



第四章 摩擦、磨损与润滑概述

§4-0 概 述

§4-1 摩 擦

§4-2 磨 损

§4-3 润滑剂、添加剂和润滑方法

§4-4 流体润滑原理简介

概 述



摩擦学是研究相对运动的作用表面间的摩擦、磨损和润滑，以及三者间相互关系的理论与应用的一门边缘学科。

- 摩擦 是相对运动的物体表面间的相互阻碍作用现象；
- 磨损 是由于摩擦而造成的物体表面材料的损失或转移；
- 润滑 是减轻摩擦和磨损所应采取的措施。

关于摩擦、磨损与润滑的学科构成了摩擦学(Tribology)。

世界上使用的能源大约有 $1/3 \sim 1/2$ 消耗于摩擦。如果能够尽力减少无用的摩擦消耗，便可大量节省能源。另外，机械产品的易损零件大部分是由于磨损超过限度而报废和更换的，如果能控制和减少磨损，则既减少设备维修次数和费用，又能节省制造零件及其所需材料的费用。

随着科学技术的发展，摩擦学的理论和应用必将由宏观进入微观，由静态进入动态，由定性进入定量，成为系统综合研究的领域。





一、摩擦的机理

- “机械说” 产生摩擦的原因是表面微凸体的相互阻碍作用；
- “分子说” 产生摩擦的原因是表面材料分子间的吸力作用；
- “机械 - 分子说” 两种作用均有。

二、摩擦的分类

内 摩 擦：在物质的内部发生的阻碍分子之间相对运动的现象。

外 摩 擦：在相对运动的物体表面间发生的相互阻碍作用现象。

静 摩 擦：仅有相对运动趋势时的摩擦。

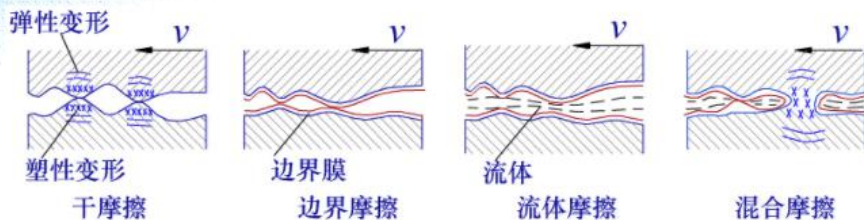
动 摩 擦：在相对运动进行中的摩擦。

滑动摩擦：物体表面间的运动形式是相对滑动。

滚动摩擦：物体表面间的运动形式是相对滚动。



三、4种滑动摩擦状态



1. 干摩擦是指表面间无任何润滑剂或保护膜 of 纯金属接触时的摩擦。

1785年，法国的库仑用机械啮合概念解释干摩擦，提出摩擦理论。后来又有人提出分子吸引理论和静电力学理论。1935年，英国的鲍登等人开始用材料粘附概念研究干摩擦，1950年，鲍登提出了粘附理论。 (详细介绍)

2. 边界摩擦是指摩擦表面被吸附在表面的边界膜隔开，其摩擦性质取决于边界膜和表面的吸附性能时的摩擦。 (详细介绍)



摩 擦



3. 流体摩擦是指摩擦表面被流体膜隔开，摩擦性质取决于流体内部分子间粘性阻力的摩擦。流体摩擦时的摩擦系数最小，且不会有磨损产生，是理想的摩擦状态。

4. 混合摩擦是指摩擦表面间处于边界摩擦和流体摩擦的混合状态。混合摩擦能有效降低摩擦阻力，其摩擦系数比边界摩擦时要小得多。

边界摩擦和混合摩擦在工程实际中很难区分，常统称为不完全液体摩擦。

随着科学技术的发展，关于摩擦学的研究已逐渐深入到微观研究领域，形成了微 - 纳米摩擦学理论，引发出许多新的概念，比如提出了超润滑的概念等。从理论上讲，超润滑是实现摩擦系数为零的摩擦状态，但在实际研究中，一般认为摩擦系数在0.001量级（或更低）的摩擦状态即可认为属于超润滑。关于这方面的研究也是目前微 - 纳米摩擦学研究的一个重要方面，同学们应对此给予关注。



磨 损



对磨损的研究开展较晚，20世纪50年代提出粘着理论后，60年代在相继研制出各种表面分析仪器的基础上，磨损研究才得以迅速开展。

磨损是运动副之间的摩擦而导致零件表面材料的逐渐丧失或迁移。磨损会影响机器的效率，降低工作的可靠性，甚至促使机器提前报废。

一个零件的磨损过程大致可分为三个阶段，即：

⇒ 磨合阶段 新的零件在开始使用时一般处于这一阶段，磨损率较高。

⇒ 稳定磨损阶段 属于零件正常工作阶段，磨损率稳定且较低。

⇒ 剧烈磨损阶段 属于零件即将报废的阶段，磨损率急剧升高。
(详细介绍)

在设计或使用机器时，应该力求缩短磨合期，延长稳定磨损期，推迟剧烈磨损的到来。为此就必须对形成磨损的机理有所了解。



磨 损



关于磨损机理与分类的见解颇不一致，大体上可概括为：

- ✎ 磨粒磨损 也称磨料磨损，是外部进入摩擦表面的游离硬颗粒或硬的轮廓峰尖所引起的磨损。
- ✎ 疲劳磨损 也称点蚀，是由于摩擦表面材料微体积在交变的摩擦力作用下，反复变形所产生的材料疲劳所引起的磨损。
- ✎ 粘附磨损 也称胶合，当摩擦表面的轮廓峰在相互作用的各点处由于瞬时的温升和压力发生“冷焊”后，在相对运动时，材料从一个表面迁移到另一个表面，便形成粘附磨损。
- ✎ 冲蚀磨损 流体中所夹带的硬质物质或颗粒，在流体冲击力作用下而在摩擦表面引起的磨损。
- ✎ 腐蚀磨损 当摩擦表面材料在环境的化学或电化学作用下引起腐蚀，在摩擦副相对运动时所产生的磨损即为腐蚀磨损。
- ✎ 微动磨损 是指摩擦副在微幅运动时，由上述各磨损机理共同形成的复合磨损。微幅运动可理解为不足以使磨粒脱离摩擦副的相对运动。

物理与电气工程学院 (更多介绍)

润滑剂、添加剂和润滑方法



一、润滑剂

- 润滑油：动植物油、矿物油、合成油。

粘度是润滑油的主要质量指标，粘度值越高，油越稠，反之越稀

- ； 粘度的种类有很多，如：动力粘度、运动粘度、条件粘度等。(具体说明)

工程中常用运动粘度，单位是：St(斯)或 cSt(厘斯)，量纲为(m²/s)；

润滑油的牌号与运动粘度有一定的对应关系，如：牌号为L-AN10的油在40℃时的运动粘度大约为10 cSt。

应用矿物油作润滑剂的记载最早见于西晋张华所著《博物志》，书中提到酒泉延寿和高奴有石油，并且用于“膏车及水碓甚佳”。

- 润滑脂：润滑油+稠化剂

润滑脂的主要质量指标是：锥入度，反映其稠度大小。

滴点，决定工作温度。

- 固体润滑剂：石墨、二硫化钼、聚四氟乙烯等。

物理与电气工程学院



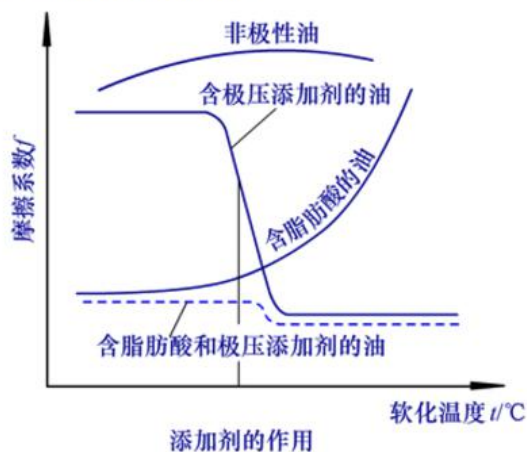


二、添加剂

为了提高油的品质和性能，常在润滑油或润滑脂中加入一些分量虽小但对润滑剂性能改善其巨大作用的物质，这些物质叫添加剂。

添加剂的作用 { 提高油性、极压性
延长使用寿命
改善物理性能

添加剂的种类 { 油性添加剂
极压添加剂
分散净化剂
消泡添加剂
抗氧化添加剂
降凝剂
增粘剂

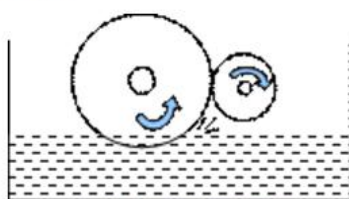


三、润滑方法

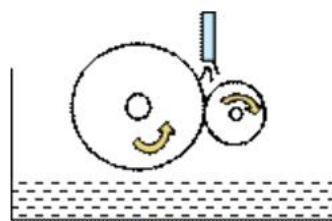
润滑油润滑在工程中的应用最普遍，常用的供油方式有：

滴油润滑、浸油润滑、飞溅润滑、喷油润滑、油雾润滑等

用于低速
用于高速



浸油与飞溅润滑



喷油润滑

油脂润滑常用于运转速度较低的场合，将润滑脂涂抹于需润滑的零件上。润滑脂还可以用于简单的密封。

常用的润滑装置

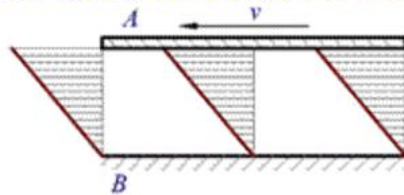
流体润滑原理简介



英国的雷诺于1886年继前人观察到的流体动压现象，总结出流体动压润滑理论。20世纪50年代普遍应用电子计算机之后，线接触弹性流体动压润滑的理论开始有所突破。

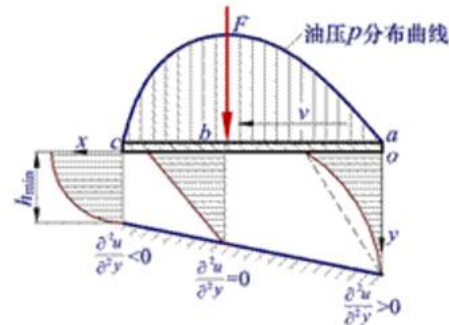
一、流体动力润滑

流体动力润滑是指两个作相对运动物体的摩擦表面，借助于相对速度而产生的粘性流体膜将两摩擦表面完全隔开，由流体膜产生的压力来平衡外载荷。



流体动力润滑形成的必要条件：

- 楔形空间；
- 相对运动（保证流体由大口进入）；
- 连续不断地供油。



(动画)

物理与电气工程学院



流体润滑原理简介



二、弹性流体动力润滑

弹性流体动力润滑理论是研究在点、线接触条件下，两弹性物体间的流体动力润滑膜的力学性质。这时的计算必须把在油膜压力下，摩擦表面的变形的弹性方程、表述润滑剂粘度与压力间关系的粘压方程与流体动力润滑的主要方程结合起来，以求解油膜压力分布、润滑膜厚度分布等问题。

(详细说明)*

三、流体静力润滑

流体静力润滑是指借助外部供入的压力油形成的流体膜来承受外载荷的润滑方式。

(详细说明)*

采用流体静力润滑可在两个静止且平行的摩擦表面间形成流体膜，其承载能力不依赖于流体粘度，故能用粘度极低的润滑剂，且既可使摩擦副有较高的承载能力，又可使摩擦力矩降低。

物理与电气工程学院

