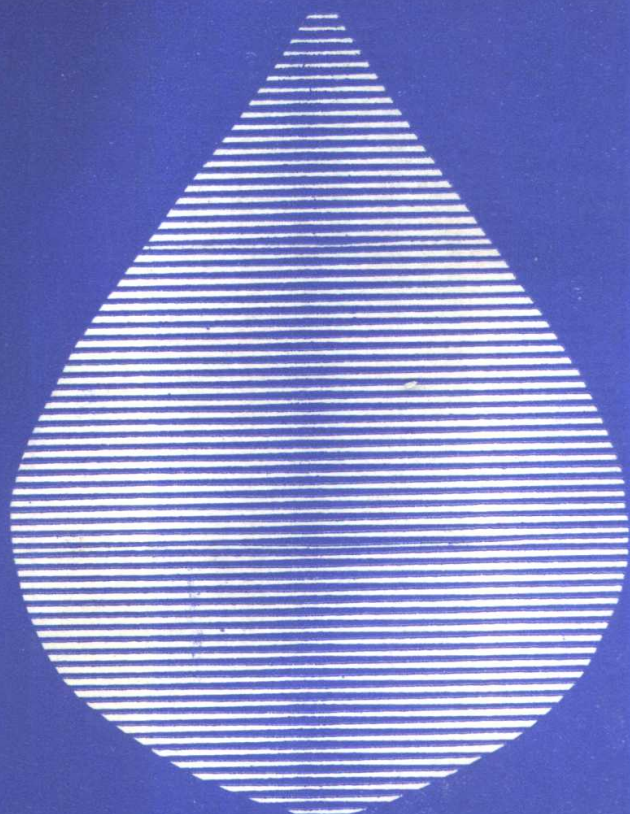


高等学校教学参考书

润滑剂与添加剂

钱祥磨 陈 耕 编著



高等教育出版社

高等学校教学参考书

润滑剂与添加剂

钱祥摩 陈 耕 编著

高等教育出版社

(京) 112号

内 容 简 介

本书是在作者编写的《润滑剂和添加剂》试用教材的基础上修订而成的。

本书主要阐述润滑剂和添加剂的基本概念和基本知识,介绍典型润滑材料的性能和选用原则及其主要发展方向。内容包括:概述、流体润滑剂,润滑脂,润滑油添加剂、固体润滑剂的性质、品种和应用以及润滑剂的维护与安全。书末还附有常用润滑油、脂的标准,添加剂和部分复合材料的资料。

本书具有简明实用、深入浅出以及便于普及推广的特点,可作为高等学校选修课教材或培训教材,其内容可供20~30学时讲授,也可供有关工程技术人员自学和参考。

高等学校教学参考书

润滑剂与添加剂

钱祥麟、陈 耕 编著

高等教育出版社出版

高等教育出版社激光照排技术部照排

新华书店总店北京科技发行所发行

北京市顺新印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 7 375 插页1 字数 190000

1993年8月第1版 1993年8月第1次印刷

印数 0001—2 861册

ISBN7-04-003352-6/TH·267

定价 4.60 元

前 言

润滑剂和添加剂的应用是摩擦学的一个重要分支。妥善的润滑设计、合理地选用润滑材料可以控制两个表面间的摩擦、减缓磨损并保护其不受损伤。添加剂则可以延长润滑剂的寿命并强化其功能。润滑剂和添加剂的应用对于减小摩擦损耗、节约能源、提高机器的效率、寿命和可靠性、减少机器维修工作量和停工损失以及改善环保条件等社会效益方面起着巨大作用。这一点已为我国和其他世界各大国的工矿实践所证实。近几十年来润滑剂和添加剂科学技术的迅速发展使恶劣工况的润滑得以逐步完善，为宇航、原子能等高技术的发展创造了条件。

迄今为止，由提炼石油而获得的矿油仍是最主要的润滑材料。自从出现石油危机以来，如何通过改善润滑、研究开发润滑剂和添加剂，以节约石油资源，已成为全世界瞩目的课题。在我国，能源消耗很大，能耗与国民总产值的比值与国际上先进国家相比要高得多。因此润滑剂和添加剂知识的普及和推广应用尤为重要。

近年来，摩擦学的译著、专著和教学用书已出版了不少，但润滑剂和添加剂的书籍还不多，特别是适宜大学生及一般工程技术人员自学的深入浅出的教学参考用书更为鲜见。本书就是针对这一目标而编写的。它是根据我们过去编写的教材，在部分院校试用的基础上，加以增删修订而成的。本书特别着重于基本概念和基础知识的叙述，并适当介绍典型润滑材料及其主要的发展动向，不求润滑材料的全面罗列和作用机理的严密论证，也不拟对工艺、配方、检验等方面的具体问题进行详尽讨论。

本书可供各类学校作为选修课或培训教材，其内容大体可供20~30学时讲授。如针对不同层次对象的要求和业务基础，再适当补充介绍有关物理、化学、物理化学、摩擦学等方面的基础

知识以及有关手册的内容，则可适用于稍多学时的教学。本书也可供有关工程技术人员自学和参考。

本书第一、二、三、五章及第四章的一部分由钱祥麟编写，第四章的其余部分及第六、七章由陈耕编写，并由钱祥麟统稿，负责主编。在撰写过程中，姚耿华副教授在提供资料、确定内容取舍和编排等方面给了极大的具体帮助。本书蒙杨殿伦高级工程师精心审阅，提出了许多宝贵意见，并提供了很多最新资料，谨此表示深切的感谢。

限于编著者水平，本书错误和不足之处，在所难免，敬请读者给予指正。

编者著

1990年8月于上海市梅陇

目 录

前言	1
----------	---

第一章 概 述

§ 1-1 润滑剂的功能	1
§ 1-2 润滑剂的分类	1
§ 1-3 润滑膜的分类	2
§ 1-4 润滑状态与润滑剂性能的关系	4
§ 1-5 正确选择润滑剂的意义	7

第二章 流体润滑剂的性质

§ 2-1 引言	9
§ 2-2 流变性	9
一、粘度的定义和单位	9
二、粘度与温度的关系	13
三、粘度与压力的关系	15
四、粘度与剪切率的关系	15
五、掺合油的粘度	17
六、粘度和粘度指数的实际意义	19
七、低温流动性——凝点和倾点（流动点）	19
§ 2-3 润滑性	20
一、油性或摩擦改进（FM）性	20
二、抗磨（AW）性和极压（EP）性	21
三、润滑性能的评价	22
§ 2-4 氧化和热安定性	24
§ 2-5 界面化学性质	26

一、表面张力和界面张力	26
二、清净分散性	28
三、防锈性	29
四、乳化和抗乳化性	30
五、抗泡沫性	35
§ 2-6 其他性能指标	36
一、密度与比重	36
二、色度与气味	37
三、闪点、燃点和自燃点	37
四、酸值	38
五、残炭	38
六、灰分	38
七、水分	39
八、机械杂质	39

第三章 流体润滑剂

§ 3-1 引言	40
§ 3-2 有机化学提要	40
一、有机化合物的结构式	40
二、分类	41
三、烃的衍生物	43
四、命名	45
五、有机化合物的重要反应	47
§ 3-3 天然油脂	48
§ 3-4 矿油概述	51
一、原油组成	51
二、炼油工艺简介	52
三、润滑油的品种、质量、牌号概述	54
§ 3-5 润滑油的粘度等级	55

一、工业润滑油的粘度等级	55
二、内燃机油的粘度等级	59
三、车辆齿轮油的粘度等级	60
§ 3-6 润滑油的分组	61
一、工业润滑油分组	63
二、内燃机油分组	69
§ 3-7 内燃机油的类型和选用	71
§ 3-8 液压油的特性和选用	74
§ 3-9 齿轮油	82
一、工业齿轮油	82
二、车辆齿轮油	88
§ 3-10 水基液	93
一、乳状液	93
二、溶液型	94
§ 3-11 合成油简介	95
一、有机酯类	95
二、合成烃类	96
三、磷酸酯类	96
四、硅油类	96
五、聚乙二醇类	96
六、氯化或氟化合物	97
§ 3-12 水、空气和非常规流体润滑剂	98
一、水	98
二、空气	98
三、液态金属	99
四、活性气体	100

第四章 润 滑 脂

§ 4-1 概述	101
----------------	-----

§ 4-2 润滑脂的组成	101
一、基础油	101
二、稠化剂	102
三、添加剂	103
§ 4-3 润滑脂的制备	105
§ 4-4 润滑脂的使用性能	106
一、流变性	106
二、润滑性	109
三、寿命	110
四、耐热性	110
五、噪音	110
§ 4-5 常用的几种润滑脂	111
一、钙皂基脂	111
二、钠皂基脂	111
三、钙钠皂混合基脂、复合钙皂基脂和钙铝复合皂基脂	112
四、铝皂基脂和复合铝皂基脂	112
五、锂皂基脂	113
六、钡皂基脂	113
七、合成脂	113
八、其他	114
§ 4-6 润滑脂的选用	116
一、环境条件	116
二、速度	117
三、载荷	117
四、机器类型	117

第五章 润滑油添加剂

§ 5-1 引言	118
§ 5-2 油性剂或摩擦改进剂	119

§ 5-3 抗磨极压剂	124
一、硫系	127
二、磷系	128
三、氯系	129
四、有机金属盐	129
五、其他	130
§ 5-4 清净剂和分散剂.....	131
一、有灰型	131
二、无灰型	132
§ 5-5 防锈剂	133
一、羧酸类	133
二、羧酸盐	134
三、氧化石油脂及其皂类	134
四、磺酸盐	135
五、山梨醇单油酸酯	135
六、羊毛脂和皂类	135
七、胺类	136
§ 5-6 粘度指数改进剂.....	136
§ 5-7 降凝剂	139
§ 5-8 乳化剂和破乳剂.....	140
一、乳化剂	140
二、破乳剂	142
§ 5-9 粘附剂和密封件膨胀剂	142
一、粘附剂	142
二、密封件膨胀剂	142
§ 5-10 抗氧剂和金属钝化剂.....	142
一、抗氧防胶剂	144
二、抗氧抗腐剂	145
三、金属钝化剂	146

§ 5-11	消泡剂	146
§ 5-12	防霉灭菌剂	147
§ 5-13	润滑中添加剂配方的组成	148

第六章 固体润滑剂

§ 6-1	引言	150
§ 6-2	层状固体材料	151
一、	石墨	151
二、	二硫化钼	154
三、	与二硫化钼相类似的材料	158
四、	氮化硼	159
§ 6-3	氧化物、卤化物和其他化合物	160
一、	氧化物	160
二、	卤化物	160
三、	其他化合物	160
§ 6-4	聚合物	161
一、	聚四氟乙烯 (PTFE)	162
二、	聚乙烯 (PE)	162
三、	尼龙 (PA)	163
四、	聚甲醛 (POM)	163
五、	聚酰亚胺 (PI)	163
六、	其他聚合物	163
§ 6-5	软金属	164
§ 6-6	复合材料	166
一、	金属基复合自润滑材料	167
二、	聚合物基复合自润滑材料	169
§ 6-7	固体润滑的研究和发展	171
一、	润滑材料的开发和机理的研究	172
二、	润滑膜的制备	174

第七章 润滑剂的维护与安全

§ 7-1 引言	178
§ 7-2 润滑剂的贮存和包装	179
§ 7-3 润滑油和润滑脂的再生	181
§ 7-4 使用润滑油、脂的安全问题	184
参考书刊	190

附 录

附表 3-1 常用润滑油的标准	193
附表 4-1 常用润滑脂的技术性能指标	206
附表 5-1 润滑油常用添加剂	212
附表 6-1 部分塑料基复合材料	222
附表 6-2 金属基复合材料	223

第一章 概 述

§ 1-1 润滑剂的功能

当机器或设备运转时，其中作相对运动零件的表面上几乎不可避免地发生摩擦和磨损，润滑则是控制摩擦、减少磨损的一项常用的有效技术。凡能充填于相对运动的两物体表面使之分隔并具有润滑功能的材料均可看作润滑剂。

所谓控制摩擦亦即润滑剂的功能在大多情况下虽是减小摩擦，然而在少数情况下则是调节摩擦。例如在湿式离合器和机床导轨上使用润滑剂的主要目的是希望静摩擦与动摩擦之间有个平滑的过渡，即调节静、动摩擦系数值使其尽量接近，以消除粘滑（爬行）现象以及颤震和噪音。在牵引传动中，采用牵引油增大摩擦以提高传递功率，则为特殊用例。

由于摩擦副表面间润滑剂的存在，可减少或消除其直接接触，从而减少摩擦表面的磨损。采用合适的润滑剂还有利于延缓发生表面点蚀，防止出现表面擦伤或咬焊之类的损伤。

此外，润滑剂还具有散热、冲洗磨屑或污物、密封和减震等辅助功能。诚然，在某些特定情况下，这些辅助功能也可能转变为主要功能。

§ 1-2 润滑剂的分类

润滑剂根据其物质状态可分成四类：

1. 油类

狭义的概念是指矿油和动植物油类，广义的则包括合成油或合成液、乳化液、水及过程流体等所有液体润滑剂。油类润滑剂易于形成流体动力膜，并有较好的散热和冲洗作用。

2. 气体

包括各种气体。气体动力润滑膜阻力较小，如为空气则又可取之不竭，但气体承载能力很低，应用不广。

3. 脂类

脂类包括经稠化的矿油和合成油、皂类、脂肪类、石蜡等。它们是半流态、半固态或准固态。脂类润滑剂不易流失，有较好的密封作用和抗锈蚀能力。

4. 固体润滑剂

包括所有的固体润滑剂，其中有层状固体、软金属层以及高分子聚合物等。固体润滑剂能承受高压且耐高温、在真空中不会挥发。

按物质状态来看，油类和气体属于流体，而脂类则介于流体与固体之间，但由于脂类的成膜机理和膜的润滑状态与油类相似，故有时把脂类也归属于流体润滑剂之类。

上述四类润滑剂的基本特性参见表 1-1。

§ 1-3 润滑膜的分类

润滑剂之所以能起到控制摩擦减少磨损的作用，主要是由于它在摩擦表面之间形成润滑膜所致，这层润滑膜受剪力后容易破裂，因之可获得较小的摩擦系数。润滑膜应尽可能覆盖到整个摩擦表面以保护整个摩擦面或至少大部分表面不受损伤。

润滑膜可以由一种或同时几种机理所形成。通常有以下几类润滑膜：

1. 流体膜

由于流体静压（例如机床的静压支承）、流体动压（例如汽轮机轴承）及弹性流体动压（例如齿轮和滚动轴承）或塑性流体动压（例如板材的轧制）的作用而形成的流体膜。

2. 吸附膜

由于气体、液体或溶解于液体的化合物以物理吸附或化学吸

附的方式在摩擦表面形成的吸附膜。(参见第五章 § 5-2)

3. 摩擦反应膜和摩擦聚合膜

由于润滑剂本身或润滑剂与金属表面发生摩擦化学作用就地形成的一层坚韧的摩擦反应膜或摩擦聚合膜。(参见第五章 § 5-3)

表 1-1 各类润滑剂的基本特性

特 性 润 滑 剂 种 类	油类	气体	脂类	固体润滑性
流体润滑性	优	好	中	无
边界润滑性	差~优	差	良~优	良~优
冷却效果	很好	中	差	无
减摩性	中~好	优	中	差
便于给油	良	良	中	差
不流失性能	差	很好	良	很好
密封性	差	很差	很好	中~良
抗大气锈蚀性	中~优	差	良~优	差~中
温度范围	中~优	优	良	很好
挥发性	很高~低	很高	低	低
可燃性	很高~很低	决定于气体	低	低
与密封件适应性	很差~中	良	中	优
轴承设计的复杂性	简单	很复杂	简单	简单~复杂
决定使用寿命的因素	变质和污染	维持气体供应能力	变质	磨损
价格	低~高	很低	较高	较高

4. 转移膜

在摩擦过程中由于原子扩散、接触点的粘着并继之以涂抹等作用就地形成的金属或聚合物转移膜。

5. 粘结膜或涂层

用喷涂、刷涂或粘结剂形成的粘结膜或涂层（参见第六章）。

应该指出，润滑膜的生成和保持不仅取决于润滑剂（包括所含有的添加剂）的性质，还与摩擦副表面的运动情况、宏观和微观的几何形状、表面形貌、摩擦零件固体材料的机械和冶金性质以及环境条件（如温度、氧气及水份等）等因素有关。

§ 1-4 润滑状态与润滑剂性能的关系

上面已提到可通过不同的机理来产生润滑膜。从润滑的有效性来说，对于以上述第一种机理生成的润滑膜，最重要的是膜厚的大小，对于以其他机理形成的润滑膜最重要的是膜的强度（能承受较大负荷和较高温度而不破裂的程度），膜厚大小和膜的强度直接关系到摩擦表面间的润滑状态。

第一种机理形成的流体膜，如膜厚足够厚，两个作相对运动的表面被一层液膜、气膜或脂膜所隔开，致使两表面不发生接触，此时在理论上没有磨损，摩擦阻力也不再来自两固体表面的摩擦而是润滑膜内部层间剪切的流体内阻力，这种润滑状态称全流体膜润滑状态，也称全液膜或厚膜润滑状态。判别是否达到全流体膜润滑的条件是膜厚比 λ 值是否足够大。膜厚比 λ 的定义为两表面间的最小膜厚 $h_{\min}$ 与两个摩擦表面综合粗糙度值 σ 之比，即

$$\lambda = \frac{h_{\min}}{\sigma} = \frac{h_{\min}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad (1-1)$$

式中 σ_1 和 σ_2 是两个表面粗糙度值的均方根偏差值^①。一般认为至少当 $\lambda > 3 \sim 4$ 时，两摩擦表面处于全流体膜润滑状态。如

①表面微观不平度的均方根偏差值 σ_1 或 σ_2 按测量表面的轮廓上各点至其中线距离的平方平均值的平方根计算，它与轮廓的平均算术偏差 R_{a1} 或 R_{a2} 数值上的关系随表面加工方法而有些不同，粗略地可取 $\sigma_1 \approx 1.25R_{a1}$ ； $\sigma_2 = 1.25R_{a2}$ 。

果 λ 较小, 则两个表面间的膜厚不足以完全隔开摩擦面, 即为混合润滑或部分膜润滑状态。如果膜厚更薄 ($\lambda < 1$), 有时甚至薄到与润滑剂分子为同一数量级时, 这种情况称为边界润滑状态。

全流体膜润滑是最理想的润滑状态。对于一定的表面粗糙度, 能否处于全流体膜润滑状态取决于两个表面的最小膜厚 $h_{\min}$ 的大小。理论和实验指出, 由于流体动压作用, $h_{\min}$ 随着无量纲参数 $\frac{\mu U}{p}$ 的增加而增大, 其中 μ 、 U 、 p 分别为润滑剂的粘度、表面的滑动速度和单位压力。 $h_{\min}$ 和 $\frac{\mu U}{p}$ 的关系如图 1-1a 所示。如同时画出摩擦系数 f 与 $\frac{\mu U}{p}$ 的关系曲线 (图 1-1b), 则润滑状态更容易区分。 $f - \frac{\mu U}{p}$ 曲线首先由德国科学家斯特里贝克 (Stribeck) 由实验得到, 故又称为斯特里贝克曲线。通过这一曲线上的二个转折点作两条平行于纵轴的直线, 可将曲线划分为 I、II、III 三个区域, 依次分别表示边界润滑区、混合润滑区和全流体膜润滑区。

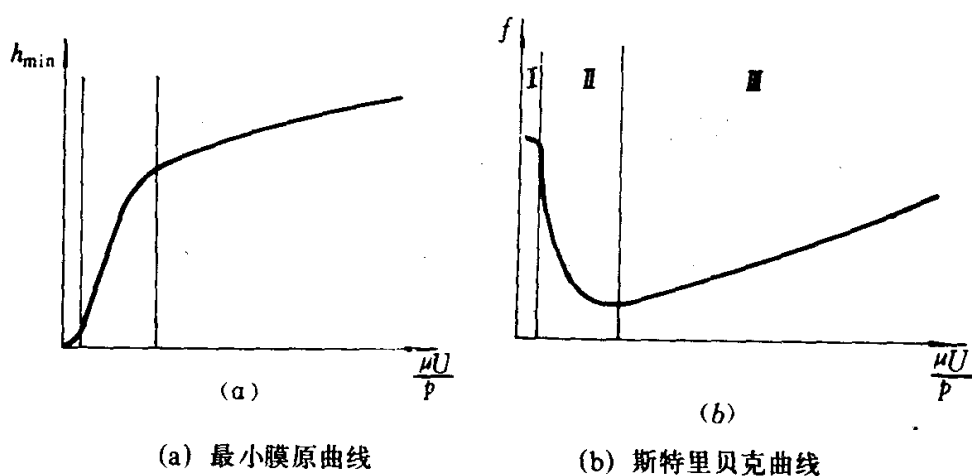


图 1-1 润滑状态