

# 第三章 摩擦学设计

## 摩擦学 (Tribology)

摩擦、磨损与润滑科学总称为摩擦学，研究相对运动、相互作用表面的科学和有关的应用技术

### § 3—1 摩擦

#### 1. 摩擦的作用与类型：

作用：无用损耗、传递运动、吸能，缓冲，阻尼

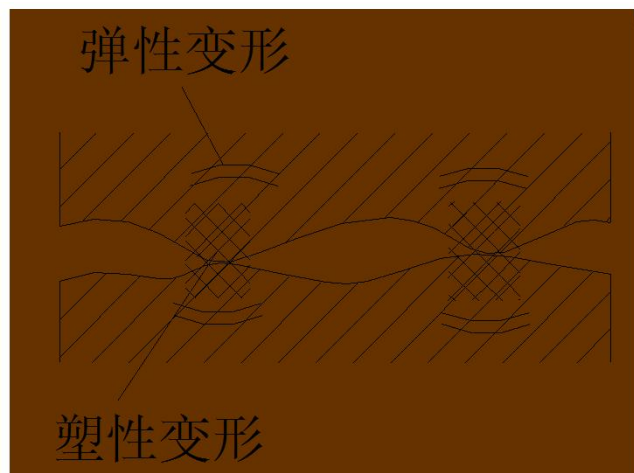
类型：

运动情况：静摩擦、动摩擦

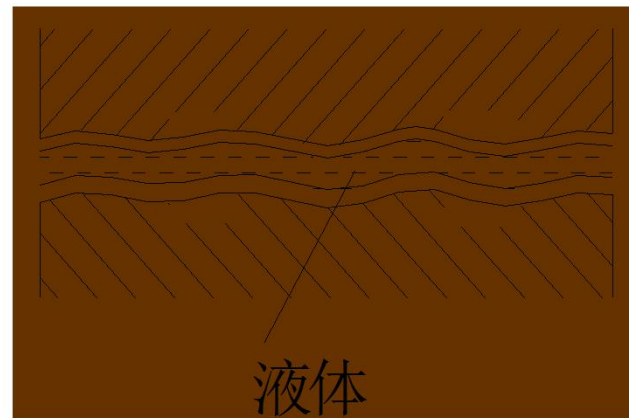
状态：干摩擦、边界摩擦、流体摩擦、混合摩擦

分子之间作用：内摩擦、外摩擦

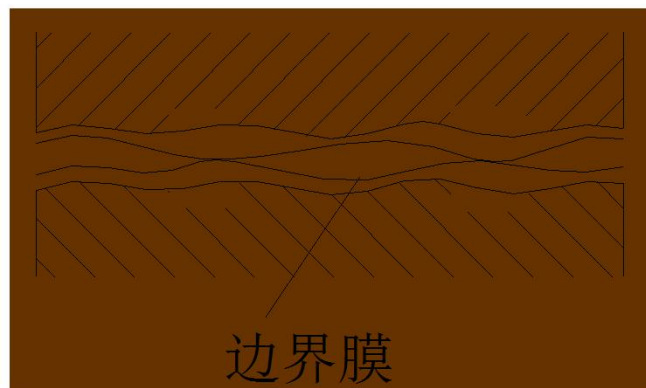
干摩擦—直接接触，不加入任何润滑剂，最不利



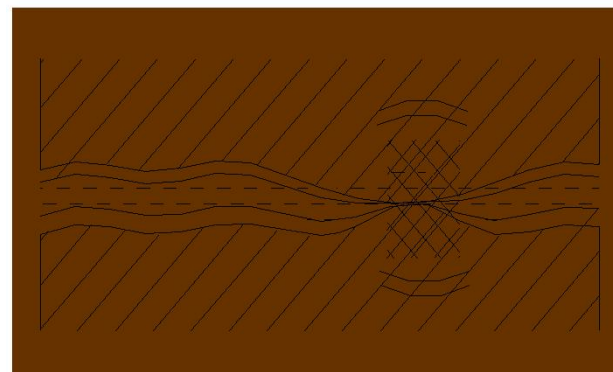
流体摩擦—流动层隔开，流体静压和流体动压



边界摩擦—两物体被边界膜（吸附膜和化学反应膜）隔开，最低要求



混合摩擦  
摩擦副处于干摩擦、边界摩擦和流体摩擦的混合状态



## 不同摩擦状态的基本特征表3—1

### 2. 摩擦状态的判定

(1) 润滑油膜的厚度

(2) 根据摩擦系数值

(3) 根据摩擦特性系数  $\eta n/p$  及相应的摩擦特性曲线

$\eta$ ----润滑剂的粘度

$n$ ----转速

$p$  ---压强。书p63图3-2

## § 3—2 磨损

一个物体由于机械的原因，与另一个固体的、液体的或气体的摩擦副元素发生接触或相对运动，而使表面材料不断损失的过程。

磨损量  $W$ ：由磨损引起的材料损失

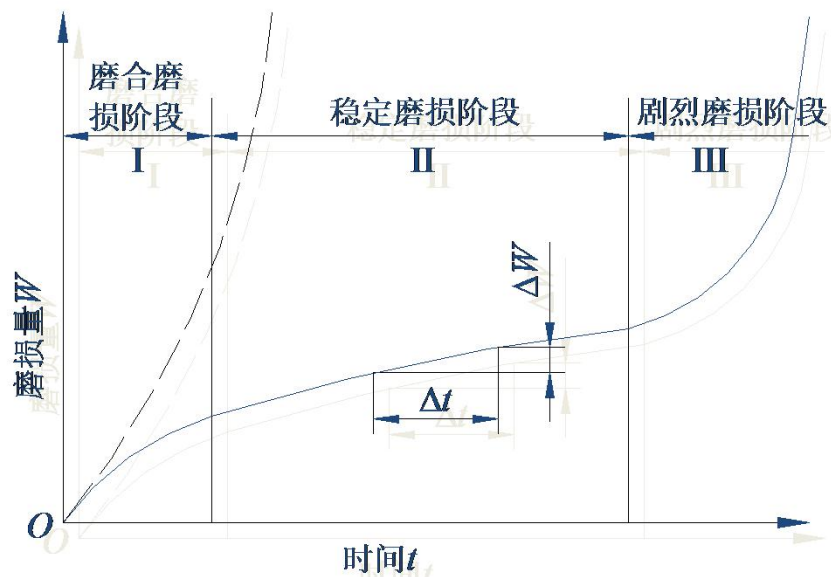
磨损率  $\mathcal{E}$ ：单位时间内的材料的磨损量

耐磨性：磨损率的倒数

### 一、典型的磨损过程

#### 1、磨合磨损过程

在一定载荷作用下形成一个稳定的表面粗糙度，且在以后过程中，此粗糙度不会继续改变，所占时间比率较小



## 2、稳定磨损阶段

经磨合的摩擦表面加工硬化，形成了稳定的表面粗糙度，摩擦条件保持相对稳定，磨损较缓，该段时间长短反映零件的寿命

## 3、急剧磨损阶段

经稳定磨损后，零件表面破坏，运动副间隙增大→动载振动→润滑状态改变→温升↑→磨损速度急剧上升→直至零件失效

## 二、磨损的类型（按破坏的机理）

### 1、粘着磨损

由于相对运动和粘着效应所形成的粘着节点发生剪切断裂，被剪切的材料或脱落成磨屑，或由一个表面迁移到另一个表面，此类磨损为粘着磨损

a) 表面现象：锥刺、鳞尾或麻点

b) 类型：1) 轻微磨损—剪切产生

2) 涂抹——剪切破坏发生在离粘合接触面不远处的

较软金属浅层内，较软金属涂抹在较硬金属表面上

3) 咬死（严重时为胶合）

c) 影响因素：润滑、载何、表面温度、材料性质

## 2、磨粒磨损

外界硬颗粒或对磨表面上的硬突起物在摩擦过程中引起表面材料脱落的现象

表面现象：擦伤、沟纹和条痕，脆性表面有：崩碎及颗粒  
类型：凿削式磨粒磨损、磨粒浸蚀、高应力碾碎性磨粒磨损、低高应力擦伤性磨粒磨损和冲击浸蚀

因素：1) 磨粒的硬度、强度、形状尖锐程度和颗粒大小，图3—4  
2) 载何的大小，图3—4

## 3、表面疲劳磨损

两个相互滚动或滚动兼滑动的磨擦表面，在循环接触应力作用下，由于材料疲劳剥落而形成凹坑，表面现象：点蚀和疲劳裂纹

## 4、磨擦化学磨损（腐蚀磨损）

一方或双方与中间物质或环境介质发生化学或电化学反应而产生的表面损伤。有：氧化磨损和特殊介质腐蚀磨损

### 三、改变摩擦副耐磨损性的措施

- 1、合理选择摩擦副材料
- 2、合理选择润滑剂及添加剂
- 3、注意控制摩擦副的工作条件



## § 3—3 润滑

目的：带走摩擦产生的热量、并有防锈、减震和密封等功用。

### 一、润滑剂及主要性能

1、流体润滑剂(润滑油)： 有机油、矿物油、合成油

#### 2、润滑脂

是由润滑油、稠化剂和添加剂等经过特定工艺调制而成的一种凝胶状物。如工业凡士林

钙基润滑脂、钠基润滑脂、锂基润滑脂

#### 3、固体润滑剂

石墨、二硫化钼、氮化硼、蜡、聚氟乙烯、酚醛树脂

#### 4、气体润滑剂

空气、氮气、氢气

各种润滑剂的润滑性能表3—2

## 二、润滑油主要性能指标

### 1、润滑油的粘度

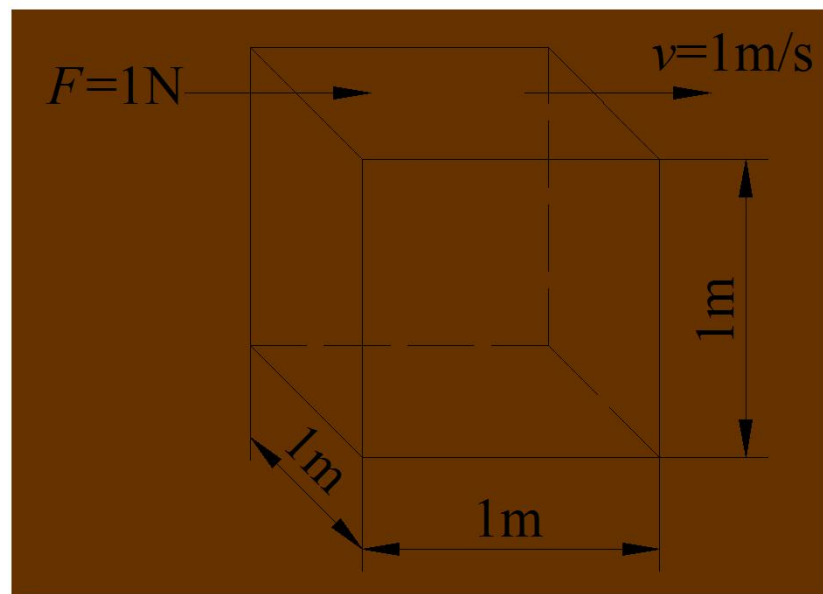
润滑油的粘度：流体流动时的内摩擦力的量度，是润滑油选用的基本参数。与油膜厚度、摩擦阻力、油楔作用和承载能力等直接有关。

常用的有：运动粘度  $\nu$  （生产和使用中）、  
动力粘度 （机械设计和科研实验常用）。

## 2、常用粘度及单位

### (1) 动力粘度 $\eta$

单位:  $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  或  $\text{Pa}\cdot\text{s}$



### (2) 运动粘度 $\nu$

$$\nu = \eta (Pa \cdot s) / \rho (kg / m^3)$$

物理单位:  $\text{m}^2/\text{s}$  或  $\text{cm}^2/\text{s}$ , — $1\text{S}_t$  (斯)

$\rho$  — 润滑油的密度  $\text{kg}/\text{m}^3$

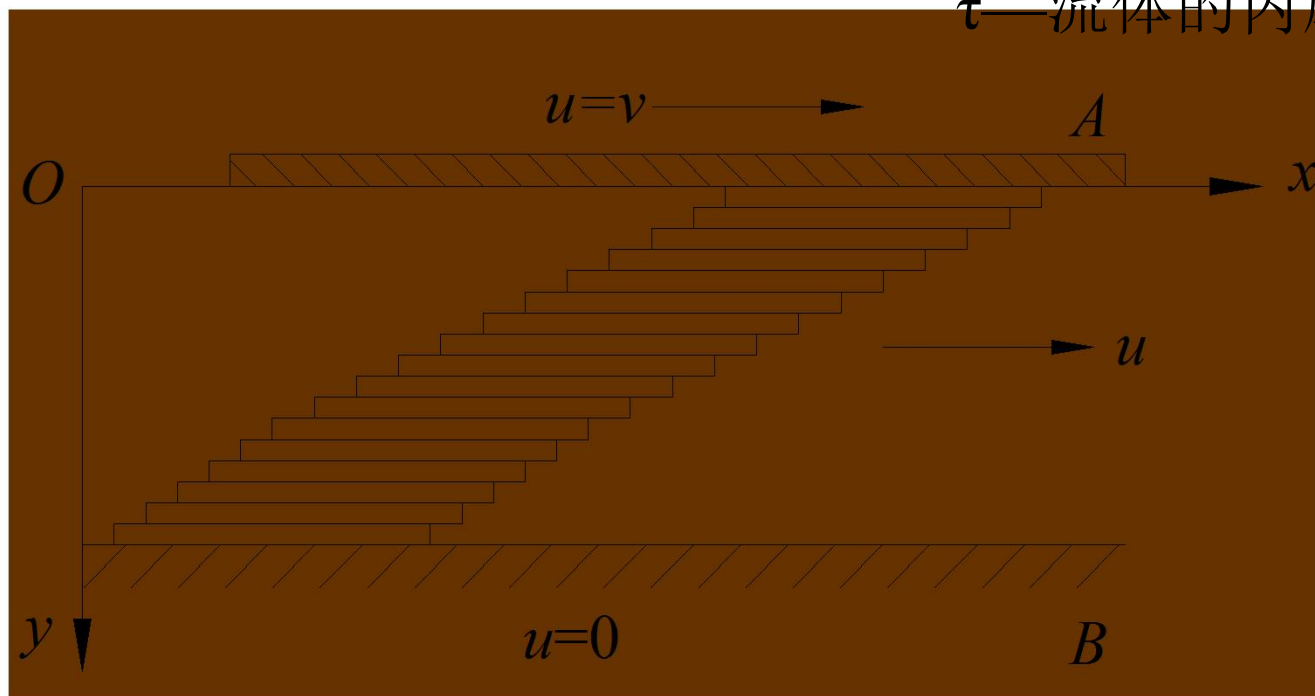
### (3) 条件粘度 (相对粘度) — 恩氏粘度

### 3、粘性定律（流体内摩擦力与润滑油的粘度 关系）

(1)、粘性定律  $\tau = -\eta \frac{\partial u}{\partial y}$       牛顿粘性定律

$\eta$ —流体的动力粘度

$\tau$ —流体的内摩擦力



## 4、影响润滑油粘度的主要因素

(1) 温度      润滑油的粘度随着温度的升高而降低（书  
p68）  
粘度指数：粘度指数高，表明粘度随温度变化小

(2) 压力  
润滑油的粘度随着压力的增高而增大。一般润滑情况下，影响不大（书p68）

$$\eta_p = \eta_0 e^{\alpha p}$$

$\eta_0$  : 大气压力下的动力粘度

$\alpha$  : 润滑油的粘压系数,对于一般矿物油可取  
(1~3)  $\times 10^{-8} \text{pa}^{-1}$

## 5、润滑油的其它性能指标：

1) 油性：在边界润滑条件下，润滑油在摩擦表面形成各种吸附膜和化学反应膜，具有抗擦伤和耐磨损能力

2) 凝点

3) 闪点和燃点

4) 极压性能

5) 氧化稳定性

## 三、润滑脂性能指标

1) 针入度（或稠度）

在规定的剪切力或剪切速度下变形的程度

针入度越大，稠度越小。

2) 滴点

在规定的条件下，固体或半固体石油产品达到一定流动性时的最低温度。

## 四、润滑剂的添加剂

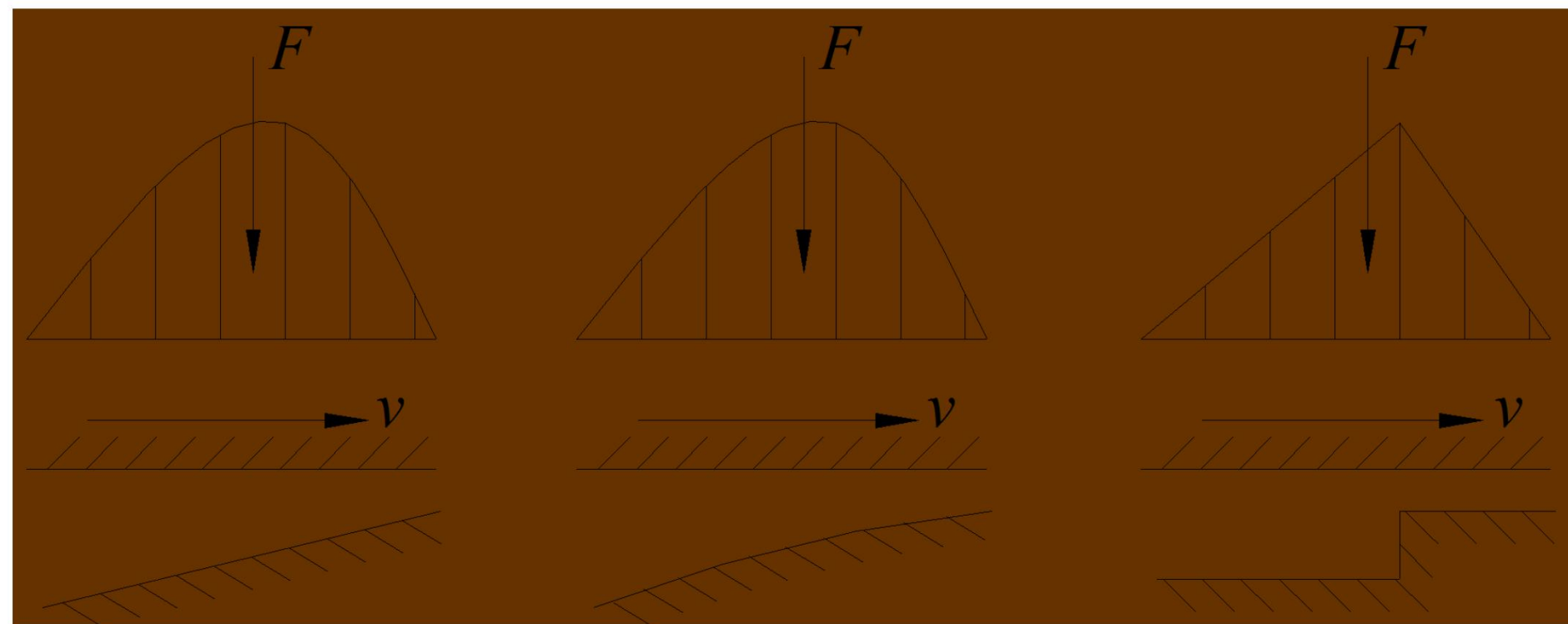
耐磨、耐腐、防锈、抗氧化

极压（EP）

## 五、流体动力润滑简介

(基本理论——雷诺方程)

- 实现条件：
- 1) 两滑动表面沿运动方向的间隙是由大至小的形状
  - 2) 相对速度 $v$ 足够大。
  - 3) 油楔中有足够的油量。
  - 4) 油具有一定的粘度，粘度越大，承载能力越强。



### 3、流体静力润滑

