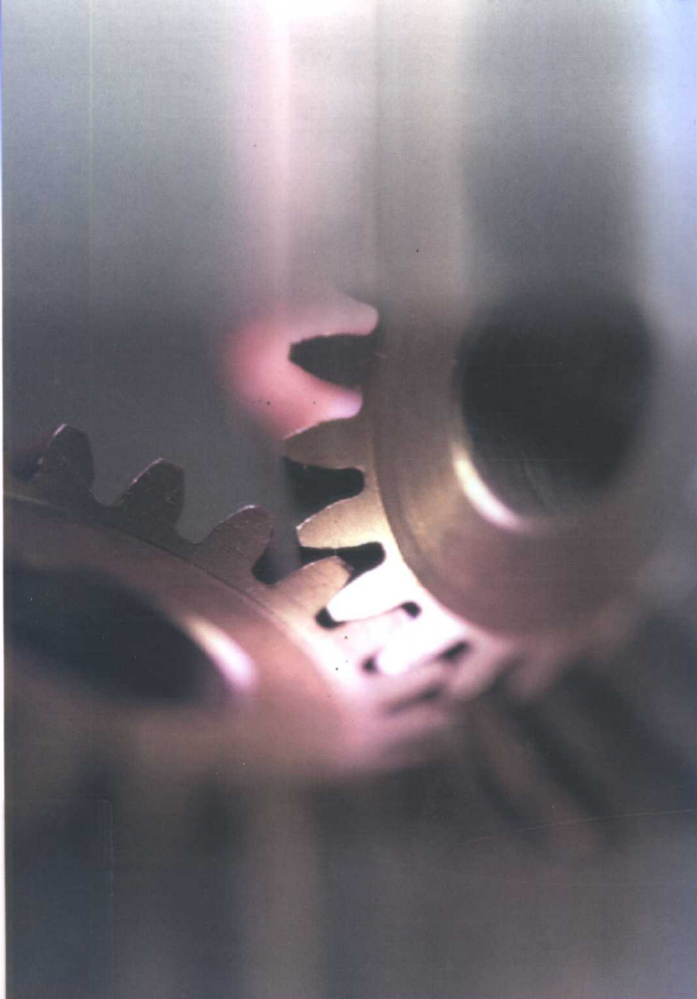


润滑油应用及 设备润滑

张晨辉 林亮智 编著



626.3
4

中国石化出版社

润滑油应用及设备润滑

张晨辉 林亮智 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书共分十章,内容包括润滑与摩擦的基本原理,设备润滑的基本知识,设备的润滑与管理,润滑油的试验项目及其意义,润滑油的新分类、新规格、性能要求及其应用等。内容新颖,实用性强,对设备润滑工作有很好的指导性。

本书可供设备润滑技术人员、管理人员、润滑油销售人员参考,也可作为润滑油应用与设备润滑的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

润滑油应用及设备润滑/张晨辉,林亮智编著.
—北京:中国石化出版社,2002
ISBN 7-80164-190-6

I. 润… II. ①张…②林… III. 润滑油—基本知识
IV. TE626.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 006184 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 360 千字 印 1—4000

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

定价:27.00 元

前 言

随着我国经济建设的发展,机械设备的润滑技术已越来越引起人们的重视。近十几年来,我国润滑油生产技术水平有了很大的提高,已经颁布了许多达到或等效采用国际先进标准的国家标准或行业标准。开发了许多润滑油新品种、新牌号。大部分旧的润滑油的规格标准已被废除,许多旧油品已经淘汰;全面实行了润滑油品种质量的升级换代。这就需要人们更新润滑技术和润滑油知识,提高应用技术水平。但是,目前还有不少工矿企业的润滑工作者、设备设计制造者以及润滑油的经销商等对新油品、新标准、新技术都不太了解。这些对我国润滑油产品的升级换代和设备润滑技术进步都有很大的影响。在我们与许多厂矿的润滑工作者、设备设计制造者等的接触中,许多朋友都有强烈的愿望,希望我们能提供有关新的润滑技术和新的油品知识,这就是我们编写本书的动机。

本书自1988年开始编写,1989年、1991年两次内部出版;1994年1月正式出版发行。曾作为中南、西南各省区润滑油升级换代培训教材,也作为企业技术服务资料发往全国各地,深受广大读者欢迎。本次出版是在原基础上的充实修订。本书的编写力求内容新颖、实用性强,既介绍了润滑与摩擦、润滑油的制备和试验项目,又着重介绍试验项目的应用意义、油品的分类和新的规格标准、应用特点以及设备的润滑与管理;即引用了国内外的一些最新信息、最新动态,也包含了我们多年来从事润滑油的研究、生产、应用和技术服务的一些经验和体会。希望本书能给读者们以帮助。

我们在编写本书的过程中,查阅、参考了大量的国内外有关资料,在此谨向这些著(译)者表示衷心的感谢。同时,我们也得到了中国石化集团公司石油化工科学研究院、广州机床研究所等单位许多专家、前辈的指点,茂名石油化工公司房广信、关子杰两位高级工程师对本书进行了审阅,在此一并致以诚挚的谢意。

本书各章的编写分工,按章次顺序为:林亮智编写第一、二、三、七、八、九章,张晨辉编写第四、五、六、十章及附录。由于编者水平有限,书中难免出现缺漏错误,内容也不一定全面、充实,恳请读者予以批评指正。

编者
2001年10月

目 录

第一章 摩擦与润滑	(1)
第一节 摩擦与润滑机理.....	(1)
第二节 摩擦分类.....	(1)
第三节 产生摩擦的原因.....	(2)
第四节 磨损.....	(2)
第五节 润滑.....	(4)
第六节 润滑剂的分类.....	(8)
第二章 润滑油的制备	(9)
第一节 原油的分类和组成.....	(9)
第二节 基础油的精制过程.....	(12)
第三节 润滑油添加剂.....	(19)
第四节 润滑油产品的开发.....	(23)
第五节 润滑油产品调合.....	(23)
第三章 润滑油的试验项目及其意义	(27)
第一节 润滑油理化性能试验.....	(27)
第二节 模拟试验项目.....	(34)
第四章 内燃机油的应用	(42)
第一节 内燃机的工作特点及内燃机的基本性能.....	(42)
第二节 内燃机油的分类.....	(44)
第三节 内燃机油的主要品种介绍.....	(51)
第四节 内燃机油的选用.....	(66)
第五章 液压油的应用	(69)
第一节 液压油的基本性能.....	(69)
第二节 液压油的分类.....	(71)
第三节 液压油的主要品种介绍.....	(73)
第四节 液压油的选用.....	(87)
第六章 齿轮油的应用	(90)
第一节 齿轮传动的类型及润滑特点.....	(90)
第二节 齿轮油的性能要求.....	(91)
第三节 齿轮油的分类.....	(92)
第四节 齿轮油的主要品种介绍.....	(95)
第五节 齿轮油的选用.....	(102)

第七章 压缩机油的应用	(105)
第一节 压缩机的用途、类型及结构特点	(105)
第二节 压缩机的润滑及对润滑油的要求	(107)
第三节 压缩机油的分类及组成	(110)
第四节 压缩机油的选用	(115)
第五节 压缩机油的使用	(117)
第八章 冷冻机油的应用	(120)
第一节 冷冻机的类型及润滑方式	(120)
第二节 制冷剂	(122)
第三节 冷冻机油的性能要求	(123)
第四节 冷冻机油的分类及组成	(125)
第五节 冷冻机油的选择	(129)
第六节 冷冻机油的使用	(131)
第九章 汽轮机油的应用	(132)
第一节 汽轮机油的作用及性能要求	(132)
第二节 汽轮机油的分类	(133)
第三节 汽轮机油的选择及使用管理	(138)
第十章 设备润滑与管理	(140)
第一节 润滑油的选用、代用与混用	(140)
第二节 润滑油的质量维护与监控	(143)
第三节 设备润滑的方法	(145)
第四节 典型设备润滑用油	(155)
第五节 润滑油的更换	(178)
第六节 润滑故障的分析及预防	(186)
第七节 设备润滑管理	(194)
附录 中外润滑油产品对照表	(199)
参考文献	(220)

第一章 摩擦与润滑

第一节 摩擦与润滑机理

当两个紧密接触的物体沿着它们的接触面作相对运动时,会产生一个阻碍这种运动的阻力(图1-1),这种现象叫摩擦,这个阻力就叫做摩擦力。摩擦力与垂直载荷的比值叫做摩擦系数。

- (1) 摩擦力与法向载荷成正比: $F \propto P$ 。
- (2) 摩擦力与接触面积大小无关。
- (3) 摩擦力与表面滑动速度的大小无关。
- (4) 静摩擦力(有运动趋向时) F_s 大于动摩擦力 F_k , 即 $F_s > F_k$ 。

摩擦定律公式:

$$F = fP$$

或

$$f = F/P$$

式中 F ——摩擦力;

P ——法向载荷,即接触表面所受的载荷;

f ——摩擦系数,它与接触表面材料、表面粗糙度和润滑等因素有关。

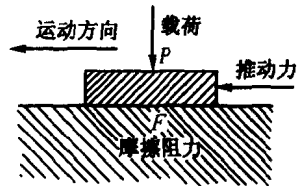


图1-1 摩擦及摩擦力示意图

机器中凡是互相接触和相互之间有相对运动的两个构件组成的联接称为“运动副”(也可称为“摩擦副”),如机床里的滑块与导轨,滚动轴承里的滚珠与套环,火车的车轮与铁轨等。任何机器的运转都是靠各种运动副的相对运动来实现,而相对运动时必然伴随着摩擦的发生。摩擦首先是造成不必要的能量损失,其次是使摩擦副相互作用的表面发热、磨损乃至失效。

磨损是运动副表面材料不断损失的现象,它引起了运动副的尺寸和形状的变化,从而导致损坏。例如,轴在轴承内运转,轴承孔表面和轴径逐渐磨损,间隙逐渐扩大、发热,使得机器精度和效率下降,伴随着产生冲击载荷,摩擦损失加大,磨损速度加剧,最后使机器失效。

润滑是在相对运动部件相互作用表面上涂有润滑物质,把两个相对运动表面隔开,使运动副表面不直接发生摩擦,而只是润滑物质内部分子与分子之间的摩擦。

所以,摩擦是运动副作相对运动时的物理现象,磨损是伴随摩擦而发生的事实,润滑则是减少摩擦、降低磨损的重要措施。

第二节 摩擦分类

摩擦有许多分类法。

1. 按摩擦副运动状态分

静摩擦:一个物体沿着另一个物体表面有相对运动趋势时产生的摩擦,叫做静摩擦。这种摩擦力叫做静摩擦力。静摩擦力随作用于物体上的外力变化而变化。当外力克服了最大静

摩擦力时，物体才开始宏观运动。

动摩擦：一个物体沿着另一个物体表面相对运动时产生的摩擦叫做动摩擦。这时，产生的阻碍物体运动的切向力叫做动摩擦力。

2. 按摩擦副接触形式分

滑动摩擦：接触表面相对滑动时的摩擦叫做滑动摩擦。

滚动摩擦：在力矩作用下，物体沿接触表面滚动时的摩擦叫做滚动摩擦。

3. 按摩擦副表面润滑状态分

干摩擦：指既无润滑又无湿气的摩擦。

流体摩擦：即流体润滑条件下的摩擦。这时两表面完全被液体油膜隔开，摩擦表现为由粘性流体引起。

边界摩擦：指摩擦表面有一层极薄的润滑膜存在时的摩擦。这时，摩擦不取决于润滑剂的粘度，而是取决于接触表面和润滑剂的特性。

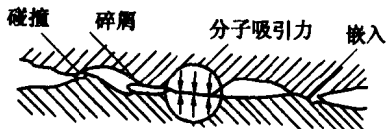
混合摩擦：属于过渡状态的摩擦，包括半干摩擦和半流体摩擦。半干摩擦是指同时有边界摩擦和干摩擦的情况。半流体摩擦是指同时有流体摩擦和干摩擦的情况。

现代机器设备中的一些摩擦副的工作条件是复杂的，如处于高速、高温、或低温、真空等苛刻环境条件下工作，其摩擦、磨损情况也各有不同的特点。

第三节 产生摩擦的原因

对于接触表面作相对运动时产生摩擦力这一现象有各种各样的解释，综合起来有以下几点。

机械上发生相对运动的部位一般都经过加工，具有光滑的表面。但实际上，无论加工程度怎样精密，机件表面都不可能“绝对”平滑，在显微镜下看来，都是有高有低、凸凹不平的，如图 1-2。



如果摩擦表面承受载荷而又紧密接触，两个表面上的突起和陷下部分就会犬牙交错地嵌合在一起，两个接触表面作相对运动时，表面上的突起部分就会互相碰撞，阻碍表面间的相对运动。

图 1-2 摩擦及摩擦力示意图

另外，由于两个摩擦表面承受载荷并紧密接触，表面是由若干突起部分支撑着的，支撑点处两表面之间的距离极小，处于分子引力的作用范围之内，表面作相对运动时，突起部分也要跟着移动，因此就必须克服支撑点处的分子引力。

还有，由于碰撞点和支撑点都要承受极高的压力，这就使这些地方的金属表面发生严重的变形，一个表面上的突起就会嵌入另一表面中去。碰撞和塑性变形都会导致产生局部瞬间高温，而撕裂粘结点要消耗动力。

以上各点综合起来就表现为摩擦力。

第四节 磨 损

物体工作表面的物质，由于表面相对运动而不断损失的现象，叫做磨损。

机械零件正常运动的磨损过程一般分为三个阶段，见图 1-3。

(1) 跑合阶段(又称磨合阶段)。新的摩擦副表面具有一定的粗糙度, 真实接触面积较小。跑合阶段, 表面逐渐磨平, 真实接触面积逐渐增大, 磨损速度减缓, 如图1-3中0-a线段。人们有意利用跑合阶段的轻微磨损, 为正常运行的稳定磨损创造条件。

选择合理的跑合规程, 采取适当的摩擦副材料及加工工艺, 使用含活性添加剂的润滑油(磨合油)等方法, 都能缩短跑合期。跑合结束应重新换油。

(2) 稳定磨损阶段。这一阶段磨损缓慢稳定。如图1-3中a-b线。这一线段的斜率就是磨损速度, 横坐标时间就是零件耐磨寿命。

(3) 剧烈磨损阶段。图1-3中b点以后, 磨损速度急剧增长, 机械效率下降, 功率和润滑油的损耗增加, 精度丧失, 产生异常噪声及振动, 摩擦副温度迅速升高, 最终导致零件失效。有时也会发生下述情况:

(1) 转入稳定磨损阶段后, 长时间内磨损甚微, 并无明显的剧烈磨损阶段, 零件寿命较长。

(2) 跑合阶段和稳定磨损阶段无明显磨损, 当表层达到疲劳极限后, 产生剧烈磨损。

(3) 磨损条件恶劣, 跑合阶段后, 立即转入剧烈磨损阶段, 机器无法正常运转。

根据磨损的破坏机理及机械零件表面磨损状态, 磨损可大体分为下列几种类型。

1. 粘着磨损

摩擦副相对运动时, 由于固相焊合, 接触表面的材料从一个表面转移到另一个表面的现象, 叫做粘着磨损, 严重时摩擦副咬死。粘着磨损可按摩擦表面破坏程度分为五类, 见表1-1。

表 1-1 粘着磨损的分类

类别	破坏现象	损坏原因	实例
轻微磨损	剪切破坏发生在粘着结合面上, 表面转移的材料极轻微	粘着结合强度比摩擦副的两基本金属都弱	缸套-活塞环的正常磨损
涂抹	剪切破坏发生在离粘着结合面不远的较软金属浅层内, 软金属涂抹在硬金属表面	粘着结合强度大于较软金属的剪切强度	重载蜗杆副的蜗杆上常见
擦伤	剪切破坏主要发生在软金属的亚表层内; 有时硬金属亚表面也有划痕	粘着结合强度比两基体金属都高, 转移到硬面上的粘着物质又拉削软金属表面	内燃机的铝活塞壁与缸体摩擦常见此现象
撕脱(胶合)	剪切破坏发生在摩擦副一方或双方金属较深处	粘着结合强度大于任一基体金属的剪切强度, 剪切应力高于粘着结合强度	主轴-轴瓦摩擦副的轴承表面经常可见
咬死	摩擦副之间咬死, 不能相对运动	粘着结合强度比任一基体金属的剪切强度都高, 而且粘着区域大, 切应力低于粘着结合强度	不锈钢螺母在拧紧过程中常发生这种现象

润滑状态对粘着磨损值影响较大, 边界润滑粘着磨损值大于流体动压润滑, 而流体动压润滑又大于流体静压润滑。

润滑油、脂中加入油性和极压添加剂能提高润滑油吸附能力及油膜强度, 能成倍地提高

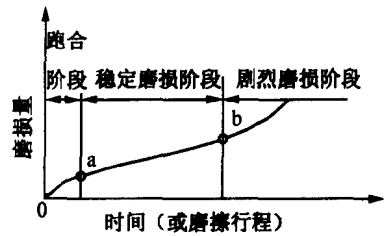


图 1-3 磨损量与时间的关系示意图

抗粘着磨损的能力。

2. 磨料磨损

硬的颗粒或硬的突起物，在摩擦过程中引起材料脱落，这种现象叫做磨料磨损。

在农业机械、工程机械或矿山机械中许多机械零件与泥沙、矿石等直接摩擦，有的是硬的颗粒进入相对运动副间；有的是借助流体或气体输送矿物颗粒时与壳体摩擦，都会发生不同形式的磨料磨损。

根据磨损的产生条件和破坏形式可以把磨料磨损分成三类：凿削式磨料磨损、高应力碾碎式磨料磨损和低应力擦伤式磨料磨损。

3. 表面疲劳磨损

两接触表面作滚动或滚动滑动复合摩擦时，在交变接触压应力作用下，使材料表面疲劳而产生物质损失的现象叫做表面疲劳磨损。齿轮副、滚动轴承、钢轨与轮箍及凸轮副都能产生表面疲劳磨损。

表面疲劳磨损分为扩展性及非扩展性两种。当交变压应力较大时，由于材料塑性稍差或润滑选择不当而发生扩展性表面疲劳磨损。

4. 腐蚀磨损(或称腐蚀机械磨损)

在摩擦过程中，金属同时与周围介质发生化学或电化学反应，产生物质损失，这种现象称为腐蚀磨损。

由于介质的性质、介质作用在摩擦面上的状态及摩擦材料性能的不同，腐蚀磨损出现的状态也不同，分类见表 1-2。

表 1-2 腐蚀磨损的分类

类别	产生的基本条件	损坏特征	示例
氧化磨损	金属表面与氧化性介质的反应速度很快，形成的氧化膜从表面磨掉后，又很快形成新的氧化膜。一般在空气中，其磨损速度较小	金属的摩擦表面沿滑动方向呈均匀细磨痕，磨损产物为红褐色片状 FeO 或为黑色丝状 Fe_2O_3	曲轴轴颈，铝合金零件等摩擦副表面
特殊介质腐蚀磨损	摩擦副与酸、碱、盐等特殊介质作用，其磨损机理与氧化磨损相似，但磨损速度较大	摩擦表面遍布点状或丝状腐蚀痕迹，一般比氧化磨损痕迹深，磨损产物为酸、碱、盐的金属化合物	化工设备中的零件表面
微动腐蚀磨损	机械零件配合较紧的部位，在载荷和一定频率振动条件下，使零件表面产生微小滑动，其磨损产物为氧化物	摩擦表面有较集中的小凹坑，使紧配合部位松动，磨损产物为红褐色氧化铁细颗粒	紧配合轴颈、螺母、螺栓及键槽处
气蚀	液体与零件接触处，发生相对摩擦，液体在高压区形成涡流，气泡在高压区突然溃灭，产生较大的循环冲击力使零件表面疲劳破坏，流体介质的化学与电化学反应，加速了表面破坏	受液体作用零件，表面先产生麻点，再扩展成泡沫或海绵状穴蚀，严重者，深度可达 20mm	水泵零件，水轮机转轮，柴油机缸壁

第五节 润 滑

在发生相对运动的各种摩擦副的接触面之间加入润滑剂，从而使两摩擦面之间形成油膜，将原来直接接触的干摩擦面分隔开来，变干摩擦为润滑剂分子间的摩擦，达到减小摩

擦,降低磨损,延长机械设备的使用寿命,这就是润滑。

一、润滑要求

由于各摩擦副的作用、工作条件及其性质不同,对于润滑的要求也是各不相同的,归纳有以下几点:

(1) 根据摩擦副的工作条件和作用性质,选用适当的润滑剂。

(2) 根据摩擦副的工作条件和作用性质,确定正确的润滑方式和方法,将润滑油按一定的量分配到各摩擦面之间

(3) 搞好润滑管理。

二、润滑剂的作用

使用润滑剂的目的是,为了润滑机械的摩擦部位,减少摩擦抵抗、防止烧结和磨损、减少动力的消耗,以提高机械效率。除此之外,还有一些实用方面的作用,归纳如下:

1. 减少摩擦

在摩擦面之间加入润滑剂,能使摩擦系数降低,从而减少了摩擦阻力,节约能源的消耗。在流体润滑条件下,润滑油的粘度和油膜厚度对减少摩擦起到十分重要的作用。随着摩擦副接触面间金属-金属接触点的增多,出现了边界润滑条件,此时润滑剂的化学性质(添加剂的化学活性)就显得极为重要了。

2. 降低磨损

机械零件的粘着磨损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损与润滑条件很有关系。在润滑剂中加入抗氧、抗腐剂有利于抑制腐蚀磨损,而加入油性剂、极压抗磨剂可以有效地降低粘着磨损和表面疲劳磨损。

3. 冷却作用

润滑剂可以减轻摩擦,并可以吸热、传热和散热,因而能降低机械运转摩擦所造成的温度上升。

4. 防腐作用

摩擦面上有润滑剂覆盖时,就可以防止或避免因空气、水滴、水蒸气、腐蚀性气体及液体、尘土、氧化物等所引起的腐蚀、锈蚀。

润滑剂的防腐能力与保留于金属表面的油膜厚度有直接关系,同时也取决于润滑剂的组成。采用某些表面活性剂作用为防锈剂能使润滑剂的防锈能力提高。

5. 绝缘性

精制矿物油的电阻大,如作为电绝缘材料的电绝缘油的电阻率是 $2 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (水是 $0.5 \times 10^6 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)。

6. 力的传递

油可以作为静力的传递介质。例如汽车、起重机的液压油。也可以作为动力的传递介质,例如自动变速机油。

7. 减振作用

润滑剂吸附在金属表面上,本身应力小,所以,在摩擦副受到冲击载荷时具有吸收冲击能的本领。如汽车的减振器就是油液减振的(将机械能转变为流体能)。

8. 清洗作用

通过润滑油的循环可以带走油路系统中的杂质,再经过滤器滤掉。内燃机油还可以分散尘土和各种沉积物,起着保持发动机清净的作用。

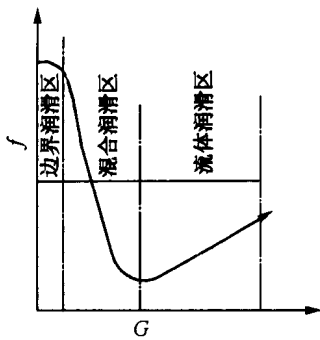


图 1-4 摩擦系数(f)与轴承特性因数的关系图

9. 密封作用

润滑剂对某些外露零部件形成密封,防止水分或杂质的侵入,在汽缸和活塞间起密封作用。

三、润滑的类型

按照摩擦副表面润滑状态,可把润滑类型分为:流体润滑、边界润滑、混合润滑,如图 1-4。

1. 流体润滑

在两摩擦面之间加有液体润滑剂,润滑油把两摩擦面完全隔开,变金属接触干摩擦为液体的内摩擦,这就是流体润滑(图 1-5)。

流体润滑的优点是液体润滑剂的摩擦系数小,通常为 0.001~0.01,只有金属直接接触时的几十分之一。

实现流体润滑的条件:

- (1) 摩擦表面间必须有相对运动。
- (2) 顺着表面运动的方向,油层必须成楔形。
- (3) 润滑油与摩擦表面必须有一定的附着力(与油性有关),润滑油随摩擦表面运动时必须有一定的内摩擦力,亦即必须有一定的粘度。

以滑动轴承形成流体润滑为例,如图 1-6。

轴不转动时[图 1-6(a)],轴与轴承接触面上的润滑油完全被挤出来。当轴开始按箭头方向转动时[见图 1-6(b)],由于轴表面与油之间有吸附力,而油层内部存在内摩擦力,轴就会带着轴承内右下方的整个楔形油层向前移动,好像把一个木楔打入窄缝把缝胀开一样,迫使轴向上抬起并略向左偏。当轴转速进一步提高时,轴的位置也进一步抬高。偏心度也减小[如图 1-6(c)]。轴转速无限大时,轴与轴承的中心应重合在一起[如图 1-6(d)]。

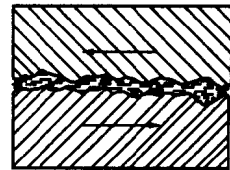


图 1-5 流体润滑状态

轴与轴承摩擦面间的油层厚度,是由轴上所承受的载荷和油层的内摩擦力的大小来决定的,油层内摩擦力的大小取决于油品的粘度和轴与轴承的相对运动速度。可以用轴承特性因数 G 来表示其关系:

$$G = \eta \cdot N / P$$

式中 η ——润滑油粘度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$;

N ——轴承转速, r/min ;

P ——轴单位投影面上的载荷, N/cm^2 。

G 值与润滑油层厚度有直接关系。 G 值小则形成的油层薄,反之,则形成的油层厚。因此,通过 G 值就可以判断是否能形成有足够厚度的油层以保证流体润滑。但应注意。由于被润滑部件的类型、几何构型以及加工精度等各有不同,因此,不存在保证流体润滑的最小 G 值。

一般说来,滑动速度大、载荷轻,应选用粘度较小的油品;滑动速度小、载荷重,应选用粘度大

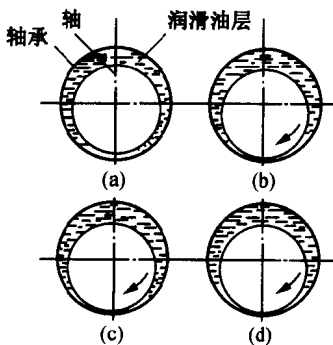


图 1-6 滑动轴承中润滑油层的形成过程

的油品。

2. 边界润滑

流体润滑是比较理想的，但除了接触面上压力强度比较低的轴承和导轨以外，不易得到流体润滑。当机械运动速度很低(例如相对运动速度 0.1cm/s)，而摩擦表面承受的载荷又很大时，即便使用粘度很大的润滑油，也很难使 G 值大到足以在摩擦表面间形成完整油层，以达到保证流体润滑的程度。此时，流体润滑膜遭到破坏后，在接触面上仍然存在着一层极薄(约为 $0.01\mu\text{m}$)的油膜，这一薄层油膜和摩擦表面之间具有特殊的结合力，形成“膜”，从而在一定程度上继续起保护摩擦表面的作用，这种润滑状态称为边界润滑(如图 1-7)，所生成的膜叫做边界膜。由于边界膜的厚度很小，摩擦表面形貌的表层性质对润滑情况将会有很大影响。

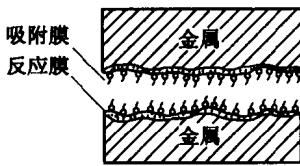


图 1-7 边界润滑状态

按边界膜的结构形式不同，可分为吸附膜和反应膜两类。吸附膜由润滑剂的极性分子吸附在摩擦表面上形成，反应膜是润滑剂中含有硫、磷、氯等的添加剂与摩擦表面起化学反应所生成。边界膜的分类及其适应范围见表 1-3。

表 1-3 边界膜的分类及其适应范围

分 类	特 点	形 成 条 件	适 应 范 围	
吸附膜	物理吸附膜	由分子吸引力使极性分子定向排列，吸附在金属表面。吸附与解吸完全可逆	在 $8 \sim 42\text{kJ/mol}$ 的吸附热时形成，在高温时解吸	常温、低速、轻载
	化学吸附膜	由极性分子的有价电子与基体表面的电子发生交换而产生的化学结合力，使金属皂的极性分子定向排列，吸附在金属表面上。吸附与解吸不完全可逆	在 $42 \sim 420\text{kJ/mol}$ 的吸附热时形成，在高温下脱吸，随之发生化学变化	中等温度、速度、载荷
反应膜	化学反应膜	硫、磷、氯等元素与金属表面进行化学反应，生成金属膜。这种膜的熔点高，抗剪强度低。这种反应是不可逆的	在高温条件下反应生成	重载、高温、高速
	氧化膜	金属表面由于结晶点阵原子处于不平衡状态，化学活性比较大，与氧反应形成氧化膜	在室温下无油纯净金属表面氧化生成	只能起瞬时润滑作用

如果载荷极大，摩擦表面凸峰处受压过大，会导致吸附膜破裂，从而出现金属直接接触，产生干摩擦。

3. 半流体润滑(或称混合润滑)

摩擦面上所形成的润滑膜局部遭到破坏，油既不均匀又不连续，使摩擦面上同时出现流体润滑、边界润滑和干摩擦的润滑状态叫做半流体润滑，如图 1-8。产生半流体润滑的主要是载荷过大，或速度、载荷变化频繁，选用油品不当，以及摩擦面粗糙等原因所致。

上述三种润滑状态，在机器工作中实际是经常互相转

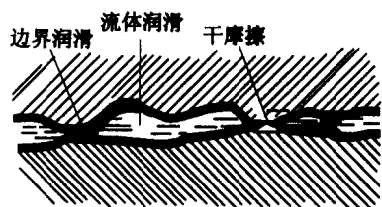


图 1-8 半流体润滑状态

换，单独存在的较少，只不过是主次之分。其情况是随润滑油量、油性及油品粘度等条件的变化而转换的。所以，通常采取提高供油量及压力，提高油性，选用适宜的粘度来实现良好的润滑状态。

第六节 润滑剂的分类

凡是有降低摩擦阻力作用的介质都可做为润滑剂。在各种机器及设备中所使用的润滑剂有气体的、液体的、半液体(也可叫半固体)的和固体的。常用的润滑剂有如下类型：

液体润滑剂 (润滑油为主)	{ 矿物油系润滑油 合成油系润滑油 水基润滑剂(包括水、乳化液、水和其他物质的混合物)
半液体润滑剂 (润滑脂)	
固体润滑剂	{ 软金属 金属化合物，如二硫化钼 其他无机物，如石墨 有机物质

其中，液体润滑剂——润滑油的应用最广泛，用量也最大。本书将着重介绍。

1965年我国曾以 GB 500—65 标准将润滑油分为 15 个组，但是随着机械工业的发展。各种新油品不断涌现，该标准已不适应。同时为了与国际标准相一致，现已参照、采用国际标准 ISO 6743/0—81 制定了我国润滑剂和有关产品的分类标准(GB/T 7631.1—87)。该标准将 L 类产品分为 19 个组。其分组及代号均与 ISO 标准一致，见表 1-4。

表 1-4 我国润滑剂及有关产品的分类标准(GB 7631—81)

组 别	应 用 场 合	组 别	应 用 场 合
A	全损耗系统	P	风动工具
B	脱模	Q	热传导
C	齿轮	R	保护和防护
D	压缩机(包括冷冻机和真空泵)	T	汽轮机
E	内燃机	U	热处理
F	主轴、轴承和离合器	X	应用润滑脂的场合
G	导轨	Y	其他
H	液压系统	Z	蒸汽汽缸
M	金属加工	S	特殊润滑剂应用场合
N	电器绝缘		

根据表 1-4 的分组，还可以对每个组进行细致的分类，由于 ISO 组织对每一组尚未全部提出具体分类草案，加上我国对其中一些组所做的工作也不多，待具体分类形成标准后再作介绍。

本书将对其中的一些产品予以介绍。

第二章 润滑油的制备

所谓润滑油，可简示之：

基础油 + 添加剂 = 润滑油

目前使用得最多的润滑油是以石油馏分为原料生产的，通称为矿油类润滑油。制取这类润滑油的原料充足、价格便宜，质量也较好，并且可以加入适当的添加剂提高其质量，因而得到广泛的应用。

较为常用的润滑油生产流程如图 2-1 所示。

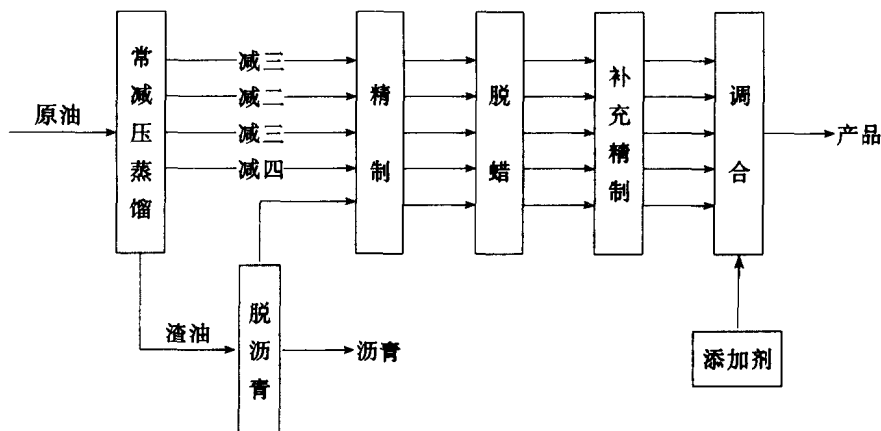


图 2-1 润滑油生产流程图

然而，并不是所有的石油都适宜作为生产润滑油的原料。润滑油生产受到原油本身的烃类组成及其物理化学性质的限制很大。通常总是选择适宜的原油，从中提炼出质量高而收率大的馏分作为原料，以达到经济合理性。

下面将简介润滑油制备的几个主要过程。

第一节 原油的分类和组成

一、原油的分类

原油的组成比较复杂，通常利用原油的几个与化学组成有直接关系的物理性质作为分类的基础。常用的分类方法有特性因数法和关键馏分特性法。

1. 特性因数(K)分类法

$$K = \frac{1.216T_B}{D}$$

式中 K ——特性因数；

T_B ——石油馏分的平均沸点， K ；

D ——相对密度， $15.6^\circ\text{C}/15.6^\circ\text{C}$ 。

K 值在 12.9~12.15 属石蜡基原油,

在 12.1~11.15 属中间基原油,

在 11.45~10.5 属环烷基原油。

特性因数分类法应用较久, 比较简单, 但不够确切。

2. 关键馏分特性分类法

用原油简易蒸馏装置, 将原油在常压下和减压下蒸馏出两个馏分: 馏程为 250~275℃ 的馏分为第一关键馏分; 馏程为 395~425℃ (常压) 的馏分为第二关键馏分。测定两个关键馏分的相对密度, 查表 2-1, 决定两个关键馏分的属性为石蜡基、中间基或环烷基。再查表 2-2, 可将原油分为七类, 即: 石蜡基、石蜡-中间基、中间-石蜡基、中间基、中间-环烷基、环烷-中间基、环烷基。关键馏分特性分类法是一种较新的分类法, 可以确切的说明原油的特点。

表 2-1 关键馏分的相对密度

关键馏分	石蜡基	中间基	环烷基
第一关键馏分	d_4^{20} 在 0.8210 以下 $K > 11.9$	d_4^{20} 在 0.8210~0.8562 之间 $K = 11.5 \sim 11.9$	d_4^{20} 在 0.8562 以上 $K < 11.5$
第二关键馏分	d_4^{20} 在 0.8723 以下 $K > 12.2$	d_4^{20} 在 0.8723~0.9305 之间 $K = 11.5 \sim 12.2$	d_4^{20} 在 0.9305 以上 $K < 11.5$

表 2-2 关键馏分的特性关系

编号	轻油部分的类别	重油部分的类别	原油类别	编号	轻油部分的类别	重油部分的类别	原油类别
1	石蜡	石蜡	石蜡	5	中间	环烷	中间-环烷
2	石蜡	中间	石蜡-中间	6	环烷	中间	环烷-中间
3	中间	石蜡	中间-石蜡	7	环烷	环烷	环烷基
4	中间	中间	中间				

3. 按硫含量分类

硫含量 < 0.5%	低硫原油
硫含量 0.5% ~ 20%	含硫原油
硫含量 > 2.0%	高硫原油

4. 按基础油的粘度指数分类

粘度指数 > 90	石蜡基原油
粘度指数 ≈ 60	中间基原油
粘度指数 < 30	环烷基原油

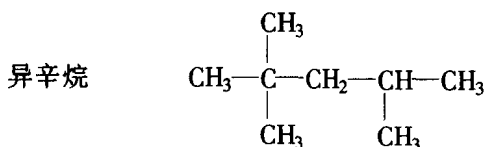
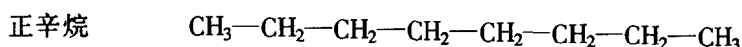
二、石油馏分的化学组成

世界各地所产的石油不尽相同, 但无论何种原油, 其主要成分都是碳(C)氢(H)两种元素。在石油中, 碳氢两种元素的总含量达 95%~99%; 同时, 还有少量的硫(S)、氧(O)、氮(N)元素。此外, 还有一些极微量的元素如氯、碘、磷、砷、钠、钾、钙、铁、镍、钒等。

石油是极为复杂的混合物, 上述元素都是相互以不同形式结合成碳元素的化合物(习惯上称为有机物)存在于石油中。通常, 把碳氢化合物简称为烃。

石油及其产品基本上是烷烃、环烷烃和芳香烃等烃类组成。

(1) 烷烃是石油的主要成分，有直链的正烷烃和带支链的异构烷烃两种结构，如：



在常温下， CH_4 到 C_4H_{10} 为气体， C_5H_{12} 到 $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ 为液体， $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ 以上为固体。正构烷烃的熔点比较高，是碳原子数目相同的各族烃中熔点最高者，相对分子质量较大的烷烃低温时会结晶析出，称为蜡，蜡会影响润滑油的流动性。异构烷烃的熔点比正构烷烃低。一般说来分支越多、越长则熔点越低。所以它是润滑油中的良好组分。

(2) 环烷烃是环状化合物，分五碳环和六碳环。润滑油中的环烷烃多带有烷基链，即是烷烃的衍生物，如图 2-2 所示。

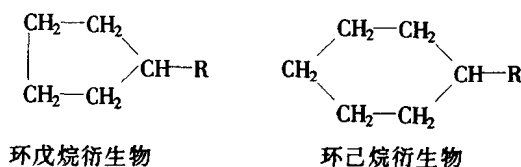


图 2-2 润滑油中常见环烷烃

环烷烃分子中的环数可以是单环，也可以是多环。长侧链的环烷烃是润滑油的良好组分，多环环烷烃的粘温性不好，环烷烃的粘度随环数的增加而迅速增加。

(3) 芳香烃是具有苯核结构的烃类。芳香烃一般都带有烷基侧链，有时还带有环烷烃。芳香烃的环数目的在于 1~4 之间，如 C_6H_6 (苯) 为单环芳烃(也叫轻芳烃)。双环芳烃叫中芳烃，三环及三环以上的芳烃叫多环芳烃。

少环长侧链的芳烃具有良好的粘温性，是润滑油的理想组分。多环芳烃和环烷芳烃易氧化生成胶质和沥青质，是润滑油的不理想组分。

(4) 润滑油馏分中的非烃组成包括除了烃类以外，馏分中还存在着的一些含氧、硫、氮等元素的化合物以及由这类化合物高度缩合而成的胶质、沥青质。胶质和沥青质是一些相对分子质量很高、结构复杂的稠环化合物，两者的区别仅在于能溶解它们的溶剂不同。胶质溶于石油醚和苯，相对分子质量约为 600~800，通常是深色的粘稠液体或半固体，溶在油中能使油的颜色变深。沥青质不溶于石油醚，但溶于苯和二氧化碳、四氯化碳中，相对分子质量约为 2000，颜色深黑，是脆的黑色粉末。

三、润滑油馏分的化学组成与其主要使用性能的关系

1. 化学组成与流变性的关系

润滑油的流变性可以用其粘度、粘温特性和低温流动性来衡量，与馏分的沸点范围(即相对分子质量大小)和化学组成有直接关系。各类烃类的流变性如表 2-3 所示。

低温流动性差的组分，如多环短侧链的环状烃，当温度降低时其粘度急剧增大，低温流动性显然不好；而如正构烷和有正构长侧链的环烷烃，虽然其粘温特性好，但本身熔点高，在低温下从油中结晶析出，从而使油品在低温下丧失流动性。