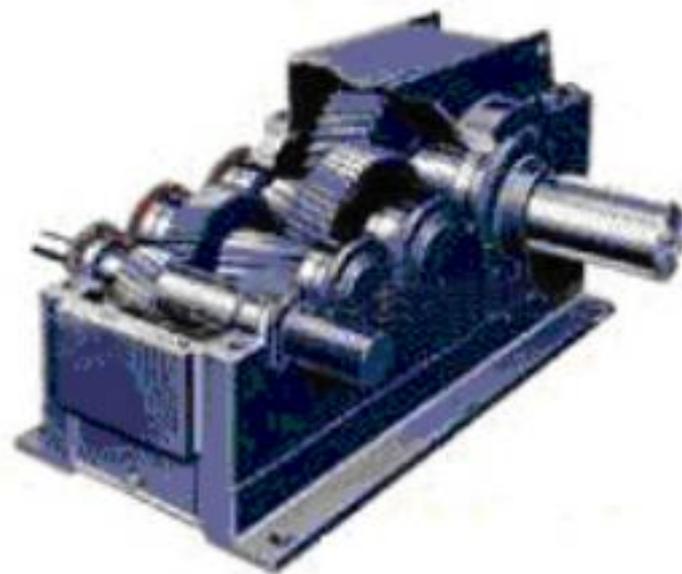


# 第四章 齿轮传动

- § 4-1 齿轮传动的类型及应用
- § 4-2 渐开线齿廓
- § 4-3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算
- § 4-4 其他齿轮传动简介
- § 4-5 渐开线齿轮失效形式



## 齿轮传动应用举例



# § 4—1 齿轮传动的类型及应用

**齿轮传动**——利用齿轮副来传递运动和（或）动力的一种机械传动。

一、齿轮传动的常用类型

二、齿轮传动的应用

# 一、齿轮传动的常用类型

两轴平行

按轮齿方向

直齿圆柱齿轮传动

斜齿圆柱齿轮传动

人字齿圆柱齿轮传动

按啮合情况

外啮合齿轮传动

内啮合齿轮传动

齿轮齿条传动

两轴不平行

相交轴齿轮传动

— 锥齿轮传动

交错轴齿轮传动

交错轴斜齿轮传动

蜗轮蜗杆传动



齿轮传动常用类型

## 二、齿轮传动的应用

### 1. 传动比

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$n_1$ 、 $n_2$  —— 主、从动轮的转速，r/min;  
 $z_1$ 、 $z_2$  —— 主、从动轮齿数。

齿轮传动的传动比是主动齿轮转速与从动齿轮转速之比，也等于两齿轮齿数之反比。

## 2. 应用特点

### (1) 优点

- 能保证瞬时传动比恒定，工作可靠性高，传递运动准确可靠
- 传递的功率和圆周速度范围较宽
- 结构紧凑、可实现较大的传动比
- 传动效率高，使用寿命长，维护简便

## (2) 缺点

- 运转过程中有振动、冲击和噪声
- 齿轮安装要求较高
- 不能实现无极变速
- 不适宜用在中心距较大的场合

## § 4—2 渐开线齿廓

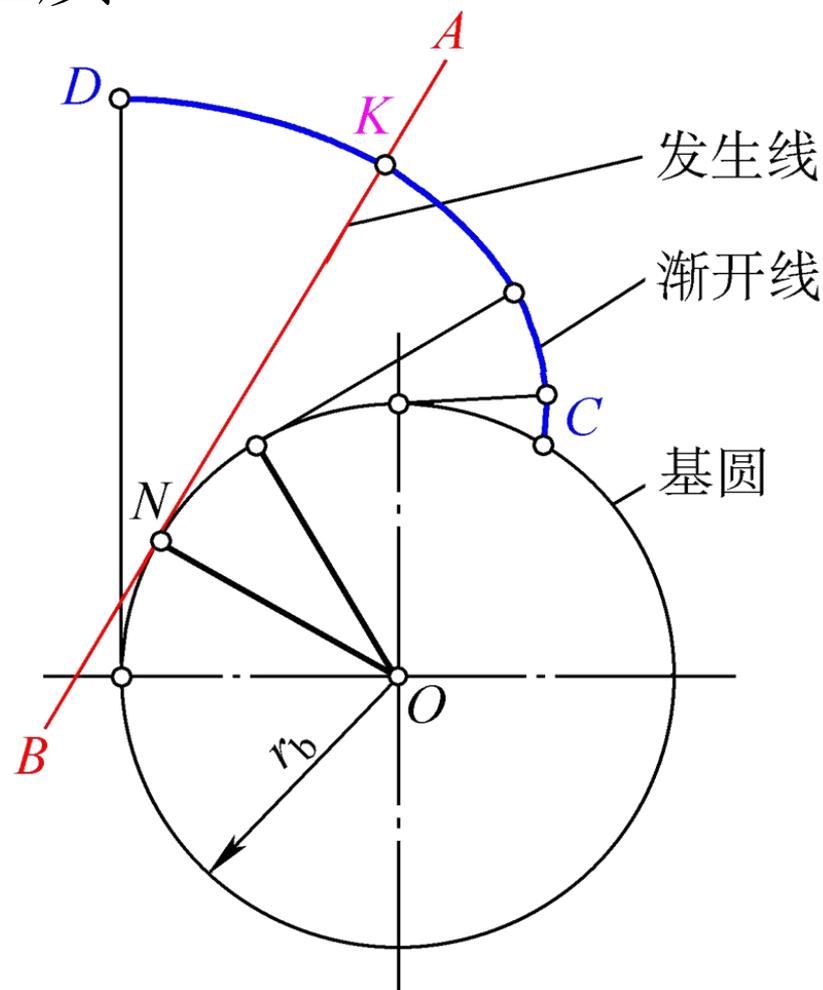
- 一、齿轮传动对齿廓曲线的基本要求
- 二、渐开线的形成及性质
- 三、渐开线齿廓的啮合特性

# 一、齿轮传动对齿廓曲线的基本要求

- 传动平稳
- 承载能力强

## 二、渐开线的形成及性质

动直线沿着一固定的圆作纯滚动时，此动直线上任一点 $K$ 的运动轨迹 $CK$ 称为**渐开线**，该圆称为**渐开线的基圆**，其半径以 $r_b$ 表示，直线称为**渐开线的发生线**。



渐开线齿轮——以同一个基圆上产生的两条反向渐开线为齿廓的齿轮。

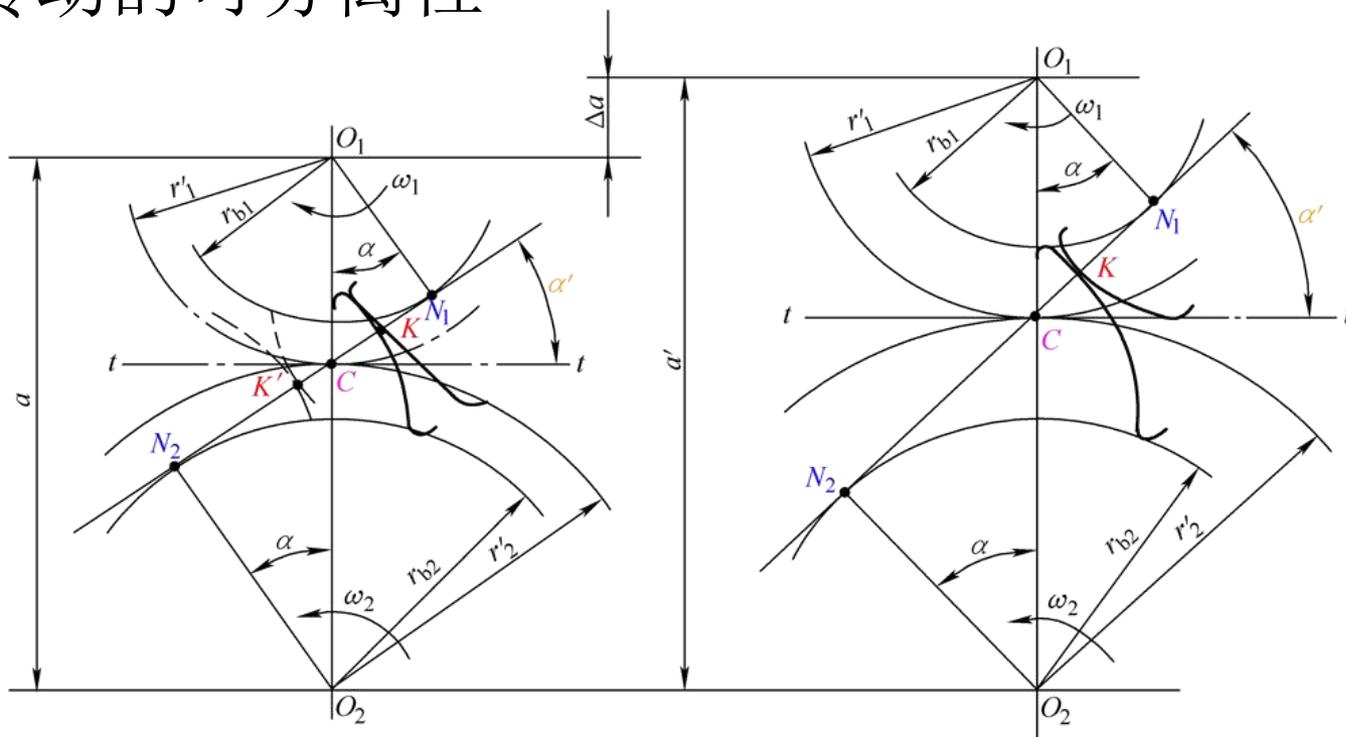


## 渐开线齿廓的性质：

- 发生线在基圆上滚过的线段长等于基圆上被滚过的弧长
- 渐开线上任意一点的法线必切于基圆
- 渐开线的形状取决于基圆的大小
- 渐开线上各点的曲率半径不相等
- 渐开线上各点的齿形角（压力角）不等
- 渐开线的起始点在基圆上，基圆内无渐开线

### 三、渐开线齿廓的啮合特性

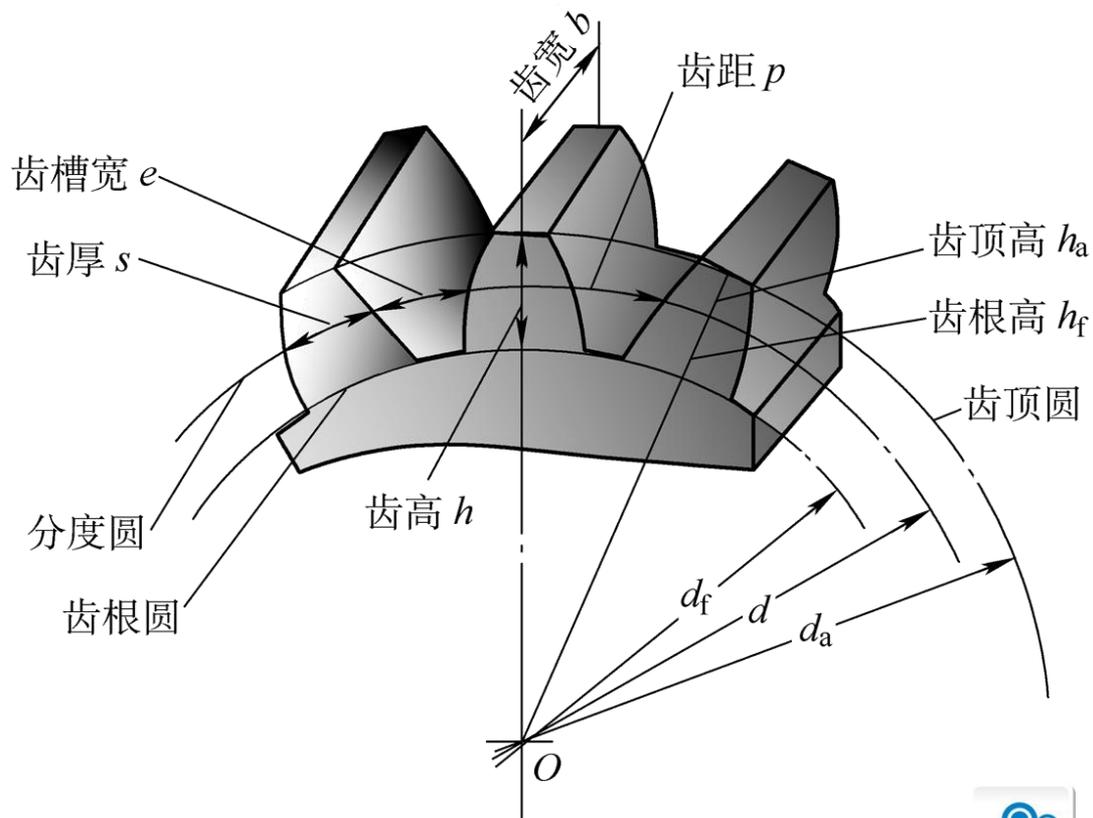
- 能保持瞬时传动比的恒定
- 具有传动的可分离性



## § 4—3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算

- 一、渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称
- 二、渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数
- 三、外啮合标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算
- 四、直齿圆柱内啮合齿轮简介

# 一、渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称

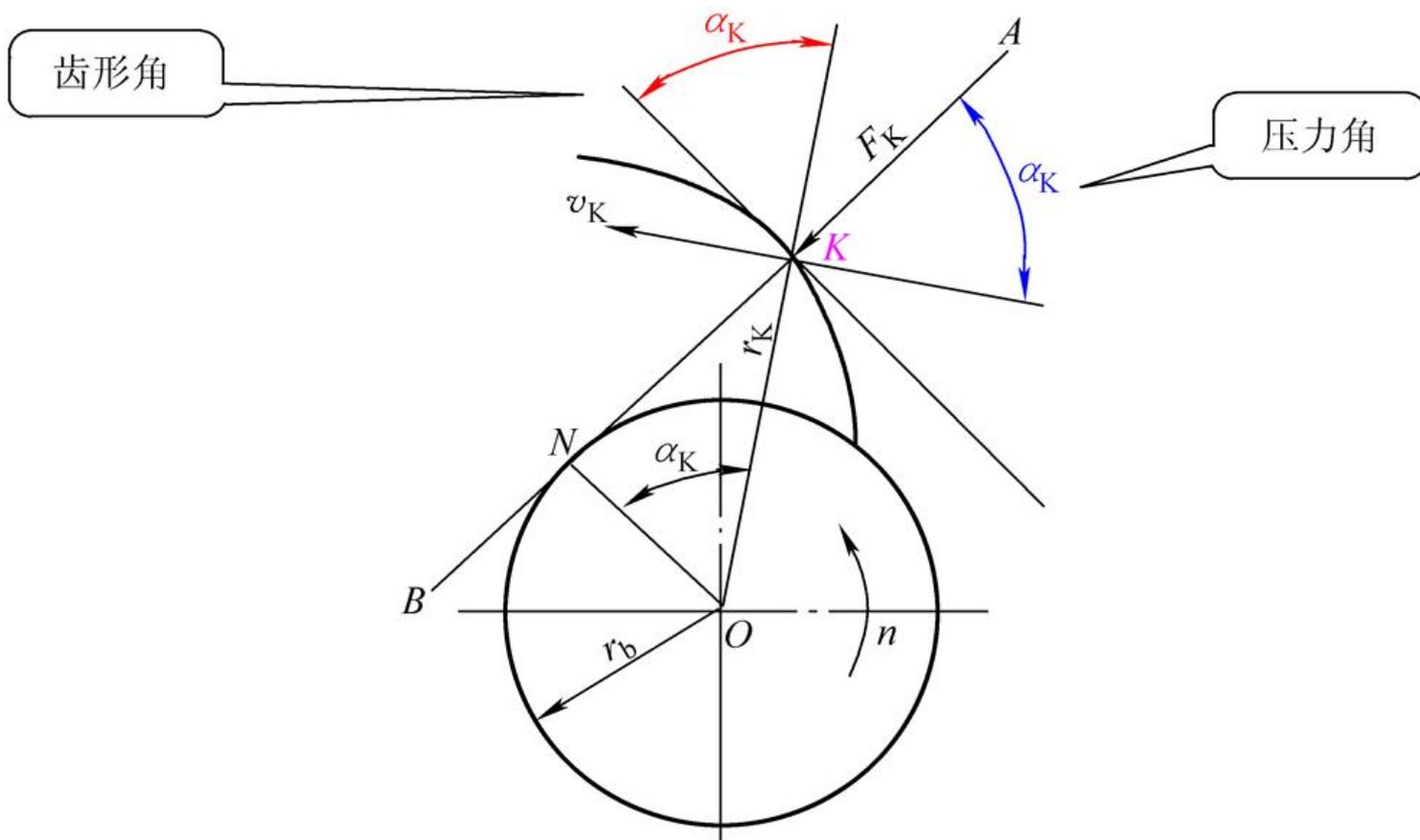


齿轮上各部分名称

## 二、渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数

- 标准齿轮的齿形角  $\alpha$
- 齿数  $z$
- 模数  $m$
- 齿顶高系数  $h_a^*$
- 顶隙系数  $c^*$

# 1. 标准齿轮的齿形角 $\alpha$



**齿形角**——在端平面上，过端面齿廓上任意点 $K$ 的径向直线与齿廓在该点处的切线所夹的锐角，用 $\alpha$ 表示。 $K$ 点的齿形角为 $\alpha_K$ 。

渐开线齿廓上各点的齿形角不相等， $K$ 点离基圆越远，齿形角越大，基圆上的齿形角 $\alpha=0^\circ$ 。

**分度圆压力角**——齿廓曲线在分度圆上的某点处的速度方向与曲线在该点处的法线方向（即力的作用线方向）之间所夹锐角，也用 $\alpha$ 表示。

## 2. 齿数 $z$

一个齿轮的轮齿总数。

## 3. 模数 $m$

齿距 $p$ 除以圆周率 $\pi$ 所得的商，即 $m = p / \pi$ 。

模数已经标准化。

齿数相等的齿轮，模数越大，齿轮尺寸就越大，轮齿也越大，承载能力越大。

#### 4. 齿顶高系数 $h_a^*$

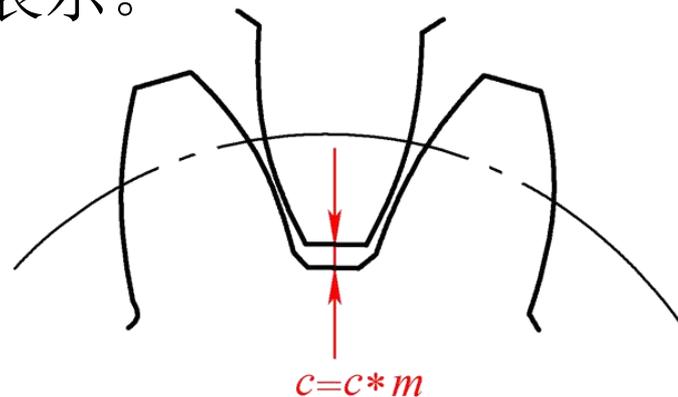
对于标准齿轮，规定 $h_a = h_a^* m$ 。 $h_a^*$ 称为齿顶高系数。

我国标准规定：正常齿 $h_a^* = 1$ 。

#### 5. 顶隙系数 $c^*$

当一对齿轮啮合时，为使一个齿轮的齿顶面不与另一个齿轮的齿槽底面相抵触，轮齿的齿根高应大于齿顶高，即应留有一定的径向间隙，称为顶隙，用 $c$ 表示。

对于标准齿轮，规定 $c = c^* m$ 。  
 $c^*$ 称为顶隙系数。我国标准规定：  
正常齿 $c^* = 0.25$ 。

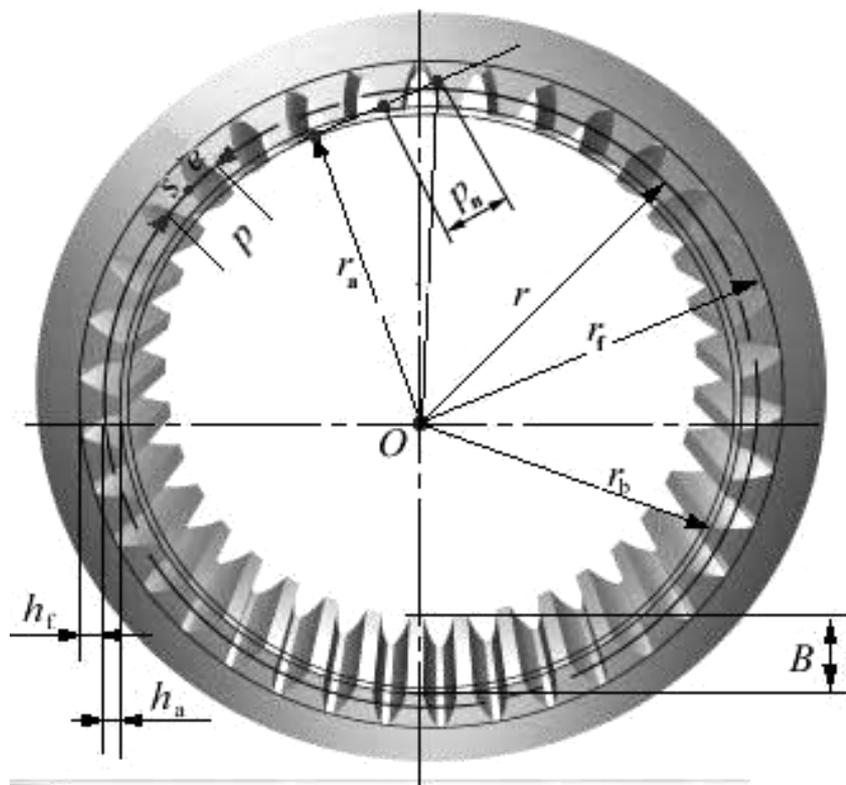


### 三、外啮合标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算

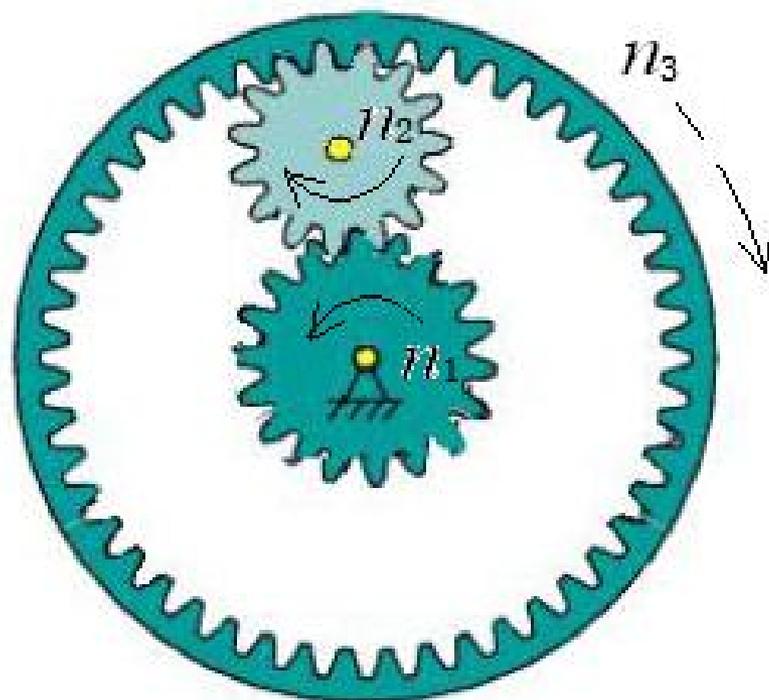
名称	代号	计算公式
齿形角	$\alpha$	标准齿轮为 $20^\circ$
齿数	$z$	通过传动比计算确定
模数	$m$	通过计算或结构设计确定
齿厚	$s$	$s=p/2=\pi m/2$
齿槽宽	$e$	$e=p/2=\pi m/2$
齿距	$p$	$p=\pi m$
基圆齿距	$p_b$	$p_b=p\cos\alpha=\pi m\cos\alpha$
齿顶高	$h_a$	$h_a=h_a^*m=m$

名称	代号	计算公式
齿根高	$h_f$	$h_f=(h_a^*+c^*)m=1.25m$
齿高	$h$	$h=h_a+h_f=2.25m$
分度圆直径	$d$	$d=mz$
齿顶圆直径	$d_a$	$d_a=d+2h_a=m(z+2)$
齿根圆直径	$d_f$	$d_f=d-h_f=m(z-2.5)$
基圆直径	$d_b$	$d_b=d\cos\alpha$
标准中心距	$a$	$a=(d_1+d_2)/2=m(z_1+z_2)/2$
齿数比	$u$	$u=z_2/z_1$

## 四、直齿圆柱内啮合齿轮简介



直齿圆柱内啮合齿轮



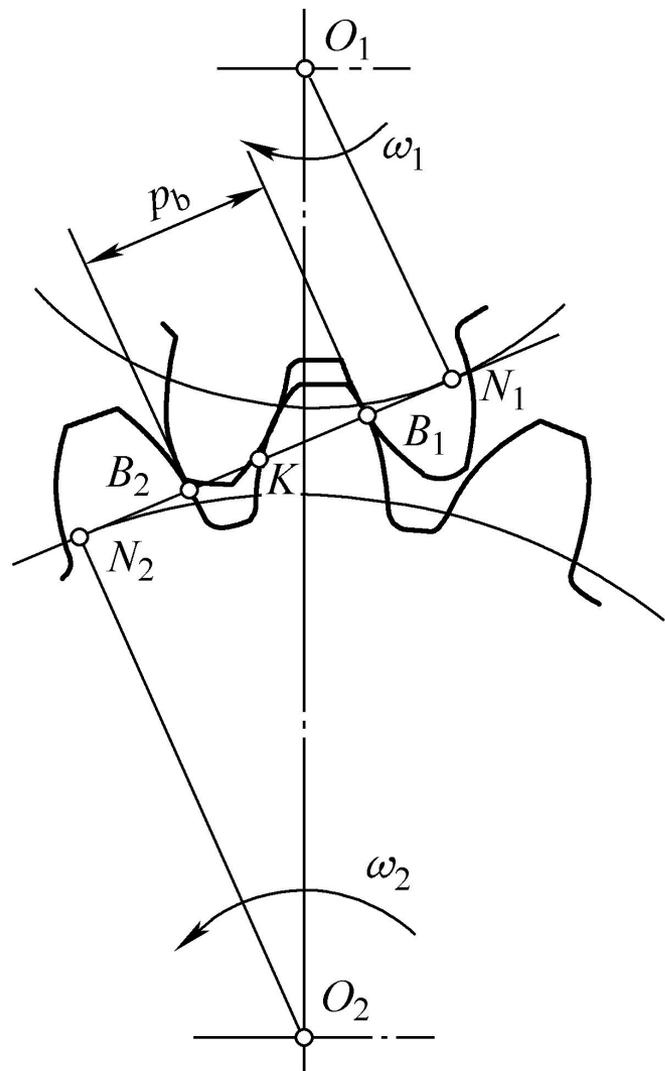
直齿圆柱内啮合齿轮传动

- 内齿轮的齿顶圆小于分度圆，齿根圆大于分度圆。
- 内齿轮的齿廓是内凹的，其齿厚和齿槽宽分别对应于外齿轮的齿槽和齿厚。
- 为了使内齿轮齿顶的齿廓全部为渐开线，其齿顶圆必须大于基圆。



## 2. 连续传动条件

前一对轮齿尚未结束啮合，后继的一对轮齿已进入啮合状态。

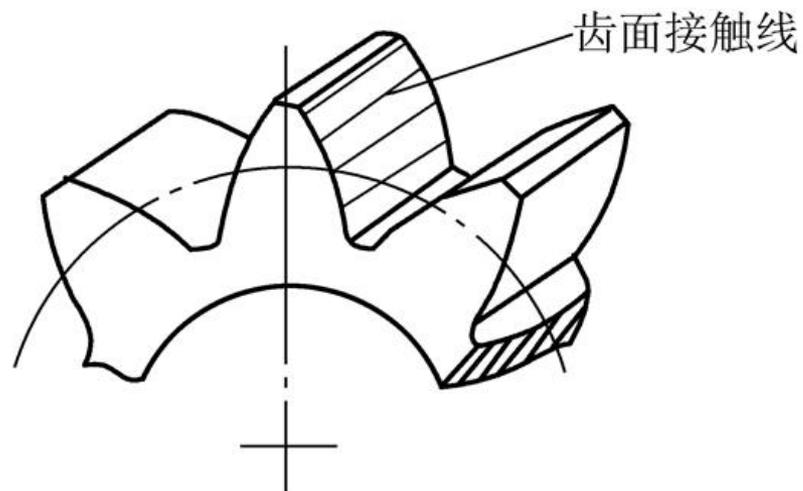
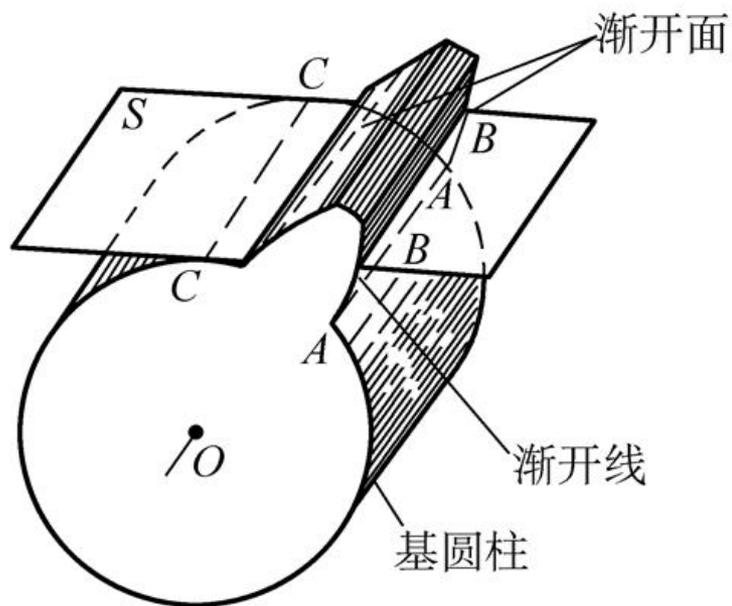


## § 4—4 其他齿轮传动简介

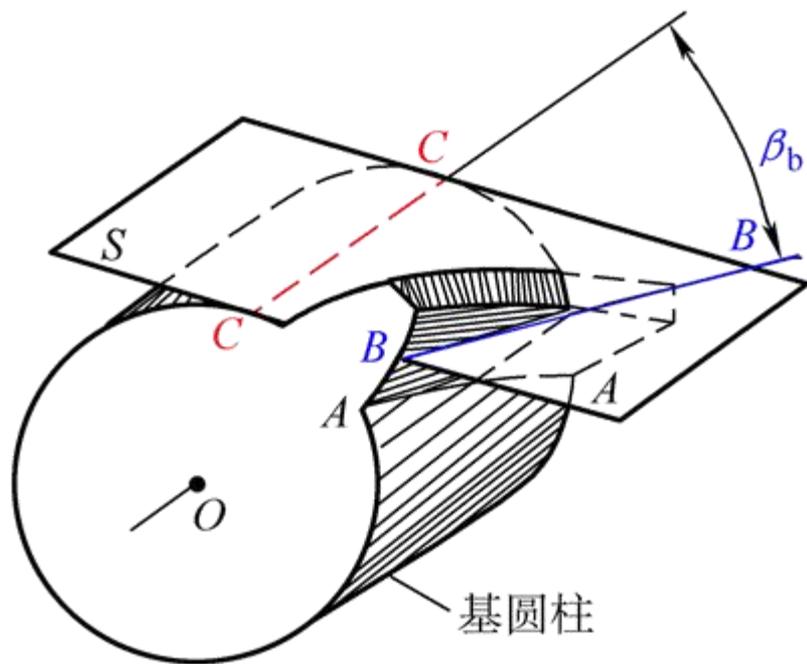
- 一、斜齿圆柱齿轮传动
- 二、直齿圆锥齿轮传动
- 三、齿轮齿条传动

# 一、斜齿圆柱齿轮传动

## 1. 斜齿圆柱齿轮的形成



直齿轮齿廓的形成



齿面接触线



当发生面沿基圆柱作纯滚动时，直线 $BB$ 形成的一个螺旋形的渐开线曲面，称为**渐开线螺旋面**。

$\beta_b$ 称为**基圆柱上的螺旋角**。

## 2. 斜齿圆柱齿轮传动的啮合性能

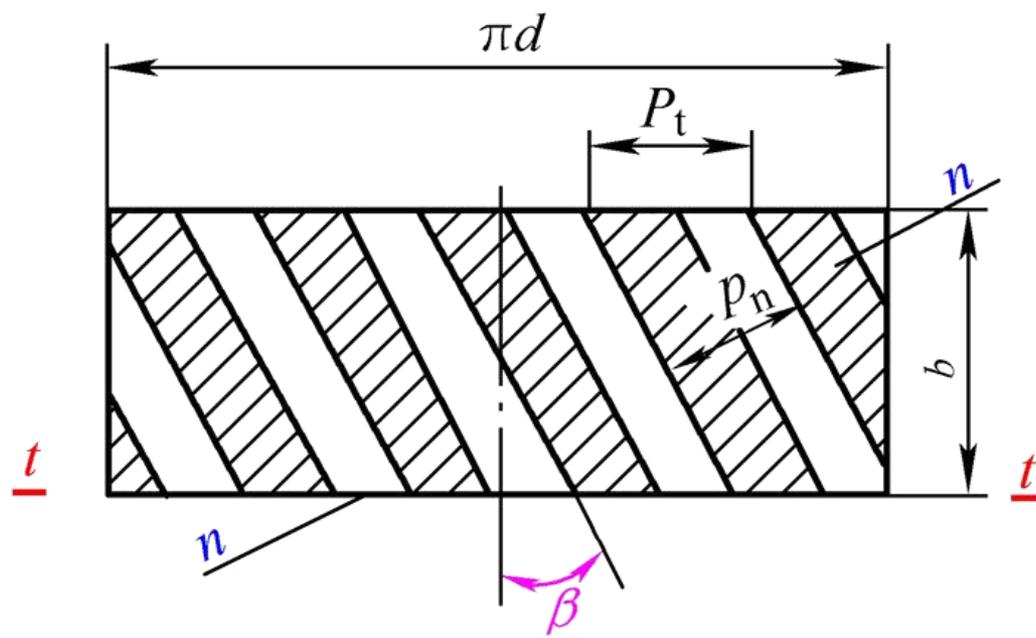
- 轮齿的接触线先由短变长，再由长变短，承载能力大，可用于大功率传动。
- 轮齿上的载荷逐渐增加，又逐渐卸掉，承载和卸载平稳，冲击、振动和噪声小。
- 由于轮齿倾斜，传动中会产生一个轴向力。
- 斜齿圆柱齿轮在高速、大功率传动中应用十分广泛。

### 3. 斜齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸

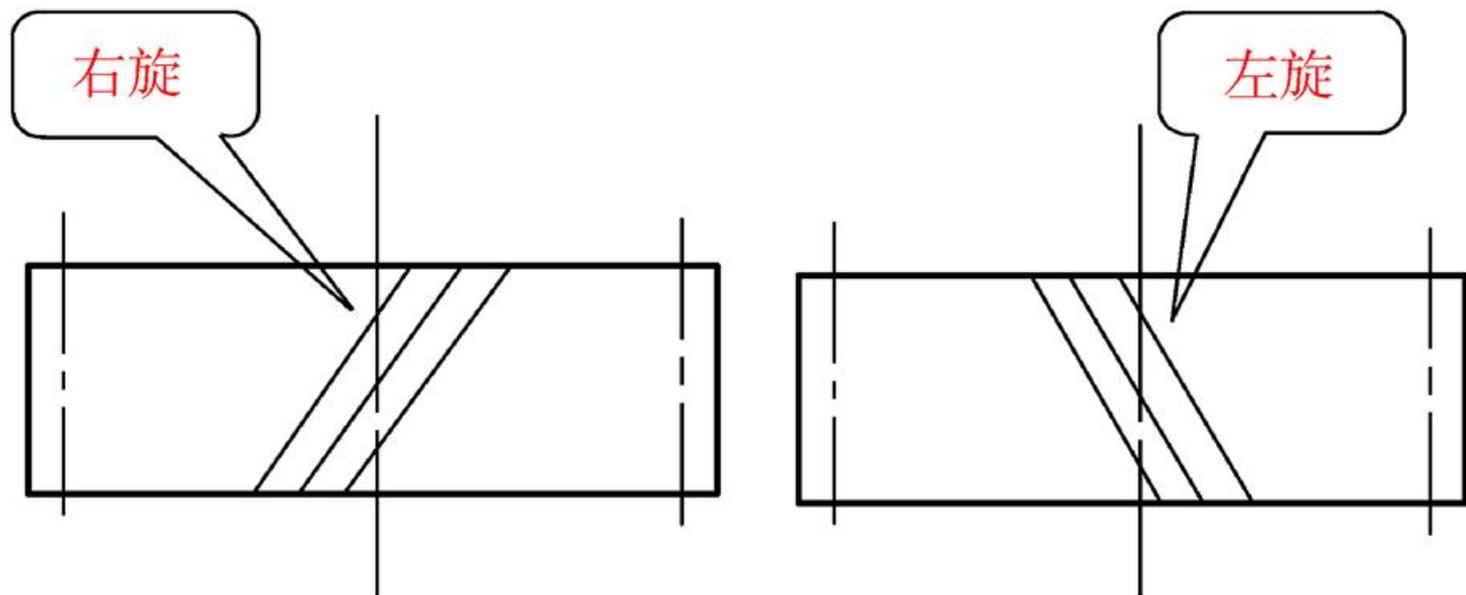
端面：垂直于齿轮轴线的平面，用  $t$  作标记

法面：与轮齿齿线垂直的平面，用  $n$  作标记。

$\beta$ ：斜齿圆柱齿轮螺旋角



**判别方法：**将齿轮轴线垂直放置，轮齿自左至右上升者为右旋，反之为左旋。



## 4. 斜齿圆柱齿轮的正确啮合条件

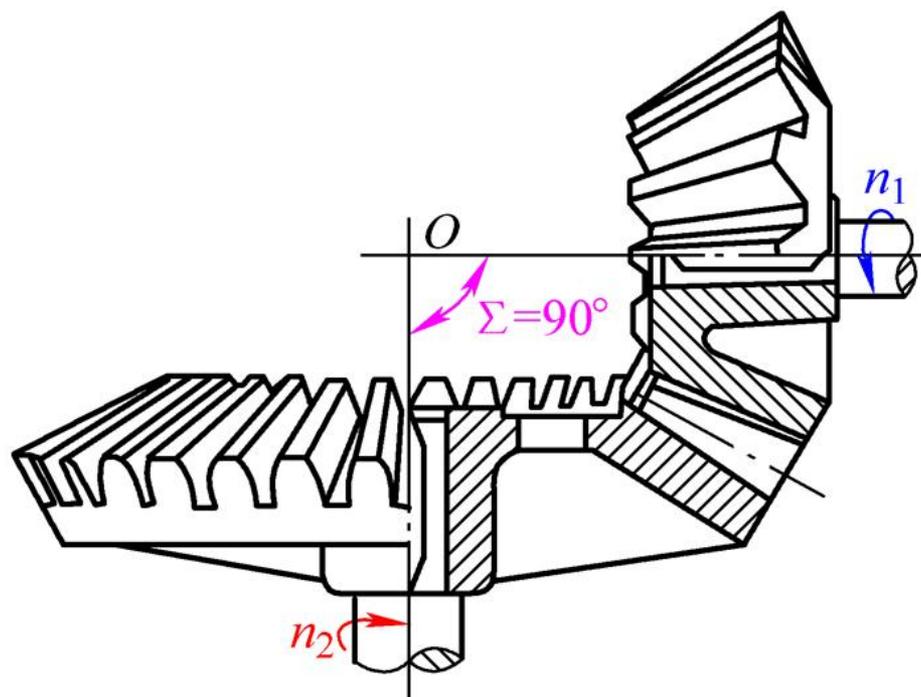
- 法面模数（法向齿距除以圆周率 $\pi$ 所得的商）相等，即 $m_{n1} = m_{n2} = m$
- 法面齿形角（法平面内，端面齿廓与分度圆交点处的齿形角）相等，即 $\alpha_{n1} = \alpha_{n2} = \alpha$
- 螺旋角相等、旋向相反，即 $\beta_1 = -\beta_2$

## 二、直齿圆锥齿轮传动

以大端的参数作为标准参数。

应满足的条件：

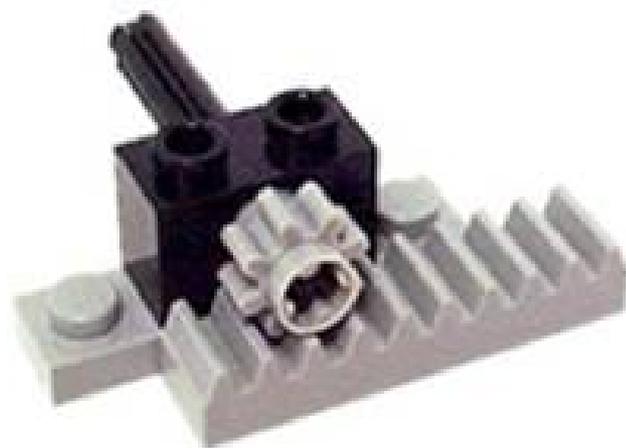
- 大端端面模数相等。
- 大端齿形角相等。



### 三、齿轮齿条传动



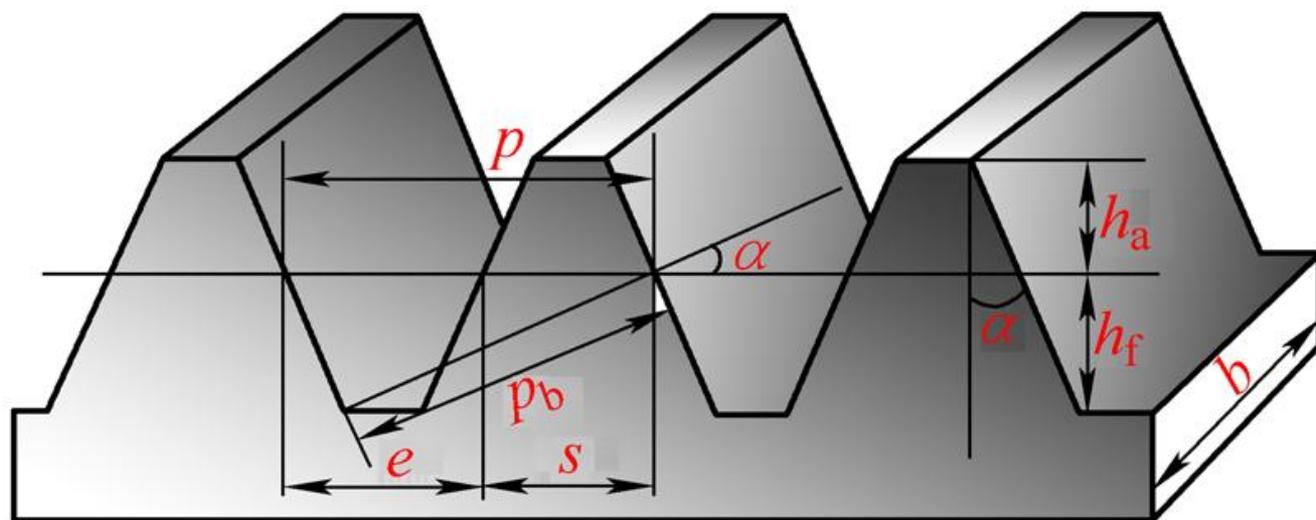
斜齿条



直齿条

# 1. 齿条

齿轮的齿数增加到无穷多时，其圆心位于无穷远处，齿轮上的基圆、分度圆、齿顶圆等各圆成为基线、分度线、齿顶线等互相平行的直线，渐开线齿廓也变成直线齿廓，齿轮即演化成为齿条。



## 齿条的主要特点：

- 齿廓上各点的法线相互平行。传动时，齿条作直线运动，且速度大小和方向均一致。
- 齿条齿廓上各点的齿形角均相等，且等于齿廓直线的倾斜角，标准值 $\alpha$ 为 $20^\circ$ 。
- 不论在分度线上、齿顶线上，还是在与分度线平行的其他直线上，齿距均相等，模数为同一标准值。

## 2. 齿轮齿条传动

$$v = n_1 \pi d_1 = n_1 \pi m z_1$$

$$L = \pi d_1 = \pi m z_1$$

$v$ —齿条的移动速度, mm/min

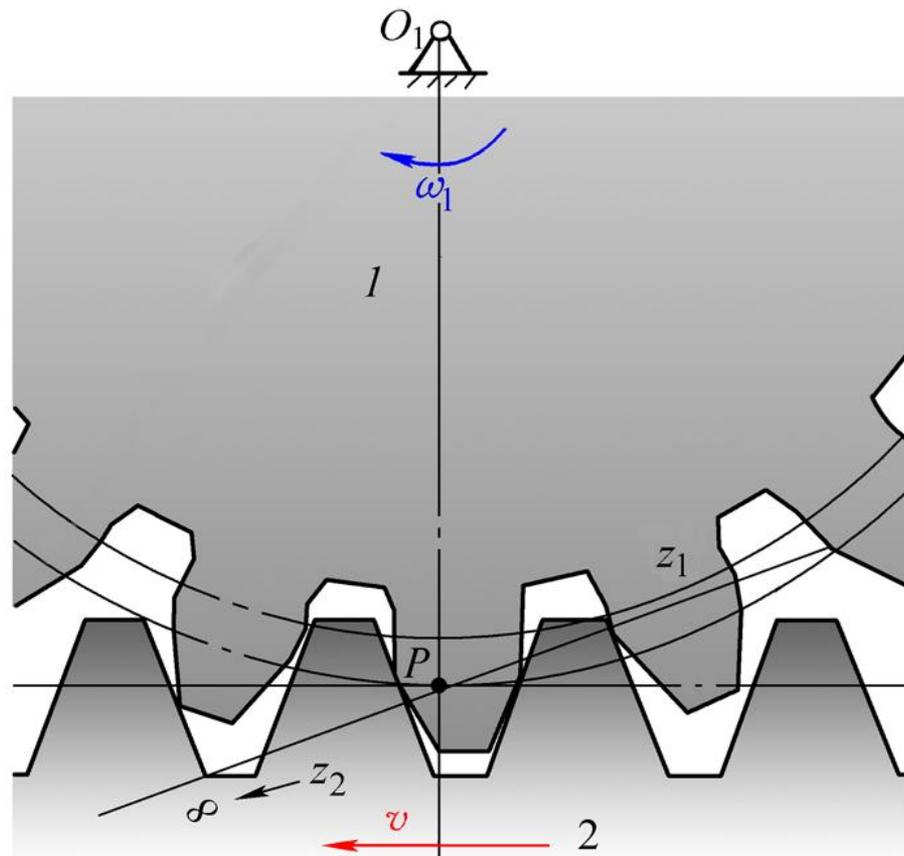
$n_1$ —齿轮的转速, r/min

$d_1$ —齿轮分度圆直径, mm

$m$ —齿轮的模数, mm

$z_1$ —齿轮的齿数

$L$ —齿轮每回转一周齿条的移动距离



## § 4—5 渐开线齿轮失效形式

**失效**——齿轮传动过程中，若轮齿发生折断、齿面损坏等现象，齿轮失去了正常的工作能力。

- 一、齿面点蚀
- 二、齿面胶合
- 三、齿面磨损
- 四、齿面塑变
- 五、轮齿折断

## 一、齿面点蚀



点蚀多发生在靠近节线的齿根面上。

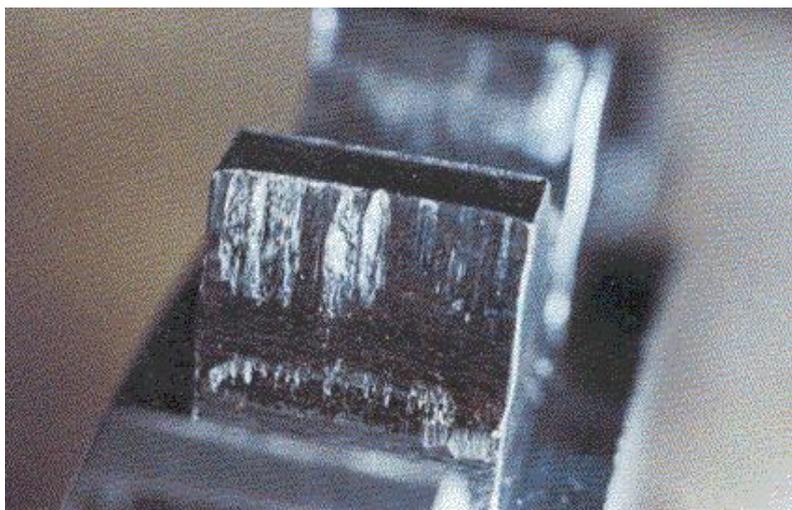
- **引起原因**

很小的面接触、循环变化、齿面表层就会产生细微的疲劳裂纹、微粒剥落下来而形成麻点。

- **避免措施**

提高齿面硬度。

## 二、齿面胶合



高速和低速重载的齿轮传动，容易发生齿面胶合。

- **引起原因**

低速重载、齿面压力过大。

- **避免措施**

减小载荷，减少启动频率。

### 三、齿面磨损

齿面磨损是开式齿轮传动的主要失效形式。



- **引起原因**

触表面间有较大的相对滑对，产生滑动摩擦。

- **避免措施**

提高齿面硬度，降低表面粗糙度，改善润滑条件，加大模数，尽可能用闭式齿轮传动结构代替开式齿轮传动结构。

## 四、齿面塑变

当齿轮的齿面较软，在重载情况下，可能使表层金属沿着相对滑动方向发生局部的塑性流动，出现塑性变形。



- **引起原因**

低速重载，齿面压力过大。

- **避免措施**

减小载荷，降低启动频率。

## 五、轮齿折断

轮齿折断是开式传动和硬齿面闭式传动的主要失效形式之一。



- **引起原因**

短时意外的严重过载，超过弯曲疲劳极限。

- **避免措施**

选择适当的模数和齿宽，采用合适的材料及热处理方法，减小表面粗糙度值，降低齿根弯曲应力。

# 本章小结

1. 齿轮传动的类型及特点。
2. 渐开线性质及渐开线齿轮啮合特性。
3. 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称、基本参数、几何尺寸计算及正确啮合条件。
4. 斜齿圆柱齿轮、直齿圆锥齿轮齿形特点及正确啮合条件。
5. 齿轮齿条传动的特点。
6. 齿轮的失效形式、失效原因和预防措施。