



第四章 摩擦、磨损及润滑概述

第二讲

摩擦





- 摩擦的分类
- 滑动摩擦的类型及判断
- 四种摩擦类型的简述
- 摩擦学理论的发展



第二讲 摩擦



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。

问题：

如何理解内摩擦和外摩擦的差异？

滑动摩擦：物体表面间的运动形式是相对滑动。

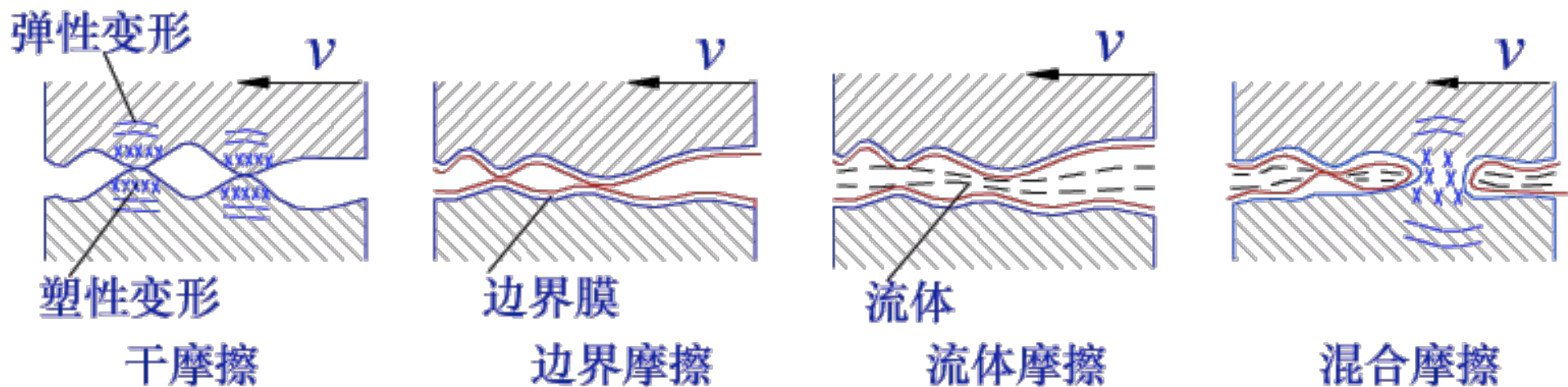
滚动摩擦：物体表面间的运动形式是相对滚动。



第二讲 摩擦



根据摩擦面之间存在润滑剂的情况，滑动摩擦又分为干摩擦、边界摩擦（边界润滑）、流体摩擦（流体润滑）和混合摩擦（混合润滑）。





除干摩擦外的其它三种摩擦（润滑）状态用膜厚比来估计判断：

$$\lambda = \frac{h_{\min}}{1}$$

问题1：

膜厚比的物理意义是什么？

问题2：

$\lambda \geq 3$ 时呈流体摩擦（润滑）状态，这一判断的数学意义在哪里？

通常认为： $\lambda \leq 1$ 时呈边界摩擦（润滑）状态； $\lambda \geq 3$ 时呈流体摩擦（润滑）状态； $1 < \lambda < 3$ 时呈混合摩擦（润滑）状态。

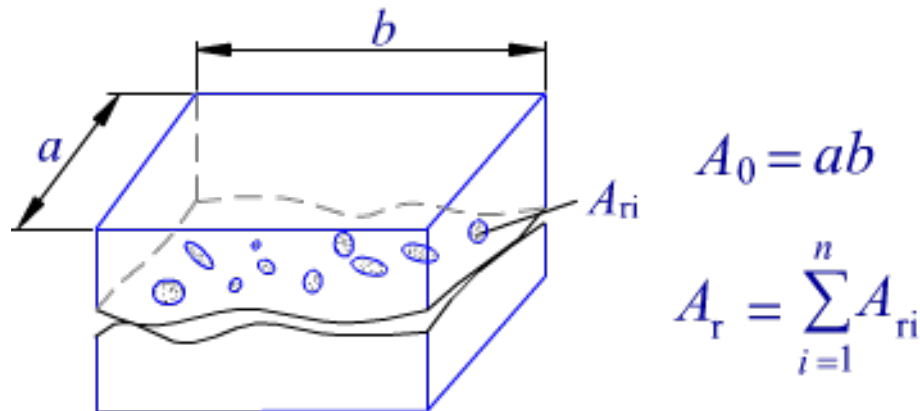




◆ 干摩擦

干摩擦的摩擦机理是循着分子—机械理论、粘附理论、修正粘附理论方向发展的。

法向载荷作用下的金属表面接触面积有表观（名义）接触面积和真实（实际）接触面积的不同定义，后者要小得多。



摩擦副接触面积示意图

第二讲 摩擦



修正粘附理论认为，在有摩擦的情况下，接触表面上同时作用有压应力和切应力，并因这一复合应力作用而存在接触结点增长的现象，造成接触面积的增大。修正粘附理论给出的两金属表面之间的摩擦系数为：

问题：

界面剪切强度极限的取值与相对剪切发生位置有什么关系？

式中的界面剪切强度极限 τ_{Bj} 根据表面膜或较软金属的剪切强度极限取值。

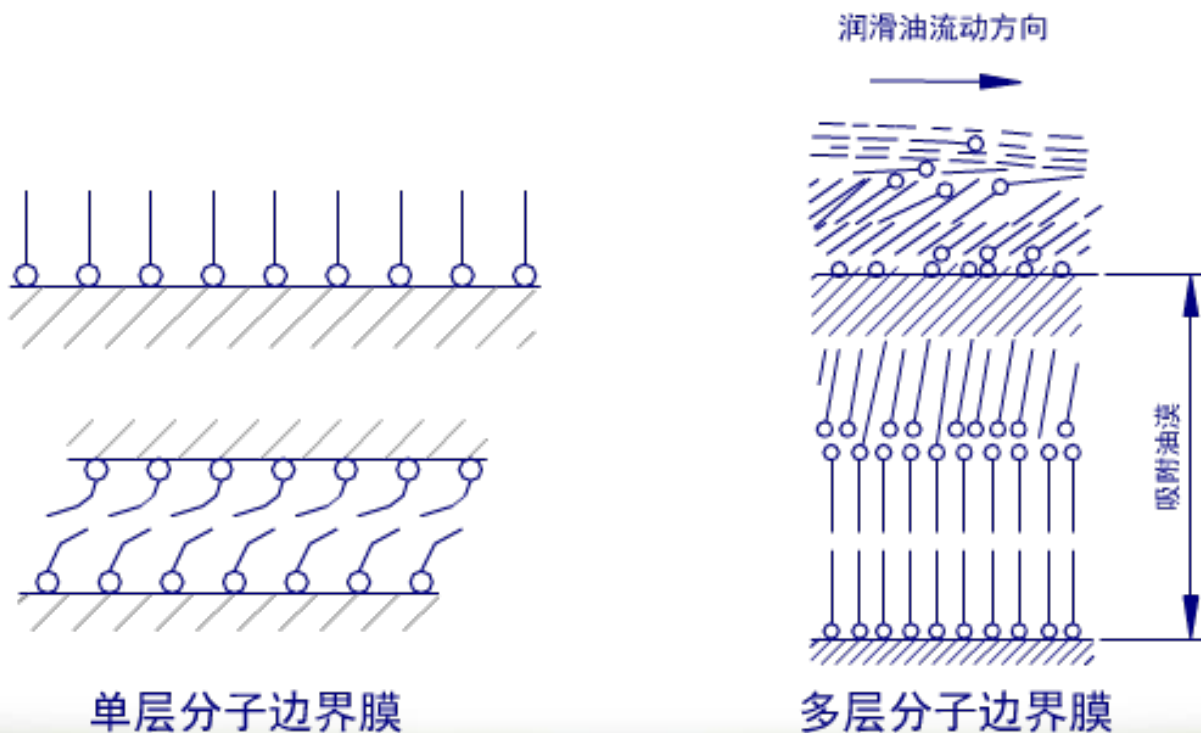
工程中常用金属材料副的摩擦系数是指在常规压力和速度条件下通过实验测定的数值，并认为是一个常数。





◆ 边界摩擦（边界润滑）

类似牢固吸附在金属表面上的极性化合物分子膜，称为边界膜。边界膜分为单层分子边界膜和多层分子边界膜，各自的摩擦模型如下图。



第二讲 摩擦



边界膜分为吸附膜（物理吸附膜及化学吸附膜）和反应膜。

润滑剂中脂肪酸的极性分子吸附在金属表面上，形成了物理吸附膜；润滑剂中分子受化学键力作用而贴附在金属表面上形成的吸附膜称为化学吸附膜；反应膜是润滑剂中的硫、氯、磷等元素原子在较高温度下与金属起化学反应而生成相关化合物在油与金属界面处形成的薄膜。

吸附膜的强度随温度升高而降低，达到一定温度后吸附膜发生软化、失向和脱附现象，润滑作用将下降。反应膜具有低的剪切强度和高熔点，比吸附膜稳定。

合理选择摩擦副材料和润滑剂，降低表面粗糙度，添加适量的油性添加剂和极压添加剂，都能提高边界膜强度。





◆ 混合摩擦（混合润滑）

当摩擦表面处于边界摩擦和流体摩擦的混合状态时，称为混合摩擦。在一定条件下，混合摩擦系数要比边界摩擦系数小，可降低摩擦阻力，但因表面间仍然有粗糙峰接触，故仍存在磨损现象。

◆ 流体摩擦（流体润滑）

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





随着科学技术的发展，摩擦学的研究也在不断地完善和推进。

薄膜润滑的提出，填补了弹流润滑和边界润滑间的空白。薄膜润滑是一种重要的润滑机制，在精密机械和仿生摩擦学设计中担当重要角色。

在微观研究领域，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，应对此给予关注。

此外，极端与苛刻条件下的摩擦学理论与技术、生物摩擦学理论与技术，也是当今摩擦学发展的方向。

