

机械工人学习材料

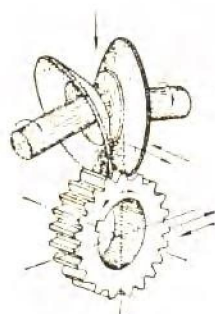
JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

怎样滚切圆柱齿轮

王秩信 王守玉 编著

齿轮工

610.6



机械工业出版社

79610.6
3
3

目 次

一 渐开线圆柱齿轮的基本知识	1
1 渐开线齿轮的基本概念(1)——2 渐开线圆柱齿轮的基本参数和各部名称(4)——3 渐开线圆柱齿轮的变位(8)——4 渐开线圆柱齿轮的几何计算(11)	
二 渐开线圆柱齿轮加工工艺的基本概念	14
三 展成法加工原理	16
1 直齿滚齿原理(17)——2 斜齿滚切原理(18)	
四 滚齿机与齿轮滚刀	21
1 滚齿机(21)——2 齿轮滚刀(33)	
五 滚齿加工前的准备工作(机床调整)	36
1 机床和刀具的选择(36)——2 滚切方法的选择(38)——3 滚切次数和切削用量的选择(48)——4 柱轮的选择(51)——5 介轮的选择(61)——6 挂轮、介轮的调整和安装(65)——7 工件的装卡(65)——8 刀杆的选择和安装(69)——9 滚刀的安装(70)——10 滚刀的对中(72)——11 滚刀安装角的调整(73)	
六 滚切加工	76
1 开车检查(76)——2 进刀滚切(77)——3 测量齿厚确定吃刀量(78)——4 滚切加工时应注意的事项(80)——5 滚切举例(81)	
七 滚齿加工中常见的误差现象及其原因分析	108
1 齿圈径向跳动超差(108)——2 公法线长度变动量超差(109)——3 齿向误差超差(109)——4 齿形误差超差(110)——5 齿距累积误差超差(111)——6 周节误差超差(113)——7 周节累积误差超差(113)——8 齿数不对(113)——9 螺旋角不对(113)——10 噪声大(114)	
附表1 滚齿机的精度(GC30-60)	117
附表2 齿向允差(JB179-60)	118



B028777

B1734/21

一 渐开线圆柱齿轮的基本知识

1 渐开线齿轮的基本概念

一、渐开线的形成原理和性质 当一条直线沿一曲线作无滑动的滚动时，直线上任意一点的运动轨迹称为该曲线的渐开线。

如图 1 所示，用一根细线绕在一个圆上，细线的 b 端栓一铅笔，握住铅笔，拉紧并逐渐展开细线，铅笔在纸上画出的曲线 ab 就是这个圆的渐开线。渐开线

齿轮的齿形就是这种渐开线的一部分。这个圆称为渐开线的基圆。基圆半径用 r_b 表示，基圆直径用 d_b 表示。 bc 叫做发生线。

渐开线具有以下主要性质：

(1) 弧长 $\widehat{ac}$ 等于线段 $\overline{bc}$ 的长度。

(2) 线段 $\overline{bc}$ 既是基圆的切线，又是渐开线的法线。

(3) 渐开线上各点的曲率半径不同，离基圆越

远，曲率半径越大；曲率越小，渐开线越平直(图 2)。

(4) 基圆越大，渐开线越平直；基圆越小，渐开线越弯曲(图 2)。

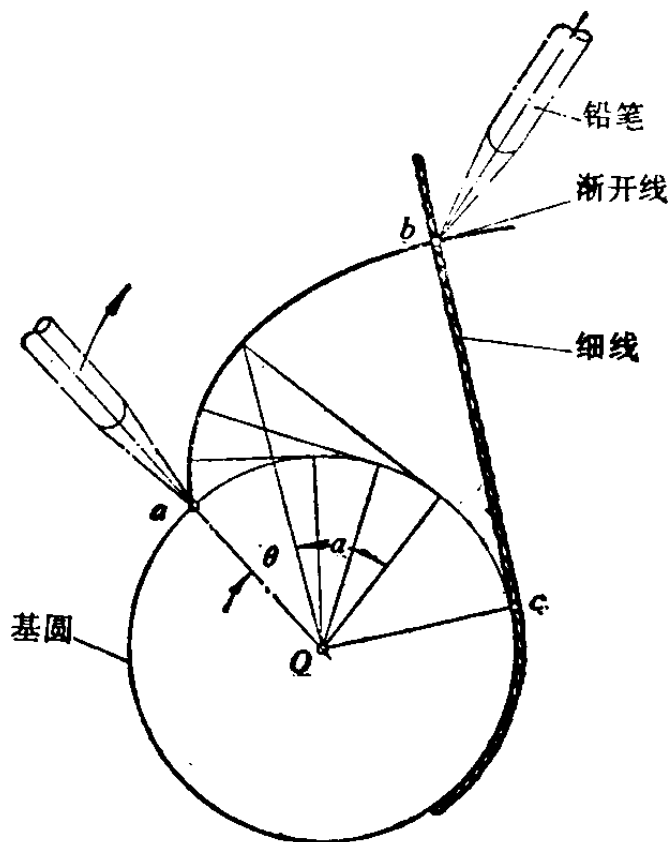


图 1 渐开线的形成原理

(5) 基圆内无渐开线。

(6) 渐开线上各点的压力角不同，越接近基圆，压力角越小。

二、渐开线的压力角 当渐开线齿轮被另一齿轮推动时，渐开在 P 点的受力方向与渐开线垂直，而 P 点的运动方向与该点的半径 $\overline{PO}$ 垂直（图 3）。受力方向与运动方向的夹角就是压力角，通常用 α 表示。从图 4 可看出，离基圆远的 c 点压力角 α' 较大，离基圆近的 b 点的压力角 α 较小。基圆上压力角等于零。

通常所说齿轮的压力角是指分度圆上的压力角。假如分度圆

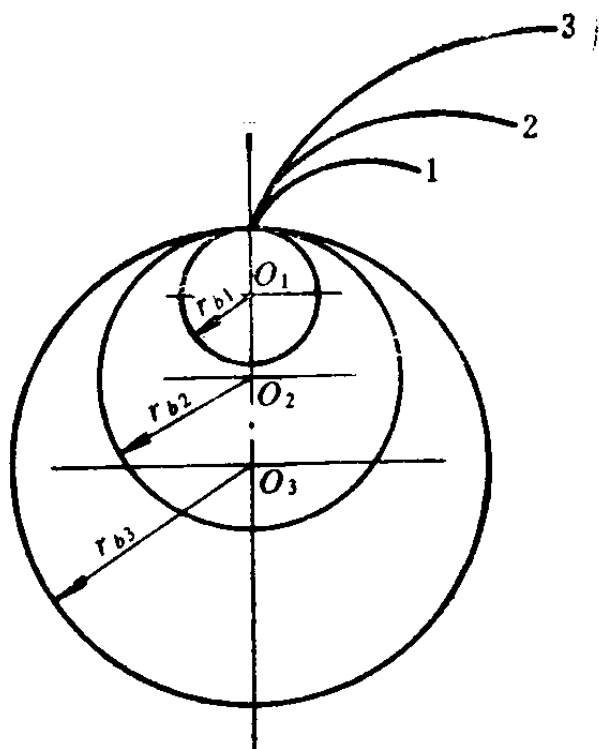


图2 渐开线的形状与基圆的关系

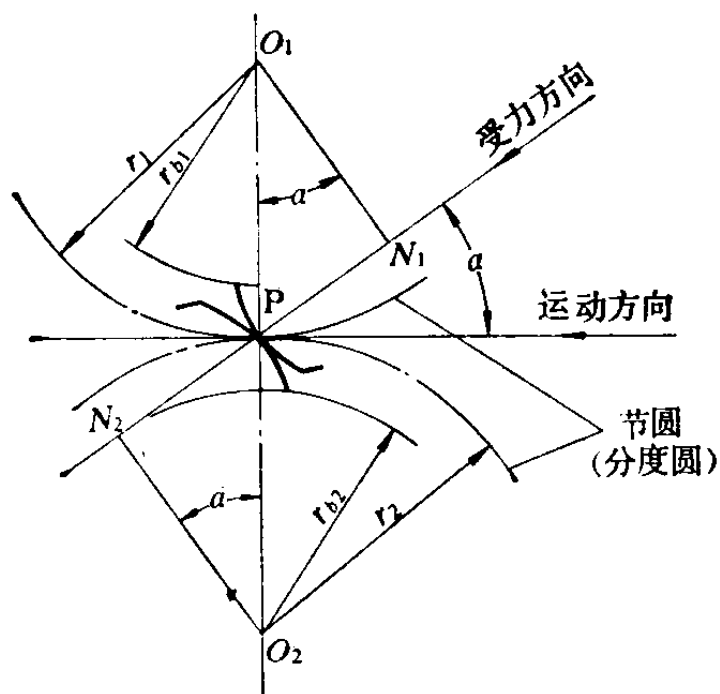


图3 齿轮压力角

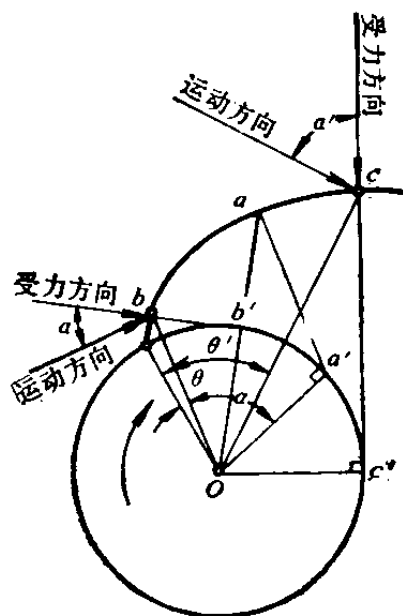


图4 渐开线函数

上的压力角为 20° ，则分度圆以外的压力角大于 20° ，分度圆以内的小于 20° 。

三、渐开线函数 渐开线上任意一点至基圆圆心的连线，与渐开线起始点至基圆圆心之连线的夹角，叫做该点的渐开角。如图 4 所示，角 α 为 A 点的压力角，而角 θ 就是 A 点的渐开角。如把角 θ 看成是角 α 的渐开线函数时，角 α 就可以用 $\text{inv } \alpha$ 表示。即：

$$\theta = \text{inv } \alpha = \text{tg } \alpha - \alpha$$

按上式计算渐开线函数时，右边第二项的 α 要采用弧度值。

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} = 0.01745329$$

弧度。在实际应用上， $\text{inv } \alpha$ 值可根据压力角 α 的大小直接从渐开线函数表中查出。

四、渐开线齿轮的啮合条件 渐开线齿轮，在传动过程中，所有齿廓的接触点都落在齿廓公法线 $\overline{N_1N_2}$ 上，通常把 $\overline{N_1N_2}$ 称为齿轮的啮合线(图 4)。

齿轮传动时，还要求它能连续平稳地传动。这就要求啮合线上的两对轮齿能同时正确啮合(图 5)。为此，两轮的基节 P_{b1} 、 P_{b2} 必须相等。即：

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

式中 $m_1, m_2, \alpha_1, \alpha_2$ ——分别为两轮的模数和压力角。

从上式可知，不论一对啮合齿轮的模数和压力角是否相同，

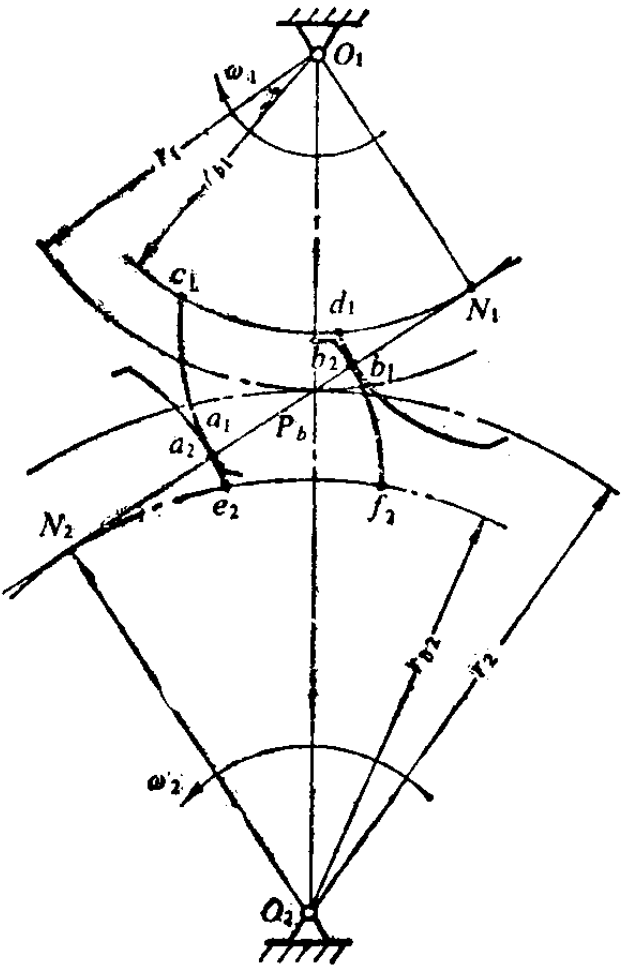


图 5 两渐开线齿轮的啮合条件

只要满足上式关系，均能正确啮合传动。

由于模数和压力角都已标准化，因之，一对渐开线齿轮的正确啮合条件是：

(1) 两轮的模数必须相同。

(2) 两轮的分度圆压力角必须相同。

2 渐开线圆柱齿轮的基本参数和各部名称

一、渐开线圆柱齿轮的基本参数 周节(又叫齿距、节距)是相邻两个同名齿廓在分度圆圆周上所占的弧长。周节用 p 表示。

$$p = \frac{\pi d}{z}$$

或

$$d = \frac{pz}{\pi} \quad (1)$$

式中 d ——分度圆直径，毫米；

z ——齿轮的齿数。

模数是齿轮尺寸计算的一个基本参数。它等于周节与 π 的比值，用 m 表示。即：

$$\frac{p}{\pi} = m \quad \text{或} \quad p = m\pi \quad (2)$$

因为 π 是无理数，用式(1)计算分度圆直径很不方便，通常用模数 m 来计算。即：

$$d = mz \quad \text{或} \quad m = \frac{d}{z} \quad (3)$$

模数的系列在国家标准(GB1357-78)中作了规定。

英制齿轮采用径节作为齿轮尺寸计算的基本参数。径节表示分度圆直径每吋长度上所包含的齿数，用 DP 表示。

径节与模数的换算关系是：

$$m = \frac{25.4}{DP} \quad (4)$$

渐开线圆柱齿轮基准齿形的齿高系数 h_a^* ，国家标准（GB1356-78）规定为1，短齿为0.8。

有些国家，为了某种特殊用途，还有采用长齿的。例如英国标准（BS1806）规定 h_a^* 为1.2。苏联有一种非标准的长齿齿轮， h_a^* 为1.25。

压力角是指分度圆上齿形的压力角，用 α 表示。啮合角是指两啮合齿轮在节圆上的压力角，用 α' 表示。

齿形角和啮合角是两个不同的概念。单个齿轮只有齿形角，没有啮合角。只有一对齿轮啮合时才有啮合角。

齿形角是标准化的。我国国家标准 GB1356-78 规定渐开线圆柱齿轮基准齿形的齿形角 $\alpha = 20^\circ$ 。目前机床上齿轮常用的齿形角为 20° ，汽车齿轮采用 $14\frac{1}{2}^\circ$ ， $16\frac{1}{2}^\circ$ ， $17\frac{1}{2}^\circ$ ， 20° ， $22\frac{1}{2}^\circ$ 等。国外还有采用 15° ， 16° 及 $21\frac{1}{2}^\circ$ 等。

二、渐开线圆柱齿轮的标准齿形和各部名称 渐开线圆柱齿轮的标准齿形见表1。

圆柱齿轮各部名称和代号如图6所示。

分度圆是计算齿轮时假想的一个圆，在这个圆上，其周节等于齿轮加工刀具的周节，其齿形压力角等于标准齿形角。分度圆的直径和半径以“ d ”和“ r ”来表示。

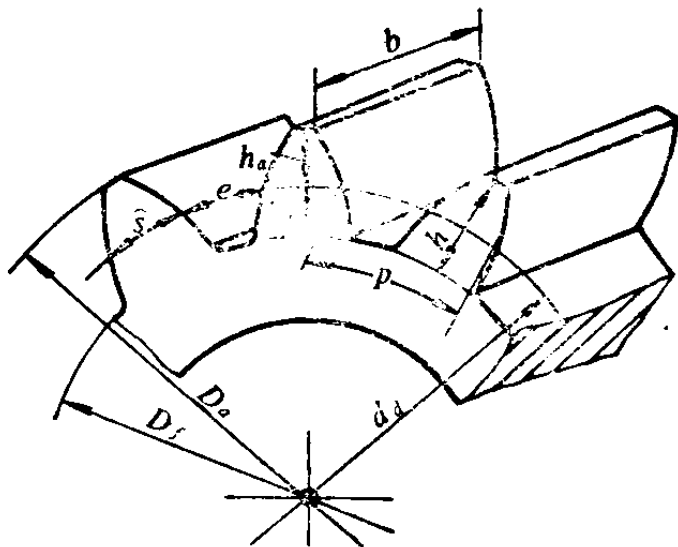
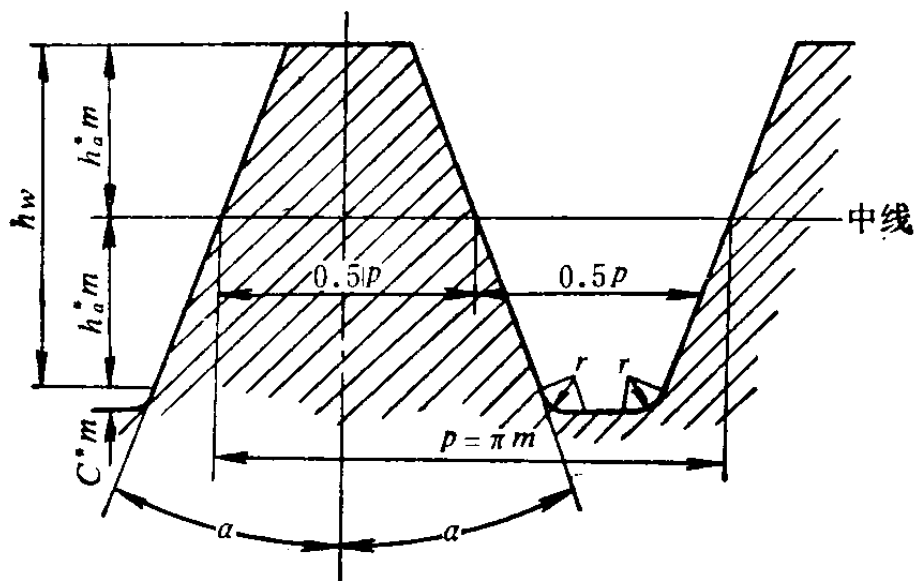


图6 圆柱齿轮各部尺寸代号

表 1 圆柱齿轮原始齿形基本参数 (GB 1365-78)



参 数 名 称	代 号	标 准 齿	短 齿	增大齿形角 时 推 荐 值
齿 形 角	α	20°	20°	25°
齿 高 系 数	h_a^*	1	0.8	1
径向间隙系数	c^*	0.25 0.35用于插齿、剃齿	0.3	0.2
齿根圆角半径	r	0.38m 0.25m用于剃齿	0.46m	0.35m

节圆是以两齿轮的中心为圆心，通过节点 P 所作的两个相切的圆。一对啮合齿轮的节圆，其线速度是相等的。节圆的直径和半径以“ d' ”和“ r' ”来表示。非变位齿轮传动和高度变位齿轮传动的节圆和分度圆重合(图 4)，而角度变位齿轮传动节圆和分度圆不重合(图 7)。

轮齿在分度圆上所占的弧长叫做弧齿厚，用 $\widehat{S}$ 表示。对于非变位齿轮，分度圆上的弧齿厚是周节的一半。即：

$$\widehat{S} = \frac{p}{2} = 1.5708 m$$

两啮合齿轮的轴线间的距离叫做中心距。非变位齿轮和高度变位齿轮的中心距用 a 表示。角度变位齿轮的中心距用 a' 表示。 a 的值等于：

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$= \frac{m}{2}(z_1 + z_2)$$

由于斜齿圆柱齿轮的轮齿是螺旋线形状的，所以它的几何参数有端面和法面之分。

图 8 表示斜齿轮分度圆柱面的展开图。图中空白部分表示齿槽，被剖部分表示齿厚。从图可得出法面周节 t_n 与端面周节 t_s 和法面模数 m_n 与端面模数 m_s 的关系：

$$t_n = t_s \cos \beta$$

式中 β ——分度圆柱上的螺旋角。
 因为
 所以

$$t = \pi m$$

$$m_n = m_s \cos \beta$$

斜齿圆柱齿轮的法面压力角 α_n 与端面压力角 α_s 的关系可从

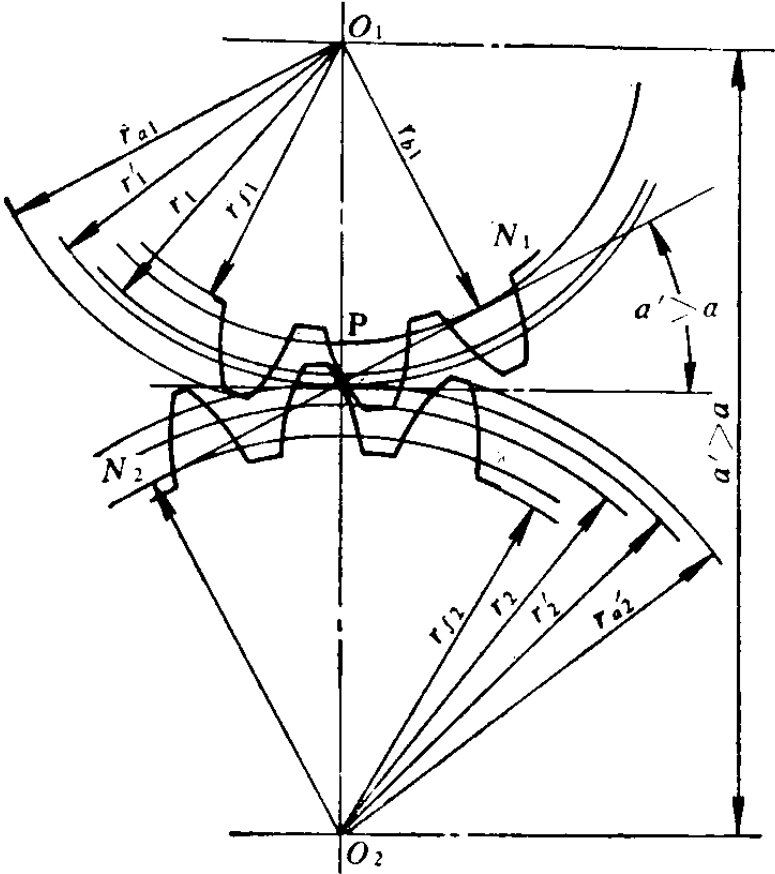


图 7 节圆与分度圆不重合

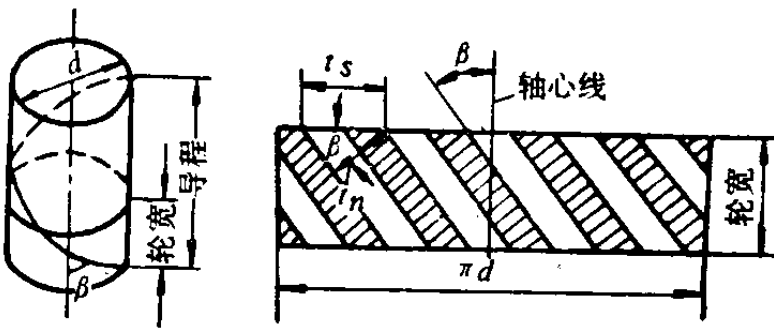


图 8 斜齿轮分度圆柱面的展开

图 9 中得出：

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{OC}{Oa} = \frac{Ob \cos \beta}{Oa} = \operatorname{tg} \alpha_s \cos \beta$$

法向模数 m_n 通常作为计算斜齿圆柱齿轮各部尺寸的基本参数。把 m_n 代入直齿圆柱齿轮相应的计算公式中，就可算出各部尺寸。

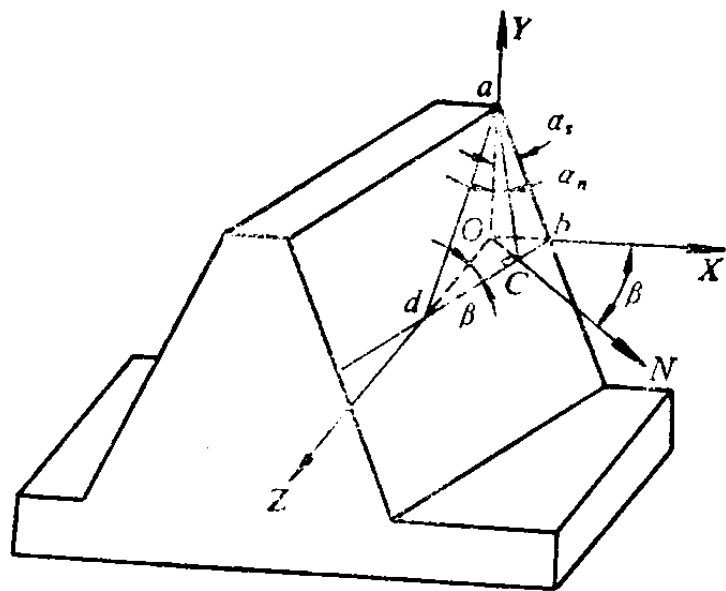


图 9 斜齿轮法面压力角 α_n 与端面压力角 α_s 的关系
(图中XOY、ZOY、XOZ 和YON分别表示斜齿的端面、轴面、法面和分度面)

3 渐开线圆柱齿轮的变位

一、齿轮的根切现象 当采用展成法加工齿数很少的齿轮时，刀具的顶部有时切入轮齿根部的渐开线部分，这种现象叫做齿轮的根切（图 10）。产生根切的齿轮，一方面使齿根部分强度变弱，同时由于基圆以外的一部分渐开线齿形也被切去，因此，当它与另一轮齿啮合时，啮合系数将减小，影响传动的平稳性。

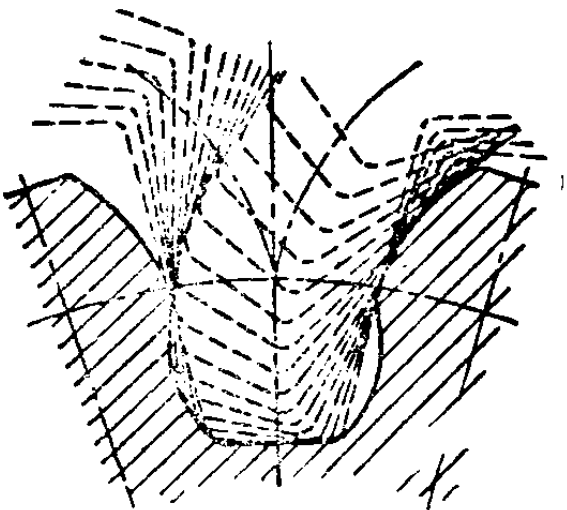


图10 轮齿根切现象

为了避免根切，用齿条型刀具（如滚刀）切齿时，必须使刀具的齿顶线落在极限啮合点 N 上(图11)。此时，齿轮的齿数即为不产生根切的最少齿数为：

$$z_{\min} = \frac{2h_a^*}{\sin 2\alpha}$$

外啮合直齿圆柱齿轮不产生根切的最少齿数：当齿形角 $\alpha = 20^\circ$ 时，标准齿齿轮 $z_{\min}$ 不得少于 17；短齿为 14。

二、变位齿轮的概念 用改变刀具的位置（刀位）或标准刀具齿形参数的方法切制成的齿轮叫变位置。

标准刀位与被切齿轮中心距为 a (图12 a)。当刀位远离被切齿轮中心时叫正变位。它与被切齿轮的中心距为 a' 。这时 $a < a'$ (图12 b)。当刀位接近被切齿轮中心时，叫负变位。这时 $a > a'$ (图 12 c)。

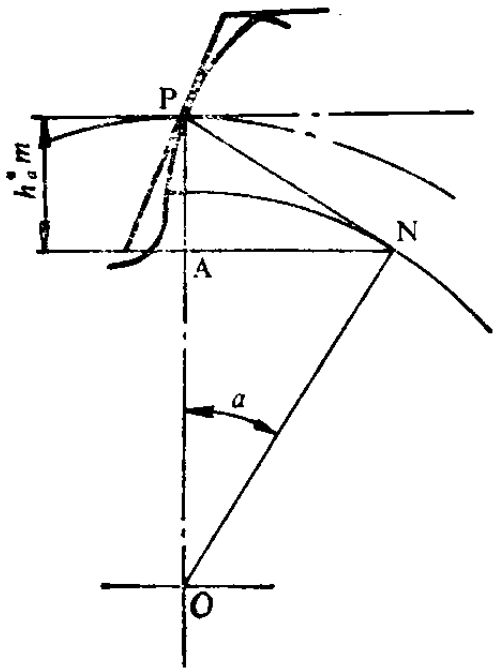


图11 避免根切的最少齿数

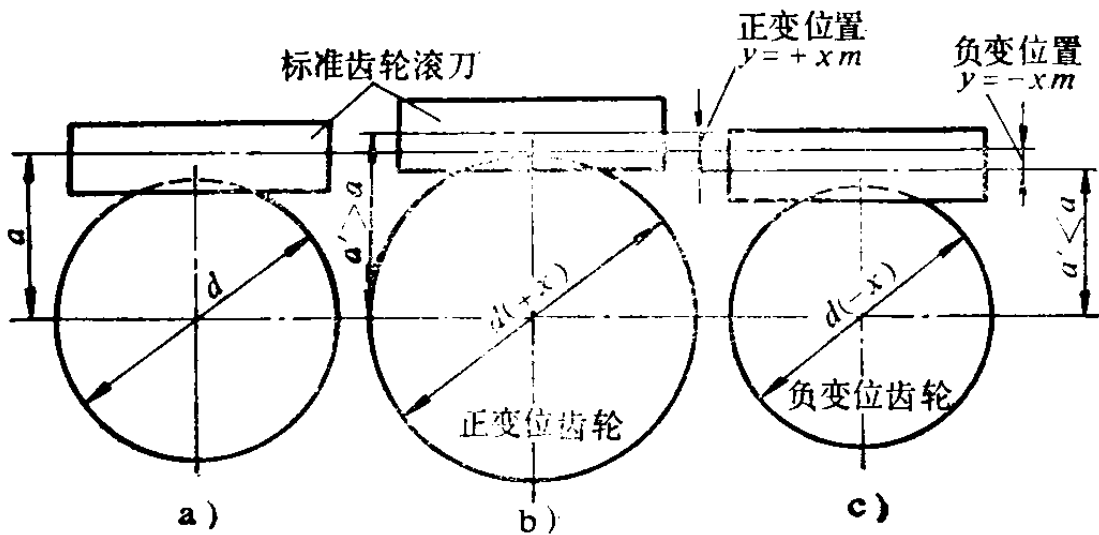


图12 变位齿轮示意图

a) 标准刀位 b) 正变位 c) 负变位

除上述径向改变标准刀位外，还有一种切向改变，即沿与齿轮分度圆相切的方向改变刀位。当用标准刀具切削短齿时，齿深已切到尺寸，而齿厚尺寸没有达到，这时滚齿可沿滚刀轴轴向窜刀来改变齿厚的尺寸。

由于刀位的改变，被切出齿轮的齿廓形状就会不同(图 13)。同理，如刀位固定只改变被切齿轮的位置(轮位)，则其所得结果相同。

如上述方法不能满足要求时，可改变标准刀具的齿形参数，

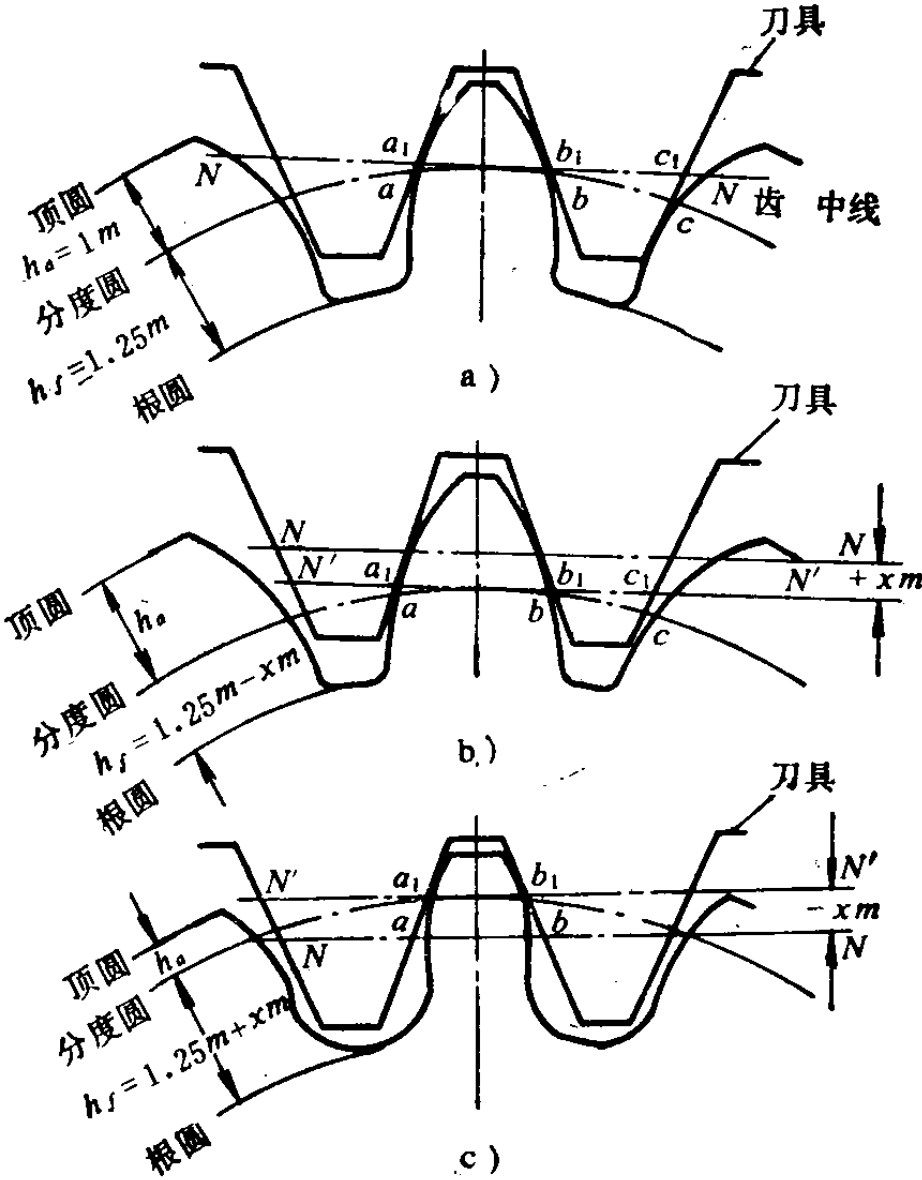


图13 变位齿轮的齿形

即根据变位齿轮的齿形参数要求，设计专用的齿轮刀具。

三、变位圆柱齿轮啮合传动的种类

常用变位圆柱齿轮有高度变位啮合和角度变位啮合二种。

（1）高度变位啮合：这种变位齿轮啮合传动的特点：变位系数 x_1 和 x_2 大小相等，小轮用正变位，大轮用负变位，即 $x_1 + x_2 = 0$ 。中心距不变，即 $a' = a$ ；节圆和分度圆重合；啮合角等于齿形角，全齿高不变，只是齿顶高和齿根高有所变化。由于齿顶高和齿根高发生变化，所以这种齿轮叫做高度变位。

（2）角度变位啮合： 角度变位齿轮的特点是两个齿轮的变位系数的和不等于零，即 $x_1 + x_2 \neq 0$ ；中心距不等于非变位齿轮啮合的中心距，节圆与分度圆不重合；全齿高，分度圆齿厚有变化，小轮变大，大轮变小；啮合角不等于齿形角。由于这种变位齿轮的啮合角改变了，所以叫角度变位。当 $a' > a$ 时，叫正 角度变位；当 $a' < a$ 时，叫负角度变位。

4 渐开线圆柱齿轮的几何计算 直齿圆柱齿轮和斜齿(人字齿) 圆柱齿轮的几何计算分别见表 2 和表 3。

表 2 直齿圆柱齿轮的几何计算 毫米

已知参数：模数 m ，齿形角 α ，齿高系数 h_a^* ，齿顶系数 c^*

小齿轮齿数 z_1 大齿轮齿数 z_2 ，角度变位中心距 a'

序号	计 算 项 目	非 变 位 齿 轮	高 度 变 位 齿 轮	角 度 变 位 齿 轮
1	非变位及高度变位中心距 a	$a = \frac{z_1 + z_2}{2} m$		
2	中心距变动系数 y	$y = \frac{a' - a}{m}$		
3	啮 合 角 α'	$\cos \alpha' = \frac{a}{a'} \cos \alpha$		

(续)

序号	计 算 项 目	非变位齿轮	高度变位齿轮	角 度 变 位 齿 轮
4	总变位系数 x_z	~	$x_z = 0$ $x_1 = -x_2$	$x_z = \frac{z_1 + z_2}{2 \operatorname{tg} \alpha (\operatorname{inv} \alpha' - \operatorname{inv} \alpha)}$ 按需要,将 x_z 分为 x_1 和 x_2
5	反变位系数 Δy			$\Delta y = x_z - y$
6	齿 顶 高 h_a	$h_a = h_a^* m$	$h_a = (h_a^* + x) m$	$h_a = (h_a^* + x - \Delta y) m$
7	齿 根 高 h_f	$h_f = (h_a^* + c^*) m$	$h_f = (h_a^* - x + c^*) m$	
8	全齿高 h		$h = h_a + h_f$	
9	分度圆直径 d		$d = mz$	
10	节 圆 直 径 d'	$d' = d$		$d'_1 = \frac{2a'z_1}{z_1 + z_2}, d'_2 = 2a' - d'_1$
11	齿顶圆直径 d_a		$d_a = d + 2h_a$	
12	齿根圆直径 d_f		$d_f = d - 2h_f$	
13	基 圆 直 径 d_b		$d_b = d \cos \alpha$	
14	周 节 p		$p = \pi m$	
15	基 节 p_b		$p_b = \pi m \cos \alpha$	
16	分度圆弧齿厚 $\widehat{S}$	$\widehat{S} = \frac{\pi m}{2}$	$\widehat{S} = \frac{\pi m}{2} + 2x m \operatorname{tg} \alpha$	

注：大小齿轮按以上公式分别计算。

表 3 斜齿（人字齿）圆柱齿轮的几何计算 毫米

已知参数：法面模数 m_n ，法面齿形角 α_n ，法面齿高系数 h_{an}^* ，
法面齿顶隙系数 c_n^* ，小轮齿数 z_1 ，大轮齿数 z_2 ，
分度圆螺旋角 β ，角度变位中心距 a'

序号	计 算 项 目	非变位斜齿轮	高度变位斜齿轮	角 度 变 位 斜 齿 轮
1	端 面 模 数 m_t		$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$	
2	端面齿形角 α_t		$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$	
3	端面齿高系数 h_{at}^*		$h_{at}^* = h_{an}^* \cos \beta$	

(续)

序号	计 算 项 目	非变位斜齿轮	高度变位斜齿轮	角 度 变 位 斜 齿 轮
4	端面齿顶隙系数 c_t^*		$c_t^* = c_n^* \cos \beta$	
5	非变位和高度变位中心距 a		$a = \frac{z_1 + z_2}{2} m_t$	
6	端面中心距变动系数 y_t	—		$y_t = \frac{a' - a}{m_t}$
7	端面啮合角 α_t'	$\alpha_t' = \alpha_t$		$\cos \alpha_t' = \frac{a}{a'} \cos \alpha_t$ $\alpha_t' =$
8	总变位系数 $x_{t\Sigma}$	—	$x_{t\Sigma} = 0$ $x_{t1} = -x_{t2}$	$x_{t\Sigma} = \frac{z_1 + z_2}{2 \operatorname{tg} \alpha_t} \times (\operatorname{inv} \alpha_t' - \operatorname{inv} \alpha_t)$ 按需要将 $x_{t\Sigma}$ 分配为 x_{t1} 和 x_{t2}
9	反变位系数 Δy_t			$\Delta y_t = x_{t\Sigma} - y_t$
10	齿 顶 高 h_a	$h_a = h_{at}^* m_t$ $= h_{an}^* m_n$	$h_a = (h_{at}^* + x_t) m_t$	$h_a = (h_{at}^* + x_t - \Delta y_t) m_t$
11	齿 根 高 h_f	$h_f = (h_{at}^* + c_t^*) m_t$ $= (h_{an}^* + c_n^*) m_n$	$h_f = (h_{at}^* - x_t + c_t^*) m_t$	
12	全 齿 高 h		$h = h_a + h_f$	
13	分度圆直径 d		$d = z m_t$	
14	节 圆 直 径 d'	$d' = d$		$d_1' = \frac{2a' z'}{z_1 + z_2}$ $d_2' = 2a' - d_1'$
15	齿顶圆直径 d_a		$d_a = d + 2h_a$	
16	齿根圆直径 d_f		$d_f = d - 2h_f$	
17	基 圆 直 径 d_b		$d_b = d \cos \alpha_t$	
18	法 面 周 节 p_n		$p_n = \pi m_n$	
19	端 面 周 节 p_t		$p_t = \pi m_t$	
20	端 面 基 节 p_{bt}		$p_{bt} = p_t \cos \alpha_t$	
21	端面分度圆弧齿厚 $\widehat{S}_t$	$\widehat{S}_t = \frac{\pi m_t}{2}$	$\widehat{S}_t = \frac{\pi m_t}{2} + 2x_t m_t \operatorname{tg} \alpha_t$	

注：大小齿数按以上公式分别计算。

二 渐开线圆柱齿轮加工工艺的基本概念

普通圆柱齿轮的滚齿加工工艺基本上有二种类型。一种是用调质钢制造的加工工艺，另一种是用渗碳钢或淬火钢制造的加工工艺。用其他材料制造的齿轮可以参考这二种工艺方法。

用调质钢制造的基本工艺程序是：

- 1) 定位基准的加工
- 2) 齿坯粗加工
- 3) 热处理——调质
- 4) 齿坯精加工
- 5) 滚齿
- 6) 齿端倒角
- 7) 齿形光整加工(按工艺要求而定)

用渗碳钢或淬火钢制造的基本工艺程序是：

- 1) 定位基准的加工
- 2) 齿坯加工(定位基准留有余量)
- 3) 滚齿(留有工艺余量)
- 4) 齿端倒角
- 5) 热处理——渗碳淬火或淬火
- 6) 修整定位基准
- 7) 齿形光整加工

对以上的工艺程序作简单的说明：

1. 齿坯的热处理 齿坯如系锻件，加工前应进行预先热处理(退火或正火)，以改善切削性能，消除内应力，减少最后热处理的变形。如系铸件，则应进行时效处理。

2. 定位基准的加工和修整 滚切圆柱齿轮时，通常以内孔

(或花键孔) 和端面作为定位基准。有时, 也以齿轮的齿顶圆和端面作为定位基准, 如大型齿轮和内孔留有余量的小齿轮。对于轴类齿轮, 则以轴的两端顶尖孔作为定位基准。

经过渗碳淬火或整体淬火的齿轮, 一般都有不同程度的变形, 因此, 在齿轮光整加工(磨、珩齿)前, 用磨(车)削方法来修整定位基准。修整定位基准时, 通常按分度圆找正, 修磨内孔、端面或顶尖孔。高频淬火齿轮的变形较少, 必要时也要修整定位基准。

3. 齿坯精加工 齿坯精加工后, 其定位基准(内孔、外径及端面)必须符合工艺要求, 尤其是端面要保证对轴线的垂直度, 否则会影响滚齿的质量。

表 4 滚齿加工余量 (Δ) 表 毫米

齿形加工的 下一道工序	模 数	齿 轮 直 径				
		≤100	>100~200	>200~500	>500 ~1000	>1000
精滚, 精插	≤ 5	0.5~0.7	0.6~0.8	0.8~1.0	0.8~1.0	1.0~1.2
	> 5~10	0.6~0.8	0.7~1.0	0.9~1.4	1.0~1.6	1.2~1.9
	>10~15	1.0~1.5	1.2~1.6	1.2~1.8	1.4~2.0	1.5~2.2
	>15	1.2~1.8	1.4~2.0	1.5~2.2	1.8~2.5	2.0~3.0
剃 齿	≤ 3	0.06~0.10	0.08~0.12	0.10~0.15	—	—
	> 3 ~ 5	0.08~0.12	0.10~0.15	0.12~0.18	0.12~0.18	0.15~0.20
	> 5 ~ 7	0.10~0.14	0.12~0.16	0.15~0.18	0.15~0.18	0.16~0.20
	> 7 ~10	0.12~0.16	0.15~0.18	0.18~0.20	0.18~0.22	0.18~0.22
磨 齿	≤ 3	0.15~0.20	0.15~0.25	0.18~0.30	—	—
	> 3 ~ 5	0.18~0.25	0.18~0.30	0.20~0.35	0.25~0.45	0.30~0.50
	> 5 ~10	0.25~0.40	0.30~0.50	0.35~0.60	0.40~0.70	0.50~0.80
	>10~20	0.35~0.50	0.40~0.60	0.50~0.70	0.50~0.70	0.60~0.80

注: 1. 表中小的数值, 用于直径小的齿轮, 大的数值用于直径大的;
2. 对直齿轮, 剃齿余量按表中数值可减少10~25%, 对斜齿轮应增加10~15%;
3. 渗碳淬火齿轮, 磨齿的加工余量应增加80~100%。