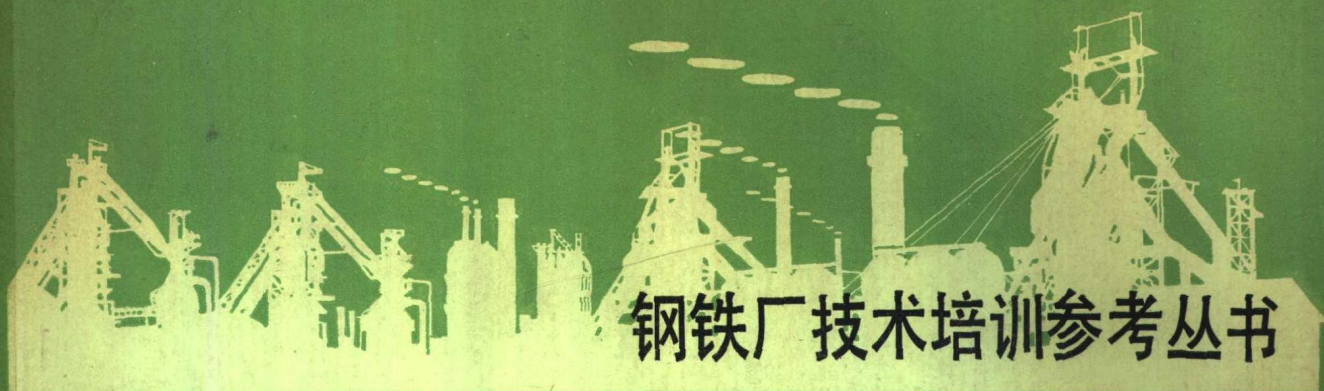




钢铁厂技术培训参考丛书

润滑知识

冶金工业出版社



钢铁厂技术培训参考丛书

润滑知识

倪履康 译

马先贵 校

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书较系统地介绍了有关摩擦和润滑的基本知识、润滑剂的种类、性质、使用方法及其选择应遵循的原则,有关轴承、齿轮及各种机械的润滑原理和技术,各种供油方法、供油装置、密封装置的使用场合和优缺点,润滑剂的保管以及应注意的事项,防止其劣化的方法以及对废润滑油的处理。

钢铁厂技术培训参考丛书

润 滑 知 识

倪履康 译

马先贵 校

*

冶金工业出版社出版发行

(北京灯市口74号)

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

87×1092 1/16 印张 4.5 字数 100 千字

1981年1月第一版 1981年1月第一次印刷

印数00,001~15,000册

统一书号: 15062·3621 定价 0.50 元

出版说明

《钢铁厂技术培训参考丛书》(以下简称《丛书》)是为了适应我国钢铁企业开展职工技术培训工作的需要,由我社组织翻译的一套日本的技术培训教材,拟分册陆续出版,由我社内部发行,供钢铁企业开展技术培训时参考,也可以供具有初中以上文化程度的职工自学技术时参考。

这套《丛书》包括技术基础知识11本,专业概论8本,冶炼和轧钢专业知识46本(冶炼专业13本,轧钢专业33本),共计65本(具体书名见书末的《钢铁厂技术培训参考丛书》书目)。

这套《丛书》所介绍的工艺、设备和管理知识,取材都比较新,反映了日本钢铁工业的技术水平和管理水平。这套书在编写时,对理论方面的知识,作了深入浅出的表达;对设备方面的知识,配有大量的结构图,简明易懂;对工艺方面的知识,给出了较多的操作工艺参数,具体明确。这套《丛书》的编写特点可以概括为:新、广、浅,即所介绍的知识比较新,所涉及的知识面比较广,内容的深度比较浅。

为了便于教和学,书的每章都附有练习题,概括了该章的主要内容;每本书的后面都附教学指导书,既有技术内容的补充深化和技术名词的解释,又有练习题的答案。

根据我们了解,日本对这套书的使用方法是:技术基础知识部分和专业概论部分是所有参加培训学员的共同课程;冶炼和轧钢专业知识部分是供专业教学用的。由此可以看出,日本的职工技术培训,主要强调的是扩大知识面,强调现代钢铁厂的工人,应该具有广博的科技知识。这一点,对我们今后制订技工学校和职工技术培训的教学计划,是会有参考意义的。

我们认为这套《丛书》不仅适合钢铁企业技工学校 and 工人技术培训作教学或自学参考书,也可作中等专业学校编写教材的参考书,其中的技术基础知识部分和专业概论部分也可作各级企业管理干部的技术培训或自学参考书。

在翻译和编辑过程中,对原书中与技术无关的部分内容我们作了删节。另外,对于原书中某些在我国尚无通用术语相对应的技术名词,我们有的作为新词引进了;有的虽然译成了中文,但可能不尽妥当,希望读者在使用过程中,进一步研讨。

参加这套《丛书》翻译、审校工作的有上海宝山钢铁厂、东北工学院、鞍山钢铁公司、北京钢铁学院、武汉钢铁公司、冶金部情报研究总所等单位的有关同志。现借这套《丛书》出版的机会,向上述单位和参加工作的同志表示感谢。

整套《丛书》的书目较多,篇幅较大,而翻译、出版时间又较仓促,书中错误和不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

一九八〇年二月

序 言

最近，对润滑的定义有重新确定的趋势，即不是单指润滑而言，而应包括摩擦、磨损、润滑等内容在内的广义的科学技术（称为摩擦学，详细内容参看指导书）。

事实上，润滑技术起源于对润滑油消耗的管理。但是，机器发生故障和寿命缩短，并不仅由于润滑油的不足，而不少是由于缺乏润滑知识和润滑技术差所引起的。随着这个薄弱环节的突出，必然引起人们对广义润滑的研究。就润滑来说，当前已不只是维修人员的事情，而是包括全体操作人员在内，都应懂得这门科学知识，并在此基础上执行正确的操作方法。只有如此，才能防止由于对技术无知，而导致事故的发生和采用不适合的润滑方法。

目 录

第1章 摩擦和润滑的基础..... 1

1. 摩擦的概念..... 1
 - (1) 摩擦阻力和摩擦系数..... 1
 - (2) 摩擦的原因..... 3
 - (3) 滚动摩擦..... 4
2. 摩擦和润滑..... 4
 - (1) 流体润滑和油膜压力的产生..... 5
 - (2) 边界润滑..... 5
3. 摩擦和磨损..... 6
4. 润滑效果..... 6
 - (1) 减摩效果..... 6
 - (2) 冷却效果..... 6
 - (3) 应力分散效果(集中负荷的分散作用)..... 6
 - (4) 密封和防尘效果..... 6
 - (5) 防锈效果..... 6
- 练习题..... 7

第2章 润滑剂..... 8

1. 润滑油..... 8
 - (1) 润滑油的一般性质..... 8
 - (2) 润滑油(矿物油)的种类和用途..... 11
2. 润滑脂..... 11
 - (1) 润滑脂的性质..... 11
 - (2) 润滑脂的种类和用途..... 11
3. 固体润滑剂..... 14
 - (1) 固体润滑剂的种类和性质..... 14
 - (2) 固体润滑剂的使用法..... 15
4. 添加剂..... 15
 - (1) 添加剂的种类和作用..... 15
5. 润滑剂的选择..... 16
 - (1) 润滑油的选择..... 18
 - (2) 润滑脂的选择..... 19
- 练习题..... 19

第3章 润滑..... 20

1. 轴承的润滑..... 20
 - (1) 滑动轴承..... 21
 - (2) 滚动轴承(参见指导书3-2)..... 25
2. 齿轮的润滑..... 28

- (1) 齿轮的啮合状态..... 29
- (2) 齿轮的安装..... 29
- (3) 油膜的形成..... 30
- (4) 齿轮润滑油必须具备的性能..... 31
- (5) 齿轮的损伤..... 31
3. 各种机械的润滑..... 32
 - (1) 泵的润滑..... 32
 - (2) 轧机的润滑..... 33
 - (3) 机床..... 34

第4章 供油方法和供油装置..... 36

1. 强制润滑方式..... 36
 - (1) 循环供油法..... 36
 - (2) 喷雾供油法(油雾润滑)..... 36
 - (3) 集中润滑法..... 39
2. 其它的润滑方法..... 39
 - (1) 手工加油法..... 39
 - (2) 可见滴下供油法..... 39
 - (3) 虹吸供油法..... 39
 - (4) 油垫供油法..... 40
 - (5) 油环、导链、套环供油法..... 40
 - (6) 勺式供油法..... 41
 - (7) 飞溅供油法..... 41
 - (8) 油浴供油法..... 41
 - (9) 润滑脂杯..... 42
 - (10) 润滑脂枪..... 43
3. 密封装置..... 43
 - (1) 油封的种类..... 43
 - (2) 使用油封时应注意的事项..... 43

练习题..... 44

第5章 润滑剂的处理..... 46

1. 保管上应注意的事项..... 46
 - (1) 验收与容量..... 46
 - (2) 贮藏与搬运..... 46
 - (3) 发料..... 46
2. 防火注意事项..... 46
3. 润滑油、润滑脂的劣化及其防止方法..... 47
 - (1) 润滑油的劣化..... 47
 - (2) 润滑脂的劣化..... 47

(3) 防止润滑油的劣化及其措施.....48	(2) 润滑油的再生.....48
4. 废油的处理.....48	练习题.....50
(1) 废油的分类.....48	

教学指导书

润滑和摩擦学.....51	2—5 极压添加剂.....55
第1章 摩擦和润滑的基础.....52	2—6 聚合物.....55
1. 学习目的.....52	3. 练习题解答.....55
2. 术语解释.....52	第3章 润滑.....56
1—1 表面光洁度.....52	1. 学习目的.....56
1—2 滚动摩擦.....52	2. 术语解释和补充说明.....58
1—3 油性.....52	3—1 索莫菲尔德数S.....58
3. 练习题解答.....52	3—2 滚动轴承的补充说明.....58
第2章 润滑剂.....53	3—3 等效载荷.....62
1. 学习目的.....53	第4章 供油法及供油装置.....63
2. 术语解释.....53	1. 学习目的.....63
2—1 轻质油.....53	2. 练习题解答.....63
2—2 工业粘度计.....53	第5章 润滑剂的处理.....63
2—3 绝对单位.....53	1. 学习目的.....63
2—4 油泥.....55	2. 练习题解答.....63
附:《钢铁厂技术培训参考丛书》书目.....64	

第1章 摩擦和润滑的基础

我们在日常生活中到处都在利用摩擦原理。例如划火柴就是其中一例；而汽车所以能够行驶，是因为汽车轮胎和路面之间存在摩擦；还有，汽车所以能够停止下来，也是由于将摩擦原理应用在制动器上。但是，与此相反，轮胎由于摩擦而会磨损，制动器如果使用过度，也就会因摩擦作用而发热胶合，这类有害摩擦方面的例子也是很多的。

当两个接触着的物体相互运动时，在接触面上就有摩擦力发生，对运动起着阻碍作用。在机械设备中，存在许多发生摩擦的部分，但是，如果不对这些发生摩擦的部分采取措施，坐待机械设备烧伤或损坏，就会造成莫大的损失。

因此，我们应在有摩擦的地方加油。这样，机械的运转就变得轻快些，从而可防止烧伤和磨损，这就是润滑。

当大件货物放在地上拖着搬运时，如果在地面撒上许多水的话，那么移动起来，就比我们所想象的容易；假如地面是岩石或石头等物，撒上油后，搬运起来就更容易。这里所说的事实前人早就认识到了，这是他们在生活中积累起来的知识。此外，象我们所看到的建造埃及金字塔的图片那样，

这就是古代利用滚柱减少摩擦的原理来搬运大石头的事例。



图 1-1 滚柱的利用

摩擦和润滑在确立机械设备现代化方面占有重要的地位，但是，所谓摩擦和润滑，到底是什么样的现象呢？

1. 摩擦的概念

(1) 摩擦阻力和摩擦系数

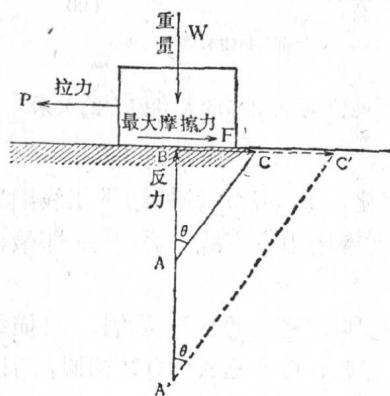


图 1-2 水平板和它上面的物体的摩擦力

要想打开木窗和拉门，就需用一定数量的力。那是因为，在木窗与横木的接触面上，作用着阻碍滑动的力。对这两个物体互相滑动而产生的阻力，叫做滑动摩擦力。当木窗开关困难时，若在横木上面涂上蜡或石蜡，就会变得容易多了。这是由于石蜡使摩擦力减小了的缘故。

这里，我们来讨论一下有关在平面上移动物体的摩擦力。如图1-2所示，放在台面上重量为 W 的物体，沿着水平方向拉动，当该力较小时，便与摩擦力相平衡，不存在移动物体的力。处在这种状态下的摩擦力，叫做静摩擦力，其拉力和摩擦力大小相等，方向相反。再增大拉力 P ，当其增加到略大于静摩擦力时，物体才开始移动，这时因为静摩擦力达到了极限，平衡破坏了。开始使物体移动的剩余力虽然小，但却产生了

移动,从这个意义上来说,把这时的摩擦力,叫做最大摩擦力(或称为最大静摩擦力)。其力学原理如下。

若将重量为 W 的物体放在台面上,则在台面上就产生了支撑 W 的力(与 W 大小相等,方向相反),这个力就叫做反力(图中,为垂直力)。这个反力的大小如图所示,用直线 AB 的长度来表示(其力用 AB 来表示),最大摩擦力 F (与力 P 大小相等,方向相反)用直线 BC 来表示。连结 A 、 B 、 C 、三点所组成的三角形,从物体重量的比例中可知,最大摩擦力越大, $\angle BAC = \theta$ 就越大,因此,把这个角叫做摩擦角,作为表示物体和台面之间的摩擦大小的尺度。或者,更直接表示为:

$$\frac{\text{摩擦力}(F)}{\text{垂直于摩擦面压力}(W)} = \text{摩擦系数}(\mu)$$

式中 μ 称为摩擦系数。

无论是 θ 还是 μ ,都形象地表示出以垂直于面的压力(这种场合是重量)为标准的摩擦力的大小。据此,如果摩擦面相同,重量假定增加一倍,则摩擦力也增加一倍, θ 和 μ 的值是不变的,它们仅仅是根据摩擦面的性质而变化。也就是说, θ 和 μ 是表示滑动面好坏的系数。不言而喻,这些值越小,就越容易滑动。

如上所述,重量如果增加一倍,摩擦力也增加一倍,这种情况无论谁都会认为是那样。通过下面的实验,其正确性就更清楚了。

在如图1-3所示的装置中,记下物体在开始移动时砝码的重量,当物体的重量发生变

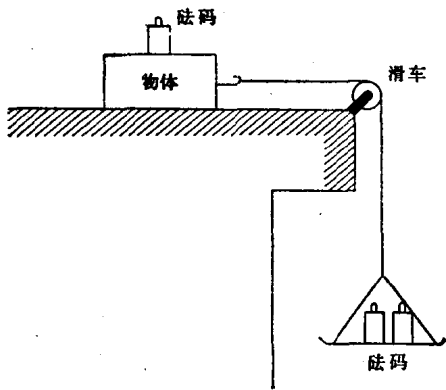


图 1-3 根据台面上的物体滑动求最大摩擦力及摩擦系数方法的例子

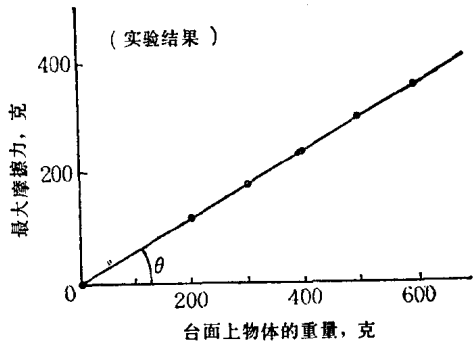


图 1-4 物体的重量和最大摩擦力的关系

化后,盘子里的砝码重量(相当于最大摩擦力 F)也要变化。若将实验的结果用线图表示,得到如图1-4所示的直线。由图可知物体的重量和最大摩擦力成直线关系,亦即最大摩擦力和重量成正比变化。

我们再用前面的图1-2来研究一下这种情况。设想把物体的重量增加到两倍,可描绘出对应于直角三角形 ABC 的直角三角形 $A'BC'$,由于 $\triangle ABC$ 和 $\triangle A'BC'$ 相似,所以 $\angle BAC = \angle BA'C' = \theta$ 。

$$\frac{\text{摩擦力}}{\text{正压力}} = \frac{BC}{AB} = \frac{BC'}{AB'} = \text{摩擦系数}(\mu)$$

由上式可知, θ 和 μ 都和物体的重量无关。

其次, 对于相同物体, 如果改变接触的面积, 那么会变成什么样的情况呢? 通过实验可知, 接触面积的大小和摩擦力无关, 也就是 θ 和 μ 都是不变的。

这些结果可总结为: 最大摩擦力与作用在摩擦面上的垂直力成正比, 与表观接触面积 (后面叙述) 的大小无关。这个法则是以通过实验加以证实的科学家的名字来命名的, 称为库仑·阿蒙顿法则。

以上所述是当物体开始滑动时的最大摩擦力及摩擦系数, 但是, 当物体在连续运动时, 也会产生摩擦, 这时的摩擦力称为动摩擦力, 它比最大静摩擦力小。如果动摩擦力表示为 F' , 则下式同样成立。

$$\frac{\text{动摩擦力}(F')}{\text{正压力}(W)} = \text{动摩擦系数}(\mu')$$

式中 μ' 称为动摩擦系数, 为了区别 μ 和 μ' , μ 也称为静摩擦系数。 μ' 通常比 μ 小。

(2) 摩擦的原因 摩擦虽然是在接触面之间发生的, 可是它与其接触面积的大小无关, 这是什么道理呢? 下面, 我们来分析一下叫做“面”的这个现象。

物体的表面, 不管它研磨得多么光滑, 如果将它放到显微镜下, 必然会看到有凹凸不平的地方。一般认为, 从现在的技术水平来看, 即使用最高技术水平研磨成的金属表面, 也还有 $0.1\mu = \frac{1}{10000}$ 毫米左右的凹凸不平。因此, 若将这样的表面重合, 用肉眼

来观察, 就好象全部的面是紧紧地粘附在一起似的, 而实际上, 仅仅是极少的尖峰部分在接触 (图1-5)。相对于表观接触面积, 称为实际接触面积, 它是表观接触面积的百分之一到数万分之一。如此微小的面积支撑全部负荷, 因此, 那里的压力变得非常大, 突出的顶端被压溃, 达到分子引力互相起作用的程度。其结果在突出顶端, 两个面互相嵌合。嵌合部分叫做粘着 [图1-6(a)]。因此, 若移动一方后, 则粘着部分就被撕开, 接着又产生新的粘着。对这种反复所必需的力, 就是摩擦的本质 [图1-6(b)]。

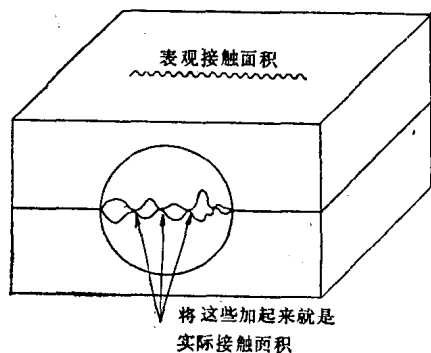


图 1-5 表观接触面积和实际接触面积

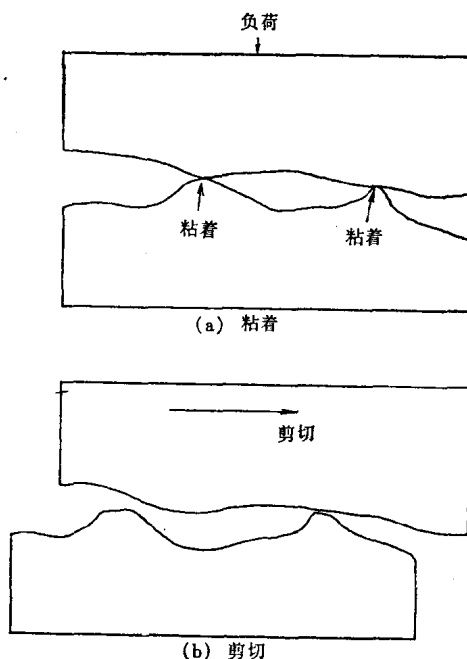


图 1-6 摩擦力本质

实验证明, 当表观接触面积不变, 负荷增大时, 支撑它的尖峰被压溃的面积增大, 实

际接触面积与负荷成正比例增加（表1-1）。

表 1-1 负荷变化和接触面积的增加

负 荷, 公斤	实 际 接 触 面 积 比	实际接触面积和表观接触面积的比
2	1	$\frac{1}{100000}$
20	10	$\frac{1}{10000}$
100	50	$\frac{1}{2000}$
500	250	$\frac{1}{400}$

这样, 摩擦的本质是产生在实际接触面上的粘着, 其面积与表观面积无关, 和负荷成比例地增减, 所以摩擦力也具有同样性质。

如上所述的摩擦机理被称为“粘着学说”。一般认为, 在两表面之间不存在润滑油; 摩擦面的表面光洁度小且两表面之间的硬度差少; 若两表面又是类似的金属时, 就容易粘着。

(3) 滚动摩擦 到此为止, 我们仅仅就滑动摩擦进行了研究。可是象在图1-1中所看到的那样, 当搬运沉重的货物时, 与其在地面滑动, 不如通过滚柱, 使其滚动搬运。事实上, 滚动必然要容易得多。当滚柱或车轮等滚动时, 在接触面上, 也产生阻碍运动的摩擦, 这种摩擦称为滚动摩擦。由于外力和阻力不在同一条线上, 因此, 用力矩 (例如: 用扳手旋紧螺帽时, 力和扳手长度的乘积, 称为外力作用于物体想要使物体进行旋转的能力) 形式来表示。

滚动摩擦的原因是复杂的, 当然不能象滑动摩擦那样简单。滚动摩擦受接触面性质影响是不言而喻的, 而且它还受滚动速度、正压力、滚柱等直径的影响。

2. 摩擦和润滑

根据上述学说可以认为, 摩擦的大小为粘着部分材料性质所决定: 容易撕碎的材料, 则摩擦系数就小; 难以撕碎的材料, 则摩擦系数就大。为了弄清这一点, 利用同一个摩擦面, 在真空中和空气中通过实验进行了比较, 其结果列于表1-2。真空中的摩擦系数比空气中的摩擦系数大2~3倍。其原因是空气中的固体表面被氧化或吸附的灰尘和水蒸气所覆盖, 而在真空中清洁的金属界面是不会有氧化物和灰尘粘附的 (图1-7)。

表 1-2 真空和空气中的摩擦系数的值

摩 擦 面	摩 擦 系 数	
	真 空 中	空 气 中
铜—铜	4	1.6
铁—铁	—	1.2
镍—镍	5	3.0
铝—铝	—	1.9

一般认为, 经常有些夹杂物质介于实际的摩擦面之间, 其多半是起着减小摩擦力的作用, 也就是说, 在起着润滑作用。这种现象是自然发生的, 但是, 实际上更多是人为地采

用剪切力小的材料覆盖到撕碎力（称其为剪切力）大的金属表面上，以便起润滑作用。例如：石墨抗剪切力非常弱，在实际中也被使用作润滑剂；油因为是液体，抗剪切力越发弱，所以它当然是更适宜的润滑剂了。

（1）流体润滑和油膜压力的产生 我们要想使机器顺利地运转，就要在产生摩擦的部位加油。使互相摩擦着的金属面被油的薄膜分开，将金属相互间的摩擦（称为固体摩擦或干摩擦）变换成油分子（具有油性质的最小粒子）相互间的摩擦。这种摩擦称为流体摩擦。

可是，为了不使金属面相互接触，则油膜产生的力必须与负荷相反，推开金属面，这个力是从什么地方产生出来的呢？

现在，我们在平行面之间，注入油，若移动上边的一个面，则因为接近上面的油就被移动面拉住，要一起移动。所以在油膜当中，产生了如图1-8(a)所示那样的上下速度不一样的流动。可是，仅仅是这样，还不能产生推开力。然而如图(b)所示，若两个面倾斜，在移动方向的间隙逐渐变窄时，随着油被带进这狭窄的间隙，油受压缩，因之油压增高，这个力对上下两面起推的作用。这种作用称为“油楔效应”。这样的状态，称为流体润滑，是最理想的润滑状态。机械的摩擦部分，希望按这种状态进行设计。

（2）边界润滑 如果机械经常在理想的流体润滑状态下进行运转的话，就不会发生问题。可是，当负荷增加或速度太慢时，则油膜变薄，局部金属相互接触，摩擦急剧地增大。这样的状态，称为边界润滑。

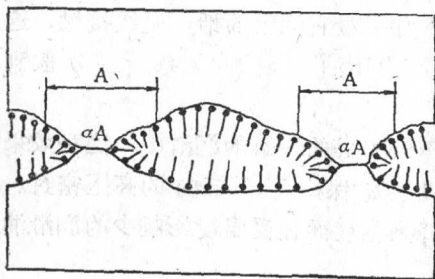


图 1-9 边界摩擦的模型

薄膜，称为边界润滑膜，这种摩擦是处于干摩擦和流体摩擦二者之间的状态。若用摩擦系数来衡量，当干摩擦约为1、流体摩擦约为0.02时，这种摩擦约为0.1。此外，在边界润滑中，吸附于表面的薄油膜一经破坏后，就近似于干摩擦状态，因此，油的吸附性越高，

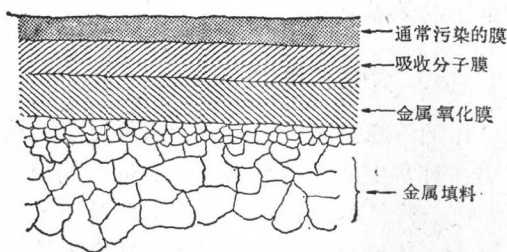


图 1-7 空气中的金属表面状态

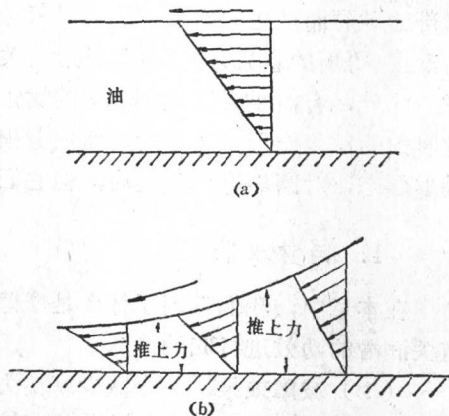


图 1-8 由于楔子功效而产生的压力

(a) 油因粘性被移动部分所拉住；

(b) 油被吸入楔子部分产生油膜压力

如本节最初所述那样，空气中的摩擦系数之所以比真空中的小，可以认为这是由于其他物质的存在，使之处于边界润滑状态的缘故。通常，在用油进行润滑时，当油膜的厚度变薄，便形成边界润滑，若用模型来表示，可表示成图1-9所示那样。图中表示出上下的固体相对应，既承受垂直负荷，又进行滑动的状态，局部产生着金属接触。负荷由A部分所支撑，其中一部分(αA 的部分)发生粘着。摩擦力的大部分是剪断粘着部分的力，余下的部分为油膜中产生的摩擦。这种

则润滑功效就越显著。

3. 摩擦和磨损

伴随着摩擦而产生的一个重要现象，就是磨损。譬如鞋底、钢笔尖、汽车轮胎等的磨损。在日常生活中，磨损给我们带来种种麻烦。当磨损在机器类的轴承或齿轮等地方发生时，则会降低机器精密度，影响成品质量，以致不能经久耐用。

由于摩擦造成的表面损伤（如磨损等，主要由于机械作用而产生的固体表面损伤情况的总称），其特征是破坏发生在与外力无关的方向上，从表面脱落小碎片。这是个复杂的现象。

若简单地叙述一下磨损的原因，那就是在有摩擦的地方，两表面会因接触而粘着，把它拉开，这就是摩擦；如果按照表面损伤的观点来看，也同时是磨损的原因。这种由于粘着部的破裂而产生的磨损，称为粘着磨损，它是磨损现象中最基本的。另外，有被称为磨料磨损（研磨的意思）的，也与粘着有关，是由于油中的磨料粉末而发生的磨损。

此外，有由于大气或润滑剂的腐蚀作用与机械的作用所产生的腐蚀磨损。还有由于摩擦时力的反复作用而产生的表面疲劳损伤，这种损伤称为疲劳磨损。以上四种磨损是按照基本形态，对磨损进行分类的，但它们的名称是繁多的。

4. 润滑效果

在本章中，我们学习了什么是摩擦，以及要做到容易滑动需要怎样进行润滑。下面就有关润滑的功效进行归纳。

（1）减摩效果 关于减少摩擦力、减轻磨损的问题，已经叙述过，无需重述。

（2）冷却效果 在运动着的摩擦面上，必然存在摩擦力，该力所做的功，即力与移动距离的乘积，全部变为热，从而提高摩擦部位的温度。即使进行润滑，由于摩擦而产生的发热也不能避免，特别是在高负荷、高速下，更是严重。若热停留在摩擦面上不散失，则磨损就增大，从而容易产生由于发热胶合所引起的损伤。如果使润滑油循环，由于油能够吸收摩擦热，并将它扩散到外部，从而降低摩擦部位的温升。

（3）应力分散效果（集中负荷的分散作用） 在润滑的地方，几乎都是点接触或线接触的部分。例如：在滑动轴承（参阅第3章）中，如果没有油膜的话，是线接触，这部分承受着集中负荷（压力）。如果有油膜的话，则负荷由于油膜压力的关系，被分散到轴承面上，从而能够减少摩擦。

（4）密封和防尘效果 在内燃机、压缩机或蒸气机等的气缸的润滑中，这种效果是必需的。润滑剂在和摩擦面起润滑作用的同时，借助活塞保持了气缸内的高压密封。另外，又防止了异物的侵入。在这种情况下，一般选择高粘度而且受温度影响少的润滑油，并有必要考虑密封效果。

另外，对摩擦面里容易混进煤尘、水泥或其他硬粉末的机器，应填充润滑脂，以防止这些物体的混入。这种情况在钢铁厂里，用来搬运原料和辅助材料的皮带输送机中的轴承以及车辆的车轴上，比较多见。

（5）防锈效果 大部分金属，若放置在大气中，因与氧气接触，会氧化而生锈。在金属表面上，涂了润滑剂后，由于油膜隔断空气中的氧气，能够防止腐蚀。

练 习 题

- (1) 根据润滑状态将摩擦分三类，试述各自的特征。
- (2) 说明边界润滑是怎么回事？
- (3) 请思考一下什么是润滑？
- (4) 在润滑效果中，什么是冷却效果？
- (5) 滚动摩擦和滑动摩擦哪个大？

第 2 章 润 滑 剂

在一般机器中所使用的润滑剂，大致可分为三类：

- (1) 液体润滑剂（润滑油）。
- (2) 半固体润滑剂（润滑脂）。
- (3) 固体润滑剂（石墨，二硫化钼等）。

下面，我们分别研究一下润滑剂的种类、性质等。

1. 润滑油

在润滑油中，有矿物性质的（石油系），动植物性质的和合成的（非石油系）。在这里，我们仅介绍石油系润滑油。

(1) 润滑油的一般性质 润滑油的性质，用下述项目表示。

a. 反应 要说油的化学性质，是指酸性、碱性或中性的各种反应。精制的润滑油是中性的，不呈现引起腐蚀原因的酸性或碱性。

b. 闪点 表示着火的危险性。闪点（温度）越高的润滑油，危险性就越小，蒸发损失也少。而且，闪点也成为判断轻质油混入情况以及精制好坏的大致标准。

c. 粘度、粘度换算 粘度在润滑油性质当中是最重要的。所谓粘度，概括的说就是油所具有的粘性。但准确地来讲，意味着“对于流体运动的内部阻力”。在测定粘度时，采用各种粘度计。

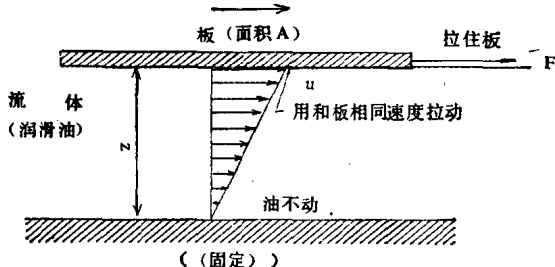


图 2-1 二平面之间油的流动

在流体中，相邻着的部分，如果一方移动的话，另一方就具有被拉的性质。如图2-1所示，在间隔为 z 的平行平面之间有流体（润滑油）。若下边的平面是固定的，当拉动上边的面积为 A 的板，使其速度达到 v 时，则与板连接的油和板以相同的速度移动，但连接下边固定板的流体停止不动，中间部分的速度成直线变化。这个速度变化的比例，也就是说 v/z ，称为流体速度倾斜度。若用 D 来表示，则有：

$$D = \frac{v}{z} [1/\text{秒}(s)] \quad (2-1)$$

这时，需要移动上板的力 F 是一种摩擦阻力，因为由实验可知，板面积和速度斜率是成比例的，所以

$$F = \eta A D \quad (2-2)$$

式中的比例常数 η ，称为粘度，或粘性系数。图中，把流体的层次画得很厚，但如果层次极薄的话，就能够看到表示流体润滑的油膜断面。这样，把力 F 与速度斜率成比例的流体，称为牛顿流体（一般流体）。对于润滑脂，这样的关系式是不成立的。

如果根据 (2-2) 式, 则粘度 η 越大, 摩擦阻力就越大。例如, 在轻负荷高速度运转的滑动轴承〔参阅第 3 章 (1) a 项〕中, 当采用粘度大的润滑油时, 就要招致很大的摩擦损失, 这是人们所熟知的。但是, 并不是粘度小的润滑油就一定好。因为当粘度过小时, 油就经受不住接触面的压力而被挤出, 也就不能维持流体润滑的状态。

油的粘度, 根据它的种类和温度不同会产生几百倍的变化, 所以按照使用场合的负荷、速度、温升等来选择适当粘度的润滑油是重要的。

η 的单位, 在 (2-2) 公式中, 设 $A=1\text{米}^2$ 、 $D=1(1/\text{秒})$ 、 $F=0.1\text{牛顿}(N)$ (参见指导书 2-3) 时的值叫做 1 泊 (记号 P), 它的 $1/100$, 称作厘泊 (cP)。 η 除以密度 ρ 的值, 称作动粘度或动粘度系数, 将粘度 1 泊时的值, 取作单位, 则就成了 1 斯托克斯 (Stokes, 记号 St), 也即 1 沱它的 $1/100$ 称作厘沱 (记号 cSt)。

粘 度: 1 泊 = 100 厘泊

动粘度: 1 沱 = 100 厘沱

用粘度计测定的粘度 (赛波特通用粘度计秒, 雷特伍德秒或恩氏粘度) 多数以动粘度 (厘沱) 表示。可用下述公式, 近似地进行换算 (粘度小的地方不适用)。

$$\text{动粘度(厘沱)} = At - \frac{B}{t} \quad (2-3)$$

式中 t 为各粘度秒数;

A , B 为系数。

	A	B
赛波特通用粘度计	0.22	180
雷特伍德	0.26	171
恩氏	0.14	374

d. 粘度指数 (V. L.) 润滑油的粘度随温度会大幅度变化, 在低温时大, 当温度上升后就变小。要表示这种变化的比例, 就要用到粘度指数。这个值大, 就意味着由于温度而引起的粘度变化小, 油具有良好的温度特性。

e. 流动点、凝固点 冷却油的时候, 把凝结而不流动的温度 (将试验管横过来, 5 秒钟期间流体停止流动的最高温度), 称为油的凝固点; 把比这高于 $2.7^\circ\text{C}(5^\circ\text{F})$ 的温度, 称为油的流动点。

这个温度越低, 润滑油就越好, 特别是冷冻机油以及在寒冷地带使用的润滑油等, 如果流动点不低的话, 就不能起到应有的作用了。

f. 氧化稳定性 润滑油在使用中, 由于各种各样的作用, 就氧化变质, 改变其性能。特别在高温、高压或容易混入杂物的状态下所使用的润滑油, 由于氧化变质影响大, 因此, 要求具有难氧化和稳定性好的性质。对于润滑油 (透平油类), 有氧化稳定度试验法 (JIS K 2515)。

g. 水分 润滑油水分越少越好。含有水分, 就要促使油劣化。

h. 抗乳化性 润滑油难于与水混合, 由于搅拌等, 即使润滑油与水暂时地乳化, 静置后, 油水也会分离。然而, 在 60°C 以上的温度中和水搅拌后, 就会同时发生氧化和乳化, 使润滑性能变坏, 产生淤渣, 油呈黑色。抗乳化度是表征油水分分离的难易程度 (也叫做离

水性或水分离性)，在规定的条件下，激烈地搅拌油和水，用二者的分离情况、到分离为止的时间等进行评定（JIS K 2520）。另外，也有向油中通进水蒸气，分析使其乳化后的分离情况（JIS K 2517）来评定抗乳化性的。

表 2-1 根据 JIS 的润滑油分类和编号

种 类	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号
主 轴 油 (JIS K 2210-1963)	8~17(a) @30℃	32~42 @30℃						
冷 冻 机 油 (JIS K 2211-1963)	16~26 @30℃	32~ 42(b) @30℃	69~79(c) @30℃					
电 机 油 (JIS K 2212-1963)	25~30(f) @50℃							
透平油 } 添加透平油 } 无添加透平油 (JIS K 2213-1961)	{ 20±2.5 @50℃	{ 35±2.5 @50℃	{ 45±2.5 @50℃	{ 50±2.5 @50℃				
机 器 油 (JIS K 2214-1959)	25~35 @50℃	35~45 @50℃	(35~ 40)(d) @50℃					
船舶内燃机用润滑油 1 种、2 种、3 种、4 种 (JIS K 2215-1966)		(e) 5.73~ 9.62 @98.9℃	9.62~12.9 @98.9℃	12.9~ 16.8 @98.9℃	16.8~ 22.7 @98.9℃			
陆用内燃机用润滑油 (JIS K 2216-1966)	1300~2600 @-17.8℃	5.73~ 9.62 @98.9℃	4.62~12.9 @98.9℃	12.9~ 16.8 @98.9℃	16.8~ 22.7 @98.9℃			
气 缸 油 (JIS K 2217-1963)	18.0~24.0 @98.9℃	27~33.0 @98.9℃	47.0~ 53.0(f) @98.9℃					
船舶发动机油 (JIS K 2218-1963)	75~100(g) @50℃							
齿 轮 油 1 种、2 种	30~60 @37.8℃	60~80 @37.8℃	105~150 @37.8℃	150~215 @37.8℃	15~20 @98.9℃	20~25 @98.9℃	25~30 @98.9℃	30~40 @98.9℃
齿轮油第 3 种 (JIS K 2219-1967)	8~15 @98.9℃	15~25 @98.9℃	25~40 @98.9℃					
航空活塞发动机润滑油 (JIS K 2219-1959)	10.80~ 12.40(h) @98.9℃		18.72~ 21.00(i) @98.9℃					

注：表示范围的数值是指粘度 cSt

(a) 与特 1 号通用；(b) 与特 2 号通用；(c) 与特 3 号通用；(d) 特 2 号；(e) 仅在 2 种、3 种中规定；(f) 特 3 号；(g) 无编号；(h) 与特 1 号通用；(i) 与特 3 号通用。
@30℃就意味着在 30℃。

i. 色调 石油制品通过透射光线而呈现出颜色的现象，叫色调。在润滑油中，有淡黄色、褐色、红褐色、红绿色、暗绿色、暗红色等，也有特意着色的情况。色调又可以用来表示在使用的润滑油里，受杂质影响而呈现出劣化程度。一般经仔细精制过的润滑油，