



第01章

机械设计总论

第04节 摩擦与润滑

宋超阳

songcy@ieee.org

本章要点概述

- 机器的构成及其功能结构
- 机械设计的概念及其特点
- 机械设计中的创新和优化
- 机械的组成及运动副
- 平面机构运动简图的绘制
- 平面机构具有确定运动的条件
- 机械设计中的两个问题
- 机械设计中的约束
- 机械设计中的强度问题
- 机械设计中的摩擦、磨损和润滑问题

机械设计中的摩擦、 磨损和润滑问题

机械中的摩擦

- 两个接触表面作相对运动或有相对运动趋势时，将会有力阻止其产生相对运动，这种现象就称为摩擦
 - 通常，摩擦力的大小可通过摩擦系数来衡量



- 机械中常见的摩擦有两大类：
 - 内摩擦：发生在物质内部，阻碍分子间相对运动
 - 外摩擦：在物体接触表面上产生，阻碍物体间的相对运动

外摩擦的分类

根据摩擦副的运动状态

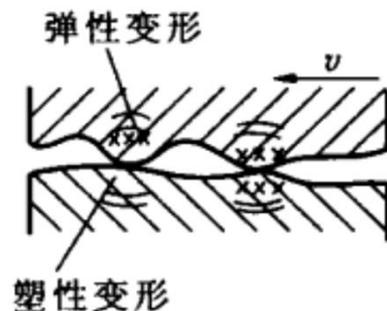
- 静摩擦
- 动摩擦

根据摩擦副的运动形式

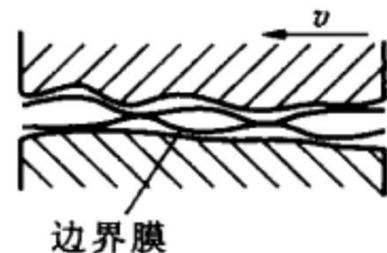
- 滑动摩擦
- 滚动摩擦

按摩擦副的表面润滑状态

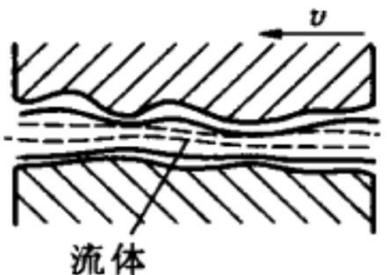
- 干摩擦
- 边界摩擦
- 流体摩擦
- 混合摩擦



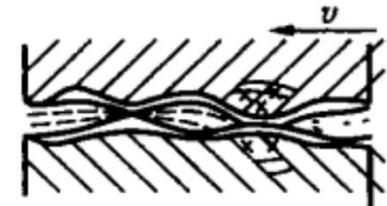
名义上无润滑的摩擦，其表面上通常具有由从周围介质中吸附来的气体、水气和油脂等形成的薄膜



两相对表面被人为引入的极薄的润滑膜所隔开，其摩擦性质与润滑剂的黏度无关而取决于两表面的特性和润滑油性质的摩擦



流体把摩擦副完全隔开，摩擦力的大小取决于流体黏度的摩擦



摩擦副所处的干摩擦、边界摩擦和流体摩擦混合状态时的摩擦

机械设计中摩擦约束的实质

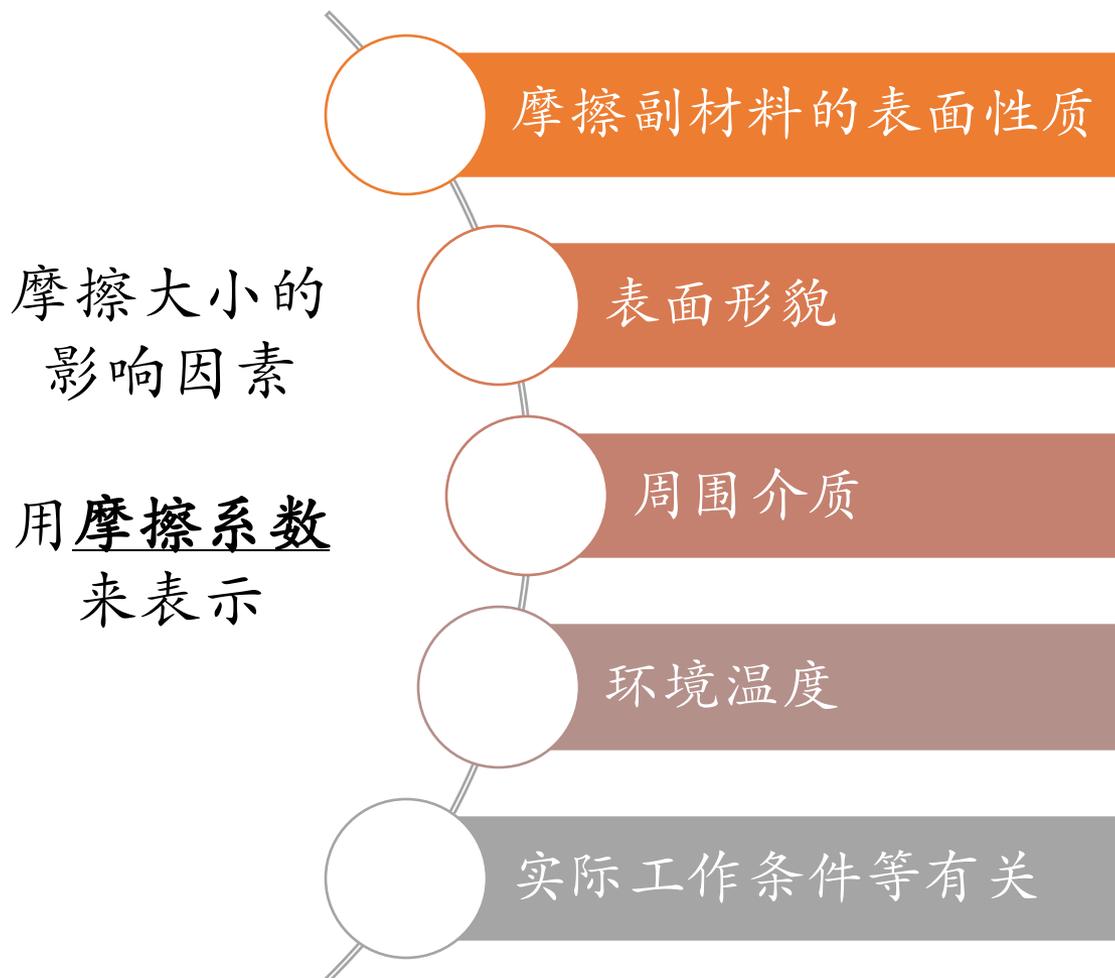
摩擦的二重性

- 人们需要利用摩擦
 - 摩擦传动、摩擦离合器、摩擦式制动器和螺纹连接等的可靠性以及各种车辆的运输能力，都必须依靠摩擦来获得，并取决于摩擦力的大小
- 有害的一面
 - 摩擦会带来能量损耗，造成机械效率降低，其所消耗的功率，还会转变成热，使机器的工作温度上升，影响机器的正常工作，摩擦还会引起振动和噪声等

摩擦约束条件的两个方面

- 当需要利用摩擦时
 - 摩擦（通常用摩擦力或摩擦力矩来表示）必须足够大（摩擦系数或摩擦力或摩擦力矩应大于规定的许用值），以保证机器工作的可靠性
- 当摩擦有害时
 - 就需要尽量减少摩擦（降低摩擦系数），其约束可以表现为摩擦系数不超过许用值、温升不超过许用值、效率不低于许用值或摩擦的能耗不超过许用值等等

影响摩擦的主要因素



设计时，为了能充分考虑摩擦的影响，将其控制在许用的约束条件范围之内，设计者对影响摩擦的主要因素必须有一个基本的了解

(1) 表面膜的影响

- 大多数金属的表面在大气中会自然生成与表面结合强度相当高的氧化膜或其他污染膜。也可以人为地用某种方法在金属表面上形成一层很薄的膜，如硫化膜、氧化膜等。这些表面膜的存在，可使摩擦系数降低

(2) 摩擦副材料性质的影响

- 金属材料摩擦副的摩擦系数随着材料副性质的不同而异。一般，互溶性较大的金属摩擦副，因其较易黏着，摩擦系数较大；反之，摩擦系数较小。材料的硬度对摩擦系数也有一定的影响。低碳钢经渗碳淬火提高硬度后，可使摩擦系数减小；中碳钢的摩擦系数随硬度的增加而减小；经过热处理的黄铜和铍青铜等非铁合金，其摩擦系数也随着表面硬度的提高而降低；具有高强度、低塑变形和高硬度的金属，例如镍和铬，其摩擦系数也相对较小

(3) 摩擦副表面粗糙度的影响

- 摩擦副在塑性接触的情况下，其干摩擦系数为一定值，不受表面粗糙度的影响。而在弹性或弹塑性接触情况下，干摩擦系数则随表面粗糙度数值的减小而增加；如果在摩擦副间加入润滑油，使之处于混合摩擦状态，此时，如果表面粗糙度数值减小，则油膜的覆盖面积增大，因而，随着表面粗糙度数值的减小，摩擦系数也将减小

(4) 摩擦表面间润滑的影响

- 在摩擦表面间加入润滑油时，将会大大降低摩擦表面间的摩擦系数，但润滑的情况不同、摩擦副处于不同的摩擦状态时，其摩擦系数的大小也不同。干摩擦的摩擦系数最大，一般大于0.1；边界摩擦、混合摩擦次之，通常在0.01~0.1之间；流体摩擦的摩擦系数最小，油润滑时最小仅为0.001~0.008。两表面间的相对滑动速度增加且润滑油的供应较充分时，较易获得混合摩擦或流体摩擦状态，此时，摩擦系数将随着滑动速度的增大而减小

机械中的磨损

由于表面的相对运动而使物体工作表面的物质不断损失的现象称为**磨损**

类型	基本概念	破坏特点	实例
黏着磨损	两相对运动的表面,由于黏着作用(包括冷焊和热黏着),使材料由一表面转移到另一表面所引起的磨损	黏结点剪切破坏是发展性的,它造成两表面凹凸不平,可表现为轻微磨损、涂抹、划伤、胶合与咬死等破坏形式	活塞与气缸壁的磨损
磨粒磨损	在摩擦过程中,由硬颗粒或硬凸起材料破坏分离出磨屑或形成划伤的磨损	磨粒对摩擦表面进行微观切削,表面有犁沟或划痕	犁铧和挖掘机铲齿的磨损
表面疲劳磨损	摩擦表面材料的微观体积受循环变应力作用,产生重复变形而形成表面疲劳裂纹,并分离出微片或颗粒的磨损	应力超过材料的疲劳极限,在一定循环次数后,出现疲劳破坏,表面呈麻坑状	润滑良好的齿轮传动和滚动轴承的疲劳点蚀
腐蚀磨损	在摩擦过程中金属与周围介质发生化学或电化学反应而引起的磨损	表面腐蚀破坏	化工设备中与腐蚀介质接触的零部件的腐蚀

按磨损的损伤机理分类机械中的磨损

磨损过程

- 影响磨损的因素很多，磨损过程非常复杂，一般分为三个阶段

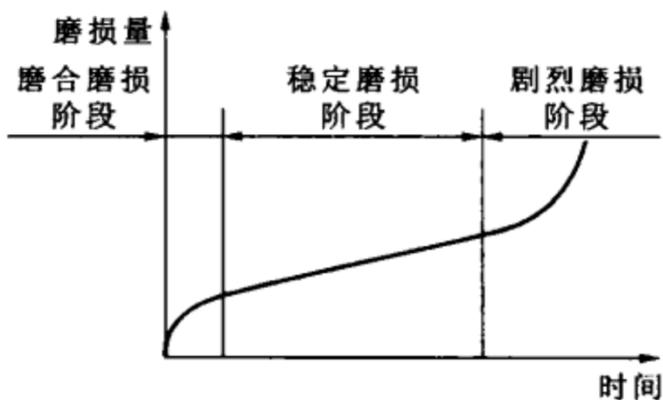


图 2-6 磨损过程

磨合磨损阶段开始时，磨损速度很快，随后逐渐减慢，最后进入稳定磨损阶段

磨合磨损

- 磨合磨损可将原始粗糙度部分逐渐磨平，使两摩擦表面贴合得更好，因而有利于延长机器的使用寿命

稳定磨损

- 稳定磨损阶段是摩擦副的正常工作阶段，此时，磨损缓慢而稳定

剧烈磨损

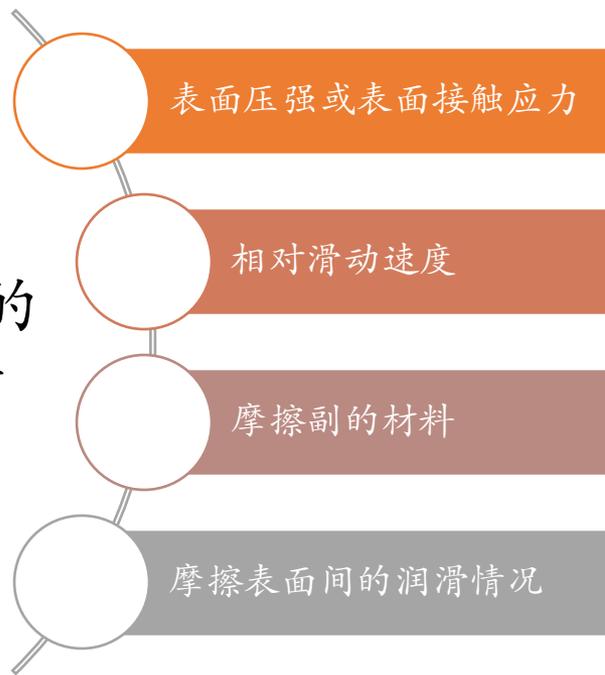
- 当磨损达到一定量时，进入剧烈磨损阶段，此时，摩擦条件将发生很大的变化，温度急剧升高，磨损速度大大加快，机械效率明显降低，精度丧失，并出现异常的噪声和振动，最后导致零部件完全失效

机械设计中磨损约束的实质

磨损也具有二重性

- 新机器使用之前的磨合磨损，对延长机器的使用寿命有益；为了降低表面粗糙度，对机械零件进行磨削、研磨和抛光等精加工以及对刀具的刃磨等，也是利用了磨损的原理
- 磨损会降低机器的精度和可靠性，从而使其使用寿命缩短，甚至当重要的零件磨损失效时，会造成停工停产，并可引起突然事故，因而，**磨损是机械设备失效的重要原因**

影响磨损的主要因素



控制磨损（磨损约束）的实质

主要是控制摩擦表面间的压强（或接触应力）、相对运动速度等不超过许用值

减少磨损的措施

(1) 正确选用材料

- 正确选用摩擦副的配对材料，是减少磨损的重要途径。以黏着磨损为主时，应当选用互溶性小的材料；以磨粒磨损为主时，则应当选用硬度高的材料或设法提高所选材料的硬度，也可以选用抗磨料磨损的材料；如果是疲劳磨损为主，除应选用硬度高的材料或设法提高所选材料的硬度之外，还应减少钢中的非金属夹杂物，特别是脆性的带有尖角的氧化物，容易引起应力集中，产生微裂纹，对疲劳磨损影响甚大

(2) 进行有效的润滑

- 润滑是减少磨损的重要措施，应根据不同的工况条件，正确选用润滑剂，创造条件，使摩擦表面尽可能在液体摩擦或混合摩擦的状态下工作

(3) 采用适当的表面处理方法

- 为了降低磨损，提高摩擦副的耐磨性，可采用各种表面处理方法。如刷镀0.1~0.5 μm 的六方晶格的软金属（如Cd）膜层，可使黏着磨损减少约三个数量级。又如采用CVD处理（化学汽相淀积处理），在零件摩擦表面上沉积10~1000 μm 的高硬度的Tic覆层，也可大大降低磨粒磨损

(4) 改进结构设计，提高加工和装配精度

- 进行正确的结构设计可以减少摩擦磨损。例如，设计出来的结构，应该有利于表面膜的形成与恢复，压力的分布应当是均匀的，而且，还应有利于散热和磨屑的排出等

(5) 采用正确的使用、维修与保养方法

- 例如，新机器使用之前的正确“磨合”，可以延长机器的使用寿命。经常检查润滑系统的油压、油面密封情况，对轴承等部位定期润滑，定期更换润滑油和滤油器芯，以阻止外来磨料的进入，对减少磨损等都十分重要

机械中的润滑

- 润滑是减少摩擦和磨损的有效措施之一
- 所谓润滑，就是向承载的两个摩擦表面之间引入润滑剂，以减少摩擦力及磨损等表面破坏的一种措施
 - 润滑时，应首先根据工况等条件，正确选择**润滑剂**和**润滑方式**

(1) 降低机器的摩擦功耗，从而可节约能源

(2) 减少或防止机器摩擦副零件的磨损

(3) 由于摩擦功耗的降低，因摩擦所引起的发热量将大大减少，此外，润滑剂还可以带走一部分热量，因而，润滑剂对降低温升有很大的作用

润滑剂的作用

(4) 润滑膜可以隔绝空气中的氧和腐蚀性气体，从而保护摩擦表面不受锈蚀，所以，润滑剂也有防锈的作用

(5) 由于润滑膜具有弹性和阻尼作用，因而，润滑剂还能起缓冲和减振作用

(6) 循环润滑的液体润滑剂，还可以清洗摩擦表面，将磨损产生的颗粒及其他污物带走，起密封、防尘的作用。

摩擦、磨损和润滑的研究在机械设计中的地位和作用

• 摩擦是造成能量损失的主要原因

- 据估计，在全世界工业部门所使用的能源中，大约有1/3~1/2最终以各种形式损耗在摩擦上。摩擦会导致磨损，而磨损所造成的损失更是惊人。据统计，磨损造成的损失是摩擦造成损失的12倍。在失效的机械零件中，大约有80%是由于各种形式的磨损所造成。据美国在1977年的估计，磨损造成的损失相当于国民经济总产值的12%，即约为2000亿美元
- 由此可见，摩擦所引起的能量损耗和磨损所引起的材料损耗，在经济上造成了巨大的损失。实践证明，在机械设计中若能很好地运用已有的研究成果，正确处理好摩擦、磨损和润滑中的各种问题，则所取得的经济效益必将是巨大的

• 现在，人们已越来越深刻地认识到，摩擦、磨损和润滑在机械设计中占有重要的地位，特别是在现代机械产品向高速、高精度、大批量和生产过程高度自动化、连续化方向发展的过程中，**在进行机械设计时，如果不考虑摩擦、磨损和润滑问题，就不可能设计出符合要求的好的机械产品**

- 也就是说，对于现代的机械产品，在其设计阶段中就应该把控制摩擦和防止磨损的一切因素都尽量考虑进去，并应用摩擦和磨损的有关理论知识和抗磨技术去指导机械设计、制造、运行和维修，以解决机械设计中的有关问题



机械设计

Design & Learning Research Group

谢谢~

宋超阳
songcy@ieee.org