

第 10 章 发动机润滑系统

教学提示：发动机中有许多作高速相对运动的摩擦副，若不对这些摩擦副表面进行润滑，将造成发动机功率消耗、零件摩擦生热加剧磨损、影响发动机寿命等严重后果。

教学目标：要求学生掌握润滑系统的功用、润滑方式、组成及润滑系统主要机件的工作原理。重点了解润滑油路中润滑油的工作路径。

10.1 概 述

发动机运转时，很多具有相对运动的零件表面都是在很小的间隙下做高速相对运动的，如活塞、活塞环与汽缸壁面、曲轴主轴颈与主轴承、曲柄销与连杆轴承、凸轮轴颈与凸轮轴轴承、配气机构各运动副及传动齿轮副等。相对运动的零件表面必然会产生摩擦，导致发动机的有效功率下降，零件工作表面的磨损增加，而且因摩擦产生热将零件工作表面烧损，致使发动机无法运转。因此，为保证发动机正常工作，提高使用寿命，必须对相对运动零件表面进行润滑。

10.1.1 润滑系统的功用和润滑方式

1. 润滑系统的功用

润滑系统(lubrication system)的功用就是在发动机工作时连续不断地将数量足够而温度适当的洁净润滑油输送到运动零件的摩擦表面，并在摩擦表面之间形成油膜，形成液体摩擦，使摩擦阻力减小、功率消耗降低、机件磨损减轻，以提高发动机工作的可靠性和耐久性。

2. 润滑系统的润滑方式

根据发动机中各运动副不同的工作条件，可采用以下三种不同的润滑方式。

1) 压力润滑(pressure lubrication) 是在机油泵的作用下以一定的压力将润滑油不断输送到摩擦表面的润滑方式。曲轴主轴承、连杆轴承及凸轮轴轴承等承受负荷较大的摩擦表面采用压力润滑。

2) 飞溅润滑(splash lubrication) 是利用发动机工作时运动零件击溅起来的油滴或油雾来润滑摩擦表面的润滑方式。这种润滑方式主要用来润滑负荷较小的汽缸壁面和配气机构的凸轮、挺柱、气门杆以及摇臂等零件的工作表面。

3) 润滑脂润滑(grease lubrication) 是通过润滑脂嘴定期加注润滑脂来润滑零件工作表面的润滑方式。主要用于负荷小、摩擦力不大，露于发动机体外的一些附件的润滑面上，如水泵、发电机、启动机等部件轴承的润滑。

10.1.2 润滑系统的组成和润滑油路

1. 润滑系统组成

发动机润滑系统主要由机油泵、机油滤清器、机油散热器、油底壳和集滤器等零部件组成。此外润滑系统还装有起限压、安全、回油等作用的各种压力阀，以及润滑油压力表、温度表和润滑油管道等。

(1) 机油泵 提供足够高的压力，保证进行压力润滑和润滑油在润滑系统内能循环流动。

(2) 机油滤清器 用来滤除润滑油中的金属磨屑、机械杂质和润滑油氧化物。它包括机油粗滤器和机油细滤器。

(3) 机油散热器 用来降低润滑油的温度。润滑油在循环过程中由于吸热而温度升高。若润滑油温度过高，则其黏度下降，不利于在摩擦表面形成油膜；此外，还会加速润滑油老化变质，缩短润滑油使用期。

(4) 油底壳 存储润滑油的容器。

(5) 集滤器 用来滤除润滑油中粗大的杂质，防止杂质进入机油泵。

2. 润滑系统油路

现代汽车发动机润滑系统的组成及油路布置方案大致相同。只是由于润滑系统的工作条件和具体结构的不同而稍有差别。如图 10.1 所示为某六缸发动机润滑系统示意图。发动机曲轴的主轴颈、连杆轴颈、凸轮轴轴颈、摇臂轴等采用压力润滑；活塞、活塞环、活塞销、汽缸壁、气门、挺柱、推杆等采用飞溅润滑。

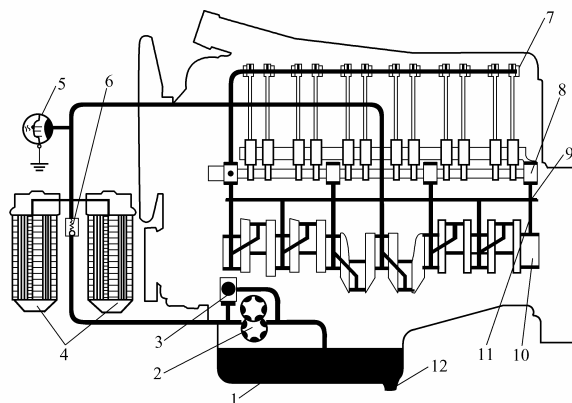


图 10.1 发动机润滑系统示意图

1—油底壳 2—机油泵 3—溢流阀 4—机油滤清器 5—润滑油压力开关 6—旁通阀
7—摇臂轴 8—凸轮轴 9—主油道 10—主轴颈 11—分油道 12—磁性放油螺塞

发动机工作时，机油泵 2 将油底壳 1 中的润滑油经集滤器过滤后吸入，并形成一定压力后向机油滤清器供油。如果所供机油油压太高或流量过大，则润滑油经机油泵上的溢流阀 3 返回机油泵入口。压力和流量正常的润滑油经滤清器 4 滤清之后进入发动机主油道 9。机油滤清器盖上设有旁通阀 6，若机油滤清器堵塞，油压升高，则润滑油不经过滤清器 4，而由旁通阀 6 直接进入主油道 9。主油道的润滑油通过七条分油道 10，分别润滑七个曲轴

主轴颈。然后,润滑油经曲轴上的斜油道,从主轴颈流向连杆轴颈润滑曲柄销。主油道的另四条分油道直通凸轮轴轴承,润滑四个凸轮轴轴颈。同时润滑油从凸轮轴的第一轴颈处,经上油道通入气门摇臂轴的空腔内,然后从摇臂上的油道流出,滴落在配气机构其他零件的工作表面上。另外,在机油滤清器上还装有润滑油压力开关。润滑油压力若低于规定值,则润滑油开关触点闭合,报警灯闪亮,同时蜂鸣器鸣响报警。

有的发动机润滑系统中设置有机油散热器。机油散热器一般安装在冷却液散热器的前面。只有当发动机长时间在大负荷、高转速下工作时,以及周围气温比较高的情况下才使用。在寒冷季节或在气温低于 20℃ 的情况下,汽车行驶于好路面上时,须将阀门关闭。为保证主油道油压不致过低,通往散热器的通路是否开通也受到进油限压阀的控制。

10.2 润滑剂的分类与选用

汽车发动机所使用的润滑剂有两种:润滑油和润滑脂。润滑油的功用可以概括为十个字:减磨、清洁、冷却、密封、防锈。

汽车发动机用的润滑油,一般都是矿物性润滑油,它是以从石油中提炼出来的润滑油为基础油,再加入各种添加剂混合而成。这些添加剂主要包括黏度指数改善剂(使润滑油在高温时保持足够的黏度,而在低温时黏度增加不多)、抗氧化剂(防止润滑油受热和在曲轴箱被搅拌后被氧化、形成沥青、黏胶)、防腐蚀和防锈蚀剂(防止酸性物质的形成和置换金属表面的水分)、泡沫抑制剂(防止泡沫引起对正常润滑的干扰)、清洁分散剂(清洗零件上污物并使其颗粒分散细化)。此外,还有抗磨改善剂、耐高压添加剂、石墨和钼的混合剂等。

20 世纪 70 年代初出现了采用化学方法制造成的“化学合成润滑油”。它们是以有机酸或酒精为原料,或以煤和石油为原料,根据需要添加各种成分化合而成,化学合成润滑油具有较宽的黏度指数范围。但当时由于成本较高,价格昂贵而未能获得广泛应用,现在合成润滑油的价格在一些国家已大大降低,应用日益增多,被认为是新一代的汽车用润滑油。

润滑油必须具有良好的流动性,特别具有良好的低温流动性。而润滑油的黏度则是反映流动性的指标,具体地说,是反映润滑油层在两相对运动表面之间可以产生滑动的难易程度。温度升高,黏度下降,机油变稀;反之温度下降,黏度增大、润滑油变稠。因此使用时应根据季节和地区的变化来选择润滑油的牌号。夏季气温高时,要用黏度较大的润滑油,否则将因润滑油过稀而不能使发动机得到可靠的润滑;冬季气温低时则要用黏度较低的润滑油,否则将因润滑油黏度过大,流动性差而不能输送到零件的摩擦表面。润滑油黏度是评价润滑油品质的主要指标,通常用运动黏度来表示。运动黏度是根据一定量的润滑油在一定的压力下,通过黏度计上一定直径与长度的毛细管所需的时间来确定,其单位为 mm^2/s 。所需时间越长,表示润滑油的运动黏度越大。

国际上通用的润滑油分类方法有两种,一种是按润滑油的黏度等级分类,即 SAE(美国汽车工程师协会)分类法;另一种是按润滑油性能(品质)分类,即 API(美国石油学会)分类法。

美国工程师学会(SAE)按照润滑油的黏度等级,把润滑油分为冬季用润滑油和非冬季用润滑油。冬季用润滑油有 6 种牌号:SAE0W、SAE5W、SAE10W、SAE15W、SAE20W 和 SAE25W。非冬季润滑油有 4 种牌号:SAE20、SAE30、SAE40 和 SAE50。标号越大,黏度越高。上述牌号的润滑油只是单一的黏度等级,也称为单级润滑油。使用单级润滑油时,

需要根据季节和气温的变化,注意更换润滑油。能满足季节和温度变化两方面黏度要求的润滑油称之为多级润滑油,其牌号有 SAE5W-20、SAE10W-30、SAE15W-40、SAE20W-40 等。例如,SAE10W-30 在低温下使用时,具有与 SAE10W 号润滑油一样的黏度特性,而在高温下使用时,又具有与 SAE30 号润滑油一样的黏度特性。目前使用的润滑油大多数具有多黏度等级,这样的润滑油可以冬夏通用。

API 性能分类法是美国石油学会(API)根据润滑油的性能及其最适合的使用场合,把润滑油分为 S 系列和 C 系列两类。S 系列为汽油润滑油,目前有 SA、SB、SC、SD、SE、SF、SG 和 SH 共 8 个级别。C 系列为柴油润滑油,目前有 CA、CB、CC、CD 和 CE 共 5 个级别。标号越靠后,质量等级越高,适用的机型越新或强化程度越高。其中,SA、SB、SC 和 CA 等级别的润滑油,除非汽车制造厂特别推荐,否则已不再使用。

我国的润滑油分类法参照 ISO 分类方法。GB/T 7631.3—1995 规定,按润滑油的性能和使用场合分为:

(1) 汽油机油: SC、SD、SE、SF、SG、SH 等 6 个级别。

(2) 柴油机油: CC、CD、CD-II、CE、CF-4 等 5 个级别。

发动机所用润滑脂分为钙基润滑脂、铝基润滑脂、钙钠基润滑脂及合成钙基润滑脂等。使用时也须根据不同季节和各类润滑脂的特点按有关标准选用。

10.3 润滑系统主要部件的构造

10.3.1 机油泵

现代汽车发动机润滑系统所使用的机油泵可分为齿轮式和转子式两种。

1. 齿轮式机油泵(gear type oil pump)

齿轮式机油泵的工作原理如图 10.2 所示。它主要由主动轴、主动齿轮、从动轴、从动齿、轮壳等组成。两齿轮外啮合,装在壳体内,齿轮与壳体的径向和端面间隙都很小。当齿轮按图示方向旋转时,进油腔 1 处由于啮合着的齿轮逐渐脱开,密封工作腔容积逐渐增大,腔内形成一定的真空,油底壳中的润滑油便被吸入到进油腔来。随后又被轮齿带到出油腔 3。出油腔的容积由于轮齿逐渐进入啮合而减小,使润滑油压力升高,润滑油便经出油口被压入发动机机体上的润滑油道。在发动机工作时,机油泵齿轮不停地旋转,润滑油便连续不断地流入润滑油道,经过滤清之后被送到各润滑部位。

当轮齿进入啮合时,封闭在轮齿径向间隙内的润滑油,由于容积减小,压力急剧升高,使齿轮受到很大的推力,并使机油泵轴衬套的磨损加剧和功率消耗增大。为此在泵盖上加一道卸压槽 4,使轮齿径向间隙内被挤压的润滑油通过卸压槽流入出油腔。

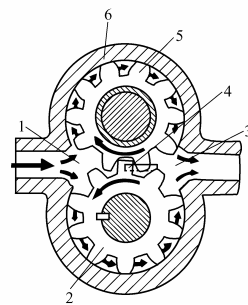


图 10.2 齿轮式机油泵工作原理

1—进油腔 2—机油泵主动齿轮 3—出油腔
4—卸压槽 5—机油泵从动齿轮 6—机油泵体

如图 10.3 所示为齿轮式机油泵的典型结构。进油口 A 通过进油管与固定式机油集滤器相连, 出油口 B 与曲轴箱上的油道及机油粗滤器的进油口相连, 管接头 10 用油管与机油细滤器连接。泵体 4 上装有主动齿轮轴 1 和从动齿轮 15。主动齿轮轴上端通过连轴套 2 与分电器传动轴连接, 下端则用半圆键 6 与主动齿轮 5 装配在一起。从动齿轮 16 松套在从动齿轮轴 15 上, 从动齿轮轴压装在泵体内。

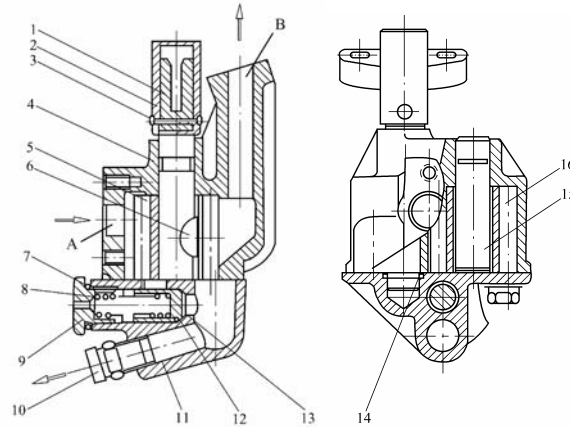


图 10.3 东风 EQ6100-1 型发动机的齿轮式机油泵

1—主动轴 2—连轴套 3—半圆头铆钉 4—油泵壳体 5—主动齿轮 6—半圆键 7—调整垫片 8—限压阀弹簧
9—螺塞 10—管接头 11—油泵盖 12—径向环槽 13—柱塞阀 14—钢丝挡圈 15—从动齿轮轴 16—从动齿轮

机油泵的使用性能主要取决于机油泵齿轮与泵体的配合间隙(端面间隙和径向间隙)。

齿轮与泵体的径向间隙一般不得大于 0.20mm, 端面间隙不大于 0.05~0.20mm。当间隙过大时, 润滑油泄漏严重, 润滑油压力降低, 泵油量就会减少, 甚至机油泵不能泵油; 当间隙过小时, 泵体与齿轮易发生碰撞, 产生磨损。泵体与泵盖之间的衬垫比较薄, 既可以防止漏油, 又可以用来调整齿轮的端面间隙。

齿轮式机油泵的优点是效率高, 功率损失小, 工作可靠; 缺点是需要中间传动机构, 制造成本相应较高。桑塔纳、捷达和奥迪等轿车都采用齿轮式机油泵。

2. 转子式机油泵(rotor-type oil pump)

转子式机油泵的工作原理如图 10.4 所示。它主要由内、外转子、机油泵体及机油泵盖等组成。内转子用键或销固定在主动轴上, 由曲轴齿轮直接或间接驱动; 外转子松套在泵体内, 内、外转子之间存在一定的偏心距。主动的内转子 2 带动从动外转子 3 一起沿同方向转动。通常内转子有 4 个凸齿, 外转子有 5 个凹齿, 这样内、外转子同向不同步地旋转。内、外转子工作面的轮廓是一对共轭曲线, 当机油泵工作时, 内、外转子每个齿的齿形廓线保证在任何角度时总有一点相接触, 从而内、外转子间形成 4 个工作腔。

随着转子的转动, 这 4 个工作腔的容积不断变化, 当某一工作腔转到进油口时, 由于转子间脱离啮合, 容积增大, 产生真空, 润滑油经进油口被

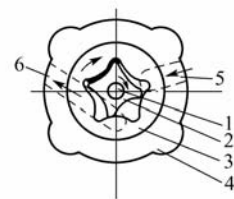


图 10.4 转子式机油泵工作原理

1—主动轴 2—内转子 3—外转子
4—油泵壳体 5—进油口 6—出油口

吸入工作腔内。当该工作腔转到出油口时，容积减小，油压升高，润滑油经出油口被压出。

转子式机油泵的优点是结构紧凑、质量轻、供油均匀、噪声小、泵油量大、成本低。它在中、小功率高速发动机上的应用广泛。夏利、红旗轿车用汽油机以及康明斯 6B 系列柴油机均采用这种转子式机油泵。

10.3.2 机油滤清器

机油滤清器是用来滤清润滑油中的金属屑、机械杂质及机油本身氧化的产物，如各种有机酸、沥青质以及碳化物等，防止它们进入零件的摩擦表面而将零件拉毛、刮伤，使磨损加剧，以及防止润滑系统通道堵塞而出现烧坏轴瓦等严重事故。

润滑油流到摩擦表面之前，经过滤清器滤清的次数越多，则润滑油越清洁。但滤清次数越多，润滑油流动阻力也越大。为解决滤清与油路通畅的矛盾，在润滑系统中装有几个不同滤清能力的滤清器：集滤器、粗滤器、细滤器。它们分别串联和并联在主油道中。与主油道串联的滤清器称为全流式滤清器；与主油道并联的滤清器，称为分流式滤清器。

1. 集滤器(suction filter)

集滤器一般是滤网式的，安装在机油泵进油管上，滤除较大的杂质。通常分为浮筒式和固定式集滤器两种。

浮筒式集滤器结构如图 10.5 所示。它是由浮筒 3、滤网 2、浮筒罩 1 及吸油管 4 等构成，浮筒是空心的。它是利用浮筒的浮力，始终浮在润滑油面上，能吸入油面上较清洁的润滑油，但油面上的泡沫易被吸入，使润滑油压力下降，润滑可靠性降低。这种集滤器的滤网有弹性，中央有环口，平时依靠滤网本身的弹性，使环口紧压在罩板上。罩的边缘有缺口，与浮筒装合后便形成狭缝。

当机油泵工作时，润滑油从罩板与浮筒间的狭缝被吸入，经过滤网滤除粗大的杂质。若滤网被杂质堵塞时，滤网上方的真空度就增大，于是克服滤网的弹力，使滤网上升，环口离开浮筒罩，润滑油便直接从滤网中央的环口进入吸油管，以保证润滑油的供给不致中断。

固定式集滤器固装在油面下面，吸入的机油清洁度稍逊于浮筒式，但可防止泡沫吸入，润滑可靠、结构简单，逐步取代了浮筒式集滤器。

2. 机油粗滤器(primary oil filter)

机油粗滤器用以滤去润滑油中粒度较大(直径为 0.05~0.1mm 以上)的杂质。它对润滑油的流动阻力较小，通常串联在机油泵与主油道之间，属于全流式滤清器(Full-flow oil filter)。粗滤器根据滤芯的不同，有各种不同的结构型式。传统的粗滤器多采用金属片缝隙式，由于质量大，结构复杂，制造成本高等缺点，金属片缝隙式粗滤器已基本被淘汰；现代汽车发动机普遍采用纸质式粗滤器。

如图 10.6 所示为东风 EQ6100-1 型发动机的纸质滤芯式粗滤器。滤清器壳体由铸铁上

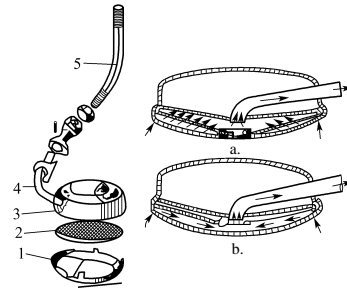


图 10.5 浮筒式机油集滤器

1—浮筒罩 2—滤网 3—浮筒
4—吸油管 5—固定管

盖 1 和钣料压制的外壳 3 组成。滤芯 4 用经过树脂处理的微孔滤纸制成，为了增大过滤面积，微孔滤纸一般都折叠成波纹形，如图 10.7 所示，滤芯的两端由环形密封圈 2 和 6 密封。滤芯内装有金属丝网或带有网眼的薄铁皮作为滤芯的骨架。粗滤器工作时，润滑油由上盖进油孔进入滤芯周围，通过滤芯滤清后，从出油孔流出，进入主油道。当滤芯被积污堵塞，其内外压差达到 $0.15 \sim 0.17 \text{MPa}$ 时，旁通阀 12 即被顶开，大部分润滑油不经滤芯滤清，直接进入主油道，以保证主油道所需的润滑油量。

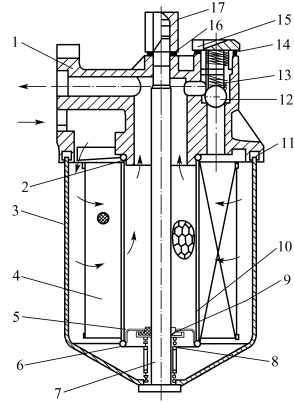


图 10.6 纸质机油粗滤器

1—上盖 2、6、10、11、14、16—密封圈 3—外壳 4—滤芯
5—托板 7—拉杆 8—弹簧 9—垫圈 12—旁通阀
13—弹簧 15—阀座 16—螺母

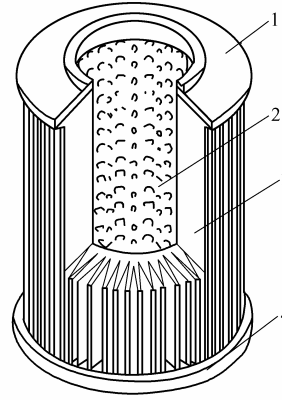


图 10.7 纸质滤芯

1—上端盖 2—芯筒 3—微孔滤纸 4—下端盖

有些发动机的机油滤清器除设置旁通阀之外，还加装单向阀。当发动机停机后，单向阀将滤清器的进油口关闭，防止润滑油从滤清器流向油底壳。在这种情况下，当重新启动发动机时，润滑系统能迅速建立起油压，从而可以减轻由于启动时供油不足而引起的零件磨损。

3. 机油细滤器(secondary oil filter)

机油细滤器用以滤去润滑油中粒度较小(直径为 0.001mm 以上)的杂质。由于它对润滑油的流动阻力较大，故多做成分流式，与主油道并联，属于分流式滤清器。分流式滤清器有过滤式和离心式两种类型。过滤式存在着滤清与通过能力之间的矛盾，而离心式具有滤清能力高、通过能力大且不受沉淀物影响等优点。

如图 10.8 所示为 EQ6100-1 型发动机的离心式机油细滤器。滤清器外壳上固定着带中心孔的转子轴 3。转子体下端有两个按中心水平对称、方向相反的喷嘴。转子体 14 套在转子轴上可自由转动。压紧螺母 12 将转子盖 8 与转子体紧固在一起。转子体下面装有止推轴承 4，上面装有支承垫 9，并用弹簧 10 压紧，以限制转子轴向窜动。滤清器盖 7 用压紧螺母 12 装在滤清器壳体上，并使转子密封。

来自机油泵的润滑油进入细滤器后，由底座和转子中心孔道进入转子总成内腔，然后进入转子体，从两个喷嘴喷出。在反作用力推动下，转子及其内腔的润滑油高速旋转。油压越高，转子体转速越快，当油压达到约 0.3MPa 时，转子转速可达 $5\,000 \sim 6\,000 \text{r/min}$ 。在离心力作用下，机油中的杂质被甩向转子盖内壁并沉积下来，达到滤清机油的目的。洁净的润滑油则不断从喷嘴喷出，并经出油口流回油底壳。

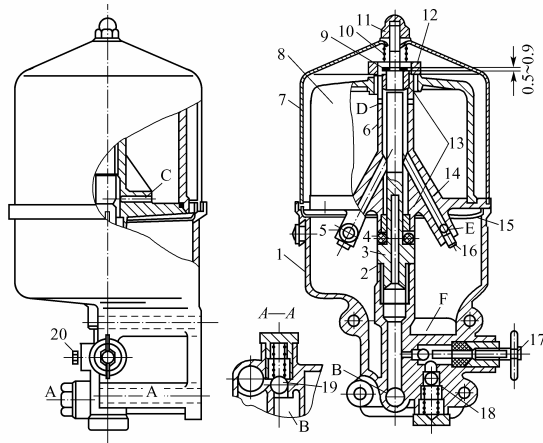


图 10.8 EQ6100-1 型发动机的离心式机油细滤器

- 1—壳体 2—锁片 3—转子轴 4—止推轴承 5—喷嘴 6—转子体端套 7—滤清器盖
8—转子盖 9—支承垫 10—弹簧 11—压紧螺套 12—压紧螺母 13—衬套 14—转子体
15—挡板 16—螺塞 17—调整螺钉 18—旁通阀 19—进油限压阀 20—管接头
B—滤清器进油孔 C—出油孔 D—进油孔 E—通喷嘴油道 F—滤清器出油口

当主油道压力低于 0.1MPa 时, 进油限压阀关闭, 此时机油不经过细滤器, 全部进入主油道, 以保证发动机的可靠润滑。

离心式细滤器滤清能力强、通过性好, 且不需更换滤芯, 只需定期清洗即可。但它对胶质滤清效果较差, 一般只做分流式细滤器。

10.3.3 机油散热器

机油散热器是用来对润滑油进行强制冷却, 以保持润滑油在适宜的温度范围内($70\sim 80^{\circ}\text{C}$)工作。发动机机油散热器分为风冷式和水冷式两类。风冷式机油冷却器很像一个小型散热器, 利用汽车行驶时的迎面风对润滑油进行冷却。由于风冷式机油散热器在发动机启动后需要很长的暖机时间才能使润滑油达到正常的工作温度, 所以普通轿车上很少采用。

风冷式机油散热器一般是管片式, 与冷却系统水散热器的结构相似, 装在水散热器的前面, 利用风扇的风力使润滑油冷却。为了增加散热面积, 管的周围焊有散热片, 管和片常用导热性好的黄铜制造。润滑油从进口流入扁形机油管, 利用风扇的风力和散热片的散热作用使润滑油冷却, 降温后的机油从出口流出。

水冷式机油散热器将机油散热器装在冷却水路中, 当润滑油温度较高时, 靠冷却液降温, 而在启动暖车期间润滑油温度较低时, 则从冷却液吸热迅速提高润滑油温度。

思 考 题

1. 润滑系统的功用是什么? 它由哪些部件组成?
2. 发动机通常采用哪几种机油滤清器?
3. 试述齿轮式机油泵和转子式机油泵的构造和工作原理。
4. 润滑油路中如果不装限压阀将引起什么后果?