

第 2 章 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构是发动机的两大机构之一,是发动机的核心和骨架。通常情况下,其工作条件十分恶劣,为了保证其工作可靠,减少磨损,须在其结构上采取相应的措施。曲柄连杆机构包括机体组、活塞连杆组和曲轴飞轮组 3 部分。

2.1 机 体 组

机体组主要包括汽缸体、曲轴箱、汽缸盖、汽缸垫和油底壳等固定机件,如图 2-1 所示。

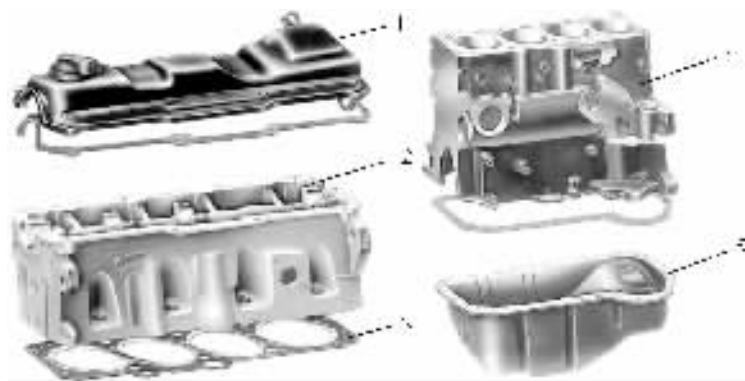


图 2-1 机体组的组成部件

1—汽缸盖; 2—汽缸体; 3—汽缸垫; 4—汽缸体—曲轴箱; 5—油底壳

2.1.1 汽缸体与曲轴箱

水冷发动机的汽缸体和曲轴箱常铸成一体,称为汽缸体—曲轴箱,简称汽缸体,如图 2-2 所示。汽缸体上半部的圆柱形空腔称为汽缸,汽缸为活塞在其中往复运动起到导向的作用;下半部有曲轴支承孔,其内腔为曲轴运动的空间称为曲轴箱。它承受较大的机械负荷和热负荷,一般用优质灰铸铁铸成。有些发动机为了减轻质量、加强散热,采用铝合金制造汽缸体。

1. 汽缸体的类型

1) 按安装位置分

根据汽缸体上曲轴支承孔轴线(曲轴旋转中心)与油底壳安装平面的位置不同,通常把汽缸体分为一般式、龙门式和隧道式三种,如图 2-3 所示。

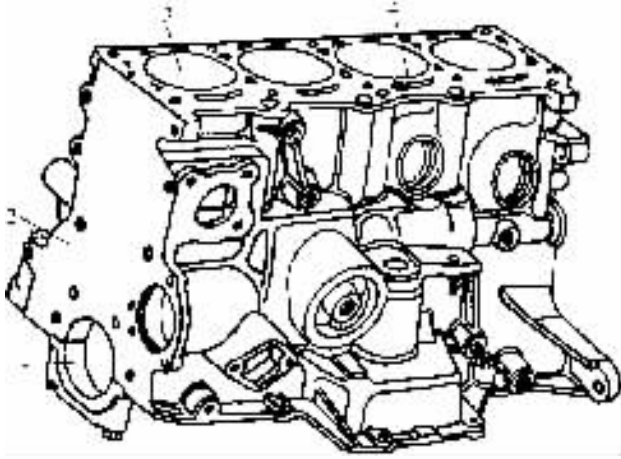


图 2-2 汽缸体—曲轴箱

1—曲轴支承孔；2—机体；3—汽缸；4—水道

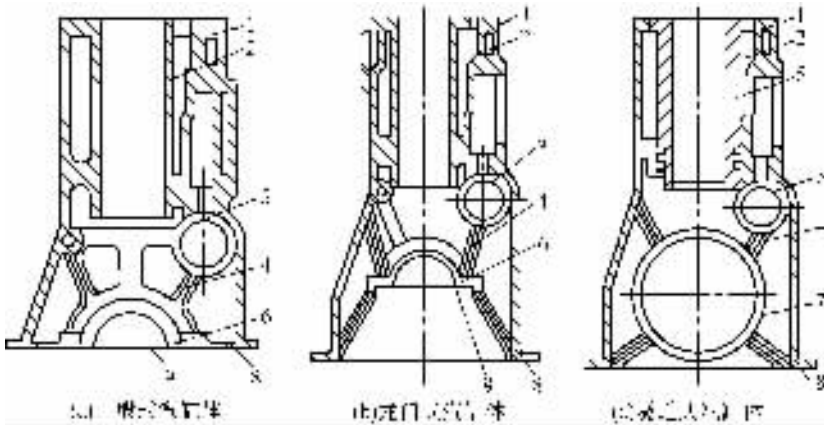


图 2-3 汽缸体的类型

1—汽缸体；2—水套；3—凸轮轴孔座；4—加强肋；5—湿式汽缸套；6—主轴承座；

7—主轴承座孔；8—安装油底壳平面；9—安装主轴盖的平面

油底壳安装平面和曲轴旋转中心在同一高度的汽缸体称为一般式汽缸体。这种汽缸体的优点是机体高度小，质量轻，结构紧凑，便于机械加工，曲轴拆装方便；但是刚度和强度及曲轴前后端的密封性较差，多用于中小型发动机。如富康 ZX 轿车 TU3.2K 发动机、BJ492Q 及 CA488 汽油机的汽缸体均属于这种结构。

油底壳安装平面低于曲轴旋转中心的汽缸体称为龙门式汽缸体。这种汽缸体的优点是强度和刚度好，能承受较大的机械负荷；但是工艺性较差，结构笨重，机械加工较困难。上海大众桑塔纳、捷达及一汽奥迪等汽车的发动机汽缸体均属于这种结构。

隧道式汽缸体的曲轴支承孔为整体式，采用滚动轴承，主轴承孔较大，曲轴从汽缸体后部装入。这种汽缸体的优点是结构紧凑，刚度和强度好；但是加工精度要求高，工艺性较差，曲轴拆装不方便。多用于主轴承采用滚动轴承的负荷较大的柴油机，如黄河 JN1181C13 使用的 6135Q 型发动机的汽缸体就属于这种结构。

2) 按结构形式分

根据汽缸结构形式的不同,可将汽缸体分为无汽缸套式和有汽缸套式两大类。

没有镶嵌任何汽缸套,在机体上直接加工出汽缸的汽缸体称为无汽缸套式汽缸体。这种汽缸体的优点是缩短了汽缸中心距,从而使汽缸体的尺寸和质量减小,刚度大,工艺性好;缺点是为了保证汽缸的耐磨性,整个汽缸体必须采用耐磨的合金铸铁制造,成本过高。国产红旗轿车发动机 CA488-3,捷达、桑塔纳发动机都是采用合金铸铁无汽缸套式的汽缸体。在某些负荷比较小,缸径又不大的柴油机中,为使结构紧凑,也可以采用无汽缸套式的汽缸体。

汽缸是燃料燃烧作功的场所,由于活塞在其内部做高速往复运动,所以汽缸本身必须具有耐高温、耐磨损和耐腐蚀的特性。为节省金属材料、提高耐磨性、延长使用寿命、降低成本和方便维修,目前广泛使用的是汽缸体内镶入汽缸套的结构,即有汽缸套式汽缸体。

同时,根据冷却液是否与汽缸套相接触,汽缸套可分为干式和湿式两种,如图 2-4 所示。

干式汽缸套的外表面不直接与冷却液相接触,优点是刚度和强度都较好。为保证散热效果和汽缸套的定位,汽缸套的外表面与汽缸体的缸套套孔内表面必须精确加工,且一般采用过盈配合,壁厚仅为 1~3 mm 的干式汽缸套是被压入到汽缸套孔中去的,因此,干式汽缸套的缺点是加工复杂、拆装不方便和散热不良。

湿式汽缸套的外表面直接与冷却液相接触,壁厚达 5~9 mm,以微小的配合间隙放入汽缸套孔中,且仅在上、下各有一圆环地带和汽缸体接触。大多数湿式汽缸套装入后,其顶面一般高出汽缸体 0.05~0.15 mm,这样在紧固汽缸盖螺栓时,可将汽缸垫压得更紧,以保证汽缸的密封性,防止漏水、漏气。因为汽缸体上没有封闭的水套,所以湿式汽缸套的汽缸体铸造方便,且具有散热性好、易拆卸等优点;其缺点是汽缸体的刚度较差。富康轿车、标致轿车等发动机均采用了湿式汽缸套。

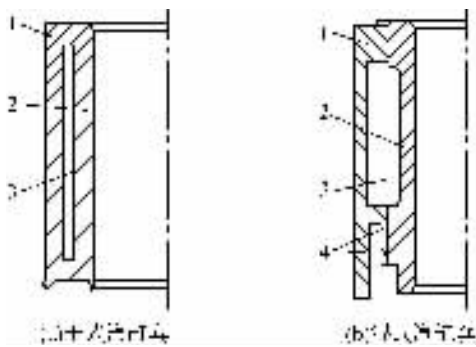


图 2-4 汽缸套的类型

1—机体; 2—汽缸套; 3—水套; 4—密封圈

3) 按排列形式分

对于多缸发动机,汽缸的排列形式决定了发动机的外形结构,且不同的排列形式对汽缸体的刚度和强度也有影响,并影响汽车的总体布置。根据排列形式的不同,汽缸体可分为直列式、V 型及水平对置式,如图 2-5 所示。

直列式汽缸体所有汽缸排成一列,一般是垂直布置的。为了降低发动机高度有时也将汽缸倾斜甚至水平布置。直列式汽缸体结构简单,加工容易,但长度和高度较大。一般 6 缸以下的发动机多采用直列式,如捷达、富康等汽车的发动机。

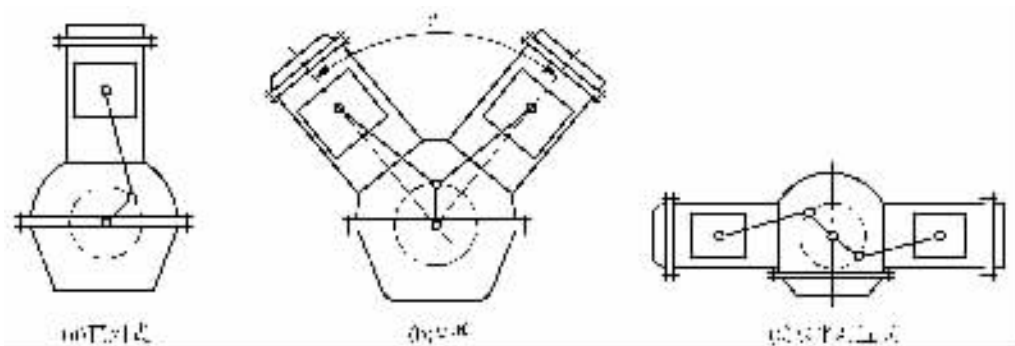


图 2-5 多缸发动机汽缸的排列形式

V 型汽缸体的所有汽缸排成两列,左右两列汽缸中心线的夹角 γ 小于 180° 。与直列式发动机相比,采用 V 型汽缸体的发动机长度和高度较小,质量和外形尺寸较小,但是宽度较大,且形状复杂,加工困难。V 型汽缸体一般多用于汽缸数多、功率大的发动机上,如长丰帕杰罗、雪铁龙 C5 和上海大众新领驭等汽车的发动机都采用的是 V 型汽缸体。

水平对置式汽缸体的所有汽缸排成两列,且两列汽缸水平相对排列,左右两列汽缸中心线的夹角为 180° 。采用水平对置式汽缸体的发动机的高度比其他形式小得多,重心较低,且平衡性好。保时捷 Boxster 即采用了水平对置 6 缸发动机。

汽缸体的排列形式除上述 3 种类型外,还有一种多用于 8 缸以上的发动机的 W 型汽缸体。如大众公司生产的奥迪 A8L 6.0 旗舰版轿车,它的发动机 W12 所采用的就是 W 型汽缸体,如图 2-6 所示。汽缸体采用这种排列形式的发动机结构更紧凑,动力更强劲,工作更平稳。



图 2-6 W12 发动机汽缸排列形式

2. 汽缸体的冷却方式

为保证汽缸表面能在高温下正常工作,必须对汽缸和汽缸盖随时加以冷却。按冷却介质的不同,发动机汽缸体的冷却方式可分为水冷和风冷两种。汽车发动机的汽缸体采用较多的是水冷却系统。

发动机采用水冷却时,汽缸周围和汽缸盖中均有用以充水的空腔,称为水套,如图 2-7 所示。汽缸体和汽缸盖上的水套是相互连通的,利用水套中的冷却液流过高温零件的周围而将热量带走。

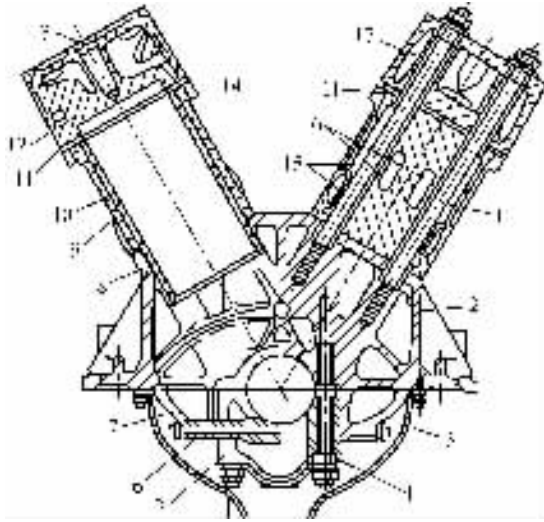


图 2-7 V 型水冷发动机的汽缸体—汽缸盖

- 1—汽缸螺柱；2—上曲轴箱；3—下曲轴箱；4—主轴承盖螺栓；5—主轴承盖；6—横拉力螺柱；7—侧支承板；
- 8—密封圈；9、12—汽缸套；10—汽缸水套；11—汽缸垫；13—喷油器安装孔；
- 14—燃烧室；15、16、17—汽缸盖与汽缸体上的水腔

发动机采用风冷却时,在汽缸体和汽缸盖外表面铸有许多散热片,以增加散热面积,保证散热充分,其结构简单,但冷却效果差。一般风冷发动机的汽缸体与曲轴箱是分开发铸的。

2.1.2 汽缸盖及汽缸盖衬垫

1. 汽缸盖

汽缸盖的主要功用是密封汽缸上部,并与活塞顶及汽缸壁一起形成燃烧室。

1) 汽缸盖的类型

根据汽缸盖所覆盖的汽缸数的不同可将汽缸盖分为分开式和整体式两大类,如图 2-8 所示。分开式汽缸盖包括只覆盖一个汽缸的汽缸盖(单体汽缸盖)及能覆盖两个以上汽缸(非全部)的汽缸盖(块状汽缸盖),功率较大的柴油机多采用分开式汽缸盖;能覆盖全部汽缸的汽缸盖称为整体汽缸盖。采用整体式汽缸盖可以缩短汽缸中心距和发动机的总长度,但其刚度较差,在受热和受力后容易变形而影响密封,损坏时必须整体更换。整体式汽缸盖多用于缸径小于 105 mm 的汽油机上。

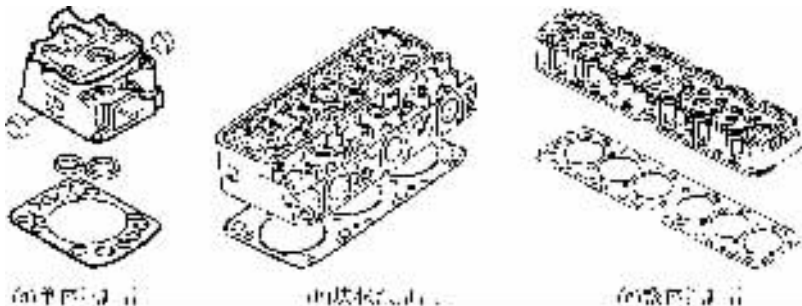


图 2-8 汽缸盖的类型

2) 汽缸盖的安装

汽缸盖用螺栓紧固在汽缸体上。拧紧螺栓时,必须按由中央对称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,以免损坏汽缸垫而发生漏水现象。如果是铝合金汽缸盖,则最后必须在发动机冷态下拧紧;如果是铸铁汽缸盖,则最后应该在发动机热态时拧紧。

3) 燃烧室

如前所述,当活塞位于上止点时,由活塞顶部及汽缸盖上的凹部所形成的空间称为燃烧室。燃烧室形状对发动机的工作影响很大。根据其性能特点,燃烧室应满足以下3点基本要求:

- (1) 结构尽可能紧凑,充气效率要高,以减少热量损失及缩短火焰行程。
- (2) 使混合气在压缩终了时具有一定的涡流运动,以提高混合气燃烧速度,保证燃烧质量。
- (3) 表面要光滑,不易积炭,排气净化性能要好。

汽油机常用燃烧室形状如图 2-9 所示。

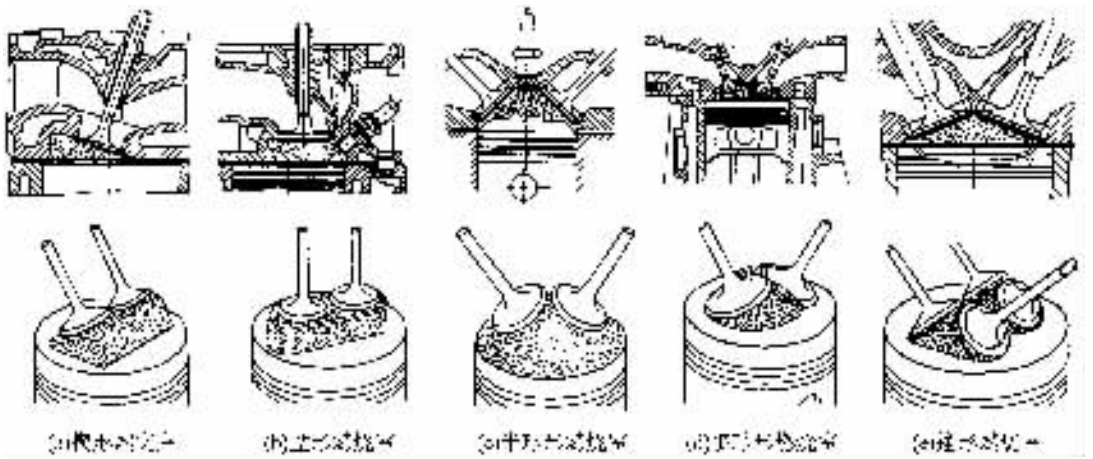


图 2-9 汽油机燃烧室

(1) 楔形燃烧室。楔形燃烧室的横剖面呈楔形,其结构较简单、紧凑,散热面积小,热损失小。在压缩行程末,能形成挤气涡流,有利于提高混合气的混合质量。但由于将火花塞置于楔形燃烧室高处,火焰传播距离长,爆燃倾向大,而且存在较大激冷面,对降低 HC 排放不利。多用于每缸两气门的发动机上,如解放 CA6102 发动机。

(2) 盆形燃烧室。盆形燃烧室横剖面呈倒盆形,其结构较简单、制造成本低,但不够紧凑,散热面积及热损失大,火焰传播距离长,爆燃倾向大。东风 EQ6100-1、捷达 EA827、奥迪 100 等汽油机均采用此种形式的燃烧室。

(3) 半球形燃烧室。半球形燃烧室横剖面呈半球形,其结构较前两种紧凑,但因进、排气门分别置于缸盖两侧,故使配气机构比较复杂。火花塞布置在燃烧室中央,火焰行程短,燃烧速率高,散热少,热效率高,有利于燃料的完全燃烧和排气净化。目前国外轿车发动机多采用这种形式的燃烧室。富康轿车发动机的燃烧室亦为半球形,其大部分(27 mL)在汽缸盖上,小部分(6 mL)在活塞顶上。

(4) 多球形燃烧室。多球形燃烧室由两个以上半球形凹坑组成,其结构紧凑,面容比小,火焰传播距离较短,气门直径较大,且能产生挤气涡流。夏利 TJ376Q 型汽油机即为此种燃烧室。

(5) 篷形燃烧室。近年来,篷形燃烧室多用于高性能多气门轿车发动机上,特别是小气

门夹角的浅篷形燃烧室得到了较大的发展。欧宝 V6、奔驰 320E、三菱 3G81 及富士 EJ20 等发动机均为篷形燃烧室。

2. 汽缸盖衬垫

为保证燃烧室的密封,防止漏气、漏水和漏油,汽缸盖与汽缸体之间要安装汽缸盖衬垫,汽缸盖衬垫应具有以下特性:

- (1)有足够的强度。在高温、高压燃气作用下不易损坏。
- (2)耐热和耐腐蚀。在高温、高压燃气下或有压力的润滑油和冷却液的作用下不烧损且不变质。
- (3)具有一定弹性。对接合面的不平度起补偿作用,以保证密封。
- (4)拆装方便,可重复使用,且使用寿命长。

按所用材料的不同,汽缸盖衬垫可分为金属—石棉汽缸垫和全金属汽缸垫,其结构如图 2-10 所示。目前,应用较多的是金属—石棉衬垫。石棉之间加有金属丝或金属屑,而外覆铜皮或钢皮。为防止烧蚀,水孔和燃烧室孔周围用镶边增强。这种衬垫压紧厚度为适中,有很好的弹性和耐热性,能重复使用,可提高汽缸的密封性,但厚度和质量的均一性较差。

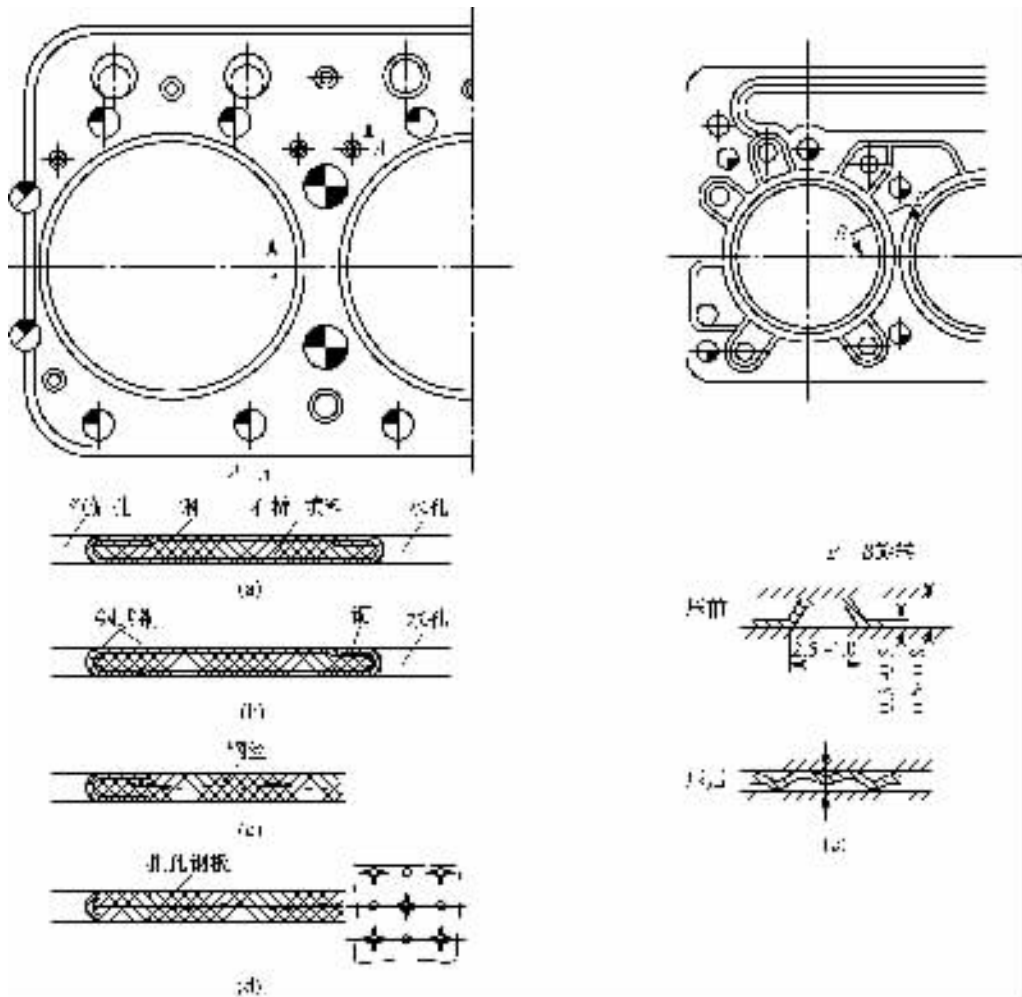


图 2-10 汽缸盖衬垫的种类与结构

很多强化的汽车发动机采用全金属汽缸盖衬垫。这种汽缸垫由单层或多层金属片(低碳钢或铜)制成,在汽缸口、水道孔和油道孔周围冲有弹性凸纹,它是利用凸纹的弹性变形来实现密封的。全金属汽缸垫强度高,耐腐蚀能力强。解放 CA1091 汽车的 6102 型发动机的汽缸垫就采用了全金属汽缸垫。在汽缸口密封部位采用五层薄钢板组成,并设计成圆形,没有石棉夹层,从而消除了气囊的产生,也减少了工业污染。在油孔和水孔周围均包有钢护圈以提高密封性。

近年来,国外一些发动机开始使用耐热密封胶以取代传统的汽缸垫。使用全金属汽缸垫和耐热密封胶的发动机对汽缸盖和汽缸体的接合面有较高的加工精度要求。

2.1.3 油底壳

油底壳的主要作用是贮存机油并封闭曲轴箱。油底壳受力很小,一般由薄钢板冲压而成,如图 2-11 所示,其形状取决于发动机的总体布置和机油的容量。为了保证在发动机纵向倾斜时机油泵能吸到机油,油底壳后部一般设计得较深。油底壳内还设有挡油板,以防止汽车行驶时油面波动过大。在有些发动机上,为了使油底壳内的机油散热良好,常采用铝合金制造油底壳。油底壳底部装有放油螺塞。放油螺塞是磁性的,能吸附机油中的金属屑,从而减轻发动机运动零件的磨损。

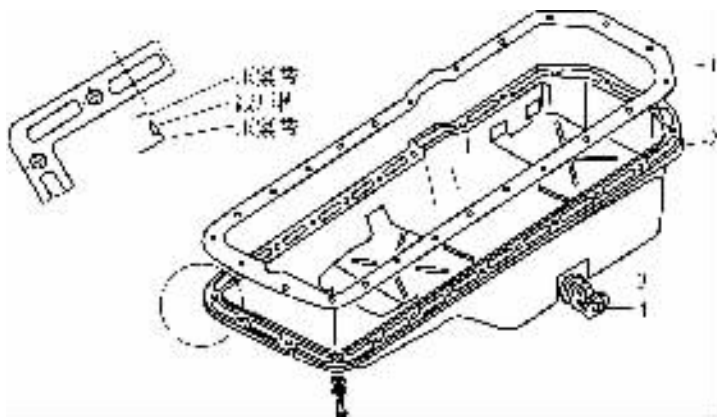


图 2-11 油底壳

1—密封胶; 2—油底壳; 3—密封圈; 4—磁性放油螺塞

2.2 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,如图 2-12 所示。

2.2.1 活塞

活塞的主要作用是承受汽缸中的气体压力,并将此压力通过活塞销传给连杆,以驱动曲轴旋转。

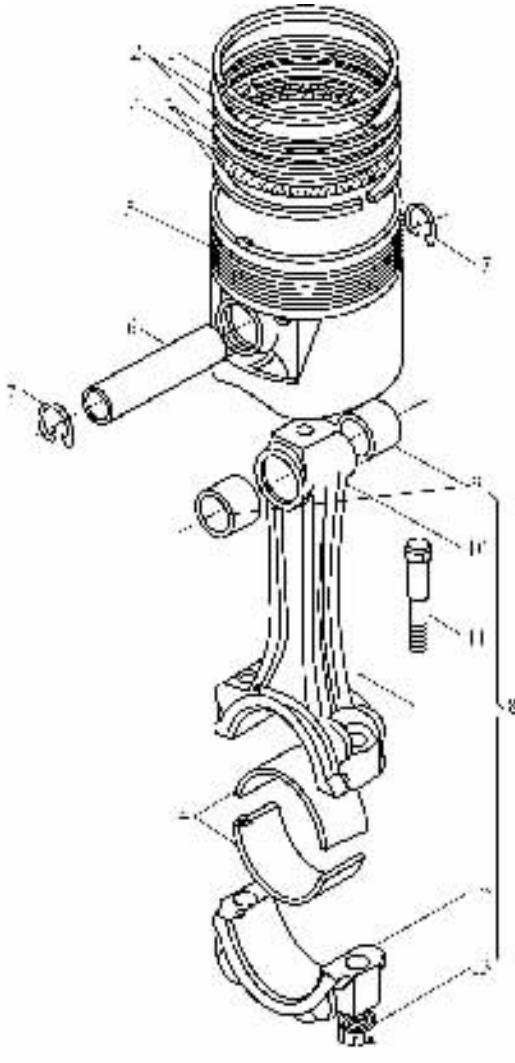


图 2-12 活塞连杆组

- 1—第一道气环；2—第二、三道气环；3—油环刮油片；4—油环衬簧；5—活塞环槽；6—活塞销；
7—卡簧；8—连杆组件；9—连杆小头衬套；10—连杆小头；11—连杆大头螺栓；
12—连杆大头盖；13—连杆大头锁紧螺母；14—连杆大头轴瓦

发动机工作过程中，活塞在汽缸中做高速往复变速运动并承受较大的压力，由于活塞承受的压力和惯性力都是周期性变化的，所以活塞的不同部分会受到交变的拉伸、压缩和弯曲载荷。同时，由于活塞各部分的温度极不均匀，活塞内部将产生一定的热应力可能引起其变形。因此，活塞要满足强度和刚度好、质量及热膨胀系数小、导热性好、耐磨和耐热等要求。汽车发动机目前采用的活塞材料是铝合金。铝合金活塞质量小（约为同样结构的铸铁活塞的50%~70%）且导热性好（约为铸铁的3倍）；但其热膨胀系数较大，在温度升高时，强度和硬度下降较快。为了克服这些缺点，一般要在结构设计、机械加工或热处理上采取各种措施加以弥补。

1. 活塞的基本结构

活塞可分为顶部、头部和裙部,如图 2-13 所示。

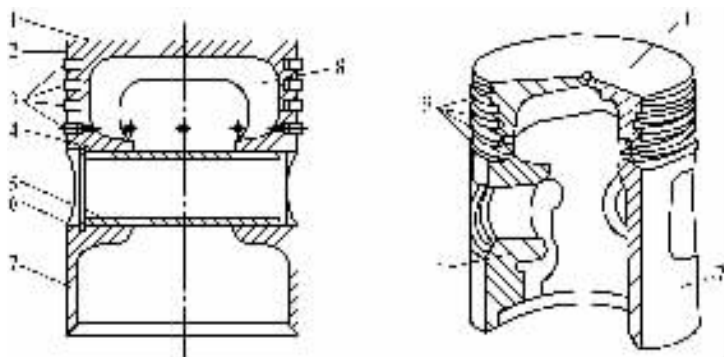


图 2-13 活塞的结构图

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

1) 活塞顶部

活塞顶部是燃烧室的组成部分,其形状、位置和大小都是为了满足可燃混合气的形成和燃烧的要求,发动机活塞顶部有平顶、凹顶和凸顶 3 种形式,如图 2-14 所示。

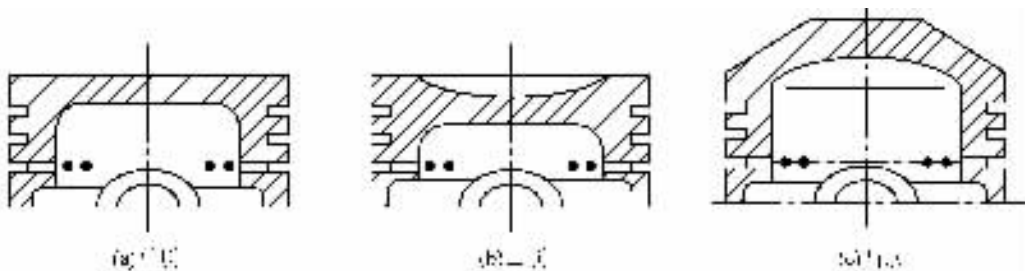


图 2-14 活塞顶部形状

(1) 平顶活塞。平顶活塞的顶部是一个平面,结构及制造工艺简单,受热面积小,顶部应力分布较为均匀,一般用在汽油机上,柴油机很少采用。

(2) 凹顶活塞。凹顶活塞的顶部呈凹陷形,有些汽油机为了改善混合气的形成和燃烧质量而采用凹顶活塞。凹顶的大小还可以用来调节发动机的压缩比。凹顶活塞常制成方形凹坑、双涡流凹坑和球形凹坑等形式。

(3) 凸顶活塞。凸顶活塞的顶部凸起,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。

有些活塞在顶部打有各种记号,用以显示活塞及活塞销的安装和选配要求,应严格按照要求进行。

有的发动机上为了减轻活塞顶部的热负荷以提高其耐高温及防腐特性,通常在活塞顶部喷镀厚度为 0.2~0.3 mm 的陶瓷层。但由于陶瓷与铝的接合性能较差,高温运转后,陶瓷易剥落,因此,这种镀有陶瓷的活塞目前在汽车发动机上还应用很少。

2) 活塞头部

活塞顶至最下面一道活塞环槽之间的部分称为活塞头部,其主要作用是承受气体压力、

与活塞环一起实现汽缸的密封和将活塞顶部所吸收的热量通过活塞环传递给汽缸壁。活塞头部切有若干用以安装活塞环的环槽。汽油机一般有 3 道环槽,其中上面两道用以安装气环,下面一道用以安装油环。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。第一道环槽工作条件最恶劣,一般应离顶部较远些。为了提高第一道环槽的耐热和耐磨性,可在铝合金活塞环槽部位铸入耐热的环槽护圈,如图 2-15 所示。近年来,为了减少 HC 的排放,也出现第一道环槽移近顶部的活塞。

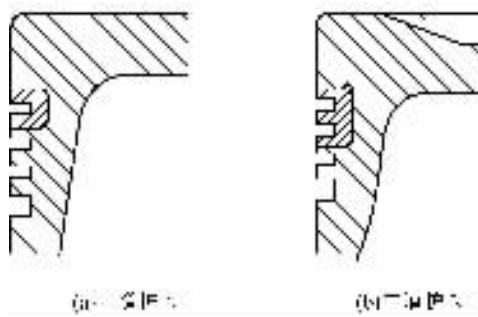


图 2-15 活塞头部形状

3) 活塞裙部

自活塞环槽下端面起至活塞最下端的部分称为活塞裙部,它对活塞在汽缸内的往复运动起导向作用。活塞裙部有很大的实际承压面积,以承受气体侧向压力。

活塞裙部有全裙式、半拖板式和拖板式 3 种类型。

全裙式的裙部为一薄壁圆筒;半拖板式裙部如图 2-16(a)所示,它将非承压面的裙部去掉一部分,以减小惯性力和销座附近的热变形量,还可防止碰撞曲轴平衡块;拖板式裙部如图 2-16(b)所示,它将非承压面的裙部全部去掉,这种裙部弹性较好,可减小活塞与汽缸的装配间隙。

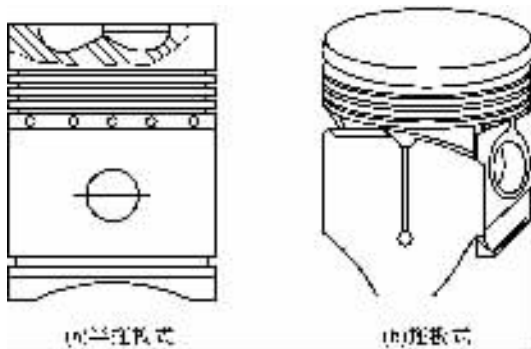


图 2-16 活塞裙部形式

2. 活塞的变形与防治措施

活塞工作时,燃料燃烧产生的气体压力 P 均匀地作用在活塞顶上,而活塞销反力则作用在活塞裙部的销座处,由此产生裙部直径沿活塞销座轴线方向增大的变形,如图 2-17(a)所示;侧压力 F_N 的作用也使活塞裙部直径在同一方向上增大,如图 2-17(b)所示。

此外,活塞销座附近的金属受热后膨胀量大,致使裙部受热变形时,在沿活塞销座轴线方向的直径增量大于其他方向。所以,活塞工作时产生的机械变形和热变形,使其裙部断面

变成长轴在活塞销方向上的椭圆。同时,由于活塞沿轴线方向的温度和质量的分布都不均匀,在受热膨胀变形时,使活塞呈上大下小的锥形。

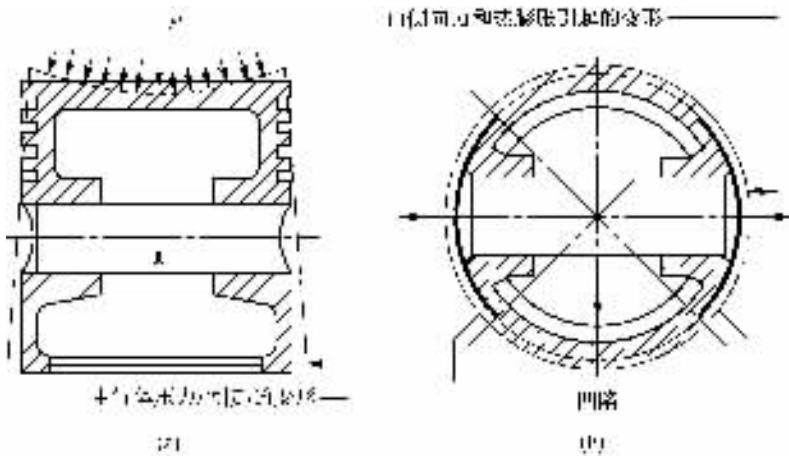


图 2-17 活塞裙部变形

鉴于上述情况,为了使活塞在正常工作温度下与汽缸壁间保持比较均匀的间隙,以免在汽缸内卡死或引起局部磨损,必须在活塞的结构上采取如下措施:

(1) 预先将活塞裙部加工成椭圆形。为了保证裙部工作时具有正确的圆柱形,在加工时,预先将活塞裙部做成椭圆形状,如图 2-18(a)所示。椭圆的长轴方向与销座轴线垂直,短轴方向沿销座方向。

(2) 预先将活塞裙部加工成锥形、阶梯形或筒形。活塞的温度是上部高、下部低,造成膨胀量是上部大、下部小。为了使工作时活塞上下直径趋于相等,即为圆柱形,就必须预先将活塞制成锥形、阶梯形或筒形,如图 2-18(b)、(c)所示。筒形活塞裙部不仅适应活塞工作温度的分布,而且裙部与汽缸壁之间能够形成双向楔形油膜,使活塞在任何工作状态下都能得到良好润滑,但加工难度大。

(3) 预先在活塞裙部开槽。在裙部开横向的隔热槽,可以减小活塞裙部的受热量;在裙部开纵向膨胀槽,可以补偿裙部受热后的变形量。常见的槽的形状为 T 形,如图 2-18(d)所示。裙部开槽会使其开槽一侧的刚度变小,只适用负荷不大的汽油机,在装配时应使其位于作功行程中承受侧压力较小的一侧。由于柴油机活塞受力大,裙部一般不开槽。

(4) 采用拖板式活塞。许多高速汽油机常采用拖板式活塞以减小活塞运动时惯性力及销座附近的热变形量,如图 2-18(e)所示。

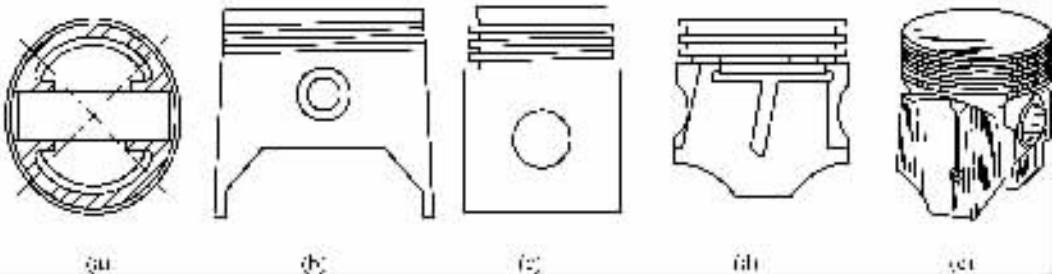


图 2-18 活塞裙部形状

(5)将活塞销偏移布置。活塞销座的中心线一般位于活塞中心线的平面内,也有些高速汽油机的活塞销孔中心线偏离活塞中心线平面,如图 2-19 所示,活塞销座轴线向在作功行程中受侧向力的一面偏移了 1~2 mm。这是因为活塞销对中布置时,当活塞越过上止点时,侧压力的作用方向改变,会使活塞敲击汽缸壁面发出噪声。如果把活塞销偏移布置,则可使活塞较平稳地从压向汽缸的一面过渡到另一面,且过渡时刻早于达到最高燃烧压力的时刻,以减轻活塞敲缸的力度,改善发动机工作的平顺性。但这种活塞销偏置结构会导致活塞裙部两端的尖角负荷增大,引起这些部位的磨损,这就要求活塞与汽缸壁的配合间隙尽可能小。在安装时要注意,活塞销座偏置的方向不能装反,否则换向敲击力会增大使裙部受损。

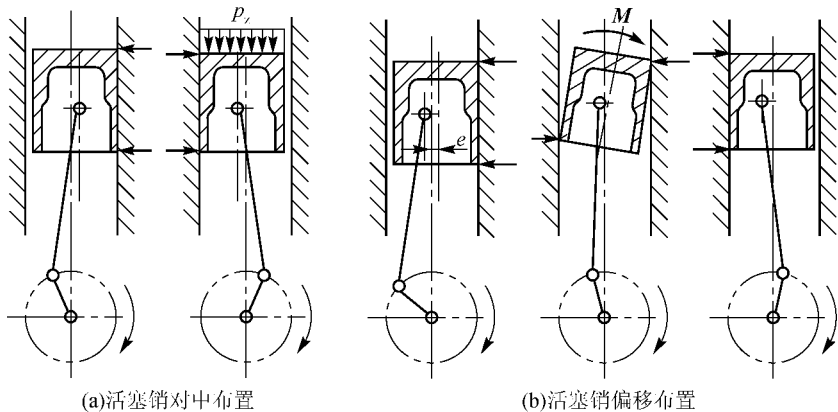


图 2-19 活塞销偏置时的工作情况

2.2.2 活塞环

活塞环是具有弹性的开口环,按其功用的不同可分为气环和油环两类,如图 2-20 所示。

气环又称压缩环,其作用是保证活塞与汽缸壁之间的密封,防止汽缸中的高温、高压燃气大量漏入曲轴箱,同时还 将活塞顶部的热量传导到汽缸壁,再由冷却液或空气带走。一般发动机每个活塞装有 2~3 道气环。

油环用来刮除汽缸壁上多余的机油,并在汽缸壁内表面布一层均匀的油膜,这样既可以防止机油窜入汽缸燃烧,又可以减小活塞、活塞环与汽缸的摩擦阻力。此外,油环也具有密封气体的作用,通常发动机每个活塞上有 1~2 道油环。

活塞环材料多采用合金铸铁或球墨铸铁,为改善其硬度及润滑性能,通常在第一道气环的工作表面镀上多孔铬,同时也可使环的使用寿命提高 2~3 倍。其余气环一般镀锡或磷化,以改善磨合性能。此外,还可用喷钼来提高活塞环的耐磨性。在高速柴油机上还可以采用钢片环来提高弹力和冲击韧度。用粉末冶金的金属陶瓷和聚四氟乙烯制造的活塞环也在国外获得试用。

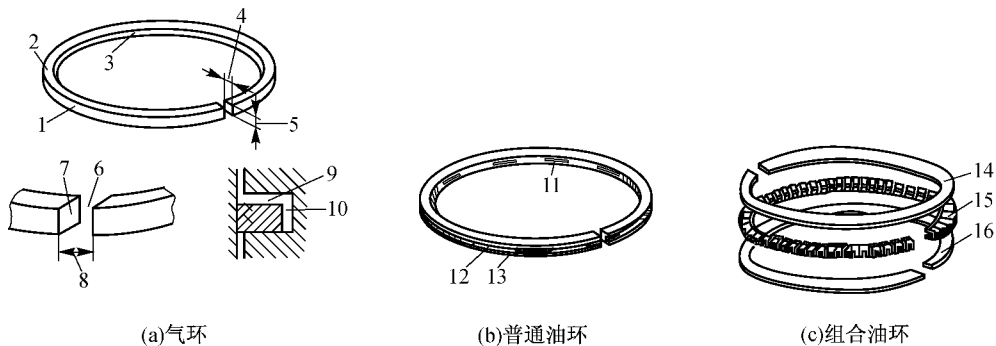


图 2-20 活塞环

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

1. 气环

1) 气环密封原理

气环在自由状态下的外径略大于汽缸直径，随活塞装入汽缸后便产生弹力而紧贴在汽缸壁上，形成第一密封面。同时，活塞上行过程中，气体压力将活塞环向下压紧环槽侧面，形成第二密封面，如图 2-21 所示。因为从最后一道气环漏出来的燃气量很少，其压力和流速也很小，因此，只要将 2、3 道气环的切口相互错开而形成所谓“迷宫式”封气装置，就能对汽缸中的高压燃气进行有效的密封。

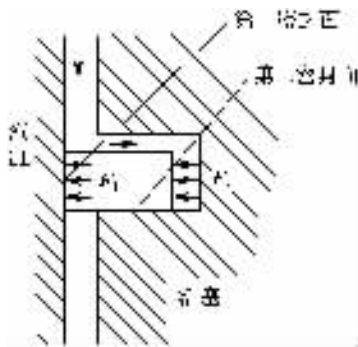


图 2-21 气环的密封原理图
 F_1 —环的自身弹力； F_2 —背压力

2) 气环断面形状

气环的断面形状有很多种，如图 2-22 所示。

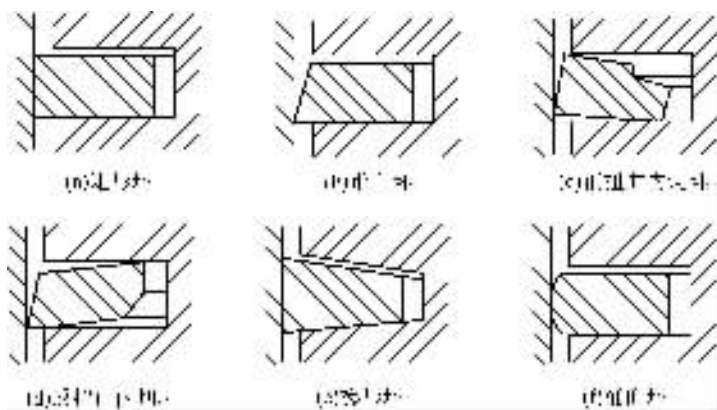


图 2-22 气环的断面形状

(1) 矩形环。矩形环的断面为矩形，结构简单，制造方便，易于生产，散热性好，应用最广。但当矩形环随活塞往复运动时，会把汽缸壁面上的机油不断送入汽缸中，这种现象称为气环的泵油作用，如图 2-23 所示。泵油作用导致机油进入燃烧室，燃烧后形成蓝烟冒出，造成机油消耗量增加；还会在燃烧室内形成积炭，导致汽缸、活塞、活塞环磨损加剧，甚至使活塞环在环槽内卡死失效，不能正常点火。在气环的下面装油环及采用非矩形断面的扭曲环均可防止气环泵油。

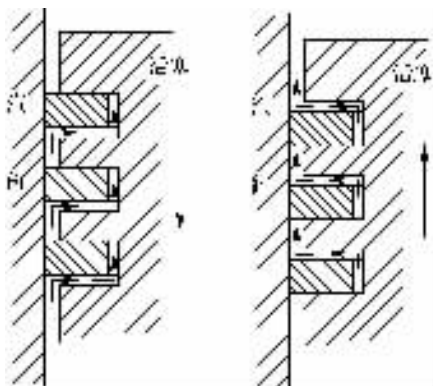


图 2-23 气环的泵油作用

(2)锥面环。锥面环的断面为一个很小锥度($0.5^{\circ}\sim 1.5^{\circ}$)的锥面。锥面环与汽缸壁接触面为线接触,提高了表面接触应力,有利于密封和磨合。锥面环在活塞下行时具有刮油作用,上行时具有布油作用,并可形成楔形油膜以改善润滑;但其传热性差,不宜用于第一道气环。安装时,注意锥角应朝下(在环端有向上或 TOP 等标记),否则会引起机油上蹿。

(3)扭曲环。扭曲环是将矩形环内圆上方或外圆下方切成台阶或倒角而形成。扭曲环的外圆周成上小下大的锥形,从而使其边缘与环槽的上下端面同时接触,提高了表面接触应力,防止了泵油作用,同时增加了密封性。扭曲环不仅具有锥面环的优点,还具有磨损小,散热能力强,易于磨合并有向下刮油的作用,因而被广泛应用。在安装时,必须注意环的断面形状和方向,应将其内圆切槽向上,外圆切槽向下,不能装反。

(4)梯形环。梯形环的断面呈梯形。发动机工作中,梯形环在压缩行程和作功行程随着活塞受侧压力的方向不同而不断改变位置,使环的侧隙发生相应的变化,把沉积在环槽中的结焦挤出,避免活塞环被黏结在环槽中而折断,同时使其密封作用增强。它的使用寿命较长,但梯形环加工困难,上、下两面的精磨工艺较复杂。

(5)桶面环。桶面环的表面为凸圆弧形,是近年来兴起的一种新式活塞环,目前柴油机中普遍应用桶面环作为第一道气环。当桶面环上下运动时,可与汽缸壁形成楔形空间,使机油容易进入摩擦面,改善润滑而减小磨损。由于桶面环与汽缸壁呈圆弧接触,故对汽缸表面的适应性和对活塞偏摆的适应性均较好,接触面积小,有利于密封,但凸圆弧表面的加工较困难。

2. 油环

油环分为普通油环和组合油环两种。

(1)普通油环。普通油环也称为整体式油环,一般用合金铸铁制造,环的外圆柱面上加工有凹槽,槽侧面上钻有小孔或开切槽。当活塞向下运动时,油环将缸壁上多余的机油刮下,通过小孔或切槽流回曲轴箱;当活塞上行时,油环刮下的机油仍通过回油孔流回曲轴箱。油环外环侧上边一般制有倒角,使环在随活塞上行时形成油楔,可起均布润滑油的作用,下行刮油能力强,减少了润滑油的上蹿。

(2)组合油环。组合油环由上、下数片刮片和产生弹力作用的衬簧组成。其主要优点为刮片很薄,对汽缸壁的压强大,因而刮油作用强;刮片各自独立,故对汽缸的适应性好;质量轻;回油通路大。因此,近年来汽车发动机上越来越多地采用了组合式油环。如一汽奥迪、天津夏利等轿车发动机上均采用组合油环。

2.2.3 活塞销

活塞销将活塞和连杆小头相连接,并将活塞承受的气体压力传给连杆。由于其在高温下须承受着极大的周期性冲击载荷且润滑条件差,因而要求活塞销有足够的刚度和强度,表面应具有良好的耐磨性,且质量要尽可能小。

活塞销的材料一般为低合金渗碳钢,高负荷发动机上则采用渗氮钢。

1. 活塞销的形状

为减轻质量,活塞销通常制成空心圆柱体,其内孔形状有圆柱形、两段截锥形和组合形(两段截锥与一段圆柱结合),如图2-24所示。圆柱形孔易加工,但活塞销的质量较大;两段截锥形的活塞销质量较小,又接近等强度梁的要求,但孔的加工较复杂;组合形的特点介于两者之间。

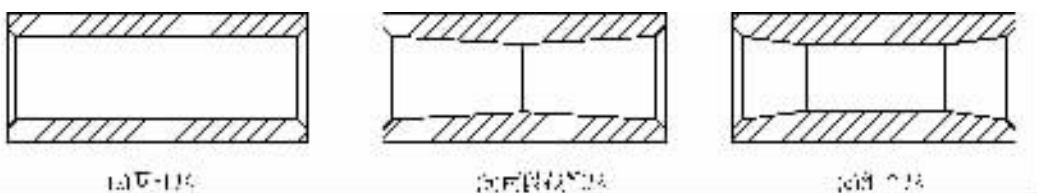


图2-24 活塞销内孔形状

2. 活塞销的连接方式

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两种,即全浮式和半浮式,如图2-25所示。

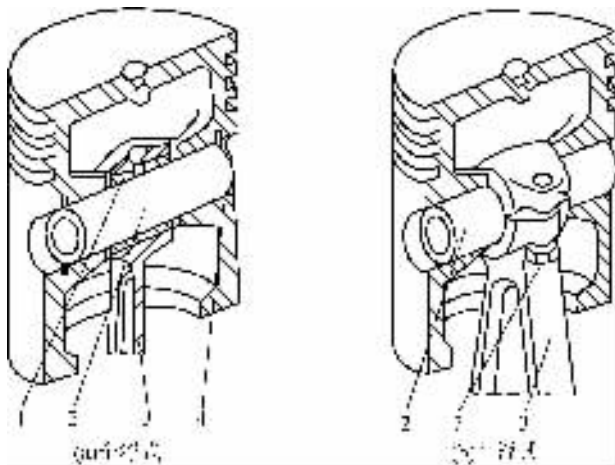


图2-25 活塞销的连接方式

1—连杆衬套; 2—活塞销; 3—连杆; 4—活塞销卡环; 5—紧固螺栓

1) 全浮式

活塞销采用全浮式连接时,在发动机运转过程中,活塞销、连杆小头和活塞销座都存在相对运动,以使活塞销各部分的磨损比较均匀。由于铝合金活塞销座的热膨胀量大于钢活塞销,为了保证发动机正常工作时,两者之间有合适的工作间隙(0.01~0.02 mm),在冷态装配时,活塞销与活塞销座应为过盈配合。装配时,应先将铝合金活塞放在温度为70~90℃

的水或油中加热,然后再将销装入。

为了防止因活塞销的轴向窜动而刮伤汽缸壁,在活塞销座两端用卡环嵌在销座凹槽中,用以轴向定位。

2) 半浮式

活塞销采用半浮式连接时,在发动机运转过程中,活塞销仅可以在连杆小头衬套内或仅可在销座孔内缓慢地转动。这种结构使活塞销磨损不均匀,故很少采用。

2.2.4 连杆

连杆的作用是连接活塞与曲轴,并将活塞承受的气体压力传给曲轴以推动曲轴转动,从而将活塞的往复运动变为曲轴的旋转运动。

发动机工作时,连杆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和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,致使连杆不断承受压缩、拉伸和弯曲等。因此,连杆应在质量尽可能小的条件下有足够的刚度和强度。

连杆一般用中碳钢或合金钢先进行模锻或辊锻,然后经过机械加工和热处理而制成。

1. 连杆的结构

连杆主要由连杆小头、连杆杆身、连杆大头、连杆盖和连杆轴瓦等组成,如图 2-26 所示。

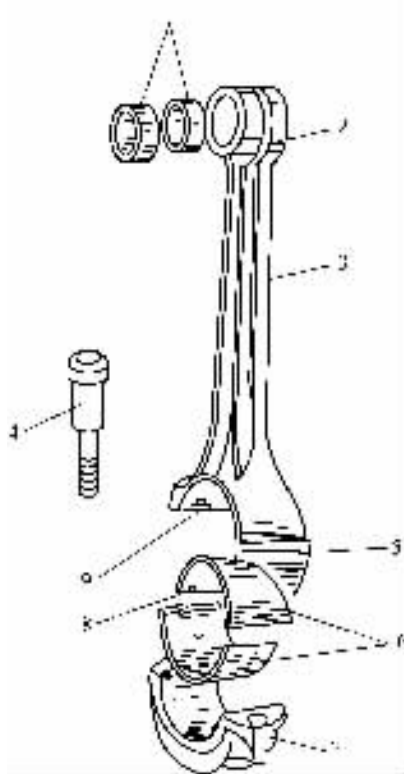


图 2-26 连杆的组成

- 1—连杆衬套; 2—连杆小头; 3—连杆杆身; 4—连杆螺栓; 5—连杆大头;
6—连杆轴瓦; 7—连杆盖; 8—连杆轴瓦凸键; 9—凹槽

1) 连杆小头

连杆小头用来安装活塞销,以连接活塞。工作时,全浮式活塞销和衬套之间有相对转动,所以连杆小头孔内一般压放减磨的青铜衬套或铁基粉末冶金衬套。同时,为了润滑活塞销与衬套,在连杆小头上铣有油槽或钻有孔,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,在连杆杆身钻有纵向的压力油通道。半浮式活塞销与连杆小头之间不存在相对运动,所以连杆小头孔内不需要衬套,也不需要润滑。

2) 连杆杆身

连杆杆身通常做成工字形断面,目的是在保证强度和刚度足够的前提下减小质量。采用压力润滑的连杆,在杆身的中部制有连通连杆大、小头的通道。

3) 连杆螺栓

连杆螺栓将连杆盖和连杆大头连接在一起,是一个承受交变载荷的重要零件,一般采用韧性较高的优质合金钢或优质碳素钢锻制或冷锻成型。连杆大头在安装时必须紧固可靠。连杆螺栓必须以工厂规定的拧紧力矩,分2~3次均匀地拧紧。为可靠起见,连杆螺栓还必须采用锁止装置,如防松胶、开口销、双螺母、自锁螺母等,以防工作中自动松动。

4) 连杆大头

连杆大头与曲轴的连杆轴颈相连,为便于安装,连杆大头一般做成剖分式的,被分开的部分称为连杆盖,通过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。连杆大头孔表面有很低的表面粗糙度,以便与连杆轴瓦(或滚动轴承)紧密贴合。连杆大头上还铣有连杆轴瓦的定位凹坑。有的连杆大头连同轴瓦还钻有直径为1~1.5 mm的小油孔,从中喷出机油以加强配气凸轮与汽缸壁的润滑。

连杆大头有整体式和分开式两种类型。发动机上一般都采用分开式,按连杆大头剖分面的方向,可将连杆分为平分式和斜分式两种类型,如图2-27所示。

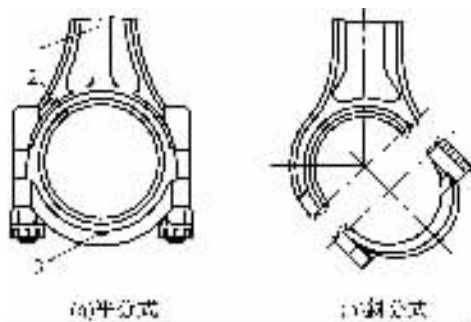


图 2-27 连杆的类型

1—连杆装配标志; 2—机油喷孔; 3—连杆盖装配标志

平分式连杆的剖切面垂直于连杆轴线。一般汽油机连杆大头尺寸都小于汽缸直径,可以方便地通过汽缸进行拆装,因此,汽油机的连杆常采用平分式。

柴油机的负荷较大,连杆的受力也大,连杆大头的尺寸往往超过汽缸直径。为使连杆大头能顺利通过汽缸,便于拆装,将连杆大头沿与连杆杆身轴线成 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ (常用 45°)的方向剖开,即为斜分式连杆。此外,斜分式连杆若配以较理想的切口定位,还能减小连杆螺栓的受力。

5) 连杆轴瓦

连杆轴瓦也称连杆轴承,装在连杆大头孔内,用以使连杆轴颈和连杆大头间保持良好的油膜,减小摩擦阻力,加速磨合。连杆轴承的工作条件非常苛刻,主要表现在以下几方面:

(1)承受交变载荷。在气体压力、往复惯性力和离心力的综合作用下,轴承的受力部位和大小都在不断地变化,如作功行程瞬时可使上片轴承承受近乎冲击性的压力,进气行程开始时的惯性力又使下片轴承受压,因此可使轴承疲劳破坏。

(2)高速摩擦。现代高速发动机轴颈与轴承的相对速度很高,有的可达 10 m/s 以上,即使在液体润滑下,也会产生大量的摩擦热,使轴瓦的表面温度高达 400 K(约 135 °C)以上,可导致润滑油黏度显著下降,润滑性能变坏,磨损加剧。

(3)低速大负荷运行时,润滑条件差。发动机低速运转或起动时,油膜强度低甚至难以建立,特别是急加速时,油膜还来不及加强,负荷突然急增,油膜会被破坏,两金属表面直接摩擦,可能导致局部熔化,甚至互相黏结(俗称烧瓦)。

(4)润滑油油质不断变化。随着发动机工作时间的增加,润滑油会发生高温氧化变质,燃油稀释,燃烧产物和机械杂质污染,使润滑性能不断恶化,导致轴瓦加速磨损和腐蚀。

2. V 型发动机的连杆

V 型发动机左右两侧对应的两个汽缸的连杆共同连接在曲轴的一个连杆轴颈上,其具体结构因安装形式的不同而有差异,主要有并列连杆式、主副连杆式及叉形连杆式 3 种,如图 2-28 所示。



图 2-28 V 型发动机连杆的结构形式

(1)并列连杆式。并列连杆式的连杆一前一后并列地安装在同一连杆轴颈上,其优点是两侧连杆可以通用,两列汽缸中的活塞连杆组的运动规律相同。但两列汽缸轴线沿曲轴轴向要错开一段距离,因而使曲轴的长度增加,刚度降低。

(2)主副连杆式。主副连杆式的一列汽缸的连杆为主连杆,其大头直接安装在连杆轴颈上,另一列汽缸连杆为副连杆,铰接在主连杆大头(或连杆盖)上的两个凸耳之间。这种连接左右两列对应汽缸的主、副连杆与其汽缸中心线位于同一平面内,故不会加大发动机的轴向长度。但主、副连杆不能互换,此外,左右两列汽缸的活塞连杆组的运动规律和受力都不同。

(3)叉形连杆式。叉形连杆式的一列汽缸的连杆大头做成叉形,跨于另一个厚度较小的连杆大头的两端。这种连接左右两列汽缸中的活塞连杆组的运动规律相同,左右对应的两汽缸中心线不需要在曲轴轴向上错位。但叉形连杆大头的结构和制造工艺复杂,且大头的刚度较低。

2.3 曲轴飞轮组

曲轴飞轮组主要由曲轴、飞轮、扭转减振器、带轮及正时齿轮(或链轮)等组成,如图 2-29 所示。

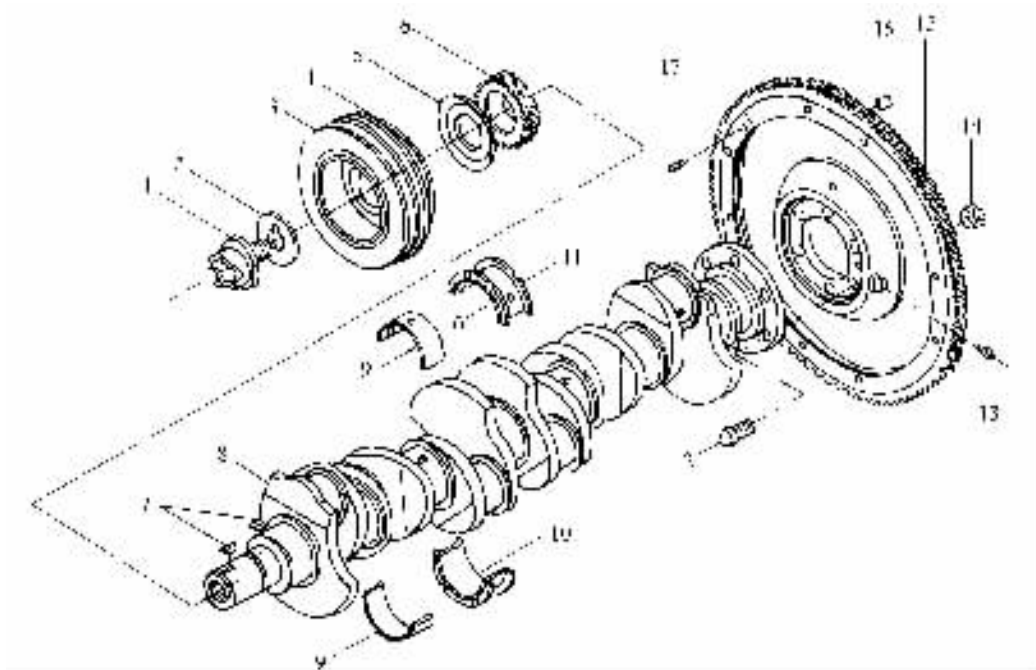


图 2-29 曲轴飞轮组的结构

- 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—主轴承; 11—推力片; 12—飞轮螺栓; 13—润滑脂嘴;
14—螺母; 15—飞轮与齿圈; 16—离合器盖定位销;
17—一、六缸上止点记号用钢销

2.3.1 曲轴

曲轴是发动机中最重要的构件之一。其作用主要是通过与连杆配合把作用在活塞上的气体压力转变为扭矩,传给底盘的传动机构。另外,还用来驱动发动机的配气机构及其他各种辅助装置,如发电机、风扇、水泵、转向助力油泵、平衡轴机构及空调压缩机等。

发动机工作时,曲轴要承受周期性变化的气体压力、往复惯性力和离心力,以及它们产生的扭矩和弯矩的共同作用,因此易产生弯曲变形、疲劳破坏和轴颈磨损等,因此要求曲轴有足够的刚度、强度和各工作表面要具有耐磨性且得到良好润滑。目前,曲轴大多采用优质中碳钢或中碳合金钢锻制,也有的采用球墨铸铁。为了提高曲轴的耐磨性,其高速滑动摩擦的主轴颈和连杆轴颈表面均需表面淬火、高频淬火或氮化。

1. 曲轴的组成

曲轴一般由主轴颈、连杆轴颈(曲柄销)、曲柄等组成,如图 2-30 所示。有的发动机曲轴

上还增设平衡重块。

曲柄销又称连杆轴颈,是曲轴与连杆的连接部分,在连接处用圆弧过渡,以减少应力集中。直列式发动机的连杆轴颈数目和汽缸数相等,V型发动机的连杆轴颈数等于汽缸数的一半。

曲柄臂是主轴颈和连杆轴颈的连接部分,断面为椭圆形。曲柄臂处常铸有(或紧固有)平衡重块,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,使曲轴旋转平稳。

平衡重块有的与曲轴制成一体,有的单独制成零件,再用螺栓固定在曲柄上,形成装配式平衡重。有些刚度相对较大的全支承曲轴没有平衡重块。无论有无平衡重块,曲轴本身必须经过动平衡校验,对不平衡的曲轴,常在其偏重侧钻去一部分质量而使其达到平衡。

曲轴的一个主轴颈、一个连杆轴颈和一个曲柄臂组成了一个曲拐,直列式发动机曲轴的曲拐数目等于汽缸数(直列式发动机),V型发动机曲轴的曲拐数等于汽缸数的一半。

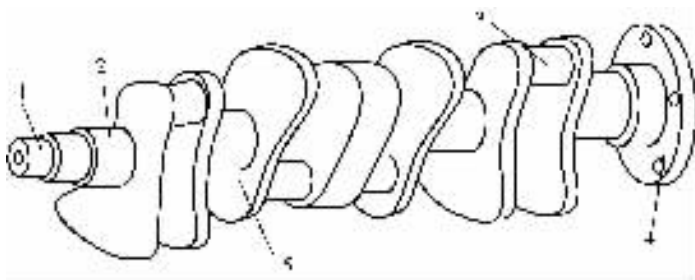


图 2-30 曲轴(整体式)的结构

1—前端轴; 2—主轴颈; 3—连杆轴颈; 4—后端凸缘; 5—曲柄

曲轴按主轴颈的数目可分为两种,一种是非全支承式,另一种是全支承式,如图 2-31 所示。

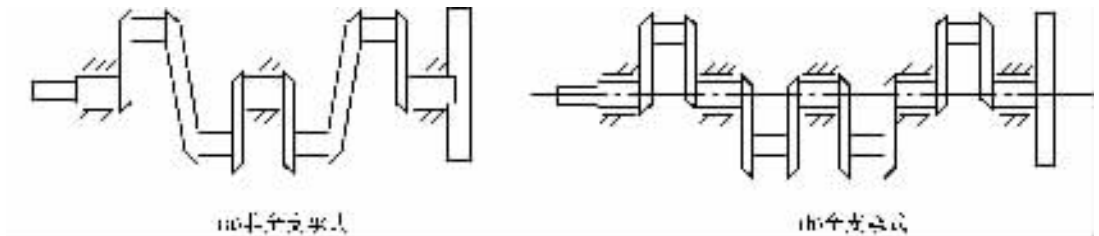


图 2-31 曲轴的支承方式

1)非全支承曲轴

非全支承曲轴的主轴颈数比连杆轴颈数少或与连杆轴颈数相等,此类型的曲轴主轴承载荷较大,但缩短了曲轴的总长度,使发动机的总体长度有所减小,常用于中小负荷的汽油机。

2)全支承曲轴

全支承曲轴的主轴颈数比连杆轴颈数多一个,即每个连杆轴颈两边都有一个主轴颈。这种支承曲轴的强度和刚度都比较好,并且减轻了主轴承载荷,减小了磨损,但曲轴的加工表面增多,主轴承数增多,使机体加长。多用于柴油机和负荷大的汽油机。上海桑塔纳、一汽奥迪 100 轿车均采用全支承曲轴。直列式发动机的全支承曲轴,其主轴颈总数(包括曲轴前端和后端的主轴颈)比汽缸数多一个;V型发动机的全支承曲轴,其主轴颈总数比汽缸数

的一半多一个。

有的大型发动机曲轴采用组合式,由若干段组合在一起,由滚动轴承将其支撑在机体上。

2. 曲轴前端

曲轴前端是指第一道主轴颈之前的部分,装有正时齿轮、起动爪、水泵的带轮以及止推垫片等,如图 2-32 所示。为了防止机油沿曲轴轴颈外漏,曲轴前端安装了甩油盘并随曲轴转动,将漏出的机油甩回油底壳。同时,在齿轮室盖上装有油封,防止机油外漏。

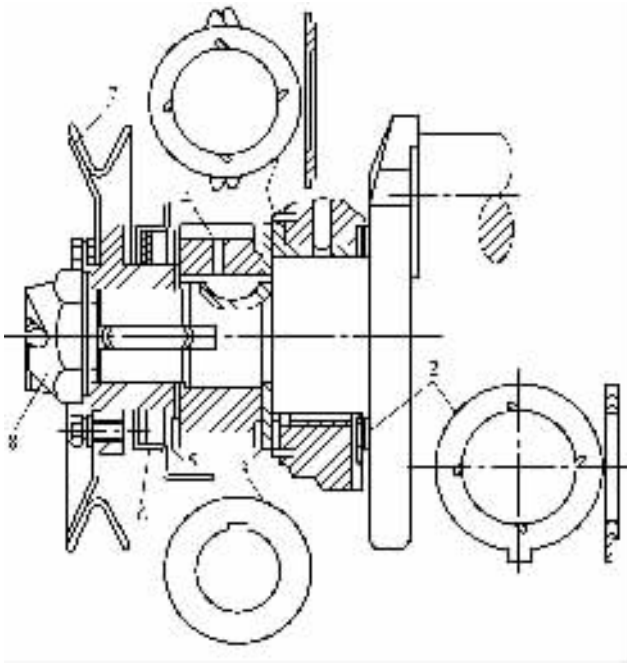


图 2-32 曲轴前端

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

3. 曲轴后端

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。

4. 曲轴轴向定位

在曲轴前端或中部的某一道主轴承的两侧安装止推垫片可以实现曲轴的轴向定位。当曲轴向前窜动时,由后止推垫片承受轴向推力;向后窜动时,由前止推垫片承受轴向推力。

5. 曲拐布置和点火次序

常用的多缸发动机的点火次序和曲拐布置主要有以下 3 种。

1) 直列 4 缸四冲程发动机的曲拐布置和点火次序

直列 4 缸四冲程发动机的曲拐布置如图 2-33 所示,4 个曲拐对称布置于同一平面内,相邻作功汽缸的点火间隔角为 $720^\circ/4 = 180^\circ$ 。发动机的点火次序有 1-3-4-2 和 1-2-4-3 两种,其工作循环分别见表 2-1 和表 2-2。

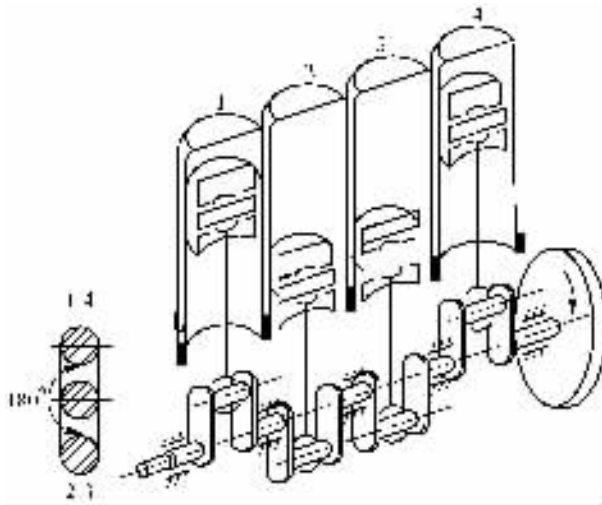


图 2-33 直列 4 缸四冲程发动机的曲拐布置

表 2-1 直列 4 缸四冲程发动机工作循环(点火顺序为 1-3-4-2)

曲轴转角/度(°)	第一缸	第二缸	第三缸	第四缸
0~180	作功	排气	压缩	进气
180~360	排气	进气	作功	压缩
360~540	进气	压缩	排气	作功
540~720	压缩	作功	进气	排气

表 2-2 直列 4 缸四冲程发动机工作循环(点火顺序为 1-2-4-3)

曲轴转角/度(°)	第一缸	第二缸	第三缸	第四缸
0~180	作功	压缩	排气	进气
180~360	排气	作功	进气	压缩
360~540	进气	排气	压缩	作功
540~720	压缩	进气	作功	排气

2) 直列 6 缸四冲程发动机的曲拐布置和点火次序

直列 6 缸四冲程发动机的曲拐布置如图 2-34 所示, 6 个曲拐对称布置在 3 个平面内, 相邻作功汽缸的点火间隔角为 $720^\circ/6=120^\circ$ 。发动机的点火次序有 1-5-3-6-2-4 和 1-4-2-6-3-5 两种。国产汽车发动机的汽缸点火次序都采用第一种点火次序, 其工作循环见表 2-3。

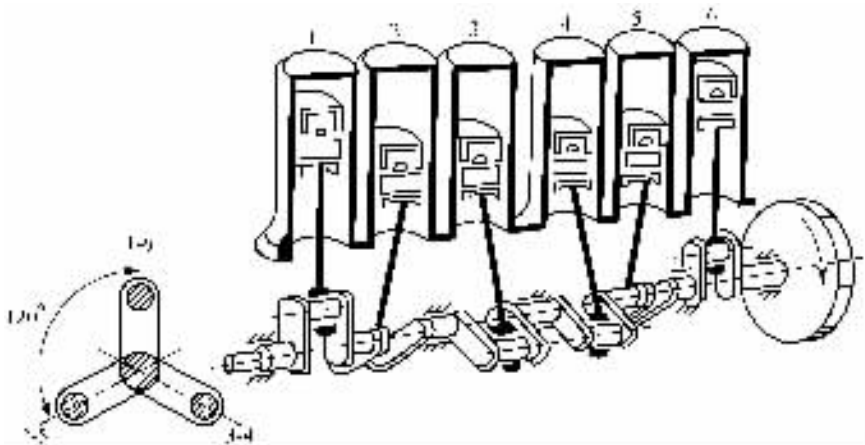


图 2-34 直列 6 缸四冲程发动机的曲拐布置

表 2-3 6 缸四冲程发动机工作循环(点火顺序为 1-5-3-6-2-4)

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

3) V 型 8 缸四冲程发动机的曲拐布置和点火次序

V 型 8 缸四冲程发动机的曲拐布置如图 2-35 所示,因 V 型发动机左右两列中相对应的一对连杆共用一个曲柄,因此,V 型 8 缸发动机只有 4 个曲拐,其布置可以与 4 缸机一样,4 个曲拐布置在同一平面内,也可以布置在两个互相错开 90° 的平面内,相邻作功汽缸的点火间隔角为 $720^\circ/8=90^\circ$ 。发动机的点火次序为 1-8-4-3-6-5-7-2。红旗 8V100 型发动机就采用这种布置形式,其工作循环见表 2-4。

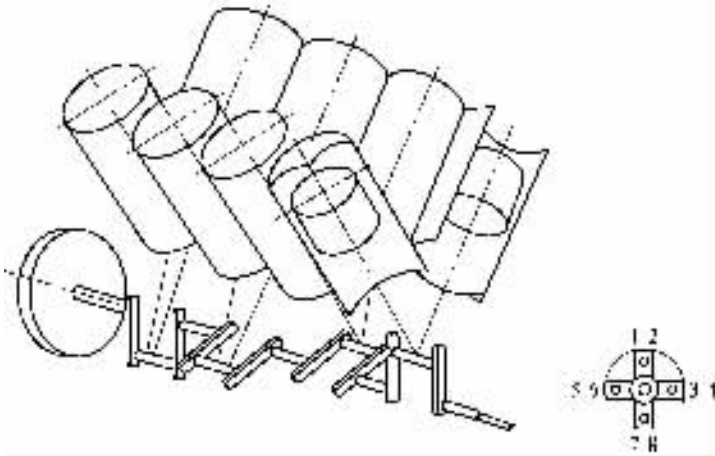


图 2-35 V 型 8 缸四冲程发动机的曲拐布置

表 2-4 红旗 8V100 型发动机工作循环(点火次序为 1-8-4-3-6-5-7-2)

曲轴转角/度(°)		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	0~90	作功	排气	压缩	压缩	进气	进气	排气	作功
	90~180								
180~360	180~270	排气	进气	作功	作功	进气	压缩	进气	排气
	270~360								
360~540	360~450	进气	压缩	排气	排气	作功	作功	压缩	进气
	450~540								
540~720	540~630	压缩	作功	进气	进气	排气	排气	作功	压缩
	630~720								

2.3.2 曲轴扭转减振器

曲轴是一种扭转弹性系统,其本身具有一定的自振频率。在发动机工作过程中,连杆作用于连杆轴颈的作用力的大小和方向都是周期性变化的,这种周期性变化的冲击力作用在曲轴上,引起曲轴各个曲柄的旋转速度也是忽快忽慢呈周期性变化。与此同时,由于固定安装在曲轴上的飞轮转动惯量大,所以其瞬时角速度基本上可看做是均匀的,即可以认为飞轮是匀速旋转。由此造成曲轴各曲柄的转动比飞轮时快时慢,这种现象称之为曲轴的扭转振动,当振动强烈时甚至会扭断曲轴。为了减小扭转振动,有的发动机在曲轴前端装有扭转减振器。扭转减振器的功用是吸收曲轴扭转振动的能量,消减扭转振动。

汽车发动机最常用的扭转减振器是摩擦式扭转减振器。摩擦式扭转减振器可分为干摩擦式及橡胶摩擦式等类型。摩擦式扭转减振器的工作原理是使曲轴扭转振动能量逐渐消耗在减振器的内部,从而使振动的振幅逐渐减小。

1. 干摩擦式曲轴扭转减振器

如图 2-36 所示为一种干摩擦式的曲轴扭转减振器。两个惯性盘 1 松套在风扇带轮轮毂上,两盘可作轴向相对移动,但不能相对转动。惯性盘的端面与带轮 6 和平衡重 4 的端面之间都有摩擦片 5。弹簧 2 装两个惯性盘之间。在曲轴发生扭转振动时,惯性盘与带轮及平衡重发生相对角振动,靠它们与摩擦片 5 之间的干摩擦消减振动。

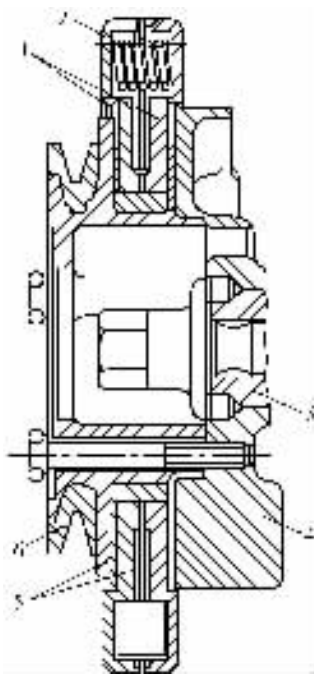


图 2-36 干摩擦式扭转减振器

1—惯性盘; 2—弹簧; 3—曲轴; 4—平衡重; 5—摩擦片; 6—带轮

2. 橡胶摩擦式曲轴扭转减振器

红旗轿车发动机曲轴上采用的橡胶摩擦式曲轴扭转减振器如图 2-37 所示,转动惯量较大的惯性盘 5 用一层橡胶垫 4 和由薄钢片冲压制成的减振器圆盘 3 硫化黏结。减振器圆盘 3 的毂部用螺钉固定在曲轴前端的风扇带轮上。当曲轴发生扭转振动时,曲轴前端的角振

幅最大,而且通过带轮毂 2 带动减振器圆盘 3 一起振动。惯性盘 5 则因转动惯量较大而相当于一个小型的飞轮,其转动瞬时角速度也就比减振器圆盘 3 均匀得多。这样,惯性盘 5 就同减振器圆盘 3 有了相对角振动,从而使橡胶垫 4 产生正反方向交替变化的扭转变形。由于橡胶垫变形而产生的橡胶内部的分子摩擦会消耗扭转振动能量,整个曲轴的扭转振幅将减小,曲轴共振转速移向更高的转速区内,从而避免在常用转速内出现共振。上海桑塔纳、一汽奥迪 100 轿车发动机的曲轴上都采用了橡胶摩擦式曲轴扭转减振器。

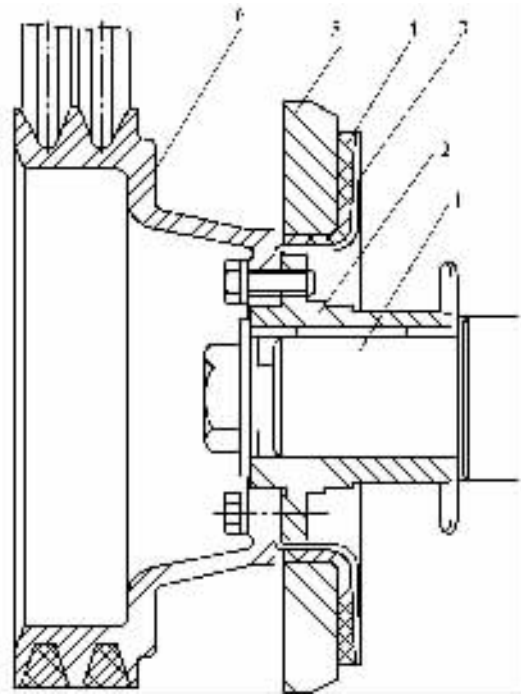


图 2-37 红旗轿车发动机的橡胶摩擦式曲轴扭转减振器

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

橡胶摩擦式曲轴扭转减振器的主要优点是结构简单、质量小、工作可靠,所以在汽车发动机上应用广泛。其主要缺点是对曲轴扭转振动的衰减作用不够强,而且橡胶由于内摩擦生热升温而容易老化。

2.3.3 飞轮

飞轮是一个转动惯量很大的圆盘,飞轮的主要功用是用来储存做功行程的能量,用于克服进气、压缩和排气行程的阻力和其他阻力,使曲轴能匀速旋转。飞轮外缘压有齿圈,齿圈与起动电动机的驱动齿轮相啮合,供起动发动机用。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,对外传递动力。飞轮多采用灰铸铁制造,当其轮缘的线速度超过 50 m/s 时要采用强度较高的球墨铸铁或铸钢制造。飞轮的质量应尽可能小些,且其大部分质量都集中在轮缘上,因而轮缘通常做得又宽又厚。

飞轮上通常刻有第一缸点火正时记号,以便校准点火时间。如解放 CA6102 型发动机的点火正时记号是“上止点/1—6”,如图 2-38(a)所示,当这个记号与飞轮壳上的刻线对正时,即表示第一缸和第六缸的活塞处在上止点位置;东风 EQ6100-1 型发动机飞轮上的这一记号为一个镶嵌的钢球,如图 2-38(b)所示,当钢球与飞轮壳上的刻线对准时,同样表示第一

缸和第六缸的活塞处于上止点位置。

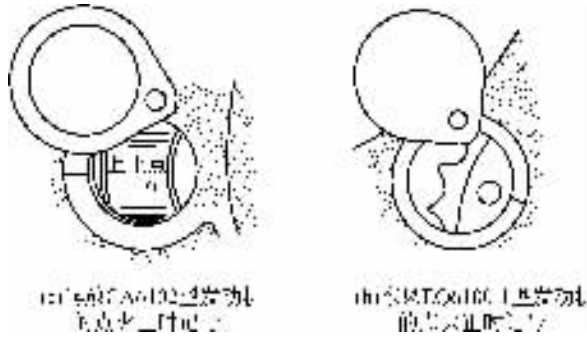


图 2-38 汽车发动机点火正时记号

多缸发动机的飞轮应与曲轴一起进行平衡,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的磨损。为了在拆装时不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,用定位销或不对称布置螺栓予以保证。

本章小结

曲柄连杆机构包括机体组、活塞连杆组和曲轴飞轮组 3 部分。本章重点介绍的就是这 3 部分的具体组成结构,即机体组包括汽缸体、曲轴箱及汽缸盖等;活塞连杆组包括活塞、活塞环、活塞销及连杆等;曲轴飞轮组包括曲轴和飞轮等。要求学生掌握机体组、活塞连杆组和曲轴飞轮组的具体组成结构,了解各部分的功用,此外要求学生能够掌握发动机点火次序和曲柄的布置位置。

习 题 2

- 2-1 曲柄连杆机构由哪些部分组成?
- 2-2 汽缸体的结构形式有哪些? 各有何特点?
- 2-3 汽油机的燃烧室结构类型有哪些? 各有什么特点?
- 2-4 活塞由哪几部分组成? 各组成部分的作用是什么?
- 2-5 活塞环分为哪几种类型? 其作用分别是什么?
- 2-6 活塞销的作用是什么? 其连接方式有哪几种类型?

2-7 已知某 4 缸四冲程汽油机的点火顺序为 1-2-4-3,当第四缸处于排气行程时,试分析其余各汽缸的工作行程。

第 11 章 汽车行驶系统

汽车行驶系统是支撑全车并保证车辆正常行驶的系统,现代汽车行驶系的形式有很多种,根据其功能要求的不同,汽车行驶系须采取不同的结构形式。

11.1 概 述

11.1.1 汽车行驶系统的功用及组成

汽车行驶系统的基本功用有以下几点:

- (1)将汽车连成一个整体并支撑汽车的总质量。
- (2)将传动系传来的转矩转化为使汽车平顺行驶的驱动力。
- (3)承受并传递路面作用于车轮上的各种反力和力矩。
- (4)缓冲减振,保证汽车平顺行驶。
- (5)配合转向系,准确控制汽车的行驶方向。

为了实现上述功能,汽车行驶系统由使汽车滚动行驶的车轮、连接车轮的车桥、支撑车身的悬架和承受各种载荷的车架等构成,如图 11-1 所示。

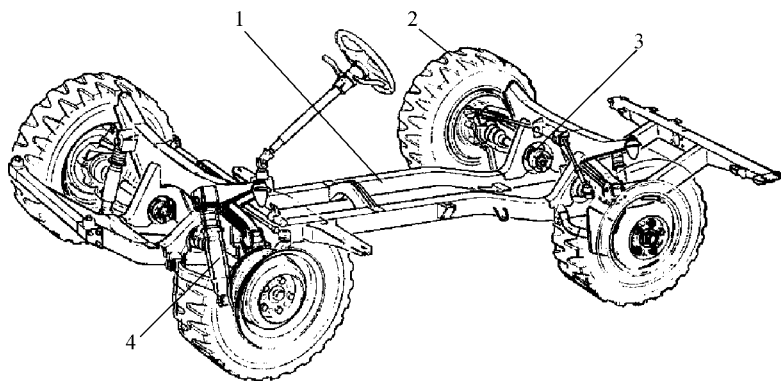


图 11-1 汽车行驶系统的组成

1—车架; 2—车轮; 3—车桥; 4—悬架

11.1.2 汽车行驶系统的类型

根据汽车行驶条件的不同,汽车行驶系统的结构形式也不同,大多数公路行驶汽车的行驶系中直接与路面接触的是车轮,因而称这种行驶系为轮式行驶系。除此之外,还有半履带

式、全履带式及车轮—履带式等行驶系统。

1. 轮式汽车

1) 轮式汽车行驶系的组成及特点

目前,大多数汽车都采用轮式汽车行驶系。轮式汽车行驶系主要由车架、车桥、车轮及悬架等组成,见图 11-1。车架 1 是全车装配和支撑的基础,它将汽车的各相关总成连接成一个整体,车轮 2 支撑着车桥 3 和车身,车桥通过悬架 4 与车架连接,以减少车辆在行驶时车身所受到的冲击和振动。轮式汽车与地面之间的附着性能较好,汽车的行驶平顺性也较好。

2) 轮式汽车行驶系的受力分析

轮式汽车行驶系的受力如图 11-2 所示。在垂直方向上,汽车总质量通过车轮传到地面,引起地面垂直反力 Z_1 、 Z_2 分别作用于前后轮上;在水平方向上,发动机输出的动力通过传动系传到驱动车轮上,在后轮上产生转矩 M_k ,通过路面与车轮的附着作用,产生推动汽车前进的纵向反力——驱动力 F_t 。驱动力 F_t 一部分用于克服驱动轮自身的滚动阻力,其余部分则通过驱动桥及驱动悬架传给车架,一方面,由车架经过悬架传给从动桥,使从动轮克服滚动阻力,另一方面,经车身克服空气阻力、坡道阻力及加速阻力。当驱动力 F_t 足以克服各种阻力之和时,才能保证汽车向前行驶。汽车制动时,在车轮上产生一个与 M_k 方向相反的制动转矩,从而产生一个与汽车行驶方向相反的制动力,使汽车减速或停车。

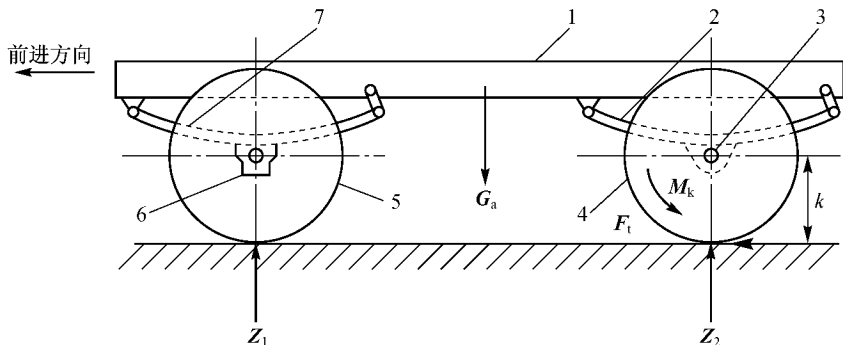


图 11-2 轮式汽车行驶系的受力

1—车架; 2—后悬架; 3—驱动桥; 4—后轮; 5—前轮; 6—从动桥; 7—前悬架

2. 半履带式汽车

半履带式汽车行驶系的特点是前桥装有车轮,用来实现转向,而后桥装有履带,以减少对地面的压力,防止汽车下陷,同时,履带上履刺也加强了附着作用,具有很高的通过能力,所以半履带式汽车主要用于沼泽等通过性较差的路面。

3. 全履带式汽车

全履带式汽车前后桥上都装有履带,具有附着力大且越野性强等特点。

4. 车轮—履带式汽车

车轮—履带式汽车可将车轮与履带互换使用,从而适应各种工作环境。

11.2 车架和承载式车身

汽车车架俗称大梁,其通过悬架设置在车轮上,以连接各车桥的形似桥梁的结构。车架的功用是支撑连接汽车的各零部件,并承受来自汽车内外的各种载荷,车架是整个汽车的基体。汽车绝大多数部件和总成都通过车架固定其位置,如发动机、传动系、悬架、转向系、驾驶室、货箱和有关操纵机构等。

汽车的车架应满足以下几个要求:

(1)结构形式首先应满足汽车总布置的要求。汽车在行驶过程中,固定在车架上的各总成和部件之间不应发生运动干涉。

(2)应具有足够的强度和适当的刚度。汽车在崎岖不平的路面行驶时,应避免车架在载荷作用下产生扭转变形以及在纵向平面内的弯曲变形,从而保持安装在车架上的各部件之间的相对位置不变。

(3)质量尽可能小。车架质量减小在一定程度上可以促进整车的轻量化。

(4)较低的高度。较低的车架高度便于降低汽车重心位置,有利于提高汽车的行驶稳定性。

目前,汽车车架常见的结构形式有边梁式车架、中梁式车架(或称脊梁式车架)和综合式车架等类型。

绝大多数汽车都装有独立的车架,只有部分轿车和大客车利用车身承担车架功能,称为承载式车身(也称为无梁式车架)。

11.2.1 边梁式车架

边梁式车架由两根位于两侧的纵梁和若干根横梁组成,用铆接法或焊接法将纵梁与横梁连接成坚固的刚性构架,如图 11-3 所示。

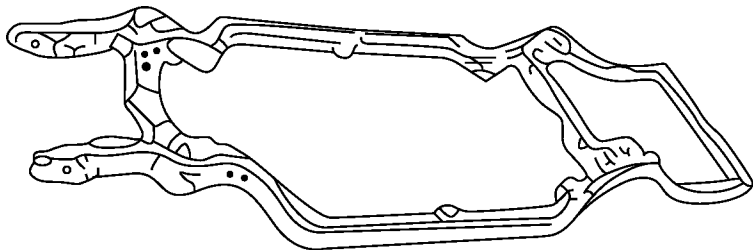


图 11-3 边梁式车架

1. 纵梁

纵梁主要承受弯曲载荷,通常用低合金钢板冲压而成,其断面形状有槽形断面、箱形断面和工字形断面等,一般采用具有较大抗弯强度的槽形钢梁,有的轻型车架纵梁也采用钢管。根据车型不同和结构布置的要求,纵梁可以在水平面内或纵向平面内做成弯曲的、等截面或非等截面的形式。纵梁的结构形式很多,有前窄后宽结构、前宽后窄结构和前后等宽结

构等。通常情况下,纵梁中部受力最大,因此一般将纵梁中部的截面高度加大,两端的截面高度逐渐减少,这样可使应力分布均匀,同时也减轻了重量。纵梁上还制有很多装置孔,用于安装脚踏板、车身、转向器、悬架总成及支架等。

2. 横梁

横梁的断面形状有槽形、管形或口形等类型,不仅用来保证车架的扭转刚度和承受纵向载荷,而且还可以支撑汽车上的主要部件,用以安装发动机、变速器、车身和燃油箱等。为适应不同的车型,横梁有多种结构形式。如图 11-4 所示为 X 形横梁,此布置形式可提高车架的扭转刚度,对于短而宽的车架该效果尤为显著,故 X 形横梁一般多用于轿车车架。

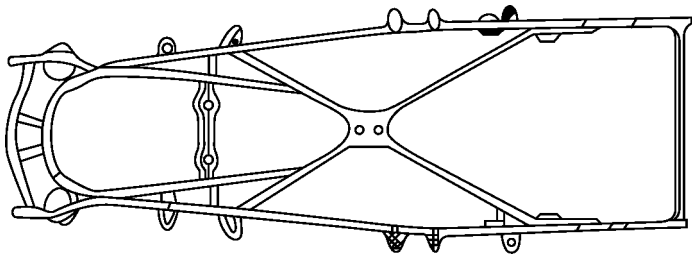


图 11-4 X 形横梁车架

由于边梁式车架便于安装车身和布置总成,有利于改装变形车和发展多品种车型的需要,所以被广泛用在载货汽车和大多数特种车上。

11.2.2 中梁式车架

中梁式车架也可称为脊梁式车架,由一根贯穿汽车纵向的中央纵梁和若干根横向悬伸托架构成,中梁式车架呈鱼骨状,如图 11-5 所示。

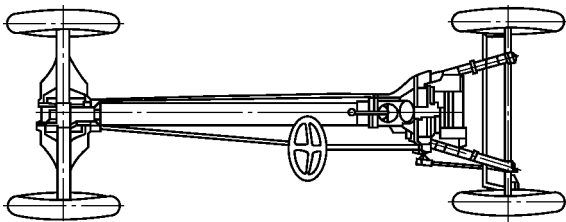


图 11-5 中梁式车架

中梁的前端伸出支架,用以固定发动机。主减速器的壳体通常固定在中梁的尾端,形成断开式后驱动桥。中梁上的悬伸托架用以支撑汽车车身和安装其他机件。若中梁是管形的,传动轴可在管内穿过。

中梁式车架抗扭转刚度好,重量轻,重心低且行驶稳定性好,车架刚度和强度较大,因此被一些越野汽车及货车采用,配有中梁式车架的汽车前轮可以有较大的转向角,便于采用独立悬架系统;但这种车架制造工艺复杂,精度要求高,安装维修不便,且中梁式车架的横梁是悬臂梁,弯矩大,易在根部处损坏。

11.2.3 综合式车架

如图 11-6 所示为综合式车架,这种车架是中梁式车架的一种变形。车架的前部和后部

是边梁式,用以固定发动机和车桥,中部是中梁式的,悬伸出来的支架用于固定车身,因此同时具有中梁式和边梁式车架的特点,通常情况下,中部具有较大的扭转刚度,但也存在制造工艺复杂等缺点,一般在轿车上使用。

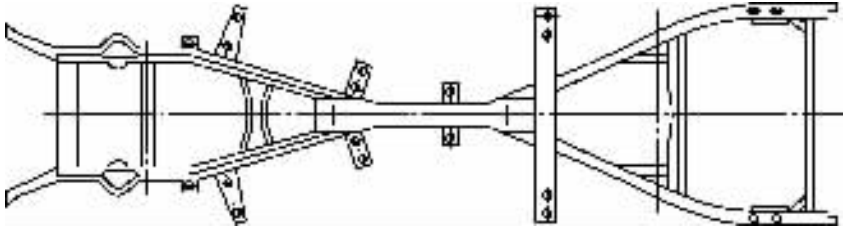


图 11-6 综合式车架

11.2.4 承载式车身

如图 11-7 为轿车承载式车身,配有承载式车身的汽车没有刚性车架,只是加强了车头、侧围、车尾及底板等部位的强度,发动机、前后悬架及传动系统等部件都安装在车身上。承载式车身除了具有承载功能外,还具有承受各种负荷力的作用。承载式车身具有较大的抗弯曲和抗扭转的刚度,质量小且高度低,装配容易,大部分轿车采用这种车身结构。但由于道路负载会通过悬架装置直接传给车身本体,因此噪声和振动较大。



图 11-7 轿车承载式车身

如图 11-8 所示的这种立体结构式车架兼有车架和车身的的作用,主要用于竞赛汽车和特种汽车。它也是承载式车身的一种,有时也称为桁架式车架。

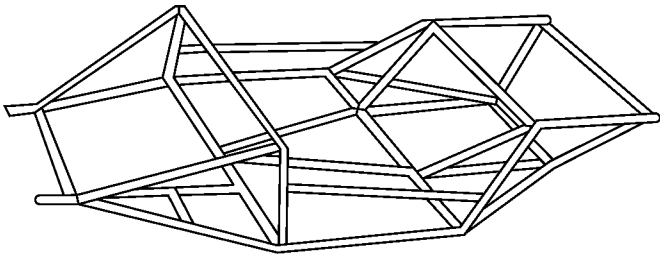


图 11-8 桁架式车架

11.3 车桥和车轮

11.3.1 车桥

车桥也可称为车轴,是汽车上装有车轮的总成。车桥通过悬架与车架连接,将车轮的牵引力、制动力及侧向力经悬架传给车架。

车桥的类型与悬架的结构以及传动系的布置形式有关。根据悬架结构的不同,车桥可分为整体式和断开式两种。当采用非独立悬架时,车桥中部是刚性的实心或空心梁,这种车桥称为整体式车桥;当配用独立悬架时,采用活动关节式结构的断开式车桥。

根据车桥上车轮作用的不同,车桥又可分为转向桥、驱动桥、转向驱动桥和支持桥 4 种类型。在常见的后轮驱动的汽车中,前桥不仅用于承受载荷,而且兼起转向的作用,故该前桥为转向桥,后桥除了承载外,还兼起驱动的作用,故该后桥称为驱动桥。由于驱动桥在传动系中已经详细介绍过,因此这里不再赘述;在四轮驱动或前轮驱动的汽车中,前桥除了起承载和转向的作用外,还兼起驱动的作用,所以该前桥称为转向驱动桥;在单桥驱动的三轴汽车(6×2 汽车)中,当中间桥(或后桥)为驱动桥时,则后桥(或中间桥)只起支撑作用,称之为支持桥。相对于驱动桥而言,支持桥属于从动桥,除了不具有转向功能外,其他结构和功能与转向桥相同。

1. 转向桥

转向桥是利用转向节的摆动使车轮偏转一定的角度以实现汽车的转向。转向桥除了承受车轮与车架之间的垂直载荷,纵向的道路阻力、制动力及侧向力外,还承受这些力所形成的力矩。转向桥由前梁、转向节(图中未画出)、主销和轮毂等组成。如图 11-9 所示为常见的汽车转向桥。

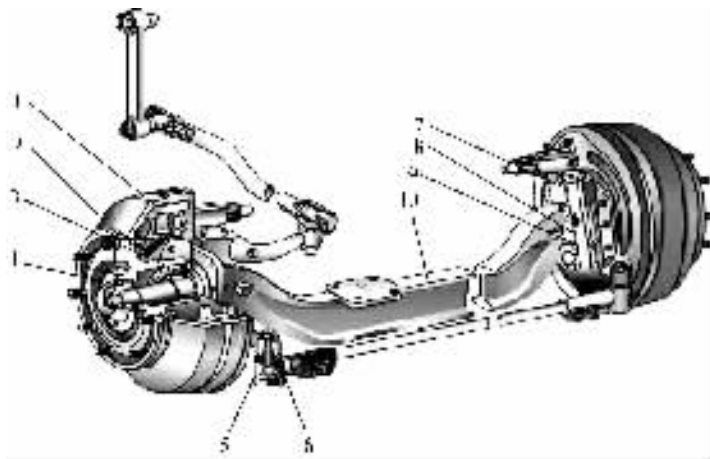


图 11-9 汽车转向桥

- 1—制动鼓; 2—轮毂; 3、4—轮毂轴承; 5—转向球头销; 6—油封; 7—衬套;
8—主销; 9—推力轴承; 10—前梁

1) 前梁

前梁由中碳钢锻造,其断面形状为工字形,为了提高抗扭强度,接近两端时略呈方形。前梁中部下凹使发动机的位置得以降低,进而降低汽车重心,扩展驾驶员视野,减小传动轴与变速器输出轴之间的夹角。下凹部分的两端制有带通孔的加宽平面,用以安装钢板弹簧。前梁两端向上翘起,各有一个呈拳形的加粗部分,并制有通孔即主销孔,如图 11-10 所示。

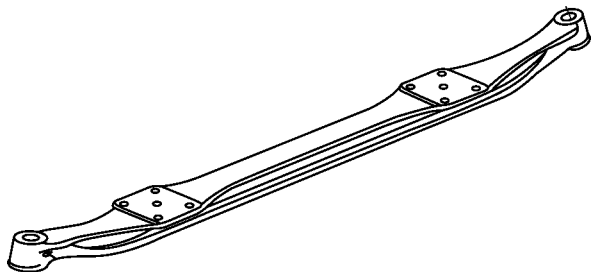


图 11-10 前梁

2) 主销

主销常见的结构形式如图 11-11 所示,为防止主销在孔内转动,常用带有螺纹的楔形销将其固定。

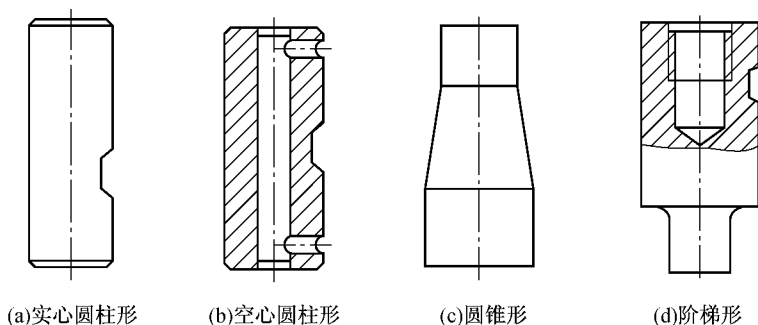


图 11-11 主销的常见形式

3) 转向节

转向节上的两耳制有销孔,销孔套装在主销伸出的两端,使转向节连同前轮可以绕主销偏转,实现汽车转向。转向节的两个销孔要求有较高的同心度,以保证主销的安装精度和转向灵活。为了减少磨损,在销孔内压入青铜或尼龙衬套。衬套上开有润滑油槽,由安装在转向节上的油嘴注入润滑脂润滑。为使转向灵活轻便,还在转向节下耳的上方与前轴之间装有推力轴承;在转向节上耳与前轴之间装有调整垫片,用以调整轴向间隙。

如图 11-12 所示为左转向节,它的上耳装有与转向节上臂制成一体的凸缘,下耳装有与转向节下臂制成一体的凸缘,两凸缘上均制有一矩形键与左转向节上、下耳处的键槽相配合,转向节即通过矩形键及双头螺栓与转向节上下臂连接。

4) 轮毂

轮毂通过内外两个滚锥轴承套装在转向节轴颈上。轴承的松紧度可以由调整螺母调整,调整好的轮毂应能正、反方向自由转动而无明显摆动,然后用锁紧垫圈锁紧。在锁紧垫圈外端装有止推垫圈和锁紧螺母,拧紧后应用开口销锁住,以防止自行松动。轮毂外端装有

金属端盖,以防止泥水或尘土进入,内侧装有油封(有的油封装在转向节轴颈的根部),有的还装有挡油盘,一旦油封失效,则外面的挡油盘仍可防止润滑脂进入制动器。

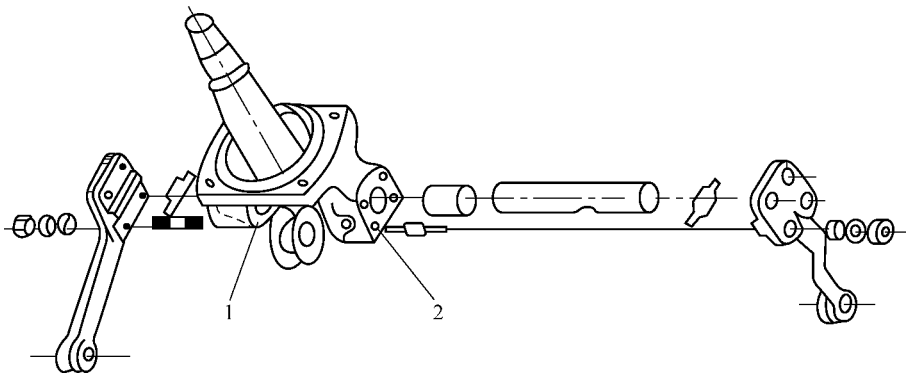


图 11-12 左转向节

1—转向节上耳凸缘; 2—转向节下耳凸缘

2. 转向轮定位

轿车的转向轮、转向节和前轴三者之间的安装具有一定的相对位置,这种具有一定相对位置的安装叫做转向轮定位,也称前轮定位。转向轮定位参数包括主销后倾(角)、主销内倾(角)、前轮外倾(角)和前轮前束,其作用是使汽车保持稳定的直线行驶和转向轻便,并减少汽车在行驶中轮胎和转向机件的磨损。由于各汽车生产厂家对转向轮设计及制造的不同,使得汽车转向轮定位参数有所差异,转向轮定位参数有些可以调整而有些是固定不可调的。

1) 主销后倾

主销装在前轴上,其上端在汽车纵向平面略向后倾斜,这种现象称为主销后倾。在汽车纵向垂直平面内,主销轴线与地面垂线之间的夹角 γ 称为主销后倾角,如图 11-13 所示。

当主销后倾时,主销轴线与路面交点将位于车轮与路面接触点的前面。当汽车直线行驶时,若转向轮受到外力作用而稍有偏转(如向右偏转),则汽车行驶方向将向右偏离。此时,路面对车轮作用着一个侧向反作用力,对车轮形成绕主销轴线作用的力矩,其方向与车轮偏转方向相反,在此力矩作用下,车轮回复到原位置,从而保证了汽车稳定的直线行驶,此力矩称为稳定力矩(回正力矩)。稳定力矩不宜过大,否则在汽车转向时,驾驶员要在转向盘上施加较大的力来克服该力矩,即出现转向沉重现象。因稳定力矩的大小取决于主销后倾角,故汽车一般采用的主销后倾角 γ 角为 $2^\circ \sim 3^\circ$ 。对于高速汽车而言,由于轮胎气压降低而弹性增加,则使稳定力矩增大,因此,高速汽车的主销后倾角可以接近于零,甚至为负值。

主销后倾角一般通过前轴安装来保证,即在钢板弹簧与前梁的连接处增设一楔形垫板,使主销上部向后倾斜一个角度。

2) 主销内倾

主销安装在前轴上,其上端在汽车横向平面内略向内倾斜,这种现象称为主销内倾。在汽车横向平面内,主销轴线与地面垂线之间的夹角 β 称为主销内倾角,如图 11-14 所示。

主销内倾角有使车轮自动回正及减少车轮磨损的作用。当转向轮在外力作用下由中间位置偏转一角度时,理论上车轮的最低点应陷入路面以下,但实际上,车轮边缘不可能陷入路面以下,而是将转向轮连同整个汽车前部向上抬起一个相应的高度,这样汽车本身的重力有使转向轮回到原来中间位置的作用。主销内倾角越大或转向轮偏转角度越大,汽车前部

就被抬起得越高,转向轮自动回正的作用就越明显。此外,主销的内倾使主销轴线与地面交点到车轮中心平面与地面交线的距离 c 减小,从而可减小驾驶员施加在转向盘上的转向力,使转向操纵轻便。同时,主销内倾角的存在在一定程度上也可以减小从转向轮传到转向盘上的冲击力。内倾角不宜过大,否则在汽车转向时,轮胎与路面间将产生较大的滑动,以致加大了轮胎与路面间的摩擦阻力,会出现转向沉重现象,且加速轮胎磨损等不良后果。因此,一般要求主销内倾角 β 不大于 8° ,距离 c 一般为 $40\sim 60\text{ mm}$ 。

主销内倾角通过前轴设计保证,由机械加工来实现,即加工时将前梁两端的主销孔轴线上端向内倾斜。

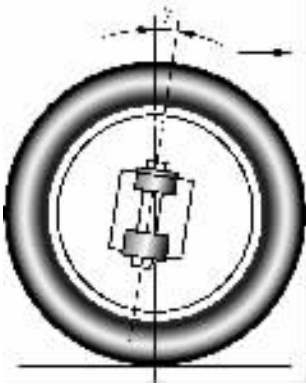


图 11-13 主销后倾角

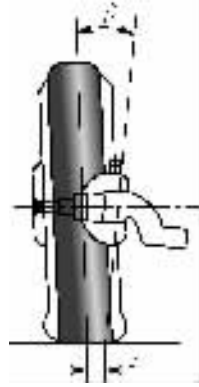


图 11-14 主销内倾角

3) 前轮外倾

转向轮安装在车桥上,其旋转平面上方略向外倾斜,这种现象称为前轮外倾。前轮旋转平面与其纵向垂直平面之间的夹角 α 称为前轮外倾角,如图 11-15 所示。

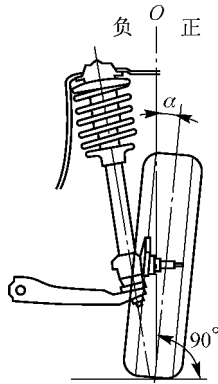


图 11-15 前轮外倾角

前轮设置外倾角后,地面对前轮的反作用力沿前轮旋转轴线的分力将前轮压向转向节内侧,可防止汽车行驶中前轮向外脱出,保证了汽车行驶的安全性,同时地面反力的作用线更接近于转向节轴的根部,可以减小转向力,使转向操纵轻便灵活。前轮外倾角一般为 $0.5^\circ\sim 2^\circ$ 。前轮外倾角可以通过转向节的设计来保证。

4) 前轮前束

汽车前轮安装后,左右两轮的旋转平面不平行,前端略向内收束,这种现象称为前轮前

束,左右两前轮后边缘距离 A 与前边缘距离 B 之差 φ 称为前轮前束,如图 11-16 所示。

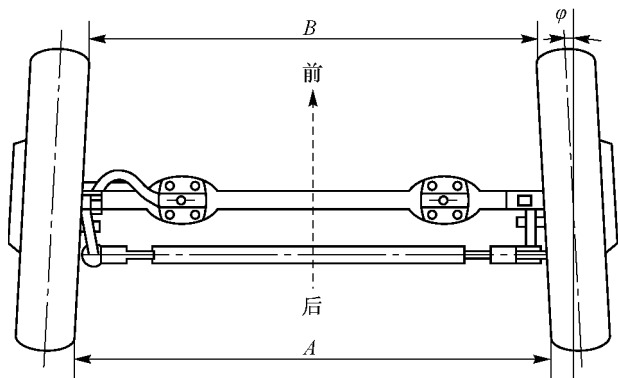


图 11-16 前轮前束

前轮前束使得车轮在每一瞬时,其滚动方向都接近于正前方向,从而避免了在横拉杆和车桥的约束下,车轮在地面上出现边滚边滑的现象。前轮前束值一般为 $0\sim 12\text{ mm}$ 。前轮前束值可以通过调节转向传动机构中的转向横拉杆来调节。

3. 转向驱动桥

部分采用发动机前置前轮驱动布置形式的汽车以及全轮驱动的越野汽车,其前桥除作为转向桥外,还兼起驱动桥的作用,称之为转向驱动桥。如图 11-17 所示为北京切诺基越野车的前桥(断开式转向驱动桥)。

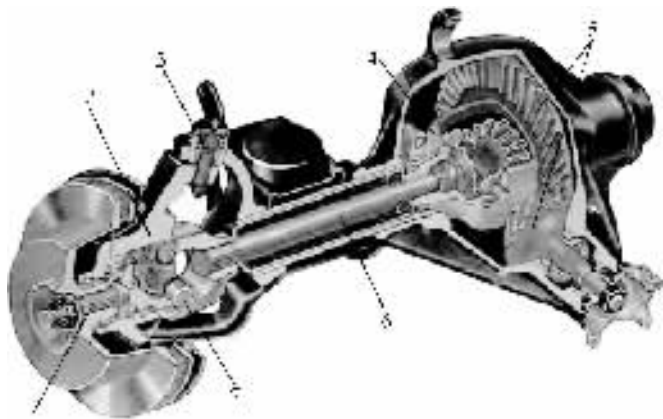


图 11-17 北京切诺基越野车的断开式转向驱动桥

1—外半轴; 2—转向节; 3—主销; 4—差速器; 5—主减速器; 6—内半轴; 7—万向节

转向驱动桥主要由主减速器、差速器、半轴、转向节、万向节及主销等构成。由于转向时,转向轮需要绕主销偏转一角度,故与转向轮相连的半轴必须分开制成内外两段,即内半轴 6 和外半轴 1,两者之间用万向节 7 连接,同时,主销 3 也分开制成上下两段,固定在万向节的球形支承上,转向节轴颈属于中空结构,便于半轴从其中穿过。

通常轿车的转向驱动桥多为断开式,断开式转向驱动桥必须与独立悬架相匹配。

转向驱动桥的另一种结构形式是非断开式的。非断开式驱动桥也称为整体式驱动桥,它由驱动桥壳、主减速器、差速器和半轴组成。非断开式转向驱动桥多用在军用越野汽车

上,为了避免其桥壳与发动机油底壳发生干涉以及便于布置传动轴,往往将主减速器与差速器总成向一侧偏移,故非断开式转向驱动桥左右不对称。

4. 支持桥

支持桥和转向桥都属于从动桥。支持桥的形式较多,例如,有些单桥驱动的三轴汽车往往将后桥设计成支持桥,挂车上的车桥及发动机前置前轮驱动轿车的后桥也属于支持桥。

支持桥的结构比较简单,主要由若干零件组焊接而成的后桥总成、悬架弹簧支承座及后轮总成等构成。支持桥起支撑和固定悬架、制动总成及车身等零部件的作用,并且可传递汽车纵向和横向力,以推动车轮旋转,如图 11-18 所示为某轿车的后支持桥。

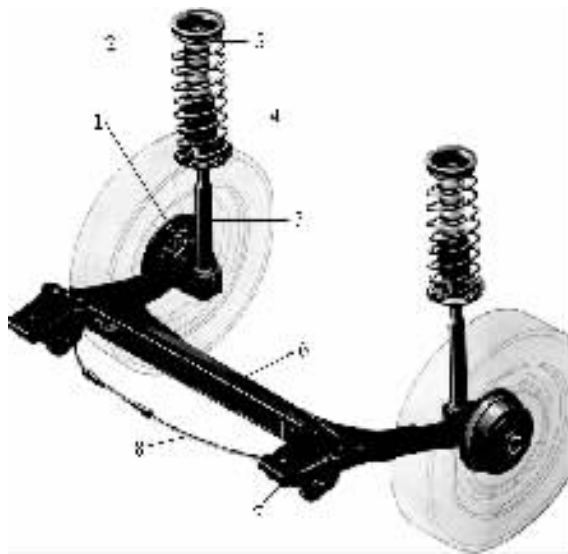


图 11-18 后支持桥

1—制动器; 2—限位块; 3—弹簧; 4—橡胶护套; 5—减振器; 6—后桥焊接总成;
7—橡胶—金属支座; 8—手动拉索

11.3.2 车轮与轮胎

车轮与轮胎又称车轮总成,是汽车行驶系中的重要部件,其功用如下:

- (1)支撑整车,包括在汽车上下运动时产生的惯性动载荷。
- (2)缓解由路面传给车体的冲击力,对外力有一定的隔绝作用。
- (3)借助轮胎和路面之间的摩擦作用,产生驱动力和制动力,同时,还可产生平衡汽车侧向力的地面侧向反作用力,以保证汽车行驶时的横向稳定性。
- (4)承担跨越障碍的作用,保证汽车的通过性。

基于以上功能,车轮与轮胎的性能如下:具有足够的强度和刚度,质量小,散热能力强,轮胎还应具有良好的弹性特性和摩擦特性,具有较长的使用寿命。

1. 车轮

车轮介于轮胎与车轴之间,主要由轮毂、轮辋及轮辐等组成。轮辋是车轮上安装和支撑轮胎的部件,轮辐是介于车轴和轮辋之间的支撑部件,如图 11-19 所示。

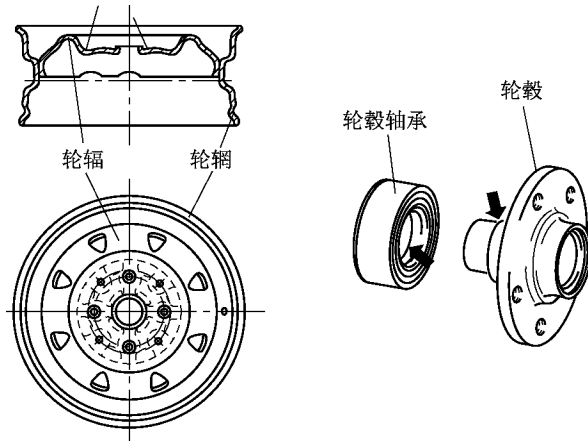


图 11-19 车轮

1) 车轮的类型

按轮辐的构造形式的不同, 车轮主要可分为辐板式和辐条式两种。

(1) 辐板式车轮。辐板式车轮如图 11-20 所示, 主要由挡圈 1、辐板 2、轮辋 3 及气门嘴孔 4 组成。辐板与轮辋焊接成一体, 并通过中心孔和周围分布的螺栓孔安装在轮毂上, 以连接轮辋和轮毂。辐板大多冲压而成(有些辐板是铸造的), 通过冲压成起伏多变的形状来提高其刚度。辐板上多设置均匀布开孔, 这样可减小车轮的质量, 有利于安装在其内部的车轮制动器工作时的散热且便于接近轮胎充气的气门嘴。

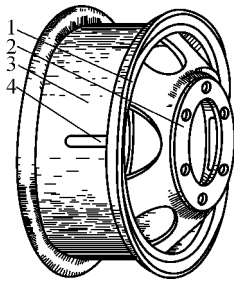


图 11-20 辐板式车轮

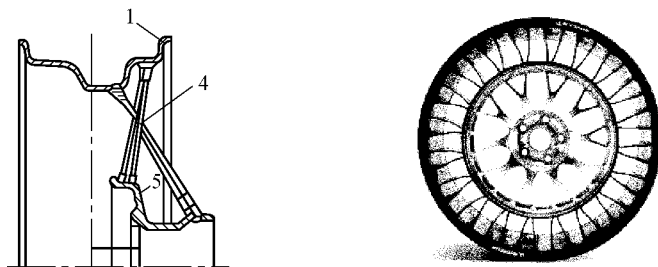
1—挡圈; 2—辐板; 3—轮辋; 4—气门嘴孔

辐板式车轮根据轮辋和辐板不同的连接形式, 可分为组合式和整体式。组合式是将轮辋和辐板用焊接或铆接的方式进行连接, 常用于钢制车轮; 整体式是将轮辋和辐板用铸造成型或锻造成型的方式进行连接, 常用于铝合金制车轮。

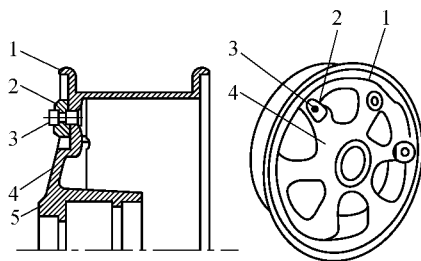
(2) 辐条式车轮。辐条式车轮的特点是以钢丝辐条或铸造辐条为轮辐, 如图 11-21 所示。钢丝辐条式车轮由于价格昂贵, 维修安装不便, 一般汽车较少采用; 铸造辐条式车轮能够承载较大的负荷, 故其应用较为广泛。

2) 轮辋

轮辋是轮胎安装和固定的基础。轮胎的变形位置与大小会随与之对应的不同的轮辋而发生变化。因此, 每一种规格的车胎, 最好配用规定的标准轮辋。否则, 不合适轮辋会造成车胎早期损坏。试验表明, 采用宽轮辋可以提高车胎的使用寿命, 并可以改善汽车的通过性和行驶稳定性。



(a) 钢丝辐条式车轮

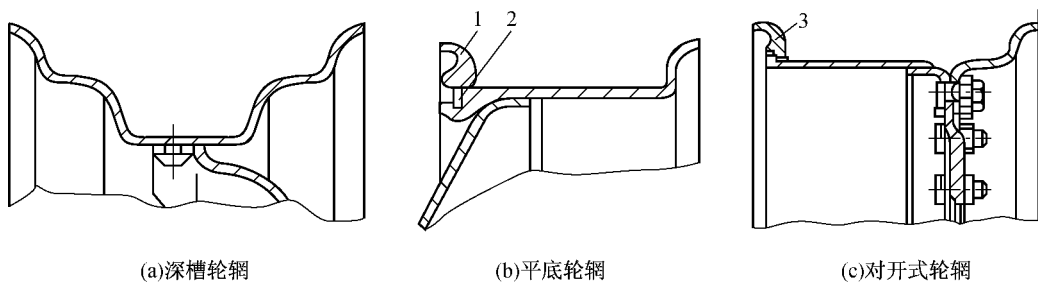


(b) 铸造辐条式车轮

图 11-21 辐条式车轮

1—轮辋；2—衬块；3—螺栓；4—辐条；5—轮毂

轮辋的常见类型有深槽轮辋、平底轮辋及对开式轮辋等,如图 11-22 所示。



(a) 深槽轮辋

(b) 平底轮辋

(c) 对开式轮辋

图 11-22 常见轮辋的断面形式

1、3—挡圈；2—锁圈

深槽轮辋采用钢板压制而成,中部的深凹槽是为便于外胎拆装而专设的,其肩部通常略向中间倾斜。整体式深槽轮辋的结构简单,刚度大且质量较小,适用于小尺寸弹性较大的轮胎。它主要用于轿车及轻型越野汽车。

平底轮辋的底面呈平环状,两边用可拆卸的挡圈作为凸缘,并用一个具有弹性的锁圈来防止挡圈脱出。在安装轮胎时,先将轮胎套在轮辋上,然后套上挡圈,并将其向里推,直至越过轮辋上的环形槽,再将开口的弹性锁圈嵌入环形槽中。这种轮辋的优点是便于安装轮胎,一般用于大、中型货车。

对开式轮辋由内外两部分组成,通过螺栓将其连成一体。与整体式轮辋相比,对开式轮辋的挡圈是可拆器件。这种轮辋只能装用单个轮胎,主要用于大、中型越野车上。

轮辋规格按国家标准用轮辋名义宽度代号、轮缘高度代号、轮辋结构形式代号、轮辋名义直径代号及轮辋轮廓类型代号来表示。具体参数代号的含义分别如下:

(1) 轮辋名义宽度代号和轮辋名义直径代号用数字表示,单位为英寸 $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$ 。

当以 mm 为单位表示时,要求轮辋和轮胎的单位一致。

(2)轮辋结构形式代号用符号“×”和“—”表示。根据轮辋零件的组成数目可分为一件式轮辋、两件式轮辋、三件式轮辋、四件式轮辋和五件式轮辋,符号“×”表示该轮辋为一件式轮辋,符号“—”表示该轮辋为两件或两件以上的多件式轮辋。

(3)轮辋轮廓类型代号用字母表示。其中,DC 表示深槽轮辋;WDC 表示深槽宽轮辋;SDC 表示半深槽宽轮辋;FB 表示平底轮辋;WFB 表示平底宽轮辋;TB 表示全斜底轮辋;DT 表示对开式轮辋。

(4)轮缘高度代号用一个或多个拉丁字母表示,常用代号及对应高度见表 11-1。

表 11-1 轮缘代号及对应高度值

单位:mm

轮缘代号	C	D	E	F	G	H	J	K	L	P	R	S	T
对应高度	15.88	17.45	19.81	22.23	27.94	33.73	17.27	19.26	21.59	25.40	28.58	33.33	38.10

(5)轮缘代号用 E、F、J、JJ、KB、L、V 等表示,有些类型的轮辋(如平底宽轮辋)其名义宽度代号也代表了轮缘轮廓,而不再用字母表示。

轮辋规格代号完整的表示依次为轮辋名义宽度代号、轮缘代号、轮辋结构形式代号、轮辋名义直径代号、轮辋轮廓类型代号。例如,北京 BJ2020 型汽车深槽轮辋规格为 4.50E×16,则表示该轮辋名义宽度 4.5 in,名义直径 16 in,轮缘代号为 E 的一件式深槽轮辋。对于平底式宽轮辋,只有表示轮辋名义宽度和名义直径的数字,而没有表示轮缘轮廓的拉丁字母,例如,东风 EQ1090 型汽车轮辋规格为 7.0—20;解放 CA1091 型汽车轮辋规格为 6.5—20。

2. 轮胎

轮胎由橡胶制成,安装在轮辋上,与轮辋组成车轮与地面直接接触。轮胎不仅与汽车的动力性、经济性、制动性及通过性有关,更与汽车行驶的安全性有关。轮胎的功用如下:与悬架共同缓和汽车行驶时所受的冲击载荷,保证汽车良好的乘坐舒适性和行驶平顺性;与路面相互作用产生驱动力、制动力和侧向力,保证汽车通过性;承受汽车载荷。

轮胎按胎体结构的不同可分为充气式轮胎和实心轮胎。

1) 充气式轮胎

现代汽车均采用充气式轮胎。充气式轮胎主要有有内胎轮胎和无内胎轮胎两种。

(1)有内胎充气轮胎。有内胎的充气轮胎如图 11-23 所示,由外胎、内胎及垫带组成。

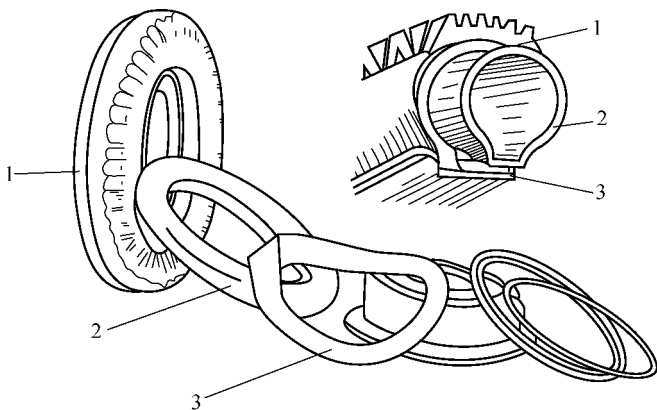


图 11-23 有内胎的充气轮胎

1—外胎; 2—内胎; 3—垫带

①外胎。外胎是由橡胶制成的用以保护内胎免受损伤的高强度弹性外壳。外胎由胎面、帘布层、缓冲层和胎圈等组成,如图 11-24 所示。

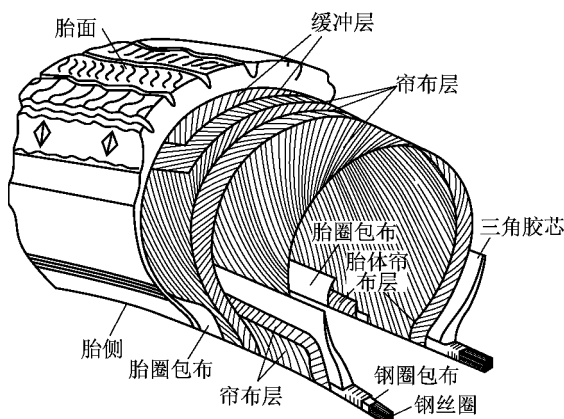


图 11-24 外胎的结构

胎面是轮胎的外表面,是轮胎滚动时与路面直接接触的部分,用于保护帘布层和内胎,保证轮胎与路面间的摩擦因数。胎面采用耐磨性较好的橡胶材料,在一定程度上保证了轮胎与路面间的附着力。此外,为了充分发挥有效的制动力和操纵性能,胎面的表面通常刻有各种沟纹(胎面花纹),主要有纵向花纹、横向花纹、混合花纹、块状花纹和雪地花纹等,如图 11-25 所示。纵向花纹具有滚动阻力小,操纵性能好及噪声小等特点,广泛用于轿车、客车及货车上;横向花纹相对耐磨性好,所以常用于货车上;混合花纹由纵向折线花纹和横向花纹组合而成,兼顾两种花纹的使用特点,在各种路面上都能提供较为稳定的驾驶性能,广泛用于客车和货车上;块状花纹凹部深而宽,在松软路面上与地面附着性好,越野能力强,常用于越野汽车上;雪地花纹则在雪地或泥地中可以发挥很好的驱动力。



图 11-25 胎面花纹

帘布层是外胎的骨架,用以保持外胎的形状和尺寸,并使其具有足够的强度,又被称为胎体。帘布由棉线、人造线、尼龙和钢丝等交叉排列组成。帘布层通常由偶数的帘布用橡胶贴合而成,其两侧边缘靠胎圈部的钢丝圈固定在轮辋凸缘和轮辋底座上。帘布层数越多,轮胎的强度越大,但弹性较差。

缓冲层由两层或数层较稀疏的帘布和橡胶制成,夹在胎面和帘布层之间,用于加强胎面与帘布层之间的结合,防止汽车紧急制动时胎面与帘布层脱落,且可以缓和汽车行驶时所受到的路面冲击。

胎圈由钢丝箍圈、帘布层包边和胎圈包布等组成,具有很大的刚度和强度,从而保证外胎得以牢固地嵌在轮辋内。

②内胎。内胎是具有气门的环形橡胶管,具有良好的弹性,且耐热和不漏气,其有效

尺寸应稍小于内胎内壁尺寸,以避免内胎在充气状态产生褶皱。

内胎气门嘴的结构如图 11-26 所示,底部的凸缘 10 通过内胎上的狭孔插入内胎中,座筒 7 内装有带密封衬套 3 的气门芯,衬套的环形槽内嵌有橡胶密封圈。当拧入螺母 2 时,密封圈即被压紧在座筒的锥形凹座上。座筒外面为带橡胶密封罩的盖 1,其柄部可以作为旋出气门芯螺母的扳手。衬套下面装有橡胶阀门 4,当轮胎被充气时,阀门被空气压力压下;充气完毕后,套在杆 5 上的弹簧 6 便将它紧固地压在阀座上。

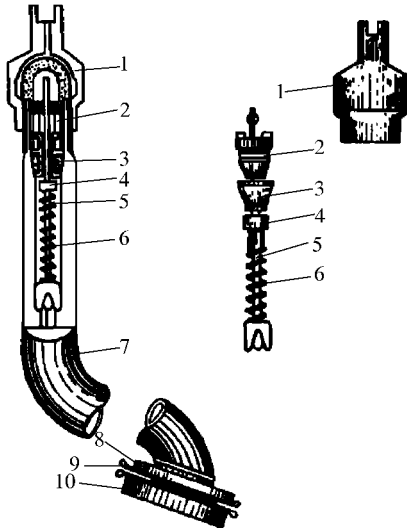


图 11-26 内胎气门嘴的结构

1—盖; 2、8—螺母; 3—衬套; 4—阀门; 5—杆; 6—弹簧; 7—座筒; 9—垫片; 10—凸缘

③垫带。垫带置于内胎与轮辋之间,用来防止内胎被轮辋和外胎胎圈擦伤和磨损。

(2)无内胎充气轮胎。目前,轿车中广泛使用无内胎轮胎。无内胎轮胎的结构与有内胎轮胎的结构类似,也有外胎和垫带,但没有内胎,充气时,直接将空气压入外胎中。因此,外胎内壁上附加了一层约为 2~3 mm 的橡胶密封层用于密封空气,气门嘴直接固定在轮辋上,两者之间垫以密封用的橡胶密封衬垫,如图 11-27 所示。

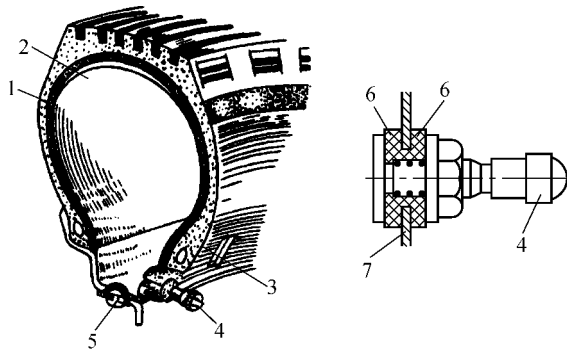


图 11-27 无内胎充气轮胎的结构

1—密封层; 2—自粘层; 3—槽纹; 4—气门嘴; 5—铆钉; 6—橡胶密封衬垫; 7—轮辋

无内胎轮胎优点是:耐刺穿性好,胎内压力不会因刺穿物的存在而急剧下降,能够保证汽车继续安全行驶;不存在因内外胎之间摩擦和卡住而引起损坏的现象;气密性较好,工作

温度低,使用寿命长,结构简单且质量较小。但其对材料及工艺要求较高,且在途中维修困难。

2) 普通斜交线轮胎和子午线轮胎

根据使用要求的不同,充气轮胎的胎体中帘线有不同的排列方式。目前,汽车上常用的有普通斜交线轮胎和子午线轮胎,如图 11-28 所示。

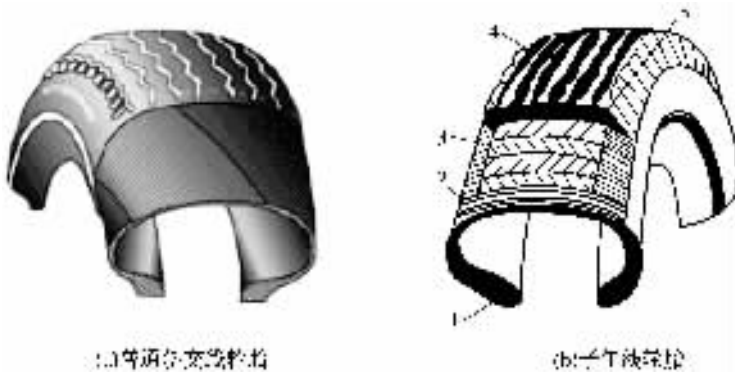


图 11-28 轮胎的帘线排列形式

1—胎圈; 2—帘布层; 3—带束层; 4—胎冠; 5—胎肩

普通斜交线轮胎是帘布层和缓冲层各相邻层帘线交叉,且与胎中心线成锐角的充气轮胎,其特点是:轮胎噪声小,外胎面柔软、制造容易且价格也较便宜;但在转向行驶时接地面积小,胎冠滑动大,抗侧向力能力差,高速行驶时稳定性差,滚动阻力较大,油耗偏高,承载能力也不如子午线轮胎。

当轮胎帘布层帘线与胎面中心线成 90° 或接近 90° 角时,被称为子午线轮胎。子午线轮胎具有弹性大,耐磨性高,滚动阻力小,附着性能好,缓冲能力强,承载能力大及不易刺穿等优点;但其在较厚胎冠与较薄胎侧过渡区易产生裂口,吸振能力弱,胎面噪声大,制造技术要求高且成本较高。

3) 轮胎尺寸规格的标记方法

我国轮胎尺寸规格标记采用英制计量单位。

(1) 轮胎尺寸标记。充气轮胎尺寸代号分别为 D (轮胎名义外径)、 d (轮辋名义直径)、 H (轮胎断面高度)、 B (轮胎断面宽度),如图 11-29 所示。高压胎一般用 $D \times B$ 来表示,其中,参数 D 与 B 的单位均为 in, \times 表示高压胎,高压胎在汽车上很少采用;汽车上常用的低压胎的尺寸标记用 $B-d$ 表示,其中,参数 B 与 d 的单位亦为英寸(in),“—”表示低压胎。例如,轮胎标记为 $9.00-20$,则表示断面宽度 9 in,轮辋名义直径为 20 in 的低压胎,如果此轮胎是子午线轮胎,则用 $9.00R20$ 标记,其中 R 表示子午线轮胎。

随着轮胎工业的发展和新型轮胎帘线材料的出现,又出现新的补充标记方法,如在我国,曾用 M 表示棉帘线轮胎, R 表示人造丝帘线轮胎, N 表示尼龙帘线轮胎, G 表示钢丝线普通轮胎, Z 表示子午线结构轮胎等,这些字母写在轮胎尺寸标记的后面,如 $9.00-20ZG$ 表示钢丝子午线轮胎,当为棉帘线轮胎时, M 可省略不标。

许多欧洲国家的低压胎采用 $B \times d$ 标记,尺寸单位采用毫米(mm),例如,轮胎的标记为 185×400 ,则表示轮胎断面宽度为 185 mm,轮辋直径为 400 mm。这种轮胎性能相当于我国规格为 $7.50-16$ 的轮胎。

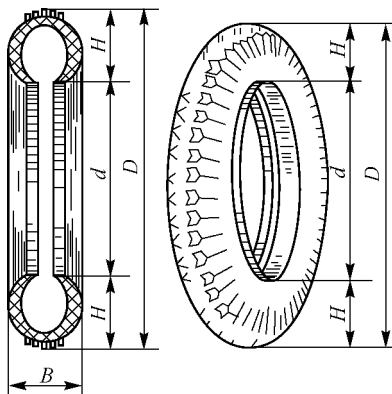


图 11-29 轮胎尺寸标记

目前,美国、德国及日本等国家用如下的标记方法,如德国的奥迪轿车无内胎充气轮胎的标记为 185/70—R14,则表示此轮胎断面宽度为 185 mm,扁平率为 70%,轮辋直径为 14 in(356 mm),子午线低压轮胎。

(2)轮胎国际标准的规格标志。国际标准规定,汽车轮胎的规格标志的排列顺序依次为断面宽标号、斜线(/)、扁平率、轮胎结构代号、适用轮辋直径标号、载荷指数、速度代号。扁平率越小,则轮胎的断面宽度越宽;载荷指数表征轮胎最大承载能力,从 GB/T 2977—2008 中可以查阅;速度代号表征轮胎允许的最大使用速度。例如,某轮胎规格为 195/70R14 88 H,则表示该轮胎断面宽度为 195 mm,扁平率为 70%,结构代号 R 表示为子午线轮胎,适用轮辋直径为 14 in(356 mm),允许载荷指数为 88(最大载荷为 5.06 kN),速度代号为 H(最大速度为 210 km/h)。

4) 轮胎的维护

在使用中,轮胎除了正常磨损外,也会出现非正常磨损,如图 11-30 所示。车主可以根据轮胎的非正常磨损情况对磨损原因作出初步判断,如轮胎中部出现磨损带,可能是轮胎气压过高或行驶条件恶劣造成的;轮胎两侧边缘磨损严重,可能是轮胎气压过低造成的;轮胎上出现斑驳磨损痕迹,可能是车轮运转不平稳造成的;轮胎一侧边缘磨损严重,可能是悬架失效或定位参数不准造成的;轮胎表面出现一大块集中的磨损痕迹,可能是车轮制动时抱死滑移造成的。



图 11-30 轮胎的非正常磨损

为使轮胎均匀磨损,汽车每行驶一定里程后,轮胎应进行换位使用,备胎亦要参与换位,轮胎换位的路线如图 11-31 所示。

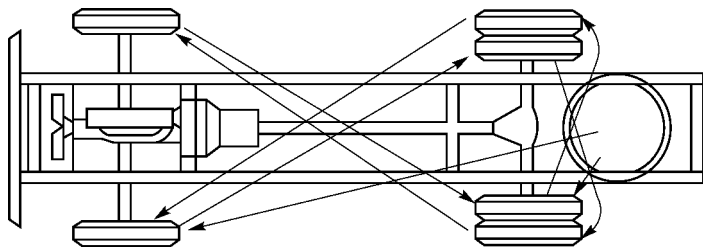


图 11-31 轮胎换位路线

调换轮胎时应注意以下几点：

- (1) 应使所有的轮胎磨损一致。
- (2) 基于安全原因，轮胎应成对调换，不可单个调换。
- (3) 汽车同一轴应使用同种规格、同种花纹的轮胎。

一般新轮胎底部的花纹中有宽为 12 mm、深 1.6 mm 的磨损指示条，当指示条磨去时，应立即调换轮胎。

11.4 悬 架

悬架是车架(或承载式车身)与车桥(或车轮)之间所有传力连接装置的总称。

11.4.1 悬架的组成、功用与类型

如果汽车车架或承载式车身直接安装在车桥上，由车轮传来的路面与车身及车架与车桥之间的振动就会不断放大，从而影响乘坐舒适性，同时也会加剧汽车内饰的损坏。因此，汽车上必须装配能起缓冲、减振和导向作用的装置——悬架。

1. 悬架的组成与功用

悬架主要由弹性元件、导向装置、减振器和横向稳定装置等组成，如图 11-32 所示。

- (1) 弹性元件——缓冲作用，用来承受并传递垂直载荷，缓和不平路面、紧急制动、加速和转弯引起的冲击或车身位置的变化。
- (2) 导向装置——传力和导向作用，用来使车轮按一定运动轨迹相对车身运动，同时起传递力的作用，通常导向装置由摆臂式控制杆件组成。
- (3) 减振器——减振作用，用来衰减由于弹性系统引起的振动。
- (4) 横向稳定装置——稳定作用，用来防止车身产生过大侧倾，提高侧倾刚度，改善汽车的操纵稳定性和行驶平顺性。

2. 悬架的类型

悬架的类型较多，有以下几种分类形式。

1) 按导向装置分

按导向装置的不同，悬架可分为独立悬架和非独立悬架，如图 11-33 所示。

非独立悬架的特点是：两侧车轮通过一根整体式车桥相连，车桥通过悬架与车架或车身相

连。如果行驶中路面不平,一侧车轮被抬高,整体式车桥将迫使另一侧车轮在横向平面内摆动。

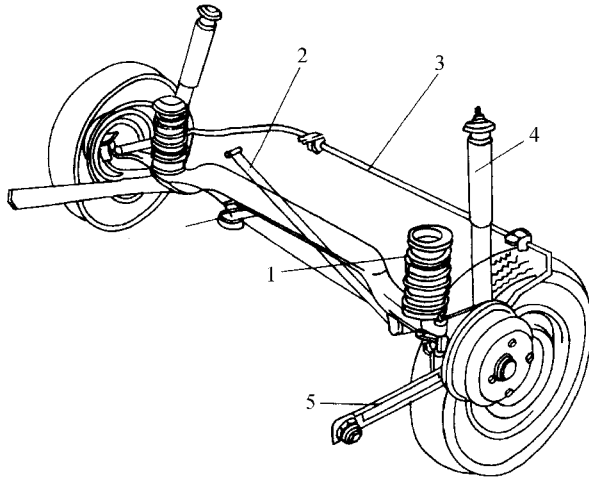


图 11-32 悬架的组成

1—弹性元件; 2、5—导向装置(横向、纵向推力杆); 3—横向稳定装置; 4—减振器

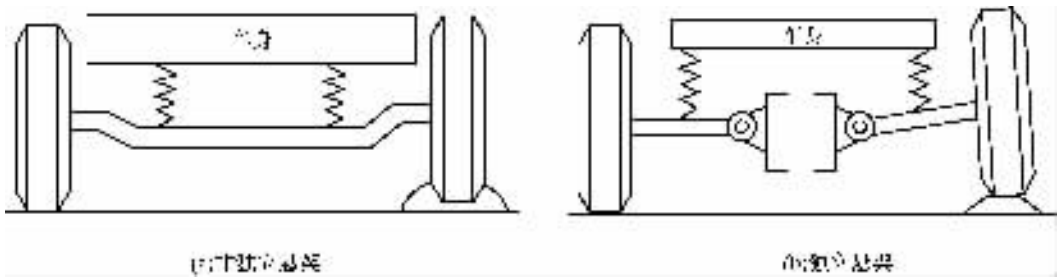


图 11-33 非独立悬架和独立悬架

独立悬架的特点是:车桥是断开的,每一侧车轮单独地通过悬架与车架(或车身)相连,每一侧车轮可以独立跳动,互不干涉。

2)按控制形式分

按控制形式的不同,悬架可分为被动悬架和主动悬架。

前面章节介绍的传统悬架系统只能保证在一种特定的道路状态和行驶速度下达到性能最佳的状态,从而使汽车行驶平顺性和乘坐舒适性受到一定的影响。故称传统悬架为被动悬架。

主动悬架可以根据路面和行驶状况自动调整悬架刚度和阻尼,从而使汽车能主动地控制垂直振动及车身或车架的状态。

3)按悬架所处车桥类型分

按悬架所处车桥类型的不同,悬架可分为转向桥悬架、驱动桥悬架和随动桥悬架等。

11.4.2 弹性元件

悬架采用的弹性元件有钢板弹簧、螺旋弹簧、扭杆弹簧和气体弹簧等。

1. 钢板弹簧

钢板弹簧又称叶片弹簧,是现代载货汽车中应用最广的一种弹性元件。钢板弹簧是一

根由若干片等宽不等长的合金弹簧片组合而成的近似等强度的弹性梁,如图 11-34 所示。钢板弹簧 3 的第一片也是最长的一片为主片,其两端弯成卷耳 1,内装衬套,以使用弹簧销与固定在车架上的支架或吊耳作铰链连接,中心螺栓 4 用以连接各弹簧片,并保证装配时各片的相对位置。除中心螺栓以外,还有若干个弹簧夹 2(亦称回弹夹)将各弹簧片连接在一起,以保证当钢板弹簧反向变形(反跳)时,各弹簧片不致互相分开,以免主片单独承载。

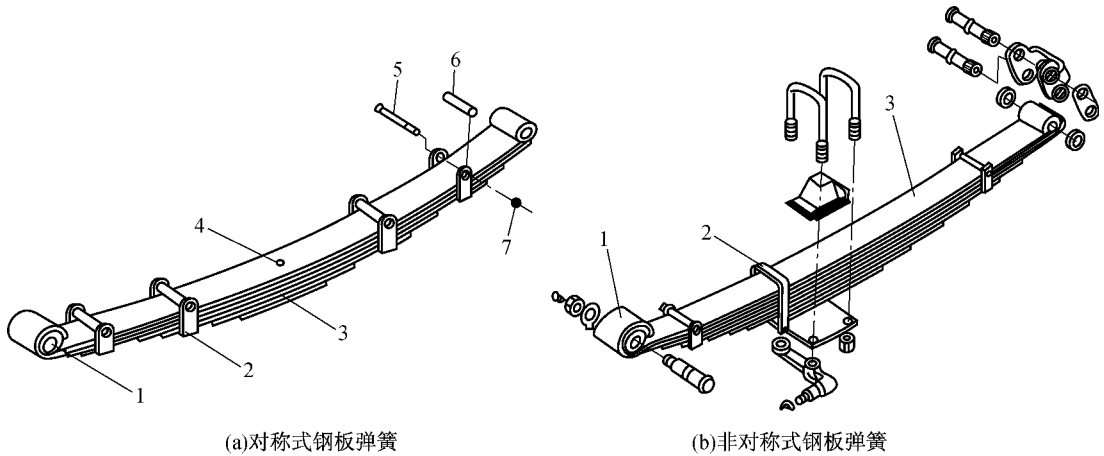


图 11-34 钢板弹簧

1—卷耳; 2—弹簧夹; 3—钢板弹簧; 4—中心螺栓; 5—螺栓; 6—套管; 7—螺母

钢板弹簧在纵向结构上可以是对称(对称式钢板弹簧)的,也可以是不对称的(非对称式钢板弹簧)。在载荷作用下变形时,各弹簧片之间因相对滑动而产生摩擦,可以使车架的振动衰减,因此,钢板弹簧本身具有导向能力,也具有一定的阻尼,对于平顺性要求不高的悬架可以不装减振器而只用钢板弹簧。在装钢板弹簧时,为了减少弹簧片的磨损,各片间须涂上较稠的润滑剂(石墨润滑脂)并定期进行保养,为了在使用期间长期储存润滑脂和防止污染,有时将钢板弹簧装在护套内。

为了保证在弹簧片间产生定值摩擦力以及消除噪声,可在弹簧片之间夹入塑料片,某些高级轿车(如红旗 CA7560 型轿车)的后悬架钢板弹簧即采用这种机构。另外,一些轻型货车和客车采用由单片或 2~3 片变厚度断面的弹簧片构成的少片变截面钢板弹簧,如图 11-35 所示。其弹簧片的断面尺寸沿长度方向是变化的,片宽保持不变,这种钢板弹簧在一定程度上克服了钢板弹簧质量大、性能差的缺点。

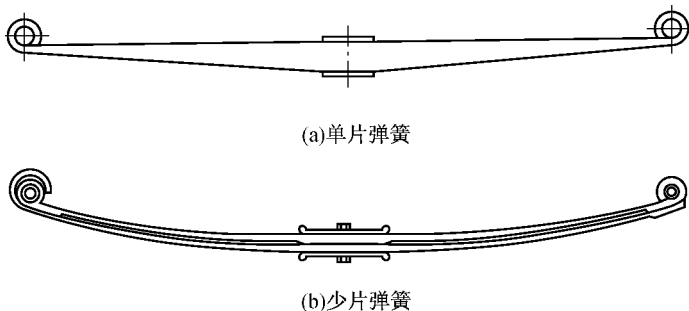


图 11-35 单片和少片变截面钢板弹簧

为了使普通钢板弹簧刚度可变,在结构上可采用主、副弹簧叠合的形式,即将两副钢板弹簧按先后接触顺序并联在一起,如图 11-36 所示。当汽车空载或装载质量不大时,上部的副簧不起作用,仅由主簧单独工作;当载荷增加到一定程度后,主、副簧一起参与工作,从而实现了随着悬架簧上质量的增大,弹簧刚度相应增加的效果,保证了车身振动频率不致因载荷增大而变化太大。

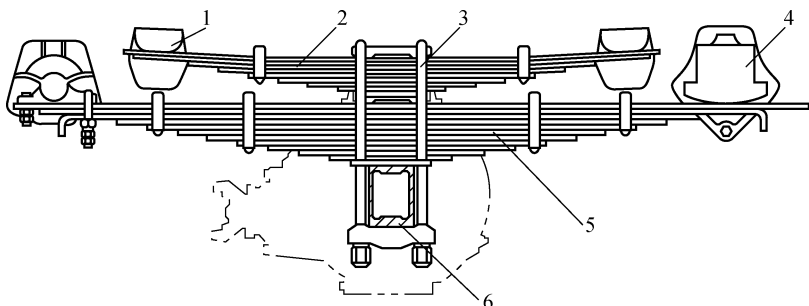


图 11-36 主、副钢板弹簧组合结构

1—副簧支撑座; 2—副簧; 3—U形螺栓; 4—主簧滑板式支撑座;
5—主簧; 6—车轴

将副簧置于主簧之下也可使钢板弹簧的刚度具有可变的特性,如图 11-37(a)所示;当钢板弹簧采用滑板支撑方式时,由于钢板弹簧主片 4 与滑板式支撑座 5 的接触点会随载荷增加而向中间移动,使钢板弹簧的有效工作长度缩短,弹簧刚度变大,这种滑动支撑方式也可使钢板弹簧具有一定的变刚度特性,如图 11-37(b)所示。

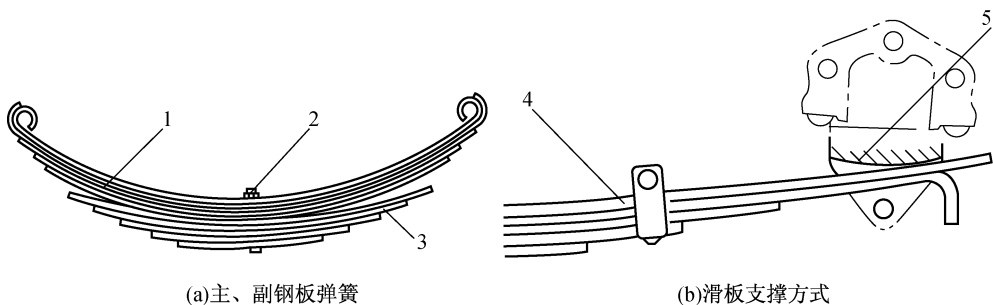


图 11-37 渐变刚度的钢板弹簧

1—主簧; 2—中心螺栓; 3—副簧; 4—钢板弹簧主片;
5—滑板式支撑座

2. 螺旋弹簧

螺旋弹簧有刚度不变的等断面、等螺距螺旋弹簧和刚度可变的变断面或变螺距螺旋弹簧两种类型。

由于螺旋弹簧不会限制转向轮的转动,因而可允许转向轮具有更大的转向偏摆角,有利于提高汽车机动性,故常用于独立悬架的前轮悬架上。由于螺旋弹簧没有减振和导向功能,只能承受垂直载荷,所以在螺旋弹簧悬架中必须单独装配减振器和导向机构,其中,减振器起减振作用,导向机构用以传递除垂直力以外的各种力和力矩,并起导向作用,如图 11-38 所示。

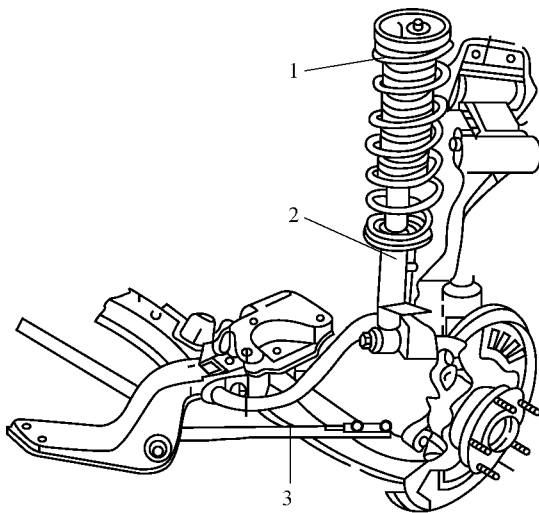


图 11-38 螺旋弹簧悬架

1—螺旋弹簧；2—减振器；3—导向机构

3. 扭杆弹簧

扭杆弹簧是一根由弹簧钢料制成的具有扭曲刚性的杆。扭杆的一端通过摆臂与车轮相连,另一端固定在车架上,当汽车行驶时,摆臂便绕着扭杆轴线摆动,使扭杆产生扭转弹性变形,保证车轮与车架之间的弹性连接。扭杆断面形状通常为圆形,其两端形状可以做成花键、方形、六角形或带平面的圆柱形等。

扭杆弹簧表面经加工后很光滑,为了保护扭杆弹簧的表面,通常在其表面先涂上环氧树脂,然后包一层玻璃纤维布,再涂一层环氧树脂,最后涂以沥青和防锈油漆,从而可提高扭杆弹簧的使用寿命。扭杆弹簧在制造时,为使其具有一定的预紧力,须经热处理后预先施加一定的扭转力矩,使之产生一个永久的扭转变形,以减少工作时的实际应力,延长扭杆弹簧的使用寿命,扭杆装车时应注意,扭转的方向应与所预加的应力方向一致。

扭杆弹簧单位质量的储能量比钢板弹簧和螺旋弹簧都要高,因此,采用扭杆弹簧的悬架质量较轻,结构比较简单,但悬架上需安装导向机构和减振器。

4. 气体弹簧

气体弹簧以空气做弹性介质,即在密闭的容器内装入压缩空气(气压为 $0.5 \sim 1 \text{ MPa}$),利用气体的可压缩性实现弹簧的作用。当作用在气体弹簧上的载荷发生变化时,容器内的定量气体气压也随之变化,则弹簧的刚度亦变化。因此,气体弹簧具有理想的变刚度特性。气体弹簧有空气弹簧和油气弹簧两种。

1) 空气弹簧

空气弹簧在轿车的主动悬架中被采用,由于空气弹簧本身阻尼很小,因此需要另外设置减振器。因其结构的不同,空气弹簧可分为囊式空气弹簧和膜式空气弹簧两种。

(1)囊式空气弹簧。囊式空气弹簧主要由夹有帘线的橡胶气囊和密闭在其中的压缩空气等组成,如图 11-39 所示,气囊有单节式和多节式两种,节数越多,弹性越好,密封性越差,气囊的内层用气密性好的橡胶制成,外层由耐油橡胶制成单节或多节,节与节之间围有钢质腰环,以减小节与节之间的摩擦,气囊设有上下盖板,将空气封于室内。

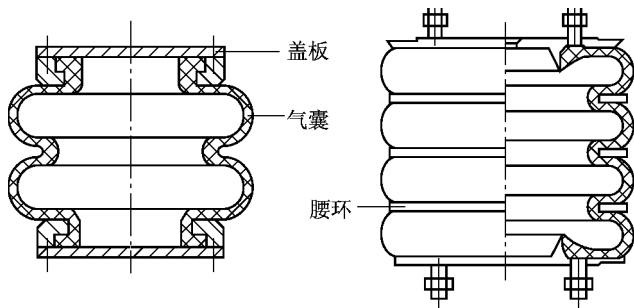


图 11-39 囊式空气弹簧

(2)膜式空气弹簧。膜式空气弹簧的密闭气囊由橡胶膜片和金属压制件组成,如图 11-40所示。与囊式空气弹簧相比,膜式弹簧具有固有频率低、尺寸小、便于布置且可变弹性好等特点,多用于轿车上,但其造价较高,使用寿命较短。

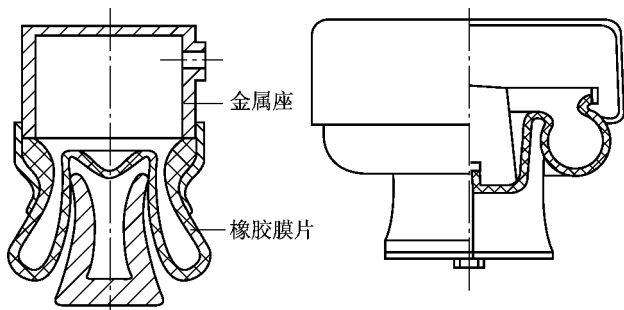


图 11-40 膜式空气弹簧

2) 油气弹簧

油气弹簧以气体(氮、惰性气体)作为弹性介质,用油液作为传力介质,一般由气体弹簧和相当于减振器的液压缸组成。油气弹簧有单气室、双气室及两级压力式等。

(1)单气室油气弹簧。单气室油气弹簧可分为油气分隔式和油气不分隔式两种,如图 11-41所示。

油气分隔式弹簧见图 11-41(a)。为防止油液乳化,用橡胶油气隔膜 2 将工作腔分隔为工作油腔 3 和工作气室 1,工作油腔内通常设有阻尼阀座 7,其上装有压缩阀 6 和伸张阀 8,可以在活塞上下运动过程中,对油流产生减振与节流作用。

当载荷增加时,悬架摆臂(车桥)与车身(车架)之间的距离缩短,活塞及导向缸上移,使内腔容积减小,迫使工作液经阻尼阀进入工作油腔,从而推动油气隔膜向具有一定压力的氮气室移动,使气体容积减小,氮气压力升高。当活塞向上的推力(外界载荷)与氮气压力向下的反作用力相等时,活塞便停止移动。于是此时,车身(车架)与悬架摆臂(车桥)之间的相对位置不再发生变化。当载荷减小时,推动活塞上移的作用力减小,油气隔膜在高压氮气压力作用下向下移动,迫使工作液经阻尼阀流回工作缸内腔,推动活塞向下移动,车身(车架)与悬架摆臂(车桥)之间的距离变长,直到作用在活塞上的力与外界减小的载荷相等时,活塞才停止移动。汽车在行驶过程中,油气弹簧中的活塞随着载荷的不断变化相应地在工作缸中处于不同的位置。

油气不分隔式弹簧见图 11-41(b)。工作缸 4 固定在车架上,活塞 5 的下端与转向节相

连。在活塞头的上面有一油层，既可以润滑活塞又可以作为气室的密封。油层上方的空间即为工作气室，其中充满高压气体，气体和油液之间没有任何隔离装置。

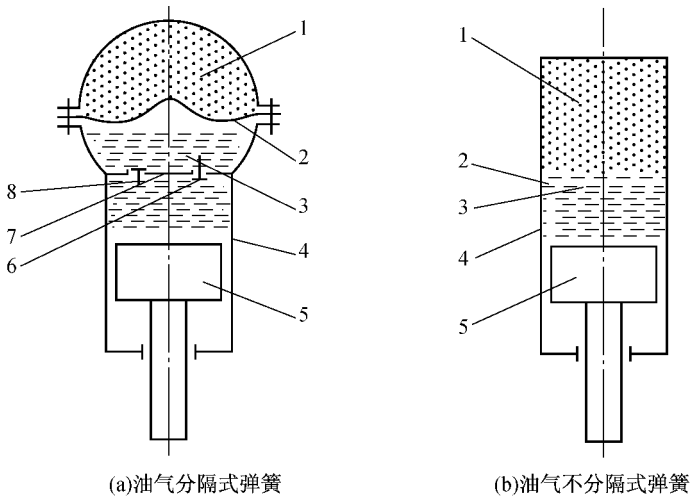


图 11-41 单气室油气弹簧

1—工作气室；2—油气隔膜；3—工作油腔；4—工作缸；5—活塞；6—压缩阀；
7—阻尼阀座；8—伸张阀

(2) 双气室油气弹簧。如图 11-42 所示为两级压力式油气弹簧，它含有两个气室，在工作活塞 4 的上方设有两个并联的气室，分别称为主气室和补偿气室。它们的工作压力不同，主气室 1 内的气压与单气室油气弹簧的气室气压相近，而补偿气室 2 内的气压借助阻尼阀的控制处于较高水平。当主气室工作时，其中气体压力随着载荷的增加而升高，当该气压超过补偿气室内的气压时，补偿气室开始参与工作。

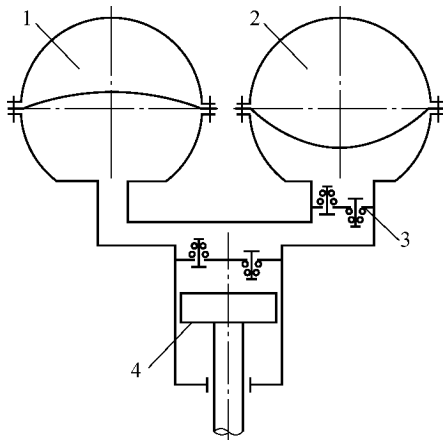


图 11-42 两级压力式油气弹簧

1—主气室；2—补偿气室；3—补偿气室阻尼阀座；4—工作活塞

双气室油气弹簧的刚度具有更大的变化范围，从而确保汽车在空载和满载时的悬架系统具备良好的振动特性。

综上所述，由于空气弹簧和油气弹簧都只能承受轴向载荷，因此气体弹簧悬架中必须设置纵向和横向推力杆等导向机构。

5. 橡胶弹簧

橡胶弹簧是利用橡胶本身的弹性起弹性元件的作用,可以承受压缩载荷和扭转载荷,其单位质量储能量高于金属弹簧,由于橡胶的内摩擦较大,橡胶弹簧还具有一定的减振能力。橡胶弹簧多用作悬架的副簧和缓冲块,为了增大弹簧行程,橡胶弹簧常可制成中空的结构形式。

11.4.3 减振器

减振器主要用来抑制弹簧吸振后反弹时的振荡及来自路面的冲击。在经过不平路面时,虽然吸振弹簧可以过滤路面的振动,但弹簧自身还会有往复运动,而减振器就是用来吸收振动能量,快速衰减弹簧振动的。在悬架系统中,减振器与弹性元件并联安装,如图 11-43 所示。大多数汽车的悬架系统中均装有减振器,以改善汽车行驶的平顺性。

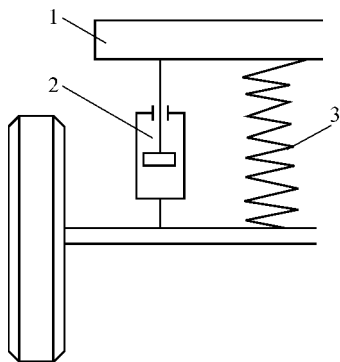


图 11-43 减振器和弹性元件并联安装

1—车架; 2—减振器; 3—弹性元件

减振器阻尼力随车架与车桥之间的相对运动速度的变化而变化,并与油液黏度、孔道的数量及孔道的大小等因素有关,减振器的阻尼力越大,振动消除得越快,但同时阻碍了并联的弹性元件作用的发挥,因此,减振器需要满足以下要求:

(1)悬架压缩行程(车桥与车架相互移近的行程)内,减振器阻尼力应较小,以便充分利用弹性元件的弹性来缓和冲击。

(2)悬架伸张行程(车桥与车架相互远离的行程)内,减振器的阻尼力应较大,以便迅速减振。

(3)当车桥(或车轮)与车架的相对速度较大时,减振器应当能自动加大液流通道面积,使阻尼力始终保持在一定限度之内,以避免承受过大的冲击载荷。

双向作用筒式减振器在压缩和伸张两行程内均能起减振作用,是目前汽车上广泛采用的一种形式,如图 11-44 所示。双向作用筒式减振器由三个同心钢筒组成,分别为最外层的防尘罩 1、中间的储油缸 8 和最里层的工作缸 9,还有四个阀,即压缩阀 5、伸张阀 6、流通阀 3 和补偿阀 4,其中,流通阀和补偿阀为一般的单向阀,弹簧力较小,当阀上的油压作用力与弹簧力同向时,阀处于完全关闭状态,而当油压作用力与弹簧力反向时,只要有很小的油压,阀便能开启;压缩阀和伸张阀是卸载阀,其弹簧较强,预紧力较大,只有当油压升高到一定程度时,阀才能开启,而当油压稍微降低时,阀便自动关闭。

双向作用筒式减振器的工作原理分为压缩和伸张两个行程,分别如下:

当车桥移近车架(或车身)时,减振器受压缩,活塞下移,活塞下方腔室容积减小,油压升

高,油液经流通阀流进活塞上方腔室。由于上腔室被活塞杆占去一部分空间,上腔内增加的容积小于下腔室减小的容积,所以剩余部分油液推开压缩阀流回储油缸。油液在各腔室间流动,因阀门的节流作用产生阻尼力。此过程为压缩行程。

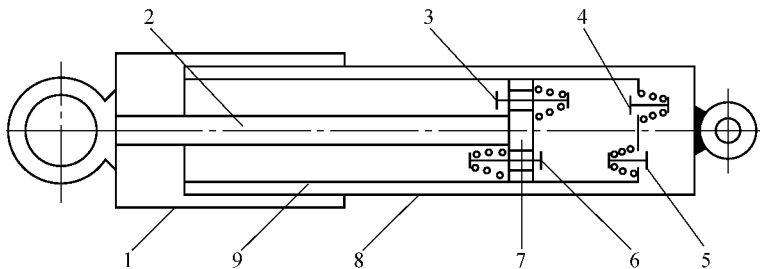


图 11-44 双向作用筒式减振器

1—防尘罩; 2—活塞杆; 3—流通阀; 4—补偿阀; 5—压缩阀; 6—伸张阀;
7—活塞; 8—储油缸; 9—工作缸

当车桥相对于车架(或车身)移开时,减振器受拉,活塞向上移动,活塞上腔油压升高,油液推开伸张阀流入下腔。同样,由于活塞杆的存在,使上腔减小的容积小于下腔增加的容积,储油缸中的油液在真空度的作用下流经补偿阀进入下腔室。此时,阀的节流作用即造成对悬架伸张运动的阻尼。此过程为伸张行程。

如果要求阻尼随液体的流速的大小而有所变化,可在节流阀和伸张阀上设置常通孔隙来实现,当液体低速流动时,阻尼较大,而当液体高速冲击时,借助阀门的开启而增大流通面积,可减小阻尼。由于伸张过程所对应阀的刚度和预紧力比压缩过程所对应阀的大,因此,在同样油压作用下,伸张过程所对应阀及相应的常通孔隙的通道面积总和小于其压缩过程。

11.4.4 横向稳定装置

横向稳定杆(又称扭杆式横向稳定器)是汽车上使用最多的横向稳定装置。U型的横向稳定杆由弹簧钢制成,可按具体需要横向布置在汽车前、后悬架系统中,杆的中部通过橡胶衬套固定在车架(车身上),杆的两端与运动的摆臂相连,如图 11-45 所示。

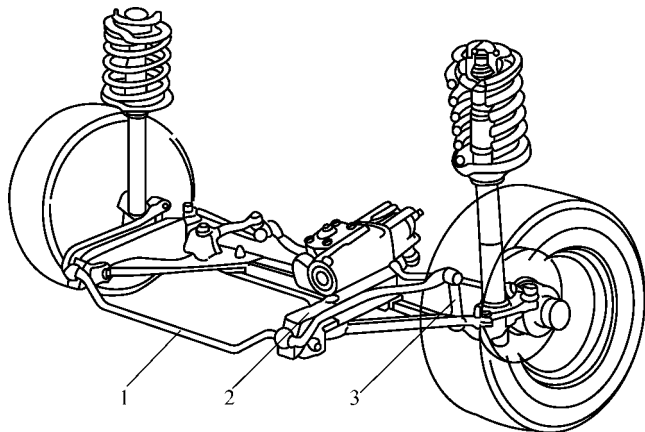


图 11-45 横向稳定杆的布置形式

1—横向稳定杆; 2—车架; 3—横向稳定杆支承臂

当左右两车轮相对于车身仅作同向等幅跳动时,横向稳定杆可以在橡胶套筒内自由转动而不起作用。当两侧悬架变形不等,即车身发生侧倾时,横向稳定杆两端因不同的位移将

使杆中部产生扭转,由此产生内力矩,阻碍悬架的变形。横向稳定杆可以减小车身侧倾及横向角振动。

11.4.5 非独立悬架与独立悬架

1. 非独立悬架

非独立悬架通常与整体式车桥配套使用,其结构特点是两侧车轮由一根整体式车架相连,车轮连同车桥一起通过弹性悬架悬挂在车架或车身的下面。非独立悬架中大多采用钢板弹簧作为弹性元件,由于钢板弹簧本身可兼起导向机构的作用,并有一定的减振作用,因此非独立悬架的结构较为简单,此外,它还具有成本低、强度高、保养容易、行车中前轮定位变化小等优点,但由于其舒适性及操纵稳定性都较差,在现代轿车中基本上已不再使用,多用在货车和大客车上。

非独立悬架另一种常见的形式为螺旋弹簧非独立悬架,常用于轿车的后悬架,由螺旋弹簧、减振器、纵臂等组成。

除了钢板弹簧和螺旋弹簧,非独立悬架也可采用空气弹簧,为了提高汽车行驶的平顺性,要求悬架具有刚度可变的特性,空气弹簧非独立悬架可以通过改变气体压力来满足载荷对悬架刚度的要求。空气弹簧非独立悬架主要由囊式空气弹簧、压气机、车身高度调节控制阀及控制杆等组成。

2. 独立悬架

独立悬架通常与断开式车桥配用,为了不断满足汽车行驶平顺性和操纵稳定性等要求,独立悬架得到了很大程度的发展,广泛应用于轿车中。独立悬架中多采用螺旋弹簧和扭杆弹簧作为弹性元件。配置独立悬架的汽车其两侧车轮各自独立地与车架或车身弹性连接,与非独立悬架相比,独立悬架具有以下优点:

(1)两侧车轮可以单独运动而互不影响,在不平道路上可以减少车架和车身的振动,防止转向轮的偏摆。

(2)减小了非簧载质量,悬架受到的冲击载荷较小。

(3)采用断开式车桥,可以降低发动机位置,降低整车重心,从而提高汽车行驶的稳定性和平顺性。

(4)车轮运动空间较大,可以降低悬架刚度,改善汽车行驶的平顺性。

但是,独立悬架结构复杂,制造成本高,保养维修不便,并且当车轮跳动时,由于车轮外倾角与轮距变化较大,引起轮胎与路面之间产生滑动摩擦,轮胎磨损严重。

独立悬架的类型很多,按导向机构的不同可分为横臂式、纵臂式、斜臂式、撑杆式和多连杆式等。

1) 横臂式独立悬架

横臂式独立悬架可分为单横臂式和双横臂式两种。

(1)单横臂式独立悬架。当悬架变形时,车轮平面将发生倾斜,导致轮距变化,从而使轮胎相对于地面产生侧向滑磨,破坏了轮胎与地面间的附着,也加剧轮胎磨损;当这种结构用于转向轮时,还会使主销内倾角和车轮外倾角发生较大的变化,对转向操纵有一定影响,故目前的汽车前轮上很少采用此悬架。

(2)双横臂式独立悬架。双横臂式独立悬架可分为双横臂等长式和双横臂不等长式两

种,如图 11-46 所示。

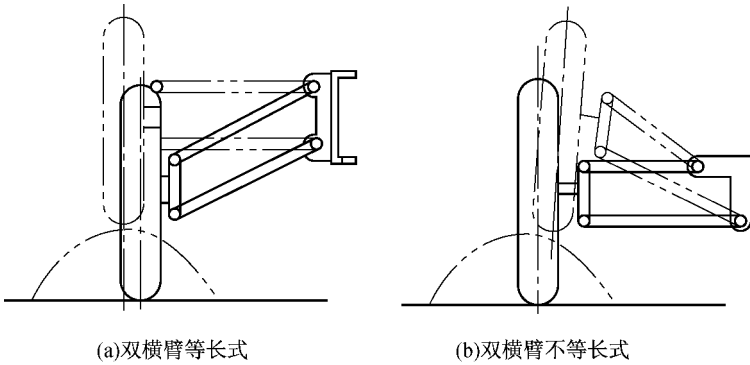


图 11-46 双横臂式独立悬架

在两摆臂等长的悬架中,当车轮跳动时,车轮平面没有倾斜,但轮距却发生了变化,这将加大车轮侧向滑移的可能性;在两摆臂不等长的悬架中,可以通过选择适当长度的两横臂以保持车轮及主销的角度,保证轮距不发生显著变化,因此,不等长的双横臂式独立悬架在轿车前轮上的应用较为广泛,如奥迪 A4 轿车上采用的悬架即为不等长的双横臂式独立悬架。

2) 纵臂式独立悬架

纵臂式独立悬架有单纵臂式和双纵臂式两种。

(1) 单纵臂式独立悬架。因转向轮采用单纵臂式独立悬架时,车轮上下跳动将使主销后倾角产生很大变化。因此,单纵臂式独立悬架一般多用于不转向的后轮。

如图 11-47 所示为单纵臂式独立悬架的一种常见的结构,该悬架的弹性元件是扭杆弹簧。两侧车轮通过后桥总成,用前自偏转弹性垫块 7 和后自偏转弹性垫块 9 与车身作弹性连接。单纵臂通过左扭杆弹簧 2 和右扭杆弹簧 6 与后桥总成连接。当汽车转向时,前、后自偏转弹性垫块产生侧向弹性变形,由于两者的变形不同,使两后轮产生与两前轮转向相同的不太大的偏转角,从而减小了两后轮的侧偏角,增强了不足转向特性,这种后轮随前轮按同一方向稍作偏转的特性,称为后桥的随动转向功能。富康轿车以及雪铁龙 ZF 型轿车均采用单纵臂式扭杆弹簧独立悬架。

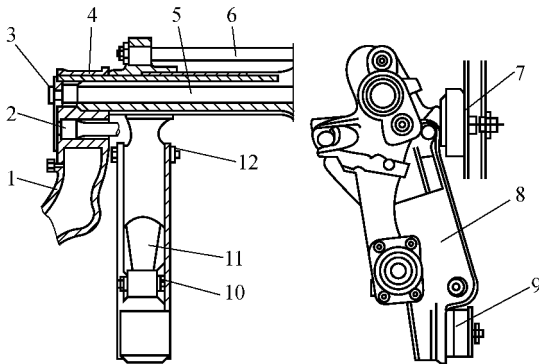


图 11-47 单纵臂式扭杆弹簧独立悬架

1—单纵臂; 2—左扭杆弹簧; 3—横向稳定杆端头螺栓; 4—横向稳定杆套管; 5—横向稳定杆;

6—右扭杆弹簧; 7—前自偏转弹性垫块; 8—扭杆弹簧支承架; 9—后自偏转弹性垫块;

10、12—减振器螺栓; 11—减振器

(2)双纵臂式独立悬架。双纵臂式独立悬架的两个纵臂长度一般相等,构成平行四连杆机构。当车轮上下跳动时,配有双纵臂式独立悬架的汽车主销后倾角保持不变,故该悬架适用于转向轮。

如图 11-48 所示为双纵臂式扭杆弹簧独立悬架。转向节和两个等长的纵臂 1 通过铰链连接,扭杆弹簧 6 由若干层矩形断面的薄弹簧钢片叠成,并装于车架的两根管式横梁 4 内部,扭杆弹簧的内端用螺钉 5 固定在横梁的中部,外端插入摆臂轴 2 的矩形孔内,摆臂轴和纵臂作刚性连接。

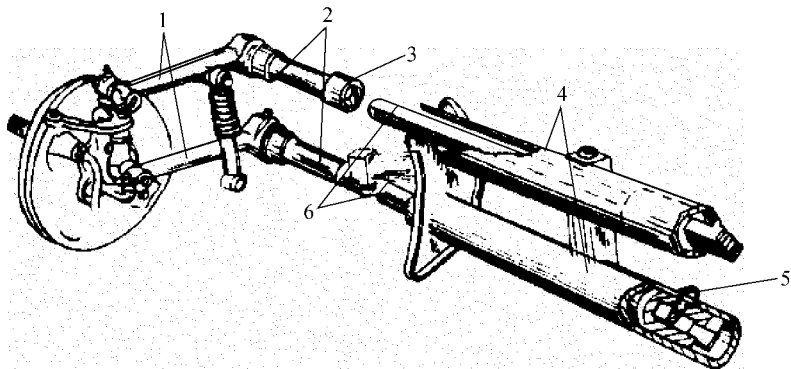


图 11-48 双纵臂式扭杆弹簧独立悬架

1—纵臂; 2—摆臂轴; 3—衬套; 4—横梁; 5—螺钉; 6—扭杆弹簧

3)斜臂式独立悬架

斜臂式悬架是横臂式和纵臂式悬架的组合形式,兼有纵、横臂悬架的特点,其综合性较强,适用范围较广。

如图 11-49 所示为单斜臂式独立悬架,斜摆臂与汽车纵轴线成一定夹角,从而可以调整轮距、车轮倾角、前束等,使汽车获得较好的操纵稳定性。

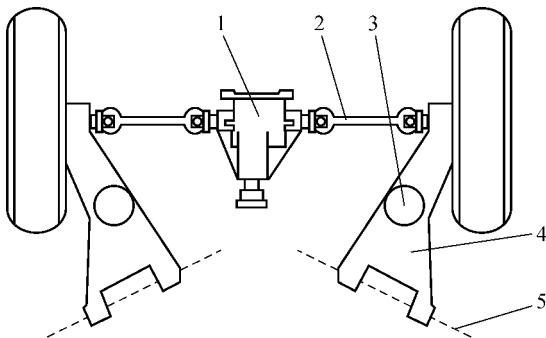


图 11-49 单斜臂式独立悬架

1—主减速器; 2—车轴; 3—螺旋弹簧; 4—斜摆臂; 5—摆臂的摆动轴线

4)撑杆式悬架

撑杆式悬架有烛式和麦弗逊式两种,它们的车轮均沿主销轴线移动。

(1)烛式悬架。烛式悬架是一种车轮沿固定不动的主销轴线移动的悬架,其结构如图 11-50 所示,主销刚性固定在悬架上,套筒固定在转向节上,筒式减振器连接车架和转向节。

烛式悬架的优点是当悬架变形时,主销的定位角不会发生变化,仅轮距、轴距稍有改变,有利于汽车的转向操纵性和行驶稳定性;但其侧向力全部由套筒和主销承受,两者间的摩擦

阻力大,磨损严重。这种结构形式的悬架目前已很少采用。

(2)麦弗逊式悬架。麦弗逊式悬架是目前应用最广泛的轿车前悬架之一。它主要由螺旋弹簧、减振器及导向臂等组成,绝大部分车型的麦弗逊式悬架还设有横向稳定杆。

麦弗逊式悬架结构简单、质量较小且响应速度快,在一个下摇臂和支柱的几何结构下能自动调整车轮外倾角,使其能在转向时自动适应路面,以保证轮胎接地面积的最大化,从而提高行车舒适性;但由于其构造为直筒式,对左右方向的冲击缺乏阻挡力,抗刹车点头作用较差,悬架刚度及稳定性差,汽车转弯时车身侧倾明显。

麦弗逊式悬架适合小型车以及大部分中型车使用,国内常见的广汽本田飞度、东风标致 307、一汽丰田卡罗拉、上海通用君越及一汽大众迈腾等前悬架均采用此类型悬架。

5)多连杆式悬架

多连杆式悬架可分为五连杆后悬架和四连杆前悬架,其中,五连杆后悬架包含五条连杆,分别为控制臂、后置定位臂、上臂、下臂和前置定位臂,其中控制臂可以调整后轮前束。

五连杆后悬架的优点是构造简单、重量轻、占用空间较小,能实现主销后倾角的最佳位置,大幅度减少来自路面的反力,从而改善汽车在加速和制动时的平顺性和舒适性,也保证了直线行驶的稳定性的,此外,因其螺旋弹簧拉伸或压缩而导致的车轮横向偏移量很小,不易造成汽车非直线行驶,在车辆转弯或制动时,还可使后轮形成正前束,提高了车辆的控制性能,减少转向不足的现象,同时,紧凑的结构增加了汽车后排座椅和行李厢空间。由于这种悬架的优点显著,易于调整,因而应用较为广泛。

多连杆式悬架具备多根连杆,连杆可对车轮进行多方面作用力的控制,在进行轮胎定位时,可对车轮进行单独调整;但是,多连杆式悬架在研发上规模较为庞大,且结构复杂、成本高、零件多且使用要求较高,常用于高档汽车上,如梅赛德斯—奔驰 CLK 车型多采用此类型的悬架。

11.4.6 主动悬架和半主动悬架

传统的悬架系统只能在设定好的刚度和阻尼参数下达到一定程度的平顺性和舒适性,所以被称为被动悬架。由于被动悬架设计是从汽车平顺性和操纵稳定性出发的,对于不同的使用要求,只能是在满足主要性能要求的基础上牺牲次要性能,所以尽管被动悬架在设计上以不断改进被动元件而实现了低成本、高可靠性的目标,但始终无法同时满足平顺性和操纵稳定性的要求。在 20 世纪 60 年代,国外提出了主动悬架的概念,即悬架系统可根据汽车的运动状态、路面状况以及载荷等参数的变化,对悬架的刚度和阻尼进行动态自适应调节,主动悬架性能优越,但结构复杂且造价昂贵。

1. 主动悬架

主动悬架是在被动悬架系统中增设一个可控制作用力的装置而形成的,通常由执行机构、测量系统、反馈控制系统和能源系统 4 部分组成。执行机构的作用是执行控制系统的指令,一般为力发生器或转矩发生器(液压缸、汽缸、伺服电动机、电磁阀等)。测量系统的作用是测量系统各种状态,为控制系统提供依据,包括各种传感器。反馈控制系统的作用是处理数据和发出各种控制指令,其核心部件是电子计算机。能源系统的作用是为以上各系统提

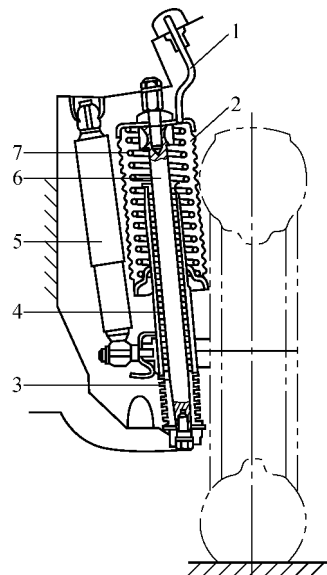


图 11-50 烛式悬架

1—通气管; 2、3—防尘罩; 4—套筒;
5—减振器; 6—主销; 7—弹簧

供能量。目前,常见的主动悬架有主动油气悬架、主动空气悬架和主动液力悬架 3 种。

(1)主动油气悬架。主动油气悬架控制作用力的装置为电子控制系统,其特点是通过调节油气弹簧的刚度达到主动调节作用力的目的。主动油气悬架由电控装置、传感器、刚度调节器和电磁阀等组成,通过电磁阀的开关,接通或断开压力油道,通过改变气室容积而改变气压,从而改变弹簧的刚度,使悬架系统处于“软”或“硬”的状态,提高汽车的行驶平顺性和乘坐舒适性。

(2)主动空气悬架。主动空气悬架主要是由空气弹簧、电子控制装置、传感器及电磁阀等组成,其特点是通过调节空气弹簧的刚度而达到主动调节控制力的目的。主动空气悬架利用各传感器检测汽车的行驶状态,根据 ECU 信号控制电磁阀的开闭,以控制空气弹簧的空气压力,从而使悬架保持合适的阻尼和刚度,使汽车达到平顺行驶的目的。

(3)主动液力悬架。主动液力悬架的特点是执行器(液压缸)中所采用的介质是不可压缩的油液,故其响应的灵敏度较高。当执行器(液压缸)发生作用时,其中的活塞两侧的油压一侧上升,另一侧下降,形成压差,从而使活塞产生往复运动,以适应路面的不平状况,保持车身的平稳。

2. 半主动悬架

半主动悬架的性能接近于主动悬架,在工作时几乎不消耗车辆的动力,且结构较简单,故有较大的应用前景。

半主动悬架用可控阻尼的减振器取代了主动悬架的执行器(液压缸),不考虑改变悬架的刚度,而只考虑改变悬架的阻尼,因此无动力源,由可控的阻尼元件(减振器)和弹簧组成。

半主动悬架按阻尼级可分为有级式和无级式两种。

(1)有级式半主动悬架。有级式半主动悬架系统中,将阻尼分成两级、三级或更多级,可根据路面情况和汽车的行驶状态调节悬架的阻尼级,使悬架在一定程度上适应外界环境的变化,从而提高汽车的行驶平顺性和操纵稳定性。

(2)无级式半主动悬架。无级式半主动悬架的特点是根据汽车行驶的路面条件和行驶状态,瞬间对悬架系统的阻尼进行由最小到最大的无级调节。

如图 11-51 所示为无级式半主动悬架,其工作原理可简单总结为传感器将速度、位移及加速度等信号传至微处理机 3(ECU),ECU 计算出相应的阻尼值,并发出控制指令到步进电动机 2,经阀杆 4 调节阀门 5,使其改变节流孔 1 的通道截面积,从而改变系统的阻尼。

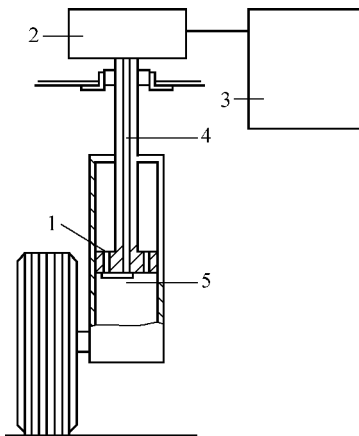


图 11-51 无级式半主动悬架

1—节流孔; 2—步进电动机; 3—微处理机; 4—阀杆; 5—阀门

本章小结

本章主要介绍了轮式汽车行驶系的四大组成部分,即车架(承载式车身)、车桥、车轮及悬架,并分别介绍了它们的组成、类型及特点。通过本章的学习应了解行驶系的功用及各组成构件的特点。须重点掌握车桥的功用和分类,领会各类车桥的结构和组成,理解前轮定位参数的含义和作用;掌握各种非独立悬架的组成结构及特性;掌握双向作用筒式减振器的工作原理;掌握各种类型独立悬架的基本组成、工作原理及特点。了解主动悬架及半主动悬架的概念和工作原理。

习 题 11

- 11-1 简述汽车行驶系统的功用及组成部分。
- 11-2 汽车行驶系统分为哪几种类型?各有什么特点?
- 11-3 简述车桥的功用与类型。
- 11-4 转向轮定位参数有哪些?各有什么作用?
- 11-5 轮胎主要由哪几部分组成?各部分名称和作用是什么?
- 11-6 按轮辐的构造形式的不同,车轮可分为哪两种类型?
- 11-7 常见的轮辋类型有哪些?
- 11-8 普通斜交线轮胎和子午线轮胎各自的优缺点是什么?
- 11-9 汽车上悬架系统一般由哪几部分组成?
- 11-10 独立悬架有哪些类型?各自的特点是什么?
- 11-11 主动悬架和半主动悬架的概念是什么?两者有何区别?