

24

弧齿锥齿轮 基础工艺原理概述

上海第一机床厂资料室

1972.5



数据加载失败，请稍后重试！



数据加载失败，请稍后重试！

说 明

本文系“一机部机械研究院五处齿轮室”一九六三年七月编写的，文章着重介绍了“格里生”弧齿锥齿轮切齿中控制精度的两个常用方法：齿线控制方法，包括螺旋角的控制和齿线曲率半径的控制；压力角控制方法，包括刀号修正和对角接触修正。因为各单位学习研究需要较多，故我们复制，供参考。

上海第一机床厂技术资料室

1972·4·

弧齿锥齿轮工艺原理概述

概 述

要使任何形式的齿轮能用于实际，我们必须解决下面三个问题。
即：

1. 啮合原理，即一对齿轮能用作按预定旋转规律传动的原理。
2. 在啮合原理的基础上找出诸参数（例如干涉、根切、重叠系数、滑动等）的计算方法和控制方法。
3. 在啮合原理的基础上找出产生正确齿形的工艺方法。

对于圆柱齿轮，上面问题的解决比较简单（通常在平面上就可以得到解决）。但对圆锥齿轮特别是螺旋齿锥齿轮要在球面上进行分析，因而问题就复杂得多。这些问题至今有些还没有得到满意的解决。

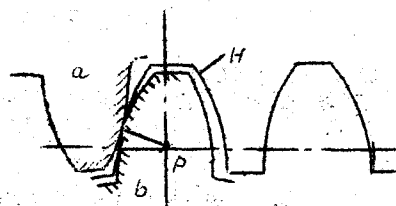
本文着重讨论第三个问题，对第一个问题仅用与圆柱齿轮比拟的方法说明一些概念。

§ 1 圆柱齿轮的啮合

我们先说明一下圆柱齿轮的正确啮合条件，然后用比拟方法说明圆锥齿轮的啮合问题。一对齿轮工作时节圆的切点或节圆和齿条节线的切点称为节点。恒定速比传动节点位置是不改变的。在传动过程中，两轮齿齿廓在接触点的或轮齿与齿条齿廓接触点的公法线必须通过节点。由此可见，当节点位置决定后啮合线（接触点在固定空间的轨迹）的形状只与基齿条的形状有关，而与齿轮的齿数无关。从图 1 中看到，如果用一个没有厚度的“空心齿条”同时和两个齿轮 a 、 b 啮合，则齿轮 a 和齿条的接触点 T_a ，齿轮 b 和齿条的接触点 T_b 都是在同一点接触，若将空心齿条抽去，则齿轮 a 和齿轮 b 必在 T 点接触。接触点公法线通过节点 P ，也就是两轮齿得到正确的啮合。

用这种方法切削齿轮 a 时要用凸形刀具，切削齿轮 b 时则要用凹形刀具，这两把刀可以无缝地嵌合称为互为镶合体。同一把刀切削出来的两个齿轮不能啮合，这叫做“非互换系统”。要得到一个

互换系统，则基齿条必须是它自身的镶嵌体，也即是基齿条的齿形和它的齿槽形状一致。因此，一个互换系统的基齿条必须以其节线X-X为对称轴（图2。）能满足这个条件的基齿条有很多，渐开线齿制与摆线齿制就是两个例子。



H—空心齿条；P—节点。

图 1

§ 2 渐开线齿轮的一个性质

渐开线齿形上每一点都有一定的压力角 α 其数值决定于该点的半径 r

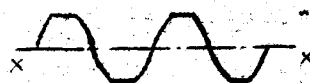


图 2

$$\cos \alpha = \frac{r_0}{r}$$

式中 r 是该点所在的半径； r_0 是基圆半径。

齿轮公称节圆上的压力角又称啮合角 α_0 。齿条刀具的齿形的刃口倾角通常都做成 α_0 。当齿条刀和齿轮啮合时，齿条以一定的线速度向一方移动，齿轮则以一定角速度向一方旋转。齿条上每一点的线速度都相同，齿轮上各点的线速度则沿径向依三角形分布，远中心较高；近中心较低。因而总能找到一点，其线速度大小和方向与齿条完全一致，以这一点的半径所划的圆称为滚压节圆，这个圆上的压力角等于刀具齿条刃口倾角（下称刀具倾角）。滚压节圆以外的齿形压力角大于刀具倾角；以内小于刀具倾角。若齿轮的分度圆和滚压节圆一致，则刀具倾角等于啮合角。因此，当采用单齿刀具加工齿轮时（如磨齿），可以改变刀具和齿轮的相对运动速度来控制齿轮公称节圆上的压力角。提高刀具移动速度就减小公称节圆上的压力角；降低刀具移动速度就加大公称节圆上的压力角。

设 Δr 代表滚压节圆和公称节圆半径差值。

$\Delta \alpha$ 代表节圆上压力角和刀具倾角差值。

则有

$$\Delta\alpha \doteq \frac{\Delta r}{r_0 \operatorname{tg} \alpha_0} \quad (1)$$

因为当滚轭节圆比公称节圆 r_0 加大 Δr 时，则在公称节圆上的压力角就是 $\alpha_0 - \Delta\alpha$ ，这相当于基圆半径的改变为：

$$r_0' = r_0 \cos(\alpha_0 - \Delta\alpha)$$

从另一角度看，滚轭节圆上的压力角和刀具倾角相等，滚轭节圆的半径增大后为 $r_0 + \Delta r$ 。且有：

$$r_0 + \Delta r = \frac{r_0'}{\cos \alpha_0} = \frac{r_0 \cos(\alpha_0 - \Delta\alpha)}{\cos \alpha_0}$$

为了得到 Δr 和 $\Delta\alpha$ 之间微小变动量间的关系，求上式对于 $\Delta\alpha$ 的导数：

$$\frac{d(r_0 + \Delta r)}{d\Delta\alpha} = \frac{d}{d\Delta\alpha} \left[\frac{r_0 \cos(\alpha_0 - \Delta\alpha)}{\cos \alpha_0} \right]$$

$$\frac{d\Delta r}{d\Delta\alpha} = \frac{+r_0 \sin(\alpha_0 - \Delta\alpha)}{\cos \alpha_0} \doteq r_0 \operatorname{tg} \alpha_0$$

$$\text{而} \quad \Delta r = \frac{d\Delta r}{d\Delta\alpha} \Delta\alpha = r_0 \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \Delta\alpha$$

这就是公式 (1)，因为在工艺上用改变刀具与齿轮的相对运动速度控制压力角 $\Delta\alpha$ 与 Δr 的数值都很小，因此式 (1) 相当准。

在螺旋锥齿轮的加工中，这个公式用得非常广泛。利用上述性质不但可以大大减少切齿刀盘的品种，而且可以满意地控制轮齿的接触精度。

要注意，公式 (1) 的 α_0 是刀具的端面倾角而不是法向倾角； $\Delta\alpha$ 是端面压力角的改变量，它与法向压力角的改变量 $\Delta\alpha_n$ 的关系为：

$$\Delta\alpha \doteq \frac{\Delta\alpha_n}{\cos \beta}$$

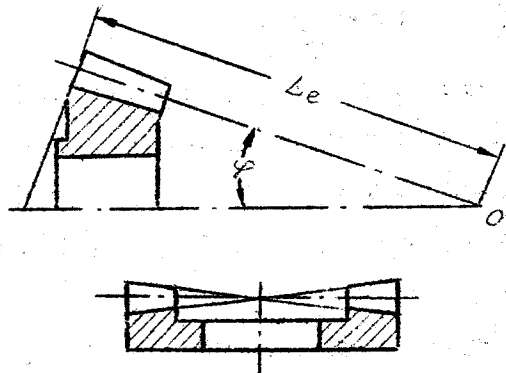
§ 3 圆锥齿轮的啮合

有了上两节的基础知识和结论，我们就可以用比拟方法来掌握圆锥齿轮的几个特性。

一个互换或非互换系统中的齿轮须要模数相同，啮合角螺旋角相等才能啮合，我们将这些能啮合的齿轮当作一个系统，当这个系统中齿轮齿数无限地增大时（半径也无限地增大）齿轮就趋近一个齿条，齿廓形状趋近基齿条的齿廓。同一个系统的圆柱齿轮包括基齿条齿形相同螺旋相等，模数相同而齿数不同的全部齿轮。

对于圆锥齿轮，除了模数，啮合角和螺旋角三个参量外，还要求锥距和锥顶两个参量，即可以把锥顶重合锥距相同的全部锥齿轮看成是同一个系统。在这个系统里，齿数愈多则节锥（或公称节锥）角愈大，当齿数大到一定限度（一般不为整数）节锥角 φ 将变成 90° ，到此齿数就再不能增大了，锥角 90° 的齿轮称为冠齿轮或冕齿轮，节锥就成了节平面（图 3）。

在圆锥齿轮传动中，冠齿轮所占的地位和圆柱齿轮传动中基齿条所占的地位相当。在滚制圆柱齿轮时，最简便的方法是将刀具做成基齿条的形状；同样，在用滚制法制造圆锥齿轮时，将刀具做成冠齿轮的形状是当前最普遍采用的方法。在制造时，机床上装一个圆盘（常称摇台）或圆盘的一部分，圆盘代表冠齿轮，圆盘上有运动（切削运动）着的刀具。刀具刃口的轨迹代表冠齿轮的一个齿（或一个齿的一侧）。将被加工齿轮装在摇台前面，使齿轮轴线和摇台平面夹角等于节锥角 φ ，锥顶落在摇台旋转轴线上，齿轮与摇



○—锥顶； φ —节锥角；
 l_e —外锥距。

图 3

或一个齿的一侧面）。将被加工齿轮装在摇台前面，使齿轮轴线和摇台平面夹角等于节锥角 φ ，锥顶落在摇台旋转轴线上，齿轮与摇

台以一定速比 i 旋转。这样滚轧出来的圆锥齿轮显然能与摇台所代表的冠齿轮正确啮合。但是一对锥齿轮怎样才能正确啮合呢？我们可以用前两节得到的结论用比拟的方法得到下面结论：

有两个冠齿轮A和B是互为镶合体，即当A与B对合在一起时，两者的齿与槽恰好互相填满。若A能与齿轮a正确啮合，B能和齿轮b正确啮合，则两齿轮a和b亦能正确啮合。

同样，要得到一个圆锥齿轮的互换系统，则除了要求A和B互为镶合体外，A和B形状还必须一致。这点在直齿圆锥齿轮较易做到。至于螺旋锥齿轮，由于顾及齿轮强度诸因素及工艺上的困难，目前都广泛使用非互换系统。因此成对锥齿轮一般都不能用同一刀盘切制。相应地刀盘相对于冠齿轮的安装位置也不同，务使两个摇台所代表的冠齿轮作成互为镶体。这样切出的成对的锥齿轮就能够正确地啮合。

圆柱齿轮的发展过程大都是先规定齿轮的齿形（例如渐开线、摆线、直齿、斜齿等）然后在工艺上设法把它做出。但圆锥齿轮要这样做常常是不可能。一般都是先规定工艺方法（可行的工艺方法），用规定的工艺方法能做出什么样的齿形就用什么样的齿形。因此，到目前已经发展成功的几种螺旋锥齿轮系统实际上是代表了几种不同的工艺方法。这就使我们很难脱开工艺方法去单独地研究螺旋锥齿轮系统。不过目前采用最广泛的几个系统都有一个共同的特点。就是用滚轧法切齿和无例外地用机床摇台代表冠齿轮；用摇台上运动着的刀具刃口代表冠齿轮上的一个齿（或一个侧面），其不同之处是刀具运动的方式。若刀具作直线运动得到的是直齿锥齿轮即Bilgram系统；刀具作旋转运动得到弧齿锥齿轮即Gleason系统；刀具、齿轮作复合运动得到的摆线锥齿轮即Oerlikon系统等等。

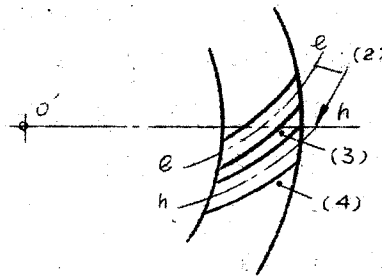
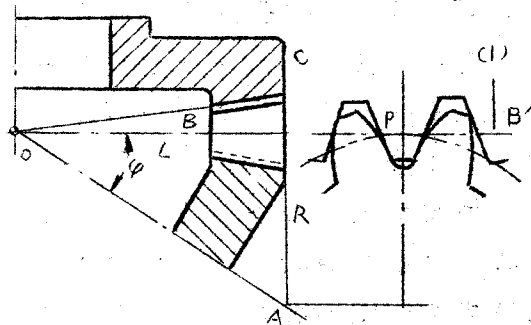
以上几种系统中以直齿和弧齿锥齿轮用得最广泛。直齿锥齿轮在这里不多谈，本文着重分析螺旋锥齿轮中最成熟的弧齿锥齿轮系统。即Gleason系统。

一对圆锥齿轮传动时就象两个节锥作为磨擦锥体的传动情况一样。冠齿轮的锥角为 90° ，节锥是一个平面，以下称节面。图4的

上部划了冠轮上的一个齿。 ee 、 hh 两曲线是冠齿轮节面和冠齿轮两侧的交线；以下称它为齿线。前面所说的各种系统的螺旋锥齿轮，其主要分别在于齿线的形状不一样。倘冠齿轮的齿是以一个圆盘形刀具代表，则齿线的形状显然是一段圆弧。因此，这个系统通常称为圆弧齿锥齿轮。（图4）上面是冠齿轮和一个锥齿轮啮合的侧视图。 OB' 是节平面。因为齿线位于节平面内，因此齿线在侧视图上的投影是 BB' 。 BB' 常常也称为公称线。因 BB' 与 ee 不在同一个视图上，故两者不会产生混淆。

图4下面在齿线 ee 上的齿面称为凹面；在齿线 hh 上的齿面称为凸面。

前面说过，一对锥齿轮的正确啮合条件是两个冠齿轮互为镶合体。图5表示的两个冠齿轮I和II对合起来要成为镶合体时，冠齿轮I的凹面与冠齿轮II的凸面镶合；冠齿轮I的凸面与冠齿轮II的凹面镶合。这时I和II的节面也是重合的，其齿线自然也重合。我们若在冠齿轮齿宽中点上以O为圆心划一个圆弧与节线交于P，



过P作切于齿线的线段 1—节面；2—齿线；3—齿顶面；
4—齿底。

$\overline{AP}$ ，则夹角 APO 称为冠

图 4

齿轮中点螺旋角 β 。显然镶合两齿面的中点螺旋角必定相等，相对应的齿线曲率半径也必相等，这两个条件保证了I和II在齿线上能叠合。但是对于线接触齿轮仅两齿线叠合还不够，在齿线以外的齿的工作部分还要对应地叠合。

图5下半部表示代替冠齿轮I牙齿的刀具侧视图，刀口有一定

的倾角。当刀具旋转时，内、外刃口延长线在空间的轨迹显然是以刀具旋转轴线为轴线的两个对立的锥体。当刀具轴垂直于节面时，锥体母线和节面法线的夹角称为压力角。若以O为中心以齿宽范围内任意半径树立一个和节面垂直的圆柱面（例如BB就是通过齿面中点的一个圆柱面）这个柱面与刀具刃口轨迹的交线就是冠齿轮的端面齿形。端面齿形显然是一条曲线，

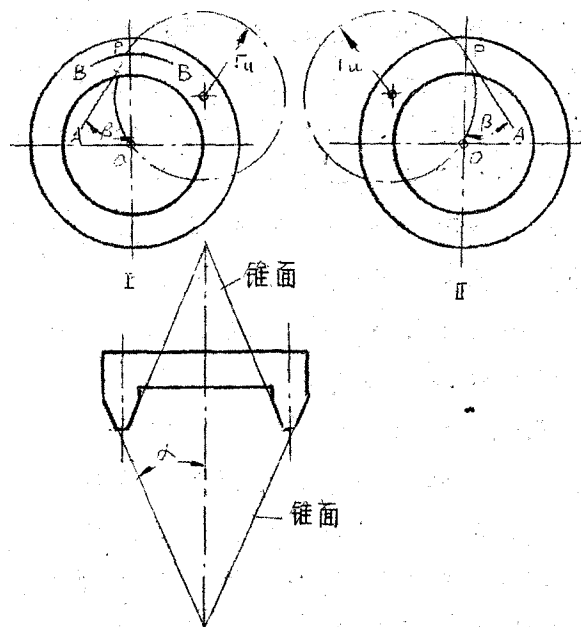
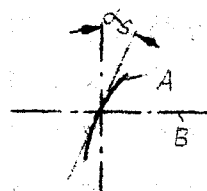


图 5

但因为刀盘直径相当大而齿高很小，就很近乎一条直线。我们取在这条曲线与节面交点P的切线代替这条曲线。则直线与节面法线的夹角称为冠齿轮端面压力角 α_{sx} 。法向压力角 α 和端面压力角可近似地用下式换算：

$$\operatorname{tg} \alpha_{sx} \cos \beta_x = \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

式中 β_x 是P点的螺旋角。为了保证冠齿轮I的凸面和冠齿轮II的凹面在任何半径的全部齿高上能重合，必须要求两者端面压力角相等。当前面两个条件满足时，从表面上看，好象只要求法向压力角相等就够了，但要求端面压力角相等还有另外的理由，将在下面再讨论。



A-BB和刃口轨迹
交线；
B-节面。

图 6

§ 4 一种圆锥齿轮的分析方法

当圆锥齿轮绕自身轴线旋转时，显然该齿轮上任一点与轴线的

距离不变，在图4中O点是冠齿轮和锥齿轮轴线的交点，因此当两者旋转时，两个齿轮上任何的点和O点的距离都是不变的，也就是冠齿轮和锥齿轮上的点只有当它们和O点的距离相等时才有可能接触，这就使得圆锥齿轮和冠齿轮的接触情况应该在以O点（锥顶）为中心的球面上分析。

在很多情况下，特别是在进行误差分析的时候可以用一个比较简单的方法。例如当我们要分析锥齿轮外端的接触情况时，倘若以OO'为轴树立一个和球面相切的圆柱面，这个圆柱面在冠齿轮齿高范围内和球面是很接近的；又以OA为轴，以A为锥顶树立一个和球面相切的锥面（通常称为背锥）这个锥面在锥齿轮齿高范围内和球面亦很接近。经两次代替以后，除在节平面以外，锥体上的点和圆柱上的点就不会接触，但两者旋转时，相对应的点却可以非常接近，即可以当它们是接触误差非常的小。这样的代替有一个很大的优点，就是圆柱面和圆锥面都是可展曲面，可以把冠齿轮和锥齿轮的接触问题展开在平面上考察。展开在平面以后，冠齿轮成了基齿条，背锥上的齿形成了一个圆柱齿轮，我们就可以把冠齿轮和锥齿轮的接触当作是齿条与圆柱齿轮的接触来分析。

采用这种近似方法显然是不够精确的，但是我们不用它作为啮合原理的基础，也不用它作为工艺的基础，只用它来分析运动参数和误差关系。若在误差计算的范围内再有百分之几的误差存在，那是属于高一阶的微量，对实际应用是无关重要的，可以略去不计。

建立了上述的分析方法，我们先来做一些准备。

在加工螺旋锥齿轮时我们发现，刀具倾角和齿轮在公称节圆上的压力角不一样，有些相差达几十分，这个相差数用 $\delta\alpha_s$ 表示，这个 $\delta\alpha_s$ 用上述方法很容易求得。

当齿轮用齿条形刀具滚轧加工时，只要齿轮旋转速度比正常的略小一些，则滚轧节圆大于公称节圆，得到的公称节圆上的压力角就小于刀具倾角。在图4中，设若冠齿轮（机床摇台）的转速是 ω ，

则在正常情況下，锥齿轮的转速应该是 $\omega_1 = \frac{\omega}{\sin\varphi}$ 。这时可以看成是齿条以

$$v = L\omega$$

的速度向一侧移动。背锥圆柱齿轮节圆半径是

$$R = L \operatorname{tg} \varphi。$$

由于背锥齿轮节圆的线速度必然和齿条线速度一致，因此它的角速度必然是

$$\omega_2 = \frac{v}{R} = \frac{L\omega}{L \operatorname{tg} \varphi} = \frac{\omega}{\operatorname{tg} \varphi}$$

在这种情况下，背锥齿轮的滚辗节圆和公称节圆一致，公称节圆上的压力角和刀具倾角也一致。现在要公称节圆上的压力角增大 $\delta\alpha_s$ ，按公式(1)计算滚辗节圆必须相应减小 ΔR 且有：

$$\Delta R = R \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \delta\alpha_s$$

为此，我们必须使滚辗节圆在半径 $R - |\Delta R|$ 上的线速度和冠齿轮（齿条）上的线速度一致因此，经过修正后，背锥齿轮的角速度是 ω_2' ，且有：

$$\frac{\omega_2'}{\omega_2} = \frac{R}{R - |\Delta R|} = \frac{R + |\Delta R|}{R} = 1 + \frac{|\Delta R|}{R}$$

代入上述关系得：

$$\frac{\omega_2'}{\omega_2} = 1 + \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \delta\alpha_s$$

$$\omega_2' = \omega_2 (1 + \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \delta\alpha_s) = \frac{\omega}{\operatorname{tg} \varphi} (1 + \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \delta\alpha_s)$$

冠齿轮和锥齿轮的速比在机床上是摇台和工件的角速比，用传动链中的滚切挂轮比 i 决定，当未加修正时挂轮比 i 为：

$$i = \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{1}{\sin \varphi}$$

当有压力角修正时角速比为 i' ：

$$i' = \frac{\omega_1'}{\omega} = \frac{1}{\sin \varphi} (1 + \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \delta\alpha_s) = i (1 + \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \delta\alpha_s)$$

(3)

这个近似计算公式在实际生产中已足够精确。

母锥 当未加修正前，冠齿轮和锥齿轮的角速比 $i = \frac{1}{\sin \varphi}$ ，

这代表以公称节锥和节平面为磨擦体所构成的传动付的角速比，现在加入修正后，传动比改变了，显然不再以原来的公称节锥和节面构成磨擦传动付了，这时构成一个新的锥体，锥角为 φ' ，称为滚轱锥体。这时机床挂轮比与新的滚轱锥体的角度关系为：

$$i' = \frac{1}{\sin \varphi'}$$

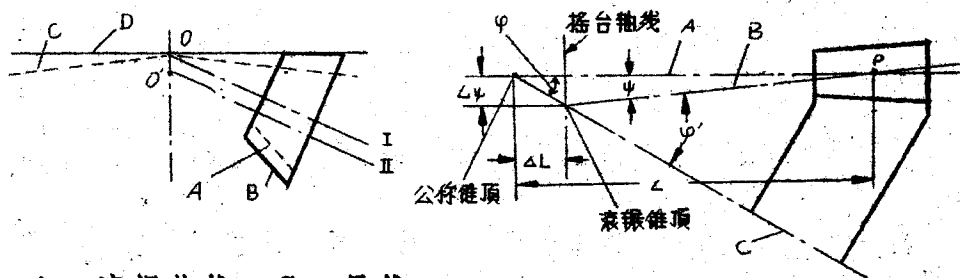
由于在加工时，齿轮在机床上的安装角度並沒有改变（仍为齿轮的根锥角 φ_i ），这个滚轱节锥角 φ' 当然不能与冠齿轮的节平面相切（图 7），而是和一个很近似平面的锥体相切。这个锥体称为母锥。滚轱节锥与母锥所构成的磨擦付的速比是：

$$i'' = i' \cos(\varphi - \varphi')$$

由于 φ' 与 φ 很相近， $\cos(\varphi - \varphi')$ 接近于 1，故

$$i'' \doteq i'$$

母锥顶点 母锥顶点决定于摇台旋转轴与工件轴线的交点。图 7 中，若将工件轴线向左移，使齿轮从位置 I 移到 II，则母锥顶点将由 O 点移到 O' 点（两轴的交点相对速度等于零）。



A—滚轱节锥；C—母锥；
B—公称节锥；D—节面。

图 7

A—公称节线；B—滚轱节线；
C—工件轴线。

图 8

在图 4 中的 BB 线称为公称节线，当作了上述修正后除了公称节线 BB 外还出现一条滚轱节线，即滚轱节锥的母线，滚轱节线上的压力角等于刀具倾角。公称节线上的压力角可用公式（1）计算。滚轱节线和工件轴线、

摇台轴线交于一点。用以上方法我们非但可以控制锥齿轮在齿宽中点公称节线上的压力角。而且能使公称节线和滚辗节线在齿面上相交，象图 8 那样。在交点 P 上的压力角等于刀具倾角，在 P 点左面大于刀具倾角，P 点右面小于刀具倾角。

由于滚辗锥顶和公称锥顶不一致，加工齿轮时，公称锥顶不和摇台轴线相交而是离开一段距离 ΔL 。由图 8 得：

$$\Delta L = \frac{L\phi}{\tan \varphi} \quad (4)$$

ϕ 为公称节线与滚辗节线的夹角。利用这个方法，在制造圆弧齿锥齿轮 (Gleason 制) 时公称节线上的压力角在相当的范围内可以控制，这种控制方法构成这个系统的一个很大的优点。

圆锥齿轮基础工艺原理

螺旋锥齿轮有很多不同的切削方法，这是由于适合各种不同的生产条件而制定的，这些切削方法是近年来国内外研究的课题的一部分，也是各制造单位迫切需要掌握的生产技术。

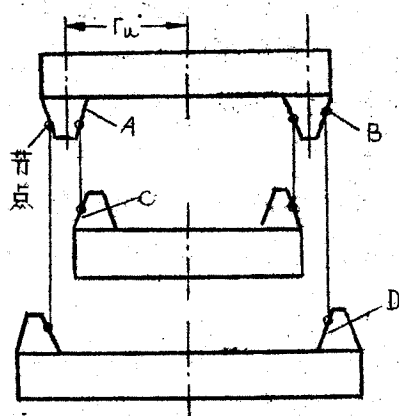
这些切齿方法很多，每一种切齿方法的计算又非常繁琐，逐个介绍每一种切齿方法的计算并不能解决基础工艺原理的普遍问题而却容易使人陷入繁琐的演算中，反而得不到这方面系统和简明的概念。本文试图概括各种螺旋锥齿轮切齿方法中的特点，综合成“基础工艺原理”一章。

§ 1 齿线控制方法

在概述的 § 3 节中已经提过，两个冠齿轮齿面需互为镶合体，因而第一个要求是：刀盘的半径和刀盘在摇台上安装的位置就不能是任意的。

(一) 齿线方向的控制

为了使大齿轮与小齿轮的冠齿轮凹凸两个侧面能互为镶合，首先要求对应齿面的切齿刀盘半径相等。若大齿轮齿槽的两侧面用双面刀盘一次切出 (图 9)，则小齿轮凸凹两面就要用两个刀盘分两次切出。即所谓简单双面切削法。



A — 大轮凸面； B — 大轮凹面；
C — 小轮凹面； D — 小轮凸面。

图 9

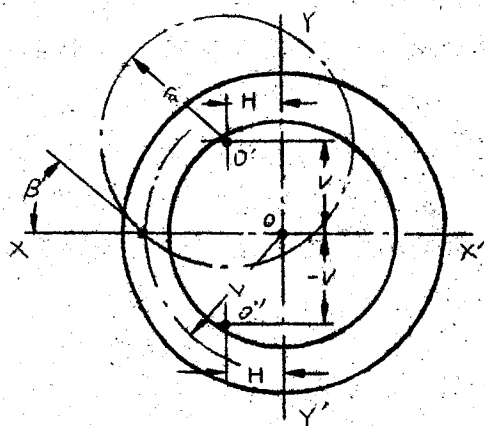


图 10

通常在设计螺旋锥齿轮时，图纸上规定齿宽中点螺旋角 β 。若以 L 代表由齿宽中点到锥顶的距离， r 代表齿线的曲率半径，用摇台平面作座标平面，中心 O 为原点，则刀盘中心安装位置的座标是：

$$V = r \cos \beta$$

$$H = L - r \sin \beta$$

由于切削凸面和凹面所用刀盘的曲率半径不同，在实际应用中常将切制大轮的刀盘平均半径 r_u 代替 r (图 10) 因而得：

$$\left. \begin{aligned} V &= r_u \cos \beta \\ H &= L - r_u \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

大轮凹凸两齿面，由于其齿线半径 r 不同，故其实际螺旋角都不等于公称螺旋角。由于切制小齿轮时凹凸两面的刀盘半径与大轮的刀盘半径相对应，因此它们的螺旋角是对应相等的。刀盘中心的安装位置是 (图 10)

$$V' = -V$$

$$H' = H$$

必须注意：决定中点螺旋角 β 的是刀盘中心 O' 到摇台中心 O 的距离 u 。当距离 u 的数值定下来， β 的数值也就固定了。 H 和 V 两个数值在保持 u 不变的情况下可以互相增减，其变化量 ΔV 与 ΔH

有如下关系：

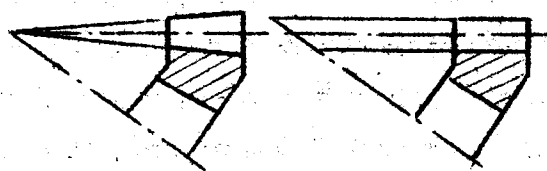
$$\Delta V = -\frac{H}{V} \Delta H$$

用上述关系式换算保持 u 值大致不变。

摇台安装与刀盘中心安装一般都按齿宽中点作计算标准，这样可以使计算方法简化一些。还有一个理由就是均匀摇台正反两个方向的摆角。

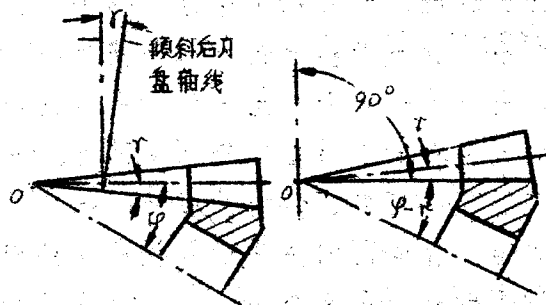
大多数锥齿轮铣齿机的刀具主轴和摇台轴是平行的，因而刀具倾角就和齿轮的法向压力角相等。齿轮和摇台速比应为 $i = \frac{1}{\sin \varphi}$ 。

用这种方法加工时，刀具和机床的安装调整计算都非常简单，切制大小齿轮凹凸两面的刀盘中心位置是上下对称的，数值却相同。这种方法能够获得理论上正确的啮合。但是这种方法实际上却很少使用，原因是它只能加工出等高齿来。而等高齿具有的某些很难克服的缺陷（例如齿顶变尖，齿底过窄，根切，二次切削等）。在生产中，大量采用的是收缩齿而不是等高齿（图 11）。



a - 收缩齿； b - 等高齿

图 11



a - 齿轮安装角 φ ；刀具倾斜角 γ 。

b - 齿轮安装角 $\varphi - \gamma$ ；刀具轴线平行摇台轴线。

图 12

为了使齿底能位于内锥上，最简单的方法是刀盘轴和摇台轴倾斜成 γ 角（图 12a）。但具有这种调整的机床结构就复杂得多，因此生产中最常使用的是近似的方法，就是刀盘轴线仍与摇台