

石油产品应用知识丛书

润 滑 脂

石油化工科学研究院 编

烃加工出版社

内 容 提 要

本书为《石油产品应用知识丛书》中之一分册。本分册着重介绍了润滑脂的基本知识及其在主要机械部件和设备中的应用，并结合国内情况对国外润滑脂规格、品种也作了一些介绍。可供润滑脂使用单位和生产厂、供销部门有关工人，技术人员阅读、参考之用。

本分册系由石油化工科学研究院胡性录，梁惠芳编写。

石油产品应用知识丛书

润 滑 脂

石油化工科学研究院 编

·
*

烃加工出版社出版发行

北京安定门外大街33号

北京海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

·
*

787×1092毫米32开本7⁸/₈印张163千字印1—2,950
1987年9月北京新版 1987年9月北京第1次印刷

书号：15391·86 定价：1.20元

目 录

第一章	机械润滑的概述	1
第一节	摩擦、磨损和腐蚀	1
第二节	润滑的类型	9
第三节	润滑脂的作用	14
第二章	润滑脂的意义、组成和分类	19
第一节	润滑脂的意义	19
第二节	润滑脂的成分	23
第三节	润滑脂的分类	70
第三章	润滑脂的制备和评价	73
第一节	润滑脂的制备	73
第二节	润滑脂的评价	75
第四章	润滑脂的品种和应用范围	88
第一节	抗磨润滑脂	88
第二节	防护与密封润滑脂	127
第三节	专用润滑脂	133
第四节	润滑脂的一般应用范围	142
第五章	润滑脂在典型摩擦部件中的应用	145
第一节	润滑脂在滚动轴承中的应用	145
第二节	润滑脂在滑动轴承和关节中的应用	163
第三节	润滑脂在联接的摩擦平面中的应用	166
第四节	润滑脂在齿轮传动中的应用	167
第五节	润滑脂在螺旋和齿条传动中的应用	169
第六节	润滑脂在链条传动中的应用	170
第七节	润滑脂在电接触器上的应用	171
第六章	润滑脂在典型机械设备中的应用	174

第一节	润滑脂在汽车中的应用	174
第二节	润滑脂在拖拉机中的应用	180
第三节	润滑脂在精密机床中的应用	181
第四节	润滑脂在飞机中的应用	185
第七章	润滑脂的使用和保管	188
第一节	润滑方式和润滑系统	188
第二节	润滑脂的混合	192
第三节	润滑脂的保管	193
附录 1	国外军用润滑脂规格互换表	195
附录 2	美国军用润滑脂规格简介	199
附录 3	国内外航空润滑脂对照表	201
附录 4	国内外一般工业润滑脂对照表	203
附录 5	国内外高级工业润滑脂对照表	207
附录 6	国内外车辆润滑脂对照表	214
附录 7	苏联润滑脂的主要规格和品种	219

第一章 机械润滑的概述

摩擦、磨损和腐蚀往往给国民经济带来很大的损失。所以，克服引起摩擦、磨损和腐蚀的因素，具有巨大的意义。为了降低机械和机器运动部分的摩擦，减少磨损，防护机器、机械、仪器和其它金属制品不受腐蚀，采用不同的润滑剂就成为必要的了。

第一节 摩擦、磨损和腐蚀

一、摩擦

一个物体沿另一物体表面移动时的受阻滞现象叫做摩擦。摩擦时产生的阻力就叫摩擦力。摩擦力在某些情况下是有益的，如火车在铁路上、汽车或坦克在公路上和轮船在水上开动的时候。摩擦力也可用在制动机械、传送带等方面。而在另外一些情况下摩擦力又是很有害的，例如为了克服摩擦时所产生的阻力，就必须消耗大量的能量。

在运动状态下会产生摩擦，在静止状态下也有摩擦。因此，按照运动状态可分为：静摩擦和动摩擦。要使两个金属表面从静止状态开始运动，就要克服接触面之间阻碍运动的阻力，这种阻力称为静摩擦。运动开始之后，两个接触面之间的摩擦称为动摩擦。在同样条件下，静摩擦一般大于动摩擦，这是因为物体开始运动后产生了惯性作用，并且作用力使两个表面之间的间隙增大，接触面积减小，摩擦降低。

产生摩擦力的原因如下：

(1) 由于接触表面凸凹不平处互相咬合、碰撞或碎屑卡阻；

(2) 两个接触表面的分子互相吸引，即表面分子的吸引力。

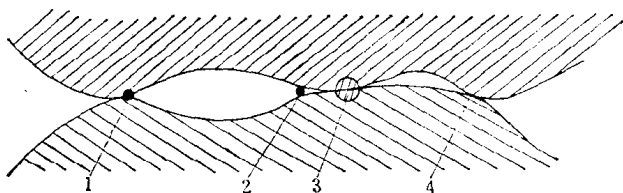


图 1-1 两个摩擦表面相互作用的示意图

1—碰撞；2—碎屑卡阻；3—分子吸引力；4—咬合

由于同时考虑到两个接触表面凸凹不平之处的互相咬合和两个接触表面的分子互相吸引，因此，导致机械分子学说的出现。用这种学说来解释摩擦起因，就是认为两个金属表面在负荷下接触时，在粗糙表面的尖端发生高压，产生了“冷焊”的局部塑性变形，形成两个表面的咬合，并且在相互滑动时被剪切，同时出现较硬的表面嵌进较软的材料基体中，使摩擦部分产生变形，构成相对运动的摩擦力。此时摩擦力

$$F = f'(N + N_0)$$

式中 f' ——摩擦系数；

N ——垂直负荷；

N_0 ——分子吸引力。

这种学说比较接近实际，因此成为解释摩擦起因的主要学说。

从物理学的观点来看，物体的摩擦力 (F) 与作用在摩

擦面上的垂直压力（ N ）成正比，两者的比 F/N 用摩擦系数（ f ）表示。一般说摩擦系数，就是指摩擦力而言的，如降低摩擦系数，就等于减小摩擦力。

摩擦系数 f 也有静摩擦系数和动摩擦系数之分。静摩擦系数是在两个接触的摩擦表面从静止状态开始的一瞬间静摩擦力与垂直负荷之比。动摩擦系数是在运动过程中动摩擦力与垂直负荷之比。静摩擦一般大于动摩擦，所以，在同样条件下，静摩擦系数也就大于动摩擦系数。但是，在摩擦偶中采用一种特殊的润滑油，例如机床导轨使用的一种防爬行润滑油，则静摩擦系数甚至会小于动摩擦系数。

影响摩擦系数的因素是复杂的。但是，人们经过反复实践，已经确定了一些影响摩擦系数的因素。例如，在理论上已证明了负荷、光洁度、滑动速度和温度等因素对摩擦系数的影响，这就可以用适当地控制这些因素的办法，来改变摩擦过程。影响摩擦系数的因素至少有七种：

（1）材料的本性（刚度和弹性等）及摩擦表面上是否有膜（天然的与人为的）；

（2）负荷与施加负荷的速度；

（3）摩擦表面相对移动的速度；

（4）摩擦偶件的温度状态；

（5）摩擦表面的质量、光洁度与接触特性；

（6）摩擦偶件静止接触时间；

（7）摩擦偶件周围的各种介质如真空、水汽、各种气体及液体等。

根据摩擦物体表面状态以及是否有润滑剂，摩擦可划分为下列四种：

1. 纯净摩擦

纯净摩擦也称为物理干摩擦，该摩擦是指在两个物体表面上均无它种介质(吸附膜、化合物膜及其它人为的加入物)的摩擦，这种摩擦可在物体表面发生显著的塑性变形时形成，因为这时可裸露出纯净的表面，也可以在实验室中(或宇宙空间中)的真空下获得。纯净金属的摩擦会产生表面的粘着。

2. 干摩擦

是指在摩擦表面之间没有人为加入的任何润滑剂下所发生的摩擦。所谓干摩擦，严格地说，是指两个接触物体表面的直接摩擦，其摩擦系数很高，如钢对钢为0.7~0.8。实际上，由于摩擦有热和塑性变形的发生，促使金属和周围介质起化学变化，如氧化等，就会使摩擦系数降低，如钢对钢一般降为0.15左右，所以一般干摩擦的概念是扩大为无润滑下的摩擦。

3. 混合摩擦

混合摩擦也称为中间形式的摩擦。它包括边界摩擦、半干摩擦和半液体摩擦。其特点是摩擦表面上有一层很薄的介质(0.1微米或更薄)或介质层只盖住一部分表面，例如：

(1) 边界摩擦 所谓边界摩擦，就是摩擦表面之间虽由介质膜(油、脂或固体等)隔开，但又未完全隔开的情况下进行的摩擦。这层介质膜极薄(0.1微米或更薄)，以致使其具有与介质的整体性质不同的特殊性质，并且与摩擦表面的本性及状态有关。这时的介质具有分层的结构：介质分子的活性端(如脂肪酸的羧基团COOH)固定在金属表面上，好象是形成了“细毛”。

(2) 半干摩擦 这是一种混合的摩擦，即在摩擦表面上同时存在着干摩擦和边界摩擦情况的摩擦。

(3) 半液体摩擦 这也是一种混合的摩擦，即在摩擦表面上同时存在液体摩擦和边界摩擦，或液体摩擦和干摩擦情况的摩擦。

4. 液体摩擦

在液体摩擦时，两个物体的摩擦表面有一层连续的薄膜，摩擦表面完全被介质层分开。如将气体也包括在内，则统称为流体摩擦。

根据摩擦发生在同一物体之中或两个物体之间的特征，又可划分为外摩擦与内摩擦。

(1) 外摩擦 它是两个相互接触的物体在相对移动时发生的摩擦。它仅与两个物体的接触部分的表面的相互作用有关，而与物体的内部状态无关。严格说来，只有当固体间没有润滑层的情况下，两个物体才能有直接的接触，才会出现外摩擦。

(2) 内摩擦 它是同一物体各部分间在相对移动时发生的摩擦。流体的特征是本身各部分间容易发生相对位移。

二、磨 损

在机器零部件克服摩擦阻力而进行相对运动的过程中，不断有微粒脱落，必然出现磨损。机件的磨损主要表现为改变原来的尺寸和几何形状，重量减轻，加大原来的配合间隙，从而破坏了规定的配合性质。

一种材料的耐磨性通常以单位行程的磨损体积（或磨损重量）来表示。单位行程的磨损体积又叫线磨损。线磨损的倒数叫做耐磨性。磨损的过程可分为三个阶段（见图1-2）：初期磨损阶段；稳定磨损阶段和加速磨损阶段。

(1) 初期磨损阶段 磨损速度是连续改变的，开始时

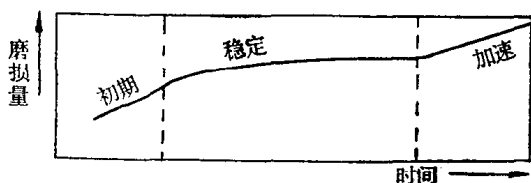


图 1-2 磨损过程的三个阶段

很大，然后逐渐变小，以至接近于稳定磨损阶段。

(2) 稳定磨损阶段 在这个阶段中，磨损速度是比较缓慢和恒定的，在磨损量与时间关系的曲线上具有基本不变的斜率。

(3) 加速磨损阶段 经过较长时间的稳定磨损之后，由于摩擦表面之间的间隙和表面形状的改变，以及产生疲劳磨损等现象而使磨损速度急剧加快。

影响磨损的因素也是很多的。例如：

(1) 材料的本性（如材料的强度、硬度、弹性以及与其对摩材料的相互间的粘着）；

(2) 材料摩擦表面的光洁度；

(3) 工作条件（时间、负荷、速度、温度、有无润滑剂及润滑的状态、摩擦偶件与周围介质的作用等。）

目前尽管磨损的分类方法很多，但还没有统一的看法。

现将几种主要分类介绍如下：

根据摩擦偶件两物体的相对物理性质，磨损可分为软物体被硬物体所磨损；硬物体被软物体所磨损；相同物体的磨损。

根据摩擦表面发生的现象，磨损可分为氧化磨损、热磨损、研磨磨损（或称磨粒磨损、机械磨损）和点蚀磨损。

根据摩擦表面破坏的原因，磨损可分为研磨磨损（或称磨

粒磨损, 机械磨损)、分子-机械磨损、腐蚀磨损和接触疲劳磨损。

根据磨损发生的本质(机械作用)可将磨损分为:

机械磨损: 包括研磨磨损(或称磨粒磨损)、咬合磨损、表面疲劳磨损和擦伤磨损;

分子-机械磨损: 主要是粘着磨损;

腐蚀-机械磨损: 主要包括化学腐蚀磨损和氧化磨损。

下面仅就机械磨损的三种型式分别介绍一下。

(1) 磨粒磨损 磨粒磨损是摩擦表面被硬颗粒磨剥的一种磨损方式。这些硬粒可能是从外界混入润滑材料中或摩擦面上,也可能是机件的磨损产物(如碎屑等),还可能是机件材质中的坚硬成分或铸件的夹砂等。这种磨损表现为断续的磨剥作用,并伴有轻微的塑性变形,是最普遍也是最难避免的。

(2) 咬合磨损 这种磨损主要是接触表面的材料太软、接触压力过大或润滑条件差等原因造成的。如未淬火钢与淬火钢滑动摩擦,最容易引起咬合(又叫咬焊),使摩擦表面形成参差不齐的沟痕。如磨损面出现咬合并使金属碎屑进入配合间隙,将加快磨损,严重时可引起表面的破坏。

(3) 表面疲劳磨损 表面疲劳磨损主要表现为零部件接触面上的金属微粒剥落。疲劳剥落主要发生在滚动摩擦中。金属表层负荷超过它的抗压极限强度时,由于压缩、弹伸和冷硬作用,引起微小的裂纹,而裂纹按压强的大小与金属材料的不同机械性质,以单头或分支的形式继续向深广方向扩展,引起耐磨损层沿金属晶界破坏,使表层晶粒脱落。淬硬齿轮和滚动轴承摩擦的表面正常磨损,常常属于这种磨损。

三、腐 蚀

腐蚀对机械设备来说，主要是金属的腐蚀。金属的腐蚀就是金属由于外部介质的化学作用或电化学作用而引起的破坏。所有金属及其合金都容易或大或小的受到腐蚀。腐蚀性破坏容易以腐蚀产物如铁锈出现。这些产物附在金属上或金属表面外部，开始以表面变黑或变亮，出现有色薄膜来判定腐蚀的产生。有时，发现腐蚀是以金属的机械性能变化或与金属直接接触的材料如润滑脂和润滑油的外形与性能变化来判定。一个电动机的轴承，由于机械的摩擦而损坏叫磨损，不能叫腐蚀，因为没有介质作用。离心泵的外壳的生锈叫做腐蚀，因为它是由于介质的作用而破坏的。离心泵的叶轮既受到泵内介质的作用，又和介质产生摩擦，它的损坏叫做磨蚀。磨蚀也是一种腐蚀，它是在介质和机械因素共同作用下造成的破坏。

按照腐蚀的破坏作用可以分为化学腐蚀和电化学腐蚀两大类。

(1) 化学腐蚀 金属和外部介质直接进行化学反应，例如金属与干气体反应或在高温中氧化，以及在非电解液中的腐蚀。

(2) 电化学腐蚀 金属和外部介质发生了电化学反应，在反应过程中有隔离的阴极区和阳极区，电子通过金属由阳极区流向阴极区。

对机械设备来说，经常出现的是电化学腐蚀和机械作用同时进行，二者相互促进，加速金属的破坏。这类腐蚀分为下面几种：

(1) 固定应力腐蚀（应力腐蚀破坏） 应力作用的方

向是一定的，应力的来源通常是由于金属经过不正确的热处理或冷加工过程，产生残留应力（内应力）。有时也可能由于外加负荷（外应力），或二者同时存在。破裂是由于应力和电化学腐蚀同时作用的结果，例如碱液蒸发器的腐蚀。

（2）交变应力腐蚀（腐蚀疲劳） 应力沿着相反的方向交替作用，应力的来源常产生于外部的各种机械作用。在腐蚀介质和交变应力的共同作用下，金属的疲劳极限大大降低，因而过早地破裂。例如螺旋桨轴、泵轴的腐蚀。

（3）磨损腐蚀（磨蚀） 同时存在电化学腐蚀和机械磨损，二者相互加速。如振动磨损腐蚀是由于两个紧接着的表面相互产生振动所引起的，磨损破坏了保护膜，使腐蚀加速。这种腐蚀常常发生在相互铆接或螺丝连接的部件上。

第二节 润滑的类型

润滑，一般地说，就是把润滑剂放到两个互相接触的金属摩擦面之间，以改变它们的接触情况，从而达到降低摩擦，减轻磨损，防止腐蚀等目的。人们总是对磨损更为重视，降低 $1/1000$ 的磨损比降低 $1/10$ 的摩擦力更有意义。

根据润滑剂在摩擦面间的分布情况，一般有三种润滑状态，即液体润滑、边界润滑和半液体润滑。常用的润滑剂有液体润滑剂、半液体润滑剂和固体润滑剂等三种。

一、液体润滑或液体动力润滑

液体润滑是指两个运动面为连续不断的润滑油膜（或层）的压力所完全分开情况下的润滑。在这里，两个运动面之间的外摩擦，就转变为润滑油膜之间的内摩擦，也就是润滑油分子间的摩擦。

液体润滑与无润滑的干摩擦比较，具有下述优点：

- (1) 零部件磨损程度显著的减少；
- (2) 摩擦的能量损耗减少；
- (3) 零部件发热较少；
- (4) 各摩擦点能耐较重的负荷；
- (5) 增加摩擦零部件的安全性和使用期限。

一些学者研究出了润滑油在轴承里完全服从于流体动力学的定律，因此，确定了润滑的流体动力学理论。

在滑动轴承摩擦试验机上所建立的规律，是所润滑之表面的摩擦力直接从属于油的粘度和产生摩擦的条件。

$$F = \eta \frac{SV}{h}$$

式中 η ——润滑油的运动粘度，即油分子间的摩擦；
 S ——摩擦表面的面积；
 V ——轴运动的速度；
 h ——润滑油膜厚。

摩擦力越大，克服摩擦力所消耗的能量也越大。在给定的速度和润滑油膜厚时，润滑油的粘度越大，摩擦力越大。润滑油膜最大的可能的厚度是由摩擦偶的结构特点来决定的。对于一般的滑动轴承膜原不可能大于缝隙间距，即轴承内径与轴的直径之差的一半。当轴在轴承里旋转时，第一层润滑油坚固地粘附在轴的表面上，并带动着以后的各层润滑油，轴和轴承之间的空隙，就象在下图所看到的弯月形。轴在运动中将部分润滑油从宽空隙处驱至狭窄空隙处。部分润滑油从狭窄空隙处开始结集，因而产生压力。在轴和轴承的下部便形成特殊的油楔。这个油楔的压力使得轴在轴承中升起，并且在轴的下部和轴承之间出现润滑油膜。

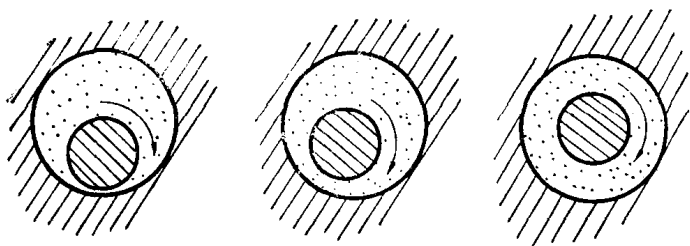


图 1-3 轴在轴承中旋转时润滑油楔的形成

图上所示的轴与轴承间的空隙和润滑油楔等，都是放大的形状，以便容易了解液体润滑现象的实质。但实际上它们都是极小的。

在实际应用中，如不采用数学计算时，可以引用下面从润滑的流体动力学理论推出来的几个基本原理：

(1) 液体摩擦时摩擦力是随着润滑油的粘度、摩擦零件滑动的速度和它的接触面积等的增加而增大。

(2) 在高速运动的摩擦零件上，应当使用低粘度的润滑油，反之，在低速运动的零件上却必须使用高粘度的润滑油。

(3) 摩擦零件间的空隙越大，应当使用的润滑油的粘度就越高。

(4) 在摩擦零件上经常的负荷越大，用来润滑的润滑油，就应当具有较高的粘度。

(5) 液体润滑的可靠性，随着摩擦零件运动速度的增加、润滑油粘度的增大和摩擦零件负荷的减少等而增加。

轴转得越快，它带走的润滑油分子就越多，并由于高速把它们推向狭窄的缝隙里去，润滑油楔的压力就越大，在轴承中润滑油楔把轴抬起越高，因而在轴和轴承之间润滑油

膜越厚。由于润滑油的粘度增加时分子间内聚力增大，旋转的轴将带走更多的润滑油分子，这样，就使油的力量增大，或者说，使润滑油膜携带的能力增大。轴承中润滑油膜厚度，大多数要看轴上的负荷量的大小而决定。润滑膜中的压力，从轴承的中部向两边缘递减，到轴承的两边缘时降到0。随着轴上负荷的增加，润滑油将会从轴承里被挤出。结果使隔开轴与轴承的润滑油膜的厚度减小，最后，当负荷继续增大时，液体润滑便被破坏，而产生干摩擦。

在润滑的流体动力学的基础上，在机器设计和使用中解决了三个基本问题：

- (1) 根据机器工作的主要条件来确定摩擦偶间的摩擦大小；
- (2) 确定保证液体润滑膜的厚度；
- (3) 确定流过轴承的润滑油的冷却作用。

二、边界润滑或薄膜润滑

边界润滑是指由于工作条件的限制，不可能建立全液体润滑膜，在相对运动的表面之间，只能保存一层牢固地吸附在金属表面上的极薄的油膜。在这种情况下，会发生金属与金属的摩擦，因而产生了零件的磨损。

在液体润滑时，由于摩擦零件上负荷过大，隔开零件的润滑油膜越来越薄，最后，当它到了承受不住负荷时，就开始破裂。润滑油膜不仅在压力的影响下能够破坏，就在摩擦零件改变运动速度时，也会被破坏。在高温作用下，润滑油膜也能受到破坏。在润滑油膜破裂的地方摩擦零件开始接触，在接触点上就产生干摩擦。但是，从液体摩擦转到干摩擦不是立即发生的。在这种摩擦转变过程中，还经过两种类型的

摩擦，即半液体摩擦和边界摩擦。此时的润滑状态，相应地为半液体润滑和边界润滑。

要建立边界润滑油膜，可以在任何一个机器零件的表面上，涂抹一层很厚的润滑油，然后再从零件上面抹去润滑油，并仔细擦净，直到眼睛看不见，而手也不感觉有润滑油的痕迹为止。事实证明，在这样几乎完全干燥的零件上，还残留着看不见的，非常薄的润滑油膜。这就是边界润滑油膜。边界油膜的破坏就引起干摩擦。在一定条件下（半液体润滑）边界润滑油膜是有益处的。并能在某种程度的预防零件的卡住或较大的损害。

三、半液体润滑

半液体润滑是指液体动力润滑和边界润滑的一种中间状态，即当摩擦零件间的润滑油膜部分地被破坏，因而在零件接触的个别地方产生边界摩擦或干摩擦。

在半液体润滑时，摩擦零件接触的地方能产生边界摩擦或干摩擦，这取决于边界油膜的强度，以及润滑油在边界油膜被破坏时，能否迅速恢复的能力。

如果，形成边界膜的润滑油分子，能牢固地保持在摩擦面上，并有抵抗高负荷的能力，那就可能不产生干摩擦。

如果，负荷超过了润滑油分子与金属表面间的附着力时，边界摩擦将会被破坏，并在零件接触处产生干摩擦。

这样可以看到，对形成边界膜的润滑油分子提出的要求，比对润滑油膜中自由移动的分子的要求更高。润滑油分子粘附在金属表面的能力越强，它们预防摩擦零件产生干摩擦的能力也越好。

在摩擦点上最可能出现半液体润滑的条件如下：机器启