



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

齿轮传动

齿轮的失效形式、设计准则
和材料选择

主讲：李杰

- 一、齿轮传动的特点及分类
- 二、齿轮的失效形式和设计准则
- 三、齿轮的材料及其选择原则
- 四、小结

一、齿轮传动的特点及分类

齿轮传动是机械传动中最重要的传动之一，其应用范围十分广泛，型式多样，传递功率范围很大（可高达数十万千瓦）。

在线开放课程

(1) 传递由很小到很大

手表发条**0-6**马力 美航空母舰**7000**马力

(2) 速度从很低到**200m/s**以上:

天文望远镜，速度低到无法测量 大的**10**万转/分

线速范围：最大达**300**米/s，接近声速

(3) 尺寸范围大

Dmin=1.5mm 国外女表 **Dmin=1mm**

切削：**Dmax=8M**（国内加工）**Dmax=25M**（国外加工）

世界上的**Dmax=152M**（天文望远镜底座上的齿轮）

(4) 设计工作寿命高：**5-10**×**10⁴** 小时，甚至**20~30**年

一、齿轮传动的特点及分类

齿轮传动的主要特点：

- 传动效率高 可达99%。在常用的机械传动中，齿轮传动的效率为最高；
- 结构紧凑 与带传动、链传动相比，在同样的使用条件下，齿轮传动所需的空间一般较小；
- 与各类传动相比，齿轮传动工作可靠，寿命长；
- 传动比稳定 无论是平均值还是瞬时值。这也是齿轮传动获得广泛应用的原因之一；
- 与带传动、链传动相比，齿轮的制造及安装精度要求高，价格较贵。

一、齿轮传动的特点及分类



在线开放课程

齿轮传动的特点

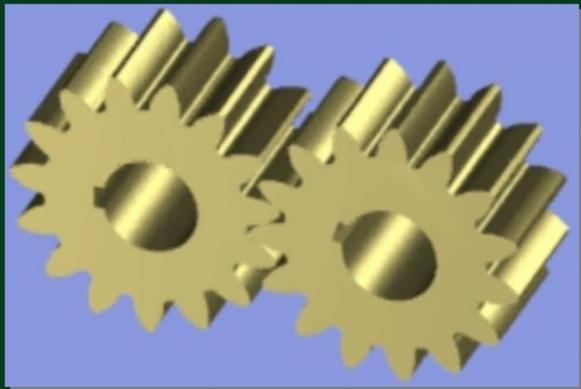
- 工作可靠，传动比稳定，结构紧凑，效率高，寿命长；
- 制造、安装精度要求较高，不适于中心距 a 较大两轴间传动，使用维护费用较高，精度低时、噪音、振动较大。

一、齿轮传动的特点及分类

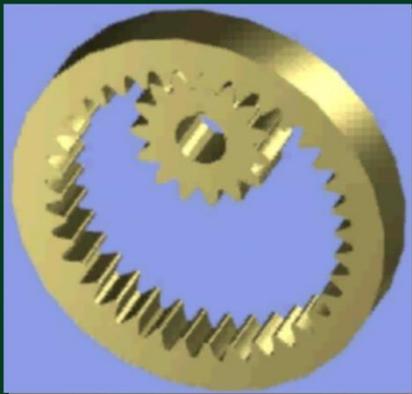
齿轮传动的分类

按齿轮类型分：**直齿圆柱齿轮传动**
锥齿轮传动

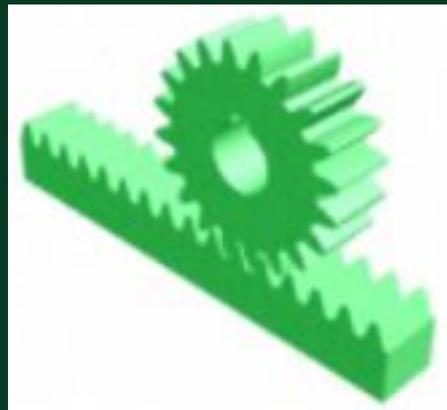
斜齿圆柱齿轮传动
人字齿轮传动



外啮合直齿圆
柱齿轮传动



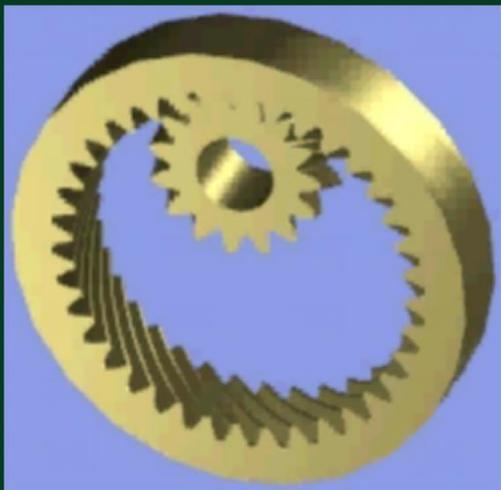
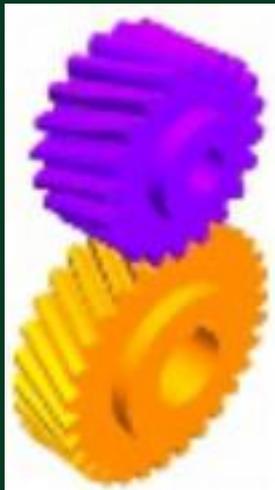
内啮合直齿圆
柱齿轮传动



直齿齿轮齿
条传动

一、齿轮传动的特点及分类

按齿轮类型分



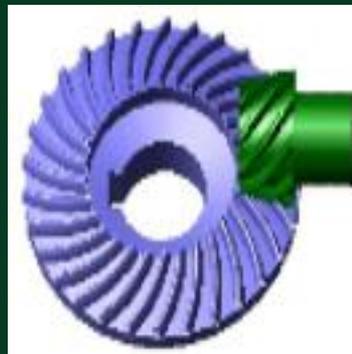
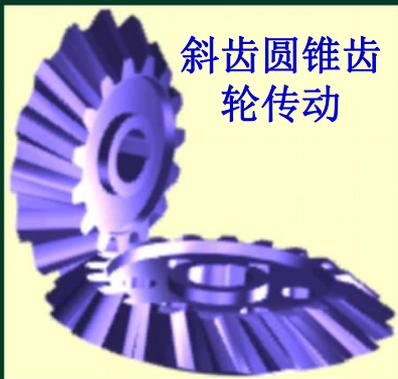
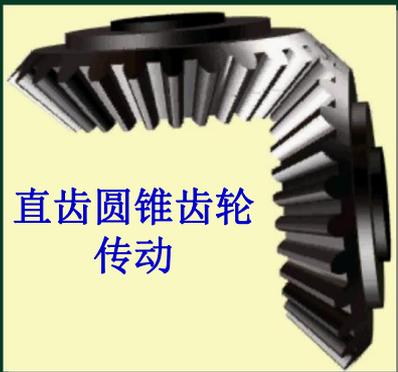
外啮合斜齿圆柱齿轮传动 内啮合斜齿圆柱齿轮传动

斜齿齿轮齿条传动

人字齿轮传动

一、齿轮传动的特点及分类

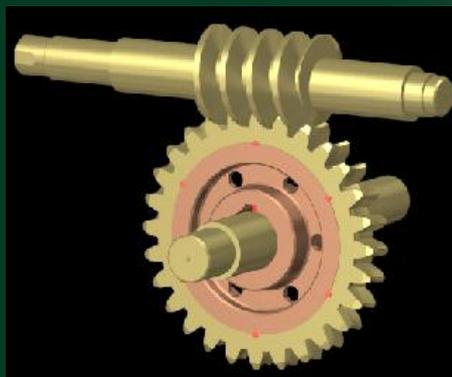
按齿轮类型分



交错轴斜齿
轮传动



准双曲面齿
轮传动



蜗轮蜗杆
传动

一、齿轮传动的特点及分类

按装置形式分：开式传动、半开式传动、闭式传动。



一、齿轮传动的特点及分类

齿轮传动的分类

按使用情况分：

动力齿轮—以动力传输为主，常为高速重载或低速重载传动。

传动齿轮—以运动准确为主，一般为轻载高精度传动。

按齿面硬度分：软齿面齿轮（齿面硬度 $\leq 350\text{HBS}$ ）

硬齿面齿轮（齿面硬度 $> 350\text{HBS}$ ）

二、齿轮的失效形式和设计准则



在线开放课程

失效形式

- 齿轮传动的失效主要是轮齿的失效；
- 齿轮的其它部分：
 - 按经验设计，强度、刚度较富裕，极少失效；
 - 严格限制齿轮的质量、大小。

二、齿轮的失效形式和设计准则

— 1、轮齿折断

- 疲劳折断

- 全齿折断，一般发生在齿根；



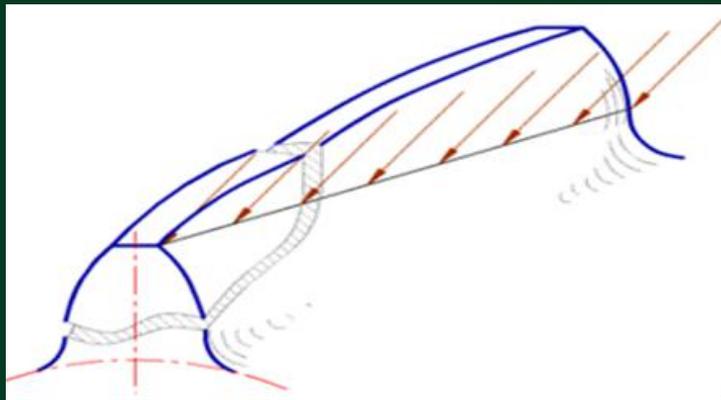
二、齿轮的失效形式和设计准则

— 1、轮齿折断

- 疲劳折断

- 全齿折断；

- 局部折断：



二、齿轮的失效形式和设计准则

– 1、轮齿折断

- 疲劳折断
 - 全齿折断；局部折断。
- 过载折断
 - 突然过载时，轮齿可能过载折断或剪断；
 - 严重磨损后齿厚过分减薄，在正常载荷作用下发生折断。

- 措施：
- 1 • 用大圆角及消除加工刀痕、提高表面质量来减小应力集中，
 - 2 • 使轮齿受载均匀，防止过载。
 - 3 • 合理的热处理措施。
 - 4 • 采用表层强化方法。

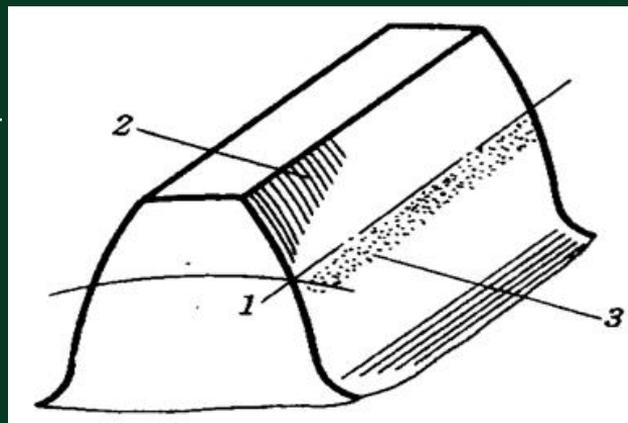
二、齿轮的失效形式和设计准则

— 2、齿面点蚀

- 齿面所受脉动循环接触应力超过疲劳极限，表面产生微裂纹→高压油挤压使裂纹扩展→微粒剥落；
- 点蚀首先出现在节线处；
- 点蚀是闭式软齿面齿轮传动主要失效形式之一；
- 开式传动，由于齿面磨损较快，很少出现点蚀。

措施：

提高表面硬度，提高表面质量，
合适润滑措施，使用粘度合适的润滑油



二、齿轮的失效形式和设计准则

— 3、齿面胶合

- 高速重载传动：

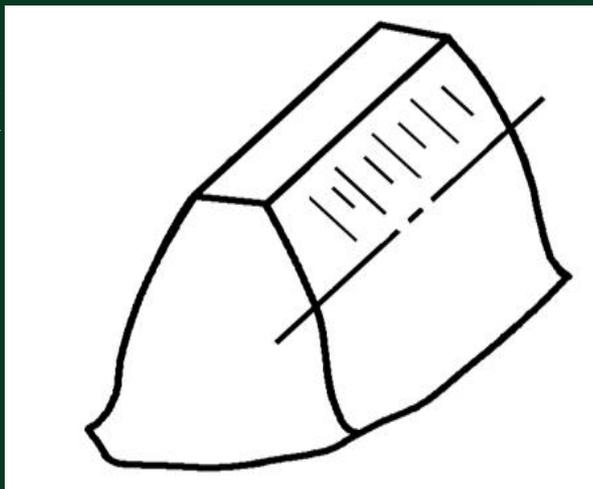
- 啮合区温度升高而引起润滑失效→齿面金属直接接触而相互粘连→齿面相对滑动→较软的齿面材料沿滑动方向被撕下而形成沟纹；

- 低速重载传动，冷胶合

- 齿面间油膜破坏，齿面瞬时温度无明显增高。

措施：

提高表面硬度，提高表面质量，加强润滑措施，加入极压添加剂，采用抗胶合的润滑油。

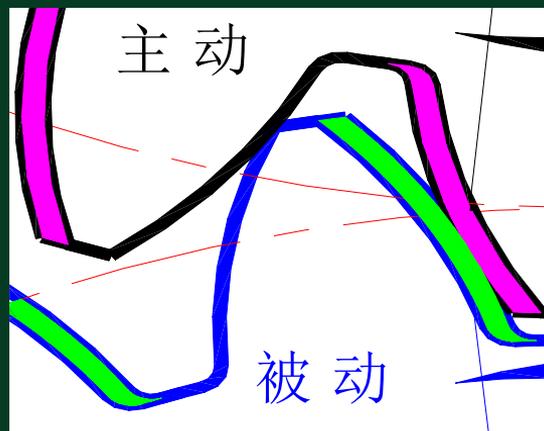


二、齿轮的失效形式和设计准则

— 4、齿面磨损（磨粒磨损）

- 啮合齿面间落入磨料性物质（如砂粒、铁屑等）时，齿面逐渐磨损失效；
- 开式齿轮传动的主要失效形式之一；
 - 改用闭式齿轮传动是避免齿面磨粒磨损最有效的方法。

措施： 提高表面硬度，
提高表面质量，
保持润滑油清洁，
将开式传动改为闭式传动。

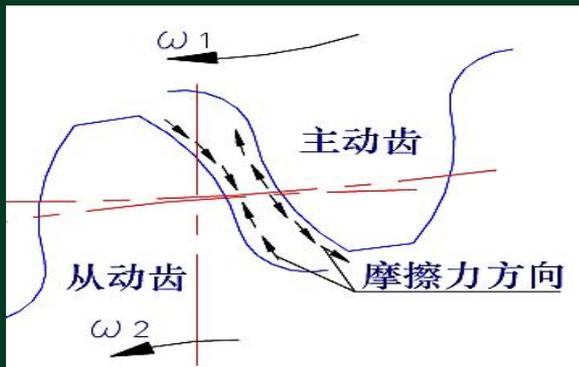


二、齿轮的失效形式和设计准则

— 5、齿面塑性变形

- 在过大的应力作用下，轮齿材料处于屈服状态，产生齿面或齿体材料的塑性流动；
- 塑性变形一般发生在硬度低的齿轮上；
- 重载作用下，硬度高的齿轮上也会出现；
- 齿面塑性变形属于轮齿永久变形。

措施： 提高表面硬度，
提高表面质量，
使用粘度合适的润滑油，
加入极压添加剂。



二、齿轮的失效形式和设计准则



在线开放课程

齿轮传动设计准则

- 保证足够的齿根弯曲疲劳强度，以免发生齿根折断。
- 保证足够的齿面接触疲劳强度，以免发生齿面点蚀。
- 高速重载齿轮传动，除以上两设计准则外，还应按齿面抗胶合能力的准则进行设计。

二、齿轮的失效形式和设计准则



在线开放课程

齿轮传动设计准则

— 工程实践中：

- 闭式软齿面齿轮传动，以保证齿面接触疲劳强度为主。
 1. 按齿面接触疲劳强度进行设计计算（确定齿轮的参数和尺寸）；
 2. 校核齿根弯曲疲劳强度。

二、齿轮的失效形式和设计准则



在线开放课程

齿轮传动设计准则

— 工程实践中：

- 闭式软齿面齿轮传动，以保证齿面接触疲劳强度为主。
- 闭式硬齿面或或材质较脆的齿轮传动，以保证齿根弯曲疲劳强度为主。
 1. 按齿根弯曲疲劳强度进行设计计算（确定齿轮的参数和尺寸；
 2. 校核齿面接触疲劳强度。

二、齿轮的失效形式和设计准则



在线开放课程

齿轮传动设计准则

— 工程实践中：

- 闭式软齿面齿轮传动，以保证齿面接触疲劳强度为主。
- 闭式硬齿面或或材质较脆的齿轮传动，以保证齿根弯曲疲劳强度为主。
- 开式传动以保证弯曲疲劳强度为准则。
 1. 计算齿根弯曲疲劳强度；
 2. 适当加大模数（预留磨损量）。

二、齿轮的失效形式和设计准则



在线开放课程

齿轮传动设计准则

— 工程实践中：

- 闭式软齿面齿轮传动，以保证齿面接触疲劳强度为主。
- 闭式硬齿面或材质较脆的齿轮传动，以保证齿根弯曲疲劳强度为主。
- 开式传动以保证弯曲疲劳强度为准则。
- 高速重载传动，按齿面抗胶合能力进行计算。
- 有短时过载时，按照静强度条件进行计算。

三、齿轮的材料及其选择原则

对齿轮材料的基本要求

齿轮的齿体应有较高的抗折断能力，齿面应有较强的抗点蚀、抗磨损和较高的抗胶合能力。

- 1、齿面要硬，齿芯要韧；
- 2、易于加工及热处理；
- 3、软齿面配对硬度差为30~50HBS。

三、齿轮的材料及其选择原则

齿轮材料选用的基本原则

- 1) 齿轮材料必须满足工作条件的要求；
- 2) 考虑齿轮尺寸大小，毛坯成型方法及热处理和制造工艺；
 - 正火碳钢，只能用于制作在载荷平稳或轻度冲击下工作的齿轮；
 - 调质碳钢，可用于在中等冲击载荷下工作的齿轮；
 - 合金钢，常用于高速、重载并在冲击载荷下工作的齿轮；
 - 表面硬化处理的高强度合金钢，常用于航空齿轮，要求尺寸尽可能小。

三、齿轮的材料及其选择原则

齿轮材料选用的基本原则

- 1) 齿轮材料必须满足工作条件的要求；
- 2) 考虑齿轮尺寸大小，毛坯成型方法及热处理和制造工艺；
- 3) 钢制软齿面齿轮，其配对两轮齿面的硬度差应保持在30~50HBS或更多。
 - 小齿轮齿根强度较弱；
 - 小齿轮的应力循环次数较多；
 - 冷作硬化可提高大齿轮的接触疲劳强度。

四、小结



在线开放课程

1) 齿轮的5种失效形式;

轮齿折断、齿面磨损、齿面点蚀、
齿面胶合与塑性变形

2) 齿轮传动的设计准则;

3) 齿轮的材料和选用的原则。