

汽车发动机润滑

〔法〕 A . 希林 著

殷 丁、曹永来 译

沈景行 校

人 民 交 通 出 版 社

汽车发动机润滑

〔法〕A.希林 著

殷 丁、曹永来 译

沈 景 行 校

人 民 交 通 出 版 社

汽车发动机润滑

[法]A.希林 著

殷 丁、曹永来 译

沈 景 行 校

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 27 字数: 675千

1981年6月 第1版

1981年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6,000册 定价: 4.15元

内 容 提 要

本书从保证发动机正常运行和延长使用寿命着眼探讨润滑和磨损机理等问题, 特别详细地搜集了许多与润滑有关的机械结构、装配和运行条件等方面的材料。内容包括 润 滑 系 特点、工作温度、轴承、过滤、机油消耗、沉积物的形成、磨损、冷热起动、保养检查以及润滑油分类规格和无铅汽油的应用等知识, 供汽车保修工人和汽车专业、内燃机专业的技术人员与院校师生学习参考。

本书为《汽车机油和发动机润滑》(Motor Oils and Engine Lubrication) 一书(国内尚无译本)的续卷。

本书第一章至第五章由殷丁翻译, 第六章由沈景行翻译, 第七章以后由曹永来翻译, 全书由沈景行复校。

目 录

第一章 汽车主要润滑系统的特点	1
第一节 总貌	1
第二节 主要润滑系统	1
第三节 发动机的贮油能力	14
第四节 机油泵	15
第五节 安全限压阀	24
第六节 内油道和外油道	25
第七节 机油滤清器的装置	26
第八节 机油的发热和冷却	29
第九节 机油的冷却	33
第十节 机油冷却器	34
第十一节 机油的渗气和除气	39
第十二节 发动机内的机油压力	40
第二章 发动机工作温度	42
第一节 绪言	42
第二节 发动机零部件温度和发动机性能的关系	42
第三节 活塞和活塞环区的温度	43
第四节 气缸温度	51
第五节 曲轴和连杆轴承的温度	52
第六节 油底壳内机油温度	59
第七节 气门温度	60
第三章 发动机轴承	65
第一节 绪言	65
第二节 轴承的种类	65
第三节 轴承材料	67
第四节 轴承材料的主要特性	71
第五节 轴承润滑制度	77
第六节 装配间隙和轴颈几何形状的影响	79
第七节 负荷对轴承阻力的影响	80
第八节 润滑连杆大端轴承的机油进口位置	84
第九节 曲轴离心力对连杆大端轴承的影响	84
第十节 轴承的损坏	88
第四章 过滤	97
第一节 过滤的必要性	97

第二节 机油过滤.....	98
第三节 空气的过滤.....	113
第四节 燃油的过滤.....	119
第五章 机油的消耗.....	121
第一节 意义.....	121
第二节 机油消耗的统计特征.....	123
第三节 机油消耗的机理.....	124
第四节 润滑油对机油消耗的影响.....	132
第五节 发动机对机油消耗的影响.....	137
第六节 多组分机油的机油消耗.....	139
第六章 发动机中沉积物的形成.....	145
第一节 沉积物的形成.....	145
第二节 燃烧室内的高温沉积物.....	145
第三节 中等温度沉积物.....	181
第四节 运转温度较低下的沉积物.....	193
第七章 发动机的磨损.....	211
第一节 引言.....	211
第二节 磨损的摩擦逻辑概念.....	211
第三节 汽车用汽油机和高速柴油机的活塞环/气缸及其摩擦磨损.....	229
第四节 活塞环/气缸/活塞组的粘着磨损.....	230
第五节 活塞环/气缸/活塞组的腐蚀性磨损.....	257
第六节 活塞环/气缸组的磨粒磨损.....	271
第七节 磨合.....	279
第八节 凸轮和挺杆的磨损.....	289
第八章 发动机的冷起动和热起动.....	309
第一节 冷起动问题.....	309
第二节 起动试验：“发动机粘度”.....	310
第三节 润滑剂粘度对发动机低温起动的影响.....	313
第四节 发动机的起动转速和起动性能之间的关系.....	316
第五节 起动能力的粘度极限.....	318
第六节 影响冷起动的其他因素.....	319
第七节 热起动问题.....	319
第八节 预示机油的热起动性能.....	320
第九节 机油的影响.....	321
第九章 二冲程汽油机的润滑.....	322
第一节 引言.....	322
第二节 二冲程发动机的特性与性能.....	323
第三节 二冲程发动机的润滑情况.....	325
第四节 二冲程发动机的工作温度.....	334
第五节 润滑二冲程发动机的问题.....	335

第六节 二冲程发动机的机油试验	346
第十章 润滑与保养检查	348
第一节 润滑与保养检查总论	348
第二节 车辆的使用	350
第三节 通过对运转期间的机油的检测来控制润滑	356
第四节 彻底的快速分析法	379
第五节 对新机油和已用过机油的标准分析法	385
第六节 发动机的保养	394
附录一 分类及规格	409
第一节 SAE曲轴箱机油粘度分类	409
第二节 机油使用分类	410
第三节 美国石油学会(API)评价用于最恶劣条件下的汽车润滑剂的发动机试验程序	414
第四节 美国材料试验学会(ASTM)程序III-C	416
第五节 法军DCEA56规格(1970年4月)	417
第六节 美军规格	417
第七节 美国海军规格MIL-L-9000G(舰用)(1970年3月)	421
第八节 用于汽油机的福特汽车公司M2C101-C规格和通用汽车公司规格	422
第九节 汽油机机油规格的发展	422
附录二 无铅汽油的应用	423

第一章 汽车主要润滑系统的特点

第一节 总 貌

发动机润滑油系统之重要，可以与人体的血液循环系统相比拟，因为它是影响发动机正常运转和寿命的主要因素。由于这总是易于为人所遗忘和忽视，因此强调一下典型系统的某些个别特征和主要组成零部件，可能是一个有意义的想法。

现代发动机都是压力润滑，其系统的组成包括：

- 一只或几只机油泵；
- 出口限压阀；
- 为在压力下把机油送至需要润滑的主要部位所设置的内、外油道。

除这个主要系统——它在一定程度上来说是一个内部系统——之外，通常还有一个因发动机类型和用途而异的外部系统，包括：

- 用一个或多个滤清器来过滤机油；
- 用冷却器或散热器冷却机油，甚至在有些情况下，予以再加热；
- 用除气器把空气从机油里排除出去；
- 设置润滑安全装置。

用这种方式由机油来润滑的一个标准发动机的零部件可以列举如下：

- 主轴承；
- 连杆轴承；
- 气缸、活塞和活塞环；
- 凸轮轴轴承；
- 凸轮和气门挺杆；
- 正时齿轮；
- 气门机构；

还有一些随发动机不同而异的其他零部件。

第二节 主要润滑系统

当前存在有几种润滑系统，其中最常用的是：

- 压力油浴系统；
 - 压力干式油底壳系统；
 - 大功率高速发动机用的系统；
 - 压力飞溅综合系统；
 - 其它特殊的系统。
- 压力油浴系统

图 1.1 示出的是一个现代压力润滑系统的典型例子，它对汽油和柴油发动机均适用。这就是通常所称的湿式油底壳或“油浴”系统。在曲轴箱里总有机油贮存，其液面可以在刻有标记的浸尺（即机油尺）所指示的规定界限内变动。这样一种系统能提供完全的发动机润滑。

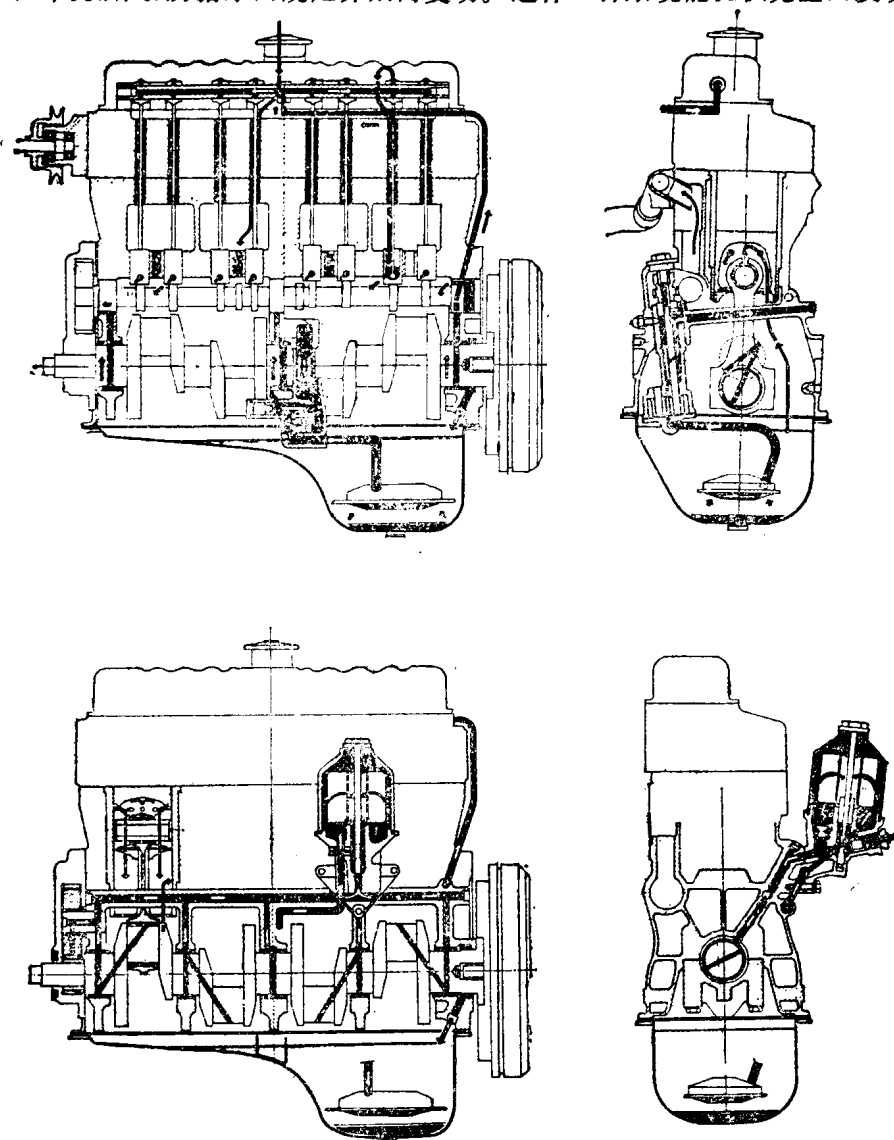


图1.1 湿式油底壳（油浴）润滑系统，用于 Peugeot-Indenor 牌汽车的柴油发动机
上图：发动机润滑系统；下图：全流式机油滤清器回路

装在发动机内或发动机外，部分由孔径为0.3~1毫米的滤网防护着的浸没式或非浸没式机油泵，从曲轴箱底吸取机油并压入导向气缸体内的主油道。机油从这里沿着内部油道流到每个曲轴轴承。曲轴的前后轴承都有防漏装置，使机油回到曲轴箱去。图 1.2 列举了一些典型油封的例子，包括一种径向唇式油封。

在曲轴轴颈上钻孔，就使机油能经曲轴内的油道流到连杆轴承。曲轴上也钻了孔，从而使出油孔直接与连杆轴承相通。并且由于曲柄销可以开槽，油就能重新送到连杆轴承。由连杆轴承的侧隙中挤压出来的机油，主要是靠旋转的离心力而不是靠油压力。因此有些机油就被导向气缸和活塞内侧去润滑和冷却它们。

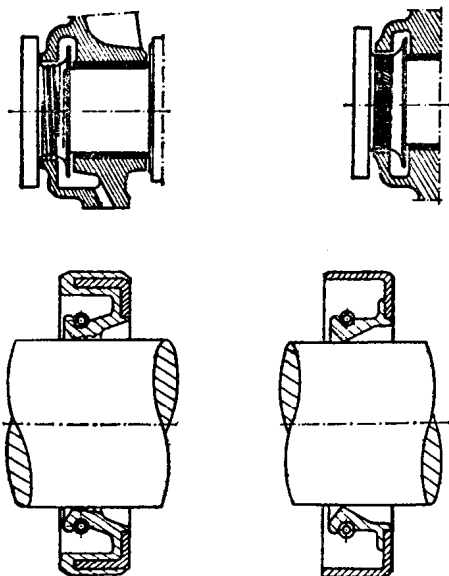


图1.2 典型曲轴轴承油封

上左图：有螺纹的透平式；上右图：
有小齿纹的透平式；下图：径向唇式

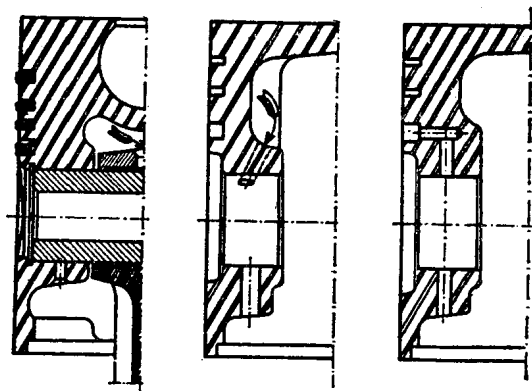


图1.3 活塞销的润滑

左图：普通全浮式；中图和
右图：锁杆式活塞销的例子

图 1.3 示出了活塞销是如何依其结构为全浮式还是锁紧连杆式而润滑的。活塞销和连杆小端总成在摩擦学中提出了一个有意义的课题。活塞顶内壁可以用一个专门的喷嘴喷油冷却，它也有助于活塞销的润滑，如图 1.4 所示。或者这种润滑也可以由内部机油循环回路来完成。

由主油道供油（有时是靠副油泵供油）的副油道，把机油输送到凸轮轴轴承，同时也送给凸轮、挺杆和正时齿轮（图 1.5）。由此引出的一个支路供给摇臂和气门导管少量的机油。如图 1.6 所示，摇臂轴上钻了孔，以便润滑摇臂和气门杆端部。

链条和正时齿轮的润滑也必须予以考虑。图 1.7 示出润滑一个液压自动紧链器的一种方法。

图 1.8 所示为专门用于美国发动机上的液压气门挺杆内部的机油回路。经由这个副回路供应的机油是通过安排在适当位置上的小孔而回到曲轴箱去的。

曲轴箱和摇臂室，即发动机的内部，为了防止形成过高的油压而造成机油泄漏，它是和大气相通的。为此可以用一个通气阀，或者像现在汽油发动上广泛采用的那样，用 PCV 系统（指为曲轴箱气体再循环用的曲轴箱强制通风系统）以防止燃气外溢到大气里去，从而避免了污染。

曲轴箱里的机油面不能低于或高于制造厂规定的标在机油尺上的界限。这对油浴润滑系统来说是重要的。有时发动机使用者错误地认为油平面超过上限，才是一种安全界限，但实际上这是很不利的。这种过多的机油会导致连杆轴承盖飞溅过多机油，特别是（车辆）在不良道路上行驶时，会因此而使机油温度上升，机油消耗增大，泡沫增多。同样，油平面过低也

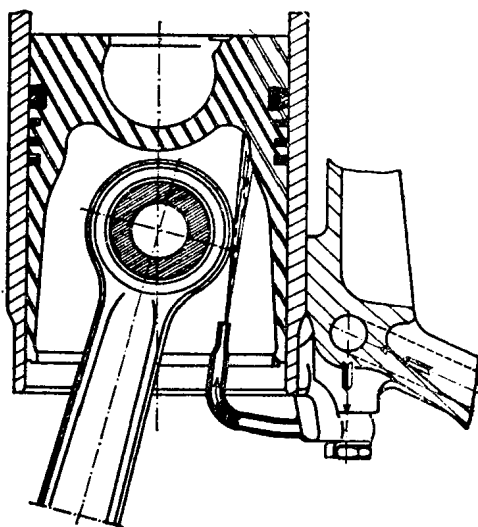


图1.4 用喷嘴喷油冷却活塞顶内壁的方法

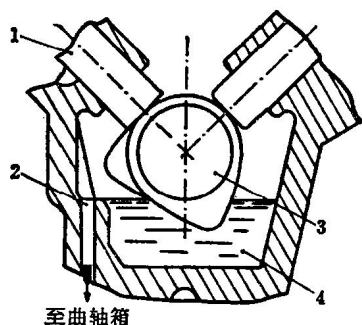
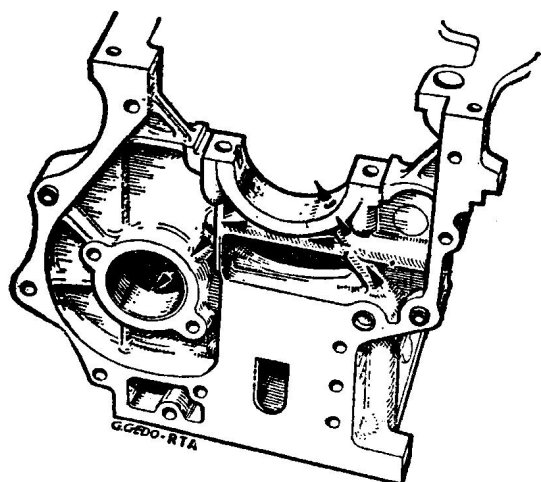


图1.5 凸轮轴的润滑

上图，曲轴和凸轮轴的润滑，凸轮轴是西姆卡（Simca）1100型发动机上的；下图，凸轮轴润滑详图

1.气门机构；2.泄油道；3.凸轮轴；4.油池

的，并常常装配成系统中的整体部件。后面将再加以论述。

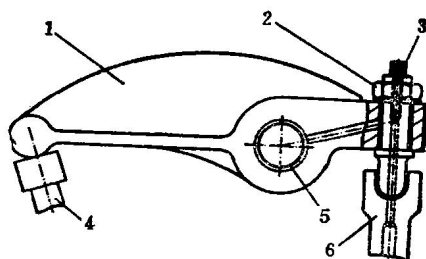
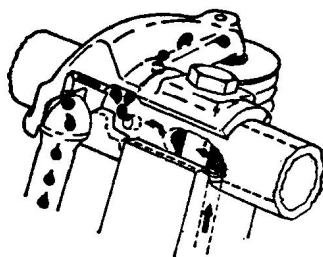


图1.6 顶置气门机构的润滑

1.摇臂；2.锁紧螺母；3.调整螺钉；4.气门；5.摇臂轴承；6.空心推杆

是危险的，其主要原因有三：（1）在泵的运转不变的情况下，通过系统的机油循环会加快，温度要上升。（2）机油将更快变质。（3）在崎岖不平的道路上行驶时，由于加速和减速的结果可能使机油泵部分地失去泵油作用。

机油滤清器和机油热交换器、散热器一样，对一个设计良好的润滑系统来说是不可少

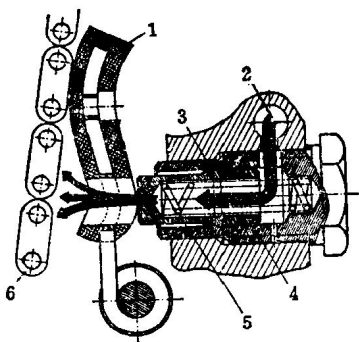


图1.7 液压紧链器润滑的方法

1.滑块；2.润滑油供给油道；3.油缸；4.柱塞；5.弹簧；6.链条

压力干式油底壳系统

以这个名字命名的系统，不同于前者的地方在于没有规定限度内的机油贮存，但它能使

完成了发动机润滑的机油回收重复使用。除此以外，其润滑方法是相似的。

如图1.9上下图所示的一个干式油底壳润滑系统，一般包括一个装在发动机之外、其油平面很易看见的机油箱，和两个或多个分别驱动的机油泵。其中一个或二个排油泵，它吸取回到曲轴箱底部的机油，并把它回馈到发动机外的油箱。供油泵再从油箱里抽油直接送入发动机润滑系统。由于排油泵的转速比供油泵快（就赛车发动机来说，要快二或四倍），所以有可能使空气进入机油而生成泡沫。如果出现这种情况，发动机润滑就要受到妨碍，并且要损耗机油。

泡沫可以通过应用后面要讲到的防泡沫添加剂来避免或大大地减少。但在这种情况下，也可以使用除气装置。一些曾成功地用于航空活塞式发动机，但没有用于汽车发动机的老式装置示出于图1.10。应该指出，仅从排油阀取得机油后直接引向油泵进口，而不是让机油直接进入曲轴箱，也有助于减少泡沫。除此之外，用油浴式润滑发动机的曲轴箱应该精心地分室。回到曲轴箱的机油常常要穿过一个借以破除泡沫的滤网。这个滤网甚至在某种程度上可以安排在连杆端运行的通路上，它有减小起泡的作用。

另一种比干式油底壳系统还要简单的润滑系统，它对要在达 30° 陡坡下工作的发动机尤为有价值。这种系统包括一个双联作用的机油泵和有隔室的曲轴箱。如图1.11所示。装有偏心转子(1和9)的下泵，把机油从曲轴箱后室抽到前室。上泵(2和11)吸取前室的机油送到各个润滑油道。这种方式中，前室里的油平面总是足够高的，特别是因为下泵比上泵转速要高10%，这种双联作用油泵也被用于干式油底壳系统。

图1.12示出的是另一种干式油底壳系统，它装在一辆有卧式六缸发动机的赛车上。图意可以自明。

在赛车发动机内安装干式油底壳系统是有几个原因的。首先，那些车子很少会以恒速在称得上长时间的时间内行驶(除为时24小时的勒曼环路比赛中的汽车外^①)。根据行程的情况，运行时间中通常有80%是加速时间，20%是制动时间。在加速(大约 $0.9g$)和减速或制动(1.2 到 $1.3g$)时，油底壳里的机油要经历非常大幅度的运动。由比较可知，汽车的最大加速度在 $0.3g$ 左右。在这些情况下，油底壳里的机油平面实际上始终处在 45° 的角度上。况且，汽车附着于道路，要求汽车的重心必须达到可能的最低位置，但这与大容量油底壳是不相容的。

中高速柴油机的润滑系统

现代高速汽油和柴油发动机的功率都比标准汽车发动机的功率大，它们在高平均有效压

① 译注：这种比赛情况不详。

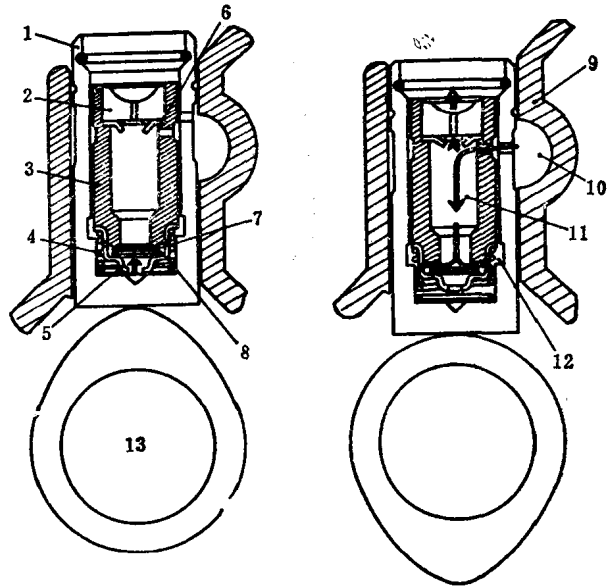


图1.8 一种液压气门挺杆的工作原理

- 1.挺杆体；2.推杆座；3.柱塞；4.柱塞弹簧；5.单向阀座；
6.计量阀；7.单向阀；8.单向阀（关闭时）；9.气缸体；
10.油道；11.供油室；12.单向阀（开启时）；13.凸轮轴

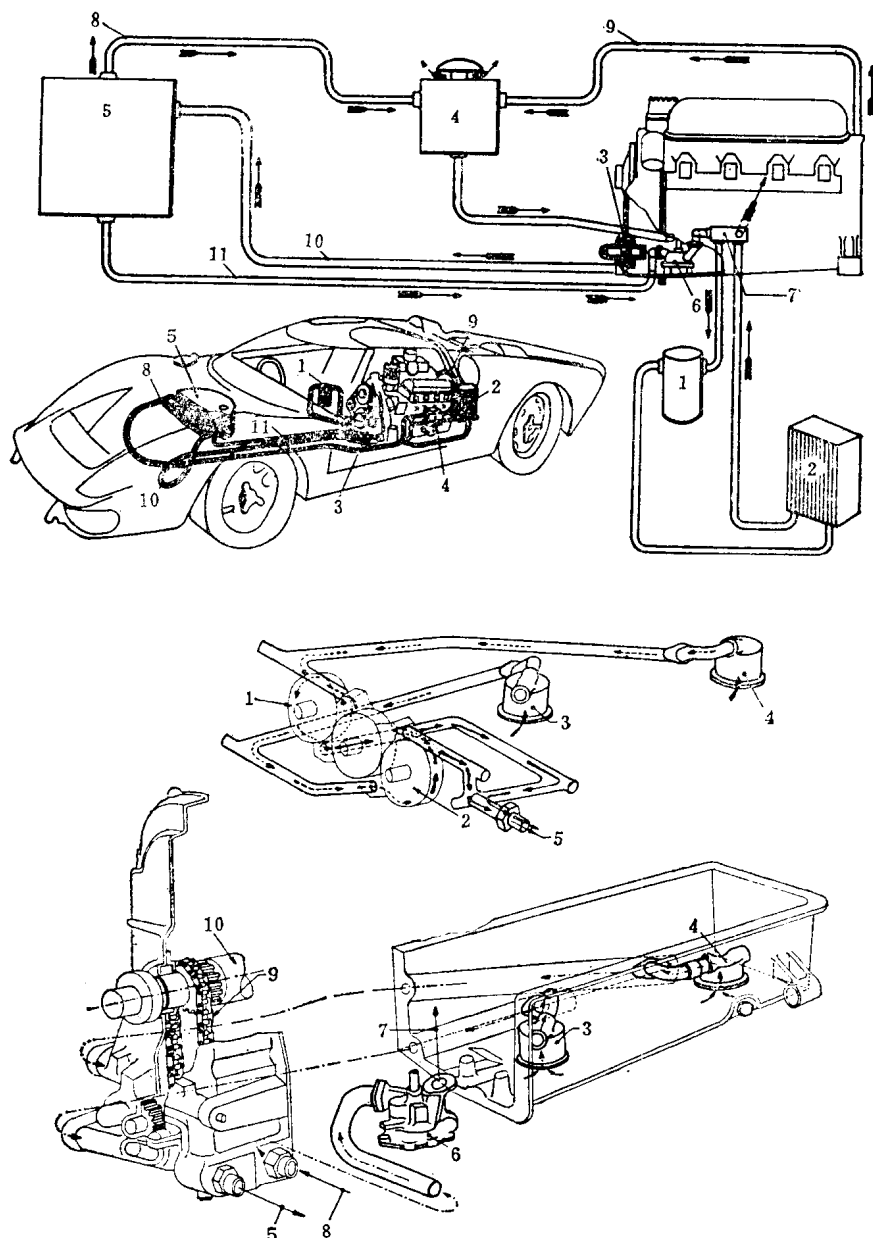


图1.9 装有 Mark II 福特427GT 发动机的勒曼 (Le Mans) 赛车用的润滑系统

上图: 1.机油滤清器; 2.机油冷却器; 3.排油泵; 4.机油回收油箱; 5.机油箱; 6.供油泵; 7.接合器; 8、9.通风管; 10.排油管; 11.供油管

下图: 1.后排油泵; 2.前排油泵; 3.前吸油器; 4.后吸油器; 5.公共出口; 6.输油泵; 7.输油泵出口; 8.输油泵进油口; 9.传动链条; 10.曲轴

力下运转(增压式柴油机), 具有与上述情况相应的润滑系统。这类发动机用于铁路机车及船用发动机等等各种固定式装置。它们具有一个通过内循环或利用机油喷射来冷却活塞的装置。在另一方面, 由于各种加热、净化和安全装置的存在, 外部系统显得格外复杂。图1.13展示的就是这种类型柴油机的润滑系统。

压力、飞溅综合系统

这种系统主要用在单缸工业用发动机上, 发动机功率不很大, 在 2000 转/分以下的较低

速度下运行。这种润滑系统比以前讲过的那些系统简单，曲轴内没有钻油道，因此造价低廉。该系统往往具有一只浸没式机油泵，它把机油在压力下分送到所有润滑点，但连杆大端轴承的润滑不包括在内，它另用下述方法来润滑。连杆大端轴承盖上有一刮斗，与内部贯穿，当活塞行程至下死点时，刮斗正好浸入充满机油的“贮油槽”里，该“贮油槽”附着在下曲轴箱上。这样，一些机油可以送到轴承表面，同时，也有一个飞溅作用，使气

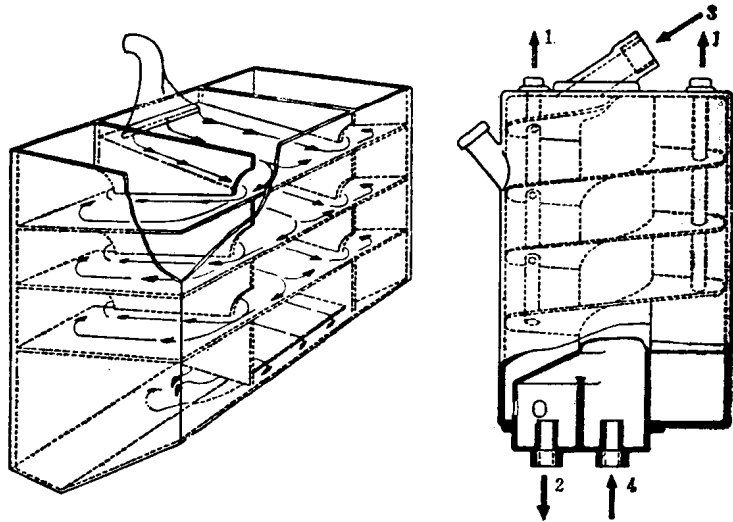


图1.10 用于航空活塞发动机的机油除气器

1.出口；2.通往发动机；3.正常排油回路；4.加热时排油回路

缸、活塞和活塞环都得到润滑。为了确保不发生因贮油槽内机油平面变动而引起的过度飞溅，该油平面要靠一个溢流口来保持恒定。图1.14示出彼得W1式(Petter W1)单缸汽油机采用的一个典型系统。

曲轴应用滚动轴承的发动机所采用的压力供油系统

当前大多数发动机在曲轴和连杆处都使用滑动轴承。在这方面，使用滚柱、滚珠或滚针轴承的较少，除非润滑系统有特殊的要求。例如，当空气与润滑油混在一起时，对滑动轴承是有害的，而对滚动轴承则往往是有利的。还有，滚动轴承比滑动轴承所要求的油压要低得多。

图1.15示出的是一种工业用车辆上的直列式、四缸、四冲程风冷柴油机所采用的润滑系统。该发动机的曲轴是安装在滚柱轴承上的。从机油泵来的油，在通过全流机油滤清器之后，再经过一个环形油道进入曲轴的前端，然后在曲轴内循环，在那里，穿过适当的油孔润滑连杆轴承。机油通过压力控制阀飞出。这样，滚柱轴承就由飞溅和油雾的综合作用得到了润滑。发动机其他零部件是按一般常规方法润滑的。

图1.16表示一种立式、双缸、四冲程、风冷小型发动机的润滑系统。该机的总容积为354毫升；转速8000转/分时，功率可达27马力(按DIN标准)，并具有10.5巴的较高的最大平均有效压力。它的曲轴与连杆安装在滚柱和滚针轴承上。图1.16所示的柱塞式机油泵产生的润滑油压只有0.3巴，它(机油泵)经由全流式机油滤清器分别向两个回路供应机油。一路去润滑传动系统；另一路则分成两个支油路，各自流向曲轴和气缸盖。在这里，连杆和曲轴的滚柱轴承又是靠飞溅和油雾润滑的。

特殊润滑系统

有些发动机因为技术和经济上的原因采用了与前述完全不同的系统。对此，我们不可能一一加以叙述，仅举几个用于4~7马力、立式曲轴和14马力卧式曲轴、四冲程发动机的润滑系统作为例子。卧式发动机利用甩油作用，而立式发动机则有两种不同型式的强制润滑系统。这些系统的特点是省却了传统的机油泵。

图1.17a列举了一个用于小型发动机的系统。这个系统利用曲轴箱里的脉动压力，把机

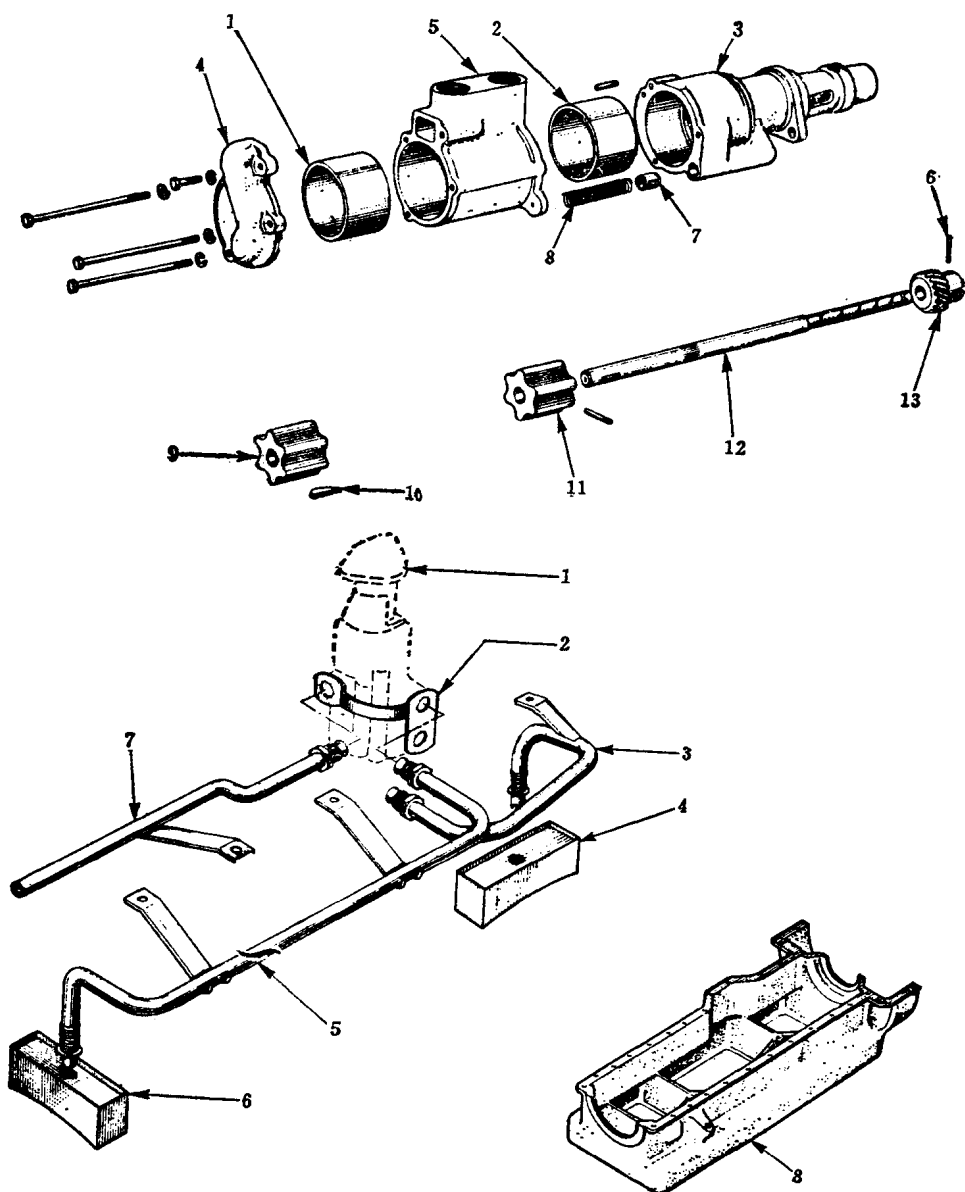


图1.11 使用双联作用转子机油泵的福特系统

上图：部件的剖视图：

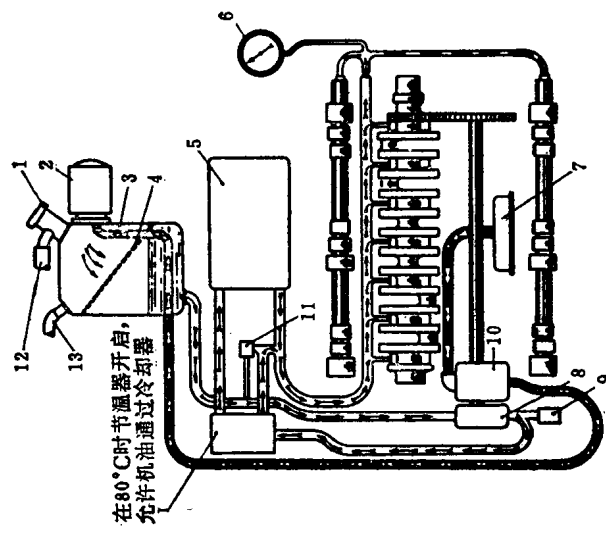
1和9是下泵；2和11是上泵；3.上泵体；4.泵盖；5.下泵体；6.机油泵传动齿轮柱销；7.限压阀；8.限压阀弹簧；10.半圆销；12.机油泵主动轴；13.机油泵传动齿轮；

下图：系统的吸油管路：

1.机油泵；2.固定夹；3.吸油管；4.下泵的滤网；5.上泵的吸油管；6.上泵的滤网；7.下泵出油管；8.下曲轴箱

油通过内油孔，压送到危险的磨损面上去。在活塞处在下死点时曲轴箱内的压力最大（图1.17b）。在这一瞬时，凸轮轴底部的油孔正好与曲轴箱内的机油提取油道接通。机油面上的压力迫使机油和空气（以小气泡形式存在于机油中）进入空心的凸轮轴。当机油被压入这一空间时，其中的空气就被压缩在空心凸轮轴的上部空腔。在凸轮轴底部油孔和机油提取油道错开时，机油在压力下被保留在空心凸轮轴内，直到凸轮轴顶部油孔移到与曲轴箱壁内的油道吻合为止。

当这种情况出现时，活塞已经到达上死点，曲轴箱压力最小（图1.17c）。凸轮轴内的高



在80°C时节温器开启，
允许机油通过冷却器

图1.12 用于保时捷 (Porsche) 赛车发动机的干式油底壳系统
1. 机油滤清器盖, 2. 全流式机油滤清器, 3. 油箱, 4. 隔板 (防泡沫), 5. 机油冷却器, 6. 机油压力泵, 7. 曲轴箱内机油粗滤器, 8. 压力泵, 9. 安全阀, 10. 排油泵, 11. 压力泄放阀, 12. 油箱到空气滤清器的通气管, 13. 油底壳到油箱的通气管

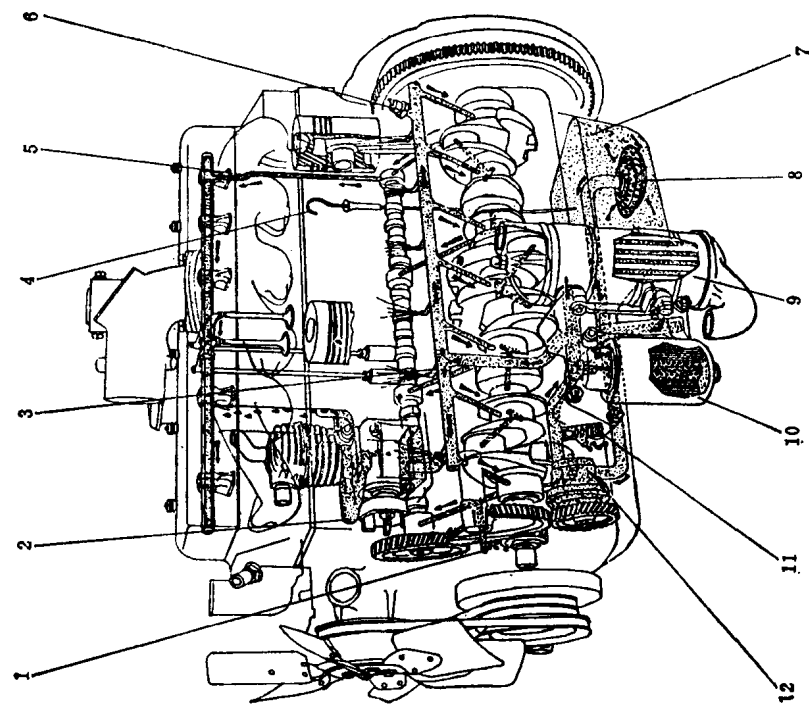


图1.13 用于典型柴油机的润滑系统

1. 正时齿轮, 2. 空气压缩机的机油进口, 3. 喷到活塞内侧的冷却油
进口, 4. 机油尺, 5. 摇臂机构的润滑, 6. 机油压力安全阀, 7. 油底
壳, 8. 集滤器滤网, 9. 机油热交换器, 10. 机油滤清器, 11. 限压
阀, 12. 机油泵

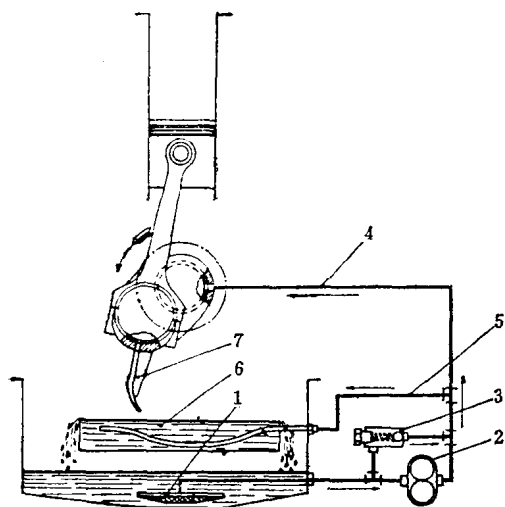


图1.14 用于典型单缸汽油发动机的润滑系统。曲轴轴承用压力油润滑，连杆轴承用飞溅润滑
1.吸油泵的集滤网；2.机油泵；3.限压阀；4.到连杆轴承的输油管；5.回油管；6.油槽；7.连杆刮斗

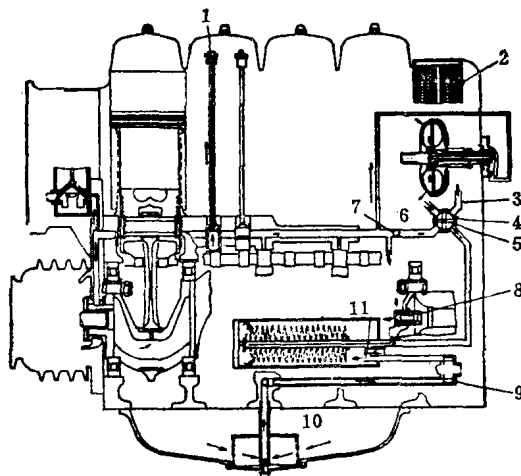


图1.15 曲轴装在滚柱轴承上的发动机所用的润滑系统
1.至摇臂的机油管；2.机油冷却器；3.去冷却器的机油；4.三通阀；5.机油冷却器与主油道断路；6.由冷却器来的机油；7.测湿器；8.单向阀；9.机油泵；10.机油滤网；11.机油滤清器限压阀

压和曲轴箱里的低压结合起来使一定量的机油从凸轮轴中涌出来，经内油道流到曲轴上部主轴承(轴瓦型)周围。一部分机油润滑轴瓦，其余的机油通过油槽向下流入装在曲轴平衡块上部的油杯中。由此，机油流入空心曲柄销。机油的一部分被离心力甩入通往连杆轴承的油孔。多余的机油外溢到曲轴和凸轮轴的齿轮上。当这些齿轮旋转时，它们把机油甩出来，形成细粒雾状，借以润滑调速器机构、气门、活塞销和活塞。

在这些发动机中保持正确的油平面是必须的，因为倘若油平面降到底壳内提取油道口之下，那么润滑作用就将停止。反之，油平面过高，则曲柄和凸轮装置事实上将在机油里运转，其结果将产生过量的热，使发动机损坏。

在机油具有正确油平面时，这些发动机能在倾斜达 30° 的道路上运行。

图1.18a示出一个采用特殊润滑系统的大型发动机的典型例子。在这类发动机上，气缸盖的对面装有一个机油箱或集油池。一个简单的单向阀装在双腔式集油池(发动机曲轴箱)的内壳上。内壳配装于外壳上时，就密封了曲轴箱，并形成了一个密封贮油室。

在运转中，随着活塞抵达下止点(图1.18b)而产生的“增压”迫使积蓄在发动机底部的

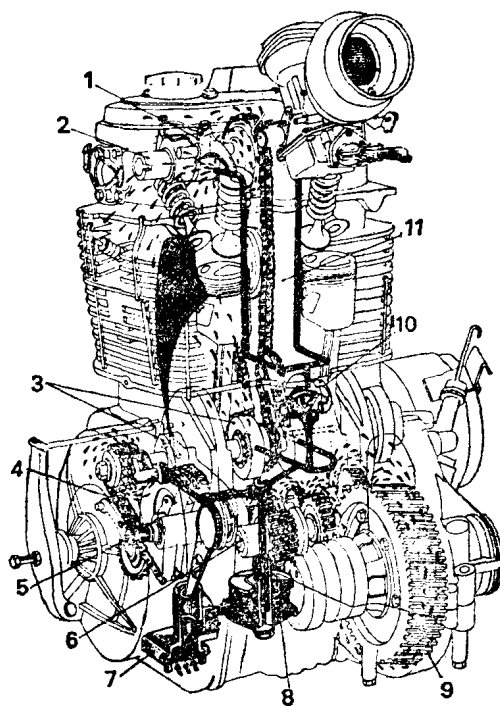


图1.16 曲轴装在滚柱轴承上的发动机所用的润滑系统

1.摇臂机构；2.凸轮轴；3.滚针轴承；4.主传动链条；5.主传动轴；6.副传动轴；7.机油泵；8.机油滤清器；9.差速器；10.液压紧链器；11.正时链条