

齿轮的測量方法

B.Π.費拉柯、A.B.鮑特賽依 著

國防工業出版社

齒輪的測量方法

В. И. 費拉柯、А. В. 德特賽依 著

陳 敏 民 譯

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

一九五七年七月十八日

國防工業出版社

本書簡要地敘述了齒輪啮合的基本原理，圓柱齒輪與傘齒輪的基本要素(幾何參數)的檢驗方法的原理。書中對各種檢驗方法都列舉有必要的計算公式，對各種檢驗方法的優缺點作了比較，對在不同的條件下如何選擇檢驗方法的問題也作了極其精練的闡述。

本書是蘇聯莫斯科航空學院“航空發動機製造工藝學”課程的教學參考書。它可供一般高等及中等工業學校機器製造專業的学生以及機器製造工廠的技術人員參考。

В.П.Фираго и А.В.Ползен

МЕТОДЫ

ИЗМЕРЕНИЯ ШЕСТЕРЕН

Государственное

Издательство Оборонной Промышленности

Москва 1953

本書系根據蘇聯國防工業出版社

一九五三年俄文版譯出

齒輪的測量方法

[蘇]В.П.費拉柯、А.В.鮑特賽依 著

陳啓民 譯

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074號

北京新中印刷廠印刷 新华書店發行

*

850×1168 1/32 · 1 $\frac{11}{16}$ 印張 · 21,000字

一九五七年五月第一版

一九五七年五月北京第一次印刷

印數: 1—4,900冊 定價: (10)0.32元

序 言

本書的目的，是在于使我們对航空工业所采用的齿輪的主要几何参数的技术檢驗方法的实質得到一般的概念。

为此，在書中簡要地叙述了直齿与斜齿的圓柱齿輪以及直齿的傘齿輪的檢驗方法。

在叙述齿輪的檢驗方法之前，在緒論中对齿輪的質量檢驗特点和漸开綫的嚙合原理作了必要的簡短的介绍。

在本書中对齿輪的技术檢驗設備的工作原理也作了叙述。書中未涉及檢驗儀器的构造，因为对构造发生兴趣的主要是儀器制造者們。

本書是“航空发动机工艺学”課程的数学参考書。

目 次

序 言

緒 論	1
§ 1. 齒輪質量檢驗的一般特点	1
§ 2. 漸開綫的主要性質、定义与符号	1
§ 3. 修正的簡述	8
§ 4. 齒輪的檢驗要素	14

第 一 章 圓柱齒輪的檢驗

§ 1. 齒厚的檢驗	15
§ 2. 齒对配合表面的同心度的檢驗	25
§ 3. 齒向的檢驗	26
§ 4. 齒距的檢驗	27
§ 5. 齒型的檢驗	30
§ 6. 螺旋齒輪輪齒的螺旋角檢驗	34
§ 7. 綜合檢驗	36

第 二 章 傘齒輪的檢驗

§ 1. 總論	41
§ 2. 齒厚的檢驗	41
§ 3. 齒的同心度檢驗	43
§ 4. 齒的直綫度檢驗	43
§ 5. 齒型檢驗	45
§ 6. 分度錐角檢驗	46
§ 7. 分度錐頂至齒輪支承端面的距離的檢驗	46
§ 8. 綜合檢驗	48
参考文献	50

緒 論

§ 1. 齒輪質量檢驗的一般特点

在航空发动机的构造中广泛采用齒輪傳动，因而使得齒輪的生产在航空发动机工厂的机械車間中成为占首要地位的生产之一。

航空发动机零件的質量要求很高，这一点使我們在生产这些零件时需要进行仔細的檢驗。在制造齒輪时所作的質量檢驗有着特別重大的意义，这不单是由于零件本身的重要性，而且还由于用来制造齒輪的机器設備的复杂性。

大家都知道，在生产中質量的技术檢驗的任务不只是限于将作好的零件分成合格的与不合格的零件。質量技术檢驗的最重要的任务是在于随时地檢查机器設備、工具、机床調整以及檢查第一个零件等等，以防止廢品的产生。

在制造齒輪时，保証防止产生廢品的技术檢驗的組織之所以需要，是因为用来檢驗齒輪的各种仪器中，大多数都是比較适合于实验室的檢驗用的，而不适于作大量的檢驗用。因此，在制造齒輪时，檢驗工作的重点必需放在机器設備的調整、工具、第一个零件等項的檢驗，至于对一批零件中的全部零件所作的直接的檢驗，則只包括齒輪檢驗中最重要和最容易檢驗的那些部分。

本書对齒輪質量技术檢驗的設備与組織不作全面的介紹，而只是叙述測量作好的齒輪的一些特殊的方法。

采用这些方法去檢驗制造的一批齒輪中的第一个零件，将是檢驗机器設備的准确度和防止产生廢品的最重要的办法之一。

§ 2. 漸开綫的主要性質，定义与符号

漸开綫是由沿圓周在无滑动的情況下滚动的直綫上的一点所繪成的一曲綫。这一圓周称为基圓，以 r_0 表示它的直徑。

在图 1 中所示的渐开线是由一根直线上的两点所形成的。根据渐开线的定义，线段 c_1b_1 的长度等于圆弧 c_1a_1 的长度。线段 c_1b_2 的长度等于圆弧 c_1a_2 的长度。对于在基圆上另取的一点 c_2 来说，下列的关系也是正确的：

$$c_2d_1 = c_2a_1 \text{ 与 } c_2d_2 = c_2a_2 \text{ 等等。}$$

知道了母线（形成渐开线的直线）（ c_1b_1 或 c_2d_2 ）是与渐开线相垂直的，就可决定渐开线的主要特性：从同一个基圆上作出的两个渐开线在法线方向上彼此之间的距离是固定不变的，并且等于在基圆圆周上两个渐开线的起点之间的弧长。因此，同一基圆上的渐开线是等距离的：

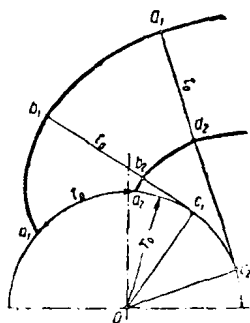


图 1

$$\overline{a_1a_2} = \overline{b_1b_2} = \overline{d_1d_2}.$$

t_0 ——基圆齿距（图 1）基圆齿距就是齿轮上两相邻的齿的相应边在基圆弧上或在齿型的公法线上的彼此之间的距离。

假定直线 c_1b_1 在图纸（第 1 图）的平面内保持它原来的方向，而基圆则按反时针的方向转动。渐开线与直线 c_1b_1 的交点的移动路程（即 c_1b_1 直线的向上的延长线段）等于基圆在此时所转过的弧长。直线 c_1b_1 就是渐开线在交点处的法线。

这一性质就决定了齿轮啮合的角速度是固定不变的（常值的）。要想保持这一特性，齿轮上所有的齿的基圆齿距都应当相等。

i ——传动比 传动比就是主动齿轮的转数对从动齿轮的转数的比值。

以 ω_1 与 ω_2 分别代表主动齿轮与从动齿轮的角速度（图 2）。根据在任何时刻主动齿型与从动齿型在接触点处的圆周速度都是相等的这一条件（如果这一条件不成立，则主动齿型必定要切入从动齿型中去，或者是与从动齿型相互离开彼此不接触），可以得出

$$r_{01}\omega_1 = r_{02}\omega_2$$

或

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{02}}{r_{01}}.$$

如图中所见，传动比对已定的基圆来说是一常数，并且与两齿轮的中心距离的大小无关。

啮合线 啮合线就是在工作中主动齿型与从动齿型的接触点移动时所走过的线条。（即接触点沿此线移动）在图2中，直线 c_1c_2 就是啮合线。啮合线也就是两个基圆的公切线。

α ——啮合角 啮合角就是啮合线与垂直于中心线的直线之间的夹角（见图2）。

P ——节点 节点就是相对转动的瞬时中心，也就是相啮合的齿轮之一对另一齿轮来说是绕此一点转动的。节点就是在啮合线与中心线 O_1O_2 的交点上。

r ——节圆半径 节圆就是以齿轮中心为圆心并通过节点 P 的圆周。相啮合的一对齿轮的节圆无滑动地相互滚动。

r_k ——分度圆半径 分度圆就是齿轮上的一个圆周，在此一圆周上齿距与齿轮的啮合角分别等于刀具的齿距与啮合角（图3）。

当基圆的半径增大至无穷大时，齿轮就变为齿条，它的齿型也就变为垂直于啮合线的一根直线。此时，齿轮的节圆变成为齿条节线（即相当于节圆的直线），并且当齿条与齿轮啮合时，齿条以速度 $v = \omega \cdot OP$ 作直线运动。

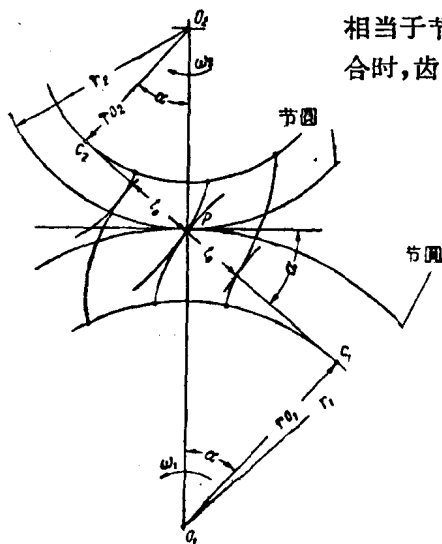


图 2

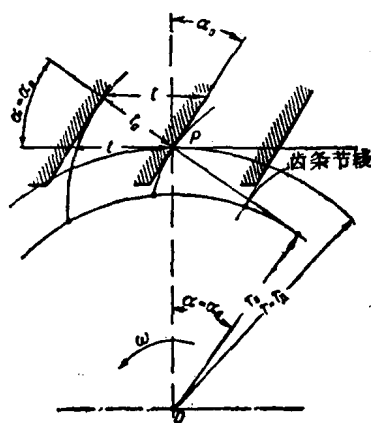


图 3

在齿条节线方向上所取的两相邻齿的相应边之间的距离称为齿条的齿距 t 。

齿条的齿型比齿轮的齿型简单，并且用齿条的几何参数可以完全确定所有与它相啮合的齿轮的各个参数。根据这一理由，在制订啮合的标准规格时，是用标准齿条的参数来确定齿轮的各个参数的。

在切削齿轮轮齿的过程中，为了获得滚动的运动，机床应使毛坯与刀具得到强制的运动。如果把图 3 看成是在切削时用齿条刀具切出齿轮的齿型的图，并且注意到在节点 P 的齿轮的圆周速度等于齿条的直线运动的速度，那么我们就能确定，在齿条的直线运动速度不变的条件下，可用改变毛坯的回转角速度的方法来改变节点 P 的位置。换句话说，改变机床的调整就可以得到不同的节圆半径 r 。并且，不管 r 的大小如何，啮合角 α 总是等于齿条的齿型角 α_0 ，齿轮的基圆齿距等于齿条的基线齿距 t_0 ，而齿轮齿型之间的距离（在节圆的圆弧上计算的齿轮齿距）则等于齿条的齿距 t 。

因此，在切削过程中，齿条的固定不变的齿距 t 可以反映在预先选好的任何直径的节圆上。在切削齿时，反映出齿距 t 的那个圆周称为齿轮的分度圆，并以半径 r_A 代表，以便与节圆半径 r 相区别，而节圆是在齿轮与另一齿轮啮合，并在机构中工作的时候才能存在。

如上所述，当 α_0 不变时，在切削过程中改变 r_A 就会使基圆的半径 r_0 改变，因为 $r_0 = r_A \cos \alpha_0$ ，也就是使齿轮的齿型形状发生改变。齿型是事先规定的，而基圆齿距 t_0 的大小，必须取为基圆圆周长度为其的整数倍数，因为齿轮是要求有一定的整数的齿数。因此，应当给齿轮规定出它的 α_0 、 t_0 与 r_0 。但是要想在齿轮检验过程中直接测量基圆的大小是办不到的，因为它只是一个理论上的数值。因此，通常在齿轮的图上注明的几何参数为： α_0 、 r_A 与 m 。这些参数可用下列公式计算：

$$r_A = \frac{r_0}{\cos \alpha_0}, \quad d = 2r_A, \quad t = \frac{t_0}{\cos \alpha_0}, \quad m = \frac{t}{\pi},$$

式中 m ——齿轮齿的模数；

d ——分度圆的直径。

因为齿轮的齿数 z 等于在分度圆周上的齿距 t 的数目，则

$$zt = 2\pi r_A,$$

$$2r_A = \frac{t}{\pi},$$

$$d = 2m_0$$

由上式可知，分度圆直径是与节圆直径不同的，它与两齿轮的中心距的大小无关，并且对某一齿轮来说，它的大小是不变的。

为了要求出渐开线的参数方程式，我们用 θ_x 与 α_x 表示中心角。

图 4 表示出从半径为 r_0 的圆周展开得出的渐开线，从此图中可知

$$\overset{\frown}{c_1 c_2} = \overline{c_2 x},$$

但 $\overset{\frown}{c_1 c_2} = r_0 (\alpha_x + \theta_x)$ (角度 θ_x 与 α_x 的单位均为弧度)，而 $\overline{c_2 x} = r_0 \operatorname{tg} \alpha_x$ ，因此

$$r_0 (\alpha_x + \theta_x) = r_0 \operatorname{tg} \alpha_x,$$

由此得

$$\theta_x = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x = \operatorname{inv} \alpha_x \quad (\text{A})$$

从同一图中 (图 4) 可得到

$$r_x = \frac{r_0}{\cos \alpha_x} \quad (\text{B})$$

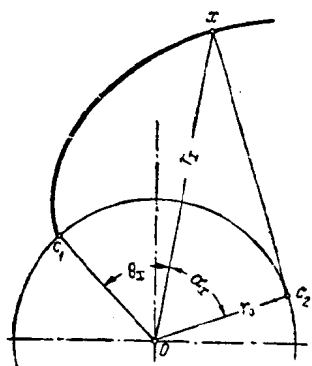


图 4

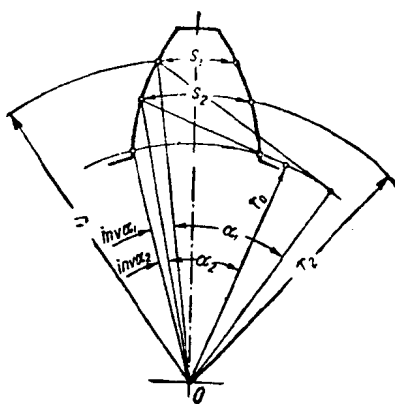


图 5

方程式 (A) 与 (B) 是以齿輪中心为原点的极坐标来表示的渐开綫的参数方程式 (参数为 α_x)。这些方程式是用来計算許多在檢驗齿輪时会用到的尺寸。

根据給定的 α_x 来計算角度 θ_x 的大小是一件很复杂的工作, 因此要利用特别的数表来計算。

α_x 称为 x 点的压力角。

在图 5 中表明如何根据半徑为 r_1 的圓周上的齿厚 s_1 (通常 s_1 与 r_1 在齿輪的零件图中均有規定) 并利用渐开綫的参数方程式来計算半徑为 r_2 的圓周上的齿厚 s_2 。由图上可知

$$\frac{s_2}{2r_2} = \frac{s_1}{2r_1} + \text{inv } \alpha_1 - \text{inv } \alpha_2,$$

則

$$s_2 = 2r_2 \left(\frac{s_1}{2r_1} + \text{inv } \alpha_1 - \text{inv } \alpha_2 \right)。$$

由方程式得出压力角 α_1 与 α_2

$$\cos \alpha_1 = \frac{r_0}{r_1} \quad \text{与} \quad \cos \alpha_2 = \frac{r_0}{r_2}。$$

下面列举本書中在計算时所需用的符号与公式。其中包括有在图 6 中所示的一些参数的符号、不能用图說明的符号以及在前面已見过的符号。

P ——节点;

r ——节圓半徑;

r_A ——分度圓半徑

$$r_A = \frac{r_0}{\cos \alpha_0}; \quad r_A = \frac{mz}{2};$$

r_0 ——基圓半徑

$$r_0 = r_A \cos \alpha_0; \quad r_0 = \frac{mz}{2} \cos \alpha_0;$$

i ——傳动比

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1};$$

t ——分度圓周上的齒距，或分度圓齒距

$$t = \frac{2\pi r_A}{z}; \quad t = \pi m;$$

t_0 ——基圓齒距，或基圓圓周上的齒距

$$t_0 = t \cos \alpha_0; \quad t_0 = \frac{2\pi r_0}{z};$$

m ——模數

$$m = \frac{2r_A}{z}; \quad m = \frac{t}{\pi};$$

α_x ——在 x 點的壓力角；

α_0 ——在分度圓周上的嚙合角（齒條的齒型角）；

α_v ——一對齒輪在裝配時的嚙合角；

$\theta_x = \operatorname{inv} \alpha_x$ ——漸開綫角或 α_x 角的漸開綫函數

$$\theta_x = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x;$$

R_e ——齒頂圓半徑；

R_i ——齒根圓半徑；

k ——齒高係數；

h' ——齒頂高；

h'' ——齒根高

$$h'' = k \times 1.2m; \quad h'' = r - R_i;$$

h ——齒高

$$h = h' + h'';$$

s ——齒厚（如無其他說明，即為分度圓上的齒厚）；

s_B ——齒間寬度（如無其他說明，即為分度圓上的寬度）；

$\Delta s'$ ——齒厚公差的上限；

$\Delta s''$ ——齒厚公差的下限；

Δs ——齒厚公差

$$\Delta s = \Delta s'' - \Delta s';$$

X ——齒型的絕對偏移值；

ξ ——修正係數

$$\xi = \frac{X}{m}。$$

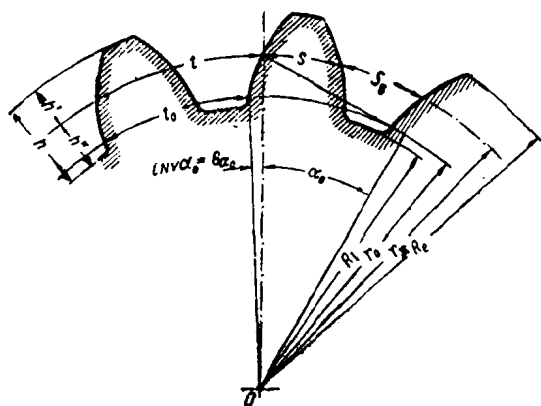


图 6

§3. 修正的簡述

如果某一模数的任何一齒輪與同一模数的任何一齒輪在中心距为

$$A = m \frac{z_1 + z_2}{2},$$

时有着正确的嚙合情况，則这种嚙合称为互換嚙合。

这种互換嚙合称为互換对称嚙合或标准嚙合，此时，相嚙合的齒輪的齒頂高是彼此相等的。

嚙合的修正 嚙合的修正就是与給定的齒 z 的标准嚙合比較起来，在漸开綫被利用的部分所作的改变。

在用齒条形状的刀具，以滾切方法进行齒輪切制的过程中，齒条的齒切出齒輪的齒間。齒条对被切制齒輪的相对位置应当是一定的。

如果在切制齒輪时，齒条的模数直綫（在該直綫上齒条的齒与齒間的寬度相等，等于齒距的一半，即 $0.5t$ ）通过节点（它将与分度圓相切）时，那么齒輪的齒厚 s 将等于齒間寬度 s_B 和等于齒距的一半

$$s = s_B = 0.5t.$$

在齒条的模数直綫与分度圓相切的情况下，用齒条切制出的齒輪称为标准的齒輪或无修正的齒輪。

一对无修正的齒輪在傳动时，分度圓与节圓相重合，而两齒輪中

心間的距离等于两分度圓半徑之和（見上述），

$$A = r_{K1} + r_{K2} = m \frac{z_1 + z_2}{2}。$$

如果在切制过程中，齿条的模数直綫不通过节点，即它不是分度圓的切綫，那么在这种情况下齿輪的齿厚 s 就会与齿間寬 s_B 不相等。

齿輪輪齿是在齿条的模数直綫与分度圓不相切，并且对节点 P 有了偏移的情况下切出的，这种齿輪称为修正的齿輪。

模数直綫至节点 P 的距离，称为齿条的绝对偏移，或称为齿型的绝对偏移，并以 X 代表之。如果偏移的方向是离开齿輪中心的，則用 $(+)$ 号表示，如果它的方向是向中心的，則用 $(-)$ 号表示(图 7)。

偏移量通常是用乘积表示的：

$$X = m \cdot \xi，$$

式中 m ——模数；

ξ ——修正系数（等于模数 $m=1$ 的齿条的绝对偏移值）。

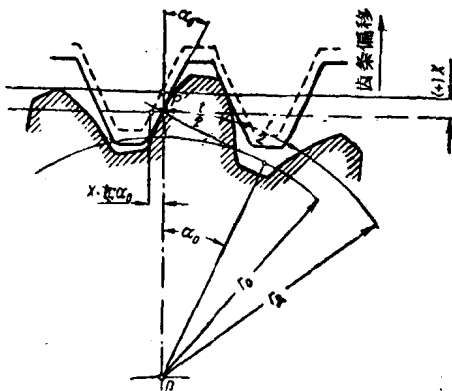


图 7

在正向偏移时，齿厚 s 大于齿槽寬 s_B

$$s > s_{B0}$$

在負向偏移时，

$$s < s_{B0}$$

在有偏移时，齿厚的变化值等于 $2x \cdot \lg \alpha_0$ （见图 7）。

为了使两个标准齿轮的齿之间有间隙，在切齿时也要把刀具作一定的偏移（负向的偏移），以便使 s 比它的理论值 $s = 0.5t$ 小些，并相应地增大 s_B 。但这一偏移量有时是很小的，并且在实际上可把这种齿轮看作是标准的。

进行啮合修正就是为了减小齿的磨损和提高它们的强度。消除齿根的切入（当齿数少时可能产生此种现象）就可以达到提高强度的目的。

除此以外，当中心距 A 不能象标准齿轮传动那样作成等于 $A = m \frac{z_1 + z_2}{2}$ 时，也需要作修正。

用刀具的偏移来作修正的优点，为作修变时不需要特殊的设备或切削刀具。在图 8 中表示出偏移对齿数 $z = 8$ 的齿轮的齿型的影响。同一齿数的标准齿轮，在齿根处有齿根切入的现象，而在修正的齿轮上就没有这种情况，因为在修正的齿轮上的齿根圆的直径较大。由此可见，齿型的偏移只要求将齿顶圆的直径 $2R_0$ ①（毛坯的直径）加大，以便保持齿高不变，因为在齿条作正向偏移时 R_1 将增大。

从图 9 中可看出，齿顶的变薄（或变尖）可以作为偏移量的界限。

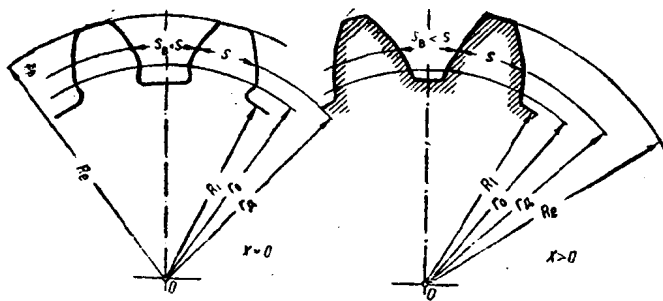


图 8

① 原书为直径 R_0 。——译者

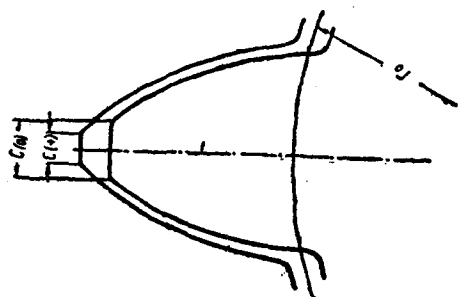


图 9

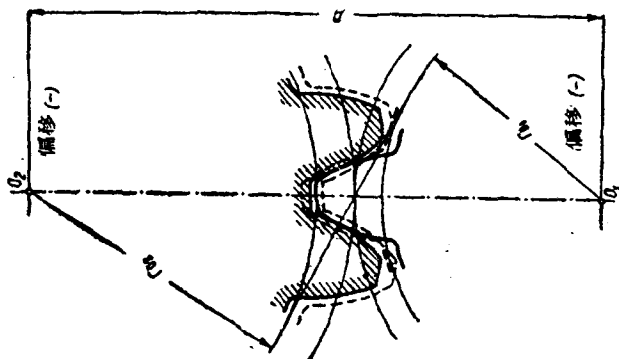


图 10

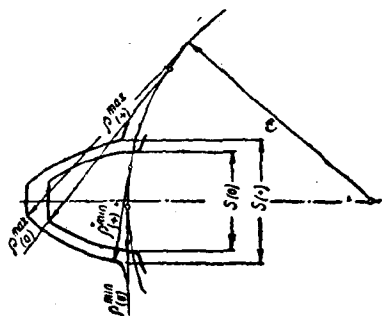


图 11

图10表示当中心距 A 小于 $\frac{m(z_1+z_2)}{2}$ 时齿輪傳动的情况，此时不可能进行正常的嚙合（虛綫表示的）。用一个齿輪修变或两个齿輪都修变（偏移）的方法就可保証彼此能嚙合（在图10中是两个齿輪都作修正）。

在图11中表示的是用偏移的方法进行修正时，齿根处的齿厚、齿頂齿型曲率半徑以及齿頂处的齿厚的变化情况。

由于这些变化，齿輪的強度增大了，齿型彼此叠合的程度（嚙合時間）增加了，也就是說改善了傳动工作的平稳性。

用齿型位移的方法同样也可以調节傳动的滑动率 γ ，即

$$\gamma_1^{\max} = \gamma_2^{\max},$$

$$\gamma_1^{\max} = 1 - \frac{\rho_2^{\max} z_1}{\rho_1^{\min} z_2},$$

$$\gamma_2^{\max} = 1 - \frac{\rho_1^{\max} z_2}{\rho_2^{\min} z_1}.$$

式中 $\rho_2^{\max}$ ——从动齿輪齿頂曲率半徑，

$\rho_1^{\max}$ ——主动齿輪齿頂曲率半徑，

$\rho_1^{\min}$ ——主动齿輪齿根曲率半徑，

$\rho_2^{\min}$ ——从动齿輪齿根曲率半徑（ ρ, γ 与 z 等字的注脚表示：

1——为主动齿輪的，2——为从动齿輪的）。

改变曲率半徑就可以調节 γ 的大小。

用齿型位移的方法也可以得到削尖的齿，这种齿在运轉过程中使齿輪彼此进入嚙合傳动时适用。削尖的齿比較容易进入齿間中去。

刀具的标准嚙合角为 $\alpha_0 = 20^\circ$ 。为了增加齿的強度和消除齿根的切入現象而把这一嚙合角增大时就称为角度的修正。图12表示当嚙合角增大时，齿型变化的情形。