



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**×**10<sup>4</sup>** 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

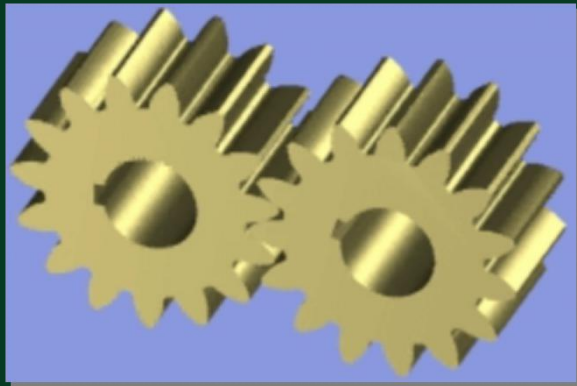
- 工作可靠，传动比稳定，结构紧凑，效率高，寿命长；
- 制造、安装精度要求较高，不适于中心距 $a$ 较大两轴间传动，使用维护费用较高，精度低时、噪音、振动较大。

# 一、齿轮传动的特点及分类

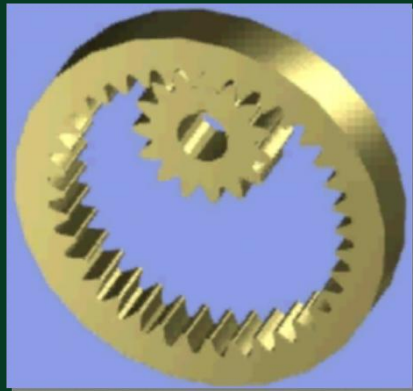
## 齿轮传动的分类

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



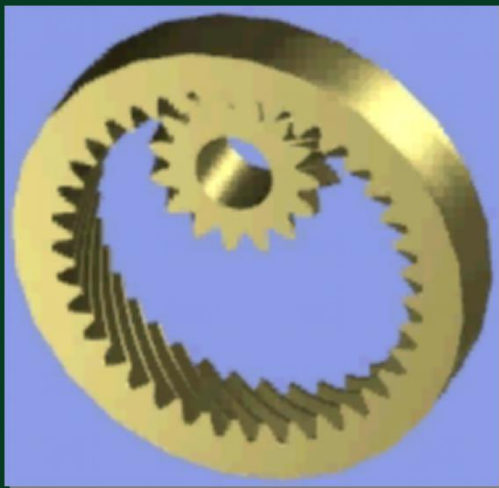
内啮合直齿圆  
柱齿轮传动



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



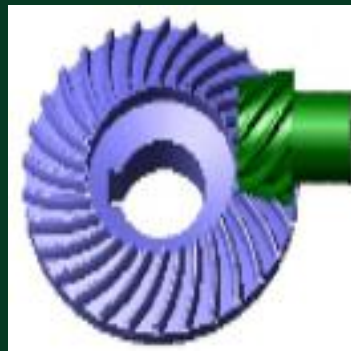
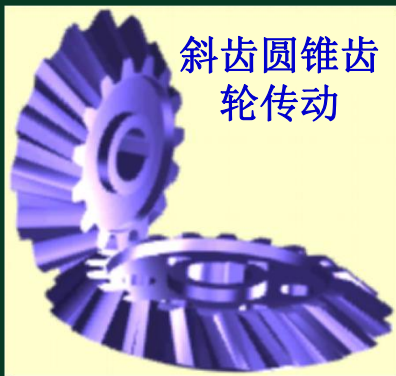
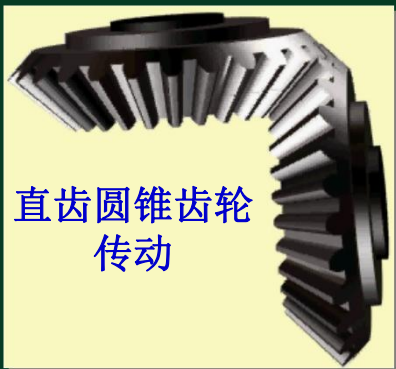
外啮合斜齿圆柱齿轮传动 内啮合斜齿圆柱齿轮传动

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

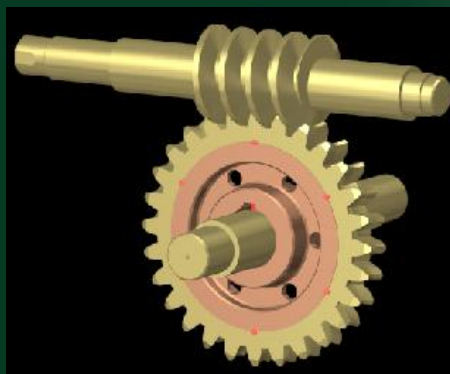
## 按齿轮类型分



交错轴斜齿  
轮传动



准双曲面齿  
轮传动



涡轮蜗杆  
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

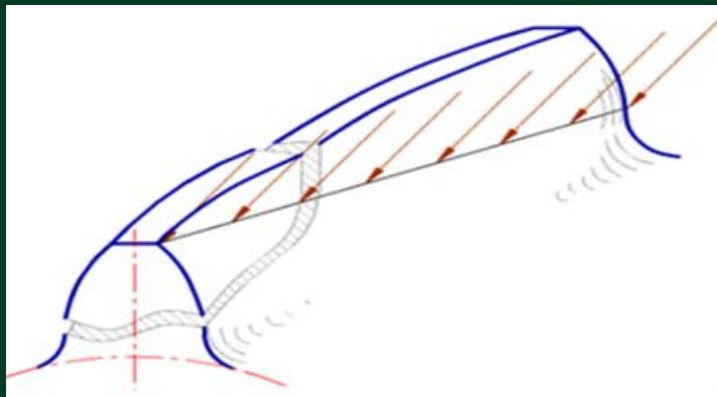
- 全齿折断，一般发生在齿根；



## 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。

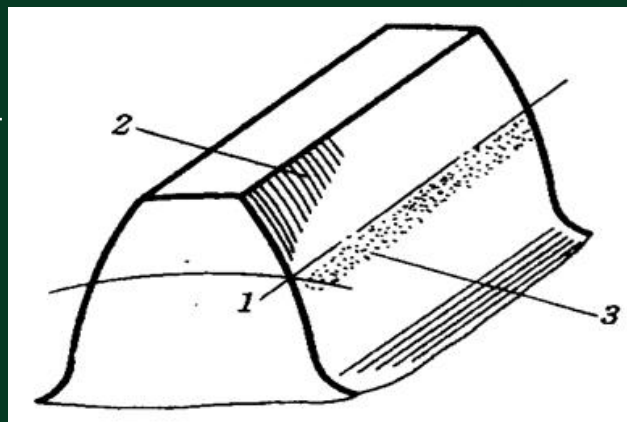
## 二、齿轮的失效形式和设计准则

### — 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：

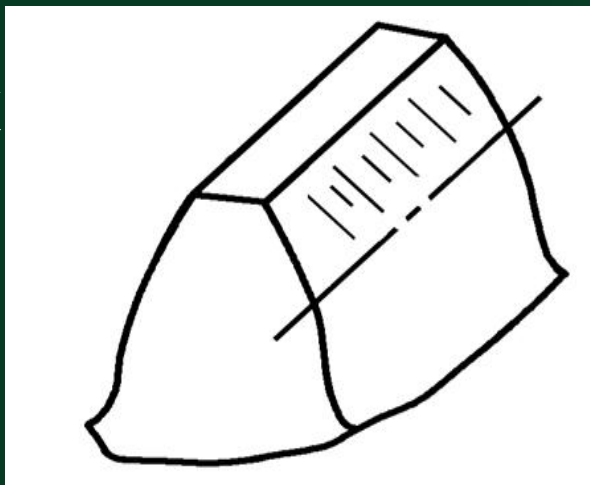
- 啮合区温度升高而引起润滑失效→齿面金属直接接触而相互粘连→齿面相对滑动→较软的齿面材料沿滑动方向被撕下而形成沟纹；

- 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。



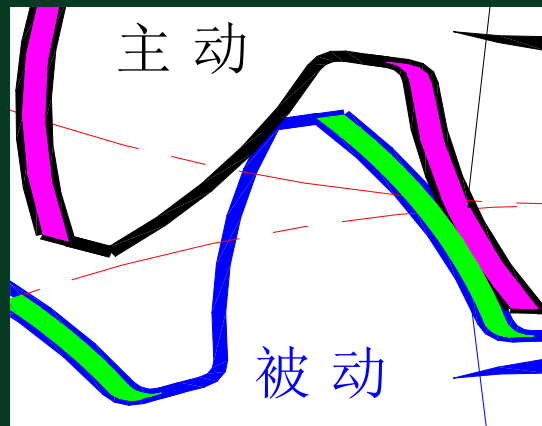


## 二、齿轮的失效形式和设计准则

### — 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。

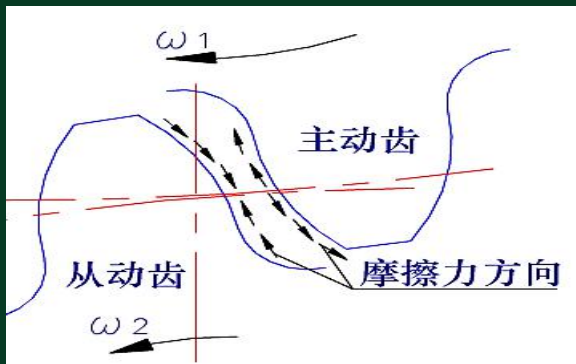


## 二、齿轮的失效形式和设计准则

### — 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

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。