足：铝合金的缺点是热膨胀系数大，比铸铁大 2-2.5 倍，因此冷车时与缸

套间隙大，容易轻型柴油机实用引起较大的振动和磨损，热强度低，耐磨性差等。

(8)改进方法

- a. 活塞顶阳极化处理，减少热传导。
- b. 采用，裙部喷镀石墨或二氧化钼。

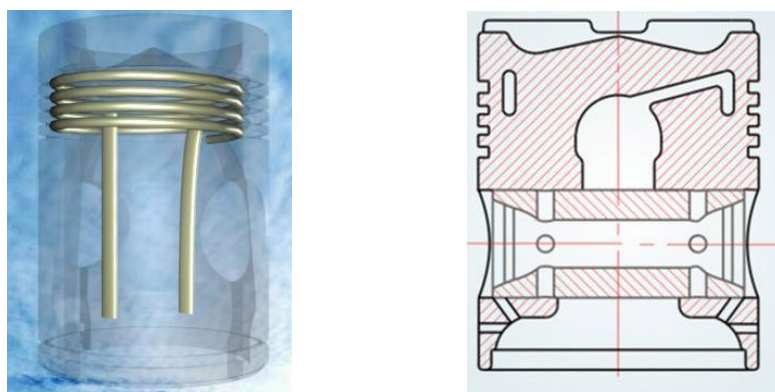
2. 整体油冷活塞

为了适应柴油机的热负荷和机械负荷不断增加的需要，保证活塞顶的足够强度又使第一道环的温度不至太高，在强化度较高的中、高速柴油机中普遍采用了整体油冷活塞即在整体活塞顶部及环槽部开有冷却液流道或冷却腔，用润滑系统中冷却油作为冷却介质，对活塞顶部及环槽区进行强制冷却。

例：蛇形油管冷却活塞，冷却油腔活塞。如图 4-9

a. 蛇形油管冷却活塞：采用螺旋形铜管或钢管铸入活塞本体，使冷却油流经蛇型管，在润滑油压力作用下进行循环冷却。为了增强冷却效果，也有铸成后再用酸蚀掉铜管。

b. 冷却油腔活塞：活塞头内部设置冷却油腔，冷却油不充满整个油腔，一般只充 30-50%，由于活塞往复运动的惯性，冷却油在油腔中震荡冲刷，冷却油与油腔面相对运动速度较大，容易形成紊流，冷却效果较好。



a 蛇型油管冷却活塞

b 冷却油腔活塞

图 4-9 整体油冷活塞

3. 组合式油冷活塞

(1)采用组合式的原因

- a. 强化强度提高，活塞头部的热负荷增加。一般的铝合金不能满足要求。
- b. 出于减小往复惯性力的考虑，减轻重量。

(2)制作方法

- a. 用耐热材料制成活塞头部
- b. 用铝合金或铸铁制造活塞裙部
- c. 然后将二者用螺栓连接起来。（见课件三维动画演示图）

(3) 工作特点：

a. 内外腔支撑部分面积大，气体压力引起的应力小，顶部可以做的较薄，也就减小了热应力。

b. 由于活塞头与活塞裙部是分体的，所以冷却腔的布置受工艺上的限制少，能耐更好地满足冷却的要求。特别是环槽区可加强冷却，冷却油出口设在油腔高度的中部，以形成振荡冷却。

4.3.2 活塞销

1. 功用

连接活塞与连杆，将活塞承受的力传给连杆。

2. 工作条件

(1) 承受燃烧压力产生的交变冲击力。

(2) 与活塞销座及连杆的配合面承压面积不能大，相对运动速度低，不易形成油膜，润滑条件差，很容易磨损。

3. 要求

(1) 很高的强度

(2) 良好的韧性

(3) 耐磨

(4) 重量轻

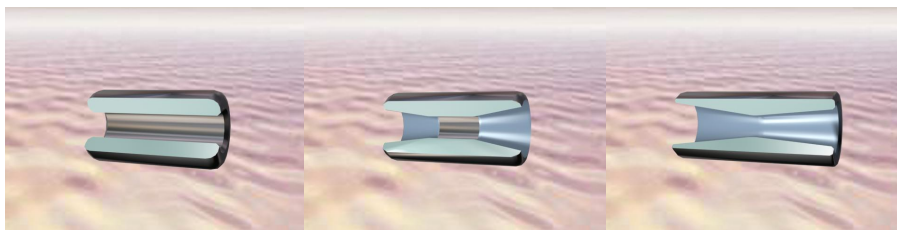
一般活塞销采用优质低碳钢或低碳合金钢制造，表面渗碳淬火，使得表面硬而耐磨，内部韧性高耐冲击。

4. 活塞销结构形式 如图 4-10

(1) 直内孔

(2) 圆锥形内孔

(3) 圆柱圆锥组合形



a 直内孔 b 圆锥内孔 c 圆柱圆锥组合形

图 4-10 活塞销的内孔形式

无论何种形式，都要求有很高的加工精度和光洁度。

5. 活塞销与连杆小头及活塞销座的连接方式

(1) 活塞销固定与连杆

优点：增大了刚度，不容易弯曲变形

缺点：局部磨损

(2) 活塞销在连杆小头和活塞销座中浮动

优点：结构简单，工作中活塞销座中缓慢转动，磨损均匀，载荷分布均匀，提高疲劳强度。

(3) 机构中要求有轴向定位装置

a. 弹簧挡圈（卡簧） 如图 4-11

b. 铝合金挡塞

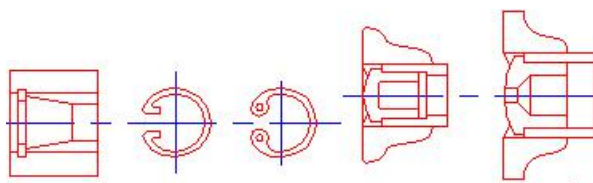


图 4-11 防止活塞销轴向移动的装置

4.3.3 活塞环

活塞环分为气环和油环两种

a. 气环

一般高速机有 2-3 道气环，中速机有 3-4 道气环，低速机有 5-6 道气环，油环一般是 1-2 道。目前的趋向是减少环数，强化第一道环。因此柴油机所消耗的摩擦功中约有 50% 是活塞环和活塞裙与缸套间的摩擦引起的。

b. 油环

油环一般是 1-2 道。

1. 作用

(1) 密封汽缸，防止燃气漏入曲轴箱。（主要由气环完成）

自由状态为椭圆形，工作状态下为圆形的开口环。在气体的压力与自身的弹性作用下，与汽缸壁，环槽紧密贴合。如图 4-12 并非绝对密封，只能做到漏泄最少。

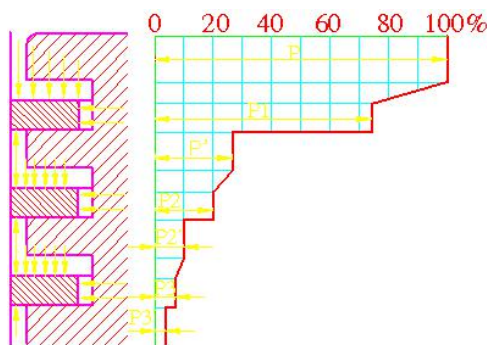


图 4-12 活塞涨圈的防滑原理

(2) 导热

燃料燃烧产生的热量有一部分经活塞环传向气缸壁，再由冷却水带走。对于非冷却活塞，这部分热量可达活塞顶部承受热量的 60-70%。) 调节润滑油：刮油和布油，油的作用为润滑。

(3) 调节滑油

为保证活塞环能在高温，高压下沿气缸壁面正常滑动，在缸壁上应保持一定厚度的油膜。滑油过多或过少都不利于内燃机的正常工作。刮油和布油

(4) 支承活塞活塞

活塞的外径略小于气缸内径，活塞在气缸内即有往复运动，在侧推力的作用下又有横向运动，运动不稳定。而活塞环在运动中始终与气缸壁及活塞环槽贴紧，对活塞销有支撑作用。

3. 气环的结构

应保证较高的密封性，便于磨合，耐磨损，对润滑有调节作用。

(1) 矩形环如图 4-13(a)

优点：结构简单，加工方便

缺点：上行时，有往上带油的作用，增加滑油耗量，燃烧室积碳。

(2) 锥面环 如图 4-13(b)

锥面角在 30 分到 1 度 35 分之间。其特点是有较高的径向压力和缩短初磨合时间，并可避免环的上侧面同缸壁接触，因而上行时有交好的布油能力，下行时可起到刮油作用。缩短初磨合时间。

(3) 扭曲环如图 4-13(c)

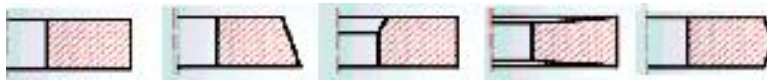
使用时，产生扭曲，呈盆状，这是它兼有锥面环之优点，同时环在环槽中呈盆造成内外棱角同环槽上下侧面接触，有良好的气密和刮油作用。

(4) 梯形环如图 4-13(d)

防止环的熔着和结焦。侧推力的作用，使环从一侧压向另一侧，端面间隙的变化能把环槽中的结焦挤出，并促使滑油更新，气体压力产生径向分力，有利于对燃气的密封作用。

(5) 桶面环如图 4-13(e)

用于短活塞，防止运转初期拉毛气缸和漏气，在活塞上行时有良好的布油作用，而下行时有一定的刮油作用。



a 矩形环 b 锥面环 c 内倒角扭曲环 d 梯形环 e 桶形环

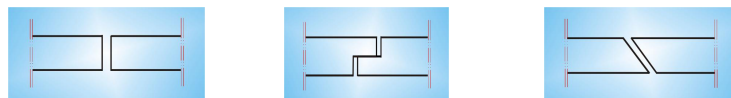
@图 4-13 各种结构气环截面形状

4. 活塞环的开口形状 如图 4-14

(1) 直切口，结构简单，加工容易，但密封性稍差。

(2) 搭切口，密封性好，但制造困难，多用于大型低速柴油机中。

(3) 斜切口，性能介于上述两者之间。



a 直切口

b 搭切口

c 斜切口

@图 4-14 活塞环的开口形状

a. 开口间隙

自由开口间隙：自由状态下开口尺寸。

工作状态间隙：工作状态下开口尺寸。大了漏气，小了易受热膨胀，卡死，折断。

a. 端面间隙

端面间隙：过小易卡死而失去密封性。过大则泵油现象严重。

(4) 性能比较

密封性： 搭切口〉斜切口〉直切口

加工性： 直切口〉斜切口〉搭切口

5. 油环

(1) 气环的泵油现象 如图 4-15

当活塞向下运动时，环压在环槽的上端面被气环刮下的滑油充满环与环槽之间的空间。当活塞向上运动时，环压在环槽的下端面，而滑油被挤入上部的环槽间隙中。（见课件原理动画气环的泵吸作用）



a



b

@@图 4-15 气环的泵吸作用

(2) 采用原因

由于某些气环不但没有刮油的作用，而且还能把润滑油泵吸到燃烧室中去，所以必须在活塞上安装专门的刮去气缸上多于润滑油的刮油的环。

由于泵油现象这个过程周期的重复滑油就能不断地进入燃烧室参加燃烧，这样会增加滑油的消耗量，并引起结焦造成气环卡死，产生严重漏气，使功率下降。

(3) 安装位置

一般油环多部署于滑油较多的活塞末道气环以下。（可见动化演示）

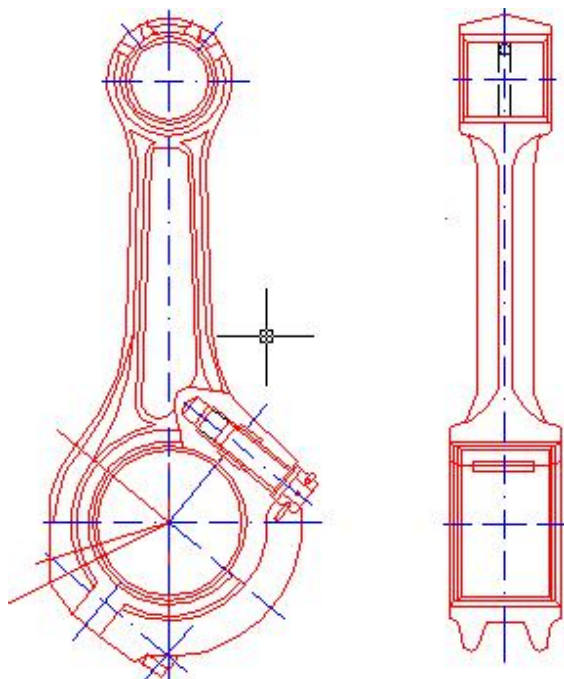
(4) 结构形式

油环制成有利于刮油和布油的形状，并在环槽中或槽下方开油孔，将刮下的滑油引入曲轴箱。

为了提高油环的径向压力和刮油效果，还采用弹簧胀圈油环以及钢片组合油环。

4.4 连杆组

连杆组是由连杆，连杆盖，连杆螺栓，连杆轴瓦，小端衬套等部分组成。连杆本身又分为连杆小端，连杆身和连杆大端三部分。如图 4-16



3*图 4-16 135 型柴油机连杆

4.4.1 连杆的功用及工作条件

1. 功用：连接曲轴和活塞，将作用于活塞力传给曲轴，并将活塞的往复直线运动变为曲轴的旋转运动。

2. 运动方式

(1) 小端-往复直线运动

(2) 大端-回转运动，

(3) 杆身-复杂的平面运动

3. 受力情况

气体压力，往复运动质量惯性力，摆动惯性力，以上各力大小和方向不断变化，易引起连杆疲劳破坏。

连杆小段压入衬套，螺栓压紧，产生附加载荷。

4. 性能要求：

- (1) 足够的强度和刚度
- (2) 尽量减轻连杆质量。
- (3) 大端及小端轴承可靠，耐磨性好。
- (4) 易于制造，成本低。

5. 制造要求

优质碳素钢或合金钢锻造而成

低速船用柴油机：优质碳素钢；

高速强载大功率柴油机：优质高强度合金钢；

中等强度的柴油机：40Cr 合金结构钢。

4.4.2 连杆的结构

连杆组包括：连杆，连杆盖，连杆螺栓，连杆轴瓦，小端衬套。

1. 连杆

连杆本身又分为连杆小端，连杆杆身和连杆大端三部分。

(1) 连杆小端

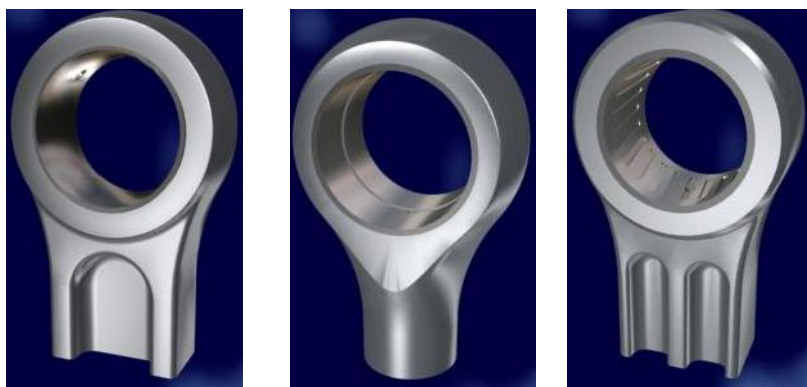
A. 作用及改善方法

连杆小端通过活塞销与活塞相连，将作用于活塞上的气体压力和往复惯性力传给连杆。工作时小端在活塞销上作摆动。

为改善磨损，小头孔中以一定的过盈量压入耐磨衬套，材料为锡青铜或钢青铜铅合金。

B. 结构类型

小端结构上的不同主要体现在润滑上 如图 4-17



a 飞溅润滑 b 强制润滑 c 螺旋形布油槽

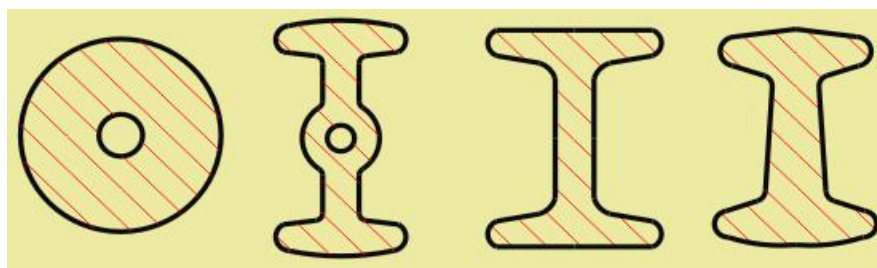
3图 4-17 连杆小端的结构类型

- a. 飞溅润滑：适用于大批量生产的小尺寸四冲程发动机。
- b. 强制润滑：开油孔和油槽。适用于小批量生产的中低速柴油机。
- c. 螺旋形布油槽：衬套内表面有螺旋形布油槽。连杆始终受压，不容易形成油膜。

(2) 连杆杆身

连接连杆大端与小端轴孔间的部分。

A. 主要区别在截面形状上。如图 4-18



a b c d

@ 图 4-18 连杆杆身截面形状

- a. 适用于中，低速大缸径柴油机或小批量生产的中小型柴油机, 自由锻造；
- b. c 适用于大批量生产的中，高速柴油机中模锻后表面不加工或稍加处理；
- d. 用于强载度较大的大功率柴油机, 表面经抛光，喷火或氮化处理。

B. 结构特点有二

- a. 一般采用工字形截面，充分利用材料，减轻重量，工字边在摆动平面内。
- b. 连杆从小端至大端逐渐放大，过渡处用大圆角半径。

(3) 连杆大端

连杆大端与曲轴相连，为了能装拆，大端为分开形式，大端上部与杆身为一体的，下部为连杆大端盖（连杆盖）。

a. 根据切口形式分为平切口和斜切口 如图 4-19



a 平切口



b 斜切口

30图 4-19 切口形式

平切口：剖分面垂直于连杆中心线

斜切口：剖分面与连杆中心线呈 30-60 夹角。

优点：使连杆大端横向尺寸缩小，以保证在较大的曲柄销轴颈的情况下能从汽缸中拆装。

缺点：结构复杂，刚度小，沿切口方向有切向力。

b. 船用低速机：便于维修和调整压缩比采用分体式连杆大端(a、b、c)。

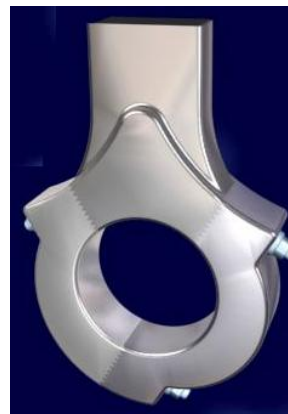
如图 4-20



a



b



c

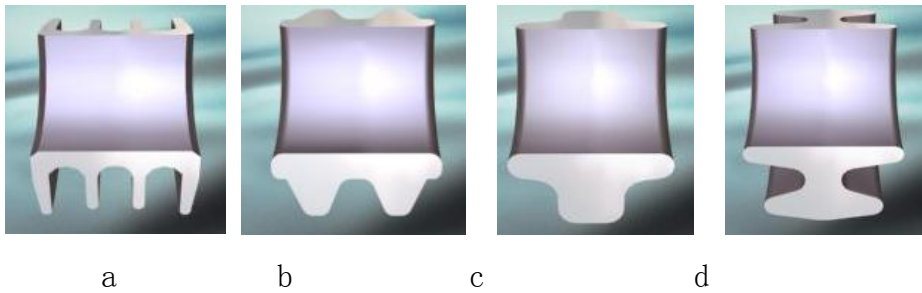
30图 4-20 分体式连杆大端

2. 连杆盖

(1) 工作要求

应具有良好的刚度，以保证工作时轴承孔变形最小。

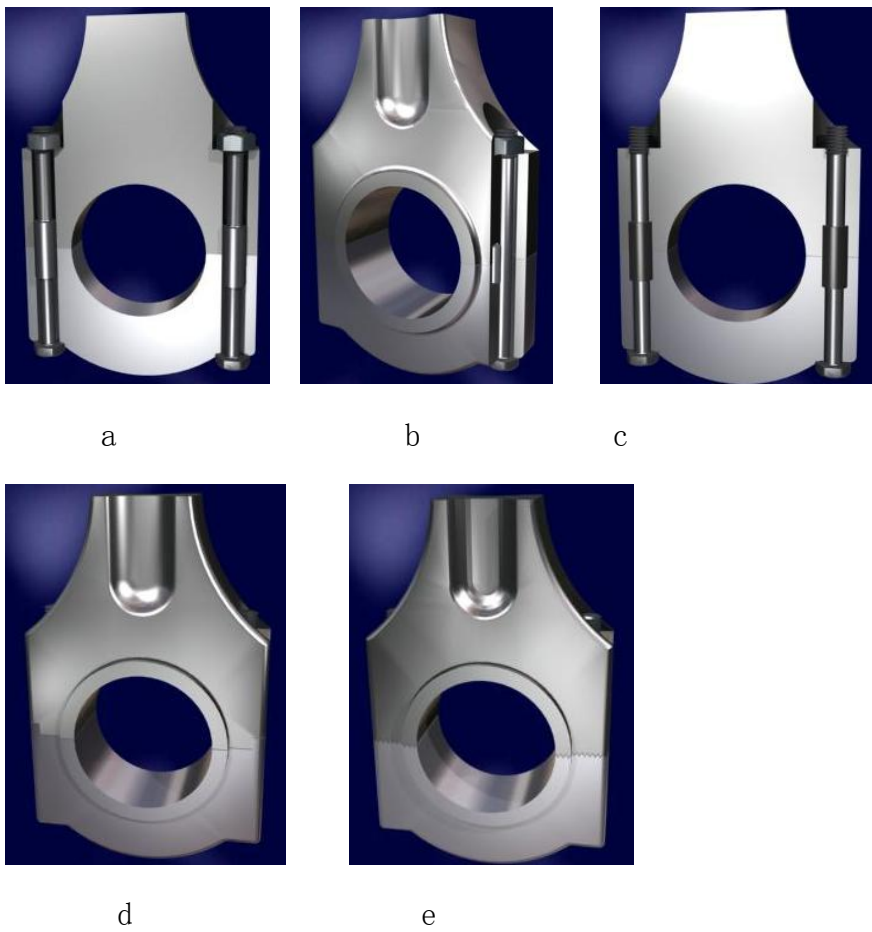
(2) 结构形式 如图 4-21



30图 4-21 连杆大端盖的结构类型

- a. 重量最轻，加工困难，适用于轻型高速柴油机。
- b. 双筋型。刚度均匀，但不便于与连杆体一起模锻。
- c. 结构简单，易于锻造和机械加工在中高速机中应用广泛。
- d. 工字型截面。结构合理，适于铸钢毛坯，多用于中低速柴油机。

(3) 装配时定位方式见图 4-22



30图 4-22 连杆大端部分的定位方法

a. 连杆螺栓的圆柱面定位

b. 定位销

c. 定位套筒

d. 定位凸肩

e. 锯齿形结合面定位

d、e 多用于斜切口连杆大端，避免螺栓受剪切力

3. 连杆螺栓

(1) 使用原则

总截面积相同的情况下，数量多的可使连杆大端宽度减小。连杆螺栓：（一般取 2-6 个）

(2) 工作要求

承受交变负荷，受力严重。优质合金钢锻造毛坯，一级精度细牙螺纹，滚压法加工，以提高其疲劳强度，外表面发蓝防锈。

(3) 常用结构

a. 大型低速柴油机

b. 中高速机

(4) 预紧力

为保证轴瓦有一定过盈，并使大端与连杆盖间有足够的压紧力，用扭力扳手、扭矩、螺栓伸长量和螺母转过角度。

(5) 防松措施

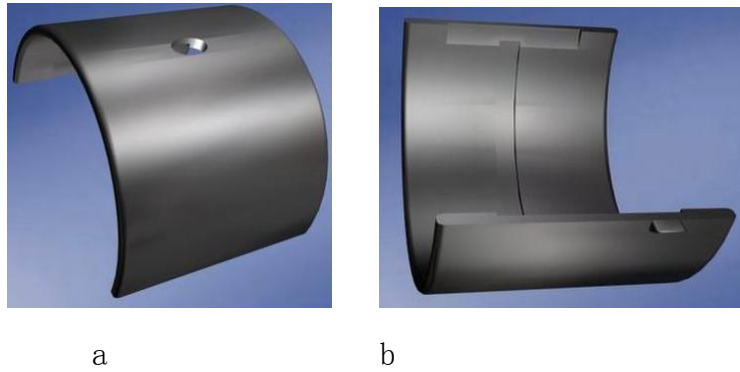
必须有开口销，铅丝绑扎，轴端挡圈，自锁螺母。

3. 连杆轴瓦

一般采用薄壁轴瓦。壁厚=0.02-0.05D（D 为轴承直径）。

(1) 要求外表面有高的光洁度。使轴瓦与轴承贴紧，增加承载能力和导热能力，提高工作可靠性。

(2) 定位方式 如图 4-23



30图 4-23 连杆轴瓦

a. 销钉定位

b. 定位唇

(3) 连杆轴瓦上还分布有油槽和油孔。

4. 4. 3V 型柴油机连杆

在 V 型柴油机中，一个曲柄销要连接两个连杆。根据两个连杆相互连接方式，可把 V 型柴油机连杆分为并列连杆、叉型连杆和主副连杆三种形式，如图 4-32 所示。



a 并列连杆

b 叉型连杆

c 主副连杆

30图 4-23V 型柴油机连杆示意图

(1) 并列连杆

同一列左、右两气缸的并排的装在同一曲柄销上。

优点：左右两气缸的连杆结构完全相同，可以通用；两个活塞连杆组运动规律完全相同，动力性能一样。

缺点：左右两排汽缸中心线沿轴向错开一段距离，曲轴长度增加，导致刚度受力复杂。

(2) 叉型连杆

一个是“叉型连杆”，另一个是“片型连杆”左右两个连杆汽缸中心线处于同一平面内，无须轴向错开。

缺点：叉型连杆大端结构和制造工艺比较复杂，大端刚度不高。

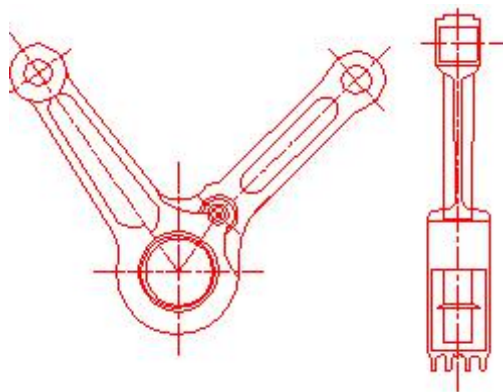
(3) 主副连杆

主连杆直接连在曲柄销上；副连杆通过圆柱销与主连杆大端凸承相连。

优点：汽缸中心线在同一平面内，且只有主连杆大端与曲柄销相连，故结构紧凑，轴向尺寸缩短，曲轴刚度增加。

缺点：两排汽缸运动规律有差别，且副连杆在主连杆上产生附加弯矩。

例子：如图 4-24



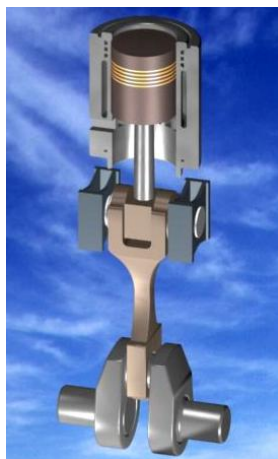
3*图 4-24 轻 12V180 柴油机连杆

1) 材料 18Cr2NiWA

2) 润滑：飞溅润滑

3) 连接方式：三点支承 榫头与锥形销

4.4.4 十字头及连杆



十字头式柴油机连杆 如图 4-25

十字头连杆小端与十字头销相连。由于加工困难，一般只作成简单的圆柱形，且大、小端都是分开的，用螺栓与连杆相连。无轴瓦，白合金直接浇铸在孔内表面上，此结构散热性好。

4.5 曲轴

4.5.1 曲轴的功用，工作条件及材料

1. 功用

汇集所有汽缸内燃烧气体所做的功，以旋转的形式输出。

2. 工作条件

a. 受力复杂：曲轴承受气体压力，往复质量惯性力，回转离心力，容易产生很大的交变弯曲应力和扭曲应力。

b. 形状复杂：曲轴本身形状复杂，截面变化大，应力集中严重。

c. 润滑困难：曲轴轴颈表面在高比压下高速运动，而且载荷时冲击的，不容易建立稳定的油膜。易引起轴颈和轴承的严重磨损。

d. 容易变形：曲轴为细长轴，若刚度不足，容易产生变形和扭振。

3. 材料

优质碳钢和碳素钢锻造而成。（35、40、45、ZG35）

球墨铸铁：强度不太高的中，高速机中广泛采用。

优点：a. 铸造，不用大型锻造设备，造价低；

b. 对应力集中不敏感，疲劳强度接近中碳钢；

c. 耐磨性好，对扭转振动阻尼作用远胜于 钢。

缺点：韧性较低。

为提高耐磨性，球墨铸铁进行正火和高温淬火，钢的要调质，高温淬火和氮化。轴颈表面要精磨，抛光，以防出现裂缝。

4.5.2 曲轴的组成部分

前端（自由端）：安装配气机构和各种辅助机构的传动齿轮

后端（输出端）：带凸缘，可安装飞轮

单位曲柄

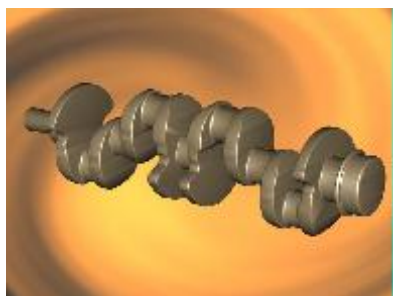
主轴颈：支承在主轴承上

曲柄销：连杆轴颈

曲柄臂：曲臂

4.5.3 曲轴的分类

根据单位曲柄的构造特点，船舶柴油机曲轴有三种构造形式：



a 整体式曲轴



b 全套式曲轴



c 半套合式曲轴



d 圆盘式曲轴

图 4-26 曲轴构造形式

1. 整体式曲轴

用于中、高速柴油机，主轴颈、曲柄销和曲柄臂一体。如图 4-26(a)

2. 套合式曲轴

a. 全套式：曲柄销、曲臂、主轴颈都分别制造，然后套合为一体，如图 4-26(b)。

b. 半套合式：曲柄销与曲臂为一体，如图 4-26(c)。

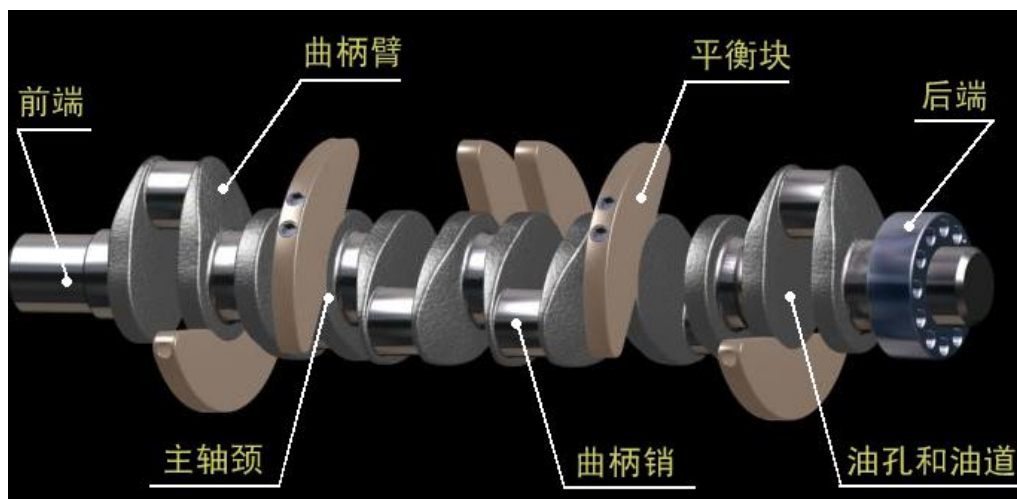
套合方法：红套或液压套。用于大型低速柴油机，消除了大件锻造困难。分段式曲轴也是同样道理。

3. 圆盘式曲轴

主轴颈和曲臂合成一个圆盘。圆盘外面多半是同时装有短滚柱式主轴承，轴向尺寸紧凑，曲柄销长度可加大，刚度较大，承载能力强，但成本高，噪声大，

重量大，如图 4-26(d)。

4.5.4 曲轴各部分结构



3@图 4-27 曲轴各部分结构

(图片说明：此图各局部还可点击，从而更清晰地了解各部分的结构，以前一直看不到的现在可以一目了然)

1. 曲柄销与主轴颈

圆形，与曲柄臂相连，有较大圆弧过渡，做成空心结构，可以减少旋转部分的质量，铸造曲轴可直接铸出，锻造曲轴，可用钻孔方法加工成形。

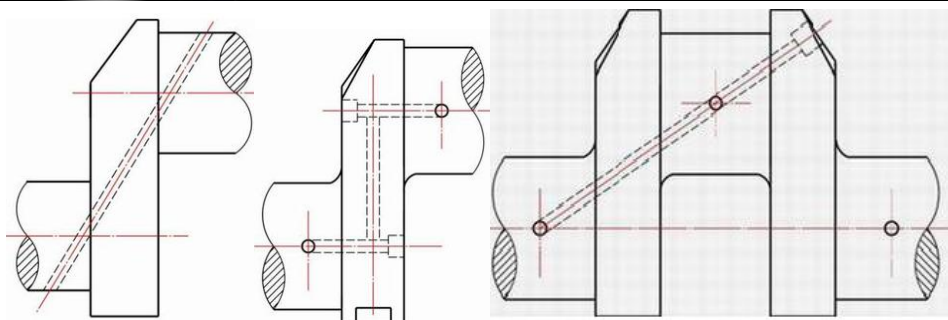
2. 曲柄臂

- a. 易于加工，但应力集中较大，重量也较大，多用于锻造曲轴。
- b. 椭圆形，模锻和铸造曲轴，最合理，加工困难。
- c. 圆形，便于加工，但重量较大。

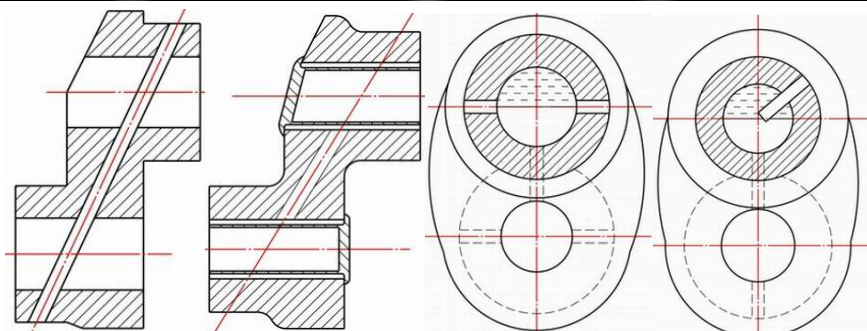
3. 油孔和油道：

润滑油走向：机体上的油管——主轴承——曲轴内部——曲柄销——连杆杆身——活塞销或冷却活塞。油孔要求有较大的圆弧和倒角，并仔细抛光。

结构形式， 如图 4-28。



a 实心轴颈油道布置



b 空心轴颈油道布置

图 4-28 油道布置结构形式

(图片说明: 具有实体轮廓的为三维图片, 可以更清晰的看清油道, 比后在简单抽象的剖面图更直观)

4. 曲轴的前后端: 止推轴承设在飞轮端

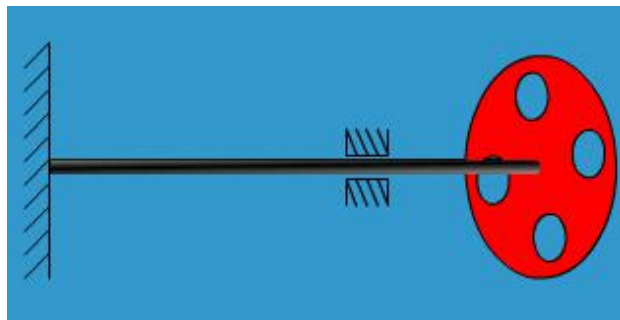
止推轴承: 1. 推力环

2. 翻边轴瓦。

4.3.5 曲轴扭振与减振器

1. 扭振的概念

假设有一个弹性钢棍，其一端被固定，而另一自由端上有一个圆盘，（如图 4-29）如果把圆盘施加一个扭矩，将它转某一角度，然后放开，则系统将在钢棍材料弹力及圆盘质动量

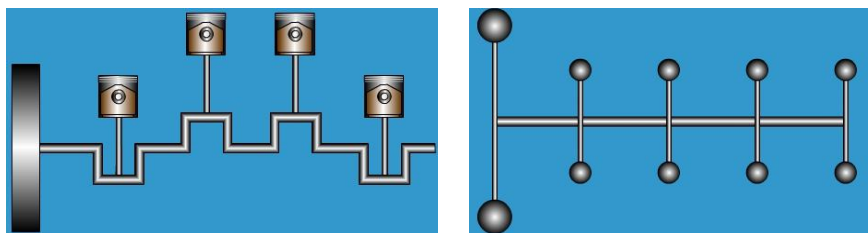


@@图 4-29 扭振

惯性力的作用下进行角振动，圆盘和弹性钢棍时而转到其平衡位置（静止时的位置）的这一边，时而又转到其平衡位置的另一边。这样的角振动，称为自由扭转振动；偏离平衡位置的最大角度，称为振幅，其振动率（即每分钟振动的次数）称为自由振动频率。圆盘的质量越大及钢棍的刚性愈小，自振频率越小。

由于钢棒材料内部的分子之间有摩擦作用（称为阻尼），自由扭振现象将逐渐衰减，振幅逐渐变小，最后整个系统便停止振动。

2. 曲轴的扭振 如图 4-30



@@图 4-30 实际曲轴的扭振系统简化示意图

3. 橡胶减振器

轮固定在曲轴上，减振体为圆环形，他们与中间的硫化橡胶层贴合，当曲轴旋转时，轮通过橡胶层带着减振体一起旋转，当曲轴发生扭转振动时，减振体由于惯性力图保持原来的运动状态，橡胶层便产生很大的交变剪切变形，吸收很多的振动能量，是曲轴扭振减弱，（见课件 flash 动画演示）。

4. 硅油减振器

减振器壳体和盖板内密封一个惯量相当大的惯性盘，在壳体与惯性盘之间有狭窄间隙，间隙中充满硅油。当曲轴发生扭振时，固定在自由端的壳体因惯量小随曲轴一起振动，而惯性盘的惯量相对于壳体则很大，壳体与惯性盘之间产生相对角位移，粘度很大的硅油在狭窄的间隙中产生阻尼，衰减曲轴扭振能量，（见课件 flash 动画演示）。