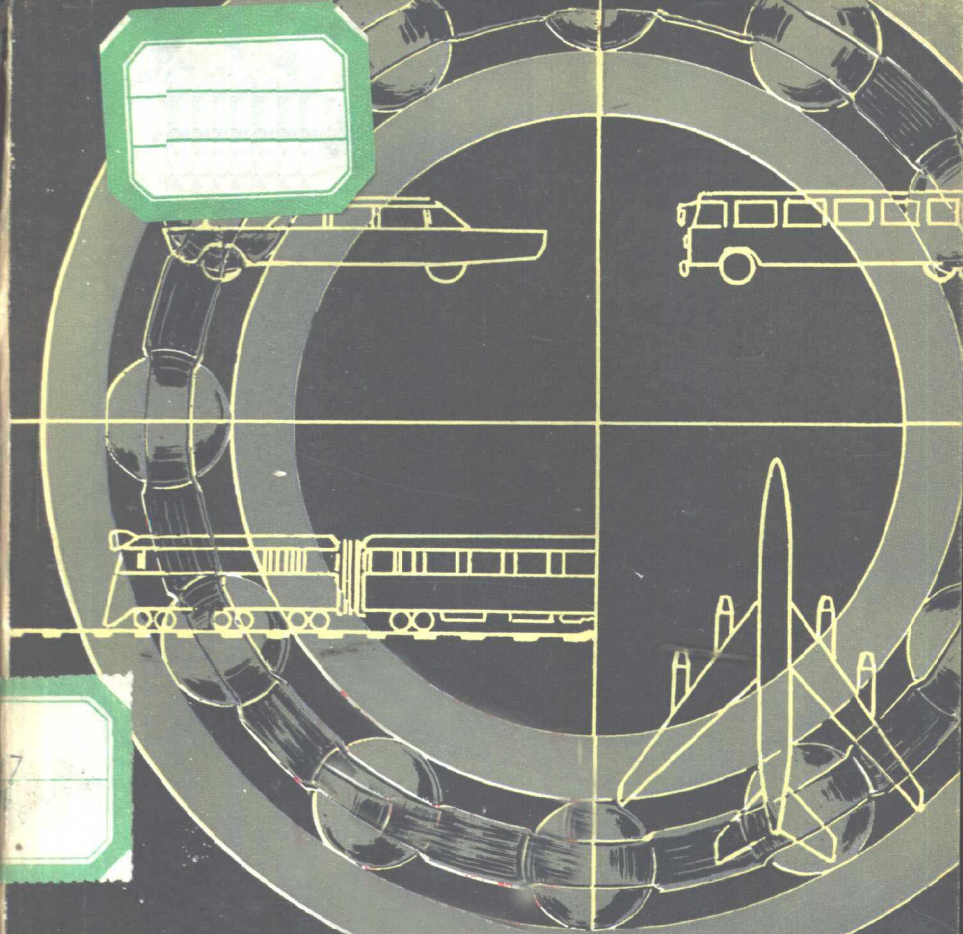




机械磨损与润滑实用知识

郑兆立

科学普及出版社

目 录

前言

第一章 摩擦磨损润滑的发展概况	1
一、我国古代人民对摩擦磨损润滑的认识.....	1
二、国外摩擦磨损润滑学发展概况.....	2
三、摩擦学和四个现代化的关系.....	3
第二章 摩擦、摩擦力、摩擦系数	4
一、摩擦、摩擦力.....	4
二、摩擦产生的原因.....	5
三、摩擦的分类.....	5
四、摩擦系数.....	8
第三章 磨损和减少磨损的方法	10
一、磨损及其产生的原因.....	10
二、磨损过程的三个阶段.....	10
三、磨损的几种主要形式.....	12
四、减少磨损的主要方法.....	13
第四章 润滑剂的分类及作用	15
一、润滑剂的分类.....	15
二、润滑剂的作用.....	17
第五章 润滑油	19
一、润滑油的制取.....	19
二、润滑油的质量指标及其意义.....	20
三、常见润滑油的种类及其用途.....	21

第六章 润滑脂	24
一、润滑脂的特性	24
二、润滑脂的质量指标及其意义	25
三、常见润滑脂的种类及其用途	26
第七章 固体润滑剂和气体润滑剂	28
一、常见的固体润滑剂的特性	28
二、固体润滑剂的使用方法	29
三、气体润滑剂简介	30
第八章 润滑方式	32
一、机械设备对润滑方式的要求	32
二、常见的润滑方式及其相应的装置	33
第九章 典型零部件的润滑	38
一、滑动轴承的润滑	38
二、滚动轴承的润滑	39
三、导轨的润滑	41
四、齿轮的润滑	41
五、传动链条的润滑	42
六、钢丝绳的润滑	42
第十章 金属切削润滑冷却液	43
一、金属切削润滑冷却液的作用	43
二、润滑冷却液的性能要求	44
三、润滑冷却液的配制工艺	44
第十一章 润滑油的回收再生	47
一、废油再生的意义及经济价值	47
二、废油的合理再生	48
第十二章 典型设备的润滑	52
一、G 620-1 车床的润滑	52

二、X 62 W 铣床的润滑	53
三、B 665 刨床的润滑	53
四、M 7120 A 平面磨床的润滑	54
五、冲压设备的润滑	54
第十三章 油料的掺配代用	55
第十四章 国外磨损与润滑发展的若干动向	59
一、理论研究	59
二、应用技术	60
三、测试技术	61

第一章 摩擦磨损润滑 的发展概况

一、我国古代人民对摩擦磨损 润滑的认识

我们伟大的祖国是世界上文明发达最早的国家之一。在我国悠久的历史上有许多伟大的科学家、发明家和无数的能工巧匠。我国古代的四大发明：造纸法、印刷术、指南针、火药，不仅在亚洲，而且在世界科学技术发展史上，都有重大的影响。就是在摩擦、磨损与润滑方面，我国古代人民也作出了不朽的贡献，对人类的生活和生产实践，都有深远的影响。我国上古时代，钻木取火就是世界上最早利用摩擦生热的例子，可以说已经不自觉地运用了摩擦现象的规律。1700多年前，三国时代杰出的机械发明家马钧（见图 1-1），运用摩擦磨损的原理，创造和改革了很多生产工具。他创造了一种把河水提上坡的工具叫做翻车，轻便灵巧，功效很高，这就是后代的龙骨水车。马钧还设计制造了指南车（见图 1-



图 1-1 三国时代的机械发明家马钧

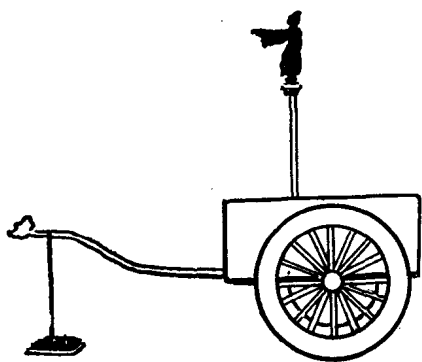


图 1-2 马钩制作的指南车

服》中描述的“花机”更巧妙的运用了这方面的科学原理，成为当时世界上最先进最精巧的脚踏提花织机。……

可惜我国古代科学家和劳动人民在这方面的发明创造，由于封建社会的残酷压迫和剥削，没有得到很好的发展和提高。

2)。早在晋朝的时候，我国的劳动人民就开始把豆油涂在车轴上当润滑油，以改善摩擦，减少磨损，当时叫做“膏车”。明代杰出的科学家宋应星，在他写的一部伟大科学技术文献《天工开物》第二卷《乃

二、国外摩擦磨损润滑学发展概况

摩擦磨损润滑虽然早已被人们所了解和应用，但作为一个独立的学科受到广泛的重视，成为迫切需要解决的技术问题，进行广泛深入的研究工作，还只是最近十多年来的事。1966年，英国科学家约斯特，考虑到机械设备向高度机械化、自动化、高精度发展，世界范围内能源日益短缺，向英国政府提出一项调查报告指出，通过应用摩擦、磨损、润滑知识，可以使英国每年节约五亿一千多万英镑。这项报告立即引起了英国政府和一些国家的重视。同年，英国开始把相

对运动表面的摩擦、磨损、润滑这三个相互关联的技术问题，归纳成一个新学科，称为“摩擦磨损润滑学”（以下简称摩擦学）。

三、摩擦学和四个现代化的关系

党中央一再发出号召，要在本世纪内实现四个现代化，为把我国建设成为伟大的社会主义强国而奋斗。敬爱的周总理曾经指出：实现四个现代化的关键在于实现科学技术的现代化。而科学技术的现代化，又处处离不开摩擦学。在我们的生产和生活中，无论是机器运行，汽车、火车的行驶，飞机和人造卫星的飞行以及走路、锄地等，无一不碰到摩擦的阻力，都存在磨损的问题。所以，摩擦学既是一门重要的基础理论，又是一门重要的应用科学。据科学家估计，世界上有三分之一的能源消耗在摩擦上。大约80%损坏的零件是由磨损报废的。我们研究摩擦润滑的目的就是要降低或消灭摩擦面之间不必要的损耗，节约能源，提高产品的可靠性和寿命。因此，它对国民经济和四个现代化都具有很重要的意义。

在党的关怀下，特别是粉碎“四人帮”以后，我国的摩擦磨损润滑学的研究工作发展得很快，已有了一批专业人员，广州机床研究所已出版了一份摩擦学科的专业性期刊《润滑与密封》。但是，和我国整个科学技术水平一样，我国的摩擦学水平和国际先进水平相比，现在还落后不少，必须迎头赶上，攀登科学高峰，为在我国尽早实现四个现代化的宏伟目标而努力奋斗！

第二章 摩擦、摩擦力、 摩擦系数

一、摩擦、摩擦力

两个相互接触的物体，在外力作用下发生相对运动时，产生一种阻力阻碍物体运动，这阻力叫做摩擦力，这种受阻现象叫摩擦（见图 2-1）。小孩在冰道上滑行，停止用力后滑了一段距离就会停下来，是因为有摩擦。滚到地板上的小球，滚动一段距离后，就停下来了，也是因为摩擦，摩擦是人们经常遇到的现象。

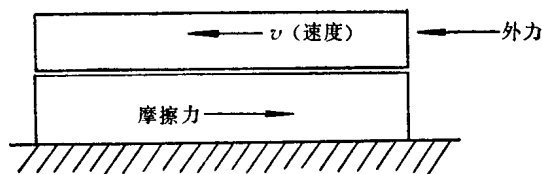


图 2-1 摩擦和摩擦力

前面已经提到，无用的摩擦大约要消耗世界能源的三分之一，这种消耗是很可观的，所以减少摩擦是工程上的一个重要课题。然而，事物总是一分为二的。如果没有摩擦或摩擦很小，我们的手拿任何东西都会象抓光滑的泥鳅一样，很难抓住。螺钉、传动皮带等也就都不起作用啦。所以，摩擦

也有它可以利用的一面。有些机械就是利用摩擦工作的，如摩擦压力机、摩擦离合器、传动皮带等。我们研究摩擦学，就是要让利用摩擦的机械，摩擦阻力大，磨损小，发热小，散热及时。让不利用摩擦的机械，保持最理想的润滑状态，尽量减少摩擦和磨损，降低能源消耗，延长产品使用寿命。

二、摩擦产生的原因

1. 两个相对运动的物体，接触面的凹凸不平部分互相碰撞。物体的表面不论加工得怎样精细，研磨得怎样光滑，但在显微镜下观察，表面仍是高低不平的（见图 2-2）。两个相互接触的物体，在外力作用下发生相对运动时，两物体表面的凹凸部分，就会相互碰撞，互相咬合，产生阻力。

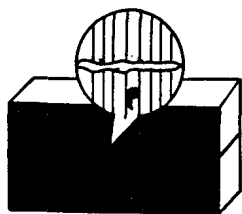


图 2-2 摩擦的产生

2. 物体表面接触分子间的引力作用，阻碍分子作相对运动。这一点特别能说明，摩擦不仅发生在固体运动的接触面，而且液体或气体运动时，同样也产生摩擦。例如火箭发射表面产生高温，也是这摩擦阻力的作用。

三、摩擦的分类

按运动形式可分为：

1. **滑动摩擦** 一个物体沿着另一个物体表面滑动时产生的摩擦，叫做滑动摩擦（见图 2-3）。轴瓦与轴产生的摩擦就属于这一种。

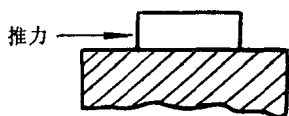


图 2-3 滑动摩擦

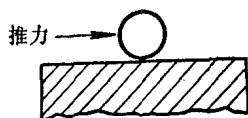


图 2-4 滚动摩擦

2. 滚动摩擦 一个物体在另一个物体上滚动时产生的摩擦，叫做滚动摩擦（见图 2-4）。滚珠和滚柱在轴承中转动所产生的摩擦就属于这一种。

按运动状态可分为：

1. 静摩擦 一个物体有沿着另一个物体表面运动的趋势时，所产生的摩擦，即运动开始前的摩擦，叫静摩擦。只有作用在物体上的外力克服了最大静摩擦力，物体才开始运动。静摩擦在生产技术上的应用是很广泛的，皮带运输机就是利用静摩擦来工作的（见图 2-5）。

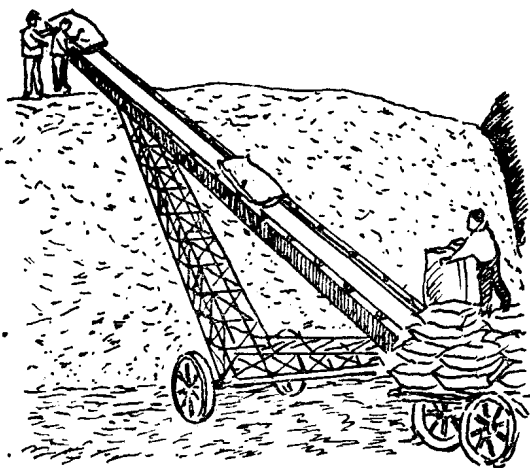


图 2-5 皮带运输机

2. 动摩擦 物体在运动中所产生的摩擦，即运动开始后的摩擦，叫动摩擦。犁地时犁面和泥土的摩擦、转动的轴和轴套的摩擦都是动摩擦。

按表面润滑情况可分为：

1. 干摩擦 在没有润滑剂的情况下，两个运动着的物

体表面直接接触所产生的摩擦叫干摩擦。在皮带传动机构中常见到这种摩擦（见图 2-6）。但在一般不利用摩擦的部件和机械中，干摩擦消耗动力最大，磨损最严重，是一种严重事故，因此，这些设备运行时要禁止干摩擦。

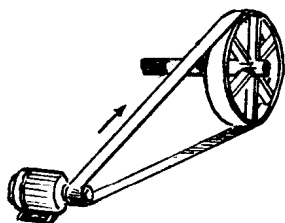


图 2-6 皮带传动

2. 流体摩擦（即流体润滑）两个运动着的物体表面被一层润滑剂完全隔开时，所产生的摩擦，叫流体摩擦（见图 2-7）。流体摩擦发生在润滑剂膜内，两个运动着的物体表面并不直接接触，因此接触面磨损轻，消耗动力小，是一种理想的摩擦状态。

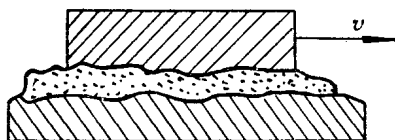


图 2-7 流体摩擦

3. 边界摩擦（即边界润滑）两个运动着的物体表面仅有一层极薄的润滑剂，此时处于干摩擦和流体摩擦的边界状态，叫边界摩擦（见图 2-8）。这种摩擦对工作表面的磨损，将大大超过流体摩擦。

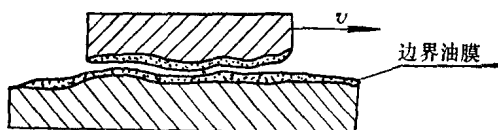


图 2-8 边界摩擦

4. 混合摩擦（即混合润滑） 半干摩擦和半流体摩擦都叫混合摩擦（见图 2-9）。半干摩擦是指在摩擦表面同时存在着干摩擦和边界摩擦的情况，半流体摩擦是指在摩擦表面同时存在着流体摩擦和边界摩擦的情况。两者都是在润滑剂被部分破坏，出现不连续润滑膜状态下的摩擦。这种摩擦对工作表面的磨损也很大。

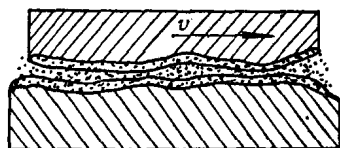


图 2-9 混合摩擦

四、摩擦系数

科学实验证明：滑动摩擦力跟压力成正比，摩擦力 f 和压力 N 的比值为常数，这个常数就叫摩擦系数，如果用 μ 表示摩擦系数，那么

$$\mu = \frac{f}{N}$$

摩擦系数值愈大，摩擦就愈厉害。在一般情况下，两个接触面之间的摩擦力比垂直负荷小，因而摩擦系数小于 1。摩擦系数是两个力的比值，没有单位。摩擦力的公式可以写成：

$$f = \mu N$$

在已知摩擦系数和压力时，利用这个公式就可以求出摩擦力。

摩擦系数的大小受摩擦的类型、材料的种类和性质、摩擦表面的粗糙度、软硬及摩擦所处的状态等的影响。详见附表一、二：

不同摩擦种类的摩擦系数

表 1

摩 擦 种 类	摩 擦 系 数
干 摩 擦	0.1—0.5
流体摩擦	0.001—0.01
边界摩擦	0.01—0.1
滚动摩擦 1. 滚珠	0.001—0.03
2. 滚柱	0.002—0.07

常用材料的摩擦系数

表 2

材 料 名 称	摩 擦 系 数	
	无 润 滑	有 润 滑
钢——钢	0.10	0.05—0.10
钢——黄铜	0.19	0.03
钢——轴承合金	0.20	0.04
铸铁——铸铁	0.15	0.07—0.12
铸铁——青铜	0.15—0.21	0.07—0.15
木材——木材	0.20—0.50	0.07—0.10
45 号淬火钢——聚甲醛	0.46	0.016
皮革——铸铁	0.60	

由此可见：在一般情况下，干摩擦的摩擦系数最高，边界摩擦次之，流体摩擦最低，最理想。

第三章 磨损和减少 磨损的方法

一、磨损及其产生的原因

两个相对运动的物体，在摩擦力的作用下，其表面的物质不断损失，表面尺寸和几何形状发生变化，重量减轻，这种现象叫做磨损。例如：我们穿的塑料鞋走路时间长了，鞋底花纹磨平了，这就是磨损。产生磨损的原因主要是：

1. 物体作相对运动时，摩擦面的凸峰互相碰撞，以致脱落，并产生热量，使接触表面温度升高。随着摩擦温度的逐渐上升，再加上脱落下来的微粒夹在两个摩擦面间，就加快了摩擦面的损坏。

2. 由于摩擦面表面分子间的引力作用，使接触面互相粘连。在摩擦运动中，物体摩擦部分的表面由于受力而易于破损，因而导致接触点粘着的不断发生剥落，使磨损延续下去。

二、磨损过程的三个阶段

1. 跑合阶段（又称初期磨损阶段、磨合阶段）一般新机器或修理后的机器，由于新加工的摩擦面具有一定的粗糙度，实际接触面积较小，单位接触面积的压力较大，因而刚

开始工作的一段较短时间内，磨损速度和磨损量都较大，这一阶段称为跑合磨损（见图 3-1 中 $o-a$ 线段）。跑合磨损到一定程度，表面逐渐磨平，实际接触面积逐渐增大，接触面的单位压力减小，磨损速度减慢。人们有意利用跑合阶段轻微磨损，为正常运行稳定磨损创造条件。如每一台汽油或柴油发动机装配好以后，都要按合理的跑合规程，添加合适的润滑油，进行跑合，跑合结束后，必须重新换油，然后才能交付使用。

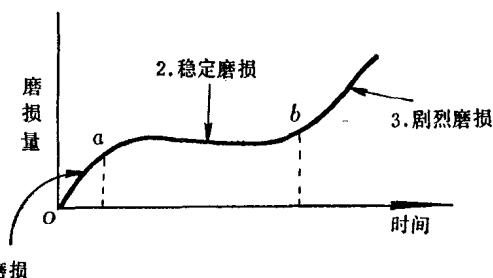


图 3-1 磨损过程的三个阶段

2. 稳定磨损阶段 在这个阶段中，摩擦面已经跑合磨平，所以磨损速度比较缓和、均匀。（见图 3-1 中 $a-b$ 线段）。这一线段具有基本上不变的斜率，表示磨损速度和磨损量极小，图中横坐标（时间）就是零件耐磨寿命。这阶段的时间很长，这就是正常磨损阶段。

3. 剧烈磨损阶段 经过较长时间的稳定磨损以后，由于摩擦表面之间的间隙和表面形态的改变以及产生表面疲劳等现象，使磨损速度急剧加快（见图 3-1 中 $b-c$ 线段），以致磨损面遭到严重损坏，零件寿命缩短，机器无法正常运转。因此，我们必须在机器进入剧烈磨损阶段前，及时进行计划检修，避免被迫停机。

三、磨损的几种主要形式

1. 磨粒磨损 这是摩擦表面被硬粒切下或擦下磨屑而破坏的一种普遍的磨损形式。这种硬粒可能是机件磨损下来的金属微粒，也可能是外界带入的尘土、磨屑等杂质，还有一种可能是机件本身的材料杂质如铸件中的夹砂等。这些杂质总称为磨粒。它们有的硬度很高，如尘土中的石英硬度达1120公斤/厘米²，当磨粒被挤在摩擦面间滑动时起切削作用，使金属表面(如导轨)产生研磨拉沟而磨损。

2. 粘着磨损(又称胶合磨损) 这种磨损是摩擦表面在高速重载和润滑油不足条件下，接触点发生粘连，滑动时，粘连点被撕裂而造成的。严重时滑动表面能相互咬死，机械丧失正常工作能力。

3. 表面疲劳磨损(简称疲劳磨损) 疲劳磨损主要发生在滚动或滑动滚动复合摩擦中，滚动接触面表层周期性受到巨大的接触压力，在重复载荷下产生疲劳，容易产生小麻点或引起微小裂纹，出现表层金属脱落。淬硬齿轮、滚动轴承、钢轨与轮箍表面的正常磨损，常属于这一形式。

4. 腐蚀磨损(又称腐蚀机械磨损) 是摩擦过程中金属与气体和润滑油中的酸或腐蚀性成分发生化学反应或电化学反应，而引起的磨损。腐蚀磨损包括氧化磨损、气蚀等。

以上四种是磨损的主要形式。实际出现的磨损很少以单项形式出现，而是某几种形式同时存在的，但其中必然有一种形式起主导作用。

四、减少磨损的主要方法

磨损的现象是相当复杂的，产生各种磨损的原因有物理的、机械的、化学的等等，因此减少磨损的方法也很复杂。现简单介绍以下几种最主要的方法：

1. 改变运动形式 如变滑动摩擦为滚动摩擦，就可以使摩擦系数从 0.004 降低到 0.002。使用滑动轴承，机器运转时轴和轴瓦间发生滑动摩擦。使用滚动轴承，内圈紧套在轴上，外圈固定在轴承座上，两圈之间装有许多光滑的钢柱或钢珠，机器运转时，轴带着内圈转动，钢珠或钢柱在两圈之间的滚道上滚动，摩擦大为减小(见图 3-2)。一般的说，用滚动摩擦代替滑动摩擦，可以使摩擦阻力减少到原来的 $1/40—1/60$ 。摩擦阻力愈小，磨损就愈少。

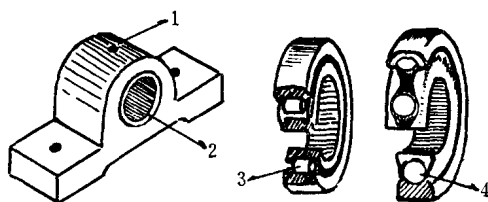


图 3-2 滑动轴承和滚动轴承

1. 油孔、2. 轴瓦、3. 钢柱、4. 钢珠、

2. 提高材料的机械性能 如选用耐磨度高、疲劳强度大、防蚀性能好、耐高温的新钢种、新材料等。

3. 选用合适的润滑剂和润滑方法 把干摩擦变成最理想的流体摩擦。一般说来，加润滑油可以使摩擦减少到原来的 $1/8—1/10$ 。实践证明：滚动轴承没有润滑剂只能工作很