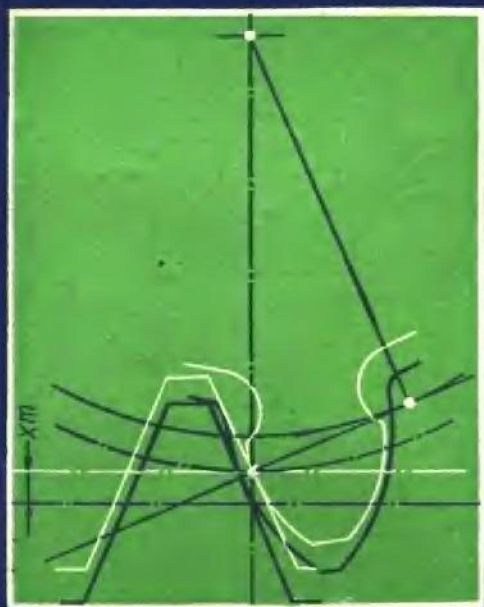


高等学校教学参考书

渐开线齿轮变位系数的选择

朱景梓 张展 张焕武 沈丕然 张国瑞 编

朱景梓 主编



人民教育出版社

1964年版《变位齿轮移距系数的选择》，主要是叙述滚切外啮合渐开线圆柱齿轮利用封闭图选择变位系数的方法。在修订本中叙述了渐开线变位齿轮的原理和选择变位系数的方法，并对各种选择变位系数的方法作了比较。重点介绍用封闭图选择变位系数的方法，包括用滚刀加工渐开线直齿与斜齿圆柱齿轮、直齿圆锥齿轮和用插齿刀插制渐开线内、外圆柱齿轮变位系数的选择，对近年来研究日益增多的渐开线少齿差齿轮副变位系数的选择，也作了专门叙述。本书还附有相当数量的封闭图可供读者设计时选用，并附有大量例题以供参考。

本书可用作高等工业学校机械制造类专业机械零件课程齿轮部分的教学参考书。对于从事齿轮设计和制造的工程技术人员亦可参考。

高等学校教学参考书

渐开线齿轮变位系数的选择

(修订本)

朱景梓 张 展 编
张焕武 沈丕然 张国瑞
朱景梓 主编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张15.25 字数 360,000

1964年3月第1版

1982年1月第2版 1982年11月第4次印刷

印数 16,601—25,600

书号 15012·0391 定价 1.60 元

前 言

随着机械工业的发展,对齿轮传动装置提出了高速、重载、体积小、重量轻、噪声小、效率高、寿命长等一系列要求。渐开线标准齿轮传动有很大的局限性,已不能完全满足上述要求。因此,渐开线变位齿轮得到了愈来愈广泛地应用。当前,如何合理地设计与制造变位齿轮是齿轮传动方面的重要问题之一,而如何合理地选择变位系数是变位齿轮设计的关键问题。如果变位系数选择得合理,可显著地提高齿轮传动的性能,假如选择不当,则效果不佳,有时甚至降低传动性能。

关于选择变位系数,有些国家有自己的选择方法,也制订了一些标准和制度。在我国,由于各行各业的不同特点,应用变位齿轮的情况和选择变位系数的方法也各不相同。近年来,用“封闭图”法选择变位系数得到了普遍的重视和推广。

本书讨论渐开线齿轮变位系数的选择,其中包括用标准齿条型刀具滚切渐开线圆柱齿轮,插制内、外圆柱齿轮等的变位系数选择。本书推荐用“封闭图”选择变位系数,这种方法直观、醒目、方便,能综合地考虑齿轮传动的各种质量要求及性能指标。不仅能根据齿轮传动的各种限制条件及齿轮传动的不同质量指标的要求,准确而迅速地选择出最合理的变位系数(x_1 、 x_2 或 x_s),而且对于给定的变位系数(x_1 、 x_2 或 x_s)也能十分简便地校核其适用性能。

利用“封闭图”选择变位系数时,要求具备大量的封闭图。本书第二章中载有滚切加工外啮合圆柱齿轮的封闭图235幅,是实际中最常用的,这些图的齿数范围从8齿至190齿;第三章中载有用

插齿刀切制外啮合圆柱齿轮的封闭图 16 幅;第五章中载有内啮合变位圆柱齿轮的封闭图 21 幅;第六章中载有少齿差内啮合变位齿轮的封闭图 12 幅。

本书是在朱景梓教授 1964 年编写的《变位齿轮移距系数的选择》一书的基础上加以充实和扩展、并加入我们近期在实际工作中的研究成果而编写成的。书名相应地改为《渐开线齿轮变位系数的选择》，本书由朱景梓教授担任主编，参加编写的有张展、张焕武、张国瑞、沈丕然等同志。全书最后由张展同志统一整理。

本书经董学珠同志审阅，提出了不少宝贵意见，在此致以谢意。

本书是为了适应教学和设计、制造的迫切需要而编写的，由于掌握资料不多，实践不够，水平所限，其中缺点和错误在所难免，敬希各位读者批评指正。

编 者

1981 年 12 月

主要符号

a ——中心距, 标准齿轮、高度变位齿轮中心距 (mm)

a_w ——实际工作中心距, 角度变位齿轮中心距

a_{w0} ——用插齿刀切齿时的中心距

a_{w01} ——用插齿刀切制小齿轮时的切齿中心距

a_{w02} ——用插齿刀切制大齿轮时的切齿中心距

b ——齿宽 (mm)

b_w ——工作齿宽

c ——顶隙 (mm)

c^* ——顶隙系数

c_n^* ——法面的顶隙系数

c_i^* ——端面的顶隙系数

d ——直径, 分度圆直径 (mm)

d_a ——齿顶圆直径

d_{a0} ——插齿刀顶圆直径

d_{a1} ——小齿轮齿顶圆直径

d_{a2} ——大齿轮齿顶圆直径

d_b ——基圆直径

d_{b1} ——小齿轮基圆直径

d_{b2} ——大齿轮基圆直径

d_f ——齿根圆直径

d_{f1} ——小齿轮齿根圆直径

d_{f2} ——大齿轮齿根圆直径

d_r ——任意圆直径

d_w ——节圆直径

d_{w1} ——小齿轮节圆直径

d_{w2} ——大齿轮节圆直径

d_1 ——小齿轮分度圆直径

d_2 ——大齿轮分度圆直径
 d_0 ——插齿刀分度圆直径
 h ——齿高(mm)
 h_a ——齿顶高
 h_{a1} ——小齿轮齿顶高
 h_{a2} ——大齿轮齿顶高
 h_a^* ——齿顶高系数
 h_{an}^* ——法向的齿顶高系数
 h_{at}^* ——端面的齿顶高系数
 h_{a0}^* ——插齿刀的齿顶高系数
 $\bar{h}$ ——分度圆齿厚弦齿高
 $\bar{h}_c$ ——固定弦齿高
 $\bar{h}_{cn}$ ——法面固定弦齿高
 h_f ——齿根高
 h_{f1} ——小齿轮齿根高
 h_{f2} ——大齿轮齿根高
 h_w ——工作齿高
 h_1 ——小齿轮齿高
 h_2 ——大齿轮齿高
 k ——公法线跨测齿数
 $\text{inv}\alpha$ ——渐开线函数
 M ——圆棒(球)的跨棒距
 m ——模数(mm)
 m_n ——法向模数
 m_t ——端面模数
 n ——公法线跨测齿沟数
 p ——齿距、周节(mm)
 p_b ——基圆齿距
 p_{bn} ——法面的基圆齿距
 p_{bt} ——端面的基圆齿距
 p_n ——法面齿距
 p_t ——端面齿距

r ——半径, 分度圆半径(mm)

s ——齿厚, 分度圆齿厚

$\bar{s}$ ——分度圆弦齿厚

s_a ——齿顶圆齿厚

$\bar{s}_a$ ——齿顶圆齿厚系数 $\left(=\frac{s_a}{m}\right)$

s_{at} ——端面的齿顶圆齿厚

$\bar{s}_c$ ——固定弦齿厚

$\bar{s}_{cn}$ ——法面的固定弦齿厚

s_f ——齿根圆齿厚

s_{ft} ——端面的齿根圆齿厚

s_n ——法面的分度圆齿厚

s_r ——任意圆齿厚

s_{rn} ——法面的任意圆齿厚

s_{rt} ——端面的任意圆齿厚

s_t ——端面分度圆齿厚

u ——齿数比

v ——速度, 分度圆的圆周速度(m/s)

W ——公法线长度(mm)

W^* —— $m_n=1$ 时的公法线长度

W_n ——法面的公法线长度

x ——变位系数

x_n ——法面变位系数

$x_{n\Sigma}$ ——法面上大、小齿轮变位系数和

x_Σ ——变位系数和($x_\Sigma=x_2\pm x_1$)

x_{n1} ——小齿轮的法面变位系数

x_{n2} ——大齿轮的法面变位系数

x_t ——端面变位系数

x_0 ——插齿刀变位系数

x_{0n} ——插齿刀法面变位系数

x_1 ——小齿轮变位系数

x_2 ——大齿轮变位系数

- x_{τ} ——切向变位系数
- y ——中心距变动系数
- y_n ——法面的中心距变动系数
- y_t ——端面的中心距变动系数
- y_{01} ——用插齿刀切制小齿轮时的中心距变动系数
- y_{t01} ——用插齿刀切制小齿轮时端面的中心距变动系数
- y_{02} ——用插齿刀切制大齿轮时的中心距变动系数
- y_{t02} ——用插齿刀切制大齿轮时端面的中心距变动系数
- y_F ——齿形系数
- Δy ——齿顶高变动系数
- z ——齿数
- $z_{\min}$ ——不产生根切的最少齿数
- z_1 ——小齿轮齿数
- z_2 ——大齿轮齿数
- z_m ——平均齿数
- z_0 ——插齿刀齿数
- z_v ——当量齿数
- z_{v1} ——小齿轮的当量齿数
- z_{v2} ——大齿轮的当量齿数
- z_{vm} ——平均当量齿数
- z_{Σ} ——大、小齿轮的齿数和 ($z_{\Sigma} = z_2 \pm z_1$)
- $z_{1\min}$ ——小齿轮的最少齿数
- $z_{2\min}$ ——内齿轮的最少齿数
- α ——齿形角, 分度圆压力角, 原始齿条的齿形角
- α_a ——齿顶圆压力角
- α_{at1} ——小齿轮端面上齿顶圆压力角
- α_{at2} ——大齿轮端面上齿顶圆压力角
- α_{a1} ——小齿轮齿顶圆压力角
- α_{a2} ——大齿轮齿顶圆压力角
- α_M ——圆棒(球)中心所在圆的压力角
- α_n ——法面压力角
- α_r ——任意圆压力角

α_{r_i} ——任意圆上端面压力角
 α_i ——端面压力角
 α_w ——啮合角
 α_{w0} ——用插齿刀切齿时的啮合角
 α_{w01} ——用插齿刀切制小齿轮时的啮合角
 α_{tw01} ——用插齿刀切制小齿轮时的端面啮合角
 α_{w02} ——用插齿刀切制大齿轮时的啮合角
 α_{tw02} ——用插齿刀切制大齿轮时的端面啮合角
 β ——螺旋角(齿倾角), 分度圆螺旋角
 β_b ——基圆螺旋角
 β_1 ——小齿轮螺旋角
 β_2 ——大齿轮螺旋角
 Σ ——轴交角
 δ_w ——节锥角
 δ ——分度圆锥角
 δ_a ——顶锥角
 δ_f ——根锥角
 θ_a ——齿顶角
 θ_f ——齿根角
 Δh_a^* ——齿顶高系数的减小量
 Δh_{an}^* ——法面的齿顶高系数减小量
 ΔW^* ——变位齿轮的公法线长度附加量($m_n=1$ 时)
 δ_{a2} ——内齿轮齿顶圆齿中心角之半
 ε ——重合度
 ε_a ——端面重合度
 ε_β ——纵向重合度
 ε_γ ——总重合度
 η ——滑动系数
 $\eta'_{\max}$ ——小齿轮齿根处的最大滑动系数
 $\eta'_{\max}$ ——大齿轮齿根处的最大滑动系数
 φ ——齿宽系数
 φ_a ——对中心距的齿宽系数

φ_d ——对分度圆直径的齿宽系数

φ_m ——对模数的齿宽系数

ψ ——比压系数

$\psi_{1\max}$ ——小齿轮齿根处的最大几何压力系数

$\psi_{2\max}$ ——大齿轮齿根处的最大几何压力系数

ψ_z ——功率损耗系数

$\Delta\psi$ ——径向间隙的变化系数

目 录

前言	i
主要符号	iii
第一章 渐开线齿轮变位原理	1
§ 1-1 渐开线变位齿轮	1
§ 1-2 变位齿轮的齿厚和齿根高	2
§ 1-3 变位齿轮的啮合特点	4
§ 1-4 变位齿轮的分类及特点	7
§ 1-5 渐开线齿廓的加工原理	10
第二章 滚切外啮合变位圆柱齿轮	17
§ 2-1 渐开线齿轮变位系数选择方法概论	17
§ 2-2 选择变位系数的封闭图	34
§ 2-3 选择变位系数封闭图的限制条件及限制曲线	39
§ 2-4 选择变位系数封闭图中的质量指标曲线	57
§ 2-5 选择变位系数前应考虑的若干问题及准则	70
§ 2-6 利用封闭图选择与校核变位系数的方法	74
§ 2-7 关于封闭图形状的某些变态问题	82
§ 2-8 变位直齿圆柱齿轮传动的几何计算	88
§ 2-9 关于径向变位齿轮的计算例题	92
§ 2-10 选择变位系数的一些表格及封闭图	101
第三章 插削外啮合变位圆柱齿轮	281
§ 3-1 插齿刀加工齿轮的几何特点	281
§ 3-2 利用封闭图选择变位系数	286
§ 3-3 用不同切齿方法和不同计算方式时封闭图的比较	295
§ 3-4 变位系数的校核	297
§ 3-5 例题	300
§ 3-6 插齿刀加工外啮合齿轮封闭图	307

第四章	直齿圆锥齿轮和斜齿圆柱齿轮的变位	323
§ 4-1	直齿圆锥齿轮的变位及变位系数的选择.....	323
§ 4-2	变位直齿圆锥齿轮传动几何尺寸的计算.....	332
§ 4-3	直齿圆锥齿轮的切齿原理.....	336
§ 4-4	斜齿圆柱齿轮变位特点及变位系数的选择.....	338
§ 4-5	变位斜齿圆柱齿轮传动几何尺寸的计算.....	341
§ 4-6	计算实例.....	345
第五章	内啮合变位圆柱齿轮	349
§ 5-1	内啮合变位圆柱齿轮传动原理.....	349
§ 5-2	内啮合变位圆柱齿轮变位系数的选择.....	353
§ 5-3	内啮合变位圆柱齿轮几何尺寸和测量参数的计算.....	382
§ 5-4	插齿刀加工内啮合齿轮封闭图.....	393
第六章	少齿差内齿轮副变位系数的选择	425
§ 6-1	试算法.....	425
§ 6-2	作封闭图法.....	428
§ 6-3	查几何参数表法.....	440
§ 6-4	少齿差内啮合齿轮传动的滑动系数.....	463
参考文献		470

第一章 渐开线齿轮变位原理

§ 1-1 渐开线变位齿轮

用滚刀或齿条插刀加工渐开线标准齿轮：当切削深度还没有达到标准值时，则齿厚大于标准齿轮；当切削深度超过标准值时，则齿厚小于标准齿轮。这种吃刀量大于或小于标准齿轮的齿轮，广义地说都是变位齿轮。切齿刀相对于加工标准齿轮的位置与齿坯中心远离的，称为正变位；相反，切齿刀相对于加工标准齿轮的位置向齿坯中心移近的，称为负变位。由于切齿时切齿刀具位置的变化，使得齿轮的齿形不再位于标准齿轮齿形的渐开线段上，因而齿轮的齿形、齿厚、齿高和过渡曲线的位置等发生变化。图 1-1 表示了不同变位时的齿形。图 1-1, a 是标准直齿轮一个轮齿的形

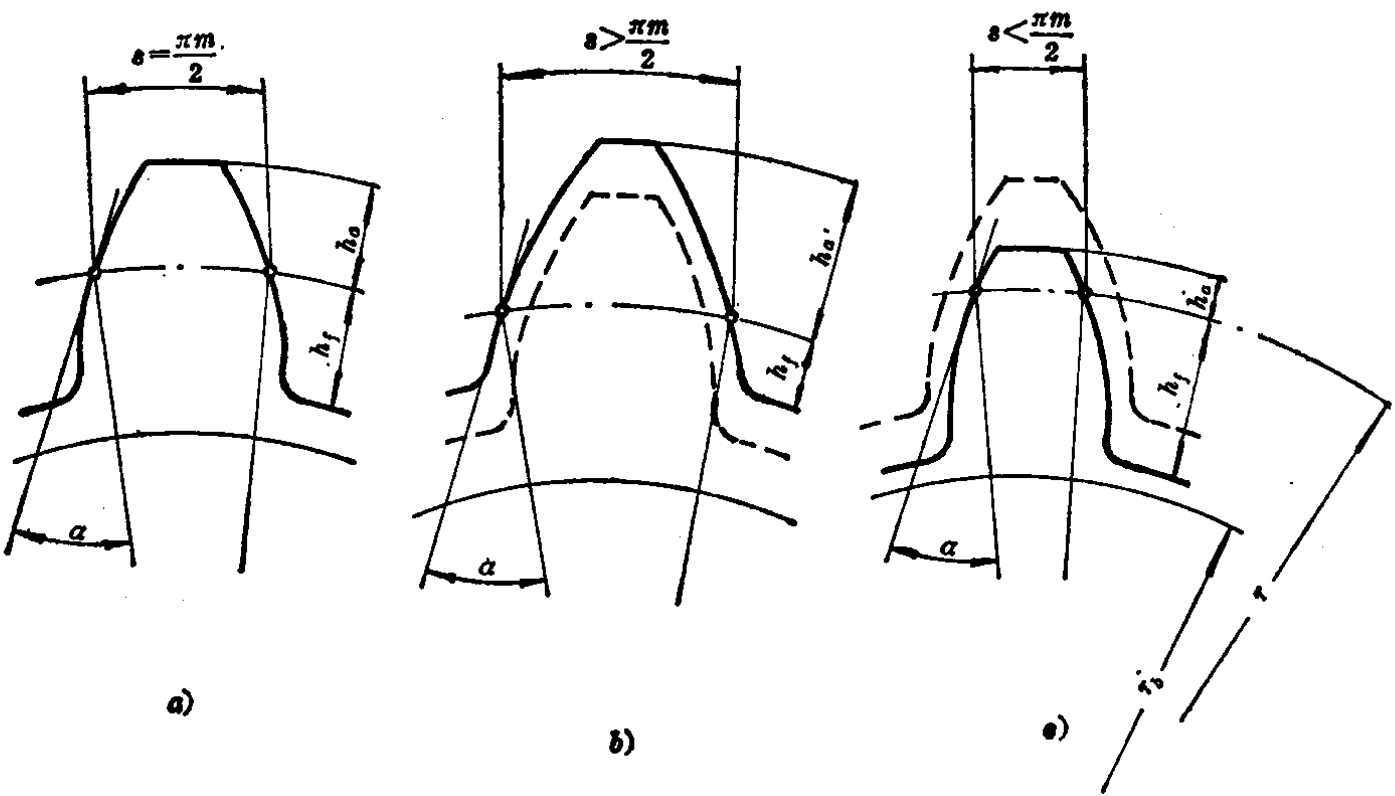


图 1-1

状尺寸。

正变位时(图 1-1*b*): 渐开线段距离基圆较远, 齿廓有较大的曲率半径, 分度圆齿厚增大, 齿顶高也增大, 而齿根高减小(即顶圆、根圆的直径都增大)。

负变位时(图 1-1*c*): 渐开线段距离基圆较近, 齿廓有较小的曲率半径, 分度圆齿厚减小, 齿顶高也减小, 而齿根高增大(即顶圆和根圆的直径都减小)。

§ 1-2 变位齿轮的齿厚和齿根高

图 1-2*a* 是用齿条插刀加工的外啮合标准齿轮的齿形和尺寸, 这时齿条中线与齿轮分度圆相切并作纯滚动。由于齿条刀中线上齿厚和齿槽相等($\frac{\pi m}{2}$), 所以齿轮分度圆的齿槽和齿厚也相等

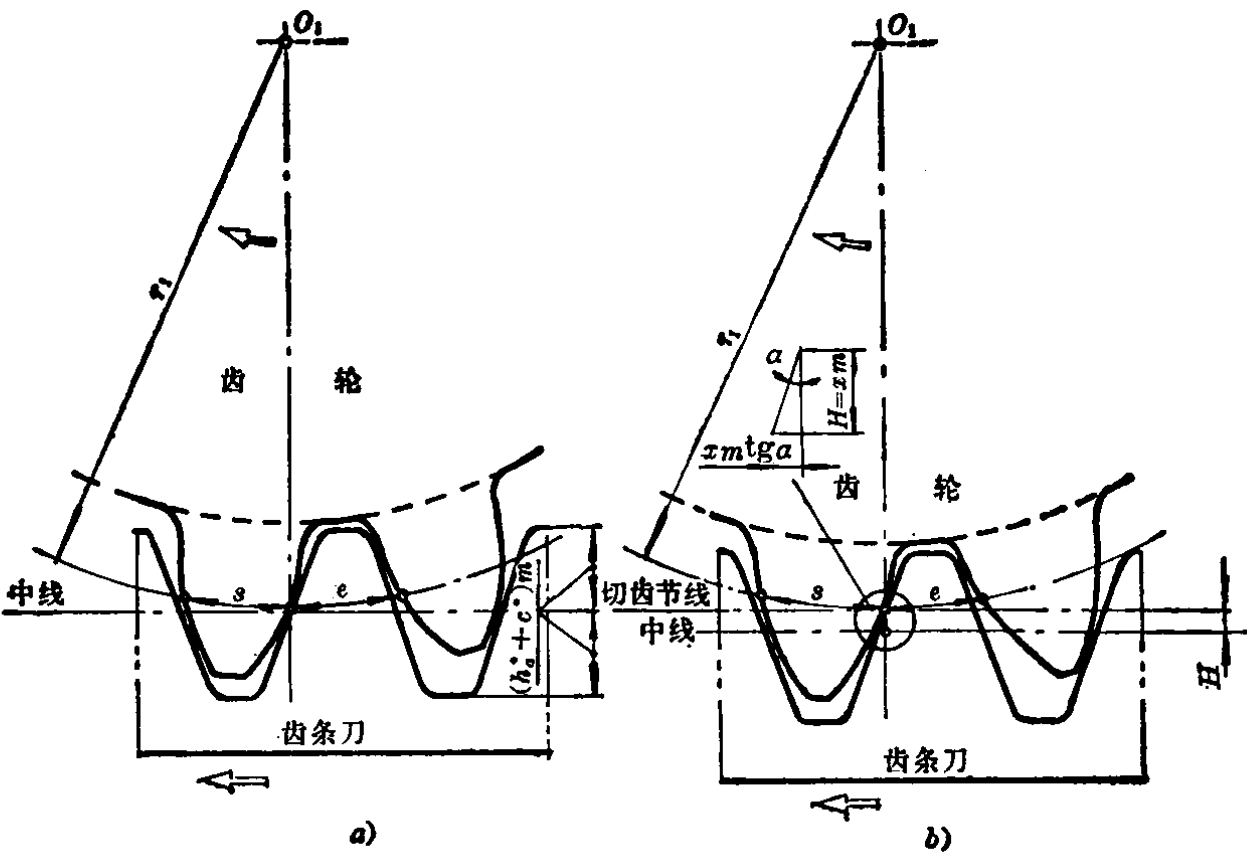


图 1-2

$\left(\frac{\pi m}{2}\right)$ 。由于齿条插刀的齿顶高为 $(h_a^* + c^*)m$ ，所以齿轮的齿根高也与它相等，为 $(h_a^* + c^*)m$ 。

图 1-2 b 是用齿条插刀加工外啮合正变位齿轮的轮齿形状和尺寸。此时，齿条中线远离齿坯中心移动了一个距离 H ，这个距离用齿轮的模数 m 和变位系数 x 的乘积表示，即

$$H = xm$$

正变位时，移距 H 和变位系数 x 都用正值表示。此时齿轮的分度圆和平行于齿条中线的另一条直线(切齿节线)相切并作纯滚动，切齿节线上的齿槽比中线上的齿槽大 $2H \tan \alpha = 2xm \tan \alpha$ ，所以，根据纯滚动原理，反映在正变位齿轮上的分度圆齿厚的增量也是 $2xm \tan \alpha$ 。但须注意，刀具齿厚的减薄量是直线长度，而齿轮分度圆齿厚的增量是圆弧长度。正变位齿轮的分度圆齿厚为

$$s = \frac{\pi m}{2} + 2xm \tan \alpha = m \left(\frac{\pi}{2} + 2x \tan \alpha \right) \quad (1-1)$$

齿条在节线下面的齿顶高减小了 xm ，反映在正变位齿轮上的齿根高就减小了，于是

$$h_f = m(h_a^* + c^* - x) \quad (1-2)$$

因而正变位齿轮的根圆直径就增大了，

$$\begin{aligned} d_f &= d - 2h_f = mz - 2m(h_a^* + c^* - x) \\ &= m(z - 2h_a^* - 2c^* + 2x) \end{aligned} \quad (1-3)$$

当负变位时，是将齿条中线向齿坯中心移近一个距离 H ，这个距离用负值表示，因而变位系数 x 也是负值。负变位齿轮的 s 、 h_f 、 d_f 仍可用上述的三个公式计算，但必须注意式中的 x 为负值。所以，变位系数 x 是代数值，正变位时 x 为正值，负变位时 x 为负值。负变位齿轮的分度圆齿厚减薄了，齿根高加大了，而齿根圆直径减小了。

滚刀切齿加工和齿条型插齿刀切齿加工的包络原理相同，因

而，以上用齿条型插刀所讨论的变位齿轮的问题和推导出来的计算公式，也完全适用于滚齿加工的情况。

§ 1-3 变位齿轮的啮合特点

一、中心距和中心距变动系数

图 1-3, a 是标准外啮合齿轮副，中心距 a 为两齿轮分度圆半径之和，即

$$a=r_1+r_2=\frac{m}{2}(z_1+z_2) \tag{1-4}$$

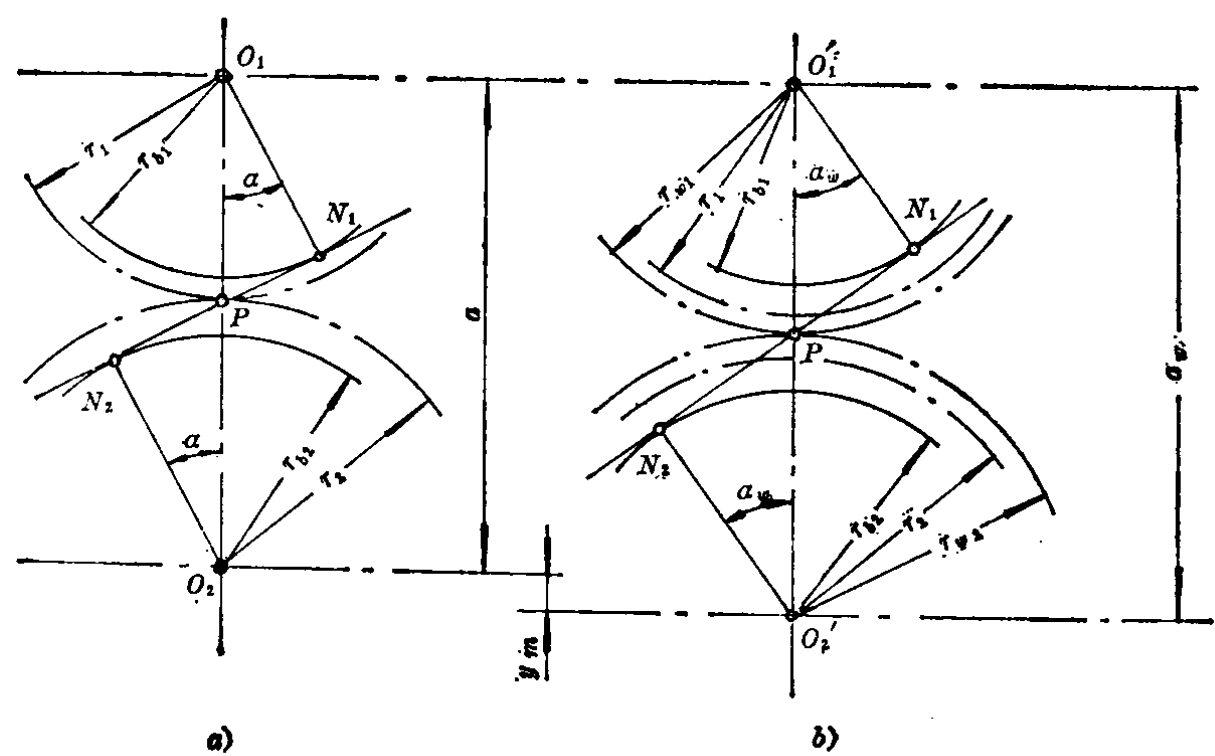


图 1-3

图 1-3, b 为变位外啮合齿轮副，其实际工作中心距 a_w 为两齿轮节圆半径之和，即

$$a_w=O_1'O_2'$$

$$O_1'P=\frac{O_1'N_1}{\cos\alpha_w}=\frac{r_{b1}}{\cos\alpha_w}=\frac{mz_1\cos\alpha}{2\cos\alpha_w}$$

$$\begin{aligned}
O_2'P &= \frac{O_2'N_2}{\cos\alpha_w} = \frac{r_{b2}}{\cos\alpha_w} = \frac{mz_2\cos\alpha}{2\cos\alpha_w} \\
O_1'O_2' &= O_1'P + O_2'P = \frac{m(z_1+z_2)\cos\alpha}{2\cos\alpha_w} \\
\alpha_w &= \alpha \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w} \tag{1-5}
\end{aligned}$$

式(1-5)中 α 和 α_w 的关系, 对于变位齿轮的啮合, 是一个非常重要的关系。当 $\alpha_w = \alpha$ 时, $\alpha_w = \alpha$, 是标准齿轮副或是高度变位齿轮副。对于啮合角 α_w 不等于原始齿形角 α 的变位形式, 统称为角度变位。

标准中心距 a 和实际工作中心距 a_w 的差值, 用模数 m 的倍数 ym 表示, y 称为中心距变动系数。

$$ym = a_w - a$$

将式(1-5)代入上式, 经整理则得

$$y = \frac{z_1 + z_2}{2} \left(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w} - 1 \right) \tag{1-6}$$

二、无侧隙啮合方程式

当两个齿轮的中心距由标准值 a 改变为 a_w 之后, 为了使齿轮副在理论上仍无侧隙(实际使用的齿轮副都有一定的齿侧间隙, 是靠制造时所规定的公差来保证的, 而在设计时都根据无侧隙计算), 就应当采用变位齿轮, 使其齿厚改变, 而齿厚的改变与变位系数 x 有关。设齿轮 1 的变位系数为 x_1 , 齿轮 2 的变位系数为 x_2 , 变位系数和则为 $x_\Sigma = x_1 + x_2$ 。

这里所讨论的问题是: 当一对齿轮的中心距决定后, 它们的变位系数和 x_Σ 应为多少才可保证无侧隙传动。

由图 1-4 可以看出, 基圆齿厚所对中心角的一半等于 $\frac{s_b}{2r_b}$ 。分度圆齿厚所对中心角的一半等于 $\frac{s}{2r}$ 。两角度之间的关系