

第八章 齿轮传动

◆本章学习目标

齿轮机构的特点和类型，齿轮啮合的基本原理，圆柱齿轮和圆锥齿轮的实效形式和设计方法。

◆本章学习要求

掌握：圆柱齿轮传动基本参数的概念和齿轮基本尺寸计算，直齿圆锥齿轮传动基本参数的概念和齿轮基本尺寸计算，渐开线圆柱齿轮传动强度计算的原理和方法，直齿圆锥齿轮传动强度计算的方法，齿轮的结构设计。

了解：渐开线性质、渐开线齿轮啮合特性，渐开线齿轮的展成加工原理、齿轮根切，齿轮传动的主要实效形式及设计准则，常用齿轮材料及热处理方法的选择，齿轮传动的润滑方法。

8.1 概述

8.1.1 齿轮传动的特点

优点:

- ①传动比准确、传动平稳。
- ②功率范围大，从几瓦到10万千瓦;圆周速度大，高达300 m/s。
- ③效率高($\eta \rightarrow 0.99$)传动。
- ④结构紧凑。
- ⑤使用寿命长、工作安全可靠。

缺点: 要求较高的制造和安装精度，加工成本高、不适宜远距离传动(如单车)。

8.1.2 齿轮传动的类型

齿
轮
传
动

平面齿轮传动
(两轴线平行)

直齿圆柱齿轮传动

外啮合 (图a)

内啮合(图b)

齿轮齿条啮合(图c)

斜齿圆柱齿轮传动

外啮合 (图d)

内啮合

齿轮齿条啮合

人字齿轮传动 (图e)

空间齿轮传动
(两轴线不平行)

圆锥齿轮传动

(两轴相交)

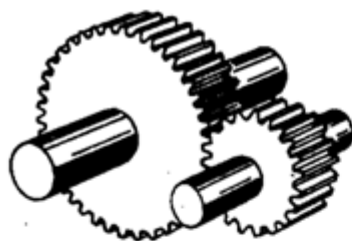
直齿 (图f)

斜齿

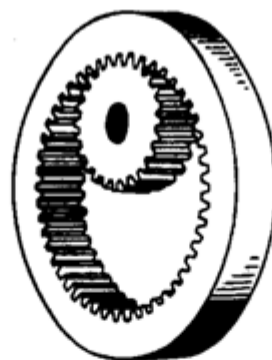
曲齿 (图g)

交错轴斜齿圆柱齿轮传动 (图h)

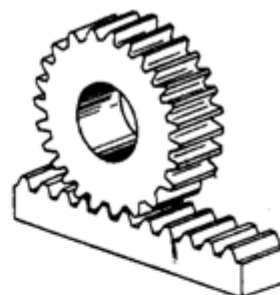
蜗杆蜗轮传动 (图i)



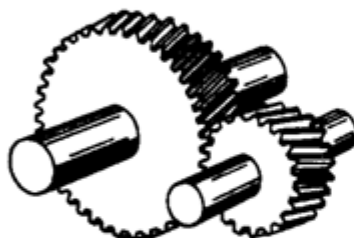
a)



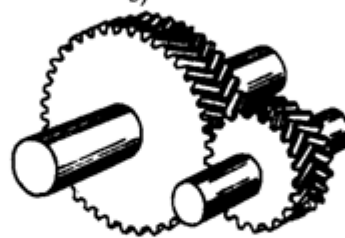
b)



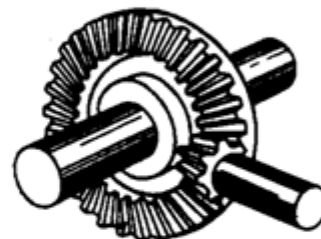
c)



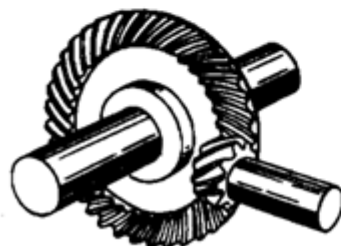
d)



e)



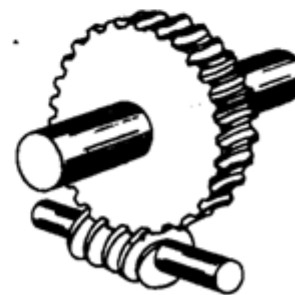
f)



g)



h)



i)

8.2 渐开线齿廓

8.2.1 渐开线的形成

渐开线---一条直线在圆上作纯滚动时，直线上任一点的轨迹

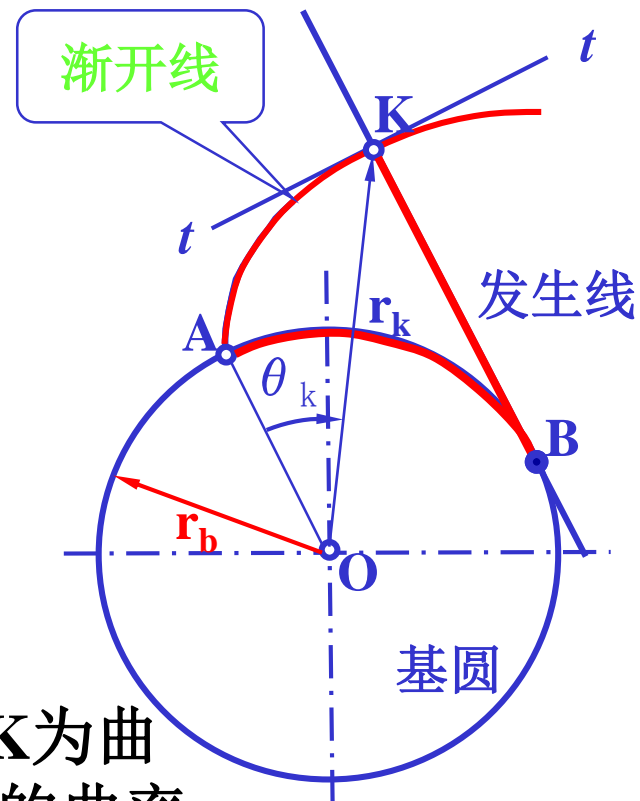
BK—发生线，基圆半径— r_b

8.2.2 渐开线的性质

(1) $\widehat{AB} = \overline{BK}$;

(2) B点为渐开线上K点处的曲率中心，BK为曲率半径。渐开线上离基圆越远处，相应的曲率半径越大

(3) 渐开线上任意点的法线切于基圆



渐开线展开过程

(4)渐开线齿廓任意点的压力角

定义：啮合时K点正压力方向与速度方向所夹锐角为渐开线上该点之压力角 α_k 。

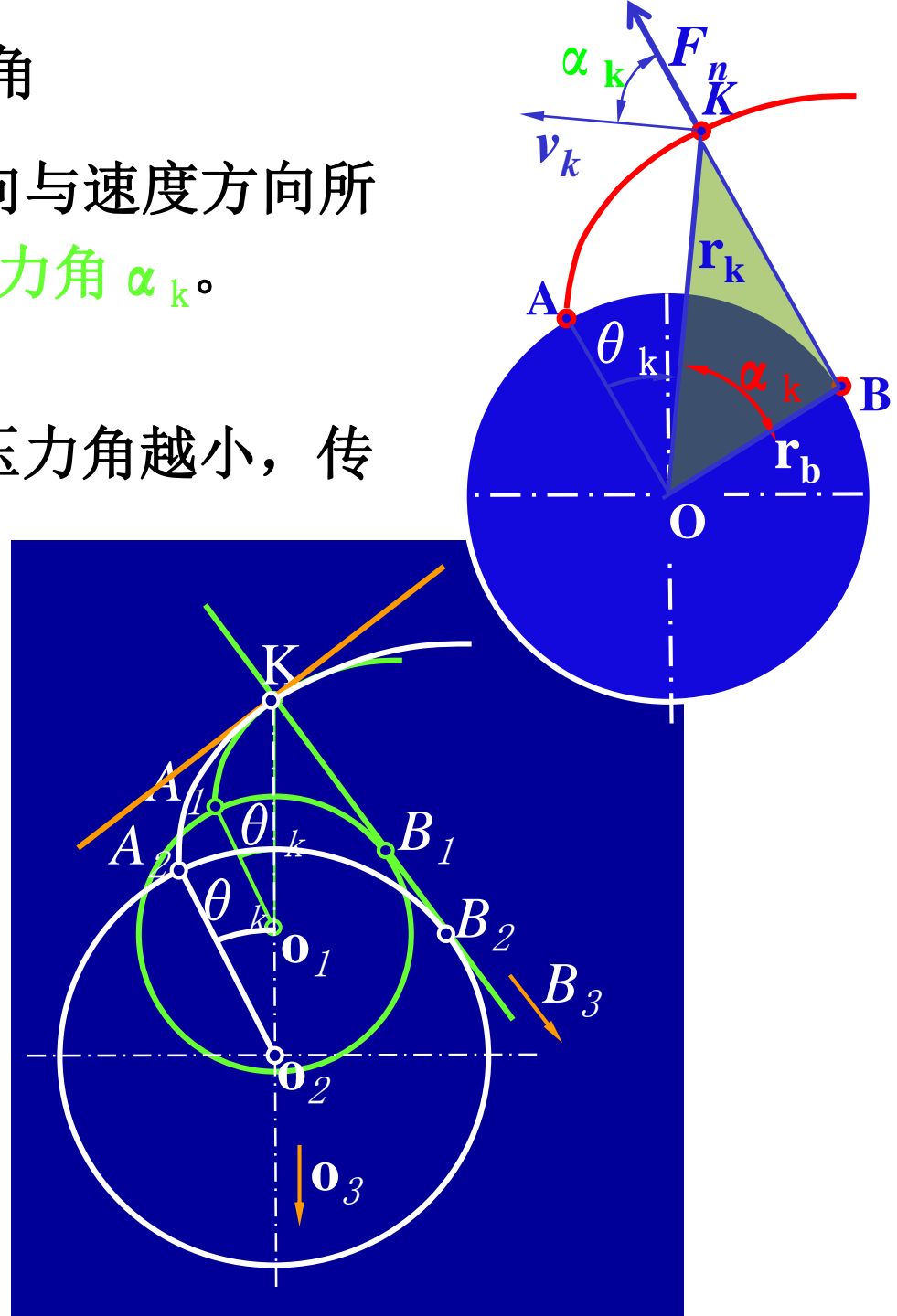
$\cos\alpha_k = r_b/r_k$

- 向径 r_k 越小，渐开线上的压力角越小，传力特性越好；
- 基圆上压力角为零。

(5)渐开线形状取决于基圆

r_b 越小，渐开线越弯曲，反之，则越平直。当 $r_b \rightarrow \infty$ 变成直线（齿条）。

(6)基圆内无渐开线



8.2.3 渐开线齿廓的啮合特点

1. 渐开线齿廓能够实现定比传动

两齿廓在任意点K啮合时，过K作两齿廓的公法线 N_1N_2 ，是基圆的切线，为定直线。

两轮中心连线也为定直线，故交点P必为定点。

根据三心定理，P为两齿轮的相对速度瞬心，则：

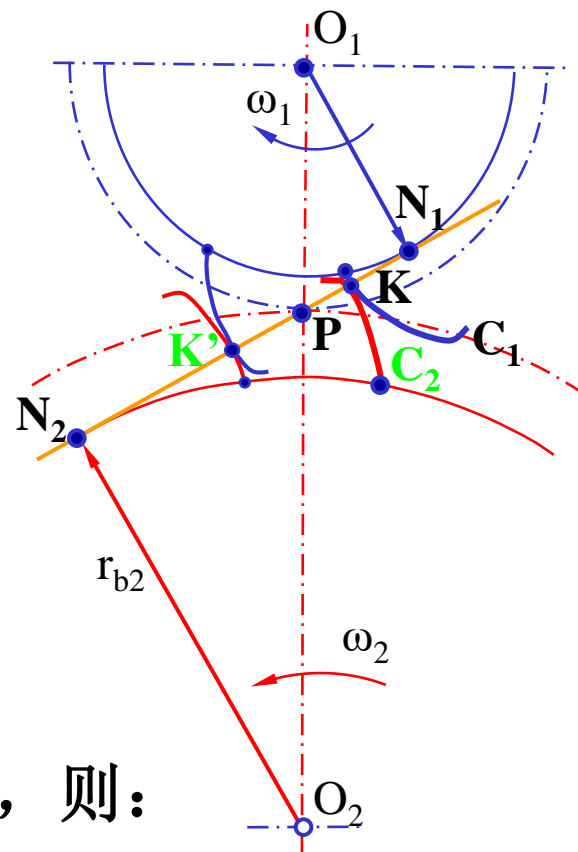
$$v_1 = v_2 = \omega_1 O_1 P = \omega_2 O_2 P$$

$$i_{12} = \omega_1 / \omega_2 = O_2 P / O_1 P = \text{const}$$

结论：一对渐开线齿轮传动具有瞬时传动比恒定的特性。

节点—P

节圆—分别以 O_1 、 O_2 为圆心，过节点P所作的两个相切的圆



2.中心距可分性

$$\triangle O_1N_1P \sim \triangle O_2N_2P$$

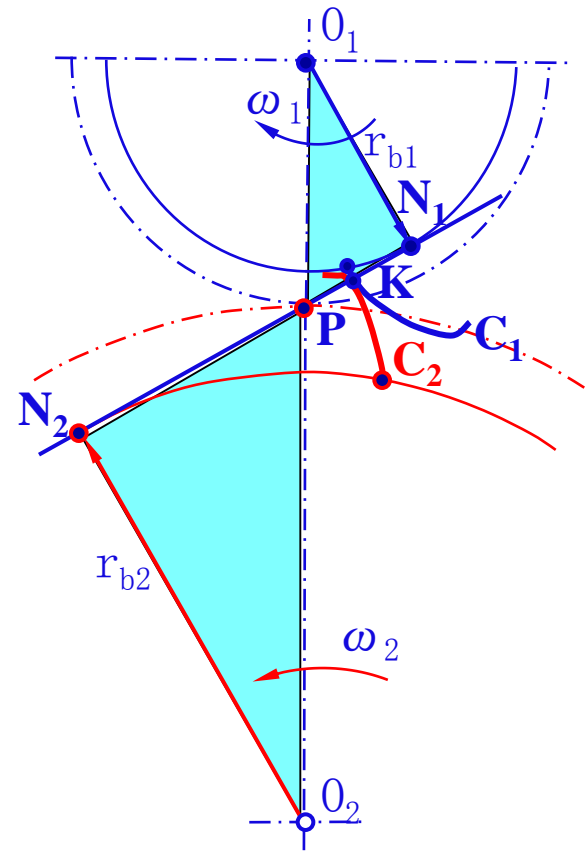
故传动比又可写成:

$$i_{12} = \omega_1 / \omega_2 = O_2P / O_1P = r_2 / r_1 = r_{b2} / r_{b1} = \text{const}$$

传动比——基圆半径成反比。

实际安装中心距略有变化时，不影响 i_{12} ，
一特性称为中心距可分性。

由于上述特性，工程上广泛采用渐开线齿廓曲线。



3.四线合一

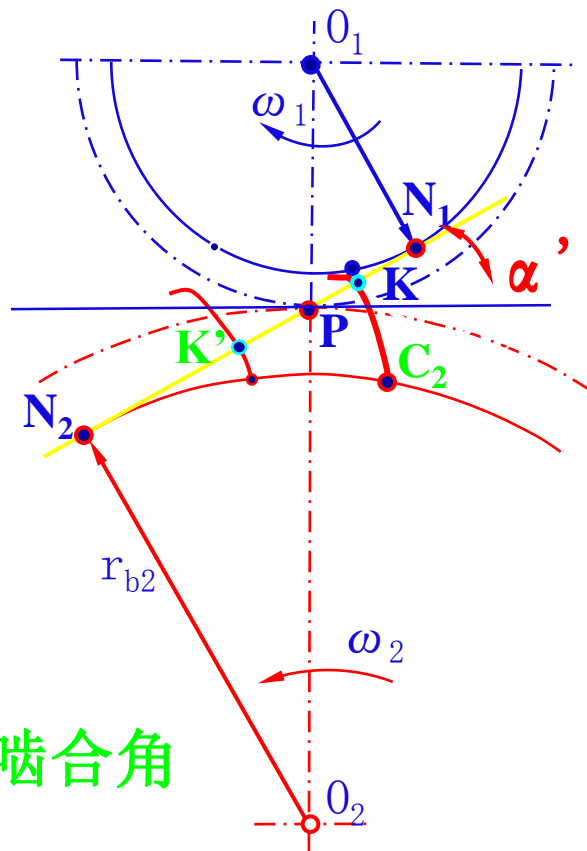
N_1N_2 是啮合点的轨迹，称为啮合线

啮合线、过啮合点的公法线、基圆的内公切线和正压力作用线四线合一。

4.啮合角不变

啮合线与节圆公切线之间的夹角 α' ，称为啮合角

渐开线齿轮传动中啮合角为常数，在数值上等于节圆上的压力角。



8.3 渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算

8.3.1 直齿圆柱齿轮各部分名称及代号

分度圆——人为规定的计算基准圆 p

齿顶圆—— d_a 、 r_a

齿根圆—— d_f 、 r_f

齿厚—— s_k 任意圆上的弧长

齿槽宽—— e_k 弧长

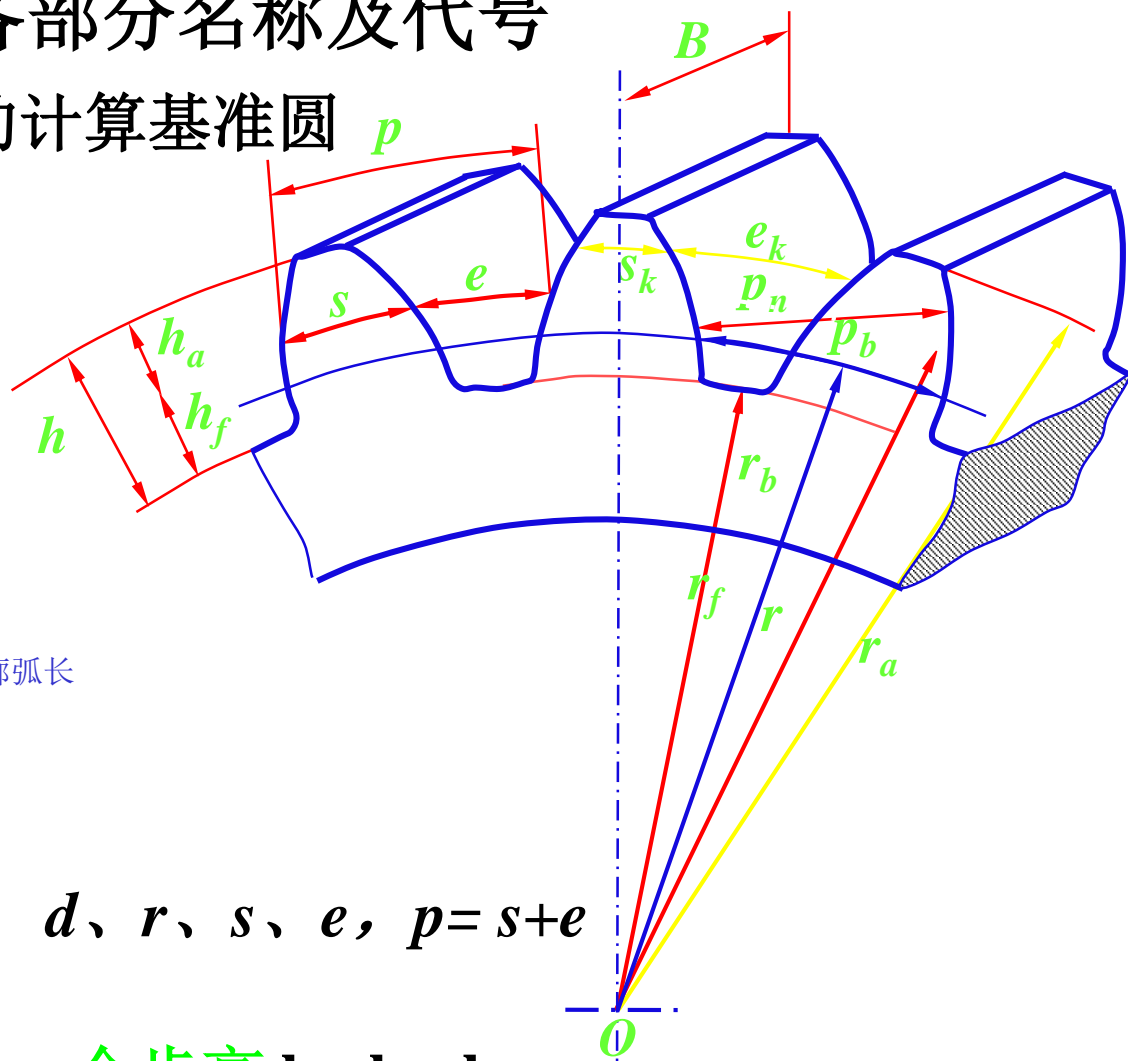
齿距—— $p_k = s_k + e_k$ 同侧齿廓弧长

法向齿距—— $p_n = p_b$

分度圆上相应的符号: d 、 r 、 s 、 e , $p = s + e$

齿顶高 h_a 齿根高 h_f 全齿高 $h = h_a + h_f$

齿宽—— B



8.3.2 直齿圆柱齿轮的基本参数

①齿数— z

②模数— m 分度圆周长: $\pi d = zp$, $\Rightarrow d = zp/\pi$

人为规定: $m = p/\pi$, 称为模数 m , 模数的单位: mm 。

于是有: $d = mz$

③压力角

定义分度圆压力角为齿轮的压力角。

规定标准值: $\alpha = 20^\circ$

分度圆 --- 是齿轮上具有标准模数和标准压力角的圆。

④齿顶高系数 h_a^*

齿顶高: $h_a = h_a^* m$

正常齿: $h_a^* = 1$, $c^* = 0.25$

⑤顶隙系数 c^*

短齿制: $h_a^* = 0.8$, $c^* = 0.3$

齿根高: $h_f = (h_a^* + c^*) m$

8.3.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算

分度圆直径: $d=mz$

齿顶高: $h_a=h_a^*m$

齿根高: $h_f=(h_a^*+c^*)m$

齿高: $h=h_a+h_f$

齿顶圆直径: $d_a=d+2h_a$

齿根圆直径: $d_f=d-2h_f$

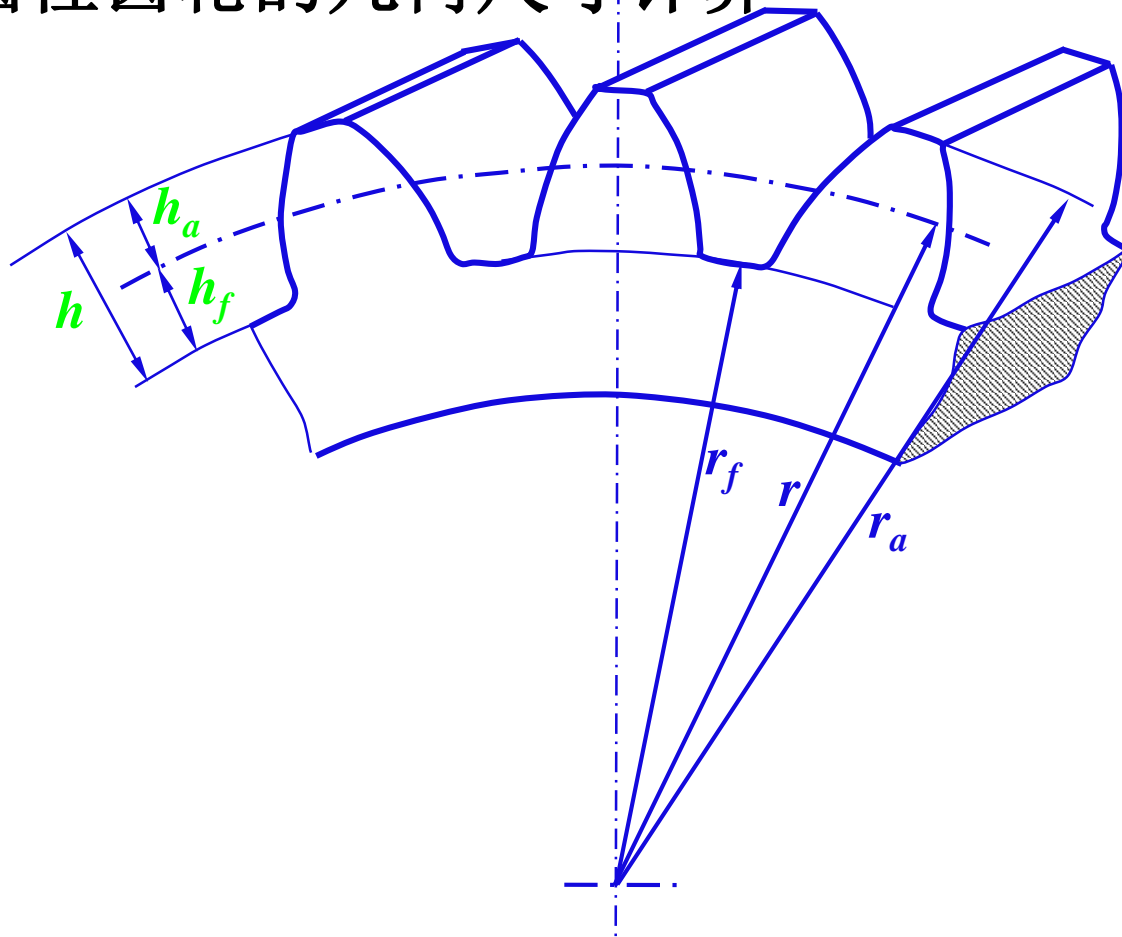
基圆直径: $d_b=d\cos\alpha$

齿距: $p=\pi m$

齿厚: $s=p/2$

标准中心距: $a=1/2(z_1+z_2)m$

基圆齿距: $p_b=p\cos\alpha$

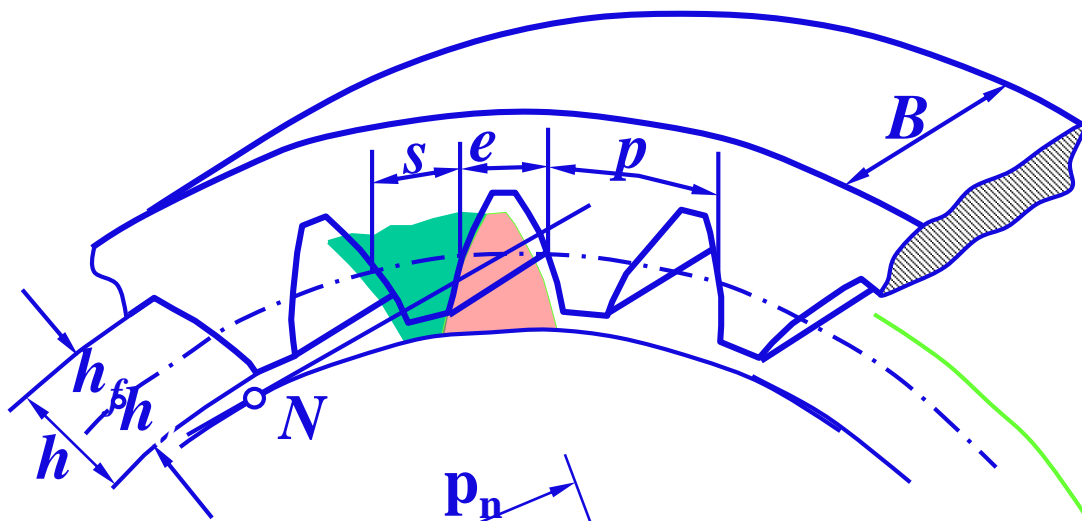


8.3.4 内齿轮

结构特点：轮齿分布在空心圆柱体内表面上。

1) 轮齿与齿槽正好与外齿轮相反。

2) $d_f > d > d_a$



8.3.5 齿条

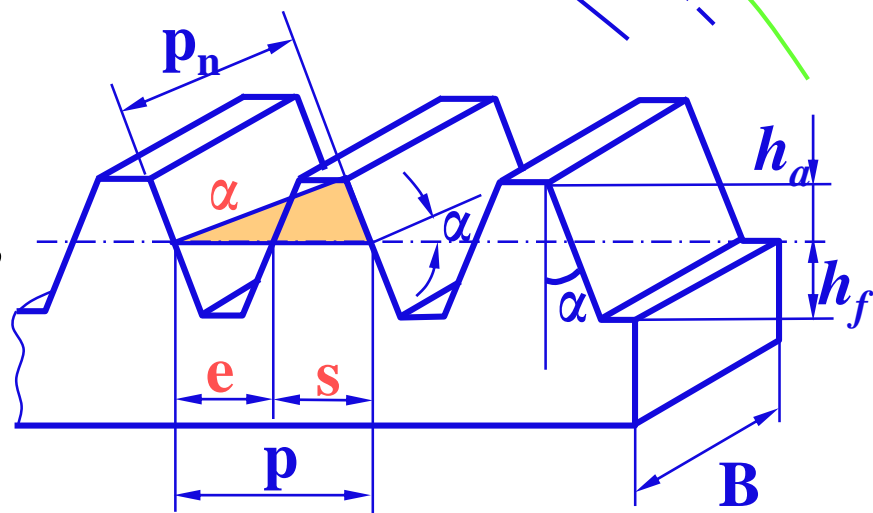
$z \rightarrow \infty$, 齿廓曲线 \rightarrow 直线

特点：

1) 压力角处处相等，且等于齿形角，

标准值： $\alpha = 20^\circ$

2) 齿距处处相等： $p = \pi m$



8.4 渐开线齿轮的啮合

8.4.1 渐开线齿轮正确啮合条件

要使进入啮合区内的各对齿轮都能正确地进入啮合，两齿轮的相邻两齿同侧齿廓间的法向距离应相等：

$$p_{b1} = p_{b2}$$

$p_b = \pi m \cos \alpha$ 代入得：

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

m 和 α 都取标准值，使上式成立的条件为：

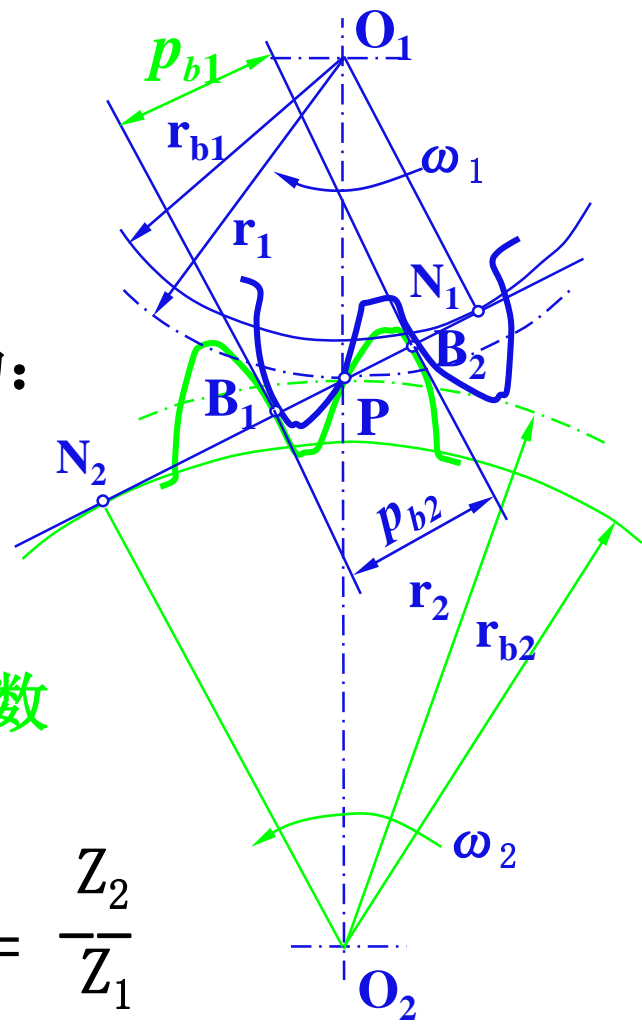
$$m_1 = m_2, \quad \alpha_1 = \alpha_2$$

结论：

一对渐开线齿轮的正确啮合条件是它们的模数和压力角应分别相等。

传动比：

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d'_2}{d'_1} = \frac{d_{b2}}{d_{b1}} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$



为了便于润滑、制造和装配误差，以及受力受热变形膨胀所引起的挤压现象，实际上侧隙不为零，由公差保证。

8.4.2 标准中心距

对标准齿轮，确定中心距 a 时，应满足要求：

理论上齿侧间隙为零

$$s'_1 - e'_2 = 0$$

此时有：

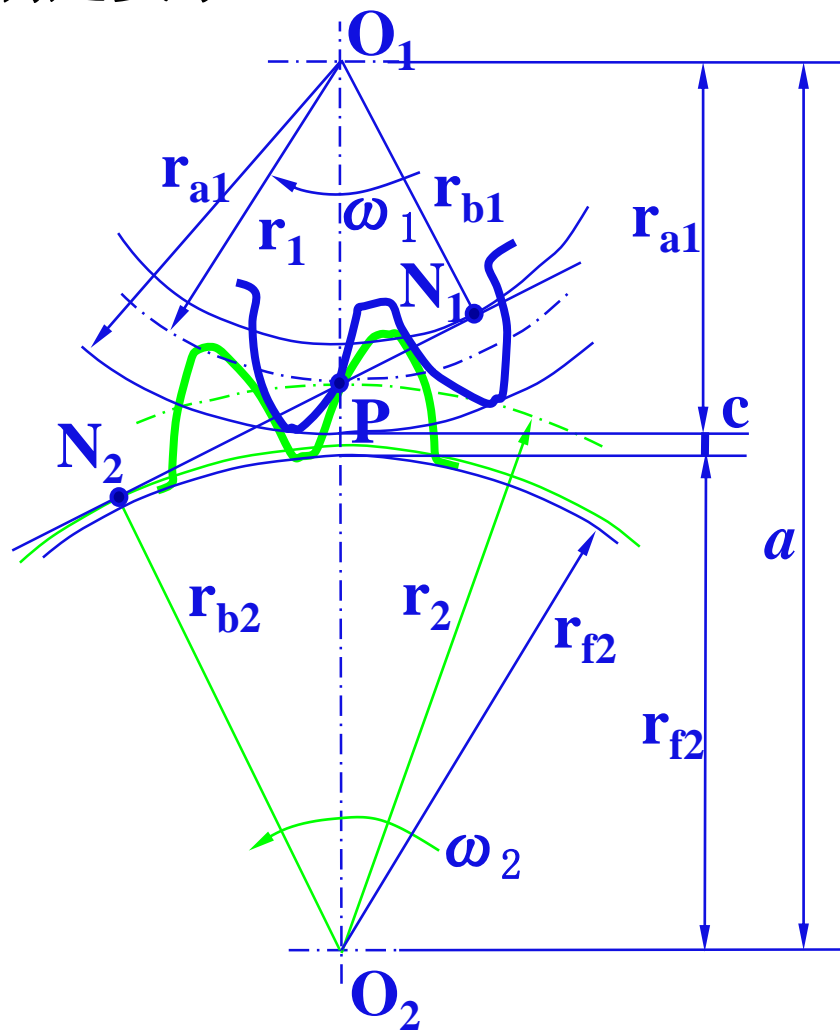
$$a = (d'_1 + d'_2) / 2 = (d_1 + d_2) / 2$$

$$= m(z_1 + z_2) / 2$$

实际上，齿侧有必要的微小侧隙。

在标准安装时节圆与分度圆重合。

因此有： $\alpha' = \alpha$



提问：分度圆与节圆、压力角与啮合角的区别？

8.4.3 渐开线齿轮的连续传动条件

B_2 ----起始啮合点

B_1 ---终止啮合点

B_1B_2 一实际啮合线

N_1N_2 一理论啮合线，即为理论上可能的最长啮合线

为保证连续传动，要求：

实际啮合线段 $B_1B_2 \geq p_b$ （齿轮的法向齿距），

即： $B_1B_2/p_b \geq 1$

定义： $\epsilon = B_1B_2/p_b$ 为一对齿轮的重合度

一对齿轮的连续传动条件是： $\epsilon \geq 1$

