

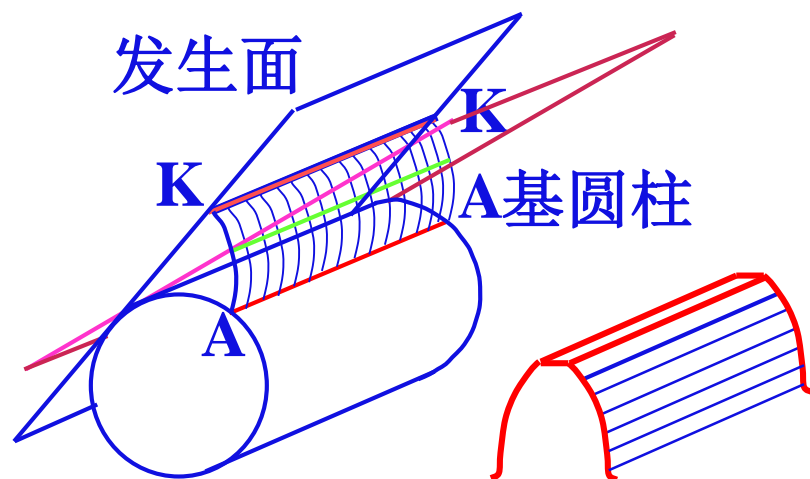
8.9 斜齿圆柱齿轮传动设计

8.9.1 齿廓曲面的形成及啮合特点

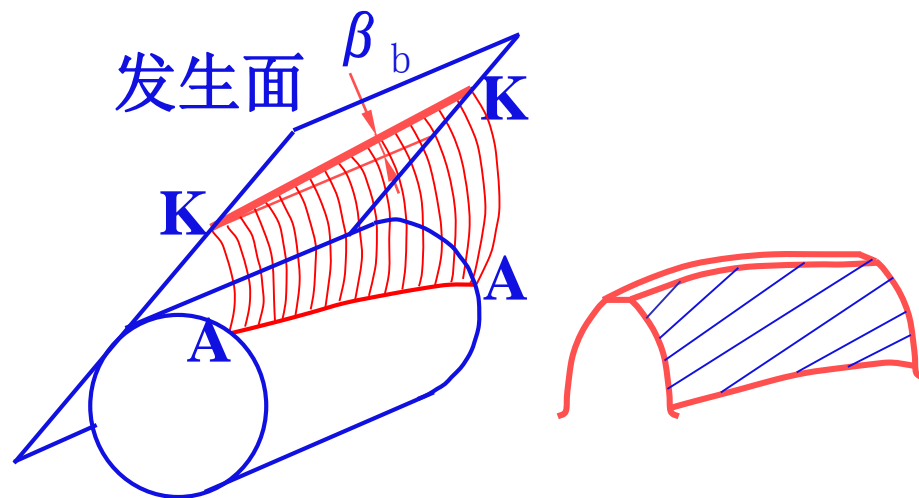
直齿轮：啮合线→啮合面 两基圆的内公切面

啮合点→接触线，即啮合面与齿廓曲面的交线。

啮合特点：沿齿宽同时进入或退出啮合。突然加载或卸载，运动平稳性差，冲击、振动和噪音大。



斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成如右图所示，当平面沿基圆柱作纯滚动时，其上与母线成一倾斜角 β_b 的斜直线KK在空间所走过的轨迹为渐开线螺旋面，该螺旋面即为斜齿圆柱齿轮齿廓曲面， β_b 称为基圆柱上的螺旋角。



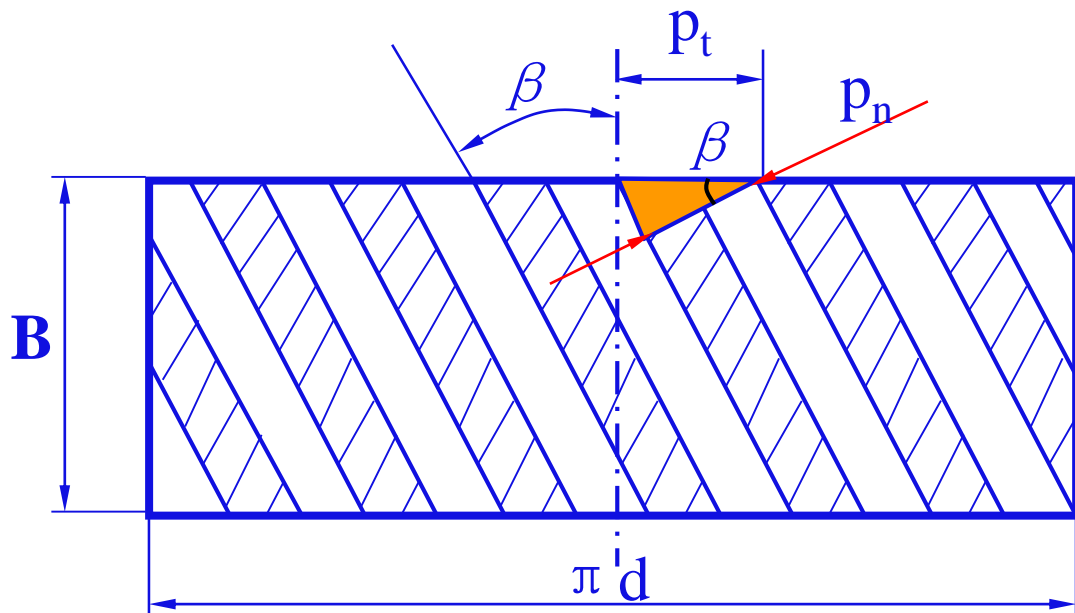
啮合特点：逐渐进入和逐渐退出啮合，重合度比直齿圆柱齿轮传动大，运动平稳、噪声小、承载能力大。

8.9.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸计算

1. 螺旋角 β

定义:

将斜齿圆柱齿轮的分度圆柱展开，该圆柱上的螺旋线便成为斜直线。斜直线与齿轮轴线的夹角为分度圆柱上的螺旋角 β 。



2. 模数 m_n 和压力角 α_n

法面内的齿形与刀具的齿形一样，取标准值。

法向齿距 p_n 与端面齿距 p_t 之间的关系 $p_n = p_t \cos \beta$

法向模数 m_n 与端面模数 m_t 之间的关系 $m_n = m_t \cos \beta$

法向压力角 α_n 与端面压力角 α_t 的关系: $\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cos \beta$

3. 正确啮合条件

$$m_{n1}=m_{n2}=m_n$$

$$\alpha_{n1}=\alpha_{n2}=\alpha_n$$

$$\beta_1=-\beta_2$$

4. 几何尺寸计算

| 名 称 | 符 号 | 计算公式 |
|-------|-------|---|
| 齿顶高 | h_a | $h_a=h_{an}^* m_n, h_{an}^*=1$ |
| 顶隙 | c | $c=c^* m_n, c^*=0.25$ |
| 齿根高 | h_f | $h_f=h_a+c=1.25 m_n$ |
| 齿高 | h | $h=h_a+h_f=2.25 m_n$ |
| 分度圆直径 | d | $d=m_t z=m_n z/\cos\beta$ |
| 齿顶圆直径 | d_a | $d_a=d+2h_a=d+2m_n$ |
| 齿根圆直径 | d_f | $d_f=d-2h_f=d-2.5m_n$ |
| 中心距 | a | $a=(d_1+d_2)/2=m_n(z_1+z_2)/(2\cos\beta)$ |

5. 当量齿数 z_v 和最少齿数 z_{min}

定义：与斜齿轮法面齿形相当的直齿轮，称为该斜齿轮的当量齿轮，其齿数称当量齿数。

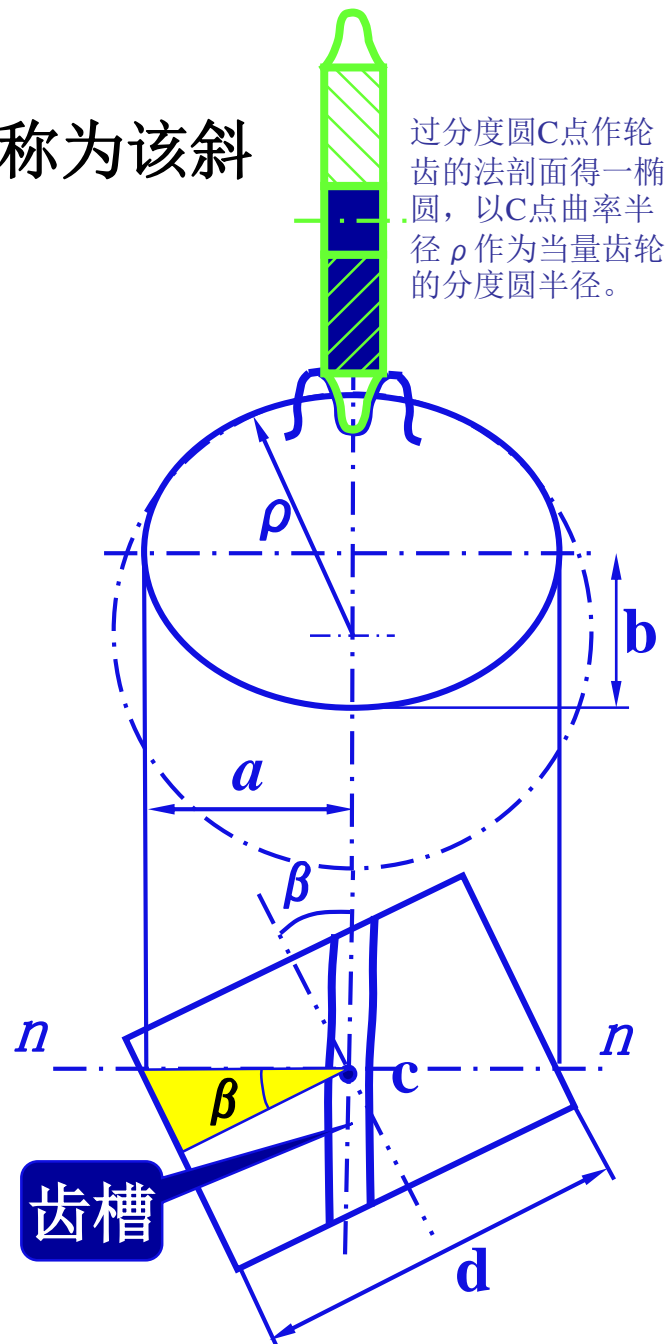
椭圆长半轴： $a=d/(2\cos\beta)$

短半轴： $b=d/2$ 由高数知，C点的曲率半径为：

$$\begin{aligned}\text{得：} \quad r_v &= \rho = a^2/b = d/(2\cos^2\beta) \\ z_v &= 2r_v/m_n \\ &= d/(m_n \cos^2\beta) \\ &= zm_t/(m_n \cos^2\beta) \\ &= z/\cos^3\beta\end{aligned}$$

斜齿轮不发生根切的最少齿数：

$$z_{min} = z_{vmin} \cos^3\beta = 17\cos^3\beta$$



6.9.3 斜齿圆柱齿轮的强度计算

1. 受力分析

轮齿所受总法向力 F_n 可分解为三个分力：

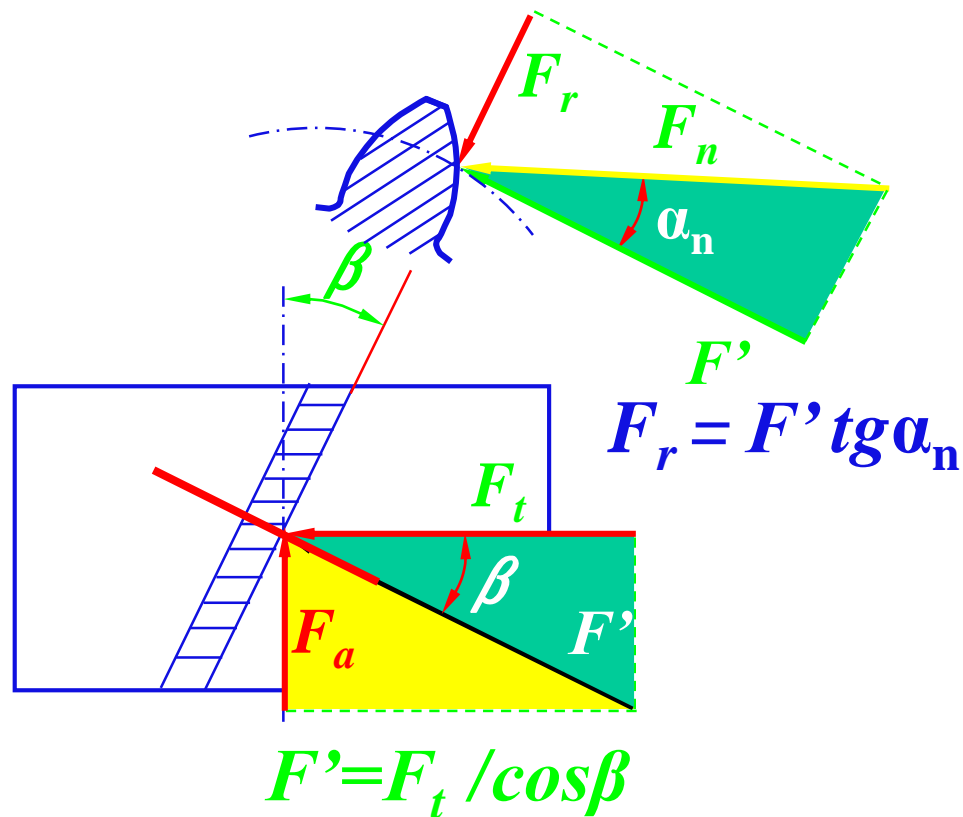
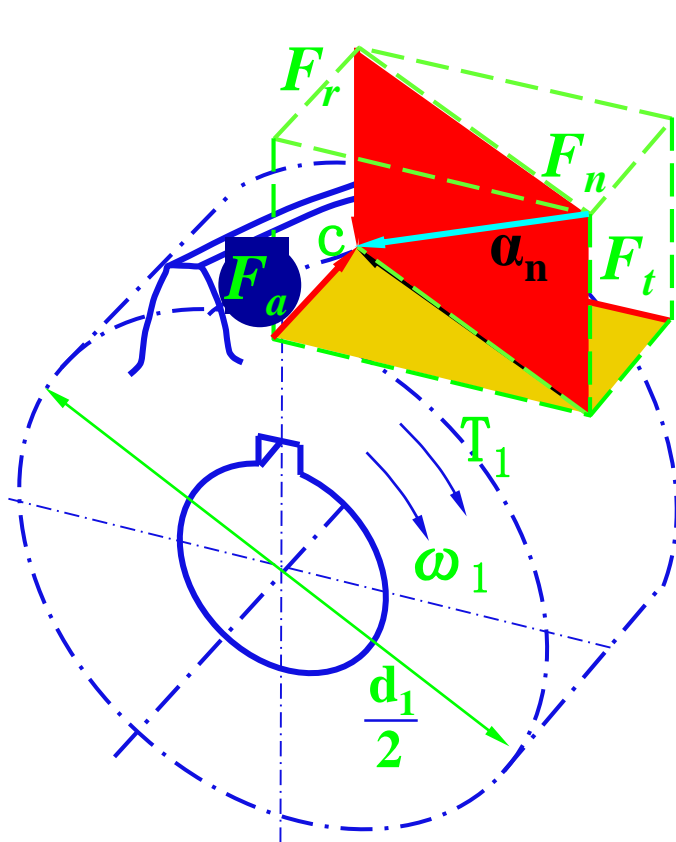
圆周力： $F_t = \frac{2T_1}{d_1}$

轴向力：

$$F_a = F_t \tan \beta$$

径向力：

$$F_r = \frac{F_t \tan \alpha_n}{\cos \beta}$$

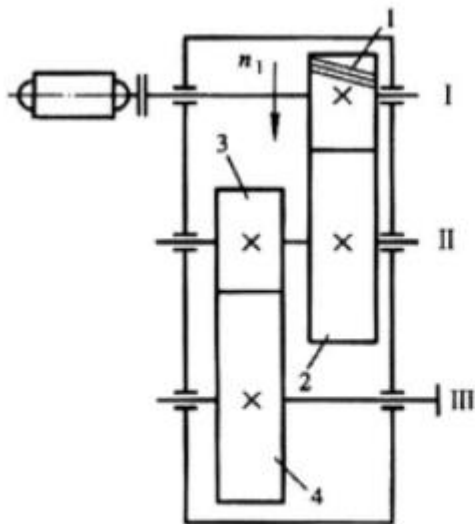


力的方向和旋向的判别:

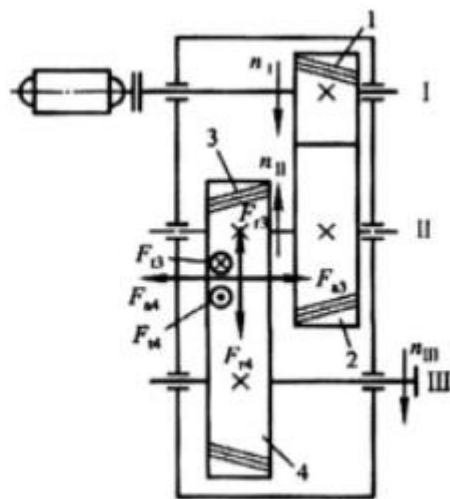
F_t ——“主反从同”：主动轮的圆周力 F_{t1} 的方向与其圆周速度方向相反，从动轮的圆周力 F_{t2} 的方向与圆周速度方向相同；

F_r ——指向轴线；

F_{a1} （主动轮）——左（右）手螺旋定则，根据螺旋方向伸左手或右手，握住齿轮轴线，四指代表齿轮转向，大拇指所指代表齿轮所受轴向力 F_{a1} 的方向， F_{a2} 的方向与 F_{a1} 相反。



题图

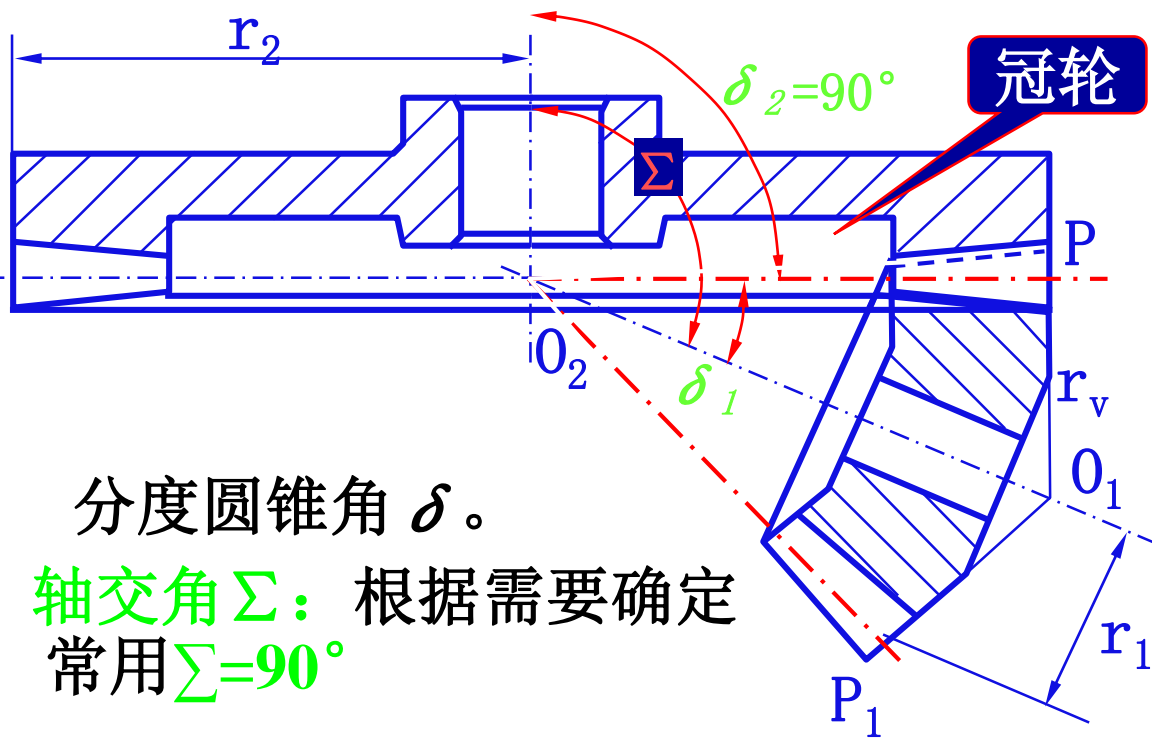


题解图

6.10 直齿圆锥齿轮传动设计

6.10.1 基本参数和几何尺寸计算

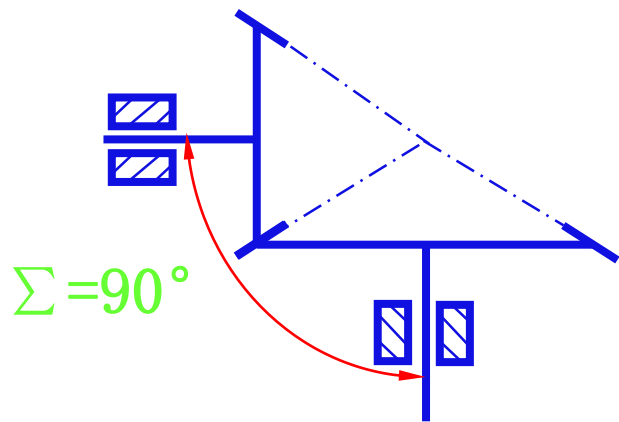
为了计算和测量的方便，取大端参数(如 m)为标准值。



分度圆锥角 δ 。

轴交角 Σ ：根据需要确定
常用 $\Sigma = 90^\circ$

大端参数 m 取标准值， $\alpha = 20^\circ$



R —锥距

δ —分度圆锥角

δ_a —齿顶圆锥角

b —齿宽

d_1, d_2 —分度圆直径

d_a —齿顶圆

d_f —齿根圆

传动比:

$$i_{12} = \omega_1 / \omega_2 = z_2 / z_1$$

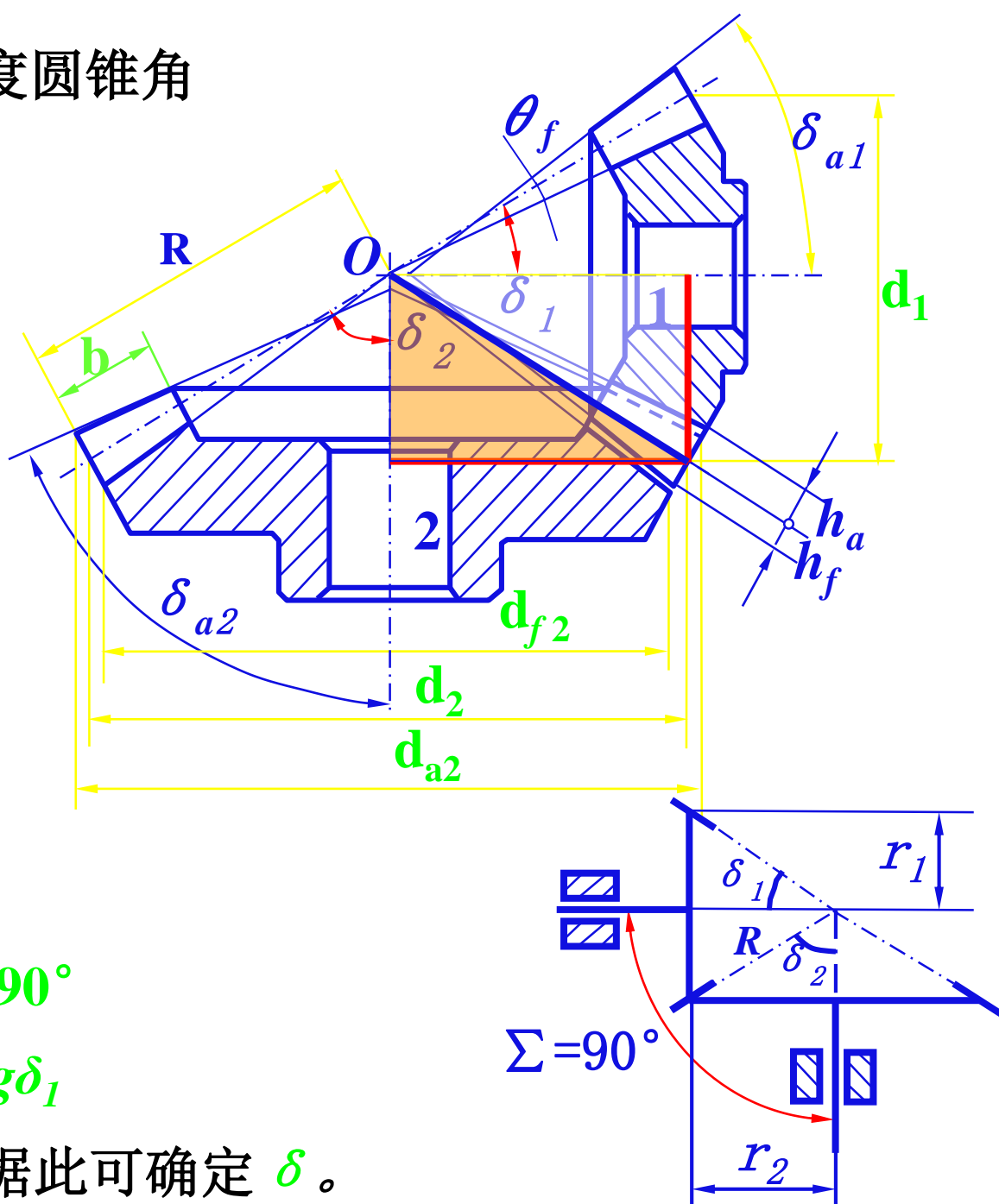
$$= r_2 / r_1$$

$$= \sin \delta_2 / \sin \delta_1$$

当 $\Sigma = 90^\circ$ 时, $\delta_2 + \delta_1 = 90^\circ$

$$i_{12} = \operatorname{tg} \delta_2 = \operatorname{ctg} \delta_1$$

设计时, 如果给定 i_{12} , 据此可确定 δ 。



6.10.2 背锥与当量齿轮

球面渐开线: 一个圆平面在一圆锥上作纯滚动时, 平面上任一点的轨迹

背锥: 过大端作母线与分度圆锥母线垂直的圆锥

将背锥展开得扇形齿轮, 补全, 得**当量齿轮**, 其齿形与锥齿轮大端的球面齿形相当, 两者 m 和 α 相同

当量齿轮的参数:

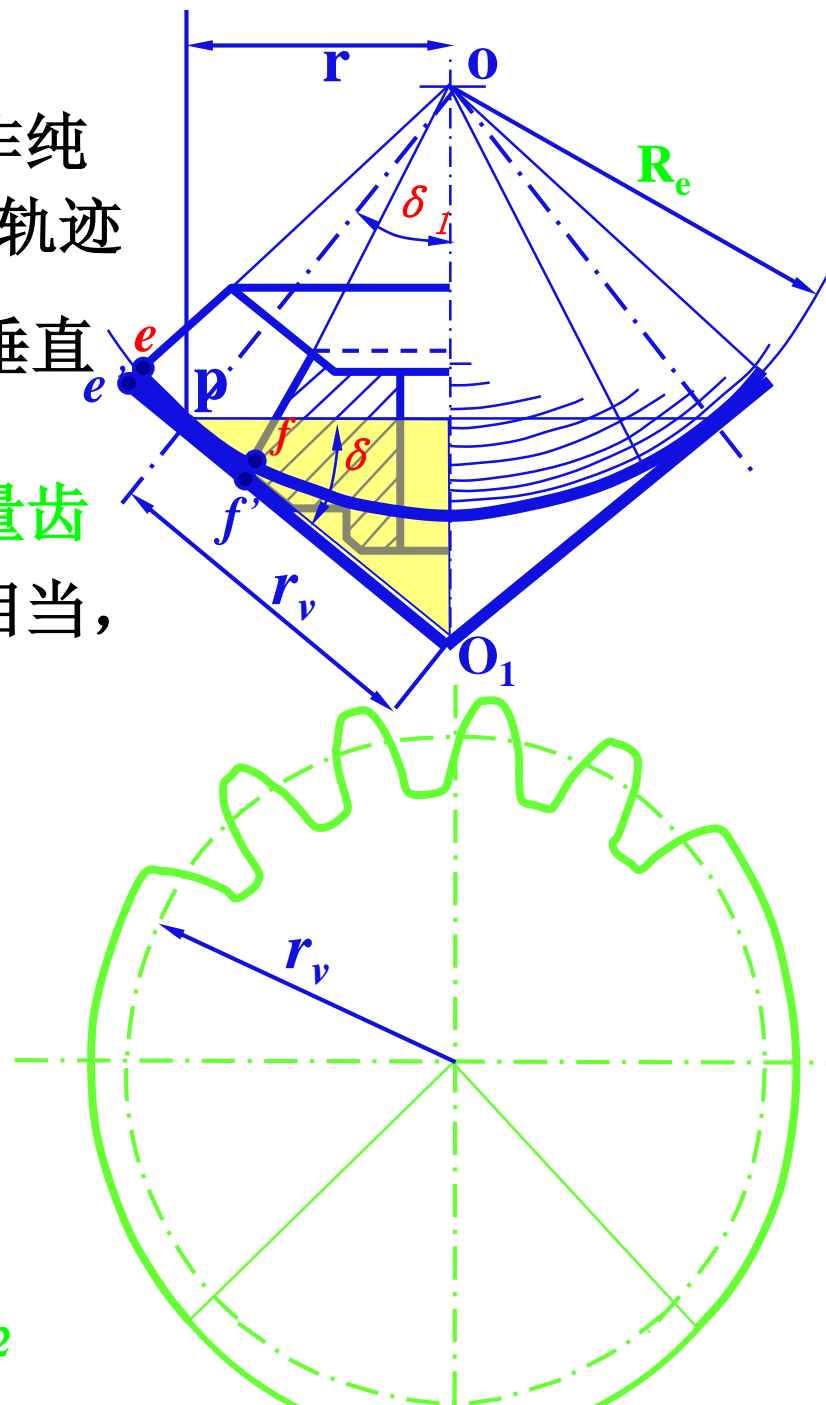
$$r_v = O_1 P = r / \cos \delta = z m / (2 \cos \delta)$$

$$\text{又 } r_v = z_v m / 2$$

$$\text{得: } z_v = z / \cos \delta$$

$$\text{不根切最少齿数: } z_{v\min} = 17, \quad z = 17 \cos \delta$$

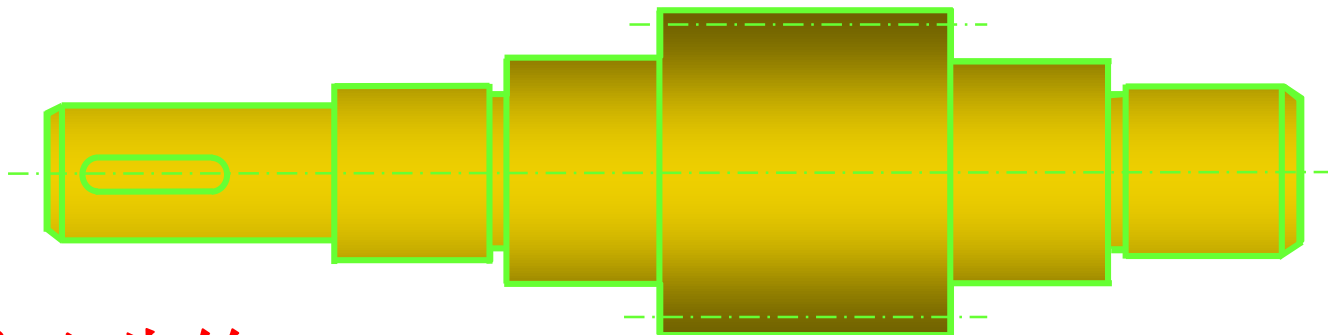
$$\text{正确啮合条件: } m_1 = m_2, \quad \alpha_1 = \alpha_2 \quad R_1 = R_2$$



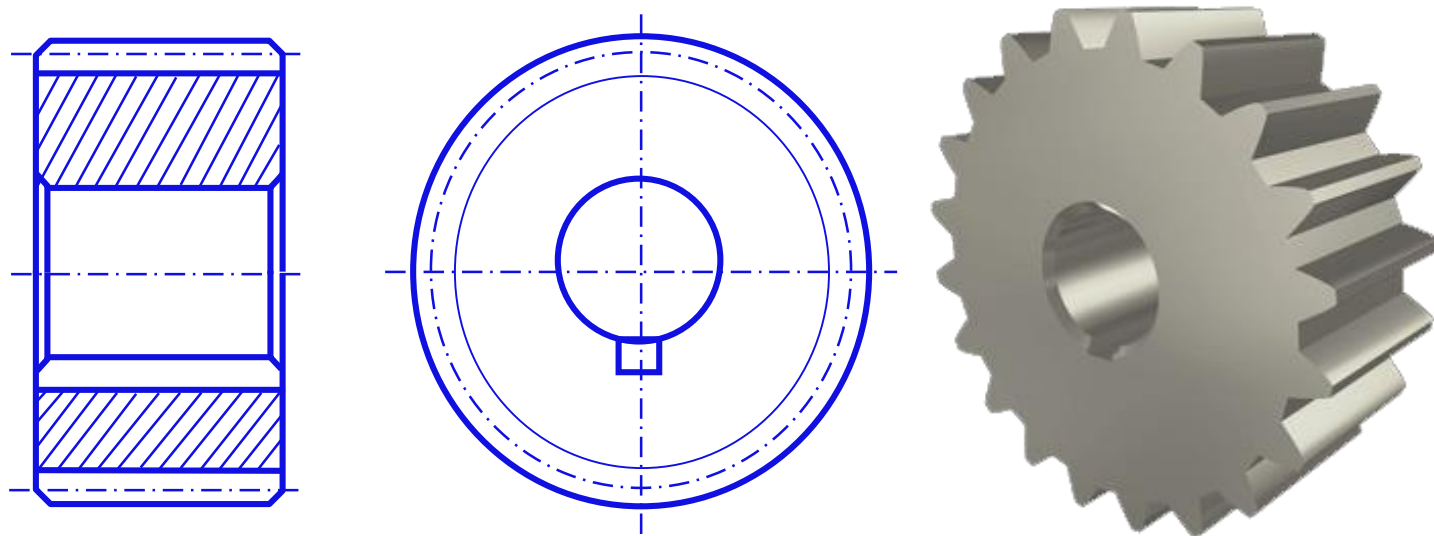
6.11 齿轮结构与润滑

6.11.1 齿轮的结构

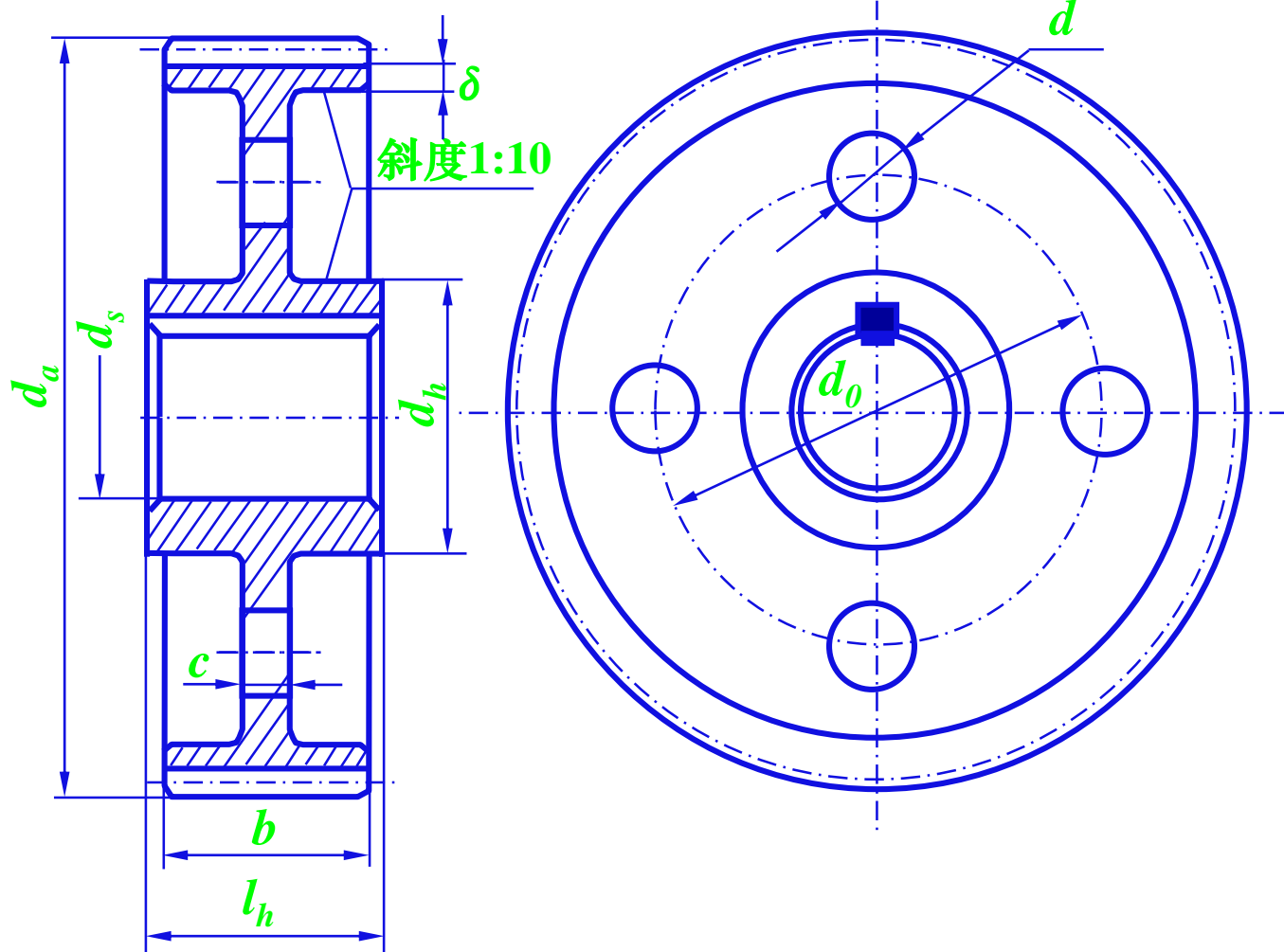
1. 齿轮轴



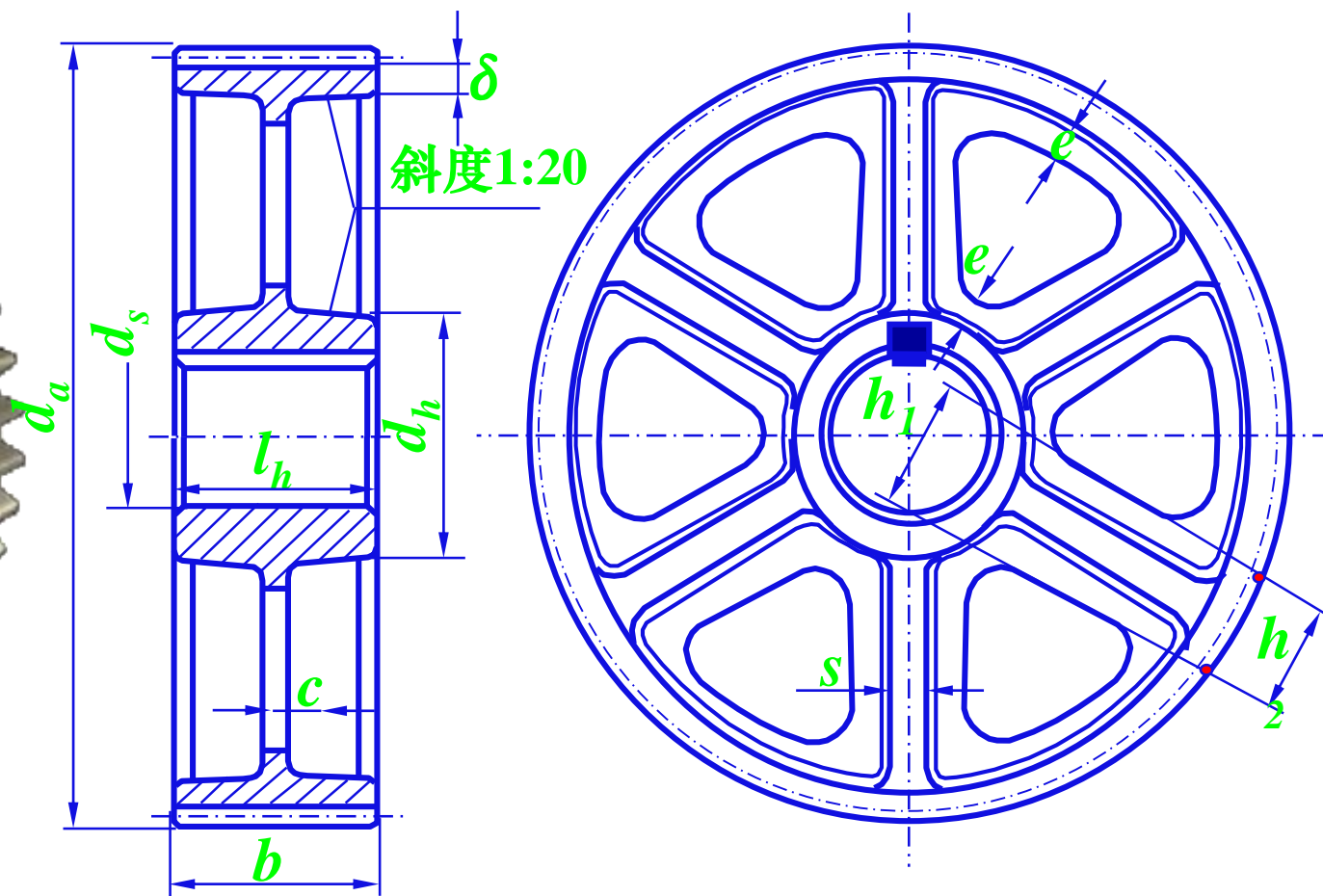
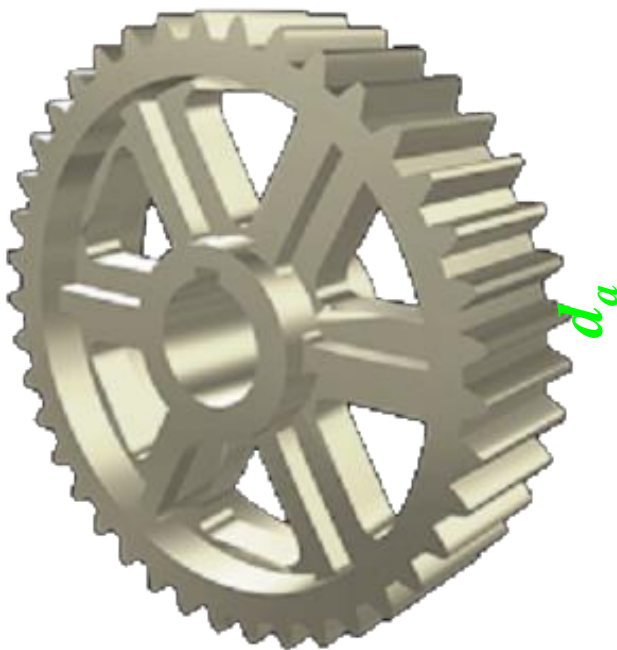
2. 实心齿轮



3. 腹板式齿轮



4. 铸造齿轮



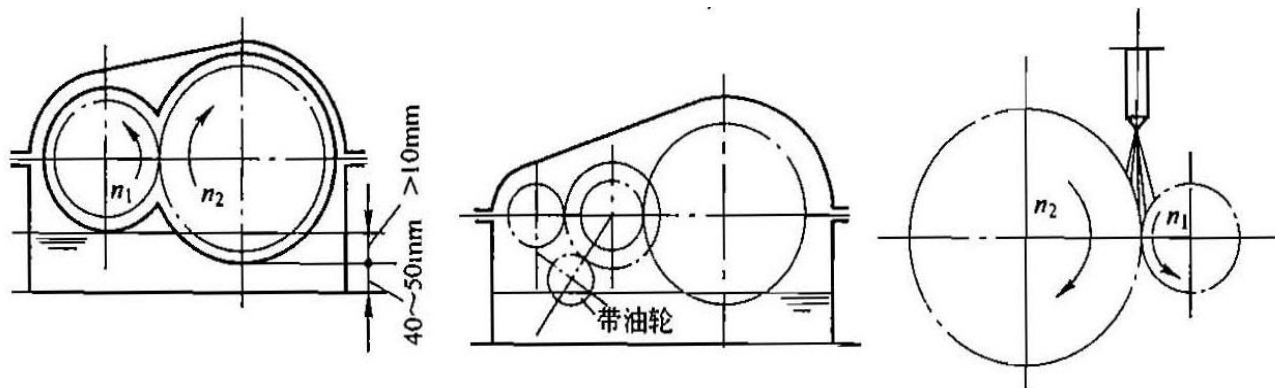
6.11.2 齿轮传动的润滑

1. 润滑方式的选择

开式齿轮传动速度较低，一般采用润滑脂或定时滴油润滑。

闭式齿轮传动常利用浸油法或喷油法润滑。

当 $v \leq 12\text{m/s}$ 时多采用油池润滑，大齿轮浸入油池一定的深度，齿轮运转时就把润滑油带到啮合区，同时也甩到箱壁上，借以散热。当 v 较大时，浸入深度约为一个齿高；当 v 较小，如 $(0.5 \sim 0.8\text{m/s})$ 时，可达到齿轮半径的 $1/6$ 。在多级齿轮传动中，当几个大齿轮直径不相等时，可以采用惰轮蘸油润滑。当 $v > 12\text{m/s}$ 时，不宜采用油池润滑，最好采用喷油润滑，用油泵将润滑油直接喷到啮合区。



2.润滑剂的选择

选择润滑油时，先根据齿轮的工作条件以及圆周速度由下表查得运动粘度值，再根据选定的粘度确定润滑油的牌号。

齿轮传动润滑油粘度荐用值

| 齿轮材料 | 强度极限 | 圆周速度 v (m/s) | | | | | | |
|----------|-----------|------------------------|-------|-------|-------|--------|----------|-----|
| | | <0.5 | 0.5~1 | 1~2.5 | 2.5~5 | 5~12.5 | 12.5 ~25 | >25 |
| | | 运动粘度 ν /cSt (40℃) | | | | | | |
| 塑料、铸铁、青铜 | — | 350 | 220 | 150 | 100 | 80 | 55 | — |
| 钢 | 450~1000 | 500 | 350 | 220 | 150 | 100 | 80 | 55 |
| | 1000~1250 | 500 | 500 | 350 | 220 | 150 | 100 | 80 |
| 渗碳或表面淬火钢 | 1250~1580 | 900 | 500 | 500 | 350 | 220 | 150 | 100 |

6.11.3 齿轮传动的效率

齿轮传动中的功率损失，主要包括啮合中的摩擦损失、轴承中的摩擦损失和搅动润滑油的功率损失。进行有关齿轮的计算时通常使用的是齿轮传动的平均效率。

当齿轮轴上装有滚动轴承，并在满载状态下运转时，传动的平均总效率见下表。

齿轮传动的平均效率

| 传动装置 | 6级或7级精度的闭式传动 | 8级精度的闭式传动 | 开式传动 |
|------|--------------|-----------|------|
| 圆柱齿轮 | 0.98 | 0.97 | 0.95 |
| 圆锥齿轮 | 0.97 | 0.96 | 0.93 |

本章重要知识点

- ◆ 齿轮传动的特点、类型和精度
- ◆ 渐开线的形成和性质；渐开线齿廓的啮合特点
- ◆ 渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算
- ◆ 渐开线齿轮正确啮合条件、标准中心距、连续传动条件
- ◆ 齿轮根切现象及最小齿数；变位齿轮的概念
- ◆ 轮齿的受力和计算载荷；齿面接触疲劳强度计算
- ◆ 斜齿圆柱齿轮传动的啮合特点；几何尺寸计算；当量齿数的概念；一对平行轴斜齿圆柱齿轮传动的正确啮合条件
- ◆ 直齿锥齿轮传动的基本参数和几何尺寸计算；背锥、当量齿数的概念