

第一章 柴油机基本结构与工作原理

知识目标

1. 掌握发动机的基本术语及工作原理。
2. 能够进行多缸发动机的工作循环分析及确认发动机工作顺序。

技能目标

利用发动机工作原理，对工程机械发动机无法启动等故障现象进行故障诊断。

知识内容

发动机是车辆的动力源，它将燃料的内能转化为机械能对外输出做功，现代工程车辆、商用车辆装载的多为活塞往复式柴油机。

一、柴油机的基本术语

如图 1-1 所示，活塞置于气缸中，通过连杆与曲轴相连，曲轴可绕其轴线旋转并带动活塞在气缸内做往复直线运动。



- (1) 上止点——指活塞顶上行到的最高位置。
- (2) 下止点——指活塞顶下行到的最低位置。
- (3) 活塞行程 (S) ——指上、下两止点之间的距离。
- (4) 曲柄半径 (R) ——曲柄销中心到曲轴旋转中心之间的距离， $S=2R$ 。
- (5) 气缸工作容积 (V_h) ——指活塞从上止点到下止点所扫过的容积，也称气缸排量。
- (6) 发动机工作容积 (V_l) ——发动机所有气缸工作容积之和，也称发动机排量。
- (7) 燃烧室容积 (V_c) ——活塞在上止点时，活塞上方的空间容积。
- (8) 气缸总容积 (V_a) ——活塞在下止点时，活塞上方的容积， $V_a=V_h+V_c$ (L)。
- (9) 压缩比 (ε) ——指气缸总容积与燃烧室容积的比值，即 $\varepsilon=\frac{V_a}{V_c}=\frac{V_h+V_c}{V_c}=1+\frac{V_h}{V_c}$ 。

知识拓展

压缩比表示活塞由下止点运动到上止点时，气缸内气体被压缩的程度。压缩比越大，压缩终了时气缸内的气体压力和温度就越高。一般柴油机的压缩比为 15~22。

(10) 工作循环——在气缸内进行的每一次将燃料的热能转化为机械能的一系列连续过程，称为发动机的工作循环。每一个工作循环包括进气、压缩、做功和排气四个过程。

(11) 四冲程发动机——活塞往复四个行程完成一个工作循环的发动机，称为四冲程发动机。

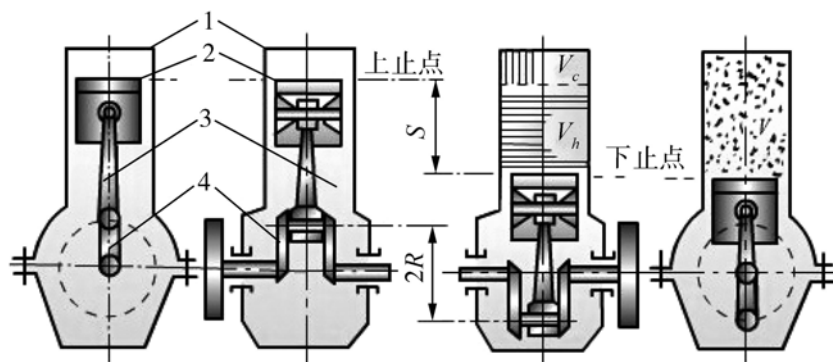


图 1-1 发动机基本术语示意图

1. 气缸；2. 活塞；3. 连杆；4. 曲轴

二、四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机由进气、压缩、做功和排气四个行程完成一个工作循环。

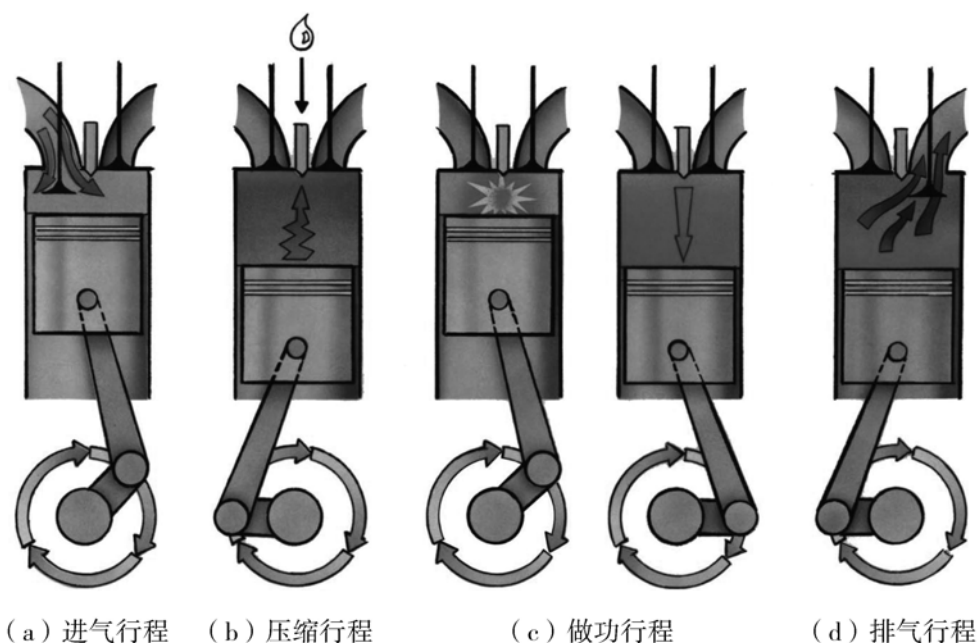


图 1-2 单缸四冲程柴油机工作循环示意图

1. 进气行程

活塞由曲轴带动从上止点向下止点运动，进气门开启，排气门关闭，在真空吸力的作用下，被滤清的纯净空气经进气门被吸入气缸。活塞运动到下止点时，进气门关闭，停止进气，进气行程结束。

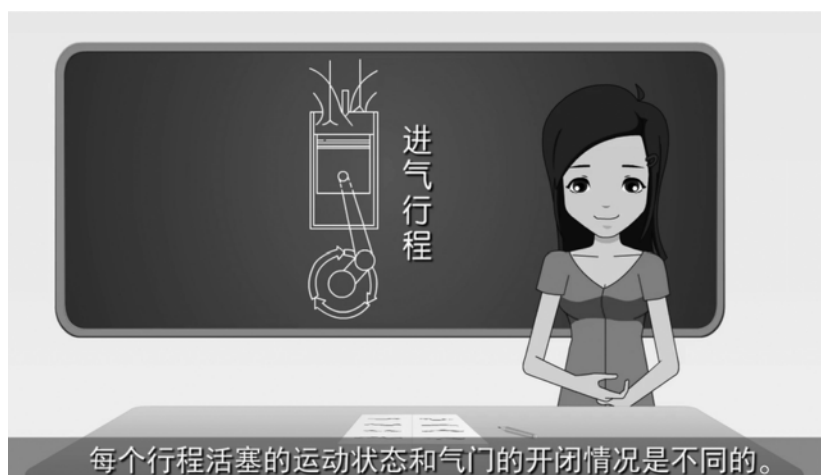


图 1-3 进气行程

知识拓展

进气行程结束时，由于进气阻力，气缸内压力低于大气压力，一般为 $0.08 \sim 0.09$ MPa。由于气缸壁、活塞等高温机件及残留高温废气的加热，气体温度为 $50 \sim 80$ $^{\circ}\text{C}$ 。

2. 压缩行程

进气行程结束时，活塞在曲轴的带动下，从下止点向上止点运动，如图 1-2 (b) 所示。进、排气门均关闭。随着活塞上移、活塞上腔容积不断减小，气缸内的空气被压缩，活塞到达上止点时，压缩行程结束。



图 1-4 压缩行程

知识拓展

在压缩过程中，气体压力和温度同时升高。由于柴油机压缩比较大，在压缩终了时的温度和压力均较高，压力可达 $3 \sim 5$ MPa，温度可达 $530 \sim 730$ $^{\circ}\text{C}$ 。

3. 做功行程

压缩行程末，喷油泵将高压柴油经喷油器呈雾状喷入气缸内的高温空气中，柴油迅速汽化并与空气形成可燃混合气。因为此时气缸内的温度远远高于柴油的自燃温度（ 230°C 左右），柴油自行着火燃烧，且在以后的一段时间内，喷油和燃烧同时进行（即一边喷油、一边混合、一边燃烧）。气缸内的温度、压力急剧升高，推动活塞下行做功，如图 1-2（c）所示。



图 1-5 做功行程



知识拓展

做功行程中，开始阶段气缸内气体压力和温度急剧上升，瞬时压力可达 $5\sim 10\text{ MPa}$ ，瞬时温度可达 $1530\sim 1930^{\circ}\text{C}$ ，随着活塞的下移，压力和温度下降。做功行程终了时，气缸压力为 $0.2\sim 0.4\text{ MPa}$ ，温度为 $930\sim 1230^{\circ}\text{C}$ 。

4. 排气行程

在做功行程终了时，排气门被打开，活塞在曲轴的带动下由下止点向上止点运动，如图 1-2（d）所示。废气在自身剩余压力和活塞的驱赶作用下，自排气门排出气缸，至活塞运动到上止点时，排气门关闭，排气行程结束。



图 1-6 排气行程



知识拓展

排气终了时,由于燃烧室容积的存在,气缸内还存在少量的废气,气体压力也因排气门和排气道等有阻力而高于大气压力。此时,气缸压力为 $0.105 \sim 0.125 \text{ MPa}$,温度为 $530 \sim 730 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

排气行程结束后,进气门再次开启,又开始下一个工作循环,如图 1-7 所示。如此周而复始,发动机自行运转。



图 1-7 单缸发动机的工作过程

三、发动机的工作顺序

工程车辆、商用车辆多用的是四缸、六缸、八缸等多缸发动机,它们是由若干个相同的单缸排列在一个机体上共用一根曲轴输出动力,在曲轴转角 720° 内,各缸顺序做功,做功间隔角 ($=720^{\circ}/i$, i 为气缸数) 大都均等。如六缸四冲程发动机各缸做功间隔角为 $\varphi = \frac{720^{\circ}}{6} = 120^{\circ}$,即曲轴每转 120° 就有一个缸开始做功。多缸发动机各缸做功行程发生的顺序称为发动机的工作顺序。图 1-8 分别表示四缸、六缸四冲程发动机的一种工作顺序。可以看出,四缸发动机从理论上讲做功行程已经连续,而六缸发动机有做功重叠,且缸数越多、重叠角越大,发动机运转就越平稳。多缸发动机的工作顺序与曲轴的结构形式有关。

四、柴油机的组成

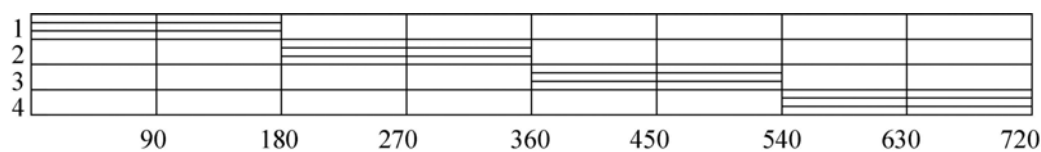
柴油机由两大机构、四大系统组成(图 1-9)。

1. 曲柄连杆机构

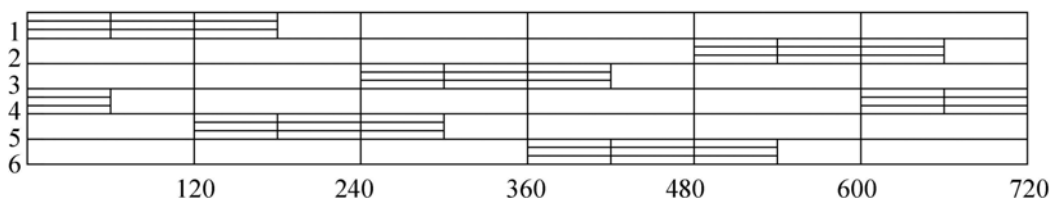
曲柄连杆机构主要由气缸盖、气缸体、活塞、连杆、曲轴、飞轮及油底壳等组成。其作用是将活塞的往复直线运动转变为旋转运动而输出动力。

2. 配气机构

配气机构主要由进气门、排气门、挺柱、推杆、摇臂、凸轮轴、凸轮轴正时齿形带轮等组成。其作用是适时打开和关闭进、排气门,以便新鲜空气能及时进入气缸、燃烧完的



(a) 四缸，工作顺序1—2—4—3



(b) 六缸，工作顺序1—5—3—6—2—4

图 1-8 多缸发动机做功重叠示意图

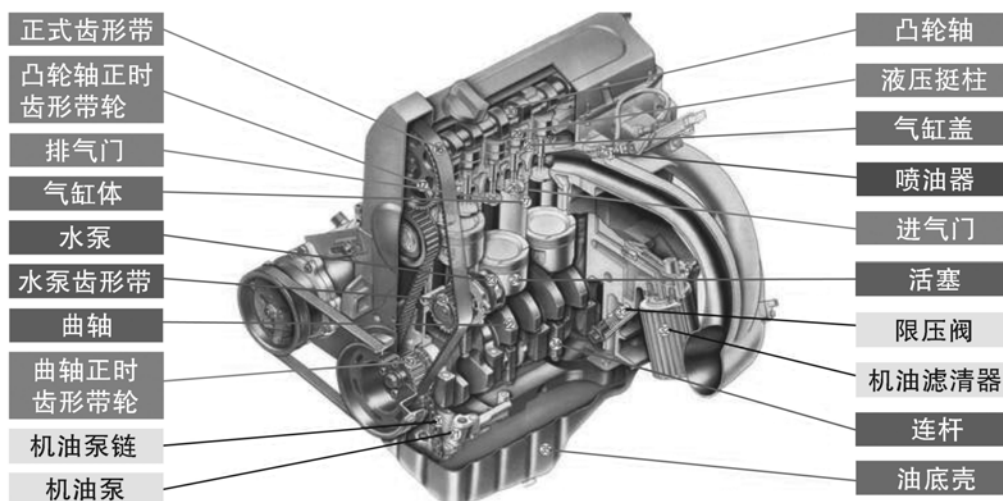


图 1-9 柴油机的组成

废气能及时排出气缸。

3. 燃料供给系

燃料供给系主要由柴油箱、输油泵、柴油滤清器、喷油泵、喷油器、空气滤清器、进排气歧管、排气消声器等组成。其作用是将柴油和空气按一定的比例供入气缸，并将燃烧后的废气排出发动机。

4. 冷却系

冷却系水冷式冷却系主要由水泵、散热器、水套、风扇、节温器等组成。其作用是将机件多余的热量散发到大气中，以保证发动机在正常温度下工作。

5. 润滑系

主要由机油泵、集滤器、润滑油道、机油粗滤器、机油细滤器等组成。其主要功用是将机油送到各摩擦副间，以减少它们之间的摩擦与磨损。

6. 启动系

启动系主要由电源、启动机及附属装置组成。其作用是使静止的发动机启动并自行运转。

习题作业

一、选择题

1. 上止点是指活塞离曲轴回转中心 () 处。
A. 最远 B. 最近 C. 较高 D. 较低
2. 柴油机在进气行程中, 通过进气门进入气缸的是 ()
A. 新鲜空气 B. 纯燃油 C. 氧气 D. 可燃混合气
3. 活塞每走一个行程, 相应于曲轴转角 ()
A. 180° B. 360° C. 540° D. 720°
4. 发动机工作时, 气缸内最高压力出现在 ()
A. 进气行程 B. 压缩行程 C. 做功行程 D. 排气行程
5. 发动机压缩比的正确说法是 ()
A. 气缸燃烧室容积与气缸总容积之比
B. 气缸燃烧室容积与气缸工作容积之比
C. 气缸总容积与气缸燃烧室容积之比
D. 气缸工作容积与气缸燃烧室容积之比

二、判断题

1. 维修检测气缸压力就是检测压缩比。 ()
2. 压缩比随发动机气缸磨损一直在变化。 ()
3. 利用启动灵可以判断柴油发动机油路故障。 ()
4. 对于四冲程发动机, 无论其是几缸, 做功间隔均为 180° 曲轴转角。 ()

第二章 曲柄连杆机构的构造与检修

第一节 曲柄连杆机构概述

知识目标

1. 掌握曲柄连杆机构的组成。
2. 掌握曲柄连杆机构的工作条件。

技能目标

能够在气缸测量时确定气缸的最大磨损方向。

知识内容

曲柄连杆机构的作用是将燃料燃烧产生的气体压力转变为曲轴的旋转力矩，对外输出动力。发动机产生的动力，大部分经曲轴后端的飞轮输出，还有一部分通过曲轴前端的齿轮和带轮驱动其他机构和系统（图 2-1）。

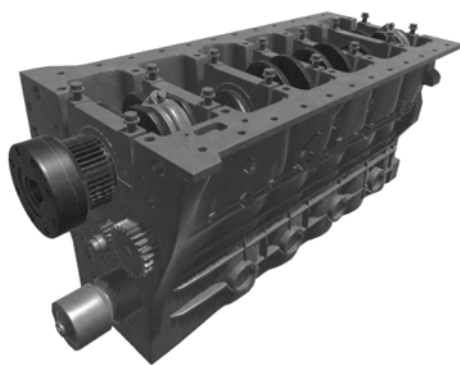


图 2-1 曲柄连杆机构



一、曲柄连杆机构的组成

根据机件的运动方式不同，通常将曲柄连杆机构分为机体组、活塞连杆组和曲轴飞轮组，如图 2-2 所示。

机体组主要包括气缸体、油底壳、气缸盖、气缸盖罩、气缸垫等不动件。活塞连杆组主要包括活塞、活塞环、活塞销、连杆等运动件。曲轴飞轮组主要包括曲轴、飞轮等机件。

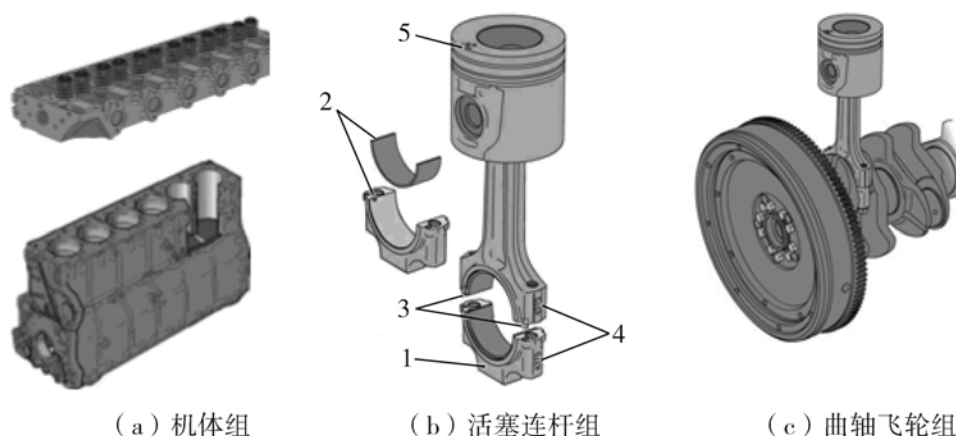


图 2-2 曲柄连杆机构的组成

1. 连杆盖; 2. 定位凸唇; 3. 定位销; 4. 配对记号; 5. 朝前标记

二、曲柄连杆机构的工作条件

曲柄连杆机构在高温、高压、高速和化学腐蚀的条件下工作。同时，曲柄连杆机构在工作时做变速运动，受力情况相当复杂，气体压力、往复惯性力、旋转运动的离心力、相对运动件接触表面的摩擦力等都作用在曲柄连杆机构上，使其工作条件十分恶劣。

(一) 气体压力

在发动机工作循环的每个行程中，气体压力始终存在且不断变化。做功行程最高，压缩行程次之；进气和排气行程较小，对机件影响不大，这里主要分析做功和压缩两行程中的气体压力。图 2-3 所示为气体压力作用情况示意图。

在做功行程中，气体压力推动活塞向下运动，如图 2-3 (a) 所示。活塞所受总压力为 F_p ，传到活塞销上可分解为 F_{p1} 和 F_{p2} 。分力 F_{p1} 通过活塞传给连杆，并沿连杆方向作用在连杆轴颈上。 F_{p1} 还可分解为两个分力 R 和 S 。沿曲柄方向的分力 R 使曲轴主轴颈与主轴承间产生压紧力；与曲柄垂直的分力 S 除了使主轴颈与主轴承间产生压紧力外，还对曲轴形成转矩 T ，推动曲轴旋转。 F_{p2} 把活塞压向气缸壁，形成活塞与缸壁间的侧压力，有使机体翻倒的趋势，故机体下部的两侧应支撑在车架上。

在压缩行程中，气体压力阻碍活塞向上运动。这时作用在活塞顶部的气体压力 F'_{p1} 也可分解为两个分力 F'_{p1} 和 F'_{p2} ，如图 2-3 (b) 所示。而 F'_{p1} 又分解为 R' 和 S' 两个分力。 R' 使曲轴主轴颈与主轴承间产生压紧力； S' 对曲轴形成一个旋转阻力矩 T' ，企图阻止曲轴旋转。而 F'_{p2} 则将活塞压向气缸的另一侧壁。

知识拓展

由于做功与压缩行程侧压力 F_{p2} 、 F'_{p2} 的作用，使气缸在圆周方向磨损成椭圆形，左右磨损大（即垂直于曲轴轴向方向磨损较大）。并且由于做功行程侧压力 F_{p2} 大于压缩行程侧压力 F'_{p2} ，所以承受做功行程侧压力的缸壁一侧磨损较大。另外，在发动机工作循环的任何一个工作行程中，气体压力的大小都是随着活塞位移的变化而变化的，再加上连杆的左右摇摆，因而作用在活塞销和曲轴轴颈的表面以及二者的支撑表面上的压力和作用点

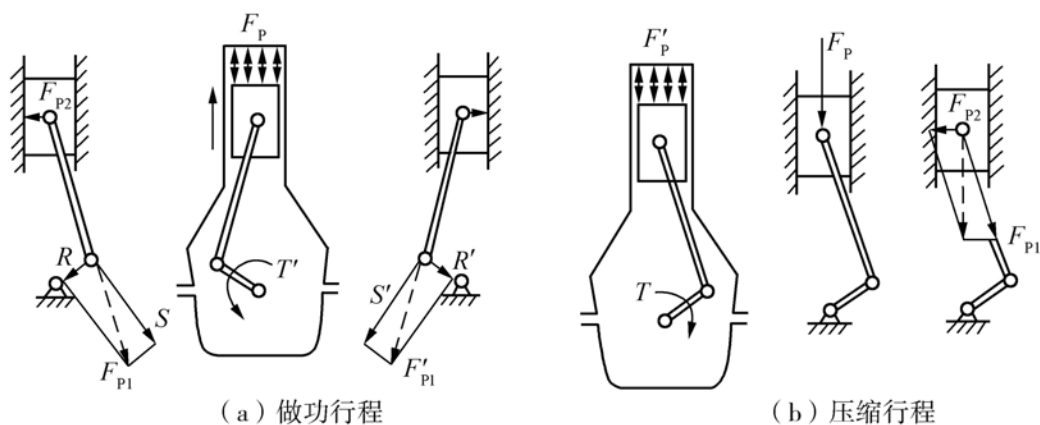


图 2-3 气体压力作用情况示意

不断变化,造成各处磨损不均匀。

(二) 往复惯性力

往复运动的物体,当运动速度变化时,将产生往复惯性力。曲柄连杆机构中的活塞组件和连杆小头在气缸中做往复直线运动,其速度很高且数值变化较大。当活塞从上止点向下止点运动时,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。即前半行程是加速运动,惯性力向上,以 F_j 表示,如图 2-4 (a) 所示。后半行程是减速运动,惯性力向下,以 F'_j 表示,如图 2-4 (b) 所示。同理,当活塞向上运动时,前半行程是加速运动,惯性力向下,后半行程是减速运动,惯性力向上。

知识拓展

惯性力使曲柄连杆机构的各零件和所有轴颈承受周期性的附加载荷,加快轴承磨损;未被平衡的变化的惯性力传到气缸体后,还会引起发动机振动。

(三) 离心力

物体绕某一中心做旋转运动时会产生离心力。在曲柄连杆机构中,偏离曲轴轴线的曲柄、连杆轴颈、连杆大头在绕曲轴轴线旋转时,将产生离心力 F_c ,其方向沿曲柄向外,如图 2-4 所示。

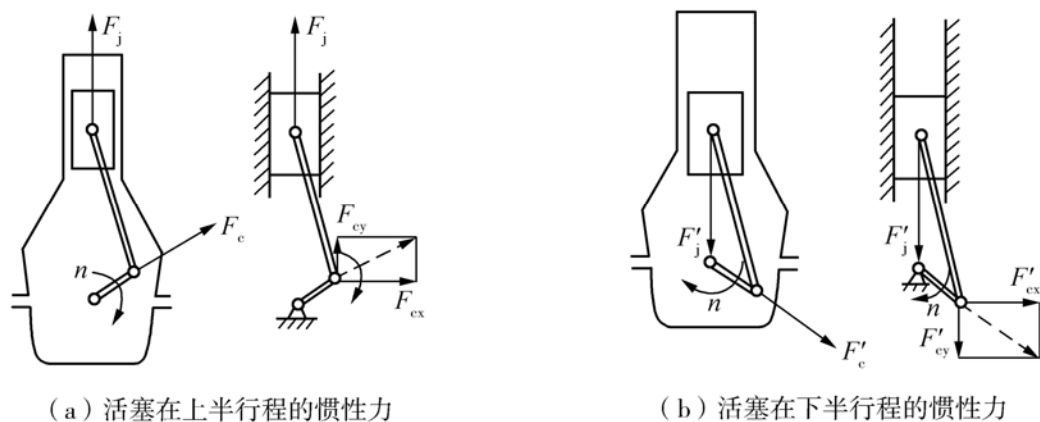


图 2-4 往复惯性力和离心力作用情况示意

知识拓展

离心力在垂直方向上的分力 F_{cy} ，与惯性力 F_j 的方向总是一致的，加剧了发动机的上、下振动；而水平方向的分力 F_{cx} 则使发动机产生水平方向的振动。此外，离心力使连杆大头的轴承和轴颈受到又一附加载荷，增加了它们的变形和磨损。

(四) 摩擦力

任何一对互相压紧并做相对运动的零件表面之间都存在摩擦力。在曲柄连杆机构中，活塞、活塞环、气缸壁之间，以及曲轴、连杆轴承与轴颈之间都存在摩擦力，摩擦力是造成零件配合表面磨损的根源。

上述各种力作用在曲柄连杆机构和机体的各有关零件上，使它们受到压缩、拉伸、弯曲、扭转等不同形式的载荷。为保证发动机工作可靠，减少磨损，在结构上应采取相应措施。

习题作业

一、填空题

1. 曲柄连杆机构是往复活塞式内燃机将 () 能转变为 () 能的主要机构。
2. 曲柄连杆机构由 ()、() 和 () 三部分组成。

二、判断题

1. 曲柄连杆机构零部件在工作时没有受到化学腐蚀。 ()
2. 由于做功与压缩行程侧压力的存在，使气缸在圆周方向磨损成椭圆形。 ()
3. 活塞在气缸中上下运动的速度始终是一样的。 ()

第二节 机体组的构造与检修

知识目标

1. 掌握机体组的组成。
2. 掌握机体组零件的构造。

技能目标

能对气缸体、气缸盖、气缸垫、油底壳进行正确的检修。

知识内容

一、气缸体的构造

(一) 气缸体的结构形式

气缸体是气缸的壳体，柴油机气缸体一般采用整体式结构，即气



缸体与上曲轴箱连为一体,如图 2-5 所示。气缸体是组装发动机的基础件,可以保持发动机各运动件相互之间的位置关系。

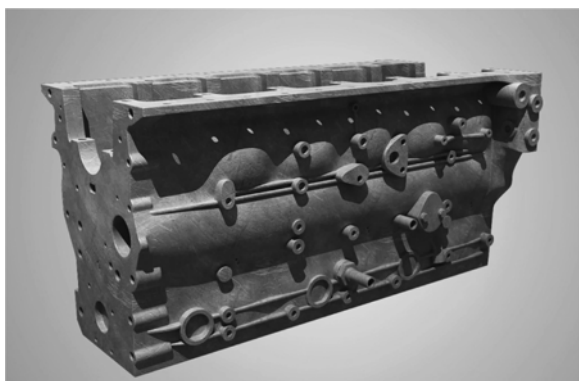


图 2-5 气缸体

气缸体的结构形式通常有平分式、龙门式和隧道式三种,如图 2-6 所示。

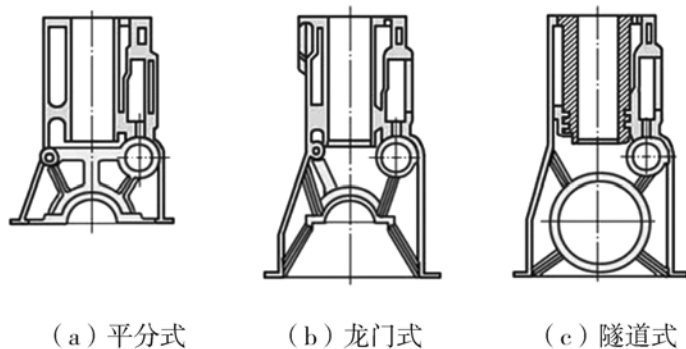


图 2-6 气缸体的结构形式

知识拓展

平分式气缸体的上、下曲轴箱的结合面与曲轴中心线在同一个平面上。其特点是结构简单、制造方便,但刚度小,且前后端呈半圆形,与油底壳接合面的密封较困难,不便维修。多用于中小型发动机。

龙门式气缸体的上、下曲轴箱的结合面在曲轴中心线以下。其特点是,气缸体抗弯曲、扭曲的刚度大,曲轴箱前后端面为平面,密封简单可靠,曲轴拆卸方便,故被大中型柴油机广泛采用,如图 2-5 所示为龙门式气缸体。

隧道式气缸体的主轴承座孔与曲轴箱的横隔板铸为一体,使气缸体的结构刚度大,主轴承同轴度易于保证,无须大型的曲轴锻造设备。但曲轴主轴承必须采用滚动轴承,使曲轴拆装较困难。国产 135 系列柴油机即采用隧道式气缸体。

(二) 气缸的排列方式

发动机气缸的排列方式有三种:直列式、V 形式和对置式,如图 2-7 所示。

(三) 气缸与气缸套

气缸体内引导活塞做往复运动的圆柱形空腔称为气缸。有时也在气缸体内镶入气缸套形成气缸工作表面。

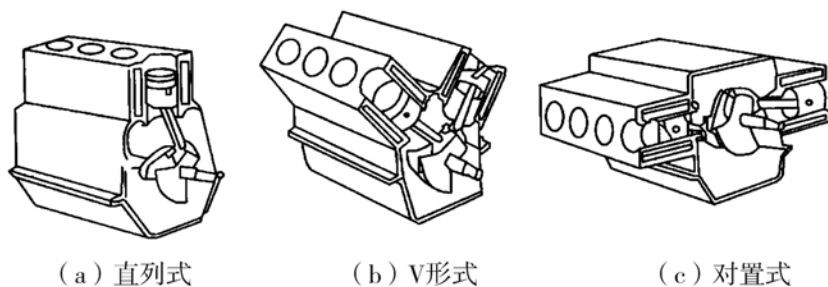


图 2-7 多缸发动机气缸排列方式

知识拓展

在气缸内镶嵌气缸套益处多多, 气缸工作表面承受燃气的高温、高压作用, 且活塞在其中做高速运动, 因此要求其耐高温、耐高压、耐磨损和耐腐蚀。为了提高耐磨性, 有时在铸铁中加入一些合金元素如镍、钼、铬和磷等。但如果气缸体全部采用优质耐磨材料, 则成本太高, 因为除与活塞配合的气缸壁表面外, 其他部分对耐磨性要求并不高。所以, 如果在气缸体内镶入气缸套形成气缸工作表面, 气缸套可用耐磨性较好的合金铸铁或合金钢制造, 而气缸体则用价格较低的普通铸铁或铝合金等材料制造, 可降低制造成本, 维修也比较方便。

气缸套有三种结构形式, 即干式、湿式和无缸套式, 如图 2-8 所示。

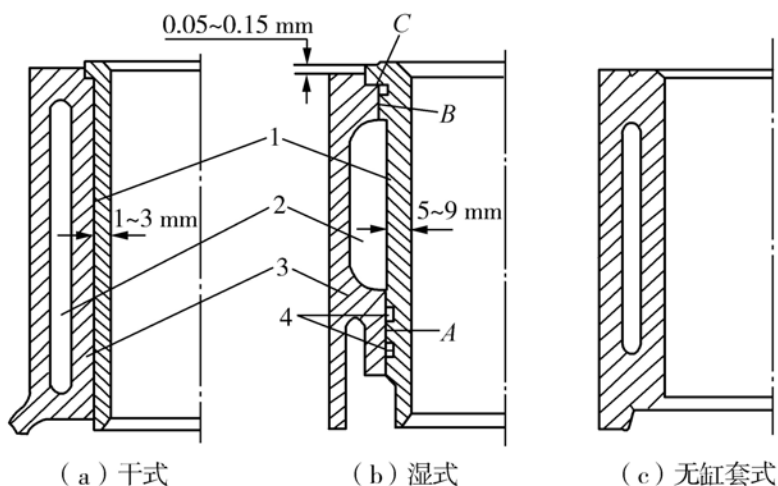


图 2-8 气缸套的结构形式

1. 气缸套; 2. 水套; 3. 气缸体; 4. 橡胶密封圈
A. 下支撑密封带; B. 上支撑定位带; C. 缸套凸缘下平面

知识拓展

干式气缸套不直接与冷却水接触, 壁厚较薄, 一般为 1~3 mm。

湿式气缸套与冷却水直接接触, 壁厚较厚, 一般为 5~9 mm。为了保证径向定位, 气缸套外表面有两个凸出的圆环带, 即上支撑定位带和下支撑密封带, 轴向定位利用上端凸缘实现。湿式缸套的顶部和底部必须采用密封件, 以防止水从冷却系统中渗出。大多数湿

式气缸套压入缸体后,其顶面高出气缸体上平面 $0.05 \sim 0.15 \text{ mm}$,这样当紧固气缸盖螺栓时,可将气缸盖衬垫压得更紧,以保证气缸更好的密封和气缸套更好的定位。湿式缸套铸造方便,容易更换,冷却效果好,但气缸体刚度差,易出现漏气、漏水、穴蚀。

无气缸套式即不镶嵌任何气缸套,在机体上直接加工出气缸,优点是可以缩短气缸中心距,使机体尺寸和质量减小,但成本较高。如沃尔沃 D4 系列发动机所采用的无缸套的气缸体,结构如图 2-8 (c) 所示。

二、气缸体的检修

气缸体常见的损伤主要有裂纹、磨损和变形等。

(一) 气缸体变形的检修

气缸体变形主要表现为上、下平面,端面的翘曲和配合表面的相对位置误差增加。

知识拓展

气缸体翘曲变形的原因:拆装螺栓时力矩过大、不均、不按顺序拧紧,或高温下拆卸气缸盖等都会引起气缸体与气缸盖结合平面的翘曲变形。



1. 气缸体变形的检验

气缸体的翘曲变形可用平板接触法检验。

(1) 选择工具:刀形样板尺、塞尺,如图 2-9 所示。



图 2-9 气缸体变形测量工具

(2) 检测步骤:清洁缸体测量平面上的污物;将不小于被测平面全长的刀形样板尺放到气缸体平面上,在沿气缸体平面的纵向、横向和对角线方向等多处用塞尺进行测量,求得平面度误差,如图 2-10 所示。

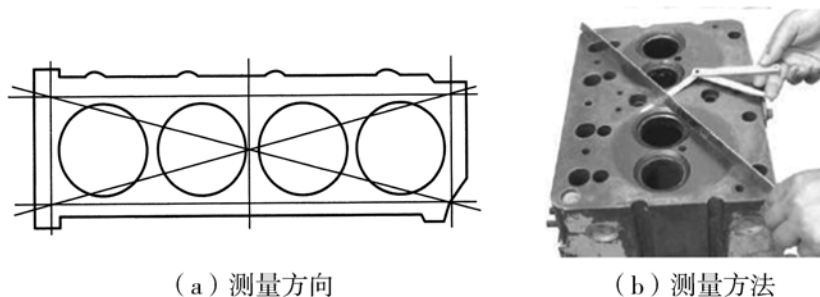


图 2-10 气缸体平面度的检验

2. 气缸体变形的修理

气缸体变形后,可根据变形程度采取不同的修理方法。平面度误差在整个平面上不大于 0.05 mm 或仅有局部不平时,可用刮刀刮平;平面度误差较大时可采用平面磨床进行磨削加工修复,但加工量不能过大,一般为 0.24~0.50 mm,否则会影响压缩比。

(二) 气缸体裂纹的检修

裂纹会引起发动机漏气、漏水和漏油,影响发动机正常工作,必须及时检修。

1. 气缸体裂纹的检验

气缸体外部明显的裂纹,可直接观察。而对于细微裂纹和内部裂纹,一般采用和气缸盖装合后进行水压试验的方法,如图 2-11 所示。将气缸盖和气缸衬垫装在气缸体上,将水压机的水管接头与气缸前端水泵入水口处连接好,并封闭所有水道口,然后将水压入水套,要求在 0.3~0.4 MPa 的压力下,保持约 5 min,应没有任何渗漏现象。如有水珠渗出,则表明该处有裂纹。

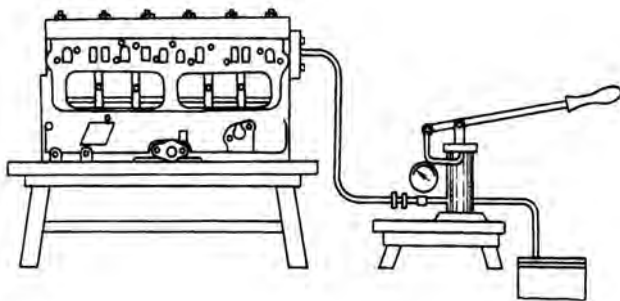


图 2-11 气缸体水压试验

2. 气缸体裂纹的修理

在对气缸体裂纹进行修理时,凡涉及漏气、漏水和漏油等问题,一般都予以更换。对未影响到燃烧室、水道和油道的裂纹,则根据裂纹的大小、部位和损伤程度等情况选择黏结、焊接等方法进行修补。

(三) 气缸体磨损的检修

活塞在气缸中做高速运动,长时间工作后会产生磨损,当气缸磨损达到一定程度后,将引起发动机动力性、经济性明显下降。

气缸正常磨损的特征是不均匀磨损。气缸沿高度方向磨损成上大下小的倒锥形,最大磨损部位是活塞处于上止点时第一道活塞环对应的气缸壁位置,而该位置以上几乎无磨损,形成明显的“缸肩”。气缸沿圆周方向的磨损形成不规则的椭圆形,其最大磨损部位一般是前后或左右方向。

知识拓展

造成气缸高度方向不均匀磨损的原因是:活塞在上止点附近时各道环的背压最大,其中又以第一道环为最大,以下逐道减小;加之气缸上部温度高,润滑条件差,进气中的灰尘附着量多,废气中的酸性物质引起的腐蚀等,造成气缸上部磨损较大。

气缸圆周方向的最大磨损部位主要是侧向力、曲轴的轴向窜动等造成的。

气缸的磨损程度一般用圆度和圆柱度表示,也有以标准尺寸和气缸磨损后的最大尺寸的差值来衡量的。

圆度误差是指同一截面上磨损的不均匀性,用同一横截面上不同方向测得的最大直径与最小直径的差值的一半作为圆度误差。

圆柱度误差是指沿气缸轴线的轴向截面上磨损的不均匀性,用被测气缸表面任意方向所测得的最大直径与最小直径差值的一半作为圆柱度误差。

1. 气缸体磨损的测量

(1) 将被检验的气缸缸筒及上平面清洗,擦干。

(2) 选择接杆。根据所测量气缸直径的大小,选择相应量程的接杆旋入量缸表下端,如图 2-12 所示,并将百分表装入量缸表杆上端的安装孔中(安装后,表针应转动灵活,可用手压缩量缸表的下端测量头)。

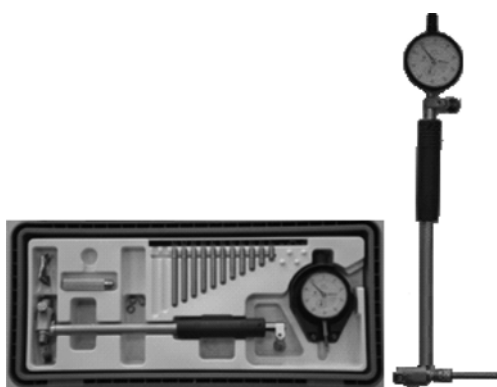
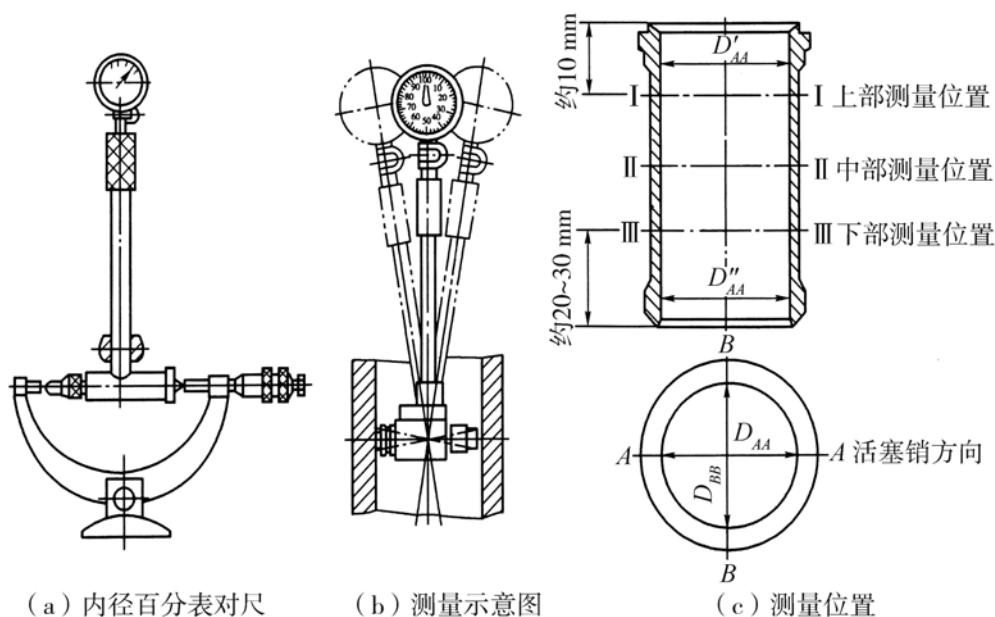


图 2-12 量缸表

(3) 校对量缸表尺寸。如图 2-13 (a) 所示,将外径千分尺调到所量气缸的标准尺寸,然后将量缸表校对到外径千分尺的尺寸(保证量缸表的测杆有 1~2 mm 的压缩量),并转动表盘使大表针对正零位。



(a) 内径百分表对尺

(b) 测量示意图

(c) 测量位置

图 2-13 测量气缸磨损

(4) 测量气缸直径。测量时手握量杆绝热套,把量缸表斜向放入气缸被测处,轻微摆动量缸表,使指针左右摆动相等(气缸中心线与测杆垂直)。百分表指针的最小度数即为测量值,如图 2-13 (b) 所示。

(5) 测量部位。在气缸轴向上选取三个横截面:即 I-I (活塞在上止点时,第一道环所对应的缸壁附近), II-II (气缸中部), III-III (距气缸下边缘 20~30 mm 处),如图 2-13 (c) 所示。沿同一横截面横向、纵向测量,分别测出最大(横向)和最小(纵向)直径,如图 2-14 所示。依次测出各缸三个横截面上的最大、最小直径,并记录数据(表 2-1)。

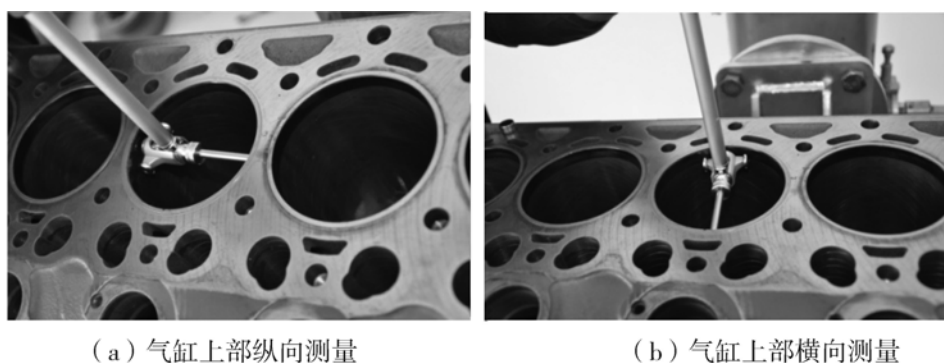


图 2-14 气缸测量方向

(6) 圆度和圆柱度的计算。被测气缸的圆度误差用各个横截面上最大、最小直径差的一半的最大值表示;各被测气缸体的圆度误差,用各缸的最大圆度表示。被测气缸的圆柱度误差用三个横截面上最大、最小直径差的一半表示,各气缸体的圆柱度用最大圆柱度气缸的数值表示。

(7) 最大磨损量的计算。被测气缸最大磨损直径与标准直径的差值。

表 2-1 气缸测量检测报告

缸数 测量部位		一	二	三	四	五	六
I - I	A-A						
	B-B						
II - II	A-A						
	B-B						
III - III	A-A						
	B-B						
圆度							
圆柱度							

确定修理尺寸(镗磨余量取 0.15 mm):

2. 气缸体磨损的修理

当发动机中磨损量最大的气缸，其磨损程度衡量指标超过规定标准时，应进行修理。气缸体磨损的修理通常采用机械加工的方法，即修理尺寸法和镶套修复法。

(1) 修理尺寸法是指在零件结构、强度和强化层允许的条件下，将配合副中主要件的磨损部位经过镗磨加工至规定尺寸，恢复其正确的几何形状和精度，然后更换相应的配合件，得到尺寸改变而配合性质不变的配合副的修理方法。修复后的尺寸称为修理尺寸，对于孔件是扩大了，对于轴件是缩小了的。

知识拓展

气缸的镗磨加工方法：

1. 确定气缸的修理尺寸

气缸的修理尺寸应按修理级别进行。修理级别一般分为 4~6 级，每加大 0.25 mm 为一级，最大不超过 1.00 mm 或 1.50 mm。修理级别应符合原厂规定。

气缸的修理尺寸 = 气缸最大直径 + 镗磨余量。

镗磨余量一般取 0.10~0.20 mm。

计算出的修理尺寸应与修理级别对照。如与修理级别不相符，应圆整到下一个修理级别。同一台发动机的各气缸应采用同一级别修理尺寸。

2. 确定镗削量

气缸修理尺寸确定后，选配同级别修理尺寸的活塞，并依次测量每个活塞裙部的尺寸，结合必要的活塞与气缸壁的配合间隙和磨缸余量，分别根据各缸的实际尺寸，计算确定各缸的镗削量。

镗削量 = 活塞裙部最大直径 - (气缸最小直径 + 配合间隙) - 磨缸余量。

磨缸余量一般取 0.01~0.05 mm。

3. 镗缸

气缸镗削加工质量要求：缸壁表面粗糙度应不大于 $Ra2.5$ ；干式缸套圆度不大于 0.005 mm，圆柱度不大于 0.0075 mm；湿式缸套圆柱度不大于 0.0125 mm；气缸轴线对两端主轴承座孔轴线的垂直度不大于 0.05 mm。

4. 气缸的珩磨

气缸镗削加工后，表面存在螺旋形的细微刀痕，必须进行珩磨加工，使气缸具有合理的表面粗糙度和配合特性，并具有良好的磨合性能。

气缸珩磨后的技术要求是：缸壁表面粗糙度应不大于 $Ra0.63$ ；气缸的圆度、圆柱度及配合间隙符合规定。

(2) 镶套修复法是针对经多次修理，直径超过最大修理尺寸，或气缸壁上有特殊损伤时，对气缸承孔进行加工，用过盈配合的方式镶上新的气缸套，使气缸恢复到原来尺寸的修理方法。

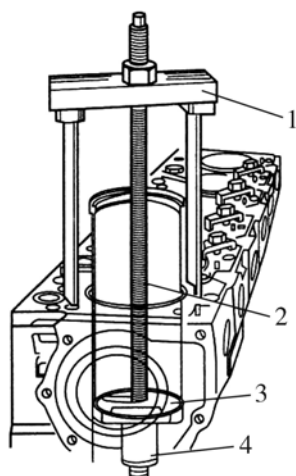
1) 干式气缸套的镶配。

a. 选择气缸套。第一次镶套选用标准尺寸的气缸套；若气缸体上已镶有缸套，应先拆除旧套，再选用大一级修理尺寸的气缸套。拆除气缸套的工具及方法如下：拆卸气缸套应使用专用工具，如图 2-15 所示，按照图 2-16 所示安装工具，在缸套下缘安装拉板，然后

用扳手旋转螺母即可靠拉板将缸套拉出。



图 2-15 拆装气缸套专用工具



(a) 示意图



(b) 实物图

图 2-16 气缸套拆解

1-支架；2-拉杆；3-拉板；4-快速安装螺母

b. 检修气缸套承孔。根据气缸套的外径尺寸，将气缸套承孔镗至所需尺寸，按要求留有过盈量。

c. 镶配。将气缸套外壁涂以机油，放正气缸套，用压床以 20~50 kN 的压力缓慢压入。也可采用如图 2-17 所示的专用工具，将拉板装在上方，支架装在下方，通过扳手旋转螺母缓缓将缸套压入。为防止缸体变形，应采用隔缸压入法。压入缸套前后应对气缸体进行水压试验。

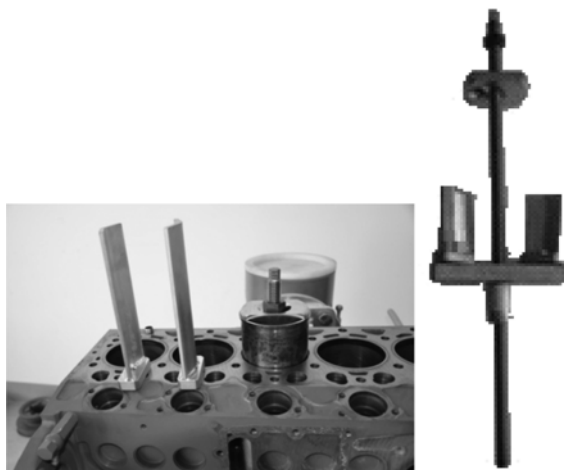


图 2-17 气缸套装配

d. 测量气缸套高出量。气缸套压入后应用如图 2-18 (a) 所示的专用工具测量气缸套高出气缸体上平面的量。

测量方法如图 2-18 (b) 所示，在发动机气缸体上平面安装专用测量工具 2、垫块 3 和百分表 1（注意：两个垫块应放置在气缸体上平面上而，不能放置在气缸套的边缘上），

让百分表指针顶在气缸体上平面上，小表针有 1~2 mm 预压，大表针调零。

移动专用测量工具 2，使百分表指针对着气缸套的上缘，百分表大表针偏离 0 点的最大值即为气缸套的高出量。在三个不同的位置测量缸套的高出量。如测量的缸套高出量超出了标准范围，则予以更换，如沃尔沃 D7E 发动机的缸套高出量标准范围为 0.03 ~ 0.08 mm。

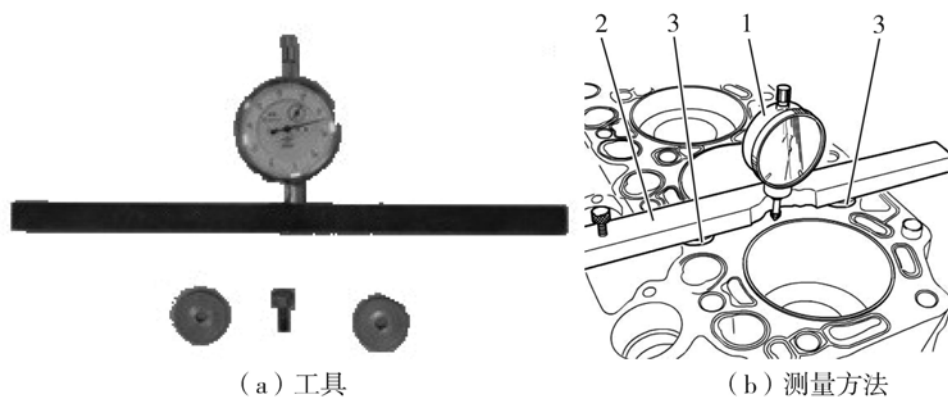


图 2-18 气缸套高出量测量

1. 百分表；2. 专用工具；3. 垫块

2) 湿式气缸套的镶配。

- a. 拆除旧气缸套，并清除气缸体承孔结合面上的沉积物。
- b. 将镗磨好的气缸套，在装水封圈的部位涂以密封胶，装妥水封圈并压紧在气缸体承孔内。安装后应进行水压试验。

三、气缸盖的构造与检修

(一) 气缸盖的构造

气缸盖的作用是封闭气缸上部，并与活塞顶部共同组成燃烧室。在气缸盖内有冷却水腔，进、排气道。气缸盖上装有进、排气门座圈，气门，气门弹簧，进、排气管，摇臂及摇臂轴，喷油器，冷启动预热塞等。

知识拓展

柴油机的气缸盖是在很高的燃气压力和热应力下工作的，同时承受缸盖螺栓预紧力的作用。气缸盖应具有足够的刚度与强度，以免翘曲变形，保证气缸的密封。柴油机气缸盖一般采用优质铸铁制造。强化柴油机的气缸盖，为提高其耐热强度而采用合金铸铁或高强度球墨铸铁制造。

柴油机气缸盖有整体式缸盖和分开式缸盖，如图 2-19 所示。

整体式缸盖具有结构紧凑、制造成本低的优点，但由于其尺寸较长、刚度较差，易变形，在使用中易发生漏气、漏水的故障，故适用于小型柴油机。

分开式缸盖采用一缸一盖或多缸一盖形式，常用在缸径较大的多缸柴油机中。如 YC6110Q 型柴油机采用整体式缸盖，YC6105QC 型柴油机是三个气缸用一个气缸盖，6135G 型柴油机是每两个气缸共用一个气缸盖，WD615 系列柴油机则采用一缸一盖。

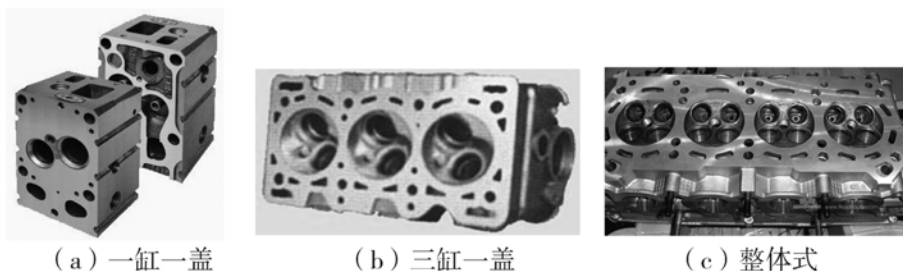


图 2-19 气缸盖的类型

(二) 气缸盖的拆装

1. 气缸盖的拆卸

气缸盖螺栓的拆卸顺序必须按先四周后中央、对角交叉的顺序进行，并分多次（一般为 3 次）拧松气缸盖螺栓。如图 2-20 所示。

2. 气缸盖的安装

气缸盖螺栓安装必须按先中央后四周、对角交叉的顺序进行，并分多次。如图 2-21 所示。

对于气缸盖螺栓，除了拧紧顺序有要求外，拧紧力矩也有要求，并且要分 2~3 次拧紧至规定力矩，切不可一次拧紧到位。如东风 EQ1090F2D 车用柴油机气缸盖螺栓规定力矩为 $147 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，按顺序分三次拧紧，第一次拧紧到 $78 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，第二次拧紧到 $118 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，第三次拧紧到 $147 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

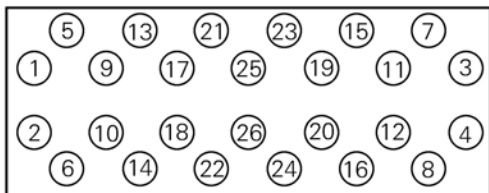


图 2-20 气缸盖螺栓拆卸顺序

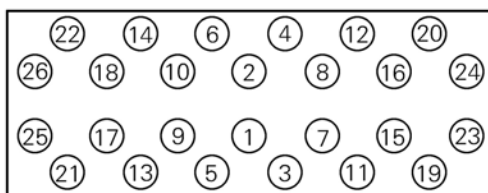
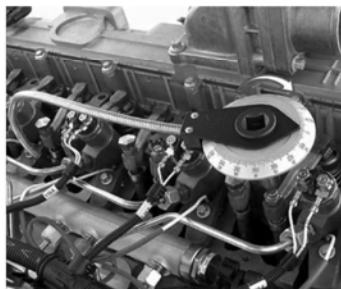


图 2-21 气缸盖螺栓安装顺序

知识拓展

个别发动机还要求在发动机热态时拧紧，要求在完成发动机整机装配后，启动发动机并运转至正常水温后停机，再进行一次拧紧，达到规定力矩。

一些装配精度较高的柴油机，气缸盖螺栓采用角度拧紧法拧紧。如沃尔沃 D7E 系列柴油机要求第一步先用扭力扳手按缸盖螺栓拧紧顺序将螺栓拧紧至 $50 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，第二步用扭力扳手按缸盖螺栓拧紧顺序将螺栓拧紧至 $130 \text{ N} \cdot \text{m}$ ；然后再用旋转角度规将每个缸盖螺栓按顺序拧紧 90° 即可，如图 2-22 所示。

图 2-22 用旋转角度规将缸盖螺栓再拧紧 90°

(三) 气缸盖的检修

气缸盖的主要损坏形式是裂纹与变形。

裂纹多发生在进、排气门座之间，一般是由于气门座或气门导管配合过盈量过大与镶换工艺不当引起的，检测方法与气缸体裂纹的检测方法相同。气缸盖出现裂纹一般应予以更换。

气缸盖变形是指与气缸体的结合面翘曲变形。这种损伤通常是由于高温或拆装气缸盖时操作不当，以及未按气缸盖螺栓规定的顺序和力矩拧紧所致，检测方法与气缸体变形的检测方法相同。

四、气缸垫的作用、构造与安装

(一) 气缸垫的作用与构造

1. 气缸垫的作用与要求

气缸垫是用来保证气缸体与气缸盖的密封，防止漏气、漏水的。

气缸垫应满足下列主要要求：在高温、高压燃气作用下有足够的强度，不易损坏；耐热和耐腐蚀，即在高温高压燃气或有压力的机油和冷却水的作用下，不烧损、不变质；具有一定的弹性，能补偿接合面的不平度，以保证密封；拆装方便，能重复使用，寿命长。

2. 气缸垫的构造

气缸垫的构造如图 2-23 所示。目前气缸垫的结构大致有以下几种：

(1) 金属—石棉垫 如图 2-23 (a)、(b) 所示。外包铜皮和钢片，且在气缸孔、水孔、油道口周围卷边加强，内填石棉（常掺入铜屑或钢丝，以加强导热，平衡缸体和缸盖的温度）。这种衬垫压紧厚度为 1.2~2 mm，有很好的弹性和耐热性，能重复使用。但厚度和质量的均一性较差。

另一种是金属骨架—石棉垫，以编织的钢丝网 [图 2-23 (c)] 或有孔钢板 [图 2-23 (d)] 为骨架，外覆石棉及橡胶黏结剂压成垫片，表面涂以石墨粉等润滑剂，只在气缸孔、水孔及油道口处用金属片包边。这种缸垫弹性好，但易黏结，一般只能使用一次。有的气缸垫既有金属骨架，石棉外又包金属包皮。

为了提高气缸口处的防烧蚀能力，有的镶以抗高温氧化能力较强的镍边，有的则缸口部分没有石棉，只由几层薄钢片组成。

(2) 纯金属垫 由单层或多层金属片（铜、铝或低碳钢）制成，如图 2-23 (e) 所示，在气缸孔和水道孔等周围冲出一定高度的凸纹，利用其弹性变形来实现对气缸的密封。这种气缸垫有较高的交变弯曲强度，寿命较长，用于某些强化发动机。但对气缸盖和气缸体结合面的平整度和刚度要求较高。

(3) 无石棉气缸垫 如图 2-23 (f) 所示，国际上已公认石棉是一种致癌物质，因此一些发动机已开始使用无石棉气缸垫，是以无石棉密封材料（无石棉抄取板、无石棉压缩板、无石棉橡胶板等不含石棉的材料），用模具或各种工具冲压、剪切而成的气缸垫。

某些发动机开始使用耐热密封胶彻底取代气缸垫。它与使用纯金属垫的发动机一样，对缸体和缸盖结合面的加工精度要求较高。

(二) 气缸垫的安装

气缸垫安装不正确或者经过多次拆装，厚度被压薄；伸缩性减弱或根本没有伸缩性；

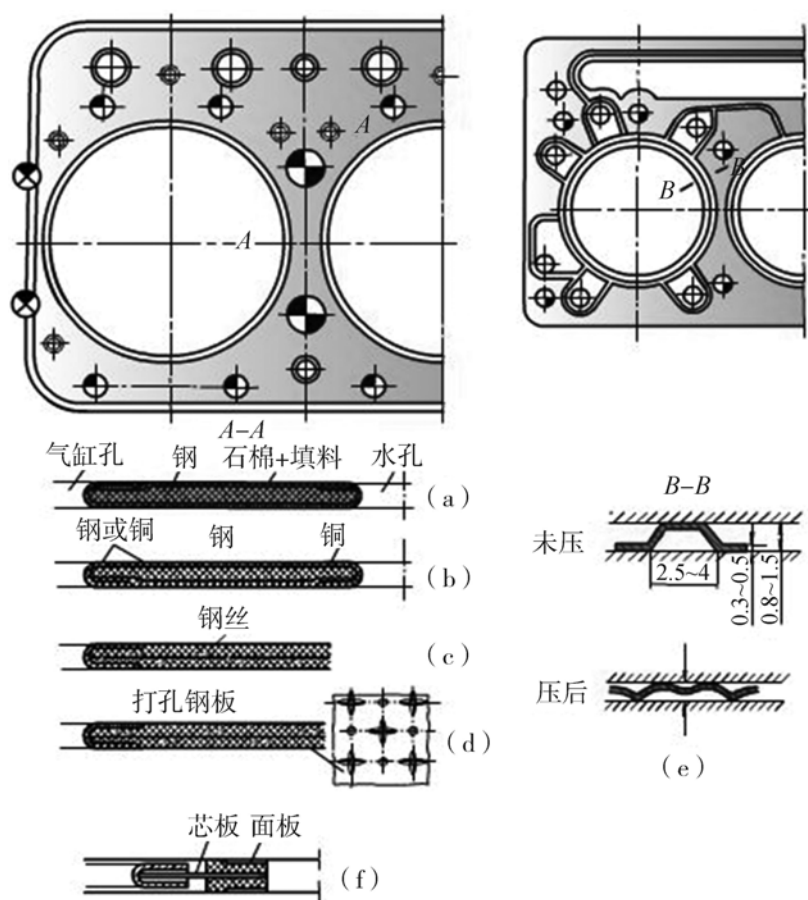


图 2-23 气缸垫的结构 (单位: mm)

气缸垫凸凹不平或被气体冲坏等, 都会造成气缸垫漏气、漏水。

知识拓展

漏气将使发动机的功率下降。漏水将使气缸机件锈蚀, 发动机启动困难。水漏到油底壳内, 将使润滑油变质。水漏到排气管内, 会发出“突、突”的声音, 同时散热器中还会有冒气泡的现象。

(1) 首先应选择规格与气缸体一致的气缸垫, 必须与所有的气缸孔、螺栓孔、水道孔、推杆孔等相配合。如厂家有特殊规定, 应按厂家规定选用气缸垫。

如沃尔沃发动机的气缸垫一角有一个孔、两个孔或三个孔的标记, 如图 2-24 所示。

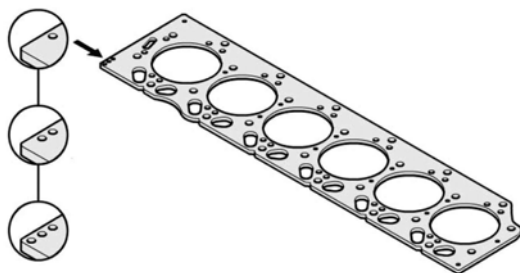


图 2-24 沃尔沃发动机气缸垫

孔数不同,气缸垫的厚度不同,如表 2-2 所示。在安装气缸垫前,应根据气缸体上平面高出活塞的高度(活塞在上止点时)来选用不同厚度的气缸垫,从而保证发动机有一个正确的空燃比。

表 2-2 沃尔沃气缸垫孔数与厚度的关系

标识孔数(个)	气缸体上平面高出活塞的高度(mm)
1	0.33~0.55
2	0.56~0.65
3	0.66~0.76

(2) 安装气缸前,应清洁气缸盖和气缸体的两个结合平面,清理冷却水道和螺孔、螺纹上的污物,并清洁衬垫和螺栓,检查衬垫有无折损和变形。

(3) 气缸垫必须按一定的方向安装。要认清气缸垫上的识别标记,如“朝上”“朝前”或“此面朝上”的标记图。若表面上没有标记,则将冲压出的号码标记朝向气缸盖,如图 2-25 所示。



图 2-25 气缸垫上的标记

五、油底壳的构造与检修

(一) 油底壳的构造

油底壳的主要功用是储存和冷却机油,并封闭曲轴箱。在最低处设有放油塞,以便放出润滑油。有的放油塞还带有磁性,可以吸附润滑油中的铁屑,以减小发动机的磨损。为了防止发动机震动时油底壳油面产生较大的波动,在油底壳的内部设有稳油挡板,如图 2-26 所示。由于油底壳受力很小,一般用薄钢板冲压而成,有些铝合金油底壳还带有散热片。曲轴箱与油底壳之间为了防止漏油装有软木衬垫,也有涂密封胶的。

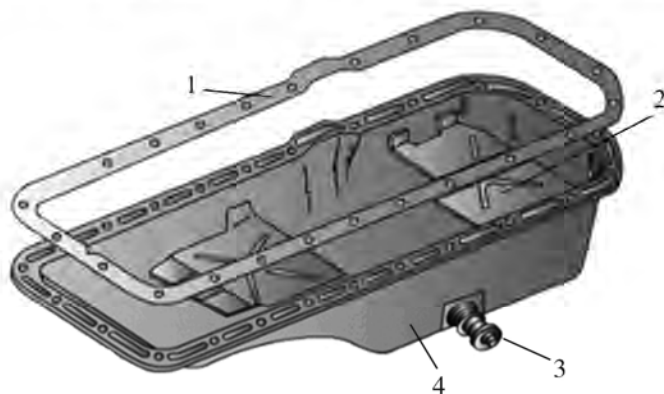


图 2-26 油底壳

1. 衬垫; 2. 稳油挡板; 3. 放油螺塞; 4. 油底壳

(二) 油底壳的检修

油底壳的常见故障主要表现为气缸体下平面翘曲不平导致漏油和油底壳放油螺塞滑扣

而漏油。

气缸体下平面翘曲,会引起油底壳密封垫密封不严,造成油底壳漏油。这不仅会使润滑油消耗量增加,甚至会因润滑油不足而引起“烧瓦”等事故性损坏。

油底壳放油螺塞螺纹损坏会导致油底壳漏油,处理方法:一是直接更换油底壳;二是将原来的放油螺塞孔拓宽,放入丝套,或使用加大的螺塞。

习题作业

一、填空题

1. 气缸体根据其结构形式的不同,可分为()、()和()。
2. 气缸体内引导活塞做往复运动的圆柱形空腔称为()。
3. 根据是否与冷却水相接触,气缸套分为()式气缸套和()式气缸套。
4. 气缸盖用来封闭气缸的上部,并与活塞顶、气缸壁共同构成()。

二、选择题

1. 发动机各个机构和系统的装配基体是()。
A. 气缸体 B. 气缸盖 C. 曲轴箱 D. 齿轮箱
2. 发动机气缸体的材料通常为()。
A. 铸铁 B. 陶瓷 C. 铜
3. 气缸的最大磨损部位是()。
A. 活塞位于上止点时第一道环对应部位
B. 活塞位于下止点时第一道环对应部位
C. 气缸上边
D. 气缸下边
4. 可以通过测量(),判断发动机气缸的磨损程度。
A. 直线度和同轴度 B. 垂直度和圆跳动
C. 圆度和圆柱度 D. 平面度和平行度
5. 气缸的横向磨损大的最主要原因是()。
A. 粘着磨损 B. 磨粒磨损 C. 侧压力 D. 腐蚀磨损
6. 湿式气缸套压入后,与气缸体上平面的关系是()。
A. 高出 B. 相平 C. 低于

三、判断题

1. 柴油机一般采用干缸套。 ()
2. 当缸套装入气缸体时,一般缸套顶面应与气缸体上面平齐。 ()
3. 在柴油机的气缸盖上,除设有进排气门座外,还设有火花塞座孔。 ()
4. 为了使铝合金活塞在工作状态下接近圆柱体形,冷态下必须把它做成上大下小的锥体。 ()

第三节 活塞连杆组的构造与检修

知识目标

1. 掌握活塞连杆组的组成。
2. 掌握活塞、活塞环、活塞销、连杆的构造。

技能目标

1. 能正确对活塞、活塞环、活塞销、连杆进行检修。
2. 能正确对活塞连杆组进行拆装。

知识内容

活塞连杆组由活塞、活塞环、活塞销和连杆等组成，如图 2-27 所示。

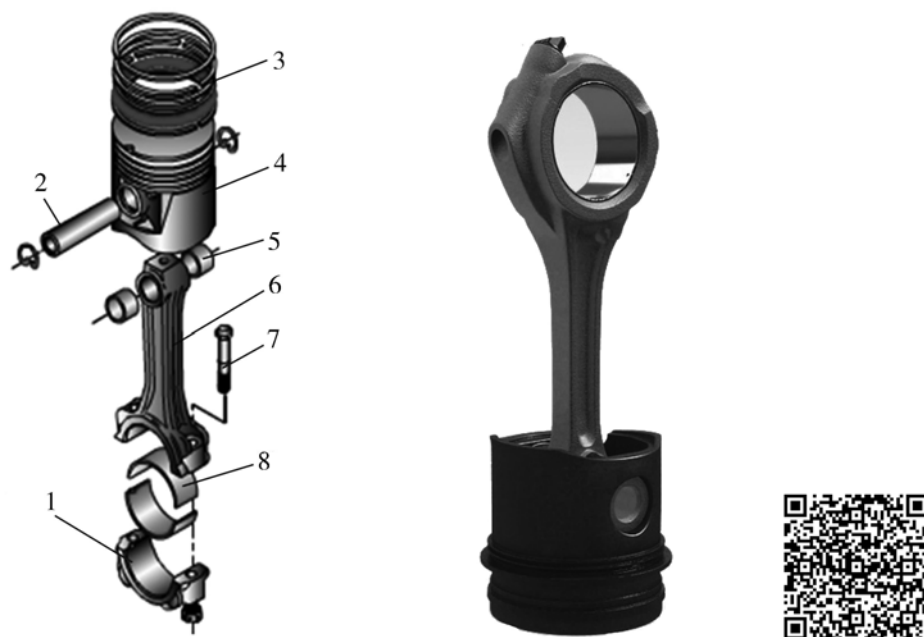


图 2-27 活塞连杆

1. 连杆盖；2. 活塞销；3. 活塞环；4. 活塞；5. 连杆衬套；
6. 连杆；7. 连杆螺栓；8. 连杆轴瓦

一、活塞的构造与检修

(一) 活塞的构造

活塞的作用是与气缸盖和气缸壁等共同组成燃烧室，承受气体压力，并通过活塞销将压力传给连杆，以推动曲轴旋转。根据其作用，活塞可分为顶部、环槽部、裙部和活塞销座四部分，如图 2-28 所示。



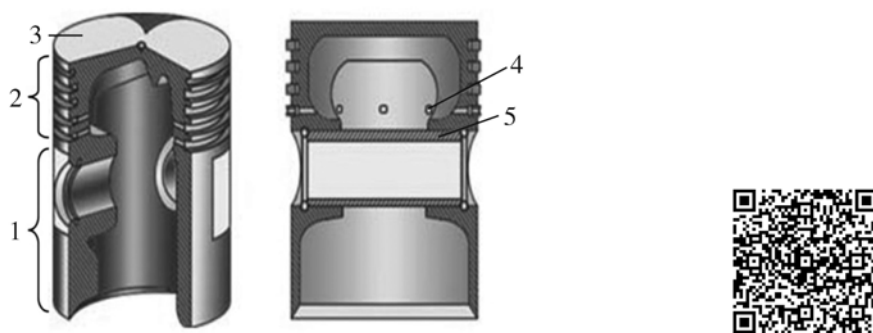


图 2-28 活塞的构造

1. 活塞裙部; 2. 活塞环槽部; 3. 活塞顶部; 4. 泄油孔; 5. 活塞销座

知识拓展

活塞在工作中要承受气体压力、摩擦力、惯性力及侧压力等交变载荷的作用, 同时活塞还在工作中接触高温燃气和润滑油, 因此要求活塞具有足够的强度和刚度、较轻的质量、小的膨胀量、良好的导热性、耐磨、耐腐蚀等性能, 并且要求在各种工况下能与气缸壁之间有合适的间隙。目前, 汽油机活塞广泛采用的是质量轻、导热性能好、膨胀系数小的铝合金材料, 柴油机活塞多采用球墨铸铁或灰铸铁, 以提高活塞的强度、刚度。

1. 顶部

活塞的顶部是燃烧室的组成部分, 用来承受气体压力。为了提高刚度和强度, 并加强散热能力, 背面多有加强筋。根据不同的目的和要求, 活塞顶部制成各种不同的形状, 通常有平顶、凹顶、凸顶等, 如图 2-29 所示。

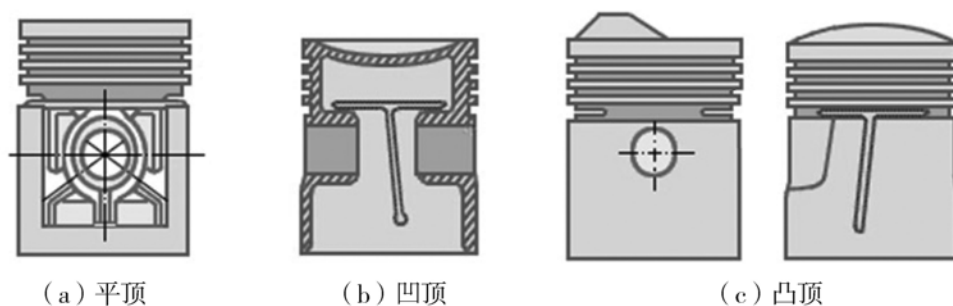


图 2-29 活塞顶部的形状

柴油机活塞顶部多为凹顶, 其形状是根据燃烧室要求设计的, 常见的燃烧室形状如图 2-30 所示。

2. 环槽部

活塞的环槽部切有若干环槽, 用以安装活塞环。它是活塞的防漏部分, 两环槽之间称为环岸。

环槽的形状与活塞环断面形状相适应, 通常为矩形或梯形。靠顶部的环槽装压缩环(气环), 一般为 2 或 3 道; 下面的环槽装油环, 一般为 1 或 2 道。柴油机活塞上大多装有三道活塞环。上面两道为气环, 下面一道为油环。油环环槽的槽底圆周上制有若干贯通的

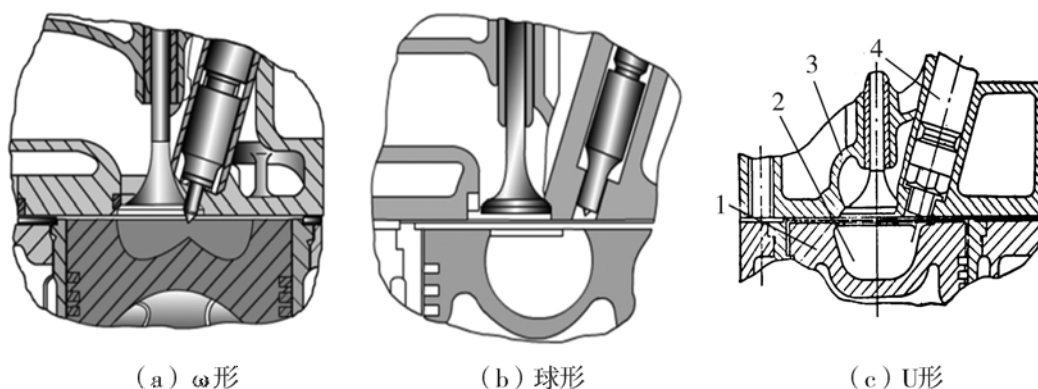


图 2-30 柴油机燃烧室形状

1. 活塞顶部; 2. 燃烧座; 3. 气缸盖; 4. 喷油器

泄油孔或泄油槽，油环从缸壁上刮下的多余的润滑油经此流回油底壳。

活塞顶部与活塞环槽统称为活塞头部，有数道环槽安装活塞环用于气缸密封，防止燃气漏入曲轴箱，同时阻止机油窜入燃烧室；此外还将活塞头部吸收的热量通过活塞环传到气缸壁，降低活塞顶部的温度。活塞头部较厚，目的是为了加强热传导和活塞头部的刚度、强度，使活塞顶部吸收的热量能顺利地传至第二和第三道环处，以减轻第一道环的热负荷。

3. 裙部

活塞的裙部是用来为活塞上下运动导向和承受侧压力的。因此，裙部既要有一定的长度，以保证可靠的导向，又要有足够的面积，以防止活塞对气缸壁的单位面积压力过大，破坏润滑油膜，加大磨损。

裙部的基本形状为一薄壁圆筒，完整的称为全裙式，如图 2-31 (a) 所示。高速发动机趋向于大缸径短行程，并降低发动机的高度。为了避免活塞与曲轴平衡重块相撞，有时也为了减小质量，在保证有足够承压面积的情况下，将活塞不受作用力的两侧，即沿销座孔轴线方向的裙部去掉一部分，形成半拖板式裙部，如图 2-31 (b) 所示；或者全部去掉，形成拖板式裙部，如图 2-31 (c) 所示。拖板式裙部弹性较大，可以减小活塞与气缸壁间的装配间隙。

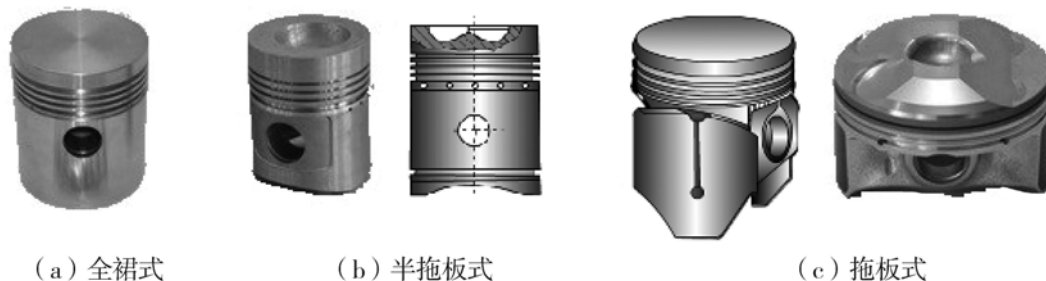


图 2-31 活塞裙部

4. 活塞销座

活塞销座是活塞与活塞销的连接部分，位于活塞裙部的上部，为厚壁圆筒结构，用以安装活塞销，如图 2-32 所示。活塞所承受的气体压力、惯性力都是通过销座传给活塞销

的。为了限制活塞销的轴向窜动，大部分活塞在销座孔内接近外端面处开有卡环槽，用以安装卡环。两卡环之间的距离大于活塞销的长度，使卡环与活塞销端面之间留有足够的间隙，以防冷却过程中活塞的收缩大于活塞销的收缩而将卡环顶出。销座孔有很高的加工精度，并且分组与活塞销选配，以达到高精度的配合，销座孔的尺寸分组通常用色漆标于销座下方的外表面。为了销座孔的润滑，有些销座上钻有收集润滑油的小孔。

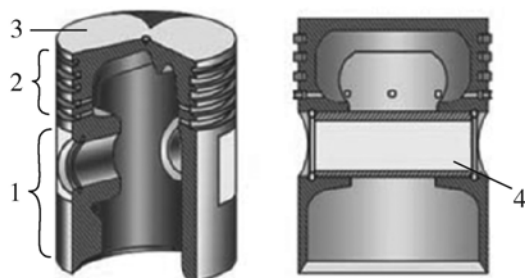


图 2-32 活塞销座

1. 销部；2. 环槽部；3. 顶部；4. 活塞销座

5. 活塞的其他结构

(1) 温控结构。为了防止活塞顶部和第一道环槽的温度过高，可采用多种措施来降低活塞温度，喷油冷却即为常用的方法。T815 系列、YC6105QC 型柴油机采用由连杆小头向活塞内腔顶部喷射润滑油的办法，如图 2-33（a）所示。T815 系列、WD615 系列、YC6110Q 型、沃尔沃系列柴油机在气缸体下部设有专门的喷嘴，在活塞运行到下止点时向活塞内腔顶部喷射机油以降低活塞的温度，如图 2-33（b）、图 2-34 所示。

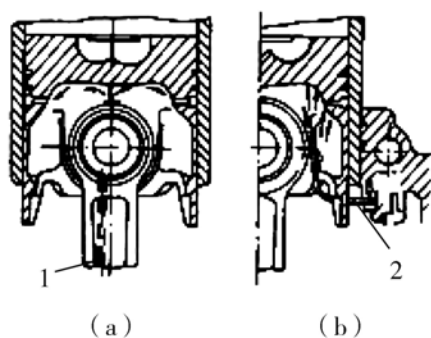


图 2-33 活塞的喷油冷却

1. 油道；2. 机油喷嘴



图 2-34 沃尔沃系列发动机活塞的喷油冷却装置

1. 机油喷嘴；2. 机体中的油道

(2) 应对活塞变形的结构。活塞裙部是为活塞运动导向和承受侧压力的，因而裙部有一定的长度，以保证可靠的导向和足够的承压面积。裙部的基本结构形状为一薄壁圆筒。

活塞在工作时由于承受气体的压力、侧压力及受活塞热胀冷缩的影响，会变成椭圆形，如图 2-35 所示。为了使活塞在发动机运转时呈圆形，将活塞加工成椭圆形，其长轴位于垂直于活塞销座轴线的方向上，以保持活塞变形后圆周间隙比较均匀。现代车用高速柴油机的活塞，沿其高度根据其各处膨胀量的大小和方向，有不同的椭圆度，一般为 0.10~0.60 mm，如图 2-36 所示。

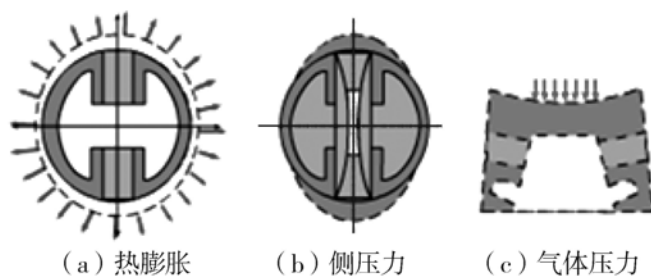


图 2-35 活塞的变形

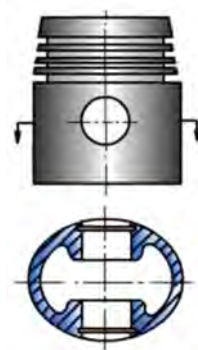


图 2-36 椭圆活塞

活塞的温度分布是不均匀的，由顶部到裙部温度逐渐降低，导致在发动机工作时，活塞头部的膨胀量大于裙部，自上而下膨胀由大变小。因此，柴油机活塞的外径尺寸沿高度方向做成上小下大的截锥形或阶梯形，如图 2-37 所示，使活塞在热状态时与气缸形状吻合。

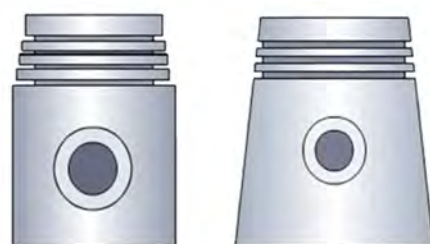


图 2-37 上小下大的活塞

为了控制铝合金活塞受热后的膨胀量，在活塞销座和裙部内镶入钢制骨架以阻止活塞裙部的热膨胀。这种活塞亦称自动热控活塞，如图 2-38 所示。它可以减小活塞裙部与气缸的配合间隙，降低柴油机噪声，特别是在冷却水温度较低时，降低噪声效果更为显著。

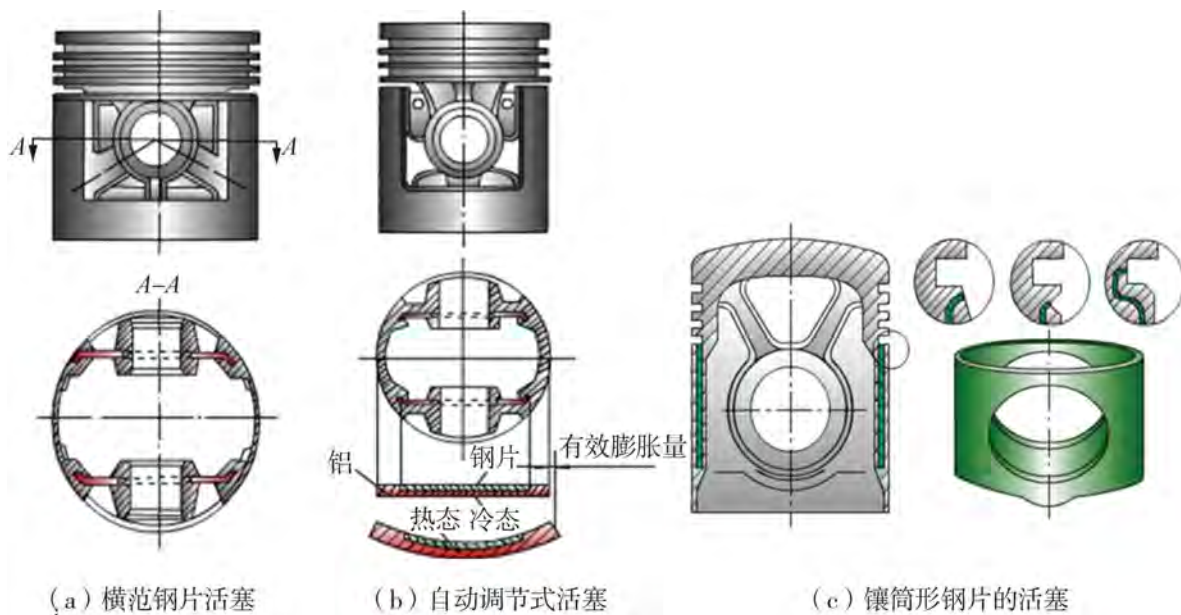


图 2-38 镶钢制骨架活塞

(3) 偏置销座。活塞销座通常用加强筋与活塞内壁相连，以提高其刚度。销座孔内有安装卡环的卡环槽。销座中心线一般都在活塞中心线的平面内，也有的柴油机将销孔中心

偏离活塞中心，以减少活塞对气缸的冲击和降低噪声，提高柴油机的动力性。

一般发动机活塞的销座轴线与活塞的中心线垂直相交，当活塞在上止点改变运动方向时，由于侧压力瞬间换向，使活塞与缸壁的接触面突然由一侧平移至另一侧，如图 2-39 (a) 所示，便产生活塞对气缸壁的拍击（俗称敲缸），增加了发动机的噪声。因此，高速发动机将活塞销座朝向承受膨胀做功侧压力的一面（图中左侧）偏移 $1\sim 2\text{ mm}$ ，如图 2-39 (b) 所示。这样，在接近上止点时，作用在活塞销座轴线右侧的气体压力大于左侧，使活塞倾斜，裙部下端提前换向；当活塞越过上止点，侧压力反向时，活塞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延长了时间且分为两步。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，但它是渐变过程。因此，两步过渡使换向冲击大为减弱。

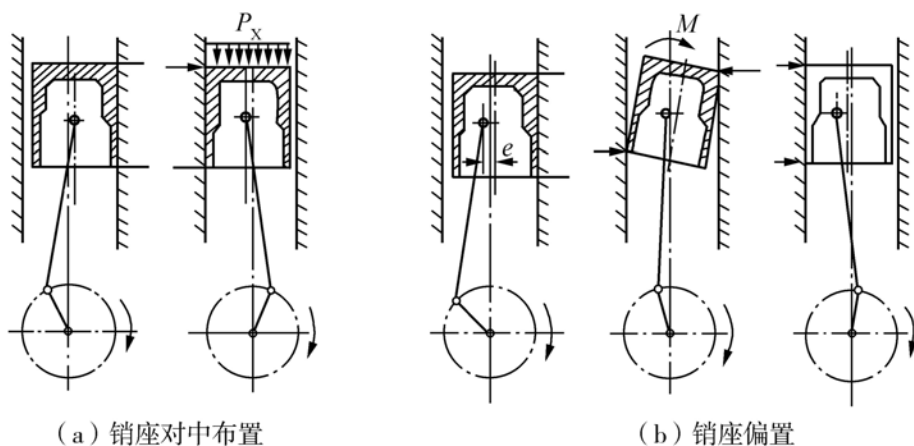


图 2-39 销座位置与活塞的换向过程

(4) 环槽护圈。活塞环槽上下侧面在工作时产生冲击磨损，使配合间隙增大，密封性能变坏。这往往是活塞报废的主要原因之一。其中，第一、第二道环槽因气体压力的作用受活塞环的冲击力较大，而且越靠近顶部温度越高，材料硬度和强度下降越严重，所以磨损也越快。为此，某些高速发动机，特别是强化的柴油机，在第一、第二道环槽或所有的环槽内镶入膨胀系数与铝合金相近的耐磨材料（常用奥氏体铸铁或奥氏体钢），并制成环槽护圈，如图 2-40 所示。也有些锻造活塞在环槽内喷涂耐磨金属。图 2-41 所示为沃尔沃 D6E 型柴油机在第一道环槽上镶的奥氏体铸铁护圈。

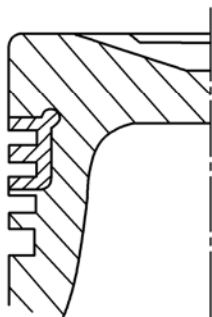


图 2-40 活塞环槽护圈

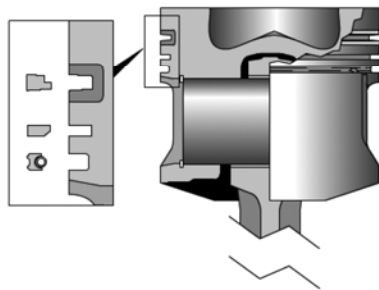


图 2-41 沃尔沃 D6E 型柴油机的活塞环槽护圈

(二) 活塞的检修

活塞的损伤有活塞环槽的磨损、活塞裙部的磨损、活塞销座孔的磨损、活塞拉伤、活塞烧顶、活塞脱顶等。

1. 活塞的选配

在发动机大修或更换气缸体（或气缸套）时，应根据气缸的标准尺寸或修理尺寸同时更换活塞。选配活塞时要注意以下几点。

- (1) 各缸应选用同一修理尺寸和同一分组尺寸的活塞。
- (2) 同一发动机必须选用同一品牌的活塞。
- (3) 在选配的成套活塞中，尺寸差和质量差应符合要求。在成套活塞中，其尺寸差一般为 $0.02 \sim 0.025 \text{ mm}$ ，质量差一般为 $4 \sim 8 \text{ g}$ 。销座孔的涂色标记应相同。
- (4) 活塞与气缸的配缸间隙应符合规定。

知识拓展

为了保证柴油机平稳工作，一台柴油机一组活塞的尺寸和质量偏差都用分组选配法控制在一定范围内。另外，修理中镗削气缸后，需用加大尺寸的活塞，并使活塞与气缸相对应。因此除活塞顶面有方向性外，活塞还有尺寸分组标记和质量分组标记。

2. 检测活塞的裙部

镗缸时，要根据选配活塞的裙部直径确定镗削量，活塞裙部直径的测量方法如图 2-42 所示。在发动机活塞下部离裙部底边约 10 mm 、与活塞销垂直方向处用外径千分尺测量活塞裙部直径。

活塞与气缸壁之间的间隙称为配缸间隙（图 2-43），此间隙应符合标准。检测时可用量缸表测量气缸的直径，用外径千分尺测量活塞的直径，两者之差即为配缸间隙。



图 2-42 活塞裙部尺寸的测量

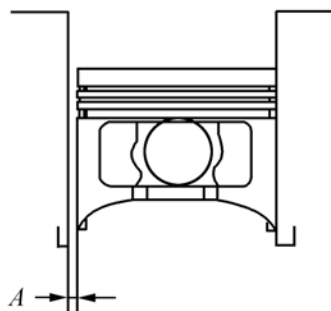


图 2-43 配缸间隙的检测
A. 活塞与气缸壁之间的间隙

3. 活塞销座孔磨损

活塞在工作时受气体压力和往复惯性力的作用，使活塞销座孔产生上下方向的椭圆形磨损，如图 2-44 所示。销与孔的配合间隙过大时会产生敲击，需更换活塞。

4. 活塞环槽磨损

活塞环的冲击，炭渣、窜气作用，都使活塞环槽磨损，使侧隙变大，泵油作用加剧，漏气、烧机油，易拉缸，发动机功率下降。第一道环槽的磨损最为严重，各环槽由上而下

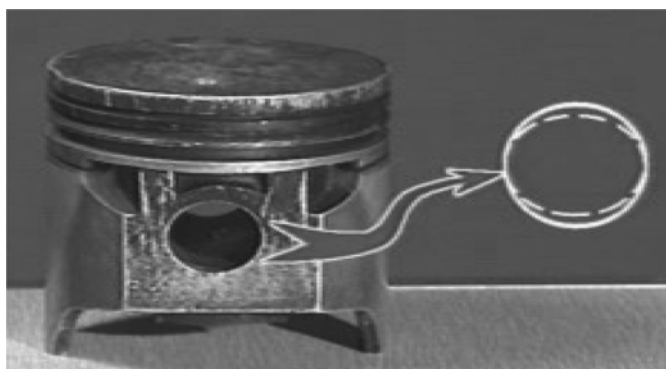


图 2-44 活塞销座孔磨损

逐渐减轻,如图 2-45 所示。

用标准气环装入其内,用塞尺测量其侧隙,即可确定其是否符合要求。

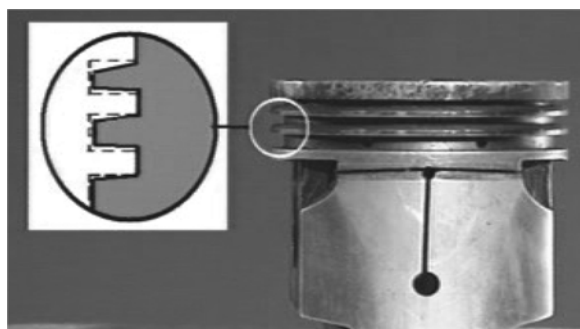


图 2-45 活塞环槽磨损

5. 活塞损伤、积炭

活塞出现划痕拉伤、烧损(图 2-46)、积炭(图 2-47)将影响正常燃烧,引起爆震燃烧和表面点火。



图 2-46 活塞损伤



图 2-47 活塞积炭

活塞损伤,需视情况更换。

活塞积炭,可用钢丝刷或刮刀清除,或用化学溶液将活塞积炭浸泡 2~3 h,然后刷去或擦去。

二、活塞环的构造与检修

(一) 活塞环的结构

1. 活塞环的功用与分类

按功用不同, 活塞环可分为气环和油环两种。



图 2-48 活塞环的结构

气环的作用是保证活塞与气缸壁间的密封, 防止高温、高压的燃气漏入曲轴箱, 同时将活塞顶部的热量传导到气缸壁, 再由冷却液或空气带走。气环为一带有切口的弹性片状圆环, 在自由状态下, 气环的外径略大于气缸的直径, 当环装入气缸后, 其本身产生弹力使环压紧在气缸壁上, 其切口具有一定的间隙, 如图 2-48 (a) 所示。一般发动机每个活塞上装有 2~3 道气环。

油环用来刮除气缸壁上多余的润滑油, 并在气缸壁上布上一层均匀的油膜。这样既可以防止机油窜入燃烧室燃烧, 又可以减小活塞、活塞环与气缸的磨损和摩擦阻力, 如图 2-48 (b) 所示。此外, 油环也起到密封的辅助作用。通常发动机上有 1~2 道油环。

知识拓展

由于活塞环也是在高温、高压、高速及润滑困难的条件下工作, 且运动情况复杂, 要求其材料应有良好的耐热性、导热性、耐磨性、磨合性、韧性及足够的强度和弹性。目前, 活塞环的材料主要采用优质铸铁、球墨铸铁、合金铸铁, 并对第一道环甚至所有环实行工作表面镀铬或喷钼处理, 以提高耐磨性。

2. 活塞环的间隙

发动机工作时, 活塞、活塞环都会发生热膨胀, 为防止环卡死在缸内或胀死在环槽中, 安装时, 活塞环应留有端隙、侧隙和背隙, 如图 2-49 所示。

端隙 Δ_1 又称为开口间隙, 是活塞环在冷态下装入气缸后, 该环在上止点时环的两端头的间隙, 一般为 0.25~0.50 mm。

侧隙 Δ_2 又称边隙, 是指活塞环装入活塞后, 其侧面与活塞环槽之间的间隙。第一环因工作温度高, 间隙较大, 一般为 0.04~0.10 mm, 其他环一般为 0.03~0.07 mm。油环侧隙较气环小。

背隙 Δ_3 , 是活塞及活塞环装入气缸后, 活塞环内圆柱面与活塞环槽底部间的间隙, 一

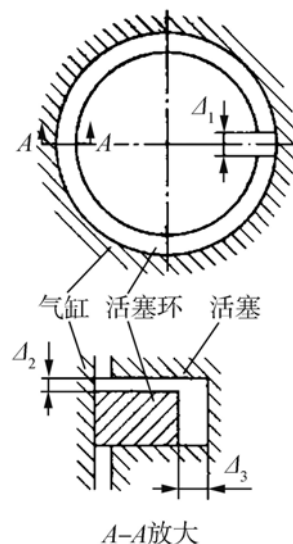


图 2-49 活塞环的间隙

般为 0.50~1.00 mm。油环背隙较气环大，以增大存油间隙，利于减压泄油。

3. 气环的密封原理

活塞环在自由状态下不是圆环形，其外形尺寸比气缸内径大，因此，它随活塞一起装入气缸后，便产生弹力而紧贴在气缸壁上，形成第一密封面，使燃气不能通过环与气缸接触面的间隙。活塞环在燃气的压力作用下，压紧在环槽的下端面上，形成第二密封面，于是燃气绕流到环的背面，并发生膨胀，其压力降低。同时，燃烧压力对环背的作用力 F_2 使环更紧地贴在气缸壁上，形成对第一密封面的第二次密封，如图 2-50 所示。

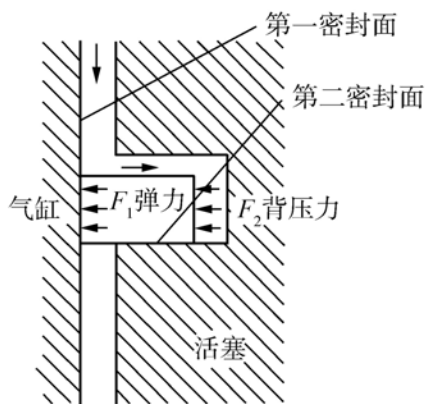


图 2-50 气环的密封原理

燃气从第一道气环的切口漏到第二道气环的上平面时压力已有所降低，又把这道气环压贴在第二环槽的下端面上，于是，燃气又绕流到这道环的背面，再发生膨胀，其压力又进一步降低。如此下去，从最后一道气环漏出来的燃气，其压力和流速已大大减小，漏气量也就很少了。

为减少气体泄漏，将活塞环装入气缸时，各道环的开口应相互错开。如有三道环，则各道环开口应沿圆周成 120° 夹角；如有四道环，则第一道和第二道互错 180°，第二道和第三道互错 90°，第三道和第四道互错 180°，形成迷宫式的路线，增大漏气阻力，减少漏气量。

4. 气环的泵油作用

由于侧隙和背隙的存在，当发动机工作时，活塞环便产生了泵油作用，如图 2-51 所示。环在气体压力、惯性力、摩擦力的作用下，反复地靠在环槽的上、下沿。其过程是：当活塞带动着活塞环下行（进气过程）时，环靠在环槽的上方，环从缸壁上挂下来的润滑油充入环槽下方，如图 2-51 (a) 所示。当活塞带动活塞环上行（压缩行程）时，环则靠在环槽的下方，同时将油挤压到环槽的上方，如图 2-51 (b) 所示。如此反复运动，就将油泵到活塞顶部。

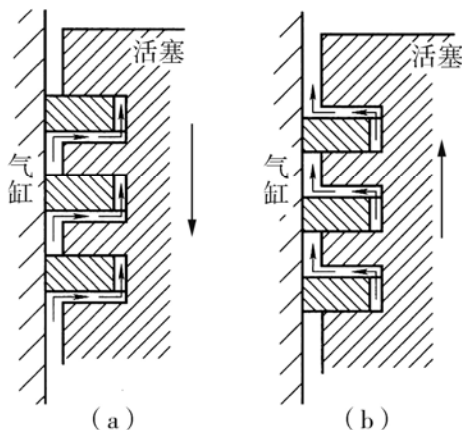


图 2-51 活塞环的泵油作用

活塞环的泵油作用对润滑困难的气缸是有利的，但是随着发动机转速的日益提高，泵油作用加剧不仅增加了润滑油的消耗，还会使燃烧室内积炭增多，甚至环槽内形成积碳，挤压活塞环而失去密封性。另外，还加剧了气缸等构件的磨损。因此，大多数发动机在结构上采取如下措施：即尽量减少环的数量，气环采取特殊断面形状，油环下设减压腔，气环下面的油环加衬簧或用组合式油环等方法。

5. 气环的种类及特点

为了增加压强和增加密封，加速磨合，减少泵油和改善润滑（布油和刮油），除合理选择材料及加工工艺外，在构造上出现了许多不同断面形状的气环，常见的有以下几种：

(1) 矩形环。如图 2-52 (a) 所示，断面为矩形，结构简单，制造方便，与缸壁接触面积大，对活塞头部的散热有利。但磨合性能和刮油性能较差，随活塞做往复运动时在环槽内上下窜动，把气缸壁上的机油不断挤入燃烧室中，产生泵油作用，使机油消耗增加，活塞顶部及燃烧室壁面形成积炭。

(2) 锥形环。如图 2-52 (b) 所示，外圆面为锥角很小的锥面，与缸壁是线接触，有利于磨合和密封。另外，这种环在活塞下行时有刮油作用，上行时有布油作用。安装这种环只能按图示方向安装。为避免装反，在环端上侧面标有记号（“向上”或“TOP”等）。

(3) 扭曲环。如图 2-52 (c) (d) 所示，是在矩形环的内圆上边缘或外圆下边缘切去一部分，形成断面不对称。装入气缸后，由于弹性内力的作用使断面发生扭转，从而使环的边缘与环槽的上、下端面接触，防止了活塞环在环槽内上下窜动而造成的泵油作用，同时还增强了密封性，易于磨合，并具有向下的刮油作用。扭曲环在安装时，必须注意环的断面形状和方向，应将其内圆切槽向上，外圆切槽向下，不能装反。当然，如果在扭曲环的一侧面上标有朝上标记时，这时扭曲环的安装方向应以朝上标记为准。

(4) 梯形环。如图 2-52 (e) 所示，断面为梯形，抗黏结性好。当活塞受侧压力的作用而改变位置时，环的侧隙相应地发生变化，使沉积在环槽中的结焦被挤出，避免了环被粘在环槽中而失效，常用于热负荷较高的柴油机第一道环。

(5) 桶形环。如图 2-52 (f) 所示，外圆面为外凸圆弧形，其密封性、磨合性及对气缸壁表面形状的适应性都比较好。当活塞上、下运动时，桶形环均能形成楔形间隙，使机油容易进入摩擦面，从而使磨损大为减少，但圆弧表面加工较困难。

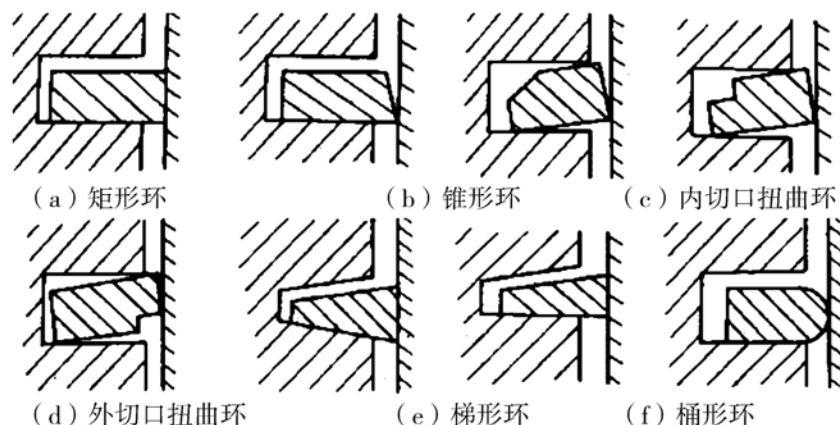


图 2-52 气环的断面形状

6. 油环的种类及特点

无论活塞上行或下行，油环都能将气缸壁上多余的机油刮下来经活塞上的回油孔流回油底壳。油环的刮油作用如图 2-53 所示。目前发动机采用的油环有整体式和组合式两种。

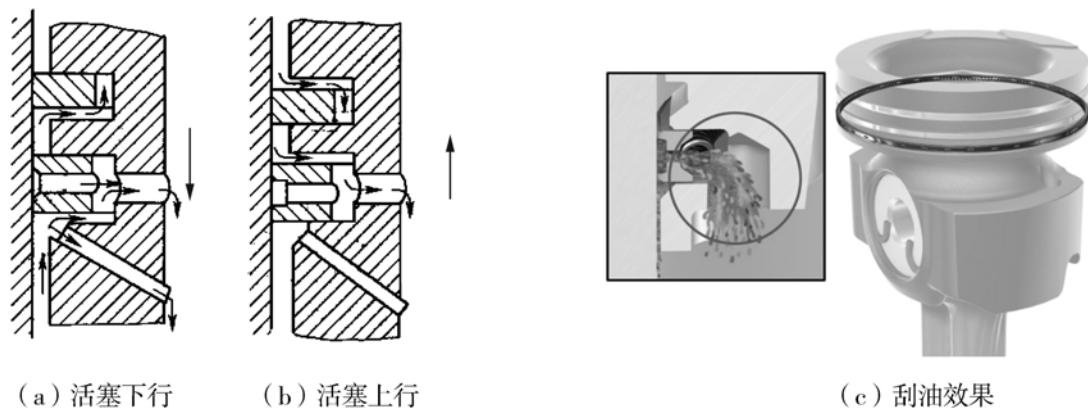


图 2-53 油环的刮油作用

(1) 整体式。整体式油环的基本结构和形状如图 2-54 (a) 所示。为了增加刮油效果，其外圆上切有环形槽，槽底开有若干回油用的小孔或窄槽。

不少发动机将油环减薄，在其背后加装弹性衬簧，如图 2-54 (b) 所示。这样既保证了对缸壁的压力，又有较好的柔性，改善了对缸壁贴合的适应性。此外，也显著减小了因环面磨损而使弹力下降的影响，从而延长了环的使用寿命。



图 2-54 整体式油环



图 2-55 组合式油环

1. 钢片；2. 衬簧；3. 钢片

(2) 组合式。组合式油环由起刮油作用的钢片（也叫刮油片）和产生径向、轴向弹力作用的衬簧组成，如图 2-55 所示。它由两片钢片 1 和一个兼起径向、轴向弹力作用的衬簧 2 组成。这种衬簧之所以能产生轴向弹力，是因为自由状态时衬簧和两个钢片的总厚度大于环槽的高度，径向弹力使两钢片分别贴合在环槽的上、下侧，使第二密封面密封，并消除了侧隙。组合式油环的钢片薄，适应性好，而且各片开口错开，更有利于密封。

知识拓展

组合式油环的钢片表面都是镀铬的，否则易产生粘着磨损。由于组合式油环没有侧隙，所以环不能在环槽内浮动，从而关闭了润滑油经背隙和侧隙窜油的通道，再加上其弹力大，三个方向的回油能力强，以及因上下刮片分别动作而适应性强，使其刮油效果显著。

优于整体式，因而组合式油环应用越来越广泛，有取代整体式油环之势。

(二) 活塞环的检修

活塞环的损伤主要有磨损、弹性减弱、断裂等。

1. 活塞环的选配

在发动机大修时应更换所有活塞环，更换时应按气缸修理级别选用，必须与气缸、活塞选用同一修理级别的活塞环。在维护和小修中，需更换活塞环时，选用的活塞环修理尺寸级别应与被更换的活塞环相同，不允许用较大级别的活塞环代替较小级别的活塞环使用。



为保证活塞环与活塞环槽及气缸的良好配合，在选配活塞环时，还应检测活塞环间隙、弹力和漏光度，其中任一项不符合要求都应重新选配活塞环。

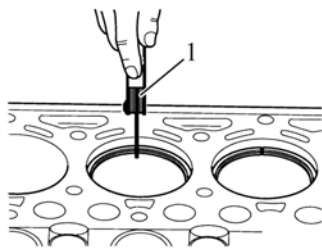
2. 检测活塞环的“三隙”

(1) 端隙。

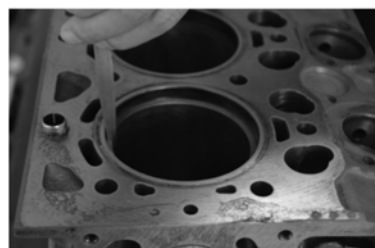
- 1) 将活塞环放在气缸内，用活塞顶将活塞环推正。
- 2) 如图 2-56 所示，用厚薄规插入活塞环开口处进行端隙检测，其值应符合要求。
- 3) 活塞环端隙大于规定时，应另选活塞环；小于规定时，可对环口的一端加以锉修。锉修时，应注意环口平整，锉修后环外口应去掉毛刺，以防锋利的环口刮伤气缸。



(a) 厚薄规



(b) 检测示意图



(c) 实物检测图

图 2-56 活塞环端隙的检测

(2) 侧隙。

1) 经验法，将活塞环放入环槽内，围绕环槽滚动一周，应能自由滚动，既不松动，又无阻滞现象。

2) 用厚薄规按图 2-57 (b) 所示的方法测量（也可按图 2-58 所示的方法测量），其值应符合要求。

3) 如侧隙过小，可将活塞环放在有平板的砂布上研磨，不允许加工活塞；如侧隙过大，则应另选活塞环。

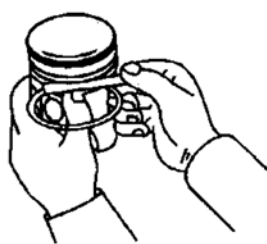
(3) 背隙。

1) 将活塞环放入环槽内，活塞环的宽度应小于活塞环岸宽度。

2) 用深度游标卡尺进行测量，一般为 0~0.35 mm。

3) 也可用计算的方法得到活塞环的背隙，背隙计算公式为
环的背隙 = 环槽深度 + 活塞与气缸壁间的间隙 - 环的宽度。

4) 活塞环背隙过大或过小，都应重新选配。

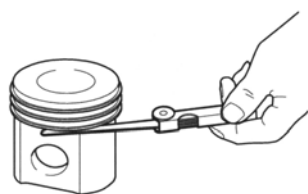


(a) 经验法示意图



(b) 实物检测图

图 2-57 活塞环侧隙的检测 (一)



(a) 厚薄规法检测



(b) 实物检测图

图 2-58 活塞环侧隙的检测 (二)

3. 检测活塞环的弹力

活塞环的弹力是指活塞环端隙达到规定值时作用在活塞环上的径向力。

活塞环的弹力是保证气缸密封的必要条件。弹力过小，气缸密封性变差，燃料消耗增加，燃烧室积碳严重，发动机动力性、经济性降低；弹力过大则使环的磨损加剧。

活塞环的弹力可用活塞环弹力检测仪检测，如图 2-59 所示。

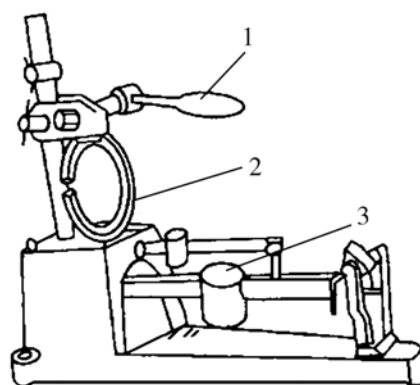


图 2-59 活塞环弹力检测

1. 施压手柄；2. 活塞环；3. 量块

(1) 把活塞环放在弹力检测仪上，使环的开口处于水平位置。

(2) 移动检测仪上的量块，把活塞的开口间隙压缩到标准值，读出秤杆上的质量，其值应符合规定的要求。

4. 检测活塞环漏光度

活塞环漏光度用于检查活塞环的外圆与缸壁贴合的良好程度。漏光度的检查方法如图 2-60 所示。

(1) 将活塞环平正地放入气缸内，用活塞顶部把它推平。

(2) 在气缸下部放置一发亮的灯泡，在活塞环上放一直径略小于气缸内径，能盖住活塞环内圆的盖板。

(3) 从气缸上部观察活塞环外圆与气缸壁之间是

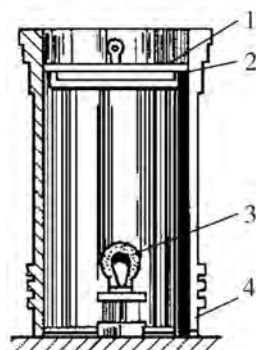


图 2-60 活塞环漏光度检测

1. 盖板；2. 活塞环；3. 灯泡；4. 气缸套

否漏光。

一般要求活塞环局部漏光每处不大于 25° ；最大漏光缝隙不大于 0.03 mm ；每环漏光不超过 2 处，每环总漏光度不大于 45° ；在活塞环开口处 30° 范围内不允许有漏光现象。

(三) 活塞环的安装

- (1) 用清洁的机油润滑活塞和裙部，如图 2-61 (a) 所示。
- (2) 用活塞环拆装钳将活塞环安装到相应的活塞环槽内，如图 2-61 (b) 所示。
- (3) 将各环的开口互相错开 120° 。油环的衬簧开口相对于刮油环开口成 180° ，如图 2-61 (c) 所示。
- (4) 注意安装标记应朝上，如图 2-61 (d) 所示。



图 2-61 活塞环的安装

三、活塞销的构造与检修

(一) 活塞销的构造

活塞销的作用是连接活塞和连杆小头，将活塞承受的气体作用力传给连杆。如图 2-62 所示。

活塞销一般做成空心圆柱以减轻质量，空心柱可以是圆柱形、组合形或两段截锥形，如图 2-63 所示。



图 2-62 活塞销的安装位置

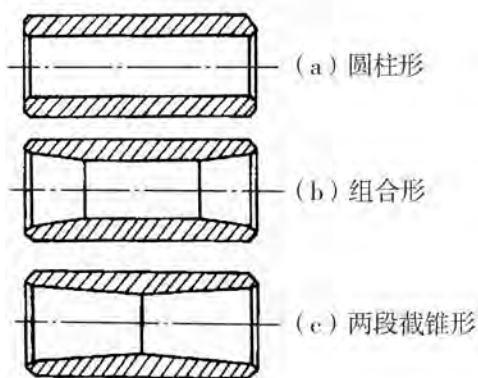


图 2-63 活塞销的内孔形状

活塞销的连接方式有两种，即全浮式和半浮式，如图 2-63 所示。

全浮式连接是指在发动机工作时，活塞销与销座、活塞销与连杆小头之间都是间隙配合，可以相互转动。这种连接方式增大了实际接触面积，减小了磨损且使磨损均匀，被广泛采用。为防止工作时活塞销从孔中滑出，必须用卡环将其固定在销座孔内。

半浮式连接是指活塞销与座孔和活塞销与连杆小头两处，一处固定，一处浮动。其中

大多数采用销与连杆小头固定的方式, 可以将活塞销压配在连杆小头孔内, 也可将活塞销中部与连杆小头用紧固螺栓连接。这种方式不需要卡环, 也不需要连杆衬套。

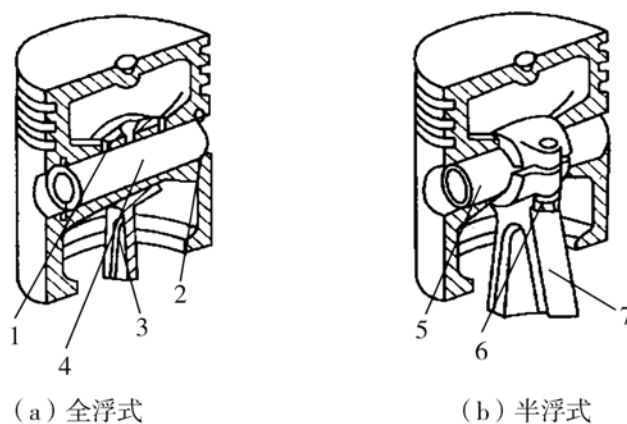


图 2-64 活塞销的连接方式

1. 连杆衬套; 2. 卡环; 3. 连杆; 4. 5. 活塞销; 6. 紧固螺栓; 7. 连杆

（二）活塞销的检修

以沃尔沃 D6E 发动机为例介绍活塞销、连杆小头磨损情况及活塞销与连杆小头配合情况的检查。

(1) 用外径千分尺测量活塞销直径, 如图 2-64 (a) 所示, 注意应多个截面、多个方向测量; 其正常值应该为 $39.994 \sim 40 \text{ mm}$ 。

(2) 将衬套压入连杆小头, 按照图 2-65 (b) 所示在点 1 和点 2 用内径百分表测量连杆小头的轴承衬套在平面 a 和平面 b 的内径, 如图 2-65 (c) 所示, 其正常值范围为 $40.035 \sim 40.045 \text{ mm}$ 。

(3) 计算轴承衬套与活塞销的配合间隙。用测得的最大轴承衬套的内径减去测得的最小活塞销直径, 得到活塞销与衬套的最大配合间隙, 其正常范围为 $0.025 \sim 0.041 \text{ mm}$ 。

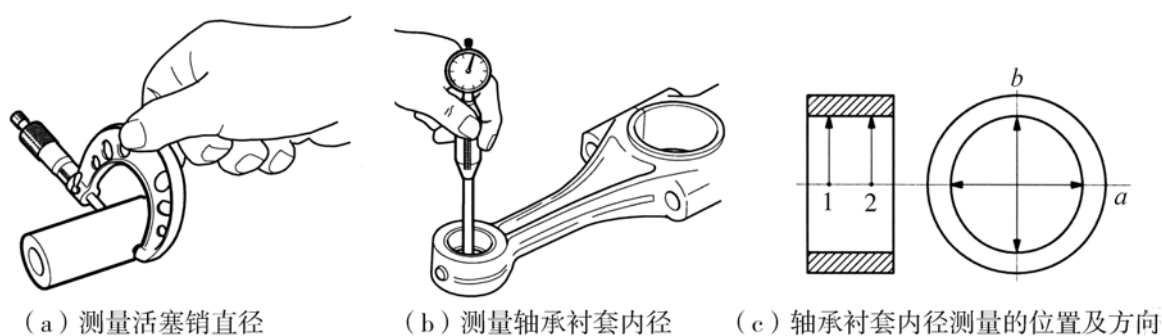


图 2-65 活塞销的检修

四、连杆组的构造与检修

（一）连杆组的构造

连杆组包括连杆、连杆盖、连杆轴承、连杆螺栓等, 如图 2-66 所示。连杆和连杆盖统称为连杆。

知识拓展

连杆工作时承受活塞销传来的气体压力及本身摆动和活塞往复运动时的惯性力。这些周期性变化的力使连杆受到拉伸、压缩、弯曲等交变载荷的作用，因而要求连杆要有足够的刚度和强度，质量尽可能小。连杆一般采用中碳钢或中碳合金钢经模锻成型，然后进行机加工和热处理。

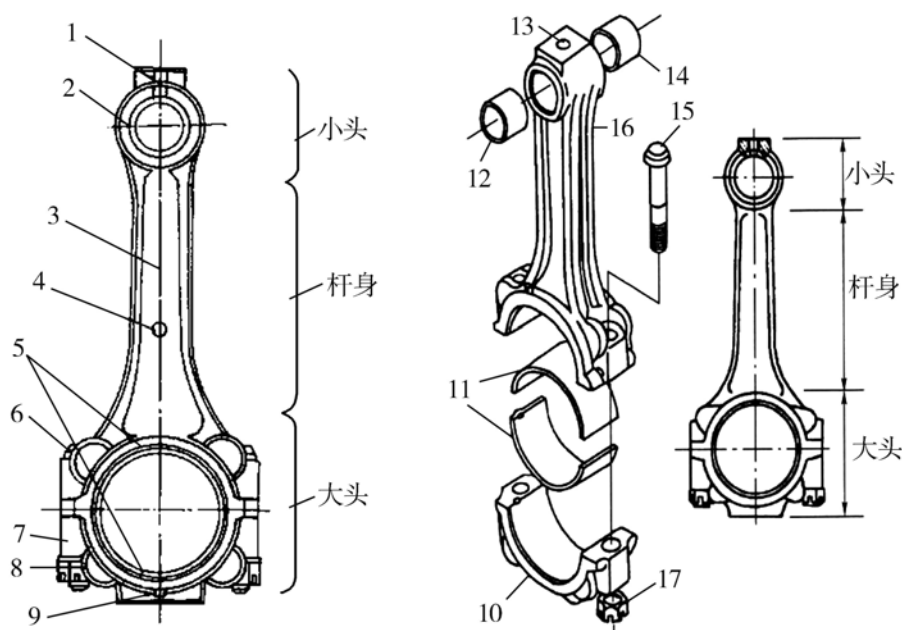


图 2-66 连杆组

1. 集油孔；2. 衬套；3. 连杆体；4. 装配记号；5. 轴瓦；6. 连杆螺栓；7. 连杆盖；8. 螺母；9. 装配记号；10. 连杆盖；11. 连杆轴承；12. 连杆衬套；13. 集油孔；14. 连杆衬套；15. 连杆螺栓；16. 杆身；17. 螺母

1. 连杆

连杆由小头、杆身和大头三部分组成。连杆小头与活塞销连接。采用全浮式连接时，小头孔中有减磨青铜衬套，小头和连杆衬套上钻有集油槽，用来收集飞溅的润滑油进行润滑。有些发动机连杆小头采用压力润滑，则在连杆杆身内钻有纵向油道。

连杆杆身制成“工”字形断面，以求在强度和刚度足够的前提下减小质量。连杆杆身上一般都有朝前标记，如图 2-67 (a) 所示，安装连杆时，此标记应朝向发动机前端。图 2-67 (b) 为沃尔沃 D6E 发动机的活塞连杆，其连杆用其大端结合面的定位销作为朝向标记，安装活塞连杆时，定位销应和活塞顶上的朝向标记在同一个方向，共同指向飞轮侧。

连杆大头与曲轴的连杆轴颈连接。为便于安装，连杆大头一般做成剖分式，被分开的部分称作连杆盖，用连杆螺栓紧固在连杆大头上。连杆盖与连杆大头是组合加工的，为防止装配时配对错误，在同一侧刻有配对记号，如图 2-68 所示。

连杆大头按剖分面的方向可分为平切口和斜切口两种。平切口如图 2-69 (a) 所示，切口的剖分面垂直于连杆轴线。一般连杆大头尺寸小于气缸直径时，多采用平切口。斜切口连杆大头如图 2-69 (b) 所示。因为某些发动机连杆大头直径较大，为了拆装时能从气缸内通过，采用这种形式。剖分面与杆身中心线一般成 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ (常用 45°) 夹角，多用

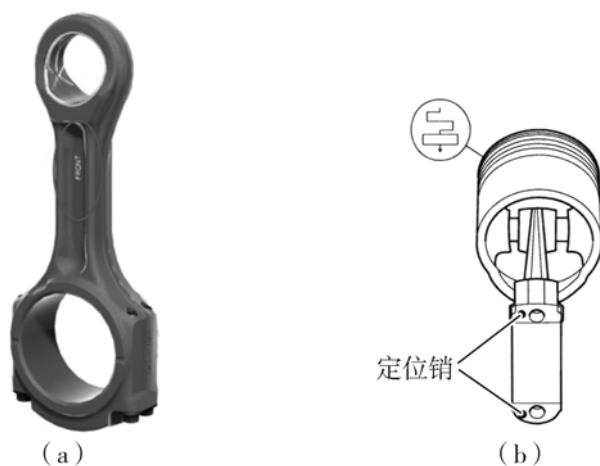


图 2-67 朝前标记

于柴油机。

连杆大头剖分面一般会加工一些定位结构，这样可以减轻连杆螺栓的受力，保证连杆大头内孔的正确形状。常见的切口定位方式有以下几种：

锯齿形定位 如图 2-69 (a) 所示，依靠结合面的齿形定位。这种定位方式的优点是贴合紧密，定位可靠，结构紧凑。

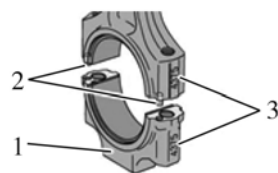


图 2-68 配对记号

1. 连杆盖；2. 定位销；3. 配对记号

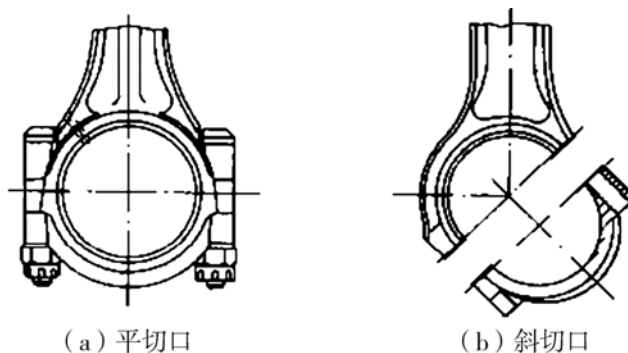


图 2-69 连杆大头的剖分形式

套或销定位 如图 2-70 (b)、2-70 (c) 所示，依靠套或销与连杆体（或盖）的孔紧密配合定位。这种形式能多向定位，定位可靠。

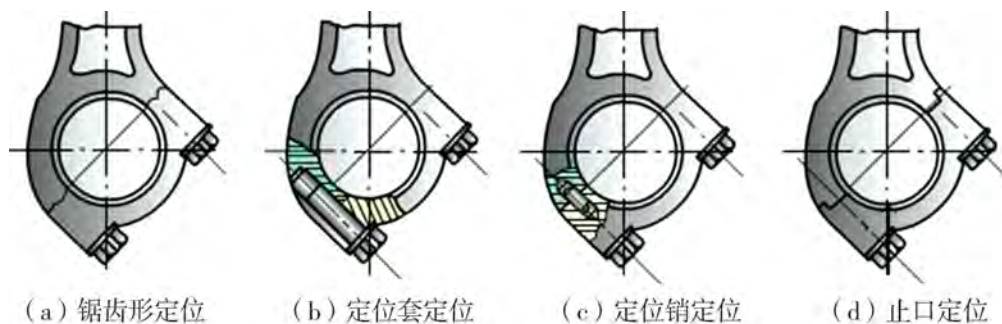


图 2-70 连杆大头切口定位方式

止口定位如图 2-70 (d) 所示。这种形式工艺简单。

采用连杆螺栓定位的连杆大头与连杆盖剖分面没有加工特殊定位结构, 依靠连杆螺栓上的精加工圆柱凸台的光圆柱面部分与经过精加工的螺栓孔来保证定位。这种定位方式精度较差, 一般用于不受横向力的平切口连杆, 斜切口一般不采用。

有些发动机在连杆大头与杆身连接处面对气缸主承压面 (面对发动机的左侧) 的一侧, 钻一喷油孔 (直径 1.0~1.5 mm), 如图 2-71 所示。在曲轴转至曲柄销的油道口与该喷油孔相对的瞬间 (活塞处于上止点附近时) 喷出润滑油, 以润滑气缸壁的承压面。喷油孔正好在上止点附近时连通, 这样润滑油可以喷射到气缸的大部分表面上。

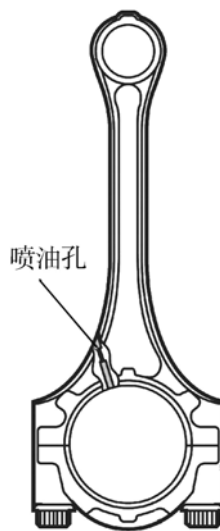


图 2-71 喷油孔

2. 连杆螺栓

连杆螺栓经常承受交变载荷的作用, 一般采用韧性较高的优质合金钢或优质碳素钢锻制成型。拆装时, 连杆螺栓必须以原厂规定的拧紧力矩, 分 2~3 次均匀地拧紧。

3. 连杆轴承

连杆轴承也称连杆轴瓦 (俗称小瓦), 装在连杆大头内, 保护连杆轴颈和连杆大头孔。由于其工作时承受较大的交变载荷, 且润滑困难, 要求它具有足够的强度、良好的减磨性和耐腐蚀性。

连杆轴承由钢背和减磨层组成, 为两半分开形式。钢背由厚 1~3 mm 的低碳钢制成, 是轴承的基体, 减磨层是由浇铸在钢背内圆上厚为 0.3~0.7 mm 的薄层减磨合金制成 (图 2-72)。减磨合金具有保持油膜、减少摩擦阻力和易于磨合的作用。目前发动机的轴承减磨合金主要有白合金 (巴氏合金)、铜铅合金和铝基合金。

半个连杆轴承在自由状态下并不是半圆形, 即 $R_1 > R_2$ 。当它们装入连杆大头孔内时, 又有过盈, 故能均匀地紧贴在大头孔壁及连杆盖上, 具有很好的承载和导热能力。在两个连杆轴承的剖分面上, 分别冲压出高于钢背面的两个定位凸唇, 以防止连杆轴承在工作中发生转动或轴向移动。装配时, 这两个凸唇分别嵌入连杆大头和连杆盖上的相应凹槽中。有的连杆轴承内表面上还加工有油槽, 用以储油, 保证可靠润滑。

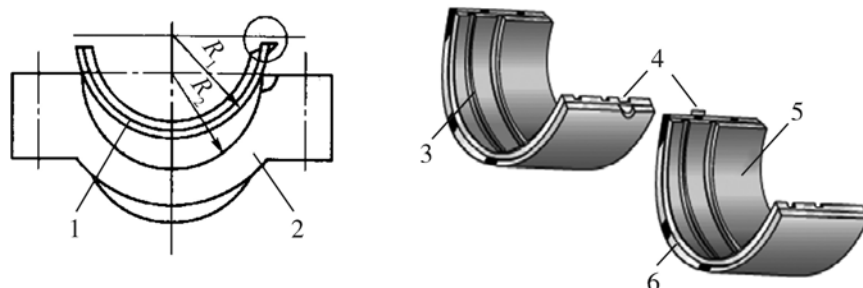


图 2-72 连杆轴承

1. 连杆轴承; 2. 连杆盖; 3. 油槽; 4. 定位凹唇; 5. 减磨合金层; 6. 钢背

(二) 连杆组的检修

连杆的损伤有杆身的弯曲变形、扭转变形, 小头孔、大头侧面的磨损等。

1. 连杆变形的检测

连杆变形的检验在连杆检验仪上进行,如图 2-73 所示。连杆检验仪上的棱形支撑轴能保证连杆大头轴承孔轴向与检验平板垂直。测量工具是一个带“V”形槽的三点规,三点规上的三点构成的平面与“V”形槽的对称平面垂直,两下测点的距离为 100 mm,上测点与两下测点连线的距离也是 100 mm。

(1) 将连杆大头的轴承盖装好(不装轴承),按规定力矩把螺栓拧紧,检查连杆大头孔的圆度和圆柱度应符合要求,然后装上已修配好的活塞销。

(2) 把连杆大头装在检验仪的支撑轴上,拧紧调整螺钉使定心块向外扩张,把连杆固定在检验仪上。

(3) 将“V”形检验块两端的“V”形定位面靠在活塞销上,观察“V”形三点规的 3 个接触点与检验平板的接触情况,即可检查出连杆的变形方向和变形量。

(4) 连杆变形的检测结果。

1) 正值。三点规的 3 个测点都与平板接触,说明连杆没有变形。

2) 弯曲。若上测点与平板接触,两下测点不接触且与平板距离一致;或两下测点与平板接触而上测点不接触,表明连杆弯曲。用厚薄规测出测点与平板的间隙,即为连杆在 100 mm 长度上的弯曲度,如图 2-74 所示。

3) 扭曲。若只有一个下测点与平板接触,另一个下测点与平板不接触,且间隙为上测点与平板间隙的两倍,这时下测点与平板的间隙即为连杆在 100 mm 长度上的扭曲度,如图 2-75 所示。

4) 弯扭并存。如果一个下测点与平板接触,但另一个下测点与平板的间隙不等于上测点间隙的两倍,这时连杆弯扭并存。下测点与平板的间隙为连杆的扭曲度,上测点间隙与下测点间隙一半的差值为连杆的弯曲度。

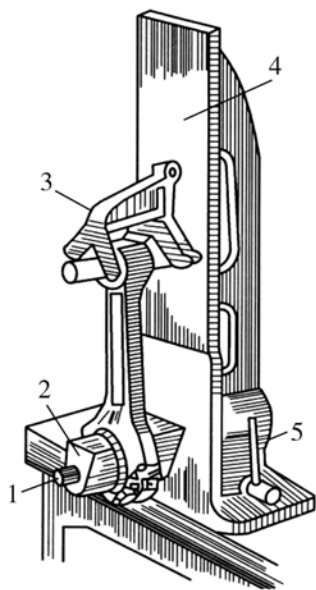


图 2-73 连杆变形的检测

1. 调整螺钉; 2. 棱形支撑轴; 3. 量规;
4. 检验平板; 5. 缩紧板杆

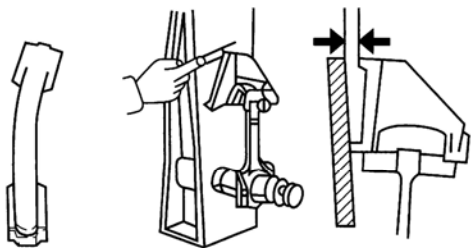


图 2-74 弯曲变形的测量

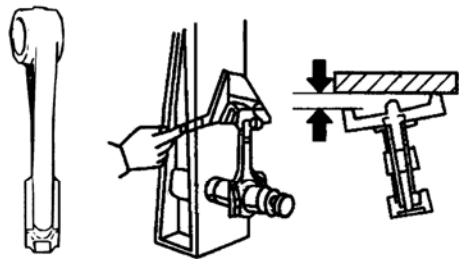


图 2-75 扭曲变形的测量

2. 连杆变形的校正

(1) 连杆扭曲变形的校正。将连杆盖装好,将连杆夹在虎钳上,用扭曲校正器、长柄扳钳或管子钳进行校正,如图 2-76 所示。

(2) 连杆弯曲变形的校正。如图 2-77 所示,将弯曲的连杆置于压具上,弯曲部位朝

上。施加压力，使连杆向已弯的反方向发生变形，并使变形量达到已弯曲部位变形量的数倍以上，停止一段时间，等金属组织稳定后再去掉负荷。重新复查校正情况，确定是否需要再校正。

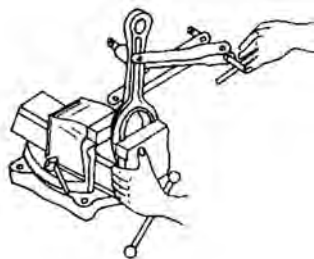


图 2-76 连杆扭曲变形的校正

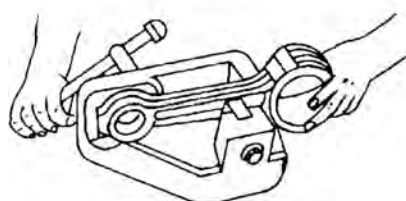


图 2-77 连杆弯曲变形的校正

知识拓展

校正时先校扭，再校弯，以避免反复过校正。校正后要进行时效处理，消除弹性后效作用。

五、活塞连杆组的拆装

(一) 从发动机上拆下活塞连杆组

(1) 摇转曲轴，将要拆卸的气缸活塞转到下止点位置，同时检查活塞顶部、连杆大头处有无装配记号，若无装配记号，应先按次序在活塞顶部、连杆大头做记号。

(2) 用扭力扳手拆下连杆螺栓，取下连杆端盖和轴承，按顺序放好。

(3) 用手将连杆向上推，使连杆大头与曲轴连杆轴颈分离，然后用木柄将活塞连杆组推出气缸。

(4) 取出活塞连杆组后，应将连杆盖和轴承、螺栓按原样装固。注意不要装错，并按缸号顺序整齐地放好。

(二) 分解活塞连杆组

(1) 用活塞环拆装钳依次将气环、油环从活塞上拆下，如图 2-78 所示。

(2) 将活塞销卡簧用尖嘴钳取下，如图 2-79 所示。使用专用工具将活塞销拆下，如图 2-80 所示。



图 2-78 拆卸活塞环

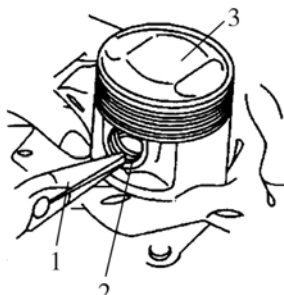


图 2-79 拆卸活塞销卡簧
1. 尖嘴钳；2. 活塞销卡簧；3. 活塞

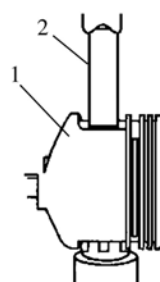


图 2-80 拆卸活塞销
1. 活塞；2. 冲头

(3) 分解后先进行清洗, 清除积炭及污物, 然后依次按缸号分组放好, 仔细观察活塞连杆组各零件间的相互装配位置。

(三) 装配活塞连杆组

(1) 将活塞放在水中加热至 60°C 后取出, 擦拭干净。

(2) 安装活塞销。在活塞销座孔、连杆小头衬套孔和活塞销上涂上一层薄薄的机油。若发动机采用全浮式连接的活塞销, 安装时应先将活塞在温度为 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的水中或机油中加热, 然后再用手指将涂有润滑油的活塞销推入座孔。应注意, 活塞上的朝前标记应和连杆杆身上的朝前标记在同一侧, 如图 2-81 所示。

(3) 安装活塞销两侧的卡簧, 如图 2-82 所示。

(4) 安装活塞环。

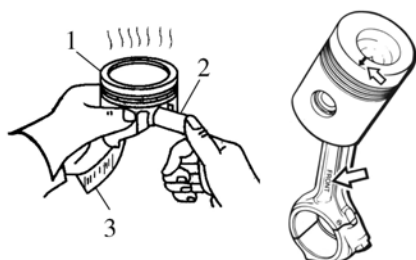


图 2-81 安装活塞销

1. 热活塞; 2. 活塞销; 3. 隔热布

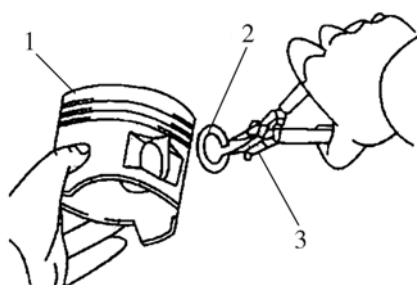


图 2-82 安装活塞销卡簧

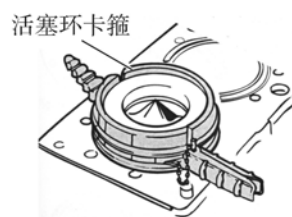
1. 活塞; 2. 卡簧; 3. 尖嘴钳

(四) 安装活塞连杆组

(1) 在活塞环、活塞裙部、连杆小头两侧及连杆轴承上涂上适量机油, 根据活塞及连杆上的标记, 将活塞连杆组自缸体上方装入各气缸中, 用活塞环卡箍约束活塞环, 如图 2-83 (b) 所示。



(a) 活塞环卡箍



(b) 用活塞环卡箍约束活塞环



(c) 将活塞推入气缸内



(d) 用规定力矩拧紧连杆螺栓

图 2-83 安装活塞连杆组

(2) 用木柄或橡胶锤将活塞推入气缸内,如图 2-83 (c) 所示。

(3) 使连杆大头落于曲轴连杆轴颈上,盖上连杆盖,用规定力矩拧紧连杆螺栓,如图 2-83 (d) 所示。

习题作业

一、填空题

1. 活塞环按其功用可分为 () 和 () 两种。
2. 活塞销是用来连接 () 和 () 的,其连接方式可分为 () 式和 () 式。
3. 活塞是由 ()、() 和 () 三部分组成的。
4. 发动机工作时,为保证气缸的密封性,防止环卡死在缸内或胀死于环槽中,安装时活塞环应留有 ()、() 和 (),简称“三隙”。

二、选择题

1. 活塞销的两端在活塞销座内能自由转动,活塞销中间与连杆小头使用固定连接,这种连接方式称为 ()。
A. 全浮式连接 B. 半浮式连接 C. 刚性连接 D. 柔性连接
2. 活塞的最大磨损部位通常是 ()。
A. 头部 B. 顶部 C. 环槽 D. 裙部
3. () 在工作时容易产生“泵油作用”。
A. 矩形环 B. 桶形环 C. 锥形环 D. 梯形环
4. 为了减轻磨损,通常对 () 进行镀铬处理。
A. 油环 B. 第一道环 C. 所有气环 D. 所有环
5. 椭圆形活塞是指什么地方成椭圆形? ()
A. 活塞裙部 B. 活塞顶部 C. 活塞环岸 D. 活塞环槽
6. 活塞销偏置的目的是使 ()
A. 活塞容易装置于气缸内 B. 活塞销拆装容易
C. 可增加活塞的推力 D. 可减少活塞对缸壁的冲击力

三、判断题

1. 活塞环的泵油作用有利于气缸上部的润滑,因此是有利的。 ()
2. 活塞裙部膨胀槽应开在受侧压力较大的一面。 ()
3. 校正连杆一般是先校正弯曲后校正扭曲。 ()
4. 活塞在气缸内做匀速运动。 ()
5. 为抵消活塞在工作中的变形,活塞应加工成上大下小的锥形。 ()
6. 为抵消活塞在工作中的变形,活塞裙部应加工成椭圆形,其长轴应沿活塞销方向。 ()

第四节 曲轴飞轮组的构造与检修

知识目标

1. 能够掌握曲轴飞轮组的组成。
2. 能够掌握曲轴、扭转减振器、飞轮的构造。

技能目标

能正确对曲轴、曲轴主轴承、扭转减振器、飞轮进行检修。

知识内容

曲轴飞轮组主要由曲轴、飞轮、扭转减振器、皮带轮、正时齿轮（或链轮）等组成，如图 2-84 所示。

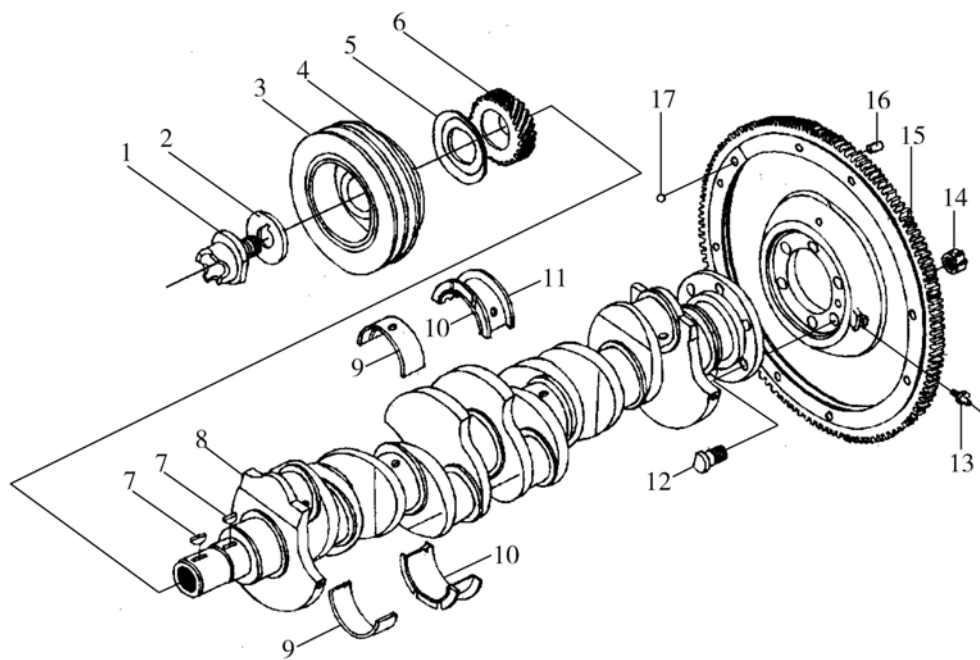


图 2-84 曲轴飞轮组

1. 起动爪；2. 启动爪锁紧垫圈；3. 扭转减振器；4. 皮带轮；5. 挡油片；6. 正时齿轮；7. 半圆键；8. 曲轴；9. 主轴承上、下瓦；10. 中间主轴承上、下瓦；11. 止推片；12. 螺柱；13. 润滑脂嘴；14. 螺母；15. 飞轮与齿圈；16. 离合器盖定位销；17. 第一、第六活塞压缩上止点记号

一、曲轴的构造与检修

曲轴的主要作用是把活塞连杆组传来的气体压力转变为转矩对外输出。另外，曲轴还用来驱动发动机的配气机构及其他各种辅助装置（如发电机、风扇、水泵、转向油泵等）。

知识拓展

曲轴工作时，曲轴承受气体压力、惯性力及惯性力矩等的作用，受力大并且复杂，同时曲轴又是高速旋转件，因此，要求曲轴具有足够的刚度和强度，良好的承受冲击载荷的能力，耐磨损且润滑良好。

（一）曲轴的构造

曲轴有整体式和组合式两种。整体式曲轴如图 2-85 所示。曲轴的基本组成包括前端轴、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。

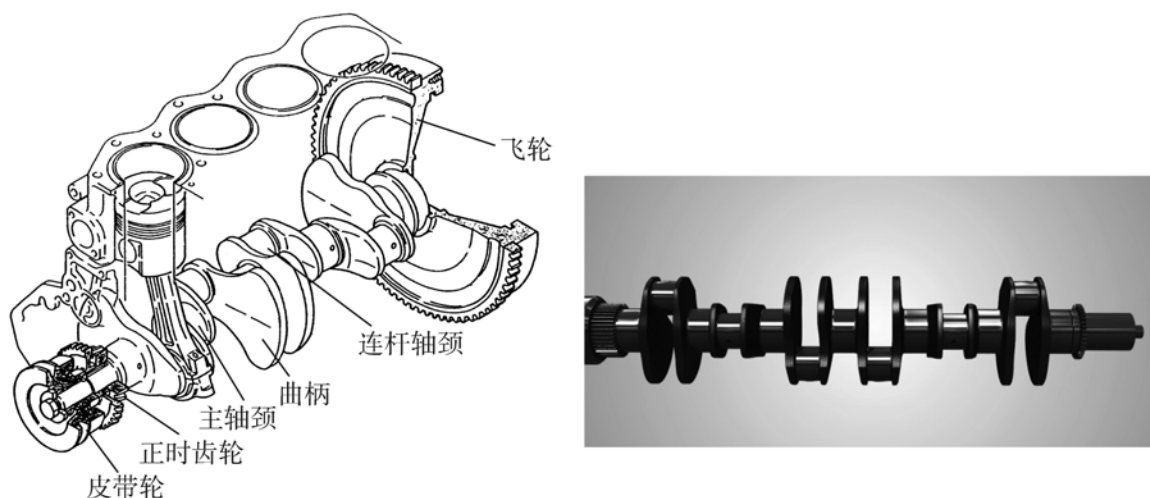


图 2-85 整体式曲轴

1. 主轴颈和连杆轴颈

主轴颈是曲轴的支撑部分。每个连杆轴颈两边都有一个主轴颈的曲轴，称为全支承曲轴，如图 2-86 (a) 所示。它的主轴颈数比连杆轴颈数多一个。主轴颈数等于或少于连杆轴颈数的曲轴称为非全支撑曲轴，如图 2-86 (b) 所示。全支承曲轴因其刚性好且主轴颈的负荷较小，用于柴油机和负荷较大的汽油机。非全支撑曲轴结构简单且长度较短，常用于中小负荷的汽油机。

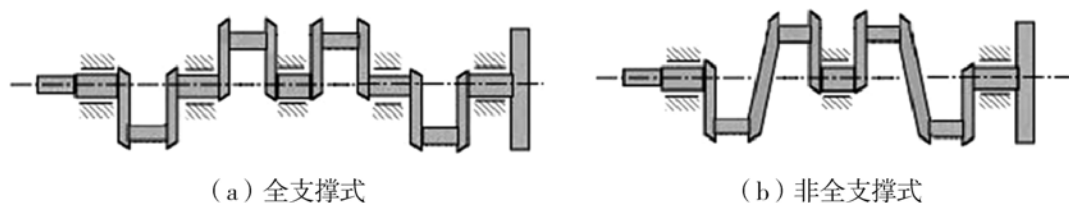


图 2-86 曲轴的支撑形式示意

知识拓展

因为前端轴驱动辅助装置和后端轴支撑飞轮增加了两端主轴颈的负荷，有些曲轴中间一道主轴颈两边的连杆轴颈在同一个方向，或中间两气缸进气道短，充气量大，动力大，

使得中间主轴颈负荷较大。所以,一般发动机曲轴两端的主轴颈和有些曲轴的中间主轴颈较长,使接触面积增大,可均衡各主轴颈的磨损。

连杆轴颈又称曲柄销。直列发动机的连杆轴颈与气缸数相同;“V”形发动机的一个连杆轴颈上,装有左右两列各一个气缸的连杆,所以连杆轴颈为气缸数的一半。

曲轴上钻有贯穿主轴颈、曲柄和连杆轴颈的油道,以使润滑油能够润滑主轴颈和连杆轴颈。油道口有倒角,以防刮伤轴承。有些连杆轴颈做成中空式,如图 2-87 所示。空腔的开口用螺塞 8 封闭,在连杆轴颈的油道内插有油管 6,管口伸入空腔,并弯成图示形状。这种中空式连杆轴颈一方面减小了质量和离心力,另一方面又构成了积污腔,使从主轴承来的润滑油中的机械杂质由于离心力而甩向腔壁,使流入连杆轴承的润滑油得到离心滤清而净化。这种结构的缺点是:在启动初期,有时连杆轴颈不能立即得到润滑,需待润滑油充满大部分空腔之后,才能获得良好的润滑。有积污腔的曲轴,维修时应清除积污,以保证连杆轴承的润滑。此外,常把连杆轴颈空心部分的中心线稍向外偏移,如图 2-87 所示。这是为了进一步减小离心力。

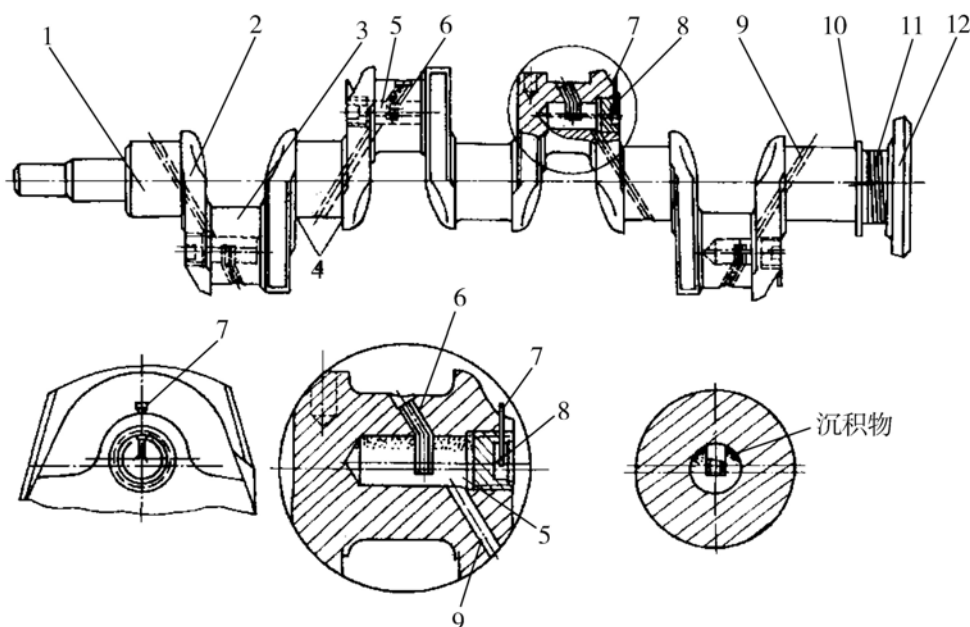


图 2-87 曲轴内的油道

1. 主轴颈; 2. 轴柄; 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. 凸缘盘

2. 曲柄和平衡重

曲柄是用来连接主轴颈和连杆轴颈的。平衡重的作用是平衡连杆大头、连杆轴颈和曲柄等产生的离心力及其力矩,保证曲轴的动平衡;有时也平衡活塞连杆组的往复惯性力和力矩,以使发动机运转平稳,并且还可减小曲轴轴承的负荷。

知识拓展

直列四缸发动机,从整体上来说,其受力是平衡的,但曲轴局部却受弯矩作用,如图 2-88 (a) 所示。

惯性力 F_1 、 F_4 与 F_2 、 F_3 互相平衡，力矩 M_{1-2} 与 M_{3-4} 互相平衡，但两个力矩会造成曲轴弯曲并加重曲轴的负荷。为了减轻主轴承的负荷，改善其工作条件，一般都在曲柄的相反方向上设置平衡重，使其产生的力矩与上述惯性力矩相平衡，如图 2-88 (b) 所示。

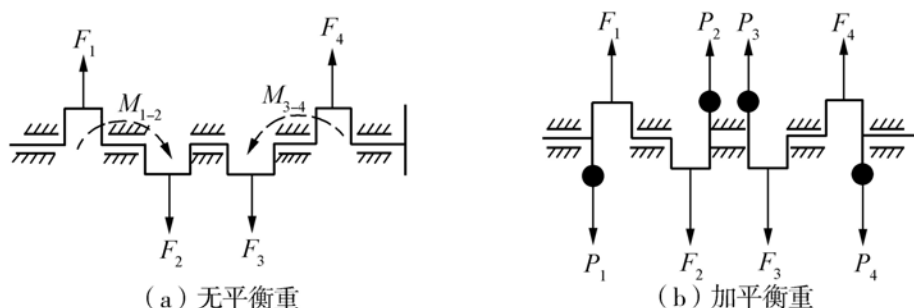


图 2-88 曲轴的平衡

F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 ——曲拐和活塞连杆组的惯性力； P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 ——平衡重产生的离心力

平衡重有的与曲轴制成一体，有的则单独制成零件，再用螺钉固定于曲柄上，形成装配式平衡重，如图 2-89 所示。

无论有无平衡重，曲轴必须经过动平衡校验，对不平衡的曲轴常在其偏重的一侧钻去一部分质量，因此，在平衡重外端或曲柄两端处，往往可见到一些深浅不一的钻孔。

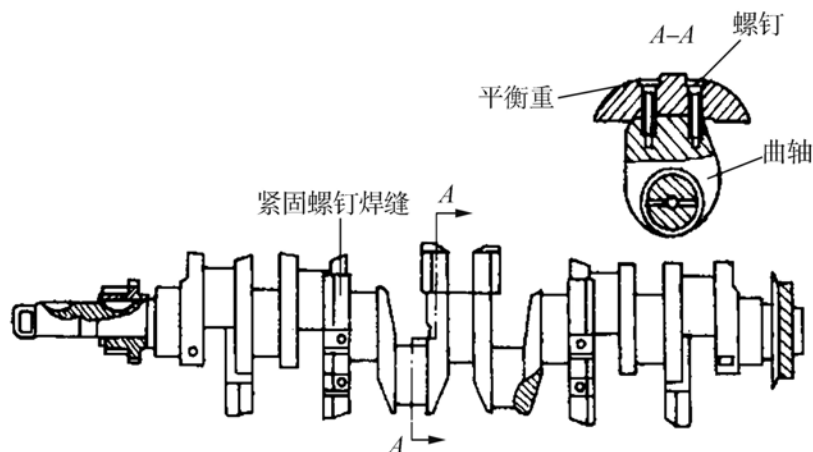


图 2-89 装配式平衡重曲轴

3. 曲拐的布置

多缸发动机曲轴曲拐的布置与气缸数、气缸的排列形式（直列、“V”形）、发动机的平衡以及各缸工作顺序有关。下面我们介绍几种常见曲轴的曲拐布置。

(1) 直列四缸四冲程发动机曲轴曲拐的布置如图 2-90 所示。其曲拐对称布置于同一平面内，相邻做功气缸的曲拐夹角为 $720^\circ/4 = 180^\circ$ ，工作顺序有 1—3—4—2 和 1—2—4—3 两种。在柴油机上前者应用较多，工作循环如表 2-3 所示。

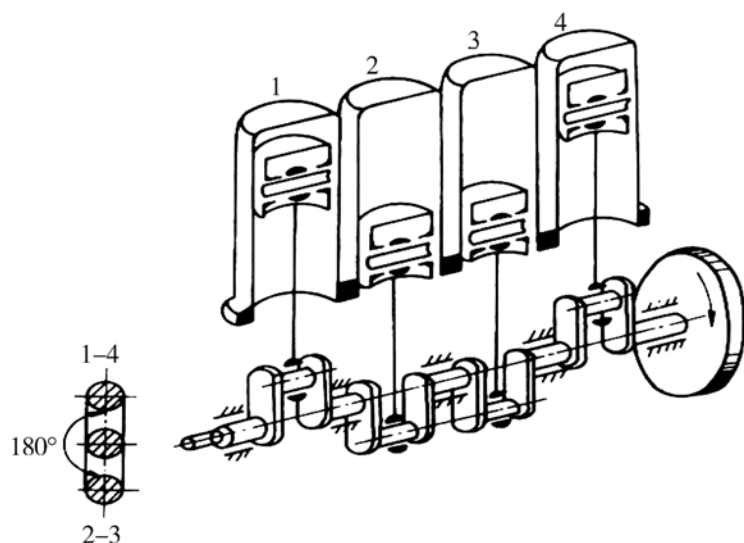


图 2-90 直列四缸四冲程发动机的曲拐布置

表 2-3 直列四缸四冲程发动机工作循环表

(工作顺序 1-3-4-2)

曲拐夹角 (°)	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

(工作顺序 1-2-4-3)

曲拐夹角 (°)	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

(2) 直列六缸四冲程发动机中应用较广的一种曲轴曲拐布置如图 2-91 所示, 曲拐均匀地布置在互成 120° 的三个平面内, 相邻工作两缸的曲拐夹角为 $720^\circ/6 = 120^\circ$, 工作顺序为 1—5—3—6—2—4 或者 1—4—2—6—3—5。前者应用较多, 工作循环见表 2-4。

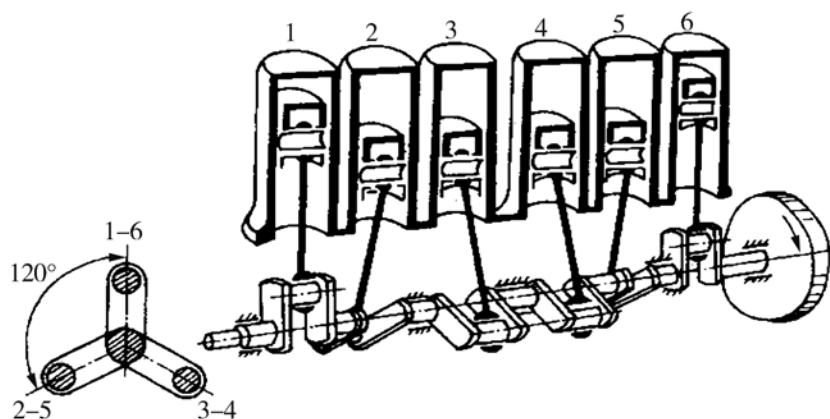


图 2-91 直列六缸四冲程发动机的曲拐布置

表 2-4 直列六缸四冲程发动机工作循环表

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

4. 前端轴与后端轴

(1) 结构。前端轴是第一道主轴颈之前的部分，通常有键槽和螺纹，用来安装正时齿轮、皮带轮以及启动爪、扭转减振器等。图 2-92 为曲轴前端轴的一种结构形式。

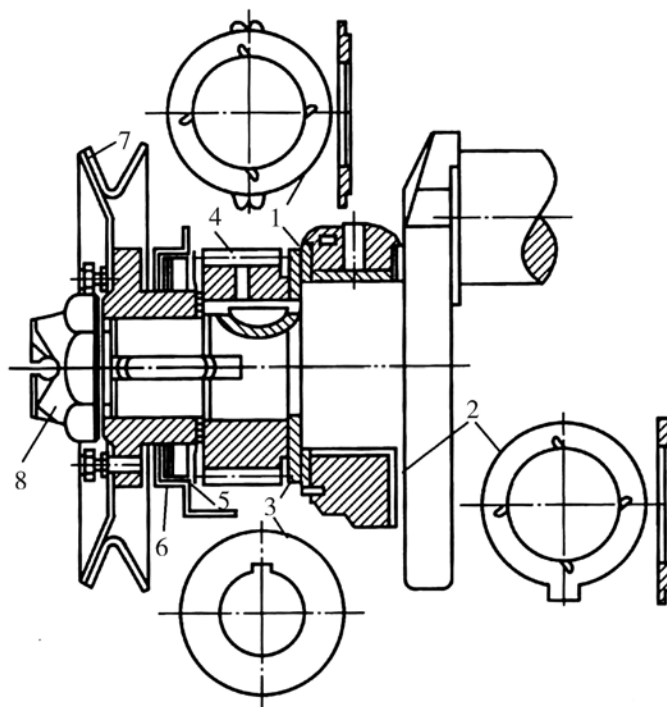


图 2-92 曲轴前端轴

1、2. 滑动止推轴承；3. 止推环；4. 正时齿轮；5. 甩油盘；6. 自紧油封；7. 皮带轮；8. 启动爪

后端轴是最后一道主轴颈之后的部分，一般在其后端有凸缘盘，用以安装飞轮。另外，轴颈上通常还有一些防漏装置。不少曲轴没有凸缘盘，飞轮用螺栓紧固于曲轴后端面。整体式自紧油封装于后端，密封性能好，更换方便，此类结构日渐广泛使用，有的发动机曲轴还在该段装有信号发生器齿轮，如图 2-93 所示。

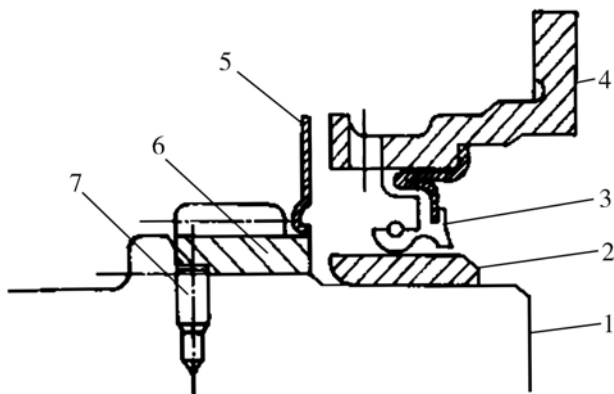


图 2-93 装整体式自紧油封的曲轴后端轴

1. 曲轴; 2. 衬套; 3. 整体式自紧油封; 4. 油封护圈; 5. 甩油盘; 6. 信号发生器齿轮; 7. 定位销

(2) 前后端的密封。曲轴前后端都伸出曲轴箱是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。一般发动机都采用两种或两种以上防漏装置组成所谓复合式防漏结构, 但都有起主要防漏作用的挡油盘。

图 2-92 是曲轴前端的一种复合密封结构, 皮带轮 7 内端装有甩油盘 5, 正时齿轮室盖上装有自紧油封 6。其防漏过程是: 当飞溅的润滑油落在甩油盘 5 上时, 由于盘随曲轴高速旋转产生离心力, 使油甩到正时齿轮室内, 流回油底壳; 剩下的少量润滑油落在甩油盘与油封之间的轴颈上, 被自紧油封所密封, 从而达到防漏的目的。

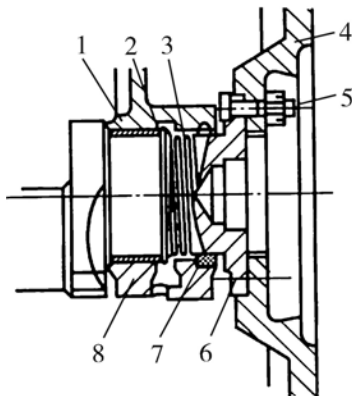


图 2-94 曲轴后端复合密封结构

图 2-94 是曲轴后端的复合密封结构, 由与曲轴制成一体的甩油盘、回油螺纹、扣合式填料油封 (油质石棉盘根) 组成。其防漏过程是: 从主轴缝隙

1. 轴承座 (曲轴箱体); 2. 甩油盘; 3. 回油螺纹; 4. 飞轮;
5. 飞轮螺栓、螺母; 6. 曲轴凸缘盘; 7. 填料油封; 8. 轴承盖

中流向后端的润滑油主要被甩油盘甩入轴承座孔后面的凹槽内, 并经轴承盖上的回油孔流回油底壳; 少量润滑油流至回油螺纹区, 被回油螺纹返回到甩油盘而甩回油底壳; 另有少量润滑油流至回油螺纹以外, 便由填料油封密封, 从而起到防漏作用。

知识拓展

曲轴上的回油螺纹是车制的矩形或梯形右旋螺纹。其回油原理是: 当润滑油流至回油螺纹区的轴与孔之间的缝隙时, 由于孔壁对油的黏附作用, 使油层的转速低于轴的转速, 这时可相对地将润滑油看作套在螺纹上不旋转的螺母。由于轴做顺时针方向旋转 (从前向后看), 油层就被向前旋回油底壳。使用回油螺纹防漏, 孔和轴的配合间隙不能过大, 其同轴度的要求也较高。因为热车时机油黏度降低, 如果间隙过大, 靠近孔壁的一层机油不

能随曲轴转回，使密封效能降低。

无论前端后端，自紧油封应使其刃口朝向曲轴箱内，才能良好地发挥其密封作用。挡油盘应使其凹面朝外，如前端的凹面应朝前，一方面防止其外沿碰撞正时齿轮，更重要的是为了遮盖轴颈，减小油封的负荷。

5. 曲轴的轴向定位

曲轴作为长杆形转动件，必须与其固定件之间有一定的轴向间隙。间隙过小，曲轴转动阻力大；间隙过大，曲轴发生轴向窜动而影响活塞连杆组的正常运动和其他机件的正常工作，因此曲轴必须有轴向定位装置。

曲轴的轴向定位方式有止推片（或止推轴承）和翻边轴瓦两种。

（1）止推片定位。止推片与轴瓦相似，是在低碳钢背上浇铸一层减磨合金，且制有若干凹穴，以便机油进入摩擦表面。

止推片装在前端第一道主轴承时，一般是整体式的（止推轴承）。如图 2-92 所示，它是两片整体式圆环，分别装在主轴承两侧，后片外圆上有一舌榫，舌榫伸入轴承盖相应的凹槽内，前片则用两个止动销以做周向定位，防止转动。止推片有减磨合金的一面应朝向转动件的曲轴及正时齿轮。当曲轴向前窜动时，后止推片承受轴向推力。曲轴向后窜动时，前止推片承受轴向推力。

当止推片装在中间某道主轴承上时，一般采用分开式的止推片或翻边轴瓦。分开式止推片即将止退圈做成两个半圆止推片，如图 2-95 所示。

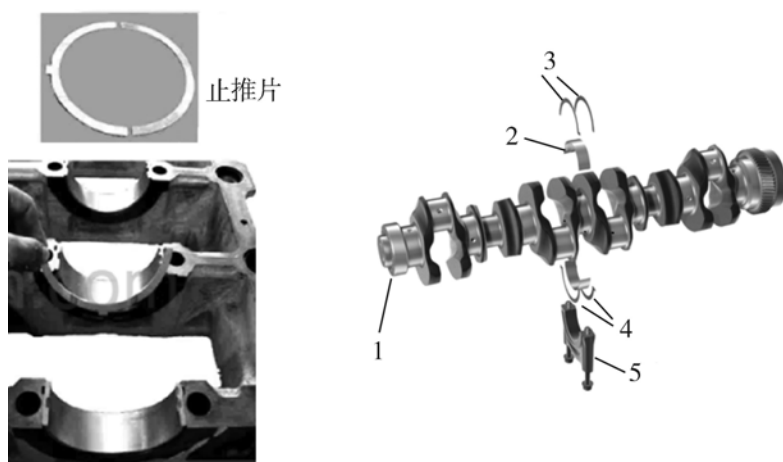


图 2-95 分开式止推片

1. 曲轴；2. 主轴承；3. 止推片；4. 止推片；5. 主轴承盖

（2）翻边轴瓦定位。翻边轴瓦是将止推片与主轴承制成一体的，如图 2-96 所示。其安装位置如图 2-84 所示，装在中间第四道主轴承上的 10、11，就是与止推片制成一体的翻边轴瓦。

曲轴的轴向间隙是由止推片的厚度来调整的，在使用中止推片磨薄，间隙增大，则应更换或修复止推片。

（二）曲轴的检修

曲轴常见的耗损形式有裂纹、断裂，曲轴的弯曲、扭



图 2-96 翻边轴瓦

曲变形和轴颈磨损。

1. 裂纹的检修

曲轴清洗后, 应检查有无裂纹, 可用磁力探伤法、浸油敲击法或荧光探伤等方法进行裂纹的检验。

浸油敲击法是将曲轴置于煤油中浸泡一会儿, 取出后擦净表面并撒上白粉, 然后分段用小锤轻轻敲击, 如有明显的油迹出现, 则该处有裂纹。

2. 曲轴弯曲变形的检修

将曲轴两端主轴颈分别放置在检验平板的“V”形块上, 将百分表触头垂直地抵在中间主轴颈上, 如图 2-97 所示。慢慢转动曲轴一圈, 百分表指针所示的最大摆差, 即为中间主轴颈的径向圆跳动误差值。若大于 0.15 mm, 则应进行校正, 低于此限可磨削主轴颈予以修正。

曲轴弯曲变形的校正方法主要有冷压校正、火焰校正和表面敲击校正。冷压校正如图 2-98 所示。

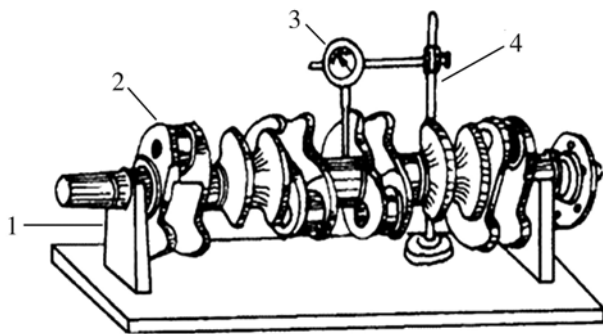


图 2-97 曲轴弯曲变形的检验

1. “V”形块; 2. 曲轴; 3. 百分表; 4. 磁力表架

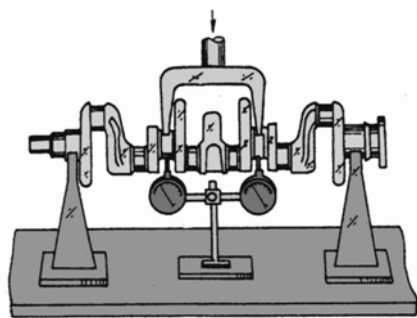


图 2-98 冷压校正示意

知识拓展

曲轴产生弯曲和扭曲变形是使用不当和修理不当造成的。如发动机在爆震和超负荷等条件下, 个别气缸不工作或工作不均衡, 各道主轴承松紧度不一致, 主轴承孔同轴度偏差增大等, 都会造成曲轴承载后的弯曲变形。曲轴弯曲变形后, 将加剧活塞连杆组各气缸的磨损, 以及曲轴和轴承的磨损, 甚至导致曲轴的疲劳折断。

3. 曲轴扭曲变形的检验

以六缸发动机曲轴为例, 将第一、第六缸连杆轴颈转到水平位置, 用百分表分别测量第一缸连杆轴颈和第六缸连杆轴颈至平板的距离, 求得同一方位上两个连杆轴颈的高度差 ΔA 。扭转变形的扭转角若大于 $30'$, 可进行表面加热校正或敲击校正。扭转角 θ 用以下公式进行计算:

$$\theta = \frac{360\Delta A}{2\pi R} = 57 \frac{\Delta A}{R}$$

式中: R ——曲柄半径, mm。

6135ZG 型柴油机的 R 为 70 mm, 12V135AG 型柴油机的 R 为 75 mm, 具体机型的曲轴

半径可查阅相关资料。

知识拓展

扭曲变形主要是由于烧瓦和个别活塞卡缸（胀缸）造成的。当个别气缸壁间隙过小或活塞热膨胀过大，活塞运动阻力将增大，曲轴运转不均匀，发展到活塞卡缸。若未及时发现或卡缸发生后处理不当，便会导致曲轴的扭曲。此外，拖挂时起步过猛和紧急制动（未踩下离合器）以及起步、超载等，都会引起曲轴的扭曲变形及其他耗损。

4. 轴颈磨损的检修

首先检视轴颈有无磨痕和损伤，然后测量主轴颈和连杆轴颈，计算其圆度误差和圆柱度误差，测量方法如图 2-100 所示，在点 1 和点 2 所在截面用外径千分尺分别测量在平面 a 和平面 b 上的外径（平面 a 和平面 b 中应有一个平面为其最大磨损位置所在平面）。部分发动机的曲轴轴颈标准尺寸如表 2-5 所示。

知识拓展

曲轴主轴颈和连杆轴颈的径向磨损和轴向磨损都是不均匀的。主轴颈和连杆轴颈径向最大磨损部位相互对应，即各主轴颈的最大磨损靠近连杆轴颈一侧；而连杆轴颈的最大磨损靠近主轴颈一侧，如图 2-99 粗线所示。此外，曲轴轴颈沿轴向还有锥形磨损。因此，在测量轴颈尺寸时一般选两个截面测量，每个截面测量两个相互垂直的方向，一个是最大磨损方向，一个是最小磨损方向。

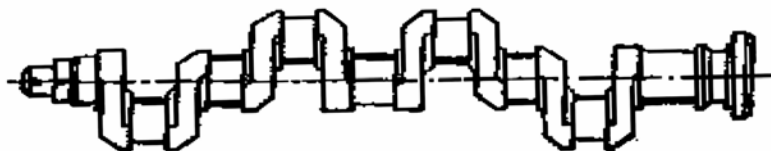


图 2-99 曲轴主轴颈和连杆轴颈的径向最大磨损位置

对曲轴短轴颈的磨损以检验圆度误差为主，对长轴颈则必须检验圆度与圆柱度误差，用外径千分尺测量连杆轴颈、主轴颈（图 2-100 所示），计算其圆度与圆柱度误差。曲轴主轴颈和连杆轴颈的圆度、圆柱度误差不得大于 0.025 mm（参考值，不同品牌此数字会有出入，如沃尔沃 D6E 型号的发动机曲轴主轴颈和连杆轴颈的圆度、圆柱度误差不得大于 0.01 mm），超过该值，则按修理尺寸对轴颈进行磨削修理。

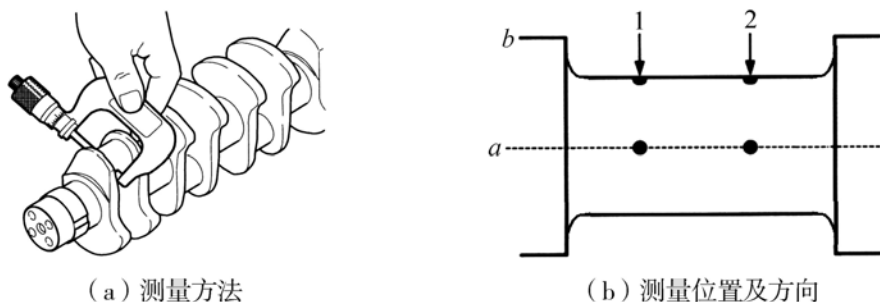


图 2-100 测量曲轴主轴颈与连杆轴颈

表 2-5 部分发动机的曲轴轴颈的标准尺寸 (mm)

发动机型号	沃尔沃 D6E 柴油机	康明斯 K38K50 柴油机	135 系列柴油机
主轴颈	84.00~83.98	165.05~165.10	179.75~180
连杆轴颈	70.026~70.065	107.87~107.95	94.92~94.94

知识拓展

曲轴检验分类时应注意：曲轴轴颈和连杆轴颈圆度误差 $>0.025\text{ mm}$ 或表面划伤时，应磨削修理；当轴颈的圆度、圆柱度误差 $<0.025\text{ mm}$ ，表面无其他类型的损伤，且圆跳动误差 $\leq 0.15\text{ mm}$ 时，可直接使用，不用修磨；虽然两种轴颈圆柱度误差 $>0.025\text{ mm}$ 或有其他类型的损伤，但圆跳动误差 $\leq 0.15\text{ mm}$ ，可直接修磨并通过修磨校正变形；否则必须先校正至 $<0.15\text{ mm}$ 。才能进行修磨。

某些进口发动机采用软氮化工艺强化的曲轴，表面硬度为 HRC64~67，不仅具有很好的耐磨性，还具有极好的抗粘着、抗擦伤性能，且疲劳强度可提高 60% 左右，强化层的深度可达 0.20 mm ，因此，这种曲轴无修理尺寸（俗称一次性曲轴）。检验时，用有机溶剂洗净表面的油污，再喷洒 5%~10% 的氯化铜溶液，待 30~40 s 后，若不改变颜色可继续使用（轴颈的圆度误差必须在公差范围内）；若溶液由浅蓝色变为透明，轴颈表面变为铜色，说明强化层已磨损耗尽，则应更换新轴。在使用维修过程中，应注意此种曲轴的轴承间隙一般不得大于 0.08 mm ，使用极限间隙不得大于 0.12 mm 。

曲轴连杆轴颈和主轴颈的修理尺寸，是根据曲轴轴颈前一次的修理尺寸、磨损程度和磨削余量来选择的。

曲轴连杆轴颈和主轴颈的修理尺寸，柴油机可达六级。相邻两级修理尺寸的级差以 0.25 mm 递减，并在数值前加“-”作为其代号。

现在曲轴的修理尺寸等级比以前有所减少，具体修理尺寸应根据发动机的设计要求决定。

在保证磨削质量的前提下，应尽可能选择最接近的修理尺寸级别，以延长曲轴的使用寿命。曲轴的连杆轴颈和主轴颈，应分别磨削成同一级别的修理尺寸，以便于选配轴承，保证合理的配合间隙。

二、轴承的构造与检修

（一）轴承的构造

主轴承（俗称大瓦）的基本构造与连杆轴承大体相同，如图 2-101 所示。主要的不同是：为了向连杆轴承输送润滑油，在主轴承上都开有周向油槽和主油孔。有些负荷不太大的发动机，为了通用化，上下两片轴承都制有油槽。有些发动机只在上轴承上开油槽式通油孔。而负荷较重的下轴承不开油槽，相应的主轴颈上开径向通孔；这样，主轴承便能不间断地向连杆轴承供给润滑油。但应注意，后一种主轴承上下片不能互换，否则主轴承的来油通路将被堵塞。

（二）轴承的检修

轴承耗损形式有磨损、合金疲劳剥落、轴承疲劳收缩及黏着咬死等。轴承的径向间隙



图 2-101 曲轴主轴承

逾限后，因轴承对润滑油流动的阻尼能力减弱，使主油道压力降低，可能破坏轴承的正常润滑。加之引起的冲击载荷，又造成轴承疲劳应力剧增，使轴承疲劳而导致黏着咬死，发动机将丧失工作能力。因此，若发现瓦响应立即停机检修。二级维护时，必须检查轴承间隙，发现轴承间隙逾限时，即更换轴承。若因曲轴异常磨损造成上述故障，则应进行修磨或校正曲轴。发动机总成修理时，应更换全部轴承。

1. 轴承的选配

轴承的选配包括选择合适内径的轴承以及检验轴承的高出量、自由弹开量、横向装配标记——凸唇、轴承钢背表面质量等内容。

(1) 选择轴承内径。根据曲轴轴颈的直径和规定的轴承径向间隙选择合适内径的轴承。现代发动机曲轴轴承制造时，根据选配的需要，其内径直径已制成一个尺寸系列，每种型号的发动机有多种不同内径的轴承可供选用。

(2) 检验轴承钢背质量。钢背光整无损，横向定位凸唇完好。

(3) 检验轴承弹开量和高出量。轴承弹开量：柴油机一般为 $1.5 \sim 2.5 \text{ mm}$ ，如图 2-102 (a) 所示。汽油机轴承高出量一般为 $0.04 \sim 0.09 \text{ mm}$ 。柴油机轴承负荷大，高出量也大些。检验时，把轴承装入承孔，按原厂规定的紧固力矩拧紧两侧的紧固螺栓。然后，完全松开一侧的紧固螺栓，用厚薄规检查轴承承孔剖分面的间隙，此间隙就是轴承的高出量，如图 2-102 (b) 所示。

轴承高出量过小，轴承装配后与承孔的过盈不足，自锁能力弱，在工作中容易产生转动而引起烧瓦；高出量过大，装配后轴承局部可能翘起，在冲击载荷下，合金层不仅容易疲劳剥落，加速轴承疲劳，引起烧瓦，还可能造成承孔穴蚀，也同样破坏轴承的自锁性能。

(4) 装配轴承。装配轴承是个非常重要的修理工艺过程，它将影响整个发动机的运转情况。

将选择好的轴承嵌入轴承承孔及盖内，轴瓦应与承孔及盖密合，凸口应与承孔及盖的凹槽相嵌合，且轴承上的油孔应与承孔座上的油道相通。

轴承嵌入承孔后，其两端边缘须高出承孔平面相应的高出量，以便装合后能得到更好的密合。

2. 轴承间隙的检查

曲轴轴承间隙是指曲轴的径向和轴向间隙。这两种间隙都是为了适应发动机在运转中

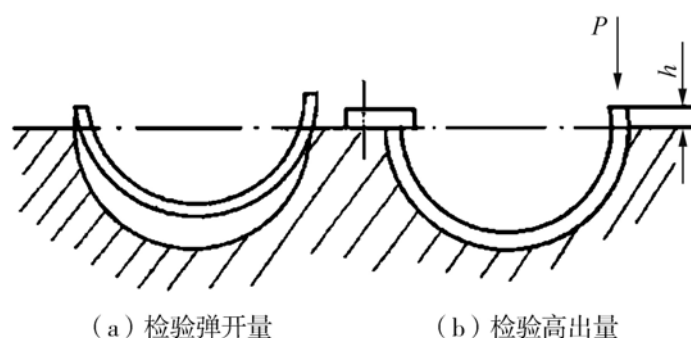


图 2-102 轴承的检验

机件受热膨胀的需要而规定的。曲轴轴承间隙的检查包括曲轴主轴承径向间隙检查、轴向间隙检查和曲轴连杆轴承径向间隙检查。

(1) 曲轴主轴承的径向间隙检查。轴承与轴颈之间的间隙，称为轴承的径向间隙。检查的方法有以下几种。

方法一：将轴承盖螺栓按规定顺序及力矩拧紧后，用适当的力矩（四道轴承的用 $30 \sim 40 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，七道轴承的用 $60 \sim 70 \text{ N} \cdot \text{m}$ ）转动曲轴，以试其松紧度；或用双手扭动曲轴臂使曲轴转动，试其松紧，这是最简单的方法，但须有一定的经验。

方法二：用内径百分表和外径千分尺分别测量轴颈的外径和轴承的内径，测得的这两个尺寸之差，就是它们之间的间隙。沃尔沃 D6E 发动机曲轴径向间隙的检查过程如下：

1) 在点 1 和点 2 处外径千分尺测量主轴颈在平面 a 和平面 b 的外径，其正常值应该为 $83.98 \sim 84.00 \text{ mm}$ ，小号为 $83.73 \sim 83.75 \text{ mm}$ ，测量方法如图 2-103 (a) 所示。

2) 把主轴瓦安装到主轴承盖中，把主轴承盖按标准扭矩安装好。如图 2-103 (b) 所示，在点 1 和点 2 用内径百分表测量主轴承在平面 a 和平面 b 的内径，其正常值范围为 $83.98 \sim 84.00 \text{ mm}$ 。

3) 计算主轴承与主轴颈的配合间隙。用测得的最大主轴承的内径减去测得的最小主轴颈的外径，得到主轴承与主轴颈的最大配合间隙，其正常范围为 $0.03 \sim 0.092 \text{ mm}$ 。

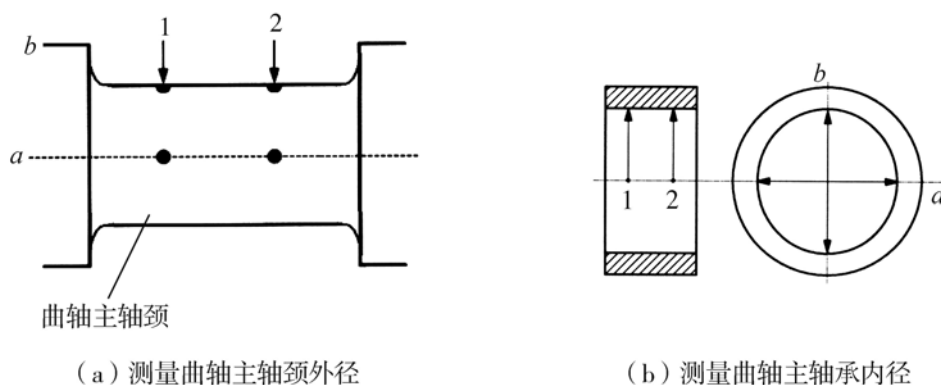


图 2-103 测量曲轴主轴颈径向间隙

方法三：用塑料线规测量检查。如图 2-104 所示，剪取与轴承宽度相同的塑料线规，与轴颈平行放置，盖上轴承盖并按规定扭矩拧紧螺栓（注意不要转动曲轴）。然后拆下轴承盖，取出已压展的塑料线规，与附带的不同宽度色标的量规的刻线相对比，即得轴承的

间隙值。如果其值不在规定的范围，就要更换轴承。

(2) 曲轴主轴承的轴向间隙检查。曲轴轴承的轴向间隙是指轴承承推端面与轴颈定位肩之间的间隙。间隙过小，会在机件受膨胀时卡滞；间隙过大，曲轴前后窜动，给活塞连杆组的机件带来不正常的磨损。所以，在装配曲轴时，应进行曲轴轴向各间隙的检查，检查的方法有以下两种。

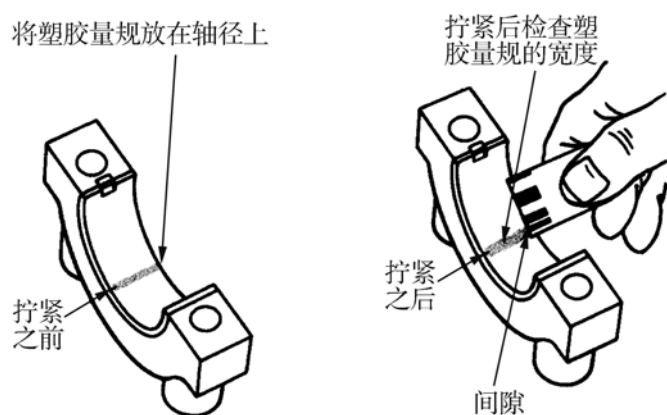


图 2-104 塑料线规测量曲轴主轴颈径向间隙

方法一：如图 2-105 所示。

- 1) 擦拭干净轴承盖及两侧止推轴承，然后将两个带有凸缘的止推轴承安装到轴承盖两侧，如图 2-105 (a) 所示。
- 2) 用外径千分尺测量其整体宽度，如图 2-105 (b) 所示。
- 3) 用内径百分表量取对应曲轴主轴颈的宽度，如图 2-105 (c) 所示。
- 4) 用曲轴主轴颈的宽度减去测量的轴承盖与止推轴承的整体宽度就可得出轴承的轴向间隙。

不同厂家不同型号的发动机曲轴轴向间隙值不同，如沃尔沃 D6E 型发动机的曲轴轴向间隙为 $0.1 \sim 0.28 \text{ mm}$ 。如轴向间隙过大或过小，则应更换止推轴承，如沃尔沃 D6E 的发动机配备的有标准止推轴承（厚度 $2.0 \sim 2.05 \text{ mm}$ ）和加厚止推轴承（厚度 $2.20 \sim 2.25 \text{ mm}$ ），若采用标准止推轴承曲轴轴向间隙过大，则可更换为加厚止推轴承。

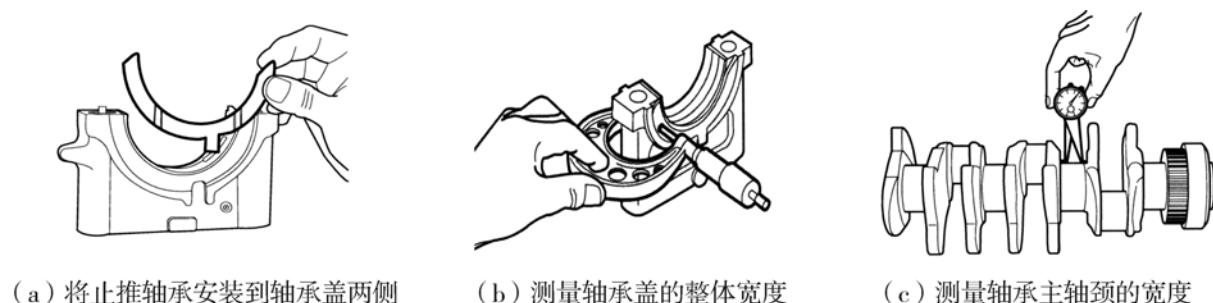


图 2-105 曲轴轴向间隙的检测（一）

方法二：如图 2-106 所示。

- 1) 将曲轴安装到发动机上，步骤如下：

- a. 将主轴承座孔、主轴承盖、主轴承、止推轴承擦拭干净。
- b. 将曲轴主轴承安装到发动机主轴承座孔中，如图 2-106 (a) 所示。注意安装前应在主轴承内侧涂少量润滑油。
- c. 用吊带将曲轴调至正确位置，将曲轴安装到发动机机体上，如图 2-106 (b) 所示。
- d. 将没有凸缘的止推轴承插入到曲轴下方位置，如图 2-106 (c) 所示。注意带油槽的侧面应朝向曲柄侧。



- e. 在轴承盖内安装主轴承，在轴承盖的两侧面安装带凸缘的止推轴承。注意安装前应在主轴承及止推轴承的工作面涂少量润滑油（下同），止推轴承带油槽的侧面应朝向外侧。
- f. 按顺序安装轴承盖，并按规定力矩拧紧主轴承盖螺栓，如图 2-106 (d) 所示。安装时应注意轴承盖上止推轴承与曲轴上止推轴承的正确匹配，如图 2-106 (e) 所示。

2) 将带有磁力表座的百分表固定在气缸体上，调整表架使百分表测量杆与曲轴轴向方向平行，用撬杠左右撬动曲轴，百分表的最大摆差就是曲轴的轴向间隙，如图 2-106 (f) 所示。



3) 安装好曲轴后，也可采用厚薄规测量曲轴的轴向间隙。先将曲轴定位轴肩向轴承的承推端面的一边靠合，用撬杠将曲轴挤向后端，然后用厚薄规片在曲轴臂与止推轴承或止推垫圈之间测量，如图 2-106 (g) 所示。

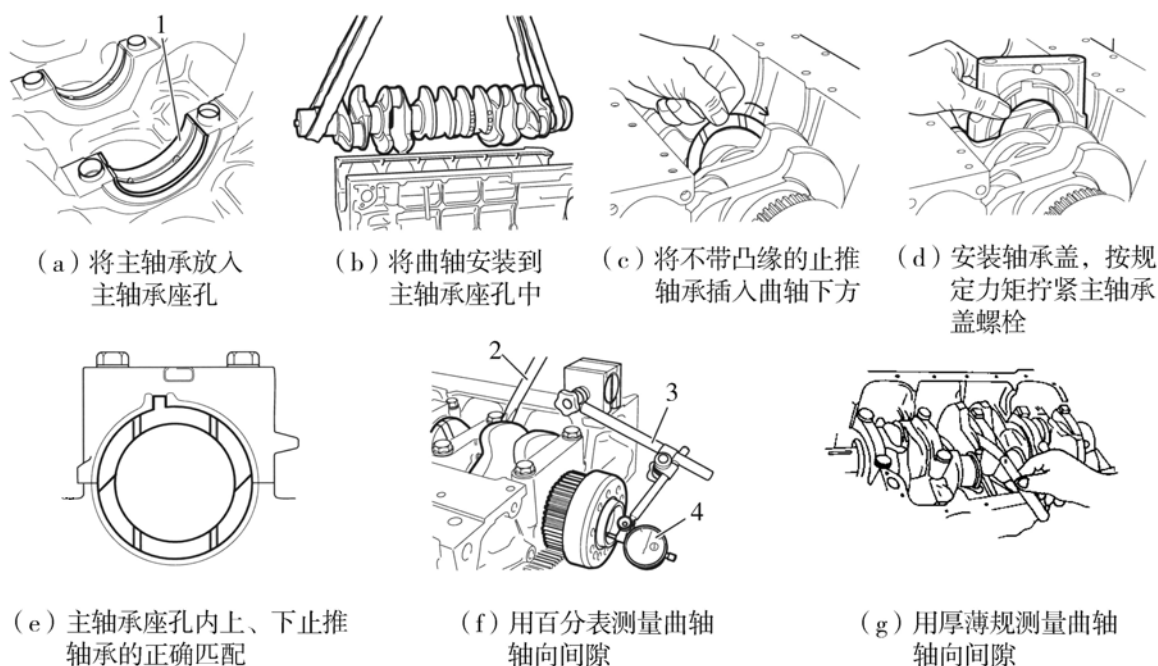


图 2-106 曲轴轴向间隙的检测 (二)

1. 主轴承; 2. 塞尺; 3. 磁力表架; 4. 百分表

(3) 曲轴连杆轴承径向间隙的检查。用内径百分表和外径千分尺分别测量连杆轴颈的外径和连杆轴承的内径，测得的这两个尺寸之差，就是它们之间的间隙。沃尔沃 D6E 发动机曲轴连杆轴承径向间隙的检查过程如下：

- 1) 在点 1 和点 2 用外径千分尺测量连杆轴颈在平面 a 和平面 b 的外径，其正常值范

围为 70.026~70.065 mm，小号为 69.775~69.815 mm，测量方法如图 2-107 (a) 所示。

2) 把连杆轴瓦安装到连杆大头中，安装连杆盖，用规定力矩拧紧连杆螺栓。按照图 2-107 (b) 所示在点 1 和点 2 用内径百分表测量主轴承在平面 a 和平面 b 的内径，其正常值范围为 70.026~70.065 mm，小号为 69.775~69.815 mm。

3) 计算连杆轴承与连杆轴颈的配合间隙。用测得的最大连杆轴承的内径减去测得的最小连杆轴颈的外径，得到连杆轴承与连杆轴颈的最大配合间隙，其正常范围为 0.036~0.095 mm。

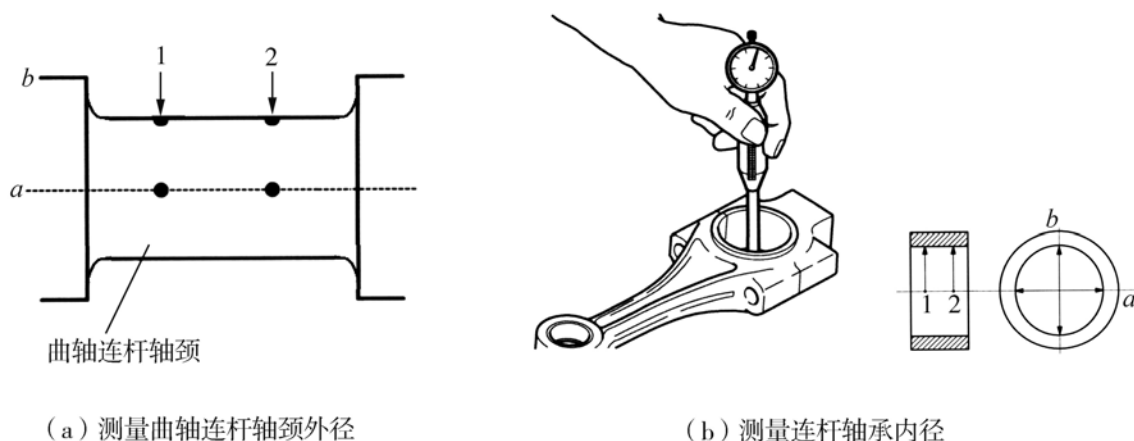


图 2-107 连杆轴承径向间隙测量

三、扭转减振器的构造与检修

(一) 扭转减振器的构造

1. 扭转减振器的功用

扭转减振器的功用就是吸收曲轴扭转振动的能量，消减扭转振动。

知识拓展

发动机等速运转时，由于飞轮的惯性很大，可以认为是等速运转。而各缸气体压力和往复运动件的惯性力是周期变化地作用在曲轴连杆轴颈上，给曲轴一个周期变化的扭转外力，使曲轴发生忽快忽慢地转动。于是可把飞轮看作相对静止件，曲轴的飞轮端看作固定端，另一端看作自由端，在上述周期变化的外力作用下，曲轴相对飞轮发生强迫扭转振动。同时，由于曲轴的弹性及曲柄、平衡重、活塞连杆组等运动件质量的惯性，曲轴要发生自由扭转振动。曲轴上的这两种振动会发生共振，从而引起功率损失、曲轴扭转变形甚至扭断以及正时齿轮产生冲击噪声等不良现象。

2. 扭转减振器的类型和工作原理

常用的扭转减振器有干摩擦式、橡胶式、黏液式（硅油）及橡胶—黏液式等。

(1) 图 2-108 所示。为一种橡胶式扭转减振器。减振器壳、皮带轮和轮毂用螺栓紧固在一起，橡胶层与减振器壳及惯性盘硫化在一起。当曲轴发生扭转振动时，力图保持等速转动的惯性盘与橡胶层发生内摩擦，从而消耗了扭转振动的能量，消减了扭振。

(2) 图 2-109 为硅油式扭转减振器，由钢板冲压而成的减振器壳体与曲轴连接。侧

盖与减振器壳体组成密封腔，其中嵌套着扭转振动惯性质量。惯性质量与密封腔之间留有一定的间隙，里面充满高黏度硅油，当发动机动作时，减振器壳体与曲轴一起旋转、一起振动，惯性质量则被硅油的黏性摩擦阻尼和衬套的摩擦力所带动。由于惯性质量相当大，因此它近似做匀速转动，于是在惯性质量与减振器壳体间产生相对运动。曲轴的振动能量被硅油的内摩擦阻尼吸收，使扭振消除或减轻。

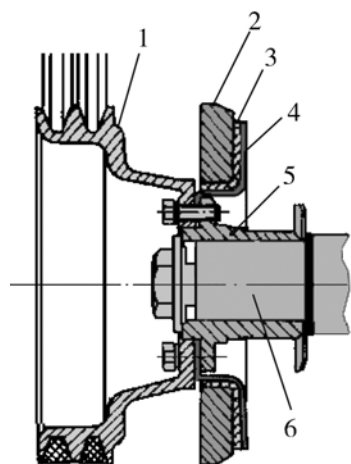
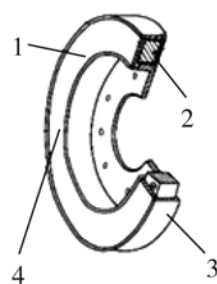
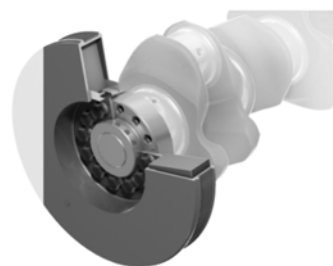


图 2-108 橡胶式扭转减振器

1. 皮带轮；2. 惯性盘；3. 橡胶垫；
4. 减振器壳；5. 皮带轮轮毂；6. 曲轴前端



(a) 结构图



(b) 实物图

图 2-109 硅油式扭转减振器

1. 侧盖；2. 扭转振动惯性质量；
3. 减振器壳体；4. 硅油加注螺塞

(二) 扭转减振器的检修

现代发动机曲轴的前端多数都有扭转减振器，用于减小曲轴的共振倾向和平衡曲轴前、后两端的振动，降低曲轴的疲劳应力。

目前比较普遍使用的是橡胶式扭转减振器。在检查橡胶式扭转减振器时，若发现内环（轮毂）与外环（风扇皮带或平衡盘）之间的橡胶层脱层，内、外环出现相对转动，两者的装配记号（刻线）相错，说明扭转减振器已丧失了工作能力，必须更换。

对于硅油式扭转减振器，可根据减振器惯性质量温度判断其工作情况，如果发动机工作一段时间后，减振器惯性质量的温度却很低，甚至没有温度感觉（减振器工作正常时，其惯性环的温度约 80°C ），即是硅油减振器已失效。这时，某些硅油减振器可卸下硅油加注口的螺塞，添加硅油后再发动检查，如仍然出现上述情况，则应拆下硅油减振器送厂修复或更换。

四、飞轮的构造与检修

(一) 飞轮的构造

飞轮的主要功用是储存做功行程的能量，用以在其他行程中克服阻力完成发动机的工作循环，使曲轴的旋转角速度和输出转矩尽可能均匀，并增强发动机克服短暂超负荷的能力。同时，作为离合器的主动件将发动机的动力传给离合器从动盘；依靠飞轮齿圈可启动发动机；飞轮端面往往还刻有正时标记。

飞轮是一铸铁圆盘，其构造如图 2-110 所示，用螺栓固定于曲轴后端凸缘或后端面

(无凸缘者)上。为了在同样质量下增大转动惯量,飞轮的外缘做得较厚。飞轮外缘镶有齿圈,用以与启动机齿轮啮合。齿圈与飞轮有很大的配合过盈,是将齿圈加热进行镶配的。

飞轮上有第一缸上止点记号(有的刻在前端皮带盘上),不少刻有供油提前角刻度线,以便调整和检验供油提前角和气门间隙。

图 2-111 为一种柴油发动机飞轮上的刻记,在飞轮外缘上刻有一缸上止点记号和供油提前角刻度线。当飞轮上的刻度线 0 与窗口凸缘的边缘对正时,一缸活塞正处于上止点位置;当飞轮上的刻度线 15 对正边缘时,为一缸开始供油的位置。图 2-112 为第一缸上止点记号刻在前端皮带盘上的发动机,在发动机体上固定一刻度盘,当皮带轮上的一缸上止点记号与刻度盘上的 0 刻度线对齐时,一缸活塞正处于上止点位置。

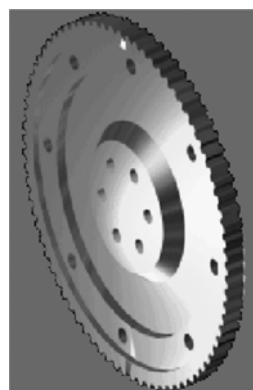


图 2-110 飞轮

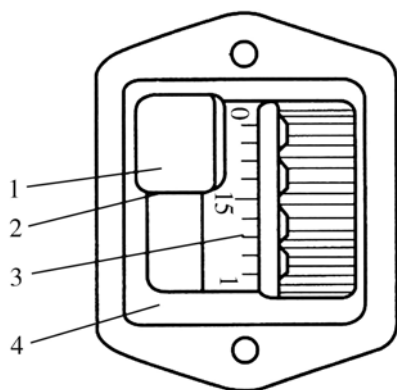


图 2-111 柴油发动机飞轮上的刻记

1. 凸缘; 2. 凸缘边缘; 3. 飞轮上的刻线; 4. 检查窗孔



图 2-112 刻在前端皮带盘上的第一缸上止点记号

由于飞轮与曲轴装配后进行过动平衡校验以及飞轮上有确定上述位置的标记,为避免装错影响动平衡和造成上述记号错乱,飞轮和曲轴的装配都有周向定位装置,如固定螺孔采用不对称布置、两种不同直径的固定螺栓或定位销等。

(二) 飞轮的检修

1. 更换飞轮齿圈

飞轮齿圈有断齿或齿端冲击耗损,与启动机齿轮啮合困难时,应更换齿圈或飞轮组件。齿圈与飞轮过盈配合,更换时先将齿圈加热,进行热压配合。如沃尔沃发动机飞轮齿圈的更换过程如下:

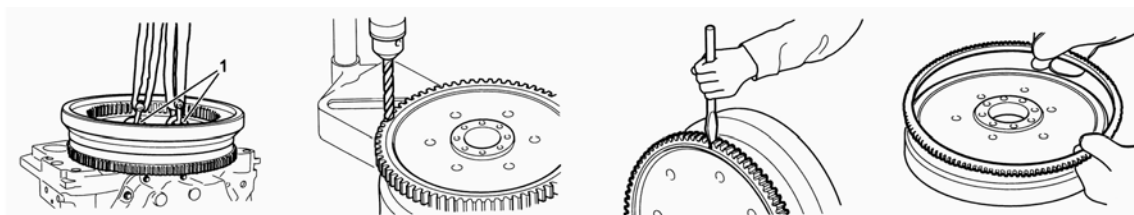
(1) 拆卸飞轮固定螺栓,安装吊耳和吊索,用吊车卸下飞轮,如图 1-113 (a) 所示。

(2) 加热新的飞轮齿圈至 $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。如果采用烤箱加热,应当在拆卸旧齿圈前加热;如果采用乙炔加热,在安装之前加热即可。

(3) 拆卸旧齿圈。用钻头在旧齿圈的两个轮齿之间(即齿槽部位)钻一个直径为 10 mm 深为 9 mm 的孔,如图 2-113 (b) 所示;然后用台虎钳夹持飞轮,用冷凿敲击在飞轮齿圈上所钻的孔,如图 2-113 (c) 所示,直至飞轮齿圈在钻孔处断开,取下旧齿圈。

(4) 安装飞轮齿圈。取出保温箱中加热后或用乙炔加热后的新齿圈,安装到飞轮上,

如图 2-113 (d) 所示。要保证齿圈底部贴住飞轮法兰。



(a) 将飞轮从发动机上拆下来 (b) 在飞轮齿圈上钻孔 (c) 用凿凿开飞轮齿圈 (d) 安装加热后的新齿圈

图 2-113 飞轮齿圈的更换

2. 修理飞轮工作平面

飞轮工作平面有严重烧灼或磨损、沟槽深度大于 0.50 mm 时, 应进行修整。修整后, 工作平面的平面度误差不得大于 0.10 mm; 飞轮厚度极限减薄量为 1 mm; 与曲轴装配后的端面圆跳动误差不得大于 0.15 mm, 还应在平衡机上进行动平衡试验, 允许的动不平衡应符合原厂标准。

习题作业

一、填空题

1. 曲轴的支撑形式有 () 和 () 两种, 一般发动机采用 ()。
2. 曲轴的作用是 ()。
3. 曲轴的曲拐数取决于 () 和 (), 直列式发动机曲轴的曲拐数等于 (); V 形发动机曲轴的曲拐数等于 ()。
4. 曲轴前端装有驱动配气凸轮轴的 (), 驱动风扇和水泵的 ()、止推片等, 有些中小型发动机的曲轴前端还装有 (), 以便必要时用人力转动曲轴。

二、选择题

1. V 形六缸四冲程发动机的做功间隔角为 ()
A. 60° B. 90° C. 120° D. 180°
2. 曲轴 () 的作用是降低曲轴的扭转振动。
A. 平衡重 B. 减振器 C. 飞轮 D. 带轮
3. 直列式四缸发动机的曲轴销的间隔角度是 ()
A. 1-4 与 2-3 各销在同一平面, 并相隔 180°
B. 1-3 与 2-4 各销在同一平面, 并相隔 180°
C. 1-2 与 3-4 各销在同一平面, 并相隔 180°
D. 1、2、3、4 各销在同一平面, 并相隔 90°
4. 曲轴上的平衡重一般设在 ()。
A. 曲轴前端 B. 曲轴后端 C. 曲柄上 D. 曲轴中间
5. V 形发动机曲轴的曲拐数等于 ()
A. 气缸数 B. 气缸数的一半
C. 气缸数的一半加 1 D. 气缸数加 1

三、判断题

1. 直列发动机的全支撑曲轴，其主轴颈数目等于气缸数。 ()
2. 直列发动机曲轴的曲拐数等于气缸数。 ()
3. 飞轮的质量越大，发动机运转的均匀性就越好。 ()
4. 按 1—5—3—6—2—4 顺序工作的发动机，当一缸压缩到上止点时，五缸处于进气行程。 ()
5. 当飞轮上的点火正时记号与飞轮壳上的正时记号刻线对准时，第一缸活塞正好处于压缩行程上止点位置。 ()

第五节 曲柄连杆机构异响诊断

知识目标

掌握曲柄连杆机构异响的类型及现象。

技能目标

能够诊断并排除曲柄连杆机构异响部位。

知识内容

曲柄连杆机构的异响一般是由于某些运动件自然磨损使其间隙过大，润滑不良，紧固不良或修理调整不当等原因引起的。

一、活塞敲缸的异常响声

(一) 现象

活塞敲缸响，是一种与做功次数相一致的敲击声，呈现金属清晰的敲击声。

(二) 原因

由于活塞与气缸壁磨损，配合间隙超过规定限度或因连杆弯扭，使活塞在往复运动换向时摆动，敲击气缸壁而发出响声。机油压力低，或者主轴承上油槽的深度和宽度不够标准而影响气缸壁的飞溅润滑，或润滑不良等也会引起敲缸响声。此外，维护、修理不当，也会造成敲缸响，如维护时连杆轴承选配过紧，会使活塞在运动中摆动而发出响声；修理时活塞座孔过紧，活塞在工作中受热后出现反椭圆，从而使活塞与气缸失去正常配合发出响声，活塞锥度不符合标准和“偏缸”（活塞偏向气缸一侧）也会引起敲缸响。

(三) 诊断

(1) 由于铝合金活塞的热膨胀系数较大，所以柴油机在低温、怠速运转时，从加机油口听，敲缸响声明显而清晰。随着发动机温度的升高或转速升至中速以上，响声会减弱或消失。

(2) 将柴油机异响控制在最明显的转速下，逐缸断火试验，断火后响声减弱或消失，即为该缸敲缸响。此异响内外查听一致，但初试者外听感觉明显。若在启动后的瞬间响声

明显减弱或消失，但随着油膜的流失和烧损，响声又很快出现，即可证明是该缸敲缸响。

(3) 由于连杆钢套和活塞座孔较偏、连杆弯扭、曲轴主轴颈和连杆轴颈的轴线不平行，镗缸时纵向倾斜等引起的敲缸响，一般在柴油机高温高转速时，响声才明显反应出来。断油试验，响声无明显变化。

二、连杆轴承的异常响声

(一) 现象

连杆轴承响，是一种较重而短促的金属敲击声。中速时响声明显，高速时因其他杂音干扰等原因而不明显。

(二) 原因

除配合副的正常磨损外，一般有轴承合金烧蚀、脱落和早期磨损。轴承烧蚀的原因较多，如轴承配合过紧、机油压力过低、润滑油路被堵、柴油超负荷工作、长时间高速空转，寒冷地区冬季不经加温而强行启动并大轰油门等，都会造成轴承烧蚀。轴承合金脱落，多因轴承浇铸质量不高或配合间隙过大，在活塞连杆组惯性力作用下轴承合金破轧而脱落；或在修刮轴承后研磨时，如用杠杆大力转动，使轴承合金的机械结构受到破坏，会造成使用中脱落。

造成轴承早期磨损的原因有轴承和轴颈的加工表面粗糙度不符合要求、轴颈的圆度误差大和润滑油内的机械杂质较多等。此外，连杆轴承盖固定螺钉松动和折断，也是轴承响的一个原因。

(三) 诊断

(1) 在中速或怠速至中速范围内做加减速试验（轻轰油门），轻轰油门有连续的敲击声，响声随转速的升高而变大，随转速的降低而变小。严重时，在柴油机周围可听到响声，声似“达，达达”的声响。

(2) 将转速定在响声明显位置，逐缸断火试验。若某缸断油时，响声随断油立即减弱或消失，供油后，响声又出现而响声强音，强音过后又复原，即为该缸连杆轴承响。此类故障冷启动期间的发响声最大，此时机油还未上来，待发动机运转后声响减弱，当热车和机油稀释时响声再次增大，变速查听显著。轴承间隙很大时，做功时机较早，声音钝实；间隙不是很大时，做功时机较晚，声音较尖锐。所以，发响初期声音小而尖锐，发响后期声音大而重实。

(3) 在油底壳处虚听明显，冷车响声清晰。

(4) 增大发动机负荷时，响声会随着负荷的增大而加剧，但加剧的程度没有曲轴轴承响明显。汽车行驶中，当加速增挡、上陡坡或从泥泞中开出加大油门时，响声亦会变大。

(5) 当轴承合金烧蚀脱落或间隙大到严重程度时，不论任何转速或负荷大小，在发动机周围均可听到响声。

连杆轴承响属于恶性故障，所以当判明连杆轴承发响时应查明具体原因并及时进行排除。尤其当异响发展到在汽车周围能明显听到的程度时，应立即停驶，以防发生连杆捣缸或轴承轴颈烧蚀等事故。

三、曲轴主轴承的异响

(一) 现象

响声较连杆轴承响沉重而发闷，并随柴油机转速的升高而变大，中速向高速过渡时响声最为明显，随负荷的增大而加剧。

(二) 原因

除与连杆轴承响基本相同外，曲轴在修理时由于修磨和保管不当会造成弯曲。因为曲轴有弯曲，所以在修配轴承时为了获得合适的松紧度，配合间隙必然变大。这样在使用中，早期就出现磨损松旷而发响，曲轴轴向间隙过大时也会发响。

(三) 诊断

车辆在大负荷或上坡（停驶车，采用挂挡制动并用来增大发动机的负荷）时，响声明显增大。当轴承合金烧蚀脱落，或者有轴承间隙过大的情况下，提高转速时发动机会抖动。

(1) 把发动机的转速提高到中速以上（大轰油门时），异响随转速的升高而出现或变大，在改变转速的同时，还可从柴油机外部各轴承部位导音听，其响声较强之处即为发响轴承。

(2) 主轴颈的相邻两缸同时断油时，响声会减弱或消失。

(3) 因配合间隙过大而发响时，机油压力会显著下降。

(4) 因曲轴轴向间隙过大而发响，多发生在急剧改变发动机转速的瞬间。

对于曲轴全支撑的发动机，只有个别轴承间隙大时，响声一般不会明显反映出来，当明显反映出来时，说明故障已发展到了一定的程度。曲轴轴承发响严重时，不仅会造成轴颈的烧蚀，甚至会导致曲轴的断裂。因此，一旦确定是曲轴轴承发响后，应及时排除故障。