

## 内 容 简 介

本书从汽车类专业毕业生工作岗位需要出发,系统地介绍了现代汽车的基本结构和工作原理。内容主要包括汽车发动机,汽车传动系统,汽车行驶、转向和制动系统,汽车车身与附属装置等部分,涉及汽车新技术的应用,内容深入浅出,注重理论联系实际。

本书可作为高职高专院校汽车类专业的教材,也可作为成人高等教育或汽车技术人员的培训教材,还可供广大汽车爱好者扩展知识使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车构造/王贵槐主编. -- 北京:北京邮电大学出版社,2014.5(2023.1重印)

ISBN 978-7-5635-3944-4

I. ①汽… II. ①王… III. ①汽车—构造—高等职业教育—教材 IV. ①U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 099256 号

策划编辑: 马子涵 责任编辑: 边丽新 封面设计: 刘文东

---

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 20.75

字 数: 505 千字

版 次: 2014 年 5 月第 1 版

印 次: 2023 年 1 月第 7 次印刷 2019 年 7 月修订

---

ISBN 978-7-5635-3944-4

定 价: 59.80 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

服务电话:400-615-1233

## 学习目标

- 了解曲柄连杆机构功用与组成；
- 分析曲柄连杆机构受力情况；
- 掌握机体组的结构特点；
- 掌握活塞连杆组结构特点；
- 掌握曲轴结构特点；
- 了解多缸发动机连杆轴颈布置形式；
- 了解曲轴扭转减振器、飞轮的工作原理及结构；
- 掌握曲柄连杆机构总成的拆装及检测方法。



## 理论知识

## 一、曲柄连杆机构概述

## 1. 曲柄连杆机构的功用与组成

曲柄连杆机构是发动机实现能量转换的主要机构。它的功能是把燃气作用在活塞顶上的压力转变为曲轴的转矩,以向工作机械输出机械能。

在做功冲程,曲柄连杆机构将燃料燃烧产生的热能转变为活塞往复运动的机械能,再转变为曲轴的旋转运动而对外输出动力;在其他冲程,它将曲轴的旋转运动变为活塞的往复运动,为做功冲程做准备。

发动机产生的动力大部分经曲轴后端的飞轮传给传动系统中的离合器,还有一部分经曲轴前端的齿轮和带轮驱动其他机械。

曲柄连杆机构主要由以下三部分组成。

(1)机体组。机体组主要包括气缸体、曲轴箱、气缸盖、气缸套、气缸衬垫、油底壳等不动件。

(2)活塞连杆组。活塞连杆组主要包括活塞、活塞环、活塞销和连杆等运动机件。

(3)曲轴飞轮组。曲轴飞轮组主要包括曲轴、曲轴扭转减振器、飞轮等机件。

## 2. 曲柄连杆机构的工作条件与受力分析

发动机做功时,气缸内温度可达 2 500 K 以上,压力可达 5~9 MPa,现代汽车发动机转



速可达 3 000~6 000 r/min, 活塞每秒要行经 100~200 个行程, 其线速度很大。此外, 与可燃混合气和燃烧废气接触的气缸套、气缸盖、活塞等还将受到化学腐蚀。因此, 曲柄连杆机构是在高温、高压、高速和有化学腐蚀的条件下工作的。

由于曲柄连杆机构是在高压下做变速运动, 因此它在工作中的受力情况非常复杂。其所受的力主要有气体作用力、往复运动件的质量惯性力、旋转运动件的旋转惯性力以及相对运动件接触表面的摩擦力。上述各种力作用在曲柄连杆机构的各有关零件上, 使它们受到压缩、拉伸、弯曲和扭转等不同形式的载荷。为了保证曲柄连杆机构工作可靠、减少摩擦、减轻振动, 在结构上必须采用相应的措施。如为了增强连杆抵抗变形的能力, 将连杆杆身断面制成“工”字形; 为了降低活塞的质量惯性力的影响, 活塞采用密度小的铝合金; 为了降低曲轴的旋转惯性力的影响, 在曲轴上增设平衡块; 为了减少机件的磨损, 提高加工和装配精度, 提高材料的硬度, 加强润滑等。

## 二、机体组

机体组的分解图如图 2-1 所示。

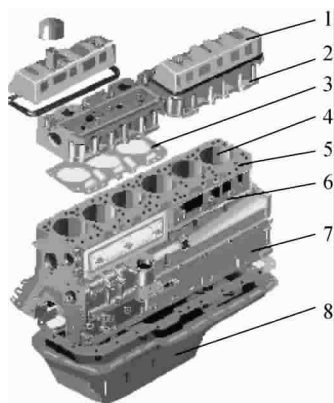


图 2-1 机体组的分解图

1—气缸盖罩; 2—气缸盖; 3—气缸盖衬垫; 4—气缸; 5—油道和水道; 6—气缸体;  
7—曲轴箱; 8—油底壳

### 1. 气缸体

#### 1) 气缸体的基本结构

水冷式发动机的气缸体和曲轴箱常铸成一体, 称为气缸体-曲轴箱, 简称气缸体。气缸体上部的若干圆柱形空腔称为气缸, 活塞在其中运动导向。下半部为支承曲轴的曲轴箱, 其内部为曲轴运动的空间。气缸体是发动机各个机构和系统的装配基体, 由它来保持发动机各运动件相互之间的准确位置关系。气缸体的上、下两个平面用于安装气缸盖和油底壳。

气缸体承受较大的机械负荷和热负荷。气缸体应具有足够的刚度和强度, 良好的耐热性和耐腐蚀性, 一般采用优质灰铸铁铸造。有些发动机为了减轻质量, 加强散热而采用铝合金铸造。为保证发动机能在高温下正常工作, 必须对气缸体和气缸盖进行冷却, 其冷却方式有水冷和风冷两种, 汽车发动机多采用水冷的方式。

气缸体的具体结构形式可分为三种, 如图 2-2 所示。

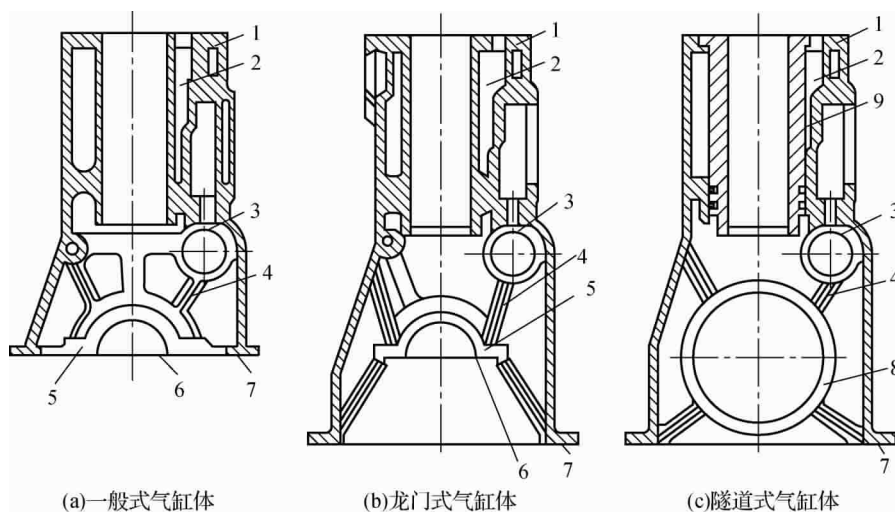


图 2-2 气缸体的具体结构形式

1—气缸体；2—水套；3—凸轮轴座孔；4—加强筋；5—主轴承座；6—安装主轴承盖的加工面；  
7—安装油底壳的加工面；8—主轴承座孔；9—湿式气缸套

发动机的曲轴轴线与气缸体下表面在同一平面的为一般式气缸体,如图 2-2(a)所示。其特点是机体高度低、质量轻、结构紧凑、便于加工、曲轴拆装方便,但刚度和强度较差,多用于中、小型发动机。

发动机的曲轴轴线高于曲轴箱分开面的为龙门式气缸体,如图 2-2(b)所示。其特点是强度和刚度较好,能承受较大的机械负荷,但工艺性较差,多用于大、中型发动机。

隧道式气缸体如图 2-2(c)所示,主轴承座孔不分开,主轴承采用滚动轴承,其结构紧凑、结构刚度比龙门式的更高,但加工精度要求高、工艺性较差、曲轴拆装不方便,多用于负荷较大的柴油机。

## 2) 气缸的排列形式

汽车用多缸发动机的气缸排列形式基本上有三种:直列式、V形和对置式,如图 2-3所示。

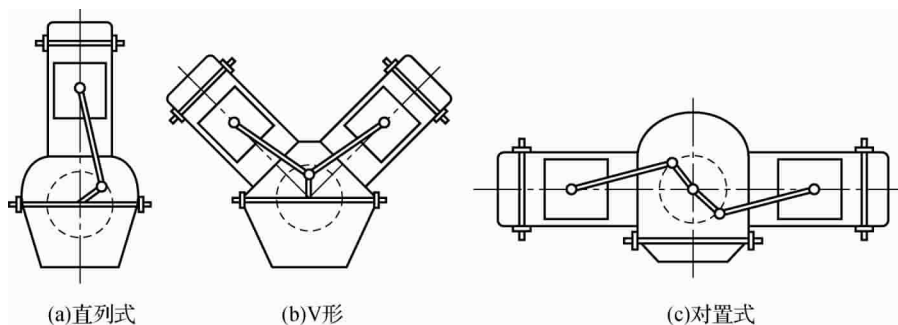


图 2-3 气缸的排列形式

直列式发动机如图 2-3(a)所示,发动机的各个气缸排成一列,一般是垂直布置的。但为了降低高度,有的也把气缸布置成倾斜甚至水平的。这种排列形式气缸体结构简单,加工简



单,但长度和高度较大。六缸以下发动机多采用直列式。

V形发动机如图 2-3(b)所示,将气缸排成两列,其气缸中心线的夹角  $\gamma < 180^\circ$ ,缩短了发动机的长度,降低了发动机的高度,增加了气缸体的刚度,但是形状复杂,加工困难。八缸以上发动机多采用 V 形布置。

对置式发动机如图 2-3(c)所示,其高度比其他形式的低得多。在某些情况下,使得汽车(特别是轿车或大型客车)的总布置更为方便,但已逐渐被大多数汽车企业淘汰。

## 2. 气缸套

气缸工作表面由于和高温高压的燃气接触,且有活塞在其中做高速往复运动,故必须耐高温、耐磨和耐腐蚀。为了提高耐磨性,可从材料、加工精度和结构等方面予以考虑。缸体的材料一般是优质灰铸铁,为了提高耐磨性,可采用含镍、钼、铬合金元素的优质耐磨铸铁,但成本高。目前广泛应用的是在气缸体内、气缸套的结构。对于铝合金气缸体而言,因其耐磨性差,必须在气缸体内、气缸套。

气缸套有干式和湿式两种,如图 2-4 所示,均采用耐磨合金铸铁制造,内表面还可进行表面淬火、镀铬等,进一步提高耐磨性。

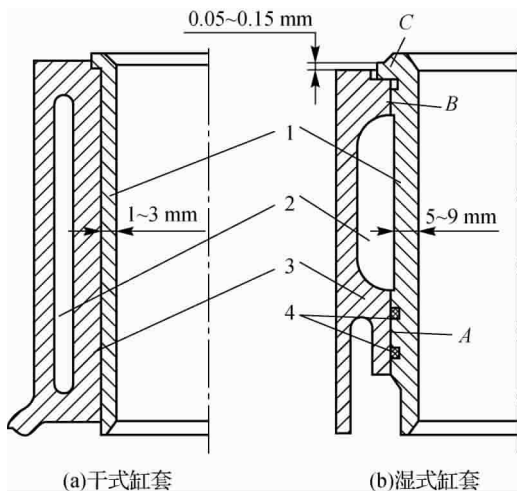


图 2-4 发动机气缸套及其组件

1—气缸套; 2—冷却水套; 3—气缸体; 4—橡胶密封圈

A—下支承定位带; B—上支承密封带; C—凸缘

### 1) 干式气缸套

干式气缸套如图 2-4(a)所示,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 1~3 mm。

为了获得与气缸体间足够的实际接触面积,保证气缸套的散热和定位,气缸套的外表面和与其配套的气缸体承孔的内表面都有一定的加工精度,二者一般采用过盈配合。

干式气缸套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,散热较差。

### 2) 湿式气缸套

湿式气缸套如图 2-4(b)所示,装入气缸体后,其外壁直接与冷却水接触,气缸套仅在上、



下各有一凸出圆环带和气缸体接触,壁厚一般为 5~9 mm。

湿式气缸套的上支承定位带直径略大,与气缸套座孔配合较紧密。下支承密封带与气缸套座孔配合较松,通常装有 1~3 道橡胶密封圈来封水。气缸套装入座孔后,通常气缸套顶面略高出气缸体上平面 0.05~0.15 mm。这样,当紧固气缸盖螺栓时,可将气缸衬垫压得更紧,以保证气缸的密封性,防止冷却水和气缸内的高压气体窜漏。

湿式气缸套具有散热良好、冷却均匀、加工容易、拆装方便的特点。但强度、刚度都不如干式气缸套好,且容易产生漏水现象,主要用于高负荷的柴油机和铝合金缸体发动机。

### 3. 气缸盖

气缸盖的主要功能是封闭气缸上部,并与活塞顶部和气缸壁一起构成燃烧室。

#### 1) 气缸盖基本结构

气缸盖的结构复杂,除燃烧室外还设置有冷却循环水水套、润滑油油路、 $\psi$  塞座孔(汽油机)或喷油器座孔(柴油机)、进气道和排气道。上置凸轮轴式发动机的气缸盖上还有用以安装凸轮轴的轴承座。如图 2-5 所示为上海桑塔纳轿车发动机的气缸盖及其零件分解图。

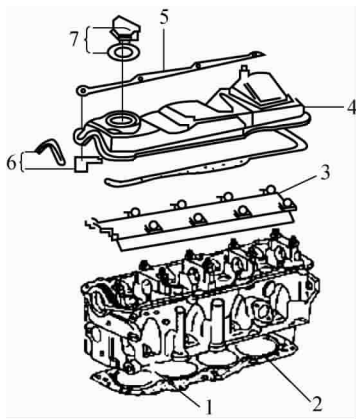


图 2-5 上海桑塔纳轿车发动机的气缸盖及其零件分解图

- 1—气缸盖; 2—气缸盖衬垫; 3—机油反射罩; 4—气缸盖罩;  
5—压条; 6—气门罩垫; 7—加油盖

在多缸发动机中,只覆盖一个气缸的气缸盖,称为单体气缸盖;能覆盖部分气缸(两个以上)的气缸盖称为块状气缸盖;能覆盖全部气缸的气缸盖称为整体气缸盖。采用整体气缸盖可以缩短气缸中心距和发动机的总长,但刚性较差,在受热和受力后容易变形而影响密封,损坏时必须整个更换。整体气缸盖多用于缸径小于 105 mm 的汽油机。气缸盖一般采用灰铸铁或合金铸铁铸造,轿车用汽油机多采用铝合金气缸盖。

气缸盖用螺栓紧固在气缸体上。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,最后一次用扭力扳手按规定的拧紧力矩拧紧,以免损坏气缸盖衬垫,避免发生漏水、漏气现象。

#### 2) 燃烧室

汽油机的燃烧室由活塞顶部及气缸盖上相应的凹部空间组成。燃烧室应保证充气效率高,结构紧凑、冷却面积小,有良好的进气及挤气涡流,表面光滑,不易积炭。

汽油机常见的燃烧室形状有楔形、盆形和半球形,如图 2-6 所示。

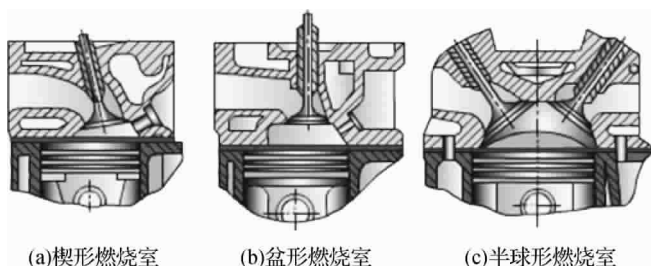


图 2-6 汽油机常见的燃烧室形状

(1)楔形燃烧室。楔形燃烧室结构简单、紧凑。气门相对气缸轴线倾斜,进气道比较平直,进气阻力小,压缩终了时能形成挤气涡流,因而燃烧速度较快,经济性和动力性较好。楔形燃烧室多用于每缸两气门的发动机。

(2)盆形燃烧室。盆形燃烧室结构简单、较紧凑,气门与气缸轴线平行,进气道弯度较大,进气阻力较大,压缩终了时能形成挤气涡流。盆形燃烧室一般用于每缸两气门的发动机。

(3)半球形燃烧室。半球形燃烧室结构紧凑,火花塞布置在燃烧室中央,燃烧室表面积与其容积之比(面容比)最小。进、排气门呈两列倾斜布置,气门直径较大,气道较平直,火焰传播距离较短,不能产生挤气涡流。半球形燃烧室多用于高速发动机。

### 3) 气缸垫

气缸盖衬垫(简称气缸垫)安装于气缸盖和气缸体工作平面间,又称气缸床,如图 2-7 所示,其作用是保证气缸体与气缸盖间的密封,防止发生漏水、漏气、漏油。

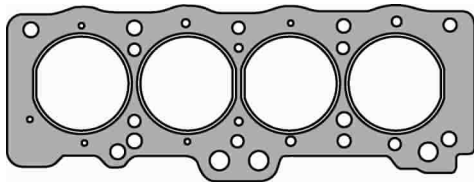


图 2-7 气缸垫

根据所用材料,气缸垫可分为以下三种类型。

(1)金属-石棉气缸垫。金属-石棉气缸垫外面包有铜皮或钢皮,在缸口、水口、油孔周围卷边加强,内填石棉;或以编织的钢丝网或有孔钢板为骨架,外覆石棉及黏结剂压制而成,只在缸口、水口、油孔处用金属片包边。该类型的气缸垫具有良好的弹性和耐热性,能重复使用。

(2)金属-复合材料气缸垫。金属-复合材料气缸垫用编织钢丝、钢片或冲孔钢片为骨架,在钢板的两面粘覆耐热、耐压和耐腐蚀的新型复合材料,表面涂以石墨粉等润滑剂,只在缸口、水口、油孔处用金属片包边。

(3)全金属气缸垫。全金属气缸垫由单层或多层金属片(铜、铝或低碳钢)制成,其强度高,抗腐蚀能力强。

金属-复合材料气缸垫和全金属气缸垫均属无石棉气缸垫,因没有石棉夹层,消除了气缸垫中气囊的产生及石棉污染,是新型气缸垫的发展方向。



气缸垫安装时应注意安装方向。一般是将卷边朝向易修整的接触面或硬平面。如气缸盖和气缸体同为铸铁时,卷边朝向易修整的气缸盖;气缸盖为铝合金、气缸体为铸铁时,卷边朝向较硬的气缸体。气缸垫也可根据标记或文字要求安装。

#### 4) 气缸盖罩

在气缸盖上部有一个能起到密封作用的气缸盖罩,如图 2-5 中的 4,有的也叫气门室罩。气缸盖罩一般用薄钢板冲压而成,上设有加注机油用的注油孔。气缸盖罩与气缸盖之间设有密封垫。

### 4. 油底壳

油底壳用于封闭下曲轴箱并储存机油。由于油底壳一般不受力,常用薄钢板冲压制成,如图 2-8 所示。

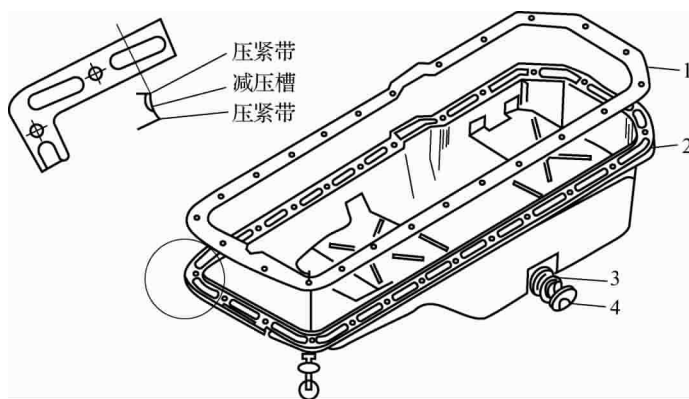


图 2-8 油底壳及其附件

1—密封垫; 2—油底壳; 3—密封圈; 4—磁性放油塞

油底壳的形状取决于发动机的总体布置和机油的容量。有些发动机为了加强油底壳内机油的散热,采用铝合金铸造的油底壳,在壳的底部还铸有相应的散热筋片。

为了保证发动机纵向倾斜时机油泵仍能吸到机油,油底壳中部做得较深,并在最深处装有放油塞。有的放油塞是磁性的,能吸集机油中的金属屑,以减少发动机运动部件的磨损。油底壳内还设有挡油板,防止汽车震动时油面波动过大。

为了防止漏油,曲轴箱与油底壳之间装有密封垫,也有涂密封胶的。

### 5. 发动机的支承

发动机一般通过气缸体和飞轮壳或变速器支承在车架上,发动机的支承方法一般有三点支承和四点支承两种,如图 2-9 所示。有些发动机还采用了相当于液压减振器的液压力弹性支承。



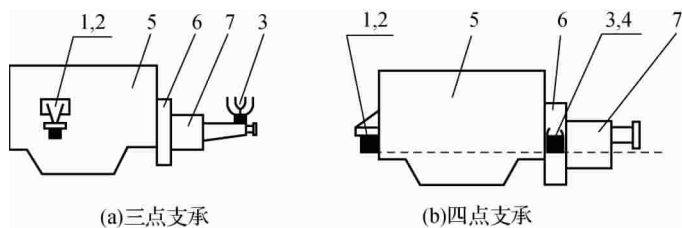


图 2-9 发动机的支承

1、2、3、4—支承；5—发动机；6—离合器；7—变速器

三点支承可布置成前二后一，前端两点通过曲轴箱支承在车架上，后端一点通过变速器壳支承在车架上。四点支承的前、后各两个支承点，前端两点通过曲轴箱支承在车架上，后端一点通过飞轮壳支承在车架上。

发动机在车架上采用弹性支承是为了消除汽车行驶中车架的扭转变形对发动机的影响，减小传给底盘和乘员的震动和噪声。为了防止汽车制动或加速时由于弹性元件的变形产生的发动机纵向位移，发动机设有纵拉杆，通过橡胶垫块使发动机与车架纵梁相连。另外，考虑到发动机的振动或摆动，所有与发动机相连的各种水管、油管、接线及杆件都应采用柔性连接。

### 三、活塞连杆组

活塞连杆组的组成如图 2-10 所示。

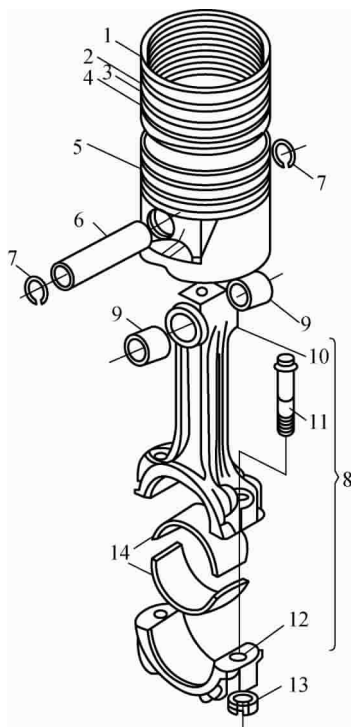


图 2-10 活塞连杆组的组成

1、2—活塞环；3—油环刮片；4—油环衬簧；5—活塞；6—活塞销；7—活塞销卡环；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—连杆轴瓦



## 1. 活塞

### 1) 活塞的功用

活塞的功用是与气缸盖共同构成燃烧室,承受气体压力,并将此力通过活塞销传给连杆,以推动曲轴旋转。

### 2) 活塞的工作条件

活塞是在高温、高压、高速、润滑不良和散热困难的条件下工作的。

由于活塞顶部直接与高温燃气接触,燃气的温度可达 2 700 K 以上,活塞顶部的温度可达 600~700 K。高温一方面使材料的强度和硬度显著降低,另一方面会使活塞的热膨胀量增大,容易破坏活塞与其相关零件的配合。

活塞在做功冲程中,受到燃气带冲击性的高压力的作用。柴油机瞬时压力为 6~9 MPa,汽油机为 3~5 MPa。燃气高压力的作用导致活塞侧压力增大,加速活塞表面磨损,引起活塞变形。

由于发动机转速很高,活塞的往复运动的平均线速度可达 8~12 m/s,活塞还承受本身所产生的极大的往复惯性力。

活塞由于受到上述周期性变化的燃气压力和惯性力的作用,各个部分就产生交变的拉伸、压缩和弯曲应力,从而引起活塞的变形、磨损等各种损坏。

活塞的工作条件要求活塞具有足够的强度和刚度;质量要小,以保持较小的惯性力;具有良好的导热性和较小的热膨胀性;活塞与气缸壁间有较小的摩擦系数等。

汽车发动机广泛采用的活塞材料是铝合金,有的柴油机上也采用合金铸铁或耐热钢制造活塞。铝合金活塞具有质量小、导热性好的优点;其缺点是热膨胀系数较大、在高温时强度和刚度下降较大,一般要在结构设计、机械加工或热处理上采取措施加以弥补。

### 3) 活塞的结构

活塞主要有顶部、头部和裙部三部分基本结构,如图 2-11 所示。

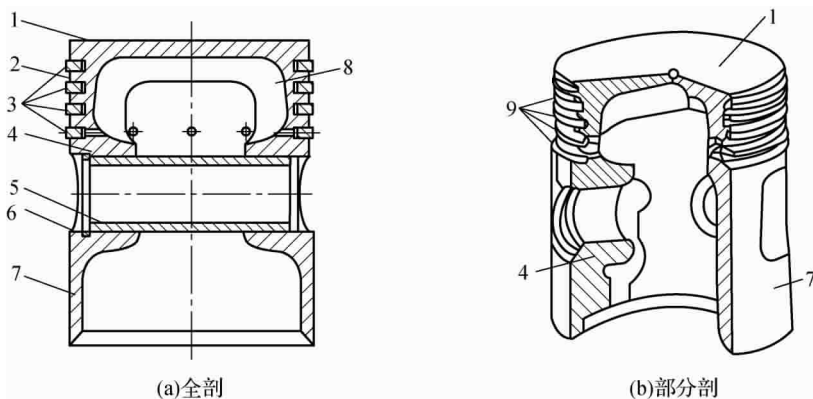


图 2-11 活塞的结构

1—活塞顶部; 2—活塞头部; 3—活塞环; 4—活塞销座; 5—活塞销; 6—活塞销锁环;  
7—活塞裙部; 8—加强筋; 9—活塞环槽

(1) 活塞顶部。活塞顶部是燃烧室的组成部分,用来承受气体压力,其常见形状如图 2-12 所示。为了提高刚度和强度,并加强散热能力,其背面多有加强筋。汽油机活塞顶



部形状与燃烧室形状和压缩比大小有关。

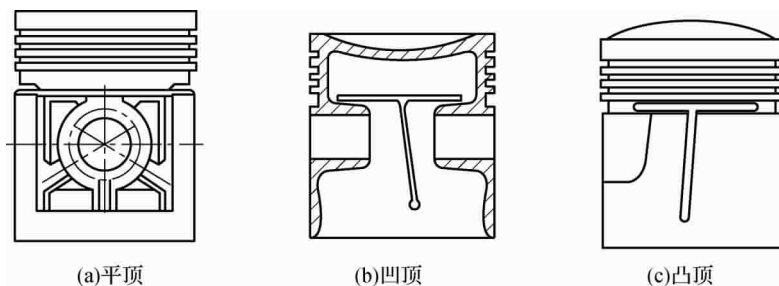


图 2-12 活塞顶部形状

平顶活塞结构简单,且受热面积小、温度低,加工方便,在汽油机上广泛采用;凹顶活塞可以用来调节发动机的压缩比,且可以改善燃烧室形状,但顶部受热量大,易形成积炭,加工较难;凸顶活塞顶部刚度较大,制造时可减薄顶部的厚度来减轻质量,但顶部温度较高,主要适用于二冲程发动机。

(2)活塞头部。活塞头部是活塞最下一道环槽以上的部分。其作用是承受气体压力并传给连杆,与活塞环一起实现气缸的密封,将热量通过活塞环传给气缸壁。

活塞头部有若干道用于安装活塞环的环槽,上面 2~3 道环槽用于安装气环,下面 1~2 道环槽用于安放油环。在油环槽底面上钻有若干小孔或切有横向槽,油环从气缸壁上刮下来的多余机油经此流回油底壳。汽车用汽油机活塞大都采用二道气环和一道油环的结构。

活塞头部一般做得较厚,以便于热量从活塞顶经活塞环传到气缸的冷却壁面上,从而防止活塞顶部的温度过高。

(3)活塞裙部。活塞裙部是指油环槽下端以下部分,其作用是使活塞在气缸内做往复运动导向和承受侧压力。

活塞裙部的基本形状为一薄壁圆筒,圆筒完整的称为全裙式。现代汽车发动机为了减小活塞质量,广泛采用半拖鞋式活塞裙部,其结构是把活塞裙部负荷能力不大的部分切去,形成半拖鞋式裙部,如图 2-13 所示。这种结构的活塞裙部弹性较好,可以减小活塞与气缸的装配间隙。

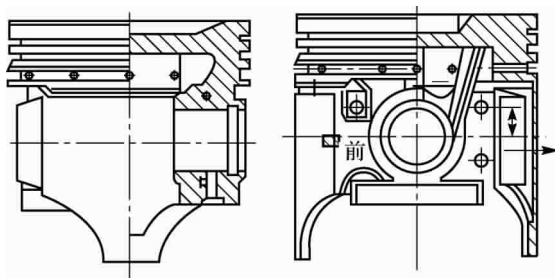


图 2-13 半拖鞋式活塞裙部

活塞在工作时会产生机械变形和热变形。机械变形是由于活塞在气体压力和侧压力的作用下,其裙部直径在活塞销轴线方向上增大;热变形是由于活塞销座附近的金属量大,受热后膨胀量也大。这些变形使活塞裙部断面变成长轴在活塞销轴线方向上的椭圆,如



图 2-14 所示。

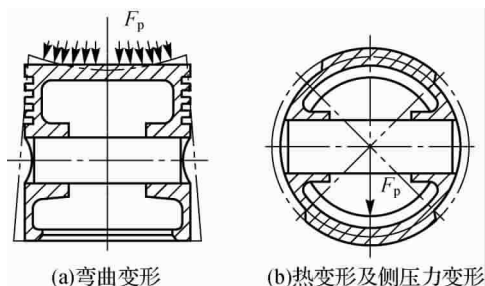


图 2-14 活塞变形

为了保证活塞的正常工作,活塞各部与气缸壁之间必须保持一定的间隙,预先将活塞加工成裙部断面为长轴垂直于活塞销方向的椭圆。

由于活塞沿轴线方向温度和质量分布都不均匀,因此热膨胀量是上大下小,铝合金活塞的这种差异尤其明显。为了使活塞在工作状态(热态)下接近一个圆柱形,有的活塞制成上小下大的锥形或桶形,如图 2-15 所示。

为了减少铝合金活塞裙部的热膨胀量,有的汽油机活塞在裙部受侧压力小的一面开有 T 形槽,如图 2-16 所示。其中横槽叫绝热槽,它开在最下一道油环槽中或裙部上边沿,其作用是减少头部热量向裙部传导,还可兼做油孔。竖槽叫膨胀槽,其作用是使裙部具有一定的弹性和热态时能起补偿作用,使活塞在装配间隙较小的情况下不致卡缸。

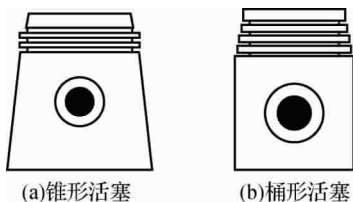


图 2-15 活塞形状示意图

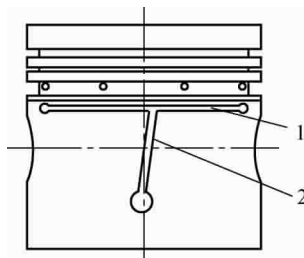


图 2-16 开有 T 形槽活塞

1—绝热槽; 2—膨胀槽

为了限制活塞裙部的膨胀量,汽油机活塞通常在活塞销座内镶铸有低膨胀的含镍恒范钢片或筒形恒范钢片,从而与铝合金形成双金属壁层。

(4) 活塞销座。活塞销座用于安装活塞销,位于活塞裙部的上部,为厚壁圆筒结构,其作用是将活塞顶部气体作用力经活塞销传给连杆。销座孔内接近外表面处的环槽用于安装弹性锁环,防止活塞销发生轴向窜动。活塞销座孔一般都垂直正交于活塞轴线,但也有些高速汽油机特意将活塞销座孔偏向于活塞做功行程的受力侧  $1\sim 2\text{ mm}$ ,以便使活塞在越过上止点时能平顺地从缸壁的一侧过渡到另一侧,从而减轻活塞在换向时对气缸壁的拍击。

通常活塞的顶部有安装方向标记,安装时应使标记方向朝向发动机前方。一台发动机一组活塞的尺寸和质量偏差都用分组选配的方法控制在一定范围内。



## 2. 活塞环

### 1) 活塞环的功用

活塞环是具有弹性的开口环,按其功用可分为气环和油环两类,如图 2-17 所示。

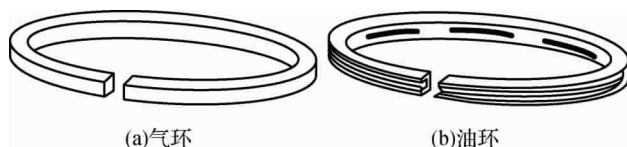


图 2-17 活塞环

气环又称压缩环,其作用是保证活塞与气缸壁间的密封,防止高温、高压的燃气窜入曲轴箱,污染机油;同时将活塞顶所吸收的大部分热量传给气缸壁,避免活塞过热;另外还起刮油、布油的辅助作用。一般发动机上每个活塞装有 2~3 道气环。

油环用来刮除缸壁上多余的燃油,形成均匀的油膜,既可以防止机油窜入气缸燃烧,又可减小活塞、活塞环与气缸的摩擦力和磨损。此外,油环也起密封的辅助作用。通常发动机上每个活塞装有 1~2 道油环。

### 2) 活塞环的工作条件

活塞环是在高温、高压、高速及润滑条件极差的条件下工作的,尤其是第一道环的工作条件最为恶劣,是发动机中工作寿命最短的零件之一。制造活塞环的材料除具有良好的耐磨性、导热性、耐热性外,还应有高强度、高冲击韧性和足够的弹性。

一般活塞环多用优质灰铸铁、球墨铸铁或合金铸铁制造。组合油环还采用弹簧钢片制造。为了提高活塞环的耐磨性,通常在第一道活塞环外表面进行多孔镀铬或喷钼来减缓活塞环的磨损。多孔性铬层硬度高,并能贮存少量的机油,改善润滑条件,使环的使用寿命提高 2~3 倍。其他的环多采用镀锡、磷化或硫化以改善磨合性能。

### 3) 活塞环的间隙

发动机工作时,活塞、活塞环等机件都会发生热膨胀。工作时既要保证气缸的密封性,又要防止环卡死在缸内或胀死于环槽中,因此,所有活塞环在装配后应留有端隙、侧隙和背隙,如图 2-18 所示。

端隙又称开口间隙,是活塞环装入气缸后开口处的间隙,一般为 0.25~0.50 mm。为减少气体的泄漏,装环时,第一道环的开口位置应避免做功行程的主推力面(侧压力大的一面),且各道环的开口应相互错开。

侧隙又称边隙,是活塞环装入活塞后,其侧面与活塞环槽之间的间隙。第一道环因工作温度高,一般为 0.04~0.10 mm,其他环一般为 0.03~0.07 mm。油环的侧隙较小,一般为 0.025~0.07 mm。

背隙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的间隙,一般为 0.5~1 mm。油环的背隙较气环的大,目的是增大存油间隙,利于减压泄油。为了测量方便,维修中以环的厚度与环槽的

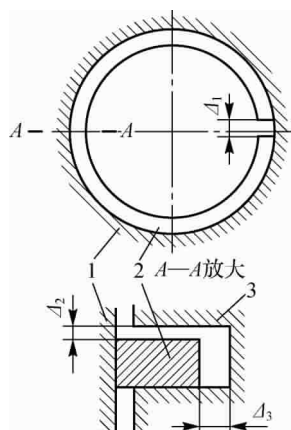


图 2-18 活塞环的间隙

1—气缸; 2—活塞环; 3—活塞;  
 $\Delta_1$ —端隙;  $\Delta_2$ —侧隙;  $\Delta_3$ —背隙



深度差来表示,此数值比实际背隙要小。

#### 4) 气环

(1)气环的密封原理。气环在自由状态下不是正圆形,其外廓尺寸比气缸直径大。当活塞环装入气缸后,在其自身的弹力  $F_1$  作用下,环的外圆面与气缸壁贴紧形成第一密封面,气缸内的高压气体绕行至活塞与气缸壁之间的间隙进入活塞环的侧隙和背隙中,如图 2-19 所示。

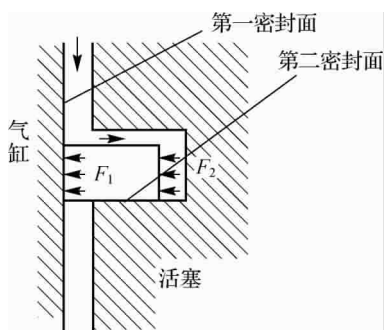


图 2-19 活塞环的密封原理

进入侧隙中的高压气体使环的下侧面与环槽的下侧面贴紧形成第二密封面。窜入活塞环背隙的气体产生背压力  $F_2$ ,使环对缸壁进一步压紧,加强了第一、第二密封面的密封性,称为第二次密封。这时漏气的唯一通道就是活塞环的开口间隙。如果几道活塞环的开口相互错开,构成“迷宫式”封气装置,就可以对气缸中的高压燃气进行有效密封。

(2)气环的开口形状。气环的开口形状对漏气量有一定的影响,如图 2-20 所示。直开口工艺性好,但密封性差;阶梯形开口密封性好,工艺性差;斜开口的密封性和工艺性介于前两种之间,斜角一般为  $30^\circ$  或  $45^\circ$ 。如图 2-20(d)所示为二冲程发动机活塞环的带防转销钉槽的开口,压配在活塞环槽中的销钉是用来防止活塞环在工作中绕活塞中心线转动的。

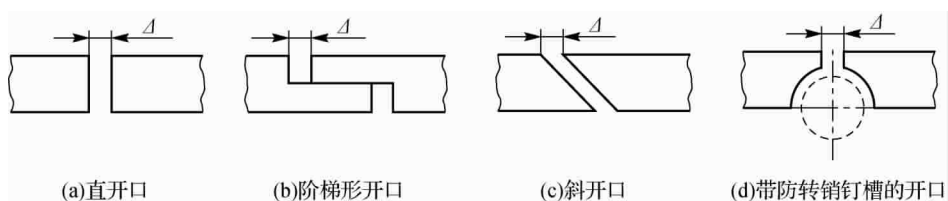


图 2-20 气环的开口形状

(3)气环的断面形状。气环的断面形状有多种,如图 2-21 所示。

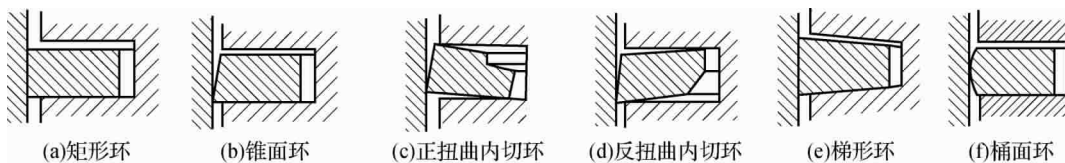


图 2-21 气环的断面形状

①矩形环。矩形环的断面为矩形,其结构简单,制造方便,与气缸壁接触面积大,有利于



活塞散热,但其磨合性差,而且在与活塞一起做往复运动时,把气缸壁上的机油不断地挤入燃烧室中,产生泵油作用,使机油消耗增加,活塞顶及燃烧室壁面积炭。其泵油原理如图 2-22 所示。

活塞下行时,由于环与缸壁之间的摩擦阻力以及环本身的惯性,环将压靠着环槽的上侧面。缸壁上的机油就被刮入下侧间隙内。当活塞上行时,环又压靠在环槽的下侧面上,第一道环背隙里的油就进入气缸中,如此反复,结果就像油泵的作用一样,将缸壁的机油最后压入燃烧室。

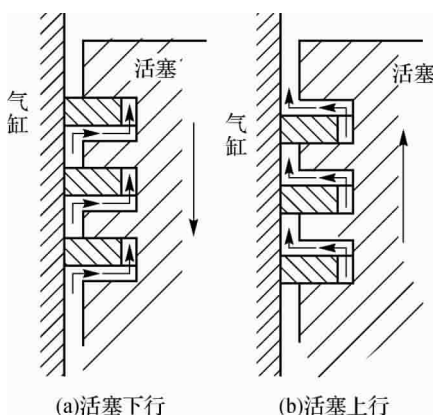


图 2-22 矩形环的泵油原理

②锥面环。锥面环的外圆面为锥角很小的锥面,与气缸壁线接触,锥角  $30' \sim 60'$ ,如图 2-21(b)所示。锥面环在气缸内向下滑动时刮油,向上滑动时,由于斜面的油楔作用,环可在油膜上浮起,减少磨损。锥面环传热性差,不能用作第一道气环。环上有朝上标记,不能装反。

③扭曲环。为了消除或减少有害的泵油作用,广泛采用非矩形断面的扭曲环,如图 2-21(c)、(d)所示。扭曲环是将矩形环内圆的上边缘或下边缘切去一部分。断面不对称的气环装入气缸后,弹性内力的作用使断面发生扭曲,故称扭曲环。矩形环和扭曲环的作用原理如图 2-23 所示。

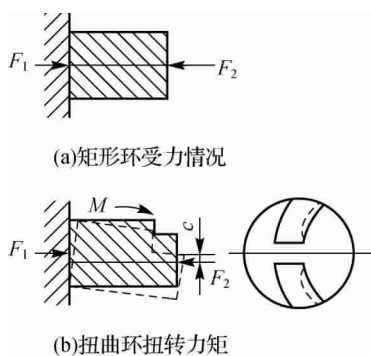


图 2-23 矩形环和扭曲环的作用原理

扭曲环装入气缸后,其外侧拉伸应力的合力  $F_1$  与内侧压缩应力的合力  $F_2$  间有一力臂  $c$ ,于是产生了扭曲力矩  $M$ ,它使环的边缘与环槽的上下侧面都接触,避免了环在环槽内的上下窜动造成的泵油现象,同时增加了密封性。

扭曲环的扭曲变形应使环的端面与气缸壁形成的楔形尖角向下。安装时必须注意环的断面形状和方向,不能装反,环上有朝上记号。

④梯形环。梯形环的断面为梯形,如图 2-21(e)所示。其主要作用是当活塞受到侧压力的作用而改变位置时,环的侧隙和背隙相应发生变化,使沉积在环槽中的结焦被挤出,避免了环被粘在环槽中而引起折断。梯形环的工艺较复杂,常用于热负荷较高的柴油机的第一道环。

⑤桶面环。桶面环的外圆面为外凸圆弧形,如图 2-21(f)所示。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,从而使磨损大为减少;桶面环与气缸是圆弧接触,能很好地适应活塞的摆动,避免了棱角负荷,且接触面小,有利于密封。但凸圆弧面加工较困难。桶面环常用于强化柴油机的第一道环。

### 5) 油环

油环的作用是形成一层必要的油膜来润滑活塞和气缸壁。油环分整体式油环和组合式油环两种,如图 2-24 所示。

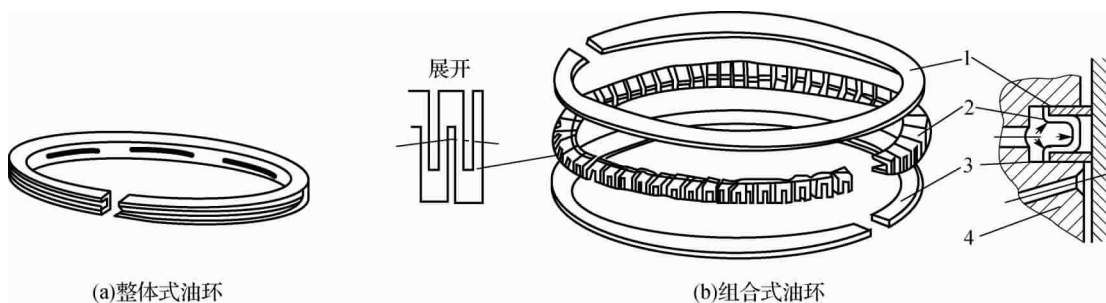


图 2-24 油环

1—上刮油片；2—衬环；3—下刮油片；4—活塞

整体式油环一般是用合金铸铁制造，外圆面的中间切有一道凹槽，在凹槽底部加工出若干回油用的小孔或狭缝。其结构简单，加工容易，成本低。

组合式油环由上、下刮油片和产生径向、轴向弹力作用的衬环组成。衬环的弹性可以使油环形成均匀的放射性压力，即使气缸的圆度不是很好，油环也能与气缸很好地贴合。刮油片很薄，对气缸壁的比压大，刮油作用强，上、下刮油片各自独立，对气缸的适应性好。组合式油环还具有质量小、回油通路大的特点。因此，组合式油环在高速发动机上得到了广泛的应用。

油环的刮油作用如图 2-25 所示。无论活塞下行还是上行，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。

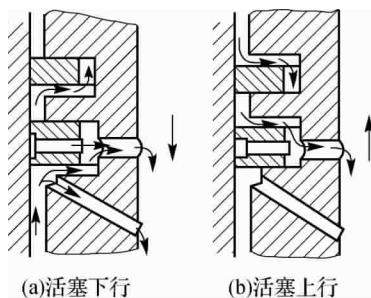


图 2-25 油环的刮油作用

### 3. 活塞销

#### 1) 活塞销的功用

活塞销的功用是连接活塞和连杆小头，将活塞承受的气体压力传给连杆。

#### 2) 活塞销的工作条件

活塞销要在高温下承受很大的周期性冲击载荷，润滑条件较差，因此要求活塞销有足够的刚度和强度，表面耐磨，质量尽可能小。因此，活塞销通常做成空心圆柱体。

活塞销的材料一般为低碳钢或低合金渗碳钢，高负荷发动机则采用渗氮钢，通常对材料表面进行渗碳淬火或渗氮，以提高表面硬度，并保证心部具有一定的冲击韧性，再经精磨和抛光等工序精加工而成。





### 3) 活塞销的结构

活塞销的结构形状简单,如图 2-26 所示。

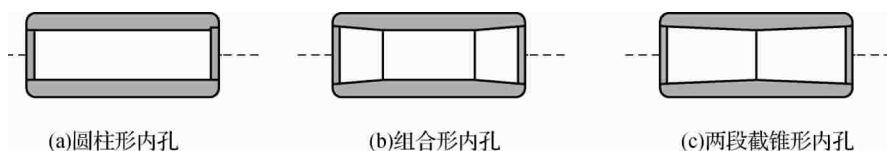


图 2-26 活塞销的结构

圆柱形内孔活塞销容易加工,但活塞销的质量较大。两段截锥形内孔活塞销质量较轻,又接近于等强度梁,性能最好,但锥孔加工较难。组合形内孔活塞销介于两者之间。

活塞销与活塞销座孔和连杆小头的连接方式一般有全浮式和半浮式两种,如图 2-27 所示。

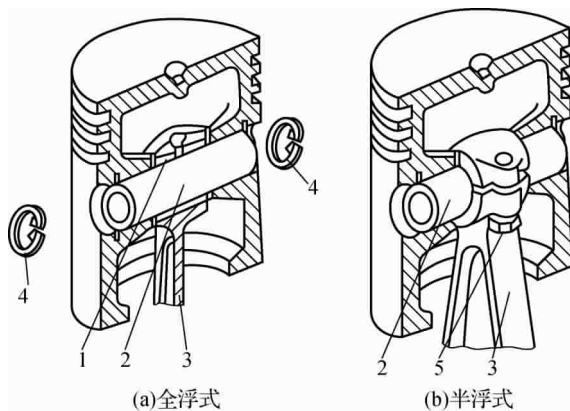


图 2-27 活塞销的连接方式

1—连杆衬套; 2—活塞销; 3—连杆; 4—卡环; 5—紧固螺栓

(1)全浮式连接。在发动机正常工作温度下,全浮式连接的活塞销可以在连杆小头衬套孔和活塞销座孔内自由转动,以使活塞销外表面的磨损比较均匀,在中、大型发动机上被广泛采用。

为了防止活塞销工作时轴向窜动而刮伤气缸壁,活塞销座两端用卡环加以轴向定位。

采用铝活塞销时,活塞销座的热膨胀量大于钢活塞销的热膨胀量。为了保证工作时有正常的工作间隙(0.01~0.02 mm),冷态时活塞销与活塞销座孔为过渡配合,有微量过盈。装配时,先将铝活塞销在温度为 70 °C~90 °C 的水或油中加热,使座孔的直径受热膨胀后大于冷态下的活塞销直径,然后将销装入。

(2)半浮式连接。半浮式连接的活塞销如图 2-27(b)所示,销与销座孔和连杆小头两处,一处固定,一处浮动。其中大多数采用活塞销与连杆小头固定方式,这种连接方式省去了连杆小头衬套的修理作业,维修方便。

为保证发动机的冷起动,活塞销与销座孔之间必须要有一定的装配间隙。

高速发动机中活塞销与连杆小头通常为紧配合,具有结构简单、质量轻、平衡性好的特点。装配时,先将连杆小头加热到 300 °C 左右,再将销压入小头孔中。



## 4. 连杆

### 1) 连杆的功用

连杆的功用是将活塞承受的力传递给曲轴,推动曲轴转动,变活塞的往复运动为曲轴的旋转运动。

### 2) 连杆的工作条件

连杆在工作时承受活塞销传来的气体作用力、活塞连杆组往复运动时的惯性力、连杆大头绕曲轴旋转产生的旋转惯性力的作用,这些力的大小和方向都是周期性变化的,使连杆承受压力、拉伸和弯曲等交变载荷。因此,要求连杆质量尽可能小,有足够的刚度和强度。

连杆一般用优质中碳钢或中碳合金钢经模锻或辊锻而成,然后进行机械加工和热处理。为提高连杆的疲劳强度,通常还采用表面喷丸处理。也有的发动机采用纤维增强铝合金连杆,具有质量轻、综合性能好的特点。

### 3) 连杆的结构

连杆由连杆小头、杆身和连杆大头组成,如图 2-28 所示。

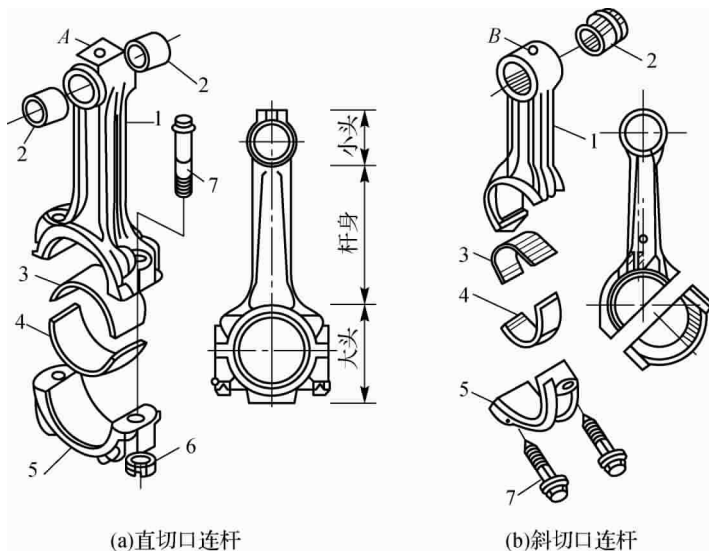


图 2-28 连杆组件

1—连杆体; 2—连杆衬套; 3—连杆轴承上轴瓦; 4—连杆轴承下轴瓦; 5—连杆盖;  
6—螺母; 7—连杆螺栓; A—集油孔; B—喷油孔

(1) 连杆小头。连杆小头用以安装活塞销(半浮式)或连杆衬套(全浮式)。

全浮式连杆小头孔中压有连杆衬套。连杆衬套一般采用锡青铜、铅青铜或铝青铜等减摩材料。衬套与连杆小头紧配合压入,内孔经过精铰加工。连杆小头衬套一般靠曲轴箱中飞溅的油雾润滑,所以连杆上方往往开有集油孔,在衬套内表面铣有集油槽。安装衬套时,必须注意对准油孔的位置。

(2) 杆身。为了在满足刚度和强度的前提下使质量尽可能小,连杆杆身通常做成工字形断面,如图 2-29 所示。

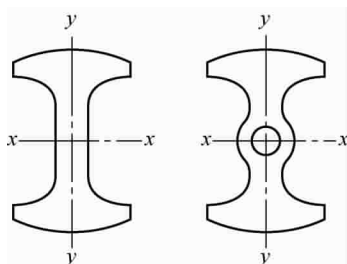


图 2-29 连杆杆身的工字形断面

工字形断面的  $y-y$  轴在连杆运动平面内,抗弯性好。有的柴油机在杆身内加工有油道,用来润滑小头衬套或冷却活塞。如果是后者,须在小头顶部加工出喷油孔。

(3)连杆大头。连杆大头用以连接曲轴的连杆轴颈,为保证轴瓦的工作性能与连杆的可靠性,要求连杆大头具有足够的强度和刚度。

为了便于装配,连杆大头是剖分的,被分开的部分称为连杆盖,用特制的连杆螺栓紧固在连杆大头上。连杆盖与连杆大头是组合镗孔的,为了防止装配时配对错误,在同一侧刻有配对记号。连杆大头的剖分面有平切口式和斜切口式两种,如图 2-30 所示。

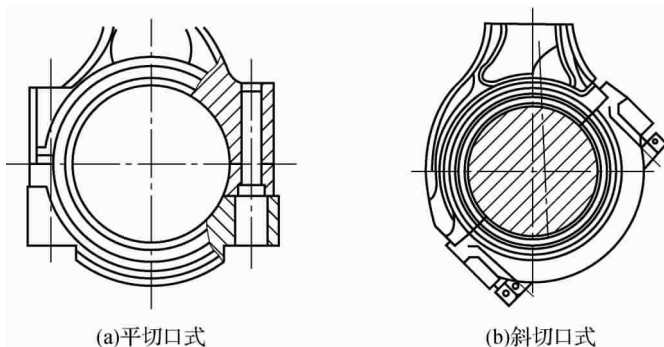


图 2-30 连杆大头的剖分方式

平切口式剖分面与连杆杆身成  $90^\circ$ ,斜切口式剖分面与连杆轴线成  $30^\circ \sim 60^\circ$  的夹角,一般采用  $45^\circ$  的较多,这种形式减小了连杆大头的横向尺寸,故连杆轴颈的直径可做得较大,当卸下连杆盖后,连杆能通过气缸套而便于拆装。

平切口的连杆盖与连杆是利用连杆螺栓上精加工的凸台或光圆柱部分,与经过精加工的螺栓孔来保证定位,如图 2-31(a)所示。

斜切口连杆承受惯性力的拉伸时,在切口方向上受有较大的横向分力,使连杆螺栓受剪切作用,故必须采用可靠的定位方式。常用的定位措施如下。

①止口定位。如图 2-31(b)所示,它的工艺简单但结构不紧凑,且只有单向定位,定位不可靠,对连杆盖止口向外变形或连杆大头止口向内变形均无法阻止。

②销套定位。如图 2-31(c)所示,销套定位是在连杆盖的每一个螺栓孔中压配一个刚度大且剪切强度高的套筒,其拆装方便,但工艺较复杂。

③锯齿定位。如图 2-31(d)所示,它的接触面大,尺寸紧凑,定位可靠。但工艺较复杂,维修不太方便。

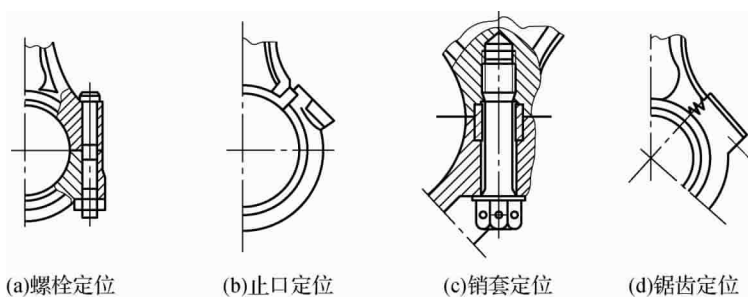


图 2-31 连杆盖与连杆大头的定位方式

目前应用较多的是止口定位与锯齿定位。

(4)连杆螺栓。连杆大头的两部分用连杆螺栓紧固在一起。连杆螺栓是承受交变载荷的重要零件,一般采用优质碳素钢或优质合金钢,锻制或冷锻成形。在结构上应尽量增大连杆螺栓的韧性,而在加工方面要精细加工过渡圆角,消除应力集中,以提高其抗疲劳强度。

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,并用锁紧装置锁紧,以防连杆螺栓松动。常采用的锁紧装置有防松胶、开口销、双螺母、自紧螺母、保险片、螺纹表面镀铜等。

(5)连杆轴瓦。连杆轴瓦也称连杆轴承,俗称小瓦,装在连杆大头的孔内,用以保护连杆轴颈及连杆大头孔。

现代发动机用连杆轴瓦如图 2-32 所示。它是由钢背和减摩层组成的分开式薄壁轴承。钢背由厚 1~3 mm 的低碳钢制成,是轴承的基体,减摩层是由浇铸在钢背内圆上厚 0.3~0.7 mm 的薄层减摩合金制成,用以减少摩擦阻力,加速磨合及保持油膜。为适应连杆轴瓦的工作条件,要求减摩合金有足够的疲劳强度,有良好的抗咬合性、顺应性、嵌藏性,有足够的结合强度和良好的耐磨性。

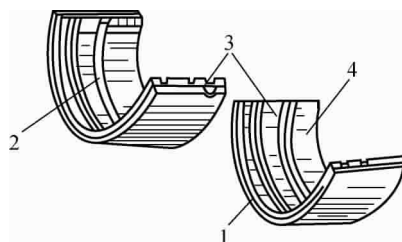


图 2-32 连杆轴瓦

1—钢背; 2—油槽; 3—定位凸键; 4—减摩合金层

目前,汽车发动机的轴承减摩合金主要有白合金(巴氏合金)、铜铅合金和铝基合金。含锡量 20% 以上的高锡铝基合金轴承在汽油机和柴油机上得到广泛应用。

轴瓦在自由状态下的曲率半径略大于座孔的半径,当它们装入连杆大头孔内时有过盈,故能均匀地紧贴在大头孔壁上,具有很好的承受载荷和导热的能力。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键。装配时,这两个定位凸键分别嵌入连杆大头和连杆盖上的相应凹槽中,防止连杆轴承在工作中发生转动和移动。此外,在连杆轴瓦内表面上还加工有油槽用于贮油,保证其可靠润滑。

#### 4) V 形发动机连杆

V 形发动机左右两个气缸的连杆安装在同一个连杆轴颈上,其结构随安装形式的不同而不同,V 形发动机的连杆布置有如下三种形式。

(1)并列连杆式。并列连杆式如图 2-33(a)所示,相对应的左右两缸的连杆一前一后并列地安装在同一个连杆轴颈上,其连杆结构与直列式发动机的连杆基本相同,只是大头宽度



稍小一些。这种布置的优点是前后连杆结构完全相同,故可以通用,左右两列气缸的活塞运动规律相同。缺点是两列气缸沿曲轴纵向要相互错开一段距离,从而增加了曲轴和发动机的长度。

(2)主副连杆式。主副连杆式如图 2-33(b)所示,一个主连杆一个副连杆组成主副连杆。一列气缸装主连杆,主连杆大头安装在曲轴的连杆轴颈上;另一列气缸装副连杆,其副连杆通过销轴铰接在主连杆体或主连杆盖上。这种布置的缺点是主副连杆不能互换,且主连杆受副连杆施加的附加弯矩,两列气缸中活塞的运动规律和上止点位置均不相同。但采用主副连杆的 V 形发动机两列气缸不需要相互错开,故不会增加发动机的长度。

(3)叉形连杆式。叉形连杆式如图 2-33(c)所示,一列气缸中的连杆大头为叉形,另一列气缸中的连杆与普通连杆类似,只是大头的宽度较小,一般称其为内连杆。叉形连杆的优点是两列气缸中活塞的运动规律相同,左右对应的两气缸轴线无须在曲轴轴向上错位。缺点是叉形连杆大头结构复杂,制造比较困难,维修也不方便,且大头刚度较差。



图 2-33 V 形发动机连杆的结构示意图

### 四、曲轴飞轮组

曲轴飞轮组如图 2-34 所示。

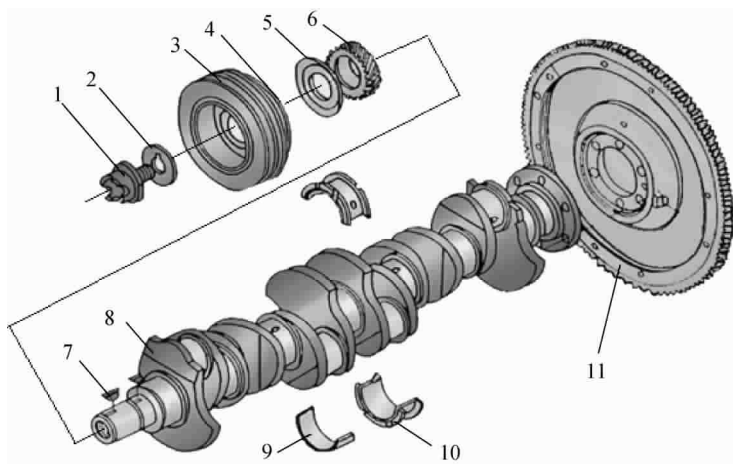


图 2-34 曲轴飞轮组

- 1—起动爪; 2—锁紧垫片; 3—曲轴扭转减振器; 4—带轮; 5—挡油片; 6—正时齿轮;
- 7—半圆键; 8—曲轴; 9—主轴瓦; 10—止推片; 11—飞轮



## 1. 曲轴

### 1) 曲轴的功用

曲轴的功用是承受连杆传来的力,并将其转变为转矩,然后通过飞轮输出,同时驱动发动机配气机构及其他辅助系统工作。

### 2) 曲轴的工作条件

曲轴在工作中受到往复运动惯性力、周期性变化的气体压力、旋转质量的离心力及其力矩的作用,承受弯曲及扭转载荷,这将引起曲轴的振动和疲劳破坏,同时在曲轴轴颈与轴承之间造成严重磨损。为保证工作可靠,要求曲轴应具有足够的抗弯曲、抗扭转的疲劳强度和刚度。同时要求轴颈表面有良好的润滑条件和耐磨性,此外还有很高的动平衡要求。

### 3) 曲轴的材料

曲轴是发动机最重要的部件之一,一般用优质中碳钢或合金中碳钢锻造而成,轴颈表面经高频淬火或氮化 $\bar{t}$  后进行精加工和热 $\bar{t}$  。

现代汽车发动机广泛采用高强度的稀土球墨铸铁曲轴。球墨铸铁曲轴具有材料价格便宜、耐磨性好、机械加工量小等优点,但其必须采用全支承以保证刚度。

为了提高曲轴的疲劳强度,消除应力集中,轴颈表面应进行喷丸 $\bar{t}$  ,过渡圆角处要经滚压 $\bar{t}$  。

### 4) 曲轴的分类

(1) 曲轴按总体结构可分为整体式与组合式。

① 整体式曲轴。整体式曲轴是将曲轴做成一个整体零件,如图 2-35 所示。它具有较高的强度和刚度,结构紧凑而且质量轻,目前汽车发动机上多采用这种形式。

② 组合式曲轴。组合式曲轴是将曲轴分成若干个零件分别进行加工,然后组装在一起而构成完整的曲轴,如图 2-36 所示。采用组合式曲轴的发动机,一般连杆大头为整体式,主轴承为滚动轴承,相应曲轴箱为隧道式。其优点是加工方便,便于系列产品通用,缺点是强度和刚度较差,装配较复杂。

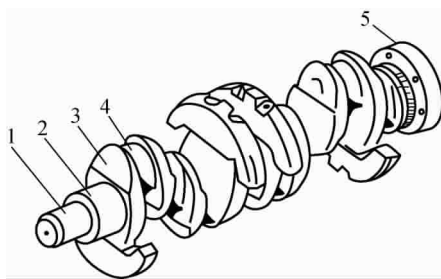


图 2-35 整体式曲轴

1—前端；2—主轴颈；3—曲柄臂；  
4—连杆轴颈；5—后端

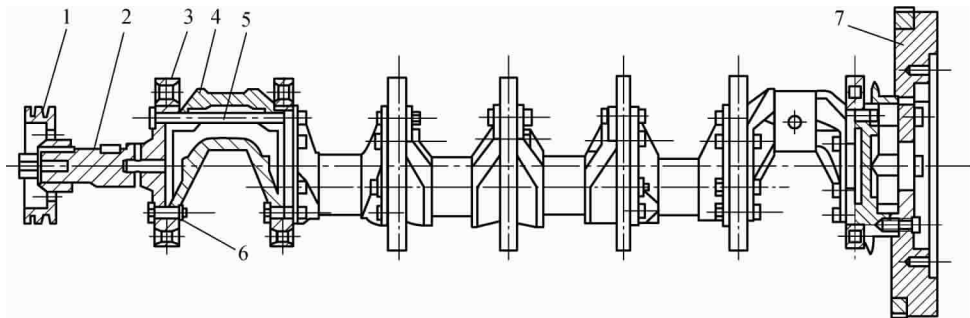


图 2-36 组合式曲轴

1—皮带轮；2—前端轴；3—滚动轴承；4—曲柄；5—连接螺栓；6—定位螺栓；7—飞轮



(2)曲轴按支承形式可分为全支承与非全支承两种。

①全支承曲轴。如图 2-37(a)所示,在相邻曲拐之间都设置一个主轴颈,这样能保证曲轴刚性好,不易弯曲,并可以减轻主轴承的载荷,但同时会使缸心距加大,机体加长,制造成本增加,适用于较大负载的发动机。

②非全支承曲轴。如图 2-37(b)所示,每个单元曲拐两端通常只有一端设置一个支承轴承以缩短机体长度,多用于中小功率的汽油机。

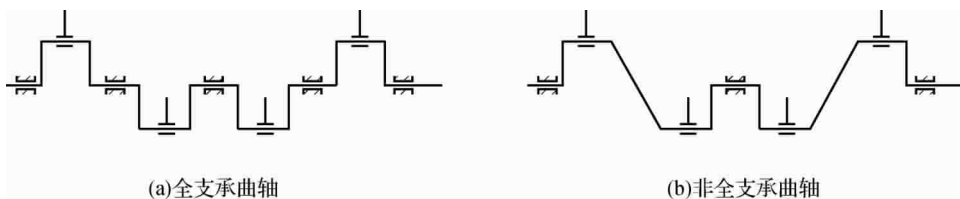


图 2-37 曲轴的支承形式

直列式发动机的全支承曲轴,其主轴颈数比气缸数多 1 个;非全支承曲轴,其主轴颈数比气缸数少。

### 5) 曲轴的结构

曲轴一般由前端(自由端)、主轴颈、曲柄、平衡重、曲拐和后端(动力输出)等组成,如图 2-38 所示。

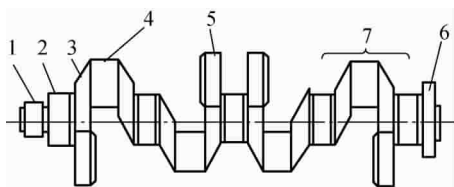


图 2-38 曲轴的结构

1—前端; 2—主轴颈; 3—曲柄; 4—连杆轴颈; 5—平衡重; 6—后端; 7—曲拐

(1)轴颈。曲轴上磨光的表面为轴颈。将曲轴支承在主轴承上旋转的轴颈为主轴颈,主轴颈的轴线都在同一直线上。偏离主轴颈轴线用以安装连杆的轴颈为连杆轴颈,连杆轴颈之间有一定夹角。为了使曲轴易于平衡,连杆轴颈都采用对称布置。

连杆轴颈和主轴颈一般是实心,但为了减少质量和离心力,也有的曲轴将连杆轴颈制成空心。连杆轴颈、主轴颈和轴瓦上都钻有径向油孔,这些油孔由斜向的油道相连,机油就可以进入主轴颈和曲柄销的工作表面进行润滑,如图 2-39 所示。

(2)曲柄。曲柄又称曲轴臂,它是主轴颈与连杆轴颈的连接部分,也是曲轴受力最复杂、结构最薄弱的环节。

曲柄大多呈矩形或椭圆形,它与主轴颈和连杆轴颈连接处的形状突然变化而造成严重的应力集中现象,故曲轴裂缝或断裂大多数出现在这个部位。为了防止这种应力集中现象,在制造时,此处采用过渡圆角连接,但过渡圆角半径不宜过大,否则会使轴承的承压面积过小。

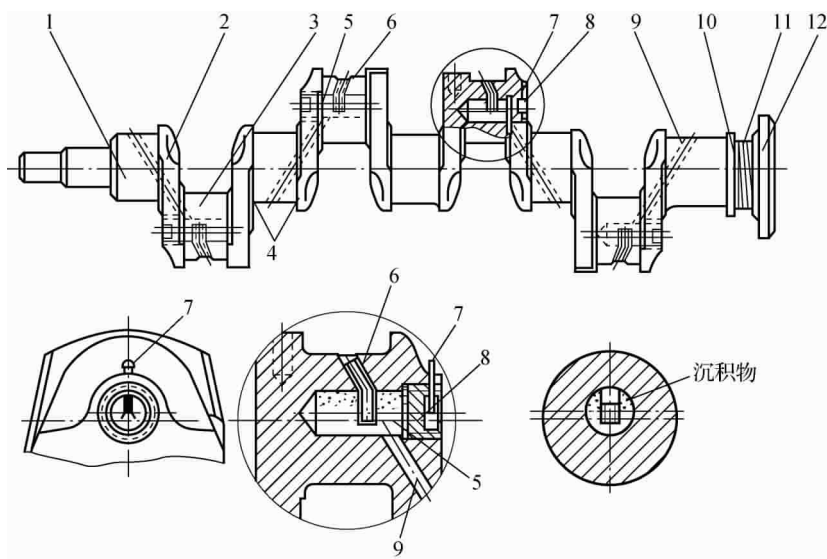


图 2-39 曲轴的结构

1—主轴颈；2—曲柄；3—连杆轴颈；4—圆角；5—积污腔；6、9—油道；7—开口销；  
8—螺栓；10—挡油盘；11—回油螺纹；12—凸缘盘

(3)平衡重。为了平衡曲轴旋转的惯性力,往往在曲柄上与连杆轴颈相反的方向设置平衡重。有的平衡重与曲轴制成一体,有的单独制成后再用螺栓固定在曲轴上,称为装配式平衡重,如图 2-40 所示。

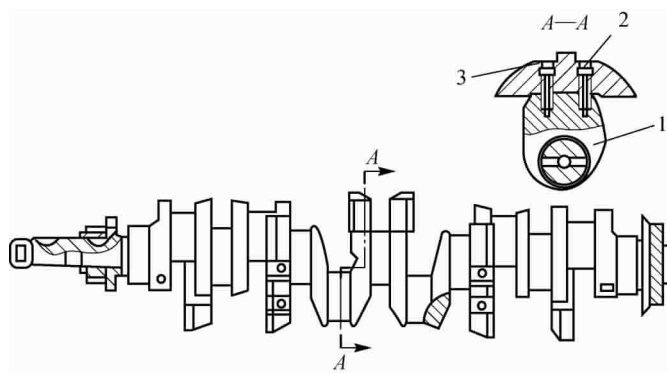


图 2-40 装配式平衡重

1—曲轴；2—螺栓；3—平衡重

曲轴无论有无平衡重,都要求进行动平衡试验,不平衡的曲轴常在偏重一侧钻孔以除去一些质量。

(4)曲拐。一个连杆轴颈和它两端的曲柄及相邻两个主轴颈构成一个曲拐。曲轴的曲拐数取决于气缸的数目和排列方式。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。

(5)前端。曲轴前端又称自由端,是第一道主轴颈之前的部分,通常有键槽和螺纹,用来安装正时齿轮和三角皮带轮,分别用以驱动配气机构、喷油泵和机油泵,带动风扇、发电机和





水泵等工作,其结构如图 2-41 所示。

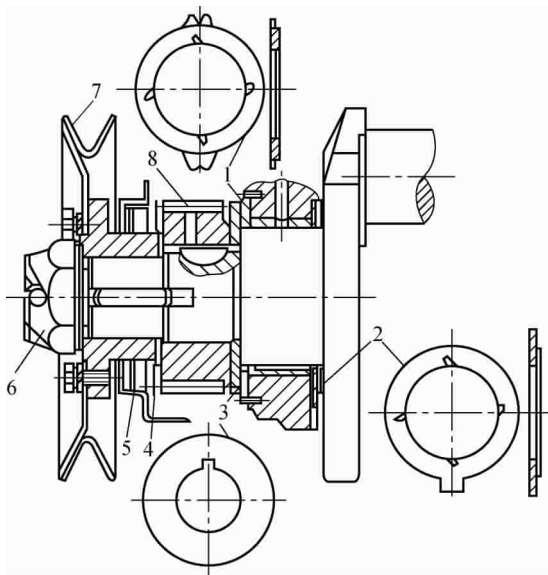


图 2-41 曲轴前端的结构

- 1、2—滑动推力轴承；3—止推垫片；4—甩油盘；5—油封；  
6—起动爪；7—带轮；8—正时齿轮

为了防止机油沿曲轴轴颈外漏,曲轴前端装有甩油盘,在正时齿轮室盖处装有油封。此外,曲轴前端为了减小扭转振动而装有减振器,在中小型发动机的曲轴前端还装有起动爪,以便必要时用人力转动曲轴以起动机。

(6)后端。曲轴后端是最后一道主轴颈之后的部分,有安装飞轮用的凸缘和防止润滑油泄漏的封油装置,如图 2-42 所示。

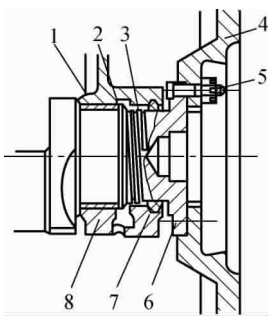


图 2-42 曲轴后端的结构

- 1—轴承座；2—挡油凸缘；3—回油螺纹；4—飞轮；5—飞轮螺栓；6—曲轴凸缘盘；  
7—填料油封；8—轴承盖

油封装置通常为骨架式油封,或采用曲轴后端的挡油凸缘加上轴颈上的回油螺纹及复合填料油封。回油螺纹的方向与曲轴旋转方向一致,工作时,可将曲轴上的机油引回到曲轴箱内。



## 6) 曲拐的布置

曲轴的形状和各曲拐的相对位置取决于发动机的缸数、气缸排列方式和做功顺序。

在安排多缸发动机的做功顺序时,应使连续做功的两缸相距尽可能远,以减轻主轴承的连续载荷,同时避免相邻两缸进气门同时开启造成的抢气现象;各缸做功间隔应尽可能均匀,即在发动机完成一个工作循环的曲轴转角内,每个气缸都应做功一次,而且各缸做功的间隔时间(以曲轴转角表示,称为做功间隔角)应力求均匀。对缸数为  $i$  的四冲程发动机而言,做功间隔角为  $720^\circ/i$  时就应有一个气缸做功,以保证发动机运转平稳。V 形发动机左右两边气缸应尽可能交替做功。

常用的四冲程多缸发动机曲拐布置和工作顺序如下。

(1)直列四缸发动机。直列四缸发动机的做功间隔角为  $720^\circ/4=180^\circ$ 。其曲拐布置如图 2-43 所示,四个曲拐布置在同一平面内。做功顺序有两种,即 1—3—4—2 或 1—2—4—3。做功顺序为 1—3—4—2 的工作循环见表 2-1。

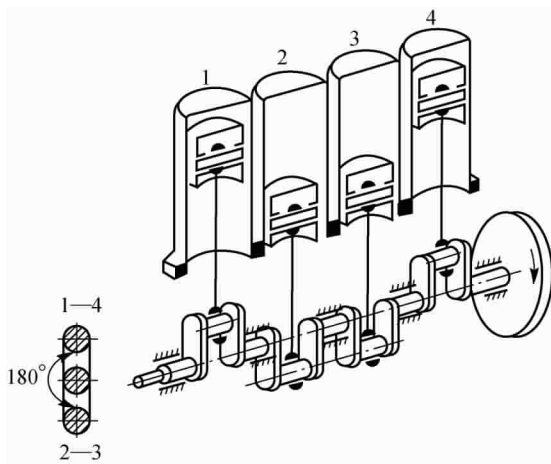


图 2-43 直列四缸发动机的曲拐布置

表 2-1 直列四缸发动机工作循环(工作顺序:1—3—4—2)

曲轴转角/ $^\circ$	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

(2)直列六缸发动机。直列六缸发动机的做功间隔角为  $720^\circ/6=120^\circ$ 。曲拐布置如图 2-44 所示,六个曲拐分别布置在三个平面内,各平面夹角为  $120^\circ$ 。曲拐的具体布置有两种方案,第一种做功顺序是 1—5—3—6—2—4。这种方案应用较普遍,国产汽车的六缸发动机的做功顺序一般都采用这种方式,其工作循环见表 2-2。另一种做功顺序是 1—4—2—6—3—5。

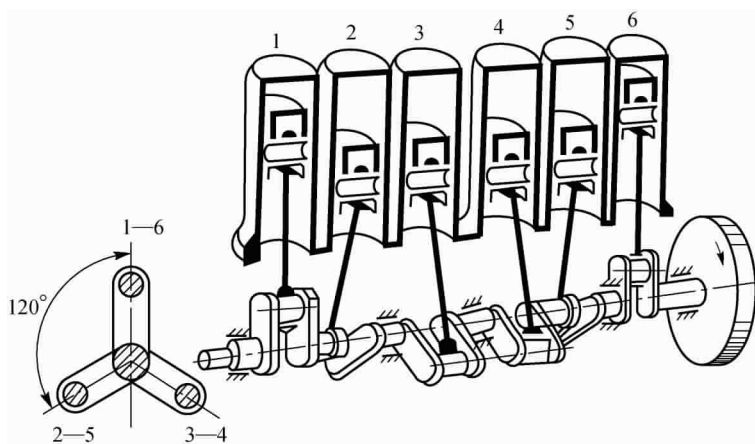


图 2-44 直列六缸发动机的曲拐布置

表 2-2 直列六缸发动机工作循环(工作顺序:1—5—3—6—2—4)

曲柄转角/(°)		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	进气	做功	压缩	进气
	60~120			压缩			
	120~180			排气			
180~360	180~240	排气	进气	做功	进气	做功	压缩
	240~300						
	300~360						
	360~420						
360~540	420~480	进气	做功	排气	压缩	进气	做功
	480~540						
	540~600						
540~720	600~660	压缩	排气	进气	做功	压缩	排气
	660~720						

(3)V形八缸发动机。V形八缸发动机做功间隔角为  $720^\circ/8=90^\circ$ 。V形发动机左右两列中相对应的一对连杆共用一个曲拐,所以V形八缸机只有四个曲拐。其布置可以与四缸发动机一样,四个曲拐布置在同一平面,也可以布置在两个互相错开  $90^\circ$ 的平面内,如图 2-45 所示,这样可使发动机得到更好的平衡性。做功顺序为 1—8—4—3—6—5—7—2,其工作循环见表 2-3。

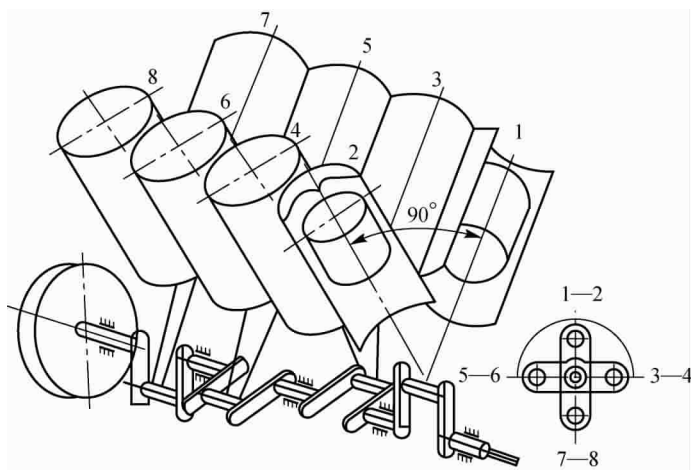


图 2-45 V 形八缸发动机的曲拐布置

表 2-3 V 形八缸发动机工作循环表(工作顺序 1—8—4—3—6—5—7—2)

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

### 7) 曲轴的轴向定位

曲轴作为转动件,必须与其固定件之间有一定的轴向间隙。曲轴前端多采用斜齿轮驱动,在传动过程中会产生轴向力,在踩离合器时也会使曲轴受到轴向力,将导致曲轴前后窜动,从而影响曲柄连杆机构的正常工作,因此,曲轴必须进行轴向定位。曲轴的轴向定位是通过止推装置实现的,且只能在一处设置轴向定位装置,以保证曲轴受热膨胀时能自由伸长。

曲轴轴向定位通常在主轴承结构上采用翻边轴承和半圆环止推片,如图 2-46 所示。

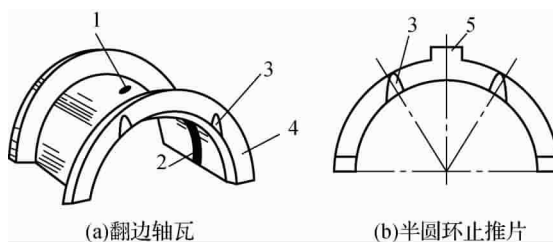


图 2-46 曲轴的轴向定位

1—油孔; 2—环形油槽; 3—贮油槽; 4—止推面; 5—定位舌



翻边轴瓦是将轴瓦两侧翻边作为止推面,在止推面上浇铸减摩合金。轴瓦的止推面与曲轴止推面之间留有 0.06~0.25 mm 的间隙,从而限制了曲轴轴向窜动量。

大部分发动机都在最后一道主轴承上安装止推片。半圆环止推片一般为四片,上、下各两片,分别安装在气缸体和主轴承盖上的浅槽中。注意止推片上有槽的一侧为工作面,其表层镀有减摩合金,安装时应朝向曲轴凸肩,不能装反。下止推片上有定位舌,嵌入主轴承座凹槽中以防止转动。

### 8) 曲轴的主轴承

曲轴的主轴承俗称大瓦,和连杆大头轴承一样,也是剖分为两半的滑动轴承,即上瓦和下瓦。主轴承上瓦装在机体的主轴承座孔内,而下瓦则装在主轴承盖内。

主轴瓦的材料、结构形式、安装方式和定位方式等与连杆大头轴瓦基本相同。为了向连杆大头轴承输送润滑油,在主轴承上瓦上开有油孔和周向油槽,而下瓦由于受到较大的载荷,通常是不开油孔和油槽的,安装时不能将上、下轴瓦装错。轴承盖上一般都有编号,使用过的主轴轴承不能互换。

## 2. 曲轴扭转减振器

在发动机工作过程中,经连杆传给曲轴作用力的大小和方向呈周期性变化,这种周期性变化的激力作用在曲轴上,引起曲轴旋转的瞬时角速度也呈周期性变化。而安装在曲轴后端的飞轮由于转动惯量较大,其瞬时角速度比较均匀,这样就造成曲轴相对于飞轮做周期性的相对扭转振动。当激力频率与曲轴自振频率成整数倍关系时,曲轴扭转振动便因共振而加剧,这将使发动机功率受到损失,影响正时齿带传动系统的工作,严重时甚至将曲轴扭断。

为了削减曲轴的扭转振动,一般在曲轴前端装有曲轴扭转减振器。汽车发动机最常用的曲轴扭转减振器是摩擦式曲轴扭转减振器,可分为橡胶摩擦式曲轴扭转减振器和硅油摩擦式曲轴扭转减振器。

曲轴扭转减振器常设置在扭转振幅最大的曲轴前端,为了节省空间和传动上的方便,轿车发动机使用的曲轴扭转减振器一般都不单独设惯性盘,而是利用曲轴皮带轮兼作惯性盘,皮带轮和减振器制成一体。

### 1) 橡胶摩擦式曲轴扭转减振器

橡胶摩擦式曲轴扭转减振器结构如图 2-47 所示。转动惯量较大的惯性盘与薄钢片制成的减振器圆盘都与橡胶垫硫化黏结,减振器圆盘毂部用螺栓固装于曲轴前端的风扇带轮上,带轮与曲轴前端用螺栓紧固。当曲轴发生扭转振动时,曲轴前端的角振幅最大,通过皮带轮毂带动减振器圆盘一起振动,而惯性盘的转动惯量较大,瞬时角速度较均匀,这样力图保持等速度转动的惯性盘便与橡胶垫发生了内摩擦,从而消耗曲轴扭转振动能量,消减扭振。

橡胶摩擦式曲轴减振器的主要优点是结构简单、质量小、工作可靠,但橡胶对曲轴扭转振动的衰减作用不够强,而且橡胶易因摩擦生热,容易老化。

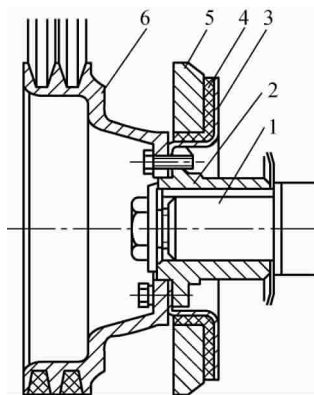


图 2-47 橡胶摩擦式曲轴扭转减振器结构

1—曲轴前端；2—皮带轮毂；3—减振器圆盘；  
4—橡胶垫；5—惯性盘；6—皮带轮



## 2) 硅油摩擦式曲轴扭转减振器

硅油摩擦式曲轴扭转减振器结构如图 2-48 所示。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封闭腔,其中滑套着扭转振动惯性质量,惯性质量与封闭腔之间留有一定间隙,里面充满高黏度的硅油。曲轴的振动能量被硅油的内摩擦阻尼吸收,使扭转振动消除或减轻。

## 3. 飞轮

飞轮是一个转动惯量很大的圆盘,它用螺栓紧固在曲轴后端凸缘上,如图 2-49 所示。其功用是在做功行程贮存能量,用以在其他行程中克服阻力;带动曲柄连杆机构越过上、下止点;使曲轴旋转均匀,并使发动机有可能克服短时间的超负荷,同时利用飞轮上的齿圈起启动时传力。此外,飞轮又往往用作汽车传动系统中摩擦离合器的驱动件。

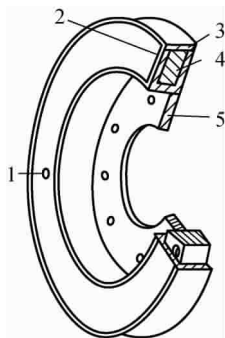


图 2-48 硅油摩擦式曲轴扭转减振器结构

1—注油螺塞; 2—侧盖; 3—减振器壳体;  
4—扭转振动惯性质量; 5—衬套

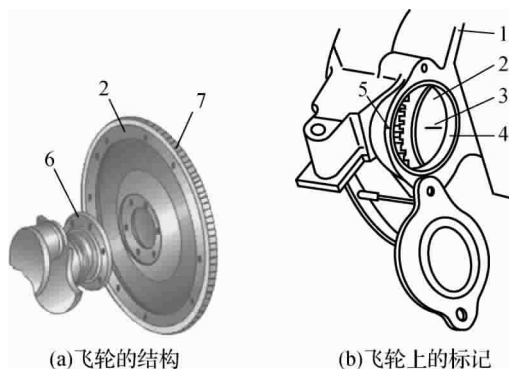


图 2-49 飞轮

1—飞轮壳; 2—飞轮; 3—飞轮上的上止点标记; 4—观察窗;  
5—飞轮壳上的刻线; 6—曲轴凸缘; 7—起动用齿圈

飞轮多采用灰铸铁、球墨铸铁或铸钢制造。为保证在足够的转动惯量的前提下,尽可能减少飞轮的质量,飞轮的大部分质量集中在轮缘上。

为了便于配气机构及喷油泵的检查调整,往往在飞轮外缘上刻有记号或在端面上刻有第一缸的上止点记号,用来校准点火正时或喷油定时以及调整气门间隙。如图 2-49(b)所示,当这个记号与飞轮壳上的刻线对正时,即表示 1 缸活塞处在上止点位置。

采用自动变速器的汽车,曲轴后端凸缘上直接装置液力变矩器,其壳体外圆镶有供起动的齿圈。有的电喷发动机的飞轮上还装有曲轴位置传感器的触发齿轮。

多缸发动机的飞轮除需单独进行动平衡试验外,与曲轴装配后还需一起进行动平衡试验,否则在旋转时因质量不平衡而产生的离心力将引起发动机振动并加速主轴承磨损。为防止拆装时破坏它们的平衡状态,飞轮与曲轴之间应有严格的相对位置,用定位销或用对称布置螺栓予以保证。



## 五、平衡机构

现代轿车特别重视乘坐的舒适性和降低噪声水平,为此必须将引起汽车震动和噪声的发动机不平衡力及不平衡力矩减小到最低限度。

发动机工作时,曲柄连杆机构的运动质量将产生惯性力,往复运动件将产生往复惯性力,旋转运动件将产生旋转惯性力,这些不平衡的力及其产生的力矩会引起汽车震动。在曲轴上设置的平衡重只能平衡旋转惯性力及其力矩和一部分的往复惯性力,而大部分往复惯性力及其力矩的平衡则需采用专门的平衡机构。

平面曲轴的四缸发动机通常采用双平衡轴机构,如图 2-50 所示。整个装置置于油底壳内,两个平衡轴相对气缸中心线左右对称,高度相同,与曲轴平行且与气缸中心线等距。两个平衡轴旋转方向相反,转速相同,都为曲轴转速的二倍。

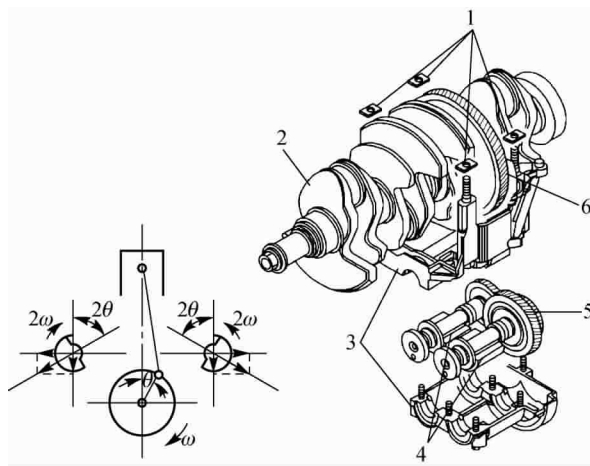


图 2-50 齿轮传动双平衡轴机构

1—垫片; 2—曲轴; 3—平衡机构壳体; 4—平衡轴及平衡重;  
5—传动齿轮; 6—平衡机构驱动齿轮

这种平衡机构可以显著地降低由往复惯性力产生的振动和噪声。为了保证平衡效果,平衡轴驱动齿轮和安装在平衡轴上的从动齿轮均刻有对正记号,装配平衡轴时,必须将对正记号对齐。



### 一、实训内容

- (1) 机体组与曲柄连杆机构的拆卸。
- (2) 气缸体与气缸盖的检测。
- (3) 活塞连杆组的检测。
- (4) 曲轴弯曲变形的检测。
- (5) 机体组与曲柄连杆机构装配与调整。



## 二、实训目的

- (1)掌握发动机拆卸的步骤和操作方法。
- (2)掌握发动机机体组与曲柄连杆机构的拆卸与装配的方法及要求。
- (3)了解主要零部件的装配标记。
- (4)掌握机体组与曲柄连杆机构的检测方法。
- (5)掌握拆装工具的使用方法,规范操作。

## 三、设备器材

- (1)拆卸用发动机一台。
- (2)120 件套筒组合工具一套、扭力扳手、活塞环装卸钳、量棒、厚薄规、量缸表、外径千分尺、塞尺等。
- (3)拆装工作台、零件摆放架。
- (4)H 剂、润滑油、润滑脂、棉纱、油盆。

## 四、注意事项

- (1)正确使用工具,注意操作安全。
- (2)做好零件的安装顺序及方向记号。
- (3)操作过程中油、水、工具、零件四不落地。

## 五、实训操作

拆装前,应先进行如下准备工作。

- (1)清除发动机外表的油污和灰尘,放尽机内润滑油和冷却水。
- (2)熟悉发动机外部附件与其机体组的相对关系。

### 1. 机体组与曲柄连杆机构的拆卸

拆卸的基本原则:先拆除外围附件,再按照由外到内、由上到下的顺序进行拆卸。

#### 1) 拆卸 V 形皮带

(1)旋转发电机带张紧轮的固定螺栓,拆卸水泵、发电机的传动 V 形带。注意在拆卸传动带前,要先做好其转动方向记号。否则,反方向装的皮带在使用中易断裂损坏。

(2)拆卸水泵和发电机带轮及其支架、曲轴带轮。依次拆下发电机、起动机、分电器、水泵等及其上尚未拆卸的连接管、线。

(3)拆下空气滤清器、节气门体、怠速稳定阀及燃油分配管、喷油器、曲轴通风管及进气恒温装置或进气预热装置。

(4)拆下进、排气歧管、机油滤清器等及其衬垫和连接管。

#### 2) 拆卸正时传动装置

转动曲轴,使第一缸活塞处于压缩行程上止点,检查正时标记,凸轮轴正时齿形带轮上的标记应与其后侧壳体上的标记对齐。

(1)拆卸齿形带或链条防护罩,旋松齿形带或链条张紧轮紧固螺母,使齿形带或链条松弛。





- (2) 拆下齿形带或链条,注意取下前应先做好方向标记。
- (3) 拆下张紧轮、中间轴带轮或链轮,拆下曲轴正时齿形带轮或链轮。
- (4) 拆下正时齿形带或链条的后防护罩。

### 3) 拆卸气缸盖与气缸垫

- (1) 旋出气门室罩的螺栓,取下气门室罩、挡油罩及密封衬垫。
- (2) 拆下凸轮轴、曲轴正时位置传感器罩及传感器,拆下爆震传感器及其他传感器等。
- (3) 拆下进水管、出水管、小循环水管、 $\psi$  塞或喷油器。
- (4) 拆下凸轮轴,用扭力扳手从两端到中间分次、均匀地旋出凸轮轴轴承紧固螺母,拆下凸轮轴轴承盖,并将摇臂轴与摇臂在安装状态下一同取下。
- (5) 拆卸气缸盖螺母、螺栓、螺柱。必须按照由外到内、先两端后中央、交叉对称的顺序分次、均匀地旋松,取下全部气缸盖螺栓。绝不允许一次把一个螺母或螺栓彻底松开。将气缸盖安全、平稳地取下放好。

注意观察气缸垫在安装状态下的方位,然后轻轻地揭下气缸垫。

### 4) 拆卸离合器总成

将发动机侧置,检查离合器盖与飞轮上有无记号。若无记号,应做上记号。对称、均匀地拆下变速器紧固螺栓,取下离合器总成。

### 5) 拆卸油底壳

发动机侧置,分次、均匀地旋下油底壳螺栓,取下油底壳。拆下集油器、油管 and 机油泵。

### 6) 拆卸活塞连杆组

- (1) 转动曲轴,将活塞连杆组的活塞置于上(下)止点,检查活塞顶部、连杆、连杆大头上有无标记。若无标记,应在活塞顶部、连杆、连杆大头(有喷油孔一侧)上按顺序、方向记号。
- (2) 用厚薄规检查连杆大头的轴向间隙。
- (3) 转动曲轴,将所要拆的活塞连杆组活塞处于下止点,用扭力扳手分两次松开连杆螺母,取下连杆大头盖、轴承、衬垫,并按顺序放好。手锤木柄向上推出活塞连杆组,平稳地取下。

每取出一组活塞连杆组后,应将该组连杆大头盖、轴承、衬垫、螺栓螺母按原样装回,不可错乱。

### 7) 拆卸曲轴飞轮组

- (1) 检查曲轴轴向间隙。用撬杠将曲轴拨向一端,然后用厚薄规或百分表测量出轴向间隙值。
- (2) 拆下曲轴前端各组件,拉出前油封,拆下油封凸缘及衬垫。
- (3) 旋下飞轮紧固螺栓,从曲轴凸缘拆下飞轮,拆下曲轴后端油封。
- (4) 检查曲轴主轴承盖上是否有记号。若无记号,应按照顺序做上。撬开曲轴主轴承盖紧固螺栓上的锁止片或拆下锁止铁丝,用扭力扳手从两端向中间分次、均匀地松开曲轴主轴承盖全部紧固螺栓,取下主轴承盖、轴承和垫片,并按原位置顺序依次放好。
- (5) 抬下曲轴,再将轴承盖、轴承按原位装回,并将固定螺栓稍微拧入。拆卸中间轴密封凸缘及油封,取出中间轴。

发动机完全解体后,应进行零件的 H ,包括清除积炭、油污,可用铜丝刷与 H 剂刷洗积炭、油污,也可将零件置于碱溶液中加热至  $70\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,浸煮  $10\sim 15\text{ min}$ ,取出后用清水



冲洗干净,再用压缩空气吹干,摆放整齐。擦洗过程中注意检查部件外观是否有损伤,做好记录。

## 2. 气缸体与气缸盖的检测

### 1) 气缸磨损的检测

气缸磨损的原因是多方面的,有润滑不良造成的磨损、高压造成的机械磨损、酸性物质造成的腐蚀磨损和磨料造成的磨损等。通过测量气缸的圆度和圆柱度的误差值来检验气缸的磨损程度,以判断发动机是否需要大修并确定修理尺寸。

气缸直径的测量通常是用量缸表来进行,如图 2-51 所示。由于沿轴向和圆周方向都呈不均匀磨损,测量时通常是取上(活塞位于上止点时第一道活塞环所对应的位置)、中(上、下止点中间的位置)、下(最下一道活塞环在下止点时的位置或距离气缸下边缘 10~20 mm 处)3 个截面,并在气缸的前后和左右两个方向进行测量,分别测出同一截面上的最大和最小直径。

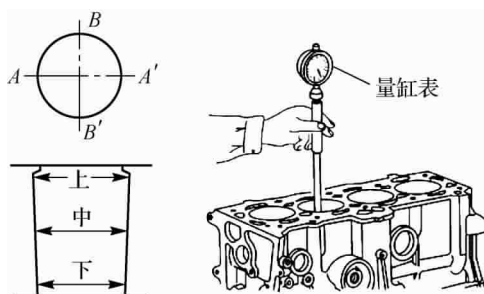


图 2-51 气缸直径的测量

### 2) 轴承座孔磨损及同轴度的检验

(1) 轴承座孔磨损的检验。先擦净轴承座孔,装上轴承盖,按规定力矩拧紧紧固螺栓,用量缸表测量主轴承座孔的圆度误差和圆柱度误差。其圆度误差应 $\leq 0.01$  mm,圆柱度误差应 $\leq 0.025$  mm。

(2) 曲轴主轴承座孔的同轴度误差检验。同轴度误差可用量棒和厚薄规进行检验。

## 3. 活塞连杆组的检测

### 1) 活塞连杆组的分解

用活塞环装卸钳拆卸活塞环,观察活塞环上的标记,如图 2-52 所示。用尖嘴钳取出活塞销卡环,用活塞销铰子铰出活塞销,使活塞与连杆分离;对于铝制活塞,先将活塞连杆组放在热水中加热到  $75^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ ,并在热态状态下用铰子铰出活塞销。

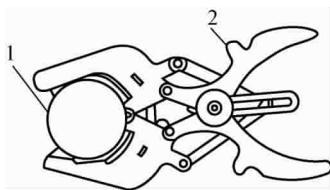


图 2-52 活塞环装卸钳拆卸活塞环

1—活塞环; 2—活塞环装卸钳

### 2) 活塞的检验

(1) 检查活塞是否有烧顶、脱顶、明显刮伤、环岸断裂、环槽磨损成梯形等问题。



(2)用游标卡尺或外径千分尺、内径量表测量活塞销和销座孔的配合间隙,以检验销座孔磨损是否超限。

(3)活塞的选配。同一台发动机必须选用同一厂牌的活塞,选用与气缸同一修理尺寸和同一分组尺寸的活塞。在选配成套的活塞中,一般尺寸差在 0.02~0.025 mm 内,质量差在 4~8 g 范围内,销座孔的涂色标记应相同。

### 3) 活塞环的检查

活塞环检查的项目有弹力检查、漏光度检查和三隙检查。

(1)活塞环的弹力检查。进行检测时将活塞环放在弹力检测器上,如图 2-53 所示,把活塞环的开口间隙放置在水平位置,移动检查器上的量块,当把活塞环的开口间隙压缩至标准数值时,弹力应符合各机型的规定要求。

(2)活塞环漏光度的检查。活塞环漏光度检查的目的是查看活塞环与气缸壁的贴合情况。漏光度过大,活塞环局部接触面积过小,易造成漏气和润滑油上窜。选配时,必须进行漏光检验,检查时将活塞环平放在气缸内,在活塞环的下边放一个发亮的灯,活塞环上面放一块盖板盖住活塞环的内圆,如图 2-54 所示。一般漏光的缝隙不能超过 0.03 mm,每处漏光的弧长对应的圆心角不得大于 25°,同一环上的漏光弧度总和不超过 45°,在环端开口处左右 30°范围内不允许有漏光现象。

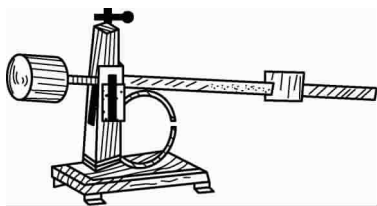


图 2-53 活塞环的径向弹力测量图

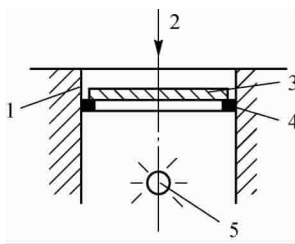


图 2-54 活塞环漏光度的检查

1—气缸体; 2—观察方向; 3—盖板; 4—活塞环; 5—光源

(3)活塞环的三隙检查。

桑塔纳 2000 活塞环的端隙、侧隙的尺寸见表 2-4。

表 2-4 桑塔纳 2000 活塞环的端隙、侧隙的尺寸

单位:mm

		单位:mm	
端隙	压缩环	第一道	0.30~0.45
		其余	0.25~0.40
	油环		0.25~0.50
侧隙	压缩环	第一道	0.02~0.05
		其余	0.02~0.05
	油环		0.03~0.08
使用极限	压缩环	侧隙:0.15	
	油环	端隙:1.00	

①检查端隙。如图 2-55(a)所示,将活塞环置于气缸套内,并用倒置活塞的顶部将环推入气缸内其相应的上止点,然后用塞尺测量。若端隙大于规定值,则应重新选配活塞环;若



端隙小于规定值,应用细平锉刀对环口的一端进行锉修。锉修时只能锉一端且环口应平整,锉修后应将加工产生的毛刺去掉,以免在工作时刮伤气缸壁。

②检查侧隙。如图 2-55(b)所示,将活塞环放入环槽内,用塞尺测量。活塞环在其槽内,能沿槽转动自如,且无松旷感觉为宜。侧隙过大或过小,均需重新装配。

③检查背隙。如图 2-55(c)所示,将环落入环槽底,再用深度游标卡尺测出环外圆柱面沉入环岸的数值。如果背隙过小,应更换活塞环或车深活塞环的底部。



图 2-55 活塞环的三隙检查

#### 4. 曲轴弯曲变形的检测

检验时应以曲轴两端主轴颈的公共轴线为基准,通过测量中间主轴颈的径向圆跳动误差来判断其弯曲程度。

(1)将曲轴两端主轴颈平放在检验平板上的 V 形块上。

(2)将装在磁性表架上的百分表的触头垂直抵靠在中间主轴颈上(中间主轴颈负荷大,弯曲量最大),使测量杆有约 1 mm 的预压量。

(3)用手慢慢将曲轴转动一圈,百分表最大指示值与最小值之差(最大摆差),即为中间轴颈的径向圆跳动误差值,如图 2-56 所示。此值大于 0.06 mm 时需进行校正,低于此值可结合磨削曲轴予以修正。

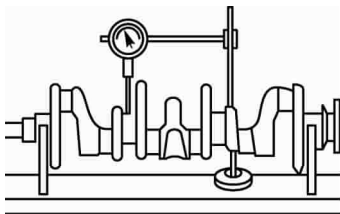


图 2-56 曲轴弯曲变形的检查

#### 5. 机体组与曲柄连杆机构装配与调整

##### 1) 曲轴飞轮组的安装

(1)在发动机机体上安装曲轴主轴瓦和推力轴承,并在轴瓦表面涂抹润滑油。

(2)将曲轴平稳放入主轴瓦上,注意推力轴承不要脱落或阻卡。

(3)将主轴瓦装入主轴承盖中,再把主轴承盖固定于发动机机体上。

按如图 2-57 所示的顺序和要求力矩( $65 \text{ N} \cdot \text{m} + 90^\circ$ )紧固螺钉。用手摇转曲轴,应该感觉轻松自如、无阻卡,否则应检查原因,重新安装。

(4)安装曲轴前后的油封。

(5)安装飞轮部件。采用专用工具固定飞轮,按要求力矩( $65 \text{ N} \cdot \text{m} + 90^\circ$ )拧紧飞轮固定



螺栓。

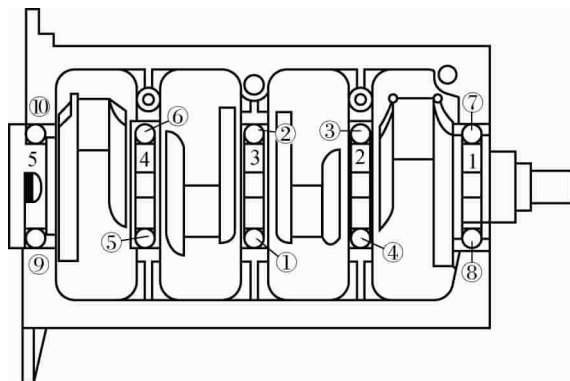


图 2-57 曲轴飞轮组主轴承的安装顺序

### 2) 活塞连杆组的安装、调整

(1) 活塞偏缸的检查。将气缸体侧放,将未装活塞环的活塞连杆组按原已选配好的缸装配在曲轴上,并按规定扭紧力矩拧紧各道螺母。转动曲轴,在气缸上、下止点处和中部用厚规检查活塞头部前、后两方与气缸的间隙。

(2) 安装活塞环。活塞环在装入活塞环槽时,应注意活塞环的断面形状和安装方向。活塞环开口应相互错开。

(3) 将活塞连杆组装入气缸。安装活塞连杆组时应注意安装方向。在气缸、活塞连杆大头、连杆轴颈等各配合表面涂上润滑油,用专用活塞环压缩器箍紧活塞环,然后将活塞连杆组由气缸上方用手锤木柄轻轻推入气缸,直至连杆大头带半片轴承落在曲轴连杆轴颈上,再扣上带有另半片轴承的连杆轴承盖,按规定扭紧力矩拧紧螺母。每装好一道活塞连杆组后,转动曲轴,应无阻滞现象。全部装完后,转动曲轴,保证其转动阻力矩符合技术标准规定。

### 3) 安装凸轮轴

安装凸轮轴前,凸轮轴隔圈、止推凸缘和正时齿轮应已装配在凸轮轴上。将凸轮轴各道轴颈涂上润滑油装入凸轮轴轴承座中(座中已装好整体式滑动轴承)。将凸轮轴正时齿轮与曲轴正时齿轮记号对正,拧紧凸轮止推凸缘的固定螺钉。

检查凸轮轴轴向间隙,轴向间隙是由止推凸缘和隔圈的厚度差来保证的,止推凸缘比隔圈薄 0.08~0.20 mm,从而形成 0.08~0.20 mm 的轴向间隙。

### 4) 安装气缸盖

转动曲轴,使所有活塞离开上止点位置,防止在安放气缸盖时气门和活塞顶撞击。将气缸垫放在气缸体上平面上,位置对准。安装气缸盖时,应将专用工具 3070 定位导向螺栓旋入气缸体第 8 和第 10 孔内。放上气缸盖和其余 8 个螺栓,并稍微拧紧。用扳手旋出事先拧入的 3070 定位导向螺栓,并拧入气缸螺栓。按图 2-58 所示的顺序和要求力矩,将气缸螺栓分 4 次旋紧。

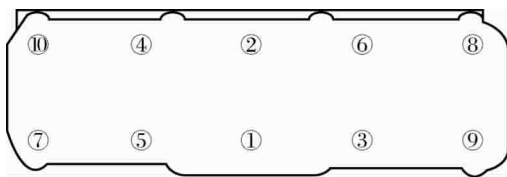


图 2-58 气缸盖紧固螺栓的安装顺序

发动机冷态时,气缸盖紧固螺栓的拧紧力矩见表 2-5。

表 2-5 气缸盖紧固螺栓的拧紧力矩

第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次
40 N·m	60 N·m	75 N·m	1/4 圈

### 5) 安装进、排气歧管

安装进、排气歧管时放上衬垫,按规定扭紧力矩和顺序拧紧螺栓。

### 6) 安装发动机附件

发动机附件包括水泵、发电机、起动机、空气压缩机、节温器、出水管、机油滤清器、分电器和空气滤清器。

## 小 结

1. 曲柄连杆机构主要由机体组、活塞连杆组和曲轴飞轮组组成。它受到气体作用力、运动质量的惯性力及相对运动件接触表面的摩擦力。
2. 对于铝合金气缸体而言,因其耐磨性差,必须在气缸体内镶入气缸套。
3. 整体式气缸盖多用于缸径小于 105 mm 的汽油机。气缸垫保证气缸体与气缸盖间的密封,防止发生漏水、漏气、漏油等现象。
4. 汽车发动机广泛采用的活塞材料是铝合金。为了保证活塞的正常工作,可预先将活塞加工成裙部断面为长轴垂直于活塞销方向的椭圆和上小下大的锥形或桶形。
5. 气环起密封和导热两大作用。气环在安装时要注意安装顺序和方向。
6. 活塞销与活塞销座孔和连杆小头的连接方式一般有全浮式和半浮式两种。
7. 连杆盖与连杆大头是组合镗孔的,安装时要注意配对记号。连杆轴瓦和曲轴主轴瓦采用的都是由钢背和减摩层组成的分开式薄壁轴承。
8. 汽车发动机广泛采用球墨铸铁曲轴,具有材料价格便宜、耐磨性好、机械加工量小等优点。曲轴轴向定位通常在主轴承结构上采用翻边轴瓦和半圆环止推片。
9. 为了平衡曲轴旋转的惯性力,曲轴设置平衡重。为了削减曲轴的扭转振动,曲轴前端装有曲轴扭转减振器。
10. 曲轴的形状和各曲拐的相对位置取决于发动机的缸数、气缸排列方式和做功顺序。



## 思考与练习

1. 曲柄连杆机构的组成与功用是什么？简述曲柄连杆机构的受力情况。
2. 发动机镶入气缸套有什么优点？气缸套分为哪几类，各有何特点？
3. 汽油机的燃烧室有哪几种？
4. 发动机活塞环的作用是什么？扭曲环的特点是什么？装配时应注意什么？
5. 什么是活塞环的端隙、侧隙和背隙？
6. 为防止铝制活塞裙部的变形，可采取哪些措施？
7. 全浮式活塞销有什么优点？安装特点是什么？
8. 连杆盖与连杆大头的定位方式有哪几种？
9. 简述曲轴的支承形式。
10. 多缸发动机曲轴的曲拐布置与发动机工作顺序的关系是什么？
11. 曲轴是如何轴向定位的？
12. 曲轴径向是如何密封的？
13. 如何平衡曲轴的旋转惯性力？
14. 如何消减曲轴的扭曲振动？
15. 飞轮的作用是什么？

## 学习目标

- 理解充气效率及配气相位的概念；
- 理解配气机构的工作原理；
- 掌握配气机构的组成、主要零部件的构造；
- 了解可变进气系统的工作特点；
- 掌握配气机构总成的拆装方法。



## 理论知识

## 一、配气机构概述

发动机配气机构的功用就是根据每一气缸内所进行的工作循环和点火顺序的要求,定时打开和关闭各缸的进、排气门,使新鲜可燃的混合气(汽油机)或空气(柴油机)及时进入气缸,废气及时排出气缸,使换气过程最佳。

## 1. 充气效率

纯空气或可燃混合气充满气缸的程度常用充气效率表示,也称充气系数。充气效率指在进气过程中,实际进入气缸的新鲜空气或可燃混合气的质量与在理想状况下充满气缸工作容积的新鲜空气或可燃混合气的质量之比。

充气效率越高,表明进入气缸内的新鲜空气或可燃混合气的质量越大,可燃混合气燃烧时放出的热量越大,发动机发出的功率和转矩也就越大。

对于一定工作容积的发动机而言,充气效率与进气终了时气缸内的压力和温度有关。进气终了压力越高,温度越低,则一定容积的气体质量就越大,充气效率越高。

由于进气系统对气流的阻力造成进气终了时气缸内的气体压力降低,又由于上一循环中残留在气缸内的高温废气以及燃烧室、活塞顶、气门等高温零件对进入气缸内的新鲜气体加热,使进气终了时气体的温度升高,实际充入气缸的新鲜气体的质量总是小于理想状态下充满气缸工作容积的新鲜气体的质量,即充气效率总是小于1,一般为0.80~0.90。

影响充气效率的因素很多,就配气机构而言,应使其结构有利于减小进、排气阻力,并且进、排气门的开启时刻和持续开启的时间应适当,使吸气和排气过程尽可能充分,充气效率提高。





## 2. 配气机构的组成

配气机构如图 3-1 所示,主要由气门组和气门传动组两部分组成。

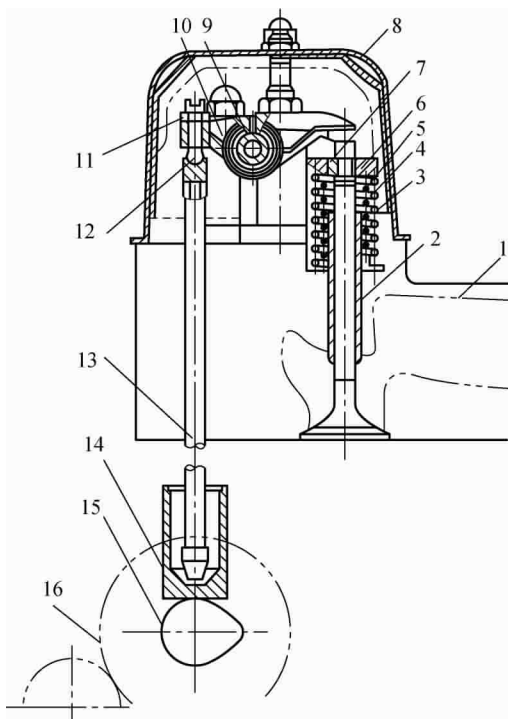


图 3-1 配气机构

1—气缸盖; 2—气门导管; 3—气门; 4—气门主弹簧; 5—气门副弹簧; 6—气门弹簧座; 7—锁片; 8—气门室罩;  
9—摇臂轴; 10—摇臂; 11—锁紧螺母; 12—调整螺钉; 13—推杆; 14—挺柱; 15—凸轮轴; 16—正时齿轮

气门组包括气门、气门座、气门导管、气门弹簧及座圈、锁片(锁销)和油封等零件。

气门传动组由凸轮轴、摇臂、摇臂轴、推杆、挺柱和正时齿轮(正时皮带轮)等组成。

为了满足现在车用发动机的高速、强化、低排放要求,配气机构需要不断改善换气性能和提高高速适应性,为此出现了多种配气机构形式,其中可变配气技术在配气机构中的应用越来越多。

## 3. 配气机构的工作原理

发动机工作时,驱动机构驱动凸轮轴旋转,凸轮的凸起部分通过挺柱、推杆和绕摇臂轴摆动的摇臂压缩气门弹簧,使气门离座,即气门开启。当凸轮凸起部分离开后,气门便是在气门弹簧力的作用下而落座,即气门关闭。压缩和做功行程中,气门在弹簧张力的作用下严密关闭。

四冲程发动机每完成一个工作循环,曲轴旋转两周,各缸的进、排气门各开启一次,凸轮轴应只旋转一周。因此,曲轴与凸轮轴的转速之比为 2 : 1。

## 二、气门的布置位置及排列方式

### 1. 气门的布置位置

气门的布置位置有侧置式和顶置式两种类型。



(1)气门侧置式配气机构。气门侧置式配气机构的进、排气门在气缸的侧面。其压缩比受限制,进、排气门阻力较大,发动机的动力性和高速性均较差,目前已被淘汰。

(2)气门顶置式配气机构。气门顶置式配气机构的进、排气门位于气缸盖上,如图 3-1 所示。其进气阻力小,燃烧室结构紧凑,气流搅动大,能达到较高的压缩比,现代发动机均采用气门顶置式配气机构。

## 2. 每缸气门数及排列方式

### 1) 每缸两个气门方式

一般发动机都采用每缸两气门,即一个进气门和一个排气门,所有气门沿机体纵向轴线排成一列的结构。

为了改善气缸的换气性能,在结构允许的条件下,应尽量增大进气门头部的直径,特别是增大进气门的直径。通过增大断面面积,减小进气阻力,增加进气量。排气门头部直径略小,排气阻力稍大,但排气阻力对发动机性能的影响比进气阻力小得多,因此进气门和排气门数量相同时,进气门头部直径总比排气门大。

### 2) 每缸四个气门方式

现代高性能汽车发动机普遍采用每缸四气门,即两个进气门和两个排气门的结构。其突出的优点是在有限的气缸直径内,气流通过断面面积大,进、排气充分,提高了充气效率;气门的头部直径较小,质量减轻,运动惯性力也减小,有利于提高发动机转速。此外,四气门发动机,多采用篷形燃烧室, $\psi$  塞布置在燃烧室的中央,有利于燃烧,提高功率、改善排放。其缺点是配气机构零件数量增多,制造成本增加。

当每缸采用四气门时,气门排列的方式有两种。

(1)同名气门排成两列。同名气门排成两列,由一个凸轮轴通过 T 形驱动杆同时驱动,并且所有气门都可以由一根凸轮轴驱动,如图 3-2(a)所示。但由于两个气门串联,会影响进气门充气效率且使前、后两排气门热负荷不均匀,因此这种方案不常采用。

(2)同名气门排成一列。同名气门排成一列,分别用进气凸轮轴和排气凸轮轴驱动,如图 3-2(b)所示。这种结构在形成进气涡流、保证排气门及缸盖热负荷均匀等方面都具有相当的优越性。

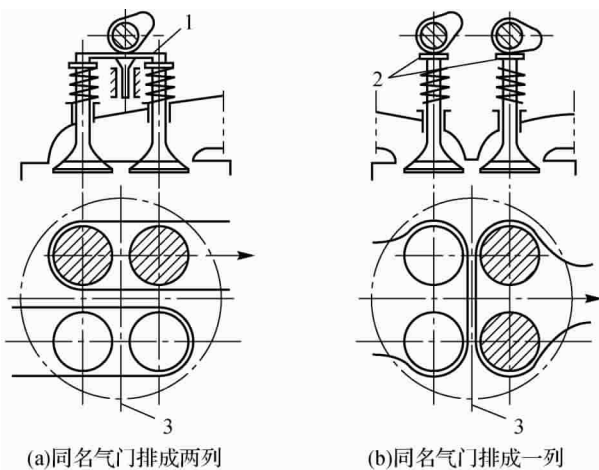


图 3-2 气缸四气门布置示意图

1—T 形驱动杆; 2—气门尾端的从动盘; 3—曲轴轴线



### 3) 每缸五个气门方式

每缸五个气门方式即每缸采用三个进气门和两个排气门的五个气门的结构,气门的排列方式通常是同名气门排成一列,如图 3-3 所示。与四气门相比,其气门流通截面更大,充气效率更高。

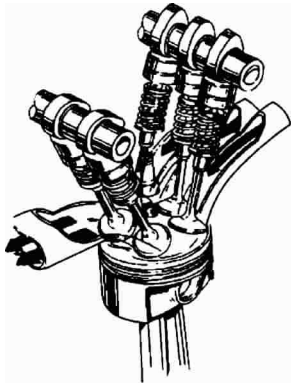


图 3-3 五气门配气机构

## 三、凸轮轴的布置位置及传动形式

### 1. 凸轮轴的布置位置

凸轮轴的布置位置有凸轮轴下置、凸轮轴中置和凸轮轴上置三种类型,如图 3-4 所示。

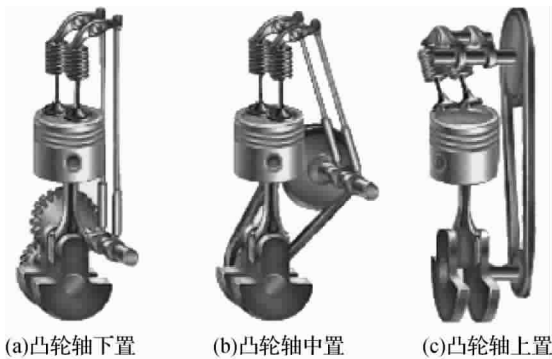


图 3-4 凸轮轴布置位置不同的配气机构

(1) 凸轮轴下置式配气机构。凸轮轴下置式配气机构的凸轮位于曲轴箱内,如图 3-4(a) 所示。其主要优点是凸轮轴离曲轴近,可以简单地用一对齿轮传动。缺点是气门和凸轮轴相距较远,气门传动零件较多,影响气门运动规律的准确性,多用于低速发动机。

(2) 凸轮轴中置式配气机构。凸轮轴中置式配气机构的凸轮轴位于气缸体的中上部,如图 3-4(b) 所示。与凸轮轴下置式配气机构的组成相比,气门和凸轮轴相距较近,能提高气门运动规律的准确性。

(3) 凸轮轴上置式配气机构。凸轮轴上置式配气机构的凸轮轴布置在气缸盖上,如图 3-4(c) 所示。凸轮轴上置式配气机构有三种类型。

① 直接驱动式配气机构。凸轮轴直接驱动带液压挺柱的气门,如图 3-5(a) 所示,没有传



动环节,刚度大,驱动功率损失少,特别适用于高速发动机。

②摇臂驱动式配气机构。凸轮轴直接通过摇臂来驱动气门,如图 3-5(b)所示,减少了传动件,高速性能好,适于高速发动机。

③摆臂驱动式配气机构。凸轮轴直接通过摆臂来驱动气门,如图 3-5(c)所示,刚度比摇臂的好,有利于提高发动机转速。

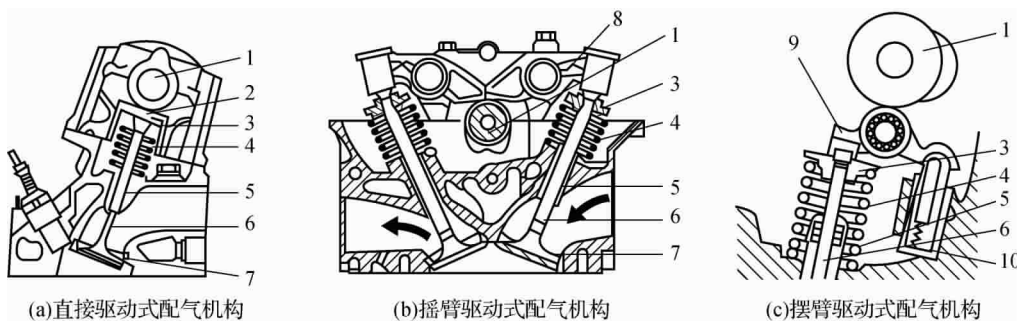


图 3-5 凸轮轴上置配气机构

1—凸轮; 2—挺柱; 3—气门弹簧座; 4—气门弹簧; 5—气门导管; 6—气门; 7—气门座圈;  
8—摇臂; 9—摆臂; 10—气门间隙补偿器

## 2. 凸轮轴的传动形式

凸轮轴由曲轴带动旋转,它们之间的传动方式有齿轮传动、链传动及齿形带传动等几种传动形式。

### 1) 齿轮传动

凸轮轴下置、中置式配气机构大多数采用圆柱正时齿轮传动,如图 3-6(a)所示。一般由曲轴到凸轮轴只需一对正时齿轮传动,必要时可加装中间齿轮。为了啮合平稳,减小噪声和减少磨损,正时齿轮一般都用斜齿轮,并用不同材料制成,曲轴正时齿轮常用钢来制造,而凸轮轴正时齿轮则用铸铁或夹布胶木制成。为了保证装配时配气正时,齿轮上都有正时记号,装配时必须使记号对准,以保证正确的配气正时。

齿轮传动比较平稳,配气正时控制精度高,使用寿命长,车用柴油机采用较多。

### 2) 链传动

链传动适用于凸轮轴上置式配气机构,如图 3-6(b)所示,由曲轴通过链条来驱动凸轮轴。为使链条在工作时具有一定的张力而不致脱链,链传动设有导链板。在使用中由于链节的磨损,链条会逐渐变长,链传动设有张紧装置加以调整。

链传动具有结构简单、质量轻、易安装、可靠性好、使用寿命长的优点,但其工作时噪声大、需要润滑、维护麻烦。

### 3) 齿形带传动

齿形带传动特别适用于凸轮轴上置式配气机构,如图 3-6(c)所示,由曲轴通过齿形带来驱动凸轮轴。齿形带由氯丁橡胶制成,中间夹有玻璃纤维以增加强度,齿面粘覆尼龙编织物。为了确保传动可靠,设有张紧轮。

与链传动相比,齿形带传动具有噪声低、结构质量轻、制造成本低、工作可靠和不需要润滑等优点。近年来,在高速轿车发动机上广泛采用齿形带代替传动链。但其会老化,使用寿



命比链条要短些。一般每运行 10 万千米或使用达到五年需更换一次正时皮带。

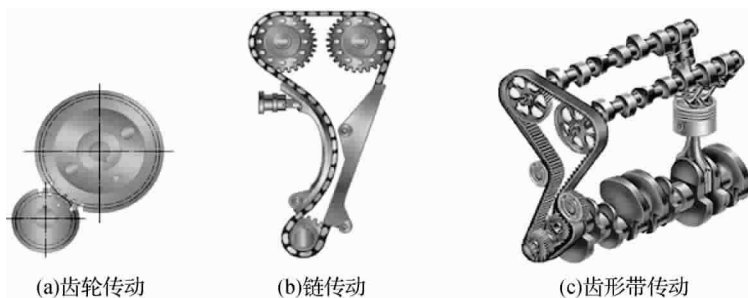


图 3-6 凸轮轴的传动形式

#### 四、配气相位

配气相位就是用曲轴转角表示进、排气门的实际开启时刻和开启持续时间。用曲轴转角的环形图来表示配气相位,这种图称为配气相位图,如图 3-7 所示。

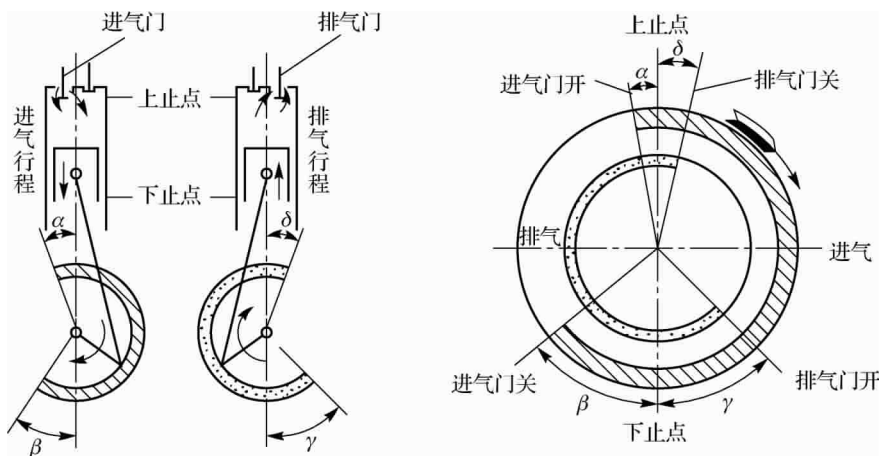


图 3-7 配气相位图

理论上四冲程发动机的进气门应当在活塞处在上止点时开启,当活塞运动到下止点时关闭;排气门则应当在下止点时开启,到上止点时关闭。进气时间和排气时间各占  $180^\circ$  曲轴转角。由于汽车发动机转速较高,一个行程所占时间很短。例如,桑塔纳轿车发动机在最大功率时的转速为  $5\,600\text{ r/min}$ ,一个行程历时仅  $0.005\,4\text{ s}$ 。这样短时间的进气和排气过程,往往充气不足或排气不干净,从而使发动机功率下降。现代发动机都采用提前打开和迟后关闭的办法来延长进、排气时间,从而改善进、排气状况,提高发动机的动力性。

##### 1. 进气相位

(1) 进气提前角  $\alpha$ 。在排气行程接近终了,活塞到达上止点之前,进气门便开始开启。从进气门开始开启到上止点所对应的曲轴转角称为进气提前角(早开角),用  $\alpha$  表示,一般为  $10^\circ\sim 30^\circ$ 。进气门提前开启的目的是保证进气行程开始时进气门已开大,新鲜气体能顺利地充入气缸。

(2) 进气迟后角  $\beta$ 。在进气行程下止点过后,活塞又上行一段,进气门才关闭。从下止点到进气门关闭所对应的曲轴转角称为进气迟后角,用  $\beta$  表示, $\beta$  一般为  $40^\circ\sim 80^\circ$ 。进气门晚



关是因为活塞到达下止点时,由于进气阻力的影响,气缸内的压力仍低于大气压,且气流还有相当大的惯性,仍能继续进气。下止点过后,随着活塞的上行,气缸内压力逐渐增大,进气气流速度也逐渐减小,至流速等于零时,进气门便关闭,此时的 $\beta$ 角最适宜,若 $\beta$ 过大就会将进入气缸的气体重新又压回进气管。

整个进气过程,进气门开启持续时间内的曲轴转角,即进气持续角为 $\alpha+180^\circ+\beta$ 。

## 2. 排气相位

(1)排气提前角 $\gamma$ 。在做功行程的后期,活塞到达下止点前,排气门便开始开启。从排气门开始开启至下止点所对应的曲轴转角称为排气提前角,用 $\gamma$ 表示, $\gamma$ 一般为 $40^\circ\sim 80^\circ$ 。排气门恰当地早开,气缸内还有 $0.3\sim 0.5$  MPa的压力,做功作用已经不大,但利用此压力可使气缸内的废气迅速地自由排出,待活塞到达下止点时,气缸内只剩 $0.11\sim 0.12$  MPa的压力,排气行程所消耗的功率大为减小。此外,高温废气的早排,还可防止发动机过热。

(2)排气迟后角 $\delta$ 。在活塞越过上止点后,排气门才关闭。从上止点到排气门关闭所对应的曲轴转角称为排气迟后角,用 $\delta$ 表示。 $\delta$ 一般为 $10^\circ\sim 30^\circ$ 。由于活塞到达上止点时,气缸内的压力仍高于大气压,且废气气流有一定的惯性,所以排气门适当晚关可使废气排得较干净。

整个排气过程,排气门开启持续时间内的曲轴转角,即排气持续角为 $\gamma+180^\circ+\delta$ 。

## 3. 气门叠开

由于进气门早开和排气门晚关,就出现了一段进、排气门同时开启的现象,称为气门叠开。同时开启的角度,即进气提前角与排气迟后角的和( $\alpha+\delta$ ),称为气门叠开角。由于叠开时气门的开度很小,且新鲜气体和废气气流由于惯性要保持原来的流动方向,所以只要叠开角适当,就不会产生废气倒排回进气管和新鲜气体随废气排出的问题。相反,由于废气气流周围有一定的真空度,对排气速度有一定影响,从进气门进入的少量新鲜气体可对此真空度加以填补,还有助于废气的排出。

发动机的结构不同、转速不同,配气相位也就不同。即使是同一台发动机,其配气相位也应随转速和负荷的变化而变化。但目前大多数发动机采用固定不变的配气正时,它是发动机某一常用转速下较为合适的配气相位。为了能使配气正时随发动机转速和负载的变化而变化,需采用可变配气正时机构。

## 五、气门间隙

发动机在冷态下,当气门处于完全关闭状态时,气门与传动件之间的间隙称为气门间隙,如图 3-8 所示。

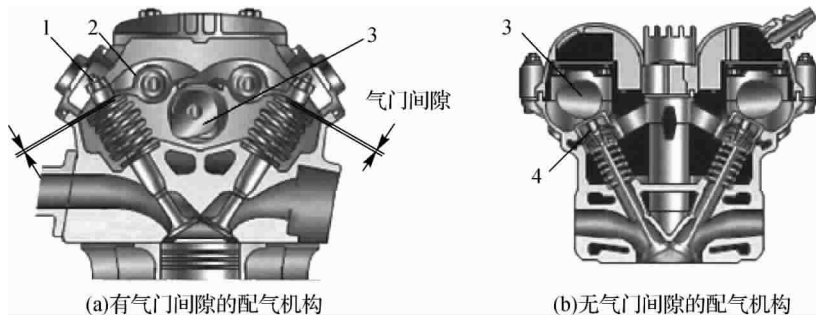


图 3-8 气门间隙

1—调节螺钉; 2—摇臂; 3—凸轮轴; 4—液压挺柱



发动机工作时,配气机构各零件,如气门、挺柱和推杆等因温度升高而膨胀。如果气门及其传动件之间在冷态时无间隙或间隙过小,则在热态下,气门及其传动件的受热膨胀势必会引起气门关闭不严,造成发动机在压缩和做功行程中漏气,从而使发动机功率下降,并使气门的密封表面严重积炭或烧坏,严重时不易起动,甚至气门撞击活塞。为了消除这种现象,通常留有适当的气门间隙,以补偿气门受热后的膨胀量。

气门间隙的大小与发动机的结构形式、气门与气门传动组零件的材料和结构有关。气门间隙过大,进、排气门开启迟后,缩短了进、排气时间,降低了气门的开启高度,改变了正常的配气相位,使发动机因进气不足、排气不净而功率下降。此外,还使配气机构零件的撞击增加,磨损加快。一般在冷态时,进气门的间隙为 0.25~0.30 mm,排气门的间隙为 0.30~0.35 mm。

为了能对气门间隙进行调整,在摇臂上装有调整螺钉及其锁紧螺母,如图 3-8(a)所示。直接驱动式配气机构则通过凸轮与挺柱之间的调整垫块来调整气门间隙。

采用液压挺柱的配气机构,挺柱的长度能自动变化,随时补偿气门的热膨胀量,故不需要预留气门间隙,如图 3-8(b)所示。

## 六、四冲程气门式配气机构的零件和组件

四冲程气门式配气机构一般都由气门组和气门传动组两部分组成。

### 1. 气门组

气门组包括气门、气门座、气门导管及气门弹簧等零件,如图 3-9 所示。为了保证气门在关闭时的密封要求,要求气门头部与气门座贴合严密、密封良好;气门导管应能对气门杆运动有良好导向;气门弹簧两端应与弹簧中心线垂直,且其弹力能克服气门及其传动件的运动惯性,即既能保证气门压紧于气门座,又能保证气门迅速开闭。

#### 1) 气门

汽车发动机的进、排气门一般是菌状的,由头部和杆部两部分组成,如图 3-10 所示。

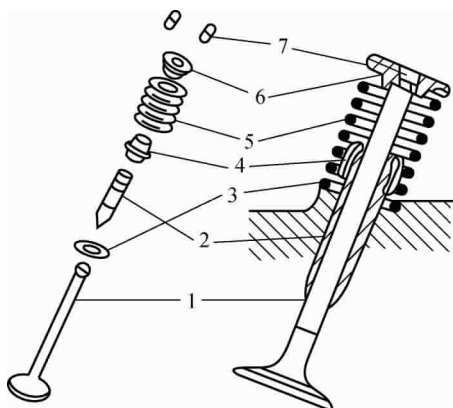


图 3-9 气门组零件

1—气门; 2—气门导管; 3—下气门弹簧座; 4—气门导管油封;  
5—气门弹簧; 6—上气门弹簧座; 7—气门锁片

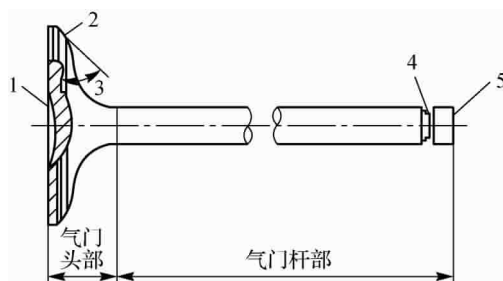


图 3-10 气门结构

1—气门顶面; 2—气门锥面; 3—气门锥角;  
4—气门锁夹槽; 5—气门尾端面

(1) 气门工作条件。气门是燃烧室的组成部分,其工作条件恶劣。气门直接与高温燃气



接触,工作温度很高,排气门最高温度可达  $600\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,进气门由于被新鲜空气冷却,温度较低,也达  $300\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;气门承受气体压力、气门弹簧力以及气门落座时的惯性冲击力;气门的冷却和润滑条件差;气门受气缸中燃烧生成物中的物质腐蚀。因此,气门应具有足够的强度和刚度,并耐冲击、耐磨损、耐热和耐腐蚀。

(2)气门材料。进气门一般用中碳合金钢制造。排气门由于热负荷大,采用高级耐热合金钢制造。为了节省耐热钢,有的排气门头部用耐热钢而杆部用普通合金钢制造,然后将二者焊在一起,尾部再加装一个耐磨合金钢帽。有的在排气门的气门锥面上堆焊或喷涂一层钨钴合金,以提高其硬度、耐磨性、耐热性和耐腐蚀性,延长其使用寿命。

(3)气门头形状。气门头部的形状有平顶、球面顶和喇叭形顶等,如图 3-11 所示。



图 3-11 气门头部的形状

平顶气门头结构简单,易制造,顶吸热量少,质量也较小,进、排气门均可采用,是发动机常用的形式。球面顶气门头具有最大的强度,排气阻力小,但制造较复杂,吸热面大,质量也大,适于做排气门。喇叭形顶气门头与杆部过渡具有一定的流线型,可减少进气阻力,但受热面大,适合做进气门。

(4)气门锥角。气门头与气门座圈接触的工作面称为密封锥面,是与杆部同心的锥面,通常将这一锥面与气门顶部平面的夹角称为气门锥角。如图 3-12 所示,气门锥角一般做成  $45^{\circ}$ ,有的发动机的进气门锥角为  $30^{\circ}$ 。



图 3-12 气门锥角

采用锥形工作面能获得较大的气门座密合压力,提高密封性和导热性,气门落座时有定位作用,并能避免气流拐弯过大而降低流速。气门锥角较小时,气流通过断面较大,进气阻力较小,但气门头部边缘较薄,刚度较小,使得气门头部与气门座的密封性及导热性较差。

为保证良好密合,装配前应将气门头与气门座的密封锥面互相研磨,研磨好的零件不能互换。

(5)气门杆部。气门杆是圆柱形,用来为气门运动时导向、承受侧压力并传走一部分热量。其表面应具有较高的加工精度、较低的粗糙度及耐磨性。气门杆尾部结构取决于气门弹簧座的固定方式,如图 3-13 所示。常用的结构是用剖分成两半的锥形锁片来固定气门弹簧座,这时气门杆的尾部应切出环形槽来安装锁片,如图 3-13(a)所示;也可以用锁销来固定





气门弹簧座,这时对应的气门杆尾部应有一个用来安装锁销的径向孔,如图 3-13(b)所示。

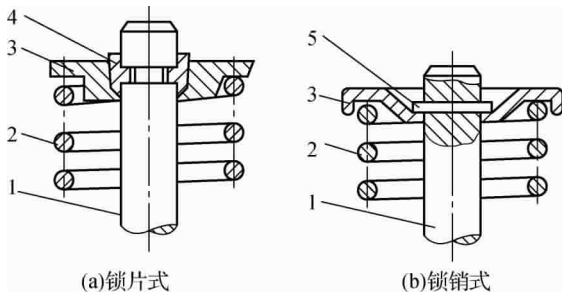


图 3-13 气门弹簧座的固定方式

1—气门杆; 2—气门弹簧; 3—气门弹簧座; 4—锥形锁片; 5—锁销

### 2)气门导管

气门导管的功用是对气门的运动导向,保证气门直线运动,使气门与气门座正确配合,并为气门杆散热,其结构如图 3-14 所示。

气门导管的工作温度较高,仅靠配气机构飞溅出来的机油润滑,因此易磨损。气门导管材料一般为灰铸铁或铁基粉末冶金,它在不良润滑条件下工作可靠、磨损很小,同时工艺性好、造价低。

气门导管内、外圆柱面经加工后以一定的过盈量压入气缸盖的气门导管孔中,然后再精铰内孔。气门杆与气门导管之间一般留有 0.05~0.12 mm 的间隙,使气门杆能在导管中自由运动。为了防止气门导管产生轴向移动,有的发动机对气门导管用凸台或卡环定位。带凸台或卡环定位的导管较压入式导管的配合过盈量要小些,因为气门弹簧下座将凸台或卡环压住,就使导管有了可靠的轴向定位,不致脱落。

有的发动机不装气门导管,直接在气缸盖上加工出气门杆孔,作为气门的导向孔。

气门杆和气门导管之间有一定间隙,配气机构工作时飞溅的润滑油就会顺着间隙流到气门杆和气门导管之间,起润滑作用。汽车高速化后,进气管中的真空度显著提高,气门室中的机油会通过气门杆和气门导管之间的间隙被吸入气缸内,造成机油损耗增加,气门和燃烧室积炭,为此,在气门导管上部安装气门导管油封,如图 3-15 所示。

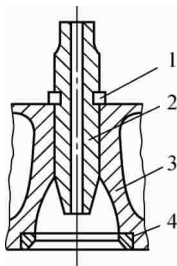


图 3-14 气门导管的结构

1—卡环; 2—气门导管; 3—气缸盖; 4—气门座圈

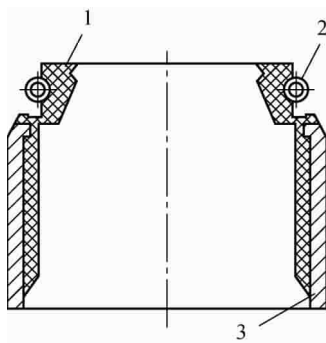


图 3-15 气门导管油封

1—橡胶油封; 2—弹簧卡环; 3—金属骨架



### 3) 气门座

气缸盖上与气门锥面相结合的部位称为气门座,它也有相应的锥面。气门座的作用是靠其内锥面与气门锥面的紧密贴合密封气缸,并接收气门传来的热量,起到对气门散热的作用。

气门座的形式有两种,一种是在气缸盖上直接镗出;另一种是单独制成气门座圈,以一定的过盈量镶嵌在气缸盖的座孔中,铝合金气缸盖由于材质较软,气门座必须镶嵌。

直接镗出式的气门座散热效果好,但由于气门座在高温条件下工作,易磨损。现代汽车发动机大都采用镶嵌式气门座以提高气缸盖的使用寿命,便于维修。镶嵌式气门座的缺点是导热性差,座圈与座孔的配合尺寸要求高,要防止气门座的脱落。镶嵌式气门座采用合金铸铁、粉末冶金或奥氏体钢等材料制成。

气门座的锥角与气门锥角相适应,一般气门锥角比气门座的锥角小 $0.5^{\circ}\sim 1^{\circ}$ ,如图3-16所示。密封锥角可减小二者之间的接触面积,提高接触压力,加快磨合速度,提高了密封性;具有自洁作用,可挤出二者之间的任何积垢和积炭,保持锥面良好的密封性;在气体压力作用下产生弹性变形时,可趋向全锥面接触。

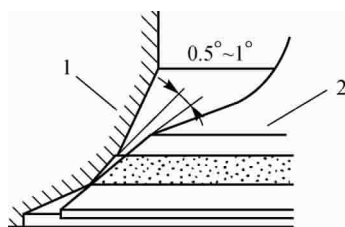


图 3-16 气门与气门座密封的锥角

1—气门座; 2—气门头

### 4) 气门弹簧

气门弹簧如图3-17所示,借其张力克服气门关闭过程中气门及传动件因惯性力而产生的间隙,保证气门及时落座并紧密贴合,同时也可防止气门在发动机振动时因跳动而破坏密封。

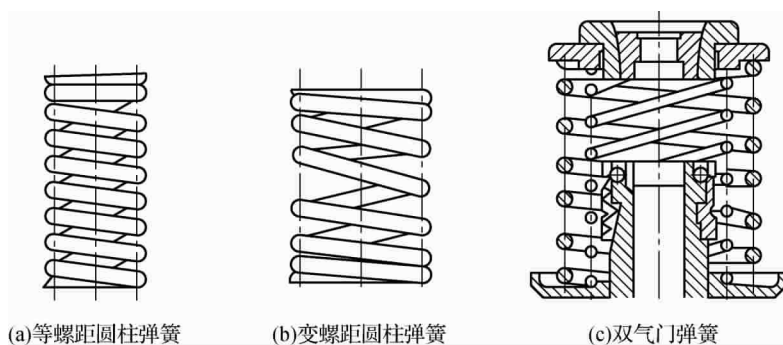


图 3-17 气门弹簧

气门弹簧承受交变载荷,为保证其可靠的工作,气门弹簧应具有足够的刚度、强度和抗疲劳强度。弹簧的两个端面必须磨光并与弹簧轴线垂直。通常气门弹簧采用高碳锰钢、铬钒钢等优质冷拔弹簧钢丝制成。钢丝表面要进行磨光、抛光或喷丸,以提高疲劳强度,还要进行镀锌、镀铜、磷化或发蓝等防锈。

气门弹簧下端支承在气缸盖平面的弹簧凹坑内或专门的弹簧座内,上端则压靠在弹簧座上,弹簧座用锁片、锁环或锁销固定在气门杆尾部。

气门弹簧一般为等螺距圆柱螺旋弹簧,如图3-17(a)所示。

气门弹簧在工作时,当工作频率与其固有的振动频率相等或成某一整数倍时,将发生共振,破坏气门的正常工作,使气门反跳、落座冲击,甚至使弹簧折断。为了防止弹簧发生共



振,常采用以下两种措施。

(1)采用变螺距弹簧,如图 3-17(b)所示。弹簧在工作时,先在螺距大的一端逐渐叠合,有效圈数逐渐减少,固有频率逐渐提高,共振便成为不可能。变螺距弹簧安装时应将较小螺距的一端靠向机体固定端。

(2)采用双气门弹簧,如图 3-17(c)所示。大多数高速发动机是一个气门装有同心安装的内、外两根气门弹簧,这样不但可以防止共振,而且当一个弹簧折断时,另一根仍可维持工作。此外,还能减小气门弹簧的高度。当装用两根气门弹簧时,气门弹簧的螺旋方向和螺距应各不相同,这样可以防止折断的弹簧圈卡入另一个弹簧圈内。

### 5)气门旋转机构

如果气门在工作中相对气门座缓慢旋转,则二者之间的密合和使用寿命可大为提高。这是因为气门旋转时,一方面可以使头部沿圆周方向温度均匀,减少气门头部的热变形。另一方面在密封锥面上产生轻微的摩擦力,有阻止沉积物形成的自洁作用,使气门与气门座保持良好的接触,以便散热和密封。为此有的发动机加装有气门旋转机构,如图 3-18 所示。低摩擦型自由旋转机构在发动机运转振动作用下,有可能使气门做不规则的转动;强制式旋转机构则在气门每开启一次就使气门转动一定角度。

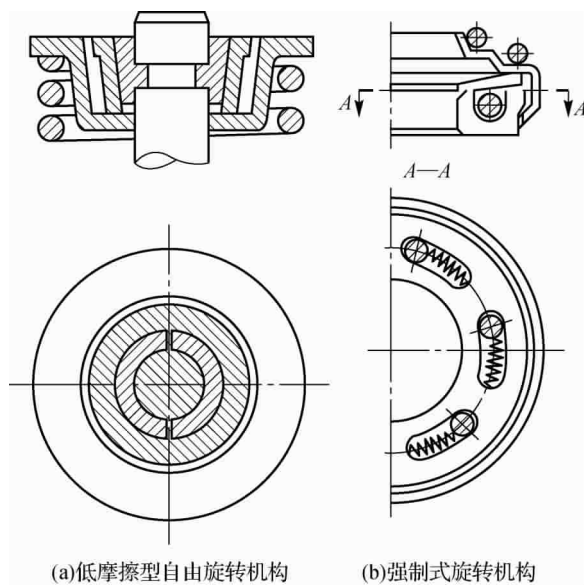


图 3-18 气门旋转机构

## 2. 气门传动组

气门传动组主要包括凸轮轴、正时齿轮、挺柱、推杆及导管、摇臂和摇臂轴等。气门传动组的作用是使气门按发动机配气相位规定的时刻及时开闭,并保证规定的开启时间和开启高度。

### 1) 凸轮轴

(1)凸轮轴的功用及材料。凸轮轴用来驱动和控制各缸气门的开启和关闭,使其符合发动机的工作顺序、配气相位及气门升程的变化规律要求。

凸轮轴工作时受到气门间歇性开启的周期性冲击载荷,凸轮与挺柱或摇臂之间的接触



应力很大,相对滑动速度也很高。因此要求凸轮表面有足够的硬度和耐磨性,凸轮轴有足够的韧性和刚度。否则,凸轮的磨损与变形会导致配气相位发生改变,致使气门晚开早关,气门升程减小,影响发动机的正常工作。

凸轮轴一般用优质钢模锻而成,也可采用合金铸铁或球墨铸铁铸造。凸轮和轴颈的工作表面一般经热处理后精磨和抛光,以提高其硬度及耐磨性。

(2)凸轮的构造。凸轮轴主要由凸轮和轴颈等组成。凸轮分为进气凸轮和排气凸轮两种,轴颈对凸轮轴起支承作用。凸轮轴的前端通过键槽安装有凸轮正时齿轮、链轮或齿形带轮。单根凸轮轴的配气机构一般将进气凸轮和排气凸轮布置在同一根凸轮轴上,如图 3-19(a)所示。双顶置凸轮轴配气机构的两根凸轮轴,一根是进气凸轮轴,另一根是排气凸轮轴,如图 3-19(b)所示。

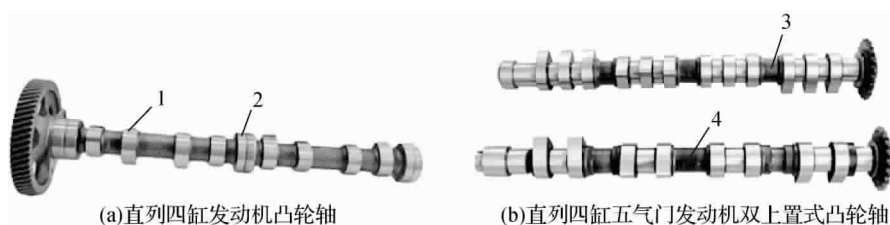


图 3-19 凸轮轴构造

1—凸轮; 2—凸轮轴颈; 3—进气凸轮轴; 4—排气凸轮轴

(3)凸轮轮廓。凸轮轮廓曲线决定了气门的升程及其升降过程的运动规律,如图 3-20 所示。

凸轮轮廓曲线如图 3-20(a)所示, $O$ 为凸轮轴的旋转中心,弧  $EA$  为凸轮的基圆,弧  $AB$ 、弧  $DE$  为过渡段,弧  $BCD$  为凸轮的工作段。当凸轮逆时针转过弧  $EA$  时,气门无升程,处于关闭状态,如图 3-20(b)所示;凸轮转过  $A$  点后,挺柱上移至  $B$  点时,气门间隙被消除,气门开始开启,凸轮转到  $C$  点时,气门升程最大,处于最大开启状态,如图 3-20(c)所示,凸轮转到  $D$  点时气门关闭。 $\varphi$  称为气门开启持续角, $\rho_1$  和  $\rho_2$  则分别对应着消除和恢复气门间隙所需的转角。

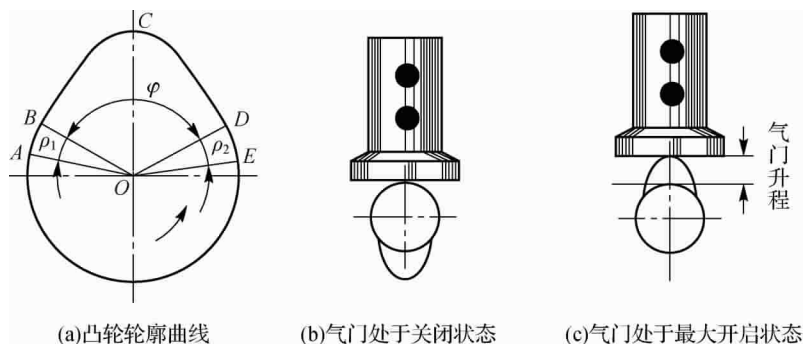


图 3-20 凸轮轮廓曲线及气门升降运动

(4)凸轮的相对位置。同一气缸的进、排气凸轮的相对角位置是与既定的配气相位相适应的。发动机各个气缸的进气(排气)凸轮的相对角位置应符合发动机各气缸的发火次序和发火间隙时间的要求。因此,根据凸轮轴的旋转方向以及各进气(排气)凸轮的工作次序,就



可以判定发动机的发火次序。

工作顺序为 1—3—4—2 的直列四缸四冲程发动机、凸轮的相对位置如图 3-21 所示，同名凸轮沿圆周方向的排列顺序与发动机工作顺序一致。各缸工作间隔为  $720^\circ/4=180^\circ$  曲轴转角，相当于  $90^\circ$  的凸轮轴转角，则凸轮轴上同名凸轮间的夹角为  $360^\circ/4=90^\circ$ 。

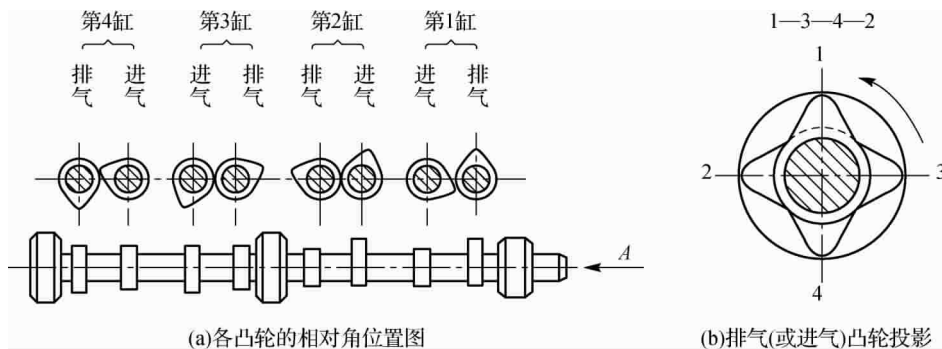


图 3-21 直列四缸四冲程发动机凸轮的相对位置

(5) 凸轮轴的径向支承与轴向定位。

由于凸轮轴属于细长轴，为提高其刚度，上置式凸轮轴多采用全支承，即每个气缸  $\alpha$  设置一道轴颈，各轴颈直径相等，其轴承多由上、下两片轴瓦对合而成，装入剖分式轴承座孔内。中置式和下置式凸轮轴多采用非全支承，即每隔两个气缸设置一道轴颈，其轴承一般制成衬套压入整体式轴承座孔内，再加工轴承内孔，使其与凸轮轴轴颈相配合。由于装配方式的不同，轴颈的直径有的相等，有的则从前向后逐级缩小，以便于安装。轴承材料多与主轴承相同，在低碳钢钢背上浇敷一层减摩合金。也有的凸轮轴轴承采用粉末冶金衬套或青铜衬套。

凸轮轴的轴向定位是为了限制凸轮轴的轴向窜动，并承受正时斜齿轮传动的轴向力。凸轮轴的轴向间隙一般为  $0.08\sim 0.20\text{ mm}$ 。上置式凸轮轴通常采用第一轴承为止推轴承，利用凸轮轴承盖的端面与凸轮轴轴颈两侧凸肩进行轴向定位，如图 3-22(a) 所示。中置式及下置式凸轮轴则通常采用止推垫进行轴向定位，如图 3-22(b) 所示，止推垫装于凸轮轴前轴颈面与凸轮轴正时齿轮轮毂之间，止推垫的端面涂敷有减摩合金层。

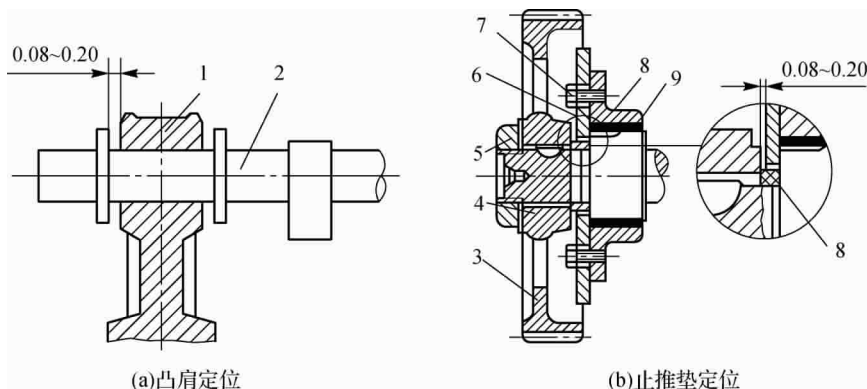


图 3-22 凸轮轴的轴向定位

- 1—凸轮轴承盖；2—凸轮轴；3—正时齿轮；4—正时齿轮轮毂；5—锁紧螺母；
- 6—止推垫；7—止推垫固定螺钉；8—调节隔圈；9—凸轮轴轴承



## 2) 挺柱

挺柱是凸轮的从动件。它的作用是将来自凸轮的运动和作用力传给推杆或气门,承受凸轮传来的侧向力,并将此侧向力传给发动机机体或气缸盖。

挺柱工作时,其底面与凸轮接触。由于接触面积小,接触应力较大,应有良好的润滑。挺柱常用材料为镍铬合金铸铁或冷激合金铸铁,其工作面还应进行热处理和精磨,以提高耐磨性。

挺柱分机械挺柱和液压挺柱两大类。

(1)机械挺柱。机械挺柱一般有菌式、球面式、平底式、滚轮式、薄壁杯形平面式,如图 3-23 所示。



图 3-23 机械挺柱

顶置气门式配气机构常用菌式、球面式、平底式等挺柱。薄壁杯形平面式挺柱由于结构简单、质量轻,在中、小型发动机中应用广泛。滚轮式挺柱可以使挺柱与凸轮面由滑动摩擦变为滚动摩擦,有利于减少磨损,但结构复杂,质量较大,多用于气缸直径较大的发动机。

为了减轻挺柱工作面的局部磨损,通常在挺柱底面镶嵌耐磨材料。有的发动机挺柱中心线与凸轮中心线不相重合,而是具有一定的偏心量( $c=1\sim 3\text{ mm}$ ),如图 3-24(a)所示。有的发动机将挺柱工作面做成半径较大的球面,将凸轮的母线做成斜率很小的锥体,如图 3-24(b)所示。在工作中由于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,接触点的摩擦力使挺柱绕其中心线稍有转动,从而达到磨损均匀的目的。

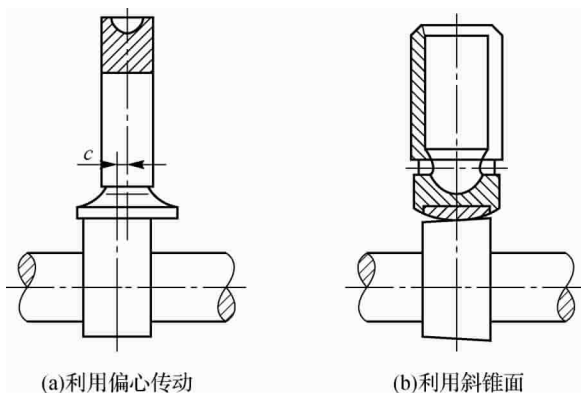


图 3-24 减轻挺柱底面磨损的措施

(2)液压挺柱。机械挺柱是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,但在发动机工作时发生碰撞而产生噪声。采用液压挺柱可以实现零气门间隙。



气门及其传动件因温度升高而膨胀,或因磨损而缩短,都会由液压力作用来自行调整或补偿,同时凸轮轮廓可以设计得较陡一些,以使气门开启和关闭得更快,减小进、排气阻力,改善发动机的性能,特别是高速性能。

如图 3-25(a)所示,液压挺柱由液压挺柱体、内体(也称油缸)、柱塞、单向阀、单向阀弹簧、柱塞回位弹簧等组成。各零件组装到挺柱体上后再与上盖焊接在一起,成为一个不可拆卸的整体。内体的内、外表面分别与柱塞外表面和挺柱挺杆内表面配合良好。在整个液压挺柱形成三个空间,即两个储油腔以及一个高压油腔。液压挺柱装在凸轮与气门杆之间,如图 3-25(b)所示。

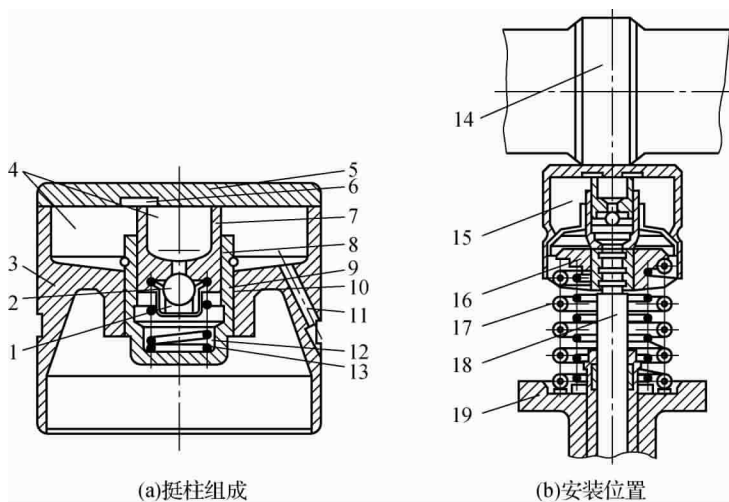


图 3-25 液压挺柱及其安装位置

- 1—单向阀弹簧; 2—单向阀; 3—挺柱体; 4、15—储油腔; 5—上盖; 6—溢油槽; 7—柱塞; 8—泄油间隙; 9—内体;  
10—导向间隙; 11—供油斜孔; 12—高压油腔; 13—柱塞回位弹簧; 14—凸轮;  
16—气门弹簧座; 17—气门弹簧; 18—气门杆; 19—气缸盖

当气门关闭时,柱塞回位弹簧使柱塞连同压合在挺柱体的内体紧靠着气门杆,整个配气机构不存在间隙。

液压挺柱的工作过程如下。

当凸轮没有压下液压挺柱时,挺柱处于图 3-26(a)所示位置。发动机润滑系统中带有压力的润滑油经气缸盖上的专门油道、挺柱体上的环形油槽、供油斜孔进入储油室,并通过上盖上的溢油槽进入储油室,再克服单向阀弹簧的弹力顶开单向阀进入高压油腔。此时,两个储油室和高压油腔都充满润滑油,并且它们的压力都等于气缸盖油道内的压力。柱塞在柱塞回位弹簧的作用下顶在上盖上。

当凸轮开始向下压在液压挺柱上时,挺柱体(连上盖)和柱塞被压下,内体因气门杆的反力作用而被推向上盖,压缩高压油,如图 3-26(b)所示。油腔中的一部分润滑油通过内体与柱塞间的泄漏间隙被挤出,使高压油腔容积减小。由于内体的高速向上运动会产生很强的节流作用,致使油腔内的油压仍然很快增高。单向阀在高压油压和单向阀弹簧的作用下关闭,切断了高压油腔与低压储油室的连接通道。与此同时,由于内体向上运动,占据了储油室内的相应空间,使其容积减小,多余的润滑油则通过内体与挺柱体间的导向间隙或通过挺



柱体上尚未完全关闭的进油孔挤走。这时,由于高压油腔内的润滑油的不可压缩性使挺柱体、内体与柱塞成为一个刚体,按凸轮的运动规律,气门逐渐开启,再逐渐关闭。

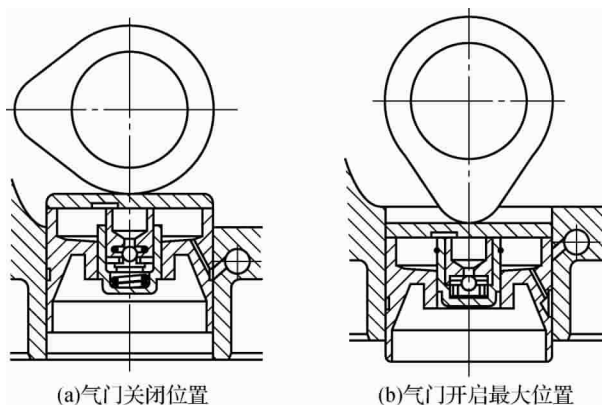


图 3-26 液压挺柱的工作示意图

当凸轮转到基圆位置,不再压液压挺柱时,挺柱回到原始位置,挺柱体上的环形油槽又对准气缸盖上的专门油道,内体在高压油腔的油压与柱塞回位弹簧的作用下向下运动,顶在气门杆上,消除挺柱与气门杆之间的间隙,挺柱回到原始位置。储油室和高压油腔由于容积增大,油压下降,此时气缸盖上的专门油道正好与挺柱体上的环行油槽相通,具有一定压力的润滑油又重新进入储油室和高压油腔。

液压挺柱减小了配气机构的撞击噪声,在轿车上得到广泛应用。但结构复杂,加工精度高,是不可拆卸的组件,磨损后无法调整,只能整体更换。安装前需将液压挺柱中的空气排除,以免工作时产生额外噪声。

### 3) 推杆

推杆是凸轮轴下置配气机构的一个零件,如图 3-27 所示,它位于挺柱和摇臂之间,其功用是将凸轮轴经过挺柱传来的推力传递给摇臂。推杆是一细长件,加上传递的力很大,易产生弯曲变形。推杆要求有很高的刚度,应尽量做得短些。

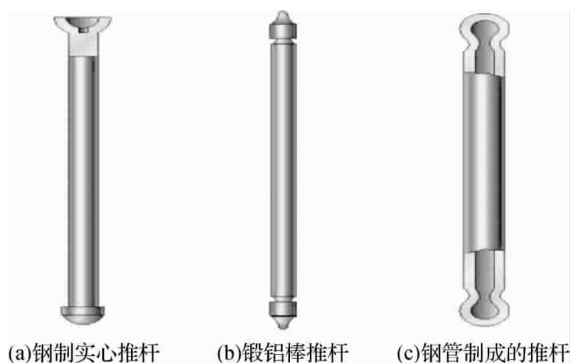


图 3-27 推杆

推杆通常采用冷拔无缝钢管制成,也可以用中碳钢或锻铝制造,两端焊上球头和球座。对于缸体和缸盖都是铝合金制造的发动机,其推杆最好用锻铝制造,并在其两端压入钢制球





头和球座,其目的是当发动机温度变化时,不至于因为材料膨胀系数不同而引起气门间隙的改变。

推杆的下端头通常是圆球形,以便与挺柱的凹球形支座相适应;上端头一般制成凹球形,以便与摇臂上的气门间隙调整螺钉的球形头部相适应,而且还可以在凹球内积存少量润滑油以减小磨损。

推杆的上、下端头均经过热处理并磨光,以提高其耐磨性。

#### 4) 摇臂

摇臂的功用是将推杆和凸轮传来的力改变方向,作用到气门杆端以推开气门。摇臂是一个中间带有圆孔的不等长双臂杠杆,如图 3-28 所示。

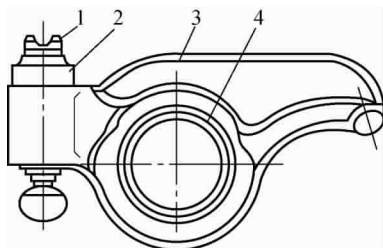


图 3-28 摇臂

1—气门间隙调整螺钉; 2—锁紧螺母; 3—摇臂; 4—摇臂轴套

摇臂的端部有螺孔,用来安装气门间隙调整螺钉及锁紧螺母以调整气门间隙。螺钉的球头与推杆顶端的凹球座相连接。由于靠气门一端的臂长,所以在一定的气门升程下,可以减小推杆、挺柱等运动件的运动距离和加速度,从而减小工作中的惯性力。端头的工作表面一般制成圆柱形,当摇臂摆动时可以沿气门杆端面滚滑,使两者之间的力尽可能沿气门轴线作用。

摇臂组件如图 3-29 所示。摇臂轴为钢制空心管状,用来套装摇臂。它通过摇臂支座用螺柱固定在气缸盖上。各摇臂之间装有弹簧,其张力将摇臂紧压在支座两侧的磨光面上,以防止摇臂轴向移动。摇臂与轴之间装有青铜衬套。机油从支座的油道经摇臂轴中的油道流向摇臂两端进行润滑。为了保证摇臂轴总成正常工作,要求摇臂轴与衬套、支承座座孔之间有良好的配合,配合间隙一般为 0.02~0.05 mm。

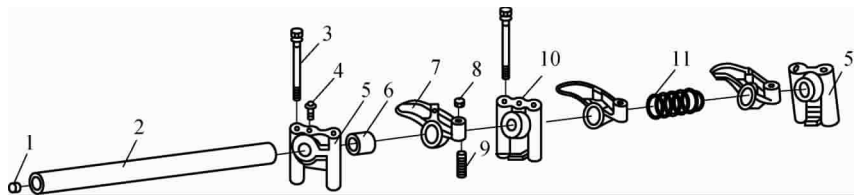


图 3-29 摇臂组件

1—碗形塞; 2—摇臂轴; 3—螺柱; 4—摇臂轴紧固螺钉; 5—摇臂轴前、后支座; 6—摇臂衬套;  
7—摇臂; 8—锁紧螺母; 9—调整螺钉; 10—摇臂轴中间支座; 11—定位弹簧



## 七、可变式配气机构

配气相位对发动机性能影响极大。即使同一台发动机,转速不同,对配气相位的要求也不同。发动机转速提高时,要求气门进气提前角和排气迟后角增大,反之则要求减小。

目前,汽车发动机一般都是根据性能要求,通过试验来确定某一常用转速下较合适的配气相位。装配时对正凸轮轴驱动装置中的正时标记可保证已确定的配气相位,且在发动机使用中,已确定的配气相位是不能改变的。因此,发动机性能只有在某一常用转速下最好,而在其他转速下工作时较差。

为了使发动机在不同转速及负荷工况下都具有好的动力性与经济性,就要采用可变气门正时技术。与固定配气相位相比,可变配气相位则可以在发动机整个工作范围内的转速和负荷下提供合适的气门开启、关闭时刻或升程,从而改善进、排气性能。

### 1. 无凸轮轴可变配气相位机构(电磁控制)

无凸轮轴可变配气相位机构没有凸轮轴,利用电磁铁直接对气门进行控制,如图 3-30 所示的德国 FEV 公司的电磁控制全可变气门机构。其气门开启(关闭)时间约为 3 ms,气门的开启持续时间可以自由选择。这样,气门正时和落座速度可以根据发动机的转速和负荷自由选择。

电磁控制全可变气门机构与普遍配气机构相比结构比较简单,驱动气门零件比较少,而且它能对气门升程和正时进行全面控制。

### 2. 轴向移动凸轮轴可变配气相位机构

轴向移动凸轮轴可变配气相位机构是一个三维凸轮机构,如图 3-31 所示的意大利 FIAT 的机械控制全可变气门机构,主要由一个带有锥度外廓的三维凸轮和装有可倾斜式垫块的挺柱相接触。凸轮轴的轴向移动使得凸轮的不同部分和挺柱相接触,使得气门升程和配气相位发生变化。基圆半径沿凸轮轴的轴向是不变的,但凸轮升程沿轴向改变,故垫铁必须随凸轮轴旋转变化的倾斜角。凸轮轴端部安装一机械式调速器,当凸轮轴转速发生变化时,调速器拖动凸轮轴向移动,使得气门升程和配气相位同时发生改变。

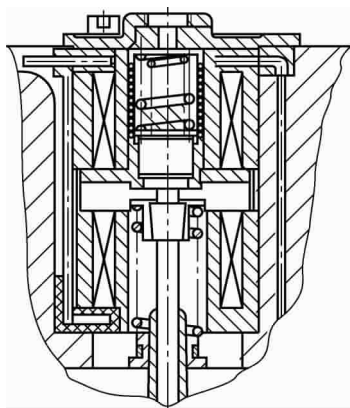


图 3-30 电磁控制全可变气门机构

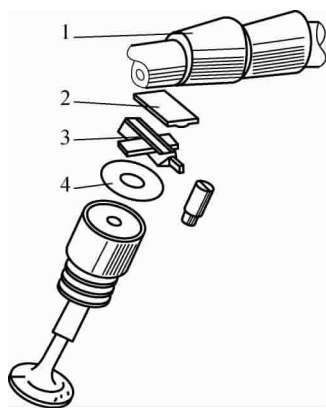


图 3-31 机械控制全可变气门机构

1—三维凸轮; 2—可倾斜式垫块; 3—马鞍形垫铁座; 4—垫片

### 3. 径向转动凸轮轴可变配气相位机构

(1) 丰田 VVT-i 可变配气正时系统。VVT-i(variable valve timing-intelligent)系统如



图 3-32 所示,用于控制进气凸轮轴在  $50^{\circ}$  范围内调整凸轮轴转角,从而提供最适于发动机状态的气门正时。

发动机 ECU 根据转速、进气量、节气门位置和水温,控制进气凸轮轴正时机油控制阀。

VVT-i 控制器的结构如图 3-32(a)所示,包括由正时链条驱动的壳体以及与进气凸轮轴耦合的叶片。发送自进气凸轮轴上提前或推迟侧路径的机油压力致使其沿着 VVT-i 控制器叶片的圆周方向旋转,从而连续地更改进气门正时。

由来自发动机 ECU 的提前信号,按如图 3-32(b)所示位置凸轮轴正时机油控制阀时,机油压力施加给正时提前侧叶片室,以使凸轮轴沿着正时提前方向旋转。

由来自发动机 ECU 的推迟信号,按如图 3-32(c)所示位置凸轮轴正时机油控制阀时,机油压力施加给正时推迟侧叶片室,以使凸轮轴沿着正时推迟方向旋转。

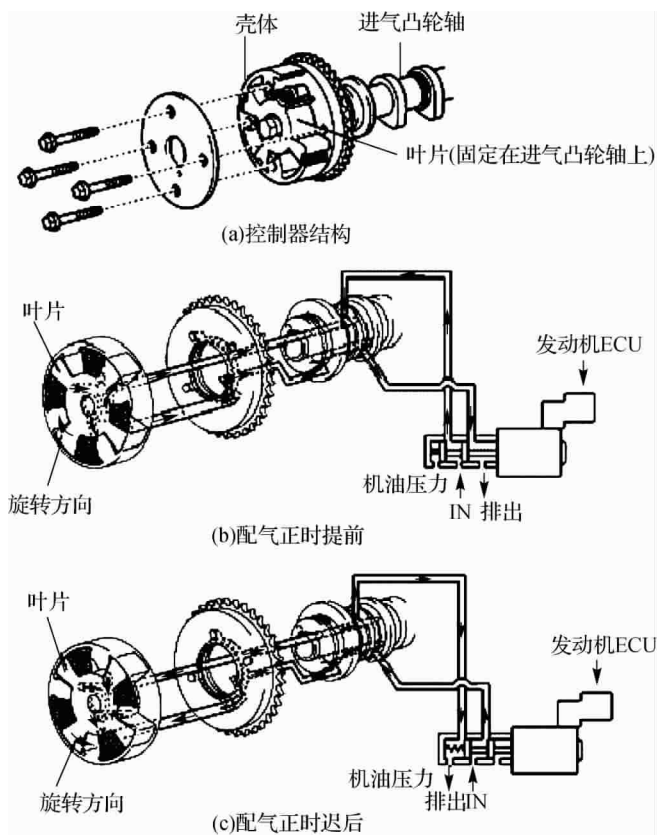


图 3-32 VVT-i 系统

达到目标正时时,将凸轮轴正时机油控制阀保持在空挡位置来保持气门正时,直至移动状态改变。

(2)大众 Passat 可变配气正时系统。大众 Passat 发动机曲轴通过同步带首先驱动排气凸轮轴,排气凸轮轴通过链条驱动进气凸轮轴。排气凸轮轴位置是不可调的,在两轴之间设置一个凸轮轴调整器,在内部液压缸的作用下,调整器可以上升和下降,以调整发动机进气凸轮轴的位置,如图 3-33(a)所示。液压缸的油路与缸盖上的油路连通,工作压力由凸轮轴调整阀控制。ECU 对凸轮轴调整阀进行控制。



发动机处于高转速大负荷时,液压调节器逐渐上移,使进气门凸轮轴超前转动一定角度,进气后角增大,从而充分利用进气流的惯性。链条的上部较长,而下部较短。排气凸轮轴首先要拉紧下部链条成为紧边,进气凸轮轴才能被排气凸轮轴带动。在下部链条由松变紧的过程中,排气凸轮轴已转过了一个角度,进气凸轮才开始动作,进气门关闭得较迟,如图 3-33(b)所示,使发动机在高速时产生高功率。

发动机处于中低转速常用负荷时,液压调节器逐渐下移,而缩短上部链条并加长下部链条,使进气门凸轮轴滞后转动一定角度,进气后角减小,如图 3-33(c)所示,使发动机在中速和低速范围内能产生大转矩。

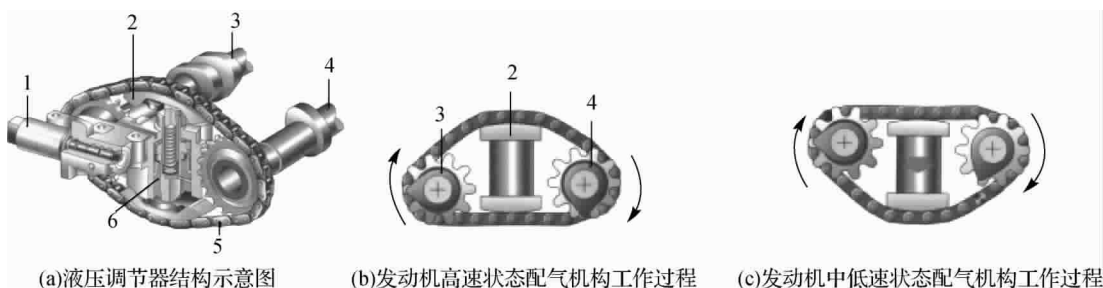


图 3-33 大众 Passat 可变配气正时机构

1—可变气门正时阀; 2—可变气门正时调节器; 3—排气凸轮轴; 4—进气凸轮轴; 5—链条; 6—液压缸

#### 4. 可变气门升程机构

可变气门升程机构主要是通过改变凸轮与气门之间的连接机构,如挺柱、摇臂或推杆的结构,间接实现改变凸轮线型作用。

(1)BMW 的 Valvetronic 机构。BMW 的 Valvetronic 机构在传统的配气相位机构上增加了一根偏心轴,一个伺服电机和中间推杆等部件,如图 3-34(a)所示。当电机工作时,蜗轮蜗杆机构会首先驱动偏心轴发生旋转,然后中间推杆和摇臂会产生联动,偏心轴旋转的角度不同,最终凸轮轴通过中间推杆和摇臂顶动气门产生的升程也会不同。在电机的驱动下,进气门的升程可以实现从 0.18~9.9 mm 的无级变化,如图 3-34(b)所示。

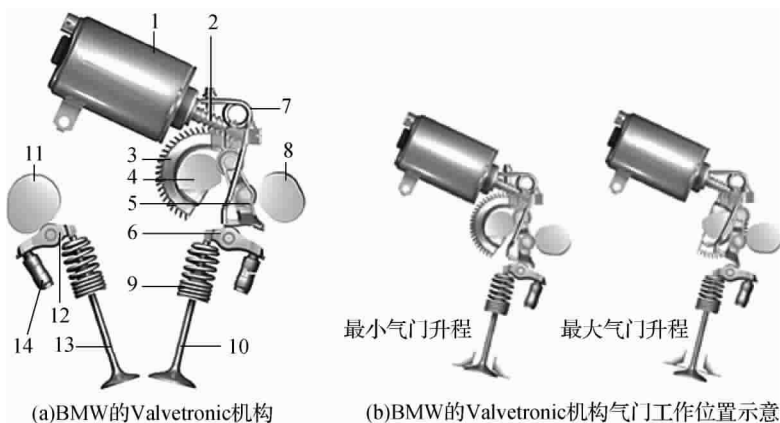


图 3-34 BMW 的 Valvetronic 机构及其气门工作位置示意图

1—伺服电机; 2—蜗杆; 3—蜗轮; 4—偏心轴; 5—中间推杆; 6—进气门摇臂; 7—扭转弹簧; 8—进气凸轮轴;  
9—气门弹簧; 10—进气门; 11—排气凸轮轴; 12—排气门摇臂; 13—排气门; 14—气门间隙补偿器



(2)电控液压挺柱式可变气门升程机构。电控液压挺柱式可变气门升程机构的工作原理如图 3-35 所示,当电磁阀关闭时,凸轮推动第一挺柱,由于挺柱室内的液压油不能溢出,油压推动第二挺柱,使气门工作。

当电磁阀打开时,由于一部分液压油溢出到储油室,第二挺柱延缓推动气门,使气门晚开或早关,气门升程也可以减小。这种机构比较简单,它只需改变液压挺柱。

### 5. 可变气门正时及升程电子控制机构(VTEC)

本田公司推出的 VTEC(variable valve timing and lift electronic control system)由 ECM 电控组件控制,使发动机在高速时改变气门正时和升程,以实现根据不同工况提供发动机相应的进气量,从而提高汽车的动力性和经济性。

#### 1)VTEC 结构组成

本田 F23A3 发动机采用的 VTEC 可变气门机构,其结构如图 3-36 所示。和常规的高速发动机不同的是,它的两个进气门有主次之分,即主进气门和次进气门。每个进气门均由单独的凸轮通过摇臂来驱动。主、次摇臂之间设有一个特殊的中间摇臂,它不与任何气门直接接触。三个摇臂并列在一起组成进气摇臂总成,如图 3-37 所示,它们均可在摇臂轴上转动。

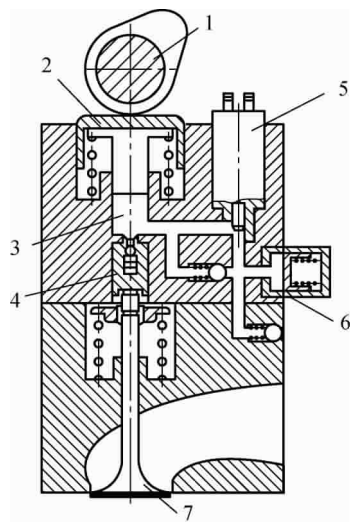


图 3-35 电控液压挺柱式可变气门升程机构的工作原理  
1—凸轮轴; 2—第一挺柱; 3—挺柱室;  
4—具有液压制动的第二挺柱; 5—电磁阀;  
6—储油室; 7—气门

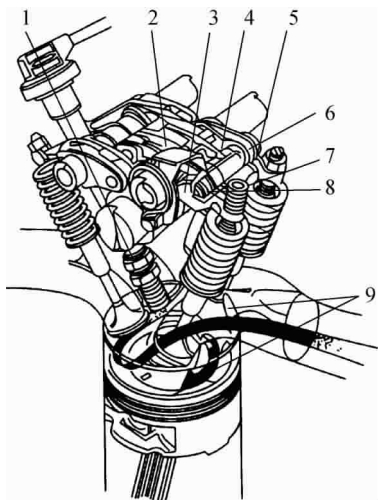


图 3-36 VTEC 可变气门结构示意图

- 1—凸轮轴; 2—正时板; 3—主摇臂; 4—中间摇臂;
- 5—次摇臂; 6—同步活塞 B; 7—同步活塞 A;
- 8—正时活塞; 9—进气门

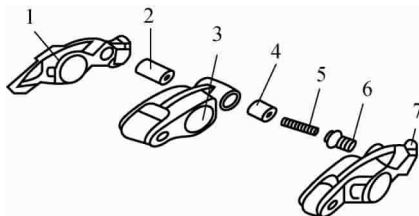


图 3-37 VTEC 进气摇臂总成

- 1—次摇臂; 2—同步活塞 B; 3—中间摇臂;
- 4—同步活塞 A; 5—正时弹簧;
- 6—正时活塞; 7—主摇臂



与主摇臂、次摇臂和中间摇臂相对应的凸轮轴上铸有三个不同升程的凸轮,分别称为主凸轮、次凸轮和中间凸轮。

## 2)VTEC 工作原理

VTEC 机构一根凸轮轴上设计不同配气正时和气门升程的高速凸轮与低速凸轮,根据发动机转速、负荷、水温及车速信号,由发动机控制 ECM 进行计算 $i$ 后将信号输出给电磁阀来控制油压,进而使不同配气正时和气门升程的凸轮工作。

(1)发动机低速状态,如图 3-38(a)所示,ECM 无指令,油道内无油压,活塞位于各自的油缸内,因此各个摇臂均独自运动。于是主摇臂随主凸轮开闭主进气门,以供给低速运行时发动机所需的混合气,次摇臂随次凸轮微微开闭次进气门,此时虽然中间摇臂也随中间凸轮运动,但在低速状态下对气门开启不起任何作用。此时,发动机处于单进双排工作状态,吸入的混合气不到高速时的一半。由于仍然是所有气缸参与工作,所以运转十分平顺均衡。

(2)发动机高速状态,即发动机转速在 2 300~3 200 r/min、车速在 10 km/h 以上、水温在 10 °C 以上,发动机负荷达到一定程度时,ECM 向 VTEC 电磁阀供电,开启工作油道,如图 3-38(b)所示,于是工作油道中的压力油推动正时活塞移动,压缩弹簧,这样主摇臂、次摇臂与中间摇臂就被主同步活塞、中间同步活塞贯穿,三个摇臂相连为同步活动的组合摇臂。由于中间凸轮的升程大于另两个凸轮,而且凸轮的开启角度提前,故组合摇臂随中间摇臂一起受中间凸轮驱动,主、次气门都大幅度地同步开闭,因此配气相位发生变化,吸入的混合气量增多,满足了发动机大负荷时的进气要求。

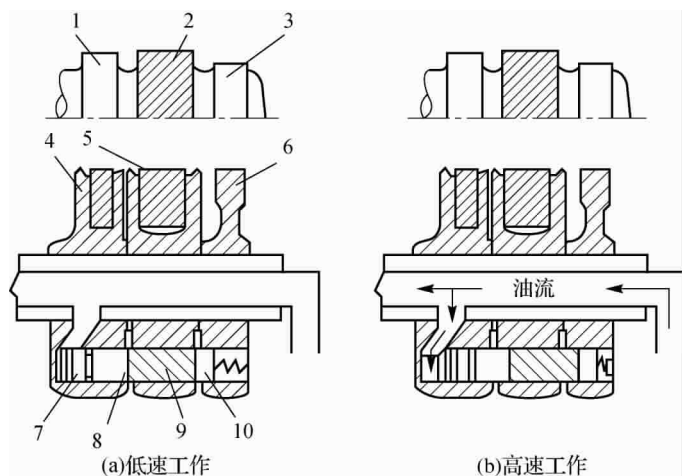


图 3-38 VTEC 工作原理示意图

1—主凸轮; 2—中间凸轮; 3—次凸轮; 4—主摇臂; 5—中间摇臂; 6—次摇臂;  
7—正时活塞; 8—主同步活塞; 9—中间同步活塞; 10—次同步活塞



## 一、实训内容

发动机配气机构拆装与调整。



## 二、实训目的

- (1)掌握发动机配气机构的拆装与调整方法及要求。
- (2)掌握拆装工具的使用方法,规范操作。

## 三、设备器材

- (1)上海大众桑塔纳 AJR 型发动机。
- (2)120 件套筒组合工具一套、气门弹簧装卸钳。
- (3)拆装工作台、零件摆放架。

## 四、注意事项

- (1)正确使用工具,注意操作安全。
- (2)做好零件的安装顺序及方向记号。

## 五、实训操作

配气机构的拆卸前应先拆卸下缸盖上所有附件、气门室罩、正时齿形带带轮传动组件、气缸盖等。

### 1. 配气机构的拆卸

#### 1) 拆卸凸轮轴

从两端到中间分次、均匀地旋出凸轮轴轴承盖紧固螺母,拆下凸轮轴轴承盖,按顺序放好,之后取下凸轮轴。取出液压挺柱总成,按顺序摆放。

#### 2) 拆卸气门

用图 3-39 所示的气门弹簧装卸钳将气门弹簧座压下,取下气门锁夹及气门、气门弹簧座、气门弹簧、气门油封。拆下的气门若无记号,应做好相应的标记,按缸号顺序放好在零件安放架上,不能错乱。用压床或气门导管冲头将气门导管从气缸盖下平面向上平面方向压出。

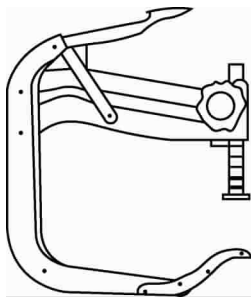


图 3-39 气门弹簧装卸钳

### 2. 配气机构的安装

(1)安装气门组件。安装气门前应先检查气门和导管的配合间隙是否合适。

- ①装入新的气门油封,装上气门弹簧座。
- ②在气门杆部涂以机油,插入气门导管,注意不要损伤油封。利用气门弹簧装卸钳装上



气门弹簧和锁片。

(2)安装液压挺柱、凸轮轴和油封。

## 小 结

1. 配气机构的功用是使发动机在各种工况下工作时获得最佳的换气过程。充气效率越高,发动机发出的功率越大,动力性越好。

2. 气门的布置位置有气门侧置式和气门顶置式两种形式。凸轮轴的布置位置有下置式、中置式和上置式。凸轮轴的传动形式有齿轮传动、链条传动和齿形带传动三种。凸轮轴上置式配气机构的类型有摇臂驱动式、摆臂驱动式和直接驱动式三种。

3. 配气相位就是用曲轴转角表示的进、排气门开启时刻和开启持续时间。现代发动机都采用延长进、排气门时间,使气门早开晚关,从而改善进、排气状况,提高发动机的动力性。

4. 发动机在冷态下,当气门处于完全关闭状态时,气门与传动件之间的间隙称为气门间隙。气门间隙过小,气门关闭不严会漏气;气门间隙过大,会产生功率下降,磨损加快。有的发动机采用液压挺柱,挺柱的长度能自动变化,随时补偿气门的热膨胀量,故不需要留气门间隙。

5. 四冲程气门式配气机构主要由气门组和气门传动组两部分组成。气门组包括气门、气门座、气门导管及气门弹簧等零件;气门传动组包括凸轮轴正时齿轮、挺柱、推杆及导管、摇臂和摇臂轴等零件。

6. 气门由头部和杆部两部分组成。气门头部有平顶、凸顶和凹顶等形状。气门锥角一般为 $45^\circ$ ,有些发动机的进气门锥角为 $30^\circ$ 。为了增强传热,气门与气门座圈的密封锥面必须严密贴合,为此,二者要配对研磨,研磨之后不能互换。

7. 气门导管的功用是对气门的运动导向,保证气门直线运动,使气门与气门座正确配合,并为气门杆散热。有的发动机不装气门导管,直接在气缸盖上加工出气门杆孔,作为气门的导向孔。

8. 气门座的形式有两种:一种是在气缸盖上直接镗出,另一种是单独制成气门座圈。一般气门锥角比气门座或气门座圈锥角小 $0.5^\circ\sim 1^\circ$ ,以保持锥面良好的密封性。

9. 气门弹簧在工作时,当其工作频率与其固有的振动频率相等或成某一倍数关系时,将发生共振。共振将破坏气门的正常工作。为避免共振的产生,常采取一定措施。

10. 凸轮轴主要由凸轮和轴颈等组成。凸轮轴用来驱动和控制各缸气门的开启和关闭,凸轮轮廓曲线决定了气门的升程及其升降过程的运动规律。凸轮轴有轴向定位装置。

11. 挺柱可分为机械挺柱和液压挺柱两大类。采用液压挺柱可消除配气机构中的间隙,减小各零件的冲击载荷和噪声。液压挺柱结构复杂,加工精度高,磨损后无法调整,只能更换。

12. 可变配气相位可以在发动机整个工作范围内的转速和负荷下,提供合适的气门开启、关闭时刻或升程,从而改善发动机进、排气性能,较好地满足高速和低速时的动力性、经济性,废气排放的要求,使发动机整个工作范围性能都得到提高。





## 思考与练习

1. 配气机构的功用是什么？其基本组成是什么？
2. 配气机构有哪些布置位置？试述气门顶置式配气机构的工作过程。
3. 为什么现代发动机常采用顶置式气门及上置式凸轮轴？
4. 什么叫配气相位？如何画出配气相位图？什么叫气门叠开？气门叠开出现在什么区域？
5. 配气机构中进、排气门为什么早开晚关？
6. 配气机构为什么要留气门间隙？气门间隙过大、过小各有什么危害？
7. 发动机在实际工作过程中，排气门在哪一个行程开启？在哪一个行程完全关闭？其目的是什么？
8. 气门头部有哪些形状？各有何特点？
9. 进、排气门为什么要采用不相等的气门锥角？
10. 气门导管的作用是什么？
11. 气门座有哪些形式？各有何特点？
12. 气门弹簧起什么作用？为什么有的发动机气门采用两个气门弹簧？采用双气门弹簧时应如何安装？
13. 凸轮轴的结构是怎样的？如何对凸轮轴进行轴向定位？
14. 试述液压挺柱的工作原理。它是如何保证气门无间隙传动的？采用液压挺柱有哪些优点？
15. 简述凸轮轴位置不同的配气机构各自的特点。
16. 可变配气相位控制机构有何功用？简述 VTEC 机构的结构和工作原理。