

项目二：曲柄连杆机构的构造与维修

教 学 准 备			
序号	名 称		内 容
1	学习 目标	知识 目标	熟悉曲柄连杆机构的功用、组成和工作原理；了解修理尺寸法；掌握曲柄连杆机构主要零件的名称、装配位置
		技能 目标	（1）掌握曲柄连杆机构的拆装方法和专用工具的使用方法。 （2）掌握气缸盖平面度、气缸磨损的检修方法。 （3）掌握活塞和活塞环的检测方法，掌握曲轴的弯曲、圆度、圆柱度检测方法。 （4）掌握曲柄连杆机构装配过程中的各项检查
2	教学设计		将学生分成小组，每组 5 人左右，先在实训室进行活塞连杆机构的拆装；再在教室讲述曲柄连杆机构及其相应零部件的结构特点、功用和工作原理；然后在实训室对各零部件进行检测维修；最后教师抽组考核，组长进行组内考核，要求人人过关
3	教学设备		常用拆装工具，专用拆装工具（如活塞环拆装钳、活塞销拆装工具），加热装置，连杆校验仪，千分尺，量缸表，带磁性底座的百分表，塞尺，直尺，弹簧秤，V 形铁，发动机总成，气缸体，曲轴，活塞连杆组等

2.1 实 操 指 导

2.1.1 连杆组检修

1. 分解活塞连杆组

- （1）用活塞环钳拆卸活塞环。
- （2）拆卸活塞销卡簧。
- （3）将活塞加热到 60℃，使用专用工具 VW221a 拆卸活塞销。

2. 连杆变形的检测

- （1）检查连杆大小端孔有无损伤。取下连杆轴承，清洗干净大头内孔，将轴承盖装在连杆体上，并按标准力矩拧紧连杆螺栓。
- （2）依照连杆小头孔径选取标准心轴，穿入连杆小头孔内，或使用符合尺寸的活塞销代替。
- （3）将连杆大头装在检验器的横轴上，使定心块向外扩张，将连杆固定在检验器上。
- （4）将三点规的 V 形块跨放在连杆小端的心轴或活塞销上，轻轻移动使测点

接触平板。观察测点与平板的接触情况，并用塞尺测量其间隙。弯曲度的测量如图 2-1a) 所示。扭曲度的测量如图 2-1b) 所示。

汽车修理技术标准规定，连杆在 100 mm 长度上弯曲值不大于 0.03 mm，扭曲度值不大于 0.06 mm，超过许用数值应进行校正或更换。校正时，应先校正扭曲变形，如图 2-1c) 所示，再校正弯曲变形，如图 2-1d) 所示。随着零配件产业的发展，连杆的生产成本不断降低，因此，维修企业和车主直接采用新的连杆配件，而不再使用校正过的连杆，这样更节约劳动力成本和时间，同时有效地保证了维修质量。在更换新的连杆配件时，应该保证新旧连杆的质量误差不得超过 5 g，否则会影响其运动的平衡。

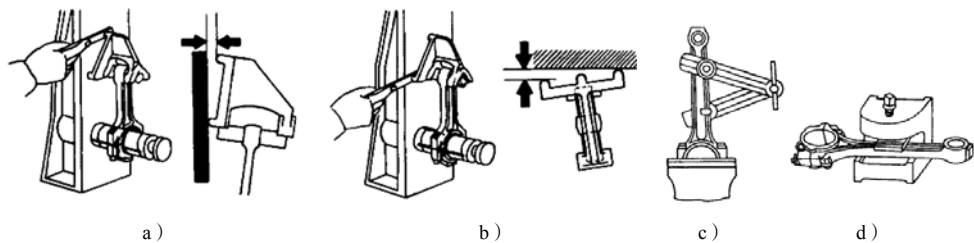


图 2-1 连杆的检验与校正

2.1.2 活塞的选择、分级修理

1. 测量活塞直径

活塞直径测量的部位如图 2-2 所示。用外径千分尺从活塞裙部底边向上约 10 mm 处测量活塞的横向直径，并分别记录下每个活塞的直径。当发现某一个活塞的尺寸比标准值小 0.1 mm 时，需要整组更换。

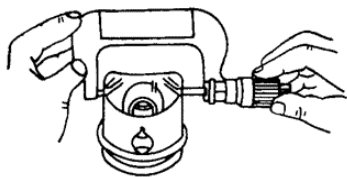


图 2-2 测量活塞直径

2. 测量活塞的质量

用弹簧秤称出每个活塞的质量，并记录下来。

3. 活塞的分组

一台发动机上使用活塞的材质、性能、质量、尺寸应一致，同一组活塞的直径差不能大于 0.025 mm，质量的差别不能超过 3%。

4. 活塞的选配

发动机大修或更换气缸（或气缸套）时，应同时更换全部活塞。活塞的选配应采用气缸的修理尺寸法来决定。加大用“+”号表示，刻在活塞顶上，以供识别。活塞的修理尺寸可以逐级或越级选配。

修理尺寸法：我国规定汽车零件有六级修理尺寸，在原标准尺寸的基础上，直径每加大（或减小）0.25 mm 为一级。加大的活塞是非标准件，现代配件生产

企业大多已不生产，而是用非标准件取代加大的活塞。

2.1.3 活塞环的装配

1. 活塞环的选配

活塞环的选配应按照气缸的修理尺寸法，选配与气缸、活塞相适应的同级活塞环。

2. 活塞环的检验

(1) 活塞环弹性的检验。如图 2-3 所示，将活塞环放在检验器的凹槽里，环的开口向外。将杠杆压在活塞环上，移动杠杆上的重锤，将活塞环的开口间隙压至所规定的尺寸，荷重应符合技术标准。

(2) 活塞环漏光的检验。如图 2-4 所示，将活塞环平放在已镗好的气缸内，用活塞顶部推平活塞环。在活塞环上盖一个比气缸略小的硬纸板做成的遮光板，在气缸下部放置灯光照明，观察活塞环外圆与气缸壁之间是否漏光。漏光度的技术要求：开口处左右对应的圆心角 30° 范围内不允许漏光；同一活塞环上漏光不应多于两处；每处漏光弧长所对应的圆心角不得超过 25° ；同一活塞环上漏光弧长所对应的圆心角总和不得超过 45° ；漏光缝隙不得大于 0.03 mm 。

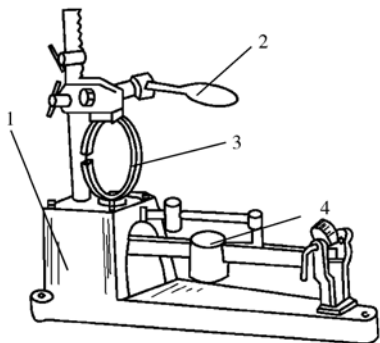


图 2-3 活塞环弹性的检验

1—检验仪；2—手柄；3—活塞环；4—重锤

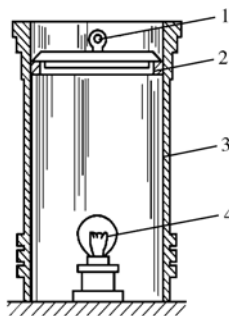


图 2-4 活塞环漏光的检验

1—遮光板；2—活塞环；3—气缸；4—灯泡

(3) 活塞环装配间隙的检验。①端隙的测量。如图 2-5 所示，在活塞顶部将活塞环从气缸体上端压入气缸，距气缸边缘大约 15 mm ，用塞尺测量活塞环的开口间隙。桑塔纳 2000 发动机气环标准端隙为 $0.20 \sim 0.40\text{ mm}$ ，磨损极限值为 0.50 mm 。刮油环标准端隙为 $0.25 \sim 0.50\text{ mm}$ ，磨损极限值为 0.50 mm 。②背隙的测量。将环放入相应环槽并按到底，用深度游标卡尺测出活塞环沉入环岸的数值，即为背隙，该值一般为 $0.35 \sim 0.50\text{ mm}$ 。③侧隙的测量。如图 2-6 所示，把活塞环放在各自的环槽内，围绕环槽滚行一周，应能自由滚动，同时用塞尺按规定测量其间隙的大小。桑塔纳 2000GSi 发动机气环标准侧隙为 $0.06 \sim 0.09\text{ mm}$ ，磨损极

限值为 0.20 mm。刮油环标准侧隙为 0.03 ~ 0.06 mm，磨损极限值为 0.15 mm。



图 2-5 活塞环端隙的测量

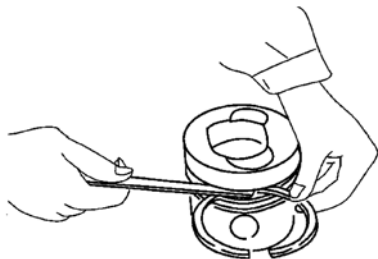


图 2-6 活塞环侧隙的测量

3. 活塞环的装配

活塞环的装配应按从油环到气环的顺序由下往上逐环装配。

(1) 三片式油环的装配。首先将衬簧装入活塞环槽内，再装刮片。其次，由于刮片分为上、下片，装配时先将刮片一端装入活塞环槽内，再用手指将剩余部分慢慢地压入槽内。上刮片的开口位于衬簧末端左边 25 ~ 30 mm 处，下刮片的开口位于衬簧末端右边 25 ~ 30 mm 处。必须注意的是，不能用活塞环钳装刮片。

(2) 气环的装配。气环的装配应使用活塞环钳。安装气环时，一般把有尺寸标记的一面向上。安装时必须注意以下几点：第一，活塞环构造形状和倒角的方向不可装反，如果是扭曲环，一般按照“内切口向上、外切口向下”的原则安装。第二，各环口位置应尽量错开分布，避免因端口重叠造成漏气、窜油。第三，各环口位置应偏离活塞销 45°以上。一般要求第一道环的开口不得放在工作面上，而要放在非工作面上，第二道环的开口与第一道环的开口要错开 180°，第三道环的开口与第二道环的开口又要错开 180°，以此类推。

2.1.4 曲轴的维修

曲轴常见的损伤有轴颈磨损、裂纹和弯曲变形。

1. 曲轴裂纹的检修

曲轴的裂纹多产生在曲柄臂与轴颈的过渡圆角处和油孔处，曲轴裂纹可用渗油敲击法检查，具体做法是：将清洗干净的曲轴放在煤油中浸泡，再把曲轴取出擦干净，在容易产生裂纹的表面撒上白粉，然后用手锤沿轴向敲击曲轴非工作表面，当白粉上面有明显裂纹状油迹出现时，就说明该处有裂纹。此外，曲轴裂纹还可用磁力探伤法检查。

曲轴轴颈圆角处的裂纹属于横向裂纹，使用中在载荷的反复作用下会逐渐扩大，导致曲轴断裂，所以有横向裂纹的曲轴绝对不能使用，应予以报废。油孔周围的裂纹属于纵向裂纹，在使用过程中也会逐渐扩大，对于纵向裂纹中微小的短

线裂纹可以通过磨削消除，其余部位长的裂纹则应予以修复。

2. 曲轴轴颈磨损的检修

用外径千分尺测量轴颈的圆度和圆柱度误差。每一个轴颈选取两处截面，每一个截面分别在水平及垂直方向测量一次，记录并计算出各道轴颈的圆度和圆柱度误差（如图 2-7 所示）。桑塔纳 JV 发动机轴颈的圆度和圆柱度误差不超过 0.02 mm，EQ6100 发动机不超过 0.025 mm。

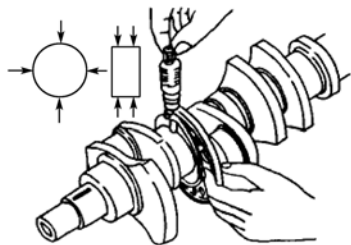


图 2-7 曲轴轴颈磨损的测量

曲轴轴颈磨损超过限度后，可采取磨削轴颈的方法予以修复。

3. 曲轴弯曲度的检查

将曲轴的两端放在检验平板的 V 形架上，以前后端未发生磨损的部分为基面，校对中心水平后，用百分表进行测量，如图 2-8a) 所示。然后将百分表的量头对准曲轴中间的主轴颈，注意应选择油孔两边未磨损的部位来测量，以免影响测量结果。转动曲轴，检查曲轴中间主轴颈径向圆跳动，一般要求中型货车不大于 0.15 mm，轿车不大于 0.06 mm。

曲轴弯曲度超过允许极限时，通常采用冷压校正法进行校正，如图 2-8b) 所示。但现在修理厂大多采用更换新曲轴的方法，这样既省时又可以保证质量。

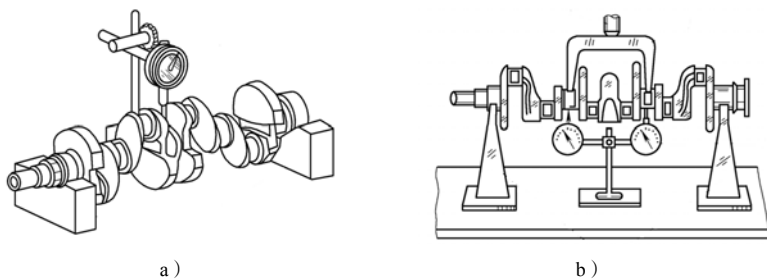


图 2-8 曲轴弯曲度的测量与校正

4. 检查曲轴轴承径向间隙

轴承与轴颈间的间隙，称为径向间隙，东风 EQ6100-1 型发动机曲轴轴承径向间隙为 0.04 ~ 0.11 mm，使用极限为 0.20 mm；桑塔纳发动机曲轴轴向间隙为 0.01 ~ 0.04 mm，使用极限为 0.15 mm。每个车型的轴承间隙都有其标准值，一般小车取 0.03 ~ 0.06 mm，大车取 0.05 ~ 0.08 mm。超过使用极限则需更换曲轴轴承。检查方法有如下两种：

(1) 将轴承盖螺栓按规定力矩拧紧后，用内径千分尺和外径千分尺分别测量轴颈的外径和轴承的内径，测得的这两个尺寸的差，就是它们之间的间隙。

(2) 在轴颈与轴承间, 放一块比轴承标准间隙约大两倍的软铅片, 按规定扭力拧紧轴承盖, 然后卸下轴承盖, 取出铅片, 用千分尺测其厚度, 这个厚度就是该轴承与轴颈的径向间隙。

5. 检查曲轴轴向间隙

曲轴轴向间隙是指止推轴承端面与轴颈定位肩之间的间隙。东风 EQ6100-1 型发动机曲轴轴向间隙为 0.47 mm, 使用极限为 0.50 mm。桑塔纳发动机曲轴轴向间隙为 0.05 ~ 0.18 mm, 磨损极限为 0.25 mm。

检查曲轴轴向间隙时, 将百分表的磁性底座吸附在缸体平整之处, 百分表的触头抵在曲轴端面并预留压缩量, 用撬棍将曲轴撬向后端, 然后将百分表调零, 再用撬棍将曲轴向前撬到底, 此时百分表的读数即为曲轴轴向间隙, 如图 2-9 所示。如果是铝合金缸体, 可将百分表的底座吸附在曲轴端面上, 将触头抵在缸体端面。若轴向间隙超过标准, 则须更换止推轴承。

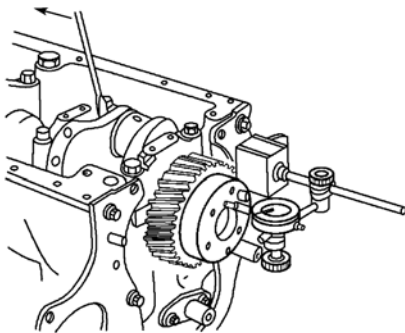


图 2-9 曲轴轴向间隙的测量

6. 曲轴磨损的修理尺寸法

曲轴磨损后可采用修理尺寸法。例如, 某车发动机主轴直径标准值为 $\phi 68$ mm, 测量出轴颈磨损量最大为 0.21 mm, 考虑到轴颈的加工余量最小值为 0.05 mm, 两者之和为 0.26 mm, 该值已经超过修理尺寸法规定的 0.25 mm 这一级别, 因此往后一级, 应采用的修理等级为 0.5 mm 的这一级别, 即加工后的主轴直径应为 $\phi(68-0.5)=\phi 67.5$ mm。

2.1.5 飞轮的维修

1. 飞轮跳动量的检修

(1) 飞轮端面圆跳动量的检测。将曲轴和飞轮放回缸体轴承座内, 将百分表固定在气缸体上, 百分表触头靠在飞轮光滑的端面上, 旋转表盘, 使指针指向 0, 转动飞轮一圈, 百分表的读数差除以百分表触头至飞轮旋转中心距离的 2 倍, 即为端面圆跳动量, 每米一般不大于 0.20 mm, 如图 2-10 所示。

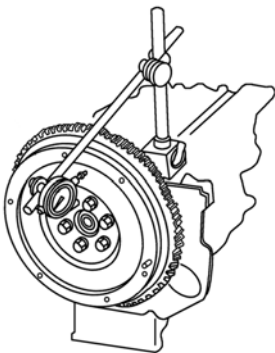


图 2-10 飞轮端面圆跳动量的检测

(2) 飞轮径向圆跳动量的检查。将图 2-10 中百分表的触头靠在飞轮的光滑外圆上, 旋转表盘, 使指针指向 0, 转动飞轮一圈, 百分表的读数差即为径向圆跳动量, 一般不大于 0.15 mm。

(3) 飞轮跳动量的修整。飞轮跳动量超过允许限度时, 可以在曲轴飞轮突缘盘与飞轮之间加减垫片予以调整。

2. 飞轮工作面的检修

飞轮工作面磨损或形成波浪形槽, 可用油石磨平, 深度超过 0.5 mm 时或平面度误差大于 0.15 mm 时, 应车削或磨削加工。飞轮加工后, 其厚度一般不得少于原来尺寸 1.2 mm。

3. 飞轮齿圈的检修

(1) 齿圈的修整。齿圈若单面磨损, 可将齿圈翻边继续使用。现代维修行业一般都是采用更换新件的方法。

(2) 齿圈的拆装。可在外围以多点敲击方式进行。注意拆卸应在齿圈完全冷态下进行。齿圈与飞轮的装配是热压配合, 过盈量为 0.25 ~ 0.64 mm。装配时, 将已加工好的齿圈加热到 300 ~ 350℃, 热套飞轮外圆的突缘上即可。安装时, 齿圈上齿轮齿有倒角的一侧应对准启动机齿轮一侧。

2.1.6 气缸体的检修

1. 气缸体的清理和检查

彻底清理气缸体上下平面及内外油污、积炭和水垢后, 检查是否有裂纹、刮痕、生锈和腐蚀现象。有必要对水道进行试漏。

2. 测量气缸磨损

(1) 组装并校正量缸表。①组装量缸表, 根据气缸直径选择合适的测杆旋在表杆的下端, 将百分表从垂直于测量杆的方向插入表杆上端, 待百分表大指针开始摆动时将其锁紧。②校正量缸表, 将千分尺调至气缸的标准尺寸, 量缸表下端

两测头放入千分尺的两砧座之间，旋转测杆，当百分表小指针指向 2 附近时，锁紧测杆的锁紧螺母，转动表盘使大指针指零，再将量缸表下端两测头放入千分尺的两砧座之间复核大指针是否指零，确认后锁紧表盘固定螺母。

(2) 测量气缸直径。在气缸上、中、下 3 个位置上分别进行横 (A) 向和纵 (B) 向测量，如图 2-11a) 所示。测量时应摆动量缸表，找出表针摆动的“拐点”，此拐点即为测杆与气缸轴线垂直的位置，此时指针指示的最小值即为正确的气缸直径，如图 2-11b) 所示。大指针逆时针方向偏离 0，表示所测气缸直径比标准尺寸大，记作“+”；大指针顺时针方向偏离 0，表示所测气缸直径比标准尺寸小，记作“-”。逐一测量所有气缸，并记录测得的数值。

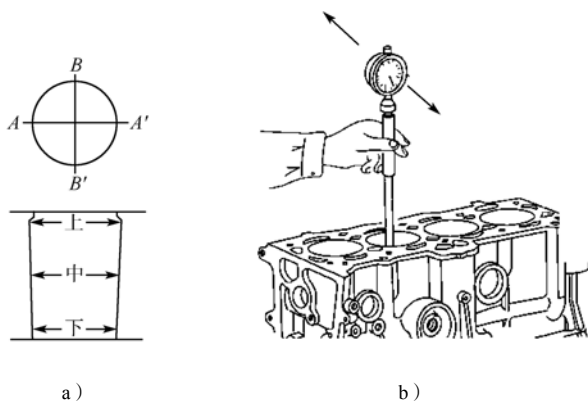


图 2-11 气缸磨损的测量

(3) 圆度与圆柱度的计算。圆度误差为同一断面上不同方向最大与最小直径差值之半；圆柱度误差为被测轴孔在任一方向上最大与最小直径差值之半。桑塔纳 JV 发动机气缸标准直径 81.00 ~ 81.01 mm，直径磨损极限 0.09 mm，圆度 0.11 mm，圆柱度 0.11 mm，超过以上极限值就应修理。若无具体车型数据，则可按一般标准来判断，即汽油机气缸的圆度误差超过 0.05 mm，圆柱度误差超过 0.10 mm，柴油机的圆度误差超过 0.05 mm，圆柱度误差超过 0.15 mm，就应修理。

测量气缸磨损也可就车进行。方法是：拆下气缸盖，摇转曲轴使待测气缸的活塞处于下止点，即可将量缸表放入气缸进行测量。一般修理厂采用镗缸后镶入新缸套，更换新的标准活塞，通过镗磨加工使汽缸与活塞的装配间隙为 0.03 ~ 0.1 mm (汽油机)。

3. 曲轴主轴承的检修

主轴承磨损后圆度、圆柱度的检查通常采用内径百分表检验座孔的圆度及圆柱度，如图 2-12 所示。对于铸铁缸体，圆度、圆柱度应不大于 0.01 mm，对于铝合金缸体，圆度、圆柱度误差均应不大于 0.015 mm。

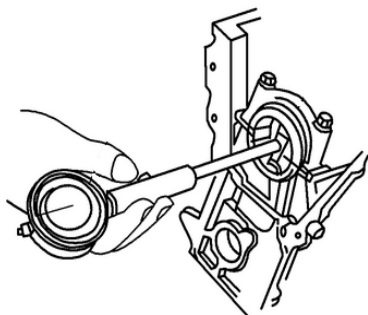


图 2-12 曲轴主轴承的检测

若主轴承磨损后的圆度、圆柱度超过使用标准值，则应根据对应的曲轴轴颈尺寸，按修理尺寸法统一更换新的轴瓦。

2.1.7 气缸盖的检修

1. 准备工作

将气缸盖从发动机上拆卸下来，然后进行下面的操作。

2. 气缸盖的检修

(1) 气缸盖的清理。用钢丝刷清理燃烧室内所有积炭，用软性刷或铲刀和溶剂铲刮气缸盖表面，而各气门导管可用气门导管软刷和溶剂清理，然后再清理水套的水垢。注意不要损坏机件和表面。

(2) 气缸盖平面的检测。气缸盖平面翘曲可用直尺和塞尺测量。如图 2-13 所示，将气缸盖倒放，在 6 个标线方位上进行测量，塞入塞尺的最大厚度值就是变形量，即平面误差。气缸盖平面度最大不应超过 0.05 mm。

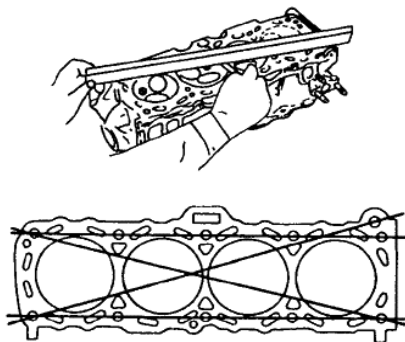


图 2-13 气缸盖平面的检测

(3) 气缸盖平面的修理。气缸盖平面度超过允许误差值会引起发动机漏水、漏气甚至冲坏气缸的衬垫。其修理方法如下：①局部不平用刮研法修平；②较大

不平可用磨削修平。气缸盖经磨削后，燃烧室容积会减小，压缩比变大，因此磨削的最大加工量应不超过 0.5 mm。

3. 安装气缸垫和气缸盖

按照与拆卸相反的顺序安装气缸盖，但必须注意以下几点：

(1) 在安装气缸盖之前，要将曲轴转动到第一缸的上止点位置。

(2) 安装气缸垫时，有标号（配件号）的一面必须向上。

(3) 按照图 2-14 所示的顺序以规定的力矩分 3 次拧紧气缸盖螺栓。

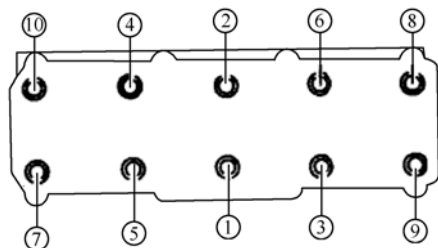


图 2-14 拧紧气缸盖螺栓的顺序

2.2 相关知识

曲柄连杆机构是内燃机实现工作循环、完成能量转换的传动机构，用来传递力和改变运动方式。工作中，曲柄连杆机构在做功行程中把活塞的往复运动转变成曲轴的旋转运动，对外输出动力，而在其他 3 个行程，即进气、压缩、排气行程中又把曲轴的旋转运动转变成活塞的往复直线运动。总之，曲柄连杆机构的功用是把燃气作用在活塞顶面上的压力转变为曲轴转矩，向工作机械输出机械能。

曲柄连杆机构由活塞连杆组、曲轴飞轮组和机体组三部分组成。曲柄连杆机构的主要零件如图 2-15 所示。

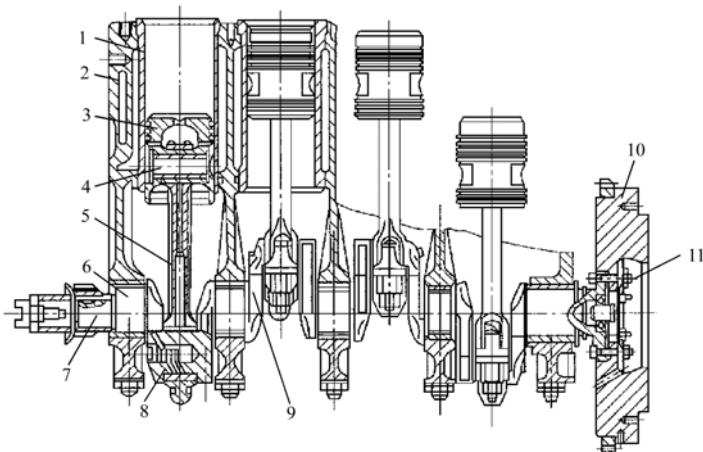


图 2-15 曲柄连杆机构

1—气缸套；2—气缸体；3—活塞；4—活塞销；5—连杆；6—曲轴主轴颈；
7—曲轴；8—连杆轴颈；9—曲柄；10—飞轮；11—飞轮连接螺栓

2.2.1 活塞连杆组的构造与功用

活塞连杆组由活塞、活塞环、活塞销、连杆、连杆轴承等组成，如图 2-16 所示。

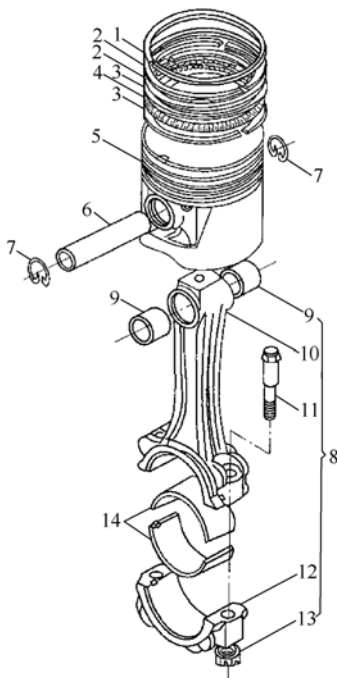


图 2-16 活塞连杆组

- 1、2—活塞环；3—油环刮片；4—油环衬簧；5—活塞；
6—活塞销；7—活塞销卡簧；8—连杆组；9—连杆衬套；
10—连杆；11—连杆螺栓；12—连杆盖；13—连杆螺母；14—连杆轴承

1. 活塞的工作条件

活塞在高温、高压、高速、润滑不良的条件下工作。活塞直接与高温气体接触，瞬时温度可达 2500 K 以上，受热严重，而散热条件又很差，所以活塞工作时温度很高，顶部高达 600 ~ 700 K，且温度分布很不均匀；活塞顶部承受的气体压力很大，特别是做功行程中压力最大，汽油机高达 3 ~ 5 MPa，柴油机高达 6 ~ 9 MPa，这就使得活塞产生冲击，并承受侧压力的作用；活塞在气缸内以很快的速度（8 ~ 12 m/s）往复运动，且速度在不断地变化，这就产生了很大的惯性力，使活塞受到很大的附加载荷。活塞在这种恶劣的条件下工作，会产生形变并加速磨损，还会产生附加载荷和热应力，同时还受到燃气的化学腐蚀作用，因此对活塞有如下要求：

- (1) 要有足够的刚度和强度，传力可靠。
- (2) 导热性好，耐高压、耐高温、耐磨损。
- (3) 质量小，重量轻，尽可能减小往复惯性力。

铝合金材料基本上能满足上面的要求，因此，活塞一般都采用高强度铝合金制成，但在一些低速柴油机中采用高级铸铁或耐热钢。

2. 活塞的结构

活塞可分为三部分，活塞顶部、活塞环槽部和活塞裙部，如图 2-17 所示。

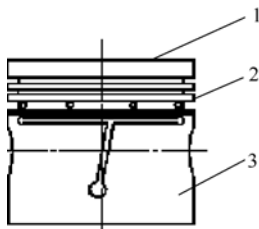


图 2-17 活塞构造图

1—活塞顶部；2—活塞环槽部；3—活塞裙部

(1) 活塞顶部。如图 2-18 所示，活塞顶部承受气体压力，它是燃烧室的组成部分，其形状、位置、大小都和燃烧室的具体形式有关，都是为满足可燃混合气形成和燃烧的要求，其顶部形状可分为三大类：平顶活塞、凸顶活塞、凹顶活塞。平顶活塞顶部是一个平面，结构简单，制造容易，受热面积小，顶部应力分布较为均匀。四冲程汽油机常使用平顶活塞，如图 2-18a) 所示。凹顶活塞顶部呈凹陷形，凹坑的形状和位置必须有利于可燃混合气的燃烧。四冲程柴油机常采用凹顶活塞，如图 2-18b) 所示。凸顶活塞顶部凸起呈球顶形，其顶部强度高，起导向作用，有利于改善换气过程。二冲程汽油机常采用凸顶活塞，如图 2-18c) 所示。活塞顶部吸收的热量大部分（70%~80%）通过活塞环传给气缸壁，再由冷却水吸收。

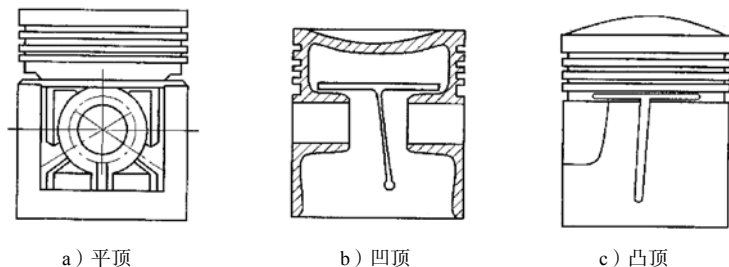


图 2-18 活塞顶部的形状

- (2) 活塞环槽部。活塞环槽部是指活塞环槽以上的部分。它有数道环槽，用

以安装活塞环，起密封作用。柴油机压缩比高，一般有 4 道环槽，上部 3 道安装气环，下部一道安装油环。汽油机一般有 3 道环槽，其中有两道气环槽和一道油环槽，在油环槽底面上钻有许多径向小孔，使被油环从气缸壁上刮下的机油经过这些小孔流回油底壳。

(3) 活塞裙部。活塞裙部是指从油环槽下端以下的部分。它包括装活塞销的销座孔。活塞裙部对活塞在气缸内的往复运动起导向作用，并承受侧压力。裙部的长短取决于侧压力的大小和活塞直径。所谓侧压力是指在压缩行程和做功行程中，作用在活塞顶部的气体压力的水平分力使活塞压向气缸壁。压缩行程和做功行程气体的侧压力方向正好相反，由于做功压力大大高于压缩压力，因此，做功行程中的侧压力也大大高于压缩行程中的侧压力。活塞裙部承受侧压力的两个侧面称为推力面，它们处于与活塞销轴线相垂直的方向上。

3. 活塞的结构特点

(1) 为了使裙部两侧承受气体压力并与气缸保持小而安全的间隙，要求活塞在工作时具有正确的圆柱形。但是，由于活塞裙部的厚度很不均匀，活塞销座孔部分的金属厚，受热膨胀量大，因此沿活塞销座轴线方向的变形量大于其他方向，如图 2-19a) 所示。另外，裙部承受气体侧压力的作用，导致沿活塞销轴向变形量较垂直活塞销方向大，如图 2-19b) 所示。这样，如果活塞冷态时裙部为圆形，那么工作时活塞就会变成一个椭圆，使活塞在气缸内卡住，造成发动机就无法正常工作。因此，在加工时预先把活塞裙部做成椭圆形状，椭圆的长轴与销座垂直，短轴沿销座方向，如图 2-19c) 所示，这样活塞工作时将近正圆。

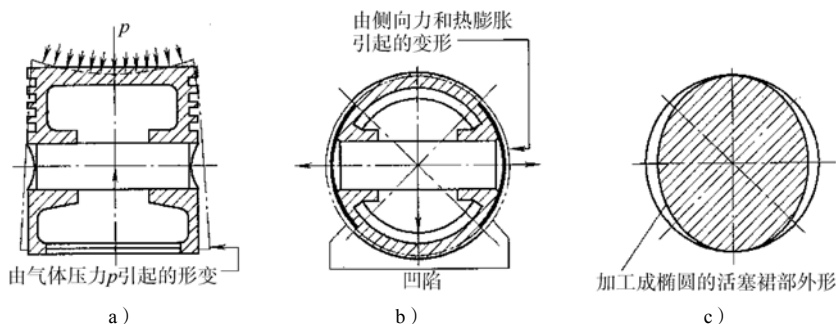


图 2-19 活塞裙部的变形

(2) 活塞沿高度方向的温度很不均匀，活塞的温度是上部高、下部低，膨胀量也相应是上部大、下部小。为了使活塞工作时上下直径趋于相等，即为圆柱形，就必须预先把活塞制成上小下大的阶梯形或锥形。

(3) 为了减小活塞裙部的受热量，通常在裙部开横向的隔热槽，为了补偿裙部受热后的变形量，裙部也开有纵向的膨胀槽，如图 2-20 所示。横槽一般开在最

下一道环槽的下面、裙部上边缘销座的两侧（也有开在油环槽之中的），以减小头部热量向裙部传递，故称为隔热槽。竖槽会使裙部具有一定的弹性，从而使活塞装配时与气缸间具有尽可能小的间隙，而在热态时又具有补偿作用，不致造成活塞在气缸中卡死，故将竖槽称为膨胀槽。柴油机因活塞受力大，裙部一般不开槽。

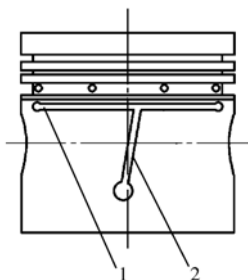


图 2-20 切槽式弹性裙部活塞

1—隔热槽；2—膨胀槽

（4）有些活塞为了减轻重量，在裙部开孔或把裙部不受侧压力的两边切去一部分，以减小惯性力，减小销座附近的热变形量，形成拖板式活塞或短活塞，如图 2-21 所示。拖板式结构裙部弹性好，质量小，活塞与气缸的配合间隙较小，适用于高速发动机。

（5）为了减小铝合金活塞裙部的热膨胀量，有些汽油机活塞在裙部或销座内嵌入恒范钢片，如图 2-22 所示。恒范钢为含镍 33%~36% 的低碳铁镍合金，其膨胀系数仅为铝合金的 1/10，而销座通过恒范钢片与裙部相连，牵制了裙部的热膨胀变形量。

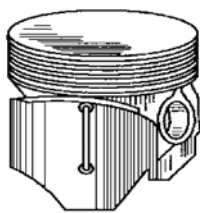


图 2-21 拖板式活塞

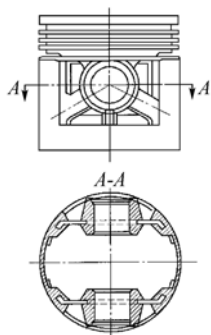


图 2-22 恒范钢片活塞

（6）有的汽油机中，活塞销孔中心线是偏离活塞中心线平面的，向做功行程中受主侧压力的一方偏移了 1~2 mm，如图 2-23 所示。这种结构可使活塞在从压缩行程到做功行程的过程中较为柔和地从压向气缸的一面过渡到压向气缸的另一

面，以减小敲缸的声音。在安装时，这种活塞销偏置的方向不能装反，否则换向敲击力会增大，使裙部受损。

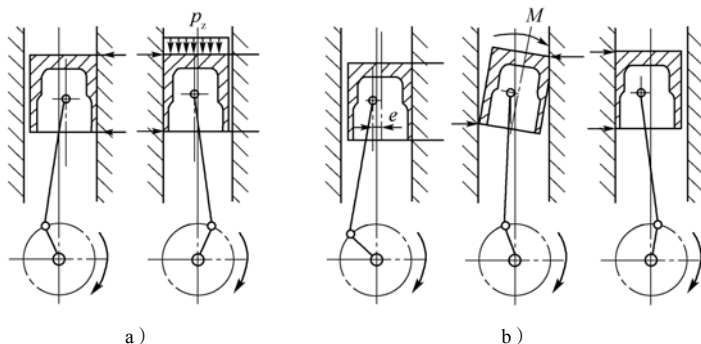


图 2-23 活塞销偏置

4. 活塞环

活塞环是具有弹性的开口环，有气环和油环之分，如图 2-24 所示。气环的作用是保证气缸与活塞间的密封性，防止漏气，并且要把活塞顶部吸收的大部分热量传给气缸壁。油环起布油和刮油的作用，刮除气缸壁上多余的机油，并在气缸壁上铺涂一层均匀的油膜，这样既可以防止机油窜入气缸被燃烧掉，又可以减少活塞、活塞环与气缸壁之间的摩擦阻力。

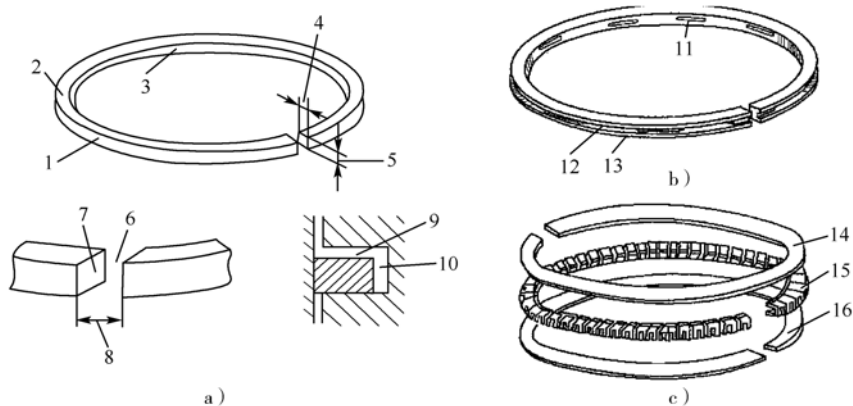


图 2-24 活塞环

1—外圆面；2—侧面；3—内圆面；4—径向厚度；5—环高；6—开口；7—开口端面；8—端隙；9—侧隙；10—背隙；11—回油孔；12—上刮油唇；13—下刮油唇；14—上刮片；15—衬簧；16—下刮片

活塞环向来是发动机上使用寿命最短的零件因为活塞环在高温、高压、高速和润滑极其困难的条件下工作，尤其是第一道环。另外，气缸壁磨损后造成的锥度和椭圆度，使活塞环随活塞往复运动时，沿径向会产生一张一缩运动，使环受

到交变应力而容易折断。因此,要求活塞环强度高,耐磨损,弹性好。目前广泛采用的活塞环材料是合金铸铁(在优质灰铸铁中加入少量铜、铬、钼等合金元素),第一道环镀铬,其余环一般镀锡或磷化。

1) 气环

气环开有切口,具有弹性,在自由状态下外径大于气缸直径,它与活塞一起装入气缸后,外表面紧贴在气缸壁上,形成第一密封面,被封闭的气体不能通过环周与气缸之间,便进入了环与环槽的空隙,一方面把环压到环槽端面形成第二密封面,同时,作用在环背的气体压力又大大加强了第一密封面的密封作用,如图 2-25 所示。

气环断面的形状很多,最常见的有矩形环、锥面环、扭曲环、梯形环和桶面环,如图 2-26 所示。

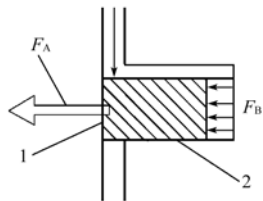


图 2-25 气环的密封原理

1—第一密封面;
2—第二密封面 F_A —环的自身弹力; F_B —背压力

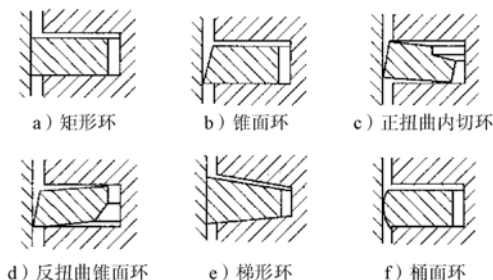
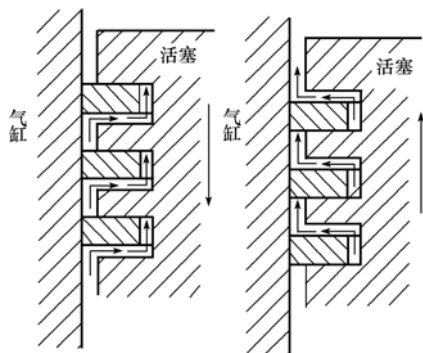


图 2-26 气环的断面形状

(1) 矩形环。其断面为矩形,结构简单,制造方便,易于生产,应用最广。但是矩形环随活塞往复运动时,会把气缸壁面上的机油不断送入气缸中。这种现象称为“气环的泵油作用”,如图 2-27 所示。活塞下行时,由于环与气缸壁的摩擦阻力及环的惯性,环被压靠在环槽的上端面上,气缸壁面上的油被刮入下边隙和内边隙;活塞上行时,环又被压靠在环槽的下端面。结果第一道环背隙里的机油就进入燃烧室,窜入燃烧室的机油,会在燃烧室内形成积炭,造成机油的消耗量增加,另外,上窜的机油也有可能环槽内形成积炭,使环在环槽内卡死而失去密封作用,划伤气缸壁,甚至使环折断。为了消除或减少有害的泵油作用,除了在气环的下面装有油环(图 2-28)外,还广泛采用了非矩形断面的扭曲环。

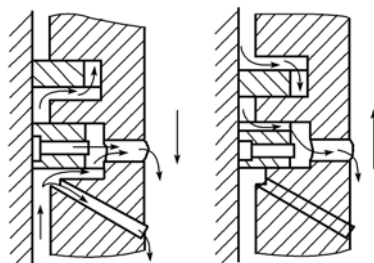
(2) 锥面环。断面呈锥形,在外圆工作面上加工出一个很小的锥面($0.5^\circ \sim 1.5^\circ$),减小了环与气缸壁的接触面,提高了表面接触压力,有利于磨合和密封。活塞下行时,便于刮油;活塞上行时,由于锥面的“油楔”作用,能在油膜上“飘浮”过去,减小磨损,但要注意,安装时不能装反,否则会引起机油上窜。



a) 活塞下行

b) 活塞上行

图 2-27 矩形环的泵油作用



a) 活塞下行

b) 活塞上行

图 2-28 油环的刮油作用

(3) 扭曲环。扭曲环是在矩形环的内圆上边缘或外圆下边缘切去一部分，使断面呈不对称形状，在环的内圆部分切槽或倒角的称内切环，在环的外圆部分切槽或倒角的称外切环。装入汽缸后，由于断面不对称，产生不平衡力的作用，使活塞环发生扭曲变形。活塞上行时，扭曲环在残余油膜上滑动，可以减小摩擦，减小磨损。活塞下行时，则有向下刮油的效果。同时，由于扭曲环在环槽中上下跳动的行程缩短，因此可以减轻“泵油”现象。扭曲环目前被广泛地应用于第 2 道活塞环槽上，安装时必须注意断面的形状和方向，内切口朝上，外切口朝下，不能装反。

(4) 梯形环。其断面呈梯形，工作时，梯形环在压缩行程和做功行程随着活塞受侧压力的方向不同而不断地改变位置，这样会把沉积在环槽中的积炭挤出去，避免了环因被粘在环槽中而折断，可以延长环的使用寿命。但是其主要缺点是加工困难，精度要求高。

(5) 桶面环。桶面环的外圆为凸圆弧形，是近年来兴起的一种新型结构。当桶面环上下运动时，均能与气缸壁形成楔形空间，使机油容易进入摩擦面，减小磨损。由于它与气缸呈圆弧接触，故对气缸表面的适应性和对活塞偏摆的适应性均较好，有利于密封，但凸圆弧表面加工较困难。

2) 油环

油环有普通油环和组合油环两种，如图 2-29 所示。

(1) 普通油环。普通油环又称整体式油环，环的外圆柱面中间加工有凹槽，槽中钻有小孔或开切槽，当活塞向下运动时，将缸壁上多余的机油刮下，通过小孔或切槽流回油底壳；当活塞上行时，刮下的机油仍通过回油孔流回油底壳。

(2) 组合式油环。组合环由两个刮油钢片和一个弹性衬环组成，这种油环的接触压力高，对气缸壁面适应性好，而且回油通路大，重量小，刮油效果明显。近年来汽车发动机上越来越多地采用了组合式油环。

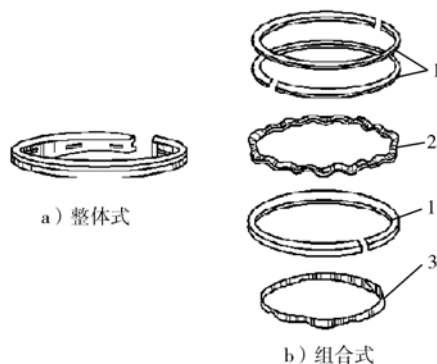


图 2-29 油环

1—刮油钢片；2—轴向衬环；3—径向衬环

5. 活塞销

活塞销与活塞销座孔及连杆小头套孔的连接方式，如图 2-30 所示。

活塞销在高温下周期地承受极大的冲击载荷，其本身又做摆转运动，而且处于润滑条件很差的情况下工作，因此，要求活塞销具有足够的强度和刚度，且表面韧性好，耐磨性好，重量轻。所以活塞销一般都做成空心圆柱体，采用低碳钢或低碳合金钢制成，外表面经渗碳淬火处理以提高硬度，经精加工后进行磨光，有较高的尺寸精度和表面粗糙度。

活塞销的内孔有 3 种形状：圆柱形、组合形（两段截锥与一段圆柱组合）、两段截锥形，如图 2-31 所示。

圆柱形孔结构简单，加工容易，但质量较大，往复惯性力大；为了减小质量，减小往复惯性力，往往将活塞销做成两段截锥形孔，接近等强度梁，但孔的加工较复杂。组合形孔的结构介于二者之间。

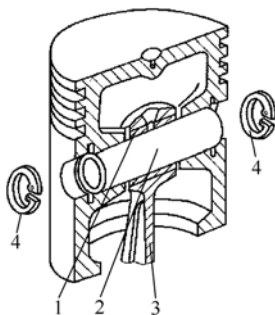


图 2-30 活塞销的连接方式

1—连杆小头衬套；2—销；3—连杆；4—卡环

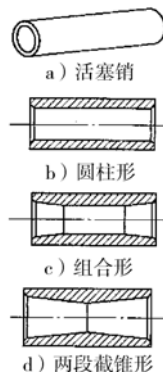


图 2-31 活塞销

6. 连杆

连杆工作时，承受活塞顶部气体压力和惯性力的作用，而这些力的大小和方向都是周期性变化的，因此，连杆受到的是压缩、拉伸和弯曲等交变载荷。这就要求连杆强度高，刚度大，重量轻。连杆一般采用中碳钢或合金钢经模锻或辊锻制成，然后经机加工和热处理。连杆分为3个部分，即连杆小头、连杆杆身、连杆大头（包括连杆盖），如图2-32所示，连杆小头与活塞销相连。

连杆大头与曲轴的连杆轴颈相连，大头有整体式和分开式两种。一般都采用分开式，分开式又分为平分和斜分两种。

平分——分面与连杆杆身轴线垂直，如图2-32a所示。汽油机多采用这种连杆，因为，一般汽油机连杆大头的横向尺寸都小于气缸直径，可以方便地通过气缸进行拆装，故常采用平切口连杆。

斜分——分面与连杆杆身轴线成 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 夹角，如图2-32b所示。柴油机多采用这种连杆，因为，柴油机压缩比大，受力较大，曲轴的连杆轴颈较粗，相应的连杆大头尺寸往往超过了气缸直径，为了使连杆大头能通过气缸，便于拆装，一般都采用斜切口，最常见的为 45° 夹角。

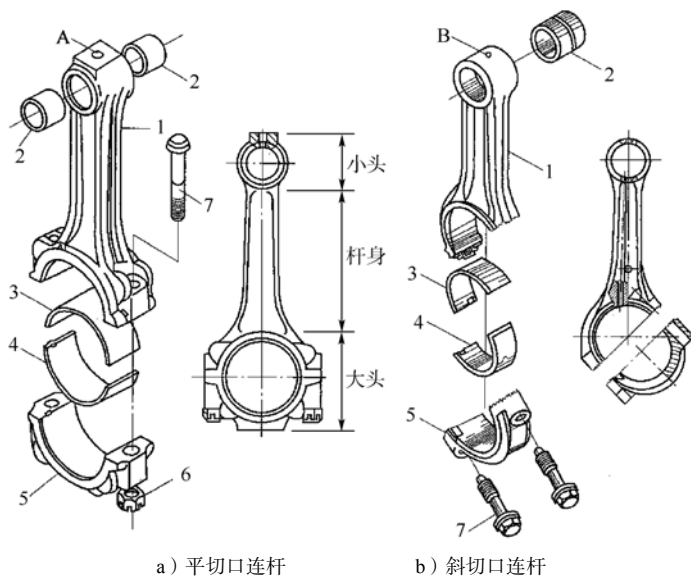


图 2-32 连杆组件

- 1—连杆体；2—连杆衬套；3—连杆上轴承；4—连杆下轴承；
5—连杆盖；6—螺母；7—连杆螺栓；A—集油孔；B—喷油孔

由于工作时小头孔与活塞销之间有相对运动，因此常常在连杆小头孔中压入减磨的青铜套，称为活塞销衬套，在小头和活塞销衬套上铣有油槽或钻有油孔以收集发动机运转时飞溅上来的润滑油并用以润滑。有的发动机连杆小头采用压力

润滑，在连杆杆身内钻有纵向的压力油通道。

连杆杆身通常做成“工”字形断面，抗弯强度好，重量轻，大圆弧过渡，且上小下大。采用压力法润滑的连杆，杆身中部都加工有连通大、小头的油道。

把连杆大头分开可取下的部分为连杆盖，连杆与连杆盖配对加工，加工后，在它们同一侧打上配对记号，安装时不得相互调换或变更方向。为此，在结构上采取了定位措施。平切口连杆盖与连杆的定位多采用连杆螺栓定位，是利用连杆螺栓中部精加工的圆柱凸台或光圆柱部分与经过精加工的螺栓孔来保证的。

斜切口连杆常用的定位方法有止口定位、套筒定位和锯齿定位等，如图 2-33 所示。

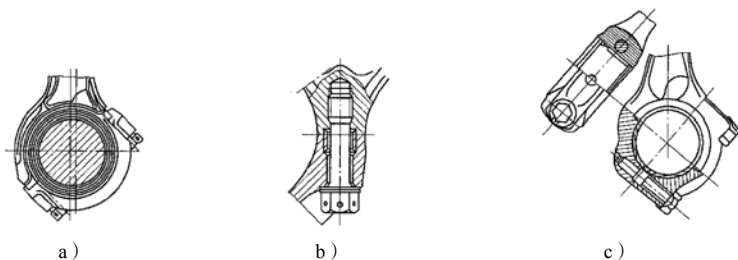


图 2-33 斜切口连杆的定位方式

a) 止口定位; b) 套筒定位; c) 锯齿定位

连杆盖和连杆大头用连杆螺栓连在一起，连杆螺栓在工作中承受很大的冲击力，若折断或松脱，将造成严重的事故。为此，连杆螺栓都采用优质合金钢，并经精加工和热处理而成。安装连杆盖拧紧连杆螺栓螺母时，要用扭力扳手分 2~3 次交替均匀地拧紧到规定的扭矩，拧紧后还应有可靠的锁紧防松。连杆螺栓损坏后绝不能用普通螺栓来代替。

7. 连杆轴承

连杆轴承俗称连杆瓦或小瓦。为了减小摩擦阻力和曲轴连杆轴颈的磨损，连杆大头孔内装有瓦片式滑动轴承，简称连杆轴瓦。轴瓦分上、下两个半片，目前多采用薄壁钢背轴瓦，在其内表面浇铸有耐磨合金层。耐磨合金层具有质软、容易保持油膜、磨合性好、摩擦阻力小、不易磨损等特点。常采用的耐磨合金有巴氏合金、铜铝合金、高锡铝合金。轴瓦在自由状态下不是半圆形，而且有一定的过盈量，当它们装入连杆大头孔内时，能均匀地紧贴在大头孔壁上。

连杆轴瓦上制有定位凸键，供安装时嵌入连杆大头和连杆盖的定位凹槽中，以防轴瓦前后移动或转动，有的轴瓦上还制有油孔，安装时应与连杆上相应的油孔对齐。

V 形发动机左右两侧对应两个气缸的连杆是装在曲轴的一个连杆轴颈上的，故称为叉形连杆，如图 2-34 所示。

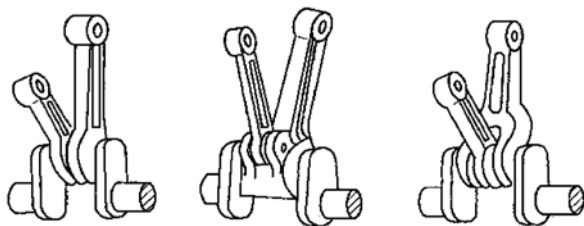


图 2-34 V 形发动机连杆示意图

8. 活塞连杆组的功用

活塞连杆组具有以下功用：

- (1) 活塞与气缸盖、气缸壁共同组成燃烧室。
- (2) 承受气缸中的气体压力，并通过活塞销和连杆传递给曲轴，驱使曲轴旋转。
- (3) 通过气环的密封作用和油环的刮油作用，改善燃烧条件，防止燃烧室漏气以及机油进入燃烧室。

2.2.2 曲轴与飞轮组的构造

曲轴飞轮主要由曲轴、主轴瓦、飞轮、扭转减振器、正时齿轮、带轮及其他一些零件和附件组成，如图 2-35 所示。

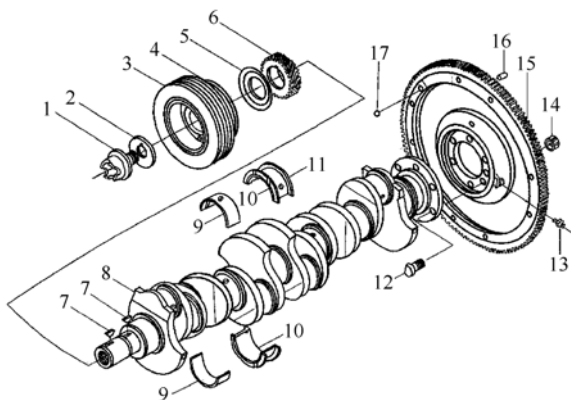


图 2-35 曲轴飞轮组的构造

- 1—启动爪；2—锁紧垫圈；3—扭转减振器总成；4—带轮；5—挡油片；6—正时齿轮；
7—半圆键；8—曲轴；9、10—主轴瓦；11—止推片；12—飞轮螺栓；13—滑脂嘴；
14—螺母；15—飞轮与齿圈；16—离合器盖定位销；17—1、6 缸上止点记号球

1. 曲轴

曲轴的主要作用是把活塞连杆组传来的燃烧做功的压力转变为转矩对外输

出；另外还驱动发动机的配气机构，以及水泵、发电机等其他的辅助装置。

工作时，曲轴承受气体压力，惯性力及惯性力矩的作用，并且承受交变负荷的冲击作用。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，具有良好的承受冲击载荷的能力，耐磨损且润滑良好。

曲轴一般由中碳钢或中碳合金钢模锻而成。为提高耐磨性和耐疲劳强度，轴颈表面经高频淬火或氮化处理，并经精磨加工，以达到较高的表面硬度和表面粗糙度的要求。

曲轴的结构如图 2-36 所示，一般由主轴颈、连杆轴颈、曲柄、平衡重、前端轴和后端凸缘等组成。一个连杆轴颈和它两端的曲柄及相邻两个主轴颈构成了一个曲拐，直列式发动机曲轴的曲拐数等于气缸数；V 形发动机曲轴的曲拐数等于气缸数的一半。

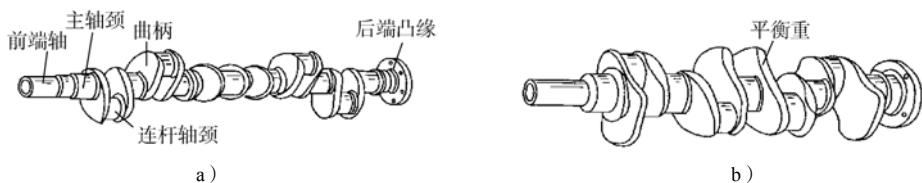


图 2-36 曲轴的结构

主轴颈是曲轴的支承部分，通过主轴承支承在曲轴箱的主轴承座中。主轴承的数目不仅与发动机气缸数目有关，还取决于曲轴的支承方式。曲轴的支承方式一般有两种，一种是全支承曲轴，另一种是非全支承曲轴，如图 2-37 所示。每一个连杆轴颈两边都有一个主轴颈的，称为全支承曲轴；否则称为非全支承曲轴。全支承曲轴的强度和刚度都比较好，柴油机和大部分汽油机多采用这种形式。对于全支承曲轴，直列发动机的主轴颈数比气缸数多一个，V 形发动机的主轴颈数比气缸数之半多一个。非全支承曲轴的结构与制造简单，多用于中小负荷汽油机。

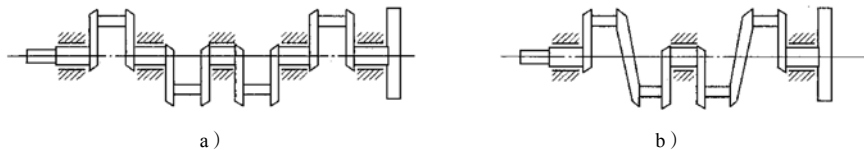


图 2-37 曲轴的支承方式

a) 全支承曲轴；b) 非全支承曲轴

曲柄是主轴颈和连杆轴颈的连接部分，断面为椭圆形，为了平衡惯性力，曲柄处铸有（或紧固有）平衡重。平衡重用来平衡发动机不平衡的离心力矩，有时还用来平衡一部分往复惯性力，从而使曲轴旋转平稳。

曲轴前端装有正时齿轮和带轮，用来驱动配气机构、风扇和水泵等。为了防

止机油沿曲轴轴颈外漏，在曲轴前端装有一个甩油盘，在齿轮室盖上装有油封。曲轴的后端用来安装飞轮，在后轴颈与飞轮凸缘之间制成挡油凸缘与回油螺纹，以阻止机油向后窜漏。

曲轴的形状和曲拐相对位置（曲拐的布置）取决于气缸数、气缸排列、点火间隔和发动机的发火顺序。点火间隔原则应使各缸做功间隔尽量均衡，点火间隔角 $=720^\circ/\text{缸数}$ 。点火顺序的原则是使相继做功的两缸的距离应尽量远些，以减轻主轴承载荷，以及避免进气时抢气。四缸机多为 1-3-4-2 或 1-2-4-3，直列六缸机多为 1-5-3-6-2-4 或 1-4-2-6-3-5。V 形发动机则是两列轮流点火 1-8-4-3-6-5-7-2，如图 2-38 所示。

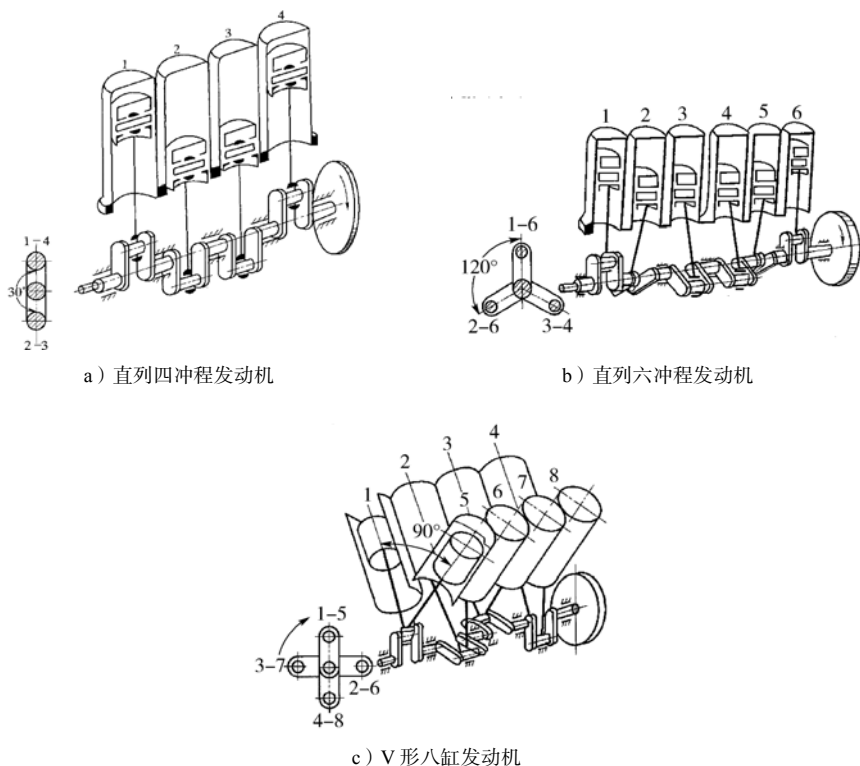


图 2-38 曲拐布置简图

2. 主轴承

主轴承（俗称曲轴瓦或大瓦）。曲轴主轴承的构造基本与连杆轴承相同，主要区别在于：为了向连杆轴承输送润滑油，在主轴承内表面开有油槽和通油孔；有些负荷不大的发动机，上下两轴承都开有油槽和油孔，可以通用。有些发动机只在上轴承开油槽和油孔，而负荷较重的下轴瓦不开油槽，相应的主轴颈上开径向通孔。这样，主轴承便能不间断地为连杆轴承供给润滑油。后一种主轴承上下

片不可通用，否则主轴承的来油通路将被堵塞。

3. 扭转减振器

发动机运转时，经连杆传给连杆轴颈的扭转外力的大小和方向都是周期性变化的，这样会引起曲轴的转速发生周期性变化。随着转速的变化，当连杆作用在曲轴上的扭转外力的变化频率与曲轴自振频率相等或成整数倍关系时，便会出现共振现象，此时曲轴扭转振动会因共振而加剧。这就会造成功率损失、正时齿轮或链条磨损增加，共振严重时甚至会将曲轴扭断。为了消减曲轴的扭转振动，曲轴前端装有扭转减振器。常用的是摩擦式扭转减振器，如图 2-39 所示。其作用原理是使曲轴扭转振动的能量通过摩擦生热而消耗掉，从而使曲轴扭转振幅逐渐减小。

4. 飞轮

飞轮的主要功用是用来贮存做功行程的能量，用于克服进气、压缩和排气行程的阻力及其他阻力，使曲轴能均匀地旋转。

飞轮外缘压有的齿圈与启动电机的驱动齿轮啮合，供启动发动机用；汽车离合器也装在飞轮上，利用飞轮后端面作为驱动件的摩擦面，用来对外传递动力。

飞轮是高速旋转件，因此，要进行精确的平衡校准，平衡性能要好，达到静平衡和动平衡。

飞轮是一个质量较大的铸铁圆盘，用螺栓固定在曲轴后端的接盘上，具有很大的转动惯量。飞轮轮缘上镶有齿圈，齿圈与飞轮紧配合，有一定的过盈量。在飞轮轮缘上做有记号（刻线或销孔），以便调整与检查点火（喷油）正时和气门间隙。当飞轮上的记号与外壳上的记号对正时，四缸发动机为 1 缸或 4 缸活塞处于上止点，六缸发动机为 1 缸或 6 缸活塞处于上止点，如图 2-39 所示。飞轮与曲轴在制造时一起进行过动平衡实验，在拆装时为了不破坏它们之间的平衡关系，飞轮与曲轴之间应有严格不变的相对位置。通常用定位销和非对称布置的螺栓来定位。

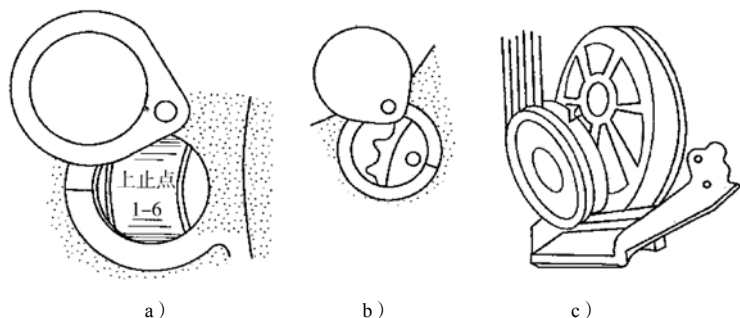


图 2-39 汽车发动机点火正时记号

2.2.3 曲柄连杆机构的运动、工作条件与受力分析

发动机工作时,气缸内最高温度可达 2500 K 以上,最高压力可达 5~9 MPa,而且现代汽车发动机最高转速可达 4000~6000 r/min。此外,与可燃混合气和燃烧废气接触的机件,如气缸、气缸盖、活塞组等,还会受到化学腐蚀。因此,曲柄连杆机构是在高温、高压、高速以及有化学腐蚀的条件下工作的。

曲柄连杆机构所受的力主要有气体作用力、运动质量的惯性力、旋转运动件的离心力以及相对运动件的接触表面所产生的摩擦力等。

1. 气体作用力

在工作循环的 4 个行程中,气体压力始终存在,但由于进气、排气两个行程中气体压力较小,可忽略不计,故这里主要分析做功和压缩两个行程中气体的作用力。

在做功行程中,气体压力推动活塞向下运动,如图 2-40a) 所示。设活塞所受的总压力为 F_p ,其传到活塞销上可分解为 F_{p1} 和 F_{p2} 。分力 F_{p1} 通过活塞销传给连杆,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 F_R 和 F_S 。分力 F_R 沿曲柄方向使曲轴主轴颈与主轴承间产生压紧力;分力 F_S 垂直于曲柄,其除了使主轴颈和主轴承之间产生压紧力外,还对曲轴产生转矩 T ,推动曲轴旋转, F_{p2} 把活塞压向气缸壁,形成活塞与缸壁之间的侧压力,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,气体压力阻碍活塞的上行。这时作用在活塞顶上的气体总压力也可分解为两个分力 F_{p1}' 和 F_{p2}' ,如图 2-40b 所示, F_{p1}' 又可分解为 F_R' 和 F_S' 。 F_R' 使曲轴形成一个旋转阻力矩 T' 。而 F_{p2}' 则将活塞压向气缸的另一侧壁。

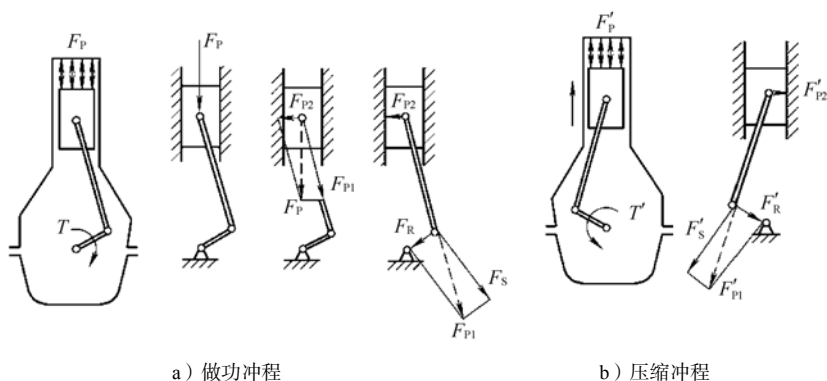


图 2-40 气体压力作用情况示意图

由上述分析可知,做功行程中气体压力越大,发动机动力就越大。但气体压力又是造成机件磨损和损坏的主要因素。例如,活塞与活塞销、活塞销与铜套、

连杆轴承与连杆轴颈、主轴承与主轴颈等在气体压力作用下互相压紧，在运动中产生磨损；另外，气体压力还会使活塞紧压在气缸壁上，从而加剧活塞、活塞环和气缸壁的磨损。

2. 往复惯性力与离心力

往复运动的物体，当运动速度发生变化时，将产生往复惯性力。物体绕某一中心做旋转运动时，就会产生离心力。在曲柄连杆机构的运动中这两种力都存在。

当活塞从止上点向下止点运动时，其速度变化规律是：从零开始，逐渐增大，临近中间时达最大值，然后又逐渐减小至零。也就是说当活塞向下运动时，前半行程是加速运动，惯性向上，以 F_j 表示；后半行程是减速运动，惯性力向下，以 $F_{j'}$ 表示，如图 2-41 所示。同理，当活塞向上运动时，前半行程惯性力向下，后半行程惯性力向上。

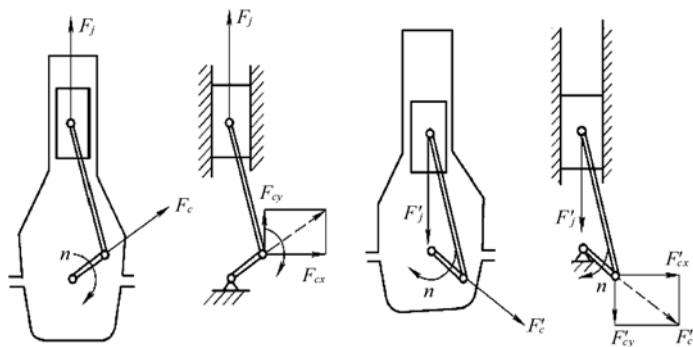


图 2-41 活塞受力分析

F_j —往复惯性力 F_c —往复离心力

由于往复惯性力与气体压力都可以认为是作用于气缸中心，只是上下方向有时不同，因此惯性力分解后引起各传动机件的受力情况与气体压力大致相同。但惯性力并不作用于气缸盖，在单缸发动机内部是不平衡的，使起发动机的惯性力有可能在各缸之间相互平衡，引起振动的倾向减小。

偏离曲轴轴线的曲柄、连杆轴颈和连杆大头在绕曲轴轴线旋转时，将产生离心力，其方向沿曲柄向外。 F_c 在垂直方向上的分力 F_{cy} 与往复惯性力 F_j 的方向总是一致的，因而加剧了发动机的上下振动，而水平方向上的分力 F_{cx} 则使发动机产生水平方向的振动。另外，离心力使连杆大头轴承的轴颈和轴颈受到又一附加载荷，从而增加了它们的变形和磨损。

3. 摩擦力

曲柄连杆机构中各相互接触并做相对运动的表面之间都存在着摩擦力，其大小与正压力和摩擦系数成正比，其方向总是与相对运动的方向相反。

综上所述，各种力作用在曲柄连杆机构上，会使各传动机构受到拉伸、压缩、

弯曲和扭转等不同形式的载荷。为了保证工作可靠，减少磨损，减轻振动，在结构上应采取相应的措施。例如，为了减小曲轴离心力的影响，而在曲轴上增设平衡块；为了抵抗连杆的拉伸、压缩及弯曲等变形，将连杆制成“工”字形；为了减小惯性力的影响，活塞采用密度小的铝合金材料制作；为了减少机件磨损，可提高加工精度、材料硬度以及加强润滑等。

4. 曲轴的动平衡

为了平衡连杆大头、连杆轴颈和曲柄等产生的离心力及其力矩，或者为了平衡部分往复惯性力，使发动机运转平稳，必须对曲轴进行平衡。对于四、六缸等多缸发动机，由于曲柄对称布置，往复惯性力和离心力及其产生的力矩，从整体上看都能互相平衡，但曲轴的局部却受到弯曲作用。由图 2-42a) 中可以看出第 1 和第 4 连杆轴颈的离心力 F_1 、 F_4 与第二和第三连杆轴颈的离心力 F_2 、 F_3 大小相等、方向相反，故可以相互平衡。 F_1 和 F_2 形成的力矩 M_{1-2} 与 F_3 和 F_4 形成的力矩 M_{3-4} ，也能互相平衡，但这两个力矩都给曲轴造成了弯曲变形，而引起主轴颈和轴承的偏磨。为了减轻主轴颈的负荷，改善其工作条件，一般都会在曲柄的相反方向设置平衡重，如图 2-42b) 所示。

由图 2-42b) 可见，平衡重所造成的弯矩可以同 M_{1-2} 和 M_{3-4} 造成的弯矩相平衡，一般四缸发动机设置 4 块平衡重，六缸发动机可设置 4 块、6 块、8 块平衡重，甚至可以在所有曲柄下均设置平衡重。

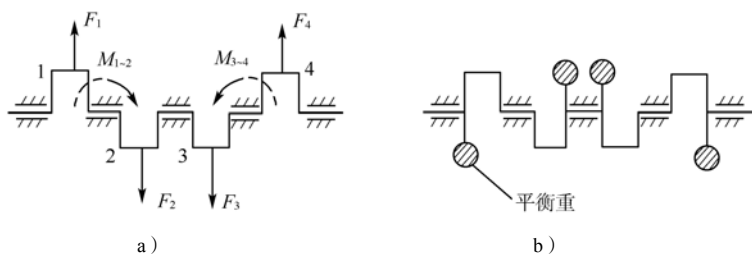


图 2-42 曲轴平衡重作用示意图

2.2.4 机体组件

机体组的主要零件有气缸体（图 2-43）与气缸套、气缸盖、气缸垫、油底壳（图 2-44）。

1. 气缸体与气缸垫

气缸体是发动机的骨架，是发动机各机构和各系统的安装基础，其内、外安装着发动机的所有主要零件和附件，承受各种载荷，因此，机体必须要有足够的强度和刚度。

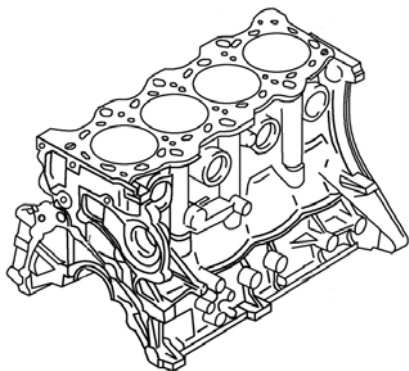


图 2-43 气缸体

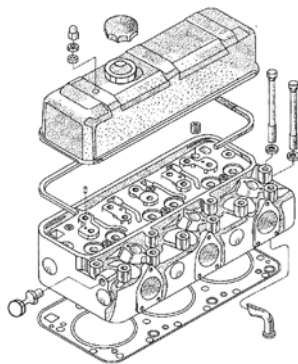


图 2-44 气缸盖、气缸垫

水冷发动机的气缸体和上曲轴箱常铸成一体,称为气缸体-曲轴箱,也可称为气缸体,如图 2-45 所示。风冷发动机一般将气缸体与曲轴箱分别铸造,而且气缸体为单体,如图 2-46 所示。气缸体一般由灰铸铁铸成,气缸体上部的圆柱形空腔称为气缸,下部为支承曲轴的曲轴箱,其内腔为曲轴运动的空间。在气缸体内部铸有许多加强筋、冷却水套和润滑油道等。

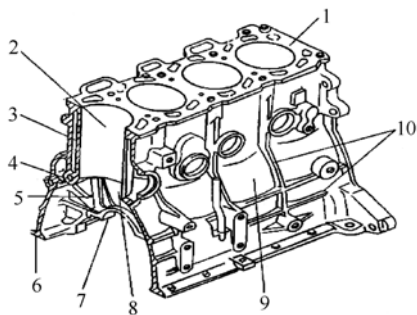


图 2-45 水冷发动机的气缸体

1—气缸体顶面;2—气缸;3—水套;4—主油道;
5—横隔板上的加强筋;6—气缸体底部;7—主轴承座;
8—气缸间隔板;9—气缸体侧壁;10—侧壁上的加强筋

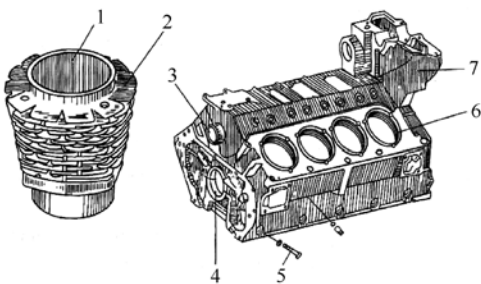


图 2-46 风冷发动机气缸体

1—气缸;2—散热片;3—凸轮轴孔;4—主轴承孔;
5—主轴承盖横向紧固螺栓;6—气缸体安装孔;
7—正时传动室

1) 气缸体的结构类型

气缸体应具有足够的强度和刚度,根据气缸体与油底壳安装平面位置的不同,通常把气缸体分为以下 3 种形式,如图 2-47 所示。

(1) 平分式气缸体。其特点是油底壳安装平面和曲轴旋转中心在同一高度。这种气缸体的优点是机体高度小,重量轻,结构紧凑,便于加工,曲轴拆装方便;其缺点是刚度和强度较差。如富康 ZX 轿车 TU3.2K 发动机, BJ2023 吉普车的 492QA 型发动机。

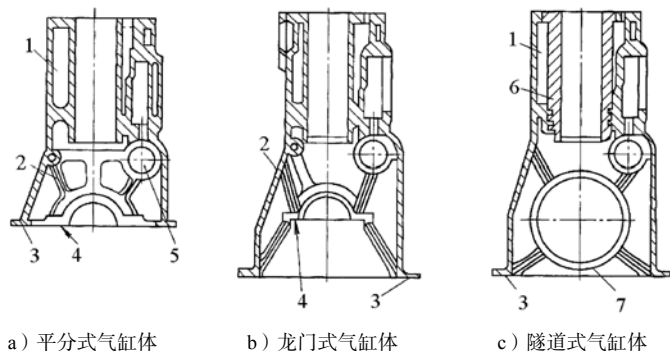


图 2-47 气缸体的形式

1—水套；2—加强筋；3—装油底壳的加工面；4—装主轴承座加工面；
5—凸轮轴座孔；6—湿式气缸套；7—主轴承座孔

(2) 龙门式气缸体。其特点是油底壳安装平面低于曲轴的旋转中心。这种气缸的优点是强度和刚度都好，能承受较大的机械负荷；其缺点是工艺性较差，结构笨重，加工较困难。桑塔纳、捷达、奥迪及解放 CA1091 型汽车用的 CA6102 发动机都属于这种结构。

(3) 隧道式气缸体。这种形式的气缸体曲轴的主轴承孔不分开，特点是其结构刚度比龙门式气缸更高，主轴承的同轴度易保证，但拆装比较麻烦，多用于主轴承采用滚动轴承的组合式曲轴。如黄河 JN1181C13 型汽车的 6135Q 型发动机。

发动机的气缸一般分为整体式和镶套式两种形式。整体式的气缸在缸体上直接加工出来，气缸磨损后可以用镗缸的方法进行修理。镶套式的气缸是在气缸内镶入气缸套，简称缸套。缸套磨损后可以用更换新缸套的方法进行修理。铝合金缸体必须镶缸套。

缸套又分为干式和湿式两种，如图 2-48 所示。

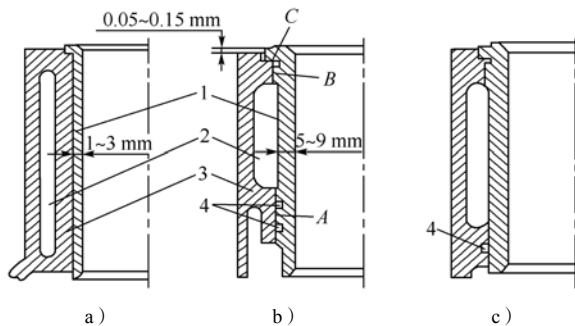


图 2-48 气缸套

a) 干式；b)、(c) 湿式

1—气缸套；2—水套；3—气缸体；4—橡胶密封圈；A—下支承密封带；B—上支承定位带；C—缸套凸缘平面。

干式气缸套的特点是气缸套装入气缸体后,其外壁不直接与冷却水接触,而和气缸体的壁面直接接触,壁厚较薄,一般为 $1\sim 3\text{ mm}$ 。它具有整体式气缸体的优点,强度和刚度都较好,但加工比较复杂,内、外表面都需要进行精加工,拆装不方便,散热不良。

湿式气缸套的特点是气缸套装入气缸体后,其外壁直接与冷却水接触,气缸套仅在上、下各有一圆环地带和气缸体接触,壁厚一般为 $5\sim 9\text{ mm}$ 。它散热良好,冷却均匀,加工容易,通常只需要精加工内表面,而与水接触的外表面不需要加工,拆装方便,但其缺点是强度、刚度都不如干式气缸套好,而且容易产生漏水现象,需要采取一些防漏措施。

2) 气缸的排列形式

气缸排列形式常见的有直列式、V形排列式和对置式3种,如图2-49所示。

(1) 直列式。如图2-50a)所示,发动机的各个气缸排成一行,一般是垂直布置的。直列式气缸体结构简单,加工容易,但发动机长度和高度较大。一般六缸以下发动机多采用直列式,例如捷达轿车、富康轿车、红旗轿车所使用的发动机均采用这种直列式气缸体。有的汽车为了降低发动机的高度,安装发动机时把发动机倾斜一个角度。

(2) V形式。如图2-50b)所示,气缸排成两列,左右两列气缸中心线的夹角 $\gamma<180^\circ$,这种发动机称为V型发动机。V型发动机与直列发动机相比,缩短了机体长度和高度,增加了气缸体的刚度,减轻了发动机的重量,但加大了发动机的宽度,且形状较复杂,加工困难,一般用于八缸以上的发动机,六缸发动机也有采用这种形式气缸体的,如奥迪2.6L发动机。

(3) 对置式。如图2-50c)所示,气缸排成两列,左右两列气缸在同一水平面上,即左右两列气缸中心线的夹角 $\gamma=180^\circ$,称为对置式。它的特点是高度小,总体布置方便,但由于重力作用,活塞与气缸之间容易产生单边磨损。这种气缸应用较少。

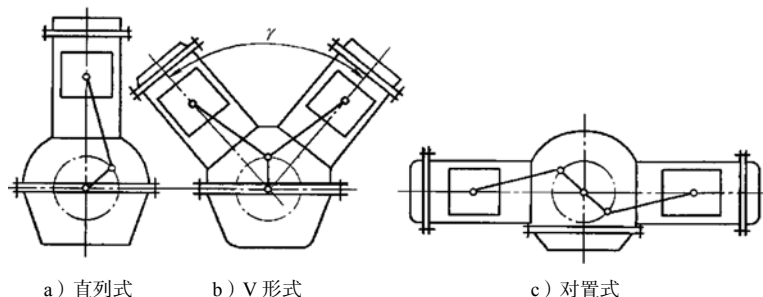


图2-49 气缸的排列形式

气缸经长期使用,磨损到一定程度后,发动机动力会显著下降,燃料的消耗

急剧增加。气缸的磨损程度是确定发动机是否需要大修的主要依据。气缸的磨损规律是沿轴向呈上大下小的不规则锥形，如图 2-50a) 所示，沿径向形成不规则椭圆形，如图 2-50b) 所示。

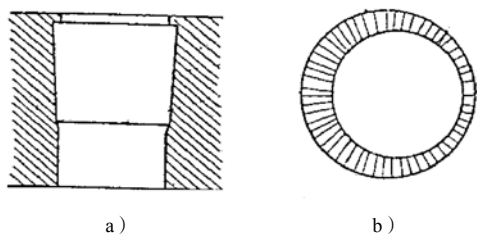


图 2-51 气缸的磨损规律

2. 气缸盖与气缸垫

气缸盖

如图 2-51 所示，气缸盖（简称缸盖）用来封闭气缸的上部，并与活塞顶部和气缸壁共同构成燃烧室。常见的缸盖材料有铸铁、铝合金等。

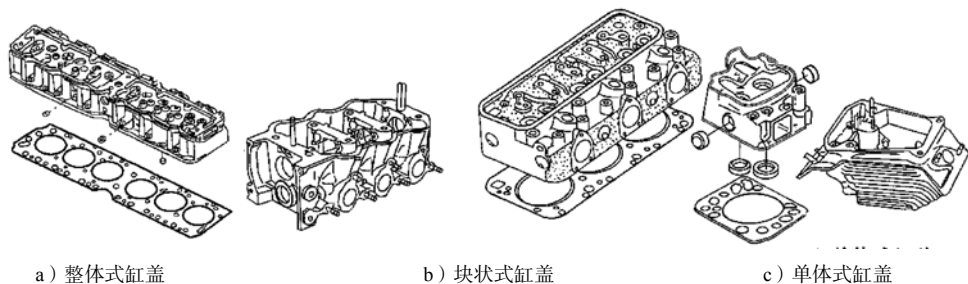


图 2-51 各种形式的气缸盖

缸盖安装在气缸体的上面，从上部密封气缸并构成燃烧室。它经常与高温高压燃气相接触，因此承受很大的热负荷和机械负荷。水冷发动机的气缸盖内部制有冷却水套，缸盖下端面的冷却水孔与缸体的冷却水孔相通，利用循环水来冷却燃烧室等高温部分。

缸盖上还装有进、排气门座，气门导管孔，用于安装进、排气门，还有进气通道和排气通道等。汽油机的气缸盖上加工有安装火花塞的孔，而柴油机的气缸盖上加工有安装喷油器的孔。顶置凸轮轴式发动机的气缸盖上还加工有凸轮轴轴承孔，用以安装凸轮轴。气缸盖一般采用灰铸铁或合金铸铁铸成，铝合金的导热性好，有利于提高压缩比，所以近年来越来越多的气缸盖采用了铝合金材料。

气缸盖是燃烧室的组成部分，燃烧室的形状对发动机的工作影响很大，由于

汽油机和柴油机的燃烧方式不同,因此其气缸盖上组成燃烧室的部分差别较大。汽油机的燃烧室如图 2-52 所示,其中半球形燃烧室目前在国外轿车发动机上广泛使用,篷形燃烧室在高性能轿车发动机上应用较多。

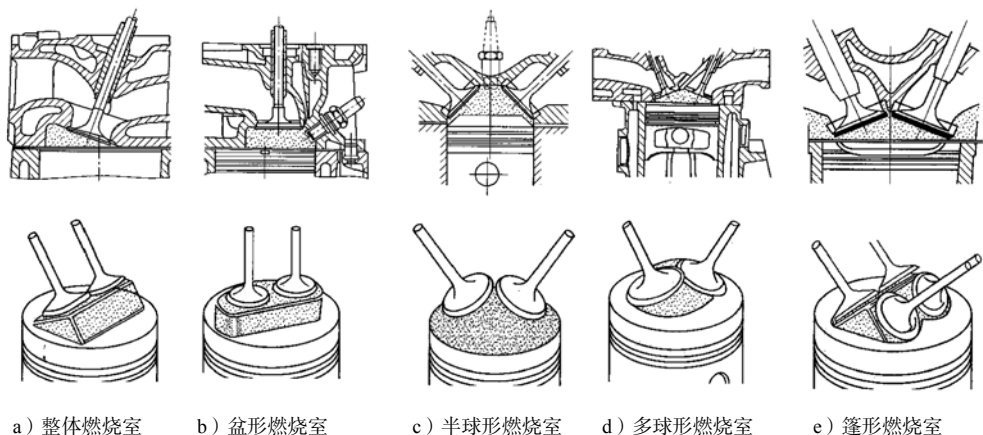


图 2-52 各种形状的汽油机燃烧室

汽油机的燃烧室是由活塞顶部及缸盖上相应的凹部与气缸壁四周所围成的空间所组成的。对燃烧室的基本要求有两点:一是结构要尽可能紧凑,冷却面积小,以减少热量损失及缩短火焰行程;二是使混合气在压缩终了时具有一定的涡流运动,以提高混合气的燃烧速度,保证混合气及时而又充分地燃烧。

气缸垫安装在气缸盖和气缸体之间,如图 2-54 所示。其功用是保证气缸盖与气缸体接触面的密封,防止漏气、漏水和漏油。气缸垫的材料要有一定的弹性,能补偿结合面的不平度,以确保密封,同时要有好的耐热性和耐压性,在高温高压下不烧损、不变形。目前应用较多的是铜皮——石棉结构的气缸垫,由于铜皮——石棉气缸垫翻边处有 3 层铜皮,压紧时较之石棉不易变形。有的发动机还采用在石棉中心用编织的钢丝网或扎孔钢板为骨架,两面用石棉及橡胶粘结剂压成的气缸垫。拧紧气缸盖螺栓时,必须按从中央对称地向四周扩展的顺序分 2~3 次进行,最后一次拧紧到规定的力矩。铝合金气缸盖应在冷态下拧紧,铸铁气缸盖则应该在发动机热态下最后拧紧。

3. 油底壳

如图 2-54 所示,油底壳的主要功用是贮存机油并封闭曲轴箱。油底壳受力很小,一般采用薄钢板冲压而成。油底壳的形状决定于发动机的总体布置和机油的容量。在有些发动机上,为了加强油底壳机油的散热,采用了铝合金铸造的油底壳,在壳的底部还铸有相应的散热肋片。

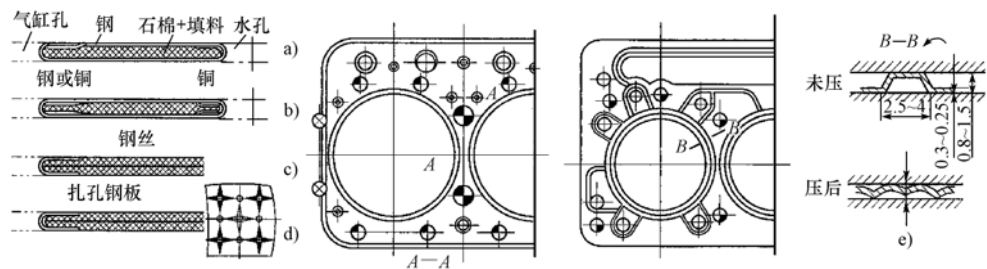


图 2-53 气缸垫的种类与结构

a) ~ d) 金属-石棉气缸垫；e) 纯金属气缸垫

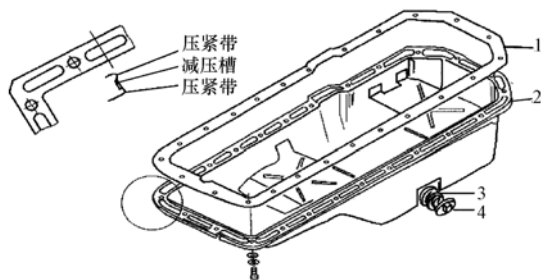


图 2-54 油底壳

1—密封垫；2—油底壳；3—密封圈；4—磁性放油螺塞

为了保证在发动机纵向倾斜时机油泵能经常吸到机油，油底壳后部一般做得较深。油底壳内还设有挡油板，用于防止汽车振动时油面波动过大。油底壳底部装有放油塞。有的放油塞是磁性的，能吸集机油中的金属屑，以减少发动机运动零件的磨损。

小 结

(1) 曲柄连杆机构的功用是把燃料燃烧做功作用在活塞顶面上的压力转变为曲轴的转矩，向工作机械输出机械能。

(2) 曲柄连杆机构由活塞连杆组、曲轴飞轮组和机体组三部分组成。活塞连杆组包括活塞、活塞环、活塞销、连杆等；曲轴飞轮组包括曲轴、飞轮；机体组包括气缸体、气缸盖、气缸垫、油底壳等。

(3) 活塞裙部沿轴向方向上制成圆锥形，沿横断面方向制成椭圆形。其目的是使活塞在各种工况下均能与气缸壁保持均匀的间隙。

(4) 为减轻活塞对气缸的敲击，有些发动机的活塞销孔偏离活塞中心线。

(5) 发动机大修或更换气缸（或气缸套）时，应同时更换全部活塞。活塞选

配应按照气缸的修理尺寸来确定。

(6) 活塞环分为气环和油环。气环用于密封气缸以防止气缸内的气体泄漏到曲轴箱中, 气环的断面形状有矩形环、锥面环、扭曲环、梯形环和桶面环几种, 安装时要注意方向。油环用于控制气缸壁上的油膜, 以防止多余的机油进入燃烧室。

(7) 在发动机大修时, 活塞与活塞环应按同一修理尺寸选配。为确保活塞环与活塞环槽、气缸壁的良好配合, 应进行活塞环的弹力检验、漏光检验, 以及端隙、侧隙及背隙检验。

(8) 活塞销是用来连接活塞和连杆小头的。活塞销与活塞销座孔和连杆小头衬套孔的连接配合方式有全浮式和半浮式。

(9) 连杆的变形主要有弯曲变形和扭曲变形。校正时, 应先校正扭曲变形, 再校正弯曲变形。

(10) 活塞与连杆组装时, 应是同一缸号的活塞和连杆, 并注意安装方向。

(11) 活塞环端隙、背隙、侧隙一般为 $0.20 \sim 0.40 \text{ mm}$ 、 $0.35 \sim 0.50 \text{ mm}$ 、 $0.06 \sim 0.09 \text{ mm}$ 。

(12) 曲轴可分为整体式和组合式, 还可为全支承曲轴和非全支承曲轴。曲轴上各曲拐的布置取决于气缸数、气缸排列形式以及各缸的工作顺序。

(13) 曲轴常见的损伤有轴颈磨损、裂纹和弯曲变形。

(14) 曲轴裂纹的检查方法有磁力探伤法和浸油敲击法。曲轴弯曲变形可采用冷压法。

(15) 为消除曲轴的扭转振动, 曲轴的前端都装有扭转减振器。曲轴扭转减振器有橡胶式、硅油式和硅油-橡胶式。

(16) 曲轴轴承的径向间隙为东风 EQ6100-1 型发动机 $0.04 \sim 0.11 \text{ mm}$, 使用极限为 0.20 mm ; 桑塔纳发动机 $0.01 \sim 0.04 \text{ mm}$, 使用极限为 0.15 mm 。曲轴的轴向间隙为东风 EQ6100-1 型发动机 0.47 mm , 使用极限为 0.55 mm 。桑塔纳发动机 $0.01 \sim 0.04 \text{ mm}$, 磨损极限 0.15 mm 。

(17) 气缸体的材料一般采用合金铸铁或铝合金; 气缸体的结构分为平分式、龙门式和隧道式。

(18) 气缸磨损规律是沿轴向成上大下小的不规则锥形; 沿圆周方向形成不规则的椭圆形。

(19) 修理尺寸法是指通过机械加工改变零件的尺寸, 恢复正确的几何形状和配合性质的修理方法。加工后的尺寸称为修理尺寸, 修理尺寸有不同的级别。

(20) 拧紧螺栓时, 必须按由中央对称地向四周扩展的顺序分几次进行。最后一次要用扭力扳手按规定的拧紧力矩拧紧, 以免损坏气缸垫和发生泄漏现象。

习题与考核

实操题

1. 简述连杆的检验与校正方法。
2. 用内径千分尺测量主轴承座孔的圆度与圆柱度。
3. 用外径千分尺测量活塞直径，用弹簧秤测量活塞的质量，确定活塞的选配及修理尺寸。
4. 简述活塞环的检测及拆装活塞环的注意事项。
5. 曲轴常见的损伤种类有哪些，如何检测与维修？
6. 如何检修飞轮？
7. 测量计算气缸的圆度与圆柱度，确定气缸的修理尺寸。
8. 如何检验气缸的磨损？
9. 怎样正确地拆装气缸盖？
10. 用直尺和塞尺检查气缸盖的平面度误差。

理论题

- 一、选择题（选择一个正确的答案，将相应的字母填入题内的括号中）
1. 曲轴飞轮组主要由曲轴、() 和附件组成。
A. 飞轮 B. 齿轮 C. 链轮 D. 带轮
 2. 桑塔纳 2000GLS 型轿车 JV 型发动机活塞油环的端隙为 () mm。
A. 0.25 ~ 0.40 B. 0.30 ~ 0.45 C. 0.25 ~ 0.50 D. 0.30 ~ 0.50
 3. 测量气缸磨损时，量缸表的量杆必须与气缸中心线保持 ()，以保证读数准确。
A. 平行 B. 垂直 C. 倾斜 D. 任意位置
 4. 确定发动机曲轴修理尺寸时，除根据测量的圆柱度、圆度进行计算外，还应考虑 () 对修理尺寸的影响。
A. 裂纹 B. 弯曲 C. 连杆 D. 轴瓦
 5. 发动机曲轴各轴颈的圆度和圆柱度误差一般用 () 来进行测量。
A. 游标卡尺 B. 百分表 C. 外径分厘卡 D. 内径分厘卡
 6. 用厚薄规和量角器测量活塞环的漏光度，其开口处左右对应的圆心角在 () 范围内不允许漏光。
A. 25° B. 30° C. 45° D. 50°
 7. 桑塔纳 2000 型轿车的缸盖平面翘曲应不大于 () mm。

- A. 0.10 B. 0.15 C. 0.20 D. 0.05
8. 桑塔纳 2000GLS 型轿车 JV 型发动机活塞环开口应错开 ()。
- A. 90° B. 120° C. 150° D. 180°
9. 安装发动机气缸盖时, 应使活塞避开 () 位置。
- A. 上止点 B. 下止点 C. 下行 D. 上行
10. 发动机的机体组包括气缸体、下曲轴箱、() 气缸盖和气缸垫等。
- A. 上曲轴箱 B. 活塞 C. 连杆 D. 曲轴
11. 曲轴飞轮组由曲轴、()、启动爪、皮带轮、飞轮等组成。
- A. 凸轮轴 B. 前端轴 C. 平衡块 D. 正时齿轮
12. () 在工作时容易产生“泵油作用”。
- A. 矩形环 B. 桶面环 C. 锥面环 D. 梯形环
13. 发动机气缸体的材料通常为 ()。
- A. 铸铁 B. 陶瓷 C. 铜 D. 铝
14. 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
15. 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
16. 可以通过测量 () 来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
17. 活塞环内缘开有阶梯形切口或 45° 倾角时, 在安装中切口或倾角 ()。
- A. 应向上 B. 应向下 C. 应向外 D. 任意
18. 发动机曲轴裂纹易发生在轴颈与曲柄的连接处及 () 周围。
- A. 曲拐 B. 配重 C. 润滑油孔 D. 主油道
19. 四冲程 V 形八缸发动机的发火间隔角为 ()。
- A. 180° B. 150° C. 120° D. 90°
20. 发动机连杆的修理技术标准为连杆在 100 mm 长度上弯曲值应不大于 () mm。
- A. 0.01 B. 0.03 C. 0.5 D. 0.8

二、判断题 (将判断结果填入括号中。正确的填√, 错误的填×。)

- () 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. 汽油机活塞顶多制成平顶, 因为平顶活塞加工容易, 受热面积小。

- () 3. 活塞裙部膨胀槽应开在受侧压力较大的一面。
- () 4. 铝合金气缸盖必须在发动机热态下拧紧，而铸铁气缸盖则应在发动机冷态下拧紧。
- () 5. 校正连杆一般是先校正弯曲后校正扭曲。
- () 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。
- () 7. 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。
- () 8. 直列发动机的全支承曲轴，其主轴颈数等于气缸数。
- () 9. 直列发动机曲轴的曲拐数等于气缸数。
- () 10. 活塞在气缸内作匀速运动。
- () 11. 曲轴的修理尺寸共计分为 13 个级别，常用的是前 8 个级别。
- () 12. 曲柄连杆机构的功用是把燃烧气体作用在活塞环上的力转变为曲轴的转矩，并通过曲轴对外输出机械能。
- () 13. 连杆大头做成分开式的目的是为了便于加工。
- () 14. 四冲程 V 形六缸发动机的做功间隔角为 120° 。
- () 15. 曲轴减振器的作用是降低曲轴的扭转振动。
- () 16. 桑塔纳发动机曲轴轴向间隙为 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 。
- () 17. 连杆大头与小头孔的轴线不平行度一般在 100 mm 内不得大于 0.03 mm 。若连杆超过这些要求，说明连杆发生了弯曲或扭曲现象。
- () 18. 曲轴的作用是将来自连杆的力转变成扭矩，最后输出发动机功率。
- () 19. 通常情况下，四冲程发动机活塞顶部形状为半球面式。
- () 20. 用活塞环拆装钳装拆环时，用外钳口接触环槽。

项目三：配气机构及故障排除

教 学 准 备			
序号	名 称		内 容
1	学习 目标	知识 目标	熟悉配气机构组成及各个组成元件的结构和工作原理，了解配气系统如何工作，理解配气相位、配气正时、气门间隙的概念，掌握气门间隙的调整方法及气门组零件的修理方法，了解液力挺柱的工作原理和优缺点
		技能 目标	掌握气门间隙的调整方法与气门研磨方法，以及配气系统的故障分析和排除方法；掌握配气正时安装的方法和判断是否正时
2	教学设计		在课堂上讲述系统工作原理，然后在实训室讲述系统组成和元件结构、配气机构的拆装方法等；先现场演示气门间隙的调整方法、配气正时安装的方法和故障排除方法，再将学生分成若干组进行相应的实训操作
3	教学设备		（1）机械式配气系统、液力式配气机构的发动机数台，拆卸和检测工具数套。 （2）相关的教学教具，录像片和教学挂图

3.1 实 操 指 导

实操目的：熟悉配气机构的工作原理及其组成，掌握气门间隙的调整方法、气门与气门座的研磨方法、配气正时的安装方法、配气系统的故障排除方法，以及熟练判断机构零件是否完好。

实操过程：①将发电机电源线接好；②对各部分进行检查；③在车上进行气门间隙检查与调整；④检查配气正时是否正确；⑤将发动机通电点火；⑥探听机械式与液力式配气机构发动机的声音。

3.1.1 气门组件的拆装

用于操作的气门组件如图 3-1 所示，是一个链传动配气机构。首先将气缸盖从发动机上拆下，将摇臂从气缸盖上拆下，取出推杆，从侧面拿出挺柱，取出凸轮轴驱动齿轮及凸轮轴。利用专用工具压缩气门弹簧，将气门锁片或锁销取出，拆下气门弹簧与气门。注意气门位置不能错放，还要防止锁片或锁销丢失。利用专用工具对气门座与气门导管进行拆装，如图 3-2 和图 3-3 所示。气门的拆装过程如图 3-4 所示。

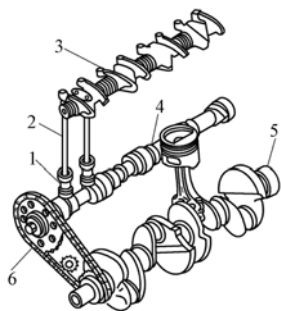


图 3-1 链传动配气机构

1—挺柱；2—推杆；3—摇臂；
4—凸轮；5—曲轴；6—链条

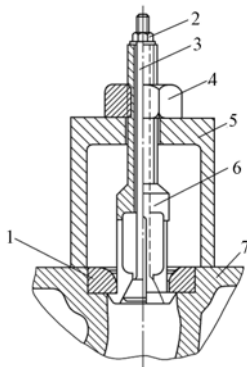


图 3-2 气门座的拆卸

1—气门座；2—张开用螺母；3—张开锥；
4—加力螺栓；5—套筒；6—弹簧卡头式拉爪；
7—气缸盖

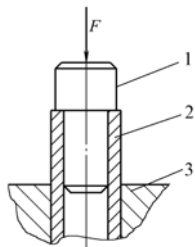
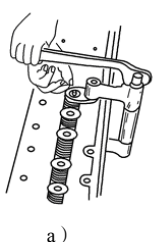
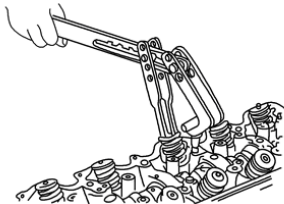


图 3-3 气门导管的拆卸

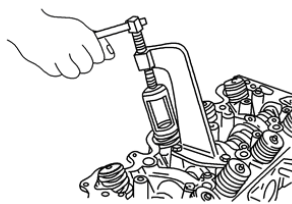
1—专用冲头；2—气门导；
3—气缸盖



a)



b)



c)

图 3-4 气门的拆装过程与专用工具的使用方法

3.1.2 气门间隙的检查和调整

先找到第一缸上止点，用塞尺检查气门间隙，如图 3-5 所示，将一定规格的塞尺插入气门摇臂与气门杆末端之间，当拖动塞尺有一定的阻力且能通过时，说明间隙较合适。进气门间隙比排气门间隙小一些，一般发动机的气门间隙按技术说明书中所规定的值调整，如果找不到技术指标，则汽油机的进气门按 $0.15 \sim 0.2 \text{ mm}$ 、排气门按 $0.20 \sim 0.25 \text{ mm}$ 的标准进行调整；柴油机进气门按 $0.25 \sim 0.30 \text{ mm}$ 、排气门按 $0.30 \sim 0.35 \text{ mm}$ 的标准进行调整。

气门与气门导管示意图如图 3-6 所示。

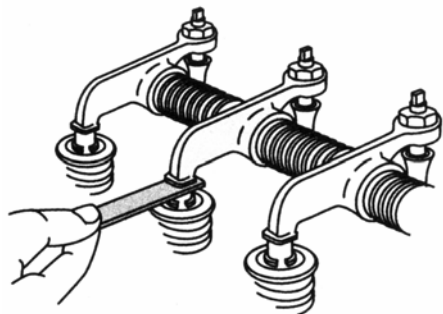


图 3-5 气门间隙的检查

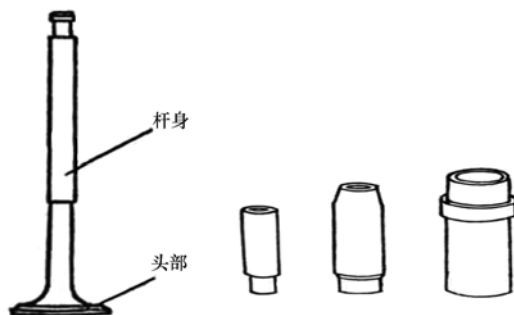


图 3-6 气门与导管

3.1.3 气门组件的检修

1. 气门的检测

气门的检测包括气门杆的弯曲、磨损和头部检测。

(1) 气门杆弯曲和气门头部检修。气门杆弯曲可用百分表来测定，如图 3-7 所示，将气门支承在两个距离 100 mm 的 V 形架上，然后用百分表触头测量气门杆中部的弯曲度，其值超过 0.05 mm 则应更换。气门头部用百分表测量，转动气门头部一圈，读数最大值与最小值之差的一半即为气门头部的倾斜度误差，许用倾斜度误差为 0.02 mm。当气门杆弯曲或气门头部歪斜超过规定范围时，需更换气门。检查气门头部工作锥面的接触面宽度是否大于 3 mm，接触面有无烧蚀、磨损痕迹，气门头部圆锥环部厚度是否大于 1 mm。

(2) 气门杆与气门导管磨损检查。用外径千分尺测量气门杆上、中、下 3 个位置，将测量尺寸与标准值进行比较，若超过规定范围则更换，如图 3-8 所示。新的气门导管内径与气门杆的尺寸相适应，其外径与导管承孔配合就有一定的过盈量，通常取为导管外径的 2% ~ 3%。

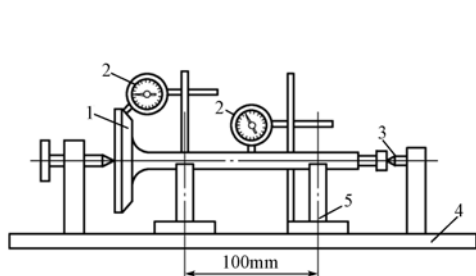


图 3-7 气门杆弯曲检测

1—气门；2—百分表；3—顶针；4—平板；5—V 形块

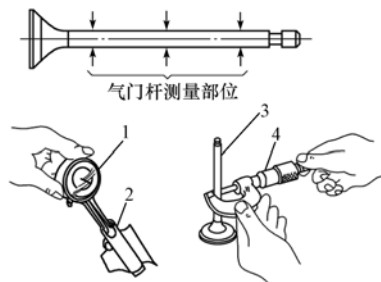


图 3-8 气门杆与气门导管检查

1—百分表；2—气门导管；3—气门；4—千分尺

(3) 气门头部工作面磨损检查。在维修作业中,当气门出现烧蚀、麻点或凹陷时,可进行光磨,光磨通常在气门光磨机上进行,如图 3-9 所示。作业时要保证气门头部与杆部同心,气门头端部凹陷应磨平,光磨量在能磨出完整圆锥面的前提下越小越好。由于配件成本下降,一般发现气门有烧蚀、麻点或凹陷时,修理厂以更换新件为主。

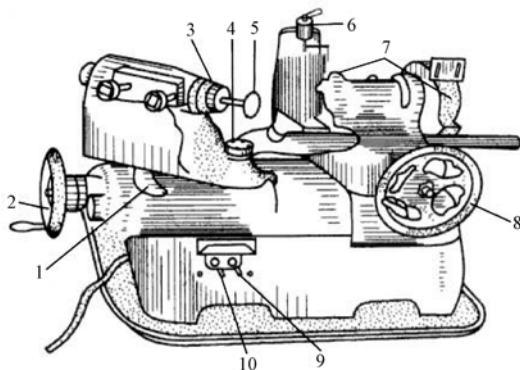


图 3-9 气门光磨机

1—刻度尺；2—手轮；3—卡头；4—锁紧装置；5—气门；
6—手柄；7—砂轮；8—手轮；9—启动开关；10—启动开关

2. 气门弹簧的检修

(1) 气门弹簧自由长度检修。用游标卡尺测量气门弹簧自由长度,测量结果应符合规定,如果误差超过 1.5 mm 就需要更换。

(2) 气门弹簧弯曲变形检修。将气门弹簧放在平台上,用宽座直角尺检查垂直度,一般垂直度误差在 0.50 ~ 1.00 mm,否则应校正或更换,如图 3-10 所示。

(3) 气门弹簧弹性检修。如图 3-11 所示,不同尺寸的弹簧其技术指标也不相同,要参照技术说明书,对不符合规定值的进行更换。

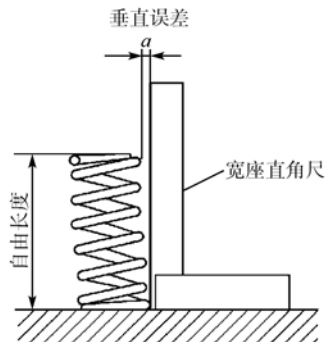


图 3-10 气门弹簧弯曲变形检修

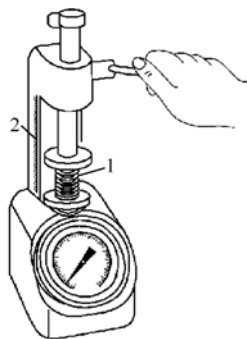


图 3-11 弹簧的自由长度与弹力检测

1—待测弹簧；2—标尺

3. 凸轮轴的检修

(1) 凸轮轴的弯曲检修。凸轮轴两侧用 V 型铁支承，中间主轴颈用百分表触头顶住，转动凸轮轴，观察表针的摆动，如图 3-12 所示。现代汽油机一般弯曲超过 0.15 mm，磨损量超过 0.12 mm 时应更换；柴油机一般弯曲超过 0.20 mm，磨损量超过 0.15 mm 时应更换。

(2) 主轴颈与凸轮轴颈磨损检查。用千分尺测量主轴颈水平与垂直方向尺寸及左右方向方尺，确定磨损量，如图 3-13 所示。

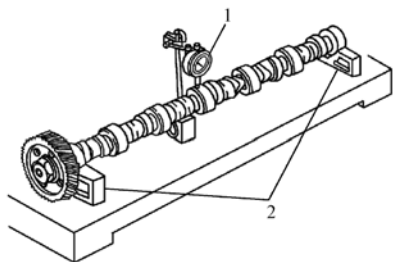


图 3-12 凸轮与凸轮直径的测量部位

1—百分表；2—V 型铁

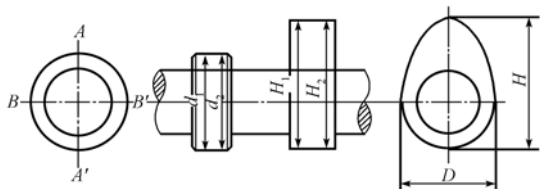


图 3-13 凸轮轴弯曲的检测

4. 气门座的绞修与研磨

更换修复气门座与气门时，为保证气门与气门座的密封性，应先对气门座进行绞修，再对气门进行研磨。使用的工具有气门座铰刀、研磨砂。

(1) 绞修气门座。绞修前检查气门导管，选择合适的铰刀和铰刀杆，用粗铰刀绞修工作锥面，对于旧的、有硬化层的可用砂纸衬在其下，磨去硬化层再绞修，绞修顺序如图 3-14 所示。以 45°工作锥面为例，先用 45°铰刀绞修工作锥面，再用 75°铰刀绞修上工作面，然后用 15°铰刀绞削下工作面，接触面在气门锥部中下方，偏上或偏下时，用 75°铰刀绞修上工作面，用 15°铰刀绞削下工作面。关于气门工作面宽度，进气门可掌握在 0.9 mm（规定为 1.0 ~ 2.2 mm），排气门可掌握在

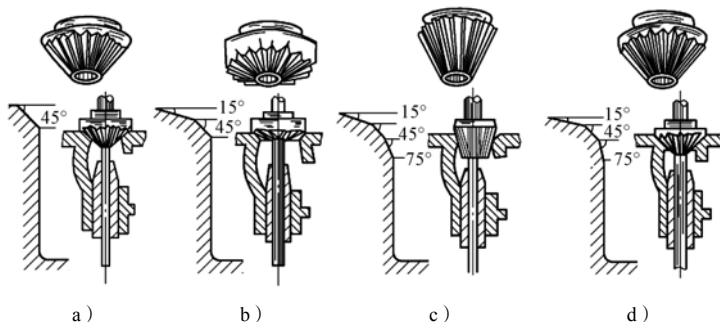


图 3-14 气门座的绞修顺序

1.4 mm（规定为 1.5 ~ 2.5 mm）调整后，用细铰刀精铰并垫砂布修磨，铰削方法如图 3-15 所示。此时气门下陷气门座平面不能超过 1 mm。

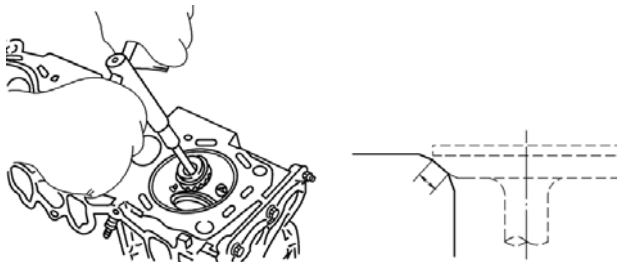


图 3-15 气门座的铰修方法

（2）气门与气门座手工研磨。如图 3-16 所示，将一木杆插入气门捻子上孔，用气门捻子吸住气门顶面，将气门工作锥面涂上粗研磨砂，注意不要将研磨砂掉进气门导管中。上下拍打气门，同时旋转气门捻子，直到形成一条灰色环带。擦去粗研磨砂，再用细研磨砂涂在气门工作锥面，上下拍打气门，旋转气门捻子，形成一条亮白色的环带。擦去细研磨砂，再用机油研磨，形成一条光亮的环带。现在通常采用机械研磨机。

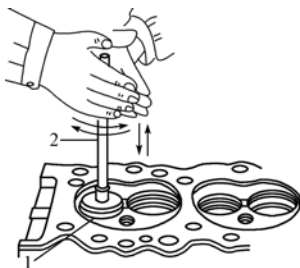


图 3-16 气门手工研磨

1—气门；2—气门捻子

（3）密封性检查。用铅笔在气门杆工作锥面上划一条条竖线，将气门放入气门座中，旋转气门一圈，如果气门工作锥面上的竖线被切断，说明密封性较好。也可将气门装好，向气门座中倒入汽油，如果没有汽油渗下，说明密封性良好。

3.1.4 配气正时安装方法及判断

所谓配气正时，就是确定曲轴与凸轮轴之间的装配位置。为了安装方便，一般发动机配气机构都在曲轴的齿轮（或链、带轮）上标有明确的安装标记，安装时只要将标记对齐即可。如果需要更换新配件，而新配件的标记出错或模糊不清，则需要对配气机构安装标记是否正确做出判断，确保安装正确，避免因误装造成

零部件损坏。具体判断方法如下:

(1) 寻找第一缸活塞上止点。在配气机构安装完成后,用手动方法转动曲轴,使第一缸活塞处于上止点位置。

(2) 判断是否压缩行程上止点。检查与第一缸活塞做同步运动的相对应的气缸上的气门(如在直列式四缸机中,与第一缸活塞做同步运动的缸是第四缸,六缸机的是第一缸和第六缸相对应),假如此时正好是第一缸的压缩上止点,则第一缸气门应处于完全关闭状态,有一定的气门间隙,而与之做同步运动的另一缸的气门应处于微开状态,无气门间隙,反之亦然。若不符此特征,则说明装配不正确。

3.1.5 配气机构的常见故障诊断和排除

1. 气门脚响

在发动机的上方气门处,有“哒哒”响声,随转速的增加响声增大,冷车时响声较大,热车时响声减少,其响声频率比发动机转速频率低,一般为气门间隙过大,调节气门间隙到合适位置即可。

2. 气门漏气

出现发动机启动困难、进气管回火、排气管放炮、冒烟、燃油消耗增加以及异响等现象,拔出空气滤清器,在进气管处倾听有“嗤嗤”漏气声,一般为气门与气门座密封不严,先对气门座进行铰削,再与气门互研。

3. 气门与气门导管间隙过大

若气门与气门导管间隙过大,则会出现排气冒黑烟、烧机油,而气缸的压力正常的情况。如果出现这种情况,可通过以下方法检查:

(1) 拆下气缸盖并拆下气门弹簧组件和气门油封,抽出门,查看进气门头是否有因烧机油而形成的积炭。

(2) 用左手大拇指堵住气门导管上端口,给气门杆涂上一些机油后,从下端口插入气门,此时如果左手大拇指明显感觉到有气体压力,则说明气门和导管间隙合适,否则说明其间隙过大,应更换新的气门和导管。

4. 气门弯曲

在汽车行驶过程中,如果正时皮带断裂或连杆瓦严重烧损导致间隙过大或配气正时装错,会造成活塞和气门直接冲击以致气门弯曲。主要故障表现为:气门关闭不严,回火或放炮,发动机运转无力,气缸压力下降。因此,要更换气门,如果导管也受损,则应同时更换导管。

5. 正时皮带断裂或扫齿

正时皮带断裂或扫齿时的主要故障表现为:启动发动机时,马达启动有力,但高压线无电,不能启动。此时应该打开正时皮带室盖,当启动发动机启动时,

可看到皮带不转动。若出现此情况，应拆下正时皮带室前端盖，更换皮带，更换完毕后启动发动机，测量气缸压力，如果发现有气缸压力不足的现象，则要说明有气门被拉弯，需要更换气门。

3.2 相关知识

3.2.1 配气机构的结构组成及工作原理

1. 配气机构的功用与分类

1) 配气机构的功用

配气机构的功用是根据发动机各缸的工作循环和着火次序适时地开启和关闭进排气门，使足量的新鲜的纯净空气（柴油机）或燃油和空气的混合气（汽油机）及时地进入气缸，并及时地将废气排出。

2) 充气效率

充气效率是指新鲜空气或可燃混合气充满气缸的程度。充气效率高，表明进入气缸的新鲜气越多，可燃混合气燃烧时放出的热量也就越大，发动机的功率越大。

3) 配气机构的类型

常用的配气机构类型有两种：一种是气孔式配气机构，它是在气缸套上开进、排气孔，通过活塞运动的位置来控制进、排气过程，一般用于二冲程发动机；另一种是气门式配气机构，它是由凸轮驱动，通过传动机构来驱动进、排气门的开闭，常用于四冲程发动机。这里重点介绍气门式配气机构。

气门式配气机构的分类有：根据气门位置的不同分为顶置式和侧置式；按曲轴和凸轮轴之间的传动方式分为齿轮传动、链条传动和齿带传动，如图 3-17 所示；按每个气缸的气门数目分两气门式、四气门、五气门式等类型；按凸轮轴的布置方式，可分为凸轮轴下置式、凸轮轴中置式、凸轮轴上置式，如图 3-18 所示。

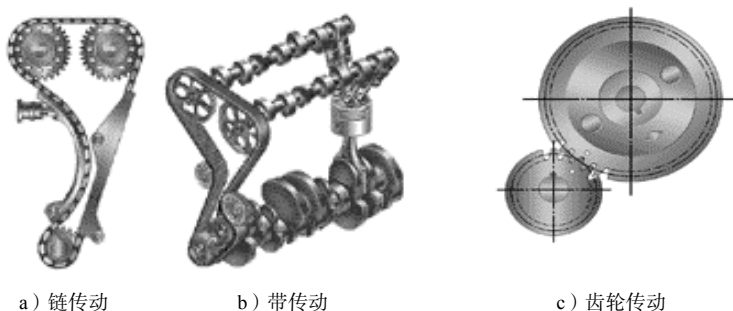


图 3-17 气门传动方式

气门顶置式配气机构中,进、排气门都安装在气缸盖上;侧置式配气机构的进、排气门布置在发动机的一侧,气缸盖结构简化,但燃烧室不紧凑,进、排气道拐弯多,进、排气阻力大,已趋于淘汰。现代发动机一般采用顶置式配气机构。

2. 配气机构的总体组成与工作原理

(1) 总体组成。以应用广泛的凸轮轴下置式配气机构为例,其进、排气门都装在气缸盖上,凸轮轴装在曲轴箱内,如图 3-18a) 所示。其组成主要包括正时齿轮 1、凸轮轴 2、挺柱 3、推杆 4、摇臂 5、摇臂轴 6、调整螺钉及锁紧螺母 7、摇臂 8、气门锁片 9、气门弹簧座 10、气门 11、防油罩 12、气门弹簧 13、气门导管 14、气门座 15 等。

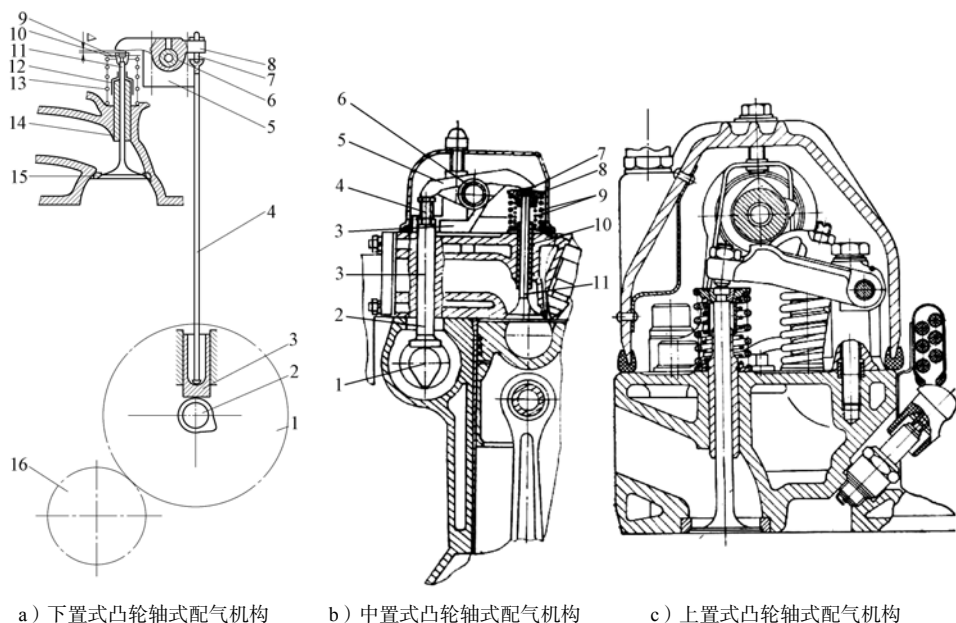


图 3-18 凸轮的布置

- 1—凸轮轴正时齿轮; 2—凸轮轴; 3—挺柱; 4—推杆; 5—摇臂轴支架; 6—摇臂轴;
7—调整螺钉及锁紧螺母; 8—摇臂; 9—气门锁片; 10—气门弹簧座; 11—气门; 12—防油罩;
13—气门弹簧; 14—气门管; 15—气门座; 16—曲轴正时齿轮; Δ—气门间隙

(2) 工作原理。发动机工作时,通过正时齿轮驱动进排气凸轮轴旋转,当凸轮轴某缸的进气凸轮克服气门弹簧力作用压下进气门时,进气门开启,开始进气;当进气凸轮轴转到凸轮的基圆时,该进气门在弹簧作用下回位,开度逐渐减小,直至最后关闭。排气门开闭的工作原理与进气门类似。四冲程发动机每完成一个工作循环,曲轴旋转两圈,各缸只进、排气一次,即凸轮轴只需转一圈,因此,曲轴与凸轮轴之间的传动比为 2 : 1。

下置式凸轮轴与气门相距较远，动力传递路线较长，环节多，惯性大，因此不适用于高速发动机。

上置式凸轮轴配气机构中的凸轮轴位于气缸盖，如图 3-18c) 所示，凸轮直接通过摇臂驱动气门，无挺柱与推杆，其往复运动的惯性大大减少，因此适用于高速发动机。

3. 气门组件结构

配气机构主要由气门组件、传动组件组成。

气门组件包括气门、气门座、气门导管、气门弹簧、弹簧座、锁片和弹簧等，如图 3-19 所示。其功用是保证气门与气门座的严密配合，实现气缸的密封。

(1) 气门。其功用是控制进、排气的开闭，要求有足够的强度、刚度，耐磨、耐高温、耐腐蚀、耐冲击性。常用材料：进气门采用合金钢（铬钢、镍铬钢、铬钼钢等），排气门采用耐热合金钢（硅铬钢）。结构上由由头部、杆身和尾部组成。气门头部是一个具有圆锥斜面的圆盘，气门锥角一般为 45° ，也有采用 30° 的。气门头部的边缘应保持一定厚度，一般为 $1 \sim 3 \text{ mm}$ ，以防工作中冲击损坏或被高温烧蚀。为保证密封可靠，气门密封锥面经过精加工并与气门座对研，研磨后的密封锥面上出现 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 的接触环带，故使用中不能互换。接触环带不仅起到密封作用，而且还有助于气门头部吸收大部分热量并通过接触环带传出去，此外还能在气门落座时挤掉接触面沉积物，有一定的自洁性能。气门杆尾部呈锥形并加工有环槽，用以安装气门锁片，并固定弹簧座；环槽则用来安装挡圈或卡簧，以防止气门折断或锁片脱落时气门落入气缸。气门杆与弹簧座的锁销连接方式如图 3-19 所示。

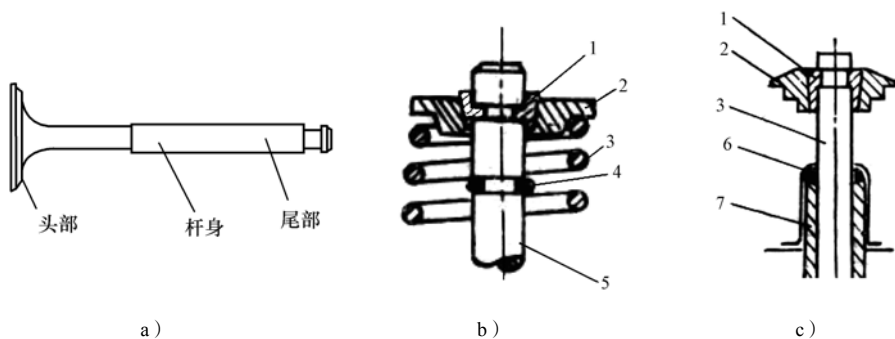


图 3-19 气门头部与气门尾部

1—锁片；2—弹簧座；3—气门弹簧；4—卡环；5—气门；6—防油罩；7—气门导管

(2) 气门座。气门座与气门头部密封锥面相配合以密封气缸，气门头部的热量经气门座传导到发动机体。气门座的类型有两种：一种是直接在气缸盖镗出，该类型具有良好的散热性能，加工较方便；另一种是镶嵌气门座圈，采用较好的

材料（合金铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁或奥氏体钢等）制成座圈，镶入气缸盖内，便于修理与更换。气门座圈压入气缸盖座孔，两者的配合采用过盈配合，过盈量为 $0.03 \sim 0.06 \text{ mm}$ 以保证压配可靠，防止工作时松脱，如图 3-20 所示。

（3）气门导管。气门导管的功用是保证气门做直线往复运动，将气门头部传给杆身的热量传出去。气门导管通常单独制成零件再压入缸盖或缸体中。由于润滑较困难，导管一般由含石墨较多的铸铁或粉末合金制成，以提高自润滑性能。气门导管外形如图 3-20 所示，其外表面有较高的加工精度、较低的表面粗糙度，与缸盖或缸体的配合有一定过盈量，以保证良好的传热并防止松脱，有的发动机对气门导管采用卡环定位。内表面与气门杆间隙配合，一般将气门导管压入缸盖或缸体后，精铰内孔，与气门杆配合的间隙非常小。为保证导向作用，导管应有一定的长度。

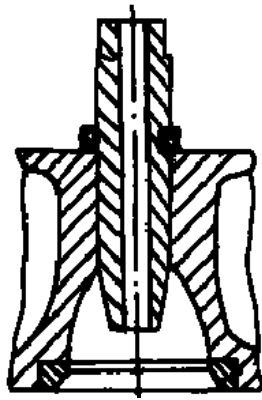


图 3-20 气门座与气门导管

（4）气门弹簧。其功用是保证气门能回位关闭，并保证气门与气门座的配合压力，另外还用以吸收气门在开启与关闭过程中各种运动零件所产生的振动。气门弹簧是圆柱形螺旋弹簧，一端支承在气缸盖或气缸体上，而另一端则压靠在气门杆端的弹簧座上，弹簧座用锁片固定在气门杆的末端。

（5）气门旋转机构。为了使气门头部温度均匀，防止局部过热引起的变形，以及便于清除气门座积炭，可设法使气门在工作中相对气门座缓慢地旋转。气门缓慢旋转时在密封锥面上产生轻微的摩擦力，可起到阻止沉积物形成的作用。

4. 气门传动组

（1）气门挺柱与推杆。挺柱的功用是将凸轮的推力传给推杆或气门。挺柱的常用材料有碳钢、合金钢、合金铸铁和冷激铸铁等，它与凸轮轴的材料必须有合理的组合配对。常用挺柱有普通挺柱与液压挺柱。常见的普通挺柱有筒形和菌形两种，如图 3-21a）所示。挺柱工作时，受凸轮侧向推力的作用会导致挺柱与导管之间单面磨损，并且挺柱底面与凸轮的接触固定不变，从而造成磨损不均匀。为避免这种现象的产生，挺柱底部工作面大多制成球面，并使凸轮与挺柱的接触点偏离挺柱轴线。当挺柱被凸轮顶起上升时，接触点的摩擦力使其绕本身轴线转动，以达到磨损均匀的目的。具有气门间隙的配气机构，虽然解决了材料热膨胀对气门工作的影响，但有气门隙，发动机工作时便会发生撞击而产生噪声。为解决这一矛盾，有些发动机采用液压挺柱，如图 3-21b）和图 3-22 所示：挺柱体内装有柱塞，柱塞上端压有球座 11 作为推杆的支承座，同时将柱塞内腔堵住。弹簧 14 用来将柱塞压向上方，卡簧 12 用来对柱塞限位。柱塞下端单向阀架内装有碟

形弹簧，用于关闭单向阀。

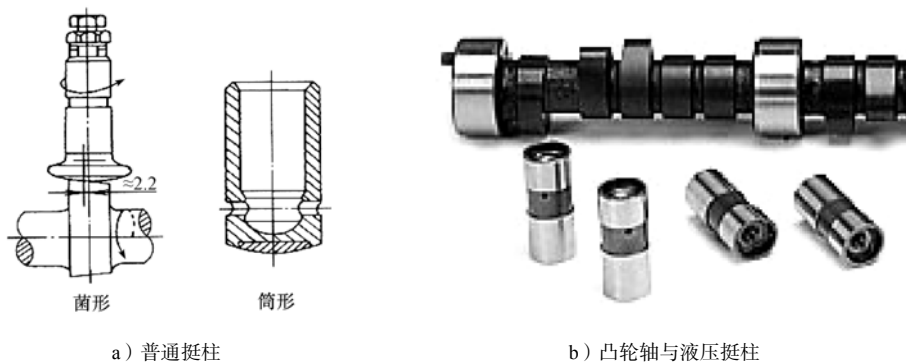


图 3-21 挺柱的结构

如图 3-22a) 所示，发动机工作时，机油沿主油道供到气门挺柱。当气门关闭时，机油经挺柱体和柱塞上的油孔压进柱塞腔内，并推开单向阀充入挺柱体腔内。柱塞便在挺柱体腔内油压及弹簧的作用下上行，与气门推杆压紧，但此压力远小于气门弹簧张力，气门不会被打开，只是消除了整个配气机构中的间隙。与此同时，挺柱体腔内油液也已充满，单向阀在碟形弹簧的作用下关闭。

当凸轮转到工作面使挺柱上推时（如图 3-22b）所示），气门弹簧张力便通过推杆作用在柱塞上，由于单向阀已关闭，柱塞便推压挺柱体腔内油液压力升高，

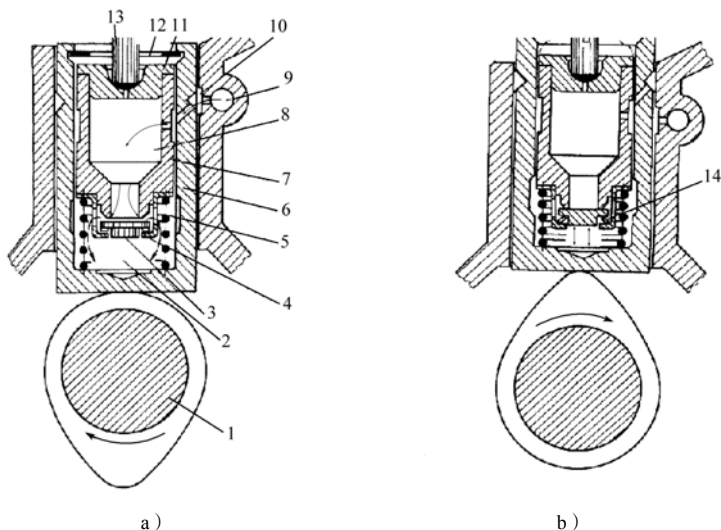


图 3-22 液压挺柱的结构

- 1—凸轮；2—高压油腔；3—单向阀；4—阀座；5—弹簧；6—挺柱体；7—柱塞；8—柱塞腔；
9—机油油道；10—斜油孔；11—球座；12—卡簧；13—推杆；14—碟形弹簧

而液体具有不可压缩性,挺柱便像一个整体一样推动气门开启。此过程中,由于挺柱体腔内油压较高,在柱塞与挺柱体的间隙处,将有少量的油液泄漏而使挺柱缩短。当凸轮转到非工作面时,解除了对推杆的推力,使挺柱腔内油压降低,于是主油道的油压将再次推开单向阀,向挺柱体腔内充油,来补充工作时的泄漏,并且此油压又和弹簧一起使柱塞上推,这样就始终保持了配气机构无间隙传力。

采用液压挺柱,消除了配气机构中的间隙,减少了各零件的冲击载荷和噪声,同时凸轮轮廓可设计得陡一些,气门开启和关闭更快,以减少进排气阻力,改善发动机的换气,提高发动机的性能,特别是高速性能。

使用液力挺柱的发动机应注意以下几个问题:①对润滑油的压力和滤清质量要求较严格,当润滑油压力过低时,补油能力下降,气门间隙大;②液力挺柱拆洗后,装机前必须人工排气充油,否则启动困难;③冷机或停放时间长时,启动后有短暂的气门响声,这是正常现象。

(2) 摇臂。摇臂是一个双臂杠杆,如图 3-23 所示,其功用是改变推杆传动的运动方向,并将运动传给气门杆尾端,推开气门。摇臂两侧边的臂长比值一般为 1.6 左右。短臂端装有调节螺钉,而与推杆接触,长臂端用于推动气门杆端。因此,在一定的气门开度下,可减少凸轮的最大升程。工作时,摇臂承受较大的弯曲应力,摇臂长端头部沿气门杆端滑动,易磨损,因此摇臂多用钢模锻压制而成,使其具有足够的强度、刚度和耐磨性。也有用球墨铸铁制造,断面呈“工”字形或“T”字形的。长臂端与气门杆端接触部位制成圆柱形,并经淬火处理以提高表面硬度和耐磨性。摇臂通过摇臂轴支承在摇臂支座上,摇臂轴为中空形,摇臂内钻有油孔,润滑油从支座的油道经摇臂轴通向摇臂的两端进行润滑。为了防止摇臂在轴上产生轴向窜动,相邻两摇臂间装有弹簧或卡簧限位。

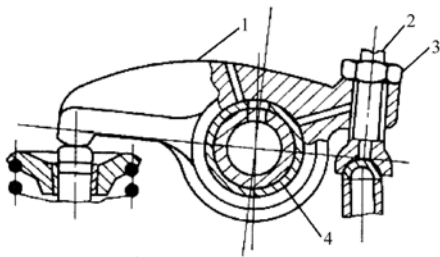


图 3-23 摇臂的结构

1—摇臂; 2—调整螺钉; 3—锁紧螺母; 4—轴套

(3) 凸轮轴。凸轮轴是气门传动组的主要部件,其主要功用是根据发动机各缸的工作顺序及时开启与关闭进、排气门。凸轮轴上配置有各缸的进、排气凸轮和轴颈,有的还配有驱动输油泵的偏心轮或驱动汽油机分电器的齿轮,凸轮之间的位置决定了配气相位和各缸的工作顺序。凸轮受到了气门间歇性开启的周期性

冲击载荷，因此要求凸轮表面耐磨，并具有足够的强度与刚度。凸轮轴一般由优质钢模锻而成，近年来广泛采用合金铸铁或球墨铸铁制造，其轴颈和凸轮表面一般都要经过热处理。凸轮轴轴承则由青铜、铸铁或铁基粉末合金制造。大多数凸轮与凸轮轴制成整体式，如图 3-24 所示，当凸轮轴较长时，可分段制造。凸轮轴以轴颈支承在机体上轴承上，一般每隔两个气缸用一个轴颈支撑，四缸内燃机的凸轮轴则用三道轴颈来支撑。凸轮轴的轴承一般采用整体式的，安装时凸轮轴从机体的一端插入轴承内，因此支撑轴颈的尺寸必须大于凸轮外形的尺寸。各凸轮的相对位置和凸轮的外形轮廓是凸轮轴结构的核心。发动机各个气缸同名凸轮（进气或排气凸轮）的相对角位置取决于发动机的工作顺序、冲程数和气缸数目。

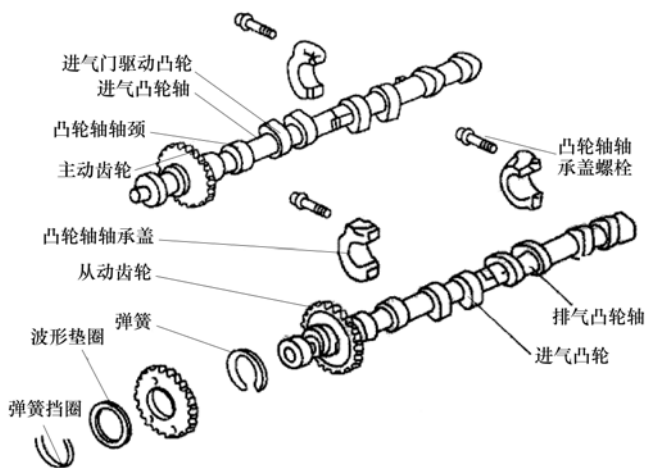


图 3-24 凸轮轴的结构

为了防止产生轴向移动，必须对凸轮轴进行轴向定位，一般采用止推片进行轴向定位，也可采用止推螺栓进行轴向定位。

（4）凸轮轴的驱动。凸轮轴是由曲轴通过传动装置来驱动的，所用传动装置有齿轮、链和齿形带等。下置凸轮轴的汽油机通常由一对正时齿轮传动，如图 3-25 所示。在柴油机上凸轮轴与曲轴中心距一般较大，且需要同时驱动喷油泵，故加入中间惰轮传动。为了使齿轮啮合平顺，减小噪声和磨损，正时齿轮采用斜齿轮传动并且使用不同材料制成。通常小齿轮用中碳钢，大齿轮除柴油机用钢制外，多用夹布胶木塑料等。为保证装配时的配气正时，齿轮上都有正时记号，装配时必须使记号对齐。如图 3-25 所示，Z-Z 为配气正时记号，Y-Y 为喷油正时齿轮，X-X 为二者共用正时记号，装配时三对记号必须都对正。链传动一般用于顶置凸轮轴的发动机上。为了防止链条抖动，装有导链板和张紧装置，张紧装置分为机械式和液压式两种，液压式是利用发动机的机油进入液压腔，推动其内部的活塞