

第19章 弧齿锥齿轮铣齿机的修理

杜世进

第1节 铣齿机的型号、结构、传动系统及所使用的铣刀盘

(一) 铣齿机工作原理与铣刀盘

1. 锥齿轮啮合的基本概念

(1) 球面渐开线啮合原理 图19-1-1a是一对共轭的锥齿轮1和2, 它们的节锥面是一对以公共母线 $\overline{OP}$ 相切, 而锥顶重合于 O 点的圆锥面, 当一个锥体沿另一个锥体做无滑动的滚动时, 两个锥体的底圆永远是处在以 O 为中心, 以公共母线 $\overline{OP} = R$ 为半径的球面上。这两个底圆可以看成是锥齿轮的节圆, 其半径分别为 r_1 和 r_2 (见图19-1-1b), 它与圆柱齿轮的节圆相当。因此, 锥齿轮的啮合现象, 可以看成是发生在球面上。过 $\overline{OP}$ 做两个节圆锥的公切面 (图上未画出), 使该公切面垂直于图纸所在平面, 其投影也是直线 OP 。又过 $\overline{OP}$ 做平面 S , 使其与两个节圆锥的公切面成啮合角 α' (对于正确安装的渐开线标准锥齿轮, 其节圆锥与分度圆锥是重合的), 所以该啮合角 α' 应等于锥齿轮分度圆的压力角, 即 $\alpha' = \alpha$ 。平面 S 与球面相交于大圆弧 EPF 。并分别以 O_1O 和 O_2O 为轴线再做两个圆锥与平面 S 相切于 ON_1 和 ON_2 , 那么这两个圆锥就是两轮的基圆锥I和II。它们与球面的交线也是两个圆, 其半径分别为 r'_1 和 r'_2 。由此可知, 平面 S 就是两个基圆锥的内公切面。

将平面 S 分别在两个基圆上做纯滚动, 因为 $\overline{OP}$ 的长度不变, 所以 P 点就在以 $\overline{OP}$ 为半径的球面上展出球面渐开线。同时 OP 直线在空间也展出两个球面渐开线曲面, 这两个曲面即为两个锥齿轮的齿廓曲面。用这样一对共轭的齿廓曲面互相啮合传动, 就能代替两个节圆锥的纯滚动。根据以上分析可知, 平面 S 是两个锥齿轮齿廓曲面的公法面, 也

是啮合面。它与两个锥齿轮的连轴面 O_1O_2 的交线是一条固定的直线 OP , 即两轮的瞬心轴。由此可知, 球面渐开线的圆锥齿轮, 就能保证定传动比的传动。

(2) 锥齿轮的背锥和当量齿轮 理想的锥齿轮副, 其齿廓曲面应在同一个球面上, 并形成球面啮合。但由于球面啮合设计和制造都比较困难, 因此在实际运用上, 是采用背锥啮合来近似的代替球面啮合。所谓背锥齿轮副, 就是和球面相切于节圆的另一对圆锥体齿轮副, 这对节圆同时又是节锥与背锥正交的交线。

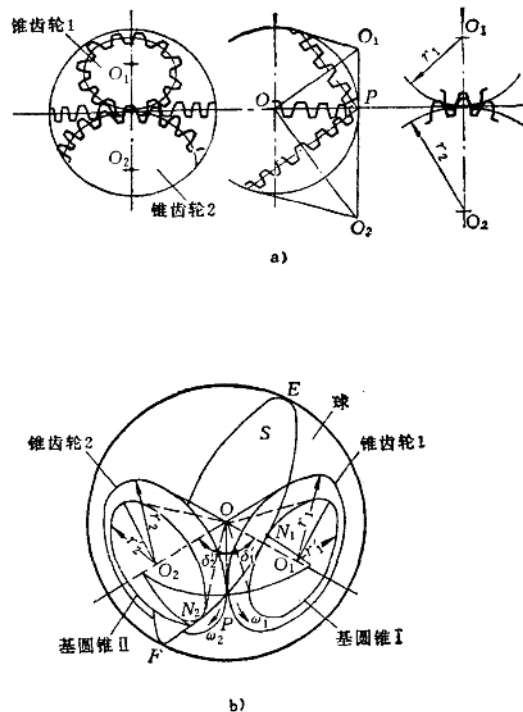


图19-1-1 锥齿轮球面渐开线啮合

图19-1-2所示, 为一个圆锥齿轮的轴向半剖面图, OAB 表示锥齿轮的分度圆锥。 h_A 和 g_A 分别为球面上齿形的齿顶高和齿根高。过 A 点做 $AO_1 \perp AO$ 交锥齿轮的轴线于 O_1 点, 再以 OO_1 为轴线及 O_1A 为母线做圆锥 O_1AB , 这个圆锥叫做辅助圆锥或背锥。显然背锥与球面相切并交于锥齿轮大端的分度圆上。在背锥上自 A 点和 B 点取齿顶高和齿根高得 h' 点和 g' 点。由图可见, 在 A 点和 B 点附近, 背锥面和球面非常接近, 而且锥距 R 与大端模数的比值越大, 则两者就越接近。因此, 可以近似的用背锥上的齿形来代替球面上的齿形。由于背锥面与球面不同, 背锥面可以展开成平面, 这样便不难设计和制造锥齿轮了。

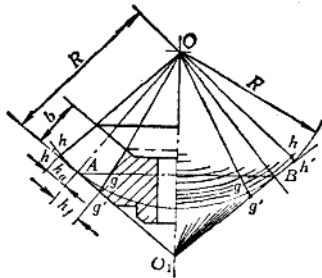


图19-1-2 锥齿轮的背锥

图19-1-3所示为一对共轭锥齿轮的轴向剖面图, OAP 、 OBP 和 O_1AP 、 O_2BP 分别为两个齿轮的分度圆和背锥。将两个背锥展成平面后, 即得到两个扇形齿轮Ⅰ和Ⅱ。该扇形齿轮的模数、压力角、齿顶高、齿根高和齿数 z_1 、 z_2 就是锥齿轮的模数、压力角、齿顶高、齿根高和齿数 z_1 、 z_2 。扇形齿轮的分度圆半径 r_1' 和 r_2' 即为背锥的锥距。现将这两个扇形齿轮的轮齿补足使其成为两个完整的圆柱齿轮, 那么它们的齿数必将增大为 z_1' 和 z_2' 。齿数 z_1' 和 z_2' 即称为该两个锥齿轮的当量齿数。对补足轮齿的虚拟的两个圆柱齿轮就叫做该两个锥齿轮的当量圆柱齿轮, 简称当量齿轮。

当量齿轮齿数 z_1' 和 z_2' 与锥齿轮真实齿数 z_1 和 z_2 的关系可按下式求出:

$$r_1' = \frac{r_1}{\cos \delta_1'} = \frac{m z_1}{2 \cos \delta_1'}$$

$$\text{因} \quad r_1' = \frac{m z_1'}{2}$$

$$\text{所以} \quad z_1' = \frac{z_1}{\cos \delta_1'}$$

$$\text{同理得} \quad z_2' = \frac{z_2}{\cos \delta_2'}$$

式中 δ_1' ——为小齿轮的节锥角;

δ_2' ——为大齿轮的节锥角。

因为 $\cos \delta_1'$ 和 $\cos \delta_2'$ 总小于1, 所以由上式可知, 当量齿轮齿数总是大于真实齿数, 并且当量齿数并不一定都是整数。

由于当量齿轮齿数是齿形与锥齿轮大端齿形比较接近的某一个圆柱齿轮的齿数, 所以应用当量齿轮齿数可以将圆柱齿轮的某些原理, 近似的应用到锥齿轮的分析、研究和计算上。

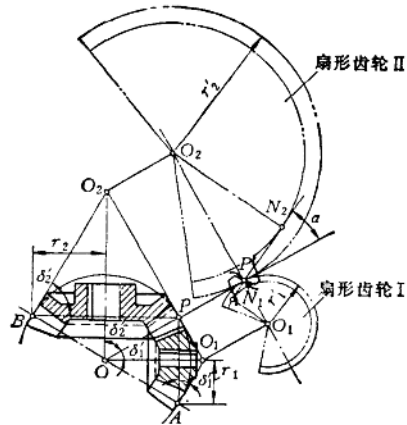


图19-1-3 锥齿轮的背锥和当量齿轮

(3) 锥齿轮的“8”字线啮合 前已述及锥齿轮的啮合, 在理论上应为球面啮合, 但因球面展开比较困难, 所以引用了锥齿轮在球面上的背锥和当量齿轮这种近似的方法来代替, 以简化锥齿轮的设计和制造。但由于使用这种方法, 近似地求做平面齿轮的齿形时, 背锥变成一圆柱体。当此圆柱体展开成为平面时, 则在此平面上的齿形, 即为近似于齿条的直边齿廓。如果平面齿轮的轮齿在其全长上都是同样的大小, 则对于齿侧面与球面相交的大圆弧 aa 来说(图19-1-4a), 所求得的啮合线应成为大圆弧 nn 的形式。但由于平面齿轮的齿系向锥顶方向逐渐收缩, 齿的侧面都通过锥顶, 因此, 对于球面上大圆弧 aa 来说(图19-1-4b), 所求得的啮合线就成为另外一种形式, 即与“8”字形相似的环形曲线。由平面齿轮的齿形可知, 被切齿轮的齿形已不再是球面渐开线, 此时的啮合, 已不是渐开线啮合, 而是“8”字线啮合。

采用上述“8”字线啮合与采用渐开线啮合比

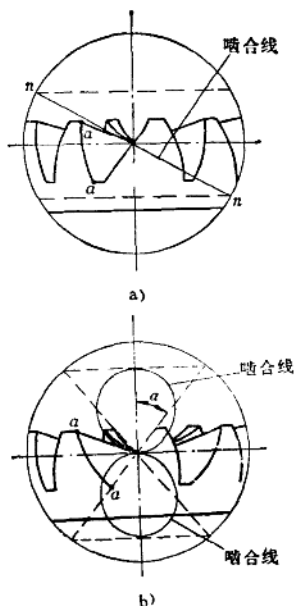


图19-1-4 锥齿轮“8”字线啮合形状

较起来,虽有一定的误差,但由于“8”字线啮合的平面齿轮可以应用直线切削刀的刀具,就简化了刀具的设计和制造。

(4) 锥齿轮的啮合 按图19-1-5所示,两个锥齿轮啮合时,它们的轴线 $\overline{OA}$ 和 $\overline{OB}$ 相交,它们的节锥母线接触而纯滚动。 δ'_1 和 δ'_2 叫做节锥角。

两轴线的夹角为:

$$\Sigma = \delta'_1 + \delta'_2$$

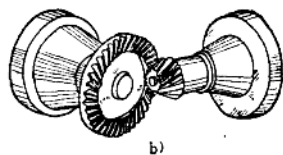
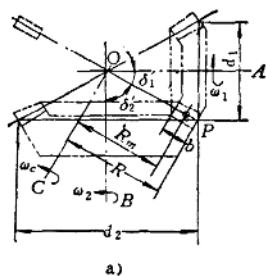


图19-1-5 锥齿轮的啮合

当 $\Sigma = 90^\circ$ 时,称为正交锥齿轮;当 $\Sigma \neq 90^\circ$ 时,称为非正交锥齿轮。

锥齿轮轮齿大端的端面,也是圆锥面,这个圆锥叫做背锥。节锥和背锥的交线是一个圆,叫做锥齿轮的节圆,它们的直径为:

$$d_1 = m z_1, \quad d_2 = m z_2$$

式中 m ——两个锥齿轮的大端模数;

z_1 ——小齿轮的齿数;

z_2 ——大齿轮的齿数。

两个锥齿轮的传动比为:

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\sin \delta'_2}{\sin \delta'_1}$$

当 $\Sigma = 90^\circ$ 时,

$$\text{tg } \delta'_1 = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i_{1,2}}$$

$$\delta'_2 = 90^\circ - \delta'_1$$

节锥母线的长度:

$$\overline{OP} = R = \frac{1}{2} \sqrt{d_1^2 + d_2^2} = \frac{m}{2} \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$$

齿圈宽度:

$$b = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3} \right) R$$

齿圈中点到锥顶的距离:

$$R_m = R - 0.5 b$$

在这里,先介绍一下一对锥齿轮的平面齿轮齿数 z_e 的意义:在图19-1-5中,我们假想有一个圆形平面,其轴线 $\overline{OC}$ 是与两个锥齿轮的轴线 $\overline{OA}$ 和 $\overline{OB}$ 在同一平面内,并与两个锥齿轮节锥的共同母线 $\overline{OP}$ 垂直,其半径等于 R ;那么,当两节锥各绕轴线 $\overline{OA}$ 和 $\overline{OB}$ 旋转而纯滚动时,这个圆形平面也将绕轴线 $\overline{OC}$ 旋转并与两节锥一同作纯滚动。实际上,这个圆形平面就是一个平面齿轮的节面,而这个平面齿轮就能与锥齿轮1或2啮合传动,因此它的大端模数也等于 m 。若令平面齿轮的齿数为 z_e ,则:

$$m z_e = 2 R$$

将前面的 R 值代入上式,即得:

$$z_e = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$$

2. 齿型制度

弧齿锥齿轮的齿型,是按照齿高收缩情况及齿长方向(纵向或齿线方向)的形状来制定的。目前世界上,关于弧齿锥齿轮的齿型,在齿高方向上,有收缩齿和等高齿两种制度。在齿长方向,由于其

加工方法或刀具的不同,因而得到的曲线也有区别。

(1) 收缩齿 它是在齿高方向,按一定比例收缩,在齿长方向,为圆弧线。这种齿型称为圆弧收缩齿。目前,中国、苏联和美国格里森公司,都采用这种齿型制度,它简称为弧齿收缩制。

(2) 等高齿 基本上有两种情况,第一种:在齿高方向,齿的大端和小端是一样高,但在齿长方向,其曲线为延伸外摆线,这种齿型称为延伸外摆线等高齿。目前,瑞士奥利康公司采用这种齿型制度。第二种:在齿高方向,也是齿的大端和小端一样高,在齿长方向,其曲线为准渐开线,这种齿型称为准渐开线等高齿。目前,德国克林根伯格公司采用这种齿型制度。

随着时间的推移,科学技术的迅速发展,以上三个公司研制了许多加工方法,形成了当今世界锥齿轮技术的三大体系(实际上是两种齿型制度),这三个体系的两种齿型制度,各具其优缺点,因此,它并列的存在与竞争。

弧齿锥齿轮与直齿锥齿轮相比,设计与制造更复杂一些,但具有许多优点,如速度高,承载能力大,齿轮尺寸紧凑、传动平稳、振动小,噪声低及制造精度高。

3. 铣齿机工作原理与结构布局

(1) 假想平面齿轮和平顶齿轮概念 加工弧齿锥齿轮时,一般都采用平面齿轮或平顶齿轮作为产形齿轮,铣刀盘切削刃相当于产形齿轮的一个轮齿、被加工齿轮的齿形通过滚切运动而形成。

图19-1-6中双点划线所示,即为平面齿轮的两种形式。其节锥角都等于 90° ,该齿轮的节面 AOA 称为节平面。

图19-1-7中双点划线所示,是一个平顶齿轮,其顶锥角等于 90° ,而节锥角则为 $90^\circ - \theta_f$,小于 90° 。该齿轮的顶锥是一个平面,节面 AOA 则是一个锥面。

所谓假想平面齿轮或平顶齿轮,就是锥齿轮在实际切削加工时,假想有一个环形齿轮(也叫圆齿条,它相当于圆柱齿轮啮合原理中的直线形齿条),见图19-1-8,它既能与齿轮1啮合传动,又能与齿轮2啮合传动,那么齿轮1和齿轮2两个齿轮就可以互相啮合传动。这个齿轮就叫做假想平面齿轮或假想平顶齿轮。

(2) 机床工作原理 图19-1-6 a)所示,是利

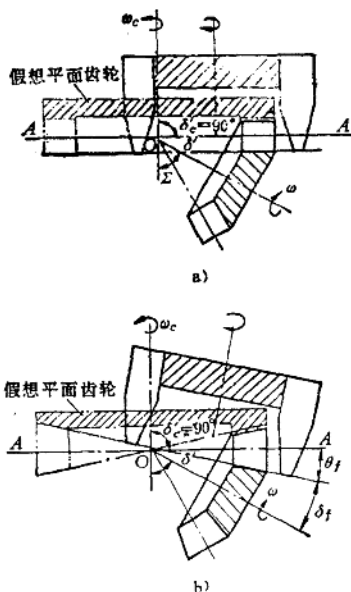


图19-1-6 假想平面齿轮工作原理
a) 加工等高齿弧齿锥齿轮 b) 加工收缩齿弧齿锥齿轮

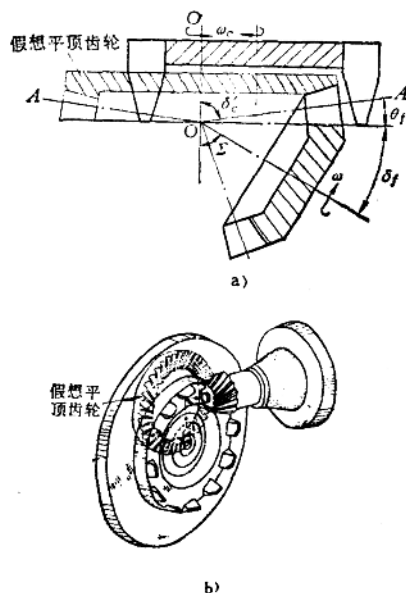


图19-1-7 假想平顶齿轮工作原理

用假想平面齿轮加工原理来加工等高齿弧齿锥齿轮的情况。假想平面齿轮的齿顶应当为平面,其节锥角 $\delta'_c = 90^\circ$,而铣刀盘的轴线,应垂直于这个平面,

即垂直于机床摇台平面。

图19-1-6b所示,是利用假想平面齿轮加工原理来加工收缩齿弧齿锥齿轮的情况。假想平面齿轮的齿顶,应当为锥面,其顶锥角等于 $90^\circ + \theta_f$,大于 90° ,而节锥角 $\delta'_c = 90^\circ$ 。如果用铣刀盘来加工弧齿锥齿轮时,则应将铣刀盘主轴轴线相对于机床摇台平面倾斜一个齿根角 θ_f 。由于被加工齿轮的规格、参数都不一样,是个变量,因此,对机床的结构就要求具备刀盘主轴可以倾斜的调整装置。这样,不但机床结构变得复杂,而且其刚性也比较差。

图19-1-7所示,为本系列机床按照假想平顶齿轮滚切的工作原理图,刀具主轴采用水平安置,不能做倾斜调整。所谓按平顶齿轮滚切原理加工锥齿轮,即在切齿过程中,假想有一个平顶齿轮与机床上的摇台同轴,并随摇台的转动而与被加工齿轮作无间隙的啮合滚动,这个假想平顶齿轮的节锥角不等于 90° ,而是: $\delta'_c = 90^\circ - \theta_f$,这里的 θ_f ,是被切齿轮的齿根角。假想平顶齿轮的轮齿表面,是由安装在摇台上的铣刀盘切削刃在摇台上的运动轨迹(锥面)所代替。

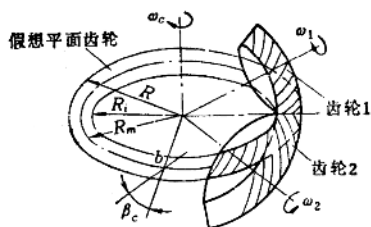


图19-1-8 弧齿锥齿轮加工原理图

调整机床时,必须使被切齿轮的节锥与假想平顶齿轮的节锥相切而纯滚动。因此,铣刀盘与被切齿轮的轴线夹角应为:

$$\Sigma = 90^\circ - \theta_f$$

式中 θ_f ——被切齿轮的齿根角。

假想平顶齿轮与被切齿轮的速比为:

$$i_m = \frac{\omega}{\omega_c} = \frac{\sin \delta'_c}{\sin \delta'_f}$$

式中 ω ——被切齿轮的角速度;

ω_c ——假想平顶齿轮的角速度;

δ'_c ——被切齿轮的节锥角;

δ'_f ——假想平顶齿轮的节锥角。

(3) 机床结构布局和主要部件 图19-1-9~

图19-1-11所示,为本系列机床的外观图,基本上都是由床身、床鞍、工件箱、摇台(包括摇台蜗杆)、进给机构、换向机构和驱动机构等七个主要部件所组成。其结构形式为卧式。机床右半部在床身滚动导轨上,装有床鞍和工件箱等部件所组成的工件系统;床身左半部装有摇台、驱动机构、进给机构(Y2212A机床装在床身内,右半部)和换向机构(Y2212A机床装在床身内,中间部分)等部件所组成的摇台系统(假想平顶齿轮)和传动部分。机床的换向,都采用组合齿轮结构。机床加工时,均采用工件进刀。

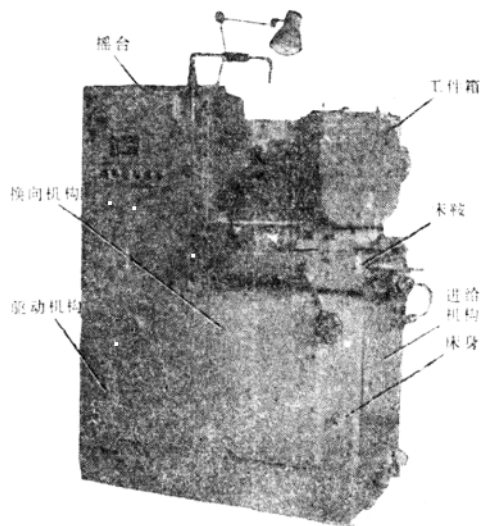


图19-1-9 Y2212A型弧齿锥齿轮铣齿机外观图

(4) 机床工作循环 Y225、YT2250 和 Y2280型三种机床,可以采用滚切法或切入法加工。当采用滚切法工作时,机床有两种运动:即切削运动与滚切运动。前一种运动,是为了使铣刀盘旋转进行铣齿。后一种运动则为使摇台(假想平顶齿轮)与被加工齿轮按一定的传动比,相互旋转进行滚切加工。对于Y2212A型机床,由于加工小模数锥齿轮,切削余量不大,机床只设有滚切法加工系统,而没有设置切入法加工机构,所以不能进行切入法加工。该机床在滚切法加工原理的基础上,其加工方法又分为普通复合双面法(也称双重双面法)和螺旋复合双面法加工。该机床采用螺旋复合双面方法加工的基本原理,是在机床床鞍下部设有一套特殊机构,当齿轮在滚切加工过程中,该机构

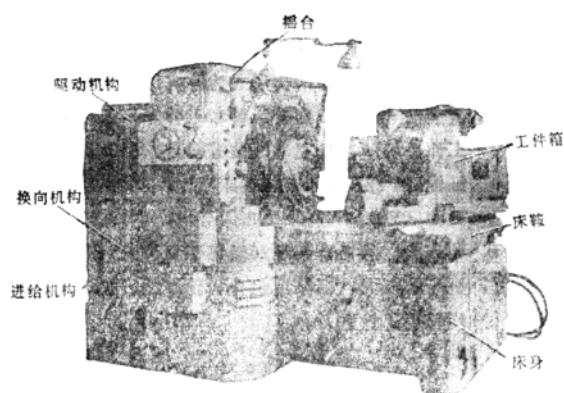


图19-1-10 Y 225和YT 2250型弧齿锥齿轮铣齿机外观图

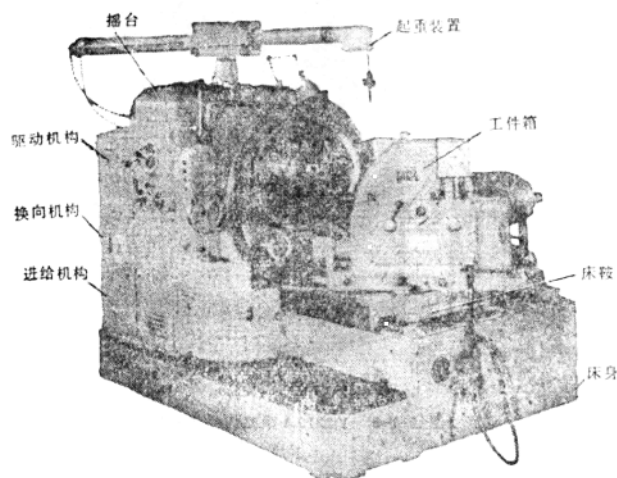


图19-1-11 Y 2280型弧齿锥齿轮铣齿机外观图

能带动床鞍，使被加工齿轮产生一个微小的轴向往复运动。

机床的工作循环如下：按下起动按钮，床鞍连同工件主轴箱即作快速前进，此时，刀盘和工件也同时旋转，摇台也开始摆动，摇台与工件的运动是为了形成渐开线所必须的滚切运动，当齿轮的第一个齿槽加工完后，床鞍带着工件主轴箱即作快速后退，使工件脱离开刀齿而摇台则改变方向往原始的位置旋转。这时工件主轴仍按原方向继续旋转，当摇台反向旋转终了后，工作循环又开始重复进行。由于摇台反向旋转（空行程）时，工件主轴仍

按原方向继续旋转，所以当下一个工作循环开始，工件已转过某一预定的齿数 k ，齿数 k 即叫做分度时的跳齿齿数。在计算或选用跳齿齿数 k 时， k 与被加工齿轮齿数不允许有公因数。

当粗切大节锥角的齿轮或某些特殊传动齿轮（如半滚切传动齿轮中的大齿轮，或大锥距齿轮等）时，可采用切入法加工，此时被切齿轮的齿形是由刀具逐渐的切入齿坯而形成，而机床则以缓慢的工作进给取代床鞍的快速前进，在这种情况下，机床的滚切量很小，当齿槽加工到预定的深度后，床鞍连同工件箱即作快速的后退，摇台反向旋转，工件进行分度。由于滚切量很小，所以摇台反向旋转角度不大，其目的主要给工件有充分的时间进行分度。

本系列机床都装有自动计数装置，当机床调整好以后，即可自动进行计数，在一个齿轮全部轮齿加工完毕时，可以自动控制停车。

本系列机床的加工精度，为JB180—60部颁标准7级精度。加工表面粗糙度为 $R_a 3.2 \sim 1.6 \mu m$ 。

4. 锥齿轮铣刀盘

(1) 弧齿锥齿轮铣刀盘的种类

根据铣刀盘的旋转方向、切削方法及加工的特点，大体上把铣刀盘分为以下几种类型：

左旋刀盘 右旋刀盘	单面刀盘	单面刃内铣刀盘：用于精铣小齿轮的凸面
		单面刃外铣刀盘：用于精铣小齿轮的凹面
	双面刀盘	粗铣双面刃刀盘：用于粗铣大、小齿轮
		精铣双面刃刀盘：用于精铣大、小齿轮
三面刀盘	圆拉刀盘	粗铣三面刃刀盘：主要用于大批量生产中的粗铣
		也是双面刃刀盘，是专门按半滚切方法精加工大齿轮的新型铣刀盘

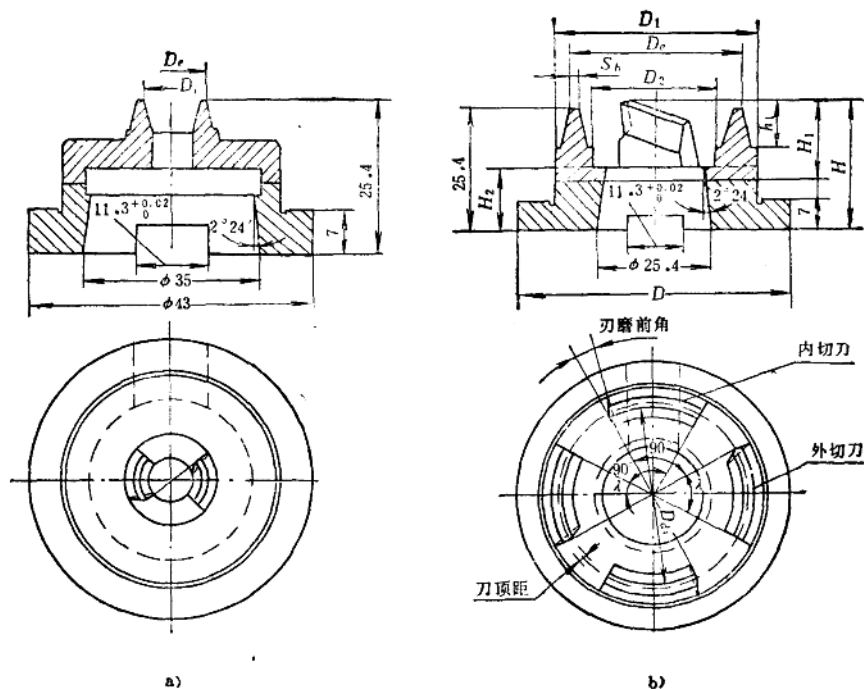


图19-1-12 小模数铣刀盘

a) 1/2" 铣刀盘 b) 1 1/10", 1 1/2" 及 2" 铣刀盘

小模数铣刀盘的结构, 见图19-1-12。镶齿铣刀盘的结构见图19-1-13。

(2) 圆拉铣刀盘 这种刀盘都是双面刃的精铣刀盘 (见图19-1-14)。

铣刀盘的刀齿是直线形, 在半径方向不能调整, 它直接紧固在铣刀盘的外圆 (不是在槽内) 上, 外刀齿的切削刃半径由第一个开始逐渐增大; 内刀齿的切削刃半径由第一个开始逐渐减小。第一个切削刃和同名校准刀齿之间径向尺寸差, 即为齿面一侧的精加工余量, 余量一般为 $0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$ 。相邻同名刀齿切削留量约为 $0.02 \sim 0.04 \text{ mm}$ 。圆拉铣刀盘前面那些刀齿位置比较靠近, 最后两个 (也有用四个的) 校准刀齿位置距离较远, 以保证只有一个刀齿参加切削。校准刀齿与切削刀齿的高度, 一般约低 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。第一个切削刀齿和最后一个校准刀齿之间有一空的距离, 主要用于精拉完一个齿槽后进行分度。圆拉铣刀盘是按成形法工作。因此, 全切削刃参加切削, 载荷分布比较均匀, 显著的延长了刀具使用寿命和降低了被加工齿轮齿面粗糙度。

(3) 螺旋成形法铣刀盘 它也是双面精铣刀盘, 刀齿数量有 6 个、8 个和 10 个等几种, 刀盘结构见图19-1-15。

铣刀盘的刀齿也是直线形, 刀盘转一转, 即可加工完一个轮齿。它的特点是, 铣刀盘除了转动以外, 还伴有轴向往复运动。铣刀盘上有相当于两个刀齿的位置没有刀齿, 在此位置即可进行分度。每个刀齿在通过齿槽时, 刀盘在轴向就往复一次, 因此, 铣刀盘每一转总的往复次数要比刀齿数量多两个。前面的刀齿用于半精加工, 最后的刀齿用于精加工。铣刀盘上的刀齿也不能调整。后面的刀齿较前面同名刀齿在半径方向都有一定的递增拉削量, 一般其递增拉削量均在 $0.05 \sim 0.10 \text{ mm}$ 左右, 但最后一组刀齿的递增量为 $0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$, 以便使切削力减小而提高加工精度。

(4) 延伸外摆线锥齿轮铣刀盘 加工延伸外摆线锥齿轮是用端面铣刀盘来加工, 其刀盘有标准端面铣刀盘和万能铣刀盘 (图19-1-16) 两大类。

标准铣刀盘适用于成批生产, 它可分为 TC 型铣刀盘 (图19-1-17)、EN 型铣刀盘 (图19-1-18)

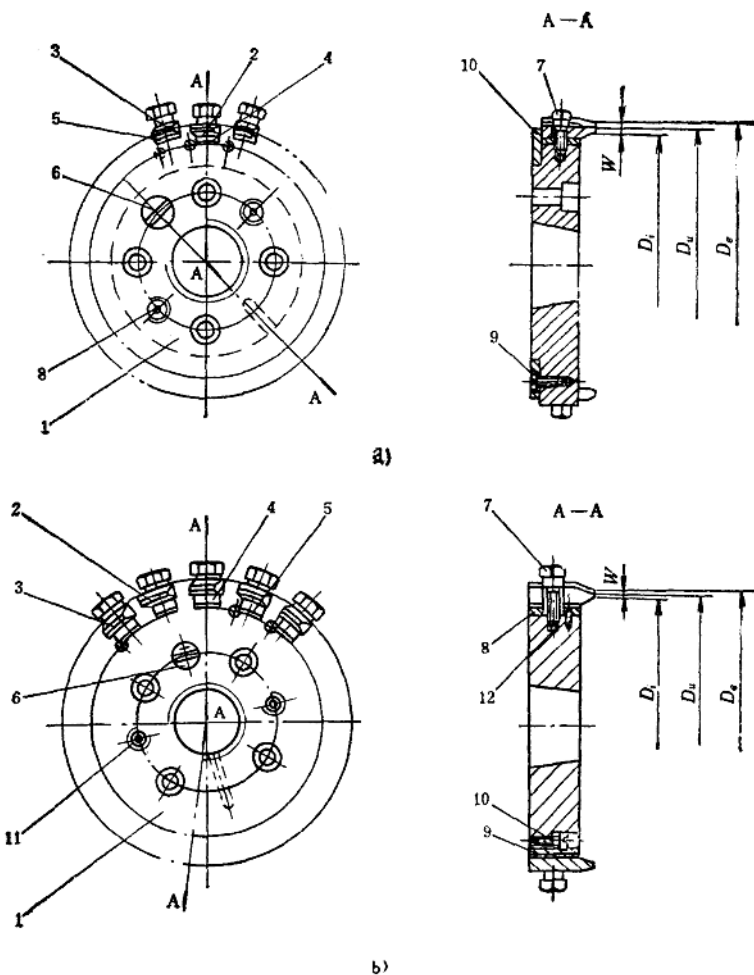


图19-1-13 双面粗、精铣刀盘结构

- a) 右旋粗铣刀盘 1—刀盘体 2—外粗刀片 3—内粗刀片 4—外垫片 5—内垫片 6—标志螺钉
7—紧固螺钉 8—卸刀螺钉 9—支承环螺钉 10—支承环
- b) 右旋双面精铣刀盘 1—刀盘体 2—外刀片 3—内刀片 4—内垫片 5—外垫片 6—标志螺钉
7—紧固螺钉 8—固定斜垫片 9—调整斜垫片 10—调整螺钉 11—卸刀螺钉 12—销

和EH型铣刀盘等几种型式。各型标准铣刀盘的刀齿都是分组安装的。每组刀齿由一个粗铣刀齿A、一个内精铣刀齿B和一个外精铣刀齿C来组成。

TC型端面铣刀盘每组刀齿的排列位置为：粗铣刀齿在最前面，内精铣刀齿在中间，外精铣刀齿在最后。各刀齿的切线半径也不相同，粗铣刀齿的切线半径为最大。左旋TC型铣刀盘切削右旋齿

轮，右旋TC型铣刀盘切削左旋齿轮。TC型铣刀盘可用于全滚切法或组合铣削法加工锥齿轮。目前这种铣刀盘可由EN型铣刀盘来代替。

EN型铣刀盘每组刀齿的排列位置是：粗铣刀齿也是在最前面，外精铣刀齿在中间，内精铣刀齿在最后。各刀齿的切线半径也不相同，粗铣刀齿的切线半径为最小。左旋EN型铣刀盘切削左旋齿轮，右旋EN型铣刀盘切削右旋齿轮。EN型与TC型铣

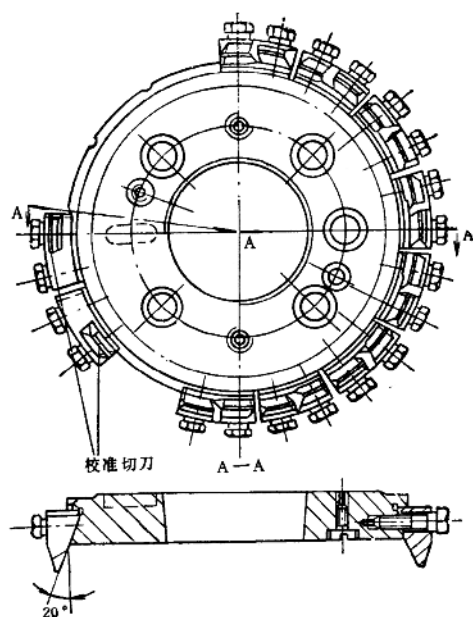


图19-1-14 圆拉铣刀盘结构

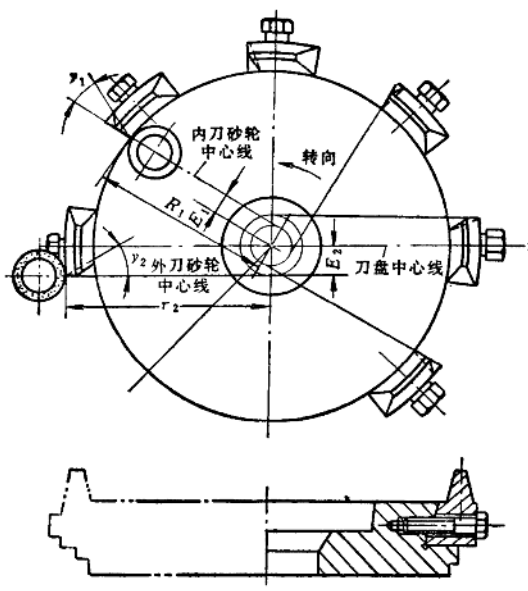


图19-1-15 螺旋成形法铣刀盘结构

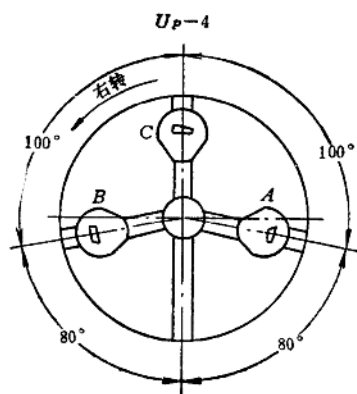
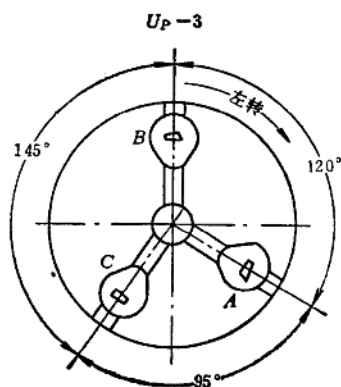


图19-1-16 奥利康万能铣刀盘示意图

刀盘两者比较，前者比较先进，它的粗铣刀齿切线半径比TC型铣刀盘的小，因此铣刀盘可以采用较高的转速工作，提高了生产率，降低了齿面粗糙度；同时铣削时，是从齿轮小端铣向大端，所以毛刺在齿的大端，这样在去毛刺时，也比较容易。

EH型铣刀盘，它的特点是刀齿分布均匀。因此，在同一铣刀盘上可以安装最多的刀齿，它有利于提高生产率。

(5) 弧齿锥齿轮铣刀盘的刀号 用弧齿锥齿轮铣刀盘铣齿，采用了“平顶齿轮”加工原理，安装

工件时，用锥齿轮的根锥角定位安装，铣刀盘轴线也垂直于根锥母线，它和节锥母线倾斜一个齿根角，见图19-1-19。这样，当用压力角相同的外切刀齿和内切刀齿铣齿时，铣出来的齿轮凹面和凸面在节锥母线上压力角就不相等。为使铣出来的齿轮在节锥和根角母线中点一致，对铣刀盘的内、外刀齿切削刃的压力角进行了修正。那么，刀号 N_0 即表示刀齿压力角与标准压力角的差数。例如刀号 $N_0 = 7\frac{1}{2}$ 时，则说明刀齿压力角与标准压力角的差数为：

$$\Delta\alpha = 10N_0 = 10 \times 7.5 = 75'$$

表19-1-1 铣刀盘公称直径的选择

名义直径 D_M		螺旋角	外锥距 L	最大齿高	最大齿面宽	最大模数
i_n	(mm)	$\beta_e (^\circ)$	(mm)	h (mm)	b (mm)	m (mm)
1/2	12.7	>20	6.35~12.7	3.2	3.97	1.69
1 ¹ / ₁₀	27.94	>20	12.7~19.05	3.2	6.35	1.69
1 ¹ / ₂	38.1	>20	19.05~25.4	4.7	7.9	2.54
2	50.8	>20	25.4~38.1	4.7	9.5	2.54
3 ¹ / ₂	88.9	0~15 >15	20~40 35~65	8.7	20	3.5
6	152.4	0~15 >15	30~70 60~100	10	30	4.5 5.0
9	228.6	0~15 15~25 >25	60~120 90~160 90~160	15	50	6.5 7.5 8.0
12	304.8	0~15 15~25 >25	90~180 140~210 140~210	20	65	9.0 10 11
18	457.2	0~15 15~25 25~30 30~40	160~240 190~320 190~320 320~420	28	100	12 14 15 15

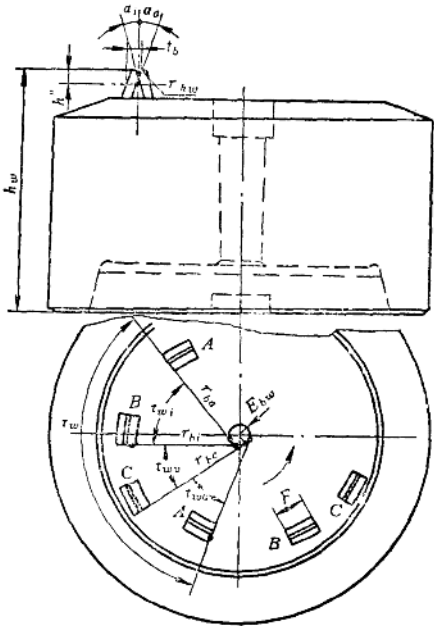


图19-1-17 奥利康TC型铣刀盘结构

式中 $\Delta\alpha$ 用分来表示, 10为常数。

当 $N_0 = 0$ 时, 即为0号刀齿, 0号刀齿的压力角等于标准压力角。弧齿锥齿轮有14°30′、16°、20°和22°四种标准压力角, 常用的标准压力角20°。由于刀齿压力角在节锥和根锥母线上都对称, 所以加工出来的锥齿轮齿型为等高齿。

当 $N_0 \neq 0$ 时, 外切刀齿与内切刀齿压力角 α_H 与 α_P 的数值, 可按以下公式决定:

$$\alpha_H = \alpha - \Delta\alpha$$

$$\alpha_P = \alpha + \Delta\alpha$$

式中 α ——铣刀盘标准压力角;
 $\Delta\alpha$ ——铣刀盘刀齿压力角与标准压力角之差。

例如: 标准压力角 $\alpha = 20^\circ$, 刀号 $N_0 = 7\frac{1}{2}$ 时, 则压力角之差为 $\Delta\alpha = 10 \times 7.5$ (单位为分)。外刀压力角为: $\alpha_H = 20^\circ - 75' = 18^\circ 45'$; 内刀压力角为: $\alpha_P = 20^\circ + 75' = 21^\circ 15'$ 。

(6) 铣刀盘公称直径的选择 (见表19-1-1)

(二) 国内外铣齿机的型号与规格

1. 国内铣齿机生产的演变过程

1957年我国开始设计、制造弧齿锥齿轮铣齿机。当时, 选型的基础是: 用圆弧形铣刀盘加工, 齿长方向为圆弧线, 齿高方向, 齿的大端和小端, 齿高不一样, 用按一定比例收缩的齿型制度。机床结构、刀盘和工件主轴都采用卧式布局形式, 并将刀盘主轴水平安置, 不能倾斜, 工件箱能够上下移动, 便于加工双曲面齿轮。进刀方式, 采用工件进刀, 并由装在机床上的进给鼓轮操纵, 进给鼓轮上, 设有两条曲线槽, 一条用于粗铣, 使用切入法工作, 也可以加工半滚切传动中的大齿轮; 另一条采用精铣, 用滚切法工作, 可以精加工大、小齿

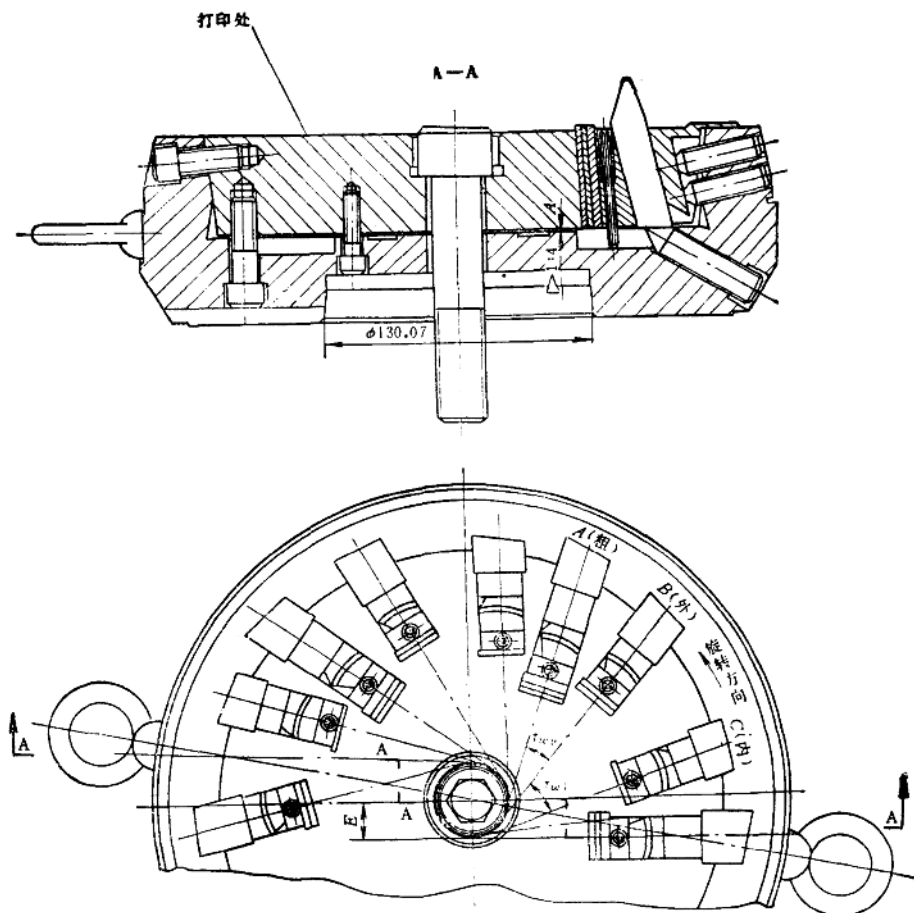


图19-1-18 奥利康EN型标准铣刀盘结构

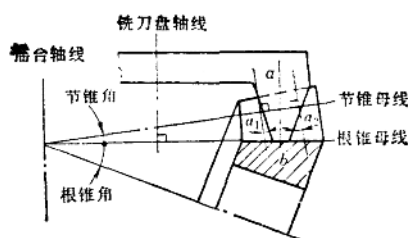


图19-1-19 铣刀盘刀齿压力角

轮，摇台旋转，采用往复回转形式，并用精密的组合齿轮换向和分度。床鞍的进、退、工件的夹紧，用机床上的液压系统，由单独的手柄操纵。按照以上的齿型和结构，设计、制造了 $\phi 500 \times m 10$ 及 $\phi 800 \times m 15$ 两种铣齿机，其型号分别为：Y 225型和Y 2280型万能弧齿锥齿轮铣齿机。至于YT2250型铣齿机，

其齿型和机床其它结构均与Y 225型铣齿机相同，只是在结构上又增加了一套滚切修正机构，该机构装在摇台蜗杆上，机床工作时，摇台蜗杆不但旋转，而且还有上下等加、等减速移动，因而使被加工齿轮，在齿高方向，从节圆开始向上和向下逐渐的多加工去一部分。其主要目的，是修正接触区的位置或加工半滚切传动中的小轮齿形，以适应配对大齿轮的需要。

为了适应我国经济发展的需要，在加工小模数弧齿锥齿轮方面，最初我国是按照瑞士奥利康锥齿轮机床加工原理而设计、制造的，其型号为H1-003，它属延伸外摆线锥齿轮铣齿机。刀盘与工件主轴也采用卧式布局，使用专门的圆形端面铣刀盘，刀盘上只有两个刀齿（内、外），连续切削，不需要间歇分度。由于该机床加工速度和等高齿不够

理想,所以后来又改型为Y2212A型小模数弧齿锥齿轮铣齿机,该机床生产有两种形式,一种为刀盘主轴设有倾斜角度,能够调整刀倾、刀转;另一种刀盘主轴没有倾斜角度,是水平安置。但两种机床都采用凸轮带动床鞍使工件进刀,摇台可以换向,并采用精密组合齿轮结构,机床上装有螺旋运动机构。滚切运动时,使床鞍作等速运动,以控制齿面接触区的形状,刀盘主轴径向位置,采用偏心鼓轮调节,以适应不同的齿轮加工。

为了适应一般弧齿锥齿轮的加工,我国还在刨齿机的基础上,设计、制造了Y2235型铣齿机。它改变了用双刨刀为圆弧铣刀盘加工弧齿锥齿轮,该机床结构比较简单,也用进给鼓轮带动床鞍使工件进刀,使用圆弧形铣刀盘,用切入法和滚切法粗、精加工弧齿锥齿轮。在大型弧齿锥齿轮方面,我国在70年代初期,自行设计、制造了Y22160型弧齿锥齿轮加工机床,最大加工直径为 $\phi 1600\text{mm}$,最大加工模数为30mm,采用刀盘进刀,分度箱主轴上设有花盘,以便于夹装工件,用于滚切法,并使用大型铣刀盘进行加工。机床刚性、生产率和精度都比较高。

在70年代初期,为了满足汽车和拖拉机行业发展生产的需要,并根据国外弧齿锥齿轮铣齿机的发展,自己选型、设计和制造了新的 $\phi 500 \times m 12$ 一套铣、拉机床,其型号为Y2250A、YA2150、Y2950、

Y2150。Y2250A型弧齿锥齿轮铣齿机,适用于多种滚切方法精加工,摇台支架采用整体结构,摇台和工件主轴末端采用高精度的双头蜗杆结构,刀盘主轴可以倾斜,有刀倾、刀转,工件主轴支承在精密的轴承上,并采用上部传动,与其配套粗加工的型号为YA2150型弧齿锥齿轮粗切机。其加工精度和结构与Y2250A相同,只是又采用了一系列的措施,以加强机床的刚性,以保证粗加工的要求。以上两种机床,一为粗加工机床,一为精加工机床,主要用于小齿轮加工。

Y2150A型和Y2950型弧齿锥齿轮拉齿机,也是一为粗加工机床,一为精加工机床,主要用于大齿轮的拉齿采用所谓的粗铣精拉方法。工件主轴在装、卸工件时,是垂直安放;加工时,便转一定的角度,因而可以迅速和安全的装卸工件,刀盘转一圈,即可拉完一个齿,生产率和精度比较高。当更换被加工零件参数时,需要重新更换机床上的分度盘、凸轮和心轴等特殊零件。

在发展以上几种产品的同时,在Y225型弧齿锥齿轮铣齿机的基础上,还设计、制造了数控弧齿锥齿轮铣齿机,其型号为YKD225,该机床在规格上,与Y225型相同,在结构上减掉一部分,但其精度方面却提高了将近30%。

2. 国内部分铣齿机的型号与规格 (见表19-1-2)

表19-1-2 国内铣齿机的型号与规格

国别	公司或厂名	机床型号	机床名称	主要技术参数 (mm)	机床净重 (kg)	占地面积 长×宽 (cm)	简要说明
中国	上海第一机床厂	H1-003	延伸外摆线锥齿轮铣齿机	$\phi 110 \times m 1.5$	1600	162×90	纵向齿型为延伸外摆线,齿高方向为等高齿。工件主轴能上下偏置 节锥母线长度为55mm,加工齿宽为15mm,传动比为5:1
	天津第一机床厂	Y2212	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 125 \times m 2.5$	1600	112×60	工件主轴为水平安置,齿高方向为收缩齿。工件主轴能上下偏置,用高精度组合齿轮传动,节锥母线长度为65mm,加工齿宽为20mm,传动比为10:1,使用刀盘直径为12.7~88.9mm

国别	公司或 厂名	机床型号	机床名称	主要技术参数 (mm)	机床净重 (kg)	占地面积 长×宽 (cm)	简 要 说 明
中国	天津第一机床厂	Y2212A	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 125 \times m 2.5$	1600	112×60	工件主轴为水平安置, 齿高方向为收缩齿。工件主轴能上下偏置, 带有螺旋运动机构, 用高精度组合齿轮传动, 可以从实体毛坯切出齿轮, 其它性能同 Y2212 机床
	上海第一机床厂	Y2212A	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 125 \times m 2.5$	1600	112×60	有刀倾、刀转机构。齿高方向为收缩齿。也是高精度组合齿轮传动, 其它性能同 Y2212 机床
	南京机床厂	Y2235	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 350 \times m 10$			齿高方向为收缩齿, 工件主轴箱不能偏置, 只能加工弧齿锥齿轮
	天津第一机床厂	Y225	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 500 \times m 10$	7000	222×160	工件主轴水平安置, 齿高方向为收缩齿, 用高精度组合齿轮传动 节锥母线长度为 260mm, 加工齿宽为 65mm, 传动比为 10:1, 使用刀盘直径为 152.4~304.8mm
		YT2250	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 500 \times m 10$	7000	222×160	机床结构除加有修正机构外, 其余性能均与 Y225 型机床相同
		Y2250A	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 500 \times m 12$	11500	283×230	有刀倾、刀转机构, 摇台支架为整体, 有横梁, 刚性好, 传动链末端环节均用高精度蜗轮副传动, 传动精度高, 而且稳定 节锥母线长度为 250mm, 加工齿宽为 65mm, 传动比为 10:1, 使用刀盘直径为 152.4~304.8mm
		Y225-CNC	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 500 \times m 10$	7000	222×160	机床性能同 Y225 型, 结构减掉一部分, 并采用微机进行控制
		YA2150	弧齿锥齿轮粗切机	$\phi 500 \times m 12$	11000	256×238	万能性粗切机, 横梁传动, 并可夹紧, 特别适用于汽车、拖拉机大批量生产中粗切小轮使用, 与 Y2250A 型机床配套使用

(续)

国别	公司或厂名	机床型号	机床名称	主要技术参数 (mm)	机床净重 (kg)	占地面积 长×宽 (cm)	简要说明
中国	天津第一机床厂	Y2950	弧齿锥齿轮拉齿机	$\phi 500 \times m12$	8000	330×241	可用多种方法加工, 使用专用的分度板, 专门用于汽车、拖拉机大轮精拉使用。机床刚性好, 拉出的齿轮, 其精度好于同类产品
		Y2150A	弧齿锥齿轮粗切机	$\phi 500 \times m12$	8000	330×241	使用专用的分度板, 专门用于汽车、拖拉机齿轮粗加工大轮使用, 刚性好, 与Y2950型机床配套使用
		Y2275	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 750 \times m15$			工件主轴可以倾斜, 传动链末端用高精度蜗轮副传动, 精度高。可用于重型汽车及工程机械的齿轮加工
		Y2280	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 800 \times m15$	14500	260×256	万能性粗、精加工铣齿机, 工件主轴水平安置。齿高方向为收缩齿。用高精度组合齿轮传动 节锥母线为420mm, 使用刀盘直径为152.4~457.2mm
		Y22160	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 1600 \times m34$			万能性铣齿机, 使用刀盘加工。工件主轴水平安置, 机床刚性和精度都好于同类产品, 是目前我国最大的铣齿机

3. 国外部分铣齿机的型号与规格 (见表19-1-3)

表19-1-3 国外部分铣齿机的型号与规格

国别	公司或厂名	机床型号	机床名称	主要技术参数 (mm)	机床净重 (kg)	占地面积 长×宽 (cm)	简要说明
日本	纲岛制作所	SBG-9	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 116 \times m2$	1200	75×68	机床结构比较简单, 使用4个或9个刀齿的铣刀盘, 可以同时加工一个齿槽的两个齿面, 能自动计数, 自动停车, 精度高, 生产率较高
	唐津铁工厂	BGH-16	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 457 \times m10$	6700	250×154	仿制美国格里森公司16号机床, 目前已停止生产
	东芝机械工厂	HBC-50A	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 518 \times m13$		345×224	有横梁夹紧, 机床刚性比较好。加工等高齿
		SBG-80C	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 826 \times m13$	11500	320×270	铣、磨两用, 加工等高齿

国别	公司或厂名	机床型号	机床名称	主要技术参数 (mm)	机床净重 (kg)	占地面积 长×宽(cm)	简要说明
日本	丰精密工业株式会社	G-113	弧齿锥齿轮铣齿机	m 9	5700	175×260	为粗加工小轮的专用机床,刀盘立式安装,结构独特,刚性比较好,可以切削收缩齿
		GH-35	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 340 \times m 10$	10500	290×185	刀盘主轴可以倾斜,用滚切法加工,摇台支架整体结构,机床横梁传动,粗加工可夹紧,精度和刚性比较好,可以用于粗、精加工
		GA-35	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 400 \times m 8$	9500	401×177	刀盘主轴可以倾斜,加工时摇台按一个方向旋转,齿型为等高齿
		F-331	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 442 \times m 10$	7000	230×198	用成形法粗、精加工大轮
		GH-45	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 458 \times m 13$	10500		刀盘主轴可以倾斜,用切入法粗加工大轮,摇台支架整体结构,横梁传动,粗加工可夹紧,精度和刚性比较好,可以用于粗、精加工
		GF-45	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 465 \times m 13$	9000		用成形法粗、精加工齿轮
		TAN-8	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 880 \times m 15$	9000	387×317	刀盘主轴垂直安装,为立式铣齿机,机床布局比较独特,可以粗、精加工大、小轮、滚动检查和简单的研齿,齿型为等高齿
		TAN-9	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 990 \times m 19$	12000	368×297	机床性能同上,在TAN-9型机床的基础上改进而成
		TAN-A 9	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 990 \times m 19$	16000	380×310	机床性能同上,在TAN-9型机床的基础上改进而成
苏联	萨拉托夫铣齿机厂与苏联机械科学研究院设计工厂	523 A	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 113 \times m 2.5$	816	69×79	此机床为早期弧齿锥齿轮铣齿机,其结构与格里森3°机床相似,1960年尚在生产
		5J123 A	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 125 \times m 2.5$	1600	108×59	本机床采用了组合齿轮传动,刀盘主轴可以倾斜 $\pm 5^\circ$,工件送给,床鞍具有螺旋运动机构 节锥母线长度为125mm,加工齿宽为40mm,使用刀盘直径为38.1~228.6mm

(续)

国别	公司或厂名	机床型号	机床名称	主要技术参数 (mm)	机床净重 (kg)	占地面积 长×宽(cm)	简要说明
苏联	萨拉托夫铣齿机厂与苏联机械科学研究院设计工厂	525B	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 250 \times m8$	7000	220×160	万能性比较广的粗切机。用滚切法粗切大小轮，是在525型铣齿机基础上的变型产品，也是应用组合齿轮传动 节锥母线长度为260mm，加工齿宽为65mm，传动比10:1，使用刀盘直径为152.4~304.8mm
		5A231	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 250 \times m8$	7500	220×160	本机床是以切入法进行粗切的，最适宜利用分度板进行分度，与拉齿机配套使用 节锥母线长度为125mm，加工齿宽为65mm，传动比10:1，使用刀盘直径为152.4~304.8mm
		5A27C1	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 450 \times m10$	6800	208×150	本机床是以5A26型刨齿机为基础的变型产品，是由CKB-5早年设计，目前已被525型机床代替 节锥母线长度为225mm，加工齿宽为65mm，传动比10:1，使用刀盘直径为152.4~304.8mm
		5A27C2 5A27C3	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 450 \times m10$	7990	217×158	两种机床刀盘主轴均可倾斜，都是以5A27C1为基础的变型产品，5A27C3万能性较广，5A27C2并非通用产品。机床性能与5A27C1型机床一样
		5A27C4	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 450 \times m10$	8000	217×150	本机床为萨拉托夫铣齿机厂60年代初期产品，是5A27C1型机床的改进型，刀盘主轴可以倾斜，万能性比前两种均广。机床性能与5A27C1一样
		525	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 500 \times m10$	7000	220×160	此机床是在528之后设计的，是应用组合齿轮传动最有代表性的产品 节锥母线长度为260mm，加工齿宽为65mm，传动比10:1，使用刀盘直径为152.4~304.8mm

(续)

国别	公司或厂名	机床型号	机床名称	主要技术参数 (mm)	机床净重 (kg)	占地面积 长×宽 (cm)	简要说明
苏联	萨拉托夫铣齿机厂与苏联机械科学研究院设计工厂	5231	弧齿锥齿轮粗切机	$\phi 500 \times m 10$	9500	290 × 205	本机床专门用来粗切大轮,使用的方法为成形法(无滚切运动),与5232型拉齿机配套使用 节锥母线长度为250mm,加工齿宽为65mm,传动比10:1,使用刀盘直径为152.4~304.8mm
		5232	弧齿锥齿轮拉齿机	$\phi 500 \times m 10$	2200	160 × 175	本机床专门用来精拉大轮,使用的方法为成形法(无滚切运动),与5231型粗切机配套使用。机床性能也与5231型机床一样
		5B231	弧齿锥齿轮拉齿机	$\phi 500 \times m 10$			本机床专门用于拉齿
		528(528C)	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 800 \times m 15$	12500	260 × 210	本机床系50年代初期首先使用组合齿轮传动成功之产品,后经稍加改进。正式投产后,其型号为528C,并由萨拉托夫铣齿机厂生产 节锥母线长度为420mm,加工齿宽为100mm,传动比10:1,使用刀盘直径为154.2~457.2mm
		5A285	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 1600 \times m 34$			是大型万能性铣齿机,用刀盘加工。生产率和精度也比较高
美国	格里森公司	3"	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 113 \times m 2.54$	810	89 × 84	旧型万能性铣齿机 节锥母线长度为57mm,加工齿宽为16mm,传动比4:1,使用刀盘直径为12.7~88.9mm
		4"	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 108 \times m 3.17$	907	96 × 120	旧型万能性铣齿机 节锥母线长度为57mm,加工齿宽为16mm,传动比4:1,使用刀盘直径为12.7~88.9mm
		N6102 (新型号 423)	弧齿锥齿轮铣齿机	$\phi 117 \times m 1.6$	1446	100 × 67	是目前格里森最小的机床,万能性比较强,可进行全工序法加工,并可在一道工序中,从实体毛坯切出齿轮,床鞍带有螺旋运动,加上自动上料、下料机构,可以单机自动化 节锥母线长度为59mm,加工齿宽为11mm,传动比10:1,使用刀盘直径为12.7~88.9mm