



第四章 齿轮机构

- 4.1 齿轮机构的特点和类型
- 4.2 齿廓实现定角速比传动的条件
- 4.3 渐开线齿廓
- 4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸
- 4.5 渐开线标准齿轮的啮合
- 4.8 平行轴斜齿轮机构
- 4.9 锥齿轮机构

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。



第四章 齿轮机构

4.1 齿轮机构的特点和类型

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件

4.3 渐开线齿廓

4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

4.5 渐开线标准齿轮的啮合

4.8 平行轴斜齿轮机构

4.9 锥齿轮机构

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

齿轮机构的特点和类型

齿轮机构用于传递空间任意两轴之间的运动和动力，是现代机械中应用最广泛的一种传动机构。

- **主要优点：**传动效率高，结构紧凑，工作可靠、寿命长，角速比（传动比）准确。
- **主要缺点：**制造及安装精度要求高，价格较贵，不宜用于两轴间距离较大的场合。

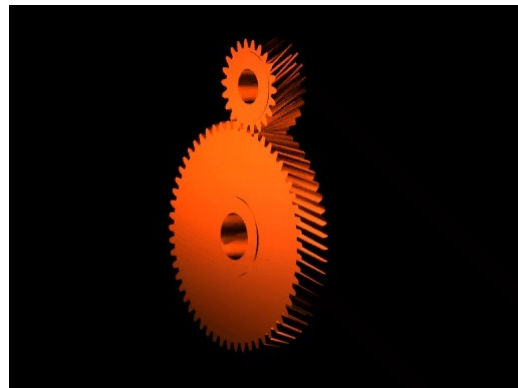
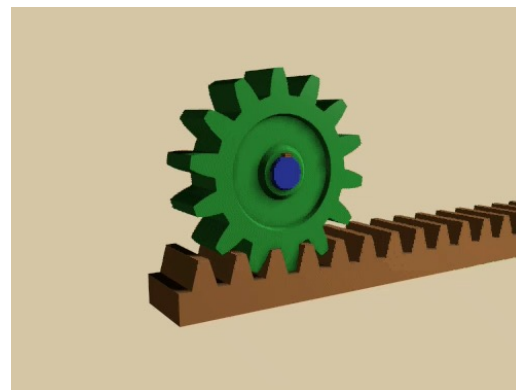
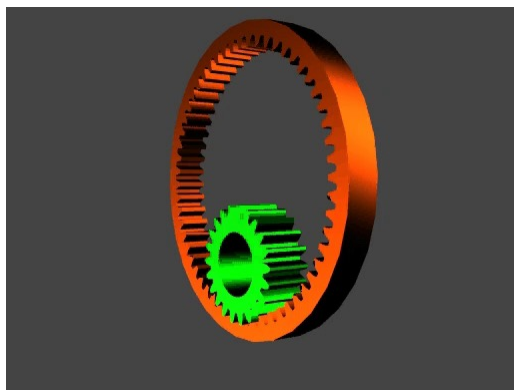
齿轮机构分类：

- 平面齿轮机构（相对运动为平面运动）
- 空间齿轮机构（相对运动为空间运动）



齿轮机构的特点和类型

平面齿轮机构——两齿轮轴线平行，**两轮转向相同或相反**；轮齿分布于圆柱面上，也称圆柱齿轮。根据轮齿沿回转轴线方向延伸形状的不同，进一步分为：**直齿圆柱齿轮机构**，**平行轴斜齿圆柱齿轮机构**，**人字齿轮机构**。

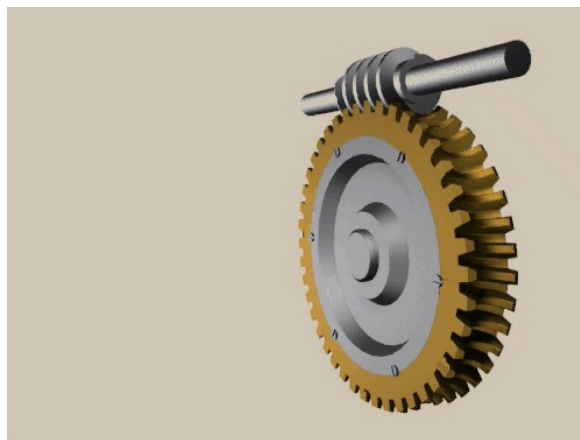
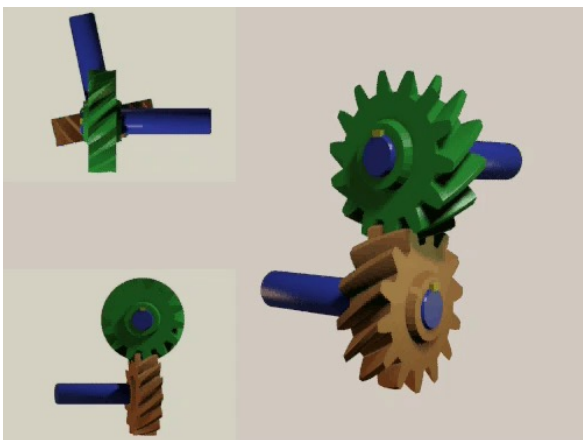
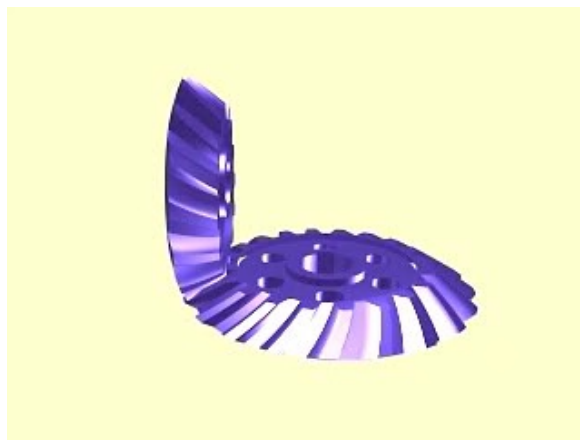
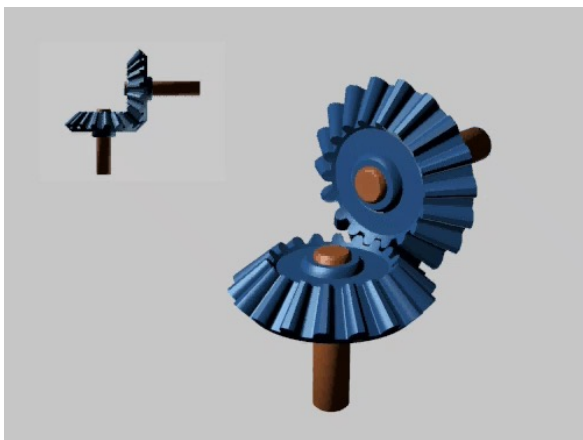


外齿轮，内齿轮，
齿条
外啮合，内啮合，
齿轮齿条啮合

齿轮机构的特点和类型

空间齿轮机构——两齿轮轴线相交或交错。

进一步分为：锥齿轮机构（直齿或曲齿），交错轴斜齿轮机构，蜗杆蜗轮机构。





第四章 齿轮机构

4.1 齿轮机构的特点和类型

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件

4.3 渐开线齿廓

4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

4.5 渐开线标准齿轮的啮合

4.8 平行轴斜齿轮机构

4.9 锥齿轮机构

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

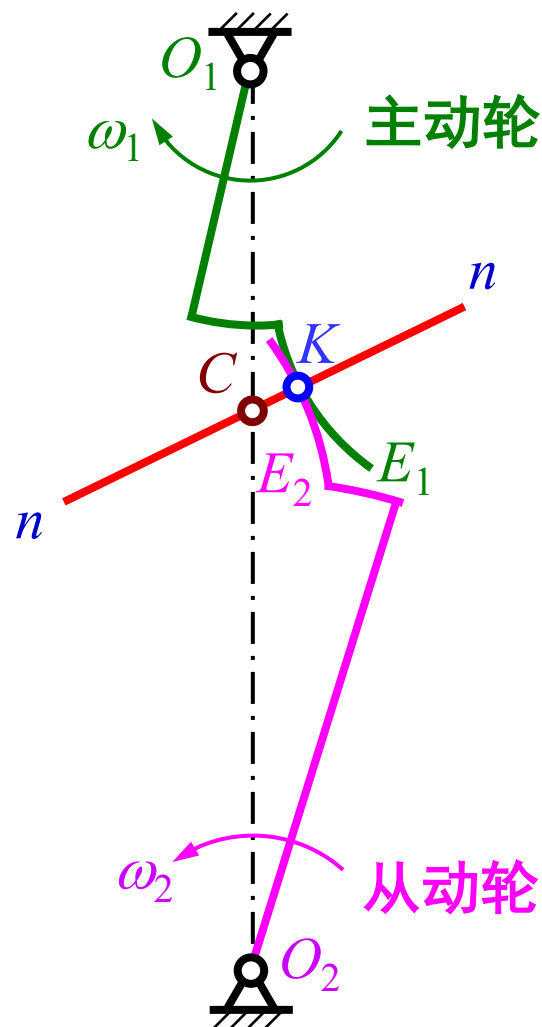
齿廓实现定角速比传动的条件

图示一对作平面啮合的齿轮，两轮的一对齿廓曲线 E_1 和 E_2 相切接触于点 K

过 K 作公法线 $n-n$ 与连心线 O_1O_2 交于点 C （**相对速度瞬心**，称为**节点**），有角速比：

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2C}}{\overline{O_1C}}$$

为使角速比 i_{12} 恒定不变，节点 C 的位置必须固定，即一对齿廓无论在何位置相切接触，过接触点的公法线都必须与连心线交于一定点。



齿廓实现定角速比传动的条件

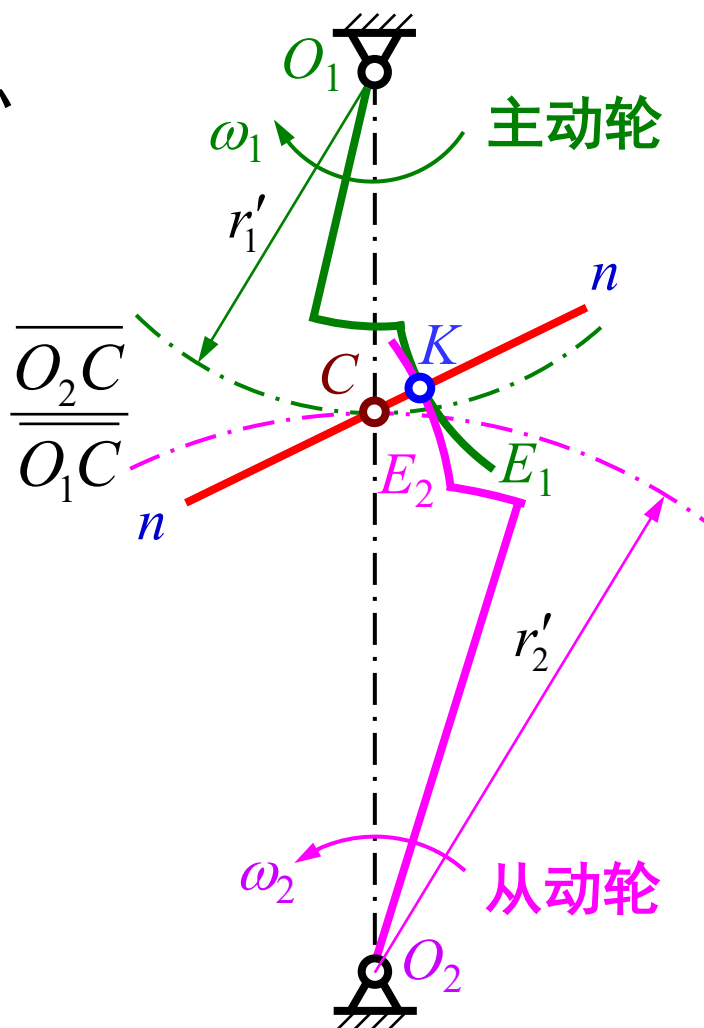
理论上可以实现定角速比的齿廓有很多种，但需综合考虑制造、安装、强度等要求。目前常用的齿廓有渐开线、摆线和圆弧，其中以渐开线齿廓应用最广。

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2C}}{\overline{O_1C}}$$

当节点C的位置固定时，C在两个齿轮运动平面上的轨迹是两个圆，称为**节圆**，半径用 r'_1 、 r'_2 表示。

中心距 $a = O_1O_2 = r'_1 + r'_2$

两齿轮的啮合运动相当于一对节圆的纯滚动。





第四章 齿轮机构

4.1 齿轮机构的特点和类型

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件

4.3 渐开线齿廓

4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

4.5 渐开线标准齿轮的啮合

4.8 平行轴斜齿轮机构

4.9 锥齿轮机构

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

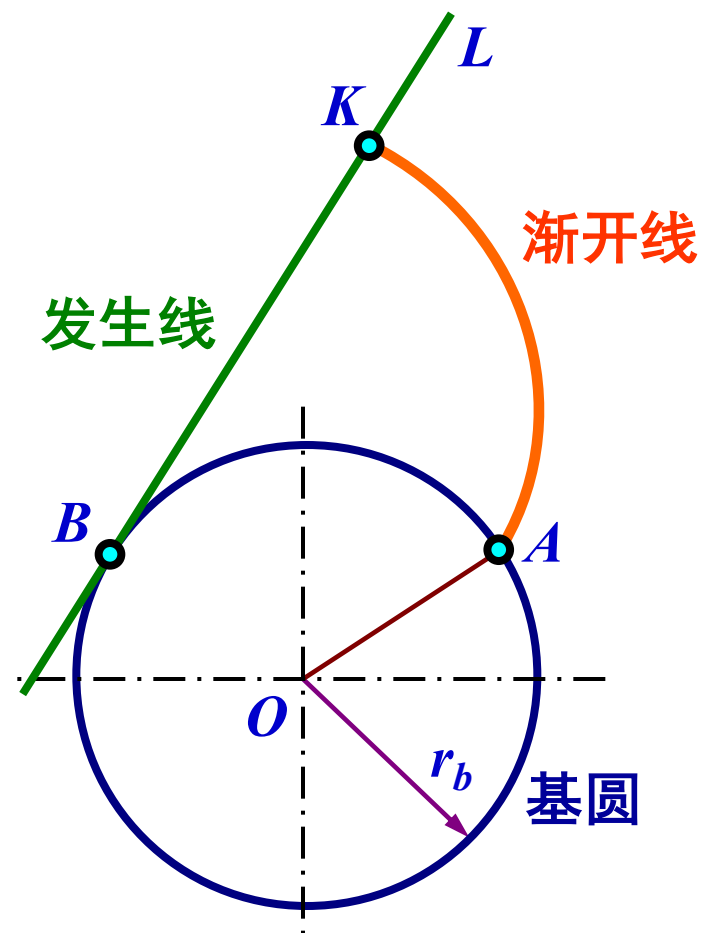
渐开线齿廓

一、渐开线的形成和特性

当直线 L 沿一圆周作纯滚动时，直线上任意一点 K 的轨迹 AK 称为该圆的**渐开线**。

该圆称为渐开线的**基圆**，半径用 r_b 表示，**基圆半径**；

直线 L 称为渐开线的**发生线**。



渐开线齿廓

渐开线特性：

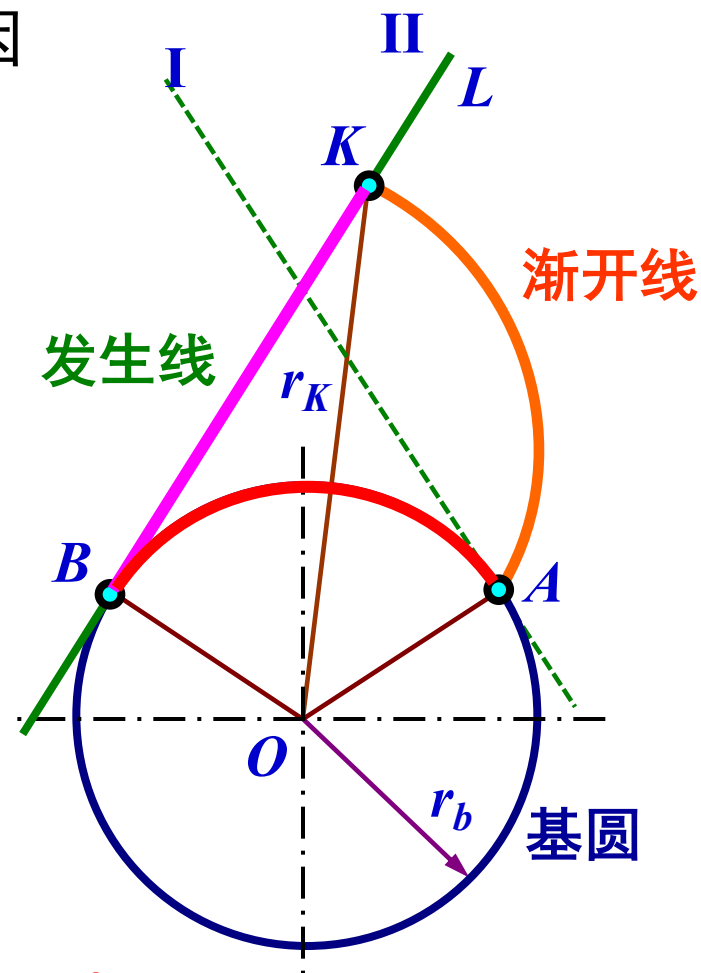
- ① 当发生线从位置I滚到位置II时，因它与基圆之间为纯滚动，有

$$\overline{KB} = \widehat{AB}$$

- ② 当发生线运动至位置II时刻， B 点为其绝对速度瞬心（瞬时转动中心）， BK 为渐开线在 K 点的法线（ BK 长为曲率半径， B 为曲率中心）；渐开线上任一点的法线必切于基圆。

$$\rho_K = BK = \sqrt{r_K^2 - r_b^2}$$

$$r_K \uparrow \Rightarrow \rho_K \uparrow \quad r_A = r_b \Rightarrow \rho_A = 0$$

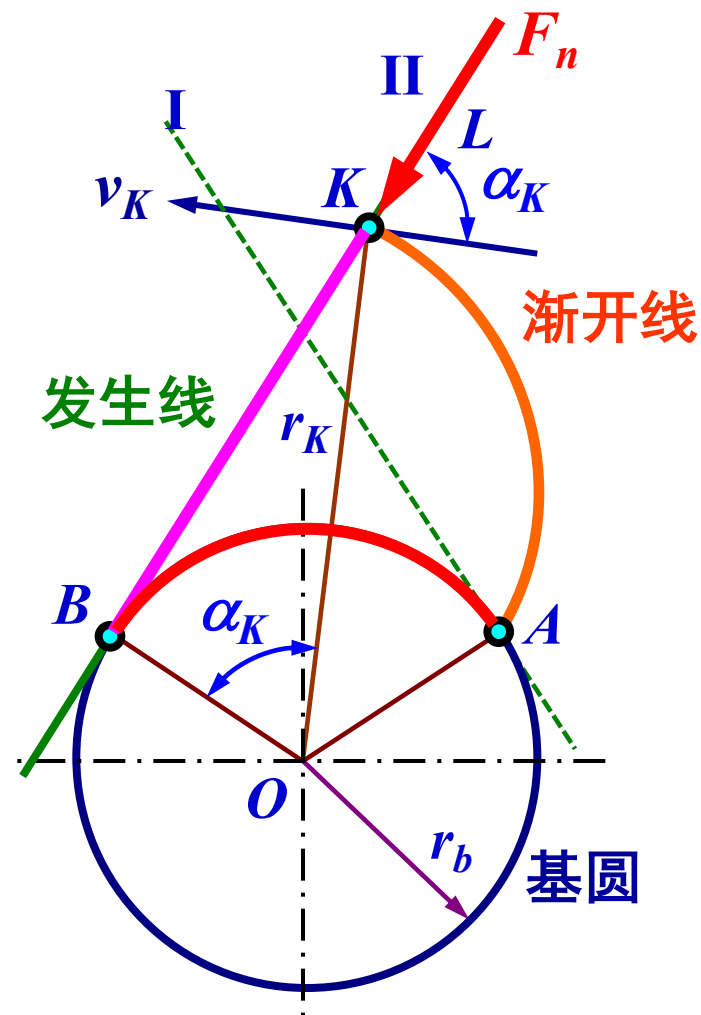


渐开线齿廓

- ③ 法线 BK （压力方向线）与 K 点速度 v_K 方向之间的夹角称为渐开线齿廓在 K 点的压力角，用 α_k 表示， $\alpha_k = \angle BOK$

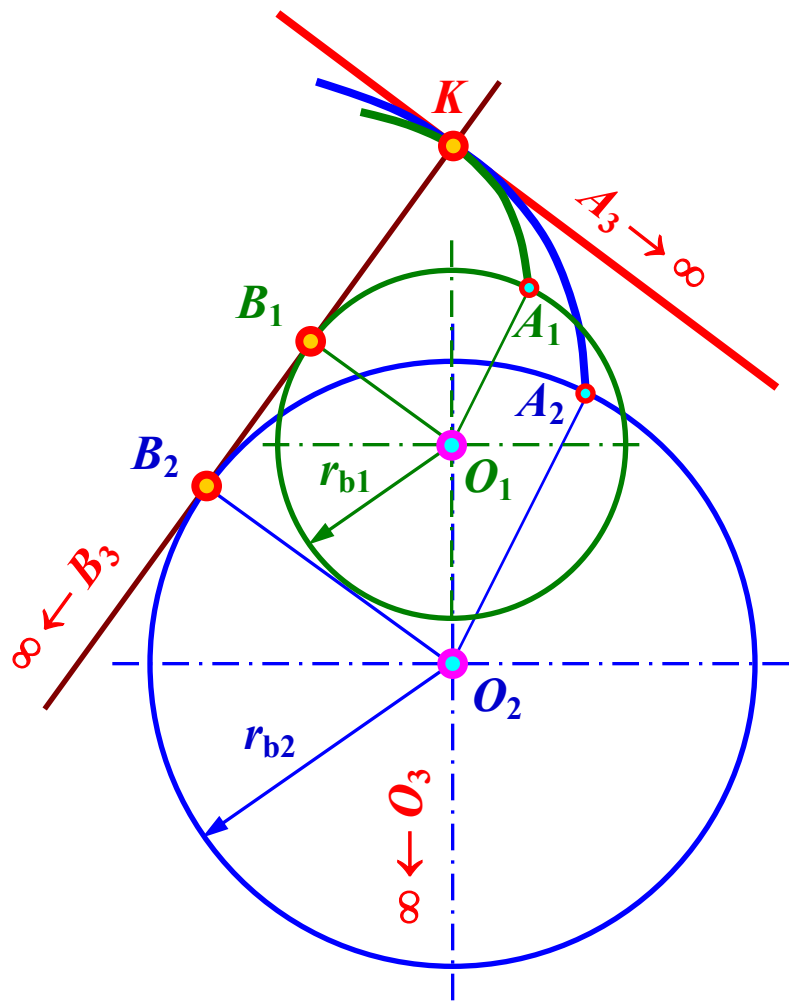
$$\cos \alpha_K = \frac{r_b}{r_K} \quad r_K \uparrow \Rightarrow \alpha_K \uparrow$$
$$\alpha_A = 0$$

α_k 也称为渐开线齿轮 r_k 圆上的压力角。



渐开线齿廓

- ④ 渐开线的形状取决于基圆的大小。基圆越大，渐开线越平直。当基圆半径趋向于无穷大时，渐开线趋向于直线。
- ⑤ 基圆之内无渐开线。渐开线从基圆开始向外伸展。



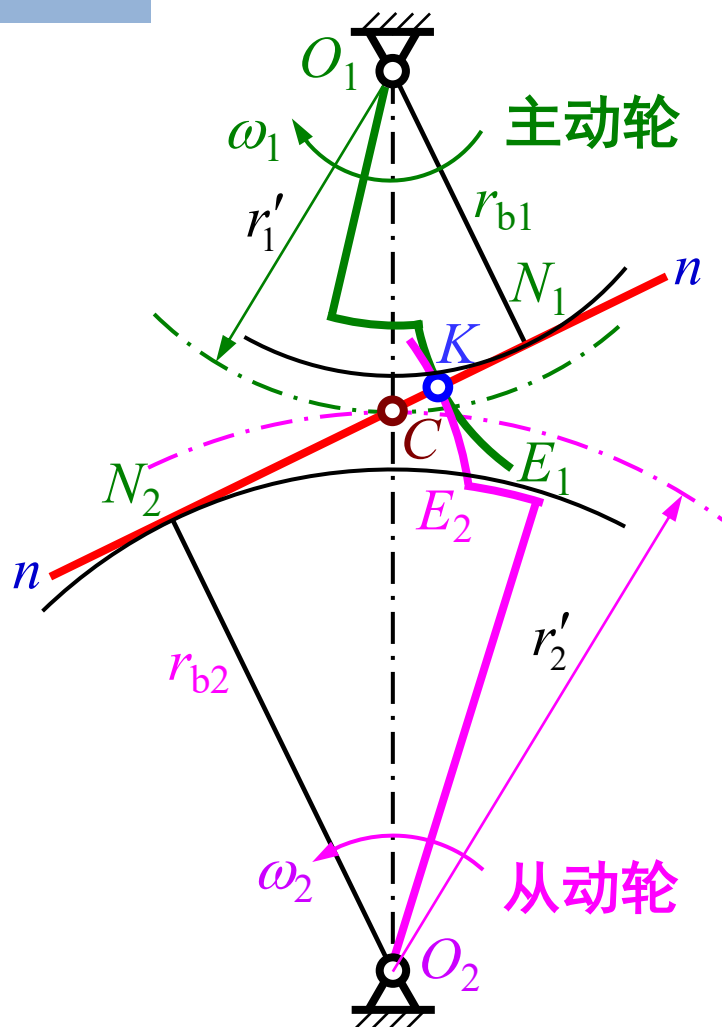
渐开线齿廓

二、渐开线齿廓满足定角速比要求

图示一对渐开线齿廓 E_1 和 E_2 相切接触于任意点 K ，根据渐开线性质，过 K 的公法线 $n-n$ 同时与两基圆相切，即公法线 $n-n$ 为两轮基圆的一条内公切线 N_1N_2 。

因两轮基圆的大小和安装位置均固定不变，因此两基圆内公切线与连心线交于固定点 C ，即渐开线齿廓满足定角速比要求。

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2C}{O_1C} = \frac{r_2'}{r_1'} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = \text{constant}$$

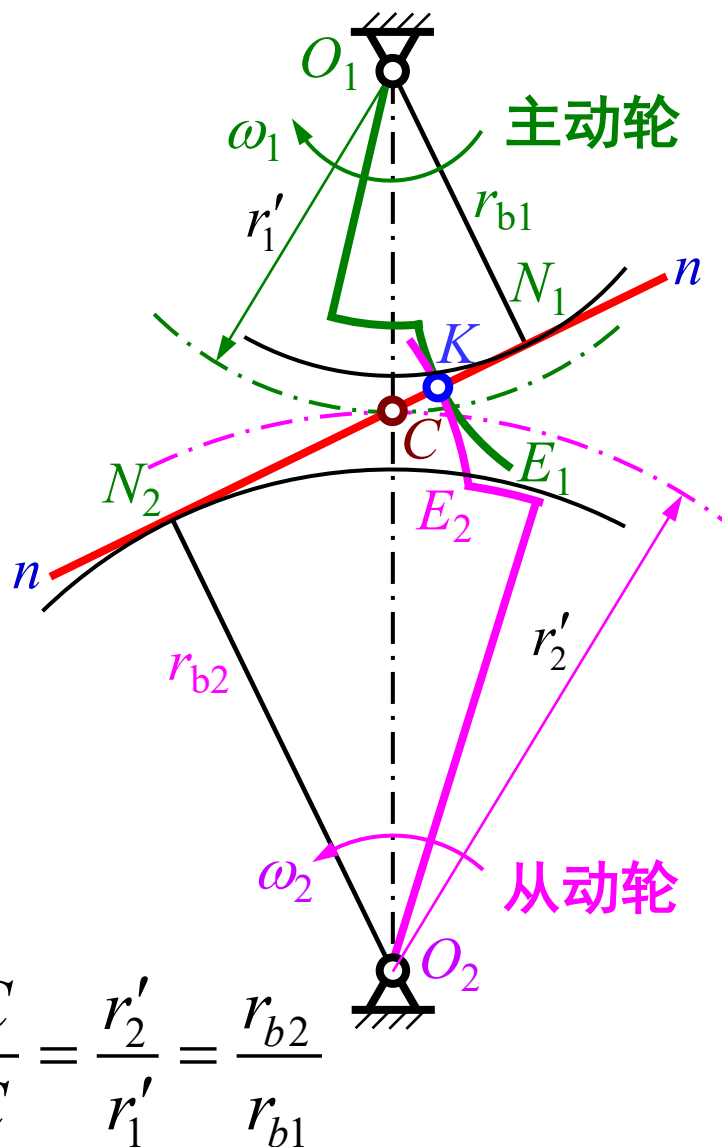


渐开线齿廓

一对渐开线齿廓啮合的角速比（传动比）决定于其基圆的大小，而齿轮一经加工好后，基圆大小不变，因此当两轮的實際中心距略有偏差时，仍能保持原传动比，此特点称为渐开线齿轮的**中心距可分性**。这一特点对渐开线齿轮的制造、安装都是十分有利的。

中心距不同时，两齿轮基圆相对位置不同，节点位置及两轮节圆半径大小不同。但**两轮节圆半径的比值不变，传动比不变**。

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2C}{O_1C} = \frac{r'_2}{r'_1} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}}$$

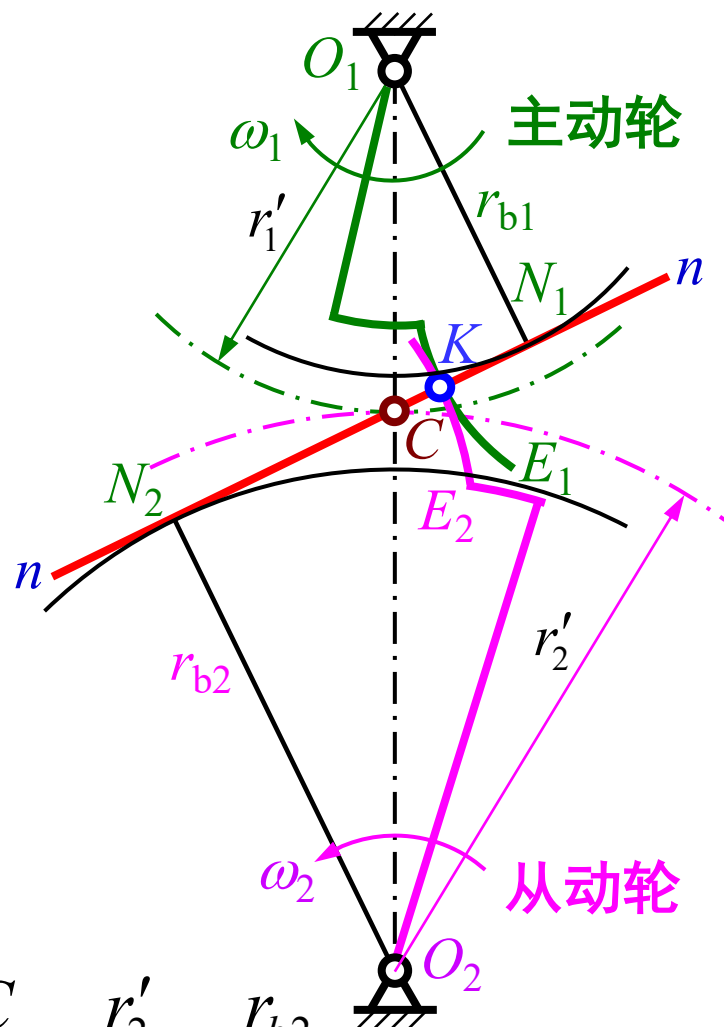


渐开线齿廓

- 一对渐开线齿廓无论接触于什么位置，过接触点的公法线位置固定，为两轮基圆的内公切线；
- 一对渐开线齿廓若接触，则只有一点接触，且一定接触于两轮基圆的内公切线上。

啮合线——渐开线齿廓的接触点 K 在机架坐标系中走过的轨迹，就是两基圆的内公切线 N_1N_2 。因此一对渐开线齿廓的啮合线是一条定直线。

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2C}{O_1C} = \frac{r'_2}{r'_1} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}}$$

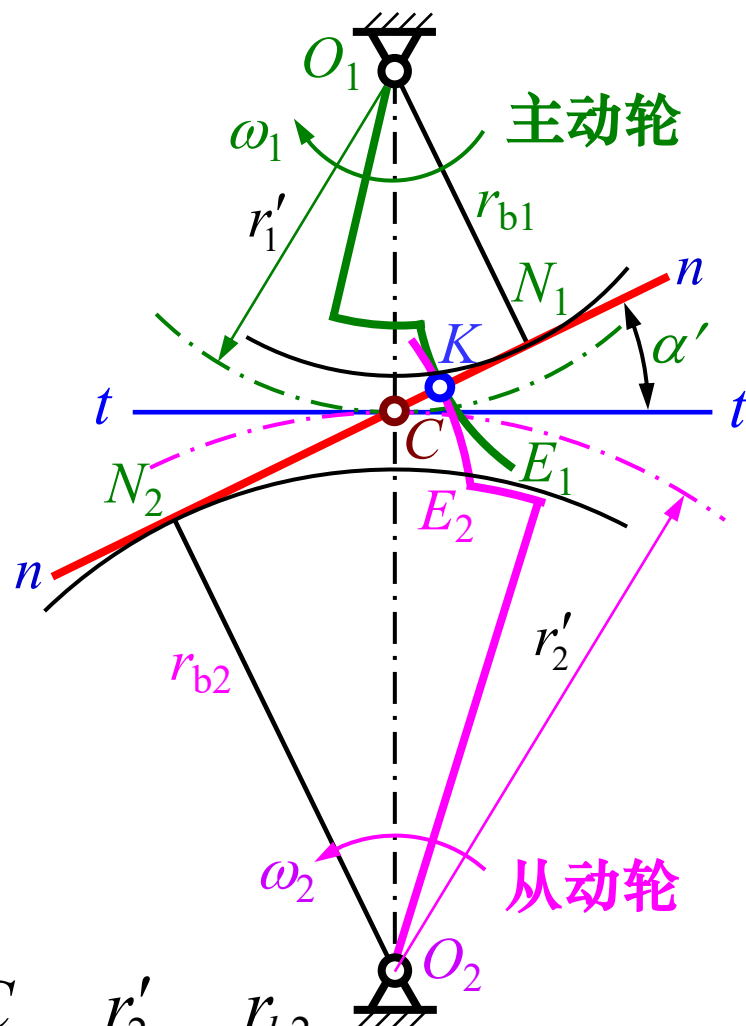


渐开线齿廓

啮合角， α' ——过 C 作两节圆的公切线 $t-t$ ，与啮合线（公法线） N_1N_2 之间的夹角。

因两渐开线齿廓接触点的公法线是定直线，所以其啮合角始终不变，而且在数值上恒等于渐开线在节圆上的压力角 α' 。

啮合角不变即两齿廓间作用力方向不变，传动平稳。



$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2C}{O_1C} = \frac{r'_2}{r'_1} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}}$$



第四章 齿轮机构

4.1 齿轮机构的特点和类型

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件

4.3 渐开线齿廓

4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

4.5 渐开线标准齿轮的啮合

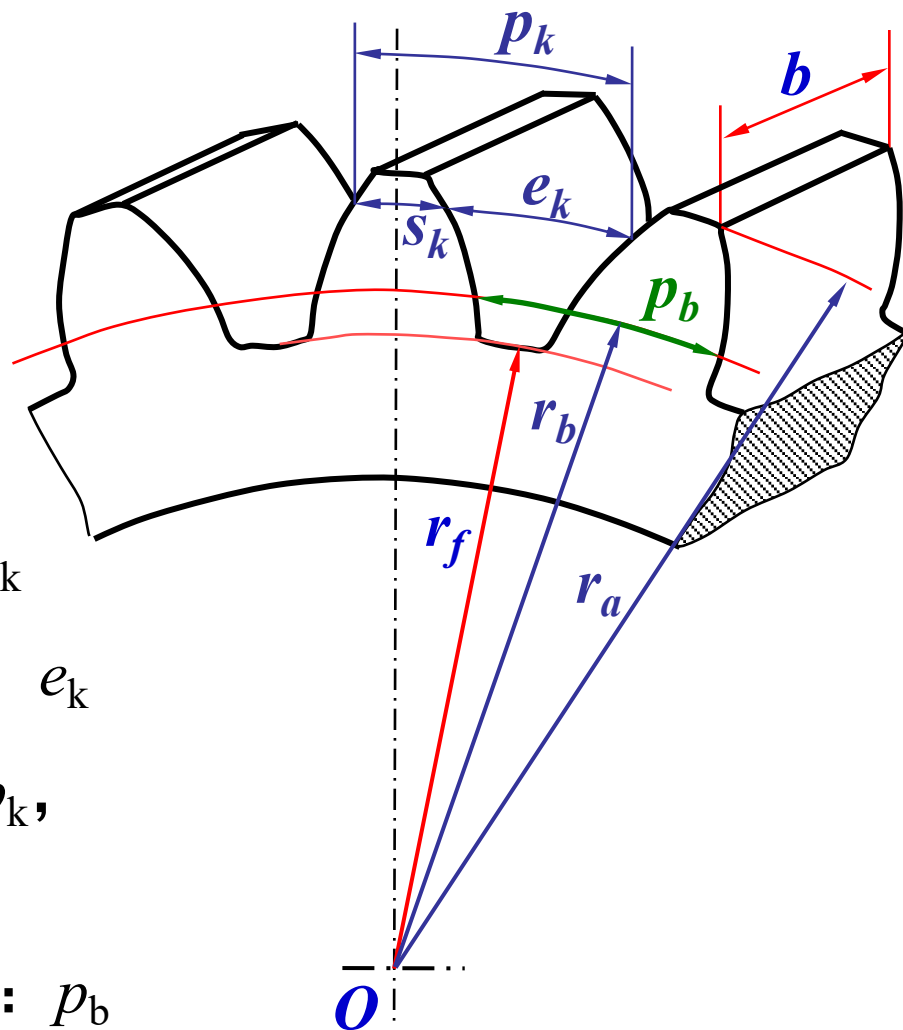
4.8 平行轴斜齿轮机构

4.9 锥齿轮机构

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

- 齿数： z
- 基圆： d_b , r_b
- 齿宽： b
- 齿顶圆： d_a , r_a
- 齿根圆： d_f , r_f
- r_k 圆上的齿厚（弧长）： s_k
- r_k 圆上的齿槽宽（弧长）： e_k
- r_k 圆上的齿距（弧长）： p_k ,
 $p_k = s_k + e_k$, $\pi d_k = z p_k$
- 基圆上的齿距，又称基节： p_b



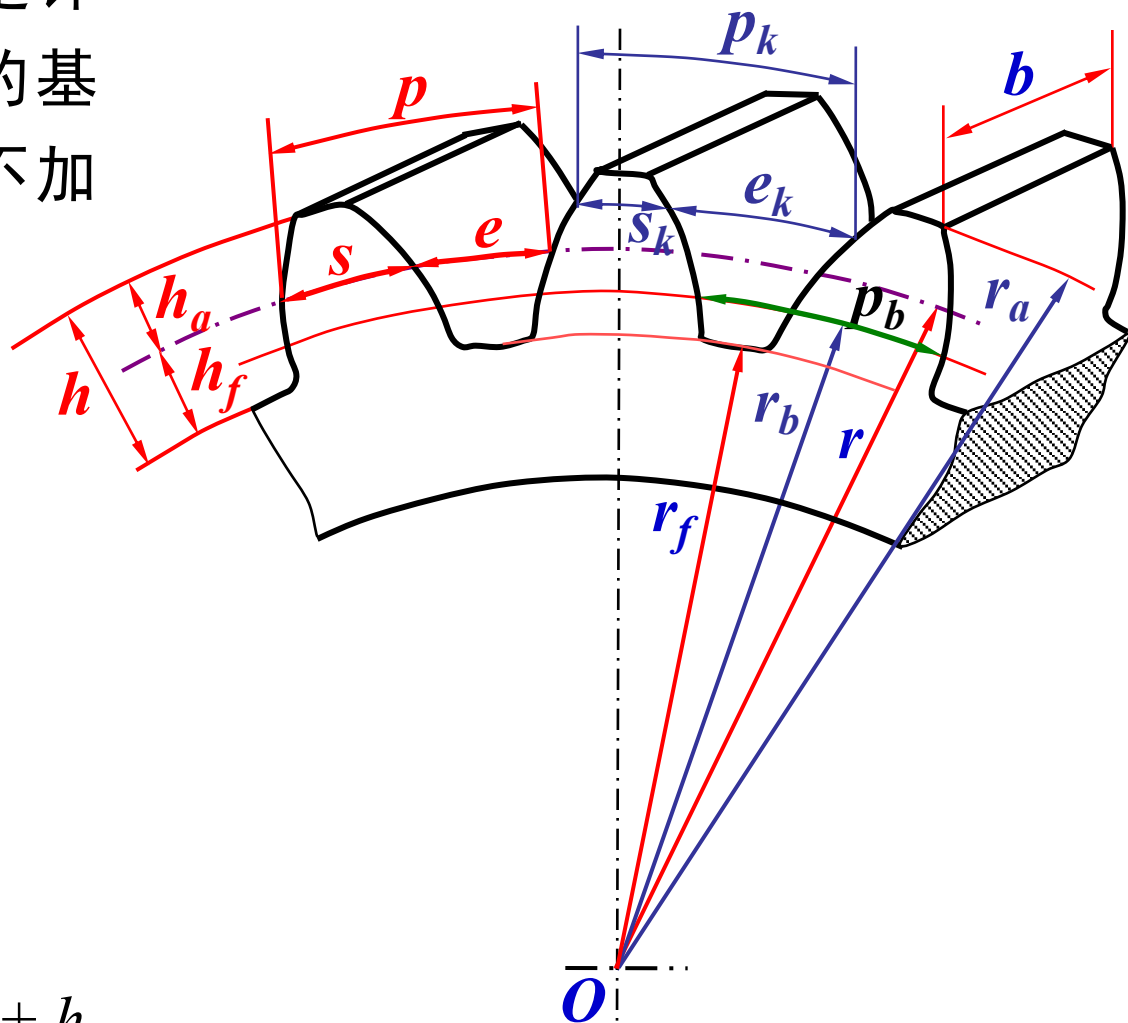
齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

- 分度圆： d ， r ，是计算齿轮几何尺寸的基准圆。其上参数不加角标。

分度圆上的齿厚、齿槽宽及齿距依次用 s 、 e 及 p 表示，

$$p = s + e。$$

- 齿顶高： h_a
- 齿根高： h_f
- 齿全高： h ， $h = h_a + h_f$



齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

标准参数

- 模数： m (单位：mm)

分度圆周长： $zp = d\pi$ 定义： $m = \frac{p}{\pi}$ $p = m\pi$
 $d = mz$

我国通过国家标准规定了模数的系列取值。

模数 m 是决定齿轮尺寸的一个基本参数。齿数相同的齿轮，模数愈大，其尺寸也愈大。

标准模数系列表 (GB/T 1357—2008) (单位：mm)

第一系列	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
	12	16	20	25	32	40	50				
第二系列	1.125	1.375	1.75	2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	(6.5)	7	9
	11	14	18	22	28	35	45				

齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

- 分度圆压力角： α

$$d_b = d \cos \alpha$$

通过 α 规定了与分度圆对应的基圆大小和渐开线形状。

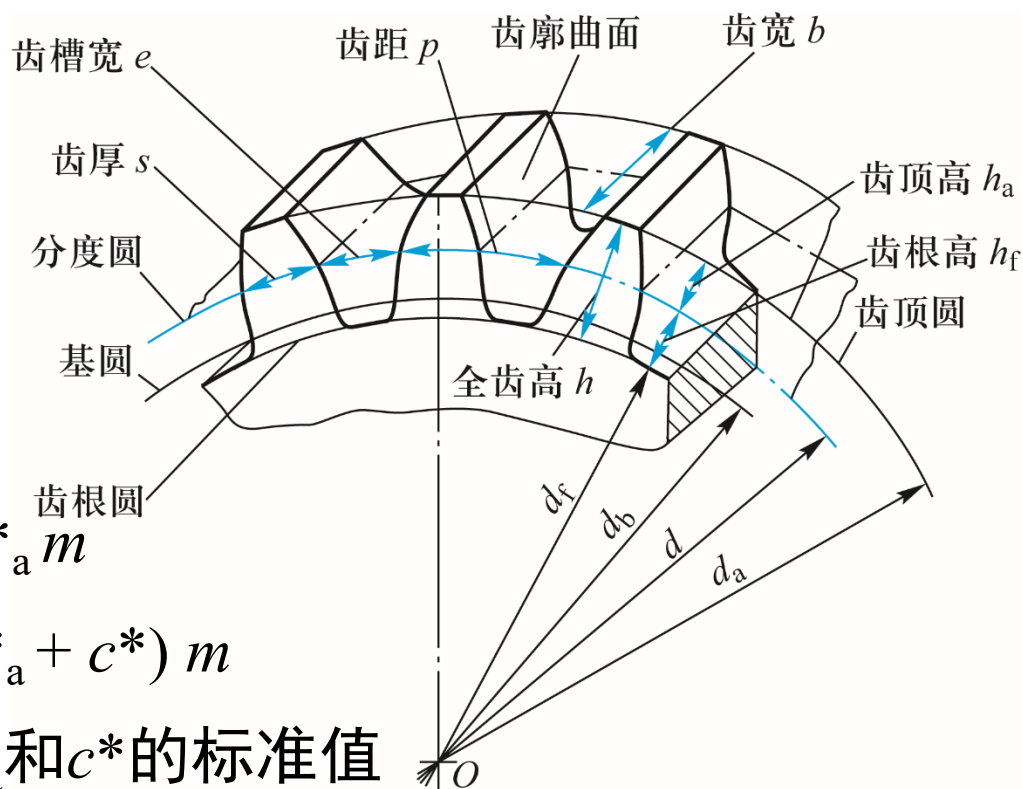
齿廓在各圆上具有不同的压力角，我国规定分度圆压力角的标准值为 $\alpha = 20^\circ$ 。

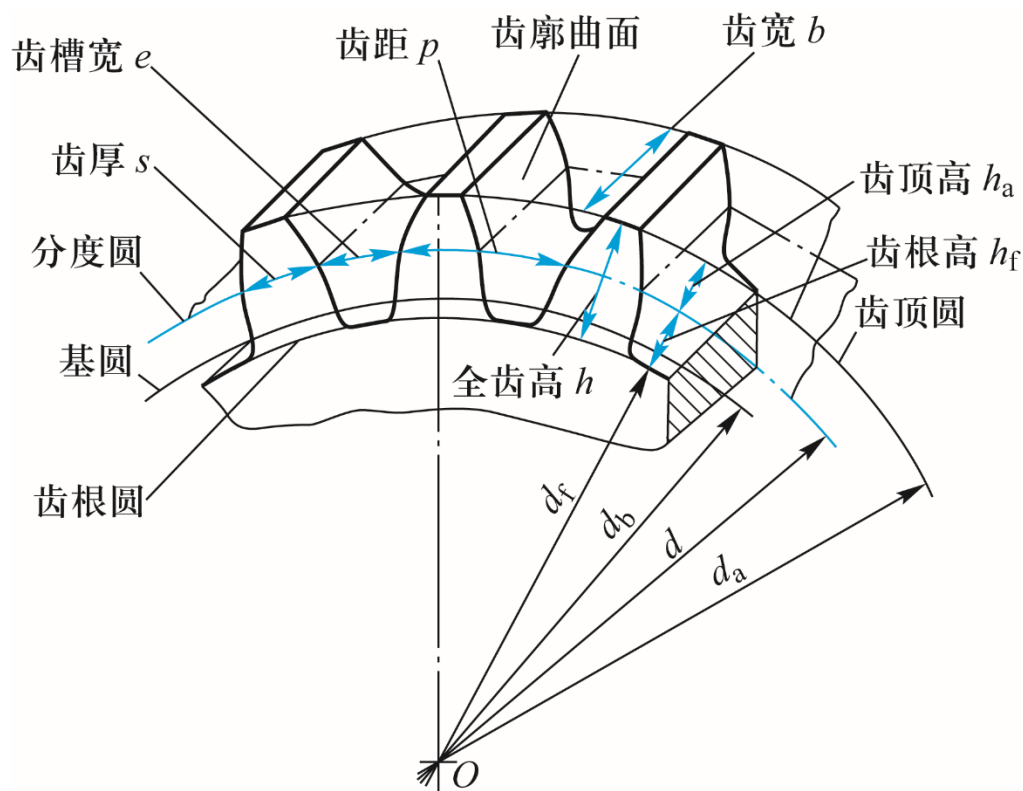
分度圆：齿轮上具有标准模数和标准压力角的圆。

- 顶高系数： h_a^* ， $h_a = h_a^* m$
- 顶隙系数： c^* ， $h_f = (h_a^* + c^*) m$

我国规定直齿圆柱齿轮 h_a^* 和 c^* 的标准值

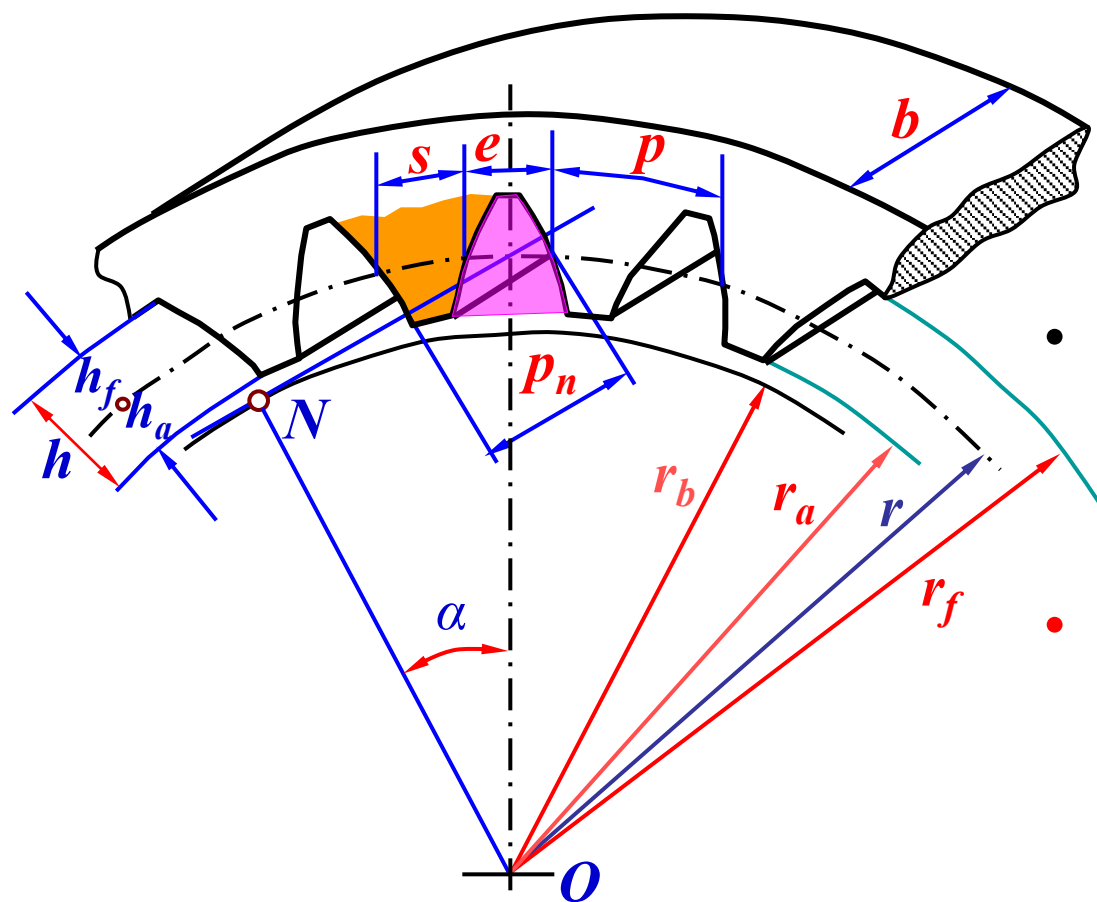
为：正常齿制、 $m \geq 1\text{mm}$ 时， $h_a^* = 1$ ， $c^* = 0.25$





齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

内齿轮



与外齿轮的不同点是：

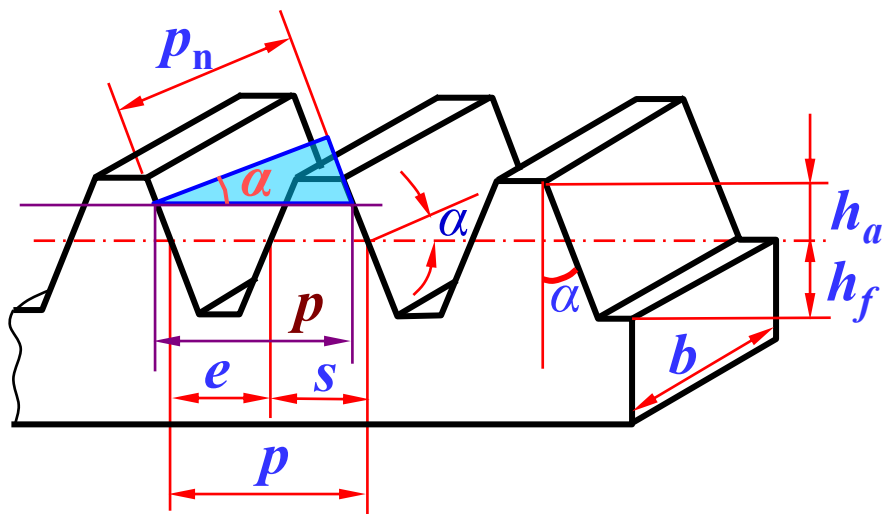
- 内齿轮的齿廓是内凹的，其齿厚和齿槽宽分别对应于外齿轮的齿槽宽和齿厚。
- 内齿轮的齿顶圆小于分度圆，齿根圆大于分度圆。
- 为了使内齿轮与外齿轮组成的内啮合齿轮传动能正确啮合，内齿轮的齿顶圆必须大于基圆。

齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

齿条

当标准外齿轮的齿数增加到无穷多时，齿轮的基圆及其他圆都变成互相平行的直线，同侧渐开线齿廓也变成互相平行的斜直线齿廓，这样就形成标准齿条。齿条的主要特点：

- 齿廓上各点具有相同的压力角，且等于齿廓的倾斜角，此角称为齿形角，标准值为 20° 。
- 与齿顶线平行的任一条直线上具有相同的齿距和模数。
- 与齿顶线平行且齿厚等于齿槽宽的直线称为分度线（中线），它是计算齿条尺寸的基准线。





第四章 齿轮机构

- 4.1 齿轮机构的特点和类型
- 4.2 齿廓实现定角速比传动的条件
- 4.3 渐开线齿廓
- 4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸
- 4.5 渐开线标准齿轮的啮合
- 4.8 平行轴斜齿轮机构
- 4.9 锥齿轮机构

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

渐开线标准齿轮的啮合

一、正确啮合条件

一对渐开线齿轮同时有两对齿参加啮合，两轮齿工作侧齿廓的啮合点分别为 K 和 K' 。为了保证定传动比，两啮合点 K 和 K' 必须同时落在啮合线 N_1N_2 上。这一条件可以表述为

$$KK' = p_{b1} = p_{b2}$$

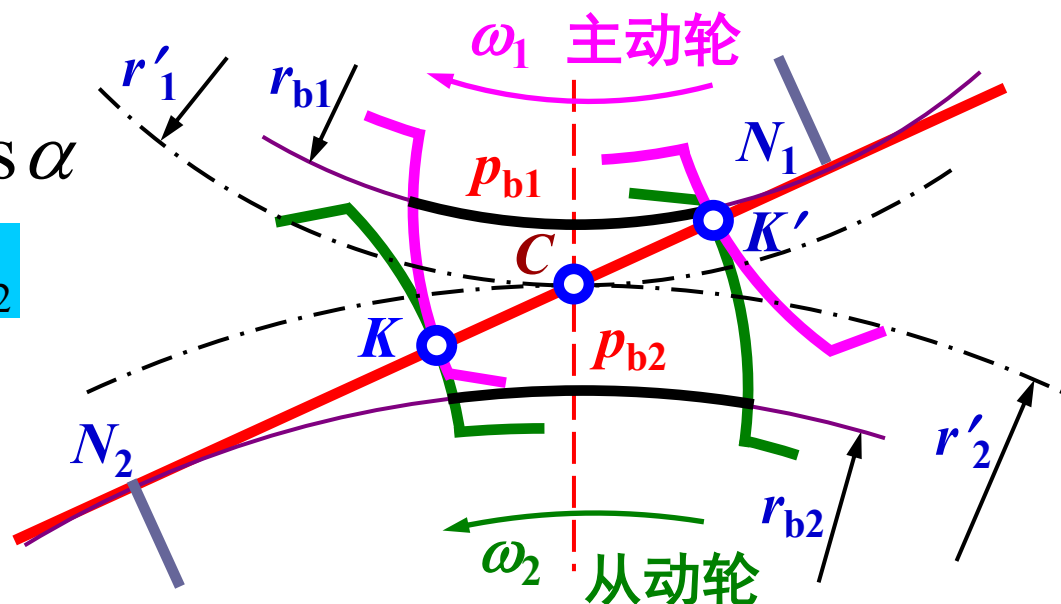
$$d_b = d \cos \alpha$$

$$p_b = p \cos \alpha = \pi m \cos \alpha$$

$$m_1 \pi \cos \alpha_1 = m_2 \pi \cos \alpha_2$$

$$m_1 = m_2 \quad \alpha_1 = \alpha_2$$

正确啮合条件

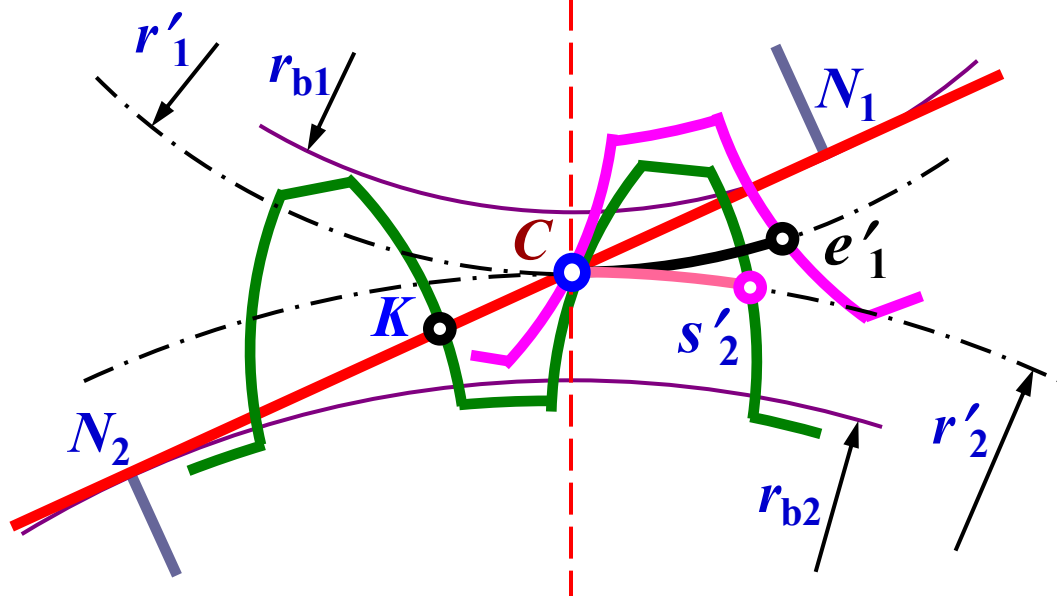


渐开线标准齿轮的啮合

二、标准中心距

齿轮啮合传动时，为了在啮合齿廓之间形成润滑油膜，避免因轮齿摩擦发热膨胀而卡死，齿廓之间必须留有间隙，此间隙称为**齿侧间隙**。

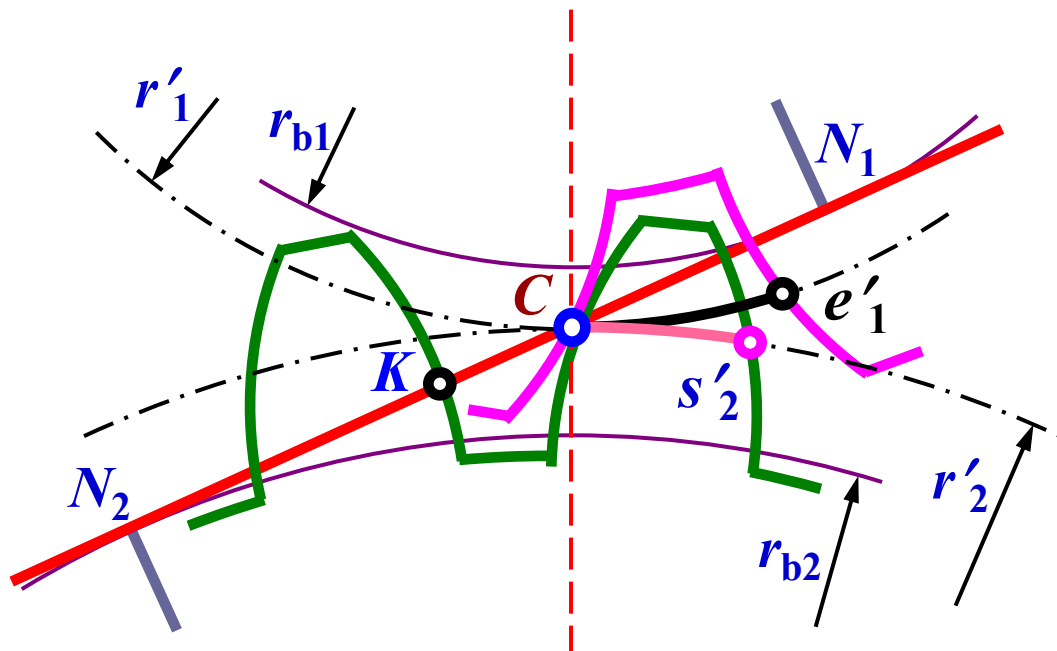
齿侧间隙的度量，**节圆齿侧侧隙**：一轮节圆上的齿槽宽与另一轮节圆上的齿厚之差 $j_t = e'_1 - s'_2$



渐开线标准齿轮的啮合

但是，齿侧间隙的存在会产生齿间冲击，影响齿轮传动的平稳性。因此，这个间隙只能很小，通常由**齿轮公差**来保证。对于齿轮运动设计仍**按无齿侧间隙**进行设计。

$$s'_1 = e'_2, s'_2 = e'_1$$



渐开线标准齿轮的啮合

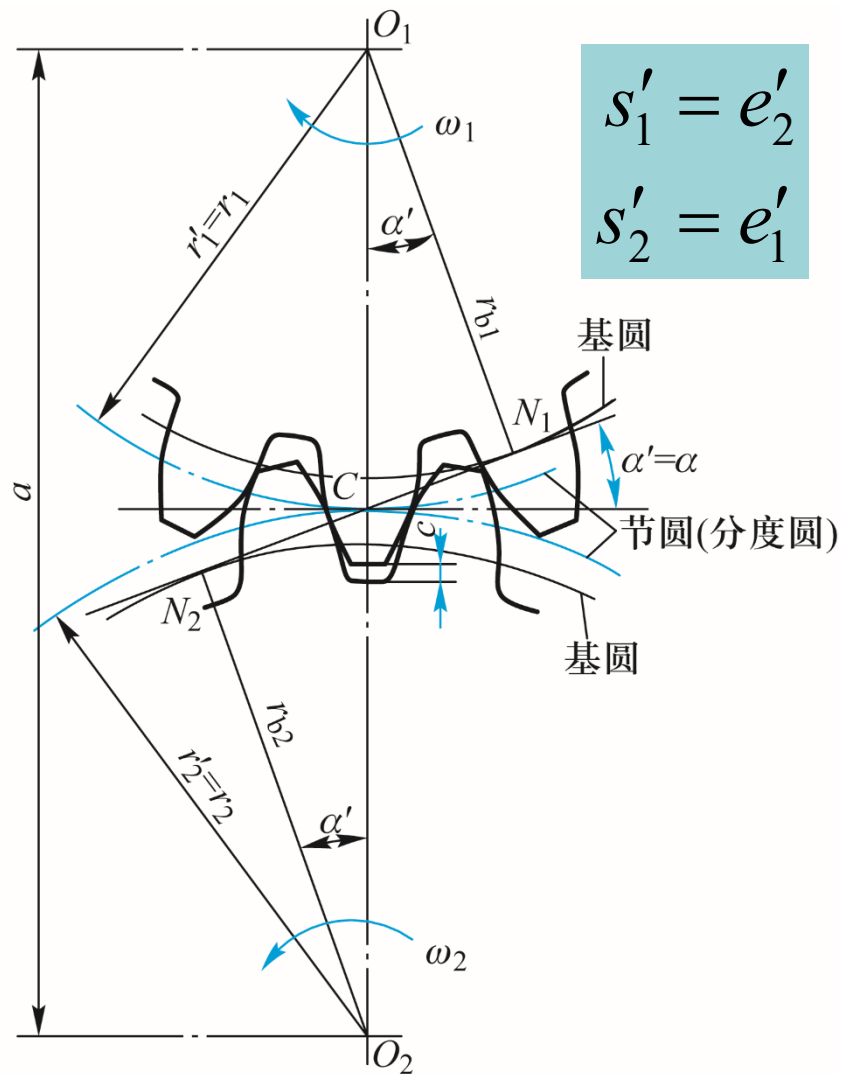
一对模数、压力角分别相等的外啮合**标准齿轮**，因其分度圆上的齿厚等于齿槽宽，若将两齿轮安装成其**分度圆相切**的位置，**两轮的节圆与分度圆重合**，则满足**无侧隙条件**。

标准齿轮的这种安装称为**标准安装**，相应的中心距称为**标准中心距**：

$$a = r'_1 + r'_2 = r_1 + r_2 = \frac{m}{2}(z_1 + z_2)$$

顶隙为标准值：

$$c = a - r_{a1} - r_{f2} = m(z_1 + z_2)/2 - (z_1/2 + h_a^*)m - (z_2/2 - h_a^* - c^*)m = c^* m$$



渐开线标准齿轮的啮合

三、重合度

一对渐开线齿廓：

进入啮合时，必为主动轮的齿根部分与从动轮的齿顶接触；

结束啮合时，必为主动轮的齿顶与从动轮的齿根部分接触。

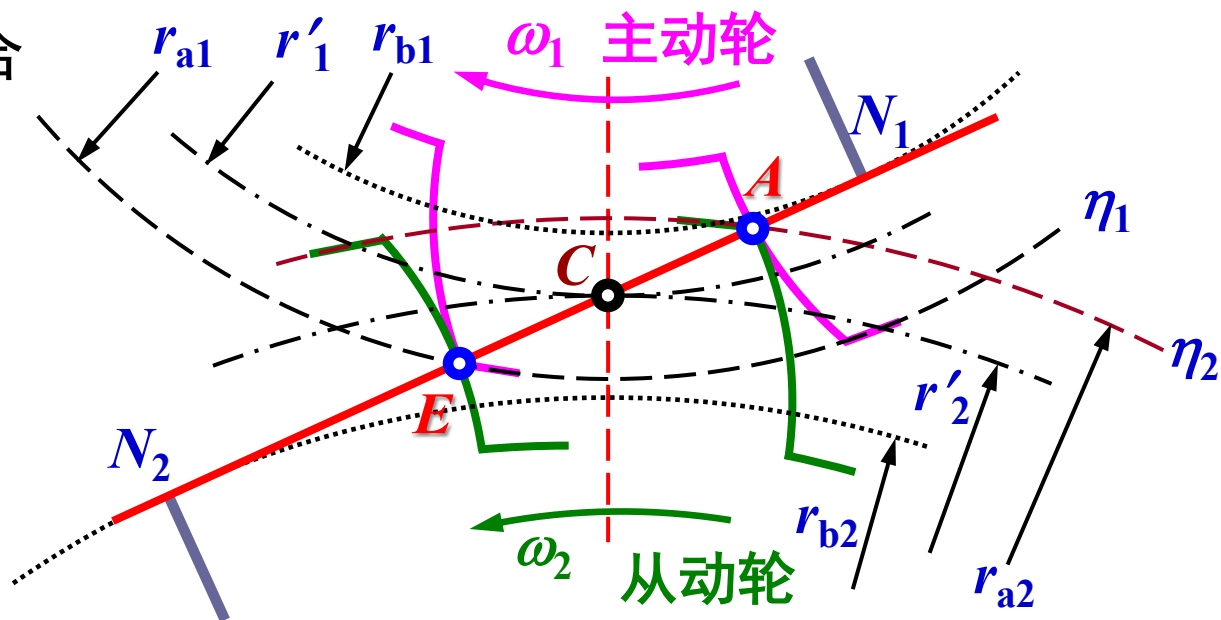
开始啮合点——从动轮齿顶圆 η_2 与啮合线 N_1N_2 的交点 A

终止啮合点——主动轮齿顶圆 η_1 与啮合线 N_1N_2 的交点 E

实际啮合线：啮合

点的实际轨迹 AE

理论啮合线： N_1N_2

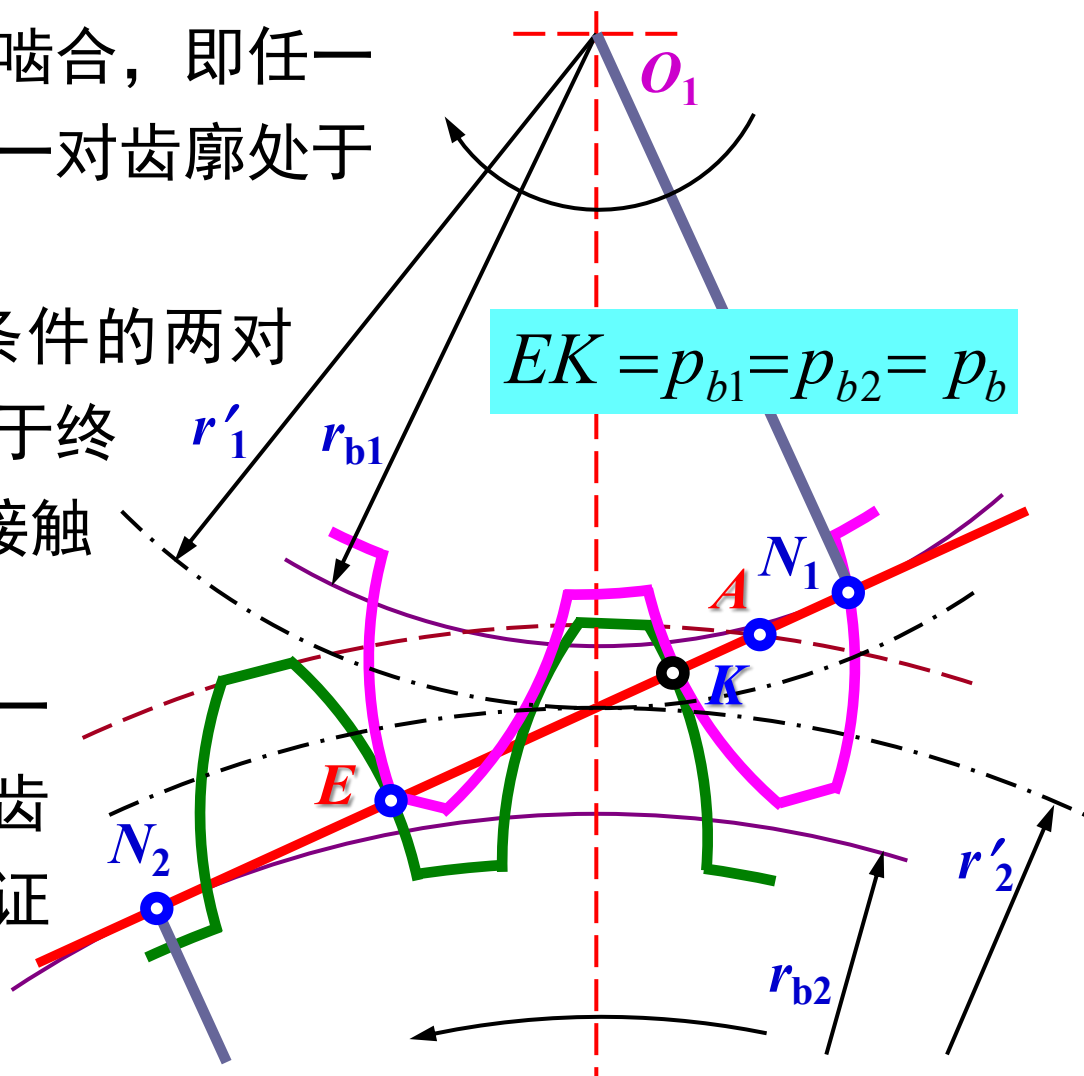


渐开线标准齿轮的啮合

连续定传动比传动条件：在啮合线上，前一对齿廓终止啮合前，后一对齿廓已进入啮合，即任一时刻啮合线上至少要有一对齿廓处于啮合状态。

如图，满足正确啮合条件的两对齿啮合，前一对齿接触于终止啮合点 E ，后一对齿接触于点 K 。

若 $AE \geq EK = p_b$ ，则当前一对齿分离时，后一对齿已进入啮合，即能保证连续定传动比传动。



渐开线标准齿轮的啮合

定义**重合度**: $\varepsilon = \frac{AE}{EK} = \frac{AE}{p_b} \geq 1$

假设某时刻轮2上有一齿廓处于开始啮合点 A ，其与节圆、基圆的交点分别为 F 、 F' 。

当该齿廓 FF' 运动至经过终止啮合点 E 的位置 GG' 时，齿廓点在节圆上走过的**弧线距离** FG 称为节圆上的**啮合弧**。

$$AE = \widehat{F'G'} = \widehat{FG} \cos \alpha'$$

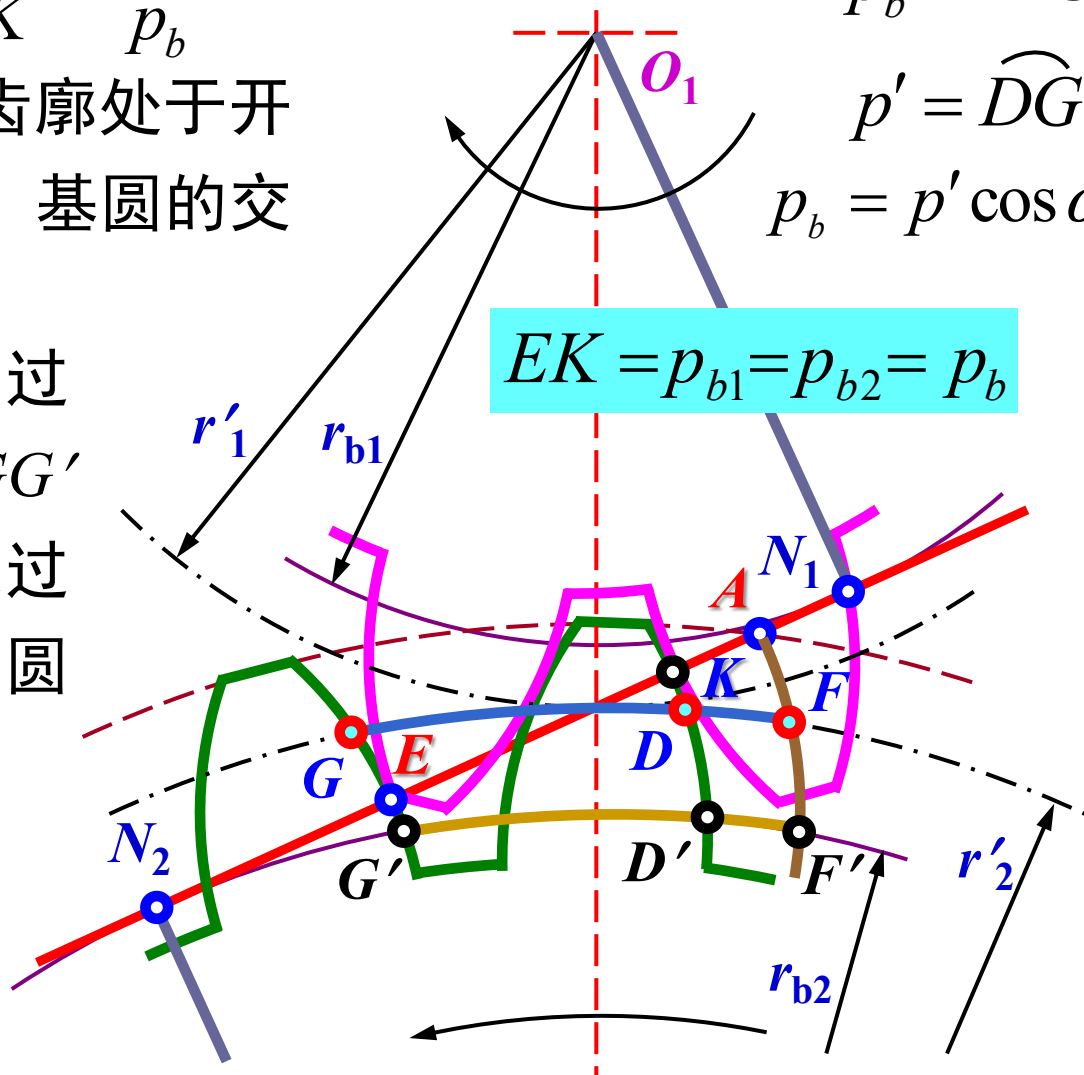
$$\varepsilon = \frac{AE}{p_b} = \frac{\widehat{FG}}{p'} \geq 1$$

连续传动条件。 $p_b = \widehat{D'G'}$

$$p' = \widehat{DG}$$

$$p_b = p' \cos \alpha'$$

$$EK = p_{b1} = p_{b2} = p_b$$





第四章 齿轮机构

4.1 齿轮机构的特点和类型

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件

4.3 渐开线齿廓

4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

4.5 渐开线标准齿轮的啮合

4.8 平行轴斜齿轮机构

4.9 锥齿轮机构

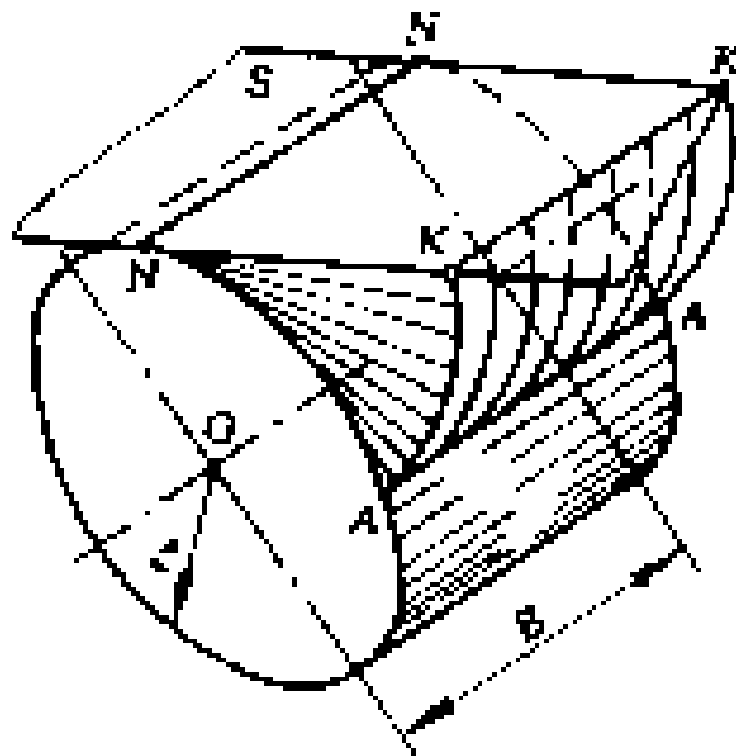
机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

平行轴斜齿轮机构

渐开线直齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成

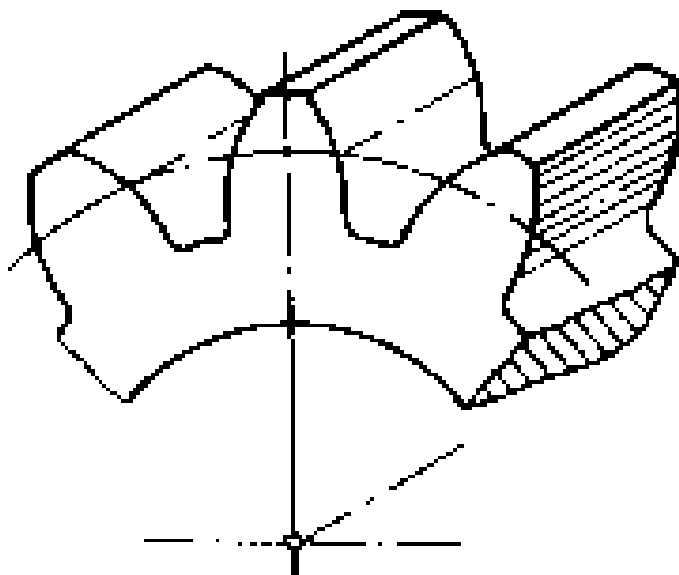
在考虑渐开线直齿圆柱齿轮轴向宽度情况下，其渐开线齿廓曲面形成原理如下：

发生面 S 沿基圆柱作纯滚动时，其上一条与基圆柱母线 NN 平行的直线 KK （平行于轴线）展成直齿轮的齿面，称为渐开柱面。



平行轴斜齿轮机构

直齿轮工作时，两齿轮的齿廓曲面总是突然地沿整个齿宽同时进入啮合和退出啮合（接触线平行于轴线），从而轮齿上所受的力也是突然加上或卸掉，故传动平稳性差，冲击和噪音大。

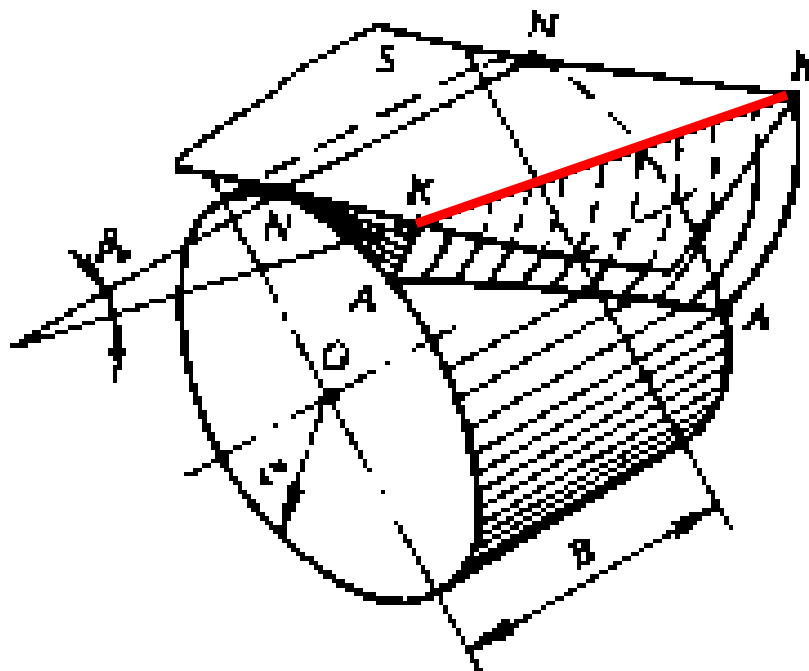


平行轴斜齿轮机构

一、斜齿轮啮合的共轭齿廓曲面

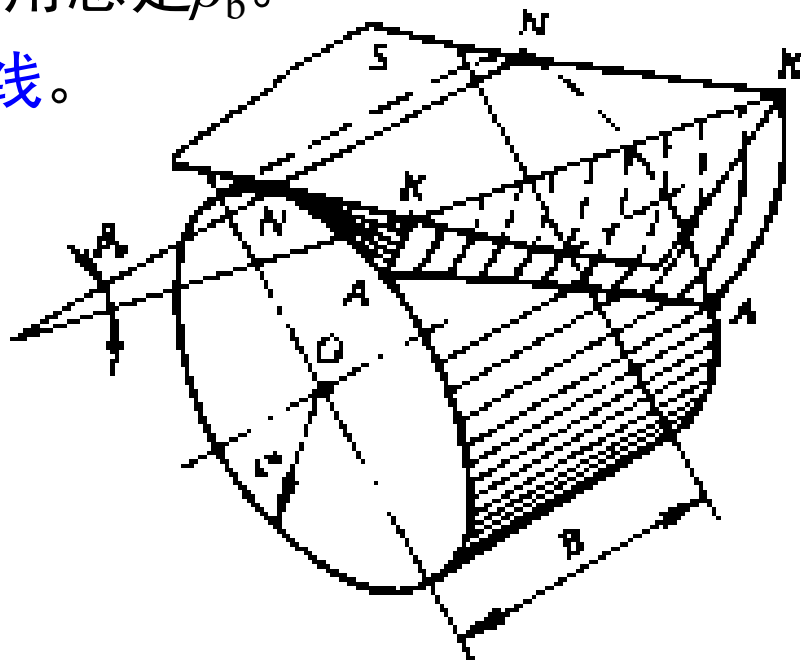
渐开线斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成

发生面 S 沿基圆柱作纯滚动时，其上一条与基圆柱母线 NN 成夹角 β_b （称为基圆柱螺旋角）的斜直线 KK 展成斜齿轮的齿面，称为**渐开螺旋面**。



平行轴斜齿轮机构

- 切于基圆柱的平面与齿廓曲面（渐开螺旋面）的交线为**斜直线**，它与基圆柱母线 NN 的夹角总是 β_b 。
- 端面与齿廓曲面的交线为**渐开线**。
- 基圆柱面以及和它同轴的圆柱面与齿廓曲面的交线都是**螺旋线**，但不同圆柱面上螺旋线的螺旋角不等。基圆柱上螺旋线 AA 的螺旋角称为基圆柱螺旋角 β_b ，分度圆柱面上螺旋线的螺旋角简称螺旋角 β 。
- 斜齿轮有左、右旋之分。

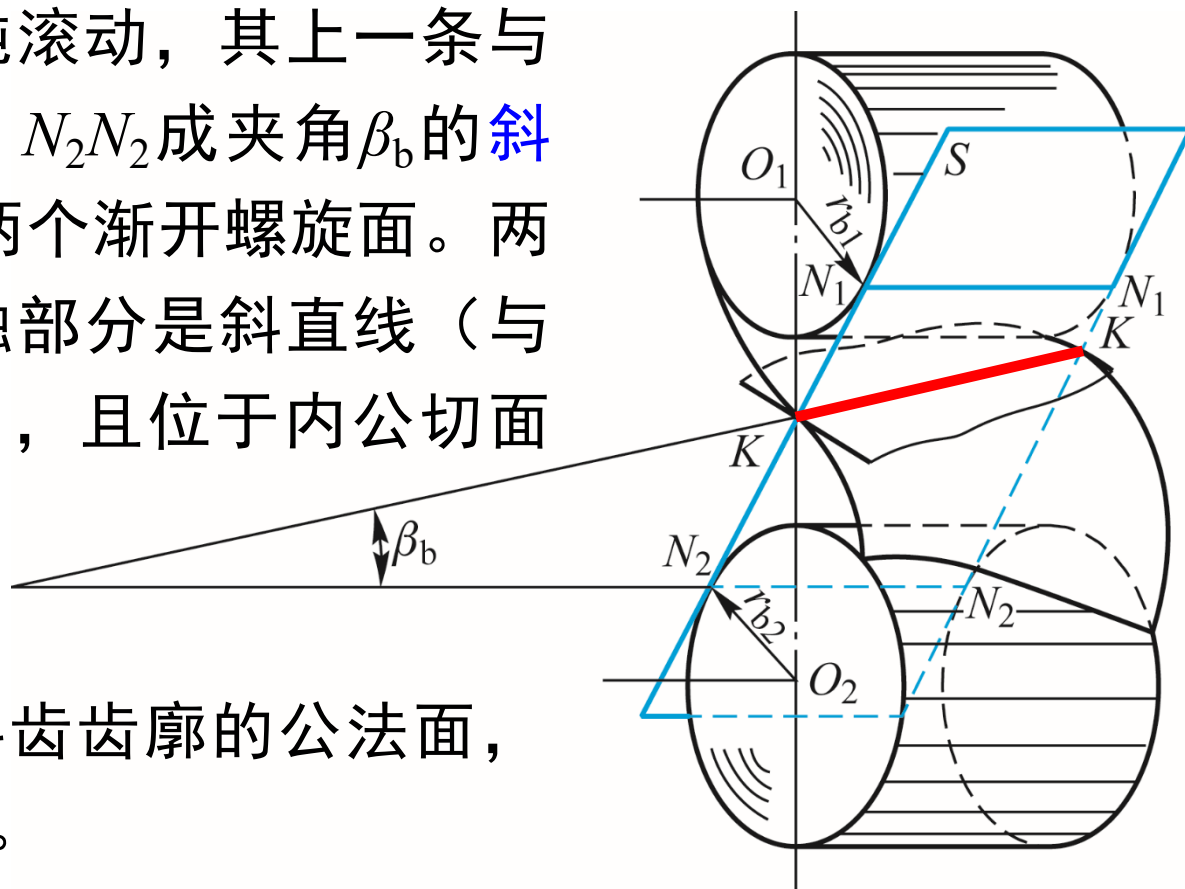


- 显然， β_b 愈大，轮齿的齿向愈偏斜；若 $\beta_b = 0$ ，斜齿轮就变成直齿轮。

平行轴斜齿轮机构

一对平行轴斜齿轮齿廓曲面的形成

两个基圆柱的**内公切面** S （发生面）分别沿两基圆柱作纯滚动，其上一条与基圆柱母线 N_1N_1 、 N_2N_2 成夹角 β_b 的**斜直线** KK 分别展成两个渐开螺旋面。两渐开螺旋面的接触部分是斜直线（与轴线夹角总为 β_b ），且位于内公切面上。

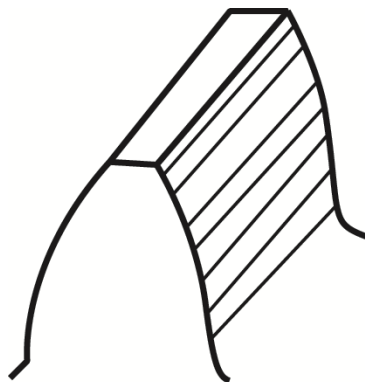


内公切面既是两斜齿齿廓的公法面，也是传动的啮合面。

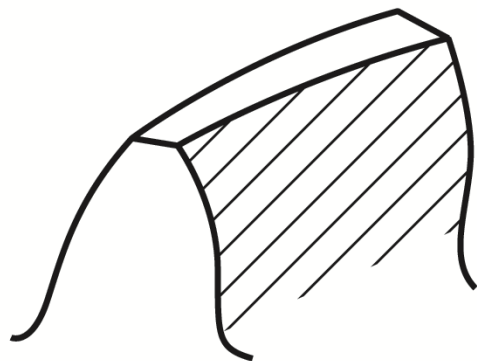
平行轴斜齿轮机构

斜齿轮机构啮合过程中接触线由短变长，再由长变短。轮齿上的受力也是由小变大，再由大变小，故传动较平稳，冲击和噪音小，适用于高速传动。但存在轴向力。

直齿轮



斜齿轮



平行轴斜齿轮机构

五、斜齿轮的主要特点

平行轴斜齿轮与直齿轮比较，其主要特点如下：

- (1) 重合度大，齿面接触情况好，传动平稳，承载能力高。
- (2) 标准斜齿轮不根切的最少齿数比直齿轮少，可以得到更为紧凑的结构尺寸。
- (3) 两者制造成本相同。
- (4) 斜齿轮存在轴向力，螺旋角不宜太大，一般取 $\beta = 8^\circ \sim 20^\circ$ 。



第四章 齿轮机构

4.1 齿轮机构的特点和类型

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件

4.3 渐开线齿廓

4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

4.5 渐开线标准齿轮的啮合

4.8 平行轴斜齿轮机构

4.9 锥齿轮机构

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

锥齿轮机构

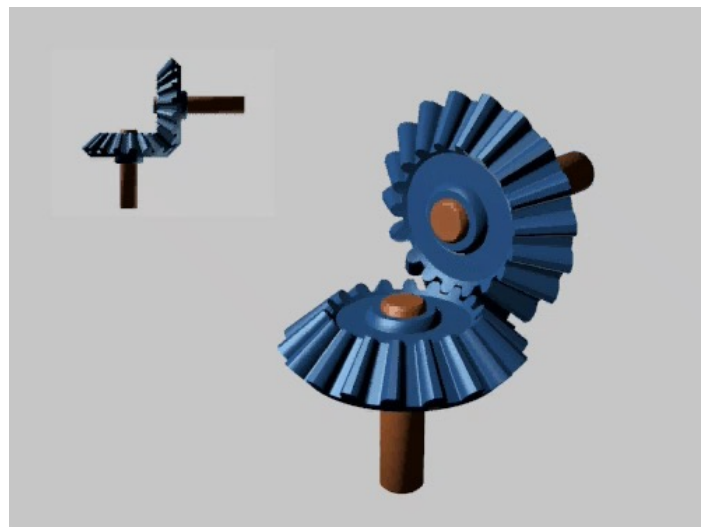
一、锥齿轮概述

锥齿轮用于相交两轴之间的传动，两轴交角 Σ 称为轴角，其值可根据传动需要确定，一般采用 90° 。

锥齿轮的轮齿排列在截圆锥体上，轮齿由大端到小端逐渐收缩变小，大端参数取为标准值。

对应于圆柱齿轮中的各有关“圆柱”在锥齿轮中就变成了“圆锥”，如分度圆锥、节圆锥、基圆锥、齿顶圆锥、齿根圆锥等。

一对锥齿轮的运动相当于一对节圆锥的纯滚动。



锥齿轮机构

轴角： $\Sigma = \delta_1 + \delta_2$

大端分度圆半径：

$$r_1 = OC \sin \delta_1$$

$$r_2 = OC \sin \delta_2$$

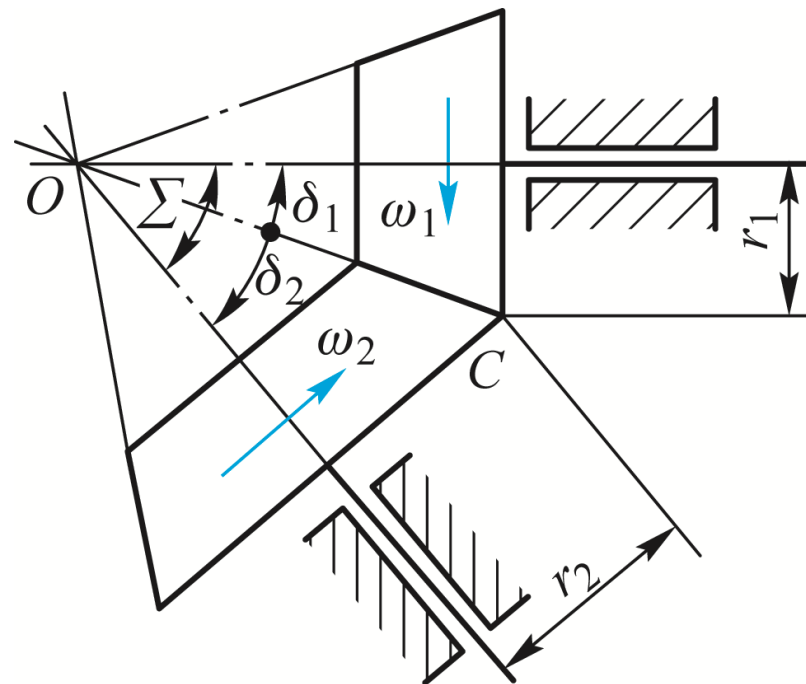
正确啮合条件：

大端模数和大端压力角分别相等

$$\Sigma = \delta_1 + \delta_2$$

传动比：

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1}$$





第四章 齿轮机构

4.1 齿轮机构的特点和类型（特点、类型）

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件

4.3 渐开线齿廓

（渐开线的特性1、2、3、4、5，渐开线齿廓定角速比，中心距可分性，啮合线、啮合角）

4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

（齿数、基圆、齿顶圆、齿根圆、齿厚、齿槽宽、齿距、齿根高、齿顶高、齿全高、分度圆、模数、分度圆上的各个参数、标准齿轮）

4.5 渐开线标准齿轮的啮合（正确啮合条件、标准中心距、重合度）

4.8 平行轴斜齿轮机构（斜齿轮啮合的共轭齿廓曲面、优缺点）

4.9 锥齿轮机构（概述）



第四章 齿轮机构

4.1 齿轮机构的特点和类型（特点、类型）

4.2 齿廓实现定角速比传动的条件

4.3 渐开线齿廓

（渐开线的特性1、2、3、4、5，渐开线齿廓定角速比，中心距可分性，啮合线、啮合角）

4.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸

（齿数、基圆、齿顶圆、齿根圆、齿厚、齿槽宽、齿距、齿根高、齿顶高、齿全高、分度圆、模数、分度圆上的各个参数、标准齿轮）

4.5 渐开线标准齿轮的啮合（正确啮合条件、标准中心距、重合度）

4.8 平行轴斜齿轮机构（斜齿轮啮合的共轭齿廓曲面、优缺点）

4.9 锥齿轮机构（概述）